

岐阜地域に適した地中熱利用と活用事例

(株) テイコク・テクノ

地中熱利用の方法には、大別するとオープンループ方式とクローズドループ方式がある。このうち、地下水利用が可能な地域では熱交換効率が高いオープンループの採用が適している。岐阜地域では、長良川扇状地からの優勢な地下水涵養を背景に、良好な水質と豊富な水量を活用したオープンループによる地中熱利用が可能である。特に、長良川近傍では地下水流動に起因した季節的な水温変動の逆転現象がみられ、より効率的な地中熱利用ができる可能性を秘めている。岐阜市や大垣市では、温暖化防止や省エネ対策の一環として地中熱利用冷暖房システムの普及促進を積極的に進めており、活用事例も増えつつある。

§ 1. はじめに

東日本大震災および福島第1原発事故の発生以降、我が国のエネルギー事情は大きな転換期を迎えている。それは、これまでのような各電力会社による巨大な発電所から各地に送電する方法から、地域コミュニティの中で再生可能エネルギーを最大限に活用してエネルギーの自給自足を目指す方法への転換である。その中で地中熱利用の導入普及が全国的に始まりつつあり、岐阜地域でもその活用に向けた取り組みが進められている。

本報告では、地中熱利用に関連したこれまでの調査・研究や研究会活動の成果に基づき、岐阜地域に適した地中熱利用の方法及び活用事例を紹介する。

§ 2. 地中熱利用の概要

2-1 地中熱利用とは

地中熱とは、地表から深さ 150～200m 付近までの地中の熱のことを言う。このうち深さ 10m 以深の地中温度は季節に関わらずその地域の年平均気温程度（岐阜市における年平均気温は約 16℃）に維持される特徴がある。このような、夏冷たく冬暖かい安定した熱エネルギーを地中から取り出し、冷暖房や給湯、融雪などに利用することを「地中熱利用」と呼んでいる。地中熱の優位性は、北海道から沖縄まで全国どこの地域でも、また誰でもその恩恵を受けることができる点である。

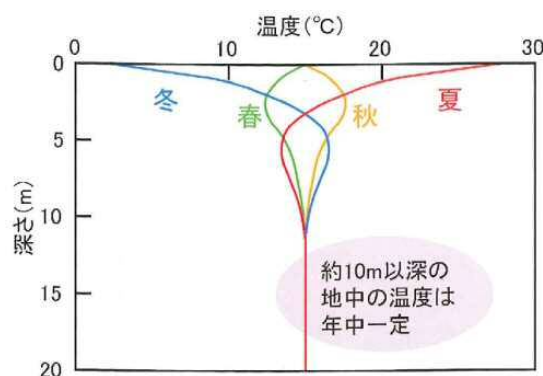


図-1 地中温度の季節変化イメージ
(NPO 法人地中熱利用促進協会パンフレット)

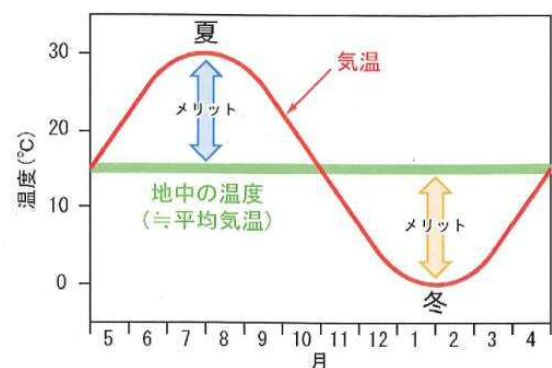


図-2 地中温度と気温の関係
(NPO 法人地中熱利用促進協会パンフレット)

2-2 地中熱利用の形態

地中熱の利用方法にはヒートポンプを用いる代表的な方法の他に、地中からの熱伝導の利用、外気との温度差を活かした空気循環、融雪に使う水循環やヒートパイプ等の利用法がある。このうち ヒートポンプシステムは空調設備などを対象にしたもので、高い省エネ効果が期待できることから世界的にも主流となる利用法である。この方法には密閉型のU字管を用いた「クローズドループ方式」と、熱交換する循環水に地下水を用いた「オープンループ方式」とがあるが、地下水利用が可能な場合には高い熱交換能力により効率的な地中熱利用ができる後者の採用が有利である。

