

タイ国

タイ国
帯水層の地中熱利用による
高効率冷房システム案件化調査
業務完了報告書

2020年4月

独立行政法人
国際協力機構 (JICA)

ミサワ環境技術株式会社

民連
JR
20-032

<本報告書の利用についての注意・免責事項>

- ・本報告書の内容は、JICAが受託企業に作成を委託し、作成時点で入手した情報に基づくものであり、その後の社会情勢の変化、法律改正等によって本報告書の内容が変わる場合があります。また、掲載した情報・コメントは受託企業の判断によるものが含まれ、一般的な情報・解釈がこのとおりであることを保証するものではありません。本報告書を通じて提供される情報に基づいて何らかの行為をされる場合には、必ずご自身の責任で行ってください。
- ・利用者が本報告書を利用したことから生じる損害に関し、JICA及び受託企業は、いかなる責任も負いかねます。

<Notes and Disclaimers>

- ・ This report is produced by the trust corporation based on the contract with JICA. The contents of this report are based on the information at the time of preparing the report which may differ from current information due to the changes in the situation, changes in laws, etc. In addition, the information and comments posted include subjective judgment of the trust corporation. Please be noted that any actions taken by the users based on the contents of this report shall be done at user's own risk.
- ・ Neither JICA nor the trust corporation shall be responsible for any loss or damages incurred by use of such information provided in this report.

写真



国立地質博物館



既存の空冷ヒートポンプ
(国立地質博物館)



ボーリング実施状況



熱応答試験 (TRT) 実施状況



ボーリングでサンプリングした試料



Well-1 熱交換器挿入



熱応答試験 (TRT) の公開



本邦受け入れ活動 (水冷ヒートポンプ)
猪苗代町庁舎

目次

写真
目次
図目次
表目次
略語表

要約	i
はじめに	ix
第1章	対象国・地域の開発課題	1
1-1	対象国・地域の開発課題	1
1-2	当該開発課題に関連する開発計画、政策、法令等	12
1-3	当該開発課題に関連する我が国国別開発協力方針	21
1-4	当該開発課題に関連するODA事業及びおよび他ドナーの先行事例事業分析	21
第2章	提案法人、製品・技術	22
2-1	提案法人の概要	22
2-2	提案製品・技術の概要	22
2-3	提案製品・技術の現地適合性	27
2-4	開発課題解決貢献可能性	38
第3章	ODA事業計画/連携可能性	40
3-1	ODA事業の内容/連携可能性	40
3-2	ODA事業実施における課題・リスクと対応策	47
3-3	環境社会配慮等	47
3-4	ODA事業実施/連携を通じて期待される開発効果	48
第4章	ビジネス展開計画	49
4-1	ビジネス展開計画概要	49
4-2	市場分析	49
4-3	バリューチェーン	53
4-4	進出形態とパートナー候補	54
4-5	収支計画	57
4-6	想定される課題・リスクと対応策	58
4-7	ビジネス展開を通じて期待される開発効果	58
4-8	日本国内地元経済・地域活性化への貢献	59
SUMMARY	60

図目次

図 1	バンコク首都圏の帯水層	III
図 2	バンコク都の最高気温と帯水層の温度	III
図 3	地中熱ヒートポンプシステム	III
図 4	事業サイト	X
図 5	バンコク都の気温と降水量	1
図 6	名目 GDP 及び実質 GDP 成長率推移	1
図 7	タイの行政制度	2
図 8	タイ国の行政区分	3
図 9	燃料別発電量	4
図 10	2019 年 1 月の発電事業者別・発電設備容量	5
図 11	天然ガスの確認埋蔵量・消費量・生産量	7
図 12	一人当たりの CO ₂ 排出量	8
図 13	発電 1kWh 当たりの CO ₂ 排出量 (実績)	9
図 14	発電 1kWh 当たりの CO ₂ 排出量 (計画)	9
図 15	電力セクターの化石燃料からの CO ₂ 排出量	9
図 16	2018 年の燃料別発電量の割合	10
図 17	バンコク都心部の地表温度	11
図 18	ヒートアイランド現象の改善	11
図 19	発電容量の見通し	15
図 20	エネルギー効率化計画	16
図 21	電力セクターの省エネ計画	17
図 22	日本での施工実績	22
図 23	日本での大型商業施設導入事例	23
図 24	中央 (熱源) 方式	24
図 25	個別 (熱源) 方式	24
図 26	空調調和器の種類	24
図 27	ヒートポンプによる冷却のサイクル	24
図 28	水冷式・地中熱	25
図 29	水冷式・冷却塔	25
図 30	空冷式	25
図 31	バンコク首都圏の帯水層	25
図 32	バンコク都の最高気温と帯水層の温度	26
図 33	ポリマー使用地中熱交換器挿入工法	26
図 34	ベントナイト使用地中熱交換器挿入工法	26
図 35	TRT 実施サイト	27
図 36	TRT 実施箇所	28
図 37	WELL 1 ボーリング柱状図	29
図 38	TRT 概念図	30
図 39	TRT の解析結果 (チュラロンコン大学)	30
図 40	WELL-1 TRT の解析結果	31
図 41	WELL-2 TRT の解析結果	31
図 42	WELL-1 熱抵抗の解析結果	32
図 43	WELL-2 熱抵抗の解析結果	32
図 44	タイ・下部チャオプラヤ平野の 3 次元広域流動モデル	32
図 45	バンコクエリアにおける地中熱システム設置の適地マップ	34
図 46	DMR 本邦受け入れ活動レポート	37

図 47	DGR 本邦受け入れ活動レポート.....	37
図 48	ODA 事業地中熱利用水冷ヒートポンプ冷房システム導入計画	42
図 49	事務棟 2 階の冷水配管図.....	44
図 50	事業実施体制.....	45
図 51	事業スケジュール	45
図 52	クローズドループ方式とオープンループ方式	48
図 53	東南アジアのデルタ地帯	49
図 54	タイ国の工業用(小規模事業者向)電気料金推移(平均値).....	50
図 55	日系進出企業の推移	50
図 56	タイ国の工業団地	51
図 57	移流型地中熱交換器挿入工法.....	53
図 58	GEO を活用した時のバリューチェーン.....	54
図 59	現地法人を設立した時のバリューチェーン.....	54
図 60	現地法人を設立した時の事業実施体制-1.....	56
図 61	現地法人を設立した時の事業実施体制-2.....	56
図 62	GEO を活用した時の事業実施体制	57

表目次

表 1	地中熱源・水冷ヒートポンプと空冷ヒートポンプの比較表	IV
表 2	基礎的経済指標	2
表 3	地域毎の面積、人口、名目 GDP (2015 年)	3
表 4	地域別にみた名目 GDP の産業別構成比(全国=100%)	4
表 5	配電先別電力消費構成	5
表 6	MEA の電力消費構成	6
表 7	MEA の電力消費量対前年増加率	6
表 8	民生部門が電力消費量に占める割合	6
表 9	セクター別 CO ₂ 排出量	8
表 10	バンコク都心部と農村地域の地表温度比較	11
表 11	計画期末の発電設備容量比較表	15
表 12	新設の発電設備容量比較表	15
表 13	リース採択リスト	19
表 14	空調の冷却能力性能基準	20
表 15	13 地点の水文地質情報	33
表 16	ワークショッププログラム	36
表 17	地中熱源・水冷ヒートポンプと空冷ヒートポンプの比較表	38
表 18	冷却能力と消費電力	エラー! ブックマークが定義されていません。
表 19	COP 試算表	エラー! ブックマークが定義されていません。
表 20	役割分担表	41
表 21	導入する設備	43
表 22	水冷ヒートポンプによる冷房の空調機能力一覧	43
表 23	ODA 事業効果	46
表 24	製造業内訳	51
表 25	設備投資額比較	52
表 26	JCM 制度を活用した時のユーザーのメリット	53
表 27	収支計画	57

略語表

略語	正式名称	日本語名称
BAU	business-as-usual	対策を実施しなかったケース
BMA	Bangkok Metropolitan Administration	バンコク首都圏庁
CCOP	Coordinating Committee for Geoscience Programmes in East and Southeast Asia	東・東南アジア地球科学計画調整委員会
COP	Coefficient of Performance	成績係数
COP21	21th Conference of the Parties to the United Nations Convention on Climate Chang	気候変動枠組条約第 21 回締約国会議
DEDE	Department of Alternative Energy Development and Energy Efficiency	代替エネルギー開発・省エネ局
DGR	Department of Groundwater Resources	地下水資源局
DMR	Department of Mineral Resources	鉱物資源局
ENCON Fund	Energy Conservation Fund	エネルギー保全基金
EEP	Energy Efficiency Plan	エネルギー効率化計画
EGAT	Electricity Generating Authority of Thailand	タイ発電公社
EPPO	Energy Policy and Planning Office	エネルギー政策・計画局
ESCAP	Economic and Social Commission for Asia and the Pacific	国連アジア太平洋経済社会委員会
ESCO	Energy service company	エスコ
FBL	FOREIGN BUSINESS LICENSE	外国人事業許可
GEO	Global Employment Outsourcing	国際雇用代行
GHG	Greenhouse Gas	温室効果ガス
GL	Ground Level	地盤面の高さ
GRP	Gross Regional Product	地域総生産
HEPS	High Energy Performance Standard	エネルギー高性能基準
INDC	Intended Nationally Determined Contribution	各国が自主的に決定する約束草案
IPP	Independent Power Producer	独立系発電業者
JCM	Joint Crediting Mechanism	二国間クレジット制度
MEA	Metropolitan Electricity Authority	首都圏配電公社
MEPS	Minimum Energy Performance Standard	最小エネルギー性能基準
MOE	Ministry of Energy	エネルギー省
MoNRE	Ministry of Natural Resources and Environment	天然資源環境省
NDC	nationally determined contribution	自国が決定する貢献
ONEP	Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning	環境政策計画局
PDP	Power Development Plan	長期電力開発計画

PEA	Provincial Electricity Authorit	地方配電公社
SEP	Sufficiency Economy Philosophy	足るを知る経済
SPP	Small Power Producer	小規模発電事業者
TIS	Thai Industrial Standards	タイ工業規格
TISI	Thai Industrial Standards	タイ工業規格協会
TRT	Thermal Response Test	熱応答試験
VSPP	Very Small Power Producer	再生可能エネルギー発電事業者

要約

1. 対象国・地域の開発課題

タイ王国（以下タイ国とする）は、電力の安定供給が厳しくなり、加えて火力発電所からの大気汚染物質の放出もあり、今後より一層、省エネへの取り組みが必要となり、高効率の省エネ技術の導入が必要である。

タイ国の CO₂ 排出量は、2009 年の 208,270 千 t-CO₂ が、2018 年には 260,312 千 t-CO₂ へと増加している。一人当たりの CO₂ 排出量も、2009 年の 3.28t-CO₂/人が、3.90t-CO₂/人へと増加している。2015 年 10 月 1 日に提出されたタイ国の INDC は、2030 年には GHG 排出量を、BAU (business-as-usual) と比べ 20%から 25%削減するとしている。

CO₂ 排出量に電力セクターの占める割合は、2018 年では 36.2%を占め、セクターでは最大の排出源である。GHG 削減目標達成のため、「2018 年から 2037 年までの国の長期電力開発計画（以下、PDP 2018）」では、省エネルギー対策等を行うことで、COP21 合意に対応し 2037 年の電力の二酸化炭素排出量 (CO₂) を、0.283 kgCO₂/kWh、103,845 千 CO₂e 相当とするとしている。

2019 年 1 月の電力の CO₂ 排出量は、0.480kgCO₂/kWh と、年々減少しているが、2037 年の電力の CO₂ 排出量の目標 0.283kgCO₂/kWh を達成するために、今後、さらに 0.197 kgCO₂/kWh 削減しなければならない。

目標達成のためには、今後、一層の省エネが望まれる。タイの民生部門（家庭・商業・オフィス・行政機関・公共施設）の電力消費量は増加しており、全消費量の約 50%を占める。民生業務部門（商業・オフィス）では、経済発展に伴い、商業施設やオフィスビル、コンドミニアム等における空調用エネルギーの増加が予想されており、この分野での省エネ推進が課題となっている。

バンコク首都圏は世界有数の高温多湿の都市で、一日中クーラーによる冷房を必要とする日が多い。家庭、商業、公共で使用される電力量の内、冷房がかなりの割合を占める。従って、温室効果ガス削減目標達成と省エネルギーの促進のためには、高効率な冷房空調用設備の普及が望まれる。

バンコク首都圏は、都市化の影響と見られるヒートアイランド現象が発生しており、中心部の気温が、郊外に比べて上昇している。ヒートアイランド現象の主な要因の一つは、クーラーなどからの人工排熱の増加である。高効率のインバーターエアコンも空気熱源ヒートポンプであり、高温の外気を利用し、冷房排熱を外気に排熱するため、ヒートアイランド現象の加速に繋がる。ヒートアイランド現象を抑制する地中熱利用による冷房システムの導入、普及が望まれる。

2011 年にエネルギー省 (Ministry of Energy:MOE) により、タイにおけるエネルギーに関して安全保障面・経済面・環境面のそれぞれにおいて改善させることを目的に、省エネルギー計画である「エネルギー効率開発 20 年計画 (Thailand 20-year Energy Efficiency Development Plan (2011-2030))」が策定された。安全保障面としては国内のエネルギー需要に応えられる体制を構築すること、経済面としては国民や企業にとって適切なエネルギー価格を維持すること、環境面としては環境や地域社会への影響を減らすことを目指している。具体的な目標として、2030 年にはエネルギー原単位を、2010 年比で 25%低減させることを目標に掲げている。

2015 年に、同計画の改訂版である「エネルギー効率化計画 (Energy Efficiency Strategy for Thailand for the next 20 years)」が策定された。電源開発計画や第 11 次国家経済社会開発計画との整合性を図りつつ、2036 年にはエネルギー原単位を 2010 年比で BAU ケースから 30%低減させる目標に更新され、最終エネルギー消費量 (2036 年標準ケース) 187,142ktoe を 56,142ktoe 削減し、131,000 ktoe にすることが目標である。

目標を達成するためには、電力セクターは、再生可能エネルギーの普及とともに、より一層の省エネへの取り組みが必要となり、高効率の省エネ技術の導入が望まれている。

2. 提案企業、製品・技術

1) 提案製品・技術の概要

① 提案企業の概要

ミサワ環境技術株式会社（以下ミサワ環境技術）は、地中熱利用の先駆的企業で、約 30 年以上の施工経験を有する。1975 年に創業、1990 年にドイツ製ボーリング機を購入して本格的に地中熱利用事業を開始し、1991 年にはスイス KWT 社と技術提携して本社に地中熱空調システムを導入した。

② ターゲット市場

日本では、大型商業施設、公共施設、大規模ビルディング、工場での冷暖房設備・暖房設備としての導入実績がある。設計・施工した地中熱ヒートポンプシステムの施工件数は 268 件、設備容量は国内企業では最多である。内、ボアホール方式の施工件数は 248 件で、ボアホールの施工本数は 4,000 本以上である。

③ 技術の概要

ビルやショッピングモールのような大型施設の空調システムは、冷凍機などの熱源をどこに置くかによって「中央（熱源）方式（セントラル空調）」と「個別（熱源）方式（ビルマルチ空調）」の 2 つに大別される。本提案技術は、「中央（熱源）方式」の空調システムである。

中央（熱源）方式は、熱源機器（ヒートポンプ等）と空気調和機（ファンコイル等）とを組み合わせることで空調する方式で、冷温水を空気調和機に送水して空調する。

ヒートポンプは、大きく分けて、空冷式と水冷式がある。

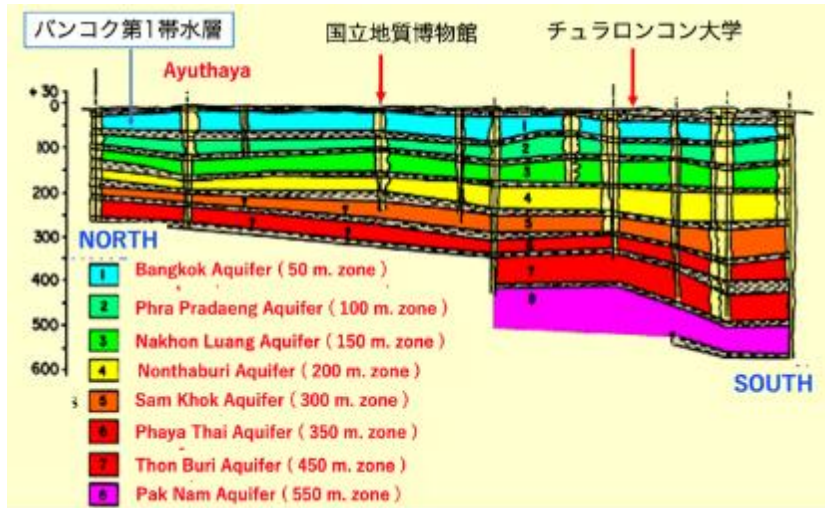
- 空冷式ヒートポンプ → ヒートポンプの凝縮器で外気に放熱し冷水をつくる。
- 水冷式ヒートポンプ → ヒートポンプの凝縮器で冷却水に放熱し冷水をつくる。

タイ国では、空冷式ヒートポンプで冷房が行われている。本提案の技術は、水冷式のヒートポンプによる冷房である。通常、水冷式は、冷却塔で冷却水を作り、ヒートポンプに送る。

バンコク首都圏は、チャオプラヤ川のデルタ地帯に位置し、帯水層が広く賦存する（図 1 参照）。地表から地下 50m 前後までの帯水層の温度は、年間を通して温度がほぼ一定で、昼間は外気温より冷たい（図 2 参照）。提案する技術は、冷却塔の代わりに、地中熱交換器で帯水層に放熱して冷却水を冷して、ヒートポンプに送り、冷水を作ってファンコイルユニットに送水して冷房を行う（図 3 参照）。

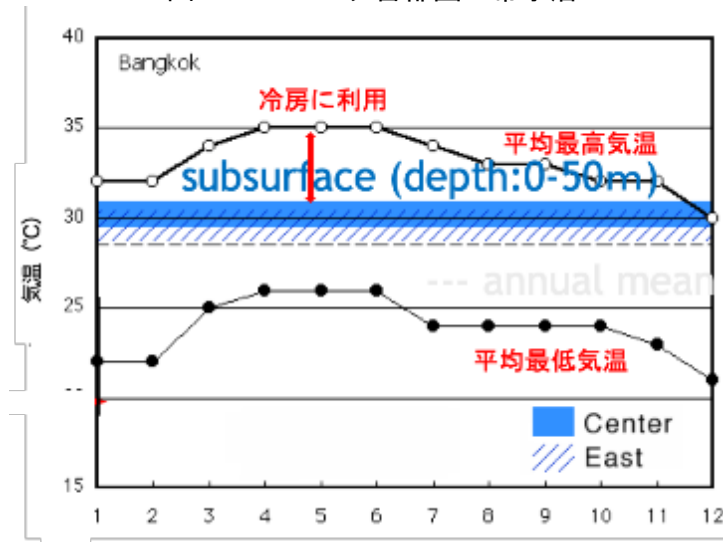
設備は、地中熱交換器、地中熱源ヒートポンプ、室内機等から構成される。バンコク首都圏では、深さ 50m、直径 200mm 程度のボアホール（穴）に外径 42 mm のポリエチレン製の U チューブ（地中熱交換器）を挿入し、その後、空隙を砂で充填する。

タイ国では地中熱利用が行われておらず、東・東南アジア地球科学計画調整委員会（以下 CCOP（Coordinating Committee for Geoscience Programmes in East and Southeast Asia））の実証試験で 2 回ボーリングが行われたのみである。タイのボーリング業者は、熱交換器挿入のためのボーリング技術を有していない。そのため、削孔の際には、孔壁の崩壊を防止するため、ベントナイトを使用してケーシングパイプを挿入していく。ベントナイトは、孔壁に厚い泥壁を形成して孔壁崩壊を防止するため、施工後に泥壁が残り、地下水の流動を阻害し、採熱効率が低下する。ミサワ環境技術は、ポリマーを利用することで、効率的にボーリングを行い、帯水層の地中熱利用を可能にする。ポリマーは、ボーリング後バクテリア等の影響で自然に分解するため、地下水の流動を阻害しない。



出典：A Pilot Study on Geothermal Heat Pump (GHP) Use for Cooling Operations, and on GHP Site Selection in Tropical Regions Based on a Case Study in Thailand

図 1 バンコク首都圏の帯水層



出典：産総研 秋田大学 Cooling with ground source heat pumps - lessons learned from South - Eastern Asian countries

図 2 バンコク都の最高気温と帯水層の温度

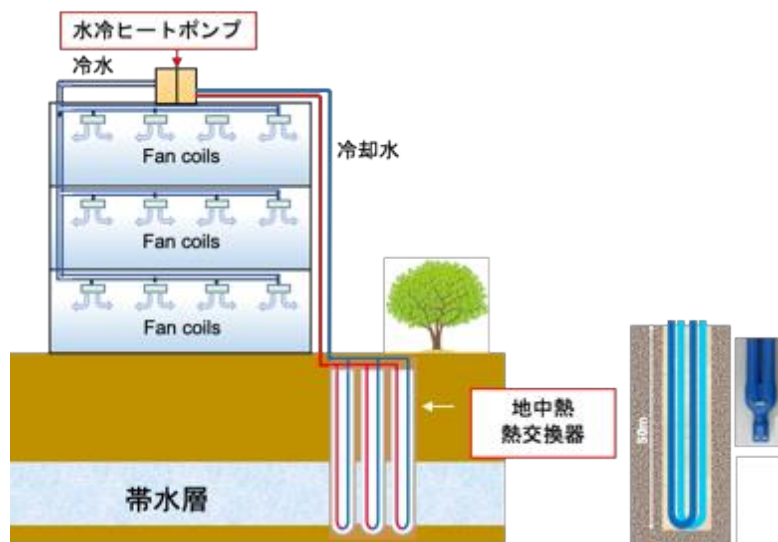


図 3 地中熱ヒートポンプシステム

2) 製品・技術の現地適合性

本案件化調査では、ODA 事業実施予定サイトである国立地質博物館でボーリングと熱応答試験（以下 TRT (Thermal Response Test)）を実施した。GL-55m までボーリングした結果、GL-39~46m 間は中砂~粗砂を主体とする層が分布しており、帯水層であると考えられる。TRT の結果、国立地質博物館の敷地内の Well-1 の見掛け熱伝導率 λ_s は 1.74 W/m/K、Well-2 は 1.69 W/m/K と推定された。これらの見掛け熱伝導率の値は、一般的な地下水流れのない土壌よりも高い値であることから、地下水流れの影響があると考えられ、地中熱の利用に有利であると考えられる。

Uチューブを挿入するボアホールのボーリング本数の概算値は、以下の式で求められる。熱交換量の数字が大きい値ほど、ボーリング本数が少なくてすむ。

$$\text{ボアホール本数} = \{(\text{冷房能力 kW}) + (\text{消費電力 kW})\} / (\text{熱交換量 W/m}) / (\text{ボーリング深度 m})$$

CCOP のバンコク首都圏の帯水層の地下環境（地下水流速、地下水位、温度等）のデータを基に、潜在的な地中熱利用の可能性（地中熱ポテンシャル）が高い地域（地中熱利用に適した地域）、低い地域を評価し、地中熱ヒートポンプの導入、普及可能性を評価した。

TRT による有効熱伝導率は、チャオプラヤ川周辺で比較的良い値を示した。この結果より、地下水位が地中熱ヒートポンプシステムの熱交換能力に大きく影響していると考えられる。その理由として、地下水位が地表に近いほど地層は水で飽和されており、地層の有効熱伝導率が高くなるからであると考えられる。従って、タイ国での地中熱利用は川沿いや氾濫原などの地下水の回復の早い場所や、近くに揚水井戸のない地域で行うのが好ましいと考えられる。特に人口の多いチャオプラヤ川沿いへの地中熱ヒートポンプシステム設置が好ましいことから、導入が促進されることによってヒートアイランド現象の抑制に繋がり、東南アジアにおける環境問題に寄与できると考えられる。

3) 開発課題解決貢献可能性

ヒートポンプに電気(燃料)を 1kW 投入したとき、何 kW の熱を奪う（冷却する）ことができるかを表す指標を、成績係数（以下 COP (Coefficient of Performance)）と呼び、冷房機器などのエネルギー消費効率の目安として使われており、数値が大きいほど省エネ性能が優れている。

提案製品・技術の現地適合性は、バンコク首都圏で従来行われてきた空冷式ヒートポンプによる冷房の代替として、帯水層の地中熱を利用する水冷式ヒートポンプを導入することによる省エネ効果から、現地適合性を評価した。現地適合性を評価する指標は、COP、消費電力、電力代、温室効果ガス排出量、大気への放出熱量である。冷却能力 82.9kW の地中熱・水冷ヒートポンプを導入した時の開発課題解決貢献の評価結果を、表 1 に示す。

表 1 地中熱源・水冷ヒートポンプと空冷ヒートポンプの比較表

指標	地中熱・水冷ヒートポンプ	空冷ヒートポンプ	効果
COP	3.88	2.83	省エネ率 26%
年間消費電力量	81.1 MWh	109.0 MWh	▲ 27.9MWh
年間電力代	1,508 千円	2,021 千円	▲ 514 千円
温室効果ガス排出量	47.8 tCO ₂ e/年	64.3 tCO ₂ e/年	▲ 16.4 tCO ₂ e/年
大気への放出熱量	0 GJ	403.9 GJ	▲ 403.9 GJ
運転日数：310日 運転時間：12時間 電力代 月額基本料：312パーツ 1kWh 当たり料金：5.11 パーツ（ピーク時（月～金：9時～22時）） 0.5897 t-co ₂ /MWh (Combined Margin,2014): IGES List of Grid Emission Factors, 20180405			

3. ODA 事業

1) スキーム

ODA 事業は、JICA 中小企業・SDGs ビジネス支援事業の普及・実証・ビジネス化事業に提案する。

2) 目的

帯水層の地中熱利用による高効率冷房システムを設置し、既存の空気熱源による冷房システムを代替して冷房を行なう。消費電力をモニタリングして、消費電力量の削減量から、省エネ効果、電力代削減効果、温室効果ガスの削減効果、大気中への排熱削減効果を検証して、技術的・経済的優位性を実証することを目的とする。

3) C/P 候補機関組織

- ・ タイ鉱物資源局（以下 DMR (Department of Mineral Resources)
- ・ タイ天然資源・環境省 (Ministry of Natural Resources and Environment: MoNRE) の内部部局の一つで、国立地質博物館の所有者。施設の提供と設備の維持管理、ランニングコストの負担を行う。

4) 事業実施サイト

バンコク首都圏（パトゥンタニ県） 国立地質博物館（DMR 所管）

5) 事業活動

国立地質博物館では、現在、冷房能力 580kW の空気熱源ヒートポンプ 4 台で冷房を行っている。ODA 事業では、既存の空冷式ヒートポンプによる冷房の一部、即ち事務棟（正式名称は 1 階）2 階の事務室を、帯水層の地中熱源を利用する水冷式ヒートポンプによる冷房に切り替えることで、冷房の消費電力を削減する。

水冷式ヒートポンプを設置する計画で、冷却能力は 75.2kW を想定している。TRT の結果、国立地質博物館の交換熱量は、43.0W/m であった。ボーリング深度は、50m で U チューブを挿入するボアホールは、45 本掘削する。水冷式ヒートポンプは、事務棟の玄関に設置を予定している。合わせて、モニター設備も設置し、ODA 事業を来訪者に公開する計画である。対象が事務室に限られており、第三者への説明やデータ計測が容易である。

