

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

概 要 報 告 書

平成 30 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
2. モデル施設における実証、他施設でのデータ収集・整理	
2.1 県立総合教育センター（モデル施設）	13
2.2 県栽培漁業センター	21
2.3 沖縄コンベンションセンター	32
2.4 県立博物館・美術館	33
3. 熱物性に関する情報収集	
3.1 ボーリング調査	37
3.2 熱物性試験	39
4. 県内企業の育成	
4.1 システム設計に係る実践講座	69
4.2 先進地視察	74
5. 普及に関する調査・検討	
5.1 普及に関する情報収集及び整理	79
5.2 地中熱利用システムに関するニーズ調査.....	85
5.3 沖縄県での地中熱利用システムの普及戦略の提案.....	179

1. 業務概要

1.1 業務の一般事項

1) 業務名称

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

2) 履行期間

自) 平成 29 年 6 月 15 日

至) 平成 30 年 2 月 28 日

3) 業務場所

沖縄島を中心とする沖縄県下

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。

本業務では、「平成 28 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、企業育成、普及に関する調査・検討等とおして、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) モデル施設における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 他施設におけるデータ収集・整理

(2) 熱物性に関する情報収集

(3) 県内企業の育成

(4) 普及に関する調査・検討

① 普及に関する情報収集および整理

② 地中熱利用システムに関するニーズ調査

6) 受託者

中央開発・ワールド設計共同企業体

〒900-0001 沖縄県那覇市港町 2 丁目 6 番 18 号 極東ビル

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

〒900-0001 沖縄県那覇市港町 2 丁目 6 番 18 号 極東ビル

TEL : 098-861-6553 FAX : 098-861-6612

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) 実施方針

(1) 地中熱利用の普及を阻害している要因

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、未開拓エネルギーが地中に眠っている状態にある。

この冷熱と温熱を併給できる地中熱利用技術の利活用が少しでも進めば、省エネやCO₂削減に貢献できる技術であるにもかかわらず、普及してきていない原因は幾つか考えられるが、主たる項目を挙げるとすれば、以下が考えられる。

- 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は開発途上にある。
- ②上記に関連し、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。

(2) 業務の基本方針

冷熱・温熱同時利用が可能な地中熱利用は、エアコンに比較して省エネポテンシャルが高い。昨年度から始まった本事業の目的は、前述の課題を克服し、沖縄県内での普及を目指すことにある。これを受けて今年度業務の基本方針は、昨年度行われた基礎的調査を踏まえ以下のように定めた。

業務の基本方針

- ①温暖地向けに開発した試験機材の省エネ性能を把握するため実証施設に導入する。
- ②事業としての魅力を実証試験や講習を通じて発信し、事業者の意欲を醸成する。
- ③エンドユーザの意識を社会的、統計的に確実に把握する。

昨年度業務では基礎的調査を行い、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、大手メーカーでは3~5kW級温暖地向けブライン式ヒートポンプの開発も進められた。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。本業務では、地中熱利用と空気熱利用の省エネ性を比較実証するため、温暖地向けの機器をモデル施設に導入した。

県内への普及を目指すには、まずは事業者に事業意欲を持ってもらうことが最優先の課題である。プロである事業者の魅力を感じてもらえる説得力のある情報を、実証試験や講習を通じて発信した。それと並行して、一般住民の方々や小規模事務所の省エネやエネルギーコストに対する意識調査を実施し、事業戦略の基礎資料とした。

温暖地における地中熱利用技術はまだ確立されていない。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や沖縄の地盤に精通している琉球大学理学部の技術指導・支援を受けて業務を実施した。

2) モデル施設における実証, 他施設でのデータ収集・整理

(1) 県立総合教育センター (モデル施設)

地中熱利用では, 地中を掘削し, 地中熱交換井を設けることとなるが, 熱交換を効率的かつ経済的に実現することが肝要である。地中熱ヒートポンプシステムの中で, 現在一般的に普及しているものは, クローズドループのボアホール方式となっており, 掘削費用の低減と一般家庭への普及を図るために, 浅部地中熱利用が可能な2重管方式を採用した。

浅部地中熱は, 地表面温度の影響を受けやすいものの, 掘削深度が浅いため, 掘削孔径が小さく済み経済的となる。さらに小型の掘削機で施工できる事から狭い箇所での施工も可能である。

また, 熱交換方式においては, 高密度ポリエチレンを用いたUチューブが主流となっているが, 熱伝導率や熱交換の効率性, 県内で材料を調達できる事からも鋼管を用いた熱交換方式とした。

方式	ボアホール方式			杭方式		
	シングルUチューブ	ダブルUチューブ	二重管	二重管型	Uチューブ型	現場施工杭
断面図						
立面図						
材質	高密度ポリエチレン (Uチューブ)	高密度ポリエチレン (Uチューブ)	外管: スチール 内管: ポリエチレン, 塩ビ, グラスファイバー	杭: スチール, コンクリート 内管: ポリエチレン	杭: スチール, コンクリート 内管: 高密度ポリエチレン (Uチューブ)	杭: 鉄筋コンクリート 内管: 高密度ポリエチレン (Uチューブ)
流体	水, 不凍液			水, 不凍液		
充填	管外: 充填材	管外: 充填材	なし	管外: 充填材	管外: 水	コンクリート

図 1.2.1 垂直埋設型地中熱交換器の種類

①地中熱交換器の配管方式の検討と提案

地中熱交換機の配管方式には, 主としてヘッダー方式, 直列方式, 並列方式がある。それぞれの長所と短所を踏まえ, 総合教育センターでの設置性と効率的な方式を確認し, ヘッダー方式とした。

方式	ヘッダー方式	直列方式	並列方式
図			
長所	<ul style="list-style-type: none"> ・エア抜きも系統ごとに行えるため確実性が高い。 ・最も採用事例が多い 	<ul style="list-style-type: none"> ・循環流量確保が容易である。 ・エア抜きの確実性が高い 	<ul style="list-style-type: none"> ・循環流量を均一にしやすい。直列と比較し, 摩擦損失水頭を小さくできる。
短所	<ul style="list-style-type: none"> ・地中熱交換井の本数や配置によって配管系統が長くなるため経済性を考慮した計画が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・高揚程のポンプが必要。 ・摩擦損失水頭が大きくなる。 ・イニシャル・ランニングコスト共に劣る。 	<ul style="list-style-type: none"> ・試運転時, 運用後のエア抜き方法に配慮が必要となる。

図 1.2.2 地中熱交換器の配管方式

② 設置機器（暖地仕様）

県外で普及している地中熱ヒートポンプは、主として寒冷地用で開発されてきたため、暖房性能を主として設計されてきた。近年、暖地向けとする冷房能力が高いヒートポンプ（5kW）が開発されたため、沖縄県の特徴である高温多湿にも対応した機器を採用した。

③ エアコンとの比較が出来る使い方とモニタリング方法

空気を熱源とするエアコンと地中熱利用システムを厳密に比較検討ができるように、室外には地中熱ヒートポンプとエアコン用室外機を併設（室内機は同一）した。施設管理者には、比較検討が出来るよう日毎あるいは週毎の交互運転を依頼した。

モニタリングの方法

気温や湿度の他、1次側及び2次側の温度や流量、熱量、電力などを計測する。また、地中熱利用ヒートポンプは、地盤への影響もあることから、既存の観測井にて、地中温度等の観測を行う。

1次側については、直膨方式エアコン（利用する場所で冷媒を膨張させ熱を奪う方式）と地中熱利用ヒートポンプを比較する際の統一した基準が無い。また、エアコンの場合、厳密な排熱温度測定が難しいため、2次側のファンコイルユニットを用いて検証を行う。

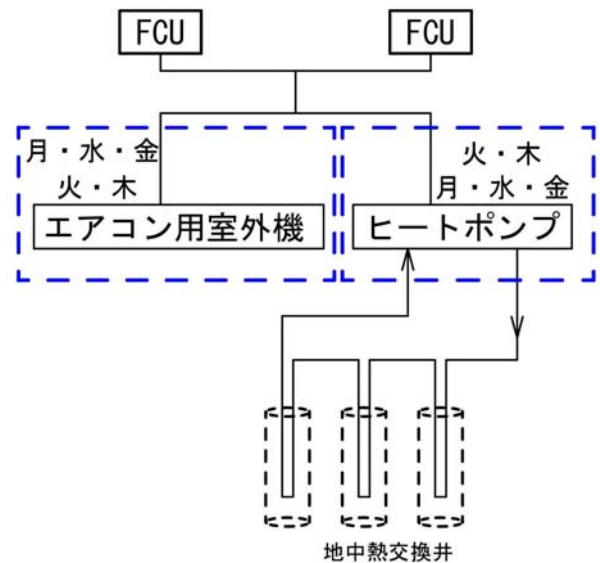


図 1.2.3 地中熱ヒートポンプとエアコンの交互運転例

モニタリングの結果、設置費や運転等の維持管理費、使用電力等の省エネ性、CO₂削減効果や熱交換量等の環境面の評価を行うことができる。今年度は機器の設置と試運転までを実施した。

④ 一般向けPRの手法

総合教育センターに試験導入した地中熱利用システムは、「環境教育」の観点から県内普及の一助となるよう、同センターのエントランスホールで運転状況や省エネ効果分かる装置、またはモニターを導入し「見える化」を図った。

配管システムは、小中学生でも、機能や熱の流れが分かるよう色分けや名称表示を行い、「環境教育」の一環として来館者の見学等に利用してもらうように配慮した。

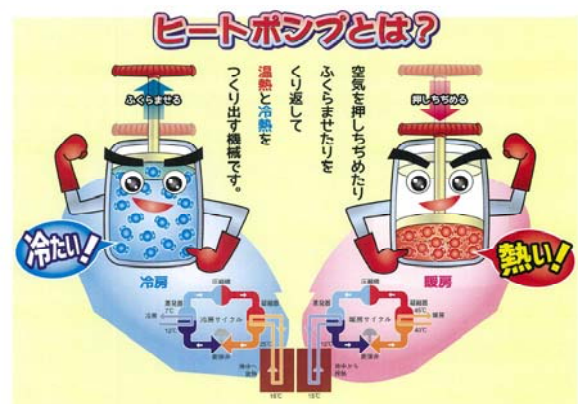


図 1.2.4 モニター図の例

(2) 県栽培漁業センター

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。その中で、平成28年度の業務で、地下水の熱を利用し、養殖池における夏場の温度上昇及び冬場の温度低下等の緩和を行うと共に、今後の研究に向け、計測機器や配管等の整備が行われた。