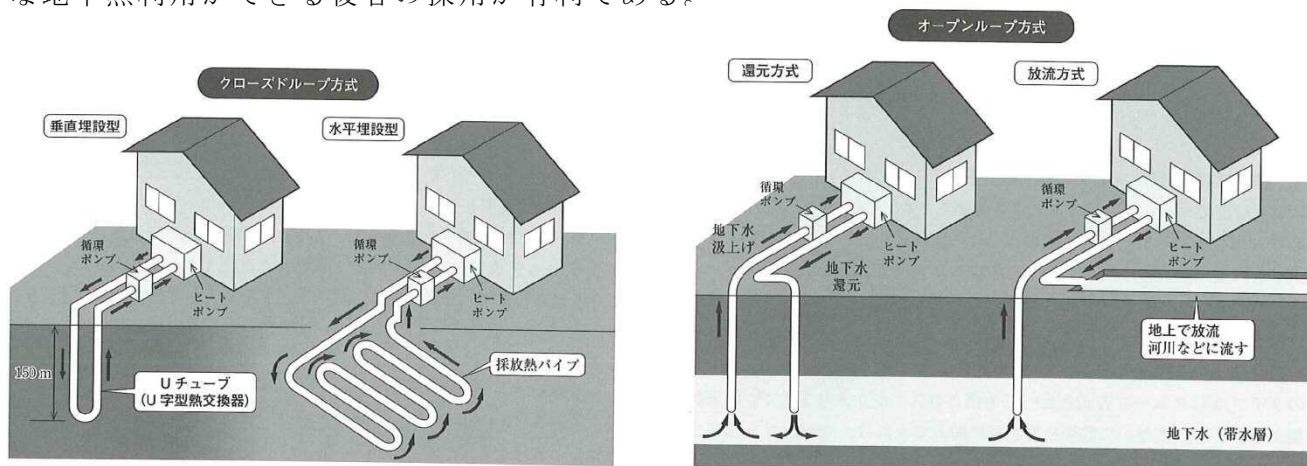


図-3 地中熱ヒートポンプシステム
（「地中熱利用ヒートポンプの基本がわかる本」：NPO 法人地中熱利用促進協会編）

§ 3. 岐阜地域における地中熱ポテンシャル評価

3-1 地下水賦存量、涵養量からみた評価

(1) 地形・地質²⁾

岐阜市は、木曽三川より形成された濃尾平野の北端部に位置し、面積約 200km²を有する中核市である。図-4 に示すように中心部には一級河川長良川による扇状地が形成され、濃尾平野における地下水涵養域の一部をなす。長良川扇状地は扇頂部を百々ヶ峰から金華山に連なる山塊に接し、西や南に向かって順次高度を減じる。扇頂部と扇端部の標高差は約 15m であり、この間の距離 6～8km より地表面の平均勾配は約 1/400～500 程度である。岐阜市街地で実施された現場揚水試験の結果によれば、扇状地を形成する礫層の透水係数は $k=1 \times 10^0 \sim 1 \times 10^{-1} \text{cm/sec}$ を示し、滞水層の透水性は非常に高い。

(2) 推定地下水賦存量¹⁾

図-6 は微動アレー探査結果より想定した岐阜市域の基盤岩上面と地下水賦損状況を鳥瞰したものである。このうち東西約 6km、南北約 9km の範囲の扇状地堆積物内に貯留される



図-4 長良川扇状地と周辺地形

地下水量を推定すると約 14 億トンと算定される。これは徳山ダム総貯水量 6.6 億トンの約 2 倍、浜名湖の総水量 3.5 億トンの約 4 倍に相当するものである。