6) 本事業の成果

成果 1. バンコク首都圏の国立地質博物館に、水冷式ヒートポンプの排熱を帯水層に放熱して冷房するシステムの技術と設備が導入される。

成果 2. バンコク首都圏の国立地質博物館に設置された帯水層の地中熱源を利用する水冷式ヒートポンプ冷房システムが、適切に運営が行われ、冷房の消費電力が削減され、大気中への放熱量と CO₂ 排出量が削減されて、技術の有用性が実証される。

成果 3. タイ国で帯水層の地中熱源を利用する水冷式ヒートポンプ冷房システムの普及に向けたビジネス展開計画が策定される。

7) 事業の内容(活動内容)

成果 1	活動 1-1 案件化調査結果に基づいて帯水層の地中熱源を利用する水冷式ヒートポンプ冷房システムが設計、施工され、設置される
成果 2	活動 2-1 帯水層の地中熱源を利用する水冷式ヒートポンプ冷房システムが DMR によって運転、管理が行われて、冷房が行われる。
	活動 2-2 運転、メンテナンスが適切に行われるように、日本での受入活動及び現地で技術指導を行う。

	活動 2-3 帯水層の地中熱源を利用する水冷式ヒートポンプ冷房システムの稼働状況のモニタリング結果を地質博物館で公開する。
	活動 2-4 帯水層の地中熱源を利用する水冷式ヒートポンプ冷房システムの稼働時の電力消費量のモニタリングデータにより、冷房の電力代の削減効果、大気中への放熱量と CO ₂ 排出量の削減効果を評価する。
	活動 2-5 エネルギー省、DMR、チェラロンコン大学等と評価委員会を設置して、活動 2-4 の評価結果をもとに、技術的・経済的優位性を評価する。
成果 3	活動 3-1 ODA 事業活動中に事業計画を作成するとともに、マーケティング、営業活動を行う。

8) ODA を通じて期待される開発効果

普及・実証・ビジネス化事業において地質博物館に地中熱ヒートポンプによる冷房システムを設置、運用し、電気使用量等のデータを取得して分析し、同システムの有用性を実証することで、開発課題に対する以下の効果が期待できる。

効果 1：年間の電気使用量が、98.8MWh から 72.1MWh へと削減され、空冷式ヒートポンプに対する省エネ効果が実証される。

効果 2：年間の電気使用量が、98.8MWh から 72.1MWh へと削減されることで、年間 CO₂ 排出量が 15.8t-CO₂e 削減され、地球温暖化の緩和に貢献することが実証される。

効果 3：年間の電気使用量が、98.8MWh から 72.1MWh へと削減されることによる電力料金の削減効果から経済性を評価して、経済的優位性が実証される。

効果 4：国立地質博物館での公開、セミナーでの発表、HP での発信により普及・実証・ビジネス化事業の成果を紹介することで、タイ国における帯水層の地中熱源を利用する水冷式ヒートポンプによる冷房システムの有用性及び優位性が認知される。

効果 5：タイ国で、室内冷房システムとして帯水層の地中熱源を利用する水冷式ヒートポンプによる冷房システムの普及が始まり、室内冷房によるヒートアイランド現象の緩和に貢献する。そして、室内冷房による CO₂ 排出量が削減されて、バンコク市の「バンコク都気候変動マスタープラン 2013-2023」の目標達成に貢献する。

4. ビジネス展開計画

1) 概要

当面は、事業全体のマネジメントは日本で行い、Global Employment Outsourcing（以下、GEO）サービス提供会社の「現地責任者」が営業活動を行なって、タイ事業をスタートしたいと考えている。

次のステップで、提携先である企業選定を行い、ミサワ環境技術が 50%未満の出資割合でタイ国の協力企業と新たに現地法人「タイ地中熱開発（仮称）」を設立し、技術移転を行い、ビジネス展開がおこなえるようにする計画である。

2) 期待される開発効果

ビジネスをタイ国で展開し、帯水層の地中熱を利用したヒートポンプシステムが普及することにより、以下の効果が期待できる。

効果 1. バンコク首都圏をはじめ、タイ国のチャオプラヤ平野の都市において空冷式ヒートポンプで行われている冷房が、帯水層の地中熱を利用したヒートポンプシステムに切り替えられる。電力消費量が削減されて、電力需給の緩和に貢献する。

効果 2. 電力消費量の削減により、火力発電所からの大気汚染物質の排出量が削減される。そして、CO₂ 排出量が削減されて、地球温暖化の緩和に貢献する。

効果3. 帯水層の地中熱を利用した水冷式ヒートポンプシステムに切り替えることで、ヒートポンプからの排熱は帯水層に放出される。冷房のため、これまで空冷式ヒートポンプにより大気中に放出されていた熱が削減され、バンコク首都圏をはじめ、タイ国のチャオプラヤ平野の都市において、ヒートアイランド現象の緩和に貢献する。

効果4. ベトナムのハノイ、ホーチミン等、アジア諸国のデルタ地帯で、帯水層の地中熱を利用したヒートポンプシステムの普及が始まる。これらの国々でも、電力消費量削減による電力需給の緩和に貢献する。そして、冷房のためのヒートポンプからの排熱が帯水層に放出され、ヒートアイランド現象の緩和に貢献する。

5. 日本国内地元経済・地域活性化への貢献

ミサワ環境技術は、広島県の業種機械部門において「地中熱エネルギーシステム」で、広島県のオンリーワン/ナンバーワン企業に登録されており、広島県の企業間の技術提携や新規産業創出への原動力となっている。ミサワ環境技術は、広島県では40件、本社が位置する三次市では10件以上納入、「地中熱利用システムの開発・事業化」で環境にやさしい技術開発と地域への導入が評価されて、2001年に「ひろしま環境賞」を受賞、三次市においても「みよし環境大賞特別賞」を2007年に受賞している。この他、2004年には「地球温暖化防止活動環境大臣賞」、2009年に「食品産業CO₂削減大賞農林水産大臣賞」、2012年に「サステナブル建築賞小規模建築部門国土交通大臣賞」、2017年に全建賞をそれぞれ受賞し、広島県北部の三次市より、全国に向けて再生可能エネルギー熱である地中熱の普及に貢献していることが評価されている。

ミサワ環境技術は、これまでに地中熱事業で全国展開しているものの、東・北日本エリアの寒冷地での導入実績が多く、温暖地である特に西日本エリアでの実績は少ない傾向にある。今回、熱帯であるタイ国国内にて、冷房主体とする施設において高効率な地中熱ヒートポンプシステムの導入実績ができることにより、冷房需要の多い西日本エリアへの市場展開が容易となる。IKEA 福岡新宮では、実際に冷房需要の大きな施設で、大きな省エネ効果が得られている。広島県をはじめとする西日本エリアにおける冷房需要ないし冷却規模の大きい施設には、タイ国内での実績・効果が生かせる可能性が大きい。地中熱設備は、地中熱交換器を設置するためのボーリング工事から配管工事、機器設置工事や制御・計装工事など多様な業種の企業の参画が可能となる。東・北日本に留まらず、西日本地域にも省エネ効果の大きい地中熱ヒートポンプシステムの導入・普及が進むことにより、地域の経済、活性化に大いに貢献できるものである。

企業・サイト概要

- 提案人：ミサバ環境技術株式会社
- 提案法人所在地：広島県三次市
- サイト・C/P機関：バンコク首都圏
天然資源環境省鉱物資源局及び地下水資源局

タイ国の開発課題

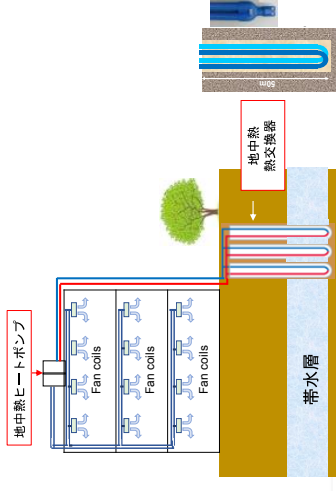
- ① タイでは、発電電力量の56.9%をタイランド湾から産出する天然ガスで賄ってきたが、ガス田が枯渇する見込みで供給が逼迫する。
- ② 地球温暖化緩和のため、電力セクターのCO₂排出量を削減しなければならぬ。
- ③ 冷房用ヒートポンプの排熱等によりヒートアイランド現象が深刻化している。

調査を通じて提案されているODA事業及び期待される効果

- 室内の冷房による電気使用量を38.8%削減し、電力の需給緩和に貢献する」。
- 室内冷房の電力消費によるCO₂排出量を削減し、地球温暖化の緩和に貢献する。
- 空気熱源の室内冷房機の排熱によるヒートアイランド現象の緩和に貢献する。

日本の中小企業のビジネス展開

- ミサバ環境技術は、タイにタイ法人との合弁会社を設立し、地中熱ヒートポンプシステムの販売、施工、メンテナンス事業を行う。ポーリング、施工、メンテナンスは協力企業が行う。
- バンコク首都圏内の駐車場を有する大型商業施設、学校等の公共施設、バンコク郊外・観光地のホテル・商業施設、及び日系等の工業団地の工場を対象として事業を展開する。



中小企業の技術・製品

- 空気熱源のヒートポンプの代替として、地表から地下50m前後までの帯水層の地中熱を利用するヒートポンプで冷房を行う。
- 地中の熱交換器に水を循環させて熱交換を行うため、地盤沈下、地下水位低下に影響を及ぼさない。

はじめに

調査名

タイ国帯水層の地中熱利用による高効率冷房システム案件化調査
SDGs Business Model Formulation Survey with the Private Sector for Energy-saving
Cooling System using Groundwater Heat Source in Thailand.

調査の背景

タイ国では、2015年に発表された「Energy Efficiency Plan (2015-2036) (以下、EEP2015)」において、2036年までにエネルギー消費原単位（GDP比）を2010年比で30%削減する計画であり、また、パリ協定国別貢献NDCにおいては、2030年にBAU比20%のGHG削減を打ち出しており、省エネルギーの促進が急務となっている。

タイ国の首都バンコクの室内冷房のヒートポンプは、すべて空気熱源である。経済発展に伴い、商業施設やオフィスビル、コンドミニアム等における空調用エネルギーの増加が予想されており、この分野での省エネ推進が課題となっている。空気熱源方式による冷房は、大量の高温排熱を大気に放出するため、ヒートアイランド現象・地球温暖化の原因となっている。また、空気熱源方式の消費電力量は大きいため、電力受給の逼迫に大きな影響を与えている。

電力セクターは、2018年のCO₂排出量に占める割合が36.2%を占め、セクターでは最大の排出源である。この目標達成のため、PDP 2018では、2037年の電力の二酸化炭素排出量（CO₂）を、0.283 kgCO₂/kWh、103,845千t-CO₂e相当ととしている。2019年1月の電力の二酸化炭素排出量（CO₂）は、0.480kgCO₂/kWhであり、今後、0.197kgCO₂/kWh削減しなければならない。このため、電力セクターは、CO₂排出量削減のために、再生可能エネルギーの普及とともに、より一層の省エネへの取り組みが必要となり、高効率の省エネ技術の導入が必要である。

調査の目的

バンコク首都圏で従来行われてきた空気熱源ヒートポンプによる冷房の代替として、帯水層の地中熱を利用する高効率冷房システムを導入し、電力の消費量と大気中への放熱量を削減し、ヒートアイランド現象の改善、地球温暖化の緩和に貢献することを目的として、本案件化調査を行う。

本案件化調査では、バンコクの空気熱源ヒートポンプの利用の現状を調査するとともに、帯水層の地中熱を利用する高効率冷房システムの技術的、経済的適合可能性を調査する。そして、これらの調査を基に、具体的なODA案件を提案すると共に、ビジネス展開計画を策定する。

調査対象国・地域

バンコク首都圏（バンコク都、ノンタブリ県、サムットプラカン県、パトゥムタニ県、サムットサコン県、ナコンパトム県）、ムアンチエンマイ郡（図4参照）

対象地域選定理由

バンコク首都圏は、チャオプラヤ川のデルタ地帯に位置し、帯水層が広く賦存する（図1参照）。地表から地下50m前後までの帯水層の温度は、年間を通して温度がほぼ一定で、昼間は外気温より冷たい（図2参照）。冷却塔の代わりに、帯水層の地中熱を利用する高効率冷房システムを導入し、地中熱交換器で帯水層に放熱して冷却水を冷して、ヒートポンプに送り、冷水を作ってファンコイルユニットに送水して冷房を行う（図3参照）こと

により、冷房電力の消費量を削減するとともに、大気中への冷房排熱を“0”にしてバンコク首都圏のヒートアイランド現象の緩和に貢献することが可能なことから選定した。

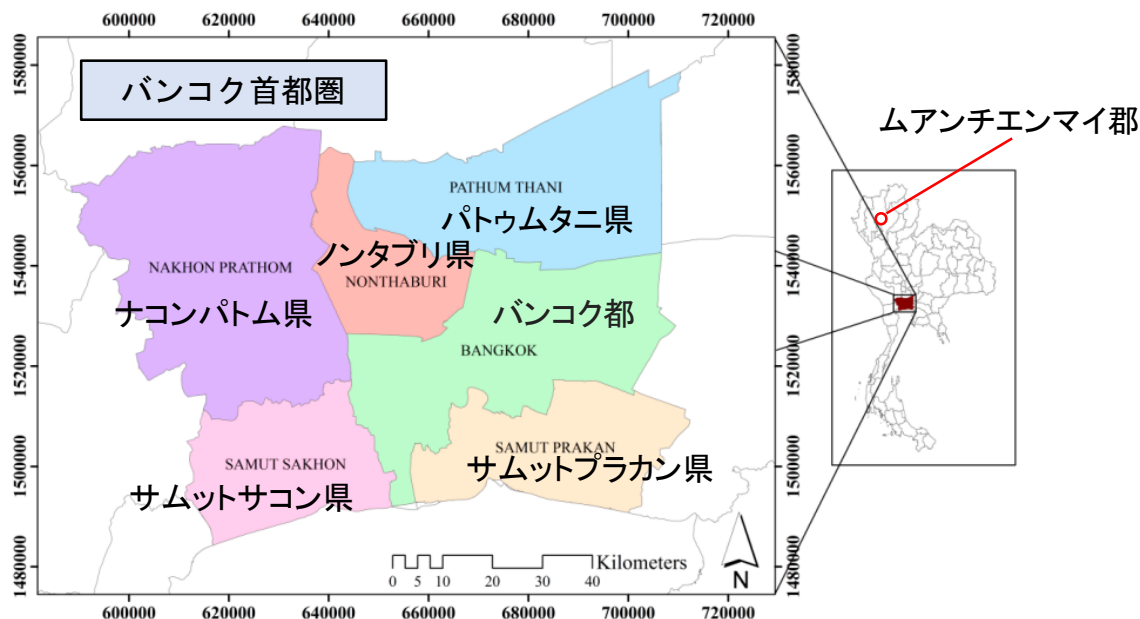


図 4 事業サイト

調査期間、調査工程

(1) 調査期間

調査開始 2019年6月14日
 調査終了 2020年6月30日

(2) 作業工程概要

現地調査は、2019年6月、9月、10月、11月、2020年1月の5回行った。作業工程を表に示す。

● 第1回調査

日程	訪問先	調査項目
2019年 6月30日	東京 → バンコク 移動	
7月1日	Chulalongkorn University	地中熱利用情報収集
	JETRO タイ事務所	投資環境調査
7月2日	DMR	先方政府機関打ち合わせ
	DGR	帯水層ポテンシャル調査
7月3日	日本大使館	報告
	JICA タイ事務所 JICA 長期専門家(バンコク都気候変動対策マスタープラン)	バンコク都気候変動対策調査
7月4日	国立地質博物館	ODA サイト調査
7月5日	JICA タイ事務所	報告
	CCOP 本部	帯水層ポテンシャル調査
7月6日	バンコク → 東京 移動	

● 第2回調査

日程	訪問先	調査項目
2019年 9月2日	東京 → バンコク 移動	
9月3日	国立地質博物館	TRTのためのボーリング打ち合わせ ODA事業打ち合わせ
9月4日	ヒートポンプ施工会社	ヒートポンプ技術の適合性調査
	JICA タイ事務所 JICA 長期専門家 (スマートシティー開発専門家)	スマートシティー開発調査
	国立地質博物館	TRTのためのボーリング・熱交換器挿入
9月5日	International Energy Strategy, Ministry of Energy	エネルギー政策調査
	国立地質博物館	TRTのためのボーリング・熱交換器挿入
9月6日	国立地質博物館	TRTのためのボーリング・熱交換器挿入
	家電量販店	ヒートポンプ技術の適合性調査
9月7日	バンコク → 東京 移動	

● 第3回調査

日程	訪問先	調査項目
2019年 9月30日	東京 → バンコク 移動	
10月1日	国立地質博物館	TRT ODA事業打ち合わせ
10月2日	国立地質博物館	TRT
10月3日	国立地質博物館	TRT
10月4日	国立地質博物館	TRT
	DMR	ODA事業打ち合わせ
	DEDE	ODA事業打ち合わせ
10月5日	国立地質博物館	TRT
10月6日	国立地質博物館	TRT
10月7日	国立地質博物館	TRT
	省エネ技術センター	省エネ技術調査
	ヒートポンプ会社	ヒートポンプ技術の適合性調査
10月8日	国立地質博物館	TRT
10月9日	国立地質博物館	TRT
	ボーリング会社	ボーリング技術の適合性調査
	JICA タイ事務所	報告
10月10日	国立地質博物館	TRT
10月11日	国立地質博物館	TRT
10月12日	国立地質博物館	TRT
10月13日	国立地質博物館	TRT
10月14日	国立地質博物館	TRT
10月15日	バンコク → 東京 移動	

• 第4回調査

日程	訪問先	調査項目
2019年 11月3日	東京 → バンコク 移動 バンコク → チェンマイ 移動	
11月4日	CCOP 総会会場(ホテル)	セミナー開催準備
	コンサルタント(バンコク)	マーケティング調査
11月5日	CCOP 総会会場(ホテル)	セミナー開催
	日系ゼネコン会社(バンコク)	マーケティング調査
	地元ゼネコン会社(バンコク)	マーケティング調査
11月6日	CCOP 総会会場(ホテル)	地中熱利用情報収集
	地元ゼネコン会社(バンコク)	マーケティング調査
	チェンマイ → バンコク移動	
11月7日	ヒートポンプ施工会社	ヒートポンプ技術の適合性調査
	地元ゼネコン会社(バンコク)	マーケティング調査
11月8日	DEDE	省エネルギー政策調査
	日本大使館	報告
11月9日	バンコク → 東京 移動	

• 第5回調査

日程	訪問先	調査項目
2020年 1月19日	東京 → バンコク 移動	
1月20日	ヒートポンプ会社	ヒートポンプ技術の適合性調査
	ヒートポンプ会社	ヒートポンプ技術の適合性調査
	ボーリング会社	ボーリング技術の適合性調査
1月21日	DMR	ODA 事業打ち合わせ
	ヒートポンプ施工会社	ヒートポンプ技術の適合性調査
1月22日	日本大使館	報告
	国立地質博物館	ODA 事業打ち合わせ
	ヒートポンプ会社	ヒートポンプ技術の適合性調査
1月23日	DEDE	省エネルギー政策調査
	JICA タイ事務所	報告
1月24日	工業団地	マーケティング調査
1月25日	バンコク → 東京 移動	

(3) 調査団員構成

・提案企業

従事者名	担当	所属先
森山 和馬	事業計画策定	ミサワ環境技術(株)
田中 雅人	業務主任者/地中熱ヒートポンプ冷房システム設計	ミサワ環境技術(株)
駒澤 昭彦	地中熱ヒートポンプ冷房施工計画策定	ミサワ環境技術(株)
進堂 晃央	ボアホール方式熱交換器設計	ミサワ環境技術(株)
伊藤 信二	地中熱交換器方式選定評価	ミサワ環境技術(株)

・外部人材

従事者名	担当	所属先
高島 勲	地中熱利用総合評価	秋田大学
藤井 光	熱応答試験評価	秋田大学
小助川 洋幸	熱応答試験担当	秋田大学
内田 洋平	帯水層ポテンシャル評価 (バンコク首都圏)	(国研)産業技術総合研究所
富樫 聡	帯水層ポテンシャル評価 (ODA 事業サイト)	(国研)産業技術総合研究所
佐々木 一雄	外部人材業務総括者/ ODA 事業計画策定	(株)PEAR カーボンオフセット・イニシアティブ
服部 旭	地中熱利用技術現地適合性評価 (総合評価)	(株)PEAR カーボンオフセット・イニシアティブ
出口 剛太	地中熱利用技術現地適合性評価 (指標作成)	(株)PEAR カーボンオフセット・イニシアティブ
田島 大介	ボーリング技術支援	(株)タシマボーリング
丸山 佳奈	ビジネス展開支援	(株)ジャパンジオサーマルテック

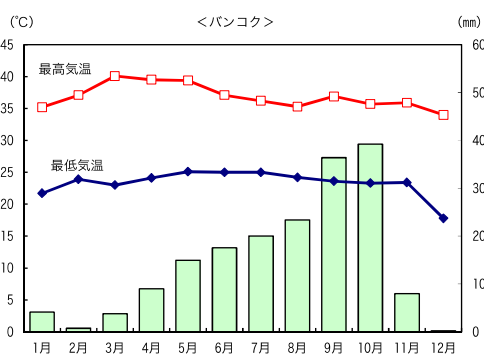
第1章 対象国・地域の開発課題

1-1 対象国・地域の開発課題

1-1-1 タイ国の概況

タイ国は、インドシナ半島中央部に位置し、カンボジア、ラオス、ミャンマー、マレーシアの4カ国と国境を接する。面積は日本の約1.4倍で513,115km²である。人口は6,910万人(2017年、出所：IMF)で、民族の大多数がタイ族(85%)で、人口の約95%が上座部仏教である。言語はタイ語で、タイ文字は13世紀末にカンボジアのクメール文字に範をとって作られた表音文字である。

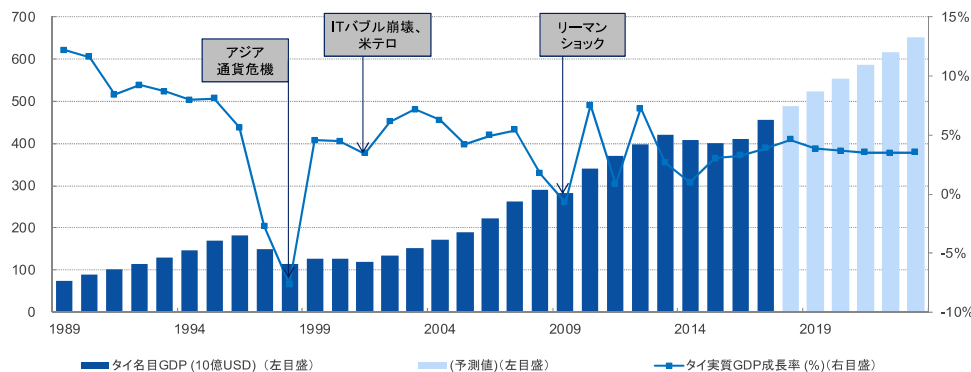
タイの気候は熱帯モンスーン気候であり、雨期と乾期に大別される。バンコク都は、年間平均気温が29℃、平均湿度73%(2014年)と高温多湿で年中蒸し暑く、世界有数の高温多湿で不快指数が非常に高い都市である(図5参照)。



出典：バンコク日本人商工会議所「タイ国経済概況」、気象庁報道発表資料よりJBIC作成

図5 バンコク都の気温と降水量

タイ国は、1980年以降に日本をはじめとする外資を導入して、工業化に成功した東南アジア屈指の工業国である。1997年7月よりタイ国を中心に始まったアジア通貨危機は周辺国を含む社会に深刻な影響を与えたが、国際社会の支援を受けてタイ経済は回復した。その後、2013年11月の反政府デモ、2014年5月の軍事クーデターの影響を受け、2014年は低成長となったが、2015年以降底堅い消費や輸出の持ち直しを受けて景気の回復傾向が続いている。GDP成長率は緩やかながらも回復し、2017年の実質GDP成長率は+3.9%と2012年以来の高成長となり、名目GDP総額は4,552億ドル、一人当たりの名目GDPは6,591ドルとなった(図6、表2参照)。



出典：IMFよりみずほ総合研究所作成

図6 名目GDP及び実質GDP成長率推移

表 2 基礎的経済指標

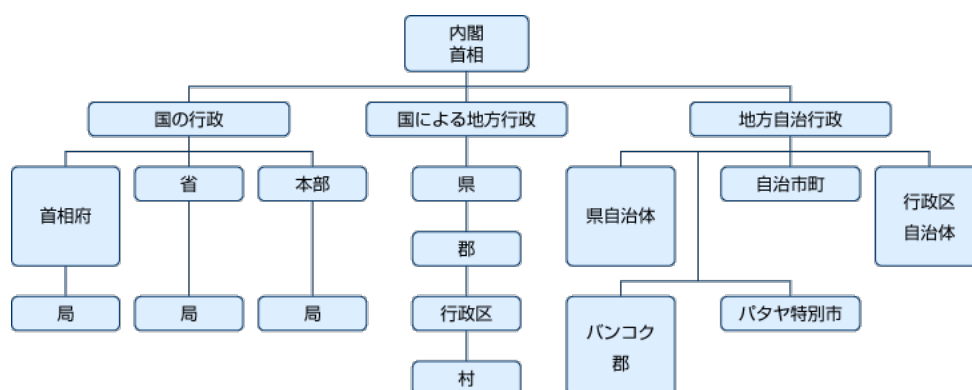
項目	実質GDP 成長率	名目GDP総額	一人当たりの 名目GDP	生産指数伸び率	消費者物価 上昇率	失業率
単位	%	10億ドル	ドル	%	%	%
備考	前年(同期)比	四半期データは IMFの現地通貨 建てをドル建て に換算		生産指数上昇率 前年(同期)比	前年(同期)比	
出所	NESDB	IMF	IMF	工業経済事務局	BOT	BOT
2008年	1.7	291.38	4,380	—	5.5	1.4
2009年	△ 0.7	281.71	4,208	—	△ 0.9	1.5
2010年	7.5	341.11	5,065	—	3.3	1.0
2011年	0.8	370.82	5,482	—	3.8	0.7
2012年	7.2	397.56	5,850	10.6	3.0	0.7
2013年	2.7	420.33	6,154	2.3	2.2	0.7
2014年	0.9	407.34	5,933	△ 3.8	1.9	0.8
2015年	2.9	401.40	5,831	△ 0.0	△ 0.9	0.9
2016年	3.2	411.76	5,970	1.6	0.2	1.0
2017年	3.9	455.22	6,591	2.6	0.7	1.2

出展：JETRO 国・地域別情報 基礎的経済指標

タイ国は、1932年6月の立憲革命による臨時憲法公布以来、国王を国家元首とする立憲君主政体をとっている。議会制民主主義の下で首相と内閣が政治運営を司る。国王は憲法に基づき任命権や解散権等を有するが、直接的な政治への関与は原則行わない。内閣は国王によって任命された首相1名と最大35名の國務大臣(大臣・副大臣)によって構成される。

2017年4月6日の新憲法施行により、制度として国民議会(上院・下院の二院制)が復活した。軍事政権は2018年12月11日に、約4年半にわたり禁止してきた会の自由などの政治活動を解禁し、2019年3月24日に民政復帰の総選挙が実施された。

タイ国の行政体系は、図8に示すように国の行政(Central administration)、国による地方行政(Provincial administration)、地方自治体の三層構造となっている。高度に中央集権化されており、国の行政組織は1府19省よりなる。地方行政は、県⇒郡⇒支郡⇒行政区⇒村の単位で内務省により管轄される。タイ国は、図8に示すように全国で77県に分かれており、県知事と郡長は内務大臣により任命される。その他に、県行政機構、自治市町、区行政機構、バンコク都、パタヤ特別市等の自治が認められる地方自治体が存在し、これらの首長は公選により選出される。