装置の稼働と計測は、夏の水温度上昇、冬の水温度低下といった養殖地の環境に応じて、栽培漁業センターがコントロールを行い、その際流れる地下海水の温度や流量を、外気温や照度と共に計測する。本業務では、随時計測データの提供を受け、使用エネルギー量の視点から整理を行った。

今後、継続的に試験データを集められれば、エネルギーやコスト削減の定量評価につながる。そのデータは、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、沿岸域における省エネ技術としての地下海水利用技術の可能性を検討する際、基礎データとして役立てることができると見られる。

(3) 沖縄コンベンションセンター

沖縄コンベンションセンターでは、ボアホール方式と放射パネルを利用した地中熱利用を独自に行う計画であり、計画の進捗状況等について、聞き取り調査を行った。

【注目点：放射パネルの可能性】

放射パネルは、近年注目されている技術の一つとしてあげられ、沖縄コンベンションセンターでは、その特徴を活かした取組みが行われることから、一般家庭への普及も視野に入れた検証が求められる。

熱の伝わり方には、「伝導」「対流」「放射」の三つの方式がある。

- ①「伝導」は、物体を媒体として熱が流れる現象
- ②「対流」は、物体の周りの空気や水などの流れによって熱が移動する現象
- ③「放射」は、物質を介さず、熱が高い所から低い所へ流れる現象

空調の場合、最も普及しているエアコンは空気を熱源とする対流方式となっており、経済的な優位性や利便性の良さがあるものの、冷風が直接当たる箇所は寒い等、温度差や生じやすく、快適性が低い。また、ほこりやカビ、ウイルスがまき散らされる可能性の問題、音の問題、フィルターの掃除等、メンテナンスが必要となる。

一方、放射式は、対流式でないため、均一な快適性を得ることができ、音が静かで、メンテナンス性に優れている。省エネ効果も高いと言われている。

(4) 県立博物館・美術館

一般に、地中温度は-10m程度までは地表気温の影響により季節変動し、-10m以深は、ほぼその地域の年間平均気温に近い温度で安定すると言われている。

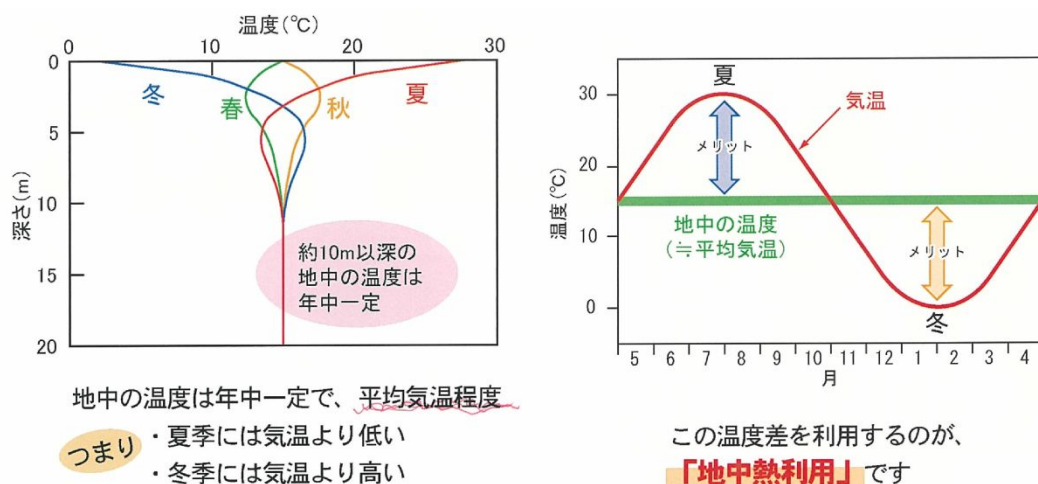


図 1.2.5 地中温度の一定性

沖縄県において、浅部（地表から数 10m 区間）の地中温度データで公表されているものは確認出来ない。県立博物館・美術館では、昨年度業務で使用した地中温度計（熱伝対）がそのまま設置されている。そこで、それを利用して地中温度を測定し、同地点における地温勾配の季節変動や、温度変化の無い不易層の深度を確認した。

熱伝対は、GL-1m～-20m 間の 8 深度に設置されている。温度測定にはポータブルなデジタル温度計（オメガ HH91）を使用し、毎月 1 回程度計測した。

測定結果から、同地における地温の温度勾配とその季節変化、温度の一定する不易層の深度等を評価した。

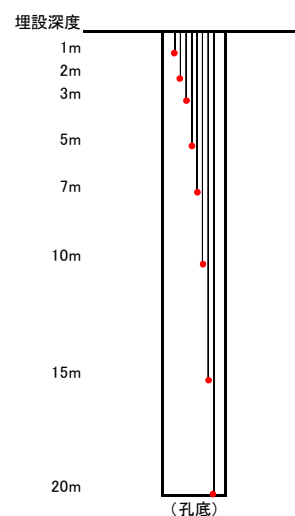


図 1.2.6 熱伝対の埋設位置

3) 熱物性に関する情報収集

【着眼点・留意点】

地中熱利用において必要となる地中情報は、大きくは当該地の「①地盤構成」「②地盤の熱物性」「③地下水情報」の 3 点に集約される。このうち、「②地盤の熱物性」に関する沖縄県内の情報は乏しく、平成 28 年度事業で実証試験を実施した 3 箇所のほかは、実際に熱応答試験を実施したり、類似した地質（岩質や密度）から類推する程度の方法しかないのが現状である。したがって、沖縄県における代表的な地層や地盤についての熱物性値は、前年度に引き続き本業務におけるフィールドワークおよび室内試験を通じて明らかにする必要がある。とりわけ、沖縄固有の赤土や琉球石灰岩などローカルソイルについては、一般値の解明が不十分であり、これを明らかにする必要がある。

(1) ボーリング調査

沖縄特有のローカルソイルの地層構成確認および熱物性試験試料の採取を主な目的として、ボーリング調査を実施した。

対象地は、国頭郡金武町金武の民間敷地とし、φ66mmのオールコアボーリングで、深度20mまで調査を実施した。対象地の浅層地質は、国頭層群嘉陽層の砂岩あるいは頁岩を母岩としており、沖縄本島中部から北東部にかけて広く分布している。表層部はこれらの母岩が風化した、いわゆる「赤土」から構成される。赤土は、熱帯から亜熱帯地域に広く分布する風化土壌で沖縄県を代表する地(土)層のひとつであることから、本業務のボーリング調査地点候補地として選定した。

(2) 熱物性試験

室内における熱物性測定には、以下のような方法があるが、ホットディスク法により試験を実施した。同法による熱物性測定は、岩石以外にも等方性の断熱材、樹脂、セラミックス、金属、練り物、液体等の熱伝導率および熱拡散率が測定でき、さらにこれらの測定値により単位体積あたりの比熱容量を算出することが可能である。新素材の研究開発、各種材料の応用や用途開発、製品の性能評価や品質管理に幅広く用いられている試験法である。

測定法	ホットディスク法	プローブ法	熱流置法	レーザーフラッシュ法
関連規格	ISO/CD 22007-2	JIS R2616	ASTM E1530	JIS R1611
測定例	<ul style="list-style-type: none"> 樹脂板 カーボン粉入り樹脂 放熱グリース など 	<ul style="list-style-type: none"> 樹脂フィルム 発泡樹脂シート 高配向FRP など 	<ul style="list-style-type: none"> バレル樹脂 樹脂積層板 樹脂シート 保温材 など 	<ul style="list-style-type: none"> セラミックス薄板 断熱コートつき金属板 など
イメージ図				
タイプ	3次元、非定常	2次元、非定常	1次元、定常	1次元、非定常
測定範囲 (W/m.K)	0.01~100	0.02~10*1	0.1~15	0.05~400
測定精度	±5%	±5%*1	±5%	±10%
温度設定 (℃)	-20~200	制御不可	室温~300	-180~1300
標準サイズ*2 (mm)	40φ×40t (試料を重ねても可) 2片1組	30×110×25t 30×110×0.1~2t 上図中の横が110	50φ×0.2~15t (試料を重ねても可)	10φ×1~3t

図 1.2.7 室内における熱物性値測定方法

岩石や堆積物の熱伝導率は、熱の伝わり易さを表すパラメーターであり、比熱、熱拡散率とともに、物質の基本的熱物性値である。

$$\text{熱伝導率 (W/m}\cdot\text{K)} = \text{密度 (kg/m}^3\text{)} \times \text{比熱容量 (J/kg}\cdot\text{K)} \times \text{熱拡散率 (m}^2\text{/s)}$$

ホットディスク法による熱伝導率測定方法は、ISO/CD 22007-2 に準じて実施した。

(3) 試験試料の収集

試験試料は、県内に分布する地層や岩石について代表的な試料を収集した。試料は、当JVで所有しているボーリングコアや、県内で実施されている公共事業で採取したボーリングコア試料とした。

(4) 熱物性値の整理

測定した熱物性値は、地質毎に熱伝導率、熱容量、温度伝導率について整理した。試験結果は平成 28 年度事業で作成した採熱量期待値マップの諸元データの精度向上に資することができる。

また、熱物性値と密度や弾性波速度、飽和度との関係を整理し、県内の代表的な地質に幅広く活用するため、同じ地質での風化の程度や地下水環境の違いによる熱物性値の特徴を検証した。