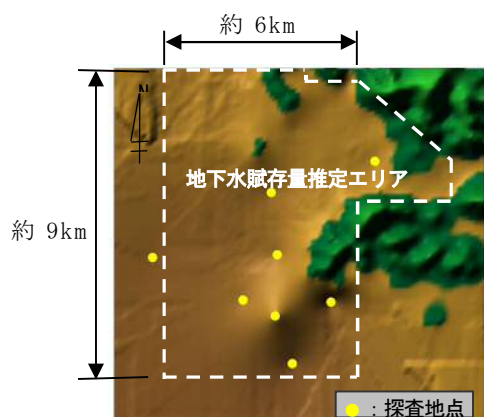


図-5 地下水賦存量推定エリア図

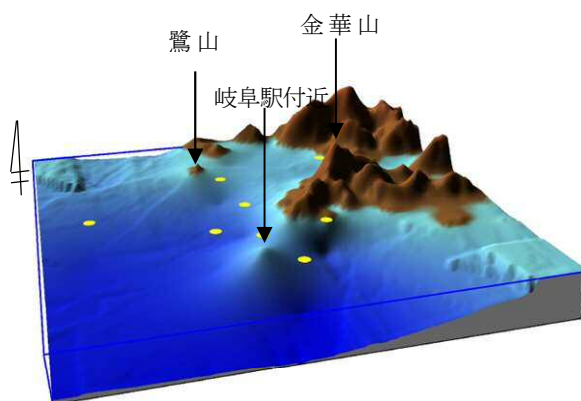


図-6 基盤岩上の地下水賦存イメージ

(2) 推定地下水涵養量²⁾

図-7 は、地下水位一斉観測の結果による地下水位等値線および地下水流動を示したものであり、扇状地面では長良川からの優勢な地下水涵養を示す地下水流動が読み取れる。

一方、図-8 は夏季と冬季の低水位時を対象に長良川における 5 断面（図-7 中の下流から 1～5 地点）で実施した河川流量同日観測の結果である。

区間 4→3 では河川流量に増加傾向がみられるものの、全体的に扇頂部から扇端部にかけて河川流量は減少傾向を示し、最上流部と最下流部間 8.8km の伏没量は 9 月観測時で 160 万 m^3/day ($2.1\text{m}^3/\text{sec}/\text{km}$)、12 月観測時で 130 万 m^3/day ($1.7\text{m}^3/\text{sec}/\text{km}$) と推定される。岐阜市全域における近年の日平均揚水量は 30 万 m^3/day 程度と推定されており、上記した長良川からの伏没量はこの 4～5 倍に相当する規模である。

このように、長良川扇状地では夏季や冬季の低水位時においても比較的安定した地下水涵養が生じていると考えられ、地中熱利用システムの導入において、低コスト化が図れるオープンループ方式の活用が期待できる地域といえる。

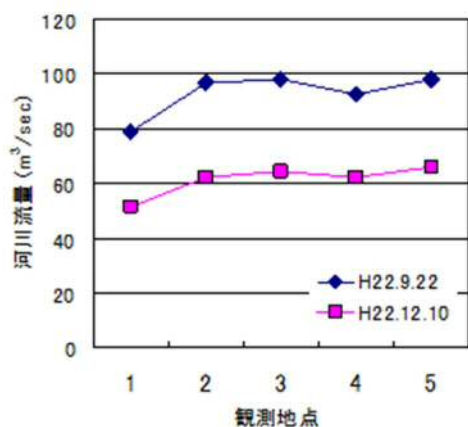


図-8 河川流量観測結果

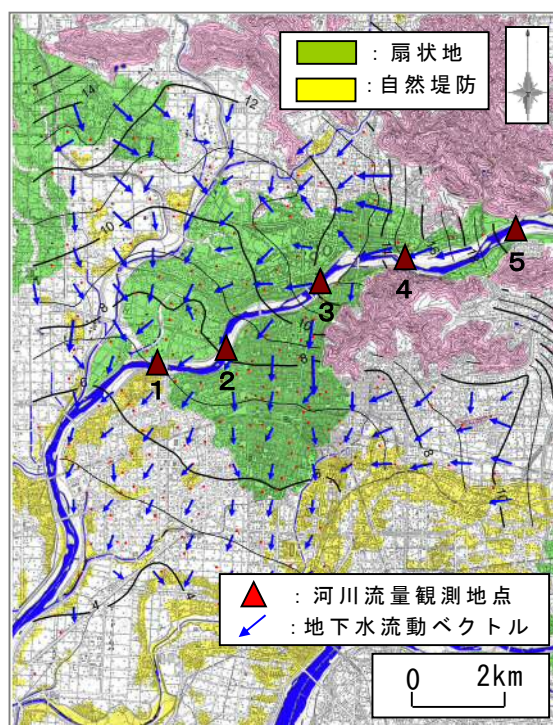


図-7 地下水位等値線図 (T.P.m)
(平成 22 年 9 月観測)

3-2 水質特性からみた評価²⁾

水や不凍液等の冷媒をU型のチューブ内に循環させて地中で熱交換するクローズドループ方式に対し、地下水を直接汲み上げるオープンループ方式では、腐食等により設備の維持管理に影響を与える水質特性がシステム構築上重要となる。

「冷凍空調機器用水質ガイドライン」によれば、冷房空調機器において汲み上げた地下水を一過式冷却水として利用する場合、設備配管の腐食とスケール生成を防御するための冷却水の水質基準を表-1のように定めている。ここで、図-9は、岐阜市街地の消防用水利約500箇所を対象に行われた水質調査結果より、表-1に示す基準項目の適合性を示したものである。同図より、長良川扇状地では基準値を満足する良好な水質が維持されていることがわかる。一方、参考項目のうち、配管内部の腐食やスケール形成に大きな影響を与える遊離炭酸については、図10に示すように長良川に近接した扇状地の一部で基準値4.0mg/lを満足するものの、大部分の地域では基準値以上の濃度を示している。しかし、同地域の現況の空調設備等において、水質に原因する腐食やスケール付着に伴う障害報告は少なく、0.6～0.8mg/l程度までの範囲を許容できるとすると、概ね基準項目の適合範囲との合致がみられる。

