

地盤熱利用実例

Examples of geothermal heat

日建設計
NIKKEN SEKKEI
牛尾智秋
Tomoaki Ushio

キーワード: 地盤熱 (Geothermal heat), 地盤熱源ヒートポンプ (Ground Source Heat Pump), 掘削孔蓄熱 (Borehole Thermal Energy Storage), 帯水層蓄熱 (Aquifer Thermal Energy Storage), クール・ヒートトレンチ (Geothermal trench)

1はじめに

地盤熱利用という言葉には、地中マグマによりつくられた水蒸気による発電も含まれるが、ここでは、もう少し、低温域での利用を見ていきたい。建物設計で、一般的に地盤関連で扱うもののうち、最も高温はおそらく温泉である。源泉が風呂の適温 (41℃) より高い時に、給湯予熱などに、その温度差が利用できる。温泉熱利用は湧出場所に限られる。何処でも利用できるのは、地盤の大きな熱容量を活かした恒温熱である。外気温に比べ、地盤内温度は安定しているため、夏に涼しさ、冬に温かさを利用できる。地盤内温度は、地表面では外気温の影響を受けるが、10mより深くでは、年間を通して変動が殆どない (図1)。

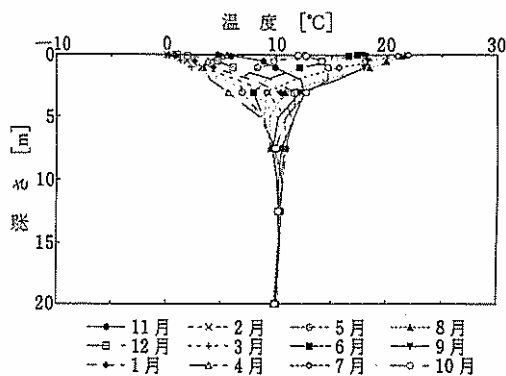


図1 地盤内温度(札幌市)¹⁾

地盤から熱を汲み上げる時に、熱媒として空気または水が使われる。空気の場合、地盤内空洞を設け外気を流して利用するクール・ヒートチューブと呼ばれる方式が多い。水の場合、地下水や温泉などを汲み上げて熱利用するオープンループ方式と、埋設した配管を通して地盤から熱を得るクローズループ方式に分かれる。オープンループ方式で揚水井と還水井を設け、地盤内の帯水層に蓄熱するものは帯水層蓄熱 (ATES)、クローズループ方式で掘削孔を設け採熱管を埋設するものは掘削孔蓄熱 (BTES) と呼ばれている。¹⁾²⁾

表1 地盤熱の利用種類

対象熱	熱媒	利用形態	利用箇所
恒温熱	空気	クール・ヒートチューブなど	外気予冷予熱
	水	オープンループ方式 (地下水汲み上げ) 帯水層蓄熱など	外気予冷予熱 電気室冷房 放射冷房
		クローズループ方式 掘削孔蓄熱など	ヒートポンプ 熱源水
温泉熱	温泉	オープンループ方式 (温泉汲み上げ)	給湯予熱 蓄熱槽昇温

2地盤熱を空気を介して利用—岩手県立大学³⁾

熱媒に空気を使う場合、地盤内に配管やコンクリート製の空洞を埋めて、その中に外気を通して、予冷予熱する例が多い。一般的に、配管の場合、クール・ヒートチューブ、空洞の場合、クール・ヒートトレンチと呼ばれている。建物が複数ある時に設けるインフラを通すための共同溝や、建物最下階下の基礎梁スペースを兼用してつくられる事が多い。最近では、免震建物で免震ゴムを基礎ピットに設けている場合、その空間に外気を流して地盤熱利用している例が増えている。

低層校舎の特徴を活かし、広い基礎梁スペースをクール・ヒートトレンチに利用した岩手県立大学の例を示す。

2.1 建築概要

建物名称 : 岩手県立大学
所在地 : 岩手県滝沢村
延床面積 : 80,845 m²
階数 : 地上4階
完成 : 1998年3月

2.2 クール・ヒートトレンチ概要

埋設深さ : 地中2m
材質 : コンクリート製
断面積、長さ : 高さ1.2m 幅1.8m 総延長1,300m
風量 : 440,000m³/h (延床面積当たり5.44m³/h)
接地面積 : 4,000m² (風量あたり0.009m²)
面風速 : 最大4.0m/sec

