

平成 30 年度

地中熱を活用した省エネ技術の開発・普及事業委託業務

概要報告書

平成 31 年 2 月

沖縄県環境部環境再生課

中央開発・ワールド設計共同企業体

【目次】

1. 業務概要	
1.1 業務の一般事項	1
1.2 実施方法	2
1.3 地中熱活用技術の実証及びその他施設でのデータ収集・整理	5
1.4 普及モデルの検討	8
1.5 普及に関する検討・広報等	10
1.6 地中熱採熱期待値マップシステムの更新	15
1.7 計測施設の原状回復	16
2. 地中熱利用技術の実証及びその他施設でのデータ収集・整理	
2.1 県立総合教育センターにおける実証試験	17
2.2 県栽培漁業センター	28
2.3 県立博物館・美術館における地中温度測定	34
3. 普及モデルの検討	
3.1 地中熱利用システムの設計の流れ	38
3.2 普及モデルの設定	41
3.3 普及によるCO ₂ 削減量（一般家庭の試算例）	46
4. 普及に関する検討・広報	
4.1 普及のための情報収集	47
4.2 研修会等の実施	74
4.3 普及戦略の検討	94
4.4 シンポジウムの企画・開催	104
5. 地中熱採熱期待値マップシステムの更新	
5.1 地盤ボーリングデータベースの構築	126
5.2 熱物性値の整理	133
5.3 採熱能力計算用の地層のモデリング	136
5.4 設計採熱能力計算	149
5.5 地中熱採熱期待値マップの作成	152
5.6 地中熱採熱期待値マップシステムの更新	159
5.7 今後の課題	163
6. 計測施設の原状回復	
6.1 県立博物館・美術館	164
6.2 県立総合教育センター	166

1. 業務概要

1.1 業務の一般事項

1) 業務名称

平成 30 年度 地中熱を活用した省エネ技術の開発・普及事業委託業務

2) 履行期間

自) 平成 30 年 5 月 24 日 至) 平成 31 年 2 月 28 日

3) 業務場所

沖縄県下

4) 業務目的

「21 世紀ビジョン基本計画」に謳われている「低炭素島しょ社会の実現」に取り組むには、既存技術を活用した排出削減対策や環境教育等とおした地球温暖化防止対策等を推進するとともに、クリーンエネルギーに係る技術革新を進める必要がある。

本事業では、「平成 29 年度地中熱を活用した省エネ技術の開発・普及事業委託業務」の成果を踏まえ、主としてモデル箇所における実証事業等とおして、地中熱を活用した省エネ技術を県内に普及することを目的とした。

5) 業務内容

(1) 地中熱活用技術の実証及びその他施設でのデータ収集・整理等

- ① 県立総合教育センター（モデル施設）における実証
- ② 県栽培漁業センターにおけるデータ収集・整理
- ③ その他の施設

(2) 普及モデルの検討

(3) 普及に関する検討・広報等

- ① 普及戦略の検討
- ② 研修会の実施
- ③ シンポジウムの開催

(4) 地中熱採熱期待値マップシステムの更新

(5) 計測施設の原状回復

6) 受託者

中央開発・ワールド設計共同企業体

〒901-2131 沖縄県浦添市牧港 5-6-2 琉薬商事ビル 中央開発（株）沖縄支店内
（企業体構成員）

中央開発株式会社 沖縄支店 〒901-2131 沖縄県浦添市牧港 5-6-2 琉薬商事ビル
TEL：098-943-6071 FAX：098-943-6072

株式会社ワールド設計 〒901-2114 沖縄県浦添市安波茶 1 丁目 32 番 13 号
TEL：098-878-2215 FAX：098-879-0417

1.2 実施方法

1) 事業の目的と課題

すでに多くの省エネ技術が沖縄県内で活用されているが、再エネ技術としても位置づけられている地中熱利用による省エネ技術の普及は進んでおらず、未利用エネルギーが地中に眠っている。

地中熱利用技術の長所の一つに冷熱と温熱のどちらも同時に供給できる点が挙げられ、エアコンに比較して省エネポテンシャルが高い。同技術の利活用が少しでも進めば、省エネやCO₂削減に貢献できるにもかかわらず、今まで県内で普及しなかった原因は幾つか考えられ、主たる項目は以下のとおりである。

- ①地中熱利用は寒冷地における暖房設備の省エネ技術として開発されてきたため温暖地における適応可能性や温暖地向けシステムの研究事例が少ない。また導入事例もほとんどなく、そのために温暖地向けの地中熱機器開発も進んでいなかった。
- ②上記①に関連し、事業者の関心も薄いためユーザへの訴求力が弱く、認知度が極めて低い。
- ③全国に共通の課題でもあるが、導入コストがエアコンに比較して高い。

平成28年度から始まった本事業の目的は、これらの阻害要因を克服し、沖縄県内で地中熱利用技術を普及させる基盤をつくることにある。①については、大手メーカーの協力により、温暖地向けのヒートポンプの市場投入の目処がついたところである。②は継続課題として、今年度業務でも取り組んでいくことになる。③については、沖縄の地域性を考慮した施工方法や資材調達方法を、当初から大きな課題として捉えていたが、新しい機器や資材の開発、施工方法の改善など、不断の努力で導入コストの低減を図っていくことになる。

2) 業務の基本方針

本事業の最終年度となる今年度業務の基本方針は、過去2年間の成果を踏まえ以下のように定めた。

業務の基本方針

- ①実証施設を通じて地中熱利活用技術の省エネ性能を評価する。
- ②普及モデルを設定し、具体的なイメージとして事業者やエンドユーザに魅力を発信する。
- ③上記①②を踏まえ、具体的な普及戦略を構築する。

平成 28 年度は各種の基礎的調査を行った。その中で、未知であった沖縄に固有な地盤の熱物性値を確認し、そのデータを用いて事業者が設計ツールとして使うことができる、沖縄版の「採熱期待値マップシステム」を開発した。また、産学連携チームの一員として、3～5kW 級温暖地向けブライン式ヒートポンプの開発に協力した。本機器は、沖縄など、冷房需要の多い地域の一般家庭や小規模施設への普及を目指すべく開発されたもので、在来型のヒートポンプに比較して高い冷房能力を有している。昨年度、本機器を県立総合教育センター（モデル施設）に設置した。今年度は、空気熱ヒートポンプとの性能比較を通じて省エネ性を評価した。

周囲を海に囲まれた沖縄県は、地下海水利用も大きなポテンシャルを持っている。地下海水の直接利用を行っている県栽培漁業センターの昨年度の計測からは、高い省エネ性が示された。地下海水利用は、漁業だけではなく、臨海地の地中熱利用技術として注目され、今年度も継続して分析を行った。

地中熱利用技術は、通常の空気熱エアコン以上に一般ユーザには理解が難しい。しかし、一般ユーザはそのプロセスがブラックボックスであっても、経済性、利便性や快適性を具体的に示すことができれば、納得することが出来る。一方、技術者にはブラックボックス部分の設計事例を示すことにより、スキルアップに結びつけることができる。普及モデルを設定し、具体的な設計を進めれば、一般ユーザ、技術者共に満足させるツールとすることができる。

「良い物を作れば普及する」わけではない。「良い物を作る+売る工夫」はセットである。昨年度、潜在ニーズを探る Web アンケートを実施した。その結果、潜在的なターゲットは、30～40 歳代で、一定の年収があり、省エネや環境に関心があり、環境にやさしいライフスタイルを心がけ、地中熱にも関心があり、住宅の購入・新築などをしたい層であることが分かった。今年度は、このような潜在的顧客をターゲットとしたマーケティングについて、事業者向けの研修会や一般向けのシンポジウムを通じて検討した。

温暖地における地中熱利用技術は開発途上にある。そのため、研究機関との提携が不可欠である。本業務では、最先端の研究を行っている日本大学工学部の技術指導・支援を受けて業務を実施した。

3) 業務フロー

業務は、図 1.2.1 に示す業務フローに従い、実施した。各作業の進捗状況や成果については、原則、毎月 1 回の打合せにより、報告を行った。

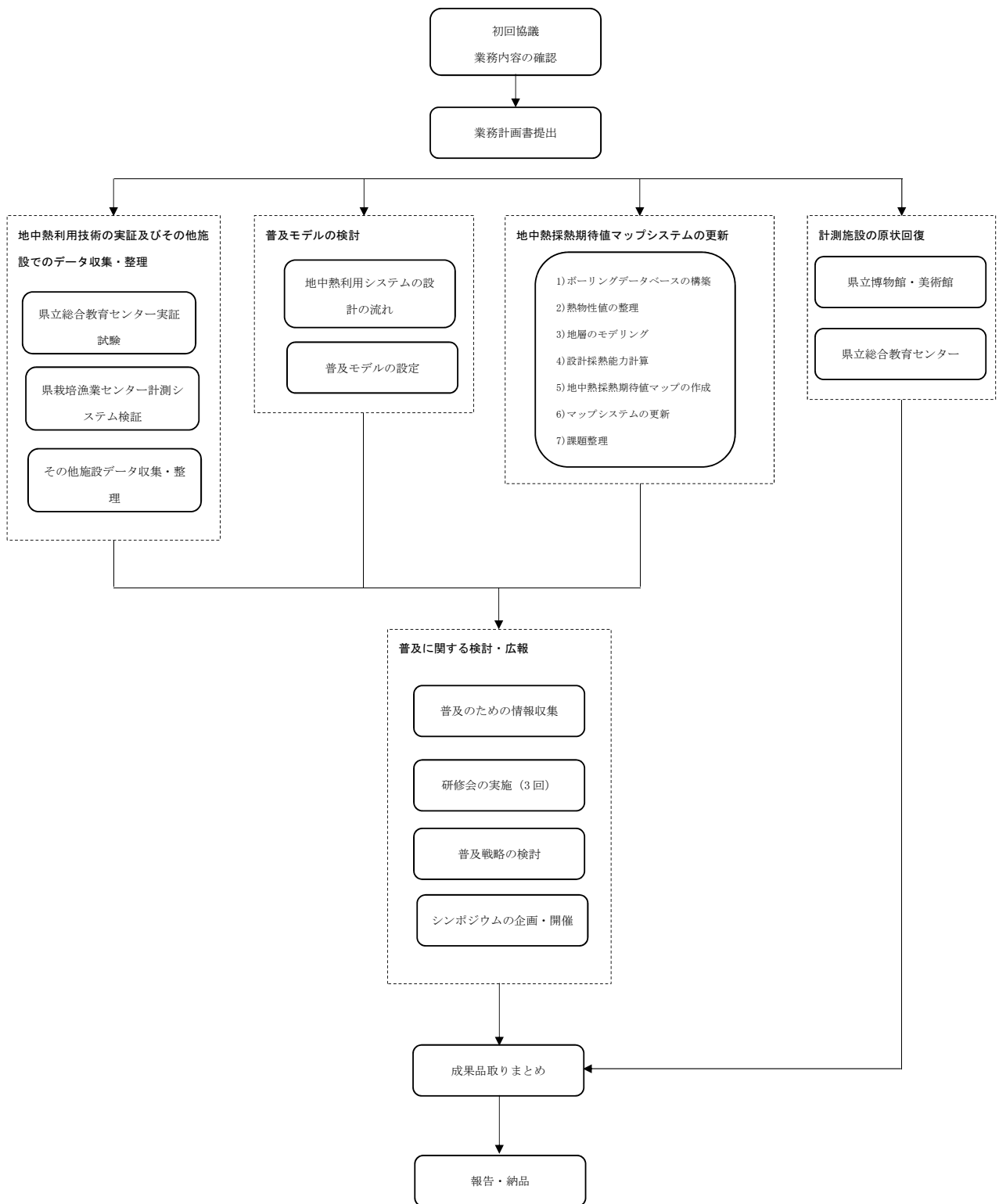


図 1.2.1 業務の流れ

1.3 地中熱活用技術の実証及びその他施設でのデータ収集・整理

1) 県立総合教育センター

昨年度に引き続き、県立総合教育センターに設置した浅部地中熱利用システムと空気熱利用システムの比較実証試験を行った。この試験は、温暖地である沖縄において、地中熱利用システムと空気熱利用システムの冷房性能を比較検証することを目的としている。浅部地中熱利用システムの特徴は、地下20mの浅部の熱を利用する方式であるため、従来のボアホール方式と比べ工事費が抑えられ、汎用性が高いことがあげられる。また、空気熱利用との比較により、夏や冬の気温差が大きい時期での効率性が高く、使用電力量やエネルギー量の低減による省エネ性と環境性に優れている。その一方で、導入コスト面での課題が明らかになっている。

そのため、今年度は、両システムの交互運転により、消費電力量や成績係数の比較を行った。

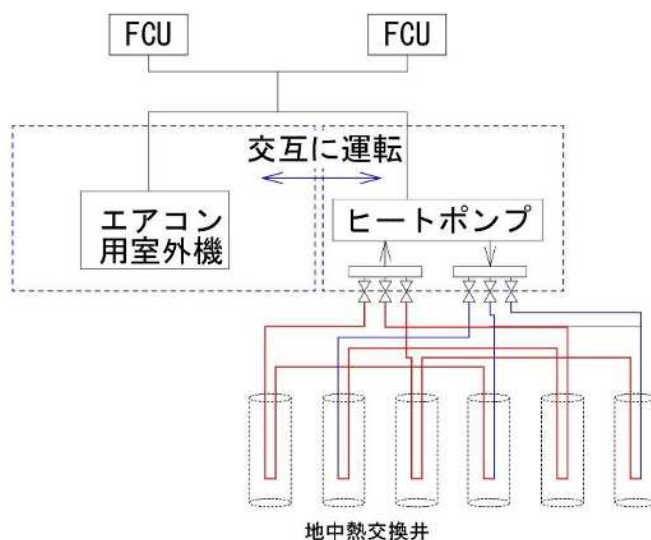


図 1.3.1 実証施設のシステム

【評価の方法】

地中熱利用システムを導入したことによる省エネ効果及び環境性能の評価を目的として、システム運営に関わる①温度、②熱量、③消費電力など計測した。また、長期的に運用する上で、周辺環境や地下水、地盤への影響についても、観測孔における④地盤の温度計測により確認した。