以上のように、参考項目を考慮した場合でも、長良川扇状地では河川の水質によって周辺地下水の良好な水質が維持されており、地下水を特別な処理をすることなく利用できるような、冷暖房空調機器の導入に適した水質状況にあることがわかる。

表-1 冷房空調機器(一過式)の水質基準

	項 目	基準値	傾向	
			腐食	スケール
基準項目	pH(25℃)	6.8～8.0	○	○
	電気伝導度(25℃) (mS/m)	40以下	○	○
	塩化物イオン (mg/l)	50以下	○	
	硫酸イオン (mg/l)	50以下	○	
	酸消費量(pH4.8) (mg-CaCO ₃ /l)	50以下		○
	全硬度 (mg-CaCO ₃ /l)	70以下		○
	カルシウム硬度 (mg-CaCO ₃ /l)	50以下		○
	イオン状シリカ (mg/l)	30以下		○
参考項目	鉄 (mg/l)	1.0以下	○	○
	銅 (mg/l)	1.0以下	○	
	硫化物イオン (mg/l)	検出されないこと	○	
	アンモニアイオン (mg/l)	1.0以下	○	
	残留塩素 (mg/l)	0.3以下	○	
	遊離炭酸 (mg/l)	4.0以下	○	
	安定度指数	—	○	

「冷凍空調機器用水質ガイドライン」
：日本冷凍空調工業会，1994



図-9 基準項目に対する適合性

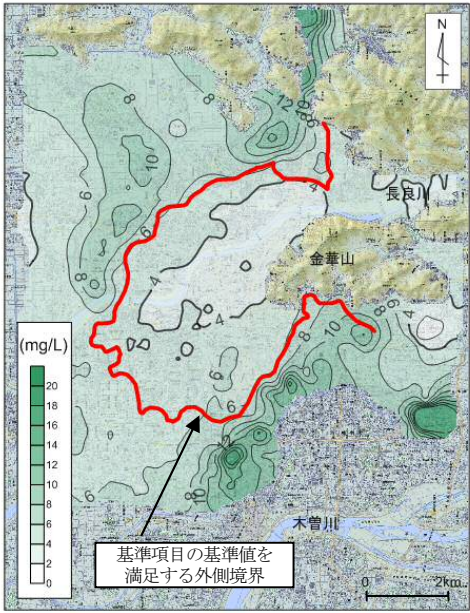


図-10 遊離炭酸 (mg/l)

3-3 地下水温特性からみた評価

(1) 地下水温平面分布

図-11 及び図-12 は、平成 22 年 7 月 26 日と 11 月 29 日に実施した地下水温一斉観測結果のうち G.L. -10m 地点の地下水温の平面分布を示したものである。岐阜市における年平均気温 16℃前後に対し、扇状地周縁部では年平均気温+1～+2℃に相当する 17～18℃の範囲が広がっており、この範囲の水温はほぼ恒温層の地中温度に該当するものである。これに対し、長良川扇状地の扇頂域では水温 16℃以下を示す冷温域から 18℃以上を示す高温域へと季節によって変化する特徴がみられる。図-13 は、G.L. -10m と -20m 地点の地下水温分布を扇頂域について拡大表示したものであるが、7 月 26 日の観測結果では、上記した冷温域が G.L. -20m 地点でより拡大していることがわかる。これに対し、11 月 29 日の冬季の観測結果では、上記の冷温域を示す範囲では水温 18℃以上を示す高温域へと変化しており、同地区が年間を通じて水温変動の大きい地域であることがわかる。このような扇頂部でみられる季節的な水温変動の特徴は、同地域の地中温度が鉛直 1 次元の熱伝導のみでなく河川からの優勢な地下水涵養に起因した熱移流に強く影響を受けていることを示唆している。