(居室CO₂濃度により外気量可変制御)

年間を通じて安定している地盤熱を使い、外気負荷を減らす。空調用を使う外気は、トレンチに導かれ地盤温度で予冷予熱された後、空調機で温度コントロールされる。このクール・ヒートトレンチは、総延長1,300m、設置面積4,000m²におよび日本最大級の規模である。

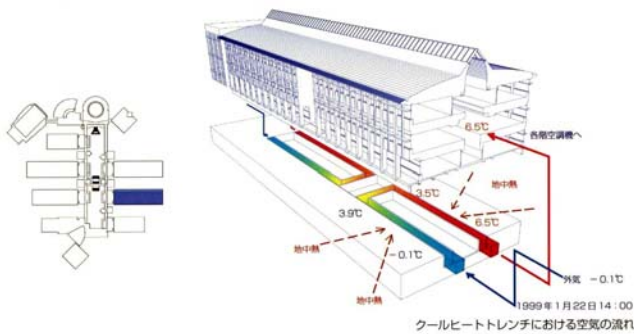


図2クール・ヒートトレンチ概念

2.3 クール/ヒートトレンチの運転実績

図3にクール・ヒートトレンチの冷却・昇温性能として1999年5月17日～2000年4月30日の外気温とトレンチ出口温度の相関を示す。トレンチ押し込みファン稼働日の11時～16時のデータを使用した。クール・ヒートトレンチにより外気を冬に最大9.0°C昇温、夏に最大6.7°C冷却しており、年間で外気負荷を夏期は74%、冬期は20%減らしていた。5月と10月が冷却と昇温の境であった。

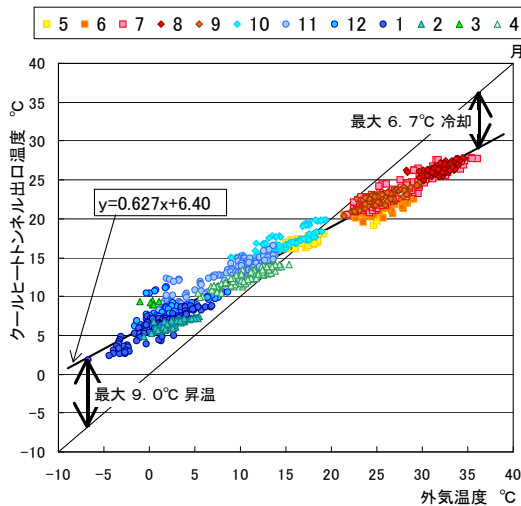


図3クール・ヒートトレンチ運転実績

3 地盤熱を水を介して利用

熱媒に水を利用する場合、地下水汲み上げによる直接利用と、採熱井による間接利用とで、熱利用量が大きく異なる。地下水利用の場合、地下躯体をつくるための土留壁を深くして、採熱範囲を建物直下に限る方法もあるが、土留壁が浅い場合、採熱範囲が広く敷地外の地盤熱も使うことになる。空気熱源でも、放熱の影響を敷地内に抑えなければならぬという規制がないので、法的には支障がないと思われるが、地盤熱利用が増えた場合、ルールづくりが必要かも知れない。地下水汲み上げは、自治体によっては規制されている*1ので、計画に際しては、所轄官庁に問い合わせる必要がある。

*1例えば、大阪府では汲み上げポンプの吐出口断面積が6cm²を超える井戸は規制されている。

3.1 熱伝導による利用

地下水を使わずに地盤熱を使う方法として、配管を地中に埋め、その内に水を流して、地盤から熱を得る方法がある。地下水汲み上げに比べ熱利用量が少ない*2が、敷地外

への影響を調整できるため、最近、採用例が増えている。
*2単純比較できないが、深さ100mの井戸から500lit/minの地下水を汲み上げ3°C差利用できた場合、深さ1mあたり熱利用量は約2,000W。地盤に埋設した配管1mあたりの採熱量は約50W⁴⁾と言われている。

採熱井の種類として、堅穴に採熱管を埋設する方法、底が付いた井戸又は中が空洞の杭などの二重管内に水をためる方法、杭を構成する鉄筋に採熱管を固定して埋設する方法がある。採熱量を増やすため、採熱管を二重にすることも行われている(表2)。

