

## IV. 先進的低炭素エネルギー技術に関連する政策・制度

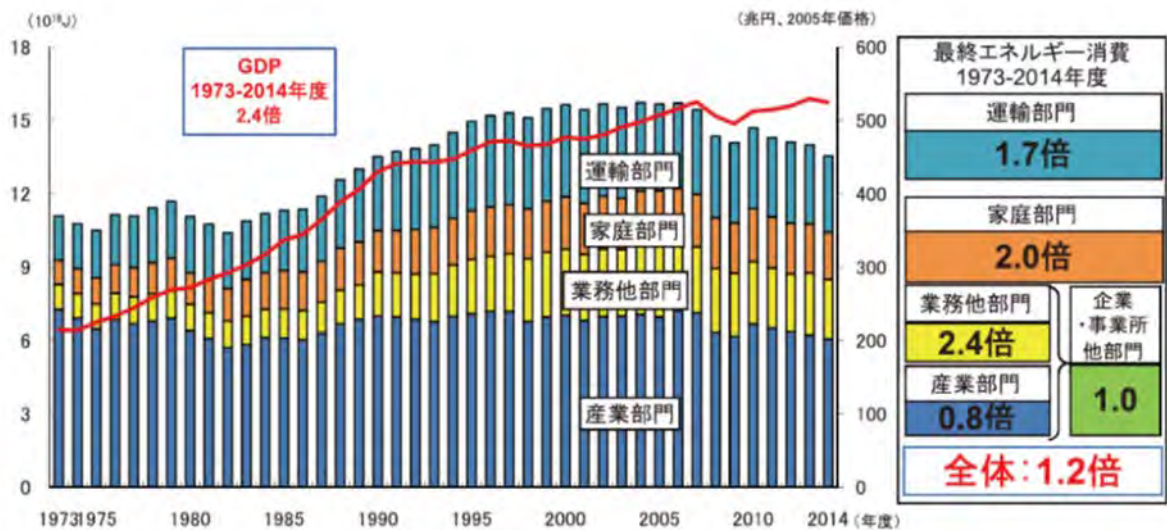
### 1. 先進的エネルギー技術に関連する政策・制度（国内）

#### 1.1. エネルギー消費と実質国内総生産の推移<sup>1</sup>

我が国は、高度経済成長期においては、エネルギー消費は国内総生産（GDP）よりも高い伸び率で増加していた。しかし、下記のように1970年代の石油ショックにより省エネルギー化が進み、その結果、エネルギー消費の伸びを押えながら経済成長を達成している。

具体的には、1973年度から2014年度までのGDPの伸びは2.4倍であるのに対し、最終エネルギー消費の伸びは、運輸部門が1.7倍、家庭部門が2.0倍、企業・事務所他部門が1.0倍となっており、全体で1.2倍となっている。運輸部門や家庭部門では、比較的大きく最終エネルギー消費が増加しているが、その主な理由は自動車やエネルギー機器の普及が促進されたためである。他方、企業・事務所部門では、製造業を中心に省エネルギー化が進んだことから微増で推移している。

最終エネルギー消費と実質GDPの推移



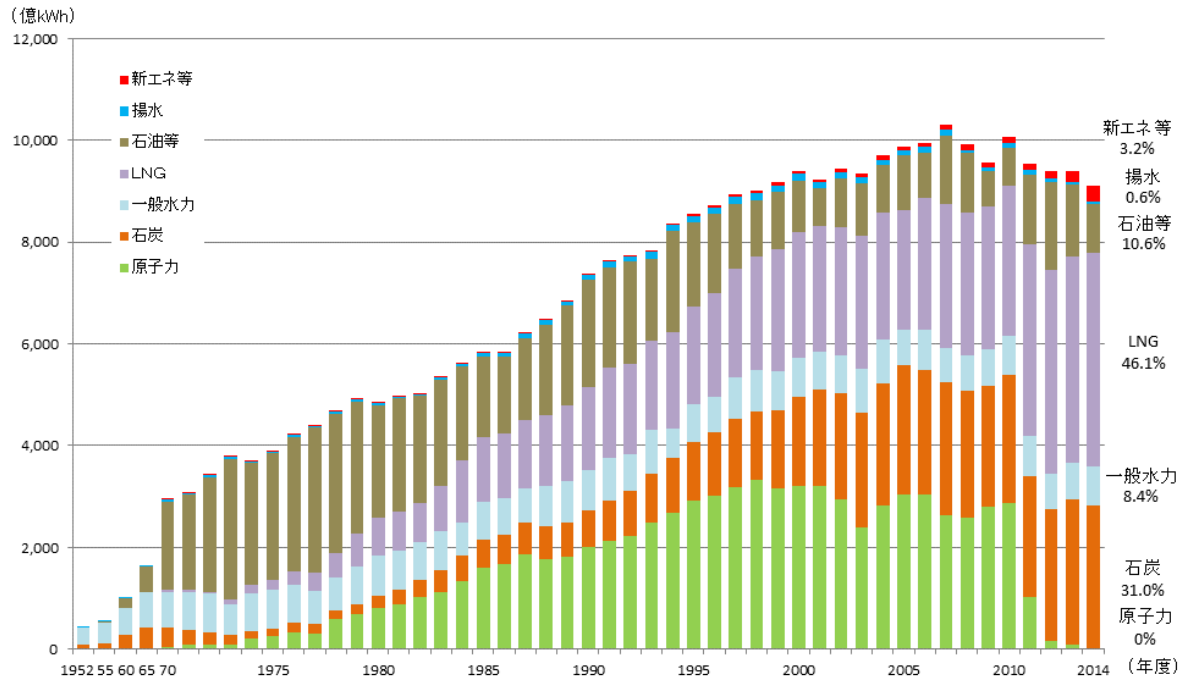
出典：資源エネルギー庁 エネルギー白書 2016

<sup>1</sup> 資源エネルギー庁 エネルギー白書 2016

## 1.2. 発受電電力量及び電力構成の推移<sup>2</sup>

我が国の1950年代以降の発受電電力量及びその電源構成は、以下のとおりである。

発受電電力量の推移（一般電気事業用）



出典：資源エネルギー庁 エネルギー白書 2016

我が国のエネルギー需要は、1960年代以降急速に増大している。1960年代には、火力発電設備の発電能力が、水力発電設備の発電能力を上回り、いわゆる「火主水従」の発電形態に移行した。その後、火力発電は、石炭火力から石油火力へ転換され、大容量・高効率の石油火力発電所の開発を中心に進められることとなり、1970年代までの高度経済成長期においては、我が国のエネルギー消費は国内総生産（GDP）よりも高い伸び率で増加した。このような我が国の高度経済成長をエネルギー供給の面から支えたのは、中東地域から大量に供給されていた安価な石油であった。

しかし、第四次中東戦争に起因して1973年に発生した第一次石油ショック及びイラン革命によるイランでの石油生産の中断に起因して1979年に発生した第二次石油ショックによって、原油価格の高騰と石油供給断絶の可能性を経験した我が国は、エネルギー供給の安定化を図るため、石油依存度を低減させ、石油に代わるエネルギーとして、原子力発電、石炭火力発電、LNG火力発電、再生可能エネルギーなどの開発が積極的に進められ、電源の多様化が図られることとなった。

その後、2011年に発生した東日本大震災及びそれに伴う福島第一原子力発電所の事故の影響による各原子力発電所の長期停止のため、電源構成に占める原子力の比率は2011年以降小さくなり、2013年9月以降は原子力発電所の停止によって原子力の比率は0.0%となった。

その結果、2014年度末の発受電電力量（一般電気事業用）の電源構成は、LNG火力46.1%（4,200億kWh）、石炭火力13.0%（2,824億kWh）、石油等火力10.6%（963億kWh）、水力9.0%（819億kWh）、新エネ等3.2%（295億kWh）、原子力0.0%（0kWh）となっている。

<sup>2</sup> 資源エネルギー庁 エネルギー白書 2016

### 1.3. 先進的エネルギー技術に関連する制度・政策 - 石油依存からの脱却の流れ<sup>3</sup>

我が国の1950年代以降の発電電力量及び電源構成の推移は上記のとおりである。次に、本節では、2度にわたる石油ショック以降のエネルギー供給の安定化を図るための我が国における石油に代わる先進的エネルギーの開発に係る具体的な制度・政策について記載する。

まず1973年に発生した第1次石油ショックを契機として、その翌年の1974年に通商産業省工業技術院（現・国立研究開発法人産業技術総合研究所）により、石油代替エネルギーである先進的エネルギーの技術開発を促進し、同時にエネルギー多消費社会の中で深刻化した環境問題の解決をも図るため、我が国最初の長期的・総合的な技術開発計画として「サンシャイン計画（新エネルギー技術研究開発計画：1974～1992年）」が開始された。サンシャイン計画は、将来的にエネルギーの需要の相当部分のエネルギー供給を目標として、太陽エネルギー技術、地熱エネルギー技術、石炭ガス化・液化技術、水素エネルギー技術の4つの新エネルギー技術について重点的に研究開発が進められた。サンシャイン計画における主な成果としては、以下のプロジェクトが挙げられる。

#### サンシャイン計画の主な成果

プロジェクト名	成果
1. 全国地熱資源総合調査	(1)1980年度から1983年度までの全国規模での地熱資源調査により、世界でも稀にみる全国地熱資源有望地域抽出図を完成。 (2)1984年から実施した詳細調査により、上記(1)の有望地域のタイプ別ポテンシャルを判定するとともに、有望地区絞り込みの最適探査手法を開発。 (3)上記(1)及び(2)の結果を基に、有望地区の的確な抽出を行うための、高度な情報処理技術を応用した資源評価システムを中心とした総合解析手法の開発を終了。
2. 深層熱水供給システム	1985年度までの採取還元試験により、温度約70℃、60t/hの熱水採取に成功し、堆積層での熱水の還元条件を解明。実用化への技術的見通しを得た。
3. 褐炭液化	1981年度から、豪州ビクトリア州において50t/日パイロットプラントの研究を実施。1,700時間に及び実質連続運転に成功するとともに液化抽出率50%を達成。本プラントは世界最大の褐炭液化プラントであり、豊富に賦存し、未利用に近い褐炭の高度利用、日豪の国際協力にも大きく貢献。1993年度終了。
4. 石炭利用水素製造	1986年度から、石炭利用水素製造20t/日パイロットプラントの研究を実施。1,149時間連続運転、カーボン転換率98%、冷ガス効率78%以上を達成。本プロセスは燃料、石炭液化用等広範囲の用途に利用できる水素を低廉、大量に供給し得る、当時の世界最高レベルの高効率プロセスである。1995年度終了。
5. 石炭ガス化 複合サイクル発電	(1)(流動床式)1985年度までの40t/日パイロットプラントの運転研究で冷ガス効率76%、炭素転換効率98%を達成。更に現在、実ガスによる世界最大規模の乾式脱硫・脱塵試験を実施。 (2)(噴流床式法)を1986年度から200t/日パイロットプラントの設計・製作を実施。現在、運転研究中の本プロセスは広範囲の炭種適応性を有する高効率(送電端効率43%以上)の石炭火力発電プロセス。
6. 高カロリーガス化	1985年度までのガス生成量7,000Nm <sup>3</sup> /日(石炭処理量12t/日に相当)パイロットプラントの運転研究において、冷ガス効率72%、連続運転500時間を達成し、日本初の石炭ガス化装置として、実用化への技術的見通しを得た。
7. 水素製造技術	アルカリ水電解法による20Nm <sup>3</sup> /h、エネルギー効率83～86%のパイロットプラントの開発(～1983年度)。
8. 水素利用技術	水素吸蔵合金を用い、筒内噴射エンジンシステムを搭載した水素自動車の試作を行い、最高速度108km/h、走行距離280kmを達成(～1985年度)。
9. 高性能分離膜 複合メタンガス製造	1986年度から基礎研究に着手。バイリアクターに分離膜を組み合わせた嫌気性発酵について、実証試験の成果をもとに、1989年度からパイロットプラントを建設し、運転・評価を行った。

[出典]資源エネルギー庁(編):新エネルギー便覧 平成10年度版、通商産業調査会(1999年3月)、p.226

また、通商産業省工業技術院は、1978年度より石油に依存しないエネルギー構造の確立を目的とし、新たなエネルギーの確保ではなく省エネルギーによる資源の有効利用を目指し、省エネルギー技術の研究開発計画として「ムーンライト計画（省エネルギー技術研究開発計画：1978～1992年）」も開始している。ムーンライト計画では、エネルギー転換効率の向上、未利用エネルギーの回収・利用、エネルギー利用効率の向上等エネルギーの有効利用を図る

<sup>3</sup> 資源エネルギー庁 エネルギー白書 2016、エネルギー関係技術開発ロードマップ 経済産業省 平成26年12月

技術の研究開発を行うことを目的とし、(1) 大型省エネルギー技術、(2) 先導的、基盤的な省エネルギー技術開発、(3) 民間の省エネルギー技術研究開発の助成、(4) 国際研究協力事業、(5) 省エネルギー技術の総合的効果把握手法の確立調査、及び(6) 省エネルギーの標準化を推進するものであり、燃料電池発電技術、ヒートポンプ技術、超電導電力応用技術、高効率ガスタービン等のプロジェクトが実施された。ムーンライト計画における主な成果としては、以下のプロジェクトが挙げられる。

ムーンライト計画の主な成果

プロジェクト名	成果
1. 廃熱利用技術システム (1981年度に終了)	熱回収・熱交換技術、熱輸送・熱貯蔵技術の各要素技術及びトータルシステムの研究開発を実施し、吸収式ヒートポンプシステムの開発など所要の成果を収めた。既に吸収式ヒートポンプシステム等が輸出も含め内外の数十箇所の工場等で稼働しており、実用化が着実に進行。
2. 電磁流体(MHD)発電 (1983年度に終了)	1980年度に完成したマークII発電実験機を使用し灯油燃焼発電実験を行い、1982年度までに計430時間の運転に成功。その結果、灯油燃焼により発電チャネルの耐久性の実証などの成果を挙げ、次期パイロットプラント(熱出力10万kW)の製作に必要な設計資料を集積。
3. 高効率ガスタービン (1987年度に終了)	総合熱効率50%(LHV)、出力10万kW、温度1,300℃の高効率ガスタービンパイロットプラントの運転研究を東京電力袖ヶ浦火力発電所構内において実施。総合熱効率51.7%(世界最高)、出力9.3万kWまで到達。 プロトタイププラント用タービン翼、燃焼器を組み込んだ高温タービン試験装置により、世界最高のタービン入口温度1,400℃を達成し、レヒート型ガスタービンの複合発電効率55%の実現を確認。 耐熱合金、耐熱セラミックの材料開発、燃焼器、タービン翼の冷却方法の要素技術等の国内メーカーへの波及効果あり。
4. 汎用スターリングエンジン (1987年度に終了)	民生向け冷房用の3kW及び30kWエンジン、産業向け小型動力源の30kWエンジンについて、1982～84年度に基本型エンジン、1985年度から小型軽量化及び低公害化を重点に実用型エンジンを開設し、最高熱効率37%を達成。当初の目標である熱効率32～37%を達成し、実用化の目途を得た。
5. 新型電池電力貯蔵システム (1991年度に終了)	4種類の新型電池(ナトリウム-硫黄、亜鉛-臭素、亜鉛-塩素及びレドックス・フロー型)について、1kW級(1983年度)、10kW級(1986年度)及び60kW級(1987年度)の電池の試作運転に成功し、それぞれが最高70%、77%及び76.6%の総合エネルギー効率を達成。 改良型鉛蓄電池を使用した1,000kW級システム試験設備を、実際の電力系統に連携して運転を行い、69.5%のシステム総合効率を達成(1986年度)。 1991年度に2種類の新型電池(ナトリウム-硫黄、亜鉛-臭素)について最終目標である1,000kW級パイロットプラントの運転研究を終了し、初期の開発目標を概ね達成。
6. スーパーヒートポンプ エネルギー集積システム (1992年度に終了)	高性能圧縮式ヒートポンプ及びケミカル蓄熱装置のトータルシステム開発に向けて、媒体・反応系の研究、要素機器の開発、新規部材の研究、システム化研究等で数多くの成果を蓄積。これをもとに、1991年～92年度にパイロットプラント(1,000kW級)の試作運転研究を行うとともに、3万kW級実規模概念設計を実施し、技術的、経済性等評価を行い、初期の開発目標を概ね達成。

[出典]資源エネルギー庁(編):新エネルギー便覧 平成10年度版、通商産業調査会(1999年3月)、p.228

1980年には、石油への過度な依存から脱却するための法制度として「石油代替エネルギーの開発及び導入の促進に関する法律」(昭和55年法律第71号)(以下、「石油代替エネルギー法」という)が制定された。当該法律に基づき、新エネルギー総合開発機構(現・国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO))がサンシャイン計画やムーンライト計画の推進母体として設立された。サンシャイン計画においては、①石炭液化技術開発、②大規模深部地熱開発のための探査・掘削技術開発、③太陽光発電技術開発を重点プロジェクトとして推進した。

その後、1990年の湾岸戦争による第3次石油ショックや1992年の地球サミット等によって、世界的に省エネルギーの推進や次世代を担う革新的エネルギーの開発の機運が高まり、より総合的な技術開発の推進が求められるようになったことを受けて、従来独立して推進されていた新エネルギー、省エネルギー及び地球環境技術の3分野の研究技術開発を総合的な観点から推進するため、1993年にサンシャイン計画とムーンライト計画とが統合され、「ニューサンシャイン計画(エネルギー・環境領域総合技術開発推進計画)」として再スタートすることとなった。新エネルギー、省エネルギー及び地球環境技術の3分野の研究技術開発は、エネルギー利用と地球温暖化を始めとする地球環境問題と密接な関係を有しており、ま

た技術的な観点からも共通分野が存在するため、エネルギー・環境技術開発の効率的・加速的推進が期待されることからニューサンシャイン計画は策定された。ニューサンシャイン計画は、2001年の省庁再編時に工業技術院が廃止されたことに伴って終了し、その研究開発テーマは、以後「研究開発プログラム方式」によって実施されることとなった。サンシャイン計画における主な成果としては、以下のプロジェクトが挙げられる。

### ニューサンシャイン計画の成果(1/2)

プロジェクト名	成果
1.ソーラーシステム (民生用及び産業用 太陽熱利用システム)	(1)(民生用(住宅用等)システム) 1981年度までに研究開発を終え、その成果を生かして低利融資、補助金等の普及政策を実施(1994年末時点で約44万台のシステムを設置)。 (2)(産業用システム) 空気集熱方式による乾燥システム(フィックス・ヒートプロセス型)、冷蔵倉庫システム(アドバンス・ヒートプロセス型高性能断熱材[要素技術])を開発。
2.太陽光発電	(1)太陽電池製造コストを約1/30強まで低下(2~3万円→600円/W)させることに成功。 (2)アモルファス系太陽電池において、世界最高のレベルの変換効率(10cm角セルで12.0%)及び大面積化(30×40cmで10.5%)を達成。 (3)太陽光発電システムの発電コストを約1/15強まで低下(約2,000円/kW程度)させることに成功。 (4)特殊用途(電卓等)として一部実用化(1993年実績は約1万7千kW相当)。
3.太陽熱発電	1981年度にタワー集光方式、曲面集光方式とも世界に先駆け、定格出力1,000kWの発電に成功したことを受け、世界最長期間の連続運転を達成するとともに、各種条件下における運転データを取得。
4.地熱探査技術等検証調査	1980年度から代表的地熱地域である仙岩、栗駒地域において、地表探査、抗井調査を実施し地熱構造と探査技術データとの相関分析に必要な基礎データを整備。高精度MT法の開発により、深部地熱資源探査の経済性を大幅に向上。1988年度からは断裂型貯留層を対象とした探査法を開発。
5.熱水利用発電システム (バイナリーサイクル発電)	1979年度までの1MW級プラントの研究開発により、技術的可能性を確認したことを受け、1980年度から10MW級プラントの開発に向けての要素技術を開発。その中核技術であるダウンホールポンプの開発(200t/h、耐熱200℃)に世界で初成功。
6.瀝青炭液化	1996年度からNEDOLプロセスによる150t/日パイロットプラントの運転研究を実施。本プロセスは広範囲の石炭(低炭化度の瀝青炭から亜瀝青炭まで)を比較的温和な条件(標準条件で圧力170kg/cm <sup>2</sup> 、温度450℃)での反応により高液収率(軽・中質油で無水無灰炭基準50%以上)が得られるなど、技術面、経済面での総合評価で、世界最高レベルの瀝青炭液化プロセス。

[出典]資源エネルギー庁(編):新エネルギー便覧 平成10年度版、通商産業調査会(1999年3月)、p.223

## ニューサンシャイン計画の成果(2/2)

プロジェクト名	成果
7.燃料電池発電技術 (1981～2000年度)	<p>【リン酸型】 200kW 級発電システムプラントの試作運転研究等を1990年度に終了。大阪市ホテルプラザに設置した業務用燃料電池発電システムについては、コージェネレーション技術用として80.2%という高い総合効率を達成。またリン酸型燃料電池として世界で初めて170℃の蒸気(冷暖房に利用)の回収に成功。沖縄県渡嘉敷島に設置した離島用燃料電池発電システムについては、送電端発電効率が39.7%と常圧運転のリン酸燃料電池発電システムとしては世界最高値を達成。</p> <p>【熔融炭酸塩型】 1kW 級(1984年度)、10kW 級(1986年度)、加圧10kW 級及び常圧25kW 級(1989年度)、加圧25kW 級(1990年度)、常圧50kW 級(1991年度)、加圧100kW 級(1992年度)の電池を製作し、定格出力運転に成功したことを受け、加圧100kW 級世界最高出力(1993年度)発電試験に成功。1MW 級発電プラントを開発に着手。</p> <p>【固体電解質型】 400W 級(1991年度)、1kW 級(1994年度)の電池を製作、運転に成功。</p> <p>【固体高分子型】 1992年度に1kW 級モジュールの開発を目指して研究開発に着手し、1995年度に1kW 級モジュールの発電に成功。</p>
8.超電導電力応用技術 (1988～1999年度)	超電導発電機用として10,000A(4T)級の導体を、交流機器用として10,000A(0.5T)級の低損失導体を開発。酸化物導体では電流密度が $1.1 \times 10^6 \text{A/cm}^2$ の線材を開発。発電機については要素モデルや部分モデルによる技術開発を行い、世界に先がけ7万kW 級超電導発電機を開発し、8万kW・700時間の出力に成功。冷凍システムでは従来型について信頼性の高いシステムを開発し、新型についてオイルフリー圧縮機の要素技術を確立。
9.セラミックガスタービン (1988～1998年度)	セラミックガスタービンの複雑形状に通用する耐熱セラミックの部品化のための成形方法及び肉厚セラミック部品の均質焼結方法等の研究によって、多型変形量を大幅に低下することが可能となった。また、タービン入口温度1,350℃のセラミックガスタービンの運転に成功し、熱効率38.6%を達成。
10.分散型電池電力貯蔵技術 (1992～2001年度)	高性能で低廉な新しい正極、負極、電解質などの研究を行うとともに、これらの材料を用いた10Wh 級単電池の製作試験を行い、100Wh 級単電池、数kWh 級組電池の開発に必要なデータを蓄積した。分散型電池電力貯蔵システムの導入に伴う負荷率改善効果、システムの所要性能、電池への要求性能、組電池ほかで考慮すべき事項を明らかにした。

【出典】資源エネルギー庁(編):新エネルギー便覧 平成10年度版、通商産業調査会(1999年3月)、p.224

その後、1997年には、国内外のエネルギーを巡る経済的・社会的環境の変化に伴い、石油代替エネルギー供給目標の達成のため、石油代替エネルギーのうち、経済性における制約から普及が十分でない新エネルギーの普及促進を目的として、「新エネルギー利用等の推進に関する特別措置法」(平成9年法律第37号)(以下、「新エネルギー法」という)が制定された。新エネルギー法は、国や地方公共団体、事業者、国民などの各主体の役割を明確化する基本方針の策定や新エネルギー利用などを行う事業者に対する貸付金の交付による財政面での支援措置などを定めたものである。新エネルギーとしては、以下のものが該当する。

- ① 太陽光発電
- ② 風力発電
- ③ クリーンエネルギー自動車(天然ガス又はメタノール)
- ④ 廃棄物燃料製造(再生資源を原材料とする燃料を製造すること)
- ⑤ 廃棄物発電
- ⑥ 廃棄物熱利用
- ⑦ 温度差エネルギー利用
- ⑧ 天然ガスコージェネレーション
- ⑨ 燃料電池
- ⑩ 太陽熱利用

近年の世界的なエネルギー需要の急増等により、今後は従来どおりの質・量の化石燃料を確保していくことは困難になると懸念される。このような事態に対応し、また、低炭素社会

の実現にも寄与すべく、石油への依存の脱却を図るというこれまでの石油代替施策の抜本的な見直しが行われた。その結果、研究開発や導入を促進する対象を「石油代替エネルギー」から、再生可能エネルギーや原子力などを対象とした「非化石エネルギー」とすることを骨子とした石油代替エネルギー法の改正が行われ、2009年7月に「非化石エネルギーの開発及び導入の促進に関する法律」となった。またあわせて「エネルギー供給事業者による非化石エネルギー源の利用及び化石エネルギー原料の有効な利用の促進に関する法律」（平成21年法律72号）が制定され、エネルギー供給事業者に対して再生可能エネルギーの利用を一層促進する仕組みが構築された。

#### 1.4. 先進的エネルギー技術に関連する制度・政策 - エネルギー基本計画の策定<sup>4</sup>

その後、2002年6月に「エネルギー政策基本法」が制定された。このエネルギー政策基本法では、政府が経済産業省総合資源エネルギー調査会（以下、「総合エネ調」）の意見に基づき、長期的、総合的かつ計画的な視点に立ちエネルギー政策を遂行するために「エネルギー基本計画」を策定することを定め、少なくとも3年に1度の頻度で内容について検討を行い、必要に応じて変更を行うことを求めている。これに基づき、2003年10月に最初のエネルギー基本計画が策定され、その後、2007年3月に第2次計画、2010年6月に第3次計画、2014年4月に第4次計画が策定されている。

2014年4月に策定された第4次エネルギー基本計画は、2011年3月の東日本大震災後最初のエネルギー基本計画であり、東日本大震災の発生及び東京電力福島第一原子力発電所の事故後、我が国の全ての原子力発電所が停止し、化石燃料への海外依存度の増加、エネルギーコストの上昇、二酸化炭素排出量の増大等、我が国のエネルギーを取り巻く環境が厳しい中で、こうした問題を適切に対応しつつ、中長期的（今後20年程度）に我が国の需給構造に関する脆弱性の解決を図っていくための、エネルギー政策の方向性を示したものである。

第4次エネルギー基本計画の中においては、我が国が目指すべきエネルギー政策は、徹底した省エネルギー社会の実現、再生可能エネルギーの導入加速化、石炭火力や天然ガス火力の発電効率の向上、蓄電池・燃料電池技術等による分散型エネルギーシステムの普及拡大、メタンハイドレート等非在来型資源の開発、放射性廃棄物の減容化・有害度提言など、あらゆる課題に向けて具体的な開発成果を導き出せるような政策でなければならないとしている。

第4次エネルギー基本計画は、我が国が抱える構造的課題と東京電力福島第一原子力発電所事故及びその前後から顕在化してきた課題を抽出した上で、エネルギー政策の基本方針として、これまでの「3E（Energy Security、Economic Efficiency、Environment）」という基本的視点に、安全性の確保「S（Security）」の重要性、国際的な視点の重要性、経済成長の視点の重要性について加味している。すなわち、エネルギー政策の基本的視点である「3E+S」とは、安全性（Safety）を前提とした上で、エネルギーの安定供給（Energy Security）を第一とし、経済効率性の向上（Economic Efficiency）による低コストでのエネルギー供給を実現し、同時に、環境への適合（Environment）を図るため、最大限の取組を行うことであるとしている。

第4次エネルギー基本計画においては、各エネルギーをそれぞれ以下のように整理している。

再生可能エネルギーは、現時点では安定供給面、コスト面等の課題が存在するが、温室効果ガスを排出せず、国内で生産できることから、エネルギー安全保障にも寄与できる有望かつ多様で、重要な低炭素の国産エネルギー源であるとされている。また、再生可能エネルギーの導入を加速し、積極的に推進するため、系統強化、規制の合理化、低コスト化等の研究開発を着実に進めることを謳い、①風力・地熱の導入加速に向けた取組の強化、②分散型エネルギーシステムにおける再生可能エネルギーの利用促進、③固定価格買取制度の在り方及び④福島の再

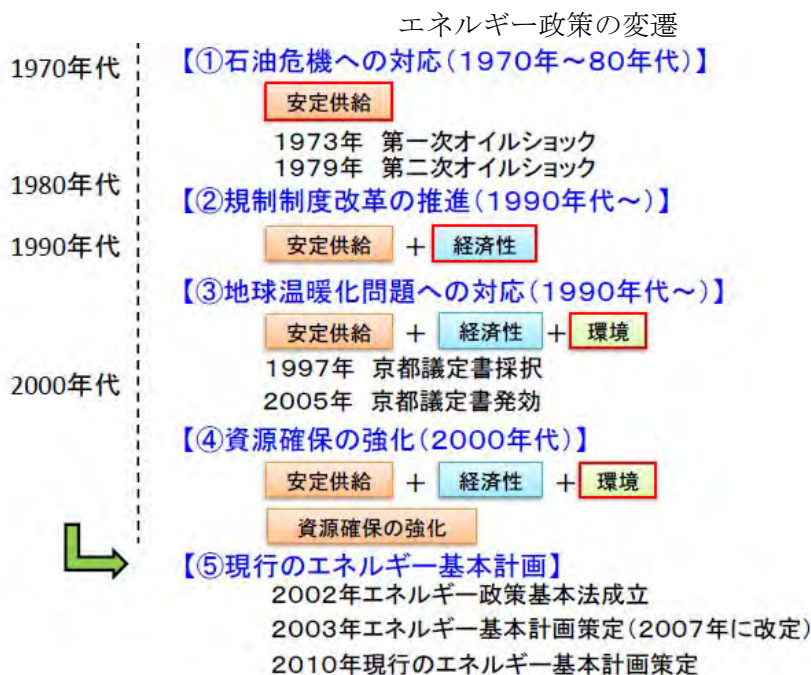
<sup>4</sup> エネルギー基本計画 平成26年4月

生可能エネルギー産業の拠点化の推進について記載されている。

また、石炭火力発電は、温室効果ガスの排出量が大いという問題がある一方で、地政学的リスクが化石燃料の中で最も低く、熱量あたりの単価も化石燃料の中で最も安いことから、安定供給性や経済性に優れた重要なベースロード電源の燃料として再評価されており、高効率石炭火力発電の有効地用等により環境負荷を低減しつつ活用していくエネルギー源であるとされている。また、天然ガス火力発電は、石油と比べて地政学的リスクも相対的に低く、石油燃料の中で温室効果ガスの排出も最も少なく、発電においてはミドル電源の中心的な役割を果たしているとされている。第4次エネルギー基本計画においては、これら化石燃料の効率的・安定的な利用のための環境の整備のため、①高効率石炭・LNG 火力発電の有効活用の促進および②石油産業・LP ガス産業の事業基盤の再構築について記載されている。

また、第4次エネルギー基本計画では、二次エネルギー構造の在り方として、コージェネレーションや再生可能エネルギー熱等の利用促進や水素社会の実現について、さらにエネルギーを軸とした成功戦略の実現として、地域の特性に応じて総合的なエネルギー需給管理を行うスマートコミュニティの実現に向けての実証実験についても記載している。

以上のような1970年代から現在までのエネルギー政策の変遷をまとめると、以下のように表すことができる。



出典：総合資源エネルギー調査会 総合部会 第1回会合 資料4 平成25年3月15日 資源エネルギー庁



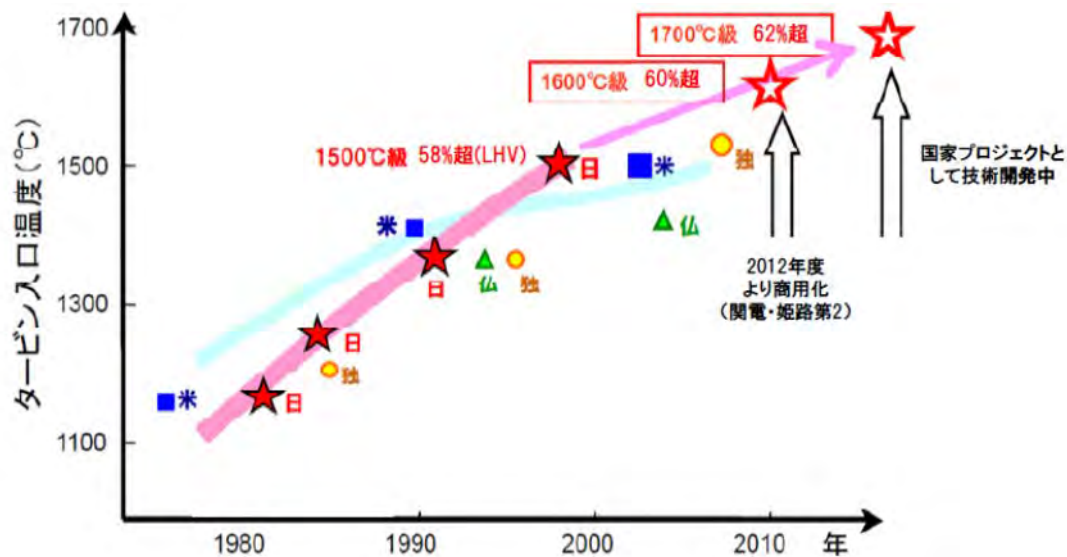
## 1.5. LNG 火力・石炭火力の高効率化

上記で述べた石油依存からの脱却のための様々な制度・政策により、日本の LNG 火力や石炭火力は発電効率の向上と CO<sub>2</sub> 排出量の削減の技術開発の研究が進んでいる。

LNG 火力については、タービン入口温度のガス燃料温度を 100℃上昇させると、熱効率を 2～3%上昇させることが可能となることから、主に①タービン入口温度の高温化及び②更なる熱効率の上昇を目的とした出力の大容量化に重点が置かれている。

タービン入口温度は、1980 年代においては 1,100℃級であったが、現在では 1,600℃級のガスタービンによるコンバインドサイクル発電が稼働しており、さらにタービン入口 1,700℃級のガスタービンの開発が進められている<sup>5</sup>。

タービン入口温度の変遷



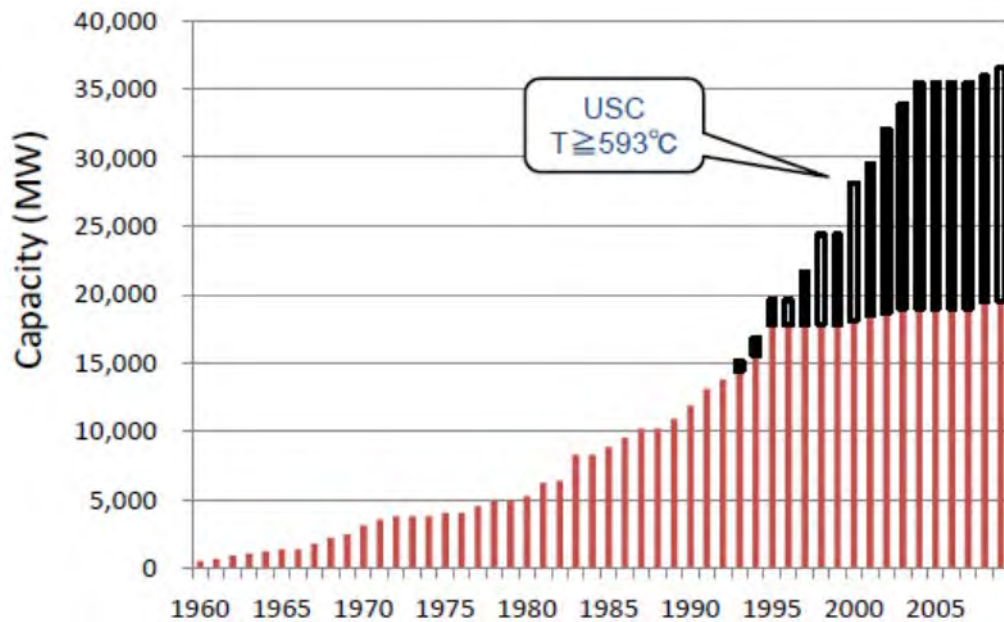
出典：東京都環境局 天然ガス発電所設置技術検討調査報告書 平成 24 年 3 月

また、石炭は石油や LNG と比較して埋蔵量が豊富であり、化石燃料の中においては最も経済的かつ安定した供給が可能であるため、石炭火力を発電の主力としている国も多く、世界的に今後も増大するエネルギー需要に対して重要な資源である。他方で、化石燃料は燃焼に伴い温室効果ガスである CO<sub>2</sub> を排出するため、石炭火力による CO<sub>2</sub> 排出量の削減が重要な課題となっている。

超臨界圧で温度が 593℃以上の蒸気条件の技術は超々臨界圧発電技術(USC、Ultra Super Critical Steam Condition)と呼ばれ、1981年から2000年まで国からの補助を受けて日本で開発された技術である。蒸気条件の向上による高効率化により燃料使用量を削減し、発電コストの低減を図った技術であり、現在では我が国の石炭火力発電所発電容量のほぼ半分を USC が占めている<sup>6</sup>。また、USC の技術や製品は海外にも輸出され、省エネルギー及び CO<sub>2</sub> 削減に貢献している。

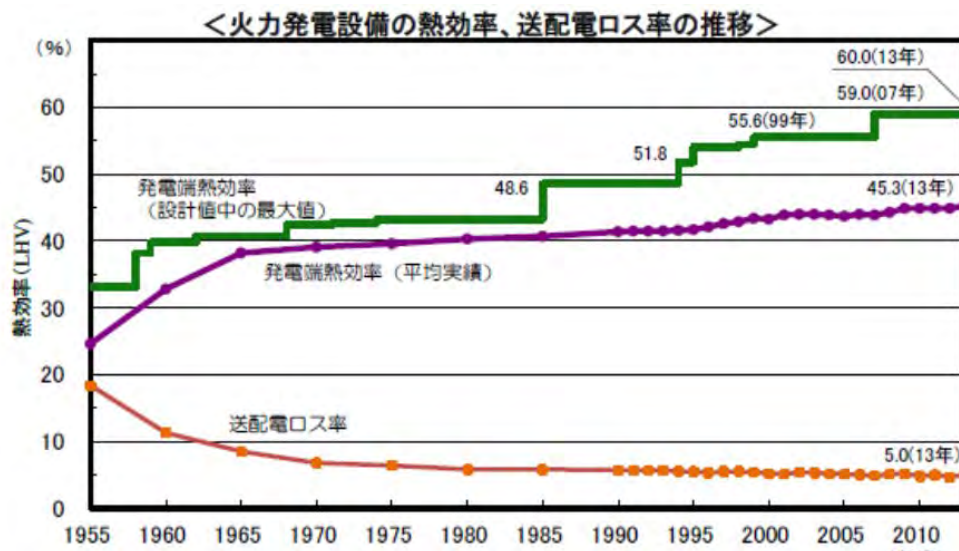
<sup>5</sup> 天然ガス発電所設置技術検討調査報告書 東京都環境局 平成 24 年 3 月

<sup>6</sup> 先進超々臨界火力発電(A-USC)技術開発 福田雅文 2014年3月



出典：福田雅文 先進超々臨界火力発電（A-USC）技術開発 2014年3月

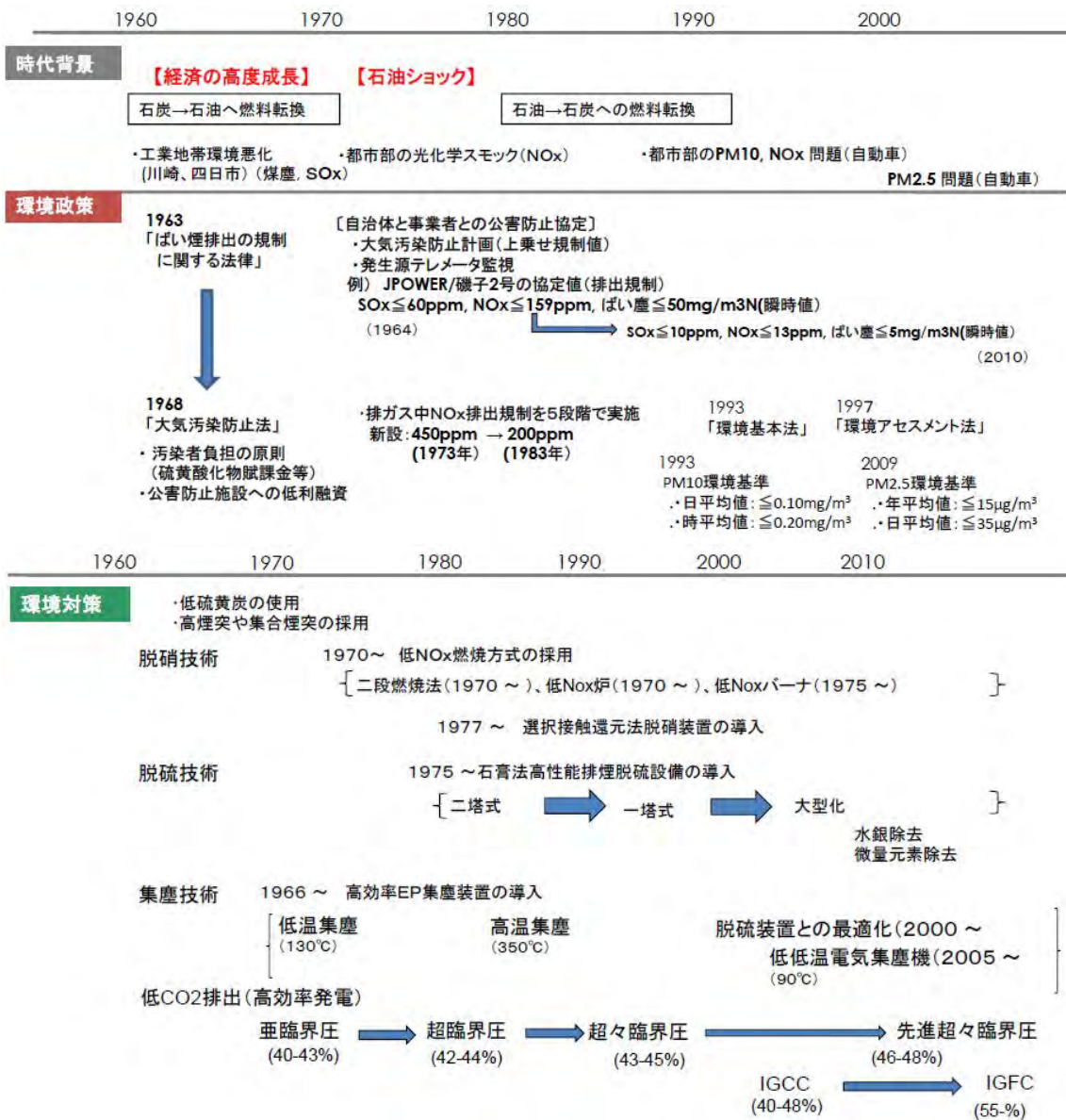
発電所で発電した電気を一般家庭やオフィス等に送電する間に、変電所や送配電線の抵抗によって一部の電気エネルギーは熱や振動として失われる。これを送配電ロスといい、電圧が小さいほど、及び送電の距離が長いほど送配電ロスは大きくなる。我が国においては、発電設備の効率化の他に、送配電設備においても送配電ロス率の低減を目的として、送電電圧の高電圧化や低損失型変電設備の採用等を実施している。その結果として、送配電ロスの削減に伴い、発電設備における燃料使用量の削減にも貢献している<sup>7</sup>。



出典：総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会 省エネルギー小委員会 火力発電に係る判断基準ワーキンググループ（第2回）資料4 経済産業省 2015年9月3日

<sup>7</sup> 総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会 省エネルギー小委員会 火力発電に係る判断基準ワーキンググループ（第2回）資料4 火力発電における省エネルギー対策の取組み 電気事業連合会 平成27年9月3日

(参考) 日本の石炭火力発電に関する環境政策の歴史



出典：クリーンコールテクノロジーの未来 資源エネルギー庁（平成26年12月28日）

## 1.6. 再生可能エネルギー促進のための制度

上記のように、化石燃料への依存の脱却を図るという流れに従い、再生可能エネルギーの導入拡大が進められてきた。以下では、その具体的な制度・政策について記載する。

我が国の再生可能エネルギーの導入拡大施策は、①補助金による支援、②電気事業者に対する再生可能エネルギー由来電気の調達についての義務量の枠づけ(RPS制度)による支援から、③電気事業者に、固定価格で購入することを義務づける固定価格買取制度(FIT)へとシフトしていった。FITにより、再生可能エネルギーへの投資が活性化したが、他方で、送電網の整備、規制改革の推進といった事業環境の整備が課題として明らかになった。

まず、1997年に「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」が制定され、新エネルギーの導入事業を行う民間事業者に対し、費用の一部を補助することとした。また、金融機関からの借り入れに対する債務保証を実施し、新エネルギーの導入事業を行う地方公共団体に対し、補助金を給付した。

その後、2003年には、再生可能エネルギーの大幅な導入拡大を進めるため、「電気事業者による新エネルギー電気等の利用に関する特別措置法」(以下、「RPS法」という)が制定され、「Renewables Portfolio Standard」(以下、「RPS制度」という)が開始された。RPS制度とは、新エネルギー間の競争を促しつつ、電気事業者に毎年度、一定量以上の再生可能エネルギーの発電や調達を義務付ける制度である。RPS法においては、以下の再生可能エネルギーと対象としていた。

- ① 風力発電
- ② 太陽光発電
- ③ バイオマス発電
- ④ 水力発電(水路式で1,000kW以下)
- ⑤ 地熱発電(熱水を著しく減少させないもの)

太陽光発電に関しては、「エネルギー供給事業者による非化石エネルギー源の利用及び化石エネルギー原料の有効な利用の促進に関する法律」に基づき、低炭素社会の実現に向けて、国民の全員参加により太陽光発電の普及拡大を目指すため、2009年11月1日より太陽光発電の余剰電力買取制度が開始された。

さらに、2012年7月からは、RPS制度に替えて「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」に基づき固定価格買取制度(FIT)が導入され、再生可能エネルギーの大幅な導入拡大が進められた。FIT制度は、太陽光・風力・水力・地熱・バイオマスについて、電気事業者に対して、再生可能エネルギー発電事業者から、国が定めた調達価格・調達期間での再生可能エネルギー電気の調達を義務づける制度である。当初に発生する多額の投資費用を、償却期間内で安定的に回収できるように保証することで、再生可能エネルギー発電への投資を広げるのが狙いである。調達価格や調達期間は、各電源ごとに、事業が効率的に行われた場合、通常必要となるコストを基礎に適正な利潤などを勘案して、中立的な調達価格等算定委員会の意見を尊重し、経済産業大臣によって決定される。各電源の1kWあたりの買取価格及び調達期間の推移は以下の通りである<sup>8</sup>。

<sup>8</sup> なっとく！再生可能エネルギー 資源エネルギー庁 HP

[http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/saiene/kaitori/kakaku.html](http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/kakaku.html)

## 太陽光発電

	2012年度	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度
	10kW以上				
買取価格	40円+税	36円+税	32円+税	29円+税(*1)	24円+税
買取期間	20年間	20年間	20年間	20年間	20年間
	10kW未満				
買取価格	42円	38円	37円	33円(*2)	31円(*2)
買取期間	10年間	10年間	10年間	10年間	10年間
	10kW未満(ダブル発電)				
買取価格	34円	31円	30円	27円(*2)	25円(*2)
買取期間	10年間	10年間	10年間	10年間	10年間

(\*1)2015年7月1日以降、調達価格は「27円+税」となる。

(\*2)北海道電力・東北電力・北陸電力・中国電力・四国電力・九州電力・沖縄電力の需給制御に係る区域においては、平成27年4月1日以降に接続契約申込が受領された発電設備は、出力制御対応機器の設置が義務付けられており、価格がそれぞれ2円多い金額となる。

## 風力発電

	2012年度	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度
	20kW以上				
買取価格	22円+税	22円+税	22円+税	22円+税	22円+税
買取期間	20年間	20年間	20年間	20年間	20年間
	20kW未満				
買取価格	55円+税	55円+税	55円+税	55円+税	55円+税
買取期間	20年間	20年間	20年間	20年間	20年間
	洋上風力(*3)				
買取価格	—	—	36円+税	36円+税	36円+税
買取期間	—	—	20年間	20年間	20年間

(\*3)建設及び運転保守のいずれの場合にも船舶等によるアクセスを必要とするもの。

## 水力発電

	2012年度	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度
	1,000kW以上30,000kW未満				
買取価格	24円+税	24円+税	24円+税	24円+税	24円+税
買取期間	20年間	20年間	20年間	20年間	20年間
	200kW以上1,000kW未満				
買取価格	29円+税	29円+税	29円+税	29円+税	29円+税
買取期間	20年間	20年間	20年間	20年間	20年間
	200kW未満				
買取価格	34円+税	34円+税	34円+税	34円+税	34円+税
買取期間	20年間	20年間	20年間	20年間	20年間

既存誘導水路活用中小水力発電（\*4）

	2012年度	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度
	1,000kW以上30,000kW未満				
買取価格	—	—	14円＋税	14円＋税	14円＋税
買取期間	—	—	20年間	20年間	20年間
	200kW以上1,000kW未満				
買取価格	—	—	21円＋税	21円＋税	21円＋税
買取期間	—	—	20年間	20年間	20年間
	200kW未満				
買取価格	—	—	25円＋税	25円＋税	25円＋税
買取期間	—	—	20年間	20年間	20年間

（\*4）既に設置している導水路を活用して、電気設備と水圧鉄管を更新するもの。

地熱発電

	2012年度	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度
	15,000kW以上				
買取価格	26円＋税	26円＋税	26円＋税	26円＋税	26円＋税
買取期間	15年間	15年間	15年間	15年間	15年間
	15,000kW未満				
買取価格	40円＋税	40円＋税	40円＋税	40円＋税	40円＋税
買取期間	15年間	15年間	15年間	15年間	15年間

バイオマス発電

	2012年度	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度
	メタン発酵ガス				
買取価格	39円＋税	39円＋税	39円＋税	39円＋税	39円＋税
買取期間	20年間	20年間	20年間	20年間	20年間
	間伐材等由来の木質バイオマス				
買取価格	32円＋税	32円＋税	32円＋税	32円＋税	2,000kW以上： 32円＋税 2,000kW未満： 40円＋税
買取期間	20年間	20年間	20年間	20年間	20年間
	一般木質バイオマス・農作物残さ				
買取価格	24円＋税	24円＋税	24円＋税	24円＋税	24円＋税
買取期間	20年間	20年間	20年間	20年間	20年間
	建設資材廃棄物				
買取価格	13円＋税	13円＋税	13円＋税	13円＋税	13円＋税
買取期間	20年間	20年間	20年間	20年間	20年間
	一般廃棄物 その他のバイオマス				
買取価格	17円＋税	17円＋税	17円＋税	17円＋税	17円＋税
買取期間	20年間	20年間	20年間	20年間	20年間

出典：資源エネルギー庁 HP「なっとく！再生可能エネルギー」を基にあずさ監査法人作成

FIT 制度は、再生可能エネルギーの発電事業者に対して固定価格での長期買取を保証することによって事業収益の予見可能性を高め、参入リスクを低減することで新たな再生可能エネルギー市場を創出し、さらに市場拡大に伴うコスト低減（スケールメリット、習熟効果）を図り、再生可能エネルギーの中期的な自立を促すことを目的とした制度である。

2012年7月の固定価格買取制度開始後、2015年3月時点で、新たに運転を開始した設備は約1,875.7万kWであり、制度開始前と比較して約9割増加している。また、制度開始後認定された設備容量のうち、導入量（運転開始済量）の割合は約21%である。制度開始後の導入量、認定量ともに太陽光が約9割以上を占めている。

＜平成27年3月末時点における再生可能エネルギー発電設備の導入状況＞

設備導入量（運転を開始したもの）					認定容量
再生可能エネルギー発電設備の種類	固定価格買取制度導入前	固定価格買取制度導入後			固定価格買取制度導入後
	平成24年6月末までの累積導入量	平成24年度の導入量（7月～3月末）	平成25年度の導入量	平成26年度の導入量（4月～3月末）	平成24年7月～平成27年3月末
太陽光（住宅）	約470万kW	96.9万kW	130.7万kW	82.1万kW	379万kW
太陽光（非住宅）	約90万kW	70.4万kW	573.5万kW	857.2万kW	7,884万kW
風力	約260万kW	6.3万kW	4.7万kW	22.1万kW	229万kW
地熱	約50万kW	0.1万kW	0万kW	0.4万kW	7万kW
中小水力	約960万kW	0.2万kW	0.4万kW	8.3万kW	66万kW
バイオマス	約230万kW	2.1万kW	4.5万kW	15.8万kW	203万kW
合計	約2,060万kW	175.8万kW	713.9万kW	986.0万kW	8,768万kW (1,664,801件)
		1875.7万kW (981,745件)			

出典：新エネルギー小委員会 第12回 資料2 資源エネルギー庁 2015年6月24日

後述のように2015年7月に策定された「長期エネルギー需給見通し」では、2030年度において再生可能エネルギーが電源構成の22-24%を占めるとの見通しが示されており、この達成に向け、FIT 制度には引き続き重要な役割が期待される。一方で、FIT 制度の実際の運用において、①FIT 創設以来、認定量の約9割を事業用太陽光発電が占めており、電源間でのバランスの取れた導入が求められること、②買取費用が約2.3兆円に到達する見込みであり、国民負担抑制のため、コスト効率的に導入を促進する必要があること、③2013年の九州電力等での接続保留問題等の発生を踏まえ、電力システム改革の成果を活かした効率的な電力の取引・流通を実現すること、等の課題が指摘されている。そこで、これらの課題に対応し、再生可能エネルギーの最大限の導入と国民負担の抑制の両立を図るため、2017年4月からFIT 制度は以下のような見直しを実施される予定である<sup>9</sup>。

i. 未稼働案件の発生を踏まえた新認定制度の創設

平成27年12月末時点において、平成24年度から平成25年度にかけての認定済未稼働案件は、約117万件中約34万件と全体の約30%を占める。これらの中には系統接続も問題などの理由によるものもある一方で、制度発足当初の比較的高い買取価格でのFIT 認定を確保したまま設備価格の低下を待っているようなケースも見られる。このような未稼働案件の滞留は、後発の高性能・低価格の事業の参入の妨げとなり、潜在的な国民負担の増大をもたらす恐れがある。そこで、このような未稼働案件を排除し再生可能エネルギー発電事業者の安定的事業実施を確保するため、再生可能エネルギー発電事業者の事業計画について、その実施可能性（系

<sup>9</sup> 改正FIT 法に関する直前説明会資料 資源エネルギー庁 平成29年2、3月、再生可能エネルギー導入促進関連制度改革小委員会報告書 経済産業省 平成28年2月、固定価格買取制度（FIT）見直しのポイント 経済産業省

統接続の確保等)や内容等を確認し、適切な事業実施が見込まれる場合に経済産業大臣が認定を行う制度を創設する。また、新制度では、事業開始前の審査に加え、事業実施中の点検・保守や、事業終了後の設備撤去等の遵守を求め、違反時の改善命令・認定取消を可能とし、適切な事業実施を確保する仕組みを設ける。

#### ii. コスト効率的な導入

従来のFIT制度の買取価格は、毎年度、再生可能エネルギー源の種別、設置形態、規模に応じて、効率的に事業が実施される場合に通常要すると認められる費用を基礎に定められていた。しかし、実績値に基づくコスト積み上げの場合には、事業者のコスト低減努力に繋がらない等の批判もあった。そのため、再生可能エネルギーの最大限の導入と国民負担の抑制の両立を図るためにコスト効率的な導入拡大が必要であり、事業者のコスト低減を促すような買取価格の設定の仕組みが必要である。

そこで、FIT制度における買取価格の決定方式として、将来の買取価格についての予見可能性を向上させるとともに、その目標に向けた事業者の努力によるコスト低減を促す観点から①中長期的な買取価格目標を設定し、また現状の太陽光発電や風力発電の買取価格は欧州の約2倍という高い水準にとどまっている状況にあることから、②コスト低減や事業者の競争を促す買取価格決定方式を設ける。

#### iii. リードタイムの長い電源の導入

FIT制度の導入後、太陽光発電の同夕が急速に拡大した一方で、地熱発電、風力発電、中小水力発電、バイオマス発電といったリードタイムの長い電源の導入は進んでいない状況にある。そこで、これらリードタイムの長い電源の導入拡大を後押しするため、数年先の認定案件の買取価格まで予め提示することとする。

#### iv. 賦課金減免制度の見直しについて

電力多消費の事業者に対する賦課金の減免制度については、申請事業者の国際競争の状況や省エネルギーの取組状況を踏まえて認定を行う仕組みとする。

#### v. 送配電買取への移行

広域運用等を通じた再生可能エネルギー電気の更なる導入拡大を図るため、買取義務者を小売電気事業者等から一般送配電事業者等に変更する。また、買い取った電気を卸電力市場において売買すること等を義務づける等の措置を講じる。

### 1.7. 長期エネルギー需給見通し<sup>10</sup>

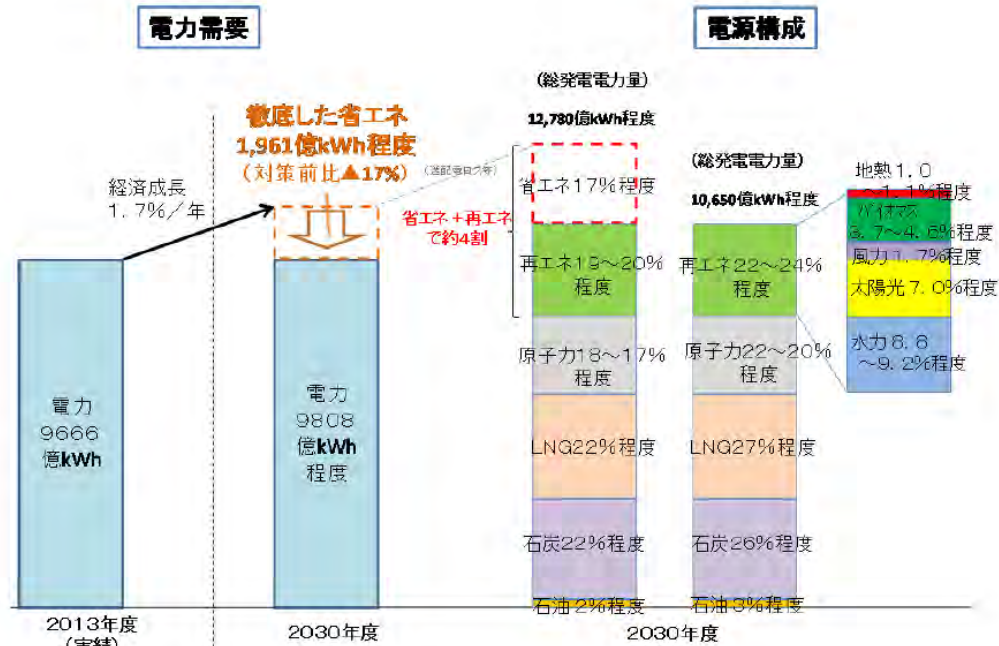
長期エネルギー需給見通しは、2015年7月に、エネルギー基本計画を踏まえ安全性、安定供給、経済効率性及び環境適合について達成すべき政策目標を想定した上で、政策の基本的な方向性に基づいて施策を講じたときに実現されるであろう将来のエネルギー需給構造のあるべき姿を示すものとして策定された。

長期エネルギー需給見通しは、中長期的な視点から、2030年度のエネルギー需給構造の見通しを策定している。安定供給については、エネルギー自給率を現状の6%から25%まで引き上げることが目標とし、また経済効率性については、震災後、大幅に上昇した電力コストを現状より引き下げることが目標とし、さらに環境適合に関しては、欧米に遜色ない温室効果ガス削減目標を掲げている。

具体的なエネルギーミックスは、以下のように、原子力20~22%、再生可能エネルギー22~24%、LNG27%、石炭26%、石油3%としている。

<sup>10</sup> 長期エネルギー需給見通し 経済産業省 平成27年7月





出典：長期エネルギー需給見通し P7 経済産業省 平成 27 年 7 月

長期エネルギー需給見通しでは、徹底した省エネルギー（節電）の推進を行い、2030年度時点の電力需要を2013年度とほぼ同じレベルまで抑えるとしている。また、再生可能エネルギーについては積極的に推進していき、自然条件によらず安定的な運用が可能な地熱・水力・バイオマスにより原子力を置き換えることを見込んでいる。他方で、太陽光・風力については、自然条件によって出力が大きく変動し、調整電源としての火力を伴うので、国民負担制とのバランスを踏まえつつ電源コストを現状よりも引き下げる範囲で最大限導入することを見込んでいる。

そのため、再生可能エネルギーに関しては低コストで導入可能となるような環境整備を行う必要があり、具体的には、各種規制・制約への対応、開発リスクの高い地熱発電への支援、系統整備や系統運用の広域化、高効率化・低コスト化や系統運用技術の高度化等に向けた技術開発等を実施するとされている。再生可能エネルギーの固定価格買取制度については、再生可能エネルギー導入推進の原動力となっている一方で、特に太陽光に偏った導入が進んだことや国民負担増大への懸念を招いたという問題点もあり、さらに電力システム改革が進展すること、電力の安定供給への影響等も勘案し、再生可能エネルギー間のバランスの取れた導入や、最大限の導入拡大と国民負担抑制の両立が可能となるよう制度の見直しを行うとしている。

また、火力発電については、石炭火力、LNG火力の高効率化を進めつつ、また環境負荷の低減も図りながら有効活用し、他方で石油火力については、緊急時のバックアップ利用も踏まえ、デマンドリスポンスを通じたピークシフト等を図ることなどのより、必要最小限の量に留めるとしている。

この長期エネルギー需給見通しについては、少なくとも3年ごとに行われるエネルギー基本計画の検討に合わせて、必要に応じて見直すこととされている。

## 1.8. 研究・開発のための資金協力制度

先進的 LCE 技術の実証を含む研究・開発のための資金協力制度の事例として、以下のよう  
な環境省並びに国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（New Energy and  
Industrial Technology Development Organization: NEDO）の事業があげられる。

	事業名	実施機関	概要
1	CO2 排出削減対策強化 誘導型技術開発・実証 事業	環境省	将来の地球温暖化対策強化につながり、各分野に おける CO2 削減効果が相対的に大きい技術の開 発・実証を政策的に進め、早期の実用化を図るこ とで CO2 排出量の大幅な削減を目指す。
2	途上国向け低炭素技術 イノベーション創出事 業	環境省	日本の低炭素技術を途上国の特性等に応じ抜本 的に再構築し、世界をリードする低炭素技術の普 及を通じた、二国間クレジット制度 (Joint Crediting Mechanism: JCM) の拡大、途上国の低炭素社会構 築の実現及び技術の国際展開を図り、CO2 削減を 同時に達成する。
3	国際エネルギー消費効 率化等技術・システム 実証事業	NEDO	日本が強みを有するエネルギー技術・システムに 関する実証事業を、相手国政府・公共機関との協 力の下で実施することを通じて、日本企業の国際 競争力の強化や地球規模のエネルギー環境問題 の解決に貢献する。
4	新エネルギーベンチャ ー技術革新事業	NEDO	再生可能エネルギー分野の重要性に着目し、中小 企業等（ベンチャーを含む）が保有している潜在 的技術シーズを基にした技術開発を、公募により 実施するもの。申請テーマに関して、技術や事業 化の面での優位性や独自性等の観点から選抜・育 成し、事業化を見据えた技術開発支援を行う。
5	戦略的省エネルギー技 術革新プログラム	NEDO	我が国における省エネルギー型経済社会の構築 及び産業競争力の強化に寄与することを目的と し、「省エネルギー技術戦略」で掲げる重要技術 を中心として、2030 年には高い省エネ効果（原油 換算で年間 10 万 kL 以上の省エネ効果）が見込ま れる省エネルギー技術について、事業化までシー ムレスに技術開発を支援する。
6	エネルギー・環境新技 術先導プログラム	NEDO	省エネルギー・新エネルギー・CO2 削減等のエネ ルギー・環境分野において、2030 年以降の実用化 を見据えた革新的な技術・システムの先導研究を 産学連携の体制で実施する。これにより、革新的 な技術の原石を発掘し、将来の国家プロジェクト 化への道筋をつけることを目指す。

このなかでも明確に海外展開を前提としている、2.途上国向け低炭素技術イノベーション創  
出事業、3. 国際エネルギー消費効率化等技術・システム実証事業、並びに 6. エネルギー・環  
境新技術先導プログラムを見ていく。

## 1) 途上国向け低炭素技術イノベーション創出事業<sup>11</sup>

環境省の途上国向け低炭素技術イノベーション創出事業は、途上国におけるエネルギー起源二酸化炭素の排出を抑制するための技術等のリノベーション・実証を実施する事業に対する補助金を交付する事業である。

### ① 対象事業者

対象事業者は、次に掲げる要件のいずれかを満たすことが必要である。

- ア) 民間企業
- イ) 独立行政法人通則法（平成11年法律第103号）第2条第1項に規定する独立行政法人
- ウ) 一般社団法人・一般財団法人及び公益社団法人・公益財団法人
- エ) 法律により直接設立された法人
- オ) その他環境大臣の承認を経てセンターが認める者

なお、上記の他に、補助金の応募の申請にあたっては、暴力団排除に関する誓約事項に誓約することが求められる。また、補助金の応募等を行い、交付の対象者となる者（以下、代表事業者）は、補助事業の全部又は一部を行い、かつ、当該補助事業により財産を取得する（事業運営管理及び経理を担当する）日本国内における法人とする。なお、大学法人、特定非営利活動法人は、応募申請者の要件には合致しない。

補助事業者に該当する者が複数で事業を実施する場合には、補助事業に参画するすべての事業者が上記要件に該当する日本国内における法人であることが必要となる。また、共同実施の際は、1者を代表事業者、その他の事業者を共同事業者とし、代表事業者は、円滑な事業執行と目標達成のために、その事業の推進に係る取りまとめと進行管理を行うことになる。また、代表事業者及び共同事業者は、特段の理由がありセンターが承認した場合を除き、補助事業として採択された後は変更することができない。

### ② 補助対象国

対象とする低炭素技術の普及を図る国が下記のいずれかに該当すること。

- ア) 平成28年4月20日現在、JCMを構築している国及び構築することに関する決定がなされた国（モンゴル、バングラデシュ、エチオピア、ケニア、モルディブ、ベトナム、ラオス、インドネシア、コスタリカ、パラオ、カンボジア、メキシコ、サウジアラビア、チリ、ミャンマー、タイ及びフィリピン）。（※その後、本事業の実施期間中に新たに構築された場合、それらの国も含める）
- イ) ア)以外の開発途上国であって今後当該二国間文書の署名を行う可能性がある国

### ③ 対象テーマ

優れた低炭素技術は、途上国でのニーズが高く、国際的な地球温暖化対策の強化等に不可欠。一方、こうした低炭素技術をそのまま途上国に移転した場合、当該国の環境規制・制度、文化慣習、資源・エネルギー制約等の理由から市場に浸透しない可能性がある。これらの低炭素技術を途上国の特性等に応じ抜本的に再構築し、世界をリードする低炭素技術の普及を通じた、JCMの拡大、途上国の低炭素社会構築の実現及び技術の国際展開を図り、CO<sub>2</sub>削減を同時に達成する。こうした過程で生み出されたイノベーションにより、国内の技術開発や他地域への波及等へつなげていく。

### ④ 事業概要

優れた低炭素技術を有する事業者と途上国の技術ニーズやリノベーション要素をマッチン

<sup>11</sup> 平成28年度二酸化炭素排出抑制対策事業費補助金（途上国向け低炭素技術イノベーション創出事業）の関連資料に基づく

グさせ、途上国ごとの特性を基に、低炭素技術の抜本的なリノベーションを行う民間事業者に対し当該費用の一部を補助する。

#### ⑤ 期待される効果

途上国に優れた低炭素技術を普及し、CO<sub>2</sub>排出削減による低炭素社会の構築を実現するとともに、二国間クレジットの活用拡大や低炭素技術の国際競争力の強化につなげる。本事業の技術が普及することにより、平成42年度に50万t程度のCO<sub>2</sub>削減を目指す。

#### ⑥ 研究開発テーマの実施期間

平成26年～30年で最大3年間。よって、平成29年度新規採択事業については最大2年間。

#### ⑦ 研究開発テーマの規模・環境省負担率

民間団体に補助（補助割合：1/2～2/3）。1件当たりの補助金枠は特に設定していない。

#### ⑧ 事業規模

各年度の予算額は以下のとおり。

年度	予算額
平成29年度（案）	1,400百万円
平成28年度	1,400百万円
平成27年度	1,500百万円
平成26年度	1,500百万円

## 2) 国際エネルギー消費効率化等技術・システム実証事業<sup>12</sup>

日本が強みを有するエネルギー技術・システム（省エネルギー、再生可能エネルギー、スマートコミュニティ等）に関する実証事業を、相手国政府・公共機関との協力の下で実施することを通じて、日本企業の国際競争力の強化や地球規模のエネルギー環境問題の解決に貢献することを目指す。

### ① 対象事業者

対象事業者は、次に掲げる要件の全てを満たすことが必要である。

- ア) 当該技術又は関連技術について調査／事業実績を有し、かつ、調査／事業目標の達成及び調査／事業計画の遂行に必要な組織、人員、知見等を有していること。
- イ) 当該業務を円滑に遂行するために必要な経営基盤があり、かつ、資金及び設備等の十分な管理能力を有していること。
- ウ) 本事業を推進する上で必要となる措置を適切に遂行できる体制を有していること。
- エ) 企業等が単独で本事業に応募する場合は、当該事業の実証研究の成果の普及計画の立案とその実現について十分な能力を有していること。
- オ) 研究組合、公益法人等が代表して応募する場合は、参画する各企業等が当該事業の実証研究の成果の普及計画の立案とその実現について十分な能力を有するとともに、応募する研究組合等とそこに参画する企業等の責任と役割が明確化されていること。
- カ) 提案事業の全部を複数の企業等が共同して実施する場合は、各企業等が当該事業の実証研究の成果の普及計画の立案とその実現について十分な能力を有しており、各企業等間の責任と役割が明確化されていること。また、代表幹事が予め明確化されていること。
- キ) 本事業は、相手国政府機関及び実施サイト機関等と、国際的に共同で実施する事業であり、実証研究の実施に当たっては助成先と対象実施サイトが業務及び費用を分担して行

<sup>12</sup> 平成28年度「国際エネルギー消費効率化等技術・システム実証事業」の関連資料等に基づく。

うこととなるため、事業全体及び実施サイトによる分担業務の遂行について責任を持つこと。

- ク) 事業実施に係る経費を負担するための必要な財務基盤を有していること。
- ケ) 提出された提案書類の内容及び採択審査結果、NEDOが定めるマニュアル等に従い、事業を遂行すること。また事業実施に必要な能力を有するとともに、事後評価・追跡調査への協力等も行えること。
- コ) 提案者（連名提案の場合は代表提案者）は日本法人（登記法人）であること。なお、実証研究後の普及ビジネス展開、当該国における広範な事業参画のための計画策定等において現地、及び在外パートナーとのアライアンス構築は極めて重要であり、さらには国際標準獲得も考慮し、一定の条件を満たした場合は、日本法人と外国法人との連名による委託/助成も取り得るものとする。

## ② 補助対象国

本邦域外における全ての国・地域。

## ③ 対象テーマ

省エネルギー技術（産業省エネ、民生省エネ、省エネ型水循環処理等）、再生可能エネルギー技術（太陽光・太陽熱、陸上・洋上風力、バイオマス、地熱、水力、海洋、廃棄物エネルギー利用等）、燃料電池・水素利用、これら複数技術を組み合わせたシステム等（スマートコミュニティ技術等）。原子力に関する技術は対象外である。

なお、基本的に公募予告期間中に提出された関心表明書等に基づき、相手国ニーズや普及性等を踏まえ、NEDOが課題を設定し、公募を行う。例として直近の公募で設定された課題を下記に示す。

公募時期	設定された課題
2016年4～6月	<課題グループA> 1. 未利用熱を活用した省エネルギー型空調システムに関する技術 2. 省エネルギー型照明システムに関する技術 3. 耐久性・信頼性に優れた洋上風力発電システムに関する技術 <課題グループB> 4. 低コスト蓄電池システム導入による電力系統安定化に関する技術
2016年2～3月	<課題グループA> 1. 省エネルギー型地域冷房システムに関する技術 2. バイオガス発電システムに関する技術 <課題グループB> 3. 電池交換式小型電気自動車の充電インフラに関する技術

## ④ 事業概要

本事業は下記のとおり3つのフェーズにより構成される。案件の熟度に応じて、実証要件適合性等調査もしくは実証前調査から開始する。実証研究からの開始は認められない。

フェーズ	概要
①実証要件適合性等調査	対象国におけるエネルギー消費実態等の情報収集、これらを踏まえたエネルギー有効利用方策、有望分野・重点分野等の調査分析、相手国専門家や普及に係る意思決定者等の招聘研修を含め相手国政府機関等関係者との交流を通じた協力関係の構築を行う。 調査結果に基づき、実証要件適合性が高い案件は、再度公募を実施の上、実証前調査フェーズに移行する。

②実証前調査	<p>新たな実証研究候補となる技術・システムの事業化可能性について、相手国の政府機関、サイト候補企業等との協議、条件調整を含む具体的な事業実施に向け必要な実証前調査を実施し、実証研究の実現可能性を検証する。</p> <p>調査結果に基づき、の実証前調査の終了後、外部有識者による評価（事業化評価委員会）を経て、次フェーズへの移行が了承される場合、公募を経ずに実証研究に移行することが可能。事業化評価委員会にて次フェーズへの移行が了承されない場合、実証前調査にて NEDO の助成は終了となる。また実証研究への移行に際して、助成先の追加が必要な場合には、再度公募を実施する。</p>
③実証研究	<p>実際に実証技術・システムを現地に設置しその導入効果や新たなビジネスモデルを実証する。</p> <p>実証運転終了後、新たな技術・システム、ビジネスモデルを社会実装するため、助成先企業はサイト企業とともに普及活動を実施し、広範な普及を目指す。</p>

### ⑤ 期待される効果

世界全体における化石燃料依存を低減させることにより、日本のエネルギー安定確保に貢献する。最先端の実証事業に取り組むことで、中核的な技術・システムに関する世界でのフロントランナーとしての地位を確保する。

また、企業の活動を通じた技術・システムの普及により、国際的な原油削減効果を達成すると同時に、海外における新市場の創出に寄与することを目標とする。具体的には、平成 32 年度までに 15 件の新市場を創造し、それにより国際的な原油削減の累積効果が 1,968 万 kL となること等を目指す。

### ⑥ 研究開発テーマの実施期間

実証要件適合性等調査と実証前調査は 1 年以内、実証研究は原則 3 年以内。

### ⑦ 研究開発テーマの規模・NEDO 負担率

平成 28 年 2～3 月公募時の概要は以下のとおり。

フェーズ	実施形態	予算規模(助成事業は NEDO 負担の上限)
実証要件適合性等調査	委託（必要経費全額を NEDO 負担）	1 件あたり 20 百万円未満
実証前調査	助成（必要経費に以下の助成率を乗じた金額を NEDO が負担） ・大企業：1/2 ・中小企業等：2/3	・大企業：20 百万円未満 ・中小企業等：30 百万円未満
実証研究	助成（必要経費に以下の助成率を乗じた金額を NEDO が負担） ・大企業：1/2 ・中小企業等：2/3	・大企業：20 億円程度 ・中小企業等：30 億円程度

### ⑧ 事業規模

平成 5～21 年度は「国際エネルギー消費効率化等モデル事業」、平成 22 年度は「国際エネルギー消費効率化等技術普及協力事業」、平成 23 年度から現在の事業名で行われている。平成 23 年度以降の各年度の予算額は以下のとおり。

年度	予算額
平成 29 年度 (案) <sup>13</sup>	140.0 億円
平成 28 年度	40.0 億円
平成 27 年度	134.6 億円
平成 26 年度	220.0 億円
平成 25 年度	205.0 億円
平成 24 年度	204.0 億円
平成 23 年度	190.0 億円

### 3) エネルギー・環境新技術先導プログラム <sup>14</sup>

NEDO の「エネルギー・環境新技術先導プログラム」は、飛躍的なエネルギー効率の向上や低炭素社会の実現に資する有望な技術の原石を発掘し、将来の国家プロジェクトに繋げていくことを目的とする。省エネルギー・新エネルギー・CO<sub>2</sub>削減等のエネルギー・環境分野において、産学連携に取り組む大学・研究機関・企業等を対象として、原則 2030 年以降の実用化を見据えた革新的な技術・システムを対象としている。

#### ① 対象事業者

対象事業者は、次に掲げる要件を満たすことが必要である。

- ア) 我が国の法人格を有する 我が国の法人格を有する民間企業、大学、公的研究機関、等が、原則として共同で実施することとし、当該事業者が日本国内に本申請に係る主たる技術開発のための拠点を有していること。ただし、大学、公的研究機関において、将来的に民間企業等と共同で研究開発を実施し、産業界へ大きなインパクトをもたらす可能性を有する優れた研究開発テーマについては、大学、公的研究機関のみによる実施も認める。
- イ) 独立行政法人又は公益法人が民間企業、大学、公的研究機関等と連携体制を構築する場合、他者に比べて優位性を有することを申請書に明記すること。
- ウ) 関連分野の開発等に関する実績を有し、かつ、技術開発目標の達成及び技術開発の遂行に必要となる組織及び人員等を有していること。
- エ) 委託事業に係る経理その他事務について、的確な管理体制及び処理能力を有していること。
- オ) 委託業務管理上、NEDO の必要とする措置を適切に遂行できる体制を有していること。

#### ② 対象研究開発テーマ

対象研究開発テーマは、省エネルギー・新エネルギー・CO<sub>2</sub>削減等のエネルギー・環境分野において、将来の国家プロジェクト化に資する新規性・革新性の高い先導研究であって、公募対象となる研究開発課題に該当するもの。

#### ③ 研究開発テーマの実施期間

平成 26 年度～平成 30 年度までの予定。原則 1 年以内とする。ただし、研究内容により最大 2 年間程度。なお、大学、公的研究機関のみによる実施は 1 年以内とする。

#### ④ 研究開発テーマの規模・NEDO 負担率

1 億円程度以内／（年・件）（委託：NEDO 負担率 100%）なお、大学、公的研究機関のみに

<sup>13</sup> 平成 29 年度予算案では事業名が「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」となっている。

<sup>14</sup> 平成 28 年度「エネルギー・環境新技術先導プログラム」の関連資料等に基づく。

よる実施は2千万円を上限としている。

⑤ 採択予定件数

予算に応じ、提案内容の優れているものを採択する。

⑥ 28年度事業規模

各年度の予算額は以下のとおり。

年度	予算額
平成29年度(案) <sup>15</sup>	26.0億円
平成28年度	21.5億円
平成27年度	31.4億円
平成26年度	20.0億円

<sup>15</sup>平成29年度予算案では事業名が「エネルギー・環境分野の中長期的課題解決に資する新技術先導研究プログラム」となっている。



## 2. 気候変動に関連する資金支援の動向（海外）

以下において、海外における先進的エネルギー技術に関連する資金支援制度として、「2013-2014年の気候変動ファイナンス」の動向について記載する。

### (1) エグゼクティブサマリー

#### ■背景

- 現 COP 議長のペルーと次期議長のフランスの要請を受け、2010年のカンクン合意における資金目標達成に向けて動員された気候資金の最新の推計（2013年及び2014年）を示したものの。
- 2015年10月7日の世銀・国際通貨基金（International Monetary Fund: IMF）年次総会において開催された非公式のリマ気候変動会合で発表された。

#### ■報告書のポイント

- 先進国が、2016年1月にUNFCCCへ提出予定の隔年報告書（Biennial Reports）に記載される見込みの、二国間公的資金の数字を先進国から入手したことにより、COP21に先立ち、包括的だが、予備的（*preliminary*）な推計を行った。
- 民間の協調融資活動に係るデータ（*private co-financing data*）を基に、公的気候資金により動員された民間貴構資金の、現時点における暫定的かつ部分的な推計を行った。
- 推計においては、19か国<sup>16</sup>の先進国による共同声明“Joint Statement on Tracking Process Towards the \$100 billion Goal”<sup>17</sup>に沿い、トラッキング及び報告のための共通の手法に可能な限り準拠した。
- 気候資金全体の推計を、主な資金源ごとに分析し、その手法を開示することにより、透明性を確保した。

#### ■2013-2014年の主な成果

- 2014年に先進国から途上国に供与された公的・民間気候資金は、618億米ドルにのぼった。これは、2013年の522億米ドルからの大幅な増加であり、2013-2014年平均では570億米ドルとなった。
- 2013-2014年平均で供与された資金のうち、約71%（約407億米ドル）は二国間及び多国間を含める公的資金、約26%（約147億米ドル）は民間資金、約3%（約16億米ドル）は公的輸出信用によるものであった。分野別の内訳は、約70%以上が緩和活動、約16%が適応活動を対象としたもので、緩和と適応の両方を対象とするものはわずかであった。
- 公的気候資金のうち、二国間公的資金（*Bilateral Public Finance*）の数字は、2016年1月に先進国がUNFCCCに報告する予定のものに基づく。
- 公的気候資金のうち、多国間公的資金（*Multilateral Public Finance*）の数字は、国際開発金融機関（*Multilateral Development Banks: MDBs*）<sup>18</sup>及び主要な気候基金<sup>19</sup>によるもののうち、先進国による拠出分。
- 民間資金（約147億米ドル）のうち、半分は二国間、半分は多国間公的資金により動員されたもの。
- 公的輸出信用（*Export Credits*）の殆どは、再生可能エネルギー関連プロジェクトを対象と

<sup>16</sup> オーストラリア、ベルギー、カナダ、デンマーク、フィンランド、フランス、ドイツ、イタリア、日本、ルクセンブルグ、オランダ、ニュージーランド、ノルウェー、ポーランド、スウェーデン、スイス、イギリス、アメリカ、欧州委員会

<sup>17</sup> <http://www.news.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/40866.pdf>

第2回非公式閣僚協議: 2015年9月、フランス・パリ

<sup>18</sup> アフリカ開発銀行（AfDB）、アジア開発銀行（ADB）、欧州復興開発銀行（EBRD）、欧州投資銀行（EIB）、米州開発銀行（IADB）、国際金融公社（IFC）及び世界銀行

<sup>19</sup> 適応基金（AF）、気候投資基金（CIFs）、地球環境ファシリティ（GEF）及びGEFが運営する信託基金、北欧開発基金（Nordic Development Fund）

するもの。

図 1 動員された気候資金 (10 億米ドル)

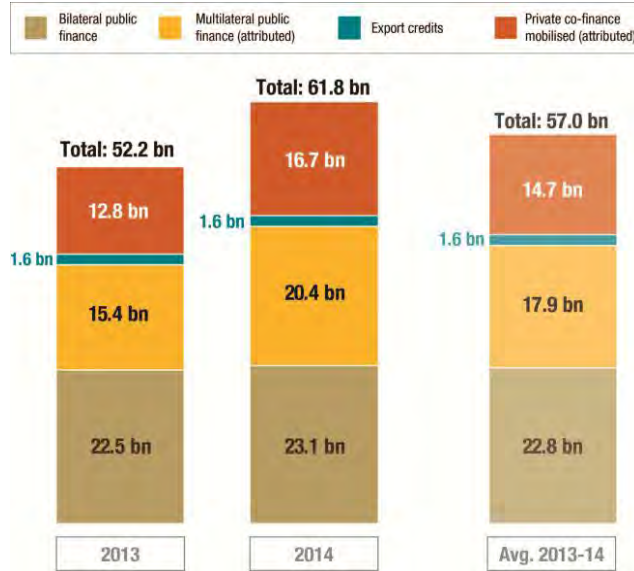


図 2 先進国から動員された気候資金の資金源別の予備的推計 (10 億米ドル)

Climate Finance Source		2013	2014	Average 2013-14	Coverage of data	Consistency of Data
Public	Bilateral finance	22.5	23.1	22.8	28 Parties, ODA and OOF	Party-own reporting to UNFCCC
	Multilateral climate change funds (outflows, attributed)	2.2	2.0	2.1	GEF and 5 main funds	Reporting to OECD DAC CRS
	Multilateral Development Banks (climate finance outflows, attributed)	13.0	18.0	15.5	6 main MDBs, concessional and non-concessional	Joint MDB approach reported to OECD DAC CRS
	Specialised United Nations Bodies and other multilateral organisations (climate-specific inflows)	0.3	0.4	0.4	Range of funds, limited climate-specific data	Party-own reporting to UNFCCC and OECD DAC Statistics
Export Credits	Officially supported export credits	1.3	1.5	1.4	Renewables only	OECD Export Credits Individual Transactions Database
	Supplementary Party reporting	0.3	0.1	0.2	Information from 3 Parties	Party-own reporting
Private	Mobilised through bilateral channels	6.5	8.1	7.3	21 bilateral finance institutions and providers; varying instrument coverage	Initial joint-DFI and DAC methodologies
	Mobilised by MDBs, attributed to developed countries	6.2	8.6	7.4	6 main MDBs, MIGA, CIFS, GEF; limited instrument coverage	Initial MDB methodology for estimating co-financing
<b>Aggregate of Climate Finance</b>		<b>52.2</b>	<b>61.8</b>	<b>57.0</b>		

Spectrum of data coverage (providers and instruments)				
Complete	Comprehensive	Partial	Very Partial	Unavailable
Spectrum of data consistency				
Consistent	Broad convergence	Partial convergence	Variety of approaches	Unclear

## (2) 推計の枠組み

### i 推計の対象の資金

- ◇ 二国間公的資金 (*Bilateral public finance*) : 各国が UNFCCC に報告する ODA 及びその他の公的フローを含む暫定的な推計
- ◇ 多国間気候資金 (*Multilateral climate finance*) : MDBs 及び多国間気候基金によるのうち、先進国による譲許的・非譲許的資金
- ◇ 気候関連の公的輸出信用 (*Officially supported export finance*)
- ◇ 動員された民間資金 (*Private finance mobilized*)
  - 二国間チャネルによる動員 (主要な二国間援助機関や開発金融機関 (DFIs) 等)
  - 多国間チャネルによる動員 (主要な MDBs 及び多国間気候基金等のうち、先進国による資金)

### ii 推計の対象に含まれる先進国とその他の資金供与国

UNFCCC 附属書 II の 24 か国、及び OECD 開発援助委員会 (Development Assistance Committee: DAC) メンバー<sup>20</sup>のうち、ボランティアベースで本推計への協力を依頼された 4 か国 (チェコ、ポーランド、スロバキア、スロベニア)

### iii 推計の対象となる受益国 (途上国)

全ての UNFCCC 非附属書 I 国、及び OECD DAC メンバーのうち ODA 適格国<sup>21</sup>

### iv 推計の対象となる気候変動活動の定義

- 関連機関による既存の定義や適格性クライテリア (OECD DAC リオマーカー、MDBs 共同報告書における緩和活動の定義、IPCC 等) に基づく気候変動緩和策、適応策、及び分野横断的活動
- UNFCCC 資金に関する常設委員会による定義 (*operational definition*)<sup>22</sup> に基づく活動
- 石炭火力発電プロジェクトへの支援を除く (CCS and/or CCU に関係するものは含む)

### vi 推計のベース

- 資金の流れを、コミットメントベース、もしくはディスバースメントベースに基づいて推計。コミットメントベースは、ディスバースメントベースに比して、前倒し (*front-loading*) の推計値となる。
- 二国間公的資金に関する UNFCCC への各国の報告値は、コミットメントベースとディスバースメントベースの両方を含む。その他はすべてコミットメントベース (詳細は Annex C 参照)。

### vii 推計対象期間

- 2013 年と 2014 年について、それぞれの年間ベース及び 2013-2014 年平均を、米ドルで推計。
- 平均値を採用するほうがより信頼できる推計となる場合もあることから、本推計では、2013、2014 年の各年と、2013-2014 年平均の両方を算出。

<sup>20</sup> オーストラリア、オーストリア、ベルギー、カナダ、チェコ、デンマーク、EU、フィンランド、フランス、ドイツ、ギリシャ、アイスランド、アイルランド、イタリア、日本、韓国、ルクセンブルグ、ノルウェー、オランダ、ニュージーランド、ポーランド、ポルトガル、スロバキア、スロベニア、スペイン、スウェーデン、スイス、イギリス、アメリカ

<sup>21</sup> 対象国リストは、報告書の Annex B 参照

<sup>22</sup> "Climate finance aims at reducing emissions, and enhancing sinks of greenhouse gases and aims at reducing vulnerability of, and maintaining and increasing the resilience of, human and ecological systems to negative climate change impacts."