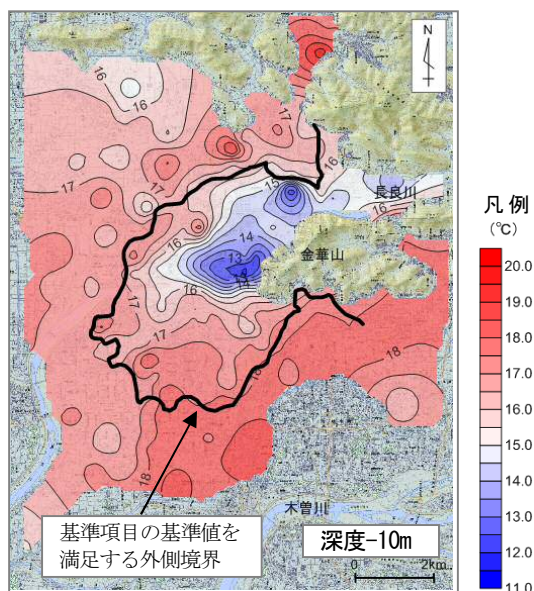


図-11 地下水温平面分布（'10 年 7 月 26 日）

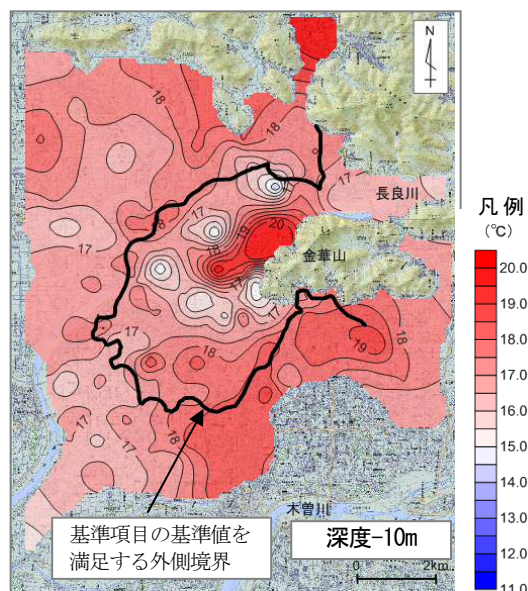
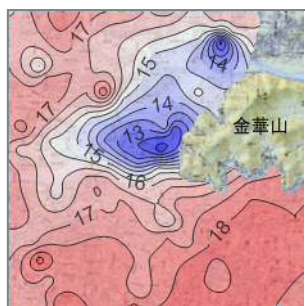
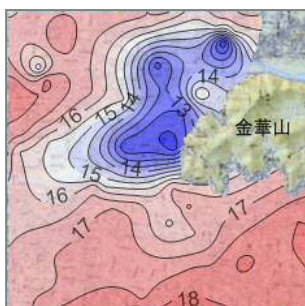


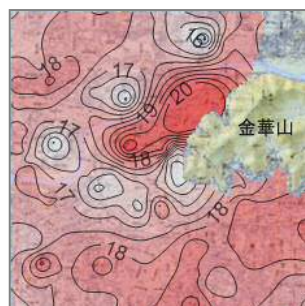
図-12 地下水温平面分布（'10 年 11 月 29 日）



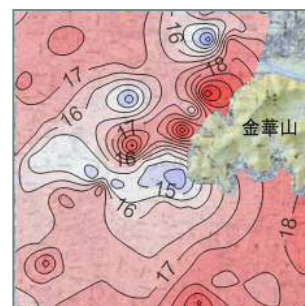
'10 年 7 月 26 日（深度-10m）



'10 年 7 月 26 日（深度-20m）



'10 年 11 月 29 日（深度-10m）



'10 年 11 月 29 日（深度-20m）

図-13 扇頂部における深度別地下水温平面分布の比較

(2) 地下水温鉛直分布および季節変動²⁾

図-14 は、長良川に近接する京町公園および岐阜市役所本庁舎に設置される地下水位観測井で測定された地下水温の鉛直分布である。各観測井とも深度 25m 付近には不透水性のシルト層を介在するが、水温分布は同シルト層を境に深部では年間を通じてほぼ一定水温が維持されているのに対し、浅部では季節によって水温が大きく変動する特徴がみられる。特に、その変動には図-11 や図-12 に示されるような季節的な逆転現象がみられ、7 月から 8 月の夏期には 12～13℃ 程度まで低下するのに対し、京町井の冬期には 20℃ を超えるような水温上昇が生じている。このような地下水温の特徴は、地下水流動の緩慢性に起因するものであるが、周辺地域ではより効率のよい地中熱利用ができる可能性を秘めている。

