

# 【課題名】複数帯水層を活用した密集市街地における業務用ビル空調向け新型熱源井の技術開発

【代表者】三菱重工サーマルシステムズ(株) 上田 憲治

【実施年度】平成30～令和2年度

## (1)課題概要

### ①【課題の概要・目的】

我が国の業務部門の温室効果ガス排出削減の課題解決には、大都市域に共通した沖積平野に広く存在する地下水の熱利用ポテンシャルを生かした帯水層蓄熱利用が効果的と考えられる。しかし、熱需要の高い高層ビルが密集する市街地では、限られた敷地面積に対し、大容量の熱源システムの実装が必要とされる。そこで、1本で上下2層の帯水層から揚水・還水可能な新型熱源井を開発し、これを組み合わせることで蓄熱容量を2倍とする**世界初のW-ATES※システム**を構築し、高層ビルが密集する市街地での帯水層蓄熱利用を促進、業務部門の温室効果ガス削減に寄与する。(③-1:再生可能エネルギー発電・熱利用設備の年間発電・熱利用量を増加させる技術の開発・実証)

### ②【技術開発の内容】

#### A1.【新型熱源井の開発】

熱源井の目詰まりの原因となる地下水混合を回避し、上下2層の任意の帯水層から1台の揚水ポンプで揚水、1基の注水弁での還水を可能とする切替回路、および上下帯水層間を完全遮断するパッカーを開発し、**2倍以上の蓄熱容量を実現する**。

#### A2.【運転制御システムの開発】

W-ATES利用に伴う上下帯水層間の熱干渉などを考慮しながら、年間を通じた熱平衡の維持と蓄熱容量を最大化する制御を開発する。

#### B.【開発要素のシステム統合】

複数の帯水層の活用を可能にする新型熱源井と、熱干渉の防止や熱平衡の維持のための最適な運転制御手法を開発、熱交換器やターボ冷凍機等の熱源機器と統合し、業務用ビル向け空調システムとしてパッケージ化する。