## viii 公的資金、民間資金の定義

- OECD DAC の定義 (*standard definition*) に基づき、公的機関と民間機関に分類。
- 調達方法 (税金や民間セクターからの借入れ等) に関わらず、中央・州・地方政府機関により、自己のリスクと責任の下で実行 (供与) されたものは、公的資金に分類。

## ix 公的資金の定量化

- 公的資金として供与された全ての金融商品を額面金額 (*cash face value*) で推計。
- 各国や各機関による独自のアプローチに基づく (国別の UNFCCC への報告及び、MDBs 共同の *climate component approach* 等)

## x 動員された民間資金の定量化

- 可能な限りの活動レベルのデータ (*best-available activity-level data*) を用い、推計。本推計では、公的資金と直接関連付けられる協調融資が対象。
- 本調査では、レバレッジ比率を使用した簡易的な方法で、動員された民間資金を推計してはいない。

## xi ダブルカウントの回避

本推計における二国間公的資金は、OECD DAC による統計外で収集された数字に基づく。他方、多国間公的資金は、DAC の統計における活動レベルデータの推計 (例: MDBs による *outflows* と他の多国間基金・二国間資金等からの *flow* とのダブルカウントを避けるため) に基づく。

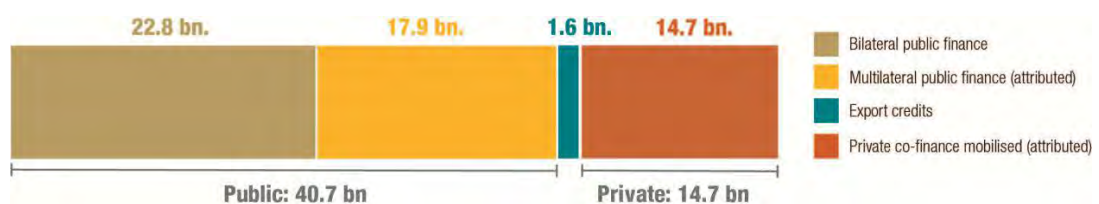
## xii 先進国に帰する多国間資金

- 多国間による資金拠出 (*outflow*) は、先進国と途上国双方の資金貢献によるものが含まれる。本推計では、年間 1000 億米ドルの目標に係る先進国からの貢献分のみを対象とする。
- MDBs による譲許的融資 (*concessional loan*) ・通常融資 (*non-concessional loan*) は、加盟国からの資金貢献の使われ方が異なるため、別々の扱いとする。特に、通常融資に向けられる資金は、MDBs 自らが国際資本市場から調達するもので、MDBs 自身の資本金 (払込資本金及び請求払資本金) に依るものである。一方、譲許的融資の資金は、主に加盟国による拠出金に依るものである。

### (3) 年間 1,000 億米ドルの目標達成に向けた進捗

- 2014年に先進国から途上国に供与された官民合わせた気候資金は、618億米ドルにのぼった。これは、2013年の522億米ドルからの大幅な増加であり、2013-2014年の平均は570億米ドルとなった。
- 2013-2014年の平均570億米ドルの内訳では、緩和活動77%、適応活動16%、両分野対象が7%となっている。この結果は、動員された民間資金の90%が緩和関連活動に向けられていることに影響されたものである。
- 本推計には、石炭関係のプロジェクトは含まれていない。しかしながら、日本と豪州は、高効率石炭発電への支援が気候資金に含まれるべきとの立場をとっており、日本は2013～2014年に32億米ドルの支援を行ったことを報告。

図 4 資金源別の動員された気候資金（10億米ドル、2013-2014年平均）



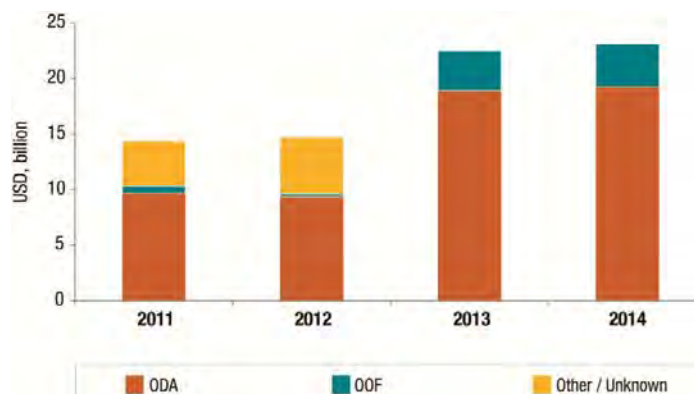
#### 公的気候資金

1000億米ドルの目標に向けた2013-2014年の成果として、各国の独自の報告手法に基づいた報告が、2016年1月に、先進国の隔年報告書（Biennial Reports）により提出される。公的資金の推計は、OECD DACメンバーが提出予定の暫定的な数字と、MDBsや多国間基金からOECDに報告された、先進国に帰する支援の実施に基づいたものである。

#### ■二国間公的資金

- 二国間公的資金は、2014年には231億米ドルとなった。これは、2013年の225億米ドルからのアップであり、2013-2014年平均は228億米ドルであった。さらに、2011-2012年平均の145億米ドルからは、57%ものアップとなった。主要ドナーとのコンサルテーションによると、これらの要因には、以下のようなものがある。
  - 気候変動分野に特化して配分される実予算の拡大
  - ii) 統計においてカバーされる範囲の拡大（その他の政府資金（Other Official Flows: OOF）や動員された資本（mobilized capital）等の動きがより報告されるようになったこと
  - 早期資金（Fast Start Finance）における特定の気候資金やプログラムへの資金投入を超え、気候変動をより広い国際的な協力・支援活動に統合・主流化させたプログラムの構築手法へとシフトしていること
- 二国間公的資金のほとんどは、ODAによるもの。
- 本推計の対象外であるが、世界全体の気候資金の総額のうち、2013年には11%が途上国間のフローとなった。
  - イスラム開発銀行（2013年に7億米ドルを供与。今後さらに増加を公約）
  - UAE（DACメンバーとして、2013-2014年平均で6億米ドルを供与）
  - BRICS銀行
  - アジアインフラ開発銀行（中国が主導）

図 5: 2011-2014 における二国間公的気候資金の資金源別実績 (10 億米ドル)



■多国間公的資金

- 多国間公的資金<sup>23</sup>は、2014年には204億米ドルとなった。これは、2013年の154億米ドルからのアップであり、2013-2014年平均は179億米ドルであった

図 6: 2013-2014 年の先進国に帰する多国間気候資金の実績 (10 億米ドル)

	2013	2014	2013-2014年平均
多国間気候基金（先進国による貢献分） <sup>24</sup>	2.2	2.0	2.1
MDBs（先進国による貢献分） <sup>25</sup>	12.9	18.0	15.5
国連専門機関、その他の多国間機関 <sup>26</sup>	0.3	0.4	0.4
合計	15.4	20.4	17.9

公的輸出信用及び個別の国からの追加的な報告 (*supplementary Party reporting*)

- 公的輸出信用と、特定の国（カナダ、日本、米国）からの追加的な報告を併せ、2013-2014年平均で16億米ドル<sup>27</sup>。
- 公的輸出信用の推計の殆どは再生可能エネルギー分野で、72%が風力発電に向けられており、その91%は中所得国が対象。
- 再生可能エネルギー分野以外の公的輸出信用の推計に係るデータの収集は、現時点では容易ではない。
- カナダ、日本、米国などは、第2回隔年報告書 (Biennial Reports) において、各国独自のアプローチによる、気候変動関連の輸出信用の実績を報告している。

<sup>23</sup> 多国間・基金やMDBsがコミットした *outflow* ベースの推計に基づくもので、各国から UNFCCC に報告される直接貢献分 (*direct contribution (=inflow)*) と異なる。

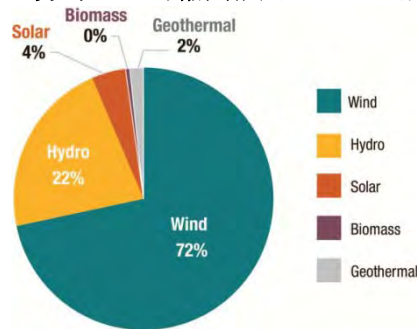
<sup>24</sup> 適応基金 (AF)、気候投資基金 (CIFs)、地球環境ファシリティ (GEF) 及び GEF が運営する信託基金、北欧開発基金 (Nordic Development Fund)

<sup>25</sup> アフリカ開発銀行 (AfDB)、アジア開発銀行 (ADB)、欧州復興開発銀行 (EBRD)、欧州投資銀行 (EIB)、米州開発銀行 (IADB)、国際金融公社 (IFC) 及び世界銀行

<sup>26</sup> Forest Carbon Partnership Facility and organisations such as UNDP and UNEP

<sup>27</sup> OECD データベースによる集計 (14億米ドル) と、各国の独自の報告 (4億米ドル) とのダブルカウントの無いよう、考慮された。

図 7: 再生可能エネルギー分野の公的輸出信用のタイプ別分類 2013-14



動員された民間資金

- 二国間・多国間公的資金により動員された民間資金が報告されるのは、本推計が初となる。
- 2014年に動員された民間資金は167億米ドルで、2013年の127億円から大きく伸びている。また、2013-2014年平均では147億米ドルとなった。
- 民間資金は、可能な限りの民間協調融資に係るデータ (best-available private co-financing data) を用いて推計されているが、推計の精度は予備的 (preliminary) かつ部分的 (partial) なものである。

図 8: 多国間・二国間チャネルにより動員された先進国の民間資金推計 (10億米ドル)

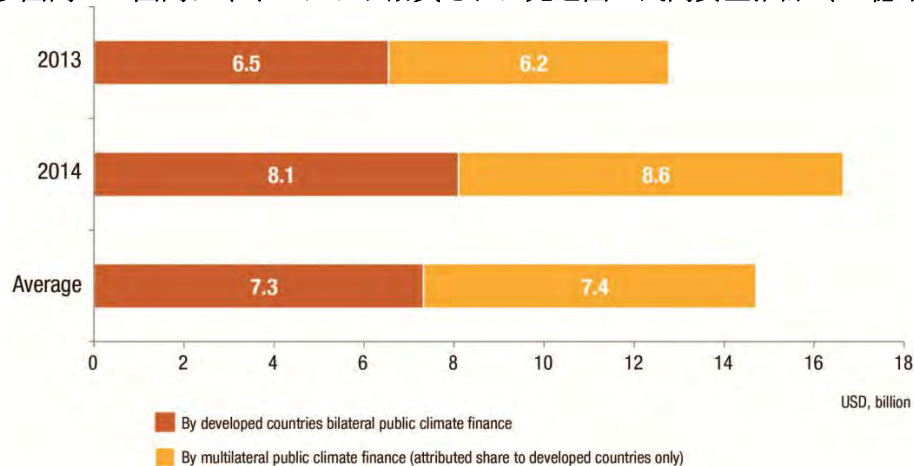


図 9: 公的金融商品別の民間協調融資データのアベイラビリティ

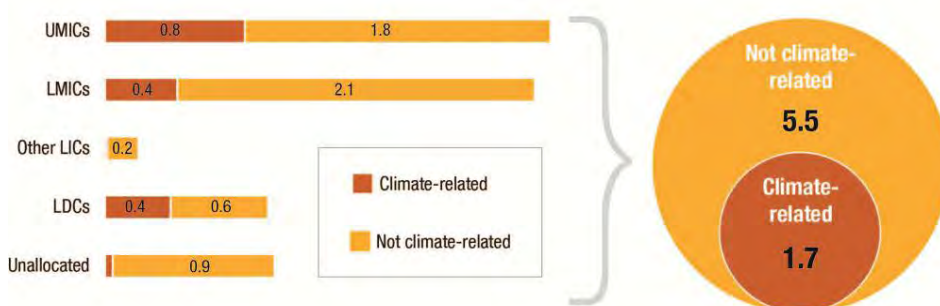
Public finance instruments	Private climate finance mobilised by...				
	Bilateral public finance		Multilateral public finance		
Grants	Complete	Comprehensive	Partial	Very Partial	Unavailable
Concessional loans	Complete	Comprehensive	Partial	Very Partial	Unavailable
Non-concessional loans	Complete	Comprehensive	Partial	Very Partial	Unavailable
Credit lines	Complete	Comprehensive	Partial	Very Partial	Unavailable
Direct equity	Complete	Comprehensive	Partial	Very Partial	Unavailable
Fund-level equity	Complete	Comprehensive	Partial	Very Partial	Unavailable
Guarantees	Complete	Comprehensive	Partial	Very Partial	Unavailable

- 動員された民間資金を、協調融資に係るデータに基づいて推計することは、プロジェクトベースでの公的資金によるインパクトの過大評価につながる。これは、民間資金の動員を

目的とした、公的資金によるキャパシティ・ビルディングやバジェットサポート（例：再エネプロジェクトを推進する目的でのFIT導入支援）、政策支援（例：FITの実行）が考慮されないためである。他方、これらの公的資金による関与を考慮しないことは、公的資金との協調融資の形式をとらない、間接的に動員される（*mobilized indirectly*）民間資金が補足されない（推計から漏れる）ことになり、合計の推計値の過小評価につながる。

- 公的保証により動員された民間資金（気候変動以外も含む）は、2013-2014年平均で72億米ドルであり、このうち24%（17億米ドル）が気候変動関連に分類されている。保証は、主に、中所得国（Lower Middle Income Countries: LMICs）を対象とするものであり、2009年の2億米ドルから上昇傾向にある。

図 10: 公的保証により動員された民間資金の総額及び受益国の所得階層別金額 (10億米ドル、2013-2014年平均)<sup>28</sup>



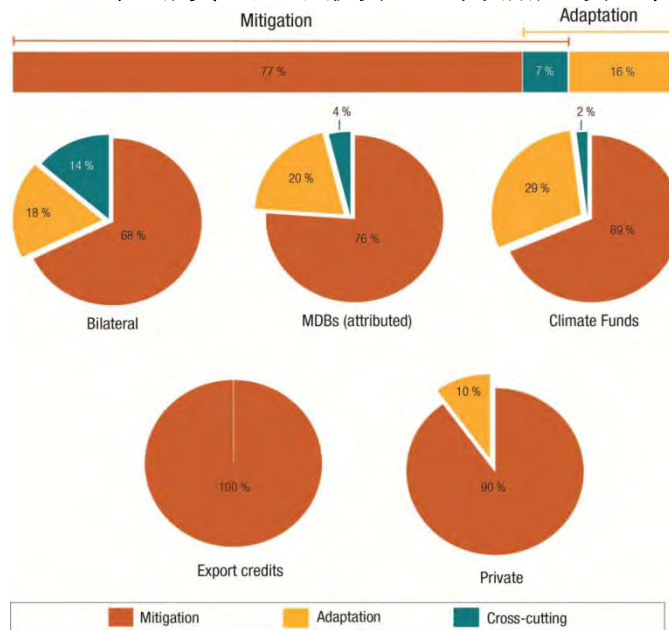
#### 適応と緩和のバランス

- 年間1000億米ドルの目標に係り、2013-2014年平均で供与された気候資金570億米ドルの内訳は、77%が緩和活動、16%が適応活動を対象としたもので、緩和と適応の両方を対象とした活動は7%であった。
- 適応と緩和を同時にターゲットとすることで、複数のコベネフィット効果をもたらすことが期待される。
- 適応活動には、民間資金よりも多くの公的資金が供与された。動員された民間資金及び輸出信用資金の90%以上が、緩和活動を対象としている。
- 気候変動に対する耐性向上（*climate resilience*）に係る活動は、単独で実施されるものではなく、多くの場合、農業や水セクターのプロジェクトの一部として実施されることから、適応資金として報告されることは殆どない。

<sup>28</sup> 高中所得国（UMICs: upper middle income countries）、低中所得国（LMICs: lower middle income countries）、低所得国（LICs: low income countries）



図 11: 2013-2014 年に動員された気候資金の対象活動・資金原別分類



- 2014 年に運用が開始された GCF では、先進国・途上国合わせ、これまでに 100 億米ドル以上のプレッジがされている。これらのプレッジは、未だ基金にディスバースされていないため、本推計には含まない。GCF は、長期的に、緩和活動と適応活動の支援を両立させることを目指しており、資金の 50% をグラントベースで適応に割り当て、そのうち半分を、気候変動に最も脆弱な途上国を対象とすることを目指している。

#### (4) 気候資金のトラッキング手法

先進国による UNFCCC への気候資金に係る報告

- UNFCCC のもとでの附属書 II 国による気候資金の報告は、過去数年で大きく進展した。2014 年に初めて提出された隔年報告書 (Biennial Reports) は、これまでの国別報告書 (National Communications) による報告と比して、包括的で透明性があり、頻度も (4 年に一度→2 年に一度) 高いものとなった。
- 一方、既存のガイドライン<sup>29</sup>や共通報告様式 (Common Tabular Format) では、報告に関する国際的に合意された定義や手法は明確にされておらず、各国が報告書の中で定義や手法を示す必要があり、画一的な報告を促進するに至っていない。第一回隔年報告書のレビューにおいては、ガイドラインの改善の余地が指摘された。
- 資金に関する常設委員会 (SCF) による 2014 年の Biennial Assessment and Overview of Climate Finance Flows の報告に基づいて、SCF は気候資金の MRV の改善に向けた一連の提案を行っている。

多国間公的資金に係る報告

- 気候資金の多くが、多国間チャネルを通じて供与されている。多国間資金の推計においては、inflows to multilateral organisations (資金拠出者による貢献を推計) と outflows from multilateral organizations (多国間機関から実際に供与された資金を推計) の 2 つ推計地点がある。前者の資金は、その用途が特定化されていないもの (un-earmarked support) であるから、それらに占める気候変動活用割合等を把握することは容易ではない。

UNFCCC Decision 2/CP.17, Durban, 2011. <http://unfccc.int/resource/docs/2011/cop17/eng/09a01.pdf>

動員された民間資金に係る報告

- 動員された気候資金の推計や報告を改善するために、様々なステークホルダーが、データ収集や手法の明確化に向けたさらなる努力を進めている。
  - 19 国<sup>30</sup>の先進国による共通認識の確立や、気候資金のトラッキング及び報告のための共通の手法の開発
  - MDBs や二国間開発機関共同による、手法の開発、データ収集に係る作業
  - OECD DAC による、金融手法別のトラッキング手法の開発に向けた統計的研究
  - 先進国をはじめとする資金供与国による、自国において動員された民間資金の推計に向けた個別のパイロットスタディ
- 公的保証、シンジケートローン (syndicated loans)、及びファンドへのエクイティ出資 (equity shares in fund) により動員された民間資金の推計に関しては、すでに、OECD DAC により手法が開発され、推計が実現している。同様に、メザニンローン (mezzanine loans)、直接出資 (direct equity investments)、及び与信枠 (credit lines) 等により動員された資金に係るデータの捕集に加え、2017 年以降の、よりシステムティックなデータ収集・報告体制の整備が期待される。

<sup>29</sup> UNFCCC Decision 2/CP.17, Durban, 2011. <http://unfccc.int/resource/docs/2011/cop17/eng/09a01.pdf>

<sup>30</sup> オーストラリア、ベルギー、カナダ、デンマーク、フィンランド、フランス、ドイツ、イタリア、日本、ルクセンブルグ、オランダ、ニュージーランド、ノルウェー、ポーランド、スウェーデン、スイス、イギリス、アメリカ、欧州委員会

## (5) 教訓と結論

- 本推計の主要な結論として、年間 1000 億米ドルの目標に向け、大きな進展が見られた。気候資金全体で、2014 年に 618 億米ドルが動員されており、2013 年の 522 億米ドルからの増大となっており、2013-2014 年平均では 570 億米ドルである。同一期間において、金額が最も大きい二国間公的資金は、2011-2012 年平均と比較し飛躍的な増加であり、これは、実際の支援額の増加と統計のカバー範囲の拡大によるものである。
- 本推計作業により得られた教訓として、以下の 3 点がある。
  - 共通かつ透明性のある定義、手法、報告アプローチに向けた収束が、データの一貫性と制度の確保につながる
  - 気候資金の報告における透明性とアカウントビリティの向上が期待される
  - 気候資金のモニタリングや報告をより向上するには、各国・各機関を通じ、気候資金関連データの透明性、整合性、及び包括性の推進に向けた、首尾一貫したアプローチの継続が必要である。

### 3. カーボンオフセット制度（CDM、JCM）

本節では、カーボンオフセット制度関連の動向（国連における市場メカニズムの動向）を見ながら、日本政府が、独自に実施している Joint Crediting Mechanism（JCM）の現状と課題について、これまでの制度の整備状況を方法論の開発状況やプロジェクトの登録動向を分析する。その上で、普及促進の事例分析（カーボンオフセットの事例分析）を、現在、国連の下で実施されている市場メカニズム、クリーン開発メカニズム（CDM）に導入されている技術や投資額等を分析するとともに、高効率火力発電所、植林等の森林保護に関わる事業における潜在的な排出削減量や方法論等について、JCM の FS 報告書の試算結果等を踏まえて分析する。

#### 3.1. カーボンオフセット制度関連の動向（国連における市場メカニズムの動向）

##### 3.1.1. CDM 理事会及び JI 監督委員会の動向概観

###### (1) 制度の背景と現状

京都議定書のもとに設けられた京都メカニズムは、京都議定書の下で排出削減義務を負う先進国に、その目標達成に際して、自国以外で得られた排出削減量を活用することを認めるものである。このように目標達成に当たっての柔軟性を認めることで、先進国の排出削減目標の達成を促すことを目的として設けられた。

クリーン開発メカニズム（CDM）、共同実施（JI）は、この京都メカニズムの下で実施されている制度である。CDM、JI では、京都議定書が定めた規則のもとで排出削減事業を実施し、排出削減量が確実に検証されたものに対してのみクレジットが発行されることになっており（CDM に対しては CER が発行され、JI に対しては ERU が発行される）。

CDM と JI の違いは、排出削減事業が、途上国で行われるか（CDM プロジェクト）、附属書 I 国で行われるか（JI プロジェクト）の違いがあり、それぞれ京都議定書締約国会合（CMP）において、その運営方針は決定され、実際の運営は、それぞれ CDM 理事会、JI 監督委員会などによってなされている。

CDM、JI とも 2003 年ごろから開発が行われ始め、CDM に関しては、これまでに約 7700 件ものプロジェクトが CDM プロジェクトとして登録され、途上国における排出削減対策の促進に大きな貢献を果たした。しかし、2012 年以降、京都クレジット取引価格が大きく暴落したことを受け、CDM、JI ともにプロジェクト開発が低迷している。さらに、2020 年以降についての取組みとしてパリ協定が採択され、その中で、持続可能な発展メカニズム（Sustainable Development Mechanism）と呼ばれる CDM や JI に類似した制度が設けられたことを受けて、京都議定書の下で実施される CDM、JI の存在意義も問われる状況となっている。

近年の CMP、CDM 理事会、JI 監督委員会においては、今後、京都メカニズムを、どのようなものとしていくのか、今後の方向性に関する議論が、重要な論点となっているものの、今後、京都メカニズムをどのようなものとしていくのか、未だに合意が得られていないのが現状である。このような状況の中で、CDM 理事会では、今後を見据えた新しい取組みが始まろうとしている。

###### (2) 制度の簡素化にむけた取組み

CDM においては、登録されたプロジェクトの排出削減量を厳密に測定するため方法論や算定ツールなどが整備されるとともに、排出削減量に対してクレジットを発行するまでに、様々な手続きを経る必要があった。しかし、このような手続きは、一方で、プロジェクトの登録やクレジットの発行までに要する時間を長期化させる要因ともなっていた。排出削減プロジェクトを円滑に実施し、プロジェクト開発を促進する観点からは、より簡素化された手続きの必要性が指摘されていた。

それを受けて、CDM 理事会では、手続きの簡素化に向けた取組みを行ってきており、様々な取組みがなされている。第 84 回 CDM 理事会（2015 年 5 月）、第 86 回 CDM 理事会（2015 年 10 月）、第 87 回 CDM 理事会（2015 年 11 月）において、議論が行われ、CDM の利便性を高めるために、柔軟な登録手続きや排出削減量の検証を認める方向で、今後、作業が進められることになった。その他にも 2015 年 11 月に開催された第 87 回理事会では、PDD 自動作成

のための方法論の電子化ツールについて議論され、制度の簡略化・合理化と並行して、CDM インフラの改善について議論が進められている。

(3) 京都議定書以外の活用方法の検討

2015年の5月に開催された第84回 CDM 理事会においては、CDM の制度基盤（CDM 登録簿、ITL などのインフラ、以下 CDM インフラ）を、今後、他の問題にどのように活用されるか議論された。これは、現在 CER 需要は低迷している中で、CDM の制度基盤が、他の様々な制度（途上国の国内政策における利用、成果主義型基金拠出制度への適用等）に利用されることがありうるからである。

たとえば、緑の気候基金（GCF）では成果主義型拠出制度が採用されており、資金提供にあたっては一定の成果を示す必要がある。CDM では個々の排出削減プロジェクトの排出量について厳密に測定する方法論が整備されており、GCF においても、これらの方法論が適用される可能性がある。

それ以外にも、これらのメキシコでは 2014 年に炭素税が導入されたが、納税の代わりに同量の CER を提出することもできる制度になっている。この他にも、京都クレジットの市場動向においても説明するように韓国国内の排出量取引制度においても韓国国内の CDM プロジェクトによって得られる排出削減量を活用することも認められている。このため、CDM の京都メカニズム以外での利用について検討をしていくことが決められた。

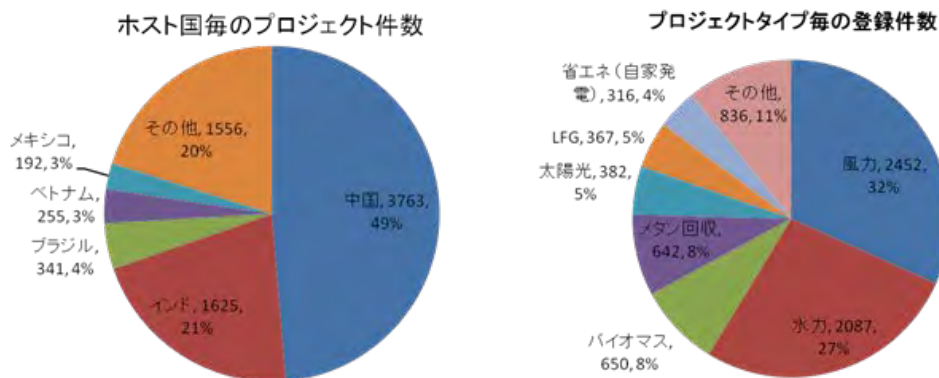
3.1.2. プロジェクトの開発動向

CDM プロジェクトの最大のホスト国は中国で、2016年7月末までに登録されている全 CDM プロジェクト数 7731 件のうち 3,764 件は、中国で実施されているものであり、全体の約半数を占めている。次いでインド（1622 件）、ブラジル（339 件）といった新興国において大半の CDM プロジェクトが実施されている。その一方で、アフリカ諸国などの途上国での開発は大きく遅れている。

このような CDM プロジェクト開発の地域間での不均衡については、CMP においても議題となり、不均衡の解消に向けた支援が実施されている。しかし、アフリカなどでのプロジェクト開発は、なかなか進まず、今後も解消される見込みは低い。近年、欧州や日本など、2012 年まで買手として、CER を購入していた需要が、2012 年以降、CER を購入しなくなったことにより、CDM プロジェクトの開発は停滞しており、今後も、その状況に変化は見られないものと考えられるためである。

特に、2020 年以降については、パリ協定の下で国際社会は温暖化に取り組んでいくことになっているため、京都議定書の下で実施される CDM プロジェクトについては、今後、どのようなものとなっていくのか不確実な部分が多く、民間企業にとっては、CDM プロジェクトを開発するのが、難しい状況となっている。

図 12 CDM プロジェクトの開発動向（国別件数）



(出典) UNFCCC 発表データを踏まえて日本エネルギー経済研究所作成

### 3.1.3. CDM による排出削減量及び投資額

CDM プロジェクトに対しては、既に 15 億トンものクレジットが発行されるなど、大きな成果を挙げている。既に述べたように、手続きの煩雑化などの課題もあるが、これまでに実施されたクレジットメカニズムとしては、最も大きな成果を挙げた制度であることは間違いない。

この中では、風力、太陽光などの再生可能エネルギーや省エネプロジェクトが実施されるとともに、森林保護に関連する植林プロジェクトも実施され、多種多様な GHG 排出削減事業が実施されている。

表 1 技術毎の CDM プロジェクトにおける排出削減量と投資額

プロジェクトタイプ毎	登録件数	予想排出削減量 (ktCO <sub>2</sub> e/yr)	平均投資額 (MUS\$)	削減量1トン当り 平均投資額 (US\$/tCO <sub>2</sub> )
新規植林	10	53.2	N.D	N.D
再植林	56	29.8	8.8	337.2
バイオマス発電	650	68.8	18.1	239.4
地熱	33	351.7	244.7	565.9
水力	2087	127.7	62.4	458.4
太陽光	379	31.3	75.2	2296.1
潮力	1	315.4	N.D	N.D
風力	2452	92.4	63.9	700.2
再エネ(複合)	8	52.0	70.5	797.5
省エネ(家庭)	87	37.6	3.6	80.4
省エネ(産業)	97	37.7	28.2	650.0
省エネ(自家発電)	316	142.3	25.6	227.5
省エネ(サービス)	28	18.9	10.5	1146.3
省エネ(供給サイド)	69	386.2	339.5	690.7

(出典) UNEP RISOE のデータをもとに日本エネルギー経済研究所作成

これらのプロジェクトで期待される排出削減量と必要とされる投資額を分析したのが表 4 である。この表にまとめたように、排出削減量の規模でみると、省エネ供給サイド（シングルサイクルの天然ガス火力発電所をコンバインドサイクルへと転換するものや高効率石炭火力発電所を建設するもの）が最も多く年平均の予想排出削減量が 38 万トンとなっており、最も少ないのは省エネのサービスで 1 万 8000 トンとなっている。

一方で、平均投資額、トン当りの投資額ともに見ると家庭での省エネプロジェクト（平均投資額が US \$ 360 万、トン当り投資額が US \$ 80）での投資額が最も小さい。一方、最も高い技術が、平均投資額では省エネの供給サイドで実施するもので US \$ 3 億 3950 万となっている。トン当りで見ると太陽光発電が最も高い（US \$ 2296）。

このようにプロジェクトタイプ・導入する技術のよって、排出削減量や投資額が異なる。興味深いのは必ずしも投資額が小さいものの開発が進んでいる訳ではなく、最も投資額が小さい、家庭での省エネプロジェクトは登録件数で見ると、87 件とほとんど開発が進んでいない。むしろ多く開発が進んでいるのは、風力発電の 2452 件や水力発電の 2087 件などの再生可能エネルギーとなっている。

### 3.1.4. CO<sub>2</sub> 排出削減効果の測定方法（方法論）と第 3 者認証に関する動向

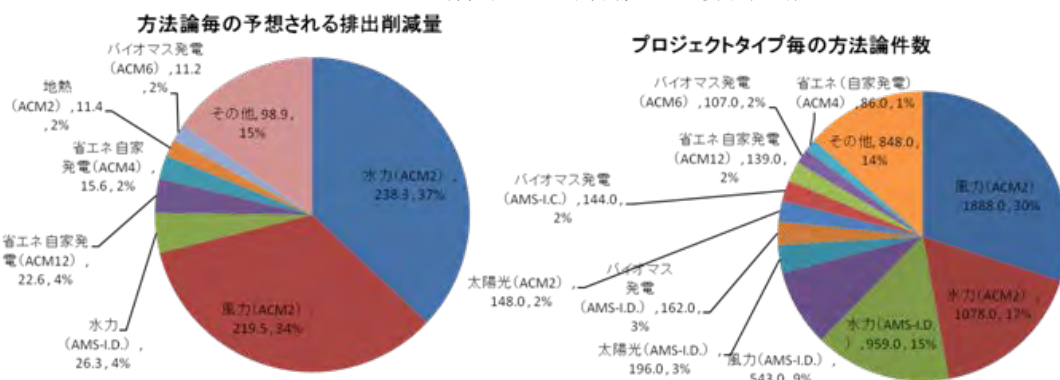
CDM では、CDM プロジェクトとして登録されるためには、CDM 理事会が予め承認した CO<sub>2</sub> 排出削減効果の測定方法（方法論）を利用していることが求められる。現時点で、承認された方法論は約 240 件となっており、様々な分野の排出削減方法と、その CO<sub>2</sub> 排出削減効果の測定方法が開発されている。

その中で、最も多く利用されているのは、再生可能エネルギーの導入による CO2 排出削減効果を測定する方法論、ACM2 と呼ばれる方法で、約 3150 件の CDM 登録済みプロジェクトに活用されている。主に風力発電、水力発電でこの方法論が活用されている。これに対して、省エネ、植林等の方法論の活用は限定的なものに留まっている。

省エネに関連する方法論も 74 件の方法論が開発され、CDM 理事会から承認を得ているが、多くはまだ活用されていない状況である。これは、CDM の下での省エネプロジェクトを実施するのが非常に困難であったことによるものと思われる。

特に CDM においては、CDM がなされなかった場合に対して追加的な排出削減対策に対してのみ CDM プロジェクトとして承認することとされている。この追加的な排出削減対策であることを追加性と呼び、CDM プロジェクトの登録申請手続きの中で、重要な審査項目となっていた。

図 13 方法論毎の登録件数及び排出削減量



(出典) UNEP RISOE のデータをもとに日本エネルギー経済研究所作成

省エネプロジェクトについては、一方で、省エネそのものでも利益を得られる場合が多いため、追加性があるとは見做されない場合も多かった。このような省エネプロジェクトにおける追加性の証明の難しさが、多くの方法論が策定されていたにもかかわらず、省エネプロジェクトが CDM の下では進まなかった理由の一つであると考えられる。

植林に関する方法論も 4 件の方法論が策定され、承認されている。利用できる方法論自体が少ないとも言えるが、この中には統合方法論と呼ばれる類似の方法論を統合したものがあることが数の少ない原因となっている可能性もある。ただ、利用している登録プロジェクト (70 件) も限定的なものに留まっており、方法論の数、登録プロジェクトの数ともに開発が停滞しているとも言える。

### 3.1.5. DOE の課題

このように植林プロジェクトの開発の伸び悩みについては、CDM 登録手続きにおいて求められる民間の第三者機関 (DOE) における審査において生じていた問題が、様々な形で影響を及ぼしている。

CDM プロジェクトの登録審査手続きにおいては、CDM 理事会における審査手続きの前に民間の第三者の検証手続きを経ることになっている。この検証手続きを有効化と呼び、有効化審査を行う民間の機関を指定運営機関 (DOE) と呼んでいる。DOE は、CDM 理事会から承認を得た専門分野 (エネルギー分野、廃棄物管理分野等) における CDM プロジェクトの有効化審査を行うことが認められている。

当初、DOE において実質的な審査を行い CDM 理事会においては、判断の難しい案件のみ審査を行うことが想定され、CDM の登録審査手続きにおいて DOE は重要な役割を担うものと期待されていた。

しかし、実際に登録審査が始まると、有効化審査の段階で様々な問題が生じ、登録審査手続きに長い時間を要することとなった。

世界銀行(2011)によれば、審査手続きが長期化する傾向のあるプロジェクトの特徴として、プロジェクト開発者側の能力不足から、DOE に対して十分な情報が提供されるかどうかで様々な意味で不足していたこと、DOE にとって経験の浅い分野、国で実施されたプロジェクトであること、DOE による能力の問題(CDM 理事会から業務停止命令が出される等)の特徴があると指摘されている。

植林については、特に、植林に関する有効化審査を行うことが可能な DOE が限られていたが、その背景には、他の分野に比較して DOE の認定が遅れた開始されたことや、それにより業務経験を積んだ専門家の育成が遅れたことにより、植林分野を専門とする DOE の数が伸び悩んだことも指摘されている。このような DOE の能力以外にも手続きの費用が上昇傾向にあったことも報告されており、第三者の認定、認証を実施する上で留意が必要である。

さらに注意が必要なのは、近年、CDM 市場の低迷を受けて CDM 理事会の下で DOE 業務を行う事業者が減少していることである。DOE 業務を実施しているのは大半が民間企業であるため、現状のように市場が低迷し、今後も成長の見込みが小さい CDM からは撤退することを選択している。

現状でも、幾つかの DOE は業務を続けているものの、2004年～2011年までの CDM プロジェクトが活発に開発された時期に DOE 業務を行っていた代表的な事業者、DNV や SGS は既に CDM における DOE 業務を停止している。このほかにも、撤退を検討している事業者もあるとの情報もあり、今後、質の高い民間の事業者が DOE として業務を継続するための環境を整えることが必要とされている。

### 3.1.6. 国際金融機関における取組み

世界銀行は、2000年以降、CDM プロジェクトや JI プロジェクトの開発を支援するために様々な基金を設立してきた。これらの基金に対しては、民間企業や政府からの出資を募り、出資された資金を活用して CDM プロジェクトや JI プロジェクトを開発し、得られたクレジットを出資者に還元する形が取られて来た。

近年、CER の取引価格が低迷する中で、世界銀行は、新たな取組みを行うようになっている。その一つが、2014年に新たに発足した基金、Pilot Auction Facility(PAF)である。これは CER の取引価格の暴落と、その後の価格の低迷によって CDM 開発も停滞する中で、温室効果ガス(GHG)削減プロジェクトへの投資も滞っている状況を、新たな手法によって打開するために設けられたものである。

世銀が PAF のもとで導入する新たな手法とは、GHG 排出削減プロジェクトを開発する事業者に対して、PAF が一定の金額でクレジットを買取することを約束するプットオプション(売り付け選択権)を入札によって売却することで CER などの GHG 排出削減クレジットの下限価格を設定し、事業者が一定の利益を確保することを保障するものである。

事業者はオプションを購入しているため、クレジットが実際に発行される段階に至って市場動向が改善し、クレジット価格が保有するプットオプションで示されたクレジットの売却予定価格を上回った場合には、オプションを行使せず、PAF 以外の他の買い手にクレジットを売却することも可能である。一方、たとえ市場の状況が悪化し、市場価格がオプションの売却予定価格を下回った場合には、PAF に売却予定価格で売却することができる。このようにプットオプションの活用によって、GHG 排出削減プロジェクト開発事業者が、一定の利益を確保することが可能になっている。プットオプションの行使のためには、クレジットの発行までに至ることが前提となっているが、もし発行に至らなかった場合は、保有するプットオプションを、他の事業者に売却することも可能であることから、いずれにせよ事業者にとってリスクは小さいものとなっている。

PAF における事業者からのクレジット買取り資金の規模は US\$1 億とされ、各国からの拠出金によって賄われることとされている。ブルームバーグの報道では、ドイツ、スウェーデン、スイス、そして米国がこの基金への拠出に関心を示しており、ドイツ政府は US\$1900 万程度の拠出を検討しているという。世銀の温暖化特別代表の Rachel Kyte 氏は、目標額の半分までの拠出については目途がついた、と述べている。



ただし、全ての GHG 排出削減事業が対象となるのではなく、GHG の中でもメタンの排出を削減する LFG プロジェクトなどが対象とされる（天然ガスフレアリング、炭鉱メタンなどは、当初は除外）。世銀の説明では、US\$10 程度の追加的な利益によって開発が促進される GHG 排出削減プロジェクトを対象とした、とされている。また、中国国内の CDM プロジェクトなどについては、既に CER の取引価格について下限価格が設定されていることから PAF の買取り対象から除外されることになっている。

2010 年のカンクンにおいて設立が正式に決定された Green Climate Fund (GCF) においては、現在、様々な方法での資金提供が議論されているが、その一つとして、成果主義型資金拠出方法が議論されている。この成果主義型拠出方法のもとでは、一定の成果（排出削減量など）が確認された後に資金が提供されることとされており、実際の実施にあたっては排出削減量の計測、検証方法が重要な位置を占めることになる。

PAF で実施が予定されている資金提供方法は、成果主義型拠出方法の一つとも言える。もし PAF が成功すれば、今後の GCF などの議論にも影響を及ぼす可能性がある。同時に、PAF における実績は、今後の国際的な資金援助において CDM が新たな役割を担うきっかけとなるかも知れない。

### 3.1.7. 市場における需要の状況

#### (1) 先進国からの需要の消滅

2012 年末に€1 を下回る価格になってから、以前として€1 を下回ったままであり、2015 年においては大きな値動きは見られなかった。京都議定書の第 2 約束期間においては、日本が排出削減目標を設定しなかったため、日本からの需要が見込まれなくなったことや、欧州においても、景気低迷などの影響で、大きな CDM の需要となっていた欧州で実施されている欧州排出量取引制度 (EU ETS) の規制対象事業者からの需要が大幅に落ち込んだことなど、需要が供給を大幅に下回る状況が続いていることが、このような価格低迷の、主要な要因になっている。

EUETS では、EU 域内で取引される排出枠、EUA 以外にも、CDM や JI によって得られるクレジット、CER や ERU を、規制の遵守に活用することを認め、これまで CDM や JI の最大の需要家として、市場に大きな影響を与えていた。この EU ETS において、リーマンショックなどの経済不況のより排出量が大きく減少し、2012 年までに EUA に大きな余剰が生じ、結果として CER の需要も大きく減ってしまった。

欧州環境庁 (EEA) の発表したレポート (Trends and projections in Europe 2013) によると、2012 年までに EU ETS では 17 億トンもの EUA の余剰が発生しており、この結果、EUETS 規制対象施設は、改めて CER を購入する必要はなく、自社の保有する余剰 EUA を活用して EUETS の規制を遵守することが可能となり、CER への需要が大きく減ってしまったのである。さらに、京都議定書の第 2 約束期間について日本は参加しないことなど、EU ETS 以外の需要も見込まれなくなってきていることにより、CER の取引価格は低迷したままとなっている。

#### (2) 韓国－2020 年までの CER の最大の需要国－

京都議定書の目標達成に変わる新たな需要として、取引が活発化してきているのが、先進国以外の新興国からの需要である。韓国は 2015 年から、国内の GHG 排出源となっている企業を規制対象とした排出量取引制度を導入し、さらに中国も 2017 年に、全国レベルでの排出量取引制度を導入することとなっており、現在、一部の省や都市において試行的な排出量取引制度が実施されている。

韓国の制度の中では、規制対象企業に韓国国内で実施されている CDM プロジェクトに由来するクレジットを、遵守に活用することを認めている。ただし、CER そのものの利用が認められている訳ではなく、韓国国内で実施された CDM プロジェクトに由来する CER を一旦、取消した後に、韓国政府により発行される Korean Certified Emission Reduction (KCER) の利用が認められている。

CDM 理事会の統計データによれば、2016年1月末までに韓国で実施された CDM プロジェクトに由来する CER のうち、約 640 万トンが取り消されている。これは同時に、韓国が新たな CER の需要となっていることも意味し、UNFCCC 事務局が作成した資料では、2020 年までに約 1900 万トンの需要、2020 年まで見込まれる需要の中でも最大の需要が見込まれるとの試算が示されている<sup>31</sup>。韓国国内での KCER の取引価格も、2016年2月には 15,000 ウォン（約 US\$12、あるいは約€11）の価格を付けており、欧州の取引価格よりも高い価格となっている。

また、2017 年から排出量取引制度が導入される中国では、自主的排出削減プロジェクトと呼ばれる独自のベースラインクレジット型の排出量取引制度が設けられている。この制度の下では、クレジットを発行していない CDM プロジェクトも、自主的排出削減プロジェクトとして登録することが認められている。さらに、この自主的排出削減プロジェクトに由来するクレジット (CCER) については、現在、実施されている試行的排出量取引制度や、2017 年以降に開始される全国レベルでの排出量取引制度の下で規制される企業が、遵守に活用することが認められている。

そのため、自主的排出削減プロジェクトは、中国国内の一部の CDM プロジェクトにとって先進国以外の新たな需要を提供する可能性を秘めているものの、既に実施されている試行的な排出量取引制度を実施している多くの地方では、CCER の利用を制限しており、全国レベルの排出量取引制度においても制限が設けられるものと予想されている。そのため、どれだけの需要が得られるのか、現時点では不確実な部分が多い。

### (3) パリ協定の下での SDM

パリ協定の下では、6 条において新しい市場メカニズムが規定されている。まず、6 条 2 項において以下のような規定が置かれている。

*6 条 2 項 締約国は、国際的に移転される緩和の成果を国が決定する貢献のために利用することを伴う協力的な取組に任意に従事する際には、持続可能な開発を促進し、並びに環境の保全及び透明性（管理におけるものを含む。）を確保するものとし、この協定の締約国の会合としての役割を果たす締約国会議が採択する指針に適合する確固とした計算方法（特に二重の計上の回避を確保するためのもの）を適用する。*

さらに、6 条 4 項においては以下のような規定が置かれている。

*6 条 4 項 この協定により、温室効果ガスの排出に関する緩和に貢献し、及び持続可能な開発を支援する制度を、締約国が任意で利用するため、この協定の締約国の会合としての役割を果たす締約国会議の権限及び指導の下で設立する。当該制度は、この協定の締約国の会合としての役割を果たす締約国会議が指定する機関の監督を受けるものとし、次のことを目的とする。*

*(a) 持続可能な開発を促しつつ、温室効果ガスの排出に関する緩和を促進すること。*

*(b) 締約国により承認された公的機関及び民間団体による温室効果ガスの排出に関する緩和への参加を奨励し、及び促進すること。*

*(c) 受入締約国（他の締約国が国が決定する貢献を履行するために用いることもできる排出削減を生ずる緩和に関する活動により利益を得ることとなるもの）における排出量の水準の削減に貢献すること。*

*(d) 世界全体の排出における総体的な緩和を行うこと*

6 条 2 項は日本が実施している Joint Crediting Mechanism (JCM) や EU ETS とその他の排出量取引制度の連携など、各国が独自に実施する市場メカニズムを容認する規定となっている。その一方で、6 条 4 項においては、京都議定書における京都メカニズム、特に CDM のようにパリ協定の下で採択される一定の規則と手続きに従い運営される市場メカニズム、持続可能な発展メカニズム (SDM) を設けることを定めたものとなっている。

<sup>31</sup> “Update on Policies & Markets” Sept 2015, JISC37 での配布資料。

これらの規定については、具体的な実施方法については、今後、さらに検討されていくことになっている。この中で、特に、6条4項で定められたSDMについては、既に構築されている京都メカニズムを何らかの形で活用する可能性もある。CDM理事会、JI監督委員会において、これまでに様々な制度運営に関する手続きや規則を蓄積し、さらに登録簿やInternational Transaction Logなどのインフラを構築してきた。これらの京都メカニズムの下で得られた“資産”を全て無視して、改めて別の規則、手続き、インフラを整備するためには、更なる労力、費用、時間が必要とされるため、効率的な制度運用の観点から見れば、既存の制度を活用していくことが優先される可能性が高いためである。

しかし、現状では、具体的にどのような制度としていくのか各国の合意は得られておらず、今後の交渉に委ねられている。

### 3.2. JCMの概要と課題

#### 3.2.1. JCM方法論及びプロジェクトの承認・登録状況

Joint Crediting Mechanism (JCM) は、日本政府が、独自に構築したクレジットメカニズムで、日本の優れた環境技術を途上国に導入することで、途上国におけるGHG排出削減に貢献するとともに、得られた排出削減量を日本の目標達成に活用することを目的として構築されたものである。日本政府は、様々な形で、JCMの実施を支援しているが、大きく分けて二つの取組み（経済産業省、環境省）がある。

○経済産業省における支援事業：

NEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）を通じ支援事業を実施。

- この中では、JCMの活用することでCO<sub>2</sub>の排出削減効果の定量化（見える化）を行うとともに、低炭素技術・製品等の省エネ効果等の有効性を実証し、JCM運用に向けた課題の抽出やフィードバックを行う。
- JCM実証事業の要件・審査基準（一部）
  - 優れた技術、ノウハウ、製品等の活用が見込まれ、プロジェクト実施及び提案された技術の普及による排出削減効果が高いこと。
  - プロジェクト実施によるMRV方法論の有効性が確認できること。
  - 共同事業として実施され（応募者は日本登記法人）、3年以内の実証が終了するプロジェクトであること

○環境省における支援事業：

設備補助事業、JICA等連携補助事業、ADB信託基金など様々な形でJCMを支援。設備補助事業においては、以下のような支援がなされる。

- JCM署名国や今後、署名が見込まれる途上国において、優れた低炭素技術等により、エネルギー起源CO<sub>2</sub>の排出量を削減するための設備・機器の導入に当たっての初期投資費用の最大で1/2まで補助する取組みが行われている。
- 補助事業の要件（2015年度予算分の補助事業の要件）
  - 補助交付決定を受けた後に設備の設置工事に着手し、平成29年度内に完工すること
  - JCMプロジェクトとしての登録及びクレジットの発行を目指すこと

表 2 承認済み方法論で採用されている技術

	LED 導入	デジ タコ	メタ ン回 収	建物 省エ ネ	工場 省エ ネ	高効 率エ アコン	高効 率ボ イラー	高効 率冷 蔵庫	小規 模水 力	送電 網	太陽 光	廃熱 回収	総計
インドネシア	2			1	3	4		4				1	15
カンボジア	1												1
ケニア									1				1
タイ						1					1		2
パラオ											1		1
バングラデシュ						1							1
ベトナム		1	1	1		1				1			5
モルディブ											1		1
モンゴル							1			1			2
総計	3	1	1	2	3	7	1	4	1	2	3	1	29

(出典) 新メカニズムプラットフォーム発表データをもとに日本エネルギー経済研究所作成

表 3 登録済み方法論で採用されている技術

国名/技術	高効率エ アコン	高効率ボ イラー	タコグラフ	建物省エ ネ	送電網	太陽光	高効率冷 蔵庫	総計
インドネシア	3						3	6
パラウ						3		3
ベトナム			1	1	1			3
モンゴル		2						2
総計	3	2	1	1	1	3	3	14

(出典) 新メカニズムプラットフォーム発表データをもとに日本エネルギー経済研究所作成

日本政府が、JCM を構築する取組みを始めた背景には、先行する京都議定書の下で実施されたクレジットメカニズム、クリーン開発メカニズム (CDM) において手続きが煩雑になるとともに、日本の優れた省エネ技術を途上国に導入するのに役立っていないこと等の問題意識があった。

2010 年から制度構築に向けた取組みが開始され、FS 事業などが多数実施され、方法論の開発や JCM を日本と共同で実施する途上国との協議が行われた。その結果、本報告書執筆時 (2016 年 9 月) 時点で、16 カ国の途上国と実施に向けた文書に署名し、29 件の方法論が策定されるとともに、14 件のプロジェクトが登録されるに至った。

表 1、表 2 において、これまでに承認された方法論、登録されたプロジェクトで採用されている技術を国別に整理した。

ここで示したように、国別で見るとインドネシアでの方法論開発、プロジェクト開発が最も進んでいることが分かる。方法論では 15 本、登録プロジェクトでは 6 件と、現在、承認されている方法論、登録されているプロジェクトの半分程度がインドネシアのものである。さらに、技術で見ると、承認方法論、登録プロジェクトともに、省エネに関連する技術が大半を占め、一部、再エネ (太陽光、小規模水力) となっている。

また登録済みプロジェクトを見ると、排出削減量が極めて小さいものに留まっている。表 3 にまとめたように、登録された 15 件のプロジェクトの平均の年間予想排出削減量は 222tCO<sub>2</sub>e となっており、CDM と比較すると極めて小さい。現在、JCM が実施されている国が、比較的、GHG 排出量が小さい国が多い点も影響していると考えられる。その一方で、CO<sub>2</sub> 排出量で世

界第6位のインドネシアにおいて実施されているプロジェクトの平均の年間予想排出削減量が115tCO<sub>2</sub>eに留まっており、潜在的な排出削減量の大きさから考えると、プロジェクトの規模の小ささが際立っている。

表4 登録済み方法論で採用されている技術と予想排出削減量（年間/tCO<sub>2</sub>e）

国/技術	タコグラフ	建物省エネ	高効率エアコン	高効率ボイラー	高効率冷蔵庫	送電網	太陽光	平均削減量
インドネシア			145		85			115
パラウ							217	217
ベトナム	296	394				610		423
モンゴル				149				149
平均削減量	296	394	145	149	85	610	217	222

（出典）新メカニズムプラットフォーム発表データをもとに日本エネルギー経済研究所作成

### 3.2.2. LCE 技術の普及に向けた JCM の役割と課題

JCM の下で承認された方法論を見ると、省エネ技術を途上国へ移転するものが多く、登録済みプロジェクトも省エネプロジェクトが大半を占めている。特に、省エネでも電力消費側の取組みが多く、高効率エアコン、冷蔵庫、建物省エネ、工場省エネなどの技術導入を支援するものが多い。これは日本の技術が、これらの分野、エアコン、冷蔵庫、建物省エネなどの分野で優れていることであるとも言える。

ただ、課題も残る。日本エネルギー経済研究所の田上研究主幹は、JCM の課題として、登録済みプロジェクトや、これまでに承認された方法論によって期待できる排出削減量が極めて小さいものに留まっている点が課題であると指摘している。

このような課題が指摘されるのは、日本の有する優れた環境技術を途上国へ導入することを JCM においては、十分に支援できていないためである。例えば、高効率石炭火力発電に関しては、日本企業が優れた技術を持っているが、JCM においては FS 事業が多く実施されているものの、未だ方法論の承認にも至っていない。途上国への高効率石炭火力発電の導入によって、大きな排出削減効果が期待できるが、このような技術の導入を JCM において支援できていないことが、JCM において予想される排出削減量の小ささの理由となっている。

このような課題以外にも JCM については幾つかの課題が指摘されている。本部ほか(2015)では、次のような課題を指摘している。複雑な方法論策定過程、方法論の汎用性の低下、制度の不確実性による開発の停滞などの課題である。

JCM では、手続きが複雑化した CDM の反省を踏まえ、簡素な方法論を策定しようとした。しかし、実際には、方法論策定過程が複雑で作業担当者に大きな負担となっている。これは、JCM が当初の目的とした手続きの簡素化のための簡素な方法論の中において、排出削減量を確実に確保するための方策を具体化するの検討作業に、逆に長い時間と作業が必要とされることになったためである。また、各国の実情に合わせて策定した方法論は、同種の技術の導入に当たっても、他国には適用できないことになり、方法論の汎用性を失わせることになっている。さらに、2020年以降の JCM の継続について、未だに政府は明確な方針を示していないため、民間企業の多くは JCM の下でのプロジェクト開発に消極的になっている。

このように、JCM については、今後、解決が必要な課題が多い。日本の優れた環境技術の途上国への導入を支援する上で、潜在的に重要な役割を担うものであるため、問題点の改善が求められていると言えるだろう。

### 3.3. 途上国におけるCO<sub>2</sub>排出量削減とオフセットの事例分析

ここでは、前述の技術毎の分析を踏まえ、より具体的なプロジェクト、途上国における高効率火力発電所導入によるCO<sub>2</sub>排出削減量について分析を行うとともに、高効率火力発電所の導入によっても、削減できないCO<sub>2</sub>排出量を植林や森林保護事業を実施することでオフセットする際の、必要とされる投資額、方法論について分析する。

#### (1) 高効率火力発電所導入による潜在的なCO<sub>2</sub>排出削減量についての分析

高効率火力発電所の導入によって大きな排出削減が見込まれる。そのため、CDMにおいても、高効率火力発電所の導入を図るプロジェクトが何件か実施されている。また、JCMにおいても、高効率火力発電所の導入を前提とした実施可能性調査事業（FS事業）が実施され、排出削減量が試算されている。

CDMにおいて高効率石炭火力発電所を建設するプロジェクトの方法論（ACM0013）では、登録された6件のプロジェクトで予想された年間の平均排出削減量の平均は143万トンとなっており、CDMプロジェクト全体の平均約13万トンを大幅に上回る削減量となっている。既にクレジットを発行したプロジェクトで見ても、2012年までに1件あたり約100万トンのクレジットが発行され、クレジット発行済みプロジェクト全体の平均52万トンと比較しても、非常に大きな数値となっている。しかし、CDMにおける高効率石炭火力発電所の導入を図るプロジェクトの多くは中国、インド等に限定されている。これは、ACM0013については、方法論を適用する条件として、石炭に由来する電力が、ホスト国の総電力量の50%以上であることが求められることなど求められ、大半の途上国では、この方法論を適用することが出来なくなっているためである。

大量の排出量の削減が見込まれる高効率火力発電所の導入は、JCMの下でも、幾つかのFS事業が実施されるなど、実施に向けた取組みがなされている。これらのFS事業の報告書では、予想される排出削減量が算定されている。

それによれば、ベトナムにおいてはレフェランスケースを二つのケース（①ベトナムの石炭火力の上位15%の平均排出係数（1.109t-CO<sub>2</sub>/MWh）、②ベトナムで過去3年間に建設された発電所の平均排出係数（1.172t-CO<sub>2</sub>/MWh））を想定し、それに対して超々臨界石炭火力発電所（排出係数を0.811t-CO<sub>2</sub>/MWh）を導入した場合の排出削減量を、一定の稼働率などの想定をおいて試算した結果は、①のケースで234万トン、②のケースで284万トンとなっている。

同様にバングラデシュでのCCGTの導入を前提としたFS事業では、最近5年間で建設されたシングル・コンバインドサイクルガス火力発電の加重平均値（排出係数、0.625t-CO<sub>2</sub>/MWh）をレフェランスケースとして想定し、それに対してCCGT火力発電（排出係数、0.366t-CO<sub>2</sub>/MWh）を導入した場合の排出削減量を、一定の稼働率などの想定をおいて試算した結果は、65万トンとなっている。

このようにCDM、JCMともに高効率火力発電の導入によって大きな排出削減量が得られることが期待されるものの、このような大きな排出削減量を差し引いたとしても、再生可能エネルギーの導入のようにプロジェクト排出量はゼロとはならない。例えば、上記のベトナムでのFS事業の報告書では、年間約640万トンもの排出量が想定されるとともに、バングラデシュのFS事業の報告書では、年間約92万トンもの排出量が想定されている。

このように高効率火力発電所の導入は大きな排出削減量が得られる一方で、その場合でも再生可能エネルギーのように排出量ゼロの電源の導入とはならず、高効率火力発電所導入後も二酸化炭素の排出は継続されることになる。

#### (2) 植林による火力発電所由来の排出量のオフセット

上記のように、高効率火力発電所を導入したとしても、排出量をゼロとすることにならない。そこで、高効率火力発電所の実施とともに、植林等の森林吸収源に関わる事業を行い、残された排出量をオフセットすることも考えられる。

森林保護に関連する事業としてCDMにおいては植林（新規植林あるいは再植林）プロジェクトの実施しか認められていないものの、既に約70件ものプロジェクトが登録され、クレジ

ットの発行に至っているプロジェクトもある<sup>32</sup>。JCMにおいては、森林減少・劣化からの温室効果ガス排出削減 (REDD) に関する FS 事業が実施されているものの、まだ方法論の開発、プロジェクトの登録に至っていない。

ここでは、既の実績を挙げている CDM の植林プロジェクトに注目して、分析を進める。表 4 の中でも示した通り、予想される年間の平均排出削減量は、新規植林が 5 万 3000 トン、再植林が約 3 万トンと、小さな排出削減量に留まっている。クレジットの発行量を見ても、これまでに発行されたクレジットで見ると新規植林でクレジット発行済みプロジェクト 1 件当たりの平均が 25 万トン、再植林で 1 件あたりの平均が 50 万トンとなっている。

トン当たりの投資額も平均で約 US \$ 340 となっており、表 4 の中で示した技術の中では、比較的、必要とされる投資額は小さいものの、表 4 に示している技術以外も含めると、メタン回収、セメント等では再植林を下回る投資額となっているものもある。

さらに、これら CDM のもとで植林プロジェクトを実施した経験から、方法論を適用し、プロジェクトを実施する際に、多くの課題があったことが指摘されている。具体的には方法論が複雑になっていること、データやパラメーターの不足等、プロジェクト開発者の能力不足などの課題が指摘されている (世界銀行 (2011))。この背景には、森林吸収源には炭素プールと呼ばれる木以外の土壌や枯れ木なども含まれており、その吸収量の測定にあたっては、様々なデータが必要となるため、方法論が複雑にならざるを得ないこと、土地利用データ等の植林プロジェクトを実施するにあたって必要なデータが途上国では未整備であること、また、プロジェクトの実施地は途上国の中でも開発の遅れている農村であるため、プロジェクトの実施を担うことができる人材が不足していることなどの途上国特有の問題があったものと考えられる。それ以外にも、既に述べたような DOE の問題も植林プロジェクトの円滑な実施を阻害していた。

このように CDM の下で実施された植林プロジェクトにおいては、方法論の問題や DOE の不足等の課題があったが、JCM の下では、REDD に関連する方法論、プロジェクトとも承認されていない。FS 事業は既に多く実施されているが、これらの FS 事業の報告書で、報告されている予想排出削減量には、バラつきが大きく、年平均で 45 万トンもの削減量が見込まれると試算するものがある一方で、最大でも 2 万トンに留まるとの試算もある。また、実施の段階で、CDM の植林プロジェクトと同様な問題に直面する可能性も高い。

これらのことを踏まえると、高効率火力発電所からの排出される CO<sub>2</sub> 排出量を植林や森林保護に関連する事業を実施することでオフセットする際には、様々な課題に直面する前提で検討を進める必要があると言えるだろう。

<sup>32</sup>新規植林プロジェクトは、プロジェクトの実施地の植生が少なくとも 50 年間はホスト国が定義する森林よりも低い場所に植林を行うことをいう。

再植林プロジェクトは、プロジェクト実施地が 1989 年 12 月 31 日時点で森林ではなかった場所で植林を行うこと。

森林ではなかったことを証明するために次の情報を提供することが必要。その土地の植生がホスト国の定義する森林の定義に満たないこと、その土地の全ての自然若木及び栽培樹木がホスト国が定義する森林の最低樹冠率や高さに届かないと見込まれること、その土地が伐採等の人為的活動や自然原因の結果 (一時的に木の無い状態) ではないことなどの三つを証明する必要がある。

途上国における森林破壊あるいは森林劣化による排出量の増加を防ぐことで、二酸化炭素の排出量を削減する取組みを Reduced Emissions from Deforestation and forest Degradation (REDD) と呼ばれている。2005 年の UNFCCC の第 11 回締約国会議で、初めて提案され、国連の中で、具体的な取組みのための制度が構築されてきている。

(参考文献)

本部ほか(2015)「二国間クレジット(JCM)制度の課題と対応の方向ー新たな法的枠組みへの適合を目指してー」東京大学 公共政策大学院

Bio Carbon Fund (2011) “Bio Carbon Fund Experience -Insights from Afforestation and Reforestation Clean Development Mechanism Project- “ World Bank

住友林業(2011)「森林管理活動を通じた REDD+と木材産業残材に基づくバイオマス発電」公益財団法人 地球環境センター

一般社団法人コンサベーション・インターナショナル・ジャパン (2012)「熱帯低地林における REDD+」 公益財団法人 地球環境センター

株式会社三菱総合研究所 (2015) 「平成25年度～27年度成果報告書 地球温暖化対策技術普及等推進事業(MRV適用調査) バングラデシュ国における CCGT 発電プロジェクトの MRV 適用調査事業」 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

株式会社三菱総合研究所 (2012)「平成24年度 地球温暖化対策技術普及等推進事業 バングラデシュ国における高効率火力発電の普及に向けた事業スキームの構築及び二国間オフセット・クレジット制度のインフラ・プラットフォームの構築に関わる提言委託業務完了報告書」経済産業省



## 4. 緑の気候変動基金(GCF)

### 4.1. GCF の概要

#### (1) 基金の目的

緑の気候基金（Green Climate Fund: GCF）は、2010年のCOP16のカンクン合意で設立が決定され、2009年のUNFCCC第15回締約国会議（COP15）において提案された長期資金目標（Long Term Finance）<sup>33</sup>の達成を担う中核的な資金メカニズムと位置付けられている。2011年のCOP17において正式な指定を受けた。カンクン合意では、開発途上国の開発を低排出で気候変動に適応する持続的なものにしていくとのパラダイムシフトを実現し、世界の温度上昇を2℃以内に抑えることをUNFCCCの目標に掲げ、GCFはこの達成に貢献すると規定されている。さらに、2011年に採択されたGCFの「基本設計（Governing instrument for the Green Climate Fund）」では、GCFの目的について、「開発途上国自身のニーズを踏まえながら、温室効果ガス（Greenhouse Gas: GHG）排出の抑制と削減及び気候変動の影響に対する適応のため、新規かつ追加的な、十分で予見可能性の高い資金を途上国に供与するために主要な役割を果たし、公的資金・民間資金を動員する」としている。民間資金の積極的な取り込みを民間セクターファシリティ（Private Sector Facility: PSF）の制度として確立しようとしている点が、公的資金主体だったこれまでの気候ファイナンスと一線を画す特徴となっている。第11回理事会で8件168百万米ドル、第13回理事会で9件257百万米ドルのプロジェクトへの資金供与が決定された。

#### (2) 設立からの経緯

GCFは、2010年のカンクン合意で設立された基金の運営主体である理事会（Green Climate Fund Board: GCFB）の主導により制度構築を進めてきた。国庫からの拠出をできるだけ抑制し民間資金の動員を強化したい先進国側と、先進国側から最大限の資金を引き出しかつ資金運用について主導権を握りたい途上国側との意見の調整に時間を要したが、2014年7月のドイツによる10億米ドルを皮切りに、欧州主要先進国から拠出表明が続き、2016年9月現在では43カ国より総額103億米ドルの拠出表明がなされている。99億米ドル相当が資金拠出の法的責任を伴う署名を行っている。

認証実施機関（Accredited Entity: AE）は2015年3月の第9回理事会で認証された7機関をはじめ2016年9月現在33機関が認証されている。

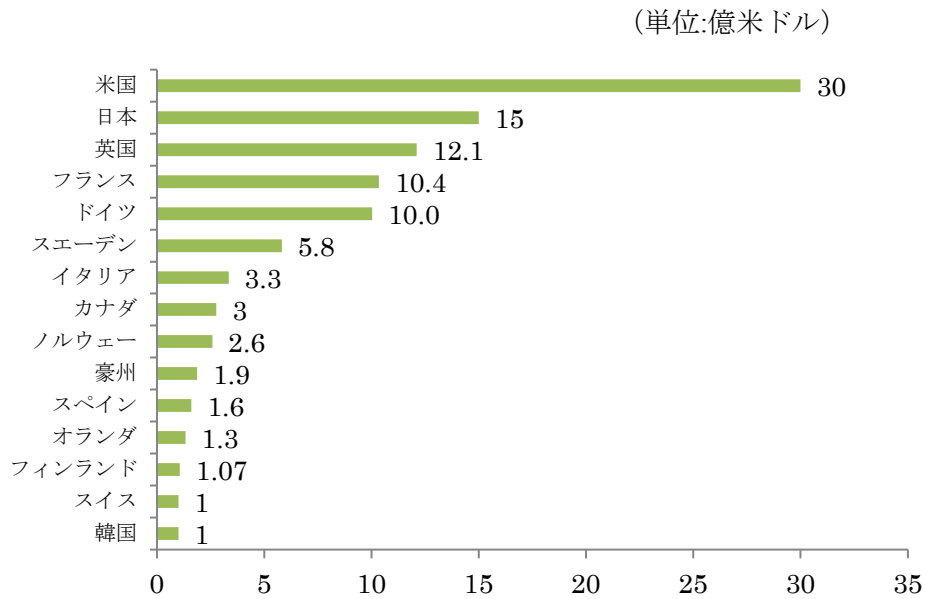
#### (3) 我が国を含む各国政府による拠出状況

2015年5月に日本政府が30億米ドルの拠出を表明している米国に次ぎ世界2位の規模の15億米ドル相当額の拠出のための署名を行ったことで<sup>34</sup>、GCFへの拠出総額は開発途上国向けの事業や計画に対する資金配分を開始するための基準値である各国拠出表明総額の50%を超え、GCFは正式に稼働することとなった。2016年9月現在、43カ国が総額103億米ドル相当額の拠出を表明、うち99億米ドル相当が拠出取決めへの署名を行っている<sup>35</sup>。

<sup>33</sup> 2020年までに先進国（UNFCCC 附属書 II）全体で、開発途上国に対して、官民合わせて年間1,000億米ドルの気候変動資金の動員を行う。

<sup>34</sup> 「緑の気候基金への拠出及びこれに伴う措置に関する法律（平成27年法律第24号）」

<sup>35</sup> [https://www.greenclimate.fund/documents/20182/24868/Status\\_of\\_Pledges.pdf/ee538d3-2987-4659-8c7c-5566ed6afd19](https://www.greenclimate.fund/documents/20182/24868/Status_of_Pledges.pdf/ee538d3-2987-4659-8c7c-5566ed6afd19)

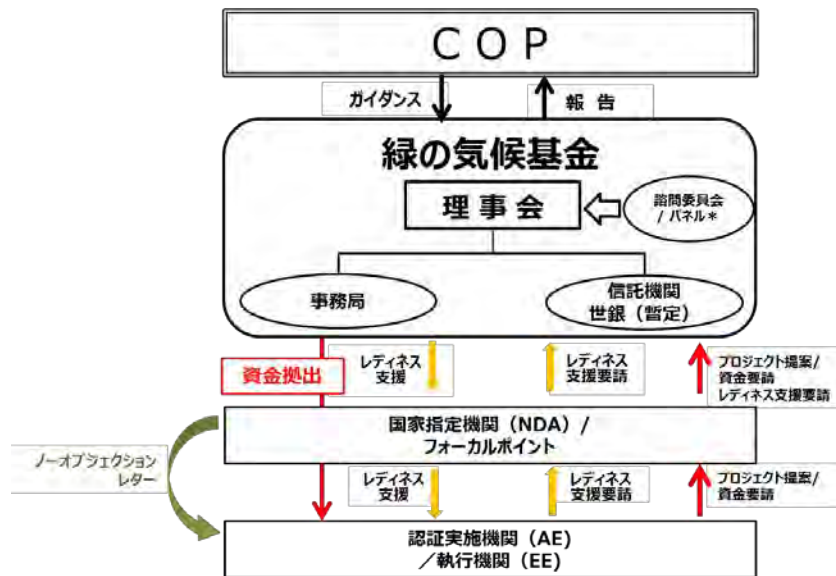


出所：GCF 文書より MUMSS 作成

図 24 主要各国の拠出表明額

**(4) GCF の制度的枠組みとガバナンスメカニズム**

GCF は、UNFCCC 第 11 条に定められた資金メカニズムの実施機関である。COP に対し説明責任を負い、COP のガイダンスの下運営されている。基金の国際的な運営を実現するため、GCF には法人格が付与され、業務実施と利益保護に必要な法的能力を備えている。



\*認証パネル (Accreditation Panel: AP)、リスク管理委員会、投資委員会、倫理・監査委員会、民間セクターアドバイザーグループ (PSAG)、テクニカルアドバイザーパネルなど。

出所：GCF 文書より MUMSS 作成

図 15 基金の制度的枠組み

GCF の業務を担う主要機関の概要を以下に示す。

## 1) 理事会 (Board)

事務局とともに GCF の運営・ガバナンスの中核を担う。

### ① 構成

先進国、途上国、各々12名の理事で構成される。理事は任期3年で各地域より選出されるが、途上国からの理事は、国連の地域グループと小島嶼開発途上国 (Small Island Developing States: SIDS)、後発開発途上国 (Least Developed Countries: LDCs) の中から選出される。理事会は原則年3回開催され、先進国と途上国より1年任期で選出された共同議長が運営し、意思決定は原則全会一致のコンセンサス方式で行われる。民間の多様な意見を聞くため、先進国及び途上国の市民社会代表や民間セクターから登録オブザーバーが理事会に出席している。

### ② 職務

GCF の運営と監督を担い、プログラムや事業への資金決定に関し全責任を負う<sup>36</sup>。国家指定機関 (National Designated Authorities: NDA) の運営に係る規則や手続きの構築、実施機関の認証基準と申請プロセスの構築と認証など、基金の中核的な機能全般を担うが、基金運営に係る様々な方針や、支援対象事業の優先順位、適格性基準等に係る重要な問題については、COP のガイダンスに基づいて適切な対応をとるとされている。また、COP に対して説明責任を有し、詳細な年次報告を行う。以下に、理事会の主要職務を挙げる：

- 基金の運営、基金へのアクセス、資金拠出に係る手続きの承認
- プログラム構築やプロジェクトサイクル、財務管理等、基金運営上の特定の方針やガイドラインの承認
- 基金の指針や基準、手続き、方針、プログラムに基づいた資金拠出の承認
- 環境及び社会的なセーフガード及び国際的に受け入れられている受託者責任に係る指針と基準の構築
- 認証実施機関の選考基準と認証プロセスを規定しその認証と撤回の実施
- 必要に応じ小委員会やパネルの設営とその委託事項 (Terms of Reference: ToR) の策定
- ファンドが支援するプロジェクトの財務パフォーマンスの監視と評価の枠組みを設定、必要に応じ外部監査を手配
- ファンドの管理予算の審査と承認、業績評価と監査の手配
- 事務局長の任命
- COP のガイダンスの下、様々な事象に対応、年に一度 COP に対し理事会の活動を報告
- UNFCCC の関係機関及び国際機関との協働及び調整
- 信託機関を選定し、契約及び運営上の手続きを規定
- その他、基金の目的達成のために適切と思われる職務の執行

## 2) 事務局 (Secretariat)

完全に独立した組織として、GCF の日常業務を透明性のある形で執行、理事会に関連する業務を提供する一方で、理事会に対し基金の活動報告を行う<sup>37</sup>。事務局長の業務内容と資格要件は理事会で決定され、事務局スタッフは、事務局長により、地域及びジェンダーバランスを考慮の上、事務管理、法律及び財務等の分野で相応の実績を持つ人材を採用する。

- 管理業務全般を組織的に執行
- 基金の活動報告

<sup>36</sup> Governing Instrument, paragraph 5

<sup>37</sup> Governing Instrument, paragraph 19

- 理事、実施機関、二国間・多国間機関の間の連絡
- 事務局の活動計画及び年間管理予算の策定
- プロジェクトやプログラムサイクルの稼働
- 実施機関が資金拠出で利用する金融商品に係る契約の作成
- ポートフォリオの金融リスクの監視
- 信託機関の支援
- 基金活動全般の監視と評価の実施
- 基金のナレッジマネジメントシステムの構築

### 3) 信託機関 (Trustee)

理事会の決定及び要請に基づき、基金の金融資産を管理し、財務諸表の作成等の財務報告を行う<sup>38</sup>。暫定的に世界銀行が信託機関を務めており、再検討を行うこととなっている<sup>39</sup>。

### 4) 独立評価ユニット (IEU)、独立十全性ユニット (IIU)、及び独立是正メカニズム (IRM)

各ユニットのヘッドは理事会によって任命され、理事会に報告する。各ユニットの主要業務は以下の通り：

- 独立評価ユニット (Independent Evaluation Unit: IEU)  
理事会の決定事項の開示と活動の定期的な評価を行い COP に報告
- 独立十全性ユニット (Independent Integrity Unit: IIU)  
事務局を補佐し、特に不正・腐敗にかかる調査を実施し理事会に報告
- 独立是正メカニズム (Independent Redress Mechanism : IRM)  
GCF に関する苦情の告発の窓口となり、訴えを分析し理事会に勧告を行う。勧告内容と理事会がとった対応は COP への年次報告書に記載される。とりわけ、資金方針やプログラムの優先順位、選考基準といった、資金決定に影響を与える問題に関しては、COP が指針を示すこととなっている。

### 5) 国家指定機関 (NDA) /フォーカルポイント (FP)

GCF からの支援を希望する途上国は、基金とのインターフェースとして、NDA あるいはフォーカルポイント (Focal Point: FP) を指定する。GCF は、支援するプロジェクトやプログラムが、その国の国家戦略目標やプライオリティに一致し、必要とする緩和策や適応策の推進に寄与するよう、カントリーオーナーシップの強化を重視し、NDA/FP に多くの決定権限を与えている。事務局は基本的にその決定を支援する立場にある<sup>40</sup>。NDA と FP の主な役割としては、以下のとおりである。2016年6月1日現在、141の NDA 及び FP が指定を受けている<sup>41</sup>。

<sup>38</sup> Governing Instrument, paragraph 24

<sup>39</sup> Governing Instrument, paragraphs 7, 8

<sup>40</sup> 国連気候変動枠組条約第 42 回補助会合 (SB42) において開催されたサイドイベント “Essential Knowledge about the Green Climate Fund: Progress Made to Date, Outlook” 2015年6月8日於ドイツ・ボン

<sup>41</sup> GCF の NDA 及び FP 一覧：

[http://www.greenclimate.fund/documents/20182/318991/NDA\\_and\\_Focal\\_Point\\_nominations\\_for\\_the\\_Green\\_Climate\\_Fund.pdf/eace75b-aa59-489c-8914-c0940debe01f](http://www.greenclimate.fund/documents/20182/318991/NDA_and_Focal_Point_nominations_for_the_Green_Climate_Fund.pdf/eace75b-aa59-489c-8914-c0940debe01f)

①ダイレクト・アクセスルートで認証申請を行うプロジェクトの実施機関（認証実施機関）を指定しノミネーションレターの作成、②レディネス・準備サポート支援の承認と設定、③申請されたプロジェクトやプログラムの実施に異議がないことを表明するノーオブジェクションレター（同意書）の作成、④プロジェクトやプログラムと国家戦略における優先順位との整合性の検証、⑤国内ステークホルダー間の調整と資金拠出の優先分野の特定



出所：GCF Elements 01 より MUMSS 作成

図 16 NDA/FP の役割（ファイナンス構造）

## 6) 認証実施機関

GCF は、認証基準に基づいて審査・認証した認証実施機関を通じて事業資金を供給する仕組みとなっている。地方機関、国家機関、地域機関、国際機関など、公的機関及び金融機関等の民間企業や NGO も認証を申請することができる。認証実施機関の果たす役割は幅広いが、主として以下が挙げられる：

- ① GCF 資金を支援プロジェクトに投入する（仲介機能）
- ② プロジェクトやプログラムの提案書を作成し GCF に提出して資金要請を行う
- ③ プロジェクトやプログラムの運営と執行
- ④ 自身に可能な金融手段の設定（グラント、譲許性融資、エクイティ、保証）
- ⑤ 民間資金の動員
- ⑥ NDA や FP と協働して現地事業者や地場の金融機関に対するプログラム提案のためのレディネス支援
- ⑦ 地域ワークショップの開催等のキャパシティ・ビルディングの実施、GCF の啓蒙活動

2015年3月の第9回理事会で7機関が承認されたのに続き、7月の第10回理事会で13機関、さらに3月の第12回理事会で13機関が新たに承認された。これまでに承認された認証実施機関は以下の通り。

表 5 認証実施機関<sup>42</sup>

機関名称	略称	国	機関のタイプ	認証のタイプ		
				サイズ	受託（責任）基準	環境/社会 リスクカテゴリ
アキュメンファンド	Acumen	米国	地域	零細	①、②、④a,b	C/ 仲介機関 3
アジア開発銀行	ADB	フィリピン	国際	大規模	①、②、③、④a,b,c	A/ 仲介機関 1
アフリカ・ファイナンス・コーポレーション	AFC	ナイジェリア	国際	大規模	①、②、④a,b,c	A/ 仲介機関 1
フランス開発庁	AFD	フランス	国際	大規模	①、②、③、④a,b,c	A/ 仲介機関 1
アンデス開発公社	CAF	ベネズエラ	地域	大規模	①、②、③、④a,b,c	A/ 仲介機関 1
カリビアンコミュニティ気候変動センター	CCCCC	ベリーズ	地域	小規模	①、②、③	B/ 仲介機関 2
コンサベーション・インターナショナル財団	CI	米国	国際	中規模	①、②、③	C/ 仲介機関 3
生態モニタリングセンター	CSE	セネガル	国	小規模	①、②	C/ 仲介機関 3
ドイツ銀行	Deutsche Bank AG	ドイツ	国際	大規模	①、②、③、④a,b,c	A/ 仲介機関 1
欧州復興開発銀行	EBRD	英国	国際	大規模	①、②、③、④a,b,c	A/ 仲介機関 1
ナミビア環境投資基金	EIF	ナミビア	国	零細	①、②、③	C/ 仲介機関 3
世界銀行	World Bank	米国	国際	大規模	①、②、③、④a,c	A/ 仲介機関 1
米州開発銀行	IDB	米国	国際	大規模	①、②、③、④a,b,c	A/ 仲介機関 1
ドイツ復興金融公庫	KfW	ドイツ	国際	大規模	①、②、③、④a,b,c	A/ 仲介機関 1

<sup>42</sup> Green Climate Fund "GCF List of Accredited Entities"

