

7. 地中熱利用に係る情報収集

7.1 情報収集における視点の背景

情報収集における視点の背景として、以下の点を考慮した。

- ・背景地中熱利用は、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、エネルギー消費効率を高めることができる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今後の課題の一つである。
- ・沖縄に設置した場合、想定される地域特性から課題が多く、地域共通の課題として一つずつ解決することが重要である。

7.2 各情報の整理

(1) 省エネに関する優位性評価について

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℃を超える日々が増えている。このような気温特性では地中熱利用は極めて有利である。しかしながら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。しかし、30℃を超える時間数が圧倒的に多く、優位性が十分に期待される。空気熱源式との省エネ性能比較を行い、評価することは極めて重要である。

本業務において、県中南部を対象に3つの実証サイトを選定し、熱応答試験等を実施したが、これらの試験結果から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、本業務では、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℃しかない点が今後の大きな課題と言える。県内では、冷房需要が主体となることから、①暖房採熱が、[熱需要量－ヒートポンプ投入電力量]であるのに対し、冷房放熱は、[熱需要量＋ヒートポンプ投入電力量]である点や、②冷房放熱を、給湯需要に使用できる点などを特長として鑑み、実際の導入サイトで効果を確認しつつ、県内でのシステムの複合的な運用方法と併せて優位性を証明していく必要がある。

(2) 地中熱交換井の設置における低コスト化に向けた工法について

地中熱利用においては、一般的に100m級ボアホール式地中熱交換井を設置するが、本州においては施工費用が2～3万円/m程度を要しており、導入コストの高さが普及の支障の一つとなっている。沖縄県では、当然地質構造が本州とは異なり、ボーリングコスト構造も異なってくる。したがって、本業務では、この沖縄のボーリング事情を踏まえ、どのように低価格の地中熱交換器の施工を実現するかについて検討を行った。

具体的方法として、試錐業者にヒアリングを行い、沖縄を代表する地質毎の掘進能率、実勢単価、機械の汎用性に着目し、費用対効果の高いボアホール深度等について整理した。

一次側のコスト構造の検討結果は、表 7.1 に示すとおり、珊瑚礁岩、琉球石灰岩、島尻層など県中南部の代表地質を想定した場合、工法 B や工法 C など 50m および 20m のボアホールタイプが費用対効果の高い深度である事が明らかになった。

表 7.1 一次側コストの比較結果

工法	ボアホール	熱交換井	設置費用 (千円)	参照サイト
A	100m×1本	Uチューブ	3,660	沖縄コンベンションセンター
B	50m×2本	Uチューブ	1,740	
C	20m×5本	50A鋼管	1,710	県立総合教育センター

本業務の検討結果では、コスト面では 20m と 50m がほぼ同程度で有利であり、資機材の入手性や施工の容易さについては、20m の 50A 鋼管タイプが有効であるとの整理を行った。特に後者については、県内の様々な施工予定業者にヒアリング等を行うことが有効であり、引き続き情報収集に努める必要がある。

(3) 暖地向けヒートポンプの実現可能性について

現在のヒートポンプの設計は、基本的に空気熱利用（エアコン）をベースとしており、ヒートポンプ内部に実装している四方弁によって冷房暖房運用を切り替えている。ヒートポンプ内部の凝縮器と蒸発器は、暖冷房運用時にその役目が入れ替わる。つまり暖房時において凝縮器であったものは、冷房時には蒸発器となる。このことによって設計的および経済的に、これらの熱交換器は同じ仕様であることが求められる。

最適設計を考えた場合、凝縮器と蒸発器は現象が異なるため、それぞれの現象に適合する異なる仕様であることが望ましい。従って熱性能的には凝縮性能か蒸発性能かのいずれかの低下は避けられないところであるが、暖房時性能を重視している現行のヒートポンプを、そのまま沖縄のような冷房時性能重視の地域に導入することは効率の低下を招く。