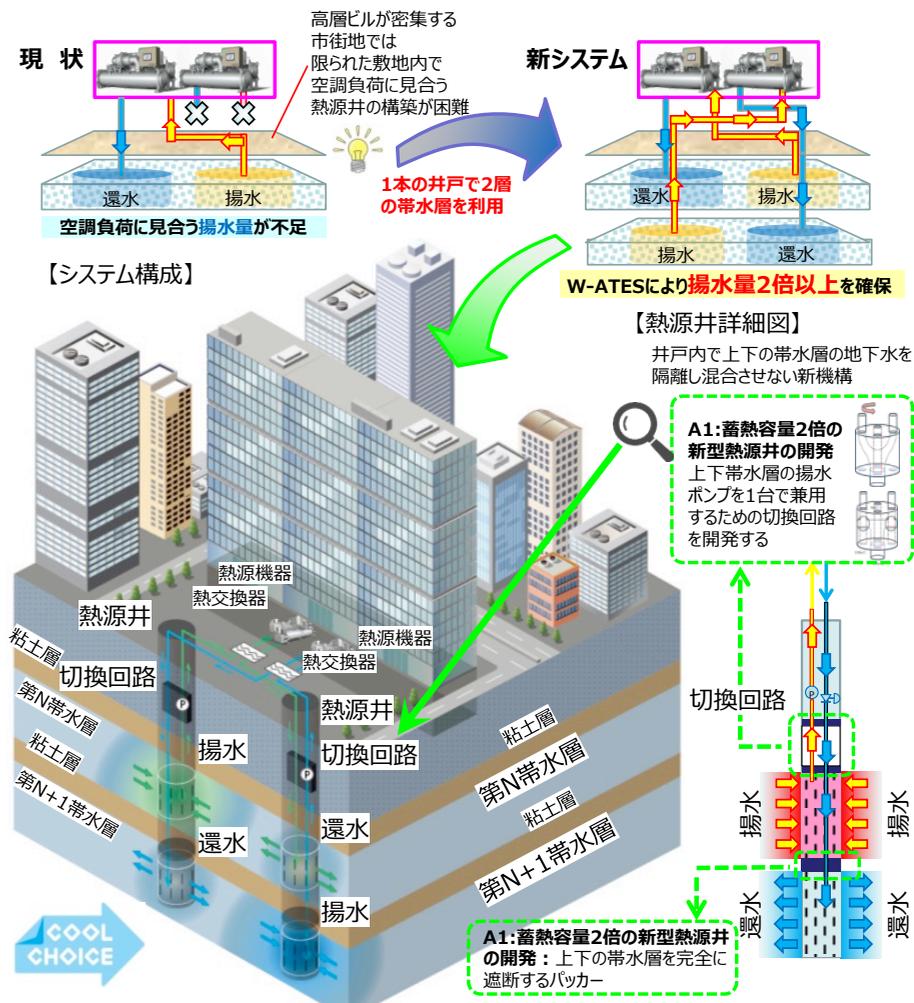
#### C.【実証】

実証場所：大阪市舞洲障がい者スポーツセンター(アミティ舞洲)  
地下水の汲み上げに対して鋭敏な土質条件である大阪市臨海部の埋め立て地においてW-ATESシステムを構築し、地盤の応力変化や沈下の低減効果に関する評価・検証を行う。

#### 【国の新たな地下水利用のあり方検討との連携】

現在、環境省では、「新たな地下水利用に対応する地下水・地盤環境保全対策」として、地下水の熱源利用を含めた地下水マネジメントのための諸課題について検討を行っている。大阪市は、環境省担当課室と共同で持続可能な地下水の保全と利用について検討中であり、本実証で得られるデータを活用する。

### ③【システム環境】

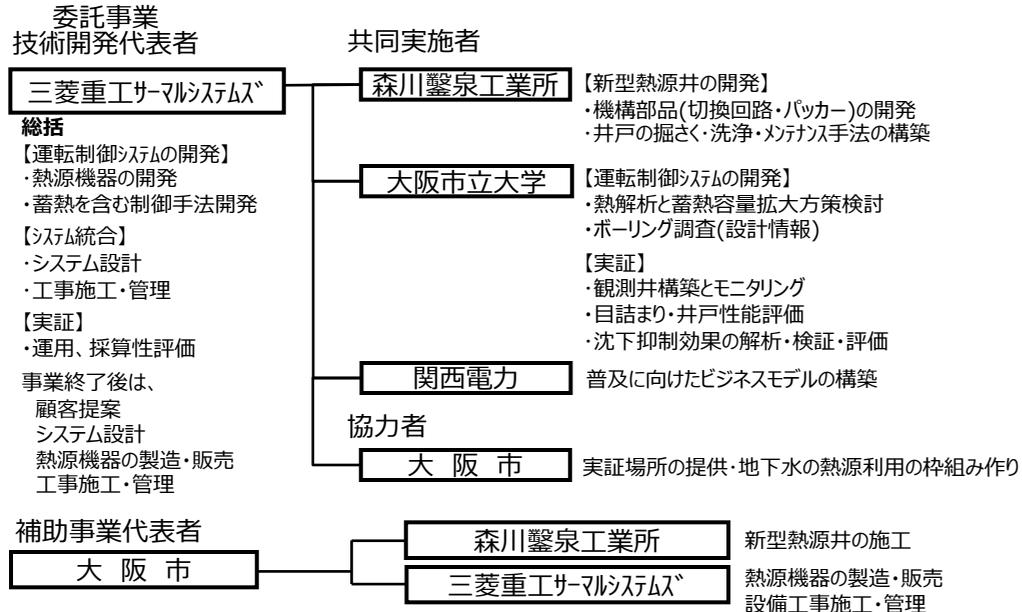


### ④【技術開発の目標・リスク】

- 想定ユーザ・利用価値：市街地における業務用ビル、利用価値:省エネ・省CO<sub>2</sub>、ヒートアイランド抑制効果
- 目標となる仕様及び性能：空調能力250RT×2以上、揚水量100m<sup>3</sup>/h×2以上  
性能:年間平均システムCOP=4.0、ワイルドでの省エネ率:45%以上(従来型システム比)
- 開発工程のリスク・対応策：切替機構の信頼性：実運用を通じて問題点の改善

## (2)実施計画等

### ①【実施体制】



### ②【実施スケジュール】

[単位:千円]