4) 県内企業の育成

(1) システム設計に係る実践講座

地中熱利用技術の普及に当たり、技術者の養成は重要な要件となる。昨年度業務では事業者を対象として、導入的・概論的な講義が行われた。今年度業務では一歩進めて、沖縄型地中熱利用システムの設計について、実践的な講義 3 回（各 1 日）実施した。対象は建築、設備設計、施工（電設、配管、ボーリング）等の技術者とし、基礎技術の習得を目指した。

参加者は、昨年度受講者への呼び掛けや、関連する業界団体を通じて広く募集した。講師は、JV の担当者が務めたほか、日本大学工学部機械工学科 再生可能エネルギーシステム研究室に派遣を依頼した。

(2) 先進地視察

本業務では、沖縄県内の一般住宅や小規模施設への普及を目指し、導入コストや施工性の面で優位な浅部地中熱利用技術を推進している。この技術は、日本大学工学部機械工学科 再生可能エネルギーシステム研究室が中心となり、当 JV を含めた多くの関連企業との共同研究によって開発が進められている。

先進地視察は、地中熱利用技術の実践研究の場である郡山市の日本大学研究施設（赤津実験場）と、機器が稼働している市内の一般住宅や宿泊滞在施設について行った。

郡山市・日本大学工学部再生可能エネルギー共同研究施設（通称：赤津実験場）は、郡山市の旧小学校敷地と校舎を利用した国内最大級の実験場で、地中熱利用技術に関する殆どの実験に対応することが出来る。沖縄向けの浅部地中熱利用技術も当実験場を中心に開発が進められている。

一般住宅（モデルハウス）や宿泊滞在施設は、地中熱利用機器がモニタリング機器と共に導入されており、常に利用状況や省エネ効果を確認することが出来る。

5) 普及に関する調査・検討

(1) 普及に関する情報収集及び整理

【着眼点・留意点】

地中熱利用は極寒地、寒地における暖房の省エネ性を図るためのシステムとして開発されてきた。それに対し、冷房需要が大きい西日本、南日本においては空気熱源利用、すなわちエアコンが主流になっている。本州においては、夏場の最高気温が 35℃を超える日々が続いており、気温特性では地中熱利用は極めて有利な状況と言える。一方、沖縄は海洋性気候であることから、夏場においても 33℃を超える程度であり、単純に最高気温の観点からは、地中熱利用が有利とは言えない。ただし、30℃を超える時間数が圧倒的に多く優位性も十分に期待されることから、普及に向けて県内特有の気温特性やライフスタイル、経済環境などを考慮した調査・検討が重要となる。

情報収集及び整理における視点の背景として、以下の点を考慮した。

- ◆地中熱利用は、欧州や米国北部などの寒冷地で、かつ地域熱供給の建物内インフラが整備されている地域で普及している。システムのメリットは暖房に要する化石燃料の使用を抑え、CO₂の排出を低減させるとともに、ヒートポンプの導入により省エネを推進できることにある。
- ◆冷房需要が主となる都市部の事務所ビルや、冷房需要が圧倒的に多い地域においては「エアコン」は普及しているが、地中熱利用技術の導入事例は少ない。
- ◆暖地においては地中熱利用の優位性の確立はこれからである。また、暖地での普及にマッチした機器材料の開発が課題の一つである。
- ◆沖縄に設置した場合、地域特性から想定される課題を一つずつ解決することが重要である。

資料は次のような項目で整理した。

①省エネに関する優位性

平成 28 年度業務において得られた有効熱伝導率は、本州地域と大差がないか、やや高めという結果になっており、少なくとも熱伝導率の面から沖縄県の地中熱利用が不利という結果は出ていない。ただし、地盤の温度が 23℃以上あり、ヒートポンプの定格放熱温度 30℃という条件を鑑みると温度差は 7℃しかない点が課題と言える。その一方、県内では冷房需要が主体となるため、空気熱源エアコンでは難しい冷房放熱を給湯需要に使用できる点などを特徴として捉え、県内のシステムの複合的な運用方法と併せて検討した。

②地中熱交換井の設置における低コスト化

平成 28 年度業務において、地中熱交換井の種類として、主にコストおよび材料調達性の面から、深度 20m の鋼管タイプを選定したが、引き続き、県内の代表的な地質（地域）に対しての適用性を、地質毎の採熱期待値を考慮しつつ、具体的な設置方法を計画しコスト構造を検証した。

③暖地向けヒートポンプの実現可能性

従来の地中熱利用は、暖房の省エネを主眼としていたため、これに供するヒートポンプも暖房性能を主眼とした設計をしており、熱交換器の大きさや、ヒートポンプ内部の冷媒が暖房運用を設計条件としている。また、地中熱利用が暖房地域向けであったことから、暖地向けとして設計されたヒートポンプは事業用向け冷凍機を除けば、市場に投下されていない。そこで、現在開発が進められている冷房性能を重視した暖地向けヒートポンプについて、どの程度の性能が期待されるかを検討した。

④県内向け室内機の要求仕様

地中熱利用向け室内機は、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ないことが課題である。また、本州では室内の冷暖房に主眼があるが、湿度が高い沖縄においては除湿要求も高い。そこで、現在の地中熱利用システムにおいて除湿を行う場合の方法、除湿に主眼を置く場合の省エネ性について、実現性や課題および対応策を整理した。なお、地中熱専用機としての FCU の開発も進められている。

⑤資機材の入手性

平成 28 年度業務において、資機材の入手調査を実施しているが、この結果に基づき、県内企業育成の過程において、ヒアリング等を通じて具体的な運用を想定した場合の課題の抽出を行った。課題に対して、対応方法や代替案・代替資機材を整理し、資機材のリストや入手方法を検討した。

⑥施工・メンテナンス体制

県内において継続的に地中熱利用を普及させる場合、機器の施工やメンテナンス体制の構築が必須である。関連機器メーカーの多くは沖縄にサポート体制がなく、別途構築する必要がある。したがって、普及の先駆けとして、県内事業者による研究協同組合などの支援体制を構築し、現状でサポート可能な機器、不可能である機器を整理し、機器についてのサポート体制についてメーカーへのヒアリング等を通じて整理した。

⑦先進地における地中熱利用の状況

本業務では、県内での普及を第一とし、国内における導入事例や研究施設を対象に視察等を行い、県内事業者により深く地中熱利用技術に接してもらう機会を創出した。

(2) 地中熱利用システムに関するニーズ調査

【着眼点・留意点】

- ◆地中熱利用システムの潜在ユーザである本島の主要都市の居住者に対して Web アンケート調査を行い、省エネの意識や地中熱利用システムへのニーズを統計的に分析する。
- ◆加えて、主要都市の中小規模の事業所建物の所有者／使用者をリストアップし、それらに対してもアンケートを行い、地中熱利用システム導入のニーズを分析する。
- ◆このような分析から、都市住民と事業者に対して、浅部地中熱利用システムの普及のために効果的な戦略を明らかにする。

①本島都市住民に対するニーズ調査

都市住民に対する調査は、比較的安価で多くの回答を効率よく回収することができるインターネットを活用した Web アンケート調査によって実施した。Web アンケートは、民間調査機関に登録されている沖縄県民のモニターを対象として実施した。

サンプル数は、統計的に有意な分析が行えるよう、以下に示すように $n=1,600$ サンプル程度とし、沖縄本島全都市の 20 歳以上の男女を対象に、年齢層構成比、性別構成比を反映させたサンプリングを行った。そして、戸建て住宅に居住する者、もしくは今後戸建て住宅に居住を希望する者をスクリーニングし、それらを対象にアンケートへの回答を依頼した。

$$n = \frac{N}{\left(\frac{e}{k}\right)^2 \frac{N-1}{P(1-P)} + 1}$$

N : 母集団の数。平成 28 年住民基本台帳データをもとに沖縄本島主要市の 20 歳以上人口 730,132 人とする（那覇市、宜野湾市、浦添市、名護市、糸満市、沖縄市、豊見城市、うるま市、南城市）。

k : 統計学の「正規分布表」に基づく調査信頼度の係数。調査自体の信頼度を 95%に設定し 1.96 とする。

e : 許容できる標本誤差の範囲。社会調査で標準的な 2.5%とする。

P : ある選択肢の母集団の回答率。質問が多岐にわたる場合一般的な値（安全側）50%とする。

$$n = \frac{730,132}{\left(\frac{0.025}{1.96}\right)^2 \times \frac{730,132 - 1}{0.5 \times (1 - 0.5)} + 1} \doteq 1,537 \text{人}$$

調査にあたっては、浅部地中熱利用システムの概要やメリットを分かりやすく伝えた上で、各設問に回答してもらった。調査項目としては、以下に示すように、省エネに対する意識や行動、日常的な空調設備の使用状況、ライフスタイル、地中熱利用システムに関する関心やニーズ、環境意識、属性情報などとし、統計分析がしやすいように選択回答を多くした。

【沖縄県本島住民へのアンケート項目の例】

◇住宅の状況 ◇省エネの意識や行動 ◇電気等エネルギー使用の状況
◇冷暖房の使用状況やニーズ ◇温水利用の状況やニーズ
◇再生可能エネルギーへの関心 ◇地中熱利用の認知や関心 ◇導入の意向と理由
◇環境への関心や行動 ◇ライフスタイル ◇世帯年収 ◇個人属性 など

収集データは単純集計、クロス集計、多変量解析などの統計分析を駆使して行い、地中熱利用システムに対する県民の意識や意向、潜在ニーズなどを明らかにした。

このような分析を通して、地中熱利用システムの普及のためのターゲットや、その普及戦略を設定することにつなげることができる。

②本島の事業所に対するニーズ調査

浅部地中熱利用システムの潜在ユーザとして、中小規模の事業所建物の所有者／使用者も想定できる。このため、沖縄県本島の主要都市の官庁や民間の中小規模の事業所建物の所有者／使用者をサンプリングし、それらに対してもアンケートを行い、地中熱利用システムへの潜在ニーズを調査した。