ある研究機関では、国内大手ヒートポンプメーカーと共同してこの課題を検討しており、温暖地向けヒートポンプの開発が進められている。また他社においても冷房時運用の効率を向上させるブライン式ヒートポンプの開発計画がある。今後は、このような冷房性能を重視した温暖地向けヒートポンプが具体化した場合、どの程度の性能が達成されるかを検証し、さらにコストを試算することは、県内普及にとって必要と考える。

(4) 沖縄向け室内機の要求仕様

沖縄においても地中熱利用向け室内機は FCU（ファンコイルユニット）を利用する。地中熱利用に使用されるブライン式 FCU については、大型設備向けとして提供されている製品があるが、一般住宅向けに対応できる製品群は少なく、エアコンで使用されている壁掛け型に至っては皆無に等しい。電機メーカーでは研究機関と共同で「壁掛け型 FCU」を新たに開発している。

地中熱利用の場合、各種の室内機（壁掛け、天吊り、壁冷房や床暖房など）が利用されるため、1 メーカーの製品が使用されることは皆無に近い。したがってヒートポンプと室内機の連動制御系が標準化されておらず、他社間の製品同士の運用が困難となっている。そのため、室内機からヒートポンプの稼働を制御することはできず、この点が（マルチ）エアコンとの利便性に対する大きな差となっている。ある研究機関では企業群と共同で、試験的にメーカーが異なる室内機とヒートポンプとの連動制御の研究を進めているが、現時点では事業化にまで至っていない。

本州では室内を冷却することに主眼があるが、平均気温が本州より高く、かつ湿度が高い沖縄においては除湿要求が高い。除湿の方法としてはデシカント空調が候補として考えられる。しかしながら除湿ピーク能力は高い技術ではないので、窓開放による換気を習慣としている沖縄では使いづらい方式である。また再生には 60℃以上の高温熱源が必要である。地中熱利用は冷水とともに温水が供給できるので、冷水による凝縮除湿、温水による室温調整という手法が考えられる。今後は、現在の地中熱利用システムにおいて凝縮除湿を行う場合にはどのように行うのか、そして除湿に主眼を置く場合、省エネ性がどの程度か、そして運用継続性に対してはどの程度のインパクトがあるのか把握する必要がある。

(5) 資機材の入手性調査

地中熱利用においては、室内機、ヒートポンプならびに地中熱交換器を横引き配管によって結ばれる。本システムは寒地向け仕様であるため、熱損失を抑えるために配管材料としては、作業性がよく、熱輸送時の熱ロスを防ぐための断熱保護材が装着されている架橋ポリエチレン管が使用されている。この配管は水道配管用として開発されたものであるが、沖縄においては凍結対応のための断熱保護材を必要とせず、本配管材料の入手が容易かどうか不明である。入手が困難であれば、代替部材を探索しなければならず、適当品がなければ新たに流通経路を決めなければならない。そこで沖縄県内に流通している配管材料を調査し、適当品の入手性や流通に関する改善策を検討する。

今回の熱応答試験で使用した資材の県内での流通状況について調査した結果を以下に示す。

1) Uチューブ方式

表 7.2 資材の流通状況 (Uチューブ方式)

①地中熱交換井

品名	規格・仕様	購入可能・不可	備考
淀物置	ESE-1807Y	△	
タキロン 溜マス	400×400H	○	
タキロン 耐圧レジコン蓋	400	○	
Uポリパイ	JIS 25A GUP-25A	△	
EF継手ソケット	JIS 25 GUEFS-25	△	
EF継手エルボ	JIS 25 GUEFB-25	△	
ピスゴット継手 おねじ	JIS 25 GUSPM-25	△	
ミライ ミラフレキSS	MFS-36 30m	△	
ミライ コネクタ	MFSK-36G	△	
オンダバルブ	FF2-T25	△	
ホースニップル	3/4×19.0mm	◎	
角ニップル (ステンレス)	25	△	
ステンレスバンド	20~32	◎	
異形エルボ (ステンレス)	25×20	△	
インパートシールパッキン	50	△	
マエザワ 床貫通パッキン	YKP40-50	△	
サクションホース	内径19×50m	◎	
イノアック メカニカル継手	GUYM-25	△	