内容 / 年度	H30年度	R1年度	R2年度
<b>A1.【新型熱源井の開発】</b> ・新型熱源井・機構部品の設計・製作・検証 ・新型熱源井構築 ・実証場所のボーリング調査 ・W-ATESの目詰まり評価 ・W-ATESの井戸性能評価	(試験井) →	→	→
予算額小計	40,263千円	19,375千円	11,148千円
<b>A2.【運転制御システムの開発】</b> ・W-ATESシステムの計画と運用評価 ・蓄熱容量増大や熱平衡を維持する運転制御手法開発 ・最適蓄熱制御手法の開発	→	→	→
予算額小計	18,831千円	18,563千円	14,266千円
<b>B.【開発要素のシステム統合】、C.【実証】</b> ・統合システムの設計 ・システムの構築・試験検証(新型熱源井構築含む) ・沈下量・水位・計測・シミュレーション ・地盤の応力変化や沈下影響の評価解析 ・観測井構築を含むモニタリングの計画と実施	→	→	→
予算額小計	37,743千円	115,774千円	39,733千円
合計(315,696千円)	96,837千円	153,712千円	65,147千円

### ③【事業化・普及の見込み】

○事業化計画

事業化を担う主たる事業者	三菱重工サーマルシステムズ(株)
--------------	------------------

ステップ1: 実用化、ビジネスモデル確立(～2020)

ステップ2: 先行優良事例の形成(2021～2025)

2025関西万博覧会での活用

ステップ3: 大都市部での本格普及(2025～)

○事業展開における普及の見込み

・実用化段階コスト目標 : 8万円/RT(冷凍機単体コスト)  
 : 50万円/RT(システム更新コスト)

・実用化段階単純償却年: 4年程度

○年度別販売見込み

【提案時当初計画】 ※実施期間中における分科会等で計画変更が認められた場合等はその設定値

年度	2021	2025	2030
目標販売容量※ (RT)	1,000	14,448	28,896
目標冷凍機販売価格 (万円/RT)	10	9	8
目標システム販売価格 (万円/RT)※	100	75	50

※: 目標販売容量

2021年は、500RT相当のシステムを2件販売することを想定

2025年は、冷凍空調工業会HPより、吸収冷凍機年間販売容量※の5%

2030年は、冷凍空調工業会HPより、吸収冷凍機年間販売容量※の10%

※: 需要予測 [https://www.jraia.or.jp/statistic/2018\\_yosoku\\_rev3.pdf](https://www.jraia.or.jp/statistic/2018_yosoku_rev3.pdf)  
 吸収冷凍機 2017年実績(282千RT)～2019年予測(301千RT)の3年  
 間平均値289千RT/年を2025年、2030年の販売容量と想定。

### 【現時点見込み】

現時点見込みの年次は固定

年度	2021 (販売開始年度を 記載)	2023	2030	2050
目標単年度販売容量(RT)	0	500	10,000	50,000
目標冷凍機販売価格(万円/RT)	0	10	8	8
目標システム販売価格(万円/RT)	0	100	50	45

○普及におけるリスク(課題・障害)

・井戸揚水法律規制があるので、大阪以外でも実証試験を行うと共に相応の規制緩和が必要。  
 ・井戸リスク(予測外の水量不足・地盤沈下)があるので、適正な補助金制度が必要。

### (3)技術開発成果

#### ①【これまでの成果】

- ・上下2層を利用した揚水量200m<sup>3</sup>/h以上、空調能力が200RTのW-ATESシステムを構築。
- ・COP : 5.1(目標の4.0を達成)
- ・省エネルギー率 : 58%(目標の45%以上達成。)

#### ②【エネルギー起源CO<sub>2</sub>削減効果】

【提案時当初計画】 ※実施期間中における分科会等で計画変更が認められた場合等はその設定値

開発品(装置/システム)1台当たりの単年度CO <sub>2</sub> 削減量(t-CO <sub>2</sub> /台・年)	268 (500RTを想定)
開発品(装置/システム)の法定耐用年数	15年

年度	2021	2025	2030
単年度CO <sub>2</sub> 削減量(t-CO <sub>2</sub> /年)	536	7,744	15,489
累積CO <sub>2</sub> 削減量(t-CO <sub>2</sub> )			
CO <sub>2</sub> 削減コスト(万円/t-CO <sub>2</sub> )	70	5	2

#### 【現時点見込み】

開発品(装置/システム)1台当たりの単年度CO <sub>2</sub> 削減量(t-CO <sub>2</sub> /台・年)	268t (500RTを想定)
開発品(装置/システム)の法定耐用年数	15年