出典：国土交通省国土制作局 各国の国土政策の概要—タイ—

図 7 タイの行政制度



出典：JBIC タイの投資環境

図 8 タイ国の行政区分

1-1-2 バンコク首都圏概況

バンコク都はタイ国の首都であり、政治・経済の中心地である。バンコク首都圏は、バンコク都と隣接するノンタブリ県、サムットプラカン県、パトゥムタニ県、サムットサコン県、ナコンパトム県で構成される(図4参照)。面積は国土の1.5%の広さしかないが、人口ではタイ国全体の16.3%を占めている(表3参照)。経済規模(名目GDP)では、バンコク首都圏が占める割合が、2010年の44.2%が、2015年には46.8%へと2.6%上昇し、一極集中化してきている。1人あたりGRP(地域総生産)は37万6,000バーツで、全国平均(19万3,000バーツ)の1.9倍に達し、消費水準も高い。

表 3 地域毎の面積、人口、名目GDP(2015年)

	面積		人口		名目GDP	
	(km ²)	(構成比)	(1,000人)	(構成比)	(10億バーツ)	(構成比)
全国	513,120	(100.0%)	65,932	(100.0%)	13,673	(100.0%)
バンコク首都圏	7,762	(1.5%)	10,765	(16.3%)	6,397	(46.8%)
中部	16,593	(3.2%)	3,289	(5.0%)	789	(5.8%)
東部	36,503	(7.1%)	4,693	(7.1%)	2,405	(17.6%)
西部	43,047	(8.4%)	3,818	(5.8%)	486	(3.6%)
北部	169,644	(33.1%)	12,079	(18.3%)	1,069	(7.8%)
東北部	168,855	(32.9%)	21,945	(33.3%)	1,328	(9.7%)
南部	70,715	(13.8%)	9,341	(14.2%)	1,199	(8.8%)

出典：National Economic and Social Development Board、Department of Provincial Administration よりJBIC作成

産業別に見ると、表4に示すように、バンコク首都圏の三次産業が名目 GDP 全体の33%を占め、特に「卸売・小売」、「輸送・通信」、「金融」、「不動産」産業が、タイ国の経済を牽引していると言える。

表4 地域別にみた名目 GDP の産業別構成比(全国=100%)

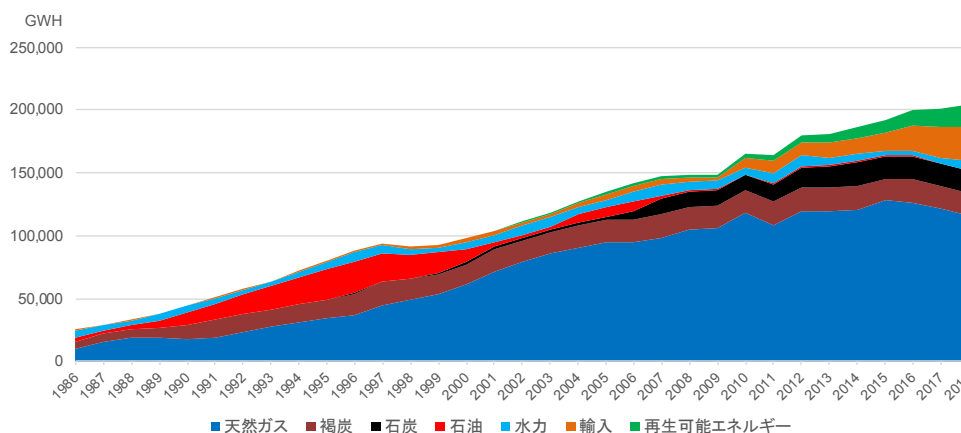
	全国	バンコク 首都圏	中部	東部	西部	北部	東北	南部
全体	100.0%	46.8%	5.8%	17.6%	3.6%	7.8%	9.7%	8.8%
第1次産業	8.7%	0.4%	0.3%	1.2%	0.7%	2.0%	2.0%	2.1%
農業、林業	8.0%	0.2%	0.3%	1.1%	0.6%	2.0%	2.0%	1.7%
漁業	0.8%	0.1%	0.0%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.4%
第2次産業	36.4%	13.1%	3.8%	11.8%	1.4%	1.9%	2.5%	1.9%
鉱業	3.1%	0.0%	0.1%	2.1%	0.1%	0.3%	0.1%	0.4%
製造業	27.6%	11.2%	3.4%	8.4%	0.8%	1.1%	1.8%	0.9%
公益業	2.8%	0.7%	0.2%	1.0%	0.4%	0.2%	0.2%	0.2%
建設業	2.8%	1.1%	0.1%	0.3%	0.1%	0.4%	0.4%	0.3%
第3次産業	54.9%	33.4%	1.7%	4.5%	1.5%	3.8%	5.2%	4.8%
卸売・小売	14.7%	9.1%	0.6%	1.6%	0.4%	1.0%	1.2%	0.9%
ホテル・レストラン	4.4%	2.6%	0.0%	0.3%	0.1%	0.2%	0.1%	1.0%
輸送・通信	7.3%	4.9%	0.2%	0.7%	0.2%	0.2%	0.3%	0.8%
金融	7.6%	5.2%	0.2%	0.4%	0.2%	0.5%	0.7%	0.5%
不動産	6.5%	4.5%	0.2%	0.6%	0.1%	0.3%	0.4%	0.3%
公共・防衛	6.1%	3.7%	0.2%	0.4%	0.2%	0.5%	0.6%	0.5%
教育	4.3%	0.9%	0.2%	0.3%	0.2%	0.7%	1.4%	0.6%
その他	3.9%	2.3%	0.1%	0.2%	0.1%	0.4%	0.5%	0.3%

(注) タイ全国の GDP に占める構成比が 1.2%を上回っている産業・地域を黄色、0.5%を下回っている産業・地域は青色でシャドーしている
出典：National Economic and Social Development Board、Department of Provincial Administration より JBIC 作成

1-1-3 対象分野における開発課題

(1) 電力の需給問題

タイ国は従来、タイランド湾から産出する天然ガスがエネルギー供給の主力を担い、図9に示すように2018年には発電電力量の56.9%を賅ってきた。エネルギー安全保障上の課題としては、電力の9%を輸入しており、自給率を高めることが挙げられる。



出典：エネルギー省 [http://www.eppo.go.th/index.php/en/en-energystatistics/electricity-statistic?orders\[publishUp\]=publishUp&isearch=1](http://www.eppo.go.th/index.php/en/en-energystatistics/electricity-statistic?orders[publishUp]=publishUp&isearch=1)

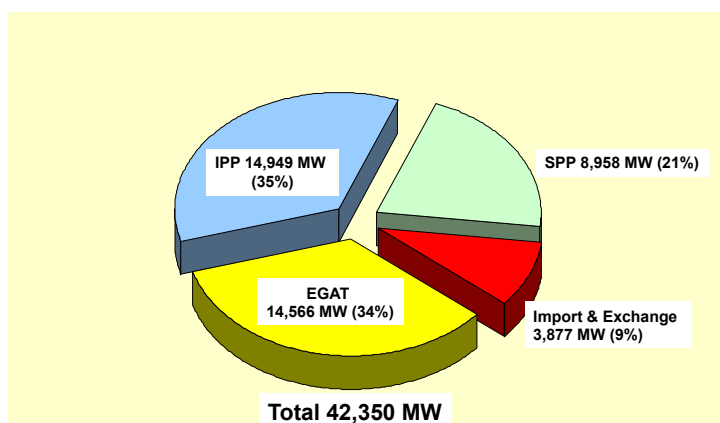
図9 燃料別発電量

電力は、タイ発電公社（以下 EGAT（Electricity Generating Authority of Thailand））が発電・送電・配電を行ってきたが、1992 年に、独立系発電業者（以下 IPP（Independent Power Producer））と 9 万 kW 以下の小規模発電事業者（以下 SPP（Small Power Producer））の参入が認められた。2002 年には、再生可能エネルギーの開発を促進するため、1,000kW 以下の再生可能エネルギー発電事業者（以下 VSPP（Very Small Power Producer））に対して、配電会社への売電、および売電料金に対する割増金の支給制度を導入した。図 10 に示すように、IPP と SPP の発電量が増加し、EGAT は、発電設備容量の 34%を占めるに過ぎない。

EGAT が電力購入を一手に担い、EGAT が自社の発電に加え、IPP、SPP、VSPP や近隣諸国からの電力を購入し、首都圏配電公社（以下 MEA（Metropolitan Electricity Authority））と地方配電公社（以下 PEA（Provincial Electricity Authority））、および大口需要家（Direct Customer）に供給している。MEA は首都圏で、PEA はその他の地域で配電および小売事業を行っている。表 5 に示すように、2018 年では、MEA が全国の電力消費量の 27.7%を占めている。

表 6 に、MEA の電力消費構成を示す。2018 年では、家庭が 25.7%、商業・オフィスが 41.1%で、合計 66.8%を占める。対前年の増加率を見ると、

表 7 に示すように、工業の電力消費量対前年増加率がマイナス基調なのに対して、家庭と商業・オフィスは増加傾向にある。また、表 8 に示すように、タイ国の民生部門（家庭・商業・オフィス・行政機関・公共施設）の電力消費量は増加しており、全消費量の約 50%を占める。



出典：エネルギー省 [http://www.eppo.go.th/index.php/en/en-energystatistics/electricity-statistic?orders\[publishUp\]=publishUp&issearch=1](http://www.eppo.go.th/index.php/en/en-energystatistics/electricity-statistic?orders[publishUp]=publishUp&issearch=1)

図 10 2019 年 1 月の発電事業者別・発電設備容量

表 5 配電先別電力消費構成

	MEA		PEA		大口需要家		全国
	消費量 (GWh)	割合 (%)	消費量 (GWh)	割合 (%)	消費量 (GWh)	割合 (%)	
2011	43,848	29.9%	101,126	68.9%	1,713	1.2%	146,687
2012	47,885	30.0%	109,885	68.9%	1,817	1.1%	159,588
2013	47,618	29.4%	112,607	69.5%	1,738	1.1%	161,962
2014	47,856	28.8%	116,500	70.1%	1,747	1.1%	166,103
2015	49,344	28.7%	120,931	70.3%	1,815	1.1%	172,090
2016	50,902	28.3%	127,220	70.7%	1,763	1.0%	179,885
2017	50,701	27.9%	129,782	71.3%	1,506	0.8%	181,989
2018	51,109	27.7%	131,942	71.5%	1,526	0.8%	184,577

出典：エネルギー省 <http://www.eppo.go.th/index.php/en/en-energystatistics/electricity-statistic?orders%5BpublishUp%5D=publishUp&issearch=1>

表 6 MEA の電力消費構成

	家庭		商業・オフィス		工業		政府・公共施設		その他		合計	Free of Charge	総合計
2011	10,125	23.1%	16,670	38.0%	14,219	32.4%	1,293	2.9%	1,541	3.5%	43,848	347	44,195
2012	11,399	23.8%	18,272	38.2%	15,005	31.3%	1,049	2.2%	2,161	4.5%	47,885	359	48,244
2013	11,420	24.0%	19,292	40.5%	14,521	30.5%	95	0.2%	2,290	4.8%	47,618	366	47,984
2014	11,695	24.4%	19,345	40.4%	14,247	29.8%	96	0.2%	2,473	5.2%	47,856	445	48,302
2015	12,369	25.1%	20,086	40.7%	14,028	28.4%	109	0.2%	2,752	5.6%	49,344	475	49,819
2016	12,998	25.5%	20,665	40.6%	14,165	27.8%	125	0.2%	2,949	5.8%	50,902	511	51,413
2017	13,041	25.7%	20,674	40.8%	13,855	27.3%	131	0.3%	2,999	5.9%	50,701	518	51,219
2018	13,134	25.7%	20,993	41.1%	13,706	26.8%	130	0.3%	3,146	6.2%	51,109	530	51,638

出典：エネルギー省 <http://www.eppo.go.th/index.php/en/en-energystatistics/electricity-statistic?orders%5BpublishUp%5D=publishUp&issearch=1>

表 7 MEA の電力消費量対前年増加率

	家庭	商業・オフィス	工業	政府・公共施設	その他	合計
2012	12.6 %	9.6 %	5.5 %	-18.9 %	40.2 %	9.2 %
2013	0.2 %	5.6 %	-3.2 %	-91.0 %	6.0 %	-0.6 %
2014	2.4 %	0.3 %	-1.9 %	1.5 %	8.0 %	0.5 %
2015	5.8 %	3.8 %	-1.5 %	13.0 %	11.3 %	3.1 %
2016	5.1 %	2.9 %	1.0 %	15.0 %	7.1 %	3.2 %
2017	0.3 %	0.0 %	-2.2 %	5.2 %	1.7 %	-0.4 %
2018	0.7 %	1.5 %	-1.1 %	-0.8 %	4.9 %	0.8 %

出典：エネルギー省 <http://www.eppo.go.th/index.php/en/en-energystatistics/electricity-statistic?orders%5BpublishUp%5D=publishUp&issearch=1>

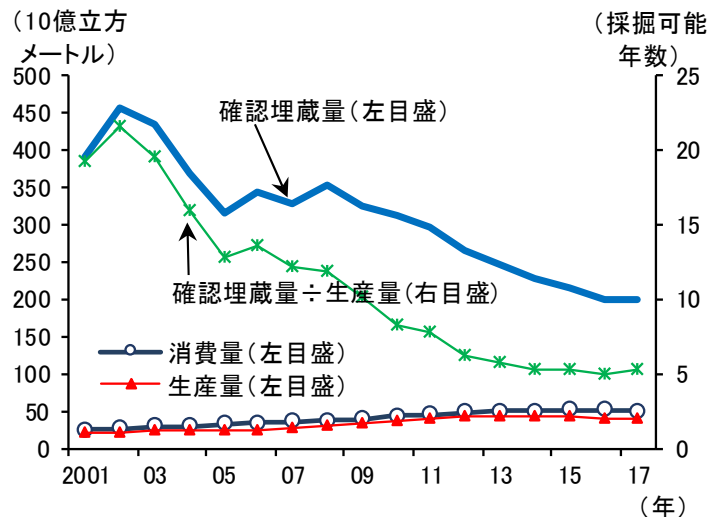
表 8 民生部門が電力消費量に占める割合

	民生部門 (家庭・商業・オフィス・行政機関・公共施設)				その他の部門				全国		
	MEA	PEA	大口需要家	小計	工業	農業	その他	小計			
2011	28,088 GWh	39,850 GWh	361 GWh	68,299 GWh	46.6%	75,364 GWh	297 GWh	2,727 GWh	78,388 GWh	53.4%	146,687 GWh
2012	30,720 GWh	43,913 GWh	397 GWh	75,030 GWh	47.0%	80,386 GWh	377 GWh	3,794 GWh	84,558 GWh	53.0%	159,588 GWh
2013	30,808 GWh	45,475 GWh	397 GWh	76,680 GWh	47.3%	81,188 GWh	354 GWh	3,741 GWh	85,283 GWh	52.7%	161,962 GWh
2014	31,136 GWh	47,616 GWh	418 GWh	79,171 GWh	47.7%	82,624 GWh	414 GWh	3,893 GWh	86,932 GWh	52.3%	166,103 GWh
2015	32,564 GWh	50,919 GWh	448 GWh	83,931 GWh	48.8%	83,984 GWh	387 GWh	3,789 GWh	88,159 GWh	51.2%	172,090 GWh
2016	33,788 GWh	54,502 GWh	482 GWh	88,773 GWh	49.3%	86,878 GWh	267 GWh	3,967 GWh	91,112 GWh	50.7%	179,885 GWh
2017	33,847 GWh	55,293 GWh	532 GWh	89,672 GWh	49.3%	87,772 GWh	298 GWh	4,247 GWh	92,317 GWh	50.7%	181,989 GWh
2018	34,257 GWh	57,220 GWh	696 GWh	92,173 GWh	49.9%	87,829 GWh	365 GWh	4,210 GWh	92,404 GWh	50.1%	184,577 GWh

出典：エネルギー省 <http://www.eppo.go.th/index.php/en/en-energystatistics/electricity-statistic?orders%5BpublishUp%5D=publishUp&issearch=1>

タイランド湾沖のガス田の確認埋蔵量は2000年代より減少が続いており、図 11に示すように、採掘可能年数（確認埋蔵量÷年間生産量）も、2017年には5年程度に低下している。

この予測を踏まえて2015年5月に策定された「2015年～2036年の電源開発計画（以下、PDP2015）」の構成比では、天然ガスを37%まで引き下げる計画であった。EGATは、PDP2015の目標に基づき、天然ガスへの依存度を引き下げるため、2,200 MWと800 MWの石炭火力発電所建設の方針を決定した。しかし、新設電源で13%を占める石炭火力発電所建設が、環境保護団体、地元住民などの反対を受け、大幅に遅延している。



出典：BP "Statistical review of world energy 2018" を基に日本総合研究所作成

図 11 天然ガスの確認埋蔵量・消費量・生産量

また、大気汚染の深刻化に伴う環境意識の高まりも、脱石炭路線を推し進める一因になっていると考えられる。とりわけ、2018年12月以降、バンコク首都圏では過去最悪の大気汚染に見舞われている。バンコク首都圏庁（以下BMA（Bangkok Metropolitan Administration））は2019年1月30日、PM2.5による大気汚染の悪化を受け、バンコク都内にある都立の各級・各種学校437校の全校に対して1月31日と2月1日の2日間、臨時休校にするよう指示した。タイ天然資源・環境省公害対策局によると、30日のバンコク首都圏の大気汚染は過去最悪レベルにまで悪化。同日午後3時の時点で空気質指数（AQI）は首都圏のほぼすべての観測地点で「健康への悪影響が始まる」とされる100を上回り、5ヶ所では「極めて健康に良くない」とされる200を超えた。バンコク中心部のパトゥムワン区ラーマ4世通り沿いで197を示している¹。

電力の安定供給が厳しくなり、加えて火力発電所からの大気汚染物質の放出もあり、今後より一層の省エネへの取り組みが必要となったこと等から、電源開発計画を根本から見直しを行い、2019年1月24日、「2018年から2037年までの国の長期電力開発計画（PDP 2018）」が発表された。

(2) 地球温暖化問題

タイ国のCO₂排出量は、表9に示すように2009年の208,270千t-CO₂が、2018年には260,312千t-CO₂へと増加している。一人当たりのCO₂排出量も、図12に示すように2009年の3.28t-CO₂/人が、3.90t-CO₂/人へと増加している。

2020年以降のGHG排出削減等のための新たな国際枠組みであるパリ協定は、協定第2条（目的）に世界的な平均気温上昇を産業革命以前に比べて2°Cより十分低く保つとともに、1.5°Cに抑える努力を追求することを明記している。その目的を達成するために、協定はその第4条（緩和）にて国内措置（削減目標・行動）をとることを各国に求めている。協定第4条に基づく自国が決定するGHG削減目標と、目標達成の為に緩和努力のことをNDC（nationally determined contribution）という。これは締約国がパリ協定批准前に国連気候変動枠組条約（UNFCCC）事務局へ提出した「各国が自主的に決定する約束草案（以下INDC（Intended Nationally Determined Contribution））」が原案となっており、パリ協定批准により正式にNDCとして国連に登録され、各国に対して実施が

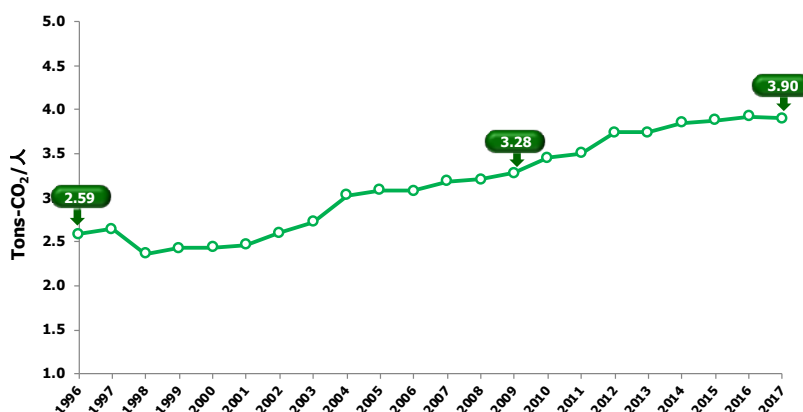
1 <https://sossky.net/news/2019/01/31/タイ王国-大気汚染が最悪の状況に-バンコク市内/>

求められる。2015年10月1日に提出されたタイ国のINDCは、2030年にはGHG排出量を、BAUと比べ、20%から25%削減するとしている。

表 9 セクター別 CO₂排出量

UNIT : 1,000 t-CO ₂									
	電力		運輸		工業		その他		合計
2009	83,063.50	39.9%	56,397.79	27.1%	50,897.01	24.4%	17,912.20	8.6%	208,270.49
2010	90,883.44	41.2%	57,481.73	26.1%	53,482.24	24.2%	18,779.03	8.5%	220,626.44
2011	87,001.67	38.8%	59,241.46	26.4%	58,351.40	26.0%	19,883.61	8.9%	224,478.14
2012	95,087.81	39.4%	61,098.22	25.3%	63,507.23	26.3%	21,427.21	8.9%	241,120.47
2013	96,355.07	39.8%	58,300.76	24.1%	67,904.00	28.0%	19,805.52	8.2%	242,365.35
2014	99,053.77	39.5%	55,511.08	22.2%	76,727.80	30.6%	19,194.10	7.7%	250,486.75
2015	97,539.13	38.3%	61,281.66	24.0%	77,272.08	30.3%	18,769.14	7.4%	254,862.01
2016	98,403.94	38.0%	66,230.34	25.6%	77,977.70	30.1%	16,079.64	6.2%	258,691.62
2017	94,783.49	36.7%	67,254.17	26.1%	79,656.14	30.9%	16,460.09	6.4%	258,153.89
2018	94,139.34	36.2%	67,928.39	26.1%	81,598.98	31.3%	16,645.96	6.4%	260,312.66

出典: エネルギー省 [http://www.eppo.go.th/index.php/en/en-energystatistics/co2-statistic?orders\[publishUp\]=publishUp&issearch=1](http://www.eppo.go.th/index.php/en/en-energystatistics/co2-statistic?orders[publishUp]=publishUp&issearch=1)

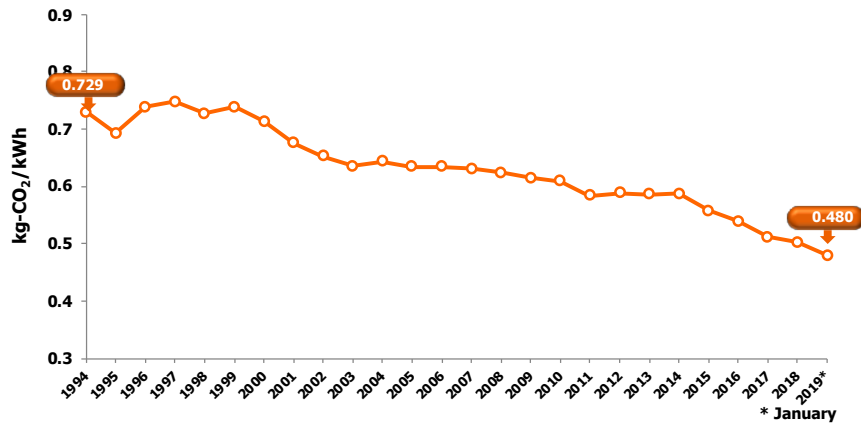


出典: エネルギー省 [http://www.eppo.go.th/index.php/en/en-energystatistics/co2-statistic?orders\[publishUp\]=publishUp&issearch=1](http://www.eppo.go.th/index.php/en/en-energystatistics/co2-statistic?orders[publishUp]=publishUp&issearch=1)

図 12 一人当たりの CO₂排出量

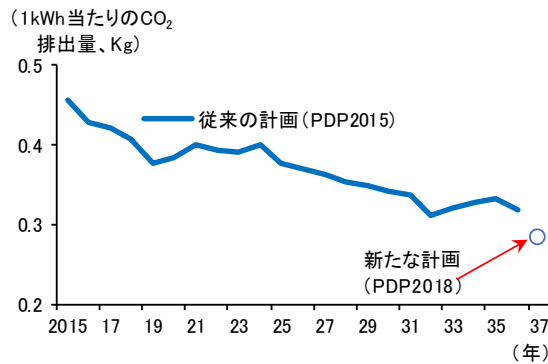
年間 CO₂ 排出量に占める電力セクターの排出量の割合は、表 9 に示すように 2018 年では 36.2% を占め、セクターでは最大の排出源である。GHG 削減目標達成のため、PDP 2018 では、2037 年時点での燃料の種類による発電量の割合で、化石燃料以外の発電量を、外国の水力 (9%)、再生可能エネルギー (20%)、省エネルギー (6%)、合計 35% とし、石炭からの発電量の割合を 12% とすることで、COP21 合意に対応し 2037 年の電力の二酸化炭素排出量 (CO₂) を、0.283 kgCO₂/kWh、103,845 千 CO₂e 相当とするとしている。

図 13 に示すように、2019 年 1 月の電力の CO₂ 排出量は、0.480kgCO₂/kWh と、年々減少している。図 14 に示すように、2037 年の電力の CO₂ 排出量の目標 0.283kgCO₂/kWh を達成するために、今後、さらに 0.197 kgCO₂/kWh 削減しなければならない。



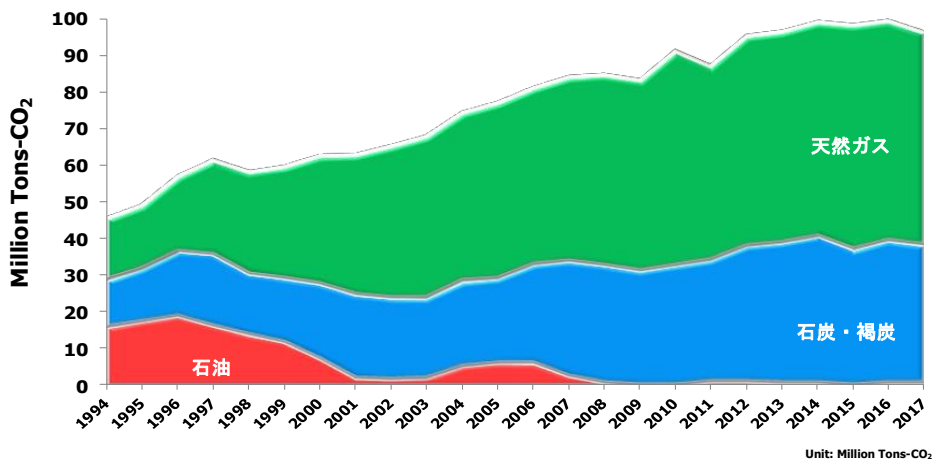
出典: エネルギー省 [http://www.eppo.go.th/index.php/en/en-energystatistics/co2-statistic?orders\[publishUp\]=publishUp&issearch=1](http://www.eppo.go.th/index.php/en/en-energystatistics/co2-statistic?orders[publishUp]=publishUp&issearch=1)

図 13 発電1kwh 当たりのCO₂排出量 (実績)



出典: Ministry of Energy "Thailand Power Development Plan 2015-2036", "รายงานผลการประชุมคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ(กพข.) 24 มกราคม 2562"を基に日本総合研究所作成

図 14 発電1kwh 当たりのCO₂排出量 (計画)



出典: エネルギー省 [http://www.eppo.go.th/index.php/en/en-energystatistics/co2-statistic?orders\[publishUp\]=publishUp&issearch=1](http://www.eppo.go.th/index.php/en/en-energystatistics/co2-statistic?orders[publishUp]=publishUp&issearch=1)