②熱電対

品名	規格・仕様	購入可能・不可	備考
塩ビパイプ	13×4m	◎	
塩ビソケット	13	◎	
地中温度計	65mm	×	特注
硅砂	5号 (30kg)	○	

- ◎：沖縄県内で流通しており購入できる。
- ：代替品で沖縄県内で購入できる。
- △：沖縄県内では流通しておらず、注文発注となる。
- ×：県内で購入の手配ができない。

2) 50A 鋼管方式

表 7.3 資材の流通状況 (50A 鋼管方式)

①地中熱交換井

品名	規格・仕様	購入可能・不可	備考
淀物置	ESE-1807Y	△	
被覆付き架橋ポリパイプ	16×50m	△	
タキロン 溜マス	400	○	
タキロン 耐圧レジコン蓋	400	○	
ミライ ミラフレキSS	MFS-36 30m	△	
ミライ コネクタ	MFSK-36G	△	
オンダバルブ	WB1A-2016B-S	△	
ホースニップル	3/4×19.0mm	◎	
砲金エルボ	20	△	
インパートシールパッキン	50	△	
マエザワ 床貫通パッキン	YKP40-50	△	
サクションホース	内径19×50m	△	
採熱管	50	○	ねじ切り加工が別途必要 (ねじ切り加工は沖縄県内でも可能)
溶接キャップ	50	○	
LLCキャップ		×	特注
ステンレスバンド	ABA68	◎	
	ABA123	◎	
	20~32	◎	
ヘルメ	333	◎	

②熱電対

品名	規格・仕様	購入可能・不可	備考
塩ビパイプ	13×4m	◎	
塩ビソケット	13	◎	
地中温度計	65mm	×	特注
珪砂	5号 (30kg)	○	

◎：沖縄県内で流通しており購入できる。

○：代替品で沖縄県内で購入できる。

△：沖縄県内では流通しておらず、注文発注となる。

×：県内で購入の手配ができない。

現時点で入手が不可能である資材は、LLC キャップと地中温度計である。また、県外からの調達品は全体の約半数を占める。

県内での普及にあたっては、輸送コストの圧縮や現地での加工・仕様変更など入手の容易さに係る部分が極めて重要である。県外からの調達品についても、基本仕様の見直しによる代替品による対応が可能となるものが多く、引き続き県内事業者からの情報や要望を蓄積し、入手が容易で低コストである資材の情報収集に努める必要がある。

(6) 循環媒体 (ブライン) の熱輸送性能/安全性の調査

地中熱利用システムでは、ヒートポンプの熱出力を循環媒体 (以下、ブライン) で輸送する方式が採用される。ブラインには以下の媒体がある。

1) 水

環境に対し安全で安価であるが、熱交換器に使用される金属の腐食を防ぐための防食剤が混入される。また、0℃以下で凍結するため寒冷地などでは採用できない。

2) エチレングリコール水溶液

地中熱交換器とヒートポンプの間で仕様されることが多い不凍液である。1,2-エタンジオールが含まれている。一般的に不凍液は温度が低くなると粘性が高くなる性質があり、不凍液を循環

させるポンプの能力を上げる必要がある。一般的に使用される不凍液の中では、エチレングリコールは低温時の粘性係数が低いため循環ポンプの動力低減に効果が期待されるが、毒性が他の不凍液よりも高い点が課題であり、室内機とヒートポンプ間の不凍液としては使用が避けられている。

3) プロピレングリコール水溶液

食品添加物として認められている物質で、1,2-プロパンジオールと呼ばれる成分が含まれている。安全性が高いため、室内側に用いられているケースが多い。ただし、低温下では、粘性係数がエチレングリコール水溶液より高いため計画時には注意が必要である。

4) トリメチレングリコール水溶液

工業用に開発された不凍液として、主成分がトリメチレングリコール(1,3-プロパンジオール)である不凍液として市販されている。この水溶液は、他の不凍液より高価であるが、原材料が植物であること(グリセリンやグルコースなど)や、低温時の粘性が低く、安全性が高いため今後の不凍液の代表物質として期待される。

