

日本企業の優位性、強み	現状の課題	その他（今後の対策・ビジネスモデルなど）
可能としている。 ・日本発祥の技術で、製造実績，納入実績等では一日の長がある。	用用途が限定的となる。	あると想定する。

日本企業の優位性は、製品の安全性や品質、および経験豊富で効率的な運用技術にある。しかし、現地のニーズと比べると設備単体としては過剰性能となってしまうことや、製品の価格競争の面で中国企業や韓国企業に劣ってしまうこともある。そのため、単に設備の設置・建設だけでなく、その運用技術の提供やニーズに合った木目細かな制御方式との組み合わせなど、ライフサイクルを考慮した、長期的な競争力の確保、および訴求が求められ、これが日本にとって強みとなると言えよう。

（２） 運輸交通

（i） 世界における技術・サービスの開発・社会実装の動向

2019 年の世界の運輸・交通部門のエネルギー起源 CO₂ 排出量は、8,222 百万 ton-CO₂ であり、下図に示すように道路輸送がその 74%（6,049 百万 ton-CO₂）を占める。

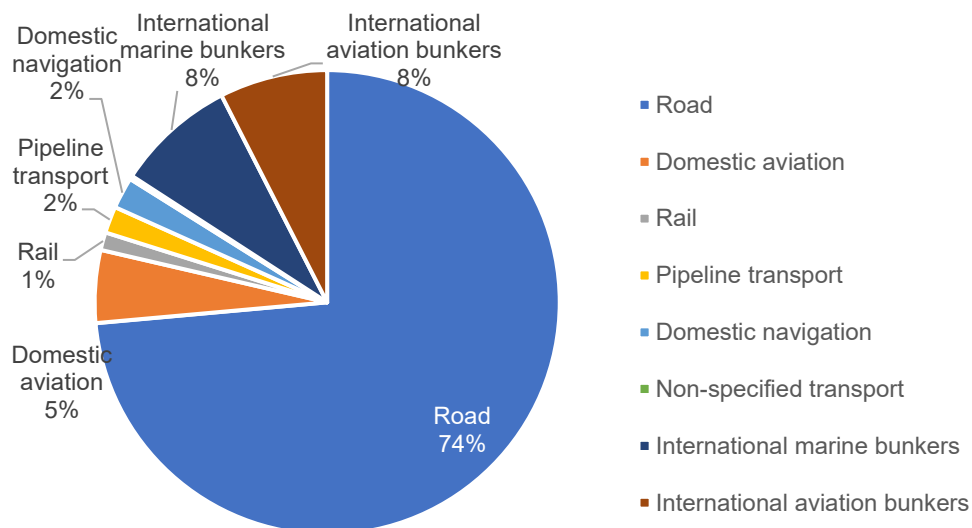


図 201 運輸・交通部門モード別 CO₂ 排出量のシェア（2019 年）

出所：IEA, CO₂ emission from fuel combustion 2021

2019 年の世界の運輸・交通部門のエネルギー別消費のシェアは下図のとおりである。運輸・交通部門の最終エネルギー消費の 90%以上は化石燃料であり、ガソリンやディーゼルがその中心となる。航空、道路輸送、鉄道、海運という 4 つが主要な輸送手段となるが、航空が 12%、道路輸送が 74%、鉄道が 2%、海運が 9.4%と、道路輸送（自動車）のシェアが圧倒的に大きい。輸送機

関のうち、航空と海運の最終エネルギー消費はすべて石油（ジェット燃料、ディーゼル、燃料油）で賄われ、自動車も 90%以上が石油（ガソリン、ディーゼル、LPG）である。鉄道では、電力のシェアが 42%を占めるが残りの 57%はディーゼルであり、パイプライン輸送でも天然ガスが 95%を占めていることから、どの輸送手段においても、化石燃料の割合が高いことには変わらない。したがって、運輸・交通部門において低・脱炭素を実現するためには、化石燃料、特に石油の消費量を減らすことが重要である。なお、道路輸送では再生可能エネルギーの利用が 4%あるが、これはバイオガソリンやバイオディーゼルといったバイオ燃料を指す。

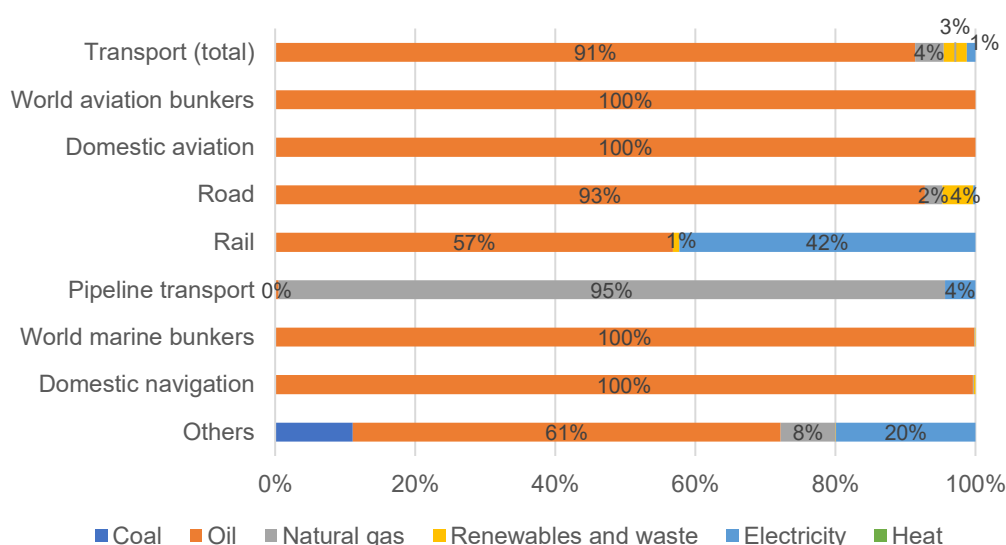


図 202 運輸・交通部門におけるモード別最終エネルギー消費（2019 年）

出所：IEA, World Energy Balances 2021

運輸・交通部門では、エネルギー密度が高く制御が容易であることから、石油に代表される流体エネルギーが輸送機関にとって特に適したものとされてきた。世界的に輸送需要の拡大が続く中で、輸送機関の省エネルギー対策として、まずは輸送機関そのもののエネルギー消費効率の向上が進展してきた。また、自動車が中心となっている現在の輸送に、鉄道輸送や海運輸送を組み込むことで、交通システム全体の省エネルギー化を図る取り組みも進められている。これらの取り組みに加えて、運輸・交通部門における石油需要をさらに低減させるため、輸送燃料自体の代替、つまり、バッテリー駆動の電動車や持続可能なバイオ燃料の開発が活発化している。自家用車や一部の公共交通機関を中心に新たな技術の商用化・普及が進められているが、従来技術的・経済的な課題が多く燃料代替が困難とされてきた航空や海運のような長距離輸送機関についても、低炭素化に向けた技術開発が進展している。

(a) 電気自動車

電気自動車（electric vehicle）には、バッテリー式電気自動車（battery electric vehicle: BEV）、プラグインハイブリッド自動車（plug-in hybrid electric vehicle: PHEV）、燃料電池自動車（fuel cell electric vehicle: FCEV）が含まれる。

IEA によると、2020 年の世界における電気自動車の保有台数は 1,000 万台に達した。これは、2019 年に比べて 43%増加であり、保有台数合計の約 1%を占める⁴⁹⁶。下図に示すように、特に中国における増加が著しく、2020 年には中国の電気自動車保有台数は 450 万台となったが、年間最大の増加率となったのは欧州であり保有台数は 320 万台に達した。

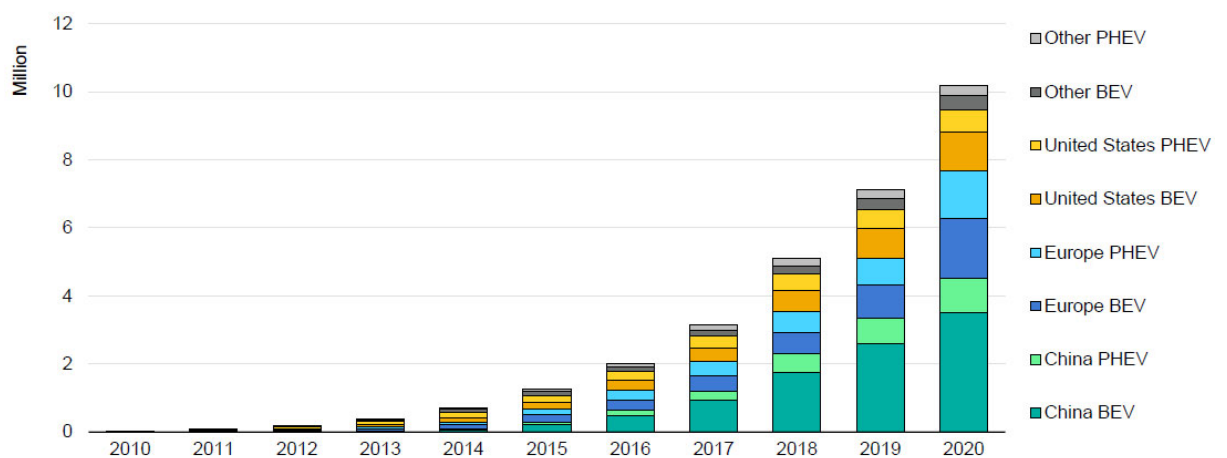


図 203 世界の電気自動車保有台数推移（2010～2020 年）

出所：IEA, Global EV Outlook 2021

2020 年時点で電気自動車が販売台数、保有台数に占める割合は少ないが、IEA の持続可能な開発シナリオでは、電気自動車関連の目標はすべて達成されると見込む。同シナリオでは、2030 年までに乗用車、バス、トラックの新車販売の 30%を電気自動車とする EV30@30 の目標を上回る水準になる（世界全体で約 35%に達する）と想定している。また、公表政策シナリオでは、2030 年に世界の電気自動車保有台数が 1.45 億台に拡大すると想定される。今後、市場の拡大がさらに期待される中、電気自動車の普及のカギを握る技術として、車載用蓄電池と燃料電池が挙げられる。

⁴⁹⁶ IEA (2021) “Global EV Outlook 2021”, p.19.

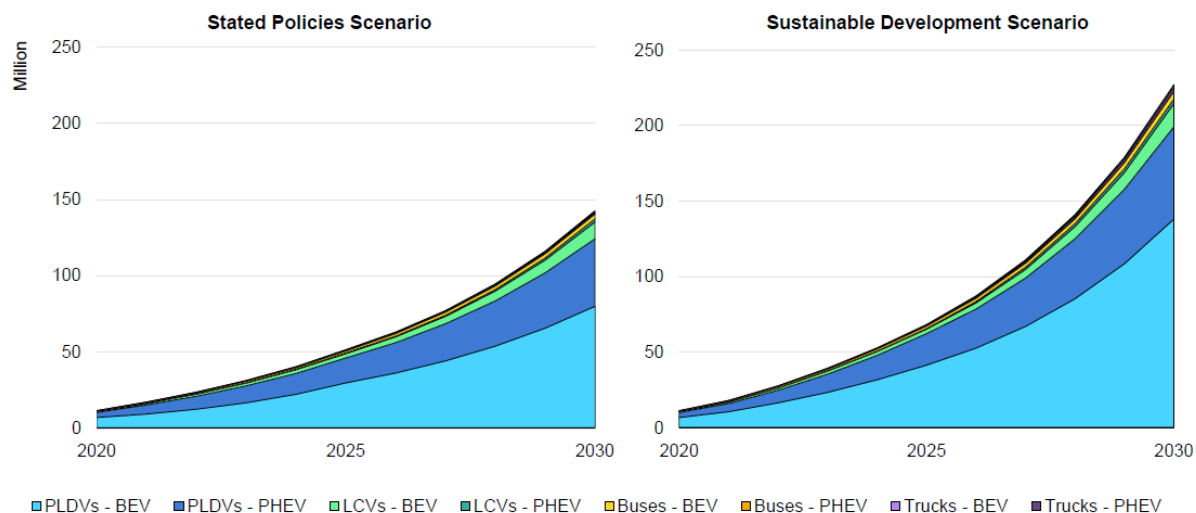


図 204 世界の電気自動車保有台数の見通し（2020～2030 年）

出所：IEA, Global EV Outlook 2021

【車載用蓄電池】

まず、車載用蓄電池の技術的な要求事項としては、高いエネルギー密度、充電時間が短いこと、温度変化が充放電特性に与える影響が小さいこと、寿命が長いこと、コストが低いこと、高い安全性の確保⁴⁹⁷といった点が挙げられる。

現在、世界的に普及している車載用蓄電池は有機液体電解質を使用したリチウムイオン電池（液系 LiB）であり、電池パックの重量エネルギー密度は 200Wh/kg 程度とされる。液系 LiB は、今後民間企業（自動車、電機、蓄電池、材料メーカーなど）が各社の事業戦略に基づき自社製品のカスタマイズを目的とした研究開発が中心となる技術領域とされるが、無機固体電解質を使用したリチウムイオン電池（全固体 LiB）の研究開発は、産学官の連携・協調が必要な技術領域とされる⁴⁹⁸。日本では、2025 年頃には重量エネルギー密度を 300Wh/kg まで高めた第 1 世代全固体 LiB（硫化物系）の実用化が目指されており（電池容量 40kWh の BEV で電池パックコスト 60 万円、航続距離 400km、電池パックカレンダー寿命 10 年を目標仕様とする）、2030 年頃には、重量エネルギー密度を 400Wh/kg（電池容量 40kWh の BEV で電池パックコスト 40 万円、航続距離 500km、電池パックカレンダー寿命 15 年を目標仕様とする）にまで高めた次世代全固体 LiB（高イオン伝導性硫化物系または酸化物系）の実用化が目指されている。

2010 年から 2020 年は LiB のエネルギー密度や寿命が改善しコストが大きく低減した時代であるが、2020 年から 2030 年も LiB が引き続き技術的に選択され、LiB の蓄電性能を強化するため、カソード（陽極）、アノード（陰極）、電解質という LiB の 3 つの重要な要素の改良が進むと考えられている。IEA は「Global EV Outlook 2018」において、蓄電技術の商用化のタイムラインを下図のように整理した。今後 5～10 年以内に市場に投入される次世代 LiB は、ニッケルコバルトアルミニウムオキシド（NCA）またはニッケルマンガンコバルト（NMC）811 カソードのいずれ

⁴⁹⁷ みずほ情報総研、「蓄電池技術はどこに向かうのか？一次世代・革新型蓄電池技術の現状と課題」『みずほ情報総研レポート』vol.18（2019）、pp.2-4.

⁴⁹⁸ 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構、「先進・革新蓄電池材料評価技術開発（第 2 期）」基本計画、<https://www.nedo.go.jp/content/100881230.pdf>.

かを使用する可能性が高く、結合剤や電解質の改良によってアノードのシリコン含有量増加も許容されるようになって見込まれている。これらの改良によって、エネルギー密度が向上する。

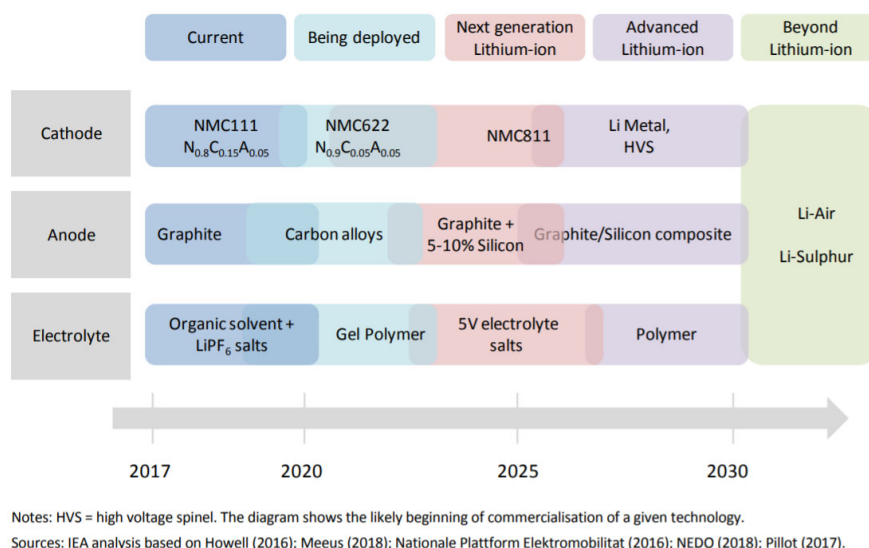


図 205 蓄電技術商用化のタイムライン

出所：IEA, Global EV Outlook 2018

2030 年以降の技術として最も有望と考えられる先進的なコンセプトとして、リチウム金属固体電池が挙げられる⁴⁹⁹。この技術は、重量エネルギー密度 400～500Wh/kg を達成するとされ、すでにプロトタイプによる実験が行われ、トヨタが 2020 年代前半に実際の製品へ搭載するとしている。トヨタは、全固体電池の HEV への適用も発表した⁵⁰⁰。また、日産は、2028 年度までに自社開発の全固体電池を搭載した電気自動車を市場投入することを目指すと発表している⁵⁰¹。リチウム金属固体電池の商用化は、2025 年から 2035 年頃と見込まれる。

なお、リチウム硫黄電池、多価イオン電池、金属空気電池といった技術は、プロトタイプの早期段階あるいはそれ以前の段階にあるとされている⁵⁰²。

【燃料電池】

燃料電池自動車には、水素と酸素を化学反応させて電気を発生させる装置である。燃料電池の構成単位をセルと呼び、プラスの電極板（空気極）とマイナスの電極板（燃料極）が個体高分子膜（電解質膜）を挟んだ構造をしている⁵⁰³。このセルの集合体を燃料電池スタックと言う。なお、

⁴⁹⁹ IEA (2020) “Global EV Outlook 2020”, p.188.

⁵⁰⁰ トヨタ自動車、2021 年 9 月 7 日、「電池・カーボンニュートラルに関する説明会」、<https://global.toyota.jp/newsroom/corporate/35971587.html>.

⁵⁰¹ 日産自動車、2021 年 11 月 29 日、「日産自動車、長期ビジョン「Nissan Ambition 2030」を発表」、<https://global.nissannews.com/ja-JP/releases/211129-00-j>.

⁵⁰² IEA (2020) “Energy Technology Perspectives 2020”, p.158.

⁵⁰³ 燃料電池実用化推進協議会、「燃料電池とは」、<http://fccj.jp/jp/aboutfuelcell.html>.

燃料電池スタックで発電した電力は、停電時などに外部給電として利用することも可能であり⁵⁰⁴、FCEV から戸建住宅への電力供給の実証事業例（北九州市）⁵⁰⁵もある。

2019 年における乗用車・バス・トラックを含めた燃料電池自動車の世界全体販売台数は 12,350 台、保有台数は 25,210 台となり、前年の約 2 倍となった（2018 年の世界の販売台数は 5,800 台、保有台数は 12,950 台）。しかし、バッテリー式電気自動車やプラグインハイブリッド車と比較するとその規模は非常に小さい。燃料電池自動車の販売台数および保有台数の大部分を乗用車が占め、トヨタ MIRAI、現代 Nexa、ホンダクラリティ FUEL CELL が市場シェアの大半を占めている。日米韓における FCEV はほぼ乗用車であり、欧州においても FCEV 保有台数の約 95%が乗用車であるが、バスやトラック（軽量・重量）もわずかながら利用されている。世界の FCEV 保有台数において米国が最も高い割合を占めるが、中国では燃料電池バスや商用車が急速に拡大していることを背景に、FCEV 保有台数が増加している。中国では、燃料電池バスが FCEV 保有台数の約 70%、貨物車両が残りのほとんどを占め、乗用車の占める割合が 1%程度しかないことが特徴である。⁵⁰⁶

日本では、定置用、車載用燃料電池の研究開発を積極的に展開しており、2019 年 3 月に「水素・燃料電池戦略ロードマップ」の改訂版が策定された。これは、2017 年 12 月の水素基本戦略と 2018 年 7 月の第 5 次エネルギー基本計画、2018 年 10 月の東京宣言を踏まえた改訂であり、2014 年に最初のロードマップが策定されて以来、2 回目の改訂版となる。ロードマップでは、燃料電池自動車について、2020 年までに 40 万台程度、2025 年までに 20 万台程度、2030 年までに 80 万台程度の普及を目指すとし、燃料電池システム（現在約 2 万円/kW）を 2020 年までに 0.8 万円/kW、2025 年までに 0.5 万円/kW、2030 年までに 0.4 万円/kW へ低減させることを目指す。なお、IEA によると日本における燃料電池自動車の保有台数は、4,100 台（2020 年）となった⁵⁰⁷。

また、2020 年 12 月に策定された「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」では、自動車に関連して商用車の燃料電池化、特に燃料電池トラックの商用化を加速するための実証や導入支援策の検討が言及された⁵⁰⁸。2021 年 6 月には内容がさらに具体化されたグリーン成長戦略が策定され、燃料電池自動車の普及拡大に向けて道路運送車両法と高压ガス保安法における関連規制の一元化も視野に入れた規制改革の検討も指摘されている⁵⁰⁹。

至近では、トヨタが、燃料電池システムをパッケージ化した FC モジュールを開発し、販売を開始すると発表した⁵¹⁰。モジュール化によって、トラックやバス、鉄道、船舶などのモビリティや定置式発電機など様々な用途の燃料電池製品の開発・製造業者が活用可能としている。同時に、

⁵⁰⁴ トヨタ自動車、「燃料電池自動車（FCV）の災害時活用事例のご紹介」、第 6 回燃料電池自動車等の普及促進に係る自治体連携会議（2019 年 5 月 17 日）、

https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/suiso_nenryo_denchu_fukyu/pdf/006_05_00.pdf.

⁵⁰⁵ 北九州市、「北九州市の水素に関する取組み」、<https://www.city.kitakyushu.lg.jp/kankyoku/28900005.html>.

⁵⁰⁶ IEA (2020) “Global EV Outlook 2020”, pp.49-50.

⁵⁰⁷ IEA (2021), “Global EV Data Explorer”, <https://www.iea.org/articles/global-ev-data-explorer>.

⁵⁰⁸ 経済産業省（2020）「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」（2020 年 12 月 25 日）。

⁵⁰⁹ 経済産業省（2021）「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」（2021 年 6 月 18 日）。

⁵¹⁰ トヨタ自動車、2021 年 2 月 26 日、「カーボンニュートラルに向けた水素活用の促進を目指し、燃料電池システムをパッケージ化したモジュールを開発」、<https://global.toyota.jp/newsroom/corporate/34799387.html>.

豊田自動織機は、汎用型の小型 FC モジュールの開発、販売予定を発表した⁵¹¹。トヨタ自動車は、欧州で第2世代となる燃料電池モジュールの生産を開始すること（2022年1月から組み立て開始）⁵¹²、2023年から米国ケンタッキー州のジョージタウン工場にて大型商用トラック用のデュアル燃料電池モジュールの組み立てを開始すること⁵¹³を発表している。また、トヨタは、北京億華通科技と合弁会社を設立し、燃料電池自動車の基幹システムを中国で現地生産することを発表した。2023年から燃料電池スタックを柱とする燃料電池自動車システムを北京で量産するとされている⁵¹⁴。

米国では、エネルギー省が中心となって定置用、車載用燃料電池の研究開発を進めており、車載用燃料電池については2025年の目標として、製造コスト\$40/kW（2030年以降の究極的な目標として\$30/kW）、耐久時間5,000時間（2030年以降の究極的な目標として8,000時間）、効率65%を掲げている⁵¹⁵。また、エネルギー省は、燃料電池トラックと水素製造研究開発を進展させるため、Million Mile Fuel Cell Truck (M²FCT)とH2NEWという2つのコンソーシアムを新たに設立した。それぞれのコンソーシアムは、DOEの国立研究所が研究開発を主導し、今後5年間にわたって年間最大1,000万ドルを受け取ることとなっている⁵¹⁶。欧州では、燃料電池水素共同実施機構（Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking: FCH JU）が燃料電池の研究開発や実証事業を担い、乗用車・商用車での使用を想定した共通スタックの開発や製造に注力している⁵¹⁷。FCH JUは、燃料電池自動車（乗用車）について、燃料電池システムの耐久時間を2020年に5,000時間、2024年に6,000時間、2030年に7,000時間とし、燃料電池システムコストを2020年に€60/kW、2024年に€50/kW、2030年に€40/kWまで低減させるといった目標を掲げている⁵¹⁸。2008年から2020年の期間に、運輸部門（燃料電池利用の実証、先進的な燃料電池の開発）では80のプロジェクトが、合計で約4.86億ユーロの財政支援をFCH JUから受けている⁵¹⁹。なお、FCH JUは、2021年11月に活動を終了し、Clean Hydrogen Joint Undertakingに活動は引き継がれた⁵²⁰。

⁵¹¹ 豊田自動織機、2021年2月26日、「豊田自動織機、汎用型の小型燃料電池モジュールを新開発～建機、農機向けの他、定置式発電機として、工場、商業施設や自治体への供給を目指す～」、<https://www.toyota-shokki.co.jp/news/release/2021/02/26/002816/>。

⁵¹² TOYOTA UK, “Toyota to Start European Production of Second Generation Fuel Cell Modules”, 2 December 2021, <https://media.toyota.co.uk/toyota-to-start-european-production-of-second-generation-fuel-cell-modules/>。

⁵¹³ TOYOTA, “Toyota to Assemble Fuel Cell Modules at Kentucky Plant in 2023”, 25 August 2021, <https://pressroom.toyota.com/toyota-to-assemble-fuel-cell-modules-at-kentucky-plant-in-2023/>。

⁵¹⁴ 日本経済新聞、2021年3月29日、「トヨタ、中国でFCVシステム生産 清華大学系と」、<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOFD299QN0Z20C21A3000000/>。

⁵¹⁵ U.S. Department of Energy Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, “Fuel Cell R&D Overview”, 2019 Annual Merit Review and Peer Evaluation Meeting, April 29, 2019, https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/review19/plenary_fuel_cell_papageorgopoulos_2019.pdf。

⁵¹⁶ U.S. Department of Energy Office of Energy Efficiency & Renewable Energy (Press Released on October 8, 2020), “DOE Launches Two Consortia to Advance Fuel Cell Truck and Electrolyzer R&D”, <https://www.energy.gov/eere/articles/doe-launches-two-consortia-advance-fuel-cell-truck-and-electrolyzer-rd>。

⁵¹⁷ 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構、「モビリティ／水素分野の技術動向について」第2回グリーンイノベーション戦略推進会議ワーキンググループ（2020年8月21日）、https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/green_innovation/pdf/002_04_01.pdf。

⁵¹⁸ Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (FCH 2 JU), “Addendum to the Multi-Annual Work Plan 2014-2020”, 15 June 2018, <https://www.fch.europa.eu/page/multi-annual-work-plan>。

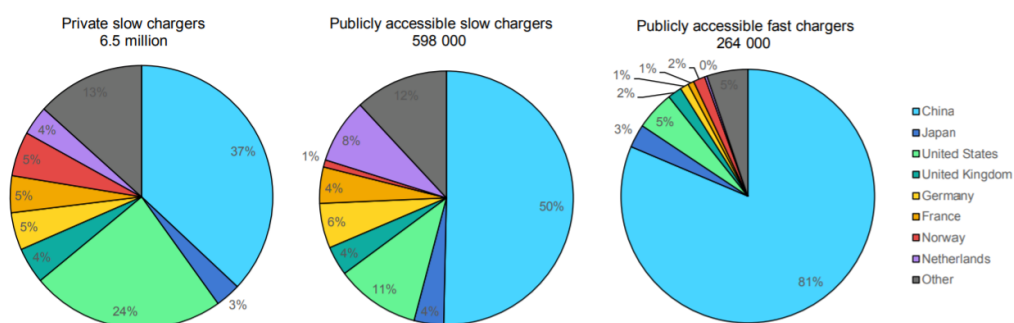
⁵¹⁹ Clean Hydrogen Partnership, “Programme Review Report 2020-2021”, 2 December 2021, https://www.clean-hydrogen.europa.eu/media/publications/programme-review-report-2020-2021_en。

⁵²⁰ Clean Hydrogen Partnership, “Who we are”, https://www.clean-hydrogen.europa.eu/about-us/who-we-are_en。

(b) 充電設備

BEV や PHEV の充電設備は、普通充電設備と急速充電設備に分類される。普通充電設備は、一般に使用される単相 AC200V または 100V を使用し、戸建住宅・マンションやビル、屋外駐車場等での利用が想定される。充電時間は、航続距離 160km の場合に 100V で約 14 時間、200V で約 7 時間となる。急速充電設備は、三相 AC200V を電源として使用し、ガソリンスタンドや高速道路のサービスエリア等の短時間で充電を行う必要がある場所での利用が想定される。出力電圧は最大で DC500V となるため、航続距離 160km の場合の充電時間は約 30 分と普通充電設備と比べて大幅に短縮される。⁵²¹

2019 年末時点で、世界には 730 万台の電気自動車充電設備が設置されており、うち約 90%にあたる 650 万台が乗用車向けの低速あるいは普通充電設備（私有）となっている。私有の充電設備の多くは、利便性や費用対効果、導入支援措置の観点から住宅や職場に設置されている。一方、公共利用可能な充電設備は 86.2 万台と乗用車向け充電設備の 12%を占めるにとどまっている（2019 年）。下図に示すとおり、その中でも急速充電設備は 26.3 万台と少ないが、その 8 割以上が中国で導入されている。なお、2020 年時点で、公共利用可能な充電設備は 130 万台まで拡大し、うち 30%が急速充電設備となった⁵²²。



IEA 2020. All rights reserved.

Sources: IEA analysis based on country submissions, complemented by Chinabaogao (2019) and (EAFO, 2020a).

図 206 私有および公共利用可能な充電設備の国別割合（2019 年）

出所：IEA, Global EV Outlook 2020

急速充電設備は、交流を直流に変換する大容量電源であり、DC500V という高電圧を出力するため、特別のコネクタで車の端子に接続する。さらに、急速充電設備は、バッテリーマネジメントシステムと通信をしながら充電を行い、リチウムイオン電池の状態を常に監視して安全性や信頼性を確保している⁵²³。コネクタの規格、充電、通信プロトコル等を定めた急速充電規格の一つが、日本企業が主導する CHAdeMO 規格である。他主要な規格として、欧米自動車メーカーを中心に開発が進む CCS1（米国規格）、CCS2（欧州規格）、中国の国家推奨規格である GB/T、Tesla 社の Supercharger が挙げられる。設置基数を比較すると、市場規模の大きさから GB/T が圧倒的に

⁵²¹ 経済産業省、「充電設備について」、<https://www.meti.go.jp/policy/automobile/evphv/what/charge/index.html>。

⁵²² IEA (2021) “Global EV Outlook 2021”, pp.39.

⁵²³ ニチコン株式会社、「電気自動車用充電設備の最新技術動向」、<https://www.nichicon.co.jp/lib/lib38.html>。

多い。

表 128 主要な急速充電規格

		CHAdeMO	GB/T	CCS 1 (米国)	CCS 2 (欧州)	Tesla	ChaoJi
標準化	IEC (国際標準)	✓	✓	✓	✓		Applying
	米国	IEEE		SAE			
	EN (欧州)	✓		✓			
	JIS (日本)	✓	✓	✓	✓		✓
	GB (中国)		✓				✓
通信方式		CAN	CAN	PLC		CAN	CAN
最大出力		400kW 1000V x 400A	185kW 750V x 250A	200kW 600V x 400A	350kW 900V x 400A	250kW?	900kW 1500V x 600A
市場出力		150kW	125kW	150kW	350kW	85-250kW	-

注：IEC = International Electrotechnical Commission, IEEE = Institute of Electrical and Electronics Engineers, SAE = Society of Automotive Engineers, EN = European Norm, JIS = 日本工業規格, GB = 中国国家基準。

出所：CHAdeMO 協議会「2020 年度活動報告」（2021 年 6 月 4 日）

2020 年 4 月には、CHAdeMO と中国の電力企業連合会が共同で次世代超高速出力充電規格（ChaoJi）をチャデモ 3.0 として発行⁵²⁴した。これは、日中で共同開発した ChaoJi コネクタを使用した急速充電のチャデモ版であり、中国側でも同じコネクタを用いて中国規格（GB/T）の通信プロトコルを使用する新たな規格の作成作業が進められている。ChaoJi の誕生によって、量産効果によるコスト低減やデファクト標準化が期待されている。現在時点で、CHAdeMO と CCS1/CCS2 との協力体制構築には至っていない。

電気自動車の航続距離の延長にともなって蓄電池容量が大きくなるため、充電設備の高出力化が求められるようになってきている。前述の世界の主要な急速充電規格は、それぞれ高出力化への対応を進めており、CCS の最大出力は 400kW、Tesla 社は 250kW、また ChaoJi は 900kW となっている。

なお、V2X（Vehicle to X）⁵²⁵機能は前述の主要な規格のうち CHAdeMO のみで実用化されている。2012 年から CHAdeMO 規格の V2X を利用した実証プロジェクトが、世界で実施されており、特に欧州や米国を中心に組み込まれている⁵²⁶。CCS については、2012 年の規格策定開始以降、V2X 商品化で主だった動きは見られなかったが、CCS 策定団体の CharIN は 2018 年 12 月に電気自動

⁵²⁴ CHAdeMO 協議会、（2020 年 4 月 24 日プレスリリース）「日中次世代超高速出力充電規格、チャデモ 3.0 として発行完了」、<https://www.chademo.com/ja/chademo3-0/>。

⁵²⁵ 電気自動車から電力ネットワーク側や需要家への電力供給の総称。他の電気自動車への給電（Vehicle to Vehicle: V2V）、電化製品への直接給電（Vehicle to Load）、家庭・オフィスビルへの給電（Vehicle to Home: V2H、Vehicle to Building: V2B）、電力系統への逆潮流（Vehicle to Grid: V2G）が含まれる。

⁵²⁶ CHAdeMO 協議会、「V2X」、<https://www.chademo.com/ja/technology/v2x/>。

車と電力ネットワークの統合に関する見解を公表して V2X 支持の立場を表明⁵²⁷、開発見通しとして具体的な年限の設定はないものの V2H/V2G 実現までの段階を 5 つに整理している⁵²⁸。

(c) 燃料電池鉄道車両

従来、鉄道網の非電化区間ではディーゼル列車が重要な役割を果たしている。非電化区間の電化は費用対効果が低い場合も多く、路線の電化をせず環境負荷を低減するため、燃料電池鉄道車両や燃料電池と蓄電池のハイブリッド鉄道車両の開発、実証、実用化が進められている。

欧州では、2016 年にフランス Alstom が燃料電池鉄道車両である Coradia iLint を発表し、2018 年に世界で初めてドイツで商業運転を開始した⁵²⁹。車両は、ディーゼル列車に代わって 100km の区間を 140km/h で走行し、今後さらに 14 両の車両が納品される。Alstom はオランダ、オーストリアでの実証試験を進め、イギリスへの展開も予定している。2020 年には、ドイツ Siemens Mobility がドイツ鉄道と共同で、燃料電池鉄道車両と水素充填設備を含むインフラの開発を行う（H2goesRail）と発表した。車両は走行距離 600km、最高速 160km/h を予定し、2024 年から試運転を開始予定である⁵³⁰。

また、欧州では、EU の鉄道向け燃料電池ハイブリッド電源開発プロジェクトである「FCH2RAIL」が 2021 年 1 月から 4 年間、予算額 13.34 億ユーロ⁵³¹で実施されている⁵³²。同プロジェクトでは、トヨタ・モーター・ヨーロッパが水素燃料電池システムをパッケージ化した FC モジュールを提供し、同 FC モジュールとスペイン CAF のチタン酸リチウム蓄電池モジュールを搭載したハイブリッド電源システムのプロトタイプを開発、試験や実証を行う⁵³³。

日本においては、鉄道総合技術研究所が 2001 年から燃料電池鉄道車両の開発（3 段階のフェーズ）を開始し、2007～2008 年に実用的な燃料電池鉄道車両システムの実証として、出力 100kW 級の燃料電池とハイブリッド用蓄電池として 360kW のリチウムイオン電池を搭載した 2 両編成の走行試験が実施された⁵³⁴。2020 年には、東日本旅客鉄道、日立製作所、トヨタ自動車が、燃料電池と蓄電池を電源とするハイブリッドシステムを搭載した試験車両を連携して開発す

⁵²⁷ 大槻貴司、小倉徹、（2019 年 9 月）「電動自動車の充電規格と V2X：V2X の社会実装に向けてどの規格が先行しているか？」、（一財）日本エネルギー経済研究所。

⁵²⁸ CharIN, “Grid Integration Levels 2020-06-26 V5.2”, https://www.charin.global/media/pages/technology/knowledge-base/60d37b89e2-1615552583/charin_levels_grid_integration_v5.2.pdf

⁵²⁹ Alstom, “Coradia iLint – the world’s 1st hydrogen powered train”, <https://www.alstom.com/solutions/rolling-stock/coradia-ilint-worlds-1st-hydrogen-powered-train>.

⁵³⁰ Siemens（2020 年 11 月 23 日プレスリリース）, “Deutsche Bahn and Siemens enter the Hydrogen Age”, <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:6bdd169b-eff6-45d4-befa-715d36b160d7/Wasserstoff-DB-Siemens-EN.pdf>.

⁵³¹ FCH2RAIL は、EU の研究開発補助制度である Horizon 2020 に採択されており、予算額の 75%を EU が拠出する。トヨタ・モーター・ヨーロッパのほか、ドイツ航空宇宙センター（DLR）、スペインの鉄道車両メーカーである CAF、スペイン国鉄、スペイン鉄道インフラ管理公社（ADIF）、スペイン国立水素研究所（CNH2）、ポルトガルインフラ公社、ドイツ Stemmman-technik が参加している。

⁵³² European Commission, “Fuel Cell Hybrid PowerPack for Rail Applications”, <https://cordis.europa.eu/project/id/101006633>.

⁵³³ JETRO, 「トヨタ、CAF 主導の水素電車開発に燃料電池システムを供給」、2021-4-27, <https://www.jetro.go.jp/biznews/2021/04/4e07d68a5b01fd40.html>.

⁵³⁴ 鉄道総合技術研究所, 「鉄道総研における燃料電池鉄道車両の取組み」、北海道水素地域づくりプラットフォーム平成 30 年度第 1 回会合（2018 年 9 月 20 日）、<https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/ki/renkei/splaat000001eosf-att/splaat000001cowi.pdf>.

ることに合意したと発表した。燃料電池装置の開発をトヨタ自動車、ハイブリッド駆動システムの開発を日立製作所が担当し、2 両編成で航続距は最大約 140km、最高速度 100km/h、2022 年 3 月頃から実証試験を開始する予定である⁵³⁵。

(d) 先進バイオ燃料

運輸・交通部門の輸送燃料需要のうち、バイオ燃料は 3%（2019 年）を占めているが、その大部分は従来型のバイオ燃料である。輸送燃料を代替するバイオ燃料には、ガソリン代替となるバイオエタノール、軽油代替となるバイオディーゼル、ジェット燃料代替となるバイオジェット燃料という大きく 3 つの分類がある。2019 年時点では、バイオ燃料のうちバイオガソリンが 52%、バイオディーゼルが 36%を占めるが、バイオジェット燃料の利用はまだない。

バイオ燃料の最初の世代は、砂糖やでんぷん、植物油等のバイオマスの可食部を原料として製造されたバイオエタノールやバイオディーゼル（脂肪酸メチルエステル：FAME）を指す。可食部由来のバイオ燃料はすでに商用化され普及しているが、食糧生産と競合する形での燃料生産に対する批判が高まっていることから、非可食部（食糧生産の残渣等）を原料としたバイオ燃料の開発が進められている。次の世代となるバイオマスの非可食部であるセルロース等を原料としたセルロース系バイオエタノールは、すでに商用化段階にあり、ガソリン代替や軽油代替燃料として利用されている。なお、可食部由来のバイオ燃料および非可食部由来のバイオ燃料は、既存インフラ設備を使用する場合、化石燃料由来燃料への混合比率に制限がある⁵³⁶。

IEA は、先進バイオ燃料⁵³⁷技術として、セルロース系エタノール、BTL 燃料（Biomass To Liquids、バイオマスをガス化しそれを合成して液化する技術、同技術を用いた燃料）、植物油や廃食用油を原料とする水素化植物油（Hydrotreated Vegetable Oil: HVO）バイオディーゼル、廃食用油や植物油、藻類由来油等の油脂を原料とする水素化処理エステル・脂肪酸（Hydroprocessed Ester and Fatty Acids: HEFA）バイオジェット燃料を挙げる。BTL と HVO/HEFA は、既存の機器や設備にそのまま利用可能なドロップイン燃料である。セルロース系エタノールと HVO/HEFA は現在商用化されているが、BTL は実証実験の段階にある。BTL は、都市ごみや林地残材、農業残材といった様々な資源を原料とすることができる技術として期待されている。

表 129 先進バイオ燃料技術の例

技術	技術成熟度
セルロース系エタノール	商用化段階
BTL 燃料	実証段階

⁵³⁵ トヨタ自動車（2020 年 10 月 6 日プレスリリース）、「水素をエネルギー源としたハイブリッド車両（燃料電池）試験車両の開発」、<https://global.toyota.jp/newsroom/corporate/33954803.html>。

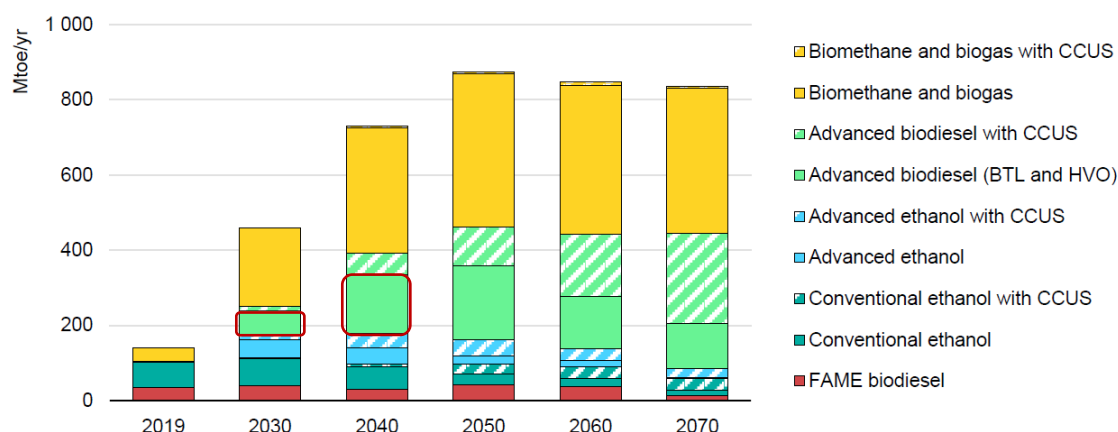
⁵³⁶ 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構、「TSC Foresight 次世代バイオ燃料分野の技術戦略策定に向けて」Vol.21（2017 年 11 月）、<https://www.nedo.go.jp/content/100870191.pdf>；「TSC Foresight 次世代バイオ燃料（バイオジェット燃料）分野の技術戦略策定に向けて」Vol.37（2020 年 7 月）、<https://www.nedo.go.jp/content/100920836.pdf>。

⁵³⁷ IEA は、先進バイオ燃料を以下のように定義している：非食用作物を原料として生産され、化石燃料代替品と比較してライフサイクルでの GHG 排出量を大幅に削減できる持続可能な燃料であり、農地において食用作物や飼料作物と直接競合せず、持続可能性に悪影響を与えないもの。（IEA, “Transport Biofuels”, June 2020）

水素化植物油（HVO）バイオディーゼル	商用化段階
水素化処理エステル・脂肪酸（HEFA）バイオジェット燃料	商用化段階

出所：IEA, Energy Technology Perspectives 2020

下図に示すように、IEA の持続可能な開発シナリオでは、2040 年までに液体バイオ燃料が急速に拡大する（約 390Mtoe）と予想され、この拡大は主に BTL 技術がけん引し、同技術は 2030 年までに大規模な商業普及が始まると予想されている⁵³⁸。



IEA 2020. All rights reserved.

Notes: Advanced biodiesel here includes biojet fuel production. Biomethane and biogas numbers shown here include power generation, gas grid injection and transport use. The vast majority of liquid biofuels are consumed in transport, while a small portion is consumed in industry.

図 207 持続可能な開発シナリオにおける世界の技術別バイオ燃料生産量（2019～2070 年）

出所：IEA, Energy Technology Perspectives 2020

BTL は、欧州や北米において実証プラントや初期の商業規模のプロジェクトが進められている。2021 年 7 月現在、建設中および操業中のプロジェクトの例として、以下が挙げられる。

企業名	国	原料	概要
Enerkem	カナダ	廃棄物固形燃料	Enerkem Alberta Biofuels は、初期の商業規模施設（First-of-a-kind commercial、操業中）。廃棄物固形燃料からメタノール及びエタノール（30,000 t/y）を製造。
Fulcrum	米国	都市ごみ	Sierra BioFuels Plant を建設（First-of-a-kind commercial、2021 年 7 月建設完了）。都市ごみ（175,000 t/y）から合成原油（30,000 t/y）やジェット燃料成分を製造。2021 年第 4 四半期から燃料生産を開始予定。
Karlsruhe	ドイツ	リグノセルロー	bioliq®パイロットプロジェクトは実証段階

⁵³⁸ IEA (2020) “Energy Technology Perspectives 2020”, pp.137-138.

Institute of Technology		ス	(操業中)。藁などから DME (608 t/y) およびガソリンタイプ燃料 (360 t/y) を製造。
Red Rock Biofuels	米国	木質バイオマス	Lakeview (オレゴン州) にプラントを建設中 (First-of-a-kind commercial)。森林残渣 (127,000 t/y) から合成燃料 (44,000 t/y) やジェット燃料成分を製造予定。
TotalEnergies	フランス	リグノセルロース	Bio Tfuel プロジェクトは実証段階 (操業中)。藁や森林残渣などから合成燃料 (8,000 t/y) を製造。
Woodland Biofuels	カナダ	廃材、作物残渣	操業中の実証プラントでは、廃材や作物残渣からエタノール (601 t/y) を製造。

出所：IEA Bioenergy Task 39, Database on facilities for the production of advanced liquid and gaseous biofuels for transport; IEA Bioenergy Task 41, “The Role of Renewable Transport Fuels in Decarbonizing Road Transport Production Technologies and Costs” (November 2020); 各社ウェブサイト。

(e) 自動運転技術

自動運転のレベルは、0～5 までの 6 段階に分けて定義されている。最も主流な自動運転レベルの定義は、米国自動車技術者協会 (Society of Automotive Engineers: SAE) の基準であり、日本では自動車技術会が邦訳を発行している。レベル 2 と 3 の間で、動的運転タスクを実行する運転の主体が、人間かシステムかという大きな線引きがある。



SAE J3016™ LEVELS OF DRIVING AUTOMATION™

Learn more here: [sae.org/standards/content/j3016_202104](https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104)

Copyright © 2021 SAE International. The summary table may be freely copied and distributed AS-IS provided that SAE International is acknowledged as the source of the content.

	SAE LEVEL 0™	SAE LEVEL 1™	SAE LEVEL 2™	SAE LEVEL 3™	SAE LEVEL 4™	SAE LEVEL 5™
What does the human in the driver's seat have to do?	You <u>are</u> driving whenever these driver support features are engaged – even if your feet are off the pedals and you are not steering			You <u>are not</u> driving when these automated driving features are engaged – even if you are seated in “the driver's seat”		
	You must constantly supervise these support features; you must steer, brake or accelerate as needed to maintain safety			When the feature requests, you must drive	These automated driving features will not require you to take over driving	

Copyright © 2021 SAE International.

	These are driver support features			These are automated driving features	
What do these features do?	These features are limited to providing warnings and momentary assistance	These features provide steering OR brake/acceleration support to the driver	These features provide steering AND brake/acceleration support to the driver	These features can drive the vehicle under limited conditions and will not operate unless all required conditions are met	This feature can drive the vehicle under all conditions
Example Features	• automatic emergency braking • blind spot warning • lane departure warning	• lane centering OR • adaptive cruise control	• lane centering AND • adaptive cruise control at the same time	• traffic jam chauffeur	• local driverless taxi • pedals/steering wheel may or may not be installed • same as level 4, but feature can drive everywhere in all conditions

図 208 自動運転のレベル

出所：SAE International, “SAE J3016 Levels of Driving Automation”

日本国内では、2020年4月に「改正道路交通法」と「改正道路運送車両法」が施行されて「自動運行装置」が正式に法律上定義づけられ、レベル3の走行が可能となった。2021年3月、ホンダがレベル3を実用化したHonda SENSING Eliteを搭載した新型「LEGEND」の販売を開始した⁵³⁹。これは、世界で初めて認可を受けたレベル3搭載車両である。

2021年中に他海外メーカーもレベル3搭載車両の量産開始や運転システムへのレベル3機能追加などを予定しているが、フラッグシップモデルへの搭載が想定されており、当面はレベル2搭載車両が市場をけん引すると予想される。富士キメラ総研の分析によると、2025年には、レベル2搭載車両として4,766万台が予測され、中でも、車線変更サポートや限定条件下でのハンズフリー機能が付随した高機能レベル2の比率が10%を超えるとみられる。2035年には、レベル2搭載車両が高機能車両を含め、堅調に伸びるのに加え、高速道路限定走行ではあるがレベル3搭載車両の需要が増加するとみられる。また、レベル4/5搭載車両がタクシーやMaaSだけでなく、市販車でも一部で展開されると予想される。2045年には、レベル3車両で4,280万台、レベル4/5車両で2,139万台が生産される見通しである⁵⁴⁰。

⁵³⁹ HONDA（2021年3月4日プレスリリース）、「Honda SENSING Elite 搭載 新型「LEGEND」を発売」、<https://www.honda.co.jp/news/2021/4210304-legend.html>。

⁵⁴⁰ 富士キメラ総研（2020年9月8日プレスリリース）、「『2020 自動運転・AIカー市場の将来展望』まとまる（2020/9/1 発表 第20092号）」、<https://www.fcr.co.jp/pr/20092.htm>。

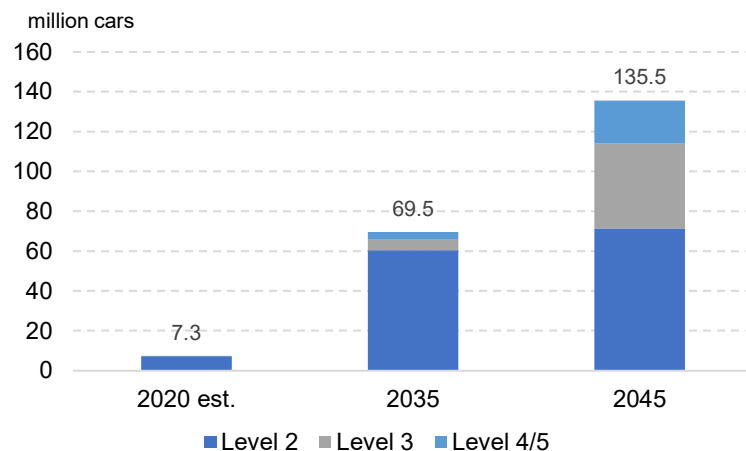


図 209 自動運転車両の世界生産台数見込み（レベル 2 以上）

出所：富士キメラ総研プレスリリース「2020 自動運転・AI カー市場の将来展望」

レベル 3 以上を搭載した車両の開発・普及促進は、欧州を中心に進展すると見込まれるが、2020 年代には欧州に加え中国や北米でも普及が徐々に進み、2030 年代前半にはレベル 3 以上の車両の市場は 1,000 万台を超えると予想されている。

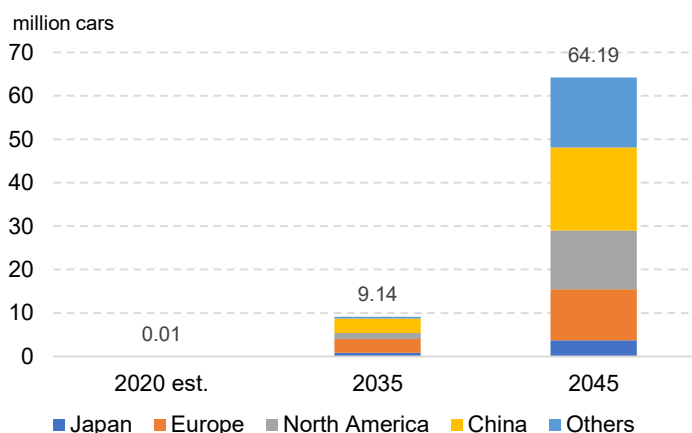


図 210 自動運転車両の地域別生産台数見込み（レベル 3 以上）

出所：富士キメラ総研プレスリリース、「2020 自動運転・AI カー市場の将来展望」

なお、自動運転技術の普及が運輸部門の脱炭素化を進めるか否かには、多くの不確実性がある。自動運転車両によるリアルタイムの交通状況などに基づいたより良い経路選択や、自動運転技術とライドシェアリングの結びつきによる交通渋滞の減少によって、エネルギー消費量を削減する可能性がある。また、電源の脱炭素化を前提としつつ自動運転車両の電動化が進むことで、運輸部門の脱炭素化が進展する可能性もある。一方、自動運転技術の普及による新たな移動需要（例として、個人の長距離移動など）の創出や、自動運転のシェアカーが無乗客の状態で走行することなどが、結果としてエネルギー消費量を増加させる可能性もある。自動運転技術が移動需

要や人々の行動変容に与える影響を、十分に注視する必要がある。

(f) 船舶や航空の代替燃料技術

【海運】

国際海事機関（International Maritime Organization: IMO）は、国際海運からの温室効果ガス排出削減対策として、2018年4月に温室効果ガス削減戦略を採択した。長期的な目標として、今世紀中なるべく早期に国際海運からの温室効果ガス排出ゼロを目指すとし、2008年を基準年として2030年までに平均燃費を40%改善、2050年までに総排出量を50%削減（平均燃費85%改善に相当）という目標を掲げている⁵⁴¹。2018年に採択された戦略は、2023年の改訂が合意されているが、2021年11月の第77回海洋環境保護委員会において、現行の目標よりさらに野心的な目標を設定することが合意されている⁵⁴²。下図に示すIEAの持続可能な開発シナリオのCO₂排出量は、IMOによる2050年に向けた目標に大方沿ったものであるが、持続可能な開発シナリオで想定されるCO₂排出を達成するには、短期的には技術的な効率化といったエネルギー効率の改善やバイオ燃料の利用が、長期的には水素やアンモニアの利用が、CO₂削減に貢献すると見込まれる。なお、下図が示すとおり、CO₂削減には今後の技術開発や成熟が必要であることが分かる。

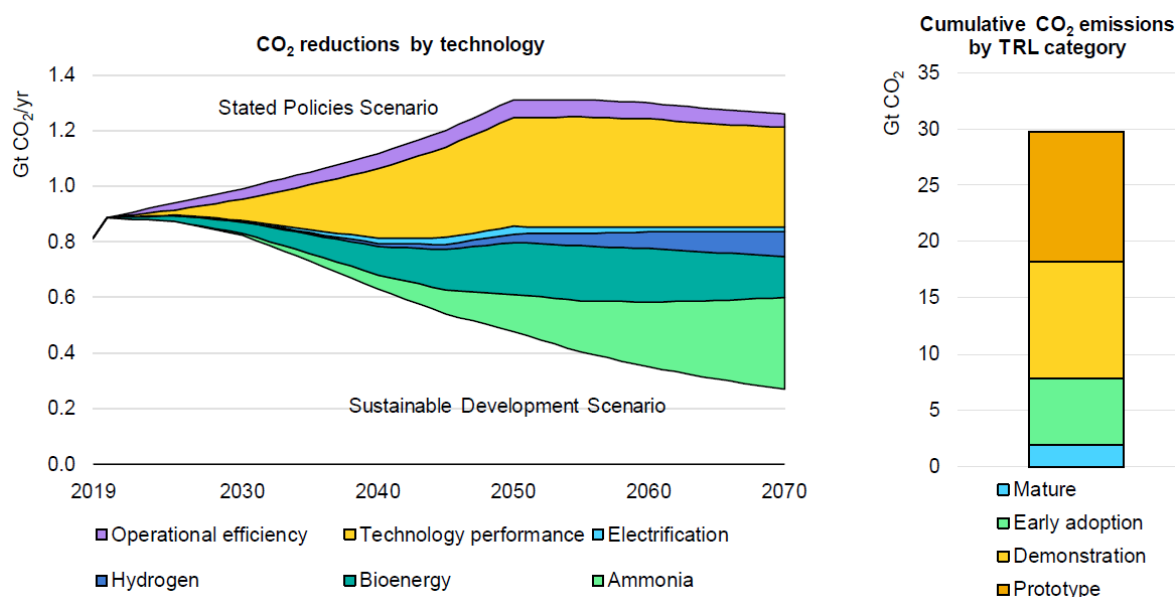


図 211 世界の海運における CO₂ 削減量（削減方法別）と技術成熟度レベル（2019～2070 年）

出所：IEA, Energy Technology Perspectives 2020

短期的には、2020年1月から開始されたIMOの船舶用燃料油の硫黄分規制強化（硫黄分濃度を0.5%以下とする）への対応として低硫黄重油（VLSFO）やLNGへの燃料転換が行われること

⁵⁴¹ 国土交通省、「国際海運分野における GHG 削減対策～最近の国際動向と日本の方針～」（令和元年8月）、<https://www.mlit.go.jp/common/001302145.pdf>; IMO, “Initial IMO GHG Strategy”, <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Reducing-greenhouse-gas-emissions-from-ships.aspx>.

⁵⁴² 国土交通省、2021年11月29日、「国際海運の温室効果ガス（GHG）排出削減目標を強化することで合意～国際海事機関（IMO）第77回海洋環境保護委員会（11/22～26）の開催結果～」、https://www.mlit.go.jp/report/press/kaiji07_hh_000221.html.

となる。LNG 船舶の導入によって、石油代替による CO₂ 削減効果が期待されるが、化石燃料利用を低減させるためにはさらなる取り組みが必要となる。中期的（2025 年頃以降）には、船舶用燃料へのバイオ燃料の混合が増加すると考えられ、BTL 技術の進展によって、2050 年以降に船舶用燃料においてもバイオ燃料の大量導入が可能となる。

水素やアンモニアを燃料とする船舶は、徐々に導入されると見込まれるが、海運においてはアンモニア利用が水素よりも拡大すると予想される。これは、燃料電池では渡洋航路の航行に必要な出力が得られないため、水素の利用は水素を燃焼できる内燃機関を搭載した船舶での利用に限られることとなり、さらに、貯蔵コストが高くエネルギー密度が低いという観点から外航船の燃料には向かない可能性があるためである。外航船について、アンモニアを燃料としたエンジンの開発をドイツの MAN-Energy およびフィンランドの Wartsila が公表しており、2023 年に稼働を開始すると見込まれている。水素燃焼内燃機関については、現代重工業が 2022 年までに大規模な水素燃焼内燃機関の開発計画を公表している。日本においては、国土交通省が「国際海運のゼロエミッションに向けたロードマップ」を 2020 年 3 月に公表しており、水素燃料およびアンモニア燃料のエンジン・タービン・燃料電池の研究開発について、2022～2025 年頃に実証、2028～2030 年頃に実船投入開始を目指している⁵⁴³。至近では、2020 年 9 月に、日本郵船、IHI 原動機、日本海事協会が世界初となるアンモニア燃料タグボートの実用化に向けた共同研究開発を発表した⁵⁴⁴。また、船舶における燃料電池の利用に関連して、ヤンマーホールディングスとヤンマーパワーテクノロジーが、トヨタの燃料電池自動車用燃料電池などを組み合わせて開発した船舶用燃料電池システムを自社製ボートに搭載した実証試験艇を開発し、船舶用水素燃料電池システムの実証試験を開始している⁵⁴⁵。

なお、船舶用燃料としての電気の利用は限られ、主にハイブリッド船舶での利用が想定される。完全なバッテリー電動船舶は、経済的な観点から短距離航行にのみ利用されると見込まれる。短・中距離船舶については、特に欧州企業（北欧等）が短・中距離航行向けのアンモニア燃料電池、水素燃料電池、水素燃焼内燃機関、バッテリー電動船舶の開発に取り組んでいる。⁵⁴⁶

【航空】

航空部門では、国際民間航空機関（International Civil Aviation Organization: ICAO）や国際航空運送協会（International Aviation Transport Association: IATA）が CO₂ 排出削減のための目標や対策を公表しており、IATA は 2009～2020 年に燃料効率を平均年間 1.5%改善すること、2020 年から航空機の CO₂ 排出に上限を設定すること、2050 年までに CO₂ 排出量を 2005 年比 50%削減、という 3 つの目標を掲げる。これらの目標を達成するため、IATA は、持続可能な航空燃料の普及を含む技術の改善、より効率的な航空機運用、航空交通管制システムの現代化を含めたインフラの改善、

⁵⁴³ 国土交通省、「国際海運のゼロエミッションに向けたロードマップ」（2020 年 3 月）、
<https://www.mlit.go.jp/common/001377661.pdf>。

⁵⁴⁴ 日本郵船（2020 年 9 月 30 日プレスリリース）「アンモニア燃料タグボートの実用化に向けた共同研究開発を開始」、https://www.nyk.com/news/2020/20200903_01.html。

⁵⁴⁵ YANMAR（2021 年 3 月 24 日プレスリリース）「船舶用燃料電池システムの実証試験を開始」、
<https://www.yanmar.com/jp/news/2021/03/24/89083.html>。

⁵⁴⁶ IEA (2020), “Energy Technology Perspectives 2020”, pp.278-280.

世界的な市場ベースの取り組みによって排出量のギャップを埋める、という 4 本柱の戦略を掲げている⁵⁴⁷。世界的な市場ベースの取り組みとは、2016 年に創設された「国際航空のためのカーボンオフセット及び削減スキーム（Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation: CORSIA）」であり、2021～2023 年がパイロット段階、2024～2026 が第 1 段階として各国による自主的な参加、2027～2035 年の第 2 段階では一部の例外を除いたすべての国の参加が義務づけられる⁵⁴⁸。日本を含めた欧米先進国は、2021 年から同制度に参加予定である。航空部門の CO₂ 排出削減対策として、航空機の軽量化といった技術革新や運航方法・管理の効率化が挙げられるが、特に CO₂ 削減の長期的な目標達成のためには、代替燃料の活用が不可欠となる。

IEA の公表政策シナリオによると、2070 年においても航空燃料需要の 4 分の 1 は化石燃料由来のジェット燃料と予想されるが、下図に示すように持続可能な開発シナリオで想定される CO₂ 排出を達成するには、2030 年以降、バイオ燃料や合成燃料といった代替燃料の大幅な利用拡大が必要となる。

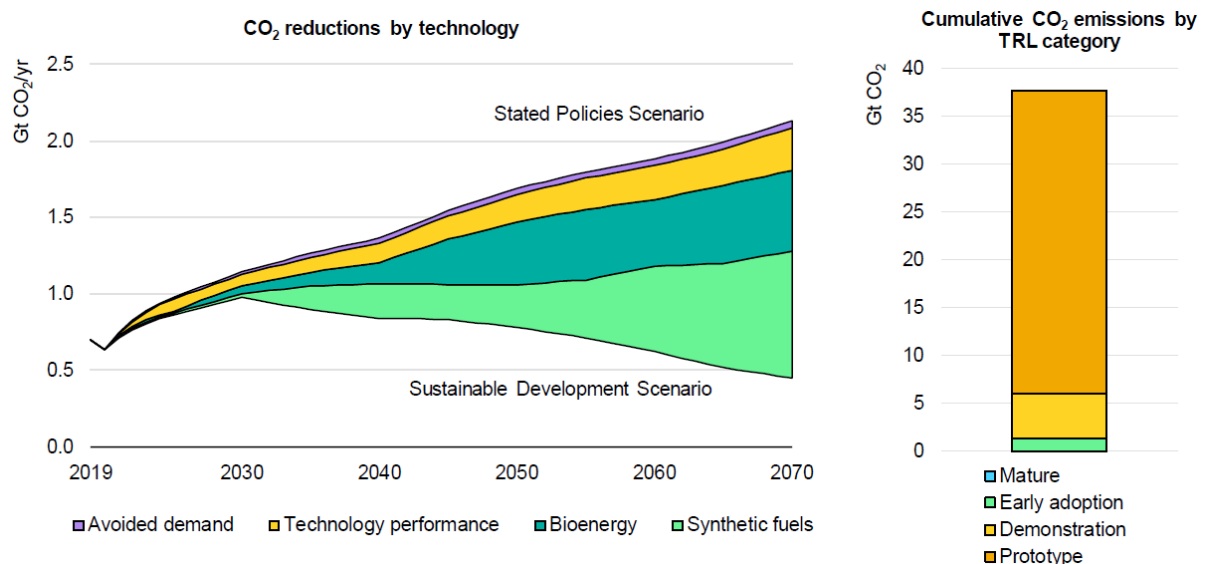


図 212 世界の航空における CO₂ 削減量（削減方法別）と技術成熟度レベル（2019～2070 年）

出所：IEA, Energy Technology Perspectives 2020

バイオジェット燃料の製造方法として、ASTM D7566 規格に適合したもの⁵⁴⁹のうち、現時点では最も商用化の可能性が高いのは HEFA ジェット燃料とされる。ただし、原材料確保という点で HEFA は自動車向けの HVO と競合する可能性がある。また、BTL は主として実証段階にあり、米国において航空機用バイオジェット燃料生産を行う商業規模のプラントが 2 つ建設されている。

⁵⁴⁷ IATA, “Working Towards Ambitious Targets”, <https://www.iata.org/en/programs/environment/climate-change/>.

⁵⁴⁸ ICAO, “2. What is CORSIA and how does it work?”, https://www.icao.int/environmental-protection/pages/a39_corsia_faq2.aspx.

⁵⁴⁹ Fischer-Tropsch 法により精製される合成パラフィンケロシン（FT-SPK）、植物油等の水素処理により精製される合成パラフィンケロシン（Bio-SPK 又は HEFA）、発酵水素化処理糖類由来のイソ・パラフィン（SIP）、非化石資源由来の芳香族をアルキル化した合成ケロシン（SPK/A）、アルコール・ジェット由来の合成パラフィンケロシン（ATJ-SPK）。（国土交通省、「航空機に搭載する代替ジェット燃料（ASTM D7566 規格）の取扱いについて」、<https://www.mlit.go.jp/notice/noticedata/pdf/20200204/6-015.pdf>）

なお、2020年6月には、新エネルギー・産業技術総合開発機構と IHI が共同で技術開発を進めてきた微細藻類を原料としたバイオジェット燃料が、ASTM 認証を新たに取得した⁵⁵⁰。

また、水素燃料航空機として、Airbus が3種類のコンセプト (ZEROe) を公表し、2035年までに商用航空として投入する (実用化) と発表している⁵⁵¹。ZEROe は、水素を燃焼させるガスタービンエンジンを搭載する予定である。

ハイブリッド電動航空機や完全電動航空機、燃料電池航空機は、研究開発、プロトタイプの開発段階にある。ハイブリッド電動航空機については、Airbus が Rolls Royce と共同で E-Fan X プログラムの下でプロトタイプを開発している。完全電動航空機については、2020年6月、欧州連合航空安全機関が、世界初の完全電動航空機となる Pipistrel Velis Electro を承認した。Velis Electro は、2座席の航空機であり、パイロット訓練を主たる目的としたものである⁵⁵²。燃料電池航空機については、Boeing が2008年に燃料電池駆動のデモンストレーション機の実験を成功させ、DLR が2016年に4座席の燃料電池モーターグライダーを実験しているが、大型航空機に関するプログラムは公表されていない。NEDOによると、2030年頃の蓄電池を搭載した場合の航続距離は、大型ジェット旅客機で2,000km、小型機で160km、ヘリコプターで80kmとなり、小型機の国内短距離飛行やヘリコプターの飛行の電動化は可能であるが、大型ジェット旅客機の長距離飛行の電動化は困難とされる⁵⁵³。

(ii) 現地調査対象国における技術・サービスの開発・社会実装の動向

(a) インド

近年の運輸交通部門における需要増加率は、他部門と比べて最大の伸び率となっている。ストック車両の4分の3以上が二・三輪車である一方、CO₂排出量が多いのは乗用車やトラックといった四輪車である。脱炭素化に向けては、政府が推進する代替燃料の利用やEVの促進と共に公共交通 (鉄道やバス等の電化) へのモーダルシフトも必要であると考えられる。

【電気自動車】

電気自動車製造者協会 (SMEV) によると、2019-2020年度の電気自動車販売台数は、155,400台 (内二輪車が152,000台、四輪車が3,400台) であった⁵⁵⁴。インドでは、2013年に「National Electric Mobility Mission Plan 2020 (NEMMP2020)」を公表し、2020年までにインドにおけるxEVの販売台数を600万~700万台 (大半は電動二輪車が想定され、HEVとBEVが続く) に漸

⁵⁵⁰ 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (2020年6月8日プレスリリース)、「微細藻類から製造するバイオジェット燃料が国際規格 ASTM 認証を新規取得—民間航空機への搭載に道。航空機のCO₂排出削減に貢献可能に—」、https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101314.html。

⁵⁵¹ Airbus (2020-9-21), “Airbus reveals new zero-emission concept aircraft”, <https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2020/09/airbus-reveals-new-zeroemission-concept-aircraft.html>。

⁵⁵² EASA (2020年6月10日プレスリリース)，“EASA certifies electric aircraft, first type certification for fully electric plane world-wide”, <https://www.easa.europa.eu/newsroom-and-events/news/easa-certifies-electric-aircraft-first-type-certification-fully-electric>。

⁵⁵³ 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構、「TSC Foresight 次世代バイオ燃料 (バイオジェット燃料) 分野の技術戦略策定に向けて」Vol.37 (2020年7月)、<https://www.nedo.go.jp/content/100920836.pdf>, p.10。

⁵⁵⁴ Society of Manufacturers of Electric Vehicles, EV Sales, <https://www.smev.in/ev-sales>。

増させることを目指している⁵⁵⁵。2015年には、「Faster Adoption and Manufacturing of Hybrid & Electric Vehicles in India (FAME) I」を導入して、BEV、HEV、PHEVに対する購入補助金給付やインフラ等への設備投資を行ってきた⁵⁵⁶。2019年4月から第二期（FAME II）が開始され、需要インセンティブや充電ステーションネットワークの設置、情報・教育・コミュニケーション（IEC）を含む行政活動を対象として、1,000億ルピーの予算が下表のように割り当てられている。FAME IIの主要な支援内容となる需要インセンティブでは、バス（電気自動車のみを対象）、四輪車（BEV、PHEV、SHEV⁵⁵⁷）、三輪車（電動、登録済みEリキシャ含む）、二輪車（電動）を対象とし、バス・四輪車・三輪車は主として公共交通か商業利用の車両に適用される。それぞれ搭載されているバッテリー容量（kWhベース）に基づいてインセンティブが付与されている。バスを除くすべての自動車は10,000ルピー/kWh、バスは20,000ルピー/kWhが提示されているが、インセンティブの金額は毎年あるいはより早いタイミングで見直されるとしている⁵⁵⁸。2021年6月、二輪車に対するインセンティブが15,000ルピーへ引き上げられた。また、重工業省は、FAME IIを当初の計画から2年間延長し、2024年3月31日までとすることを発表している⁵⁵⁹。

表 130 FAME II の予算割当

	2019-2020	2020-2021	2021-2022	Total Fund requirement in crores
Demand Incentives	822	4587	3187	8596
Charging Infrastructure	300	400	300	1000
Administrative Expenditure	12	13	13	38
Total for FAME II	1134	5000	3500	9634
Committed expenditure of Phase I	366	0	0	366
Total	1500	5000	3500	10000

出所：Ministry of Heavy Industries, Publication of notification in Gazzette of India (Extraordinary) regarding Phase-II of FAME India scheme, 8 March 2019

なお、政府シンクタンク NITI Aayog は、FAME II などの政策が成功すれば、2030 年までに EV 販売台数は乗用車の 30%、商用車の 70%、バスの 40%、二・三輪車の 80%を達成できると指摘している⁵⁶⁰。

⁵⁵⁵ Ministry of Heavy Industries & Public Enterprises, Department of Heavy Industry (2012) “National Electric Mobility Mission Plan 2020”, <https://heavyindustries.gov.in/writereaddata/Content/NEMMP2020.pdf>.

⁵⁵⁶ Ministry of Heavy Industries, About FAME II, https://fame2.heavyindustries.gov.in/content/english/13_1_brief.aspx.

⁵⁵⁷ ストロングハイブリッド：エンジンを停止した状態でも電気モーターのみで走行できるハイブリッドシステム。

⁵⁵⁸ Ministry of Heavy Industries, Publication of notification in Gazzette of India (Extraordinary) regarding Phase-II of FAME India scheme, 8 March 2019, <https://dhi.nic.in/writereaddata/fame/famedepository/2-notification.pdf>

⁵⁵⁹ mint, 27 June 2021, “Extension of FAME scheme will help push sales of electric vehicles, say experts”, <https://www.livemint.com/news/india/extension-of-fame-scheme-will-help-push-sales-of-electric-vehicles-say-experts-11624783763494.html>.

⁵⁶⁰ NITI Aayog and Rocky Mountain Institute (2019), “India’s Electric Mobility Transformation”.

中央政府の FAME スキーム以外にも、中央政府では優遇税制を整備している。インドですべての物品において徴収される物品税が HEV の場合は 12.5%と、内燃機関自動車のほぼ半分の税率負担になっている。また EV（乗用車、バス、二輪車、三輪車）への物品税は、6%と優遇割合が大きい。

インドでは、自動車の生産に関する CESS という徴税制度があり、これを原資としてインフラ事業のファイナンスに活用されている。CESS の徴税率は、小型の内燃機関自動車が 1%で、ディーゼル自動車は 2.5%である。なお、排気量が大きい自動車に対する CESS は 4%に上る。電気自動車に関する CESS は免除と規定される。

2021 年 2 月、Go Electric campaign を開始し、BEE が主導している⁵⁶¹。同取り組みは、e-mobility や充電、電気調理器の便益に関する国レベルの認知度を高めることを目的とする。

その他の電気自動車の利用を促進する施策として、例えば道路交通高速道路省（MoRTH）は、電気自動車に対するグリーンナンバープレートや、高速道路や通常道路・駐車場における優先扱いなどを実施する。国内の充電ステーションの普及は、電力省及び重工業省の管轄となるが、MoRTH は国内で建設中のグリーンハイウェイ⁵⁶²沿いに充電ステーションを設置する予定としている。

また、インドは、製造業振興政策「Make in India」の一環として、EV やリチウムイオン電池の国産化にも力を入れている。現状、自動車用リチウムイオン電池はほぼ全量が中国などからの輸入であるが、近年、地場大手の二次電池メーカーが外資系企業と提携し、EV 用リチウムイオン電池の開発に着手している。日本企業の進出も見られる。インドでは、Automotive Research Association of India (ARAI)、International Centre for Automotive Technology (ICAT)、Global Automotive Research Centre (GARC)などの機関が、様々な条件下でのバッテリー性能試験などを実施する中核となっている。最近、アグリゲートレベルでのバッテリー試験に関する基準が公表され、これによって、インドはバッテリー性能測定に関して UN-R100、UN/ECE などの国際基準に則した形となった。2021 年 5 月、政府は、生産連動型優遇策（PLI）構想の「先進的化学セル（ACC）を用いたバッテリー式電力貯蔵に関する国家プログラム」を承認した。5 年間で 18,100 クローナの予算が計上されている。50GWh の ACC 国内製造能力を達成することを目指し、この構想の下で、政府は国内の付加価値を高めると同時に、インドにおけるバッテリー製造コストが国際競争力を有することに重点を置いている⁵⁶³。2022 年 1 月、重工業省は、ACC PLI スキームへ 10 社からの応募があったと発表した⁵⁶⁴。

【燃料電池自動車】

科学技術省は、科学産業研究委員会（CSIR）と KPIT がインド初となる燃料電池自動車プロトタイプの走行試験を実施し、車載用低温プロトン交換膜（PEM）型燃料電池の開発に成功したと

⁵⁶¹ Ministry of Power, 19 February 2021, Transport Minister Shri Nitin Gadkari launches 'Go Electric' Campaign in the august presence of Power Minister Shri RK Singh, <https://pib.gov.in/PressReleasePage.aspx?PRID=1699386>.

⁵⁶² 例として、デリー・ムンバイ間の 1,300km の高速道路（新設）が挙げられる。

⁵⁶³ Ministry of Heavy Industries, PLI Scheme for National Programme on Advanced Chemistry Cell (ACC) Battery Storage, <https://heavyindustries.gov.in/UserView/index?mid=2487>.

⁵⁶⁴ Ministry of Heavy Industries, 15 January 2022, <https://pib.gov.in/PressReleasePage.aspx?PRID=1790139>.

発表した。この燃料電池は、国立化学研究所（CSIR-NCL）が独自に開発したもの。⁵⁶⁵

【鉄道】

インド鉄道は、2023年12月までの全路線電化完了を目標としている⁵⁶⁶。2021年8月、インド鉄道傘下の Indian Railways Organisation for Alternative Fuels (IROAF)は、燃料電池鉄道に関する競争入札を公告した。これは、2両の DEMU（電気式ディーゼル気動車）を第一段階として水素を燃料とするように改修、その後2台のハイブリッド機関車に燃料電池を搭載するというものである⁵⁶⁷。なお、鉄道省は2021年9月をもって IROAF の閉鎖を発表したが、IROAF が所管する業務は Northern Railway に移管された⁵⁶⁸。

【その他】

また、National Urban Transport Policy（2006年策定、2014年改訂）の下で、運輸交通部門からの GHG 排出量緩和のため、公共交通機関、自転車、徒歩、エネルギー効率が高くクリーンな燃料の利用を推奨している。同政策は、都市計画段階で交通を重要なパラメーターとして織り込むこと、公共交通を都市大・安全・シームレスにすること、徒歩や自転車を都市交通の安全な手段とすること、ITS の導入などを目標として掲げる。公共交通として MRT への投資促進にも言及されている。⁵⁶⁹ なお、Smart Cities Mission の下で、公共交通の利用率を現状の 40～45%を 60～70%まで高めることを呼びかけている。

代替燃料として、CNG は、主に公共交通機関や三輪車で利用されている。デリーでは、50 台以上の公共バスで、水素と CNG を混合して利用する実験が開始されている（水素を 18%混合）。また、インドでは、天然ガスに加えて、バイオマス廃棄物から圧縮バイオガスを生産する、Sustainable Alternative Towards Transportation (SATAT)という取り組みが行われている。圧縮バイオガスプラントは主として民間企業によって建設され、生産された圧縮バイオガスはグリーンな代替燃料として CNG ステーションなどで販売される⁵⁷⁰。National Policy on Biofuels 2018 では、圧縮バイオガスを含む先進的なバイオ燃料の積極的な促進が強調されている⁵⁷¹。

⁵⁶⁵ Ministry of Science and Technology, 10 October 2020, <https://pib.gov.in/PressReleasePage.aspx?PRID=1663396>.

⁵⁶⁶ Business Standard, 31 January 2022, “Economic Survey: Railways target 100% electrification by Dec 2023”, <https://www.businessinsider.in/india/news/indian-railways-target-100-electrification-by-december-2023/articleshow/89245160.cms>.

⁵⁶⁷ Financial Express, 9 August 2021, “Indian Railways’ another eco-friendly step! Bids invited for Hydrogen Fuel Cell-based Train; details”, <https://www.financialexpress.com/infrastructure/railways/indian-railways-another-eco-friendly-step-bids-invited-for-hydrogen-fuel-cell-based-train-details/2306977/>; mint, 7 August 2021, “Indian Railways invites bids for hydrogen fuel-based tech for trains”, <https://www.livemint.com/news/india/indian-railways-invites-bids-for-hydrogen-fuel-based-tech-for-trains-11628326164181.html>.

⁵⁶⁸ Hydrogen Fuel News, 14 September 2021, “Indian Ministry of Railways shuts down hydrogen fuel cell trains bidding”, <https://www.hydrogenfuelnews.com/hydrogen-fuel-cell-trains-india/8548330/>.

⁵⁶⁹ Ministry of Urban Development (2014), “National Urban Transport Policy”.

⁵⁷⁰ Ministry of Petroleum and Natural Gas, “Sustainable Alternative Towards Affordable Transportation”, <https://mopng.gov.in/en/pdc/investible-projects/alternate-fuels/sustainable-alternative-towards-affordable-transportation>.

⁵⁷¹ Indian Oil, “Petroleum Minister launches SATAT initiative to promote Compressed Bio-Gas as an alternative, green transport fuel”, <https://ioc.com/pages/satat-overview>.

(b) インドネシア⁵⁷²

一次エネルギー消費に占める運輸部門の割合が大きく、今後、さらなる増加が見込まれる。

2017年に発表された National Energy Plan (RUEN)では、2019年、2025年、2050年を目標年とした運輸部門に関する行動計画が示されている。しかし、RUENは今後どのような低炭素輸送技術が採用されるのか、明確なロードマップを示しておらず、政府も必要となるロードマップや規制の策定を十分に実施していない。行動計画の主な内容として、次の内容が挙げられる：燃費基準や公共・自家輸送モードのロードマップ策定、バイオ燃料利用のロードマップ策定・混合実施、石油燃料の利用低減に向けた課税検討や政策、天然ガス利用拡大に向けたロードマップ策定・NGV製造へのインセンティブ付与、液化石炭の燃料利用に向けたロードマップ策定、公共・自家輸送における水素利用に関する規制策定、公共・自家輸送における合成燃料利用に関する規制策定、駅や空港・港湾での太陽光利用⁵⁷³。

2020年9月、工業省は Regulation No.27/2020 を発表し、電気自動車のロードマップを示した。ロードマップでは、2030年までに四輪電気自動車を年間60万台以上、二輪車を年間245万台以上生産する計画で、世界の電気自動車市場における主要プレーヤーとなることを目指している⁵⁷⁴。報道によると、工業省は、2024年までCKD (Complete Knocked Down)生産を優遇するが、それ以降は現地調達を進めてIKD (Incompletely Knocked Down、不完全現地組立)に移行すると指摘している⁵⁷⁵。

また、2021年6月、エネルギー鉱物資源大臣は、2050年までに新車の四輪車・二輪車販売をすべて電気自動車とする方針を明らかにした⁵⁷⁶。

【電気自動車】

インドネシア自動車協会によると、2019年に販売された電気自動車は、BEVが0台、PHEVが20台、HEVが685台であった⁵⁷⁷。RUENは、2025年までに2,200台の電気自動車とHEV、210万台の電動二輪車を導入するという目標を掲げる⁵⁷⁸。また、2025年までに、電気自動車の都市交通車両に占める割合を10%まで引き上げることを目標とし、公共充電ステーションを2025年までに1,000台設置することを計画している。

2019年8月、BEV普及とその産業促進を目的とした、Presidential Regulation No.55/2019が発出

⁵⁷² ICCT (2021) “Overview of vehicle fuel efficiency and electrification policies in Indonesia”, <https://euagenda.eu/upload/publications/overview-indonesia-fuel-electrification-policies-jul2021-01.pdf>; IESR (2020) “A Transition Towards Low Carbon Transport in Indonesia: A Technological Perspective”, https://iesr.or.id/wp-content/uploads/2020/10/Towards-a-Low-Carbon-Transport_Oct_2020.pdf.

⁵⁷³ IESR (2020) “A Transition Towards Low Carbon Transport In Indonesia: A Technological Perspective”, pp.30-33.

⁵⁷⁴ German-Indonesian Chamber of Commerce and Industry (AHK Indonesien/EKONID), 1 December 2021, “Indonesian Electric Vehicles Industry Development Gains Momentum”, <https://indonesien.ahk.de/infothek/news/news-details/indonesian-electric-vehicles-industry-development-gains-momentum>.

⁵⁷⁵ Paul Tan, 27 October 2021, “Hyundai to start building EVs in Indonesia in March, showcase local production capabilities – minister”, <https://paultan.org/2021/10/27/hyundai-to-start-building-evs-in-indonesia-in-march-showcase-local-production-capabilities-minister/>.

⁵⁷⁶ Bangkok Post, 14 June 2021, “Indonesia aims to sell only electric cars, motorbikes by 2050”, <https://www.bangkokpost.com/business/2132179/indonesia-aims-to-sell-only-electric-cars-motorbikes-by-2050>.

⁵⁷⁷ German-Indonesian Chamber of Commerce and Industry (AHK Indonesien/EKONID), 1 December 2021, “Indonesian Electric Vehicles Industry Development Gains Momentum”, <https://indonesien.ahk.de/infothek/news/news-details/indonesian-electric-vehicles-industry-development-gains-momentum>.

⁵⁷⁸ ICCT (2021), “Overview of vehicle fuel efficiency and electrification policies in Indonesia”.

された。国内 BEV 産業の促進、インセンティブ付与、充電インフラの整備及び BEV 向け電気料金、BEV の技術関連規制の遵守、環境保護について定めている。特に、電気自動車関連産業の促進について、EV 製造における原材料の現地調達率を段階的に高めるように既定している⁵⁷⁹。2019 年 10 月、Government Regulation No.73/2019 が公布され、電気自動車の奢侈税率が決定された。PHEV、BEV、FCEV は税率が実質 0%となっている⁵⁸⁰。

インドネシアには、リチウムイオン電池の重要な材料となるニッケルが国内に豊富に賦存する。国内の電気自動車用蓄電池産業を発展させるため、インドネシアは国営企業の Indonesia Battery Corporation (IBC)を 2021 年 3 月に設立した。IBC の株式は、国営企業 4 社（Pertamina, PLN, Mind ID, Antam）が 25%ずつ保有する。IBC は中国 CATL、韓国 LG Energy Solution と複数の合弁会社を設立して、国内に電気自動車用蓄電池サプライチェーンを構築する計画であり、2023 年までに蓄電池を生産開始する予定としている⁵⁸¹。

2021 年 4 月、インドネシア電気自動車産業協会（Periklindo）の設立が発表された。

【充電設備】

2020 年 9 月、エネルギー鉱物資源省（MEMR）は BEV 向け充電インフラに関する Regulation No.13/2020 を発出した。同令は充電ステーション、蓄電池スワップソリューション、充電料金を規制し、許可や登録・充電ステーションの安全性について規定している⁵⁸²。同令では、BEV 充電はプライベートの電気設備または公共電気自動車充電ステーション（SPKLU）で可能とする一方、蓄電池交換は公共電気自動車蓄電池交換ステーション（SPBKLU）で行うと定める。BEV の普及促進のため、同令は SPKLU 及び SPBKLU を既存設備（ガソリンスタンドやショッピングモール、政府施設、公共駐車場）に設置することも推奨している。同令において、PLN は充電インフラ整備の実施主体として任命され、SPKLU 及び SPBKLU 整備のロードマップをまとめることとなった。同令を踏まえ、PLN は、2020 年から 2030 年までに SPKLU を最大で 24,720 カ所設置する計画である。また、PLN は 2021 年 1 月に「Charge.IN」というアプリの導入を発表し、SPKLU の位置や充電料金の情報を提供している⁵⁸³。アプリを利用することで、充電ステーションでの充電を管理・監視することができる。

⁵⁷⁹ JETRO、2019 年 8 月 23 日、「EV 促進に関する政令を発表、アジアの EV 製造拠点へ」、<https://www.jetro.go.jp/biznews/2019/08/6515391d69c6b5c1.html>。

⁵⁸⁰ NNA ASIA、2019 年 10 月 25 日、「自動車の奢侈税率を改定、一部 EV はゼロに」、<https://www.nna.jp/news/show/1965762>。

⁵⁸¹ Paul Tan, 29 March 2021, “Indonesia closes in on EV battery production goal as state companies unite to form national producer IBC”, <https://paultan.org/2021/03/29/indonesia-closes-in-on-ev-battery-production-goal-as-state-companies-unite-to-form-national-producer-ibc/>。

⁵⁸² AKSET Law, 8 September 2020, “Minister of Energy and Mineral Resources Sets Ground Rules on Battery Electric Vehicle Charging Infrastructure”, <https://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=aece4a94-399d-4253-bfa0-2d2441707446>。

⁵⁸³ PLN, 28 January 2021, “Provide Ease of Electric Vehicle Users, PLN Launches the Charge.IN Application”, <https://web.pln.co.id/eng/news/press-release/2021/01/beri-kemudahan-pengguna-kendaraan-listrik-pln-luncurkan-aplikasi-chargein>; Ministry of Energy and Mineral Resources, 1 February 2021, “Indonesian Govt Supports EV Charging Application”, <https://www.esdm.go.id/en/media-center/news-archives/indonesian-govt-supports-ev-charging-application>。

(c) タイ

運輸部門では石油の利用が中心であり、石油の一次エネルギー供給の大半は運輸部門で消費される。石油依存の低減に向けて、運輸部門の燃費改善、燃料転換、電気自動車推進等が進められている。

【電気自動車】

日系企業も含めて、MaaS やコネクテッドサービスなど自動車における新たなサービスが広がり始めている。タイ政府は、電気自動車の国内普及ならびに輸出拡大を目指し、タイを電気自動車の生産拠点とする計画を進めている。2021 年の電気自動車の新車登録台数は、BEV が 5,781 台、PHEV が 7,060 台、HEV が 35,740 台となった⁵⁸⁴。

2021 年 3 月に開催された国家電気自動車政策委員会（National Electric Vehicle Policy Committee: NEVPC）では、電気自動車の生産・利用促進に関する方針が議論され、2025 年までに累計 105 万 1,000 台、2035 年までに累計 1,841 万 3,000 台の電気自動車（自動車、ピックアップトラック、バイク、バス・トラック）生産を目標としている。NEVPC は、早期の施策として、電気自動車の利用促進、充電ステーションやバッテリー試験センターの設置促進、環境に配慮したバッテリー廃棄物管理計画の構築等を進める⁵⁸⁵。また、政府は、国家新世代車両委員会（National New Generation Vehicle Committee）において、タイを電気自動車のハブにする目標の達成時期を 2035 年とし、2030 年には国内生産車両のうち電気自動車の比率を 50%へ引き上げると設定した⁵⁸⁶。エネルギー省は、2025 年までに EGAT、MEA、PEA とともに電気自動車向けのスマートグリッドやインフラ整備に取り組むとしている⁵⁸⁷。

表 131 タイの電気自動車普及目標

	Type of Vehicles	Estimated number of ZEV per Year		
		2025	2030	2035
Usage	Passenger cars / Pick up trucks	225,000 (30%)	440,000 (50%)	1,154,000 (100%)
	Motorcycles	360,000 (20%)	650,000 (40%)	1,800,000 (100%)
	Buses	18,000 (20%)	33,000 (35%)	83,000 (100%)
	Tuk Tuks	500 (85%)	2,200 (100%)	2,800 (100%)
	Ships	130 (12%)	480 (35%)	1,800 (100%)
	Rail System	620 (70%)	850 (85%)	1,170 (100%)
Production	Passenger cars /	225,000 (10%)	725,000 (30%)	1,350,000 (50%)

⁵⁸⁴ EVAT, “Thailand Electric Vehicle Current Status As of December 2021” .

⁵⁸⁵ JETRO、2021 年 3 月 30 日、「国家電気自動車政策委員会が新たな EV 目標を設定」、
<https://www.jetro.go.jp/biznews/2021/03/e9f8ef14f352bbd9.html>.

⁵⁸⁶ Bangkok Post, “Govt ups E-car drive”, 25 March 2021, <https://www.bangkokpost.com/business/2089087/govt-ups-e-car-drive>, Royal Thai Government, <https://www.thaigov.go.th/news/contents/details/40325>.

⁵⁸⁷ Nation Thailand, “Energy Ministry has sights on manufacturing 225,000 EVs per year by 2025”, 30 June 2021, <https://www.nationthailand.com/in-focus/40002624>.

	Pick up trucks			
	Motorcycles	360,000 (20%)	675,000 (30%)	1,850,000 (70%)
	Buses	18,000 (35%)	34,000 (50%)	84,000 (85%)
	Tuk Tuks	500 (85%)	2,200 (100%)	2,800 (100%)
	Ships	130 (12%)	480 (35%)	1,800 (100%)
	Rail System	620 (100%)	850 (100%)	1,170 (100%)

出所：EVAT 資料

再生可能エネルギー事業に加え電気自動車関連事業も手がける Energy Absolute は、2021 年 12 月、蓄電池・エネルギー貯蔵システム生産施設を開設した。この施設は、東部経済回廊のチャチエンサオ県に立地し、リチウムイオン電池の生産能力を年間 50GWh まで拡大可能とする。同施設はリチウムイオン電池の生産に加え、自前のリサイクル施設も備えている。⁵⁸⁸ また、上海汽車集団（中国）と CP グループ（タイ）の合弁会社である SAIC Motor-CP（上汽正大）は、タイ国内に BEV 用の蓄電池工場を建設する計画を明らかにしており、蓄電池リサイクル工場の実現可能性調査も実施する⁵⁸⁹。

2022 年 2 月、政府は、2022 年から 2023 年における電気自動車の消費と生産を促進ためのインセンティブパッケージを閣議承認した。政府は、補助金支給のため 2022 年度の国家予算から 30 億バーツを拠出することを承認し、電気自動車普及促進のため 2023 年度から 2025 年度に 400 億バーツを拠出することに原則合意した。パッケージには、次のような内容が盛り込まれている。

⁵⁹⁰

- ・電気自動車の購入について、車種に応じて 7 万バーツから 15 万バーツの補助金が支給される。
- ・電気自動車の物品税率は 8%から 2%まで引き下げられ、電気自動車のピックアップトラックは 0%となる。
- ・2023 年まで、電気自動車（完成車）の輸入関税率は、最大で 40%引き下げられる。輸入関税の引き下げを受けるには、2024 年まで、自動車メーカーは輸入車 2 台に対して国内で 3 台の電気自動車を生産しなければならない（期限は 2025 年まで延長される可能性あり）。輸入電気自動車の小売価格が 200 万バーツ未満の場合、自動車メーカーが国内で生産する電気自動車のモデルはどのモデルでも構わない。ただし、高価なモデルを輸入する場合、自動車メーカーは同じモデルを国内で生産しなければならない。

⁵⁸⁸ Bangkok Post, “New battery plant 'crucial' for EV work”, 13 December 2021, <https://www.bangkokpost.com/thailand/general/2230711/new-battery-plant-crucial-for-ev-work>.

⁵⁸⁹ NNA ASIA, 2022 年 1 月 20 日、「上海汽車、タイに EV バッテリー工場を建設」、<https://www.nna.jp/news/show/2288678>.

⁵⁹⁰ Bangkok Post, “State pumps billions into green cars”, 16 February 2022, <https://www.bangkokpost.com/business/2264751/state-pumps-billions-into-green-cars>; Nation Thailand, “Cabinet gives green light to EV promotion package”, 15 February 2022, <https://www.nationthailand.com/business/40012375>; Royal Thai Government, 15 February 2022, <https://www.thaigov.go.th/news/contents/details/51583>.

【充電設備】

EVATによると、2021年12月時点で、国内に約693の電気自動車充電ステーションが存在し、普通充電設備が1,511基、急速充電設備が774基設置されている⁵⁹¹。エネルギー政策計画局（EPPO）は、2030年までに乗用車・ピックアップトラック用の充電設備を12,000カ所、タクシーや配送業が使う電動バイク用のバッテリー交換ステーションを1,450カ所設置することを目指している。

充電設備普及のため、タイ首都圏配電公社（Metropolitan Electricity Authority: MEA）は、電気自動車充電サービス事業者向け電気料金を一時的に引き下げる、と報じられた。特別料金は、2022年初めから建物・土地所有者を対象に、2.6 バーツ/kWh の卸電力価格が2年間適用され、3年目からは通常料金に戻るることとなる。MEAは同制度のため3,000万バーツの予算を計上しており、2022年中に100基の充電器が設置されると期待している。⁵⁹²

企業の動きとして、石油大手PTT傘下のPTT Oil and Retail（OR）はEVLOMO（米国）と連携を強化し、150kWの超急速充電器を備えた充電ステーションを東部経済回廊地域におけるORの100カ所のガソリンスタンドに設置すると発表した⁵⁹³。また、Banpu NEXTとEVolt Technologyは充電ネットワークの拡大で提携し、Banpu NEXTのMaaSコンセプトの一環として2025年までに国内全土に充電ステーションを5,000カ所設置する⁵⁹⁴。

【公共交通の整備方針】

運輸省は、バス、船舶、鉄道の電化に向けた政策を実施している。

陸上交通局（Department of Land Transport）がEV Busを推進しており、EV Busのルートの承認や、関連する規制の改正・策定を行っている。主要な実施主体として、Bangkok Mass Transit Authority（BMTA）とThe Transport co., ltd が挙げられ、両者は従来型のバスをEV Busへ入れ替える計画を有する。BMTAは2,511台、BMTAが民間企業とオペレーション契約を締結する分が1,500台、The Transport co., ltdは401台を計画している。

海洋局（Marine Department）がEV Boatを推進しており、EV Boatの研究開発に加え、関連規制の改正・策定を行っている。2021年には、4つの河川で合計23隻、海洋で1隻のEV Boatが利用可能となった。2022年は河川において28隻のEV Boatの追加導入が予定されている。

鉄道交通局（Department of Rail Transport）及びState Railway of Thailand（SRT）が列車の電化推進において中心的な役割を果たす。2021年、鉄道交通局とSRTは長距離列車の電化に関するタイムラインを策定し、長距離列車への蓄電池利用に関する実現可能性調査の検討、鉄道システム技術研究開発研究所の設立、電化技術の開発に向けた研究機関との覚書締結を実施した。今後

⁵⁹¹ EVAT, “Number of Electric Vehicle Charging Stations in Thailand (Data as of 22 September 2021)”.

⁵⁹² Bangkok Post, “Initiative to develop EV ecosystem”, 8 December 2021, <https://www.bangkokpost.com/auto/news/2228319/initiative-to-develop-ev-ecosystem>.

⁵⁹³ EVLOMO, “OR and EVLOMO to collaborate further for rolling out 150kW DC Super-Fast Charging stations at about 100 PTT Stations in Thailand.”, 31 January 2022, <https://www.evlomo.com/blog/or-and-evlomo-to-collaborate-further-for-rolling-out-150kw-dc-super-fast-charging-stations-at-about-100-ptt-stations-in-thailand>.

⁵⁹⁴ Banpu NEXT, “EVolt Technology joins hands with Banpu NEXT to close investment deal to expand its EV charger management platform”, 5 November 2021, <https://www.banpunext.co.th/en/news-updates/evolt-technology-joins-hands-with-banpu-next-to-close-investment-deal-to-expand-its-ev-charger-management-platform>.

は、SRT が 2022 年に実現可能性調査を実施し、2023 年に蓄電池を用いた列車の電化のプロトタイププロジェクトを計画している。

運輸省は、MOT EV Development Plan (2022-2037)の策定を進めている。これは、公共交通（陸上交通、水上交通、鉄道）の電動化に向けたロードマップであり、2027 年に内燃機関を利用したバスを EV Bus（4,412 台）へ入れ替えること、2027 年に従来型の列車を 50 の電動列車に入れ替えることを目標として設定する。

(d) モロッコ

2019 年時点で最終エネルギー消費の 99%が石油であり、残り 1%が電力である。自動車用石油需要の伸びは早く、自動車の燃費向上はもとより、代替燃料車の導入、公共交通の充実やモダリティシフトを促す施策など対策を講じなければ、モロッコのエネルギー供給および気候変動のリスク要因となる。

National Strategy for Developing the Competitiveness of Logistics of Morocco では、2030 年までにエネルギー消費を削減し、マルチモーダル輸送を促進、より大気汚染の少ない輸送モードへ切り替えるという目標を定めている⁵⁹⁵。

GIZ の支援を受け、Ministry of Equipment, Transport, Logistics and Water (METLW) (現在は、Ministry of Equipment and Water と Ministry of Transport and Logistics に分割)は、持続可能なモビリティに向けた国家ロードマップを策定している。2018 年 11 月に METLW (当時)は、ロードマップ草案を公表し、9 つのロードマップの要素⁵⁹⁶を指摘した⁵⁹⁷。また、METLW は、UNDP との連携、Global Environment Facility からの資金支援を受け、4 年間の技術支援プロジェクトを 2016 年 3 月より実施した。主要な活動として、運輸部門の低炭素開発に向けた組織強化やキャパシティビルディング、エコドライブのトレーナー訓練、鉄道・道路物流車両からの GHG 排出量に関する調査・インベントリの設計・実施などが挙げられる。

Institute for Research into Solar and Renewable Energies (IRESEN)は、再生可能エネルギーの充電ネットワークへの統合、充電プロセスに関する局所条件の影響などを調査している。IRESEN のプロジェクト例として、電気自動車車両、充電ネットワーク、recharging services や MaaS に向けたビジネスモデルの開発を目指す「Green MILES プログラム」がある。また、IRESEN は、モハメド六世工科大学他と専門家チームを組み、車載用蓄電池のリサイクルについて研究を進めている。グリーンパーク内に研究施設を建設中であり、今後は課題調査などを実施する予定である。

公共交通・鉄道について、政府は主要都市における路面電車へ投資（Casablanca、Rabat における延伸を計画。Programme for the Improvement of Urban Public Transport でも言及あり）。また、都市間的高速鉄道ネットワーク建設も計画している。Marrakish では、電動バスの実証事業を行っている。

⁵⁹⁵ IEA (2019) “Energy Policies beyond IEA Countries: Morocco 2019”, pp.64-68.

⁵⁹⁶ Integrated urban transformation, Low carbon energy, Optimization the efficiency of modes and systems, Join up and shorten supply chains, Reduce unnecessary travel, Solutions adapted to the rural world, Construction and adaptation of infrastructure, Regulatory and financial tools, Road safety.

⁵⁹⁷ Ministry of Equipment, Transport, Logistics and Water (2018), “Project: Roadmap for Sustainable Mobility in Morocco”.

モロッコは、排出量削減と車両効率向上の観点から、5年以上経過した車両の輸入を禁じている。また、タクシー車両の更新を支援する補助金プログラムも存在する。タクシー会社などが実施するエネルギー効率の監査の補助や、プロのドライバーに対する教育研修プログラム（エコドライビング）を実施している。省エネルギー対策として、タイヤのラベリングが進められている。

モロッコにおける E-mobility の課題として、街中やガソリンスタンドでの急速充電を可能とするような電力システムのインフラ整備、充電ステーション運営のための法整備、蓄電池の国内製造及びリサイクルが挙げられる。CGEM (Confédération Générale des Entreprises du Maroc) が 2021 年 12 月に発表した「EV Roadmap I」では、2022 年から 2035 年までを 3 つの段階に分け、Value chain、Governance、Regulatory framework、Incentives、Next steps EV and Charging という分野において取り組むべき事項をまとめている。同ロードマップでは、新車販売に占める EV の市場シェアとして、二・三輪車は 2025 年までに 50%、2030 年までに 100% を達成、都市バス・タクシーは 2025 年頃に 50%、Phase III の段階で 100% を達成すると見込んでいる。各段階での主な取り組みは、以下のとおり。

Phase I (2022-2025): EV や充電設備製造、充電サービス・規則・基準の策定、バス・公共調達の義務的な目標設定、減税措置・グリーンローン・補助金の導入、初期の急速充電ネットワーク導入 など

Phase II (2025-2030): バッテリー製造、インセンティブの見直し、主要都市に公共充電設備設置 など

Phase III (2030-): バッテリーのリユース・リサイクル、全都市に公共充電設備設置 など

(iii) 日本企業の優位性、強み

表 132 日本企業の優位性、強み、課題等

日本企業の優位性、強み	現状の課題	その他（今後の対策・ビジネスモデルなど）
【蓄電池】 ・日本の優位性は品質（安全性やエネルギー密度）	・日本はコストや生産能力が弱い。また、日本国内に市場がないことも弱点。 ・蓄電池単体となると、中国や韓国の価格競争に勝てない。 ・メーカーが設置や系統接続の工事を行うのは、海外ではハードルが高い。	・日本式の品質コントロールを新興国に持ち込んでも過剰性能となるため、二次利用（や三次利用）も見越して、長期的な競争力確保を目指す。 ・蓄電池の市場を作るには、（蓄電池の）劣化を評価できるような指標を作ること、また流通経路をつくる必要がある。 ・VPP や V2X を目指すとき、小規模な蓄電池を多く集めて給電力として使えるかという社会実証が必要。

日本企業の優位性、強み	現状の課題	その他（今後の対策・ビジネスモデルなど）
【充電設備】 ・日本企業が主導する CHAdemo 規格自体に商品性は入れておらず、相互互換性を担保しているのみ。ローカライゼーションを支援できる。	・（例としてインドでは）系統全体の制御が必要であるものの、必要な規制が現状ないことが課題。	・中国と日本が協力することでアジア市場を押さえる。 ・急速充電器について、新興国の現状、ニーズを考えると、安全性を保ち、出力を落としてでも、数多く設置するのが望ましいのではないか。
【燃料電池自動車】 ・ミライの優位性は、充填の気圧が 70 メガパスカルであること。民生用の倍であり、航続距離が倍になる。	・世界における規格化・基準化を進めなければ優位性はない。 ・水素関連インフラが未整備。	・カーボンニュートラルに向けた取り組みが強化される中で、クリーンな水素を製造できるという前提の上、大型車での燃料電池車利用は可能性がある。

日本企業の優位性は、製品の安全性や品質にある。しかし、現地のニーズと比べると過剰性能となってしまうことや、製品の価格競争の面で中国企業や韓国企業に劣ってしまうこともある。そのため、蓄電池や燃料電池の長期的な競争力の確保が求められる。調査対象国では、まず電気自動車の普及拡大に向けて初期段階の取り組みが進められているが、将来的には、VPP 事業のように蓄電池をアグリゲートし活用・制御することが求められることになる。これは日本や他先進国においても実証事業が進められている分野である。欧米諸国との競合関係は厳しいが、VPP 事業や将来的な V2X の活用に必要な技術的な要素や、既存または新規の規制・法制度の整備に係る知見は、日本の強みとなると言えよう。

（３） 産業

（i） 世界における技術・サービスの開発・社会実装の動向

IEA によると、2019 年の世界の産業部門のエネルギー起源 CO₂ 排出量は 6,254 百万 ton-CO₂、うち、製造業の CO₂ 排出量は産業部門全体の 78%を占める 4,883 百万 ton-CO₂ であった。下図に 2019 年の製造業の業種別 CO₂ 排出量のシェアを示す。最も多いのが鉄鋼で 2,172 百万トン-CO₂（シェア 36%）、次いで窯業土石（主にセメント）の 1,148 百万トン-CO₂（同 19%）、化学・石油化学の 819 百万トン-CO₂（同 14%）であった。この 3 業種で製造業全体の CO₂ 排出量の 69%を占めた。したがって、産業部門ではこの 3 業種の低・脱炭素化の技術動向を見ていく。

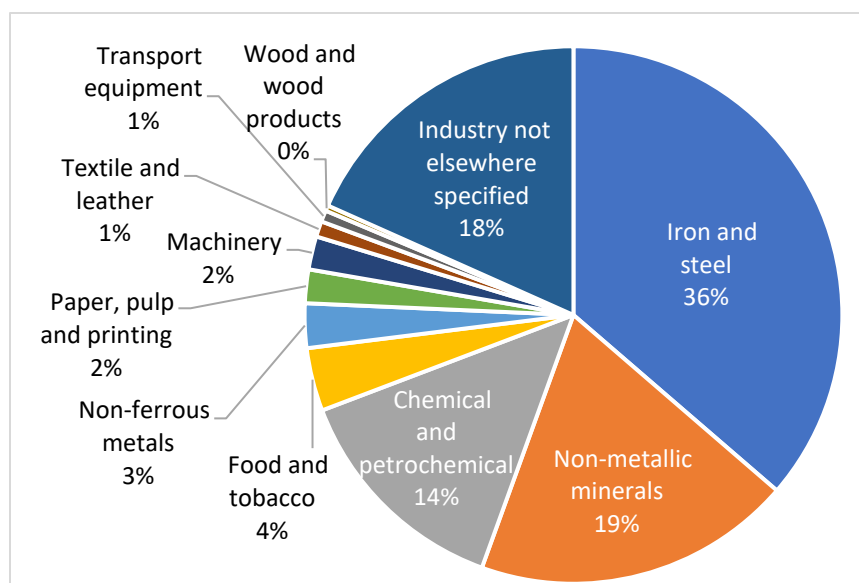


図 213 産業部門業種別 CO₂ 排出量のシェア (2019 年)

出所：IEA, CO₂ emission from fuel combustion 2021

下図に 2019 年の世界の産業部門のエネルギー別消費のシェアを示す。燃焼時に CO₂ を発生する化石燃料は、産業部門の最終エネルギー消費量の 58%、鉄鋼産業では 75%、窯業土石産業では 82%、化学・石油化学産業では 61%になっている。特に化石燃料の中でも CO₂ 排出量が多い石炭のシェアを見ると、鉄鋼産業では 62%、窯業土石産業では 54%と高い。化学・石油化学産業では石炭のシェアは 15%であるが、石油のシェアが 13%、天然ガスのシェアが 33%と高い。これは石油化学産業においてはナフサおよび天然ガスが石化製品の原料として使用されているからである。

したがって、産業部門において低・脱炭素を実現するためには、化石燃料、特に石炭の消費量を減らすことが重要である。

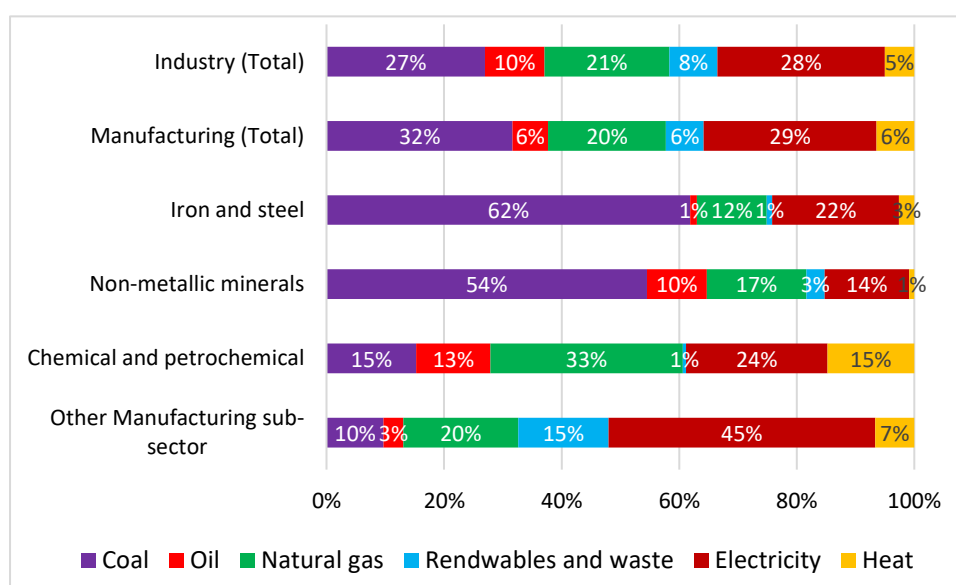


図 214 産業部門業種別エネルギー別消費量のシェア (2019 年)

出所：IEA, World Energy Balances 2021

一方、鉄鋼、セメント、化学・石油化学製品の製造といった重工業には CO₂ の排出を低減するためには困難な要素がある。具体的には、

- ✓ 高温の熱が必要：鉄鋼、セメント、化学・石油化学製品を製造するプロセスの多くは高温の熱を必要とする。現在、重工業において高温の熱の供給源は化石燃料の独占状態である。現在、発電分野では再生可能エネルギーの導入促進により低炭素化が進行中であるが、電気で高温かつ大量の熱を製造することは、現在の技術では非現実的でコストが高い。また、カーボンフリーの大量のバイオマスを利用するのは持続可能性に欠けるため、量的な制限がある。また、炭素回収・利用・貯留（CCUS）および水素技術を使えば、化石燃料を使用しながら CO₂ の排出を削減することは可能であるが、これらの技術を産業用に利用することは多くの場合、まだ開発の初期段階にある。

- ✓ 製造プロセスにおける排出：いくつかの製品の生産プロセスにおいて、化学反応により CO₂ が発生する。主要な例として、セメントの原料となるクリンカーを生成するために必要な煅焼反応から生じる CO₂ である。製品の生産プロセスで発生する CO₂ の排出を削減するためには、CCUS、または在来型の製造プロセスのからさまざまな原材料を含む方法への構造的な移行が必要となる。

- ✓ 長期的な資本資産：典型的な産業プラントの寿命は 30-40 年であり、寿命が長い。新しい技術に切り替えるために、早期にプラントを廃止すると、非常に大きなコストが発生する。そのため、最近建設されたプラントからの排出量は、排出原単位を削減するためにそれらを改造または適合させるオプションが利用可能でない限り、「ロックイン」と見なすことができる。

- ✓ 国際的な競争：鉄鋼など多くの工業製品は、競争の激しい世界市場で取引される。このため、個々の生産者が排出量を削減するために、より高価な生産プロセスを採用することはコストの上昇を招くことになる。したがって、国際的に取引される工業製品は利益率が低く、低炭素の技術に多額の投資を行うことは困難になる。

(a) 鉄鋼産業

鉄鋼産業は典型的なエネルギー集約産業で、2019 年の世界の鉄鋼産業のエネルギー消費量は 524 百万石油換算トン（Mtoe）で、産業部門のエネルギー消費量の 18%、最終エネルギー消費量の 5%を占めた。2019 年の世界の鉄鋼産業のエネルギー源は、石炭が 62%、天然ガスが 12%、電力が 22%であった（上図参照）。エネルギーは鉄鋼の総生産コストの 10-25%を占めると言われている。

下図に高炉を備えた典型的な鉄鋼の生産フロー図を示す。

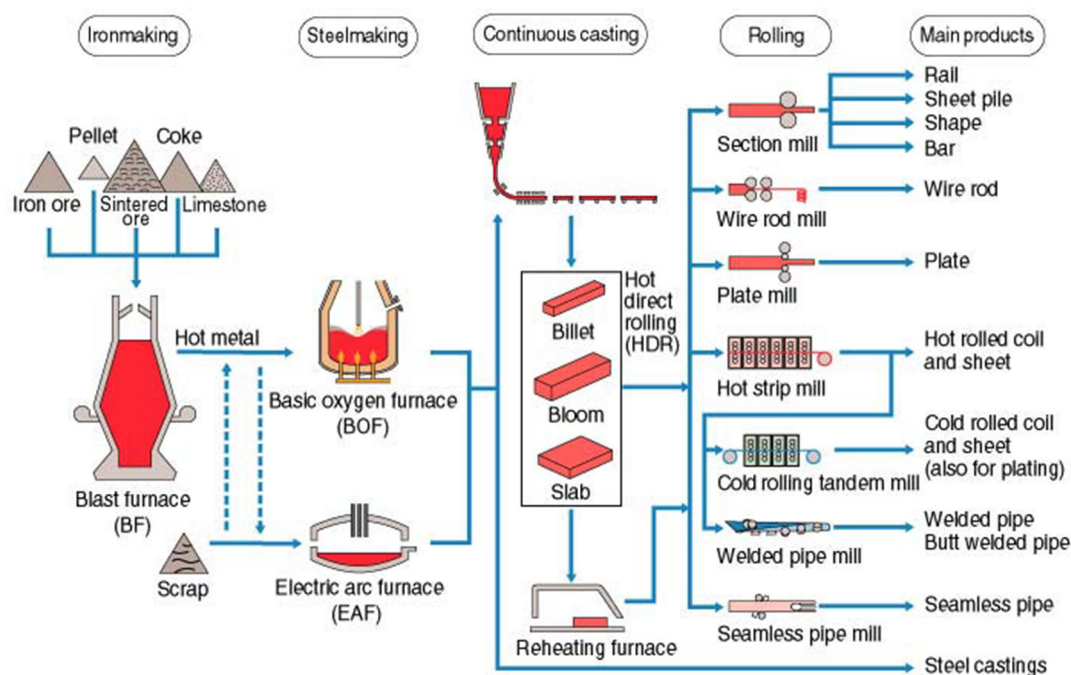


図 215 鉄鋼の生産フロー図

出所: JFE⁵⁹⁸

鉄鋼生産の CO₂ 強度は高く、1 トンの粗鋼から平均で約 1.4 トンの CO₂ が直接排出され、購入電力と熱の生産による排出を含めると 2.0 トンの CO₂ が排出される。IEA によると、鉄鋼生産に必要な石灰とグラファイト（電気炉のアノード用グラファイト）は、フェロアロイの生産とともに、プロセス排出の形で鉄鋼産業の CO₂ の排出量の 11%を占めている。2019 年の世界の鉄鋼産業の直接 CO₂ 排出量は 2.6 ギガ・トンに達した。これは、エネルギー起源 CO₂ 排出の 7%、産業部門 CO₂ 排出量の 28%を占めた。さらに、購入電力と熱の生産による間接排出量（オフガスを利用してプラントで生産する電力と熱、および購入する電力と燃料を含む）を含めると、総排出量は約 3.6 ギガ・トンになる。

鉄鋼の使用は、特に建物やインフラ構築のために、今後数十年で増加すると予想される。鉄道インフラ、風力タービン、CCUS 機器、原子力発電所など、ネットゼロ排出エネルギーシステムに必要な多くの技術は、大量の鉄鋼を利用する。言い換えれば、鉄鋼にはエネルギーが必要であり、エネルギーシステムには鉄鋼が必要である。下図に IEA による世界の鉄鋼の生産量と用途別使用量の見通しを示す。2019 年、世界全体で一人当たり平均約 240kg の鉄鋼が生産された。Stated Policy Scenario（標準シナリオ）では、この数値は 2050 年までに 260 kg に上昇し、2070 年までに 270kg に上昇する予想である。

⁵⁹⁸ JFE、http://www.jfe-21st-cf.or.jp/chapter_2/2a_1.html

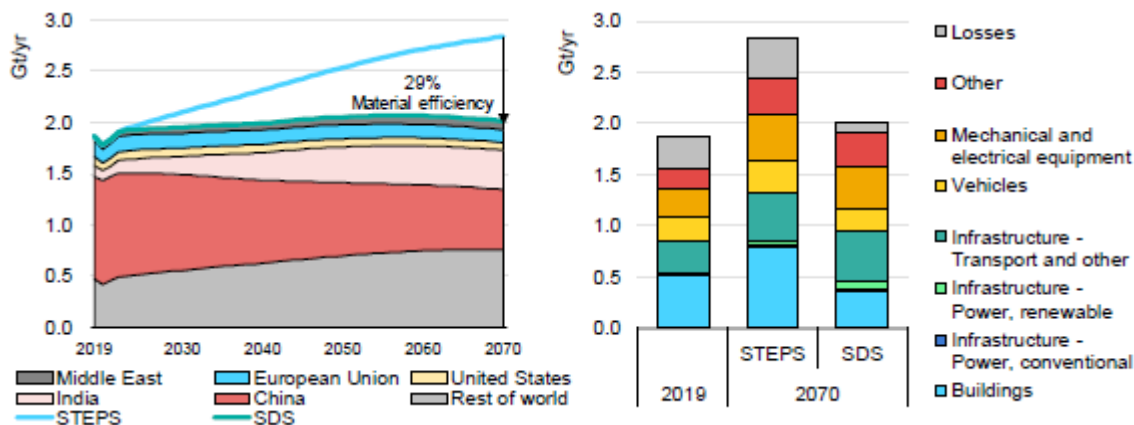


図 216 世界の鉄鋼生産量と用途別使用量の見通し

注：STEPS = Stated Policies Scenario、SDS = Sustainable Development Scenario

出所：IEA, Energy Technology Perspective 2020

鉄鋼産業が低炭素に取り組むうえでの課題は以下のとおり。

- ✓ エネルギー投入量における石炭の高いシェア：一次生産は、石炭（場合によっては天然ガス）と原料炭から作られたコークスに大きく依存しており、その重要な役割は、溶鉄の生産における還元剤として機能することである。プロセス熱を供給しながら。水素ベースおよび電気ベースの生産、および燃料の一部にバイオマスを使用する生産において革新が進行中であるが、化石燃料から完全に切り替えることは、技術的および経済的に困難。
- ✓ 長期的な資本資産：鉄鋼産業は経済的寿命が長く、複雑で資本集約的なプロセス機器を利用している。高炉は通常、少なくとも 25 年持続するように構築されており、多くは 40 年以上稼働している。現在、年間 2,300Mt の製鋼能力のうち、1,500Mt は BF-BOF ルートによる鉄鋼生産用である。既存の BF-BOF 製鋼能力の 90%以上が 2030 年にまだ稼働し、2050 年には約 35%が稼働する可能性があると予想される。場合によっては、既存のプラントに炭素回収装置を後付けすることも可能であり、完全に新しいプロセスに置き換えるよりも経済的なオプションである。ただし、現在の CCUS は技術的に成熟していない。
- ✓ 国際的な競争と低いマージン：鉄鋼製品はコモデティであり、国際的に取引され、競争が激しいため、鉄鋼生産の経済性はエネルギーコストに大きく依存する。そのため、鉄鋼業界はここ数十年で鉄鋼生産のエネルギー強度を下げることにすでに多額の投資を行っており、特定のプロセスでさらにエネルギー効率を改善する余地は比較的限られている。さらに、競争の激しい市場であるため、特に早期に技術を採用する生産者にとって、生産コストを大幅に増加させ、競争力を損なう可能性があるため、画期的な技術の採用に躊躇しがちである。

下表に鉄鋼産業の低炭素技術の動向を示す。下表に示す TRL(Technology Readiness Level)のレベルは以下のとおり。

TRL 1: 出発点（技術基本原則が定義された時点）

- TRL 2: コンセプトと適用分野が発展
- TRL 3: コンセプトを証明する実験が行われた時
- TRL 4: 技術が実験室環境で開発され、プロトタイプから始まって技術自体を検証する必要がある段階
- TRL 5-6: 技術が展開される条件でテスト
- TRL 7: 技術が実際の環境で実証試験
- TRL 8: 最初の商業規模での実証試験に入った段階
- TRL 9: 関連する環境で完全な商業運転に向けて実証試験に入った段階
- TRL 10: 大規模であること
- TRL 11: 技術が予測可能な成長を達成した最終的な段階

表 133 鉄鋼産業の低炭素の新技术の動向

CCUS

技術	TRL	実現年 (ゼロエミ ッションへ の重要性)	展開状況
高炉: オフガスの水素 濃度を高め、CO ₂ を除去して利用 または貯蔵	5	2030 (非常に高 い)	- 日本の COURSE 50 プロジェクトは最初の環境テストフェーズが完了、第 2 フェーズは 2030 年までに CCUS も可能な商業規模に達することを目的としている(JISF, 2011)。 - 真空圧カスイング吸収を使用したトップガスリサイクルは ULCOS の下で実験高炉で証明(EC, 2014)。コンセプトはフランスのダンケルクにある ArcelorMittal サイトでさらに開発。プラズマトーチを使用したリフォーミングを試験する IGAR プロジェクトは、ラボ規模のパイロットで、2017 年に正常に完了し、産業規模の実証は 2025-27 年までに完了する予定。2019 年半ばに 11 の関係者のコンソーシアムによって開始された「3D」プロジェクトは、2021 年までにパイロット規模 (4,000 トン-CO₂/年) および 2025 年までに工業規模 (100 万トン-CO₂/年) を目指して、高炉プロセスガスのアミンベースの炭素回収をテストする。最終的なアレンジでは、プラズマトーチにプロセスガスから回収された CO₂ を供給 (ArcelorMittal, 2019a; 2019b; 2017)。 - ROGESA パイロットは、ドイツの高炉で水素に富むコークス炉ガスをテストしており、早ければ 2020 年に 2 つの高炉での実施が見込まれる (Saarstahl, 2019)。 - STEPWISE プロジェクトは、発電に使用する高炉ガスを脱炭素化する技術をスウェーデンで試験運用 (14 トン-CO₂/日除去) (STEPWISE, 2020)。
高炉: オフガスを燃料 に転換	8	実現 (中)	- 最初の商業プラントは、Lanza Tech、Shougang Group、TangMing によって 2018 年に中国で開始された。操業初年度に販売用に 3,000 万リットルのエタノールを生産した (Lanzatech, 2018; 2019)。2 番目の大規模プラントがベルギーのアントワープで ArcelorMittal と Lanzatech による Steelanol/Carbalyst プロジェクトの下で建設中であり、2021 年初頭までに完成し、8,000 万リットルのエタノールを生産可能 (ArcelorMittal, 2019a)。 - ヨーロッパのパートナーのコンソーシアムによる FReSMe プロジェクトは、スチールのオフガスからメタノールへの変換 (1 トン/日) を試験的に行っている。これは、CO₂ 回収に関する STEPWISE プロジェクトと CO₂ からのメタノール生成に関する MefCO₂ プロジェクトの研究で建設されている (FReSMe, 2020; EC, 2019)。
高炉: オフガスをケミ	7	2025 (中)	2018 年に thyssenkrupp によって開始されたドイツの Carbon2Chem パイロットプラントは、鉄鋼オフガスからアンモニアとメタノールを生

カルに転換			産、2025 年までに工業規模のプラントを目指している (thyssenkrupp, 2020a; 2020b)。 •ヨーロッパ全土の 11 のパートナーのコンソーシアムによるプロジェクトである Carbon4PUR は、鉄鋼のオフガスをポリウレタンフォームとコーティングに変換することを試験的に行っている (20 トン/年) (Carbon4Pur, 2020)。
CO ₂ 回収付きの天然ガスベース DRI	9	実現 (非常に高い)	• 2016 年からアブダビで稼働しているプラント。CO ₂ 回収能力は年間 80 万トンで、CO ₂ は近くの油田での石油増進回収に使用(ADNOC, 2017)。 •メキシコの Ternium の 2 つのプラントは、飲料業界で使用するために排出量の 5% (合計で 15 万-20 万トン/年) をキャプチャし、2008 年以降稼働しており、キャプチャ容量を拡大する計画が進行中 (Ternium, 2018)。 • 1998 年以来、ベネズエラの Orinoco Iron にある商業用 Finmet プラントでは、統合プロセスの一環として、アミンベースの CO ₂ 分離により、ほぼ 100% の CO ₂ 濃度が達成されているが、回収された CO ₂ は現在使用または保管されていない。
CCUS 付きの溶融還元製鉄	7	2028 (非常に高い)	• ULCOS コンソーシアムによって開発された Hlsarna パイロットプラントは、現在、オランダの Ijmuiden にある Tata Steel プラントで稼働している (6 万トンのスチールが生産されているが、CCS はまだ実装されていない) (Tata Steel, 2017 年)。インドでは 2023-27 年に実証規模 (50 万トン/年) のプラント (TRL8) が見込まれ、2027-33 年にはオランダで CCS (TRL 9) を備えた工業規模 (150 万トン/年) のプラントが目標とされている。 •FINEX プラントでのアミンベースの CO ₂ スクラビングの初期テスト (Primetals, 2020)。

水素

技術	TRL	実現年 (ゼロエミッションへの重要性)	展開状況
高炉: 電解水素のブレンド	7	2025 (中)	2019 年以来、thyssenkrupp はドイツの高炉で水素の使用をテストしており、投入された石炭の一部を置き換えている (thyssenkrupp, 2019)。
DRI: 高レベルの電解水素をブレンドした天然ガスベースの DRI	7	2030 (高)	• 1990 年代に、Tenova はメキシコで 90% の水素使用をテスト (9,000 トン/年の DRI 生産規模) (Tenova, 2018)。 • Salzgitter 製鉄所は、SALCOS プロジェクトの一環として、ドイツで MW 規模の電解槽の実証を実施し、水素 DRI プラントを既存のサイトに統合するための FS を実施 (SALCOS, 2019)。 •thyssenkrupp は、2020 年代半ばまでに水素を組み込んだ商用 DRI プラントの建設を計画 (thyssenkrupp, 2020b)。
電解水素のみの DRI	5	2030 (非常に高い)	•パイロットプラントは、HYBRIT プロジェクトの一環としてスウェーデンで 2020 年 8 月に操業を開始。目標は 2025 年までに 100 万トン/年のデモプラント ((HYBRIT, 2020)。 •Hamburg で ArcelorMittal 等が設計中のパイロットプラントは 2030 年までに建設予定 (ArcelorMittal, 2019c)。 •Thyssenkrupp は、最終的には完全な水素還元に移行を計画 (thyssenkrupp, 2020b)。
溶融還元製鉄: 水素プラズマ還元	4	- (中)	• オーストリアの SuSteel の voestalpine 工場での研究プロジェクト。2020 年の試運転を目指して、100g の反応炉を 50kg のバッチ運転に拡大する過程にある (KIMET, 2018; Primetals, 2019)。 •Utah 大学で開発中のフラッシュ製鉄技術、ミニパイロットリアクターは許可済み (Sohn et al., 2017)。
アンシラリーブプロセス: 高熱向け水素	5	2025 (高)	• 2020 年の初めに、Ovako と Linde は、スウェーデンで圧延する前に、水素を使用して鋼を加熱する試験に成功 (Ovako, 2020)。 •ルウェーの CELSA (再生鉄鋼生産会社)、Statkraft、Mo 工業団地は、2020 年半ばに、鉄鋼生産に使用される化石燃料に代わる水素を生産す

			る契約に署名 (Statkraft, 2020)。
--	--	--	---------------------------

直接電化

技術	TRL	実現年 (ゼロエミ ッションへ の重要性)	展開状況
電解: 低温アルカリ	4	- (中)	従前、ULCOS プログラムによって開発された ULCOWIN プロセス (電解採取) に基づいた Siderwin プロジェクト。2020 年末までにパイロット規模のプラントの開発に向けて取り組み中 (Siderwin, 2019)。
電解: 高温溶融酸化物	4	- (中)	•ULCOS は、2004 年から 2012 年の作業プログラムで MIDEIO と呼ばれるコンセプトを提案 (Wiencke et al., 2018)。 •マサチューセッツ工科大学での研究により、Boston Metal が設立され、2014 年に最初のプロトタイプセルが許可された (1 トン以上の金属が生産)。現在、パイロット規模のプラントを目指している ((Boston Metal, 2019)。

バイオエネルギー

技術	TRL	実現年 (ゼロエミ ッションへ の重要性)	展開状況
高炉: 焼いたバイオマ ス	7	2025 (中)	Torero パートナシッププロジェクトは、ベルギーの Ghent にある ArcelorMittal の工場で、部分的に石炭を代替するためのバイオ石炭 (焙焼廃材) の使用をテスト中。大規模な実証は 2020 年末までに運用可能になる予定 (ArcelorMittal, 2019a)。
高炉: 木炭	10	実現 (中)	木炭は現在、主にブラジルで高炉で使用される石炭の一部の代わりに商業的に使用されている。一部の開発では、木炭生産をさらに最適化して、鉄鋼製品の性状の改善が進展中である。

注：TRL = Technology Readiness Level

出所：Energy Technology Perspectives 2020, IEA

【日本における鉄鋼産業の低炭素技術動向】

直近の日本における鉄鋼産業の低炭素技術動向として、以下のような動きがある。

✓ 二酸化炭素の炭酸塩固定技術

炭酸塩は炭酸イオン (CO_3^{2-}) を含むイオン性結晶物質の総称である。カルシウムとの化合物である炭酸カルシウムは、代表的な炭酸塩であり、製鉄・セメントの製造工程での原料・副原料として使われる石灰石の主たる成分である。

2020 年 4 月、FE スチール、太平洋セメント、地球環境産業技術研究機構 (RITE) は、①鉄鋼スラグや廃コンクリート等を対象として、これらから湿式で抽出したアルカリ土類金属を活用し、工場等より排出された CO_2 との反応により、安定した化合物である炭酸塩 (として回収する技術の開発、および②生成した炭酸塩の有効利用技術の開発を中心に、三者で研究会を設置し協力して取り組むことを発表した。

本取組みでは、鉄鋼分野で生成する鉄鋼スラグや、セメントコンクリート分野で発生する廃コンクリート、生コンスラッジ、石炭灰等を活用した高効率な CO_2 の炭酸塩固定技術を核として、技術の実用化や生成した炭酸塩の最適な利用方法について実現を目指す。

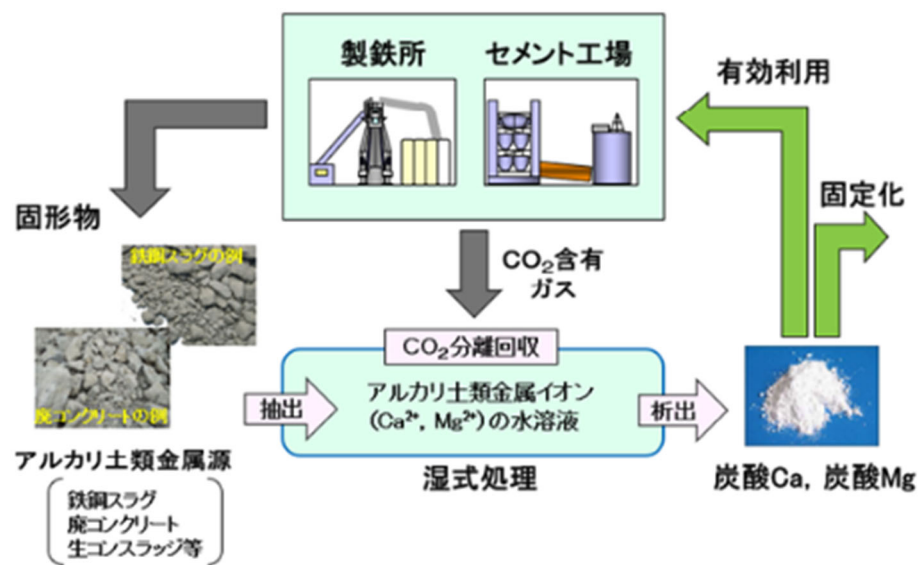


図 217 CO₂の炭酸塩固定技術および炭酸塩の有効利用技術

出所：JFE スチール

(b) セメント産業

セメント産業を含む 2019 年の世界の窯業土石産業のエネルギー消費量は 378Mtoe で、産業部門のエネルギー消費量の 13%、最終エネルギー消費量の 4%を占めた。2019 年の世界の鉄鋼産業のエネルギー源は、石炭が 54%、石油が 10%、天然ガスが 17%、電力が 14%であった（図 214 参照）。

下図に一般的なセメントの生産フロー図を示す。

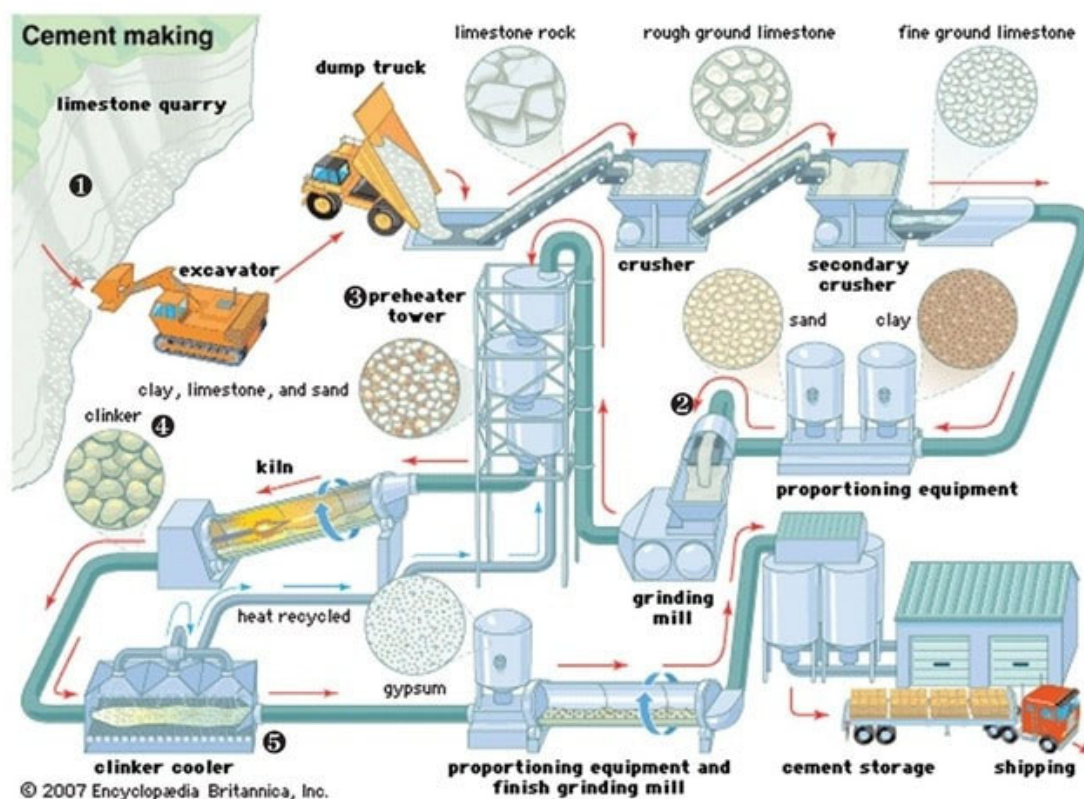


図 218 一般的なセメントの製造プロセス

出所：The Constructor⁵⁹⁹

セメントを製造するためには、キルン内の石灰石と粘土の混合物からクリンカーと呼ばれる塊状の物質を生成するプロセスに大量のエネルギーが必要となる。クリンカーは、石膏、スラグ、フライアッシュ、石灰石などと混合され、粉碎して微粉末にされる。平均して 1 トンのセメントを生産するためには約 2.8GJ のエネルギーが必要であり、エネルギーコストは通常、総セメント生産コストの約 15-40%を占める。1 トンのセメントの生産は平均で 0.5-0.6 トンの CO₂ を排出する。IEA によると、2019 年、セメント産業は 280 Mtoe のエネルギーを消費し、2.4Gt の CO₂ を排出した。これらの排出量のうち、約 3 分の 2 がプロセス排出量である。