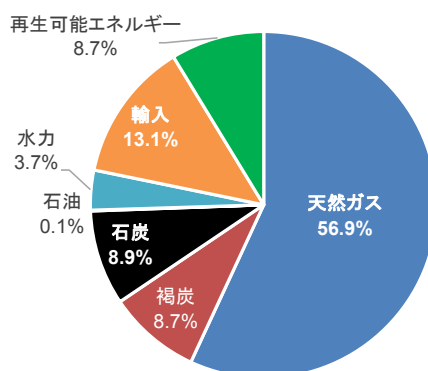
図 15 電力セクターの化石燃料からのCO₂排出量

電力セクターのCO₂排出は、図 15に示すように、火力発電所の化石燃料燃焼によるものである。2018年の燃料別発電量の割合では、図 16に示すように化石燃料による発電の割合は、74.6%を占め、化石燃料以外の発電量は、25.5%である。目標では、2037年には、化石燃料以外の発電量を35%

まで高めなければならない。

P6の表8に示すように、タイ国の民生部門（家庭・商業・オフィス・行政機関・公共施設）の電力消費量は増加しており、全消費量の約50%を占める。民生業務部門（商業・オフィス）では、経済発展に伴い、商業施設やオフィスビル、コンドミニアム等における空調用エネルギーの増加が予想されており、この分野での省エネ推進が課題となっている。

バンコク首都圏は世界有数の高温多湿の都市で、一日中クーラーによる冷房を必要とする日が多い。家庭、商業、公共で使用される電力量の内、冷房がかなりの割合を占める。従って、温室効果ガス削減目標達成と省エネルギーの促進のためには、高効率な冷房空調用設備の普及が望まれる。



出典：エネルギー省 [http://www.eppo.go.th/index.php/en/en-energystatistics/electricity-statistic?orders\[publishUp\]=publishUp&issearch=1](http://www.eppo.go.th/index.php/en/en-energystatistics/electricity-statistic?orders[publishUp]=publishUp&issearch=1)

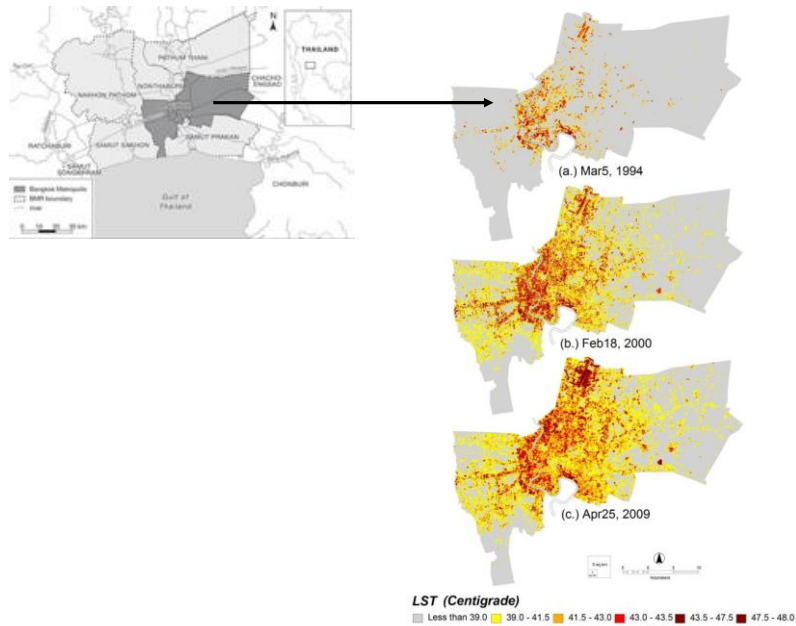
図 16 2018 年の燃料別発電量の割合

(3) ヒートアイランド問題

バンコク首都圏は、図 15 に示すように、都市化の影響と見られるヒートアイランド現象が発生しており、都心部の気温が、郊外に比べて上昇している。

バンコク首都圏のヒートアイランド現象の研究では、1994 年 3 月 5 日（初夏）、2000 年 2 月 18 日（晩冬）、2009 年 4 月 25 日（夏）の 3 つの Landsat 画像による地表面温度の分析が行われた。その結果を表 10 に示す。1994 年の都心部の平均表面温度（平均±標準偏差）は約 26.01±5.89°Cであったが、2000 年には 37.76±2.84°Cに、さらに 2009 年には 39.79±2.91°Cにそれぞれ上昇した。都市部のヒートアイランドの強度は、都心部と農村地域の平均気温の差として定義されている。1994 年の都市部と農村部の地表温度の最大差は 8.16°Cであり、その差は 2000 年には 10.89°C、さらに 2009 年には 11.50°Cに上昇した²。

ヒートアイランド現象の主な要因の一つは、クーラーなどからの人工排熱の増加である。高効率のインバーターエアコンも空気熱源ヒートポンプであり、高温の外気を利用し、冷房排熱を外気に排熱するため、ヒートアイランド現象の加速に繋がる（図 18 参照）。地中熱利用によるヒートアイランド現象を抑制する冷房システムの導入、普及が望まれる。



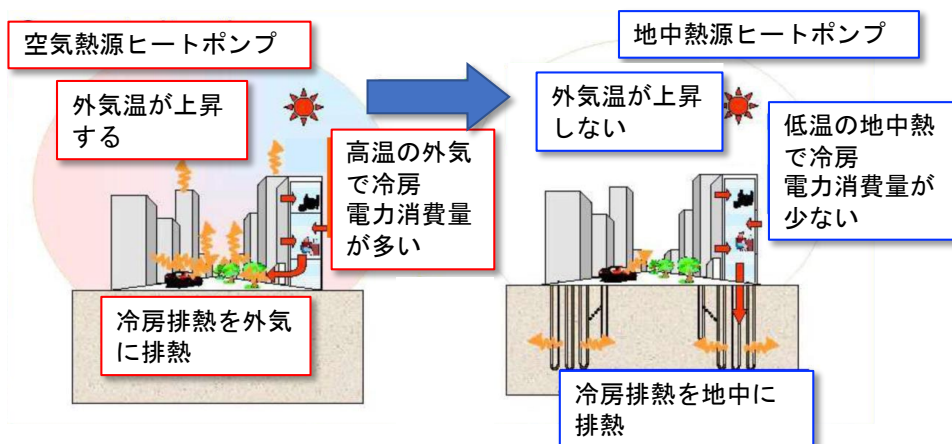
出典 : Assessing the Impact of Urbanization on Urban Thermal Environment: A Case Study of Bangkok Metropolitan Manat SRIVANIT

図 17 バンコク都心部の地表温度

表 10 バンコク都心部と農村地域の地表温度比較

	LST1994	LST2000	LST2009
農村部との温度差 (°C)	8.16	10.89	11.50
中心部の地表温度 (°C)	26.01	37.76	39.79
平均±標準偏差 (°C)	5.89	2.84	2.91

出典 : Assessing the Impact of Urbanization on Urban Thermal Environment: A Case Study of Bangkok Metropolitan Manat SRIVANIT



出典 : Cooling with ground source heat pumps South lessons learned from Eastern Asian countries Kasumi Yasukawa, Isao Takashima, Youhei Uchida1 and Gaurav Shrestha をもとに提案企業作成

図 18 ヒートアイランド現象の改善

1-2 当該開発課題に関連する開発計画、政策、法令等

1-2-1 国家計画

(1) 「20年間長期国家戦略 2017~2036年」及び「タイランド4.0」

タイ国の長期国家戦略は、2016年中旬にプラユット政権が発表した「20年間長期国家戦略 2017~2036年」であり、そのビジョンを示しているのが「タイランド4.0」である。

タイ国の経済は、2006年以降、政治不安が長期化するなかで、2006~15年の年平均実質GDP成長率は3.4%とASEAN加盟10カ国のなかで最も低く、低迷してきた。「タイランド4.0」は、経済不振の主たる原因を3つの罫に求める。すなわち、「中所得国の罫」、「経済不平等の罫」、「経済発展と環境保存の間の不均衡の罫」である。

これまでの発展を、

第1段階（タイランド1.0）は農村社会であり、家内工業が中心となった時代で、いわば工業化以前のタイである。

第2段階（タイランド2.0）は、戦後の天然資源や安価な労働力を活用した軽工業をテコに成長した時代である。

第3段階（タイランド3.0）は外資企業の進出をテコにした重化学工業が中心となった1980年代後半から現在までの期間を指す。

タイ国が目指す第4段階が「タイランド4.0」で、「イノベーション」、「生産性」、「サービス貿易」をキーワードとして持続的な付加価値を創造できる経済社会と定義している。

「国家戦略」に沿って経済成長を加速させ、先進国入りを果たすという野心的なビジョンである。この戦略的対応により、長期戦略(2017~2036年)の期間に、GDP成長率は年平均4.5%、投資の増加率は10.0%、輸出の伸び率は8.0%、全要素生産性の伸びも2.0%達成を目指す。その結果、2036年には、タイ国は上位中所得国の地位を抜け出して「高所得国」の仲間入りを果たすことを目指している。

「タイランド4.0」の4つの目的は下記の通りである。

1. 経済的繁栄：イノベーション、研究開発（R&D）支出をGDPの4%に増加させ、5年間で経済成長率を5-6%に高め、1人当たりの国民所得を2014年の5,470 US\$から、2032年までに15,000US\$に増やす。
2. 社会的幸福：社会のすべてのメンバーの可能性を最大限に引き出すことによって、誰も置き去りにせずに進化する社会（包括的社会）を創り出す。目標は、社会的格差を2013年の0.465から2032年に0.36に減らし、20年以内に社会福祉制度に完全に転換する。
3. 人間的価値の向上：タイ人を「21世紀の有能な人間」と「第一世界のタイ人4.0」に変えること。「タイランド4.0」に基づく措置は、10年以内にタイHDIを0.722から0.8または上位50カ国に引き上げ、少なくとも5つのタイ国の大学が20年以内に世界の上位100の高等教育機関にランクされるようにする。
4. 環境保護：気候変動に適応できる経済システムと低炭素社会を持つ住みよい社会になること。目標は、少なくとも10の都市を世界で最も住みやすい都市に発展させ、テロリズムのリスクを軽減する。

(2) 第12次国家経済社会開発計画

1961年以降、タイ国は、国家経済社会開発委員会（NESDB）が発表する国家経済社会開発5か年

計画を国家の中期的な開発計画としている。「20年間長期国家戦略 2017~2036年」は、経済社会開発5か年計画の上位に位置し、第12次国家経済社会開発計画(2017~21年)から第15次国家経済社会開発計画(2032~36年)までを統括することになる。

従って、「第12次国家経済社会開発計画 (THE TWELFTH NATIONAL ECONOMIC AND SOCIAL DEVELOPMENT PLAN (2017-2021))」は、「20年間長期国家戦略 2017~2036年」と「タイランド4.0政策」、そして国の持続可能な開発目標 (SDGs) とを順守している。

タイ国は、SDGsが採択される以前から、故プミポン前国王が提唱した「足るを知る経済 (SEP)」を持続可能な開発を実現するアプローチとしてとらえ、国家持続可能な開発委員会 (CSD) を立ち上げ、持続可能な開発を促進してきた。採択後は、20カ年国家戦略枠組ならびに第12次国家経済社会開発計画 (2017年~2021年) において、SEPとSDGsが統合され、国の計画や予算策定は、SEPとSDGsに沿って行われている。

第12次国家経済社会開発計画では、10の戦略を定めている。省エネルギーについては、「戦略7インフラと物流を推進するための戦略」に位置付けられている。

ここでは「省エネルギーを奨励し、エネルギー消費の効率を改善する。」とし、具体的には、以下の政策が記載されている。

- 1) 産業部門、運輸部門、事業部門、および家庭部門の行動変化を促進するための補助金制度。
- 2) 実際のコストをよりよく反映できるようにエネルギー価格構造を見直す。
- 3) 省エネルギーおよびエネルギー効率に関する法規制の強化、特に新築建物に対するBEC (Building Energy Code) およびエネルギー生産者および配給業者に対するEERS (Energy Efficiency Resources Standard) の施行の努力の強化。
- 4) 製造プロセス、事業運営、そして日常生活の中での、機械、材料、および電気器具の省エネルギーおよびエネルギー効率に関連する技術の研究開発の奨励。さらに、政府が、産業、企業、そして家庭を含むすべての部門に適用できる省エネ技術のための規格を設定し、これらの規格が広く使われるように促進する。

気候変動については、「戦略4 持続可能な発展のための環境に優しい成長戦略」に位置付けられている。目標として、以下が掲げられている。

目標4：温室効果ガス削減の効率を高め、気候変動への適応能力を高める。高リスク地域または部門における気候変動による影響を最小化するためのメカニズムを確立する。

指標4.1 エネルギー部門と輸送部門の温室効果ガス排出量を、2030年の通常のシナリオと比較して7%減少させる。

指標4.2 温室効果ガス排出量削減の単価を減少させる (CO₂ 1t当たりのパーツ)。

指標4.3 水資源管理、農業、健康および林業などの優先分野のそれぞれにおいて、気候変動への適応のための行動計画を策定する。

指標4.4 国内の気候変動緩和メカニズムを、資金、技術および能力開発の観点から支援を提供するために確立する。

具体的政策として、温室効果ガス削減を支援し、気候変動への適応能力を高めるために、発電、運輸、産業、家庭および建物といった分野に重点を置いて、すべての分野において温室効果ガス削減を支援するための対策およびメカニズムを規定する。再生可能エネルギーの使用、省エネルギー、および廃棄物からエネルギーへの転換を推進する。持続可能な輸送システムを支援し、エンジン、

機械、計器の効率を高める。共同便益を生み出す気候変動行動を支援するために、公共部門と民間部門の間で財政的メカニズムの確立を促進する。例として、炭素クレジット、炭素市場および炭素税である。さらに、民間部門が温室効果ガス削減にもっと投資するよう奨励する。

(3) 気候変動

天然資源環境省環境政策計画局（以下 ONEP（Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning））は、タイ国における国連気候変動枠組条約（UNFCCC）のフォーカルポイントであるとともに、タイ国内でも国家気候変動委員会（NCCC）の事務局を務めるなど、タイにおける気候変動対策の中心的な役割を担っている組織である。タイにおける「気候変動基本計画（National Climate Change Master Plan 2015-2050）」は、ONEP が策定し、2015 年 7 月に閣議承認された。5 年ごとに改定が予定されている。

気候変動基本計画は、以下のミッションに従って、タイ国が 2050 年までに持続可能な低炭素成長と気候変動に対するレジリエンスの向上を目的に作成されている。この目的を達成するために、緩和、適応、キャパシティビルディングの一連の目標が定められている。

短期（2016 年）の目標は次のとおりである。

- 1) 中長期的な温室効果ガス排出削減目標を策定し、部門別を実施するためのロードマップを作成する（脆弱性マップ、全国的に適切な緩和行動ロードマップ、測定、報告、検証メカニズムを含む）。
- 2) 低炭素開発を促進するための法的措置と経済的措置の両方を用いて、国内のインセンティブメカニズムを確立する。

中期（2020 年）の目標は次のとおりである。

- 1) エネルギーおよび運輸部門からの GHG 排出量を、2021 年までに 2005 年と比較して 7～20%削減する（国際的な支援のレベルによる）。
- 2) 2021 年までに、消費されるエネルギーの少なくとも 25 パーセントを再生可能エネルギー源から供給する。
- 3) 一人当たりの緑地面積が 10 m² を超える市町村の割合を増やす。

長期（2020 年から 2050 年）の目標は次のとおりである。

- 1) 2030 年までにエネルギー原単位を少なくとも BAU 比で 25%削減する。
- 2) 公共交通機関による移動を促進する。
- 3) 陸上輸送による GHG 排出量の割合を減らす。
- 4) 低炭素で環境に優しい産業への投資の割合を増やす。
- 5) オープンダンプ方式のゴミ処分場を減らす。
- 6) 農業地域での野焼きの割合を減らす。
- 7) 温室効果ガスの対 GDP 比率を低下させる。

日本政府は、世界的な排出削減・吸収に貢献するため、途上国の状況に柔軟かつ迅速に対応した優れた低炭素技術の移転や対策実施の仕組みを構築するべく、二国間クレジット制度（以下 JCM（Joint Crediting Mechanism））を推進している。JCM は、途上国への温室効果ガス削減技術、製品、システム、サービス、インフラ等の普及や対策を通じ、実現した温室効果ガス排出削減・吸収への我が国の貢献を定量的に評価するとともに、我が国の削減目標の達成に活用するものである。タイ国は日本と JCM に関する二国間文書の署名を行っている。

(4) 電源開発計画

「長期電力開発計画（Power Development Plan：PDP）」は、エネルギー省のエネルギー政策・計画局（Energy Policy and Planning Office: EPPO）が策定し、国家エネルギー政策委員会（National Energy Policy Council:NEPC）が承認する。2019年1月24日、PDP 2018が、国家エネルギー政策委員会により承認された。従来計画（PDP2015）との比較を表11と表12に示す。

表 11 計画期末の発電設備容量比較表

PDP 2018		PDP2015	
2017年末の発電設備容量	46,090 MW	2014年末の発電設備容量	37,612 MW
老朽化等により廃止する発電設備容量	-25,310 MW	老朽化等により廃止する発電設備容量	-24,736 MW
2018年から2037年の新設発電設備容量	56,431 MW	2015年から2036年の新設発電設備容量	57,459 MW
2037年総発電設備容量	77,211 MW	2036年総発電設備容量	70,335 MW

出典：EPPO <http://www.eppo.go.th/index.php/th/component/k2/item/14448-news-240162> 等から作成

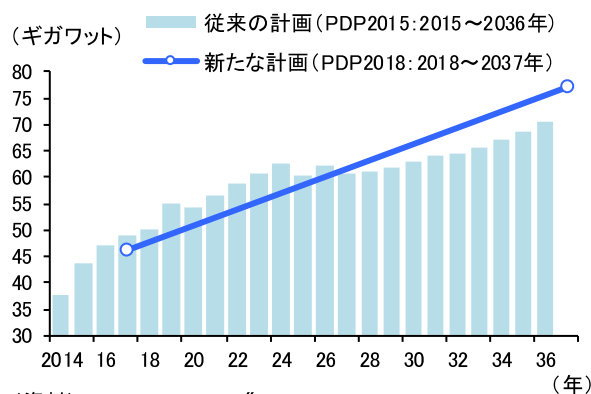
表 12 新設の発電設備容量比較表

PDP 2018			PDP2015		
再生可能エネルギー	20,766 MW	36.8%	再生可能エネルギー・国内	12,105 MW	21.1%
			再生可能エネルギー・輸入	9,543 MW	16.6%
揚水発電	500 MW	0.9%	揚水発電	2,101 MW	3.7%
コージェネレーション発電	2,112 MW	3.7%	コージェネレーション発電	4,119 MW	7.2%
コンバインドサイクル火力発電	13,156 MW	23.3%	コンバインドサイクル火力発電	17,478 MW	30.4%
石炭/褐炭発電所	1,740 MW	3.1%	石炭/褐炭発電所	7,390 MW	12.9%
			原子力発電	2,000 MW	3.5%
			ガスタービン発電	1,250 MW	2.2%
海外から購入	5,857 MW	10.4%	火力発電 海外から購入	1,473 MW	2.6%
発電所のリプレイス	8,300 MW	14.7%			
省エネルギー	4,000 MW	7.1%			
合計	56,431 MW	100.0%	合計	57,459 MW	100.0%

出典：EPPO <http://www.eppo.go.th/index.php/th/component/k2/item/14448-news-240162> 等から作成

見直しのポイントは、以下の3点である。

- 今後の電力需要増加に対応するための追加発電設備容量の引き上げ



出典：Ministry of Energy "Thailand Power Development Plan 2015-2036"、"รายงานผลการประชุมคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ(กพข.) 24 มกราคม 2562"を基に日本総合研究所作成

図 19 発電容量の見通し

GDP 成長率が回復し、2017 年の実質 GDP 成長率は+3.9%と 2012 年以来の高成長となった。そうした景気の持ち直しによる需要増加を背景に、図 19 に示すように 2037 年の発電容量を 77,221MW と、PDP2015 から計画対比約 10%引き上げた。

- 環境負荷軽減を目指した電源構成の見直し：

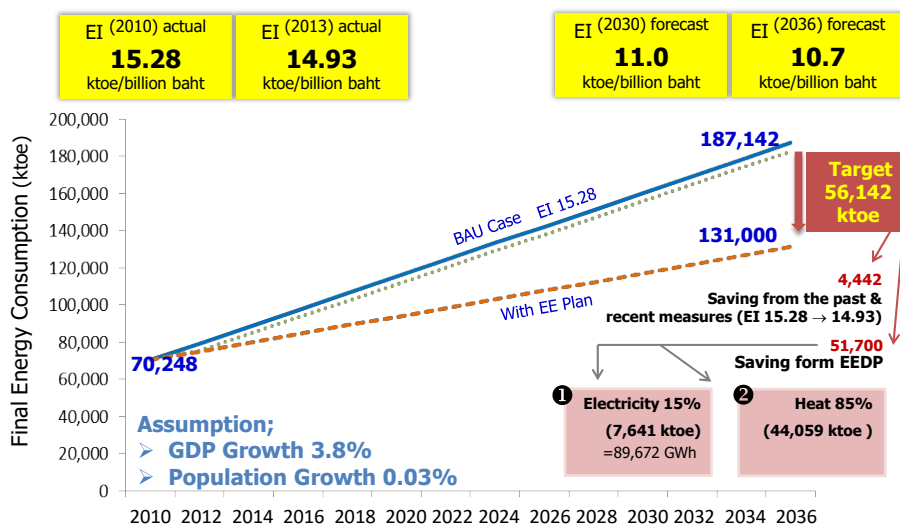
P4 の図 9 に示すように、タイ国では、現在の発電は、天然ガスに 6 割弱を依存している。PDP2015 では、国内資源が枯渇しつつある天然ガスへの依存度を大幅に低下させる一方、再生可能エネルギーへの依存度を 3~4 割に引き上げるとともに、石炭発電の依存度を現在の約 2 割から引き上げる方針を示していた。しかし、新たな計画では、石炭発電への依存度を 1 割程度に引き下げる。今後、新規に追加される発電のうち、従前は 13%を石炭に依存する方針であったが、新たな計画では同依存度は 3%に低下している。一方、天然ガスについては依存度の低下幅を小幅なものにとどめ、50%以上を依存し続ける方針に転換した。
- 発電市場の効率化に向けた民間事業者の参入拡大：

小規模発電事業者の参入を促進し、EGAT の発電比率を 20%台半ばに引き下げる方針が示された。

1-2-2 省エネルギー政策

(1) 省エネルギー計画

2011 年にエネルギー省により、省エネルギー計画である「エネルギー効率開発 20 年計画 (Thailand 20-year Energy Efficiency Development Plan (2011-2030))」が、タイ国におけるエネルギーに関して安全保障面・経済面・環境面のそれぞれにおいて改善させることを目的に策定された。安全保障面としては国内のエネルギー需要に応えられる体制を構築すること、経済面としては国民や企業にとって妥当なエネルギー価格を維持すること、環境面としては環境や地域社会への影響を減らすことを目指している。具体的な目標として、2030 年までにエネルギー原単位を、2010 年比で 25%低減させることを目標に掲げている。



出典： [http://www.asew-expo.com/Portals/0/seminar/Presentation/03-Overview%20of%20Energy%20Efficiency%20Development%20Plan%20\(EEDP%202015\).pdf](http://www.asew-expo.com/Portals/0/seminar/Presentation/03-Overview%20of%20Energy%20Efficiency%20Development%20Plan%20(EEDP%202015).pdf)

図 20 エネルギー効率化計画

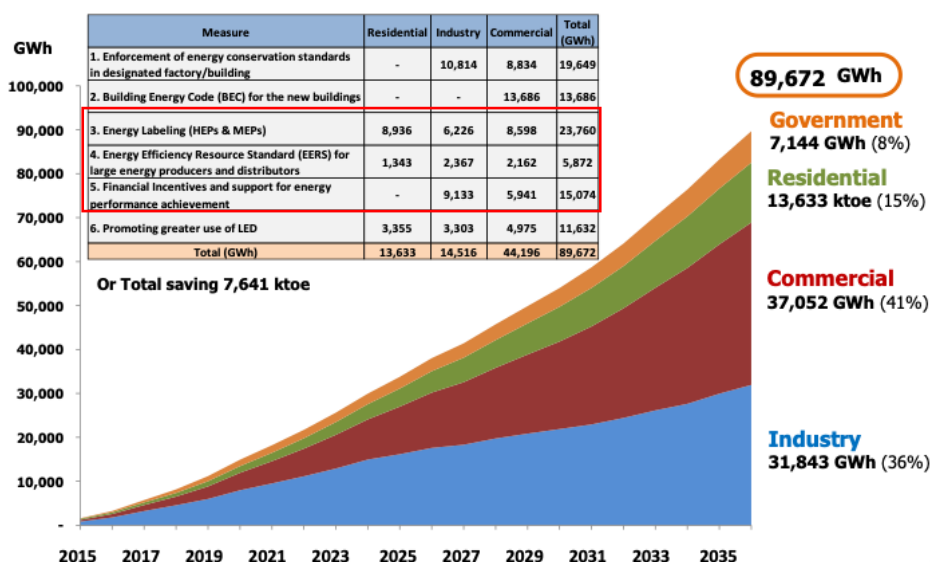
2015年に、同計画の改訂版である「エネルギー効率化計画 (Energy Efficiency Strategy for Thailand for the next 20 years)」が策定された。前述の電源開発計画や第11次国家経済社会開発計画との整合性を図りつつ、2036年までにエネルギー原単位を2010年比でBAUケースから30%低減させる目標に更新されている。図20に示すように、最終エネルギー消費量(2036年標準ケース)187,142ktoeを、56,142ktoe削減し、131,000ktoeにすることが目標である。

エネルギー効率化計画の電力セクターの省エネ計画は、図21の通りである。目標では、合計で7,641ktoe、消費電力では89,672GWhを、BAUケースから削減する。図内の表で示した省エネ目標に対する具体的手段のうち、

“3”は、家電等の家庭で使用する機器を対象とした省エネラベルを指している。

“4”は、新技術の適用により効率良く発電するための基準である。また需要側における電力使用量の削減も発電事業者が発電の高効率化と併せて働きかける必要がある。発電事業者にとっては短期的には販売ユニットの低下につながるため、どのようなインセンティブを設けるべきかについては現在検討中である。

“5”における資金援助は、大小双方の工場のほか、商業建築物および政府系の建築物が対象とされている。



出典: [http://www.asew-expo.com/Portals/0/seminar/Presentation/03-Overview%20of%20Energy%20Efficiency%20Development%20Plan%20\(EEDP%202015\).pdf](http://www.asew-expo.com/Portals/0/seminar/Presentation/03-Overview%20of%20Energy%20Efficiency%20Development%20Plan%20(EEDP%202015).pdf)

図 21 電力セクターの省エネ計画

(2) 省エネルギー法

タイ国の省エネルギー促進法 (Energy Conservation Promotion Act B.E.2535) は、1992年に制定、1998年に施行、2003年と2007年に改正された。タイ国は、東南アジア諸国の中でも早くから省エネルギーに取り組んでいる国である。省エネルギー促進法は、一定規模以上の工場を指定し、省エネルギーへの取組を促進させるためのエネルギー管理制度を行っている。その他、家電の最低エネルギー効率基準やラベリング制度(自主)を実施している。

主な制度は下記のようなものである。

1)指定工場・ビルエネルギー管理者の選任

- 2)省エネルギー振興基金（ENCON Fund）の設立
- 3)機器・設備・資材の高度および最低限度エネルギー効率性能基準（HEPS と MEPS）、
- 4)ラベリング制度
- 5)ビルディング・エネルギー・コード

(3) エネルギー保全基金

省エネルギー促進法のもと、省エネルギー促進や再生可能エネルギー普及のために資金支援を実施することを目的にエネルギー保全基金（以下 ENCON Fund:（Energy Conservation Fund））が設立されている。ENCON Fund の財源は、石油ファンド（天然ガス販売の収益をベースとする政府基金）からの拠出金多くを占めている。