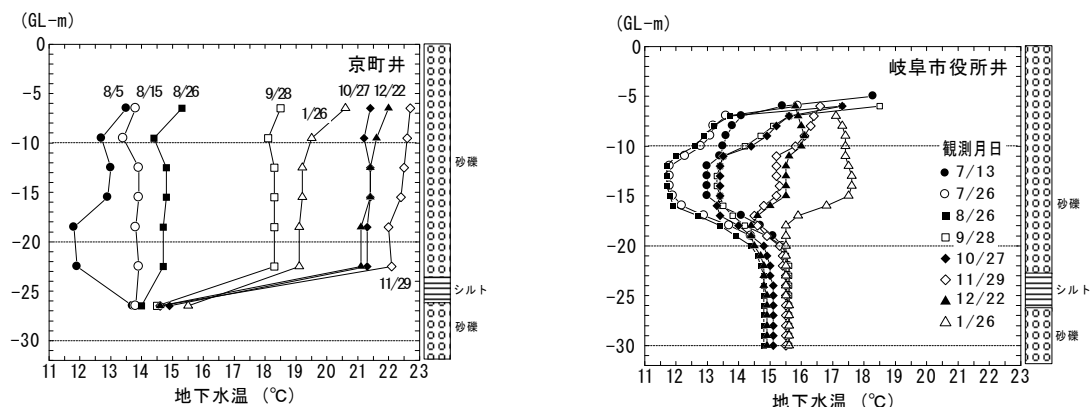


図-14 長良川近接地域における地下水温鉛直分布の特徴

§ 4. 岐阜地域における活用事例

4-1 施工事例－1

- ・施設名：株式会社テイコク（旧）日光ビル
- ・対象事業：平成 23 年度再生可能エネルギー熱事業者支援対策事業
- ・空調方式：地下水利用型空水冷式ビル用マルチ空調システム（オープンループ方式）
- ・設備能力：ヒートポンプ 24 馬力、冷房 68.0kw、暖房 73.0kw
- ・施設特徴：熱交換後の地下水を敷地内の浸透枡を介して地下へ還元するとともに、モニタリング孔を設置し還元水による周辺地下水温への影響を監視。