セメントは、エネルギー分野の施設を含むあらゆる種類の建物やインフラの建設に不可欠であるため、セメントの需要は経済活動や地域の経済発展の状況に依存する。下図に IEA による世界のセメントの生産量と用途別使用量の見通しを示す。新型コロナウイルスの蔓延により、2020 年は約 4%の需要減少が見込まれるが、セメント需要は、特に人口増加によりインフラ需要が高まっている新興経済国において、長期的には増加し続けると予測される。中国のようにすでに高度に工業化されているより先進的な発展途上国では、セメント需要はすでに安定しており、近年の巨大な建設の波が後退するにつれて減少し始めている。先進国では、セメントは主に既存のイン

⁵⁹⁹ <https://theconstructor.org/building/manufacture-of-cement/13709/>

プラスを維持し、修復不可能になったときにそれを置き換えるために使用されるため、需要ははるかに低くなる。

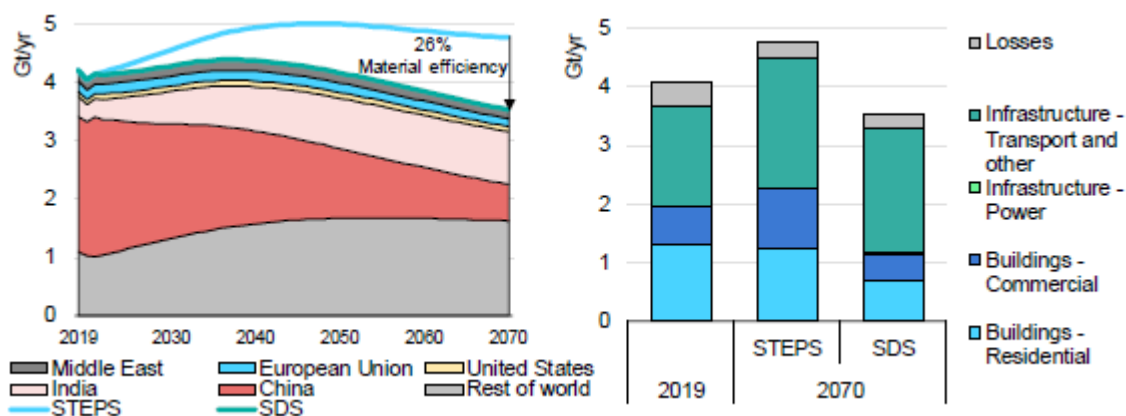


図 219 世界のセメント生産量と用途別使用量の見通し

注：STEPS = Stated Policies Scenario、SDS = Sustainable Development Scenario

出所：IEA, Energy Technology Perspective 2020

セメント産業が低炭素に取り組むうえでの課題は以下のとおり。

- ✓ プロセス排出：セメント製造からの直接排出は、炭酸カルシウム（ CaCO_3 ）でできている石灰石が加熱され、酸化カルシウム（ CaO ）と CO_2 に分解されるときに発生する煅焼と呼ばれる化学プロセスで発生する。したがって、a) CO_2 を回収して最終的に貯蔵する、b) 他のセメント系材料（フライアッシュや高炉スラグなど）とブレンドしてクリンカーの必要量を減らす、c) 石灰石の代替品を使用して結合剤を生成する、ことによつてのみ削減が可能となる。これらの技術は、まだ商業化前の段階にあるか、後者の2つのオプションの場合、多くの国で建築規制による制限がある。

- ✓ 化石燃料ベースのプロセス：クリンカーの製造プロセスは非常にエネルギー集約的であり、一般的に最も安価なエネルギー源である石炭に大きく依存する傾向がある。バイオエネルギーや廃棄物などの代替燃料は選択可能であるが、持続可能なバイオマスの利用可能性は限られており、他の最終用途と競合する。一方、非再生可能エネルギー廃棄物の CO_2 フットプリントは非常に変動する。場合によっては、石炭よりも非再生可能エネルギー廃棄物からの排出の方が多くなることもある。高温、大量のエネルギー、キルンの技術的要件を考えると、直接電化、水素、または集光型ソーラーからの直接加熱への切り替えは、技術的に困難であり、非常にコスト高となる。切り替えオプションのいくつかの作業は進行中であるが、開発の初期段階にある。

- ✓ 地域の制約：セメント工場は地理的に非常に分散しており、多くの場合、原材料の供給源やセメント需要の中心の近くにある。セメント工場は通常、現地で利用可能なエネルギー資源を利用する。これは、費用効果の高い低炭素燃料（バイオマスなど）へのアクセスが制限されることを意味する場合がある。さらに、セメントの代替成分を入手することが難しい地域では、クリンカー／セメント比率を減少させることによって排出量を低減できる可能性を低くする。セメントは化学薬品や鉄鋼よりも国際的な取引は少

ないものの、クリンカーの取引はある程度可能であり、これは大幅なコストの増加が競争力を損なう可能性があることを意味する。

✓ 長期的な資本資産：セメント工場は寿命が長いために、スクラップ・アンド・ビルドによって低炭素のプラントに建て替えるペースが妨げられている。

下表にセメント産業の低炭素技術の動向を示す。

表 134 セメント産業の低炭素の新技术の動向

CCUS

技術	TRL	実現年 (ゼロエミ ッションへ の重要性)	展開状況
化学吸収（部分 キャプチャー 率、<20%）	8	実現 (中)	•2014 年に Texas 州の Capitol Aggregates 工場に商業施設が開設され、重曹、漂白剤、塩酸などの材料に使用するために排出量の 15% (7.5 万トン-CO₂/年) をキャプチャー (Capitol Aggregates, 2020; Global Cement, 2014)。
化学吸収（完全 吸収レート）	7	2024 (非常に高 い)	•ノルウェーの Norcem 工場で 2016 年の産業規模の FS が成功裏に。フルスケールのプラント操業 (40 万トン-CO₂/年) は 2023/24 年の見込み (Norcem, 2020)。 •カナダの Lehigh Cement 工場で産業規模 (60 万トン-CO₂/年) の FS が実施中 (Lehigh Hanson, 2019; Voorhis, 2019)。 •Dalmia Cement はインドの工場で大規模な実証 (50 万トン-CO₂/年) を実施予定 (Perilli, 2019)。 •安徽海峡パイロットプラント (5 万トン-CO₂/年) が 2018 年に中国で操業を開始 (Global CCS Institute, 2018b)。
カルシウムルー プ	7	2025 (非常に高 い)	•2017 年からの台湾セメントによる Heping 工場でのテストでは、パイロット規模の試験が無事に完了。2025 年までに商業規模 (45 万トン-CO₂/年) を目指す (Taiwan Cement, 2020; Cemnet, 2019)。 •ドイツの CEMCAP によって完了したパイロット規模のデモンストレーション。2020 年に開始される予定の CLEANKER プロジェクトによるイタリアでの商業化前の改造デモンストレーション (130 万トン-CO₂/年) (Buzzi Unicem, 2019; Hornberger, Sporal and Scheffknecht, 2017; Jordal, 2018)。
酸素燃料	6	2030 (高)	•デンマークのキルンプレカルシナーで成功したパイロット (Davison, 2014)。 •欧州セメント研究協会は酸素燃料の開発を目指しているが、資金調達問題から 2 つの提案されたパイロットプラントは保留になっている模様 (ECRA, 2020a)。 •2019 年後半に結成された欧州の 4 つのセメント生産者による共同研究イニシアティブは、ドイツに半工業用酸素燃料試験施設を建設することを計画 (Beumelburg, 2019)。
新規の物理吸着 (シリカまたは 有機ベースの吸 着を使用)	6	2035 (高)	•カナダの CO₂MENT プロジェクトは、2019 年に LafargeHolcim セメント工場で Svante の CO₂ 回収技術の試験を開始。低炭素燃料とコンクリートに CO₂ を使用して試用 (LafargeHolcim, 2019; Financial Post, 2019)。 •2020 年初め、いくつかの企業が米国 Colorado 州の Holcim Portland セメント工場の商業施設 (72.5 万トン-CO₂/年) の設計とコストを評価するための共同研究を発表 (Total, 2020)。
直接分離	6	2030 (高)	•2019 年、LEILAC プロジェクトによるベルギーの Heidelberg Cement 工場でのパイロット規模の実証が成功。2025 年の大規模な実証 (10 万トン-CO₂/年) を目標 (LEILAC, 2019; Perilli, 2020)。
その他キャプ チャー技術	4-5	- (中)	•膜分離、冷却アンモニアプロセス、極低温など、他のさまざまなキャプチャー技術をセメントに適用可能。いくつかの実験室および小規模

			の試験が行われているが、これらの技術は比較的初期の開発段階にある（ECRA, 2017; Sayre et al., 2017; Pérez-Calvo, 2018）。
コンクリートおよびその他の不活性炭酸塩材料中の CO ₂ を隔離/鉱化	9	実現 (中)	• 骨材の製造またはコンクリートの養生に CO₂ を使用する複数の商業規模のプラント（Carbon8, 2020; CarbonCure, 2020; Blue Planet, 2020）。 • Sinoma International と CNBM は、2016 年に中国で、CO₂ を使用して沈殿炭酸バリウム（5 万トン-CO₂/年）を生産するプロジェクトを完了。 • HeidelbergCement と RWTH Aachen 大学が主導する CO₂Min は、かんらん石と玄武岩が CO₂ を吸収する能力を証明（Beumelburg, 2017; Stopic et al., 2019）。 • フランスの FastCarb プロジェクトは、再生コンクリート骨材の加速炭酸化を調査。現在ラボ規模で研究中（FastCarb, 2020）。

原材料の代替

技術	TRL	実現年 (ゼロエミッションへの重要性)	展開状況
煅焼粘土	9	実現 (高)	• 現在、限られた数カ国で低い割合で使用。キューバ、インド、スイスの研究者のコラボレーションによって開発された（Scrivener et al., 2018; UNEP, 2016）。 • 粘土の煅焼のエネルギー効率を大幅に改善する大規模なフラッシュ煅焼機が中国で開発中であり、2つの 300 トン/日ラインがすでに建設（Sui, 2020）。
ケイ酸カルシウムの炭酸化	8	実現 (中)	• 2014 年に SolidiaTechnologies によって米国の Lafarge 工場で最初に生産され、現在はハンガリーの追加工場で生産中。2019 年に、舗装工場に供給する最初の商業ベンチャーが発表された（Aggregates Business, 2019）。
ケイ酸マグネシウム(MOMs)	3	- (中)	• 研究開発は主に大学の研究室段階。現在、資金不足のためにベンチャー（英国の Novacem）が 2012 年に終了した後、保留になっている（Majcher, 2015）。
アルカリ活性化バインダー（ジオポリマー）	9	実現 (中)	• 一部のセメントはすでに市販されているが、主に非構造用途で使用されている。例として、スイスの CEMEX によって開発された VertuaUltraZero がある（CEMEX, 2020）。その他は開発の初期段階。

直接電化・ヒーティング

技術	TRL	実現年 (ゼロエミッションへの重要性)	展開状況
直接電化	4	- (中)	• スウェーデンの CemZero プロジェクトによって 2017 年に開始された FS では、セメントキルンの電化が技術的に可能であることが示された。現在、パイロットプラントを建設する可能性を模索中（Cementa, 2019; Vattenfall, 2020）。 • 2018 年にノルウェーで開始された ELSE プロジェクトは、技術的 FS で、プレカルシナーの電化がおそらく可能であることが判明（Norcem, 2018; Tokheim et al., 2019）。
太陽光の集光による直接加熱	6	- (中)	• フランスの SOLPART プロジェクトは、2019 年半ばにパイロット規模の煅焼ソーラーリアクターの試運転に成功。2025 年までに部分的に太陽エネルギーを利用したセメント工場を開設することを目指している（SOLPART, 2019）。 • 米国を拠点とするスタートアップ企業 Heliogen は、2019 年に Mojave 砂漠のテスト施設で、集光型太陽光を使用して 1000°C を超える熱を生成する可能性を証明した（Heliogen, 2019）。 • Paul Scherrer Institute, ETH Zurich、LafargeHolcim は、キルンに集光された太陽光を使用した研究を行っている（LafargeHolcim, 2015）。

水素

技術	TRL	実現年 (ゼロエミ)	展開状況
----	-----	---------------	------

		ッションへの重要性)	
水素の部分利用	4	- (中)	・鉱物製品協会は、英国で水素とバイオマスを組み合わせてキルンで物理試験を実施するための資金を調達した（別の試験では、電気プラズマとバイオマスを組み合わせて試験）。2021 年半ばまでの完了を目指している（MPA, 2020）。
炭酸カルシウムの脱炭素	3	- (中)	・マサチューセッツ工科大学での実験室規模のテストを通じて証明された電解槽ベースのコンセプト。結果は 2019 年後半に発表（Ellis et al., 2019）。

技術のパフォーマンス

技術	TRL	実現年 (ゼロエミ ッションへの 重要性)	展開状況
先進的仕上げ	6-9	実現 (中)	・さまざまな技術が開発のさまざまな段階にあり、一部は商業化に近づいている（ECRA, 2017; 2020b）。

注：TRL = Technology Readiness Level

出所：IEA, Energy Technology Perspectives 2020

【日本におけるセメントの低炭素技術動向】

直近の日本におけるセメント産業の低炭素技術動向として、以下のような動きがある。

✓ セメント工場の CO₂ を再資源化（カーボンリサイクル）する技術開発

セメント産業が排出する CO₂ の約 6 割はセメントの中間製品であるクリンカを製造するプロセスで原料（石灰石）から化学反応によって必然的に発生する。セメント製造プロセスから CO₂ が排出されるため、セメント産業における低炭素技術の革新的なイノベーションが求められている。

2020 年 6 月、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）はセメント製造プロセスで排出される CO₂ を再資源化し、セメント原料や土木資材として再利用する技術の開発や、実用化に向けた実証試験に着手し、助成先として太平洋セメントを採択した⁶⁰⁰。セメント工場において 1 日当たり 10 トン規模の CO₂ を分離・回収する実証試験を行うのは国内で初めてであり、本事業により、最適な CO₂ 分離・回収システムや、CO₂ を原料とする製造プロセス（カーボンリサイクル）技術を確立し、2030 年度までの実用化、国内のセメント工場への導入を目指す。

具体的には、セメント工場内に CO₂ 分離・回収実証設備を設置して、セメントキルン排ガス中から 1 日当たり 10 トンの CO₂ を分離・回収する実証試験を実施する。また分離・回収した CO₂ を廃コンクリートや生コンクリートスラッジを用いて炭酸塩として固定化し、セメント原料（石灰石代替）や道路舗装用の路盤材などの土木資材として再資源化する要素技術などを開発する。

⁶⁰⁰ https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101319.html

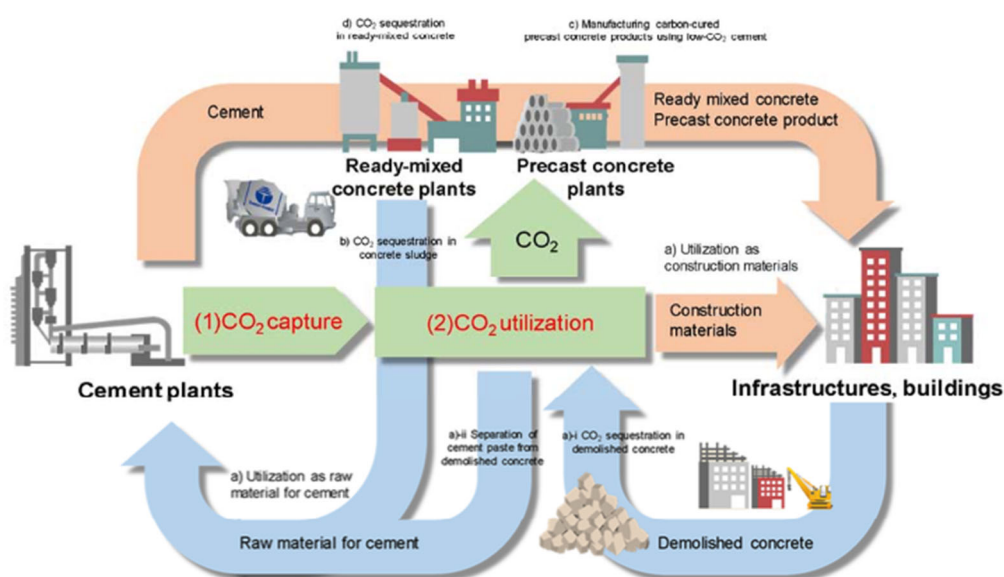


図 220 炭素循環型セメント製造プロセスの概念図

出所：太平洋セメント

✓ CO₂ 有効利用コンクリートの研究開発

2020 年 8 月、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の公募委託事業で、鹿島建設、中国電力および三菱商事の CO₂ 有効利用コンクリートの研究開発が採択された⁶⁰¹。

製鉄所・発電所・セメント工場などから排出される CO₂ を回収し、付加価値のある製品に CO₂ を有効利用するカーボンリサイクル技術は気候変動対策の一つとして開発が求められているが、現在の無筋コンクリート製品を対象としたカーボンリサイクル技術は、一部のコンクリートブロック等に用途が限定されているため、より広い用途で CO₂ を固定化出来る技術の開発が課題となっている。

今回、上記 3 社による共同研究開発で、CO₂ を固定化する対象を、建物の構造物などに使用される鉄筋コンクリート製品や現場打設コンクリート構造物へ広げる技術の開発に取り組むことで CO₂ 有効利用コンクリートの用途拡大を目指す。

✓ 環境配慮型コンクリート「CO₂-SUICOM」

CO₂-SUICOM は、鹿島建設、中国電力、デンカ、ランデスが開発した無筋コンクリート製品を対象とした CO₂ 有効利用コンクリート。コンクリートの主な構成材料であるセメントの代替材料として、化学工場 からでる副生消石灰を原料とする特殊混和材、石炭灰、その他の産業副産物を利用することで、セメント使用量を大幅に低減する。原料の特殊混和材は CO₂ と接触すると CO₂ を吸収（炭酸化反応）して硬化し、コンクリートを硬化・緻密化させる性質を持っている。この性質を利用し、特殊混和材を用いたコンクリートに CO₂ が含まれる排気ガスを接触させ、強制的に吸収・反応させて養生

⁶⁰¹ https://www.mitsubishicorp.com/jp/ja/pr/archive/2020/files/0000045766_file1.pdf

する（炭酸化養生）。これにより大量の CO₂ をコンクリート中に吸収させることが可能となる。

✓ CO₂ 活用骨材

2020 年 9 月、三菱商事は CO₂ を用いたコンクリート原料である骨材（CO₂ 活用骨材）の製造技術を有する米国 Blue Planet Systems Corporation へ資金提供を行うと共に、同社の CO₂ 有効活用技術の事業化に向けた協業契約を締結した⁶⁰²。通常、コンクリートは骨材（砂や砂利、コンクリート原料の約 8 割を占める）を結合剤（セメント等）で固めたものであるが、Blue Planet は骨材に CO₂ を固定化させて CO₂ 削減に寄与する技術を有する。

Blue Planet は 2012 年の創業以来、環境負荷低減を目標に CO₂ 有効活用技術の開発とその事業化に取り組んでおり、具体的には、以下の先進的な技術の開発を推進している。

① 発電所などの排気ガスに含まれる CO₂ をコンクリートへ固定化する技術

② 未使用コンクリート又は廃棄コンクリートなどの産業廃棄物を有効活用する技術

また、同社の CO₂ 活用骨材は、既に米国サンフランシスコ国際空港の改装工事で使用された実績もある。Blue Planet と三菱商事は、2021 年度にかけて米国カリフォルニア州シリコンバレー地区で CO₂ 有効活用技術の実証事業を行い、その後本格的に商業展開する計画である。

世界のコンクリート市場規模の大きさを踏まえれば、コンクリート原料としての CO₂ 活用によって数億トンの CO₂ 削減効果が期待できる。

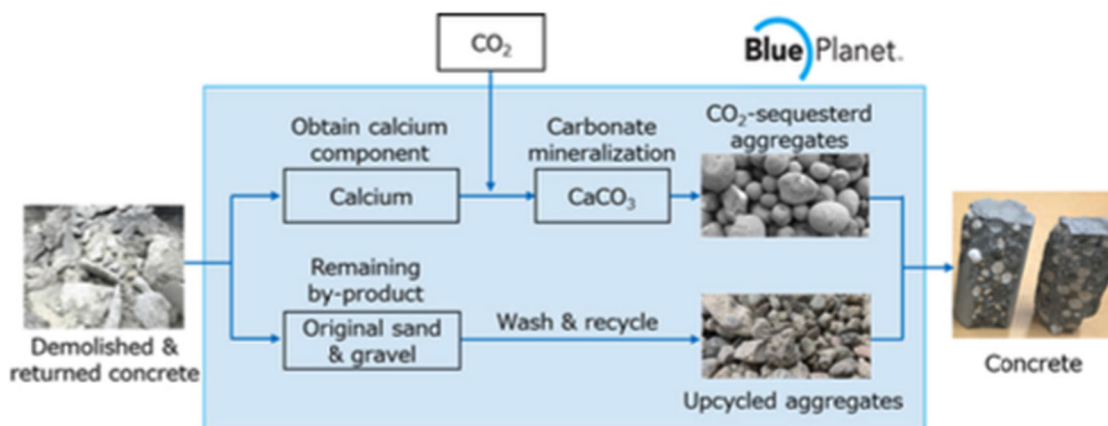


図 221 Blue Planet 技術プロセスフロー

出所：三菱商事

✓ コンクリート建材に CO₂ を注入するカーボンリサイクル技術

三菱商事は 2021 年 1 月、コンクリート建材に CO₂ を注入するカーボンリサイクル技術を有するカナダの CarbonCure Technologies Inc.（CarbonCure）に資本参画すると共に、

⁶⁰² <https://www.mitsubishicorp.com/jp/ja/pr/archive/2020/html/0000046041.html>

同社技術の事業拡大に向けた業務提携に合意した⁶⁰³。

CarbonCure のカーボンリサイクル技術は、生コンクリート製造時に CO₂ を固定化・有効利用することで CO₂ の排出源であるセメントの使用量を削減し、CO₂ を削減する。また、強度 や信頼性は従来のコンクリートと変わらず、北米を中心に既に広く商業利用されている。

CarbonCure 関連設備・技術の特徴として、以下の項目が挙げられる。

- ①生コンクリート工場の既存の製造プロセスを大きく変更せずに、CarbonCure の開発した関連設備を設置することで、この技術を導入出来る。また、関連設備はリースでの提供となり、低コストで導入出来る。
- ②CO₂ の注入により、セメントの使用量が削減される為、CO₂ 排出量の低減に繋がる。
- ③加えてデジタル技術を用いた CO₂ 削減量の可視化も可能。

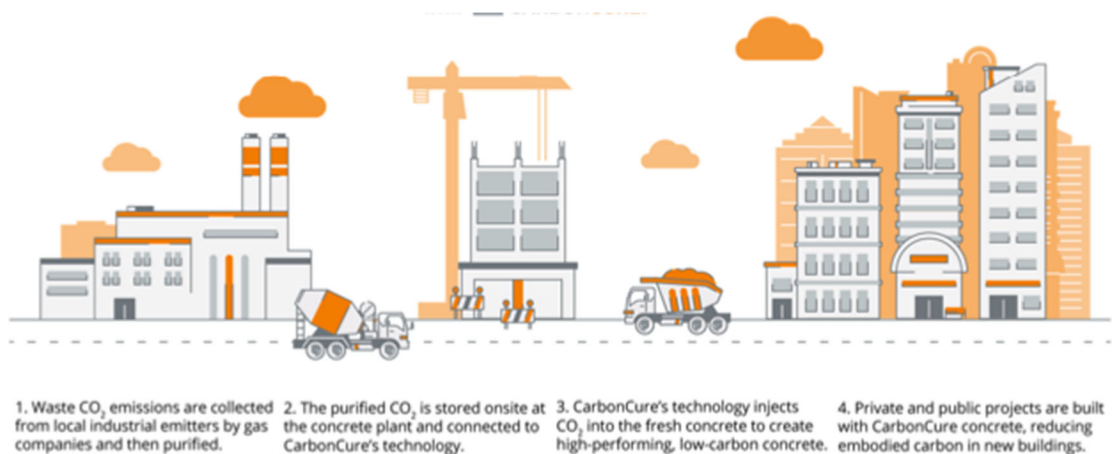


図 222 CO₂ の回収から建材として活用されるまでのプロセス概要

出所：三菱商事

✓ カーボンリサイクル・コンクリートの開発

大成建設は 2021 年 2 月、環境配慮コンクリート「T-eConcrete」の製造過程で排出される CO₂ 量に対して、工場の排気ガスなどより回収した CO₂ から製造する炭酸カルシウムを用いて、コンクリート内部に CO₂ を固定することで、CO₂ 収支をマイナスにすることが可能となる、カーボンリサイクル・コンクリート「T-eConcrete/Carbon-Recycle」を開発した。

カーボンリサイクルに対応するためには、以下のような課題があった。

- ・回収した CO₂ を、直接、コンクリートに吸収させるとコンクリートが中和され、鉄筋の防錆機能を失う。
- ・CO₂ の吸収を容易にするため、コンクリート内に微細な空隙を増やす構造にした場合、コンクリート強度が低下する。
- ・回収した CO₂ を用いて製造した炭酸カルシウムを大量にコンクリートに添加すると、

⁶⁰³ https://www.mitsubishicorp.com/jp/ja/pr/archive/2021/files/0000046577_file1.pdf

粘り気の増加や硬化遅延により施工性が著しく低下し、硬化後の強度が低下する。

大成建設は、これまで「T-eConcrete」の開発で蓄積した CO₂ 排出量を削減するコンクリート技術やノウハウを駆使し、回収した CO₂ から製造されるカーボン リサイクル材料である炭酸カルシウムを、製鋼副産物である高炉スラグ主体の結合材により固化させることで、コンクリート内部に CO₂ を固定するカーボンリ サイクル・コンクリート「T-e Concrete/ Carbon-Recycle」を開発した。

本技術の特徴は以下のとおり。

- ・コンクリート内部に CO₂ の固定が可能
- ・製造過程における CO₂ 収支のマイナスを実現
- ・コンクリート内部の鉄筋腐食を防ぎ、構造物の耐久性を維持
- ・通常設備で製造でき、普通コンクリートと同等の強度、施工性を発揮

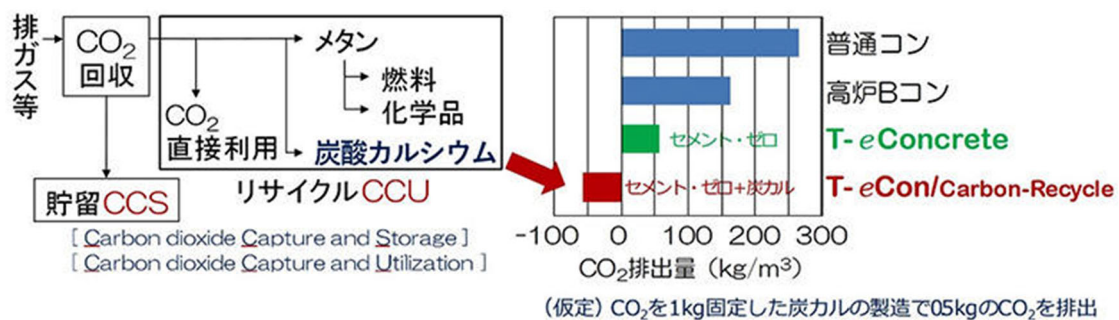


図 223 カーボンリサイクル・コンクリート概要

出所：大成建設

(c) 化学・石油化学産業

IEA によると、化学部門は世界の GDP の 1% 以上に直接貢献し、世界最大の産業用エネルギー消費者である。エネルギー投入量の約半分が原料（原材料）に使用されているため、エネルギー投入量の炭素の大部分は、生産プロセス中に燃焼またはその他の方法で排出されるのではなく、最終製品に姿を変える。石油と天然ガスが化学物質を生産するための主要な原料であり、石炭の使用量は少ない。化学製品の生産は、世界の石油需要（1 日あたり 1,400 万バレル）の約 14%、世界のガス需要（315Bcm）の約 9% を占めている。

化学部門は、プラスチックや肥料から医薬品や爆発物まで、数十万の異なる製品を生産している。生産のエネルギー強度は製品ごとにより異なる。アンモニア、メタノール、エチレン、プロピレン、ベンゼン、トルエン、混合キシレンなどの一次化学物質の製造は特にエネルギー集約的である（後者の 5 つは「高価値化学物質」としてグループ化され、後者の 3 つは BTX、芳香族として知られている）。一次化学物質は、化学部門の総エネルギー消費量の約 3 分の 2 を占め、その原料需要の大部分を占めています。場合によっては、エネルギーと原料が、設備投資を含む一次化学製品の総生産コストの 90% を占めることもある。

その後、一次化学物質は、プラスチック、合成繊維、肥料、塗料、添加剤、溶剤など、さまざま

なプロセスを通じて最終的な化学製品に変換される。これらのプロセスのエネルギー消費量は比較的少ない。他の主要な化学物質カテゴリー（特殊化学物質およびファインケミカル、医薬品、消費者化学物質）は、生産に必要なエネルギーはるかに少なくなるが、エネルギーを大量に消費する上流側の物質を原料として使用する。

下図に IEA による世界の化学品の生産量の見通しと現状のプラスチックの用途を示す。プラスチック樹脂は年率 3-4%の伸びを示すが、アンモニアは年率 1%程度の伸びとなる見込みである。

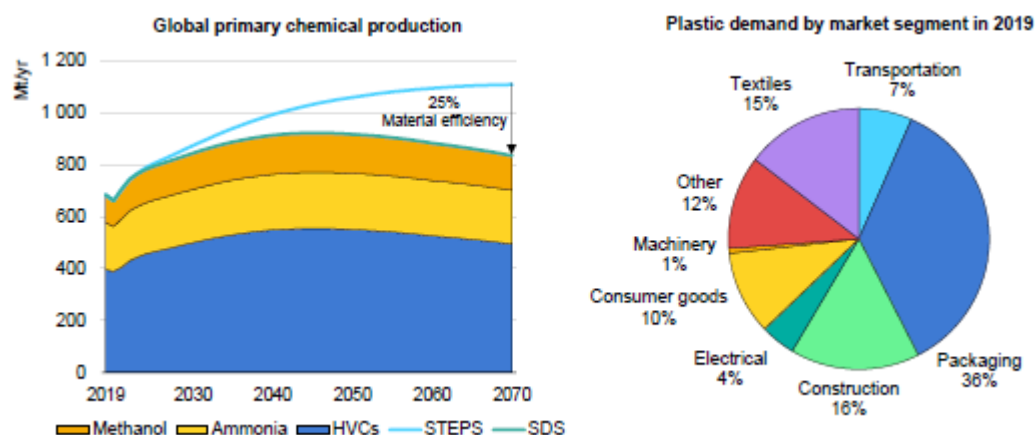


図 224 世界の一次化学品生産量の見通しと現状のプラスチックの用途

注：STEPS = Stated Policies Scenario、SDS = Sustainable Development Scenario

出所：IEA, Energy Technology Perspective 2020

化学品の生産施設は、セメントおよび鉄鋼セクターよりも地理的に集中していないこと特徴である。例えば、中国は世界のセメントおよび鉄鋼の生産能力の約半分を占めているのに対し、高価値化学の生産能力は約 20%と低くなる。近年、一次化学品の生産能力の増強が米国、中東、中国に集中しており、これは今後も続くと思われる。シェール革命は、これまで停滞していた米国の生産拡大を後押しし、天然ガス液の主成分であり、ナフサに次ぐ世界第 2 位の化学工業原料であるエタンの生産量を急増させた。原材料コストの低さも、中東、特にイランとサウジアラビアでの生産能力拡大の背景となっている。しかし、Covid-19 の影響で化学品の需要の伸びが減少し、過剰生産能力になる地域が発生するため、生産能力拡大のペースは、今後数年間は緩やかな伸びになる可能性がある。

化学・石油化学産業が低炭素に取り組むうえでの課題は以下のとおり。

- ✓ 非導電性の材料には高温が必要：スチームクラッカー（エチレン、プロピレン、BTX 芳香族化合物などを製造するための基本ユニット）およびその他の大型ユニットは、1000°Cに近い温度で動作します。現在の技術を使用して電気からこの量の熱を生成することは非現実的でコストが高くなる。電化のコストを下げることを目的とした研究開発はある。バイオマスを大量に消費することは持続可能性に欠ける。CCUS による CO₂ 排出削減や水素ベースの生産などの他の技術は、まだ商業化前の段階である。
- ✓ 長期にわたる資本資産：スチームクラッカーなどの上流ユニットは非常に大きく、建設コストが高く、通常は約 30 年間運用される。大規模なクラッカーの建設コストは約

40 億米ドルと言われており、運用期間に到達する前にスクラップ・アンド・ビルドで低炭素設備に更新するためには、相当のインセンティブが必要となる。

✓ 国際競争：化学製品の多くは競争が激しい国際市場で取引されている。特定のプラントが低炭素化の投資を行うことは製品のコストを上昇させ、国際競争力を失うことになる。地域全体で低炭素化の投資を行い、炭素の国境調整税などで地域内のプラントを保護することも可能であるが、政治的な問題が発生するであろう。また、化学製品のサプライチェーンは非常に複雑で、多くの場合複数の国にまたがっている。そのため、1つの地域だけで取り組むことは、原料および製品市場に大きな混乱をもたらす可能性がある。

✓ 化学製品は炭素と水素：化学製品は炭素と水素で構成されており、使用後の廃棄段階（燃焼）では CO₂ を排出する。したがって、使用および廃棄段階を含めて、化学製品のサプライチェーンで CO₂ の排出を完全にゼロにすることは非常に難しく、化学製品の原料となる炭素と水素は、大気から回収された CO₂ と、電解水素、リサイクル化学製品、バイオエネルギーを組み合わせた技術となる。これは非常に長期的な課題である。

下表に化学・石油化学産業の低炭素技術の動向を示す。

表 135 石油・石油化学産業の低炭素の新技术の動向

CCUS

技術	TRL	実現年 (ゼロエミッションへの重要性)	展開状況
ケミカル吸収	11	実現 (非常に高い)	アンモニア : 使用する CO ₂ (CCU の場合は TRL 11) を回収する稼働中の複数の商業プラント。1999 年からマレーシアの Petronas 肥料工場、2006 年からインドの農民肥料協同組合 (MHI、2020 年)。Koch の Enid 肥料プラント (70 万トン-CO ₂ /年) は、EOR に CO ₂ を使用して 2003 年から稼働 (CCS の場合は TRL 9) (MIT, 2016a)。
	9	実現 (非常に高い)	メタノール : 商業用石炭ベースのプラントは、生産プロセスの一部としてキャプチャー使用 (キャプチャー技術は TRL 11)。1997 年から稼働しているブラジルのプラントと 2007 年から稼働しているバーレーンのプラントで CO ₂ を使用するプロジェクト (CCU は TRL 9) (ZeroCO ₂ , 2016; GPIC, 2020)。現在 CO ₂ を貯蔵しているプロジェクトはない (CCS の場合は TRL 5)。
	7	2025 (非常に高い)	高付加価値ケミカル : 中国河南省の石油化学プラントでの Sinopec ZhongyuanCCUS パイロットプロジェクトは、2015 年から EOR で 12 万トン-CO ₂ /年を回収しており、50 万トン-CO ₂ /年に拡大する計画 (Global CCS Institute, 2018a)。
物理的吸収	9	実現 (非常に高い)	アンモニア : 製造プロセスの一部として商業的に広く使用されているキャプチャー技術 (キャプチャー用は TRL 10-11)。Coffeyville Resources プラントは、米国で商業規模 (70 万-80 万トン-CO ₂ 年) で 2013 年に稼働を開始し、EOR (完全な CCS チェーンの場合は TRL 9) に CO ₂ を使用 (MIT, 2016b)。カナダの NutrienRedwater プラント、米国の abash Valley Resources プラント、および中国の Sinopec Qilu Petchem 施設で、CCS を備えたさらにいくつかのプラントが近いうちにオンラインになる予定 (OGCI, 2019; Enhance Energy Inc., Wolf Carbon Solutions and North West Redwater Partnership, 2019; Sharman, 2019)。
	7	2023	メタノール : Lake Charles Methanol は米国で産業規模のプラントを開発

		(非常に高い)	中である。CO ₂ は EOR に使用されて貯蔵される。2020 年に建設開始を目指している (Lake Charles Methanol, 2020)。
	7	2025 (非常に高い)	高付加価値ケミカル: Yangchang Petroleum は、Yulin 石炭化学プラント (5 万トン-CO ₂ /年) にキャプチャープラントを建設し、現在、Jingbian の 2 番目のプラントに大規模ユニット (36 万トン-CO ₂ /年) を建設中。CO ₂ は EOR に使用して貯蔵 (Global CCS Institute, 2016)。
物理的吸収	8	実現 (非常に高い)	メタノール: 中国の新疆ウイグル自治区敦化プラント (10 万トン-CO ₂ /年) は 2016 年に試運転され、CO ₂ は EOR に使用されて貯蔵 (Asiachem, 2018)。

水素

技術	TRL	実現年 (ゼロエミッションへの重要性)	展開状況
様々な再エネ電源による電解水素供給	8	2025 (非常に高い)	アンモニア: 2 つの中規模の実証プロジェクトが計画されている (Arena, 2019; Yara, 2020) 。60~160 MW の電解槽を備えたオーストラリア (Arena, 2019 年。; Yara, 2020) 。チリ、ドイツ、モロッコ、英国、米国を含む他の国々では、様々なパイロットプロジェクトが、より大規模なプロジェクトの長期計画として開発中 (IEA, 2019)。
	7	2025 (高)	メタノール: いくつかのパイロットプラントがある。 アイスランドの George Olah パイロット (4,000 トン/年) は 2011 年に許可されたもので、小規模な実証規模にスケールアップする計画がある (CRI, 2020) 。2009 年以降の日本における三井化学 (100 トン/年) (Green Car Congress, 2009) 、2018 年以降のドイツでの Carbon2Chem プロジェクトでは、電解槽からの水素と鉄鋼プラントからの CO ₂ を使用している (Thyssenkrupp, 2020a) 。計画されている 2 つの実証プロジェクトは、2019 年にドイツ政府から資金提供を受けた (BMW i, 2020)。

直接電化

技術	TRL	実現年 (ゼロエミッションへの重要性)	展開状況
メタン熱分解によるメタノール生産	6	2030 (中)	•電気を使用してメタンを加熱することにより水素と固体炭素を生成するこのプロセスは、BASF が 2030 年までに工業規模のプラントを目指して、ドイツのパイロットプラントでテスト中 (BASF, 2019) 。メタノール生産のテストはかなり小規模であるが、水素生産のための化学部門以外でのメタン熱分解のテストでは、技術は TRL6 になる。
水蒸気分解の電化 (高付加価値ケミカル)	3	- (中)	•6 つの石油化学会社が共同で 2019 年に Cracker of the Future Consortium を立ち上げ、再生可能エネルギーを使用してナフサまたはガス蒸気クラッカーを稼働させることを検討した。最初のステップには、技術的なオプションのスクリーニングが含まれる (Borealis, 2019) 。 •VoltaChem もオプションも検討中 (VoltaChem, 2020)。

バイオエネルギー

技術	TRL	実現年 (ゼロエミッションへの重要性)	展開状況
バイオマスガス化	5	- (低)	アンモニア: バイオマスガス化によるアンモニア生産の技術経済的評価は完了したが、まだ経済的に実行可能ではないことを示唆している (Brown, 2017; Andersson and Lundgren, 2014) 。他の製品 (バイオメタン、エタノール、メタノールの生産など) では TRL が高くなるが、アンモニアにはまだ応用されていない。
	8	実現 (低)	メタノール: 最初の商業プラントは 2016 年にカナダで始まり、廃棄物からメタノールを取り出した (Enerkem, 2016 年) 。オランダの BioMCN 施設でも生産が行われている (OCI, 2020 年) 。スウェーデ

			ンでは、商業化前のバイオメタノールプロジェクトも検討されている（VärmlandsMetanol、2017年）。
エタノール脱水 エチレン	5-9	実現 (中)	•発酵によって生産されたエタノールを使用するいくつかの商業プラントが現在複数の国で稼働しており、最大のはブラジルの Braskem プラント（20 万トン /年）とインドの India Glycols プラント（17.5 万トン/年）の 2 カ所（ETSAP と IRENA、2013; Mohsenzadeh、Zamani and Taherzadeh、2017）。 •TRL の広がり、エタノール原料に対応。発酵経路用に 9 つ（第 1 世代）、リグノセルロース系バイオマスガス化用に 5 つ（第 2 世代）ある。エチレンの製造プロセスは技術的には似ているが、リグノセルロース原料にはまだリンクされていない。リグノセルロース原料は、それほど進歩しておらず、コストが高い。
リグニンベース の BTX 生産	6	2030 (中)	•オランダでの BioBTX テクノロジーのパイロット規模のテストが成功（BioBTX、2020）。 •ALIGN プロジェクトは、Flanders での LignoValue パイロット（200 kg /日）を含む、3 つのリグニン抽出プロセスをスケールアップするために 2018 年にベルギーとドイツの 8 つのパートナーによって開始された（Biorizon、2018; Vito、2018）。

原料の代替

技術	TRL	実現年 (ゼロエミ ッションへの 重要性)	展開状況
メタノールから BTX 生産	7	2030 (低)	•2013 年に 3 つのパイロットプラントが稼働し、主に中国でいくつかの商業規模の実証プロジェクトが開発されている（Nextant、2015 年）。
ナフサ触媒分解 (高付加価値ケミ カル)	9	実現 (低)	•最初の商業プラント（4 万トン/年）が韓国の KBR プラントで稼働中（Arne、2017 年）。

注：TRL = Technology Readiness Level

出所：IEA, Energy Technology Perspectives 2020

【日本における化学・石油化学産業の低炭素技術動向】

直近の日本における化学・石油化学産業の低炭素技術動向として、以下のような動きがある。

✓ CO₂ を原料とするパラキシレン製造

新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）は、既存の化石燃料由来化学品に代替することを目的とする化学品への CO₂ 利用技術の開発として、CO₂ を原料とするパラキシフェン製造に関する世界最先端の技術開発事業への取り組みを開始し、2020 年 7 月、富山大学、千代田化工建設、日鉄エンジニアリング、日本製鉄、ハイケムおよび三菱商事が共同研究者として採択された⁶⁰⁴。

パラキシレンは、高純度テレフタル酸（PTA）を経由してポリエステル繊維やペットボトル用樹脂等に加工される化合物で、工業上、極めて重要な基礎化学品である。その組成上、化学品を製造するカーボンリサイクル技術の中では水素原料の使用量を抑えながら CO₂ を固定化できる特長があり、経済的観点、環境的観点いずれの意味でも可能性が大きいテーマである。パラキシレンの世界需要は約 4,900 万トン/年あり、仮に現在の世界のパラキシレンの需要を全て CO₂ 原料に切り替えた場合の CO₂ 固定量は 1.6 億トン/年に上る。

⁶⁰⁴ https://www.mitsubishicorp.com/jp/ja/pr/archive/2020/files/0000045680_file1.pdf

本事業では、CO₂からパラキシレンを製造するための画期的な触媒の改良、量産技術の開発やプロセス開発 を実施するとともに、全体の経済性や CO₂削減効果を含めた事業性検討を行い、実証段階への道筋を作ることを目指す。

✓ 廃プラスチックの効率的なリサイクルに向けて

日本製鉄は 2019 年 12 月、廃プラスチックの効率的なリサイクルに向けて、「持続可能な開発目標(SDGs)」の実現に向けた提言を発表した⁶⁰⁵。

同社は製鉄所内に、異物除去、破碎機、減容成形機等からなる事前処理設備及びコークス炉への装入設備を設置し、コークス炉化学原料化法によるケミカルリサイクルを 2000 年より行なっている。

日本国内では年間約 900 万トンの廃プラスチックが排出されているが、そのうち発電等に熱回収（サーマルリサイクル）されているものが 57%、単純焼却やリサイクルが難しく廃棄物として処理されているものが 16%あり、再生利用にあたるリサイクルは、材料リサイクル 23%と、ケミカルリサイクル 4%のみである。

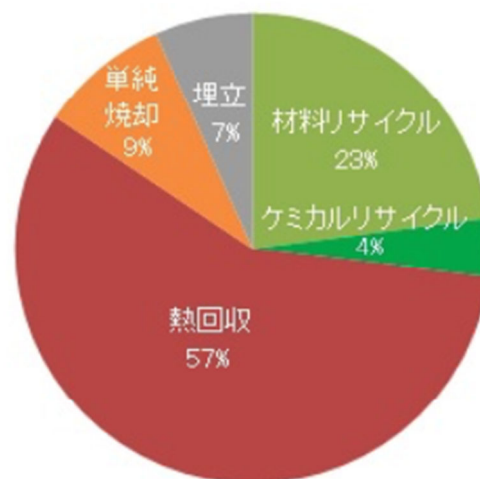


図 225 廃プラスチックのリサイクル内訳

出所：日本製鉄

下図に各リサイクル法における CO₂削減効果を示す。コークス炉によるケミカルリサイクル法は、リサイクルによる CO₂削減効果が大変高い。つまり、廃プラスチックをコークス炉法などのケミカルリサイクルに回すことにより、同じ量の廃プラスチックでより CO₂削減できることになる。

⁶⁰⁵ https://www.nipponsteel.com/news/20191218_100.html

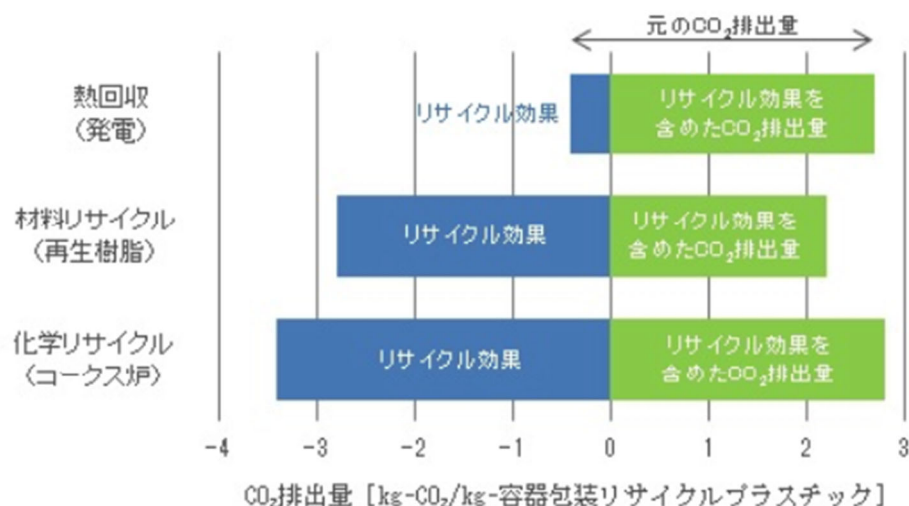


図 226 熱回収・リサイクル手法毎の環境負荷

出所：日本製鉄

(d) 食品産業

上記3業種に加えて、日本の農林水産省は、2021年5月に食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現する「みどりの食料システム戦略」を策定した。農林水産省が2050年までに目指す姿の中で、低炭素に関連するものとして以下が挙げられる。

- ✓ 農林水産業のCO₂ゼロエミッション化の実現
- ✓ 化学農薬の使用量を50%低減
- ✓ 輸入原料や化石燃料を原料とした化学肥料の使用量を30%低減

このように、みどりの食料システム戦略は化学農薬の消費量を削減することで、化学産業の低炭素化にも貢献する取り組みと言える。

背景には、日本の食料・農林水産業は、大規模自然災害・地球温暖化、生産者の減少等の生産基盤の脆弱化・地域コミュニティの衰退、COVID-19を契機とした生産・消費の変化などの政策課題に直面しており、将来にわたって食料の安定供給を図るためには、災害や温暖化に強く、生産者の減少やポストコロナも見据えた農林水産行政を推進していく必要があることである。このような中、健康な食生活や持続的な生産・消費の活発化やESG投資市場の拡大に加え、諸外国でも環境や健康に関する戦略を策定するなどの動きが見られる。今後、このようなSDGsや環境を重視する国内外の動きが加速していくと見込まれる中、日本の食料・農林水産業においてもこれらに的確に対応し、持続可能な食料システムを構築することが急務となっている。

みどりの食料システム戦略の取り組みの中で、低炭素に直接関連するものとして、以下の項目が挙げられる。

- ✓ 資材・エネルギー調達における脱輸入・脱炭素化・環境負荷低減の推進
 - 持続可能な資材やエネルギーの調達
 - ◇ 営農型太陽光発電、バイオマス・小水力発電等による地産地消型エネルギー

ーマネジメントシステムの構築

◇小水力発電、地産地消型バイオガス発電施設等の導入

◇バイオ液肥（バイオガス発電の副産物である消化液）の活用による地域資源循環の取り組みの推進

◇地産地消型エネルギーシステムの構築に向けた必要な規制の見直し

◇環境保全など持続性に配慮した生産工程の可視化およびそえに着目した企業等による調達の推進、など。

■ 地域・未利用資源の一層の活用に向けた取り組み

◇籾殻、雪冷熱、産業廃熱・CO₂等を利用したエネルギー利用システムの構築

◇再生可能エネルギーの利用拡大に向けた検討（地熱資源の一層の活用）

◇木質バイオマスの高品質化、ペレット化、など。

■ 資源のリユース・リサイクルに向けた体制構築・技術開発

◇食品残渣・廃棄物、汚泥、端材を肥料化・飼料化・燃料化するリサイクル技術の開発

◇非可食性バイオマス原料からの高機能バイオ製品の開発、など。

✓ イノベーション等による持続的生産体制の構築

■ 機械の電化・水素化等、資材のグリーン化

◇農林業機械・漁船の電化（小型・強靱・低価格な蓄電池等）・水素化等、省エネ漁船への転換

◇ハイブリッド型施設園芸設備やゼロエミッション型園芸施設の導入（高速加湿型ヒートポンプや高効率蓄熱・移送技術・放熱制御技術の開発）

◇耐久性に優れた生分解性生産資材（施設園芸、被覆肥料、サイレージ用のフィルム、漁具等）の開発・普及・省エネ・低消費電力のパワー半導体等の次世代技術の導入）

■ 地球に優しいスーパー品種等の開発・普及（温室効果ガスの排出削減）

◇高いCO₂固定性能を持つ植物・海藻の開発、など。

■ 農地・森林・海洋への炭素の長期・大量貯蔵

◇海藻等によるCO₂固定化（ブルーカーボン）の推進、など。

✓ ムリ・ムダのない持続可能な加工・流通システムの確立

■ 持続可能な輸入食料・輸入原材料への切り替えや環境活動の推進

◇国際的な動向を踏まえた環境配慮経営の推進によるESG投資等の引き込み

◇持続可能性の向上や環境保全に関するESG投資等の促進、など。

■ 長期保存、長期輸送に対応した包装資材の開発

◇防カビ効果を有するなど新たな機能性包装資材の開発、など。

■ 脱炭素化、健康・環境に配慮した食品産業の競争力強化

◇サプライチェーンの温室効果ガス排出量を算定して削減に取り組むなど持続可能性を高める企業行動の促進

◇プラスチック製品の環境配慮設計の促進による使用量の削減、リサイクル率向上とその他のプラスチック資源循環の取り組みの促進、など。

(ii) 現地調査対象国における技術・サービスの開発・社会実装の動向

(a) インド

下図に 2019 年のインド産業部門における主要業種別の CO₂ 排出シェアを示す。鉄鋼産業が過半数を占め、次いでセメントなどの非金属鉱物産業、化学・石油化学産業となり、この 3 業種でインド産業部門 CO₂ 排出量の 69%を占める。

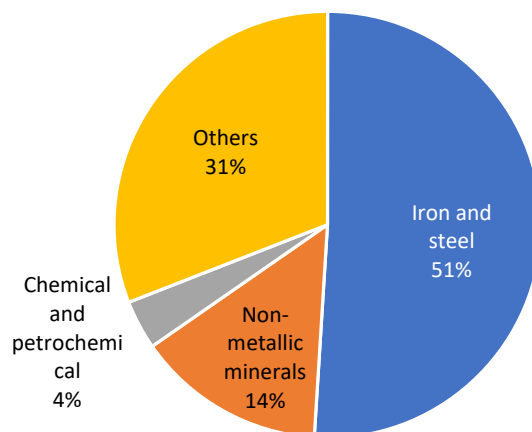


図 227 インドの産業部門業種別 CO₂ 排出シェア (2019 年)

出所：CO₂ Emission From Fuel Combustion 2021, IEA

【鉄鋼産業】

インド鉄鋼産業は 1991 年にライセンス不要となり、1992 年に政府管理から外れた。World Steel Association のデータによると、2020 年、インドの粗鋼生産量は中国に次いで世界第 2 位となり、また、インドは DRI (Sponge Iron) では 2003 年以降、世界最大の生産量を誇っている。

2017 年に策定された NATIONAL STEEL POLICY によると、鉄鋼省は鉄鋼部門の粗鋼 1 トン当たりの CO₂ 排出量を 2030 年までに、BF-BOF ルートで 2.2-2.4 トン-CO₂、DRI-EAF ルートで 2.6-2.7 トン-CO₂ という予想の INDC を提出した。

【セメント産業】

インドの 2018-19 年のセメント消費量は 337 百万トンであった。インド政府の Smart City Mission, Housing for All, Urban Transport Metro Rail Projects といった様々なプロジェクトにより、インドのセメント消費量は 2025 年に 550 百万トンに達すると予想されている。

2018 年のインドのセメント生産量 1 トン当たりの CO₂ 排出量は 576kg-CO₂ で、世界平均の 634kg-CO₂ と比較すると低い⁶⁰⁶。

⁶⁰⁶ Alliance for on Energy Efficient Economy, <https://aece.in/emission-reduction-approaches-for-the-cement-industry/#:~:text=The%20CO2%20emission%20intensity%20of,kgCO2%2Fton%20of%20cement%20produced.>

【化学産業】

インドの人口は 2021 年で 14 億人近くに達しており、食料を生産するために世界有数の化学肥料消費国になっている。インド政府は尿素生産コストの 70%以上の補助金を支給している⁶⁰⁷。

インドのアンモニア生産量 1 トン当たりのエネルギー消費量は 8Gal/ton-NH₃ であり、米国の 8.97、南米、中国、アジアの 9.57 と比較するとインドのアンモニア生産のエネルギー効率は高い⁶⁰⁸。

(b) インドネシア

下図に 2019 年のインドネシア産業部門における主要業種別の CO₂ 排出シェアを示す。セメントなどの非金属鉱物産業が 29%、鉄鋼産業が 21%、次いで、非鉄金属産業、化学・石油化学産業となる。

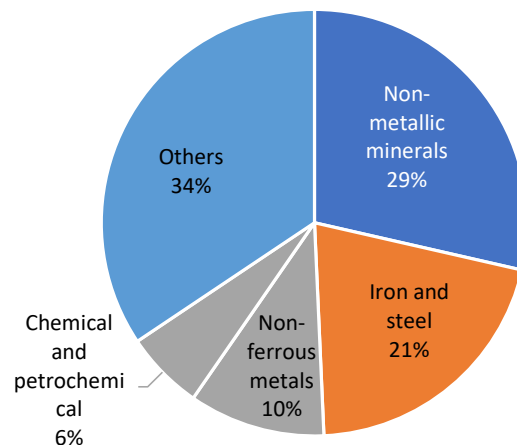


図 228 インドネシアの産業部門業種別 CO₂ 排出シェア (2019 年)

出所：CO₂ Emission From Fuel Combustion 2021, IEA

【鉄鋼産業】

インドネシアでは、国内鉄鋼業の競争力強化のための政策として、エネルギー料金が抑制されている。日本鉄鋼連盟は、ASEAN 鉄鋼業の省エネに資する取組として、技術カスタマイズドリフトを作成している。

インドネシア産業省は、鉄鋼の輸入を抑制するには、国内に年産能力 120 万トンの高炉が 5 基必要との見解を示した⁶⁰⁹。

【セメント産業】

JFE エンジニアリングがセメンインドネシア (PT Surveyor Indonesia, PTSI) の Tuban 工場にあ

⁶⁰⁷ The Fertiliser Association of India, <https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.faidelhi.org%2Fgeneral%2FAbout%2520Fertiliser.pptx&wdOrigin=BROWSELINK>

⁶⁰⁸ Center for Science and Environment, https://cdn.cseindia.org/attachments/0.88942600_1564389532_The-key-findings-and-Way-ahead.pdf

⁶⁰⁹ NNA ASIA, <https://www.nna.jp/news/show/2299266>

るセメント生産ラインに廃熱回収設備を設置し、回収した排熱を利用して蒸気を生成し、蒸気タービン発電機を通じて発電を行う事業が 2013 年に JCM に採択された⁶¹⁰。

【化学産業】

2021 年 3 月に、JOGMEC と三菱商事は、Bandung Institute of Technology、PT Panca Amara Utama と、Sulawesi 州でクリーン燃料アンモニア生産の為に CCUS に関する共同調査を実施することに合意した⁶¹¹。

(c) タイ

下図に 2019 年のタイ産業部門における主要業種別の CO₂ 排出シェアを示す。セメントなどの非金属鉱物産業が過半数を占める一方、インドなどと異なり鉄鋼のシェアは低い。

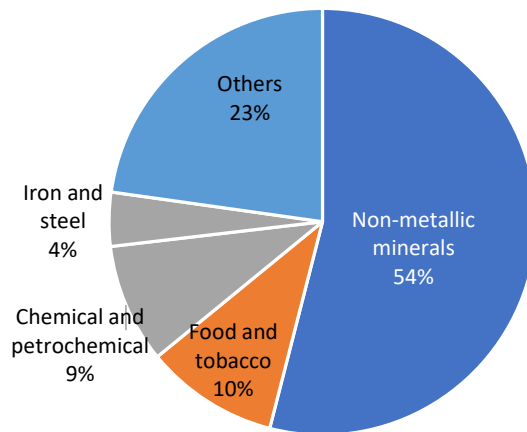


図 229 タイの産業部門業種別 CO₂ 排出シェア (2019 年)

出所：CO₂ Emission From Fuel Combustion 2021, IEA

【鉄鋼産業】

世界の鉄鋼業界では鉄スクラップを溶かし再生することで製造時の CO₂ 排出量を減らせる電炉への転換が進んでいる。2022 年 1 月に日本製鉄はタイの電炉大手 2 社を買収すると発表した。

【セメント産業】

日本の環境省は、タイ北部地域におけるセメント工場を核とした一般廃棄物及び産業廃棄物の 3R システムの構築の調査を行った。また、バンコク地域における建設副産物の再資源化によるコンクリート用再生骨材製造システム確立事業の調査を行った。

【化学産業】

2020 年のタイの化学肥料の輸出入をみると、輸出が US\$184 million に対し、輸入は US\$1.51 billion と大幅な輸入超過であった。

⁶¹⁰ JCM, https://jec.jp/jcm/jp/projects/p_archive/13ps_ina_02/

⁶¹¹ JOGMEC, https://www.jogmec.go.jp/news/release/news_15_000001_00062.html

(d) モロッコ

下図に 2019 年のモロッコ産業部門における主要業種別の CO₂ 排出シェアを示す。セメントなどの非金属鉱物産業が約 2/3 を占める。鉄鋼のシェアはゼロである。

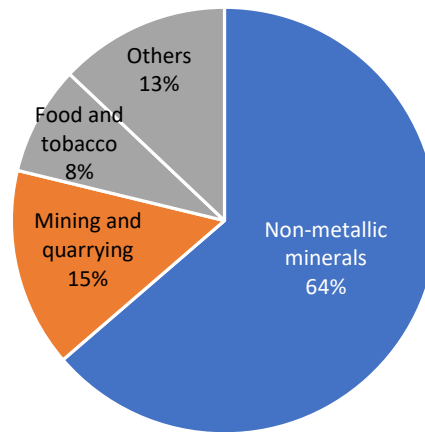


図 230 モロッコの産業部門業種別 CO₂ 排出シェア (2019 年)

出所：CO₂ Emission From Fuel Combustion 2021, IEA

【セメント産業】

モロッコのセメント産業では風力による再エネ電力を取り入れており、3 つのサイトでは自社で風力発電所を有し、風力発電の使用量が電力消費量の最大 85% に達している⁶¹²。また、省エネにも力を入れており、例えば LafargeHolcim は 1990 年以降、セメント生産量は 79% 増加した一方、エネルギー消費量は 18% 減少した⁶¹³。

【化学産業】

モロッコは化石燃料資源に乏しく、アンモニアは輸入に依存している。

(iii) 日本企業の優位性、強み

(e) 鉄鋼産業

日本の鉄鋼産業の業界団体である日本鉄鋼連盟は、2030 年以降を見据えた長期温暖化対策ビジョンを策定している。長期ビジョンでは最終的に CO₂ 排出ゼロの鉄鋼製造に向けた日本の鉄鋼業における道筋を描いており、高炉での極限までの低 CO₂ 排出を目指した Super COURSE50、さらには究極の CO₂ 排出ゼロ製鉄技術である水素還元製鉄へと進むものである。下図に日本鉄鋼連盟がゼロカーボン・スチール実現に向けて進めるべき技術開発の取り組み状況を示す。

⁶¹² <https://renewablesnow.com/news/moroccos-cement-industry-embraces-renewable-energy-561525/>

⁶¹³ <https://www.holcim.com/who-we-are/our-stories/wind-energy-tetouan-morocco>

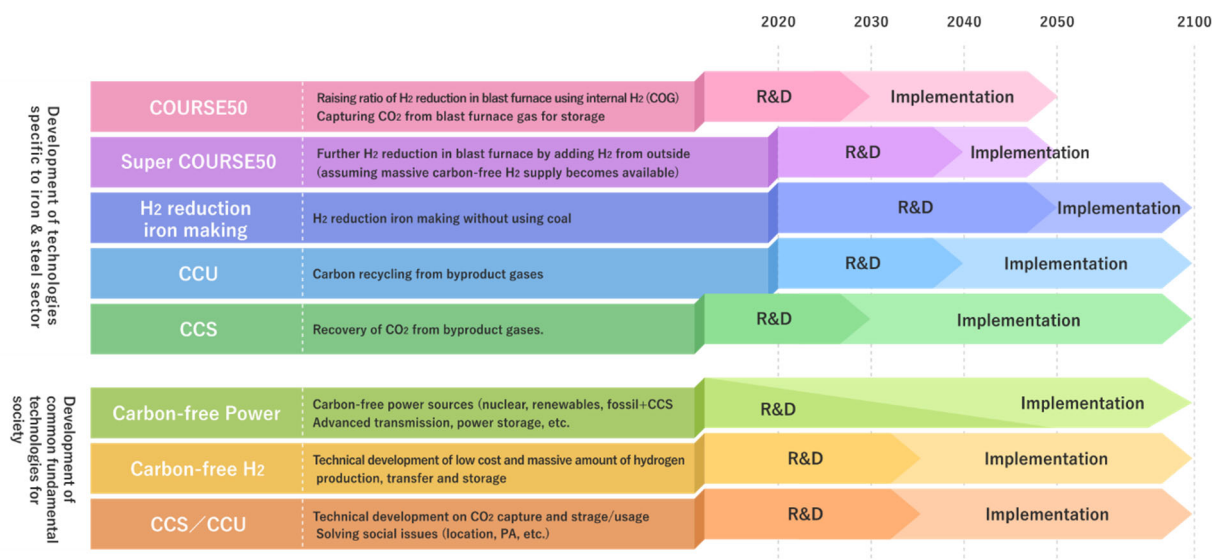


図 231 日本鉄鋼連盟のゼロカーボン・スチール実現に向けた取り組み

出所：日本鉄鋼連盟⁶¹⁴

ゼロカーボン・スチールに向けた技術は水素の活用やCCUSであるが、現状、技術開発はR&D段階であり、実用化されているものはない。したがって、水素を活用した低炭素技術の協力は2030年以降であり、現状の途上国の鉄鋼産業への低炭素協力は従来の省エネ、環境保全、リサイクルといった協力になるであろう。

日本鉄鋼連盟は対象国や地域の製鉄所にふさわしい高炉や電炉技術を掲載した技術カスタマイズドリフト（TCL）を公表していることが強みになるであろう。TCLは、i) 日本の鉄鋼専門家がふさわしい技術をリストアップ、ii) 製鉄所診断を実施、iii) 質問票を通じて各国鉄鋼業の技術について調査、iv) 対象国や地域と日本両国の専門家での議論、を経て作成されたものである。現在、インドとASEANが作成されている⁶¹⁵。

(f) 化学産業

途上国においては食料の自給、増産が課題である国があれば、一方で農産物や食料が重要な輸出品目になっている国がある。食料の生産にとって重要なものは化学肥料である。肥料には3要素（窒素、リン酸、カリウム）があり、3要素の中で中心になるのが窒素肥料である。化学肥料としての窒素肥料は、アンモニアを製造し、アンモニアから尿素を製造するのが一般的である。工業的にアンモニアは、化石燃料から水素を取り出し、空気中から取り出した窒素を反応させて大量生産される。

⁶¹⁴ <https://www.zero-carbon-steel.com/en/>

⁶¹⁵ <https://www.jisf.or.jp/en/activity/climate/Technologies/index.html>

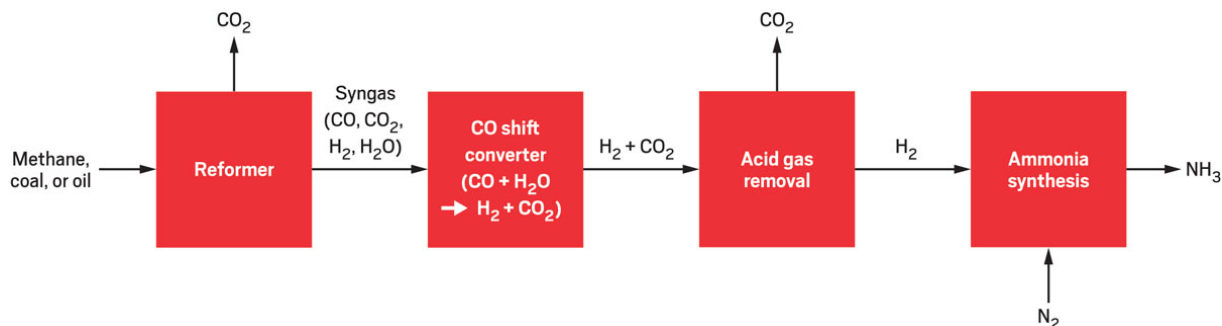


図 232 現在の一般的なアンモニア製造プロセス

出所：C&EN⁶¹⁶

国内に化石燃料資源がない国は、化石燃料を輸入してアンモニアを製造するか、アンモニアを輸入するしかない。しかし、将来、グリーン水素を安価に製造できるようになれば、化石燃料の資源に恵まれていない国でも国内で水素の供給が可能となり、国内でアンモニアの製造も可能となる。したがって、国内に水素の製造、貯蔵、輸送インフラの構築を行う必要がある。

日本では既に工業用途として水素の製造、貯蔵、輸送、販売が行われており、また、再エネ電源から水素を製造する実証事業が行われており、これらの技術が強みとなるであろう。

(4) 建物

(i) 世界における技術・サービスの開発・社会実装の動向

IEA によると、建物は直接、間接を含めて、世界の最終エネルギー消費量の 30% (3,100 Mtoe)を占めている。これには世界の電力消費量の 55%が含まれる。また、建物の建設段階と使用段階の両方を含めると、建物は世界の CO₂ 排出量の約 37%を占めている。2019 年には、空調、給湯、調理などで使用する化石燃料の燃焼により、世界で約 3 Gt の CO₂ が排出された。さらに、建物で使用する膨大な数の電気電子機器（エアコン、ヒートポンプ、家電製品、照明など）による電気と熱の消費による間接排出量を加えると、CO₂ 排出量は 9.8Gt に達する。また、建物の主な建築材料であるセメントと鉄鋼を製造する際、産業部門のエネルギー消費とプロセスでさらに 3.5Gt の CO₂ が排出される⁶¹⁷。

本章では、建物からの排出ゼロを目指す「ZEB・ZEH」、建物の低炭素化に向けた主要技術であり日本が強みを持つ「ヒートポンプ」「空調機器」、そして「建物のライフサイクル」全体での排出低減に関する動向を整理する。

(a) ZEB・ZEH

IEA が 2021 年 5 月に公表した「Net Zero by 2050」⁶¹⁸では、2050 年ネットゼロシナリオに

⁶¹⁶ <https://cen.acs.org/environment/green-chemistry/Industrial-ammonia-production-emits-CO2/97/i24>

⁶¹⁷ IEA, Energy Technology Perspectives 2020, https://iea.blob.core.windows.net/assets/7f8aed40-89af-4348-be19-c8a67df0b9ea/Energy_Technology_Perspectives_2020_PDF.pdf

⁶¹⁸ IEA が 2050 年までに世界全体で排出量をゼロにするための包括的なエネルギー部門の道筋、取り組むべき施策を整理した報告書（2021 年 5 月 18 日公表）

においては、すべての国が遅くとも 2030 年までにゼロカーボン対応の建築エネルギー基準を確立し、すべての新築建物は 2030 年からこの基準を満たす必要があるとしている。また、既存建物の 20%を同様のレベルに改修する必要があることも指摘している。このためには、2020 年現在、年間約 1%の平均改修率を 2030 年までに少なくとも 2.5%に引き上げる必要がある。

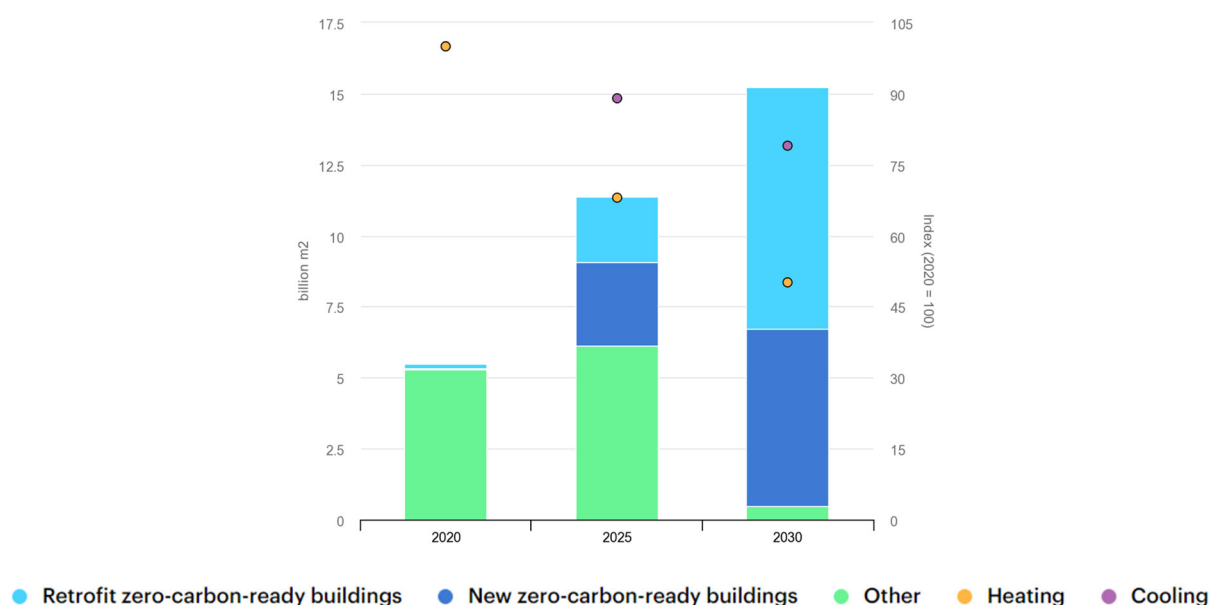


図 233 世界の新築建物の床面積（左軸）とエネルギー利用の効率化（右軸）の推移 2020～2030 年（Net Zero Scenario）

出所：IEA⁶¹⁹

下図のとおり、2020 年現在、建物における最終エネルギー消費は、最終用途では、暖房需要が最も大きく、給湯や調理の需要が続く。また燃料で見ると、半数弱を化石燃料が占めている。しかし、IEA の 2050 年ネットゼロシナリオにおいては、2050 年には、特に暖房需要は効率化や人々の行動変化（適切な温度設定等）によって減少し、燃料で見ると化石燃料は数%しか残らず、電力や再生可能エネルギーに置き換わる必要がある。

⁶¹⁹ IEA, Building Envelopes, <https://www.iea.org/reports/building-envelopes>

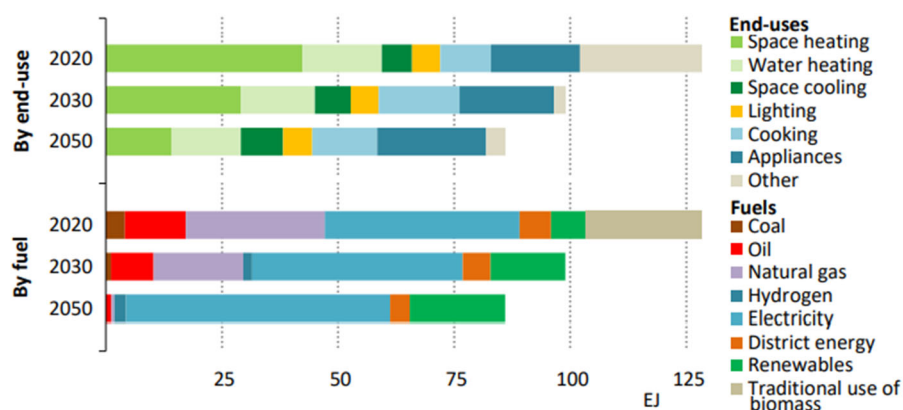


図 234 世界の建物における最終エネルギー消費（最終用途/燃料別）（Net Zero Scenario）

出所： IEA, Net Zero by 2050（P143）

加えて、2050 年までには、建物の 85%以上が Zero Carbon Ready Building Energy Codes に準拠する必要があるとしている。そのためには、現時点で建物の最終需要で最大の割合を占める暖房需要および今後、新興国・途上国において急増が見込まれる冷房需要の低減は必要不可欠であり、暖房需要の低減における主要技術がヒートポンプである（（b）ヒートポンプにて詳細）。

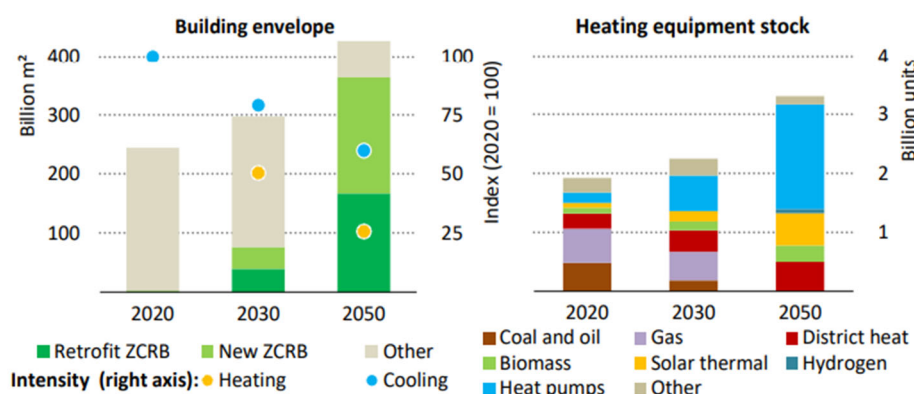


図 235 世界の住宅と暖房機器のストックおよび冷暖房の需要強度の変化（Net Zero Scenario）

注 1：ZCRB（Zero Carbon Ready Building）とは、エネルギー効率が高く、再エネを直接的または 2050 年までには脱炭素化されるエネルギー供給源（電力・地域熱供給等）から間接的に使用している建物（建物や設備の更新なしに、2050 年には Zero Carbon Building となる建物）

注 2：Heating equipment の Other とは、抵抗ヒーター、ハイブリッドおよびガスヒートポンプが含まれる。

出所：IEA, Net Zero by 2050（P145）を調査団にて一部加筆修正

【ZEB・ZEH を実現するための技術】

一般的に言われる ZEB・ZEH とは、大まかに言えば「消費する年間の一次エネルギーの収支を省エネルギーの推進や再生可能エネルギーの導入によってゼロにすることを目指した住宅・建物」のことである。

ZEB・ZEH を実現するための技術は、大きく「エネルギーを減らすための技術（省エネ技術）」と「エネルギーを作るための技術（創エネ技術）」に分けられる。さらに省エネ技術は、「建物内の環境を適切に維持するために必要なエネルギー量を減らすための技術（パッシブ技術）」と「エネルギーを効率的に利用するための技術（アクティブ技術）」に分けることができます。また、

建物の運用段階では、どこにエネルギーの無駄が発生しているか、どのように効率的に設備を運用するかなど、エネルギーをマネジメントする技術も重要になる。

【ZEB・ZEHの定義】

ZEB・ZEHの詳細な定義は国によって異なる。まず、日本において、ZEBとは「先進的な建築設計によるエネルギー負荷の抑制やパッシブ技術の採用による自然エネルギーの積極的な活用、高効率な設備システムの導入等により、室内環境の質を維持しつつ大幅な省エネルギー化を実現した上で、再生可能エネルギーを導入することにより、エネルギー自立度を極力高め、年間の一次エネルギー消費量の収支をゼロとすることを目指した建築物」と定められており、4段階のZEBが定性的及び定量的に定義されている。

表 136 日本におけるZEBの定義と評価基準

			非住宅 ^{※1} 建築物				
			①建築物全体評価			②建築物の部分評価 (複数用途 ^{※2} 建築物の一部用途に対する評価) ^{※3}	
			評価対象における基準値からの 一次エネルギー消費量 ^{※4} 削減率		その他の要件	評価対象における基準値からの 一次エネルギー消費量 ^{※4} 削減率	
			省エネのみ	創エネ ^{※5} 含む		省エネのみ	創エネ ^{※5} 含む
【ZEB】			50%以上	100%以上	—	50%以上	100%以上
Nearly ZEB			50%以上	75%以上		50%以上	75%以上
ZEB Ready			50%以上	75%未満		50%以上	75%未満
ZEB Oriented	建物用途	事務所等、学校等、工場等	40%以上	—	・ 建築物全体の延べ面積 ^{※1} が10,000㎡以上であること ・ 未評価技術 ^{※6} を導入すること ・ 複数用途建築物は、建物用途毎に左記の一次エネルギー消費量削減率を達成すること	40%以上	—
		ホテル等、病院等、百貨店等、飲食店等、集会所等	30%以上	—		30%以上	—

※1 建築物省エネ法上の定義（非住宅部分：政令第3条に定める住宅部分以外の部分）に準拠する。

※2 建築物省エネ法上の用途分類（事務所等、ホテル等、病院等、百貨店等、学校等、飲食店等、集会所等、工場等）に準拠する。

※3 建築物全体の延べ面積が10,000㎡以上であることを要件とする。

※4 一次エネルギー消費量の対象は、平成28年省エネルギー基準で定められる空調調設備、空調調設備以外の機械換気設備、照明設備、給湯設備及び昇降機とする（「その他一次エネルギー消費量」は除く）。また、計算方法は最新の省エネルギー基準に準拠した計算方法又はこれと同等の方法に従うこととする。

※5 再生可能エネルギーの対象は敷地内（オンサイト）に限定し、自家消費分に加え、売電分も対象に含める。（但し、余剰売電分に限る。）

※6 未評価技術は公益社団法人空調調・衛生工学会において省エネルギー効果が高いと見込まれ、公表されたものを対象とする。

出所：METI「平成30年度ZEBロードマップフォローアップ委員会とりまとめ」⁶²⁰

次に、日本において、ZEHとは「外皮の断熱性能等を大幅に向上させるとともに、高効率な設備システムの導入により、室内環境の質を維持しつつ大幅な省エネルギーを実現した上で、再生可能エネルギー等を導入することにより、年間の一次エネルギー消費量の収支を正味でゼロとすることを目指した住宅」と定められており、大きくは3段階のZEHが定性的及び定量的に定義されている。なお、以下に示すのは戸建住宅におけるZEHの定義と評価基準であり、集合住宅については異なる指標が設けられている。

⁶²⁰METI、「平成30年度ZEBロードマップフォローアップ委員会とりまとめ」（平成31年3月）、
https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/enterprise/support/pdf/1903_followup_summary.pdf

表 137 日本における戸建住宅の ZEH の定義と評価基準

分類・通称	要 件						目指すべき水準 (気象条件や建築地特有の制約等に応じて、 特定の地域に目指すべき水準を設定している。)
	外皮基準 (U _a 値)			一次エネルギー消費量 削減率		その他要件・備考	
	地域区分			省エネのみ ^{※4}			
	1・2	3	4～7	省エネのみ ^{※4}	再エネ等含む		
『ZEH』 ゼッチ	≤0.40	≤0.50	≤0.60	≥20%	≥100%	再生可能エネルギーを導入（容量 不問。全量売電を除く。）すること。	—
	『ZEH+』	”	”	≥25%	”	上記に加え、※5のうち2項目以 上を満たす。	—
Nearly ZEH ニアリー・ゼッチ	”	”	”	≥20%	≥75% <100%	再生可能エネルギーを導入（容量 不問。全量売電を除く。）すること。	・寒冷地（地域区分1または2地域） ・低日射地域（日射区分A1またはA2地域） ・多雪地域
	Nearly ZEH+	”	”	≥25%	”	上記に加え、※5のうち2項目以 上を満たす。	—
ZEH Oriented ゼッチ・オリエンテッド	”	”	”	≥20%	—	下表の対象地域に該当する。 再生可能エネルギー未導入も可。	下表の対象地域が該当する。
ZEH Oriented 対象地域 (右記のいずれかの地域に該当する。)							
・都市部狭小地（北側斜線制限の対象となる用途地域等（第一種及び第二種低層住居専用地域、第一種及び第二種中高層住居専用 地域並びに地方自治体の条例において北側斜線規制が定められている地域）であって、敷地面積が85 m²未満である土地。ただし、 住宅が平屋建ての場合は除く。） ・多雪地域（建築基準法で規定する垂直積雪量が100cm以上に該当する地域）							

- ※1 強化外皮基準は、1～8地域の平成28年省エネルギー基準（ η_{a0} 値、気密・防露性能の確保等の留意事項）を満たした上で、
U_a値1・2地域：0.4W/㎡K以下、3地域：0.5W/㎡K以下、4～7地域：0.6W/㎡K以下とする。
- ※2 再生可能エネルギーの対象は敷地内（オンサイト）に限定し、自家消費分に加え、売電分も対象に含める。（ただし余剰売電分に限る。）
- ※3 一次エネルギー消費量の計算は、住戸部分は住宅計算法（暖冷房、換気、給湯、照明（その他の一次エネルギー消費量は除く）、
共用部は非住宅計算法（暖冷房、換気、給湯、照明、昇降機（その他の一次エネルギー消費量は除く））とする。
- ※4 「太陽光発電設備による発電量」、「コージェネレーション設備の発電量のうち売電分」を除く。
- ※5 ZEH+の追加要件は、次の3要素のうち2以上。
- ①外皮性能の更なる強化：U_a値 [W/㎡K] が地域区分ごとに次の値以下であること。（4・5地域においては、2020年度まで、0.50以下でも可とする）
- | 地域区分 | 1・2 | 3～5 | 6・7 |
|-------------------------|------|------|------|
| U _a 値 [W/㎡K] | 0.30 | 0.40 | 0.50 |
- ②高度エネルギーマネジメント：HEMSにより、太陽光発電設備等の発電量を把握した上で、住宅内の暖冷房、給湯設備等を制御可能であること。
- ③電気自動車を活用した自家消費の拡大措置：太陽光発電設備により発電した電力を電気自動車等に充電、
または電気自動車と住宅間で電力を充放電することを可能とする設備を設置し、車庫等において使用可能としていること。

出所：METI「令和元年度 ZEH ロードマップフォローアップ委員会とりまとめ」⁶²¹

次に、海外における ZEB・ZEH の定義は以下のとおりである。

⁶²¹ METI、「令和元年度 ZEH ロードマップフォローアップ委員会とりまとめ」（令和2年4月）、
https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/general/pdf/roadmap-fu_report2020.pdf

表 138 海外における ZEB の定義

	DOE (Department of Energy)	NREL (National Renewable Energy Laboratory)	REHVA (Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations)	Netherlands
公表時期	2015年	2006年／2010年	2013年	2014年
対象とする段階	運用時の評価(実績値)	設計時の評価(想定値) 運用時の評価(実績値)	設計時の評価(想定値)	設計時の評価(想定値)
エネルギー消費の対象範囲	・暖冷房、換気、給湯、照明、コンセント等の消費電力、建築物内で変換・融通されるエネルギー	・暖冷房、換気、給湯、照明、コンセント等の消費電力、建築物内で変換・融通されるエネルギー	・暖冷房、換気、給湯、照明(コンセント等は除外)	・暖冷房、給湯、換気、照明(コンセント等は除外)
再生可能エネルギー(RE)の対象範囲	・原則はオンサイト(敷地内)が対象であるが、狭小地域の状況等も加味し、オフサイト(敷地外)も対象に含めることが可能	・オンサイト(敷地内)までの場合とオフサイト(敷地外)の措置を含む場合とで定義を区分	・オンサイト(敷地内)のみ	・オンサイト(敷地内)のみ
その他	ZEBの評価基準 ① ZEB:年間一次エネルギー消費量がオンサイト(敷地内)の再生可能エネルギーで相殺される建築物 ※なお、一部の建築事業者からは、完全なZero Energy Buildingだけでなく、Zero Energy Ready (ZER) Buildingを求める声があり、今後定義が追加される可能性がある旨について、DOEの発表資料(2015年9月)に記載されている。	① ZEB:年間一次エネルギー消費量が再生可能エネルギーで相殺される建築物 ② Near ZEB:ZEB達成のために建てられたが、天候、運用状況等の理由で、年間一次エネルギー消費量が再生可能エネルギーで相殺されなかった建築物	① PEB:非再生可能エネルギーの正味利用が0kWh/m ² 年未満となる建築物 ② ZEB:非再生可能エネルギーの利用が0kWh/m ² 年であり、非再生可能エネルギーの導入が一切不要な送電網から切り離された建築物 ③ nZEB:非再生可能エネルギーの正味利用が0kWh/m ² 年となる建築物 ④ nnZEB:年間の非再生可能エネルギーの正味利用が0kWh/m ² 年超であるが、その値が各国の制限値を超えない建築物	① 躯体や設備性能により定められる建築物の省エネ性能EPC (Energy Performance Coefficient) が0に限りなく近い建築物
	用途等の区分 Building, Campus, Portfolio, Community	Building	Building	Residential Buildings, Offices, Health clinical, Health non-clinical, Educational, Retail, Sports

出所) 各種資料に基づき事務局作成(平成27年11月時点)

出所: 環境省「ZEB ロードマップ検討委員会 とりまとめ」⁶²²

表 139 海外における ZEH の定義

	DOE (Department of Energy)	HM Government (Her Majesty Government)	REHVA (Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations)
公表時期	2008年	2007年	2013年
対象とする段階	運用時の評価(実績値)	設計時の評価(想定値)	設計時の評価(想定値)
エネルギー消費の対象範囲	・暖冷房、換気、給湯、照明、家電・厨房	・暖冷房、換気、給湯、照明(家電・厨房は除外)	・暖冷房、換気、給湯、照明(家電・厨房は除外)
再生可能エネルギーの対象範囲	・オンサイト(敷地内)のみ	・オンサイト(敷地内)＋オフサイト(敷地外)	・オンサイト(敷地内)のみ
ZEHの評価基準	① ZEH(Zero Energy Home): 年間のエネルギー消費量がネット(正味)でゼロになる住宅 ② ZERH(Zero Energy Ready Home): 将来的に設備の技術革新等が図られた際にZEHを実現するために、最低限必須となる躯体や設備の要件を満たした住宅	① Zero Carbon Home: 年間の二酸化炭素排出量がネット(正味)でゼロになる住宅	① PEB(Positive Energy Building): 非再生可能エネルギーの正味利用が0kWh/m ² 年未満となる建築物 ② nZEB(Net Zero Energy Building): 非再生可能エネルギーの正味利用が0kWh/m ² 年となる建築物 ③ nnZEB(Nearly Net Zero Energy Building): 年間の非再生可能エネルギーの正味利用が0kWh/m ² 年超であるが、その数値が各国の制限値を超えない建築物 ※「住宅」は「建築物」と同じ枠組み

出所) 各種資料に基づき事務局作成(平成27年11月時点)

出所: METI「ZEH ロードマップ検討委員会 とりまとめ(案)」⁶²³

⁶²² 環境省、「ZEB ロードマップ検討委員会 とりまとめ」(平成27年12月)、
<https://www.env.go.jp/earth/earth/ondanka/zeb/03.pdf>

⁶²³ METI、「ZEH ロードマップ検討委員会 とりまとめ(案)」(平成27年11月)、
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene/shinene/sho_energy/pdf/016_01_02.pdf

【関連技術の動向】

2017年3月に ICEF が発行した「ZEB/ZEH ROADMAP⁶²⁴」では、各地域の気候（温度と湿度）に焦点を当て、Moderate & humid Region（暖房、冷房、除湿が必要な地域）、Cold Region（高い暖房需要がある地域）、Hot Region（高い冷房および除湿需要がある地域）の3つの地域別に、技術導入のタイムスケジュールを作成している。技術は Passive technology、Active technology、Renewable energy、Energy management の4つの技術カテゴリーに分類されている。以下には、多くの国が属する Moderate & humid Region のロードマップを示す。

⁶²⁴ ICEF, “ZEB/ZEH ROADMAP -TECHNOLOGY AND INSTITUTION-”, https://www.icef-forum.org/pdf/2018/roadmap/ZEBZEH_Roadmap_ICEF2016.pdf

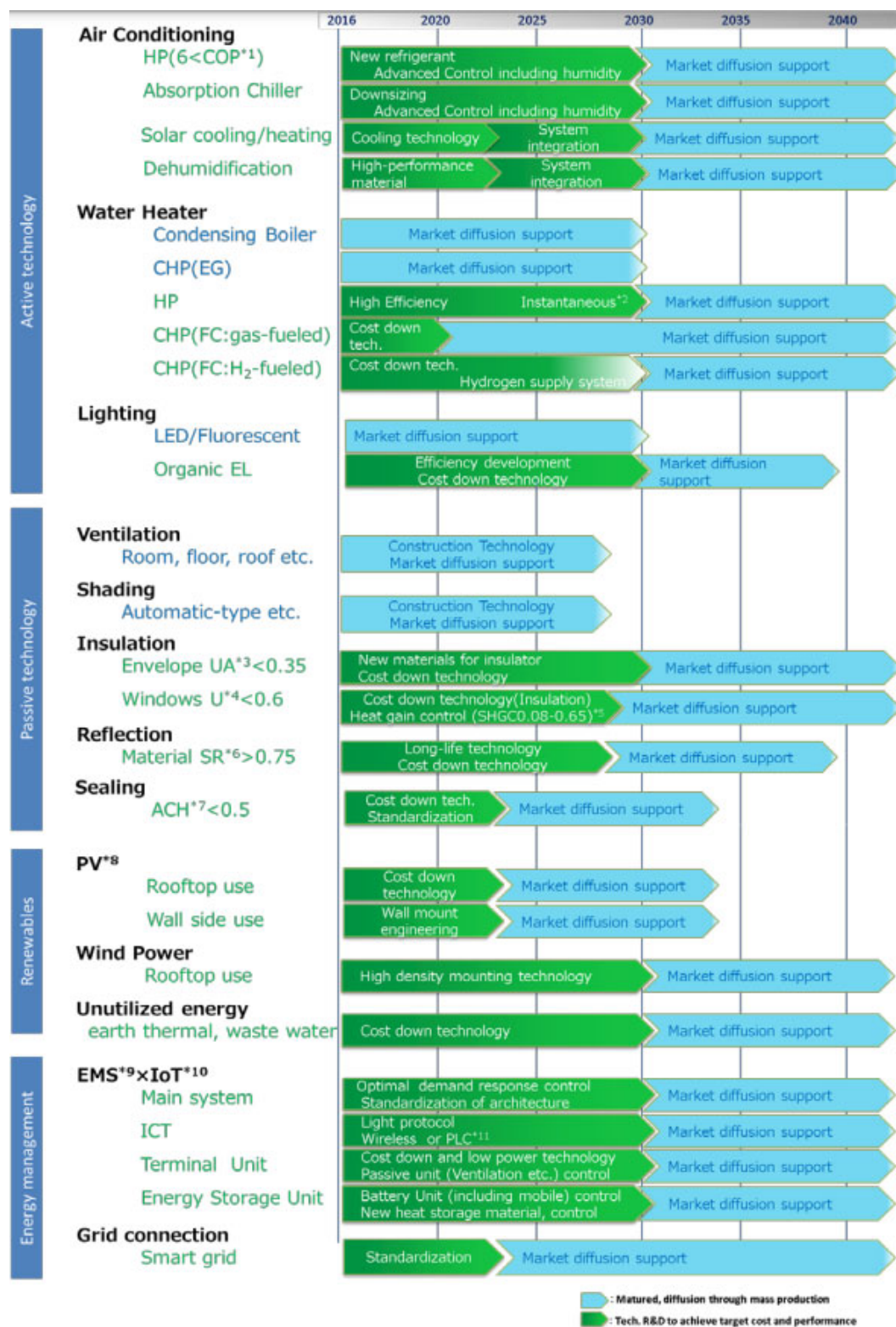


図 236 ICEF による ZEB / ZEH 技術ロードマップ（中程度および湿度の高い地域向け）

出所：ICEF「ZEB/ZEH ROADMAP - TECHNOLOGY AND INSTITUTION -」⁶²⁵

【Passive technology】

⁶²⁵ ICEF、「ZEB/ZEH ROADMAP - TECHNOLOGY AND INSTITUTION -」(2017 年 3 月)、https://www.icef-forum.org/pdf/2018/roadmap/ZEBZEH_Roadmap_ICEF2016.pdf

Passive technology としては、断熱（外皮、窓、内装）、遮熱（遮光）、換気、気密性に関する技術が挙げられる。

特に重要な要素である「断熱」について、現在一般的に使用される外皮の断熱材には、大きく分けて繊維系と発泡系の2つがあり、いずれも熱を伝えにくいという気体の特性を利用している。近年、更なる断熱性の向上を目的に、断熱材の周囲を真空状態にし、気体による熱伝導を限りなくゼロに近づけることにより断熱性能を高める「真空断熱材」や、非常に低密度の固体で高い断熱性を持つ「シリカエアロゲル」の活用が進められている。しかしながら、加工の難しさ、耐久性、コスト面などの課題から、普及拡大には至っていない⁶²⁶。日本においても、住宅やビルにおける大幅な省エネおよびCO₂削減効果をもたらす新断熱材料の開発研究が進められている。

また、窓の断熱性に関しては、ガラスと窓枠、両方の性能が重要になる。近年の技術開発により、断熱性の高い樹脂製の窓枠と3層ガラスを使った製品が実用化されているものの、普及拡大に向けてはコスト面が課題となっている⁶²⁷。

【Active technology】

Active technology としては、主に空調、給湯、照明に関する技術が挙げられる。空調については、ボイラ、吸収冷温水機、ヒートポンプ、コジェネレーション、除湿器、加湿器、太陽システム、外気冷却などの技術が使われ、特に、ボイラ、ヒートポンプ、コジェネレーションについては「給湯」にも共通する重要な技術である。

ボイラは燃料を燃やして液体に熱を加え、熱源やエネルギー源となる高い圧力の温水や蒸気をつくって他に供給する機器である。一般的なボイラの熱効率は70%程度であるが、近年開発が進んだ潜熱回収型温水ボイラは、従来の温水ボイラでは捨てていた廃ガス中の水蒸気の潜熱まで利用することで熱効率を90%強まで上昇させることが可能となっている⁶²⁸。

ヒートポンプは大気中などの熱を集めて移動させる機器である。電力は熱を運ぶ動力として使うため、小さな電力で大きな熱を利用することができ、省エネにつながる。ヒートポンプは-100℃から100℃程度の温度帯で利用可能であり、産業・業務・家庭といった部門を横断して活用されている⁶²⁹。また、空気からだけでなく、地中熱・水熱・排熱なども利用することができるため、省エネ技術としてだけでなく、未利用エネルギーの活用という側面からも関心が高まっている。世界的に見ると、現在は冷房需要（エアコン等）への活用が比較的多く、熱需要における更なる活用が課題。また、技術面では、建物の種類、消費者の需要パターンおよび気候条件の多様性により、様々な動作環境に適応するための強化が求められる⁶³⁰。

コジェネレーションは熱源より電力と熱を生産し供給するシステムの総称であり、日本国内で

⁶²⁶ ICEF、「ZEB/ZEH ROADMAP - TECHNOLOGY AND INSTITUTION -」（2017年3月）、https://www.icef-forum.org/pdf/2018/roadmap/ZEBZEH_Roadmap_ICEF2016.pdf

⁶²⁷ ICEF、「ZEB/ZEH ROADMAP - TECHNOLOGY AND INSTITUTION -」（2017年3月）、https://www.icef-forum.org/pdf/2018/roadmap/ZEBZEH_Roadmap_ICEF2016.pdf

⁶²⁸ ICEF、「ZEB/ZEH ROADMAP - TECHNOLOGY AND INSTITUTION -」（2017年3月）、https://www.icef-forum.org/pdf/2018/roadmap/ZEBZEH_Roadmap_ICEF2016.pdf

⁶²⁹ 一般財団法人ヒートポンプ・蓄熱センター、<https://www.hptej.or.jp/study/tabid/103/Default.aspx>

⁶³⁰ HPT TCP、Annual Report 2020、<https://heatpumpingtechnologies.org/annual-report-2020-is-here/>

は「コージェネ」あるいは「熱電併給」、海外では Combined Heat & Power (CHP) と呼ばれる。内燃機関や燃料電池で発電を行ってその際に発生する熱を活用する方法、蒸気ボイラと蒸気タービンで発電を行って蒸気の一部を熱として活用する方法がある。ガスタービンは燃焼温度を上昇させると効率が向上するため、ブレード用耐熱材料や冷却技術の向上により効率向上が図られており、高湿分空気利用ガスタービンや超臨界 CO₂ タービン等の新しいサイクルが開発中となっている。燃料電池については家庭用コージェネとしてはすでに商品化されており、高分子電解質型燃料電池 (PEFC) の発電効率が約 40%、固形酸化物型燃料電池 (SOFC) は約 52% と同じ出力クラスの高スピンエンジンよりはるかに高い水準となっている。現在では、SOFC とガスタービンを組み合わせた複合発電システムが開発中である。

【再生可能エネルギー／エネルギーマネジメント】⁶³¹

再生可能エネルギーの活用やエネルギーマネジメント (EMS) も ZEB・ZEH の重要な要素である。再生可能エネルギーとしては、太陽光、風力、再生可能エネルギー熱などの利用が考えられるが、世界的に最も普及が進んでいるのは太陽光発電である。今後は更なるコスト低減および性能向上に加え、建物への設置の観点では、耐荷重が小さい住宅・建築物の屋根や、住宅・建築物の壁面や窓等へ太陽光パネルの搭載を可能とする薄型軽量の次世代太陽電池の開発が進められている。一方、再生可能エネルギー熱の活用はあまり進んでいない。再生可能エネルギー熱には、太陽熱、地中熱、雪氷熱、温泉熱、海水熱、河川熱、下水熱等、様々な種類があるが、世界的に多く活用されているのは、太陽熱、地中熱である。導入にあたっては、価格競争力の不足（高額なイニシャルコスト）、発電技術との競合、認知不足などの課題がある。太陽熱温水器の導入が大きいのは中国（世界全体の 75% 程度）であり、トルコやインドでも導入が進んでいる。また、欧州では、後述の地域冷暖房において、再生可能エネルギー熱利用を促進する取り組みが行われている。

EMS は、建物内の単一機器だけでなく、太陽光発電、EV、系統連系なども含むシステム全体のデータを取得・蓄積し、統合化・最適化するエネルギーマネジメント技術であり、管理対象により住宅向けの HEMS、ビル向けの BEMS、工場向けの FEMS、地域全体向けの CEMS と呼ばれる。HEMS に関しては、世界的にインターフェースの標準化が進められており、国際標準としてデジュールの地位を獲得しているのは、欧州の KNX (KONNEX)、米国の SEP2.0 (Smart Energy Profile2.0)、日本の ECHONET Lite であり、SEP2.0 と ECHONET Lite の間では連携が進んでいる。BEMS については、米国のアメリカ暖房冷凍空調学会 (ASHRAE) によって開発された「BACnet」が、国際規格 ISO16484-5 として登録されており、国際的に広く普及している。今後の更なる普及拡大に向けて、各規格の融合、連携の動向が注目される。

日本の「省エネルギー技術戦略 2016」によれば、今後は、単なる見える化にとどまらず、IoT・AI を活用した EMS 高度化によりグループ・コミュニティ・地域・都市単位のエネルギー使用を評価・自動最適化する取組、居住者等へエネルギー消費データを還元し、ナッジ等を活用することで需要家の省エネルギー行動を更に促進する取組も求められる。また、EMS による省エネ推進

⁶³¹ ICEF、「ZEB/ZEH ROADMAP - TECHNOLOGY AND INSTITUTION -」(2017 年 3 月)、https://www.icef-forum.org/pdf/2018/roadmap/ZEBZEH_Roadmap_ICEF2016.pdf

のためには、エネルギー使用実態に関するデータの更なる活用が重要であり、各種データが低コストかつオープンに取得・利用できる基盤の整備が必要である⁶³²。

日本においては、2019年7月、METI および NEDO が「省エネルギー技術戦略 2016」の「重要技術」を改定し、ZEB/ZEH・LCCM 住宅分野における需要技術を以下のように示している⁶³³。

表 140 「省エネルギー技術戦略 2016」重要技術（ZEB/ZEH・LCCM 住宅分野）

ハードウェア(技術開発)	ソフトウェア (技術の利用、システム)
高性能ファサード技術	
●外皮技術 高断熱・高遮熱（遮光）・高気密建材 ●自然エネルギー利用技術 自然採光・採熱、自然通風、蒸発冷却 ●外皮性能可変技術 ダイナミックインシュレーション、可動ルーバー、性能可変ガラス ●省エネ改修技術 ダブルスキン化、高気密施工技術	●設計・施工・評価技術 BIM、シミュレーション、VR、評価指標整備 ●制御・運用最適化技術 気象情報、室利用情報と連携したブラインドや換気口、ルーバー等の最適連携制御、空調や照明システムとの連携制御
高効率空調技術	
●高効率熱源機 高効率空調用ヒートポンプ、高効率吸収式冷温水機、待機時消費電力削減技術 ●高効率熱媒搬送 高効率ポンプ、高効率送風機等 ●高効率外気処理ユニット デシカント（除湿・加湿）空調 ●高効率空調ユニット 潜熱顕熱分離空調（放射空調等）、ハイブリッド空調（自然換気併用空調等）、タスクアンドアンビエント空調（パーソナル空調） ●ライフサイクル改修技術 部品交換対応 ●未利用熱利用技術 再生可能エネルギー熱(地中熱、井水、太陽	●IoT 利用による遠隔制御及び管理、AI 利用による制御及び運用最適化、DR 対応運用技術、外皮との連携制御 ●制御系のアップグレード技術 ●容量最適化の設計技術（コンパクト、ロバスト設計）

⁶³² NEDO、省エネルギー技術戦略の重要技術（補足資料）https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101157.html

⁶³³ NEDO、省エネルギー技術戦略の重要技術を改定、https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101157.html

ハードウェア(技術開発)	ソフトウェア (技術の利用、システム)
熱等)・バイオマス他の利用技術、コジェネレーション排熱利用	
高効率給湯技術	
●高効率熱源機 高効率給湯用ヒートポンプ(高性能熱交換器・圧縮機高効率化、高性能冷媒)、高効率給湯器(潜熱回収交換機)、待機時消費電力削減技術、定置用燃料電池(エネファーム) ●ライフサイクル改修技術 部品交換対応 ●未利用熱利用技術 再生可能エネルギー熱(地中熱、井水、太陽熱等)・バイオマス他の利用技術、コジェネレーション排熱利用	●IoT 利用による遠隔制御及び管理、AI 利用による制御及び運用最適化、DR 対応運用技術 ●太陽熱活用設計 ●制御系のアップグレード技術
高効率照明技術	
●照明器具(単体) 効率向上技術 LED 照明、有機 EL 照明、光ダクト ●照明システム効率向上技術 昼光利用、タスクアンビエント、建築化照明、センサ(赤外線、光学応用、分光、人検知)	IoT 利用による制御及び遠隔管理、AI 利用による制御及び運用最適化、昼光との連動最適化
快適性・生産性等と省エネを同時に実現するシステム・評価技術	
IoT/センシング技術、タスクアンビエント空調・照明制御、気流制御技術・システム、パーソナル環境制御システム、インタラクティブ技術	快適性・生産性を考慮したユーザー推定・適応制御技術・システム、評価技術
ZEB/ZEH・LCCM 住宅の設計・評価・運用技術、革新的エネルギーマネジメント技術(xEMS)	
●IoT/センシング技術 ●負荷調整を担う蓄電・蓄熱技術(ヒートポンプ式給湯器、蓄熱槽、EV、定置型蓄電池・燃料電池等)及びこれらを再エネと連系するマルチ入力 PCS ●個人・建物・地域間エネルギー(電気・熱)融通技術 ●機器・システム統合化技術(パッシブ+アクティブ融合、再エネ・未利用熱組合せ、需給連携他)	●ZEB/ZEH・LCCM 住宅設計/評価技術 BIM/シミュレーション/VR、省エネ効果等予測ソフト、運用状況・省エネ余地評価ツール ●制御・運用最適化技術 BEMS、HEMS、CEMS(地域・都市単位含む)、統合機器・システムの制御・設計技術、IoT/AI/ビッグデータを利用した機器データ取得・蓄積・解析技術、再生可能エネルギー発電・DR 予測技術、消費者行動分析・行動経済学的分析(ナッジ技術)、施設内モビリティ制御技術、

ハードウェア(技術開発)	ソフトウェア (技術の利用、システム)
	直流化

出所：METI「省エネルギー技術戦略 2016」重要技術より調査団作成

ZEB/ZEH の普及に向けて、技術開発に加えて、大きな課題となるのがコスト低減である。

欧州で 2014 年から 2020 年までの 7 年間をかけて実施された研究及びイノベーションを促進するためのフレームワークプログラム「HORAIZON2020」のプロジェクトのひとつに、AZEBA (Affordable Zero Energy Buildings) プロジェクトがある⁶³⁴。同プロジェクトの目的は、nearly Zero Energy Buildings (nZEB) のライフサイクルコストを大幅に削減することである。そのために、ZEB に関する様々な分野における既存のソリューションを統合した、全てのヨーロッパ諸国に適用できる共通の方法論 (AZEBA methodology) の策定を行った。AZEBA methodology は、nZEB の計画、デザイン、建設、使用・メンテナンスの各段階で利害関係者に求められることが整理されている。また、nZEB のコスト削減に重要な以下の 3 つの視点について、分析およびソリューションの提示を行っている。

- ✓ ライフサイクルの各段階におけるコストと環境への影響の定量化
- ✓ 費用対効果の高い技術・サービスの活用（経済性、市場シェア、技術データ等の分析）
- ✓ バリューチェーンにおける生産性向上（不要なコストを生む無駄を省く取り組み）

日本においても、同様の取り組みとして、ZEB に関して、用途・規模ごとの「設計ガイドライン（設計技術者向け）」「Web プログラム計算シート」等の策定・公表を行っている⁶³⁵。各国において、ZEB・ZEH の普及に向けて、要素技術の開発と合わせて、既存技術の組み合わせの最適化や費用対効果の定量化等の実装面での取り組みが進められている。

【ZEB の国際標準化】

前述のような各国における標準化に加え、ZEB の国際標準化に向けた取り組みが進められている。国際標準化機構 (ISO) の専門委員会のひとつである「TC205」は、新築および既存建物の改修の設計において、許容できる室内環境と実効性のある省エネルギーのための標準化を行っている⁶³⁶。

2021 年 9 月、日本が幹事国となって ISO に提案していた技術仕様書「非居住用ビルの ZEB 化への方法論」が、ISO での各国専門家の審議を経て、技術仕様書 TS23764 (Methodology for achieving nonresidential zero-energy buildings (ZEBs)) として正式承認され、制定された。TS23764 は、ZEB の実現に向けたステップバイステップのアプローチを提唱しており、設計から運用・保守の段階まで、ZEB 実現の全プロセスにおいて基本的に検討すべき事項を概説している⁶³⁷。

⁶³⁴ Affordable Zero Energy Buildings, <https://azeb.eu/solutions/>

⁶³⁵ METI、ZEB（ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）に関する情報公開について、
https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/enterprise/support/index02.html

⁶³⁶ 一般社団法人建築・住宅国際機構、<http://www.iibh.org/tc205.htm>（2021 年 1 月 17 日アクセス）

⁶³⁷ 世界省エネルギー等ビジネス推進協議会 2021.10.6 <https://www.jase-w.org/press-release-iso-ts23764/>

表 141 TS23764 で示す 6 つのプロセスにおける指針

① 計画段階では、ZEB Ready → Nearly ZEB → (Net)ZEB という 3 つのステップ（※）で ZEB を実現するという明確な方針を持ち、（Net）Zero Energy Building という 1 つのステップだけで実現させる手法にこだわらない。 ② 設計段階では、適切なパッシブおよびアクティブな設計戦略を特定し、国内規格や国際規格で認証された適切な材料や機器を可能な限り選択する。 ③ 施工時には、選定した材料や機器を図面や仕様書に従い、それらに沿って正しく施工・設置する。 ④ 建物が完成した後、設計段階で目標とした一次エネルギーの消費量を実現する。 ⑤ 建物運用開始後、設計時の目標値と実際の運用時の一次エネルギー消費量測定値との間に差異がないか確認する。 ⑥ 可能であればシミュレーション用ソフトを用い、運用開始後定期的に一次エネルギー消費量を算出し確認すること。
（※） ➤ ZEB Ready：建物の用途や気候に適した断熱性の強化、負荷を抑えるための外皮と遮光、高効率の省エネ設備、データ統合と検証によるエネルギー消費の最適化により、(Net) ZEB を前向きに達成する建物 ➤ Nearly ZEB：ほぼ(Net) ZEB 達成している建物＝ZEB Ready の基準を満たし、再生可能エネルギーを使用して年間一次エネルギー消費量がほぼゼロの建物 ➤ (Net) ZEB：ZEB Ready の基準を満たし、年間一次エネルギー消費量がゼロまたはマイナスの建物

（出所）世界省エネルギー等ビジネス推進協議会⁶³⁸および ISO⁶³⁹より調査団作成

【日本における ZEB・ZEH の政策・技術動向】

第 6 次エネルギー基本計画（2021 年 10 月公表）では、「これまで非住宅建築物については、2020 年までに国を含めた新築公共建築物等で ZEB を実現することを目指すとともに、住宅については、2020 年までにハウスメーカー等が新築する注文戸建住宅の半数以上で ZEH を実現することを目指し、実証や導入支援策等を講じてきた。非住宅建築物における 2020 年目標は達成したものの、新築に占める ZEB 普及割合は 1%に満たず、住宅については、2019 年度の新築注文戸建住宅の ZEH 割合が約 2 割と 2020 年目標の達成は難しい状況である。こうした状況を踏まえ、2030 年に向けては、地域や建物種別により特性が異なる点も考慮しつつ、規制と支援の更なる強化に取り組む」としている。目標として、2030 年度以降新築される住宅・建築物について、ZEH・ZEB 基準の水準の省エネルギー性能の確保⁶⁴⁰を目指し、具体的な取り組みとして、以

⁶³⁸ 世界省エネルギー等ビジネス推進協議会 2021.10.6 <https://www.jase-w.org/press-release-iso-ts23764/>

⁶³⁹ ISO, ISO/TS 23764:2021(en) Methodology for achieving non-residential zero-energy buildings (ZEBs), <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:ts:23764:ed-1:v1:en>

⁶⁴⁰ 住宅について、強化外皮基準への適合及び再生可能エネルギーを除いた一次エネルギー消費量を現行の省エネルギー基準値から 20%削減。建築物について、再生可能エネルギーを除いた一次エネルギー消費量を現行の省エネルギー基準値から用途に応じて 30%又は 40%（小規模建築物 については 20%）削減。

下が挙げられている⁶⁴¹。

- 2025 年度までに省エネルギー基準適合義務の対象外である住宅及び小規模建築物の省エネルギー基準への適合を義務化
- 2030 年度までに、整合的な誘導基準・住宅トップランナー基準の引上げや、省エネルギー基準の段階的な水準の引上げを実施
- 既存住宅・建築物の改修・建替の支援
- 省エネルギー性能に優れリフォームに適用しやすい建材・工法等の開発・普及
- 新築住宅の販売又は賃貸時における省エネルギー性能表示の義務化

2021 年 8 月、政府は「脱炭素社会に向けた住宅・建築物における省エネ対策等のあり方・進め方」をとりまとめており、省エネの目標・対策に加え、再エネの目標として「2030 年には新築戸建住宅の 6 割において太陽光発電設備が導入される」ことを掲げている⁶⁴²。

政府は、実証支援事業等を通じて、民間企業による ZEB・ZEH の技術開発および普及促進に努めている。以下には国内において高く評価される ZEB・ZEH 事例を挙げる。

✓ 大成建設：大成建設技術センターZEB 実証棟

「大成建設技術センターZEB 実証棟」は、2014 年 5 月に竣工した新築の ZEB である。都市部における ZEB の実現可能性を検証する目的で建設され、実運用下で各種開発技術の効果やエネルギーマネジメントの実証を行っている。竣工後、オフィスとして実際に使用し、1 年目の運用実績で年間エネルギー収支 0 を達成し、国内で初めて建物単体の ZEB（オンサイト ZEB）を実現した。特徴的な技術は以下のとおりである。

■ ZEB 化技術を組み込んだ外壁デザイン

PV・採光装置・自然換気装置などをユニット化し、外壁デザインとして取り込んでいる。採光、換気ユニットは室内が快適な環境になるよう面積や配置を最適化し、残りを発電ユニットとして、外壁で得られる自然エネルギーを余すことなく利用する機能的な外壁デザインとしている。

■ 低照度タスクアンビエント照明システム⁶⁴³

室奥まで自然光を安定して届けられる採光装置と間接照明を組合せることで、低照度でありながら明るさ感のある質の高い光環境を計画している。さらに、高精度人検知センサーを利用したタスクアンビエント制御により、高い省エネ性、快適性を実現しており、一般オフィスに比べ、照明エネルギーを 86%削減した。

■ 排熱利用タスクアンビエント空調システム

気象や室内環境に応じた自動換気、BEMS による見える化を活用した手動換気のハイブリッド自然換気システム、燃料電池排熱を利用した超高効率アンビエント空調等の採用により、一般オフィスに比べ空調エネルギーを 76%削減した。さらに、人検知センサーにより、外気

⁶⁴¹ 経済産業省 2021.10.22 第 6 次エネルギー基本計画
<https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211022005/20211022005.html>

⁶⁴² 国土交通省 2021.8.23 https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/jutakukentiku_house_tk4_000188.html

⁶⁴³ タスクアンビエントシステム：人が作業している領域である「タスク」と、その周辺の空間領域である「アンビエント」とを別の仕組みで制御し、全体を効率的かつ快適にコントロールするシステム。

量や吹出口の開閉を自動制御し、執務者は PC から好みの風量に調整することも可能で、満足度の高い省エネルギーを実現している。



図 237 タスク・アンビエントシステム（照明・空調）

出所：戸田建設⁶⁴⁴

✓ 竹中工務店：竹中工務店関東支店

「竹中工務店関東支店」では、既設の建物をネットゼロ、さらにはプラスエネルギービルにすることを旨とした改修プロジェクトである。パッシブ手法を中心に各種省エネ技術を導入するとともに、快適性の向上や BCP 性能の向上など、更なる付加価値を追求し、国内初の稼働オフィスビルにおける ZEB 改修を実現した。

外装は既存ガラスを高断熱ガラスに取替え、既存サッシの外側にブラインドおよびシングルパネルガラスを設置することで遮熱機能を高めている。

熱源空調システムは再生可能エネルギーを最大限活用する計画としており、夏季は地中熱を放射冷房に直接利用し、また太陽熱をデシカント（乾燥剤）の再生に利用している。冬季は地中熱を地中熱ヒートポンプの熱源水として利用し、太陽熱は暖房に活用している。

✓ 大和ハウス工業：SMA×ECO TOWN 晴美台

「SMA×ECO TOWN 晴美台」は、一団の分譲住宅において、開発計画から住宅・外構計画、販売後のサポートまで、面的・時間的な広がりを持たせ、一貫した「省 CO₂」「省エネルギー」に向けた取り組みを行う事例である。

戸建住宅全棟と共に、まちの共有部分にも太陽光発電とリチウムイオン蓄電池を導入し、再生可能エネルギーの活用とエネルギーのピークシフトを行っている。また、各住宅に HEMS を設置して、エネルギーの見える化を実現。それらのデータを集めて、まち全体のエネルギー状況の見える化や省エネルギー貢献度をランキングし、住む人の環境への意識改革を推進している。2015 年のデータにおいて、一次エネルギー創出量を一次エネルギー消費量で除した値である ZEH 率は、平均で 124.79%となっており、街全体でのネット・ゼロ・エネルギーを達成している。

(b) ヒートポンプ

エネルギーの低炭素化については、電力に関する問題が議論の中心となることが多いが、実は、

⁶⁴⁴ 戸田建設、<https://www.toda.co.jp/tech/comfortable/taskamb.html>

熱エネルギーの低炭素化は CO₂ 排出削減において非常に重要な分野である。IEA によれば、熱は世界最大のエネルギー最終用途であり、2021 年の世界の最終エネルギー消費量のほぼ半分を占めており、電力 (20%) や輸送 (30%) を大幅に上回っている。熱エネルギーは、産業において 51%、建物（主に暖房や給湯）で残りの 46% が消費される⁶⁴⁵。

熱エネルギーについて、必要とされる温度帯は用途によって様々である。一例としては、空調や給湯が主用途である 100℃以下の「低温（民生用）」、食品加工等の軽工業プロセスが主用途である 100～200℃の「低温（産業用）」、金属加工等の重工業プロセスが主用途である 200℃以上の「高温（産業用）」と分類することができる。これらの熱エネルギーを供給する主な燃料には、①石炭やガスなど化石燃料、②電力、③再生可能エネルギーがある。現在もっとも多くを占めているのは化石燃料で、化石燃料を使った熱の供給方法としては、コジェネ、ボイラー、燃焼炉がある。一方、電力を燃料とする場合は、ヒートポンプ、電気炉が使われる⁶⁴⁶。

熱エネルギーの低炭素化に向けては、コジェネによる効率向上や電化、再エネ熱の普及促進が取り組まれているが、特に期待されているのが「ヒートポンプ」である。

IEA が 2021 年 5 月に公表した「Net Zero by 2050」では、2050 年までの排出削減に向けた主要技術として、太陽光、風力、電動車に続き、ヒートポンプが挙げられており、2050 年には暖房需要の 55% はヒートポンプが供給するとしている（2020 年現在は 7%）⁶⁴⁷。

各部門を見ると、産業部門においては、電気は 2030 年には熱需要の約 40%、2050 年には約 65% を占めるようになり、特に、低温度域（100℃未満）および一部の中温度域（100～400℃）の熱需要の電化にはヒートポンプが重要な役割を果たす（2050 年の熱需要全体の約 30%）としている。

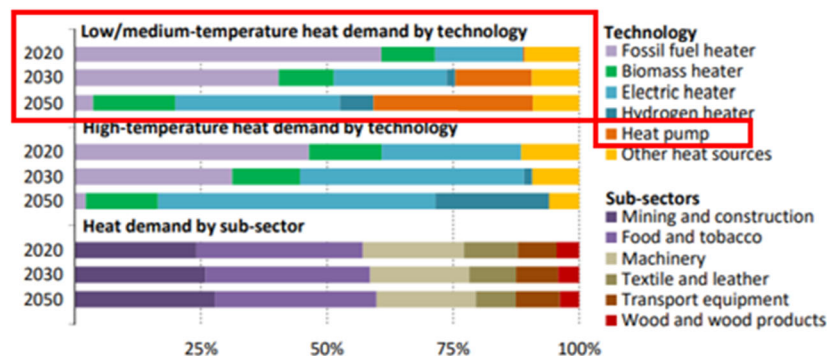


図 238 軽工業における温度帯ごとの熱供給技術の割合（Net Zero Scenario）

出所：IEA, Net Zero by 2050（P128）を調査団にて一部加筆

建物部門においては、2020 年現在では、暖房需要におけるヒートポンプ利用はごく一部であり、化石燃料ベースの技術が過半数を占めている。しかしながら、2050 年ネットゼロシナリオでは、2025 年からは、化石燃料ボイラーの新規販売はなく（水素と互換性のあるものを除

⁶⁴⁵ IEA, Heating, <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/heating>

⁶⁴⁶ METI, <https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/netsu.html>

⁶⁴⁷ IEA, Net Zero by 2050, https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf

く)、ヒートポンプの販売が急増し、2050年にはストックで18億台のヒートポンプが導入され
るとしている。その結果、2050年には、建物内のエネルギー使用量の66% (2020年現在33%)
を電気が賄うようになるとしている。

IEAのTechnology Collaboration Programme on Heat Pumping Technologies (HPT TCP)では、ヒート
ポンプ技術を支援するための取り組みを以下のように整理している。

ヒートポンプそのものの普及開発の課題としては、コスト面(初期費用・運用コスト)や認知
度の向上、既築での採用等が挙げられる。そのため、短期的には、政府からの補助金や、ラベリ
ング制度等による認知度向上が有効である一方、運用コストについては、化石燃料補助金や電力
価格の上昇がヒートポンプ導入の障壁となっている。加えて、現在普及が進んでいない市場での
普及拡大に向けた技術革新、国際協力によるコスト低下も求められる。

また、その他の技術・サービスとの統合も重要な視点である。例えば、建物における他の機器
と組み合わせたエネルギーマネジメントや、地域における廃熱、再エネ、その他低炭素エネルギ
ー源と組み合わせたヒートポンプの活用が進んでいる。さらに、変動性再生可能エネルギーが増
加する中で、ヒートポンプ単体、もしくは、貯蔵技術やオンサイト再エネ等を統合したデマンド
レスポンス(DR)による電力システムの柔軟性向上への貢献も期待される。また、欧州を中心に、
電気と熱のセクターカップリングへの取り組みが進んでおり、熱部門の電化、風力や太陽光由来
電力・余剰熱のさらなる活用によるエネルギー効率化を目指してヒートポンプへの投資が進んで
いる。

表 142 ヒートポンプ技術を支援するための取り組み

	短期的な手段	イノベーションの必要性
普及開 発	低炭素暖房技術へのインセンティブ	重要な市場セグメント(既築の改修等)、 建物タイプ(集合住宅等)、気候帯(寒冷、 高温多湿等等)に固有の革新的なヒート ポンプ設計に向けた実証の促進
	ラベリング制度	コスト低下のための国際協力
	化石燃料への補助金の撤廃	
(他の技 術・サービ スとの) 統合	適切なエンドユーザーデータの活用推進 (メータリングインフラの整備)	冷暖房、貯蔵技術、オンサイト再エネの統 合に向けた開発への支援
	地域のエネルギーインフラを活用した、 廃熱、再エネ熱、その他低炭素エネルギ ー源の利用	電力システムの柔軟性向上に資する革新 的なビジネスモデルや市場設計に対応す る規制の改訂
	大規模なヒートポンプや廃熱資源を活用 した、新たな低温ネットワークの計画	セクターカップリングを通じたヒートポ ンプ活用

出所: HPT TCP より調査団にて作成⁶⁴⁸

⁶⁴⁸ HPT TCP、Annual Report 2020、<https://heatpumpingtechnologies.org/annual-report-2020-is-here/>

(c) 冷凍空調機器

建物における電力需要の中で、最も急速に成長しているのが冷房需要である。IEA によれば、新興国・途上国においては、2020 年現在、エアコン（AC）を所有する世帯割合は 15%程度しかなく、今後、経済成長に伴う、AC 普及と電力需要の増加が見込まれる。

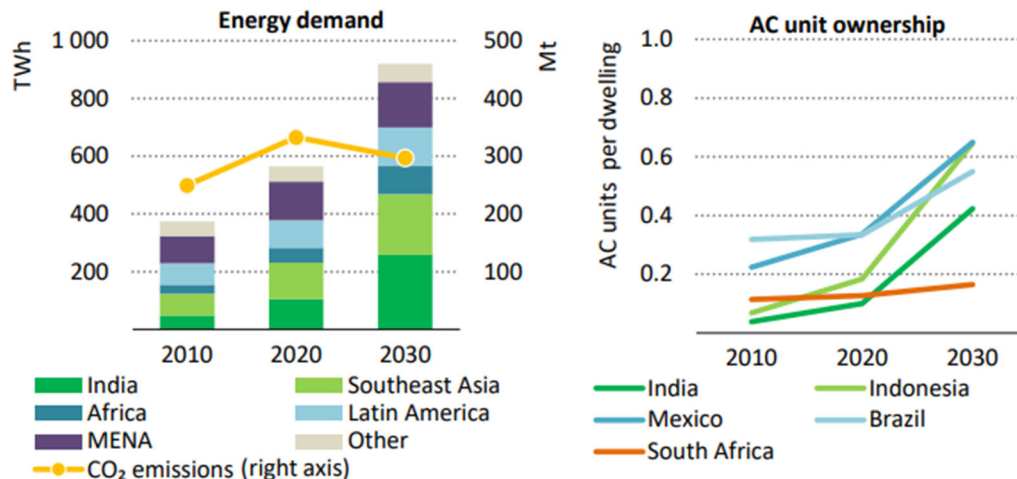


図 239 （左）途上国・新興国における冷房によるエネルギー需要および CO₂ 排出量、（右）1 世帯あたりの AC ユニット数（Net Zero Scenario）

出所：IEA, Financing Clean Energy Transitions in Emerging and Developing Economies (P153)

【政策による AC の省エネ促進】

AC の省エネ促進のために、多くの国でとられている施策が、ラベリング制度および最低エネルギー性能基準（MEPS）の制定である。実際に、80 か国以上で AC の最低エネルギー性能基準（MEPS）が既に定められており、住宅部門の冷房エネルギー消費量の 85%以上をカバーしている。しかしながら、これらの基準は国によって大きく異なっており、継続的な基準の強化が必要である。また、インドネシアやタイ等の一部の国では、ルーム AC のラベリング基準は、地元企業保護のため、インバータ機対応とノンインバータ機対応のダブルスタンダードになっており、高効率 AC の普及が低い水準に留まっているという課題もある。

IEA によれば、高効率 AC の普及拡大における課題のひとつは、高効率 AC が市場に出回っているにもかかわらず、ほとんどの消費者が価格を優先し、2～3 倍効率の悪いモデルを購入していることである。下図で示すように、市場で販売されている AC の一般的な効率評価（Typical available）は、最も効率の低い製品（Minimum average）よりも 10～30%優れているが、市場平均（Market average）は最も効率の低い製品と大きく変わらない。そのため、適切なエネルギー効率基準を実装するにより、2030 年までに AC エネルギー効率を約 50%向上させることができ、非効率な機器のロックインを回避することができる。

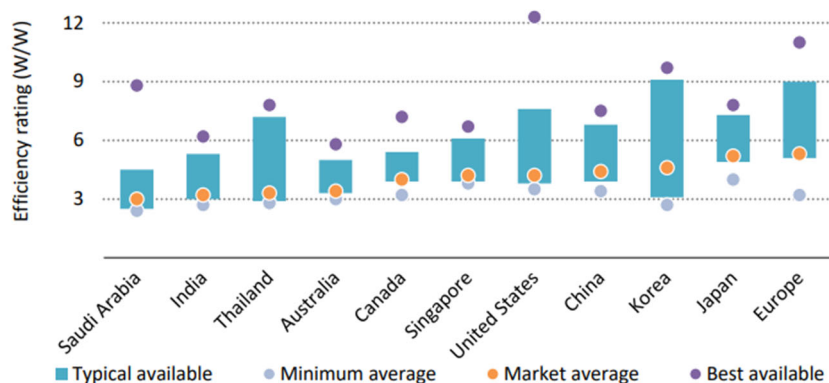


図 240 利用可能な AC ユニットの効率評価と市場平均

出所：IEA, Financing Clean Energy Transitions in Emerging and Developing Economies (P155)

【インバータ機の普及と省エネ性能評価】

また、AC の省エネにあたっては、インバータエアコン等省エネ性の高い空調機の普及が大きく貢献し得る。インバータとは、電圧・電流・周波数を制御する技術であり、インバータを搭載したエアコンは、エアコンの心臓部である圧縮機のモータを的確にコントロールする。さらに従来のモータや熱交換器に改良を加えることで、インバータなしのエアコンに比べ約 58% の消費電力を削減できる⁶⁴⁹。

インバータ機はノンインバータ機と比べ高価なため、東南アジアや中東、アフリカでは普及が進んでいない。また、インバータ機の普及を促進するためには、インバータ機の省エネ性能を評価するしくみの整備が重要になる。途上国においても、省エネルギー施策として最低エネルギー消費効率基準（MEPS/Minimum Energy Performance Standards）の設定とラベリングシステムの構築が推進されている。これまで、AC に関して、その基準値には定格能力運転時のエネルギー消費効率（EER/Energy Efficiency Ratio）が採用されており、温度変化に応じて最適な状態で運転するインバータ機の性能は、同指標では適切に評価できない状況となっていた。そのため、日本は、空調業界が中心となり、冷房期間効率評価（CSPF/Cooling Seasonal Performance Factor）を評価できる国際標準（ISO16358）を策定（2013 年）し、ISO16358 について、より簡便に試験・効率評価ができる手法等を ASEAN 諸国に提案し、各国の省エネ政策機関や標準化機関の開催によるセミナー等に参加すると共に、各国規格や省エネ施策の評価方法への採用に対する協力をしてきた。⁶⁵⁰

⁶⁴⁹ DAIKIN, <https://www.daikin.co.jp/csr/environment/climatechange/inverter>

⁶⁵⁰ 海外環境協力センター, https://www.oecc.or.jp/cms/wp-content/uploads/2018/04/P9_%E6%97%A5%E5%86%B7%E5%B7%A5%E3%81%AE%E5%8F%96%E7%B5%84%E3%81%BF_%E7%AC%A0%E5%8E%9F%E5%8F%82%E4%BA%8B.pdf

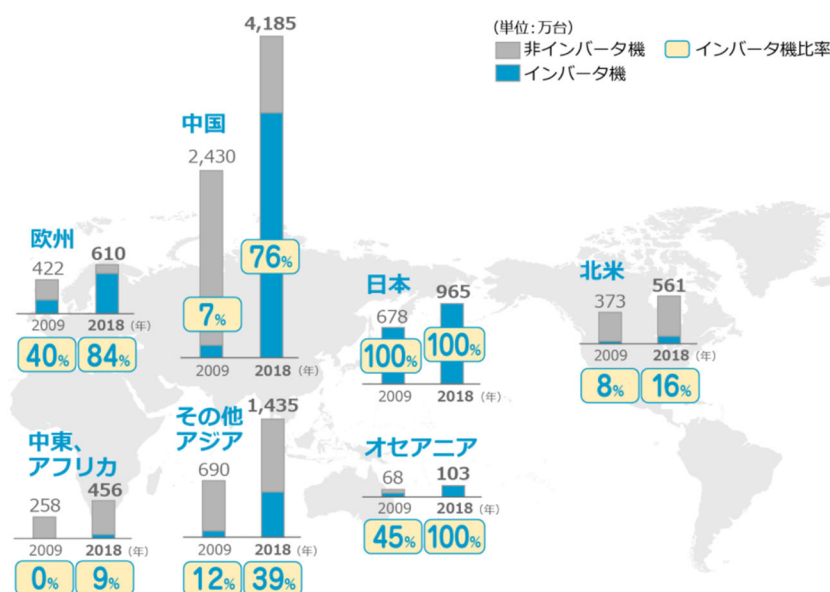


図 241 住宅用エアコン市場需要台数とインバータ機の比率（2018 年）

注：住宅用エアコン：ウインド・ポータブルを除く住宅用ダクトレスエアコン。北米のみ住宅用ダクト式エアコンを含む。

出所：（一社）日本冷凍空調工業会データを参考に DAIKIN 作成⁶⁵¹

ASEAN はインバータの統一基準を策定しようとしている。

【冷媒の低 GWP 化・ノンフロン化】

また、近年の地球温暖化対策の強化に伴い、冷媒の低 GWP⁶⁵²化・ノンフロン化も求められている。冷凍空調機器で使用する冷媒は、オゾン層を破壊する特定フロンから代替フロンである HFC（ハイドロフルオロカーボン）に転換が進んでいるが、HFC には高い温室効果を有するという問題がある。そのため、国際的な HFC 規制強化の動きが進んでおり、特に、2016 年のモントリオール議定書の改正においては HFC の生産・消費量の段階的削減義務が新たに定められ、先進国は 2036 年までに基準年の 85%削減することが求められている。一方、地球温暖化への影響が極めて少ないグリーン冷媒をはじめとする次世代冷媒の多くは、従来の HFC 冷媒と同等以上の機器性能とするための技術的ハードルが高く、安全性やコスト面においても課題があるため、世界的に次世代冷媒適用冷凍空調機器は現時点では普及拡大には至っていない⁶⁵³。

(d) 建物のライフサイクル

建物の低炭素化の促進に向けては、前述の ZEB・ZEH のような使用段階の対策のみならず、建材製造、建設、改修、解体、最終処分または再利用といった段階を含めたライフサイクル全体を通じた低炭素化の推進が重要である。

IEA によると、建物のすべての建設資材の製造、輸送および使用により、2019 年のエネルギー

⁶⁵¹ DAIKIN, <https://www.daikin.co.jp/csr/information/lecture/act01>

⁶⁵² 地球温暖化係数（CO₂ を 1 とした場合の温暖化影響の強さを表す値）

⁶⁵³ NEDO, https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100140.html

およびプロセスの CO₂ 排出量は 3.5Gt になった。これはすべてのエネルギー部門の排出量の 10% に相当する。建設および改修のための建設資材の需要は、経済成長及び人口の増加により高まっており、鉄鋼やセメントといった建設資材の製造プロセスの改善にもかかわらず、建設資材に関連する排出量は特に新興経済国で増加している。

下図に示すように、建物建設用のセメントと鉄鋼の需要の主な要因は床面積の増加と建物の平均高さの増加である。2000 年以降、世界中のすべてのタイプの建物の総床面積はほぼ 60% 拡大し、世界で 900 億 m² が追加された。また、2000 年以降、高さ 150m を超える新しい建物の数は約 5 倍に増加し、平均高さは 170m から 230m に増加した。

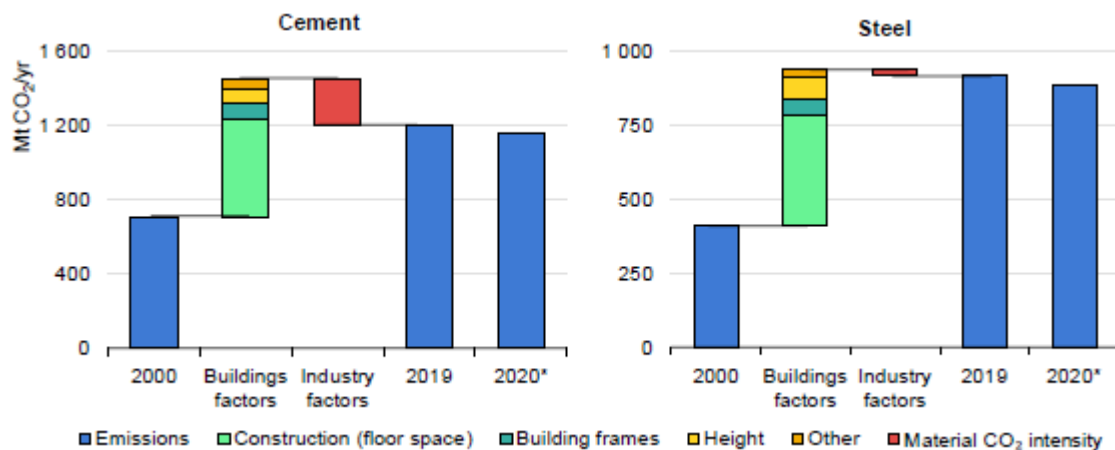


図 242 建設用セメントと鉄鋼需要増加の要因分析

出所：IEA, Energy Technology Perspectives 2020

建設資材の面から建物からの CO₂ 排出を削減するためには、建物の寿命の延長、構造の最適化および資材の強化がポイントとなる。使用する構造要素を減らし、設計を最適化すると、コンクリートと鉄鋼の使用量をそれぞれ 20~25%、35%削減できるが、寿命の延長が最大の貢献を果たし、累積した減少の 40%以上を占める。