現時点見込みの年次は固定

年度	2021 (販売開始 年度を記載)	2023	2030	2050
単年度CO <sub>2</sub> 削減量(t-CO <sub>2</sub> /年)	0	268	5,360	26,800
累積CO <sub>2</sub> 削減量(t-CO <sub>2</sub> )	0	4020	80,400	402,000
CO <sub>2</sub> 削減コスト(万円/t-CO <sub>2</sub> )	0	12.4	6.2	5.6

#### ③【成果発表状況】

- ・Kansai Geo-Symposium 2019 地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム  
大阪市舞洲の被圧帯水層の地下水位変動による洪積粘土層の繰返し圧密挙動と沈下予測、  
大阪市立大学大学院
- ・建築設備総合協会 月刊「BE建築設備」2021年6月号、「地熱/温泉熱/帯水層利用」特集  
帯水層蓄熱システムの技術開発動向 大阪市立大学 中尾、中曾
- ・三菱重工技報58巻(2021)、第2号、「未利用エネルギーを用いた低GWP ターボヒートポンプの  
帯水層蓄熱システム」
- ・NHK 総合「未来へGO! 大阪・関西万博後の私たちの暮らし」11月3日(火)18:05-18:45「関  
西ローカル」
- ・NHK 総合「ルソンの壺SP」12月6日(日) 7:45-8:25「関西ローカル」

#### ④【技術開発終了後の事業展開】

事業展開・拡大シナリオ：自社設備に導入し、モデル商品として今後コロナ収束とともに増える見  
学者に広く紹介

課題：技術開発事業が終了後の事業化に向けて下記課題があり検討中。

- ・井戸の掘さく工事コスト削減
- ・井戸内部のポンプ、逆止弁、調圧弁の調達・信頼性向上→輸入品から国産品を検討
- ・井戸の継続利用のためのメンテナンス手法の確立→自社設備での検証継続

#### ○量産化・販売計画

- ・帯水層蓄熱向け制御システム構築と大阪市以外での適応検討。
- ・自社設備に導入したシステムの量産化検討、販売モデル構築
- ・モデル商品として今後コロナ収束とともに増える見学者に広く紹介
- ・自社設備での実績を広く公開し高効率化及び省力化を紹介

#### ○事業拡大シナリオ

年度	2021	2023	2025 (最終目標)
井戸リスクの洗い出し	自社工場での 実証試験	リスク低減のための制 御システム確立	製品確立
販売網による販売拡大	自社設備による 見学会実施	技術資料などの作成	営業開始

#### ○シナリオ実現上の課題

- ・工業用水法・ビル用水法・条例などに基づく規制に緩和を各自治体との対応
- ・販売網拡大のためのゼネコン・サブコンとの連携強化(大阪うめきた案件をきっかけに活動していく)



## ○参考資料1 CO2削減効果について

### ○販売開始年(2021年)時点の削減効果

- ・2021年までは導入実績がないため、0とします。

### ○2023年時点の削減効果 (試算方法パターン B-a, II-i)

- ・国内潜在市場規模: 7,139台(既設の吸収冷温水器のストック台(日本冷凍空調工業会に基づき推計統計)に基づき推計)
- ・2023年度までに期待される最大普及量: 500RT (揚水規制があるので、大阪市のみに想定。なお、従来システムの販売台数は年間3,739千RT)
- ・開発機器(システム、モデル)1台当たりのCO2削減量: 206t/年(従来型(ガス吸収冷温水器)の同様システム: 697t/年)
- ・削減原単位:  
従来(ガス吸収冷温水器): 1台 500RT想定  
エネルギー年間消費量: 336 MWh/年/台、ガス消費量: 223,000 Nm<sup>3</sup>  
帯水層システムエネルギー年間消費量: 740 MWh/年/台  
開発品による削減率: 39%、商用電力排出係数: 0.579 kgCO<sub>2</sub>/kWh、都市ガス排出係数: 2.23 kgCO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup>、年間CO<sub>2</sub>削減量=268 t CO<sub>2</sub>/年/台  
・累積CO<sub>2</sub>削減量: 4,020 t-CO<sub>2</sub>  
・CO<sub>2</sub>削減コスト: 1,000,000 × 500/4,020=12.4万円/t-CO<sub>2</sub>)