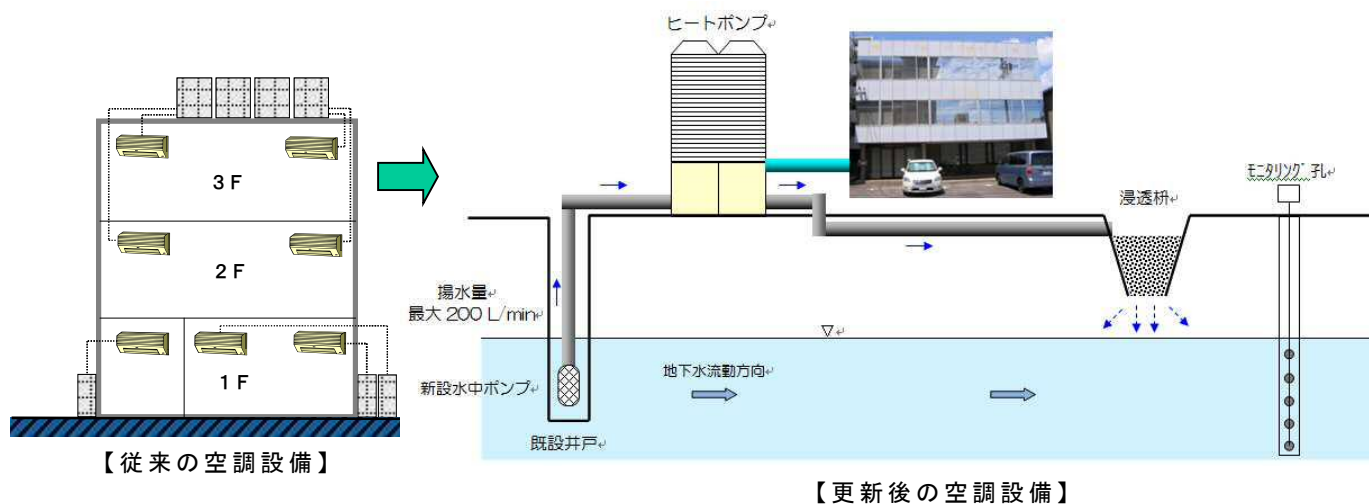


図-14 日光ビル空調システムの概要

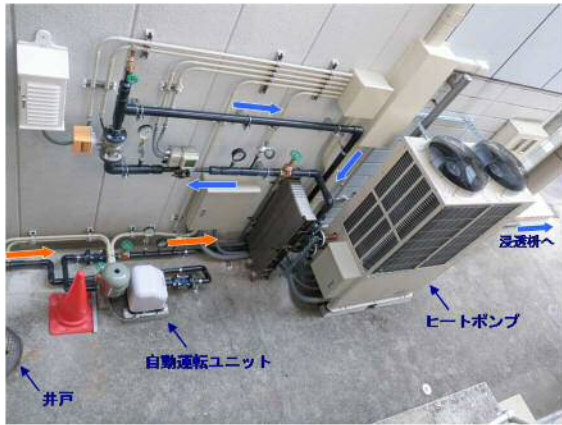


写真-1 (旧)日光ビル空調システム外観

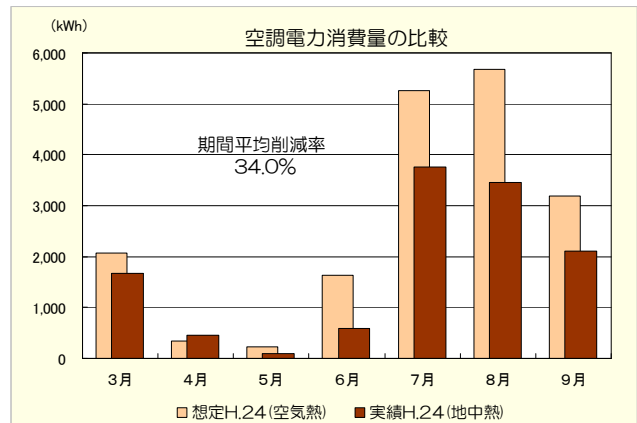


図-15 空調電力消費量の比較

図-15 は、平成 24 年の 3 月から 9 月期を対象とした従来システムによる想定 of 電力消費量と、更新システムによる電力消費量実績とを比較したものであるが、夏期を中心に期間平均削減率は 34% 程度と推定される。

4-2 施工事例-2

- ・施設名：棚橋工業株式会社 本社 ターミナル棟
- ・対象事業：平成 24 年度再生可能エネルギー熱事業者支援対策事業
- ・空調方式：地下水利用型空水冷式ビル用マルチ空調システム（オープンループ方式）
- ・設備能力：ヒートポンプ 18 馬力、冷房 50.4kw、暖房 56.5kw
- ・施設特徴：地形的に十分な地下水量が確保できないため、塗装工場で使用している地下水を空調システムの熱源として活用し高い省エネ化を実現した。

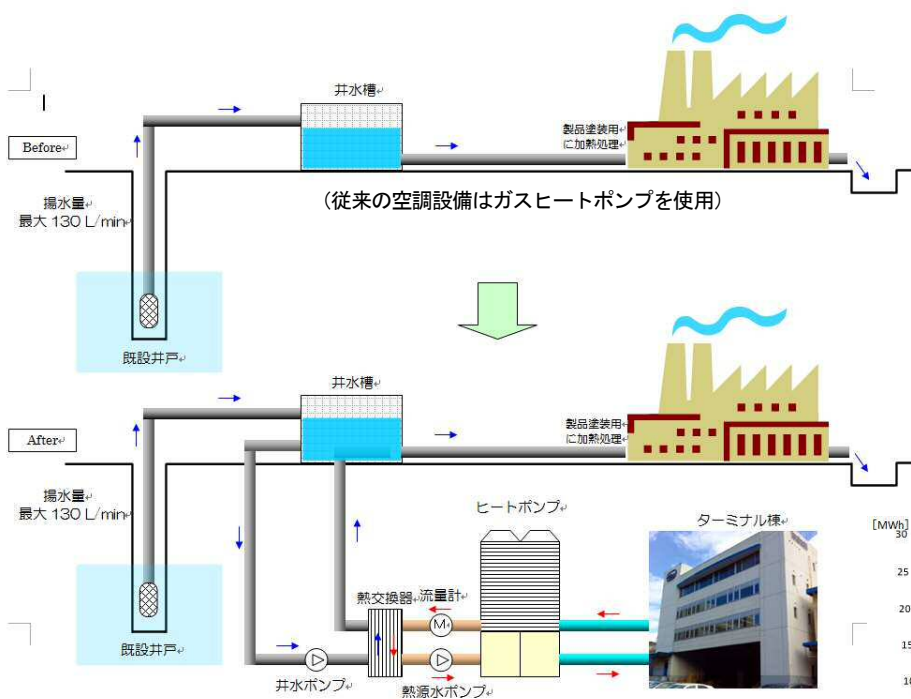


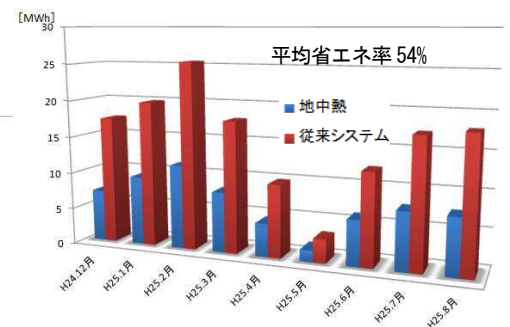
図-16 棚橋工業(株)本社ターミナル棟空調システムの概要



空水冷式ヒートポンプ



井水槽と熱交換器



4-2 施工事例－3

- ・施 設 名：棚橋工業株式会社 関工場
- ・対象事業：平成 25 年度再生可能エネルギー熱事業者支援対策事業
- ・空調方式：地下水利用型水冷式ビル用マルチ空調システム（オープンループ方式）
- ・設備能力：50 馬力、冷房 140.4kw、暖房 156.5kw