環境性能評価としては、空気熱利用システムとの使用電力量の差により、節電効果や Co2 削減効果を検証した。地中熱/空気熱の交互運転の方法については、月水金は地中熱、火木は空気熱による交互運転とした。

【保守点検の方法】

地中熱利用システムが持続的に運用されるためには、日常的に行う点検と長期的に行う定期点検が必要となる。

日常的な点検は、運転の状態、機器の状態、計測機器からの読み取り等のシステム状況を、遠隔監視システム導入することにより実施した。

定期的な点検は、月一回程度の施設の目視点検を実施し、膨張タンクの水位確認などのメンテナンスを行った。

【遠隔監視システムの導入】

県立総合教育センターに設置した地中熱利用システムに、遠隔監視システムを導入した。

遠隔監視システムを導入するメリット

- ・利用状況や発電量が、瞬時にわかる。
- ・地中熱利用システムの実証実験データを確実に取得できる。
- ・地中熱利用システムの不測の事態への迅速な対応や保守点検を効率的に実施できる。

導入方法

県立総合教育センターの外側の制御盤の近くに PC を格納可能な BOX を設置し、その中に専用 PC を設置した。地中熱利用システムの温度，流量ならびに電力の計測データはデータロガーに格納されているため，データロガーと専用 PC を接続することで計測データを専用 PC に取り込むことができる。

専用 PC には，セキュリティを十分確保した遠隔監視システムを装備し，事前に設定した外部（中央開発・ワールド設計 JV）からのみアクセスできるようにした。遠隔監視するためには専用 PC を外部ネットワーク環境に接続した。

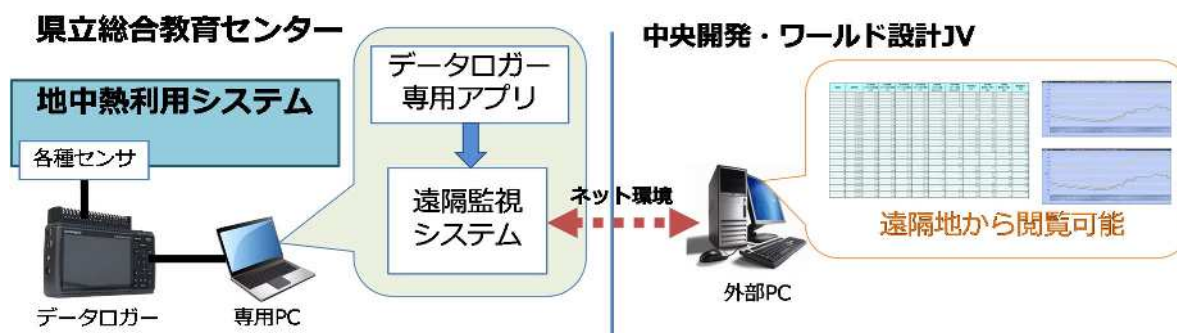


図 1.3.2 遠隔監視システムのイメージ図

2) 県栽培漁業センター

【データの整理方法】

栽培漁業センターは，本県独自の種苗生産技術により，重要魚介類の放流および養殖用種苗を量産・供給することを目的とし，種苗量産や放流・養殖に関する技術の開発・改良および技術支援を行っている。

平成 28 年度には，地下海水熱利用システムとして計測機器や配管等の整備を行い，平成 29 年度には，夏場と冬場における養殖池の水温状況等について計測データを基に検証を行った。

29 年度の計測結果，地下より汲み上げた海水温度は約 23.9℃でほぼ一定であったが，水槽水温は気温の上昇に連動して推移していた。

地下海水利用システムの有る水槽と無い水槽で水温を比較すると，夏場の 8 月は約 3.0℃，9 月は約 2.5℃，10 月は約 0.5℃低く保つことができた。逆に，冬場は 1 月約 1.3℃，2 月は約 1.0℃高く保つ結果となり，暑い時期と寒い時期に地下海水利用システムの効果が高いことが分かった。

また、エネルギー量や電気量等に換算しても、高い省エネ性が実証できた。栽培漁業に留まらず、周囲を海に囲まれた沖縄県においては、沿岸域における省エネ技術として地下海水利用技術は有効であり、今年度も引きつづき基礎データを収集し、検証を行った。

3) その他施設（県立博物館・美術館）

県立博物館・美術館では、平成 29 年 6 月から平成 30 年 2 月まで、地中温度の測定を行い、不易層深度（地中温度が季節にかかわらず一定となる深度）が、本土地域と同様、10m 以下と想定することができた。但し、一年を通じての測定ではなかったもので、平成 30 年 3 月以降、6 月にかけて、独自に計測を行い、1 年サイクルのデータを取得した。

地中温度の測定深度は図 1.3.3 に示す 8 深度及び地表気温とした。

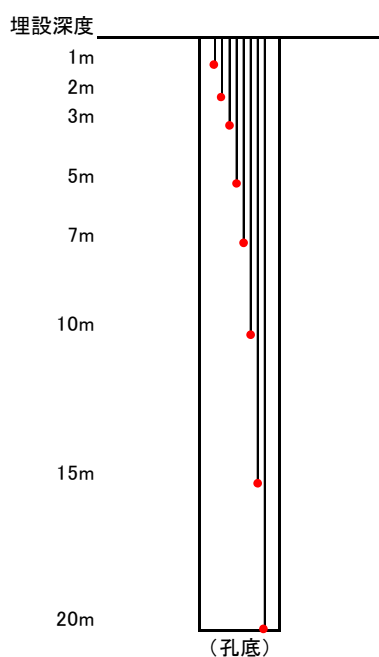


図 1.3.3 熱伝対の埋設深度

1.4 普及モデルの検討

1) 地中熱利用システムの設計の流れ

地中熱利用システムは、一般的に普及しているエアコンとは異なり、システム設計が必要である。その場合、導入予定者の要望、利用方法、建物用途や性能、熱需要、敷地形状等に応じた対応が求められる。要望等は個人によっても異なるため、施主の要望を満たし機能的なシステムを個別に組むこととなる。

ただし、普及を図る上では、汎用性が高く、簡易的、平均的な仕様となるような、ある程度ターゲットを絞った、システム設計モデルを提示することで、事業者やエンドユーザの理解を得られやすい。

表 1.4.1 一般的な地中熱利用システムの設計の流れ

1.企画・基本計画	2.基本設計	3.実施設計
①事業主の意向・目的の確認 ②地中熱利用システムの説明 ③空調ゾーンの確認・検討 ④地質情報収集 ⑤冷暖房負荷の概算	①現況調査 ②地盤調査※ ¹ 又は採熱期待値マップによる情報収集 ③機器の配置計画 ④配管計画 ⑤概算コストの検討 ※ ¹ 地盤調査は、ボーリング調査又は熱応答試験等がある。	①特記仕様書 ②配置図, 平面図, 外構図 ③詳細図 ④機器表



表 1.4.2 普及モデルの設計の流れ（今年度業務）

1.企画・基本計画	2.基本設計	3.実施設計
①事業主の意向・目的の確認 ②地中熱利用システムの説明 →一般的な仕様, オプション ③空調ゾーンの確認・検討 →居室等の場所を特定 ④地質情報収集 →採熱期待値マップの参照 ⑤冷暖房負荷の概算 →熱負荷簡易計算法にて算出	①現況調査 ②地盤調査※ ¹ 又は採熱期待値マップによる情報収集 ③機器の配置計画 →一般的な仕様, オプション ④配管計画 →一般的な仕様, オプション ⑤概算コストの検討 →概算コスト算出表にて算出	①特記仕様書 ②配置図, 平面図, 外構図 ③詳細図 ④機器表

本業務では、基本計画（概念設計）から基本設計の一部について、モデルシステムを検討した。

2) 普及モデルの設定

平成 29 年度に行われたアンケートの結果より、次のような潜在的顧客像が想定されている。これらを前提としてモデル設定を行った。

【住民】

30～40 歳代で、一定の年収があり、省エネや環境に関心があり、環境にやさしいライフスタイルを心掛け、地中熱にも関心があり、住宅を購入／新築／改築／増築／したい層

【事業者】

再生可能エネルギーに関心があり、地中熱にも関心があり、建替えや改築の意向を持つ事業者

普及モデルの設定にあたっては、沖縄で最も多い仕様を想定し、建物用途として『住宅』と『事業所』に分け、検討を行った。

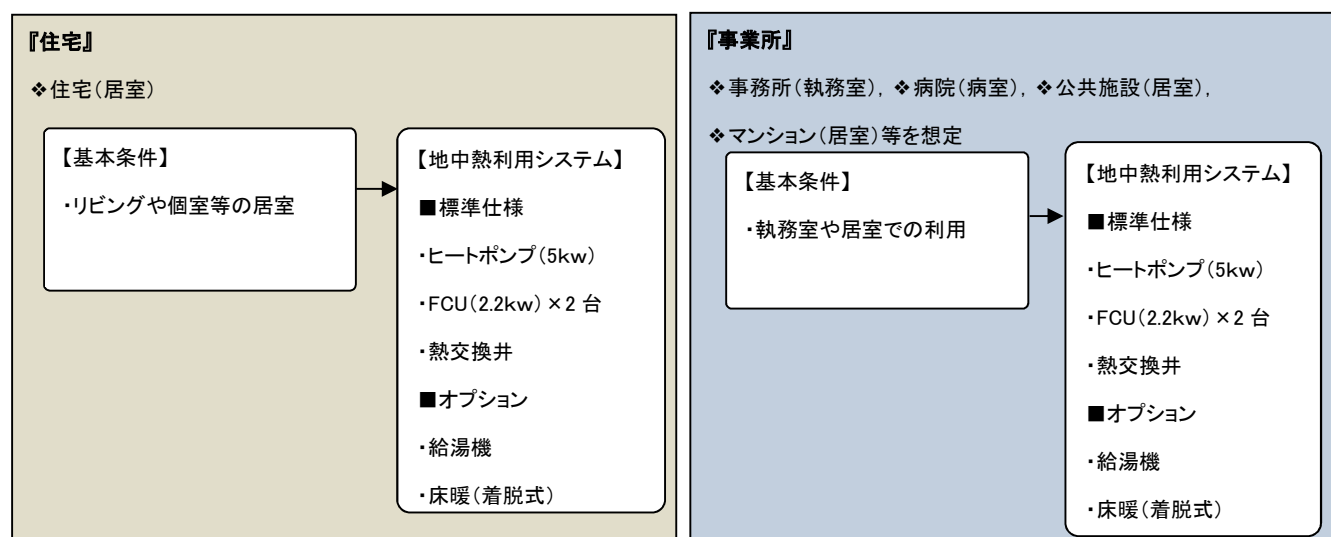


図 1.4.1 普及モデルの設定

基本条件、敷地条件、建物性能などを与条件として想定し、複数のモデルについてシステム設計を行い、それぞれのパターンについて他の機器との比較における省エネ性や経済性を比較した。

1.5 普及に関する検討・広報等

1) 検討方針

(1) 目的

地中熱利用システムの普及には、(1)沖縄県民の地中熱への関心を喚起し、(2)潜在的顧客をターゲットとした効果的なマーケティングを組合せて導入を促すことが重要である。そのための目標を設定してロードマップを作成し、達成するための行動計画を作成することを目的とする。

(2) 目標設定とロードマップの作成

昨年度の沖縄県民及び事業者を対象としたアンケート調査結果をもとに検討した普及戦略を具体化するため、目標を設定してロードマップを作成した上で、各々の方策の詳細を検討し、行動計画を作成する。その際、各々の方策の相互関係、相乗効果を十分に考慮して内容を検討した上で、そのアウトカム目標 (KGI) を設定し、及び短期、中期、長期のロードマップを作成した。

この際、アウトカム目標 (KGI) としては、地中熱利用システムの普及の程度、その普及と利用によって得られる顧客満足度、省エネルギー化の程度などを検討した。

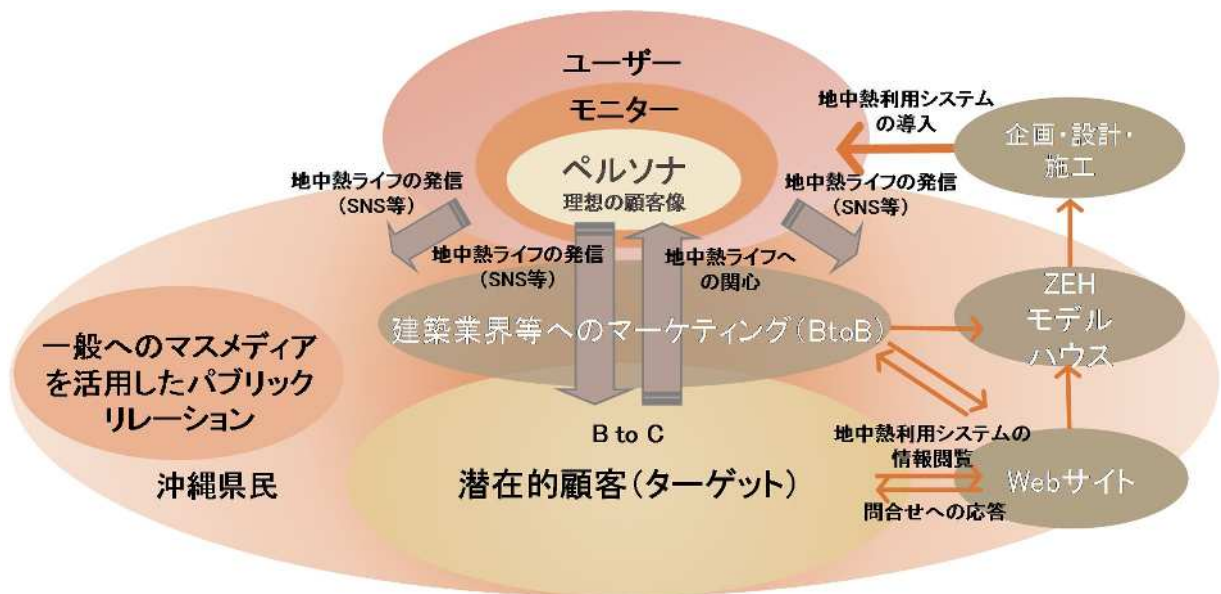


図 1.5.1 地中熱利用システムの普及戦略の体系

(3) 行動計画の作成

次に、そのアウトカム目標を達成するための具体行動の方策を検討し、ロジックモデルとして組み立てるとともに、各行動が到達すべき行動目標（KPI）を設定し、PDCAを円滑に実施するための方策管理表を作成した。具体的には、以下に示す事項についてその方向（概略）を検討して、各々の行動目標（KPI）を設定した。このようなロードマップと行動計画の作成によって、地中熱利用システムの普及戦略と具体行動が明確になり、PDCAによるプロジェクト・マネジメントが具体化できる。