### ○2030年時点の削減効果 (試算方法パターン B-a, II-i)

- ・国内潜在市場規模: 7,139台(既設の吸収冷温水器のストック台(日本冷凍空調工業会に基づき推計統計)に基づき推計)
- ・2030年度までに期待される最大普及量: 10,000RT (用水規制があるので、大阪市のみに想定。なお、従来システムの販売台数は年間14,130千RT)
- ・開発機器(システム、モデル)1台当たりのCO2削減量: 206t/年(従来型(ガス吸収冷温水器)の同様システム: 697t/年)
- ・削減原単位:  
従来(ガス吸収冷温水器): 1台 500RT想定  
エネルギー年間消費量: 336 MWh/年/台、ガス消費量: 223,000 Nm<sup>3</sup>  
帯水層システムエネルギー年間消費量: 740 MWh/年/台  
開発品による削減率: 39%、商用電力排出係数: 0.579 kgCO<sub>2</sub>/kWh、都市ガス排出係数: 2.23 kgCO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup>、年間CO<sub>2</sub>削減量=268 t CO<sub>2</sub>/年/台  
・累積CO<sub>2</sub>削減量: 80,400 t-CO<sub>2</sub>  
・CO<sub>2</sub>削減コスト: 500,000 × 500/4,020=6.2万円/t-CO<sub>2</sub>)

### ○2050年時点の削減効果 (試算方法パターン B-a, II-i)

- ・国内潜在市場規模: 7,139台(既設の吸収冷温水器のストック台(日本冷凍空調工業会に基づき推計統計)に基づき推計)
- ・2023年度までに期待される最大普及量: 400RT (用水規制があるので、大阪市のみに想定。なお、従来システムの販売台数は年間3,739千RT)
- ・開発機器(システム、モデル)1台当たりのCO2削減量: 206t/年(従来型(ガス吸収冷温水器)の同様システム: 697t/年)
- ・削減原単位:  
従来(ガス吸収冷温水器): 1台 500RT想定  
エネルギー年間消費量: 336 MWh/年/台、ガス消費量: 223,000 Nm<sup>3</sup>  
帯水層システムエネルギー年間消費量: 740 MWh/年/台  
開発品による削減率: 39%、商用電力排出係数: 0.579 kgCO<sub>2</sub>/kWh、都市ガス排出係数: 2.23 kgCO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup>、年間CO<sub>2</sub>削減量=268 t CO<sub>2</sub>/年/台  
・累積CO<sub>2</sub>削減量: 402,000 t-CO<sub>2</sub>  
・CO<sub>2</sub>削減コスト: 450,000 × 500/4,020=5.6万円/t-CO<sub>2</sub>)

## ○参考資料2 事業化計画について

### ①ユーザーニーズ及び市場の現状と想定される今後の動向

ターゲット市場としては、冷暖房必要な工場、事務室(ビル)、地冷プラントなどである。

現状、冷暖房設備は冷房はターボ冷凍機、暖房はガス吸収冷温水器あるいはボイラで行うケースが多い。

日本冷凍空調工業会統計に基づく2030年で吸収冷温水器は約14,130千RT。

(本システムのターゲットは暖房をガス吸収冷温水器で行っているところ)

但し、本システムを導入するには市場認識・井戸掘さくリスク・法律規制(大阪市一部以外)などのクリアすべき問題がありなかなか進まない状態である。

当社で把握している案件としては2023年の大阪うめきた地冷(導入決定)、2025年の万博設備(計画段階)、名古屋市内某所(検討段階で導入年度不明、法律規制ありの場所)である。

導入済設備:アミティ舞洲(W-ATES)、MTH神戸工場(S-ATES)

今後の動向:

環境面の優位性から大型建物での導入が検討され2030年には市場規模拡大を見込むが、クリアすべき問題点もあり10,000RTを見込んでいる。

導入件数の増加による低コスト化や、大都市導入に向けて自治体をまきこんだ営業活動を行っていく。

### ②①を踏まえたコスト目標と事業採算性の見通し

現段階では、クリアすべき問題があり計画通り提案できず導入件数の増加による低コスト化が見込めず、販売コストはシステム全体で100万円/RT程度である。

この価格では市場拡大が難しいため、自社工場に設置した実績運用データを蓄積し、システム改善による低コスト化と実績データの紹介による市場拡大の両方の活動を行っていく。