中小規模の事業所建物の所有者／使用者のサンプリングについては、沖縄県の所有データ、建築産関係団体の所有データ（建築士会、建築士事務所協会、設備設計事務所協会等）、Web 検索などを活用して行い、 $n=500$ サンプル程度を確保した（様々な統計分析が有意となるサンプル数程度）。

リストアップした事業者に対して郵送でアンケートを送付し、紙の調査票への記入、もしくは専用 Web ページ上に準備した調査票を介して回答をしてもらった。

調査にあたっては、浅部地中熱利用システムの概要やメリットを分かりやすく伝えた上で、各設問に回答してもらうようにした。調査項目は以下に示すような事項とし、空調設備の使用状況、地中熱利用システムに関する関心やニーズ、省エネに対する関心、事業所の情報などとし、統計

分析がしやすいように選択回答を多くした。

【事業所の所有者／使用者へのアンケート項目の例】

- ◇事業所の状況 ◇省エネの関心や取り組み ◇電気等エネルギー使用の状況
- ◇冷暖房の使用状況やニーズ ◇温水利用の状況やニーズ
- ◇再生可能エネルギーへの関心 ◇地中熱利用の認知や関心 ◇導入の意向と理由
- ◇環境への関心や行動 ◇事業概要 ◇業績 など

分析にあたっては、一般住民アンケートと同様に単純集計、クロス集計、多変量解析を援用して実施した。このような分析手法によって、地中熱利用システムを普及するためのポイント、ターゲット、普及の戦略などを明らかにした。

2. モデル施設における実証, 他施設でのデータ収集・整理

地中熱ヒートポンプシステムは、大別してクローズドループとオープンループがあり、県立総合教育センターは、クローズドループシステム（浅部地中熱、2重鋼管方式）にて、実証を行い、栽培漁業センターは、オープンループシステム（還元方式）にて実証を行っている。

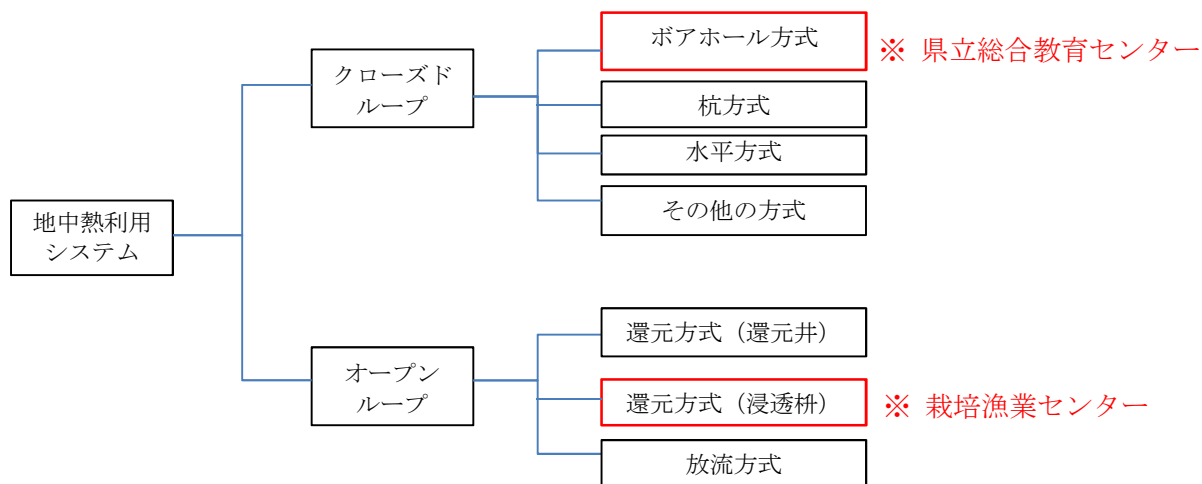


図 2.1.1 地中熱利用方式

2.1 県立総合教育センター

県立総合教育センターでは、産業技術教育棟の執務室をモデル施設に設定し、地中熱利用システムと空気熱利用システムの比較検証のため機材等を設置した。機材等は以下となる。また、来館者に施設をPRするため表示（見える化）システムも設置した。

表 2.1.1 設置機器の一覧

地中熱利用方式	空気熱利用方式
<ul style="list-style-type: none"> ・ 地中熱交換機 ・ 地中熱用ヒートポンプ ・ 循環ポンプ ・ ファンコイルユニット（共用） 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 空気熱用ヒートポンプ（循環ポンプ内蔵） ・ ファンコイルユニット（共用）

1) 地中熱交換器の設置

当地には、28年度業務で熱応答試験を実施した際に設置した地中熱交換器（20m×1本）があり、新設で20m×5本の掘削を行い、既設と併せて延長120mの地中熱交換器とする計画とした。地中熱交換器は鋼管による二重管方式、各孔間は1.8mとした。

地盤の掘削には、ロータリー式ボーリングマシンを使用し、φ100mmのノンコアボーリングを行った。所定の深度まで掘削し、外管として50Aのソケット付き鋼管を埋設した。

熱交換井 掘削施工断面図

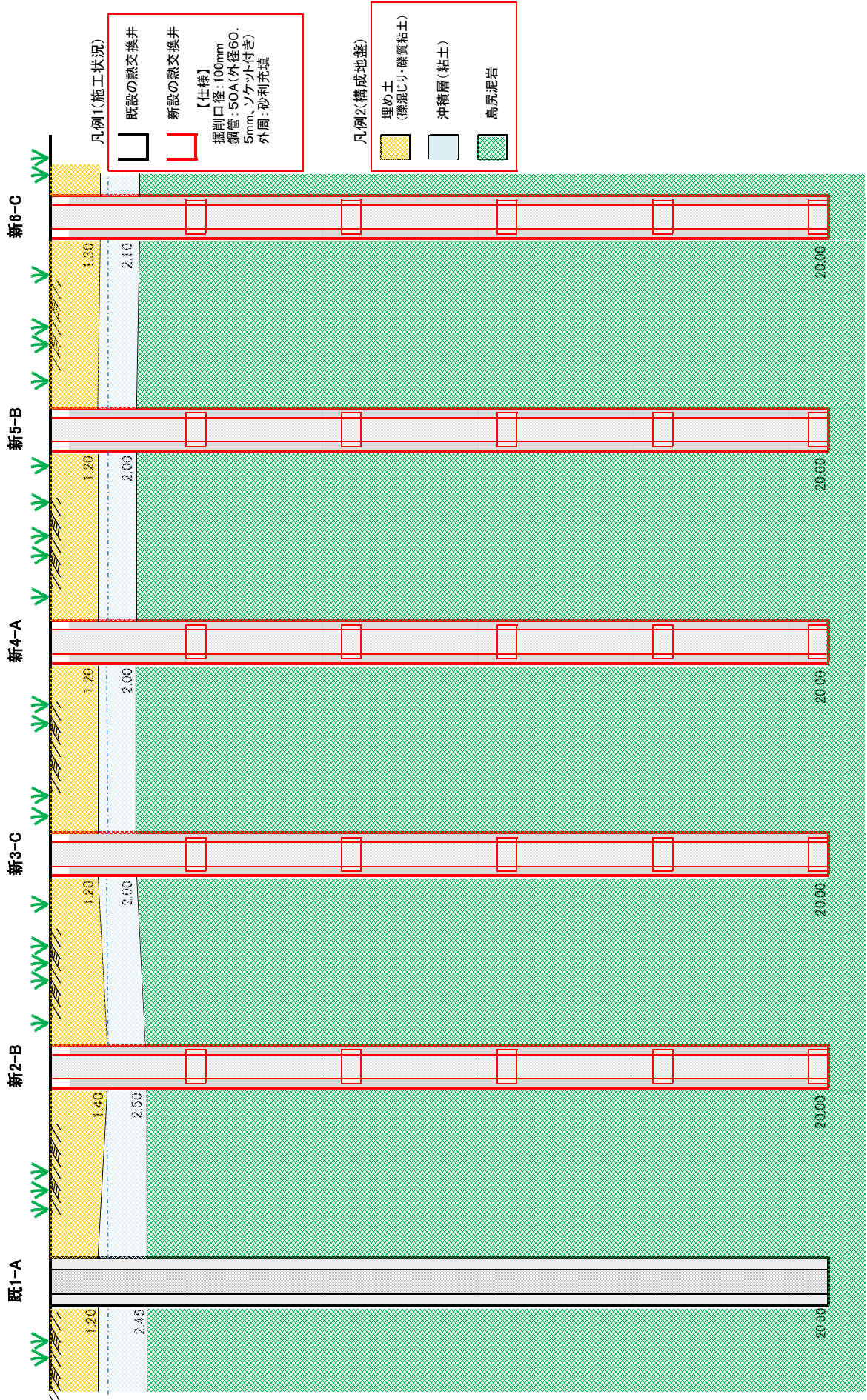


図2. 1. 2熱交換井 掘削施工断面図

(2) 並列方式の検討

並列方式は、3列式と6列式等が考えられ、循環ポンプは両方式によるサイズも変わらず、配管が短く経済的で若干、施工性が容易となるな3列式を採用した。

方式	並列方式(3列式)	並列方式(6列式)
図		
長所	<ul style="list-style-type: none"> ・6列式と比べ配管長さが短くなる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・採熱管と1対となっているため、エア抜きの確実性が高い
短所	<ul style="list-style-type: none"> ・高揚程のポンプが必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・摩擦損失水頭が大きくなる。 ・イニシャル・ランニングコスト共に劣る。

図 2.1.5 並列方式の考え方

2) 地中熱用ヒートポンプの設置

県外で普及している地中熱ヒートポンプは、主として寒冷地用で開発されてきたため、暖房性能を重視した設計となっているが、今回は暖地向けの冷房能力の高いヒートポンプ（5kw）を採用した。