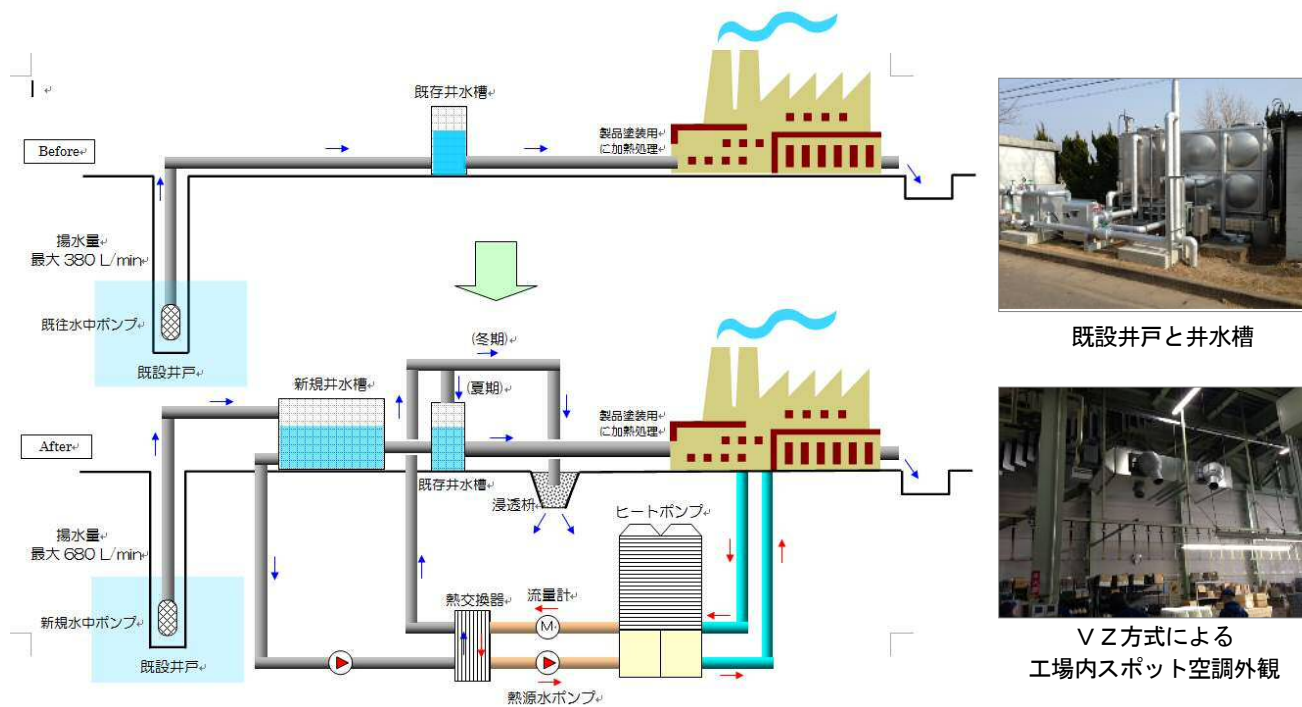


図-16 棚橋工業(株)関市塗装工場空調システムの概要

§ 5 今後の展望と課題

再生可能エネルギーとしての地中熱利用は、2000 年頃を境に徐々に増加し始め、東日本大震災以降は急速に普及が進んでいる。しかし、ヒートポンプ設置件数でみると総計でも 1000 件(44MWT)を超えた程度であり、欧米諸国や中国等（5,000～12,000MWT）と比較すると少ないのが現状である。ここで、今後の普及促進を図るうえでの課題を以下に列記する。

- (1) 井戸掘削費、地中熱交換井設置費、ヒートポンプ導入費など、新設や更新時のシステム導入に伴うイニシャルコストの低減。
- (2) 県をはじめ各市町村等における補助制度の充実
- (3) 公共施設における積極的な実証導入と地中熱利用ポテンシャルマップの整備

§ 6 おわりに

岐阜地域では、平成 23 年 9 月に岐阜大学の谷口幸准教授を会長とする『岐阜地中熱利用研究会』が発足し、産官学による会員相互の情報交換と技術の研鑽を目的とした活動が進められている。こうした活動を通じて、岐阜地域に適した地中熱利用方式の確立とエネルギーの地産地消に寄与することができれば幸いである。

参考文献 1) 岐阜市：「地中熱利用可能性調査」報告書, 2011

2) 地下水地盤環境に関するシンポジウム 2011：濃尾平野の長良川扇状地における地中熱利用の適正評価