なお、このような普及戦略のロードマップ、行動計画の作成にあたっては、全国組織の浅部地中熱利用運営事業組合におけるバリューチェーンの構築、設計の標準化、マーケティング、施工者のスキルアップなどの動向も考慮した。

ペルソナ・マーケティング	ポータルサイトの構築	WebサイトとSNSの連携
【主な検討事項】 <ul style="list-style-type: none"> ◆ ペルソナのイメージの方向 ◆ ライフスタイル ◆ 満足すべき新たな価値 ◆ マーケティングの対象 ◆ 具備すべき製品の内容など 	【主な検討事項】 <ul style="list-style-type: none"> ◆ ポータルサイトの構成 ◆ コンテンツの概略 ◆ 連携SNS、リンク先 ◆ SEO対策の方向 ◆ 機能の発展性など 	【主な検討事項】 <ul style="list-style-type: none"> ◆ 活用すべきSNS ◆ ターゲット ◆ Webサイトとの連携方法 ◆ 発信すべき内容 ◆ 発信主体など
建築業界等へのマーケティング	モデルハウスの展開	ZEHへの組み込み
【主な検討事項】 <ul style="list-style-type: none"> ◆ 対象のリストアップ ◆ マーケティングの方法 ◆ マーケティングの内容 ◆ 主なツール ◆ マーケッターの育成など 	【主な検討事項】 <ul style="list-style-type: none"> ◆ モデルハウスの構成 ◆ モデルハウスの配置 ◆ 公開の方法 ◆ 見学の方法 ◆ 訴求ポイントなど 	【主な検討事項】 <ul style="list-style-type: none"> ◆ 沖縄での動向と課題 ◆ ZEHビルダーの整理 ◆ ZEHへの組み込み方法 ◆ 琉大や協会との調整 ◆ 具体化方法など

◆事業所への普及のアプローチ

沖縄県民とともに、県内の関心がある事業所への普及についても検討した。具体的には、県内で環境に配慮していると明言している主要な事業所をリストアップし、それらの事業所に対しヒアリング等を通じてマーケティングを行った。

2) 普及のための情報収集、他地域の普及状況や戦略の調査

地中熱利用技術は、日本大学工学部をはじめとし、様々なメーカー、団体、研究機関等で技術開発が進められている。当該技術を普及させるためには、技術開発動向を把握し、導入検討者にとって、コストや仕組が理解し易いように、体系的に整理することが重要である。

(1) ハードに関する情報収集

①検討項目

地中熱利用技術は、大きくは地中熱交換器、掘削技術、配管方式、循環媒体（ブライン）、循環ポンプ、ヒートポンプ、ファンコイルユニットに分類され、これらを検討項目として、日々開発の

進む最新の技術に関する整理を行う。以下、検討項目および概要を示す。

【地中熱交換器】

地中熱交換器のタイプは、概ね以下の体系で整理される。各々の方式・タイプについて技術開発動向を整理した。

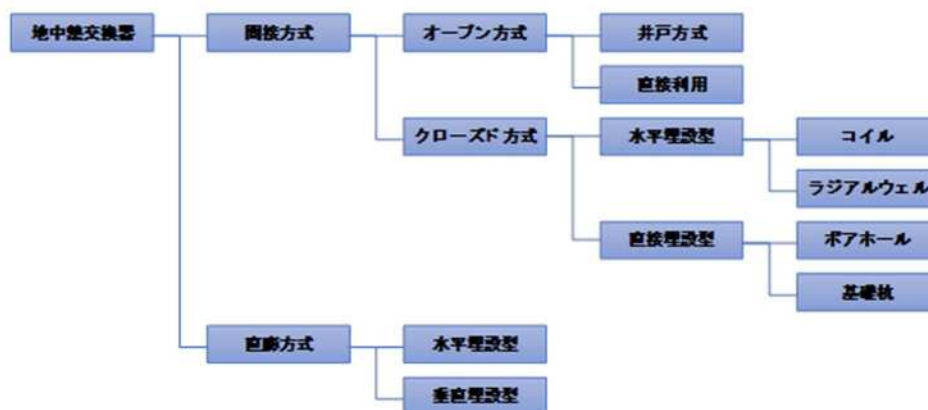


図 1.5.2 地中熱交換器のタイプ

【掘削技術】

ボアホールタイプの地中熱交換井の掘削には、一般的にボーリング工法が用いられる。工法には、ロータリー式、ロータリーパーカッション式、ロータリーパイプレーション式、ダウンザホール式など由来工法があるが、例えば、浅部地中熱利用事業組合に所属する企業では、専用の掘削機械（FP-4M 等）も開発されている。こうした、掘削機械の技術動向や沖縄県への導入可能性等について整理した。

【配管方式】

配管方式には、ヘッダー方式、直接方式、並列方式があり、各々の方式における長所および短所は整理済みである。本業務では、各方式について実際の導入事例について調査を行い、コストや熱輸送性能、効率等について整理した。

【循環媒体（ブライン）】

循環媒体については、平成 28 年度業務において、水、エチレングリコール水溶液、プロピレングリコール水溶液、トリメチレングリコール水溶液の特徴について整理した。沖縄の場合、基本的には水を循環媒体とできるが、他地域の実際の導入事例について調査を行い、コスト、熱輸送性能や安全性（対応方法）などについて整理した。

【循環ポンプ】

いわゆる地中熱 HP の最適運用をテーマとして様々な研究・検討が行われている。特に、循環ポンプの選定や制御方法は、システムの COP に大きく関与する項目であり、こうした背景から、ポンプメーカーから高揚程・低流量に対応する地中熱専用循環ポンプが開発されている。本業務では、その技術開発動向や研究・検討事例を収集し整理した。

【ヒートポンプ】

大手メーカーでは、在来型のヒートポンプに比較して、冷房能力の高い3～5kW級の温暖地向けブライン式ヒートポンプの開発が進められており、本事業の実証試験にも導入されている。他のメーカーも追随する動きがあるため、最新の開発動向を改めて調査し、普及促進に向けコストや生産体制（量産化）、課題など実現性について整理した。

【ファンコイルユニット】

地中熱利用向けの室内機は、FCU（ファンコイルユニット）が一般的であるが、FCUとヒートポンプが連動運用されていないため、エアコンに比べてきめ細かな対応ができていないことが課題であった。また、湿度の高い沖縄では除湿要求も高く、効率やコストを含めた実現性が課題であった。現在は、地中熱専用機としてのFCUの開発も進み、高性能、低価格かつ除湿性能にも対応できる壁掛けFCUが開発されている。こうした最新の開発動向を改めて調査し、普及促進に向けコストや課題について整理した。

②検討方法

【研究団体等へのヒアリング】

地中熱利用技術に関する、事業組合や研究団体等へヒアリングを行い、技術開発動向に関する情報を収集した。

【学識経験者へのヒアリング】

地中熱利用技術に関する研究を実施している大学や研究者にヒアリングを行い、技術開発動向に関する情報収集を行った。

【学会、シンポジウムでの情報収集】

地中熱利用技術に関する、学会やシンポジウムに参加した。また、本業務で得られた成果について学会等で発表を行い、質疑や意見交換等を通じて技術開発上の課題を整理した。

(2) ソフトに関する情報収集

普及のための他地域の普及状況や戦略について国内外の動向を調査する。国内においては全国の地中熱の普及状況や普及戦略の情報を収集・整理した。その際、特に、NPO法人地中熱利用促進協会の動向に注目し、その戦略、方策、具体行動を把握した。

海外においては、急ピッチで地中熱の導入が進むアメリカや、中国、北欧などの動向を文献、インターネットの情報などから調査した。

このような情報収集・整理・分析から、沖縄県での地中熱利用システムの普及の戦略、ドライビングフォース、課題などを整理し、普及戦略と行動計画にフィードバックし反映させた。

3) 研修会等の実施

平成28年度事業当初から、技術者育成を大きな課題とし、講習会や視察を通じて、基礎的な技術の習得を行ってきた。今年度は、技術の習得に加え、事業化に向けた研修内容を取り入れた。対象は事業化に意欲を示す企業とした。昨年度までは、講義形式であり、受講者は受動的であっ

たが、今年度は受講者自らがワークショップ等を通じて事業化を考えるなど、より能動的な研修とした。

4) シンポジウムの企画・開催によるパブリック・リレーション

地中熱の認知度を向上して県民や事業者の関心を喚起し、地中熱利用システムが提供する新たな価値を広く訴求するパブリック・リレーションを展開するため、シンポジウムを企画・開催して事業者や関係者に訴求するとともに、マスメディアでの報道を通して沖縄県民に訴求する。

(1) パブリック・リレーションの基本的考え方

昨年度の沖縄県民、事業者を対象としたアンケート調査の分析結果を受けて、地中熱の認知度を向上して県民や事業者の関心を喚起し、地中熱利用システムが提供する新たな価値を広く訴求するパブリック・リレーションを展開することとし、そのため話題提供を行うシンポジウムを企画・開催した。

シンポジウムの主なターゲットは、地中熱利用システムや再生可能エネルギーに関心がある事業者、大型事業所、建築関係等の関係者（ハウスメーカー、工務店、建築設計事務所、リフォーム業者、建売住宅販売者等）、行政などとした。

(2) シンポジウムの企画・準備・運営

シンポジウムの企画としては、わが国での省エネルギーや再生可能エネルギーの動向について紹介しながら、地中熱という大地のエネルギーの利活用について解説した。そして、地中熱利用による快適で地球に優しい地中熱ライフについて実感を通して紹介してもらった。さらに、パネルディスカッションでは、地中熱の導入に関心のある事業所、企業関係者や技術開発者も加わり、地球に優しい新たな沖縄のライフスタイルの価値と、ビジネスの可能性を探った。さらに、モデルハウス見学ツアーなども組み込んだ。

1.6 地中熱採熱期待値マップシステムの更新

平成 28 年度事業で導入した「地中熱採熱期待値マップシステム」について、平成 29 年度に実施した熱物性試験結果を追加した。また、新たにボーリングデータを収集し、情報の更新を行った。

「地中熱採熱期待値マップシステム」とは、設備設計者が個人住宅などの小規模な建築物の設計において、地中熱交換器の規模やその見積りを容易に行えるよう開発した設計・施工支援システムである。住宅や事業所、病院など、冷暖房の使い方を考慮した採熱能力を、ボーリング柱状図単位で計算することができる。

一方、地中熱利用の普及促進という観点では、「地中熱採熱期待値マップシステム」の精度向上とエリア拡大が不可欠であり、そのためには、地層毎の熱物性値とボーリング柱状図のデータ補充が必須となる。

地層毎の熱物性値については、平成 29 年度に実施した熱物性試験結果をシステムに新たに登録することで、地中熱採熱期待値の精度向上を図ることが可能となる。

【ボーリングデータの収集】

離島を含む県全域のうち、需要の期待される都市部を中心にボーリング柱状図のデータ収集を行った。収集先としては、沖縄県内の地質コンサルタント会社によるボーリングデータや、独自で入手した浦添市井戸台帳のボーリングデータ等である。

収集した資料に関して、データの信頼性や分布バランスを検討し、柱状図を電子化した。データフォーマットについては地中熱採熱期待値マップシステムで利用可能な XML フォーマットを採用した。

最後に、収集したボーリング柱状図に対して、熱物性値が整理されている地層でモデリングして、「地中熱採熱期待値マップシステム」に更新した。

1.7 計測施設の原状回復

1) 県立博物館・美術館

県立博物館・美術館に、調査のため平成28年度に設置し、29年度に地中温度計測に利用した埋設管を撤去し、原状回復を図った。対象は下図に示す2本である。

- ① TRT試験孔（孔径：86mm×深度20m 埋設管：鋼管50A（鋼管中に16A塩ビ管2本））
- ② 採熱試験孔（孔径66mm×深度20m 埋設管：鋼管50A（鋼管中に熱伝対付リード線8本））