[http://www.greenclimate.fund/documents/20182/114261/20151119\\_-\\_GCF\\_List\\_of\\_Accredited\\_Entities.pdf/e09bb9b3-9730-4adc-bca9-ff32739ecae8](http://www.greenclimate.fund/documents/20182/114261/20151119_-_GCF_List_of_Accredited_Entities.pdf/e09bb9b3-9730-4adc-bca9-ff32739ecae8)

機関名称	略称	国	機関のタイプ	認証のタイプ		
				サイズ	受託（責任）基準	環境/社会 リスクカテゴリ
ルワンダ天然資源省	MINIRENA	ルワンダ	国	小規模	①、②、③	B/ 仲介機関 2
国立農業農村開発銀行	NABARD	インド	国	大規模	①、②、③、④a,b,c	B/ 仲介機関 2
ペルー自然保護推進基金	PROFONANPE	ペルー	国	零細	①、②	C/ 仲介機関 3
太平洋地域環境計画	SPREP	サモア	地域	小規模	①、②	C/ 仲介機関 3
国連開発計画	UNDP	米国	国際	中規模	①、②	B/ 仲介機関 2
モロッコ農業開発庁	ADA	モロッコ	国	小規模	①、②	B/ 仲介機関 2
エチオピア財務経済開発省	MOFEC	エチオピア	国	小規模	①、②	B/ 仲介機関 2
ケニア国家環境管理局	NEMA	ケニア	国	零細	①、②	B/ 仲介機関 2
南アフリカ開発銀行	DBSA	南アフリカ	国	大規模	①、②、③、④a,b,c	A/ 仲介機関 1
クレディ・アグリコル・コーポレート・アンド・インベストメント・バンク	CIB	フランス	国際	大規模	①、②、④a,b,c	A/ 仲介機関 1
HSBC ホールディングス及び子会社	HSBC	英国	国際	大規模	①、②、④a,b,c	A/ 仲介機関 1
アフリカ開発銀行	AfDB	コートジボワール	国際	大規模	①、②、③、④a,b,c	A/ 仲介機関 1
欧州投資銀行	EIB	ルクセンブルク	国際	大規模	①、②、③、④a,b,c	A/ 仲介機関 1
国際金融公社	IFC	米国	国際	大規模	①、②、③、④a,b,c	A/ 仲介機関 1
ユニット・フォー・ルーラル・チェンジ	UCAR	アルゼンチン	国	小規模	①、②、③	B/ 仲介機関 2

機関名称	略称	国	機関のタイプ	認証のタイプ		
				サイズ	受託（責任）基準	環境/社会 リスクカテゴリ
国際自然保護連合	IUCN	スイス	国際	中規模	①、②、③	B/ 仲介機関 2
世界食糧計画	WFP	イタリア	国際	零細	①、②	C/ 仲介機関 3
世界気象機関	WMO	スイス	国際	小規模	①、②	C/ 仲介機関 3

(注)

➤ サイズ定義

零細＝～10 百万米ドル

小規模＝10 百万米ドル～50 百万米ドル

中規模＝50 百万米ドル～250 百万米ドル

大規模＝250 百万米ドル

➤ 受託（責任）基準の表記

①＝ベーシック ②＝プロジェクト管理 ③＝グラント／資金配分メカニズム

④＝オン・レンディング／ブレンディング:a＝融資、b＝エクイティ、c＝保証

➤ 環境/社会リスクカテゴリ

A＝環境や社会に対し、広範囲に回復不可能で未曾有の深刻なリスクや悪影響を与える可能性を持つ事業

B＝環境や社会に対し、比較的件数が少なく、特定の場所に限定され、大部分は回復可能で緩和策によって対応が可能な軽度のリスクや悪影響を与える可能性を持つ事業

C＝環境に対する悪影響や社会的リスクを与える可能性が殆どない事業

数字は仲介機関のエクスポージャーがどのリスクカテゴリに該当するか示したもの。

1＝リスクカテゴリ A、2＝リスクカテゴリ B、3＝リスクカテゴリ C

出所：MUMSS 作成



## (5) 民間金融ファシリティ (PSF)

GCF を特徴づけるものとして期待されている「プライベートセクターファシリティ (PSF)」は、民間部門の投資要件に対応した投資手段等の採用や、官民パートナーシップの促進を通じて、直接もしくは間接的に途上国の中小企業等に資金を拠出し、民間部門による温室効果ガスの削減や気候変動への適応事業を推進するものである。気候変動プロジェクトやプログラムに、認証された銀行やプライベートエクイティファンド、投資ファンド、インパクトファンド、開発銀行等といった金融機関と共同で投資したり、これらに資金を供給する。PSF が用いる投資手段は、シニアローン・債券、劣後ローン・債券、エクイティ、保証、グラントが候補として挙げられている。

PSF が対象とする事業は、民間資金との親和性が比較的高い分野が中心となると予想され、具体的には以下が候補にあげられている：

- クリーンエネルギー
- 運輸・物流
- 建設/ビル
- 製造業
- 水関連

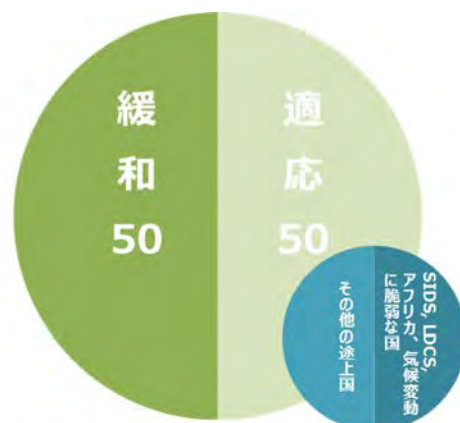
資金支援は、途上国の零細企業や中小企業を中心に様々な規模を対象とする。途上国の民間企業は、自国の認証金融機関を通じて GCF 資金にアクセスする仕組みが現在協議されている。

また、PSF の資金調達においても、民間資金の動員が議論されており、巨額の長期資金を長期にわたり確保する上でその制度化に注目が集まっている。

## (6) 資金稼働の枠組み

### 1) 資金配分

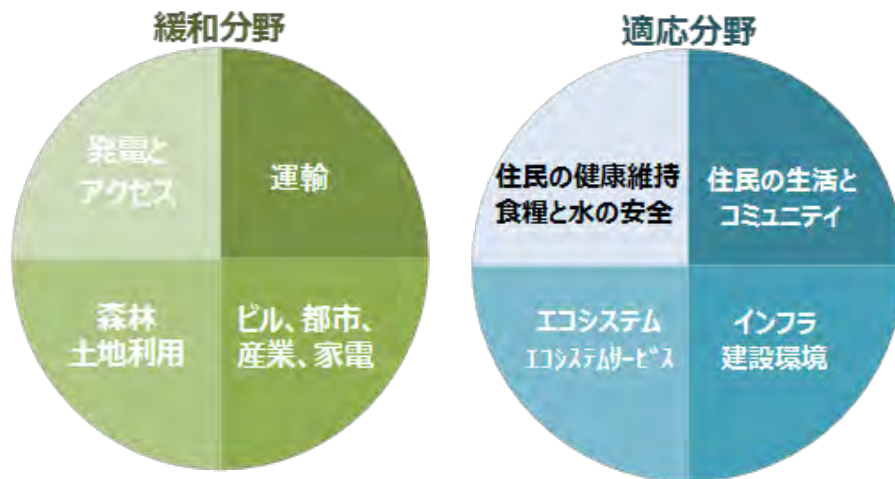
資金の配分は、長期的には適応と緩和の両分野に均等に配分し、少なくとも緩和分野の資金の半分は、LDCs、SIDS、及びアフリカ諸国といった気候変動に脆弱な国の適応策に充てることとなっている。また、レディネス支援に十分な資金を投入してキャパシティ・ビルディングを行い、資金の有効な運用を重視している。一方、現地の中小企業に資金配分し、民間主導のプロジェクトも強化するとしている。



出所：GCF Elements 01 より MUMSS 作成  
 図 17 資金配分の枠組み

## 2) 戦略的優先分野

GCFは、資金投下において、気候変動対策の緩和と適応分野でそれぞれ4つずつ、計8つのセクターを戦略的優先分野に掲げている。審査においては、提案されたプロジェクトやプログラムについて、これら8つのインパクトエリアで成果を上げる蓋然性が高いと判断されることも重要な基準となる。



出所：GCF Elements 01 より MUMSS 作成

図 18 GCF の戦略的優先分野

なお、プロジェクトやプログラムは Results Measurement Framework（結果測定フレームワーク）によって細かく内容を把握し、あらかじめ設定された特定の指標によってプロジェクトレベルでパフォーマンスの評価と検証が行われることとなっている。

## 3) 投資ガイドライン

GCFでは、プロジェクトやプログラムへのファイナンスを行う上で、高次の投資ガイドラインを6つ定めている。

- ① GCFの目標や対象分野に与える潜在的効果
- ② パラダイムシフトのポテンシャル：事業がプロジェクトやプログラムの投資を超えて及ぼす影響の大きさ
- ③ 持続可能な開発への寄与：環境分野のみならず社会や経済、ジェンダーといった幅広い分野に与える副次的効果
- ④ 受益国のニーズへの対応：受益国やターゲットグループのニーズや脆弱性の程度への対応度
- ⑤ カントリーオーナーシップ：受益国の主体性やキャパシティ強化への貢献
- ⑥ 効率性と実効性：プログラムやプロジェクトの経済及び財務面での安定性（緩和事業に関しては、これに加えコストパフォーマンスとコ・ファイナンス（co-finance）の規模）

下図に投資ガイドラインとその対象エリアをまとめた。

基準	対象エリア
<b>GCFの目標や対象分野に与える潜在的効果</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 緩和インパクト</li> <li>● 適応インパクト</li> </ul>
<b>パラダイムシフトのポテンシャル</b> 事業がプロジェクトやプログラムの投資を超えて及ぼす影響の大きさ	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 気温上昇を2℃以内に抑える目標と整合する地球規模の低炭素開発の拡大、レバレッジ化及び開発への全体的な貢献のポテンシャル</li> <li>● 知見や学習に繋がる潜在性</li> <li>● 環境整備活動に繋がる貢献</li> <li>● 規制的フレームワークとポリシーへの貢献</li> <li>● 国家の気候変動適応戦略・計画と整合する気候変動開発への全体的な貢献</li> </ul>
<b>持続可能な開発への寄与</b> 環境分野に加え社会や経済、ジェンダーという幅広い分野に与える副次的効果	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 環境的コベネフィット</li> <li>● 社会的コベネフィット</li> <li>● 経済的コベネフィット</li> <li>● ジェンダーに配慮した開発インパクト</li> </ul>
<b>受益国のニーズへの対応</b> 受益国やその住民の脆弱性や資金調達ニーズへの対応度	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 国の脆弱性</li> <li>● 脆弱なグループとジェンダーアспект</li> <li>● 国の経済的・社会的発展レベルとその影響を受けた住民</li> <li>● 代替的資金源の欠如</li> <li>● 関係機関及びその実施能力の強化のニーズ</li> </ul>
<b>カントリーオーナーシップ</b> プロジェクト遂行のための受益国の主体性や能力強化への貢献	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 国家気候変動戦略の存在の有無</li> <li>● 既存ポリシーとの整合性</li> <li>● 実施機関や仲介機関の能力</li> <li>● 市民社会団体やその他の関連ステークホルダーとの取り組み</li> </ul>
<b>効率性と実効性</b> プログラムやプロジェクトの経済および財政面での健全性	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 財政的、並びに非財政的側面に関する費用対効果と効率性</li> <li>● コ・ファイナンスの規模</li> <li>● プロジェクト/プログラムの財政的な実行可能性及びその他の財政指標</li> <li>● 業界のベストプラクティス</li> </ul>

出所：GCF Investment Framework より MUMSS 作成

図 19 投資ガイドライン一覧

(7) GCF 資金へのアクセス

1) ファンディング・プロポーザルの概要

認証実施機関がファンディング・プロポーザル（Funding Proposal）を作成のうへ GCF に対して資金要請を行う。そのファンディング・プロポーザルの項目は表 6 の通り、広範にわたり、テンプレートだけでも 26 頁にも及ぶものとなっている。

表 6 ファンディング・プロポーザルの項目

➤ Section A	PROJECT / PROGRAMME SUMMARY
➤ Section B	FINANCING / COST INFORMATION
➤ Section C	DETAILED PROJECT / PROGRAMME DESCRIPTION
➤ Section D	RATIONALE FOR GCF INVOLVEMENT
➤ Section E	EXPECTED PERFORMANCE AGAINST INVESTMENT CRITERIA
➤ Section F	APPRAISAL SUMMARY
➤ Section G	RISK ASSESSMENT AND MANAGEMENT
➤ Section H	RESULTS MONITORING AND REPORTING
➤ Section I	ANNEXES

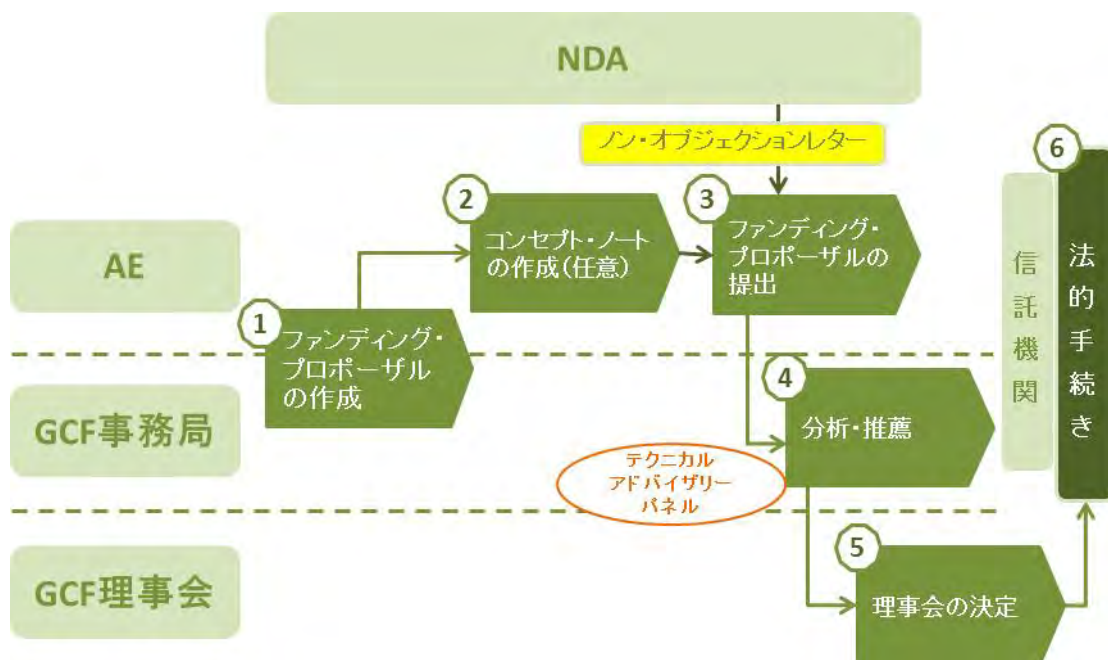
- F.1. Economic and Financial Analysis
- F.2. Technical Evaluation
- F.3. Environmental, Social Assessment, including Gender Considerations
- F.4. Financial Management and Procurement

出所：http://www.greenclimate.fund/documents/20182/239759/4.6.1 - Funding\_Proposal\_Template\_ver.1.1\_clean\_copy\_.docx/dbade9ba-0359-4efc-9c86-40e9d245463f  
より MUMSS 作成

## 2) 資金申請の審査プロセス

提案書の作成並びに GCF に対するプロジェクトやプログラムへの資金要請は認証実施機関が行うが、支援対象国の自主性を確保するため、NDA が発行したノーオブジェクションレターを添付のうえファンディング・プロポーザルを事務局へ提出することとなっている（図 20 ①、③）。認証実施機関は NDA/FP と相談の上、GCF にコンセプトノートを提出しフィードバックを受けた上で、ファンディング・プロポーザルを提出することもできる（②）。

事務局はファンディング・プロポーザルの提出を受けた後に提案内容のデューデリジェンスを行う。あわせてテクニカルアドバイザーパネル<sup>43</sup>独自の提案書の専門的な評価とアドバイスを添付<sup>44</sup>（④）することで、ファンディング・プロポーザルのフルパッケージとして理事会の審議へ諮ることができる（⑤）。



出所： [http://www.greenclimate.fund/documents/20182/239759/4.3\\_-\\_Process\\_Flow\\_Chart.pptx/be3b14d7-a3e4-4976-a7bf-2def3dfe2d3b](http://www.greenclimate.fund/documents/20182/239759/4.3_-_Process_Flow_Chart.pptx/be3b14d7-a3e4-4976-a7bf-2def3dfe2d3b) より MUMSS 作成

図 20 事業の承認プロセスの概観

申請書提出から審査、理事会による承認までは、最短で 11～12 週間の期間が想定されている。タイムラインのサンプルを以下にあげる。

<sup>43</sup> テクニカルアドバイザーパネルは理事会への専門的な内容について客観的なアドバイスを行うことを目的としており、先進国から 3 名と開発途上国 3 名の計 6 名から構成される予定。

<sup>44</sup> テクニカルアドバイザーパネルによる評価は、特別な必要がなければ打ち合わせはせずに、2 週間以内を目指して行われる。

Activities		Month 1				Month 2				Month 3				Month 4				Month 5				Month 6			
No.	Description	Wk1	Wk2	Wk3	Wk4	Wk1	Wk2	Wk3	Wk4	Wk1	Wk2	Wk3	Wk4	Wk1	Wk2	Wk3	Wk4	Wk1	Wk2	Wk3	Wk4	Wk1	Wk2	Wk3	Wk4
1	Concept Note	←→																							
2	Funding Proposal					←→																			
2.1	FP submission					←→																			
2.2	FP completeness check							←→																	
2.3	FP quality check									←→															
2.4	TAP assessment													←→											
2.5	Final package preparation																	←→							
3	Accreditation Master Agreement establishment					←→																			
4	Board Decision																					←→			
4.1	Board Document																					←→			
4.2	Board Meeting																								←→

出所：Green Climate Fund<sup>45</sup>より MUMSS 作成

図 21 プロジェクト・プログラムの承認プロセスのタイムライン

<sup>45</sup> "Proposal Approval Process & Investment Framework" Readiness workshop for SIDS (September 15, 2015, Tokyo)

## 4.2. 今後の制度設計に関する検討

これまで紹介してきた GCF のファイナンスの事例などをふまえて、低炭素エネルギーの促進につながる施策案の一つとして、GCF との連携を取り上げる。

### (1) GCF との連携

GCF はグラント、譲許的融資、エクイティ、保証という幅広い金融手段を提供できることが特徴的な気候変動基金である。このため GCF との連携によって実用化の目途が付いた技術の海外展開の資金調達の可能性が広がることになる。また独立行政法人国際協力機構（Japan International Cooperation Agency: JICA）は既存の気候変動基金の枠組みの活用実績があるため、GCF の認証実施機関としての審査過程ではあるものの GCF 活用への期待は大きい。一方で、認証取得後もしくは前述の通り、グラント案件へ傾注する可能性が高い。しかしながら中長期的には、GCF と JICA にて高いリスクを取ることを呼び水に民間金融機関の融資等の拠出につなげる意義は大きいものと考えられる。

#### 1) グラント供与

これまで承認された GCF 案件のなかで数多くみられるのが、認証実施機関が既に案件形成に着手をしていた手持ちのプロジェクトに、GCF とともにグラントを供与する案件である。例えば、マラウイの気候情報と早期警戒システムの利用拡大プロジェクトがその一例である。当該プロジェクトは、認証実施機関である UNDP の本部とマラウイ・オフィスが、マラウイの災害政策省とのパートナーシップのもとで永年取り組んできた多くのプロジェクトの一つである。本プロジェクトにおける UNDP の認証実施機関としての役割は、プロジェクトの監督と品質保証である。その役割には、案件形成監督、案件実施監督と財務管理、完工監督が含まれている。

その認証のタイプのため融資、エクイティ、保証の供与が含まれずグラント供与のみが可能な UNDP のこのような事例は、仮に JICA が同じようにグラントのみ供与可能なタイプの認証実施機関になった場合の参考となると考えられる。JICA のパイプラインのなかで、プロジェクト金額が大きく資金の不足している案件に GCF 資金を獲得していくことは低炭素エネルギーの促進に繋がる案件形成に寄与することが期待できる。

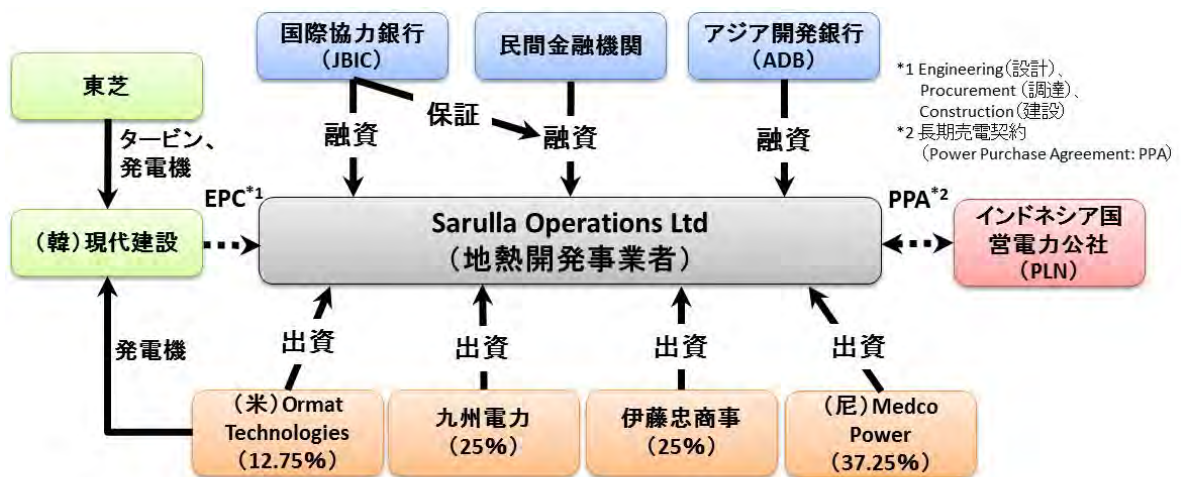
#### 2) ローン/保証供与/エクイティ供与

GCF は認証実施機関が自らのファイナンス機能を活用しながら、他の機関とのコファイナンスを活用して資金供与できることが、一つの特徴である。ここではまずプロジェクト事例から、GCF が認証実施機関を通じて供与可能なローン/保証供与/エクイティに関してまとめた。

##### ① プロジェクト事例からみた各機関の関与

日本の認証実施機関の候補となりうる JICA、メガバンクが関与した案件として、GCF が関与している案件ではないもののインドネシア北スマトラ州で建設・運営される世界最大級の地熱発電プロジェクトであるサルーラ地熱プロジェクトの事例から各機関の関与方法をみていく。本件は、今後電力需要の増大が予想されるインドネシアにおいて、出力 320.8 MW の地熱発電所を建設し、30 年間に亘りインドネシア国有電力会社に対して売電するプロジェクトで、JICA は開発計画調査型技術協力、株式会社国際協力銀行（Japan Bank for International Cooperation: JBIC）はポリティカル・リスク保証、JBIC、ADB と、みずほ銀行、三菱東京 UFJ 銀行、三井住友銀行、ソシエテ ジェネラル銀行、アイエヌジーバンクエヌ・ヴィ、ナショナル オーストラリア銀行がプロジェクトファイナンス形態でのローンにて本プロジェクトを支援している。

所在国	インドネシア
プロジェクトタイプ	地熱発電プロジェクト
プロジェクト	サルーラ地熱発電所プロジェクト
公的資金	①JICAによる2006～07年に政府開発援助（Official Development Assistance：ODA）で調査事業を支援した「地熱発電開発マスタープラン」、並びに2008～10年にODA支援した「気候変動対策プログラム・ローン（Climate Change Program Loan: CCPL）」、②JBICによるポリティカル・リスク保証、及び③ADBによる融資
民間資金	①伊藤忠商事と九州電力による電力事業会社であるPT Medco Power Indonesiaへの出資、及び②みずほ銀行、三菱東京UFJ銀行、三井住友銀行をはじめとする民間金融機関による協調融資
技術	発電設備の主要機器である東芝の60MW地熱蒸気タービン・発電機。330MWサルーラ地熱発電所は、蒸気と熱媒によるバイナリー発電の複合利用による、地熱複合サイクル発電（Geothermal Combined Cycle Units: GCCU）であり、この水蒸気利用部分に相当するもの。



\* 国際協力機構(JICA)が開発計画調査型技術協力を行う

出所：MUMSS 作成

図 22 プロジェクトのスキーム図

## ② ローン供与

上図に記載の事例では JBIC、ADB と、みずほ銀行、三菱東京 UFJ 銀行、三井住友銀行、ソシエテ ジェネラル銀行、アイエヌジーバンクエヌ・ヴィ、ナショナル オーストラリア銀行がプロジェクトファイナンス形態でのローンにて本プロジェクトを支援している。このようなローンは、GCF が自ら認証実施機関を通じて、もしくは認証実施機関が自らの資金をローンの形態で供与することができる。

「質の高いインフラパートナーシップ」のフォローアップの一環として、「JICA の譲許的条件（金利、期間、債権順位等の面）での融資が既存の民間金融機関が行う資金の貸付け又は出資を質的に補完することでこれを可能とする場合、民間金融機関との協調融資を可能とする」とされている。将来的には JICA が GCF の認証実施機関としてローンを供与することで、民間金融機関との協調融資にて低炭素エネルギーの促進につながるプロジェクト支援を行うことも期待される。

### ③ 保証供与

図 22 記載の事例では JBIC が民間金融機関に対してポリティカル・リスク保証を行うことで、民間金融機関からの巨額の協調融資の調達に成功している。このような保証機能を制度上 GCF も果たすことが可能であり、このような GCF の保証機能を活用した民間資金の獲得は GCF の目的に適うものである。

一方で JICA は保証という金融支援機能は有していない。JBIC との金融支援機能上の棲み分けはあるものの、潜在的には、JICA が GCF の認証実施機関として、もしくは自ら保証を行うことで民間金融機関からのさらなる資金調達を通じた低炭素エネルギーの促進につながるプロジェクト支援を行うことが期待される。

### ④ エクイティ供与

これまで承認された案件のなかで、GCF が出資をする事例も複数見られる。例えば、東アフリカの中小企業への投資を通じて、オフグリッドやミニグリッドの太陽光電力や再生可能エネルギー製品を供給することを目的としたファンド案件がその一例である。当該ファンド案件は、認証実施機関である米国のアキュメンファンドが自ら拠出するエクイティと、GCF が拠出するエクイティを梃子に、民間出資者からのエクイティ拠出を取り込むことを狙っている。

JICA の海外投融資は民間活動支援を通じた経済協力を行う業務である。開発途上国での事業は高いリスクや低い収益見込みといった障壁のため、一般の金融機関からの融資が受けにくい状況にあるため、海外投融資業務は、開発途上国において、民間企業等が行う開発効果の高い事業を、「融資」と「出資」という 2 つの資金面で支える事業となっている。このように制度上 JICA は、以下のような条件付で出資（エクイティを拠出）することが可能となっている。将来的には JICA が GCF の認証実施機関として、もしくは GCF とのコファイナンスとして JICA 自らエクイティを供与することを梃子に、民間セクターからのさらなる資金拠出を通じて低炭素エネルギーの促進につながるプロジェクト支援を行うことが期待される。

[海外投融資に係る出資の主な条件]

出資方法	原則として現地企業等への直接出資。出資比率は 25%以下、かつ、最大株主の出資割合を超えないものとする。
出資期間・退出方針	事業の特性に応じて個々に出資前に退出方針を設定し、中核企業及び出資先企業と合意。出資期間は個別案件の退出方針において規定。

また JICA の出資する MGM Sustainable Energy Fund L.P. (MSEF) はコロンビア、メキシコ及び中米・カリブ地域を対象に省エネ事業及び一部再エネ（中規模～10MW 程度太陽光発電等）事業を行うファンドに対して出資をする。GCF 案件にこの JICA が MSEF を通じてエクイティを拠出することも低炭素エネルギーの促進につながるプロジェクト支援となる。また潜在的には GCF からの MSEF への出資を通じて、低炭素エネルギーの促進につながるプロジェクト支援が期待される。

### (2) そのための課題

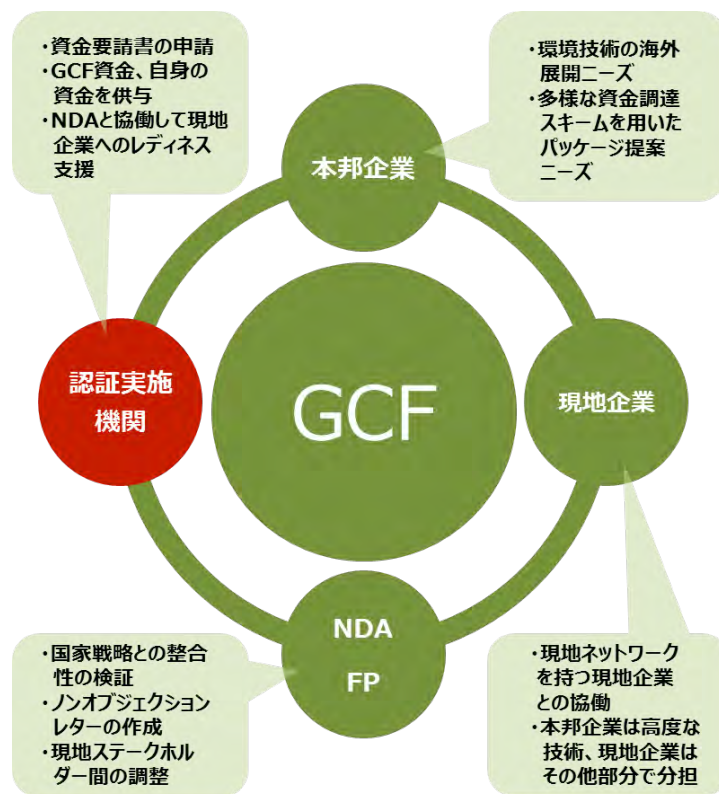
GCF は、技術並びに製品の調達にあたっては透明で公平なプロセスを求めており、競争入札のプロセスが求められる。よって多くの場合、価格面で必ずしも競争力があるわけではない本邦企業の立場からすると、競争入札を勝ち抜く方策が必須となってくる。



現時点では日本の認証実施機関がないため本邦企業にとってのGCF資金へのアクセスのための相談窓口が限られてしまっている状況も本邦企業にとっては課題となっている。この点でも、認証実施機関への申請を行っているJICA、メガバンクの早期の認証取得が望まれる。

### (3) GCF連携への手順

GCFへのファンディング・プロポーザル提出のプロセスは「[GCF資金へのアクセス](#)」に記載の通りである。またこのファンディング・プロポーザルに先立って、認証実施機関はNDA、低炭素エネルギー技術を有する企業の事業者等と初期段階から案件形成を行っていく必要がある。



出所：MUMSS 作成

図 23 関係者のニーズと役割

## (参考) 利子補給制度

### (1) 低炭素技術の程度に応じた利子補給

「金融」に低炭素技術エネルギーの促進に繋がるインセンティブを織り込むことができれば、その影響力を通じ、事業活動など様々な経済活動における低炭素化エネルギー促進へ大きく誘導・促進することができる。JICAの海外融資にあたってのインセンティブとして、低炭素化のレベルに応じて低利での融資を実行することは、低炭素化エネルギー促進に繋がると考えられる。

具体的には地球温暖化対策のためのコーポレートベース、プロジェクトベースでの設備投資へのJICAによる海外融資について、CO<sub>2</sub>排出を一定量以上実現することを誓約することを条件に、利息支払額の一定割合を限度として利子補給を行うことが考えられる。

利子補給制度とは、国などの公的機関が特定の条件を満たす融資を実施した金融機関に対して借入人の利子負担を軽減することを目的に利子の一部を補給する制度である。具体的な制度例としては、経済産業省の「エネルギー使用合理化特定設備等導入促進事業費補助金」「天然ガス等利用施設設備資金利子補給金」や、環境省の「環境配慮型融資促進利子補給制度」や「環境リスク調査促進利子補給事業」などがあげられる。

JICAは政府から、利子補給金相当の補助金を受け取ることで低利融資が可能となる。

### (2) 利子補給の手順

利子補給の仕組みは、政府から執行団体に対して年度毎に補助金が交付され、執行団体は年度毎に認証実施機関に対して補助金を交付し、金融機関やJICAのような機構は融資先の事業者に対して年度毎に利息の一部を支払うことになる。

政府から執行団体に対しての年度毎の補助金交付は、融資対象の設備投資に関して事前に取り決めたCO<sub>2</sub>排出削減量の遵守事項に応じて利子補給額を決定し、交付される。

このようなCO<sub>2</sub>排出削減量の測定のために認証実施機関は、当該投資に伴うCO<sub>2</sub>排出削減計画の策定と、削減状況のモニタリングを事業者の協力のもとで実施する。

利子補給金は補助金適正化法上における補助金に該当するものと考えられるため、一義的に補助金返還義務を負う事業者が破綻した場合等は、認証実施機関が補助金の返還に向けた対応を迫られることになる。

### (3) 利子補給ための課題

海外の設備投資向けの融資に係る利子補給制度に関する課題等の基本的な整理を以下の通り行った。

項目	課題
税務	海外法人が利子補給金を授受した場合には、現地の税法に従いその時点で課税される可能性がある
認証実施機関内の会計上の処理方法の課題	認証実施機関で補助金に関する受贈益を計上し、その補助金分は債務者からの支払利息を減額するため、補助金の受入と利払いのタイミングがずれると会計上の処理が複雑になる
補助金返還義務	補助金返還義務を負う事業者が破綻した場合等は、認証実施機関が補助金の返還に向けた対応を迫られる。認証実施機関は、融資期間を超えた補助金返還義務を負うことが難しい
補助金支援制度の継続性	年度毎の利子補給の場合は、制度の継続性という観点で不安定なことから、事業期間中の補助金支援が受けられるのか懸念がある
利子補給効果	完工まで長期間を要する規模の大きな設備投資の場合、利子補給効果が限定的なものとなり事業者メリットが薄れる

## V. 先進的低炭素エネルギー技術の導入可能性の検討（ロードマップ）

### 1. 開発途上国への先進的LCE技術の導入ロードマップ

		現在～2020	2020～2025	2025～2030	2030～2035	2035～2040
太陽光発電	結晶系シリコン CIS系化合物 薄膜系シリコン					次世代 (ペロブスカイト他)
地熱発電	フラッシュ バイナリー			増進型地熱(EGS)		
風力発電	陸上 洋上(着床)		洋上(浮体)			
高効率石炭火力	USC A-USC IGCC		IGFC	A-IGCC	Closed-IGCC	
高効率ガス火力	GTCC (1600°C) AHAT		(1700°C) GTFC			
二酸化炭素回収・貯蔵・利用 (CCS/CCU)	CO2-EOR		CCS (CO2-EOR以外)		CCU (藻類、人工光合成)	
蓄電池(系統用)/燃料電池	ニッケル水素 リチウムイオン NAS レドックスフロー			燃料電池 (PEFC,SOFC,NH3)		
系統(送配電)/エネルギー・キャリア	高圧交流送電 高圧直流送電			超電導送電	エネルギー・キャリア (水素、NH3)	
スマートシティ/ スマートグリッド/ デマンド・レスポンス	配電自動化 スマートメーター・ 通信システム エネルギー・マネジメント・ システム		デマンドレスポンス VPP			
(島しょ国・遠隔地)	分散型電源管理システム (DERMs)		広域監視制御システム			

※ ロードマップでは、技術確立の見込み時期から技術的に導入可能と考えて、矢印の起点としている。一方、ボリュームとしては、白から青色に行くほど増えると想定される。

### (1) ロードマップ策定に当たっての基本的な考え方

本調査において文献・インターネット等による調査、企業へのインタビュー等を通じて、調査団にて検討した結果を踏まえ、ロードマップの策定においては、以下の事項を基本的な考え方としている。

- 途上国が先進技術を導入するためには、途上国の政策、金融市場、コスト低減、安全性などの様々な要素を考慮する必要があり、**各国で状況が異なっている**。
- 一般的には、コストがニーズに合致するまでに5～10年程度かかると考えられるが、予想以上に導入が早まる可能性もある。
- 各国の指標から、**一人当たり所得が3,000USDに至るまでに送電網(マイクログリッドを含む)が整備され、電化率が100%に近づいている**。また、同様に、**一人当たり所得が3,000USD以降において、発電設備の増強及び高品質な設備への更新が加速していく**。
- 送電網整備前は系統構築支援やPre-electrificationとしての**Off Grid**を前提とした技術の導入、その後は**On Grid**を前提とした技術導入が想定される。ベースロード電源として大容量の発電設備を導入するためには、**Gridの容量**が十分であることが必要条件となる。
- 送電網が未発達な地域において、長距離送電網を広範囲に引かず、**より小さな範囲でGrid形成(地産地消型)**を行う可能性もある。(例えば、再エネ設備から特定の需要地まで)
- 変動電源の導入はGrid接続を前提とすると、発電量に占める変動電源比率は10～30%を目指して開発していく国が多いと考えられる。**20～30%を超えると、周波数対策等の系統安定化策が必要**となってくる。
- 再エネとしては太陽光と風力の拡大が見込まれ、**日射量や風況に恵まれた地域では、発電単価は火力発電を下回る傾向にある**。オークション制度の導入により、売電単価の値下がりが進んでおり、コスト低減が今後も大きく進んでいく可能性がある。
- 一方で、再エネの導入に伴い、**系統安定化策としての大容量蓄電池の導入等が必要**となるため、そのコストも含む電力システムとして見た場合のコストも考慮していく点に留意が必要。

## (2) 日本企業の海外展開

ロードマップ策定において、日本企業の海外展開の方針や課題等についても検討した。調査で判明した事項の概要は以下のとおりである。

- 日本企業の強みとしては、質や信頼性が高く、容易に他国企業に真似ることができない技術やO&Mを含めた長期保守契約(Long Term Service Agreement: LTSA)等で商機を見出している。
- 特許など時間の経過とともに技術を模倣され、かつ大規模な投資によるコスト低減が可能なものは他国企業が市場を席巻できてしまう場合がある(太陽光発電等)。
- 再エネ及び蓄電池とも欧米・中国などとの国を挙げた開発・コスト低減の競争が激化している。マーケットでの優位性を得るには、系統やO&Mなどの情報を獲得し、蓄積するかが今後ますます重要になる。
- 日本企業の海外進出の課題としては、製造工程の現地化か、現地パートナーとの提携等により、現地密着を図ること、および商機のあるうちに進出のタイミングを見極めることが肝要と考えられる。
- 一方、核となる技術を見極め、研究開発成果を国内・マジョリティーのあるJV等に蓄積することも長期に技術優位性を保つためには必要である。

## (3) 政策支援

さらに、今回のロードマップ策定にて企業等から挙げられた事項を踏まえ、調査団が公的機関等への期待として今後の政策案について、以下にとりまとめた。

- 公的機関等への期待としては、途上国に関する情報提供(マーケット情報、現地政府や現地パートナーに関するものを含む)、現地国との調整や働きかけ、事業化するための資金援助等が聞かれた。
- 実用化の目的が付いた技術を、JICA資金・GCF等を活用した海外投融資により、支援できる仕組み(ファンド等)の活用も考えられる。また、系統運用ノウハウの蓄積を中長期的視野で実施することも重要となる。
- 低炭素のレベルに応じて、更に低利融資となるなどのインセンティブはできないかなど、現地ニーズに適合した多様なファイナンス手法の検討も継続して検討する余地がある。
- 例えば、分散型電源開発には最低1年程度の再エネや蓄電池等の実証データが必要になる。途上国が低炭素エネルギーを導入するためのオープンデータベース(日射量、風況等)を構築を支援することも可能。

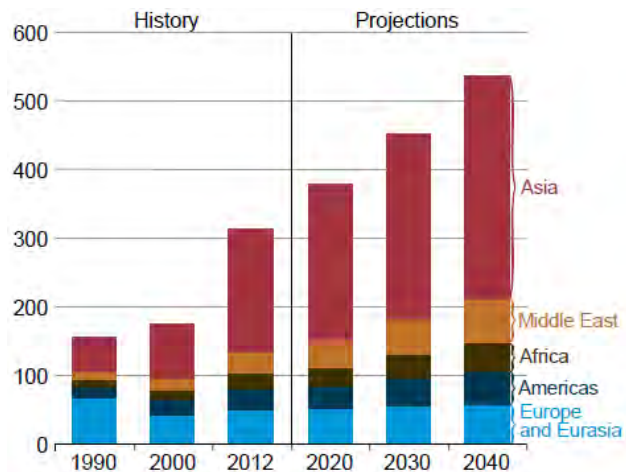
## 2. ロードマップの補足説明

### (1) ロードマップ策定の背景となるエネルギー需要等

ロードマップは2040年を見据えて、JICA等として日本の低炭素エネルギー技術を途上国に導入することを目的として策定したものである。その際、根底となるエネルギー需要に関しては、IEA及び日本エネルギー経済研究所等による予測を第I章にて説明を行った。

世界におけるエネルギー需要予測を抜粋して再掲すると、以下のとおりであり、特に、NON-OECD諸国における人口増大と経済成長に伴うエネルギー需要の拡大が大きくなり、供給側の発電設備への投資も増加していく。エネルギー消費は、特に地域別には中国やインド等の影響により、アジア地域、とくに南アジアの伸びが大きい。また、全体に占める割合は小さいものの、アフリカ地域も人口の増加と経済発展にともない、エネルギー消費が増加する。

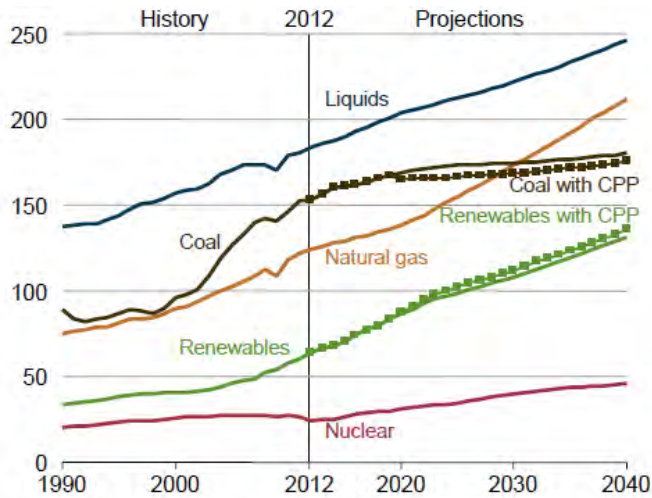
図 V-1 : Non-OECD energy consumption by region, 1990–2040 (quadrillion Btu)



出典：U.S. Energy Information Administration | International Energy Outlook 2016

また、発電等によるエネルギー消費で見ると、天然ガス、液化ガス、再生可能エネルギーが大幅に増加する一方、原子力は微増もしくは横ばい、石炭は横ばいとなっている。

図 V-2 : World energy consumption by energy source, 1990–2040 (quadrillion Btu)



Note: Dotted lines for coal and renewables show projected effects of the U.S. Clean Power Plan.

出典 : U.S. Energy Information Administration | International Energy Outlook 2016

※CPP : Clean Power Plant

以上より、今後のエネルギー需要に対処するためには、従来型の化石燃料に依拠したエネルギー源のみならず、天然ガスや再生可能エネルギーなどの多様なエネルギー源との最適なミックスを各国にて模索しつつ開発が行われていくと想定される。そして、このような途上国における旺盛なエネルギー需要に対して、日本の先進的な低炭素エネルギー技術で応えていくことは、当該国の生活の質の向上に貢献する。それと同時に、電力への普遍的なアクセスを向上させることで、貧困層への裨益も確保可能になると考えられる。



## (2) 経済成長と電力開発

本調査において、ロードマップ策定の参考とするために、経済成長と電力開発の関係性に関して、検討を行った。具体的には、国別の所得水準と電化率、停電ロス率の過年度数値より、以下のとおり分析を行った。

### ① 分析の前提（利用したデータ等）

当該分析においては、下表のように、2010年におけるGDP、人口、電化率、停電ロス（損失）率のデータを整備し、所得水準（一人あたりGDP）の順に並べた。また、主として開発途上国及び電力システムの発展レベルを考察するため、電化率が100%未満の国を対象にした結果、アジア、アフリカ、中南米諸国等、計77ヶ国が分析対象となった。

表 V-1 : 分析用データ

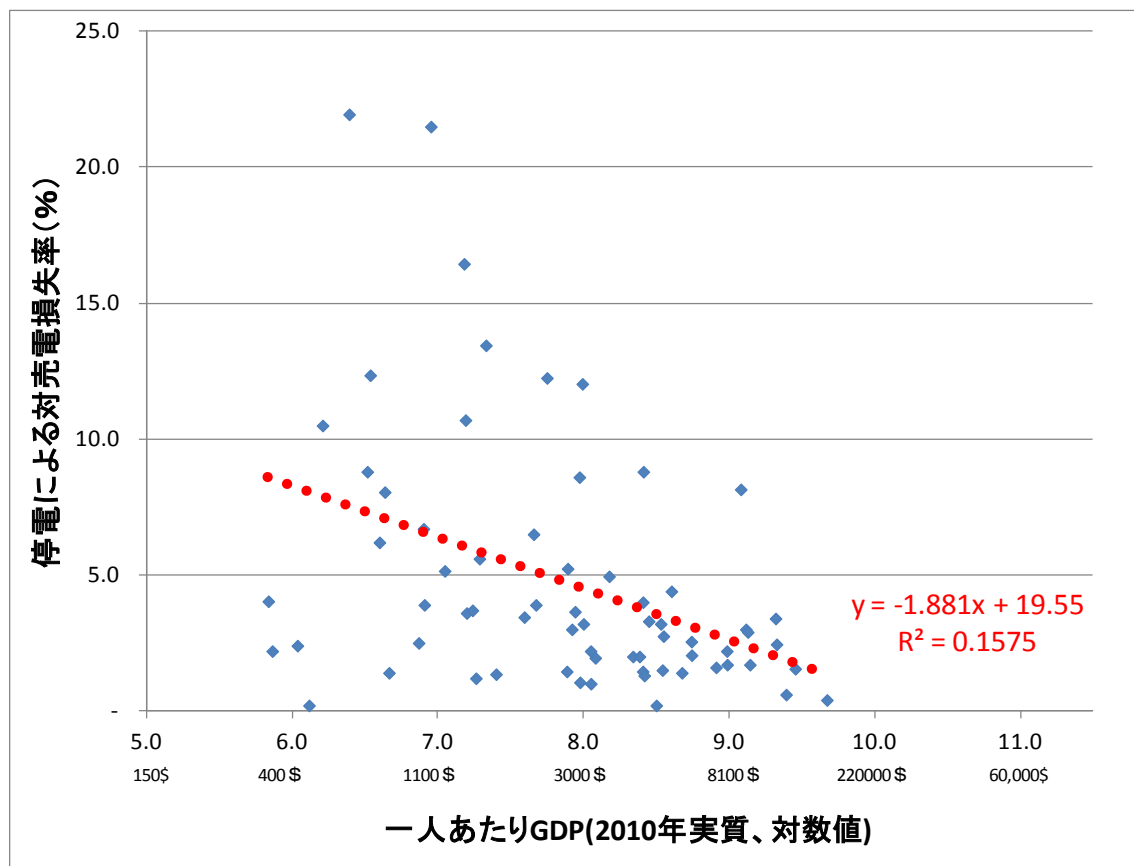
国	GDP		人口	一人あたりGDP	所得対数	電化率	発電量	一人あたり発電量	停電損失率
	百万USD\$	百万	千USD	ln(所得)	%	GWh	kWh	%	
	(2010価格)	(2010年)	(2010年)	(自然対数)	(2010年)	(2010年)	(2010年)	(対売電)	
	WB (2016)	WB (2016)			WB (2016)	IEA (2016)		WB (2016)	
1 Ethiopia	30	88	342	5.8	23.0	4,980	57	4.0	
2 Niger	6	16	351	5.9	9.3	293	18	2.2	
3 Mozambique	10	24	417	6.0	15.0	16,666	685	2.4	
4 Eritrea	2	5	452	6.1	32.5	311	66	0.2	
5 Togo	3	6	496	6.2	27.9	179	28	10.5	
6 Nepal	16	27	595	6.4	76.3	3,208	119	22.0	
7 Zimbabwe	9	14	674	6.5	36.9	8,640	618	8.8	
8 Tanzania	31	46	688	6.5	14.8	5,274	116	12.4	
9 Benin	7	10	733	6.6	27.9	150	16	6.2	
10 Bangladesh	115	152	760	6.6	55.2	40,790	269	8.1	
11 Cambodia	11	14	783	6.7	31.1	994	69	1.4	
12 Myanmar	50	52	959	6.9	48.8	7,543	146	2.5	
13 Kenya	40	40	992	6.9	23.0	7,394	183	6.7	
14 Senegal	13	13	998	6.9	56.5	3,076	237	3.9	
15 Pakistan	177	170	1,043	7.0	91.4	94,384	555	21.5	
16 Cameroon	24	21	1,147	7.0	49.0	5,899	286	5.2	
17 Yemen	31	24	1,310	7.2	44.8	7,755	329	16.5	
18 Ghana	32	24	1,323	7.2	60.5	10,167	418	10.7	
19 Viet Nam	116	87	1,334	7.2	96.0	94,903	1,092	3.6	
20 India	1,708	1,231	1,388	7.2	75.0	979,416	796	3.7	
21 Sudan	66	46	1,421	7.3	29.0	7,499	162	1.2	
22 Zambia	20	14	1,456	7.3	18.5	10,463	752	5.6	
23 Nicaragua	9	6	1,523	7.3	73.0	3,659	637	13.5	
24 Moldova	6	4	1,632	7.4	98.6	6,113	1,717	1.4	
25 Bolivia	20	10	1,981	7.6	80.2	6,777	683	3.5	
26 Honduras	16	8	2,112	7.7	80.0	6,777	904	6.5	
27 Philippines	200	93	2,145	7.7	83.3	67,742	728	3.9	
28 Nigeria	369	159	2,315	7.7	48.0	26,121	164	12.3	
29 Mongolia	7	3	2,653	7.9	86.2	4,313	1,592	1.5	
30 Egypt	219	82	2,668	7.9	99.6	146,796	1,789	5.2	
31 Sri Lanka	57	21	2,747	7.9	85.1	10,801	523	3.0	
32 Guatemala	41	15	2,807	7.9	78.3	8,893	604	3.7	
33 Syrian Arab Rep	60	21	2,892	8.0	92.7	46,413	2,240	8.6	
34 Morocco	93	32	2,903	8.0	98.9	23,672	737	1.1	
35 Congo, Dem. Re	12	4	2,951	8.0	37.1	784	193	12.0	
36 Ukraine	136	46	2,974	8.0	99.8	188,584	4,111	3.2	
37 Indonesia	755	242	3,125	8.0	94.2	169,753	703	2.2	
38 Armenia	9	3	3,128	8.0	99.8	6,491	2,193	1.0	
39 Paraguay	20	6	3,225	8.1	97.0	54,066	8,706	2.0	
40 El Salvador	21	6	3,546	8.2	92.0	5,984	991	5.0	
41 Tunisia	44	11	4,175	8.3	99.5	16,372	1,552	2.0	
42 Jordan	26	6	4,369	8.4	99.4	14,777	2,442	2.0	
43 Bosnia and Herz	17	4	4,469	8.4	99.7	17,124	4,459	1.5	
44 Algeria	161	36	4,473	8.4	99.3	45,734	1,269	4.0	
45 Iraq	139	31	4,487	8.4	98.0	50,167	1,625	8.8	
46 China	6,040	1,338	4,515	8.4	99.7	4,197,293	3,138	1.3	
47 Ecuador	70	15	4,656	8.4	97.0	19,509	1,306	3.3	
48 Jamaica	13	3	4,903	8.5	92.0	4,320	1,606	0.2	
49 Peru	149	29	5,057	8.5	85.0	35,890	1,222	3.2	
50 Thailand	341	67	5,112	8.5	99.7	159,522	2,392	1.5	
51 Namibia	11	2	5,151	8.5	43.7	1,305	596	2.8	
52 Dominican Repu	54	10	5,440	8.6	98.0	15,333	1,549	4.4	
53 Azerbaijan	53	9	5,845	8.7	99.5	18,710	2,067	1.4	
54 Botswana	13	2	6,239	8.7	43.1	532	260	2.6	
55 Colombia	287	46	6,250	8.7	96.7	59,424	1,294	2.1	
56 South Africa	375	51	7,390	8.9	82.7	256,648	5,053	1.6	
57 Panama	29	4	7,959	9.0	87.9	7,419	2,049	2.2	
58 Costa Rica	36	5	7,978	9.0	98.0	9,583	2,106	1.7	
59 Lebanon	38	4	8,758	9.1	99.9	15,712	3,620	8.2	
60 Malaysia	255	28	9,069	9.1	99.3	124,786	4,438	3.0	
61 Mexico	1,050	114	9,189	9.1	99.0	271,050	2,372	2.9	
62 Gabon	14	2	9,325	9.1	81.6	1,963	1,275	1.7	
63 Brazil	2,209	199	11,122	9.3	98.0	515,745	2,597	3.4	
64 Argentina	462	41	11,199	9.3	94.0	125,263	3,039	2.5	
65 Uruguay	40	3	11,955	9.4	99.0	10,995	3,263	0.6	
66 Chile	218	17	12,729	9.5	99.0	60,434	3,536	1.6	
67 Trinidad and Tob	21	1	15,820	9.7	99.0	8,485	6,380	0.4	
68 Haiti	7	10	662	6.5	33.9	587	59	-	
69 Islamic Republic	468	74	6,300	8.7	98.4	232,959	3,137	-	
70 Curacao	3	0	11,652	9.4	87.9	1,323	5,752	-	
71 Saudi Arabia	527	28	18,754	9.8	94.1	240,067	8,546	-	
72 Oman	59	3	19,946	9.9	94.1	19,819	6,741	-	
73 Korea	1,095	49	22,151	10.0	99.7	496,718	10,053	-	
74 Brunei Darussala	12	0	31,718	10.4	72.6	3,792	9,723	-	
75 United Arab Emi	286	8	34,340	10.4	94.1	97,728	11,732	-	
76 Kuwait	115	3	37,719	10.5	94.1	57,029	18,637	-	
77 Qatar	125	2	70,689	11.2	94.1	28,144	15,901	-	

② 分析結果 — 停電ロス（損失）率

停電ロス率（停電による売電に対する損失率）と所得水準を見ると、停電ロス率は低所得ほど高いことが分かる。一人あたり GDP3,000USD で区切って見ると、この水準以下の国々の平均停電ロス率が 6.4%であるのに対し、この水準以上の国々では 2.7%であることから、前者は後者の 2.4 倍となっている。（ちなみに、上記の表に掲載されていないが、一人あたり GDP が 10,000 ドル以上で電化率が 100%に達している国の停電ロス率は 1.0%となっている。）

途上国における貧困対策は重要課題であり、その主な対策のひとつが電力供給システムの整備である。途上国にとって電力供給システムの整備は QOL（Quality of Life）の向上に直接繋がるだけでなく、高い停電ロス率を抑制するだけでなく、経済損失を減少させ、経済発展を加速することで QOL の更なる向上に繋がるという好循環効果があると言える。

図 V-3：停電損失率の変化

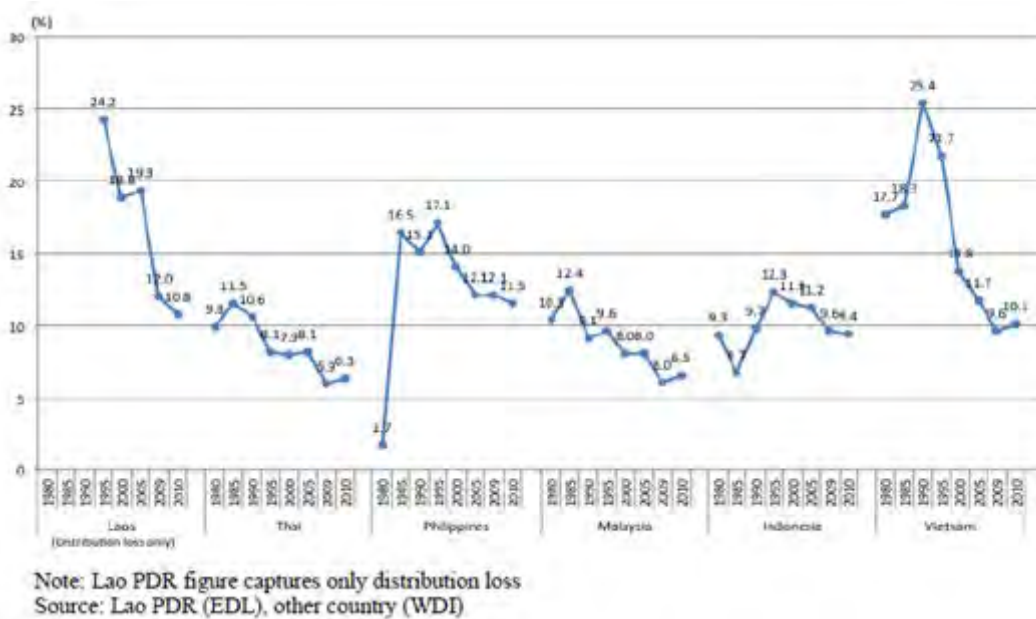


ソース) 同表 1。

(参考) 東南アジア圏における送電ロス率

以下は、東南アジアの6か国について、送電ロス率の推移を示したものであるが、下表の一人当たりGDPと比べてみると、タイとマレーシアにおいて、送電ロス率が10%を下回って改善傾向となるのは一人当たりGDPが3,000USDを超えてきたあたりであることが見て取れる。

図 V-4 : 送電ロス率 (%)



出典 : Report on development indicator evaluation in electricity sector in Lao PDR (Program evaluation analysis) March 2013 Japan International Cooperation Agency Laos Office

表 V-2 : 一人当たり実質 GDP (2010年)

国名	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010
Lao PDR	..	..	..	..	..	..	824
Thailand	1,262	1,365	2,142	3,137	2,697	3,298	3,951
Philippines	1,470	1,153	1,344	1,377	1,779	2,069	2,564
Malaysia	2,531	2,586	3,038	4,377	4,502	5,387	6,625
Indonesia	903	1,122	1,501	1,981	1,808	2,103	2,738
Vietnam	..	..	336	512	640	760	992

Data from database: World Development Indicators

### ③ 分析結果 — 電化率

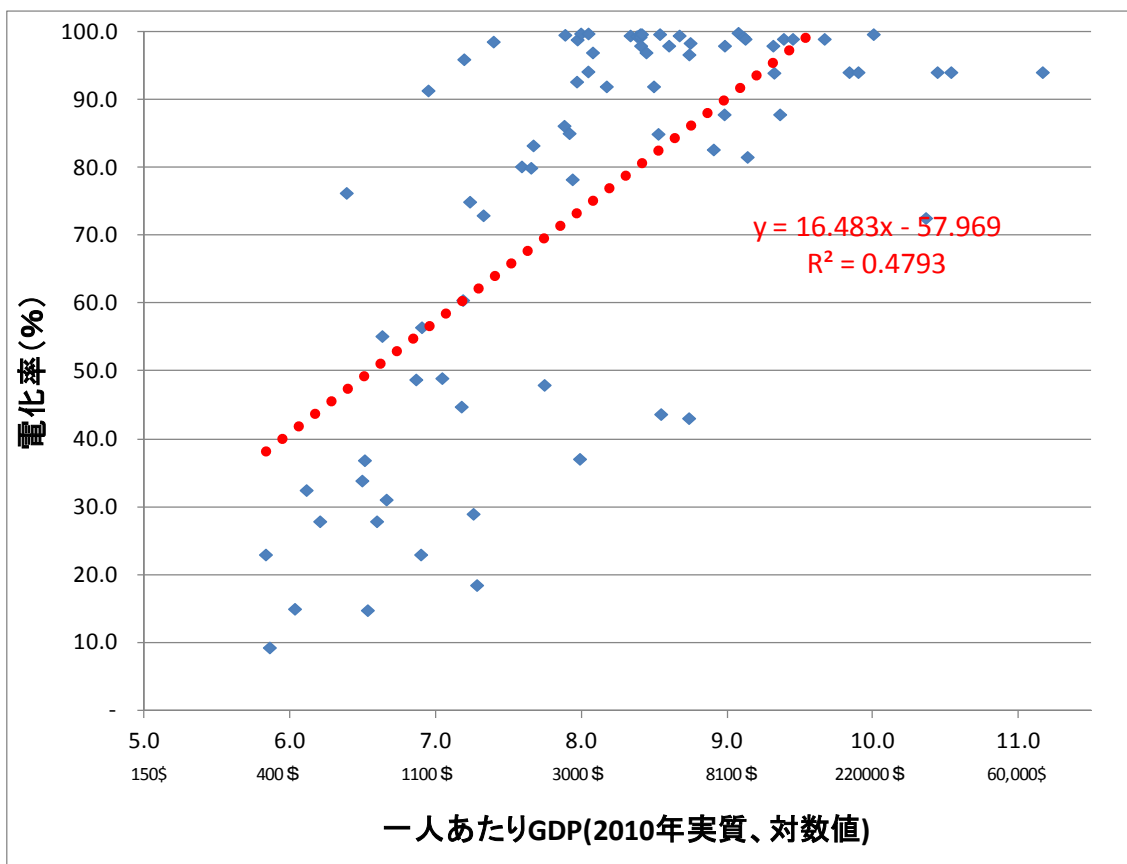
電化率（電力にアクセスできる人口の比率）は所得水準の増加に伴い増加する。電化率はQOLを反映するのに最も適している指標である。

図2中の推定式に基いて計算すると、経済成長（所得増加）が10年間年率10%を続けた場合、電化率が  $16.483 \times \ln(1.1^{10}) = 15.7$  ポイントの増加となる。

しかし、所得水準が高いほど、電化率の増加が緩く、目安の一人あたりGDP3,000USDで区切ってみると、前後に顕著な違いがあることが分かる。すなわち、3,000USDに達するまでに電化率が急増するが、これを超すと、100%に接近しつつも増加ペースを急速に緩める。

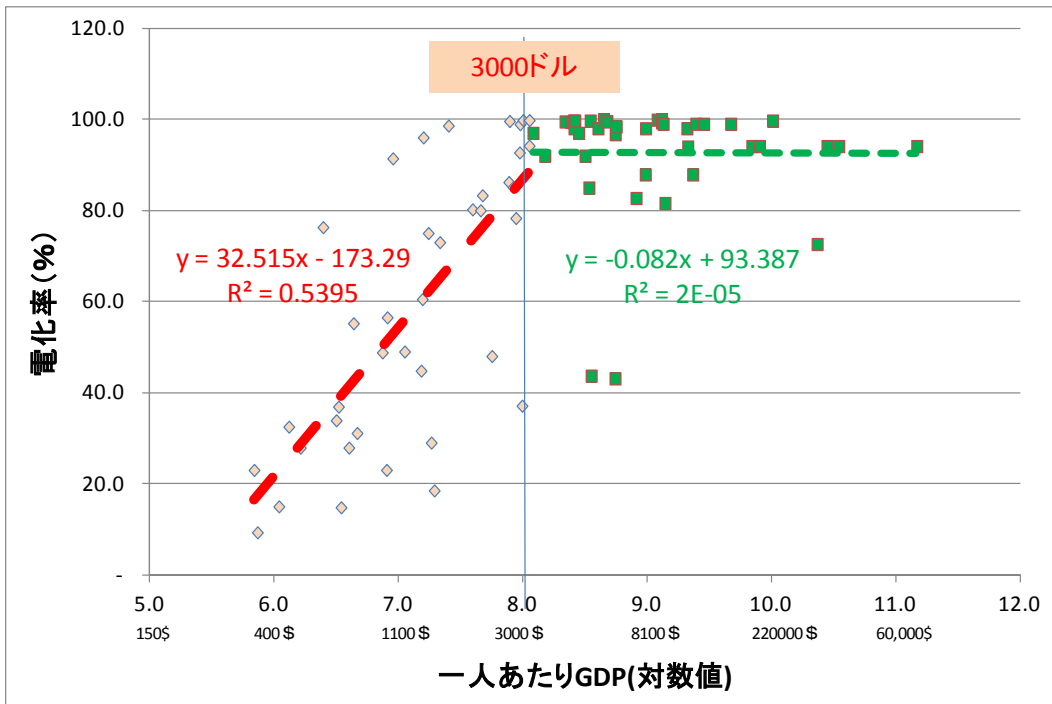
また、3,000USDを上回った区間を回帰分析してみると、所得（X）の係数のt検定値が-0.028で有意仮設が棄却され、また決定係数が0.00002であり、所得水準が電化率を説明できないとの結果が得られた。換言すれば、電化率が100%に達していない国を対象に見た場合、所得水準が@3,000USDを超えた後の電化率の水準はこの国の国情（例えば島国で遠隔地が多いや山国で電力システムの整備が困難などの要素）に大きく依存し、その場合大きな予算や政策方針が実行されない限り電化率が横ばいの推移となってしまうということが示唆される。

図 V-5：電化率の変化



ソース) 同表 1。

図 V-6 : 電化率の変化の比較



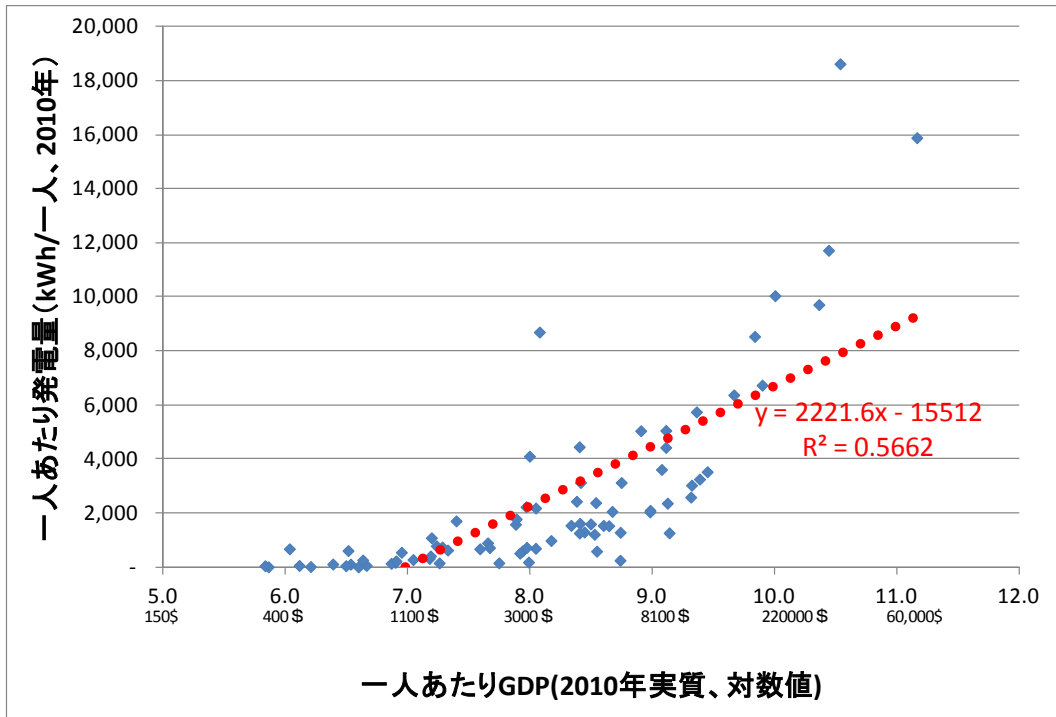
ソース) 同表 1。

④ 分析結果 — 発電量

一人あたりの発電量も電化率と同様に所得水準の増加に伴い増加する。経済発展の過程では、組立産業しいては重工業が発達や、また業務の発達でオフィスビルの電力消費が増加し、当然ながら家庭では家電製品が普及するなどで電力の需要が必然的に伸びる。

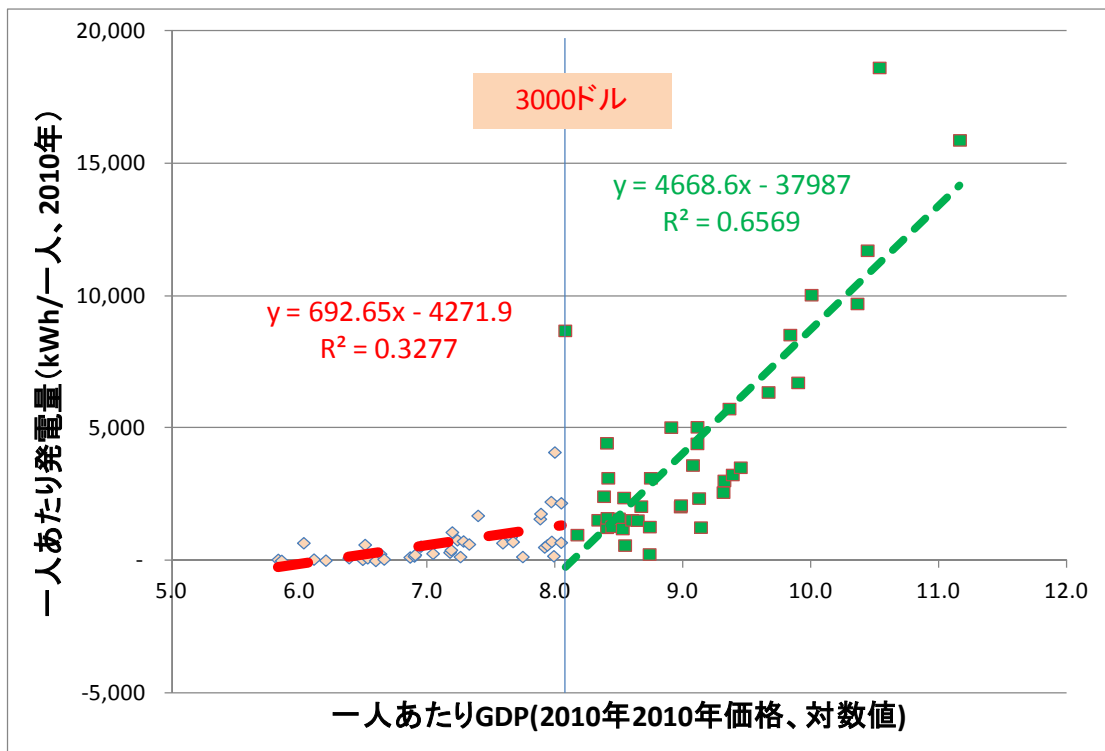
図 4 中の推定式に基づいて計算すると、経済成長（所得増加）が 10 年間年率 10%を続けた場合、一人あたり発電量が  $2221.6 \times \ln(1.1^{10}) = 2,117\text{kW}$  増となる。

図 V-7：一人あたりの発電量の推移



ソース) 同表 1。

図 V-8：一人あたり発電量の比較



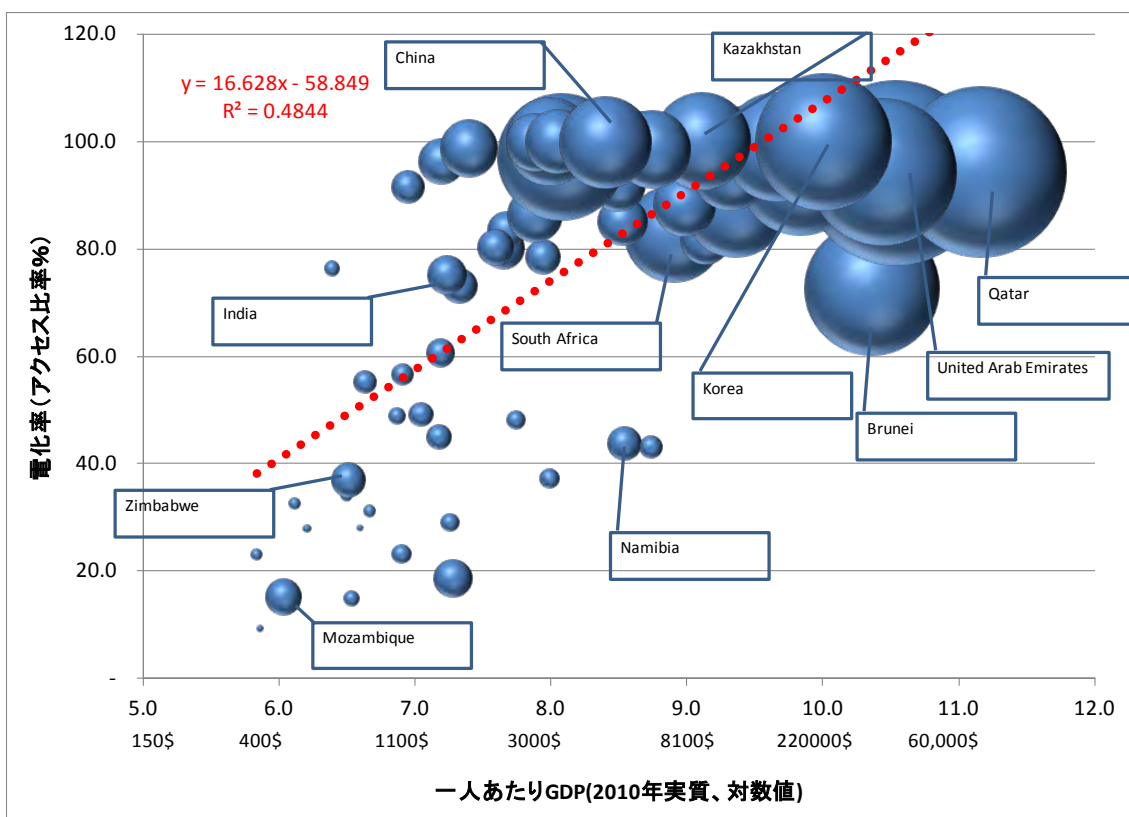
ソース) 同表 1。

一人あたりの所得が3,000USD未満と3,000USD以上に2つのグループに分けて分析すると、後者が前者より明らかに増加の速度が速いことが分かる。

後者の場合、多くの途上国がこれからその境目の所得水準を超えるため、従来以上の電力の需要が見込まれる。10年間で年率10%所得が向上すると、計算上は一人あたり発電量が  $4668.6 \times \ln(1.1^{10}) = 4,450\text{kW}$  増となる。

例えば、一人あたりのGDPが3,125USDのインドネシアを例にすると、これが4,450(kW/人)  $\times 241 \times 10^6$  (人) = 1,072TWhに相当する電力需要の増加となる。これは10年間で100万kWの発電所に換算(稼働率80%と仮定)すると、148基の新設に相当する。

図 V-9 : 所得水準、電化率、一人あたり発電量との関係



ソース) 同表 1。

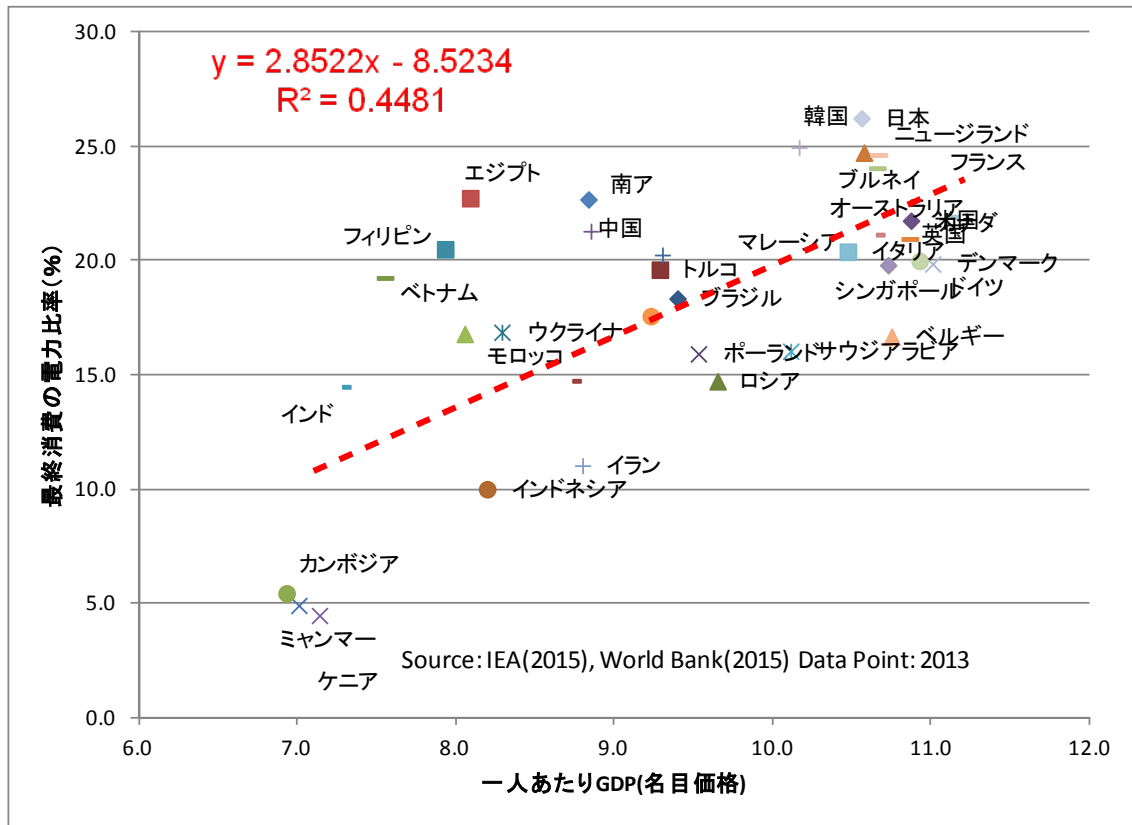
#### ⑤ 分析結果 — 電力率

電力率は最終需要に占める電力の比率であり、電力のクリーンさと高い利便性により、所得水準の増加に伴って増加することが観測される。日本や韓国等の先進国では25%以上、中国、マレーシア、フィリピン等は20%以上、インドやロシア等は15%前後、インドネシアやイラン等は10%前後となっている。

図7示した推定式に基づくと、10年間で年率10%所得の向上が続くと仮定した場合、電力率が  $2.8522 \times \ln(1.1^{10}) = 2.7$  ポイント増程度となる。その意味では、電化率の1ポイントの増加は大きな意味を持つ。



図 V-10： 電力率の推移



ソース) 図中の記載を参照

⑥ 分析結果 — まとめ

一人あたり GDP 3,000USD の所得水準は電力産業と途上国への支援にとって大きな意味を持っている。

- 1) まず、一人あたり GDP 3,000USD 以下では、主として電化率が向上するが、3,000USD 以上になると、電力量の増加が主となる。
- 2) そのため、一人あたり GDP 3,000USD は電力インフラの発展段階を区分する1つの目安である。これ以下の国々では、発電設備や送電系統の建設は予算の制約等により低空飛行ではあるものの、多くの人々が初めて電力にアクセスし、電力による QOL の向上を経験する。他方、それ以上になると、発電量の増加に対するニーズが高まり、電力産業の急速な拡大が求められる。この段階にある国々では、停電が多発する傾向が見られ、それが住民の不満の蓄積と経済的な損失の拡大に繋がる恐れがあることから、当該国政府としてもこれまで以上に電力システムの信頼性と安定性を追求する施策を講じる必要となる。
- 3) 一人あたり GDP が 3,000USD まで到達すると、当該国の環境規制等の関連制度の整備や厳格化が進むことに加え、国民の権利や環境社会配慮に関する意識も向上するため、電力

インフラ整備に当たってより慎重な対応が必要となるため、計画が必ずしも順調に進まない可能性がある。

- 4) 電力インフラ整備は他の産業発展を誘発するため先行投資が必要であるが、リードタイムが長いこと、長期的視点に立った計画を立案（マスタープラン策定）する必要がある。とりわけ一人あたり GDP3,000USD 前後に到達している国々にとっては、適切なマスタープラン策定は重要である。
- 5) 現在、多くの開発途上国が一人あたり GDP3,000USD 前後に到達しつつあるため、これらの国々への支援における電力セクター重要性は益々高まっている。

(参考) 2000年時点のデータによる検証

これまでの考察を検証するため、上記検討のベースとなった2010年データと2000年時点についても同様の分析を行った結果として、同様の傾向が見られることを確認した。

図 V-11 : 2000年の電化率の変化の比較

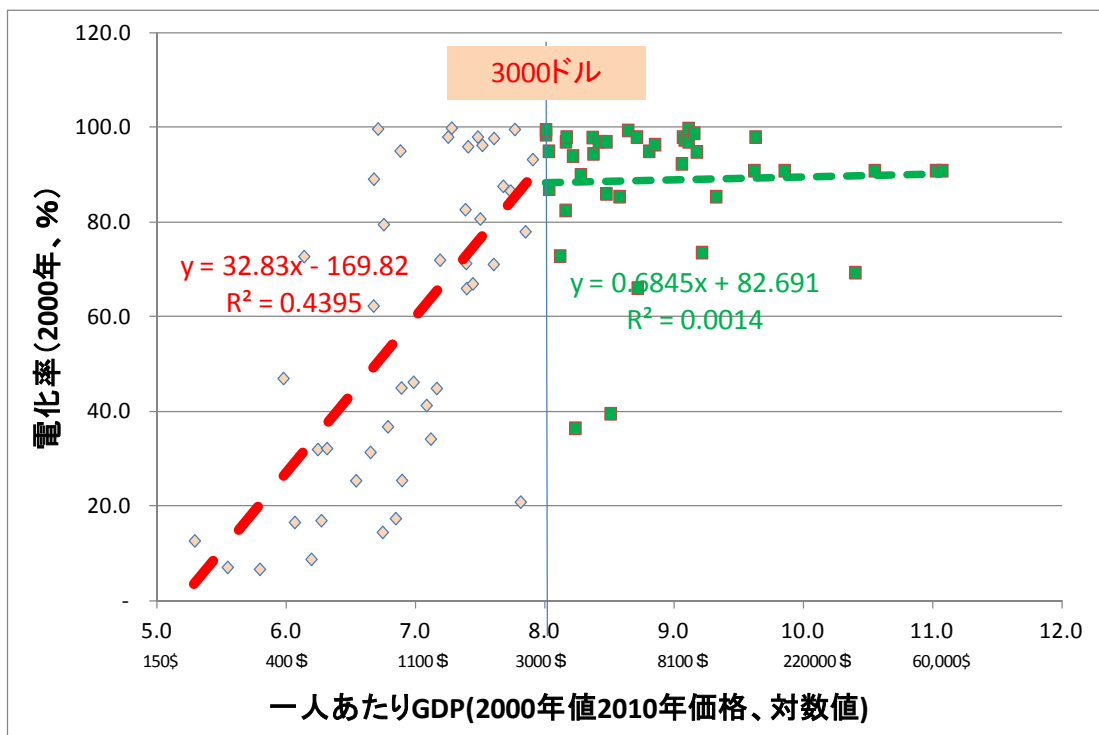


図 V-12 : 2000年の一人あたり発電量の比較

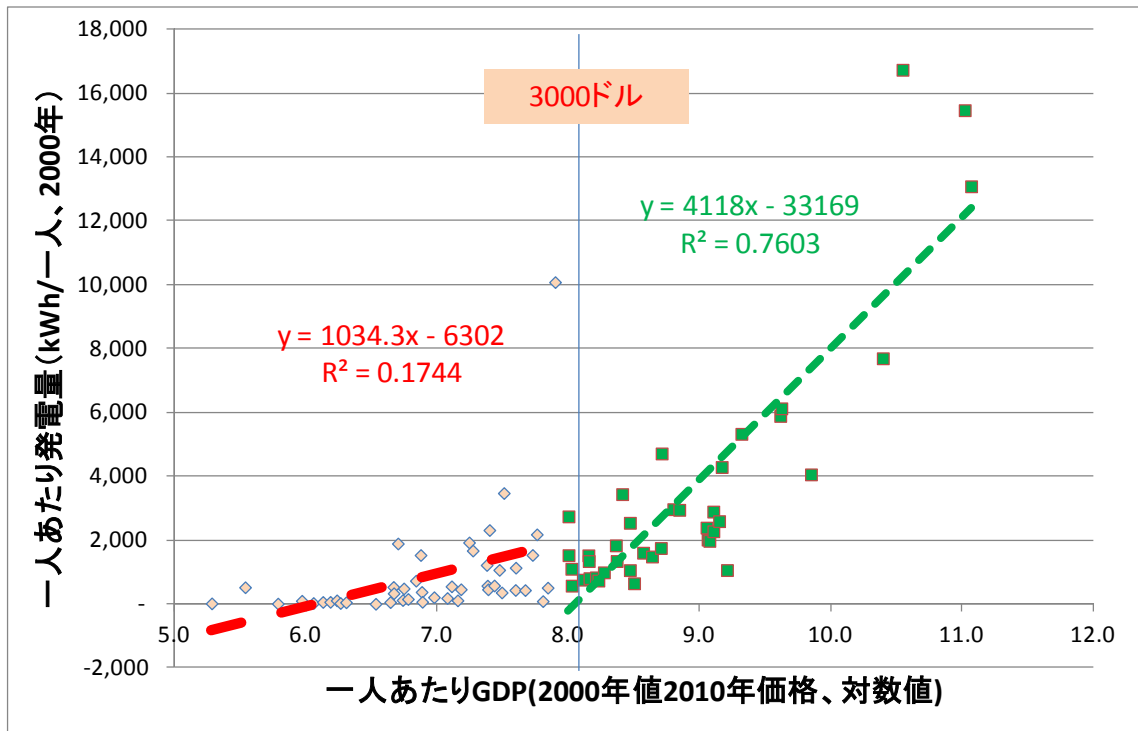
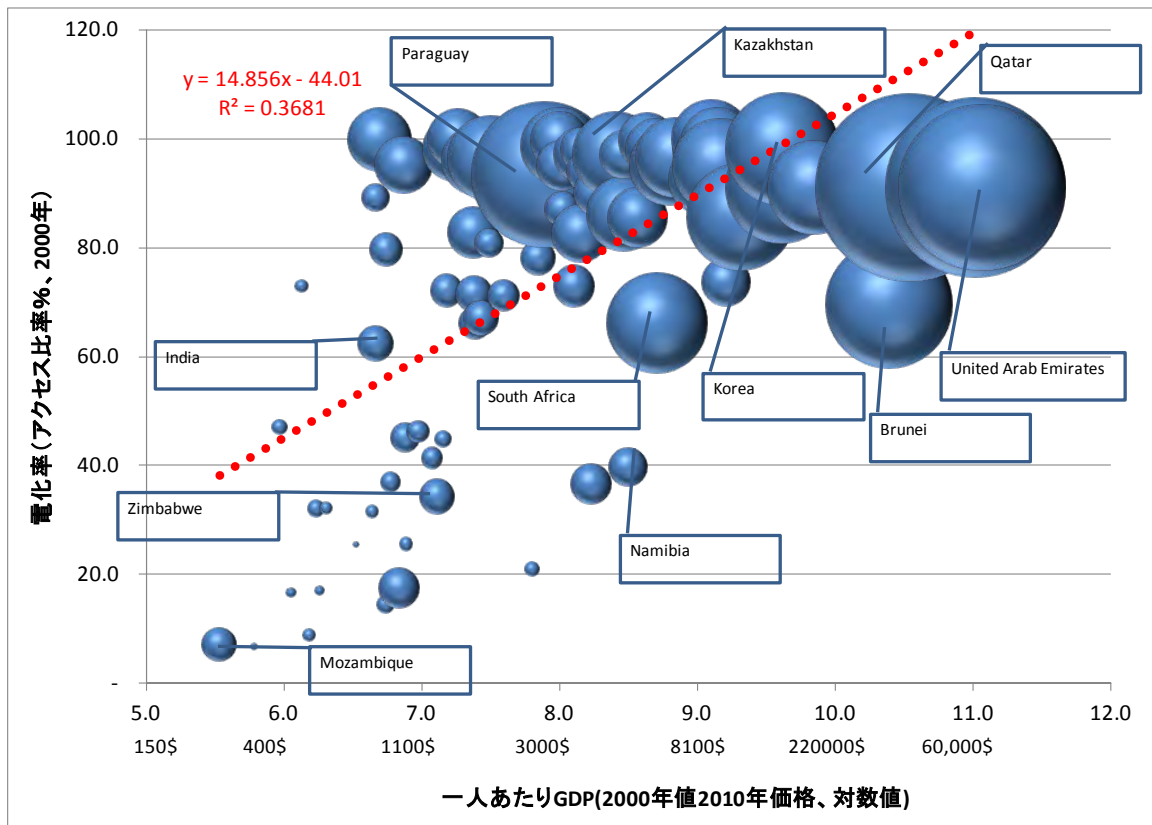


図 V-13 : 2000年の所得水準、電化率、一人あたり発電量との関係

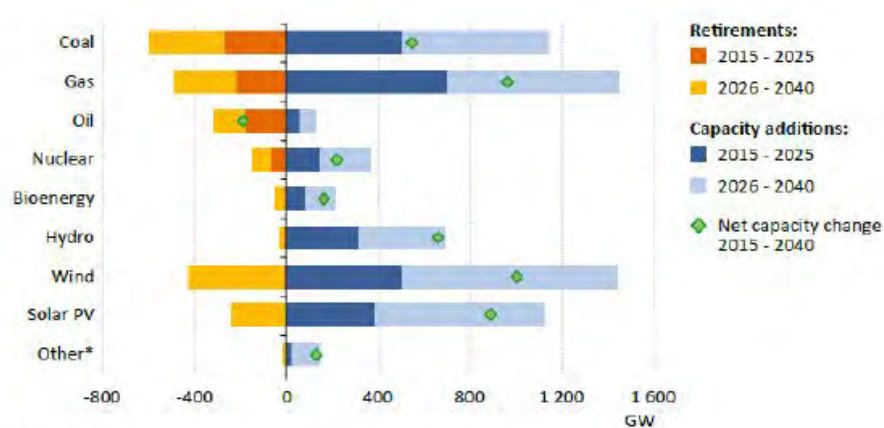


### (3) 低炭素エネルギーの導入と開発の必要性

2016年11月7日から18日まで、モロッコ・マラケシュにおいて、国連気候変動枠組条約第22回締約国会議（COP22）、京都議定書第12回締約国会合（CMP12）等が行われ、また、11月4日にパリ協定が発効したことを受けて、15日から18日までパリ協定第1回締約国会合（CMA1）が行われた。その中で、我が国として、「日本の気候変動対策支援イニシアティブ」を11月11日に発表し、適応に関する国際連携を含め、気候変動対策に関する我が国の取組や意欲を発信するとともに、今後の協力について意見交換を行った<sup>1</sup>。従来、日本はODAの一環としてJICAを通じた支援を行っているほか、第IV章でも記載した緑の気候基金（GCF）等に対しても多額の資金拠出をしている。

パリ協定に見られるように、先進国のみならず、途上国も含め、気候変動が国際的な共通の課題となっているが、温度上昇を長期目標どおりに抑えることは容易ではない。以下、IEAによる既存設備と新設を区分したエネルギー種別のグラフであるが、安定的な電力源として石炭及びガス火力の需要は大きく（特に途上国中心。第I章参照）、また、再生可能エネルギーの中でも太陽光発電と風力発電の新規増加も大きい。

図 V-14：2040年までのエネルギー種別容量の変化



\* Other includes geothermal, concentrating solar power and marine.