2019 年の ENCON Fund 予算は、92 億 9700 万バーツで、その内訳は下記の通りである³。

- i. 省エネルギー（36 億 3600 万バーツ）、再生可能エネルギー（22 億 4700 万バーツ）、エネルギーの戦略的管理（1 億 400 万バーツ）の促進
- ii. エネルギー効率開発 20 年計画（エネルギー省の改革計画を含む）（20 億 800 万バーツ）
- iii. 地域社会での省エネ活動（12 億 9,100 万バーツ）

エネルギー省の代替エネルギー開発・省エネ局（以下 DEDE（Department of Alternative Energy Development and Energy Efficiency））は、省エネルギーと再生可能エネルギーへの民間投資を促進するため、ENCON Fund からの財政支援により、ESCO Revolving Fund を設立している。活動目的は、下記の通りである。

- i. 再生可能エネルギーと省エネへの 12 億 5000 万バーツ以上の投資を奨励する。
- ii. 10 ktoe 以上の年間エネルギーの節約、または年間 2 億 5000 万バーツの価値を奨励する。
- iii. エネルギーサービスカンパニー（ESCO）による民間投資の促進を支援する。
- iv. 起業家がエネルギーコストを最小限に抑え、炭素クレジットから収益を得ることを支援する
- v. エネルギー効率と再生可能エネルギー事業に資金を提供する。

主なサービスは、下記の通りである。

① 株式投資

省エネまたは再生可能エネルギープロジェクトへの株式投資。総株式の 10%から 50%で、プロジェクトごとに 5,000 万バーツに制限されており、主要株主になれない。

② 機器のリース

省エネまたは再生可能エネルギーのための機器を購入する起業家に長期リースサービスを提供し、起業家が低金利で一定の返済を行えるようにする。設備費の最大 100%をリースできるが、プロジェクトごとに 2500 万バーツが上限である。返済期間は 5 年以内で、金利は年間 3.5%（定率）である。

③ ESCO ベンチャーキャピタル

ESCO 回転基金は、エネルギーサービスカンパニー（ESCO）と協力して、ESCO の省エネプロジェクトへの投資資金を調達する。

3 BANGKOK POST 10 DEC 2018 <https://www.bangkokpost.com/business/1590822/conservation-fund-to-add-solar-panels>

リース採択リストを表 13 に示す。2017 年 9 月現在、9 件活用されている。

12. S2K Marine Product Co., Ltd.の事例は、古い非効率的な水冷システム、冷却塔、ヒートポンプ等を効率的なものと置き換える。9,005,366 バーツの機器リースが承認された。帯水層の地中熱を利用する高効率冷房システムの導入は、機器のリース活用が可能と言える。

表 13 リース採択リスト

No.	Equipment leasing project	Province	Technology	Awarded amount (Baht)	Saving	
					(kWh/yr)	(ktoe/yr)
1	Power Innovation Co., Ltd. (Installed at C.C.S. Engineering Co., Ltd.)	Northaburi	VSD	1,070,000	270,709	0.023
2*	J.K. Cartons Group Co., Ltd.	Samutsakorn	High efficiency boiler	20,043,150	364,167 Liters of fuel oil	0.817
3	Thai Mueang Icehouse Co., Ltd.	Phang-nga	High efficiency motor	997,414	62,341	0.005
4*	Sap Sansawai Co., Ltd. (Pavilion Hotel Group)	Songkhla	High efficiency chiller and LED	3,464,446	234,957	0.085
5	Island Resort Hotel Co., Ltd.	Chiang Rai	Chiller system	9,485,550	359,856	0.031
6	C S Bowl Center Entertainment Co., Ltd.	Songkhla	Chiller system	4,652,404	277,583	0.024
7	R hank Supply Co., Ltd. (Installed at Erawan Textile Co., Ltd.)	Samutprakam	LED	2,176,380	380,765	0.032
8*	Poly Vision Precision Mould (Thailand) Co., Ltd.	Chonburi	Servo motor	2,484,540	106,613	0.009
9	Suan Song Co., Ltd.	Amnat Charoen	Gas Engine	17,441,000	5,809,750	0.478
10	Wangsingkhom Ice Co., Ltd.	Chiang Mai	High efficiency motor and high efficiency compressor	5,149,375	325,480	0.028
11	Thai Spirit Industry Co., Ltd.	ChachongSao	Air Compressor	3,103,000	90,282	0.007
12	S2K Marine Product Co., Ltd.	Songkhla	Water Cool system, Cooling Tower, Heat pump, E-Cube, Water Bath, LED	9,005,366	442,820	0.038
13	Thermal Tech Co., Ltd.	Lampang	RDF system	9,241,590	10,086 ton Lignite/yr	3.610
14	Juristic Person Ban Suan Romkiao-Suvarabhumi	Bangkok	LED	1,072,905	105,304	0.009
15	Power Innovation Co., Ltd. (Installed at Plus Vision Co., Ltd.)	Bangkok	VSD	1,284,000	327,654	0.026
Total 18 projects				90,671,120	8,888,714	8.22
Cancelled 3 projects (No. 2, 4, 8) remaining 12 projects				64,676,964	6,252,544	4.31

出典 : Energy for Environment Foundation <http://www.efe.or.th/escfund.php?task=37&sessid=&lang=en>

(4) 家電製品の省エネラベル

タイ政府は、市場における電化製品のエネルギー効率の向上を目的として義務付ける「最小エネルギー性能基準 MEPS (Minimum Energy Performance Standard)」および政府として推奨する「エ

エネルギー高性能基準 HEPS (High Energy Performance Standard) 」を導入している。MEPS はタイ工業規格(TIS)として位置付けられている。この省エネ規格は、上述の省エネラベルで、DEDE が、タイ工業規格協会 (以下 TISI (Thailand Industrial Standards)) と協力して策定した。HEPS のみが DEDE によって実施され、MEPS は TISI によって実施される。

現在、見直し作業が行われている。DEDE と TISI は、新しい冷却能力基準を起草するにあたり、試験を行なった。

ヒートポンプに電気(燃料)を 1kW 投入したとき、何 kW の熱を奪う(冷却する)ことができるかを表す指標を、成績係数(以下 COP (Coefficient Of Performance))と呼び、冷房機器などのエネルギー消費効率の目安として使われており、数値が大きいほど省エネ性能が優れている。冷房の場合は、以下の式で求められる。

$$\text{冷房 COP} = \text{冷房能力(kw)} \div \text{冷房消費電力(kw)}$$

2013 年にタイ国で市販されていたいくつかの空気熱源ヒートポンプ (4.5~36kW 規模) から 13 モデルの空気熱源ヒートポンプが選定され、ヒートポンプのエネルギー効率試験が、KMUTT の試験施設で実施された。この試験では、COP 値は 2.4~3.7 の範囲内にあり、平均値が 3.0 であることがわかった。この検証を踏まえて、タイ国内で製造または販売される空気熱源ヒートポンプの MEPS と HEPS の草案が、エネルギー効率基準小委員会に提出され、検討されている。2013 年 12 月現在と見直し案の空調の冷却能力性能基準を表 14 に示す。

表 14 空調の冷却能力性能基準

	基準	COPのレベル
2013年12月現在の基準	MEPS	COP 2.53
	HEPS	COP 3.22
見直し案の基準	MEPS	COP 2.4
	HEPS	$3.0 \leq \text{COP} \leq 4.0$

(5) エネルギー保全法

省エネに関する規制であり、電力メーター1,000kW 以上、変圧容量 1,175kVA 以上または電力換算で熱・蒸気・非再生可能エネルギーを年間 2,000 万 MJ 以上使用する建物に対して適用される。対象となる工場やビルは、エネルギー保全管理システムの策定、エネルギー管理作業グループの設置、オーナーによる省エネ可能性の評価・省エネ目標の設定・監督・当局への報告、エネルギー管理士の選任等の義務が課されている。義務を履行できなかった場合、下記の罰則が課せられる。

罰則

- i. 指定工場・ビルにおいて、虚偽の報告をした場合、その所有者に対し 3 ヶ月以内の禁固刑 か 150,000 バーツ以下の罰金、またはその両方
- ii. 指定工場・ビルにおいて省令に基づく省エネルギー目標を達成できなかった場合、その所有者に対し 50,000 バーツ以下の罰金
- iii. 指定工場・ビルにおいて PRE を選任していない場合、その所有者に対し 200,000 バーツ以下の罰金

1-3 当該開発課題に関連する我が国国別開発協力方針

タイ国の、我が国の国別開発協力方針は下記の通りである。

経済協力方針：重点分野(中目標) (1) 持続的な経済の発展と成熟する社会への対応

重点分野(中目標) (2) ASEAN 域内共通課題への対応

開発課題：持続的に社会・経済を発展させていくためには、競争力強化を通じた更なる経済成長、環境・気候変動問題等の国内の課題への取組が必要である。

関連する協力プログラム：有償資金協力「気候変動対策プログラムローン」の案件形成に資することを目的として、円借款付帯プロジェクト「バンコク都気候変動マスタープラン（2013年-2023年）」が作成され、バンコク首都圏庁に承認された。このマスタープランの実施に向け、新たに「バンコク都気候変動マスタープラン2013-2023 実施能力強化プロジェクト」がスタートした。

関連プログラムとの連携可能性：バンコク首都圏に豊富に賦存する帯水層の地中熱を利用することで、室内冷房の電力消費と温室効果ガス(GHG)を削減することが出来る。連携して事業を行うことで、「バンコク都気候変動マスタープラン（2013年-2023年）」の目標達成に貢献する。

1-4 当該開発課題に関連する ODA 事業及びおよび他ドナーの先行事例事業分析

タイのバンコク都は、タイ国の首都及び東南アジア地域の主要都市としての順調な経済発展により、温室効果ガスの排出量は増加傾向にある。また、2011年には気候変動による影響とも考えられている大規模な洪水が発生し、多大なダメージを受け、バンコクにおいて気候変動対策は重要な課題となっている。

首都バンコクの地方行政を担当する BMA は、JICA の技術協力プロジェクト「バンコク都気候変動マスタープラン（2013年-2023年）作成・実施能力向上プロジェクト」（2012年3月～2015年9月）の支援により、「バンコク都気候変動マスタープラン（2013年-2023年）」を完成させた。

「バンコク都気候変動マスタープラン2013-2023」の実施にあたっては、BMA 内部のセクター間連携に加え、国レベルでの上位政策との整合性確保や BMA 外の関連機関との連携が課題となっている。そこで、JICA では、同マスタープランに規定される、交通、エネルギー、廃棄物・排水処理、都市緑化、適応策の5分野において、気候変動対策に係る実施能力、制度体制の強化を図り、バンコク都の低炭素でレジリエントな発展に寄与することを目指して、2017年12月から、「バンコク都気候変動マスタープラン2013-2023 実施能力強化プロジェクト」をスタートさせた。マスタープランの効果的な実施により、今後のバンコクの持続可能な都市としての発展が期待されている。

第2章 提案法人、製品・技術

2-1 提案法人の概要

ミサワ環境技術株式会社（以下ミサワ環境技術）は、地中熱利用の先駆的企業で約30年以上の施工経験を有する。1975年に創業、1990年にドイツ製掘削機を購入して本格的に地中熱利用事業を開始し、1991年にはスイスKWT社と技術提携して本社に地中熱空調システムを導入した。

2-2 提案製品・技術の概要

2-2-1 ターゲット市場

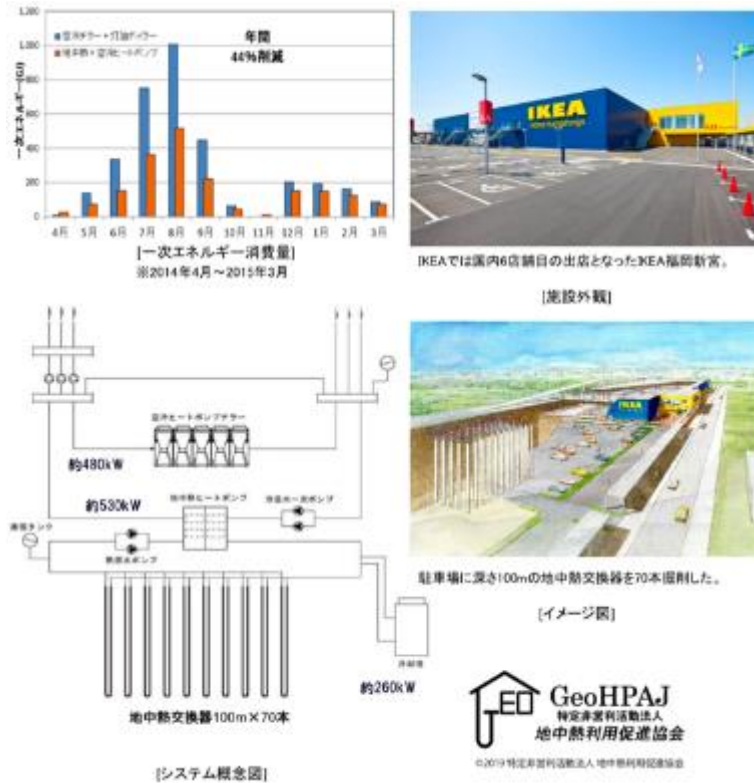
日本では、大型商業施設、公共施設、大規模ビルディング、工場での冷暖房設備・暖房設備としての導入実績がある。設計・施工した地中熱ヒートポンプシステムの施工件数は268件、設備容量は国内企業では最多である。内、ボアホール方式の施工件数は248件で、ボアホールの施工本数は4,000本以上である。日本での施工実績を図22に示す。



図 22 日本での施工実績

・ 大型商業施設への導入事例

日本での大型商業施設への導入事例を図 23 に示す。地中熱源の水冷ヒートポンプ（定格能力:冷房 527kW、暖房 530kW）を導入。地中熱交換器はダブルUチューブ、ボアホールは、100m×70 本である。2014 年 4 月~2015 年 3 月の年間省エネ率は 44%（冷房： 49%、暖房： 21%）であった。



出典：NPO 地中熱利用促進協会

図 23 日本での大型商業施設導入事例

2-2-2 製品・技術の特徴

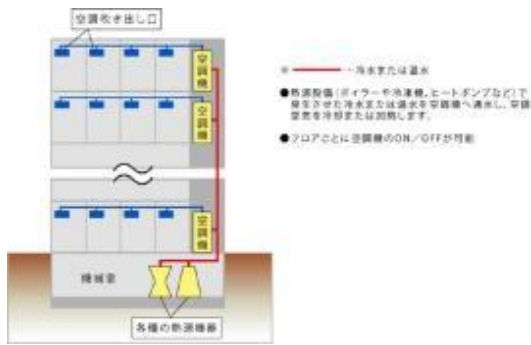
(1) 中央方式空調システム

ビルやショッピングモールのような大型施設の空調システムは、冷凍機などの熱源をどこに置かによって「中央（熱源）方式（セントラル空調）（図 24 参照）」と「個別（熱源）方式（ビルマルチ空調）（図 25 参照）」の 2 つに大別される。本提案技術は、「中央（熱源）方式」の空調システムである。

中央（熱源）方式は、熱源機器（ヒートポンプ等）と空気調和機とを組み合わせることで、冷温水を空気調和機に送水して空調する。空気調和機は、図 26 に示すように、ファンコイルとエアハンドリングユニットに大別される。

ファンコイルは、室内の天井に設置し、内蔵した冷水コイル（熱交換器）に冷水を送って、換気を冷やし、冷気をファンで室内に送る。エアハンドリングユニットは、冷水コイルに冷水を送って室外気を冷やし、冷気を送風機でダクト経由して各部屋の送風口にする。

個別（熱源）方式は、空調を必要とする室毎に空調機を設置する空調方式で、主として冷媒を使用する空調機（ルームエアコン、パッケージエアコン、業務用マルチエアコン等）が使用される。



出典：日本管材センター株式会社 HP <https://www.kanzai.co.jp/database/mame83.html>

図 24 中央（熱源）方式

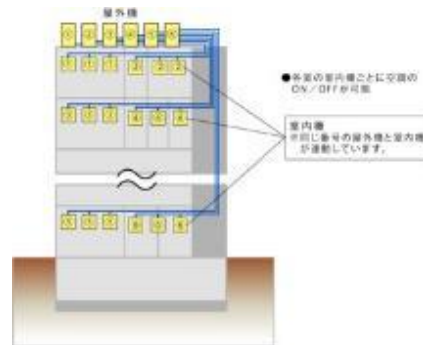
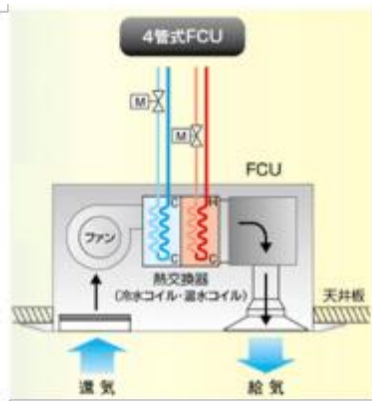


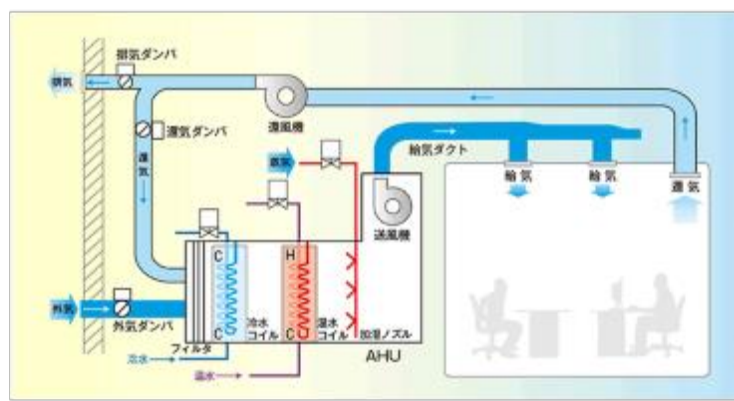
図 25 個別（熱源）方式



ファンコイル

出典：株式会社エム・システム技研 HP https://www.m-system.co.jp/products/ba/ba05_index02.html

図 26 空調調和器の種類



エアハンドリングユニット

(2) ヒートポンプ

ヒートポンプは、冷媒ガスが充填されており、冷媒ガスを圧縮機によって圧縮して高温高圧ガスにし、凝縮器で放熱して高温高圧の液を作る。そして、膨張弁で減圧して低温低圧の液を作る。蒸発器で、冷房した冷水の戻り水の熱で、低温低圧の液を蒸発させて低温低圧のガスにする。その際、循環水は熱を奪われて冷水になる。このサイクルを繰り返して、冷水を作る。結果として、圧縮機の動力として投じた電力以上に大きな熱を奪う（冷却する）ことができる（図27 参照）。

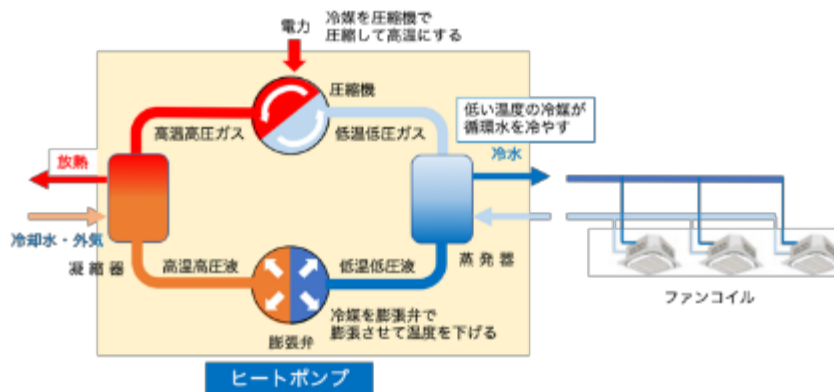


図 27 ヒートポンプによる冷却のサイクル

(3) 地中熱ヒートポンプ技術

ヒートポンプには、大きく分けて、空冷式と水冷式がある。

- 空冷式ヒートポンプ（図 30 参照） → ヒートポンプの凝縮器で外気に放熱し冷水をつくる。
- 水冷式ヒートポンプ（図 28、図 29 参照） → ヒートポンプの凝縮器で冷却水に放熱し冷水をつくる。

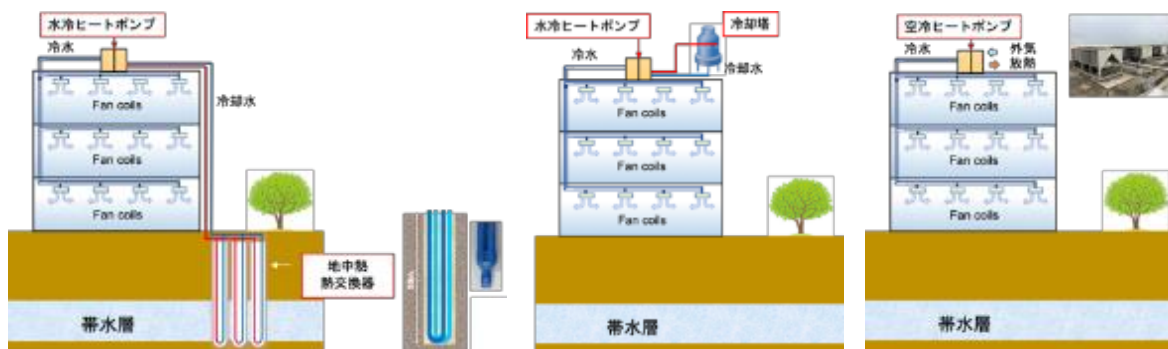


図 28 水冷式・地中熱

図 29 水冷式・冷却塔

図 30 空冷式

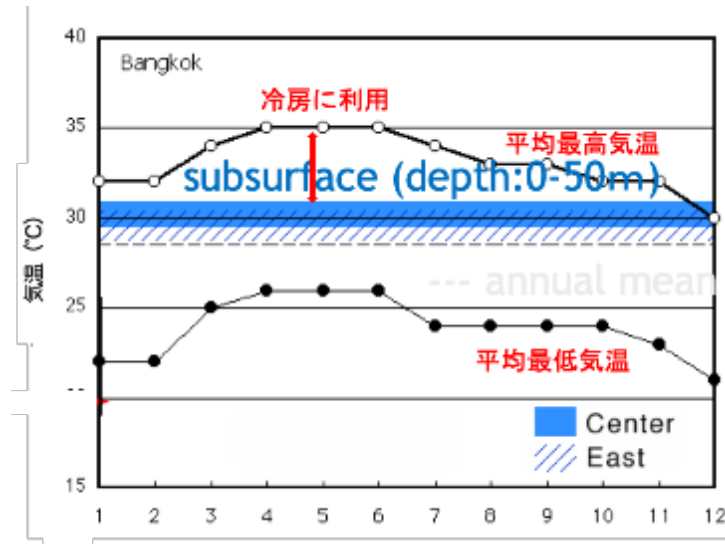
タイ国では、空冷式ヒートポンプで冷房が行われている。本提案の技術は、水冷式のヒートポンプによる冷房である。通常、水冷式は、冷却塔で冷却水を作り、ヒートポンプに送る（図 29 参照）。

バンコク首都圏は、チャオプラヤ川のデルタ地帯に位置し、帯水層が広く賦存する（図 31 参照）。地表から地下 50m 前後までの帯水層の温度は、年間を通して温度がほぼ一定で、屋間は外気温より冷たい（図 32 参照）。冷却塔の代わりに、地中熱交換器で帯水層に放熱して冷却水を冷して、ヒートポンプに送り、冷水を作ってファンコイルユニットに送水して冷房を行う（図 28 参照）。



出典：A Pilot Study on Geothermal Heat Pump (GHP) Use for Cooling Operations, and on GHP Site Selection in Tropical Regions Based on a Case Study in Thailand

図 31 バンコク首都圏の帯水層



出典：産総研 秋田大学 Cooling with ground source heat pumps - lessons learned from South - Eastern Asian countries

図 32 バンコク都の最高気温と帯水層の温度

設備は、地中熱交換器、地中熱源ヒートポンプ、室内機等から構成される。バンコク首都圏では、ポリマーを使用してボーリングを行う。そして、深さ 50m、直径 200mm 程度のボアホール（穴）に外径 42 mm のポリエチレン製の U チューブ（地中熱交換器）を設置し、孔壁の間の空隙に砂を充填する。

タイ国では地中熱利用が行われておらず、CCOP の実証試験で 2 回ボーリングが行われたのみである。タイ国のボーリング業者は、熱交換器挿入のためのボーリング技術を有していない。そのため、削孔の際には、孔壁の崩壊を防止するため、ベントナイトを使用してケーシングパイプを挿入していく。ボーリング後はベントナイトを洗浄して U チューブを挿入し、ケーシングパイプと孔壁の間の空隙に砂を充填したのち、ケーシングパイプを撤去する。ベントナイトは、孔壁に厚い泥壁を形成して孔壁崩壊を防止するため、施工後に泥壁が残り、地下水の流動を阻害し、排熱効率が低下する（図 34 参照）。

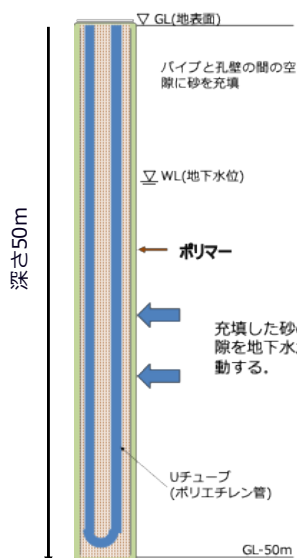


図 33 ポリマー使用地中熱交換器挿入工法

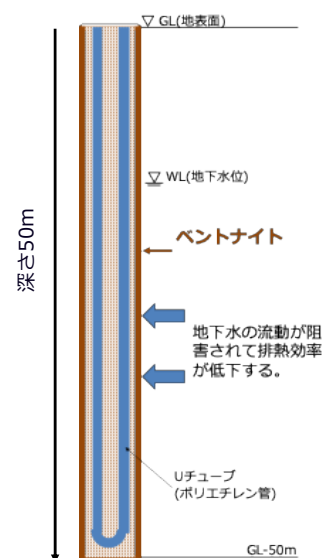


図 34 ベントナイト使用地中熱交換器挿入工法

帯水層では、地中熱交換器の周囲を地下水が流動して、ボーリング孔が崩れやすいため、ボーリングにあたっては高度なボーリング技術が必要である。ミサワ環境技術は、ポリマーを利用することで、効率的にボーリングを行い、帯水層の地中熱利用を可能にする(図33参照)。ポリマーは、ボーリング後バクテリア等の影響で自然に分解するため、地下水の流動を阻害しない。

2-3 提案製品・技術の現地適合性

2-3-1 調査概要

本案件化調査では、ODA 事業実施予定サイトである国立地質博物館(図35、図36、写真1参照)でボーリングと TRT を実施するとともに、CCOP のバンコク首都圏の帯水層の地下環境(地下水流速、地下水位、温度等)のデータを基に、潜在的な地中熱利用の可能性(地中熱ポテンシャル)が高い地域(地中熱利用に適した地域)、低い地域を評価し、地中熱ヒートポンプの導入、普及可能性を評価した。

国立地質博物館では、新たにポリマーを使用してボーリング(以下Well1)を行なって TRT を行った。また、2016年1月から3月にかけて CCOP-GSJ 地下水プロジェクト・フェーズⅢの地中熱サブプロジェクトの一環として実施された地中熱交換器(以下Well2)に対しても TRT を行なった。実施箇所を図35に示す。