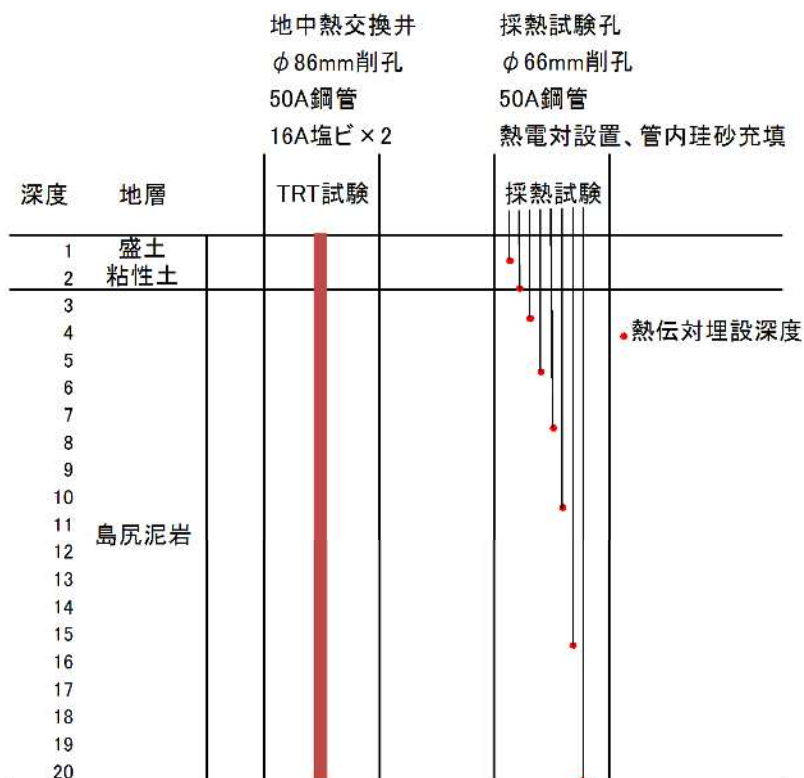


図 1.7.1 撤去対象埋設管

2) 県立総合教育センター

撤去対象は次のとおり。

地中熱ヒートポンプ	1台	地中熱交換器	6本（埋設鋼管：20m×6本）
循環ポンプ	2台	地下水観測孔	1本（埋設PVC管：20m）
空気熱ヒートポンプ	1台	採熱試験孔	1本（埋設鋼管：20m）
室内機	2台	地表配管・配線材	1式
計測システム	1式		
表示システム	1式		

原状復旧に当たっては、地表面の整形、開口部の充填などに注意し、施設管理者の確認を得て作業を終了した。

2 地中熱利用技術の実証及びその他施設でのデータ収集・整理

2.1 県立総合教育センターにおける実証試験

1) 試験の目的

「地中熱利用技術」として、地下に眠っている未利用の熱エネルギーの利用技術を確立して、広く県下に普及し、ひいては省エネに資することを目的として平成 28 年度より事業を展開している。このため、県立総合教育センターで、暖地向けに開発された試験機材を導入し、省エネ効果や節電効果を把握するとともに、環境の面からも CO₂ 削減効果等を評価する。

冷房の運転期間と運転時間を下記に設定し、項目毎に分析し評価を行った。

【冷房運転期間・運転時間】

運転期間：冷房期間約 4 ヶ月（6 月 18 日～ 10 月 10 日）

地中熱システムの運転曜日 月・水・金

空気熱システムの運転曜日 火・木

計測時間：10：00 ～ 17：00 の 7 時間

期間消費電力量は計測機器にて測定

室内冷房の設定温度：27℃

室内冷房機器 FUC（ファンコイルユニット）への送水温度：15℃

※地中熱利用システムは、6 月当初、採熱管の長さ 120m（20m×6 本）にて運転を行っていたが、1 本 不具合があったため、8 月より 100m（20m×5 本）にて試験を行った。

表 2.1.1 評価項目

評価項目			
1	性能評価	効率的な運転	SCOP（システムの成績係数） 空気熱と地中熱の冷房能力
2	エネルギー 評価	節電効果	消費電力【kW】
		省エネ効果	消費電力量【kWh】 ※消費電力量（kWh）＝消費電力（kW）× 時間（h）で計算される。
			消費電力料金【円】
3	環境評価	CO ₂ 削減効果	CO ₂ 排出量【t-CO ₂ 】

外観写真



壁面のボックスは分電盤及び計測ユニット

左：地中熱 HP 右：空気熱 HP

内観写真



室内には2台の壁掛型FCUを設置(2kw級×2)

写真 2.1.1 県立総合教育センター設置機器

2) 性能評価について

性能を評価するために、空気熱利用システムのHP（ヒートポンプ）と地中熱利用システムのHPにおけるCOP（成績係数）の値を比較する。

COPとは、Coefficient Of Performanceの略で、日本語では「成績係数」と呼ばれる。エアコンに関していえば、消費電力1kWあたりの加熱（冷却）能力を表す値となっており、電力1kW使って、どれだけの冷房・暖房効果が得られるかを示す指標として利用されている。COPを求めるには、エアコンの能力を表す数値「冷房能力」^{※1}または「暖房能力」を、エアコンの消費電力で割るという計算が必要になり、COPが高いほど効率的（省エネ）な機器といえる。

地中熱利用システムは、外付けの循環ポンプもあるため、それを含めた値としてシステム全体を表すSを含めたSCOPとして算出する。

【例】地中熱利用システムのSCOP算出例

$$\begin{aligned} \text{冷房能力} &= \frac{(\text{室内側流量} \times \text{室内側密度})}{(60 \times 1000)} \times \text{室中側比熱} \times (\text{室内側戻り温度} - \text{室内側行き温度}) \\ &= (7.421 / 60 \times 1000) \times 999.301 \times 4.192 \times (15.275 - 10.044) \\ &= 0.518118 \times (5.231) \\ &= 2.714 \\ \text{SCOP} &= \text{冷房能力} / \text{消費電力}^{\ast 2} \\ &= 2.714 / (0.484 + 0.079 + 0.071) \\ &= 2.714 / 0.634 \\ &= 4.28 \end{aligned}$$

県立総合教育センターの管理室において、室温27°Cの設定温度、FCUへの送水温度15度として、できるだけ一定条件となるように冷房運転しているが、気温や湿度、部屋の使用人数、パソコン等により部屋の使用状況が異なるため、冷房出力^{※3}毎のSCOPを算出する。

※1 冷房能力とは、冷房可能な冷熱出力範囲で「設置する部屋の負荷に見合った機種選定をするためその機器の能力を表す値」として主に用いられるが、急速冷房も可能な出力も含まれる。

※2 地中熱利用システムではHPと循環ポンプ2台の消費電力の和

※3 冷房出力：冷房時にある時点での冷熱出力能力を表す。

3) 空気熱利用システムの運転結果

(1) 外気温とSCOP

空気熱利用システムは、外気に熱を排出するため、外気温がSCOPに与える影響が見られ、外気温が高いほどSCOPは低下し、その割合は $0.2/^\circ\text{C}$ ほど変化する。

$$\text{【SCOP } 4.2 \text{ (外気温 } 31^\circ\text{C)} - \text{SCOP } 5 \text{ (外気温 } 27^\circ\text{C)} = -0.8/4^\circ\text{C} = -0.2/^\circ\text{C} \text{】}$$

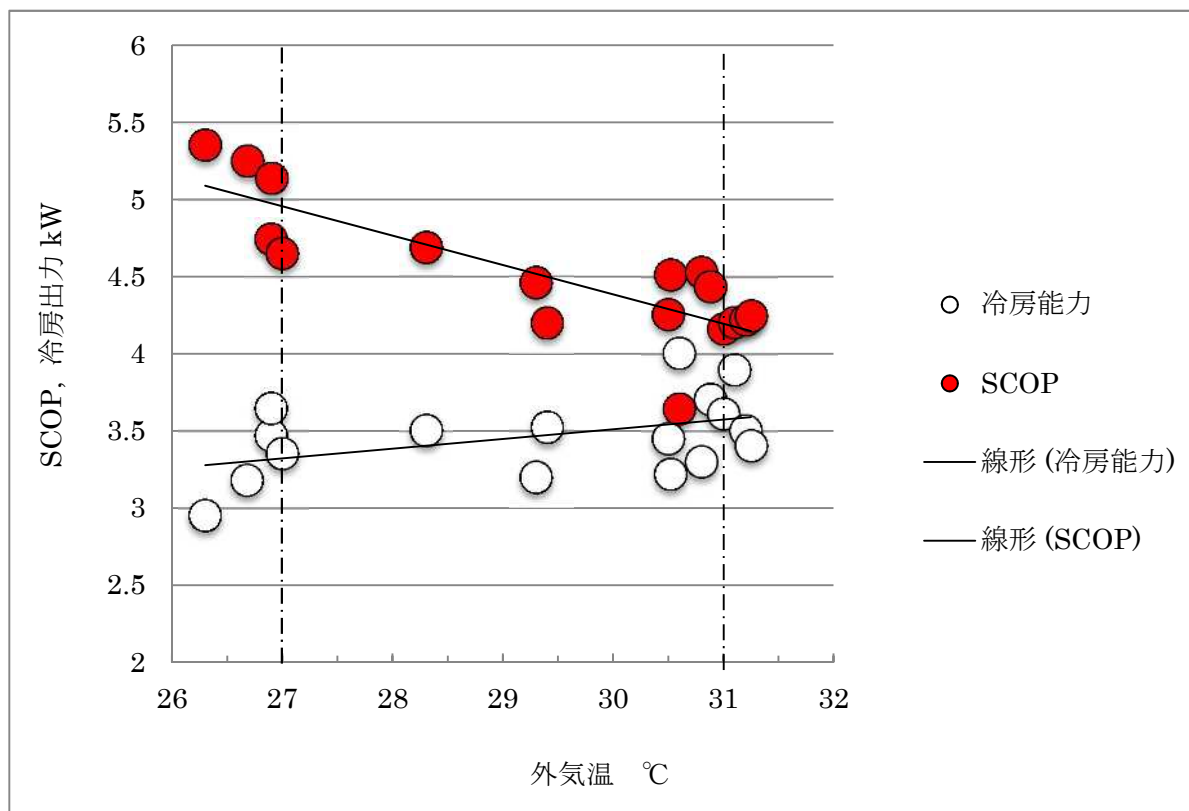


図 2.1.1 空気熱利用システムの外気温と冷房出力比

(2) 空気熱利用システムの熱性能

冷房出力に応じたSCOPをみると以下となった。

①冷房出力が高くなると顕著にSCOPは低くなり、1kWあたり0.9℃程度変化する。

【冷房出力4.0kW(SCOP4.1) - 冷房出力3.0kW(SCOP5) = -0.9/kw】

②空気熱利用システムは室内の温度が高く（冷房負荷が高く）なったり、初動運転で早期に部屋の温度を下げる場合には、室内側への送水温度を下げても運転する特性があり、平均すると冷房出力1kWあたり2.5℃程度変化する。（リモコンでは、室内側送水温度を15℃に設定しているが実測値では変化している）

【冷房出力4.0kW(送水温度12.9℃) - 冷房出力3.0kW(送水温度15.4℃) = -2.5℃/kW】

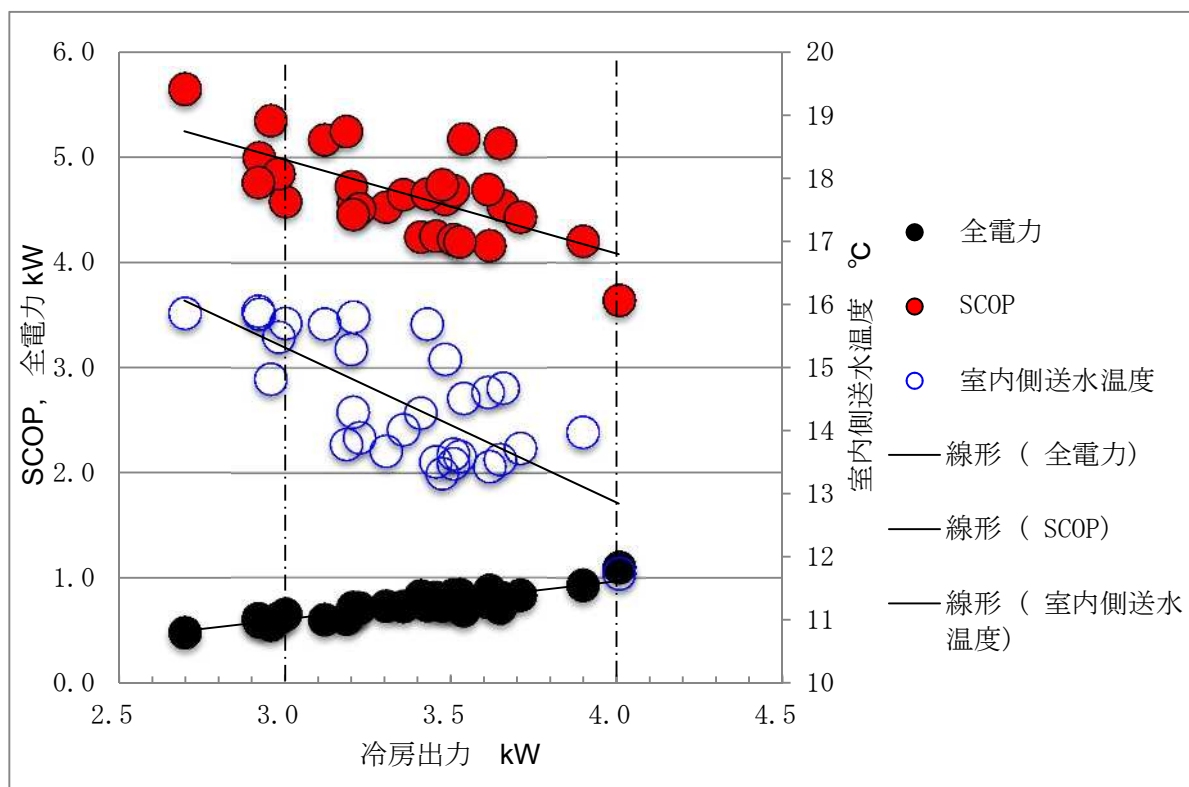


図 2.1.2 空気熱利用システムの熱性能

4) 地中熱利用システムの運転結果

地中熱利用システムにおいて地中熱交換器の長さについて、実証試験当初（6月から7月）120mにて運転を行っていたが、1本に不具合が生じ、8月より100mで運転を行い、結果は以下となった。