具体的な方策は以下のとおり。

✓ 材料特性の強化：材料特性を強化することは、建設に必要な材料の量を減らす効果的な方法であり、潜在的に大幅な排出削減が期待できる。品質基準では、建物の早期解体につながる低品質のコンクリートの使用を避けなければならない。構造のサイズ、コンクリートの強度、コンクリートの混合を最適化することで、同じ性能を発揮しながらセメントの需要をさらに削減できる。軽量化の要素は、特に輸送からのライフサイクル排出量も削減する。たとえば、1990 年代から商業建築の内部の非耐力仕切り壁に広く採用されてきた冷間成形鋼フレームは、現在、中層および集合住宅の構造用途に採用され始めています。

✓ 構造最適化：構造最適化とは、建物が構造的に健全であることを保証しながら、材料の乱用を減らす革新的な設計または複合フレームである。構造の最適化により、セメントの需要が約 15%、鉄鋼の需要が約 15%削減される。

✓ プレハブ工法・プレキャスト工法：プレハブ工法・プレキャスト工法とは、建物の構造物や部材などを工場であらかじめ製造して、現場に搬送し、組み立てていく工法です。工場で

製造するため、構造体や部材のサイズ、形状、製造をより細かく制御することができ、建築資材の使用量の削減と建設プロセスのスピードアップに役立つ。また、プレキャストコンクリートは、セメントと水の比率を低くし、製品の耐久性を高める。また、3D印刷などのデジタルプロセスも可能性を秘めている。

✓ リノベーション：寿命の延長による資材節約の最大の可能性を提供するのが、リノベーションである。建物の改修は、一般的にゼロからの再建よりも質量の点で40～80分の1の資材で済むため、鉄鋼とセメントの節約ができる。しかし、改修には費用がかかる可能性がある。高層オフィスビルなどの場合、改修費用は解体および再建の費用と同じ金額になる可能性がある。

✓ 再利用とリサイクル：セメントや鉄鋼部品の再利用とリサイクルにより資材の必要性を減らすことができる。ただし、セメントの再利用とリサイクルは、重いブロックを長距離輸送するコストが課題となる。使用済みコンクリートからの非水和セメントの回収と再利用の可能性はあるかもしれないが、そのための技術はまだ商業段階に達していない。コンクリート骨材のリサイクルは可能であるが、輸送の必要性、骨材には炭素が含まれておらず低炭素化には関係がない、およびリサイクルを容易にするためにセメントを追加する必要性のために、潜在的な排出削減量はわずかである。

(ii) 現地調査対象国における技術・サービスの開発・社会実装の動向

(a) インド

インドでは、省エネルギー法（Energy Conservation Act 2001）の規定に基づく自主制度として「建物省エネルギー規約」（ECBC : Energy Conservation Building Code）が実施されている。2017年にはECBCのアップデートが行われ、一定規模以上の商業用建築に対して、設計・施工におけるエネルギー効率基準が規定された⁶⁵⁴。概要は以下のとおり。

表 143 ECBC（2017年アップデート）の概要

項目	概要
対象建物	新築および既築の一定規模以上（※1）の商業用建築（※2） （※1）電力負荷が100 kW以上、または契約需要が120 kVA以上 （※2）ホテル、教育機関、病院、ショッピングモール、商業ビルなど
対象機器・システム	①外皮（開窓、窓以外の外皮、採光、気密性など） ②暖房・換気・空調を含む機器 ③照明（外・内） ④変圧器、モーター、再エネシステム ※参照標準：The National Building Code of India 2016 (NBC) 加えて、建物全体のパフォーマンス（WBP）はBEEによって承認されたエネルギーシミュレーションソフトにて算定する必要がある。

⁶⁵⁴ Ministry of Power, BEE, "Energy Conservation Building Code 2017", https://beeindia.gov.in/sites/default/files/BEE_ECBC%202017.pdf

項目	概要
認証への 必須要件	①エネルギー性能指数比（EPI 比）が 1 以下 $\text{EPI} = \text{年間エネルギー消費 (kWh)} \div \text{建物の単位面積 (1 m}^2\text{)}$ ここでの EPI 比とは、標準的な建物 EPI÷提案された建物 EPI ②上記の対象機器・システム①～④それぞれの必要条件を満たす
分類	ECBC Building / ECBC+ Building / Super ECBC Building 各ランクを満たすための、対象機器・システム①～④および建物全体のパフォーマンス（WBP）の条件が規定されている。

政府は、2018 年には、住宅用 ECBC「Eco-Niwas Samhita（ENS）」を立ち上げており、Part1 として「Building Envelope」の基準を設定した。また、2019 年には、消費者に対して住宅のエネルギー効率基準に関する情報を提供するため「Energy Efficiency Label for Residential Buildings」を立ち上げている⁶⁵⁵。

また、インド工業連盟の下には、グリーンビルディングに関する評価、認証、人材開発を担う「Indian Green Building Council（IGBC）」が設置されている。

IGBC は「IGBC Net Zero vision by 2050」を掲げており、2030 年までに全ての新築ビルを、2050 年までに全てのビル（新築・既築）を Net Zero にすることを目標とし、その達成に向けて、2025 年から 5 年置きにロードマップの策定・更新を行うとしている⁶⁵⁶。

これまでの取り組みとして、IGBC は建物の類型によって、多くの Green rating system を開発しており⁶⁵⁷、一部の中央政府機関および州政府機関は、IGBC の Green rating system を承認し、独自のインセンティブを付与するなど、グリーンビルディングの普及に取り組んでいる⁶⁵⁸。

2018 年、IGBC は、設計者がエネルギー効率のコンセプトおよび適切な再生可能エネルギー源を採用し、ネットゼロエネルギービルを建設できるようにするツールとして、「IGBC Net Zero Energy rating system」を開発した⁶⁵⁹。2022 年 1 月時点で、Net Zero Energy プロジェクトに関して、20 強のプロジェクトが達成（登録）済み、65 強のプロジェクトが達成に向けて進行中、280 強の組織・企業が Net Zero に向けて取り組むことを宣言している⁶⁶⁰。

表 144 IGBC Net Zero Energy rating system の概要

項目	概要
対象建物	新築および既築の商業用建築

⁶⁵⁵ BEE, <https://beeindia.gov.in/content/ecbc-residential>

⁶⁵⁶ IGBC 提供資料より

⁶⁵⁷ IGBC, <https://igbc.in/igbc/redirectHtml.htm?redVal=showratingSysnosign>

⁶⁵⁸ IGBC, <https://igbc.in/igbc/redirectHtml.htm?redVal=showGovtIncentivesnosign>

⁶⁵⁹ IGBC Net Zero Energy BuildingsRating System Pilot Version (November 2018), https://igbc.in/igbc/html_pdfs/IGBC%20Net%20Zero%20Energy%20Buildings%20Rating%20System_%20Pilot_Nov%20_2018.pdf

⁶⁶⁰ IGBC 提供資料より

	(オフィス、IT パーク、銀行、ショッピングモール、ホテル、病院、空港、コンベンションセンター、教育機関、工場など)
対象機器・システム	①外皮（屋根、壁、ガラス） ②空調（チラー、ポンプ、ファン、モーターなど） ③照明（外・内）、採光 ④機器（電化製品、オフィス機器など） ⑤再エネ
認証への必須要件	①建物類型ごとの IGBC 定格（最小エネルギー性能要件）を満たす ②エネルギー性能指数比（EPI 比）が 1 以下 ここでの EPI 比とは、実際の建物 EPI÷提案された建物 EPI ③主要機器のエネルギー性能が省エネ建築基準要件（ECBC2017 で定める）を満たしていることを実証する
分類	Net Zero Energy=National Excellence レベル Net Zero Energy Platinum=Global Leadership レベル

個別の機械に対しては、義務的/自主的な効率基準策定やラベリングプログラムが実施されており、義務的機器は、エアコン、冷蔵庫、テレビ、LED 等である（対象は定期的にアップデートされる）⁶⁶¹。

その他の施策として、高効率機器の市場普及を促す「Super-Efficient Equipment Programme (SEEP)」を実施している。まずは、シーリングファンを対象としており、ファンメーカーに高効率なファンを割引価格で販売するための期限付きのインセンティブを提供することで、市場平均よりも約 50% 効率の高いファンの製造および普及の拡大を目指している⁶⁶²。

また、2019 年には、冷却にかかるエネルギー需要の低減を目的とした「India Cooling Action Plan」を公表しており、2037 年度までの低減目標（冷却需要 20~25% 低減、冷媒需要 25~30% 低減）と対策をまとめている⁶⁶³。

(b) インドネシア

インドネシアでは、建築物のエネルギー効率改善に向けて、以下 4 つの建築物の国家省エネルギー基準（SNI）が策定されている。同基準の遵守は義務化されておらず、建築に際しての事業者に対するレファレンスとして活用されている⁶⁶⁴。

- ✓ Energy conservation for building envelope (OTTV & RTTV < 35 W/m²) SNI 03-6389-2011
- ✓ Energy conservation for air conditioning system in building (temperature: 24°C - 27°C and humidity 60% ± 5%) SNI 03-6390-2011

⁶⁶¹ BEE, Standards & Labeling, <https://beeindia.gov.in/content/standards-labeling>

⁶⁶² BEE, SEEP, <https://beeindia.gov.in/content/seep-0>

⁶⁶³ Ozone Cell, Ministry of Environment, Forest & Climate Change, Government of India, "India Cooling Action Plan", <http://ozonecell.nic.in/wp-content/uploads/2019/03/INDIA-COOLING-ACTION-PLAN-e-circulation-version080319.pdf>

⁶⁶⁴ IEA, <https://www.iea.org/policies/2522-national-energy-efficiency-standard-for-buildings-2011>

- ✓ Energy conservation for lighting system in building (standard of lighting intensity for the office, residential, industry, hospital, mall, etc) SNI 03-6197-2011
- ✓ Energy audit procedure for building SNI 03-6196-2011

また、業界団体である Green Building Council Indonesia (GBC Indonesia) がグリーンビルディングの普及促進に取り組んでいる。ビル（新築／既築）および住宅用の評価ツール策定およびグリーンビルディング認証や、グリーンビルディングに関する啓発活動を実施している⁶⁶⁵。

個別の機械に対しては、最低エネルギー性能基準（MEPS）およびラベリング制度が導入されている。それぞれの基準は、MEPS は国家標準（SNI）および電化製品の性能試験基準（energy performance testing standards: EPTS）に基づいて設定されている⁶⁶⁶。MEPS については、蛍光灯電球およびエアコンについては義務基準、その他の機器は任意基準となっており、今後、冷蔵庫、扇風機、電子安定器、電気モーター、LED 電球、洗濯機、井戸のくみ上げに使うポンプ、アイロン、テレビに拡大してゆく予定である。

(c) タイ

タイでは、「省エネルギー促進法（Energy Conservation Promotion Act B.E.2535）」の下で、総床面積が 2000 平方メートル以上の建物（工場を除く）の省エネ設計基準（Building Energy Code : BEC）を定めている。

2020 年 11 月、政府は 2009 年制定の BEC を見直し、総床面積が 2,000 平方メートル以上の建築物を新築もしくは改修する際、建築素材、空調、照明、設計などについて一定の省エネ基準を満たさなければならないと義務付けた。対象となる建築物は、劇場、ホテル、サービス施設、病院、教育施設、オフィスビル、商業施設、集合住宅、スタジアムや会議場などの人が集まる施設の 9 種類⁶⁶⁷。2021 年 12 月には、各基準の計算・認証方法の詳細を定めた省令が公布されている⁶⁶⁸。

個別の機械に対しては、最低エネルギー消費効率（MEPS）（義務/自主）および高レベルのエネルギー効率基準（HEPS）（自主）が導入されている。MEPS については、DEDE とタイ産業基準機構（TISI）が共同で実施している。HEPS については、DEDE と EGAT が共同で実施しており、電化製品用および非電化製品・産業電化製品のラベルが発行されている⁶⁶⁹。今後 MEPS と HEPS の適用対象となる可能性のある家庭用機器の拡大に加え、建物分野や産業部門で導入された新たな機器についても、適用の検討を進め、基準の策定を開始する見込み。

⁶⁶⁵ Green Building Council Indonesia, <https://www.gbcindonesia.org/web>

⁶⁶⁶ APERC, https://aperc.or.jp/file/2016/4/28/Indonesia_Compendium_2015_-_Final.pdf 電化製品および機器に関する SNI 規格は、国家標準化庁（Badan Standardisasi Nasional または BSN）（<https://www.bsn.go.id/>）において、起草および登録されている。

⁶⁶⁷ Envilience ASIA 2020.11.26 https://envilience.com/regions/southeast-asia/th/report_1359

⁶⁶⁸ Envilience ASIA 2022.1.12 https://envilience.com/regions/southeast-asia/th/report_5172

⁶⁶⁹ 環境省 2015.12.24 https://www.env.go.jp/earth/coop/lowcarbon-asia/region/data/thailand_climate_change_policy_20151224.pdf

MEPS や HEPS の促進によって（基準に適合した省エネ機器が）市場支配的になる方法を模索したいというニーズがある。

(d) モロッコ

モロッコでは、2030 年までにエネルギー消費量の 20%削減することを目標とする「エネルギー効率国家戦略（STRATÉGIE NATIONALE DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE À L'HORIZON 2030）」の下で、省エネ政策を定めている。

建物に関しては、2014 年に新築建物における熱性能に関する最低技術要件を定めた政令（No. 2-13-874）が公布された。モロッコの 6 つの気候帯に対して、それぞれ固有の熱要件が設定されている⁶⁷⁰。また、公共建築における省エネを推進しており、エネルギー管理システム導入、LED・太陽熱システム導入、財政支援枠組み策定などを実施している。具体例として、モスクでの再エネ・省エネ推進プログラムにおいて、約 900 のモスクのエネルギー効率向上の取り組み実施し、最初の 100 のモスクでは、初年度に 41～63%のエネルギー削減を達成している⁶⁷¹。その他、AMEE による建物ラベリング制度「Eco-Binayate」の開発も実施され、より高効率の建築物に対しては、さらに上位ランクのラベリング（基準を上回るものをさらに優遇する）を行うという法案も現在施行待ちの状況である。

個別の機械に対しては、最低エネルギー性能基準（MEPS）およびラベリング制度が導入されている。MEPS は 2018 年に導入され、エアコンを対象としている⁶⁷²。また、ラベリング制度は冷蔵・冷凍庫、エアコン、調理機器、清掃機器、家庭用電灯が対象であり、2011 年に義務化されている⁶⁷³。

また、モロッコでは当面冷房エネルギーが課題と認識している。エアコンの普及率が現状 10%代であるものが、2030 年までに普及率 40%まで見込まれ、今後の夏季の冷房エネルギー需要増加に対する、省エネ対策も含めた設備投資が必要である。

省エネに対する取り組みは積極的に行われているものの、再生可能エネルギーを組み合わせたゼロエネルギー達成への取り組みは行われていない状況である。

一方で、現地における省エネ・脱炭素化に対するニーズは高まってきていることから、ZEB 普及を含め、さらなる省エネの普及促進活動を行うため、必要な人材育成や促進のための制度設計、省エネ意識の啓発等が必要である。

(iii) 日本企業の優位性、強み

以下に示すのは、関連する日本の産業団体、企業に日本の技術・サービスに関するヒアリングを行った結果を整理したものである。

⁶⁷⁰ IEA, <https://www.iea.org/policies/8570-decree-n-2-13-874-on-thermal-regulation-of-buildings?country=Morocco&q=morocco>

⁶⁷¹ Ministry of Energy Transition and Sustainable Development, <https://www.mem.gov.ma/en/Pages/secteur.aspx?e=3>

⁶⁷² IEA, <https://www.iea.org/policies/7683-meps-for-air-conditioners?country=Morocco&q=morocco>

⁶⁷³ IEA, <https://www.iea.org/policies/1898-moroccan-standard-nm-142300-on-labelling-of-cooling-cooking-and-cleaning-appliances-and-indoor-lighting?country=Morocco&q=morocco>

表 145 日本企業の優位性、強み、課題等

【ZEB】

日本企業の優位性、強み	現状の課題	その他
・ ZEB 関連で日本企業が優位性を持つ技術は、インバータをはじめとした空調技術、建材、ガラス断熱性、ビルの設計能力等 ・ アフターサービスの充実（中国はアフターサービスが弱い）	・ 日本のやりたいことが現地に合うとは限らない。相手側が何を求めているのかを見いだしていくことが重要。	（国際的な取り組み） ・ ZEB の ISO 標準化（2021 年 9 月 TS23764 制定）（ビジネスモデル） ・ 途上国には、ハードだけではなく、システムやサービス、運用全体をまとめた「暮らしの提案」をしていくしかない。 （国に求める支援） ・ 各国自治体の入札基準について、初期の価格だけでなく、ライフサイクルの視点を加味した基準を各国で採用するようにアピールしてほしい。メンテナンスまで含めれば日本製の方が安くとも、初期費用だけで見ると他国に負ける実状がある。

【ヒートポンプ（HP）】

日本企業の優位性、強み	現状の課題	その他
・ 産業分野 HP 活用事例として、タイにおける冷温同時取り出し可能な HP（日本メーカー独自）がある。JICA や NEDO 実証事業、JCM でも導入されており、ポテンシャルは十分にあると感じる。	・ ASEAN での HP 普及にあたっての主な課題は認知度とコスト。 ・ 日本の製品は途上国ではオーバースペックなところがあり、現地のニーズにあったスペックが入ればコストの課題も解消できるのでは。 ・ 中国メーカーが日本の	（HPTCJ⁶⁷⁴の国際的な取組） ・ 中国、韓国、ベトナム、インド、インドネシア、タイの計 7 カ国と「アジアヒートポンプ蓄熱技術ネットワーク（AHPNW）」を設立 ・ IEA や IRENA 等の国際機関とのヒートポンプ・蓄熱

⁶⁷⁴ HPTCJ：一般財団法人 ヒートポンプ・蓄熱センター

	(技術や製品の) 延長にあるような製品を作り、他国へ進出する段階にあり、競合として要注意。	技術に関する共同研究を実施
--	---	---------------

【冷凍空調機器】

日本企業の優位性、強み	現状の課題	その他
・インバータや冷媒に関して、日本で既に普及実績がある製品を途上国に展開しており、信頼性がある（中国メーカーは自国で普及していないプロパンの冷媒を途上国で展開しているケースがあり、安全上の懸念の声あり） ・微燃性冷媒は、安全性のための評価、普及する技術を含めて展開できる ・インド（インバーター化率は20%程度）は、中国メーカーが展開しづらい狙い目	・インバータ技術を持たない現地メーカーとの調整⁶⁷⁵ ・恒常的に暑い国では、中間的な気候で優位性があるインバータのメリットが失われる。また、マイナス 10℃になるような場所ではヒートポンプの性能が落ち、ボイラーの方が優位性あり。地域ごとの優劣を考えなければならず、温度帯の分析が必要。 ・一度、他国に販売店網を押さえられてしまうと、そこから逆転することは困難（他国が先んじている事例：中国のパキスタン進出、中国・韓国のアフリカ進出）	（JRAIA⁶⁷⁶の国際的な取組） ・性能を正しく評価する基準を作り、途上国の規格とする取り組みを推進（特にアジア全般、ASEAN、パキスタンを対象）⁶⁷⁷ ・性能を正しく測定するための支援として海外における試験場のトレーニングを推進 ・環境省がフルオロカーボン・イニチアチブ（IFL）を立ち上げ、JRAIA も参加。廃棄と冷媒回収処理は、IFL が主導して途上国支援も行っていく予定

ZEB に関して日本企業の海外展開の足掛かりとなる可能性を持つ地域として、ASEAN が挙げられる。「世界省エネルギー等ビジネス推進協議会」は、アジアの蒸暑国等を中心とした地域において、ZEB の概念を普及拡大すべく、2017 年に ZEB 普及ワーキンググループを発足させ、ASEAN 各国を中心に商業ビル ZEB 化のための技術やノウハウの普及啓発に努めると共に、各国の関連施策等を策定する上で拠り所となる国際標準の策定に取り組んできた。

2021 年 9 月には、日本が幹事国となって ISO に提案していた技術仕様書が TS23764

⁶⁷⁵ ASEAN の中で現地メーカーが多く、インバーター導入が遅れているのはタイ・インドネシア

⁶⁷⁶ JRAIA：一般財団法人 日本冷凍空調工業会

⁶⁷⁷ インバーターの性能を正しく評価するために、CSPF（冷房期間エネルギー消費効率）規格の普及が必要（詳細は、（4）建物（1）世界における技術・サービスの開発・社会実装の動向（c）空調機器を参照）

(Methodology for achieving nonresidential zero-energy buildings (ZEBs)) として制定された⁶⁷⁸ (詳細は (4) 建物 (1) 世界における技術・サービスの開発・社会実装の動向 (a) ZEB を参照)。
ASEAN 諸国にとって、(Net) ZEB は技術・資金面での課題が伴うが、ステップバイステップのアプローチによって、ZEB への取り組みをし易いものすること、加えて、部材調達の際の認証、運営開始後の性能評価、メンテナンスを盛り込むことにより、信頼性の高い日本製品の優位性を高めることを目的としている⁶⁷⁹。また、TS23764 が制定に至る過程では、ISO の専門委員会のひとつである TC205 (建築環境設計) の WG2 (省エネルギー建築設計) で議論がなされたが、ASEAN 諸国との二国間での協力要請を進めた結果、2019 年度にフィリピン、マレーシア、シンガポールの 3 か国が TC205 において投票権のあるメンバー (P メンバー) として登録される等、ASEAN 諸国との協力関係も制定の後押しとなった。

さらに、世界省エネルギー等ビジネス推進協議会の活動を通じて、ASEAN のエネルギーの持続可能性に貢献したベストプラクティスを表彰する「ASEAN Energy award」の中に、2019 年より ZEB award が創設されており、先行するシンガポールに加え、マレーシア、タイ、インドネシアからの入賞事例も出ている⁶⁸⁰。また、ASEAN 地域においてビジネス主導で低炭素技術が普及していくための環境整備を進めていく観点から、日本政府が提案し、2019 年から取り組みを進めているイニシアティブ「CEFIA (Cleaner Energy Future Initiative for ASEAN)」においても、フラッグシッププロジェクトとして ZEB が選定された⁶⁸¹。このように、日本との協力関係の中で、ASEAN 諸国の ZEB への関心の高まりを伺うことができる。

また、個別の機器については、ヒートポンプ、冷凍空調機器ともに、日本で普及実績のある技術や日本独自の技術の展開による、品質の高さや信頼性が強みである一方、スペックや価格面において、現地ニーズとの乖離があることが課題になっている。また、価格面で優位性を持つ中国企業による途上国への進出も進んでおり、日本としては、初期の導入費用だけでなく、省エネルギー性能やアフターサービスを含めたライフサイクルでの日本製品のメリットや、もの単体ではなくシステムやサービスを組み合わせた付加価値の創出をアピールしていくが必要になっている。

⁶⁷⁸ 世界省エネルギー等ビジネス推進協議会 2021.10.6 <https://www.jase-w.org/press-release-iso-ts23764/>

⁶⁷⁹ METI「令和元年度新興国等におけるエネルギー使用合理化等に資する事業 (省エネ等ビジネス世界展開促進事業) 調査報告書 (令和 2 年 3 月 31 日)」https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2019FY/000516.pdf

⁶⁸⁰ ASEAN Center for Energy, <https://aseanenergy.org/work/award/>

⁶⁸¹ CEFIA, <https://www.cefia-dp.go.jp/fp/zeb/01>

表 146 一般財団法人ヒートポンプ・蓄熱センタの ASEAN における取り組み

一般財団法人ヒートポンプ・蓄熱センター（HPTCJ）の「ASEAN における取り組み」

HPTCJ は、ヒートポンプ・蓄熱システムに関する国内外での普及啓発、調査、研究など行っている。国際的には、アジア 7 か国が加盟する「アジアヒートポンプ蓄熱技術ネットワーク（AHPNW）」⁶⁸²に加盟しており、2017 年 10 月には、今後特にエネルギー消費の増加が見込まれるアジア地域において、ヒートポンプ給湯機の普及促進を AHPNW のメインテーマとして取り組むことを含めた共同宣言を発出している。

■「東南アジア HP 給湯機・蓄熱システム普及委員会」の取り組み

上記の共同宣言を具体的に進めていくため、2018 年に「東南アジア HP 給湯機・蓄熱システム普及委員会」を立ち上げた（3 年にわたって活動を実施）⁶⁸³。

- ✓ 対象国：タイ、ベトナム、インドネシア
- ✓ 目的：認知度の向上、現地ニーズの把握、現地とのつながりの構築
- ✓ 内容：HP 普及の課題を、認知度、セクター別のニーズ、コスト等の切り口から分析
- ✓ 対象セクター：業務用（特にホテル・病院）⁶⁸⁴

調査の結果、主な課題は認知度（ヒートポンプ技術自体が認知されていない）およびコスト（日本の製品は現地ではオーバースペックであり価格が高い）である。また、調査対象国では、今後、生活水準の向上や観光客の増加に伴い、ホテル等の商業建物の増加が見込まれており、それらの建物への HP 設置（給湯需要）による省エネポテンシャルが見込まれる。現地とのつながりという点では、現地でのワークショップやインタビューを実施し、ベトナムの Green DC、インドネシアの MASKEEI とは、今でも普及活動を継続している。

■ASEAN における産業用 HP の活用事例（タイ）

タイは、ASEAN の中で省エネが最も進んでいる国であり、日本の HP メーカーの工場が初期に進出したのがタイであり、現地には HP 製造工場が多い。産業分野での HP 活用事例として、冷温同時取り出し可能なヒートポンプ（日本メーカー独自）がある。タイでは食品・飲料分野の工場が多く、温熱冷熱の両方を利用するところでフィットする。JICA や NEDO 事業でも実施したが、タイにおける冷温同時取り出しポテンシャルは十分にあり、JCM でも導入されている。一方で、タイの産業用 HP の導入率は低い（日本も同様）。日本で開発して現地に持っていくか、日本と現地で同時に開発をしていくかは今後のストーリー次第であるが、今後の更なる導入可能性は期待できる。

⁶⁸² 平成 23 年 10 月、アジア主要 5 カ国（中国、インド、日本、韓国、ベトナム）の関係者により設立された。現在は、インドネシアとタイを加えた 7 カ国が加盟している。参加機関は、日本：HPTCJ、中国：中国建筑科学研究院、インド：インド暖房冷凍空調学会（ISHRAE）、韓国：韓国産業技術研究所、ベトナム：ハノイ工科大学、インドネシア：AHP&HVACR インドネシア、タイ：DEDE・キングモンクット工科大学。

⁶⁸³ 委員会は、前川製作所が委員長となり、ヒートポンプメーカー、ゼネコン、電力会社等が参加。

⁶⁸⁴ 東南アジアでは、住宅用はそもそも給湯がいらないう意見があること、産業用は企業ごとの個別のニーズ対応が必要である（汎用性が低い）ことから業務用を選定。

(5) 都市計画

(i) 世界における技術・サービスの開発・社会実装の動向

気候変動対策に取り組む世界の大都市によって構成された都市のネットワーク C40 によれば、世界の最終エネルギー消費の3分の2、CO₂排出の70%が都市に起因するとされている⁶⁸⁵。都市は、前述の「電力・エネルギー」「運輸交通」「産業」「建物」を含む様々な要素で構成されており、低炭素化に資するセクターごとの技術・サービスに加えて、セクター横断的な取り組みが求められる。

(a) スマートシティ

近年、都市の抱える諸課題に対して、ICT等の新技術を活用し、「環境」、「エネルギー」、「交通」、「医療・健康」等の複数分野にアプローチし、全体最適化を図る「スマートシティ」の開発も世界各地で進められている。

スマートシティの概念は、多岐にわたっており、時代とともに変化している。2018年に国土交通省が取りまとめた資料では、スマートシティは「都市の抱える諸課題に対して、ICT等の新技術を活用しつつ、マネジメント（計画、整備、管理・運営等）が行われ、全体最適化が図られる持続可能な都市または地区」とされている⁶⁸⁶。スマートシティは、従来は都市が抱える多様な課題（住宅需要の逼迫、交通渋滞、浄水・汚水排水処理等）の解決に向けて、都市基盤整備の取組を進めるものが多かったが、近年ではデジタル技術を活用した新サービス（MaaS：Mobility as a Service等）の創出や生活の質の高度化を図ろうとする取組が国際的に大きな潮流になってきている。また、2010年頃はエネルギーをはじめとした「個別分野特化型」の取り組みが中心であったが、近年は、ICTを活用した「環境」、「エネルギー」、「交通」、「医療・健康」等、複数分野に幅広く取り組む「分野横断型」の取組みが増加しているとしている。

表 147 海外のスマートシティ事例

都市	事業主体	内容
アムステルダム	自治体	CO2排出削減を目指した環境・エネルギー公共サービス、健康医療、農業等の試験事業を実施。また気象データと水路・運河の維持管理データを同時に分析し、氾濫を予測
コペンハーゲン	自治体	街灯、ゴミ箱、下水処理システム、携帯電話等からデータを収集し、信号制御の最適化、大気汚染やCO2排出の改善に活用。データは取引市場を介して民間企業等に提供
シンガポール	国家	国土全体を3Dモデル化し、建築物や土木インフラ等に情報をリンクさせたデータベースを作成
中国・雄安新区	国家	全面的なスマート環境（エネルギー、交通、物流システム）と行政システムを備えた新都市の建設
サンディエゴ	GE・AT&T・インテル等	スマート街灯による街灯統御、歩行者・車両データの取得、スタートアップ企業へのデータ提供等による都市環境の構築

出所：内閣府⁶⁸⁷資料より一部抜粋

⁶⁸⁵ C40 CITIES、https://www.c40.org/why_cities

⁶⁸⁶ 国土交通省、スマートシティの実現に向けて【中間とりまとめ】
https://www.mlit.go.jp/report/press/toshi07_hh_000126.html

⁶⁸⁷ 内閣府政策統括官、「スマートシティの構築を通じた Society 5.0 の実現」（2018年11月15日）、
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/tiiki/kokusentoc/supercity/dai2/shiryou1.pdf>

特に最近では、GAFA や BAT（バイドゥ、アリババ、テンセント）のようなデジタル・ネイティブ企業がスマートシティ開発におけるプラットフォーマーとして台頭してきており、デジタル技術を活用した新サービスにより、インフラ運営の最適化・効率化や住民の利便性・快適性の向上を図る実証実験が世界で進展している。同分野で社会実装を進めている Google、Cisco、アリババ、Siemens の City アーキテクチャはほぼみな同じ構成をしており、AI およびビックデータを活用し、接続された全システムの統合・連携制御を目指している。例えば、欧州を中心に多くのスマートシティ開発に関わっている Cisco は、Kinetic for Cities を導入し、主に都市行政の効率化に向けたソリューションを、自社ネットワーク技術で実現している⁶⁸⁸。

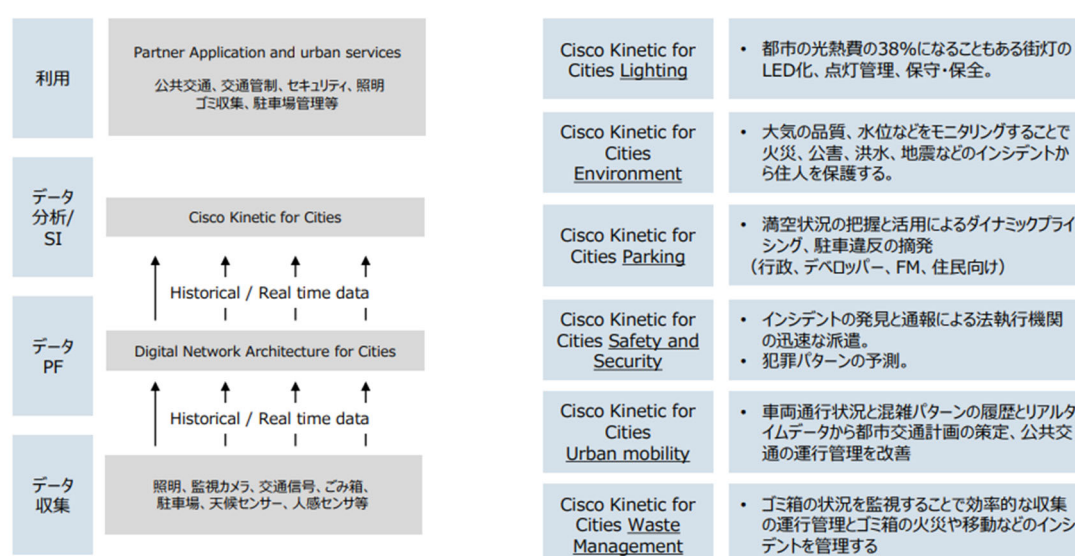


図 243 Cisco の想定するスマートシティ事業

出所：野村総合研究所「スマートシティ報告書 - 事業機会としての海外スマートシティ-」

特に、中国における官民一体となったデジタル技術の進歩は目覚ましく、習近平政権の下、各都市でデジタル・イノベーションの実証・実現政策を推進している（北京：自動運転×バイドゥ、杭州：スマートシティ×アリババ、深圳：ヘルスケア×テンセント等）。

これまで、日本は都市基盤強化の分野で、公共交通志向型開発（TOD：Transit-Oriented Development）や環境共生など複合的な都市開発等の経験・ノウハウを蓄積し、強みとして売り込んできた実績を持つ。しかしながら、前述のように、新興国においても都市基盤の整備というこれまでのニーズのみならず、将来的にはデジタル技術活用の標準装備化へ移行していく潮流があることから、従来のアプローチに加え、分野横断的な対応やデジタル技術を組み込んだ都市開発支援がより一層求められることになる。

⁶⁸⁸ NRI、「スマートシティ報告書-事業機会としての海外スマートシティ-」（2019年5月）、
https://www.nri.com/-/media/Corporate/jp/Files/PDF/journal/2019/20190426_.pdf?la=ja-JP&hash=044467300E0FB6503A84F275CA2AEAA0649BE482

このような実情を踏まえ、日本政府はスマートシティに係る各事業の連携や分野間のデータ連携等を推進するため、内閣府主管の統合イノベーション戦略推進会議において、スマートシティ関連事業の推進に関する基本的な方針とともに、スマートシティのアーキテクチャ（システム全体を俯瞰する設計図）⁶⁸⁹を示している。分野横断的なシステムのつながりによって、部分最適ではなく全体俯瞰の視点で、個別技術にとどまらずルールや制度設計も含めて検討していくことが必要となっており、米、欧等ではアーキテクチャによる全体俯瞰した議論が進展している。

【先進国におけるスマートシティ開発】

先進国におけるスマートシティ開発は、最先端のデジタル技術を活用し、既存の都市をより快適な都市にすることを目指すものであることが多い。

（欧州）

欧州では一般に環境意識が高く、ICT を活用したエネルギーおよび運輸分野の低炭素化を中心とする「持続可能な都市化」が重要視されている。2009 年、欧州委員会はエネルギー・気候変動分野の技術戦略の柱となる「戦略的エネルギー技術計画（SET Plan）」を策定した。この SET Plan の実施に向けたイニシアティブのひとつが「Smart Cities Initiative」であり、2020 年までに GHG 削減の 40%削減を積極的に目指す先進的な低炭素モデル都市「スマートシティ」を欧州 25～30 都市で創設するという目標が掲げられた。主に建物、地域エネルギーネットワーク、交通の 3 分野で先進的な措置の導入が掲げられ、具体的には、暖房・冷房需要への再生可能エネルギー活用、建物や機器、再生可能エネルギー発電などを統合し最適制御を行うスマートグリッドの確立、運輸における代替燃料の活用などが進められた⁶⁹⁰。

2015 年には前述の SET Plan を踏まえつつ、新たな方針を示す Integrated SET-PLAN が採択された。この中でスマートシティに関する目標として、持続可能な都市化のために 2025 年までに 100 の「Positive Energy Districts（PED）」の計画・展開が掲げられた。PED とは、再生可能エネルギーを活用したエネルギー輸入ゼロ、CO₂ 排出ゼロの地域を指す。実現に必要な技術として、以下のような具体例を挙げられており、より分野横断的かつデジタル技術を組み込んだエネルギーシステム構築が求められていることが分かる⁶⁹¹。

- ✓ 建物および地域単位の省エネルギー、エネルギー利用の効率化、EMS の技術
- ✓ 地域エネルギー（PV、太陽熱、地熱、廃棄物発電など）の最大・最適活用の技術
- ✓ ICT プラットフォームによるエネルギーシステムの統合技術
- ✓ 長期間のエネルギー（電気・熱）の貯蔵技術
- ✓ EV のエネルギーシステムへの統合技術
- ✓ 市民のプロシューマー化（生産消費者）を支える分散型台帳技術

⁶⁸⁹ 機能、データ、アセット等を各層に分け、各層の構成要素（個別機能、ルール、データ、アセット等）とそれらの関係性を可視化し、関係者間で共通理解を図るもの。

⁶⁹⁰ JETRO、「EU の戦略的エネルギー技術計画（SET Plan）の実施のための政策提言「低炭素エネルギー技術開発への投資」の概要」、https://www.jetro.go.jp/ext_images/jfile/report/07000258/eu_setplan.pdf

⁶⁹¹ European Commission、Strategic Energy Technologies Information Systems「SET-Plan ACTION n°3.2 Implementation Plan」（2018 年 6 月）、
https://setis.ec.europa.eu/system/files/setplan_smartcities_implementationplan.pdf

また、技術以外の要素としても、既存の法律・規制との調整、利害関係者の参加促進、適切なコストシェアリング、資金調達スキームの確立、キャパシティビルディング、オープンイノベーションの促進等の多様な課題が提起されている。

(米国)

米国で最大の業界団体である Smart City Council のスマートシティの定義を簡潔にまとめると「全ての都市機能にデジタルテクノロジーを組み込み、データを収集、相互接続、分析することで人がよりよい意思決定を行うことに役立つ都市」と言える。州や都市によって取り組みの特徴は異なるが、GAFA や IBM、Cisco、IBM など巨大な IT 企業がスマートシティ開発に参入し、デジタル技術の活用が進んでいる。

具体例として、ニューヨーク市は、環境やサイバーセキュリティ分野に力を入れている。2019 年 4 月、州は地球温暖化対策計画「NYC グリーンニューディール」を発表しており、2030 年までに再生可能エネルギー拡大と大型建築物改修義務化により GHG 排出量の 30% 近い削減を目指し、140 億ドルの投資と市の法制度整備を行うとしている。また、スマートシティ実現に当たっては、IoT 活用の前提となるサイバーセキュリティを注力分野と位置付け、サイバーセキュリティ分野のスタートアップ企業の立ち上げや人材育成を進め、この分野で世界的な地位を築き上げることを目指している。カリフォルニア州サンフランシスコ市では、行政データを戦略的な財産として管理し、オープンデータとして発信する取り組みを進めている。市はオープンデータの発信により、分析や研究、パフォーマンスの可視化、アプリ開発等が進み、データ主導のエコシステムが発展し、それによって、市民生活の質の向上、サービス提供の効率化、新規ビジネスの創出といった好循環が期待されるという考えに立っている⁶⁹²。

【新興国におけるスマートシティ開発】

先進国のみならず、中国やインド、ASEAN でも国家主導で多数のスマートシティ開発が進んでいる。新興国におけるスマートシティ開発は人口増加や急激な都市化による社会課題に対応するための、エネルギーを含む基本的な都市機能の整備事業としての側面が強い。しかしながら、既存のインフラや規制がない分、リープフロッグ型発展⁶⁹³の可能性を秘めている。

(中国)

中国におけるスマートシティはデジタル化の側面が強い。2014 年に国务院が発表した「全国新市計画」において、IoT やクラウド、ビッグデータなど新たなデジタル技術を活用して スマートシティを建設することが明示された。また、第 13 次 5 カ年計画（2016-2020 年）では、5 カ年計画の中で初めてスマートシティの取り組みが明示され、合計 500 カ所のスマートシティプロジェクトが準備段階または建設中である。中国のスマートシティ開発を先導するアリババは、2016 年に都市のビッグデータを人工知能で管理・運用するシステム「城市大腦（シティブレイン）」を公表した。システムのコンセプトは、あらゆるリアルタイムの都市データを活用して都市のオペ

⁶⁹² JETRO、「米国におけるスマートシティに関する取り組みの現状」（2015 年 10 月）、
https://www.jetro.go.jp/ext_images/_Reports/02/bbaea2a997300b76/reportsNY_201510.pdf

⁶⁹³ 既存の社会インフラが整備されていない新興国において、先進国が歩んできた技術進展を飛び越えて、新しいサービス等が一気に広まること。

レーション上の欠陥を即座に修正し、都市の公共リソースを全体で最適化するというもので、当初は杭州市における交通分野での活用から始まった。道路上に設置されたネットワークカメラの映像を分析し、交通状況に応じた信号機の自動切り替え、交通事故の検出による緊急車両のスムーズな誘導、車両異常を認めた場合の警察への自動通報などが可能になっている。今後は公共交通、建築物、農地など都市の全ての要素をカバーし、様々な都市課題に解決策を示すとされている。

（インド）

インドでは、政府が 2022 年までに国内全土にスマートシティを 100 か所構築する政策「スマートシティミッション」を宣言しており、投資総額は 2 兆ルピー（約 3 兆 2 千億円）以上と見込まれている。生活に必要な不可欠な基礎的なインフラ整備を目的とする都市が多いが、デリーなど一部の大都市においては、IT や最新技術を活用し既存の課題を解決することを目指している。インドには「インド・スタック」と呼ばれる、国民 ID「アダール（Aadhaar）」を基盤としたデジタル公共財が存在する。アダールには個人の生体情報が登録されており、納税者番号や銀行口座などともひも付けられており、これによって、補助金や公共サービスのスムーズな提供、電子決済が実現している。インド・スタックは、多くの国民が自身の身分を証明する公的手段を持たない新興国などから注目を集めており、政府はインド以外の国でもデジタル公共財の仕組みを開発できるよう、インド・スタックのアーキテクチャを公開する MOSIP（Modular and Open Source Identity Platform）を開発している。現在、アジア・アフリカ諸国などと導入協議が行われているとされている⁶⁹⁴。

（ASEAN）

ASEAN においても 2018 年に「ASEAN スマートシティネットワーク（ASCN）」が立ち上がり、ASEAN10 カ国から 26 都市が選ばれ、民間企業・諸外国との連携を通じたスマートシティ開発プロジェクトの推進を目指している⁶⁹⁵。ASCN は持続可能な都市化に向けた 6 分野（市民・社会、健康・ウェルビーイング、安全、質の高い環境、インフラ開発、産業・イノベーション）に対応した戦略目標を定めており、「ASEAN Sustainable Urbanisation Strategy（ASUS）」では、それらの 6 分野に対応した 18 のサブテーマを定め、スマートシティ開発の機会や課題をまとめている。

⁶⁹⁴ JETRO（2020 年 6 月 30 日）、日本・インド連携でアフリカなど第三国への「インド・スタック」展開、<https://www.jetro.go.jp/biznews/2020/06/61cb3c1eeec1c160.html>

⁶⁹⁵ ASEAN、ASEAN Smart Cities Network、<https://asean.org/asean-smart-cities-network/#>

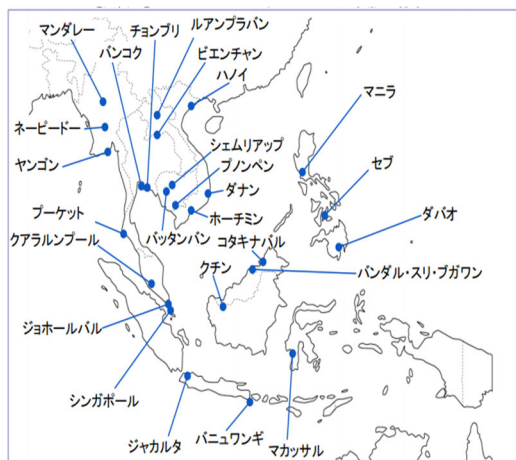


図 244 ASCN 実証 10 カ国 26 都市

表 148 ASCN の 6 分野・18 サブテーマ

6 分野	18 サブテーマ
市民・社会	・社会的結束 ・包括的かつ公平な成長 ・文化と遺産 ・観光
健康・ウェルビーイング	・住宅 ・ヘルスケア ・その他公共サービス
安全	・個人の安全とセキュリティ ・サイバーセキュリティ
質の高い環境	・水、廃棄物、衛生 ・エネルギー ・食べ物
インフラ開発	・モビリティ ・建物、建設 ・都市のレジリエンス
産業・イノベーション	・起業家精神、イノベーション ・貿易、通商 ・教育

出所：（左）首相官邸、第 44 回経協インフラ戦略会議資料（右）ASCN 資料より筆者作成

ASEAN の中でも、シンガポールは世界でも有数のスマートシティ開発が進む一方、基本的な都市機能が整備されていない国も多く、国によってニーズが大きく異なるが、多くの国に共通する課題は急激な都市化に伴う交通渋滞の解消となっている。ASUS で定めた 8 つの優先取り組み事項には「バス高速輸送（BRT）システムの導入・改善」「交通管理システムの開発・強化」という 2 つの運輸・交通関連の内容が含まれている。また、現時点では、諸外国で実装が進む MaaS のような動きは拡大してはいないが、すでに Grab や Go-Jek がライドシェアビジネスの二大勢力として活用されており、両社はライドシェアに留まらず、決済と顧客のプラットフォームから、金融や娯楽、ホーム・ビジネスサポートとサービス内容を拡張させていっている⁶⁹⁶。

【国際標準化の動向】⁶⁹⁷

前述のように、スマートシティ開発は ICT を活用した分野横断型の取り組みが増加している。そのため、構成要素や活用すべき技術が多岐にわたり、構築の手順もさまざま、何にどう着手すべきかが分からないという課題が生まれている。この課題を解決するため、国際標準化機構（ISO）、国際電気標準会議（IEC）、国際電気通信連合（ITU）など、多様な標準化機関が規格の作成に乗り出したが、10,000 件とも言われるスマートシティ関連規格の乱立により、どれを参照すればよいか分からないという新たな問題も発生している。

現在制定されている代表的な標準化機関の IoT スマートシティに関する規格は以下のとおりである。社会実装例が増えるに従い、全般的な評価に加え、防災等の特定分野での評価指標策定の動きも出ている。

⁶⁹⁶ NRI、「スマートシティ報告書 2.0 構造フェーズから具体化フェーズへ-レジリエンス・街アプリ・スマートインフラ・デジタルゼネコン-」（2020 年 6 月）、
<https://www.nri.com/-/media/Corporate/jp/Files/PDF/journal/2020/20200617.pdf?la=ja-JP&hash=9B6712242380252D0690BF2FB4478AE1E7B6A2BC>

⁶⁹⁷ PwC、「IoT スマートシティに関する標準化動向と評価指標（KPI）の標準化」（令和 2 年 3 月 31 日）、
https://www.soumu.go.jp/main_content/000690772.pdf

表 149 IoT スマートシティに関する規格

標準化機関	規格番号	標準名	制定年
ISO	ISO37120	都市サービスおよびQoLに関する評価指標	2018年10月 (第2版) 2014年(第1版)
	ISO37122	サステナブルコミュニティ - スマートシティに関する評価指標	2019年
	ISO37123	サステナブル都市・コミュニティ - レジリエント都市指標	2019年
	ISO37153	都市インフラ成熟度モデル	2017年
ITU-T	Y.4900	スマートシティKPI概要	2016年
	Y.4901	スマートシティのICT導入に関するKPI	2016年
	Y.4902	スマートシティのICT利用の持続性への影響に関するKPI	2016年
	Y.4903	SDGs達成評価のためのスマートシティKPI	2016年
ISO/IEC JTC1	ISO/IEC30146	スマートシティICT指標	2019年
ETSI	TS 103463-1	持続可能なデジタルマルチサービス都市に関するKPI	2017年
ETSI	TS 103463-2	持続可能なデジタルマルチサービス地域に関するKPI	2019年
ITU, UNECE	—	U4SSC スマートで持続可能な都市に関する指標	—

出所：IoT スマートシティに関する標準化動向と評価指標（KPI）の標準化

欧米を中心とした先進国は、スマートシティ開発の国際展開にあたっての競争力を高めるため、国際標準の開発に取り組み、自国の技術・サービスが評価される市場環境の形成に努めている。欧州では、IoT スマートシティに関する社会実装プロジェクト予算として3年間で約24億円を投じ、既存標準群から最適な標準を選定して社会実装のハードルを引き下げ、社会実装結果を技術・標準の改善や更なる標準化に繋げるサイクルを構築している。また、米国では、米国国立標準技術研究所（NIST）が中心となり、欧州と同様の取り組みが行われている。

(b) 都市におけるモビリティ

都市において、エネルギー供給、建物に加えて、多くのエネルギーを消費するのが、運輸交通セクターである。1-1-2 で述べたような電化や燃料転換による車両の低炭素化に加え、インフラ整備やモビリティの利用形態の多様化、それに伴う人々の自動車の所有意識の変化が運輸交通セクターの低炭素化につながる可能性がある。

C40 は都市の脱炭素化に向けた運輸交通セクターの機会を、以下の4つに整理している⁶⁹⁸。

- ✓ 公共交通指向型開発（TOD: Transit-Oriented Development）の促進
- ✓ 公共交通機関、徒歩、自転車による移動の促進
- ✓ 次世代車両の実現
- ✓ 次世代の貨物輸送・配送の実現

公共交通指向型開発（TOD）とは、公共交通機関に基盤を置き、自動車に過度に依存しない社会を目指した都市開発である。TOD の取り組みは、ミクロからマクロな視点まで幅広いが、最

⁶⁹⁸ C40 「Focused acceleration: NOVEMBER 2017 A strategic approach to climate action in cities to 2030（2017年11月）」<https://www.c40.org/researches/mckinsey-center-for-business-and-environment>

も代表的な例としては、郊外住宅開発と公共交通整備の密接な結合、公共交通を基礎とした中心市街地の活性化、拠点鉄道駅周辺の重点都市開発、公共交通利用を念頭に置いた都市構造デザインと土地利用のコントロール、などが挙げられる⁶⁹⁹。日本は東京をはじめ、鉄道駅周辺を拠点とした都市開発の実績が豊富であり、TODはインフラ海外展開における強みでもある。

公共交通機関、徒歩、自転車による移動の促進の取り組みとしては、ハード面では、主要な道路への Bus Rapid Transit (BRT) の導入や主要駅の改築による利用促進、ソフト面では、自動料金徴収システムの導入、道路や駐車場におけるダイナミックプライシングの導入、自転車・歩行者レーンの設置等が挙げられる。

次世代の貨物輸送・配送の実現に向けた取り組みとしては、地域内輸送における共同輸配送の促進、物流拠点の低炭素化促進、物流事業者および荷主の連携によるモーダルシフト促進、再配送削減のための受取方法の多様化等が挙げられる。

上記のような取り組みは、都市開発と密接に関連している。世界的には、地域・都市の空間デザインという観点から、新たなモビリティサービス導入に親和的な空間デザインの特定、新たなモビリティサービス拡大による空間の再設計についての検討も進められている。例えば、全米都市交通担当官協議会は新しいモビリティサービスを想定した新都市計画のコンセプトを発表しており、都市全体を網羅する複数の交通手段の提供、自動運転を見越した道路設計やリアルタイムでの交通管制、域内の過剰な自動車の抑制等が挙げられている⁷⁰⁰。特に、今後、新たな都市開発が一から進む途上国においては、都市開発とモビリティの関係が、既存の交通事業者や公共交通、各種規制が存在する先進国とは異なる、リープフロッグ的な発展を見せる可能性がある。

また、モビリティの利用形態の多様化に関して注目されているのが「MaaS: Mobility as a Service」である。MaaSとは、広義にはIoTやAIが可能とする新しいモビリティサービスを指す。新しいモビリティサービスの類型としては、下表に示すように、カーシェアリング、デマンド交通、マルチモーダルサービス、物流、駐車場シェアリング、移動サービスと周辺サービスの連携、コネクテッドカーサービスが挙げられる。

また、MaaSは狭義にはマルチモーダルサービスを指し、公共交通など多種多様な交通モーダルを最適に組み合わせて検索・予約・決済などを一括で提供するサービスを指す。世界では、北米のRIDESCOUT、ドイツのmoovel、オーストリア（ウィーン市）のSMILE、フィンランドのWhimなど、欧米を中心にアプリの構築、実用化が進められているほか、アジアにおいても、中国のDiDi、インドのOla、インドネシアGo-Jekなど、自国発の配車サービスが事業領域を拡大している。

2018年に公表された「WHIMPACT」というWhimの影響を評価した報告書（2017年のデータに基づく）は、Whimユーザーのシティバイク利用距離から、同距離を自家用車で移動した場合と比較して20トンのCO₂が削減されたと指摘している⁷⁰¹。また、2019年版では、Whimユーザーの

⁶⁹⁹ 一般財団法人環境イノベーション情報機構、<https://www.eic.or.jp/ecoterm/?act=view&serial=2811>

⁷⁰⁰ 経済産業省「「IoTやAIが可能とする新しいモビリティサービスに関する研究会」中間整理」（平成30年10月17日）

⁷⁰¹ MaaS Global, “Whimpact 2018 One year of Mobility as a Service with Whim”, https://whimapp.com/wp-content/uploads/2019/10/191004_Whimpact_report_1920x1080.pdf.

交通手段の分担率において、自家用車の利用が 40%から 20%に減少し、公共交通の利用が 48%から 74%へ増加した⁷⁰²と公表された。さまざまなサービスが各国で展開され、ユーザーが自家用車から公共交通機関へ移動手段を転換することが CO₂ 削減につながるとの期待も高い。同時に、サービスの利用がエネルギー消費の削減、ひいては脱炭素化の実現にどれだけ貢献するのかについては、ユーザーデータの分析から十分に精査される必要がある。

上記のような新しいモビリティサービスの導入にあたっては、制度・規制面、安全面、ビジネス実務面等において、様々な課題がある。新しいモビリティサービスの導入を進める各国では、各サービスの実証実験等を通じて、その課題把握と自国の実状に合わせた対応を模索している。

(c) 地域熱供給

世界の最終エネルギー消費量のうち約 5 割は熱利用であり、主に産業部門や民生部門で使用されている。さらに、一次エネルギー投入量に比べ、最終エネルギー消費までにエネルギーロスが生じるが、その多くは熱として排出され、活用されていない（未利用熱エネルギー）。この未利用熱エネルギーを効果的に削減または回収して再利用・変換利用することは、民生・産業などの分野での更なる省エネに大きく貢献する。

熱エネルギーは、民生分野においては、主に空調（主に暖房）、給湯、調理に使われており、これらの需要は建物における最終エネルギー消費の 8 割弱を占めている。また、産業分野においては、化学工業、パルプ・製紙・紙加工品製造業、石油製品・石炭製品製造業などで大きな熱需要および廃熱が発生している。これらの分野での熱の有効活用（高効率機器の導入、廃熱の再利用など）は、民生・産業部門の省エネおよび GHG 排出削減に大きく貢献すると言える。

ここでは、都市における熱利用の取り組み「地域熱供給」について、詳細を記載する。

【地域熱供給】

地域熱供給とは、1 か所又は数か所の熱供給設備に集めた冷水・温水・蒸気などの熱媒を、導管を通して複数の建物等に供給し、冷房・暖房・給湯などを行うシステムである。工場等からの排熱（未利用熱）や再生可能エネルギー熱なども活用する場合もあり、設備を一箇所にまとめて供給するため、エネルギーを効率的に使うことができる。海外では「District Heating and Cooling : DHC」という名称が一般的である。

地域熱供給を構成するプラント設備として、ボイラ、冷凍機、ヒートポンプ、蓄熱槽、コージェネレーションシステム、地域導管などがある⁷⁰³。未利用熱が生まれるのは、高温なものとして火力発電所、清掃工場、工場等からの排熱、低温のものとして変電所、地下ケーブル、地下鉄等からの排熱が挙げられる。このような未利用熱について、火力発電所から出る蒸気を周辺の工場に供給したり、工場の廃熱を周辺の大規模住宅団地の暖房・給湯用に供給したりといった活用が

⁷⁰² Ramboll, “WHIMPACT Insights from the world’s first Mobility-as-a-Service (MaaS) system”, https://ramboll.com/-/media/files/rfi/publications/Ramboll_whimpact-2019.pdf.

⁷⁰³ 一般社団法人日本熱供給事業協会、<https://www.jdhc.or.jp/what/>（2021 年 3 月 1 日アクセス）

なされている。また、前述のように地域熱供給の中に組み込んで活用することもある。

政府は「省エネルギー技術戦略 2016」重要技術の補足資料において、地域熱供給における主な技術を以下のように整理している。

表 150 地域熱供給における主な技術

個別技術	要素技術・開発項目等
オンライン熱輸送	ヒートポンプ技術、コージェネ技術、センサリング・IoT 制御技術、熱導管等
オフライン熱輸送	潜熱蓄熱技術（シリカゲル-水系、ゼオライト-水系、カプセル化、エマルジョン化等）、化学蓄熱（塩化物、酸化物ー水系化学材料）、コンテナ高断熱技術、移動体用冷熱蓄熱技術、水素吸蔵合金軽量化技術、分析技術（ピンチテクノロジー）等

オンライン輸送＝情報通信等を活用して熱需給を最適に制御する、特定エリア内における高効率な熱輸送
 オフライン熱輸送＝蓄熱技術、熱輸送システムなどを駆使し熱需給を最適に制御する、比較的長距離の熱輸送
 出所：METI「省エネルギー技術戦略 2016」重要技術より調査団作成

METI の「地域熱供給の長期ビジョン⁷⁰⁴」によれば、地域熱供給（DHC）は以下 4 つの強みを持つ。

- ①街区全体の低・脱炭素化
- ②街区のエネルギーマネジメント
- ③街区の強靱化（BCD）
- ④地方創生に向けたまちづくりとの連携

①街区全体の低・脱炭素化としては、スケールメリットを活かした省エネ技術の提供や高度な省エネ技術・新技術の提供が挙げられる。DHC における各種技術の導入によって、日本の大都市モデルおよび地方都市モデルにおいて、街区全体の CO₂ 排出量を 2030 年までに 40%以上低減することができる」と試算されている。

②街区のエネルギーマネジメントについては、CGS や蓄熱槽を活用した電力需給調整機能や需要家との情報連携による需要家の熱・電気の最適制御が挙げられる。地域内の用途の異なる建物を EMS によって一元管理しているが故に、再エネ由来の電力や未利用・再エネ熱、バイオガスや水素など、多様なエネルギーを受け入れながら、地域内での最適制御を可能にすることができる。

③の街区の強靱化（BCD）については、災害時に停電・断水が発生した場合にも、日常の供給設備を活用した電気・熱供給の継続が可能であることが挙げられる。また、蓄熱槽水等を街区の防災・生活用水として活用したり、周辺公共施設等への非常時電気・熱供給をしたりと、地域における災害対策拠点として活用することができる。

④地方創生に向けたまちづくりとの連携については、DHC が地域エネルギー事業によるエネ

⁷⁰⁴ METI、地域熱供給の長期ビジョン（2021 年 1 月 28 日）、
https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/2050_gas_jigyo/pdf/005_09_00.pdf

ルギーの地産地消や再生可能エネルギーおよび未利用熱エネルギーの活用につながる事が挙げられる。上記の街区のエネルギーマネジメント機能や街区の強靱化（BCD）機能と合わせて、地方創生のソリューションとなり得る。

このように、DHCは大気汚染対策や省エネルギー対策のみならず、需要家へのサービス向上や地域のBPC強化、地方創生など様々な課題に対するソリューションとなり得る。

世界的に見ると、地域冷暖房は欧州において普及が進んでいる。地域冷暖房は、元来、寒さの厳しい欧州において、ある地域の複数の建物すべてに、温水や蒸気などの熱を配管で供給する地域熱供給から始まったものであり、現在は、欧州を中心に、ロシア・アメリカ・カナダの寒冷地域や中国、韓国などで広がっている。

欧州は脱炭素化に向けて「熱の有効活用」を重要視している。欧州を中心とした持続可能な冷暖房の推進団体EUROHEAT&POWERによれば、欧州には約6,000の地域熱供給システムが存在し、全体の熱需要の12%をカバーしている。欧州では今後も都市化が進むことが想定され、人口密集地域では最も効率的に運営できる地域熱供給の市場はさらに伸びると考えられている。欧州委員会が2016年に公表した「EU Strategy on Heating and Cooling」においては、主に建物の脱炭素化に焦点を当て、供給面では再エネ電力と地域冷暖房を組み合わせることによるエネルギーの脱炭素化・効率化、需要面では既存建物におけるエネルギー効率を高める改修やスマートビルディングの採用などを推奨している。普及に向けての課題としては、建物所有者の知識不足、資金不足（特に賃貸住宅・ビル、公共建物など）、同分野の専門家の不足等を挙げており、建物所有者への情報提供、インセンティブの提示等の必要性を示している。

下図は、欧州の地域熱供給ネットワークの歴史的発展を示している。最新のもののほど、エネルギー効率が高く、熱の供給温度が下がっていることが分かる。熱の供給温度を下げることで、パイプ内の温水と外の気温の差を小さくなり、輸送ロスの低減につながる。また、化石燃料ほど高温の熱が得られない地中熱・太陽熱など、多様な熱源の利用を可能にする。現在は、エネルギー効率および柔軟性の向上と、利用可能な再生可能エネルギーおよび余剰エネルギーの統合が重視される段階となっている。そのため、日々蓄積される膨大なデータに基づく最先端の制御システム（需給調整、多様なエネルギー源のベストミックス等）の活用が進められている。

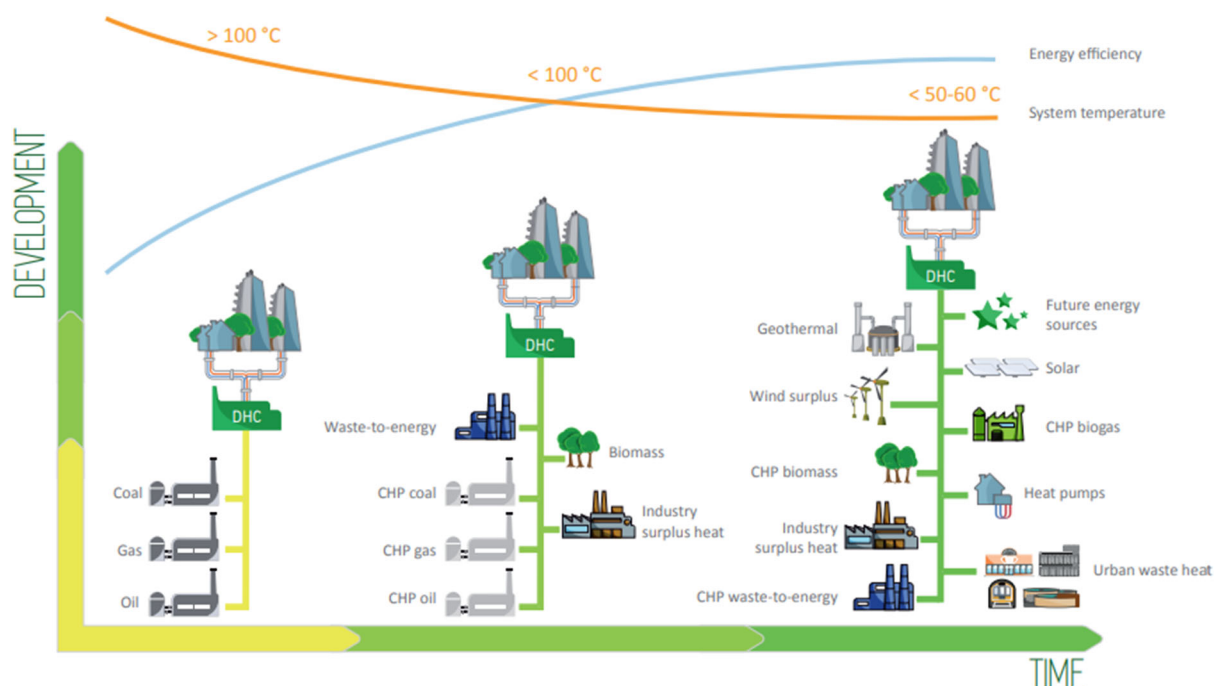


図 245 地域熱供給ネットワークの歴史的発展

出所：EUROHEAT & POWER⁷⁰⁵

欧州における先進的な取り組みとして、以下のような事例が挙げられる⁷⁰⁶。

✓ コペンハーゲン広域の総合地域熱供給システム

コペンハーゲンでは、自治体と消費者が所有する地域熱供給事業者が総合的な地域熱供給システムを設立している。熱は廃棄物焼却炉（25%）と発電所（70%）で効率的に作られており、ボイラ設備による熱の生産はわずか5%と、熱供給システムにおける再エネ活用が進んでいる。熱供給網は、最適な熱生産と運営を行うため、2つのCHPプラント、3つの大規模廃棄物焼却炉と20の地域の熱供給事業者と相互接続しており、最大の熱供給事業者HOFORが運営している蒸気システムも、温水システムに転換している。コペンハーゲン広域システムは、今後、以下のような取り組みを推進していく。

- CHPプラントの燃料を石炭や天然ガスから、主にワラや木材に移行
- 蓄熱容量を、タンクの拡大や地中貯蔵で大幅に増加
- 地域冷房システムの数、冷水貯水、冷温水のコジェネレーションおよび季節貯蔵など地域熱供給との共存することによって、5から20以上に増加
- 合計熱量1,000GWh以上に相当する消費者を、戸別のガスボイラーから、地域熱供給システムへ切り替え
- 変動する風力発電を補うために、より大きなヒートポンプや電気ボイラを設置

⁷⁰⁵ EUROHEAT & POWER, DISTRICT HEATING AND COOLING A MODERN SOLUTION TO TRADITIONAL CHALLENGES

⁷⁰⁶ State of Green、地域熱供給 都市部のエネルギー効率化、
<https://stateofgreen.com/jp/uploads/2018/10/12788.pdf?time=1616139324>

- ・ 超高温ネットワークの一部を低温ネットワークに移行し、熱損失を低減

✓ ハンブルグ・ハーフェンシティの地域熱供給

ハンブルグ市は地域熱供給における先駆的存在であり、同市の地域熱供給網は全世帯の 19% に接続している。ハーフェンシティは、全く新しい市街区としてハンブルグの中心部に作られた 155 ヘクタールの港湾地区であり、現在、ヨーロッパ最大規模の都心部開発プロジェクトである。同地区のすべての建物は地域熱供給に接続されている。実証プラントとして蒸気タービンと燃料電池が実装され、発電所の余熱が建物の熱供給に使用される。また、新たな CHP プラントの導入と、住宅への家庭用温水給湯用の太陽熱収集パネルの設置が計画されている。一次エネルギーの 90%を利用することができる。

【日本における地域熱供給の技術動向】

日本において、DHC は大気汚染防止対策にはじまり、省エネルギー性能や BCP 性能を強化しながら、発展してきた。現在、DHC は首都圏を中心に全国約 140 地域で導入されている。日本における地域熱供給の取り組みとして、以下のような事例が挙げられる。

✓ 田町駅東口北地域 DHC：スマートエネルギーネットワーク⁷⁰⁷

田町駅東口北地域 DHC では、官民（港区、愛育病院、東京ガスエンジニアリングソリューションズ、東京ガス等）が連携し、「低炭素で災害に強いまちづくり」を実現している。街区全体で 1990 年比 45%の CO₂削減を達成しており、具体的には、ガスコージェネレーションシステム（以下、CGS）を中心としたスマートエネルギーネットワークの構築、再生可能エネルギーの積極的利用が行われている。

スマートエネルギーネットワークとは、CGS を導入し、再生可能・未利用エネルギーを最大活用し、省エネおよびエネルギーセキュリティの向上を図るシステムであり、その中枢となるのが、エネルギー需給を一括管理・最適制御する SENEMS（Smart Energy Network Energy Management System）である。SENEMS により、リアルタイムに CGS、熱源機や空調機制御を行う等による需給の最適計画・制御を自動で行いエリア全体の低炭素化の実現や、SENEMS データの活用によるデータ分析・効果検証、見える化、省エネ提案等のエネルギーサービスの提供を可能にしている。

✓ 中之島二・三丁目地域 DHC：未利用エネルギー活用

中之島二・三丁目地域 DHC では、未利用エネルギーである河川水（温度差熱エネルギー）を利用した地域熱供給事業が行われており、地形を活かした全国唯一の 2 河川利用 DHC となっている。ダイビル、関西電力、関電不動産開発の共同で同地域のビルの建て替えが計画され、その開発コンセプトとして、河川水熱の全面利用、高効率熱回収機器の採用、大規模氷蓄熱槽の採用、変電所排熱の有効利用が採用された。各ビルへの供給開始後、近隣のホテルや商

⁷⁰⁷ 東京ガスエンジニアリングソリューションズ、」 https://www.tokyogas-es.co.jp/case/redevelopment/area_tamachi.html

業施設へと供給を拡大している。省エネルギー効果として、エネルギーの使用の合理化等に関する法律施行規則に記載の基準と比較して、平成 30 年度の実績で、三丁目 32%、二丁目 51% の省エネ効果が得られており、特に二丁目においては全国有数の省エネ効果を実現している

708。

また、この他の未利用エネルギーや再生可能エネルギーの有効活用を進める事例として、東京スカイツリー地区における国内 DHC では初となる地中熱利用や、名古屋のささしまライブ 24 における下水再生熱や太陽熱利用などが挙げられる。

(ii) 現地調査対象国における技術・サービスの開発・社会実装の動向

(a) インド

インドにおいて、Ministry of Housing and Urban Affairs (MoHUA) がスマートシティ政策を主幹している。諸外国同様、インドにおいてもスマートシティの定義は多様であるが、スマートシティ開発の目的は、中核となるインフラ、よりよい生活の質、クリーンで持続可能な環境、スマートソリューションを提供できる都市の開発であるとしている。「中核となるインフラ」としては、①適切な水供給、②安定した電力供給、③廃棄物管理を含む衛生、④効率的な都市のモビリティと公共交通機関、⑤特に貧しい人々のための手頃な価格の住宅、⑥堅牢な IT 接続とデジタル化、⑦持続可能な環境、⑧市民、特に女性、子供、高齢者の安全と安心、⑨健康と教育、の 9 項目を掲げている⁷⁰⁹。

2015 年より、地方から都市部への人口流入を吸収し、拡大する中間層の受け皿となるスマートシティを国内 100 カ所に設ける「Smart Cities Mission⁷¹⁰」が開始された（2023 年 6 月）。

「Smart Cities Mission」は、投資総額は 2 兆ルピー（約 3 兆 2 千億円）以上と見込まれており、このうち 4800 億ルピー（約 7680 億円）は中央政府からの補助金で賄われ、残りは州政府・自治体が官民連携を含む様々なスキームで独自に賄うことが求められている⁷¹¹。各プロジェクトは州によって承認され、各プロジェクトの実装の承認はスマートシティ SPV (Special Purpose Vehicle)⁷¹²に一任されている。プロジェクトの内容としては、都市交通およびエネルギー分野の取り組みが中心であり、都市開発分野（予算の約 40%割当）では、歩行者や自転車に優しい道路

⁷⁰⁸ 一般社団法人日本熱供給事業協会、https://www.jdhc.or.jp/wp_kanri/wp-content/uploads/2020/02/DHC50%E5%91%A8%E5%B9%B4_web-Cut_%E4%B8%AD%E4%B9%8B%E5%B3%B623%E4%B8%81%E7%9B%AE.pdf

⁷⁰⁹ Ministry of Urban Development, “Smart Cities Mission Statement & Guideline (2015 年 6 月)”, <https://smartnet.niua.org/sites/default/files/resources/smartcityguidelines.pdf>

⁷¹⁰ SMART CITIES MISSION, <http://smartcities.gov.in/content/>

⁷¹¹ PWC、インドのスマートシティの仕組みと特徴 ～更なる経済成長と社会課題解決に向けた施策としての Smart City Mission～、<https://www.pwc.com/jp/ja/knowledge/newsletters/electricity/201906.html>

⁷¹² SPV は、各事業実施に当たっては、中央政府と州政府が予算を充当して設立され、都市計画、開発、管理などに当たる。各事業は JV（共同企業体）、子会社、官民連携（PPP）、一括請負契約などによって実行される。SPV は、州と都市ローカル開発局（ULB）が 50:50 の比率で出資するが、マジョリティーにならない形で企業や金融機関が参画する場合もある。資金は、州によっては財務仲介機能を設立する場合や、利用料などの徴収、スマートシティ以外の中央政府のファンドやスキームの活用などを通じて調達する。（JETRO, 100 のスマートシティ建設掲げるインド（2019 年 8 月 30）

<https://www.jetro.go.jp/biz/areareports/special/2019/0801/10f5048a14b14184.html>)

整備、公共バスの整備、電気・CNG バスの普及等、エネルギー分野では、太陽光発電導入（ソーラーパーク設置、国有建物への屋根置き太陽光設置など）、LED 導入、配電網整備等が行われている⁷¹³。

MoHUA は、都市を気候変動対策の観点に基づいてアセスメントするためのフレームワーク（ClimateSmart Cities Assessment Framework : CSCAF）を策定しており、スマートシティ開発を 5 つのカテゴリー（①Urban Planning, Green Cover & Biodiversity、②Energy & Green Buildings、③Mobility & Air Quality、④Water Management、⑤Waste Management）に分類し、各カテゴリーの 28 指標に、レベル 1～5 の KPI を設定している。これに基づき、各都市の総合レベル、指標ごとのレベルをモニタリングし、公表している⁷¹⁴。

表 151 CSCAF2.0 におけるカテゴリーごとの指標

カテゴリー	指標	定量/定性目標
Urban Planning, Green Cover & Biodiversity	Rejuvenation & Conservation of Water Bodies & Open Areas	水域とオープンエリアの状況把握、モニタリングの取り組み
	Proportion of Green Cover	都市における緑地の割合
	Urban Biodiversity	生物多様性のための取り組み
	Disaster Resilience	災害対策への取り組み
	City Climate Action Plan	気候変動対策への取り組み
Energy and Green Buildings	Total electricity consumption in the city	一人当たりの電気消費量
	Total electrical energy in the city derived from renewable sources	電力消費における再エネ割合
	Fossil fuel consumption in the city	一人当たりの化石燃料からの CO ₂ 排出量
	Energy efficient street lighting in the city	街灯の高効率化・再エネ利用の割合
	Promotion of green buildings	グリーンビル促進手段の実装数
	Green Building Adoption	住民に占めるグリーンビル居住者の割合
Mobility & Air Quality	Clean Technologies Shared Vehicles	シェア車両における代替燃料車および電動車の割合
	Availability of Public Transport	公共交通が利用可能な住民の割合
	Percentage of coverage of Non Motorized Transport (NMT) network (pedestrian and bicycle) in the city	MoHUA の道路設計に従い、NMT インフラを備えた道路網の割合
	Percentage of coverage of Non Motorized Transport (NMT) network (pedestrian and bicycle) in the city	MoHUA の道路設計に従い、NMT インフラを備えた道路網の割合
	Level of Air Pollution (Monitoring)	大気汚染のモニタリングへの取り組み

⁷¹³ MoHUA へのヒアリングより

⁷¹⁴ National Institute of Urban Affairs, ClimateSmart Cities Assessment Framework 2.0, <https://niua.org/c-cube/c-cube-documents>

カテゴリー	指標	定量/定性目標
	Clean Air Action Plan (Planning and Implementation)	大気汚染対策への取り組み
Water Management	Water Resources Management	水資源マネジメントへの取り組み
	Extent of Non-Revenue Water	Non-Revenue Water (NRW) ⁷¹⁵ 調査の実施とその割合
	Wastewater Recycle and Reuse	廃水のリサイクル率
	Flood / Water Stagnation Risk Management	洪水対策への取り組み
	Energy-Efficient Water Supply System	給水ポンプのエネルギー監査の実施とその効率
	Energy-Efficient Wastewater Management System	廃水ポンプのエネルギー監査の実施とその効率
Waste Management	Waste Minimization Initiatives Undertaken by the City	プラスチック廃棄物管理、3R、家庭の有害廃棄物処理、産業廃棄物処理への取り組み
	Extent of Dry Waste Recovered & Recycled	Dry Waste の収集・処理、プラスチック廃棄物の3Rへの取り組み
	Construction & Demolition (C&D) Waste Management	建設および解体廃棄物管理への取り組み
	Extent of Wet Waste Processed	Wet Waste の処理への取り組み
	Scientific Landfill Availability & Operations	埋立地への取り組み（衛生面・埋立地ゼロ）
	Landfill/ Dumpsite Scientific Remediation	埋立地・廃棄物処分場の修復

(出所) ClimateSmart Cities Assessment Framework 2.0 より調査団作成

また、スマートシティ開発における地域レベルの取り組みの重要性を鑑み、国立都市問題研究所（NIUA: National Institute of Urban Affairs）の下に、地域の取り組みを支援する「Climate Center」を設置している⁷¹⁶。

(b) インドネシア

インドネシアでは、急速な都市化による、住宅、交通渋滞、大気汚染などの様々な問題が懸念されている。政府はこれらの問題に対処すべく、2045年までの都市開発の長期政策・戦略として「National Urban Development Policy and Strategy 2015- 2045」を策定した。

⁷¹⁵ 水損失の推定値であり、漏水、不確定な計量、未請求、無許可の接続（盗水）を含む。

⁷¹⁶ NIUA, https://www.niua.org/climate_centre_for_cities

FUTURE INDONESIAN CITIES 2045 : SUSTAINABLE AND COMPETITIVE CITY

5 Pillars



図 246 インドネシアの 2045 年に向けた持続可能性と競争力のある都市：5 つの要素

(出所) National Development Planning Agency (Bappenas) ⁷¹⁷

この政策・戦略の実装に向けた取り組みのひとつとして、2017 年に Ministry of Communication and Information が立ち上げたのが「100 Smart City」である。「100 Smart City」は、関連する複数の省庁が協力し、国としてのグランドデザインや規制の策定、進捗管理等を行い、各都市がスマートシティ開発のマスタープランの策定および実装を担う。2013 年に Bandung、2014 年に Jakarta において、イニシアティブに先駆けてスマートシティ開発が行われ、2017 年には 25 都市、その後、3 年間で国内 100 都市にスマートテクノロジーを整備するまでに広がりを見せている。多くの都市では、また、2018 年に立ち上げられた ASEAN スマートシティネットワーク (ASCN) では、DKI Jakarta、Banyuwangi、Makassar が選ばれており、地域特性に応じた開発目標が掲げられている⁷¹⁸。

(c) タイ

タイのスマートシティ開発構想は、2017 年 10 月の「国家スマートシティ委員会の設立にかかる首相府令 No.267/2560」を機に立ち上がった。同令により、首相が委員長を務める国家スマートシティ委員会が設立されるとともに、運輸省、デジタル経済社会省 (MDES)、エネルギー省が共同事務局を務めることが規定された。特にデジタル分野では、MDES 傘下のソフトウェア産業振興公社 (SIPA) をデジタル経済振興公社 (Digital Economy Promotion Agency: DEPA) に改組するなど、スマートシティ開発を行う枠組みが整備された。当初はタイランド 4.0 構想⁷¹⁹の下で、南部 Phuket、北部 Chiang Mai、東北部 Khon Kaen の 3 都市を整備するとしていたが、その

⁷¹⁷ <https://www.unescap.org/sites/default/files/Session%202022-%20Hayu%20Parasati%20-Indonesia.pdf>

⁷¹⁸ YCP Solidiance, Can Indonesia Achieve '100 Smart Cities' by 2045? Accelerating Implementation Through Business Collaboration (AUGUST 2020)

⁷¹⁹ タイランド 4.0 : 経済社会のデジタル化を加速させることで、タイを付加価値創造社会へ移行させ、今後 20 年間に先進国入りすることを目標とする野心的な長期ビジョン。

後、2022 年までの 100 のスマートシティ開発目標が示された。特に優先的に開発が進められているのが、ASCN の候補都市に選定された、Bangkok、Chonburi（東部経済回廊：EEC の一部）、Phuket の 3 都市である⁷²⁰。

タイでは、スマートシティは、「Smart Environment」およびその他 6 テーマ（Smart「Mobility」「Living」「Citizen」「Energy」「Economy」「Governance」）のうち少なくとも 1 つを満たす必要があり、それら定義に合うかどうか、国家スマートシティ委員会による審査が行われる。同審査を経て、スマートシティ案件として認められた都市開発事業者については、タイ投資委員会（BOI）などの税制および非税制恩典を申請する権利が与えられる⁷²¹。

表 152 タイのスマートシティの 7 つのテーマ

テーマ	取り組み	基準（ドラフト段階）
Smart Environment	水資源、気候変動に関する有益かつ高効率な体系的な管理、天然資源の保全	水質、大気、緑地の品質管理に関する国際標準の準拠
Smart Mobility	旅行や交通機関の、利便性、効率性、安全性、環境性の向上	・通勤満足度：60%以上 ・交通事故による死傷者：住民 100,000 人につき 12 人以下
Smart Living	人々の健康と福祉のための医療サービスなどの生活水準の向上に資するサービスの提供、犯罪監視による公共の安全性向上	居住性指数：年間 80%以上
Smart Citizen	経済と生計の両方に利益をもたらすために技術を活用できる市民の育成、学習機会の提供	デジタルリテラシースキルを持つ市民の増加：年間 70%以上
Smart Energy	エネルギー効率の向上、再エネの活用	エネルギー効率とクリーンエネルギー利用の向上：年間 1%以上
Smart Economy	つながりとビジネス協力の創造、ビジネス変革に向けたイノベーション（スマート農業、スマート観光など）	市民の年収の向上：一人当たり 250,000bath 以上
Smart Governance	市民が便利かつ迅速に政府サービスにアクセスできるためのシステムの開発、情報アクセスの向上、市民参加の促進	・市民の有益なオンラインコンテンツへのアクセス率：60%以上 ・公共サービス開発への市民の参加率：60%以上

出所：DEPA⁷²²

また、タイのスマートシティ認証においては、「都市のデータ管理」も確認事項のひとつとなっている。DEPA は、政府機関、民間部門、市民など様々な分野からの情報を統合し、個人

⁷²⁰ JETRO、スマートシティ開発の要件・恩典が明確に（タイ）、
<https://www.jetro.go.jp/biz/areareports/special/2019/0801/2a3db5f0d050195c.html>

⁷²¹ DEPA、<https://www.depa.or.th/th/smart-city-plan>

⁷²² DEPA、<https://www.depa.or.th/en/smart-city-plan>

情報を保護しつつ、最大限活用するために、City Data Platform（CDP）の開発を推奨しており、都市情報プラットフォームを開発するためのフレームワークを開発、公表している⁷²³。

2021 年 10 月時点では、54 件のスマートシティが提案されており、39 件が国家スマートシティ委員会による審査中、15 件が承認済みとなっている。エネルギー・環境をテーマとする一例として、⑫Wangchan Vally Smart City（ラーヨン県）の開発主体は PTT であり、National Science and Technology Development Agency (NSTDA)と協力して、東南アジアをリードするイノベーションエコシステム構築、生活の質や環境面で国際都市と同等のインフラ整備を目指す。主なプロジェクトとしては、固形廃棄物管理システムの整備、リアルタイムの気象・大気質監視システム、エネルギー・マネジメント・システムが挙げられる。また、データ分析による高効率な再エネ発電や、EV バスの運行にも取り組む⁷²⁴。地方の都市では、県全体を対象とするため、あらゆる施策を網羅的に実施することになり、あまりエネルギー特化ということにはならない傾向がある。

これらの都市以外では、タイのバンコク中心地での複合地域開発 One Bangkok⁷²⁵にて、タイの財閥系不動産大手 TCC Assets (Thailand) Co., Ltd.、タイの民間電力大手 Gulf Energy Development Public Company Limited、東京ガスエンジニアリングソリューションズ、三井物産が共同で、敷地内に地域冷房設備と配電設備を建設し、2022 年から 30 年間にわたり一手に冷水・電力の供給・販売を行うことを計画している⁷²⁶。

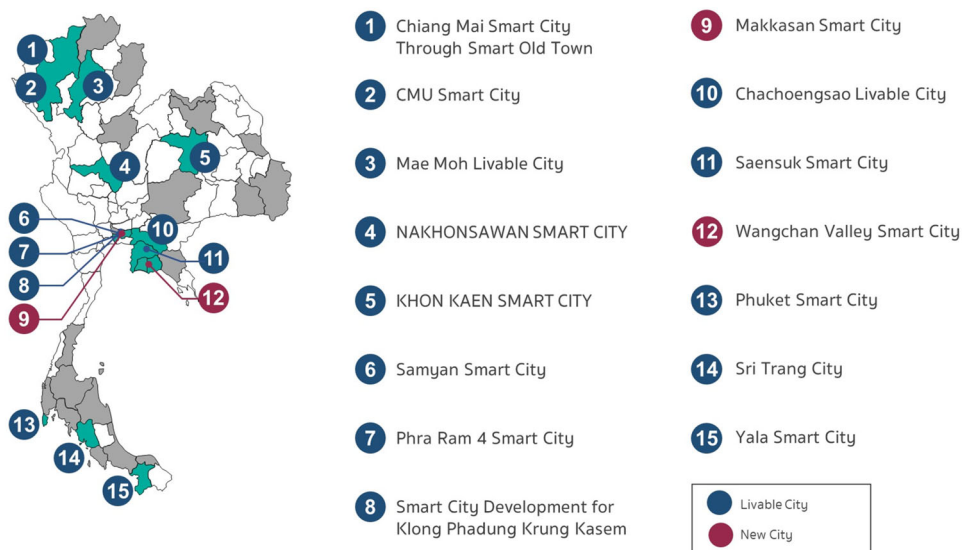


図 247 タイのスマートシティ（承認済み 15 プロジェクト）（2021 年 10 月時点）

出所：DEPA⁷²⁷

⁷²³ DEPA, <https://www.depa.or.th/th/smart-city-plan>

⁷²⁴ DEPA, <https://www.depa.or.th/en/smart-city-plan>

⁷²⁵ One Bangkok はバンコク中心地で約 17 ヘクタールの敷地にオフィス、ホテルなど全 16 棟を開発する複合プロジェクトで、2023 年から段階的に竣工する予定。

⁷²⁶ 三井物産 2020.1.10 https://www.mitsui.com/jp/ja/topics/2020/1230433_11239.html

⁷²⁷ DEPA, <https://www.depa.or.th/en/smart-city-plan>

(d) モロッコ

モロッコでは、産業・貿易省⁷²⁸がショッピングセンターや工場、港湾のエネルギー効率化政策を担当している。国土計画・土地計画・住宅・都市政策省⁷²⁹が新築住宅のエネルギー政策を主幹している。

Casablanca、Rabat、Marrakech などの主要都市をスマートシティ化し、相互に連携することを目指す。また、各種サービスは各都市が主導する一方、主要なプラットフォームやインターフェースなどは国が統一し、国家としての整合性を取ることを目指している。Casablanca では、AI 活用を通じた公共サービスの向上やセキュリティの確保によるさらなる経済発展を目指している。渋滞解消やエネルギー消費効率化、建物のスマート化などの分野で、AI 活用が期待されている⁷³⁰。

(iii) 日本企業の優位性、強み

以下に示すのは、関連する日本の産業団体、企業に日本の技術・サービスに関するヒアリングを行った結果を整理したものである。

【都市開発】

日本企業の優位性、強み	現状の課題	その他
・限られた土地で快適な空間を作る開発（コンパクトかつ公共交通の駅を中心とした開発）	・日本はシーズオリエンテッドになりがち。日本が提供したい技術・サービスと、現地の要求に乖離がある ・相手国のきめ細かなニーズをキャッチし、対応する体制づくり（国と企業が一体的となり、川上から川下まで行き届いたきめ細かい対応）が弱い ・国内では競争関係にある企業が海外でどう連携できるか ・低い技術・質の製品での価格競争となった場合、日本企業は事業をマネタイズできない	（ビジネスモデル） ・脱炭素化技術を複合化・パッケージ化することは有効。低価格で複雑でない技術を複合化させ、それらのマネジメント技術込み（単価を上げる）で売り込む ・現地ニーズ（生活の質の向上や安全安心）と環境対策を一体的にしたビジネスモデルをつくる （国に求める支援） ・事業化において直面する法的な課題に対する支援。G2G で話がまとまった後、民間による具体的な事業展開の段階で現地の法制度等がハードルになることがある

⁷²⁸ Ministry of Energy Transition and Sustainable Development, <https://www.mem.gov.ma/en/Pages/secteur.aspx?e=3>

⁷²⁹ The Ministry of National Planning, Urban Planning, Housing and City Policy <http://www.mhpn.gov.ma/>

⁷³⁰ JETRO 2019.10.10 <https://www.jetro.go.jp/biz/areareports/2019/819e18e3c5ac2276.html>

日本政府はスマートシティをインフラシステム海外展開の主要施策の一つに掲げている。首相官邸にて実施される「経協インフラ戦略会議」では、これまで、日本企業は、都市基盤強化の分野で、公共交通志向型開発（TOD：Transit-Oriented Development）や環境共生、災害に強いまちづくりなど複合的な都市開発等の経験・ノウハウを蓄積し、強みとして売り込んできた実績を持つ一方、今後は、従来のアプローチに加え、分野横断的な対応やデジタル技術を組み込むことで都市のスマート化を一層進め、競合国との差別化を図っていく必要があるとしている⁷³¹。

表 153 日本のスマートシティの海外展開にあたっての現状と課題

分野	現状	課題
都市基盤整備	✓ 不動産・鉄道各社による設計建設から管理運営に至る質の高い不動産開発、TODへの取り組み ✓ 政府による民間活動の支援：政府間対話を通じた上流からの参画支援、JOINによる資金支援等	✓ 分野横断案件への対応力 ✓ 民間参加を促す事業性の確保 ✓ 構想段階からの関与による、相手都市にとって最適な街づくりの提案や、先方ニーズに合致した日本の優れた製品・サービスの提供
都市開発にデジタル技術を活用	✓ 生体認証等の要素技術の開発、データプラットフォームの構築、プライバシーに配慮したデータ活用モデル等を通じて、海外展開に取組む日本企業が出てきている ✓ 政府による民間活動の支援：事業可能性調査・実証事業 ✓ 政府主導の各国でのデジタル技術を活用した都市開発への協力 ✓ 日本国内：実証事業等を通じた自治体によるデジタル技術活用への支援、都市OSの構築やスーパーシティ制度等の創設に向けた取組が進展	✓ 都市開発におけるデジタル化の要請に伴い、巨大IT企業が参入し、従来型の不動産企業等との競争が激化。日本企業が対抗していくためには、デジタル化にかかる相手都市のニーズへのきめ細やかな対応や、ビジネスモデルの確立が必要 ✓ 政府においても、個別の調査や実証等の支援に止まらず、構想段階からの関与や、そのための各省連携による、上流から下流までの一貫した取組が必要 ✓ 国内における取組の成果を海外展開に活かす枠組みの構築

出所：第44回経協インフラ戦略会議：都市開発（スマートシティ）

政府は、上記の課題を踏まえ、分野横断案件への対応力を強化するとともに、（特にデジタル技術活用型都市開発において）国内の成果を海外展開に活用するため、省庁間連携を強化するプラットフォームを構築⁷³²。また、スマートシティの取組を官民連携で加速するため、企業、大学・研究機関、地方公共団体、関係府省等を会員とする「スマートシティ官民連携プラットフォーム」

⁷³¹ 首相官邸、第44回経協インフラ戦略会議：都市開発（スマートシティ）

<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keikyou/dai44/siryoul.pdf>

⁷³² 具体的には、国内向け「スマートシティ・タスクフォース（2019年2月にイノベーション政策強化推進チームの下に設置。関係府省庁の課室長相当職の職員等により構成）」のテーマに海外展開を追加。

を設立した。同プラットフォームには、スマートシティに係るコンソーシアム・協議会、地方公共団体、企業、大学・研究機関等、合計 627 団体（2022 年 1 月 31 日時点）および関係府省が参加している⁷³³。

スマートシティ開発の海外展開において、日本が特に重視している地域が ASEAN である。日本と ASEAN は、両者が協力して ASEAN スマートシティ・ネットワーク（ASCN）⁷³⁴の各都市におけるスマートシティを推進するため、2019 年 10 月より、ASEAN 側のニーズや日本側のノウハウ・技術を共有するとともに、官民のマッチングの場を提供することを目的とした「ASEAN スマートシティ・ネットワーク・ハイレベル会合」を開催している。同会合において、日本と ASEAN 諸国は、「日 ASEAN スマートシティ・ネットワーク官民協議会（JASCA）」を設立。日本が有するスマートシティに関する技術や経験等について、ASEAN 各国に対して海外展開を図るための情報発信および相手国との官民双方の関係構築を目的としている。加えて、2020 年 12 月には、総額 10 億円を投じ、ASEAN10 カ国・26 都市から企画提案を受け付け、案件形成などに向けた調査を実施する「Smart JAMP」を打ち出している。

1.3 上記のうち特に電力分野について現状及び見通し分析

変動性再エネ（VRE：Variable Renewable Energy）の大量導入による、電力系統システムへの影響は、電気理論、電力工学に基づいたものであり、基本的には、どの電力系統システムにおいても同じといえる。したがって、基本的な対策のメニューは同じであり、各電力系統システムの状況や実態に合わせることで、より効率的な対策となる。

（1）電力系統システム全般

太陽光発電（PV）や風力発電（WT）に代表される VRE の電力系統への接続にあたっては、接続地点の電圧変動や潮流変動に留意し、電力系統への影響を定められた範囲に収めることが系統連系の条件となる。

特に、大容量の PV／WT 等を導入するにあたっては、連系する電力系統の状況により、系統連系条件を満たすための対策を必要とする場合がある。

この接続地点の電圧変動や潮流変動等の問題は、大容量の PV／WT 等の出力変動型の再エネの電力系統への接続地点のローカルな問題であり、多くの場合、電力用蓄電池との組み合わせが有効な対策である。

また、再エネの大量導入により、電源構成の再エネ比率が増大する場合には、周波数変動要因の増加と、火力（・水力）発電比率の低下による周波数調整能力の低下を招くため、電力系統システム全体の問題として、周波数変動増大の問題が顕著化するリスクがあり、その場合にも対策を実

⁷³³ スマートシティ官民連携プラットフォーム、<https://www.mlit.go.jp/scpf/index.html>

⁷³⁴ 2018 年 4 月に開催された第 32 回 ASEAN サミットで、ASEAN 加盟 10 か国の都市が、スマートで持続可能な都市開発という共通の目標に向けて取り組む共同プラットフォームとして設立された。各国から 26 のパイロット都市が選定されている。（<https://asean.org/our-communities/asean-smart-cities-network/>）

施する必要がある。特に、PV 発電出力の増大する昼間帯における、いわゆるダックカーブ発生時の対策は重要である。

この問題の対策も、電力用蓄電池での対策も有効なものであるが、一方、再エネの運用停止という対策も有効である。

加えて、火力・水力発電比率の大幅な低下による、慣性力低下という問題も指摘されており、具体的な問題点の把握のためにも、電力系統の解析検討が不可欠である。

特に、電源脱落事故時は電圧位相の急変および周波数低下が生じるため、系統擾乱時における運転継続性能（Fault Ride Through：FRT）要件を満たしていないパワーコンディショナ（PCS）機種（FRT 非対応機種）が大量に停止し、これにより、周波数低下をさらに助長するおそれがある。したがって、解析検討により、周波数変化率（RoCoF：Rate of Change of Frequency）等を把握してることが重要である。

上記のそれぞれの問題は、電力系統が小さく、脆弱なほど顕著化するため、多くの発展途上にある電力系統において、大容量の PV/WT 導入や再エネの大量導入にあたっては、より多くの適切な対策を必要とする傾向にある。言い換えると、発展途上の電力系統においては、適切な対策を実行しない場合には、大容量の PV/WT 導入や再エネの大量導入は見込めない可能性が高いということになる。

これらのことから、大容量の PV/WT 導入や再エネの大量導入のために必要な対策の有無の検討には、系統状況の詳細な確認が必要となり、系統解析のためのデータ、長期電源開発計画、長期送電開発計画、グリッドコード、年間需給バランス計画、再エネ導入目標、再エネ電源の出力予想など様々な情報が必要となる。

また、電源構成の再エネ比率が増大すると、再エネの出力想定 of 正確さが、周波数変動抑制対策に大きく影響するようになる。PV/WT の出力想定は気象予報に依存するため、気象情報の確保、気象予報の精度向上は必要不可欠であると考えられる。

大容量の PV/WT については、ローカルで比較的狭い範囲での出力予想・予測を元に対策することになるため、比較的正確な予想・予測が期待できる。したがって、蓄電池等による対策は、比較的容易に、適切で効率的な対策として期待できる。

また、一般的な電力系統システムの強化（拡充）も、大容量の PV/WT 導入対策に寄与することになる。

一方、周波数変動抑制対策については、電力系統システム全体の問題であるため、長期間にわたるデータの積み上げなどに基づき、対策の効果を確認しつつ、ステップバイステップで対策を進めていく必要がある。

また、固定価格買取制度（FIT）などの導入支援策により、ルーフトップ型 PV などの大量導入が始まると、その影響は面的に拡大するため、周波数変動の増加に加え、電圧変動や電力潮流変動の問題が顕著化する箇所も増大するため、その対策を多数の箇所で開催する必要があるリスクもある。しかも問題の発生箇所や発生時期を正確に予測することは困難であるため、このような不特定多数の大量の再エネの導入に対する対策も、それぞれの電圧変動状況等を確認しつつ、ステップバイステップで確実に進めていく必要がある。

(2) 発電側

太陽光発電 (PV) や風力発電 (WT) に代表される VRE の大量導入により、電源構成の VRE 比率が増大する場合には、この VRE 比率増大による周波数変動要因の増加と、火力（・水力）発電比率の低下による周波数調整能力の低下を招くリスクが指摘されている。

このため、火力（・水力）発電機の周波数調整能力である、ガバナーフリー (GF) 量・負荷周波数制御 (LFC) 量等の必要量確保が大きな要素となり、日々の運用においても、GF 量・LFC 量の必要量確保は不可欠であり、そのためには、VRE の出力予測を含む、中央給電指令所の需給運用も重要な要素である。また、効率的に運用するためには、電力需要の変化に応じて、効率の異なる各火力・水力発電機の経済的な出力配分を計算し、発電機出力を制御する経済負荷配分制御 (EDC) も重要である。

上記の中央給電指令所の需給運用を精緻に実施するには、エネルギーマネジメントシステム (EMS: Energy Management System) により、LFC、EDC を自動的に実施する自動発電機制御 (AGC: Automatic Generation Control) が必要不可欠といえる。

また、火力（・水力）発電比率の低下の下で、AGC を確実に実施するためには、各発電機における出力変動幅の増強が求められることになる。

(3) 系統側

火力（・水力）発電比率の低下は、短絡・地絡電流の低下を招き、結果的に、負荷変動や VRE の出力変動等の外乱に対して、電圧変動の感度が大きくなることから、電圧変動の増大を招くことになる。

このため、電圧・無効電力制御 (VQC) などにより、時々刻々と変化する系統電圧に対し、電圧安定性の維持、機器から見た適正電圧の維持、送電損失の低減等の観点から発電機無効電力、変圧器タップ、調相設備を制御して系統の電圧・無効電力を調整することの重要性が増すことになる。

配電系統に、ルーフトップ型 PV などが大量に導入されると、配電線の電力潮流が極端に減少することや、逆潮流となることにより、電圧が上昇するフェランチ現象が生じる場合がある。極端な場合には、過電圧により設備損壊を招くので、対策が必要となる。

加えて、従来の配電システムでは、PV、EV、BESS が大量に接続されると、電圧の監視/管理が困難になるため、高度配電自動化システム (DAS) の導入などにより、電圧の監視/管理を実施し、事故時の自動復旧により、供給信頼度を高めることも重要である。

(4) 需要側

再エネ電源の出力変動の抑制対策として、需要家機器を制御することも一つの方策となる。スマートグリッドは ICT 技術を活用してエネルギー情報を見える化し、需要家側を含めてエネルギー利用の合理化を図ろうとするもので、再エネ電源の出力予測を含めた需給計画に沿って調整を行うことで系統への悪影響の緩和に寄与するものである。

スマートグリッドでは、DR、スマートメーター、xEMS、V2G/H, G2V 等の様々な要素の活用が可能であり、それらの活用により、ピークカット、ピークシフト等、時間軸で見た需要のシフト、需要そのものの抑制が期待できる。また、V2G/H, G2V や蓄熱層を有するヒートポンプ機器等は需要家側における蓄エネルギー設備であることから、効果的に運用すれば電力系統側や再エネ電源

側への蓄エネルギー設備の設置と同様の効果を得ることも可能である。この場合、電気料金の最小化が需要家の導入インセンティブとなる。

また、今後は自然災害時の対応等の視点から太陽光に蓄電池を併設するケースも増加すると想定され、この場合も適切な制御装置を付与すれば出力変動抑制の効果は高い。

2. 低・脱炭素社会実現に向けた電力及びセクター横断的取り組みの協力

戦略の検討

2.1 JICA 協力事業のレビュー

2.1.1 過去の JICA 事業レビューを踏まえた課題体系図の策定

これまで JICA が実施してきた案件のうち、低脱炭素に関連する事業を抽出し、民間連携事業、円借款事業（有償・無償）、技術協力事業の内容のレビューを行った。本調査の内容も踏まえ、以下のとおり、低脱炭素分野における開発戦略目標、中間目標、中間目標のサブ目標、プロジェクトでの活動例を課題体系図として整理した。

開発目標は、発電や送配電等の電力供給側としての脱炭素化、運輸や産業分野等の電力需要側としての低脱炭素化、供給・需要両方に関わる低脱炭素化を大きく3分類に分けて作成した。

供給側の低脱炭素化の中間目標については、これまでも JICA として支援を行っている分野として、「再生可能エネルギーの導入促進」、「再エネの系統統合に向けた系統整備・高度化」、「火力発電の低炭素化」、「一次エネルギー供給の低炭素化」とした。

需要側の低脱炭素化の中間目標については、大きく運輸分野、産業分野、都市開発分野に区分し、さらに共通目標として、「需要側における省エネ促進」を設定している。

また、低脱炭素分野における供給・需要両方に関わる低脱炭素化では、これまであまり支援実績はないが、低脱炭素化の達成に必要な共通の中間目標として「長期エネルギー計画の整備」、「CCS/CCUS の活用」、「水素の製造・貯蔵に向けた取り組み」を設定した。

表 154 低脱炭素の課題体系図

開発戦略目標	中間目標	中間目標のサブ目標	プロジェクトでの活動例
供給側の低脱炭素化	再生可能エネルギーの導入促進	発電インフラ（水力含む）の政策・制度策定	✓ 電力マスタープランや電源計画の策定支援 ✓ 再生可能エネルギーに関する制度整備支援
		発電インフラの整備・増強に係る実証事業	✓ 再生可能エネルギー導入支援に向けた実証事業の実施
		発電インフラの整備・増強に関わる人材育成	✓ 再生可能エネルギー設備の導入を通じた技術者の育成 ✓ 再生可能エネルギーに対する民間投資促進のためのアドバイザーの提供

開発戦略 目標	中間目標	中間目標のサブ 目標	プロジェクトでの活動例
			✓ 再生可能エネルギーに対する民間投資促進のためのファイナンススキームの検討
	再エネの系統 統合に向けた 系統整備・高 度化	電力系統に関する 制度整備	✓ 全国統一のグリッドコードの整備支援（基幹系統＋配電系統） ✓ 需給調整制度の整備支援（アンシラリーサービス市場、容量メカニズム等）
		送変電設備等を含む系統計画策定	✓ 系統計画策定・系統運用能力強化支援 ✓ 送電、変電設備等の整備による系統安定化支援
		配電設備の高度化	✓ 効率的・経済的な配電運用のための配電計画策定支援 ✓ 配電システムの高度化支援
		国際系統連系の整備	✓ 国際系統連系の整備に向けた支援
		電力セクターの改革	✓ 発送電分離の検討やオフテイカーの財務・経営改善支援
		自由化市場活用による再エネ大量導入への対応	✓ 系統運用の高度化（DR・VPPの活用等）に向けた計画の策定支援
	火力発電の低 炭素化	火力発電の高効率化	✓ 火力発電の高効率化に向けた支援 ✓ 自動発電制御装置（AGC）機能の強化支援
		代替エネルギーの活用に向けた実証事業	✓ アンモニア混焼、水素混焼に関する実証事業の実施 ✓ バイオマスの利活用に関する実証事業の実施
	一次エネルギー供給の低炭素化	天然ガスの供給効率化	✓ 天然ガス普及促進マスタープラン策定支援（システムのデジタル化等）
		一次エネルギーの低炭素化に関する研究の推進	✓ LNGターミナルの安全管理・運用能力強化・規制整備支援 ✓ バイオマスの燃料化の研究

開発戦略 目標	中間目標	中間目標のサブ 目標	プロジェクトでの活動例
需要側の 低脱炭素 化	運輸分野の低 炭素化	電気自動車 (EV) の導入に 向けた政策・法制 度策定	✓ 自動車の排ガス規制の厳格化に向けた施策の検討 ✓ EV 利用促進に向けた補助金や税制優遇策等の導入検討 ✓ 蓄電池に関する基準や、リユース、リサイクルに関する制度整備支援 ✓ 再生可能エネルギーによる蓄電施設や EV 充電ステーションの整備・拡充に向けた計画策定支援
	産業分野にお ける省エネ推 進	公共交通へのモー ダルシフト	✓ 公共交通機関の利用促進計画策定支援 ✓ 公共交通機関（鉄道、バスなど）の電化、FC（燃料電池）化に向けた支援 ✓ 都市間高速鉄道の建設計画の策定支援
		代替燃料の利用	✓ バイオ燃料・合成燃料利用の推進支援
		運輸・交通分野の 高効率化	✓ 日本における運輸・交通分野における様々な効率化策の共有（各種研修を通して）
	産業分野にお ける省エネ推 進	産業部門における 化石燃料削減	✓ 鉄鋼製造における高効率化（技術支援、制度支援） ✓ 水素還元製鉄による鉄鋼製造 ✓ グリーン水素原料によるアンモニア製造等 ✓ ボイラーのヒートポンプ転換 ✓ エネルギー管理制度構築支援
	都 市 開 発 (Buildings) に おける省エネ 推進	住宅・建築物にお ける省エネ推進	✓ ZEB/ZEH 促進政策・計画の策定、制度導入支援 ✓ ZEB/ZEH 促進ファイナンス支援 ✓ 面的開発（スマートシティ、スマートグリッドを含む）支援 ✓ ビルの省エネ促進支援（グリーンビル支援、ビルディングコード整備を含む） ✓ ボイラーのヒートポンプ転換

開発戦略 目標	中間目標	中間目標のサブ 目標	プロジェクトでの活動例
	需要側における省エネ促進	省エネの促進	✓ 省エネ技術・機材の導入に向けた支援 ✓ 省エネ管理や省エネ基準、高効率機器の導入に向けた制度整備（効率基準、ラベリング制度）の策定・普及支援、研修実施、研修センター設立・運営支援 ✓ 高効率エアコンパイロットプロジェクトの実施（全体プログラムに一部として） ✓ 省エネマスタープランの策定支援 ✓ 省エネ促進のためのツーステップローンの提供
供給・需要両方に関わる低炭素化	長期エネルギー計画の整備	エネルギー全体の長期計画策定	✓ カーボンニュートラルに向けた長期エネルギー計画策定支援
		エネルギーデータ管理	✓ エネルギーデータ管理体制強化支援
	CCS/CCUS の活用	CO ₂ の貯留・利用	✓ 二酸化炭素の地中貯留に向けた調査
	水素の製造・貯蔵に向けた取り組み	水素の活用	✓ グリーン水素の活用の検討

(1) 供給側の低炭素化（開発戦略目標）

A) 再生可能エネルギーの導入促進（中間目標）

低炭素化に向けて、まずは電力供給面での取り組みが不可欠であり、新たな電力需要に対して再生可能エネルギーの導入に向けた取組が求められてくることから、再生可能エネルギーの導入促進を一つ目の中間目標として掲げている。

具体的なアプローチとして、①発電インフラ（水力含む）の政策・制度策定、②発電インフラの整備・増強に係る実証事業、③発電インフラの整備・増強に関わる人材育成の三つのサブ目標を設定している。

① 発電インフラ（水力含む）の政策・制度策定（中間目標のサブ目標）

再生可能エネルギーの導入促進にあたって、具体的な導入計画が策定されていないことや、系統接続に関するルール未整備等、途上国では依然として政策・制度面での課題を抱えている状況である。これに対して、JICAとしてこれまでも電力マスタープランや電源計画の策定支援、再生可能エネルギーに関する制度整備支援といったプロジェクトを数多く行っており、これらの支援を継続していくことが有効である。

表 155 発電インフラ（水力含む）に係る実証事業例

プロジェクトでの活動例	過去の実績 (※)	支援スキームの例
電力マスタープランや電源計画の策定支援	◎	技術協力
再生可能エネルギーに関する制度整備支援	◎	技術協力

※ ◎＝「プロジェクトでの活動例」が含まれるプロジェクトが多数ある（過去に概ね 10 件程度）
 ○＝「プロジェクトでの活動例」が含まれるプロジェクトが多数とは言えないが 5 件内外ある。
 △＝「プロジェクトでの活動例」が含まれるプロジェクトが限られた数ではあるが存在する。
 ×＝「プロジェクトでの活動例」現状では存在しないが、今後の実施が期待される。
 （以下同様）

② 発電インフラの整備・増強に係る実証事業（中間目標のサブ目標）

これまでに現地で導入したことの無い機器・設備の設置や、新技術の検証を行う際には、現地特有の条件下においてパイロット的に事業の効果を測定・確認することが必要不可欠となる。JICA としてもこれまで小水力発電事業や地方電化事業などの関連支援実績を多く有している。

表 156 発電インフラの整備・増強に係る実証事業例

プロジェクトでの活動例	過去の実績	支援スキームの例
再生可能エネルギー導入支援に向けた実証事業の実施	◎	技術協力、民間連携事業、資金協力

③ 発電インフラの整備・増強に関わる人材育成（中間目標のサブ目標）

長期的に機器メンテナンスや設備の運用・管理を行っていくためには、設備の導入時のみならず、その後を見据えた現地人材の育成が必要となる。例として、再生可能エネルギー設備の導入を通じた技術者の育成が挙げられる。

また、現地では、政府主導の再生可能エネルギーの導入のみならず、民間投資と連携した導入促進に対するニーズも高まっていることから、これまで実施していない分野として、再生可能エネルギーに対する民間投資促進のためのアドバイザーの提供や、再生可能エネルギーに対する民間投資促進のためのファイナンススキームの検討等、今後新たに取り組むべきプロジェクトとして挙げている。

表 157 発電インフラの整備・増強に関わる人材育成に係る実証事業例

プロジェクトでの活動例	過去の実績	支援スキームの例
再生可能エネルギー設備の導入を通じた技術者の育成	◎	技術協力、民間連携事業
再生可能エネルギーに対する民間投資促進のための	×	技術協力、民間連携事業

プロジェクトでの活動例	過去の実績	支援スキームの例
アドバイザーの提供		
再生可能エネルギーに対する民間投資促進のためのファイナンススキームの検討	×	民間連携事業

B) 再エネの系統統合に向けた系統整備・高度化（中間目標）

再生可能エネルギー導入が進むと、必然的に系統安定化への対策も必要となってくる。実際に、多くの国々においては、再生可能エネルギーの割合が増加するにつれて、電気の品質（周波数や電圧等）が確保できないといった課題が生じている。

これらに対する具体的なアプローチとして、①電力系統に関する制度整備、②送変電設備等を含む系統計画策定、③配電設備の高度化、④国際系統連系の整備、⑤電力セクターの改革、⑥自由化市場活用による再エネ大量導入への対応について六つのサブ目標を設定している。

① 電力系統に関する制度整備（中間目標のサブ目標）

需給調整制度の整備支援に向けて、技術協力による制度整備に加えて、民間事業と連携したアンシラリーサービス市場の開拓を検討していくことが有効である。これまで実施してきたプロジェクト件数としては限られてはいるが、全国統一のグリッドコードの整備支援と、これまでに実績がない需給調整制度の整備支援（アンシラリーサービス市場、容量メカニズム等）がプロジェクト例として挙げられる。

表 158 電力系統に係る実証事業例

プロジェクトでの活動例	過去の実績	支援スキームの例
全国統一のグリッドコードの整備支援（基幹系統＋配電系統）	△	技術協力
需給調整制度の整備支援（アンシラリーサービス市場、容量メカニズム等）	×	技術協力、民間連携事業

② 送変電設備等を含む系統計画策定（中間目標のサブ目標）

送変電設備等に対する支援はこれまでも数多くの支援実績があり、プロジェクト活動例として、系統計画策定・系統運用能力強化支援や送電、変電設備等の整備による系統安定化支援が挙げられる。設備の導入・整備のフェーズに際しては、民間連携事業や資金協力と合わせた支援が必要となる。

表 159 送変電設備等を含む系統計画策定に係る実証事業例

プロジェクトでの活動例	過去の実績	支援スキームの例
系統計画策定・系統運用能力強化支援	◎	技術協力
送電、変電設備等の整備による系統安定化支援	◎	技術協力、民間連携事業、資金協力

③ 配電設備の高度化（中間目標のサブ目標）

再生可能エネルギーの導入が進むにつれて、配電に関する計画策定や配電運用に関する人材育成に関するニーズも高まっている。具体的な支援として、効率的・経済的な配電運用のための配電計画策定に向けた技術協力を行うことが挙げられる。

表 160 配電設備の高度化に係る実証事業例

プロジェクトでの活動例	過去の実績	支援スキームの例
効率的・経済的な配電運用のための配電計画策定支援	◎	技術協力

④ 国際系統連系の整備（中間目標のサブ目標）

経済成長に伴って増加する電力の需要に対する供給力の確保と、広域での系統の安定化対策に向けて、国際系統連系の検討も各国で進められている。これに対して、まずは技術協力により国際連系線に関する計画を策定する支援例が挙げられる。

表 161 国際系統連系の整備に係る実証事業例

プロジェクトでの活動例	過去の実績	支援スキームの例
国際系統連系の整備に向けた支援	△	技術協力

⑤ 電力セクターの改革（中間目標のサブ目標）

サプライサイドの低炭素化を目指すためには、将来的に民間企業の参入も含めて検討していくことが必要であり、電力セクターの健全性の確保はその前提条件となる。実際には、電力料金設定が適切に行われていないことや、料金徴収率の低さ、送配電ロスの高さ等に起因して、各電力会社の収入が十分に確保できていない状況が生じている。これらに対応するため、公社の財務改善に関する取組として、電力公社等の組織改革や発電所の民営化等を含む発送電分離の検討、財務・経営改善支援が必要な活動例として挙げられる。

表 162 電力セクターの改革に係る実証事業例

プロジェクトでの活動例	過去の実績	支援スキームの例
発送電分離の検討やオフテイカーの財務・経営改善支援	△	資金協力

⑥ 自由化市場活用による再エネ大量導入への対応（中間目標のサブ目標）

太陽光発電や家庭用燃料電池、蓄電池や電気自動車の普及が進むにつれて、デマンドレスポンス（DR）やバーチャルパワープラント（VPP）といった需要家側のエネルギーリソースを電力システムに活用する仕組みの構築に対するニーズが高まっている。活動例として、技術協力による系統運用の高度化（DR・VPPの活用等）に向けた計画の策定が挙げられる。

表 163 自由化市場活用による再エネ大量導入への対応に係る実証事業例

プロジェクトでの活動例	過去の実績	支援スキームの例
系統運用の高度化（DR・VPPの活用等）に向けた計画の策定支援	△	技術協力

C) 火力発電の低炭素化（中間目標）

多くの国で発電量全体の大部分を占める火力発電に対しては、火力発電自体の低炭素化に向けた取組が検討されており、これまで以上に効率的な発電に対するニーズが高まっている。一方で、具体的な低炭素化技術を有していないことや、効率的な運用に向けて現地における技術的な知見が不十分であることから十分な取組ができていないのが現状である。

これらに対する具体的なアプローチとして、①火力発電の高効率化、②代替エネルギーの活用に向けた実証事業の二つのサブ目標を設定している。

① 火力発電の高効率化（中間目標のサブ目標）

既存の石炭火力発電やガス火力発電の高効率化により、低炭素を実現していく方針を掲げている国・地域は少なくない。これまでこの分野において、JICAとしても民間連携事業や資金協力により多くの支援を実施しており、今後も継続して行っていくべきプロジェクトであることに変わりはない。加えて、これまでに実績はないが、系統運用者が系統の負荷変動を検知し、周波数を安定化させるために出力変更を行うことを可能にさせる AGC（automatic generation control）機能の強化に向けた支援の展開も活動例として挙げられる。

表 164 火力発電の高効率化に係る実証事業例

プロジェクトでの活動例	過去の実績	支援スキームの例
火力発電の高効率化に向けた支援	◎	民間連携事業、資金協力
自動発電制御装置（AGC）機能の強化支援	×	資金協力

② 代替エネルギーの活用に向けた実証事業（中間目標のサブ目標）

これまで代替エネルギーの活用に関する事業として、バイオマスの利活用に関する支援実績を数多く有しているが、これに加えて、火力発電に対してアンモニア混焼や水素混焼に関する実証事業の実施も今後実施すべき活動例として挙げられる。アンモニア混焼や水素混焼は、既存の火

力発電を活用して低炭素化を目指す技術であり、日本においても実証事業が進められており、世界的にも注目度が高い技術といえる。

表 165 代替エネルギーの活用に係る実証事業例

プロジェクトでの活動例	過去の実績	支援スキームの例
アンモニア混焼、水素混焼に関する実証事業の実施	×	技術協力
バイオマスの利活用に関する実証事業の実施	◎	技術協力、民間連携事業

D) 一次エネルギー供給の低炭素化（中間目標）

特に、一次エネルギーである天然ガスの供給の低炭素化に向けた検討は、エネルギー供給を効率化させ、より低炭素化に資するエネルギー活用を目指していくために必要である。

これらに対する具体的なアプローチとして、①天然ガスの供給効率化、②一次エネルギーの低炭素化に関する研究の推進の二つのサブ目標を設定している。

① 天然ガスの供給効率化（中間目標のサブ目標）

天然ガスは液化することで輸送が比較的容易になることから、多くの国において輸入した天然ガスを利用している。天然ガスの供給の効率化に向けた対策として、天然ガス普及促進マスタープランの策定をすることや、LNG ターミナルの安全管理・運用能力強化・規制整備を行うことなどが挙げられる。

表 166 天然ガスの供給効率化に係る実証事業例

プロジェクトでの活動例	過去の実績	支援スキームの例
天然ガス普及促進マスタープラン策定支援（システムのデジタル化等）	○	技術協力
LNG ターミナルの安全管理・運用能力強化・規制整備支援	×	技術協力、資金協力

② 一次エネルギーの低炭素化に関する研究の推進（中間目標のサブ目標）

特にバイオマスの燃料化に関して多くの研究が進められており、木材や廃油、パームヤシなどの活用について、現地の状況に対応して検討していくことが必要となる。

表 167 一次エネルギーの低炭素化に関する研究の推進に係る実証事業例

プロジェクトでの活動例	過去の実績	支援スキームの例
バイオマスの燃料化の研究	○	技術協力

(2) 需要側の低炭素化（開発戦略目標）

A) 運輸分野の低炭素化（中間目標）

需要側である運輸分野として、特に鉄道や自動車（バス、トラックなど）における低炭素化に向けた取組の検討が進められている。新技術の導入や既存システムの効率化を通して運輸分野の低炭素化を達成すべく中間目標として掲げている。

具体的なアプローチとして、①電気自動車（EV）の導入に向けた政策・法制度策定、②公共交通へのモーダルシフト、③代替燃料の利用、④運輸・交通分野の高効率化の四つのサブ目標を設定している。

① 電気自動車（EV）の導入に向けた政策・法制度策定（中間目標のサブ目標）

電気自動車に関するプロジェクトの支援実績はないが、電気自動車の今後普及拡大していくに従って、益々ニーズが高まってくる分野である。自動車の排ガス規制の厳格化に向けた施策の検討やEV利用促進に向けた補助金や税制優遇策等の導入の検討、蓄電池に関する基準や、リユース、リサイクルに関する制度整備支援等の制度整備支援が主なプロジェクト例として挙げられる。加えて、再生可能エネルギーによる蓄電施設やEV充電ステーションの整備・拡充に向けた計画策定についても、技術協力もしくは資金協力による支援が有効である。

表 168 EV の導入に向けた政策・法制度策定に係る実証事業例

プロジェクトでの活動例	過去の実績	支援スキームの例
自動車の排ガス規制の厳格化に向けた施策の検討	×	技術協力
EV 利用促進に向けた補助金や税制優遇策等の導入検討	×	技術協力
蓄電池に関する基準や、リユース、リサイクルに関する制度整備支援	×	技術協力
再生可能エネルギーによる蓄電施設や EV 充電ステーションの整備・拡充に向けた計画策定支援	×	技術協力、資金協力

② 公共交通へのモーダルシフト（中間目標のサブ目標）

トラックやバス等の自動車による貨物の輸送や人の移動を、より環境負荷の小さい鉄道を利用することで、低炭素化に貢献することができる。そのために、公共交通機関の利用促進計画の策定や、都市間高速鉄道の建設計画の策定支援を実施することが有効である。さらに、公共交通機関（鉄道、バスなど）の電化、FC（燃料電池）化に向けた取組も併せて行うことが有効である。

表 169 公共交通へのモーダルシフトに係る実証事業例

プロジェクトでの活動例	過去の実績	支援スキームの例
公共交通機関の利用促進計画策定支援	×	技術協力
公共交通機関（鉄道、バスなど）の電化、FC（燃料電池）化に向けた支援	○	民間連携事業
都市間高速鉄道の建設計画の策定支援	×	技術協力

③ 代替燃料の利用（中間目標のサブ目標）

運輸分野では燃料の低炭素化において、バイオ燃料・合成燃料を代替燃料として利用することを推進していくことがプロジェクトの例として挙げられる。

表 170 代替燃料の利用に係る実証事業例

プロジェクトでの活動例	過去の実績	支援スキームの例
バイオ燃料・合成燃料利用の推進支援	△	民間連携事業

④ 運輸・交通分野の高効率化（中間目標のサブ目標）

物流の効率化やIoTの利用等、これまで日本においても運輸・交通分野で多くの取組を実施してきており、運輸・交通分野における様々な効率化策に関する知見を有している。これらの知見の活用・共有方法として、現地に専門家を派遣することや日本での研修実施等が活動例として挙げられる。

表 171 運輸・交通分野の高効率化に係る実証事業例

プロジェクトでの活動例	過去の実績	支援スキームの例
日本における運輸・交通分野における様々な効率化策の共有（各種研修を通して）	◎	技術協力

B) 産業分野における省エネ推進（中間目標）

需要側として産業分野は、途上国において低炭素化が十分に浸透していない分野の一つであり、技術的な支援のみならず、関係者へ低炭素化に対する理解を深めてもらうための啓蒙活動や、各種政策・制度面の整備も喫緊の課題となっていることから、産業分野における省エネ推進を中間目標として掲げている。

具体的なアプローチとして、①産業部門における化石燃料削減というサブ目標を設定している。

① 産業部門における化石燃料削減（中間目標のサブ目標）

省エネの推進に向けてエネルギー管理制度構築支援はこれまで多く実施してきている。今後は、具体的な省エネ対策として、ボイラーのヒートポンプ転換に加え、鉄鋼製造における高効率化や水素還元製鉄による鉄鋼製造、グリーン水素原料によるアンモニア製造等といった活動も、

民間連携を中心に一層実施していくことが必要である。

表 172 産業部門における化石燃料削減に係る実証事業例

プロジェクトでの活動例	過去の実績	支援スキームの例
鉄鋼製造における高効率化（技術支援、制度支援）	×	技術協力、民間連携事業
水素還元製鉄による鉄鋼製造	×	民間連携事業
グリーン水素原料によるアンモニア製造等	×	民間連携事業
ボイラーのヒートポンプ転換	△	民間連携事業
エネルギー管理制度構築支援	◎	技術協力

C) 都市開発（Buildings）における省エネ推進（中間目標）

都市開発分野においては、一定の地域で実施するスマートシティやスマートグリッドの開発に加え、商業ビルなどの省エネ対策に対するニーズが高まっていることから、都市開発分野における省エネ推進を中間目標として掲げている。

具体的なアプローチとして、①住宅・建築物における省エネ推進というサブ目標を設定している。

① 住宅・建築物における省エネ推進（中間目標のサブ目標）

ネット・ゼロ・エネルギー・ビル（ZEB：Net Zero Energy Building）やネット・ゼロ・エネルギー・ハウス（ZEH：Net Zero Energy House）などの建物ごとに低炭素化を行う取組が途上国においても広がっている。日本では従来より ZEB・ZEH に取り組んでおり、建物の省エネの分野において海外に展開していくことが可能である。ビルの省エネ促進に関する制度整備支援や面的開発の支援も併せて実施していくことが有効である。

表 173 住宅・建築物における省エネ推進に係る実証事業例

プロジェクトでの活動例	過去の実績	支援スキームの例
ZEB/ZEH 促進政策・計画の策定、制度導入支援	×	技術協力
ZEB/ZEH 促進ファイナンス支援	×	資金協力
面的開発（スマートシティ、スマートグリッドを含む）支援	△	民間連携事業
ビルの省エネ促進支援（グリーンビル支援、ビルディングコード整備を含む）	△	技術協力
ボイラーのヒートポンプ転換	×	民間連携事業

D) 需要側における省エネ促進（中間目標）

需要側に共有の課題として、省エネの重要性を幅広い関係者に啓蒙し、必要な政策・制度を整備し、省エネ機器・技術の導入をいかに進めていくか、という点が挙げられる。具体的なアプローチとして、①省エネの推進というサブ目標を設定し、需要側の各分野に対して横断的な取組を

実施することを目指す。

① 省エネの促進（中間目標のサブ目標）

省エネ技術・機材の導入に向けた支援や省エネ管理や省エネ基準、高効率機器の導入に向けた制度整備、省エネマスタープランの策定支援などはこれまでも多くの実績があるが、依然として途上国におけるニーズは高く、引き続き支援を続けていくことが有効である。

これらに加えて、途上国においては省エネ機器・設備の導入に向けた資金需要が高まっていることから、今後は資金協力の可能性も併せて検討していくことが有効である。

表 174 省エネの促進に係る実証事業例

プロジェクトでの活動例	過去の実績	支援スキームの例
省エネ技術・機材の導入に向けた支援	◎	技術協力、民間連携事業
省エネ管理や省エネ基準、高効率機器の導入に向けた制度整備（効率基準、ラベリング制度）の策定・普及支援、研修実施、研修センター設立・運営支援	◎	技術協力
高効率エアコンパイロットプロジェクトの実施（全体プログラムに一部として）	◎	民間連携事業
省エネマスタープランの策定支援	◎	技術協力
省エネ促進のためのツーステップローン提供	△	資金協力

（3）供給・需要両方に関わる低炭素化（開発戦略目標）

A) 長期エネルギー計画の整備（中間目標）

供給側・需要側共通の目標として、供給側や需要側それぞれの支援を行う一方で、エネルギー全体の低炭素化に向けた計画・実行を可能にするために長期エネルギー計画の整備を掲げている。

具体的なアプローチとして、①エネルギー全体の長期計画策定、②エネルギーデータ管理を二つのサブ目標として設定している。

① エネルギー全体の長期計画策定（中間目標のサブ目標）

日本においては、エネルギー基本計画（令和3年10月）を策定し、2050年カーボンニュートラル実現に向けた課題と対応や2050年を見据えた2030年に向けた政策対応等、長期的な計画を具体的なアクションまで落とし込んで策定している。一方で、途上国においては、低炭素化に向けた長期的な目標は掲げているものの、エネルギー全体としての長期計画まで策定できていることはまだ少ない。こういった課題に対応すべく、技術協力として、カーボンニュートラルに向けた長期エネルギー計画策定支援を実施していくことが有効である。

表 175 エネルギー全体の長期計画策定に係る実証事業例

プロジェクトでの活動例	過去の実績	支援スキームの例
カーボンニュートラルに向けた長期エネルギー計画策定支援	×	技術協力

② エネルギーデータ管理（中間目標のサブ目標）

エネルギー全体の計画を策定する際には、一定程度信頼性を有するエネルギーデータが整備されている必要がある。エネルギー需給実績やエネルギー統計や二酸化炭素の排出動向などのエネルギー統計が時系列で正確に整備されていなければ、精度の高い計画を策定することは困難であることから、対策としてエネルギーデータ管理体制強化支援を実施していくことが有効である。

表 176 エネルギーデータ管理に係る実証事業例

プロジェクトでの活動例	過去の実績	支援スキームの例
エネルギーデータ管理体制強化支援	△	技術協力

B) CCS/CCUS の活用（中間目標）

供給側では主に火力発電による CO₂ 排出量を抑えるため、需要側では産業活動により排出される CO₂ を抑えるために、CO₂ を地中に貯留・圧入する CCS（Carbon dioxide Capture and Storage）や、分離・貯留した CO₂ を利用する CCUS（Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage）といった取組が行われている。

具体的なアプローチとして、①CO₂ の貯留・利用をサブ目標として設定している。

① CO₂ の貯留・利用（中間目標のサブ目標）

CCS を進めるにあたっては、十分な量の CO₂ を貯留するための地層を見つけることが必要であり、二酸化炭素の地中貯留に向けた調査が有効なアプローチとして挙げられる。

表 177 CO₂ の貯留・利用に係る実証事業例

プロジェクトでの活動例	過去の実績	支援スキームの例
二酸化炭素の地中貯留に向けた調査	×	技術協力、民間連携事業

C) 水素の製造・貯蔵に向けた取り組み（中間目標）

供給側では水素と空気を活用した燃料電池、需要側では水素をエネルギーとする水素自動車や燃料自動車といった取組が行われている。脱炭素化に向けた水素サプライチェーンの構築に対するニーズが様々な国・地域で高まりつつある。

具体的なアプローチとして、①水素の活用をサブ目標として設定している。

水素の活用（中間目標のサブ目標）

水素は製造プロセスによって分類され、再生可能エネルギーを活用した水の電気分解によって作られた水素をグリーン水素として、ブルー水素（蒸気メタン改質や自動熱分解等の方法で水素と二酸化炭素に分解し、二酸化炭素を大気排出する前に回収する方法）やグレー水素（製造方法はブルー水素と同様であるが二酸化炭素をそのまま大気中に放出する方法）とは区別している。今後は高い需要が見込まれるグリーン水素の活用の検討に加え、水素サプライチェーンの構築支援も含めて実施していくことが有効である。

表 178 水素の活用に係る実証事業例

プロジェクトでの活動例	過去の実績	支援スキームの例
グリーン水素の活用の検討	×	技術協力、民間連携事業

2.1.2 民間連携事業における事業化促進に向けた提言

脱炭素分野における JICA の今後の支援に係る指針策定の参考とするために、他ドナーの同分野での支援動向について整理した。再エネ導入拡大、エネルギー効率化、そして開発途上国においても関心の高い水素の3分野を対象としている。

(1) 再エネ・エネルギー効率化分野での他ドナーの支援動向

本調査では調査対象国を特定する上で、開発途上国を「電力ミックスにおける再エネ比率」と「エネルギー原単位（energy intensity）⁷³⁵」による分類を行っている⁷³⁶。対象国となった14か国をこのマトリクスに沿って分類し、その特徴を確認した上で、グループごとの他ドナーの支援傾向を概観する⁷³⁷。

⁷³⁵ エネルギー原単位＝エネルギー使用量/経済活動量（GDP など）で求められる省エネの指標であり、数値が小さいほどエネルギー効率が高いということになる。

（参考）エネルギー原単位 <https://sustainablejapan.jp/2017/05/08/intensity/26728>

⁷³⁶ 再エネ比率 30%及び Energy intensity 0.3 という閾値は非 OECD 国の平均値及び各項目の中央値をもとに設定している。

⁷³⁷ 対象としたドナーは主に世銀、アジア開発銀行（ADB）、ドイツ国際協力公社（GIZ）である。

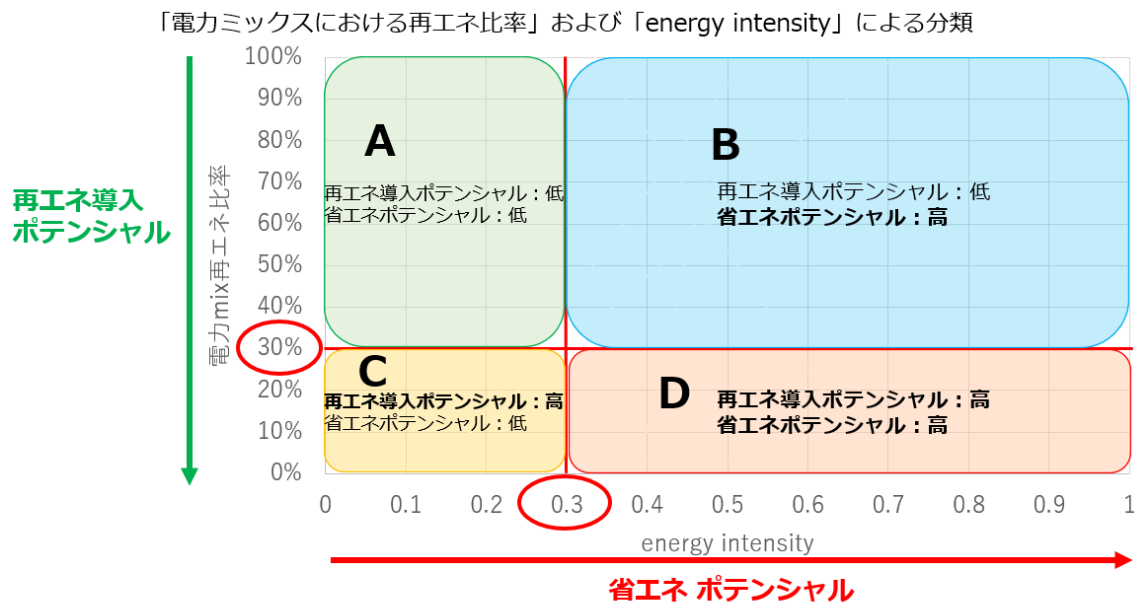


図 248 発電電力量における再エネ比率とエネルギー強度による4象限分類

各グループには以下の調査対象国が該当する。

グループ A：再エネ比率が比較的高く、energy intensity が比較的低い（エネルギー効率が低い）グループ

⇒ペルー

グループ B：再エネ比率が比較的高く、energy intensity が比較的高い（エネルギー効率が低い）グループ

⇒カンボジア、ミャンマー、ラオス、ベトナム、モザンビーク

グループ C：再エネ比率が比較的低く、energy intensity が比較的低い（エネルギー効率が低い）グループ

⇒インドネシア、フィリピン、モロッコ、バングラデシュ、エジプト

グループ D：再エネ比率が比較的低く、energy intensity が比較的高い（エネルギー効率が低い）グループ

⇒タイ、南アフリカ、インド

① 供給側・送配電分野

供給側については、国際金融機関（以下、MDBs）は再エネ拡大がメインであり、火力発電の高効率化等は支援の対象としないという方針が主流となっているようである⁷³⁸。また、インドなどは州によっては再エネ比率が20%を超えるなど、系統の安定化が急務となっているケースもあり、蓄電池に関する支援等も見られる。

なお、グループ A、B のような電源構成における再エネ比率が30%を超えるケースは、太陽光・

⁷³⁸ 脱炭素プロ研 ADB、世銀などのインタビューより

風力等の変動性再エネ（VRE）比率が高いわけではなく、水力発電の比率が高い国となっている。特にアジア地域で水力発電の比率が高い国については、乾季の電力不足が課題となっている国が多いが、将来的には長期・大容量での電力貯蔵が可能な水素を活用することが考えられ、ADB もネパールを例として定量的な分析を行っている（後述）。

また、送配電分野ではスマートメーターやスマートグリッドなど、デジタル技術の導入がほぼ必ずと言っていいほど支援メニューに含まれている。

② 需要側

需要側はいずれのグループも運輸部門のエネルギー消費の比率が高い。MDBs が行う支援は EV 関連や公共交通整備等が中心である。しかしながら EV は高額であることや、チャージインフラ整備等の課題も多い。JICA が行う支援の方向性としては、グループ C、グループ D のような火力発電比率が高い国においては、LCA（Life Cycle Assessment）⁷³⁹をベースとした場合は CO₂ の削減効果が大きくない可能性があることも踏まえ、内燃機関の脱炭素化（バイオ燃料や合成燃料の利用）等、EV 導入に限定せずバランスよい支援メニューを検討する必要があるだろう⁷⁴⁰。

産業・商業部門、都市開発部門エネルギー効率化（産業プロセスや建物のエネルギー効率化）については、まず規制・政策等の整備、関連省庁等の能力向上が課題となり、それらが整うと、エネルギー効率化に対する認知度が低いことや、金融機関にノウハウがない、リスクが高いなどにより融資に積極的でないことが課題となってくる。このため、①法制度・規制の整備、関係省庁などの能力開発、②民間企業、金融機関へのエネルギー効率化に対する認知度向上、技術・プロセスの紹介（ESCO ビジネスの場合は ESCO の能力強化）、③エネルギー効率化投資を促すための金融機関による融資のリスク低減ツール（保証等）の提供、といった支援が主流となっており、対象国の置かれている段階（規制が整備されているか等）に応じて支援がなされている。

なお、産業プロセスの低炭素化（例えば、熱供給をヒートポンプに置き換えるなど）については他ドナーの支援はさほど多く見られないため、JICA の今後の支援の方向性として、対象国の産業構造と日本におけるエネルギー効率化・低炭素化技術に強みを持つ分野とがマッチすれば貢献度は大きいと考えられる。また、エネルギー効率化投資を促すための方策として、「全世界グリーンファイナンスと JICA の貢献に係る情報収集・確認調査」で検討されているブレンデッドファイナンススキームの活用も期待されるところである。

③ その他

MDBs の支援の特徴として、個々のプロジェクトにジェンダー平等推進の視点が加えられているという点が挙げられる。再エネプロジェクトであれ、エネルギー効率化プロジェクトであれ、

⁷³⁹ 排出量のバウンダリの考え方の一つ。LCA は自動車の製造段階から廃棄段階までのライフサイクル全体の CO₂ 排出量を含む。

⁷⁴⁰ 日本自動車工業会の「地球温暖化対策長期ビジョン」においても、「BEV/PHEV/FCEV の普及にはインフラ整備が必要であること、また、これら電動車の環境性能を発揮するには電源や水素の低炭素化(脱炭素化)も必要であり、政府やエネルギー供給者と連携して進める。内燃機関の脱炭素化も CO₂ 削減手段の一つであり、カーボンフリーとなるバイオ燃料や合成燃料の将来的な活用を視野に入れて内燃機関の高効率化と新燃料対応に取り組む」旨が示されている。<https://www.jama.or.jp/eco/vision/index.html>

例えば女性に特化した職業訓練等のポジションが含まれているケースが多い。JICA の令和 4 年度～令和 9 年度の中期計画においても「ジェンダー平等の推進」が掲げられていることに鑑みれば、脱炭素分野の支援においても、それぞれのプロジェクトにジェンダー平等推進の視点を盛り込むということも検討していくべきであろう。

(2) グループごとの MDBs による支援内容の特徴

(1) グループ A

再エネ導入比率が 30%を超え、energy intensity も 0.3 以下というグループである。再エネ比率が比較的高く、エネルギー効率も比較的高いグループである。

水力発電の比率が高いケースが多く、エネルギー効率についても、単にエネルギー多消費産業が発達していないというようなケースが見られる。

調査対象国ではペルーがこのグループに該当する。

①電力ミックス、電力市場の特徴

電力ミックスとしては、水力発電の比率が高いケースが多いと考えられるが、この場合は気候・気象条件（旱魃や乾季等）により電力不足が発生するケースがある。また、経済成長に伴う電力需要の増加への対応として水力発電以外の電源開発が必要となってくるケースもある。

ペルーでは 1990 年代終わりに国内で天然ガスの生産が行われるようになり、従来の石油中心のエネルギー構成から天然ガスのシェアが増加してきた。そして経済の発展に伴い、在来型のバイオマス等の消費量が減少している。ペルーの課題は高価な輸入 LPG を国産の天然ガスに置き換えることにある。

南米諸国に共通する特徴として、発電に占める水力のシェアが高いことにある。しかし、旱魃になると水力の出力が落ちて電力不足になる。このため、ペルーでは国産天然ガスの生産に伴い、天然ガス火力のシェアが拡大し、石炭火力のシェアは極めて小さい。ペルーは貧困率が高く電力グリッドへの接続が困難な地域の電化対策として、PV パネルによる電力供給を進めている。

電力市場は自由化されている。また、発電、送電、配電が分離されており、同一企業が複数部門にまたがって参入できない構造になっている。

②エネルギー消費の特徴

energy intensity は低い、エネルギー効率が高いというケースのほか、エネルギー多消費産業が発達していないというケースが考え得る。

低炭素プロ研調査対象国ではペルーが該当するが、同国の最終エネルギー消費の部門別内訳を見ると、2019 年は産業 30%、運輸 50%、住宅 11%、商業／公共サービス 7%と運輸部門の消費が最も多い。2014 年から 2019 年の 5 年間の伸びでは、運輸が 5.8%と最も高く、次いで住宅の 4.1%であった。

ペルーはエネルギー多消費産業が発達しておらず、熱需要が少ないために化石燃料のシェアが低い。ペルーの産業で最もシェアが高いエネルギーは電力であり、2019 年のシェアは 42%であった。

③ドナーによる支援動向

電力需要がさらに増大しているような国では、水力発電以外の電源開発も課題となりうる。

再エネ（水力）比率が高く、電力市場も自由化されているペルーにおいては、電力セクターへのデジタル技術導入（スマートグリッド等）や電力市場等の規制枠組みの改革支援等、技術的・制度的な支援が行われている。

IDB が 2020～2023 年（予定）の期間で電力セクター改革のための制度的・技術的支援を行っている。内容は(i) 技術的・経済的観点からの規制枠組みの見直しを含む、ペルーの電力部門の新技術導入とデジタル化のための変革の開発活動、 (ii) 作業計画とロードマップを進めるための電力セクター改革を目的とした多部門委員会（CRSE）への技術支援、(iii) White Paper（WP）とそれに対応する規制・法的部門改革準備への貢献となっている。WP は以下四つの優先的なテーマ軸に重点を置いて分析と勧告を行うものである。

- ・ 制度、エネルギー計画、部門構造
- ・ 卸売市場、競争、アンシラリーサービス、貯蔵
- ・ 送電、国際連系
- ・ 配電（スマートグリッド）、分散型発電、小売競争

IDB はその他、Ministry of Energy and Mines のキャパビルや、技術、経済、環境、社会への包括的なアプローチに基づき、ペルーの開発目標に合致した新しい持続可能なエネルギーマトリックス（NSEM）の開発の支援等を行っている。

（２）グループ B

再エネ導入比率が 30%を超えるものの、energy intensity は 0.3 以上というグループである。再エネ比率は高いが、エネルギー効率が比較的悪く、エネルギー効率の改善が主な課題となる。低炭素プロ研の調査対象国では、カンボジア、ミャンマー、ラオス、ベトナム、モザンビークが該当する。

①電力ミックス、電力市場の特徴

電力ミックスとしては、水力発電の比率が高いケースが多いと考えられるが、この場合は気候・気象条件（旱魃や乾季など）により電力不足が発生するケースがある。また、経済成長に伴う電力需要の増加への対応として水力発電以外の電源開発が必要となってくるケースもある。

低炭素プロ研調査対象国では、いずれの国も水力発電の比率が高く、電力市場については主に発電部門に民間が参入している点（モザンビークを除く）が共通点として挙げられる。

表 179 グループ B の電力ミックス、電力市場の特徴

	電力ミックスの特徴	電力市場の特徴
カンボジア	2011 年頃まで石油が大宗を占めていたが、2012 年以降水力が、2013 年以降石炭の利用が拡大し、石油火力の割	発電・送電・配電で自由化が行われており、現状は発電・送電部門に民間資本が参入している。

	電力ミックスの特徴	電力市場の特徴
	合は 2018 年に 4%まで縮小している。電力需要の増加に応じて石炭火力を中心に供給能力の強化が進められている。2015 年に石炭火力の発電電力量が水力を初めて上回って以降、その傾向は継続しているが、2018 年は水力が石炭火力を上回っている。	
ミャンマー	豊富な水力資源を活用し、発電電力量の約 50%を水力発電が占める。しかしながら、近年は社会・環境面への悪影響に対する懸念から水力発電開発が停滞しており、開発見通しは不透明である。また、近年は、ガス火力の開発も進めてきたが、天然ガスは貴重な外貨獲得手段であることから、2016 年時点では国内生産の約 8 割をタイおよび中国へ輸出しており、必ずしも保有資源を国内で活用しているわけではない。	発電・送電・配電の分離がなされ、発電部門には民間資本 (IPP) が参入可能である。
ラオス	2014 年までは水力発電の構成割合が 100%であったが、2015 年のホンサ石炭火力発電所が運転開始以降、石炭利用が増加しており、2019 年時点では石炭火力の比率が 40%まで増加している。	発電事業では IPP の参画を認めているものの、送配電については国営企業が独占している。
ベトナム	従来、豊富な資源を有する水力が中心であったが、2000 年以降の急激な電力需要の増加に伴い、石炭を中心とした火力発電の開発を進め、2019 年時点で発電電力量は石炭火力が 50%、水力が 28%となっている。	発電部門のみ自由化が行われている。
モザンビーク	電源構成の 8 割近くが水力発電である。発電ではこれまで水力に依存していたが、2004 年以降に天然ガスの生産が本格化し、発電での利用も 2013 年以降に増えている。なお、モザンビークでは電力アクセス率が 35%(都市	発送配電の全てを国営 EdM が行う。このほかに、Cahora Bassa ダムの開発、管理、運営のためにポルトガル政府とモザンビーク政府が 1975 年に設立した Hidroeléctrica de Cahora Bassa (HCB) 他 IPP や、EdM と南

	電力ミックスの特徴	電力市場の特徴
	部が 57%、地方が 22%) と低い。	アフリカの国営電力 ESKOM および スワジランドの SEC の各社が 1/3 を 出資して 1998 年に設立した、アル ミ精錬を行う MOZAL 社への安定的 な電力供給を目的とした送電会社 Mozambican Transmission Company (MOTRACO) がある。

出所：調査団作成

②エネルギー消費の特徴

このグループはエネルギー効率が比較的低いグループである。経済発展の度合い、主要な産業の種類によっては産業部門の消費割合が大きくなる。エネルギー多消費産業が発達しているような場合（例：モザンビークのアルミ精錬業）は、産業部門のエネルギー効率化が課題となろう。

低炭素プロ研調査対象国のいずれの国も運輸部門のエネルギー消費が多いという特徴がある。ベトナム、ミャンマー、モザンビークでは産業部門のエネルギー消費が最も多くなっている。

表 180 グループ B のエネルギー消費の特徴

	最終エネルギー消費の部門別内訳
カンボジア	2018 年は産業 12%、運輸 61%、住宅 11%、商業／公共サービス 13%と運輸部門の占める割合が大きくなっている。2013 年から 2018 年の年平均変化率は、商業／公共サービスが 38.4%と最も大きく、産業が 22.4%と続く。
ミャンマー	2019 年は産業 36%、運輸 23%、住宅 8%、商業／公共サービス 8%となっている。2014 年から 2019 年の 5 年間の伸びでは、消費量は小さいものの、商業／公共サービスが 38.8%と急激に伸びており、次いで、産業が 13.6%、住宅が 14.7%となっている。
ラオス	2018 年は産業 22%、運輸 61%、住宅 10%、商業／公共サービス 7%と運輸部門の占める割合が大きくなっている。2013 年から 2018 年の年平均変化率は、運輸が 10.1%と最も大きく、住宅が 8.9%と続く。
ベトナム	2019 年は産業 51%、運輸 25%、住宅 13%、商業／公共サービス 5%と産業の割合が大きい。2014 年から 2019 年の 5 年間の伸びでは、産業が 7.7%で最も大きく、次いで、運輸が 7.1%、住宅および商業／公共サービスが 3.9%と、全体として伸び率が高い。
モザンビーク	産業が 43%、運輸が 41%（2019 年）と大きな割合を占め、住宅（6%）や商業/公共サービス（0%）、その他（8%）はわずかである。2014 年から 2019 年までの 5 年間の平均伸び率では、消費量は少ないものの商業/公共サービスが 4.1%、運輸が 3.7%と大きく、続いて産業が 2.1%、住宅も 1.5%になっている。

出所：調査団作成

③ドナーによる支援動向

【供給側】

電力ミックスでは水力発電の割合が高いケースが多いが、電力需要が急増しているような国では水力発電に加えて、他の電源開発も重要となってくる。ベトナムを例にとると、発電部門では太陽光・風力発電の導入促進支援が行われている。

表 181 グループ B の他ドナー支援例（供給側）

部門	主な支援概要
発電	・ 規模の大きな民間投資の動員を行うため、持続可能な太陽光発電に関連する競争入札を実施するベトナム政府の支援を行うことを目的とした、助成金による競争入札における IPP 選定の支援（世銀・ADB 2021～2025 予定） ・ 太陽光発電施設設置のためのプロファイロン提供（ADB 2019～） ・ 水力発電所の人工貯水池への浮体式太陽光設置のための支援（ADB 2019～） ・ ベトナムの太陽光発電市場や送電網の準備状況、及び実用規模の太陽光発電の展開に向けた現状について評価（技術協力）（世銀）
送配電	・ 送電網の効率化プロジェクト及び配電網の効率化プロジェクトが行われており、それぞれ①送配電インフラ強化、②スマートグリッド開発、③送配電会社のキャパビル（ローン、技術協力）（世銀）が行われている。

出所：調査団作成

また、水力発電が主力電源であり、かつ雨季と乾季がある国の場合、乾季の電力不足が問題となるケースが多い。このようなケースにおいて、ADB はネパールを例として、蓄電池よりも長期・大容量でエネルギー貯蔵が可能な水素を活用し、雨季に発生した余剰電力を貯蔵して乾季に燃料電池による電力供給を行うことや、産業・運輸分野で使用することを定量的に分析し、提案している⁷⁴¹。

⁷⁴¹ネパールにおいて、電力貯蔵に水素を利用することが ADB によって提言されている。ADB “A Study on the Prospect of Hydropower to Hydrogen in Nepal”(2020.8) <https://www.adb.org/publications/study-hydropower-hydrogen-nepal>

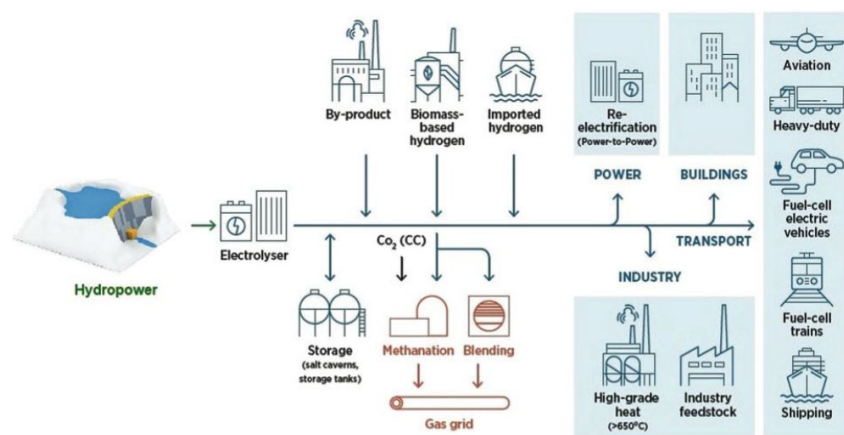


図 249 ネパールの潜在的な水素バリューチェーン

出所：ADB “A Study on the Prospect of Hydropower to Hydrogen in Nepal”(2020.8)

【需要側】

このグループでは、産業部門のエネルギー消費が最多であるケースも多く見られる。例としてベトナムでは、最もエネルギー消費の多い産業部門に対しては規制機関、事業者のキャパビルやエネルギー効率化プロジェクトへのファイナンスを促すためのリスク低減策の提供等が行われている。建物部門においては法規制の整備、関係者のキャパビルが行われている。

表 182 グループ B の他ドナー支援例（需要側）

部門	主な支援概要
産業・商業	- 主要産業門において国家エネルギー効率化プログラムを効果的に実施するため、①ベトナム政府及びその他主要なステークホルダーに対するキャパビル（主要産業部門のエネルギー効率化行動計画、②エネルギー事業者の能力開発、③エネルギー効率化プロジェクトや政策の実施、モニタリング及び評価のキャパビルを行った。（GEF 2011～2017） - 産業用エネルギーシステムの最適化が組み入れられた ISO エネルギー管理基準の導入（GEF 2011～2015） ①エネルギー効率化投資向け融資（企業に対してエネルギー効率化を図るサブプロジェクト実施のために必要な資金の融資、各金融機関にはサブプロジェクトや借用者の選定基準及び評価手順、当該金融機関のプロジェクト実施体制、技術評価、環境社会評価、調達、並びに財務管理のフレームワークが示された運用マニュアルの提供、②MOIT に対し、プロジェクト活動の監査やセーフガードの実施等、プロジェクトのモニタリング及び監督に関するキャパビル（世銀 2017～） ①リスクシェアリングファシリティの設立支援（エネルギー効率化に係るサブプロジェクトに対する資金として参加金融機関（PFIs）

部門	主な支援概要
	participating financial institutions) から工業企業やエネルギーサービス会社 (ESCOs) へ提供される PFI ローンの潜在的な債務不履行を賠償するため、PFI に部分的な信用保証 (RSF 保証) を行う目的で RSF の設立を支援)、②エネルギー効率化政策及び産業界における自主協定の策定に関する過去の世界銀行及び GEF における支援 (Clean Production and Energy Efficiency Project) の成果を活用し、ベトナム商工省 (MOIT : Ministry of Industry and Trade) やその他政府機関に対する、技術支援。(2019～ 世銀、GEF)
都市開発	・ ①省エネルギー建築基準法 (EEBC : Energy efficiency building code) の改善及び施行、②建築セクターの利害関係者が省エネルギー対策を設計し、資金調達し、実施するための能力の強化 (融資保証基金等の金融支援メカニズム等の設定、省エネルギー・節電対策のための経済評価及びモデリングツールの開発、建物エネルギー効率化センター (CEEBs : Centers for Energy Efficiency in Buildings) の職員に対する省エネルギー管理モデル/ツール、エネルギー監査、モニタリング・評価、報告書作成等のキャパビル、ESCO 及びコンサルティング会社に対する省エネルギー技術、エネルギー監査、費用対効果分析及びライフサイクル分析に関する研修の実施) (GEF 2015～2019 予定?)