3) 循環ポンプの設置

地中熱利用方式では、地中熱側と室内側にそれぞれ循環ポンプを設けているため、空気熱利用方式に比べ、循環ポンプが一つ多い事となる。そのため、揚程計算を行い、適切なポンプを選定した。

4) ファンコイルユニットの設置

エアコンで代表される空気熱利用の場合、その多くはガス冷媒による熱輸送であるが、地中熱利用の場合には主に循環媒体を液体とする熱輸送である点が異なる。本土地域では不凍液を循環媒体とするが、本県では水が使える点が有利である。

モデル施設に導入したファンコイルユニットは、汎用品の機器で、水を循環媒体とした。また、モデル施設は、平面的に縦長の空間であることから、壁掛け型とし2つ並列して設けた。導入したファンコイルユニットは実証試験中、地中熱と空気熱の交替運転で共用した。

表 2.1.2 設置した FCU の特徴

方式	直膨式：一般のエアコン	熱輸送する方式：設置機器
媒体	R410A や R32	水や不凍液
熱輸送	潜熱	顕熱
特徴	冷媒の蒸発もしくは凝縮という相変化	循環媒体の温度変化
性能評価	吸込みと吹き出しの温度分布を計測することで評価も可能ではあるが、計測精度向上が困難	循環媒体に水を使用しているため、計測が容易

5) 空気熱用のヒートポンプの設置

一般に販売されている空気熱を利用した高効率ヒートポンプであるが、水を循環媒体として利用できる機器を採用した。

設置にあたっては、ファンコイルユニットとの距離を同程度とするために、地中熱ヒートポンプと空気熱用ヒートポンプを近くに配置した。

6) 表示（見える化）システムの設置

総合教育センターのエントランスホールに地中熱利用方式の運転状況が分かるモニターを設置した。なるべく分かり易い内容を心掛け、中学生や小学生でもわかりやすい図を用いた。



図 2.1.6 見える化のコンテンツ

※巻末にコンテンツ資料を添付しています。

7) 暖房性能の比較について

地中熱利用システムと空気熱利用システムについて、設置時期の関係から、冷房時の運転比較は出来なかったが、冬季の暖房能力について、外気温が20℃以下の日を選定し、消費電力量等について比較を行った。

比較する上で、外気温は2~3℃と若干差あるものの、熱需要の差は小さいと考えた。

結果として、地中熱利用システムは、運転効率が悪い間欠運転^{※1}を行っているにも関わらず、空気熱利用の消費電力と比べて地中熱利用の消費電力は60%程度であった。

間欠運転は、スイッチオンになった時点の初期電力消費が大きいため効率は悪いが、温度設定の調整で改善することができる。また、全体的なシステム制御技術が開発されれば、最適な運用が楽に行えるようになる。

また、地中熱利用システムでは、全消費電力の50%が循環ポンプであるため、循環ポンプの性能を高め、間欠運転を抑えることで、さらに消費電力を低減できる可能性がある。

※1: ヒートポンプを起動したときに、熱負荷が小さい場合、短時間で設定温度を超え間欠運転となる。

表 2.1.3 空気熱利用と地中熱利用の結果比較

	地中熱利用	空気熱利用
消費電力	少	大
800分後(約13時間)の積算電力	1.82kwh(地中熱HP) 3.67kwh(地中熱HP+循環ポンプ)	6.16kwh(空気熱HP)
運転状況	間欠運転となっていた。 地中から熱供給しており、その平均地中温度(約25℃)との設定温度(31℃)との差が小さいためと考えられる。	外気温(約15℃)と設定温度(31℃)との差が地中熱利用に比べ大きい。

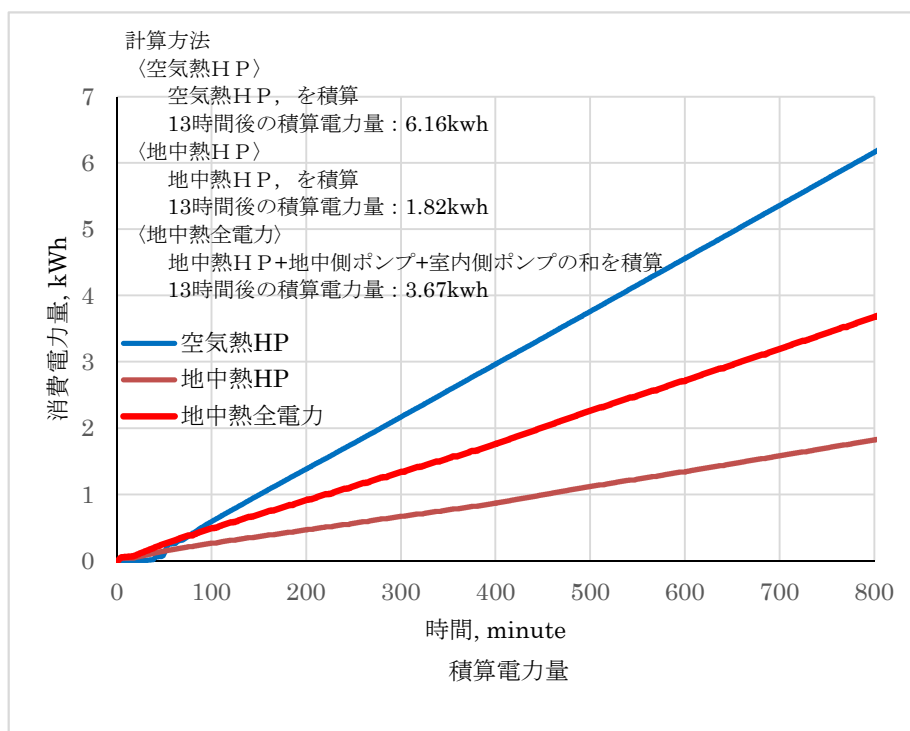


図 2.1.7 累積消費電力

写真1 県立総合教育センター

外観写真



内観写真



写真2 県立総合教育センター

<p>①採熱管</p> 	<p>②ヘッダー</p> 
<p>④地中熱 HP1 と空気熱 HP2</p> 	<p>③空気熱配管接続, 計測機器, 膨張タンク</p> 
<p>⑥地中熱配管接続, 計測機器, 膨張タンク</p> 	<p>⑤ブレーカ, 計測機器類</p> 
<p>⑦ FCU</p> 	<p>⑧ 室内ダクト</p> 

2.2 栽培漁業センター

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。

種苗量産するためには、夏場における養殖池の温度上昇、冬場における養殖池の温度低下等の緩和が求められる。平成28年度には、地下海水の熱を利用する地下海水利用システムの設置と効果を把握するために計測機器等を設けた。

本年度では、オープンループである地下海水利用システムの温度や流量を計測すると共に設置していない箇所との比較検討を行った。

1) 地下海水利用システム ナンノクロロプシス培養への利用状況

地下海水を約30mより汲み上げ、流量は約120 l/min、水温は夏季から冬季にかけて、約24℃弱で一定している。汲み上げた地下海水は、魚類種苗生産水槽とナンノクロロプシス（植物性プランクトン）水槽にて利用し、地下海水の行きと排水及び水槽内の温度を測った。