(1) 地中熱交換器 100mの場合の熱性能

地中熱利用システム（採熱管 100m）の運転結果は以下となった。

- ① 冷房出力が高くなるとSCOPが若干低くなり、1kwあたり0.1程度変化した。

【冷房出力 4.0 kw(SCOP4.3) - 冷房出力 3.0 kw(SCOP4.4) = -0.1】

- ② 冷房出力が高くなると地中への戻り平均温度は、1kwあたり0.9℃変化する。戻り平均温度は約32℃から35℃の範囲となった。

【冷房出力 4.0 kw(戻り平均温度 35.1℃) - 冷房出力 3.0 kw(戻り平均温度 34.2℃) = 0.9℃/kw】

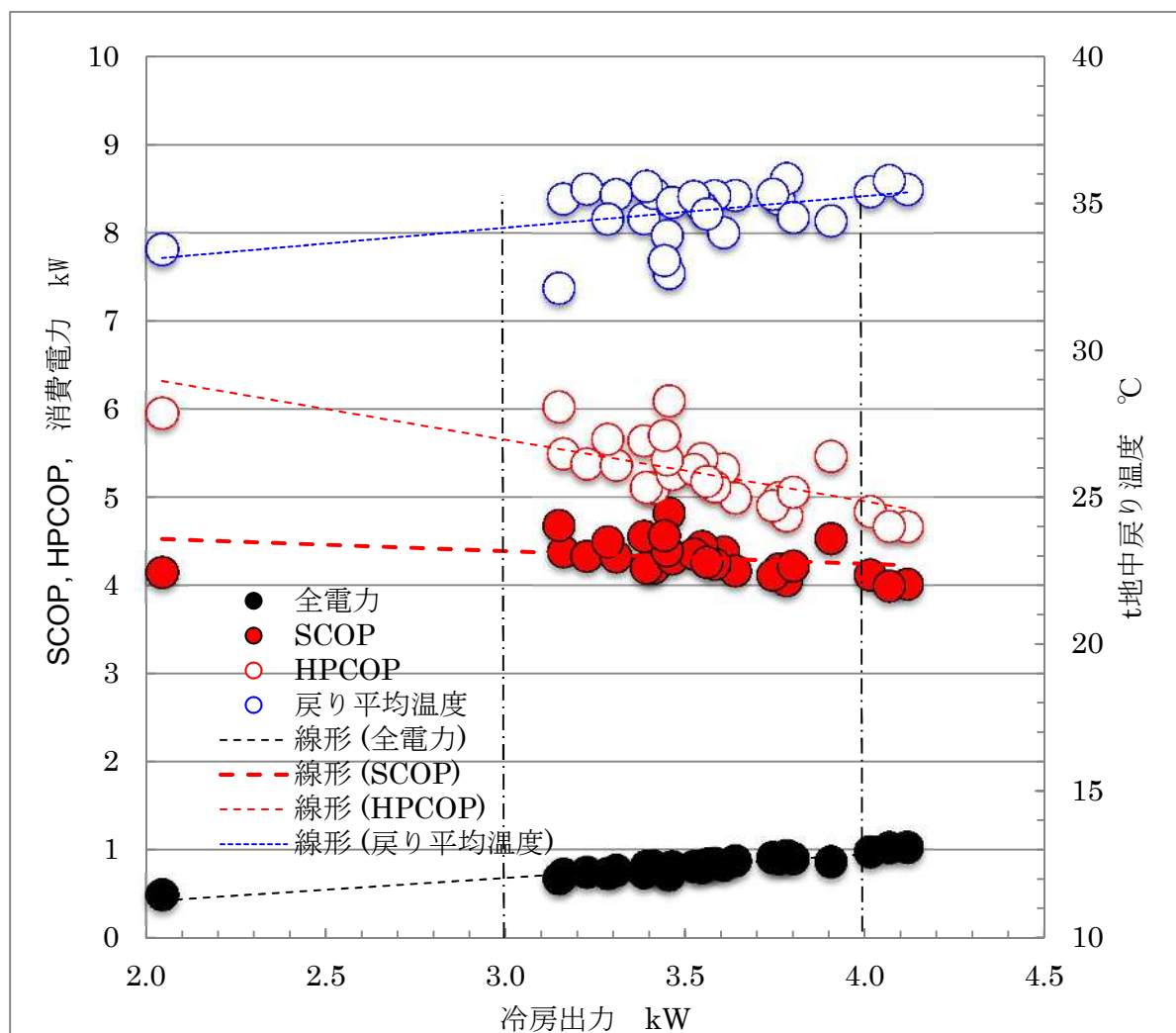


図 2.1.3 地中熱利用システムの熱性能 (100m)

※SCOP は、HP と循環ポンプの消費電力を合計して算出した成績係数を表す。

※HPCOP は、HP のみの消費電力を用いて算出した成績係数を表す。

(2) 地中熱交換器 120mの場合の熱性能

地中熱利用システム（採熱管 120m）の運転結果は以下となった。

- ① 冷房出力が高くなってもSCOPは、ほとんど変わらない。

【冷房出力 4.0 kW(SCOP4.8) - 冷房出力 3.0 kW(SCOP4.9) = -0.1/kw】

- ② 冷房出力が高くなると地中への戻り平均温度は、約 30℃から 33℃となり、採熱管 1mあたりの放熱量は 30~35W/mとなる。

【冷房出力 4.0 kW(戻り平均温度 32.2℃)-冷房出力 3.0 kW(戻り平均温度 31.1℃) = 1.1℃/kw】

- ③ 採熱管の延長でSCOPを比較すると、100mの場合 120mに対して0.5ポイント程度低下している。

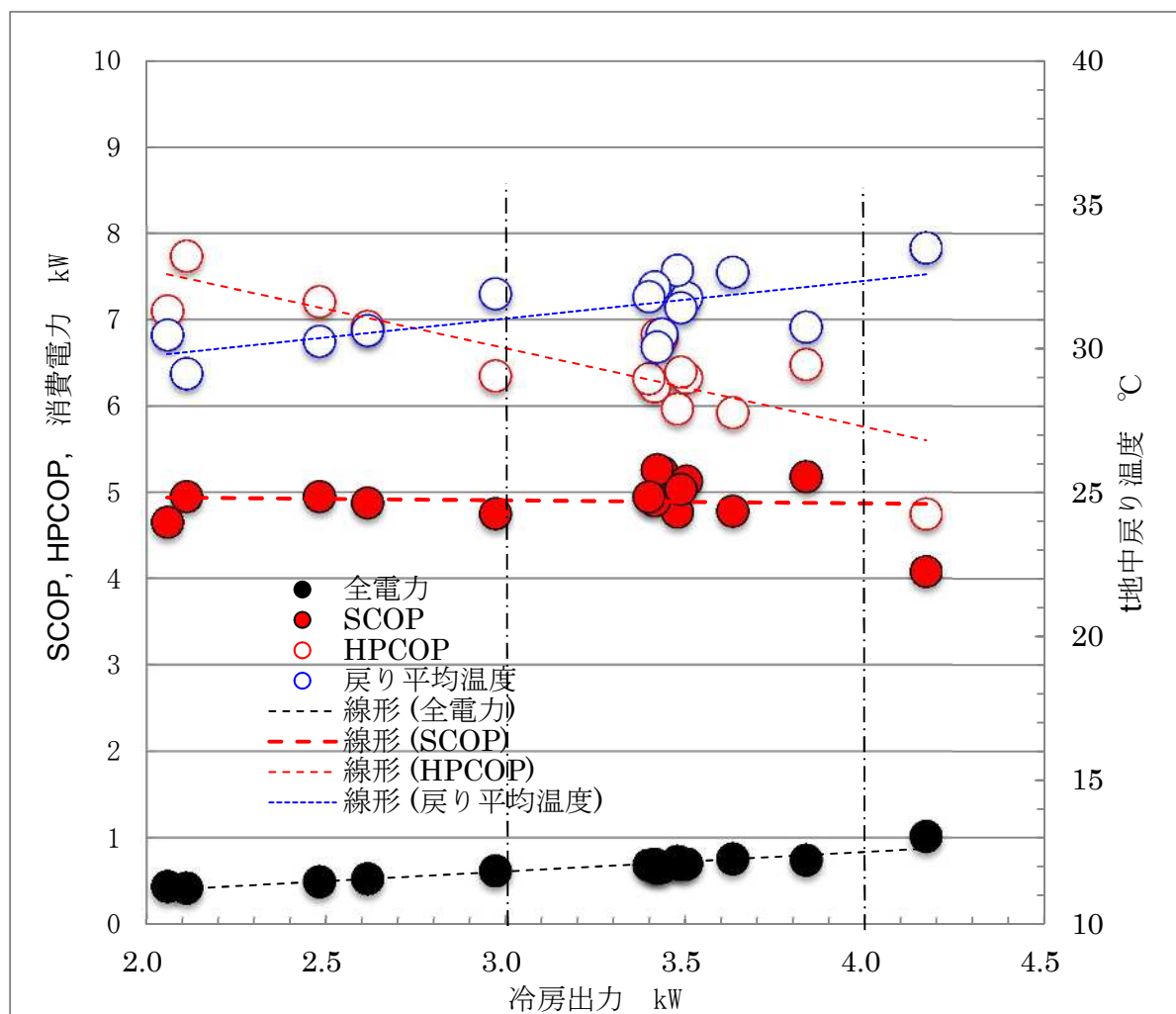


図 2.1.4 地中熱利用システムの熱性能 (120m)

※SCOP は、HP と循環ポンプの消費電力を合計して算出した成績係数を表す。

※HPCOP は、HP のみの消費電力を用いて算出した成績係数を表す。

5) 空気熱利用システムと地中熱利用システムの性能結果

図 2.1.5 に空気熱利用システムと地中熱利用システムの冷房出力毎の SCOP を算出した結果、以下となった。冷房出力は 1 日の平均値（初動の高い冷房出力と冷房設定温度到達後の低い冷房出力も含まれる）を用いた。グラフに黄色で示した範囲が運転して得られた 1 日毎の平均したデータ範囲を示し、定格能力（冷房出力 5 k w）まで運転した場合の推計値も併せて示した。

通常、エアコンは断熱性能の低い空間での使用や短時間で快適な目標温度に到達することが要求されるため、余裕をもった性能となっている。今回の実証試験においても、どちらのシステムも定格出力以下の低出力での運転となった。

一方、空調機器の性能評価は機器の定格能力（定格出力 5 k W）の値で評価することになっている。今回の実証試験では、SCOP と冷房出力の関係は直線的であるため、定格能力 5kW 時の値を推定することができる。

①定格能力（冷房出力 5 k W）時における空気熱利用システムの SCOP は約 3.0^{※1}、地中熱利用システム 120m では SCOP 約 4.8、100m では SCOP 約 4.1 となり、約 30 から 40% 地中熱利用システムの性能が良い結果となった。

②空気熱利用システムは低出力時に SCOP が高く、冷房出力 3kW 以上となると、地中熱利用システム（120m）の方が SCOP の値が高くなった。

※1：本年は過去 3 年間と比べて 1℃程度（2015 年～2017 年 6 月～10 月の平均気温 28.4℃，2018 年 6 月～10 月の平均気温 27.4℃），気温が低かったことを鑑みて例年通りの気温として，空気熱利用システムの SCOP 算出の際には補正（SCOP 0.2/℃ 減）を行った。

	定格能力（冷房出力 5 k W）の SCOP
空気熱利用システム	3.0
地中熱利用システム（100m）	4.1
地中熱利用システム（120m）	4.8

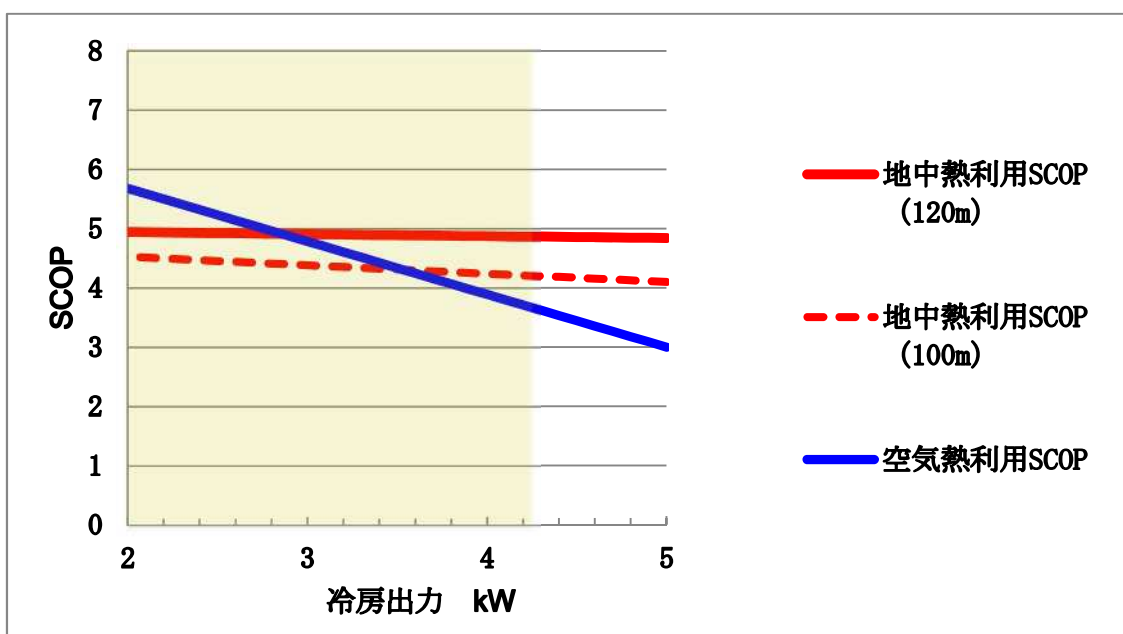


図 2.1.5 空気熱利用システムと地中熱利用システムの性能比較

6) エネルギー評価：節電効果及び省エネ効果について

定格能力（定格出力 5 k w）時の消費電力は、空気熱利用システムは 1.67 k W，地中熱利用システム（100m）は 1.22 k W，（120m）は 1.03 k Wと試算され、地中熱利用システムの節電効果があることが確認された。

一方、地中熱利用システムでは、HPと循環ポンプの合わせた消費電力となっており、冷房出力に関係なく、循環ポンプは一定の消費電力（約 0.1 k W×2 コ 図 2.1.7 参照）となっている。そのため、冷房出力が低い場合には循環ポンプの消費電力の割合が高くなっているため、循環ポンプの改良が課題となる。