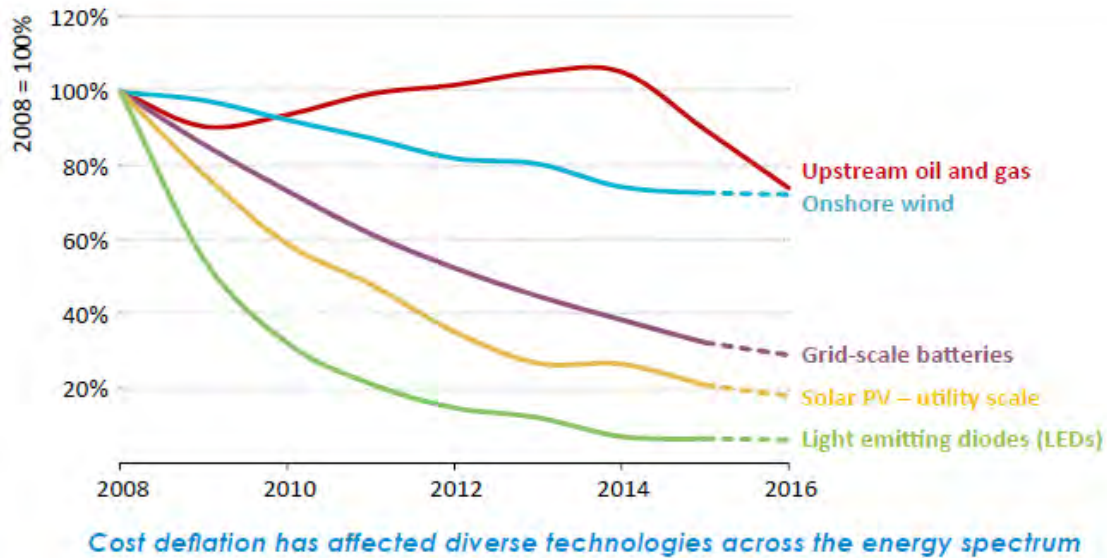
出典：IEA, "World Energy Outlook 2015"

また、IEAのレポートによると、エネルギー分野における技術革新は、近年の通信分野における技術革新などと比べるとまだ十分ではなく、25年前と同様に石炭などの化石燃料が支配的であり、電力は化石燃料に信頼性を依拠した中央制御システムが採用されている。しかし、近年のエネルギー分野での様々な変革は、今後のエネルギーの供給システムについて明示的なイメージを描かせるものといえる。それは、上記にある太陽光や風力などの再生可能エネルギーへの代替、非効率な石炭火力投資への抑制、分散型電源の開発、IoTを利用したエネルギーマネジメントシステムなどであり、2040年に向け大きな技術変革を迎えているといえる。

<sup>1</sup> 外務省 HP [http://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/ch/page3\\_001886.html](http://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/ch/page3_001886.html)

以下は、2008年度を基準としたエネルギー技術別のコストの推移である。LED、太陽光発電及び系統用蓄電池の下落は、石油・ガスや陸上風力よりも下落が大きい。今後の予測は様々な見方があるものの、規模の経済効果や技術革新等によるコスト縮減が収斂するまでは、下落傾向が継続していくものと考えられる。

図 V-15：技術別のコスト推移（2008年基準）



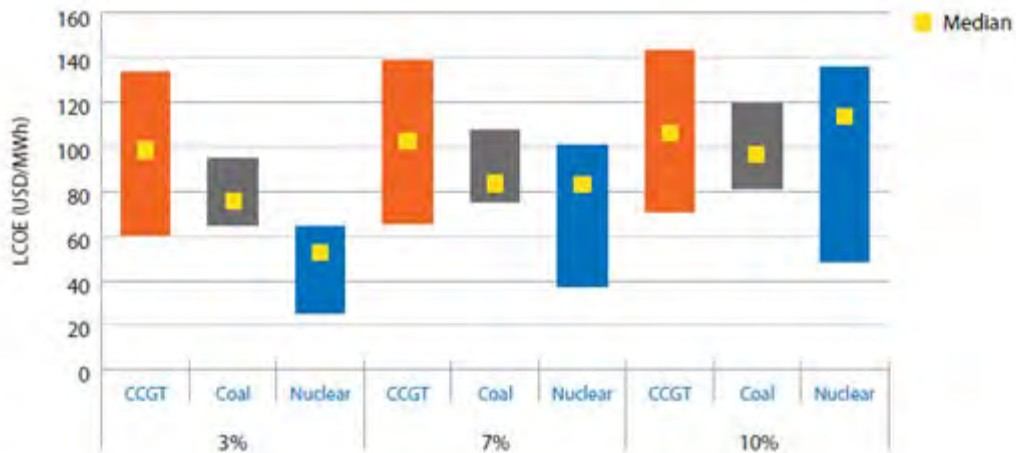
Source: IEA World Energy Investment 2016 (IEA, 2016c).

出典：World Energy Outlook 2016（IEA）

また、IEA が均等化発電原価（LCOE：the Levelised Cost of Electricity、割引率を3%、7%、10%で計算）を予測したものが以下のグラフとなる。これによると、太陽光発電と風力発電の発電コストの方が、石炭及びガス火力のコストがよりも総じて高いが、大規模な太陽光発電及び陸上風力発電に限れば、その差は縮まる。

将来、技術革新や市場の成熟等により、再生可能エネルギーのコスト低減が進むものと予測され、今以上に低炭素エネルギー技術が途上国に導入されるフィジビリティも増していくと推察される。このような中、我が国としても先進的な研究開発を行い、途上国のエネルギー供給の安定化と気候変動問題への対処に貢献にしていける意義は大きいと考えられる。

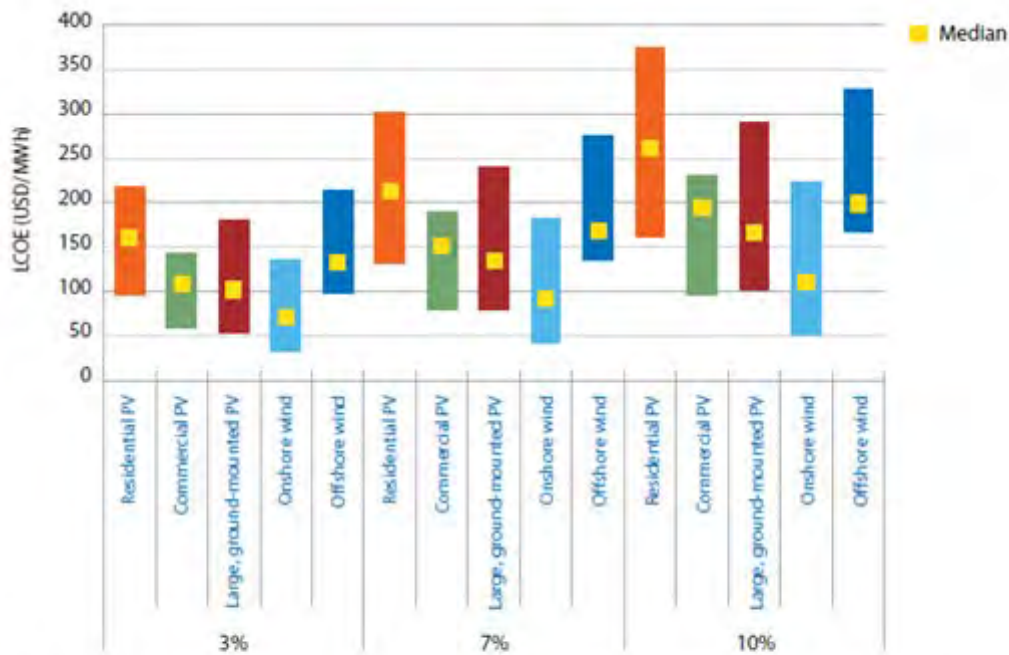
☒ V-16 : **LCOE ranges for baseload technologies (at each discount rate)**



The ranges presented include results from all countries analysed in this study, and therefore obscure regional variations. For a more granular analysis, see Chapter 3 on "Technology overview".

出典 : IEA Projected Costs of Generating Electricity – 2015 Edition

☒ V-17 : **LCOE ranges for solar PV and wind technologies (at each discount rate)**



The ranges presented include results from all countries analysed in this study, and therefore obscure regional variations. For a more granular analysis, see Chapter 3 on "Technology overview". Based on IEA analysis and commentary from the EGC Expert Group, an alternative measure to median value was also included in this study, namely the generation weighted average cost. For more on that topic, see Chapter 6 on "Statistical analysis of key technologies".

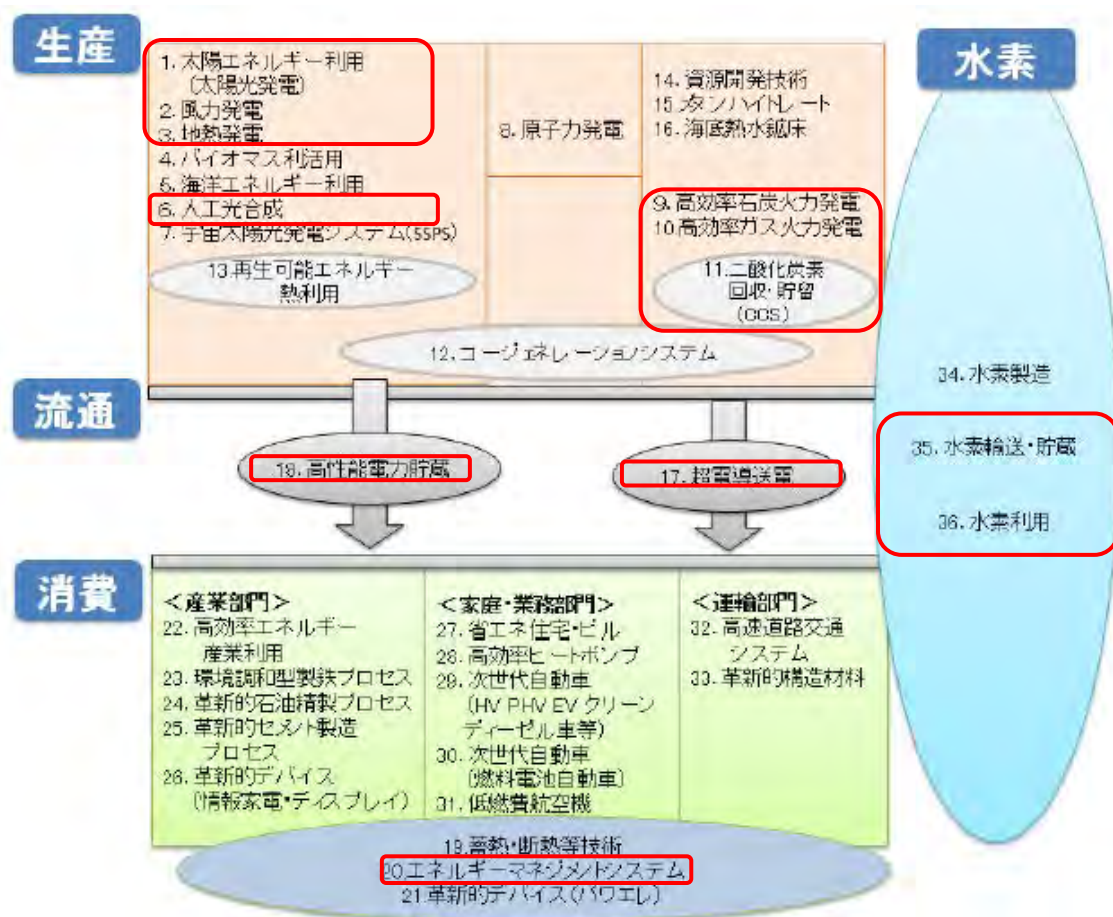
出典 : IEA Projected Costs of Generating Electricity – 2015 Edition

#### (4) 日本におけるエネルギー技術開発の方向性

ロードマップの策定においては、日本の技術開発に関する計画が出発点になる。日本の技術開発に関する計画については、第3章において前述のとおりであるが、経済産業省が策定した「エネルギー関係技術開発ロードマップ（平成26年12月）」を始め、NEDO等により各エネルギー種別の開発計画等が策定されている。

以下は、エネルギー関係技術開発ロードマップに記載された整理図であるが、赤枠で囲った部分が特に本ロードマップにおいて将来的に途上国への導入可能性があるものとして取り上げた技術である。今回の調査において策定したロードマップは、このような我が国における技術開発の動向等を元に検討を行っている。

<技術課題全体の整理図>



出典：エネルギー関係技術開発ロードマップ 平成26年12月 経済産業省

### 3. 低炭素エネルギー技術毎の補足説明

#### 3.1. 太陽光発電

##### ①技術の特色<sup>2</sup>

PV	日本語名	特徴、関連企業	セル最大変換効率	耐久性	曲げ	大型化	製造コスト
太陽光発電 (Photovoltaic)	結晶系シリコン	性能が安定しており、最も普及しているため信頼性がある。バックコンタクト技術、ヘテロ接合技術による高効率化に向け、国際競争が激化。単結晶と多結晶があり、多結晶の方が安価。課題としては、低コスト化。  (関連する日本企業)カネカ、シャープ、三菱電機、パナソニック、京セラ他	カネカ 26.33% (2016.9)	○	不可能	可能	高
	CIS系化合物	銅、イリジウム、セレンなどを原料とする。省資源、量産可能、高性能といった特徴を持つ。日本企業は高い技術優位性を持つが、低コスト化や多様化が課題。イリジウムの資源量も課題の一つ。  (関連する日本企業)ソーラーフロンティア他	ソーラーフロンティア 22.3% (2015.12)	○	可能	可能	安
	薄膜系シリコン	アモルファスシリコンや微結晶シリコン薄膜を基板上に形成。大面積で量産可能。課題としては、効率が低い。  (関連する日本企業)カネカ、シャープ、富士電機他	産業技術総合研究所 13.6%	○	可能	可能	安
	Ⅲ～Ⅴ族系化合物 ※	Ⅲ族元素とⅤ族元素からなる化合物切に多接合化・商工技術を提供したもの。超高性能であり、実用は宇宙用と限定的。非常に高コストであるため、市場はニッチとなる。普及のためには、低コスト化が課題。  (関連する日本企業)シャープ他	SHARP 44.4% (2013.6)	不明(放射線に強い)	可能	困難	超高
	ペロブスカイト(有機系)	2009年に日本で開発。製造コストが安い。シリコン電池の2倍近い1.1ボルトの電圧が掛けられる。薄い、軽い、透明度が高い。曲げられる。パナソニックが実用化目途、常温で2-3年の連続使用が可能となった。国際的な開発競争は激化している。課題としては、耐久性と大型化などが挙げられる。  (関連する日本企業)アイシン精機、フジクラ、シャープ、パナソニック他	パナソニック 21.6% (2016.11)	△	可能	不明	安
	有機薄膜系	有機半導体を用いて、塗布のみで作成可能。低コスト化の可能性あり。課題としては高効率化、耐久性。  (関連する日本企業)三菱化学、住友化学、JXエネルギー他	約12%	×	可能	可能	安

※NEDOの開発研究では、次世代太陽光発電として多結合太陽電池の研究も行っている。2040～50年以降の実用化と見られる。

<sup>2</sup> 参考文献) NEDO 再生可能エネルギー技術白書 第2版、太陽光発電開発戦略 (NEDO PV Challenges)、日経新聞、各社HP他



②ロードマップ<sup>3</sup>

PV	日本語名	国の開発目標	コスト見通し	日本技術の導入可能性	現在～2020	2020～2025	2025～2030	2030～2035	2035～2040
太陽光発電 (Photovoltaic)	結晶系シリコン	2020年 Module 変換効率 20%  2030年 Module 変換効率 40%	2020年 発電コスト 14円/kWh (導入コスト 20万円/kW)	△ (コスト面で 課題あり)					
	CIS系化合物			△ (コスト面で 課題あり)					
	薄膜系シリコン			開発次第で、 可能性あり					
	Ⅲ～Ⅴ族系化合物 ※			開発次第で、 可能性あり					
	ペロブスカイト(有機系)			開発次第で、 可能性あり					
	有機薄膜系			開発次第で、 可能性あり					
			2030年 発電コスト 7円/kWh (導入コスト 10万円/kW)						

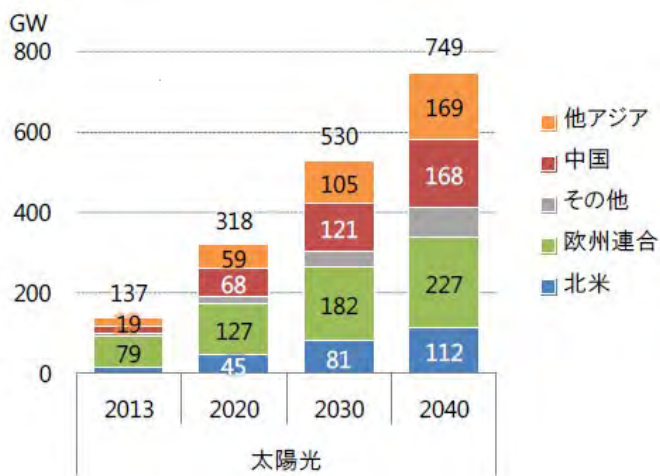
<sup>3</sup>参考文献) NEDO 再生可能エネルギー技術白書 第2版、太陽光発電開発戦略 (NEDO PV Challenges)

③開発状況と導入見込み

第1章において記述したように、日本エネルギー経済研究所（IEEJ）が作成した「アジア／世界エネルギーアウトルック2015」によると、2040年にて太陽光発電の設備容量は749GWとなり、現在の容量の5.5倍となることを見込まれている。

また、太陽光発電における発電コストは市場拡大や技術開発により徐々に低下していることや、各国における野心的な導入目標が設定されることもあり、太陽光発電の導入量は、2040年には、中国及び他のアジア諸国で世界全体の45%を占めると予測されている。

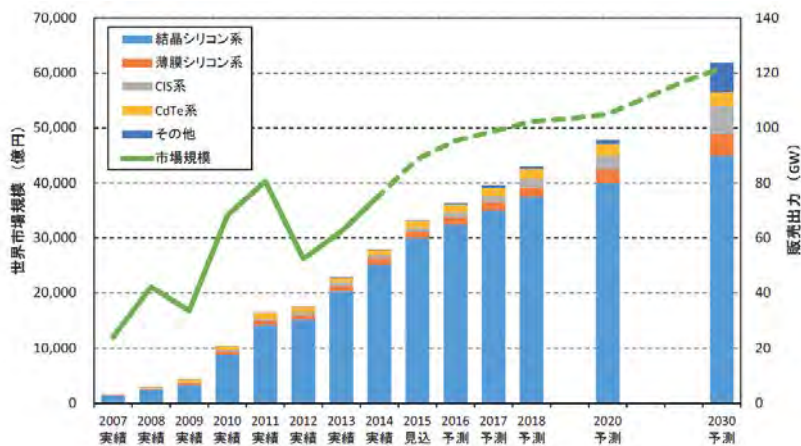
図 V-18：太陽光発電の設備容量（レファレンスケース）



出典：アジア／世界エネルギーアウトルック2015（IEEJ）

富士経済によると、太陽光発電モジュールの技術類型別の市場規模（2030年）は以下のとおりであり、結晶シリコンが圧倒的に大きなシェアを占めるようになる。

図 V-19：技術類型別の市場規模（～2030年）



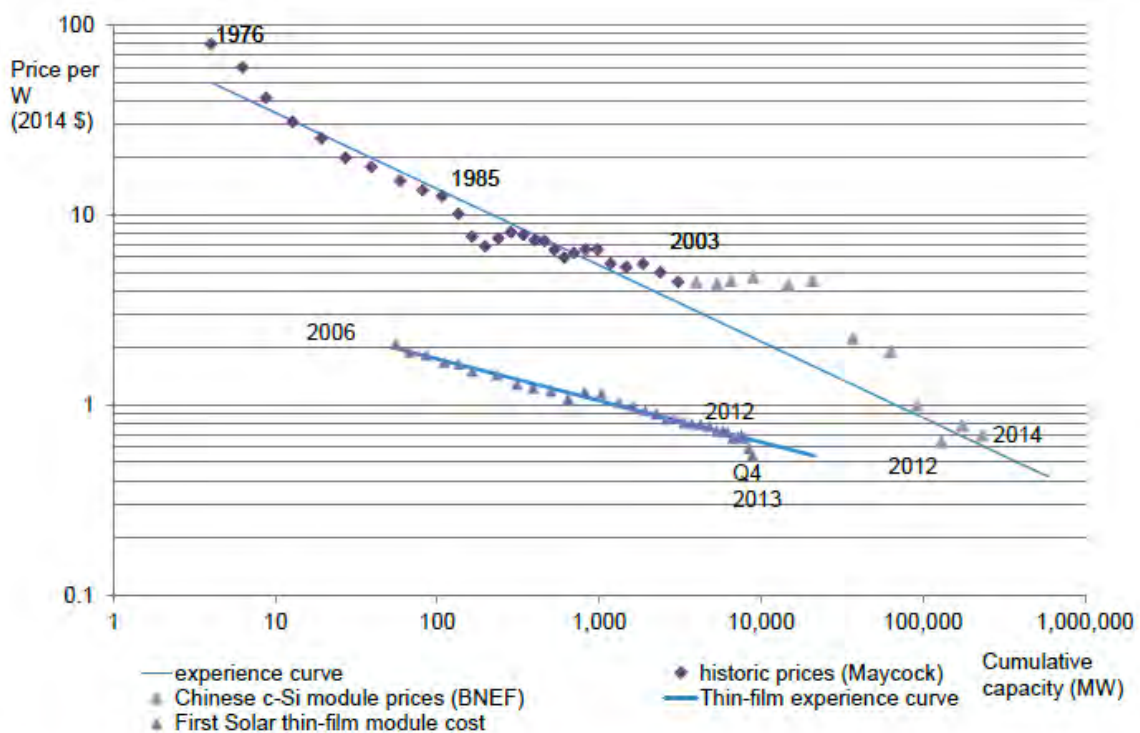
出典：新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 「TSC Foresight」 vol.11

太陽光発電は欧州におけるFIT制度の導入から、それまで生産の中心であった日本や欧米メーカーから中国へと生産体制は完全にシフトをした。また、中国は近年、市場としても最大のマーケットとなり、自国生産・自国消費の構図ができています。

太陽光発電の需要が大きくなる中、特に中国企業の参入も加わり、太陽光モジュールの価格は以下のとおり大幅に下落している。結晶シリコン（cSi）は1976年には75 \$ /Wから2015年には中国製のモジュールで0.61\$/Wとなった。この学習率は26%であり、例えば、生産規模が2倍になると、コストも26%下落することを意味する。<sup>4</sup>

今後も導入量の拡大が続くことと足元で特に中国企業における供給過剰であること、さらに今後の政策支援や技術革新、そして入札制度の導入等による競争原理の効果等により、太陽光発電モジュールの価格は引き続き下落していき、多くの地域においてグリッドパリティが達成していくものと推察される。

図 V-20 : Solar photovoltaic experience curve, 1976-2014



Source: Paul Maycock, First Solar, Bloomberg New Energy Finance. Note: Prices inflation indexed to US PPI.

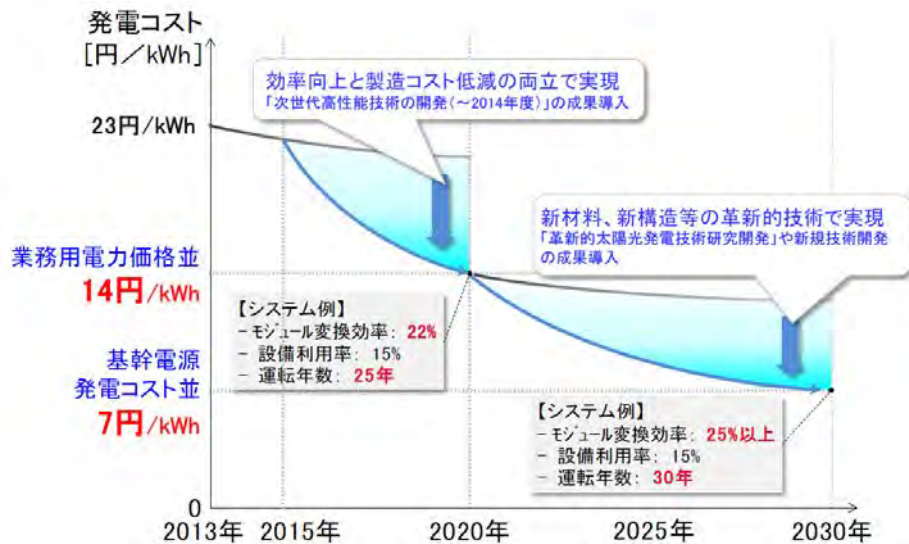
出典：ICEF DISTRIBUTED SOLAR AND STORAGE -ROADMAP 1.0 (ICEF DECEMBER 9, 2015)

このような状況において、NEDOは2014年9月に「太陽光発電開発戦略」を策定し、国内における発電コスト低減目標として、2020年に業務用電力価格並となる14円/kWh（グリッドパリティ）、2030年に従来型火力発電の発電コスト並みあるいはそれ以下に相当する7円/kWh（ジ

<sup>4</sup> ICEF DISTRIBUTED SOLAR AND STORAGE -ROADMAP 1.0 (ICEF DECEMBER 9, 2015)

エネルギーパリティ)を掲げた。また、開発戦略では、その目標達成のための方策として、発電コストに関する要素を分析し、モジュール変換効率の向上、システム価格の低減及び長期信頼性を同時に満たす太陽光発電が必要であり、そのためには新たな技術の開発が必要であるとしている。

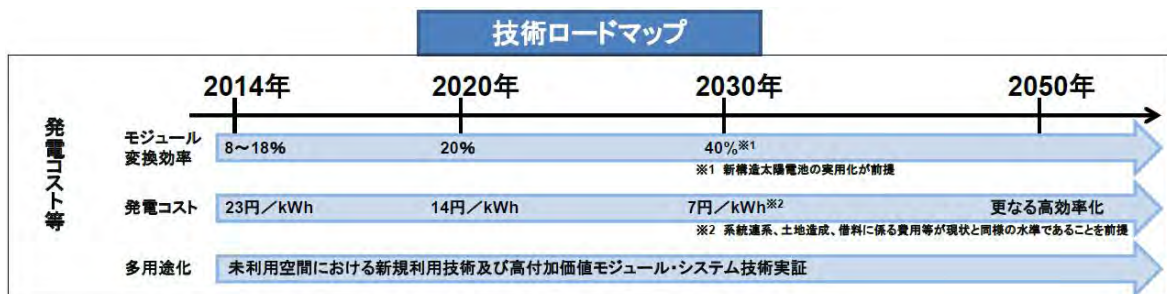
図 V-21：非住宅用システムの発電コスト目標と低減シナリオ（再掲）



出典：NEDO「太陽光発電開発戦略（NEDO PV Challenges）」2014

さらに、海外市場との関連では、2030年の世界の太陽光発電市場を睨み、高付加価値産業（システム・サービス、新規用途）の開拓等、“世界で勝てる分野”を開発強化することも謳っている。具体的には、着色、透明、フレキシブル等の意匠性、熱回収と発電のハイブリッド機能等の多機能化による太陽電池モジュールの付加価値や、独立電源利用時の配線コスト削減効果等の発電電力以外の経済価値創出、新たな低コスト設置技術の開発による導入先開拓や配電ビジネス等川下産業への展開等により実現するとしている。

なお、経済産業省策定の「エネルギー関係技術開発ロードマップ」に記載されている開発目標は、以下のとおりである。




出典：エネルギー関係技術開発ロードマップ（平成26年12月 経済産業省）

(参考) 中長期的な視点による研究開発推進の例

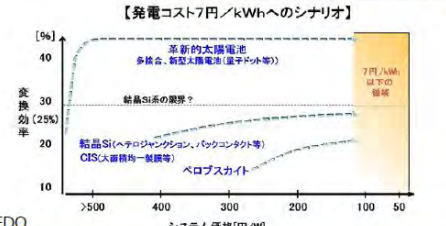
### 【太陽電池の変換効率向上・製造コスト低減】

- 世界で最も普及している両面電極型シリコン系として、ヘテロ接合結晶シリコン太陽電池の世界最高となるセル変換効率25.1%達成。
- 新構造の太陽電池についても、超長期的な視野も見据えて研究開発を実施。
- ペロブスカイト太陽電池の標準面積(1cm<sup>2</sup>)のセルで、世界で初めて18%を超える変換効率を達成。



ペロブスカイト太陽電池：塗布や印刷など非常に簡便且つ低コストなプロセスで高効率に発電可能

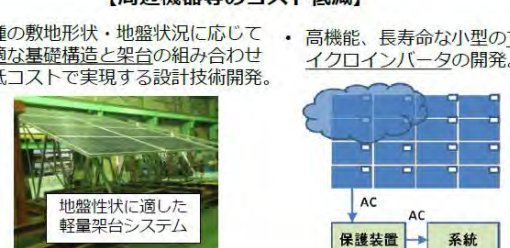
#### 【発電コスト7円/kWhへのシナリオ】



出典：NEDO


### 【周辺機器等のコスト低減】

- 各種の敷地形状・地盤状況に応じて最適な基礎構造と架台の組み合わせを低コストで実現する設計技術開発。
- 高性能、長寿命な小型のマイクロインバータの開発。



### 【リサイクル技術の開発】

- ローラー破砕機を使用した剥離方式でガラスとシートを高い品位で回収する技術開発。
- パネル確保から回収物の提供まで含めた低コスト汎用リサイクル処理システムを構築。



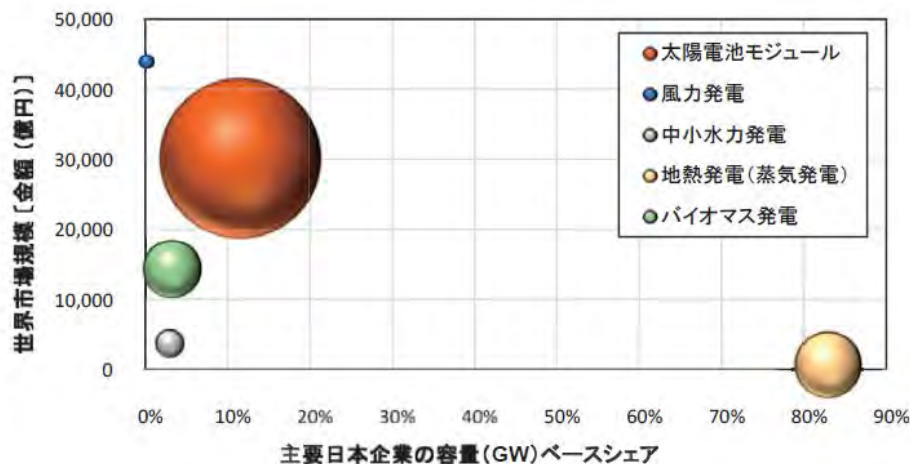
EVA熱処理装置

出典：再生可能エネルギーの導入拡大に向けた施策の方向性について (資源エネルギー庁 2016.6)

④国際競争力

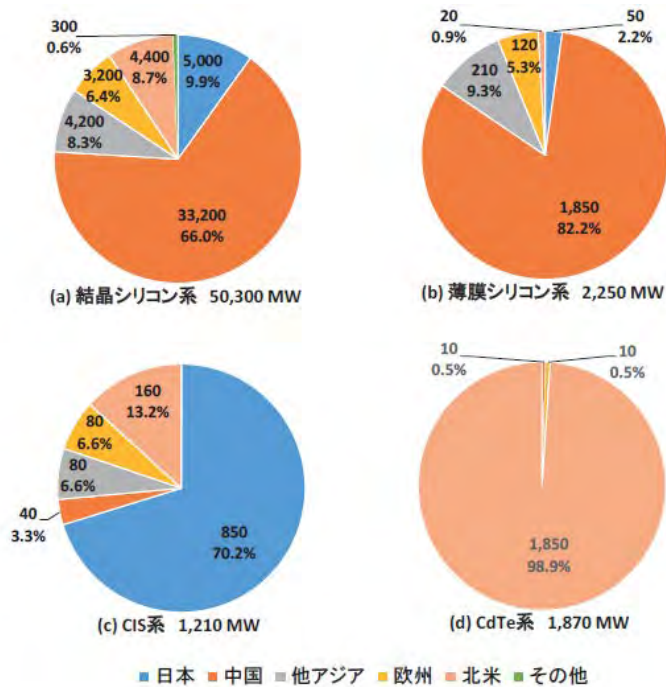
我が国においては、国・大学・民間企業等により、結晶シリコン等の汎用型の太陽光発電のみならず、ペロブスカイトなど次世代太陽光発電でも、最先端の研究開発を継続して行っており、技術的優位性を他国と比して持っていると考えられる。一方、市場に普及する汎用化された太陽光発電モジュール（特に結晶シリコン）においては、中国が圧倒的なシェアとなっている。

図 V-22：再生可能エネルギー関連機器の世界市場規模及び主要日本企業の容量ベースシェア (2013年実績)



出典：新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)「TSC Foresight」vol.11

図 V-23：太陽電池種別の世界市場規模及び国別シェア（2014年実績）



出典：新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)「TSC Foresight」vol.11

以下は、太陽光発電コストの国際比較をしたものであるが、日本企業のコストは資本費が欧米と比べて1.5倍から2倍、高くなっている。また、日照条件の影響もあり、設備利用率もそれほど高くはないため、発電コストも192\$/MWhと高い。

【太陽光発電の発電コスト・買取価格の国際比較】

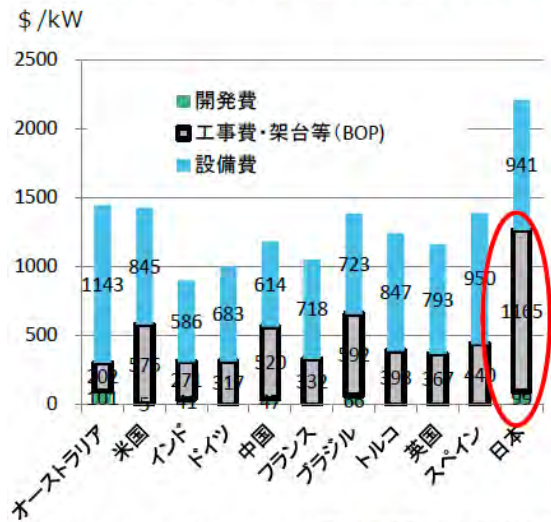
※2016	資本費 (\$/kW)	運転維持費 (\$/kW/年)	設備利用率 (%)	発電コスト (\$/MWh)	FIT価格 (¢/kWh) ※2015年
ドイツ	1,000	32	11%	103	8.9 (入札価格)
フランス	1,050	32	14%	93	10.6 (入札価格)
英国	1,160	32	10%	130	16.5
スペイン	1,390	36	16%	148	- (FIT廃止)
トルコ	1,240	32	16%	122	13.3
米国	1,427	21	19%	87	-(RPS制度)
ブラジル	1,381	24	19%	111	7.8 (入札価格)
豪州	1,445	18	20%	85	-(RPS制度)
インド	898	17	19%	90	7.7-9.2
中国	1,181	12	16%	102	14.3-15.8
<b>日本</b>	<b>2,205</b>	<b>68</b>	<b>14%</b>	<b>192</b>	<b>22.5</b>

(出典)Bloomberg New Energy Finance資料より資源エネルギー庁作成、FIT価格は資源エネルギー庁調べ

出典：再生可能エネルギーの導入拡大に向けた施策の方向性について（資源エネルギー庁 2016.6）

太陽光発電システムの製造コストの内訳をみると、工事費・架台等の設置コストが高くなっている。設備費も高めではあるが、設置コストの差が最も大きく差に影響していると考えられる。これを逆にとらえると、仮に途上国に進出した場合には海外生産や海外パートナー等との提携をすることで、上記のコストを下げられる余地があるとも考えられる。

【太陽光発電の資本費内訳の国際比較】



【出典】Bloomberg New Energy Finance資料より資源エネルギー庁作成 ※2016

出典：再生可能エネルギーの導入拡大に向けた施策の方向性について（資源エネルギー庁 2016.6）

⑤途上国進出の課題<sup>5</sup>

日本企業における海外進出の方針としては、概ね以下のとおりである。

- ・ パリ協定以後は、国・地域を問わず全世界においてチャンスがあり、特に重視している国・地域はない。
- ・ 途上国の多くは日射量が多い地域であり、太陽光発電はどこにおいても有用であり、日本の技術を活用してもらう機会も増える。
- ・ 太陽光の制御系技術である PCS（パワー・コントロール・システム）や蓄電池に関しては、各国のメーカーがしのぎを削っている。住宅系のものに関しては、日本の技術が優れているが、全体的にハイエンド（高性能・高価格）であり、販売は難しい。

また、途上国進出における課題は、概ね以下のとおりである。

- ・ 再エネ導入目標はあるが、法整備が常に遅延が発生。制度面も不透明な部分が多い。

<sup>5</sup> 企業へのインタビュー、HP 等

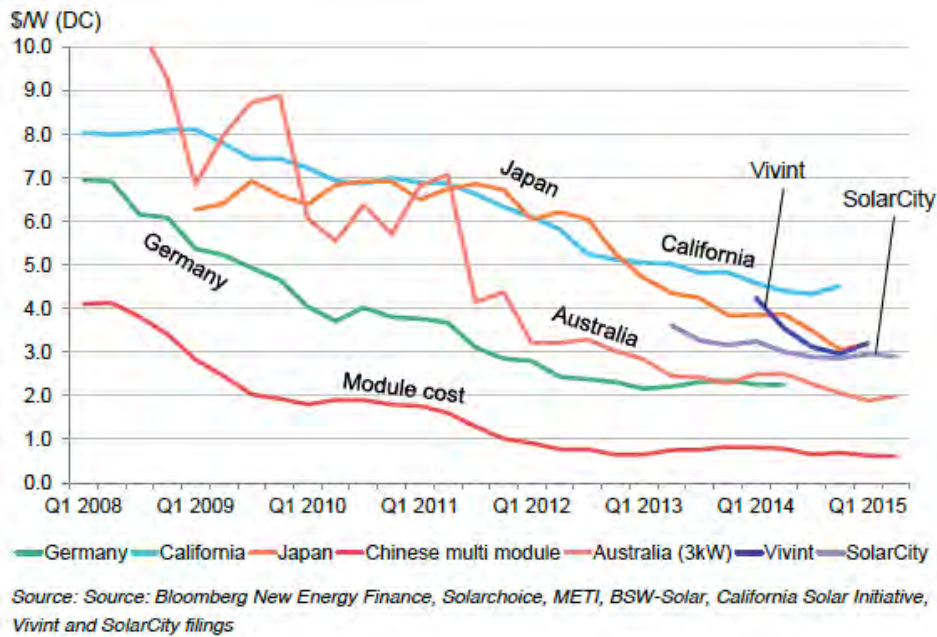
- ・ FIT 制度が導入されつつあるが、価格が十分でないか、大規模に限定される。また、投資回収ができる長期 FIT が保証されるか疑問。
- ・ 長期的な再エネ導入目標はあるが、電力需給のバランスが取れており、今後の制度変更リスクに不安あり。
- ・ 大型発電事業用の土地確保が困難。
- ・ 国全体で統一した政策が存在しない。
- ・ 政策インセンティブが国産品に限定される。
- ・ 中国（結晶）メーカーの躍進が著しい。入札方式において、売電者（主に州配電会社）の信用リスクを中央政府が保証する仕組みがない。
- ・ 契約を交わしてもプロジェクトの動きが流動的で、予定時期が大幅にずれる。
- ・ PV 設置のための現地政府等による低利融資制度がない。
- ・ 自由競争ではなく、コネクションが有利に働く部分が多い。
- ・ 中国企業の進出が大きい。特に価格競争力が重視される市場であり、中国は競争優位性がある。
- ・ FIT 認定の要件が完工・Grid 接続まで終える必要があり、かつ 500MW の上限がある。FIT が確定できないリスクが残る。

価格の予測については、Bloomberg New Energy Finance は、今後 10 年間に於いて少なくとも太陽光モジュールのコストは 36% 下落するとしている。これは、主として技術革新や製造工程の改善によりもたらされると推定されており、生産効率は 20% 程度上昇する。結果として、PV システムのコストは、2040 年までに 50% 超下落することが想定されている。以下は、各国ごとの住宅用 PV システムの設置コストの推移である。<sup>6</sup>

<sup>6</sup> ICEF DISTRIBUTED SOLAR AND STORAGE –ROADMAP 1.0 (ICEF DECEMBER 9, 2015)



図 V-24 : Public benchmarks of residential PV system CAPEX



出典：ICEF DISTRIBUTED SOLAR AND STORAGE -ROADMAP 1.0 (ICEF DECEMBER 9, 2015)

これら経済原則に基づく価格下落を後押しする制度として、入札制度が考えられる。太陽光発電は従来 FIT による促進が有力な政策であったが、EU を始め、インド、ブラジル、チリ、モロッコなど日照風況条件に恵まれた途上国でも導入がなされており、売電単価の安値を更新している。このような動きの中で、太陽光は 8~10cent/kWh（陸上風力は 6~8cent/kWh）が主流となっている。<sup>7</sup>

このような状況において、日本企業の戦略としては汎用的な太陽光発電ではなく、各企業の特徴を活かして、中長期的な視点から、高機能・高品質の太陽光発電を展開していくことが考えられる。また、途上国進出においては、需要側におけるエネルギー管理システムとの関係、再生可能エネルギーの導入による系統の不安定化への対処として蓄電池とのセット納入など、現地企業との提携や生産移管等により、現地ニーズに合致したビジネスモデルの提案行っていくことも有効である。

<sup>7</sup> IEEJ 2017 年の内外再生可能エネルギーの展望と課題

⑥政策支援

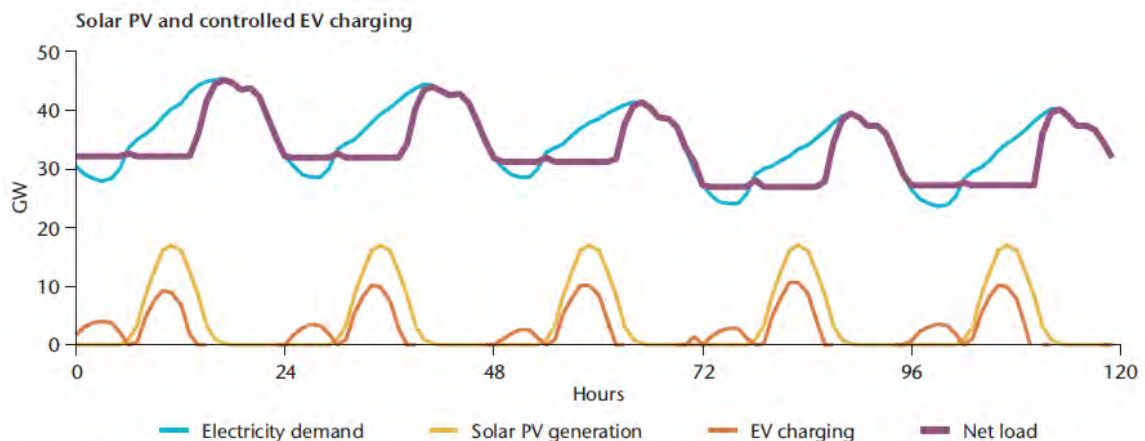
IEA のレポートでは、太陽光発電は変動するもので、かつ自然状況に左右される不確かなものであることから、この問題は電源構成に占める割合が低い場合には重要なものとはならないが、系統連携し、かつシェアが大きくなる場合には対策を取ることが必要であるとしている。その対策例として、以下が挙げられている。

<i>Facilitate PV integration into electric grids</i>	<i>Time frames</i>
1. Develop meteorological PV forecast, with feedback loop from PV power plant online data to weather forecasting.	2015-20
2. Elaborate and enforce grid codes that will drive inverters to provide voltage control and frequency regulation.	2015-30
3. Prevent PV hot spot emergence in ensuring geographical spread, e.g. through spatial remuneration differentiation.	2015-40.
4. Facilitate rapid market reactions by shortening gate closure times and trading block length.	2015-20
5. Incentivise generation during demand peaks through time-of-delivery payments and/or limitation to instantaneous injection except at peak times.	2015-30 depending on countries
6. Incentivise load management and flexibility from existing generating capacities; ensure fair remuneration of ancillary services.	2015-30 depending on countries
7. Investigate options for new PHS plants; anticipate the need for more flexible power capacities.	2020-30
8. Develop new storage capabilities.	2030-50

出典：Technology Roadmap Solar photovoltaic energy (IEA, 2014)

IEA レポートに上げられている太陽光発電の変動性への対処の事例を抜粋すると以下のとおりである。

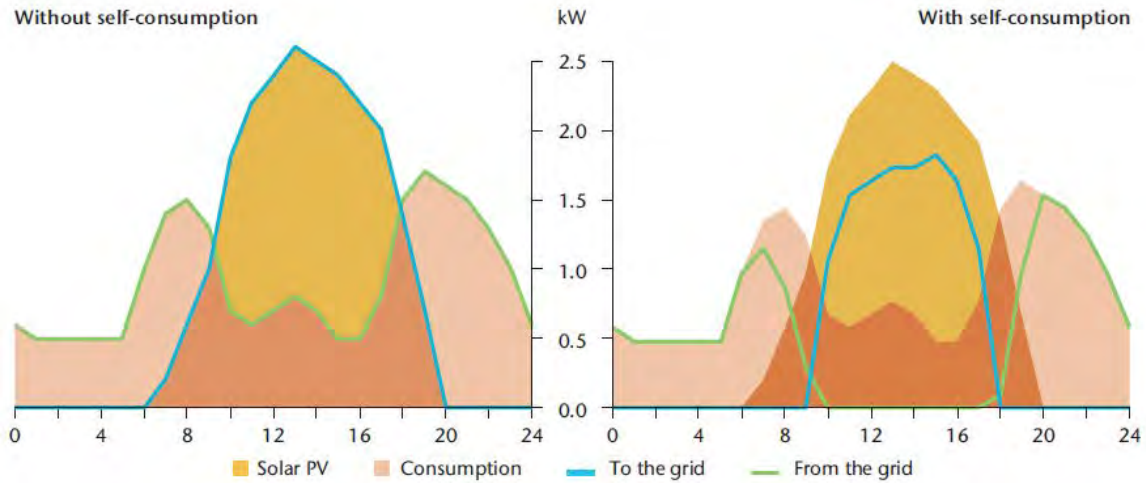
事例) 電気自動車によるバッテリー・チャージによるネットロードの適正管理



Notes: stylised electricity system for a five-day period with PV generation (top figure), with additional uncontrolled PV charging (middle figure) and controlled charging (lower figure).

出典：Technology Roadmap Solar photovoltaic energy (IEA, 2014)

事例) 屋根付き太陽光発電の自家消費管理



出典：Technology Roadmap Solar photovoltaic energy (IEA, 2014)

以上のように、我が国における出力制限などの経験も元に、途上国における再エネ導入に対する問題解決を図ることも併せて、太陽光発電の導入を促進することが重要であり、そのために日照データによるシミュレーションや実証試験を行える環境整備を支援することも有用と考える。

### 3.2. 地熱発電

#### ①技術の特色<sup>8</sup>

Geothermal	日本語名	特徴	技術確立時期
地熱 (Geothermal)	フラッシュサイクル (シングル、ダブル、ドライ スチーム)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地熱貯留層から約200～350℃の蒸気と熱水を取り出し、気水分離器で分離した後、その蒸気でタービンを回して発電する方式。</li> <li>・蒸気タービンの競争力が高い(日本企業のシェア7割)。</li> <li>・シリカ・腐食防止などで、日本企業の技術力有り。シリカ・腐食防止などは、技術開発は道半ばであり、他社の参入は難しい。</li> <li>・今後も蒸気発電の需要は高い。現地国の開発ニーズも強い。</li> </ul>	済み
	バイナリーサイクル	<ul style="list-style-type: none"> <li>・80～150℃の中高温熱水や蒸気を熱源として低沸点の媒体を加熱し、蒸発させてタービンを回して発電する方式。</li> <li>・Ormatが中心になって進めてきた。低温大水量の地熱発電向け。近年、バイナリー発電の導入が増加している。</li> <li>・アンモニア、ペンタン、フロンなど水よりも低沸点の熱媒体を、熱湯で沸騰させタービンを回して発電させることができる。</li> <li>・日本企業も開発を進めており、技術的には海外展開も可能。価格競争力が課題。</li> </ul>	済み
	増進型地熱システム (Enhanced Geothermal Systems: EGS) ※	<p>水圧を利用して坑井刺激を行い、人工的に地熱資源を活用するための次世代地熱技術。いずれも開発中だが、実現可能性は不明。NEDO/JGMECが研究開発を進めている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・涵養型EGS: 涵養井を用いて人工的に涵養(かんよう)を行うことにより、生産井からの水蒸気・熱水資源の生産量を回復(又は向上)させるための技術。ESGの中で実現可能性が高い。</li> <li>・能力増進型EGS: 人工的に水を注入するだけでなく、高圧水の注入等によって坑井刺激を行い、地熱貯留層の透水性改善や周辺の貯留層との連結を実現する技術。世界中で開発が進められている。</li> <li>・高温岩体発電: 高温の岩体に人工的に水を圧入して亀裂を発生させることによって、新たに地熱貯留層を人工的につくる技術。天然の地熱貯留層を利用する従来型地熱発電よりも開発リスクが低減される。</li> </ul>	開発中

※上記の他、ESGには、延性域高温岩体発電、超臨界地熱発電などがあるが、より長期の開発期間を要すると考えられる。

<sup>8</sup> 参考文献：NEDO 再生可能エネルギー技術白書、NEDO 技術戦略研究レポート(2016.6)

②ロードマップ<sup>9</sup>

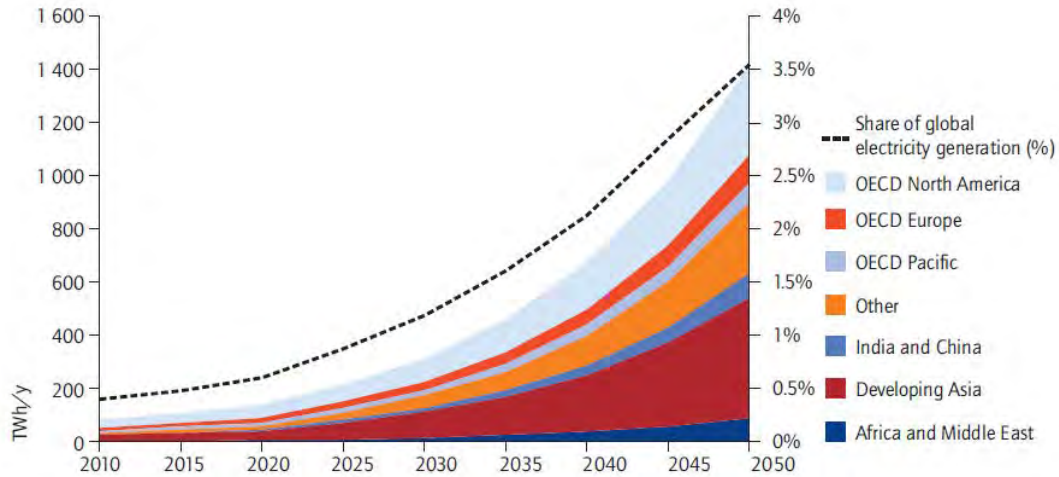
Geothermal	日本語名	コスト見通し	日本技術の導入可能性	現在～2020	2020～2025	2025～2030	2030～2035	2035～2040		
地熱 (Geothermal)	フラッシュサイクル (シングル、ダブル、ドライ スチーム)	発電コスト 9.2～11.6 円/kWh(日本) 4 円/kWh～10 円/kWh 程 度(世界平均)  (いずれも2010年前後)	高							
	バイナリーサイクル	4 円/kWh～12 円/kWh 程 度(世界平均)  (2010年前後)  ※フラッシュより発電効率が 悪い、単位当たりのコス トは高い。	展開次第で、可 能性あり							
	増進型地熱システム (Enhanced Geothermal Systems: EGS) ※	8 円/kWh～14 円/kWh 程 度(米国実証)  (2010年前後)	開発次第で、可 能性あり							
		—								
		—								

<sup>9</sup> 参考文献：NEDO 再生可能エネルギー技術白書、NEDO 技術戦略研究レポート(2016.6)、NEDO プレゼン資料 次世代地熱発電技術の全体像とその位置づけ(2016.6)

③導入見込みと開発状況

IEAによると、2050年までに地熱発電による発電は年間1,400TWh（全世界の電力供給量の約3.5%）に上り、CO2排出量も年間で800Mtの削減効果が見込まれている。また、非OECD国における増加が大きく、特にアジア圏で増加が見込まれている。

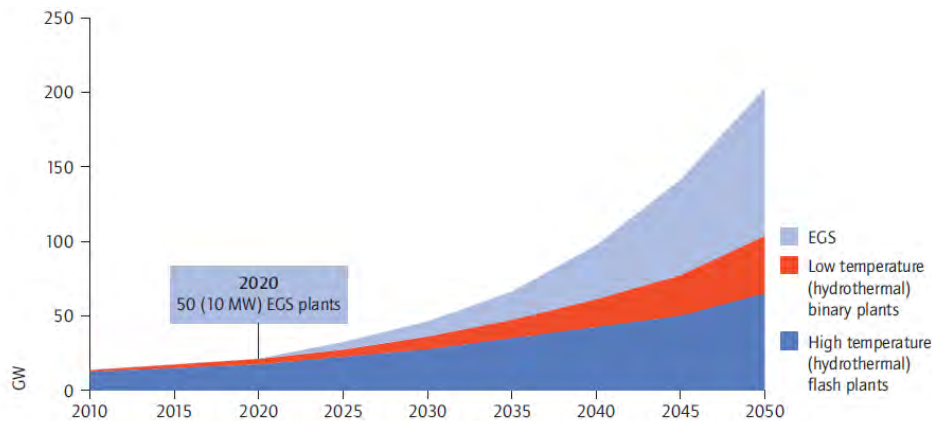
図 V-25：地熱発電のロードマップ（地域別）（TWh/y）



出典：Technology Roadmap Geothermal Heat and Power (IEA,2011)

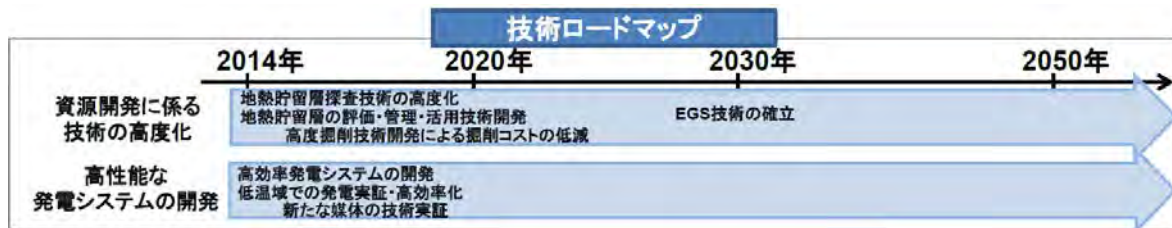
技術別には、従来型のフラッシュ方式、バイナリー方式の増加も見られるが、2020年の50プラント（10MW）を発端に増進型地熱システム（EGS）の導入が加速されると予想されている。2030年には、地熱発電及び温熱利用へと従来のフラッシュ及びバイナリーが幅広く活用されると共に、貯留構造を人工的に作る技術であるEGSが商用化されるようになる。そして、2050年には、地熱発電の設備容量は200GWとなり、その半分がEGSによるものとなっている。また、EGSは主にバイナリー方式の技術を用いると予測されている。

図 V-26：地熱発電の技術別容量（GW）



出典：Technology Roadmap Geothermal Heat and Power (IEA,2011)

日本においては、地熱のポテンシャルはあるが導入は進んでいない。現在、NEDO や JGMEC において、地熱貯留層の探査・管理・掘削技術、発電システムの効率化、バイナリー発電等、技術課題を解決すべく開発が行われている（第2章参照）。また、EGS についても 2030 年の技術確立を目指して研究を行っている。



出典：エネルギー関係技術開発ロードマップ（平成26年12月 経済産業省）

表 V-3：地熱発電の主な技術課題と解決の方向性

技術課題		解決策・要素技術
低コスト化	地熱探査技術の向上	<ul style="list-style-type: none"> <li>地質調査</li> <li>地化学調査</li> <li>物理探査（温度、電気・電磁波、地震、重力、磁気）</li> </ul>
	スケール対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>地熱熱水からのシリカ除去</li> </ul>
高効率化	貯留層管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>プラント出力の適正化</li> <li>EGS（涵養地熱系）</li> <li>蒸気条件変化への対応（タービン翼のフレキシビリティ）</li> </ul>
高耐久化	耐食性	<ul style="list-style-type: none"> <li>耐食性材料</li> <li>コーティング</li> </ul>
利用可能資源の拡大	未利用温度帯利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>バイナリー発電</li> <li>高温岩体発電</li> </ul>
管理・運用	有害物質対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>砒素等除去</li> </ul>

出典：NEDO 作成資料

出典：NEDO 再生可能エネルギー技術白書

さらに、EGS の実現により、稼働した後にも予定より水量や熱が減衰する減衰リスクや掘削で適当な井戸を発掘できない開発リスクなどの地熱発電に特有のリスクを軽減できる可能性がある。なお、NEDO の推定では、高温岩体発電の日本国内の導入ポテンシャルは、天然の地熱貯留層の利用を想定した従来型地熱発電の導入ポテンシャル（23GW）よりも多く、3km 以浅の場合に 29GW 程度、5km 以浅の場合に 127GW 程度と見込まれている<sup>10</sup>。

ESG の開発は以下のとおりであり、日本での知見が蓄積されている。

<sup>10</sup> NEDO 技術戦略研究レポート(2016.6)

	従来型(小規模低温利用含む)	涵養型EGS	能力増進EGS	高温岩体発電(脆性領域)
アメリカ	◎	◎ 実証事業あり e.g. ガイザース	◎ 実証事業あり e.g. デザートピーク	◎ 実証事業あり e.g. ニューベリー
オーストラリア	◎ 天然の高温地熱貯留層無し、熱の直接利用は盛ん	×	×	◎ 実証事業あり e.g. クーパーペイズン パララナ
フランス	×	×	◎ 実証事業あり e.g. ソルツ	
ドイツ	×	×	◎ 実証事業あり e.g. ランダウ	
スイス	×	×	×	◎ 実証事業あり e.g. バーゼル
アイスランド	◎ 熱のカスケード利用が発達	×	×	×
韓国	×	×	×	◎ 実証事業あり e.g. ボハン
日本	◎ JOGMEC、NEDOにおいて技術開発を実施	◎ 実証事業あり e.g. 柳津西山	○ 過去に民間レベルでの取り組みあり	○ 実証事業あり e.g. 肘折、雄勝

◎:PJ実施中・稼働中、○:過去PJを実施、△:検討中、×:PJ未実施、未検討

出典：NEDO プレゼン資料「次世代地熱発電技術の全体像とその位置づけ(2016.6)」より抜粋

#### ④ 国際競争力<sup>11</sup>

地熱発電用タービン(フラッシュ)のシェアは、富士電機、東芝、三菱日立パワーシステムズがそれぞれ約20%超であり、残りは外国メーカーとなっている(第3章参照)。また、日本企業は、蒸気タービン、発電機及び復水器といったコア部分は、全て日本国内において製造している。特に、蒸気中の不純物であるシリカ対策に関しては、中国や米国の製造メーカーは手がけている発電施設が10MW以下のような規模の小さい案件が多いため、経験や実績から日本企業が一番技術的に優れており、競争力は高い。蒸気タービンの応力腐食割れへの対策は、まだ道半ばといった状況であり、市場では研究を継続してほしいというニーズがある。

フラッシュ発電の適地はアフリカ大地溝帯、インドネシアや中南米などに限定されるものの需要はまだ多い。一方、低温水域で発電可能なバイナリー発電は、前述のとおり導入ポテンシャルが高く、今後、高温水域がない地域を含め、主流になると考えられる。例えば、トルコ、インドシナ半島、アメリカ国内においては低温熱水が多いため、バイナリー発電が適している。

現状、バイナリー発電技術はオルマット社が強く、日本企業のシェアは低いが、展開次第では拡大していく可能性もある(第3章参照)。日本国内においては、現在は神戸製鋼が手掛ける温泉施設内において電気を供給する温泉バイナリーのような規模の小さいものが中心で

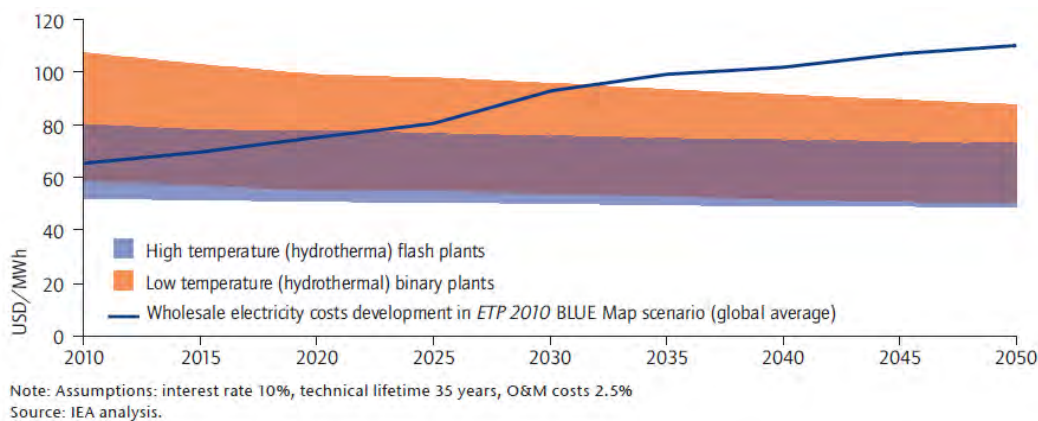
<sup>11</sup> 企業インタビュー、HP等



ある。三菱重工が、バイナリー発電の事業拡大のためイタリアのターボデン社をグループ化するなど、バイナリー発電の市場獲得に向けた動きもある。

なお、IEAによると、地熱発電の技術は成熟しており、今後も大きな価格下落は予測されていない。地熱発電（特にフラッシュ）は、件数が多いものではなく、量産効果が生じないことが下落しない要因と考えられる。また、バイナリー発電とフラッシュ発電のコストを比べると、規模が小さいことなどの要因から、バイナリーの方が総じて高くなっている。

図 V-27：地熱発電の均等化発電原価（LCOE）予測（技術別）



出典：Technology Roadmap Geothermal Heat and Power (IEA,2011)

#### ⑤ 途上国進出の課題<sup>12</sup>

地熱発電の途上国への進出の課題としては、例えば、以下が挙げられる。

- ・ ポテンシャルがあっても、政府の方針として、地熱発電の導入に力を入れておらず、FIT 制度や長期売電契約にフィジビリティが見いだせない。
- ・ 外国籍企業との競争が激しく、件数が少ない入札案件に多くの参加者が参入する。
- ・ 権益を取得したとしても、政府の許認可手続きなどが停滞するか、遅延し、案件が塩漬けになったり、開発期間が長くなるリスクがある。
- ・ 開発リスクを現地国が負担してもらうスキームがあると良いが、井戸掘削保証が整備されていないか、実行されない。
- ・ 地表調査、深査、評価、その後の井戸掘削へとプロセスサポートが不足している。

#### ⑥ 政策支援

途上国に対する地熱発電の導入促進に関する政策支援としては、例えば、以下のことが挙げられる。

<sup>12</sup> 企業インタビュー、HP 等

- ・ 地質調査・管理・評価等のノウハウ共有（人材育成）
- ・ バイナリー・EGS 開発の共同研究
- ・ 低コスト化・リスク低減に向けた協力
- ・ O&M 能力向上支援
- ・ 導入拡大に関する規制・手続き等の改革
- ・ 資源開発分野への技術及び資金面での支援
- ・ 現地ディベロッパー・業者への日本企業の技術紹介
- ・ 研修生受入による本邦掘削業者の知名度向上

（参考）低コスト化・リスク低減に向けた技術開発の推進例



出典：再生可能エネルギーの導入拡大に向けた施策の方向性について（平成 28 年 6 月 資源エネルギー庁）

### 3.3. 風力発電

#### ① 技術の特色<sup>13</sup>

Wind	日本語名	特徴	技術確立時期
風力 (Wind)	陸上風力	現在の大型風車の主流は3枚翼の水平軸プロペラ式風車である。プロペラの大型化に向けた開発が行われている。ヨーロッパ企業が規模もあり、競争力が高い。また、中国企業も中国国内で主流となっている。2MWが中心的に普及している。大型化により、5MWの技術開発されている。低風速でも回り、かつ安全性が高いダウンウィンドを日立が開発している。また、台風など強風向けの風車は日本での実績データがあり、日本企業の強みが期待できる。	済み
	洋上風力(着床)	洋上は陸上とは異なり遮蔽物が存在しないため、一般的に風速が速く、また風況も安定している。開発にかかる技術的・制度的制約を考慮しない、単純な風力資源賦存量は洋上の方が豊富である。遠浅が続くイギリス等で導入が進む。低価格での入札案件が北欧で見られ、価格の下落が早期に進んでいる。	済み
	洋上風力(浮体式)	洋上風力発電には、海底に直接基礎を設置する着床式と、浮体を基礎としてワイヤーなどで固定する浮体式に分類される。浮体式は水深の深い海域でも導入可能であり、特に日本の海底地形に適していると期待されているが、未だ実証試験の段階であり、ごく一部を除いて実用には至っていない。NEDO事業にて実証研究を行っている。日本は開発をリードしている。	開発中

<sup>13</sup> 参考文献：NEDO 再生可能エネルギー白書、経済産業省、発電コスト検証ワーキンググループ公開資料、2015、着床式洋上風力発電導入ガイドブック NEDO

② ロードマップ 14

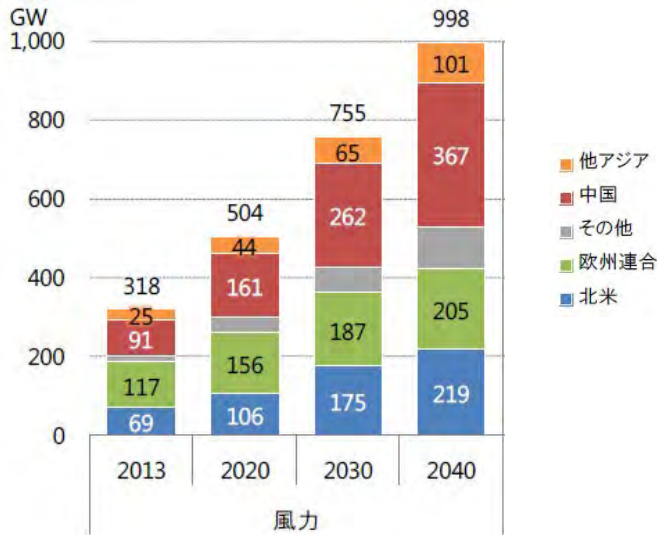
Wind	日本語名	コスト見通し	日本技術の導入可能性	現在～2020	2020～2025	2025～2030	2030～2035	2035～2040
風力 (Wind)	陸上風力	発電コスト 9.9～17.3円/kWh  システム価格 20～35円/kW  (いずれも現時点)	△ (コスト面で課題あり。海外企業等との提携が必要。)					
	洋上風力(着床)	発電コスト 9.4～23.1円/kWh  システム価格 20～35円/kW  (いずれも現時点)	△ (コスト面で課題あり)					
	洋上風力(浮体式)	発電コスト 2030年以降、 20円/kWh	開発次第で、可能性あり					

14 参考文献：NEDO 再生可能エネルギー白書、経済産業省、発電コスト検証ワーキンググループ公開資料、2015、着床式洋上風力発電導入ガイドブック NEDO、長期エネルギー需給見通し小委員会に対する 発電コスト等の検証に関する報告（案）平成27年5月 発電コストワーキンググループ

③ 風力発電の導入見込みと開発状況<sup>15</sup>

IEEJの予測では、2040年における風力発電の設備容量は998GWとなり、2013年時点の容量の3.1倍となることを見込まれている。また、地域としては、中国が及び他のアジア諸国の伸びが大きい。中国は、世界全体の4割弱を占める主要な風力発電地帯となる。

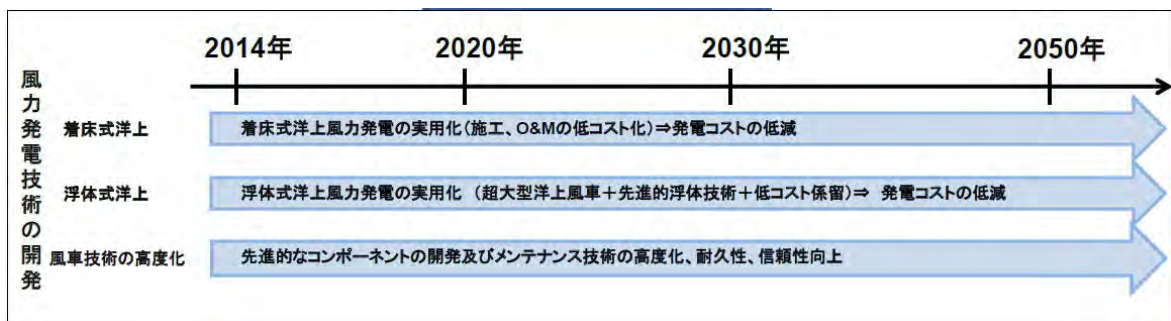
図 V-28：風力発電の設備容量（レファレンスケース）



出典：アジア／世界エネルギーアウトルック 2015（IEEJ）

また、洋上風力発電は、欧州や中国を中心に拡大を続けており、2015年の洋上風力発電新規導入量は3.3GMWであり、累積導入量は12GWと年々増加している。

日本の導入量は少ないものの、風力発電に関する技術開発は以下のように計画されている。



出典：エネルギー関係技術開発ロードマップ（平成26年12月 経済産業省）

<sup>15</sup> 参考文献：風力発電競争力強化研究会 報告書（2016.10）

NEDO では、以下の事項を技術開発の課題として挙げられている。

表 V-4：陸上・洋上風力の主要な技術開発課題

種類	主要な技術開発課題
陸上風力	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 風況予測の高精度化</li> <li>・ 系統連系・制御システム開発</li> <li>・ 低風速風車</li> </ul>
洋上風力	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 超大型風車</li> <li>・ 基礎構造の最適化</li> <li>・ 次世代ドライブトレインの開発</li> <li>・ 浮体式洋上風力</li> </ul>

出典：NEDO 作成資料

技術として普及しているものではないが、日立製作所はダウンウィンドの風車の開発を行っている。現状、風力発電はアップウィンド（プロペラの正面から風邪を受ける。）が、ダウンウィンドは以下のような利点がある。

- ・ 丘陵地や洋上などに設置すると、風車の向きが動き、風を直角に受けられるので発電効率がアップ高い（対アップウィンド）
- ・ 安全性が高い（風がないときもブレードがロックすることなく、ブラブラするだけ）
- ・ 大型化による工事費の抑制効果がある（タワーの干渉の心配がない、アップウィンドだとタワーの強度アップが必要）



出典：NEDO 再生可能エネルギー白書

なお、NEDO 事業等により、浮体式洋上風力の実証事業が数件ある。例えば、福島復興・浮体式洋上ウィンドファームでは以下のようにダウンウィンド型の風車が採用されている。

表 V-5：福島復興・浮体式洋上ウィンドファーム設備概要（再掲）

設備名称	設備規模	風車形式	浮体形式	工期
浮体式洋上サブステーション 「ふくしま絆」	容量25MVA 電圧66kV	変電所 (日立製作所製)	アドバンストスパー (ジャパンマリニュナイテッド製)	第1期
ダウンウィンド型風車搭載用セミサブ 「ふくしま未来」	2MW	ダウンウィンド型 (日立製作所製)	4コラム型セミサブ (三井造船製)	第1期
7MW風車搭載用セミサブ 「ふくしま新風」	7MW	油圧式ドライブ型 (三菱重工業製)	3コラム型セミサブ (三菱重工業製)	第2期
5MW風車搭載用アドバンストスパー 「ふくしま浜風」	5MW	ダウンウィンド型 (日立製作所製)	アドバンストスパー (ジャパンマリニュナイテッド製)	第2期

出典：三菱重工業ウェブサイトより作成



発電設備（ふくしま未来）

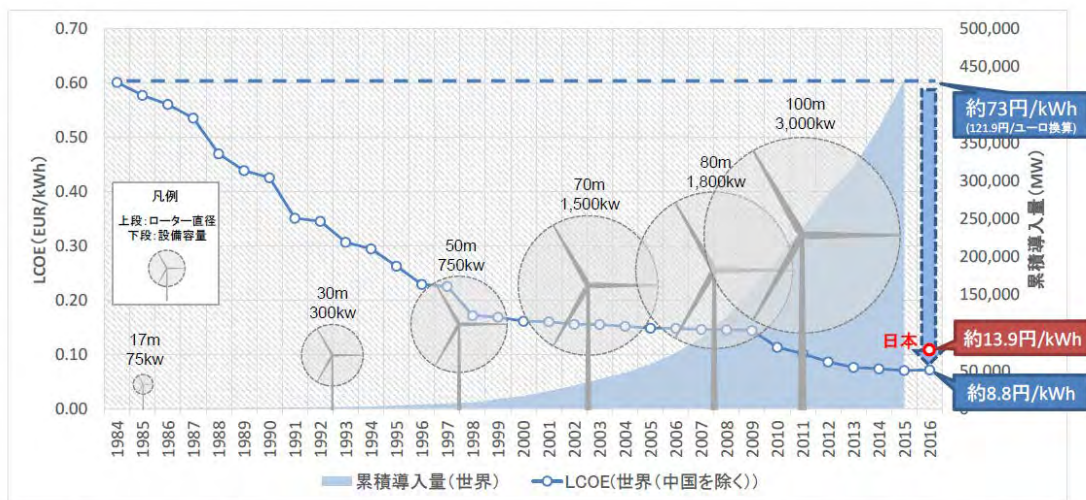


発電設備（ふくしま絆）

出典：浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業ホームページ

#### ④ 国際競争力<sup>16</sup>

世界マーケットにおいては、1980年代から風車の大型化（ローター直径は20年間で約3～4倍に拡大）及び市場の拡大に伴うコスト削減効果（量産効果、サプライチェーンの最適化・効率化等）により、発電コストは大幅に低減してきた。また、設置する地域が欧州であり、地理的に有利な Vestas、GE Wind、Siemens / Gamesa 連合が、陸上・洋上ともに風力発電の市場を作り出している。また、近年増加している中国マーケットでは、Goldwind が支配しており、洋上では Shanghai Electric も受注を伸ばしている。（第3章参照）



出典：The future cost of onshore wind（Bloomberg New Energy Finance, 2015）、IEA Wind Task 26 “The Past and Future Cost of Wind Energy”(IEA, 2012)を基に NEDO 技術戦略研究センター作成

※LCOE：均等化発電原価。ライフタイムに要するコストの総計を現在価値に割り、年間発電量に基づいて均等化して算出したコスト

出典：風力発電競争力強化研究会 報告書（2016.10）

<sup>16</sup> 参考文献：風力発電競争力強化研究会 報告書（2016.10）

図 V-29：洋上風力の風車メーカーシェア

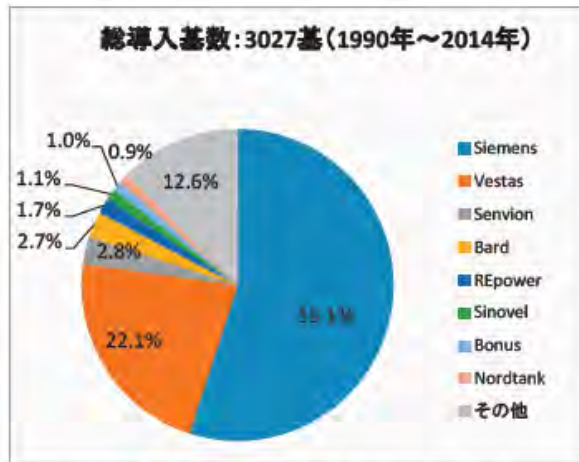


図 2.3.1-6 風車メーカー別の導入割合 (1990年-2014年)

出典：着床式洋上風力発電導入ガイドブック NEDO

一方、日本企業においては、三菱重工が Vestas と合弁会社である MHI ヴェスタスを設立し、着床洋上風力の多数の販売実績を上げている。その他の企業においては、基本的に国内マーケット向けを中心に販売・研究開発を行っている。日本が世界マーケットに出られない要因としては、海外市場での経験が少なくノウハウ不足もあるが、日本の市場規模が大きくなり量産効果が働かないことや、国内は耐震・台風の特殊仕様や規制等が厳しくリードタイムが多くかかってしまう、また設置個所が丘陵地であり運搬・工事費及び系統接続費などが増大することが、コスト高の要因であると考えられる。

【風力発電の発電コスト・買取価格の国際比較】

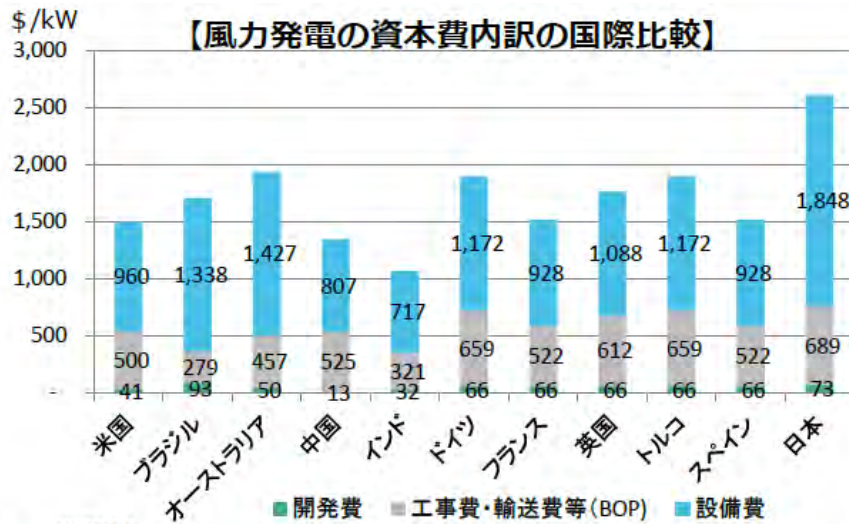
※2016	資本費 (\$/kW)	運転 維持費 (\$/kW/年)	設備利用率 (%)	発電 コスト (\$/MWh)	FIT 価格 (\$/kWh) ※2015
ドイツ	1,897	26	24%	79	9.7(一定期間後 5.3)
フランス	1,516	30	27%	80	9.2(11年以降 3.1~8.2)
英国	1,765	24	26%	85	12.2
スペイン	1,516	26	25%	91	- (FIT 廃止)
デンマーク	1,897	21	26%	91	7.2
米国	1,501	26	38%	65	-(RPS制度)
ブラジル	1,710	30	52%	67	4.7
豪州	1,934	24	38%	72	-(RPS制度)
インド	1,070	16	23%	77	6.3-10.1
中国	1,345	15	25%	76	7.8-9.7
日本	2,611	37	22%	156	18.3

(出典) Bloomberg New Energy Finance 資料より資源エネルギー庁作成、FIT 価格は資源エネルギー庁調べ

出典：再生可能エネルギーの導入拡大に向けた施策の方向性について (資源エネルギー庁 2016.6)



下記、資本費の内訳比較をみると、特に設備費が高い。途上国に進出を考えるのであれば、インド、ブラジルなどにおける実績と肩を並べる必要がある。工事費・輸送費等の設置費用は現地化を図ることで対処できる部分があるが、設備費は製造・組立などの部材調達から工程を含めたサプライチェーン全体の見直しが求められる。

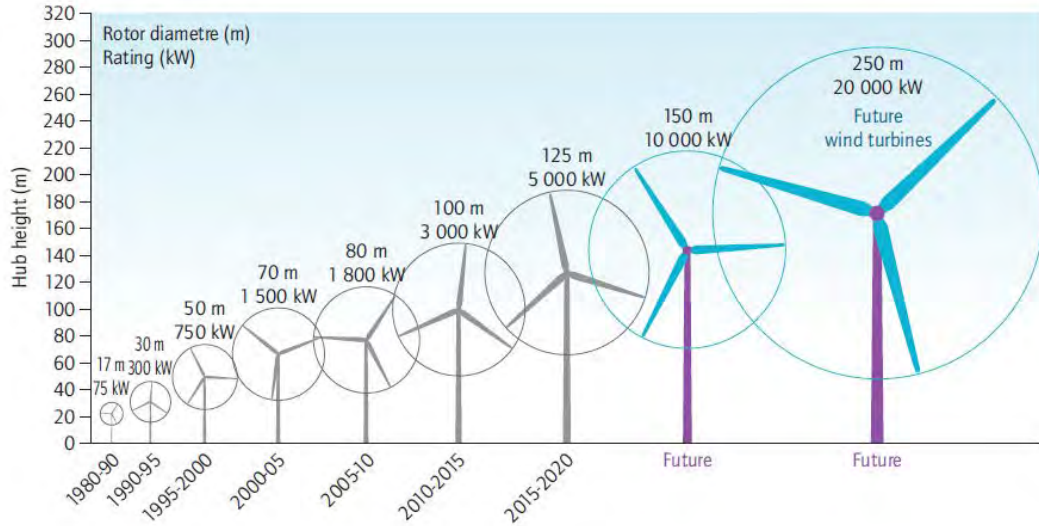


出典：再生可能エネルギーの導入拡大に向けた施策の方向性について（資源エネルギー庁 2016.6）

なお、Bloomberg New Energy Financeによると、1985年からの価格下落は、約500 \$/MWh から約70 \$/MWh となり、太陽光発電と同様に学習効果により今後も更に下落すると予測されている。また、昨今、各国にて導入されている入札制度も価格下落の誘引として考えられる。陸上風力は6～8cent/kWh が主流となっている<sup>17</sup>。

<sup>17</sup> IEEJ 2017年の内外再生可能エネルギーの展望と課題

また、IEAによると今後の技術開発ニーズの可能性として、プロペラの更なる大型化が示されている。

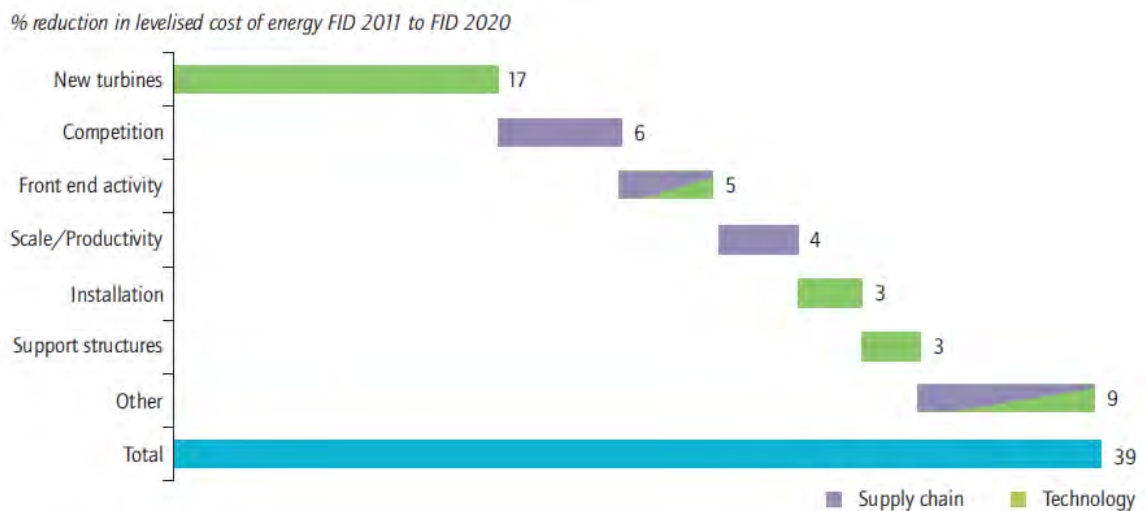


Source: adapted from EWEA, 2009.