出所：調査団作成

(3) グループ C

再エネ導入比率が 30%以下であるが、energy intensity は 0.3 以下というグループである。電力ミックスにおける火力発電の比率が高いケースが多く、再エネなど低炭素電源の拡大が主な課題となる。一方、エネルギー効率は比較的高い。産業部門のエネルギー消費の割合がさほど高くない、または産業におけるサービス業の割合が高いなど、エネルギー多消費産業の比率が大きくないというケースが考え得る。

低炭素プロ研調査対象国では、インドネシア、フィリピン、モロッコ、バングラデシュ、エジプトが該当する。

①電力ミックス、電力市場の特徴

電力ミックスにおける火力発電の比率が高いケースが多く、電力需要が増加しているケースも多い。再エネなど低炭素電源の拡大が主な課題となる。低炭素プロ研調査対象国でも、いずれも電力構成における化石燃料の比率が高い。また、電力市場についてフィリピンは発電・送電・配電部門で自由化が進んでいるが、それ以外の国は民間事業者の参入は発電部門に留まる。

表 183 グループ C の電力ミックス、電力市場の特徴

	電力ミックスの特徴	電力市場の特徴
インドネシア	近年の電力需要の増加に対して、生産量が低下した石油から石炭火力への転換を進め、2019 年の発電電力量に占める石炭火力の割合は 59%となっている。今後は環境対策の観点から、石炭火力発電への依存低減と再生可能エネルギーの開発方針が示されている。再エネの中でも世界有数のポテンシャルを持ちながら開発が進んでいない地熱発電の拡大が電力における低・脱炭素化のポイントのひとつとなっている。	発電部門は公営電力会社のほか民間事業者（IPP）も参入しているが、送配電は公営電力会社及びその子会社が行っている。オフグリッドで村落協同組合（KUD）という住民組織が電力供給を実施している。
フィリピン	発電電力量における石炭火力の割合は2010年の37%から2019年には55%に拡大している。また、アメリカに次ぐ世界第 2 位の設備容量を持つ地熱発電と大きなポテンシャルを持つ水力発電により、再生可能エネルギーの割合も高くなっている。今後は太陽光発電の拡大の方針を示している。	発電事業：公営電力会社と IPP が担っているが、公営電力会社は2022年までに民営化の予定。 送電事業：国営企業が資産を所有し、民間企業が事業を独占。 配電事業：民間配電事業、地方自治体が所有する事業者、電化協同組合が担う。
モロッコ	安価な石炭火力の利用が増えており、2019 年は電力供給の 65%を占めた。伸び率では再生可能エネルギー（水力を除く）が最も早く、2014 年から 2019 年の 5 年間は年率平均 18.6%の高率で増え、2019 年は電力供給の 18%を占めるまでになった。一方減少傾向にあるのが石油（重油、ディーゼル）、天然ガスおよび水力である。低炭素化という視点では天然ガス発電と水力の拡大が望ましいが、ここ 10 年程はその傾向が見られない。	発電事業：公営電力会社のほか、民間事業者の参入が可能。 送電事業：公営企業による独占。 配電事業：公営企業、地方自治体との契約による民間事業者、地方の公営企業。
バングラデシュ	ガス火力が中心であり、近年は石油火力の活用も進めてきた。将来的には、石油火力を減らし、ガス火力、石炭火力及び電力輸入を中心に、今後更なる	発電部門は公営電力会社、及び民間事業者が行い、配送電は公営企業が行っている。

	電力ミックスの特徴	電力市場の特徴
	増加が見込まれる電力需要を補うことを想定している。ただし、従来は石炭を天然ガスに代わる重要なエネルギー源とみなしていたが、国民からの風当たりが強くなり、今後の石炭火力開発量に制限を設ける方針にある。電力輸入については、現在インドから輸入しており、将来的にはブータンやネパールから水力発電によるクリーンな電力の輸入を検討している。	
エジプト	以前は水力と石油（ディーゼルエンジン）が中心であったが、電力需要の増加に応じた能力強化はガス火力を中心に行われてきており、現在は最もガス火力の比率が高い。ただし、2019年時点でも電力供給の13%が高価な石油となっている。	発電部門は公営電力会社のほか民間事業者（IPP）も参入しているが、送配電は公営電力会社が独占している。

出所：調査団作成

②エネルギー消費の特徴

産業部門のエネルギー消費の割合がさほど高くない、又は産業におけるサービス業の割合が高いなど（例：フィリピン）、エネルギー多消費産業の比率が大きいというケースが考え得る。脱炭素プロ研調査対象国では、インドネシア、フィリピン、エジプトでは産業・運輸部門の割合が高い。一方で、モロッコ、バングラデシュでは運輸・住宅部門の割合が高くなっている。

表 184 グループCのエネルギー消費の特徴

	最終エネルギー消費の部門別内訳（2019年）
インドネシア	産業 37%、運輸 39%、住宅 13%、商業／公共サービス 4%と、運輸の割合が高いことが特徴である。2014年から2019年の5年間の伸びでは、産業が8.0%で最も大きく、住宅4.1%、運輸2.9%となっている。
フィリピン	産業 22%、運輸 44%、住宅 14%、商業／公共サービス 16%と、運輸の割合が大きいことが特徴である。2014年から2019年の5年間の伸びでは、商業／公共サービスが8.3%で最も大きく、次いで、住宅が8.1%、運輸が6.8%となっている。
モロッコ	運輸が40%、住宅（24%）と産業（20%）がほぼ同率、商業/公共サービスが4%、その他が12%である。過去5年間（2014年-2019年）の伸び率でみると、ここでも運輸が年率平均4.3%と最も旺盛な成長を見せており、次いで

	最終エネルギー消費の部門別内訳（2019 年）
	商業/公共サービスが 3.4%、住宅が 3.2%である。逆に産業は伸びが低く、年率平均 0.9%となった。
バングラデシュ	産業 43%、運輸 16%、住宅 27%、商業／公共サービス 3%と産業における消費が大きい。2014 年から 2019 年の 5 年間の伸びでは、エネルギー消費が大きい産業で 11.4%であり、商業／公共サービスで同じく 11.4%、住宅が 10.3%となっている。
エジプト	産業 29%、運輸 30%、住宅 20%、商業/公共サービス 6%、その他 14%であった。2014 年から 2019 年の 5 年間の伸びでは、産業が 3.7%で最も大きかった。一方、運輸は 2017 年、2018 年の 2 年連続でマイナス成長であったが、2019 年には増加に転じた。

出所：調査団作成

③ドナーによる支援動向

【供給側】

火力発電の比率が比較的高いことから、電源の低炭素化（再エネ拡大）のための支援がメインとなる。モロッコを例にとると、発電分野への民間投資促進施策のほか、系統安定化のための再エネ管理センターの導入、テクニカルロス・ノンテクニカルロスの削減支援等が行われている。

表 185 グループ C の他ドナー支援例（供給側）

部門	主な支援概要
発電・配電	・ ①国営電力・水道公社（ONEE）の PV プログラムへの融資、②分散型太陽光発電への民間参入のための環境整備、③集中管理センターの設置（エネルギー効率と技術改善を取り入れた長期電力計画を実行するための ONEE の能力向上）、④収益保護プログラム（ノンテクニカルロスの削減、使用時間帯別料金システムを導入）。（世銀 2015～2019）

出所：調査団作成

【需要側】

比較的住宅部門のエネルギー消費の多いモロッコでは、モスクのグリーン化の支援といったものも含め、GIZ が複数の建物エネルギー効率化のための支援を実施している。

表 186 グループ C の他ドナー支援例（需要側）

部門	主な支援概要
運輸交通	・ ①運輸部門における国のデータ収集方法の改善する、②排出量の記録と予測におけるベストプラクティスの実装、③輸送における効果的な気候変動対応策措置の開発・実施により NDC プロセスを支援、④地域の専門知識の開発を促進することを目的とした知識の共有。

都市開発	・ GIZ、AFD などによるファシリティである PEEB（Programme for Energy Efficiency in Buildings）による①住宅省の支援と 100 人の政府職員の訓練による建築基準法の施行、②能力開発と計画によるモロッコ建築気候同盟（AMBC）の強化、③技術研究とリソースの動員、④大規模なエネルギー効率の高い建物プロジェクトの技術的アドバイスによる民間セクターへのサポート、⑤エネルギー効率の高い建物と電化製品のための公共住宅開発業者（Al Omrane）への 1 億 8000 万ユーロの資金調達パイプライン。（GIZ、AFD 2017～2021） ※PEEB はモロッコのほか、ベトナム等でも支援を行っており、アドバイザー、ファイナンス
その他	【エネルギーモデルについての支援】 ・ 将来のエネルギーシナリオについて長期予測を行うことができるエネルギーモデリングにおけるシステムを開発するためのトレーニング（GIZ 2020～2022） 【カーボンプライシングについての支援】 第 1 コンポーネント： ➢ 炭素価格決定手段の決定に関する分析と提言 ➢ 適切なガバナンス枠組みの提案 ➢ MRV システム（一般のおよびセクター全体）のための制度的枠組みと運用要件の設計 ➢ MRV システムのパイロット ➢ 対象セクター（電力、セメント、リン酸塩）ごとのベースラインの確立 ➢ 対象セクターの緩和可能性の評価 ➢ 対象 3 セクターの緩和措置に関する規制枠組み確立のための支援。 第 2 コンポーネント：キャパシティビルディング ➢ 政府及び民間セクターの排出量、並びに排出レベルの変化を監視、報告、検証する能力構築のための計画を作成及び実施 第 3 コンポーネント：プロジェクト管理 ➢ エネルギー・鉱山・水・環境大臣に委任された環境省（MDE）内に設置されるプロジェクト管理ユニット（PMU）の設立と運営、PMR 活動の実施・管理、関連プログラムやイニシアティブとの調整が含まれる。

出所：調査団作成

（４）グループ D

再エネ導入比率が 30%以下であり、energy intensity は 0.3 を超えているというグループである。

電力ミックスにおける火力発電の比率が非常に高く、エネルギー効率も比較的低いことから、再エネの拡大、エネルギー消費の効率化が課題となる。タイ、南アフリカ、インドが該当する。

①電力ミックス、電力市場の特徴

電力ミックスにおける火力発電の比率が非常に高いことが特徴である。低炭素プロ研調査対象国でも、いずれも電力構成における火力発電の比率が高い。タイについてはガス火力が最大の構成割合であるが、南アフリカ及びインドは石炭火力の比率が極端に高い。電力市場については、いずれの国も発電事業に民間事業者が参入している。

表 187 グループ D の電力ミックス、電力市場の特徴

	電力ミックスの特徴	電力市場の特徴
タイ	ガス火力が中心であり、2019 年の発電電力量に占めるガス火力発電の割合は 64%となっている。しかしながら、国内生産量は減少傾向であるため、天然ガス輸入量が増加傾向にある。また、2010 年頃から再生可能エネルギー発電が増加しており、2019 年の発電電力量に占める割合は 14%となっている。	発電部門は自由化されているが、送電・配電部門は公営企業である。
南アフリカ	石炭への依存が 89%（2019 年）。	発電：10%は IPP が入っているが、残り 90%は公営電力会社が所有。 送電：公営電力会社が独占 配電：公営電力会社（需要家数の 45%）の他に多数の自治体営（188 自治体がライセンスを持つ）と少数の民営配電会社
インド	石炭火力の割合は 73%となっている。近年は太陽光発電を中心とした再生可能エネルギーの導入を進めている。	電気事業は中央セクター、州セクター、民間セクターに大別される。中央セクターは全国大の政策立案と複数州にまたがる発・送電事業を行っている。州政府はそれぞれの州内での政策立案と発・送・配電事業を行っている。中央、州にはそれぞれ独立した規制委員会が設置され、料金規制やルール作成、紛争解決等を行っている。州政府に対しては、原子力・石炭政策への関与は制限され

	電力ミックスの特徴	電力市場の特徴
		ているが、電力および再生可能エネルギー導入分野では独自の政策立案・実施を図る自由度が付与されている。

出所：調査団作成

②エネルギー消費の特徴

工業化が進んでいる国が比較的多く（例：タイの自動車産業、インドの鉄鋼業など）、産業部門でのエネルギー消費が多いケースが見られる。低炭素プロ研調査対象国では、いずれの国も産業・運輸部門のエネルギー消費の割合が高い。

表 188 グループDのエネルギー消費の特徴

	最終エネルギー消費の部門別内訳
タイ	2019 年は、産業 27%、運輸 30%、住宅 7%、商業／公共サービス 6%と産業、運輸の割合が大きい。2014 年から 2019 年の 5 年間の伸びでは、運輸が 4.7%で最も大きく、商業／公共サービスが 3.3%、住宅が 3.1%と続く。
南アフリカ	2019 年は、産業が 34%と最も大きく、次いで運輸（30%）、住宅（15%）、その他（13%）、商業/公共サービス（8%）となっている。2014 年から 2019 年の年平均伸び率をみると、住宅が 3.5%、商業/公共サービスが 2.8%と大きく、次いで運輸が 2.0%であった。一方、産業はマイナス成長（-2.7%）であった。
インド	2018 年は、産業 38%、運輸 23%、住宅 13%、商業／公共サービス 4%と産業における消費が大きい。2013 年から 2018 年の 5 年間の伸びでは、現在の消費量は小さいものの商業／公共サービスが 7.7%で最も大きく、次いで運輸が 5.7%となっている。

出所：調査団作成

③ドナーによる支援動向

【供給側】

火力発電の比率が比較的高いことから、電源の低炭素化（再エネ拡大、再エネ統合のための送配電網整備）のための支援がメインとなる。例えばタイのような、国内の金融市場がある程度成熟しているような国ではグリーンボンド発行の支援等も見られる。

インドを例にとると、供給側では特に配電会社のオフテイカーとしての信用度が低いという点が再エネ拡大の障壁の一つとなっているということもあり、ADB などが配電会社のキャパビルなどを行っている。また、変動性再エネの導入が進んでいる州もあり、インド政府も国内の蓄電池エコシステムの育成を奨励していることから、蓄電池に関する支援が進められている点も特徴的である。

表 189 グループ D の他ドナー支援例（供給側）

部門	主な支援概要
発電	インドでは、州によっては太陽光・風力といった変動性再エネの導入が進み、系統の安定化が喫緊の課題となっている州もある。 世銀では、アンドラプラデシュ州でユーティリティスケールの再エネ+蓄電池システム（BESS）のプロジェクトへの融資、技術協力（規制当局等の能力強化、SECI の事業計画等の能力強化、サブプロジェクトのプロジェクト管理等）を実施中である（2019 年～2024 年予定）ほか、以下のパイプラインを検討中である。 ・ A) バッテリーエネルギー貯蔵システムへの投資を支援する市場構造の構築 B) バッテリーエネルギー貯蔵システムへの投資の増加 C) バッテリーエネルギー貯蔵システムの導入を支援する関連機関の能力強化。 ・ BESS 及び電気自動車充電インフラの商業融資の促進、主要なステークホルダーの能力を強化。
送電	主に ADB が支援を行っている。内容としては州内の PV から送電線への接続、送電線・変電所増強、スマートグリッド技術等のほか、ERP システム導入、送電システム導入のための技術、財務、経済にかかるデューデリジェンス支援・レビュー、環境及び社会的セーフガードレビューなどの支援を各州で行っている。
配電	主に ADB による支援が行われている。インドでは州の配電会社の財務状況が悪く、オフテイカーリスクが高いという状況があるため⁷⁴²、配電会社のテクニカルロス・ノンテクニカルロスの削減支援、財務管理改善支援等が行われている。

出所：調査団作成

【需要側】

省エネ法などの規制が整備されているケースでは、支援内容としてはエネルギー効率化投資へのファイナンスに関するものが比較的多い。インドがその例である。

⁷⁴² インドでは①発電事業者が SECI（MNRE が設立した公営企業）または NTPC と PPA を締結し、SECI・NTPC は州配電会社と PSA を締結する、②州配電会社と PPA を締結する、③発電事業者と需要家が直接電力売買契約を締結するオープンアクセスと呼ばれる取引形態の 3 つが存在する。SECI/NTPC によって調達されるプロジェクトの PPA の場合はオフテイカーリスクに対してソブリン保証が付与されるが、州政府が調達するプロジェクトの PPA の場合、ソブリン保証は付与されない。

表 190 グループ D の他ドナー支援例（需要側）

部門	主な支援概要
産業・商業 / 都市開 発	「省エネルギー化国家計画」の要となっている省エネ証書取引制度⁷⁴³（Perform Achieve and Trade: PAT）に参加していない企業（鉄鋼二次製品業、紙・パルプ業）は最新の EE 技術等の知識が限定されるため、そのような企業に対して能力開発を行う。具体的には、州指定機関（SDA）⁷⁴⁴の能力開発、エネルギー集約的なプロセスへのベンチマークの設定、テクノロジープロバイダーの DB 提供、主要な技術・プロセスへの FS・実証、ウェブプラットフォームやワークショップ、訓練コースの提供、SDA と非 PAT 企業との Peer-to-peer learning など。（GIZ 2020～2023） - エネルギー効率化投資の部分的リスクシェアファシリティ：金融機関の EE 融資に対するリスクを軽減するための GEF ファシリティであり、CTF から保証が拠出される。標準的な評価と取引文書、報告テンプレート、エネルギー効率ガイドラインの開発、プロジェクト報告書作成の強化、能力開発とトレーニング、オンラインサポートや、金融機関、ESCO、受益者への技術支援と能力開発も含まれている。（世銀 2015 年～2035 年予定） - ADB による EESL への融資：EESL が以下のサブプロジェクトを行うための ADB からの融資である。（i）地方農業地域における分散型太陽光発電システム、スマートメーター、充電ステーション付き電気自動車（EV）の導入、（ii）エンドユーザーのエネルギー効率に対する認識と能力開発。（ADB 2019 年～2025 年予定）

⁷⁴³ 2009 年に策定された「National Mission for Enhanced Energy Efficiency（NMEEE）」は、四つの省エネイニシアチブで構成され、毎年 2,300 万石油換算トンの省エネルギー（温室効果ガスの排出削減量 9,855 万トン/年）を目標としている。

1) Perform Achieve and Trade（PAT）

：エネルギー多消費産業を対象とした省エネルギー証書取引制度

2) Energy Efficiency Financing Platform（EEFP）

：資金・人材面から ESCO 市場の育成促進。省エネファイナンスプラットフォーム作成。

3) Framework for Energy Efficient Economic Development（FEEED）

：省エネ事業への部分リスク保証基金、省エネベンチャー・キャピタル基金の創設。

4) Market Transformation for Energy Efficiency（MTEE）

：省エネ推進のための国際資金の活用。省エネ推進における CDM の活用。

⁷⁴⁴ 省エネルギー法（Energy Conservation Act 2001、以下省エネ法）により設置された州の省エネ対策の策定・推進機関である。中央政府は電力省エネルギー効率局（BEE）が該当。省エネ法の中では、エネルギー管理士・エネルギー監査士の制度の創設、エネルギー多消費業種を指定エネルギー消費事業者（DCs: Designated Consumers）として指定し、エネルギー管理士の選任、年次報告書の提出、エネルギー監査の実施等の義務化、州レベルの省エネ推進組織の設立、建物の省エネ規則の制定、エネルギー消費機器のエネルギー基準の設定とラベル表示の義務化などが明記された。

部門	主な支援概要
	India Cooling Action Plan (ICAP)⁷⁴⁵のもと、①地域冷房システムによる GHG 排出を削減するための技術的、経済的、財務的に適切な対応策の分析・評価し、政策的枠組みの条件と目標を設定した戦略的ロードマップを作成し、BEE による政策プロセスに導入する。②関連するアクター、特に民間企業（例えば、ビル開発業者、建築家、中央冷却装置メーカー、エネルギーサービス会社）と協力してビジネスモデルを開発し、必要な枠組み条件を整備する。③BEE が①及び②で提示されたソリューションを政策プロセスに組み込み、実施のために国際資金（例：NAMA Facility、地球環境ファシリティ（GEF））を申請することを決定した場合、申請プロセスについての助言も行う。（GIZ 2019 年～2022 年予定）

出所：調査団作成

(3) グループごとの方向性

上記のグループごとの電力ミックス、エネルギー消費、他ドナーの支援動向を考慮すると、おおまかに下表のような支援の方向性が考え得る。

表 191 グループごとの支援の方向性案

	グループ A	グループ B	グループ C	グループ D
供給側	- 水力発電の比率が高い。一方で VRE 導入も進めている。既存の水力発電のリハビリ等も含めた水力発電の効率化や、送配電部門を含め、VRE 導入拡大のための支援は引き続き重要である。 - 電力市場の自由	- 水力発電の比率が高い。一方で VRE 導入も進めている。既存の水力発電のリハビリ等も含めた水力発電の効率化や、送配電部門を含め、VRE 導入拡大のための支援は引き続き重要である。 - アジアでは乾季	- 火力発電の比率が高い。一方で VRE 導入も進めている。送配電部門を含め、VRE 導入拡大のための支援は引き続き重要である。 - MDBs は火力発	- 火力発電の比率が非常に高い。一方で VRE 導入も進めている。送配電部門を含め、VRE 導入拡大のための支援は引き続き重要である。 - MDBs は火力発

⁷⁴⁵ 冷却システムに起因する直接および間接的な温室効果ガスの排出を削減することを目的として、今後 20 年間にわたり、影響を受けるすべてのセクターで統合的なアプローチを行うためにインド政府が作成した行動計画である。環境森林気候変動省（MoEF & CC）の支援のもと、BEE、インド産業界、市民社会機関、研究機関を巻き込んだステークホルダープロセスで作成された。ICAP の実施機関は BEE である。

	グループ A	グループ B	グループ C	グループ D
	化が進んでいる場合はアンシラリーサービス市場も含む電力市場の規制枠組の支援等も見られる。また、VREの比率の高まりに備えて BESS 導入の支援（調達支援、国内エコシステムのロードマップ作成等）も考えられる。	の電力不足が課題となるケースが多い。ADB は将来的に雨季の水力発電の余剰電力を水素で貯蔵することなどを提案するレポートも公表している。	電の高効率化等の支援は基本的に実施しておらず、再エネ拡大が主眼となっている。しかしながら短・中期的には火力発電も利用せざるを得ないと考え、火力発電の高効率化等の支援も必要と考えられる。	電の高効率化等の支援は基本的に実施しておらず、再エネ拡大が主眼となっている。しかしながら短・中期的には火力発電も利用せざるを得ないと考え、火力発電の高効率化等の支援も必要と考えられる。
需要側	・エネルギー効率が低いというよりは、エネルギー多消費型産業が発達していない、というケースが考えられる。このような場合は運輸部門・住宅部門の低炭素化支援がメインとなる。 ・運輸部門については、電力ミックスにおける低炭素電源の比率が高く、LCA で考えた場合でも EV 導入が CO₂ 削減に効果的である場合が多いと考えられる。	・省エネに関する法律や基準などが未整備・不十分であるケースが多い。 ・運輸部門については、B グループは電力ミックスにおける低炭素電源の比率が高く、LCA で考えた場合でも EV 導入が CO₂ 削減に効果的である場合が多いと考えられる。	・エネルギー効率が低いというよりは、エネルギー多消費型産業が発達していない、というケースが考えられる。このような場合は運輸部門・住宅部門の低炭素化支援がメインとなる。 ・運輸部門については、電力ミックスの火力発電比率が高いことに鑑み、EV だけでなく、内燃機関の低炭素化（バイオ燃料等）も視野に入れ、バランスよく支援する必要があると考えられる。	・製造業の工業化が進んでいるケースが多い。産業プロセスの低炭素化も重要になる。 ・運輸部門については、電力ミックスの火力発電比率が高いことに鑑み、EV だけでなく、内燃機関の低炭素化（バイオ燃料等）も視野に入れ、バランスよく支援する必要があると考えられる。

出所：調査団作成

2.2 低・脱炭素システム輸出の可能性分析

2.2.1 日本国内のリソース（企業、大学、行政）へのヒアリングを通して、ODA 事業で展開が有望な技術・製品、パッケージ、ビジネスモデルの整理

日本国内の企業、研究機関、行政へ、低脱炭素技術の状況、海外展開の見込み等についてインタビューを行った。有望な技術、製品については前述（1.2 主要先進国／途上国における低・脱炭素エネルギー政策、技術、サービス、実用化及び商用化の動向の整理）に記載しているため、ここでは、主に低脱炭素の関連する各分野における現状と今後の見通し（事業パッケージやビジネスモデル含む）について取りまとめている。

（1）太陽光発電、風力発電

太陽光や陸上風力の分野における日本企業の製品・技術については、コスト面で海外製品に太刀打ちできず、日本製品を海外展開していくという絵姿は描きにくくなっている。また、太陽光パネル価格は年々低減しており、価格競争力を維持していくことが難しくなっている。

加えて、日本企業の製品をそのまま海外に輸出した場合、海外の電力品質では、製品が周波数の変動に耐えられず壊れてしまうこともあるため、今後は製品単体で輸出していくのではなく、新たな技術革新による付加価値の向上や、他の製品やメンテナンス技術などと連携した形での海外展開を目指している状況である。

一方で、洋上風力については、日本の海域でも実施される見込みであることから、日本国内においても施工方法や運搬方法のスキルや経験が蓄積されてくることになるため、それらを海外展開に活かしていき、日本のノウハウをまずはアジア地域で共有、展開していくことが今後あり得るのではないかと。

（2）EMS

EMSは再生可能エネルギーを意識したマイクログリッドに併設する形だと導入しやすい。また、海外展開は未だであるが、国内では、工場向けのEMS供給を進めており、実際に省エネ効果が出た事例もある。

例えば、再生エネルギーの出力を見ながら、ディーゼル発電の出力調整、合わせてバッテリーの活用をマネジメントしていくといった能力であれば、まだ日本勢にも優位性があるのではないかと。一方で、新興国では省エネルギーに対する意識がまだまだ低い点が課題である。

（3）水素

水素の製造については、欧州が先行しており、製造装置も大型化の傾向にある。このままでは欧州基準が世界のデファクトになってしまう可能性がある。

技術的な問題として、発電量が常時変動するところでも安定して水素製造ができる技術の確立が必要となってくる。グリーン水素の製造に向けて太陽光発電や風力発電を利用することに関しては、発電の稼働率をいかに上げていくかが今後の課題である。また、水素の取り扱いに関しては各国で規制が異なるため、特に途上国ではまず規制を整備していく必要がある。

国内外で日本企業による再エネ由来の水素であるグリーン水素の製造の実証事業が行われており、大型の電解製造装置の水電解技術を有しているなど、日本企業の優位性もみられる。

水素製造は、安い余剰電力、高い再エネポテンシャルのある国での展開が有力であり、例えばラオスのように豊富な水力は安定電源であり、グリーン水素製造の可能性がある国の一つといえる。水電解コストの約 8 割は電力価格であるため、電気代を安く抑えない限り、既存の水蒸気改質によって製造する水素に太刀打ちできない。少なくとも日本においては電気代が高いため、日本で水電解により水素を製造し、海外に水素を輸出していくということは現時点では想定できない。今後は、安い再生可能エネルギーが豊富な国で水素を製造し、日本やその他の国に展開していくビジネスはあり得るであろう。

(4) インバーター

現状、恒常的に暑い国では、中間的な気候で優位性を有しているインバーターのメリットが失われ、インバーターのないエアコン製品の方が性能で優位になることもある。国によって違いはあるが、現地メーカーがすでに存在する国において、インバーター技術を普及させようとするれば、インバーター技術を持たない現地メーカーが苦境に立つことになるため、現地メーカーとの調整が課題になってくる。

インバーターは日本において普及実績がある製品（複数メーカーが実績あり）を途上国に展開している技術であるため、現地においても信頼されている。今後は、インバーターの性能を正しく評価するために、CSPF（冷房期間エネルギー消費効率）規格の普及が必要である。

(5) ヒートポンプ・ZEB

ASEAN での普及にあたっての主な課題は、認知度とコストが挙げられる。ヒートポンプ技術自体が現地で認知されていないことが多い。また、日本製品は新興国においてはオーバースペックとなってしまうところがあり、高コストであることが課題となっている。現地のニーズにあったスペックを把握し、カスタマイズして製品を展開することができればコストの課題は解消できるのではないかな。

ヒートポンプは、将来的に大きな市場が予測されている中で、日本はヒートポンプ技術で世界のトップを走っているが、海外展開に向けた取り組みを進めなければ、将来他国の企業に市場を席巻される可能性がある。

日本として行っている国際的な取り組みとしては、日本、中国、韓国、ベトナム、インド、インドネシア、タイの計 7 カ国と「アジアヒートポンプ蓄熱技術ネットワーク (AHPNW)」を設立し、ヒートポンプ普及促進に向けて、各国政府関係者へ働きかけを行っている。

なお、ZEB に関しては、ISO で標準化を進めており、ASEAN 諸国に ZEB 基準を取り込んでもらうような取り組みを行っている。

(6) 蓄電池

日本としては、コスト競争力や生産能力が十分でない点が弱みであり、また、日本国内に蓄電池の市場が少ないことも弱点となっている。蓄電池単体となると、中国や韓国との価格競争には勝てない状況である。

日本の優位性は品質（安全性やエネルギー密度）であり、例えばレドックスフロー電池は体積、面積が大きいため、広い場所が確保できる所がメリットであり、長寿命で難燃性が売りである。加えて、現地で大掛かりなメンテナンスの必要がなく、管理面での問題も少ないのが特徴である。

蓄電池に関しては、日本式の品質コントロールを新興国に持ち込んでもなかなか受け入れてもらえないため、二次利用（や三次利用）も見越して、将来 30 年間を見据えた競争力の確保を目指すべきである。

蓄電池の市場を作るには、（蓄電池の）劣化を適切に評価できるような指標を作ることと、流通経路を整備することが必要である。例えば VPP や V2X の分野において、小規模な蓄電池を多く集めて給電力として使えるかという社会実証が今後必要となってくる。また、無電化地域におけるマイクログリッドにおいては蓄電池の需要は高い。

（7）燃料電池自動車（FCV: Fuel Cell Vehicle）

FCV は軽油やディーゼルを使用する自動車よりも価格が高くなるため、その分を上回るメリットがなければ普及はしない。カーボンニュートラル実現に向けた強い取り組みが行われる中で、クリーンな水素を製造することができるという前提条件の上であれば、充填インフラがあまり必要でない大型車であれば、FCV が普及していく可能性はある。世界における規格化・基準化を日本主導で進めなければ今後優位性を形成することは難しい。

規制緩和や技術革新により、水素ステーションの設置コストが低くなったとしても、将来の FCV の売り上げの目途が立たなければ、水素ステーションの設置は進まない。よって、水素ステーションが広く普及するためには、既存のガソリンスタンドよりも採算性がよいことが条件となってくる。

（8）都市開発

日本企業はシーズオリエンテッドになっており、日本が提供したい技術・サービスと、現地の要求との間に乖離があることをもっと認識すべきである。きめ細かなニーズの取り込みが重要となるが、日本は現地でのニーズをキャッチし、それらに対応する体制作り（国と企業が一体的となり、戦略的に川上から川下まで行き届いたきめ細かい対応）が十分でない。また、その中で、国内では競争関係にある企業と海外でいかに連携できるかが重要になってくる。

他国と価格競争となった場合、本邦企業は事業をマネタイズできないため、単体の技術ではなく、技術を複合化・パッケージ化することが有効である。例えば、低価格で複雑でない技術を複合化させ、それらのマネジメント技術を含めて売り込むことも一案である。

（9）CCUS

CCS のポテンシャルのある国としては、EOR（Enhanced Oil Recovery）等貯留場所があるところであり、最も熱心な国は米国である。その他途上国では油井のある中東、アジアならインドネシアやマレーシア等が挙げられる。これまで化石燃料に依存してきた国が、化石燃料への依存脱却を目指してブルー水素に絡めて CCS を展開するのが現実的である。そのほかに CO₂ の有効活用の例として、野菜プラント工場に併設した CO₂ 消費モデルが考えられる。

これらの日本企業へのインタビュー結果を踏まえると、海外展開に向けた取り組みとして、規格化が可能な技術やサービスに関しては、規格化と規格に見合った現地での規制や制度の整備し、その上で事業を展開していくといった方法や、複数の技術やサービスを組み合わせでパッケージ化して売り込んでいくことが考えられる。また、実際の海外展開のビジネスモデルとして、製品やサービスを海外に販売・展開していくこと以外に、海外の低炭素関連事業を行っている企業に対して直接投資（出資）をしていくことや、現地企業と共同で事業を立ち上げるといったことも行われている。

インフラシステム輸出の可能性について、日本企業が抱えている共通の課題と考え得る対策を整理すると次のとおりである。

表 192 海外展開に際して日本企業が抱えている課題と対策案

課題	対策案
<u>現地ニーズの正確な把握できていない</u> - 日本側が提供したい技術・サービスと、現地の要求との間に乖離がある。 - 日本製品は現地ではオーバースペックである。 - 日本が提供したい製品・サービスが現地に合致していない。	<u>現地関係機関とのさらなる対話</u> - 海外展開にあたっては、きめ細かな現地ニーズの把握するために、民間企業と日本政府とが一体化した体制を整備していく。 - 現地関係者との定期的なコミュニケーションやトップ会談を活用した個別案件の売り込みを合わせて実施していく。
<u>国内企業間の連携、体制構築ができていない</u> - 国内では競争関係にある企業同士が、海外展開を目指していかに連携できるのかが重要である。 - 民間企業主導で企業間連携に動くのは難しい部分がある。	<u>異業種・同業他社との連携</u> 新しい技術を海外展開する場合には、他社と組むことも選択肢として挙げられ、また現地の自治体やディベロッパーとの組み合わせなども考えられる。日本政府による支援や枠組みの中で進められると有効な部分もある。
<u>製品のコスト競争力がない</u> - 高品質でない製品単体の価格競争となった場合に、本邦企業は他国に対して優位性を有してない。 - コスト面による課題が大きく、日本製品をそのまま海外展開していくことが難しい。	<u>技術単体ではなくパッケージ化での提案</u> - 脱炭素化技術を複合化・パッケージ化すること、例えば技術を組み合わせで価値を上げることや、ハード面（製品、技術）とソフト面（管理・運用、メンテナンスなど）の組み合わせにより、新たなサービスを作り上げて提案していく。 - 環境負荷の削減や省エネルギーの実現といったコンセプトだけでなく、これらに現地ニーズとして、生活の質の向上や安全安心といった要素を加えたビジネスモデルを作っていく。
<u>日本の技術が現地で十分に認知され</u>	<u>技術の普及と規格化</u>

課題	対策案
<u>ておらず現地でのマーケットが不透明である</u> - 日本企業が有している技術自体が海外で認知されていない。 - 特に新興国のマーケットは不確実性が高く、日本企業としてリスクをとって先行きが不透明な地域に進出していくことは難しい。	- 現地での技術紹介イベントの実施、現地企業とのマッチングなどを通じて認知度向上を図っていく。 - 日本の高効率、高品質な技術を正しく評価する基準を策定し、規格化していく。 <u>日本政府による各種サポート</u> - 事業化する際において、現地での法制度がハードルとなることがあるため、法的な課題に対して、日本政府としてもサポートしていく。 - 自社の資金では実証事業の実施が難しい段階において、政府資金を活用して検討できるよう仕組み作りを進めていく。

2.3 課題・対応策の整理・分析、協力戦略の策定

2.3.1 政策・制度的課題、技術的課題、経済・財務的課題の視点から整理

サプライサイド、デマンドサイドにおいて、低炭素化に向けた一般的な課題を特定し、それらを政府の方針、計画が存在しない又は十分でないことによる政策・制度的課題、特定分野における技術力の不十分さによる技術的課題、採算性、資金が十分に確保できないことによる経済・財務的課題に分類して整理した。

表 193 低炭素化に向けた課題

分野	課題の内容	政策・制度的課題	技術的課題	経済・財務的課題
発送電	火力発電の低炭素化（アンモニア混焼や地方のディーゼル発電の再エネ化等）に向けた具体的な政策が十分でない。低炭素化に向けた技術的な知見が十分でない。	✓	✓	
	火力発電への依存度を低減するための政策・計画が十分でない。	✓		
	再エネ大量導入に向けた法制度が十分でない。	✓		
	再エネの系統統合に向けた系統整備・高度化が必要であるが、系統の安定化に向けた技術の知見が十分でない。		✓	
	電力供給・品質の安定化に向けて、電源の建設や発電所維持のインセンティブを与える容量市場の開設やアンシラリーサービス市場設立が必要である。	✓		

分野	課題の内容	政策・制度的課題	技術的課題	経済・財務的課題
	電力事業者、送配電事業者等の財務・経営パフォーマンス改善が必要である。			✓
バイオ燃料	バイオ燃料製造に関する技術的な知見が十分でない。		✓	
	バイオ燃料の活用に向けたサプライチェーンの構築が不十分である。	✓	✓	
	バイオ燃料の認知度向上と普及促進に向けた経済的インセンティブの拡充が必要である。	✓		
産業・商業	産業プロセスの脱炭素技術（電化推進、代替エネルギー利用等）と省エネ機器の利用促進が十分でない。		✓	
	零細・中小企業の省エネに対する認識の向上と省エネ投資の促進をファイナンス面で支援する必要がある。	✓		✓
	エネルギーの使用の合理化に関する知見を有する者（例：エネルギー管理士）が十分でない。	✓	✓	
運輸交通	代替燃料（電気や水素、バイオ燃料等）の活用が十分でない。	✓		
	EVの普及に向けた政策やロードマップが不十分である。また、購入補助金の導入等による販売促進が十分でない。	✓		✓
	EV充電インフラの設置が十分に進んでいない。	✓		✓
	蓄電池の生産能力向上と蓄電池のリユース促進に向けた方針がない。	✓		
都市開発	建物の電力需要が増大しており、建物エネルギー消費の効率化が進んでいない。		✓	
	省エネ対策として、省エネラベリング制度や最低限のエネルギー効率水準制度といった取組が十分でない。	✓		

（1）政策・制度的課題

火力発電の低炭素化や再生可能エネルギー導入に向けた法制度の未整備、電力の安定化やバイオ燃料の利活用に向けた計画が十分に検討されていないことが課題として挙げられる。特定の省庁のみならず複数の省庁間での調整が必要なケースや、自国の知見のみでは整備・計画することができないケースなどがあるが、いずれにしても、必要な知見を有する技術専門家の協力を得て進めていくことが必要となる。

産業・商業分野において、零細・中小企業の省エネに対する認識の向上やエネルギーの使用の合理化に関する知見を有する人材の育成が課題である。途上国においては、省エネへの意識がまだまだ低く、特に中小企業においては低炭素化に対する理解が十分でないことが多い。これは、エネルギー使用の合理化に関する知見を有している人材が少ないことも影響している。省エネに対する意識を高め、低炭素の重要性を啓蒙していくこと、併せて必要な人材を育成していくことが求められる。

運輸交通分野においては、代替燃料の活用により低炭素化を目指す方針は掲げているものの、EVを含む具体的な計画策定までできている国は一部に留まっている。EVの導入促進策に加え、EV充電インフラの整備やEVに使用される蓄電池のリユース方針等、EVに付随した政策方針の検討まで進んでいない点が課題として挙げられる。

都市開発の分野においては、省エネ対策を進めるための省エネラベリング制度や最低限のエネルギー効率水準制度といった仕組みの導入が進んでいないといった課題がある。

(2) 技術的課題

火力発電における低炭素化に向けた技術知見が十分でないことが挙げられる。日本においても火力発電のアンモニア混焼や水素混焼といった実証事業に取り組んでいる状況であるが、途上国においては、今後注力していく分野であると理解しているにも関わらず、技術的な知見が不足していることから、具体的な取組が行われるまでには至っていない。日本での実績を踏まえ、今後海外でも同様の事業を展開していくことが必要となってくる。

再生可能エネルギーの導入が進むにつれて、系統の安定化対策が重要となってくる。しかしながら、途上国においては系統安定化に向けた技術が不十分であることが多く、また、関連技術者の数も十分でない。これに対しては、専門家の派遣による技術移転や現地技術者の人材育成といった支援が有用である。同様にバイオ燃料の活用による低炭素化に向けた取組の検討が必要であり、この点、専門家派遣や人材育成といった同様の支援を行うことが不可欠である。

(3) 経済・財務的課題

サプライサイドにおいて、電力事業者、送配電事業者等の財務・経営パフォーマンス改善が課題として挙げられる。当該課題が発生する要因としては、電力料金を自由に設定することが出来ず、政府からの補助金補填に依存して事業運営を続けている背景が挙げられる。民間による発電事業が認められている国・地域にとっては、オフテイカーとして機能するはずの事業者の財務健全性が不十分である場合、市場環境として民間投資を促進していくことが難しくなるため、業務の改善や民営化を含む電力セクター改革といった施策を行うことで改善を目指すことが重要である。

デマンドサイドにおける経済的課題としては、省エネ投資やEV購入に対して民間資金の投入意欲が十分でないという点が挙げられる。特に中小企業においては、省エネ投資を行うことによるメリットが不十分であり、また、EVも高価格であるため一般消費者による購買がなかなか進まないといった状況が発生している。投資・購入に対して政府が補助金を拠出することや、税制面でのインセンティブを与えることなどが対策として考えられる。

加えて、現地で事業を行っていくうえで、適切なリスク分担ができておらず、民間が負担するリスクが大きすぎるため参入ができないといったケースも発生している。民間企業としては不確実性をできるだけ小さくしたい意向がある一方で、現状の制度では事業リスクの大半を民間に負担させる規定となっていることが課題として挙げられる。

2.3.2 政策立案、制度設計、投資環境整備、技術導入促進の側面から、途上国において対応策を実施する上での具体的な施策の深掘り分析

JICA が重点すべき取組への視点として、特定の国・地域のみならず幅広い国・地域に対して支援が可能であること、日本企業の技術を有効に活用することで支援が可能であること、実際に現地において高いニーズがあること、他ドナーによる支援が十分に行われていない分野であることなどを踏まえる必要がある。今後重点的に取り組むべき主な支援策として、以下のとおり整理している。

重点とすべき取り組み①：ガス火力発電に対して水素混焼導入のためのアクションプラン作成支援（技術協力）

<背景・課題>

ガス火力発電を有している国・地域においては、既存のガス火力発電の低炭素化に向けた対策の検討が進められている。ガス火力発電は石炭火力発電に比べると CO₂ 排出量が少ない発電方式ではあるものの、各国において長期的にはカーボンニュートラルを目標としているため、さらなる低炭素化に向けた対策が喫緊の課題となっている。

そこで、ガス火力発電の水素混焼技術は、低炭素化に向けた有力な手段とされており、混焼率を増加させるため、世界各国で複数の実証事業が稼働しているところである。一方、水素混焼を実装するためには、燃料となるクリーンな水素の調達や必要な法制度、各種規制の整備も必要となる。

<支援内容>

水素サプライチェーンも含めた水素混焼/専焼導入のためのアクションプランを作成し、必要となる各種規制の整備について技術協力（専門家派遣）を通じて現地政府の取組を支援する。

水素混焼の導入から最終的には水素専焼まで見据え、国内における水素製造、国外からの水素調達等、クリーンな水素（ブルー水素、グリーン水素）の調達手段に関して、水素サプライチェーン計画を策定し、将来のアクションプランを作成する。また、燃料としての水素の使用や輸送・貯蔵にあたって必要となる規制を整理し、新たに整備が必要な規制について整理を行う。

<留意点>

日本においても、火力発電所の低炭素化に向けた取組のガス火力発電に対する水素混焼に関する実証事業が各地で実施されている。技術協力として支援していく中で、必要に応じて日本での研修の実施（招聘）を行い、実証プロジェクトを通じて培った知見の共有の共有、技術紹介等

を行うことも有効である。

重点とすべき取り組み②：系統運用の高度化に向けた支援（資金協力・技術協力）

<背景・課題>

再生可能エネルギー発電の大量導入に伴い、系統の安定化は解決すべき重要な課題の一つとされている。

対策としては、系統運用者が系統の負荷変動を検知し、周波数を安定化させるために出力変更を行うことを可能にさせる AGC（automatic generation control）システムや、送電損失の低減や電圧安定性の維持するために、個々の発電所や系統全体を対象に、自動電圧調整機能として作用する VQC（Voltage and reactive power Control）システムが挙げられる。

また、再生可能エネルギー発電は、気象による影響を大きく受けることが特徴であり、気象の変動が系統に及ぼす影響も大きくなることから、電力系統の安定化対策に向けた対策として、気象予測に伴う再生可能エネルギーの出力予測が有効な手段となり得る。

加えて、再生可能エネルギーの普及が進むと、設置量の偏在等に起因して、地域間の系統連系線の電力潮流量の大規模な変動、設備過負荷のリスクが発生し、電力系統の安定運用に支障をきたす危険性もあるため、再生可能エネルギー発電の系統接続要件や、連系線の混雑処理ルール等の各種規制の整備が必要となる。

<支援内容>

系統給電指令所が AGC システムや VQC システムを導入することになるため、必要な資金協力（無償・円借款）を提供する。現地でシステムの運用管理者の育成も併せて行っていく。

また、系統安定化に向けた制度整備に向けて、日本の知見を活用すべく、技術協力による専門家派遣を実施する。

<留意点>

単にシステムを導入するのみならず、現地での人材育成や研修の実施等、系統安定化に向けて継続的に支援していくことが必要である。日本においても系統安定化に関する制度が数多く存在し、専門的な知見を必要とする分野でもあることから、現地での制度整備支援にあたっては、適切な人材を派遣し、併せて日本への招聘や現地視察等を組み合わせて支援していくことが重要である。

重点とすべき取り組み③：産業用ヒートポンプの導入促進支援（技術協力、資金協力）

<背景・課題>

途上国においても最終エネルギー消費に占める産業部門のシェアは近年増しており、国として低炭素化を図るためには、産業部門のエネルギー効率を向上させることが不可欠となっている。

産業部門のエネルギー効率を改善していくために、多くの国においては、大企業による省エネへの取組は一定程度進んでいるものの、依然として中小企業への取組は不十分であることが懸

念されている。また、一般的に、中小企業による熱利用は比較的低温であり、国際エネルギー機関（IEA：International Energy Agency）によれば、このようなケースでは熱効率を向上させるために化石燃料ではなく高効率のヒートポンプを推奨している。日本はヒートポンプ技術で、世界的にも優位性を有しており、世界におけるヒートポンプ導入拡大に貢献していくことが可能である。また、民間企業が産業用ヒートポンプを導入するためには投資資金の調達をスムーズに行うことが必要となる。

<支援内容>

熱需要に対してヒートポンプの活用は一般的に認知度が低いことから、ヒートポンプの特徴、省エネ性能、安全性（設置、運転）等について現地の政策担当者や産業界の関係者に理解を深めてもらうために、また、ヒートポンプを活用した省エネに関連する政策や制度を今後策定していくために、技術協力の一環として日本から技術専門家を派遣する。

資金面では、民間企業の省エネ機材導入のための譲許的融資を実行するために、現地金融機関を通じたツーステップローンにより、資金協力を行う。

<留意点>

低炭素化に向けてヒートポンプ技術がいかに有効であるかを、現地関係者に対して啓蒙していくことが必要である。特に現地の中小企業向けには、省エネに対する意識を一層高めてもらい、ヒートポンプの導入に向けて理解を深めてもらうことが必要となる。

重点とすべき取組④：ZEB（Net Zero Energy Building）を導入促進していくための現地関係者へのキャパシティビルディングとファイナンス支援（技術協力、資金協力）

<背景・課題>

途上国において、都市開発（オフィスビル、住宅等）の分野において、再生可能エネルギーの導入や省エネルギー対策といった取組は数多く行われてはいるものの、それらを組み合わせたネットゼロエネルギービル達成への取組は十分でない状況である。今後、現地における脱 ZEB に対するニーズが益々高まることが想定され、各国においても都市開発の分野における低炭素化対策として検討が進められている。ZEB の導入により、エネルギーの利用効率の向上を図り、エネルギー需給の安定化と低炭素化に寄与することを目指す。

<支援内容>

ZEB 促進のためのフレームワーク策定や ZEB 関連の基準の策定、ZEB 導入促進策としてのインセンティブの検討に関して、技術協力として専門家を派遣し、日本における経験・知見を活用する。

また、政策担当者や民間企業、金融機関に対して、ZEB コンセプトの理解を深めてもらうために、セミナーや日本への招聘も合わせて実施する。

資金面では、ツーステップローンによる譲許的融資等を通じて現地民間企業による ZEB（再エネ及び省エネ）関連機材の導入を促進する。

<留意点>

ZEB の導入にあたっては、単に省エネ設備を導入することに留まらず、再エネと省エネを組み合わせた技術的な知見が必要である。既に日本国内において ZEB の普及が進んでおり、日本における導入事例や政策・制度面の対応状況なども合わせて情報提供することが有効である。

低炭素分野における協力を検討する際の今後の重点検討課題を以下に記載する。

(1) 各国のニーズに即した協力プログラムの形成

低炭素に対する取り組み状況は各国で異なり、低炭素の重点分野や、将来計画は様々である。現地の協力ニーズや他ドナーの支援状況等を踏まえて、日本として協力可能なプログラムを提案していく必要がある。

一つの国の中でも、大都市や地方都市など地域によって抱えている課題は大きく異なる場合があるため、特定の地域を対象としたプログラムを検討することも有効である。

また、国によっては中央政府のみならず、各州政府が大きな権限を有している場合も多く、複数の州を対象としたプロジェクトを行う場合、想定以上に時間がかかることも想定されることから、まずは州単位での検討を進めることが迅速な支援につながる場合もあることに留意する。

(2) 現地関係機関との連携

現地のカウンターパートとして、一般的には中央政府の機関が該当するものの、実務的な課題については、組織外の関係団体や業界団体で把握している場合がある。現地ニーズを適時に把握するために、そういった関連団体とのコミュニケーションを日常的にとっておくことが有効である。そのためには、例えば現地の業界団体と日本の業界団体の連携をさらに深めていくことや、定期的に関連団体との意見交換が実施できるようなプラットフォームを構築することが有効である。

(3) 技術パッケージでの海外展開

これまでのように再エネ技術や省エネ技術に関してそれぞれのプログラム形成を行うのみならず、ZEB 事業支援やスマートコミュニティ事業支援等、再エネと省エネに、EV やバッテリー、EMS（エネルギーマネジメントシステム）などの技術を組み合わせたパッケージでのプログラム形成が求められている。さらには、日本企業が優位性を有している災害対応技術や防災対策技術を付加させることで、他国よりもより効果的な支援の提案が可能になる。

(4) 国内リソース活用の拡充

低炭素分野には、国際的に優位性がある技術を有している日本企業も存在している一方で、JICA の活動と連携して海外展開を目指す仕組みは必ずしも十分ではない。加えて、技術協力や資金協力、民間連携事業等、JICA の支援ツールに対する理解が浸透しておらず、官民連携した取組が十分とは言えない。

今後国内リソースを活用していくにあたって、JICA の取組と連動し、適時に途上国に対して支援を行っていただけるような仕組み・体制の構築が必要である。これまで JICA 内で蓄積されてきたナレッジのさらなる活用も含め、今後の検討課題と言える。

(5) SDGs 達成に必要なファイナンス支援の遅延

気候変動対策の意義は広く認識され、その推進機運は世界的に高まりつつあり、また、気候変動対策の中でも、とりわけ省エネ及び再エネの経済合理性が注目されつつある。一方で、目指すべき目標を達成するためのファイナンススキーム形成の遅れ、これによる目標達成の遅延が懸念されつつある。

途上国各国と議論をする中で、タイムスケジュールを確認した際に、ファイナンスの実行までの道のりが長く、その時点で日本に対する支援を諦めるケースも存在している。これまで以上に、迅速なファイナンス支援が必要となってくる状況において、手続きの簡素化や短縮化に向けたさらなる改善が求められている。

2.3.3 低・脱炭素サブクラスターにおける評価指標の提案

世界銀行とわが国を含む 18 の開発ドナーのパートナーシップにより、低・脱炭素分野における開発途上国への支援を行っている ESMAP (Energy Sector Management Assistance Program) の効果想定に係るフレームワークを参考に整理する。

下表は、ESMAP で採用されている” Outcomes & Indicators” 746を基に、各プロジェクトに共通する定性的・定量的評価指標の案を示している。

表 194 「低・脱炭素サブクラスター」の評価指標（共通）

アウトカム	指標	
	定性的指標	定量的指標 (共通)
開発資金面の効果	新規資金協力案件の発掘・形成 進行中の資金協力案件との整合 民間資金等、他の資金リソース動員機会の発掘・形成 相手国による財政支出の計画・実施	資金協力規模 民間資金動員規模 相手国政府財政支出額 追加投資削減規模
政策・戦略面の効果	相手国政府による政策・戦略への反映 相手国における関心の高まり 他ドナーの協力戦略への反映	-

⁷⁴⁶ <https://esmap.org/node/2366>

アウトカム	指標	
	定性的指標	定量的指標 (共通)
	国別開発協力方針への反映 貴機構セクター戦略への反映	
相手国における能力開発への貢献	政策・戦略策定能力向上への貢献 政策・戦略実行能力向上への貢献 政策・戦略の実施状況に係るモニタリングと評価能力向上への貢献	-
ナレッジ向上への貢献	相手国へのベストプラクティスに係るナレッジの共有 他ドナーへのベストプラクティスに係るナレッジの共有	-
革新的アプローチ/ソリューション創出への貢献	課題解決に資する高度・最先端アプローチ/ソリューションの提示 課題解決に資する高度・最先端アプローチ/ソリューションの開発 相手国における革新的テクノロジー・構想・ノウハウの活用	-

また、定量的指標については、プロジェクトの性質により指標が異なってくるため、開発戦略目標に対する中間目標ごとに評価指標案を整理している。

表 195 「低・脱炭素サブクラスター」の評価指標（中間目標別）

開発戦略 目標	中間目標	評価指標（案）
		定量的指標
供給側の 低脱炭素 化	再生可能エネルギーの導入促進	再エネ導入量 再エネ発電比率 CO2 削減量
	再エネの系統統合に向けた系統整備・高度化	送配電ロス率 停電回数 停電時間 周波数時間滞在率
	火力発電の低炭素化	発電効率 CO2 削減量
	一次エネルギー供給の低炭素化	CO2 削減量
需要側の 低脱炭素	運輸分野の低炭素化	CO2 削減量 燃費改善率

開発戦略 目標	中間目標	評価指標（案）
		定量的指標
化	産業分野における省エネ推進	エネルギー消費効率 CO2 削減量
	都市開発における省エネ推進	CO2 削減量 省エネルギー性能指標
	需要側における省エネ促進	CO2 削減量

2.4 エネルギーサプライチェーン分析方法

2.4.1 エネルギーサプライチェーン分析の現状と今後の展開

(1) 代表的なエネルギーサプライチェーン分析モデルの類型

電力・エネルギーシステムの分析に用いられる数理モデルは下表のとおり大別される。それぞれが得意とする分析領域は異なり、目的に応じて適切なモデルを選択することが望ましい。

表 196 モデルの種類と特徴、モデル例

モデルの種類	特徴	モデル例
統合評価 モデル (費用便益型)	・超長期（100 年単位）の経済・エネルギーと地球システムを簡易にモデル化。 ・期間内の効用最大化により、気候変動に伴う緩和・適応・被害全てを考慮した最適削減パスを算定。	DICE,PAGE,FUND
エネルギー 需給モデル	・1 国・地域のエネルギー全体をモデル化 ・エネルギー計画の策定に有用 ・一般的に電力部門の表現は粗い	TIMES(MARKAL)、 MESSAGE、IEEJ-NE、 AIM/Enduse、DNE21+
電源モデル (設備計画型)	・電力関連部門に特化してモデル化 ・電源開発・送電線拡張計画策定に有用 ・時間解像度は低く、個別プラントの考慮まではされていない傾向	PLEXOS、RPM、Aurora、 OPGM
電源モデル (最適運用型)	・設備を固定した上で、最適な運用をシミュレート ・個別プラントの動作や非線形性も表現可能 ・特定地域を対象としたモデル化。設備計画には不向き	PROMOD、GE-Maps、 PLEXOS、MR
信頼性評価 モデル	・30 秒～1 分刻みで送電ネットワークをシミュレート ・運用可能性を確認するための潮流解析や、異常時のシステムの応答等を評価	PSLF、PSSE

出所：IRENA（2017），再生可能な未来のための計画変動性再生可能エネルギー(VRE)発電を拡大するための長期モデル分析とツール

各モデルの概要は以下のとおりである。

a) 統合評価モデル

エネルギー需給のみならず、温室効果ガスの排出から気候変動、それに伴う人類社会への被害に至る多数の事象を少なくとも部分的に1つのモデルに統合したもののことを統合評価モデルと呼ぶ。特に気候変動は超長期にわたる事象であるため、たとえば2500年までの将来を視野に入れたモデル化なども行われる。

この中で、温室効果ガスの排出削減に伴う費用と超長期の気候変動に伴う被害額を考慮したモデル計算を行い、費用便益分析によって最適な温室効果ガス削減パスを評価する試みは古くから行われており、米国での「社会的炭素費用」(Social cost of carbon: いま排出する二酸化炭素を1トン増やすことが将来までの累計でどの程度のコストとなるのか)の評価など、さまざまな形で政策立案に貢献している。このようなモデルではエネルギーの表現は粗いことが多く、詳細なエネルギー政策を立案するためには、よりエネルギーに特化したモデルを用いることが望ましい。

b) エネルギー需給モデル

対象国、地域の長期的(一般に5年~100年)の範囲での最適なエネルギー技術構成、およびそこに至るまでの投資計画を求める。一般に電力のみならずエネルギー需給全体を分析の対象とし、各国、地域のエネルギー政策立案に有益な情報を提供する。大局的な分析が可能な反面、時間、地理的な解像度(モデル内の時間ステップ数、地域数の区分)は粗い傾向にあり、例えば再生可能エネルギーの詳細な出力変動や地域特性を十分に考慮できない場合がある。

c) 設備計画モデル

発電、送電設備の開発計画を目的とし、電力関連部門を分析するためのモデルである。この種類の典型的なモデルは、期間内(数か月~年単位)の需要を所与とし、それを満たすコスト最適な設備構成と運転パターンを算出する。先述のエネルギー需給モデルに比べて高い時間的・地理的解像度を有し、ある程度電力システムの特徴を考慮することができるが、信頼性評価や潮流計算を行うほどの解像度はない。また、一般的にプラントは地域ごとにひとくくりにされる傾向にあり、個別プラントの運用模擬はできない。

d) 最適運用モデル

比較的高い時間解像度(~1時間程度)で所定の電力システムの運用をシミュレーションする。系統の制約を考慮しながら、最も総コストが最小となる全プラントの運用パターンを算出する。特徴として個別のプラントの違いが表現されており、上記のモデルよりもより詳細な分析を行う。一方で系統内の設備構成は所与であり最適化の対象ではないため、①、②のモデルで行うような設備開発計画の立案には適さない。

e) 信頼性評価モデル

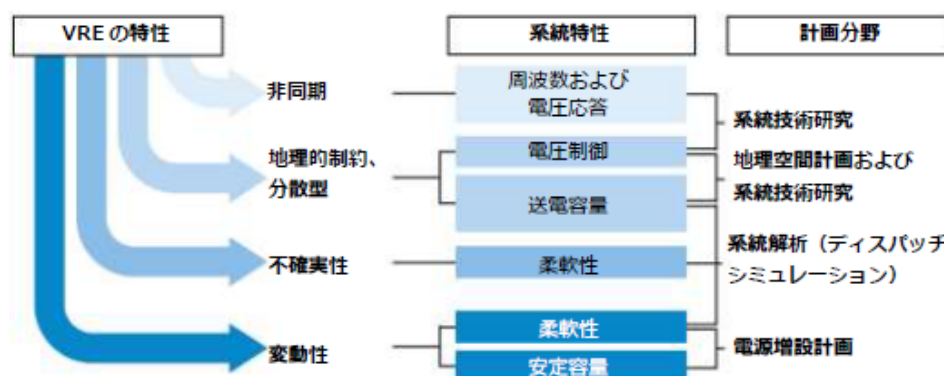
系統混雑の改善策検討、系統の擾乱に対する安定性の評価などを目的とする。ミリ秒~数十秒という極めて細かな時間解像度で対象の電力システムを模擬し、周波数計算、潮流計算を行う。この

種のモデルはこれまでに述べたものと傾向が異なり、経済的な投資計画、あるいは運用の算出を行うためのものではない。

一般に、一国のエネルギーマスタープラン策定には、b)～d)を用いることが有効である。

(2) VRE 大量導入時に必要となるモデル要件

長期エネルギー計画策定において、既存モデル（長期電源増設モデル）には変動制再生可能エネルギー(VRE)の大量の系統連系に伴う課題の評価することには限界があり、精度の向上が進められている。IRENA（2017）によれば、まず既存モデルの時間および空間解像度の向上が重要である。VRE が従来型電源と異なる主な特性は、1.非同期電源であること、2.地理的制約があること、3.予測には不確実性が伴うこと、4.天候依存性により季節変動及び日変動があることである。



出所：IRENA（2017）、再生可能な未来のための計画変動性再生可能エネルギー(VRE)発電を拡大するための長期モデル分析とツール

図 250 VRE、電力系統の特性、および計画策定分野の間の主な関連

このような状況の中で、VRE 大量導入時に必要となるモデル要件として、IRENA(2017)では以下のような点が挙げられている。

a) 時間解像度

時間解像度は、需要の変動性を評価する時間ブロックである「タイムスライス」を指す。一般に長期電源増設モデルで使用されている代表的なタイムスライスの数は通常季節ごとの需要変動が4つ、週の需要変動が平日と週末の2種類、1日の変動は6時間のブロック4つの合計32個で構成されているが、VREの比率が高まるにつれ、VREの供給の変動性も考慮する必要がある。供給の変動性を把握することで、VREの発電過多または発電不足に関するコストを正しく表出来るようになる。時間解像度を上げることで、VREの発電プロファイルと需要プロファイルが一致していればVRE電源の価値が高いとみなすことが出来、経済合理性を追求することが出来る。時間解像度が低いと、こういった経済影響を考慮出来ない。なお、より高い時間解像度

を導入するか否かは、VRE 発電のパターンの不確実性との兼ね合いで決定すべきである。

b) 地理的解像度

地理的解像度は、モデルを構成している分割された地域のことを指し、電源増設モデルでは「ノード」と呼ばれる。これらは負荷、VRE 電源、非 VRE 電源の空間的分布が反映されているが、長期電源増設モデルではノード数が少ないことが多く、国内送電線による国内輸送は解析されない。地理的解像度を上げることは、VRE の場所ごとの独自性を評価し、送電の増強量とコストの近似値を得ることが出来るという意味において重要である。地理的解像度をあげることは、資源の利用可能性と時間的プロファイルをより反映し、ノード間の送電により可能となる選択肢を考慮出来ることで、モデルにおいて送電線への投資の必要性をより良く解析できる。

c) 容量クレジット制約の増加

タイムスライスの増加は、計算能力によって制限されるため、安定容量に対する VRE の貢献度を評価する簡略化した制約を取り入れることが出来る。長期電源増設モデル自体では、容量クレジットはモデル外で計算されたパラメータとして取り入れられるが、VRE を含む様々なタイプの発電所に容量クレジット値を割り当てることにより、電源増設が十分に安定容量をもたらすよう保証できるモデルを開発することが出来る。

d) 柔軟性供給制約の組み込み

制御可能な発電所、デマンドレスポンス、国際電力取引などにより柔軟な供給が可能となるが、これらの選択肢を柔軟性供給のパラメータ化することにより、モデルに取り入れることが出来る。またモデルから得られた結果が十分に柔軟性があるかどうかを詳細な評価ツールを使ってさらに精査することが出来る。

e) 発電コストモデルとのリンク

発電コストモデルは、長期電源増設モデルの結果を検証し、時間解像度の弱点を補完するために用いられてきたが、運用の柔軟性要件を運用性投資の決定に変換し、VRE と負荷の短期変動、技術的制約とそれに伴うコストを考慮することが出来る。

2.4.2 代表的な低・脱炭素エネルギーサプライチェーン分析モデルの類型

(1) モデル分析に係る研究動向

第 6 次エネルギー基本計画の策定に当たり、政府審議会（総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会）は様々な研究機関によるモデル分析の結果をもとにした議論が行われた。同計画で掲げられた 2030 年温室効果ガス 46%削減（2013 年比）、および 2050 年のカーボンニュートラルを想定し、それを達成するためのエネルギー需給構造や必要なコストをモデルにより推計、その試算に基づく議論がなされた。本項では、この議論に用いられた各種モデルの特徴、結果と基本計画への活用について概説する。

今回の計画策定には大きく分けて、3 つの目的でそれぞれ異なるモデルが用いられた。

a) 計量経済モデルの利用（2030 年の計画策定）

計量経済モデルとは、実績データにおける変数間の関係をもとに、将来の予測を行うモデルである。基本計画をめぐる検討においては、GDP、人口に代表される経済指標をもとに部門別のエネルギー需要を推計している。

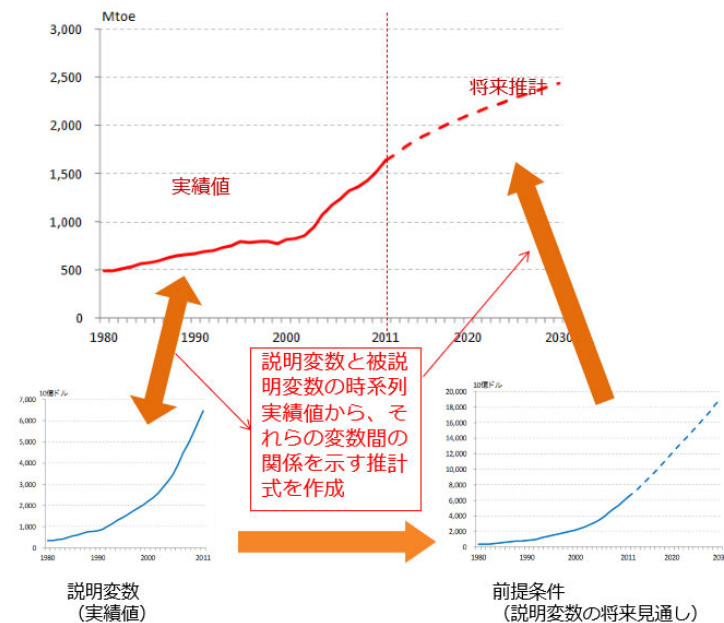


図 251 計量経済モデルの模式図

2030 年のエネルギーミックス作成に当たっては、過去の実績データ（総合エネルギー統計）をもとに、計量経済型モデルによって将来のエネルギー需要を予測し、その上で想定される省エネルギー量を差し引いて 2030 年のエネルギー需要を推計⁷⁴⁷、それに応じた電力、非電力のミックスを検討している。

消費部門別に人口（世代別区分）から活動指標（産業部門であれば素材生産量、運輸部門であれば輸送量）を推定、それにエネルギー消費原単位を掛け合わせることでエネルギー需要を求める。ただし、2030 年に向けては現状より省エネルギーに向けた技術、取り組みが進展することを勘案して、その分の需要を差し引いたものを最終エネルギー消費として算出している。

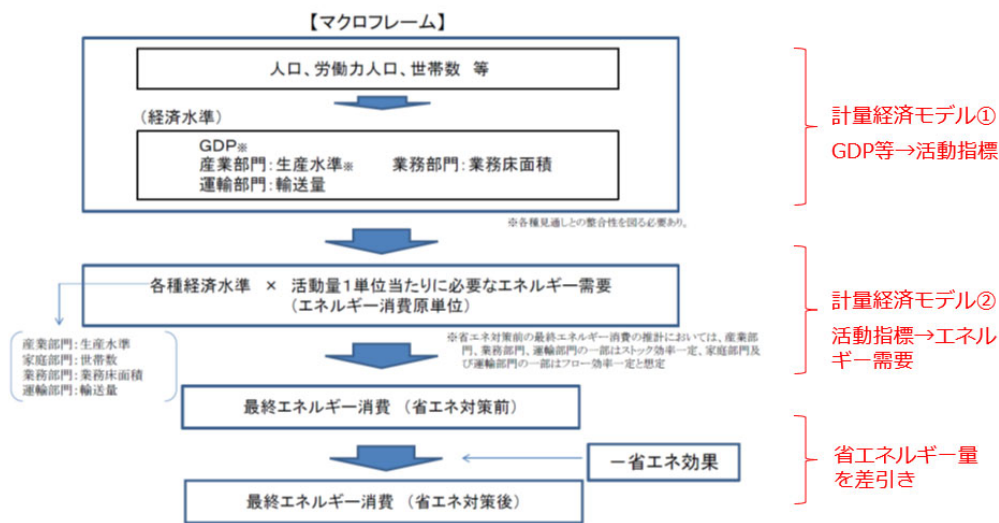


図 252 エネルギー基本計画における計量経済モデルの構造

出所) 2030 年度におけるエネルギー需給の見通し (関連資料) ,
https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/20211022_03.pdf

このような計算の結果として、2030 年エネルギー需要を算出し、基本計画におけるエネルギーミックス策定に利用している。今次のエネルギー基本計画策定に当たっては、前回の見通し策定時と比較して経済成長の想定が新型コロナウイルスの影響等で低下したこと、及び省エネルギーについて想定が野心的に深堀されたことに伴い、2030 年のエネルギー需要は 280 百万 kl と推計された。

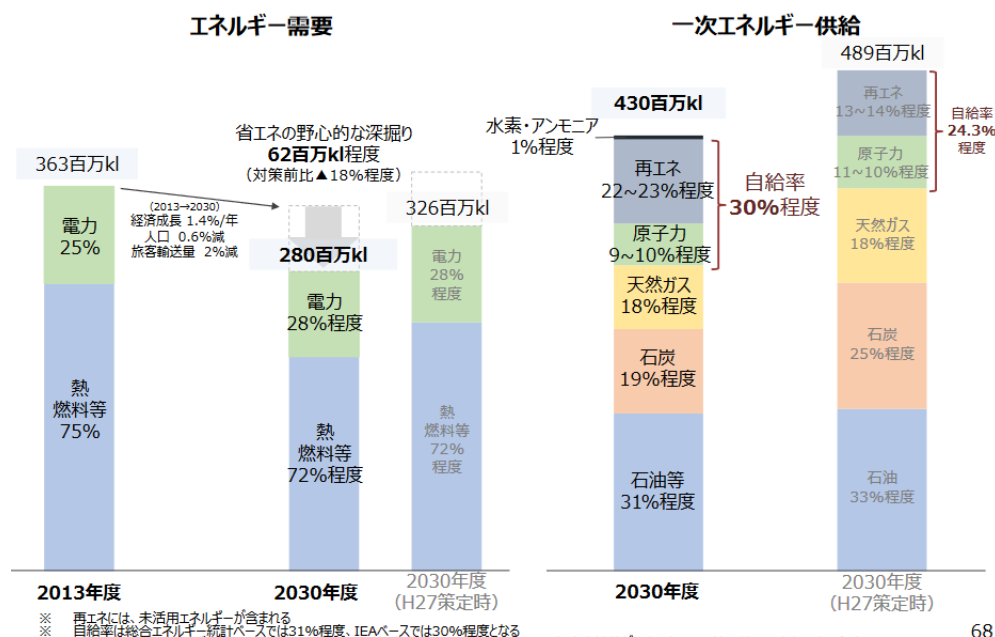


図 253 エネルギー基本計画における 2030 年の需給見通し

出所) 2030 年度におけるエネルギー需給の見通し (関連資料) ,
https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/20211022_03.pdf

このように、計量経済モデルを用いて、既存のエネルギー、経済との関係から将来のエネルギー需要を算出する方法が用いられた。ただし、このような計量経済学的手法は既存データ（今回であればエネルギーと各種経済指標）の関連性が将来においてもある程度維持されることを前提としている。そのため、これらの関係を大きく変えるような社会変化を想定することは難しく、それらの影響が小さいと見積もられる数年～数十年程度がこの手法の有効な範囲といえる。

b) 技術選択モデルの利用（2050年の計画策定）

2050年のカーボンニュートラルを想定し、それを達成するエネルギーミックス、その費用やCO₂回収量などを算定した。この種の分析は今回（第6回基本計画策定時）に初めて実施された。審議会において5つの研究機関等からモデル分析結果を公表する形とした。どの研究機関も線形計画法によるエネルギー需給モデルを使用しており、それぞれの特徴を整理する。

共通する特徴として、エネルギー需給モデルは所与の需要、制約条件に対し技術の選択肢の中からコストが最小となるような組み合わせを算出するものである。

日本エネルギー経済研究所のIEEJ-NE Japan モデルを例にとり、その特性を下表に示す。割引率を考慮した2015~2050年の日本全体における累積エネルギーシステム費用を目的関数とし、各種制約を考慮しながら各消費部門の需要を最もコストの小さい形で満たすエネルギーミックスを計算する。特徴として、消費部門を詳細に考慮しており、それぞれの部門におけるオプションとしてエネルギー需要・供給技術を詳細に（300以上）モデル化している。

表 197 IEEJ-NE Japan モデルの概要

地域・時間解像度	日本を5地域分割（北海道、東北、関東、西日本、九州・沖縄）。 <u>発電は1時間需給を考慮</u>
分析期間	2015～2050年
目的関数	日本全体の割引後の累積のエネルギーシステム費用
温室効果ガス	エネルギー起源 CO ₂
国内輸送品目	電力、水素、メタン、CO ₂
最終消費部門	産業（鉄鋼、セメント、化学、紙パ、その他産業）、運輸（乗用車、バス、トラック、鉄道、航空、海運）、家庭、業務。家庭と業務は用途別需要（給湯、厨房、冷房、暖房、照明その他）を考慮
技術数	<u>300を超えるエネルギー供給側および需要側技術</u> をボトムアップ的にモデル化
モデル化した低炭素化技術の例	省エネルギー：エネルギー供給側および需要側で高効率設備を考慮 再生可能エネルギー：地上設置太陽光、屋根設置太陽光、壁面設置太陽光、陸上風力、着床式洋上風力、浮体式洋上風力、一般水力、中小水力、地熱、バイオマス エネルギー貯蔵・ダイヤモンドレスポンス：揚水式水力、Li-ion 電池、NaS 電池、圧縮水素貯蔵、乗用電気自動車の VtoG、およびヒートポンプによるダイヤモンドレスポンス 原子力：軽水炉 CO₂回収：発電での回収、水素製造での回収、直接空気回収（DAC：電力利用を想定） CO₂利用・貯留：メタン合成、液体燃料合成、国内地層貯留、海外貯留 水素利用：水素専焼発電、水素直接還元製鉄、燃料電池車、燃料電池船、燃料合成（メタン等） アンモニア直接利用：アンモニア専焼発電、石炭・アンモニア混焼発電、アンモニア船 ネガティブエミッション：DACCS、BECCS

出所) 第46回 総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会資料

ここでは日本エネルギー経済研究所のモデルを例にとったが、同様に用いられた他の研究機関のモデルについても基本的な点は共通する。需要、供給側の多様な技術オプションを想定し、CO₂排出上限などの制約条件を考慮しながら、目的関数（多くの場合はコスト）を最小とするようなエネルギーミックスを求めるモデルが長期的なエネルギーミックスの検討において効力を発揮する。ただし、地域区分、技術区分や制約条件の考慮については、各機関の分析目的に応じて微妙に異なっている。また、長期的な分析には技術のコスト、効率、利用可能ポテンシャルなどに不確実性が存在し、それらをどのように想定するかにも違いが生じる。モデルの特性と結果の比較を下表に示した。

表 198 各機関が保有するモデルの特徴

	RITE	日本エネルギー 経済研究所	国立環境 研究所	デロイト・トーマツ コンサルティング	自然エネルギー財団
モデルの特徴	世界モデルの1部（1地域）に電源構成モデルを接合	5地域モデル、1時間刻み	10地域モデルに電源構成モデルを接合	351地域モデル、4季節・4時間帯	9地域モデル、1時間刻み
標準ケースでの再生可能エネルギー/原子力比率	54%/10% （参考値のケース）	50%/14%	74-76% /8-9%	70%/10%	100%/0%
標準ケースでの電力限界/平均費用（kWh当り）	25円/13円	16-17円/16円	-/12円	23円/12円	
再生100%ケースでの電力限界/平均費用（kWh当り）	53円/18円	28-33円/27円	-	52円/19円	-/9.2円
備考		国内CCS及び海外へのCO ₂ 輸送量はRITEモデルによる結果をもとに想定	CCS・アンモニア火力に上限を設定	細かい地理的解像度により、送電線等の費用が他モデルより大きくなっている可能性あり	太陽光・陸上風力のLCOEは2～3円/kWhと想定（割引率3%）

出所) 第46回 総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会資料を参考に弊所作成

今次の検討において用いられたモデルは、時間的、地域的解像度に違いがある。計算時間の関係からそれらはトレードオフの関係にあることが多い。電力需要を1時間刻みで考えることのできるモデルは、地域数が1、多くても10程度になる一方で、それらを4季節、4時間帯に捨象したモデルは351地域という高い地理的解像度を実現している。

それぞれのモデルで算出した結果には差異が生じており、例えば2050年カーボンニュートラルを前提とした際の電源構成に占める再生可能エネルギー比率は50%~100%と幅がある。

また、電力の限界・平均費用も近い水準ながら幅が生じた。これは発電設備そのもののコストに加え、各モデルの電力系統、需給調整オプションの違いに起因する送配電、需給調整に係るコストが影響している。

c) 電源モデルの利用（発電コストの検証と統合コスト）

電源別の経済性は従来、均等化発電原価（Levelized cost of electricity: LCOE）と呼ばれる指標によって評価されてきた。これは、各電源について、発電プラントの建設開始から運転終了、廃棄物処分にかかる全ての費用を発電開始時の現在価値として全て集計し、発電電力量当りの単価として示したものである。電力部門を対象とした政策を考えるに当たり、この指標に基づいてなるべく安価な電源の導入を促進することは、エネルギー政策の目標である3E（環境適合性、エネルギーセキュリティ、経済合理性）のうち経済合理性を実現するために重要な手段である。

ところが近年では、このLCOEによる電力部門の経済性の評価の限界が指摘されている。即ち、近年世界で導入拡大が進む変動性再生可能エネルギー（VRE：風力及び太陽光）のLCOEは多くの国で顕著に低下しており、従来電源（火力及び原子力）を下回る水準となっていることも多い。但し、これらの電源が大量に導入された場合には、その自然変動性に伴うコスト、例えば蓄電システムや出力抑制、送配電ロスの拡大などに伴うコストが必要となる。これらのいわゆる「統合コスト」を考慮した経済性の評価は今後のエネルギー政策を立案する上で極めて重要な

る。

この点を考慮し、エネルギー基本計画の策定において、発電コスト検証ワーキンググループの荻本委員は、(株)J-POWER ビジネスサービスが保有する MR モデルを利用し、2030 年エネルギーミックスが達成された場合の電力システムのコスト影響を試算した。この試算は発電設備のみならず、系統増強や需給調整に係るものを考慮しており、それらを考慮するために電力システムの運用を模擬する MR モデルを採用した。このモデルは先の区分において電源モデル（最適運用型）に属するものであり、所与の設備構成、電力需要に対し年間の最適運用を算出するものである。

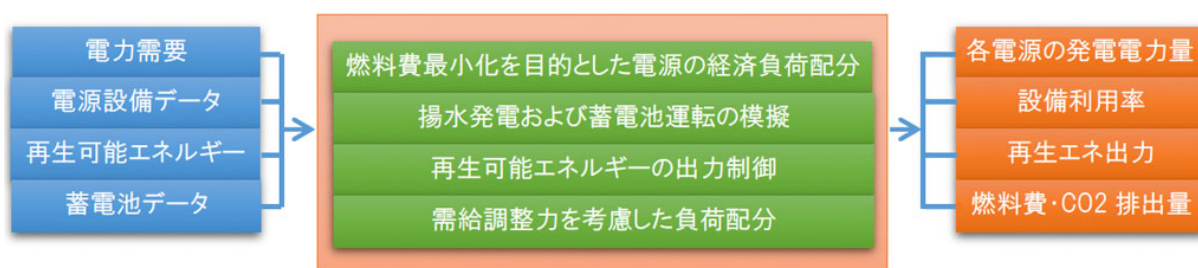


図 254 MR モデルの概要

(出所) J-POWER ビジネスサービス社 Web サイト

このモデルは全国を 10 地域に分割し、各プラントの 1 年間の需給運用を混合整数線形計画法により模擬する。荻本委員らはこれを用いて 2030 年のエネルギーミックスを前提にした電力系統を想定し、再生可能エネルギー出力や需要の変動に対しどの程度の調整力が必要で、各電源の限界費用がどの程度になるかを分析した。

「均等化費用（LCOE）」は資本費、燃料費、運転維持費など電源固有の費用の和であり、従来当該ワーキンググループで算出されていたものである。ただし、この LCOE は発電設備外のコスト、具体的には需給バランスや調整力確保、さらには出力制御や部分負荷運転に伴う効率低下のような費用が含まれていないという課題があった。これを解決するために、所定のエネルギーミックスに対し各電源を一定単位増加させたときの電力システム全体の費用変化を「電源別限界コスト（LCOE*）」とし、電源モデルを用いてこれを評価検討した。より詳細には、後述の 3-1-1(2)節に示す。

(2) 先進国・地域における実務レベルの運用

前節で述べたとおり、VRE 大量導入時にエネルギーシステム・電力システムに生じる影響のモデル化について多くの研究が行われており、結果として各種モデルの機能は大きく進歩している。このようなモデル機能の進歩を受けて、欧州や米国、日本といった先進国・地域では、最新のモデルを用いた VRE 大量導入の影響分析が試みられている。本節では、最新モデルの実務的運用の例として欧州、米国および日本の代表的なケースを紹介するとともに、その他のモデルの概略を述べる。

a) 欧州：EC による A Clean Planet for all の作成

欧州委員会（EC）の GHG 排出ネットゼロビジョンである A Clean Planet for all（2018 年 11

月公表)の作成に際しては、エネルギー需給モデルが活用されている。A Clean Planet for all では、ネットゼロ達成に必要な政策の方向性を示すために、適用技術等の異なる 8 とおりのシナリオ分析が実施されている。このシナリオ分析過程において、エネルギー分野の the Prospective Outlook on Long-term Energy Systems (POLES-JRC) や Price-Induced Market Equilibrium System (PRIMES) をはじめ、各分野の様々なモデルが相互にリンクしながら利用されている。以下では、POLES-JRC と PRIMES の概要を記載する。

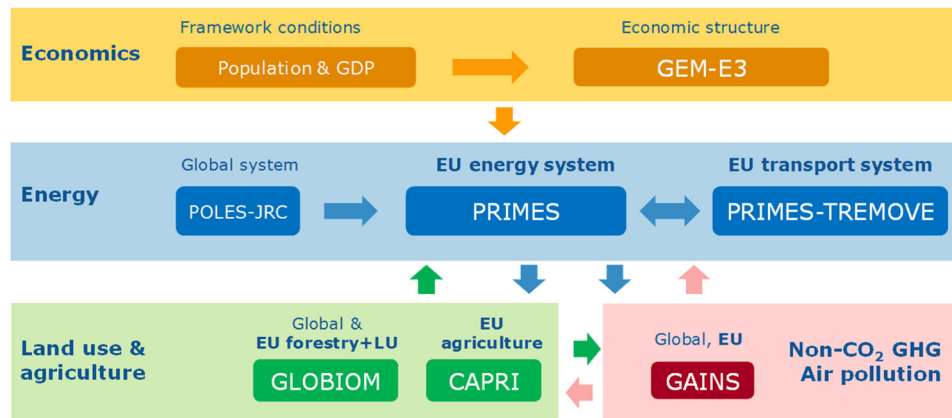


図 255 EC が活用するモデル群の相互リンク

出所： EC ウェブサイト (https://ec.europa.eu/clima/eu-action/climate-strategies-targets/economic-analysis/modelling-tools-eu-analysis_en)

POLES-JRC は、GHG 排出削減政策及びエネルギー市場の進化を世界大かつ長期的に分析するための部分均衡モデルである。全世界を 66 地域に区分したうえで、分析を行う。エネルギー需要は、活動指標と価格の関数として推計される。また、電力部門では 1 年を 6 代表日に区分して、分散電源・集中電源ごとにディスパッチを計算する。1990 年代にフランスのグルノーブル大学で POLES-JRC の開発が始まり、現在同モデルは EC 直属の科学研究組織である Joint Research Centre (JRC) で運用されている。

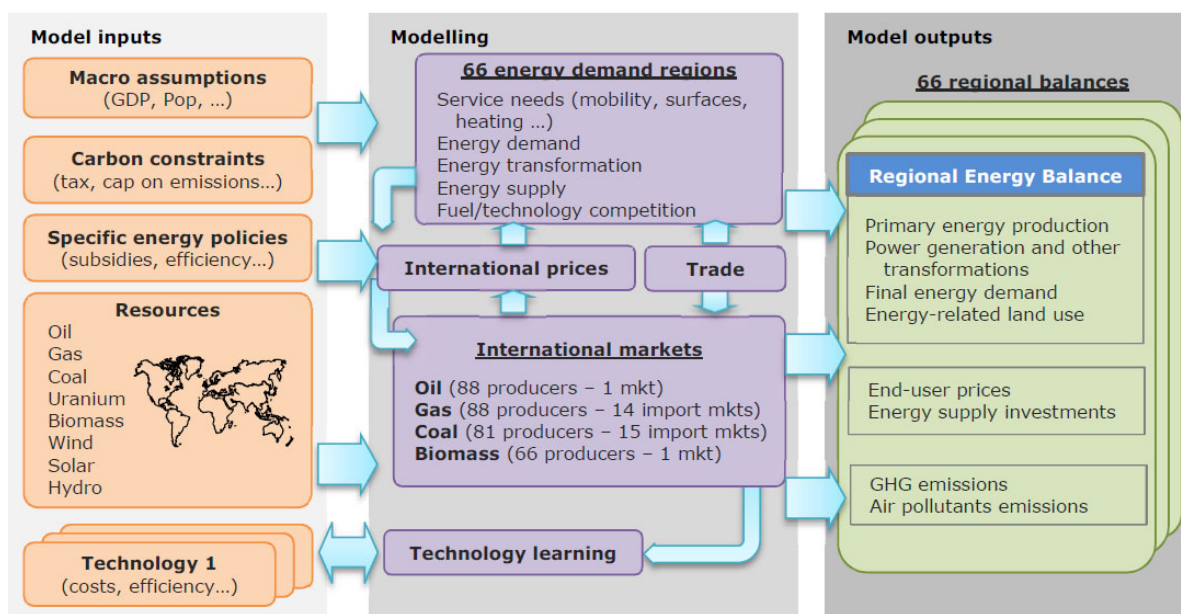


図 256 POLES-JRC の基本構造

出所： JRC (2018), POLES-JRC model documentation

PRIMES は、エネルギーの需給や価格、将来投資額等の詳細な想定を提供できる部分均衡エネルギーシステムモデルである。本モデルでは、複数のサブ・モジュールを接続して計算が行われる。本モデルは、EU 加盟国および近隣の欧州諸国を分析対象としており、5 年刻みで 2070 年までの評価を実施できる。本モデルにおいて、エネルギー需要は、線形計画法ではなく、ミクロ経済学に基づいた非線形の関数であらわされる（数学的には EPEC（均衡制約付き均衡問題）として定式化されている）。発電部門については、1 時間刻みのモデル化ではなく、季節変動等も考慮した代表日の電力需要曲線に基づいて分析を行っている。なお、PRIMES は、ギリシャのコンサルティング企業である E3 Modelling 社によって開発された。

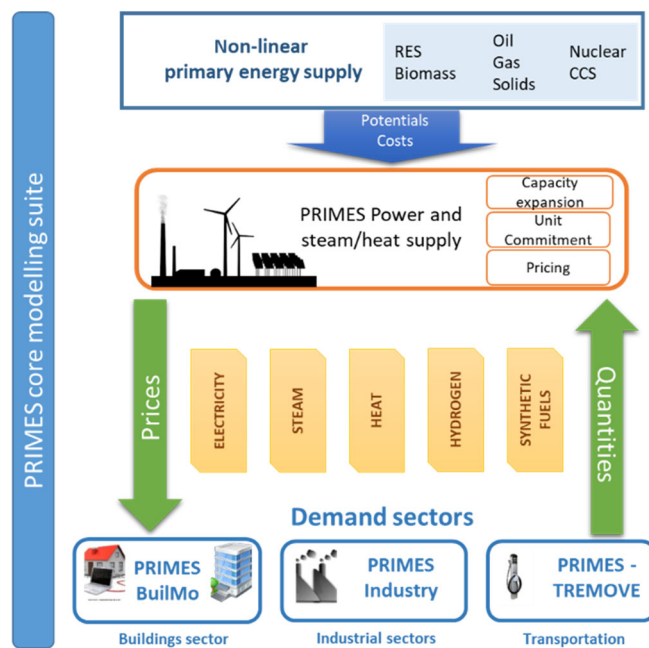


図 257 PRIMES の概念図

出所：E3 Modelling 社ウェブサイト (<https://e3modelling.com/modelling-tools/primes/>)

b) 欧州：ENTSO-E による TYNDP の作成

ENTSO-E（the European Network of Transmission System Operators for Electricity）は EU の第三次エネルギー・パッケージ（2009 年）の規則に基づいて設立された組織で、系統運用者間の連携を強化し、EU の政策目標に沿った汎欧州電力系統の構築を支援する役割を担っている。ENTSO-E は、Ten-Year Network Development Plan（TYNDP）の作成過程において、複数のモデルを使い分けながら活用している。

TYNDP とは、ENTSO-E が EU 規則によって作成を義務付けられた中長期的な汎欧州系統開発計画である。同計画では、将来の汎欧州地域のエネルギー市場に必要とされる国際系統インフラを想定したうえで、域内の系統運用者等から収集した国際系統インフラ開発プロジェクト案の費用便益評価を行っている。

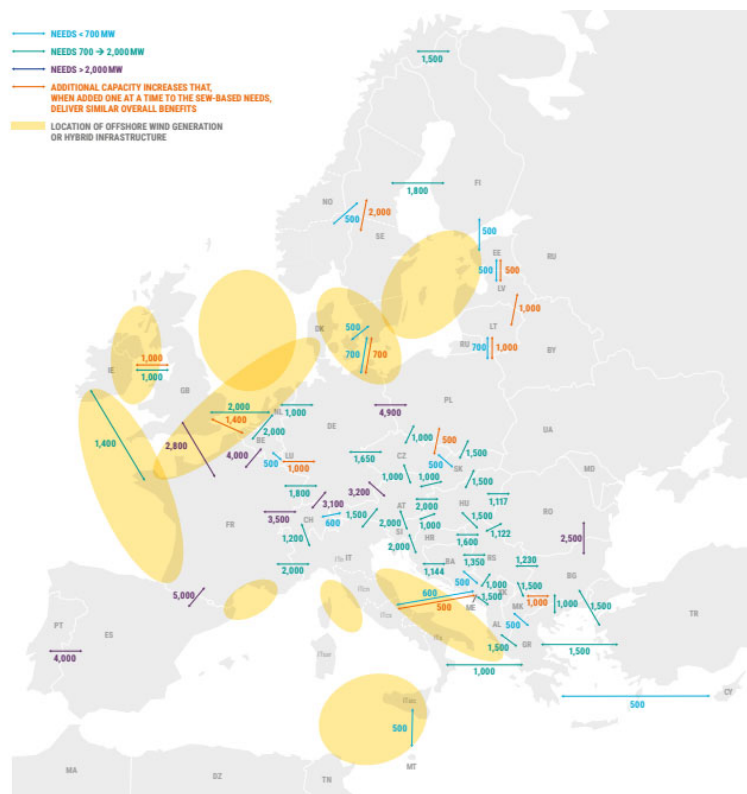


図 258 TYNDP における 2040 年時点の連系線拡張分析

出所：ENTSO-E（2021）, Completing the map Power system needs in 2030 and 2040

TYNDP が作成された後、EC がこの費用便益評価等を参照しつつ、EU 全体の気候変動・エネルギー政策目標の達成という観点から実行優先度が高いプロジェクト群を選出する。選出されたプロジェクト群は European projects of common interests（PCI）と位置付けられ、計画の加速や許可の付与といった面で優遇措置を受けられる。つまり、TYNDP は、域内国際系統インフラの形成過程において、EU の政策目標の達成に有効で実現の後押しを受けるプロジェクト案の絞り込みを支援する材料となっている。

TYNDP 2020⁷⁴⁸を作るための作業ステップ（TYNDP Process）は、以下の四つに大別される。

- ① 将来の汎欧州エネルギーシステム及び電力システムに係る複数のシナリオの作成
- ② 国際系統インフラへのニーズの特定
- ③ 域内のインフラ開発プロジェクト案の収集・特定
- ④ 収集したプロジェクト案の費用便益評価

ENTSO-E は、これらの各ステップにおいて、下表で示すようなさまざまなモデルを使い分けている。

⁷⁴⁸ <https://tyndp.entsoe.eu/>

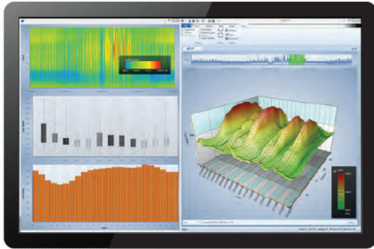
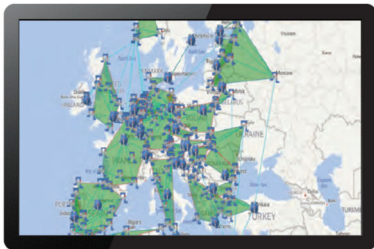
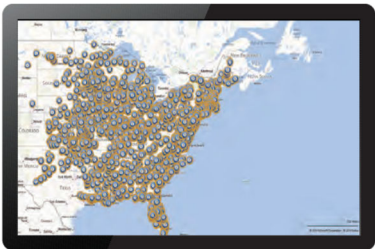
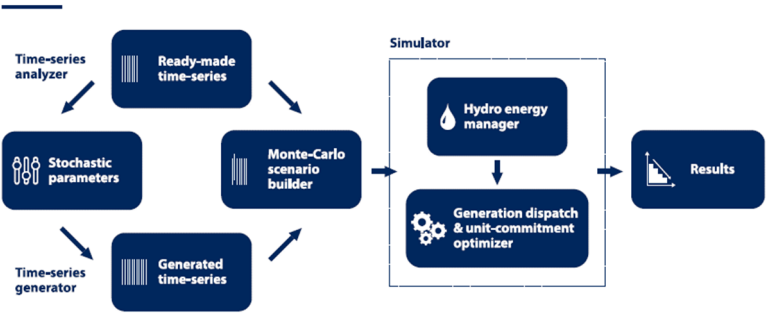
表 199 TYNDP 2020 の作成に利用されているモデルの例と概要

名称	概要
Ambition Tool	Excel ベースの内製エネルギーバランスモデル⁷⁴⁹。ステップ①で、定性的なストーリーラインを定量的な年次シナリオに転換するために用いられる。 FIGURE 8: HIGH LEVEL DESCRIPTION OF THE AMBITION TOOL
TRAPUNTA	電力需要想定のためのソフトウェア。ステップ①で、Ambition Tool の計算結果をもとに、マーケットノード別・年別・シナリオ別の 1 時間ごとの電力需要プロファイルを作成するために用いられる⁷⁵⁰。 FIGURE 20: THREE PROCESS STEPS IN TRAPUNTA
PLEXOS	系統コスト最小化計算等が行える統合エネルギーモデル⁷⁵¹。ステップ①および④で用いられる。

⁷⁴⁹https://2020.entsos-tyndp-scenarios.eu/wp-content/uploads/2020/06/TYNDP_2020_Scenario_Building_Guidelines_Final_Report.pdf

⁷⁵⁰https://2020.entsos-tyndp-scenarios.eu/wp-content/uploads/2020/06/TYNDP_2020_Scenario_Building_Guidelines_Final_Report.pdf

⁷⁵¹https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Jan/IRENA_Planning_for_the_Renewable_Future_2017_JP.PDF?la=en&hash=B5338F5F277030834FFEE20812C3E0898BD92FB1

名称	概要
	 高度な視覚化ツールによる電力需要(使用電力)統計グラフ  発電量、入札価格、入札量など発電施設に関する数量・価格表示モード  ガス導管網・施設情報マップ  米国東部発電施設マップ
ANTARES	国際エネルギーシステムのアデカシーや経済性評価を行えるオープンソースのソフトウェア⁷⁵²。すべてのステップで用いられる。 (ステップ②および③では ANTARES-Xpansion という拡張モデルを利用) 
POWRSYM	短・中期を対象に電力・ガス・熱需要に対する最適なディスパッチ（給電）をシミュレーションするツール⁷⁵³。ステップ④で用いられる。

⁷⁵²<https://antares-simulator.org/>

⁷⁵³<http://www.powrsym.com/PowrSym4.htm>

名称	概要
PROMED	システムコストが最小となる最適ディスパッチの計算等を行えるツール ⁷⁵⁴ 。ステップ④で用いられる。
Convergence	潮流最適化計算等を行える系統開発研究用ソフトウェア ⁷⁵⁵ 。ステップ④で、各 TSO から集めたグリッドモデルを統合するために用いられる。
Integral	Load-Flow シミュレーション等を行えるソフトウェア ⁷⁵⁶ 。ステップ④で、各 TSO から集めたグリッドモデルを統合するため等に用いられる。
PSS/E	ともに潮流および安定度解析のための市販ツール ⁷⁵⁷ 。ステップ④で、各 TSO から集めたグリッドモデルを統合するために用いられる。
PowerFactory	

出所：TYNDP 2020 関連文書および各モデルの紹介 HP 等

上記の他に、汎欧州電力ディスパッチモデルで発電出力を計算するモデルとして BID3 も利用されている。BID 3、ANTARES および POWERSYM の詳細は下表のとおりである。

表 200 TYNDP 2020 の作成に利用されている市場シミュレーションツールの概要

主な特徴	BID 3	ANTARES	POEWSYM
シミュレーション日数	365	365 (1 週間を 52 週分の経済シミュレーション、365 日のアカシーシミュレーション)	365
結果の解像度	時間、1 年	時間、日、週、月、年	時間、日、週、月、年、会計年度
確率的／決定論的	決定論的（水力は確率論的解析）	決定論的、決定論的（ディレーティングを含む）、もしくは	決定論的、決定論的（ディレーティングを含む）、モ

⁷⁵⁴http://userpage.fu-berlin.de/ffu/realise_forum/www.realise-forum.net/pdf_files/051215-16_Benini.PDF

⁷⁵⁵<https://www.rte-international.com/digital-solutions/?lang=en>

⁷⁵⁶https://eepublicdownloads.blob.core.windows.net/public-cdn-container/tyndp-documents/TYNDP2020/Foropinon/TYNDP2020_CBA_Implementation_Guideline.pdf

⁷⁵⁷https://www.irena.org/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Jan/IRENA_Planning_for_the_Renewable_Future_2017_JP.PDF?la=en&hash=B5338F5F277030834FFEE20812C3E0898BD92FB1

主な特徴	BID 3	ANTARES	POEWRSYM
		はモンテカルロ法。火力の計画停電および強制停電、水力の流入量および貯水池の水位、風力および太陽光発電の間欠性、負荷の不確実性を含む	モンテカルロ法。他ユニットの停止、水力、風力の変動、負荷変動、送電系統の利用可能量に関する不確実性を含む
起動費用のモデル化	あり	起動費用および固定費は、初期のユニットコミットメントでは考慮されないが、給電では事後的に組み込まれる	明示的にモデル化され総コスト及びユニットの運用の決定で考慮
予備力のモデリング	なし	複数のオプションが可能（周波数制御等について規定値、または最適化）	周波数制御、運用調整システム、制御エリア、エリア毎に組み合わせで指定可能
水力発電のモデル化、貯水池管理	最適化あり	月間エネルギーの最適化、貯水池容量のモデル化	週ごとのエネルギー割り当て、1時間ごとの最小および最大発電量を持つ貯水池を設定。水力発電の入力として自然流入量、各貯水池の標高の上限と下限、タービンの流量と効率を設定
揚水発電のモデリング	最適化（週単位の最適化のみ）	分析の目的に合わせて最適化（日／週）または固定	最適化：週単位でのシステムコストを最小化するために揚水発電を使用する。貯留量（上部と下部の両方）をモデル化
供給されないエネルギーのコスト	含まれる	含まれる	含まれる
操業停止のコスト	RES は 0€/MWh の追加コストで抑制	ペナルティを課すことは可能、通常は 0 に設定	コスト関数に含めてモデル化可能。コスト及び規模は週、既設によって変わる
メンテナンスの最適化	LAC ⁷⁵⁸ が指定する固定料金	なし（ランダムに生成、または事前に固定）	1.固定のメンテナンス・スケジュール 2.週ごとの負荷

⁷⁵⁸ Long Term Adequacy Correspondents：長期アデカシー評価について加盟国の情報報告担当者

主な特徴	BID 3	ANTARES	POEWRSYM
			喪失確率の平準化に基づき メンテナンス・スケジュール を計算する。3年間生産コ ストを最小化するメンテナ ンススケジュールを計算
最低起動/停止時間の モデリング	あり	あり	あり
ランプアップ/ダウン レートのモデル化	地域間連系用の発電 所は含まない。デー タがあれば対応可能	なし	ユニットのランプレートが 有効。周波数予備力と給電 コスト最適化の両方で考慮
複数の制約条件をモ デル化の可能性 (例：最大輸出入量 等)	あり	あり	あり
ロスのモデル化の可 能性	あり - しかし地域 間連系について 0.01€/MWh のコス トを考慮し非現実的 なフローを防ぐ	なし	あり
物理的フローのモデ ル化の可能性	なし	PTDF ⁷⁵⁹ マトリックス：あり インピーダンス：あり 汎 EU の分析では NTC ⁷⁶⁰ モデリング のみ考慮	流量は NTC または PTDF で モデル化。

出所：ENTSO-E, Data and expertise as key ingredients

c) 欧州：英国 national grid ESO による FES の作成

英国の送電・ガス供給事業者である national grid ESO は、BID 3 など各種のモデルを用いて、2050 年までの GHG 排出ネットゼロ実現に向けたシナリオ分析である Future Energy Scenarios (FES) を作成している。

BID 3 は、スウェーデン・フィンランドのコンサルティング企業である AFRY が開発した電力解析モデルである。FES の分析においては、将来の発電設備や送電線、年間電力需要、需要側応

⁷⁵⁹ PTDF (Power Transfer Distribution Factor)：物理的潮流と商業的潮流の差異を計測、調整する係数

⁷⁶⁰ NTC (Net Transfer Capacity)：送電線の容量からマージンを差し引いたもの（参照：
https://eeepublicdownloads.entsoe.eu/clean-documents/pre2015/ntc/entsoe_NTCUsersInformation.pdf)

答の規模と価格のデータを入力条件として、各発電所と送電線の発電量、送電量、CO₂ 排出量などを出力する。

AFRY BID3 allows the impact of growing renewables to be easily visualised

Sophisticated charting and dashboards allow instant visualisation of data

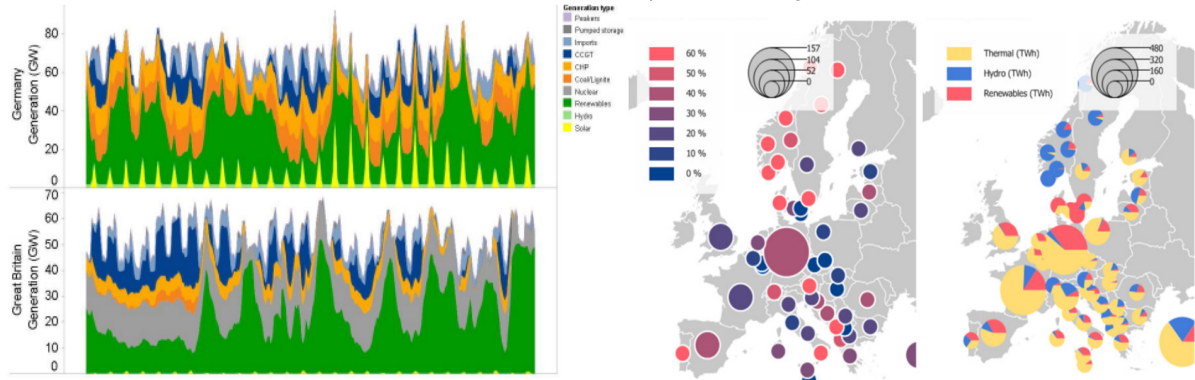


図 259 BID 3 による分析結果の例

出所：AFRY 社ウェブサイト (https://afry.com/sites/default/files/2021-02/afry_bid3_flyer_v100_2021.pdf)

d) 米国：EIA761における NEMS の活用

米国エネルギー省傘下の統計・分析機関である Energy Information Administration (EIA) は、独自のエネルギー経済モデリングシステムである NEMS (National Energy Modeling System) を開発している。同モデルの主な利用目的は、多様な前提条件のもとでエネルギー市場や経済、環境、エネルギー安全保障等の要素が米国のエネルギーシステムに与える影響を予測することにある。NEMS では、各種の条件を設定することで、20～25 年超の期間にわたるエネルギー生産や輸入、転換、消費、価格等を予測できる。EIA はこれらの機能を用いて、Annual Energy Outlook 等のレポートを作成したり、米国議会や米政府機関からの分析依頼に対応したりしている。

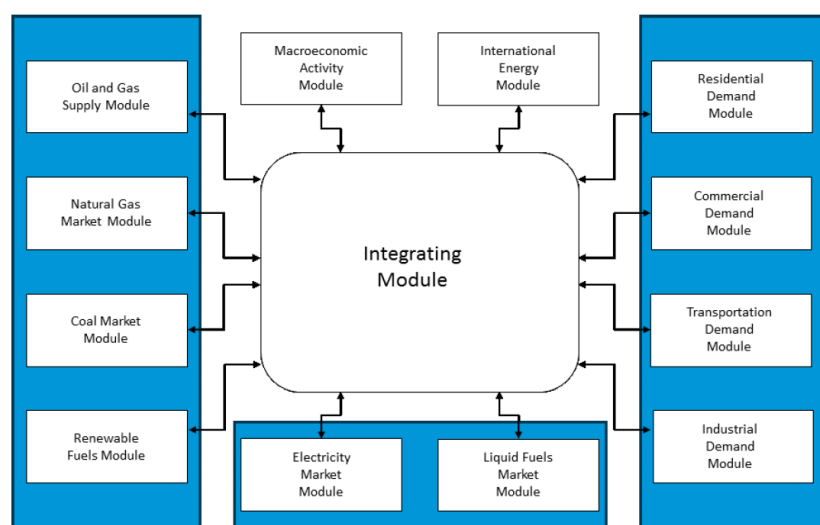


図 260 NEMS の概念図

出所：EIA (2019) , The National Energy Modeling System: An Overview 2018

⁷⁶¹ [https://www.eia.gov/outlooks/aeo/nems/documentation/electricity/pdf/m068\(2020\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/aeo/nems/documentation/electricity/pdf/m068(2020).pdf)

NEMS は、エネルギー源別や最終消費部門別に分かれた多数のモジュールから構成されている。これらのうち、再生可能エネルギー発電にも関連するモジュールとして、Electricity Market Module (EMM) がある。EMM は、NEMS 内の他のモジュールやモデル外から入力される電力需要や燃料価格、マクロ経済パラメーターといった情報をもとに、事業者にとって最も経済合理的となる発電パターン（分散型電源を含む）を計算する。その後、電力価格や燃料消費量、CO₂ 排出量等といった計算結果の情報を他のモジュールに向けて出力する。

EMM は、さらに細かい 5 つのサブ・モジュールから構成される。各サブ・モジュールの概要は下表のとおりである。

表 201 EEM のサブ・モジュールの概要

名称	概要
Electricity Load and Demand Submodule	発電所の操業や設備投資計画のために、季節や時間ごとの電力需要を描出するサブ・モジュール。
Renewable Storage Submodule	発電コストが最小になる各種発電技術のディスパッチを決定する線形計画モデル。
Electricity Capacity Planning Submodule	将来にわたり電力産業が発電設備構成をどのように変容させるかを決定するサブ・モジュール。
Electricity Fuel Dispatch Submodule	操業や環境面の要因を考慮しながら、コストが最小になるように発電容量を割り振るサブ・モジュール。
Electricity Finance and Pricing Submodule	設備計画や操業コスト等の前提条件をもとに、電力企業の財務情報（売電価格含む）を予測するサブ・モジュール。

出所：EIA, The Electricity Market Module of the National Energy Modeling System: Model Documentation 2020, 2020 より作成。

e) 日本：OCCTO による広域系統整備計画の策定

日本の電力広域的運営推進機関（OCCTO）では、電力システムモデリング・経済性評価シミュレーションソフトウェアである PROMOD が利用されている。OCCTO は、電気事業法のもとで広域系統整備計画を策定する義務を負っている。数ある系統増強候補のなかから同計画に含めべき経済合理的な案件を特定するためには、全国大かつ合理的に将来の電力潮流を想定し、その想定にもとづいて個別案件の費用便益評価を行う必要がある。ところが、OCCTO が従来利用していた連系線潮流シミュレーションモデル（Excel ベース）の分析単位はエリアと連系線に限られており、地内基幹系統が分析対象に含まれていなかった。そこで OCCTO は、計画策定に必要な精度の分析をするためのツールとして PROMOD を導入した。

OCCTO における PROMOD の活用例として、広域連系系統のマスタープランの策定プロセスにおけるシミュレーション結果の提供が挙げられる。OCCTO が事務局を務める「広域連系系統のマスタープラン及び系統利用ルールの在り方等に関する検討委員会」では、2022 年度中にマ

マスタープランを策定することを目標として、広域系統長期方針や設備形成及び系統利用に関する新たな仕組み等について議論を進めている。この議論に資するため、PROMOD のシミュレーション結果（シナリオ別分析）が検討委員会に提示されている⁷⁶²。

OCCTO では、PROMOD に一般電気事業者から受領した系統解析用データ（電力需要、再エネ出力、電源関連情報、系統データ等）をインプットし、広域連系系統（上位 2 電圧）を送電線、変電所単位で設定したノードルモデル（ノード数 約 1,200、ブランチ数 約 1,400）を構築する。これらの情報をもとに、各種の運用制約条件等を考慮しながら、起動費を含む総コスト（燃料コスト+CO₂ 対策コスト）が 1 週間単位で最小となるよう、広域メリットオーダーに基づく潮流想定（8,760 時間）を実施する。混雑系統を抽出するとともに、混雑系統を増強した場合と増強しない場合の燃料コスト及び CO₂ 対策コスト等を算出・比較する。

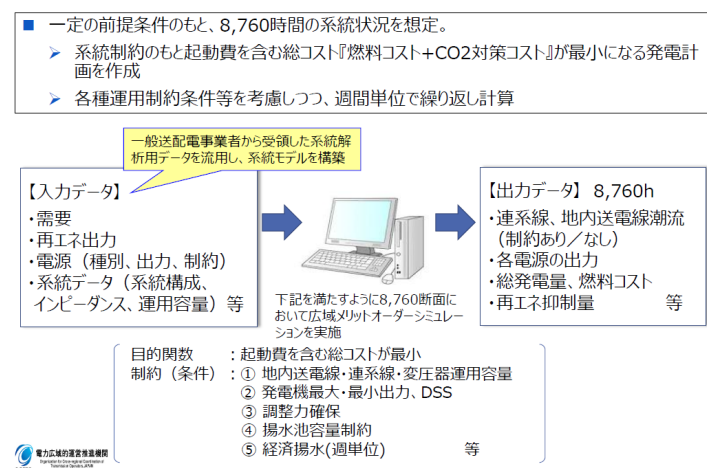


図 261 OCCTO のシミュレーションツールの概要

出所：OCCTO（2020）、マスタープラン検討で活用するシミュレーションツールについて（供給計画第 10 年度のシミュレーション結果を含む）

なお、PROMOD 運用業務は、OCCTO 事務局計画部の所管とされている。OCCTO は同業務を「専門性の高い技術が必要とされ、機関内でも継続性が必要とされる業務」に分類しており、その担当者として若手プロパー職員を集中的に配属している。しかし、OCCTO では、プロパー職員の構成人数比率が低いこと（2020 年 6 月末時点でプロパー職員数は総職員数の約 16%）や、各種の制度・運用を形作るには最新の専門的知見が必要とされることから、現状では各種の業務を遂行するうえで電力事業者からの出向者の力に頼らざるをえないとされている。一方で OCCTO は、組織の公益性及び中立性を確保するという観点から、中長期的に出向者数比率を引き下げ、プロパー中心の職員構成を構築することを目指している。これらのことから、現段階では、プロパー職員が PROMOD 運用業務に早期に習熟することも課題の一部になっていると推察

762 OCCTO（2021）、マスタープラン検討に係る中間整理（案）

(https://www.occto.or.jp/iinkai/masutapuran/2021/files/masuta_10_02_01.pdf)

される。

f) その他のモデル

上記の実用例で示したモデル以外のモデルの概略を以下に記載する。

(f-1) EnergyPLAN

EnergyPLAN は、デンマーク・オールボー大学の持続可能なエネルギー計画研究グループらによって開発されたエネルギー需給モデル（フリーウェア）である。同モデルは、エネルギー需給全体ではなく発電と冷暖房、自動車のみを1時間刻みで評価し、設備の運用のみを決定論的に最適化できる（設備投資は最適化しない）。なお、同モデルは、学术论文に多く用いられる傾向がある。

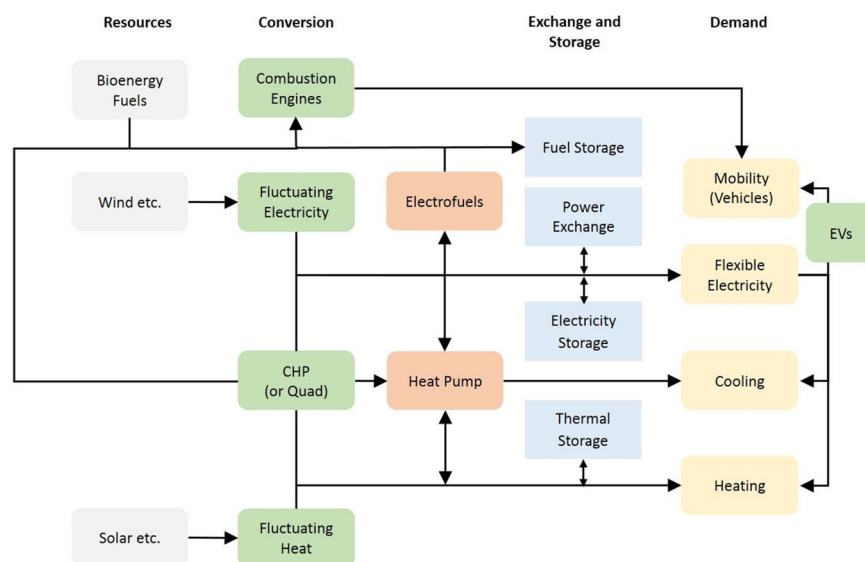


図 262 EnergyPLAN の概念図

出所：EnergyPLAN のウェブサイト (<https://www.energyplan.eu/>)

(f-2) TIMES

The Integrated MARKAL-EFOM System (TIMES) は、国際エネルギー機関 (IEA) のエネルギー技術システム解析プログラム (ETSAP) が開発・維持するエネルギーシステムモデルである。同モデルは、多くの国で政策分析に用いられている。日本を対象としたゼロ・エミッションを達成するエネルギーシステムの試算例では、日本1区分、5年ごと、年間の時間刻み数を6としてモデル化している。

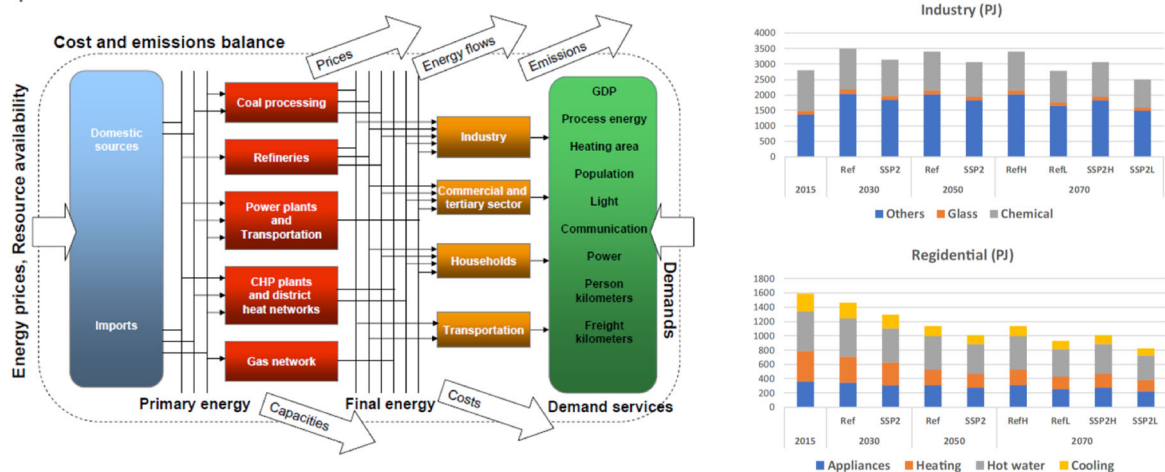


図 263 TIMES の概念図（左）と日本の部門別エネルギー需要試算例（右）

出所：ETSAP ウェブサイト (<https://iea-etsap.org/index.php/etsap-tools/model-generators/times>) 及び E. Kato, A. Kurosawa (2021), Role of negative emissions technologies (NETs) and innovative technologies in transition of Japan's energy systems toward net-zero CO₂ emissions

(f-3) MESSAGE

MESSAGE (MESSAGEix) は、国際応用システム分析研究所 (IIASA) が開発した線形計画法 (LP) による世界エネルギーモデルである。同モデルでは、世界を 11 地域に分割して分析を行う。IPCC 第 5 次評価報告書の RCP8.5 を計算するために用いられた実績があり、協定により IAEA とその加盟国が分析のために同モデルを利用できる。

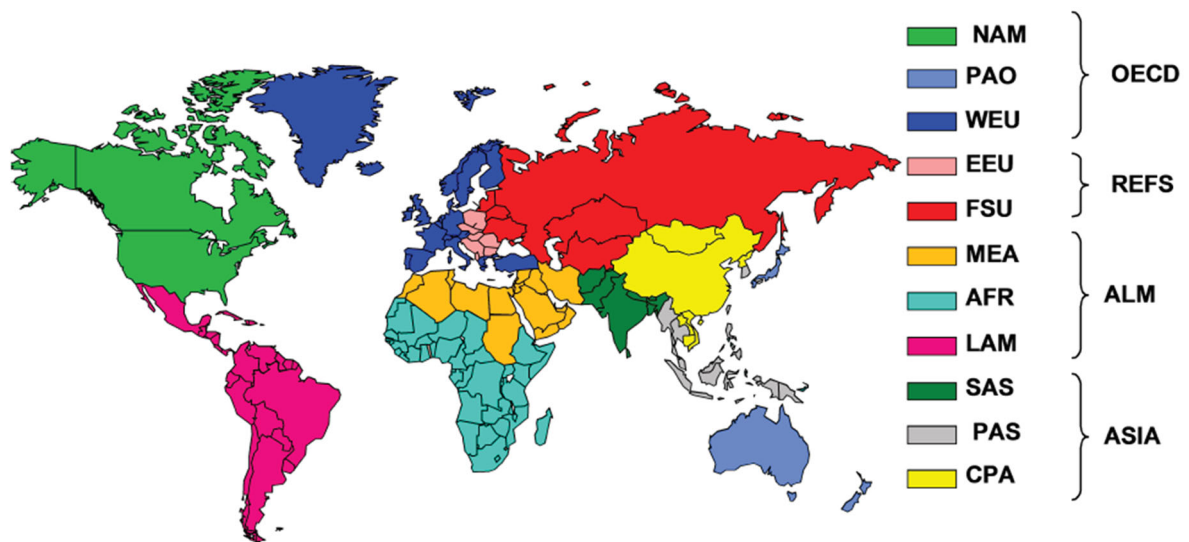


図 264 MESSAGE における地域区分

出所：IIASA (2021), MESSAGEix-GLOBIOM Release 2020

(f-4) WASP

Wien Automatic System Planning Package (WASP) は、国際原子力機関 (IAEA) が開発した長期電源計画モデルである。同モデルでは、1 年間で 12 個の負荷持続曲線 (つまり、1 時間刻