2030年には50万円/RT、2050年には45万円/RTを目指す。一方法律規制緩和の活動は具体的な案件を通じて環境省と各自治体への働きかけを行っていく。

また、本システムを採用する場合の環境省の補助金制度を積極的に利用して全体システム投資回収などの削減を導入者へ紹介して導入件数増加へつなげていく。

### ③その他

#### 事業終了後の社内外の体制構築・サプライチェーンの構築・規制当局等関係者との調整

##### 体制構築:

事業終了後に社内で再度体制構築を行い、設計部門だけではなく営業部門と連携し最初はMHIグループ工場での適応を模索中。

##### サプライチェーンの構築:

技術開発で使用した井戸ポンプ・注水弁は実績を考慮して海外の1社としたが、調達や費用面で問題がでてきているため、国内メーカを調査中。

##### 規制当局との調整:

名古屋地区で検討例のように法律規制がある場所では、環境省へ法律規制を緩和する対策とか補助制度ないかなど問い合わせ中。

初めて導入する場所では環境省とその場所の自治体への働きかけを行っていく。

#### 開発成果に基づいた製品の導入を想定している市場セグメント、ユーザーの確保に向けた取組

自社工場に導入したシングル帯水層システムを利用して、弊社工場立会いのお客様への説明・社外の見学会開催・社内・社外の技術論文掲載などの取組で世の中へ幅広く本システムを宣伝する取り組みを実施していく。

#### 事業終了後の特許取得の方向性

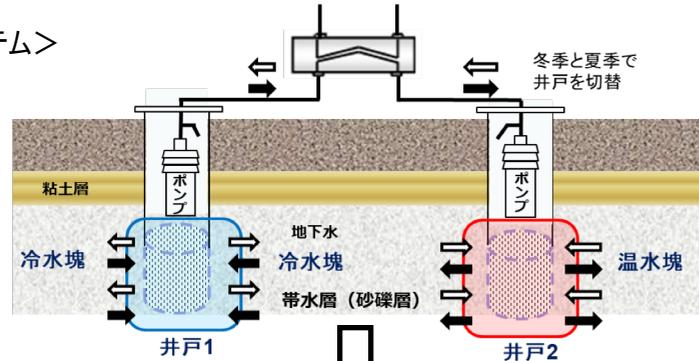
本システムの元システムにはなりますがシングル帯水層システムで新たに4件の特許の出願を行っている。

## ○参考資料3 その他

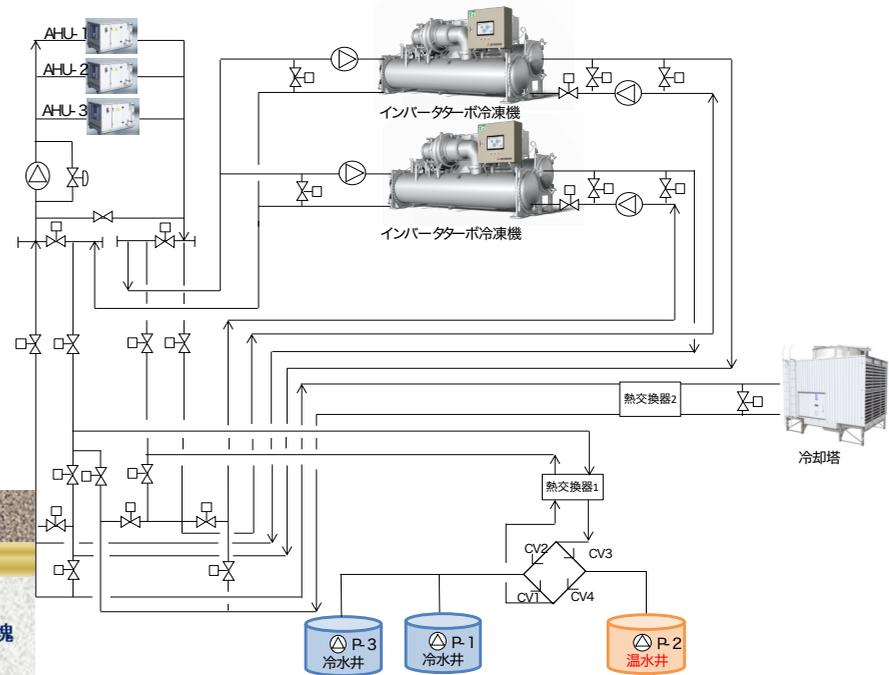
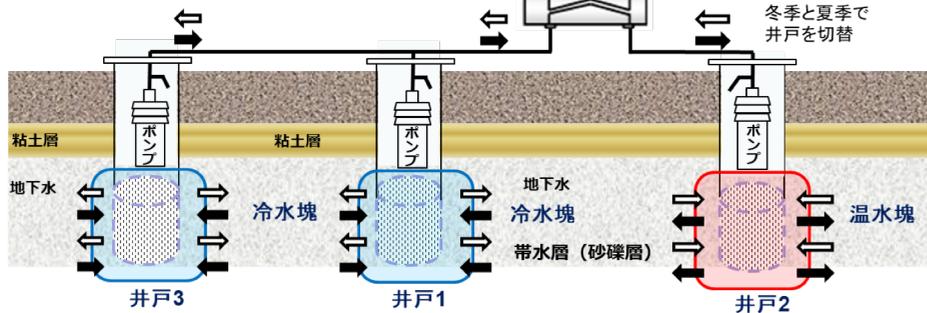
### 応用例: 弊社神戸工場帯水層システム展開