出典：Technology Roadmap Wind Energy (IEA, 2013)

さらに、イギリスで洋上風力を管理している公営の Crown Estate は、2020年までに風力発電のコストを GBP 100 / MWh (USD 150 / MWh) に引き下げることがを目標としている。

図 V-30：イギリスの洋上風力の建設コスト削減ポテンシャル

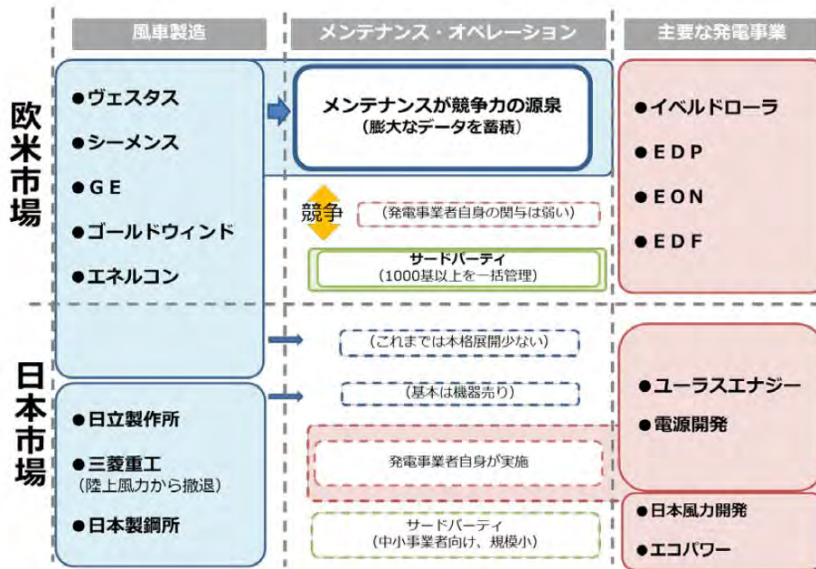


Source: Crown Estate, 2012b.

出典：Technology Roadmap Wind Energy (IEA, 2013)

(参考)風力発電の業界構造

実績が豊富な欧米企業は膨大なデータを蓄積し、競争力の源泉としている。



出典：風力発電競争力強化研究会 報告書 (2016.10)

⑤ 途上国進出の課題<sup>18</sup>

下記は、世界の年間平均風速分布を示したものである。

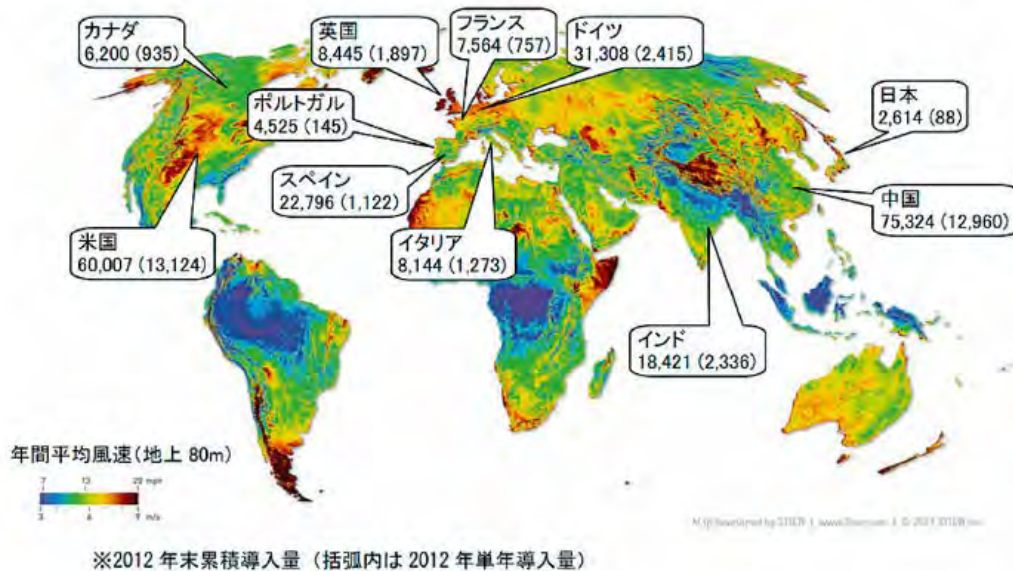


図 3-18 世界の年間平均風速分布 [MW]

出典：3TIER ホームページ及び“Global Wind Report Annual Market Update2012” (2013, GWEC) より NEDO 作成

出典：NEDO 再生可能エネルギー白書

<sup>18</sup> 企業へのインタビュー、HP 等

価格が高いことから風力発電の導入に二の足を踏んでいた国・地域においても、風況に恵まれている場合には、今後の価格下落によりグリッドパリティ<sup>19</sup>を達成する可能性はある。そのため、今後、途上国においても、陸上・洋上ともに風力発電が導入されることは十分想定される。

途上国進出への課題については、以下のことが挙げられえる。

- ・系統連系のため、グリッドコード対応が必要だが、日本以外のグリッドコード要件となり、参入しづらい場合がある。
- ・外国資本の規制があり、信頼できる現地パートナーとの関係構築が必要。
- ・FITの価格が十分でない、もしくは長期契約ができない。
- ・政府保証の手続きが煩雑、又は政府保証自体、取得できない。
- ・風力タービン・変電設備は欧州などの多国籍企業が競争に晒されている。
- ・風況に関するデータが整備されておらず、立地場所などの事前調査に時間がかかる。
- ・低風速地域が多く、風資源の精査が必要。
- ・入札プロセスが難解であり、不透明な制度となっている。

今後、日本企業による途上国への進出では、例えば、低風速や強風速にも効率的に稼働できる風車や、台風や地震への耐久性が高いもの、遠隔システムによる予防的監視による故障の削減ノウハウなど、日本企業の持つ特色を活かし、途上国ニーズに合致する技術を導入していくことが一つの方策として考えられる。

## ⑥ 政策支援

太陽光発電と同様に風力発電も風況に左右される不確実性のある電源、かつ周波数の変動を伴う。そのため、再生可能エネルギーのグリッドに占める割合が一定程度以上となる場合には、系統安定化の対策が必要となる。

途上国においては、系統が十分整備されていない場合もあるため、風力発電等の再生可能エネルギー導入に当たっては、例えば、以下のことで支援するのが有用である。

- ・事前に系統への影響を確認し、複数の対策案について検証する。
- ・風況データの収集・蓄積・分析
- ・揚水・蓄電池などによる周波数調整や出力調整
- ・洋上風力を行うための環境整備（風況調査、港湾インフラの整備、規制見直し等）
- ・遠隔監視における予防的対処ノウハウの伝授（人材育成、現地パートナーとの提携）

<sup>19</sup> グリッドパリティ（Grid parity）とは、再生可能エネルギーによる発電コストが既存の電力コスト（電力料金、発電コスト等）と同等かそれより安価になる点を指す。

(参考) 日本における風力発電の普及拡大に向けた政策支援の事例

<p><b>【風力発電高度実用化研究事業】</b></p> <p>○スマートメンテナンス</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>欧米と比較し設備利用率が低い原因のひとつとして、メンテナンスのため風車を停止させている時間が長い。</li> <li>(1) 問題箇所特定は習熟度によって差があり時間がかかる。</li> <li>(2) 修理部品の手配等のため稼働できない。</li> <li>効率的・計画的なメンテナンスによる設備利用率の向上を目指し、<u>風車の異状振動を感知するセンサー、状態監視システムを高度化。部品寿命・メンテナンス時期を予測する技術開発を実施。</u></li> </ul>  <p>&lt;スマートメンテナンスイメージ&gt;</p>	<p><b>【メンテナンス人材の確保・育成の環境整備】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>過去にはナセルやブレードの落下といった重大事故が発生。適切なメンテナンスによる安全の確保と設備利用率の向上が重要。今後、風力発電施設の増加に伴い、メンテナンス需要の急増が予想される。一方で、<u>風車メンテナンスが産業として成熟しておらず、人材の育成・確保が課題。</u></li> <li>日本風力発電協会が、メンテナンスの民間資格認証制度の創設について検討中。</li> </ul>  <p>&lt;風力発電施設のメンテナンス&gt;</p>
<p><b>【一般海域における洋上風力発電導入ガイドの作成】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>一般海域における洋上風力発電の導入を支援するため、<u>実証事業や地方自治体の取組事例を取りまとめたガイドを作成し、平成28年度夏頃に周知する予定。</u></li> </ul>  <p>出典：NEDO洋上風況マップ（デモ版）</p>	<p><b>【洋上風況マップの作成】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>風況のみならず、環境・社会条件や海洋地質も含む洋上風況マップを作成。</li> <li>平成28年3月末にデモ版をNEDOホームページにて公開。デモ版に寄せられた意見等について検討し、平成28年度末に完成版公開予定。</li> </ul>  <p>※デモ版は表示地域に制限あり</p>

出典：再生可能エネルギーの導入拡大に向けた施策の方向性について（資源エネルギー庁、平成28年6月）

### 3.4. 高効率火力

#### ①技術の特色<sup>20</sup>

高効率火力	略称	日本語名	特徴	技術確立時期	送電端効率	CO2排出
高効率石炭火力 (High Efficiency Coal Thermal Power Plant)	USC	超々臨界圧	蒸気圧22.1MPa以上で蒸気温度566℃以上であるもの。極めて信頼性の高い、確率された技術として、国内にて、約1,960万kWを導入(石炭火力に占める割合約50%)している。	1995	40%	820gCO2/kwh
	A-USC	先進超々臨界圧	USCの更なる高温化技術として、蒸気タービンの蒸気温度を700℃以上に高めた高効率発電。蒸気温度700℃、蒸気圧24.1MPaである。従来の微粉炭火力発電システムの構成を殆ど変えることなく、発電効率46%が期待できる。	2016	46%	710gCO2/kwh
	1700℃ IGCC	石炭ガス化複合発電	石炭をガス化し、ガスタービンと蒸気タービンのコンバインドサイクル。発電効率がA-USC並以上に高く、排ガス中のSOx、NOx、煤塵などがLNGコンバインド発電並に少ない。低品位炭が利用でき、CO2分離回収が容易。常磐共同火力(2007-実証運転、2013-商業運転)、大崎クルージョン(2016-実証運転)、福島PU(2020~)	2020	46-50%	650gCO2/kwh
	IGFC	石炭ガス化燃料複合発電	石炭をガス化し(IGCC)、燃料電池(SOFC)、ガスタービン、蒸気タービンの3種の発電形態を組み合わせてトリプル複合発電(トリプルコンバインドサイクル)。石炭火力発電技術の中で最も高効率化が図れる。また、幅広い出力幅に対しても高効率化が維持できる。	2025	55%	590gCO2/kwh
	A-IGCC	革新的IGCC(水蒸気噴流床ガス化)	ガスタービンの排熱で作る水蒸気を、噴流床ガス化炉に添加するIGCCシステムの応用技術。噴流床ガス化炉に水蒸気をガス化剤として添加することで酸素比が低減され、冷ガス効率が向上する。水蒸気ガス化+乾式精製(2030)、高効率酸素分離(2030~)	2030、2030~	57%	570gCO2/kwh
	Closed-IGCC	CO2回収型次世代IGCC	酸素燃料技術をIGCC技術に応用。排ガス中のCO2を酸化剤としてガス化炉やガスタービンに循環CO2によるガス化反応の促進と効率向上が図れる。シフト反応器やCO2分離装置が不要であり、CO2回収後も高い発電効率を維持できる。	2035	42%(CO2回収後)	-
高効率ガス火力 (High Efficiency Natural Gas Thermal Power Plant)	1600℃ GTCC	超高温ガスタービン複合発電	GTCCは天然ガスなどを原料にガスタービンで一回目の発電を行い、次にその排熱を使って蒸気をつくり、蒸気タービンで二回目の発電をするコンバインド発電技術。タービン入口温度が1,600℃級となり、1,500℃級G形に比べ100℃の温度上昇に耐えられるよう、遮熱コーティング技術と冷却技術を改善。	2015	55%	-
	AHAT	高温分空利用ガスタービン	高温分空を利用した日本オリジナルのガスタービン単独発電技術。中小容量機向け。大型GTCCと同等以上の発電効率。	2017	51%	350gCO2/kwh
	1700℃ GTCC	超高温ガスタービン複合発電	ガスタービンと蒸気タービンのコンバインドサイクル。技術開発を実施中。石炭火力に応用できるなど、技術展開、波及効果が大い。	2020	57%	310gCO2/kwh
	GTFC	ガスタービンコンバインドサイクル燃料電池複合発電	石炭ガスや天然ガスを改質して水素を取り出して燃料電池(SOFC)で発電した後に、改質残ガスをガスタービンに供給して発電し、さらに排熱を利用して蒸気タービンで発電するトリプル複合発電技術(トリプルコンバインドサイクル)。ガス火力発電技術の中で最も高効率化が図れる。また、幅広い出力幅に対しても高効率化が維持できる。	2025	63%	280gCO2/kwh

※その他、火力発電の効率的な運用(O&M)、事故の予防及び早期発見と迅速な対応策として、ITを利用した遠隔監視が考えられる。

<sup>20</sup> 参考文献) 長期エネルギー需給見通し小委員会 資料“火力発電における論点”(資源エネルギー庁、平成27年3月)、次世代火力発電に係る技術ロードマップ(技術参考資料集を含む) 次世代火力発電の早期実現に向けた協議会 平成28年6月、三菱重工 HP [http://www.mhi.co.jp/discover/earth/learn/gtcc\\_igcc.html](http://www.mhi.co.jp/discover/earth/learn/gtcc_igcc.html)

②ロードマップ<sup>21</sup>

高効率火力	略称	日本語名	コスト見通し	日本技術の導入可能性	現在～2020	2020～2025	2025～2030	2030～2035	2035～2040
高効率石炭火力 (High Efficiency Coal Thermal Power Plant)	USC	超々臨界圧	25万円/kW	○					
	A-USC	先進超々臨界圧	従来機並みの発電単価(～9.3円/kwh)	○					
	1700°C IGCC	石炭ガス化複合発電	量産後、従来機並みの発電単価	開発次第で、可能性あり					
	IGFC	石炭ガス化燃料複合発電	量産後、従来機並みの発電単価	開発次第で、可能性あり					
	A-IGCC	革新的IGCC(水蒸気噴流床ガス化)	商用機がUSCと同等以下が目標	開発次第で、可能性あり					
	Closed-IGCC	CO2回収型次世代IGCC	1700°CIGCC建設費+15%が目標	開発次第で、可能性あり					
高効率ガス火力 (High Efficiency Natural Gas Thermal Power Plant)	1600°C GTCC	超高温ガスタービン複合発電	従来機並みの発電単価(～12.4円/kwh)	○					
	AHAT	高湿分空気利用ガスタービン	従来機並みのイニシャルコスト	○					
	1700°C GTCC	超高温ガスタービン複合発電	量産後従来機並みのイニシャルコスト	開発次第で、可能性あり					
	GTFC	ガスタービンコンバインドサイクル燃料電池複合発電	量産後従来機並みの発電単価	開発次第で、可能性あり					

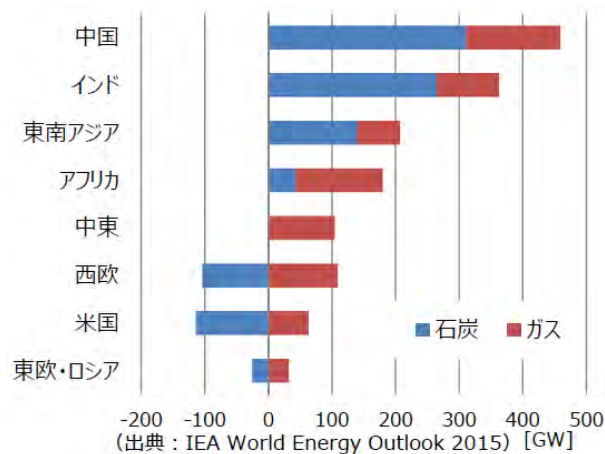
21 参考文献) 長期エネルギー需給見通し小委員会 資料“火力発電における論点”(資源エネルギー庁、平成27年3月)、次世代火力発電に係る技術ロードマップ(技術参考資料集を含む) 次世代火力発電の早期実現に向けた協議会 平成28年6月、三菱重工 HP [http://www.mhi.co.jp/discover/earth/learn/gtcc\\_igcc.html](http://www.mhi.co.jp/discover/earth/learn/gtcc_igcc.html)

## ③導入見込みと開発状況

IEA の予測により、2015 年から 2040 年における高効率火力の導入見込みを地域別に見たのが、以下のグラフである。石炭火力は、中国、インド、東南アジアにて増加する一方、欧米では減少している（第1章参照）。これは、石炭火力のコストが比較的安価となっているため、途上国では需要が伸びに対応可能で経済性も高い電源と判断していると考えられるためである。

一方、ガス火力については、途上国では火力発電より容量は少ないもののエネルギーミックスの観点等から導入が進むことと、石炭火力よりも CO2 排出原単位が低いことから、欧米諸国においても需要があるものと想定されている。特に、産ガス国が多い中東、アフリカや欧米では大幅な需要拡大が見込まれる。

図 V-31：主要地域における石炭及びガス火力発電容量の増減見通し（2015-2040）



出典：次世代火力発電に係る技術ロードマップ 次世代火力発電の早期実現に向けた協議会（平成 28 年 6 月）

また、火力発電の市場予測として、本調査において、IEEJ アウトルック 2015 年のレファレンスケースに基づいて検討を行った。新規増加分とリブレース分から必要導入容量（最大ポテンシャル）を計算した結果が、以下のとおりである。プラス分のみを抽出した数値ではあるが、傾向として、IEA の予測と同様の結果がみられる。

ただし、寒冷地域など熱需要が多い地域では一律的に高効率発電を追求するよりは熱電併給の発電設備がより効率的になる場合や、容量の小さい系統または十分に大きくなっていない系統では大規模な高効率発電設備が必ずしも適していない場合などの要素が考慮されていない点を留意されたい。例えば、中国の場合熱電併給の発電設備が約 30%を占めているため、この分を取り除いて高効率発電の市場規模を見るのが妥当であろう。こうした場合、2040 年までの中国の高効率火力発電の市場規模は（石炭 462GW+ガス 261GW）

\*70%=506GW となり、上図の IEA 予測をやや上回る試算となる。



表 V-6 : 石炭火力の新規導入量 (2015年-2050年)

GW	世界計	北アメリカ	中南米	欧州	旧ソ連	アフリカ	中東	中国	日本	印度	ASEAN	オセアニア
2015	198	0	4	32	38	7	1	60	0	31	10	3
2020	187	8	7	25	18	11	5	57	0	35	16	3
2025	271	25	7	39	14	11	4	100	1	49	17	2
2030	310	52	9	29	13	13	7	77	3	68	24	5
2035	314	38	8	22	10	19	7	82	3	85	29	5
2040	306	39	9	6	10	13	6	86	1	97	30	1
2045	282	8	9	8	3	10	5	74	5	110	39	1
2050	280	0	9	7	5	9	7	70	6	118	41	0
合計	2,148	169	63	168	111	93	42	607	20	593	206	20

出所) 調査団作成

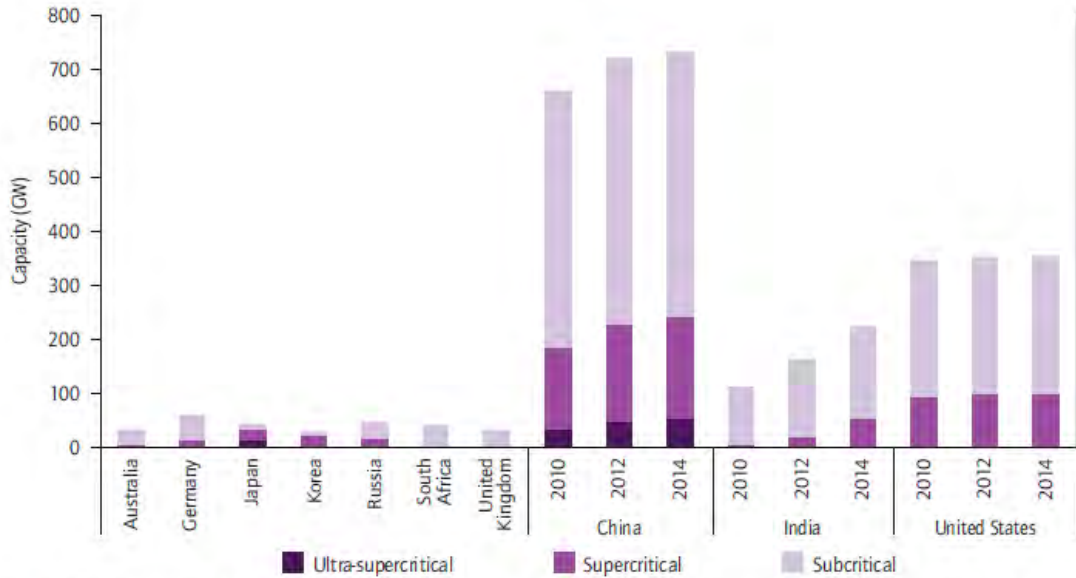
表 V-7 : ガス火力の新規導入量 (2015年-2050年)

GW	世界計	北アメリカ	中南米	欧州	旧ソ連	アフリカ	中東	中国	日本	印度	ASEAN	オセアニア
2015	372	134	26	18	84	17	33	27	4	4	14	2
2020	339	111	31	16	29	30	41	39	2	8	19	3
2025	363	99	34	20	33	37	33	50	14	11	20	3
2030	383	80	38	27	20	39	46	54	13	16	30	3
2035	380	50	42	36	18	44	52	51	10	21	31	5
2040	373	34	49	35	21	50	56	40	8	26	37	5
2045	438	45	44	39	19	61	82	52	9	36	32	7
2050	403	50	46	29	28	60	72	31	4	40	30	5
合計	3,051	603	308	221	251	337	415	343	63	162	212	32

出所) 調査団作成

IEA のレポートにおいて、主要国における 2010 年度の超臨界 (SC) 及び超々臨界 (USC) 石炭火力発電の導入容量をみると、以下のとおりであった。2010 年度の石炭火力の発電容量は 1600GW 以上であり、その 75%以上が亜臨界圧 (Sub-C) であった。そのほとんどが、25 年以上の年数が経過しており、かつ規模も 300MW かその以下の小さなものとなっていた。当時、新たな亜臨界圧の発電効率は 38% (LHV、net) となっていたが、既設の発電所は 20%から 25%と想定された。これは、地理的条件、オペレーションの条件、経過年数等により異なるものである。多くの亜臨界圧発電所 (Sub-C) はすでに投資回収が終わっており、新たに作られるものは、途上国が中心であった。

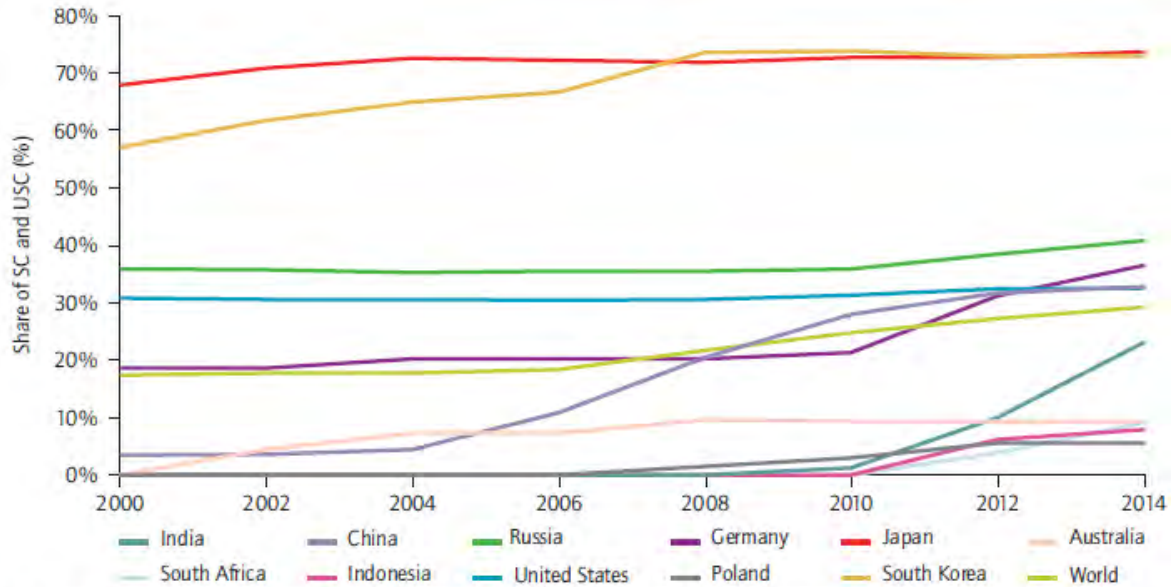
図 V-32：石炭火力の発電容量（技術類型別）（2010年度、中印米は2010年、2012年度及び2014年度）



Note: Refers to capacity in 2010 unless specified otherwise. Definitions of subcritical, supercritical (SC) and ultra-supercritical (USC) technology are described in Box 3.  
Source: Platts, 2011.

出典：Technology Roadmap High-Efficiency, Low-Emissions Coal-Fired Power Generation (IEA, 2012)

図 V-33：The share of supercritical and ultra-supercritical capacity in major countries



Note: For India, achieving 25% SC and USC by 2014 is an ambition, with perhaps up to 10% likely to be achieved in practice.  
Source: Analysis based on data from Platts, 2011.

出典：Technology Roadmap High-Efficiency, Low-Emissions Coal-Fired Power Generation (IEA, 2012)

上の折れ線グラフのとおり、従来、発電効率の向上に力を入れた国は、2000年以前にSCを導入した日本や韓国など一握りであったが、中国は石炭火力発電の急激な増加に伴い、

2004年以降、SCとUSCの割合を増加させていき、インドも同様に2010年以降、SCを導入するようしており、SCの割合を急に増加させている。

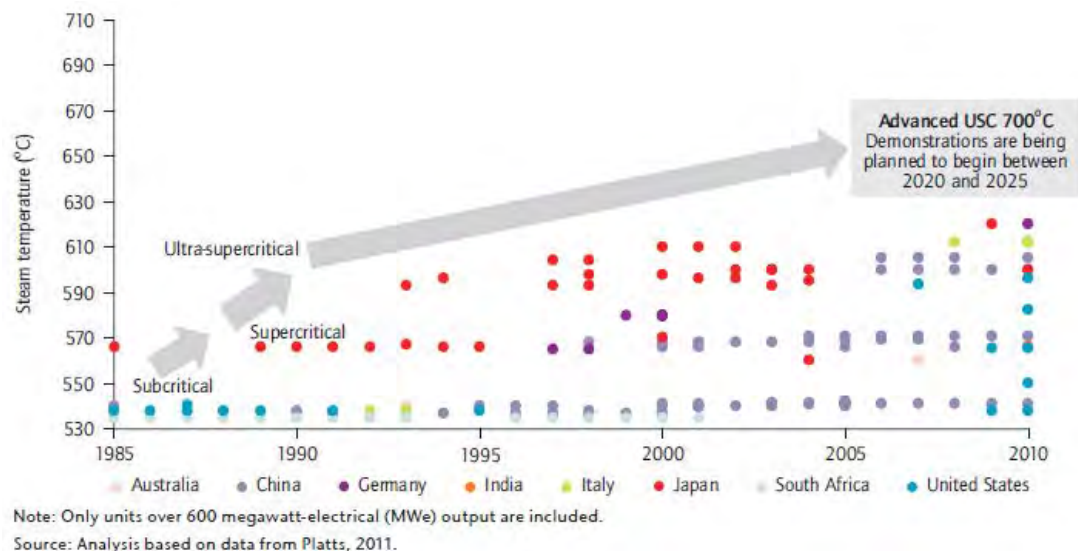
日本における高効率化に向けた火力発電の技術開発は、以下の段階で進んでおり、この技術開発との関連で見ると、途上国においては、先進国における技術開発から10年以上経ってから、先進技術を導入する場合があることがわかる。

火力発電の高効率化に向けた技術開発の進展

	第1世代	第2世代	第3世代
共通要素	シングルサイクル 単一ガスタービン(GT) /単一蒸気タービン(ST)	コンバインドサイクル(複合発電) ガスタービン+蒸気タービン	トリプルコンバインドサイクル (燃料電池複合発電) 燃料電池+ガスタービン+蒸気タービン
LNG火力	GT/ST(1950s~) AHAT(2010s~) ※ AHAT: 高温分空気利用ガスタービン	1100℃級GTCC(1980s~) 1700℃級GTCC(2020s~) 1800℃超級GTCC	GTFC(2020s~)
石炭火力	SUB-C(1950s) SC(1970s) USC(1990s) A-USC(2010s~)	1300℃級IGCC(2010s~) 1800℃級IGCC 革新的IGCC	IGFC(2020s~)

出典：次世代火力発電に係る技術ロードマップ 次世代火力発電の早期実現に向けた協議会（平成28年6月）

図 V-34：微粉炭燃料ボイラーでの最先端蒸気条件の適用推移

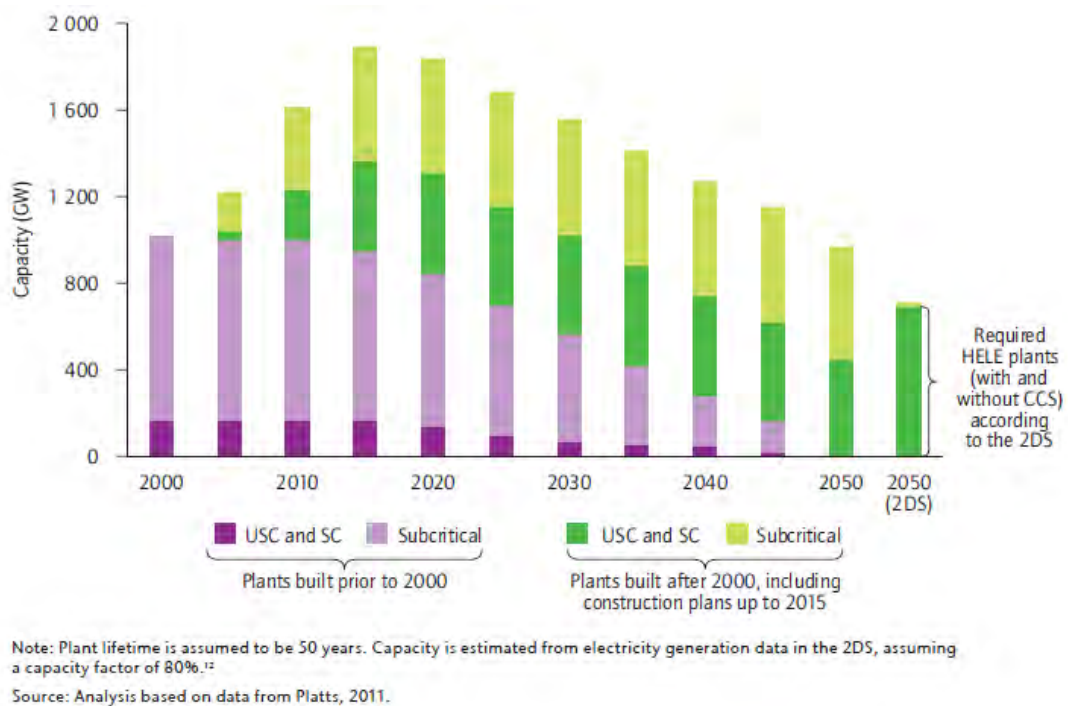


出典：Technology Roadmap High-Efficiency, Low-Emissions Coal-Fired Power Generation (IEA, 2012)

上図は、600MWe以上の発電容量において、国別に見た先進的な高効率石炭火力発電の導入状況を示したものである。これによる、日本が1990年くらいからSCを導入し始め、1995年にはUSCに移行していることが分かる。一方、中国では2000年くらいからSCが本格導入となり、2005年以降においてUSCに移行している。

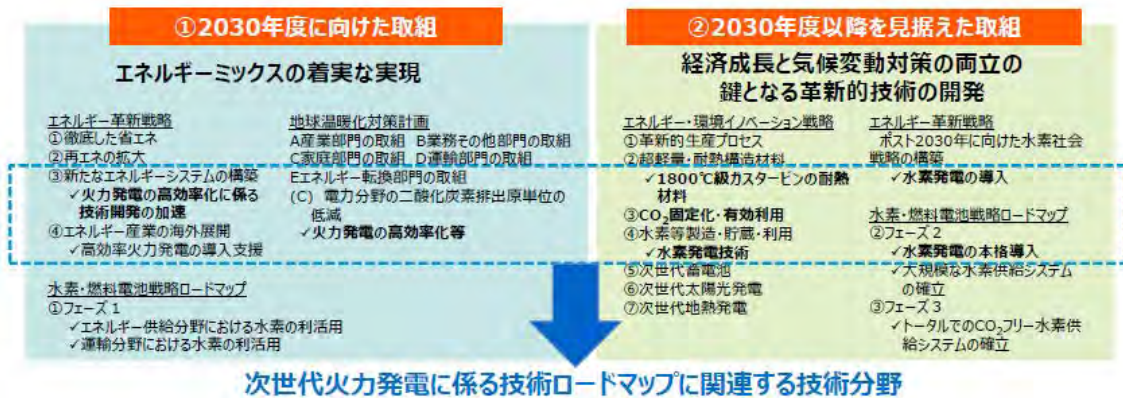
さらに、IEA では、2°Cシナリオ（2DS）に合致するために、2050年までの石炭火力発電所の導入種別は以下のように予測している。そこでは、火力発電の耐用年数を50年と仮定しているが、亜臨界圧など非効率な火力発電（平均CO<sub>2</sub>排出量1000g-CO<sub>2</sub>/kWh）は耐用年数を待たずに新たな高効率の火力発電（CO<sub>2</sub>排出量670g-CO<sub>2</sub>/kWh以下）に取り換えられることが重要とされている。さらに、CCSと組み合わせた発電所となるよう、高効率石炭火力導入を図っていくこととしている。

図 V-35 : 2050年までの石炭火力発電の容量予測

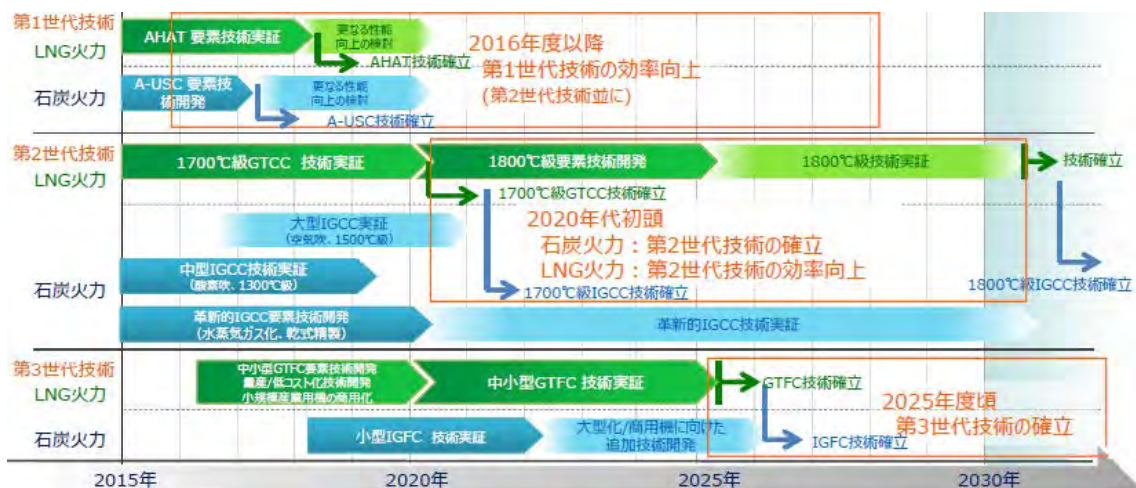


出典：Technology Roadmap High-Efficiency, Low-Emissions Coal-Fired Power Generation (IEA, 2012)

このような国際的な状況も踏まえ、我が国の「次世代火力発電の技術ロードマップ」においては、2030年度に向けた短中期の技術開発の対象を石炭火力、LNG火力に係る高効率化技術とし、2030年度以降を見据えた長期の技術開発の対象をCCUS技術及び水素発電技術と位置づけ、開発を行っていくこととしている。（CCUSについては、後述）



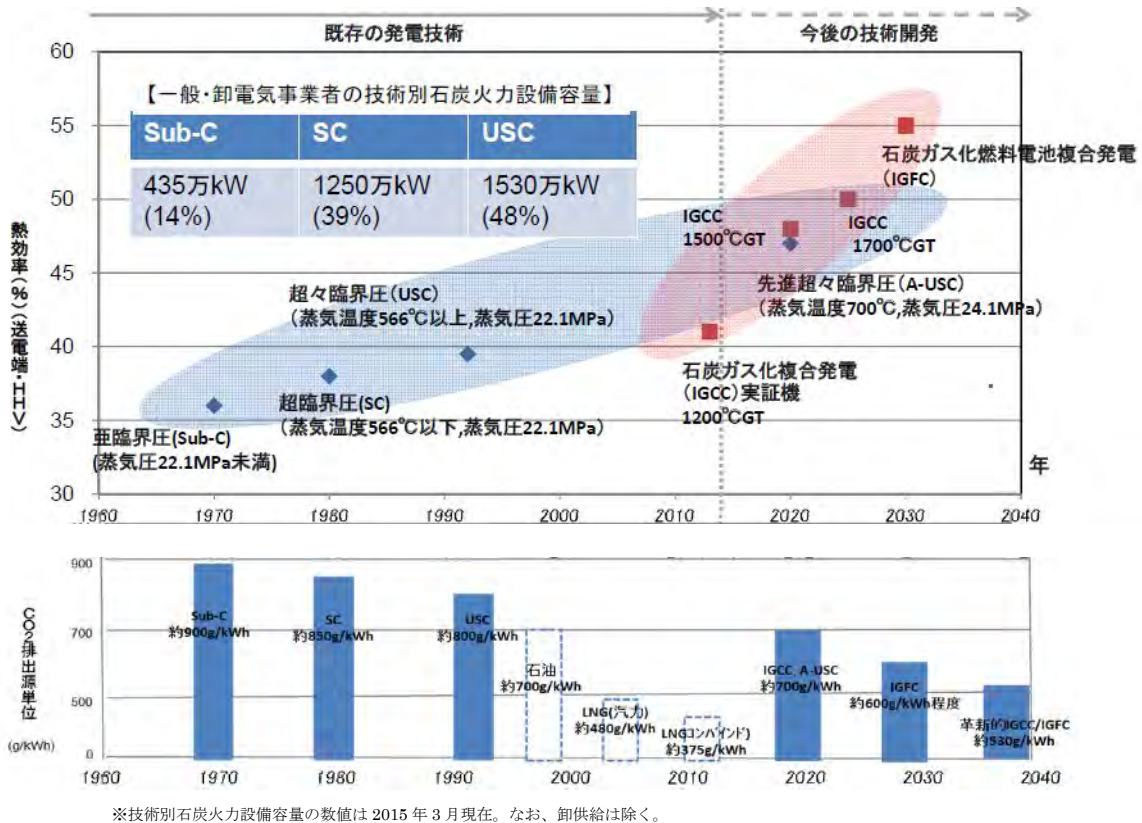
出典：次世代火力発電に係る技術ロードマップ 次世代火力発電の早期実現に向けた協議会（平成28年6月）



出典：次世代火力発電に係る技術ロードマップ 次世代火力発電の早期実現に向けた協議会（平成28年6月）

（参考1）火力発電の特性

我が国の石炭火力発電では、約半数が USC（2015.3 時点で 1,530 万 kW）となっており、微粉炭火力の超々臨界圧（USC）が最高効率の技術として実用化されている。各技術種別による熱効率（蒸気温度、蒸気圧）、CO<sub>2</sub> 排出原単位は以下のとおりである。



Source: 長期エネルギー需給見通し小委員会 資料“火力発電における論点”(資源エネルギー庁、平成 27 年 3 月)

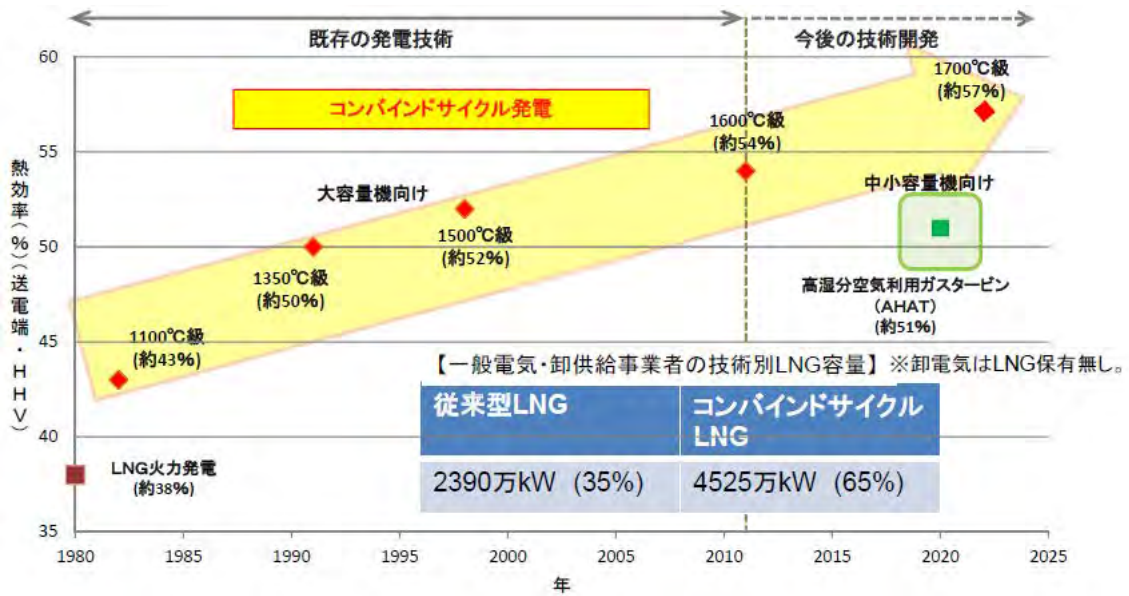
なお、日本企業は、国内における火力発電の開発に当たって、プラント規模に応じて、経済的に利用可能な裁量の技術 (BAT : Best Available Technology) に努めている。2014 年度時点において、BAT の参考として以下が挙げられている。

フェーズ	燃料	発電方式	発電規模 (kW)	設計熱効率率 (%、LHV)	
				発電端	送電端
(A) 商用運転中	石炭	微粉炭火力(超々臨界圧(USC))	60万kW級	44	41
	LNG	ガスタービンコンバインドサイクル (GTCC、1500℃級、一軸型)	50万kW級	59	58
(B) 着工済・アセス中	石炭	微粉炭火力(超々臨界圧(USC))	60万kW級	44.5	42.5
	LNG	ガスタービンコンバインドサイクル (GTCC、1600℃級、一軸型)	50万kW級	62	61
(C) 開発・実証段階	石炭	石炭ガス化複合発電 (IGCC、空気吹き、1,500℃級)	40~50万kW級	—	48
	LNG	ガスタービンコンバインドサイクル (GTCC、1700℃級)	60万kW級	—	63

出典：火力発電における省エネルギー対策の取組み (電気事業連合会、平成 27 年 9 月 3 日、経済産業省 検討会資料)

一方、高効率ガス火力については、日本では約 65%(2015.3 月時点)がコンバインドサイクル LNG となっており、また、世界に先駆けて 1500℃級のガスタービンを実用化し、大容量

機向けには1700℃級ガスタービン（熱効率57%、HHV）、中小容量機向けには高温分空気利用ガスタービン（AHAT）を開発し、実用化を目指している。

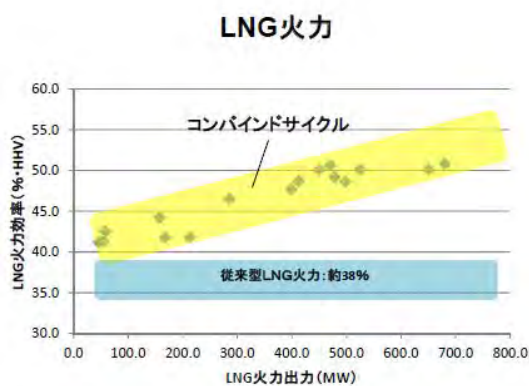


※コンバインド/従来型の数値は2015年3月現在

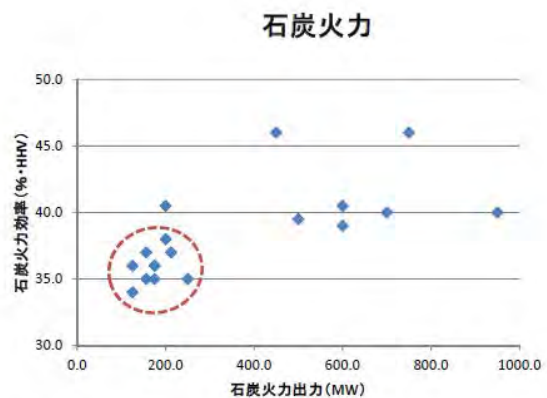
Source: 長期エネルギー需給見通し小委員会 資料“火力発電における論点”（資源エネルギー庁、平成27年3月）

また、火力発電は、設備容量の規模や利用技術によって効率が変化し、一般的には以下のとおり、規模が小さくなるほど効率が悪化する傾向にある。このことから、大規模なUSCに早期に立て替えていくことで、電力の安定供給と効率の改善につながれると分かる。

LNG・石炭火力の規模・技術と熱効率の関係



出典: "Gas Turbine World 2014 Performance Specs 30th Edition"等



出典: BAT参考表(2014年4月)及びJSME分科会P-SCD353調べ[小型石炭火力部分](2005年9月)

Source: 長期エネルギー需給見通し小委員会 資料“火力発電における論点”（資源エネルギー庁、平成27年3月）

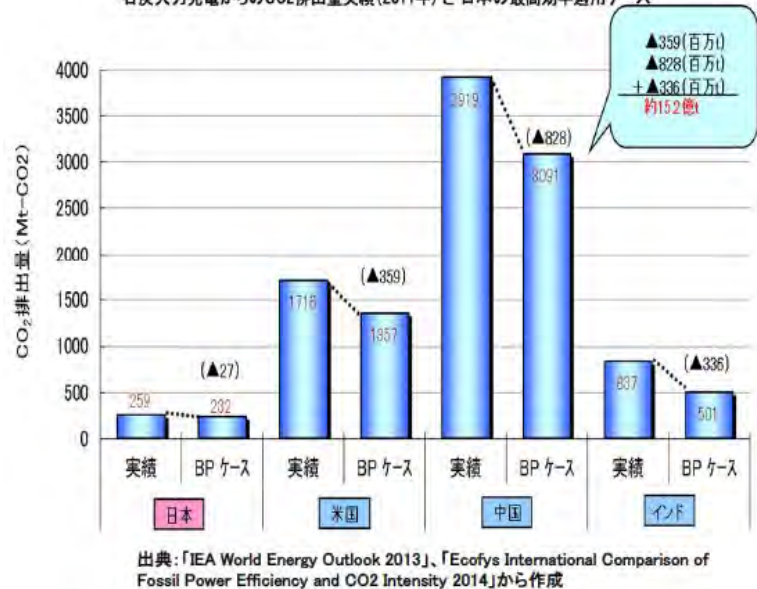
(参考2) 高効率火力への転換によるCO<sub>2</sub>削減効果<sup>22</sup>

□ 火力発電を高効率にするためには、高効率技術を導入するほか、運転・管理ノウハウも重要である。それらの相乗効果により、世界最高水準の発電効率を達成・維持できている。経済産業省の2011年を基準とし

た試算では、日本で運転中の最新式の石炭火力発電の効率を米、中、印の石炭火力発電に適用すると、CO<sub>2</sub>削減効果は、約15億トン<sup>23</sup>であった。

□ 相手国の産業構造に合わせた高効率石炭火力技術の技術移転や、O&Mもセットにしたシステム輸出により、わが国の高効率石炭火力の海外展開を進めるとともに技術競争力の維持を図ることが重要とされている。

石炭火力発電からのCO<sub>2</sub>排出量実績(2011年)と日本の最高効率適用ケース



出典：次世代火力発電に係る技術ロードマップ 次世代火力発電の早期実現に向けた協議会（平成28年6月）

IEAのETP2010では、世界全体で2050年に2005年比でCO<sub>2</sub>排出量を半減させるためのエネルギー・環境技術の構成が分析されている（BLUEシナリオ）が、高効率石炭火力発電によるCO<sub>2</sub>削減効果（CCSを除く）は、以下となっている。

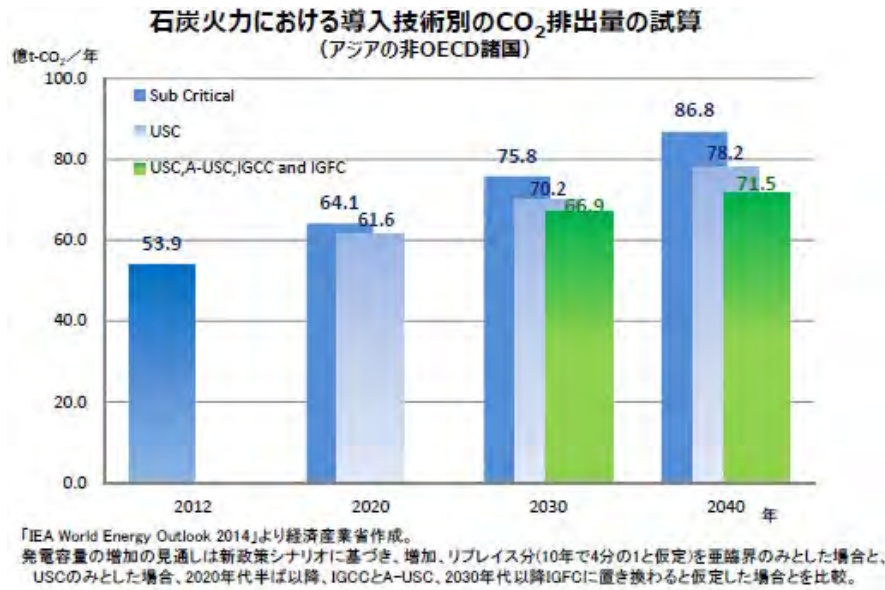
- ・SC/USCの導入：0.42Gt・CO<sub>2</sub>（発電分野による削減の3%）
- ・IGCCの導入：0.56Gt・CO<sub>2</sub>（同、4%）

特に石炭火力の需要が増大するアジア諸国において、次世代火力発電技術が普及すればCO<sub>2</sub>削減の効果は大きい。

<sup>22</sup> 次世代火力発電に係る技術ロードマップ 次世代火力発電の早期実現に向けた協議会（平成28年6月）、IEA他

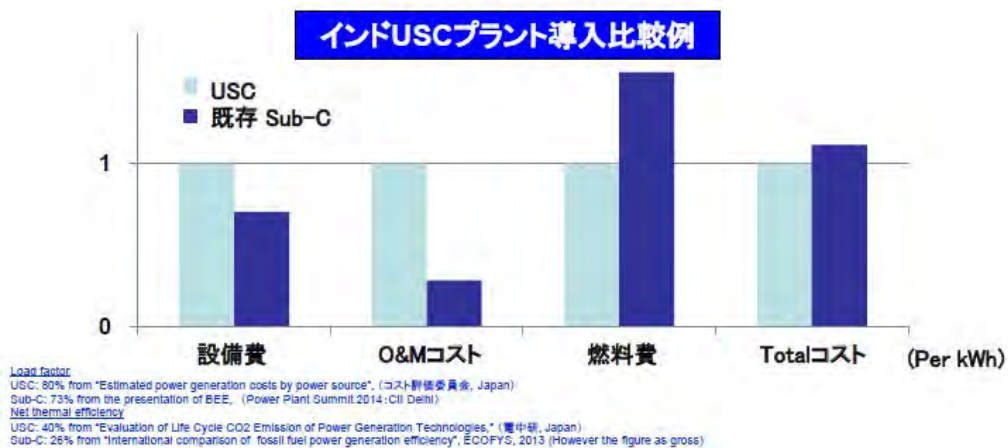
<sup>23</sup> （参考）平成27年度の日本全体におけるCO<sub>2</sub>排出量は、13億2,100万トンである。





出典：次世代火力発電に係る技術ロードマップ 次世代火力発電の早期実現に向けた協議会（平成 28 年 6 月）

また、海外における USC を導入することの効果として、以下の例が挙げられる。当該資料によると、適切な O&M で高効率・高利用率を維持することで、kWh 当たりの燃料費を削減し、トータルでのコストを既存設備よりも低減できる。



出典：NEDO 石炭高効率利用システム案件等形成調査事業 発表資料（平成 28 年 7 月 14 日）

さらに、国内において、ガスタービンの改修工事による熱効率の改善により、省エネ効果を発揮した事例については、以下のとおりとなっている。

## ＜ガスタービン更新による熱効率の向上事例＞

対象発電所	実施時期	実施内容
横浜火力発電所 7.8号系列(東京)	2015～ 2018年	出力35万kW、1基分のガスタービン更新を実施 (高中圧蒸気タービンの取替も実施、残り7基も 今後実施予定) 熱効率:54.1%⇒55.8% 定格出力:35.0万kW⇒37.7万kW
川越火力発電所 3号系列(中部)	2014～ 2017年度	出力24.3万kW、4基分のガスタービン更新を 実施(残り3軸も今後更新予定) 熱効率:従来比で1.4%上昇
柳井発電所 1号系列(中国)	2010～ 2015年	出力12.5万kW、6基のガスタービン更新を実施 熱効率:43.3%⇒47.4%
新大分発電所 1号系列(九州)	2009～ 2017年度	出力11.5万kW、4基分のガスタービン更新を 実施(残り2基も今後更新予定) 熱効率:43.0%⇒46.3%

出典：火力発電における省エネルギー対策の取組み（電気事業連合会、平成27年9月3日、経済産業省 検討会資料）

## ④国際競争力

コスト競争力に関して、海外における火力発電（送配電を含む）の価格競争力を調査した結果が以下の表に示されている。これによると、SC、GTCC、送配電、いずれも、日本企業の価格競争力は、欧米企業と比して同等か高いものとなっている。また、USCにおいては、欧米企業に比し、やや優位か肩を並べるものとなっているが、大きな差異はなく、競争が激しいものとなっている。

また、中国及び韓国勢と比した場合には、コストは1～2割ほど差がついている。このため、入札の評価が価格面を重視するような国の場合には、日本企業が獲得することは難しくなっている。

日本企業の場合、途上国進出においても、その時々 BAT (Best Available Technology) で建設していくことにしており、価格競争になってしまう案件には積極的に参加しないものと考えられる。途上国のうちベトナムなど、石炭火力であれば、SC から USC に進歩している段階のところなど、より高性能の発電技術を求める場合に、商機を見出している。<sup>24</sup>

<sup>24</sup> 企業へのインタビュー等による。

電力分野関連機器のコスト比較  
(日本製品のコストを100とした指数)

※前提条件：1ドル100円。  
日本の重電メーカーに対してヒアリングを実施。

		日本	欧州	米国	韓国	中国
超々臨界 石炭火力発電	蒸気タービン	100	102	102	91	(80)
	ボイラー	100	101	101	93	(83)
	建設	100	99	101	91	81
亜臨界 石炭火力発電	蒸気タービン	100	100	100	91	80
	ボイラー	100	99	99	91	80
	建設	100	99	101	90	79
ガスタービン・コンバインドサイクル (GTCC)	ガスタービン	100	98	97	-	(77)
	ボイラー	100	91	93	88	85
	建設	100	97	99	90	77
送配電	送電	100	87	91	81	75
	変電	100	94	100	87	80
	配電	100	90	95	87	78

出所：経済産業省「平成25年度製造業技術実態等調査（重電機器の輸出促進に関する調査）」

出典：平成27年度エネルギー需給緩和型インフラシステム普及等促進事業（インフラシステム輸出に係る競争力強化等に向けた調査事業）（三菱総合研究所）

また、O&Mについても差別化を図っていくことが重要であるが、以下の図にあるように、石炭火力については通常のサービスではコモディティ化しているため差別化が難しく、IGCC等の新技術であれば、O&Mから収益を得ることができる可能性はあるとしている。

今後は、ICT<sup>25</sup>を活用した遠隔監視等により、予防的なO&Mをその人材育成を兼ねて途上国に提供していくことが考えられる。

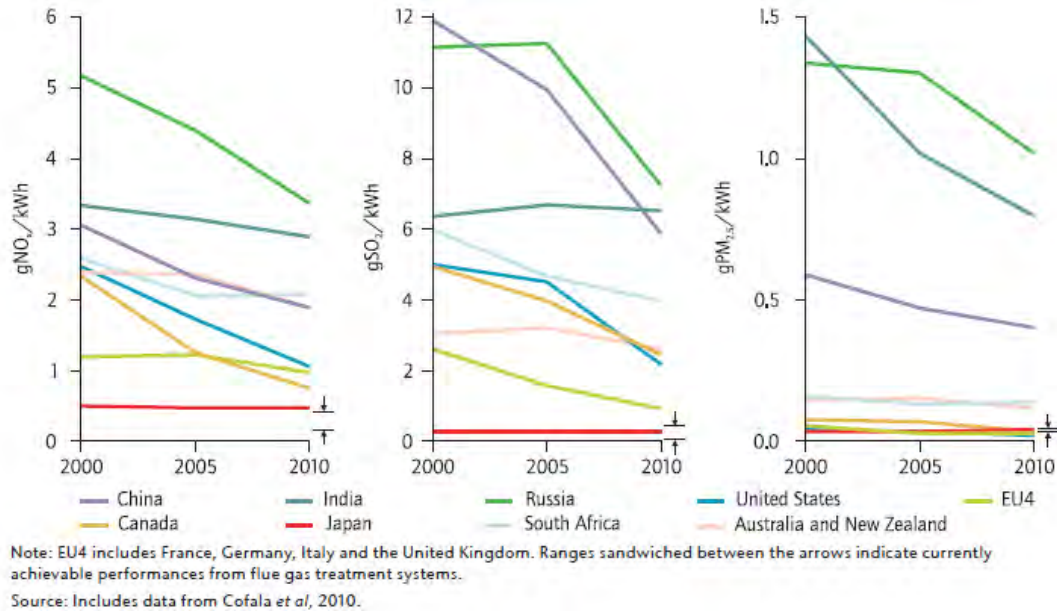
	石炭	ガス
大型 (石炭：500MW～ ガス：200MW～)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O&amp;M技術はコモディティ化</li> <li>• 現地のO&amp;M会社/電力会社がO&amp;Mを実施</li> <li>• 日本メーカーのO&amp;Mは過剰品質・高コスト</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 大型で非常に高価な機器であるため、各社適切なO&amp;M体制を構築</li> </ul>
中型 (石炭：200MW～500MW ガス：100～200MW)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• ベースロード電源であり、焚き方の工夫の余地が少なく、ICT活用による差別化が困難</li> </ul>
小型 (石炭：～200MW ガス：～100MW)	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ボリュームゾーンで導入数が多いため、O&amp;Mの現地化（代理店、M&amp;A）により、コスト差別化の余地が大きい</li> <li>• ピーク電源であるため、ICT活用により、焚き方を変え、収益性を向上させる余地がある</li> </ul>

出典：平成27年度エネルギー需給緩和型インフラシステム普及等促進事業（インフラシステム輸出に係る競争力強化等に向けた調査事業）（三菱総合研究所）

さらに、環境配慮型の火力発電としては、CO<sub>2</sub>のみならず、NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> 及びPM 排出量についても日本の水準は高いものとなっている。

<sup>25</sup> Information and Communication Technology

図 V-36 : 石炭火力からの NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> 及び PM 排出量



出典 : Technology Roadmap High-Efficiency, Low-Emissions Coal-Fired Power Generation (IEA, 2012)

このように IGCC 等の高効率火力発電の導入による環境の改善効果についても、途上国の政府や市民等にアピールし、高効率火力発電の導入を早めていくことが需要である。

図 V-37 : 環境配慮型の石炭火力発電のパフォーマンス<sup>26</sup>

Fuel type	Plant type	Emissions				Max. unit capacity (MWe)	Capacity factor (%)	CCS energy penalty (%-points)
		CO <sub>2</sub> (g/kWh)	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	PM			
Coal	PC (USC)	740	<50 to 100 (by SCR)	<20 to 100 (by FGD)	<10	1 100 <sup>3</sup>	80	7 to 10 (post-combustion and oxy-fuel)
	CFBC	880 to 900	<200	<50 to 100 (in situ)	<50	460	80	
	PC (A-USC) <sup>1</sup>	670 (700°C)	<50 to 100 (by SCR)	<20 to 100 (by FGD)	<10	<1 000 (possible)	-	
	IGCC <sup>1,2</sup>	670 to 740	<30	<20	<1	335	70	7
	IGFC <sup>1</sup>	500 to 550	<30	<20	<1	<500	-	

<sup>1</sup> Under development.

<sup>2</sup> Only six IGCC plants currently in operation.

<sup>3</sup> In operation (sliding pressure-type).

Note: For the successful realisation of IGFC, the development of reliable fuel-cell technology is essential.

Source: Includes data from IEA, 2011a; Henderson and Mills, 2009; and VGB, 2011. Source: VGB, 2011.

出典 : Technology Roadmap High-Efficiency, Low-Emissions Coal-Fired Power Generation (IEA, 2012)

<sup>26</sup> Circulating Fluidized Bed Combustion (CFBC)

⑤途上国進出の課題<sup>27</sup>

日本企業が展開を行っている途上国は、インドネシア、マレーシア、ベトナム、タイ、ミャンマーなどの東南アジアを始めとして、中東、インド、アフリカなど、多様である。今後重視する国や地域としても、SC及びUSCの導入が進む東南アジア諸国の他、ガス火力を含め、アフリカなどにも積極的に展開を行っていくことが想定される。また、進出の方式としては、製造、EPC、調達、販売等も現地で展開することが考えられる。

日本企業による途上国進出の課題としては、以下のとおりが挙げられる。

- 欧米の競合他社による現地化。
- 現地行政等の事務処理能力が遅い、手続に時間がかかる。
- 上流側契約に関する政府側意思決定が遅い。
- 大規模発電所に合ったグリッドのスペックがない。
- 据付等の人材の確保が大変。
- 国によってはイニシャルコストを重視するため、価格で安いものが落札されてしまう。(特にSCは中国企業等が参入)
- 環境問題が発生する可能性がある。

また、OECD加盟国は石炭火力発電所輸出への公的金融機関による融資を制限することで合意しており、今後融資を認められるのは、発電効率の高い「超々臨界圧」や、低所得国や島諸国向けなどの「超臨界圧」と呼ばれる技術を使う設備などに限られ、低効率の設備は原則として禁止されている。そのため、今後、USC以上の高効率火力が伸びていく可能性が高いといえる。

ただし、高効率火力の導入のタイミングとしては以下の事項が参考になる。

- インフラの質とイニシャルコストのどちらかを重視するかは対象国次第である。
- インドネシアのPLN（国有電力会社）のロードマップ上は、IGCCを2020年までに評価とあるので、導入はそれ以降。
- USCは導入までのタイミングにラグがある。ただし、近年、タイムラグはどんどんなくなっている印象がある。
- ガスタービンほぼ同時に導入される事が多く、先進国とのタイムラグはない。
- 実績数を重視する国もあるため、そういった国ではIGCCは後回しになる可能性が高い。

<sup>27</sup> 企業へのインタビュー、HP等による。

< OECD における公的資金の利用制限 >

**Maximum repayment terms**

<b>PLANT UNIT SIZE (gross installed capacity)</b>	<b>Unit &gt; 500 MW</b>	<b>Unit ≥300 to 500 MW</b>	<b>Unit &lt; 300 MW</b>
Ultra-supercritical ( <i>i.e.</i> , with a steam pressure >240 bar and ≥593°C steam temperature), OR Emissions < 750 g CO <sub>2</sub> /kWh	12 years <sup>1</sup>	12 years <sup>1</sup>	12 years <sup>1</sup>
Supercritical ( <i>i.e.</i> , with a steam pressure >221 bar and >550°C steam temperature), OR Emissions between 750 and 850 g CO <sub>2</sub> /kWh	Ineligible	10 years, and only in IDA-eligible countries <sup>1,2,3</sup>	10 years, and only in IDA-eligible countries <sup>1,2,3</sup>
Subcritical ( <i>i.e.</i> , with a steam pressure < 221 bar), OR Emissions > 850 g CO <sub>2</sub> /kWh	Ineligible	Ineligible	10 years, and only in IDA-eligible countries <sup>1,3</sup>

出典：SECTOR UNDERSTANDING ON EXPORT CREDITS FOR COAL-FIRED ELECRCITY  
GENERATION PROJECTS (OECD)

## ⑥政策支援

これらの状況を踏まえ、ロードマップの策定を行った。我が国の先進技術を途上国へ導入することを政策として後押しするために、例えば IEA では以下のようなマイルストーンを紹介している。

<b>This roadmap recommends that governments implement policies to encourage action in the following areas:</b>	<b>Milestones</b>
Retrofit of low efficiency units to higher efficiency (case by case).	2012-20
Reduce to a minimum generation from low efficiency plants (by setting lower limit of operating efficiency or higher limit of CO <sub>2</sub> emissions factor).	2012-20
Low-energy, lignite pre-drying.	2013
Dry FGD to minimise water consumption, particularly in dry regions (is likely to be dictated by economics).	2015
Dry gas cleaning for IGCC.	2020
All new PC combustion units >300 MWe should be USC. All CFBC units >300 MWe should be USC.	2020
Demonstration of 700°C steam conditions on PC combustion in early-2020s; with significant deployment from mid-2020s.	2025
Development of breakthrough technologies for next generation CCS, e.g. chemical looping and ion transport membrane.	2030
By 2030, emissions targets of: <ul style="list-style-type: none"> <li>● NO<sub>x</sub> &lt;10 mg/Nm<sup>3</sup>.</li> <li>● Particulates &lt;1 mg/Nm<sup>3</sup> (0.1 mg/m<sup>3</sup> for IGCC);</li> <li>● SO<sub>2</sub> &lt;10 mg/Nm<sup>3</sup>.</li> </ul>	2030

出典：Technology Roadmap High-Efficiency, Low-Emissions Coal-Fired Power Generation (IEA, 2012)

以外のような技術面以外にでも、政策面として以下のことが挙げられる。

- ・ 非効率な火力発電の早期代替の促進（規制・枠組み・税制・目標の策定等）
- ・ 高度な O&M の達成のために効率的な運転のノウハウに関する人材育成
- ・ 遠隔監視・予防措置に関する IoT の整備支援
- ・ 最先端の高効率火力発電への優先的な資金援助（GCF 等との連携を含む）

(参考)

### 発電所におけるICT活用

**<概要>**  
 ✓センサ、ビッグデータ分析、AI等の活用により、発電所における不適合の予防、運転・保守の最適化、運用性の改善（例：需給予測による供給調整）等を図り、発電効率等を向上させることで、CO2排出量を削減する。  
 (三菱日立パワーシステムズ)

(出典) 三菱日立パワーシステムズ

出典：海外展開戦略タスクフォース 中間整理案 長期地球温暖化対策プラットフォーム 「海外展開戦略タスクフォース」2016年12月22日



## 3.5. CCS/CCU

①技術の特色<sup>28</sup>

CCS,CCU	English Name	日本語名	特徴	技術確立時期
炭素回収・貯蔵 (Carbon dioxide Capture and Storage)	CCS - Enhanced Oil Recovery	石油増進回収 (CCS-EOR) ※	二酸化炭素を海洋油ガス田において油ガス層に圧入・貯蔵することにより、二酸化炭素を地中に閉じ込めるとともに、石油・天然ガスを増産する技術 (CCS-EOR)。近年の研究にて、油層 (貯留岩層) 内に炭酸ガス等を圧入することで、地下の石油の性状を変化させて原油回収率が大幅に改善されることが確認されている。	技術確立済み
	Oxy-fuel combustion	酸素燃焼法	空気分離により酸素を製造し、CO <sub>2</sub> リッチの排ガスをボイラーへ再循環させながら、燃焼温度を下げた燃焼させる。排ガス中のCO <sub>2</sub> 濃度は濃縮され95%程度まで上がり、CO <sub>2</sub> を90%以上回収することが可能。	技術確立済み
	Chemical absorption	化学吸収法	化学吸収法は、CO <sub>2</sub> と液体との化学反応を利用して分離回収する方法。ポストコンパクション(*1)にはアミン系吸収液などが、プレコンパクション(*2)にはN-メチルジエタノールアミン(MDEA)をベースにした吸収液がすでに実用化されている。処理ガス中のCO <sub>2</sub> 分圧が低い場合でも比較的多くCO <sub>2</sub> を吸収できる。国内では、苫小牧実証試験にて日本CCS調査株式会社等により採用されている。	技術確立済み
	Physical absorption	物理吸収法	CO <sub>2</sub> を液体中に溶解させて分離回収する方法。吸収能は液体に対するCO <sub>2</sub> の溶解度に依存する。物理吸収法は吸収能が溶解度に依存するため、CO <sub>2</sub> 分圧が高いほど有利となり、プレコンパクションに適する。	2020
	Solid absorption (solid sorbent)	固体吸収法 (固体ソルベント法)	固体吸収材、吸着材によるCO <sub>2</sub> 分離回収技術。多孔質担体にアミン吸収剤を含浸させたり、CO <sub>2</sub> 吸収能のある固体剤を吸着させたものや、CO <sub>2</sub> 吸収能をもつ固体粒子そのものを使用する方法がある。多孔質担体を含浸もしくは吸着させた吸収材を利用すれば、殆ど水を使用しないことから、固体吸収材の再生エネルギーの低減が期待できる。	2020
	Membrane separation	膜分離法	分離機能を持つ固体の薄膜を利用し、その透過選択性を利用して混合ガスの中から対象ガス (CO <sub>2</sub> ) を分離する方法。分離の駆動力は分圧差であるため、プレコンパクション方式に適する。ガス圧を利用することから、吸収法と比較して省エネ、低コストが期待できる。分離膜にはH <sub>2</sub> 透過膜とCO <sub>2</sub> 透過膜の2種類ある。	2030
炭素回収・利用 (Carbon dioxide Capture and Utilization)	Micro-algae	微細藻類	水中に生息する藻類のうち、光合成により増殖する際に燃料を生産する性質を持つ藻類を利用して、バイオ燃料を生産する技術。太陽光のエネルギーを利用してCO <sub>2</sub> を燃料に変換することができる。単位面積当たりのエネルギー生産量は、バイオ系では最大で、パーム油や菜種油と比較しても高い生産性をもつ。	2020年代後半以降
	Artificial photosynthesis	人工光合成	植物の光合成と同じように、光子を直接化学エネルギーに変換する技術。光触媒や光電極を用いた水素製造 (ソーラー水素製造) が代表的。光触媒や光電極で製造した水素は、水素分離膜などを用いて分離し、合成触媒などで水素とCO <sub>2</sub> から化学品原料である低級オレフィンを製造することができる。	2020年代後半以降

※1) Post-Combustion では、発電所のボイラー等から発生する燃焼排ガスより CO<sub>2</sub> を分離・回収する。

<sup>28</sup> 引用文献) CO<sub>2</sub> 回収、利用に関する今後の技術開発の課題と方向性、資源エネルギー庁平成27年6月次世代火力発電協議会 (第2回会合) 資料、次世代火力発電に係る技術ロードマップ 技術参考資料集 次世代火力発電の早期実現に向けた協議会 平成28年6月、環境省資料 <https://www.env.go.jp/earth/ccs/attach/mat03.pdf>、海洋油ガス田における二酸化炭素回収・貯蔵による石油増進回収技術国際共同実証事業 プロジェクト終了時評価補足資料 資源エネルギー庁 平成28年2月9日

※2) Pre-Combustion では、天然ガスの水蒸気改質や、天然ガス、石炭の部分酸化法等により、 $H_2$ 、 $CO$ 、 $CO_2$  を生成させ、燃焼前の燃料ガスを分離・精製することにより、あらかじめ  $CO_2$  を回収する。

※3) 上記の他、CCU の物理的な利用としては、炭層メタン回収 (ECBM)、高温岩体発電、工業利用 (溶接、飲料用など)、農業利用 (施設園芸における  $CO_2$  施用) などがある。

②ロードマップ<sup>29</sup>

CCS,CCU	日本語名	コスト見通し(*4)	日本技術の導入可能性	現在～2020	2020～2025	2025～2030	2030～2035	2035～2040
炭素回収・貯蔵 (Carbon dioxide Capture and Storage)	石油増進回収(CCS-EOR) ※	-	開発次第で、可能性あり					
	酸素燃焼法	3000円台/t-CO2	開発次第で、可能性あり					
	化学吸収法	4,200円/t-CO2	開発次第で、可能性あり					
	物理吸収法	2000円台/t-CO2	開発次第で、可能性あり					
	固体吸収法 (固体ソルベント法)	2000円台/t-CO2	開発次第で、可能性あり					
	膜分離法	1000円台/t-CO2	開発次第で、可能性あり					
炭素回収・利用 (Carbon dioxide Capture and Utilization)	微細藻類	-	開発次第で、可能性あり					
	人工光合成	-	開発次第で、可能性あり					

※3) 上表中のコスト試算は様々な仮定を基に行われており、将来の分離回収コストを予測するものではない。(出典：次世代火力発電に係る技術ロードマップ)

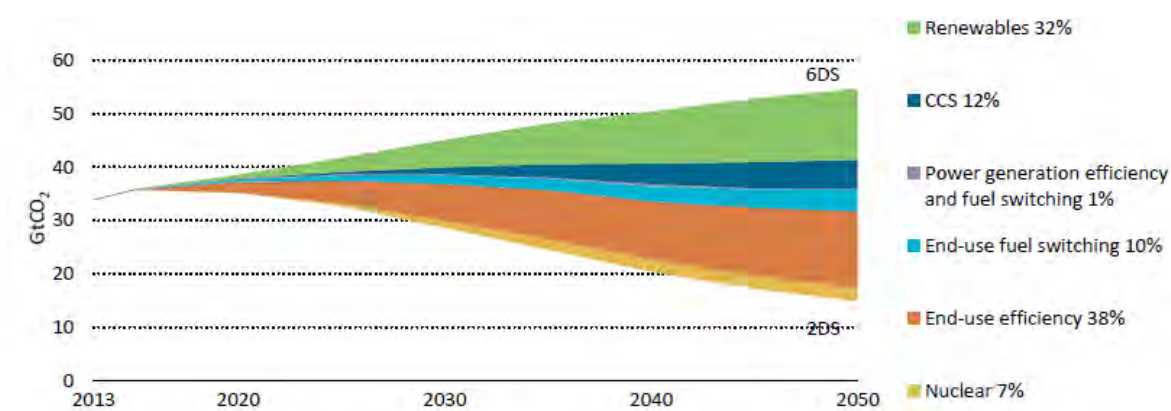
<sup>29</sup> 参考文献) CO2回収、利用に関する今後の技術開発の課題と方向性、資源エネルギー庁平成27年6月次世代火力発電協議会(第2回会合)資料、次世代火力発電に係る技術ロードマップ 技術参考資料集 次世代火力発電の早期実現に向けた協議会 平成28年6月、環境省資料 <https://www.env.go.jp/earth/ccs/attach/mat03.pdf>、海洋油ガス田における二酸化炭素回収・貯蔵による石油増進回収技術国際共同実証事業 プロジェクト終了時評価補足資料 資源エネルギー庁 平成28年2月9日

### ③CCS/CCUの開発と導入見込み<sup>30</sup>

IEAの2℃シナリオ(2DS)において、CCSは中心的な役割を果たすとされており、2050年に94ギガトン(Gt)の削減をCCSにより行うことになっている。そして、そのうち56%(52Gt)が電力部門でのCCSとなっており(その80%は石炭火力から生じたもの)、また31%(29Gt)が産業部門、14%(13Gt)が燃料の転換によるものとされている。

以下は、IEAによる6℃シナリオ(6DS)と2℃シナリオ(2DS)の差異をどの手法で埋めるかを示したものであるが、再生可能エネルギー、省エネの次にCCS(12%)が来ており、その貢献の重要性がうかがえる。

図 V-38 : 2050年までのCO<sub>2</sub>削減量(6DSと2DSとの差異)



Source: IEA (2016b), *Energy Technology Perspectives 2016*.