みの出力変動はモデル化されていない) から構成されており、発電設備の新設も含めて最適化される。同モデルは 1970 年代に開発された後に IAEA 加盟国に無償提供され、利用トレーニング等が行われていた。また、途上国の電源開発計画の策定にも利用されてきた。しかし、最近の研究での使用例は少ない。

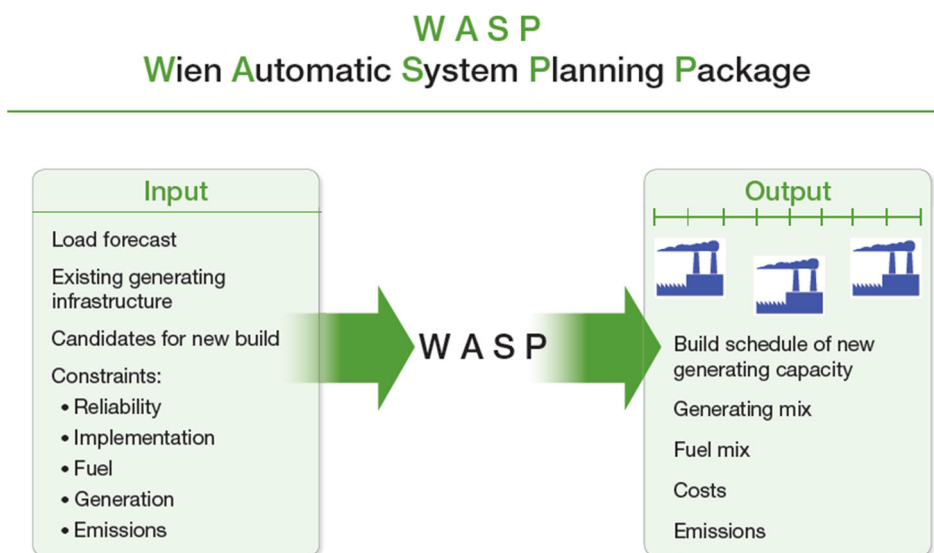


図 265 WASP の主なインプットとアウトプット

出所：IAEA（2009）, IAEA Tools and Methodologies for Energy System Planning and Nuclear Energy System Assessments

(f-5) REMIND

REMIND は、ポツダム気候影響研究所が開発したエネルギー・経済一般均衡モデル（マクロ経済モデル及びボトムアップ型のエネルギー技術モデルとリンク）である。同モデルでは、世界を 12 地域に分割しており、2100 年までを分析対象としている。また、同モデルでは、エネルギー転換（発電等）に係る 50 種類以上の技術が明示的に考慮されている。

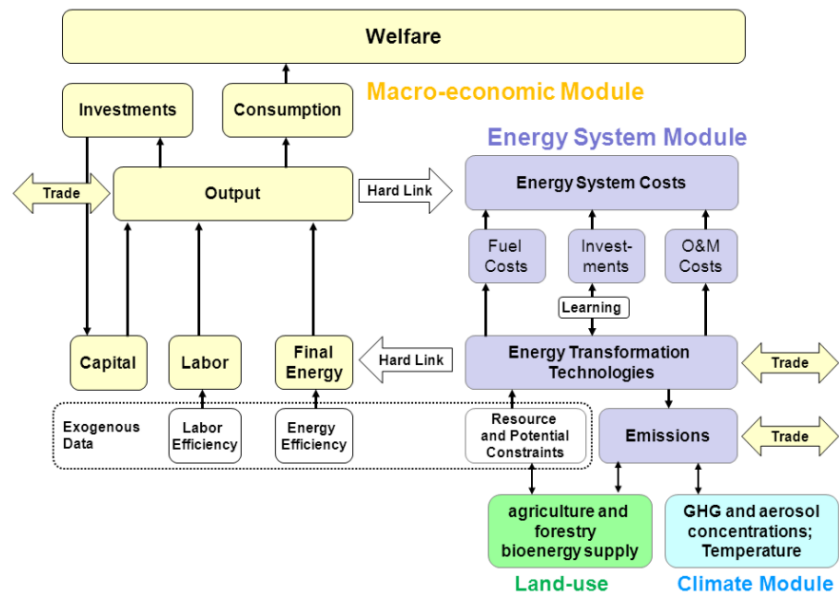


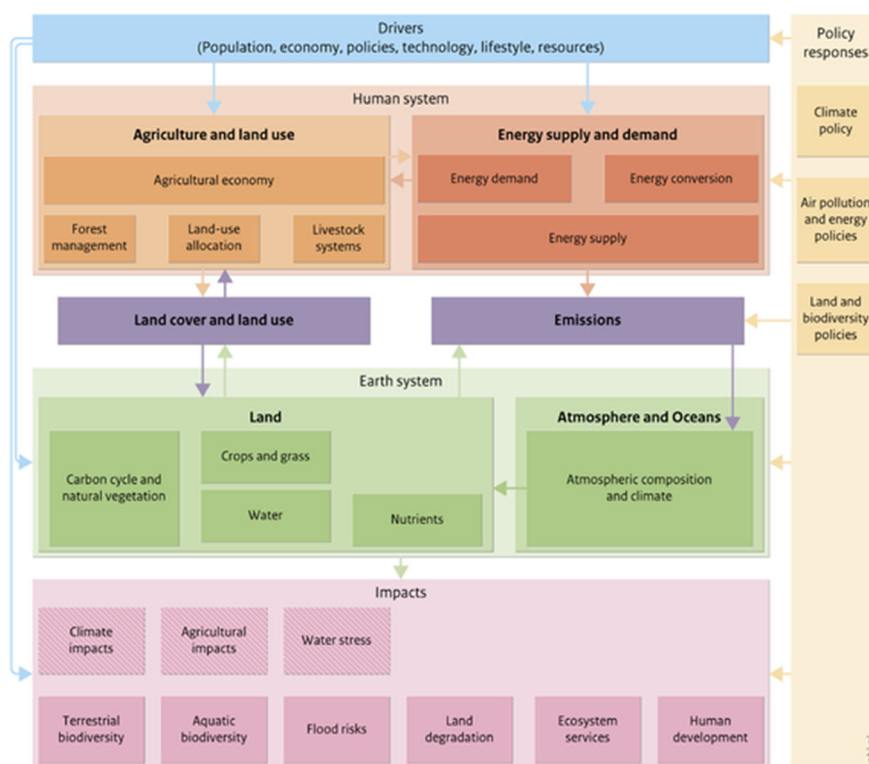
図 266 REMIND の基本構造

出所：Luderer et al. (2015) , Description of the REMIND model (Version 1.6)

(f-6) IMAGE

Integrated Model to Assess the Global Environment (IMAGE) はオランダ環境評価庁 (PBL) による統合評価モデルである。エネルギー需給のみならず、地球システムや気候変動の影響評価も分析対象に含んでいる。同モデルでは、世界を 26 地域に分割したうえで 2100 年までの分析が可能である。地球規模の環境変動を分析するため、1990 年頃から開発が続けられている。なお、IPCC 第 5 次評価報告書の RCP2.6 の作成に用いられた実績がある。

IMAGE 3.0 framework



Source: PBL 2014

図 267 IMAGE の概念図

出所：PBL（2014）, Integrated Assessment of Global Environmental Change with IMAGE 3.0 Model description and policy applications

(f-7) GCAM

Global Change Assessment Model（GCAM）は、米国パシフィックノースウェスト国立研究所（PNNL）が開発した統合評価モデルである。同モデルは、コスト最適化ではなく、市場の均衡（需給の価格が一致＝生産者は利潤を最大化、消費者はコストを最小化）を扱う。世界 32 地域を対象として、経済、エネルギー、土地利用、水、及び地球システムの変化を評価する。なお、IPCC 第 5 次評価報告書の RCP4.5 の作成に用いられた実績がある。

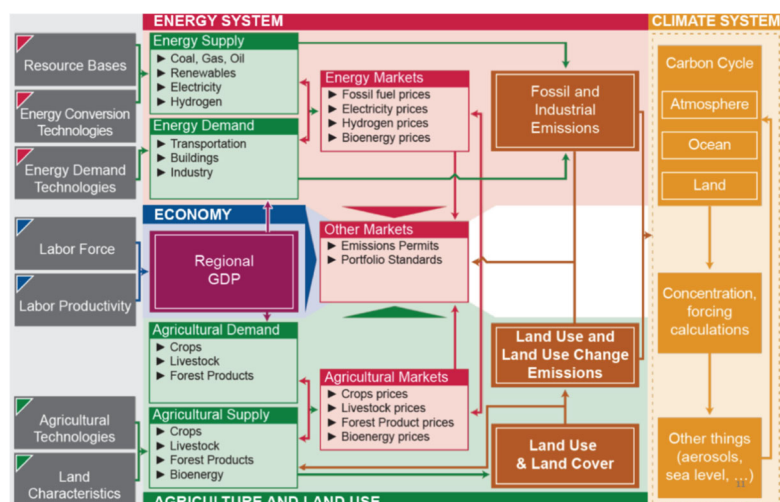


図 268 GCAM の概念図

出所：JOINT GLOBAL CHANGE RESEARCH INSTITUTE（2018）, Overview of the Global Change Assessment Model (GCAM)

(f-8) WITCH

World Induced Technical Change Hybrid（WITCH）は、イタリアにある欧州経済・環境研究所（EIEE）が開発した統合評価モデルである。経済とエネルギーをモデル化したうえで、土地利用に係る GLOBIOM モデルや気候変動に係る MAGICC モデルとリンクすることにより、気候変動の緩和・適応に関する総合的な評価を行う。世界 17 地域を対象に、2100 年までの評価が可能である。WITCH における最適化は、コストの最小化ではなく、各地域の効用の最大化を通じてなされる。また、ある地域が排出を行うことで全世界が大きな気候ダメージを被るフリーライダー効果も考慮されている。なお、本モデルはオープンソースで提供されている。

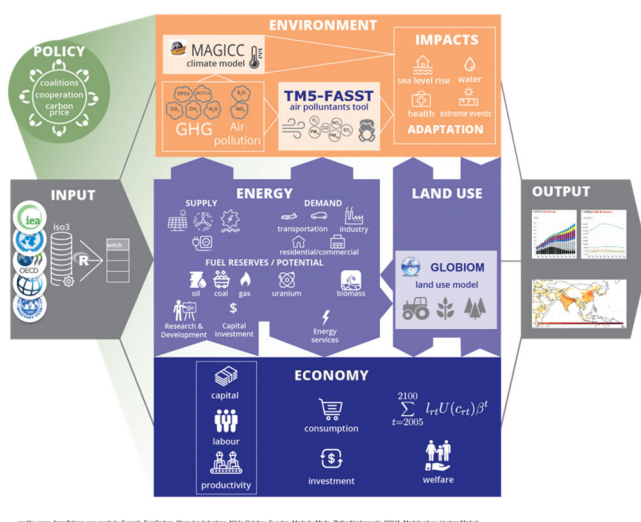


図 269 WITCH の概念図

出所：EIEE ウェブサイト (<https://www.eiee.org/tool/witch-world-induced-technical-change-hybrid/>)

(f-10) LUT

フィンランド・Lappeenranta 大学（LUT）らの研究グループは世界 145 国・地域を対象として、1 時間刻みでモデル化を行い、再生可能エネルギー100%下のエネルギー需給を推計した。2017 年頃までは電力部門のみを対象とした分析を行っていたが、2019 年版からは産業・民生・運輸部門をモデル化し、エネルギー需給全体の推計を行っている。

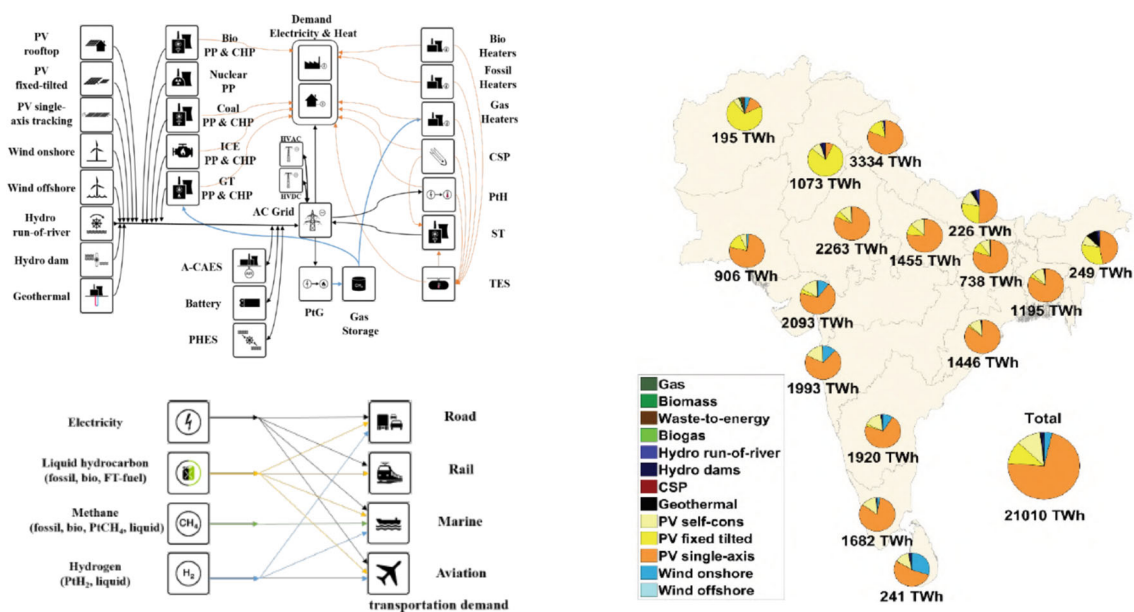


図 270 LUT の Energy System Transition model（左）と SAARC の発電量（右）

出所：Ram et al. (2019) , Global Energy System based on 100% Renewable Energy -Power, Heat, Transport and Desalination Sectors

(f-11) WORLD ENERGY MODEL

国際エネルギー機関（IEA）が World Energy Outlook を作成するために用いているモデル群である。IEA のエネルギーバランス表をもとに、計量経済型モデルによってエネルギー需要の将来推計を行う。その上で、コスト最小化アプローチによってエネルギー関連技術の最適な配置を計算し、シナリオごとの最終エネルギー消費量を推計する。なお、電源部門では 1 時間刻みの電源構成モデルを利用し、評価を行っている。

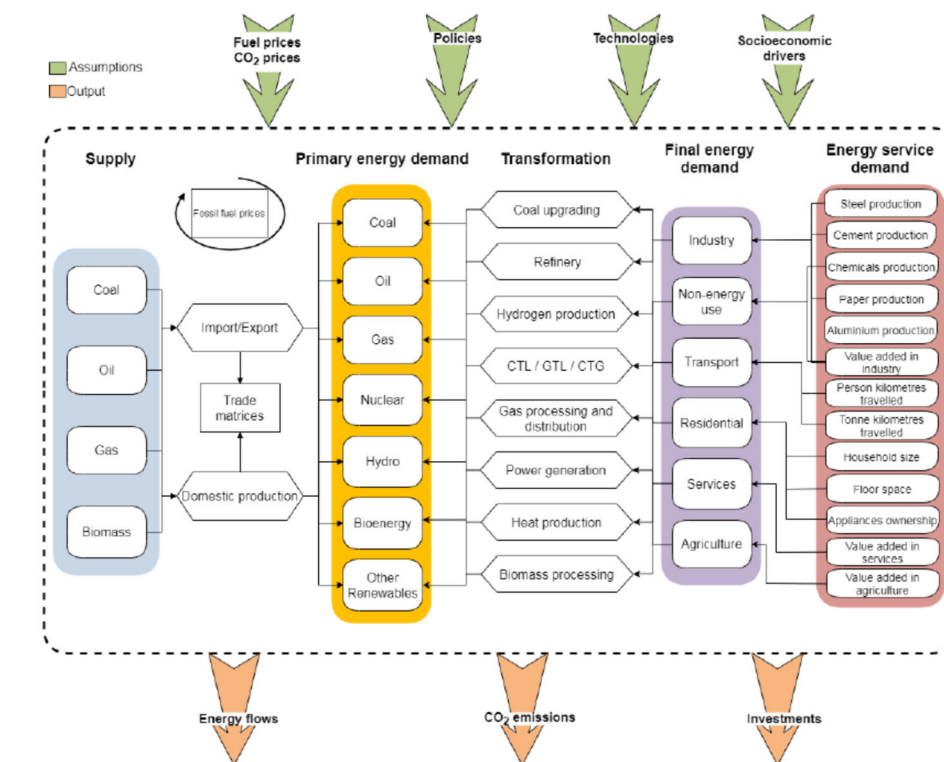


図 271 WORLD ENERGY MODEL 全体の概要とエネルギー需要の推計方法

出所：IEA（2020），WORLD ENERGY MODEL DOCUMENTATION 2020 VERSION

(3) 新たなモデル分析の実用化に向けた検討事例

将来の脱炭素社会の構築に向けてはエネルギー需給構造やエネルギーシステムのあり方について包括的に見直すことが期待されている。エネルギーシステムのモデル分析は電力部門を中心に多様なモデルの活用や開発が進められてきたが、これに加えて今後は部門をまたがったセクターカップリングの分析や対象地域を拡大したクロスボーダーの分析が可能なモデル構築が求められる。具体的には二次エネルギーとしての電力だけでなく熱の利用や水素などの利用も含めた包括的な検討や多国間での分析が可能なモデル開発が進められている。以下では、各国で進められている新たなモデル分析の検討と実用化に向けた事例を示す。

a) 欧州：EC による METIS モデルの作成

METIS⁷⁶³は欧州委員会のエネルギー総局（DG ENER）によって進められているエネルギーモ

⁷⁶³ https://ec.europa.eu/energy/data-analysis/energy-modelling/metis_en

デル開発プロジェクトである。欧州を対象に電力・ガス・熱の1年間の需給を1時間刻みで推計するものであり、欧州委員会における「エビデンスに基づいた政策決定」に貢献している。電力システム・電力需要・ガス・熱・需要等のモジュールから成る。

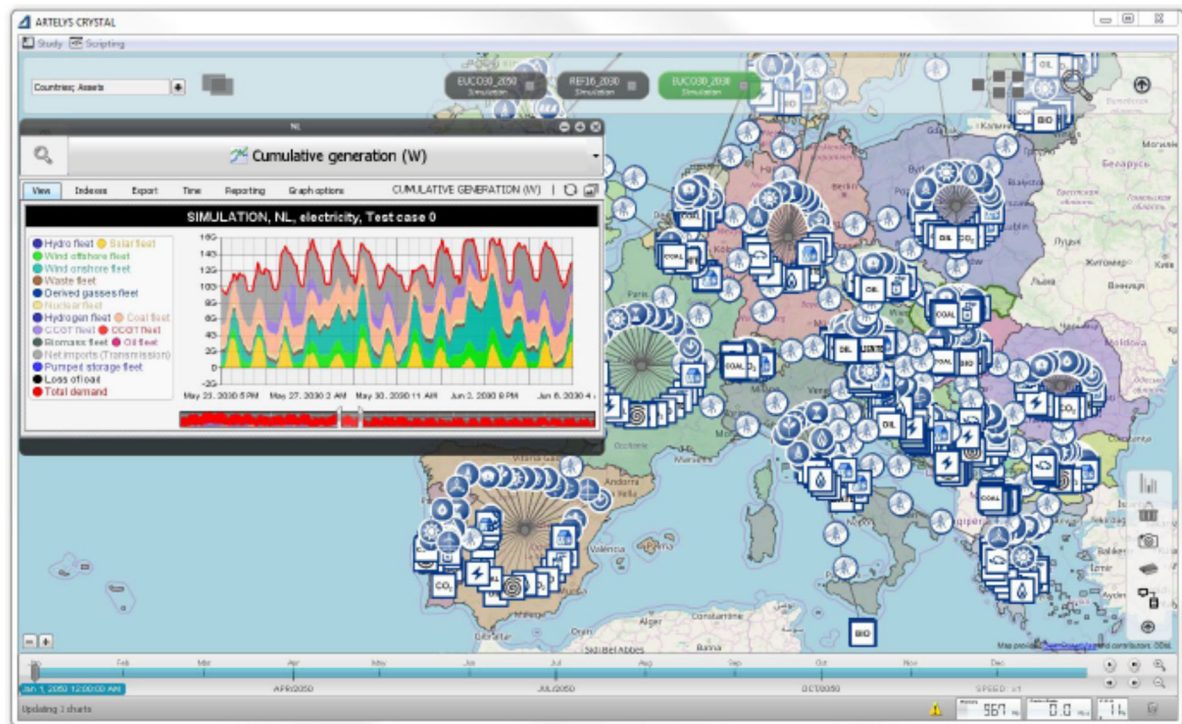


図 272 欧州地域のエネルギーシステム分析

出所：European Commission(2020)、Introduction to METIS models

この中でも特に METIS の発電部門モジュールは（コスト最小化ではなく）利潤最大化によって最適化計算を行う電力モデルとなっている点が特徴である。モデルとしては電力のアデカシーや再エネ統合の影響、地域間の電力融通、EV や DR の影響などを評価することができる。また、欧州全域を国に従って分割（用途によっては幾つかの国をまとめて一つの節点とすることも可能）している。さらに別途、インバランス市場等を計算する電力市場モジュールも存在する。

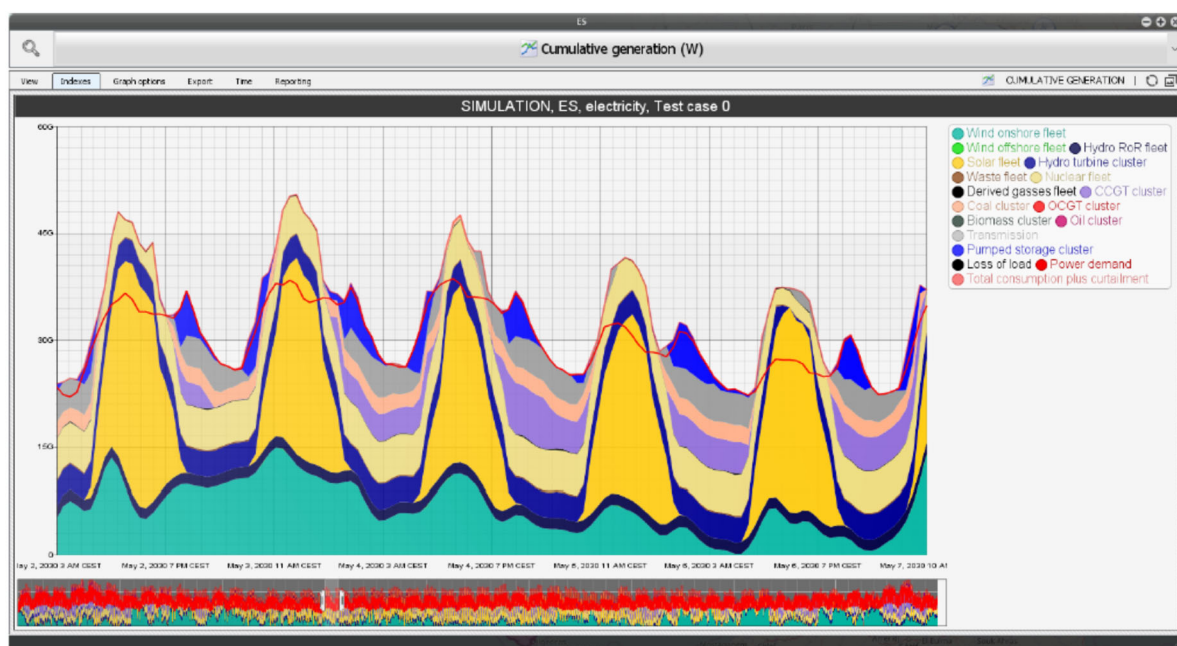


図 273 欧州地域のエネルギーシステム分析、発電部門モジュールの計算例

出所：European Commission(2017)、METIS Technical Note T5

欧州委員会では METIS を電気とガスに関するエビデンスに基づいた政策立案を支援するための数理モデルとして使用している。欧州委員会は METIS を用いて再生可能エネルギーやエネルギー安全保障の問題だけでなく、新しいエネルギー市場の設計に関する欧州委員会の提案書を作成している。

METIS は、天候の変動などの不確実性を考慮しながら、1 年間のエネルギーシステムと市場の運用を 1 時間単位でシミュレートし、再生可能エネルギーを使用した時間ごとの影響を分析することができる。このモデルは、国や地域レベルで使用することができ、相互に接続された多数のモジュールの上に構築されている。

表 202 METIS による成果物の一覧

	Module	Studies
Power systems	Power system module (TN1 + TN6)	S4 – Generation and system adequacy analysis S2 – Assessing TYNDP 2014 PCI list (power) S7 – The role and need of flexibility in 2030 S7b – Flexibility in 2030: focus on storage S11 – Effects of high RES shares on power systems
Power markets	Power market and stochasticity module (TN2 + TN3)	S12 – Assessing market design options in 2030 S16 – Weather-driven revenue uncertainty for producers S18 – Simulating electricity market bidding and price caps
Gas system and markets	Gas module (TN 7)	S5 – Impacts of PCIs on gas security of supply
Heat	Heat module (TN 8)	S6 – System benefits of decentralised heat pumps S9 – Cost-efficient district heating development
Synergies between energy vectors	Demand module (TN 8)	S13 – Electric vehicles: power system impacts and RES integration S8 – The role and potential of power-to-X in 2050 S1 – Synergies between energy networks S14 – Market revenues and producer risks
Other documentation	Technical Notes 4 + 5	Overview of European Electricity Markets METIS introduction and architecture
	html documentation	Description of all assets, KPIs, behaviours etc.

出所：Artelys(2019), Session 1:METIS in a nutshell METIS 1 Dissemination event

欧州委員会では 2015 年に開始した初期期間を経て、2018-2021 年の期間を METIS2 として以下のテーマに取り組んでいる。

- 配電・送電の統合、グリッドモデリング
- 専用のデータ収集
- フローベース対 NTC (Net Transfer Capacity)
- ローカルなフレキシビリティの影響を評価するためのグリッドモデル

上に関して欧州委員会ではモデル開発、市場設計の評価、今後の柔軟性対策の役割を評価するために 6 つのスタディを検討している。また、モデル分析の前提と結果を見える化するために METIS の Web ベースのバージョンの開発を実施している。また、METIS の普及イベントにおいて以下の点を今後の課題として挙げ METIS を用いた関連成果も合わせて発表している。

- フレキシビリティの将来の役割
 - ◇ 柔軟性の必要性を様々なタイムスケールで評価する。
 - ◇ ローカルな柔軟性ソリューションの特定と特性化
 - ◇ 加盟国レベルでの柔軟性ポートフォリオの最適化
- **Power-Gas-Heat (マルチエネルギーアプローチと便益の定量化)**
 - ◇ 需要の電化-可能性と限界-
 - ◇ Power-gas の連携
- 足元から 2050 年までの電力市場

b) 欧州：ENTSO-E における共通グリッドモデルの検討

● ENTSO-E⁷⁶⁴

ENTSO-E は加盟組織のために多国間をまたがって利用可能な 2018 年から共通グリッドモデルプログラムの運用フェーズを開始するとしている。ENTSO-E は共通グリッドモデルの検討は今後のさらなる検討に向けた出発点に過ぎないとしており、多国間協定とシステム運用ガイドラインにおいて、実際に地域で調整されるべきものとして以下の 4 つのサービスを検討している。

- 1. 協調の取れた容量計算：システムの安全性を維持しつつ、ネットワーク上の取引容量を最大化することを目的とする
- 2. 協調の取れた運用セキュリティ分析：セキュリティ基準（N-1 基準）が遵守されているかどうかを協調的にチェックする
- 3. 停電計画の協調：保守のために系統を切断する計画を地域的に調整
- 4. 短期・中期的な適切性予測の協調：TSO が管内の需要をカバーするのに十分な発電量を持っているかどうかを協調的に分析する。

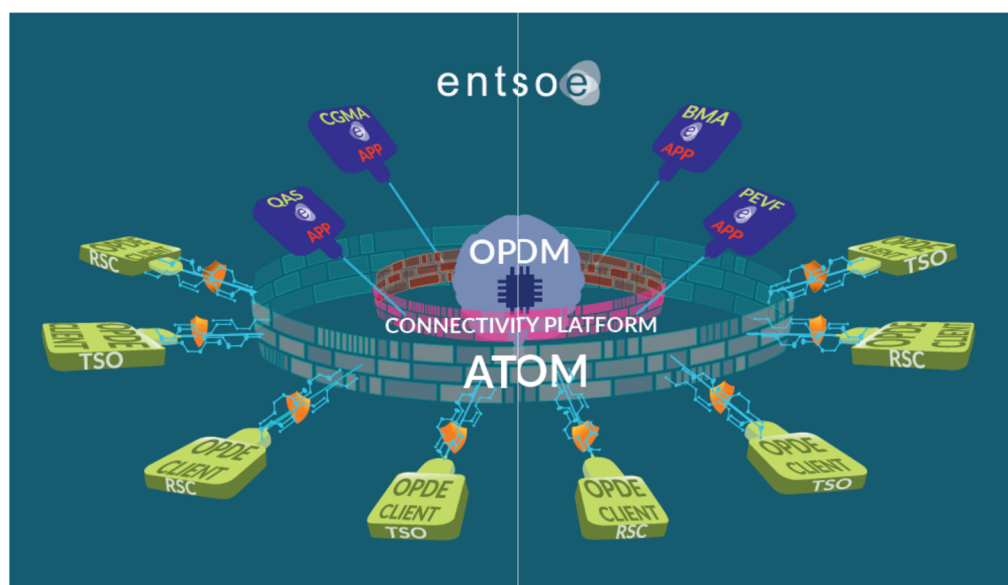


図 274 ENTSO-E の共通プラットフォームイメージ

出所：ENTSO-E, WHERE THE DIGITAL TRANSFORMATION OF THE EUROPEAN ELECTRICITY SYSTEM STARTS:

また、ENTSO-E では電力系統の運用は、高度に熟練したデータ集約型の事業であり、リアルタイムの状況認識と意思決定支援を必要とするとしている。その上で、ENTSO-E が提供する共通モデルは以下の点で加盟国、加盟 TSO の事業に貢献するとしている。

⁷⁶⁴ https://eepublicdownloads.entsoe.eu/clean-documents/Publications/SOC/entsoe_CMG_leaflet_170620_web.pdf
https://eepublicdownloads.entsoe.eu/clean-documents/Scenarios/2020/consultation/TYNDP_2020_Scenario_Methodology_Report_consultation.pdf

➤ 市場統合、相互接続の増加、風力発電や太陽光発電のさらなる成長だけでなく、発電、蓄電、低電圧内でのデマンドレスポンスの分散化、ガス、暖房、輸送の各セクター間のさらなる連携など、これらすべてが汎欧州規模でのデータ収集と処理、および送配電と配電の間でより多くのデータを必要とする。

➤ ENTSO-E のミッションとして今後 10 年間のネットワーク開発計画、エネルギー市場の透明性プラットフォームの検討、入札ゾーンのレビューなどがあり、共通モデルはこれに貢献する

➤ 今後、TSO、RSC、容量の計算地域単位、Joint Allocation Office (JAO)および ENTSO-E をまたいで、ENTSO-E の共通モデルへのニーズが高まり相互リンクが深まる

➤ 電力取引所と配電システム事業者（DSO）との連携が重要である。TSO/DSO、卸売/小売データの連携は、欧州委員会のパッケージとして「すべてのヨーロッパ人のためのクリーンエネルギー」で提案されている規定を実施する鍵となる。

以上より、ENTSO-E は欧州で TSO を取りまとめる組織として加盟 TSO 間での計画策定、市場連携に資するためのプラットフォームの提供とサービスの向上を進めている。

c) 欧州：National Grid の包括的モデルの検討

● National Grid⁷⁶⁵

英国において電力系統の運営とガスの託送供給の司令塔である National Grid は将来のエネルギー需給を見通しとして Future Energy Scenario（以下、FES）を作成している。FES では電力系統運用事業者である National Grid が電力、ガス需要も合わせて分析することで、将来の課題やインフラ整備に関する情報提供を行っている。

その中でも発電部門について FES では 2017 年からは AFRY が作成した GB などの電力市場をシミュレーションできる汎欧州電力ディスパッチモデルである BID3 と呼ばれるモデルを用いて発電出力を計算している。同モデルでは地内系統のようなよりミクロな情報での分析は行っていないため、これらを別途分析し BID3 の前提条件としている。具体的には FES の電力供給分析には、送電ネットワークや低圧ネットワーク上のネットワークや操作性の制約は含まれていない。このため GB ネットワークには内部ネットワーク制約がないと仮定している。また、系統運用に関しては、慣性、周波数応答、または電圧サポート等、系統安定化サービスを提供するために必要となるプラント情報をシナリオに含めないことになる。これらの課題についてネットワーク容量は、ネットワークオプション評価（NOA）の一部として評価されている。また、将来の系統運用に関する課題は、システム運用性フレームワーク（SOF）⁷⁶⁶で分析されている。

英国では系統運用に関する課題について、下記のとおりマイルストーンとともに整理しており、これらの課題解決のために多様なモデル分析などを行っている。

⁷⁶⁵ Modelling 資料： <https://www.nationalgrideso.com/document/173796/download>

⁷⁶⁶ <https://www.nationalgrideso.com/research-publications/system-operability-framework-sof>

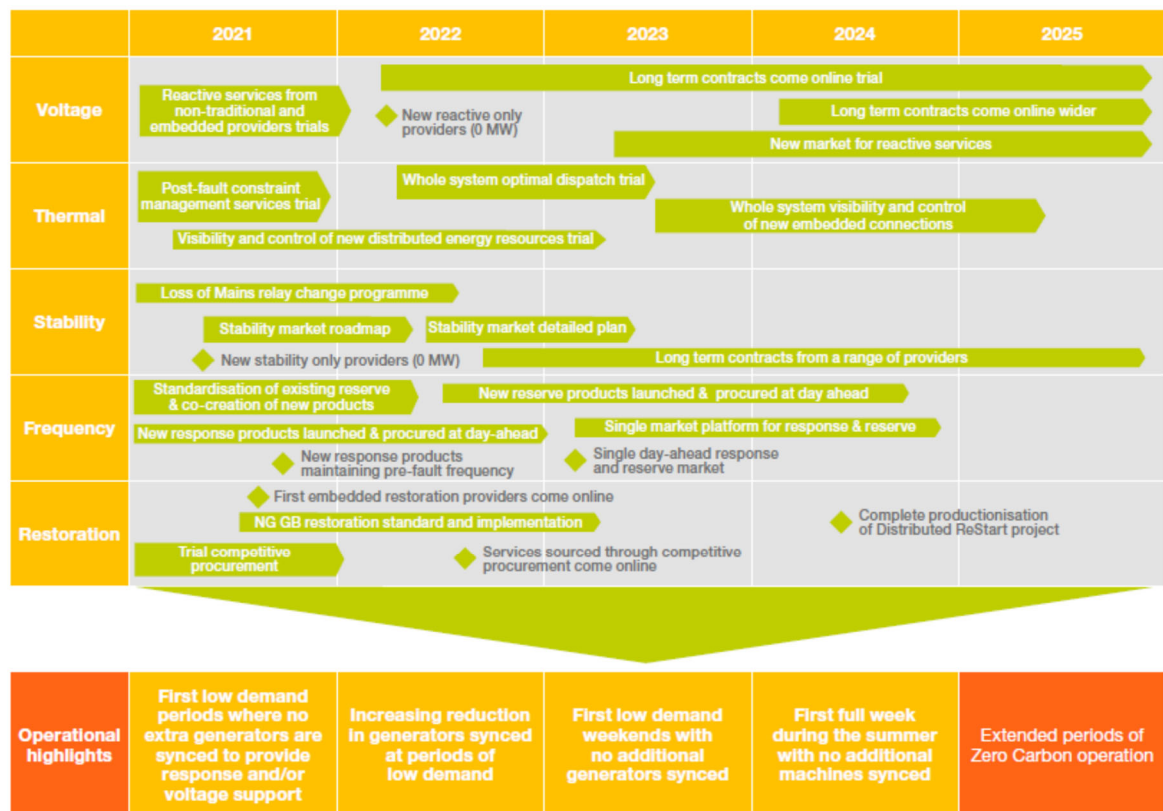


図 275 英国の Operability Milestones

出所：nationalgridESO(2020), Operability Strategy Report 2021

d) 米国：DOE/EIA の包括的モデルの拡充の検討

● EIA⁷⁶⁷

米国 DOE/EIA では複数のモデルモジュールからなる NEM（National Energy Modeling）を用いて将来見通し等を分析している。この中で再生可能エネルギー発電に関するモジュールとして、Electricity Market Module がある。EIA では各モジュールについて適宜見直し、更新を行っており 2020 年 7 月の報告では下記の点をアップデート、改善したとしている。

- 化石燃料プラントの運転・維持管理（O&M）コストと年間設備投資額を更新。
- 再生可能資源とバッテリーストレージの利用可能性と利用方法について、再生可能ストレージサブモジュール(REStore)を追加することで、より詳細な説明を追記。
- 独立系システム事業者（ISO）／地域送電機関（RTO）のメンバーシップの変更を考慮し、電力市場の状況をよりよく表すために、電力供給地域を改訂。
- ユーティリティ規模の発電技術の資本コスト見積もりを更新。

特に、Renewable Storage Submodule (REStore) は、2020 年 7 月の Model Documentation において

⁷⁶⁷ [https://www.eia.gov/outlooks/aco/nems/documentation/electricity/pdf/m068\(2020\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/aco/nems/documentation/electricity/pdf/m068(2020).pdf)

EEM に新規に追加されたことが公表された新しいサブ・モジュールである。同サブ・モジュールはエネルギー貯蔵技術の影響度を評価することに特にフォーカスしている。同サブ・モジュール内で定量化される主な指標として、時間帯ごとの限界電力価格や発電プロファイル、出力抑制、超過電力需要、蓄電・放電パターン、最低充電必要量等がある。このように、再生可能エネルギーと蓄電池の評価のために新たなサブ・モジュールを追加し、間欠性エネルギーの給電に関する評価等を行うことによって、EIA は将来の再生可能エネルギー大量導入時代を見据えたモデル改善を進めている。

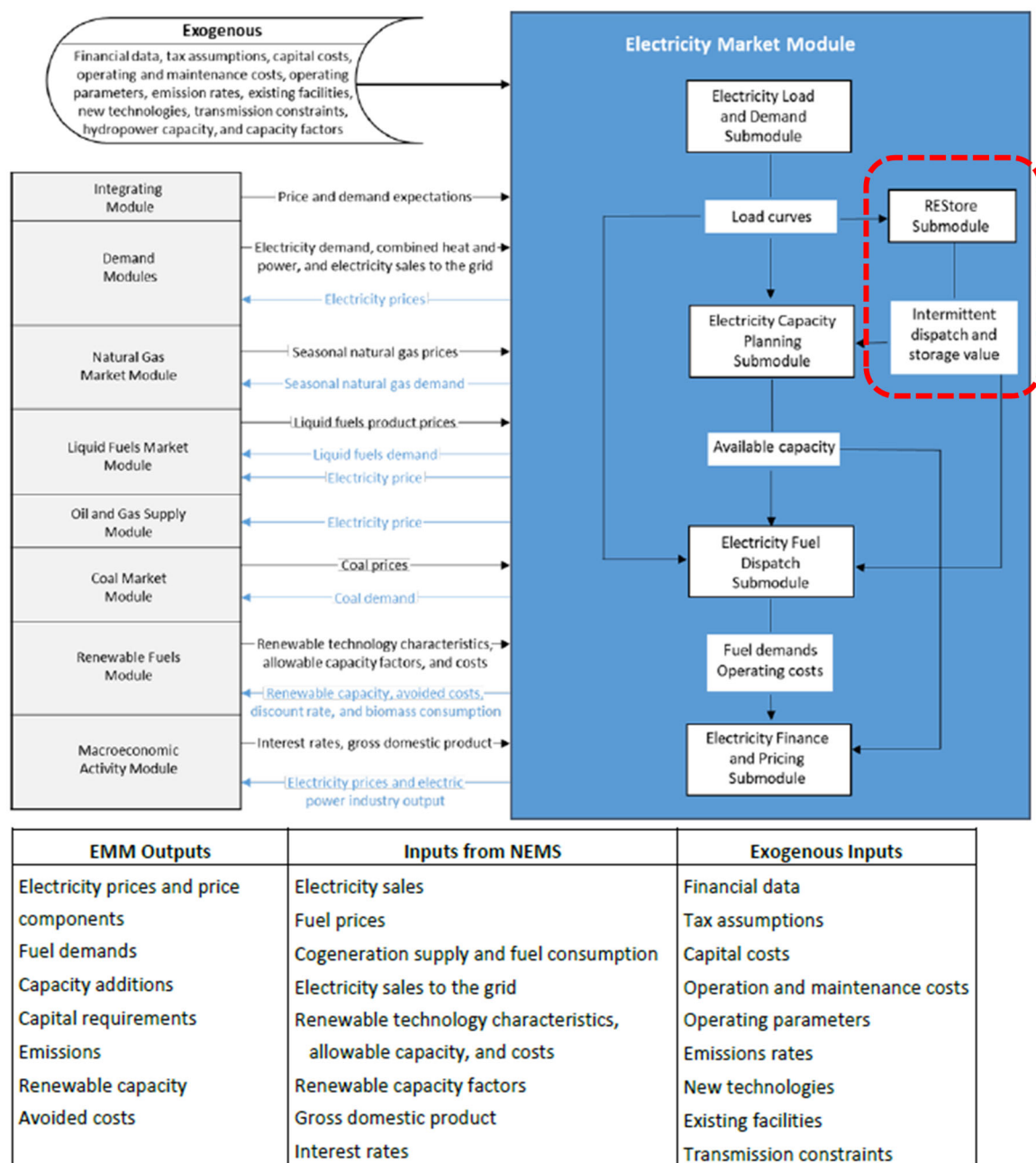


図 276 Electricity Market Module と改定点

出所：EIA,(2020) The Electricity Market Module of the National Energy Modeling System: Model Documentation 2020 に加筆

e) 米国：NREL の包括的モデルの拡充の検討

● NREL^{768,769}

米国の国立再生可能エネルギー研究所（NREL）では Grid Modernization として電力系統の設計に関するプロジェクトを進めている。同プロジェクトでは Distribution Integration、Transmission Integration、Transient & Dynamic Stability Analysis、Power Market Design、Integrated Energy System Simulation、SMART-DS をテーマとして事業を実施している。また、特に Advanced Research on Integrated Energy Systems (ARIES) platform として、再エネ、蓄エネ技術などの多様な技術の評価を目指してパートナーとともにエネルギーシステムの統合事業に取り組んでいる。NREL はエネルギーシステムの計画、構築に関するソフトウェアとして Hierarchical Engine for Large-Scale Infrastructure Co-Simulation (HELICS)⁷⁷⁰を発表している。

表 203 NREL の ARIES における High-Impact Projects Overview の例

Partners	Project
2019	
Anterix	Enabling Realistic Communications Evaluations for ADMS (ERCEA)
Salt River Project	Residential Battery Impacts on Home Owners and Grid
Centrica Business Solutions	Resilient and Cost-Effective Hybrid Li-ion Battery Energy Storage System for Sites With Solar Generation and EV Charging
Eaton	Modular Expeditionary Technology Evaluation Resource
2020	
Colorado State University	Development of Statistical Fault-Detection Algorithms for Modern Power Grid Networks
U.S. Department of Defense: Environmental Security Technology Certification Program	Large-Scale Energy Storage and Microgrids
Cummins	Advanced Microgrid Controller
Exelon/EWF	Zero-Export Feeder Through Transactive Markets

出所：NREL(2020), ESIF 2020

また、送電レベルでのカーボンフリー資源の統合について州をまたいだキャロライナ地域（北キャロライナ州、南キャロライナ州）を対象に電力システムにおけるカーボンフリー発電の様々なシナリオの影響を調査している。具体的には、再生可能エネルギーや分散型エネルギー資源を電力システムに統合する際に、今後の統合、信頼性、運用上の課題と機会を理解するための調査をデューク・エナジー社に委託している。同社は 2030 年までに CO₂ 排出量を（2005 年比で）少なくとも半分に削減し、今世紀半ばまでに CO₂ 排出量をゼロにすることを目指している。

⁷⁶⁸ <https://www.nrel.gov/grid/carbon-free-integration-study.html>

⁷⁶⁹ <https://www.nrel.gov/grid/ergis.html>

⁷⁷⁰ <https://www.nrel.gov/grid/integrated-energy-system-simulation.html>

研究のフェーズ 1 では、NREL はキャロライナ州のカーボンフリー資源の統合の分析を行った。太陽光発電（PV）の発電量が増加した場合のカーボンフリー発電の総割合への影響を調べるために、12 のシナリオの評価を行った。風力、蓄電、太陽光発電の普及シナリオを評価し、年間のカーボンフリーエネルギーの 80%に達するとした。また、フェーズ 2 では、NREL の独自のツールを活用して、キャロライナ州におけるカーボンフリー資源統合の増加に伴うポートフォリオコストと運用上の実現可能性を調査しており、カーボンフリーのエネルギー資源統合を達成するために必要な潜在的な投資、送電の影響、その他の要因を調査している。その中で調査報告書では、以下の 3 つを主要なトピックとして挙げている。

➤ 資源ポテンシャルの地理的な分布

再生可能エネルギーポテンシャル（reV）モデルにより、再生可能エネルギー資源の詳細な評価とグリッドインフラや土地利用特性との地理空間的な関係性を評価する。

➤ 能力増強計画と発電コスト

reV で開発された資源ポテンシャルとコストを利用して、ReEDS モデルで基準ケースと低炭素ケースの下での発電と送電への投資の提案を検討しカーボンフリーの資源統合を最大化する。技術、コモディティ、政策ベースのシナリオのセットを使用して、参照ケースと低炭素ケースを踏まえてコスト最適な資源計画を決定する。

➤ 運用可能性

Plexos を用いて ReEDS で特定された発電所の増設と送電線のアップグレードの結果として生じる設備の運転状況を分析する。典型的なアウトプットとして燃料費、O&M、容量係数、送電利用率があり、これより想定されるインフラ構成での運用状況を確認している。

上記のとおり NREL では Grid Modernization の下で送電、配電、市場。セキュリティ、さらに多様な個別技術の検討を行っており、この中で統合化の検討も進めている。具体的には事業のパートナーを募集し、実地での検討において NREL が有する各種ツールを活用している。この中で事業者他とともにカーボンフリーエネルギーの大規模な導入に関する実現可能性等を具体的に検討している。

f) モデルを用いた新たな電源コストの算出の取り組み

モデルを活用した新たな取組として電源のコスト評価について電源単体のコストを評価するだけでなく、システム全体への影響を考慮したコストの評価の取り組みが進んでいる。これらの定量評価のためにはモデルの活用が期待されている。

例えば、（荻本・松尾（2021）⁷⁷¹は、電源単体のコスト指標である LCOE（均等化費用）により算出される電源コストは、電源ごとの固有の費用に基づいて、資本費や燃料費といった電源のコスト構造の比較に使用することができるため、LCOE は、理解しやすい反面、それによ

⁷⁷¹ 荻本・松尾（2021）、システム統合を反映した限界費用の試算

る表現には限界があると指摘している。その上で、特に発電にかかるコストはエネルギーミックスや地理的・時間的な需要の構造に依拠するが、LCOE はそういった電力需給の変化に伴うコストを考慮することができないとした上で、より正確に発電設備のコスト評価を行うためにある電源を導入した際に、電力システム全体として追加的にかかるコストも評価していく必要があるとしている。

下図のとおり総合資源エネルギー調査会において日本における発電コストについて整理しており、この中でシステムへの統合費用を考慮したコスト評価についても言及されている。

2030年の電源別発電コスト試算の結果概要

※数値は全て暫定値。

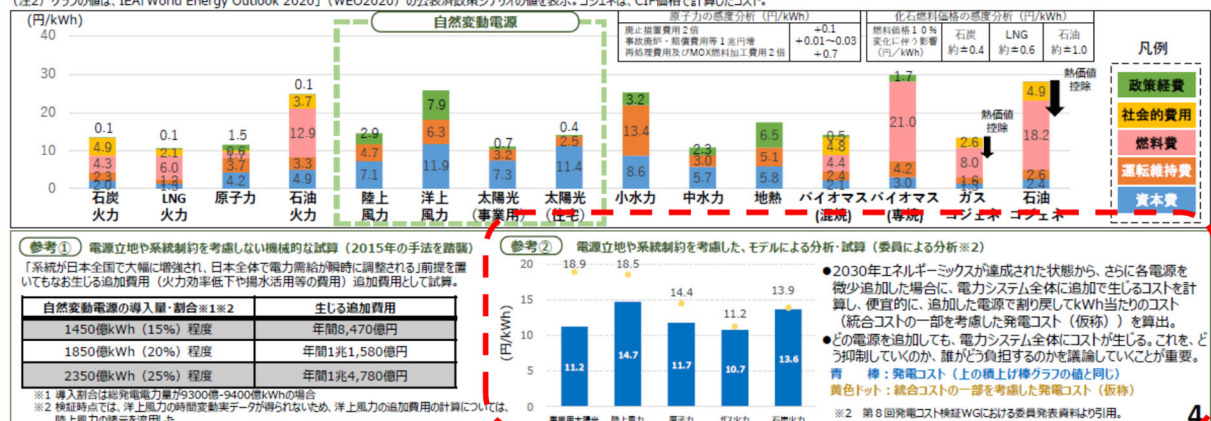
均等化発電原価(LCOE)は、標準的な発電所を立地条件等を考慮せずに新規に建設し所定期間運用した場合の「総発電コスト」の試算値。政策支援を前提に算出するべき性能や価格目標とも一致しない。

1. 各電源のコスト面での特徴を踏まえ、どの電源に政策の力点を置くかといった、**2030年に向けたエネルギー政策の議論の参考材料**とする。
2. **2030年に、新たな発電設備を更地に建設・運転した際のkWh当たりのコストを、一定の前提で機械的に試算。**
(既存の発電設備を運転するコストではない)。
3. 2030年のコストは、燃料費の見通し、設備の稼働年数・設備利用率、太陽光の導入量などの**試算の前提を変えれば、結果は変わる。**
4. 事業者が**現実**に**発電設備を建設**する際は、ここで示す**発電コストだけでなく、立地地点毎に異なる条件を勘案して総合的に判断**される。
5. **太陽光・風力(自然変動電源)の大量導入により、火力の効率低下や揚水の活用などに伴う費用が高まるため、これも考慮する必要がある。**
この費用について、今回は、系統制約等を考慮しない機械的な試算(参考①)に加え、**系統制約等を考慮したモデルによる分析も実施し、参考として整理**(参考②)。

電源	石炭火力	LNG火力	原子力	石油火力	陸上風力	洋上風力	太陽光(事業用)	太陽光(住宅)	小水力	中水力	地熱	バイオマス(混焼, 5%)	バイオマス(専焼)	ガスコジェネ	石油コジェネ
発電コスト(円/kWh) ※()は政策経費なしの値	13.6~22.4 (13.5~22.3)	10.7~14.3 (10.6~14.2)	11.7~ (10.2~)	24.9~27.5 (24.8~27.5)	9.9~17.2 (8.3~13.6)	26.1 (18.2)	8.2~11.8 (7.8~11.1)	8.7~14.9 (8.5~14.6)	25.3 (22.0)	10.9 (8.7)	17.4 (10.9)	14.1~22.6 (13.7~22.2)	29.8 (28.1)	9.5~10.8 (9.4~10.8)	21.5~25.6 (21.5~25.6)
設備利用率	70%	70%	70%	30%	25.4%	33.2%	17.2%	13.8%	60%	60%	83%	70%	87%	72.3%	36%
稼働年数	40年	40年	40年	40年	25年	25年	25年	25年	40年	40年	40年	40年	40年	30年	30年

(注1) 表の値は、今回検証で扱った複数の試算値のうち、上限と下限を表示。将来の燃料価格、CO2対策費、太陽光・風力の導入拡大に伴う機器価格低下などをどう見込むかにより、幅を持った試算としている。例えば、太陽光の場合「2030年に、太陽光パネルの世界的価格水準が著しく低下し、かつ、太陽光パネルの国内価格が世界水準に追いつくほど急激に低下するケース」や「太陽光パネルが劣化して発電量が下がるケース」といった野心的な前提を置いた試算値を含む。

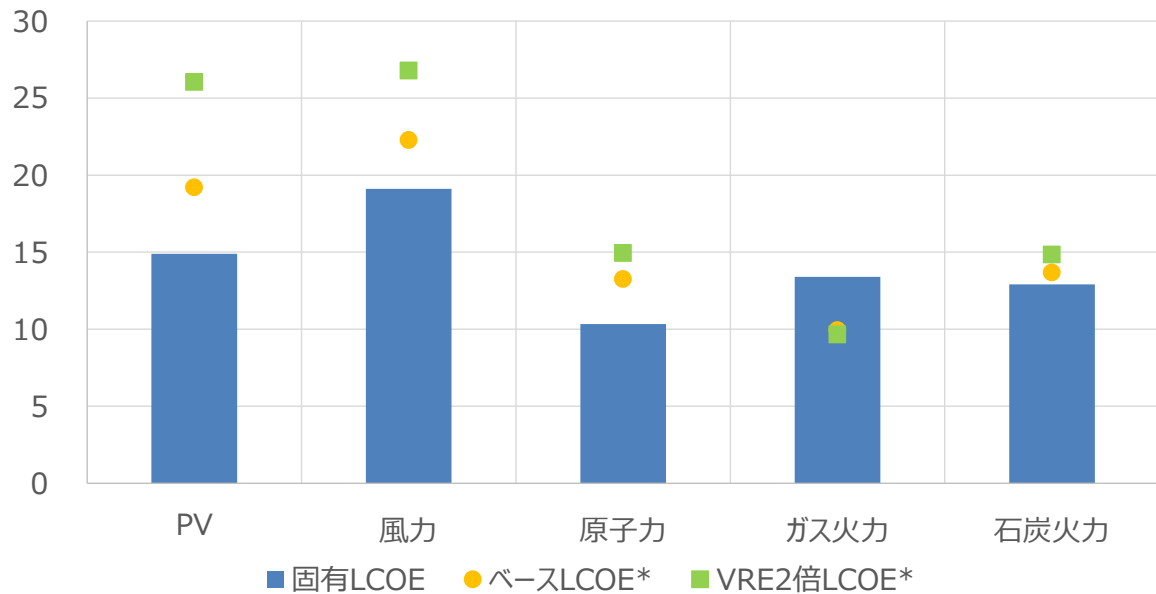
(注2) グラフの値は、IEA/World Energy Outlook 2020 (WEO2020) の公表政策シナリオの値を表示。コジェネは、CIF価格で計算したコスト。



荻本・松尾(2021)では統合費用に関して、より正確には電源別限界統合費用に焦点を当てて計算している。これは従来の発電単価(LCOE)に対し、VREの出力変動に伴うコストを明示的に織り込んで各電源の経済性を示した値であり、エネルギーミックスに依存して変化する日本のみならず、OECDや英国政府などが評価を行い、政策立案に役立てているものであるとしている。そして、この評価を行うためには、精緻な電源構成モデルが必要であるため、同分析のために株式会社J-POWER ビジネスサービスが有するMR(広域需給調整プログラム)を用いて電源構成を分析し、それに基づいて電源別限界統合費用を推計している。

このように電源、電力システムのコストに関する新たな概念の整理のために新たなモデル分析の活用が進められている。

固有LCOEとシステム統合を反映したLCOE*（円/kWh）



Base：前回2030年ミックス(2015年試算)、VRE2倍：PV・風力2倍

図 278 統合費用評価のための電源構成モデル：MR

出所：萩本・松尾(2021)、システム統合を反映した限界費用の試算

また、英国でも Enhanced levelised cost としてオリジナルの LCOE に加えて、全体システムへの影響や送電ネットワークへの影響を考慮したコスト分析を行っている。図中グレーの棒が LCOE、青い点が”Enhanced levelized cost”と呼ばれる電源別限界費用になる（下図）。

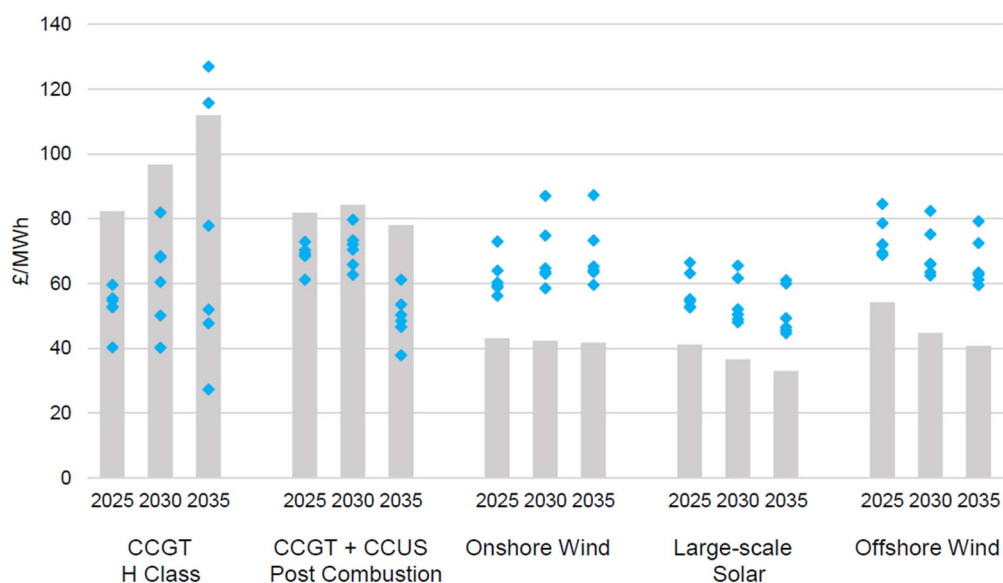


図 279 英国政府による電源別限界費用の評価

出所：BEIS(2020)、ELECTRICITY GENERATION COSTS

分析では 6 つの異なるエネルギーミックスに応じて 6 つの評価結果が示されている。同費用の分析にあたっては電源毎の設備利用率の違いが重要な要素となるため、これを計算するために BEIS の“Dynamic dispatch model”と呼ばれる電源構成モデルを用いている。これは平日・休日ごとにサンプル日を設定し、VRE の出力や季節変動をも考慮して最適な運用を計算するモデルとなっている（下図）。

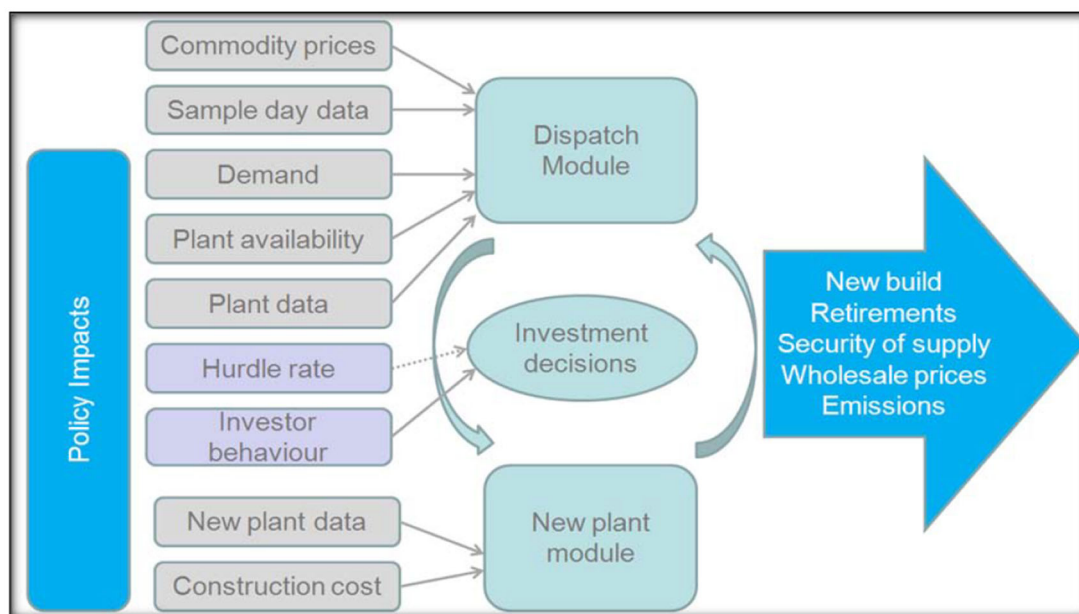


図 280 BEIS Dynamic dispatch model の概要

出所：DECC(2012)、DECC Dynamic Dispatch Model (DDM)

また、国際機関である IEA でも電源単体での LCOE を踏まえた上で、電源によるシステムへの貢献をコストに考慮した指標として Value-adjusted LCOE (VALCOE) が提示されている。これは電源別限界費用の評価指標として LCOE にエネルギー価値、容量価値、柔軟性価値を考慮することで計算される。日本、英国での検討と同様に電力システム全体での影響や貢献を加味する必要があるために、IEA では World Energy Model の一部である「標準的な 1 時間刻みの電源構成モデル」によって計算されている。

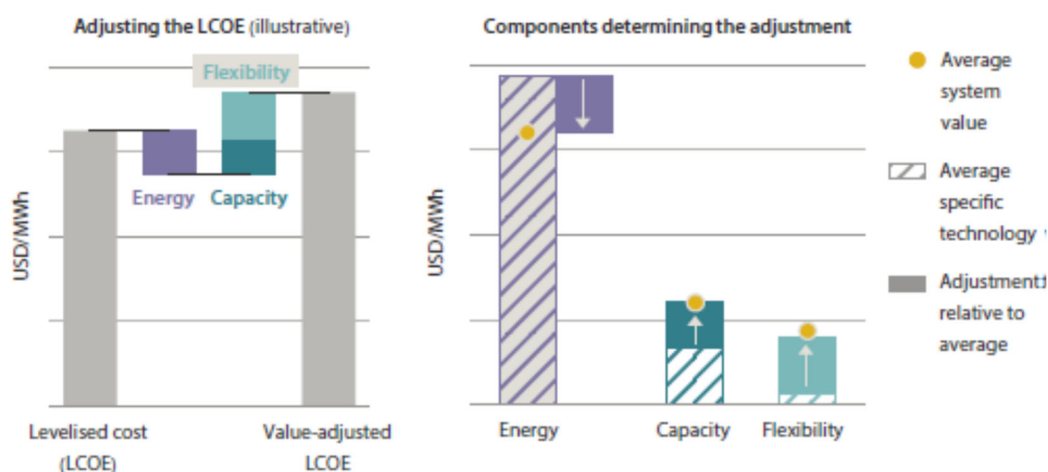


図 281 VALCOE（国際エネルギー機関:IEA）の概念

出所：IEA&OECD/NEA(2020)、Projected Costs of Generating Electricity 2020 Edition

このようにモデル分析の進化とともに、それらに関する指標の検討も進んでおり、さらに指標を明確化するためのモデル分析の活用や、モデルの開発も進んでいる。今後は電源だけでなくエネルギー全体を取り込む新たなモデル分析の実用化とあわせてこれら指標の検討も進められることで、社会的なコストを最小化するエネルギー構成のあり方の検討が進むことが期待される。

2.4.3 途上国が自律的に運用するための方策の検討

(1) モデル分析に際して留意すべき論点

3-1-1 項に述べたモデルの中で、一般にマスタープラン策定に直結するようなインプリケーションを出しうるのは、エネルギー需給モデル、電源モデルである。前者は非電力需要を含めたエネルギー需給の全体像の検討、後者は電力部門のベストミックスの検討に適する。

表 204 エネルギーモデルの種別

モデルの種類	特徴	モデル例
統合評価モデル (費用便益型)	・超長期（例えば2500年）までの将来にわたって経済・エネルギーと地球システムを簡易にモデル化。 ・全世界の超長期の効用を最大化させることにより、変動に伴う緩和・適応・被害全てを考慮した最適削減パスを算定する。	DICE、PAGE、FUND
エネルギー需給モデル/統合評価モデル	・1国モデルと世界モデルがある。エネルギー計画の策定に有用 ・一般的に電力部門の表現は粗い ・一般的なエネルギー需給モデルは2050年、2070年等までが対象。世界全体・長期（2100年など）を対象とし、気候変動モデルを含むものは統合評価モデルとしても分類される。	TIMES(MARKAL)、MESSAGE、IEEJ-NE、AIM/Enduse、DNE21+
電源モデル (設備計画型)	・電力関連部門に特化してモデル化 ・電源開発・送電線拡張計画策定に有用 ・時間解像度や個別プラントの表現が不十分なことが多い	WASP、PLEXOS、RPM、Aurora、OPGM
電源モデル (最適運用型)	・設備を固定した上で、最適な運用をシミュレート ・個別プラントの動作や非線形性も表現可能 ・特定地域を対象としたモデル化。設備計画には不向き	PROMOD、GE-Maps、PLEXOS、MR
信頼性評価モデル	・30秒～1分刻みで送電ネットワークをシミュレート ・運用可能性を確認するための潮流解析や、異常時のシステムの応答等の評価	PSLF、PSSE

↑
各国のマスタープラン策定に有用
↓

このようなモデル分析をエネルギー計画に活用する上で、留意することが望まれる主な論点を列挙する。

- (a) 発電コストの想定
- (b) VRE 導入ポテンシャル評価
- (c) VRE 出力変動データ
- (d) 電力需要の変動データ
- (e) 電力需要の柔軟性
- (f) 電力以外の部門における脱炭素化技術とセクターカップリング
- (g) 評価結果の示し方（経済影響等）

これらの要素には不確実性、及びデータの入手可能性等の問題が付随し、完全な想定は存在しない。合理的に実行可能な範囲で精度を高めることが望ましい。いくつかの論点について補足を以下に記す。

(c) VRE 出力変動データ

地点別の風速、日射量などから再生可能エネルギーの出力変動データを推計する。また複数地点で異なる出力パターンを利用することで、より実践的な評価となる。

当然、風速や日射量の推移は年ごとに異なり、それに伴いモデルによるアウトプット（必要な対策やコスト）には差異が生じる。複数年の気象データに対し試算を行うことで、計画の頑健性を高めることが望ましい。

ただし、この影響を評価した分析は 2020 年頃以降の学術論文には複数見られるが、政策決定の場で広く利用されるには至っていない。

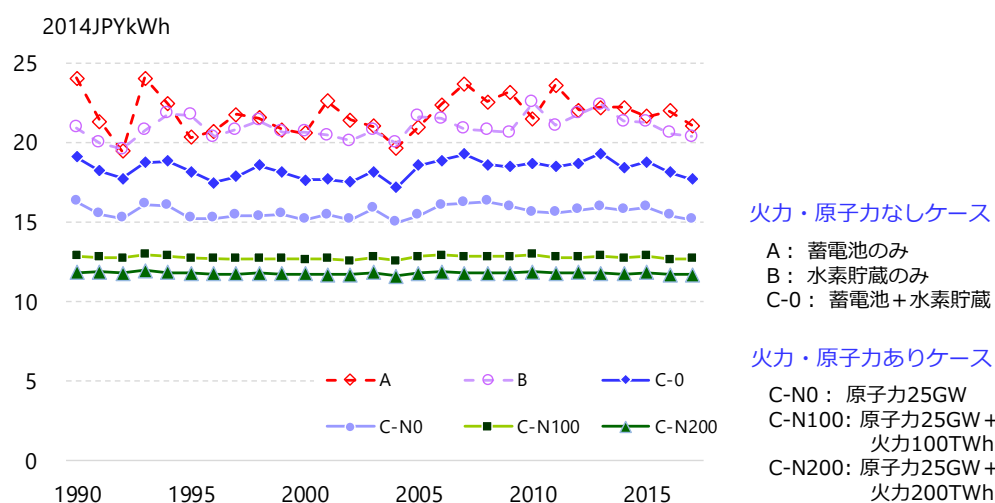


図 282 適用気象データによる発電コストの変化

出所：Y. Matsuo et al. (2020), Applied Energy, 267, 113956.

(d) 電力需要の変動データ

途上国では1時間刻み、通年の電力需要曲線を得られない場合がある。このような場合、季節、天候で代表日を作成して分析することが次善の策である。また、数十年後の需要曲線の変化を想定することは困難であり、現状を出発点としつつ可能な範囲で分析することとなる。

(e) 電力需要の柔軟性

将来、電力需要がより柔軟になることにより、VRE の出力変動を吸収し、導入拡大に伴うコストを低減し得ることが想定される。これに関するモデルの精緻化は現在のモデル改良（学術論文ベース含む）の課題の一つである。

需要側の主な需要調整手段は、①電気自動車、②ヒートポンプ給湯器、③エネルギー貯蔵システム[蓄電池、揚水、水素、蓄熱]、④その他に大別される。これらを模擬する手法については、研究者・分析者によって需要側の柔軟性の一部が個別に設定されている段階であり今後議論が進むものである。

電気自動車については系統への逆潮流（VtoG）と、「単日制約」が論点となる。後者について、自動車に搭載するバッテリーすべての容量を、電力側の都合で柔軟に利用可能とは言えず一定の制約を考慮する必要がある。一つの手法として「単日制約」と呼ばれる、0時の貯電量が次の日の0時の貯電量と等しくなると想定を置くものがある。IEEJ-NE Japan モデルによる、VtoGの可否、単日制約の有無別のシミュレーション結果を下図に記す。これらの制約が厳しければ電気自動車を需給調整手段として用いることが困難になり、代わりに圧縮水素貯蔵や蓄電池の導入量が高まる。

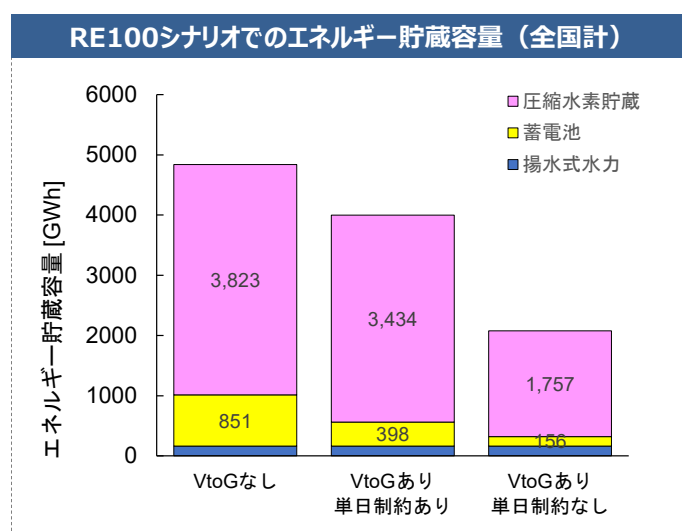


図 283 エネルギー貯蔵容量（2050 年、再エネ 100%シナリオ）

出所：第 46 回 総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会資料

(g) 評価結果の示し方

評価結果を解釈する上で、温室効果ガスの限界削減費用は脱炭素の難易度を評価する一つの指標となる。例えば、IEEJ-NE モデルであれば、2050 年までに日本で CO₂ 排出量をゼロとする場合の限界削減費用（炭素価格に相当）は 6 万円/tCO₂ 程度となる。これは現行の削減費用や、各国の炭素価格と比較しても有意に高い水準といえる。

また、欧州の 2050 年シナリオ⁷⁷²では、2050 年までに GHG を 80%削減するシナリオでは炭素価格が 250 ユーロ/tCO₂、100%削減するシナリオでは 350 ユーロ/tCO₂程度となる。後者は経済モデルを用いて GDP への影響を複数の評価モデルを用いて検討しており、その幅を-1.30%～+2.19%と試算している。

(2) 途上国が自律的に運用するための方策の検討

これらの論点を踏まえた上で、途上国が自律的に運用するための方策について検討を行った。モデル分析を進めるにあたって検討すべき上記の論点は、(a) PV・風力の時間変動や導入可能量、電力需要の時間変動等、再エネ大量導入の分析のために必要なデータ、(b) 実施主体及び人的リソース（国内の政府機関・研究機関等あるいは国外のコンサルタントの活用）、及び(c) 適切な推進体制の構築（脱炭素化に向けた国のエネルギーミックスの定量的な評価や主要課題の検討状況）、の 3 点に集約される。

⁷⁷² EC, “Clean Planet for all”
https://ec.europa.eu/clima/sites/default/files/docs/pages/com_2018_733_analysis_in_support_en_0.pdf

3. 協力プログラムの策定

3.1 現地調査対象国の現状分析

3.1.1 各国の分析を踏まえたロードマップ案

(1) インド

➤ 供給

インドの供給側について既存の火力発電、再生可能エネルギー、バイオエネルギーの観点から低炭素の取組や政策動向等に係る現状と課題、対策、他ドナーの支援状況を表にまとめた。分析結果を基にロードマップをまとめた。

表 205 既存の火力発電の分析結果

現状	課題	対策	他ドナーの支援
発電部門における石炭火力の割合が大きい。石炭火力は比較的新しく、国内石炭資源の有効活用の観点からも一定程度の石炭火力使用の継続が見込まれる。	石炭火力の低炭素化 AGC機能の活用 →既存の石炭火力は稼働年数が平均15年とまだ新しく、平均効率は35%と低効率	- 複合アプローチによる石炭依存度低減。 - バイオマス混焼、アンモニア混焼、高効率ガス火力、長期的には水素活用 - 電力市場の整備 - 電力融通（GC整備）による地域大での低炭素化 - 火力発電所全ユニットをAGCに接続することによる調整力の強化 【短期：～5年】 - 火力の環境対策・高効率化 - 電力市場の整備 【中期：5～10年】 - 火力の環境対策・高効率化 - 電力融通 【長期：10～20年】 - 火力発電における水素・アンモニア混焼（実用化） - CCS/CCUS - 電力融通	India-US Clean Energy Agenda 2030 Partnership ✓ 米国とインドは、新たなハイレベルパートナーシップ「米印気候・クリーンエネルギーアジェンダ2030パートナーシップ」を立ち上げた（2021.4）。 ✓ 資金を動員してクリーンエネルギーの展開を加速し、産業、輸送、電力、建物などの部門の脱炭素化に必要な革新的なクリーン技術の実証・拡大し、気候関連の影響のリスクを測定、管理、適応するための能力を構築することを目的としている。 ✓ このパートナーシップは、パリ協定の目標を達成するための二国間協力を想定しており、「戦略的クリーンエネルギーパートナーシップ」と、「気候変動対策と資金動員に関する対話」の2つの主要トラックに沿って進められる予定である。 - 石炭火力発電所の最低出力低減（50%→40%）にむけたパイロット事業 @Gujarat(USAID) - 石炭火力の脱炭素化、CCUSの調査(ADB)

表 206 再生可能エネルギーの分析結果①

現状	課題	対策	他ドナーの支援
再エネ電力の増加により、一部の州では電力系統への影響が懸念される。	- 再エネの系統統合に向けた系統整備・高度化 - 大幅なダックカーブ対応 - 連系線の過負荷対応 - 慣性力の維持 - 送変電設備の容量不足対応 - 周波数・電圧変動対応 - VRE予測	【短期：～5年】 - 系統安定化（可変速揚水、蓄電池、EV等活用、ピークカット・ピークシフト、送変電設備拡充、送配電インフラ整備及び維持管理、連系線拡充（電力融通）、系統計画・運用の高度化、火力発電機等のAGC機能活用、VRE予測手法高度化、電力系統安定化システムの導入）（再エネ導入の大きい特定の州から） 【中期：5年～10年】 - 系統安定化（同上）（全国規模） - 連系強化（国内、国際） 【長期：10年～20年】 - 電力融通	- グリーンコリドー計画（ドイツ） - 太陽光・風力ハイブリッドRE、FSPV + BESS実証・商業化支援@Andhra Pradesh (WB) - 北部地域にグリーンエネルギー回廊送電システムの拡大、西部・南部地域系統間の送電相互接続容量拡大@Nation wide - 送配電インフラ強化@Jharkhand, Andhra Pradesh, Uttarakhand, Rajasthan, Madhya Pradesh, Uttar Pradesh (WB, ADB), 配電網強化・近代化、スマートメーター導入@Meghalaya (ADB) - 農村部における高電圧配電ネットワークの設置、変電所増強等@Maharashtra (ADB) - 変電所改善、増強@Bengaluru, Assam (ADB) - 州内の送電網整備・変電所設置@Tamil Nadu (sADB) - メガソーラー、ソーラーパークなどからの送電システム導入@Rajasthan、Nation wide (ADB, WB) - Odisha州（電力余剰あり）とTamil Nadu（エネルギー不足）の送電プロジェクト（ADB） - 大規模ソーラーパーク、ウィンドパークに活用するため、再エネ開発庁に5億ドルのファンドを供与。(ADB) - 変電所の自動化支援@Andhra Pradesh (WB)

表 207 再生可能エネルギーの分析結果②

現状	課題	対策	他ドナーの支援
再エネ電力の増加により、一部の州では電力系統への影響が懸念される。	- 電力系統に関する調査、投資計画作成、入札のための技術仕様書を準備する人材の育成	- 電力系統改善のためのプラン作成支援、技術仕様書作成支援	- 送電ネットワーク改善のためのネットワークプラン作成（ウッタラプラデシュ、メガラヤ）、メガラヤの小水力発電施設のセーフガード・デューデリジェンスの確保、スマートメータ仕様書作成支援等@Nation-wide, Meghalaya, Tamil Nadu, Uttar Pradesh - 配電設備投資にかかる財務、技術等のDD実施@Maharashtra (ADB) - 公的金融機関(Punjab National Bank)を通じた仲介モデル構築。(ADB)
	- 電源建設や発電所維持のインセンティブを与える容量市場の開設 - アンシラリーサービス市場設立 - 配電事業者の財務・経営パフォーマンス改善	- 発送電分離、自由化（未対応の州） - 容量市場創設、アンシラリーサービス市場創設のための規制環境等の整備	- 送配電事業者キャパビル、スマートメータ調達、ICTによるコスト最適化、システム導入等@Jharkhand, Andhra Pradesh (WB) - 配電事業者の能力強化（経営改善、信用力強化、環境モニタリング能力、ネットワーク管理能力等）@Rajasthan, Bengaluru, Uttar Pradesh, Himachal Pradesh (WB, ADB) - システムオペレータ向けの技術支援実施、送配電系統へのBESS導入@Puducherry, AGC利用・動的電圧制御（Karnatakaの水力発電所、Andhra PradeshのNTPCのSolar PV）、市場改革のパイロット活動（他@Tamil Nadu, Rajasthan, Gujarat, Maharashtra) (ADB)
	- 用地の確保	- Floating solar PV (FSPV) 導入 - Rooftop solarの設置	- FSPV導入@Andhra Pradesh (WB) - ソーラーエコシステムのTAとしてRooftop solar設置プログラムに5億ドルのローンを供与（ADB）
	- P to X（Power to Gasなど）導入	- P to X 施設実証・商用化支援 - 水素サプライチェーン構築支援	-
	- 電力貯蔵の拡大（蓄電池、揚水）	- 蓄電池産業支援 - 揚水発電所の開発、運用強化	- SBI(State Bank of India)への融資を通して、蓄電池関連の事業のクレジットライン引上支援を実施。バッテリーメーカーにインセンティブを与える（Production Linked Incentive Scheme）。(WB)

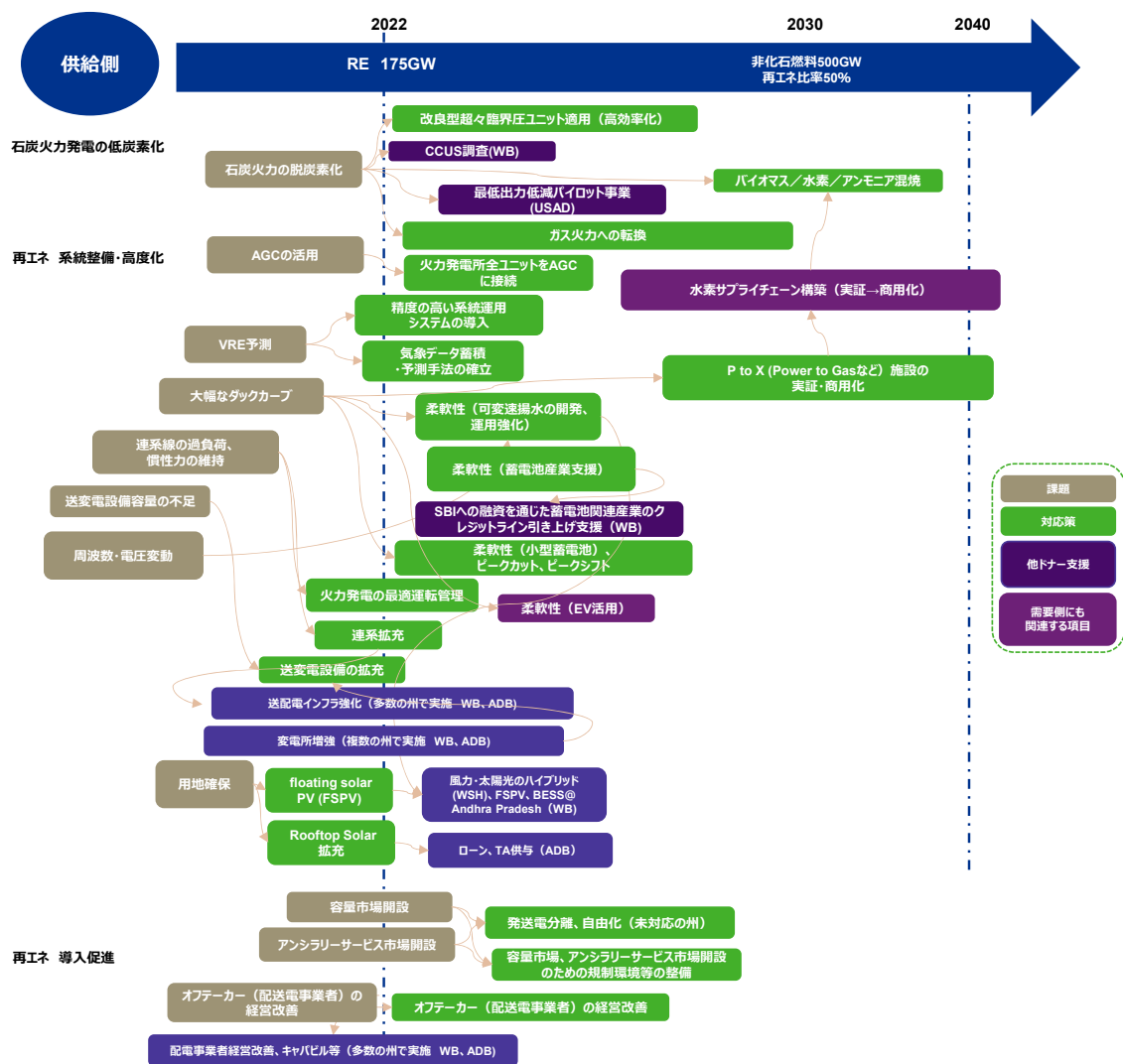


図 284 石炭火力発電と再生可能エネルギーのロードマップ

表 208 バイオエネルギーの分析結果

現状	課題	対策	他ドナーの支援
- ガソリンまたはディーゼルへのバイオ燃料混合を推進（特にガソリンへのバイオエタノール混合）	- バイオ燃料製造に関する技術仕様確立 - 材料のサプライチェーン構築 - バイオ燃料の認知度向上	- 実証事業の実施 - バリューチェーン構築 - バイオ燃料に関する広報活動	- バイオエタノール実証プラントに関する開発スキーム、圧縮バイオ天然ガス実証プラントに関する開発スキーム、バイオディーゼル実証プラントの開発スキーム（調理油をバイオディーゼルへ）へのTA、女性の参加を促すバイオ燃料バリューチェーン構築@Nation-wide, Gujarat, Haryana, Uttar Pradesh(ADB)
	- 経済的インセンティブの拡充（他の用途に使う方が経済性が高い）	- バイオ燃料推進の経済的インセンティブの拡大（補助金、税制）	—
	- EBP導入に伴うエタノール需要拡大に対する国内供給量拡大	- バイオエタノール供給力の強化 - 製造能力拡大 - 第2世代バイオ燃料の開発	—
- バイオマスコジェネ、バイオマス発電、バイオガス発電の促進	JICAインド事務所様で別途調査	JICAインド事務所様で別途調査	—

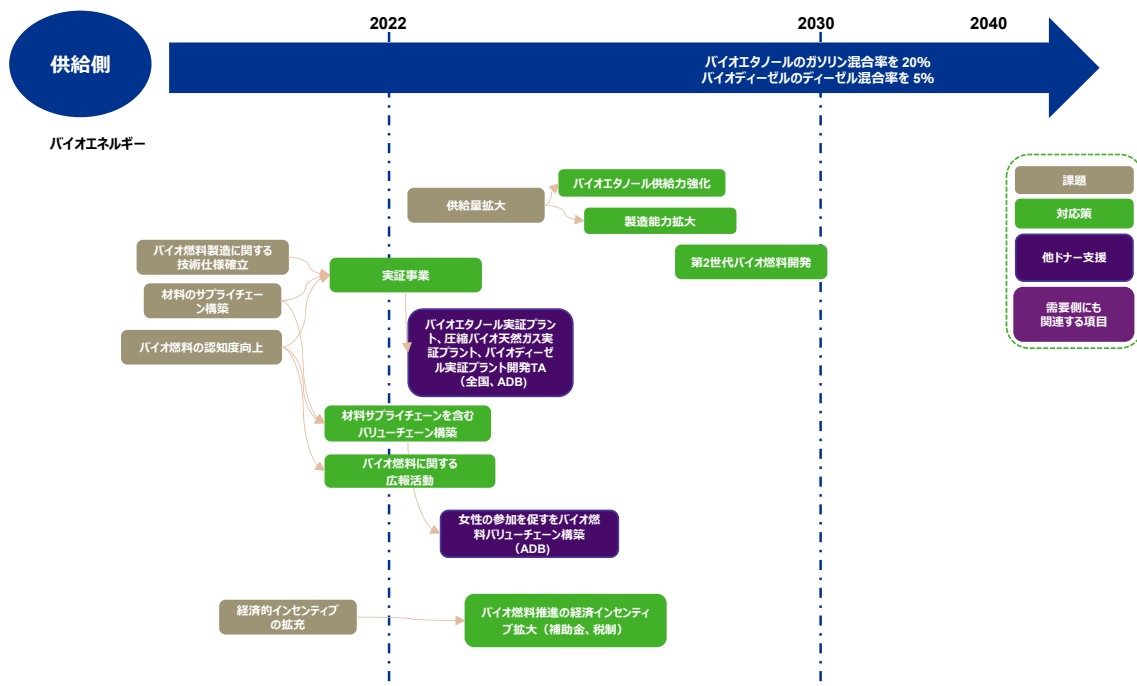


図 285 バイオエネルギーのロードマップ

➤ 需要

インドの需要側を産業・商業セクター、運輸交通、都市開発の3つに分け、それぞれにおける現状、課題、対策、他ドナー支援と低炭素化に向けたロードマップをまとめた。

表 209 産業・商業セクターの分析結果

現状	課題	対策	他ドナーの支援
- 最終エネルギー消費における産業部門の割合は38%であり、石炭および電力の利用が中心である。 - 石炭は主に製鉄・セメント産業で使われており、その他産業では電力の利用が中心である。	- 産業プロセスの電化推進 - 省エネ機器利用促進、建物等の省エネ	- 化石燃料燃焼ボイラからの熱供給をヒートポンプへの転換（電化）。 - 必要とされる熱の温度が比較的低い軽工業（食品加工など）でのヒートポンプ活用 - 機器の高効率化、未利熱利用コジェネ、廃熱、蓄熱等）、FEMS - 建物に関する既存規制の普及・厳格化による高効率機器（冷暖房、給湯、照明等）の導入促進（⇒都市開発へ） - 上記の省エネ投資のための融資のためのファシリティ・ファンド創設、ブレンデッドファイナンススキームの適用	- 公共街灯へのEE投資（SLNPプログラム）、ビジネスモデル開発（空調、農業需要側管理、建物EEプログラム）支援（WB） - 繊維産業工業団地で廃熱の回収・利用の支援@Tamil Nadu(USAID)
- 省エネ法で各種制度を整備している。各規制の普及・厳格化に向けては、規制の範囲をエネルギー消費量の大きい企業から、中小消費量の企業へ広がっていくことが必要。	- 零細・中小企業の認識の向上	- 省エネ機器の導入支援（機器の紹介） - 省エネ教育（無料省エネ診断、講師派遣等）、実施方法の監査、ベストプラクティス集の作成、ESCOサービスの紹介	意識向上、キャパビル、高度なEE技術のMSME導入のための実証など、KPI設定によるEE知識の拡大（@Hyderabad, Varansi, Dehraun, Ludhiana, WB)
	- ESCOサービスの利点に対する意識の向上 - アセットオーナー、金融機関が省エネ投資に積極的でない、典型的なESCOの契約方式の認知向上 - 財務的に脆弱なESCOの財務改善、資金調達力向上	- ESCOサービスの契約方式、融資などについてのセミナー、トレーニング - ESCOの財務管理能力向上	- EESLのキャパビル、EEセグメントのビジネスモデル開発支援（全国、WB）
	- 零細・中小企業の省エネ投資の促進、融資の促進	- 融資のためのファシリティ・ファンド創設金融機関のキャパビル	- 部分保証ファシリティの創設、法務DDなどの技術協力（全国、WB）
- インドは製鉄・化学肥料（アンモニア）・石油精製など重工業にも国際的な競争力を持ち、今後も産業として更なる発展が期待されるが、既存の技術では低炭素化が難しい。 - 都市化、人口増により建設資材であるセメント需要は2倍以上、鉄鋼需要はほぼ3倍になると想定されている。	- 製鉄・化学肥料（アンモニア）・石油精製などの重工業の水素技術を用いた低炭素化 - 製鉄業におけるオペレーション改善	- 水素還元製鉄 - グリーン水素原料によるアンモニア製造 - グリーン水素を活用した水素化精製（脱硫）等 - 日本鉄鋼連盟と連携し、オペレーション改善、低炭素技術導入のための専門家の派遣	

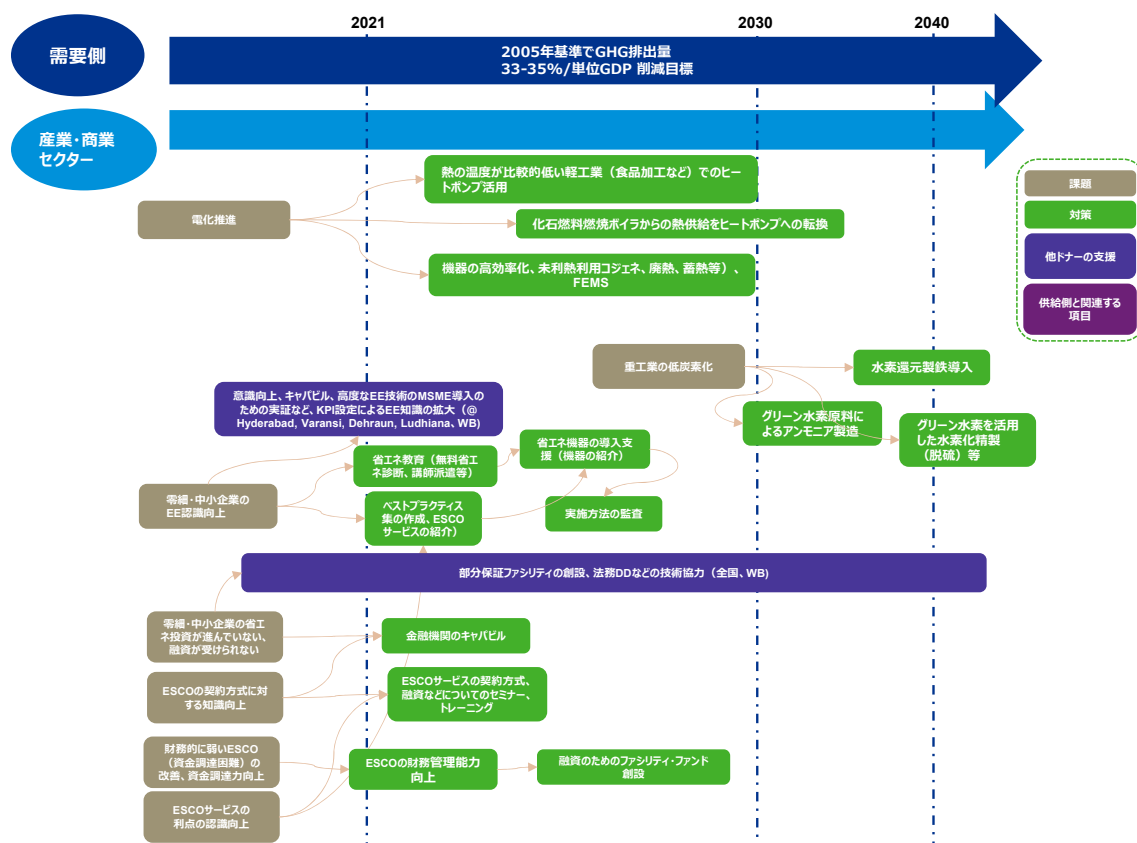


図 286 産業・商業セクターのロードマップ

表 210 運輸交通セクターの分析結果①

現状	課題	対策	他ドナーの支援
- 近年の需要増加率は他セクターと比べて最大の伸び率 - ストック車両の4分の3以上が2・3輪車である一方、CO2排出量が大きいのは乗用車やトラックである。 - National Urban Transport Policy（2006年策定、2014年改訂）の下で、運輸・交通部門からのGHG排出量緩和のため、公共交通機関、自転車、徒歩、エネルギー効率が高くクリーンな燃料の利用を推奨。都市計画段階で交通交通を重要なパラメーターとして織り込むこと、公共交通を都市大・安全・シームレスにすること、徒歩や自転車を都市交通の安全な手段とすること、ITSの導入などを目標として掲げる。公共交通としてMRTへの投資促進に言及。 - インド鉄道は2023年までに全路線の電化完了を目標	公共交通（鉄道）へのモダリティシフト	- 鉄道電化の促進 - 既存路線の近代化、主要幹線のボトルネック解消に向けた投資（既存路線の延伸、新規路線の建設など）、都市間高速鉄道の建設 - 手頃な鉄道運賃やサービス・安全性の向上を維持するため、土地開発還元（LVC）などを利用した収益確保、必要に応じた政府補助金拠出 - 道路および航空輸送に関する税控除撤廃といった他輸送モードとの調整 - FC鉄道導入	鉄道省とCarbon neutralityについても協力を開始。鉄道の脱炭素化に向けたRoadmap作成、その後の実施に向けた協力。（USAID）
- 近年の需要増加率は他セクターと比べて最大の伸び率 - ストック車両の4分の3以上が2・3輪車である一方、CO2排出量が大きいのは乗用車やトラックである。 - 自動車による大気汚染を問題視しており、2020年4月にはインド全土で自動車排ガス基準バーラト・ステージVI（BS-6、EURO VI相当）を導入した。	代替燃料（特にバイオ燃料）の利用	- バイオ燃料推進の経済的インセンティブの拡大 - バイオエタノール供給力の強化 - 製造能力拡大 - 第2世代バイオ燃料の開発	—
	トラック、バスなどの商用車の化石燃料利用削減	- 商用車の電化 - FCトラック、FCバス導入（長期的な対策） - 商用車用大型水素ステーション整備	—
EVの普及			

表 211 運輸交通セクターの分析結果②（EV 普及促進）

現状	課題	対策	他ドナーの支援
<EV普及促進> - BEEが主導するGo Electric campaign開始（2021～） - 2020年までにインドにおけるxEVの販売台数を600万～700万台に漸増させる（大半は電動二輪車、HEVとBEVが続く）ための各種政策統合（NEMMP2020） - BEV、HEV、PHEVに対する購入補助金給付やインフラ等への設備投資を行っている。バスの電化やEV充電ステーションの拡充にも言及。 - 各州が独自でEV普及につながる施策を実施。 - FAME IIが適用され（2019.4～）、1,000億ルピーの予算が、xEV購入時のインセンティブ（予算の約86%）および充電インフラ導入支援に充てられる。 - 製造業振興政策「Make in India」の一環として、EVやリチウムイオン電池の国産化にも力を入れている。現状、自動車用リチウムイオン電池はほぼ全量が中国などからの輸入であるが、近年、地場大手の二次電池メーカーが外資系企業と提携し、EV用リチウムイオン電池の開発に着手している。日本企業の進出も見られる。 - 公共交通利用率が40～45%であるが、「Smart Cities Mission」の下で60～70%まで高めることを呼び掛け。 - 公共交通の電化。EV販売台数に占めるE-バスの割合は0.36%に留まる（2021年）	- E-バス導入の促進	- E-バス調達の支援 - E-バスのサブスクリプションビジネスモデルの形成	—
	- EV関連技術開発促進	- EVやリチウムイオン電池の国産化 - 急速充電に対応したEVの国内販売	- EV及び10,000台生産及びチャージスポット設置（全国、ADB） - EV促進の統合開発プラン策定、蓄電池開発ロードマップ策定TA（全国、ADB） - E-mobilityに関するエコシステム（投資環境整備）の発展について、QII（Quality Infrastructure Investment）がインド向けの活動のプロポーザルを作成中（全国、ADB）
	- 蓄電池の生産能力向上、リユース促進	- リチウムイオン電池国産化 - バッテリー試験センター設置 - 蓄電池原材料の供給確保、リサイクル技術の確立・コスト低減 - 蓄電池のリユース、蓄電池スワッピングビジネスの形成、蓄電池に関する基準の策定	
	- EVの価格低減・購入補助等による販売促進	- EV購入補助金給付 - EV購入ローンを対象とした所得税の控除 - EVの一部部品に対する関税の撤廃	- 500台のEV調達のためEESLへ助成（全国、ADB） - ADB助成金から500万ドルを活用し、EESLはTATAと現代自からEV250台を調達、中央政府・州政府の公用車を代替（全国、ADB）
	- 充電インフラの設置	- EV充電ステーションの拡充 - 職場充電への政策支援 - 負荷上昇を考慮した設置場所の最適化 - インフラ等への設備投資	- EV及び10,000台生産及びチャージスポット設置（全国、ADB）
	- 系統接続 ⇒供給側と共通	- 送配電網の負荷上昇の管理に関する規制やガイドラインの策定（送配電網側、充電インフラ側の双方） - インフラ更新・拡充の計画・財源確保 - 電力市場へのEV参加を可能とする市場設計（デマンドレスポンス）	- EV促進の統合開発プラン策定、蓄電池開発ロードマップ策定TA（全国、ADB）
			—

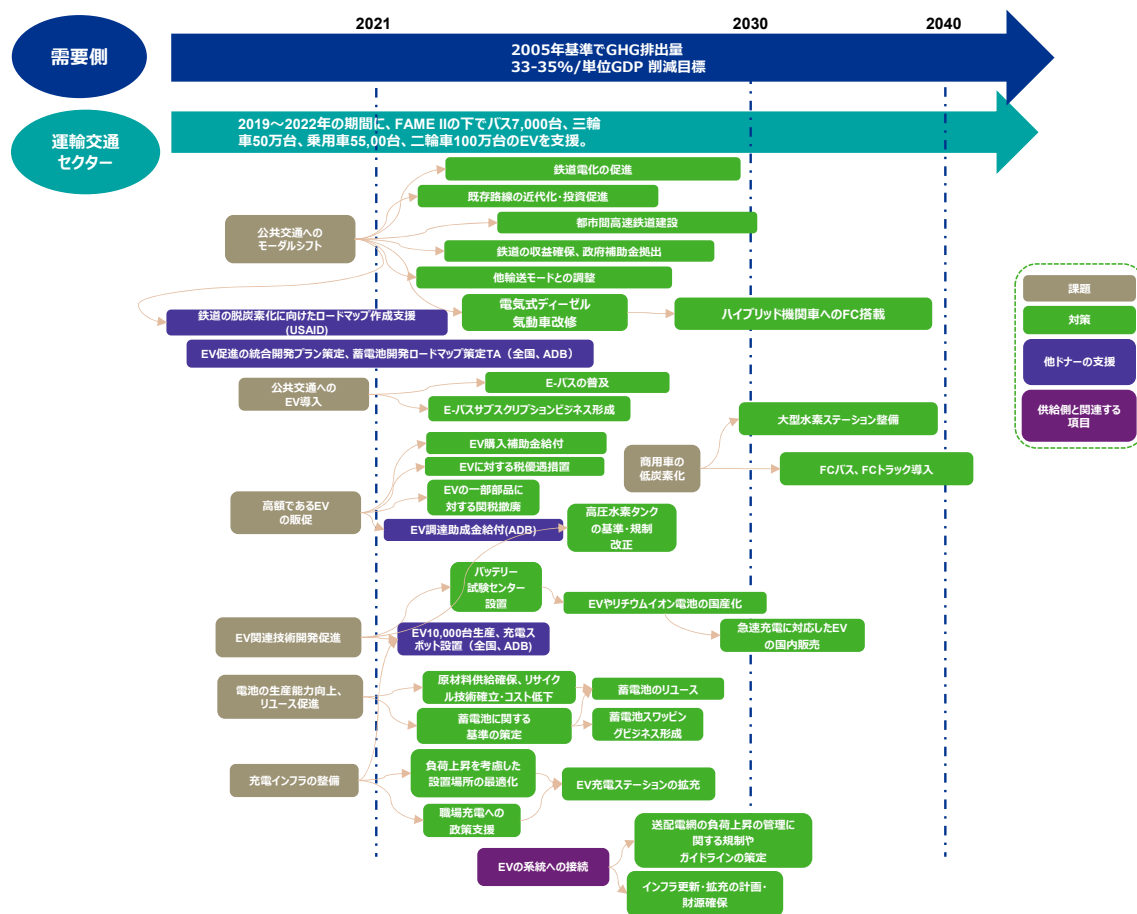


図 287 運輸交通セクターのロードマップ

表 212 都市開発セクターの分析結果

現状	課題	対策	他ドナーの支援
- (住宅) 地方部の家庭用エネルギーとしては伝統的バイオマスが非常に多く使われている	薪利用からLPG利用への転換に伴う化石燃料利用の増加	- 地方部の電化 - クリーンな調理器具の普及	-
- (住宅) 都市化、家電製品の普及に伴い電力需要が増加	建物の電力需要の増大に伴うGHG排出の抑制 (2040年までにエアコン需要は6倍という予想)	- 住宅における省エネ管理や省エネ基準の強化・普及 - 家電製品における効率基準、ラベリング制度の強化・普及 - 上記のような制度の普及に向けた、インセンティブの導入、企業・市民への認知度の向上 - 高効率機器普及	- 高効率な家庭用電球、シーリングファン、チューブライトを導入する (全国、ADB)
- ZEB導入にかかるパイロット事業を実施 - 冷房エネルギー消費量の伸び率が16%と世界最大であり、電力需要が高い	- 建物エネルギー消費の効率化	- 既存の省エネ基準 (ECBC2017) の普及・強化 - 冷房の省エネ推進 (規制普及・厳格化、高効率機器普及) - LEDを導入するなどによる建物内部での電力需要の低減 (規制普及・厳格化、高効率機器普及) - ネットゼロエネルギービルの普及拡大 - プレンデッドファイナンススキームを活用したZEB投資へのファイナンス	- 高効率空調システム導入のためEESLを支援 (ADB) - CIIとGreen Business Center技術支援を実施中 @Hyderabad、新規建設ビルのZEB化支援 @Andhra Pradesh、Nalanda UniversityのキャンパスにおけるZEB化支援 @Bihar州 (USAID)
- (都市開発) 「Smart Cities Mission」に基づく、各都市のインフラ整備を実施	- 道路インフラ・公共交通の整備、代替燃料車・EV普及など	- 各地域の課題・ニーズを踏まえた対策が必要 - 共通の課題である運輸交通分野の対策はp39-43を参照 - 「Smart Cities Mission」終了後の、各都市の取り組み (技術面、資金面) - 「Smart Cities Mission」選定都市以外のスマートシティ化	- 街灯への高効率LED導入、街灯の遠隔管理システム導入 (全国、ADB)

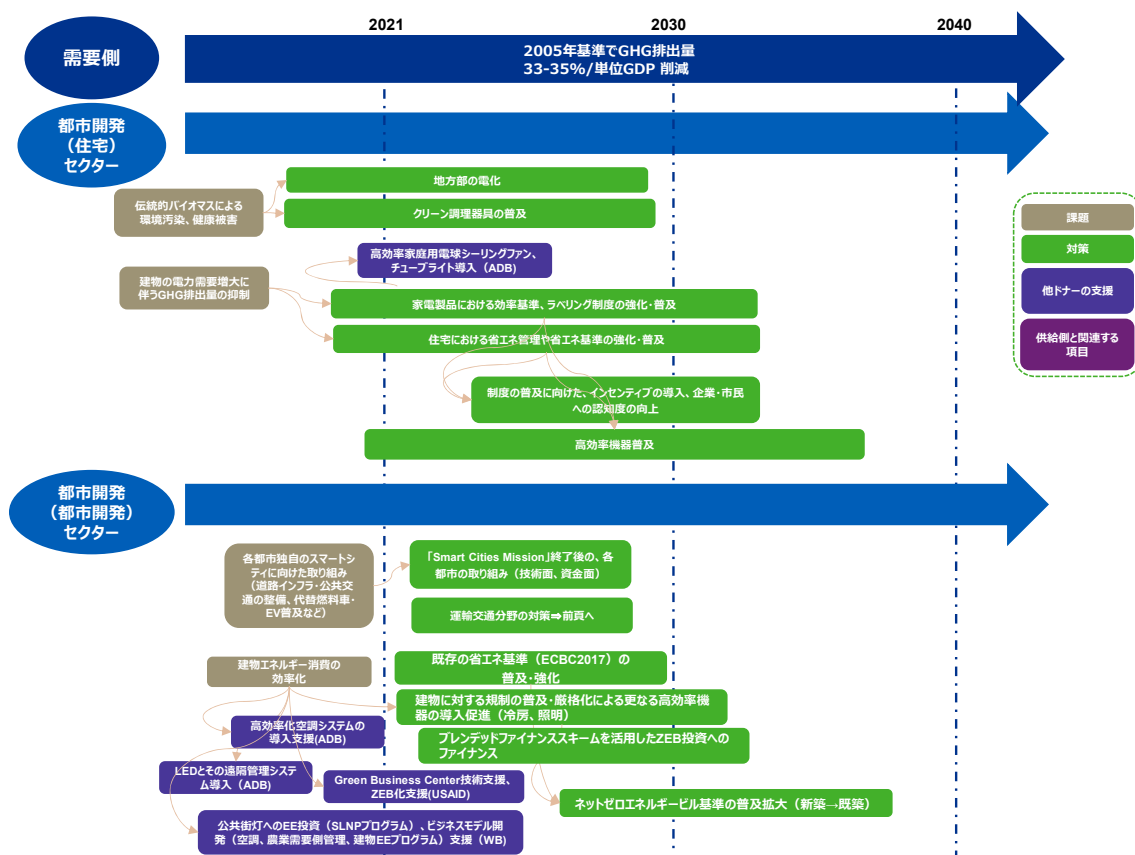


図 288 都市開発セクターのロードマップ

(2) タイ

タイにおいては、エネルギー省の重点分野を中心に「xEV/バッテリー/インフラ/インセンティブ」、「太陽光発電 (ファーム、ルーフトップ) /EES/スマートグリッド」、「水素/炭素削減技術」、「省エネ技術やカーボンニュートラルに関するその他の技術」のそれぞれにおける現状、課題、対策、他ドナー支援と低炭素化に向けたロードマップをまとめた。

表 213 xEV/バッテリー/インフラ/インセンティブの分析結果

現状	課題	対策	他ドナーの支援
• 早期の施策として、EVの利用促進、充電ステーションやバッテリー試験センターの設置促進、環境に配慮したバッテリー廃棄物管理計画の構築等を進める。 ✓ 国内に乗用車・ピックアップEV用の充電設備を1万2,000カ所、タクシー・配送業が使うEVバイク用のバッテリー交換ステーションを1,450カ所設置予定。 ✓ 金融支援・税制優遇を整備予定 ✓ スマートグリッドシステム開発に統合する上での安全基準を設定予定 ✓ EV現地生産量に合わせたバッテリー生産予定。	• 制度の整備	• 自動車の排ガス規制の厳格化 • EV利用促進（購入補助金、税制優遇） • 製造エコシステム形成、国産化推進 • バッテリー廃棄物管理計画 • 物品税再構築による国内生産奨励 • スマートグリッド統合の安全基準	• 交通セクターGHG分析、予測等支援（UNIDO） • 再エネ統合インフラ計画支援（UNIDO） • データ活用による充電ロケーション最適化（UNIDO） • EV関連スタートアップ支援（UNIDO） • EV充電ネットワークのためのグリーンローン（ADB） • タイ自動車研究所（TAI）と日本貿易振興機構（JETRO）がタイのチャチュンサオ県にEV用電池の試験センターを共同で設立することを決定
	• インフラ整備・技術導入	• 充電インフラ整備、配電システムの拡充 • 車載用蓄電池（液系LiB、全固体LiB）生産 • バッテリー試験センター設置 • 蓄電池のリユース、廃棄処理技術 • 急速充電技術 • システム運用（V2G）技術 • ビジネスモデル構築 • 公共交通機関の電化（バスなど）	
	• 自動車産業で減少した雇用機会の回復	• 労働者の能力向上	
	• 電源の低炭素化	• * 2.太陽光発電（ファーム、ルーフトップ）/EES/スマートグリッド、3.水素/炭素削減技術参照 • LCAの検討	

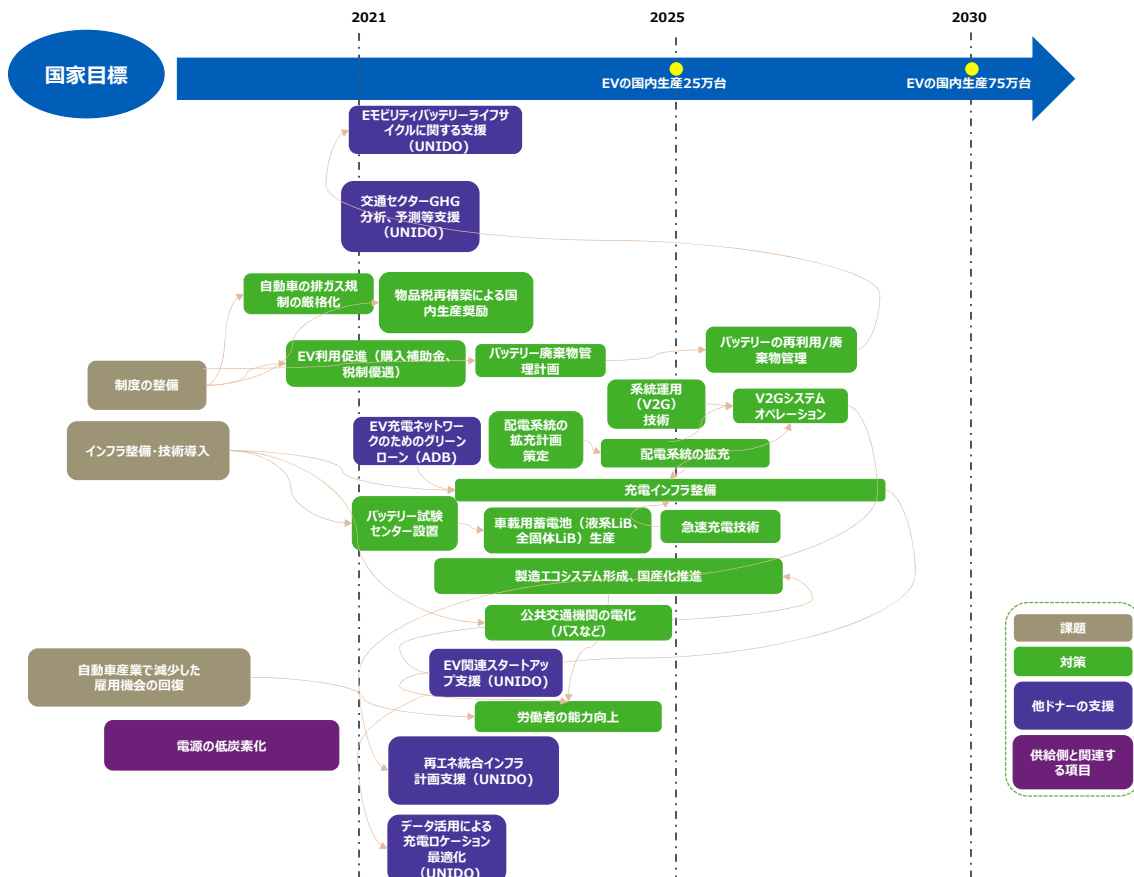


図 289 xEV/バッテリー/インフラ/インセンティブのロードマップ

表 214 太陽光発電（ファーム、ルーフトップ）/EES/スマートグリッドの分析結果

現状	課題	対策	他ドナーの支援
再エネ比率12%（2018年時点、総括表より）であるため、更なる拡大が必要。	再生可能エネルギープロジェクトに対する効果的なインセンティブメカニズムの導入	導入されていないもの - RPS（再エネ・ポートフォリオ基準） - 電力取引市場の整備 現地での導入有無について確認が必要なもの - FIP - 用地取得に関する制限緩和 - 系統接続等に関する制度（コネクト&マネージ、優先接続・給電、系統費用負担等） - 炭素価格、排出権取引 - 税制優遇、資金調達優遇、設置費用助成 - P2P電力取引	- 太陽光発電の容量追加 (ADB) - WtEプラントの建設(ADB)
	- 再エネ増大にともなう柔軟性の確保（VRE比率15%程度まで） - EGATのシステム運用におけるより高い柔軟性の確保	- 商業的・契約上のPPA構造を変更・改革する（contractual flexibility）（例：EGATのminimum-take obligationsの緩和、天然ガス調達におけるtake-or-pay条項の見直しなど） - 全国的な再エネ管理センター設立（IEA提言） - 全国統一のグリッドコード（IEA提言） - Non-Firm Accessの適用	-
	- 大幅なダックカーブへの対応 - 連系線の過負荷・慣性力の維持 - 変電容量不足 - 周波数・電圧変動幅の拡大 - 配電網の電圧サージ（Ferranti効果） - VRE予測	- システムにおける技術的な柔軟性を高める（technical flexibility） ✓ 可変速揚水、蓄電池システム ✓ 小型蓄電池、EV活用、ピークカット、ピークシフト ✓ Power to Gas（グリーン水素） ✓ 連系線の拡充 ✓ 火力発電の最適運転管理のための自動発電制御（AGC） ✓ 変電設備の拡充 ✓ 配電網や再エネ設備への静止型無効電力補償装置（SVC）等の電圧制御装置の設置 ✓ 気象データ蓄積・予測手法の確立 ✓ 精度の高い系統運用システムの導入	-
	- グリーンファイナンスへの認知度・知識不足 - 再エネへの長期・現地通貨建てファイナンス不足	グリーンボンドなど再エネ投資へのファイナンス支援	- 再エネ投資のためのグリーンローン（ADB） - 太陽光・風力への長期ローン（ADB） - 風力発電グリーンボンド発行（ADB） - 風力発電＋蓄電池へのローン（ADB）

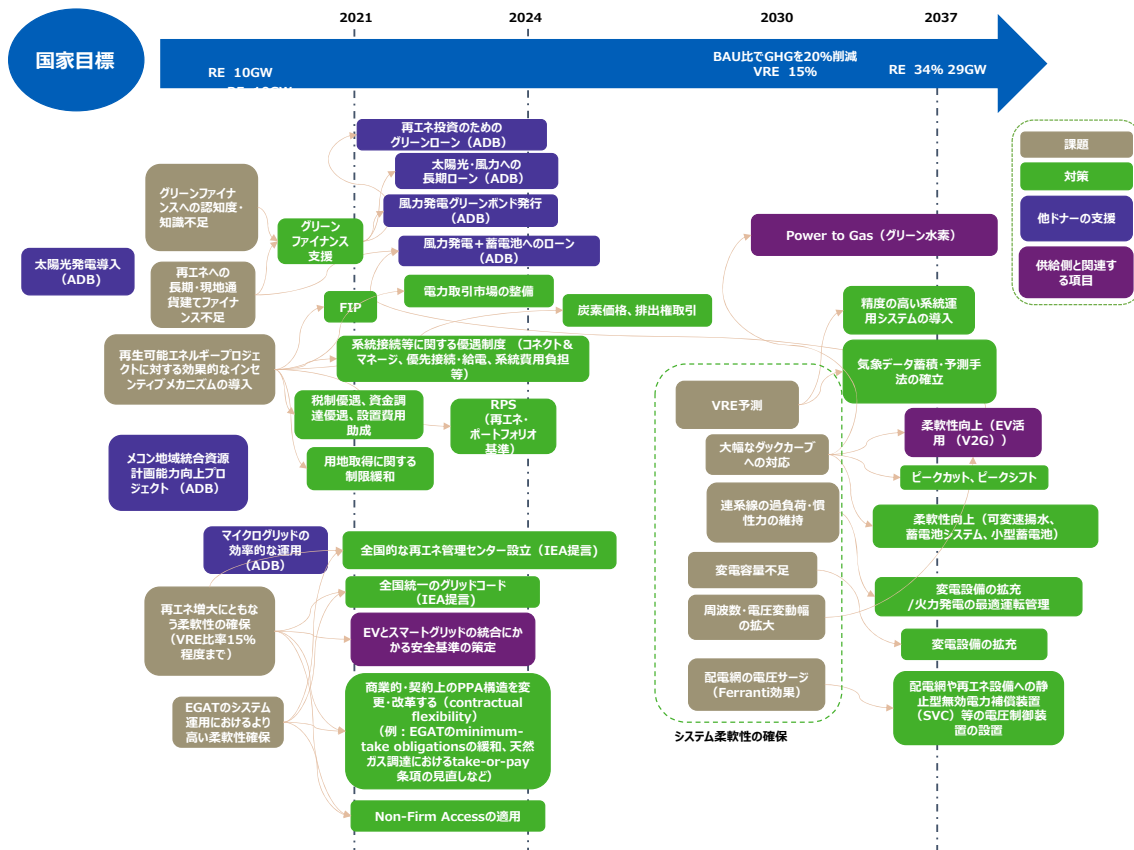


図 290 太陽光発電（ファーム、ルーフトップ）/EES/スマートグリッドのロードマップ

表 215 水素/炭素削減技術の分析結果

現状	課題	対策	他ドナーの支援
2018年における電源構成が天然ガス63%、石炭20%と化石燃料の比率が高い。	- 火力発電の低炭素化 - エネルギー転ジションにむけたロードマップが未整備 - エネルギー転ジションのための資金調達方法不足	- 水素・アンモニア混焼法 - グリーン水素の製造 - 石炭火力発電からガス火力発電への転換 - CC(U)Sの利用（AETIでは脱炭素化技術支援を実施予定） - エネルギー転換のためのロードマップ策定（AETIではロードマップの設計支援を実施予定） - トランジションファイナンスの支援（AETIではアジア版トランジションファイナンスの考え方を提示・普及させる方針）	アジア・エネルギー・トランジション・イニシアティブ（日本、経産省）

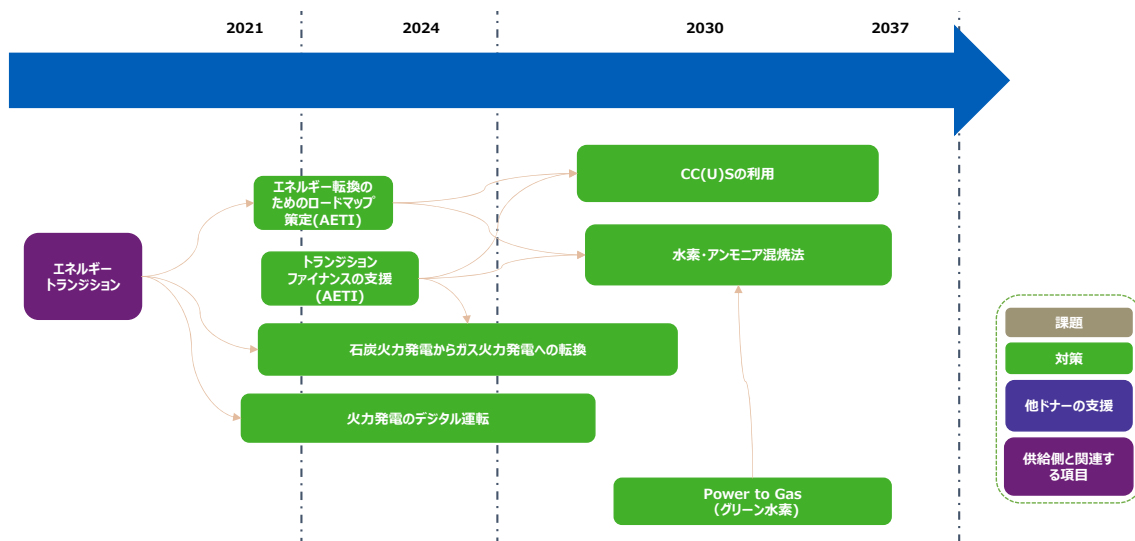


図 291 水素/炭素削減技術のロードマップ

表 216 省エネ技術やカーボンニュートラルに関するその他の技術の分析結果①

現状	課題	対策	他ドナーの支援
- 産業部門では電力および石炭、商業部門では電力の利用が中心である。 - 産業部門において、石炭が利用されているのは主にセメント産業であり、その他の産業では、電力利用が中心である。	産業部門における化石燃料削減（省エネ技術導入）	- 化石燃料燃焼ボイラからの熱供給をヒートポンプへの転換（電化）。 - 必要とされる熱の温度が比較的低い軽工業（食品加工など）でのヒートポンプ活用 - 機器の高効率化、未利用熱利用コージェネ、廃熱、蓄熱等） - FEMS - 既存の規制の普及・厳格化による建物内の高効率機器（冷暖房、給湯、照明等）の導入促進 - バイオマス利用	
- ASEANの中でも早くから省エネ・効率化に取り組んでおり、省エネ施策を促進させる上で、必要不可欠な施策は網羅できていると言える。（エネルギー管理/管理士制度、MEPS、ラベリング制度、税制優遇、省エネルギー促進ファンド等） - 気候変動法の整備準備（CO2排出量報告義務を含む）	- 対象施設の拡大（エネルギー集約度の低い企業への拡大） - エネルギー効率に関する既存の制度的取決の下、より厳しい規制の導入	- 対象企業の教育等（無料省エネ診断、講師派遣等） - 実施方法の監査 - ベストプラクティス集の作成	- HCFC消費抑制（WB） - CDMプロジェクト（WB） - 金属スクラップ業界のグリーン化支援（UNDP） - 排出権取引制度整備（WB） - SMEを対象とした再エネを用いた熱生成に関するキャパビル、教育センター、データベース等設置（UNIDO）

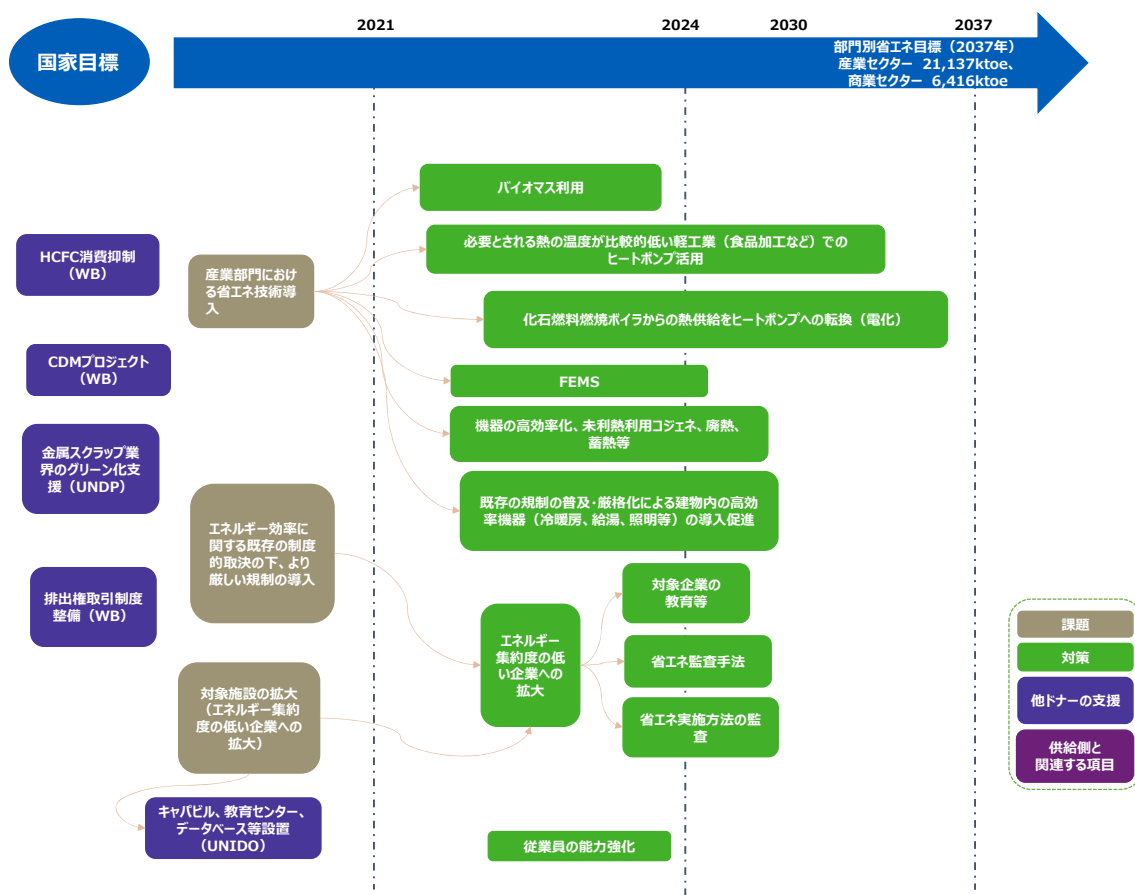


図 292 省エネ技術やカーボンニュートラルに関するその他の技術のロードマップ①

表 217 省エネ技術やカーボンニュートラルに関するその他の技術の分析結果②

現状	課題	対策	他ドナーの支援
ASCN（ASEANスマートシティネットワーク）の候補都市に選定されたBangkok、Chonburi（東部経済回廊：EECの一部）、Phuketの3都市の開発が優先的に進められている	- スマートシティ導入促進 - GHG排出認識・知識不足 【グリーン住宅】 - エネルギー効率定量化能力不足 - 中低所得層向けグリーン住宅の不在 - 住宅向けグリーンファンド不在 一般的にデータ利活用が進化したスマートシティ開発における課題として、以下のような点も挙げられる。 - スマートシティのアーキテクチャの整備・適用 - データセキュリティの課題 - 既存の法律・規制との調整、制度・規制緩和	ASEAN SMART CITIES NETWORK SMART CITY ACTION PLANS（2018/6）において求められる支援 Chonburi 【スマートグリッドプロジェクト】 - 電力ネットワーク、発電システム、送電システム、エネルギー管理・貯蔵システムによる配電システムの管理に関する技術支援 - 現地当局：地方電気局、EGAT、ERC 【WtE】 - 提案書作成時の技術支援 - 廃棄物発電技術専門家派遣 キャパビル（排出削減量の定量的な評価能力等）、住宅ラベリング制度、省エネ型グリーン住宅普及のためのインセンティブ制度、グリーン住宅技術導入支援などの、システム設計支援等 パーソナルデータの利活用と個人情報保護 サイバー攻撃、情報漏洩等	- 都市システムマネジメントプラン作成等（UNDP） - AIによる需要マネジメント（ADB） - クリーンエネルギーによる冷房（ADB） - AIによる需要マネジメント（ADB） - クリーンエネルギーによる冷房（ADB） - グリーン住宅：ラベリング、関係者のキャパビル（UNEP） - グリーン住宅：インセンティブ・ファイナンス設計支援（UNEP）

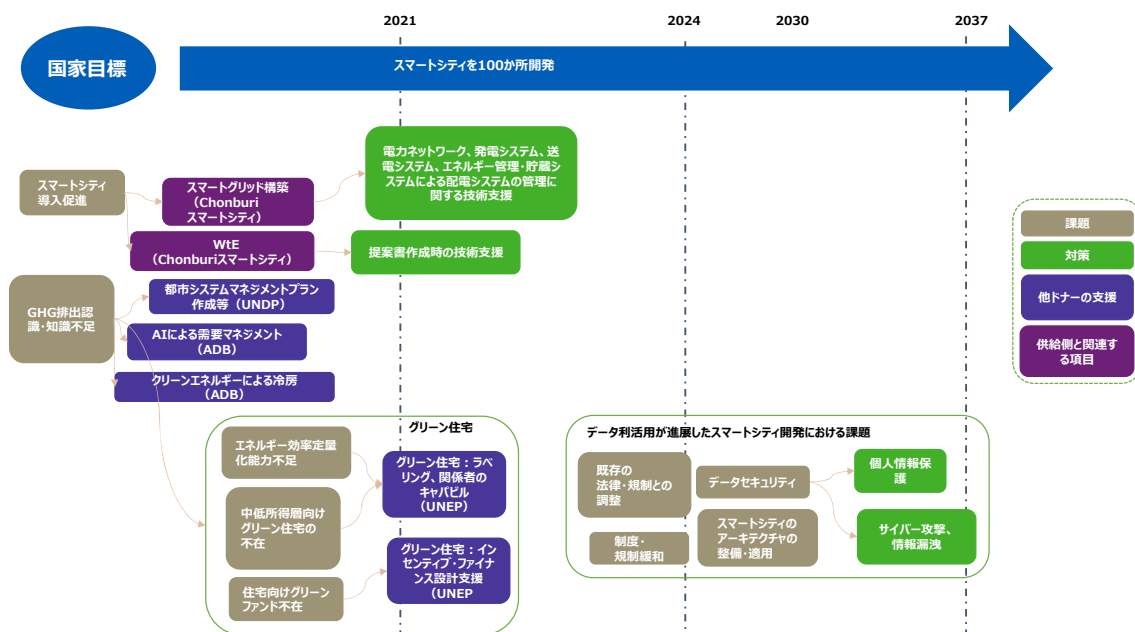


図 293 省エネ技術やカーボンニュートラルに関するその他の技術のロードマップ②

➤ 供給

モロッコの供給側について既存の火力発電、再生可能エネルギー、バイオエネルギーの観点から低炭素の取組や政策動向等に係る現状と課題、対策、他ドナーの支援状況を表にまとめた。分析結果を基にロードマップをまとめた。

表 218 既存の火力発電の分析結果

現状	課題	対策	他ドナーの支援
石炭火力 主要電源の60%を占める。	- 石炭火力の低炭素化。	【中期:5~10年】 - CCGTへのリプレース - 石炭火力のアンモニア混焼を導入する。 - ネットゼロに向けたロードマップ作成	モロッコ国・石炭火力発電所向けアンモニア混焼事業実施可能性調査事業（METI）
天然ガス 全体的な電力供給に占める割合が低下しているが、石炭火力発電からガス火力発電へ切り替える方針を掲げている	- 天然ガス利用のコストの低減。 - 天然ガスの利用拡大に必要なパイプラインなどの供給インフラの整備。（現地調査で確認）	【短期：~5年】 - 天然ガス供給力強化（Gas to Powerプロジェクトの実装） 【中長期5~20年】 - 天然ガスから水素への移行	
- 市場メカニズム活用のための準備、CDMの経験蓄積、国家緩和プログラムに追加ファイナンスを導入することに力を入れている。	- 市場メカニズム活用のためのシステムの向上。 - 炭素市場の現状と将来性を把握する能力の向上。	- 市場メカニズム活用にかかるシステム構築 - 関連機関職員的能力強化	- MRVシステム構築と分析支援、政府機関・民間企業へのMRV能力強化、プロジェクトマネジメントユニット設置と運営支援（WB）

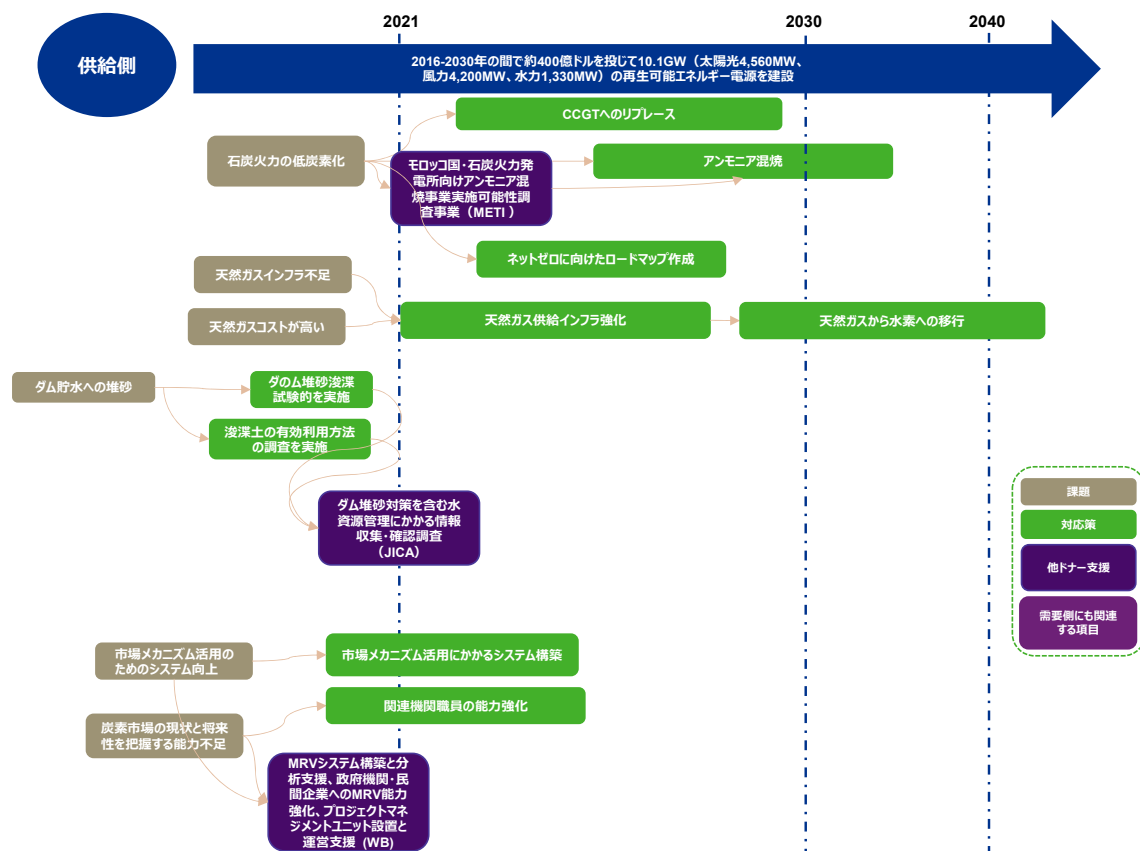


図 294 既存の火力発電のロードマップ

表 219 再生可能エネルギーの分析結果

現状	課題	対策	他ドナーの支援
水力発電 - 全体的な電力供給に占める割合が低下している。 - 揚水発電のニーズが高い。（現地調査で確認） - 2020年の再エネ水力の発電能力は1,306MW、2019年の発電量は1,263GWh（IRENA）。 - 2020年の揚水発電能力は464MW、2019年の揚水発電量は391GWh（IRENA）。 - 降水量が減少傾向にあり、水資源賦存量が減少している。 - 主な水資源の一つであるダム貯水への堆砂により水資源供給能力が低下している。	- 水資源賦存量の増大・回復。 - 揚水発電所の増設 - ダムの水資源提供能力の回復。	- ダムの堆砂浚渫の実施（試験的に開始済み） - 浚渫土の有効利用方法の検討（調査開始済み）	- ダム堆砂対策を含む水資源管理にかかる情報収集・確認調査（JICA）
太陽光発電 - 国内全土において中程度の以上の日照が得られ、太陽光発電のポテンシャルが高い。 - 2020年のOn-gridの発電能力はPVが171MW、CSPが540MW、2019年のOn-grid発電量はPVが395GWh、CSPが1,186GWh（IRENA）。 - 人口と産業の集積があるアトラス山脈北西部は立地の制約が多く、ポテンシャルを利用できない地点が多い。 - アトラス山脈南西部は砂礫や砂漠地帯が多く、大規模な開発では送電線の設置が困難である。	- 立地制約が小さい地域での太陽光・送電網開発。 - VRE増加に伴う系統への影響。	- 再エネ適地にクリーンエネルギーパーク等を設立し、土地の提供や税制面で優遇措置を導入し広く再生可能エネルギーに関する投資を誘致 - 送電網強化 - 灌漑用ポンプにソーラー活用（NDC） - VRE増加に伴う系統安定化への対応	- 中規模分散型太陽光発電所の建設、電力供給ラインの延長、ピーク時の消費を抑えるための時間帯別スマートメーターの設置（Missour, Erfoud, Zagora）(WB)
風力発電 - 2020年時点のOn-gridの発電能力は1,400MW、2019年の発電量は4,699GWh（IRENA）。 - 風力は適地に限られる。 - 都市が位置するアトラス山脈北西部は概して風況が悪く、陸上風力の可能性は小さい。 - ジブラルタル海峡付近は船舶の往来が多く開発は困難と見られ、南部エッサウイラ沖合の開発では送電線の増強が必要。	- 適地における風力・送電線整備 - VRE増加に伴う系統への影響	- 再エネ適地にクリーンエネルギーパーク等を設立し、土地の提供や税制面で優遇措置を導入し広く再生可能エネルギーに関する投資を誘致 - 送電網強化 - VRE増加に伴う系統安定化への対応	