【地中熱利用システム 120m→ 冷房出力 2.0 kw 消費電力 0.4 k W (HP0.2, 循環 1:0.1, 循環 2 : 0.1)】
 循環ポンプの消費電力の割合 $0.2/0.4=0.5$

【地中熱利用システム 120m→ 冷房出力 4.0 kw 消費電力 0.8 k W (HP0.6, 循環 1 : 0.1, 循環 2 : 0.1)】
 循環ポンプの消費電力の割合 $0.2/0.8=0.25$

	定格能力（定格出力 5 k W）時の消費電力【k W】
空気熱利用システム	5 k W / 3.0 = 1.67 k W (HPのみ)
地中熱利用システム（100m）	5 k W / 4.1 = 1.22 k W (HP:1.02 循環 1:0.1 循環 2 : 0.1)
地中熱利用システム（120m）	5 k W / 4.8 = 1.03 k W (HP:0.83 循環 1:0.1 循環 2 : 0.1)

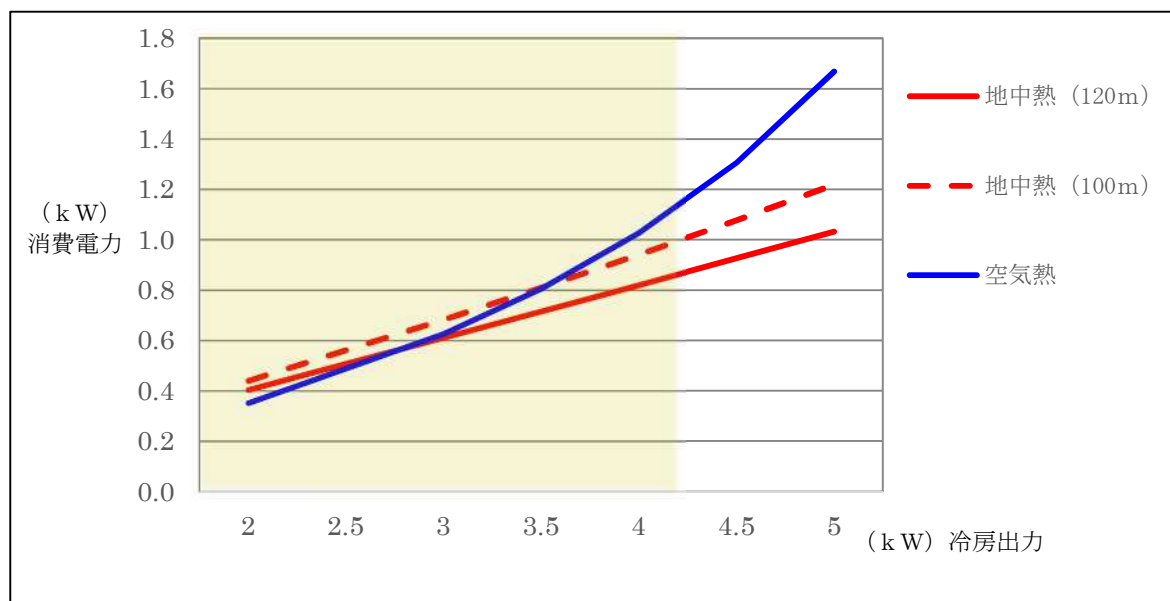
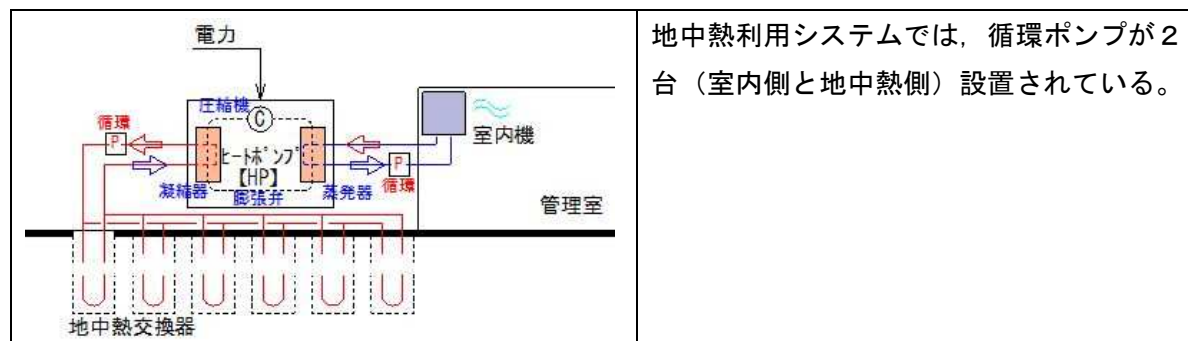


図 2.1.6 冷房出力と消費電力の関係



地中熱利用システムでは、循環ポンプが2台（室内側と地中熱側）設置されている。

図 2.1.7 地中熱利用システム図

7) 消費電力量及び電気料金について

実際に運転した日数や時間も異なるため、定格能力（定格出力 5 kW）の消費電力を用いて、1日8時間（10：00～18：00）、1ヵ月は22日として推計した結果以下となった。

表 2.1.2 消費電力量及び電気料金

消費電力	1時間平均 【kW】	1日平均 8h 【kWh】	1ヵ月平均 22d 【kWh】	1ヵ月電気料金 【円】
空気熱利用システム	1.67	13.36	293.92	6,622
地中熱利用（120m） システム※1	1.03	8.24	181.28	4,084

※1. 地中熱利用システムの電力量は、ヒートポンプ以外に循環ポンプ2台も含めている。

※2. 電気料金は基本料金等を含めていません。料金算出にあたっては、22.53円/kWhとして算定

空気熱利用システムに比べ地中熱利用システムでの電力量削減率は、SCOPの効率と同じになるため、定格能力（定格出力 5 kW）時で約30～40%となる。

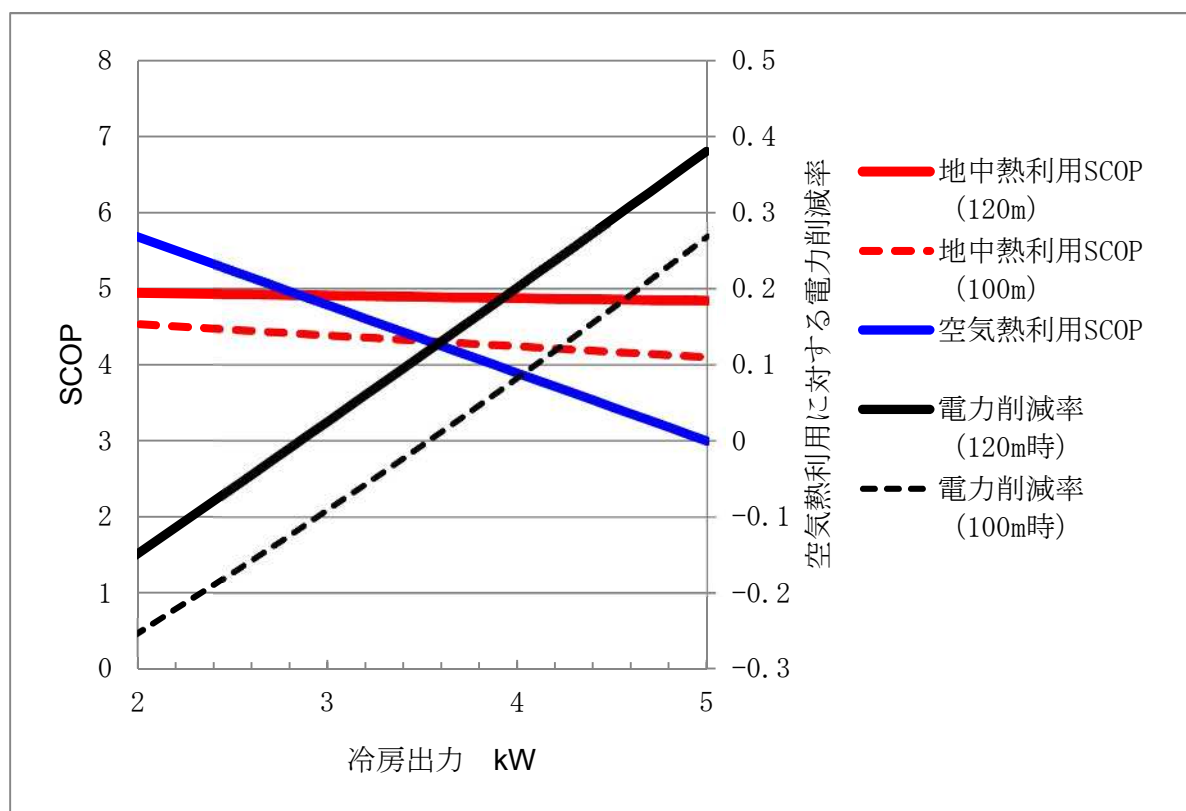


図 2.1.8 電力量の削減率

8) 環境評価について

(1) CO₂削減効果

それぞれ算出した消費電力量にCO₂排出原単位^{※1}を掛け、CO₂排出量を算出する。夏季（6月から9月）の4ヵ月の試算結果、地中熱利用システム（120m）を利用した場合のCO₂排出量は488kg、空気熱利用システムを利用した場合のCO₂排出量は791kgとなり、CO₂の低減量は303kg（38.3%減）となる。

【空気熱利用システムの消費電力量 1122kWh×0.705 kg-co₂/kWh=791 kg-co₂】

【地中熱利用システムの消費電力量 692kWh×0.705 kg-co₂/kWh=489 kg-co₂】

表 2.1.3 CO₂排出量と削減率

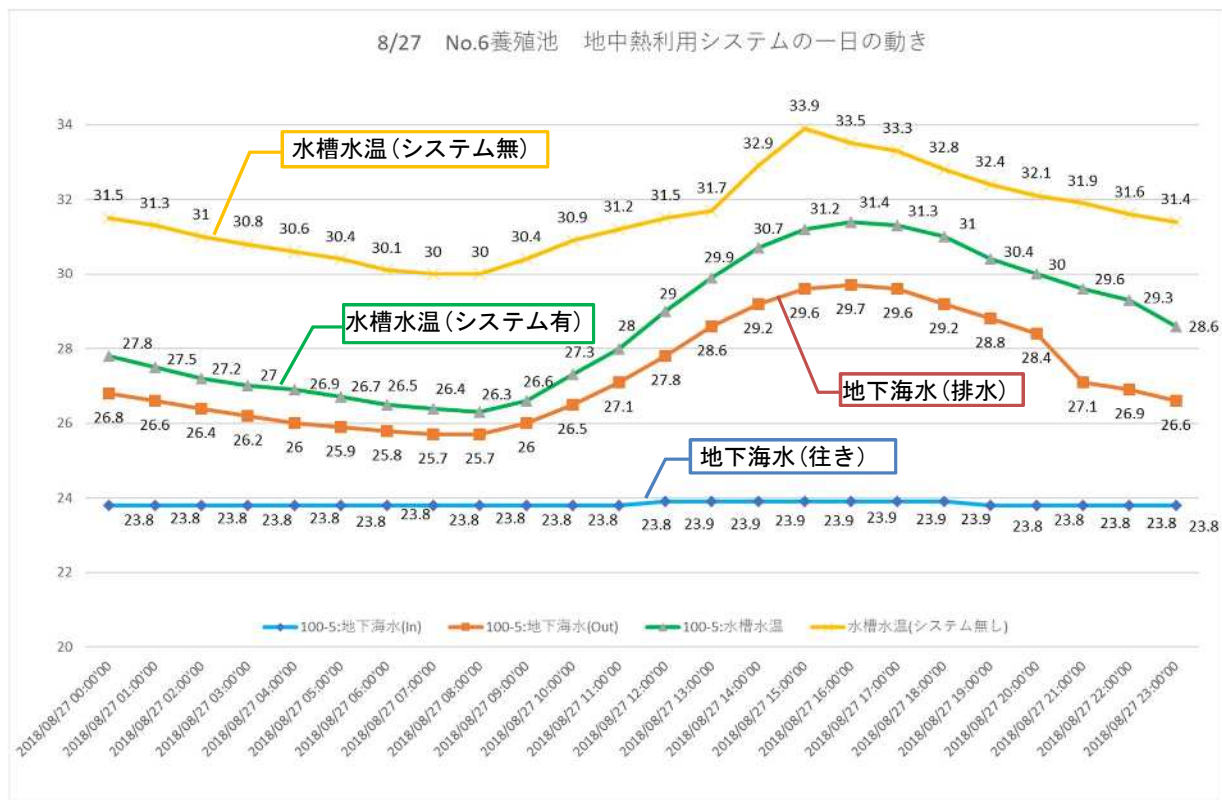
月	6月	7月	8月	9月	合計
使用日数	22日	20日	22日	20日	84日
使用時間	176 h	160 h	176 h	160 h	672 h
空気熱利用システム					
消費電力量(kWh)	294	267	294	267	1122kWh
1.67 CO ₂ 排出量(kg-co ₂)	207	188	207	188	791kg-CO ₂
地中熱利用システム(120m)					
消費電力量(kWh)	181	165	181	165	692kWh
1.03 CO ₂ 排出量(kg-co ₂)	128	116	128	116	488kg-CO ₂
CO ₂ の低減率(%)	空気熱利用システムとの比較				38.3%

※1 電気のCO₂排出係数はH29.12.21 環境省・経済産業省公表の資料より、沖縄電力の基礎排出係数 0.705 kg-co₂/kWh より算出

2) 地下海水利用システム 温度の計測結果

地下より汲み上げた海水の温度は約 23.9℃ となって、ほぼ一定状況を保ち、水槽水温は気温の上昇と共に推移している。地下海水利用システム無し（以下システム無）の従来の水槽水温と地下海水利用システム有り（以下システム有）の水槽水温で比較すると平均して8月は約 2.5℃、1月は約 1.6℃の差となった。

表 2.2.1 8月 No.6 養殖池温度計測グラフ



No.6 養殖池 8月の計測結果表 (°C)