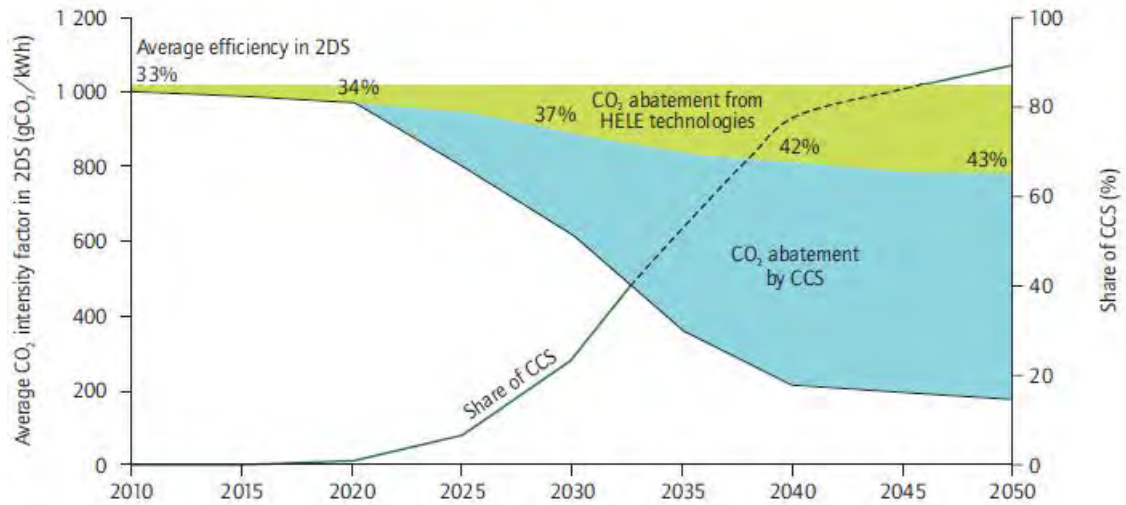
出典：20 Years of Carbon Capture and Storage (IEA, 2016)

また、IEAによると1,950GWの既存の石炭火力へのCCSの敷設が必要である。例えば、中国単独で、約900GWの石炭火力を保有するが、IEAはその1/3以上についてCCSによる改修が適するかアセスを行っている。さらに、石油増進回収(EOR)は、新たな収益源を生むため、CCSの主たる起爆剤として機能すると考えられる。EORは、米国のみならず、中東、東南アジア、中国においても試みがみられている。

石炭火力へのCCSによるCO<sub>2</sub>削減の効果としては、以下のグラフにおいても示されている。2DSでは、2050年までに90%の電源がCCSを敷設した高効率かつ低エネルギーの発電所となる必要があり、下図の2020年の1000g-CO<sub>2</sub>/kWh付近から2050年の200g-CO<sub>2</sub>/kWhまで排出原単位を下げるのが想定されている。

<sup>30</sup> 参照文献：Technology Roadmap High-Efficiency, Low-Emissions Coal-Fired Power Generation(IEA, 2012)、20 Years of Carbon Capture and Storage (IEA, 2016)、Technology Roadmap carbon capture and storage (IEA, 2013 edition)

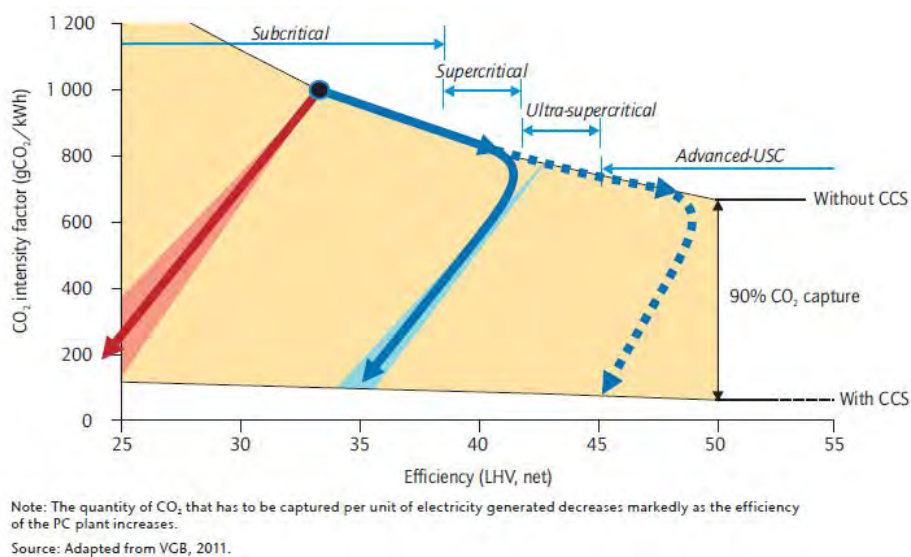
図 V-39 : 2DS での低 CO2 排出原単位の達成



出典 : Technology Roadmap High-Efficiency, Low-Emissions Coal-Fired Power Generation (IEA, 2012)

一方、CCS を既設の石炭火力につけることはサイト特有の事情などを考慮する必要があり、複雑な問題をかかえる。また、CCS により電力消費がなされるため、7~10%程度発電効率を悪化させてしまう（第2章参照）。ただし、既設で汎用している亜臨界圧（Sub-C）の発電効率が35%とすると、発電効率が45%のUSCは約25%CO<sub>2</sub>の回収量が減少するため、結果として高効率の火力発電の方がCCSの規模を縮小できるため、コスト的にも低減が可能と考えられる。以下、CCSによるCO<sub>2</sub>排出量回収と石炭火力の発電効率との関係イメージを示す。

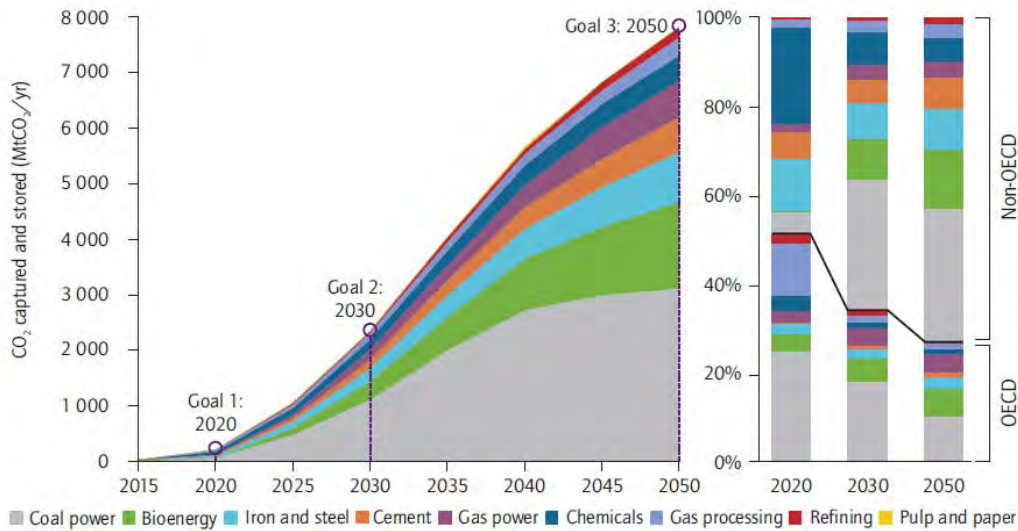
図 V-40 : CCS による CO2 排出量回収と石炭火力の発電効率との関係イメージ



出典 : Technology Roadmap High-Efficiency, Low-Emissions Coal-Fired Power Generation (IEA, 2012)

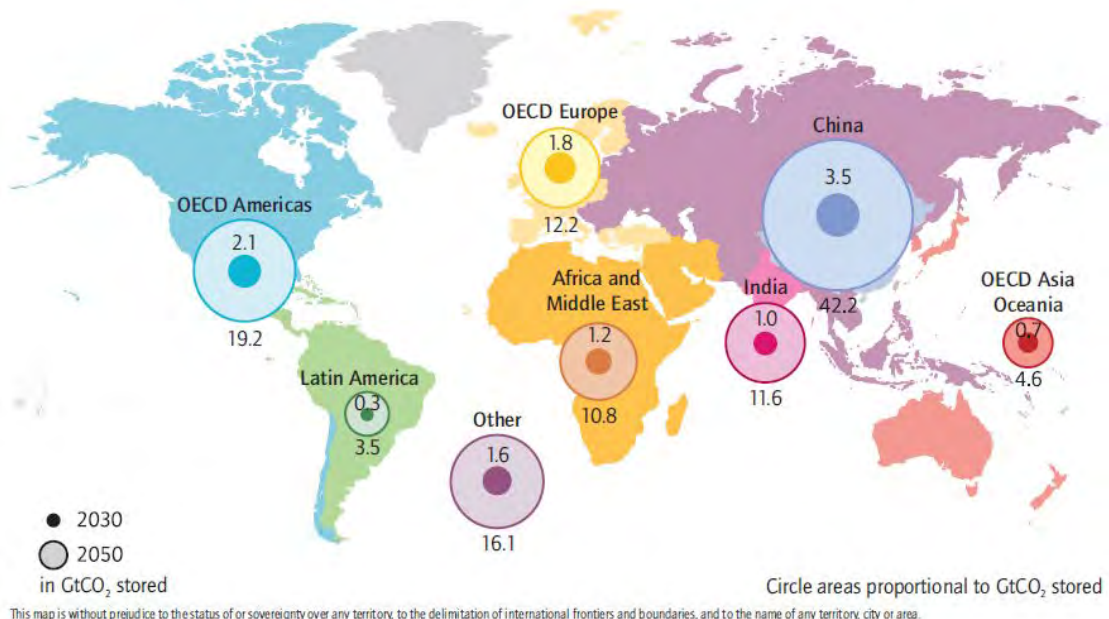
以下は、IEAによる2050年までの電力と産業セクター別のCCSによるCO<sub>2</sub>回収・貯蔵量の予測である。2050年までに非OECD諸国による削減が全体の約75%にのぼり、セクターとしては石炭火力発電、バイオエネジーと続いている。また、CCSの地域としては、中国、インド、中東及びアフリカが、非OECD諸国にて主要なCO<sub>2</sub>の回収地域となる。

図 V-41：2050年までの電力と産業セクター別のCCS（2DS）



出典：Technology Roadmap carbon capture and storage (IEA, 2013 edition)

図 V-42：2015-2030年及び2050年までのCO<sub>2</sub>回収量（2DS、地域別）

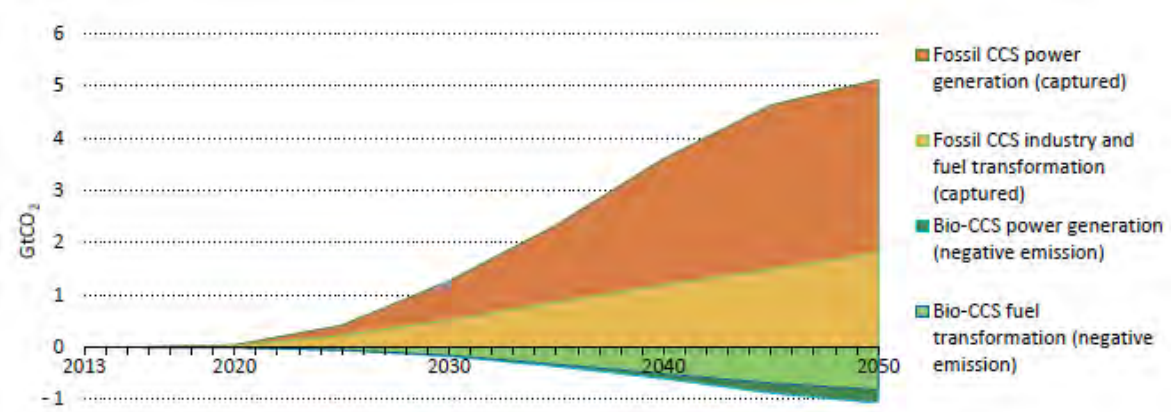


Note: geographic distribution of cumulative captured CO<sub>2</sub> is aligned with locations of large point sources of CO<sub>2</sub> emissions.  
Source: IEA, 2012c.

出典：Technology Roadmap carbon capture and storage (IEA, 2013 edition)

また、補足であるが、IEAでは、バイオマスの燃焼とCCSを一緒にしたBECCSがネガティブ・エミッションとして役割を担うとしている。BECCSは2050年までの累計で14Gt（2%）のCO<sub>2</sub>を回収するとしている。

図 V-43：ネガティブ・エミッション（2DS）



Source: Derived from IEA (2016b), *Energy Technology Perspectives 2016*.

Note: The chart is stylised to illustrate negative emission effect. In 2050, 6 GtCO<sub>2</sub> is captured, with 1 GtCO<sub>2</sub> of “negative emissions”.

出典：20 Years of Carbon Capture and Storage (IEA, 2016)

これらの予測を踏まえ、我が国の「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」によると以下のとおり、CCS/CCUは火力発電からのCO<sub>2</sub>排出量をゼロに近づける切り札として、長期的視点を持ちつつ、戦略的に推進するとされている。



出典：次世代火力発電に係る技術ロードマップ 次世代火力発電の早期実現に向けた協議会（平成28年6月）

図 V-44 : CCUS 技術（水素発電を含む）開発に関するロードマップ



出典：次世代火力発電に係る技術ロードマップ 次世代火力発電の早期実現に向けた協議会（平成 28 年 6 月）

また、開発の課題としては、CCS の実用化に係る技術は 2020 年頃に実用化が見込まれるが、実際に導入が拡大するにはその低コスト化が大きな課題としており、現在開発が進められている次世代の CO<sub>2</sub> 回収技術が順次実用化していくことで、2030 年頃にかけて大幅なコスト低減が期待されるとしている。

CCU は、回収した CO<sub>2</sub> を有価物の製造に利用する技術であり、現在、複数の分野で 技術開発が進められているが、現時点では CO<sub>2</sub> の大規模処理が困難であるものの、有価物の製造につながる点でコスト性に優れ、今後の技術革新により CO<sub>2</sub> の処理能力、有価物の製造効率が向上すれば将来の利用拡大が期待されるとしている。



出典：CO<sub>2</sub> 回収、利用に関する今後の技術開発の課題と方向性、資源エネルギー庁 平成 27 年 6 月次世代火力発電協議会（第 2 回会合）資料

- なお、CCUS に関連する今後の主な技術的課題は大きく以下の 2 つが挙げられている。
- CO<sub>2</sub> の回収コスト」と「発電効率の低下」を大幅に抑える新たな技術方式の確立
- CO<sub>2</sub> の大規模かつ効率的な処理を可能とする革新的な技術の確立



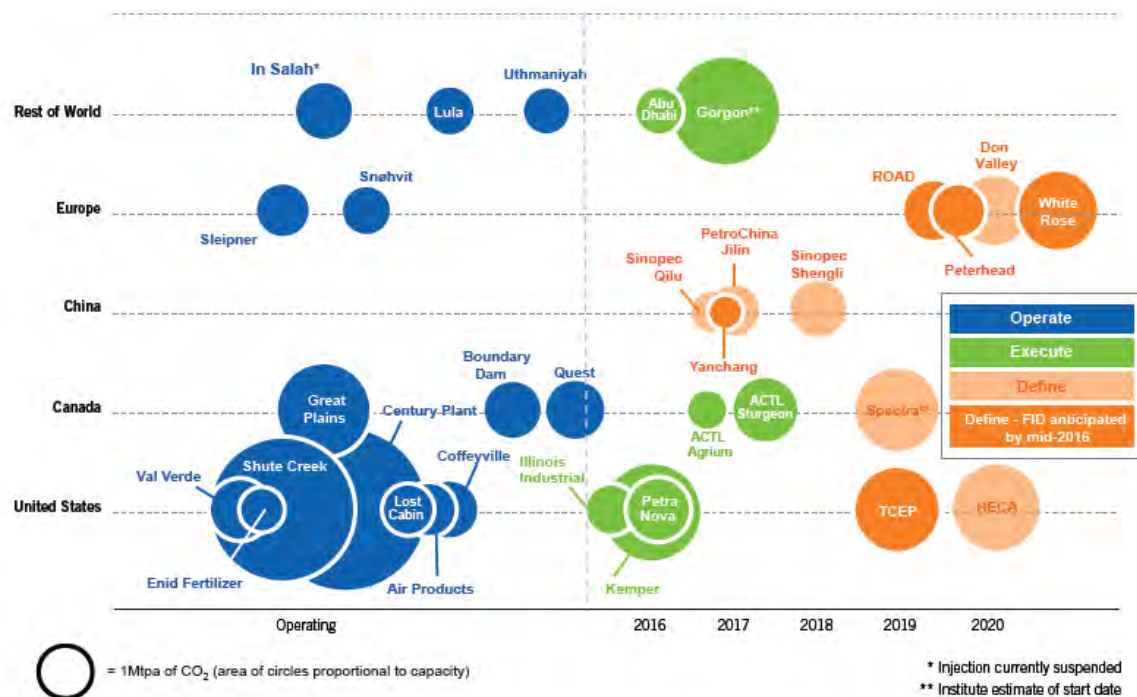
④国際競争力<sup>31</sup>

Global CCS Institute によると、以下が 2015 年時点での操業中・建設中・開発中の大規模な CCS プロジェクトである。操業中が 15 件、建設中が 7 件、開発中が 11 件であった。国・地域別では、北米が世界の CCS をリードしていると言え、また最近では中国における開発計画も目立ってきている。また、開発中のプロジェクトは様々であり、例えばヨーロッパのプロジェクトでは電力関係ではあるが違った技術、燃料源、技術提供者、海洋深層域や枯渇した炭化水素貯蔵域の利用など異なっている。

これら、30 以上の 2020 年までに稼働するプロジェクトは、今後の CCS 技術の成熟を助けるものであり、また 2020 年以降における投資対象としての CCS の姿を描くものといえる。また、今後は CCS が適用される国・地域、CO<sub>2</sub> 排出源、回収方式、輸送方式、貯留方式の拡大によって、CCS 技術の進展と回収・貯留量増大も期待される。

現状において、CO<sub>2</sub> 回収技術としては吸収法、吸着法、膜分離法などがあり、特に、化学吸収法による研究開発が最も進んでいる。現状では CCS コストの 60%以上が分離・回収に係るコストであるため、低コスト・低エネルギー消費の CO<sub>2</sub> 分離・回収技術の開発が進められている。

図 V-45：操業中・建設中・開発中の大規模な CCS プロジェクト（2015 年時点）



出典：The global Status of CCS | 2015 SUMMARY REPORT (GLOBAL CCS INSTITUTE)

これらの状況において、我が国においても 2020 年後半以降の CCUS の技術確立に向けて開発を続けていく方針となっている。現状において、CCS の技術開発は発展途上であるが、

<sup>31</sup> 参考文献：The global Status of CCS | 2015 SUMMARY REPORT (GLOBAL CCS INSTITUTE)、CCSU(CO<sub>2</sub> 回収・貯留・利用)技術に関する 将来予測 2015 矢野経済研究所

NEDOによる助成を元に石油増進回収（CO<sub>2</sub>-EOR）については既に実用化されており、CCS-EORの適地となる米国等において、日本企業の参画も見られるところである。

なお、国内の代表的な実証実験のスケジュールは以下のとおりであり、2020年に発電所や工場等の100万トン規模のCCSプロジェクトを開始する予定となっている（第2章参照）。

図 V-46：日本における CCS プロジェクトの開発計画（再掲）

要素	区分	長岡 CO <sub>2</sub> 圧入実証試験 2003-2006年圧入 合計1万トン規模	苫小牧 大規模実証試験 2016-2018年圧入予定 10万トン/年以上	実用化段階で想定される CCSプロジェクト 2020年以降 100万トン/年規模
排出源	(市販のCO <sub>2</sub> を利用)		製油所	発電所、工場等
分離・回収			化学吸収法	化学吸収法、膜分離法等
輸送			分離・回収箇所直近から CO <sub>2</sub> 圧入	パイプライン、タンクローリー、 船舶等
貯留	陸域 帯水層 (構造的)	海底下 帯水層 (構造的/非構造的)	海底下/陸域 帯水層 (構造的/非構造的) 生産終了油・ガス層	
圧入	1坑井	2坑井	複数の坑井	
CO <sub>2</sub> 挙動把握のための 主要モニタリング手法	観測井 3坑	弾性波探査 観測井 3坑	弾性波探査 観測井 複数坑	

出所) 経済産業省資料：日本における CCS 実用化への取組み状況—苫小牧 C C S 大規模実証試験—

(参考) 32



2014年に米国のNRG エナジー社とJX 日鉱日石開発株式会社を中心となって米国テキサス州で推進する原油増進回収（EOR）プロジェクトのための超大型商用CO<sub>2</sub>回収プラントを受注。石炭焼き火力を対象とした世界最大級のCO<sub>2</sub>回収プラントで三菱重工業の技術が採用されている、CO<sub>2</sub>回収能力は4,776トン/日。2016年に完工。発電所から大気中に放出されるCO<sub>2</sub>の削減量は年間約160万トン。

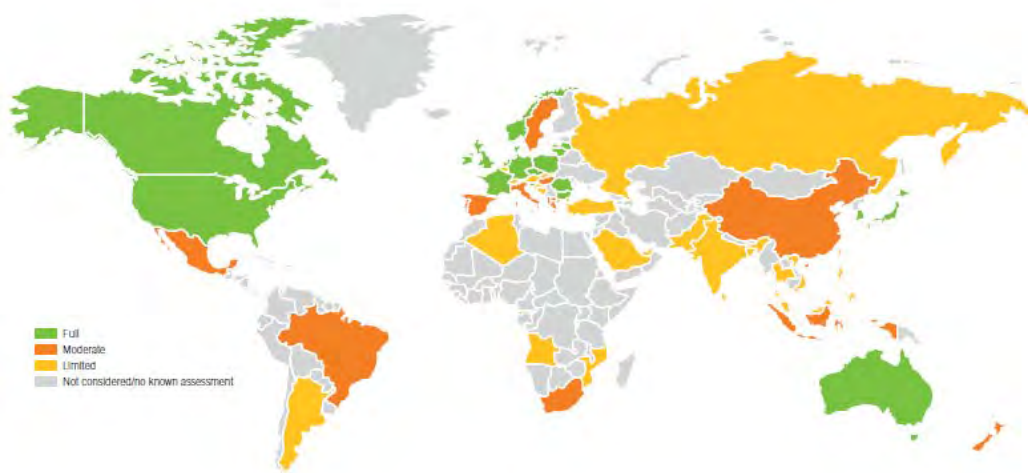
写真出典：経済産業省資料

32 (出典) 三菱重工業 HP、海外展開戦略タスクフォース 中間整理案 (2016.12)

⑤途上国進出の課題

GLOBAL CCS INSTITUTEによると、2015年時点において、以下の国においてCCSのアセスメントをしており、途上国においても調査が広がっている状況である。

図 V-47：CO2 貯蔵地域のアセスメント状況



出典：The global Status of CCS | 2015 SUMMARY REPORT (GLOBAL CCS INSTITUTE)

また、2013年にADB(アジア開発銀行)が発表した“Prospects for CCS in South East Asia”では、全143の油田の中から選定された113の対象油田におけるCO2貯留可能総量は約3,900 Million Tonと推定しており、インドネシア、タイ、ベトナム等においてCO2-EORの適用が可能とされている。

国	評価対象油田数	推定CO <sub>2</sub> 貯留可能量	備考
インドネシア	55	900 M Ton	直ちにCO <sub>2</sub> EOR適用が可能
タイ	41	1,400 M ton	直ちにCO <sub>2</sub> EOR適用が可能
フィリピン	3	300 M Ton	2024年まで枯渇油田なし
ベトナム	14	1,300 M Ton	直ちにCO <sub>2</sub> EOR適用が可能
計	113 油田	3,900 M Ton	

出典：NEDO FORUM クリーンコール技術セッション CO2 石油増進回収法で加速されるクリーン・コール・テクノロジー 三菱重工 プレゼン資料 2015年2月13日

一方、CCS導入の課題としては、以下のとおり建設単価及び発電原価が高くなるため、途上国にとっては導入するインセンティブが乏しいことである。以下はIEAのOECD諸国におけるCCSの導入影響に関するレポートであるが、建設コスト及び均等化発電原価(LCOE)が各技術種類別にいくらか増加することを示している。

表 V-8 : OECD 諸国における CCS を導入する平均コスト及びパフォーマンス

Capture route	Coal			Natural gas
	Post-combustion	Pre-combustion	Oxy-combustion	Post-combustion
Reference plant without capture	PC	IGCC (PC)	PC	NGCC
Net efficiency with capture (LHV, %)	30.9	33.1	31.9	48.4
Net efficiency penalty (LHV, percentage points)	10.5	7.5	9.6	8.3
Relative net efficiency penalty	25%	20%	23%	15%
Overnight cost with capture (USD/kW)	3 808	3 714	3 959	1 715
Overnight cost increase (USD/kW)	1 647	1 128 (0)	1 696	754
Relative overnight cost increase	75%	44% (0%)	74%	82%
LCOE with capture (USD/MWh)	107	104	102	102
LCOE increase (USD/MWh)	41	29 (0)	40	25
Relative LCOE increase	63%	39% (0%)	64%	33%
Cost of CO <sub>2</sub> avoided (USD/tCO <sub>2</sub> )	58	43 (55)	52	80

Notes: average figures for OECD member countries do not include cost of CO<sub>2</sub> transportation and storage.

LHV = low heating value; kW = kilowatt; MWh = megawatt hour; tCO<sub>2</sub> = tonne of carbon dioxide.

The accuracy of capital cost estimates from conceptual design studies is on average  $\pm 30\%$ ; hence, for coal the variation in average overnight costs, LCOE and cost of CO<sub>2</sub> avoided between capture routes is within the uncertainty of the study.

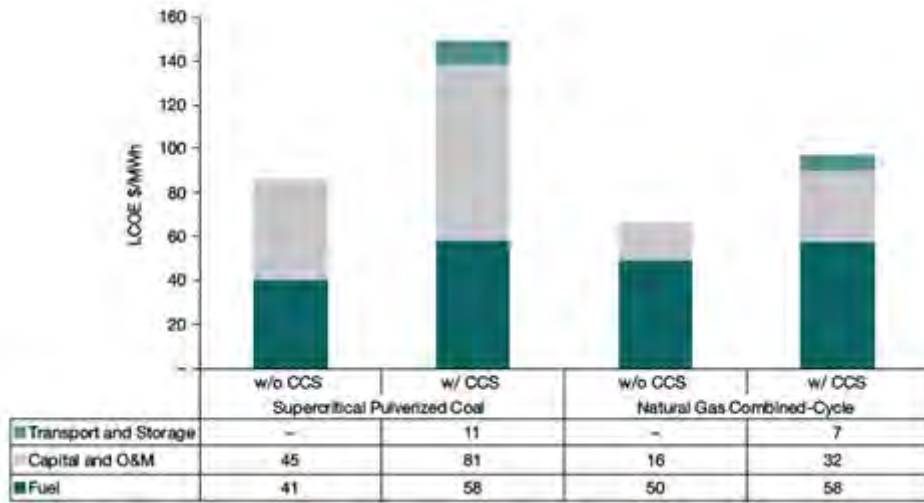
Underlying oxy-combustion data include some cases with CO<sub>2</sub> purities < 97%. Overnight costs include owners', engineering procurement construction (EPC) and contingency costs, but not interest during construction (IDC).

A 15% contingency based on EPC cost is added for unforeseen technical or regulatory difficulties for CCS cases, compared with a 5% contingency applied for non-CCS cases. IDC is included in LCOE calculations.

出典 : Technology Roadmap carbon capture and storage (IEA, 2013 edition)

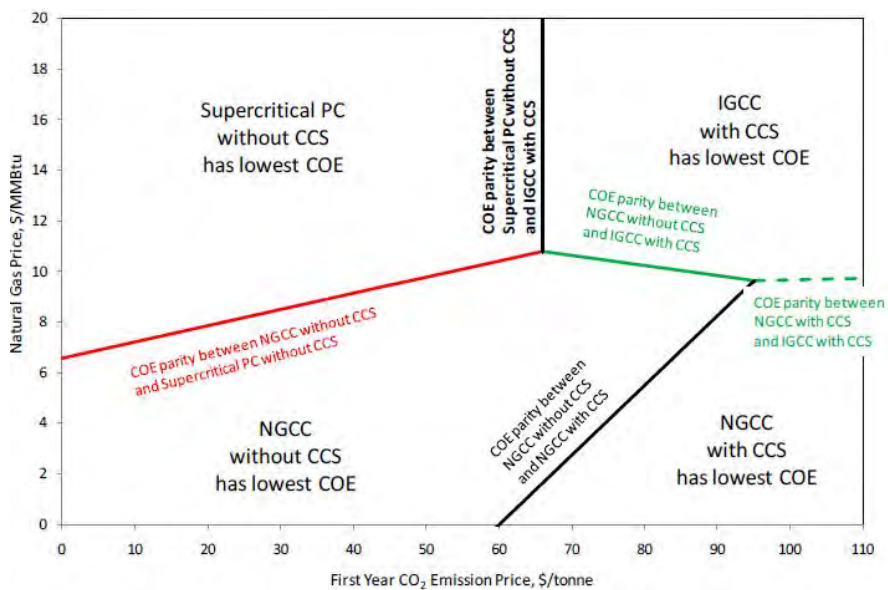
また、ADB のレポートにおいても、SCPC（微粉炭超臨界圧火力）の均等化発電原価（LCOE）では、CCS を導入することで\$86/MWh から\$150/MWh に 74%増加することを示している。同様に、NGCC（天然ガスコンバインドサイクル）においても、均等化発電原価（LCOE）は約 50%（\$66/MWh から\$97/MWh）に増加している。

図 V-48: CCS の with/without による均等化発電原価 (LCOE)



出典：Prospects for CARBON CAPTURE and STORAGE in SOUTHEAST ASIA (ADB, September 2013)

このようなコスト上昇を前提にして、CCS が導入されるためには、規制・税制・排出権等により CO<sub>2</sub> 排出への価格付けが必要である。特に、安いエネルギーコストを望む途上国においては、高コストを伴う CCS 付火力の経済性成立が困難である。CO<sub>2</sub>-EOR については、原油増産収益が見込めるものの、導入促進のためには更なるコストダウンと性能改善が必要である。なお、CO<sub>2</sub> 排出への価格付けと石炭火力の技術との関連については、米国エネルギー省 (DOE) において研究がなされ、以下のダイアグラムが作成されている。



出典：Cost and Performance Baseline for Fossil Energy Plants (DOE/NETL-2010/1397)

⑥政策支援

CCS を促進する枠組みとしては、大きく以下が考えられる。

- ・ CCS 導入に関する気候変動規制
- ・ CCS 導入目標に関する政策作成
- ・ CCS のオペレーション（安全性・効率性）に関する規制
- ・ CCS 導入のインセンティブ（評価制度、税金、CO<sub>2</sub> 排出の価格付け等）

また、IEA では、CCS への政策インセンティブとして以下が挙げられている。

図 V-49 : CCS への政策インセンティブ

Storage	Storage Exploration and Development	Capital Grants and Subsidies	Capital grants and subsidies for eligible exploration
		Tax Credits	Eligible exploration activities to be subject to 100% tax deductibility in line with other resource exploration
		Enhanced Exploration Tax Incentive Credits	Exploration activities qualify for Enhanced Exploration Tax Incentive
Integrated Project	Capital Cost Reduction	Capital Support	Grant / Preferred equity position (leveraging government's cost of capital) allocated competitively
		Tax Credits	Investment Tax Credits to off-set corporate profits Tax exempt financing Accelerated depreciation reduces proponent's tax liability
	Operating Cost Support	Feed-in Tariff	A fixed premium added to the price of each unit of output
		CCS Certificate	A fixed payment for every tonne of CO <sub>2</sub> stored
		Contract for Difference	A payment to (or from) the proponent where the actual CO <sub>2</sub> price is higher (or lower) than an agreed strike price
	Risk Mitigation	Loan Guarantees	Government guarantee on concessional loans, e.g. Export Credit facilities arranged by technology provider
		Public Private Partnerships	Project proponent revenue based on agreed performance and risk parameters
Liability Transfer		Government accepts liability for stored CO <sub>2</sub> , after rehabilitation and agreed monitoring period	

Source: Reprinted from Greig, C et al. (2016), Energy Security and Prosperity in Australia – A Roadmap for CCS.

出典 : 20 Years of Carbon Capture and Storage (IEA, 2016)

途上国に対しては、まず CO<sub>2</sub>-EOR を中心に、各国の電源開発計画と関連付けながら、CCS の導入可能性を継続的に検討していくと共に、上記の政策導入について協議していくことで日本企業の技術活用の道筋をつけていくことが考えられる。

### 3.6. 蓄電池（系統用）・燃料電池

#### ①技術の特色<sup>33</sup>

ESS, Fuel cell	English Name	日本語名	特徴	課題	技術確立時期
系統安定化用蓄電池 (Energy Strage System)	Lead storage battery	鉛	コストが安い。実績が多い。比較的広い温度範囲で動作。過充電に強い。高電流密度による放電が可能。リサイクル体制も確立。長・短周期変動対策に向いている。	エネルギー密度が低い。容量を増やすと重くなる。低い充電状態では、電極の劣化により充電容量が低下。誤差の小さい充電状態の管理手法が確立されていない。充電状態管理のために監視状態のリセット頻度を減らす技術が必要。充電のエネルギー効率が、他の電池よりも低い。	済み
	Nickel-Metal Hydride battery (NiMH battery)	ニッケル水素	常温で作動。溶解析出反応を伴わないので、長寿命が期待できる。過充電、過放電に強い。急速充電が可能である。使用温度範囲も広い。理論エネルギー密度も高く、エネルギー効率も比較的高い。	自己放電が比較的大きい。充電状態管理のために監視状態をリセットすることが必要。満充電時に大きな発熱を伴うため、電池の温度管理が重要。密閉形ニッケル水素電池では、大容量化の障害(100Ah 級が限界)。水素吸蔵合金が鉛よりも高い。	技術確立済み (継続開発中)
	Lithium ion battery	リチウムイオン	エネルギー密度が高いため、少量で大容量が可能。出力も大きい。小型民生用は技術的に成熟。充電エネルギー効率が極めて高い。自己放電が小さい。溶解析出反応を伴わないので、長寿命が期待できる。急速充電が可能である。充電状態が監視しやすい。低いSOCで劣化が起こりにくい。短周期変動対策に向いている。	有機電解液を用いる電池のため、高い安全性確保が必要。過充電・過放電に弱く、単電池毎の電圧管理が必要。高いSOCや高温での保存は、電池の劣化を加速するため、管理が必要。低コスト材料の開発による電池の低コスト化が重要。	技術確立済み (継続開発中)
	sodium-sulfur battery	NAS	東京電力と日本ガイが共同開発。構成材料が資源的に豊富で、量産によるコストダウンが可能。理論エネルギー密度も高い。充電時の副反応がなく(自己放電もない)、充電のエネルギー効率も高い。コンパクトで長寿命(15年)。長周期変動対策に向いている。	運転に高温維持(300℃)が必要。ナトリウムの可燃性が高い。連続充電・放電時の発熱で温度保持されるよう設計されている。温度保持のためヒーター電力が必要。	技術確立済み (継続開発中)
	redox flow cell	レドックスフロー	住友電気工業が開発。エネルギー密度は低いが、構造が単純で大型化しやすい。バナジウム、鉄、クロムなど燃焼性の低い物質を使うため安全性にも優れている。長周期変動対策に向いている。	電解液のバナジウム含有量が限られているため、タンク部の体積が大きくなる。エネルギー密度が低い。相対的に大きな設置スペースが必要。バナジウム電解液の材料・加工費が高く、コスト低減も課題。	継続開発中
	sodium-ion battery	ナトリウムイオン	資源量が豊富であり、コストが極めて安い。住友電気、東京理科大学、東京大学、九州大学、住友化学等が開発研究中。	安全性などの性能を検証中。大容量化が課題(リチウムイオン電池の9割程度まで電池容量は確認済み)。	研究開発中
燃料電池 (Fuel cell)	PEFC:polymer electrolyte fuel cell	固体高分子形燃料電池(PEFC)(水素)	イオン伝導性を有する高分子膜(イオン交換膜)を電解質として用いる燃料電池。触媒に白金を使用するが、電解質の高分子膜を使用しているため電解質の逸失がないという利点がある。また、作動温度が80℃で起動が早く、高出力密度であることから小型軽量化が可能であるため、自動車用に適している。	価格が高いことが課題。PEFCの場合には白金使用量の削減、SOFCの場合は耐久性の向上が課題。その他、燃料処理器、貯湯槽、補機類など各構成部品のコストダウンも課題。現在、天然ガス等の化石燃料を供給し、改質器で水素に変換しているが、低炭素化のためには、化石燃料+CCS・EORでの水素製造や再生可能エネルギーからの水素製造などCO2フリー水素の供給が必要。ただし、その場合、純水素型燃料電池の開発が求められる。	家庭用は技術確立済み (継続開発中)
	SOFC:solid oxide fuel cell	固体酸化物形燃料電池(SOFC)(水素)	電解質に安定化ジルコニアなどの固体酸化物を使用している。電解質が固体であることから逸失や腐食などの心配がない、反応が容易に進行することから白金などの貴金属触媒が不要である、発電効率が高いなどの利点がある。高温(通常700~1000℃)で稼働し、単独の発電装置としては最も発電効率が良い(45~65%)。NEDOの研究事業にて、発電効率45%超・総合効率90%を実現。		家庭用は技術確立済み (継続開発中)
	fuel cell; ammonia	燃料電池(アンモニア)	水素(H2)の代わりにアンモニア(NH3)を使い、CO2ではなく窒素ガス(N2)を発生させる。研究開発は内閣府SIPが推進する「エネルギーキャリア」のプロジェクト等で実施。アンモニア燃料電池はSOFC型である。アンモニアの分解温度は600℃であり、SOFCの作動温度(700℃)で分解が可能である。上記の理由(アンモニアは劇物)により、小型アンモニア燃料電池を一般家庭に導入するよりも、大型を大規模施設に導入することを想定。アンモニアは既に広く流通しており、インフラ等が比較的整っていることが利点。	アンモニア製造には水素が必要であり、アンモニアをCO2フリーにするためには、化石燃料+CCS・EORでの水素製造、若しくは、再生可能エネルギーからの水素製造が必要。また、劇物であるため、市内等の人口密集地では取り扱いが難しい。	開発中

(続き) (蓄電池) 33

ESS	日本語名	エネルギー密度(理論値)	エネルギー効率	寿命(サイクル数)	主な正極材料	主な負極材料	コンパクト化	大容量化	計測・監視	安全性	資源
系統安定化用蓄電池 (Energy Strage System)	ニッケル水素	60Wh/kg (200Wh/kg)	70~90%	5~7年 (2000回)	ニッケル酸 化合物	水素または水素化合物	○	○ ~MW級	△	○	△
	リチウムイオン	200Wh/kg (583Wh/kg)	85~95%	6~10年 (3500回)	遷移金属 酸化物	黒鉛系炭 素材料	◎	○ 通常1 MW級ま で	△	△	○
	NAS	130Wh/kg (786Wh/kg)	80~90%	15年 (4500回)	硫黄	ナトリウム	○	◎ MW級以 上	△	△	◎
	レドックスフロー	~10Wh/kg (103Wh/kg)	70~80%	6~20年 (1万回以 上)	バナジウ ム (4価)	バナジウ ム (3価)	×	◎ MW級以 上	◎	◎	△
	ナトリウムイオン	(現行 340Wh/kg) (次世代 600Wh/kg)	—	—	遷移金属 酸化物 セラミック ス	黒鉛系炭 素材料	—	—	—	—	—

※1 エネルギー密度：1kgあたりに蓄電可能な電力量

※2 エネルギー効率：充電を100として放電できる効率

※3 サイクル数：1回の充放電を1サイクルとして何サイクル充放電できるかを示す指標

33 参考文献：NEDO 二次電池技術開発ロードマップ2013、蓄電池戦略（経済産業省 平成24年7月）、蓄電池・水素について（資源エネルギー庁 平成24年7月）、水素・燃料電池戦略ロードマップ（水素・燃料電池戦略協議会 平成28年3月改訂）、内閣府SIP「エネルギーキャリア」他



②ロードマップ（蓄電池（系統）） 34

ESS, Fuel cell	日本語名	コスト見通し (現行)	日本技術の導 入可能性	現在～2020	2020～2025	2025～2030	2030～2035	2035～2040
系統安定化用 蓄電池 (Energy Storage System)	鉛	— (5～10万円 /kWh)	○	→				
	ニッケル水素	将来的に価格に 低下が見込まれる (10万円/kWh～ LiBと同等)	△ (コスト面で 課題あり)	→				
	リチウムイオン	将来的に価格に 低下が見込まれる (20～40万円 /kWh)	△ (コスト面で 課題あり)	→				
	NAS	目標 2020年 2.3万円/Kwh (4～5万円/kWh)	○	→				
	レドックスフロー	目標 2020年 2.3万円/Kwh (9万円/kWh)	○	→				
	ナトリウムイオン	—	開発次第で 可能性あり	→				
燃料電池 (Fuel cell)	固体高分子形燃料 電池(PEFC)(水素)	(家庭用) 2019年までに80 万円 (業務用) 2017年に市場投 入予定	開発次第で 可能性あり	→				
	固体酸化物形燃料 電池(SOFC)(水素)	(家庭用) 2021年までに100 万円 (業務用) 2017年に市場投 入予定	開発次第で 可能性あり	→				
	燃料電池(アンモニ ア)	—	開発次第で 可能性あり	→				

34 参考文献：NEDO 二次電池技術開発ロードマップ 2013、蓄電池戦略（経済産業省 平成 24 年 7 月）、蓄電池・水素について（資源エネルギー庁 平成 24 年 7 月）、水素・燃料電池戦略ロードマップ（水素・燃料電池戦略協議会 平成 28 年 3 月改訂）、内閣府 S I P 「エネルギーキャリア」 他

③導入見込みと開発状況

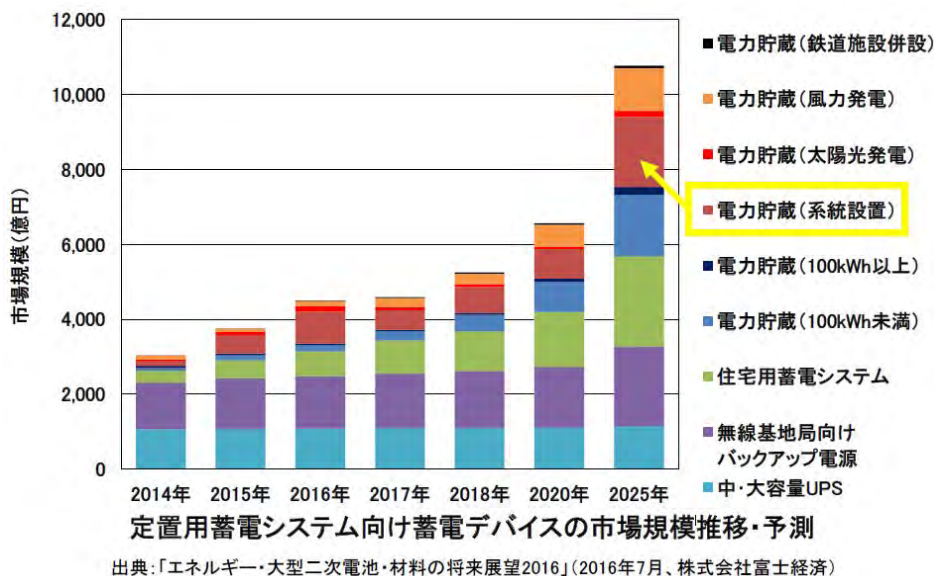
i) 蓄電池（系統用）

蓄電池戦略（経済産業省、2012）では、2020年に世界全体の蓄電池市場規模（20兆円）とし、その5割のシェアを日本の関連企業が獲得（※内訳：大型蓄電池35%、定置用蓄電池25%、車載用蓄電池40%）することを目標としている。そのために、蓄電池の代替手段である揚水発電と同額の設置コストである2.3万円/kwhを2020年までに達成することを具体的目標として設定し、コスト低減を推進している。

IEAによる電力系統用の大型蓄電池導入ポテンシャル予測（2009年）では、世界の蓄電池需要としては、欧州における需要増等に牽引され、2020年に約50GWまで拡大するとしている。<sup>35</sup>

また、富士経済の予測では、定置用蓄電池の市場は、PCS・筐体等の周辺機器、据付工事等を含まない蓄電デバイスのみでも2015年実績の約3,700億円から2025年には約1兆800億円と約3倍に成長すると予測されている。このうち、系統用蓄電システム向けの蓄電デバイスの市場規模は、2015年で約500億円であるが、2025年には約1,900億円と約4倍に成長すると予測されている。<sup>36</sup>

図 V-50：大規模蓄電システムの市場動向：市場規模



出典：「安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発」事後評価（NEDO, 2016.11）

再生可能エネルギーの中でも、特に太陽光や風力の発電出力は、気象条件により左右され、時間帯、季節によっても大きく出力変動するのが特徴であり、再生エネルギーの大量導入における系統の不安定化対策として、余剰電力、周波数変動等（下表参照）への対策が必

<sup>35</sup> 蓄電池戦略（経済産業省 平成24年7月）

<sup>36</sup> 安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発 事後評価（NEDO, 2016.11）

須となっている。揚水発電が建設に10数年を要するのに対して、設置にかかる年数も短く、フレキシビリティを有した対策手段として大型蓄電システムの利活用が期待されている。

表 V-9：再生可能エネルギー導入拡大に伴う技術的課題と対応策（例）

課題	対応策(例)
① 急激な出力変動に対する <b>周波数調整力の不足</b>	> 出力変動の調整やバックアップのための電源確保(火力・揚水発電等) > <b>蓄電池の活用</b>
② ベース供給力と再生可能エネルギーの合計発電量が需要を上回ることによる <b>余剰電力の発生</b>	> 揚水発電、地域間連系線の活用 > 再生可能エネルギーの出力抑制 > <b>蓄電池の活用</b> > 軽負荷期の需要創出
③ 太陽光発電から系統側への電気の流入(=逆潮流)が増加することによる <b>系統電圧の上昇</b>	> 柱上変圧器の分割設置、電圧調整装置の設置、バンク逆潮流対策 > 需要家の電力消費調整
④ 電力需要が少ないエリアでの系統接続の増加による <b>送電容量の不足</b>	> 送変電設備の整備、増強

出典：再生可能エネルギー白書（NEDO）、再生可能エネルギー導入拡大に伴う技術的課題と対応策について（平成26年8月 電気事業連合会）等を参考に調査団にて作成

経済産業省による「風力系統連系量拡大実証事業」、「大型蓄電システム緊急実証事業」や環境省による「再生可能エネルギー導入のための蓄電池制御等実証モデル事業」、「離島の再生可能エネルギー導入促進のための蓄電池実証事業」により、大型蓄電システムの実証が進められている。

 <p>4MW/1.6MWh リチウムイオン電池システム/GSユアサ 再生エネルギーの出力安定化(宍岐・戸辺変電所) 「平成24年度 風力系統連系量拡大実証事業」</p>	 <p>2.7MW/6.9MWh 鉛電池システム/新神戸電機 再生エネルギーの出力安定化(風の王国) 「平成24年度 再生可能エネルギー導入のための蓄電池制御等実証モデル事業」</p>
 <p>40MW/20MWh リチウムイオン電池システム/東芝 周波数変動抑制(西仙台変電所) 「平成24年度 大型蓄電システム緊急実証事業」</p>	 <p>15MW/60MWh レドックスフロー電池システム/住友電気工業 周波数変動抑制&amp;需給変動対策 (南早来変電所) 「平成24年度 大型蓄電システム緊急実証事業」</p> <p>電解液タンク</p>
	 <p>34MW/238MWh NAS電池システム/日本ガイシ 再生エネルギーの出力安定化 (六ヶ所村二又風力発電所)</p>

出典：「安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発」事後評価（NEDO, 2016.11）

また、NEDOにおいては、平成18年度から系統連系に関する蓄電システムの技術開発を進めており、平成23年から平成27年までは「安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発」プロジェクトを行っていた。このプロジェクトは、「余剰電力貯蔵」及び「短周期変動調整」を用途として数十MWh～数GWhの系統安定化用蓄電システムを想定し、以下を平成27年度末の最終目標とした。

- ✓ システム効率80%以上で寿命20年以上相当
- ✓ 2020年度に余剰電力貯蔵用として2万円/kWh以下、短周期変動調整用として7万円/kWh以下
- ✓ 予期せぬ誤動作・内部短絡等に対して安全性を担保

**【蓄電システムの定義】**  
蓄電デバイスとその充放電制御や状態監視などの機能を有した制御部をいい、交流・直流変換や電圧変換、系統連系に必要な保護回路等の変換装置部分は含まない。

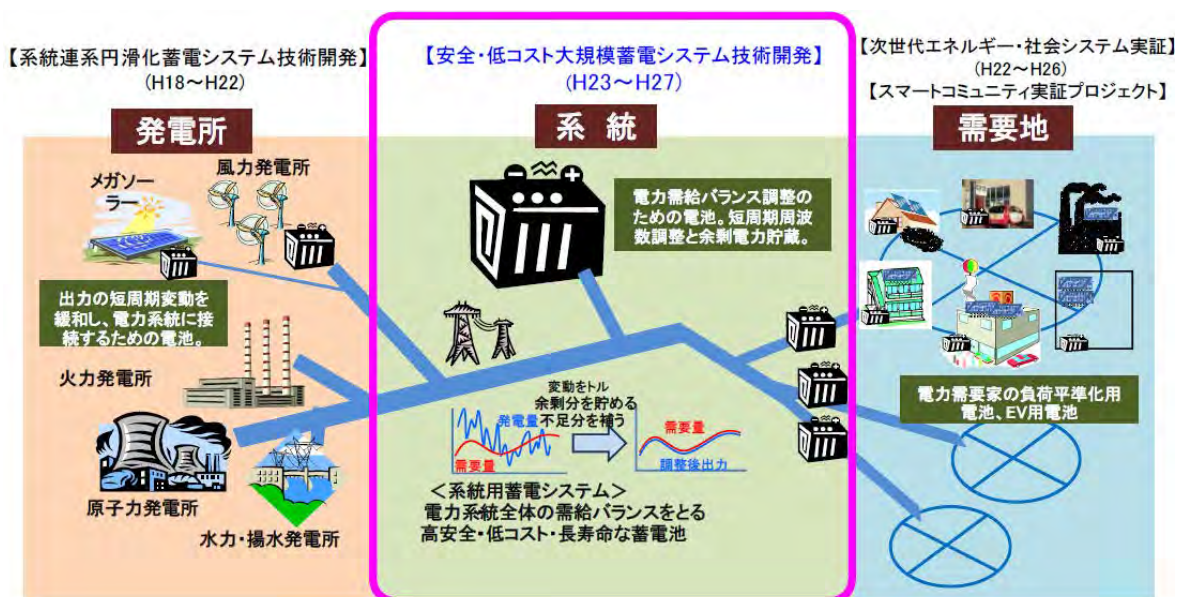
**【蓄電システムの定格値、効率】**

(a) 余剰電力貯蔵用：100万kW、6時間容量、効率80%以上

(b) 短周期の周波数変動に対する調整用：1万kW、20分容量、効率80%以上

NEDOは、現在、欧米、東南アジアにおいて、蓄電システム等を活用したスマートコミュニティ実証プロジェクトを通じて、技術的、社会的実証課題を解決し、日本企業の海外展開のきっかけとなる実績をつくる“場”の提供に取り組んでいる。

図 V-51：NEDO「安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発」事業の位置づけ



出典：「安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発」事後評価（NEDO, 2016.11）

図 V-52 : NEDO 「安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発」 の概要

実施者	実証サイト	蓄電システム	実証機	電力会社	運転開始	実証目的
日立製作所 日立化成	伊豆大島 	鉛電池/ リチウムイオン キャパシタ のハイブリッド	1.5MW/8MWh 	東京電力	2015年6月	再エネの短・長周期変動抑制 DGの焚き減らし
三菱重工業	英国 オークニー 諸島 	リチウムイオン 電池	2MW/0.8MWh 	英国 SSE	2013年8月	系統安定化 周波数調整(2016年5月より)
東芝	米国 オハイオ州 	リチウムイオン 電池	2MW/0.785MWh 	米国 Duke Energy	2015年1月	周波数調整
	スペイン マドリッド 市郊外 	リチウムイオン 電池	0.5MW/0.776MWh 	スペイン Gasnatural Fenosa	2015年9月	配電線負荷の電力変動平滑 化
川崎重工業	南大東島 	ニッケル水素 電池	300kW/130kWh 	沖縄電力	2013年4月	再エネ比率の高い離島の周波 数及び電圧変動安定化
鉄道総研 クボテック 古河電工 ミラプロ 山梨県企業局	山梨県 米倉山 	フライホイール	300kW/100kWh 	東京電力	2015年9月	PVの出力変動抑制

出典：「安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発」事後評価（NEDO, 2016.11）

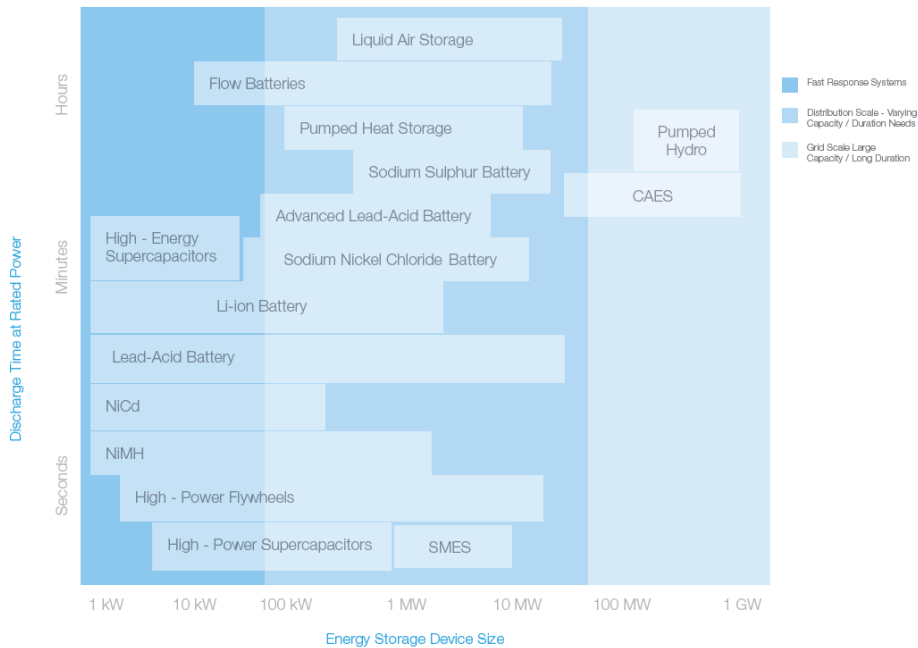
さらに、NEDO では 2030 年以降の電池として、現行の電池系では到達し得ないような高い性能を達成し得る可能性がある電池系を革新電池系と称して、開発を続けている。革新的電池系の例として、金属-空気電池、リチウム硫黄電池、金属負極電池等が挙げられている。

図 V-53 : 定置用二次電池ロードマップ (抜粋)



出典：NEDO 二次電池技術開発ロードマップ 2013

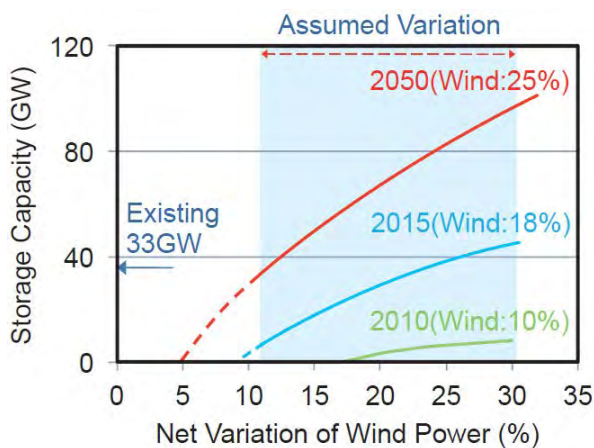
(参考1) 蓄電池の特性と用途



出典：Five minute guide Electricity Storage Technologies (ARUP)

(参考2) 風力発電の変動率と必要となる蓄電容量<sup>37</sup>

西欧における風力発電の変動率と蓄電の必要容量との関係を調査<sup>38</sup>した結果、以下のとおりである。例えば、風力発電の導入量が25%となり、その正味変動率が30%となれば、西欧での蓄電の必要容量は2010年の3GWから2050年には90GWまで増加する。2050年の風力発電の正味変動率が15-30%の閾値において、必要な蓄電の容量は50GWから90GWと予想される。



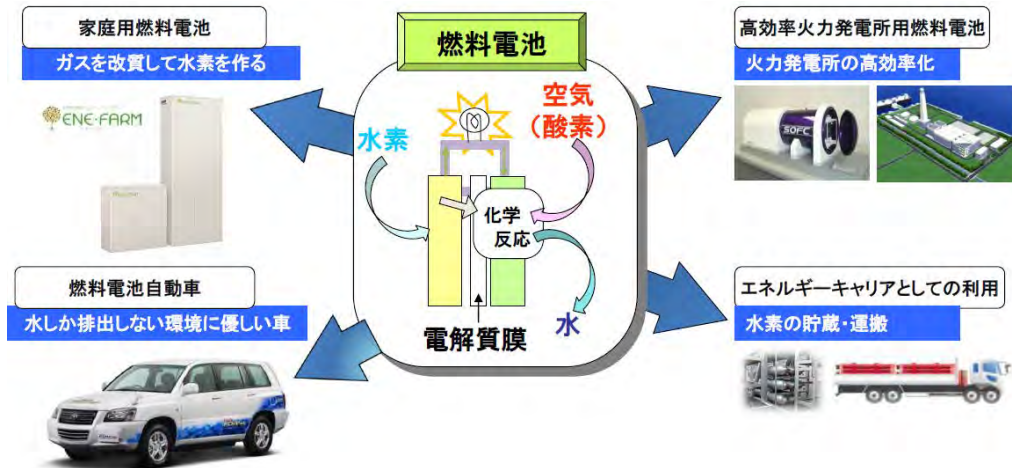
出典：Electrical Energy Storage (IEC)

<sup>37</sup> Electrical Energy Storage (IEC)

<sup>38</sup> Shin-ichi INAGE: Prospective on the Decarbonised Power Grid, IEC/MSB/EES Workshop, Germany, 31 May - 1 June 2011

ii) 燃料電池

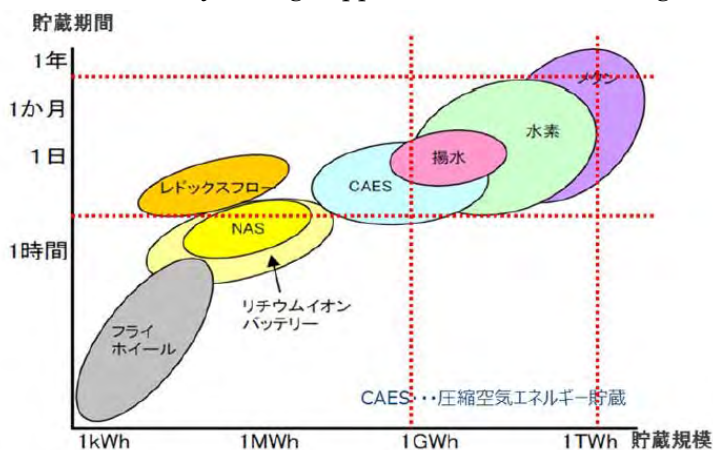
燃料電池において、水素を空気中の酸素と化学反応させることにより、効率的に電気と熱を取得することができる。燃料電池の主な利用形態は、家庭用、自動車用などがあり、また、水素はトレーラーやパイプラインでの運搬が可能であり、エネルギーの貯蔵手段としても活用が可能である（エネルギーキャリア参照）。



出典：蓄電池・水素について（資源エネルギー庁、平成24年7月）

また、水素は多様なエネルギー源から製造が可能で、燃料電池による水素の利用により、分散型電源としてピークカットにも貢献し、電気と熱の両方を有効に利用するため、総合エネルギー効率が高いことから地球温暖化対策としても有効である。また、燃料電池としては、水素は長期的かつ大規模に電気を貯蔵に適している手段であり、技術開発により利用可能性は広がっていくと期待されている。

図 V-54 : Electricity storage applications and technologies



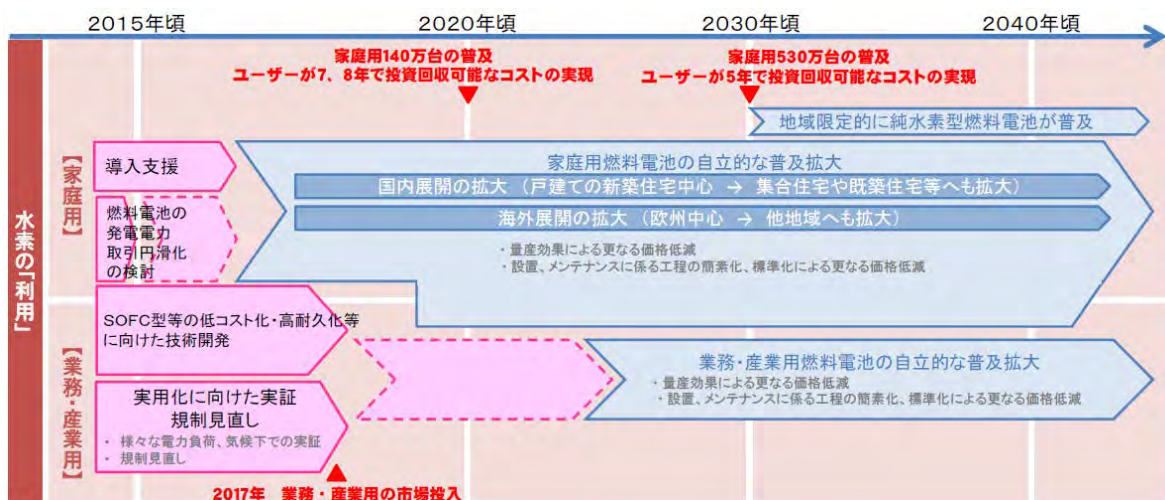
〔出典〕 “ Energieträger der Zukunft – Potenziale der Wasserstofftechnologie in Baden-Württemberg (ZSW,2012)”を基に資源エネルギー庁作成

出典：水素・燃料電池戦略ロードマップ（水素・燃料電池戦略協議会、平成28年3月改訂）

水素の研究開発は、「水素・燃料電池戦略ロードマップ」（水素・燃料電池戦略協議会、平成28年3月改訂）にて以下のとおりの目標（抜粋、一部要約）が掲げられている。

- ✓ 家庭用燃料電池：PEFC（固体高分子形燃料電池）型標準機について2019年までに80万円、SOFC（固体酸化物形燃料電池）型標準機について2021年までに100万円を実現する。これらにより、2020年頃に自立化を目指す。
- ✓ 業務・産業用燃料電池については、2017年に発電効率が比較的高いSOFC（固体酸化物形燃料電池）型の投入を目指す。

図 V-55：水素・燃料電池戦略ロードマップ概要（経済産業省）（一部抜粋）



出典：水素・燃料電池戦略ロードマップ（水素・燃料電池戦略協議会、平成28年3月改訂）

また、アンモニアについても、水素と同様に貯蔵手段やエネルギーキャリアなどへの利用に向けて研究がおこなわれている。現在検討されているアンモニア燃料電池はSOFC型であり、アンモニアは劇物であることもあり、家庭用の小型なものより、大型のものを大規模施設に導入することが想定されている。アンモニアの分解温度は600℃であり、SOFCの作動温度（700℃）で分解が可能である。なお、アンモニアは世界中で大量に流通しており、すでに流通インフラが整備されていることが利点である。

現在、内閣府のSIP、AIST、JSTなどにて、直接燃焼やアンモニア燃料電池の研究開発が行われている。研究課題の一つには、大型化におけるアンモニア燃焼時のNO<sup>x</sup>発生を検証、アンモニア生成時に水素を利用することからアンモニアをCO<sub>2</sub>フリーによるアンモニア生成なども含まれる。<sup>39</sup>

<sup>39</sup> 企業等へのインタビュー、HP等



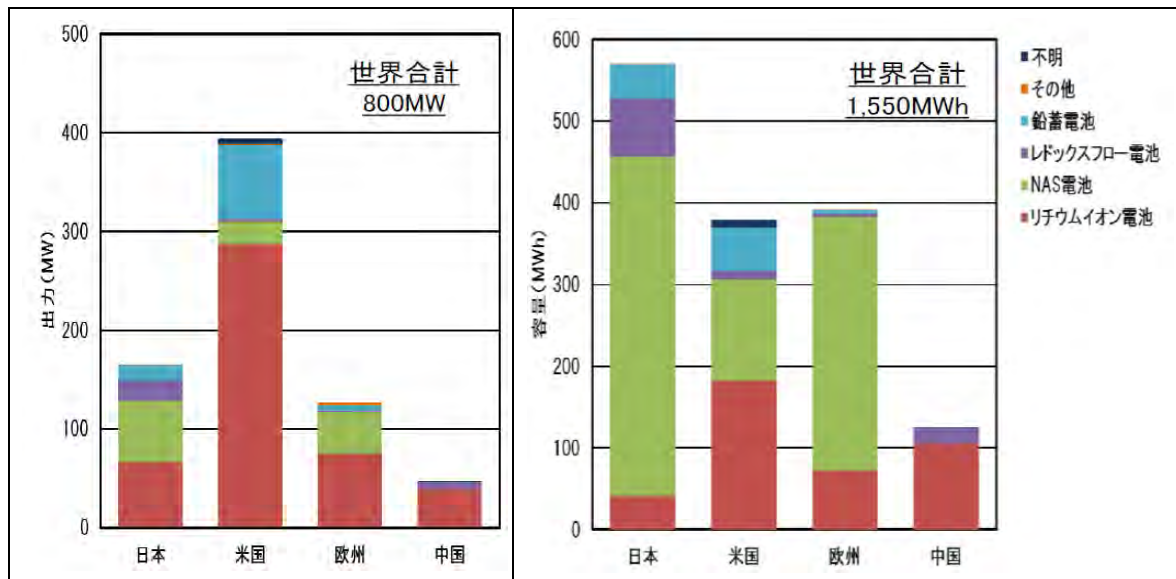
④ 国際競争力<sup>40</sup>

燃料電池は実証研究段階であるため、以降、蓄電池（系統用）に焦点を当てて、記載する。

NEDOの調査によると、2015年までの世界全体の大規模蓄電システムの累計導入量は、□出力ベースで約800MWとなっている。内訳は、出力ベースでは、米国が395MWと最多で周波数変動抑制向けの導入が多く、日本は165MWで再エネ電源の出力安定化や周波数変動抑制向けの導入が多く、リチウムイオン電池が67MW、NAS電池が62MWと拮抗している。

□また、容量ベースでは、世界全体の累計導入量（2015年まで）は約1,550MWhであり、□日本が570MWh（主に出力安定化）で、うちNAS電池が415MWh、□欧州は390MWh（主に送電混雑解消）で、うちNAS電池が310MWh、米国は380MWh（主に電力タイムシフト）で、リチウムイオン電池が182MWh、NAS電池が124MWhとなっている。

図 V-56：大規模蓄電システムの累計導入量：2015年まで（左）出力ベース、（右）容量ベース



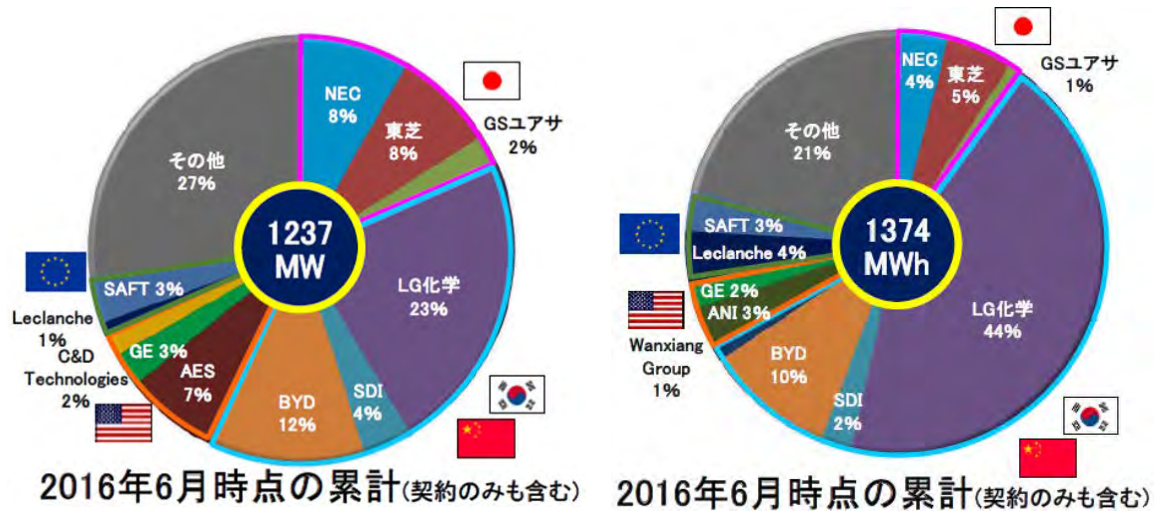
出典：「The DOE Global Energy Storage Database」(<http://www.energystorageexchange.org/>)等に基づきNEDO作成

出典：「安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発」事後評価（NEDO, 2016.11）

また、2016年6月時点でのリチウム蓄電池の主要メーカーの累計シェアは以下のとおりである。韓国のLG化学が躍進している。

<sup>40</sup> 「安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発」事後評価（NEDO, 2016.11）

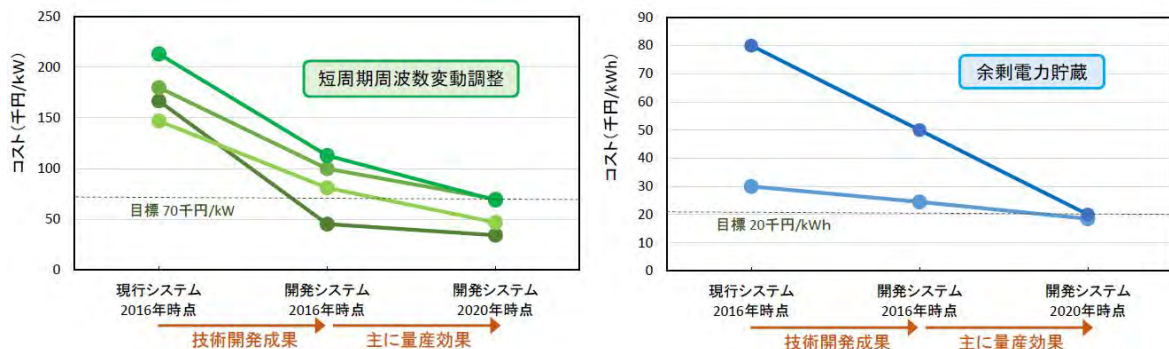
図 V-57：リチウムイオン蓄電池システム(100kW 以上)の主要メーカーシェア(2016年6月時点) (左) 出力ベース、(右) 容量ベース



出典：「The DOE Global Energy Storage Database」(<http://www.energystorageexchange.org/>)等に基づきNEDO作成  
 出典：「安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発」事後評価 (NEDO, 2016.11)

前述した NEDO の「安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発」プロジェクトによる成果としては、以下のとおり、参加企業はいずれも量産効果を含めて、2020 年度に余剰電力貯蔵用として 2 万円/kWh 以下、短周期変動調整用として 7 万円/kWh 以下の目途が付いたとのことである。欧米、韓国における 2020 年前後の技術開発目標値は、余剰電力貯蔵用がコスト 22,000~25,000 円/kWh、短周期周波数調整用がコスト約 150,000 円/kWh、寿命約 11~20 年であるため、日本企業が目標に向かって技術開発と市場展開を行っていくことで競争力を備えることはできると考えられる。<sup>41</sup>

図 V-58：NEDO プロジェクトによる成果 (コスト削減見通し)

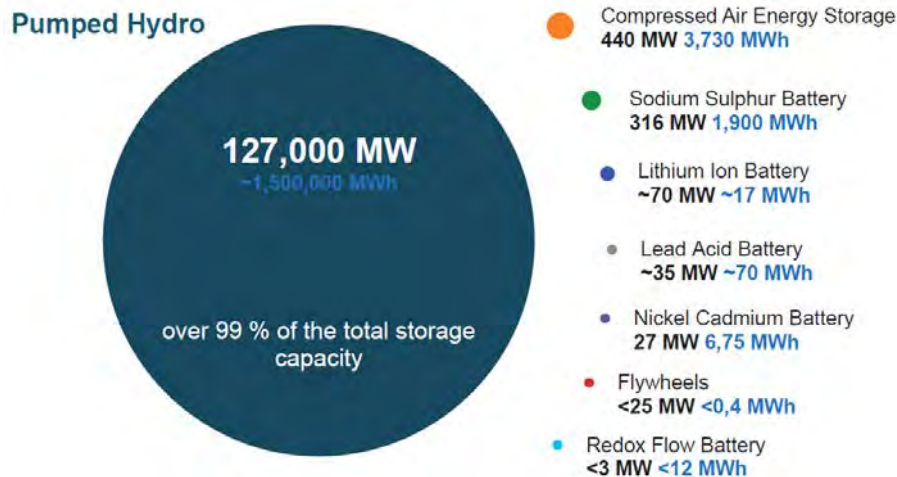


<sup>41</sup> 「安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発」事後評価 (NEDO, 2016.11)

(参考1)

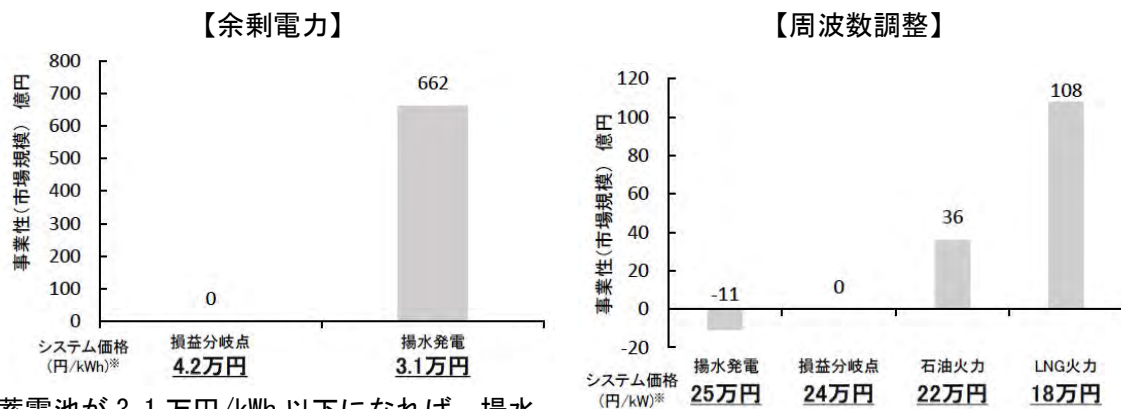
現在最も普及している蓄エネルギーの手段は、揚水発電である。99%が揚水発電による貯蔵であり、空気圧縮貯蔵、NAS、リチウムイオン電池、鉛電池などなどによる蓄電は1%程度である。

図 V-59：世界における電力の貯蔵容量



出典：Electrical Energy Storage (IEC)

国内において、余剰電力対策では蓄電池が 3.1 万円/kWh 以下、周波数の調整対策では 18 万円/kW 以下で他の対策手段と比較して、事業性が高くなるとの試算がある。



蓄電池が 3.1 万円/kWh 以下になれば、揚水発電よりも事業性が高くなる。

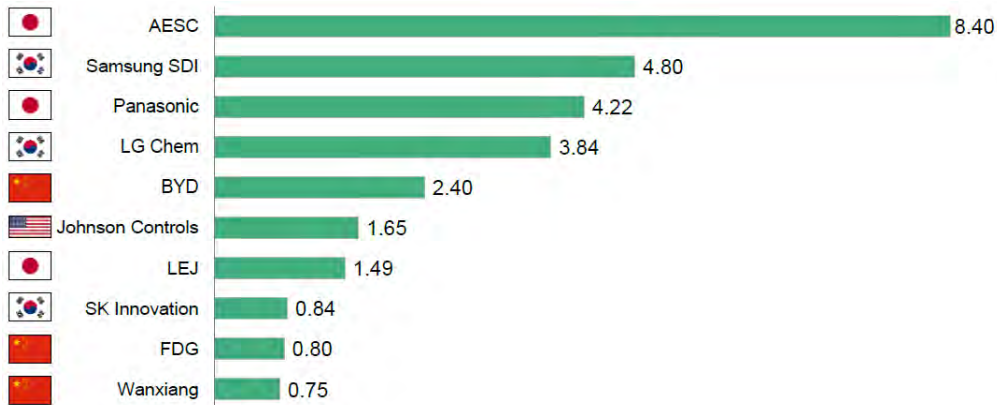
蓄電池は 18 万円/kW 以下で LNG 火力よりも事業性が高くなる。

出典：「蓄電池を活用した新たなエネルギー産業に関する調査」(平成28年3月、三菱総合研究所)

出典：「安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発」事後評価 (NEDO, 2016.11)

(参考2)

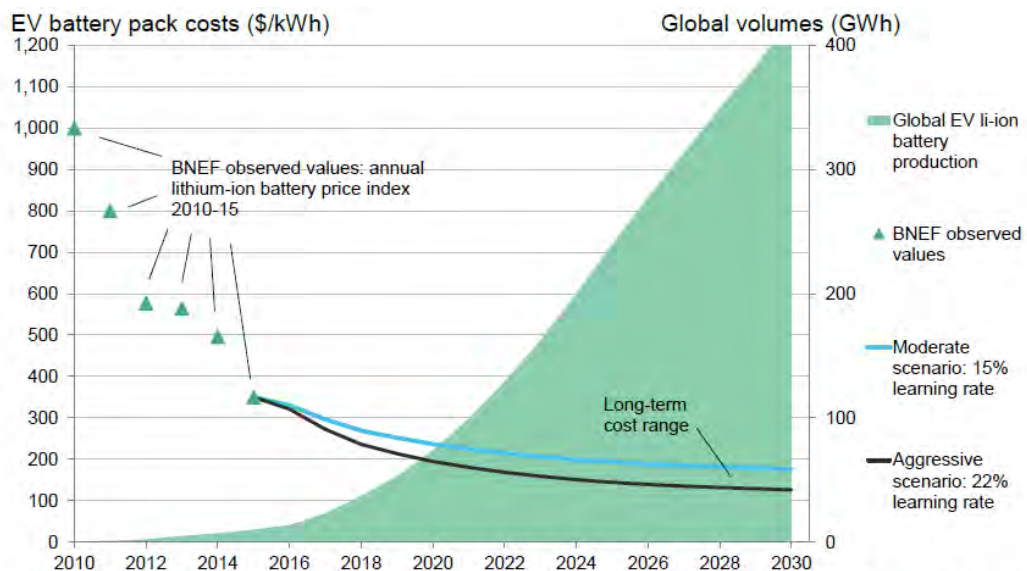
参考までに、2015年度のEV用リチウムイオン蓄電池のシェアは以下のとおりであり、日本企業と韓国企業が上位を占めている。



Source: Bloomberg New Energy Finance

出典：DISTRIBUTED SOLAR AND STORAGE -ICEF ROADMAP 1.0 (ICEF, 2015.12)

また、Bloomberg New Energy Finance による予測では、2030年までにEV用リチウムイオン蓄電池の導入見込みは現在約50GWから約400GWとなり、価格予測は現在300\$/kWhのところ、200\$/kWh（モデレートシナリオの場合）を下回るようになっている。EV用リチウムイオン電池の大量生産は、大規模電池の価格下落にも影響するものと推察される。



Source: Bloomberg New Energy Finance. Note: Values from 2010-2014 are based on BNEF's annual battery price index. Cumulative production is based on total EVs sold and their respective battery pack size.