表 220 電力システムの安定化の分析結果

現状	課題	対策	他ドナーの支援
電力系統 - 「モロッコ王国スマートグリッド導入に係る情報収集・確認調査」報告（2017年1月、JICA）（産公JR17-001）によれば、大需要地と電源とを400kV長距離送電線で連系。 - モロッコ系統は、ヨーロッパ系統の西端であるスペインに接続。	- 将来的には、系統安定度、電圧安定性等の問題も懸念される。 - ヨーロッパ系統－モロッコ系統には、長周期動揺モードが内在している。 - 再エネ大量導入による、火力発電等の調整力不足、下げしろ不足、制御余力不足の懸念。 - 将来的には、慣性力低下問題の顕在化の懸念。	- VQC等の電圧調整機能の強化 - 火力機等の系統安定化装置（PSS：Power System Stabilizer）の再チューニング - BESSや可変速揚水発電の設置 - ポルトガルとの直流連系、スペインとの交流連系の強化、イタリア・チュニジアの直流連系との相互協調 - 再エネの系統統合に向けた系統整備・高度化 - 大幅なダックカーブ対応 - 連系線の過負荷対応 - 慣性力の維持 - 送変電設備の容量不足対応 - 周波数・電圧変動対応 - VRE予測 - 海洋揚水発電技術の導入	

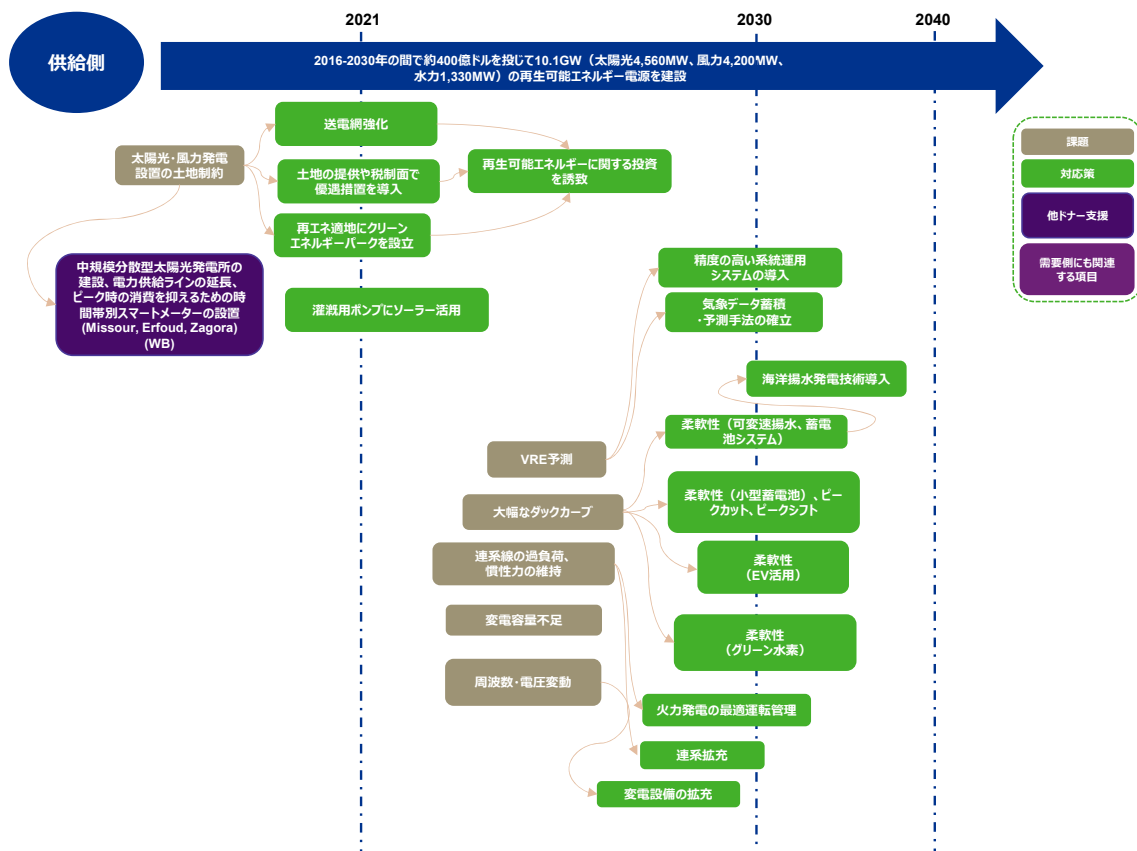


図 295 再生可能エネルギーと電力システムの安定化のロードマップ

➤ 需要

モロッコの需要側を産業・商業セクター、運輸交通、都市開発の3つに分け、それぞれにおけ

る現状、課題、対策、他ドナー支援と低炭素化に向けたロードマップをまとめた。

表 221 産業・商業セクターの分析結果

現状	課題	対策	他ドナーの支援
- セメント製造業におけるエネルギー消費が最も多く、エネルギー源は石油がほとんどを占める。次にマイニング、食品業の順でエネルギー消費が多く、どちらも石油と比べて電力が占める割合が大きい。	- 産業部門の更なる省エネ（2030年の産業部門のエネルギー削減量は17%）	- 産業部門のエネルギー効率ベンチマーク策定 - エネルギー多消費産業へのエネルギー管理の導入 - 食品業でのヒートポンプ活用 - 中小企業の省エネ投資促進	
	- 産業・商業部門の電力消費（照明、冷暖房、給湯等）の削減（省エネ）	- 照明や空調等の機器の最低効率基準導入	
- 化学肥料の3要素の1つであるリンの原料「リン鉱石」に関して、モロッコは中国に次いで世界第2位の生産国（世界の需要の約3割）であり、世界最大の輸出国である。	- リン鉱石資源に恵まれてはいるが、化石燃料資源に恵まれていないため窒素肥料（化学肥料の中心）の元となるアンモニアはわずしか生産できず、多くは輸入に依存している。	- 再エネ電気でグリーン水素を製造できれば、国内でアンモニアを大量に生産可能となる。	

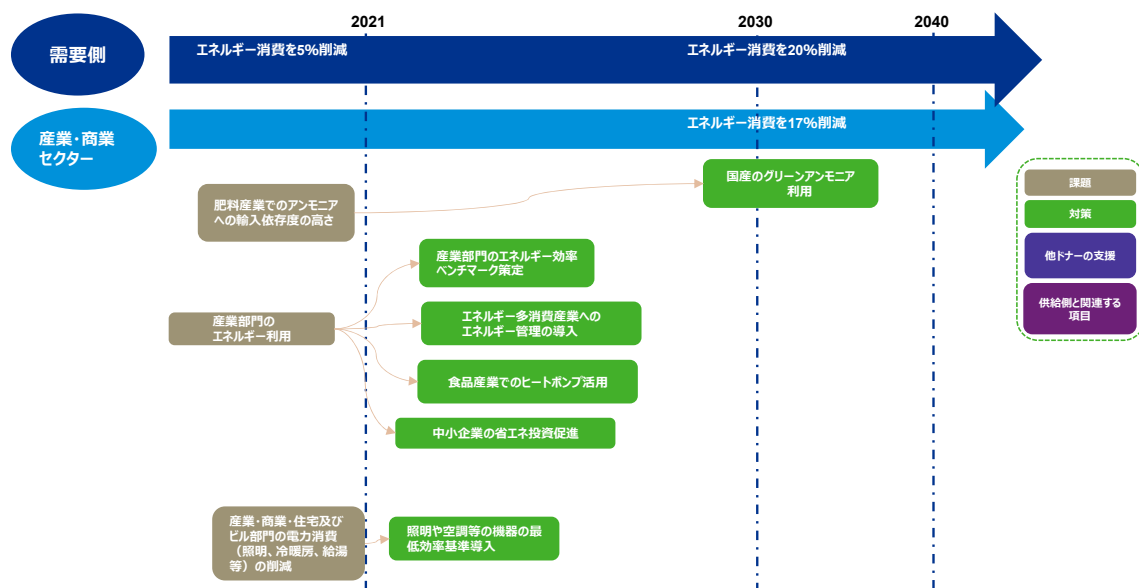


図 296 産業・商業セクターのロードマップ

表 222 運輸交通セクターの分析結果

現状	課題	対策	他ドナーの支援
- 自動車用石油需要が大きい。 - 最終エネルギー消費の部門別割合は、運輸が40%（2019年）と最も大きい。 - 過去5年間（2014年-2019年）における最終エネルギー消費量伸び率は年率平均4.3%である。	- 自動車部門のGHG排出削減	- 自動車の燃費向上 - 代替燃料車の導入 - 自動車の燃費基準の導入	持続可能なモビリティに向けた国家ロードマップを策定（GIZ） 環境に優しい（climate-friendly）持続可能なモビリティを国・地方レベルで強化（GIZ）
- EVや水素自動車の開発に関心があり、2021年9月からドイツの自動車会社OpelがEV生産を開始した。	- EVの国内生産 - EV関連技術開発促進 - EVの国内普及	- CGEMは“EV Roadmap I(2021)”で2022年から2035年までを3段階に分け、各段階における取組を公表した。 - Phase I (2022-2025): EVや充電設備製造、充電サービス・規則・基準の策定、バス・公共調達の義務的な目標設定、減税措置・グリーンローン・補助金の導入、初期の急速充電ネットワーク導入等 - Phase II (2025-2030): バッテリー製造、インセンティブの見直し、主要都市に公共充電設備設置等 - Phase III (2030-): バッテリーのリユース・リサイクル、全都市に公共充電設備設置等	低炭素開発に向けた組織強化・キャパシティビルディング、エコドライブのトレーナー訓練、鉄道・道路物流車両からのGHG排出量に関する調査・インベントリの設計・実施（UNDP）

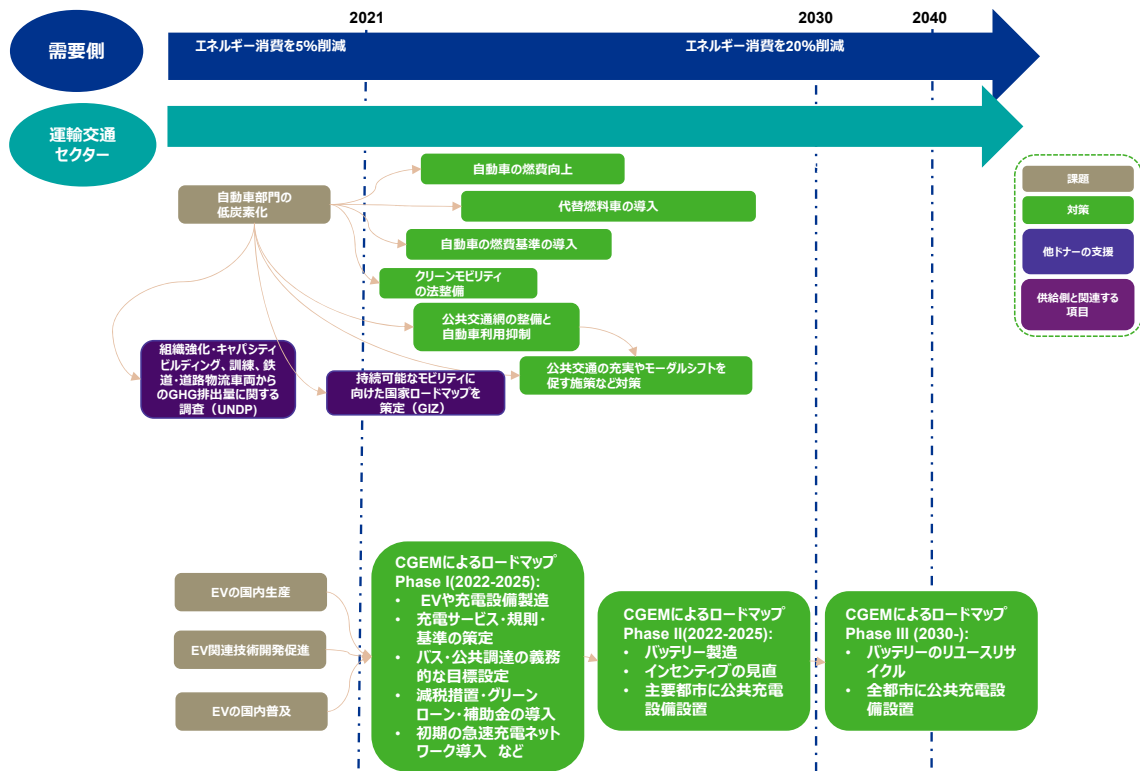


図 297 運輸交通セクターのロードマップ

表 223 都市開発セクターの分析結果

現状	課題	対策	他ドナーの支援
- 住宅のエネルギー消費は石油（LPG）が73%、電力が27%である（2019年）。 - 住宅のエネルギー消費の特徴として、調理用のエネルギー消費割合が非常に大きい	- 調理・給湯用需要における、石油消費の削減	- 給湯暖房にヒートポンプを活用 - 太陽熱温水器の普及促進 - 機器の導入にあたり財政支援枠組みの策定 - 調理器具の電化	
- 都市化、家電製品の普及に伴い電力需要が増加 - 例えば、エアコン世帯普及率は2019年の約18%から2030年には約40%まで増加の見込み	- 電力需要が増大する住宅部門でのエネルギー効率向上 - 海外も含めた民間投資の必要性	- ラベリング制度の対象機器の拡大・基準の厳格化、投資環境の整備 - 最小エネルギー性能基準（MEPS）の対象機器の拡大・基準の厳格化 - MEPS監視体制の構築 - 冷房の省エネ - 建物の省エネに関する人材育成	

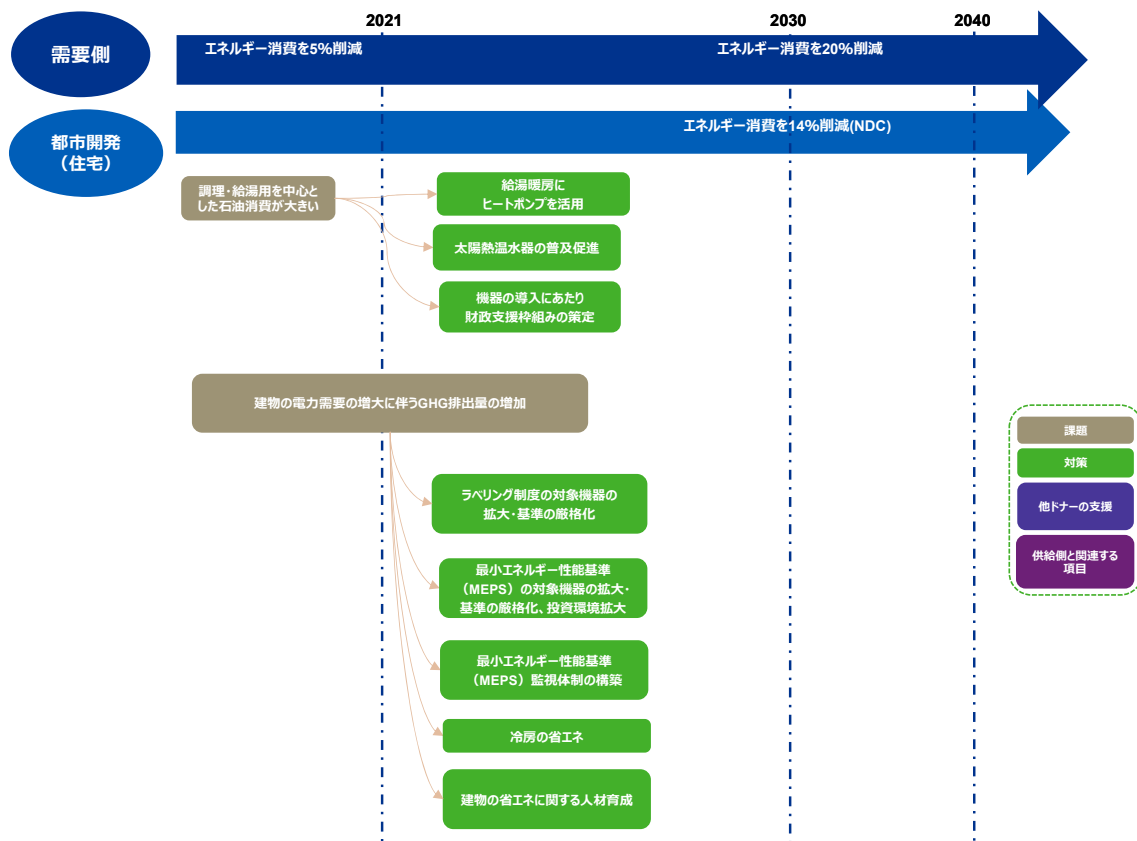


図 298 都市開発セクターのロードマップ

(4) インドネシア

➤ 供給

インドネシアの供給側について既存の火力発電、再生可能エネルギー、バイオエネルギーの観点から低炭素の取組や政策動向等に係る現状と課題、対策、他ドナーの支援状況を表にまとめた。分析結果を基にロードマップをまとめた。

表 224 既存の火力発電の分析結果

現状	課題	対策	他ドナーの支援
発電部門における火力発電の割合が大きい。特に石炭火力発電への依存度が大きい。	- 石炭火力発電への依存度低減（例：バイオマス、アンモニア活用） - 石炭火力発電の低炭素化（例：クリーンコール、CCSなど）	- 複合アプローチによる石炭依存度低減、石炭火力の低炭素化。 - 炭素税・ETS導入（予定あり） 【中期】（5～10年） - バイオマス混焼 - 石炭火力の早期閉鎖 - CCS/CCUSのパイロット - アンモニア混焼の技術開発、実証 【長期】（10～20年） - 石炭火力発電におけるアンモニア混焼実用化 - CCS/CCUS実用化	- 電力料金引き上げ及び補助金削減、ディーゼル補助金削減、天然ガス使用率の向上を図る措置、CCSおよびまたはCCUS技術のパイロット支援（ADB） - LNG生産拡張プロジェクト（Tangguh）（ADB） - CCSパイロット及びパイロット活動を設計および計画するためのPTPERTAMINAおよびインドネシア政府内の能力の強化（ADB） - ADB、CIFによる石炭火力早期リタイア支援 - 二酸化炭素回収・貯留（CCS）に係る技術及び人材開発プロジェクト（JICA） - 石炭火力発電所における排出権取引支援（Partnership for Market Implementation（グラント））を利用したエネルギー部門のカーボンプライシングの導入促進、インフラ整備）（世銀）

表 225 再生可能エネルギーの分析結果①

現状	課題	対策	他ドナーの支援
- 2003年に地熱法を制定し、民間開発業者による開発を主体とする制度を設立した。2014年には地熱法が改正され、政府が事業者に事業権を付与するフィールド面積の上限が撤廃されたことで、環境規制の厳しい地域における地熱開発進展や大規模プロジェクトの増加が期待されている。 - 開発目標：2021-2030年で3.4GW（RUPTL2021-2030）	- 個人所有のコンセッションエリアで、環境、社会、または財政上の問題の解決。 - 民間投資の動員 ➢ 買取価格の引き上げ。 ➢ 資源リスク（掘削リスク）の低減 ➢ 開発に費用・時間を要する。初期投資の削減。 ➢ 長期的資金の供給	- 試掘リスク削減のためのグラント供与 - 社会環境影響の評価・管理に対する能力強化	- 中央ジャワDiengで55 MW、西ジャワPatuhaで55 MWの地熱開発（ADB） - 南スマトラでの90MWの地熱開発（ADB） - ムアラバ開発（ADB） - 入札制度、地方自治体との収入の共有、地熱発電開発のための森林へのアクセスに関するガイダンスを提供する、改正地熱法の施行規則の支援（ADB） - 地熱資源掘削のリスク軽減のためのファシリティ設立（WB、GCF、CTF）、地熱探査と環境および社会・環境措置管理に関する能力開発（ESMAPなど） - 地熱発電所のトラブル予兆診断技術の実証試験(NEDO) - 地熱開発における中長期的な促進制度設計支援プロジェクト（JICA） - 地熱開発促進プログラム（トゥレフ地熱発電計画（JICA）他多数
- インドネシアは豊富な水力資源を保有するものの、資源の分布と需要が大きい地域の相違や、開発における環境・社会影響（森林や生態系への悪影響、開発による住民移転など）が要因となって開発が進んでおらず、資源量に対する開発率は7%程度となっている。 - 開発目標：2021-2030年で10.4GW（RUPTL2021-2030）	- 民間投資動員 ➢ 買取価格の引き上げ。 ➢ FS時の（現地エンジニアによる）発電容量の見込みの精度が悪くにより、設備が過剰になって最大出力で運転できる日が減り、プロジェクトコストが上がるにも関わらず収入が減るということが起きる。（水力発電は水量の確保が肝。しっかり年間を通して水量を予測するということをしていない。）	- 発電容量見込みや水量予測などの技術協力	- アサハン第3水力発電所建設計画（JICA） - プサンガン水力発電所建設計画（JICA） - 用水路対応型小水力発電システム導入による電力不足解消を目指す普及・実証事業（JICA）

表 226 再生可能エネルギーの分析結果②

現状	課題	対策	他ドナーの支援
離島・農村においてはディーゼル使用がみられる。	- マルク、カリマンタン、パプアなどジャワ島外の電力供給の脆弱性（低炭素電源設置、配電強化の必要性） ※離島のディーゼル発電は最も発電原価が高く、PVはじめ再エネ導入のポテンシャルが高いはずであるが、設置が進んでいない。	- 屋根置きPV、小規模風力の設置支援→ガスへのアクセスから遠い地域 - ガス発電（アス州、クバン州、アンボン州などガスにアクセスしやすい地域） - 送電・配電強化（変電所やスマートグリッド、スマートメーターの開発）	- マルク、カリマンタン、パプアでのPV、小水力導入、配電強化、PLNの能力強化（ADB） - ジェネボント（南スラウェシ）に72 MWの風力発電所を建設 - リクバン（北スラウェシ）に21 MW、プリンガバヤ、セロン、センコル（ロンボク、西メサテンガラ）に3つの7MWの太陽光発電所を建設、運営（ADB） - インドネシア東部での小規模・中規模のガス火力導入によるディーゼルからの転換、ガス・ソーラーハイブリッドのパイロット、送電線のリハビリなど（ADB） - 携帯電話基地局へのトライブリッド技術導入による低炭素化プロジェクトJCM実証事業（NEDO）
- VREの割合の増加が見込まれている - 開発目標：2021-2030年で10.4GW（RUPTL2021-2030） - 策定中のMEMRのロードマップにおいても太陽光発電の導入について強調されている。	- 再エネの系統統合に向けた系統整備・高度化 ➢ 大幅なダックカーブ対応 ➢ 連系線の過負荷対応 ➢ 慣性力の維持 ➢ 送変電設備の容量不足対応 ➢ 周波数・電圧変動対応 ➢ VRE予測	- 蓄電池、EV等活用、ピークカット・ピークシフト、送変電設備拡充、送配電インフラ整備及び維持管理、系統計画・運用の高度化、火力発電機等のAGC機能活用、電力系統安定化システムの導入 - 連系線拡充（国内、国際）	

表 227 バイオエネルギーの分析結果

現状	課題	対策	他ドナーの支援
- 化石燃料消費量削減し、エネルギー自給率を高めるため、また、貧困・失業対策として、自国産のパーム油を原料とするバイオ燃料の活用促進に取り組んでいる - 輸送用バイオディーゼルは比較的普及が進んでいる。 - バイオ燃料混入義務が2008年制定（MEMR Regulation 32/2008）、2015年3月に改定（MEMR Regulation 12/2015） - 2018年9月、政府は軽油にバイオ燃料20%を混合したバイオディーゼル「B20」の使用を義務付け、2020年1月には、「B30」の使用義務化を開始	- バイオエタノールへの財政的支援の不足 - バイオエタノールの原料が高額 - バイオエタノールの生産能力が限定的	- 実証事業（B100）の実施 - バイオエタノールのバリューチェーン構築 - バイオ燃料推進の経済インセンティブ拡充（補助金、税制） - PKSのRSPO認証取得支援	

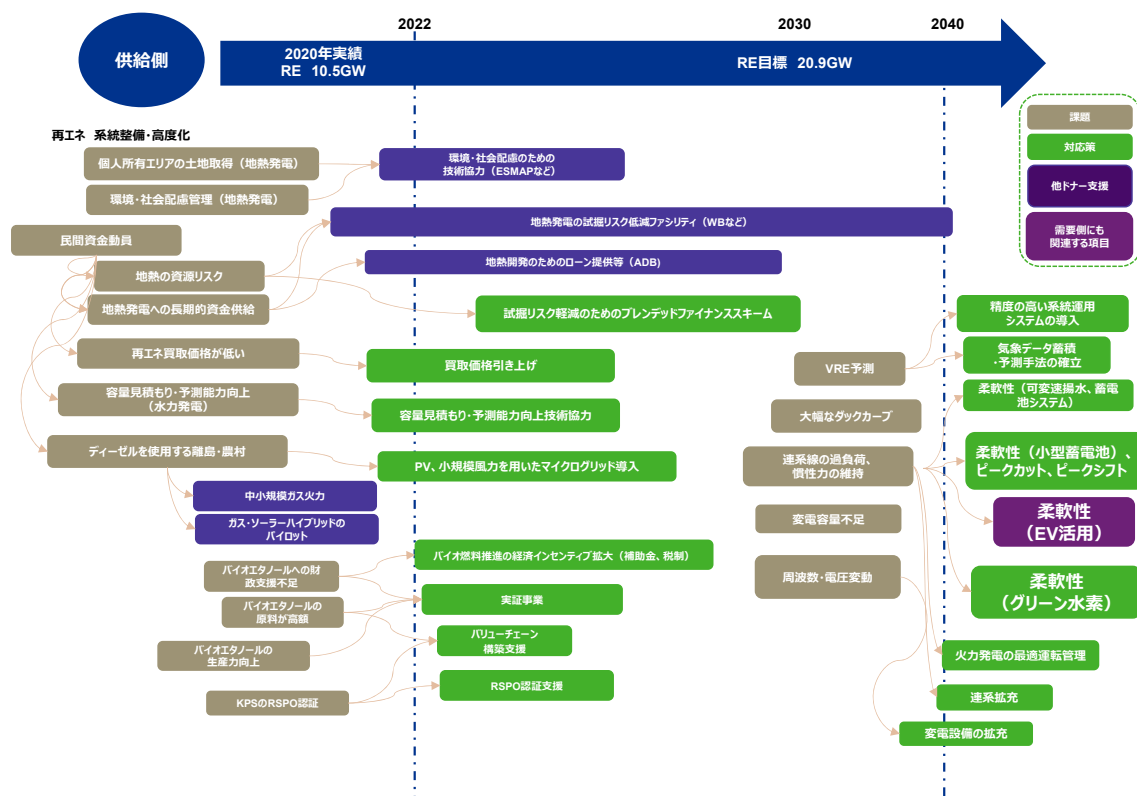


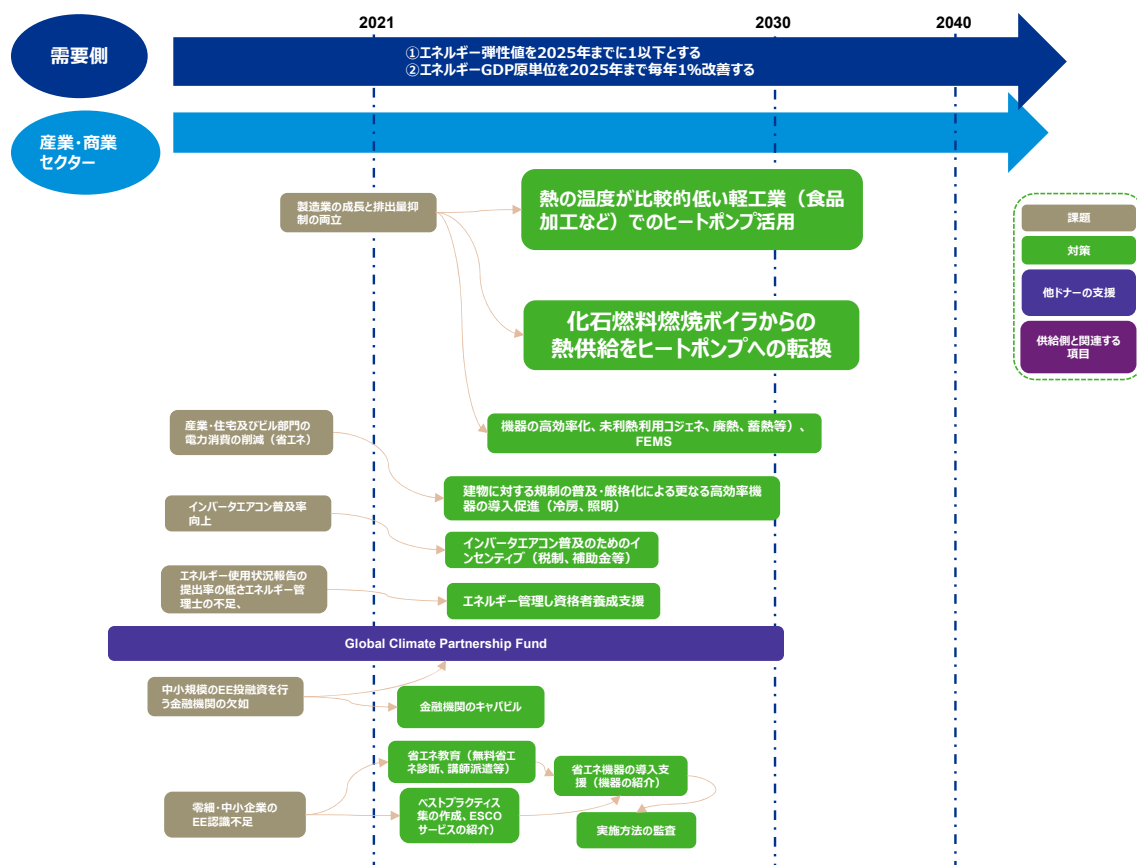
図 299 再生可能エネルギーとバイオエネルギーのロードマップ

➤ 需要

インドネシアの需要側を産業・商業セクター、運輸交通、都市開発の3つに分け、それぞれにおける現状、課題、対策、他ドナー支援と低炭素化に向けたロードマップをまとめた。

表 228 産業・商業セクターの分析結果

現状	課題	対策	他ドナーの支援
- セメント、金属（鉄・銅）、パルプ紙、アンモニウム肥料、石油化学製品、セラミックス、繊維・繊維製品、食品・飲料の8つの優先産業を含む製造業（石油・ガス除く）の成長率を10.5%と予測している（RIPIN2015-2035）	- 製造業の成長と排出量抑制の両立	- 化石燃料燃焼ボイラからの熱供給をヒートポンプへの転換（電化）。 - 必要とされる熱の温度が比較的低い軽工業（食品加工など）でのヒートポンプ活用 - 機器の高効率化、未利熱利用コジェネ、廃熱、蓄熱等）、FEMS	- (a)建物の断熱や電気管理によるEEの構築・改修を目指す商業ビルや住宅の不動産投資家・管理者、(b)EEプロセスのリエンジニアリングを行う重工業、(c)バイオマス、水力、太陽光発電などの自家発電や電力会社への売電を行うRE発電所の生産者・運営者などを投資のアグリゲーターとして特定し、他のドナーとRE,EEに投資するファンド（Global Climate Partnership Fund）を創設（ADBほか） - HCFC削減のための助成金（GEF）
- 産業・住宅及びビル部門の電力消費が大きい。（P.27） - 現在の産業（GDP構成比）における商業部門（ホテル、飲食等）の割合が高い（冷暖房、給湯需要あり）。	- 産業・商業・住宅及びビル部門の電力消費（照明、冷暖房、給湯等）の削減（省エネ） - 冷暖房についてはインバータエアコン普及率が低い	- 建物における、既存規制の普及・厳格化による、冷暖房、給湯、照明等における更なる高効率機器（ヒートポンプ等）の導入促進 - インバータエアコン導入のためのインセンティブ施策（税制、補助金）	
- 商業部門では、省エネルギー政令（Government Regulation No. 70/2009）でエネルギー管理者の任命などのエネルギー管理制度が定められており、実施細則はエネルギー管理に関する規則で定められている。また、エネルギー管理士およびエネルギー診断士の国家能力基準が定められている。	- エネルギー使用状況報告の提出率の低さ - エネルギー管理士の不足（インタビューで要確認）	- 資格者養成の支援	
- 省エネ法で各種制度を整備している。各規制の普及・厳格化に向けては、規制の範囲をエネルギー消費量の大きい企業から、中小消費量の企業へ広げていくことが必要。	- 零細・中小企業の認識不足 - 中小規模のEE投融資を行う金融機関の欠如	- 省エネ機器の導入支援（機器の紹介） - 省エネ教育（無料省エネ診断、講師派遣等）、実施方法の監査、ベストプラクティス集の作成、ESCOサービスの紹介） - EE投融資を促進するための保証ファシリティ等の創設 - 金融機関のキャパビル	



ズ 300 産業・商業セクターのロードマップ

表 229 運輸交通セクターの分析結果①

現状	課題	対策	他ドナーの支援
- インドネシア自動車協会によると、2019年時点で販売された電気自動車は、BEVが0台、PHEVが20台であった。また、2020年1月～10月までの販売台数は、BEV250台に留まっている。 - RUENでは、2019年、2025年、2050年を目標年とした運輸部門に関する行動計画が示されている。しかし、必要となるロードマップや規制の策定に関するインドネシア政府の取り組みが十分実施されていない。	- EVの大半が海外からの輸入であるため、初期費用が高く、販売が促進されない - RUENの目標を達成するためのロードマップや規制策定が不十分。	- EV購入補助金給付 - EV購入ローンを対象とした所得税の控除 - EVの一部部品に対する関税の撤廃	EVの展開を促進するための、ロードマップ、実現可能性調査、および充電インフラストラクチャに関する規制の実装をサポート (ADB)
	- EV関連技術開発促進	- EVやリチウムイオン電池の国産化 - 急速充電に対応したEVの国内販売	

表 230 運輸交通セクターの分析結果②

現状	課題	対策	他ドナーの支援
- RUENでは、2019年、2025年、2050年を目標年とした運輸部門に関する行動計画が示されている。しかし、必要となるロードマップや規制の策定に関するインドネシア政府の取り組みが十分実施されていない。	- 蓄電池の生産能力向上、リユース促進	- リチウムイオン電池国産化 - バッテリー試験センター設置 - 蓄電池原材料の供給確保、リサイクル技術の確立・コスト低減 - 蓄電池のリユース、蓄電池スワッピングビジネスの形成、蓄電池に関する基準の策定	電動モビリティ向け電池シェアリングシステムの実証研究【NEDO】(2019-2021)
	- 公共交通へのEV導入	- バス、タクシー、バイクタクシー、ride-hailing carsの電動化	
- PLNが2020年から2030年の期間における充電ステーション普及ロードマップを策定。充電ステーション数を180か所から7,146か所まで拡大すると見込む。 - 2020年9月、MEMRはBEV向け充電インフラに関するRegulation No.13/2020を発出。	- 充電インフラの設置、拡充	- EV充電ステーションの拡充 - 職場充電への政策支援 - 負荷上昇を考慮した設置場所の最適化 - インフラ等への設備投資	
- V2Xについて、具体的な言及は確認できない	- 系統接続 ⇒供給側と共通	- 送配電網の負荷上昇の管理に関する規制やガイドラインの策定（送配電網側、充電インフラ側の双方） - インフラ更新・拡充の計画・財源確保 - 電力市場へのEV参加を可能とする市場設計（デマンドレスポンス）	
- インドネシアには、燃費基準に関する規制が存在しない		- 燃費基準に関する規制の策定	-

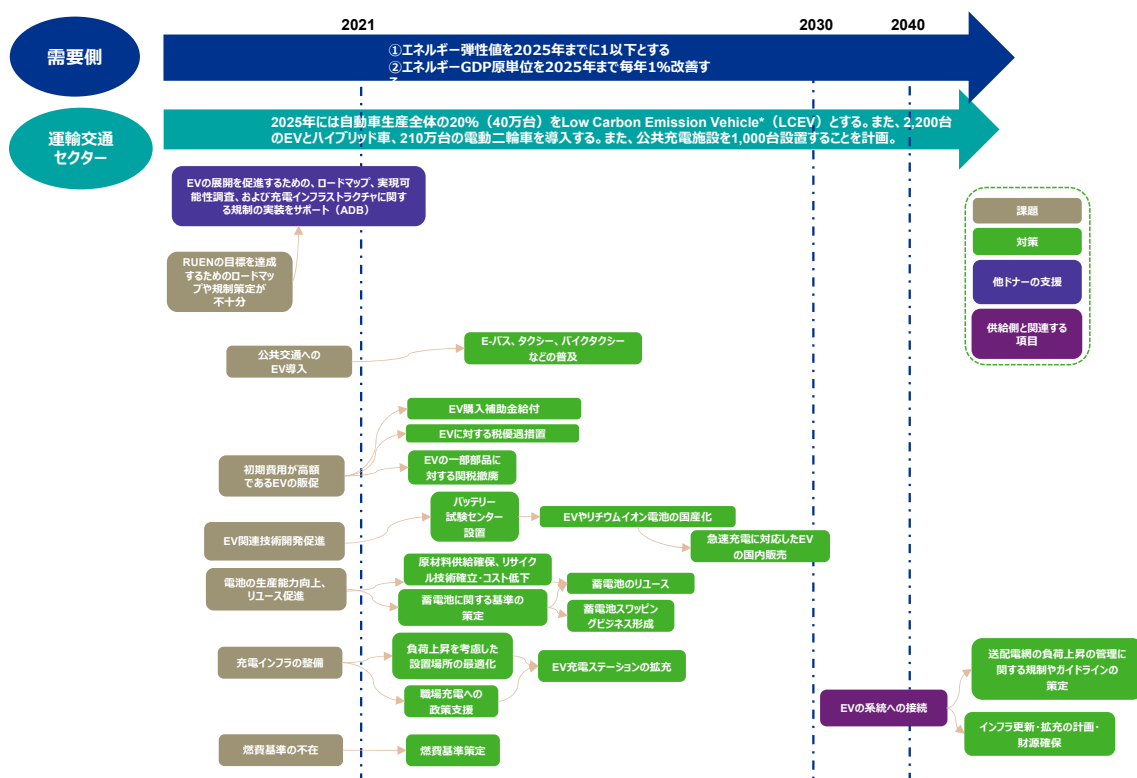


図 301 運輸交通セクターのロードマップ

表 231 都市開発セクターの分析結果

現状	課題	対策	他ドナーの支援
(住宅) - 家庭部門においては、家電製品の省エネラベリング制度が導入されている。2011年10月より蛍光灯電球に対する省エネラベルが開始され、その後、照明ランプおよびエアコンについても義務化されているが、その他は自主ベースとなっている。 - 住宅の断熱性能、空調、照明、建物のエネルギー監査に関する任意基準を策定しているが、基準の義務化には至っていない。	- 省エネラベリング制度強化 - ラベリング制度の認知度の低さ	- ラベリング制度の義務化対象拡大 - 住宅の断熱性能、空調、照明、建物のエネルギー監査基準の義務化 - ラベリング制度の認知度向上 - 建物（住宅・オフィスビル）における省エネ管理や省エネ基準の強化・普及	—
(住宅) - 機器のエネルギー効率基準において は、蛍光灯電球およびエアコンのMEPSが導入されているが、その他の機器のエネルギー効率基準は任意基準となっている。 - MEPSは今後、冷蔵庫、扇風機、電子安定器、電気モーター、LED電球、洗濯機、井戸のくみ上げに使うポンプ、アイロン、テレビに拡大してゆく予定である。	- MEPS対象の拡大 - MEPSの認知度の低さ	- MEPSの義務化対象拡大 - MEPSの認知度向上	—
- ASCNのパイロットとして Jalarta, Banyuwangi, Makassarが選定されている。	- （左記3都市のアクションプラン上はエネルギーに関するものはない。）	—	日本からも国交省、経産省などがインドネシアのスマートシティについて支援、日系企業も進出している。
—	一般的にデータ利活用が進展したスマートシティ開発における課題として、以下のような点も挙げられる。 - スマートシティのアーキテクチャの整備・適用 - データセキュリティの課題（パーソナルデータの利活用と個人情報保護、サイバー攻撃、情報漏洩等） - 既存の法律・規制との調整、制度・規制緩和	・ アーキテクチャの整備・運用：①スマートシティに取り組むための共通の考え方や方法論を整理し、これからスマートシティの取組を始める/拡大しようとする地域や自治体が、何を、どのように決めていけばよいのかを考える際の参考すること、②スマートシティの基礎プラットフォームとして都市オペレーティングシステム（以下、「OS」）を定義し、都市OS において必要最低限のデータや認証等のやり取りルールを定めることで、スマートシティ間でサービスやデータが相互に接続して効率よく流通するようになること ・ データセキュリティの課題：パーソナルデータの利活用と個人情報保護、サイバー攻撃、情報漏洩等対策 ・ 既存の法律・規制との調整、制度・規制緩和：現地で要確認	—

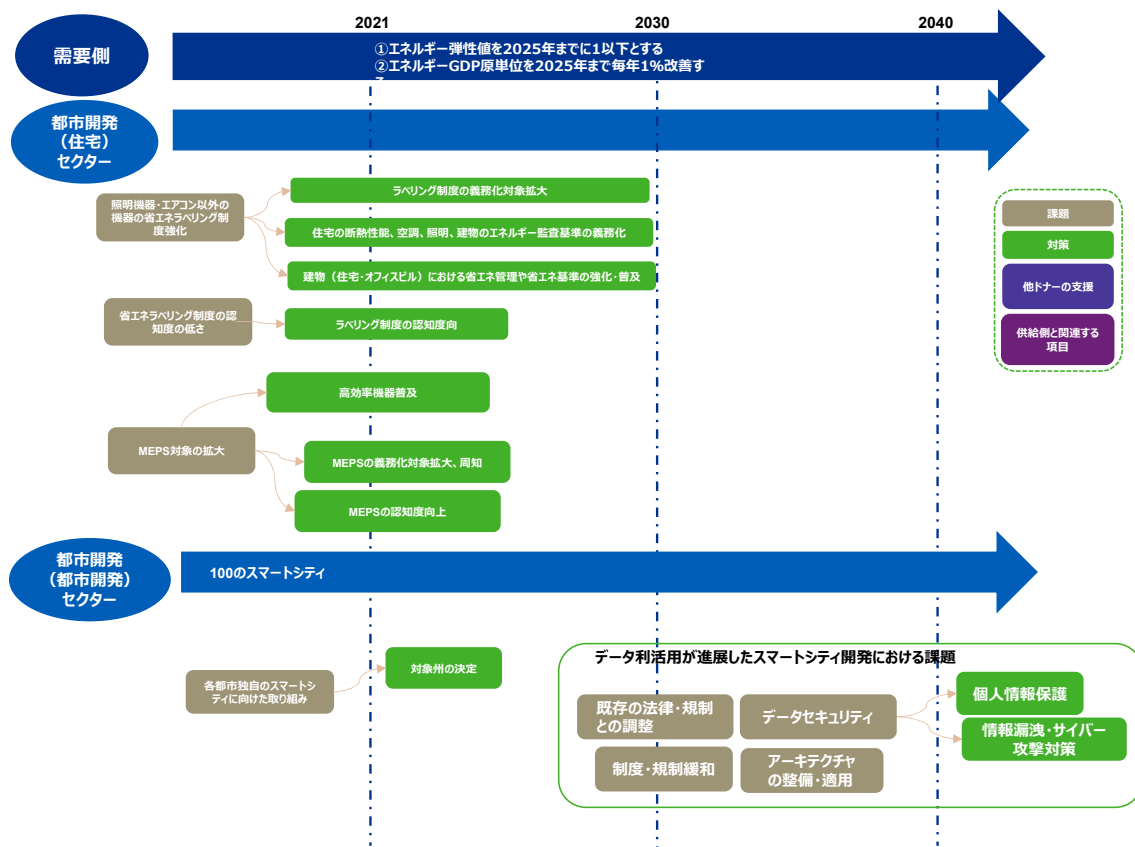


図 302 都市開発セクターのロードマップ

3.2 現地調査報告

3.2.1 現地インタビューの実施

(1) インド

2021年11月から2022年2月まで、インドの関係機関を対象にオンラインでヒアリング調査を行った。各機関への調査結果から得られた現状とニーズ、その他関連情報を以下にまとめる。

① 電力省（Ministry of Power : MoP）（2022年1月19日実施）

<現状>

- MoPは大規模発電所、送電、系統連系を担当している。
- 2030年までに石炭火力化石燃料による総発電量を310GWにすることを目標としており、6.5GW分の石炭火力発電所を廃止することを計画している。
- CCSの実証事業を行っているが、GHG排出量ゼロを目指すのではなく、ガスタービン並みに抑えることを目標としている。
- 石炭火力発電に対してバイオマス混焼を義務付けている。5%の混焼から開始し、最終的には20%まで混焼率を上げることになっている。

- ・ 現在、火力発電所では sliding pressure operations（変圧運転）⁷⁷³を実施している。

<ニーズ>

- ・ 石炭火力発電の低炭素化：低炭素化の手法として、アンモニアや水素の混焼、ガス燃焼への転換、CCUS の導入等を認識しているが、設備の改修を伴う場合は実施が困難であると考えている。アンモニア混焼の実証事業用の発電所候補は MoP から提供可能である。
- ・ バイオマス混焼：稲わらを燃料として回収し、バイオマス混焼に用いることで農家の収入向上に寄与できるが、現在バイオマス混焼に関する支援は実施されていない。
- ・ 自動発電制御 (AGC) の導入：火力発電の負荷率を最低 55%にすることを目標としており、AGC の導入を必要としている。
- ・ バイオエネルギー供給に関する支援：ナショナル・バイオマス・ミッションを通じて、農業で発生する残滓（稲わら等）をペレットに変換してバイオエネルギーとして供給するなどの取組を行っているが、現在の取組よりもコスト効率のよい手法を実現するための支援を期待している。

<その他>

- ・ プロジェクトは 2、3 件実施可能である。
- ・ グリーン水素普及のために石油精製等における水素利用の義務化を検討している。

② インド新・再生可能エネルギー省（Ministry of New & Renewable Energy : MNRE）（2022 年 1 月 25 日実施）

<現状>

- ・ MNRE は再生可能エネルギーの導入計画作成を担当している。
- ・ 現状では再生可能エネルギーの導入割合が 15%であり、2030 年までに 50%にすることを目標としている。
- ・ 2050 年までにエネルギーの自給自足を実現するためにインド政府と NITI Aayog がロードマップを作成している。
- ・ グリーン水素活用に係るロードマップについて政府内で議論している。需要サイドでは肥料と精製所で水素が利用されており、鉄鋼業で水素利用のパイロットプロジェクトを実施する予定である。船舶での水素アンモニア燃料利用も検討している。併せて、インドの産業団体への能力強化も必要と認識している。
- ・ 現在、市内での短距離移動用に電気バスが導入されている。

<ニーズ>

- ・ 系統連系、蓄電池導入：再生可能エネルギーの大量導入に伴う強靱な系統連携が必要であり、蓄電池等の導入が必要である。また、既存ダムの活用も課題である。
- ・ 多様な再生可能エネルギーの導入：2050 年までにエネルギーの自給自足を実現するために、エネルギーの多様化と効果的な技術の導入が必要である。
- ・ 水素導入コスト、製造技術開発：水素導入に係るコストと、水素製造用の天然ガスの量が

⁷⁷³ フルパワーではなく部分負荷運転をするときに効率的な運転ができるようボイラーの圧力を下げること。

不足していることが課題である。

- ・ 燃料電池車両導入に係るインフラ整備：2025 年までに長距離移動用もしくは歴史的観光地や生態系に十分配慮が必要な地域において燃料電池バスの導入と市民への啓発を行う予定である。

<その他>

- ・ 褐炭利用によるブルー水素の製造が検討されている。
- ・ 鉄道分野でのエネルギー消費量が多いため、2030 年までに鉄道分野でカーボンニュートラルを実現するための目標を立てている。

③ エネルギー効率局（Bureau of Energy Efficiency, Ministry of Power : BEE）（2021 年 12 月 9 日実施）

<現状>

- ・ 省エネルギー案件は、小規模で実施すると成功する可能性があるが、大規模になるとファイナンスが困難になるためうまくいかないと考える。
- ・ 低炭素推進のためにはターゲットやベンチマークを設定して現状を評価する必要があるが、現状ではターゲットが明確になっていない。
- ・ 石炭火力発電所を減らしていく必要があるが、石炭から他のエネルギー源にシフトしていく過程に発生するコストが課題である。

<ニーズ>

- ・ ヒートポンプ導入：産業分野でのヒートポンプ活用は長期的に有益だが、現時点では企業側が投資する環境が整っていない。
- ・ 水素利用、再生可能エネルギー導入、系統連系と安定化等も優先度が高い。

<その他>

- ・ 省エネルギーは、交通等様々なセクターが関わってくる問題であるが、関係機関の連携が不足している。
- ・ 既存の交通手段をどのような方法で EV に転換していくのかを考える必要がある。

④ 鉄鋼省（Ministry of Steel）（2021 年 12 月 22 日実施）

<現状>

- ・ 2025 年までに太陽光パネルを製鉄所に設置する計画である。
- ・ 高炉を用いた水素還元技術の導入を検討している。
- ・ スクラップ利用や製鉄過程における低炭素化のための打開策が必要と認識している。
- ・ CCUS を導入する場合、まずは小規模で実証事業として始めるべきだと考えている。
- ・ 製鉄処理や新規製鉄所の建設にかかるエネルギー消費を減らす必要があると認識しており、省エネ推進が必要だと考えている。LED を導入した製鉄所もある。

<ニーズ>

- ・ 水素混焼、アンモニア混焼の導入：水素混焼、アンモニア混焼を取り入れ、化石燃料への依存を減らすことを検討中であり、協力案にも興味がある。
- ・ 省エネ技術の導入：インド鉄鋼公社（Steel Authority of India Limited : SAIL）は、50%の省エネを実現するために低炭素技術の導入を検討中である。
- ・ 水素利用：水素利用による低炭素化の成功事例があれば取り入れたい。

- ・ 他に、DX 技術の導入、廃熱回収・利用技術の導入、再生可能エネルギー利用、水素利用による化石燃料利用の低減、CCUS の利用に興味がある。

<その他>

- ・ Tata は低炭素技術の導入によるネットゼロ計画を発表した。
- ・ JFE が使用済みプラスチックをリサイクルして製鉄時に活用しているが、その技術はとても有効であると考えており、興味がある。

⑤ 道路交通省 (Ministry of Road, Transport and Highways : MoRTH) (2022 年 1 月 5 日実施)

<現状>

- ・ MoRTH はモータービークル(公共交通機関や個人用自動車)の技術的規制を所管している。バッテリー性能等の技術的安全性、EV の税制適格要件手続きに関する規制及び EV 等による事故を防ぐための安全性要件定義を担当している。
- ・ MoRTH は EV の利用を促進させるために電動車のグリーンナンバープレート、高速道路、一般道、駐車場の優先利用、輸送用自動車への規制を EV には許容する制度の構築、EV の輸入緩和に関する規制等を行っている。
- ・ 建設中のグリーンハイウェイ沿いに充電ステーションを設置する予定である。
- ・ BS-IV 基準に準拠した車両廃棄政策に取り組んでおり、スクラッピング施設の建設に関する規制も策定した。二輪車・三輪車向けバッテリースワッピングに関する大規模施設が建設される予定である。
- ・ 水素と CNG の混合燃料(水素を 18%混合)を公共バスに利用する実証実験を行っている。MoRTH は製造者に対して多様な混合率の燃料(エタノール、ガソリンの混合燃料)に対応できる flex fuel vehicle の製造を要請している。

<ニーズ>

- ・ EV インフラ整備：バッテリーや充電のコスト高、充電インフラの不足を最大の課題と認識している。
- ・ 公共交通機関の電化：大気汚染防止の観点から、インド政府は公共交通機関の電化に積極的である。
- ・ 燃料電池自動車関連の基準、規制：デリーの公共交通機関で燃料電池等、水素の利用が検討されているが、燃料電池自動車の高圧水素タンクの基準・規制の改正が必要である。また、グローバルな基準・規制をインド国内で取り入れる必要がある。

<その他>

- ・ 他の運輸部門全体における EV 普及の中・長期的な戦略は未策定。
- ・ Automotive Research Association of India (ARAI)、International Centre for Automotive Technology (ICAT)、Global Automotive Research Centre (GARC)等の機関が、様々な条件下でのバッテリー性能試験等を実施している。
- ・ 環境・森林・気候変動省傘下の Central Pollution Control Board が、EV やバッテリーの廃棄や再利用に取り組んでおり、二輪車・三輪車用の中古バッテリー購入に関する規制を策定した。

⑥ 住宅都市省（Ministry of Housing and Urban Affairs : MoHUA）（2022 年 1 月 27 日実施）

<現状>

- ・ “Smart city mission”の下、100 都市で多様なプロジェクトが実施されている。2015 年から 2020 年まで実施される予定であったが、2023 年 6 月まで延長した。“Smart city mission”の予算の約 40%都市交通分野（電動バス、CNG バス、駐車場の整備、鉄道網の整備等）に使われている。
- ・ MoHUA は Smart city mission の下、各都市でのサイクリング促進活動を支援するイニシアティブ“India Cycles4Change Challenge”（2020 年 6 月開始）、各都市での歩きやすい街路の整備を支援するイニシアティブ“Streets for People Challenge”（2020 年 9 月開始）、公共交通のうち特に公共バスの普及に焦点を当てたイニシアティブ“Transport for all”を実施している。
- ・ インド政府が策定した ECBC（Energy Conservation Building Code）に沿って州が Smart City Mission の実装に向けた取組を進めている。
- ・ “Smart city mission”の下、各地で LED の設置が進んだ。再生可能エネルギーの活用や化石燃料の削減にも焦点が当てられており、ソーラーパークの設置や、国有建造物（政府の建物、公立学校等）での屋根置き太陽光パネルの設置等が実施されている。
- ・ 地域レベルでのスマートシティ開発の取組を促進するため、2021 年に国立都市問題研究所（National Institute of Urban Affairs : NIUA）の下に Climate Center が設置された。

<ニーズ>

- ・ スマートシティ構築に係る資金支援：各都市は Smart city mission に充てられる資金のほとんどを使い終えており、今後の資金調達を検討していることが想定される。Smart city mission の資金援助を受けていない小規模都市でも支援機会がある。

<その他>

- ・ 太陽光発電プロジェクトの多くは配電網に接続しないため、都市における再生可能エネルギー拡大に伴う電力会社との連携は大きな課題となっていない。

⑦ NTPC Limited.（火力発電部門）（2021 年 12 月 24 日実施）

<現状>

- ・ 既設火力発電所の効率改善のために超臨界圧ユニットの導入を進めてきた。
- ・ 石炭火力発電所の機器の寿命が課題であるが、早期廃止に係る資金は確保している。

<ニーズ>

- ・ 系統安定化：系統安定性の確保が当面の課題である。再生可能エネルギーの導入後にブータンやバングラデシュとも連系している系統の安定化が課題である。
- ・ バイオ燃料に関する支援：バイオ燃料のサプライチェーンが不十分である。NTPC は 5 % 以上のバイオマス混焼を目指しているが、混焼を行うとボイラー温度が上昇して効率が下がるという問題がある。
- ・ 系統柔軟性及び蓄電池に関する技術協力：現在、蓄電池は導入していないが、将来的には余剰発電分を貯蔵して必要な時に放出するようにしたい。再生可能エネルギーの大量導入に対応するために蓄電池を利用したセカンダリー・アンシラリー・サービスが必要になる

ことが想定される。

<その他>

- ・ アンモニア混焼、グリーン水素の活用は将来的に必要な技術という認識である。
- ・ 2、3年後に石炭火力発電所でアンモニア混焼を開始することを計画している。現在、他国際機関等と協力して調査を進めている。

⑧ エネルギー資源研究所（The Energy and Resources Institute：TERI）（2021年11月30日実施）

<現状>

- ・ 水素の需要がある産業は鉱山近郊に多く分布しているが、発電所は地価が安く、再生可能エネルギーのポテンシャルが高い所に設置されているため、需給施設の地理的分布が課題である。
- ・ インド政府は、グリーン水素の利用義務化に関する規制の導入を検討している。産業部門における水素利用のうち5～10%をグリーン水素にするという目標が含まれる。
- ・ インド工科大学マドラス校では二輪車・三輪車用水素貯蔵システムを開発してキャンパス内で実証事業を行っている。また、Tata Motors はインド宇宙研究機関が開発した燃料電池を搭載した公共バスの実証事業を行っている。
- ・ インド政府は、自国を世界の水素製造ハブにすることを目指しており、短期・長期的に水素輸出大国になる努力をすると公表している。今後、水素の先進的な研究も実施される予定である。
- ・ インドの油井やガス井のCO₂貯蔵量が非常に限定的であり、さらに地質的分布を考慮してもコストが高い。

<ニーズ>

- ・ 水素に係る技術支援・実証事業：グリーン水素製造のためのインフラ整備が課題である。CCUS は民間企業が実証実験を実施しているのみである。また、日本の水素製造、貯蔵、輸送貯蔵、インフラの技術を高く評価しており、これらの技術がインドで役に立つと考えている。
- ・ 鉄鋼業での水素利用：低炭素化にはグリーン水素を用いた新しい製鉄プロセスを製鉄所に取り入れる必要があるが、技術面・投資面で課題がある。電解装置や水素製造、燃料電池技術等の日本の技術への関心は高い。
- ・ 燃料電池製造や電解装置の研究開発：燃料電池製造や電解装置の研究開発が行われており、日本の技術に関心がある。将来的には、貯蔵タンク向け材料の研究が必要となると考えられている。

<その他>

- ・ 発電部門における水素混焼とアンモニア混焼は検討されていない。インドでは再生可能エネルギーのコストが非常に安価であるため、再生可能エネルギーの比率が高くなるほど発電部門における水素利用のコストは効率的ではなくなる。
- ・ 過去には石炭火力の稼働率が80%以上であったが、近年、50～60%にまで低減した。

⑨ Power System Operation Corporation Limited (POSOCO) (2022 年 2 月 10 日実施)

<現状>

- ・ POSOCO は全国系統と五つの地域系統を管理する系統運用会社であり、再生可能エネルギーの系統連系にも関わっている。
- ・ AGC を利用したソーラーパークの連系に関するパイロット事業を行うなど、既存の発電設備の給電管理も含め幅広い事業を実施している。
- ・ ソーラーインバーターを投入して夜間に制御するパイロット事業も実施した。

<ニーズ>

- ・ 電力貯蔵技術移転等：現在の電力貯蔵は主に配電レベルで、系統規模の技術が限られていることが課題である。日本では東京電力等が多くの揚水発電所を所有しているため、その技術を学びたいと考えている。
- ・ 系統安定化：2030 年までに再生可能エネルギー設備 500GW という野心的な目標の中で、太陽光発電導入後の電力系統安定化制御が課題である。また、電圧や無効電力が脱炭素実現には重要であると認識しており、その制御方法について学びたいと考えている。
- ・ 電力需要予測：屋根置きソーラーの需要想定が課題である。現在、全国で 7GW 分設置しているが、今後急速に設置数が増える見込みであり、給電管理の面でも屋根置きソーラーの需要想定が必要であり、日本から学びたいと考えている。
- ・ グリッド接続に係る規格策定：再生可能エネルギーの大量導入により発生しうる系統上の課題に対応するためにグリッド接続の技術規格について検討している。慣性力維持の問題等も含めてグリッド連携について検討を続ける必要があると認識しており、日本の経験や技術を学びたいと考えている。

<その他>

- ・ 州内の系統運用は州ごとに設置された給電指令所が管轄している。その上に、五つの地域給電指令センターが設置されており、ここが州をまたぐ系統運用を管理している。さらにその上に全国給電指令センター (National Load Despatch Center : NLDC) がある。

⑩ Energy Efficiency Services Limited. (EESL)

<現状>

- ・ 世銀が冷房システムについて都市部・農村部の新設・既存建物を対象としたプロジェクトを検討中である。
- ・ ADB が EESL に高効率空調システムの導入支援を行っている。
- ・ JICA と EESL とのパイロットプロジェクトが実装段階へ進むことを期待している。
- ・ USAID はインド国内で Net ZEB 化等の様々な ZEB 支援を行っている。EESL とは長年のパートナーである。

<ニーズ>

- ・ 民間向け ZEB 導入に係るファイナンス、技術支援等：ブレンデッドファイナンス、技術面でのインプット、キャパビル、ZEB のコンセプト普及、ISO 普及等が必要とされている。

2022 年 1 月から 3 月まで、タイの関係機関を対象にオンラインでヒアリング調査を行った。各機関への調査結果から得られた現状とニーズ、その他関連情報を以下にまとめた。

① 代替エネルギー開発・効率化局（Department of Alternative Energy Development and Efficiency : DEDE）（2022 年 1 月 5 日、3 月 3 日実施）

<現状>

- ・ DEDE は、再生可能エネルギーとエネルギー効率に関して担当している。“Energy Efficiency Plan 2018-2037”を策定し、2037 年に 2010 年比でエネルギー経済効率を 30%削減することを目指しているが、今後、目標値を上げる可能性がある。
- ・ 韓国（政府もしくは企業）がバイオ燃料とサプライチェーンに関するエネルギープロジェクトを実施している。
- ・ 住宅での太陽光発電設置事業を実施している。この事業によりプロシューマーが太陽光発電に自由にアクセスできるようになることを目指している。今後、PV トレーディングシステム、ブロックチェーン、建物や輸送機関での太陽光発電の利用等を進める。
- ・ 建物省エネ設計基準（Building Energy Code）を新築建物（床面積 2,000m² 以上）に建設許可取得前に基準を満たすことを義務化している（2020 年法令発効）。しかし、その基準は最低限必要な水準に留まっている。
- ・ 大学と連携してエネルギー効率化のための技術の研究開発を行っている。アカデミアにエネルギー管理プログラムの energy auditor や訓練プログラムのトレーナーを依頼し、省エネプログラムを実施している。
- ・ 産業部門のみならずセクター横断的な水素利用推進のための検討が始まった。
- ・ HEPS については約 40 の基準、MEPS については約 20 の基準がすでに作成され、5 段階のエネルギーラベリングスキームが適用されている。ラベリングスキームプログラムは、EGAT とともに実施している。
- ・ 化石燃料への依存を減少させることを目的に EV 導入プログラムを開始した。30@30 目標も策定され、運輸部門の政策の重要な柱となっている。今後、導入目標はさらに引き上げられる可能性がある。

<ニーズ>

- ・ EV の導入に係る情報提供：化石燃料への依存を減らすために EV 導入プログラムを開始した。日本の商用 EV 導入目標値や市場予測等を参考にしたい。
- ・ 蓄電池の導入・廃棄に関する支援：太陽光発電所での蓄電池の導入と蓄電池の廃棄に課題がある。
- ・ ZEB に関する能力強化：省エネに関する研修に関心がある。国際基準に合致したタイ独自の ZEB ガイドラインの策定、ZEB のコンセプトを普及させるための建物所有者やディベロッパー向け ZEB 支援事業（実証事業や補助金事業）等を実施する必要がある、日本からの支援を期待している。また、日本と情報交換をしたい。
- ・ ヒートポンプの規制に関する規制：ヒートポンプに関する規制について検討している。国内には低温対応のみ存在するが、産業部門でも適応できる高温対応のものが必要である。高効率なヒートポンプにも関心がある。
- ・ 産業部門の低炭素化：産業部門における石炭や燃料油を削減し、再生可能エネルギー推

進と低炭素燃料への転換を進める必要がある。超高性能電気ボイラー技術や電炉技術等の化石燃料ベースの機器の代替となる解決策や技術の導入を推進したい。

- ・ バイオ燃料の産業利用、原料の生産促進：運輸交通部門ではすでにバイオ燃料が利用されているが、今後は産業部門での利用を促進する必要がある。また、バイオ燃料の需要拡大に備えて原料を生産するための農業を推進する必要がある。
- ・ エネルギー移行計画の作成：エネルギー移行計画の作成に加えて、バイオジェット等の低炭素目標を設定しなければならない。
- ・ 系統安定化に係る技術開発、スマートグリッド、蓄電池の導入：再生可能エネルギーの大量導入に係る系統安定化が課題であり、技術開発が必要である。また、スマートグリッドや蓄電池の導入が必要である。自動制御の最適化にも関心がある。
- ・ 効果的な MEPS 及び HEPS：スキーム適用対象の家庭用機器に加え、建物分野や産業部門で導入された新たな機器も対象とするように検討を進め、基準を策定する必要がある。より効果的な MEPS や HEPS の促進により、省エネ機器が市場支配的になることを理想としており、その実現のために日本の経験や知識を参考にしたい。
- ・ 運輸部門のエネルギー効率改善：産業部門と同様に運輸部門のエネルギー消費量が多く、移行期間に電化を促進する予定である。運輸部門のロジスティクスにスマート技術等を導入し、効率化を促進するとともに、省エネドライバーの育成や訓練プログラムを実施することも検討している。物流を管理する技術やソフトウェアも今後の取組として関心がある。
- ・ エネルギー供給源の分散、プロシューマー、エネルギー貯蔵がフォーカルポイントであると考えている。
- ・ 水素混焼、アンモニア混焼のパイロット活動の提案も興味深い。

<その他>

- ・ タイにおける水素利用の動きはまだ初期段階である。昨年、EPPO が水素の中長期戦略の作成を開始し、水素製造、産業・交通部門での利用、発電利用等について検討している。水素利用はまだ始まったばかりで規制はない。METI の協力で水素ロードマップを作成することになっているが、まだ完成していない。

② 交通省交通政策計画局（Office of Transport and Traffic Policy and Planning, Ministry of Transport : OTP, MoT）（2022 年 2 月 14 日実施）

<現状>

- ・ 運輸セクターでは、「Environmental Sustainable Transport Master Plan」、「20 Years Thailand Transport System Development Strategy」、「ITS Master Plan」等、複数の計画があるが、詳細さに欠けていることが課題である。
- ・ 2022 年中に、MoT は“EV Development Plan (2022-2037)”を策定する予定である。政府が EV 促進の方向性を明確に示していることから、MoT はその実装に向けて詳細な計画を作成している。船や鉄道の電化等の関連施策を一つのマスタープランに統合する点がこれまでの計画と異なる。

③ Banpu Public Company Limited (2022 年 2 月 15 日実施)

<現状>

- ・ グリーンエネルギー推進のため、日本(176GW)と中国(177GW)に投資しており、ベトナムでも風力発電、太陽光発電(160GW)に投資することを公表した。
- ・ E モビリティや太陽光発電等の分野において、日本のみならず他国でも投資や協働事業の実施を検討している。
- ・ Banpu は主に再生可能エネルギー、バッテリーとエネルギー貯蔵、E モビリティ、スマートシティ、電力取引の五つのテーマに取り組んでいる。

<ニーズ>

- ・ 再生可能エネルギー：将来のイニシアティブとエネルギー技術開発を推進したいと考えている。地方電化への投資も検討している。
- ・ バッテリー、エネルギー貯蔵：運輸交通部門に用いられるバッテリーを製造しているシンガポール企業に投資しており、技術開発に取り組んでいる。
- ・ E モビリティのデジタルプラットフォーム：デジタルプラットフォームの構築を検討している。
- ・ スマートシティ：エネルギー消費の高効率化を実現するために、需要側のエネルギー消費傾向について調査をしている。IoT を用いた情報収集が有効だと考えている。
- ・ 電力取引：日本はアジアでは早い段階から電力取引を開始した国であり、日本の電力取引の経験と知識を蓄積したいと考えている。そのために、日本企業(Global Engineering)に投資している。現状では電力取引は禁止されており、規制やルールはない。
- ・ 水素混焼、アンモニア混焼、CCUS：低炭素化に向けて石炭からガスへの移行や混焼等を取り入れる必要があると考えており、水素、アンモニア、CCUS の研究を進めている。
- ・ 需要サイドの認証スキーム：パイロット事業を実施しており、国内全体での導入には至っていない。

<その他>

- ・ スマートシティ構築に当たり、IoT を利用して人々のエネルギー消費量や傾向を把握する場合、デジタル経済振興庁(DEPA)とその関連機関との協働が必要である。

④ タイ発電公社(Electricity Generating Authority of Thailand : EGAT) (2022 年 2 月 17 日実施)

<現状>

- ・ 現在、EGAT は 2 件のパイロットプロジェクトを計画している。1 件はタイ国初の EOR プロジェクト、もう 1 件は周辺にガス資源を有する発電所での EGR プロジェクトである。
- ・ EOR プロジェクトと EGR プロジェクトのパートナー企業は現在検討中であり、将来的には協力企業を評価する予定である。

<ニーズ>

- ・ DR、VPP：現在、VPP のドラフトモデルを作成しているため、VPP の実装に向けて日本の経験を学びたい。技術的な問題のほか、規制や市場モデル、加えて顧客収益性や財務支援モデルについての情報を得たい。DR の取組にも興味がある。
- ・ 再生可能エネルギー発電出力予測：既にタイ国内の一部の地域では出力予測モデルが導入されているが、より正確で適切なモデルを必要としており、日本から技術を学びたい。

と考えている。

⑤ タイ石油公社（PTT Public Company Limited : PTT）（2022 年 2 月 17 日実施）

<現状>

- ・ 天然ガスは発電電力量の 7 割を占める主要なエネルギー源である。今後 15 年は主要な発電源であり続け、その後は、再生可能エネルギーの導入拡大に伴い徐々にシェアが低下すると考える。タイの天然ガス資源は枯渇し始めており、LNG 輸入を増やす必要がある。
- ・ PTT は民間企業等と協力してバッテリーに関する研究等を行い、知識やノウハウを蓄積している。

<ニーズ>

- ・ 再生可能エネルギー技術、投資：再生可能エネルギーに関する課題は、技術と投資コストである。
- ・ バッテリーの技術開発：バッテリーは再生可能エネルギーの有効利用や EV にとって鍵となる技術であると認識しており、技術開発を必要としている。
- ・ 水素に関する協力：水素は化石燃料を代替するものであり、これから必要となる技術であると認識している。日本と共同で水素の実証事業を実施できるとよい。

<その他>

- ・ PTT は湾岸地域において CCUS の研究を進めている。（EGAT へのヒアリング情報）

⑥ ESCO 協会（2022 年 2 月 18 日実施）

<現状>

- ・ タイの電気料金は安価に抑えられているため、ESCO 事業では投資回収に時間を要する。企業は 5 年以内には回収したいと考えているが、多くのプロジェクトでは回収期間に 5 年以上を要する。企業が金銭的な回収期間だけでなく、CO₂ の回収期間のイメージを持てるようになる必要がある。
- ・ ESCO の省エネ手法として、工場では主にエアーコンプレッサやエネルギーマネジメントシステム、電圧レギュレータが挙げられる。建物では照明、空調用ヒートポンプ、空調システム（チラー）が用いられている。
- ・ 中央政府機関や地方自治体が所有する建物を対象とした ESCO プロジェクトを実施している。政府予算で事業を実施する場合、ESCO へ直接支払うことができないため、ESCO 機器を購入し、代わりに電気料金を安くするなどの対応をとっている。
- ・ 省エネ推進における政策上の課題は、省エネと気候変動対策の所管省庁が異なることが一因で、省エネと気候変動対策の連携が取れていないことである。エネルギー効率に関する国際的なプロトコル（IPMVP）を実施することで、タイ国内で省エネを促進できると考える。
- ・ タイには EERS（Energy Efficiency Resources Standard）というスキームがある。これは、電力会社に対して顧客のエネルギー消費量を減少させるように支援することを求めるものである。ただし、省エネ政策は、政府や EGAT、また、PTT のような企業を対象としている。

<ニーズ>

- ・ ESCO に関する規制：ESCO は民間ビジネスとして実施しているため、現在策定されている規制は多くない。
- ・ 省エネプロジェクトの評価、新規技術の導入（実証事業等）：大規模な省エネプロジェクトが機能するのか、あるいは継続できるのか明確ではないため、省エネの導入が進んでいない。
- ・ 電力消費の効率性向上：現状では省エネの市場が小さいため、電力消費の効率性向上に関するインセンティブはなく、ESCO 協会もその設定に取り組んでいない。

<その他>

- ・ ESCO は、ENCON Fund（Energy Conservation Promotion Fund）へプロジェクトの詳細を提出し、政府から資金援助を受けることができる。予算は、政府が拠出している。また、財源は石油ファンド（Petroleum Fund）からの拠出金が多くを占めている。

⑦ エネルギー規制委員会（Energy Regulatory Commission：ERC）（2022 年 2 月 21 日実施）

<現状>

- ・ 発電よりも送電に課題がある。
- ・ 需要家が再生可能エネルギー電源を選ぶことができるような仕組みがない。
- ・ 自由化のペースが速く、新規参入者への対応が後手に回っている状況である。

<ニーズ>

- ・ EV 開発と関連規制等：EV の開発、価格設定、EV 推進に必要な規制、EV 充電料金、支払場所等の設定が必要である。
- ・ DR の導入：日本における DR の実施状況、支払方法やインセンティブに関心がある。
- ・ 再生可能エネルギーに係る規制等：再生可能エネルギーに競争力を持たせるための工夫、太陽光発電に係る規制、バッテリーの導入等について関心がある。
- ・ 自由化とオープンアクセスの規制：オープンアクセスのための規制について、日本の取組に関心がある。また、再生可能エネルギーの自由化については、再生可能エネルギーの普及と電力安定化のルール作りが必要である。電力セクターにおける新規参入者への対応方法等についても相談したい。
- ・ 技術も重要だが、規制関係が最優先だと認識している。規制当局者の派遣等も可能であればお願いしたい。

⑧ タイ電気自動車協会（Electric Vehicle Association of Thailand：EVAT）（2022 年 2 月 24 日実施）

<現状>

- ・ 2025 年までに 225,000 台の EV（乗用車）を製造するという目標を掲げている。さらに、2035 年には利用されている乗用車の 100%を、そして生産台数の 50%を EV にすることを目指している。
- ・ 政府は 2022 年 2 月 15 日に、EV 促進を目的として 2022～23 年に EV 輸入関税の軽減措置をとるという政策を策定した。また、輸入業者は、2025 年までに EV の現地生産ラインを

作らなければならない。

- ・ 産業や住宅で太陽光発電と併せて EV バッテリーを再利用することを検討している。バッテリーのリサイクルではなく、まずはリユースを検討する必要があると認識している。
- ・ Department of Land Transport と V2G の安全性について議論しており、今後は自動車メーカーとも協議をする予定である。将来的には、政府が V2G を実装する自動車会社に対して、減税やサポートスキームを実施することも想定している。
- ・ EV 充電インフラの関連企業は複数あり、総じて“charging consortium”と呼ばれている。最も大きい企業は Energy Absolute であり、他に PEA といった配電会社もある。

<ニーズ>

- ・ 使用済み EV バッテリーの廃棄物管理計画策定：EV 普及の初期段階であり、ほとんどが PHEV であることから使用済み EV バッテリーのリユースは検討していない。しかし、バッテリーの交換時期が約 10 年であるため、これから検討が必要である。
- ・ V2G 技術開発計画、商業化のための制度設計等：現在利用されている EV 台数は多くないが、今後、政府機関や民間企業等と V2G の技術開発や商業化のための制度設計についての協議を進める必要がある。
- ・ 公共交通機関の電化（パイロット事業等）：現状では、空港と都市を結ぶタクシーのみが電化されていて一般的ではない。タイ国内には古いディーゼルバスもいまだに走っており、電動バスに置き換える必要がある。

<その他>

- ・ EVAT は The Office of Industrial Economics (OIE) と Ministry of Energy との関連が強い。
- ・ EVAT は陸上輸送のサポートや安全性に関連して Department of Land Transport とも緊密に連携している。
- ・ EV の普及拡大にはスパタナポン副首相兼エネルギー相が強く関与しており、全体的なサポートスキームには Excise Department が強く関与している。民間企業に関係する OEM 等のサポートスキームについて協議するために Excise Department とも連携している。
- ・ EVAT は、サポートスキーム検討の初期段階で様々なインプットを National Electric Vehicle Policy Committee (NEVPC) にできるように緊密に連携している。また、Mercedes-Benz、BMW、日本の自動車メーカー等も積極的に EV 促進に取り組んでいる。

⑨ タイ銀行協会（Thai Bankers' Association : TBA）（2022 年 2 月 28 日実施）

<現状>

- ・ 10 年以内には石炭火力発電所からフェーズアウトする必要があると認識している。産業ごとの GHG 排出量や顧客が抱えうるリスクを評価し、必要な対策を検討する必要がある。
- ・ 2030 年までに石炭火力への依存をゼロにすることを目指しており、新規石炭火力発電所建設への融資を停止することを検討している。
- ・ 近年は再生可能エネルギー導入に係るインセンティブで多くのリターンが得られるようになってきたため、再生可能エネルギーの導入が進んでいる。
- ・ タイ国内でスマート工業団地の実証が進められている。
- ・ タイではまだタクソノミーが制定されていない。

- ・ タイ政府はエネルギー・トランジションを実現するためにガス火力発電所を減らすことを試みている。今後も運輸交通部門で LNG が利用される。
- ・ タイでは、エネルギー・トランジションに向けた電源開発（Power Development）の議論が進められており、2022 年の新規発電所建設計画についても話し合われている。エネルギー省は最も良いエネルギーミックスの設定が必要だと考えている。
- ・ 今はグリッドに注目が集まっているが、ガス火力発電所への CCUS 導入については導入コストや効果等についての情報も必要である。

<ニーズ>

- ・ 重工業分野の低炭素化：特に重工業分野等において、よりグリーンな活動や事業を促進させるためのファイナンスが必要であり、JICA 等から産業の低炭素化に向けた補助金や資金支援を受けたい。そして、低コストでサステナビリティや低炭素を実現したい企業や機関もあるため、そのような企業や機関を対象としたプロジェクトを TBA と日本政府が協働実施できるのではないかと考える。
- ・ タクソノミーの制定、気候変動の適応策・緩和策に係る金融商品の開発：タイにおいて気候変動の適応策や緩和策に使うことができる金融商品（グリーンボンド、サステナビリティボンド、サステナビリティ・リンク・ローン等）が必要である。
- ・ CCUS 導入：CCUS 導入は技術とコストが課題であるが、関係者に既存設備への CCUS の導入方法等の知識を身に付けてもらい、導入を促進する必要がある。
- ・ 産業の低炭素化に向けた新規技術の導入支援をしていただけるとありがたい。
- ・ 水素混焼：タイ政府は今後ガス火力発電所を減らしてエネルギー・トランジションを進めていこうと考えている。また、水素混焼が確立された技術であれば融資可能。
- ・ リスクを回避するためには関係者間での知識の共有と能力強化が必要である。

⑩ 産業省（Ministry of Industry : MoI）（2022 年 3 月 1 日実施）

<現状>

- ・ 太陽光発電の蓄電池を工場用地内に設置している事例がある。工場で電気を生産することは可能だが、売電には許可が必要である。
- ・ フォークリフトなどの重機は、EV に向いていないという認識である。ウタパオ国際空港では EV が構内を走っている。鉱物を運搬するトラックを ICE から EV へ転換するというパイロット事業が開始されている。

<ニーズ>

- ・ 建設業務等で用いられる重機の低炭素化、水素自動車技術の導入：建設関係も含めた重機車両には水素エネルギー（燃料電池）が適していると考ええる。他に新たな技術等があれば知りたい。
- ・ 使用済みバッテリーのリサイクル、リユース：電気自動車と同様にバッテリーパックも急速に普及することが予想されるため、使用済みバッテリーのリサイクル、リユースを検討する必要がある。日本にはバッテリーテストや管理方法のサポートをお願いしたい。車載用バッテリーを、Inverter Energy System (IES)として二次利用し、家庭や工場向けに利用できると良いが、まずは既に販売されている EV バッテリーモジュールが IES として利用可能かを調査する必要がある。

<その他>

- ・ 工場内の蓄電池設置に係る関係機関はタイ工業省工業経済事務局(OIE)である。

- ・ 電力関係者とは今のところ V2G (Vehicle to Grid) について議論していない。唯一の輸入車 (トヨタプリウス) が V2G システムを提供できるが、タイの電力システムとは一致していない。

(3) モロッコ

2022 年 3 月、4 月にモロッコの関係機関を対象にオンラインでヒアリング調査を行った。各機関への調査結果から得られた現状とニーズ、その他関連情報を以下にまとめた。

① モロッコ持続可能エネルギー庁 (Moroccan Agency for Sustainable Energy : MASEN) (2022 年 3 月 11 日実施)

<現状>

- ・ モロッコは需要を上回るエネルギー生産が可能であるため、欧州南部とアフリカ西部に再生可能エネルギーを輸出する予定である。2016 年には欧州 4 か国 (フランス、ドイツ、ポルトガル、スペイン) と共に持続可能な電力取引 (Sustainable Electricity Trade: SET) ロードマップを策定し、共同宣言を発表した。
- ・ 再生可能エネルギーの促進に関する課題は電力の安定供給である。また、民間企業からの投資を促進させたいが公的機関の投資とのバランスが課題である。移行スピード、投資、収入のバランスをとる必要があると認識している。
- ・ エネルギー生産にあたり、モロッコにおける雇用創出、国産化率 (ローカルコンテンツ) 等の付加価値を創出する必要がある。風車部品の 6 割を国内で生産することを目指して、ブレード製造工場をタンジェに設置し、風車の軸についても国内生産実現のために取り組んでいる。太陽光発電の部品の国産化率は 3 割に留まる。
- ・ MASEN は、ワルザザートに研究開発の実証プラットフォームを、ベンジェリルには生産・貯蔵・使用の実証研究機関を設置した。
- ・ モロッコは再生可能エネルギーのポテンシャルが高いため、将来、チリやオーストラリアと並んで安価なグリーン水素を生産できる国になると想定している。特に、炭素税が課される国では有利になる。現在、インフラの設備投資が水素価格に与える影響について調査中である。
- ・ 現在、MASEN と ACWA Power (サウジアラビア企業) が CSP による熱エネルギー貯蔵事業を共同実施している。MASEN が国の保証人となり、世界銀行、KfW、アフリカ銀行、EIB から融資を受けている。
- ・ 燃料電池の技術研究開発を行っている。水素を地下空間に貯蔵する技術はまだ開発途中である。
- ・ ドイツがモロッコでグリーン水素 100MW を製造して輸入するという計画を立てており、KfW がモロッコに技術・経済調査のための資金を提供している。
- ・ 水素燃料自動車の価格が高いため、運輸部門での水素利用ロードマップは作成されていない。船舶については、アンモニア燃料船の導入が見込まれている。
- ・ 水素と太陽光に関する技術開発や能力強化における官民連携を促進させるために、水素のプラットフォームである GreenH2 Maroc と太陽光のプラットフォームである Cluster Solaire

が設置されている。

<ニーズ>

- ・ グリーン水素製造：現在の課題は、事業のリスクを検討するために必要なグリーン水素製造に関するデータが存在しないこと、国内設備メーカーが必要な機械を製造していないこと、グリーン水素とグレー水素の競合や炭素税等の税制を考慮した長期エネルギー調達と長期的な水素の販売契約が必要であること、エネルギー貯蔵と輸送のためのインフラが不足していること、また、グリーン水素の製造・輸出に関する民間による投資の誘引ができていないことである。
- ・ グリーン水素の輸出支援：現在、米国や韓国、日本への輸出に向けて、ダーラーアトランティカ港を建設中である。日本も水素を含むグリーンエネルギーに力を入れる計画を立てているため、日本からの協力が期待されている。
- ・ エネルギーの輸送・貯蔵・利用：JICA からの技術的な協力を期待されている。ワルザザートの研究開発実証試験場では住友電工が 1MW の CPV 実証を行った。また、住友電工とはレドックスフロー電池の実証事業でも協力している。

<その他>

- ・ 資源価格の高騰を契機に、再生可能エネルギーに関する法律（法案 5816、法案 1309）を策定し、2009 年から再生可能エネルギーの導入が開始された。
- ・ グリーン水素の生産には海水を淡水化処理した水を利用することになるが、モロッコでは日常生活用水と農業用水も不足している。2022 年 3 月現在、アガディールにアフリカ最大の淡水化設備を建設中である。
- ・ グリーン水素とグリーンアンモニアの輸出先は、経済交流があり、距離も近い欧州が想定されている。現状では、グリーン水素は輸出商品という認識である。
- ・ 研究開発を進めるため技術者の教育機関（IFMEREE）を設立した。ワルザザート、タンジェ、ウジュダの教育施設で各 1,000 人の技術者を受け入れられる。

② Société d'investissement énergétique (SIE)（2022 年 3 月 15 日実施）

<現状>

- ・ SIE はモロッコのエネルギーサービス公社である。省庁と連携して国家プロジェクトの実務を行う機関であり、国内エネルギー効率化市場を牽引する役割を担い、官民のファシリテーターとして活動している。また、エネルギー性能プロジェクトの監査、準備、実施、及び契約期間中の測定と監視を行うサービスも提供している。
- ・ 民間企業が BtoB 契約もしくは資金調達をしてエネルギー効率化プロジェクトを実施する際には、技術面での支援や資金調達ソリューション等の情報を企業に提供して報酬を得ている。ファイナンスは担当していない。
- ・ SIE は公共施設、公共照明、産業の脱炭素化、クリーンモビリティ（石油消費量の削減）におけるエネルギー効率向上を重点分野としている。
- ・ COP26 の際に、エネルギー転換・持続可能開発省が 2030 年までにエネルギー消費量の 20% の削減を目標とする「エネルギー効率国家戦略」を再発表した。SIE はこの削減目標を達成するために、国家 MRV（測定・報告・検証、Measurement, Reporting and Verification）システムを導入した。
- ・ SIE はエネルギー効率分野で 2026 年までに収支均衡を達成する目標を掲げている。

- ・ 国内エネルギー事情が石炭・石油コストの急騰の影響を受けているため、今後、SIE は国営電力・水道公社（Office National de l'Electricité et de l'Eau : ONEE）電力支部の協力を得て、国のエネルギー効率化を優先的に支援する予定である。
- ・ SIE は、短期、中期、長期的な省エネプロジェクトを実施している。マラケシュ市街の公共照明の省エネ、エネルギー料金最適化、RSK 地域のソーシャルセンターのエネルギー改善プロジェクト等を実施している。これらのプロジェクトを通して中小企業の電力消費削減支援を行う必要があると実証した。
- ・ ONEE の協力を得て、一般市民向けの機器供給プログラム（例：LED 導入支援等）の実施を検討している。
- ・ SIE はパートナー省庁の職員を対象に省エネとエネルギー管理についての研修を開催している。また、エネルギー転換・持続可能開発省とともに、短期間での普及啓発も行っている。例えば、「Green Mosques」プログラムの枠組みの中で、金曜日礼拝チャンネルを活用して省エネを呼びかけて市民の意識向上を図るなどしており、2022 年には 5,000 箇所のモスクのエネルギー性能改善を目指している。
- ・ 産業部門、交通部門、都市開発部門のエネルギー効率化を進めている。都市開発部門では照明のエネルギー効率化事業を行っている。SIE では、産業ごとにマニュアル化した省エネ対策パッケージを提案できるようにしている。
- ・ kWh 単価を安定的かつ安価に供給できるように足元の原材料価格高騰に対する保護対策を用意している。
- ・ 建物のエネルギー効率化については、保温効果の基準、給湯に関する基準、電気系統に関する基準がある。冷房については、熱を逃がさないようにする（設備や建物等の）外側部分に関する基準と、エネルギーを消費する機器自体に関する基準が定められている。
- ・ SIE は国際的な企業や国内企業を対象にエネルギー効率化の契約を締結してサービスを提供している。マーケットの拡大と国際的なマーケットの開放を重視している。
- ・ クリーンモビリティ実現のために公共交通機関におけるプラスチックの燃料化や、炭素を含むごみを活用したフッ素低濃度燃料開発等の支援を実施している。
- ・ カサブランカのモスクでは 5GW 分の給湯が、ハمام（銭湯）では 12,000 m³分の温水がヒートポンプによって賄われている。個人住宅では太陽光を用いた給湯が普及している。

<ニーズ>

- ・ クリーンモビリティに係る法整備とパイロット事業：中部モロッコの中心都市であるマラケシュでは電動バスの実証事業が行われているが、電動自動車用の交通インフラが整っていないため、エネルギー転換・持続可能開発省が法整備を進めている。まずは市町村でパイロットプロジェクトを実施し、インフラやユーザーの課題を抽出する必要がある。
- ・ 中小企業の省エネ投資に係る資金支援：主に中小企業を対象に ESCO 事業が行われているが、中小企業は原材料の価格高騰や新型コロナウイルス流行による経済的な打撃を受けているため、資金繰りに課題を抱えている。なお、政府は資金繰りとエネルギー効率化支援を実施する責任がある。
- ・ 産業部門でのヒートポンプ普及：SIE は産業部門でヒートポンプ利用を普及させることを検討している。SIE は、一つのヒートポンプで複数のクライアントに熱を供給する方法や、太陽光パネルと併設して給湯を効率化したいと考えている。
- ・ 冷房の省エネ：冷房需要が増加する夏場の省エネ対策と設備投資が課題である。また、冷氣製造や電気モーターの省エネ技術開発が必要とされている。

<その他>

- ・ ショッピングセンターや工場、港湾のエネルギー効率化は産業・貿易省が、新築住宅建設時のエネルギー効率化基準等の設定は国土計画・土地計画・住宅・都市政策省が担当している。
- ・ 英国から資金提供を受けてモロッコの省エネ基準（計測、確認作業等）調査を共同実施している。また、エネルギー効率化に取り組む企業が資金援助を受けやすいような仕組み（Performance Bond）の構築のために保険会社と協働している。
- ・ ドイツ、フランス、イタリア、スペイン、アメリカ、イスラエルとも技術交流をしている。

③ 太陽光・新エネルギー研究所（Research Institute for Solar Energy and New Energies : IRESEN） （2022年3月16日実施）

<現状>

- ・ IRESEN は、エネルギー転換・持続可能開発省並びに複数の公共・民間企業エネルギー部門からの投資を受けて活動している。主に、大学と企業との連携促進や、大学や企業への研究開発資金支援等を行っている。
- ・ 研究開発・イノベーションの取組として、省庁への助言、地域戦略支援、産業界との協働、教育研究の支援等を行っている。
- ・ グリーンエネルギーパーク（太陽光、太陽熱、電気・熱エネルギー貯蔵）、グリーン&スマートビルディングパーク（建築資材、モビリティ、マイクログリッド）、グリーンエネルギーパーク（グリーン水素、アンモニア）、グリーン H2A（研究開発・意思決定支援、技術移転）等の実証事業を実施している。
- ・ 軽量 E-mobility、産業用太陽熱直接利用、新建材検証、電気化学貯蔵、研究開発グリッドエネルギーパーク（コートジボワール）等の研究開発プロジェクトを実施している。
- ・ グリーン水素製造の課題は、様々な再生可能エネルギーを組み合わせることで製造量を増やしていくことだと認識している。まずは、小規模で安定的に、かつ効率的にグリーン水素を製造し、その後生産量を増加させる必要がある。
- ・ 2020 年にドイツと三つのプロジェクトの契約を締結した。一つ目は、グリーン水素等の製造に係るパイロットプロジェクト、二つ目は MASEN との共同調査プロジェクト、三つ目は法整備支援プロジェクトである。他に、50～100MWのグリーンアンモニアのプロジェクト、規模拡大のための調査研究を進めている。
- ・ モロッコでは CCS・CCU、及びグリーン水素の輸送手段はまだ注目されていないが、IRESEN は今後これらについても検討する必要があると考えている。
- ・ 現在、モハメド六世工科大学他と専門家チームを組み、バッテリーに関する研究を進めている。また、採掘会社マナジェンがリサイクルユニットを提供している。さらに、グリーンパーク内にラボを建設中で、課題調査など行う予定である。まずはバッテリーのリユースを検討し、その後、リサイクルについて検討を行う予定である。

<ニーズ>

- ・ E-mobility 推進に係る協力：電力系統のインフラが整っていないため、電気系統の補強に力を入れたい。急速充電と普通充電を組み合わせたステーションの建設を検討している。また、法的整備が追いついていないため、現状では特定免許を持つ企業のみが電気を販売でき、充電ステーション運営は違法となってしまう。
- ・ バッテリーの製造とリサイクル：モロッコでは年間 20 万台の自動車を製造しているがモロ

ッコにはバッテリー製造のノウハウがない。日本とパートナーシップを組むなどして国内にバッテリー工場を建設し、バッテリー生産を行うことで、EV 価格の低減を図ることができる。また、リサイクル技術もないため、協力を通じて産業育成ができる。

④ モロッコ・エネルギー効率化庁（Agence Marocaine pour l'Efficacité Energétique : AMEE）（2022 年 3 月 23 日実施）

<現状>

- ・ 現在モロッコでは、エネルギー効率国家戦略の下、以下の施策を実施している。
 - エネルギー高効率設備に投資した場合にコスト回収を早める（税率が下がる）仕組みの構築。
 - 新規パイロットプロジェクトのサポート。
 - ガスへの燃料転換。モロッコの主要エネルギー源であるブタンガスや重油は CO₂ 排出量が多いため、燃料インフラ設備の変化を促し、エネルギー消費量とコストを下げる必要がある。
 - 政府が事業者等に対して設置しているエネルギー消費量の開示義務において、年間 15,000 トン（重油換算）を超過した場合に事業者は監査を受けることが義務付けられているが、ISO50001 に認証されていれば、その監査が免除されるという施策。
 - エネルギー効率に関する研究促進。
 - エネルギー効率の最低値（最低エネルギー性能基準）を設定する。現在は変圧器、モーター、冷蔵庫、エアコン、照明のみ基準があり、基準を満たさなければ輸入不可になる場合もある。
 - 上記以外にも、産業設備・産業プロセスの最適化、生産設備以外での省エネ対策、省エネ教育等も実施している。
- ・ 国内の砂漠地帯や山間部等では気温が大きく異なるため、各地域によって建物の省エネ基準が異なる。建築時の省エネ基準もあるが、より高効率の建築物をさらに優遇するためのラベリング導入にかかる法案は現在施行待ちである。
- ・ モロッコではブタンガスを用いた暖房や給湯が主流である。国からブタンガス使用に係る補助金が得られる上、運搬性にも優れているため最も普及している。
- ・ モロッコでは、建築物のエネルギー消費量が最終エネルギー消費量の 33%を占めており、2 番目にエネルギー消費量が多い需要分野である。建物と公共照明の分野で約 1.1%の省エネが見込まれる。
- ・ AMEE は、欧州復興開発銀行（EBRD）の支援を受けて建築分野とエネルギー機器 4 種（変圧器、エアコン、冷蔵庫、モーター）の性能基準である MEPS（Minimal Energy Performance）を策定した。また、建築物のエネルギー性能ラベル「Eco-Binayate」も開発した。これらのラベルは、外資企業等が投資しやすい環境を整えるために策定された。現在は、公的機関が国内で販売されている家電・機器のエネルギー性能とエネルギーラベリングに関する法令を検証している。
- ・ 家庭用ヒートポンプは初期投資が高いため、普及率が低い。産業部門ではリターンを見込んで取り入れられる可能性もある。しかし、産業部門では化石燃料の使用率が高いことに加え、モロッコ国内にはヒートポンプの生産施設がないため、輸入補助金の対象範囲となり、高所得世帯を対象とした補助金のみとなる懸念がある。
- ・ AMEE とエネルギー転換・持続可能開発省は共同で Energy Manager, Energy Auditor（エネ

ルギー管理士、監査人)の育成に取り組んでいる。育成センターを設置し、建築、産業、運輸、農業等の分野の労働者に対して省エネ研修を開催している。エネルギー監査に関する研修は ISO50001 認証等を取得できる民間団体が実施している。AMEE が提供するエネルギー管理に関するプログラムの内容は、太陽光発電、建物の断熱省エネ等である。本件に関連して、世銀等の投資関連機関とパートナーとして繋がっている。

- ・ 運輸部門がエネルギー消費量の 40%を占めている。現在、燃費基準は設定されていないが、タイヤのラベリング制度の設計を進めている。タクシー会社等にエネルギー効率の監査補助やエコドライブ研修を実施している。その他、国の機関を対象としたカーシェアアプリの作成や、電気自動車の充電設備を 100 か所設置する等の実証実験も行っている。
- ・ モロッコでは、価格が安いディーゼル車が普及しており、ハイブリッド車は高級車扱いである。

<ニーズ>

- ・ 冷房の省エネ: エアコンの普及率は約 10%程度であるが、今後新築物件が増加するが、2030 年にエアコン普及率は 40%と見込まれるため、省エネ対策が必要である。
- ・ MEPS の制定: 現時点では 4 種類の機器のみがラベルの対象になっているが、他の機器に拡大する動きがあり、協力のニーズがある。また、AMEE は省エネ活動を実施するための国の追加予算が必要であることと、各国の不動産開発企業のラベリング採用可否を判断しなければならないことが課題であると認識している。
- ・ MEPS の監視体制構築: エネルギー転換・持続可能開発省では MEPS 監視に関連する法を整備中であるが、監視専門の機関がないため、その設置について日本へ協力を依頼する可能性がある。設備面のチェックは専門の部署が既にある産業・貿易省が担当する。

⑤ モロッコ国営電力・水道公社 (National Office of Electricity and Drinking Water : ONEE) (2022 年 4 月 15 日実施)

<現状>

- ・ 現在、モロッコの再生可能エネルギー比率は約 40%であるが、2030 年までに少なくとも 52%とすることを目標としている。
- ・ 昨年、モロッコ政府は新規石炭火力発電所の建設を停止することを発表した。2018 年に新設した火力発電所は 2045 年まで運用継続される予定である。
- ・ 低廉な石炭火力は、ベース負荷としてエネルギー消費の約 70%を担っており、電力安定供給の上で重要であると認識している。国レベルの給電部門や運用部門と共に再生可能エネルギーの導入を検討しており、電力貯蔵についても計画を立てている。
- ・ モロッコとスペインの間を 2 系統で接続しており、送電容量は 700MW である。3 系統目としてスペイン、ポルトガルとの直流連系を検討中である。
- ・ 欧州で再生可能エネルギーの導入が進むことでモロッコ側の系統安定を維持できていると考える。
- ・ MASEN の太陽熱発電は 7 時間の貯蔵容量がありエネルギーを蓄えられる。過去に再生可能エネルギー発電量が電力需要を上回るような状況になったことはない。豊富な再生可能エネルギーを活用してグリーン水素を製造することが可能である。
- ・ 超高压系統 (400kV・225kV) では、発電事業者が ONEE に売電することが可能である。さらに中圧系統まで拡充する法案が可決されているが、地域変電施設を介して高压側には逆

流しないよう対処している。

- ・ 1996 年までは ONEE が発電設備の運営を独占していたが、その後、発電部門の自由化により IPP が増加している。
- ・ IPP との長期買電契約には出力制限やアンモニア混焼といった低炭素化に関する要求は入っておらず、現時点で追加要求することは困難である。

<ニーズ>

- ・ 海洋揚水発電に関する協力：日本が経験を有している海洋揚水発電に関心がある。
- ・ ネットゼロに向けた火力発電ロードマップ作成：現在、ONEE の石炭火力発電所が Mohammedia、Kénitra、Jerada にある。これらの発電所は老朽化しているが、需要ピーク時の対応のために継続して稼働させている。また、ガス火力発電所も存在する。よって、これらの火力発電所のロードマップを作成する必要がある。ONEE の設備で新技術の実証を行うことも可能である。
- ・ 水素混焼/専焼等の新技術導入：現在、国内のガス火力発電所が 2 基とも停止しており、再稼働のために用いる代替燃料を検討中である。また、将来の火力発電所の安定運用を検討するために、日本の協力を必要としている。
- ・ アンモニア混焼：燃料価格が高騰していることから、長期的には石炭から別のエネルギー源に転換していく必要があると認識している。アンモニア混焼等に関する日本の技術や経験を共有するためのワークショップの開催が期待されている。

(4) インドネシア

2022 年 7 月、インドネシアの世銀にオンラインでヒアリング調査を行った。当日、世銀からは環境の専門家が参加し、インドネシア政府の目標設定の状況説明と世銀が実施しているプロジェクトの紹介が行われた。

① 世銀インドネシア事務所（2022 年 7 月 21 日実施）

<現状>

- ・ インドネシアでは NDC のターゲットを設定している他方、森林分野で 2030 年までに排出量をマイナスにすることを目指す等、政府内でも様々な目標を設定している。

<世銀が実施中のプロジェクト>

- ・ 気候変動と経済成長との関係に関する分析調査を行っており、9 月頃終了予定である。
- ・ 省庁別ドナーの協力の実態調査を行っている。各省庁が支援を受けて実施しているプロジェクトとその金額、追加供与の必要性を財務省が把握するための調査である。
- ・ 石炭火力発電所における排出権取引（ETS）の支援を行っている。Partnership for Market Implementation というグラントで、エネルギー部門のカーボンプライシングの導入促進、インフラ整備を図る。

3.2.2 協力プログラム案

(1) インド

デスクトップ調査及びインタビューを踏まえ、以下の 4 つの協力案につき、MOP に対して提案

を行った。

提案 1 VRE 大量導入に伴う系統安定化対策

提案 2 カーボンニュートラル実現に向けた配電系統の運用最適化

提案 3 産業分野へのヒートポンプ導入のための支援

提案 4 ZEB 導入のための支援

■ 提案 1 VRE 大量導入に伴う系統安定化対策

【Program Objective】

VRE 導入促進を目的として、既存の石炭火力発電の出力調整能力の整備や蓄電池の利用拡大など、VRE 大量導入下での電力系統の安定化に関する技術協力を行う。

【Projects】

1. 系統運用の高度化
 - (a) 既存石炭火力発電の柔軟運用に向けた制御装置とソフトウェア改修
 - (b) 系統運用に関する技術協力
 - i) 天候予測と出力制限を最適化するためのシミュレーションとキャパシティビルディング
 - ii) a)を運用するための技術協力
 - (c) 系統運用規則・ルールのキャパシティビルディング（インド側のニーズ要確認）
2. AGC・VQC システム導入のためのファイナンス（円借款）
3. 蓄電池の普及拡大のためのファイナンス支援
 - (a) BESS 導入拡大のための技術協力
 - (b) BESS 導入拡大のためのファイナンス支援

表 232 1. 系統運用の高度化

背景	VRE の大量導入に伴う系統安定化対策の一つとして、石炭火力の周波数調整力強化が挙げられている。石炭火力の最低出力拡大と共に、経済負荷配分（限界費用配分）機能を具備した AGC システムの拡大が効率的に石炭火力等を運転する手段となる。また、送電線等の電力潮流の変動による電圧変動抑制対策、系統の信頼度向上の観点から、VQC システム等による自動電圧調整機能の充実も重要となる。 VRE 大量導入時には、気象による変動が系統に及ぼす影響が大きくなる。電力系統の安定化対策のために気象予測に伴う VRE の出力予測が必要となる。また、大量の VRE 電源が導入された場合、設置量の偏在などの要因で各州間の系統連系線の電力潮流量の大規模な変動、設備過負荷のリスクがあり、電力系統の安定運用に支障
----	--

	をきたす危険性がある。また、電力市場の進展によっては、混雑処理が必要となる場合もある。これらの問題に対処するために、VREの系統接続要件、連系線の混雑処理ルール等の整備が必要となる。
内容	(a) 火力発電事業者（NTPC など）が、発電機の最低出力を現行の 55%->30%まで低下し、出力変化速度を現行の 1%/min --> 3%/min に早めるための制御装置およびプログラム改修をする。 (b) i) 気象予測システムのレビュー気象予測精度の検証、改善案検討 気象予測と VRE 出力実績との相関検証を実施し、気象予測システムの改善の必要性などを見極めたうえで、パイロットプロジェクト等の FS を実施する。 ii) a)で導入した機器・ソフトウェアの運用方法の技術協力を実施する。 (c) VRE の系統連系要件、連系線の混雑処理ルール等のレビュー、課題抽出、対策案検討、草案作成等を実施のうえ、必要性や要望に応じて、連系要件等のルール作成等の技術協力を実施する。（ニーズがあるか要確認）
想定される成果	系統の安定性を保ちつつ、VRE の大量導入の目標の達成に資する。 送電部門（系統運用）の効率運用による低炭素化に資する。
対象とする州	製造業の生産性に影響がある州
カウンターパート (C/P) 機関	(a) ・ NTPC などの火力発電事業者 (b) i) 再エネ管理センター（Renewable Energy Management Center: REMC）（Region や州に順次設置中） ii) TBD (c) TBD
専門家の構成	(a) ・ 火力発電専門家 (b) ・ 気象協会等気象予測サービス機関、中給の需給運用システム専門家

	(c) ・ OCTTO や電力会社の系統連系および連系線運用のルールの特 門家
実施時期（期間目 安）	2023 年度以降（1~2 年間）

表 233 2. AGC・VQC システム導入のためのファイナンス（円借款）

背景	VRE の大量導入に伴う系統安定化対策の一つとして、石炭火力の周波数調整力強化が挙げられている。石炭火力の最低出力拡大と共に、経済負荷配分（限界費用配分）機能を具備した AGC システムの拡大が効率的に石炭火力等を運転する手段となる。また、送電線等の電力潮流の変動による電圧変動抑制対策、系統の信頼度向上の観点から、VQC システム等による自動電圧調整機能の充実も重要となる。
内容	VQC、AGC 導入のためのファイナンスをするため、以下の支援を行う。 ・ コスト試算と財務・経済分析 ・ 適切な資金調達手段の検討 ・ JICA の資金調達手段（円借款を想定）を活用した資金調達。
想定される効果	系統の安定性を保ちつつ、VRE の大量導入の目標の達成に資する。送電部門（系統運用）の効率運用による低炭素化に資する。
対象とする州	TBD
カウンターパート（C/P）機関	・ AGC : POSOCO (NLDC、RLDC) もしくは州の系統給電指令所 (SLDC) ・ VQC : Region の系統給電指令所 (RLDC) もしくは州の系統給電指令所 (SLDC)
専門家の構成	・ AGC : 需給システムの専門家 ・ VQC : 系統制御システムの専門家 ・ 経済・財務専門家
実施時期（期間目 安）	2023 年度以降（3~5 年間）

表 234 3. 蓄電池の普及拡大のためのファイナンス支援

背景	インドでは、エネルギー（電力）貯蔵事業（主に蓄電池）のビジネスモデルや技術についての認識が広まりつつあり、ラジャスタン州では 1GWh の蓄電池の入札が既に行われているほか、インド政府はアンシラリーサービス市場整備を進めているところである。しかし蓄電池ビジネスは未だ初期段階にあり、制度的な課題や収益性に
----	--

	ついて課題がある。本調査はこれらの課題を特定し、それに対応する蓄電池事業へのブレンデッドファイナンススキームを含めたファイナンス方策について検討し、系統用蓄電池導入のためのファイナンスを行う。
内容	(a) ・ アンシラリーサービス市場ルール検討状況のレビュー ・ 対象州のエネルギー貯蔵に関する規制・政策の確認・整理、必要に応じて規制整備のための技術協力 (b) ・ インドにおける蓄電池事業向けファイナンススキーム（ブレンデッドファイナンススキーム含む）の検討 ・ 円借款（VGF 円借款など含む）、ツーステップローン、Tata Cleantech Capital Limited (TCCL) などインドのクリーンエネルギーに投資するファンドへの海外投融資など、JICA 金融スキームを用いて、民間投資を動員することができるような形で系統用蓄電池への投資を促進する。
想定される効果	VRE 導入が進む州における系統用蓄電池導入拡大のための投資環境の整備、蓄電池投資の拡大。
対象とする州	対象州については要相談（VRE 比率の高いタミルナードゥ州、マハラシュトラ州、グジャラート州、カルナータカ州などを想定）
カウンターパート（C/P）機関	・ CEA ・ SECI ・ VRE 比率の高いタミルナードゥ州、マハラシュトラ州、グジャラート州、カルナータカ州等の State Nodal Agency
専門家の構成	・ 金融・ブレンデッドファイナンス専門家（ブレンデッドファイナンススキーム検討） ・ 経済・財務専門家 ・ 電力系統専門家 ・ エネルギー貯蔵専門家
実施時期（期間目安）	2023 年度以降（a：1~2 年、b：3~5 年間）

■ 提案 2 カーボンニュートラル実現に向けた配電系統の運用最適化

【Program Objective】

VRE、DR、EMS 等を組み合わせた配電レベルでの脱炭素化促進のための系統設計や運用最適化を支援する。

【Projects】

1. 系統の柔軟性、各種規制、DR,VPP に関する技術協力（背景、目的、成果、活動内容）
 - (a) 規制の整備（技術協力）
 - (b) DR・VPP、グリッドコードにおける研修（招聘）
 - (c) DR・EMS のパイロット事業
2. スマートメーター導入のためのファイナンス（円借款）
3. 配電高度化（DAS、MCMD）の整備のためのファイナンス（円借款）

※JICA「ハリヤナ州配電設備改善事業」（配電線（11 キロボルト、総延長約 4,359 キロメートル）の新設・張替や、変電所の新設（75 ヲ所）および増設（74 ヲ所）に伴う資機材の調達などを支援）と連携する。

※一方、一般に DR や VPP は小売り自由化が行われ、電力取引市場が成立しているところで機能する。（非自由化市場では需給調整契約といった DSM にとどまる。）インドは小売り自由化が検討されているものの成立しておらず、さらに、電気料金が供給コストを下回る、無償化を謳う政治家が少なくないといった状況では DR は協力案としては尚早の可能性はある。

表 235 1. 系統の柔軟性、各種規制、DR,VPP に関する技術協力（背景、目的、成果、活動内容）

背景	インドでは電気事業法の改正により小売り自由化が導入されようとしている。 (a) 規制の整備（技術協力） ➤ 現在審議中の小売り自由化法案が成立し、制度が整えば、DR や VPP 事業も成立しうる。DR 導入の前提条件を整備する必要がある。自由化に向けた障害（盗電、不正接続、コストを下回る電気料金）はさておき、DR を促進するための制度作りが必要。 ➤ 小売り自由化の技術的前提として、配電ロスの低減が不可欠である。技術的ロス（純粋なロス、盗電、メーター故障、メーター確認エラー）、商業的ロス（未収金）の要素別の大きさを把握し、それぞれ低減する必要がある。 (b) DR・VPP、グリッドコードにおける研修（招聘） 小売り自由化が実施され、小売り会社での競争が成立し、需給ひっ迫時の DR や VPP 事業が成立することを見越して、日本の制度・適用実態を学び、インド国内での適用を検討してもらう。 (c) DR・EMS のパイロット事業 需給逼迫に直面している（しそうな）州で、かつ小売り自由化が進みそうな州について適用が可能。（需要を創出する上げ DR は時期尚早か。）
内容	(a) 規制の整備（技術協力）

	【DR、VPP に関する調査】 以下の調査を行う。 ・ 需給逼迫の状況や再エネ大量導入による火力抑制の状況の有無や将来見通しを確認し、需給調整契約や VPP 事業のニーズ度合を確認する。ニーズが高い場合には金調達上の課題の特定も行う。 ・ DR プログラムを受け入れそうな大口需要家や VPP 事業の潜在的事業者の存在の確認 ・ 電力自由化の中で DR や VPP 事業を可能にする取引市場の整備などの制度の検討 ・ DR や VPP を導入するためのインドにおける技術的課題の整理・検討 ・ DR や VPP による低炭素化の効果の推定 【前提となる配電ロスの低減】 ・ 配電システムのロスの推定（負荷需要の推定） ・ 盗電などが疑われる変圧器の特定 ・ 盗電、メーター故障の解消→スマートメーターの導入の検討 (b) DR・VPP、グリッドコードにおける研修（招聘） ・ 日本の電力会社複数社にて、それぞれの DR 制度、VPP 制度、それらのための技術基準の研修 ・ 日本の電力行政機関とのヒアリング ・ DR や VPP に取り組む民間企業のヒアリング ・ これらを通じて、日本での進展の課題を把握し、インドでの展開の可能性を評価する。 (c) DR・EMS のパイロット事業 対象州の配電会社（州配電公社、民間企業）が対象パイロット地域にスマートメーターを設置したうえで、 ・ 需給逼迫時の需給調整契約の料金設定、適用 ・ アグリゲータによる VPP の実証 ・ 効果の測定（発動頻度・期間、需給逼迫解消度合、経済性の評価）を行う。VPP のコストと発電設備増設の比較を含む。
想定される効果	インドが目標とする VRE 大量導入に向けた配電システムの整備
対象とする州	ハリヤナ州（要相談）（ハリヤナ州は電力需給がひっ迫する一方、電力セクター改革も進んでいる。また、配電整備も進んでおり、パイロットプロジェクトに適していると考えられる。）
カウンターパート （C/P）機関	(a) 規制の整備（技術協力） ・ 州電力公社

	・ CEA ・ CERC ・ SERC ・ 州系統運用事業者 (b) DR・VPP、グリッドコードにおける研修（招聘） ・ CEA ・ PGCIL(CTUIL) ・ 州電力公社 ・ 州系統給電指令所 ・ 配電公社他 (c) DR・EMS のパイロット事業 ・ 対象州の州電力公社 ・ 州系統給電指令所 ・ 配電公社
専門家の構成	(a) 規制の整備（技術協力） ・ 配電専門家 ・ 系統運用・制度専門家 ・ DR・VPP ビジネス専門家（資金調達含む） (b) DR・VPP、グリッドコードにおける研修（招聘） ・ 日本の電力会社の系統運用専門家 ・ 契約専門家 ・ 行政機関の電力担当者 ・ 民間 DR 会社の専門家 (c) DR・EMS のパイロット事業 ・ 日本の電力各社の DR 担当責任者（系統運用部門、営業部門、電気料金設定モニター部門）
実施時期（期間目安）	2023 年度後半以降 ※カウンターパートの要望・喫緊性に応じて決定（1～2 年間を目安）

表 236 2. スマートメーター導入のためのファイナンス（円借款）

背景	1.で検討した結果をもとに、スマートメーターの実装のため、円借款等の資金協力を提供する。
内容	・ 調達のための技術要件の整理、仕様書の作成支援（エンジニアリングサービス） ・ コスト算定 ・ スマートメーター導入にかかる経済効果、配電会社の財務分析
成果	スマートメーターの実装。
対象とする州	ハリヤナ州（要相談）

カウンターパート (C/P) 機関	・ CEA ・ SERC ・ 対象州の州電力公社 ・ 配電公社
専門家の構成	・ 配電専門家 ・ 経済・財務専門家
実施時期（期間目安）	1 のパイロット事業実施後。（3~5 年間程度を目安）

表 237 3. 配電高度化（DAS、MCMD）の整備のためのファイナンス（円借款）

背景	1.で検討した結果をもとに、DAS、MCMD の実装のため、円借款を提供する。
内容	・ 調達のための技術要件の整理、仕様書の作成支援（エンジニアリングサービス） ・ コスト算定 ・ DAS、MCMD 導入にかかる経済効果、配電会社の財務分析
成果	DAS、MCMD の実装
対象とする州	ハリヤナ州（要相談）
カウンターパート (C/P) 機関	・ CEA ・ 対象州の州電力公社 ・ SERC ・ 配電公社
専門家の構成	・ 配電専門家 ・ 経済・財務専門家
実施時期（期間目安）	1 の調査後。（3~5 年間程度を目安）

■ 提案3 産業分野へのヒートポンプ導入のための支援

【Program Objective】

産業用ヒートポンプの導入については将来的に有望であるものの、現状、インドでは規制整備を含め、投資環境が整っていない。このため、産業用ヒートポンプ導入のためのロードマップを策定し、必要な規制・政策等の整理や企業の投資促進のためのファイナンススキームの検討を行う。

※インド国内での需要も考慮し、BEE に当該案の受け入れ可否につき打診。

【Projects】

1. 産業用ヒートポンプの導入促進のための技術協力

- (a)産業用ヒートポンプ導入・拡大のためのロードマップ策定、必要な規制・政策等の整理

(b) 必要な規制・政策のための当局のキャパビル（セミナー開催、専門家派遣等）

2. 産業用ヒートポンプ投資促進のためのファイナンス支援

(a) 産業用ヒートポンプ投資促進のための技術協力

(b) 産業用ヒートポンプ投資促進のためのファイナンス支援

表 238 1. 産業用ヒートポンプの導入促進のための技術協力

背景	インドでは最終エネルギー消費に占める産業部門のシェアは39%と全部門の中で最も高く、インドのエネルギー効率を高め、インド経済の低炭素化を図るためには、産業部門のエネルギー効率を向上させる必要がある。 インドでは PAT Scheme などにより大企業に対する省エネへの取り組みは展開されているが、今後、インド産業部門のエネルギー効率を改善するために、中小企業への取り組みを強化する必要がある。モーターなど電気に関しては既に BEE の Standards & Labeling プログラムの対象になっているが、ボイラーのような熱は対象になっていない。 中小企業の熱利用は比較的低温である可能性があり、このようなケースでは IEA は効率を向上させるためには化石燃料ではなく高効率の電気ヒートポンプを推奨している。日本はヒートポンプ技術で、優位性を持つため、インドにおけるヒートポンプ導入拡大に貢献できる。
内容	(a) ・ 比較的低い温度（～400℃, IEA）で利用されている旧式の化石燃料ボイラーを高効率のヒートポンプへ更新する潜在的な需要の調査・確認（主に中小企業の産業部門を想定、日本の例：食品、繊維、プラ加工、ゴム製品）、更新による効果の簡易な予測。 ・ インドには「Indian Boiler Regulations, 1950（直近の改正は2022年）」があるが、電気のヒートポンプボイラーがどのような規制を受けるか不明である。このために必要となる規制を整理する。具体的には、 ➤ 電気のヒートポンプボイラーが既存の規制の枠内にあるかどうかを確認。新たに電気のヒートポンプボイラー用の規制を策定する必要があるものを特定する。 ➤ 電気のヒートポンプボイラーを BEE の Standards & Labeling プログラムに加えてもらう。 ・ 日本など諸外国のヒートポンプ振興策の事例を整理する。

	- 上記の検討をもとに、対象となりうる業種ごとに、必要な規制や考え得る振興策について時系列で整理し、ロードマップを作成する。 (b) - 電気のヒートポンプボイラーは普及が少なく認知度が低い。このため、電気のヒートポンプの特徴、省エネ性能、安全性（設置、運転）、電気のヒートポンプの安全性に関する規制などについて政策担当者に理解を深めてもらう。（短期の専門家派遣または招聘を想定） - 設備設計者に対して、セミナーを実施する。電気のヒートポンプの特徴、省エネ性能などの理解の促進、また、電気のヒートポンプボイラーのために新しく規制が導入された場合には、当該規制の内容を理解してもらうことを目的とする。（セミナー開催）
想定される効果	熱需要を旧式の化石燃料ボイラーからヒートポンプに更新することで、エネルギー効率化を図ることができる。また、大気汚染物質の排出を無くすことで、インドの大気汚染改善の一助となる。
対象とする州	（候補）電力供給が比較的安定している州 2021 年 4 月～2022 年 2 月の間、電力量、ピーク電力ともに不足がなかった州：マハラシュトラ州
カウンターパート （C/P）機関	(a) - BEE - State Designated Agency - Central Boilers Board, Department for Promotion of Industry and Internal Trade, Ministry of Commerce and Industry https://dpiit.gov.in/sites/default/files/boiler_rules_updated/about.htm (b) - BEE - State Designated Agency - Central Boilers Board, Department for Promotion of Industry and Internal Trade, Ministry of Commerce and Industry - ESCO 会社
専門家の構成	(a)(b) 省エネ（産業部門）専門家（ヒートポンプ・蓄熱センターなどからの専門家）
実施時期（期間目安）	2023 年後半以降（2～3 年程度）

表 239 2. 産業用ヒートポンプ投資促進のためのファイナンス支援

背景	インド国内企業が産業用ヒートポンプを導入するためには企業の投資の資金調達をスムーズに行うことが必要となる。主に企業の資金調達課題や、金融機関からの融資のリスク削減策を検討した上で、JICA 支援スキームを用いたブレンデッドファイナンスにより、産業用ヒートポンプ投資のための資金供給を促す。
内容	(a) ・ インドにおける産業用ヒートポンプ資金調達上の課題、金融機関から見たリスクなどを確認する。 ・ 上記課題に対応するためのファイナンススキームの検討。以下のような手法を想定。 ➤ ツーステップローン（民間企業の省エネ機材導入のための譲許的融資 ・ 上記スキームのパイロットプロジェクト実施 ・ パイロット事業の結果を踏まえた、ファイナンススキームの詳細設計。 ・ Energy Efficiency Financing Platform (EEFP) ⁷⁷⁴を通じて金融機関向けのセミナーなどを開催し、金融機関の産業用ヒートポンプに関する理解を促進する。 (b) ・ 上記スキームを通じた産業用ヒートポンプ投資促進 ・ ESCO サービスを通じた手法をとる場合は、ESCO に対するコンサルティング・サービス（資金管理を含む事業実施促進、再エネ・省エネ機材導入促進融資の技術面の支援等）
想定される効果	ヒートポンプ投資が促進され、エネルギー効率化を図ることができる。また、大気汚染物質の排出を無くすことで、インドの大気汚染改善の一助となる。
対象とする州	TBD
カウンターパート (C/P) 機関	・ BEE ・ EESL など ESCO
専門家の構成	・ 省エネ（産業部門）専門家（ヒートポンプ・蓄熱センターなどからの専門家） ・ 金融、ブレンデッドファイナンス専門家 ・ 経済・財務専門家
実施時期（期間目安）	2023 年後半以降（5 年間） ※1.と同時並行で実施。

⁷⁷⁴ <https://beeindia.gov.in/content/eeep>

■ 提案 4 ZEB 導入のための支援

【Program Objective】

インドでの ZEB 導入を進め、省エネとセットでの再エネ導入を促進する。

【Projects】

- 政策担当者やインド企業、金融機関への ZEB コンセプトの理解についてのキャパシティビルディング、日本の事例紹介（技術協力）
- ZEB を導入する企業のためのファイナンス支援

表 240 1. 政策担当者やインド企業、金融機関への ZEB コンセプトの理解についてのキャパシティビルディング、日本の事例紹介（技術協力）

背景	インドでは都市開発（オフィスビル、住宅等）の分野において、再生可能エネルギー、省エネルギーのそれぞれに対する取り組みは行われているものの、それらを組み合わせたゼロエネルギービル達成への取り組みは十分に行われていない状況である。 一方で、現地における省エネ・脱炭素化に対するニーズは年々高まってきており、インド政府関係機関の方針としても、ゼロエネルギービルの実現に向けて具体的アプローチの検討を始めたところである。 インド国内における ZEB 導入に向けて、さらなる省エネの普及促進活動を行うため、必要な人材育成や促進のための制度設計、省エネ意識の啓発等を行っていく。
内容	• ZEB 促進のためのフレームワーク策定 ➢ ZEB 関連の基準の策定（インドにおける ZEB ISO/ TS 制定支援） ➢ インセンティブメカニズムの形成支援 • インドにおける ZEB 普及状況を踏まえた、日本における ZEB に関する普及支援策（政策面、ファイナンス面、施工・デザイン面）に関する情報提供（セミナー等） • パイロット事業 • 日本の ZEB 視察（招聘）、日本の専門家派遣 ➢ 政策担当者やインド企業、金融機関への ZEB コンセプトの理解についてのキャパシティビルディング
想定される効果	ZEB 基準の制定。政策担当者、企業、金融機関の ZEB コンセプトの理解の深化。
対象とする州	全国
カウンターパート（C/P）機関	• Bureau of Energy Efficiency, Ministry of Power • Ministry of Housing and Urban Development

	- Energy Efficiency Services Limited (EESL) - Convergence Energy Services Limited (CESL)
専門家の構成	- 省エネ・再エネ (ZEB) 政策 - 省エネ・再エネ (ZEB) 普及促進 - 省エネ技術 - 再エネ技術・系統連系 - ファイナンス 専門家
実施時期 (期間目安)	2023 年 (1 年間程度)

表 241 2. ZEB を導入する企業のためのファイナンス支援

背景	インドにおいては省エネに対するニーズは以前よりも更に強まっている状況にあるものの、省エネを普及促進する支援・促進手段が無いことにより、具体的な取組みがなされない状況が続いている。 本事業は、ツーステップローンによる譲許的融資等を通じてインド国内における ZEB (再エネ及び省エネ) 関連機材の導入を促進することにより、エネルギーの利用効率の向上を図り、もってエネルギー需給の安定化と低炭素化に寄与するものである。
内容	ツーステップローンにより、エンドユーザーである事業者に対して、ZEB 導入にかかる資金を供与する。またはインド政府・EESL への円借款を通じて、ESCO サービスを供与する。 ➤ ツーステップローン (民間企業の省エネ機材導入のための譲許的融資) コンサルティング・サービス (資金管理を含む事業実施促進、再エネ・省エネ機材導入促進融資の技術面の支援等)
想定される効果	ZEB への民間投資の拡大。
対象とする州	全国
カウンターパート (C/P) 機関	インド政府 (BEE または MoHUA) (実施機関) インド再生可能エネルギー開発公社 (Indian Renewable Energy Development Agency)、Energy Efficiency Services Limited (EESL)、Convergence Energy Services Limited (CESL)
専門家の構成	- 資金管理専門家 - 省エネ・再エネ (ZEB) 技術専門家
実施時期 (期間目安)	2024 年 (5 年間程度)

また、上述の提案2のうち「蓄電池の普及拡大のためのファイナンス支援」については、メインカウンターパートがインド太陽光エネルギー公社（SECI）⁷⁷⁵と考えられるが、先方のニーズを考慮してグリーン水素プロジェクト調達を対象とした支援案を提案した。

<SECI へのグリーン水素支援案>

インド政府を通じた Viability Gap Funding の供与、入札書類の作成支援や事業者選定支援等の技術協力、実証事業の支援について提案を行った。

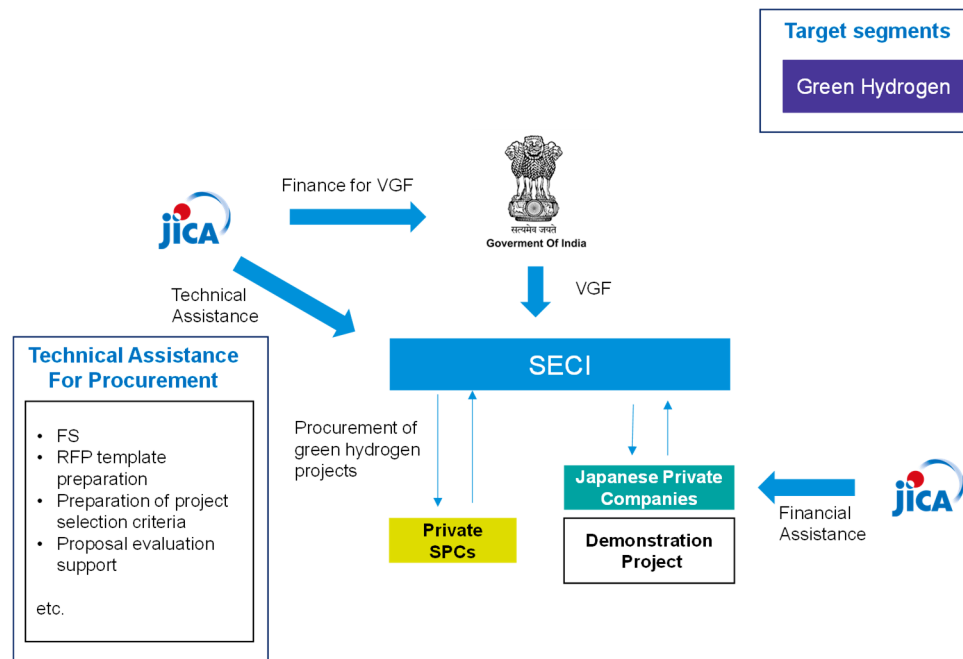


図 303 各機関の役割等

グリーン水素に関するプロジェクトは極めて初期段階であるということである。国家水素ミッションで示された方向性に基づき、石油精製と肥料の2つ産業の事業者をオフテイカーとして想定しており、PPAは短期のものを想定しているということであった。また、一部英国からの技術協力も受けているということである。グリーン水素の製造が高コストであることや需要規模が大きいことに鑑みれば、民間のみで商業ベースでグリーン水素のバリューチェーンを構築することは困難であり、政府やドナーなどの支援が重要な役割を果たす⁷⁷⁶。インド政府による国家水素ミッションの今後の公表内容も踏まえ、引き続き議論をしていくことが必要である。

⁷⁷⁵ 再エネの競争入札を実施する機関。昨今では再エネと蓄電池のハイブリッド、蓄電池単体での入札を行っている。電力の購入契約を民間の再エネディベロッパーと契約し、同時に販売契約を州と結ぶまた、今後はインド政府の国家水素ミッションにあわせてグリーン水素の調達を行っていく予定となっている。

⁷⁷⁶ 例えばドイツでは H2 Global という価格リスク・量的リスク緩和のためのスキームを立ち上げており、政府が資金投入している。英国では Low Carbon Hydrogen Business Model という価格リスク・量的リスク緩和のためのスキームを検討中である。

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/suiso_seisaku/pdf/003_02_00.pdf

(2) タイ

デスクトップ調査及びインタビューを踏まえ、以下の 5 つの協力案につき、DEDE に対して提案を行った。

提案 1 ガス火力の水素混焼導入支援

提案 2 再エネ大量導入時の系統安定化方策

提案 3 DR 導入支援

提案 4 産業分野へのヒートポンプ導入のための支援

提案 5 ZEB 導入のための支援

■ 提案 1 ガス火力の水素混焼導入支援

【Program Objective】

ガス火力発電は、石炭火力にと比べて GHG 排出量が少ないものの、ネットゼロに向けてゼロエミッション化していくことが求められる。タイにおいて割合の大きいガス火力発電の排出削減方策として、水素混焼の導入の実現可能性について調査・実証事業を行い、長期的には水素混焼タービン導入や水素サプライチェーンインフラ整備のための円借款等による導入支援を行う。

【Projects】

1. 水素混焼導入のためのアクションプラン作成、技術協力
 - (a) 対象となり得るガス火力発電所を選定し、技術的・経済財務的な FS を実施する。
 - (b) 水素サプライチェーンの検討
 - (c) 整備が必要となる規制等（保安規制、事業規制）の整理、規制導入のための技術協力。
 - (d) 本邦研修の実施（日本の政策、制度、技術の紹介）
2. 水素混焼実証事業
実機を用いて、サプライチェーンを含む実証事業を実施する
3. （長期）上記アクションプラン及び実証事業の結果に基づき、実装に向けた円借款等を用いたファイナンスの検討、混焼技術導入に必要な技術協力を提供。

表 242 1. 水素混焼導入のためのアクションプラン作成、技術協力

背景	タイにおいてはガス火力比率の割合が高い。ガス火力は比較的排出量が少ない発電方式とではあるものの、ネットゼロに向けて低炭素化が課題となる。ガス火力の水素混焼は、低炭素化への有力な手段と目されており、混焼率を増加させるため、世界各国で複数の実証事業も稼働している。一方、水素混焼を実装するためには。燃料となるクリーンな水素の調達や、必要な規制整備も課題となる。 本プログラムでは、水素混焼の実施可能性調査（FS）を実施するとともに、水素サプライチェーンも含めた水素混焼/専焼導入のためのアクションプランを作成し、必要となる規制の整備について技術協力を行う。
----	--

内容	(a) ・ 運転開始時期や型式、所有形態などを考慮した上で対象となりうるガス火力発電所を選定する。（長期間実証・運転するため運転開始後 10 年以内で（最）新型式のユニットが望ましい。また、IPP は契約上の制約もあり難しい。将来の水平展開も考えると EGAT のユニットが望ましい。） ・ 設備改修を必要としない低混焼率での実証のための FS. ・ 設備改修を実施しての、高混焼率での実証のための FS。 ・ 上述の混焼方式の経済・財務分析を行い、経済性について比較を行う。 (b) ・ 最終的には水素専焼を導入することまで見据え、国内の水素製造、国外からの水素輸入など、クリーンな水素（ブルー水素、グリーン水素）の調達手段について、可能な範囲で経済性の分析も含めて検討を行う。（ADB が実施している洋上風力を用いた水素製造及び利用に関する調査なども参照する） ・ 上記の検討を踏まえ、水素サプライチェーン計画も含むタイにおける水素混焼/専焼導入のアクションプランを作成する (c) ・ アクションプランの作成と同時並行で、燃料としての水素の使用や運搬・貯蔵に当たって必要となる規制を確認し、既存の制度で対応可能なもの、新たに整備が必要なものなどの整理を行う。（本プロ研に追加される水素調査の成果を活用する） ・ 必要な規制整備のための技術協力（専門家派遣等）を行う。 (d) ・ 日本での研修の実施（政策、制度、技術の紹介）
想定される効果	2070 年ネットゼロに貢献する、長期的視点でのガス火力発電の低炭素化計画の策定。
対象とする地域 (特にあれば)	全国
カウンターパート (C/P) 機関	・ Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT) ・ Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE)
専門家の構成	・ ガス火力発電専門家 ・ 水素技術（製造、輸送、貯蔵）専門家 ・ 水素政策・規制専門家 ・ 経済分析専門家 ・ 財務分析専門家(a)

実施時期（期間目安）	22 年後半以降（2 年程度）
------------	-----------------

表 243 2. 水素混焼実証事業

背景	2025 年以降を目途に、商用化されている水素ガスタービンを用いて、サプライチェーンを含めた実証事業を行う。(NEDO「民間主導による低炭素技術普及促進事業」「エネルギー消費の効率化等に資する我が国技術の国際実証事業」など、利用可能な制度を利用して実施する。) https://www.nedo.go.jp/english/activities/international.html
内容	1 で作成したアクションプランに基づき、水素混焼の実機での実証及び水素調達のためのサプライチェーン実証を行う。 - NEDO の民間主導による低炭素技術普及促進事業を利用する場合、①実証前調査、②実証事業、③定量化フォローアップ事業、という流れで実証を行う。
想定される効果	2070 年ネットゼロに貢献する、ガス火力発電の低炭素化に向けた実証。
対象とする地域（特にあれば）	—
カウンターパート（C/P）機関	- DEDE - EGAT
専門家の構成	水素混焼技術を持つ日本企業
実施時期（期間目安）	2025 年以降

表 244 3. 実装のためのファイナンス検討、混焼技術導入に必要な技術協力

背景	1 で作成したアクションプラン及び 2 の実証事業の結果に基づき、実装のためのファイナンス及び運用のための技術協力を提供する。
内容	- 水素混焼燃焼器等、水素サプライチェーンインフラ整備にかかる円借款等のファイナンス - 水素混焼燃焼器等必要な技術の導入にかかる技術的支援（エンジニアリングサービス）、必要となるコストの算定 - 水素混焼発電の運用の技術協力（専門家派遣等） - 水素サプライチェーンインフラ運用の技術協力（専門家派遣等）
想定される効果	ガス火力発電の低炭素化により、2070 年ネットゼロに貢献する。
対象とする地域	—

(特にあれば)	
カウンターパート (C/P) 機関	・ DEDE ・ Banpu Public Company Limited ・ EGAT
専門家の構成	・ 水素技術（製造、輸送、貯蔵）専門家 ・ ガス火力発電専門家、水素混焼/専焼専門家 ・ 経済・財務専門家
実施時期（期間目安）	2030 年頃 ※実証事業終了後（実装支援については長期的な観点で行う）

■ 提案 2 再エネ大量導入時の系統安定化方策

【Program Objective】

系統の安定性を維持しつつ、増加する再エネの系統連系を保証するオープンアクセス制度、広域系統運営、予測モデルに関する技術協力（長期、短期の専門家派遣を含む）を行い、安定した再エネ導入を促進する。

【Projects】

4. オープンアクセス制度導入のための専門家派遣
5. 再エネ系統連携のための技術協力

(a)天候予測と出力制限を最適化するためのシミュレーションとキャパシティビルディング

(b)タイ国内の系統運用ルールに関するキャパシティビルディング

表 245 1. オープンアクセス制度導入のための専門家派遣

背景	ERC によると、次の 5 か年計画は、TPA の改良と GridCode の改訂を実施することになっており、また、本プロジェクトでの協議の中で、再エネの系統連系に関する専門家派遣要請があり、継続的に協議することとしている。
内容	再エネ系統連系を確実にするための制度、規制、グリッドコードに関する専門家を派遣する。詳細は 4 月 18 日に ERC に提示した専門家派遣案をご参照ください。
想定される効果	再エネの系統連携を安定的かつ確実に実施し、再エネ導入拡大を促進する。
対象とする地域 (特にあれば)	—
カウンターパート (C/P) 機関	Energy Regulatory Commission (ERC) 、EGAT
専門家の構成	関連省庁、関連機関、アカデミック、電気事業者の専門家
実施時期（期間目安）	2023 年後半から 2 年程度