Well2では、写真2に示す1階のスーベニアショップへ地中熱冷房システムを設置して試験を行なっている。

また、バンコク首都圏で従来行われてきた空冷式ヒートポンプによる冷房と、帯水層の地中熱を利用する冷房システムの比較を行って、提案製品・技術の現地適合性を評価した。

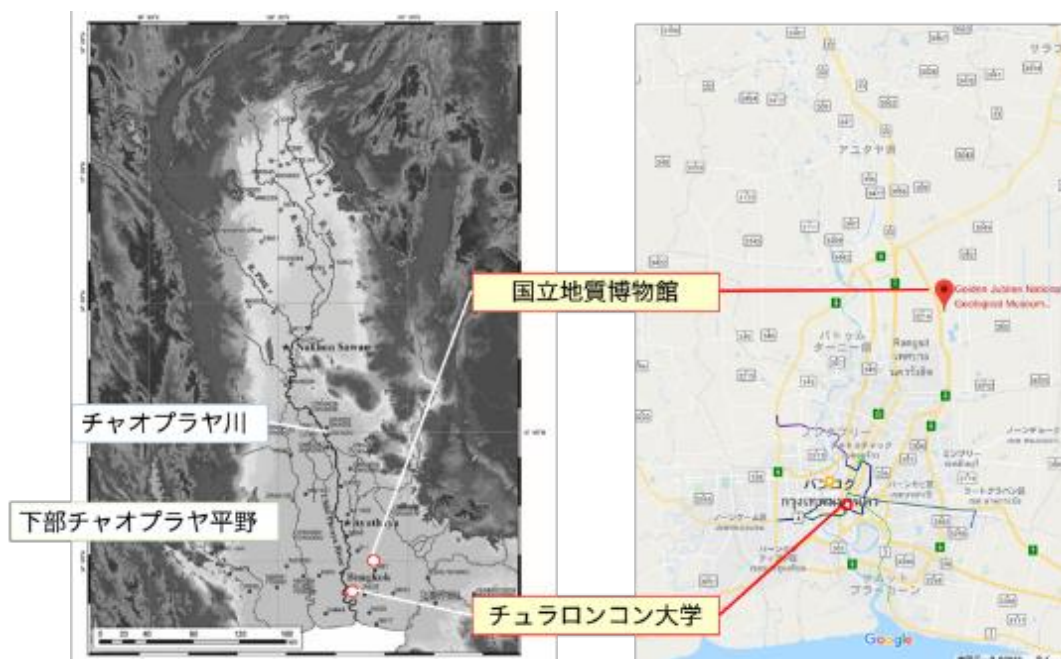


図 35 TRT 実施サイト



図 36 TRT 実施箇所



写真 1 国立地質博物館



写真 2 CCOP 地中熱冷房システム試験

2-3-2 ボーリングによる地質調査

Well 1 で、ポリマーを使用してボーリングを実施した。ボーリングはウィングビットによるロータリー工法で行い、GL-55m までのボーリングは 3.5 時間程度で終了した（写真 3 参照）。全体に粘土層で孔壁の自立性が高く、孔壁保護を目的とした二重管掘削ではなく、単管掘削で施工した。

地質構成とボーリング施工状況は概ね下記の通りである。サンプリングした試料を写真 4 に、ボーリング柱状図を図 37 に示す。



写真 3 ボーリング実施状況



GL-39~46m間は中砂
~粗砂が主体

写真 4 ボーリングでサンプリングした試料

サンプリングの分析結果は下記の通りである。

- GL-3.5m 付近までは造成時の埋土であり、それ以深は粘性土が主体の未固結堆積層となる。
- GL-3.5～39m 間は全体に細粒分を多く含み透水性に乏しいと推定されるため、多量の地下水流動は望めないと考えられる。
- GL-39～46m 間には中砂～粗砂を主体とする層が分布しており、帯水層であると考えられる。

非公開

図 37 Well 1 ボーリング柱状図

2-3-3 熱応答試験 (TRT)

地中熱ヒートポンプシステムは、土壌と熱交換する U チューブ (地中熱交換器) を挿入するボアホールを掘削する必要があるため、初期費用が高額になる。ボアホールの長さや本数を最適化し初期費用を削減するためには、土壌の熱の伝わりやすさを知る必要があり、そのために行われるのが TRT である。

TRT は、外部人材である秋田大学が実施した。写真 5 に使用した TRT 装置の写真を示す。試験装置は秋田大学製作のもので、主に電気ヒーター (最大 6kW)、循環ポンプ、流量計、温度センサー、計測・制御機器で構成されている。また、試験の安定性を確保するため、循環流量の制御に加

え、電源電圧の変動などによる外乱に対して設定した熱負荷を維持する熱負荷自動調整機能を備えている。

TRT の概念図を図 38 に示す。試験では、TRT 装置と熱交換器をホース等で接続し、ヒーターで熱媒体（水または不凍液）に一定の熱負荷を加えながら循環ポンプで熱交換器内に循環させ、地中熱交換器の入口および出口の熱媒体温度および循環流量を計測した。



写真 5 TRT 装置（左：計測制御ユニット，右：温水循環ユニット）

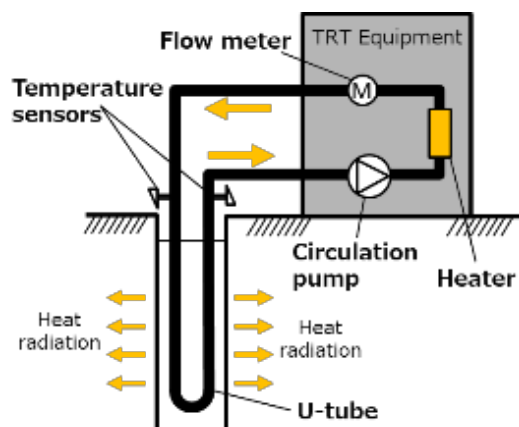


図 38 TRT 概念図

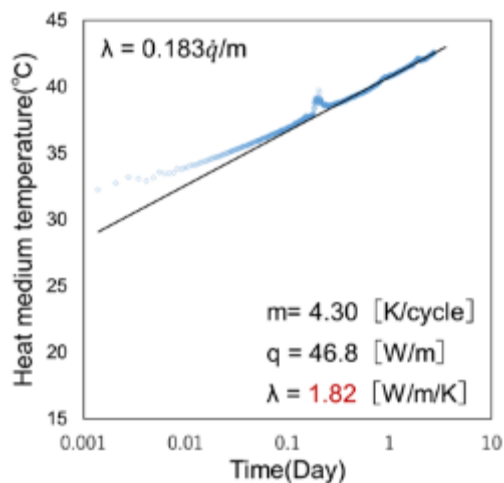


図 39 TRT の解析結果（チュラロンコン大学）

過去の研究例として、2018年2月に産総研と秋田大学がバンコク・チュラロンコン大学に設置した地中熱ヒートポンプシステム周辺における地盤の見掛け熱伝導率を推定するため、TRTを実施した。TRTは、システムの熱交換器を一時的にTRT装置と接続して行われた。ケルビンの線源理論による作図法（図39参照）から、バンコク・チュラロンコン大学の敷地内における見掛け熱伝導率 λ_s は1.82 W/m/Kと推定された。

本事業において2019年10月に国立地質博物館の敷地内で、同様のTRTを実施した（写真6、写真7参照）。ケルビンの線源理論による作図法から、国立地質博物館の敷地内におけるWell-1の見掛け熱伝導率 λ_s は1.74 W/m/K、Well-2は1.69 W/m/Kと推定された（図40、図41参照）。これらの見掛け熱伝導率の値は、一般的な地下水流のない土壌よりも高い値であることから、地下水流の影響があると考えられ、地中熱の利用に有利であると考えられる。

図42および図43に、各地中熱交換器の熱抵抗の解析結果を示す。各グラフの値が安定している区間の平均を取るとWell-1では0.087 (mK)/W、Well-2では0.095 (mK)/Wになった。これらはダブルUチューブの一般的な値であるが、Well-1の熱抵抗が小さい要因として、呼び径30の熱交換チューブの使用によりWell-2（呼び径25）より熱交換面積が大きいこと、またボーリング時の孔壁保護にポリマーを使用していること（Well-2はベントナイトを使用）が考えられる。



写真6 Well-1 TRT実施状況



写真7 Well-1 熱交換器挿入

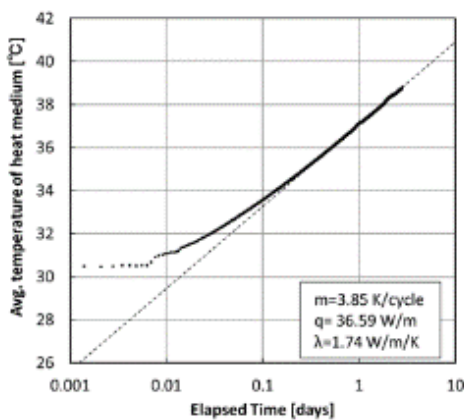


図40 Well-1 TRTの解析結果

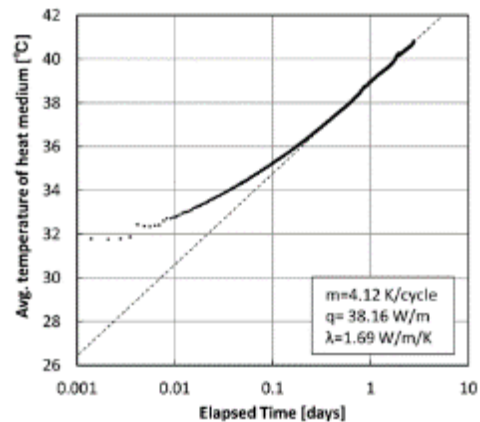


図41 Well-2 TRTの解析結果

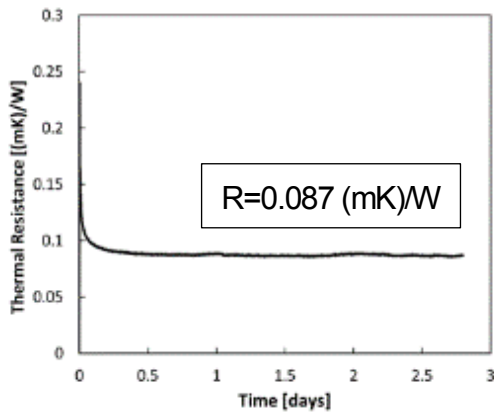


図 42 Well-1 熱抵抗の解析結果

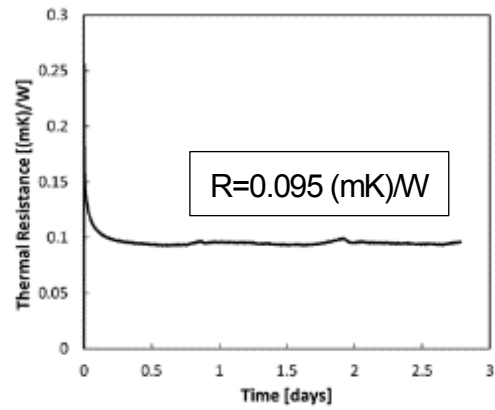


図 43 Well-2 熱抵抗の解析結果

2-3-4 帯水層ポテンシャル評価

CCOP は、1966 年に国連アジア太平洋経済社会委員会（ESCAP）の下に設立された。1987 年に国連から独立し、タイ国に本部を置く。現在の加盟国は、日本を含めた 14 カ国で、日本の代表機関は産業技術総合研究所地質調査総合センター（以下産総研）である。

CCOP は、2009 年度から 2013 年度まで地下水プロジェクトフェーズ II（Groundwater Phase II Project）を実施し、現在は Groundwater Phase III Project を実施中である。2015 年に公開した Phase II の地下水マップでは、地下水位、地下水質に加えて地下温度のデータも含まれている。

CCOP のバンコク首都圏の帯水層の地下環境（地下水流速、地下水位、温度など）のデータと、ボーリング調査、熱応答試験データを基に、潜在的な地中熱利用の可能性（地中熱ポテンシャル）が高い地域（地中熱利用に適した地域）、低い地域を評価し、地中熱ヒートポンプの導入、普及可能性を評価した。

① 3 次元広域地下水流動系モデルの構築及びマップの作成

これまでのフィールド調査及び文献調査で得られた水文・地質情報に基づき DHI-WASY 社の三次元地下水流動・熱輸送解析ソフト FEFLOW を用いて、タイ・下部チャオプラヤ平野の広域地下水流動モデル（図 44）を構築した。

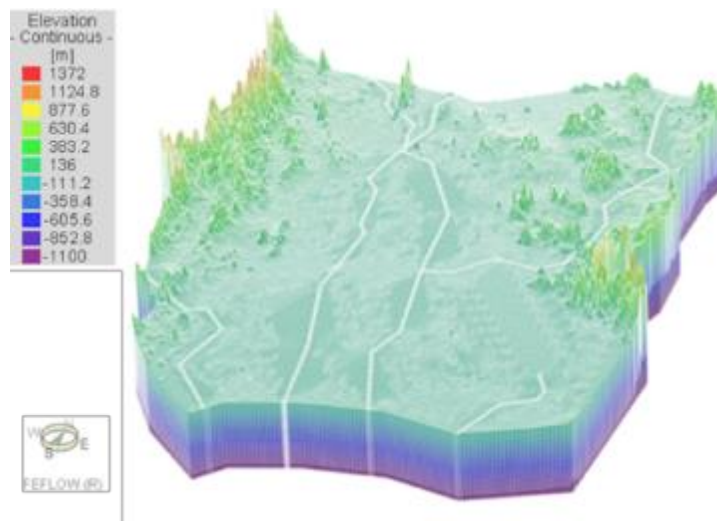


図 44 タイ・下部チャオプラヤ平野の 3 次元広域流動モデル

本モデルでは、地下水流動系及び熱輸送系に関する境界条件が設定されているが、さらに地下水揚水による地下水位の低下を再現するために、特定の帯水層からの揚水も考慮している。構築したモデルの解析結果から、地中熱ヒートポンプシステムの熱交換能力に大きく影響するパラメータである地中温度、地下水流速及び地下水位の値を出力し、地中熱交換井長さ当たりの熱交換量マップを適地マップとして作成することで地中熱ヒートポンプシステム設置の適度評価を行った。

② 地中熱システム設置の適地評価

熱交換量マップの作成方法は、広域地下水流動モデルから標高差のある場所や異なる地下条件である 13 地点を選定し、各地点の地下条件を再現した熱交換井モデルから熱交換量を計算した。表 15 に 13 地点の水文地質情報を示す。計算結果より、GSHP システムの稼働 10 年目における熱交換井単位長さ当たりの熱交換量の平均値を算出し、13 地点の熱交換量値をマップ上にプロットし調査対象地域内における地中熱導入の適度評価を行った。

表 15 13 地点の水文地質情報

非公開

U チューブを挿入するボアホールの掘削本数の概算値は、以下の式で求められる。熱交換量が、大きいほどボーリングするボアホールの数が少なくて良く、初期費用を低く抑える事が出来る。

$$\text{ボアホール本数} = \{(\text{冷房能力 kW}) + (\text{消費電力 kW})\} \div (\text{熱交換量 W/m}) \div (\text{ボーリング深度 m})$$

図 45 に、地中熱ヒートポンプシステム設置の適地マップとして、13 地点における熱交換井長さ当たりの熱交換量値 (単位 : W/m) および、その値から推定される適度分布をまとめたマップを示す。マップの範囲は、バンコク都を含む、特に人口の多いチャオプラヤ川沿いで、東西方向に 35 km、南北方向に 40 km とした。図中の星印はチュラロンコン大学の位置を示しており、その周辺が東南アジア最大規模の首都バンコク都の中心部である。

非公開

図 45 バンコクエリアにおける地中熱システム設置の適地マップ
(マップ内には 13 地点の熱交換量値 (単位 : W/m)および GSHP の適度分布を示す)

まず、地中熱ヒートポンプシステムの設置適度に関しては、数字が大きい値ほど地中熱利用に適しており、本マップは、適度 4 ～ 9 の範囲を示した。特に、チャオプラヤ川や水路の周辺において適度が高い値を示した。

次に 13 地点における熱交換井長さ当たりの熱交換量分布に関しては、チュラロンコン大学付近の地点で最大値 40.14 W/m の熱交換量が算出された。地中熱ヒートポンプシステムを連続的に稼働させて 10 年目の平均値にも関わらず 40.14 W/m の熱交換量が可能であることから、地中熱ヒートポンプシステムを適切な稼働条件下で運転を行うことによって、熱帯性気候でも十分な冷熱源を得られると考えられる。

最後に適度分布と熱交換量値の分布傾向を考察すると、両分布傾向は、チャオプラヤ川周辺で比較的良い値を示した。この結果より、地下水位が地中熱ヒートポンプシステムの熱交換能力に大きく影響していると考えられる。その理由として、地下水位が地表に近いほど地層は水で飽和されており、地層の有効熱伝導率が高くなるからであると考えられる。従って本適地マップから、タイ国での地中熱利用は川沿いや氾濫原などの地下水の回復の早い場所や、近くに揚水井戸のない地域で行うのが好ましいと考えられる。特に人口の多いチャオプラヤ川沿いへの地中熱ヒートポンプシステム設置が好ましいことから、導入が促進されることによってヒートアイランド現象の抑制に繋がり、東南アジアにおける環境問題に寄与できると考えられる。

2-3-5 セミナー等の開催

(1) TRT の公開

2019 年 10 月 3 日に、TRT の見学会および説明会を開催、DMR、DGR の職員 25 名が参加した(写真 8 参照)。外部人材である産総研・地中熱チームの内田洋平および秋田大学の小助川洋幸が地中熱ヒートポンプシステムと TRT の概要に関する講演を行った。その後、実際に TRT を実施している現場を見学した。参加者からは数多くの質問が寄せられ、地中熱に対する関心の高さが伺えた。



写真 8 TRT の公開

(2) 国際セミナー開催

CCOP 第 55 回年次総会および第 73 回運営委員会会議が、チェンマイで、2019 年 11 月 3 日~11 月 7 日の日程で開催された。この総会で、2019 年 11 月 5 日に、タイ国バンコク首都圏の帯水層の地中熱利用のワークショップ “CCOP-DMR-MISAWA-GSJ Workshop for Application of Groundwater Heat Source” を開催した。参加者は、CCOP 加盟国や協力国のメンバーで、地球科学関係の研究所、大学、天然資源環境省地下水資源局等の政府機関である。ワークショップは、表 16 のプログラムでの発表が行われ、セッション参加者と議論が行われた。参加者は、中国 3 名、ラオス 1 名、マレーシア 2 名、タイ 17 名、ベトナム 2 名、カナダ 1 名、イギリス 1 名、CCOP 事務局 4 名、日本 10 名、計 41 名であった。写真 9 に集合写真を示す。



写真 9 セミナー参加者集合写真

ワークショップは、COP Young Joo Lee 事務局長、矢野雄策 地質調査総合センター代表、DMR Sommai Techawan 局長が開会挨拶を行った。外部人材である産総研・地中熱チームの内田洋平が、CCOP-GSJ 地下水プロジェクトおよび地中熱サブプロジェクトの概要について発表。秋田大学の

藤井光教授が、タイにおける熱応答試験結果と地中熱システムの導入可能性を発表。そして、ミサワ環境技術の田中雅人が、本事業の概要と今後の計画について発表を行った。その他、タイ・チュラロンコン大学の Srilert Chotpantarat 氏とベトナム地球科学鉱物資源研究所の Trong Thang Tran 氏が、それぞれの地中熱システムに関する稼働状況と今後の地中熱普及に関する展望について発表した。また、東京工業大学の島田佑太郎氏がタイにおける地中熱システムの経済評価について発表した。最後に、JICA タイ事務所竹内和夫次長の挨拶で閉会した。

参加者は、地中熱に興味を持っており、それぞれの講演に対して、多くの質問がよせられた。タイ・バンコクのカセサート大学では独自に地中熱の研究を始めており、3名の研究者が本ワークショップに参加、ワークショップ後に情報交換を行い、2020年3月3日にカセサート大学において、地中熱に関するワークショップが開催されることとなった（コロナウイルスで延期）。

表 16 ワークショッププログラム

16:30-16:40
Welcome Address (Dr. Young Joo Lee, Director of CCOP, and/or Dr. Yano, Director General, GSJ) Opening Speech (Dr. Sommai, Director General, DMR)
16:40-16:55
1. CCOP-GSJ Groundwater and GSHP Project (Dr. Uchida, GSJ)
16:55-17:10
2. Experimental test of GSHP in Chulalongkorn Univ. (Dr. Srilert, Chulalongkorn Univ.)
17:10-17:25
3. Experimental test of GSHP in Vietnam (Mr. Trong Thang Tran, VIGMR)
17:25-17:45
4. Thermal Response Test in Thailand (Prof. Fujii, Akita Univ.)
17:45-18:00
5. Reduction of CO2 emission and economical evaluation of GSHP in Thailand (Mr. Shimada, Tokyo Institute of Technology)
18:00-18:20
6. Outline of JICA Project (Dr. Tanaka, Misawa Environmental Technology)
18:20-18:30
Discussion for GSHP promotion in CCOP member countries. Closing Speech (Mr. Takeuchi, JICA Thailand office)

(3) 本邦受け入れ活動

帯水層の地中熱を利用する高効率冷房システムの技術と、システムの計画、提案、調査、設計、構築を含むミサワ環境技術の一貫した技術の理解を深めてもらうことを目的として、2020年1月26日～2月1日の日程で、本邦受入活動を行った。参加者はDMR2名、DGR2名（他自費参加2

名)、DEDE1名である。

渋谷区立本町学園、産総研郡山研究所、猪苗代町庁舎、IKEA 立川店の地中熱源を利用した水冷式ヒートポンプによる冷房・暖房施設、福島大学の TRT の測定現場、飯坂クリーンサイトでは、地中熱方式融雪に必要なボーリングの掘削現場を見学し説明を受けた。また、ENEX2020 第 44 回地球環境とエネルギーの調和展で、地中熱利用促進協会、ミサワ環境技術、産総研、地中熱利用促進協会会員企業のブースを訪問し、日本の地中熱利用の最新技術等を、地中熱利用関係者からヒアリングを行うとともに情報交換を行なった。地中熱を利用する冷暖房システム故障がなく順調に稼働していることや、省エネ効果等を、確認した。地中熱を利用する冷・暖房システムの技術と、システムの理解を深めた。写真 10、写真 11 に受け入れ活動の写真、図 46 に DMR のレポート、図 47 に DGR のレポートを示す。



写真 10 猪苗代町庁舎 水冷ヒートポンプ



写真 11 飯坂クリーンサイト地中熱方式融雪ボーリングの掘削現場



図 46 DMR 本邦受け入れ活動レポート



図 47 DGR 本邦受け入れ活動レポート

2-4 開発課題解決貢献可能性

従来の空気熱源ヒートポンプによる冷房は、室内の熱を奪い取り、外気に排熱して冷房する。この排熱は外気温より高いため、バンコク首都圏のヒートアイランド現象の一因となっている。一方、地中熱利用の高効率冷房システムは、再生可能エネルギーである地中の熱エネルギーを利用する。地中は年間を通して温度がほぼ一定で外気より冷たい地中に排熱するため、外気に影響を与えずヒートアイランド現象を抑制できる。

提案製品・技術の現地適合性は、バンコク首都圏で従来行われてきた空冷式ヒートポンプによる冷房の代替として、帯水層の地中熱を利用する水冷式ヒートポンプを導入することによる省エネ効果から、現地適合性を評価した。現地適合性を評価する指標は、COP、消費電力、電力代、温室効果ガス排出量、大気への放出熱量である。冷却能力 82.9kW の地中熱・水冷ヒートポンプを導入した時の開発課題解決貢献の評価結果を、表 17 に示す。

表 17 地中熱源・水冷ヒートポンプと空冷ヒートポンプの比較表

非公開

非公開

第3章 ODA 事業計画/連携可能性

3-1 ODA 事業の内容/連携可能性

3-1-1 ODA 事業の概要

(1) スキーム

ODA 事業は、JICA 中小企業・SDGs ビジネス支援事業の普及・実証・ビジネス化事業を提案する。

(2) 目的

帯水層の地中熱利用による高効率冷房システムを設置し、既存の空気熱源による冷房システムを代替して冷房を行なう。消費電力をモニタリングして、消費電力量の削減量から、省エネ効果、電力代削減効果、温室効果ガスの削減効果、大気中への排熱削減効果を検証して、技術的・経済的優位性を実証することを目的とする。

(3) 事業実施サイト

- バンコク首都圏（パトゥンタニ県） 国立地質博物館（DMR 所管）（P28 図 35 参照）

(4) C/P 候補機関

C/P は、DMR である。DMR は、タイ天然資源・環境省の内部部局の一つで、国立地質博物館の所有者である。施設の提供と設備の維持管理、ランニングコストの負担を行う。

下記の理由により、DMR を C/P に選定した。

- 室内冷房用のヒートポンプの熱源を高温の空気から、バンコク首都圏の帯水層の地中熱へ切り替えることは、タイ国では初めての試みである。帯水層の地中熱は、タイ国の資源の一つである。日本の地中熱利用技術をタイ国に導入・普及して、帯水層の地中熱利用を促進するためには、そのポテンシャル、技術的・経済的優位性を、公的に実証することがまず必要である。加えて、地盤沈下等への影響がないこと理論的に論証することが必要である。
- DMR は、地質学的知識と情報を適用して、タイの天然資源の効率的な開発を行い、タイ国民の生活の質と経済的および社会的発展を促進するための主要な政府組織である。DMR は、天然資源の賦存状況、および地質学的プロセスと現象に関連する問題について、地質学的な理解を提供するために、地質学的調査機関として国に貢献している。従って、DMR は、公的に実証、論証する政府機関として適している。
- DMR は、本 ODA 事業で、地質学的知識と情報を適用して、タイ国の天然資源である帯水層の地中熱の効率的な開発を行い、タイ国民の生活の質と経済的および社会的発展を促進したいと考えている。そして、バンコク首都圏の帯水層の地中熱源を活用するために、日本の地中熱利用技術をタイ国に導入・普及したいと考えている。

(5) C/P 協議状況

2020 年 1 月の調査で、DMR に ODA 事業の JICA とのミニッツのひな形を提示し、プロポーザルが採択された後、カウンターパートと JICA がミニッツに調印して初めてプロジェクトが動き出すので、なるべく早い時期にミニッツに調印することが望ましいことを説明。DMR は、C/P となることを了承した。ミニッツに添付する役割分担表（表 20 参照）を説明し、大筋合意した。

ボアホール掘削や水冷式ヒートポンプの設置の EIA は、国立地質博物館の土地のオーナーであ

る財務省に確認中である。駐車場での掘削に関しては、DMR は了解済みであり、新たに申請する必要はない。但し、掘削、配管工事後には元のコンクリート舗装に戻すことが条件である。水冷式ヒートポンプ等の冷房システムの運転による電力代は DMR が負担する。また、運転に伴う日常の保守管理、データ管理も DMR が実施することを了解した。ODA 事業期間中、地中熱利用水冷式ヒートポンプ冷房システムは JICA に帰属するが、終了後は DMR に所有権が移る。終了後も適切な運用を了解した。

表 18 役割分担表

	Japanese Side	Thai Side
EIA approval (If necessary)		○
Approval and permission for drilling work, installation of GSHP, and its operation (If necessary)		○
Transportation of GSHP system	○	
Tax benefits documentation for the importation of the GSHP system		○
Obtaining permits for the use of the parking lot for the drilling heat exchangers		○
Obtaining permits for the removal of concrete pavement for the drilling heat exchangers	○	
Drilling for the GSHP heat exchangers, U-tube insertion, Water brine filling in the U-tube	○	
Pipe laying work between heat source wells and the heat pump	○	
Restoration of the land (parking lot) back to current status after drilling	○	
Installation and commissioning of GSHP system	○	
Cold water pipe laying work beyond heat pump	○	
Wiring works for power and controller after installation of the control panel	○	
Electricity for the control panel		○
Running cost of electricity, personnel expenditure, etc.		○
Operation and management of the GSHP System		○
Monitoring of the electric consumption of the GSHP System, inlet/outlet water temperatures and water flow	○	
Technical transfer for the plant operation, management and maintenance	○	○
Training in Japan for the persons to be involved in the GSHP operation and maintenance	○	
Establishment and holding of an evaluation committee composed by DMR, DEDE and Chulalongkom University	○	○