出典：DISTRIBUTED SOLAR AND STORAGE -ICEF ROADMAP 1.0 (ICEF, 2015.12)

⑤ 途上国進出の課題<sup>42</sup>

蓄電池に関する途上国への展開に当たっては、以下の課題が想定される。

- ・ 蓄電池技術の実用化に向けては各国の制度面の課題もある。電力の需給バランスには大きなギャップがあり、それを解決するために蓄電池の活用可能性は高いが制度設計が未成熟。
- ・ 途上国では、電力系統をまず整備するのが前提。ただし、電力系統が弱い地域では、系統を整備する代わりに地域毎の電気の自給自足の仕組みを整備した方が良いと考えられるケースもある。そのような場合に太陽光発電や風力発電等の再生可能エネルギーと蓄電池を組み合わせたオフグリッド導入や細い電力系統をつなぎ合わせる可能性がある。
- ・ 途上国側のニーズが定まっていない。イニシャルコストが高いこともあり、電力設備の増強を重視するのが優先されるため、蓄電池にニーズがまだないのではないか。
- ・ 系統において再生可能エネルギーが一定割合導入された後、系統が不安定になるようであれば、蓄電池を導入する必要性が生じてくる。その際に、現地政府側に系統安定化対策の一つとして検討できる体制が必要。<sup>43</sup>

## ⑥ 政策支援

公的機関による途上国への支援としては、以下のような日本における事例や検討の結果を共有していくことで、現地における蓄電池導入の効果や実現可能性を検討していくことが考えられる。

(参考) 北海道における大規模太陽光発電の事例<sup>44</sup>

1. 接続可能量拡大のための特定地域に限った接続条件の改正  
接続量の限界に至った地域のみ、年30日を超えて、出力（発電）抑制を依頼した場合でも、金銭補償を不要とするように接続条件を改正。
2. 大型蓄電池の変電所への世界発導入による再エネ受入れ枠の拡大  
電力会社の変電所側に太陽光や風力の天候などによる出力変動を吸収できるような大型蓄電池を設置し、需給調整力の拡充を行う。
3. 電力システム改革に則った広域系統運用の拡大  
再生可能エネルギーの導入拡大に向けた全国規模での需給調整機能の強化や地域間連系線等の送電インフラの増強を進める。

<sup>42</sup> 企業インタビュー、HP等

<sup>43</sup> 日本企業が関与する途上国蓄電システムの展開事例として、三菱商事は印タタグループなどと組み、発電量や電力需要の変動に対応する大容量蓄電システムの実証実験を2017年夏に始めている。電力供給システムの安定化や発電コスト削減が見込める点を検討し、蓄電システムを拡販する。

<sup>44</sup> 我が国の蓄電池政策と認定活用の可能性（経済産業省、平成26年9月）

### 3.7. 系統（送配電）・エネルギーキャリア

#### ①技術の特色<sup>45</sup>

	日本語名	特徴	技術確立時期
送配電 (Transmission and Distribution)	高圧交流送電(HVAC : high voltage alternating current transmission)	<ul style="list-style-type: none"> <li>電力輸送に係る方式はこれまで交流送電が主流であり、送電ロスを減少するためにひたすら電圧を上げて高圧送電、超高圧送電、さらに超々高圧送電(500kV以上)を採用している。HVACには、変電所、FACTS等が関連する。ただし、交流送電では送電距離が長くなると送電電力損失が大きくなる。</li> <li>電線メーカーとしては、フジクラ、古河電工工業、住友電気工業、昭和電線ケーブルシステム、ジェイ・パワーシステムズなどがある。高圧電線に対応した変圧器やガス絶縁開閉装置、避雷器などの装置を三菱電機、東芝、日立製作所等が開発している。</li> </ul>	確立済み
	高圧直流送電(HVDC : high voltage direct current transmission)	<ul style="list-style-type: none"> <li>高圧直流送電(HVDC)は、長距離送電(50~100km以上)に向いており、送電ロスがHVACよりも少ない。HVDCは、ABBが開発を行ったもので、国内では日立製作所がABBと提携している。</li> <li>NEDOは、大規模洋上ウインドファームの発電電力を複数の洋上変電所で集電・直接変換し、陸上の変電所に送電する「多端子直流送電システム」の開発を進めている(開発機関~2020年)。</li> </ul>	確立済み (継続開発中)
	超電導送電	<ul style="list-style-type: none"> <li>現在使用されている電力ケーブルに比べて送電損失は約1/2、容量は3倍以上。大容量で高効率な送電システムの構築、さらに、ケーブル敷設のための費用の削減が可能。</li> <li>ケーブルの敷設には距離と高低差を考慮した温度管理が必要。このため、冷却系について液体窒素送液の圧力及び流速、長距離にわたって冷却温度を適切に制御し、冷媒中継基地間でも連携したシステムを構築する必要がある。</li> <li>超電導技術は我が国が優位性を有する分野であり、超電導ケーブルの開発では日本が欧米に対して技術的リードを保っている。NEDO事業にて2014年度より次世代送電システム実証事業(本プロジェクト)を推進している。</li> </ul>	開発中
エネルギーキャリア (Energy carrier)	水素	<ul style="list-style-type: none"> <li>水素を効率的に輸送・貯蔵するためには減容が必要であり、液化水素、有機ハイドライドの実証研究がNEDOにて進められている。</li> <li>液化水素は、圧縮水素(20MPa)と比べて容積が1/12になることから、輸送が容易になる。断熱や極低温(マイナス253℃)化時のエネルギー効率の向上が課題。川崎重工業が豪州褐炭を用いた実証を行っている。</li> <li>有機ハイドライドとは、芳香族化合物に水素を結合させたものであり、現在、メチルシクロヘキサン(MCH)の技術開発が進められている。千代田化工では、有機ケミカルハイドライド法を利用した、SPERA水素システムのパイロットプラントによる技術実証運転を2014年に完了した。</li> <li>水素発電も検討されているが、水素の安定供給(大量かつ安価での供給)が課題。また、自然変動型再生可能エネルギーの系統安定化対策として、再生可能エネルギーの余剰電力等を用い電解装置によって水素を製造する、Power to Gasも注目されている。</li> </ul>	開発中
	アンモニア	<ul style="list-style-type: none"> <li>アンモニアも水素と同様に、エネルギー貯蔵・輸送の手段として注目をされつつあり、日本の技術研究を始め、国際的にも研究が活発化している。国内では、内閣府SIPなどにて、アンモニア直接燃焼(天然ガスとの混焼も)の実証が進む。アンモニアは、すでに世界的に流通しており安定供給に問題はない。ただし、アンモニア燃焼時のNOX発生については、シミュレーションでは問題ないことを確認しているが、実機、特に大型化の場合については検証が必要。</li> </ul>	開発中

45 参考文献：エネルギー開発エネルギー関係技術開発ロードマップ（経済産業省、平成26年12月）、蓄電池・水素について（資源エネルギー庁 平成24年7月）、水素・燃料電池戦略ロードマップ（水素・燃料電池戦略協議会 平成28年3月改訂）、内閣府SIP「エネルギーキャリア」他

②ロードマップ<sup>46</sup>

	日本語名	日本技術の導入可能性	現在～2020	2020～2025	2025～2030	2030～2035	2035～2040	
送配電 (Transmission and Distribution)	高压交流送電(HVAC : high voltage alternating current transmission)	展開次第で可能性あり	→					
	高压直流送電(HVDC : high voltage direct current transmission)	展開・開発次第で可能性あり	→					
	超電導送電	開発次第で可能性あり				→		
エネルギーキャリア (Energy carrier)	水素	開発次第で可能性あり					→	
	アンモニア	開発次第で可能性あり					→	

46 参考文献：エネルギー開発エネルギー関係技術開発ロードマップ（経済産業省、平成26年12月）、蓄電池・水素について（資源エネルギー庁 平成24年7月）、水素・燃料電池戦略ロードマップ（水素・燃料電池戦略協議会 平成28年3月改訂）、内閣府SIP「エネルギーキャリア」他

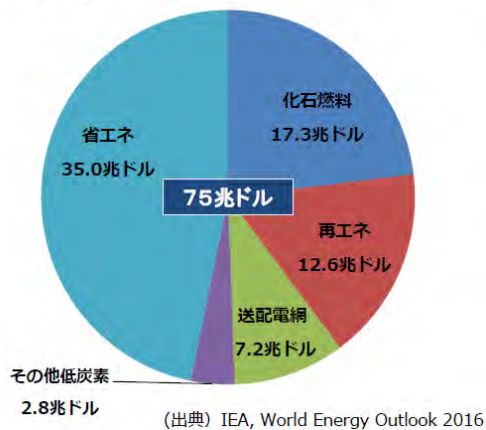
③導入見込みと開発状況

i) 系統（送配電）

IEAによると、2016～2040年の送配電部門総計で約7.2兆ドルの設備投資が見込まれている。中国、インド等のアジア新興国は、電力消費量の増大による大きな需要があり安定供給へのニーズも高い。一方、北米・欧州等の先進国地域では洋上風力発電の導入に併せた海底ケーブルの敷設、流通設備の高経年化の時期を迎えてのリプレース等の需要も大きい。

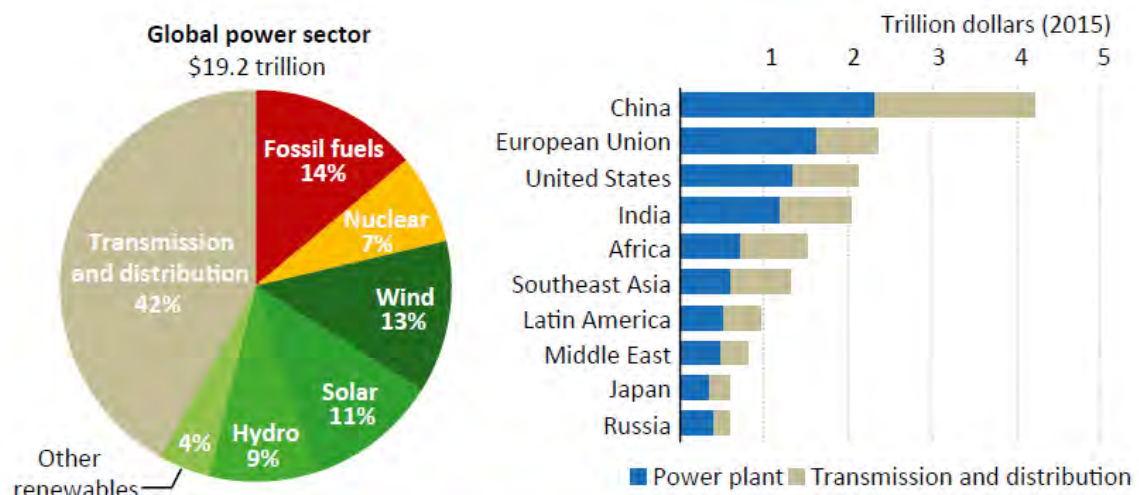
エネルギー供給・省エネ関連投資の見通し

(2016-2040の累計、450シナリオ※3)



出典：海外展開戦略タスクフォース 中間整理案 長期地球温暖化対策プラットフォーム 「海外展開戦略タスクフォース」2016年12月22日

図 V-60 : Cumulative power sector investment in the New Policies Scenario, 2016-2040



Two-and-a-half times as much is invested in renewable technologies than that of fossil-fuel plants

出典：World Energy Outlook 2016 (IEA, 2016)

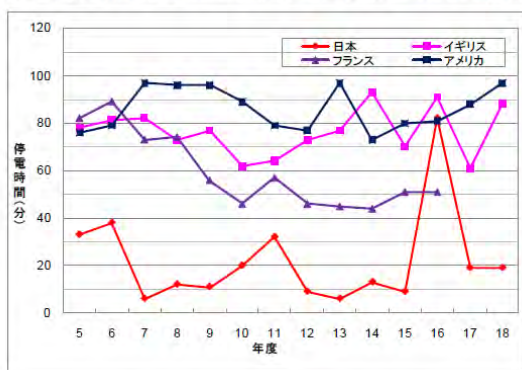


上図で示されるように、今後、世界各国においてエネルギーミックスの最適化と気候変動対策から、再生可能エネルギー投資が2016～2040年にて12.6兆ドルと見込まれており、再エネの発電量への割合は拡大することが予想される。

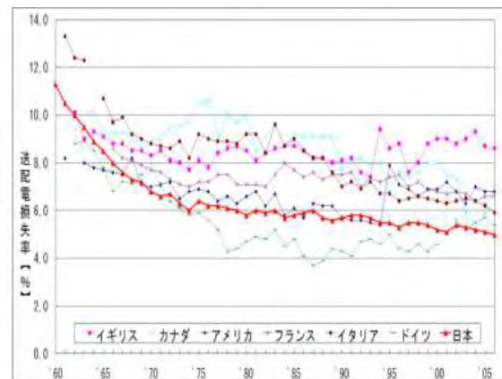
途上国での開発においても、高い供給信頼度を維持しつつ、太陽光発電や風力発電といった出力が不安定な再生可能エネルギーの導入拡大を可能とする電力システムを構築していくことが重要である。<sup>47</sup>

送配電分野における我が国の信頼度は、停電時間や送配電ロス率の観点からみて、欧米と比較して高い水準にあり、今までの知見が途上国においても活かされるものと考えられる。

<事故停電時間（年間・1需要家当たり）の各国比較<sup>7)</sup>>



<送配電ロス率の国際比較>



出典：電気事業連合会、次世代送配電ネットワーク研究会 報告書（平成22年4月）

なお、再生可能エネルギーの導入拡大に伴う技術的な課題と対応策は、概ね以下のとおりである。

表 V-10：再生可能エネルギー導入拡大に伴う技術的課題と対応策（例）（再掲）

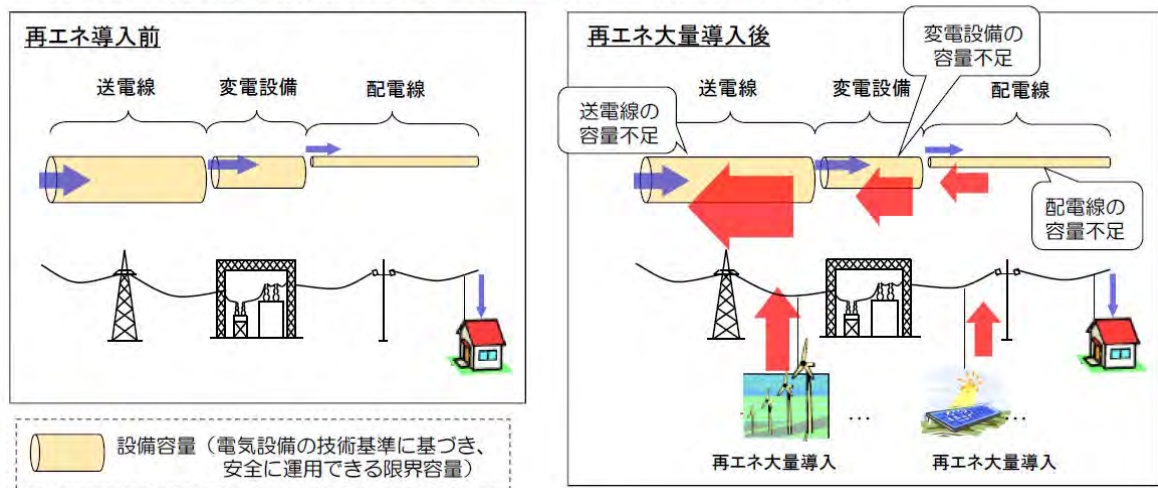
課題	対応策(例)
① 急激な出力変動に対する周波数調整力の不足	> 出力変動の調整やバックアップのための電源確保(火力・揚水発電等) > 蓄電池の活用
② ベース供給力と再生可能エネルギーの合計発電量が需要を上回ることによる余剰電力の発生	> 揚水発電、地域間連系線の活用 > 再生可能エネルギーの出力抑制 > 蓄電池の活用 > 軽負荷期の需要創出
③ 太陽光発電から系統側への電気の流入(=逆潮流)が増加することによる系統電圧の上昇	> 柱上変圧器の分割設置、電圧調整装置の設置、バンク逆潮流対策 > 需要家の電力消費調整
④ 電力需要が少ないエリアでの系統接続の増加による送電容量の不足	> 送変電設備の整備、増強

出典：再生可能エネルギー白書（NEDO）、再生可能エネルギー導入拡大に伴う技術的課題と対応策について（平成26年8月 電気事業連合会）等を参考に調査団にて作成

<sup>47</sup> 次世代送配電ネットワーク研究会 報告書（平成22年4月）

上表④に挙げられるように、再生可能エネルギーが電力需要の少ない地域で増加すると、既存のネットワーク設備に容量不足が生じて電気を流せなくなるため、設備の増強等の対策を実施する必要がある。そのため、現地の電力需要と技術的特性を検証しながら、最適な送配電システムの増強及び更新を行っていくことが求められる。

＜エリア内系統におけるネットワーク設備の容量不足のイメージ＞



出典：再生可能エネルギー導入拡大に伴う技術的課題と対応策について（平成26年8月 電気事業連合会）

高圧送電線（HVAC、HVDC）

電力輸送に係る方式はこれまで交流送電が主流であった。交流電流の技術は成熟しており、交流送電線の容量は、電圧レベルの2乗に比例し、距離に増加する送電線のインピーダンスに反比例する。そのため、長距離で送電容量を上げるためには、電圧を高くする必要がある。交流電線における大凡の送電容量と距離及び電圧の関係は、下表のとおりである。例えば、中小規模の太陽光発電には、330 kV以下の送電線を使うのが一般的である。大規模かつ長距離の再生可能エネルギーには、500 kV以上の送電線を通常要する。

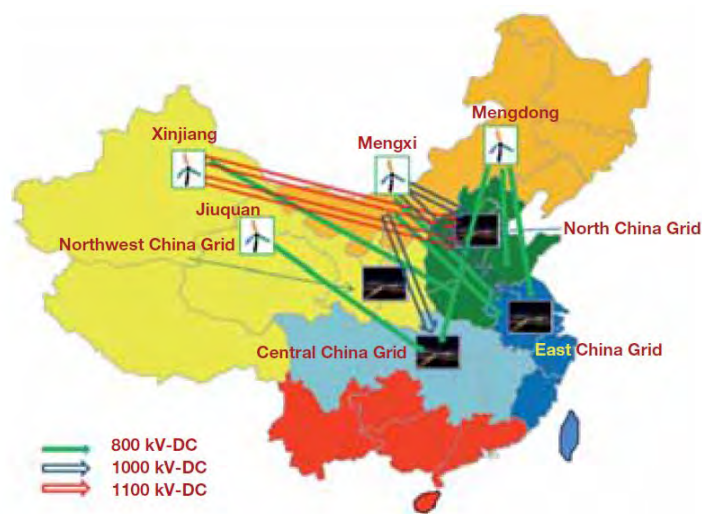
表 V-1 1 : Typical transmission capacities and distances of different voltage-level AC lines

Voltage level (kV)	Capacity (MW)	Distance (km)
110	10-50	50-150
220	100-500	100-300
330	200-800	200-600
500	1 000-1 500	150-850
765	2 000-2 500	Above 500

出典：Grid integration of large-capacity Renewable Energy sources and use of large-capacity Electrical Energy Storage (IEC, 2012)

通常、大規模な再生可能エネルギー発電所は、ロードセンタから遠く、長距離の送電線を必要とする。近年、交流送電では送電距離が長くなると送電電力損失が大きくなるデメリットがあるため、高圧直流送電の採用が広がるようになっている。中国やインド<sup>48</sup>などの途上国でも導入がされている。また、急速に普及されている風力や太陽光発電など再生エネルギー発電がもともと直流発電のため、直接直流送電が望ましいことも拍車となっている。

図 V-61 : UHVDC (ultra-high voltage DC) transmission plan for some 10 GW-level wind power bases in China

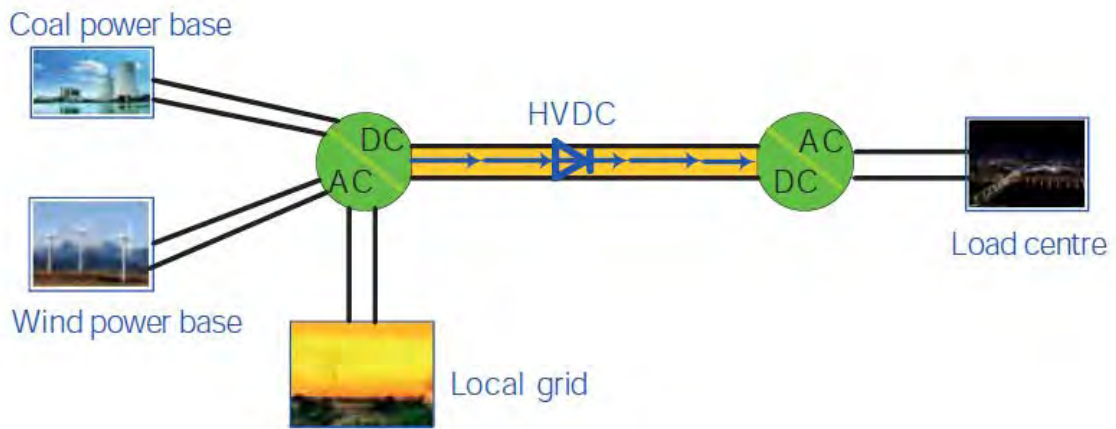


出典 : Grid integration of large-capacity Renewable Energy sources and use of large-capacity Electrical Energy Storage (IEC, 2012)

風力発電と石炭火力発電を組み合わせた系統図としては、以下が想定される。ローカルグリッドによる電圧支援により安定性を増して、送電することができる。一方、ローカルグリッドへの風力発電の変動影響などを管理していく必要がある。このように複雑な系統連系をする場合など、HVDCの導入に当たっては系統解析等を十分実施する必要がある。

<sup>48</sup> フランス大手重電メーカーAlstom社は、インドにおける高圧送電網の建設が、2018年までに市場規模20億ユーロに達すると見込んでいる。うち、今後10年間の高圧直流(HVDC)送電市場が全体で500億ユーロと推定。<http://www.india-bizportal.com/industry/energy/p12900/>

図 V-62 : “Wind-fir bundling” design with HVDC transmission and local grid



出典 : Grid integration of large-capacity Renewable Energy sources and use of large-capacity Electrical Energy Storage (IEC, 2012)

日本における高圧直流電線の実証研究としては、NEDOの「グリーンネットワーク・システム技術研究開発プロジェクト」（2008～2012年度）として、データセンター等の省エネ化を図るための革新的手法の一つである高電圧直流（HVDC）給電システムの技術開発と導入推進を行っていた（第2章参照）。また、直近では、「次世代洋上直流送電システム開発事業」が挙げられる。複数の大規模な洋上ウィンドファームの電力を高需要地へ送電するため、高信頼性・低廉性を有する直流送電線システムの実用化に向けたシステムや要素技術の開発・実証を目的として行っている。

図 V-63：「次世代洋上直流送電システム開発事業」の実施体制

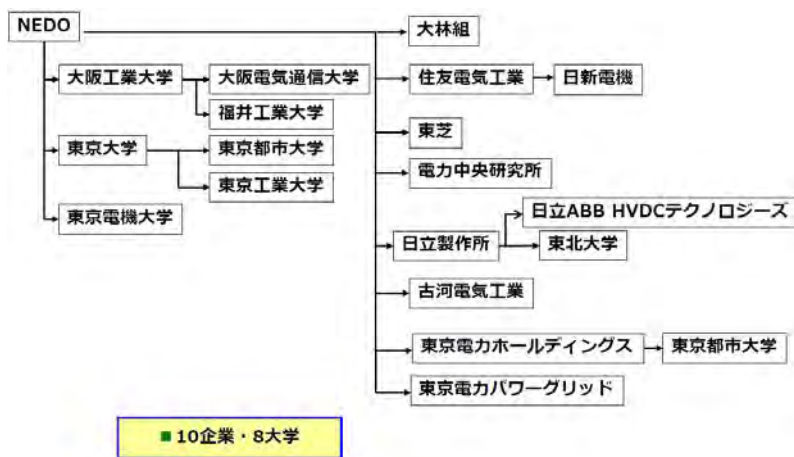
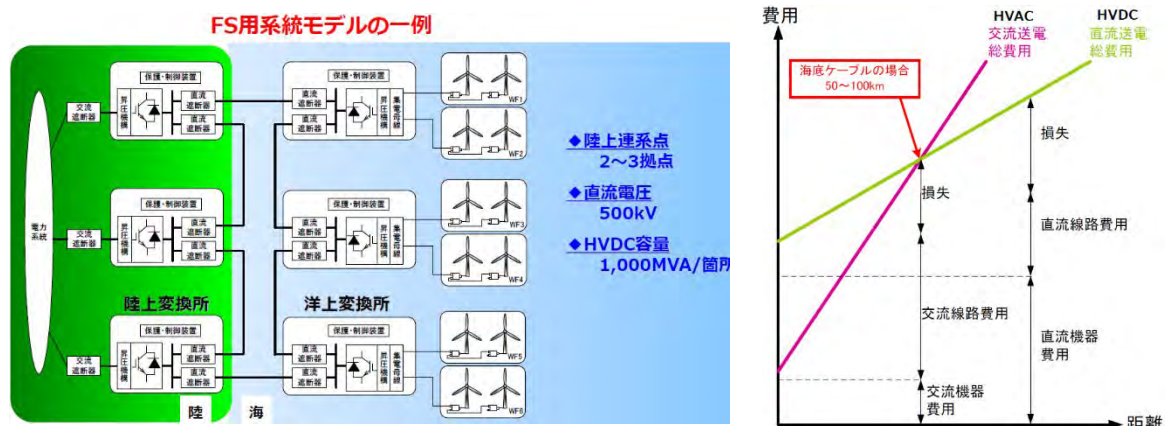


図 V-64：FS用システムモデルの一例（左）、HVDCの損益分岐点概念図（右）



出典：次世代洋上直流送電システム開発事業 報告会資料（2016.11）

また、NEDO と NTT ファシリティーズは米国テキサス州のテキサス大学オースチン校と共同で、データセンターの省エネ化を実現するための高電圧直流（HVDC）給電システムを同校内に導入し、2016年8月に実証試験を開始している。

図 V-65：テキサス大学オースチン校における省エネ実証システム概要図



テキサス大学オースチン校における省エネ実証システム概要図

出典：NEDO HP

### 超電導電線

低損失の次世代送電線として、超電導電線の開発が進められている。超電導は極低温にすると電気抵抗がゼロとなる現象で、例えば、送電ロス的大幅な低減や送電容量の増加、設備のコンパクト化など、大きな省エネルギー効果が期待される。超電導電線は、初期的には、揚水発電所の発電機引出線や都市部の地中ケーブルへの適用が見込まれている。なお、超電導ケーブルを用いた送電システムの国内の市場規模は、2030年において首都圏を中心に年間260億円程度見込まれる。<sup>49</sup>

超電導電線に関する直近の開発研究としては、NEDOの「高温超電導実用化促進技術開発」が挙げられる。近年、比較的高温（-196℃以下）で用いることのできる高温超電導材料の開発が大きく進み、いくつかの技術課題が残るものの、具体的なシステムとして高温超電導機器を組み上げ、その有効性を示していく段階に到達しつつある。

超電導ケーブルは、送電容量アップ（約3倍）が図れると同時に発熱による送電ロスも現在の銅線ケーブルの、1/2～1/3程度に低減されることから、既存の地下電力網インフラを活用しつつより効率的に需要に応えることができる。また、銅線ケーブルでは一定の距離毎に昇圧設備、管路の空調設備が必要となるが、超電導線では昇圧設備を削減でき、管路空調も不要であることから、長期的に運用コスト面でも顕著に有利となる見込みである。



写真：石狩市超電導送電プロジェクト HP

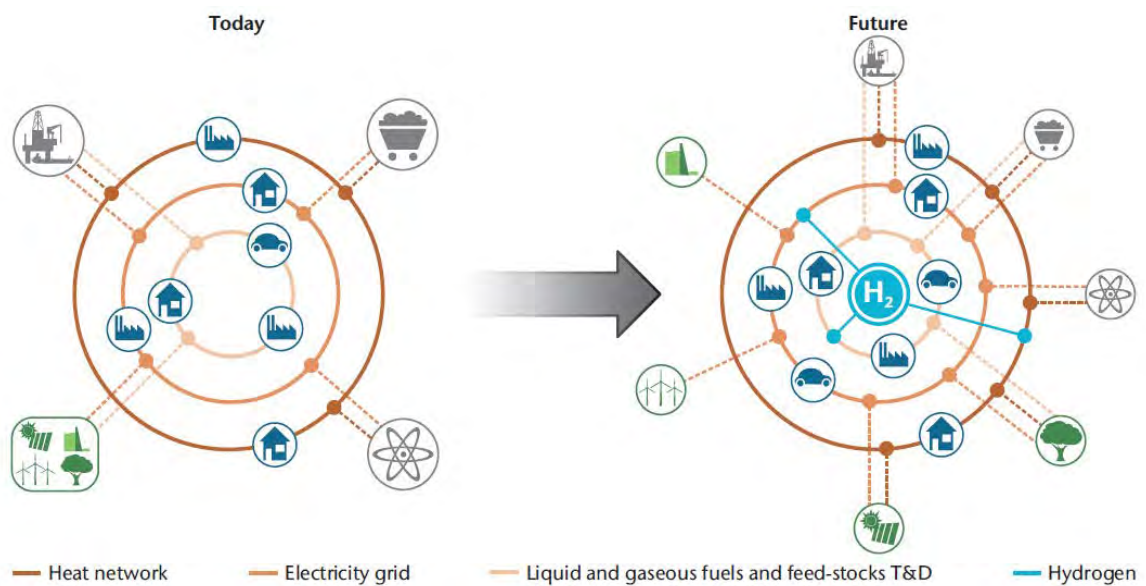
<sup>49</sup> NEDO「次世代送電システムの安全性・信頼性に係る実証研究」基本計画

ii) エネルギーキャリア

未利用化石燃料の高効率利用や再生可能エネルギー等のエネルギー源の利用拡大の課題として、地域偏在（電力の供給地と需要地が離れている）があげられる。地域偏在の解決策として水素等の二次エネルギーに変換し、それらを大量に貯蔵・輸送するシステムを構築し電力需給バランスの安定化を図ることが求められている。

図：エネルギーシステムの今日と将来イメージ

水素をエネルギーキャリアとして利用することで、従来と違ったエネルギー源や送電網をつなげることができ、将来の低炭素エネルギーシステムでの柔軟性を増すことができる。



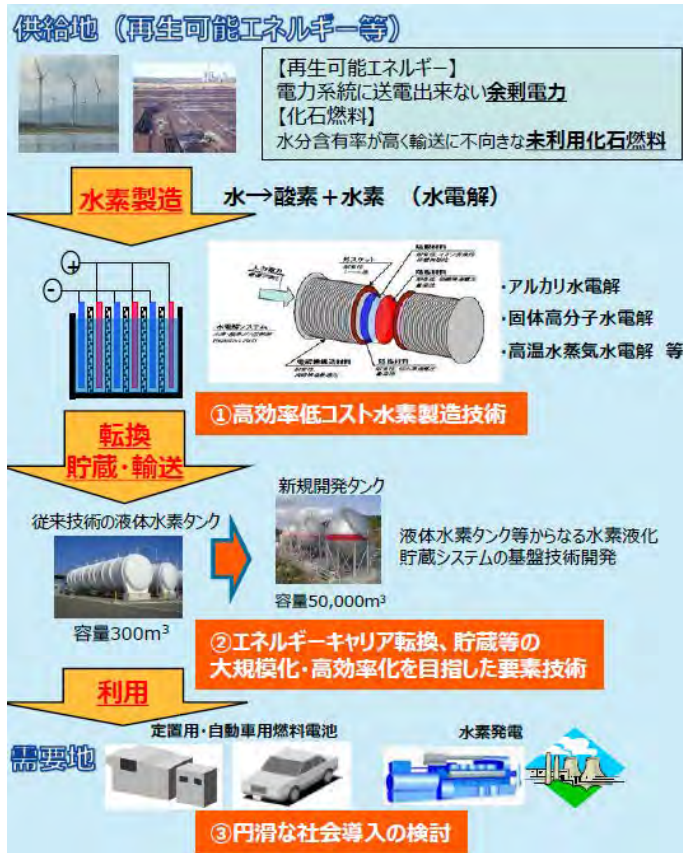
出典：Technology Roadmap Hydrogen and Fuel Cells (IEA, 2015)

図 V-66：水素・燃料電池戦略ロードマップ概要（経済産業省）（一部抜粋）



出典：水素・燃料電池戦略ロードマップ（水素・燃料電池戦略協議会、平成28年3月改訂）

経済産業省による助成では、「革新的水素エネルギー貯蔵・輸送等技術開発」において、水素のエネルギーキャリアの支援が行われている。



この事業では、以下の技術開発・社会導入検討を実施し、技術開発等に反映することを目的とする。

1. 再生可能エネルギー等からの高効率低コスト水素製造技術 (例：水電解装置の大型化・高性能化等)
2. 将来の水素供給システムの大規模化・高効率化・水素利用拡大を見通した要素技術開発 (例：液体水素タンク設備の大型化、脱水素プロセスの大幅な高効率化等)
3. 水素・燃料電池戦略ロードマップの具体化に向け、開発された水素・エネルギーキャリア技術の円滑な社会導入の検討

□平成26年度から平成34年度までの9年間の事業。本事業を通じ、平成41年度までに水素の調達コスト30円/Nm<sup>3</sup>にする目処を付けた上で、将来的にはトータルでCO<sub>2</sub>フリーな水素供給システムの実現を目指す。また、平成42年度において約1,105万t/年のCO<sub>2</sub>削減を目指す。

(参考)

### CO<sub>2</sub>フリー水素チェーン構想

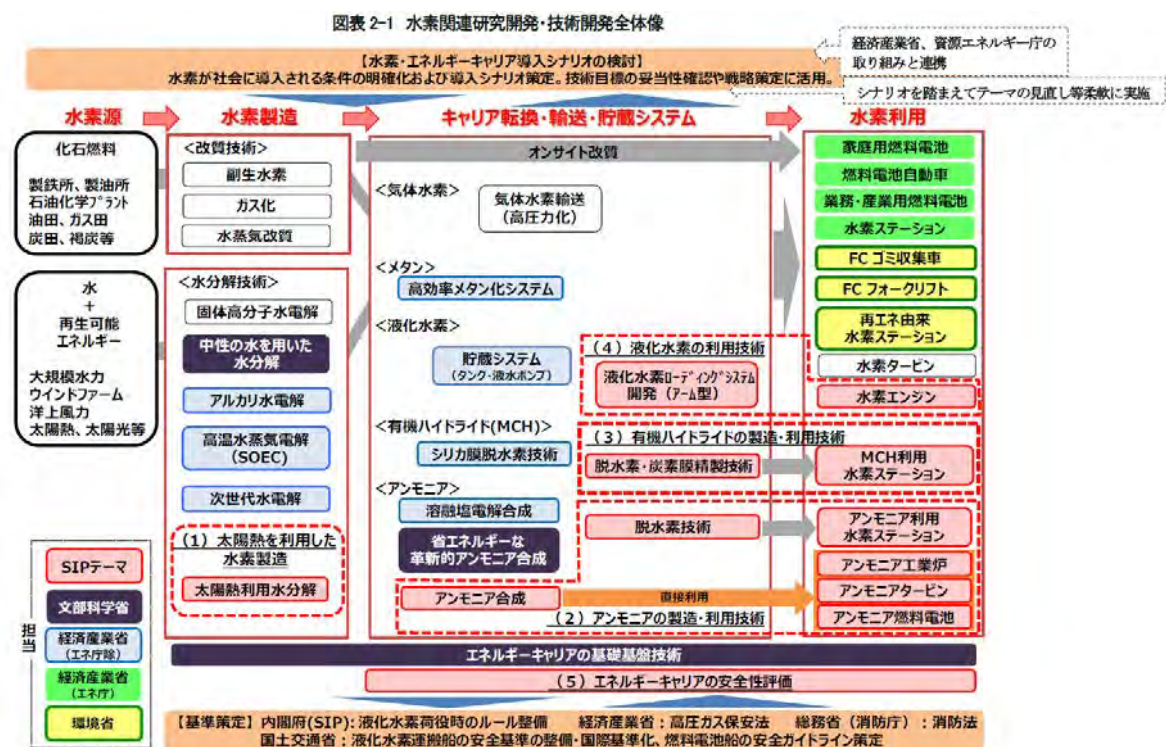


出典：海外展開戦略タスクフォース 中間整理案 長期地球温暖化対策プラットフォーム 「海外展開戦略タスクフォース」2016年12月22日



また、戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）においては、以下を研究開発の主たるテーマとして、アンモニアを含めたエネルギーキャリアの研究開発を行っている。

- アンモニア、有機ハイドライド、液化水素等のエネルギーキャリアの開発および実現可能性見極め
- 水素並びにアンモニア利用技術（燃料電池、タービン発電等）の低コスト、高効率化等研究開発
- 水素輸送・利用に係る安全基準等の策定・規制緩和の働きかけに資する研究開発



出典：戦略的イノベーション創造プログラム（SIP） エネルギーキャリア（新しいエネルギー社会の実現に向けて） 研究開発計画（内閣府、2018. 6）

なお、同研究における目標は以下のとおりである。

① 技術的目標

2018年までに再生可能エネルギー等の利用による安価なエネルギーキャリア製造技術のモデル検証、エネルギーキャリアを利用した発電、水素ステーションへの供給システム（有機ハイドライドを用いた脱水素・精製システム実証機（300 Nm<sup>3</sup>/h）や現在の家庭用燃料電池と同レベルのアンモニア燃料電池（1 kW）、アンモニア直接燃焼タービン（2 MW）の実証機）等での技術確立を目指す。

## ②産業面の目標

### i) 産業創出

- ・部材、装置、プラント等含め、水素を中心とした総合エネルギー産業を育成する。
- ・定置用燃料電池、燃料電池自動車を含め、2020年までに国内1兆円産業への到達を目指す。

### ii) 世界シェア

- ・国際的基準化・標準化にも積極的に取り組み、日本の水素関連産業の国際競争力向上を進め、2030年までに世界市場で大きなプレゼンスを持つ産業への発展を目指す。

## ③ 社会的な目標

- ・2020年までにガソリン等価のFCV用水素供給コストを、2030年までに天然ガス発電と同等の水素発電コストを実現する。
- ・2020年東京オリンピック・パラリンピックでエネルギーキャリアを活用した水素関連技術の実証をする。

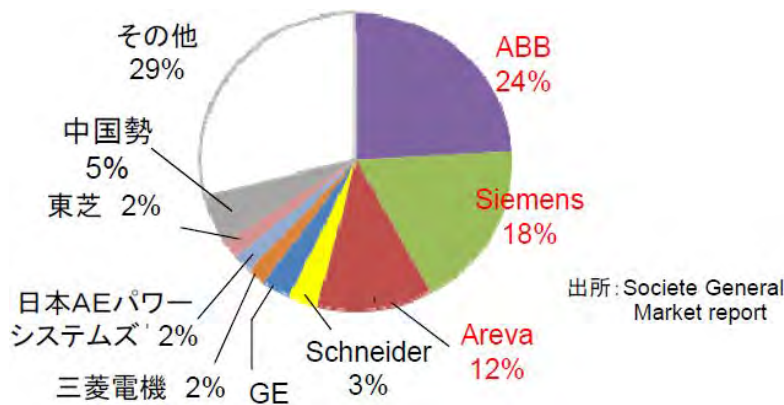
## ④国際競争力

送配電<sup>50</sup>

送配電の市場シェアは、ABB、Siemens等の欧米勢が高いものとなっている。ただし、日本企業は、高効率かつ大容量の超高压送電を支える高压変電設備、地下変電所など変電所の小型化技術（高压変電器、GIS（ガス開閉絶縁装置））、海底ケーブル等の高度技術で欧州メーカーに互する競争力を保持している。

欧州メーカー（ABB、Siemens、AREVA）は現地化によりコスト低減と実績から情報を積み上げ圧倒的な優位性を持つ、また幅広い品揃えを有し、システム・プラント全体のインテグレーターとして強い競争力を有している。日本は、系統全体に着目すると、信頼性（停電時間が短い）・効率性（送配電ロス率が少ない）では世界最高水準であるが、潮流制御技術等は相手国の電力システム全体に関わるものであり、日本型を持ち込むまでは至っていない。

図 V-67：送配電機器の世界シェア（2010年度）



出典：インフラ関連産業の海外展開のための総合戦略（経済産業省、2010）

高压電線

HVDC 技術を最初に開発と導入したのはスイスの ABB であり、現在でも市場を優位に進めている。2014年12月に ABB は日立製作所と共同出資して、日本国内向け高压直流送電事業の合弁会社の設立を合意しており、国内での市場獲得も進めている。

超電導電線<sup>51</sup>

超電導技術は我が国が優位性を有する分野であり、超電導ケーブルの開発では日本が欧米に対して技術的リードを保っている。主な日本企業は、住友電気工業、古河電気工業、フジクラ、日立製作所である。欧米企業では、Columbus（イタリア）、Hyper Tech（米国）、Bruker（ドイツ）AMSC（米国）であるが、日米韓の競合状態となっている。最近では韓国の技術的な猛追が著しい。

<sup>50</sup> インフラ関連産業の海外展開のための総合戦略（経済産業省、2010）

<sup>51</sup> エネルギー関係技術開発ロードマップ（経済産業省、2014）

⑤途上国進出の課題

途上国への進出では、以下のような課題が挙げられる。

- ・ 低圧交流電線については、他国企業との技術的な差がない。
- ・ 海外市場において、HDVC、HDACを含め、現地化を実施している欧米企業を比して、競争優位があるとはいえない。
- ・ 現地国の電力システムの設計に日本の仕様が合わずに、売り込みづらい。むしろ欧州等の仕様を採用している。
- ・ 高性能なものは価格が高く、現地国からの理解が得られづらい。
- ・ 土地収用等の問題があり、工事が進捗しないことが多い。
- ・ 新設の場合は、環境問題や近隣住民とのトラブルが生じる可能性がある。

⑥政策支援

インフラ関連産業の海外展開のための総合戦略において、アジア地域、洋上風力発電の導入に伴う海底ケーブル敷設等に我が国の送配電システムの海外展開を図るとされている。以下がそのアクションプランである。



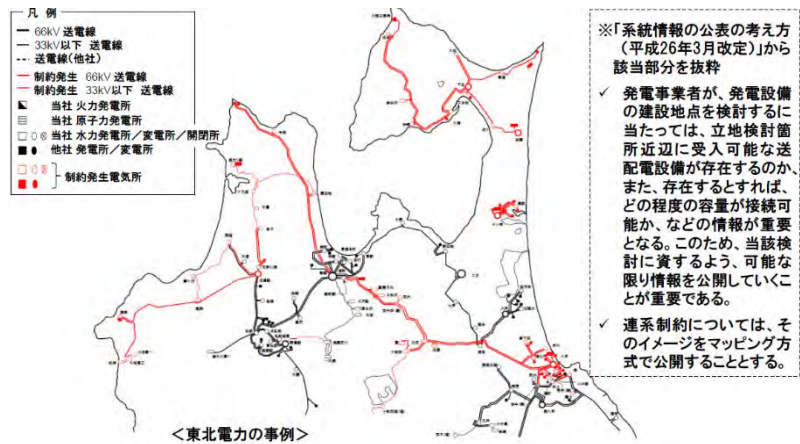
出典：インフラ関連産業の海外展開のための総合戦略（経済産業省、2010）

上記以外にも、近年における日本での電力会社の取組を共有していくことで、再生可能エネルギーの導入も見据えたシステムのあり方を事前に検証していくことが考えられる。

(参考) 52

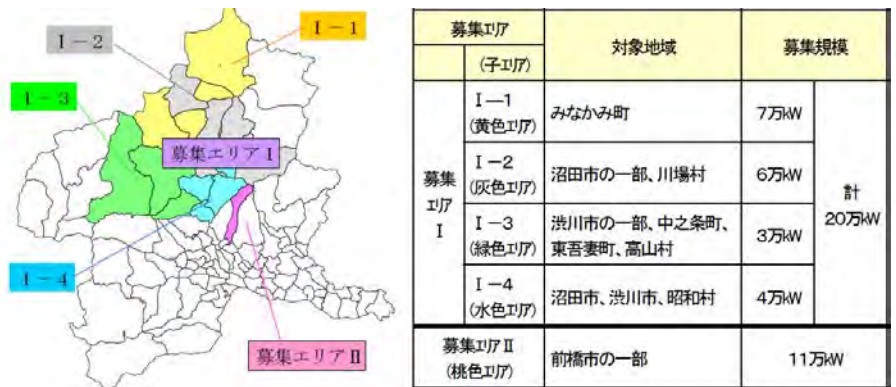
1. 電力の取り組み (系統接続に関する情報の公表)

発電設備の連系を希望する事業者の予見可能性を高める観点から、国が策定した「系統情報の公表の考え方」を踏まえ、電力各社は連系制約マップを作成・公表・



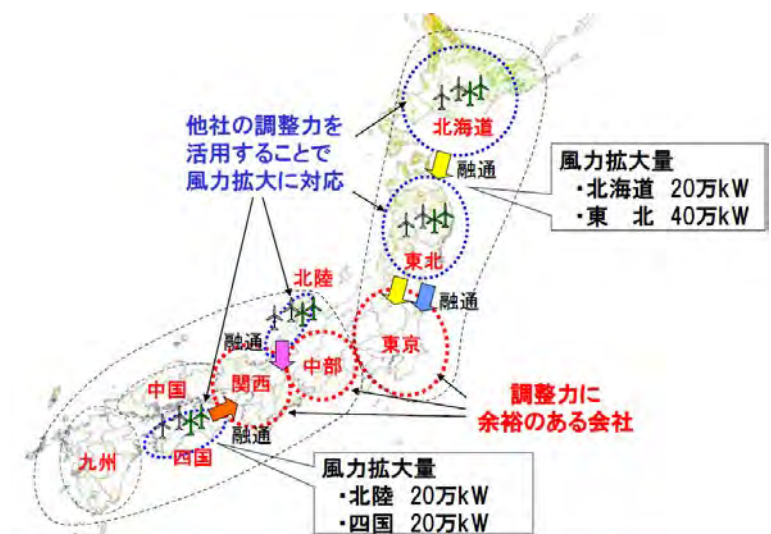
2. 電力の取り組み (系統増強に関する課題と対応)

大規模な系統増強工事が必要な状況で工事費を複数事業者で同時に分担できるように、系統情報 (対象エリア・募集規模) を公表し、入札による新たな連系受付方法にて募集するスキームを試験実施。



3. 電力の取り組み (連系線活用による風力の導入拡大)

地域間連系線を通じて他社の調整力を活用し、風力発電の導入拡大を図る実証試験の取り組みを東日本3社と中西日本6社がそれぞれ公表。



52 出典：再生可能エネルギー導入拡大に伴う技術的課題と対応策について (電気事業連合会, 2014)

### 3.8. スマートシティ、スマートグリッド、デマンドレスポンス

#### ① 技術の特色 <sup>53</sup>

	日本語名	特徴	技術確立時期
スマートシティ、スマートグリッド、デマンド・レスポンス (Smart city, Smart grid, Demand response)	配電自動化システム	<ul style="list-style-type: none"> <li>・配電線や変電所に設置される機器の状態や電流値・電圧値等を遠隔監視しながら配電線開閉器を自動操作することで、供給信頼度の向上や保守作業の省力化を図るシステム。</li> <li>・日本では配電自動化システムが全国的に普及しており、遠隔操作可能な開閉器が広がっている(連系自動開閉器も遠隔操作可能)。海外における配電自動化ニーズや普及状況は、各国毎に異なる。</li> </ul>	実用化 (継続開発中)
	スマートメーター通信システム(AMI)	スマートメーター通信システム(Advanced Metering Infrastructure: AMI)は、双方向通信によりインターバル検針のほか、より多くの情報・データ蓄積が可能となったスマートメーターに、電力会社側の通信やHAN (Home Area Network)等の通信ネットワークを含めた情報の収集・管理システム。現在、各国で導入が進められている。	スマートメーターは実用化 (AMIは開発中)
	エネルギーマネジメントシステム(EMS)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・EMSには、ビル向けのBEMS、家庭向けのHEMS、工場向けのFEMS、そして地域向けのCMESがある。いずれもICTを利用して、需要側のEMSを効率的に行うものである。</li> <li>・地域エネルギーマネジメントシステム(Community Energy Management System)は、電力系統・配電、地域における分散電源やコジェネレーション、各需要家をICTで結び、電力品質の確保、省エネルギー化、そしてピークシフトによるCO2削減を両立されるための全体最適を行うシステム。CEMSによって地域単位にて情報が統合され、社会システム全体での最適な運用が実現する。</li> </ul>	実用化 (継続開発中)
	デマンドレスポンス(DR)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・家庭で消費される電力の需要カーブや電気料金に関する情報等を需要家へ提供し、需要家自らが電気の使い方を工夫することで負荷を調整したり、エアコン・冷蔵庫等を太陽光による発電量や系統の需給状況により自動的に制御する需要制御システム。</li> <li>・需要抑制の方法によって、①電気料金設定によって需要を制御しようとする電気料金型と、②電力会社と需要家の契約に基づき、電力会社からの要請に応じて需要家が電力消費を制御するインセンティブ型(ネガワット取引)の大きく二つに区分できる。IoTを利用した遠隔管理システムなどの開発が進む。</li> </ul>	継続開発中
	バーチャルパワープラント(VPP)	従来の電源に加えて風力、太陽光、地熱等の分散型電源と、需要家側エネルギー資源(蓄電池、EV等)を統合的に活用するために、すべてのエネルギーリソースをあたかも1つの発電所のように捉えた考え方。需要家と系統側の情報を集約・遠隔制御するアグリゲーターが仲介役として重要な役割を果たす。経済産業省が平成28年度よりVPP構築事業を実施しており、東京電力、関西電力、積水化学、エナリス、NEC、SBエナジーなどが参加している。	継続開発中
	広域監視制御システム	PMU(位相計測装置)を主要コンポーネントとし、GPSの時刻情報を用いて広域電力系統の同時刻での潮流、電圧などの系統データを収集し、状態の監視に用いるシステム。これらを最適管理すること、また系統崩壊が起こる前に問題を予測し、防止・対応することを目的とする。系統規模が大きく、運用が複雑な欧米を中心に導入が進んでいる。	継続開発中
	分散型電源管理システム(DERMS) (島しょ国、遠隔地)	風力発電や太陽光発電による系統不安定化を防止するため、それらの出力を監視、制御する。発電量予測とも組み合わせられる。また系統用蓄電池と連携したシステムを構築することで、アンシラリーサービスの提供や、風力発電や太陽光発電に起因する余剰電力蓄電、ピーク負荷カットによる送配電投資の抑制なども可能となる。島しょ国や遠隔地など、オフグリッドにおいて、最適なエネルギーバランスと監視・制御システムを構築することが可能となる。	実用化 (継続開発中)

② ロードマップ 54

	日本語名	日本技術の導入可能性	現在t~2020	2020~2025	2025~2030	2030~2035	2035~2040	
スマートシティ、スマートグリッド、デマンド・レスポンス (Smart city, Smart grid, Demand response)	配電自動化システム	展開次第で可能性あり						
	スマートメーター通信システム(AMI)	展開次第で可能性あり						
	エネルギーマネジメントシステム(EMS)	展開次第で可能性あり						
	デマンドレスポンス(DR)	開発次第で可能性あり						
	バーチャルパワープラント(VPP)	開発次第で可能性あり						
	広域監視制御システム	開発次第で可能性あり						
	分散型電源管理システム(DERMs) (島しょ国、遠隔地)	展開次第で可能性あり						

### ③ 導入見込みと開発状況<sup>55</sup>

近年、世界において、スマートメーターの普及はいくつかの市場にて成熟しており、配電自動化や他の新しいグリッド技術への投資も減少している。分散型電源の普及により、電力負荷の特性は明確に変化しており、グリッドのアップグレードやAMI（スマートメーター通信システム）などによるデマンドレスポンスの必要性が増している。しかし、規制の枠組みが、まだ投資を呼び込むほど整備されていないという現状もある。

需要家サイドでは、AMIのビルへの敷設など、電力会社は配電と負荷のモニタリングによるビッグデータを利用したビジネスモデルを模索しており、それにより、電力の消費者が電力市場に参入でき、またデマンド・サイド・フレキシビリティ（需要家サイドの柔軟性）を可能にする。ITを利用したエネルギーのデジタル化は、エネルギー・ネットワークの能力を改善できることもあり、すべてのネットワーク・オペレーターにとってのスマートグリッド技術の投資促進につながるといえる。これらの市場は、年々65%の増加し(TCEP 2015)、2023年には6倍に増加する(Navigant, 2014)。

発電サイドでは、太陽光発電や風力発電の自動化、配電グリッドへの影響を減らすための分散型電源と蓄電池との統合した管理システム（分散型電源管理システム）など、ネットワーク・コード（仕様や条件）がスマートグリッド技術に対応するものに義務化されている。ドイツ、イタリアやハワイなど、分散型電源が浸透している地域の配電網のオペレーターは、スマートグリッドを利用して、負荷と発電を監視・制御をしている。

また、近年、ブラジルやスペインとフランス、中国などで、先進的な高圧直流送電(HVDC)の導入が進んでいるものの、高圧送電技術の普及も鈍っている。バーチャルパワープラント(VPP)については、フランス、カナダ、米国など各国でトレンドとなっている。

経済産業省の長期地球温暖化対策プラットフォーム「海外展開戦略タスクフォース」にて、日本の技術等を活用して、世界全体でのCO<sub>2</sub>排出量の削減に貢献するための総合的な検討を行い、2017年2月に中間整理をとりまとめた。そこでは、以下のとおり、「エネルギーシステム統合技術」として、デマンドレスポンス(DR)を含めてIoT等を活用したエネルギーシステム全体の最適化や、「システムを構成するコア技術」として次世代パワーエレクトロニクスなど、スマートグリッドに関連した技術が含まれている。

<sup>55</sup> IEA Tracking Clean Energy Progress 2016 他



<b>約束草案</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>JCM等日本政府の事業による国際的な排出削減、吸収量の見込みは、<b>2030年度までの累積で0.5～1億トン</b>。</li> <li>低炭素社会実行計画を中心とした産業界による取組を通じて、<b>2030年度に全世界で少なくとも10億トンの削減ポテンシャル</b>が見込まれる。</li> </ul>
<b>エネルギー・環境イノベーション戦略</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2050年を見据えては、選定した革新技術分野の技術開発・適用等により、全世界で<b>数10～100億トン規模の削減ポテンシャル</b>が期待されるとしている。</li> </ul>

エネルギー・環境イノベーション戦略で選定された 革新技術分野	
<b>エネルギーシステム統合技術</b>	○革新技術を個別に開発・導入するだけでなく、ICTによりエネルギーの生産・流通・消費を互いにネットワーク化し、デマンドレスポンス（DR）を含めてシステム全体を最適化。 <b>AI、ビッグデータ、IoT</b> 等を活用。
<b>システムを構成するコア技術</b>	○次世代パワエレ：電力損失の大幅削減と、新たなシステムの創造
分野別革新技術	<b>省エネルギー</b> 革新的生産プロセス 超軽量・耐熱構造材料 ○高温高压プロセスの無い、革新的な素材技術 > 分離膜や触媒を使い、20～50%の省エネ ○材料の軽量化・耐熱化によるエネルギー効率向上 > 自動車重量を半減、1800℃以上に安定適用
	<b>蓄エネルギー</b> 次世代蓄電池 水素等製造・貯蔵・利用 ○リチウム電池の限界を超える革新的蓄電池 > 電気自動車が、1回の充電で700km以上走行 ○水素等の効率的なエネルギーキャリアを開発 > CO <sub>2</sub> を出さずに水素等製造、水素で発電
	<b>創エネルギー</b> 次世代太陽光発電 次世代地熱発電 ○新材料・新構造の、全く新しい太陽光発電 > 発電効率2倍、基幹電源並みの価格 ○現在は利用困難な新しい地熱資源を利用 > 地熱発電の導入可能性を数倍以上拡大
	<b>CO<sub>2</sub>固定化・有効利用</b> ○排ガス等からCO <sub>2</sub> を分離回収し、化学品や炭化水素燃料の原料へ転換・利用 > 分離回収エネルギー半減、CO <sub>2</sub> 削減量や効率の格段の向上

出典：海外展開戦略タスクフォース 中間整理 長期地球温暖化対策プラットフォーム「海外展開戦略タスクフォース」2017年2月9日

また、資源エネルギー庁の「次世代エネルギー・社会システム事業」では、実証地域の選定をし、平成23年度よりスマートコミュニティに関する実証事業を開始し、平成27年3月まで実施している（第2章参照）。分散型エネルギーのITや蓄電池等によるエネルギーマネジメント、分散型エネルギーシステムによるエネルギー需給の管理・最適化などがスマートコミュニティの定義に含まれており、後述するスマートグリッドやデマンドレスポンス、広域監視制御システムなどが、要素技術となっている。



出典：次世代エネルギー・社会システム実証事業（資源エネルギー庁、2016.6）

次世代送配電ネットワーク研究会（報告書発表、平成22年4月）では、電力の安定供給を保持しつつ、再生可能エネルギーの大量導入を受入れる次世代送配電ネットワークの構築のため、系統安定化に係る技術的課題の整理、系統安定化対策コスト試算等を行った（参考1, 2参照）。検討の過程においては、国内のスマートグリッド及びスマートコミュニティの検討状況や、系統安定化対策に係る検討も踏まえたものとなっている。

同研究会においては、次世代送配電ネットワークに関連する技術として挙げられており、いずれもスマートグリッドに関連するものと考えられる。これらの技術はいずれも日本企業として海外展開を今後行っていく可能性のあると考えられる。

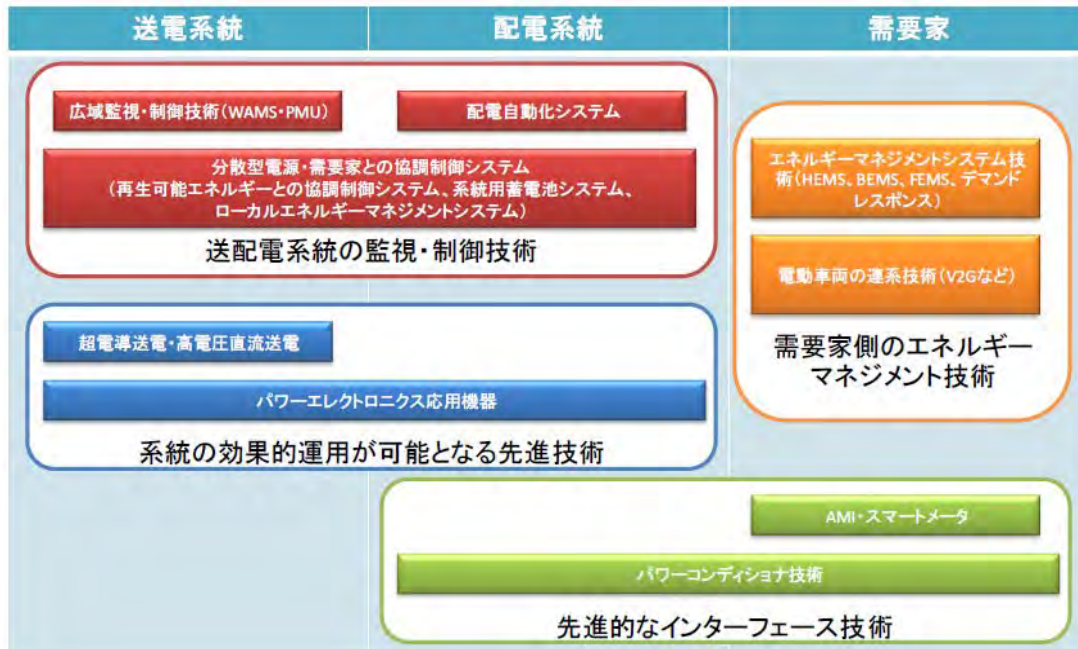
表 V-1 2 : 次世代送配電ネットワーク関連技術

項目	関連技術
電圧変動対策	電圧変動装置 (SVC、SVR 等)、柱上変圧器の分割
余剰電力対策・周波数調整対策	蓄電池 (系統側・需要側)、系統状況管理用計測設備
単独運転・不要解列対策	新型 PCS
AMI (スマートメーター通信システム)	AMI 対応メータ、データ処理システム (サーバ) 等
負荷制御	負荷制御用インターフェース機器
配電自動化システム	自動開閉器、遠隔操作
HEMS,BEMS,FEMS	情報サービスの提供
系統安定化対策	バンク逆潮流対策、需給システム改修、超電導ケーブル敷設

出典：次世代送配電ネットワーク研究会 報告書（平成22年4月）、再生可能エネルギー技術白書等により調査団にて作成

また、NEDOの再生可能エネルギー白書（初版）において示されたスマートグリッド技術の導入先は以下のとおりである。

図 V-68：スマートグリッドの導入先イメージ（再掲）



出典：NEDO 再生可能エネルギー技術白書（初版）

これらの技術を機能別に整理すると、以下のように分類される。（第2章参照）

表 V-13：スマートグリッド技術の機能別整理

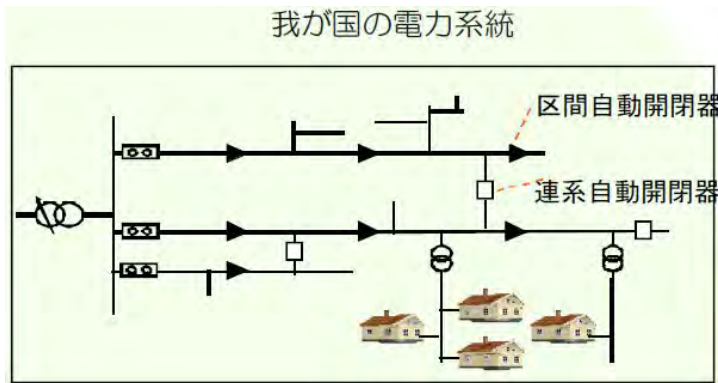
機能	技術
① 送配電システムの監視・制御技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・広域監視・制御システム</li> <li>・分散型電源管理システム（再生可能エネルギーとの協調制御システム、系統用蓄電池システム）</li> <li>・配電自動化システム ※1</li> </ul>
② 需要家側のエネルギーマネジメント技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・エネルギーマネジメントシステム技術（BEMS、HEMS、FEMS、CEMS）</li> <li>・デマンドレスポンス、スマート家電</li> <li>・電動車両の連系技術（G2V：Grid to Vehicle、V2G：Vehicle to Grid、V2H：Vehicle to Home）</li> </ul>
③ 系統の効果的運用が可能となる先進技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・超電導送電・高電圧直流送電</li> <li>・パワーエレクトロニクス応用機器（無効電力制御による電圧調整、送電線潮流コントロールなどで、SVC、STATCOM、UPFCなど）</li> </ul>
④ 先進的なインターフェース技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・パワーコンディショナ技術</li> <li>・AMI・スマートメーター ※2</li> </ul>

出典：NEDO 再生可能エネルギー技術白書（初版）を元に調査団作成

※1 配電自動化システム<sup>56</sup>

配電自動化システムは、配電線や変電所に設置される機器の状態や電流値・電圧値等を遠隔監視しながら配電線開閉器を自動操作することで、供給信頼度の向上や保守作業の省力化を図るシステムであり、スマートグリッドに代表される配電ネットワークの高機能化のうち、信頼度向上と運用効率向上に大きく資する技術要件である。

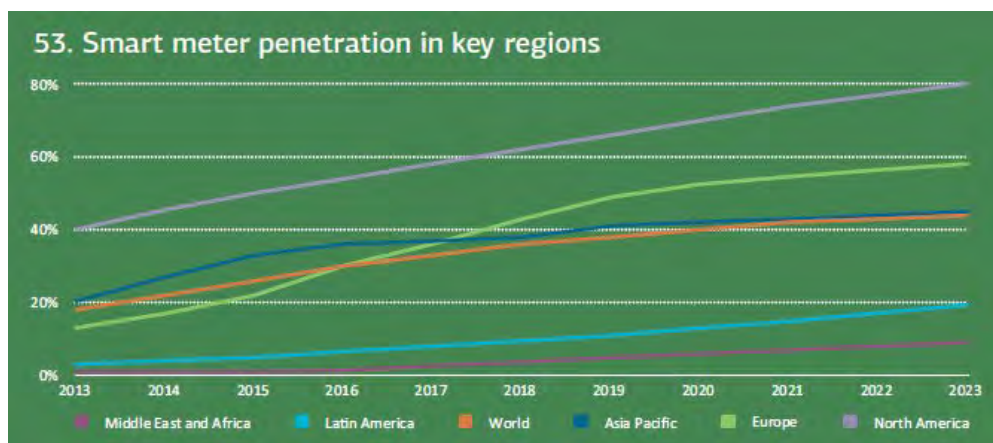
日本では供給信頼度向上策として先行実施し、配電自動化システムが全国的に普及しており、遠隔操作可能な開閉器が広がっている（連系自動開閉器も遠隔操作可能）。そのため、日本は、系統計画から運用までのノウハウを有している。また、近年、各国において導入・検討されている。



出典：経済産業省資料「配電自動化について（我が国と海外の電力会社の比較）」より抜粋

※2 AMI・スマートメーター<sup>57</sup>

スマートメーターは各国にて導入が進められている。



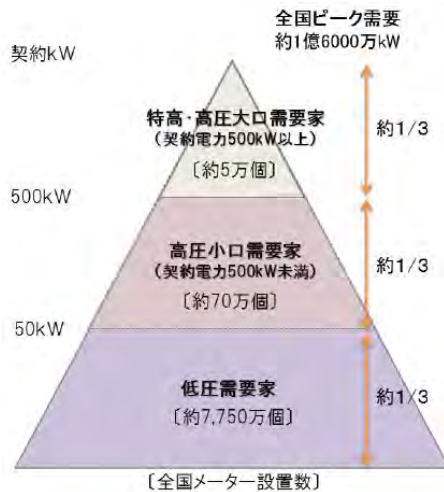
出典：IEA Tracking Clean Energy Progress 2016

<sup>56</sup> 参考文献：経済産業省資料「配電自動化について（我が国と海外の電力会社の比較）」ほか

<sup>57</sup> 参考文献：スマートメーター制度検討会報告書（平成23年2月、スマートメーター制度検討会）、スマートメーターの導入促進に伴う課題と対応について（資源エネルギー庁、平成26年12月）

日本においても、各電力会社でスマートメーターの導入が進められている。

図：日本におけるスマートメーター設置予定数



出典：スマートメーターの導入促進に伴う 課題と対応について （資源エネルギー庁、平成 26 年 12 月）

狭義のスマートメーターは遠隔検針、遠隔開閉、計測データの収集発信といった、スマートメーターの概念のうち一定の機能を有するものであり、広義のスマートメーターとは、いわゆる AMI(Advanced Metering Infrastructure)であり、スマートメーターが HGW(Home Gate Way)の機能を有し、家庭内機器とリンクすることで HAN (Home Area Network)<sup>58</sup>を構成するほか、情報収集及びエアコン等の簡単な機器制御も行うなど、HEMS としての機能も有するという考え方もある。

スマートメーターが有する機能の特徴の一つとして、双方向通信による需要家及び電力会社等との連携が挙げられ、これまで計測することのできなかった詳細な情報が収集・発信されることで、需要家の省エネ・省 CO2 の推進、電力会社等の業務効率化及び社会的コストの低減等、様々な用途に活用されることが期待されている。

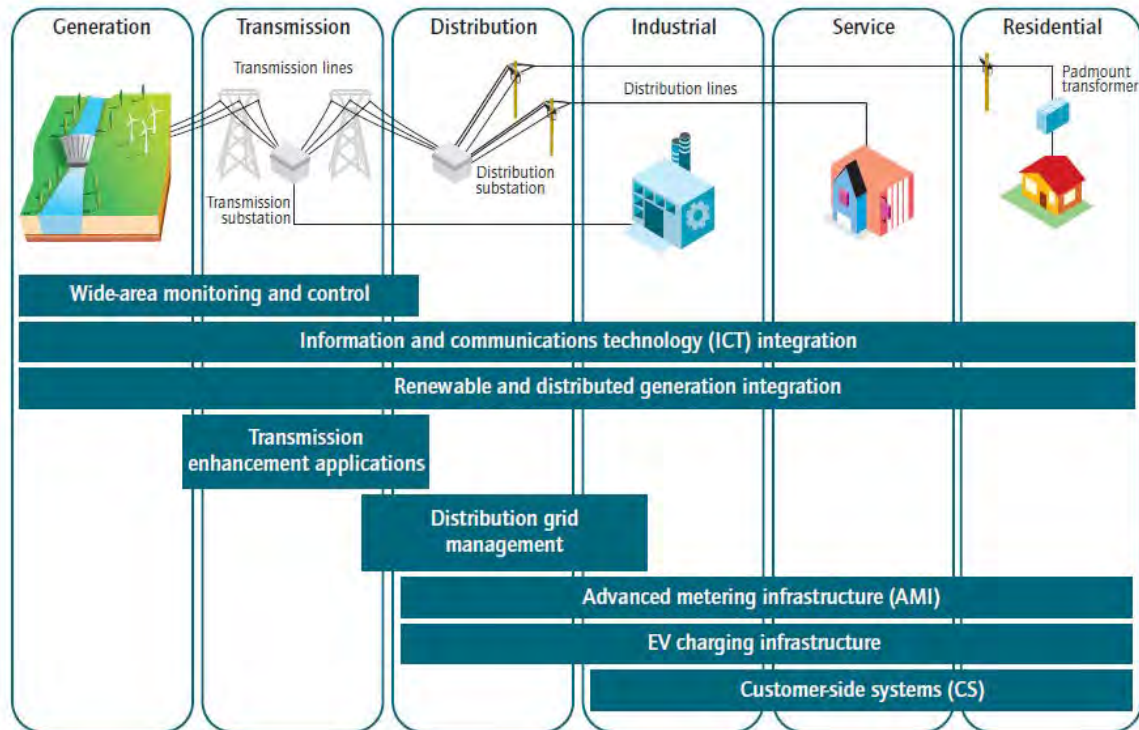
#### <スマートメーターの機能整理>



出典：スマートメーター制度検討会報告書（平成 23 年 2 月、スマートメーター制度検討会）

<sup>58</sup> HAN (Home Area Network)とは、通信機能を有した家庭内機器が相互に通信することで形成されるネットワークエリアを指すものであり、スマートメーターも HAN を構成する一要素となり得ると考えられる。

なお、IEAがSmart Grid Technology Roadmapにて挙げたスマートグリッド技術は以下のように、日本における検討と対応している。



Source: Technology categories and descriptions adapted from NETL, 2010 and NIST, 2010.

出典：Technology Roadmap Smart Grid (IEA, 2011)

また、2011年当時において技術の進展度合いを示したものが以下のとおりである。

Technology area	Maturity level	Development trend
Wide-area monitoring and control	Developing	Fast
Information and communications technology integration	Mature	Fast
Renewable and distributed generation integration*	Developing	Fast
Transmission enhancement applications**	Mature	Moderate
Distribution management	Developing	Moderate
Advanced metering infrastructure	Mature	Fast
Electric vehicle charging infrastructure	Developing	Fast
Customer-side systems	Developing	Fast

\* Battery storage technologies are less mature than other distributed energy technologies.

\*\* High Temperature Superconducting technology is still in the developing stage of maturity.

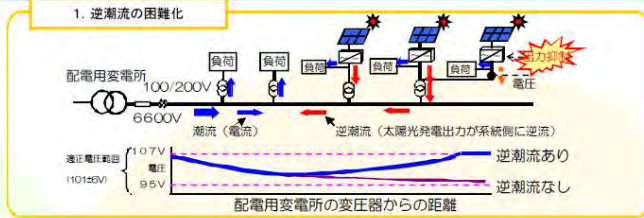
出典：Technology Roadmap Smart Grid (IEA, 2011)

(参考1) 再生可能エネルギーの大量導入時における課題

## 太陽光発電の大量導入時の課題

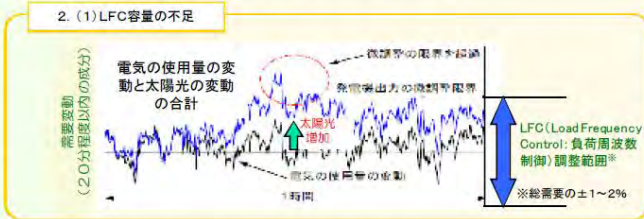
### 1. 配電網の電圧上昇による逆潮流の困難化

- 太陽光発電の電力が系統に逆流した場合、配電系統の電圧が上昇。
- 連系点の電圧が電事法適正值(101±6V)を逸脱しそうな場合、逆潮流量を自動的に抑制(出力抑制)。
- 太陽光パネル増加に伴い、配電系統への逆潮流が困難化する可能性あり。



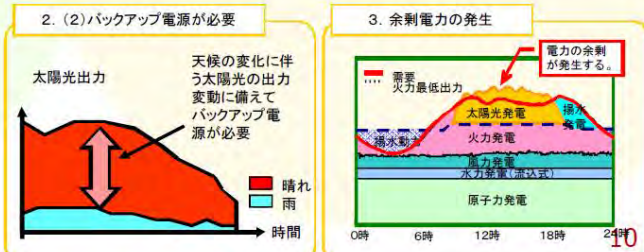
### 2. 周波数調整力の不足

- 太陽光発電の出力は、天候などの影響で変動するため予測困難。
- 導入量が拡大すると、その変動に対応する周波数調整力が不足するおそれ
- (1) 需要の小刻みな変動(20分程度以内)に、太陽光出力の変動が加わることで、供給エリアごとに確保している調整力が不足するおそれ。
- (2) 天候の変化による太陽光出力の大幅な変動に備えて、バックアップ電源が必要。



### 3. 余剰電力の発生(需給バランス)

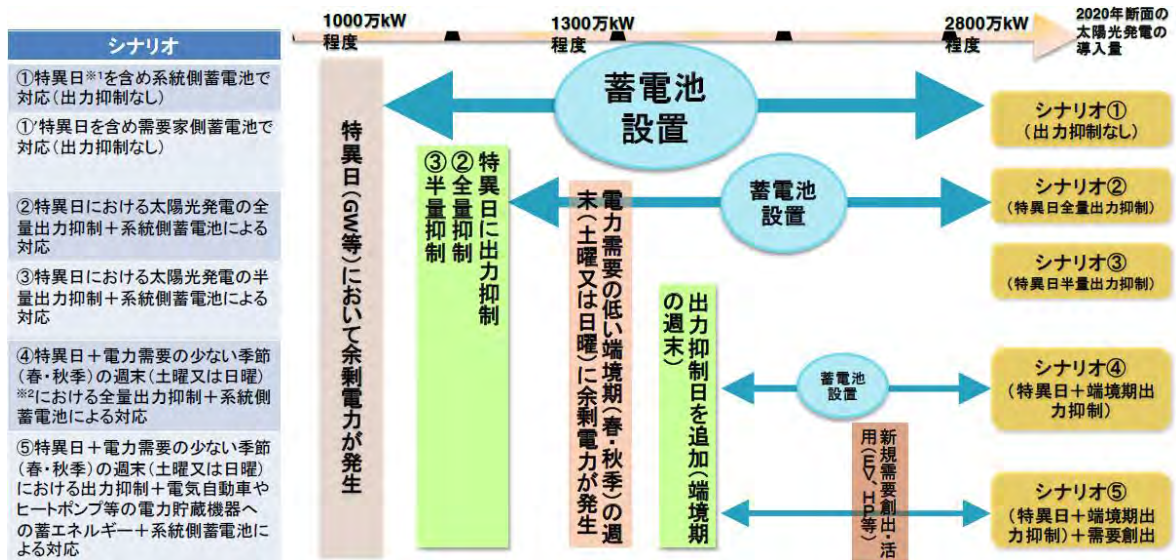
- 太陽光発電が増加すると、需要の少ない時期(軽負荷期)に、ベース供給力(原子力、水力、火力最低出力)等と太陽光による発電量が需要を上回り、電力の余剰が発生するおそれ。
- 太陽光発電が増加すると、系統側の電源設備・流通設備とも稼働率が低下し、電源・流通双方でコストアップが発生。



出典：経済産業省資料 <http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g90522a11j.pdf>

(参考2) 系統安定化対策コストの試算結果

次世代送配電ネットワーク研究会(平成22年4月)において、日本における太陽光発電を2800万kW導入することを想定した、系統安定化対策コストの試算結果を以下に示す。2020年時点の全需要家平均負担単価を加味することで、再生可能エネルギーを導入する際の社会全体での事業性を評価することに有用である。



出典：次世代送配電ネットワーク研究会 報告書(平成22年4月)

2,800万kW導入ケース

シナリオ	2020年までの負担総額	2020年時点の全需要家平均負担単価
①(出力抑制なし) (系統側蓄電池)	16.24兆円	3.00円/kWh
②(特異日出力抑制)	3.67兆円	0.74円/kWh
③(特異日半量抑制)	8.54兆円	1.56円/kWh
④(特異日+端境期出力抑制)	1.36兆円	0.19円/kWh
⑤(特異日+端境期出力抑制+需要創出)	1.45兆円	0.21円/kWh

出典：次世代送配電ネットワーク研究会 報告書(平成22年4月)



④ 国際競争力<sup>59</sup>

次世代送配電ネットワーク研究会では、スマートグリッド関連技術として、以下の技術の市場を推計している。

- ① 蓄電池
- ② 電圧変動対策機器 (SVC)
- ③ 配電自動化機器

また、これらの技術について、それぞれの市場における日本企業のシェアは、当時の当該分野における欧米での日本企業の特許出願数の比率とし、蓄電池で52%、電圧変動対策(SVC)は20%、配電自動化は7%と想定されている。

(参考) 各技術の日本企業シェア

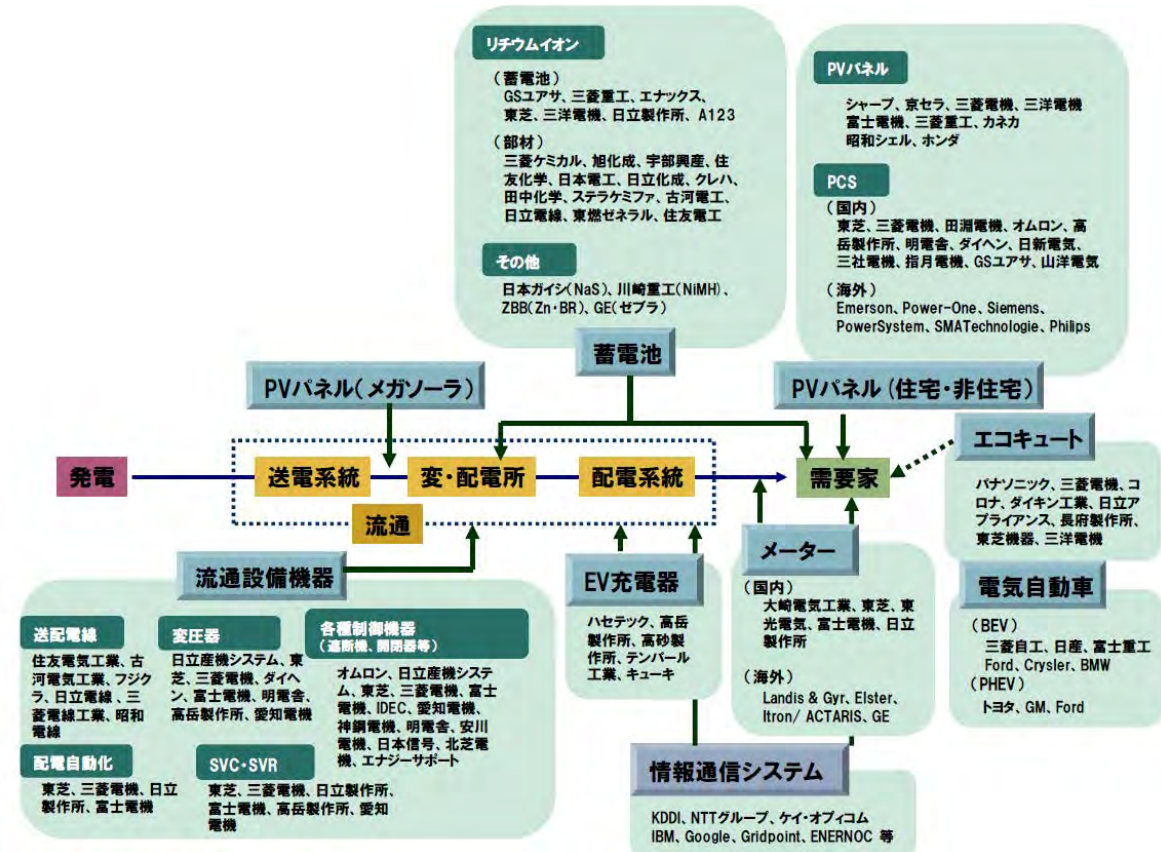
(億円)	米国		欧州		アジア		合計	
	2020	2030	2020	2030	2020	2030	2020	2030
蓄電池	-	19,200	12,800	-	-	-	12,800	19,200
日本企業のシェア	-	10,464	6,976	-	-	-	6,976	10,464
電圧変動対策(SVC)	1,491	1,081	730	529	3,423	2,481	5,644	4,091
日本企業のシェア	295	214	145	105	678	491	1,118	810
配電自動化	5,146	5,146	2,520	2,520	11,817	11,817	19,483	19,483
日本企業のシェア	340	340	166	166	780	780	1,286	1,286

出典：次世代送配電ネットワーク研究会 報告書（平成22年4月）

また同研究会では、次世代送配電技術に関連する企業を以下のとおり挙げており、これらの企業はスマートグリッド技術の代表として、海外展開も進めていくことが期待される。

<sup>59</sup> 参考文献：次世代送配電ネットワーク研究会 報告書（平成22年4月）

図 V-69：想定される次世代送配電技術関連産業



出典：次世代送配電ネットワーク研究会 報告書（平成 22 年 4 月）

⑤ 途上国進出の課題

スマートグリッド等に関する途上国進出の課題としては、以下のことが挙げられる。

- ・ 発電容量の拡大ニーズが高く、スマート化のニーズがない。
- ・ スマート技術に関するノウハウがない。
- ・ コストが高くなってしまふ。
- ・ 日本の系統と現地の系統の仕組みが合っていない。(現地で欧州型の系統を整備している場合)

(参考) 日本・欧州の系統の違い<sup>60</sup>

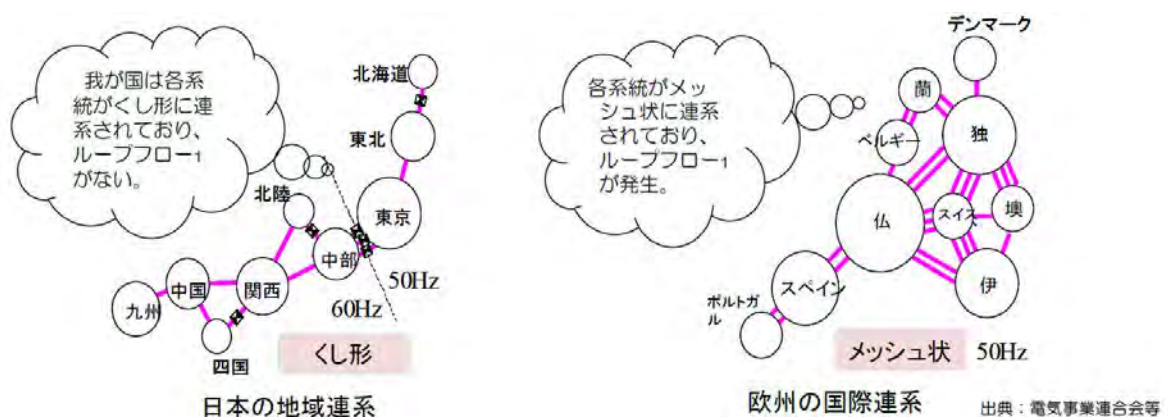
○日本の特徴

- ・ 国土が狭く、電力の大消費地が連なって存在
- ・ 送電設備は発電設備と一体的に整備され、基幹系送電網は整備済み
- ・ 大規模電源を、基幹送電線を経由して需要地へ送電・供給

○欧州の特徴

- ・ 大陸中に電力の大消費地が点在
- ・ 原子力・火力などの電源は比較的需地近くに立地
- ・ 各国は国際連系線でメッシュ状に連系
- ・ 再生可能エネルギーの大量導入に伴い、一部の地域間連系線等で送電容量不足が顕在化
- ・ 欧州大の広域的な系統管理が課題

図 V-70：日本と欧州の系統連系の違い

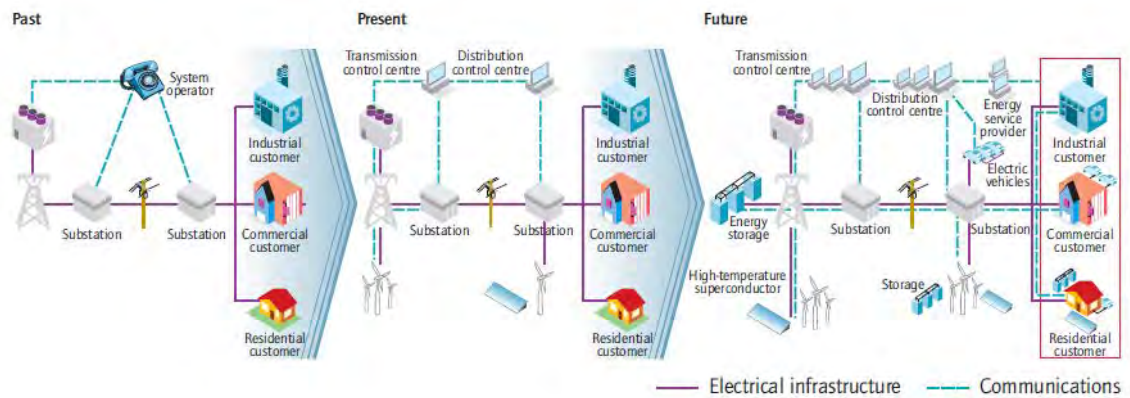


出典：次世代送配電ネットワーク研究会 報告書（平成 22 年 4 月）

<sup>60</sup> 次世代送配電ネットワーク研究会 報告書（平成 22 年 4 月）

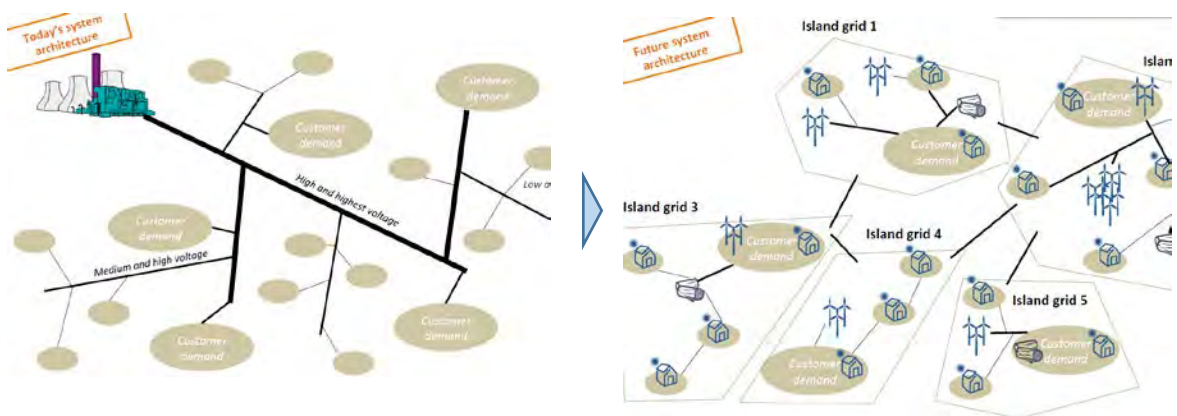
⑥ 政策支援

スマートグリッドの途上国における導入は、以下のような従来型の系統発展のステップを想定するのであれば、更に将来的な投資対象となるものと考えられる。しかし、前述で説明のとおり、遠隔地等においてオフグリッドの分散型電源の導入が、中央制御型の基幹系統の開発と同時進行又は先行して進められることが、今後は想定される。その場合には、今まで想定していない系統設計が必要となる。



Source: Unless otherwise indicated, all material derives from IEA data and analysis.