表 246 2. 再エネ系統連携のための技術協力

背景	再エネ導入量が増大すると、気象条件による出力変動が系統に及ぼす影響が大きくなる。電力系統の安定化対策のために気象予測に伴う VRE の出力予測が必要となる。 また、大量の再エネ電源が導入された場合、設置量の偏在性などの要因で、電力潮流量の大規模な変動、設備過負荷のリスクがあり、電力系統の安定運用に支障をきたす危険性がある。また、電力市場の進展によっては、混雑処理が必要となる場合もある。これらの問題に対処するために、VRE の系統接続要件、連系線の混雑処理ルール等の整備が必要となる。
内容	(a) ・ 気象予測システムのレビュー ・ 気象予測精度の検証、改善案検討 ・ 気象予測と VRE 出力実績との相関検証 (b) ・ VRE の系統連系要件、連系線の混雑処理ルール等のレビュー、課題抽出、対策案検討、草案作成について専門家の指導を受けつつ実際に行わせることで育成を図る。日本招聘（本邦研修）も行う。
想定される効果	再エネの系統連携を安定的かつ確実に実施し、再エネ導入拡大を促進する。
対象とする地域 （特にあれば）	—
カウンターパート （C/P）機関	EGAT 系統運用部門
専門家の構成	(a) 気象協会等気象予測サービス機関、中給の需給運用システム専門家 (b) OCTTO や電力会社の系統連系および連系線運用のルールの専門家
実施時期（期間目安）	2023 年度以降から 2 年程度

■ 提案 3 Demand Response(DR)導入支援

【Program Objective】

DR の導入、効果的な実装を目的として技術協力、実証事業、V2G を導入し、タイにおいて安定的に再エネ導入拡大を促進する。

【Projects】

4. DR 導入支援

- (a) DR を効果的に活用するための各種規制に関する技術協力（V2G に関するものを含む）
- (b) 検討を踏まえた制度設計のためのキャパシティビルディング（専門家派遣、ワークショップ、招聘）

5. V2G 導入支援

- (a) V2G 実証
- (b) V2G 導入に必要なインフラ整備のためのファイナンス検討

表 247 1. DR 導入支援

背景	Energy Policy and Planning office（EPPO）は 2031 年までの中期計画の冒頭に DR の推進（Auto DR のための基準作り、規制整備）を挙げている。電力セクターの自由化を見越して DR のニーズの確認と制度の整備が必要となる。 また、電力自由化の推進とともに DR や VPP 事業を見越して、日本の制度・適用実態を学び、タイ国内での適用を検討してもらう。
内容	(a) ERC 向け専門家派遣構想で DR 専門家を 2024 年 7 月派遣予定。これに合わせて以下を先行実施する。 ・ DR 推進の前提条件の確認（タイの需給逼迫度合、現行需給調整契約の普及状況など） ・ 需要家にとっての DR のメリットの確認 ・ DR 契約（需要抑制契約）の必要性と内容の検討 ・ 自動 DR の検討 ・ アグリゲータの役割と事業可能性の検討 ・ （中央）DR コントロールセンター設立の検討 ・ 再エネ供給余剰時の上げ DR における蓄電池の活用などの検討 ・ グリッドコード、配電コードのレビュー・改善提案 (b) ・ 日本の電力会社にてそれぞれの DR 制度、VPP 制度、それらの技術基準の研修 ・ 日本の電力行政機関や ERAB 検討会とのヒアリング ・ これらを通じて、日本での推進上の課題を把握し、タイでの展開の可能性を評価する。
想定される効果	EPPO 中期計画の達成。効果的な DR の導入により、安定的に再エネ導入を拡大する。DR によるビジネス機会・雇用の創出。
対象とする地域 （特にあれば）	—

カウンターパート (C/P) 機関	(a) ERC、EGAT、EPPO (MOE) (b) EPPO(政策当事者)、ERC(規制整備)、EGAT (グリッドコード、系統管理)
専門家の構成	(a) エネルギー・リソース・アグリゲーションビジネス(ERAB)検討会 (b) ERAB 検討会、電力行政機関、電力会社、DR 実証に取り組む自治体など
実施時期 (期間目安)	(a) 2024 年 6 月までに概ね完了。(ERC 向け専門家派遣構想で DR 専門家を 2024 年 7 月派遣予定。これに合わせて先行実施) (b) 2024 年 7 月に予定されている DR 事業推進のための短期専門家派遣 (ERC への専門家派遣提案の一部) に合わせたタイミング。

表 248 2. V2G 導入支援

背景	EPPO 中期計画の最後の項目は EV の系統連系であり、今後 5 年間で EV を全国普及させた後、2031 年ころまでに、EV アグリゲータを普及させ、V2G のパイロットプロジェクトを行うとしている。
内容	(a) ・パイロット事業を行う地域について EGAT 等関係機関と相談の上決定する。 ・少数の自治体・企業（事業所）や充電設備、EV メーカー他により、EV を蓄電池として機能させ、アグリゲートして系統に連系する実証事業を行う。 (b) ・必要となるインフラ整備のため、ツーステップローンなど JICA スキームを用いたファイナンス手段の検討。 ・実証事業終了後の実装にあたってファイナンスを実施する。
想定される効果	EPPO 中期計画の達成。EV の普及と再エネの拡大に資する。
対象とする地域 (特にあれば)	(a) — (実施前にパイロット箇所を選定する。) (b) 全国
カウンターパート (C/P) 機関	(a) EGAT(スマート充電器の普及、系統連系当事者、グリッドコードの

	改定)、ERC(V2G 促進のための規制整備)、EV・充電器メーカーなど (b) EGAT
専門家の構成	(a)(b) ・ 充電器の専門家、V2G 実証事業への従事経験者（電力会社） ・ 金融、財務専門家
実施時期（期間目安）	2027 年～2030 年（EPPO 中期計画のスケジュールに合わせる。）

■ 提案 4 産業・ビル分野へのボイラーのヒートポンプ転換促進のための支援

【Program Objective】

タイでは Energy Efficiency Plan (EEP) 2018-2037 を策定しており、2037 年に 2010 年比で、エネルギーの経済効率（Energy Intensity）を 30%削減することを目標に掲げ、現在レビューであるが削減目標を 40%や 50%に高める可能性もある。ヒートポンプは産業・民生部門のエネルギー効率化（ボイラーからの転換）で注目されるが、タイにおいてはまだ導入は殆ど進んでいない。産業（低温対応）及びビルにおけるヒートポンプ技術の導入促進は、日本からの大きな協力機会になると考える。

【Projects】

3. ヒートポンプの導入促進のための技術協力
 - (a) 産業（低温対応）及びビル用ヒートポンプ導入・拡大のためのロードマップ策定、必要な規制・政策等の整理
 - (b) 必要な規制・政策のための当局のキャパビル（セミナー開催、専門家派遣等）
 - (c) 産業用ヒートポンプ導入を促進するファイナンスに関するニーズ調査、スキーム検討、パイロット
4. ヒートポンプ投資促進のためのファイナンス支援

表 249 1. ヒートポンプの導入促進のための技術協力

背景	タイでは一次エネルギー消費に占める産業・民生部門のシェアは約 50%と高く、タイのエネルギー効率を高め、タイ経済の低炭素化を図るためには、これらの分野のエネルギー効率を向上させる必要がある。 タイでは省エネ法が制定され、省エネへの取り組みは展開されているが、省エネ指標の 1 つである GDP 当たりの一次エネルギー消費量 (toe/2015 年 US\$) を OECD 国と比較すると、改善の余地が大きい（2019 年、OECD が 0.11、タイが 0.30）。 また、タイ省エネ法で省エネが義務付けられているのは一定規模以上のエネルギー消費工場であり、今後、タイ産業部門のエネルギー効率をさらに改善するために、中小企業への取り組みを強化する
----	---

	必要がある。産業及びビルの熱利用は比較的低温である可能性があり、このようなケースでは IEA は効率を向上させるためには化石燃料ではなく高効率の電気ヒートポンプを推奨している。 タイでは EEP 2018-2037 が策定され、現在、2030 年からすべての工場の省エネ義務化に向けて様々な調査、準備が進められている段階であり、ヒートポンプの活用を省エネ法、工場法に取り入れる良い機会でもある。またこれまでの日本からの当該分野の支援としては、2019 年の JICA 民間連携スキームでの工場へのヒートポンプ導入、ヒートポンプ・蓄熱センターとキングモンクット工科大学とのビル分野での導入促進に向けた情報交換実績などがある。これらの既プロジェクト結果と連携したプログラム形成が望まれる。
内容	(a) - 産業部門においては、比較的低い温度（～400℃）で利用されている旧式の化石燃料ボイラーを高効率の電気ヒートポンプへ更新する潜在的な需要の調査・確認（日本の例：食品、繊維、プラ加工、ゴム製品）、更新による効果の簡易な予測。ビル部門については、新築物件についても高効率の電気ヒートポンプの採用を働きかけていく。 - タイには 1992 年工場法（Factory Act 2535）があり、ボイラーの設計、建造、試験、設置、安全籛正等に関する要件や安全性の試験・検査が定められているが、電気のヒートポンプボイラーがどのような規制を受けるか不明である。このため、電気のヒートポンプボイラーが既存の規制の枠内にあるかどうかを確認する。2030 年からすべての工場や新築のビルの省エネ義務化に向けて、電気のヒートポンプボイラーを法律・省令に取り込むことを目指す。 - 日本など諸外国のヒートポンプ振興策の事例（税制など）を調査・整理する。 - 上記の検討をもとに、産業部門については対象となりうる産業ごとに、必要な規制や考え得る振興策について時系列で整理し、ロードマップを作成する。 (b) - 電気のヒートポンプボイラーは普及が少なく認知度が低い。このため、電気のヒートポンプの特徴、省エネ性能、安全性（設置、運転）、電気のヒートポンプの安全性に関する規制などについて政策担当者に理解を深めてもらう。（短期の専門家派遣または招聘を想定）。（産業部門、ビル部門それぞれ） - 設備設計者に対して、セミナーを実施する。電気のヒートポン

	プの特徴、省エネ性能などの理解の促進、また、電気のヒートポンプボイラーのために新しく規制が導入された場合には、当該規制の内容を理解してもらうことを目的とする。（セミナー開催）。（産業部門、ビル部門それぞれ）
想定される効果	熱需要を旧式の化石燃料ボイラーからヒートポンプに更新することで、エネルギー効率化を図ることができる。
対象とする地域 (特にあれば)	全国
カウンターパート (C/P) 機関	(a) - Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE) - Industrial Estate Authority of Thailand (IEAT) - Association of Boiler and Pressure Vessel - ESCO 協会 (b) - Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE) - Industrial Estate Authority of Thailand (IEAT) - Association of Boiler and Pressure Vessel - ESCO 協会および ESCO 会社
専門家の構成	(a)(b) - 省エネ（産業部門、建物部門）専門家（ヒートポンプ・蓄熱センターなどからの専門家） (c) - 省エネ（産業部門、建物部門）専門家（ヒートポンプ・蓄熱センターなどからの専門家）
実施時期（期間目安）	2023 年以降 2~3 年程度

表 250 2. ヒートポンプ投資促進のためのファイナンス支援

背景	タイ国内企業へヒートポンプ（産業用、ビル用）を導入するためには企業の投資の資金調達をスムーズに行うことが必要となる。主に企業の資金調達課題や、金融機関からの融資のリスク削減策を検討する。
内容	ヒートポンプ資金調達上課題、金融機関から見たリスクなどを調査、整理する。

	・ 上記課題に対応するためのブレンデッドファイナンススキーム（ツーステップローン、省エネファンド等への投融資）の検討 ・ 上記スキームのパイロットプロジェクト実施 ・ 企業のヒートポンプ実装のための、ツーステップローンや、省エネに投資するファンド等（EE Revolving Fund⁷⁷⁷など）への JICA 投融資を通じたファイナンスを行う。また、金融機関向けのセミナーなどを開催し、金融機関の産業用ヒートポンプに関する理解を促進する
想定される効果	民間企業のヒートポンプ投資の拡大。
対象とする地域 （特にあれば）	全国
カウンターパート （C/P）機関	・ DEDE
専門家の構成	・ 省エネ（産業部門）専門家（ヒートポンプ・蓄熱センターなどからの専門家） ・ 金融、ブレンデッドファイナンス専門家 ・ 経済・財務専門家
実施時期（期間目安）	1 で作成するロードマップ作成と同時並行で実施する。

■ 提案 5 ZEB 導入のための支援

【Program Objective】

タイでの ZEB 導入を進め、省エネとセットでの再エネ導入を促進する。

【Contents of the program】

1. ZEB 導入のための技術協力・ファイナンス協力

(a) ZEB ガ導入支援技術協力

(b) ZEB 投資拡大に向けたファイナンス支援

表 251 1. ZEB 導入のための技術協力・ファイナンス協力

背景	タイでは Energy Efficiency Plan (EEP) 2018-2037 を策定しており、2037 年に 2010 年比で、エネルギーの経済効率（Energy Intensity）を 30%削減することを目標に掲げている。建物分野においては、建物省エネ設計基準（Building Energy Code）を新築建物（床面積 2,000m ² 以上）には適用義務化（建設許可取得前に基準を満たすことを義務
----	---

⁷⁷⁷

https://unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pp/eneff/5th_Forum_Tunisia_Nov.14/4_November/Prasert_Sinsukprasert.pdf

	化)している(2020年法令発効)が、最低限必要な水準に留まっているため、国際基準に合致したタイ独自の ZEB ガイドラインの策定の必要性を DEDE は認識している。 また、DEDE は、ZEB のコンセプトを普及させるため、建物所有者やディベロッパー向けに、政府による ZEB 支援プログラム(実証プログラムや補助金プログラム)が必要とされているという認識を有している。
内容	(a) ・ 建物省エネ設計基準の見直し、国際基準に合致したタイ独自の ZEB ガイドライン策定支援(長期、短期の専門家派遣を含む) ・ タイにおける ZEB ISO/ TS 制定支援 ・ 日本における ZEB、ZEH に関する普及支援策(ファイナンス、政策目標、施工・デザイン会社支援ネットワーク等)に関する政策担当者への情報提供 ・ 日本の ZEB、ZEH 視察パイロット事業(再生可能エネルギー、省エネ、蓄電池、EV 連携含む)の実施 (b) ・ タイ民間セクターにおける ZEB 投資拡大のため、ツーステップローン、海外投融資など JICA スキームを用いて、ブレンデッドファイナンススキームを活用も考慮したファイナンス(JICA グリーンファイナンス調査で検討したスキームが横展開できそうな場合はそちらを活用)。 ・ タイ企業、金融機関への ZEB コンセプトの理解についてのキャパシティビルディング、(現地セミナー実施及びオンライン配信)、日本の事例紹介
想定される効果	タイにおける再エネや EV と連携した ZEB の普及、民間投資の拡大。
対象とする地域 (特にあれば)	全国
カウンターパート (C/P) 機関	・ DEDE
専門家の構成	・ 省エネ・再エネ(ZEB)政策専門家(a) ・ 省エネ・再エネ(ZEB)普及促進専門家(a) ・ 省エネ技術専門家(a)(b) ・ 再エネ技術・系統連系専門家(a)(b) ・ 金融、ブレンデッドファイナンス専門家(b) ・ 経済・財務専門家(b)

実施時期（期間目安）	・ 2022 年度後半以降（5 年程度）
------------	----------------------

（3）モロッコ

デスクトップ調査及びインタビューを踏まえ、以下の 5 つの協力案につきドラフトしたのち、インタビューを実施した機関に対してドラフトを送付し、コメントを求めた。AMEE 及び SIE からコメントがあり、それらを反映した上で、下記の協力プログラム案を最終化している。なお、ONEE からは内容についてのコメントはなかったが、提案 1 アンモニア混焼導入支援と提案 2 VRE 大量導入に伴う系統安定化対策（系統用蓄電池導入）の実施に関心があるとの反応があった。

提案 1 アンモニア混焼導入支援

提案 2 VRE 大量導入に伴う系統安定化対策（系統用蓄電池導入）

提案 3 EV 普及のための法制度整備（技術協力）、E バス実証、配電系統・チャージインフラ・E-バス整備ためのファイナンス（円借款）

提案 4 産業分野へのヒートポンプ導入のための支援

提案 5 ZEB 導入のための支援

■ 提案 1 アンモニア混焼導入支援

【Program Objective】

モロッコでは、電源構成の 4 割程度が石炭火力発電となっており、この石炭火力のエネルギートランジションが必要となる。一方、VRE の比率を高めていくためには、系統の柔軟性をいかに確保するかが課題である。火力発電を低炭素化しつつ、火力発電の持つ調整力を活用しうるソリューションとして、アンモニア混焼技術の導入を検討する。

※対象となり得るプラントは NOX 増加に対応するため脱硝装置の改造（容量増）ができ、継続性を考えて 10 年以上継続して実証試験を行えるプラントである。

【Projects】

1. アンモニア混焼/専焼に関するワークショップ
2. ONEE の保有する石炭火力発電へのアンモニア混焼導入のための FS
3. ONEE の保有する石炭火力発電へのアンモニア混焼導入のための実証事業
4. アンモニアサプライチェーンマスタープランの作成
5. アンモニア混焼導入のための円借款

表 252 1. アンモニア混焼/専焼に関するワークショップ

背景	アンモニア混焼/専焼技術について、モロッコでは認知度が低い。このため、同技術について政府関係者や ONEE を対象として技術の紹介及びモロッコでの展開可能性について議論を行う。
内容	・ 日本のアンモニア混焼実証試験の紹介

	・ 混焼実証試験の前提条件の紹介、実証に適したモロッコの石炭火力の有無の確認、課題の確認（価格、サプライチェーン、PPA 契約上の制約など）
想定される成果	実証試験に適した火力ユニットの選出
カウンターパート （C/P）機関	・ Ministry of Energy Transition and Sustainable Development ・ ONEE ・ IPP
専門家の構成	電力会社などの石炭火力専門家で、アンモニア混焼技術にも専門性を有する専門家
実施時期（期間目安）	2024 年度以降

表 253 2. ONEE の保有する石炭火力発電へのアンモニア混焼導入のための FS

背景	ONEE が保有する石炭火力発電所へのアンモニア混焼技術の導入のための FS を実施する。 ※対象となり得るプラントは NOX 増加への対応のために脱硝装置の改造（容量増）ができ、継続性を考えて 10 年以上継続して実証試験を行えるプラントである。
内容	・ アンモニア混焼に適した具体的な石炭火力ユニットの選定 ・ 脱硝装置やバーナーの改造の検討 ・ CO₂ 削減効果の推定 ・ アンモニアサプライチェーンの可能性の検討 ・ 経済性・実現可能性の検討
想定される成果	石炭火力発電のエネルギーtransition（アンモニア混焼導入の CO ₂ 排出削減効果、経済性の評価）
カウンターパート （C/P）機関	・ Ministry of Energy Transition and Sustainable Development ・ ONEE
専門家の構成	・ 電力会社などの石炭火力専門家で、アンモニア混焼技術にも専門性を有する専門家 ・ 環境専門家（脱硝） ・ 財務・経済分析専門家
実施時期（期間目安）	ワークショップ以降→2025 年以降？

表 254 3. ONEE の保有する石炭火力発電へのアンモニア混焼導入のための実証事業

背景	ONEE が保有する亜臨界の石炭火力発電所にてアンモニア混焼技術の実証事業を行う。
内容	ワークショップや FS を踏まえ、アンモニア混焼に適したプラントが見つかったことから、実証事業を行う。

	内容：設備改造、混焼実証実験、データ測定と検証、アンモニア専焼に向けた評価。
想定される成果	石炭火力発電のエネルギートランジション
カウンターパート (C/P) 機関	- Ministry of Energy Transition and Sustainable Development - ONEE
専門家の構成	- 電力会社などの石炭火力専門家で、アンモニア混焼技術にも専門性を有する専門家 - 環境専門家（脱硝）
実施時期（期間目安）	FS 実施後。日本の進捗も見極める。→2026 年以降？

表 255 4. アンモニアサプライチェーンマスタープランの作成

背景	ONEE が保有する石炭火力発電双方にアンモニア混焼技術を導入することを念頭に、燃料アンモニアサプライチェーンのマスタープランを策定の支援を行う。
内容	以下の調査・分析を行い、燃料アンモニアサプライチェーンのマスタープランを策定の支援を行う。 - 発電用アンモニアの需要予測 - アンモニアのコスト試算 アンモニア（グリーンアンモニア、ブルーアンモニア）の調達コスト試算 - 生産、貯蔵、輸送、発電所での消費までのサプライチェーンの可否の検討。 - アンモニア供給拡大の検討（既存アンモニア生産能力の拡大、新規生産設備の建設を含む）。 - アンモニアの利用拡大に向けた有利な規制枠組みの検討：有害物質の管理等 - 貯蔵・輸送の検討
想定される成果	石炭火力発電のエネルギートランジション
カウンターパート (C/P) 機関	- Ministry of Energy Transition and Sustainable Development - ONEE
専門家の構成	火力（石炭）技術者、混焼装置メーカー、アンモニア生産者、アンモニア輸送業者（輸出入含む）、有害物質管理
実施時期（期間目安）	3 と同じ時期

表 256 5. アンモニア混焼導入のための円借款

背景	ONEE が保有する石炭火力発電双方にアンモニア混焼技術を導入することを念頭に、燃料アンモニアサプライチェーンのマスタープランを策定の支援を行う。
----	---

内容	1～3にもとづいてアンモニア混焼、サプライチェーン設備を導入するためのファイナンスを行う。 ・ コスト見積、財務・経済分析 ・ 適切なファイナンス手段の検討 ・ JICA スキームを用いたファイナンス（円借款）
想定される効果	石炭火力発電のエネルギーtransition
カウンターパート （C/P）機関	・ Ministry of Energy Transition and Sustainable Development ・ ONEE
専門家の構成	・ 火力（石炭）技術者 ・ 混焼装置技術者 ・ 経済・財務専門家
実施時期（期間目安）	2020 年代後半（3～5 年間）

■ 提案 2 VRE 大量導入に伴う系統安定化対策

【Program Objective】

モロッコでは、2016-2030 年の間で約 400 億ドルを投じて 10.1GW（太陽光発電 4,560MW、風力 4,200MW、水力 1,330MW）の再生可能エネルギー電源を建設する計画がある。VRE を大量に導入するためには、同時に系統の安定化を図る必要がある。本プログラムは、系統の安定化を図り、VRE を大量導入するために系統用蓄電池を電力システムに組み入れることを提案、支援するものである。

【Projects】

1. 系統用蓄電池・可変速揚水導入のための調査
 - (a) 系統用蓄電池の適正配置・効率運用のための計画策定
 - i) 蓄電池導入に向けた蓄電池設置計画検討
 - ii) 蓄電池導入に向けた詳細調査（基本設計）
 - (b) 慣性力のある水力発電の一定量の確保のための計画策定
2. 系統用蓄電池導入のための円借款
3. 可変速揚水導入のための円借款
4. 産業部門の自家消費（PV 及びバッテリー）導入促進のための円借款（2 ステップローン）
またはブレンデッドファイナンス

表 257 1. 系統用蓄電池・可変速揚水導入のための調査

背景	モロッコは太陽光発電のポテンシャルが大きく、太陽光発電だけでなく、日没後に数時間のバッファがある太陽熱も開発している。 太陽光発電は発電所近傍に水素製造工場を作り直接供給することを第一にめざしているが、昼夜間格差のある太陽光発電を系統電力として拡大すれば系統安定性に悪影響を及ぼす可能性がある。こ
----	---

	れを回避するには、系統蓄電池の適正配置・効率運用や慣性力を持つ水力発電所（可変速揚水を含む）の建設などが求められる。
内容	(a) i) 長期的な需給&系統計画を策定し、欧州連系時・単独系統時など想定される状況における系統解析を行い、系統上の蓄電池設置計画を検討する。 ii) そのうえで、具体的な蓄電池設置計画（容量や時期）とその優先順位を調査する詳細調査を行う。 (b) 水資源の調査を行い、中長期の水力発電計画を策定する。水資源の制約もあることから、可変速揚水の導入を主体に検討する。
想定される成果	系統の安定性を保ちつつ、VRE の大量導入の目標の達成に資する。
カウンターパート （C/P）機関	- Ministry of Energy Transition and Sustainable Development - ONEE - MASEN
専門家の構成	(a) - 需要想定専門家 - 系統計画専門家 - 系統解析専門家 - 経済性評価専門家 - 再エネ専門家（特に PV の運転状況に詳しい人） (b) - 需要想定専門家 - 水力発電専門家
実施時期（期間目安）	(a) 2024 年度以降（2 年間）（水素製造用の太陽光発電の開発を含め、再エネの開発拡大動向に合わせて調査する。当面、欧州系統連系により系統は安定している。通常の FS に MP 要素が入るため 2 年間を見込む。） (b) 2023 年度以降

表 258 2. 系統用蓄電池導入のための円借款

背景	系統用蓄電池を導入し、需給調整を図りつつ VRE の大量導入を促進する。
内容	1.で作成された蓄電池設置計画に沿って蓄電池を導入するためのファイナンスを行う。 - コスト見積、財務・経済分析 - 適切なファイナンス手段の検討 - JICA スキームを用いたファイナンス（円借款）
想定される効果	需給調整を図りつつ VRE の大量導入を促進する。

カウンターパート (C/P) 機関	・ Ministry of Energy Transition and Sustainable Development ・ ONEE
専門家の構成	・ 蓄電設備計画／運用専門家 ・ 経済・財務専門家
実施時期（期間目安）	1.の計画策定以降（3～5 年間）

表 259 3.可変速揚水導入のための円借款

背景	可変速揚水を導入し、需給調整を図りつつ VRE の大量導入を促進する。
内容	1.で作成された慣性力のある水力発電の一定量の確保のための計画に沿って可変速揚水を導入するためのファイナンスを行う。 ・ コスト見積、財務・経済分析 ・ 適切なファイナンス手段の検討 ・ JICA スキームを用いたファイナンス（円借款）
想定される効果	需給調整を図りつつ VRE の大量導入を促進する。
カウンターパート (C/P) 機関	・ Ministry of Energy Transition and Sustainable Development ・ ONEE
専門家の構成	・ 揚水発電設備計画／運用専門家 ・ 経済・財務専門家
実施時期（期間目安）	1.の計画策定以降（3～5 年間）

表 260 4. 産業部門の自家消費のための PV 及びバッテリー導入のための円借款（2 ステップローン）またはブレンデッドファイナンス

背景	アトラス山脈北西部には人口や産業が集中しており、電力需要はあるものの大規模な集中型太陽光発電の導入には立地制約がある。そのため、この地域の産業部門において分散型の電力自家消費システムを推進することが、再生可能エネルギーへの移行に貢献することとなる。
内容	(a)産業部門の自家消費のための効果的な PV 及びバッテリー導入を促進するための調査 ・ 再生可能エネルギーとバッテリーの導入による産業分野での自家消費体制の促進が適しているサブセクターについて、障壁を含めた調査を実施する。 ・ 上記調査を踏まえ、当該セクターへの PV とバッテリーへの投資を促進するためのブレンデッドファイナンススキーム（例：JICA の 2 段階融資を活用）を検討する。 (b) 上記(a)を踏まえたファイナンス支援の実施

想定される効果	産業部門の電力の自給率向上と再生可能エネルギーへの転換の促進。
カウンターパート (C/P) 機関	・ Ministry of Energy Transition and Sustainable Development ・ SIE
専門家の構成	・ バッテリー専門家 ・ 経済・財務専門家
実施時期（期間目安）	2023 年度以降（3～5 年間）

■ 提案3 EV 普及のための法制度整備（技術協力）、E バス実証、電力電系統・チャージインフラ整備・E バス導入のためのファイナンス（円借款）

【Program Objective】

モロッコにおける E モビリティ普及のため、Confédération Générale des Entreprises du Maroc (CGEM)がロードマップを作成している。そのロードマップに沿った協力を行い、運輸交通部門の低炭素化に貢献するものである。

【Projects】

6. チャージインフラ整備計画策定のための技術協力とトレーニングプログラム
7. E バス実証
8. 電力電系統・チャージインフラ整備・E バス導入のための円借款

表 261 1.チャージインフラ拡大のための技術協力

背景	モロッコにおける EV 普及のため、Confédération Générale des Entreprises du Maroc (CGEM)により EV ロードマップが作成されている。このロードマップでは、フェーズ 1（2022～2025 年）において、チャージ需要のマッピングと電力系統の拡張の検討や、主要都市ごとの戦略的なチャージインフラ配置計画策定が含まれている。本技術協力では、それらの計画等策定のための支援を行う。
内容	(a)専門家を派遣し、以下の技術協力を行う。 ・ チャージ需要のマッピングと電力系統の拡張の検討 ・ 戦略的なチャージインフラ設置計画策定 (b)トレーニングプログラムの開発 ・ EV とチャージインフラの適切な使用と保守に関するトレーニングプログラムの開発支援 ・ 自治体による EV インフラ整備のための啓発活動支援
想定される効果	EV ロードマップに沿った EV チャージインフラ整備
カウンターパート	・ Ministry of Transport and Logistics

(C/P) 機関	・ Moroccan Agency for Energy Efficiency (AMEE) ・ IRESEN ・ ONEE ・ Société d'Ingénierie Énergétique (SIE)
専門家の構成	・ 配電系統専門家 ・ チャージインフラ専門家
実施時期（期間目安）	2023 年度後半以降（1～3 年間を目安）

表 262 2. E バス実証

背景	EV ロードマップでラバトやカサブランカのような気候（気温）や地形（標高、地勢）の異なる都市で、少なくとも 3 つの E-バス実証事業を行うことが示されている。本実証データは 1 の計画策定においても活用する。 SIE は COP22 の際にマラケシュで E バスの実証を行っており、これにより 7 台の E バスとチャージインフラが設置されている。本コンポーネントの実施にあたっては、SIE との連携や、過去の実証事業の成果について考慮する。
内容	・ E バスの車庫内充電、オポチュニティ・チャージング、水素技術について、充電量や充電時間データ等の収集・分析、設備の配置や操作性の検証 ・ E バスの蓄電池残量や走行データ等の収集・分析 ・ E バスの蓄電池の充放電が電力系統にもたらす影響の評価 ・ EV の電力系統向け需給調整サービス等への活用可能性の検討 ・ ビジネスモデル検討
成果	EV ロードマップに沿った E モビリティ普及
対象とする地域	候補地：ウジュダ市（スマートエコ地域）
カウンターパート（C/P）機関	・ Ministry of Transport and Logistics ・ IRESEN ・ ONEE ・ SIE
専門家の構成	・ 自動車会社 ・ 電力会社 ・ 送配電会社 など
実施時期（期間目安）	1.と同時期（3～4 年間を目安）

表 263 3. 電力系統・チャージインフラ整備・E バス導入のための円借款

背景	1 で策定した計画に基づいて、電力系統を整備する。
内容	1. の計画や 2 の実証事業の結果に沿って、電力電系統・チャージインフラ整備・E バス導入のためのファイナンスを行う（円借款、ツーステップローン）。 ・ コスト見積、財務・経済分析 ・ 適切なファイナンス手段の検討 ・ JICA スキームを用いたファイナンス（円借款、ツーステップローン）
成果	E モビリティの普及、配電高度化による再エネの普及
カウンターパート （C/P）機関	・ Ministry of Transport and Logistics ・ IRESEN ・ ONEE ・ SIE
専門家の構成	・ 自動車会社等の E バス専門家 ・ 配電系統専門家 ・ 財務・経済分析専門家
実施時期（期間目安）	1, 2 の完了以降（3~5 年間）

■ 提案 4 産業・ビル分野へのボイラーのヒートポンプ転換促進のための支援

【Program Objective】

モロッコは 2021 年の COP26 において、エネルギー転換・持続可能開発大臣が「エネルギー効率国家戦略」を発表、2050 年までの中間地点として、2030 年までにエネルギー消費量の 20%削減を目標とした。モロッコでは既にモスクやハマムでヒートポンプボイラーの導入実績があり、SIE は産業部門へのヒートポンプの展開も検討はしている。SIE は太陽熱温水との併用で効率を上げることができるのではないか、というアイデアを持っている。ただ、今後冷房需要の大幅増加が見込まれる中、SIE はボイラー用途よりも冷房需要を優先して個人住宅への展開を考えている様子である。

モロッコで、産業やビル向けにヒートポンプボイラーを展開するのは障害が少ないと考えられる。個人住宅向けには ZEB の中でインバーターエアコンの普及促進を取り入れるのが良いと考えられる。

【Projects】

5. ヒートポンプの導入促進のための技術協力

- (a) 産業（低温対応）及びビル用（商業用・住居用いずれも含む）ヒートポンプ導入・拡大のためのロードマップ策定、必要な規制・政策等の整理
- (b) 必要な規制・政策のための当局のキャパビル（セミナー開催、専門家派遣等）

2. ヒートポンプ投資促進のためのファイナンス支援

- (a) ヒートポンプ投資拡大のためのキャパビル、ファイナンススキーム検討

(b) ヒートポンプ導入のためのファイナンス支援

表 264 1. ヒートポンプの導入促進のための技術協力

背景	モロッコでは最終エネルギー消費に占める産業・民生部門のシェアはそれぞれ約 20%、32%約と高く（商業用・住居用含む）、モロッコのエネルギー効率を高め、モロッコ経済の低炭素化を図るためには、これらの分野のエネルギー効率を向上させる必要がある。 モロッコでは 2011 年にエネルギー効率化法が制定され、省エネへの取り組みは展開されているが、省エネ指標の 1 つである GDP 当たりの一次エネルギー消費量（toe/2015 年 US\$）を OECD 国と比較すると、改善の余地がある（2019 年、OECD が 0.11、モロッコが 0.20）。 モロッコでは 2030 年までにエネルギー消費量を 20%削減する目標が出されている。モロッコの産業は中小企業が主体であり、今後、モロッコ産業部門のエネルギー効率をさらに改善するために、中小企業への取り組みを強化する必要がある。産業及びビルの熱利用は比較的低温である可能性があり、このようなケースでは IEA は効率を向上させるためには化石燃料ではなく高効率の電気ヒートポンプを推奨している。 AfDB によると、産業セクターの省エネに関し、付加価値の大きい低炭素技術を導入することにエネルギー転換・持続可能開発省は関心を持っている。ただし、同省や AMEE は、脱炭素への取り組みに関して明確なアイディアを持っていない様子である。 モロッコでは既にモスクやマハムでは電気のヒートポンプボイラーが導入されている事例があることからわかるように、建物における電気ヒートポンプボイラーの利点は認識されており、SIE は産業部門への展開も検討している。
内容	(a) ・モロッコでヒートポンプを導入した場合の経済的・技術的な影響を調査・評価（このような調査がこれまでに行われていない場合。SIE と連携して調査する。） ・産業部門においては、比較的低い温度（～400℃）で利用されている旧式の化石燃料ボイラーを高効率の電気ヒートポンプへ更新する潜在的な需要の調査・確認（日本の例：食品、繊維、プラ加工、ゴム製品）、更新による効果の簡易な予測。ビル部門については、新築物件についても高効率の電気ヒートポンプの採用を働きかけていく。 ・日本など諸外国のヒートポンプ振興策の事例（税制など）を調査・

	整理する。 ・ 上記の検討をもとに、産業部門については対象となりうる産業ごとに、必要な規制や考え得る振興策について時系列で整理し、ロードマップを作成する。 (b) ・ SIE によると、モロッコではボイラーの設置に関する規制等は制定されている。今後、日本の高効率電気ヒートポンプをモロッコで展開していくうえで、どのような規制になっているのか調査する必要がある、場合によっては規制の改正が必要になる可能性がある。 ・ モロッコでは電気ヒートポンプボイラーが導入されているものの、普及が少なく認知度が低いと考えられる。このため、電気のヒートポンプの特徴、省エネ性能、安全性（設置、運転）、電気のヒートポンプの安全性に関する規制などについて政策担当者に理解を深めてもらう。（短期の専門家派遣または招聘を想定）。（産業部門、ビル部門それぞれ） ・ 設備設計者に対して、セミナーを実施する。電気のヒートポンプの特徴、省エネ性能などの理解の促進、また、電気のヒートポンプボイラーのために規制が改正された場合には、当該規制の内容を理解してもらうことを目的とする。（セミナー開催）。（産業部門、ビル部門それぞれ）
想定される効果	熱需要を旧式の化石燃料ボイラーからヒートポンプに更新することで、エネルギー効率化を図ることができる。
対象とする地域 (特にあれば)	全国
カウンターパート (C/P) 機関	(a) ・ Ministry of Energy Transition and Sustainable Development ・ AMEE ・ SIE (b) ・ Ministry of Energy Transition and Sustainable Development ・ AMEE ・ SIE
専門家の構成	(a)(b) ・ 省エネ（産業部門、建物部門）専門家（ヒートポンプ・蓄熱センターなどからの専門家） (c)

	・ 省エネ（産業部門、建物部門）専門家（ヒートポンプ・蓄熱センターなどからの専門家）
実施時期（期間目安）	2023 年以降 2~3 年程度

表 265 2. ヒートポンプ投資促進のためのファイナンス支援

背景	モロッコ国内企業へヒートポンプ（産業用、ビル用）を導入するためには企業の投資の資金調達をスムーズに行うことが必要となる。主に企業の資金調達課題や、金融機関からの融資のリスク削減策を検討する。
内容	(a) ・ ヒートポンプ資金調達上課題、金融機関から見たリスクなどを調査、整理する。 ・ 上記課題に対応するためのブレンデッドファイナンススキーム（ツーステップローン、省エネファンド等への投融資）の検討 ・ 上記スキームのパイロットプロジェクト実施 ・ 金融機関向けのセミナーなどを開催し、金融機関の産業用ヒートポンプに関する理解を促進する (b) ・ 企業のヒートポンプ実装のための、ツーステップローンや、省エネに投資するファンド等への JICA 投融資を通じたファイナンスを行う。 ・ ESCO サービスを通じた手法をとる場合は、ESCO に対するコンサルティング・サービス（資金管理を含む事業実施促進、再エネ・省エネ機材導入促進融資の技術面の支援等）
想定される効果	民間企業のヒートポンプ投資の拡大。
対象とする地域（特にあれば）	全国
カウンターパート（C/P）機関	・ Ministry of Energy Transition and Sustainable Development ・ AMEE ・ SIE
専門家の構成	・ 省エネ（産業部門）専門家（ヒートポンプ・蓄熱センターなどからの専門家） ・ 金融、ブレンデッドファイナンス専門家 ・ 経済・財務専門家
実施時期（期間目安）	1 で作成するロードマップ作成と同時並行で実施する。

■ 援案 5 ZEB 導入のための支援

【Program Objective】

モロッコでは、2030 年までにエネルギー消費量の 20%削減することを目標とする「エネルギー効率国家戦略（STRATÉGIE NATIONALE DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE À L'HORIZON 2030）」の下で、各種省エネルギー政策が進められている。特に、最終エネルギー消費に占める建物のエネルギー消費が 33%を占めている（分野別では 2 番目に消費量が多い）ことから、建物の省エネに資する技術に関するニーズは高い。

モロッコでの ZEB 導入を進め、省エネとセットでの再エネ導入を促進し、建物部門の低炭素化に貢献する。

【Contents of the program】

1. ZEB 導入のための技術協力・ファイナンス協力

(a) ZEB 導入支援技術協力

(b) ZEB 投資拡大に向けたファイナンス支援

表 266 1. ZEB 導入のための技術協力・ファイナンス協力

背景	既にモロッコでは、新築建物におけるモロッコの 6 つの気候帯に応じた熱性能に関する最低技術要件を定めた政令の公布や、AMEE による建物ラベリング制度「Eco-Binayate」の開発等が実施されている。機器に関してもラベリング制度を導入し、省エネを促しているが、当面冷房エネルギーが課題と認識している。エアコンの普及率が現状 10%代であるものが、2030 年までに普及率 40%まで見込まれ、今後の夏季の冷房エネルギー需要増加に対する、省エネ対策も含めた設備投資が必要である。 上記に示したとおり、省エネに対する取り組みは積極的に行われているものの、再生可能エネルギーを組み合わせたゼロエネルギー達成への取り組みは行われていない状況である。 一方で、現地における省エネ・脱炭素化に対するニーズは高まってきていることから、ZEB 普及を含め、さらなる省エネの普及促進活動を行うため、必要な人材育成や促進のための制度設計、省エネ意識の啓発等を行っていく。
内容	(a) ・建物省エネ設計基準（Thermal regulation buildings code (RTCM)を含む）の見直し、国際基準に合致したモロッコ独自の ZEB ガイドライン策定支援（長期、短期の専門家派遣を含む） ・モロッコにおける ZEB ISO/ TS 制定支援 ・日本における ZEB、ZEH に関する普及支援策（ファイナンス、政策目標、施工・デザイン会社支援ネットワーク等）に関する政策

	担当者への情報提供 ・ 公共施設でのパイロット事業（再生可能エネルギー、省エネ、蓄電池、EV 連携含む）の実施。設置した再生可能エネルギーの電力で EV を充電し、災害時などには動く蓄電池として利用する。余剰電力が発生した場合は、系統に供給する。 ・ 省エネ性能に優れたインバーターエアコンの普及支援（オンラインセミナーや広報動画などでの情報提供） ・ 日本の ZEB、ZEH、インバーターエアコン視察 (b) ・ モロッコ民間セクターにおける ZEB 投資拡大のため、ツーステップローン、海外投融資など JICA スキームを用いて、ブレンデッドファイナンススキームを活用も考慮したファイナンス ・ モロッコ企業、金融機関への ZEB コンセプトの理解についてのキャパシティビルディング、（現地セミナー実施及びオンライン配信）、日本の事例紹介
想定される効果	モロッコにおける再エネや EV と連携した ZEB の普及、民間投資の拡大。
対象とする地域 （特にあれば）	全国
カウンターパート （C/P）機関	・ Ministry of Energy Transition and Sustainable Development ・ AMEE ・ SIE
専門家の構成	・ 省エネ・再エネ（ZEB）政策専門家 (a) ・ 省エネ・再エネ（ZEB）普及促進専門家 (a) ・ 省エネ技術専門家 (a), (b) ・ 再エネ技術・系統連系専門家 (a), (b) ・ 金融、ブレンデッドファイナンス専門家 (b) ・ 経済・財務専門家 (b)
実施時期（期間目安）	・ 2022 年度後半以降（5 年間程度）

(4) インドネシア

JICA のインドネシアを対象とした別調査-「インドネシア国 低（脱）炭素化に向けた電力セクターに係る情報収集・確認調査」（JICA、2022 年 3 月）において優先支援策として、以下 5 つのマスタープラン策定が提案されている。

① アンモニアサプライチェーン全体の構築（マスタープラン）

- ② LNG マスタープランの策定
- ③ インドネシア国内での CCS 導入マスタープラン策定
- ④ 詳細な長期ビジョンの検討
- ⑤ 系統計画マスタープランの策定

本調査においては、この提案を受け、マスタープラン策定協力支援内容について下記のとおり検討している。

提案 1 アンモニアサプライチェーン全体（マスタープラン）の策定

提案 2 LNG マスタープランの策定

提案 3 インドネシアにおける CCS（CCUS）導入のためのマスタープランの策定

提案 4 電力開発に関する詳細な長期ビジョンの検討

提案 5 電力システムマスタープランの策定

■ 提案 1 アンモニアサプライチェーン全体（マスタープラン）の策定

【Program Objective】

発電用として大量消費されるアンモニアのサプライチェーンを構築する。

背景	ERIA と IEEJ が発表した”Decarbonization of ASEAN Energy System: The Optimum Technology Selection Model Analysis up to 2060”（2022 年 4 月 25 日開催のアジアグリーン成長パートナーシップ閣僚会合（AGGPM）で発表）では、インドネシアの電力セクターにおいて、石炭からアンモニアへの燃料転換は、2060 年のカーボンニュートラル達成に向けた道筋に貢献することができるとされている。 IHI と PJB は、今後、PJB のグレシク火力発電所を含む一部の地点で、アンモニア混焼を視野に入れたボイラーの技術調査を共同で実施する予定である。 アンモニアの燃料としての利用を拡大するためには、供給コスト低減のための技術開発による大規模なサプライチェーンの構築が必要であり、50%以上の高アンモニア混焼のための技術開発が必要である。 また、アンモニアは既に化学肥料の原料として一般的に使用されており、インドネシアは世界第 3 位のアンモニア輸出国である。 このような背景から、アンモニアのサプライチェーン全体を形成するマスタープランの策定を提案する。
----	--

内容	・ 発電用アンモニアの需要予測。 ・ アンモニア（グリーンアンモニア、ブルーアンモニア）の調達コスト試算 ・ 生産、貯蔵、輸送、発電所での消費に至るサプライチェーンの稼働率の検討 ・ アンモニア供給拡大の検討（既存アンモニア生産能力の拡大、新規生産設備の建設を含む）。 - アンモニアの利用拡大に向けた有利な規制枠組みの検討：有害物質の管理等 - 貯蔵・輸送の検討
想定される効果	サプライチェーン全体のマスタープランにより、政府当局および産業界は、解決すべき重要な課題を検討し、具体的なプロジェクトを計画することができるようになる。
対象とする地域（特にあれば）	—
カウンターパート（C/P）機関	・ インドネシア工業省 ・ MEMR 及び PLN
専門家の構成	・ マスタープラン策定においては火力（石炭）技術者、混焼装置メーカー、アンモニア生産者、アンモニア輸送業者（輸出入含む）、有害物質管理、規制当局等の専門家の配置を行う。
実施時期（期間目安）	2023 年以降（なるべく早い時期）

■ 提案2 LNG マスタープランの策定

【Program Objective】

インドネシアにおける LNG プロジェクト拡大のための長期計画を策定する。

背景	「インドネシア国 低（脱）炭素化に向けた電力セクターに係る情報収集・確認調査」の結論として、2060 年の電源構成の一部として、また 2060 年のカーボンニュートラル達成に向けた橋渡しとして、LNG 火力発電所（CCS 導入を含む）が必要と認識されている。 インドネシアでは既に LNG が導入されているが、受入基地は浮体式貯蔵再ガス化設備（FSRU）が多く、拡張性に優れた陸上 LNG 受入基地の導入やパイプライン等の周辺インフラの整備を検討する必要がある。 特に、港湾・貯蔵設備は非常にコストが高く、発電所ごとに建設するよりも、（複数の発電所間で）共有設備として建設の方が経済的な場合もある。 これらを考慮すると、LNG 受入基地やパイプラインの整備は、マ
----	---

	マスタープランを策定し、それに沿って施設建設を進めていくことが重要である。
内容	・ LNG 受入基地候補地の選定（既存発電所及び将来の発電所立地も考慮）。 ・ LNG 受入基地の適正規模（バース数、貯蔵施設・気化器等の容量・数）の検討 ・ LNG 基地と発電所を結ぶパイプライン網の整備計画 ・ 発電以外の目的での LNG 利用の検討
想定される効果	全国規模の長期マスタープランにより、エネルギー産業政府当局及び PLN は、発電所開発に合わせて LNG 基地開発の優先順位を決定することができるようになる。
対象とする地域 （特にあれば）	—
カウンターパート （C/P）機関	・ MEMR ・ PLN
実施時期（期間目安）	2023 年以降。本 LNG マスタープラン調査は、電力開発マスタープラン（提案 4）作成と並行して実施することが望ましい。別途実施する場合は、提案 4 に先立ち LNG マスタープランの検討を実施する。

■ 提案 3 インドネシアにおける CCS（CCUS）導入のためのマスタープランの策定

【Program Objective】

インドネシアにおける CCS（CCUS）導入のための長期計画を策定する。

背景	RUPTL 2021-2030 によると、火力発電はこの期間中も稼働し、2030 年以降も電力系統に柔軟性を与えることができるため、利用される可能性があります。カーボンニュートラルを達成するためには、火力発電が稼働し続ける限り、CCS（CCUS）の導入は非常に重要です。 CO₂ 回収・貯留技術の種類と火力発電所の種類ごとの適合性については、すでに「脱炭素社会に向けたインドネシア電力セクターのデータ収集調査」（JICA、2022 年 3 月）で簡単に検討されている。 インドネシアでは 5 つの CCS プロジェクトが開発されている。グンディ CCUS、スコワティ Co2-EOR、タングー CCUS、サカケマン CCS、PAU 中央スラウェシ・クリーンアンモニアプロジェクトである。 インドネシア政府は、CCS に関する法律や規制を整備している。2019 年 3 月に CCS に関する大統領令が起草され、現在、政府の承認プロセスに入っている。CCS 承認プロセスでは、1) CCS の定
----	---

	義とその規制、2) 委員会の設置、3) 許可申請の必要書類、4) 注入後のモニタリング期間、5) CCS サイト閉鎖後の長期責任移譲、が扱われる予定である。
内容	・ インドネシアにおける CO₂ 貯留適地調査。 ・ 火力発電所からの CO₂ 排出量調査（火力発電使用期間中の CO₂ 排出量試算）。 ・ CO₂ 輸送パイプライン網・輸送スキームの構成に関する検討。 ・ CO₂ 貯留可能なサイトと既存の火力発電所（石炭、ガス）の現状を踏まえた、火力発電所と CCS の組み合わせによる実証試験サイトの選定。
想定される効果	本マスタープランの結果に基づき、日本など専門性の高い第三国からの技術支援を受けながら、特定の場所での CCS の実現可能性調査及び実証試験を実施する。
対象とする地域（特にあれば）	—
カウンターパート（C/P）機関	・ MEMR ・ PLN
実施時期（期間目安）	2023 年以降。

■ 提案 4 電力開発に関する詳細な長期ビジョンの検討

【Program Objective】

再生可能エネルギーやその他脱炭素技術など、様々な要素を考慮した長期的な電力開発計画を策定する。

背景	「インドネシア国 低（脱）炭素化に向けた電力セクターに係る情報収集・確認調査」では、時間やデータの制約がある中で、簡易的な需要予測を行った。本調査では、スマトラ、ジャワ・バリ、カリマンタン、スラウェシの主要 4 グリッドの電力需要と発電能力を概観したが、より詳細な検討が期待される。 上記調査での議論の結果、経済指標や主要な電力消費機器の蓄積を踏まえた詳細な需要予測を実施する必要があると認識された。
内容	・ 詳細な需要予測。経済指標や主要な電力消費設備等の蓄積に基づく予測。 ・ EV や断続的な再生可能エネルギーの導入動向に基づくロードカーブの変化に関する検討。

	・ VRE を考慮した各系統の 1 時間毎の需要変化（ピーク負荷時間、深夜率、日負荷率等）の推定に基づく将来の発電ミックスの詳細検討。 ・ 既設石炭火力発電所の燃料転換計画（混焼を含む）及び廃止計画を考慮した長期電源開発計画の策定。 ・ 水力、太陽光、風力、CCS 付き火力等、各種発電の候補地と発電能力の検討。 注）一貫した計画を策定するためには、LNG（提案 2）と電力系統（提案 5）を含めた統合マスタープランスタディを同一プロジェクトで実施することが望ましい。ただし、別々に実施する場合は、LNG のマスタープラン研究が先で、その後に LNG 研究の結果を必要とする電力システムのマスタープランを実施することになる。この点、電力システム開発計画（提案 5）は密接に関連しているため、制約を受ける可能性があり、電力開発計画を必要に応じて修正する。
想定される効果	・ PLN が電力開発プロジェクトの優先順位を特定することができるようになる ・ 電力開発計画の結果は、電力システム基本計画（テーマ No.5）の基礎となる。
対象とする地域 （特にあれば）	—
カウンターパート （C/P）機関	・ PLN ・ MEMR
専門家の構成	需要予測技術者、（マクロ）経済専門家、各種発電技術者（火力、各種再生可能エネルギー）、電力系統技術者などの専門家を配置する。
実施時期（期間目安）	LNG マスタープラン（提案 2）以降と並行するのが理想的。電力系統マスタープラン（提案 5）に先行して実施。

■ 提案 5 電力システムマスタープランの策定

【Program Objective】

電力開発計画に基づき、建設する送電設備（送電線、変電所）の優先順位付けを行うための送電マスタープランを策定する。

背景	太陽光発電の発電能力は気候条件に依存するため、太陽光発電の設置適地が全国に分散している可能性が高く、発電能力を十分に収
----	---

	容できる送電設備がなく特定の地域に集中する場合、送電容量が不足し、発電量が抑制される可能性がある。 このため、中長期的な観点から、定期的に発電整備計画と送電網拡充計画の整合性を確認する必要がある、マスタープランの対象期間の延長、計画サイクルの短縮、計画の精度向上が重要である。 「インドネシア国 低（脱）炭素化に向けた電力セクターに係る情報収集・確認調査」（JICA、2022年3月）では、スマトラ、ジャワ・バリ、カリマンタン、スラウェシの主要4グリッドの電力系統を概観したが、より詳細な検討が期待される。
内容	・ 電源開発計画に基づく長期的（30～40年）な電力系統の状況俯瞰。 ・ 電源開発計画に基づくパワーフロー解析。 ・ 故障電流の検討。 ・ 系統安定性の確保。 ・ 送電・変電設備計画。 ・ 重点プロジェクトの検討（パワーフロー解析の結果に基づく先行電源開発計画の変更の可能性を含む）。
想定される効果	本マスタープランスタディにより、PLNは開発すべき送電プロジェクトの優先順位を特定する。とともに、発電・システム検討の定期的な見直しの重要性を認識することができる。
対象とする地域 （特にあれば）	—
カウンターパート （C/P）機関	・ PLN
専門家の構成	システム計画技術者、送配電技術者、需要予測技術者、各発電技術者等の専門家を配置する。
実施時期（期間目安）	電力開発マスタープラン調査（提案4）に続く。数年単位で定期的に更新するのが理想的。

3.3 パイロット事業実施の検討

3.3.1 事業の選定と概要

現地対象国において、低炭素社会実現に向けたプロジェクト形成に向けて有効なパイロット事業を実施することを検討した。

インドでは、政府の方針として、今後益々カーボンニュートラルに取り組んでいく方針となっており、再生可能エネルギーの導入や、省エネルギー対策等が進められている。一方で、建物の

分野において、特にゼロエネルギービルディング（ZEB）に対する関心が高まっているものの、具体的なプロジェクトには至っていない状況であった。

ここで本調査では、インドにおいて再エネと省エネを組み合わせた ZEB 実現に向けて、課題となっている事象を特定し、日本の事例も踏まえて解決策を提案することで、今後 ZEB の普及促進に寄与できるよう、パイロット事業を実施することとなった。

パイロット事業の概要は以下のとおりである。

表 267 インドのパイロット事業概要

目的	インド国内においてゼロエネルギービルの概念を推進するために、省エネ対策と再生可能エネルギー活用の統合パッケージに関する実証を行い、これにより、エネルギー需要の削減、再生可能エネルギーの導入促進、化石燃料の使用量の削減、温室効果ガス（GHG）排出量の削減に資することを目的とする。
実施機関	Convergence Efficiency Services Limited (CESL) ※一部 The Confederation of Indian Industry (CII) と協働で実施し、日本からの技術的な助言は㈱アドバンテックが実施。
実施期間	2021 年 11 月～2022 年 7 月
実施内容	a) 対象となる建物の選定 中規模の建物の中から本実証の対象とする建物を選定する。最終的な選定に先立ち、10 程度の建物に対し、ウォークスルーエネルギー調査を実施することとする。 b) エネルギー監査の実施 認定されたエネルギー監査人を通じて、エネルギー効率局（Bureau of Energy Efficiency）によって定義されたプロトコルに従って、詳細なエネルギー監査を実施する。 c) 省エネ・太陽光発電・制御システムの設計 日本側からの技術的助言も受けつつ、省エネ・太陽光発電・制御システムに関する設計を行う。 d) 省エネの測定・報告・検証 インド及び日本における MRV(Measurement, Reporting and Verification)方法論を調査し、インドにおいて ZEB のパフォーマンスを適切に評価する方法を特定する。 e) 課題・解決策の検討 対象事業を商業的に実行可能にするために解決すべき課題を特定し、それらの課題に対する、関連政策、規則、規制の導入・改正等に関わる資金協力、技術支援を含めた解決策を検討する。なお、課題・解決策の検討に際しては、エネルギー効率局（BEE : Bureau of Energy Efficiency）と住宅都市省（MoHUA : Ministry of Housing and Urban Affairs）との協議を通して技

	術的および財政的支援のニーズを確認する。 f) インドでの ZEB 実施に関する知見の整理 ZEB 評価、ZEB ISO、ガラス選定、断熱材、バッテリー設計、エアコンクリーニングなど、本事業の実施を通じて得た教訓について報告する。 g) ZEB の構成要素としての EV の検討 インドでの EV プロモーションに関するポリシー、規制、および手順を要約し、現在および潜在的な課題・解決策を検討し、将来の ZEB コンポーネントとして EV を採用する可能性を検討する。 h) 最終報告書の提出
--	--

3.3.2 事業の実施結果

現状のエネルギー効率と再生可能エネルギー発電の状況を把握するために、10 の建物に対してウォークスルー監査を実施した。また、グリッドエネルギーの使用を最大限に活用するために設置できる再生可能エネルギーシステムの追加容量を特定するための検討も行った。建物の外構、照明システム、空調、設備、モーター、再生可能システムなどの建物コンポーネントに関連する詳細情報を、サイト訪問を通じて収集した。

表 268 事業実施結果概要

建物名称	Energy Performance Index (kWh/m2/year)		EEC Ratio (%)		RE Ratio (%)		ZEB Ratio (%)	
	現状	可能性	現状	可能性	現状	可能性	現状	可能性
インド国際民主主義・選挙管理研究所	52	47	26	29	15.8	26.4	41.6	55
国家調査局	-	-	6	38	0	13.5	5.8	51.4
スチール・オーソリティ・オブ・インド	169	123	-16	27	2.8	31.2	-13.6	57.9
ウエスタン・プリンティング・グループ	60	57	48.3	50	0	44.8	48.3	94.5
中央歳入管理研究所	71	68	20	21	0	78.4	19.9	99.3
ステート・バンク・	110	51	9	54	17	21	26	75

アカデミー								
ゲイル・ジュビリー・タワー	207	166	42	45	1.1	2.2	43.5	48
食品技術起業家経営研究所	29	27	32	32	93.8	93.8	126	100
石油天然ガス公社	169	136	6	30	7.2	10.5	12.8	40.6
Hazrat Nizamuddin 鉄道駅	56	48	9	23	48.3	56.2	57.8	79.4

さらに、中央歳入管理研究所とウエスタン・プリンティング・グループの2つのプロジェクトに対しては詳細なエネルギー監査を実施した。どちらのプロジェクトも、エネルギー効率を少なくとも10～15%向上させる可能性を有しており、再生可能エネルギー容量を追加するのに十分なスペースも利用可能である。再生可能エネルギーを活用することにより、ネットゼロもしくはZEB比率が80%を超えるプロジェクトを実現することが可能であることが判明した。

現地ではソーラーが日本の約1/3価格水準と安価であるため、インドでは、日本と比較してZEB導入の経済合理性が高いことが確認された。よって、技術協力を通じた日本におけるZEB導入支援策の紹介や、各種ファイナンス協力を行っていくことが今後期待される。

3.4 インフラシステム輸出に係る関係機関との意見交換

現地調査の実施にあたっては、事前に経済産業省や環境省に加え、東京都や横浜市、北九州市などとも意見交換の場を設け、連携可能性や今後の方針について確認を行った。

さらに、インドの現地関係機関インタビュー実施後に、国内の関係機関として、一般社団法人日本鉄鋼連盟と意見交換を行った。現地のニーズを共有し、日本として実施可能な協力について議論した。一般社団法人日本鉄鋼連盟とインド側との連携状況は次のとおりである。

- ・ 2011年に日印会合を開催して以降、2019年度と2020年度を除いて毎年開催している。2021年度の会合は、1月にオンラインで開催した。
- ・ これまでに、インドの製鉄所の診断を実施した。設備の稼働状況、エネルギー使用状況を診断した上で国際規格を基に省エネ、CO2削減のための診断を行い、必要とされる技術を現地に紹介した。
- ・ また、インド版技術カスタマイズリストを作成してインド側に共有しており、これに関しては現地側からは、本活動を引き続き実施してほしいと要望されている。実際に技術の導入まで結びつけることは難しいが、現地側で導入に向けて検討いただいている状況である。

4. 低・脱炭素エネルギーに関連する各種情報分析・取り纏め・発信

4.1 クラスタ協議

2022年2月に、JICA 内部で実施されるクラスタ協議用の資料として、その時点におけるインドにおける協力プログラムの案として以下を提案した。

表 269 インドにおける協力プログラム候補

No.	プロジェクト名	概要
1	アンモニア混焼 FS	インドにおいて割合の大きい石炭火力発電の排出削減方策として、アンモニア混焼の導入の実現可能性について調査を行う。
2	VRE 大量導入に伴う系統安定化対策	VRE 大量導入の促進を目的として、既存の石炭火力発電の出力調整に関する技術協力を行う。
3	稲わらを用いたバイオ燃料製造またはバイオマス混焼	インドの大気汚染の原因の一つである農業残滓（稲わら）の焼却問題の対応及び低炭素化に貢献するものとして、稲わらを活用したバイオ燃料製造またはバイオマス混焼の実証事業を行う。
4	配電系統の運用最適化	VRE、DR、EMS 等を組み合わせた配電レベルでの脱炭素化促進のための系統設計や運用最適化を支援する。
5	産業分野へのヒートポンプ導入のための支援	産業用ヒートポンプの導入については将来的に有望であるものの、現状インドでは規制整備を含め、投資環境が整っていないため、産業用ヒートポンプ導入のためのロードマップを策定し、必要な規制・政策等の整理や企業の投資促進のためのブレンデッドファイナンススキームの検討を行う。
6	ZEB 導入のための支援	インドでの ZEB 導入に向けて、省エネとセットで再エネ導入を促進する。
7	鉄鋼分野への支援	インドの鉄鋼業は生産量が世界第2位であり、CO2 排出量は国の総排出量の約5%を占めている。インドにおける日本の低炭素技術（鉄鋼分野）への関心は非常に高い。

4.2 BBL での勉強会（内部向け、外部有識者セミナー等）

2022年6月に JICA 内で開催された BBL での勉強会において、エネルギー定量分析モデルの概要と欧州のモデル分析例、日本でのモデル分析、ASEAN を対象としたカーボンニュートラルのモデル分析について説明を行った。

表 270 BBL の概要

テーマ	エネルギー定量分析モデルの概説
開催日時	2022 年 6 月 2 日 12 時 30 分～13 時 30 分
開催形態	オンライン会議
説明者	日本エネルギー経済研究所 松尾 雄司
参加者	低炭素案件に関連する JICA 職員及び本調査団メンバー

4.3 低・脱炭素に関する技術、政策、制度、ビジネスにおける最新情報の収集、定期的な要約情報の発信

2021 年 1 月から 2022 年 6 月にかけて、毎月低炭素に関連する最新情報の収集と、特定テーマに沿ったレポートの作成を行った。最新情報については、その月の日本政府の動向、メーカー、エネルギー企業、金融機関の動向、他国政府、ドナーの動向、国際機関が公表したレポートのリストなどについて情報を収集し、とりまとめている。特定テーマに沿ったレポートの作成については、以下のテーマに沿ってとりまとめた。

表 271 特定テーマ

	特定テーマ
2021 年 1 月	IEA “Energy Efficiency 2020”のポイント ～COVID-19 と低・脱炭素～
2021 年 2 月	日本・ドイツ・EU の水素戦略概観
2021 年 3 月	サステイナブルファイナンスと情報開示
2021 年 4 月	開発途上国における低・脱炭素に貢献するスタートアップ
2021 年 5 月	IRENA “The Renewable Energy Transition in Africa” にみるドイツによるアフリカへのエネルギー協力方針
2021 年 6 月・7 月	日本の電力・ガス会社の脱炭素戦略比較
2021 年 8 月	IRENA “Integrating low-temperature renewables in district energy systems: Guidelines for policy makers2021” 概要 ーヒートポンプを用いた地域熱供給ー
2021 年 9 月	カーボンプライシング概要と最新動向
2021 年 10 月	COP26 に向けた論点整理
2021 年 11 月	ASEAN・EU におけるトランジション・ファイナンス最新動向
2021 年 12 月	火力発電の低炭素化技術動向
2022 年 1 月	海運・航空分野の脱炭素動向
2022 年 2 月・3 月	脱炭素分野における他ドナー支援動向
2022 年 4 月	日本、欧州による「ASEAN におけるエネルギー・トランジション」 及び日本版「トランジション・ファイナンス」動向

	特定テーマ
2022 年 5 月	企業活動や製品の流通における GHG 排出の算定・報告動向
2022 年 6 月	水素を巡る国際関係

5. 水素分野における今後の協力方針の検討

5.1 水素分野の協力方針の整理

本項では、今後開発途上国向けに水素関連協力案件を検討する際の参考とすることを目的に、全世界の開発途上国を対象に水素分野における協力方針の整理を行う。

IEA(2021)⁷⁷⁸によると、NZE シナリオにおける世界の水素需要は、2020 年の 90Mt H₂ 未満から 2030 年には 200Mt H₂ 以上へと拡大する。さらに、水素需要は 2050 年までに 530Mt H₂ に達すると見込まれ、そのうちの半分を産業部門と運輸部門が占める。

2020 年の水素需要のうち 50Mt H₂ 以上は産業部門が占めている。NZE シナリオにおいて、産業部門の水素需要は、2020 年の約 50Mt H₂ から 2050 年の約 140Mt H₂ へ拡大し、運輸部門の需要は 2020 年の 20kt H₂ 未満から 2050 年には 100Mt H₂ へ増加すると見込まれる。なお、発電部門における水素利用の拡大も期待されている。例えば、ガス火力発電所における水素混焼、変動性再生可能エネルギーの大量導入や季節性変動をバランスするための定置燃料電池の利用が用途として考えられる。なお、現在の発電部門での水素利用は 0.2%未満に留まる。

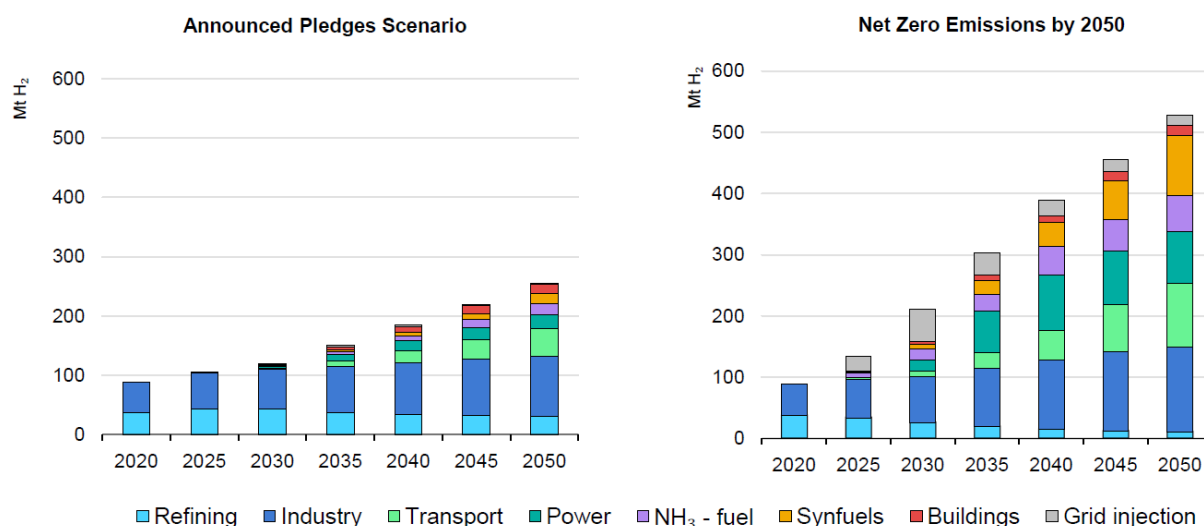


図 304 APS および NZE における部門別水素需要 (2020~2050 年)

出所：IEA, Global Hydrogen Review 2021

5.1.1 対象国のグループ分け

開発途上国のグループ分けを以下の手順によって行う。

- (1) 世界銀行の所得階層別分類より、JICA の支援対象となり得る階層の国を抽出
- (2) 水素製造ポテンシャルと最終エネルギー消費に占める産業部門の比率により各国を 4 象限に分類
- (3) 所得階層及び 4 象限の分類を踏まえ、追加的に複数の指標を参照し、その国の水素製造・利用の可能性を検討する

⁷⁷⁸ IEA (2021), “Global Hydrogen Review 2021”, <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2021>.

(1) 世界銀行の所得階層別分類より、JICA の支援対象となり得る階層の国を抽出

ここでは、1.2 で記述した、調査対象国のうち開発途上国の選定手順と同様の方法を採用している。世界銀行の所得階層別分類より、JICA の支援対象となり得る階層 (Upper-middle income・Lower-middle income・Low income) の国を抽出した。ただし、小さな島国や紛争地域など、IEA のデータが存在しない国は対象から除外している。

(2) 水素製造ポテンシャルと最終エネルギー消費に占める産業部門の比率により各国を 4 象限に分類

まず、IRENA(2022)⁷⁷⁹を基に各国の「グリーン水素製造ポテンシャル」を推計した。ここでは、水素製造として、再生可能エネルギー利用拡大とともに国産資源として利用可能性がある、グリーン水素を取り上げる。なお、ブルー水素を製造できる国は、国内で CCS が実施可能であるため、化石燃料火力と CCS の組み合わせが効率的と考えられる。そのため、ここではブルー水素製造を検討対象から除外する。水素製造ポテンシャルは、IRENA(2022)の Optimistic assumptions を基に推計している。地域単位で示されたポテンシャル量は、同地域内の各国面積でポテンシャル量を案分し、国単位のパテンシャル量とする。

また、IEA エネルギーバランス表を基に「最終エネルギー消費における産業部門の比率」を算出した。ここでは、代表的な水素需要の一つとして産業部門の高温熱需要が挙げられることから、最終エネルギー消費に占める産業部門の比率を分類軸として採用した。以下に、4 象限の分類および所得階層別に 4 象限における各国分布を示す。

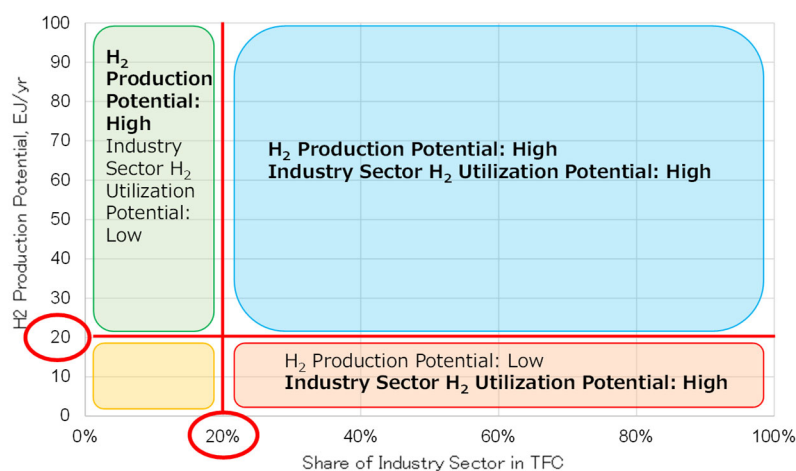


図 305 グリーン水素製造ポテンシャルと最終消費の産業部門比率による 4 象限分類

注 1：象限を分ける基準となる数値（グリーン水素製造ポテンシャル 20EJ/yr、産業部門比率 20%）は、対象国の中央値を参考に設定した。

注 2：第 3 象限は、「グリーン水素製造ポテンシャル：低、産業部門の水素利用ポテンシャル：低」となる。

出所：筆者

⁷⁷⁹ IRENA (2022), “Global Hydrogen Trade to Meet the 1.5°C Climate Goal: Part III Green Hydrogen Cost and Potential”, <https://www.irena.org/publications/2022/May/Global-hydrogen-trade-Cost>.

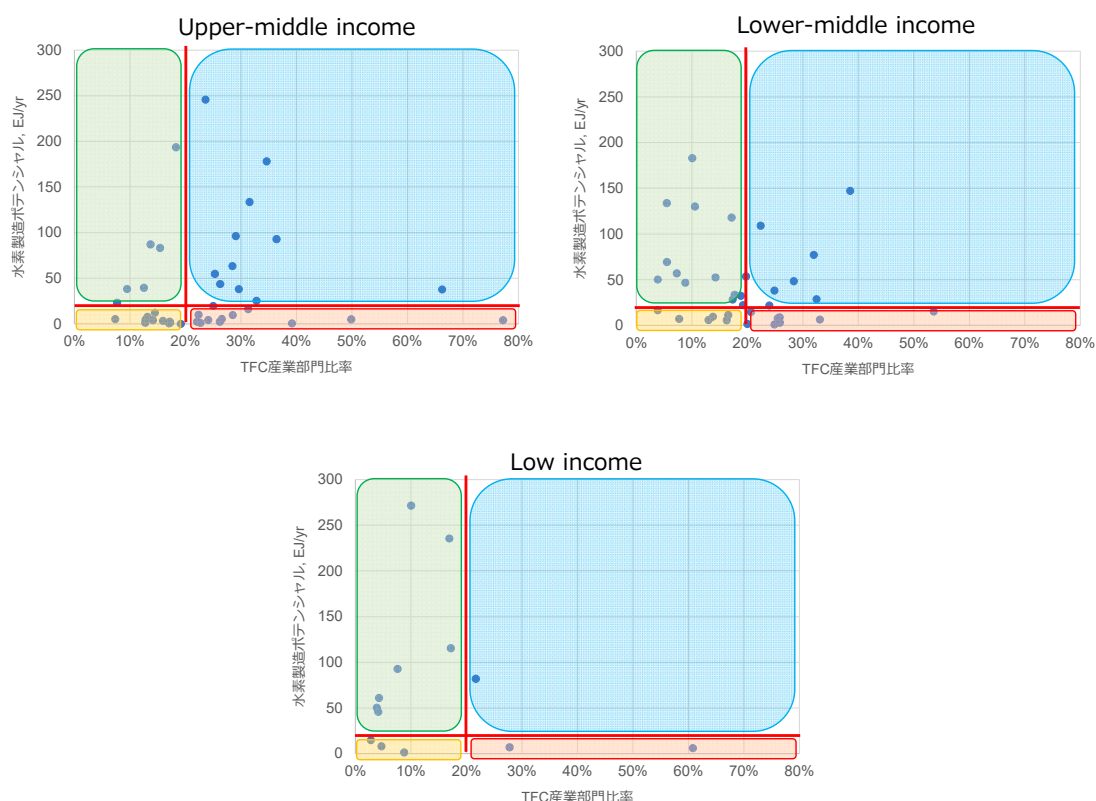


図 306 所得階層別の 4 象限分布

出所：筆者

(3) 所得階層及び 4 象限の分類を踏まえ、追加的に複数の指標を参照し、その国の水素製造・利用の可能性を検討する

ここでは、対象国の水素需要や供給の可能性を検討するにあたり、次の 4 つの項目を追加的な指標として国別に参照することを提案する。

まず、IEA エネルギーバランス表に基づく、現在の発電電力量に占める変動性再生可能エネルギーの割合である。ここで変動性再生可能エネルギーは、太陽光 (PV) および風力を指す。変動性再生可能エネルギーの割合が高い場合、当該国は系統安定化のニーズの優先順位が高いと言える。これは、水素の系統バランシング利用のような個別実証を検討するうえで参考となると考えられる。

次に、IEA エネルギーバランス表に基づく、運輸部門（道路）のエネルギー消費に占めるディーゼルの割合が挙げられる。ここでは、ディーゼルを HDV（及び公共交通）利用とみなすが、乗用車と商用車の区別をつけていないことに留意する必要がある。ディーゼルの割合が高い場合、運輸部門の HDV 等で水素利用可能性があると見える。

また、国や地域のグリーン水素製造コストも参考となる指標の一つである。ここでは、IRENA(2022)を参照して国および地域レベルの均等化水素単価 (LCOH) を推計している。但し、データは一部の国・地域に限定されている点に留意する必要がある。

最後に、各国の水素戦略策定状況も踏まえる必要がある。World Energy Council(2021)⁷⁸⁰によると、Upper-middle income 及び Lower-middle income 国には、「Strategy in preparation」「Policy discussions, official statements, initial demonstration projects」段階にある国が見られる。

5.1.2 協力パターンを分析するための考え方

ここでは、5.1.1 で示した 4 象限の分類を基に、さらに水素戦略の策定状況を考慮して協力パターンを分析するための考え方を整理する。

表 272 協力パターンの考え方

グループ	水素戦略 検討中	水素戦略 検討なし
グリーン水素製造 ポテンシャル：高 産業部門の水素利用 ポテンシャル：高	- 水素製造：VRE を最大限活用し系統調整力の提供まで含めたシステム最適運用の実証。システム最適運用に向けた制度設計に関する技術協力。水電解装置や最適運用管理のための制御システム実装への円借款等のファイナンス提供。 - 国内水素輸送・貯蔵：関連技術の実証、技術協力。安全基準および法制度設計に関する技術協力。 - 産業・運輸・発電部門における水素・合成燃料利用方法の実証。関連する安全基準・法制度設計に関する技術協力（具体的な実証事業案はロングリスト参照）。 - 発電量に占める VRE 比率が高い場合：定置用燃料電池導入・実装に向けた円借款等のファイナンス。 - 運輸（道路）エネ消費量に占めるディーゼルの割合が高い場合：燃料電池車普及に向けた水素充填インフラ整備への円借款等ファイナンス提供。	- 当該国の産業構造を踏まえた水素戦略の策定支援。 - 水素製造コスト低減に関する技術協力。
グリーン水素製造 ポテンシャル：低 産業部門の水素利用 ポテンシャル：高	（グリーンまたはブルー）水素輸入を検討する可能性が高い。水素輸入や貯蔵に関する法制度設計に関する技術協力。	将来的に（グリーンまたはブルー）水素輸入を検討する可能性あり。

⁷⁸⁰ World Energy Council (2021), “Working Paper National Hydrogen Strategies”, <https://www.worldenergy.org/publications/entry/working-paper-hydrogen-on-the-horizon-national-hydrogen-strategies>.

グループ	水素戦略 検討中	水素戦略 検討なし
	・ 輸入・国内輸送・貯蔵の施設整備、実運転の実証。設備や運転の安全基準策定に関する技術協力。インフラ整備への円借款等のファイナンス提供。 ・ 運輸（道路）エネ消費量に占めるディーゼルの割合が高い場合：燃料電池車普及に向けた水素充填インフラ整備への円借款等ファイナンス提供。 ・ 発電部門における水素混焼：混焼導入のためのマスタープラン作成・技術協力、実証。混焼機器やインフラ整備への円借款等のファイナンス提供。	・ 水素需要の調査、国際的な水素貿易の確立時期を踏まえた段階的な水素戦略の策定支援。
グリーン水素製造 ポテンシャル：高 産業部門の水素利用ポテンシャル：低	・ 水素輸出を検討する可能性が高い。水素輸出キャリアの製造施設、輸出用の関連設備の整備と実運転の実証。インフラ整備への円借款等のファイナンス提供。 ・ 国内水素輸送・貯蔵の関連技術の実証。安全基準や法制度の整備に関する技術協力。 ・ 発電量に占める VRE 比率が高い場合：定置用燃料電池導入・実装に向けた円借款等のファイナンス。 ・ 運輸（道路）エネ消費量に占めるディーゼルの割合が高い場合：燃料電池車普及に向けた水素充填インフラ整備への円借款等ファイナンス提供。	・ 水素需要の調査。 ・ 水素製造コスト低減に関する技術協力。
グリーン水素製造 ポテンシャル：低 産業部門の水素利用ポテンシャル：低	・ 該当国における水素需要の可能性を調査（将来的な水素戦略策定の材料を準備）	

出所：筆者

5.2 重点調査対象国における水素関連支援に向けた基礎情報の整理

重点調査対象国であるタイ、インドネシア、モロッコ、インドについて、水素利用および関連支援に関する議論を喚起することを目的とした情報の整理を行う。

以下の 5.2.1 及び 5.2.3 は 4 か国共通として、5.2.2 のみ国ごとの整理を行う。なお、分析の時間軸は 2050 年までを目安とする。

5.2.1 水素および各種合成エネルギーの特徴

表 273 水素・合成燃料特徴一覧

	水素	合成メタン	合成メタノール	アンモニア
重量当たりエネルギー量 (LHV) (MJ/kg)	120 MJ/kg	48.6 MJ/kg (LNG)	19.9 MJ/kg	18.6 MJ/kg
体積当たりエネルギー量 (LHV) (GJ/m ³)	8.5 GJ/m ³ (液体)	20.8 GJ/m ³ (LNG)	15.8 GJ/m ³	11.5 GJ/m ³ (液体)
製造時のエネルギー損失	現在:25-35% 将来:18%	現在:40%~45% 将来:15%	現在:40%~48% うち - 水素水電解: 25%~35% - メタノール合成: 約 20%	現在:36%~45% うち - 水素水電解: 25%~35% - アンモニア合成: 約 15%
取り扱い上の注意	毒性無し 強引火性、爆発性	毒性無し 天然ガスと同様	毒性あり (人は体内でメタノールを自然発生させるものの、メタノールは毒であるため、体内メタノール負荷量が上がると中毒症状が出る)	急性毒性
供給インフラ上の得失	海上輸送インフラなし; 国内供給インフラ利用可	既存インフラ利用可	既存インフラ利用可; なお、大規模利用の場合新たなインフラ投資が必要	既存インフラ利用可; なお、大規模利用の場合新たなインフラ投資が必要

出所: IEA⁷⁸¹; IRENA⁷⁸²; 経済産業省⁷⁸³

グリーン水素およびグリーン水素由来の合成燃料（合成メタン、合成メタノール、アンモニア

⁷⁸¹ IEA, Technology Collaboration Programme on Advanced Motor Fuel, https://www.iea-amf.org/content/fuel_information/ammonia#properties

⁷⁸² IRENA (2021), “Innovation Outlook Renewable Methanol”, https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jan/IRENA_Innovation_Renewable_Methanol_2021.pdf

⁷⁸³ 経済産業省, 水素政策小委員会第1回資料, 「水素・アンモニアを取り巻く現状と今後の検討の方向性」(令和4年3月29日), https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/suiso_seisaku/pdf/001_03_00.pdf

等）は様々な部門の脱炭素化に寄与する。水素は多様な原料から製造できるものの、再生可能エネルギー電力を用いた水電解水素製造プロジェクトが世界で進められている。水電解による水素製造のエネルギー損失率は現状で 25%~35% であるものの、将来には 18% に低減できると見込まれる。水素は質量当たりの熱量が大きい、体積当たりの熱量が小さく、高い密度で貯蔵・輸送することが課題である。水素を高圧ガスの形で運搬する方法は広く活用されている。大量な水素を輸送するにはパイプラインが最も経済性が良い。日本では水素パイプライン整備の構想は実証等に限定されたものであるが、欧州では既存の天然ガスネットワークを活用し、将来的に水素パイプラインネットワークを形成する計画が進められている。水素は毒性がないものの、強引火性と爆発性があるため、取り扱う際に安全性を確保するための措置が必要である。

グリーン水素と回収した CO₂ から製造される合成燃料のうち代表的なものに合成メタンと合成メタノールが挙げられる。これらは、既存インフラを有効活用できる水素キャリアである。合成燃料は、燃焼時に排出する CO₂ は回収した CO₂ であり、全体でみると追加的な CO₂ 排出がない。e-gas と呼ばれる合成メタンは、LNG・天然ガスの既存インフラや都市ガス用の既存設備をそのまま利用できる。また、合成メタンの製造（メタネーション）は、水電解とサバティエ反応の 2 段階でエネルギー損失が発生する。現状では、メタネーションの総合的な熱効率（水素水電解を含め）は約 55%~60%（エネルギー損失 40%~45%）であるものの、SOEC 共電解等の開発中の革新的なメタネーション技術の総合効率は約 85%⁷⁸⁴（エネルギー損失 15%）に達成することができる⁷⁸⁵。

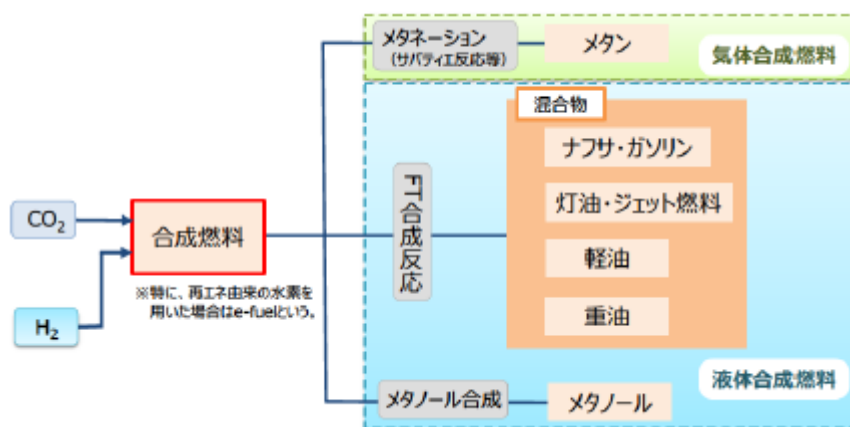


図 307 水素と CO₂ から製造される合成燃料の概要

出所：合成燃料研究会⁷⁸⁶

メタノールは多様な化学品を製造するための原料になる。また、常温常圧で液体であり、自動車や船等の燃料としても利用できる。現状で使われるメタノールは化石燃料由来であるものの、グリーン水素と回収した CO₂ で製造するメタノールは e-methanol と呼ばれる。メタノールは常温常圧で液体であることから運搬が容易であり、すでに化学産業で広く使われているため、運搬・

⁷⁸⁴ 例：SOEC/メタン合成連携反応を用いたメタネーション

⁷⁸⁵ https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/methanation_suishin/pdf/007_03_01.pdf

⁷⁸⁶ 合成燃料研究会、「合成燃料研究会中間取りまとめ（2021 年 4 月）」、
https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/gosei_nenryo/pdf/20210422_1.pdf

貯蔵のインフラならびに関連規定が整備されている。メタノールは毒性があるため、危険物として分類されている。e-methanol の製造は、水電解とメタノール合成の 2 段階でエネルギー損失が発生する。総合的なエネルギー損失は約 40%~48%である。

アンモニアも水素キャリアの一つである。現在のアンモニアの主な用途は肥料の原料や火力発電所等の脱硝用である。なお、グリーン水素由来のグリーンアンモニアは製造から燃焼までのライフサイクルで CO₂ をほぼ排出しないため、グリーン燃料として期待されている。特に、発電や船舶エンジンの利用に向けての技術開発と実証が進められている。原料用アンモニアのサプライチェーンはすでに整備されているものの、将来的にアンモニアがグリーン燃料として大規模に利用される場合には、新たなインフラ投資が必要となる。アンモニアは強い毒性があり、燃料として利用される際に集中的に管理することが望ましい。アンモニアの製造は、水素と窒素を原料とした Haber-Bosch 法が確立されている。グリーン水素由来のグリーンアンモニアの製造には、水電解とアンモニア合成の 2 段階でエネルギー損失がある。総合的なエネルギー損失は 36%~45%であるものの、効率向上に向けての技術開発が進められている。

5.2.2 水素価格の低減目標の分析

本項では重点調査対象 4 か国の部門別水素利用可能性として、部門別水素需要ポテンシャルの試算を行う。

(1) はじめに

本調査における水素需要は、原則としてオフサイト水素供給を前提としたエネルギー（燃焼）としての利用を前提とする。言い換えれば、工業製品を製造するプロセスの中で、オンサイトで製造され、原料として消費される水素は対象としない。

下図に日本における水素利用を示す。現状、水素利用の大半はオンサイトによる水素製造供給であり、大規模なオフサイト水素供給は極めて少ない。

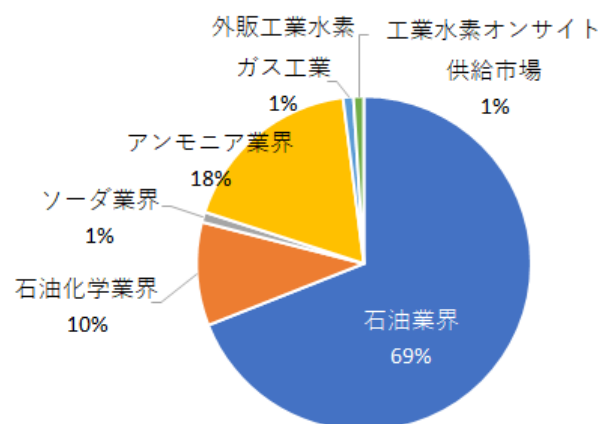


図 308 日本における水素利用の現状

出所：水素エネルギー利用システム Vol.33, No2 (2008)

現状、エネルギーとして利用される水素需要がほとんどないため、一般的な需要想定に使用されるモデルを使用した水素需要の想定は難しい。また、水素には、利用促進政策、利用技術、輸

送、コスト等の不確定要因が非常に多く、将来の水素需要を見通すことは非常に難しい。

このようなことから、本項では、水素が利用されるシナリオを策定し、シナリオに基づく水素需要ポテンシャルを試算する。したがって、本項で試算される水素需要ポテンシャルは需要の見通し（Outlook）ではなく、アカデミックな分析であることに注意する必要がある。

(2) 水素需要ポテンシャル試算の前提

水素需要ポテンシャルを試算する前提は以下のとおり。

1) 水素需要の定義

本調査における水素需要ポテンシャルは、エネルギーとして利用（燃焼）される用途に限定し、原料としての利用は含めない。ただし、アンモニアに関しては以下の新規需要を試算する。

- 直接燃焼：水素の燃焼とみなして試算
- 純輸入量：純輸入量を国内製造に転換したと想定して試算

2) 試算結果の注意点

試算結果については、以下の点に注意する必要がある。

- 水素の供給力および供給コストは考慮していない。
- 本調査における水素協力とは連動していない。
- 各国の水素を含むエネルギー政策を反映したものではない。

3) シナリオ策定の大前提

シナリオ策定における大前提は以下のとおり。

- 水素利用拡大に向けた強力な政策が存在
- ただし、2050年においても、水素パイプラインインフラは限定的
- シナリオは水素社会が到来する規模の水素需要ポテンシャルをイメージ

4) 水素に置き換わると想定されるエネルギー

- 発電部門：天然ガス、石炭
- 産業部門：天然ガス、

アンモニアについては、純輸入数量（輸入-輸出）が国内生産に置き換わると想定し、アンモニアに含まれる水素量を試算

- 輸送部門：ガソリン、軽油

5) 試算のベースライン

水素需要ポテンシャルを試算するためのベースラインは以下のとおり。

A) インド、インドネシア、タイ

The Economic Research Institute for ASEAN and East Asia (ERIA)の Energy Outlook 2021 の BAU シナリオの 2040 年と 2050 年

ERIA Energy Outlook に記載されていない部門別データは、IEA Energy Balances 2021 の数値をベースに、ERIA Energy Outlook 2021 の部門別の年率で 2040 年と 2050 年を試算

B) モロッコ

IEA Energy Balances 2021 の数値をベースに、IEA World Energy outlook 2021 (Stated Policy Scenario)における”Africa”の部門別伸び率で 2040 年と 2050 年を試算

(3) シナリオ

1) 重点調査国のクラス分け

「5.1.1 対象国のグループ分け」をもとに、下図に重点調査対象国のクラス分けを示す。インドネシアとタイは「Upper-middle income」、インドとモロッコは「Lower-middle income」にクラス分けされる。モロッコの産業部門の水素需要ポテンシャルは低い。

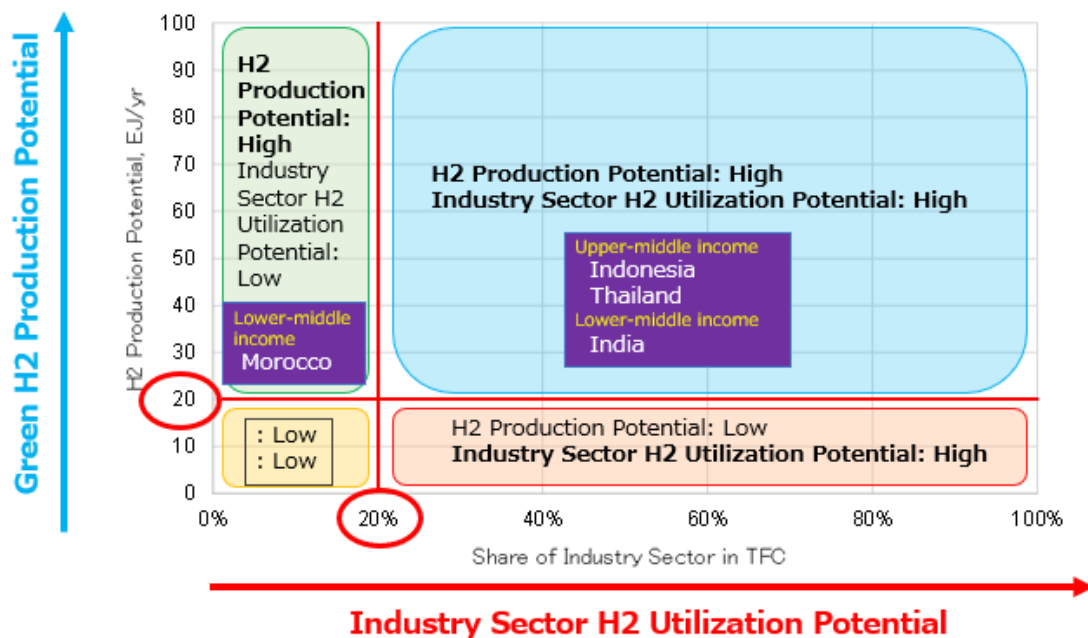


図 309 重点調査国のクラス分け

出所：JICA チーム

下表に、シナリオを策定する上で、重点調査国別の水素需要ポテンシャルの対象部門を示す。モロッコの産業用天然ガスの水素需要ポテンシャルは見込まない。アンモニアに関しては、インドネシアは純輸出国であり、アンモニア製造用の水素需要は見込まない。

表 274 国別の水素需要ポテンシャルの対象部門

Country	H ₂ Generation	Industry	FCV	Ammonia
India	✓	✓	✓	✓
Indonesia	✓	✓	✓	(Net exporter)
Morocco	✓		✓	✓
Thailand	✓	✓	✓	✓

出所：調査団作成

表 275 アンモニアの輸出入

Unit: ton

Country	Year	Imports	Exports	Net Imports
India	FY2021	2,307,245	2,877	2,304,368
Indonesia	2018	21,584	1,395,560	-1,373,976
Morocco	2018	1,445,040	0	1,445,040
Thailand	2018	481,643	0	481,643

注：インドネシアはアンモニアの純輸出国

出所：インド：Department of Commerce, Ministry of Commerce and Industry
 その他：World Integrated Trade Solution

2) シナリオ

下表に発電部門、産業部門（アンモニアを含む）、輸送部門のシナリオ（案）を示す。

表 276 水素需要ポテンシャル計算のシナリオ

部門	前提（案）	シナリオ(2040 年、2050 年)
発電	天然ガス ● 本格的な水素利用は 2040 年から開始（大規模な水素製造プラント、国内供給インフラ構築、水素火力（CCGT）プラント建設には 10 年を要すると想定） ● 発電所向けには新規建設のパイプラインで水素が供給。 ● 2040 年時点の既存の天然ガス発電所（TWh）のうち、一部はコンバスター交換で、水素 30%、天然ガス 70%の混合燃料に転換。 ● 2050 年時点の新設の天然ガス発電所（2050-2040, TWh）のうち、一部はコンバスター交換で、水素 100%燃料に転換。	混合燃料への転換比率 シナリオ 1: 30% シナリオ 2: 50% シナリオ 3: 70%
	石炭 ● 2040 年時点の既存の石炭発電所（TWh）のうち、一部は水素 30%、天然ガス 70%の混合燃料の発電所に転換。 ● 2050 年時点の新規の石炭発電所（2050-2040, TWh）のうち、一部は水素 100%燃料の発電所に転換。 ● （モロッコの 2050 年は 2040 年と同じ数字）	混合燃料発電所への転換比率 シナリオ 1: 10% シナリオ 2: 20% シナリオ 3: 30%
産業	熱需要 ● 2040 年に水素火力発電所周辺に水素・天然ガス混合燃料のミニグリッドが敷設、製造業ボイラー用の天然ガスの一部が混合燃料に転換 ● 2050 年に水素 100%火力発電所周辺に水素 100%料のミニグリッドが敷設、新規の製造業用ボイラー用の天然ガスの一部が水素 100%燃料に転換 ● （インドは半分、モロッコはなし）	混合燃料への転換比率 シナリオ 1: 30% シナリオ 2: 50% シナリオ 3: 70%
	アンモニア ● 輸入アンモニアの一部を、グリーン水素を使用した国産アンモニアに転換（2040 年、2050 年） ● （インドネシアは純輸出国のため、なし）	国産への転換比率 （2040→2050） シナリオ 1:10%→20% シナリオ 2:20%→40% シナリオ 3:30%→60%
輸送	ガソリン ● ガソリン車のある比率が ZEV に転換（2040 年、2050 年） ● ZEV に占める FCV の比率は 10% ● （インドとモロッコは半分）	ZEV の比率 （2040→2050） シナリオ 1:10%→20% シナリオ 2:20%→40% シナリオ 3:30%→60%
	軽油 ● 軽油車のある比率が ZEV に転換（2040 年、2050 年） ● ZEV に占める FCV の比率は 20%	

	● (インドとモロッコは半分)	
--	-----------------	--

注：CCGT = Combined Cycle Gas Turbine, ZEV = Zero Emission Vehicle
 出所：調査団作成

下図に発電部門のシナリオをわかりやすくしたものを示す。

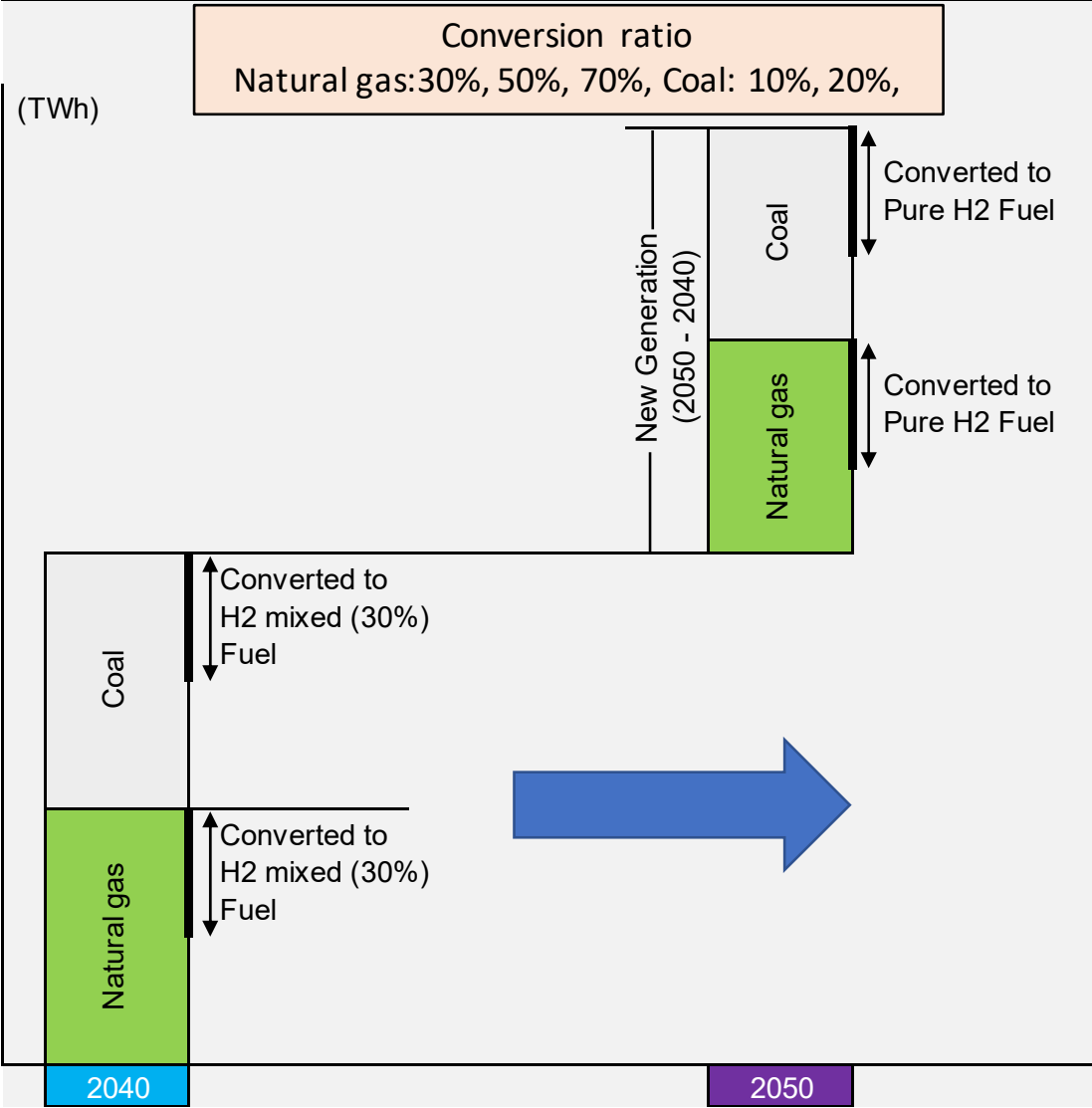


図 310 発電部門のシナリオのイメージ

出所：調査団作成

下表に 2040 年と 2050 年のシナリオの数値のサマリーを示す。

表 277 シナリオのサマリー

部門	発電				産業				輸送			
エネルギー	天然ガス		石炭		天然ガス		アンモニア		ガソリン		軽油	
年	2040	2050	2040	2050	2040	2050	2040	2050	2040	2050	2040	2050
インド	水素30%燃料 既存の転換率 30% 50% 70%	水素100%燃料 新規の転換率 30% 50% 70%	水素30%燃料 既存の転換率 10% 20% 30%	水素100%燃料 新規の転換率 10% 20% 30%	水素30%燃料 既存の転換率 15% 25% 35%	水素100%燃料 新規の転換率 15% 25% 35%	輸入一国产 10% 20% 30%	輸入一国产 20% 40% 60%	ZEV中FCVは 10% ZEVへの転 換比率 5% 10% 15%	ZEV中FCVは 10% ZEVへの転 換比率 10% 20% 30%	ZEV中FCVは 20% ZEVへの転 換比率 5% 10% 15%	ZEV中FCVは 20% ZEVへの転 換比率 10% 20% 30%
インドネシア	水素30%燃料 既存の転換率 30% 50% 70%	水素100%燃料 新規の転換率 30% 50% 70%	水素30%燃料 既存の転換率 10% 20% 30%	水素100%燃料 新規の転換率 10% 20% 30%	水素30%燃料 既存の転換率 30% 50% 70%	水素30%燃料 新規の転換率 30% 50% 70%	純輸出 なし	純輸出 なし	ZEV中FCVは 10% ZEVへの転 換比率 10% 20% 30%	ZEV中FCVは 10% ZEVへの転 換比率 20% 40% 60%	ZEV中FCVは 20% ZEVへの転 換比率 10% 20% 30%	ZEV中FCVは 20% ZEVへの転 換比率 20% 40% 60%
モロッコ	水素30%燃料 既存の転換率 30% 50% 70%	水素100%燃料 新規の転換率 30% 50% 70%	水素30%燃料 既存の転換率 2040年の 10% 20% 30%		なし	なし	輸入一国产 10% 20% 30%	輸入一国产 20% 40% 60%	ZEV中FCVは 10% ZEVへの転 換比率 5% 10% 15%	ZEV中FCVは 10% ZEVへの転 換比率 10% 20% 30%	ZEV中FCVは 20% ZEVへの転 換比率 5% 10% 15%	ZEV中FCVは 20% ZEVへの転 換比率 10% 20% 30%
タイ	水素30%燃料 既存の転換率 30% 50% 70%	水素100%燃料 新規の転換率 30% 50% 70%	水素30%燃料 既存の転換率 10% 20% 30%	水素100%燃料 新規の転換率 10% 20% 30%	水素30%燃料 既存の転換率 30% 50% 70%	水素30%燃料 新規の転換率 30% 50% 70%	輸入一国产 10% 20% 30%	輸入一国产 20% 40% 60%	ZEV中FCVは 10% ZEVへの転 換比率 10% 20% 30%	ZEV中FCVは 10% ZEVへの転 換比率 20% 40% 60%	ZEV中FCVは 20% ZEVへの転 換比率 10% 20% 30%	ZEV中FCVは 20% ZEVへの転 換比率 20% 40% 60%

出所：調査団作成

発電の水素需要ポテンシャルに関しては、下図に示すバーチャル混合燃料発電所を想定して計算した。

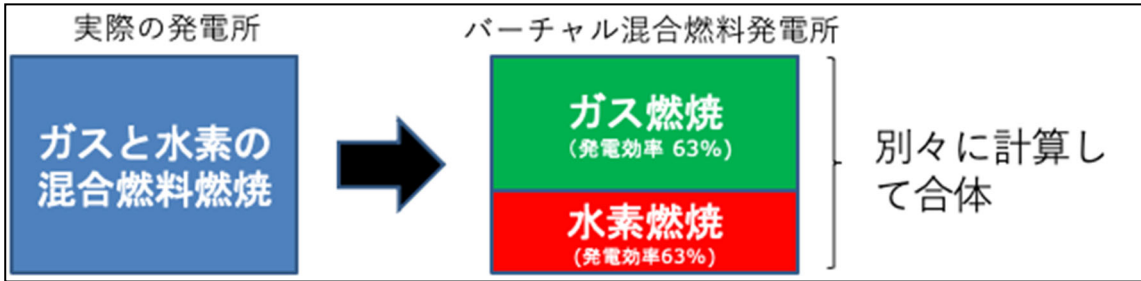


図 311 バーチャル混合燃料発電所

出所：調査団作成

輸送部門に関しては、従来型のガソリン自動車とディーゼル自動車の一部が燃料電池自動車（FCV）に転換される想定する。従来型のガソリン自動車とFCVの燃費差を考慮する必要がある。現時点、比較するための十分なデータが入手できないため、下表に示す車両サイズが似通った2車種の比較で燃費差を計算した。ディーゼル車に関しては、比較できるデータが入手できないため、在来型のディーゼル車とFCVの燃費差は、従来型のガソリン車とFCVの燃費差と同じと見做して計算した。

表 278 TOYOTA CROWN and TOYOTA MIRAI の比較

	CROWN	MIRAI
外観		
サイズ (cm)	4,910×1,800×1,455	4,890×1,815×1,535
重量 (kg)	1,590 – 1,650	1,850
排気量	2,000 cc	-
燃費 (JC08)	12.8km/L *1	7.59km/m3 *2
100km 当たり燃料消費量	7.84 L	13.81 m3
比較	100km 走行した時のエネルギー消費量 (FCV が 1.8 倍良)	

注：MIRAI の燃料タンク容量: 122.4 L, 圧力: 70 Mpa => 85.68 m3-H₂/満タン

MIRAI は H₂ 満タンで 650 km 走行可能

出所：トヨタ自動車

下表に水素需要ポテンシャル計算の各種前提を示す。

表 279 水素需要ポテンシャル計算の各種前提

Carbon content	Coal: 25.8 kg-C/ GJ (= 3.961 ton-CO ₂ /toe-input) Natural gas: 15.3 kg-C/GJ (=2.349 ton-CO ₂ /toe-input) Gasoline: 18.9 kg-C/GJ (=2.902 ton-CO ₂ /toe) (=2.269 ton-CO ₂ /KL Gas oil: 20.2 kg-C/GJ (=3.102 ton-CO ₂ /toe) (=2.648 kg-CO ₂ /KL)	Source: 2006 IPCC Guidelines
Net Calorific Value (NCV)	Other Bituminous Coal (Australian export coal) 0.6138 toe/ton	Source: World Energy Balances 2021 database, IEA
H ₂ specification	Gas density: 0.0835 kg/m3 NCV: 10,780 kJ/ m3 = 2,575 kcal/ m3 = 30,834 kcal/ kg = 3,884 m3/ toe	Source: 岩谷産業
Thermal efficiency (Electricity generation)	Coal: 55% Natural gas: 63% H ₂ : 63%	Source: 火力発電の高効率化, 資源エ ネルギー庁, 2017 年 11 月
Conversion factor	1 GJ = 0.02388 toe 1 cal = 4.187 J 1 Gcal = 0.1 toe 1 MWh = 0.086 toe 1 MMbtu = 0.0252 toe	

出所：調査団作成

(4) シナリオに基づく水素需要ポテンシャル

下図に4か国のシナリオに基づく水素需要ポテンシャルを示す。

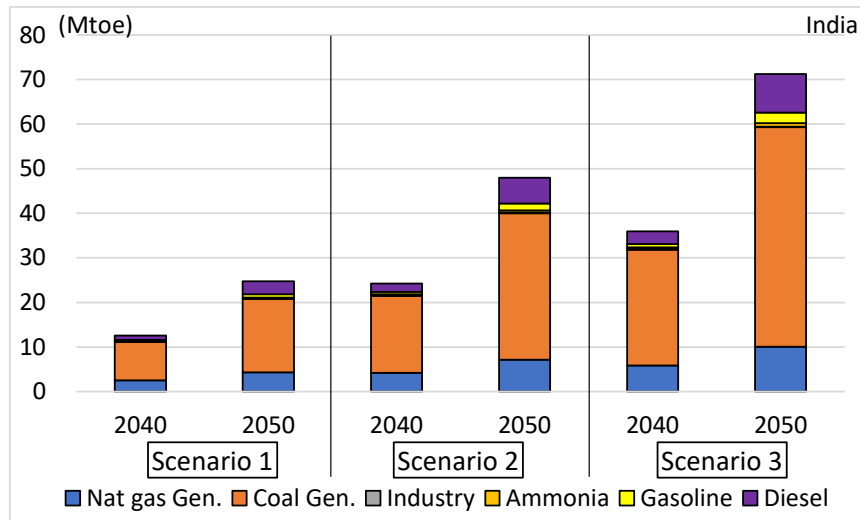


図 312 インドの水素需要ポテンシャル

出所：調査団作成

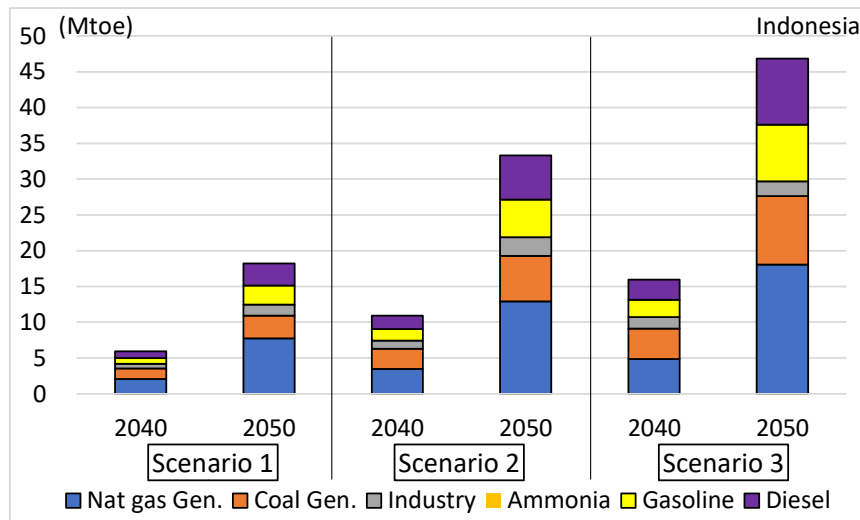


図 313 インドネシアの水素需要ポテンシャル

出所：調査団作成

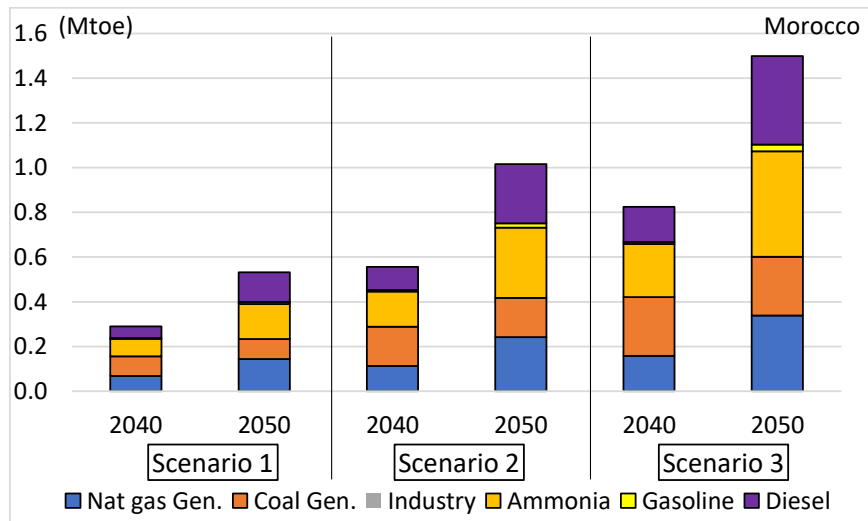


図 314 モロッコの水素需要ポテンシャル

出所：調査団作成

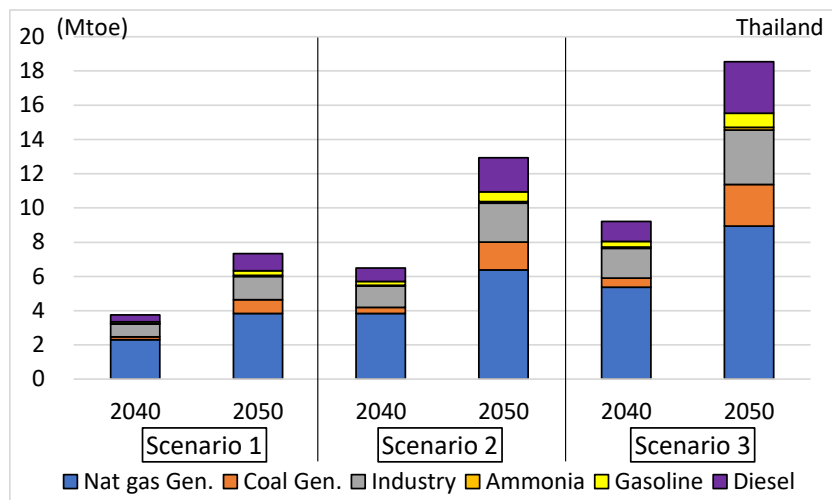


図 315 タイの水素需要ポテンシャル

出所：調査団作成

下表に単位をエネルギー（Mtoe）、容量（百万 m³、NCV ベース）および重量（千トン、NCV ベース）に分けて、水素需要ポテンシャルのサマリーを示す。

表 280 水素需要ポテンシャルのサマリー

Unit: Mtoe

Country	Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3	
	2040	2050	2040	2050	2040	2050
India	12.5	24.7	24.2	48.0	35.9	71.2
Indonesia	5.9	18.2	10.9	33.3	16.0	46.8
Morocco	0.3	0.5	0.6	1.0	0.8	1.5
Thailand	3.8	7.3	6.5	12.9	9.2	18.5

Unit: 百万 m3 (NCV basis)

Country	Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3	
	2040	2050	2040	2050	2040	2050
India	386,754	762,087	747,232	1,479,178	1,107,710	2,196,268
Indonesia	182,858	561,191	337,370	1,026,905	491,881	1,444,052
Morocco	8,934	16,409	17,170	31,328	25,406	46,248
Thailand	115,680	226,039	200,039	398,715	284,398	571,392

Unit: 千トン (NCV basis)

Country	Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3	
	2040	2050	2040	2050	2040	2050
India	32,294	63,634	62,394	123,511	92,494	183,388
Indonesia	15,269	46,859	28,170	85,747	41,072	120,578
Morocco	746	1,370	1,434	2,616	2,121	3,862
Thailand	9,659	18,874	16,703	33,293	23,747	47,711

注: Conversion factor 30,834 m3/ toe, 0.0835 kg/ m3

出所: 調査団作成

(5) 水素需要ポテンシャルのインパクト

シナリオに基づく水素需要ポテンシャルのインパクトをみるために、全ての水素需要ポテンシャルを水電解で生産したと仮定した場合に必要な電力量を試算する。現状の技術では、1m3の水素を生産するためには 5kWh の電力が必要となるが、技術進展を予想して、4kWh/m3 で試算する。

下表に水素需要ポテンシャルを生産するために必要な電力量を示す。水素需要ポテンシャルを全て水電解で生産するのは現実的ではなく、相当量のブルー水素が必要になると想定される。

表 281 必要な電力量

Unit: TWh

Country	Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3		(参考) 総発電量
	2040	2050	2040	2050	2040	2050	2019
India	1,547	3,048	2,989	5,917	4,431	8,785	1,611
Indonesia	731	2,245	1,349	4,108	1,968	5,776	288
Morocco	36	66	69	125	102	185	40
Thailand	463	904	800	1,595	1,138	2,286	186

出所: 調査団作成

5.2.3 水素価格の低減目標の分析

本項では、需要サイドの観点からみた水素の競合価格を試算する。価格については CO₂ 価格を考慮し、化石燃料の価格に CO₂ 価格を上乗せしたケースも試算する。価格については、IEA の World Energy Outlook 2021 (WEO 2021)に記載されている将来の価格見通しを参考にする。WEO 2021 に記載がない価格は統計等で入手できる現状の価格で比較する。

(1) 比較の前提となる価格

下表に水素が競争を有する価格を試算するための前提価格を示す。

表 282 前提価格

部門	燃料	価格	出所
発電	天然ガス	\$8.9/ MMBtu	Stated Policy, WEO 2021 2050 price, Japan
	石炭	\$70/ ton	
産業	天然ガス	\$40.6/ MWh	Energy Prices and Taxes 2021, IEA, 2020 price, Japan
輸送	ガソリン末端 (インドネシア)	\$78/ BOE (\$0.491/ L)	Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2021 price
	ガスオイル末端 (インドネシア)	\$56/ BOE (\$0.352/ L)	
全部門共通	CO ₂	Scenario 1: \$50/ton Scenario 2: \$100/ ton Scenario 3: \$200/ ton	\$200 = Stated Policy, WEO 2021 2050 price, BRICS

出所：調査団作成

(2) 水素の競合価格

1) 発電部門

(A) 天然ガス

前提価格: \$8.9/ MMBtu (\$352.2/ toe)

発電効率: 天然ガス: 63%, 水素: 63%

下表に水素が競争力を有する価格の試算を示す。

表 283 水素が競争力を有する価格（発電部門、天然ガス）

競合燃料：天然ガス（input ベース）

単位	CO ₂ 価格(\$/ ton)			
	0	50	100	200
(エネルギー) 価格	(\$/toe) 353.2	(\$/toe) 470.6	(\$/toe) 588.1	(\$/toe) 823.0
(容量) 価格	(\$/m3) 0.091	(\$/m3) 0.121	(\$/m3) 0.151	(\$/m3) 0.212
(重量) 価格	(\$/kg) 1.089	(\$/kg) 1.451	(\$/kg) 1.813	(\$/kg) 2.538

出所：調査団作成

(B) 石炭

前提価格: \$70/ ton (\$114.0/ toe)

発電効率: 石炭: 55%, 水素: 63%

下表に水素が競争力を有する価格の試算を示す。

表 284 水素が競争力を有する価格（発電部門、石炭）

競合燃料：石炭（input ベース）

単位	CO ₂ 価格(\$/ ton)			
	0	50	100	200
(エネルギー) 価格	(\$/toe) 130.6	(\$/toe) 312.1	(\$/toe) 510.2	(\$/toe) 906.3
(容量) 価格	(\$/m3) 0.034	(\$/m3) 0.080	(\$/m3) 0.131	(\$/m3) 0.233
(重量) 価格	(\$/kg) 0.403	(\$/kg) 0.962	(\$/kg) 1.573	(\$/kg) 2.795

出所：調査団作成

2) 産業部門（熱需要、主にボイラー用途）

(A) 天然ガス

前提価格: \$40.6/ MWh (\$472.1/ toe)

下表に水素が競争力を有する価格の試算を示す。

表 285 水素が競争力を有する価格（産業部門、天然ガス）

競合燃料：天然ガス

単位	CO ₂ 価格(\$/ ton)			
	0	50	100	200
(エネルギー) 価格	(\$/toe) 353.2	(\$/toe) 470.6	(\$/toe) 588.1	(\$/toe) 823.0
(容量) 価格	(\$/m3) 0.091	(\$/m3) 0.121	(\$/m3) 0.151	(\$/m3) 0.212
(重量) 価格	(\$/kg) 1.089	(\$/kg) 1.451	(\$/kg) 1.813	(\$/kg) 2.538

出所：調査団作成

3) 輸送部門

(A) ガソリン

前提価格：\$78/ BOE (\$0.491/ L, \$1,129/ toe)

燃費差: FCV の方が在来型ガソリン車よりも 1.8 倍良

表 286 水素が競争力を有する価格（輸送部門、ガソリン）

競合燃料：ガソリン

単位	CO ₂ 価格(\$/ ton)			
	0	50	100	200
(エネルギー) 価格	(\$/ toe) 1,129	(\$/ toe) 1,391	(\$/ toe) 1,652	(\$/ toe) 2,174
(容量) 価格	(\$/ m3) 0.291	(\$/ m3) 0.358	(\$/ m3) 0.425	(\$/ m3) 0.560
(重量) 価格	(\$/ kg) 3.482	(\$/ kg) 4.288	(\$/ kg) 5.093	(\$/ kg) 6.703

出所：調査団作成

(B) 軽油（ガスオイル）

前提価格: \$56/ BOE (\$0.352/ L、\$811/ toe)

燃費差: FCVの方が在来型軽油車よりも 1.8 倍良

表 287 水素が競争力を有する価格（輸送部門、軽油（ガスオイル））

競合燃料：軽油（ガスオイル）

単位	CO ₂ 価格(\$/ ton)			
	0	50	100	200
(エネルギー) 価格	(\$/ toe) 811	(\$/ toe) 2,856	(\$/ toe) 3,117	(\$/ toe) 3,639
(容量) 価格	(\$/ m3) 0.209	(\$/ m3) 0.735	(\$/ m3) 0.803	(\$/ m3) 0.937
(重量) 価格	(\$/ kg) 2.500	(\$/ kg) 8.806	(\$/ kg) 9.611	(\$/ kg) 11.221

出所：調査団作成

5.3 実証事業案及びグリーン水素の活用促進ガイドライン策定に向けた基礎調査

タイ、インドネシア、モロッコ、インドにおいて、実証事業案及びグリーン水素の活用促進ガイドライン策定に向けた基礎調査を行う。

5.3.1 実証事業ロングリストを作成

(1) 実証事業ロングリスト

表 288 実証事業ロングリスト

番号	分野	概要	技術成熟度
	水素製造		
1	再生可能エネルギーによる水素製造	太陽光や風力発電、また太陽光と風力のハイブリッド発電システム由来の電力でグリーン水素を製造し、その水素を国内水素利用施設、または水素輸出にサイトに供給す	国内では実証段階である。水電解の CAPEX・OPEX の低減が重要な要素である。

番号	分野		概要	技術成熟度
			る。 ※国内水素利用については（7）～（18）に参照	
2		余剰電力による水素製造	太陽光や風力発電等出力変動型再生可能エネルギーが大量導入した場合に発生する系統の余剰電力を使って水素を製造し、出力抑制の軽減に貢献する。製造された水素を国内水素利用施設、または水素輸出にサイトに供給する。 ※国内水素利用について（7）～（18）に参照	国内では実証段階である。水電解の CAPEX・OPEX の低減が重要な要素である。
3		出力変動型再エネ電源の最大限利用	太陽光や風力など出力変動型再生可能エネルギーの電力の最大限利用、水素需要に応じた水素供給、系統調整力の提供を実現するためのシステム最適運用を実証の目的とする。システム構成は、福島浪江町における FH2R システムや山梨実証を参照し、出力変動型再生可能エネルギー発電とオンサイトの水電解装置のほか、エネルギー最適運用を管理するための制御システムも導入する。製造されたグリーン水素を周辺の水素需要施設に供給する。	国内では実証段階である（福島 FH2R 等）。水電解の CAPEX・OPEX の低減が重要な要素である。
国内水素輸送・貯蔵システム				
4		高圧水素トレーラーによる国内水素輸送	国内水素インフラ整備の支援として、水素製造サイトから水素ステーションや工場等水素最終利用施設へ高圧水素トレーラーで水素を運ぶことを実証する。関連技術の実証のほか、安全基準や、関連規制作成への支援も視野に入る。	国内では商業利用段階であるが、コスト削減を目指した安全基準・規制の緩和に向けた技術開発が重要な要素である。
5		液化水素トレーラーによる国内水素輸送	国内水素インフラ整備の支援として、水素製造サイトから水素ステーションや工場等水素最終利用施設	国内では実証段階である。液化関連設備のコスト低減に向けた技術

番号	分野		概要	技術成熟度
			設へ液化水素トレーラーで水素を運ぶことを実証する。関連技術の実証のほか、安全基準や、関連規制作成への支援も視野に入る。	開発が重要な要素である。
6		水素パイプライン	大量な水素を輸送する場合、または水素タウンでは水素パイプラインが必要となる。対象国のニーズを応じて、水素パイプラインに関連する実証を行う。既存のガスパイプラインネットワークの活用も検討範囲に入る。	ポリエチレン管（PE管）は、水素に対する障壁はないことが確認済み。既存鋼管は高圧に対しては確認が必要であるが、新規鋼管は問題ない。
水素・合成燃料利用				
7	発電	水素を活用した地産地消エネルギー供給システム	再生可能エネルギー、水電解装置、燃料電池、水素タンク等で構成されるシステムで、100%の再エネ電力と熱を周辺施設（工場、ビル等）に供給する、地産地消型エネルギー供給システムの実証が想定される。再生可能エネルギー⇒水素⇒発電の非効率性をオフセットするための付加価値（地産地消、レジリエンス、安定供給）の検討が重要。	国内実証段階である（北九州等）。水素製造・輸送・貯蔵・利用の全体を捉えた最適設備構成や最適運用の検証が必要。
8	運輸	水素ステーション＋燃料電池自動車・燃料電池バス・燃料電池トラック等	道路部門の水素利用ならびに関連インフラ整備を目的にし、水素ステーションの設置と運営、燃料電池自動車や、燃料電池バス、燃料電池トラックの走行実証等が予想される。また、技術実証のみならず、関連する安全基準や規制作成への支援も視野に入る。	大型 FC トラックは運行実証中である。また、大型 FC トラックに対応する水素ステーションの新規格は検討中である。
9	運輸	船舶用水素エンジン	舶用水素エンジンにより実船実証運行が想定される。国内で製造されたグリーン水素を燃料として供給することが実証の対象に含まれることも考えられる。 ※船舶用水素エンジンは日本でも開発実証の段階であることに留意	国内では開発実証段階である。コスト低減が重要な要素である。

番号	分野		概要	技術成熟度
10	運輸	船舶用アンモニアエンジン	船舶用アンモニアエンジンにより実船実証運行が想定される。国内で製造されたグリーンアンモニアを燃料として供給することが実証の対象に含まれることも考えられる。 ※船舶用アンモニアエンジンは日本でも開発実証の段階であることに留意	国内では開発実証段階である。コスト低減が重要な要素である。
11	運輸	船舶用燃料電池	燃料電池船（内航船）の実船実行運転が想定される。対象国国内で製造されたグリーン水素を燃料として供給することが実証対象になることも考えられる。 ※燃料電池船は日本でも開発実証の段階であることに留意	国内では開発実証段階である。コスト低減が重要な要素である。
12	産業	化石燃料由来の水素の代替：アンモニア製造工場へグリーン水素供給	産業分野で使われている化石燃料由来の水素をグリーン水素に代替することを目的とする。例えば、アンモニア製造工場、石油精製施設、	現行の水素の利用については新たな技術開発が不要である。
13	産業	化石燃料由来の水素の代替：石油精製や化学工場へグリーン水素供給	メタノール製造工場、肥料工場等に供給する化石燃料由来の水素をグリーン水素で代替することを実証する。また、国内のグリーン水素供給も実証プロジェクトに含まれることも視野に入る。	現行の水素の利用については新たな技術開発が不要である。
14	産業	水素ボイラで工場の蒸気需要を供給する	工場（例えば食品工場等）の蒸気需要を、水素を燃料とする水素蒸気ボイラによって供給することを実証する。また、燃料である水素は、国内で製造されたグリーン水素で供給することも実証対象に含まれることも考えられる。	純水素ボイラは商品開発済みである。過渡期として水素混合気体への対応が新たな課題である。
15	産業	水素バーナで工場の熱処理需要を供給する	工場における熱処理工程において、既存の化石燃料バーナを水素を燃料とする水素バーナに置き換え、実運転を実証する。また、燃料	国内では技術開発の段階である。

番号	分野		概要	技術成熟度
			である水素は、国内で製造されたグリーン水素で供給することも実証対象に含まれることも考えられる。	
16	産業	水素直接還元（鉄鋼）	「直接還元法」という水素を使った革新的な製鉄方法は鉄鋼部門の脱炭素化に向けての重要な手法の一つである。水素直接還元の実証も欧州の鉄鋼メーカー中心に進められている。 ※水素直接還元法は日本でもまだ研究開発の段階であることに留意	国内では研究開発段階である。水素還元製鉄は吸熱反応のため、大量の水素が必要となる。
17	合成燃料	合成メタン	火力発電所、産業部門、バイオマス発電、セメント工場等で回収された CO2 と国内で製造されたグリーン水素で、合成メタンや航空用 e-fuel 等の合成燃料を製造する実証である。合成メタンの都市ガスインフラへの混合、天然ガス自動車への供給、e-fuel の国内空港への供給も考えられる。	国内では実証段階である。
18	合成燃料	航空用ジェット燃料製造		国内では技術開発段階である
水素輸出				
19		水素輸出キャリア：アンモニア合成施設	水素の輸出を目的にし、アンモニア合成施設、アンモニアタンク、港における水素輸出用の関連施設の整備と実運転の実証が想定される。	サプライチェーンは実証段階である。グリーンアンモニア製造の技術開発が重要な要素である。
20		水素輸出キャリア：MCH	水素の輸出を目的にし、MCH 合成施設、MCH タンク、トルエンタンク、港における水素輸出用の関連施設の整備と実運転の実証が想定される。	サプライチェーンは実証段階である。
21		水素輸出キャリア：液化水素	水素の輸出を目的にし、水素液化施設、液化水素タンク、港における水素輸出用の関連施設の整備と実運転の実証が想定される。	サプライチェーンは実証段階である。

出所：調査団作成

5.3.2 各国の意向を踏まえた実施可能性の高い案件の絞り込みと協力可能性の検討

(1) インド

既述の通り、インドは「Lower-middle income」、かつ、グリーン水素製造ポテンシャルと産業部門の水素利用ポテンシャルが高いクラスに分類される。インド政府は「国家水素ミッション」を掲げており、具体的な計画については現在草案の承認段階にある（後述）。

インドにおける水素関連動向についてのデスクトップ調査を基に 6 つの水素実証事業をショートリストとして MNRE に提示し、ニーズを聴取した。いずれの分野も歓迎ということであったが、水素製造・輸送の最適化のための調査・実証事業に対するニーズが特に高いと考えられる。以下にデスクトップ調査とインタビューの結果を踏まえた分析を示す。

(a) インドの水素関連政策や企業、他国政府支援の動向

国内の水素関連政策や、インド国内企業、国外企業、外国政府、ドナー等の動きは以下の通りである。なお、インドの主要な産業は、農業、工業、鉱業、IT 産業である。GDP 構成比は農林水産業が 16.3%、製造業が 15.3%である。鉄鋼業は主要産業の一つ。国家水素ミッションでは肥料工場、石油精製が重点分野とされている。

■ 水素関連政策

インドにおいては下表の水素関連政策が策定されている。なお、水素に関するアクションプランは現在策定中であり、グリーン水素の需要の創出、グリーン水素生産に対するインセンティブ、関連機器の国内製造へのインセンティブに関する予算や支援内容の草案が最終承認段階にある⁷⁸⁷。この草案は、インド国内の利害関係者、産業界、政府関係者が議論を通して作成したものである。また、研究開発支援事業、インフラ、輸出関連事項に関する予算等の計画についても同様にまとめられる予定である。

表 289 インドの水素関連政策

政策等	概要
国家水素ミッション	2030 年までにグリーン水素の年間生産量を 500 万トンにまで増やすことを目標とする計画（2021.8）。インド政府は、グリーン水素利用を促進させるために、2024 年度には肥料工場、石油精製所において利用する水素のうち 10%をグリーン水素とすることを義務付ける計画がある。このミッションにより、インフラ構築、運輸交通、産業分野における実証、研究開発、政策支援、水素技術の規格と規制・枠組みの策定が行われる予定である。また、水素製造のグローバルハブになることを目指している。
グリーン水素・グリーンアンモニア政策	グリーン水素やグリーンアンモニア生産者への再生可能エネルギーの供給を支援・促進するための条項をまとめたもの（2022.2）。グリーン水素・グリーンアンモニア生産者が、再生可能電力の購入や再生可能エネルギー容量

⁷⁸⁷ MNRE インタビューより

	の拡張を自由に行うことの許可や、再生可能電力を最長 30 日間まで流通会社に預けられることなどが規定されている。また、グリーン水素・グリーンアンモニアの製造者が港に輸出用グリーンアンモニアを貯蔵するためのバンカーを設置することを許可するとの記載がある。
--	--

(出所：調査団作成)

■ インド国内企業の水素関連動向

インドの国内企業も水素製造や利活用に関する取り組みを独自もしくは他企業と連携して行っている。インド国内企業の水素関連事業等について下表に示す。

表 290 インド国内企業の水素関連事業等

企業名	概要
Adani Power Ltd (APL)	Adani は再エネ分野に今後 10 年間で 200 億ドルを投資する計画を発表し、自社の再エネを活用して世界最大のグリーン水素製造企業になるという目標を打ち出している。さらに、グリーン水素からメタノール、アンモニア、肥料を製造することを計画している。現在、グリーン水素・グリーンアンモニアの混焼に関するパイロット事業や調査を実施している。
Adani New Industries Ltd. (ANIL)	グリーン水素プロジェクトの実施、風力発電機、太陽電池の製造等を行う企業。ANIL は、グリーン水素製造と関連するエコシステムに今後 10 年間で 500 億米ドル以上を投資することを目標にしている。ANIL は 2030 年までに年間 100 万トンのグリーン水素を製造することを目指している。(2022.6)
Reliance	新エネルギー事業として水素、風力、太陽光、燃料電池、バッテリーを用いたクリーンで安価なエネルギー供給実現に取り組んでいる。Reliance はグジャラート州においてグリーンエネルギーなどのプロジェクトを実施し、100GW の再生可能エネルギー発電所の設立とグリーン水素のエコシステム開発に 595 億ルピーを投資している。(2020)
ACME Solar	フランスの Lhyfe Labs と提携してインドと欧州でグリーン水素を製造する計画を発表した(2021.2)。また、オマーンで 4GW のグリーン水素、アンモニア精算に 35 億ドルを投資する計画を発表している(2021.8)。さらに、オマーンのドゥクム港経済特区にグリーンアンモニア製造用地を確保するための覚書を締結した。
ReNew Power	インドの再エネ企業。エンジニアリング企業 L&T と化石燃料小売り大手の Indian Oil とグリーン水素製造用の電解槽製造のために JV を締結することを発表した(2022.4)。2022 年 4 月に三井物産が Renew に出資参画することを発表。
The Tata Power Company Limited	グリーン水素の燃料としての利用に関する調査研究を実施した(2020)。
Ohmium	インドで初めてのグリーン水素電解槽の大規模製造工事を開設した(2021.8)。初期製造能力は年間 500MW、年間 2 GW まで拡張予定。インド製電解槽の米国

企業名	概要
	への輸出を開始した（2021.11）。
Indian Oil	Tata Motors と共同で燃料電池バスの実証実験を実施している。(2021.6) さらに、Mathura 製油所に国内初のグリーン水素プラントを建設すると発表した。Rajasthan 州の風力発電から電力を供給することになっている。(2021.7)外国企業との連携も進めており、ノルウェー企業 Greenstat Hydrogen India と、水素に関する研究拠点設立の意向を表明した。(2021.2)また、イタリア企業 Snam と、水素およびガスバリューチェーン開発での連携を公表している。(Adani group、Greenko も参加) (2020.11)
BGR Energy	アイルランド企業 FusionFuel と、インドにおけるグリーン水素開発で協力の覚書を締結した。(2021.3)
JSW	豪企業 Fortescue Future Industries と、グリーン水素製造に関する検討を開始した。(2021.7)

（出所：調査団作成）

■ 世銀、ADB 等による支援

インドでは、世銀、ADB、USAID が水素に関する事業を行っているか、もしくは検討している段階にある。下図にインドにおける他ドナーによる支援を示す。

表 291 インドにおける他ドナーによる支援

他ドナー名	概要
世銀	MNRE を対象に水素ロードマップを作成した（2021）。また、ヒマーチャルプラデシュ州とマディヤプラデシュ州では、再生可能エネルギーのポテンシャルを活かしたグリーン水素製造と利用に関する支援を、ケララ州では運輸交通セクターにグリーン水素を導入するための調査を実施している。また、Damondar Vally Corp（電力公社）の再エネ計画にグリーン水素を追加するための支援も実施している。
ADB	クリーンエネルギー開発に係る技術協力を実施している（2021~2024 年）。分野ごとの評価、新規ビジネスモデル開発、FS 報告書作成、必要な政策についての協議、プロジェクト投資パイプラインの設計等を行う。中長期的にはグリーン水素を産業分野で使用することで、クリーンエネルギーへの移行を実現することを目指す。 また、ADB はインドにおける化石燃料からグリーン水素へのエネルギー転換を加速させるために、新規技術導入や具体的な開発ロードマップ作成支援を行うための技術協力プロジェクトを提案した（2021.11）。
USAID	MNRE、DOE、US-India Strategic Partnership Forum の協力の下、水素タスクフォースを立ち上げた（2020）。このタスクフォースは、技術状況の評価、政策オプシ