EIA: Environmental Impact Assessment

GSHP: Ground Source Heat Pump

DEDE: Department of Alternative Energy Development and Efficiency

(6) 他 ODA 事業との連携可能性

BMA は、JICA の技術協力プロジェクトの下で「2013 年から 2023 年までのバンコク都気候変動マスタープラン」の策定を行った。そして、JICA は、「バンコク都気候変動マスタープラン 2013-2023 実施能力強化プロジェクト（2017 年 12 月～2022 年 12 月）」で、気候変動対策の専門家を派遣している。気候変動対策専門家は BMA の専門の部署である気候変動戦略室とともに、マスタープランの実施能力を向上させるプロジェクトを統括し、タイ政府や民間など関係者との連携を進めている。

バンコク都北部・バンスーでは、タイ運輸省が、JICA からの支援を受け、バンコク都の北部のバンスー中央駅の建設に伴い、駅周辺地域をスマートシティとして再開発を進めている。JICA は、2017 年 11 月に JICA 「バンスー地区再開発に係る情報収集・確認調査」の最終報告書を作成し、同報告書で開発ビジョン、コンセプト、推進体制等の提案を行った。そして、「バンスー中央駅周辺総合開発計画（2018 年 10 月～2019 年 6 月）」の調査を実施、2018 年 9 月から、スマートシティ開発専門家をタイ国鉄に派遣している。

本 ODA 事業で導入する設備は、バンコク首都圏の帯水層の地中熱を活用して、空調システムの省エネ化を行うものである。「2013 年から 2023 年までのバンコク都気候変動マスタープラン」の省エネの具体的なプロジェクトとして、有効な設備である。また、「バンスー中央駅周辺総合開発」は、スマートシティとして再開発を進めており、省エネを進める上で、有効な設備である。

気候変動対策専門家とは第 1 回調査で、スマートシティ開発専門家とは第 2 回調査で情報交換を行なった。今後とも、両専門家との情報交換等を緊密に行い、バンコク都気候変動マスタープランの関係者、バンスー中央駅周辺総合開発の関係者に ODA 事業の実証活動を公開し、帯水層の地中熱利用による高効率冷房システムの技術的・経済的優位性をアピールしていきたいと考えている。

3-1-2 ODA 案件内容

(1) 日本側投入

国立地質博物館では、現在、冷房能力 580kW の空気熱源ヒートポンプ 4 台で冷房を行っている。ODA 事業では、図 48 に示すように、既存の空冷式ヒートポンプによる冷房の一部を、帯水層の地中熱源を利用する水冷式ヒートポンプによる冷房に切り替えることで、冷房の消費電力を削減する。

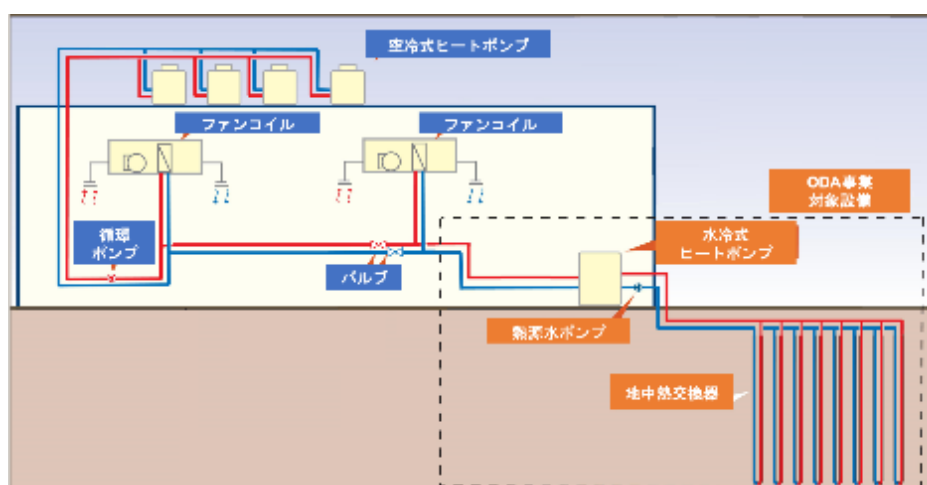


図 48 ODA 事業地中熱利用水冷ヒートポンプ冷房システム導入計画

帯水層の地中熱源を利用する水冷式ヒートポンプシステムの設備を表 21 に示す。案件化調査で実施した TRT の結果、国立地質博物館の交換熱量は、43.0W/m であった。したがって、ボーリング深度は、50m で U チューブを挿入するボアホールのボーリング本数は、45 本である。冷却能力は 75.2kW を想定している。

表 19 導入する設備

名 称	規格・寸法	数 量	単 位	単 価	金 額 千円
水冷式ヒートポンプ	冷却能力 103kW 消費電力 116kW	1	台	5,900	5,900
熱源水ポンプ	φ65 x 460ℓ/min INV	1	台	300	300
膨張タンク		1	台	300	300
地中熱交換器	ボアホール L=50m	45	ヶ所	400	18,000
機器据付費			一式		500
熱源水配管工事			一式		7,000
モニタリング装置			一式		1,200
制御計装工事			一式		500
付帯工事			一式		400
駐車場コンクリート剥がし・現状復帰					3,000
合計					37,100

水冷式ヒートポンプは、事務棟（正式名称は 1 階）の玄関に設置を予定している。合わせて、モニター設備も設置し、ODA 事業を来訪者に公開する計画である。事務棟に設置されている既設の空調機とファンコイルの一覧を、表 22 に示す。表中の着色したファンコイル（空調器：冷気の吹き出しファン）を対象とするシステムを検討した。

表 20 水冷ヒートポンプによる冷房の空調機能力一覧

	部屋No	空調機タイプ	冷房能力
			kW
廊下	1-5	エアハンドリングユニット	39.4
事務室	1-7,1-6	ファンコイル	10.7
事務室	1-12	ファンコイル	7.2
事務室	1-8	ファンコイル	16.1
事務室	1-13,1-14	ファンコイル	14.3
事務室	1-9	ファンコイル	16.1
事務室	1-16	ファンコイル	12.5
事務室	1-11,1-10	ファンコイル	10.7
ホール	1-1	エアハンドリングユニット	50.1
ホール	1-2	エアハンドリングユニット	57.3
ホール	1-3	エアハンドリングユニット	43.0
機械室	1-1	ファンコイル	10.7
機械室	1-17	ファンコイル	10.7
事務室	1-15	ファンコイル	17.9
本館	1-4	エアハンドリングユニット	35.8
大展示室	1-2,1-3	ファンコイル	12.5
大展示室	1-7	エアハンドリングユニット	49.2
大展示室	1-4	ファンコイル	10.7
大展示室	1-5	ファンコイル	10.7
大展示室	1-6	エアハンドリングユニット	121.2
合計			605.5

事務棟2階の冷水の配管図を図49に示す。赤く着色した配管がODA事業で追加する配管で、赤く着色したファンコイルが事務室の空調で、ODA事業の設備対象である。

事務棟2階に導入することで、冷房する対象が事務室に限られており、データの計測や来訪者への説明が容易である。

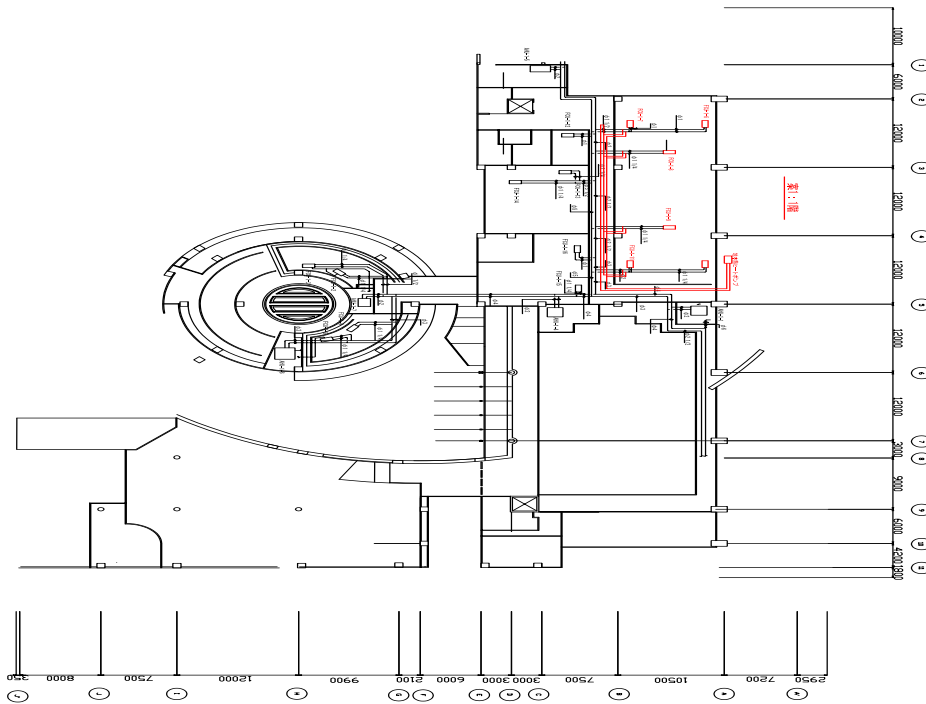


図 49 事務棟2階の冷水配管図

(2) C/P 投入

DMRは、ODA事業実施にあたり、帯水層の地中熱利用による高効率冷房システムの熱交換器設置のための用地（駐車場）、ヒートポンプ設置場所、モニタリング設備・制御盤設置場所、事務棟の既存の冷房設備を提供する。また、設置工事に必要な、電気、水を提供する。

設備設置後、そしてODA事業終了後は、設備の維持管理に責任を持ち、設備のランニングコストを負担する。また、電力消費量のモニタリングを行う。

(3) 事業の実施体制

ODA事業の事業実施体制を図50に示す。

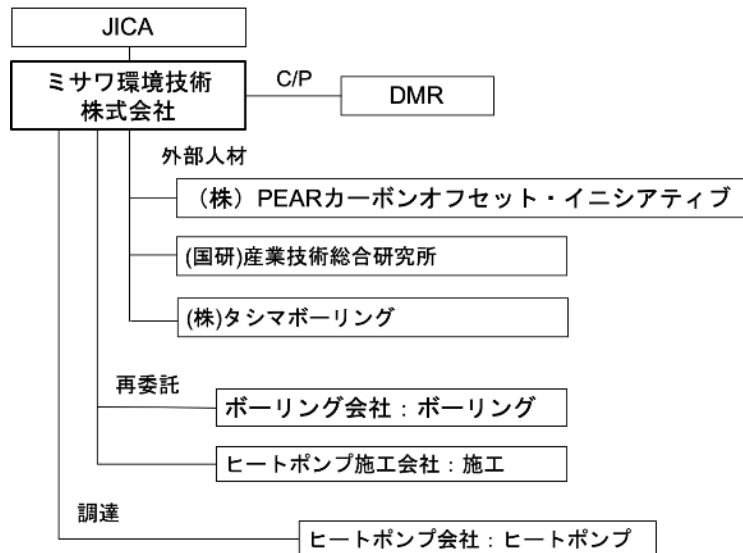


図 50 事業実施体制

(4) 事業の実施スケジュール

2021年6月に普及・実証・ビジネス化事業に応募し、2022年3月から事業を開始する計画である。ODA事業の事業実施スケジュールを図51に示す。

活動	2021年												2022年												2023年		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
普及・実証・ビジネス化事業																											
地中熱冷房システム設計	■	■	■																								
ヒートポンプ発注				■																							
ヒートポンプ制作				■	■	■	■	■																			
地中熱交換器設置箇所舗装撤去				■		■	■																				
舗装版復旧								■	■																		
ボーリング・熱交換器挿入				■	■	■	■	■																			
屋外配管							■	■																			
屋内配管							■	■																			
ヒートポンプ設置・制御計装							■	■																			
試運転									■																		
冷房運転・計測										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
帯水層の地中熱を利用した冷房システムの一 般公開・HPでの情報発信										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
データ整理、評価とりまとめ																							■	■			
評価委員会			■																					■			
贈呈式																											■
DMRによる活動																											
冷房運転・計測																											■
帯水層の地中熱を利用した冷房システムの一 般公開・HPでの情報発信																											■

図 51 事業スケジュール

(5) 成果

事業実施により期待できる効果の試算値を、表 23 に示す。493 千円/年の電気代の削減効果がある。設備の維持管理の費用は電気代であることから、DMR が費用負担を行うことは可能である。

表 21 ODA 事業効果

指標	地中熱・水冷 ヒートポンプ	空冷 ヒートポンプ	効果
COP	3.88	2.83	省エネ率 26%
年間消費電力量	72.1 MWh	98.8 MWh	▲ 26.8 MWh
年間電力代	1,342 千円	1,835 千円	▲ 493 千円
温室効果ガス排出量	42.5 t-CO ₂ e	58.3 t-CO ₂ e	▲ 15.8 t-CO ₂ e
大気への放出熱量	0 GJ	355.9 GJ	▲ 355.9 GJ
運転日数：310日 運転時間：12時間 電力代 月額基本料：312 パーツ 1kWh 当たり料金：5.11 パーツ（ピーク時（月～金：9時～22時）） 0.5897 t-co ₂ /MWh (Combined Margin,2014); IGES List of Grid Emission Factors, 20180405			

・ 本事業の成果

成果 1. バンコク首都圏の国立地質博物館に、水冷式ヒートポンプの排熱を帯水層に放熱して冷房するシステムの技術と設備が導入される。

成果 2. バンコク首都圏の国立地質博物館に設置された帯水層の地中熱源を利用する水冷式ヒートポンプ冷房システムが、適切に運営が行われ、冷房の消費電力が削減され、大気中への放熱量と CO₂ 排出量が削減されて、技術の有用性が実証される。

成果 3. タイ国で帯水層の地中熱源を利用する水冷式ヒートポンプ冷房システムの普及に向けたビジネス展開計画が策定される。

・ 事業の内容(活動内容)

成果 1	活動 1-1 案件化調査結果に基づいて帯水層の地中熱源を利用する水冷式ヒートポンプ冷房システムが設計、施工され、設置される
成果 2	活動 2-1 帯水層の地中熱源を利用する水冷式ヒートポンプ冷房システムが DMR によって運転、管理が行われて、冷房が行われる。
	活動 2-2 運転、メンテナンスが適切に行われるように、日本での受入活動及び現地での技術指導を行う。
	活動 2-3 帯水層の地中熱源を利用する水冷式ヒートポンプ冷房システムの稼働状況のモニタリング結果を地質博物館で公開する。
	活動 2-4 帯水層の地中熱源を利用する水冷式ヒートポンプ冷房システムの稼働時の電力消費量のモニタリングデータにより、冷房の電力代の削減効果、大気中への放熱量と CO ₂ 排出量の削減効果を評価する。
	活動 2-5 エネルギー省、DMR、チェラロンコン大学等と評価委員会を設置して、活動 2-4 の評価結果をもとに、技術的・経済的優位性を評価する。
成果 3	活動 3-1 ODA 事業活動中に事業計画を作成するとともに、マーケティング、営業活動を行う。

3-1-3 本提案事業後のビジネス展開

室内冷房用のヒートポンプの熱源を高温の空気から、バンコク首都圏の帯水層の地中熱へ切り替えることは、大国では初めての試みである。ビジネス展開する上で、帯水層の地中熱源を利用する水冷式ヒートポンプシステムの技術的・経済的優位性を、公的に実証し、地盤沈下等への影響がないこと理論的に論証することが必要である。

本 ODA 事業で、帯水層の地中熱利用による高効率冷房システムを設置し、既存の空気熱源による冷房システムを代替して冷房の消費電力を削減し、省エネ効果、電力代削減効果、温室効果ガスの削減効果、大気中への排熱削減効果を検証して、技術的・経済的優位性を実証する。また、実証活動は、モニターで見える化し、主要ユーザーであるオーナー、デベロッパー、政府関係者に加えて、一般市民にも広く公開し、帯水層の地中熱利用による高効率冷房システムの認知度を高める。

国立地質博物館は、広く一般市民に開放され、小中高生の見学者も多いことから、本 ODA 事業終了後も、DMR が、一般市民を含め関係者に、帯水層の地中熱利用による高効率冷房システム運転状況を公開する。

3-2 ODA 事業実施における課題・リスクと対応策

水冷式ヒートポンプは、バンコク首都圏の帯水層の地中熱を利用する。地層は、熱伝導率が異なり、地域、深さ、地下水の有無などにより、ボーリング孔（帯水層）への排熱性能が異なる。このため、本調査で熱応答試験を行い、事前に熱伝導率を把握して、適切なボーリング総延長、ボーリング深度を決めた。これにより、帯水層の地中熱源を利用する水冷式ヒートポンプによる冷房システムが、帯水層の地質条件等に適合しないリスクを回避した。

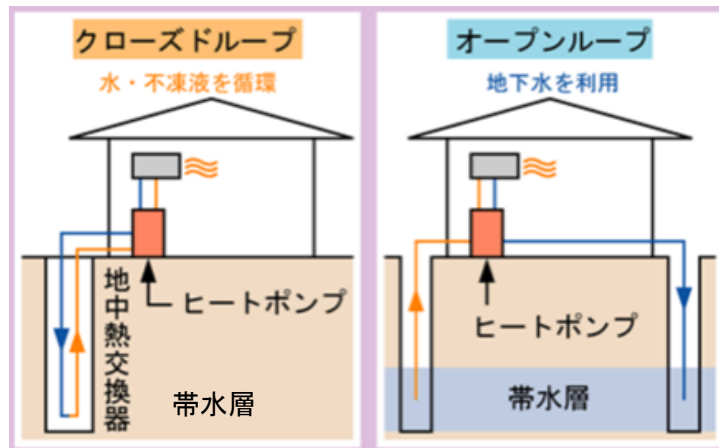
帯水層の地中熱源を利用する水冷式ヒートポンプによる冷房システムは、タイ国への導入が始まったばかりであり、帯水層に熱交換器を設置するためのボーリングは、高度な技術が必要である。ODA 事業では、ボーリング業者にボーリング技術を指導し、ボーリング孔が崩れるなどの技術リスクを回避する。

3-3 環境社会配慮等

帯水層の地中熱源を利用する水冷式ヒートポンプによる冷房システムは、排気、排水、騒音による環境負荷は無い。

帯水層の地中熱源を利用する水冷式ヒートポンプによる冷房システムは、クローズドループ方式とオープンループ方式に分けられる（図 52 参照）。クローズドループ方式は、地中の地中熱交換器に水を循環させて熱交換を行い、ヒートポンプで冷房を行う。オープンループ方式では、井戸から地下水を揚水してヒートポンプで冷房を行う。バンコク都市圏で採用する方式は、クローズドループ方式であり、地下水を汲み上げないため地下水位の変動、地盤沈下等への影響はない。

DMR は、帯水層の地中熱源を利用する水冷式ヒートポンプによる冷房システム設置において、特別な認可及び環境評価書が必要ないと表明している。



出典：NPO 地中熱利用促進協会

図 52 クローズドループ方式とオープンループ方式

省エネ対策、ヒートアイランド対策、火力発電所の大気汚染問題への解決策として、地中熱源ヒートポンプシステムを導入することで、電力の消費量と大気への空調設備の排熱が減る。これによって、二酸化炭素の排出量も削減され、温暖化防止に貢献する。さらには、ヒートアイランド現象を緩和し、火力発電所の大気汚染物質の発生量を減らすことで、バンコク市民の健康に貢献する。

3-4 ODA 事業実施/連携を通じて期待される開発効果

普及・実証・ビジネス化事業において地質博物館に地中熱ヒートポンプによる冷房システムを設置、運用し、電気使用量等のデータを取得して分析し、同システムの有用性を実証することで、開発課題に対する以下の効果が期待できる。

- 効果 1：年間の電気使用量が、98.8MWh から 72.1MWh へと削減され、空冷式ヒートポンプに対する省エネ効果が実証される。
- 効果 2：年間の電気使用量が、98.8MWh から 72.1MWh へと削減されることで、年間 CO₂ 排出量が 15.8t-CO₂e 削減され、地球温暖化の緩和に貢献することが実証される。
- 効果 3：年間の電気使用量が、98.8MWh から 72.1MWh へと削減されることによる電力料金の削減効果から経済性を評価して、経済的優位性が実証される。
- 効果 4：国立地質博物館での公開、セミナーでの発表、HP での発信により普及・実証・ビジネス化事業の成果を紹介することで、タイ国における帯水層の地中熱源を利用する水冷式ヒートポンプによる冷房システムの有用性及び優位性が認知される。
- 効果 5：タイ国で、室内冷房システムとして帯水層の地中熱源を利用する水冷式ヒートポンプによる冷房システムの普及が始まり、室内冷房によるヒートアイランド現象の緩和に貢献する。そして、室内冷房による CO₂ 排出量が削減されて、バンコク市の「バンコク都気候変動マスタープラン 2013-2023」の目標達成に貢献する。

第4章 ビジネス展開計画

4-1 ビジネス展開計画概要

短期的には、事業全体のマネージメントは日本で行い、GEO サービス提供会社の「現地責任者」が営業活動を行なって、タイ事業をスタートしたいと考えている。

次のステップで、提携先である企業選定を行い、ミサワ環境技術が50%未満の出資割合でタイの協力企業と新たに現地法人「タイ地中熱開発（仮称）」を設立し、技術移転を行い、ビジネス展開がおこなえるようにする計画である。

東南アジアには、ベトナムの紅河デルタ地帯、メコンデルタ地帯、タイのチャオプラヤデルタ地帯、ミャンマーのエーヤワディーデルタ地帯がある。それぞれ、ハノイ、ホーチミン、バンコク、ヤンゴンと、東南アジアでも有数の大都市が位置する（図 51 参照）。他のデルタ地帯でも、タイのチャオプラヤデルタ地帯同様に、河川の源水とする帯水層が賦存することから、地中熱利用による高効率冷房システムの普及の可能性がある。特に、ベトナムについては、CCOP-GSJ 地下水プロジェクト・フェーズ III の地中熱サブプロジェクトとして、バンコク首都圏同様に、紅河デルタ地帯のハノイ市で試験が進められていることから、ODA 事業の成果を踏まえて、ビジネス展開を図りたいと考えている。



図 53 東南アジアのデルタ地帯

4-2 市場分析

バンコク首都圏は、デルタ地域の帯水層の地中熱利用が可能である。バンコク都内におけるエネルギーセクターの GHG 排出量の 99%以上がバンコク都施設以外の民間等の施設からであり、またその 30%以上が商業施設や大規模ビル、工場からの排出である⁴。既存ビルでは冷房設備に多くのエネルギーを使用している。これらのビルの冷房に、帯水層の地中熱源を利用するヒートポンプシ

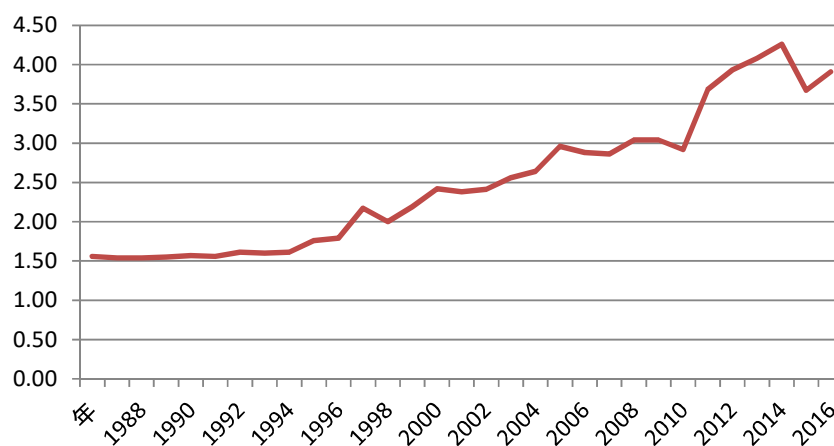
⁴ JICA タイ国 バンコク都気候変動マスタープラン (2013-2023 年)作成・実施能力向上プロジェクト プロジェクト事業完了報告書

システムによる冷房による省エネ改修を実施することで、大幅なエネルギー消費量削減が可能となる。

帯水層の地中熱源を利用する水冷式ヒートポンプによる冷房システムでは、地中熱交換器敷設のための敷地が必要である。既存の建物では、駐車場等の空地が必要となることから、郊外のショッピングモール、工場等が対象となる。グラウンドや緑地がある学校、公共施設も対象となる。新規の建物であれば、基礎杭とともに熱交換器を設置することが可能であることから、バンソー中央駅周辺開発等の再開発、新規大規模ビル建設等が対象となる。

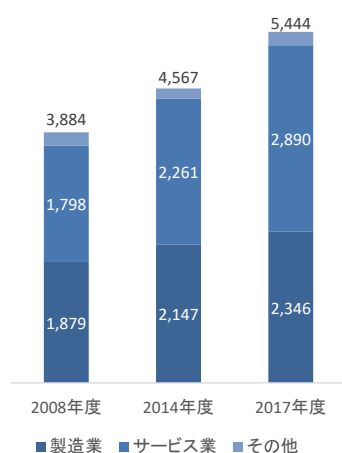
また、経済性を増すためには稼働時間が長い施設が、電力料金の削減効果大きい。病院、ショッピングモール、工場等が対象となる。

タイ国の電力料金は、約3年毎に改定される基本料金に、4ヵ月毎に改定される燃料価格 (Fuel Tariff) を加算して決定される仕組みになっている。図 54 に示すように、2017 年に入り天然ガス価格の上昇を受けて電力料金も再び上昇に転じている。ビル・ショッピングセンター所有者にとって、帯水層の地中熱源を利用する水冷式ヒートポンプによる冷房システム導入は、光熱費削減の経済的メリットが高いと言える。



出典：【テピアマンスリー今月の話題】2017 年 10 月号

図 54 タイ国の工業用(小規模事業者向)電気料金推移(平均値)



(注) 日系企業: 日本企業または日本人の出資が10%以上を占める企業

出典：JETRO 資料より みずほ銀行国際戦略情報部作成

図 55 日系進出企業の推移

冷房のための空調設備が必要な工場は、有望な市場である。タイへの日系企業の進出数は、図 55 に示すように右肩上がり増加しており、2017 年時点で 5,444 社が進出、内 2,346 社が製造業である（表 24 参照）。これらの工場は、図 56 に示すようにバンコク首都圏および周辺に集中していることから、主要な市場である。

表 22 製造業内訳

製造業内訳	2,346
食料品	135
飲料、たばこ、飼料	16
繊維	87
木材・木製品	8
家具・装飾品	16
パルプ・紙・紙加工品	33
印刷・同関連業	36
化学工業	128
石油・石炭製品	9
プラスチック製品	203
ゴム製品	69
窯業・土石製品	38
金属製造・加工	515
一般機械	222
電気機器	215
情報通信機械器具	56
輸送用機械器具	430
その他	130