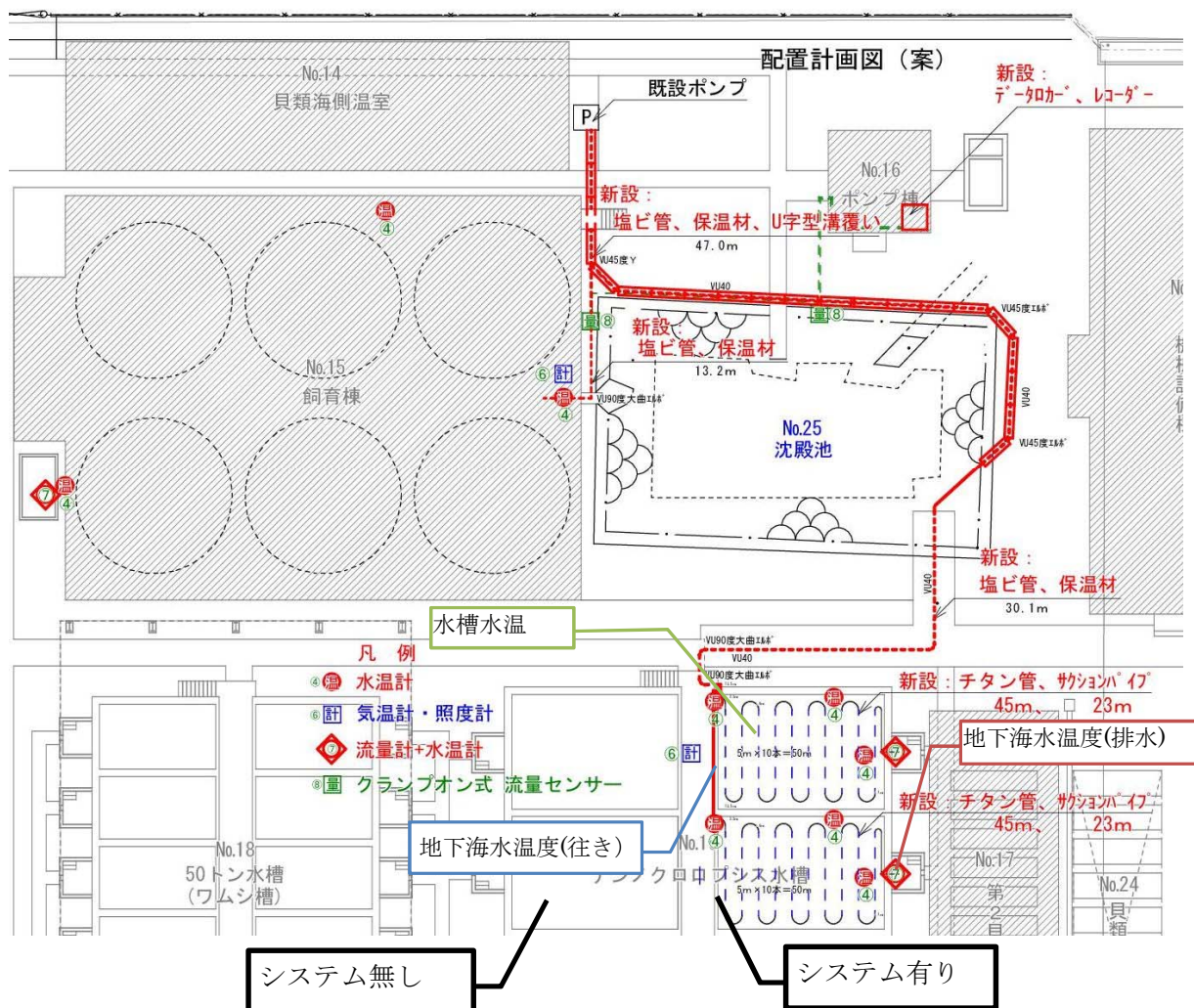


図 2.2.1 配置図

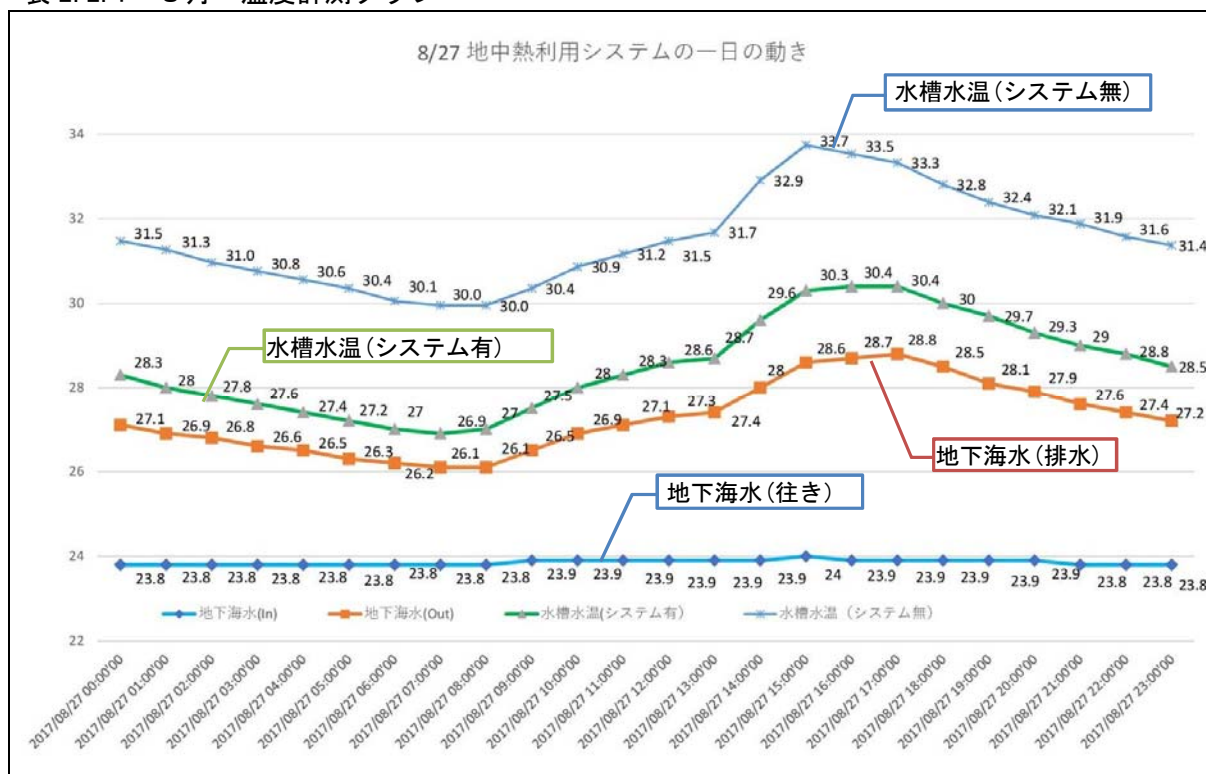
※ナンノクロロプシス水槽：植物性プランクトン（ワムシ等のえさ）を培養する水槽

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（以下システム無し）の従来水槽水温と地下海水利用システム有り（以下システム有り）の水槽水温で比較すると平均して8月は約 3.0℃、9月は約 2.5℃、10月は約 0.5℃、1月は約 1.3℃、2月は約 1.0℃の差となった。

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。

表 2.2.1 8月 温度計測グラフ



8月の計測結果表 (°C)

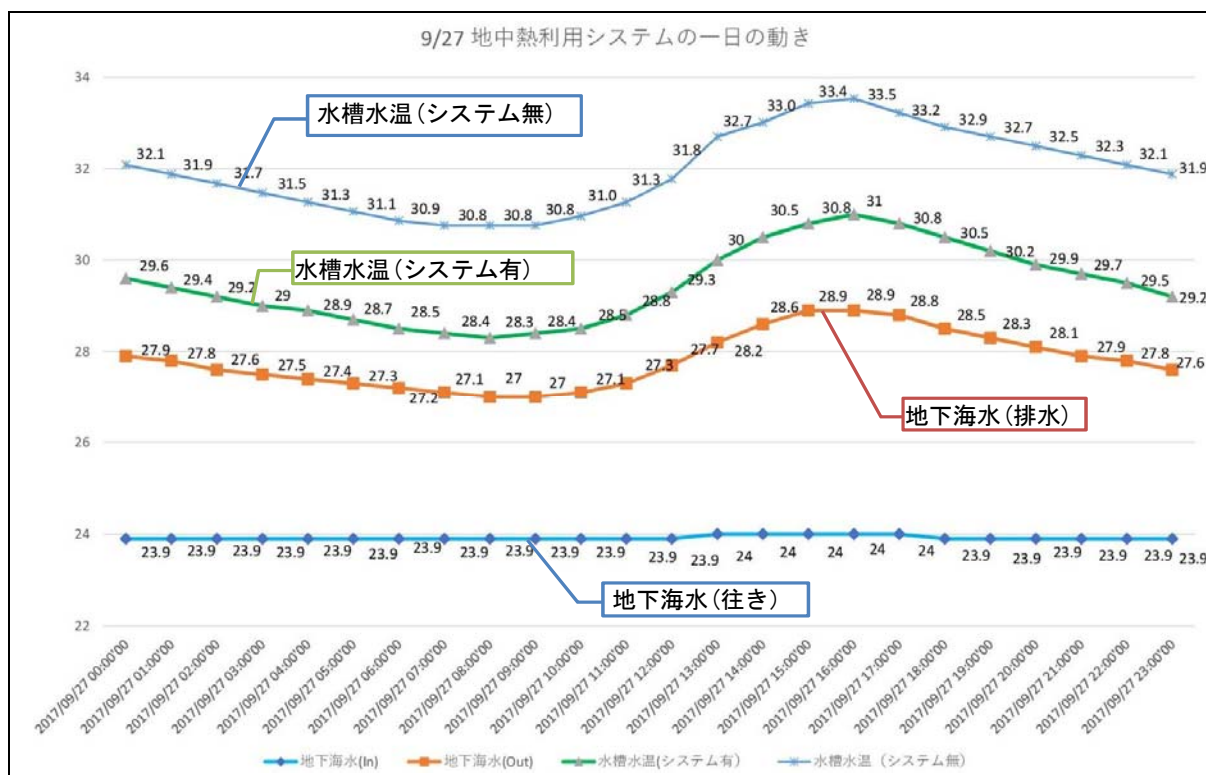
時間	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	平均
水温 A (無)	30.0	30.4	30.9	31.2	31.5	31.7	32.9	33.7	33.5	33.3	32.8	32.4	32.1	
水温 B (有)	27.0	27.5	28.0	28.3	28.6	28.7	29.6	30.3	30.4	30.4	30.0	29.7	29.3	
温度差	3.0	2.9	2.9	2.9	2.9	3.0	3.3	3.4	3.1	2.9	2.8	2.7	2.8	約 3.0

※水温(無)は、地下海水利用システム無し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。

海水 C (排)	26.1	26.5	26.9	27.1	27.3	27.4	28.0	28.6	28.7	28.8	28.5	28.1	27.9	27.7
海水 D (往)	23.8	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	24.0	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9

表 2.2.2 9月 温度計測グラフ



9月の計測結果表 (°C)