他ドナー名	概要
	ヨンの研究、排出削減、エネルギー安全保障と回復力強化のための水素技術開発規模の拡大とコスト低減を支援するための提言を行う。

(出所：調査団作成)

■ 日本政府・日本企業の水素関連動向

インドにおいて日本の省庁や企業が行っている水素に関する協力や事業を下表に示す。

表 292 インドにおける日本政府・日本企業の水素関連協力・実施事業等

企業名	概要
経済産業省	日印間のエネルギー協力を推進することを目的に「日印クリーンエネルギー・パートナーシップ（CEP）」を締結した（2022.3）。協力分野にはEV、蓄電池を含むエネルギー貯蔵システム、EV 充電インフラ、グリーンを含むクリーン水素・クリーンアンモニアが含まれる。
在インド日本大使館	在インド日本大使館は、水素にかかる日印官民連携を促進して更なる投資に繋がるとともに水素の利活用における課題を解決するために 2022 年 2 月から 4 月までの「日印クリーン水素月間」として関係機関を対象とした日印水素ビジネスマッチングイベント、日印水素セミナー、日印水素燃料電池ワークショップを開催した。
日本鉄鋼連盟	2013 年度以降、日印鉄鋼官民連携会合を開催しており、2022 年 1 月にはインド鉄鋼業への省エネ・環境保全政策提言及び日本からの省エネ・環境保全技術移転の促進を目的とした会合を開催した。現在は水素還元製鉄を含む様々な技術を導入するための技術的支援を行っている。
IHI	IHI、興和株式会社、APL はアンモニア混焼技術の共同検証の実施に係る MoU を締結した（2022）。
興和株式会社	興和株式会社と APL は、火力発電所における水素・アンモニアの利活用の技術研究開発を行っている。
やまなしハイドロジェンカンパニー、スズキ	やまなしハイドロジェンカンパニーとスズキは、NEDO の「2022 年度「エネルギー消費の効率化等に資する我が国技術の国際実証事業（実証要件適合性等調査）」」に、「インドの工場における効率的な熱運用を実現するための水素技術等実証要件適合性調査（インド・ハリヤナ州）」を提案し、採択された。この事業は、インド国内の変動性再エネの余剰電力を利用し、P2G システムによって水素製造を行い、工場内における最適な熱運用システムの構築の可能性検討するものであり、インド国内の FS、マルチ・スズキ・インディア社のマネサール工場を対象とした水素需要量・コスト等の調査を行う。事業期間は 2023 年 3 月までである。

(出所：調査団作成)

■ 海外政府・海外企業の動き

インドにおける海外政府・海外企業による水素関連の協力状況を下表に示す。欧州企業とインド企業の間で電解槽製造に関する協定が締結されているが、具体的にはまだ進展していない模様である。

表 293 インドにおける海外政府・海外企業の水素関連動向

企業名	概要
Stiesdal A/S (デンマーク企業)	デンマークの Styesdal A/S 社と RNEL は、インドでグリーン水素を低コストで製造することを目標に HydroGen 電解槽の技術開発及び製造に関する協力協定を締結した (2021.10)。
TotalEnergies (フランス企業)	フランスのエネルギー企業。2022 年 6 月 14 日に Adani とグリーン水素エコシステムを共同構築するためのパートナーシップを締結した。戦略的提携により、TotalEnergies は、Adani Enterprises Ltd (AEL) から Adani New Industries Ltd (ANIL) の 25% の少数株主持分を取得することになった。
Maire Tecnimont (イタリア企業)	イタリアのエンジニア企業。APL と提携してアンモニア、グリーン水素のバリューチェーンを構築することを計画している (2021.3)。
米国政府	「戦略的クリーンエネルギー・パートナーシップ (SCRIP)」を締結した (2018)。2021 年 4 月、「気候・クリーンエネルギー・アジェンダ 2030 パートナーシップ」を、同年 9 月、クリーンエネルギー技術拡大のための官民合同による「水素・バイオ燃料タスクフォース」を立ち上げた。
EU 政府	「クリーンエネルギー及び気候パートナーシップ」を締結した (2016)。環境分野への取組強化に合意し、クリーンな水素製造及び応用技術に関して協力を推進している (2021.12)。
豪州政府	「印・豪州エネルギー対話において再生可能エネルギーに関する技術の低価格化と導入促進に向け、基本合意書に署名した (2022.2)。最低コストの太陽光発電や CCS を取り入れたクリーン水素製造を進めることが計画されている。
オランダ政府	オランダ政府と TERI は水素利用に関するステークホルダー会議を 2 回実施した (2022.3)。1 回目はビジネス関係者と政府関係者間が、2 回目は研究者と政府関係者が議論を行った。オランダ政府が有効だと考えているインドへの協力案には、共同研究プラットフォームの設置と運輸セクター、港湾・輸送セクターにおけるフィージビリティ調査の実施、オランダ国内企業からインド企業への電解槽技術の技術協力、ブルー水素の製造に関する協力、グリーン水素の輸出に関するインフラ整備等の協力、水素混焼と天然ガスパイプラインの利活用に関する協力、水素燃料船の技術協力や投資等の協力である。オランダは 2030 年までにインドの水素セクターに 1,600 億ドルの投資ポテンシャルがあると見込んでいる。

(出所：調査団作成)

(b) インドにおける水素実証事業の可能性

2022 年 8 月 2 日、インドにおける水素実証事業のニーズを調べるために MNRE へインタビューを行った。インタビューでは下表に示す 6 つの実証事業をショートリストとして、その事例とともに提示し、その関心度を確認した。

表 294 インドにおいて実施可能性のある水素実証事業

No.	実証事業	概要	想定される カウンターパート
①	再生可能エネルギーによる水素製造	太陽光や風力発電、また太陽光と風力のハイブリッド発電システム由来の電力でグリーン水素を製造し、その水素を国内水素利用施設、または水素輸出にサイトに供給する。	- MoP - MNRE
2	出力変動型再生可能エネルギーの最大限利用	太陽光や風力など出力変動型再生可能エネルギーの電力の最大限利用、水素需要に応じた水素供給、系統調整力の提供を実現するためのシステム最適運用を実証の目的とする。システム構成は、福島浪江町における FH2R システムや山梨実証を参照し、出力変動型再生可能エネルギー発電とオンサイトの水電解装置のほか、エネルギー最適運用を管理するための制御システムも導入する。製造されたグリーン水素を周辺の水素需要施設に供給する。	- MoP - MNRE
③	国内水素輸送	水素製造地、需要地に応じて、高圧水素トレーラーによる国内水素輸送、液化水素トレーラーによる国内水素輸送、水素パイプラインのいずれかの方法で水素を輸送することを検討の上、実証。関連技術の実証のほか、安全基準や、関連規制作成への支援も視野に入る。	- Ministry of Road Transport and Highways
4	水素ステーション＋燃料電池自動車・燃料電池	道路部門の水素利用ならびに関連インフラ整備を目的にし、水素ステーション	- Ministry of Road Transport and

	バス・燃料電池トラック等	ションの設置と運営、燃料電池自動車や、燃料電池バス、燃料電池トラックの走行実証等が予想される。また、技術実証のみならず、関連する安全基準や規制作成への支援も視野に入る。	Highways - MNRE - Ministry of Heavy Industries
⑤	化石燃料由来の水素の代替：アンモニア製造工場へグリーン水素供給、石油精製や化学工場へグリーン水素供給	産業分野で使われている化石燃料由来の水素をグリーン水素に代替することを目的とする。例えば、アンモニア製造工場、石油精製施設、メタノール製造工場、肥料工場等に供給する化石燃料由来の水素をグリーン水素で代替することを実証する。また、国内のグリーン水素供給も実証プロジェクトに含まれることも視野に入る。	- Ministry of Heavy Industries
⑥	水素輸出キャリア：アンモニア、MCH、液化水素	水素の輸出を目的にし、まずはFSを行う。FSで最適とされたキャリアの合成施設または液化施設、タンク、港における水素輸出用の関連施設の整備と実運転の実証が想定される。また、技術実証のみならず、関連する安全基準や規制作成への支援も視野に入る。	- Ministry of Road Transport and Highways - MNRE

※MNRE が関心を示し、インド国内のニーズも高いと考えられる実証事業の番号に○をつけた。

赤色の○は、特にニーズが高いと考えられる実証事業である。

(出所：調査団作成)

MNRE は上述の全ての実証事業に関心があり、インド政府の方針と一致すると述べている。現時点ではこれらの実証事業のうち他ドナーが現在実施しているものはないということであった。また、上記以外ではバイオマスからの水素製造にも関心を示している。都市部より農村部の人口が多いインドでは、バイオマスを用いて農村部の収入を向上させることについて政治的にも関心が高い。

以下、上表の実証事業に関するそれぞれのニーズについて記載する。

「1. 再生可能エネルギーによる水素製造」に関し、各地域における最もコスト効率的なグリーン水素の製造方法に関する調査にニーズがあることが明確になった。インド政府は、各地にクラスターを設置し、その中でグリーン水素を可能な限り低いコストで大量に生産できるように、再

生可能エネルギーとバッテリーの効果的な組み合わせ、電解槽の容量、バッテリー容量等について、様々なモデルを作成して検討している。インドは国土が広いと、グリーン水素の生産地から利活用地への輸送の技術とコストが課題であることから、このような検討が行われているが、地域によって最適なモデルが異なるため、各地域の最適なモデルの作成が必要とされている。

「3. 国内水素輸送」については、既存のインフラの活用可能性調査と輸送トレーラー等の導入に関する協力ニーズが高いと考えられる。インド国内では水素の輸送・貯蔵に関する経験が蓄積されていないため、水素の輸送・貯蔵に必要なインフラや積算等について民間企業や他国による協力ニーズがある。国内での水素輸送の開始初期段階には、高圧水素トレーラーを用いた輸送が主流になると予想される⁷⁸⁸ことから、日本において商用化されている高圧水素トレーラー導入なども有力な協力案であると考えられる。なお、インド政府は国内輸送の実証実験等の支援を行うことを予定しているが、詳細については公開されていない。また、MNRE によれば、現在、ガスパイプラインにクリーン水素を混合するプロジェクトがインド政府の直接支援で行われているとのことであった⁷⁸⁹。

インドにおけるグリーン水素の需要セクターとして最も有力なものが「5. 化石燃料由来の水素の代替：アンモニア製造工場へグリーン水素供給、石油精製や化学工場へグリーン水素供給」である。インド政府の国家水素ミッションでは、石油精製業と肥料産業においてグリーン水素の利用義務化が検討されている。NITI Aayog は、石油精製業と肥料産業において検討されているグリーン水素の利用義務について、下表のような目標を設定することを提案している⁷⁹⁰。

表 295 石油精製業と肥料産業におけるグリーン水素利用義務化の可能性

セクター	目標	義務	100%グリーン化の実現期限
石油精製業	協力レベル	2030 年までに 50%	2035 年
肥料産業	輸入品の代替	2030 年までに 100%	2040 年

(出所：NITI Aayog (2022), “Harnessing Green Hydrogen Opportunities for Deep Decarbonization in India,” p.40)

現在、インドでは石油化学製品の精製やアンモニア、メタノール生成、鉄鋼生産のために 600 万トンのグレー水素が活用されている。下図に示す通り、NITI Aayog は石油精製業、肥料製造等の化学産業、大型長距離貨物輸送、限定的な範囲で電力セクターにおいて潜在的な水素需要を見込んでいる。以下の需要予測では、2030 年頃までは石油精製業と肥料用のアンモニアの需要が水素

⁷⁸⁸ NITI Aayog (2022), “Harnessing Green Hydrogen Opportunities for Deep Decarbonization in India”

(https://www.niti.gov.in/sites/default/files/2022-06/Harnessing_Green_Hydrogen_V21_DIGITAL_29062022.pdf)

⁷⁸⁹ 石油・天然ガス省のウェブサイトにおいても、都市ガスネットワークへの水素混合のパイロットの計画がある旨が記載されている。

石油・天然ガス省ウェブサイト <https://mopng.gov.in/en/page/12>

⁷⁹⁰ 同上

需要全体の大部分を占めている。

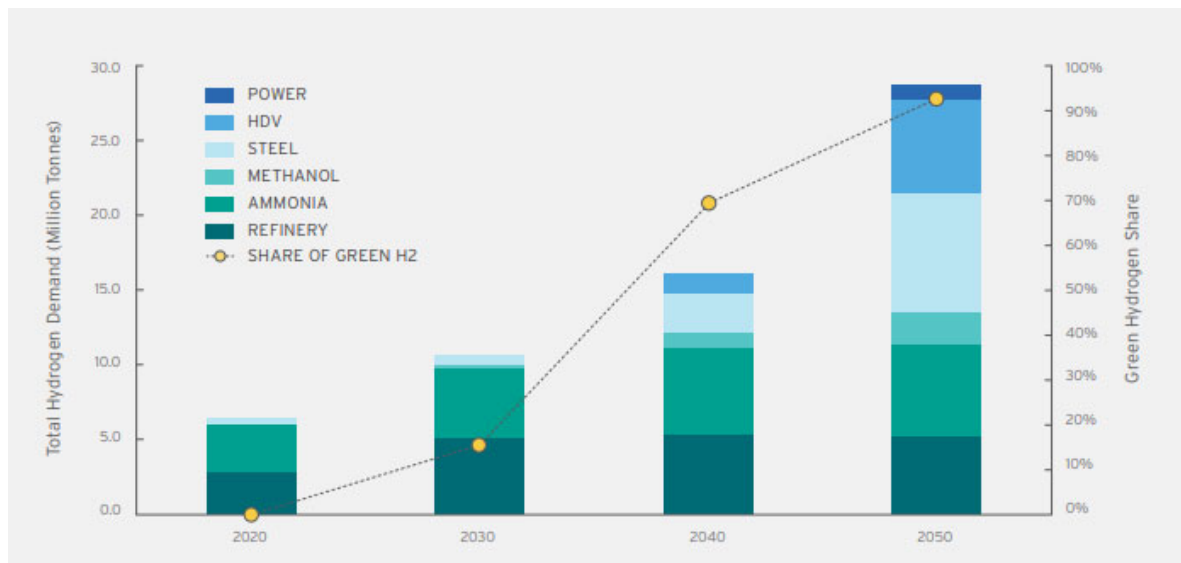


図 316 水素需要の見通しとグリーン水素の潜在的シェア（政策的介入が無く経年で同額の場合）

（出所：NITI Aayog (2022), “Harnessing Green Hydrogen Opportunities for Deep Decarbonization in India,” p.37）
 ※インド鉄鋼省、消費者問題・食料・公共配給省、石油・天然ガス省、IEA、ボストンコンサルティンググループ、世界銀行、RMI Analytics による需要予測をもとに作成されている。

さらに、NITI Aayog は、石油精製業と肥料産業における石油由来の水素とグリーン水素の需要を下図のように予測している。石油精製業・肥料産業ともに 2040 年にはグリーン水素が水素需要の半分を超え、2050 年にはグリーン水素の需要が水素需要のほとんどを占めることになるとしている。

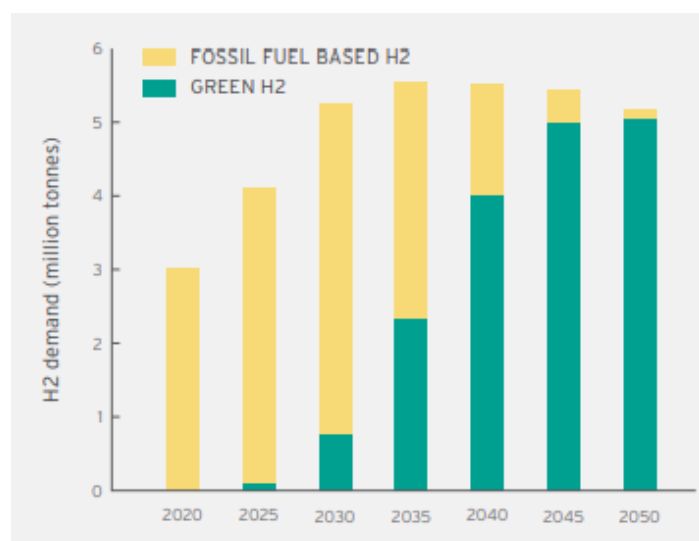


図 317 石油精製業における水素需要予測

（出所：NITI Aayog (2022), “Harnessing Green Hydrogen Opportunities for Deep Decarbonization in India,” p.74）

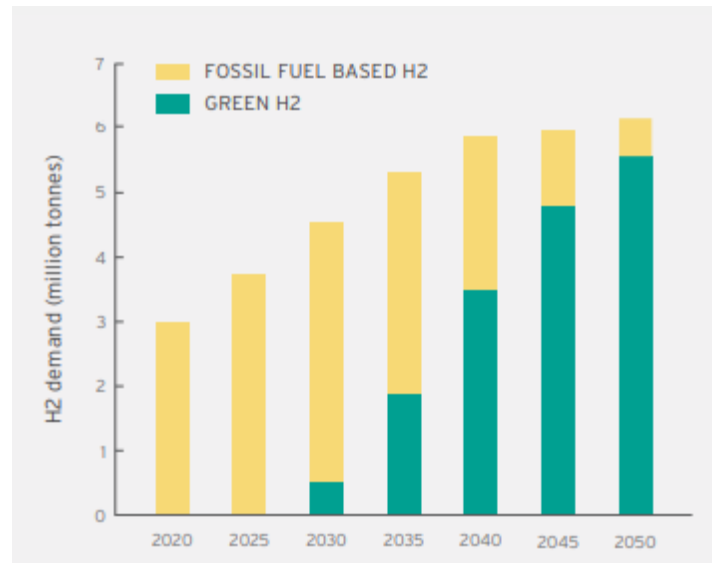


図 318 アンモニアを利用した肥料産業にける水素需要予測

(出所：NITI Aayog (2022), “Harnessing Green Hydrogen Opportunities for Deep Decarbonization in India,” p.75)

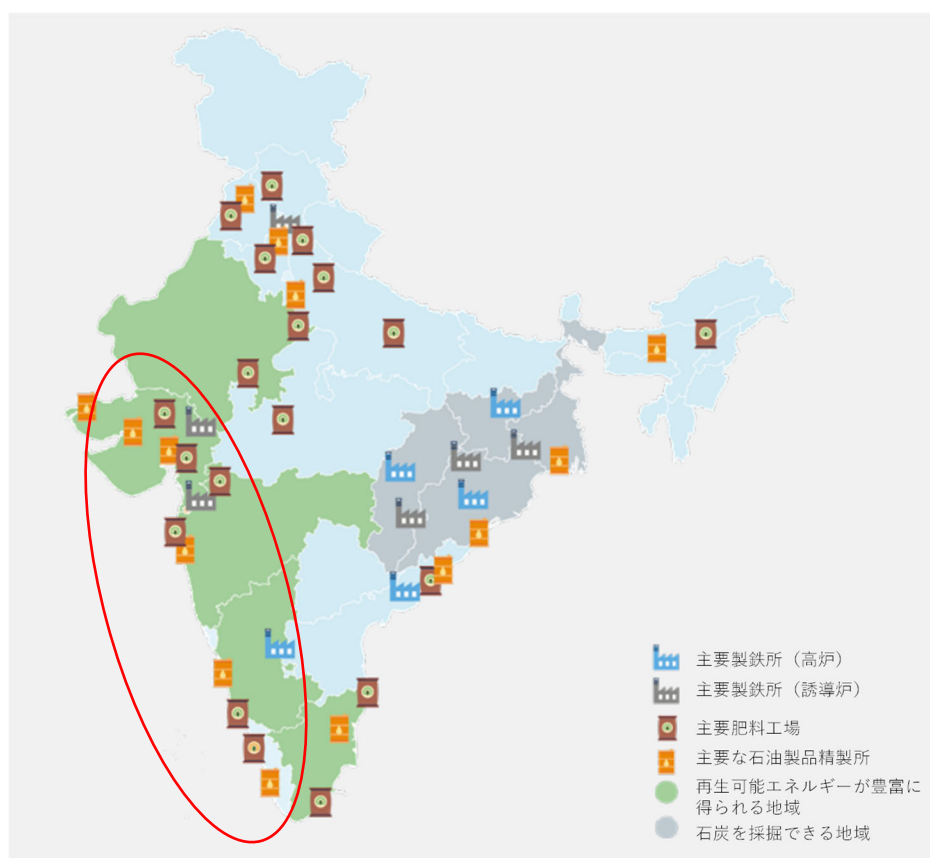
現在、肥料工場のほとんどが原料であるアンモニアを輸入して活用しており、アンモニアのサプライチェーンと設備等の技術的な知見を有している。そのため、肥料産業は他産業と比較してグリーン水素を活用したアンモニアの製造設備の導入が容易であると考えられている。ただし、変動性再生可能エネルギーを用いてグリーン水素が製造される場合、安定的に生産できない可能性がある。グリーン水素の利用量が限定的であるうちは大きな問題ではないものの、グリーン水素利用量を増やしていくにあたって、グリーン水素の安定供給は今後 10 年以内には対応しなければならない課題であると考えられており、そのために対策を検討する必要があるとの見解を MNRE は示している。

「6. 水素輸出キャリア」については、インドがグリーン水素の輸出大国になることを国家水素ミッションで掲げていることから、インド政府の方針と合致した実証事業を行うことができると考えられる。MNRE によれば、港湾インフラに関する実証事業でも、船舶を使った長距離輸送に関するどのような実証事業でも歓迎するとのことであった。なお、すでに、水素の海上輸送に関する実証事業がインド政府の予算で実施されることになっている。

その他、インド政府は、モビリティでの水素の導入、鉄鋼生産における水素の実証実験等の支援を行うことを予定している⁷⁹¹。なお、先述のとおり、水素に関するアクションプランは現在策定中であり、グリーン水素の需要の創出、グリーン水素生産に対するインセンティブ、関連機器の国内製造へのインセンティブに関する予算や支援内容の草案が最終承認段階にある。この草案は、インド国内の利害関係者、産業界、政府関係者が議論を通して作成したものである。また、研究開発支援事業、インフラ、輸出関連事項に関する予算等の計画についても同様にまとめられる予定である。

⁷⁹¹ MNRE インタビューより

以上より、インド政府が検討するクラスターにおける、需要家（石油精製業、肥料産業を想定）への輸送の最適化を含めたグリーン水素生産最適化のための調査や実証事業にまずニーズがあると考えられる。クラスターの候補地に関しては、再生可能エネルギーが豊富であり、かつ肥料工場、石油精製所の集中するインド西海岸と、東部ベルトの鉄鋼業が初期の水素産業クラスターの可能性があると NITI Aayog は指摘している⁷⁹²。鉄鋼における水素利用は日本においても研究開発段階であり、世界でも実用段階にある技術はない状況であることから、まずは特段の新技术が不要な石油精製業、肥料産業での利用を企図した西海岸でのクラスター形成が行われる可能性が高いと考えられる。



⁷⁹² NITI Aayog (2022), “Harnessing Green Hydrogen Opportunities for Deep Decarbonization in India”

(a) タイの水素関連政策や企業、他国政府支援の動向

タイでは製造業の GDP 構成比は 3 割近く、自動車産業が主要な産業となっている。国内の水素関連政策や、タイ国内企業、国外企業、外国政府、ドナー等の動きは以下の通りである。

■ 水素関連政策

水素に特化した戦略、ロードマップ等は策定されていない。

表 296 水素関連政策

政策等	概要
国家エネルギー計画枠組み	エネルギー省は、今後 10 年（2021 年から 2030 年）の緊急課題の一つとして、クリーンエネルギー発電の増加を挙げている。（本計画は日本の経済産業省が関与している、）
Hydrogen Thailand	水素に関する官民連携のイニシアティブ

■ タイ国内企業の水素関連動向

表 297 タイ国内企業の水素関連動向

企業名	概要
EGAT	風力発電と 300kW の燃料電池を組み合わせるラムタコンラーニングセンターに供給。機器は欧州、中国。（2018.4）
ThaiOilPlc (TOP)	タイ最大の石油精製会社。米国の水素製造スタートアップを買収（2022.6）
BIG	米産業用ガス大手エア・プロダクツ・アンド・ケミカルズのタイ子会社。タイ国営石油 P T T と共同で、タイ初の燃料電池自動車用の水素充填所を試験的に設置（2013）。Hydrogen Thailand のメンバー
PTT	国有石油企業。Hydrogen Thailand のメンバー

■ 他ドナーによる支援

表 298 タイにおける ADB による支援

企業名	概要
ADB	東南アジアにおいてクリーンエネルギー開発を促進させるための技術協力である。各国・分野ごとの評価、新規ビジネスモデル開発、FS 報告書作成、必要な政策についての協議、プロジェクト投資パイプラインの設計等を行う。まずは運輸の電化から取り組み、中長期的にはグリーン水素を産業分野で使用することで、クリーンエネルギーへの移行を実現する。

ADB	洋上風力発電をエネルギー源として水素を生成し、沿岸部を走行する大型トラックに活用する。最終的には電力や船舶への利用を予定している。風力発電所の建設、海底ケーブルの敷設等を含む大型プロジェクトであるため、PPP を想定している。 (※インタビューより)
-----	--

■ 日本政府・日本企業の水素関連動向

表 299 日本政府・日本企業の水素関連動向

企業名	概要
日本・経済産業省	AETI の関連でエネルギーパートナーシップを締結（2022.1）。水素、アンモニアも協力に含まれる。
トヨタ、関電、大阪ガス、豊田通商	東部ラヨーン県で二酸化炭素排出量の実質ゼロを目指す「カーボンニュートラル（炭素中立）工業団地」を計画している。水素を含む再生可能エネルギーの開発、生産、使用、貯蔵を一貫して行うシステムの構築を目指す。工業団地周辺の豊富な農業廃棄物を有効活用したバイオガス発電や、工業団地内の移動用として化学工場などで副次的に生産される水素を活用した水素電池車（FCV）の導入などを検討する。2025 年の開業に向けて、年内に第 1 次の事業実施可能性調査を取りまとめ、タイ政府に提言する。脱炭素に向けた先進的な工業団地の取り組みとして、他の東南アジア諸国への展開も視野に入れる。(2021.11) 日本側から TMT、豊田通商（タイランド）、大阪ガス、関西電力の 4 社、タイ側からは工業団地公団（IEAT）、PTT、PTT の石油化学子会社 PTT グローバル・ケミカル（PTTGC）、産業用ガス大手の米系バンコク・インダストリアル・ガス（BIG）が参画。

■ 海外政府・海外企業の動き

表 300 海外政府・海外企業の動き

企業名	概要
米国 DOE	Bloom Energy、ATE、EGAT、および EGCO グループと、タイの脱炭素化と水素へのエネルギー移行をサポートし、カーボンニュートラルの目標に向け、燃料電池と電解槽技術への投資機会のための覚書に署名（2021.12）
ドイツ連邦経済エネルギー省	H2-Uppp というプロジェクトを開始。ドイツ・タイ商工会議所（GTCC）と連携して実施。グリーン水素と Power-to-X の政策、市場開発をサポート。市場分析なども行う（2022.1）
Enapter（欧州のスタート	EGAT と 2019 年 8 月に協定を締結。チェンマイ大学で再エネ+水素エネルギー貯蔵でエネルギーを 100%まかなうビルをショーケースとしている。EC の

アップ)	水素バレーミッションイノベーションプラットフォームのフラッグシッププロジェクトの一つ。
サウジアラ ムコ	PTT とブルー水素やグリーン水素及び各種クリーンエネルギー関連イニシア ティブの分野の協力に関する MoU 締結（2022.5）。

(b) タイにおける水素実証事業の可能性

5.2.2 「消費部門別の水素利用可能性の分析」で示されたインドネシアにおける水素需要ポテンシャルは以下のとおりである。数値の規模感の参考として、2021 年の日本国内での水素消費量（工業用）は約 403 百万 m³である⁷⁹³。

表 301 水素需要ポテンシャルのサマリー

Unit: Mtoe

Country	Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3	
	2040	2050	2040	2050	2040	2050
India	12.5	24.7	24.2	48.0	35.9	71.2
Indonesia	5.9	18.2	10.9	33.3	16.0	46.8
Morocco	0.3	0.5	0.6	1.0	0.8	1.5
Thailand	3.8	7.3	6.5	12.9	9.2	18.5

Unit: 百万 m³ (NCV basis)

Country	Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3	
	2040	2050	2040	2050	2040	2050
India	386,754	762,087	747,232	1,479,178	1,107,710	2,196,268
Indonesia	182,858	561,191	337,370	1,026,905	491,881	1,444,052
Morocco	8,934	16,409	17,170	31,328	25,406	46,248
Thailand	115,680	226,039	200,039	398,715	284,398	571,392

Unit: 千トン (NCV basis)

Country	Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3	
	2040	2050	2040	2050	2040	2050
India	32,294	63,634	62,394	123,511	92,494	183,388
Indonesia	15,269	46,859	28,170	85,747	41,072	120,578
Morocco	746	1,370	1,434	2,616	2,121	3,862
Thailand	9,659	18,874	16,703	33,293	23,747	47,711

注: Conversion factor 30,834 m³/ toe, 0.0835 kg/ m³

出所: 調査団

上記のすべての水素需要ポテンシャルを水電解で得ると仮定した場合の電力量は下表のとおりである。2019 年の総発電量と比較すると、水素需要ポテンシャルを全て国内における水電解で生産するのは現実的に考えにくく、輸入やブルー水素の国内生産も視野に入ることが示されている。

⁷⁹³ 経済産業省生産動態統計 https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/seidou/result/ichiran/08_seidou.html#menu3

表 302 必要な電力量

Unit: TWh

Country	Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3		(参考) 総発電量
	2040	2050	2040	2050	2040	2050	2019
India	1,547	3,048	2,989	5,917	4,431	8,785	1,611
Indonesia	731	2,245	1,349	4,108	1,968	5,776	288
Morocco	36	66	69	125	102	185	40
Thailand	463	904	800	1,595	1,138	2,286	186

出所：調査団

タイ政府は水素戦略等の将来の水素製造・利用に関する展望を明確に示していないため、水素戦略等の水素に特化した政策方針の策定の支援がまず考えられる。本レポート「5.2.2 消費部門別の水素利用可能性の分析」で示したような、より現実的な水素需要ポテンシャルの試算、国のエネルギー政策と合致した、国内での水素利用と水素製造の最適化のための長期的なアクションプラン・ロードマップの策定支援をまず行うことが考えられる。

(3) インドネシア

インドネシアは Upper-middle income のグリーン水素製造ポテンシャル高、産業部門の水素利用ポテンシャル高、かつ水素戦略の検討がないパターンに分類される。

(a) インドネシアの水素関連政策や企業、他国政府支援の動向

石炭、石油、ガスなどの化石燃料資源国である。また、製造業の GDP 構成比占める比率は約 2 割、主に輸送機器（二輪車）、食品業となっている。

国内の水素関連政策や、インドネシア国内企業、国外企業、外国政府、ドナー等の動きは以下の通りである

■ 水素関連政策

水素に特化した戦略、ロードマップ等は策定されていない。

表 303 水素関連政策

政策等	概要
MEMR による 2060 年までのネットゼロエミッション(NZE)に向けたロードマップ方針	新・再エネ NRE のシェアが 2025 年に 23%、2030 年に 42%、2035 年に 57%、2040 年に 71%、2050 年に 71%、2060 年に 100%という計画

■ インドネシア国内企業の水素関連動向

地熱電力を用いたグリーン水素製造は、地熱ポテンシャルの高いインドネシアの特徴である。安定的にグリーン水素を製造できる電源である。

表 304 インドネシア国内企業の水素関連動向

企業名	概要
Pertamina Geothermal Energy (PGE)	Ulubelu エリアの地熱を用いた水素製造開発のための調査を開始（2021.8）

■ ADB による支援等

表 305 インドネシアにおける ADB による支援

企業名	概要
ADB	東南アジアにおいてクリーンエネルギー開発を促進させるための技術協力である。各国・分野ごとの評価、新規ビジネスモデル開発、FS 報告書作成、必要な政策についての協議、プロジェクト投資パイプラインの設計等を行う。まずは運輸の電化から取組み、中長期的にはグリーン水素を産業分野で使用することで、クリーンエネルギーへの移行を実現する。

■ 海外政府・海外企業の動き

地熱電力を用いたグリーン水素製造は、地熱ポテンシャルの高いインドネシアの特徴である。安定的にグリーン水素を製造できる電源である。

表 306 海外政府・海外企業の動き

企業名	概要
韓 国 サ ムスン、 ヒ ユン ダ イ 、 GGGI	北スマトラ、サルーラ地区での地熱発電を用いたグリーン水素製造プロジェクト。投資額は 12 億ドル。（2022.3）
ド イ ツ 政 府 及 び 仏 HDF	東ヌサトゥンガラ州スンバ地区でグリーン水素を使用するハイブリッド太陽光発電所パイロットプロジェクトの初期実現可能性調査を実施（2021）

Energy	
--------	--

■ 日本政府・日本企業の水素関連動向

日本企業はブルーアンモニア製造、肥料工場で利用するグリーンアンモニアの製造などのプロジェクトに着手している。

表 307 日本政府・日本企業の水素関連動向

企業名	概要
日本・経済産業省	AETI の関連でエネルギーパートナーシップを締結（2022.1）。水素、アンモニアも協力に含まれる。
IHI	PLN の 100%子会社である PT Pembangkitan Jawa-Bali（PJB）とアンモニアやバイオマス混焼技術の適用、将来的な専焼技術の適用およびそれらの経済性の検証を行なう MoU を締結しており、PJB 所有の Gresik(グレシック)火力発電所などの既設ボイラを対象として、アンモニアなどのカーボンニュートラル燃料の混焼、将来的な専焼の実施を想定した各種技術検討等を行なう予定。（2022.4）
丸紅	豪州・南オーストラリア州における安価なグリーン水素製造、水素吸蔵合金を使用したインドネシアへの輸送、および燃料電池を通じた水素の利活用に関する実証事業を開始。（2022.1）
東洋エンジニアリング	肥料公社プブック・インドネシア（Pupuk Indonesia Holding Company, PIHC 社）と、アチェ州 プブック・イスカンダル・ムダ社(Pupuk Iskandar Muda, PIM 社)の肥料工場におけるグリーンアンモニア生産に関する FS を開始（METI FS）。グリーン水素を PIM 社が運営する既存の肥料工場に導入することにより、クリーンな燃料アンモニアを製造する仕組みについて、再生可能エネルギーの電力源選定、電力供給量変動への対応方法等を考慮しつつ、安全かつ経済合理性を持った事業とする為の検証を行う予定（2022.6）。
三菱商事、JOGMEC	バンドン工科大学(Bandung Institute of Technology：以下、ITB)及びパンチャ・アマラ・ウタマ(PT Panca Amara Utama 以下、PAU)社と、インドネシア中央スラウェシ州におけるクリーンな燃料アンモニア生産（ブルーアンモニア）の為の二酸化炭素地下貯留(CCS：Carbon Capture & Storage)及び二酸化炭素の利用に関する共同調査を実施することに合意し、4 者間で覚書に調印した。(2021.5)
東芝	PLN と自立型水素エネルギー供給システム「H2One™」の同国内への普及

企業名	概要
	に向けた協業に合意し、経済産業省が主催する日尼エネルギーフォーラムにおいて調印を行った。（2018） ※インタビューにおいて、H2One は「経済性において発電事業には向かない。災害時等に駅などで3～7日間お湯と電気が使える」とのこと。

(b) インドネシアにおける水素実証事業の可能性

インドネシア政府は水素戦略等の将来の水素製造・利用に関する展望を明確に示していないため、水素戦略等の水素に特化した政策方針の策定の支援がまず考えられる。本レポート「5.2.2 消費部門別の水素利用可能性の分析」で示したような、より現実的な水素需要ポテンシャルの試算、国のエネルギー政策と合致した、国内での水素利用と水素製造の最適化のための長期的なアクションプラン・ロードマップの策定支援をまず行うことが考えられる。

5.2.2 「消費部門別の水素利用可能性の分析」で示されたインドネシアにおける水素需要ポテンシャルは以下のとおりである。数値の規模感の参考として、2021年の日本国内での水素消費量（工業用）は約 403 百万 m³である⁷⁹⁴。

⁷⁹⁴経済産業省生産動態統計 https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/seidou/result/ichiran/08_seidou.html#menu3

表 308 水素需要ポテンシャルのサマリー

Unit: Mtoe

Country	Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3	
	2040	2050	2040	2050	2040	2050
India	12.5	24.7	24.2	48.0	35.9	71.2
Indonesia	5.9	18.2	10.9	33.3	16.0	46.8
Morocco	0.3	0.5	0.6	1.0	0.8	1.5
Thailand	3.8	7.3	6.5	12.9	9.2	18.5

Unit: 百万 m3 (NCV basis)

Country	Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3	
	2040	2050	2040	2050	2040	2050
India	386,754	762,087	747,232	1,479,178	1,107,710	2,196,268
Indonesia	182,858	561,191	337,370	1,026,905	491,881	1,444,052
Morocco	8,934	16,409	17,170	31,328	25,406	46,248
Thailand	115,680	226,039	200,039	398,715	284,398	571,392

Unit: 千トン (NCV basis)

Country	Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3	
	2040	2050	2040	2050	2040	2050
India	32,294	63,634	62,394	123,511	92,494	183,388
Indonesia	15,269	46,859	28,170	85,747	41,072	120,578
Morocco	746	1,370	1,434	2,616	2,121	3,862
Thailand	9,659	18,874	16,703	33,293	23,747	47,711

注: Conversion factor 30,834 m3/ toe, 0.0835 kg/ m3

出所: 調査団

上記のすべての水素需要ポテンシャルを水電解で得ると仮定した場合の電力量は下表のとおりである。2019 年の総発電量と比較すると、水素需要ポテンシャルを全て国内における水電解で生産するのは現実的に考えにくく、輸入やブルー水素の国内生産も視野に入ることとなる。

表 309 必要な電力量

Unit: TWh

Country	Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3		(参考) 総発電量
	2040	2050	2040	2050	2040	2050	2019
India	1,547	3,048	2,989	5,917	4,431	8,785	1,611
Indonesia	731	2,245	1,349	4,108	1,968	5,776	288
Morocco	36	66	69	125	102	185	40
Thailand	463	904	800	1,595	1,138	2,286	186

出所: 調査団

また、IRENA による 1.5°Cシナリオのもとでのグリーン水素・アンモニア貿易のモデル分析によれば、インドネシアの潜在的な水素需要は大きいものの、再エネの高資本コストのために、ほぼすべての需要を輸入で満たす主要な輸入国の一つとなるとされている（オーストラリア、インドからの輸入が想定されている）。

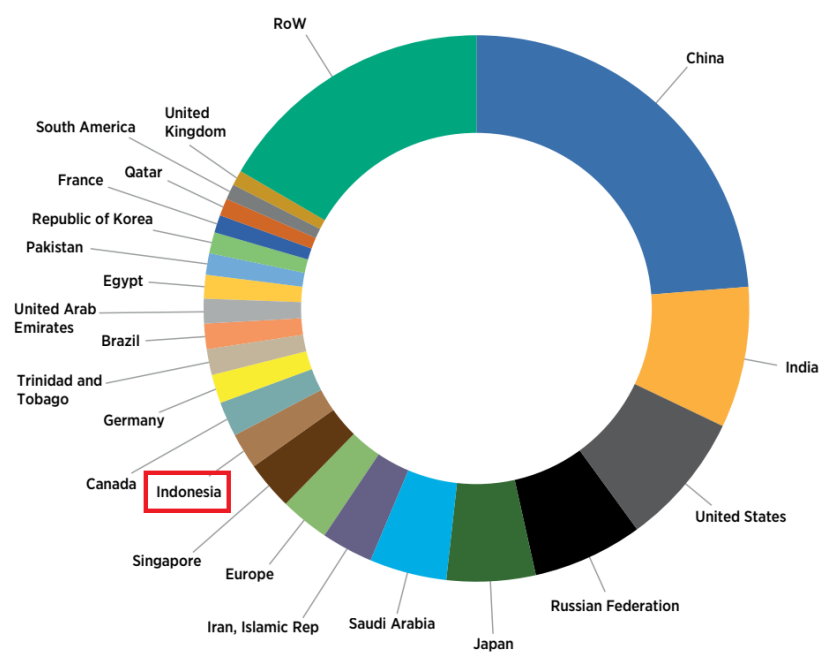
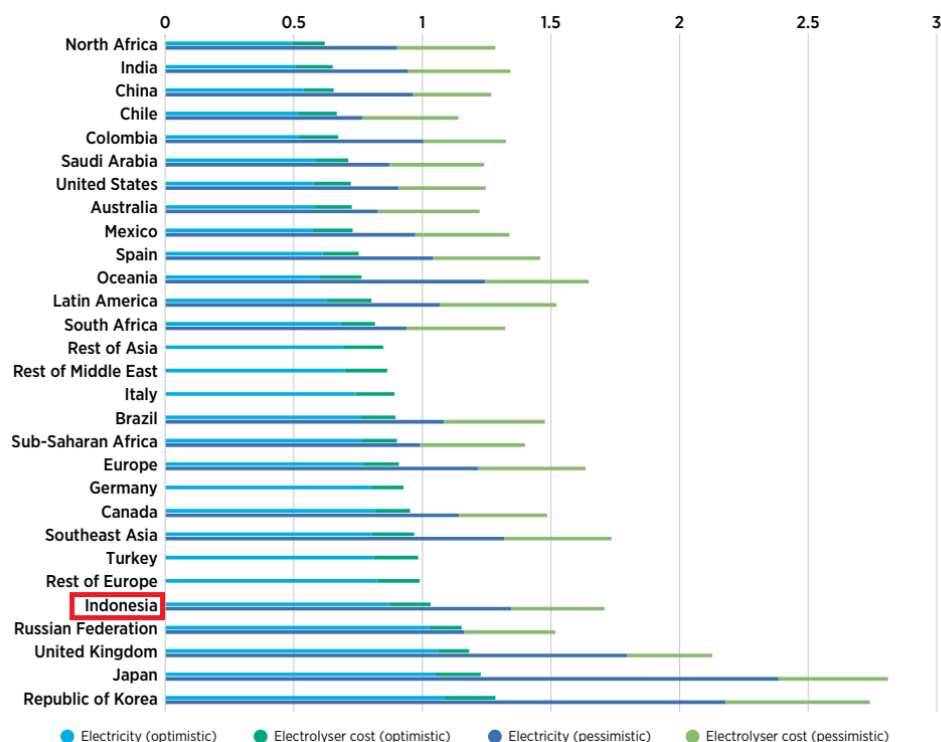


図 320 1.5°Cシナリオにおける 2050 年の国別水素需要量

出所：IRENA“GLOBAL HYDROGEN TRADE TO MEET THE 1.5°C CLIMATE GOAL”⁷⁹⁵

⁷⁹⁵ <https://www.irena.org/publications/2022/Jul/Global-Hydrogen-Trade-Outlook>



単位：USD/kgH₂

図 321 2050 年における地域別平準化水素コストの楽観シナリオ・悲観シナリオの結果⁷⁹⁶

出所：IRENA“GLOBAL HYDROGEN TRADE TO MEET THE 1.5°C CLIMATE GOAL”

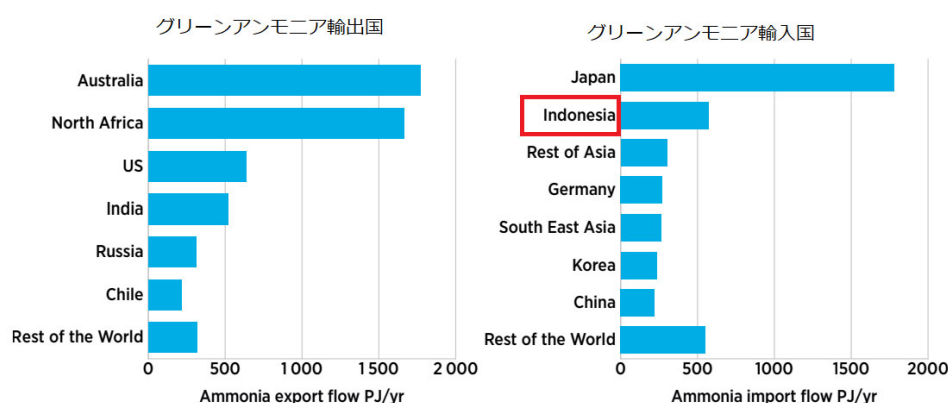


図 322 グリーンアンモニアの主要輸出国と主要輸入国予想

出所：IRENA“GLOBAL HYDROGEN TRADE TO MEET THE 1.5°C CLIMATE GOAL”

いずれの分析においても、インドネシアにおける水素需要ポテンシャルは大きい。しかしなが

⁷⁹⁶ 注) 2050 年の楽観シナリオでの設備投資想定：太陽光発電 (PV)。225-455 ドル/kW; 陸上風力: 陸上風力: 700~1070 米ドル/kW、洋上風力: 1,275~1,745 米ドル/kW 1,275~1,745 ドル/kW。
悲観シナリオ: 太陽光発電: 271~551 米ドル/kW、陸上風力発電: 775~1191 米ドル/kW。775 1191/kW; 洋上風力: 1317~1799 ドル/kW。電解槽: 130-307 ドル/kW
地域間の技術リスクを排除した 2020 年の値による加重平均資本コストを用いており、グリーン水素のポテンシャルは、太陽光発電と風力発電の土地の利用可能性を評価している。固定運営費。1% (太陽光発電)、3% (陸上風力)、2.5% (洋上風力) (パーセンテージは資本コストの関数)。

ら輸入に大きく依存することは、インドネシア政府にとってもエネルギー安全保障の観点から好ましくないと考える可能性は高い。国内での需要ポテンシャル、生産ポテンシャルを考慮しつつ、エネルギー安全保障の観点にも鑑み、国内での水素利用及び生産を最適化した水素戦略の策定支援を行うことが考えられる。

- ① インドネシアにおける水素需要ポテンシャルの試算（本レポート「5.2.2 消費部門別の水素利用可能性の分析」をベースにインドネシア政府と協議を行う。）
- ② ネットゼロ目標達成のための需要側での水素利用目標設定と政策への落とし込み
 - ✓ 国のネットゼロ目標に沿った、産業（肥料、石油精製での利用等）、運輸・交通（バス、トラック、商用車等での利用）、発電（アンモニア混焼等）などの各セクターの水素導入目標の設定
 - ✓ 需要創出のための施策の検討
- ③ 国内での水素製造を最適化させるための水素価格低減目標の設定と政策への落とし込み
 - ✓ 国内での水素生産目標設定
 - ✓ グリーン水素製造コスト低減のための電解槽や再エネ電源の資本コスト低減、立地の最適化等
 - ✓ ブルー水素製造コスト低減のための立地の最適化等
 - ✓ 国内輸送・貯蔵の最適化、コスト低減
 - ✓ 水素生産振興のための施策の検討

実証事業の支援については、当面のグリーン水素・アンモニアの需要先として石炭火力のアンモニア混焼での利用が考えられることから、燃料アンモニアサプライチェーン構築のための調査及び実証（輸送・貯蔵）が考えられる。2021年5月24日に経済産業省により発表された「アジア・エネルギー・トランジション・イニシアティブ（AETI）」のもと、上述のとおり IHI が PLN の 100%子会社である PT Pembangkitan Jawa-Bali（PJB）とアンモニアやバイオマス混焼技術の適用、将来的な専焼技術の適用およびそれらの経済性の検証を行なう MoU を締結しており、PJB 所有の Gresik(グレスック)火力発電所などの既設ボイラーを対象として、アンモニアなどのカーボンニュートラル燃料の混焼、将来的な専焼の実施を想定した各種技術検討等を行なう予定となっている。アンモニア 20%混焼の場合、100MW あたり年間 50 万トン⁷⁹⁷が必要とされており、低炭素な燃料アンモニアの確保、サプライチェーン構築が大きな課題の一つであると考えられる。対象の石炭火力発電への供給を目的とした輸送・貯蔵の実証事業が候補の一つとなり得るであろう。経済産業省等、国内関係機関との協議の上、検討する必要がある。

（４）モロッコ

既述の通り、モロッコは「Lower-middle income」、かつ、グリーン水素製造ポテンシャルが高

⁷⁹⁷ 日本政府による試算による。「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」
<https://www.meti.go.jp/press/2020/12/20201225012/20201225012.html>

く、産業部門の水素利用ポテンシャルが低いクラスに分類される。モロッコは化石燃料の輸入依存度が高いため、化石燃料への依存度を減らし、同時に輸入による経済的な負担も減らすための水素関連の実証事業にニーズがある。モロッコにおける水素関連動向についてのデスクトップ調査を基に 6 つの水素実証事業をショートリストとして MASEN に提示した。MASEN へのインタビューにより、「再生可能エネルギーによる水素製造」、「水素ステーション+燃料電池自動車・燃料電池バス・燃料電池トラック等」、「合成燃料：合成メタン」、「水素輸出キャリア：アンモニア、MCH、液化水素」の 4 つの提案へのニーズを確認した。このうち、海岸地域における水素ステーションの設置と燃料バスの導入に関する実証事業のニーズが特に高い。以下にデスクトップ調査とインタビューの結果を踏まえた分析を示す。

(a) モロッコの水素関連政策や企業、他国政府支援の動向

モロッコの主要産業は農業・水産業、鉱業、製造業、観光業である。産業別実質 GDP は、製造業が 13.72%、農業が 12.96%を占める。自動車関連品が最大の輸出品であり、完成車を欧州に輸出している。また、モロッコは少量（自給率 10%未満）の天然ガスを除いて化石エネルギー供給の大部分を輸入に依存している。天然ガスに関し、アルジェリアはモロッコ経由でスペインに天然ガスを輸出していたが、モロッコ区間のトランジット契約及びモロッコへのガスの販売契約が期限を迎え、新たな契約が成立しなかったことを理由に 2021 年 11 月に天然ガス輸出が停止されている。エネルギー安全保障の観点からも、化石燃料から水素へのエネルギー転換は重要であると考えられる。

■ 水素関連政策

2019 年に水素委員会を設立して以降、様々な水素関連政策が策定されている。

表 310 モロッコの水素関連政策

政策等	概要
グリーン水素ロードマップ	水素を国家経済における重要な成長分野に掲げ、グリーン水素の開発促進のための 8 つの行動計画を示している（2021.8）。2030 年までに 4TWh の国内水素市場と 10TWh の輸出市場を想定している。この需要を満たすためには 6GW の新しい再生可能エネルギー容量が必要となり、15,000 人以上の直接・間接雇用の創出が見込まれる。
グリーン水素国家戦略	グリーン水素、グリーンアンモニアを中心とした経済・産業分野を創出することを目標とした国家戦略（2021.8）。
EV ロードマップ（作成中）	EV 普及促進のための法整備、業界統合、自国産業へのインセンティブに取組みに関するロードマップを作成している。（2021.12）。Phase1 において EV や充電インフラの市場に関する調査を行い、Phase2 において国際基準に従った EV と充電イ

	ンフラに関するロードマップを作成する。Phase2 において、E バスの実証試験（水素燃料電池技術をベースに開発された EV 用充電器を設置した充電ステーションの利用）を行うことを計画している。
--	---

（出所：調査団作成）

■ モロッコ国内企業の水素関連動向

モロッコの国内企業が行っている水素製造と利活用に関する様々な取り組みを下表に示す。

表 311 モロッコ国内企業の水素関連事業等

企業名	概要
OCP Group	リン酸塩関連産業大手の OCP グループは、グリーン水素とアンモニアを製造するために UNIDO と協力関係を強化・拡大することに関心を示した（2022.6）。また、IRESEN とモハメド 6 世工科大学と共に、グリーン水素とその応用（PtX）分野における研究開発とイノベーションに向けた技術プラットフォーム「GREEN H2A」の立ち上げを目指す協力枠組み協定を締結した（2021.11）。
Nareva holdings	Nareva は風力発電の大手企業である。様々な再生可能エネルギーへの投資機会を狙っている。GREEN H2A の立ち上げに携わった（2021.11）。
Oxygène	医療用ガスの製造、販売を行う企業である。GREEN H2A の立ち上げに携わった（2021.11）。

（出所：調査団作成）

■ 他ドナー等による支援等

モロッコでは、下表に示す通り世銀をはじめとする他ドナーが支援を実施もしくは予定している。

表 312 モロッコにおける他ドナーの支援

他ドナー名	概要
世銀	2050 年までにネットゼロに近づけるというシナリオを用いたモデリングを行った。今後、グリーン水素を活用した場合のシナリオでも分析する予定である。
GIZ	ドイツ政府はモロッコとエネルギーパートナーシップを締結した（2012）。本パートナーシップの下、モロッコにおける PtX の適用範囲についての FS 調査が実施された。グリーン水素の製造・輸出を目標に協力関係を築いている。今後、グリーン水素の製造、輸出、地域開発、産業利用のための研究開発プロジェクトを行う予定である。
UNIDO	モロッコ政府と UNIDO は、産業分野の脱炭素化のためのグリーンファンドの動員と、産業分野でのグリーン水素利用促進に関する共同宣言に署名した（2022.5）。

AfDB	水素に関する協力機会について調査を実施している。
EBRD	EBRD と IRESEN はモロッコにおけるエネルギートランジションのための投資促進にかかる MoU を締結した。協力範囲にはグリーン水素も含まれる（2021.9）。

（出所：調査団作成）

■ 日本政府・日本企業の水素関連動向

モロッコにおいて日本企業が実施している水素関連事業を下表に示す。

表 313 モロッコにおける日本政府・日本企業の水素関連事業動向

企業名	概要
三井物産	METI の令和 3 年度「質の高いエネルギーインフラの海外展開に向けた事業実施可能性調査事業費補助金」事業で、モロッコの石炭火力発電所において段階的な混焼比率引き上げやグリーンアンモニア混焼を実施した。また、DX 活用によるインフラ運用維持管理の高度化等に係る事業化検討を行った（2021）。

■ 海外政府・海外企業の動き

モロッコにおける海外政府・海外企業による水素関連の協力状況を下表に示す。

表 314 モロッコにおける海外政府・海外企業の水素関連動向

企業名	概要
Total Eren	フランスの石油会社 Total Energies の子会社である独立系電力会社の Total Eren は、モロッコの水素およびグリーンアンモニアプロジェクトに 106 億ユーロを投資することを発表した（2022.2）。風力と太陽光でグリーン水素を製造する計画を立てている。
Fusion Fuel	アイルランドのグリーン水素技術に関わる企業。モロッコにおいてグリーン水素及びグリーンアンモニア製造プロジェクトを行うことを発表した（2021.7）。本プロジェクトは、モロッコで発表されたグリーン水素及びグリーンアンモニアプロジェクトとしては最大規模であり、総投資額は 75 億ディルハム（約 8.5 億万 USD）以上である。2026 年までに 183,000 トンのグリーンアンモニアを生産することを目標に掲げている。
Shell	Shell は、モハメド 6 世工科大学、OCP グループと共同でグリーンアンモニア製造に係る研究開発プロジェクトを実施するための契約を締結した（2022.3）。本プロジェクトでは、グリーン素を利用したアンモニアの大規模生産の実現可能性を検討する。
Air Liquide	2035 年までに低炭素水素バリューチェーンに 80 億ユーロの投資を行い、2030 年までに 3GW 容量の電解槽開発に投資することを表明しているフランスの工業用ガスメーカー。「GREEN H2A」の立ち上げに携わった(2021.11)。

オランダ政府	オランダ政府とモロッコ政府はロッテルダムで「World Hydrogen Summit & Exhibition 2022」を開催し、グリーン水素分野におけるモロッコとオランダの協力に関する会議を行い、グリーン水素に関するプロジェクトを実施することを確認した(2022.5)。モロッコとオランダのグリーン水素事業者間のパートナーシッププロジェクトが実施される見通しである。
ポルトガル政府	両国の経済関係者間でグリーン水素分野のパートナーシップを発展させることを目的とした協力宣言に署名した（2021.2）。

（出所：調査団作成）

■ モロッコにおける水素実証事業案

2022 年 7 月 21 日、モロッコにおける水素実証事業のニーズを調べるために MASEN の研究開発・産業融合担当ディレクター（Director of R&D and Industrial Integration）へインタビューを行った。インタビューにおいて、下表に示す 6 つの実証事業をショートリストとしてその事例を提示し、その関心度を確認した。

表 315 モロッコにおける水素実証事業の提案と想定されるカウンターパート

No.	実証事業	概要	想定される カウンターパート
①	再生可能エネルギーによる水素製造	太陽光や風力発電、また太陽光と風力のハイブリッド発電システム由来の電力でグリーン水素を製造し、その水素を国内水素利用施設、または水素輸出にサイトに供給する。	- Ministry of Energy Transition and Sustainable Development - MASEN
2	出力変動型再エネ電源の最大限利用	太陽光や風力など出力変動型再生可能エネルギーの電力の最大限利用、水素需要に応じた水素供給、系統調整力の提供を実現するためのシステム最適運用を実証の目的とする。システム構成は、福島浪江町における FH2R システムや山梨実証を参照し、出力変動型再生可能エネルギー発電とオンサイトの水電解装置のほか、エネルギー最適運用を管理するための制御システムも導入する。製造されたグリーン水素を周辺の水素需要施設に供給する。	- Ministry of Energy Transition and Sustainable Development - MASEN - ONEE

No.	実証事業	概要	想定される カウンターパート
3	国内水素輸送・貯蔵システム	水素製造地、需要地に応じて、高圧水素トレーラーによる国内水素輸送、液化水素トレーラーによる国内水素輸送、水素パイプラインのいずれかの方法で水素を輸送することを検討の上、実証。関連技術の実証のほか、安全基準や、関連規制作成への支援も視野に入る。	- Ministry of Energy Transition and Sustainable Development - MASEN - Ministry of Transport and Logistics
4	水素ステーション+燃料電池自動車・燃料電池バス・燃料電池トラック等	道路部門の水素利用ならびに関連インフラ整備を目的にし、水素ステーションの設置と運営、燃料電池自動車や、燃料電池バス、燃料電池トラックの走行実証等が予想される。また、技術実証のみならず、関連する安全基準や規制作成への支援も視野に入る。	- Ministry of Energy Transition and Sustainable Development - MASEN - Ministry of Transport and Logistics
5	合成燃料：合成メタン	火力発電所、産業部門、バイオマス発電、セメント工場等で回収されたCO ₂ と国内で製造されたグリーン水素で、合成メタン等の合成燃料を製造する実証である。合成メタンの都市ガスインフラへの混合、天然ガス自動車への供給も考えられる。	- Ministry of Energy Transition and Sustainable Development - MASEN - Ministry of Transport and Logistics
6	水素輸出キャリア：アンモニア、MCH、液化水素	アジア向け水素の輸出を目的にし、まずはFSを行う。モロッコからアジアまで距離があることから、経済性について留意する。FSで最適とされたキャリアの合成施設または液化施設、タンク、港における水素輸出用の関連施設の整備と実運転の実証が想定される。また、技術実証のみならず、関連する安全基準や規制作成への支援も視野に入る。	- Ministry of Energy Transition and Sustainable Development - MASEN - Ministry of Transport and Logistics

※MASEN が関心を示し、モロッコ国内のニーズも高いと考えられる実証事業の番号に○をつけた。赤色の○は、特にニーズが高いと考えられる実証事業である。

(出所：調査団作成)

「1. 再生可能エネルギーによる水素製造」は、関心があるとのことであったが、「出力変動型再生可能エネルギー電源の最大利用」は、導入の前提条件となるインフラや産業基盤の改善が必要であり、現在のモロッコのビジョンに合致するものでもないことから、ニーズと実施可能性は低かった。再生可能エネルギーを用いて水素を製造する場合、再生可能エネルギーや水電解装置の設置といったハード面と、人材、財源確保、長期的な販売契約締結のための施策や税制等のソフト面の整備が必要であるが、これらは未整備であることから、ハード面とソフト面両方の協力ニーズがあるが、この分野は表 314「モロッコにおける海外政府・海外企業の水素関連動向」に記載のとおり、既に欧州政府・企業が多く進出している分野である。

上表のうち、MASEN が最も関心を示したものは、「4.燃料電池バス」の導入である。公共交通機関に燃料電池バスを導入し、自国内で生産したグリーン水素を燃料として用いることで、公共交通機関の低炭素化と化石燃料への依存度の低減を実現できることから、モロッコ側の高い関心を得られた。モロッコ国内には水素ステーションが設置されていないため、実証事業を行う場合には水素ステーションを導入した既定路線内を往復する用途での導入が想定される。また、グリーン水素の原料となる水を海水の淡水化処理施設から調達する必要があることから、淡水化処理施設が設置されている Rabat や Agadir といった海岸地域が候補地として挙げられた。アフリカにおいて燃料電池バスを導入している国がまだないため、モロッコでの燃料電池バスの導入はアフリカ大陸初の実証事業となる。なお、水素ロードマップ上では、2025 年より前にパイロットプロジェクトを実施することが目指されている。

また、「5. 合成燃料」については、水素ロードマップにおいて、2035 年以降に欧州向けにパイプラインを通じて輸出されることが目指されているため、興味を示されたものの、合成燃料の原料である CO₂ の回収元を検討する必要があると、さらには重工業分野の関係機関との連携が必要となることから制度面での課題も生じうるとの懸念が示された。原料として利用可能な CO₂ の排出源はある程度把握されていることから、合成燃料の製造に関する実証事業を行う場合には、体制・制度面の構築を含めた協力が必要となる。現状では大量のメタノールを使用するために必要な法整備もされていないことから、すぐに合成メタノールに関するプロジェクトを実施することは困難である。水素燃料や運輸についての規則・基準が未整備であるため、これらの規則・基準整備のための技術協力のニーズも高い。しかしながら、欧州向け輸出品として考えられていることから、欧州政府等からの協力と競合する可能性は高い。

以上より、Rabat や Agadir といった海岸地域において、水素製造の実証とともに、水素の利用形態として燃料電池バス（水素ステーション設置を含む）の実証事業を行うことが提案として考えられる。日本においては、すでに東京都では 2020 年 12 月時点で 84 台の燃料電池バスを導入しているという実績があるため⁷⁹⁸、このような日本における燃料電池バスの運用の経験・知見を生

⁷⁹⁸ 「水素エネルギーの普及に向けた東京都の取組」

かせる分野でもある。

5.3.3 グリーン水素のガイドライン策定に向けた基礎調査

(1) 日本における水素供給・利用に関わる法規制

本項は、水素の製造、貯蔵、輸送、消費に関わる日本法規制の概要を調査する。主に高压ガス保安法による規制を中心に置き、その他関連する法規制を調査する。外国の法規制との比較を念頭においているため、原則のみを抽出し、条件、例外などは記載していないので、注意が必要である。

法令には、法律、政令、省令が含まれる。

なお、低炭素という観点から、再生可能エネルギー発電による水電解による水素製造に焦点が当てられると考えられるが、本調査では再生可能エネルギー発電に関わる法規制は調査の対象外とする。

1) サマリー

表 316 供給チェーンと関連法案

供給チェーン	関連法令（重要な規制と考えられるものを抽出）
製造・貯蔵	高压ガス保安法 対象：常温にて 1MPa 以上となる圧縮ガス（水素は該当） 主な規制：設置は許可が必要 外部による完成検査が必要 設備ごとに免状を保有する保安主任者を選任、配置 （＝1 つの工場に複数の資格者が必要） 外部による年 1 回の検査が必要 石油コンビナート法（特定地域のみ） 製造、貯蔵など用途別に設備を通路で区分 （＝必要以上に、広い面積が必要） 労働安全衛生法 通風、換気、除じんの対策が必要 大気汚染防止法（化石燃調改質による水素生産） ばい煙及び NOx の測定義務 騒音規制法及び振動規制法（主にコンプレッサーが対象） 設置の申請が必要
輸送	【車両（ローリー等）による輸送】 高压ガス保安法 タンクは貯蔵の規制を受ける 運転者は免状保有者

供給チェーン	関連法令（重要な規制と考えられるものを抽出）
	長時間の輸送は運転者 2 名 道路法 水底トンネルは通行禁止または制限 【パイプラインによる輸送】 高压ガス保安法 埋設の深さ規制 パイプは耐圧試験が必要 ガス事業法（敷地を跨ぐ場合） 免状を有するガス主任技術者の選任 （高压ガス保安法の資格とは互換性なし）
利用	【一般】 高压ガス保安法 ガスを購入して貯蔵する場合は貯蔵の規制を受ける 消費機器が高压ガスを使用する場合、届出が必要 学校や病院などと距離をとる必要 【水素ステーション】 高压ガス保安法 設備間の距離規制、散水設備、防火壁の設置、安全装置を備えた設備 有資格者の配置 【発電】 電気事業法（一定規模以上の発電能力） （燃料が高压ガスであっても、高压ガス保安法やガス事業法ではなく、主に電気事業法が適用される） 免状有する資格者の配置 安全のための様々な規制 消防法 水素キャリアである MCH を貯蔵する場合などに適用される

2) 関連法令の目的、規制対象範囲

(A) 高压ガス保安法

A) 法令の目的（第 1 条、抜粋）

高压ガスによる災害を防止するため、高压ガスの製造、貯蔵、販売、移動その他の取扱及び消費並びに容器の製造及び取扱を規制する。また、民間事業者などによる高压ガスの保安に関する自主的な活動を促進する。これにより公共の安全を確保する。

B) 規制対象範囲（第 2 条、抜粋）

高压ガス保安法が適用される高压ガスとは、常用の温度において圧力が 1Mpa 以上となる圧縮ガスであつて現にその圧力が 1Mpa 以上であるもの又は温 35℃において圧力が 1Mpa 以上となる

圧縮ガスをいう。

高圧ガス保安法は、高圧ガスの供給チェーン（製造、貯蔵、輸送、消費）全てに適用される。

水素の場合、1Mpa 以上の圧縮水素、液体水素に適用される。水素キャリアの場合、アンモニアは適用されるが MCH には適用されない。

(B) 石油コンビナート等災害防止法

A) 法令の目的（第 1 条、抜粋）

石油コンビナートは巨大工場群であり、高圧ガス、揮発性が高い物質、毒劇物などを扱っているため、災害が発生すると、甚大な被害となる。このため、災害の防止に関する基本的事項を定め、消防法、高圧ガス保安法、その他災害防止に関する法律との相乗効果により、石油コンビナートでの災害の発生、災害の拡大を防止するための様々な対策を促し、災害から国民の生命、身体及び財産を保護することを目的としている。

B) 規制対象範囲

水素を含む石油および高圧ガスなどが規制の対象になる。

石油コンビナート等災害防止法は、石油コンビナートでの石油、高圧ガスなどの製造、貯蔵、輸送（入出荷設備）、消費に適用される。

(C) 労働衛生安全法

A) 法令の目的（第 1 条、抜粋）

労働災害の防止のための危害防止基準の確立、責任体制の明確化及び自主的活動の促進の措置を講ずる等その防止に関する総合的計画的な対策を推進することにより、職場における労働者の安全と健康を確保するとともに、快適な職場環境の形成を促進することを目的とする。

B) 規制対象範囲（第 2 条、抜粋）

労働者の就業に関係する建設物、設備、原材料、ガス、蒸気、粉じん等が対象になる。

労働衛生安全法は、水素の製造、貯蔵、輸送に適用される。

(D) 大気汚染防止法

A) 法令の目的（第 1 条、抜粋）

大気汚染による被害者を保護することを目的とする。このため、

工場からのばい煙、揮発性有機化合物及び粉じんの排出等を規制

有害大気汚染物質対策の実施を推進

国民の健康を保護

生活環境を保全

大気汚染が原因で人の健康に係る被害が生じた場合における事業者の損害賠償の責任を定めている。

B) 規制対象範囲（第 2 条、抜粋）

規制されるのは、硫黄酸化物、ばいじん、揮発性有機化合物。

水素に関しては、化石燃料を水蒸気による改質を行って水素の生産する場合と水素の消費に適用される。

(E) 騒音規制法

A) 法令の目的（第 1 条、抜粋）

工場で発生する相当範囲にわたる騒音について必要な規制を行ない、生活環境を保全し、国民の健康の保護に資することを目的とする。

B) 規制対象範囲（第 2 条、抜粋）

工場に設置される施設のうち、著しい騒音を発生する施設が対象となる。水素の場合は、圧縮水素を生産、貯蔵するためのコンプレッサーが主な規制対象となる。

住居が集合している地域、病院又は学校の周辺の地域その他の騒音を防止することにより住民の生活環境を保全する必要があると認められる地域が対象になる。

(F) 振動規制法

A) 法令の目的（第 1 条、抜粋）

工場で発生する相当範囲にわたる振動について必要な規制を行い、生活環境を保全し、国民の健康の保護に資することを目的とする。

B) 規制対象範囲（第 2 条、抜粋）

工場又は事業場に設置される施設のうち、著しい振動を発生する施設が対象となる。水素の場合、圧縮水素を生産、貯蔵するためのコンプレッサーが主な規制対象となる。

住居が集合している地域、病院又は学校の周辺の地域その他の地域で振動を防止することにより住民の生活環境を保全する必要があると認められる地域が対象になる。

(G) 道路法

A) 法令の目的（第 1 条）

道路網の整備を図るため、道路に関して、路線の指定及び認定、管理、構造、保全、費用の負担区分等に関する事項を定め、もって交通の発達に寄与し、公共の福祉を増進することを目的とする。

B) 規制対象範囲（第 2 条、抜粋）

危険物の輸送が対象になる。水素の場合は、圧縮水素、液体水素の輸送が対象になる。

(H) 消防法

A) 法令の目的（第 1 条、抜粋）

火災を予防し、警戒し及び鎮圧し、国民の生命、身体及び財産を火災から保護するとともに、火災又は地震等の災害による被害を軽減するほか、災害等による傷病者の搬送を適切に行い、もって安寧秩序を保持し、社会公共の福祉の増進に資することが目的とする。

B) 規制対象範囲（第 2 条、抜粋）

液体燃料の製造、貯蔵、輸送、消費に適用される。

水素キャリアの MCH は消防法の適用対象となる。

(I) ガス事業法

A) 法令の目的（第 1 条、抜粋）

ガス事業の運営を調整し、ガス工作物の工事、維持及び運用を規制することによって、公共の安全を確保し、あわせて公害の防止を図ることを目的としている。

B) 規制対象範囲（第 2 条、抜粋）

本項における調査の範囲内では、水素の輸送（パイプライン）が対象となる。

なお、都市ガスに水素を混入させて供給する場合は、水素のサプライチェーン（生産、貯蔵、輸送、消費）全てが対象となるが、本調査では都市ガス事業は調査対象外とする。

(J) 電気事業法

A) 法令の目的（第 1 条、抜粋）

電気事業の運営を適正かつ合理的なものとし、電気工作物の工事、維持及び運用を規制することによって、公共の安全を確保し、及び環境の保全を図ることを目的とする。

B) 規制対象範囲（第 2 条、抜粋）

本稿における調査の範囲内では、水素の消費（発電）が対象となる。

水素需要ポテンシャルを高めるためには、水素火力が有効なものとなる。しかし、火力発電は複数年にわたる国家プロジェクトのようなものであり、規制等が膨大で多岐にわたるため、外国との法規制比較という本調査では、対象外とする。

3) 水素と関連する条文部分（抜粋）および具体的な水素に対する規制内容

(A) 水素の製造、貯蔵など

本項では、水素の製造、貯蔵に関する高圧ガス保安法の規制の概要を整理する。貯蔵に関する規制は、輸送や利用にも適用されることがある。水素利用の 1 つである FCV に水素を供給する水素ステーションの規制の概要は別項でまとめて整理してある。

A) 高圧ガス保安法

(a) 高圧ガスの定義（一般高圧ガス保安規則第 2 条第 1 項）

一般高圧ガス保安規則第 2 条第 1 項に記載されている可燃性ガスの中に、水素およびアンモニア（以下、水素とする）が含まれているため、水素は高圧ガス保安法の規制の対象になる。

高圧ガス保安法第 2 条では、高圧ガスとは「常温にて 1MPa 以上となる圧縮ガス」と定義している。外国では、規制の対象となる圧力が異なる可能性がある。高圧ガス関連設備を製造する日本の会社が、日本規制に合わせた設備を外国で展開する場合には、当該国の規制に合致しない可能性がある。

(b) 製造数量による許可と届出の違い（高圧ガス保安法第 5 条）

- a) 水素製造の 1 日の処理能力(0°C、0Pa に換算した 1 日に処理できるガスの容量) が、100m³ 以上の場合、第一種製造者となり、都道府県知事許可を受ける必要がある。製造施設設置の工

事を完成したときは、都道府県知事が行う完成検査を受け、技術上の基準⁷⁹⁹に適合していると認められた後でなければ、使用してはならない。

- b) 水素製造の1日の処理能力(0℃、0Paに換算した1日に処理できるガスの容量)が、100m³未満の場合、第二種製造者となり、都道府県知事に届出を行う必要がある。

(c) 貯蔵数量による許可と届出の違い（高压ガス保安法第15条）

- a) 水素貯蔵設備の1日の処理能力(0℃、0Paに換算した1日に処理できるガスの容量)が、1,000m³以上の場合、第一種貯蔵所となり、都道府県知事許可を受ける必要がある。貯蔵施設設置の工事を完成したときは、都道府県知事が行う完成検査を受け、技術上の基準に適合していると認められた後でなければ、使用してはならない。
- b) 水素貯蔵設備の1日の処理能力(0℃、0Paに換算した1日に処理できるガスの容量)が、300Nm³～1,000m³未満の場合、第二種貯蔵所となり、都道府県知事に届け出を行う必要がある。
- c) 水素貯蔵設備の1日の処理能力(0℃、0Paに換算した1日に処理できるガスの容量)が、300Nm³未満の場合、許可及び届出は不要である。

(d) 輸入（高压ガス保安法第22条）

高压ガスの輸入をした場合、輸入をした高压ガス及びその容器につき、都道府県知事が行う輸入検査を受け、これらが経済産業省令で定める技術上の基準に適合していると認められた後でなければ、移動してはならない。ただし、船舶から導管により陸揚げして高压ガスの輸入をする場合はこの限りでない。

(e) 保安

a) 危害予防規程（高压ガス保安法第26条）

第一種製造者は、経済産業省令で定める事項について記載した危害予防規程を定め、都道府県知事に届け出なければならない。

b) 保安教育（高压ガス保安法第27条）

第一種製造者は保安教育計画を定め、忠実に実行する必要がある。第二種製造者、第一種貯蔵所は従業者に保安教育を行う必要がある。

c) 保安主任者（高压ガス保安法第27条の2）

第一種製造者は、施設の区分ごとに、製造保安責任者免状を有する高压ガス製造保安主任者を選任しなければならない。

d) 保安検査（高压ガス保安法第35条）

第一種製造者は、高压ガスの爆発その他災害が発生するおそれがある製造のための施設について、1年に1回、都道府県知事が行う保安検査を受けなければならない。第二種製造者は、1年に1回、定期自主検査を行う必要がある。

⁷⁹⁹ 一般高压ガス保安規則（通商産業省令）に定められている。

(f) 換気対策（一般高圧ガス保安規則第 6 条 1 項第 9 号）

一般高圧ガス保安規則第 6 条 1 項第 9 号では、水素の製造設備、貯蔵容器、消費設備を設置する室において、水素が漏えいした場合に滞留しないような構造としなければならない。

水素ガスの場合、水素の性質、処理又は貯蔵するガスの量、設備の特性及び室の広さ等を考慮して十分な面積をもった 2 方向以上の開口部又は換気装置若しくはこれらの併設によって通風を良好にした構造にしなければならない。

(g) 充填容器（高圧ガス保安法第 44 条）

容器の製造又は輸入をした者は、容器検査を受け、これに合格した標章の掲示がされているものでなければ、当該容器を譲渡し、又は引き渡してはならない。

一般高圧ガス保安規則第 6 条第 2 項第 8 号は、貯蔵容器の保管方法に関する基準を次のように定めている（抜粋）。

- 容器置場の周囲 2m 以内においては、火気の使用を禁じ、かつ、引火性又は発火性の物を置かないこと。ただし、容器と火気又は引火性若しくは発火性の物の間を有効に遮る措置を講じた場合は、この限りでない。
- 圧縮水素運送自動車用容器は、常に温度 65 度以下に保つこと

(B) 石油コンビナート法

石油コンビナート等特別防災区域における新設事業所等の施設地区の配置等に関する省令第 3 条では、製造施設地区、貯蔵施設地区、入出荷施設地区、用役施設地区、事務管理施設 地区又はその他施設地区を区分するように規定されている。

石油コンビナート等特別防災区域における新設事業所等の施設地区の配置等に関する省令第 11 条では、製造施設地区及び貯蔵施設地区の面積に応じて特定通路を挟むよう規定している。

表 317 特定通路の幅員

地区の区分	特定通路の幅員
1. 製造施設地区	
a. 面積が 2 万 m ² 未満のもの	6m
b. 面積が 2 万 m ² 以上 4 万 m ² 未満のもの	8m
c. 面積が 4 万 m ² 以上 6 万 m ² 未満のもの	10m
d. 面積が 6 万 m ² 以上のもの	12m
2. 貯蔵施設地区	
a. 面積が 1 万 m ² 未満のもの	6m
b. 面積が 1 万 m ² 以上 2 万 m ² 未満のもの	8m
c. 面積が 2 万 m ² 以上 4 万 m ² 未満のもの	10m
d. 面積が 4 万 m ² 以上のもの	12m
3. 入出荷施設地区、用役施設地区又は事務管理施設地区	6m

出所：石油コンビナート等特別防災区域における新設事業所等の施設地区の配置等に関する省令

(C) 労働安全衛生法（労働安全衛生規則第 261 条）

労働安全衛生規則第 261 条の定めは、水素ガスの取扱いに適用される。

「事業者は、引火性の物の蒸気、可燃性ガス又は可燃性の粉じんが存在して爆発又は火災が生ずるおそれのある場所については、当該蒸気、ガス又は粉じんによる爆発又は火災を防止するため、通風、換気、除じん等の措置を講じなければならない。（通風等が不十分な場所におけるガス溶接等の作業）」

(D) 大気汚染防止法（大気汚染防止法施行規則第 15 条）

化石燃料を改質して水素を製造する場合、改質器はガス発生炉とみなされるため、大気汚染防止法が適用される。施行規則第 9 条により、所管自治体への届出、及び同規則第 15 条では定期的に、ばい煙及び NOx の測定が義務付けられている。

表 318 ばい煙量及びばい煙濃度の測定頻度（一部省略）

設備条件	測定頻度
a. 水蒸気改質方式の改質器であって、温度 0℃および圧力 1 気圧の下における水素の製造能力が 1,000m ³ 未満の施設（気体状の燃料および原料のみを使用するものに限る。）および燃料電池用改質器	5 年に 1 回以上
b. 排出口から大気中に排出される排出ガス量が 40,000m ³ 未満のばい煙発生施設（a.を覗く）	原則として年 2 回以上
c. b.以外	2 カ月を超えない作業期間ごとに 1 回以上

出所：大気汚染防止法施行規則第 15 条

表 319 窒素酸化物に係るばい煙濃度の測定

設備条件	測定頻度
a. 水蒸気改質方式の改質器であって、温度 0℃および圧力 1 気圧の下における水素の製造能力が 1,000m ³ 未満の施設（気体状の燃料および原料のみを使用するものに限る。）および燃料電池用改質器	5 年に 1 回以上
b. 排出口から大気中に排出される排出ガス量が 40,000m ³ 未満のばい煙発生施設（a.を覗く）	原則として年 2 回以上
c. b.以外	2 カ月を超えない作業期間ごとに 1 回以上

出所：大気汚染防止法施行規則第 15 条

(E) 騒音規制法第 3 条及び振動規制法第 3 条

騒音規制法及び振動規制法では、工場又は事業場に設置される施設のうち、著しい騒音・振動を発生する施設として特定施設が定められている。水素サプライチェーン事業では、原動機の定格出力が 7.5kW 以上の空気圧縮機及び送風機が特定施設として該当する可能性があるため、該当設備を導入している場合、発生する騒音値の如何に係わらず、所管自治体に申請が必要となる。ただし、自治体毎に、騒音の規制値が異なる。

2) 水素の輸送

(A) 車両に固定した容器による移動

(一般高圧ガス保安規則第 49 条から抜粋)

- 圧縮水素運送自動車用容器は 15 年を経過したものを使用してはいけない。
- 容積 300m³ 以上の圧縮ガス、質量 3,000kg 以上の液化ガスを輸送する場合は、責任者免状を有するものが輸送を監視しなければならない。
- 連続運転時間が 4 時間を超える場合または 1 日の運転直が 9 時間を超える場合は、運転手 2 名を充てる必要がある。
- 圧縮水素運送自動車用容器は、常に温度 65 度以下に保つ必要がある。

(道路法道路法第 46 条第 3 項)

水底トンネル等にて爆発性または昇燃性等を有する危険物を積載する車両の通行を禁止または制限している。

(B) パイプライン輸送

(一般高圧ガス保安規則第 6 条から抜粋)

- 地盤面から 60cm 以上下にパイプラインを埋設しなければならない。
- パイプラインは、液体を使用する場合は 1.5 気圧以上、空気・窒素等を使用する場合は 1.25 気圧の耐圧試験に合格する必要がある。

(ガス事業法施行規則第 168 条)

構外からパイプラインで水素を供給する場合、ガス事業法が適用される。500m を超えるパイプラインを構外に設置する場合は、ガス主任技術者免状を有するガス主任技術者を選任しなければならない。

3) 水素の利用

(A) 特定高圧ガス（高圧ガス保安法第 24 条の 2、高圧ガス保安法施行令第 7 条第 2 項）

特定高圧ガスを消費する場合は、消費開始 20 日前までに都道府県知事に届け出る必要がある（高圧ガス保安法第 24 条の 2）。高圧ガス保安法施行令第 7 条第 2 項で、圧縮水素 300m³ 以上、液化アンモニア 3,000kg 以上を貯蔵して消費する場合は該当する。工場などで水素をボイラー燃料などに利用する場合が該当するであろう。

消費施設の貯蔵設備から、学校や病院などの第一種保安物件に対し第一種設備距離以上、住居などの第二種保安物件に対し第二種設備距離以上の距離（設備距離）を有する必要がある。設備距離は貯蔵容量に応じて計算される。

消費施設の貯蔵設備から火気間では 8m 以上の距離が必要である。

消費施設の貯蔵設備は、液体の場合は 1.5 気圧、空気、窒素等の場合は 1.25 気圧以上の耐圧試験に合格する必要がある。

(B) 水素ステーション

下表に、水素ステーションを対象にした一般高圧ガス保安規則高圧ガス保安の規制の中で、主に数値の基準が示されているもの、および安全対策に関する主な基準をまとめた。

表 320 水素ステーションにおける高圧ガス保安法の規制

項目	規制基準	条項
離隔距離	公道の境界面とディスペンサー本体の外面との距離: 8m 以上 火気と高圧ガス設備との距離: 8m 以上 敷地境界面と高圧ガス設備との距離: 8m 以上（ただし、障壁による緩和策を採れば、この限りでない）	第 7 条の 3 の 2 第 7 条の 3 の 10 第 7 条の 3 の 2
散水	可燃性ガスの貯槽などには、自動的に温度の上昇を防止する装置の設置	第 6 条の 32
資格者	一般的な水素ステーションの場合、1 名以上の保安監督者の配置 水素出荷設備を併設した水素ステーションの場合、保安統括者、保安技術管理者（免状保有者）、保安係員の計最低 3 名以上の配置	第 63 条の 2 第 65 条
障壁・防火壁	圧縮機及び蓄圧器とディスペンサーとの間にあつさ 2cm 以上の障壁を、また高圧ガス設備と敷地境界に防火壁を設置する。	第 7 条の 3 の 16
安全対策	漏えいを検知・警報し、自動停止するための設備の設置 ディスペンサーの周囲に火災を検知・警報し、運転を自動停止するとともに温度の上昇を防止する設備の設置	第 7 条の 3 の 10 第 7 条の 3 の 18

出所：一般高圧ガス保安規則

(C) 発電機（小型、電気事業法）

発電機は電気事業法の規制が適用される。電気事業法第 38 条、電気事業法施行規則第 48 条第 1 項及び第 2 項により、下表に示す小出力発電設備は保安規程の届出や主任技術者の選任が不要であるため、一般家庭でも容易に設置できる。電圧は 600V 以下であることが必要である。

表 321 小出力発電設備の基準

発電設備	小出力発電設備
1. 太陽電池発電	50kW 未満
2. 浮力発電設備	20kW 未満
3. 水力（1m ³ /s 未満でダムを伴わない）	20kW 未満
4. 内燃力火力	10kW 未満
5. 燃料電池	10kW 未満
6. スターリングエンジン	10 kW 未満

注：同一の構内で 1.から 6.の小出力発電設備の出力合計が 50kW 以上となった場合は、小出力発電設備ではない。

出所：電気事業法、電気事業法施行規則

5.3.4 各国におけるガイドラインの整備状況の整理

インド、モロッコ、タイ、インドネシアにおける水素関連規制について、水素の生産段階、保管・流通段階、使用段階のカテゴリーに分類し、規制の内容につき整理した。なお、規制名称については正確性を担保するため英文名称のままとしている。

表 322 インドにおける水素に関連する規制

#	規制名称	カテゴリー	規制の内容
1	Electricity Act, 2003 (In Force from June 10, 2003, Electricity (Amendment) Bill, 2014(As introduced in Lok Sabha on 19.12.2014), Corrigendum	生産	発電、送電、配電、取引、および電気の使用に関する法律を統合し、一般に電力産業の発展に資する措置を講じ、競争を促進し、消費者の利益を保護し、すべての地域に電気を供給し、電気料金の合理化、透明な政策の確保、補助金について、効率的で環境に優しい政策の推進、中央電力庁の設立、規制委員会および上訴裁判所の設置、およびそれに関連する事項を目的とした法律である。
2	Energy Conservation Act	生産	2001 年エネルギー保全法は、エネルギーの効率的な利用とその保全、およびそれらに関連する事項を規定するために制定された。この法律は、エネルギー効率局（BEE）の設立と編入を規定している。
3	The Electricity Regulatory Commissions Act, 1998	生産	中央電力規制委員会および州電力規制委員会の設立、電力料金の合理化、補助金に関する透明性のある政策、効率的で環境に配慮した政策の推進、およびそれらに関連または付随する事項を規定する法律。

#	規制名称	カテゴリー	規制の内容
4	THE Electricity (Supply) Act, 1948	生産	電気の生産と供給の合理化を規定し、一般に電気の発展に寄与する措置を講ずるための法律である。
5	MINES AND MINERALS (DEVELOPMENT AND REGULATION) ACT, 1957	生産	鉱山・鉱物分野は、1957年に制定された鉱山・鉱物法によって管理されている。この法律では、以下のことが規定されている。 国内における鉱業権の管理、なぜ租借権が与えられるのかその目的と鉱山が競売にかけられる地域に住む人々の福利を確保する方法についてである。
6	Electricity (Rights of Consumers) Rules, 2020	生産	この規則は、配電許可業者の義務、メーターの手配、新規接続の許可、既存接続の変更、苦情処理と補償の仕組みなど、国内の消費者への電力供給に関する様々な側面を対象としている。
7	Reduction in Contract Performance Guarantee (CPG) for Tariff Based Competitive Bidding (TBCB) transmission projects in line with Department of Expenditure's OM dated 30.12.2021	生産	州間送電サービス(ISTS)設立のため、料金ベースの競争入札により送電サービスプロバイダーを選定するための標準入札書類(RFP および TSA)の規定等を定めている。
8	Notification for Electricity (Transmission System Planning, Development and Recovery of Inter-State Transmission Charges) Rules, 2021	生産	この規則は、配電会社や ISTS の消費者が電力を売買するための接続性や州間送電料金の回収に関する規則とともに、中央電力庁などの機関が中央・州送電事業者、系統運用者、発電・配電会社などの関係者と協議して電力システムの開発や特定の送電プロジェクトの特定に関する短期・展望計画を含む計画と承認の側面を対象としている。

#	規制名称	カテゴリー	規制の内容
9	Establishment of Renewable Energy Management Centre (REMC) at Telangana and Energy Management Centre (EMC) at South Andaman	生産	再生可能エネルギー管理センター(REMC)の設立を伝える大統領令である。
10	Constitution of five Regional Power Committees Transmission Planning RPCTPs	生産	5つの地域電力委員会（東部、西部、北部、南部、北東部）の設立に関して定めている。
11	Central Electricity Regulatory Commission (Connectivity and General Network Access to the inter-State Transmission System) Regulations, 2022.	生産	一般規定、接続性（資格、助成金の申請等）、一般ネットワークアクセス（資格、みなし助成金、ノードルエージェンシーの役割等）、接続性の放棄、GNA および T-GNA における伝送コリドーの割り当て等を通じて、免許人または発電会社、消費者に無差別のオープンアクセスを促すための ISTS および一般ネットワークアクセスに関する規定を制定している。
12	Central Electricity Regulatory Commission (Terms and Conditions for Renewable Energy Certificates for Renewable Energy Generation) Regulations, 2022	生産	中央機関としての国家負荷分散センターの役割、証書発行の資格、認定の付与、認定・登録の取り消し、証書の交換・償還、証書の額面などを網羅した、再生可能エネルギー発電のための再生可能エネルギー証書の条件を説明する中央規制電力委員会による規則である。
13	Central Electricity Regulatory Commission (Payment of Fees) (Third Amendment)	生産	中央電力規制委員会による料金支払いに関する規則 ライセンス許諾者のための様々な主要規則の改正と支払い方法について定めている。

#	規制名称	カテゴリー	規制の内容
	Regulations, 2022		
14	Detailed Procedure on "Methodology of Payment of Certificate Retainer-ship" under Regulation 33 of the Central Electricity Regulatory Commission (Fees and Charges of Regional Load Despatch Centre and other related matters) Regulations, 2019	生産	NLDC から提出された「2022 年 3 月 15 日付証明書引受船の支払方法に関する詳細手順」（管理期間 2019.04.1～2024.03.31）の審査・承認を通知する命令である。
15	Central Electricity Regulatory Commission (Deviation Settlement Mechanism and Related Matters) Regulations, 2022	生産	送電網の安全性と安定性のために、送電網の利用者が電力の取出しと注入のスケジュールを逸脱せず、遵守することを商業的メカニズムによって確保しようとする規制の詳細を通知するものである。
16	Central Electricity Regulatory Commission (Ancillary Services) Regulations, 2022	生産	中央電力委員会の規制であり、送電網の混雑を緩和し、電力系統の円滑な運用と安全・安心を確保するため、系統周波数を 50Hz に近づけ、グリッドコードで定められた許容範囲内に戻すための付帯サービスの調達、地域・国レベルでの展開、市場ベースのメカニズムによる支払いの仕組みを提供することを目指すものである。
17	Central Electricity Regulatory Commission (Terms and Conditions of Tariff) (Second Amendment) Regulations, 2021	生産	各種主要規則の変更に伴う条件付料金規則の改正を説明する通知である。

#	規制名称	カテゴリー	規制の内容
18	Central Electricity Regulatory Commission (Power Market) Regulations, 2021	生産	電力取引所、電力取引所以外の市場参加者、店頭市場に適用される電力市場に関する規則で、電力取引所や店頭市場における様々な契約の特徴、電力取引所への登録、市場の結合などが含まれる。
19	Central Electricity Regulatory Commission (Terms and Conditions for Tariff determination from Renewable Energy Sources) Regulations, 2020	生産	再生可能エネルギー源を利用した系統連系設備またはそのユニットの料金について、制御期間中に運転開始し、委員会が決定する場合に適用される再生可能エネルギー源からの料金決定の条件に関する規則である。
20	Central Electricity Regulatory Commission (Sharing of Inter-State Transmission Charges and Losses) Regulations, 2020	生産	すべての指定 ISTS 顧客、州間送電許可、国家負荷分配センター (NLDC)、地域負荷分配センター (RLDC)、州負荷分配センター (SLDC)、地域電力委員会に適用される州間送電料金および損失の共有に関する規則で、ISTS 料金、会計、請求、料金徴収の構成要素と共有などを規定するものである。
21	Central Electricity Regulatory Commission (Procedure, Terms and Conditions for grant of trading license and other related matters) (First Amendment) Regulations, 2020	生産	貿易許可に関する手続き、条件、その他の関連事項を記載した通達。取引許可に関する手続きや条件、その他の関連事項、資格や許可手続き、取引証拠金、許可条件、違反や罰則、許可の取り消しなどに関する規則を記載した通知である。
22	Central Electricity Regulatory Commission (Sharing of Revenue Derived from Utilization of Transmission Assets for Other Business) Regulations, 2020	生産	送電資産を他の事業に利用することで得られる収益の分配を説明する規則で、法第 62 条に基づき委員会が送電料金を決定する州間送電許可業者に適用されるものである。送電料金は法第 62 条に基づき委員会が決定する。

#	規制名称	カテゴリー	規制の内容
23	Indian Electricity Grid Code Regulations, 2010 (Sixth Amendment)	生産	主規則第 6 部の改正を説明するインド電力網コードの規則に関する通知である。
24	Open Access in Interstate Transmission Regulations, 2008 (Sixth Amendment)	生産	主規則第 6 部の改正を説明するインド電力網コードの規則に関する通知である。
25	Central Electricity Regulatory Commission (Cross Border Trade of Electricity) Regulations, 2019	生産	インドおよび近隣諸国において電力取引に従事する参加団体に適用される、国境を越えた電力取引に関する規制を列挙した通知。制度的枠組み、料金決定、送電計画、接続アクセス、システム運用、料金支払い、支払いセキュリティ機構を含む。
26	Central Electricity Regulatory Commission (Grant of Connectivity, Long-term Access and Medium-term Open Access in inter-State Transmission and related matters) (Seventh Amendment) Regulations, 2019	生産	主規則の規則 2、5、8、9、15、21、27 を改正し、州間送電の接続性、長期アクセス、中期オープンアクセスの付与と関連事項に関する規則である。
27	Central Electricity Regulatory Commission (Open Access in inter-State Transmission) (Fifth Amendment) Regulations, 2018	生産	州間送電のオープンアクセスに関する主要規則の改正を含む規則である。

#	規制名称	カテゴリー	規制の内容
28	Central Electricity Regulatory Commission (Planning, Coordination and Development of Economic and Efficient Inter-State Transmission System by Central Transmission Utility and other related matters) Regulations, 2018	生産	この規則は、電力の円滑な流れのための効率的な州間送電システムの計画と開発のための原則、手順、プロセス、計画プロセスにおける利害関係者の幅広い参加、プロセスの透明性のための特定の手順、上記の目的を満たすための様々な組織の役割と責任の明確化について定めている。
29	Central Electricity Regulatory Commission (Communication System for inter-State transmission of electricity) Regulations, 2017	生産	この規則では、あらゆる通信要件に対応した信頼性の高い通信システムの計画、導入、運用、保守、全国送電網の統合運用のためのデータ交換を含むアップグレードについて規定している。
30	The Central Electricity Regulatory Commission (Terms and Conditions for Dealing in Energy Savings Certificates) Regulations, 2016	生産	電力市場規則の規定に従って委員会が承認した ESCert の契約を含む、電力取引所で取引される ESCert に適用される枠組みを定めている。
31	Central Electricity Regulatory Commission (Ancillary Services Operations) Regulations, 2015	生産	この規制は、周波数を望ましいレベルに回復させ、送電網の混雑を緩和することを目的としており、州間送電システムにおける短期オープンアクセス、中期オープンアクセス、長期オープンアクセスを通じて促進される取引に関与する地域事業者に適用される。

#	規制名称	カテゴリー	規制の内容
32	Central Electricity Regulatory Commission (Grant of Regulatory Approval for execution of Inter-State Transmission Scheme to Central Transmission Utility) (First Amendment) Regulations, 2015	生産	州間送電の実施に対する規制当局の承認に関する規則である。
33	The Central Electricity Regulatory Commission (Standards of Performance of inter-State transmission licensees) Regulations, 2012	生産	州間送電許可者による性能基準の遵守を保証し、効率的、信頼性、調整、経済的な送電システムを提供するための州間許可者に対する規制であり、これを遵守しない場合は影響を受ける当事者に補償が与えられる。
34	Central Electricity Regulatory Commission (Unscheduled Interchange charges and related matters) (Second Amendment) Regulations, 2012	生産	インターチェンジチャージに関する各種主要規定の改正に伴う、予定外のインターチェンジチャージに関する規定および関連事項の通知である。
35	Guidelines for Tariff Based Competitive Bidding Process for Procurement of Power from Grid Connected Solar PV Power Projects	生産	5MW 以上の系統連系型太陽光発電プロジェクト（以下、「プロジェクト」）から、「調達者」（配電事業者、認定代理人、仲介調達者）が競争入札によって長期的に電力を調達する場合に適用される。
36	Electricity (Promoting Renewable	生産	新ルールによれば、「いかなる事業者（義務者であるか否かを問わず）も、再生可能エネルギー源から直接発電するか、いかなる事業者からもオ

#	規制名称	カテゴリー	規制の内容
	Energy Through Green Energy Open Access) Rules, 2022		オープンアクセスで再生可能エネルギーを調達するか、再生可能エネルギー証書を購入するか、グリーン水素を購入するかによって、自らの要求に応じて再生可能エネルギーを購入し消費することができる」とされている。これにより、どのような企業もグリーン水素の購入を通じて、RPO の義務を果たすことができる。
37	Explosives Act, 1884	保管・流通	火薬類の製造、所持、使用、販売、輸送、輸出入を規制する法律である。
38	Petroleum Act, 1934	保管・流通	1934 年石油法は、石油の輸入、輸送、貯蔵、生産、精製および混合に関する法律を統合し改正する法律である。石油は、液体炭化水素または炭化水素の混合物、および炭化水素を含む引火性混合物（液体、粘性、固体）であり、天然ガスおよび精製ガスも含まれる。
39	Inflammable Substances Act, 1992	保管・流通	特定の引火性物質の輸入、貯蔵、輸送および製造を規制するための法律である。
40	Liquefied Petroleum Gas (Regulation of Supply and Distribution) Order 2000	保管・流通	インドにおける LPG の貯蔵と輸送に関するガイドラインを提供するものである。
41	Petroleum and Natural Gas Regulatory Board (Technical Standards and Specifications including Safety Standards for LPG Storage, Handling and Bottling Facilities) Regulations, 2019	保管・流通	本規定は、LPG 貯蔵・処理・ボトリング施設のレイアウト、設計、貯蔵、LPG タンク車、パイプライン、バルク処理、作業手順、ボトリング作業、メンテナンス、検査、安全管理システム、防火設備、能力保証、緊急管理計画、ガス監視システムにおけるエンジニアリングと安全配慮に関する最低限の要件を網羅している。 製油所、ガス処理工場、LPG パイプラインを含む、既存および新規のすべての LPG 貯蔵、取扱、ボトリング施設に適用される。製油所、ガス処理プラント、LPG パイプラインのプロセスユニットは本規定に含まれない。

#	規制名称	カテゴリー	規制の内容
42	Petroleum and Natural Gas Regulatory Board (Technical Standards and Specifications including Safety Standards for Petroleum and Petroleum Products Pipelines) Regulations, 2016	保管・流通	本規則の要件は、すべての既存および新規の石油および石油製品パイプラインに適用されるものとする。本規則は、石油及び石油製品パイプラインの設計、材料及び機器、配管システムの構成要素及び製作、設置、試験、腐食管理、運転及び保守並びに安全性を対象とする。パイプラインには、特定の消費者向けの専用パイプラインを含むが、オフショア原油パイプライン、陸上坑井の流量、フィーダーおよびコレクターパイプラインは除外される。
43	Gas Cylinder Rules 2016	保管・流通	この規則では、シリンダーの充填、所持、輸入および輸送に関する一般規定、シリンダーへの表示の仕様、安全および取り扱いに関する一般規定、シリンダーの輸入許可取得に関する規定、シリンダーの審査および試験について規定している。
44	Petroleum and Natural Gas Regulatory Board (Determination of Transportation Rate for CGD and Transportation Rate for CNG) Regulations, 2020	保管・流通	CGD の輸送料金および CNG の輸送料金の決定に関するガイドラインである。
45	Petroleum and Natural Gas Regulatory Board (Authorizing Entities to Lay, Build, Operate or Expand City or Local Natural Gas Distribution Networks) Regulations, 2008 (as amended)	保管・流通	本規則は、CGD ネットワークを敷設、構築、運用、拡張している、または敷設、構築、運用、拡張を提案している事業者に適用される。CGD ネットワークは、天然ガスの供給量を維持するための安全基準を含む技術基準および仕様に関する関連規則で規定される圧力で動作するように設計されなければならない。

#	規制名称	カテゴリー	規制の内容
46	Petroleum and Natural Gas Regulatory Board (Access Code for Common Carrier or Contract Carrier Petroleum and Petroleum Products Pipelines) Regulations, 2016 (as amended)	保管・流通	この規則は、石油及び石油製品パイプラインの輸送サービスに従事する、または従事しようとする、石油及び石油製品パイプラインの運営または運営を提案するすべての事業者及び荷主に適用される。
47	Petroleum and Natural Gas Regulatory Board (Technical Standards and Specifications including Safety Standards for Petroleum and Petroleum Products Pipelines) Regulations, 2016	保管・流通	この規則は、石油及び石油製品パイプラインの輸送サービスに従事する、または従事しようとする、石油及び石油製品パイプラインの運営または運営を提案するすべての事業者及び荷主に適用される。
48	Petroleum and Natural Gas Regulatory Board (Technical Standards and Specifications including Safety Standards for Liquefied Natural Gas Facilities) Regulations, 2018	保管・流通	これらの規則は、LNG 施設の荷役、貯蔵、再ガス化、移送、荷役、タンクローリー積載施設に関する工場境界内のレイアウトの最低要件を定めている。これらの規則は、プロセスシステム、貯蔵タンク、再ガス化施設、船舶の岸壁インターロック、船舶の停泊条件、栈橋や港を含む受け入れ施設の設計と運用面での安全性を網羅している。
49	Explosive Rules 2008	保管・流通	火薬類の製造、保有、使用、販売、輸送、輸出入を規制する「火薬類法」に沿った規則である。
50	SMPV Rules,2016	保管・流通	圧力容器（継手、気化器を含む）の充填、製造、輸入の制限と、圧力車両の構造および装着に関するガイドラインである。

#	規制名称	カテゴリー	規制の内容
51	Petroleum Rules, 2012	保管・流通	インド国内での石油製品の配送・発送に必要な承認・制限を規定したものである。
52	Central Motor Vehicles Act, 1988	使用	運転手／車掌の免許、自動車の登録、許可証による自動車の管理、国営交通事業に関する特別規定、交通規制、保険、責任、犯罪、罰則などに関する法規定を詳細に規定している。
53	Petroleum and Natural Gas Regulatory Board (Technical Standards and Specifications including Safety Standards for [dispensing of Automotive Fuels]) Regulations, 2018	使用	既存および新規の小売店における定義、レイアウト、設計、作業手順、メンテナンス、検査、安全装置、能力保証、緊急管理計画、顧客の安全および意識に関することを定めている。
54	Liquefied Petroleum Gas (Regulation of Use in Motor Vehicles) Order 2001	使用	この規制は、オート LPG の不正販売の制限、オート LPG の調達・保管・販売に関するガイドライン、並行輸入業者の評価・認証格付けなどを含んでいる。
55	Technical Standards and Specifications including Safety Standards for Dispensing of Compressed Natural Gas (CNG) from Mobile Refueling Unit Regulations, 2021	使用	この規則では、移動式燃料補給装置から圧縮天然ガス（CNG）を供給する際の安全基準を含む技術基準や仕様について言及しており、それらは、場所の選定、設備、運転と保守、配管と制御システム、緊急計画と手順、防火設備、能力評価と訓練、電力供給、安全検査/監査、典型的レイアウトと安全距離に関するものである。
56	The Central Motor Vehicles (Tenth Amendment) Rules, 1989	使用	1989 年の中央自動車法（Central Motor Vehicles Act, 1989）を改正した。以下を定めている。 1. CNG/Bio-CNG/H-CNG 車の安全基準 2. ガス状水素燃料電池で走行する自動車に対する要求事項

#	規制名称	カテゴリー	規制の内容
57	Technical Standards for construction of electric plants and electric lines	使用	ガスタービン発電設備を含む発電設備に関する規格を定めている。

表 323 モロッコにおける水素に関連する規制

#	規制	カテゴリー	規制の内容
1	Law 02-84 on water user associations	生産	統合的な水資源管理、利用者負担/汚染者負担の原則に基づく財政手段、水の経済的価値、国や地域の連帯、流域管理の原則に重点を置いている。
2	Law 10-95, (Management of water resources)	生産	水資源管理を近代化し、公的機関が直面するさまざまな課題に対処するための手段を提供するために、公営企業の民間部門への移管と、この部門の制度・法律レベルでの改革を許可することを定めている。
3	Law 06-99 on competition and price freedom, amended by law 30-08	生産	この規則は、地方自治体の組織と運営を規定し、飲料水の供給、衛生、廃水処理に関する地方自治体の責任を明記しています。 この規則は、地方自治体の組織と運営を規定し、飲料水の供給、衛生、廃水処理に関する地方自治体の責任を明記している。
4	Law 78-00, (Environmental obligations)	生産	生活環境を改善し、環境を保護しながら、2020年までに都市部における収集排水の処理率 60%、衛生ネットワークへの接続率 80%を達成する。
5	Law 36-15, (Use of water)	生産	この法律は、一般規定、公共水域の利用と開発、雨水の開発と利用、非在来型水域の評価と利用、

#	規制	カテゴリー	規制の内容
			水と水計画の管理、水の保全などを含んでいる。また、気候変動に適応するために、排水、飲料水、海水などの水の潜在能力を高めるための計画規則とツールを導入することを目的としている。
6	Law 16-09, Law 39-16 (Establishment of ADEREE as policy making body)	生産	公的機関として、モロッコ再生可能エネルギー・エネルギー効率開発機関 (Aderee) が設立された。再生可能エネルギーとエネルギー効率に関する国家政策の実施に貢献することを目的とし、再生可能エネルギーとエネルギー効率開発のための国家、地域、部門別計画を定めている。
7	Law No. 48-15 (Establishment of the Moroccan Energy Authority (Autorité Nationale de Régulation de l'Energie) (ANRE))	生産	電力セクターの規制と国家電力規制当局の設立を規定している。具体的には、国家送電系統運用者と配電系統運用者の任務、国家送電系統運用者と送電系統運用者のリソース、電力ネットワークへのアクセス、紛争の解決、料金について定めている。
8	Law 13-09, Law 58-15, (Renewable Energy Development Law)	生産	モロッコにおける再生可能エネルギープロジェクト開発のための法的枠組みを提供している。これらは、自然再生可能なすべてのエネルギー源、特に太陽光エネルギー、風力エネルギー、地熱エネルギー、波力および潮力、ならびにバイオマス、廃棄物およびバイオガスによって生成されたエネルギーと定義されている(ただし、設置電力 30MW 超の水力エネルギーを除く)。2016 年 1 月 12 日の法律 No 58-15 により、法律 13-09 は独立事業者に低圧電力網へのアクセスが可能となり、余剰再生可能エネルギーを販売できるように修正されている。

#	規制	カテゴリー	規制の内容
9	Law 57-09 (Establishment of Moroccan Agency for Sustainable Energy (MASEN))	生産	モロッコの太陽エネルギー機関、現在のモロッコ持続可能エネルギー機関（Masen）をパブリック・プライベート・パートナーシップとして設立。Masen は、モロッコの太陽光発電プログラムの実施を保証するために設立された。Masen は、太陽光エネルギーによる総合的な電力生産の開発を目指し、最低でも合計 2,000 MW の発電能力を持つことを目標としている。
10	Law 47-09 (Law on Energy Efficiency requirements)	生産	天然ガス、液体または気体の石油製品、石炭、再生可能エネルギーを動力源とする機器や電気設備の「最低エネルギー性能」の基準を定めている。また、エネルギーの生産、送電、配電に関わる企業や機関に対しエネルギー監査を義務付けるとともに、新規建設や都市プロジェクトに対しエネルギー影響調査を実施することも定めている。
11	Law No 54-14 (Access to transmission network for captive power plants)	生産	生産地から消費地までエネルギーを運ぶための送電網に、国内の電力自給業者が参加できるように許可している。
12	Dahir No 1-63-226, Law No 38-16 (Transfer to MASEN of all ONEE real estate assets used for renewable energy installations)	生産	電力の生産、輸送、配給を独占について定めている。
13	Law No 16-08, (Self generation of electricity from Renewables)	生産	再生可能エネルギーで最大 50kw の自家発電を可能にする産業用設備について定めている。

#	規制	カテゴリー	規制の内容
14	Order setting the model specifications to accompany the application for final authorization for the commissioning of a plant for producing electrical energy from renewable energy source	生産	再生可能エネルギー源から電気エネルギーを生産するための設備の試運転を目的とする最終認可の申請書に添付する仕様書のモデルを固定する政令である。
15	Access to Medium Voltage Grid	生産	再生可能エネルギーによる電力生産設備の高圧送電網へのアクセス条件を定め、同送電網を円滑かつ段階的に開放し、投資家にとって透明かつ非差別的で安定した枠組みを確立すること目指している。
16	Decree No. 2-10-578 of 7 Jumada I 1432 (11 April 2011) adopted in application of Law No. 13-09 on renewable energy	生産	再生可能エネルギーに関する法律第 13.09 号の第 5 条、8 条、17 条、18 条、28 条、29 条に基づき、会則の条件と認可申請に関する手続きを定めている。
17	Order No. 3851-21, (Trajectory for next 10 years)	生産	再生可能エネルギー源から生産された電気エネルギーを中電圧電気ネットワークに供給することにつき定めている。
18	Dahir no. 1-16-60 of 17 Chaabane 1437 (Application of Law 48-15)	生産	電力セクターの規制と国家電力規制当局の設立を規定した文書である。

#	規制	カテゴリー	規制の内容
19	Order of the Minister of Trade, Industry, Mines, Crafts and the Merchant Navy No. 053-62 of January 2, 1962	生産	液化石油ガスの特性に関する定めである。
20	Order of the Minister of Energy and Mines n°1546-07 of 18 rejeb 1428 (August 3, 2007)	生産	主要な石油製品の特性に関して定めている。
21	Order of the Minister of Energy, Mines, Water and the Environment No. 143-13 of 24 Safar 1434 (January 7, 2013)	生産	主要な石油製品の特性に関して定めている。
22	Order of the Minister of Trade, Industry, Mines, Crafts and the Merchant Navy No. 053-62 of January 2, 1962	生産	液化石油ガスの性状に関して定めている。
23	Circular no. 236 DCPR of December 14, 2006	生産	石油・ガス施設レベルで遵守に関して定めている。
24	Order of the Minister of Energy, Mines, Water and the Environment No. 3349-11	生産	爆発物製造業者以外の者による、爆発物製造に使用できる材料または物質の特別な輸入許可に関することを定めている。

#	規制	カテゴリー	規制の内容
25	Decree No. 2.09.154	生産	爆発物製造業者以外の者による、爆発物製造に使用できる材料または物質の特別な輸入許可に関することを定めている。
26	Joint Order of the Minister of Energy and Mines, the Minister of Public Works, Vocational Training and Executive Training and the Minister of Transport No. 1263-91 of 9 chaoual 1413 (April 1, 1993)	保管・流通	液化石油ガスの充填センター、バルク又はボンベの貯蔵所及び産業用又は家庭用の固定貯蔵所並びにこれらの製品の包装、取扱い、輸送及び使用に適用される安全基準に関する一般規則を定めている。
27	Decree No. 2-72-513 of 3 Rebia I 1393 (April 7, 1973)	保管・流通	炭化水素の輸入、輸出、精製、製油所および充填センターでの回収、貯蔵、流通に関して定めている。
28	Dahir carrying law no. 1-72-255 of 18 Moharram 1393 (February 22, 1973)	保管・流通	炭化水素の輸入、輸出、精製、製油所や充填所での回収、貯蔵、流通に関する法律である。
29	Decree No. 2-95-699 of Moharrem 4, 1417 (May 22, 1996)	保管・流通	炭化水素の輸入、輸出、精製、製油所や充填所での回収、貯蔵、流通に関して定めている。
30	Decree No. 2-72-513 of April 7, 1973	保管・流通	1996年5月22日付政令により修正・補足された定めである。
31	Law no. 67-15 amending and supplementing the Dahir carrying law no. 1-72-255 of 18	保管・流通	炭化水素の輸出入、精製、製油所や充填所での回収、貯蔵、流通に関することを定めている。

#	規制	カテゴリー	規制の内容
	Moharrem 1393 (February 22, 1973)		
32	Dahir no. 1-95-141 of 6 rabii I 1416 (August 4, 1995)	保管・流通	輸入、輸出、精製、充填センターでは、炭化水素の貯蔵と分配について定めている。
33	Dahir carrying law no. 1-72-255 of February 22, 1973	保管・流通	炭化水素の輸入、輸出、精製、製油所・充填所での回収、貯蔵、流通について定めている。
34	Circular no. 01 of March 13, 2017	保管・流通	液化石油ガス（LPG）ボンベの管理強化に関する定めである。
35	Circular no. 01-09 of January 8, 2009	保管・流通	液化石油ガス圧力装置の管理強化に関することを定めている。
36	Order of the Director of Industrial Production and Mines of December 29, 1953	保管・流通	液化石油ガス用の貯蔵容器に関して定めている。
37	Joint Order of the Minister of Energy and Mines, the Minister of Public Works, Vocational Training and Executive Training and the Minister of Transport No. 1263-91 of 9 CHAOUAL 1413 (April 1, 1993)	保管・流通	液化石油ガスの充填センター、バルク又はシリンダーデポ及び産業用又は家庭用の固定貯蔵所並びにこれらの製品の包装、取扱い、輸送及び使用に適用される安全基準に関する一般規則である。

#	規制	カテゴリー	規制の内容
38	Circular no. 6359 of October 10, 2018	保管・流通	陸上蒸気・ガス圧力装置の規制管理に関して定めている。
39	Circular no. 2456 of December 02, 2005	保管・流通	蒸気・ガス圧機器の規制管理機関の承認に関して定めている。
40	Order of the Director of Industrial Production and Mines of January 14, 1955	保管・流通	ガス圧機器に関する規制に関して定めている。
41	Order of the Director of Industrial Production and Mines of January 13, 1955	保管・流通	ガス圧力装置の構造及び使用に関する規制である。
42	Order of the Director of Industrial Production and Mines	保管・流通	爆発物、雷管、爆発物発射装置の保管に関する技術的条件の規制である。
43	Dahir of March 2, 1938	保管・流通	危険物、可燃物、引火性液体（炭化水素及び液体燃料を除く）、粉体、爆発物、弾薬及び花火、圧縮ガス、液化ガス、固化ガス及び溶解ガス、毒物、腐食性物質並びに毒性及び吐き気を催す製品の陸上における取扱い及び輸送の規制、特に 4 章では粉体、爆発物、弾薬及び花火の取扱い及び輸送を規制している。

表 324 おける水素に関連する規制

#	規制	カテゴリー	規制の内容
1	Energy Industry Act B.E. 2550 (2007)	生産	電力セクターを管理する主要な法律は、エネルギー産業法 B.E. 2550 (2007) である。この法律は、電気、天然ガス、再生可能エネルギーを含む、タイにおける操業とエネルギー産業に適用されるものとする。
2	Power development plan of	生産	タイのエネルギー効率の向上とエネルギー安全保障の強化を目的としている。PDP2018 では、

#	規制	カテゴリー	規制の内容
	Thailand 2018-2037		以下の点に重点を置いている。(1) エネルギー安全保障：国家経済社会開発計画に対応した電力需要の増加への対応と燃料多様化への配慮、(2) 経済：長期的な経済競争力のための適切な発電コストの維持、(3) 環境：発電による二酸化炭素排出量の削減と再生可能エネルギー源への注力である。
3	The Alternative Energy Development Plan 2018-2037	生産	国内の再生可能エネルギー資源の潜在能力を十分に発揮した上でのエネルギー生産の推進に焦点を当て、策定したAEDP2015の更新版である。AEDPは、社会的および環境的な次元に利益をもたらす適切な再生可能エネルギー生産を開発することを目指している。
4	Regulations for the Purchase of Power from Very Small Power Producers	生産	タイ国電力庁(EGAT)の地域経済のためのエネルギー政策の一環である「地域経済のためのコミュニティ発電所」プロジェクトにおける超小型発電事業者(VSPP)の電力購入契約(PPA)の基準と条件を定めた「超小型発電事業者(再生可能エネルギーによる発電のため)からの電力購入に関する規則」である。
5	Notification on the initiation of an Anti-Dumping Investigation on Flat Hot Rolled Steel in Coils and not in Coils	生産	マレーシアおよび中国から熱延鋼板と非圧延鋼板を輸入する場合、CIF 価格の約 23.57～42.51% (マレーシアから輸入する場合)、30.91% (中国から輸入する場合) の関税を支払う必要がある。 上記規定は、2022 年 06 月 22 日まで適用される。
6	Notification on the Initiation of an Anti-Dumping Investigation on Certain Hot Dip Plated or Coated with Aluminium Zinc Alloys of Cold Rolled Steel (unofficial translation)	生産	中国、韓国、台湾からアルミニウムと亜鉛の合金でメッキまたはコーティングされた溶融亜鉛メッキ鋼板を輸入しようとする企業は、以下のように課税される関税を支払わなければならない。 - 中国からの輸入品：2.65～29.50% - 韓国からの輸入品：6.31 - 22.55% - 台湾からの輸入品：5.85～24.14% 上記規定は 2024 年 1 月 9 日まで適用される。

#	規制	カテゴリー	規制の内容
7	Water resource act, B.E 2561 (2018)	生産	水資源の配分、利用、開発、管理、維持、再生、保全、および水に関する権利について、水資源の管理の効率と効果を目指し、それによって公益サービスの提供およびその他の公共の利益に資することを目的としている。
8	PWA Regulation on determining of the water supply tariff, B.E. 2524, and revised edition (No.21) B.E. 2558	生産	タイでは、州水道局（PWA）の水道料金決定規則（B.E.2524）および改訂版（No.21）B.E.2558 が水道料金設定のガイドラインとして定められている。この規則では、地域別（1.民間投資地域とチョンブリ、2.プーケット、サムイ島、パンガン島、3. その他の地方水道局支局（全国））と水道使用者の種類別（1.個人住宅 2. 政府・小企業 3. 国営企業、工業、大企業）に料金を定めている。
9	Notification of Ministry of Industry No.76/2560	保管・流通	この規制に関する主な内容は以下の通りである。 - 下水道システムの基準。 - グローバルな工業用下水道への排水処理に影響を与える物質の排出に関する禁止事項。 - 事業者が下水道へ排水する水質基準。 - 水質の監視方法。
10	Regulations of the Board of Directors of the Industrial Estate Authority of Thailand Governing Standards for Utility Systems, Facilities and Services in Industrial Estates	生産	工業団地で使用する水の水質が MWA と PWA の基準に適合しなければならないことを示している。
11	Regulations for hazardous substance	保管・流通	タイで最も重要な化学物質管理法である。この法律の目的は、タイで使用されるすべての危険化学物質（工業化学物質、殺虫剤、殺生物剤を含む）の輸入、生産、販売、保有を規制することである。
12	Production and Importation of Hazardous Chemicals in Thailand	生産	2015 年 2 月 19 日より、年間 1 トンを超える有害物質の製造・輸入業者は、DIW のオンラインシステムを通じて工業省（DIW）に有害物質を届け出ることが義務づけられた。

#	規制	カテゴリー	規制の内容
13	Ministerial regulation on criteria, method for hazardous production, import and export	保管・流通	次の事項が規定されている。 a) 有害物質の製造、輸出入又は所持の許可の基準、方法 b) 有害物質の製造、輸出入又は所持を行う者の義務
14	Petroleum Act	生産	石油法は、石油（天然ガスと石油）の探査と生産について規定している。エネルギー省傘下の鉱物燃料局が管轄している。
15	Hazard Classification and Communication System of Hazardous Substances	保管・流通	この通達、物理的危険性 16 種、健康危険性 10 種、環境危険性と表示や安全データシートの作成などのコミュニケーションについて 2 種の分類を定めたものである。
16	Manual for Chemical and Hazardous Substances Storage	保管・流通	化学物質および危険物の保管に関するマニュアルで、保管施設のマニュアル、化学物質および危険物の保管分類、予防措置、特別な要件、建物外での保管について説明している。
17	The principle and safety standard of the place using natural gas	保管・流通	この通達は、天然ガスを使用する場所の安全管理距離、ステーションの建設・設置、防火・消火などの原則と安全基準を定めたものである。
18	Energy Act	保管・流通	同法はエネルギー規制委員会 (ERC) を設立し、エネルギー産業を規制し、権力の乱用を防ぎ、エネルギー消費者とエネルギー産業の操業によって悪影響を受ける人々を保護することを目的としています。
19	Regulations of Ministry of Energy; Vol 135, Spec.Vers. 65	保管・流通	天然ガス貯蔵所に関する省令である。
20	Regulations of Ministry of Energy; Vol 130, Spec.Vers. 29	保管・流通	パイプラインによる天然ガスの輸送システムに関して規定している。
21	Notification of Ministry of Energy; Vol 130, Spec.Vers.	保管・流通	パイプラインによる天然ガス輸送システムの種類と規模、および環境報告書作成の基準、方法、手順、ガイドラインを規定している。

#	規制	カテゴリー	規制の内容
	159		
22	Determination of Type and Size of Natural Gas Pipeline, and Regulations, Procedures, and Guidelines for the preparation of environmental reports	保管・流通	天然ガス液体パイプラインの輸送事業者に関連して、天然ガス パイプラインの種類とサイズを規定している。
23	Notification of Department of Industrial Works Re Training Course of Regular Gas Control, Transport, and Contained Worker in Factory, B.E. 2553 (2010)	保管・流通	この規則では、トレーニングコースの詳細を定めている。 トレーニングコースは、以下の4つのトピックで構成されている。 - ガスの配送・積載の管理者訓練 - 使用・貯蔵ガス管理者講習 - ガス配送員 - ガス充填担当者
24	Notification of Ministry of Industry Re: Security Protection Measurement for Factory Operation Related to Gas Usage, Storage, Transportation, and Container, B.E. 2548 (2005)	保管・流通	この規定では、ガスの建物の特性、ガス容器、充填システムと安全装置の条件、ガス容器のバルブとジョイントは国際標準に従わなければならない、ガス容器の色と記号、安全のための配送について規定している。また、ガス容器の状態は登録検査機関により検査されなければならないと示している。
25	Notification of Department of Industrial Works Re: Criteria and Method for Registration as Regular Gas Control, Transport, and Contained Worker in	保管・流通	この規則は、通常ガス制御、輸送、および含有労働者として登録するための基準および方法を規定するものである。申請者は、登録申請書を産業労働局に提出しなければならない。

#	規制	カテゴリー	規制の内容
	Factory, B.E. 2551 (2008)		
26	Regulations of Ministry of Energy; Vol 138, Spec.Vers. 45	保管・流通	タイにおける液化石油ガスターミナル貯蔵に関する規則である。
27	Regulations of Ministry of Energy; Vol 136, Spec.Vers. 18	保管・流通	液化石油ガス貯蔵施設の位置に関して規定している。
28	Notification of Ministry of Energy; Vol 128, Spec.Vers. 59D	保管・流通	貯蔵の規制と方法、責任ある特別担当者の配置等について規定している。
29	Regulations of Ministry of Energy; Vol 138, Spec.Vers. 45	保管・流通	液化石油ガスタンクによる液化石油ガス輸送について規定している。
30	The principle and safety standard of natural gas service station	使用	この通達は、給油所の営業許可、給油所の安全距離、給油所の設置および建設、火災予防および消火など、給油所の安全基準について定めたものである。
31	Regulations of Ministry of Energy; Vol 138, Spec.Vers. 45	使用	流通店舗型液化石油ガス貯蔵所に関して規定している。
32	Regulations of Ministry of Energy; Vol 134, Spec.Vers. 50	使用	液化石油ガス容器に関して規定している。
33	The Department of Energy Business; Vol. 125, Spec.Vers. 54 Gnor	使用	この規則は、液化石油ガス燃料の不足を防ぐために、国内の液化石油ガスの量を制御することを目的としている。従って、液化石油ガスを国外に輸出しようとする個人または企業は、以下の条件を満たす必要があります。輸出する場合は、エネルギー事業局長の証明書を取得する必要がある。

#	規制	カテゴリー	規制の内容
34	Department of Energy Business, Ministry of Energy notification about the LPG gas facilities compliance.	使用	エネルギー省エネルギー事業局は、LPG ガス設備に関するコンプライアンス（法令遵守）についての通知を発表した。この規則では、LPG ガスを製造工程の原料として維持する必要がある企業は、エネルギー省の許可が必要であることを規定している。 - ただし、250kg 未満の場合は免除される。 - 250-500kg 以上保有する企業は、エネルギー事業部に保有事実を通知する必要がある。 - 500kg 以上所持する会社は、所持の許可を申請しなければならない。
35	Ministerial Regulations: Guideline, Procedures, and Conditions of Inform Processes, Permission, and Fees about oil business operation, B.E. 2556 (2013)	使用	事業運営のタイプ別に石油、石油ガス、天然ガスに関連するものである。この規制は、石油、石油ガス、天然ガスのガイドライン、手順、および条件を規定している。
36	Notification of the Ministry of Energy: The Place for Inform of Business Operation Permission of Control Product Type 2, and Place for Submission of the Application for the Operate and Control License Types 3, B.E. 2559 (2016)	使用	石油やその他の燃料の事業運営に関するライセンス料の通知に関する手続きと条件が規定されている。
37	Ministerial regulations: Oil station, B.E. 2552 (2009)	使用	燃料ステーションのレイアウト、景観、位置、安全距離のエリアについて詳細に規定している。また、燃料貯蔵、タンクシステム、燃料ポンプ、燃料ディスペンサー、防火設備などの品質について

#	規制	カテゴリー	規制の内容
			でも規定されている。
38	Notification from The Department of Energy Business Re: Prescribing Characteristics and Quality of Natural Gas for Motor Vehicles B.E. 2018	使用	NGV の化学的品質の詳細を規定している。
39	Notification of the Ministry of Finance: The reduction of duty rates and exemption of customs duties for all imported battery electric vehicles.	使用	財務省は、すべての輸入バッテリー式電気自動車に対する関税率の引き下げと関税の免除について通達を発表した。バッテリー式電気自動車（BEV）の定義は、10 人乗り以下の電気自動車で、完全に組み立てられた状態で輸入されるものである。 上記の規定は、2023 年 12 月 31 日まで適用される。
40	Notification of the Department of Land Transport: The rated power of the electric vehicles B.E 2563	使用	国土交通省は、自動車法 B.E.2563 に基づき、自動車に使用される電気モーターの定格出力を規定した通知を発表し、省エネのために電気自動車の使用を支援している。自動車の種類は 4 種類に分類される。 1. タクシーカー（定格出力 15Kw 以上、制限速度 90km/hr 以上） 2. 自家用車（定格出力 4Kw 以上、制限速度 45Km/hr 以上）。 3. 三輪車（定格出力 4Kw 以上、制限速度 45Km/hr 以上） 4. 二輪車（定格出力 250W 以上、制限速度 45Km/hr 以上）

表 325 インドネシアにおける水素に関連する規制

#	規制	カテゴリー	規制の内容
1	Law 30/2009	生産	2009 年の電気事業法第 30 号は、インドネシアにおける電力事業を統括する包括的な法的枠組みを提供している。これには、電力の開発、発電、

#	規制	カテゴリー	規制の内容
			配電が含まれている。
2	Law 11/2020	使用	2020 年の雇用創出法第 11 号は、規制や許認可を簡素化し、州と地方政府の役割を明確にするために、さまざまな法律（特に電気や石油・ガスなど）を改正するオムニバス法である。
3	MEMR 4/2020	生産	エネルギー・鉱物資源大臣（MEMR）電力供給のための再生可能エネルギーの利用に関する 2020 年規則第 4 号は、電力供給のための再生可能エネルギー源の利用に関する政府規則第 50/2017 号を修正するものであり、再生可能エネルギー源の競争力を高め、国のエネルギー構成への組み入れ率を向上させることを意図したものである。 屋上太陽光の開発に必要なライセンスと制限に関するガイダンスを提供する。産業用消費者の関税はマクロ経済状況に応じて調整することを明記している。
4	GR 25/2021	生産	エネルギー・鉱物資源部門の管理に関する 2021 年政府規則第 25 号は、Wilayah Usaha（非 PLN 供給のための事業供給地域）の設立条件と要件に関するガイダンスを提供している。その内容は以下の通り。 (i) 公益のための電力供給 (ii) 当事者自身の使用のための電力の供給 (iii) 電力サポートサービス事業
5	MEMR 11/2021	生産	電力支援サービス事業許可（IUJPTL）を必要とする電力事業の実施に関する規則である。

#	規制	カテゴリー	規制の内容
6	GR 14/2012	生産	電力供給事業活動に関する政府規則 2012 年第 14 号は、料金設定と環境管理をカバーする電力供給活動に関する電気法の重要な施行規則である。 また、エネルギー資源の有効かつ合理的な利用を実現するため、エネルギー利用の効率化およびその消費の管理によるエネルギーの保全・管理に関する規定も定めている。
7	MoEMR 188.K/HK.02/MEM. L/2021	生産	電力供給事業計画 (RUPTL) 2021 - 2030 年に関する省令である。 RUPTL は、インドネシアの電力開発に関して、今後 10 年間の PLN の事業計画を定めたものである。RUPTL は、電力需要の伸び、エネルギーミックス、インフラ、IPP のための利用可能な投資部門に関連する予測を提供する。 この法律は、2030 年まで毎年 (BAU の場合) 見直される。
8	MoEMR 143K/20/MEM/2019	生産	国家電力計画 (「RUKN」) 2019 年～2038 年、RUKN2008 年～2027 年の改正に関する定めである。 この法律は 2038 年まで適用される。
9	Law 30/2007	生産	国家総合エネルギー計画に関連する定めである。
10	GR 79/2014	生産	
11	PR 22/2017	生産	
12	Law 17/2019	生産	2019 年法律第 17 号では、水資源管理に関する基本法を制定している。水資源基本法の範囲は、国家管理と国民の水に対する権利、水資源管理の義務と権限、水資源管理、ライセンス、水資源情報システム、権限付与と監督、資金、権利と義務、社会参加、調整などである。 水資源は国家によって管理され、国民の最大の

#	規制	カテゴリー	規制の内容
			繁栄のために利用される。水資源に関する管理は、地元の水道会社または Perusahaan Daerah Air Minum（以下、PDAM）を通じて中央政府および地方政府に委ねられている。
13	MEN 3/2010	生産	この規則は、生活環境の汚染を避けるために、工業地帯の下水の標準的な品質を規定することによって、水質汚染の予防措置をとることを目的としている。また、下水道の水質基準もこの規則で規定されている。
14	MPWH 37/2015	生産	商業活動のための水資源の利用許可について規定している。また、水資源利用の申請メカニズム、要件、利用許可の付与、延長、取り消し、水資源利用に関連する禁止など、いくつかの側面についても規制している。許可を与える権限を持つ政府機関は以下の3つである。 1) 公共事業・公共住宅大臣（Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat、以下「PUPR」）は、州横断河川地域、国家横断河川地域、国家戦略河川地域における水資源を利用するための認可者である。 2) 知事は、県／市を跨ぐ河川区域の水資源を利用するためのライセンス供与者である。 3) Regent/Mayor は、Regency/City 内の河川区域の水資源を利用するためのライセンス ーとなる。
15	MoHA 23/2006	生産	インドネシアの水道料金設定に関する8つの主要なポイントを規定している。 1) 料金設定方針に関する基本ガイダンス 2) 消費ブロックの割り当て 3) 消費者グループの分類の決定 4) 基本コストと運営コスト 5) 地元の水道会社の収入

#	規制	カテゴリー	規制の内容
			6) 分類と料金体系 7) 料金設定のメカニズム 8) 既存料金の調整と評価メカニズム
16	MoI 54/M-IND/PER/3/2012	生産	電力インフラの開発に使用されるべき地元の商品およびサービスの最低要求割合（金額ベース）を規定している。これらのローカルコンテンツ要件に従わない場合、行政的および金銭的制裁を受ける可能性がある。 現在、これには水素は含まれていないが、何らかの例示として使用することができることに注意する。
17	PMK 41/PMK.010/2022	生産	電気分解機に不可欠な鉄鋼、コバルトなどの製品の輸入に対する源泉税について指針を示した。
18	PMK 26/PMK.010/2022	生産	電気分解機に不可欠な鉄鋼、コバルトなどを含む製品の輸入関税に関するガイダンスを示した。
19	PR 54/2010	生産	企業に対して現地調達率を最大化するように求めており、特定の産業に対してその水準を設定することができる。
20	PR 38/2015	生産	事業体に対して現地調達率を最大化することを求めており、特定の産業はレベルを設定することができる。
21	PR 16/2018	生産	事業体に対して現地調達率を最大化することを求めており、特定の産業はその水準を設定することができる。
22	Law 32/2009	保管・流通	有害・有毒化学物質に関する規制を実施するための法的基盤を提供するものである。

#	規制	カテゴリー	規制の内容
23	GR 74/2001	保管・流通	B3（最も危険性の高い）に分類される化学物質は、輸入、生産、輸送、流通、保管、使用、加工などのライフサイクルを規制している。
24	MOT 7/2022	保管・流通	B2 化学物質の危険有害性の流通・管理に関する指針が示されている。
25	Law 22/2001	保管・流通	水素（上流および用途（利用））活動などの石油・ガスに関する規制を実施するための法的基盤を提供している。事業者は、汚染の防止、損害の回復を含む環境管理を保証しなければならない、採掘後の義務も含まれている。
26	MEMR 4/2018	保管・流通	パイプラインによるガス輸送について規制している。
27	GR 36/2018	保管・流通	
28	MEMR 6/2016	保管・流通	国営ガス取引は、石油・ガス法、特に政府規則第 36 号で規定されている。インドネシアで設立された事業体によって実施されなければならない。定められた価格規定を遵守する必要がある。
29	MEMR 10/2017	使用	PLN と売主の間の契約でカバーすべき PPA の最低要件を定めている。PPA の主要な契約条項を概説している。
30	GR 14/2012	使用	電力調達全般については、一般競争入札、直接選択、直接指名による電力購入が可能であることを定めている。
31	MEMR 50/2017	使用	再生可能エネルギー発電の関税制度を規制している。
32	MEMR 4/2020	使用	RE 向け BOOT スキームを BOO スキームに撤廃を定めている。
33	PR 4/2016	使用	再生可能エネルギーを調達するための様式が含まれている。政府は、新規・再生可能エネルギー源から発電された電力を買い取り、PLN にオンセールして特定の補助金を得るための新規・再生

#	規制	カテゴリー	規制の内容
			可能エネルギーアグリゲーターを開発する予定である。水力、地熱、風力発電プロジェクトは、送電線を含め、現行の法律や規制に従って、自然保護区や自然保護区で開発することができる。
34	MoI 36/2021	使用	燃料電池電気自動車 (FCEV) のような低炭素四輪車に関する規則を制定している。この規則では、FCEV は電気モーター、バッテリー、パワーコントロールユニットまたはインバーター、水素タンク を主要コンポーネントとして持つことが必須であるとしている。
35	Law 32/2009	使用	記載されている以外の事業および/または活動は、環境管理/モニタリングに関する取り組み文書または趣意書を作成する必要があるとされている。
36	MEN 5/2012	使用	
37	MEMR 13/2020	使用	バッテリーベース電気自動車充電インフラに関する規則である。バッテリーベース EV 充電インフラに関する幅広い目的を規定しており、充電およびバッテリー交換インフラの設備要件、ビジネススキーム、国有電力会社 (PLN) の役割、電気料金/関税、安全設置要件などを網羅している。
38	PR 55/2019	使用	2019 年大統領令第 55 号は、インドネシアにおける電気自動車の現地調達要件強化のスケジュールを定めている。
39	MOT 44/2020	使用	電気自動車の身体検査に関する規則である。電気自動車や二輪車などすべての電気自動車製品について、電池の状態、充電キット、電気接触安全性、機能安全性、水素排出試験などの身体検査試験を実施することが義務付けられた。
40		使用	また、PT PLN (Persero) の子会社である PT PLN Pusat Sertifikasi (以下、PLN Pusertif) が、インドネシアにおける EV 充電スタンドの整備を加速する計画の一環として、SPKLU 事業者に認証を提供する権限を有するようになった。

本報告書は、独立行政法人国際協力機構の委託により有限責任あずさ監査法人、東電設計株式会社及び一般財団法人日本エネルギー経済研究所が実施した検討結果を取りまとめたものです。私たちは、検討時点で入手した情報に基づき本報告書を適時に取りまとめるよう努めておりますが、本報告書の内容は、本検討の対象に含まれない特定の個人や組織が置かれている状況に対応するものとは限らず、また、情報を受け取った時点及びそれ以降において、その情報の正確性や完全性を保証するものではありません。また、本報告書は委託者である独立行政法人国際協力機構に対してのみ提出したものであり、本報告書を閲覧あるいは本報告書のコピーを入手閲覧した第三者の本報告書の利用に対して、有限責任あずさ監査法人、東電設計株式会社及び一般財団法人日本エネルギー経済研究所は直接ないしは間接の責任を負うものではありません。