出典：JETRO 資料より みずほ銀行国際戦略情報部作成



https://biz.wisebk.com/wp-content/uploads/2018wb_ie.jpg

図 56 タイ国の工業団地

非公開

表 23 設備投資額比較

非公開

非公開

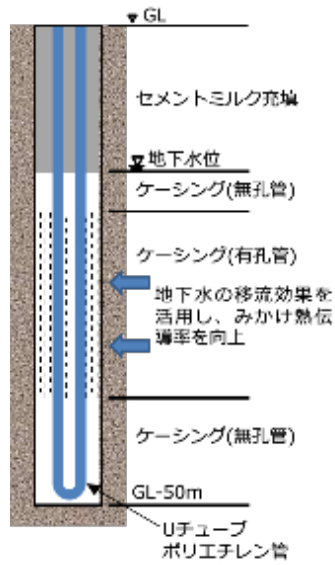


図 57 移流型地中熱交換器挿入工法

表 24 JCM 制度を活用した時のユーザーのメリット

非公開

4-3 バリューチェーン

非公開

非公開

非公開

図 58 GEO を活用した時のバリューチェーン

非公開

図 59 現地法人を設立した時のバリューチェーン

4-4 進出形態とパートナー候補

進出形態として、以下の5ケースを検討した。中長期的には④現地法人をミサワ環境技術 50%未満出資で設立し図 59 のバリューチェーンで進出、短期的には⑤GEOにより図 58 のバリューチェーンで、タイに進出したいと考えている。

- ① 駐在員事務所
- ② 支店
- ③ 現地法人：ミサワ環境技術 51%以上出資
- ④ 現地法人：ミサワ環境技術 50%未満出資
- ⑤ GEO

① 駐在員事務所

駐在員事務所は、現地において主に情報収集を行う形態で、企業活動を行うことができないため、対象外とした。

② 支店

外国企業の支店は営業活動が可能であるが、支店の税務、法務などの責任がタイ国と日本の両者に跨って複雑である。外国企業の本社がタイ国内から直接収入を得た場合は、歳入局 (Revenue Department) によってタイ国の課税対象であるとみなされる可能性がある。また、法律的责任が本社へ及ぶこともあるため、進出形態として一般的ではない。従って、対象外とした。

③ 現地法人：ミサワ環境技術 51%以上出資

製造業を除いて外国企業がタイ国内で事業を行うには「外国人事業法 (FOREIGN BUSINESS ACT B.E.2542 (1999))」を遵守することが求められ、最も重要な関連法である。外国人事業法は『外国人』が行ってはならない『規制事業』を規定し、外国人が規制業種を行う場合の条件、手続きを規定している。外国人事業法は、タイ国の地場産業を外資から守るために制定された法律であり、国籍法上の外国人だけでなく、資本の半分以上が外資の法人も外国人に含めている。従って、ミサワ環境技術が、『規制事業』資本金の51%以上を出資して、現地法人を設立した場合、外国人事業法の外国人と見なされる。資本の半分以上が外資の会社は、『規制事業』を行ってはならない。

非公開

④ 現地法人：ミサワ環境技術 50%未満出資

非公開

非公開

非公開

図 60 現地法人を設立した時の事業実施体制-1

非公開

図 61 現地法人を設立した時の事業実施体制-2

⑤ GEO⁵

GEO は、欧米企業を中心に海外進出時の事業形態として注目を集めている方法である。上記で記載したように、「現地法人」の手続きは煩雑で、大きなコストが必要となる。一方で、「支店」や「駐在員事務所」では規制や制限がある。その双方の課題を解決するために「雇用代行」という方法をとるのが、GEO である。

この方法では、短期間（最速2週間）、低コストで、タイ国にて事業活動（営業活動）をスタートさせることができ、不確定要素の多い海外ビジネスにおいて、柔軟な戦略を取ることができる手法である。タイの GEO サービスの提供会社とサービス契約を結び、GEO サービス提供会社

5 Digima “出島” <https://www.digima-japan.com/knowhow/thailand/13867.php>

が、ミサワ環境技術が指定する「現地責任者（タイ国でビジネスを任せたい人材）」を現地で雇用する。その人材が、サービス提供会社が提供するサービスの一環として、ミサワ環境技術の事業活動を行う。ミサワ環境技術は、自社の事業を任せるに相応しい人材を「現地責任者」として雇用する事ができる。この仕組みによって、煩雑な手続きを必要とせず、駐在員事務所ではできないような事業活動をタイ現地で行うことができる。

非公開

非公開

図 62 GEO を活用した時の事業実施体制

4-5 収支計画

非公開

表 25 収支計画

非公開

非公開

4-6 想定される課題・リスクと対応策

想定されるリスクは、下記の通りである。

- ・ 品質管理リスク：提携先である企業が、施工ミスをしたり、メンテナンス対応が出来なかったりすると、市場の信頼を失う。そこで、技術水準の高い現地企業と提携することで、施工、メンテナンスの体制を整えたいと考えている。提携企業に出張ベースではあるが日本から技術者を派遣して、技術移転を行い、施工、メンテナンスの管理レベルを高める。
- ・ 環境社会配慮リスク：地中熱源ヒートポンプシステムは、バンコク首都圏の帯水層の地中熱を利用する。帯水層を利用することから、地盤沈下等の風評被害が懸念される。DMR と連携し、バンコク市民等への帯水層の地中熱利用の広報活動を行い、風評被害を避ける。

4-7 ビジネス展開を通じて期待される開発効果

ビジネスをタイ国で展開し、帯水層の地中熱を利用したヒートポンプシステムが普及することに

より、以下の効果が期待できる。

効果1. バンコク首都圏をはじめ、タイ国のチャオプラヤ平野の都市において空冷式ヒートポンプで行われている冷房が、帯水層の地中熱を利用したヒートポンプシステムに切り替えられる。電力消費量が削減されて、電力需給の緩和に貢献する。

効果2. 電力消費量の削減により、火力発電所からの大気汚染物質の排出量が削減される。そして、CO₂排出量が削減されて、地球温暖化の緩和に貢献する。

効果3. 帯水層の地中熱を利用した水冷式ヒートポンプシステムに切り替えることで、ヒートポンプからの排熱は帯水層に放出される。冷房のため、これまで空冷式ヒートポンプにより大気中に放出されていた熱が削減され、バンコク首都圏をはじめ、タイ国のチャオプラヤ平野の都市において、ヒートアイランド現象の緩和に貢献する。

効果4. ベトナムのハノイ、ホーチミン等、アジア諸国のデルタ地帯で、帯水層の地中熱を利用したヒートポンプシステムの普及が始まる。これらの国々でも、電力消費量削減による電力需給の緩和に貢献する。そして、冷房のためのヒートポンプからの排熱が帯水層に放出され、ヒートアイランド現象の緩和に貢献する。

4-8 日本国内地元経済・地域活性化への貢献

ミサワ環境技術は、広島県の業種機械部門において「地中熱エネルギーシステム」で、広島県のオンリーワン/ナンバーワン企業に登録されており、広島県の企業間の技術提携や新規産業創出への原動力となっている。ミサワ環境技術は、広島県では40件、本社が位置する三次市では10件以上納入、「地中熱利用システムの開発・事業化」で環境にやさしい技術開発と地域への導入が評価されて、2001年に「ひろしま環境賞」を受賞、三次市においても「みよし環境大賞特別賞」を2007年に受賞している。この他、2004年には「地球温暖化防止活動環境大臣賞」、2009年に「食品産業CO₂削減大賞農林水産大臣賞」、2012年に「サステナブル建築賞小規模建築部門国土交通大臣賞」、2017年に全建賞をそれぞれ受賞し、広島県北部の三次市より、全国に向けて再生可能エネルギー熱である地中熱の普及に貢献していることが評価されている。

また、福島県内では、国交省のプロジェクトで1998年より猪苗代湖内の湖水熱を利用した融雪システムの開発を行ったことがきっかけで、会津若松市に福島営業所を開設し、会津地方を中心に地中熱利用の融雪や空調設備の導入を行ってきた。特に東日本大震災以降は、福島県で、日本大学、産総研福島再生可能エネルギー研究所、県内企業との産官学連携を行い、さらには、2017年には地元企業と福島県地中熱利用技術開発有限責任事業組合を設立し、福島県の地中熱を含む再エネ普及に取り組んでいる。

ミサワ環境技術は、これまでに地中熱事業で全国展開しているものの、東・北日本エリアの寒冷地での導入実績が多く、温暖地である特に西日本エリアでの実績は少ない傾向にある。今回、熱帯であるタイ国国内にて、冷房主体とする施設において高効率な地中熱ヒートポンプシステムの導入実績ができることにより、冷房需要の多い西日本エリアへの市場展開が容易となる。IKEA福岡新宮では、実際に冷房需要の大きな施設で、大きな省エネ効果が得られている。広島県をはじめとする西日本エリアにおける冷房需要ないし冷却規模の大きい施設には、タイ国内での実績・効果が生かせる可能性が大きい。地中熱設備は、地中熱交換器を設置するためのボーリング工事から配管工事、機器設置工事や制御・計装工事など多様な業種の企業の参画が可能となる。東・北日本に留まらず、西日本地域にも省エネ効果の大きい地中熱ヒートポンプシステムの導入・普及が進むことにより、地域の経済、活性化に大いに貢献できるものである。

SUMMARY

1. Development issue of target country and area

Kingdom of Thailand (Thailand) plans to reduce energy consumption per unit of GDP by 30% compared to 2010 by 2036 as described in “Energy Efficiency Plan 2015-2036 (EEP 2015)” announced in 2015. Also in Nationally Determined Contributions (NDCs) of the Paris-Agreement, a 20% reduction in GHG emissions relative to business-as-usual (BAU) in 2030 is proposed and promoting energy conservation is becoming an urgent task.

All heat pumps of air conditioners in Bangkok, the capital of Thailand, are air-source type. Along with economic development, energy consumption for air conditioning is expected to increase in commercial facilities, office buildings and condominiums, etc. Promotion of energy conservation in these sectors is an issue. Air conditioners release a large amount of high-temperature waste heat to the atmosphere, which is a cause of heat island phenomenon and also affecting global warming. Furthermore, since the power consumption of the air-source heat pump (ASHP) system is large, it has crucial influence on the tightness of electricity supply and demand.

GHG reduction target of Thailand is to reduce GHG emissions by 2030 up to 25% compared to BAU. The electricity power sector accounts for 36.2% of CO₂ emissions in 2018 and is the largest source of emissions among sectors. In order to achieve the target, the National Power Development Plan 2018 from 2018 to 2037 states that the CO₂ emission from electricity in 2037 would be decreased to 0.283 kg CO₂/kWh and 103,845 thousand tons. The CO₂ emission from electricity in January 2019 is 0.480 kg CO₂/kWh, and it is necessary to further reduce 0.197 kg CO₂/kWh. For this reason, in the electric power sector, further efforts for energy saving are required along with the spread of renewable energy, and it is necessary to introduce highly efficient energy saving technology in order to reduce CO₂ emissions.

2. Purpose

Misawa Environmental Technology Co., Ltd. (MISAWA) provides consistent services including planning, proposal, investigation, design, construction and maintenance of groundwater heat source utilization systems, except manufacturing of groundwater source heat pump (GSHP). MISAWA plans to introduce GSHP cooling system that utilizes groundwater heat source instead of traditional air conditioners using ASHP in the Capital Region of Bangkok. The purpose of this survey is to confirm whether the system introduced can reduce electricity consumption and can contribute to improve heat island phenomenon and mitigate global warming.

The current situation of the use of ASHP in Bangkok and the technical and economical compatibility of GSHP cooling system using groundwater heat source are studied in the survey. The verification survey and business plan is also prepared through the survey.

3. Survey area and country

Capital region of Bangkok (Bangkok City, Nonthaburi Province, Samut Prakan Province, Pathum Thani Province, Samut Sakhon Province, Nakhon Prathom Province) in Thailand (see Figure 1).



Figure 1 Survey site (Capital Region of Bangkok)

4. Proposed company, product and technology

(1) Outline of the proposed product and technology

As a result of the study by CCOP (Coordinating Committee for Geoscience Programs in East and Southeast Asia), subsurface thermal structure in the Chao-Phraya Plain, downstream area of Chao-Phraya River where Bangkok city is located, has been clarified. Groundwater to be used as heat source can be characterized by two thick aquifers at the depth of around 50 meters and 100 meters as shown in Figure 2. The temperature of the first Bangkok aquifer at the depth of around 50 meters is 27~30°C, which is lower than the maximum temperature in Bangkok throughout the year. Accordingly, this aquifer can be used as heat sink for the cooling system as shown in Figure 3.

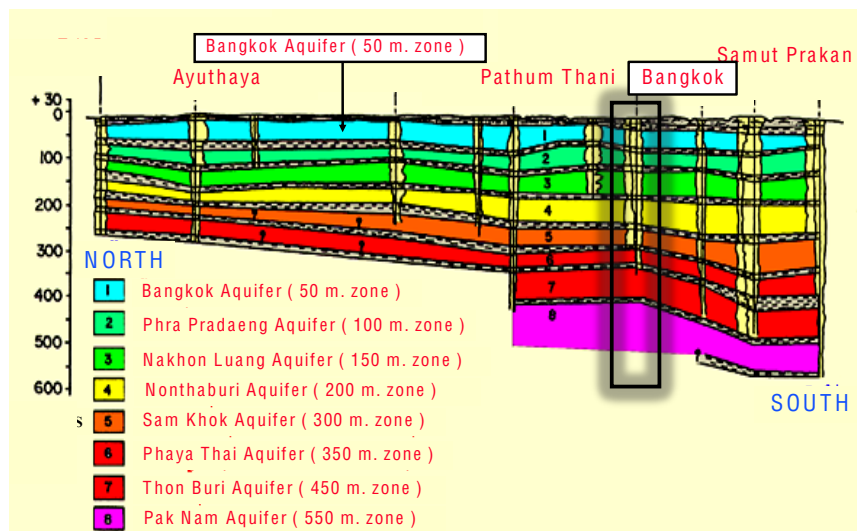


Figure 2 Aquifers system in Bangkok

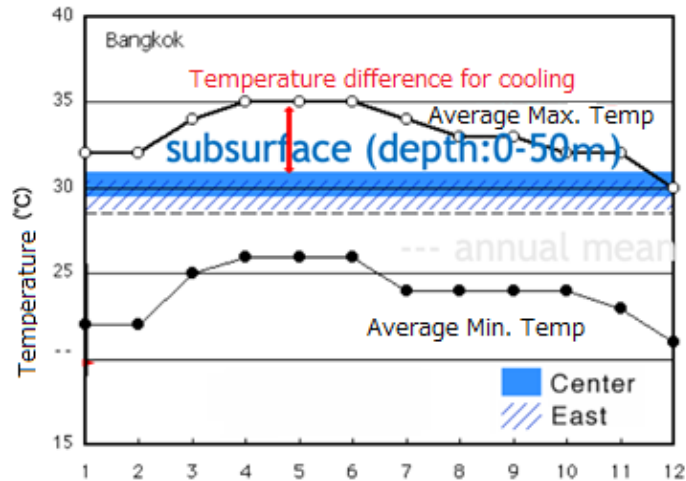


Figure 3 Maximum and minimum temperature of air and aquifer in Bangkok

There are two types of air-conditioning systems for large facilities such as buildings and shopping malls. Those are central heat source type (central air-conditioning) and individual heat source type (multi-air-conditioning), depending on where heat sources such as refrigerators are placed. The proposed technology is “central heat source type” air conditioning system.

The central heat source type is a method of air-conditioning by combining heat source devices (heat pumps or the like) and air conditioners (fan coils or the like). Heat pumps are roughly classified into air-cooled and water-cooled types.

- Air-cooled heat pump radiates heat from the condenser to the outside air to create cold water.
- Water-cooled heat pump radiates heat from the condenser to cooling water to create cold water

In Thailand, cooling is usually performed with air-cooled heat pumps. The proposed technology is cooling with water-cooled heat pumps. Usually, cooling water is produced in cooling towers and sent to heat pumps in the water-cooled type. The proposed technology is a method in which underground heat exchangers radiate heat to aquifers to cool the cooling water instead of cooling towers and sends it to heat pumps. The water cooled by heat pumps is sent to fan coils and used for cooling (see Figure 4).

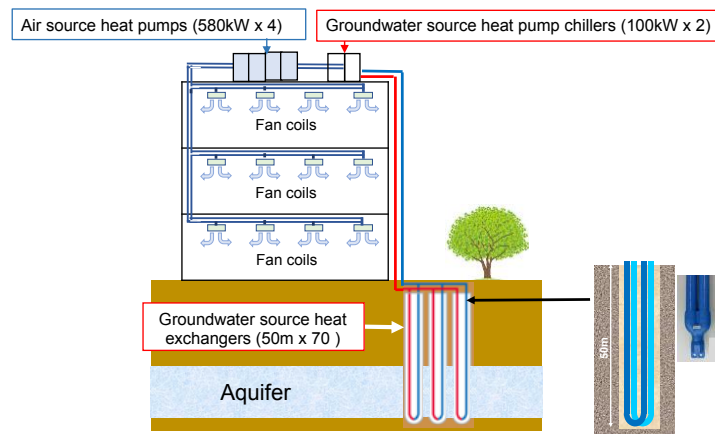


Figure 4 Schematic diagram of GSHP system

The system consists of underground heat exchangers, GSHP, indoor units, and the like. U-tube (underground heat source exchanger) made of polyethylene with an outer diameter of 42 mm are installed in 50m depth boreholes with diameter of about 200 mm in Capital Region of Bangkok.

(2) Adaptability of the product and technology to the field

In this feasibility survey, drilling a borehole and thermal response test (TRT) were conducted at National Geological Museum where the ODA project is proposed to be implemented. As a result of the drilling, a layer mainly composed of medium to coarse sand is located between GL-39 and GL-46m, and this layer is considered to be an aquifer. The apparent thermal conductivity λ_s of Well-1 (new well) in the National Geological Museum was estimated to be 1.74 W/m/K, and that of Well-2 (existing well) was 1.69 W/m/K, based on the TRT. Since these apparent thermal conductivity values are higher than those of soil without general groundwater flow, and are recognized to be influenced by groundwater flow, it is considered to be advantageous for utilization of underground heat source.

The possibility of introducing and disseminating GSHP was evaluated by assessing high or low potential area of groundwater source heat utilization (groundwater source heat potential) based on the underground environment data (groundwater flow velocity, groundwater level, temperature, etc.) of CCOP for aquifers in Capital Region of Bangkok area.

Relatively good values are indicated around Chao Phraya River. It is considered that the groundwater level greatly affects the heat exchange capacity of GSHP system from these results. The reason is that the closer the groundwater level is to the surface, the more the stratum is saturated with water, and the higher the effective thermal conductivity of the stratum is. Therefore, it seems to be preferable to use groundwater heat in the area where groundwater level recovers quickly such as along rivers or floodplains or where there is no pumping well nearby in Thailand. Since the installation of GSHP system along Chao Phraya River where many people live is particularly preferable, it is estimated that promoting introduction of the system contribute to suppression of heat island phenomenon and also contribute to improvement of environmental problems in Southeast Asia.

(3) Potential for solving development issues

An index indicating how many kW of heat can be taken (cooled) when 1kW of electricity (fuel) is supplied to a heat pump is called coefficient of performance (COP). COP is used as a measure of the energy consumption efficiency of cooling equipment, etc., and the higher the COP value is, the better the energy saving performance is.

Based on the energy saving effect of introducing GSHP as an alternative to air-cooled heat pump that is conventionally used in Capital Region of Bangkok, the local suitability of the proposed products and technologies was evaluated. Indicators for the evaluation are COP, power consumption, electricity cost, GHG emissions, and the amount of heat released to the atmosphere. Table 1 show the evaluation results when GSHP with cooling capacity of 82.9 kW is introduced.

Table 1 Comparison of GSHP and ASHP

Indicator	GSHP	ASHP	Effect
COP	3.88	2.83	Energy saving rate 26%
Annual power consumption	81.1 MWh/y	109.0 MWh/y	▲ 27.9MWh/y
Annual electricity cost	1,508 k yen/y	2,021 k yen/y	▲ 514 k yen/y
Annual amount of GHG emissions	47.8 tCO ₂ e/y	64.3 tCO ₂ e/y	▲ 16.4 tCO ₂ e/y
Annual amount of heat released to the atmosphere	0.0 GJ	403.9 GJ	▲ 403.9 GJ
Operation days: 310 days/y Operation time: 12 hours/day Electricity bill: Basic charge 312 baht/month, meter rate charge 5.11 baht/kWh (Peak time Mon-Fri: 09-22) GHG emissions of electricity: 0.5897 t-CO ₂ /MWh (Combined Margin, 2014 : IGES List of Grid Emission Factors, 5 th April, 2018)			

5. Work program of ODA project

(1) Scheme

SDGs Business Verification Survey with the Private Sector is proposed as ODA project .

(2) Objective

A high-efficiency GSHP cooling system using heat source of aquifers is installed and the existing air-heated cooling system is replaced. The objective is to demonstrate technical and economic advantages of the proposed system by monitoring power consumption and verifying the energy saving effect, reduction of power cost, reduction of greenhouse gas emissions, and reduction of exhaust heat into the atmosphere based on the amount of reduction in power consumption.

(3) Candidate counterpart agency and organization

Department of Mineral Resources (DMR)

DMR is one of internal departments of Ministry of Natural Resources and Environment (MoNRE) and the owner of National Geological Museum. DMR will provide facilities, maintain equipment and bear running costs for the project.

(4) Project site

National Geological Museum (owned by DMR), Pathum Thani Province, Capital region of Bangkok

(5) Activity of the project

National Geological Museum currently uses four 580 kW ASHP for cooling. By the ODA project, a part of the existing ASHP cooling capacity, that is, cooling system only for the second floor of the office building is switched to GSHP. Thus, the power consumption for cooling is reduced.

The heat exchange rate at National Geological Museum was 43.0 W/m. It is planned to drill 45 boreholes down to 50m depth in order to insert U tubes and connect with GSHP system. Total cooling capacity is estimated 75.2 kW. The GSHP is planned to install at the entrance of the office building. At

the same time, a monitoring facility is installed to release the result of the ODA project to visitors. As monitoring area is limited in the project, it is easy to measure data and explain the result to visitors.

(6) Outcome of the project

Outcome 1: The technology and equipment of cooling system that radiate the exhaust heat of GSHP to aquifers are introduced to National Geological Museum in Capital region of Bangkok.

Outcome 2: The GSHP cooling system using heat source of aquifers installed at National Geological Museum is operated properly, and the power consumption for cooling is reduced. As a result, the amount of heat released into the atmosphere and CO₂ emissions are reduced and the usefulness of the technology is demonstrated.

Outcome 3: Business development plans are formulated in Thailand to promote the use of GSHP cooling system using heat source of aquifers.

(7) Content of the project (Activity content)

Outcome 1	Activity 1-1: GSHP cooling system using heat source of aquifers is designed, constructed and installed based on the results of the feasibility survey.
Outcome 2	Activity 2-1: GSHP cooling system using heat source of aquifers is operated and managed by DMR to perform cooling.
	Activity 2-2: Invited activities in Japan and technical guidance on site are provided in order to operate and do maintenance appropriately.
	Activity 2-3: Monitoring results of the operation status of GSHP cooling system using heat source of aquifers will be released at National Geological Museum.
	Activity 2-4: The effects of reducing electricity cost for cooling, the amount of heat released to the atmosphere and CO ₂ emissions are evaluated based on the monitoring data of power consumption during operation of GSHP cooling system using heat source of aquifers.
	Activity 2-5: The evaluation committee is established with Ministry of Energy, DMR, and Chelalongkom University to evaluate the technical and economic advantages based on the evaluation results of Activity 2-4.
Outcome 3	Activity 3-1: Business plans are created and marketing and sales activities are conducted during ODA project.

(8) Expected impacts through the ODA project

The verification survey will demonstrate the usefulness of the system by installing and operating GSHP cooling system at the Geological Museum. As a result, the following impact on development issues can be expected.

Impact 1: Energy saving effect relative to ASHP is demonstrated by reduction of annual electricity consumption from 98.8 MWh to 72.1 MWh.

Impact 2: Contribution to mitigate global warming is demonstrated by reducing 15.8 tCO₂ of GHG emissions annually due to reduction of annual electricity consumption from 98.8 MWh to 72.1 MWh.

Impact 3: Economical advantage is demonstrated by evaluating economics of electricity cost saving effect due to reduction of annual electricity consumption from 98.8 MWh to 72.1 MWh.

Impact 4: Availability and superiority of GSHP cooling system installed in Thailand are recognized by presenting the results of the dissemination and demonstration survey at seminars and introducing them at internet websites.

Impact 5: Onset of diffusion to utilize GSHP cooling system in Thailand contributes to mitigate heat island phenomenon due to heat released by ASHP air conditioning. Furthermore, reduction of CO₂ emissions from air conditioning contributes to achieve the goal of “Bangkok City Climate Change Master Plan 2013-2023”.

6. Business development plan

(1) Overview

For the time being, it is planned to control total management of the business in Japan, and start business activity by having “local managers” of Global Employment Outsourcing (GEO) service provider who conduct sales activities.

In the next step, a Thai company to be a partner is selected, and MISAWA establish a new local subsidiary, “Thailand Ground Source Heat Development (tentative name)”, with a stake of less than 50%. MISAWA also has a plan to carry out technical transfer to the company to advance business development.

(2) Expected impact of the business development

The following effects can be expected by expanding the business in Thailand and disseminating the GSHP cooling system.

Impact 1: Air-cooled heat pumps in cities at Chao Phraya Plain in Thailand, including Capital region of Bangkok, is replaced to GSHP systems using groundwater source heat. Power consumption is reduced, contributing to alleviate electrical power supply and demand.

Impact 2: Reduction of power consumption contributes to reduce emissions of air contaminants from thermal power plants. In addition, CO₂ emissions are reduced, contributing to the mitigation of global warming.

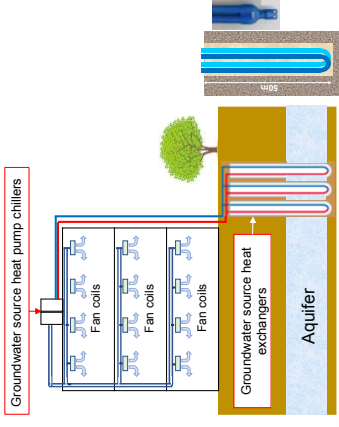
Impact 3: The exhaust heat of cooling is released to aquifers by replacing to GSHP system using groundwater source heat. Since the heat released into the atmosphere from air-cooled heat pump is reduces, it contribute to mitigate heat island phenomenon not only in Capital region of Bangkok but also in other cities at the Chao Phraya Plain in Thailand.

Impact 4: GSHP systems that use groundwater source heat are spread in delta regions of Asian countries such as Hanoi and Ho Chi Minh in Vietnam. Introduction of GSHP system reduce power consumption in these countries and contribute to alleviate electrical power supply and demand. Furthermore, as the heat exhausted from heat pumps for cooling is released to aquifers, it contributes to mitigate heat island phenomenon.

Feasibility Survey for Energy-saving Cooling System using Groundwater Heat Source Implementation Plan in Kingdom of Thailand

SMEs and Counterpart Organization

- Name of SME : Misawa Environmental Technology Company Limited
- Location of SME : Miyoshi City, Hiroshima Pref., Japan
- Survey Site : The National Geological Museum of DMR
- Counterpart Organization : MONRE, DMR, DGR



Concerned Development Issues

- 56.7% of total amount of power generation has been supplied by natural gas in the Gulf of Thailand, however, the gas field will be depleted in 2022, causing electricity supply and demand problems.
- CO₂ emission of the electric sector needs to be reduced for the alleviation of global warming.
- Heat island phenomena is getting serious by the exhaust heat from the air-cons in Bangkok area.

Products and Technologies of SMEs

- As an alternative to the air source cooling system, heat pump system using groundwater heat under 50m deep from the surface will be applied for cooling.
- No effect on ground subsidence and lowering of water table because of circulating water in closed loop in the heat exchanger wells underground.

Proposed ODA Projects and Expected Impacts

- Reduce electricity consumption used for indoor cooling by 38.8% and contribute to the alleviation of the power supply and demand.
- Reduce CO₂ emissions from indoor cooling system and contribute to the alleviation of global warming.
- Contributes to the alleviation of the heat island phenomenon caused by the exhaust heat of the air source cooling system.