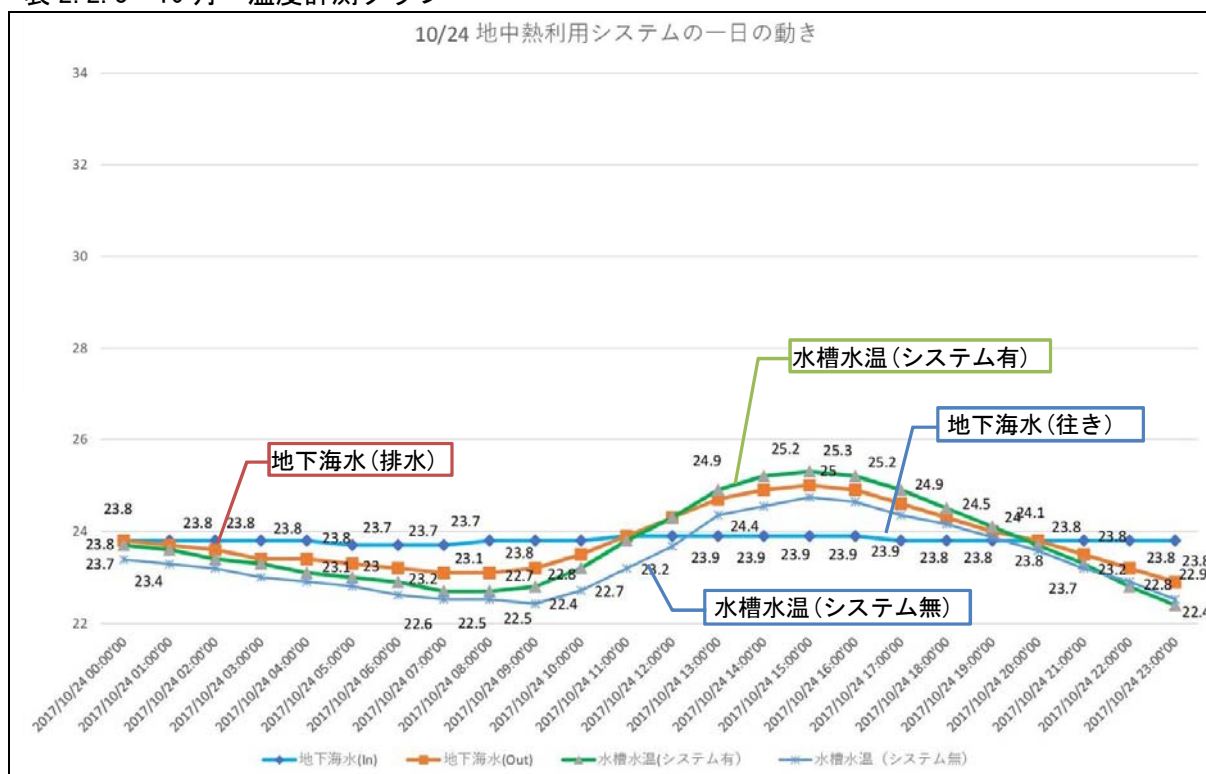
時間	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	平均
水温 A (無)	30.8	30.8	31.0	31.3	31.8	32.7	33.0	33.4	33.5	33.2	32.9	32.7	32.5	
水温 B (有)	28.3	28.4	28.5	28.8	29.3	30.0	30.5	30.8	31.0	30.8	30.5	30.2	29.9	
温度差	2.5	2.4	2.5	2.5	2.5	2.7	2.5	2.6	2.5	2.4	2.4	2.5	2.6	約 2.5

※水温(無)は、地下水利用システム無しの従来の水槽水温を表す。

※水温(有)は、地下水利用システム有りの水槽水温を表す。

海水 C (排)	27.1	27.0	27.0	27.1	27.3	27.7	28.2	28.6	28.9	28.9	28.9	28.8	28.5	28.0
海水 D (往)	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	23.9	23.9	23.9	23.9

表 2.2.3 10月 温度計測グラフ



10月の計測結果表 (°C)

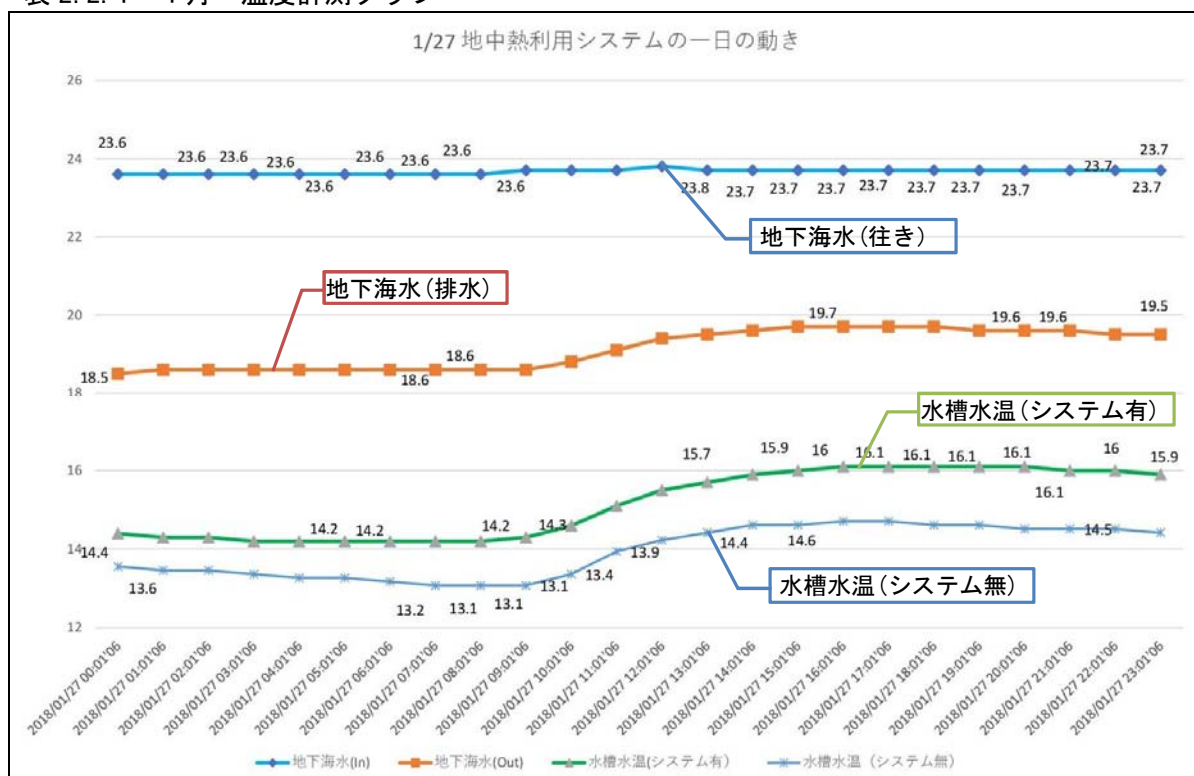
時間	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	平均
水温 A (無)	22.5	22.4	22.7	23.2	23.7	24.4	24.5	24.7	24.6	24.4	24.2	23.9	23.6	
水温 B (有)	22.7	22.8	23.2	23.8	24.3	24.9	25.2	25.3	25.2	24.9	24.5	24.1	23.7	
温度差	0.2	0.4	0.5	0.6	0.6	0.5	0.7	0.6	0.6	0.5	0.3	0.2	0.1	約 0.5

※水温(無)は、地下水利用システム無しの従来の水槽水温を表す。

※水温(有)は、地下水利用システム有りの水槽水温を表す。

海水 C (排)	23.1	23.2	23.5	23.9	24.3	24.7	24.9	25.0	24.9	24.6	24.3	24.0	23.8	24.2
海水 D (往)	23.8	23.8	23.8	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.8	23.8	23.8	23.8	23.8

表 2.2.4 1月 温度計測グラフ



1月の計測結果表 (°C)

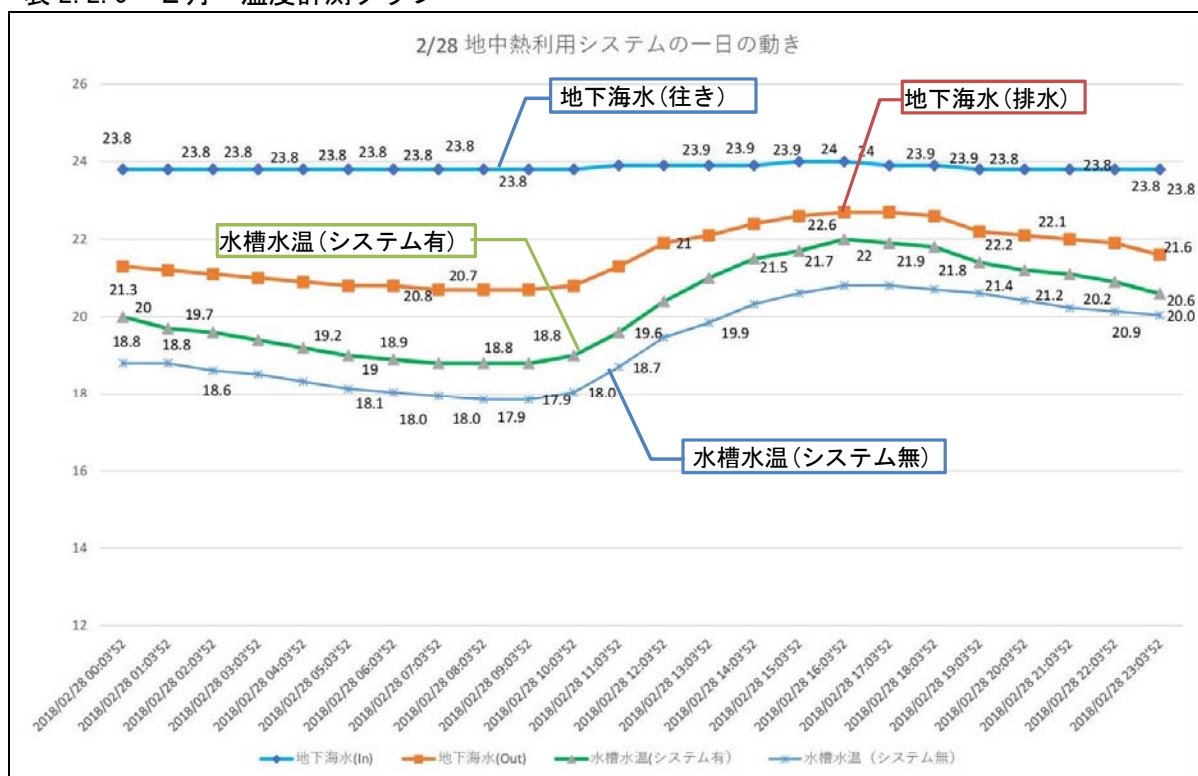
時間	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	平均
水温 A (無)	13.1	13.1	13.4	13.9	14.2	14.4	14.6	14.6	14.7	14.7	14.6	14.6	14.5	
水温 B (有)	14.2	14.3	14.6	15.1	15.5	15.7	15.9	16.0	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	
温度差	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5	1.6	約 1.3

※水温(無)は、地下水利用システム無しの従来水槽水温を表す。

※水温(有)は、地下水利用システム有りの水槽水温を表す。

海水 C (排)	18.6	18.6	18.8	19.1	19.4	19.5	19.6	19.7	19.7	19.7	19.7	19.6	19.6	19.4
海水 D (往)	23.6	23.7	23.7	23.7	23.8	23.7	23.7	23.7	23.7	23.7	23.7	23.7	23.7	23.7