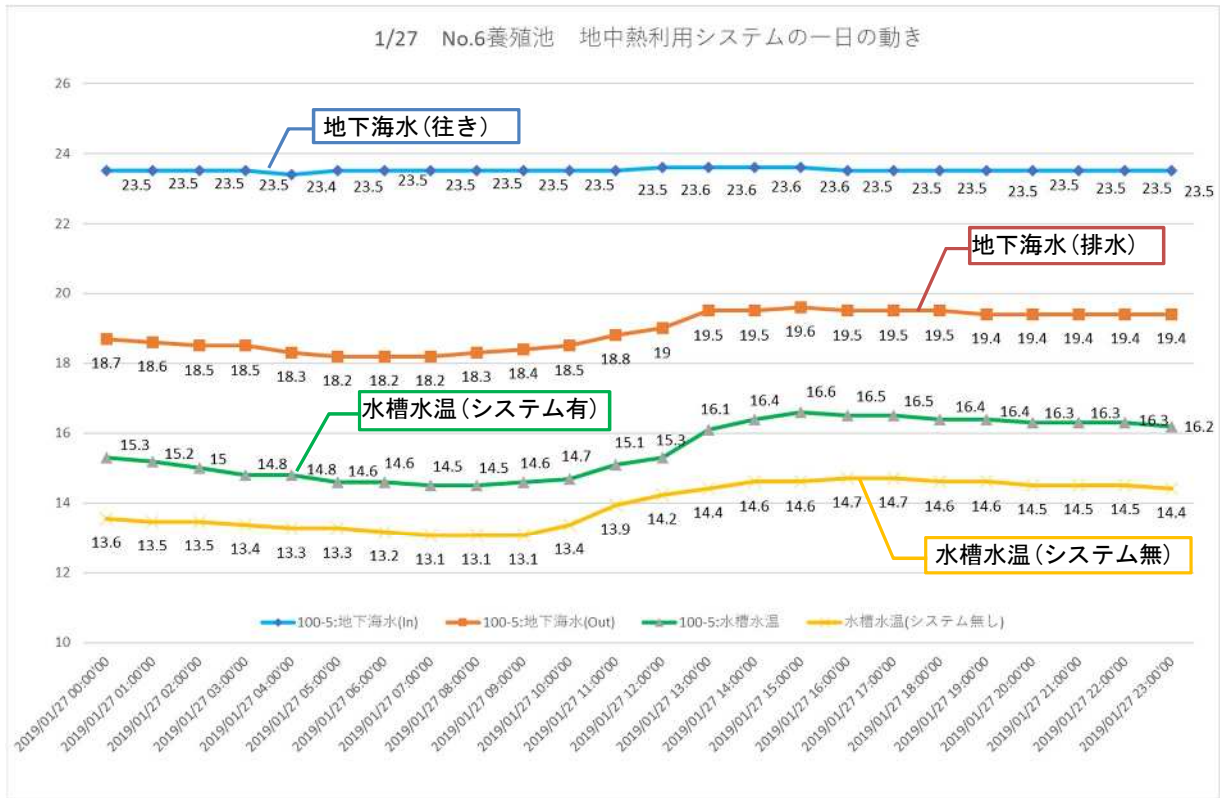
時	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	平均
水温 A (無)	30.0	30.4	30.9	31.2	31.5	31.7	32.9	33.7	33.5	33.3	32.8	32.4	32.1	32.0
水温 B (有)	26.3	26.6	27.3	28.0	29.0	29.9	30.7	31.2	31.4	31.3	31.0	30.4	30.0	29.5
温度差	3.7	3.8	3.6	3.2	2.5	1.8	2.2	2.5	2.1	2.0	1.8	2.0	2.1	約 2.5

※水温(無)は、地下海水利用システム無しの従来の水槽水温を表す。

※水温(有)は、地下海水利用システム有りの水槽水温を表す。

海水 C (排)	25.7	26.0	26.5	27.1	27.8	28.6	29.2	29.6	29.7	29.6	29.2	28.8	28.4	28.1
海水 D (往)	23.8	23.8	23.8	23.8	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.8	23.8	23.9

表 2.2.2 1月 No.6 養殖池温度計測グラフ



No.6 養殖池 1月の計測結果表 (°C)

時	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	平均
A 水温 (無)	13.1	13.1	13.4	13.9	14.2	14.4	14.6	14.6	14.7	14.7	14.6	14.6	14.5	14.2
B 水温 (有)	14.5	14.6	14.7	15.1	15.3	16.1	16.4	16.6	16.5	16.5	16.4	16.4	16.3	15.8
温度差	1.4	1.5	1.3	1.2	1.1	1.7	1.8	2.0	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	約1.6

※水温(無)は、地下海水利用システム無しの場合の従来水槽水温を表す。

※水温(有)は、地下海水利用システム有りの水槽水温を表す。

C 海水 (排)	18.3	18.4	18.5	18.8	19	19.5	19.5	19.6	19.5	19.5	19.5	19.4	19.4	19.1
D 海水 (往)	23.5	23.5	23.5	23.5	23.6	23.6	23.6	23.6	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5

3) 地下海水利用システムの使用結果

地下海水をくみ上げるポンプの1時間当たりの消費電力は0.75kwとなっており、月毎に運転日数をかけ、消費電力量を算出した。水槽温度は8月に約2.5℃冷却、1月に約1.6℃加熱された。

(1) 地下海水利用システムの冷却エネルギーと加熱エネルギー

地下海水利用システムの夏季の冷却エネルギーは11.68kwとなり、ポンプの消費電力0.75kwで割るとCOPは15.57となった。(H29年8月は16.15)

また、冬季の加熱エネルギーは、9.52kwとなり、同様にポンプの消費電力0.75kwで割るとCOPは12.69となった。(H30年1月は12.56)

H29年度の結果と比較して、海水温度差に特に変化はなくCOPの数値も大きな違いはないため特に変化はないことが確認された。

[計算式] 水槽が冷却又は加熱された熱量(kw) =
海水温度差(℃)×海水ポンプ流量(ℓ/min)/60000(m³/sec)×海水比熱(kJ/kgK)×海水密度(kg/m³)

表 2.2.3 No.6 養殖池 地下海水利用システム(夏季)の冷却エネルギー

	地下海水 【排水】 (℃)	地下海水 【往き】 (℃)	海水 温度差 (℃)	ポンプ 流量 (ℓ/min)	海水比熱 (kJ/kgK)	海水密度 (kg/m ³)	冷却エネルギー (kw)
8月	28.1	23.9	4.20	41.03	3.97	1,024	11.68
平均							11.68
			H29.8月 COP 16.15		H30. COP 15.57		

表 2.2.4 No.6 養殖池 地下海水利用システム(冬季)の加熱エネルギー

	地下海水 【排水】 (℃)	地下海水 【往き】 (℃)	海水 温度差 (℃)	ポンプ 流量 (ℓ/min)	海水比熱 (kJ/kgK)	海水密度 (kg/m ³)	加熱エネルギー (kw)
1月	19.1	23.5	4.40	31.95	3.97	1,024	9.52
平均							9.52
			H30.1月 COP 12.56		H31. COP 12.69		

熱量算出計算式：(4.40×31.95/60000)×3.97×1024=9.52

※ポンプ流量は今年度計測していないため、H29年度の数値を代用している。

(2) 地下海水利用システムの一次エネルギー消費量

夏季の地下海水利用システムにおける1ヶ月当りの消費電力量（8月）は558kwh, これを一次エネルギー消費量に換算すると約5,400MJとなった。

[計算式]

消費電力量

$$0.75\text{kW} \times 24\text{h} \times 31\text{日} = 558\text{kWh}$$

一次エネルギー消費量（地下海水利用システム）

$$558\text{kWh} \times 9.76\text{ MJ/kWh} \approx 5,446\text{ MJ}$$

地下海水利用システムの代わりに、一般的に使用されているCOP6程度の冷凍機を使用した場合、冷却エネルギーを同程度として推計した結果、1ヶ月当りの消費電力量（8月）は約1,451kwh, 1次エネルギー消費量に換算すると約14,000MJとなった。

以上の推計結果より、夏季に冷凍機を導入して使用する場合と比べ、地下海水利用システムを使用することで消費エネルギーは約1/3となり、効率性も良いと判断される。

[計算式]

一次エネルギー消費量（冷凍機使用した場合）

$$1,451\text{kWh} \times 9.76\text{ MJ/kWh} \approx 14,162\text{ MJ}$$

表 2.2.5 冷凍機を使用した場合の消費電力との比較

		8月	備考
地下海水 利用 システム	1時間当たりの消費電力量 (kw)	0.75	
	1ヶ月当りの消費電力 (kwh)	558	
	冷却エネルギー (kw)	11.68	
	COP [成績係数]	15.57	
	1ヶ月当りの1次エネルギー消費量 (MJ)	5,446 MJ	
冷凍機 使用	1時間当たりの消費電力量 (kw)	1.95	
	1ヶ月当りの消費電力 (kwh)	1,451	
	冷却エネルギー (kw)	12.11	
	COP [成績係数]	6	仮定値
	1ヶ月当りの1次エネルギー消費量 (MJ)	14,162 MJ	

冬季の地下海水利用システムの1ヶ月当りの消費電力は558kwh（1月）となった。これを一次エネルギー消費量に換算すると約5,400MJ、灯油に換算すると148ℓとなった。

[計算式]

$$1 \text{ ヶ月の一次エネルギー消費量} : 558 \text{ kwh} \times 9.76 \text{ MJ/kwh} \approx 5,446 \text{ MJ}$$

$$1 \text{ ヶ月の消費灯油量} : 5,446 \text{ MJ} \div 36.7 \text{ MJ/}\ell \approx 148 \ell$$

地下海水利用システムでは、冬季（1月）に、水槽水温を約1.6℃あげていた。これをボイラー（灯油）にて水槽を加熱した場合、1ヶ月当り約970.3ℓの消費灯油量、1次エネルギー消費量に換算すると約3.6万MJとなった。

以上の推計結果より、冬季にボイラーを導入して使用する場合と比べ、地下海水利用システムを使用することで消費エネルギーは約1/6となり、効率性も良いと判断される。

[計算式]

$$1.6^\circ\text{C加熱する熱量} : 138,000 \ell \times 1.6 \text{ Kcal/}\ell \div 0.846 \text{ (ボイラー効率)} = 260,993 \text{ kcal}$$

(水槽容量 : 10m × 6.9m × 2m = 138m³ ≈ 138,000 ℓ)

$$1 \text{ 日の消費灯油量} : 260,993 \text{ kcal} \div 8,329 \text{ Kcal/}\ell \text{ (低位発熱量}^{*1})} = 31.3 \ell$$

$$1 \text{ ヶ月の消費灯油量} : 31.3 \ell \times 31 \text{ 日} \approx 970.3 \ell$$

$$1 \text{ ヶ月の一次エネルギー消費量} : 970.3 \ell \times 36.7 \text{ MJ/}\ell \approx 35,610 \text{ MJ}$$

※1：燃焼ガス中の生成水蒸気が凝縮したときに得られる凝縮潜熱を含めた発熱量を「高位発熱量」といい、水蒸気のまま凝縮潜熱を含まない発熱量を「低位発熱量」という。ボイラー設備は低位発熱量に含まれる。(高位発熱量は火力発電など)。

表 2.2.6 ボイラーを使用した場合の消費電力との比較

		1月	備考
地下海水 利用 システム	1時間当たりの消費電力量 (kw)	0.75	
	1ヶ月当りの消費電力 (kwh)	558	
	加熱能力 (kw)	9.52	
	COP [成績係数]	12.69	
	1ヶ月当りの1次エネルギー消費量 (MJ)	5,446 MJ	
	1ヶ月当りの消費灯油量 (ℓ) 換算値	141ℓ	
ボイラー (灯油)	1ヶ月当りの1次エネルギー消費量 (MJ)	35,610MJ	
	1ヶ月当りの消費灯油量 (ℓ)	970.3ℓ	

2.3 県立博物館・美術館における地中温度測定

県立博物館・美術館では、28年度業務で設置した地中温度計の計測を平成29年6月から平成30年2月まで毎月1回の頻度で実施したが、データを年サイクルで評価するには3月から5月の計測があることが望ましい。そこで、不足月の計測を行った。計測結果は前年度の評価を変える結果にはなっていないが一サイクルのデータとして示すことができた。表2.3.1 地中温度測定記録表を示す。

1) 不易層の深度と温度

各月の深度方向の地中温度分布とその月毎の推移を図2.3.1に示す。各月の測定値は、地表に近い部分は測定値がばらつくが、10m以下の深度ではほぼ一定となる。この結果から、10m以下を本地域の不易層深度考えてよい。これは一般的に言われている出現深度と同じ傾向である。

不易層温度は年間平均気温に近いと言われるが、調査地点の不易層温度は25℃～26℃を示し、那覇の年間平均気温(23.1℃：1981～2010)に比べて2～3度近く高い。その理由はよく分からないが、地下構造物を有する博物館・美術館の建物が熱源となっているか、比熱が大きい(熱を蓄えやすい)泥岩の特性によるものかも知れない。

2) 深度別の地中温度変化

各深度別の地中温度の月毎の推移を図2.3.2に示してある。図には、観測期間中の那覇市の月平均気温も併せて示してある。

1m深度の地中温度は、地表気温の推移に追従する形で敏感に変化する。最高温度は8月の30.2℃、最低温度の2月の20.1℃で、温度差は10度以上に達する。2m深度では9月と2月の温度差が5.6度となり、以下3m：4.3度、5m：1.8度、7m：1.0度と、深度と共に温度差は小さくなる。

最高温度の出現時期に着目すると、1m深度：8月、2m：9月、3m：9～10月、5m：9～10月となり、地表からの熱がゆっくりと地下に伝播する状況が確認される。7m以深ははっきりとしたピークは出現していない。