表2 採熱井の種類⁹⁾

名称	シングル Uチューブ	ダブル Uチューブ	二重管	杭二重管	杭+ Uチューブ	現場施工杭 (場所打ち杭)
方式	ボアホール方式					
断面図						
立面図						
材質	ポリエチレン、銅、ステンレス		外管: スチール、 コンクリート 内管: ポリエチレン、 銅、スチール	杭: スチール、 コンクリート	杭: スチール、 コンクリート	杭: 鉄筋コンクリート Uチューブ: ポリエチレン
流体	水、不凍液、冷媒		水、不凍液		水、不凍液、冷媒	
封入	管外:主、グラウト材 ^{注)}		なし		グラウト材 ^{注)} 、水、コンクリート	

注) グラウト材:コンクリート、ベントナイト、珪砂、豆砂利等

3.2 採熱井廻りの地盤の熱伝導率—サーマルレスポンス試験

採熱井の上に建物がなく、地表面が外気に接する場合、地表面付近では、外気温の影響を受けるが、5mより深くでは影響が少ない(図4)。一般的に採熱井の深さは20mを超えるものが多いため、採熱量は、採熱井廻りの地盤の熱伝導率に大きく依存する。乾いた砂(含水率7.9%)の熱伝導率が1.1W/mKに対して、湿っている粘土が混じった砂(含水率21.6%)の同率が2.1W/mK¹⁾と大きく異なる。

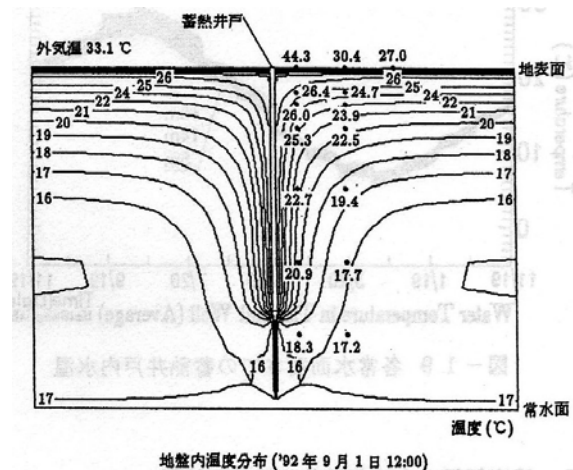


図4 採熱井の温度分布(計算結果、採熱井深さ10m)⁴⁾

採熱井廻りの平均的な地盤内伝導率を、サーマルレスポンス試験と呼ばれる方法で実測できる。同率が分かれば、地盤熱利用量を精度良く把握できる。サーマルレスポンス試験の実施例を示す。

- 所在地 : 大阪市
- 採熱井 : 180φ 深さ51m
- 採熱管 : 往還25A 2組(隙間は砂で充填)
- 掘削後の試験期間 : 11日間
(温度安定待機4日→循環1日→)

加熱循環 3日→循環のみ 3日)

電気ヒータ : 3kW

図5に、サーマルレスポンス測定器フローを示す。地盤内に堅穴を掘り採熱管を埋める。電気ヒータで温めた水を採熱管内に循環させ、地盤での冷却効果を計り地盤内の熱伝導率を求める。