出典： Technology Roadmap Smart Grid (IEA, 2011)



出典： Towards Renewables - Based Energy Systems for Africa (CSIR, 2016)

そこで、途上国における分散型電源の導入計画や系統安定化ニーズに応じて、最適な系統構築を支援することが考えられ、例えば以下のような支援が挙げられる。

- ✓ 分散電源と蓄電池の導入アドバイスの実施（系統解析、効果測定等）
- ✓ 新たなビジネスモデルの検討支援
- ✓ 予防的な遠隔監視等のスマート技術に関するノウハウ提供
- ✓ パイロット導入時の資金支援

## (参考資料) GCF ファンディング・プロポーザル

### (1) ファンディング・プロポーザル一覧

第11回理事会で8件168百万米ドル、第13回理事会で9件257百万米ドルの合計17件425百万米ドルのプロジェクトへの資金供与が決定されている。

現時点での傾向としては、公共セクター案件が14件、グラントのみの案件が10件と多いのが特徴である。現時点では、民間資金を活用し、途上国の民間セクターの緩和・適応活動を支援するというGCFの目的には必ずしも適っている状況ではないため、今後の動向も注視していく必要がある。地理的分布は、アジア・パシフィックが申請金額ベースで全体の52%、アフリカが22%、ラテンアメリカとカリブ諸国が23%となっている。支援ツールでは、グラントが74%、ローンが16%、エクイティと保証がそれぞれ5%となっている。適応が52%、緩和が15%、横断的なのが33%。

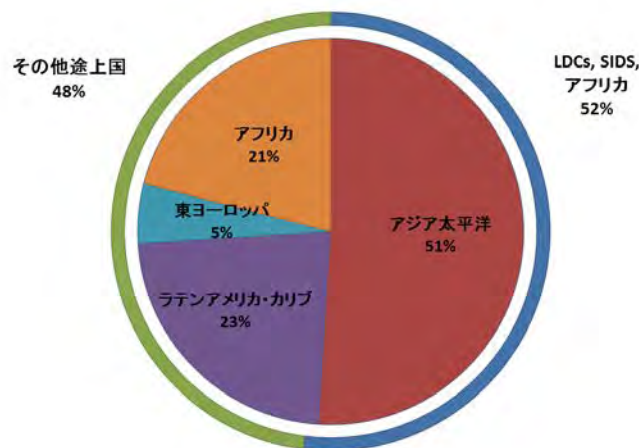


図1 地理的分布 (申請金額ベース)

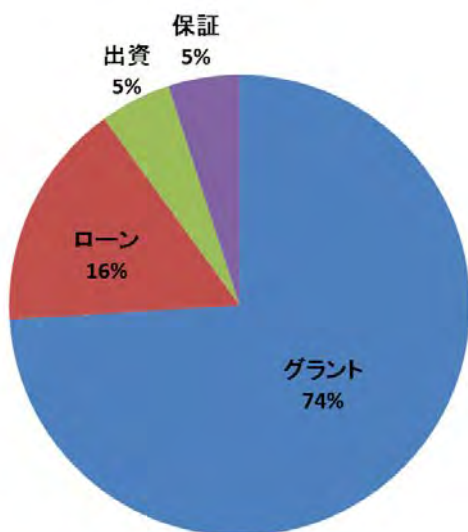


図2 支援ツール割合 (申請金額ベース)

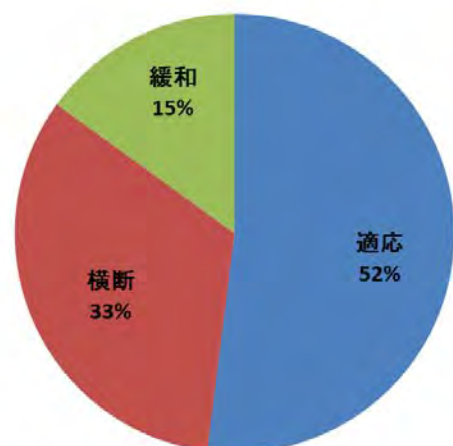


図3 緩和・適応の割合 (申請金額ベース)

出所：Green Climate Fund GCF/B.13/16

表1：GCFファンディング・プロポーザル一覧

番号	国	緩和/ 適応	技術	経緯
001	ペルー	横断的	太陽光パネル、蓄電システム等	既存プロジェクトの延長
002	マラウイ	適応	雨量計、水位センサー、気象センサー等	既存プロジェクトの延長
003	セネガル	適応	土手、生け垣、ダム、石の障壁等	既存プロジェクトの延長
004	バングラデシュ	適応	サイクロンシェルター、太陽光発電等	既存プロジェクトの延長
005	東アフリカ	横断的	ソーラーランタン、ソーラーホームシステム、ミニグリッド等	GCFを活用した既存事業のファンド運営
006	ラテンアメリカ	緩和	ESCO事業	既存プロジェクトの延長
007	モルディブ	適応	雨水収集システム、淡水化プラント、地下水涵養等	既存プロジェクトの延長
008	フィジー	横断的	上下水処理施設等	既存プロジェクトの延長
009	エルサルバドル	緩和	省エネエアコン、モーター、冷蔵、ボイラー	既存プロジェクトの延長
010	アルメニア	緩和	省エネ型建物の改修	既存プロジェクトの延長
011	ガンビア	適応	森林、サバンナ、林地、マングローブの復元、農地での補植	既存プロジェクトの延長
012	マリ	適応	大気水象警報サービス	既存プロジェクトの延長
013	ベトナム	横断的	マングローブの植林、嵐と洪水に強い設計の住宅	既存プロジェクトの延長
014	タジキスタン、ウズベキスタン	適応	農業生産、土地管理、その他気候変動への強靱性のための技術	既存プロジェクトの延長
015	ツバル	適応	浸食した海岸の修復、護岸を施し砂漠と砂堤を適切な高さに再建	既存プロジェクトの延長
016	スリランカ	適応	灌漑施設、気候変動に強い農業、季節毎の天気予報と早期警報	既存プロジェクトの延長
017	チリ	緩和	チリ国タラパカ州における太陽光発電開発プログラム	新規

当該17案件の概要等についてはそれぞれ以下の通り。

(2) ファンディング・プロポーザル

1) ファンディング・プロポーザル 001

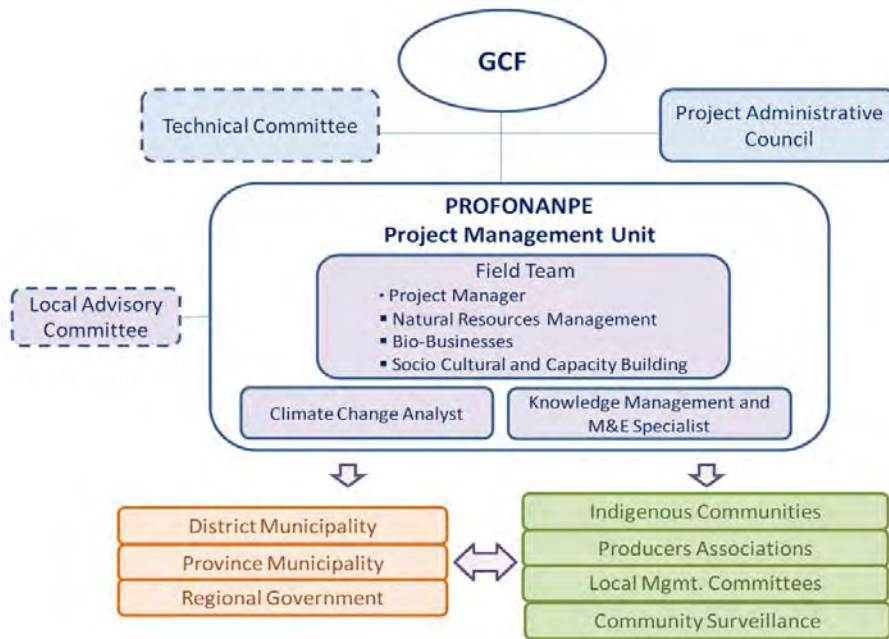
項目	概要												
プログラムタイトル	ペルー共和国 Province of Datem del Marañón における湿地の回復力の構築												
実施国	ペルー共和国												
NDA	Ministry of Environment (MINAM)												
認証実施機関	ペルー国立公園及び保護地区トラストファンド(Fondo de Promoción de las Áreas Naturales Protegidas del Perú: PROFONANPE) <sup>1</sup>												
Executing Entity	PROFONANPE												
受益者	Pastaza and the Marañón-Morona Basins, Provincial Municipality of Datem del Marañón の120の先住民コミュニティと20,413人の居住者への直接的・間接的受益												
適応/緩和	横断的 (Crosscutting)												
公共/民間	公共												
事業内容・セクター	森林伐採によるGHG排出を低減しつつ、アマゾン流域のDatem del Marañónの湿地における先住民コミュニティの生活向上及び気候変動対応力の強化。												
資金調達	9.11百万米ドルのグラント - GCF: 6.24百万米ドル - PROFONANPE: 1.07百万米ドル - 韓国政府 <sup>2</sup> : 1.80百万米ドル												
資金使途 (百万米ドル)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>構成要素</th> <th>金額</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>政府機関の組織能力の強化</td> <td>1.21</td> </tr> <tr> <td>地域密着型機関のキャパシティの強化</td> <td>2.3</td> </tr> <tr> <td>天然資源管理エリアにおける持続可能なバイオビジネスを通じた回復力の構築</td> <td>4.64</td> </tr> <tr> <td>科学、技術、ナレッジマネジメント、モニタリング及び評価システムの確立</td> <td>0.96</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>9.11</td> </tr> </tbody> </table>	構成要素	金額	政府機関の組織能力の強化	1.21	地域密着型機関のキャパシティの強化	2.3	天然資源管理エリアにおける持続可能なバイオビジネスを通じた回復力の構築	4.64	科学、技術、ナレッジマネジメント、モニタリング及び評価システムの確立	0.96	合計	9.11
構成要素	金額												
政府機関の組織能力の強化	1.21												
地域密着型機関のキャパシティの強化	2.3												
天然資源管理エリアにおける持続可能なバイオビジネスを通じた回復力の構築	4.64												
科学、技術、ナレッジマネジメント、モニタリング及び評価システムの確立	0.96												
合計	9.11												
技術 <sup>3</sup>	韓国政府のサポートによってパイロット的にバイオビジネスにおける太陽光パネル、蓄電システム技術を導入 <sup>4</sup>												

<sup>1</sup> PROFONANPE はペルーにおいて22年に渡り、生物多様性の保護と持続可能な開発に関する無償ファイナンス (non-reimbursable financing) を実施してきた。また、2004~2013年に5.5百万米ドルの基本財産基金 (endowment fund) を設立し、天然資源の持続的活用と先住民コミュニティの生活向上を支援。また、ペルー政府とドイツ政府間の自然保護債務スワップ (debt-for-nature swap) において計9百万米ドル以上の活動を実施。また、過去5年に渡りバイオビジネスを支援。

<sup>2</sup> 韓国政府は、天然資源管理エリアにおける持続可能なバイオビジネスを通じた回復力の構築に係る技術普及に限定した太陽光発電技術の普及のためのグラントを供与。

<sup>3</sup> PROFONANPE は物品とサービスの取得及び調達に関する手続きをオペレーション・マニュアルにおいて開発。多国間協力の基準に沿って開発されており、ドナーらにより定期的に監査・評価されるとしている (手続の詳細は不明)

<sup>4</sup> 韓国政府は2015年8月に韓国政府派遣団による予備的分析にて6件の潜在的な太陽光パネル、蓄電システム技術を活用したプロジェクトを確認した。



出所：Green Climate Fund “GCF/B.11/04/Add.01 Consideration of funding proposals - Addendum Funding proposal package for FP001”

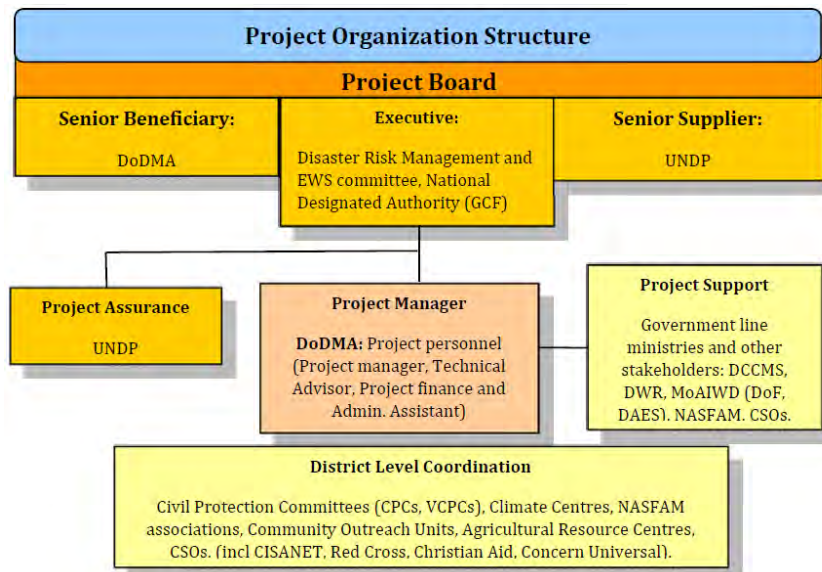
図 41 プロジェクトの実施体制



## 2) ファンディング・プロポーザル 002

項目	概要										
プログラムタイトル	マラウイ共和国における人命と農耕生活の保護：新式の気候情報と早期警戒システム（Early Warning Systems: EWS）の利用拡大										
実施国	マラウイ共和国										
NDA	Environmental Affairs Department										
認証実施機関	国連開発計画（United Nations Development Programme: UNDP）										
Executing Entity	Department of Disaster Management Authority (DoDMA)										
受益者	2 百万人の住人										
適応/緩和	適応										
公共/民間	公共										
事業内容・セクター	天候・気候情報に関する早期警報システムの提供による気候関連災害からのマラウイの人命と生活の保護、及び脆弱コミュニティにおける適応力の向上。										
資金調達	16. 265 百万米ドルのグラント - GCF: 12. 295 百万米ドル - マラウイ政府: 2. 17 百万米ドル - UNDP: 1. 8 百万米ドル										
資金使途 (百万米ドル)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>構成要素 (GCF 供与分)</th> <th>金額</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>異常気象から人命と生活をする保護のための気候関連データを生成するネットワークの拡大</td> <td>4. 023</td> </tr> <tr> <td>農業生活に携わるコミュニティへの気候関連の情報/サービスを提供するためのプロダクトとプラットフォームの開発と普及</td> <td>5. 451</td> </tr> <tr> <td>気候関連の災害に対応する準備ができるよう、気候情報と早期警戒システムを活用するためのコミュニティ能力の強化</td> <td>2. 821</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>12. 295</td> </tr> </tbody> </table>	構成要素 (GCF 供与分)	金額	異常気象から人命と生活をする保護のための気候関連データを生成するネットワークの拡大	4. 023	農業生活に携わるコミュニティへの気候関連の情報/サービスを提供するためのプロダクトとプラットフォームの開発と普及	5. 451	気候関連の災害に対応する準備ができるよう、気候情報と早期警戒システムを活用するためのコミュニティ能力の強化	2. 821	合計	12. 295
構成要素 (GCF 供与分)	金額										
異常気象から人命と生活をする保護のための気候関連データを生成するネットワークの拡大	4. 023										
農業生活に携わるコミュニティへの気候関連の情報/サービスを提供するためのプロダクトとプラットフォームの開発と普及	5. 451										
気候関連の災害に対応する準備ができるよう、気候情報と早期警戒システムを活用するためのコミュニティ能力の強化	2. 821										
合計	12. 295										
技術 <sup>5</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ミディアム・コストの水象センサー</li> <li>● 低価格の雨量計、水位センサー</li> <li>● 気象レーダーの低コスト代替</li> <li>● 低価格の携帯電話技術（但し利用者が多くなれば全体のコストも著しく大きくなる）</li> </ul> <p>⇒観測・モニタリング機器の導入数及びコストを最小限にするアプローチを取っているため、技術のコストは重要。</p>										

<sup>5</sup> 本プロジェクトの財務管理及び調達に関しては UNDP のガイドライン"UNDP Financial Regulations and Rules" に則り実施される。また、UNDP は"Contracts and Procurement"セクションにおいて包括的な調達ポリシーを定めている（<https://info.undp.org/global/popp/cap/Pages/Introduction.aspx> 参照）。なお、調達の種類については [http://www.undp.org/content/undp/en/home/operations/procurement/how\\_we\\_buy/](http://www.undp.org/content/undp/en/home/operations/procurement/how_we_buy/) を参照。本プロジェクトの調達計画（暫定）が参考資料として添付はされているが、サイト上では公開されていないため、詳細は不明。



出所：Green Climate Fund “GCF/B.11/04/Add.02 Consideration of funding proposals - Addendum Funding proposal package for FP002”

図 52 プロジェクトの実施体制<sup>6</sup>

<sup>6</sup> UNDP の役割：

プロジェクト保証(project assurance)：客観的かつ独立したプロジェクト管理及びモニタリング機能を有する。プロジェクト保証機能はプロジェクト・マネージャーから独立したものでなければならぬため、プロジェクト委員会はいかなる保証責任もプロジェクト・マネージャーに委任してはならない。

シニア・サプライヤー (senior supplier)：資金もしくは／かつ専門的知識（設計、開発、促進、調達、遂行）を提供する参加者らの利益代表。主要役割はプロジェクトの技術的実現可能性にかんするガイダンスを提供すること。

## 3) ファunding・プロポーザル 003

項目	概要												
プログラムタイトル	塩化された土地の生産基盤の回復を通じたエコシステムとコミュニティの回復力強化												
実施国	セネガル												
NDA	Madeleine Diouf												
認証実施機関	セネガル生態系監視センター (Centre de Suivi Écologique: CSE) <sup>7</sup>												
Executing Entity	International Union for Conservation of Nature (IUCN), Institut National de Pédologie (National Soil Science Institute (INP)), Réseau Africain pour le Développement Intégré (RADI)												
受益者	セネガル政府、Fatick と Foundiougne の町のローカル・コミュニティと地方審議会												
適応/緩和	適応												
公共/民間	公共												
事業内容・セクター	専門知識と計画による塩化された土地の回復、及び水圧式設備、植林、土壌侵食防止システム、農業の適応化等の対策の実施。												
資金調達	8.160260 百万米ドル - GCF によるグラント 7.614260 百万米ドル - National de Pédologie (National Soil Science Institute) による 546 百万米ドル現物支給												
資金使途 (百万米ドル)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>構成要素</th> <th>金額</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>塩化を軽減する土地管理の改善のための個々及び制度的能力の強化</td> <td>0.5761</td> </tr> <tr> <td>農地、田園地帯、森林における塩化の削減</td> <td>3.7079</td> </tr> <tr> <td>草の根コミュニティの回復力の強化</td> <td>2.671</td> </tr> <tr> <td>実行コスト</td> <td>1.20526</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>8.16026</td> </tr> </tbody> </table>	構成要素	金額	塩化を軽減する土地管理の改善のための個々及び制度的能力の強化	0.5761	農地、田園地帯、森林における塩化の削減	3.7079	草の根コミュニティの回復力の強化	2.671	実行コスト	1.20526	合計	8.16026
構成要素	金額												
塩化を軽減する土地管理の改善のための個々及び制度的能力の強化	0.5761												
農地、田園地帯、森林における塩化の削減	3.7079												
草の根コミュニティの回復力の強化	2.671												
実行コスト	1.20526												
合計	8.16026												
技術 <sup>8</sup>	自然の再生補助 (assisted natural regeneration: ANR)、森林再生、土手、生け垣、ダム、石の障壁、マルチフィルム、ミネラル肥沃化、オーガニック改良、植林												

<sup>7</sup> CSE は AF の国家実施機関 (National Implementing Entity) でもある。また、2011~2014 年に AF の下実施した「脆弱地域における海岸浸食への適応」 (Adaptation to coastal erosion in vulnerable areas) プロジェクトにおいてダイレクト・アクセス・モダリティにより AF から 8.6 百万米ドルの供与を得ている。なおこのプロジェクトは AF で初めてのダイレクト・アクセスのプロジェクトでもあった。(プロジェクト情報の参照 URL: <https://www.adaptation-fund.org/project/adaptation-to-coastal-erosion-in-vulnerable-areas/>)

<sup>8</sup> プロジェクト下での調達は CSE の手続きマニュアルに沿って実施される。入札の特異性に従い指定された審査委員会が入札を審査する。

4) ファンディング・プロポーザル 004

項目	概要												
プログラムタイトル	気候変動に対応可能なインフラのメインストーリーミング												
実施国	バングラデシュ人民共和国												
NDA	Economic Relations Division, Ministry of Finance												
認証実施機関	ドイツ復興金融公庫 (Kreditanstalt für Wiederaufbau Bankengruppe: KfW) <sup>9</sup>												
Executing Entity	Local Government Engineering department (LGED)												
受益者	Bhola, Barguna 及び Satkhira の住民												
適応/緩和	適応												
公共/民間	公共												
事業内容・セクター	サイクロンシェルターの提供と主要道路へのアクセスの確保によるバングラデシュの沿岸地域における生活の保護。都市インフラの開発と脆弱な都市生活者の気候リスクからの保護。 未来のインフラ開発を発信するための、気候変動に対応するインフラに関する研究教育の国家センターの設立。												
資金調達	80.0 百万米ドルのグラント - GCF: 40.0 百万米ドル - German Federal Ministry for Economic Cooperation and Development (BMZ) と KfW: 15.0 百万米ドル - バングラデシュ政府: 25.0 百万米ドル												
資金使途 (百万米ドル)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>構成要素</th> <th>金額</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>制度開発</td> <td>13.0</td> </tr> <tr> <td>気候変動に対応可能な地方インフラ</td> <td>37.0</td> </tr> <tr> <td>気候変動に対応可能な都市インフラ</td> <td>18.0</td> </tr> <tr> <td>プロジェクト管理</td> <td>12.0</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>80.0</td> </tr> </tbody> </table>	構成要素	金額	制度開発	13.0	気候変動に対応可能な地方インフラ	37.0	気候変動に対応可能な都市インフラ	18.0	プロジェクト管理	12.0	合計	80.0
構成要素	金額												
制度開発	13.0												
気候変動に対応可能な地方インフラ	37.0												
気候変動に対応可能な都市インフラ	18.0												
プロジェクト管理	12.0												
合計	80.0												
技術 <sup>10</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>サイクロンシェルター。また災害時の対応（緊急給水等）のため太陽光発電を併設。</li> <li>ローラーコンパクター型コンクリート舗装 (roller-compacted concrete pavement : RCC pavement)</li> </ul>												

<sup>9</sup> KfW と LGED は 1988 年より 12 の開発プロジェクトで協働しており、ドイツ政府のグラント供与総額は 122.7 百万ユーロを超える。

<sup>10</sup> 調達にあたっては KfW の調達ガイドラインに従うため、一定金額を超える契約の調達にあたっては国際競争入札手続きが適用される。

## 5) ファンディング・プロポーザル 005

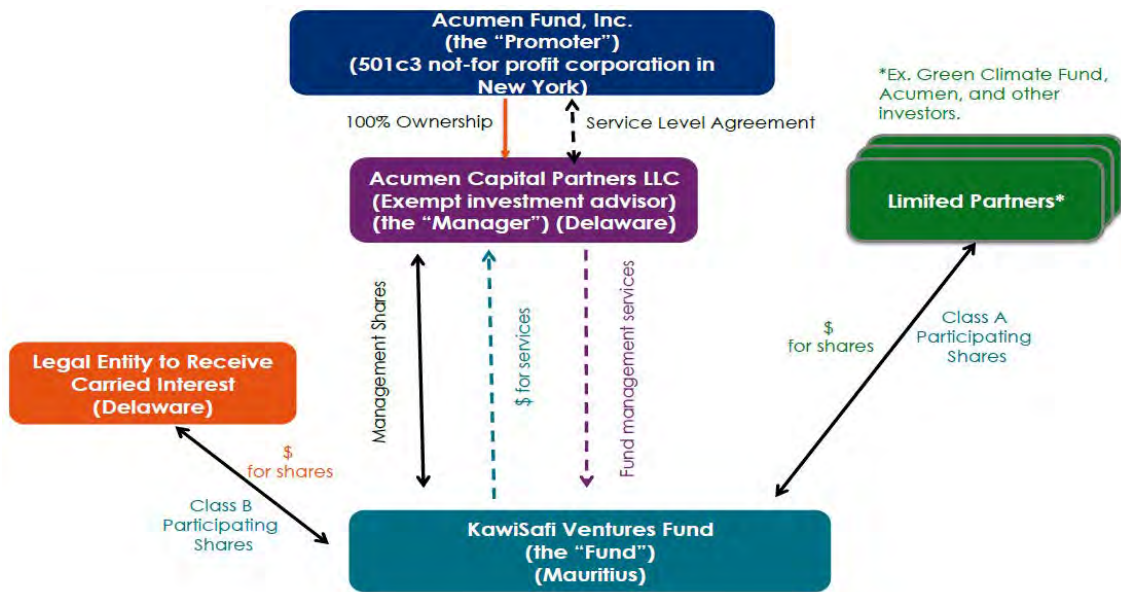
項目	概要
プロジェクトタイトル	東アフリカにおける KawiSafi ベンチャーファンド (KawiSafi Ventures Fund)
実施国	東アフリカ (主にルワンダ、ケニア。ウガンダ等の国に広げる可能性もある)
NDA	Rwanda Environment Management Authority, Republic of Kenya The National Treasury
認証実施機関	米国アクメメンファンド (Acumen Fund, Inc.) <sup>11</sup>
Executing Entity	(詳細な記述なし)
受益者	ターゲット3カ国の BoP <sup>12</sup> 層 1,500 万人 (3カ国の全人口の16%)
適応/緩和	横断的 (Crosscutting)
公共/民間	民間
プログラム概要	<p>・Acumen は 2007 年以來、東アフリカ地域、インド、パキスタンの 14 のエネルギー会社 (ソーラー・水力・バイオマス等のミニグリッド、ソーラーランタン、ソーラーホームシステム、クックストーブ、等) に合計 14 百万米ドルの投資を行っており、本プログラムでも東アフリカ (主にルワンダとケニア) を中心に BoP ビジネスを展開する中小企業 (Small and Medium Enterprises: SMEs) への投資を通じて、オフグリッドやミニグリッドの太陽光電力や再生可能エネルギー製品を提供することが目的とされる。</p> <p>・本プロジェクトのファンドは東アフリカにおいてオフグリッド・ソーラー・エコシステムを普及させ、対象地域内の化石燃料グリッドからクリーンエネルギーへの転換を図ることを目指している。本ファンドは、開発途上国の BoP 層を相手にビジネスを展開する SMEs を対象とした気候変動ファンドとしては世界初である。</p> <p>・本ファンドは社会的インパクトを運用及びインセンティブとして組み込んでいるのが特徴で、ファンド・マネージャーはハードルレート (financial hurdle rate) とインパクトターゲットの両方が達成されないとファンドの収益の 20% 分を受け取らないとしている (ハードルレートは 6% IRR、インパクトターゲットは 1,500 万人)。また投資家へのリターンは 11% Net IRR を目指している。</p> <p>・本プロジェクトはファンドを通じて 10~15 の企業に対し、最大で合計 80 百万米ドル (一社当たり 2~10 百万米ドル) を投資する。ファンド資金の 6~7 割は特に貧困層のエネルギーアクセス、3~4 割は生態系 (eco system) 保護に充てられる。</p> <p style="text-align: center;"><b>【TAF の設立】</b></p>

<sup>11</sup> ロックフェラー財団、Cisco Systems 財団、その他個人からの創業資金により 2001 年よりニューヨークを本拠地として発足。慈善寄付を基に、BoP 向けにサービス(電力、医療、教育その他生活の基盤となるインフラ等)を提供する特に資金力の乏しい会社へ、融資または株式投資を行う。Gates 財団、Google、Skoll 財団が投資家・アドバイザーを務める。投資実績は 2014 年 7 月時点で 88 百万米ドルであり、地域はガーナ、インド、ケニア、ニジェリア、パキスタン、ルワンダ、タンザニア、ウガンダ、エチオピアの 82 の企業・事業。

<sup>12</sup> Base of Pyramid=年間所得が購買力平価 (PPP) ベースで、3,000 ドル以下の低所得層で、世界人口の 7 割を占める

	<p>BoP マーケットで展開される有益かつ社会的責任を考慮したビジネスの構築及びファンドと投資家へのファイナンシャル・リターン<sup>13</sup>の提供といったファンドのインベストメント戦略の増大を目的に設立。また、TAF ファンドの用途は下記のとおり：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● ソーラー会社が万が一破産した場合の消費者保護</li> <li>● 事業展開の支援及び従業員教育</li> <li>● ジェンダーに係る事項の介入</li> <li>● コーポレート・ガバナンスの改善</li> <li>● インベストメント・インパクト・モニタリングと評価フレームワーク</li> </ul> <p>【プロジェクトによるベネフィット】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 家庭におけるケロシンランプからソーラーランタン／ソーラーホームシステムへの代替による年間 75～200 米ドルのコスト削減</li> <li>● 安全でクリーンなソーラーランタンが使用できることによる子供たちの学習時間の増大</li> <li>● ケロシンランプ代替による大気汚染の軽減による、人々の健康問題（肺や目への影響等）の改善</li> <li>● 女性の雇用機会増大</li> </ul>
資金調達	<p>110 百万米ドル（うち、100 百万米ドル はエクイティ、10 百万米ドルはgrant）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- GCF 供与分は 25 百万米ドル（うち、20 百万米ドルはエクイティ、5 百万米ドルはgrant）</li> <li>- Acumen 出資分は最低 5 百万米ドル～上限 7 百万米ドル</li> </ul>
資金使途 (百万米ドル)	<p>合計 110 百万米ドル（うち、100 百万米ドル<sup>13</sup>はエクイティ、10 百万米ドルはgrant）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● GCF 供与分は 25 百万米ドル（うち、20 百万米ドルはエクイティ、5 百万米ドルはgrant）</li> <li>● Acumen 出資分は最低 5 百万米ドル～上限 7 百万米ドル</li> <li>● grant 分は Technical Assistance Facility (TAF) を設立するのに利用される (TAF については後述)</li> </ul>
技術	<p>貧困層向け：ソーラーランタン、ソーラーホームシステム、ミニグリッド</p>

<sup>13</sup> GCF からの資金と自己出資分を基に、残りの資金は他の投資家から募る。



出所：Green Climate Fund "GCF/B.11/04/Add.05/Rev.01 "Consideration of funding proposals - Addendum Funding proposal package for FP005"  
 図 63 プロジェクトスキーム図

6) ファンディング・プロポーザル 006

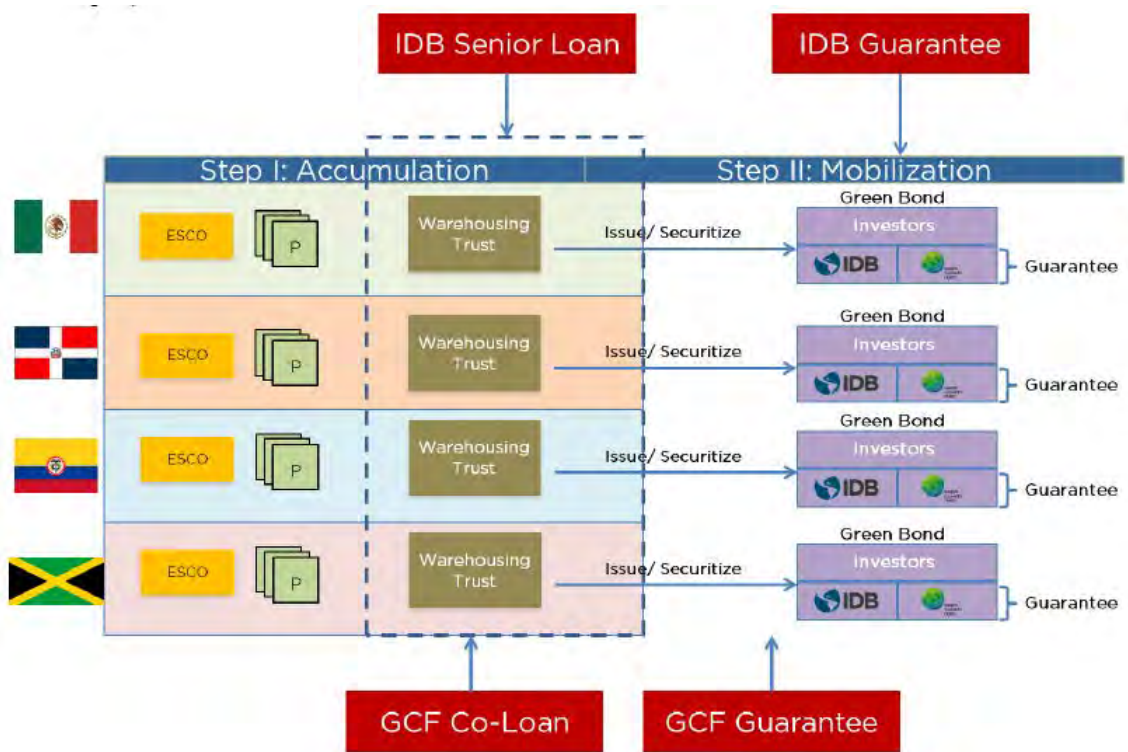
項目	概要
プログラムタイトル	ラテンアメリカとカリブ諸国におけるエネルギー効率改善プロジェクト向けグリーンボンド
実施国	メキシコ合衆国、ドミニカ共和国、ジャマイカ、コロンビア共和国（EE プロジェクトの実施可能性により他国も参加可能）
NDA	Secretariat of Finance and Public Credit（メキシコ） Ministry of Environment and Natural Resources（ドミニカ） National Planning Department（コロンビア）
認証実施機関	米州開発銀行（Inter-American Development Bank：IDB）
Executing Entity	（詳細な記述なし）
受益者	（詳細な記述なし）
適応/緩和	緩和
公共/民間	民間
プログラム概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「メキシコにおけるエネルギー効率改善プロジェクト向けファイナンスのためのキャピタル・マーケット・ソリューション」という既存のパイロット・プログラムのラテンアメリカとカリブ諸国での拡大再生産を企図。</li> <li>・Accumulation Stepにおけるエネルギー効率改善プロジェクト向けのウェアハウジング・ローン<sup>14</sup>の積み上げと、② Mobilization Stepにおけるウェアハウジング・ローンから生じるキャッシュフローを裏付けとして発行するグリーン ABS（資産担保証券 Asset Backed Securities：ABS<sup>15</sup>）の二段階のフェーズから構成されるプログラム・アプローチを用いた案件。</li> <li>・ABSの発行にあたっては投資家需要にこたえるためIBDとGCFの保証を一部付与する。</li> <li>・このプログラムによって、銀行からの融資でエネルギー効率改善プロジェクトを行うことが難しい中小企業に ESCO 事業のためのファイナンスを行い、同プロジェクトを推進させることを企図したスキーム<sup>16</sup>。</li> </ul>
資金調達	780 百万米ドル - 最大 306 百万米ドルを IDB が、215 百万米ドルを GCF がローンもしくは保証の形式で供与（うち 2 百万米ドルを Accumulation Step にて GCF が供与）
プログラム金額	
推定生涯排出量削減量	13.2 百万トンの二酸化炭素相当量。
技術	エネルギー効率化事業、ESCO 事業

<sup>14</sup> 証券化商品を組成する際、対象資産が集まるまでの間に供与するローン

<sup>15</sup> ABS とは、オリジネーターと呼ばれる現保有者が保有するローンなどの特定の資産を、SPV（Special Purpose Vehicle）に譲渡することによってオリジネーターから分離させ、その資産から生じるキャッシュフローを裏付けとして発行する有価証券であり、一般的な証券化商品。

<sup>16</sup> 2015年9月にトルコで開催された G-20 Climate Finance Study Group でも本プログラムのスキームが事例紹介された。





出所：Green Climate Fund “GCF/B.11/04/Add.06 Consideration of funding proposals - Addendum Funding Proposal Summary for FP006”

図 74 プロジェクトのスキーム図

## 7) ファンディング・プロポーザル 007

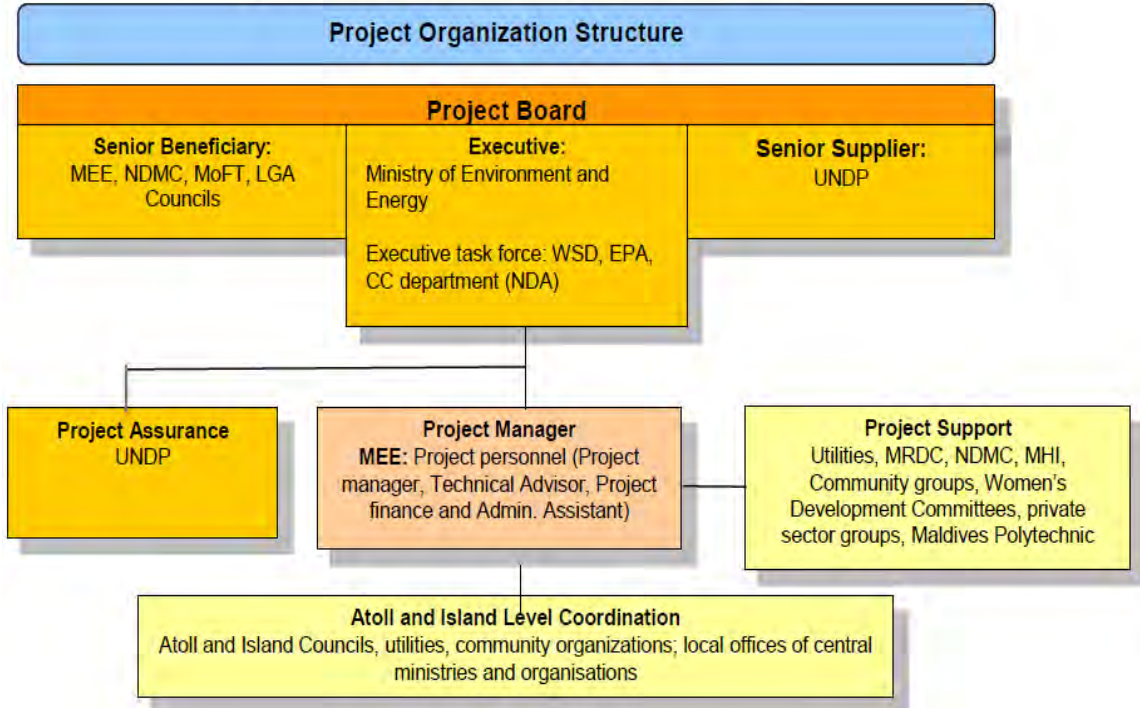
項目	概要																				
プロジェクトタイトル	水不足を引き起こす気候変動に対応するためのモルディブ共和国の脆弱地域の支援																				
実施国	モルディブ共和国																				
NDA	Ministry of Environment and Energy (MEE)																				
認証実施機関	国連開発計画 (United Nations Development Programme: UNDP) <sup>17 18</sup>																				
Executing Entity	MEE																				
受益者	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 継続的で安全な水を供給される予定の 49 の島の 3 万 2 千人の住民</li> <li>● 水不足の影響を受けている 7 万 3 千人の住民</li> </ul>																				
適応/緩和	適応																				
公共/民間	公共																				
事業内容・セクター	気候変動により誘発される水不足に対して、モルディブ諸島の 105,000 の住民に安心・安全な水の提供。統合型上水道システムと乾季用の分散型上水道システムの導入、及び地下水の水質の向上。																				
資金調達	28.229 百万米ドルのグラント - GCF: 23.636 百万米ドル - 環境・エネルギー省 (MEE) : 4.493 百万米ドル - UNDP: 0.1 百万米ドル																				
資金使途 (百万米ドル)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>構成要素 (GCF 供与分)</th> <th>金額</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>上水道システムの拡大</td> <td>19.004</td> </tr> <tr> <td>北の 7 つの環状サンゴ島に住む 7 万 3 千人の住民に向けた「分散型で、費用対効果の高い乾季における上水道システム」の導入</td> <td>1.588</td> </tr> <tr> <td>49 の島における長期的な淡水の貯蔵を確保するための地下水の水質の向上</td> <td>3.044</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>23.636</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>構成要素 (モルディブ政府と UNDP 供与分)</th> <th>金額</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>水システム設備と雨量計測機器の 10 年間のオペレーション&amp;メンテナンスコスト</td> <td>4.193</td> </tr> <tr> <td>5 年間の事業実施における、政府スタッフと事業スタッフへの費用</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>プロジェクト・マネジメント・ユニットとその他関連サービスへの費用</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>4.593</td> </tr> </tbody> </table>	構成要素 (GCF 供与分)	金額	上水道システムの拡大	19.004	北の 7 つの環状サンゴ島に住む 7 万 3 千人の住民に向けた「分散型で、費用対効果の高い乾季における上水道システム」の導入	1.588	49 の島における長期的な淡水の貯蔵を確保するための地下水の水質の向上	3.044	合計	23.636	構成要素 (モルディブ政府と UNDP 供与分)	金額	水システム設備と雨量計測機器の 10 年間のオペレーション&メンテナンスコスト	4.193	5 年間の事業実施における、政府スタッフと事業スタッフへの費用	0.3	プロジェクト・マネジメント・ユニットとその他関連サービスへの費用	0.1	合計	4.593
構成要素 (GCF 供与分)	金額																				
上水道システムの拡大	19.004																				
北の 7 つの環状サンゴ島に住む 7 万 3 千人の住民に向けた「分散型で、費用対効果の高い乾季における上水道システム」の導入	1.588																				
49 の島における長期的な淡水の貯蔵を確保するための地下水の水質の向上	3.044																				
合計	23.636																				
構成要素 (モルディブ政府と UNDP 供与分)	金額																				
水システム設備と雨量計測機器の 10 年間のオペレーション&メンテナンスコスト	4.193																				
5 年間の事業実施における、政府スタッフと事業スタッフへの費用	0.3																				
プロジェクト・マネジメント・ユニットとその他関連サービスへの費用	0.1																				
合計	4.593																				

<sup>17</sup> UNDP は 2011~2014 年にモルディブ共和国の開発に 22.4 百万米ドルを投資した。UNDP のモルディブにおける最大のドナー・パートナーは AF と GEF で、AF は 3 つの島の 8.3 百万米ドルの予算で統合型の水資源管理プログラムのプロジェクトをサポートしている。

<sup>18</sup> 認証実施機関としての UNDP の役割は、主にプロジェクトの準備、実行、完成等のプロジェクト管理 (project assurance)、並びにプロジェクトの設計、開発、調達などの技術的なフィージビリティに係るサポートを行う senior supplier の役割がある。

技術 <sup>19</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 地域密着型の雨水収集システム</li> <li>● 淡水化プラント</li> <li>● 地下水涵養</li> </ul>
------------------	--

Figure 2: Management and oversight arrangements



出所: Green Climate Fund "GCF/B.11/04/Add.07 Consideration of funding proposals - Addendum Funding proposal package for FP007"

図 85 プロジェクトの実施体制

<sup>19</sup> 本プロジェクトの調達にあたっては、UNDP の調達ルールに従う。すなわち UNDP の支援プロジェクトの政府系機関による 0.1 百万ドル以上の調達は、競争入札の手続が求められる。

## 8) ファンディング・プロポーザル 008

項目	概要
プログラムタイトル	フィジー共和国における都市上下水管理事業
実施国	フィジー共和国
NDA	Ministry of Foreign Affairs
認証実施機関	アジア開発銀行 (Asian Development Bank: ADB) <sup>20</sup>
Executing Entity	Ministry of Finance
受益者	フィジー共和国政府
適応/緩和	適応
公共/民間	公共
事業内容・セクター	首都スバにおける安全な水へのアクセスと下水システムの向上のためのインフラの構築と改修。Rewa 川での河川水取水施設の設置、及び Kinoya 廃水処理プラントと関連の下水カバレッジの向上。
プログラム概要	<p><b>【プロジェクトの主な内容】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 首都スバにおける安全で信頼できる水へのアクセスを向上させ水供給量 20%増加</li> <li>● 首都スバにおける下水のカバレッジ最大容積と下水処理能力を向上させ下水処理量 200%増加</li> <li>● 上下水に係る政策の開発と運営、並びに規制改革への政府サポート <sup>21</sup>。</li> </ul> <p><b>【ファイナンスについて】</b></p> <p>フィジー政府の債務負担の大きさ、完工後のプロジェクトのキャッシュフロー創出能力、プロジェクトの緊急性を考慮し、デット・ファイナンスを最大化しつつグラントを極小化したファイナンス・ストラクチャーとした。本事業におけるフィナンシャルリターンは限定的なため、GCF からのグラントによって本適応プロジェクトに着手することができるようになる。</p> <p><b>【上下水道のタリフの見直しについて】</b></p> <p>WAF<sup>22</sup>の財務的持続性を改善するため、ADB によって推奨されている上下水道のタリフの見直しを実施中。2012 年に KPMG が政府の要請でタリフの見直しに関する研究を行い、政府は現在見直しを実施している。また、2015 年 12 月迄にタリフの見直し調査を完了し、2016 年 12 月迄に O&amp;M コストや資本的支出を吸収できるようタリフの増額改定を行うことを政府はコミットしている。</p>
資金調達	222 百万米ドル - ADB (OCR ローン): 67.70 百万米ドル - EIB (ローン): 38.00 百万米ドル - GCF のグラント: 31.04 百万米ドル

<sup>20</sup> ADB は 1970 年以降フィジー政府と協働しており、2014 年末現在で 417.26 百万米ドルの融資と 30.72 百万米ドルの技術支援がなされた。2005 年に ADB は首都スバの上下水道プロジェクトを開始。

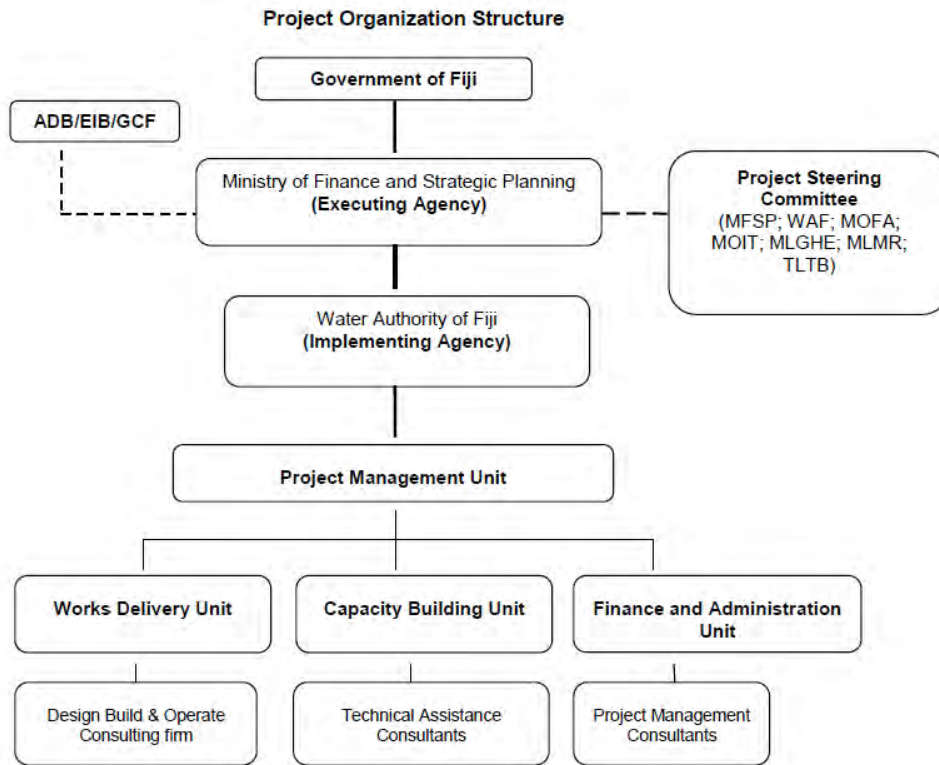
<sup>21</sup> ADB は 2013 年に本プロジェクトを準備するキャパシティ・ビルディングを行った。

<sup>22</sup> Water Authority of Fiji

<p>ファイナンス概要</p>	<p>- フィジー政府: 85.26 百万米ドル</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● ADB は期間 20 年、グレースペリオド 5 年<sup>23</sup>の通常資金財源 (Ordinary Capital Resources: OCR) ローン 67.7 百万米ドルを供与。EIB ローン 38 百万米ドルは、ADB ローンに似た条件を予定。GCF からのグラントは、本プロジェクトの適応に係るコストを賄う。フィジー政府の国庫負担 85.26 百万米ドルは、税金、土地取得費用、運営管理費用に充当される。資金の調達並びに運用に係る一覧は、以下の通り。</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>Indicative Cost Estimates Summary Table by Component and Financier (million USD)</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Component</th> <th>Sub-component (if applicable)</th> <th>Total</th> <th>ADB</th> <th>EIB</th> <th>GCF</th> <th>GoFiji</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">1. Water Supply</td> <td>1.1 Rewa Water Treatment Plant</td> <td>63.88</td> <td>15.91</td> <td>10.61</td> <td>26.99</td> <td>10.37</td> </tr> <tr> <td>1.2 Non Revenue Water Production</td> <td>10.01</td> <td>1.55</td> <td>1.03</td> <td>0.00</td> <td>7.42</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">2. Wastewater</td> <td>2.1 Kinoya Wastewater Treatment Plant Upgrade</td> <td>29.10</td> <td>12.69</td> <td>8.46</td> <td>0.00</td> <td>7.95</td> </tr> <tr> <td>2.2. Pump Station Upgrades</td> <td>10.56</td> <td>5.35</td> <td>3.56</td> <td>0.00</td> <td>1.65</td> </tr> <tr> <td>2.3. Sewer Mains Upgrade</td> <td>12.71</td> <td>3.00</td> <td>2.00</td> <td>0.00</td> <td>7.70</td> </tr> <tr> <td>2.4 Sewer Extension</td> <td>31.68</td> <td>3.93</td> <td>2.62</td> <td>0.00</td> <td>25.12</td> </tr> <tr> <td>3. Capacity Building</td> <td></td> <td>4.50</td> <td>3.47</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>1.04</td> </tr> <tr> <td>4. Project Management</td> <td></td> <td>4.50</td> <td>4.50</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>5. Recurrent Costs (O&amp;M)</td> <td></td> <td>12.88</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>12.88</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">6. Contingencies</td> <td>Physical</td> <td>14.20</td> <td>3.98</td> <td>2.24</td> <td>2.13</td> <td>5.86</td> </tr> <tr> <td>Price</td> <td>12.81</td> <td>3.59</td> <td>2.02</td> <td>1.92</td> <td>5.28</td> </tr> <tr> <td>7. Interest during Construction</td> <td></td> <td>14.94</td> <td>9.57</td> <td>5.37</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>8. Commitment Charges</td> <td></td> <td>0.24</td> <td>0.15</td> <td>0.09</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;"><b>Total</b></td> <td><b>222.00</b></td> <td><b>67.70</b></td> <td><b>38.00</b></td> <td><b>31.04</b></td> <td><b>85.26</b></td> </tr> </tbody> </table> <p>出所: Green Climate Fund "GCF/B.11/04/Add.08 Consideration of funding proposals - Addendum Funding proposal package for FP008"</p>	Component	Sub-component (if applicable)	Total	ADB	EIB	GCF	GoFiji	1. Water Supply	1.1 Rewa Water Treatment Plant	63.88	15.91	10.61	26.99	10.37	1.2 Non Revenue Water Production	10.01	1.55	1.03	0.00	7.42	2. Wastewater	2.1 Kinoya Wastewater Treatment Plant Upgrade	29.10	12.69	8.46	0.00	7.95	2.2. Pump Station Upgrades	10.56	5.35	3.56	0.00	1.65	2.3. Sewer Mains Upgrade	12.71	3.00	2.00	0.00	7.70	2.4 Sewer Extension	31.68	3.93	2.62	0.00	25.12	3. Capacity Building		4.50	3.47	0.00	0.00	1.04	4. Project Management		4.50	4.50	0.00	0.00	0.00	5. Recurrent Costs (O&M)		12.88	0.00	0.00	0.00	12.88	6. Contingencies	Physical	14.20	3.98	2.24	2.13	5.86	Price	12.81	3.59	2.02	1.92	5.28	7. Interest during Construction		14.94	9.57	5.37	0.00	0.00	8. Commitment Charges		0.24	0.15	0.09	0.00	0.00	<b>Total</b>		<b>222.00</b>	<b>67.70</b>	<b>38.00</b>	<b>31.04</b>	<b>85.26</b>
Component	Sub-component (if applicable)	Total	ADB	EIB	GCF	GoFiji																																																																																															
1. Water Supply	1.1 Rewa Water Treatment Plant	63.88	15.91	10.61	26.99	10.37																																																																																															
	1.2 Non Revenue Water Production	10.01	1.55	1.03	0.00	7.42																																																																																															
2. Wastewater	2.1 Kinoya Wastewater Treatment Plant Upgrade	29.10	12.69	8.46	0.00	7.95																																																																																															
	2.2. Pump Station Upgrades	10.56	5.35	3.56	0.00	1.65																																																																																															
	2.3. Sewer Mains Upgrade	12.71	3.00	2.00	0.00	7.70																																																																																															
	2.4 Sewer Extension	31.68	3.93	2.62	0.00	25.12																																																																																															
3. Capacity Building		4.50	3.47	0.00	0.00	1.04																																																																																															
4. Project Management		4.50	4.50	0.00	0.00	0.00																																																																																															
5. Recurrent Costs (O&M)		12.88	0.00	0.00	0.00	12.88																																																																																															
6. Contingencies	Physical	14.20	3.98	2.24	2.13	5.86																																																																																															
	Price	12.81	3.59	2.02	1.92	5.28																																																																																															
7. Interest during Construction		14.94	9.57	5.37	0.00	0.00																																																																																															
8. Commitment Charges		0.24	0.15	0.09	0.00	0.00																																																																																															
<b>Total</b>		<b>222.00</b>	<b>67.70</b>	<b>38.00</b>	<b>31.04</b>	<b>85.26</b>																																																																																															
<p>資金使途 (百万米ドル)</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #4F81BD; color: white;">構成要素</th> <th style="background-color: #4F81BD; color: white;">金額</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>上水道</td> <td>73.89</td> </tr> <tr> <td>排水</td> <td>84.05</td> </tr> <tr> <td>キャパビル</td> <td>4.50</td> </tr> <tr> <td>プロジェクト管理</td> <td>4.50</td> </tr> <tr> <td>継続的に必要な経費 (O&amp;M)</td> <td>12.88</td> </tr> <tr> <td>準備金</td> <td>27.01</td> </tr> <tr> <td>建設中の利息</td> <td>14.94</td> </tr> <tr> <td>コミットメントチャージ</td> <td>0.24</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">合計</td> <td>222.00</td> </tr> </tbody> </table>	構成要素	金額	上水道	73.89	排水	84.05	キャパビル	4.50	プロジェクト管理	4.50	継続的に必要な経費 (O&M)	12.88	準備金	27.01	建設中の利息	14.94	コミットメントチャージ	0.24	合計	222.00																																																																																
構成要素	金額																																																																																																				
上水道	73.89																																																																																																				
排水	84.05																																																																																																				
キャパビル	4.50																																																																																																				
プロジェクト管理	4.50																																																																																																				
継続的に必要な経費 (O&M)	12.88																																																																																																				
準備金	27.01																																																																																																				
建設中の利息	14.94																																																																																																				
コミットメントチャージ	0.24																																																																																																				
合計	222.00																																																																																																				
<p>技術<sup>24</sup></p>	<p>【上水について】 Rewa River の吸水口、ポンプ場、浄水場、浄水池、パイプライン</p> <p>【下水処理について】 下水処理施設の新設、既存の下水ポンプ場のアップグレード、下水インフラの入れ替え、下水処理ネットワークの拡張</p>																																																																																																				

<sup>23</sup> Grace period. 元本返済を猶予する期間のこと。この期間は、金利のみの返済となる。

<sup>24</sup> 調達にあたっては ADB の調達ガイドラインに従うため、国際競争入札手続きが適用される。



出所：Green Climate Fund “GCF/B.11/04/Add.08 Consideration of funding proposals - Addendum Funding proposal package for FP008”

図 96 プロジェクトの実施体制

9) ファンディング・プロポーザル 009

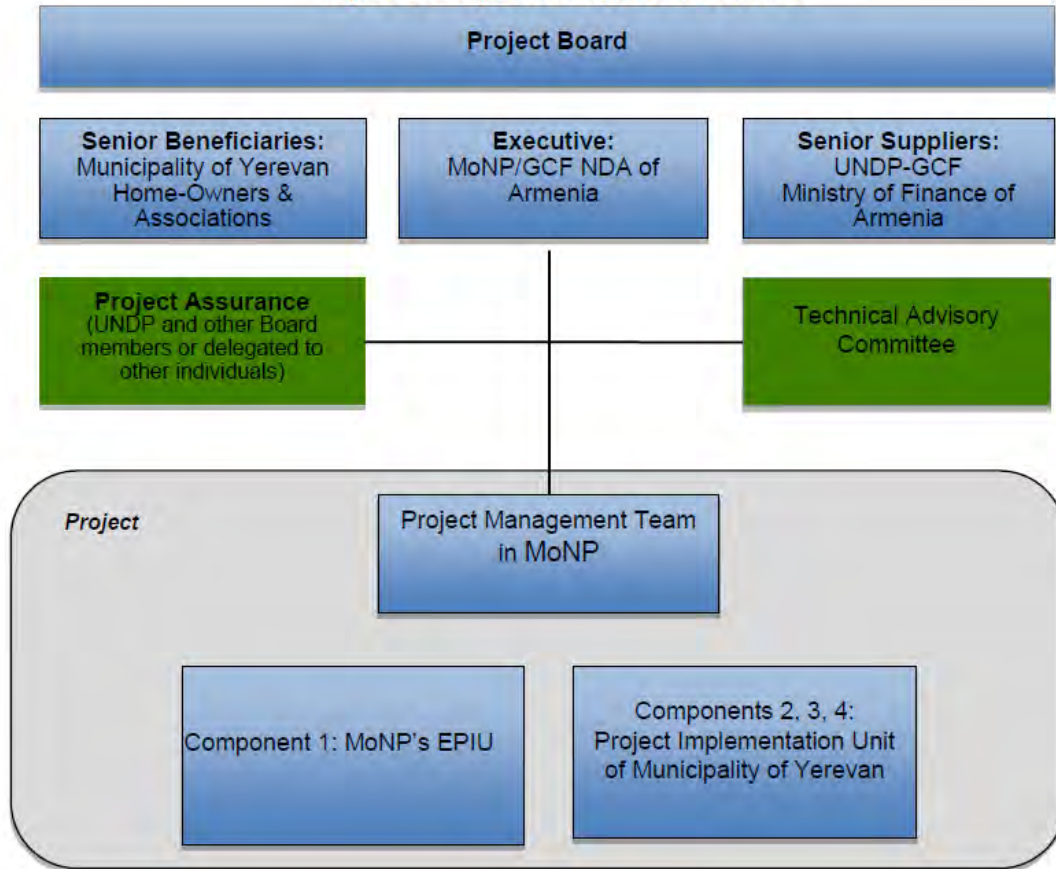
項目	概要										
プログラムタイトル	中小企業による民間エネルギー効率対策への投資のため省エネ保険 (Energy Savings Insurance: ESI)										
実施国	エルサルバドル										
NDA	Vice Ministry of Development Cooperation										
認証実施機関	米州開発銀行 (IDB)										
Executing Entity	BANDESAL, Banco de Desarrollo de El Salvador										
受益者	BANDESAL, Banco de Desarrollo de El Salvador										
適応/緩和	緩和										
公共/民間	公共										
事業内容・セクター	エルサルバドルの中小企業によるエネルギー効率対策への投資を促進するもの。 IDBはGCFとエルサルバドル政府保証付きローンをBANDESAL(中堅の国営開発銀行)に供与する。 当該資金は、大手のローカル金融機関を通じてエネルギー効率対策に興味がある中小企業に対して適切な条件で譲許的ファイナンスとして供与される。また中小企業によるエネルギー効率事業のリスク軽減に保険も活用する。										
資金調達	合計 41.7 百万米ドル 【内訳】 - 20 百万米ドル : GCF のシニアローン - 1.7 百万米ドル : GCF のグラント - 20 百万米ドル : BANDESAL のシニアローン										
資金使途 (百万米ドル)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>構成要素</th> <th>金額</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. 即時利用可能なファイナンス戦略の開発</td> <td>0.68</td> </tr> <tr> <td>2. ファイナンス戦略の実施支援</td> <td>1.02</td> </tr> <tr> <td>3. プロジェクトのファイナシング・ローンのためのローン</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>合計額</td> <td>41.7</td> </tr> </tbody> </table>	構成要素	金額	1. 即時利用可能なファイナンス戦略の開発	0.68	2. ファイナンス戦略の実施支援	1.02	3. プロジェクトのファイナシング・ローンのためのローン	40	合計額	41.7
構成要素	金額										
1. 即時利用可能なファイナンス戦略の開発	0.68										
2. ファイナンス戦略の実施支援	1.02										
3. プロジェクトのファイナシング・ローンのためのローン	40										
合計額	41.7										
技術	省エネエアコン、モーター、冷蔵、ボイラー										

10) ファンディング・プロポーザル 010

項目	概要														
プログラムタイトル	省エネ型建物改修におけるリスク回避と投資規模の拡大														
実施国	アルメニア														
NDA	Ministry of Nature Protection														
認証実施機関	国連開発計画 (UNDP)														
Executing Entity	Ministry of Nature Protection														
受益者	82,200 人の居住者と 128,000 人のビルでの就業者														
適応/緩和	緩和														
公共/民間	公共														
事業内容・セクター	アルメニアにおいて省エネ型建物改修への投資を促進するための良好なマーケット環境とスケラブルなビジネスモデルを創造し、大規模なエネルギーと温室効果ガスの削減（20 年寿命機器の使用による最大 580 万 tCO <sub>2</sub> の直接的及び間接的削減）に寄与する。また、グリーンジョブの創出とエネルギー貧困の低減を促進する。														
資金調達	合計 29.82 百万米ドル 【内訳】 - 20 百万米ドル：GCF のグラント - 8 百万米ドル：エレバン市のグラント - 1.42 百万米ドル：UNDP のグラント - 0.40 百万米ドル：アルメニア環境省のグラント														
資金使途 (百万米ドル)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>構成要素</th> <th>金額</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. 建物セクターの MRV 体制の構築</td> <td>1.595</td> </tr> <tr> <td>2. 政策上のリスク回避</td> <td>1.695</td> </tr> <tr> <td>3. ファイナンス上のリスク回避</td> <td>11.42</td> </tr> <tr> <td>4. 財政的なインセンティブ</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>5. プロジェクト管理</td> <td>1.11</td> </tr> <tr> <td>合計額</td> <td>29.82</td> </tr> </tbody> </table>	構成要素	金額	1. 建物セクターの MRV 体制の構築	1.595	2. 政策上のリスク回避	1.695	3. ファイナンス上のリスク回避	11.42	4. 財政的なインセンティブ	14	5. プロジェクト管理	1.11	合計額	29.82
構成要素	金額														
1. 建物セクターの MRV 体制の構築	1.595														
2. 政策上のリスク回避	1.695														
3. ファイナンス上のリスク回避	11.42														
4. 財政的なインセンティブ	14														
5. プロジェクト管理	1.11														
合計額	29.82														
技術	省エネ型建物の改修														

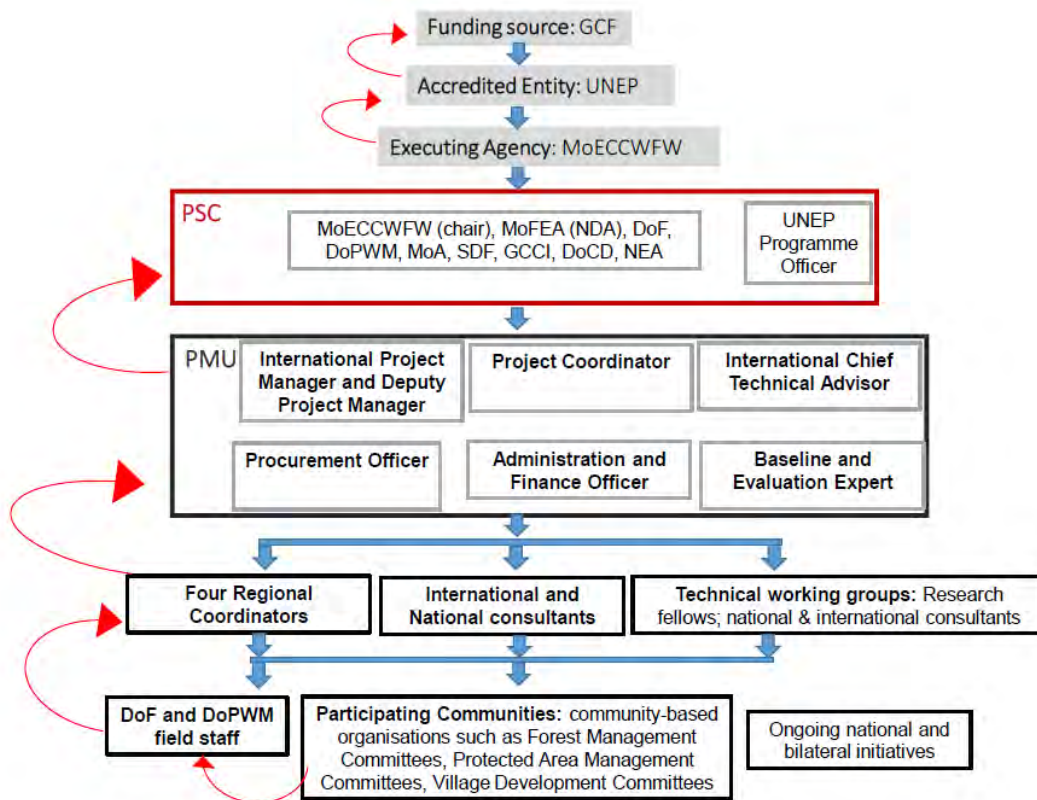


Figure 3. Project Management Structure



11) ファンディング・プロポーザル 011

項目	概要														
プログラムタイトル	ガンビアにおける大規模な生態系に基づいた適応対策：気候変動に強靱で自然資源をベースにした経済														
実施国	ガンビア														
NDA	Ministry of Finance and Economic Affairs														
認証実施機関	国連環境計画 (UNEP)														
Executing Entity	Ministry of Environment, Climate Change, Water, Forests and Wildlife														
受益者	ガンビアの住民 (11,550人の直接受益者と46,200人の間接受益者)														
適応/緩和	適応														
公共/民間	公共														
事業内容・セクター	農業地域、コミュニティ管理の森林保護区、野生生物保護地域における大規模な生態系に基づいた適応対策を実施することにより、気候変動に強靱な農業コミュニティと持続可能な自然資源をベースにした経済（グリーンエコノミー）の形成を目指す。その実現のためには、気候変動に強靱な植物種を植え付けることにより劣化した森林や農地を復元し、またその作物を消費・販売し、コミュニティベースの団体によって管理される商業的に実現可能な自然資源をベースにしたビジネスの確立を促進する。														
資金調達	合計 25.521367 百万米ドル 【内訳】 - 20.546756 百万米ドル：GCF のグラント - 4.974611 百万米ドル：ガンビア政府のグラント														
資金使途 (百万米ドル)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>GCF 供与分の内訳</th> <th>金額</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. 人材に係るコスト</td> <td>5.490356</td> </tr> <tr> <td>2. 契約上のサービス</td> <td>8.0825</td> </tr> <tr> <td>3. 旅費</td> <td>0.8904</td> </tr> <tr> <td>4. 機器、運搬具、備品</td> <td>5.5915</td> </tr> <tr> <td>5. 運用コスト、その他の直接的なコスト</td> <td>0.492</td> </tr> <tr> <td>合計額</td> <td>20.546756</td> </tr> </tbody> </table>	GCF 供与分の内訳	金額	1. 人材に係るコスト	5.490356	2. 契約上のサービス	8.0825	3. 旅費	0.8904	4. 機器、運搬具、備品	5.5915	5. 運用コスト、その他の直接的なコスト	0.492	合計額	20.546756
GCF 供与分の内訳	金額														
1. 人材に係るコスト	5.490356														
2. 契約上のサービス	8.0825														
3. 旅費	0.8904														
4. 機器、運搬具、備品	5.5915														
5. 運用コスト、その他の直接的なコスト	0.492														
合計額	20.546756														
技術	・森林、サバンナ、林地、マングローブの復元、ホームガーデンの確立、農地での補植														



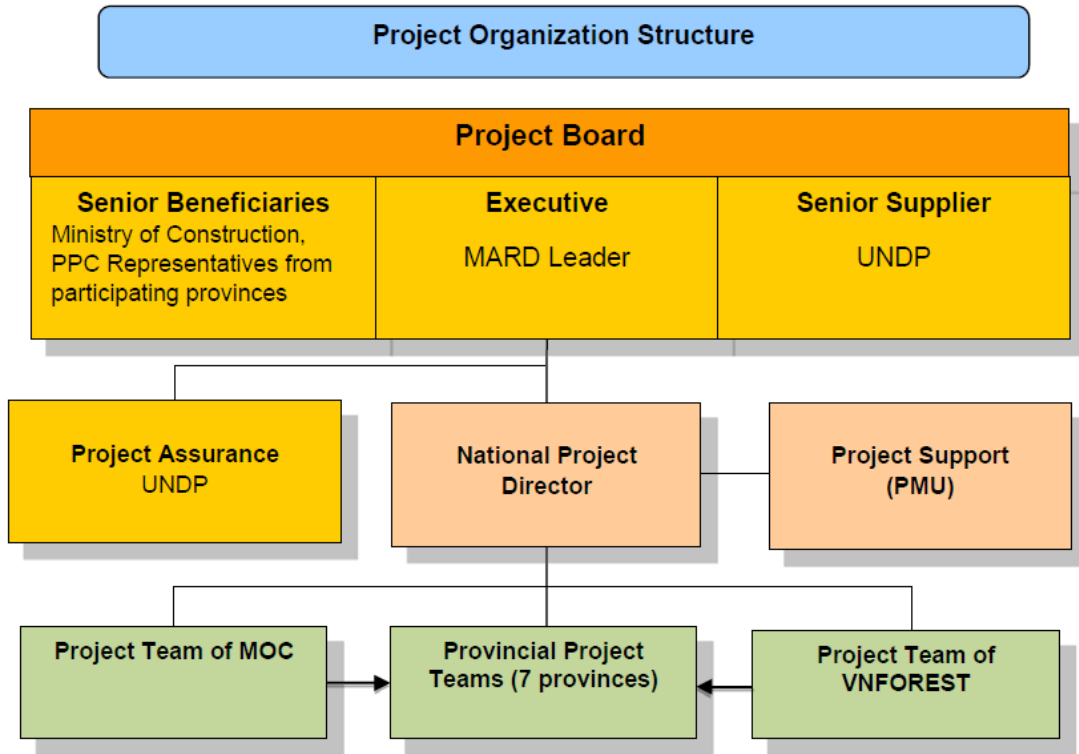
12) ファンディング・プロポーザル 012

項目	概要												
プログラムタイトル	アフリカ大気水象プログラム：サブサハラアフリカにおける気候変動への強靱性の強化（マリ国プロジェクト）												
実施国	マリ												
NDA	AEDD:Environment and Sustainable Development Agency												
認証実施機関	世界銀行（WB）												
Executing Entity	Government of Mali												
適応/緩和	適応												
公共/民間	公共												
事業内容・セクター	マリの脆弱なコミュニティと経済における適応能力と気候変動への強靱性を強化することを目指す。国家の大気水象警報サービスのキャパシティを開発することにより、公共及び民間セクターの適応計画の策定をサポートする。												
資金調達	合計 27.25 百万米ドル 【内訳】 - 22.75 百万米ドル：GCF のグラント - 2.0 百万米ドル：マリ政府のグラント - 2.5 百万米ドル：WB のグラント ※合計額が下記と整合しないが、どの数値が間違っているか不明												
資金使途 (百万米ドル)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>構成要素</th> <th>金額</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. キャパシティ・ビルディングと組織開発</td> <td>5.10</td> </tr> <tr> <td>2. 大気水象早期警報インフラの改善</td> <td>14.50</td> </tr> <tr> <td>3. コミュニティへのサービス提供と警報の改善</td> <td>6.00</td> </tr> <tr> <td>4. プロジェクト管理</td> <td>1.55</td> </tr> <tr> <td>合計額</td> <td>27.15</td> </tr> </tbody> </table>	構成要素	金額	1. キャパシティ・ビルディングと組織開発	5.10	2. 大気水象早期警報インフラの改善	14.50	3. コミュニティへのサービス提供と警報の改善	6.00	4. プロジェクト管理	1.55	合計額	27.15
構成要素	金額												
1. キャパシティ・ビルディングと組織開発	5.10												
2. 大気水象早期警報インフラの改善	14.50												
3. コミュニティへのサービス提供と警報の改善	6.00												
4. プロジェクト管理	1.55												
合計額	27.15												
技術	大気水象警報サービス												

## 13) ファンディング・プロポーザル 013

項目	概要										
プログラムタイトル	ベトナムの脆弱な沿岸地域における気候変動関連インパクトへの強靱性の改善										
実施国	ベトナム										
NDA	MPI:Ministry of Planning and Investment										
認証実施機関	国連開発計画 (UNDP)										
Executing Entity	MPI:Ministry of Agriculture and Rural Development										
受益者	20,000人の嵐と洪水に強い設計の新居の入居者、並びに3,865,100人の沿岸地域住民										
適応/緩和	横断的										
公共/民間	公共										
事業内容・セクター	20,000人の災害にさらされやすい貧困層のための嵐と洪水に強い設計の新居を建築する。洪水対策の一環としてマングローブを再生し、防波堤の役割を果たすだけでなく、生態系資源を提供することにより沿岸地域の生計をサポートする。またリソースはベトナム沿岸の28州の民間セクターと公共セクターに適用するための気候変動と経済リスク評価の体系化に利用される。										
資金調達	合計 40.53 百万米ドル 【内訳】 - 29.523 百万米ドル：GCF のグラント - 8 百万米ドル：ベトナム建設省のグラント - 1.407 百万米ドル：ベトナム建設省のグラント - 1.600 百万米ドル：UNDP のグラント										
資金使途 (百万米ドル)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>構成要素</th> <th>金額</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. 100 の地方自治体にいる 20,000 人の災害にさらされやすい貧困層に対する定着敵地におけるの嵐と洪水に強い設計の新居 4,000 戸</td> <td>20.152</td> </tr> <tr> <td>2. 4,000 ヘクタールの沿岸地域におけるマングローブの再生</td> <td>12.937</td> </tr> <tr> <td>3. ベトナム沿岸の 28 州の民間セクターと公共セクターに適用させるためのロスアンドダメージデータへのアクセス</td> <td>7.441</td> </tr> <tr> <td>合計額</td> <td>40.53</td> </tr> </tbody> </table>	構成要素	金額	1. 100 の地方自治体にいる 20,000 人の災害にさらされやすい貧困層に対する定着敵地におけるの嵐と洪水に強い設計の新居 4,000 戸	20.152	2. 4,000 ヘクタールの沿岸地域におけるマングローブの再生	12.937	3. ベトナム沿岸の 28 州の民間セクターと公共セクターに適用させるためのロスアンドダメージデータへのアクセス	7.441	合計額	40.53
構成要素	金額										
1. 100 の地方自治体にいる 20,000 人の災害にさらされやすい貧困層に対する定着敵地におけるの嵐と洪水に強い設計の新居 4,000 戸	20.152										
2. 4,000 ヘクタールの沿岸地域におけるマングローブの再生	12.937										
3. ベトナム沿岸の 28 州の民間セクターと公共セクターに適用させるためのロスアンドダメージデータへのアクセス	7.441										
合計額	40.53										
技術	マングローブの植林、嵐と洪水に強い設計の住宅										

Figure 3: Schematic of the Management Arrangements for the Proposed Project



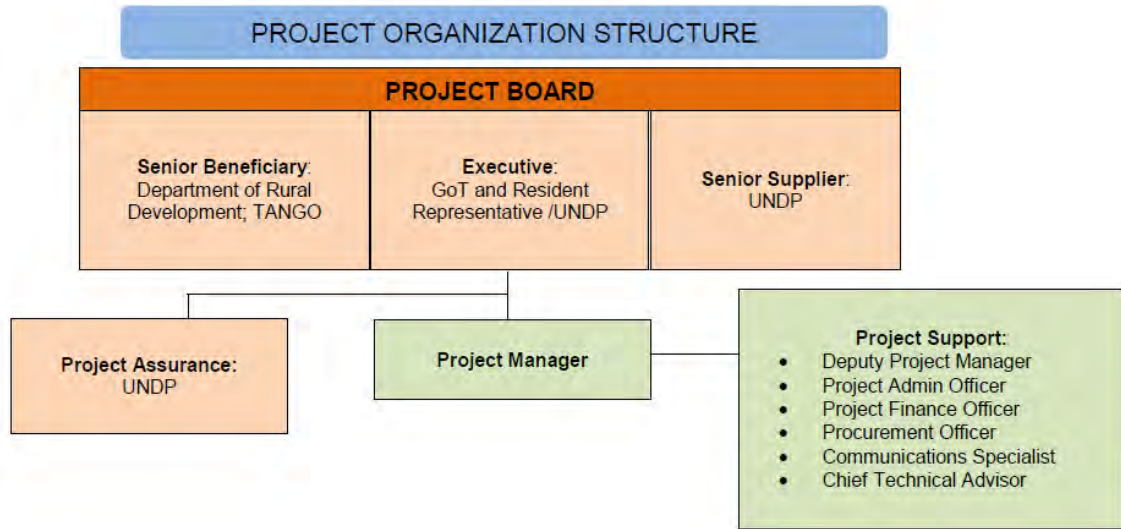
14) ファンディング・プロポーザル 014

項目	概要										
プログラムタイトル	タジキスタンとウズベキスタンにおける世界銀行のアラル海流域における気候変動適応と緩和プログラム (CAMP4ASB) の支援										
実施国	タジキスタン、ウズベキスタン										
NDA	タジキスタン:Committee on Environmental Protection ウズベキスタン:Cabinet of Ministers										
認証実施機関	世界銀行 (WB)										
Executing Entity	EC-IFAS:Executive Committee for International Fund for Saving the Aral Sea										
受益者	農家や水等の資源の利用者										
適応/緩和	適応										
公共/民間	公共										
事業内容・セクター	WB の関連プログラムが農家、リソースユーザグループ (例：水利用組合)、村落コミュニティ、民間企業へのファイナンスを優先的に提供するのに対し、本プロジェクトは優先地域における最も脆弱なコミュニティ (災害多発地域に居住する最貧困層や女性) に対する気候変動への強靱性対策に対して支援する。 気候変動対応型農村生産の実施と景観管理への投資を支援し、気候変動への強靱性、食糧安全保障、性別・社会的包摂を含めた受益者の幸福の増大といったような複数の利益を生み出す。										
資金調達	合計 68.780 百万米ドル 【内訳】 - 19 百万米ドル：GCF のグラント - 14 百万米ドル：国際開発協会 (IDA) のシニアローン (ウズベキスタン向け) - 9 百万米ドル：IDA のシニアローン (タジキスタン向け) - 15 百万米ドル：IDA のグラント (EC-IFAS*向け) - 11.78 百万米ドル：グラント (受益者貢献)  * アラル海救済のための国際基金 (Executive Committee for International Fund for Saving the Aral Sea: EC-IFAS)										
資金使途 (百万米ドル)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>GCF 供与分の内訳</th> <th>金額</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. CAMP4ASB の気候変動インベストメント・アセスメント・メカニズムのスケールアップ</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>2. 地域の気候変動インベストメント・ファシリティ</td> <td>17</td> </tr> <tr> <td>3. 地域間、国家間の共同</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>合計額</td> <td>19</td> </tr> </tbody> </table>	GCF 供与分の内訳	金額	1. CAMP4ASB の気候変動インベストメント・アセスメント・メカニズムのスケールアップ	1	2. 地域の気候変動インベストメント・ファシリティ	17	3. 地域間、国家間の共同	1	合計額	19
GCF 供与分の内訳	金額										
1. CAMP4ASB の気候変動インベストメント・アセスメント・メカニズムのスケールアップ	1										
2. 地域の気候変動インベストメント・ファシリティ	17										
3. 地域間、国家間の共同	1										
合計額	19										
技術	農業生産、土地管理、その他分野での気候変動への強靱性及び緩和のための技術										

15) ファンディング・プロポーザル 015

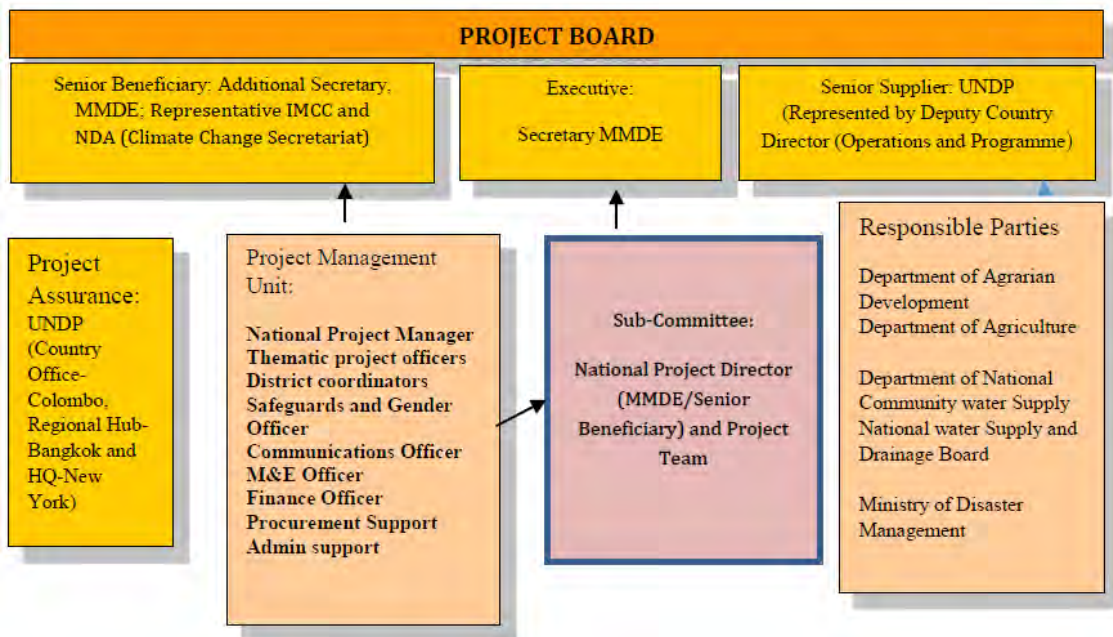
項目	概要										
プログラムタイトル	ツバル沿岸地域の適応プロジェクト (TCAP)										
実施国	ツバル										
NDA	Prime Minister										
認証実施機関	国連開発計画 (UNDP)										
Executing Entity	国連開発計画 (UNDP)										
受益者	3,100人の直接受益者と3,499人の間接受益者										
適応/緩和	適応										
公共/民間	公共										
事業内容・セクター	ツバルの3島（フナフティ島、ナヌメア島、ナヌマンガ島）沿岸の浸水と浸食に対する脆弱性を低減する。海面上昇と極端気象の激化を誘発する気候変動により、増加している集中的な波作用による主要インフラへの影響を低減するための政策をツバル政府が実施できるようにする。										
資金調達	合計 38.870 百万米ドル 【内訳】 - 36.010 百万米ドル：GCF のグラント - 2.86 百万米ドル：ツバル政府のグラント										
資金使途 (百万米ドル)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>構成要素</th> <th>金額</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. 強靱な沿岸管理のための組織、人材、意識・知識の強化</td> <td>3.137</td> </tr> <tr> <td>2. 3島において波の影響を受けるインフラ（住居、学校、病院、その他の施設）の脆弱性の低減</td> <td>30.365</td> </tr> <tr> <td>3. 長期の適応行動のための持続可能なファイナンスメカニズムの開発</td> <td>5.368</td> </tr> <tr> <td>合計額</td> <td>38.87</td> </tr> </tbody> </table>	構成要素	金額	1. 強靱な沿岸管理のための組織、人材、意識・知識の強化	3.137	2. 3島において波の影響を受けるインフラ（住居、学校、病院、その他の施設）の脆弱性の低減	30.365	3. 長期の適応行動のための持続可能なファイナンスメカニズムの開発	5.368	合計額	38.87
構成要素	金額										
1. 強靱な沿岸管理のための組織、人材、意識・知識の強化	3.137										
2. 3島において波の影響を受けるインフラ（住居、学校、病院、その他の施設）の脆弱性の低減	30.365										
3. 長期の適応行動のための持続可能なファイナンスメカニズムの開発	5.368										
合計額	38.87										
技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・フナフティ島：フォンガファレ島バイアク海岸通りの1,000mに及ぶ浸食・劣化した前浜の修復</li> <li>・ナヌメア島：ジオテクスタイルコンテナによる護岸</li> <li>・ナヌマンガ島：ジオテクスタイル護岸を施し、砂漠と砂堤を適切な高さに再建。高さを設けた木製の歩道を設置することにより人通りをコントロール</li> </ul>										





16) ファンディング・プロポーザル 016

項目	概要										
プログラムタイトル	スリランカにおける乾燥地帯の小規模農家の気候変動と極端気象への強靱性の強化										
実施国	スリランカ										
NDA	Ministry of Mahaweli Development and Environment										
認証実施機関	国連開発計画 (UNDP)										
Executing Entity	Ministry of Mahaweli Development and Environment										
受益者	約 150 万人										
適応/緩和	適応										
公共/民間	公共										
事業内容・セクター	水管理の改善により乾燥地帯の小規模農家（特に女性）の強靱性を強化することにより、生活向上を図る。人々の健康と幸福の増大、食糧と水の安全保障、乾燥地帯における脆弱な小規模農家の強靱性の強化と生活の向上をもたらす。										
資金調達	合計 52.084 百万米ドル 【内訳】 - 38.084 百万米ドル：GCF のグラント - 6 百万米ドル：スリランカ農業開発局のグラント - 1.14 百万米ドル：スリランカ農業局のグラント - 2.11 百万米ドル：スリランカナショナルコミュニティ上水局のグラント - 4 百万米ドル：スリランカ国家上下水道公社のグラント - 0.75 百万米ドル：スリランカ災害管理省のグラント										
資金使途 (百万米ドル)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>構成要素</th> <th>金額</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. 乾燥地帯の3つの河川流域における灌漑システムの強靱性の強化と気候変動に強い農業技法のスケールアップ</td> <td>30.296</td> </tr> <tr> <td>2. 気候変動に強い分散型の水供給の強化と脆弱なコミュニティに年間を通じて安全な水を提供するための管理ソリューション</td> <td>17.013</td> </tr> <tr> <td>3. 小規模農家の水管理と適応能力を向上するための気象と水象の観測・予測システムの強化</td> <td>4.775</td> </tr> <tr> <td>合計額</td> <td>52.084</td> </tr> </tbody> </table>	構成要素	金額	1. 乾燥地帯の3つの河川流域における灌漑システムの強靱性の強化と気候変動に強い農業技法のスケールアップ	30.296	2. 気候変動に強い分散型の水供給の強化と脆弱なコミュニティに年間を通じて安全な水を提供するための管理ソリューション	17.013	3. 小規模農家の水管理と適応能力を向上するための気象と水象の観測・予測システムの強化	4.775	合計額	52.084
構成要素	金額										
1. 乾燥地帯の3つの河川流域における灌漑システムの強靱性の強化と気候変動に強い農業技法のスケールアップ	30.296										
2. 気候変動に強い分散型の水供給の強化と脆弱なコミュニティに年間を通じて安全な水を提供するための管理ソリューション	17.013										
3. 小規模農家の水管理と適応能力を向上するための気象と水象の観測・予測システムの強化	4.775										
合計額	52.084										
技術	灌漑施設、気候変動に強い農業、飲料水の浄化と供給、季節毎の天気予報と早期警報										



## 17) ファンディング・プロポーザル 017

項目	概要
プログラムタイトル	チリ国タラパカ州における気候行動とソーラーエネルギー開発プログラム
実施国	チリ
NDA	財務省 (Ministerio de Hacienda)
認証実施機関	アンデス開発公社 (CAF)
Executing Entity	Atacama Solar S.A
受益者	Atacama Solar S.A
適応/緩和	緩和
公共/民間	民間
事業内容・セクター	アタカマ砂漠における大規模ソーラーパーク (143MW) の建設。 チリ最大の送電運用機関である Transelec と協力し、45.5km の送電線を介してソーラーパークと Lagunas 変電所をつなげる。
資金調達	合計 273 百万米ドル - GCF シニアローン : 49 百万米ドル - CAF、他シニアローン : 92 百万米ドル - スポンサー出資 : 116 百万米ドル - その他シニアローン : 16 百万米ドル
資金使途 (百万米ドル)	合計 約 255 百万米ドル ・設計・調達・建設 (EPC) に係るコストが全体の 70% を占める見込み。
技術	太陽光発電