寒地向けシステムの場合、循環媒体の凍結防止から不凍液(ブライン)を使用する必要があるが、沖縄県の場合は凍結の心配が不要であるため、循環媒体として「水」を利用する。なお、上記のとおり、配管やヒートポンプ内部の腐食の恐れがあるため、防食剤を混入する必要があるため、地下水環境保全の観点から、ブラインの漏洩に十分に配慮した設計を行う必要がある。

(7) 施工・メンテナンス体制

沖縄において継続的に地中熱利用を展開する場合、機器のメンテナンスや、土地の再利用の観点からの現状復帰の可能性を検討する必要がある。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調査し、機器についてのサポート体制についてメーカーのヒアリングを通じて検討する必要がある。また地中熱交換器の撤去は土地の再利用の観点から重要であり、土地の現状復帰の点から、各種地中熱システムの整理を行う必要がある。

本業務では、県内の地中熱利用に関心のある事業者を対象に、現場見学会および技術講習会を開催した。技術講習会では、参加者とのディスカッションを行う中で、県内での普及にあたっては施工やメンテナンス体制の構築が重要である事を提起し、参加者の多くから同様の要望や意見が寄せられた。今後は県内事業者による技術研究組合などを立ち上げ、技術者等の育成を図っていく事が重要と言える。

(8) 先進地における地中熱利用の状況

地中熱利用は、海外においても展開されているが、最近では中国南部や東南アジアでも、エネルギーや環境対策の観点から注目されている。暖地諸国の実態は沖縄にとって参考となる。また、将来的には沖縄から海外に向けて発信できる情報も整備していく必要がある。公開されているデータに基づいたこれらの諸外国の動向や課題について今後調査を進める必要がある。

第1段階としては、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事が重要である。

8. 栽培漁業センターにおける計測機器の整備等

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、本業務では、地下水熱を利用した夏場における養殖池の温度上昇の抑制、冬場における養殖池の温度低下等の緩和を目的とした今後の研究に向け、計測機器や配管等を整備した。

8.1 地下水熱利用状況

①. 梅雨明け以降の高水温期におけるナンノクロロプシス培養への利用

止水環境下において培養するナンノクロロプシス（単細胞植物プランクトン；ワムシの餌）は高水温期には培養不調となるので、地下海水利用システム（仮称）を利用して水温の低下を試みる。この際に、熱交換チタン管の設置本数及び既存の熱交換器（コイル型チタン管；栽培漁業センターに既存）など様々な手法を検討する。

②. 低水温期における魚類種苗生産水槽の温度管理への利用

低水温期における魚類種苗生産では水温維持に要するコスト削減を行っているが、その反面、生産期間が伸びる、飼育水中の餌料生物（ワムシ）の増殖管理がしづらい等の異なる側面によるコスト増もあるので、地下海水利用システム（仮称）を利用してコストを抑えた水温維持を試みる。