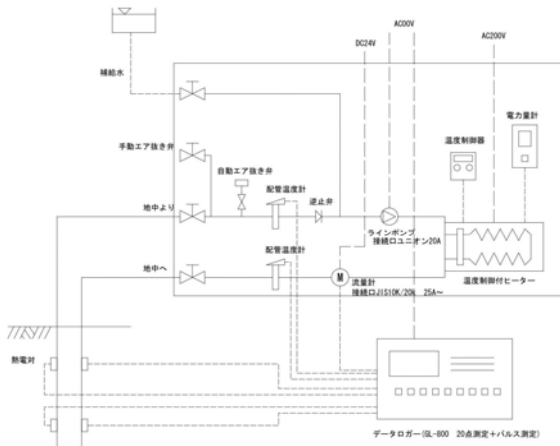


図5 サーマルレスポンス測定器フロー

図6に、電気ヒータの積算電力量と採熱管循環水の温度を示す。平均2.8kWの熱を約3日間連続して循環水に投入した。循環水の往還温度差が約2°Cであった。

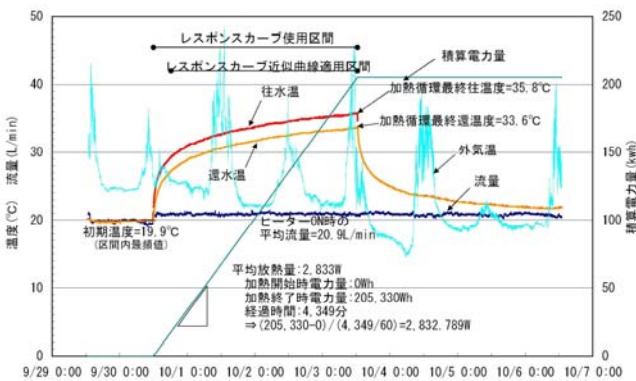


図6 サーマルレスポンス実験結果

図7に循環水の平均温度の経時変化を示す。採熱井を線熱源とすると、電気ヒータ投入時の温度変化率より、採熱井廻りの地盤内の熱伝導率は1.709W/mKと算出された。概ね、砂と砂+粘土の中間値であった。

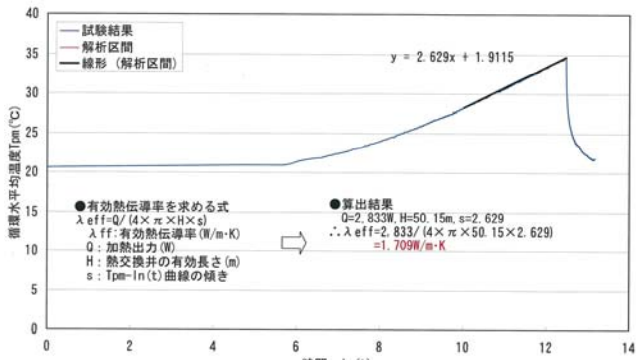


図7 地盤内熱伝導率

3.3.熱の利用先

地下水温は約19°C前後と空調用としては低質であるが、

夏期の室内標準条件 (26°CDB,50%RH) での露点温度 (14.8°CDB) より高く、室温との差も大き過ぎないので、床面や天井面を利用した放射冷房に利用しやすい。残念ながら、放射冷房のみでは、一般的な冷房負荷を全て賄えないため、採用が少ないが、今後の発展が望まれる。熱利用として多いのは、ヒートポンプの熱源水又は、外気の子冷予熱や電気室の冷房など、条件が厳しくない用途での利用である。

寒冷地で空気熱源ヒートポンプによって暖房した場合、寒い時は、デフロストを繰り返し暖房が頻繁に止まり、室温を一定に維持しにくく、効率も悪い。採熱源として地盤を使えば、安定して暖房が行える。この事は、寒冷地で、地盤熱利用が多い理由になっていると考えられる (図8)。

【地中熱ヒートポンプシステム都道府県別設置件数】

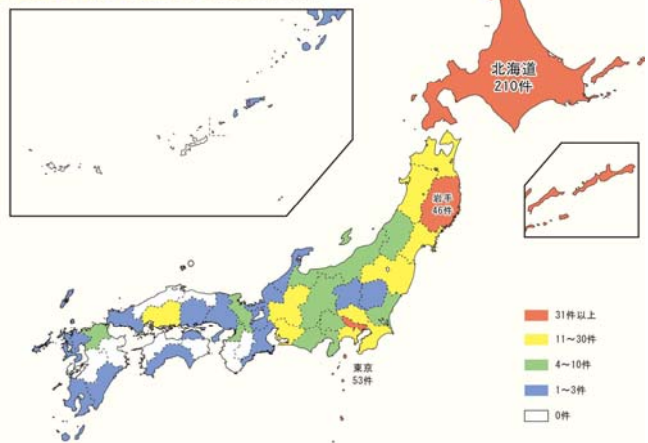


図8 地盤熱源ヒートポンプ県別採用件数⁶⁾

3.4.地盤熱の再生エネルギーとしての評価

アメリカでの建物の環境評価としてLEEDがある。日本での評価例は少ないが、世界で最も普及した手法になっている。その中に、敷地内での再生可能エネルギー利用を評価する項目がある。地盤熱利用であれば、全て評価されると考えてしまうが、ヒートポンプ熱源としての利用は評価されない。最も普及した空気熱源ヒートポンプで空気を再生可能エネルギーと見なさないのと同様に扱っている。地盤熱利用でも、クール・ヒートチューブや、地下水による外気の子冷予熱などの直接利用は評価される。空気という最もありふれたエネルギーをどのように捉えるか、考えさせられる。