この結果から、地表気温と浅部地中温度の浅部地中熱利用を検討する場合、地表と地中の縦方向の熱交換あるいは熱移流は、パラメータとして無視できないことが想定される。

また、福島の観測事例では、「地中の最高温度が冬期、最低気温が夏期に出現し、半年のタイムラグは地中熱利用には有利である」との情報もある。

表2.3.1 地中温度測定記録表

場所: 沖縄県立博物館・美術館

深度 (GL-m)	29年 6月 29日 11時			29年 7月 21日 10時			29年 8月 15日 10時			29年 9月 27日 10時			深度 (GL-m)
	計測温度(°C)			計測温度(°C)			計測温度(°C)			計測温度(°C)			
	最高	最低	平均	最高	最低	平均	最高	最低	平均	最高	最低	平均	
1.0	27.7	27.7	27.7	29.5	29.2	29.4	30.3	29.9	30.2	29.6	29.4	29.5	1.0
2.0	25.8	25.6	25.7	27.1	27.0	27.1	28.4	28.2	28.3	29.5	29.4	29.4	2.0
3.0	25.3	25.2	25.3	25.8	25.7	25.7	27.1	26.9	27.0	28.6	28.6	28.6	3.0
5.0	25.2	24.9	25.1	25.4	25.3	25.3	25.5	25.1	25.3	26.9	26.8	26.9	5.0
7.0	25.4	24.9	25.1	25.4	25.2	25.3	25.4	25.2	25.3	26.1	26.0	26.0	7.0
10.0	25.5	25.3	25.4	25.6	25.5	25.5	25.6	25.4	25.4	25.9	25.7	25.8	10.0
15.0	25.4	25.0	25.3	25.7	25.5	25.6	25.5	25.4	25.4	26.0	25.9	25.9	15.0
20.0	25.3	25.0	25.2	25.4	25.3	25.4	25.4	25.2	25.3	26.0	25.7	25.9	20.0
外気温	31.8	31.2	31.5	33.3	31.7	32.7	32.7	32.1	32.4	31.6	31.2	31.4	外気温

深度 (GL-m)	29年 10月 24日 11時			29年 11月 21日 10時			29年 12月 13日 10時			30年 1月 16日 10時			深度 (GL-m)
	計測温度(°C)			計測温度(°C)			計測温度(°C)			計測温度(°C)			
	最高	最低	平均	最高	最低	平均	最高	最低	平均	最高	最低	平均	
1.0	27.9	27.7	27.8	25.2	25.0	25.1	22.8	22.6	22.7	21.1	20.9	21.0	1.0
2.0	29.1	28.9	29.0	27.2	27.0	27.1	26.2	26.2	26.2	24.6	24.4	24.5	2.0
3.0	28.5	28.4	28.5	26.9	26.8	26.8	26.4	26.3	26.4	25.4	25.2	25.3	3.0
5.0	27.0	26.8	26.9	26.8	26.6	26.7	26.4	26.2	26.3	25.9	25.7	25.8	5.0
7.0	26.0	25.6	25.9	26.1	25.9	26.0	25.9	25.6	25.8	26.2	26.1	26.1	7.0
10.0	25.8	25.6	25.7	25.5	25.4	25.5	25.3	25.2	25.3	25.6	25.4	25.5	10.0
15.0	25.7	25.7	25.7	25.3	25.2	25.2	25.1	25.0	25.1	25.4	25.3	25.4	15.0
20.0	25.8	25.7	25.7	25.2	25.1	25.2	24.9	24.8	24.9	25.4	25.3	25.4	20.0
外気温	27.8	27.5	27.7	22.8	22.4	22.6	20.0	19.5	19.7	21.8	21.5	21.7	外気温

深度 (GL-m)	30年 2月 7日 10時			30年 3月 15日 10時			30年 4月 27日 10時			30年 5月 28日 10時			深度 (GL-m)
	計測温度(°C)			計測温度(°C)			計測温度(°C)			計測温度(°C)			
	最高	最低	平均	最高	最低	平均	最高	最低	平均	最高	最低	平均	
1.0	20.2	20.0	20.1	20.6	20.5	20.6	23.5	23.2	23.4	26.2	25.8	26.0	1.0
2.0	23.8	23.7	23.8	23.2	23.0	23.1	23.6	23.5	23.6	24.9	24.5	24.7	2.0
3.0	24.7	24.6	24.7	23.7	23.5	23.6	24.2	24.0	24.2	24.5	24.4	24.4	3.0
5.0	25.7	25.6	25.6	24.6	24.4	24.5	24.8	24.7	24.7	25.0	24.9	24.9	5.0
7.0	25.9	25.8	25.9	25.4	25.3	25.3	25.5	25.3	25.4	25.6	25.4	25.5	7.0
10.0	26.1	26.1	26.1	25.3	25.1	25.2	25.6	25.5	25.6	25.9	25.7	25.8	10.0
15.0	25.9	25.8	25.8	25.3	25.1	25.2	26.0	25.6	25.8	25.7	25.5	25.6	15.0
20.0	25.8	25.8	25.8	25.2	25.0	25.1	26.0	25.6	25.7	25.6	25.4	25.5	20.0
外気温	14.7	14.4	14.6	24.1	23.7	23.9	24.2	23.7	23.9	31.8	31.7	31.6	外気温

深度 (GL-m)	30年 7月 18日 10時			年 月 日 時			年 月 日 時			年 月 日 時			深度 (GL-m)
	計測温度(°C)			計測温度(°C)			計測温度(°C)			計測温度(°C)			
	最高	最低	平均	最高	最低	平均	最高	最低	平均	最高	最低	平均	
1.0	28.1	27.9	28.0										1.0
2.0	27.0	26.8	26.9										2.0
3.0	26.5	26.2	26.4										3.0
5.0	25.2	25.1	25.2										5.0
7.0	25.3	25.2	25.2										7.0
10.0	25.1	25.0	25.1										10.0
15.0	25.3	25.2	25.3										15.0
20.0	25.3	25.1	25.2										20.0
外気温	31.4	30.9	31.2										外気温

※各深度の計測時間は、通電後3分～6分とし、その間の最高、最低、平均の温度を計測。

月別地中温度

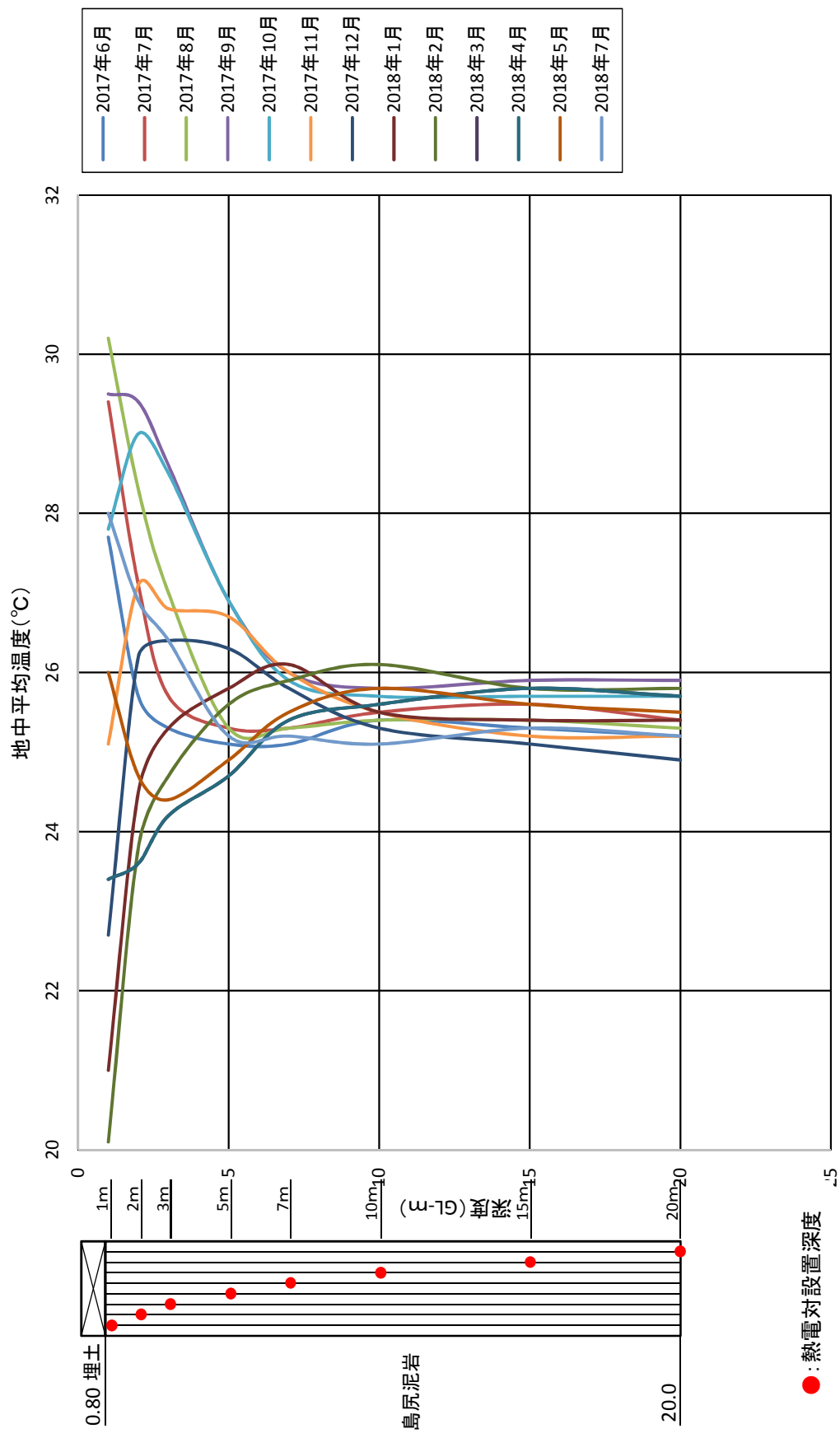


図2.3.1 地中温度の月別変化

深度別地中温度

2017年5月 2017年6月 2017年7月 2017年8月 2017年9月 2017年10月 2017年11月 2017年12月 2018年1月 2018年2月 2018年3月 2018年4月 2018年5月 2018年6月 2018年7月 2018年8月

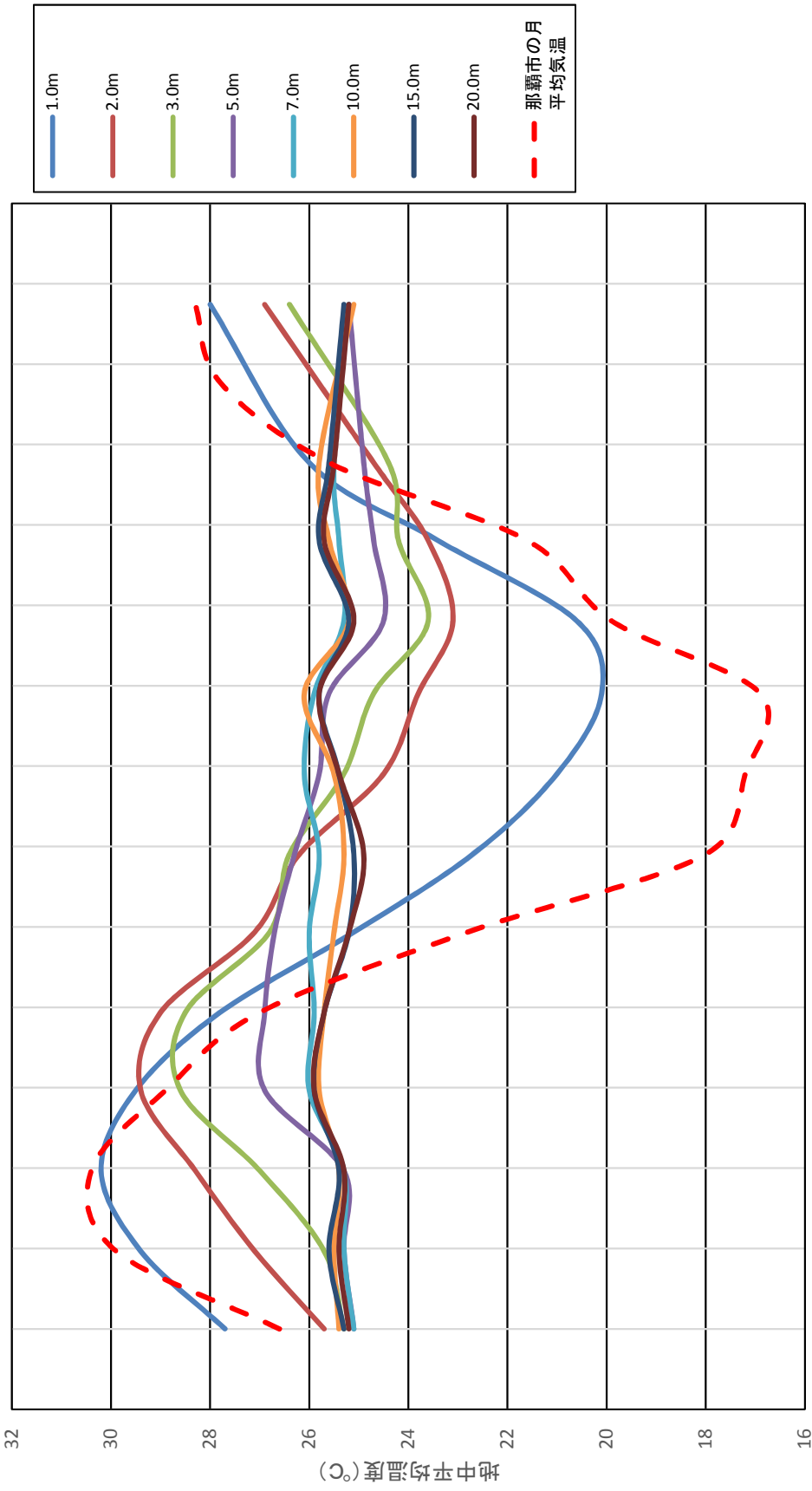


図2.3.2 深度別地中温度の月別変化