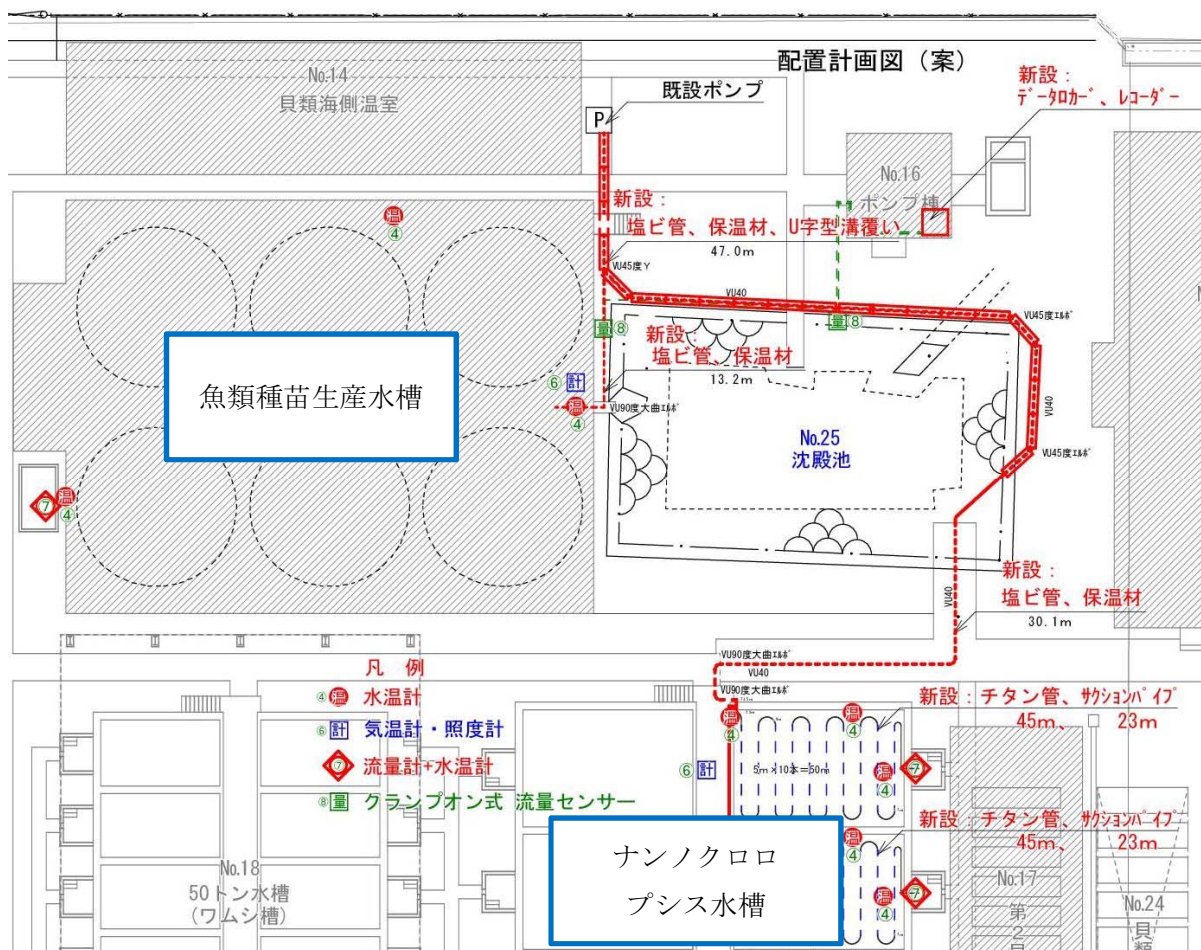


図 8.1 配置計画図

8.2 計測機器等の整備

地中 30mより水（海水）を汲み上げ、魚類種苗生産水槽、ナンノクロロプシス水槽の水温維持や低コスト化に向け、流量計、水温計を既設ポンプの入口側、魚類種苗生産水槽出入口側、ナンノクロロプシス水槽出入口側に設ける。本業務に用いた計測機器を下表に示す。

表 8.2 計測機器

品名	規格・仕様	数量	単位	備考
クランプオン式流量センサー	FD-Q50C	2	個	
コネクターケーブル	OP-87641	2	本	
タッチ型ペーパーレスレコーダー	TR-W500 5型パネルタイプ本体	1	台	
計測ユニット	TR-TH08	1	個	
水温センサー	おんどとり Jr. ワイヤレス T&D:RTR-502	9	個	
気温・室温・照度データレコーダー	おんどとり USB T&D:TR-74Ui-H	2	個	
ポータブルデータレコーダー	T&D:RTR-500DC	1	個	
小型流体流量計	HORIBA:LW20-PTN	2	個	