本設備を構築した神戸和田岬地区では、大阪湾断層から分岐した断層が通過する影響により帯水層の厚さが連続しておらず、井戸を設置した位置によって水量が異なり1本対2本のイレギュラーな構成となった、これを応用例として紹介する。  
結果的に神戸のような地盤が複雑な地域でも帯水層システムを構築できたことは今後の普及に向けてよい例になると考える。  
弊社としては、事前のボーリング調査をするのみではなく周辺地域の地盤調査を慎重に行い計画・提案するということを学んだ。

#### <元システム>



#### <改造システム>



#### 性能

- ・年間冷房システムCOPは4.8、暖房システムCOPは4.3、全体システムCOPは4.5を達成。一次エネルギー換算COPは1.6、原油換算にすると年間で約46.8KL/年
- ・年間一次エネルギー消費量が、同規模のガス吸収冷温水機(シミュレーション)対比で49.9%削減(46.5KL/年削減)した。

## CO2排出削減対策技術評価委員会による終了課題事後評価の結果

- ・ 評価点 6.1点 (10点満点中。(10点:特に優れている、8点:優れている、6点:問題ない、4点:多少問題がある、2点:大きな問題がある))
- ・ 評価コメント

### [評価された点]

- 実証実験における様々なトラブルに対して原因究明と対応が行われ、目標を概ね達成できたことは評価する。
- 熱源に利用する帯水層を2層に分けた新しい機構の技術開発は独自性が高く価値あるものと評価する。

### [今後の課題]

- 省エネ性能やCO2排出削減効果には優位性が示されたが、システムの安定的稼働のために調整弁や切換弁の改良が必要である。
- 利用する帯水層を1層(S-ATES)から2層(W-ATES)とすることによるコストアップは普及に向けた大きな障壁であり、提案時の計画を下回る販売見込みが想定される一因でもある。コスト低減の検討に注力する必要がある。
- 地下水質が事業性に大きく影響することが課題として明らかになった。コストダウンとリスク対応の両面に対し、技術的及びビジネス的観点からの検討を行い、これらを踏まえ事業化を進める必要がある。また、水質によらず利用できるシステムの開発が、市場拡大においては必須となる。
- 長期利用におけるリスクの増加やメンテナンスコストの上昇の可能性があるため、今後継続的にデータを取得して解析を進める必要がある。
- 事業化に当たっては、大深度地下利用などの都市開発計画との整合性を考慮して推進すること。

### [その他特記事項]

- 世界初のシステムを掲げていることから、事業期間終了後であっても、特許取得や学術誌での論文発表等を積極的に進めること。
- 本技術の他地域への適用・普及展開を期待する。

### [事業化に向けたコメント]

- 上述の通りW-ATESの井戸構築費用(主には切換機構のコスト)の低コスト化が事業化に向けた最重要課題である。同様に水質によらず安定稼働できるような抜本的な対策とともに、導入を見込む地域の地下水質の評価も必要である。