表 2.2.5 2月 温度計測グラフ



2月の計測結果表 (°C)

時間	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	平均
水温 A (無)	17.9	17.9	18.0	18.7	19.5	19.9	20.3	20.6	20.8	20.8	20.7	20.6	20.4	
水温 B (有)	18.8	18.8	19.0	19.6	20.4	21.0	21.5	21.7	22.0	21.9	21.8	21.4	21.2	
温度差	0.9	0.9	1.0	0.9	0.9	1.1	1.2	1.1	1.2	1.1	1.1	0.8	0.8	約 1.0

※水温(無)は、地下水利用システム無しの従来水槽水温を表す。

※水温(有)は、地下水利用システム有りの水槽水温を表す。

海水 C (排)	20.7	20.7	20.8	21.3	21.9	22.1	22.4	22.6	22.7	22.7	22.6	22.2	22.1	21.9
海水 D (往)	23.8	23.8	23.8	23.9	23.9	23.9	23.9	24.0	24.0	23.9	23.9	23.8	23.8	23.9

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。水槽温度は時期によって異なるが約0.5~3℃冷却又は加熱された。

(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、8月12.11kw、9月11.29kw、平均で11.70kw、ポンプの消費電力0.75kwで割るとCOPは15.6となった。

また、冬季の加熱エネルギーは、1月9.42kw、2月4.33kw、平均で6.87kwとなり、同様にポンプの消費電力0.75kwで割るとCOPは9.2となった。

気温が高い時期または低い時期にCOPはより高い値を示している。

[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 2.2.6 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	27.7	23.9	3.78	47.28	3.97	1,024	12.11
9月	28.0	23.9	4.06	41.03	3.97	1,024	11.29
平均							11.70
						COP 15.6	

表 2.2.7 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	19.4	23.7	4.35	31.95	3.97	1,024	9.42
2月	21.9	23.9	2.00	31.95	3.97	1,024	4.33
平均							6.87
						COP 9.2	

表 2.2.8 地下海水利用システムの消費電力

	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	合計
使用日数(日)	5	31	30	25	20	30	31	28	200日
使用時間(h)	120	744	720	600	480	720	744	672	4800h
消費電力量(kwh)	90	558	540	450	360	540	558	504	3600kwh

(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(8,9月の平均)は549kwh,これを一次エネルギー消費量に換算すると約0.5万MJとなった。

[計算式]

一次エネルギー消費量(地下海水利用システム)

$$549\text{kwh} \times 9.76 \text{ MJ/kwh} \approx 5,358 \text{ MJ}$$

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(8,9月の平均)は約1,428kwh,1次エネルギー消費量に換算すると約1.4万MJ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)

$$1,428\text{kwh} \times 9.76 \text{ MJ/kwh} \approx 13,932 \text{ MJ}$$

表 2.2.9 冷凍機を使用した場合の消費電力との比較

		8月	9月	平均	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	0.75	0.75kw	
	1ヶ月当りの消費電力(kwh)	558	540	549kwh	
	冷却エネルギー(kw)	12.11	11.29	11.7kw	
	COP[成績係数]	16.15	15.05	15.6	
	1ヶ月当りの1次エネルギー消費量(MJ)			5,358MJ	
冷凍機 使用	1時間当たりの消費電力量(kw)	1.95	1.95	1.95kw	
	1ヶ月当りの消費電力(kwh)	1,451	1,404	1,428kwh	
	冷却エネルギー(kw)	12.11	11.29	11.7kw	
	COP[成績係数]	6	6	6	仮定値
	1ヶ月当りの1次エネルギー消費量(MJ)			13,932MJ	

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531kwh (1, 2月の平均) となった。これを一次エネルギー消費量に換算すると約0.5万MJ, 灯油に換算すると141ℓとなった。

[計算式]

$$1 \text{ヶ月の一次エネルギー消費量} : 531\text{kwh} \times 9.76 \text{ MJ/kwh} \doteq 5,183 \text{ MJ}$$

$$1 \text{ヶ月の消費灯油量} : 5,183 \text{ MJ} \div 36.7 \text{ MJ/}\ell \doteq 141 \ell$$

地下海水利用システムでは、冬季(1~2月)に、水槽水温を約3.1℃をあげていた。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1,821ℓの消費灯油量, 1次エネルギー消費量に換算すると約6.7万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1/13となり、効率性も良いと判断される。

[計算式]

$$3.1^\circ\text{C加熱する熱量} : 138,000 \ell \times 3.1 \text{ Kcal/}\ell \div 0.846 \text{ (ボイラー効率)} = 505,674 \text{ kcal}$$

$$1 \text{日の消費灯油量} : 505,674 \text{ kcal} \div 8,329 \text{ Kcal/}\ell \text{ (低位発熱量}^{\ast 1}) = 60.7 \ell$$

$$1 \text{ヶ月の消費灯油量} : 60.7 \ell \times 30 \text{日} \doteq 1,821 \ell$$

$$1 \text{ヶ月の一次エネルギー消費量} : 1,821 \ell \times 36.7 \text{ MJ/}\ell \doteq 66,831 \text{ MJ}$$

※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、水蒸気のままで凝縮潜熱を含まない発熱量を低位発熱量という。

表 2.2.10 ボイラーを使用した場合の消費電力との比較

		1月	2月	平均	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	0.75	0.75kw	
	1ヶ月当りの消費電力 (kwh)	558	504	531kwh	
	加熱能力 (kw)	9.42	4.33	6.87kw	
	COP [成績係数]	12.56	5.77	9.2	
	1ヶ月当りの1次エネルギー消費量(MJ)			5,183MJ	
	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)			66,831MJ	
	1ヶ月当りの消費灯油量 (ℓ)			1,821ℓ	

4) 地下海水利用システム 培養の結果

従来の培養方式（地下海水利用システム無し）と地下海水利用システム有りで培養を行い、結果は以下となった。

夏季～秋季（7月～9月）に濃縮回収できたのは、従来方式では、18回中12回（約67%）、回収できた細胞数の平均は1,361万細胞/cc、平均培養日数12日となった。

一方、地下海水利用システム有りでは、7回中7回（100%）、回収できた細胞数の平均は1,776万細胞/cc、平均培養日数13日であった。

また、従来方式では8/1～8/18の暑い時期は、気温と共に水槽温度も高くなり、培養開始後まもなく、目的以外のラン藻や原生動物が大量増殖し、培養の維持が出来ないか、またはナンノクロプシスの量が少なく、破棄せざるをえない状況であった。

一方、地下海水システム有りの水槽では、暑い同時期でも水槽温度を下げることにより、回収できる細胞の量も多く、品質の良い培養となった。

地下海水システム有りの9/29～10/10は、最も培養日数が少なく、また、細胞数が多く回収でき、効率性が高かったことから、ナンノクロプシスの培養に適した温度は27℃～28℃と推察される。

表 2.2.11 夏季～秋季（7月～9月）の培養状況

従来の培養方式（地下海水利用システム無し）				地下海水利用システム 有り			
培養期間	細胞数 (万細胞/cc)	培養 日数	結果	培養期間	細胞数 (万細胞/cc)	培養 日数	結果
7/3-7/9	50	6	廃棄				
7/5-7/9	1185	4	濃縮				
7/7-7/12	975	5	濃縮				
7/9-7/11	975	2	濃縮				
7/11-7/20	1180	9	濃縮				
7/12-7/19	1675	7	濃縮				
7/20-8/1	1105	12	濃縮				
7/20-8/1	50	4	廃棄				
7/21-7/31	1400	10	濃縮				
7/28-8/10	1510	13	濃縮	7/27-8/8	1925	12	濃縮
8/1-8/4	60	3	廃棄	7/31-8/14	1503	14	濃縮
8/3-8/4	210	1	廃棄				
8/9-8/14	50	5	廃棄				
8/14-8/18	20	4	廃棄	8/14-8/29	1690	15	濃縮
8/15-9/1	1740	17	濃縮	8/17-8/30	2055	13	濃縮
8/29-9/15	1375	17	濃縮	8/31-9/13	1685	13	濃縮
9/12-10/13	1520	31	濃縮	9/13-9/29	1545	16	濃縮
9/28-10/11	1695	13	濃縮	9/29-10/10	2030	11	濃縮
計（濃縮平均）	1361	12	12/18回		1776	13	7/7回

秋季～冬季（10月～1月）に濃縮回収できたのは、従来方式では、6回中6回（100%）、回収できた細胞数の平均は1,943万細胞/cc、平均培養日数24日となった。

一方、地下海水利用システム有りでは、7回中7回（100%）、回収できた細胞数の平均は1,979万細胞/cc、平均培養日数18日であった。

秋季～冬季における結果について、いずれも、回収率は100%であるが、地下海水利用システム有りでは、従来の培養方式と比べ6日少なく、効率性が良い。

また、地下海水利用システムでは、水槽温度を2度ほどあげ、ナンノクロロプシスの培養に良い環境といえる。

表 2.2.12 秋季～冬季（10月～1月）の培養状況

従来の培養方式（地下海水利用システム無し）				地下海水利用システム 有り			
培養期間	細胞数 (万細胞/cc)	培養 日数	結果	培養期間	細胞数 (万細胞/cc)	培養 日数	結果
10/13-10/25	1665	12	濃縮	10/11-10/18	1320	7	濃縮
10/25-11/20	1980	26	濃縮	10/13-10/27	1600	14	濃縮
11/4-11/30	2025	26	濃縮	10/24-11/13	2000	20	濃縮
11/24-12/27	1855	33	濃縮	11/7-11/27	2175	20	濃縮
				11/22-12/13	2100	21	濃縮
12/13-1/4	1990	22	濃縮	12/2-12/28	2390	23	濃縮
12/31-1/23	2145	23	濃縮	12/26-1/15	2265	20	濃縮
1/10		培養中		1/16		培養中	
1/16		培養中		1/24		培養中	
計（濃縮平均）	1943	24			1979	18	