8.3 試験運転の状況

本格的な、施設の運用は平成 29 年 5 月以降となる。それまでは試験運転を繰り返すことになる。ここでは、設置直後の試験運転の状況を示す。

ポンプ入口側 海水 30mより 流量は約 120 ℓ/m、約 24℃

魚類種苗生産水槽 50~70 ℓ/m、ナンノクロロプシス水槽 50~70 ℓ/m

ナンノクロロプシス水槽出入口側 約 23.5℃、出口側 23.2℃となった。

海水の温度が約 21.3℃（美ら海水族館 データ提供）となっており、約 2℃高いことが分かった。

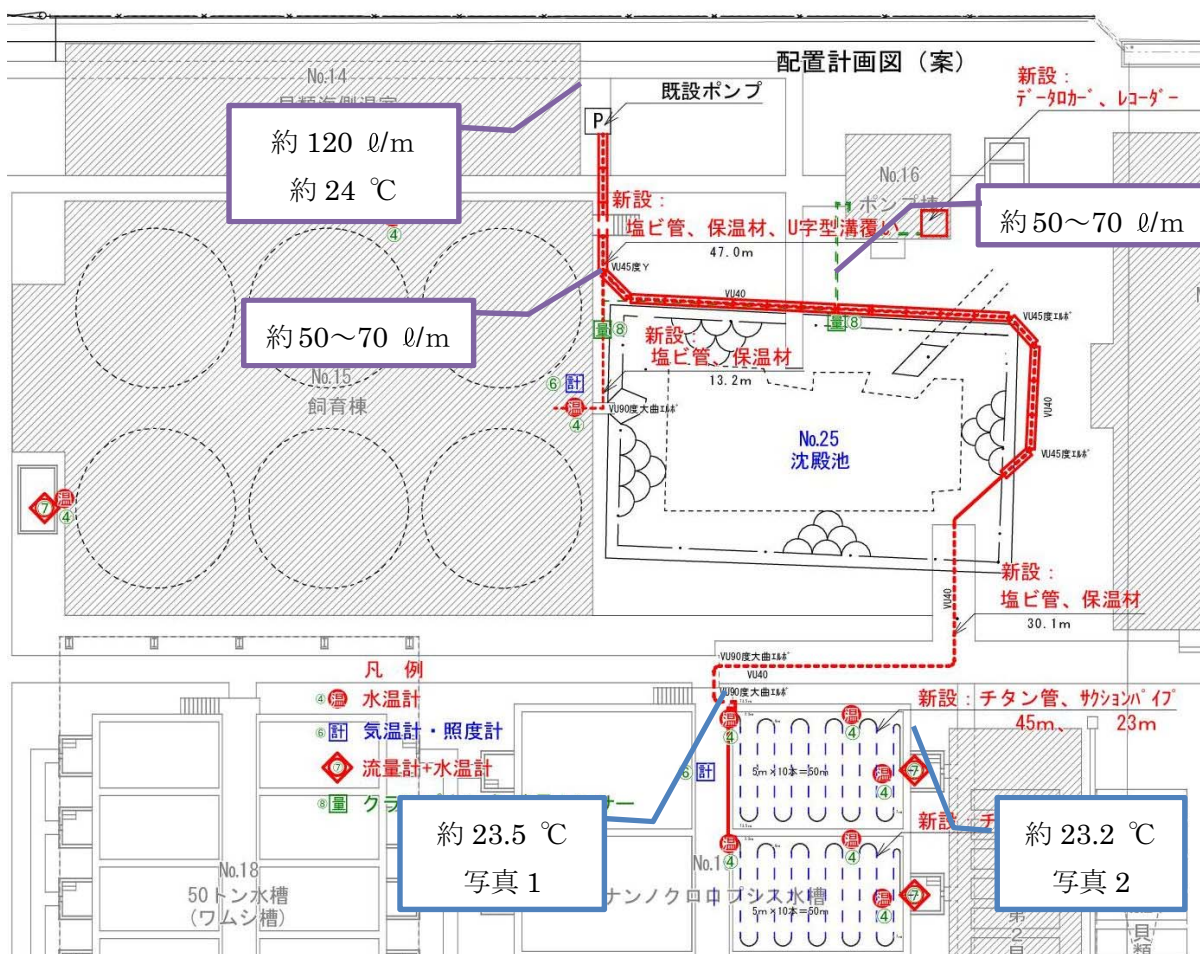


図 8.3 試験運転時の計測値

写真 1



写真 2



8.4 今後の活用について

現在、冬場にはボイラーにより、水温維持を図ってきており、重油も 21～28 リットル、金額にして 100 万程度使用しているが、今後、地中熱利用を行いながら、試験データを集めどれだけ削減できるか調査を行う。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、基礎資料として役立てることができる。