4.地盤熱をヒートポンプ熱源として利用—神戸関電ビルディング⁷⁾

4.1 建築概要

神戸関電ビルディングは、1995年1月の阪神・淡路大震災により大きな被害を受けたため、解体された旧関電神戸支店ビルの跡地に、新たに建設された。大震災の教訓から「地震はもとよりあらゆる災害に対し安全性・信頼性が高く、省エネルギー性にも優れ、神戸復興のシンボルとなる建物を建設する」という方針のもとに計画がすすめられ、1997年12月に着工、2000年2月に完成した。



図9 神戸関電ビルディング

建物名称 神戸関電ビルディング
 所在地 神戸市中央区
 用途 オフィス
 延床面積 33,295 m²
 階数 地下2階、地上19階
 完成 2000年2月

4.2 地下水利用システムの概要

敷地周辺は、地下水の豊富な地域で、周辺の複数建物で地下水が雑用水として使われている。地下水は年間を通じて18℃程度で安定しており、ヒートソース、ヒートシンクに適している。本建物では雑用水利用と合わせて、空調熱源水として利用した。

図10に示すように、汲み上げた地下水はスパイラル型熱交換器を介して熱源水として利用し、利用後の地下水は一部を雑用水として使い、残りは還元井を通じてもとの帯水層に戻る。地下水の汲み上げ深さは約150mである。

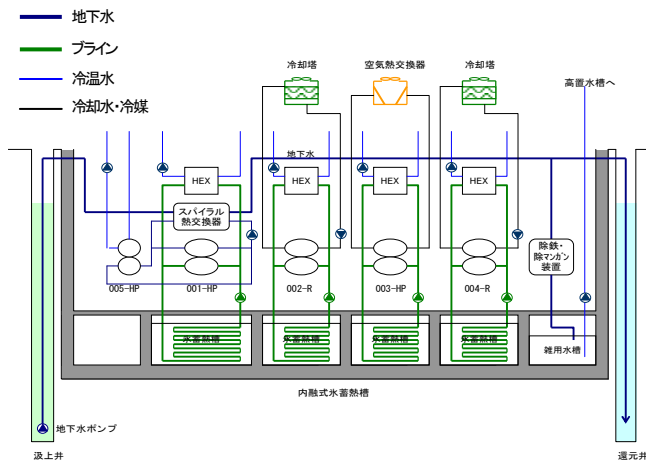


図10 地下水利用システム

熱源システムは、氷蓄熱による全蓄熱とし、電力負荷平準化と最大電力低減をはかった。氷蓄熱槽は建物基礎梁二重スラブ内に設けた内融式ブラインコイル方式とした。熱源機器容量は750USRTで、そのうち、150USRTが地下水熱源である。表3に熱源設備の概要を示す。HP-05は、暖房時の小負荷対応機で、これも地下水熱源ヒートポンプとしている。

表3 熱源設備概要

機器名称	仕様
001-HP	地下水熱源ヒートポンプチラー 製氷能力 527kW (150USRT) 加熱能力 570kW
002-R	水冷式製氷チラー 製氷能力 703kW (200USRT)
003-HP	空気熱源ヒートポンプチラー 製氷能力 527kW (150USRT) 加熱能力 800kW
004-HP	水冷式製氷チラー 製氷能力 703kW (200USRT)
005-HP	地下水熱源ヒートポンプ 加熱能力 75kW
氷蓄熱槽	内融式ブラインコイル方式 6600 USRT・h

4.3 地下水利用システムの稼働状況

図11に、各熱源機の年間生成熱量を示す。HP-5の生成熱量を除き、生産冷熱量の約13%、全生産熱量の約20%が地下水熱源で賄われていた。図12に、冷房期、中間期(冷房)、暖房期の代表日の熱源水(スパイラル熱交換器)出入口温度、熱源水量、熱源水利用熱量を示す。地下水を暖房運転時は18℃前後、冷房運転時は23℃前後で熱源水として使っていた。

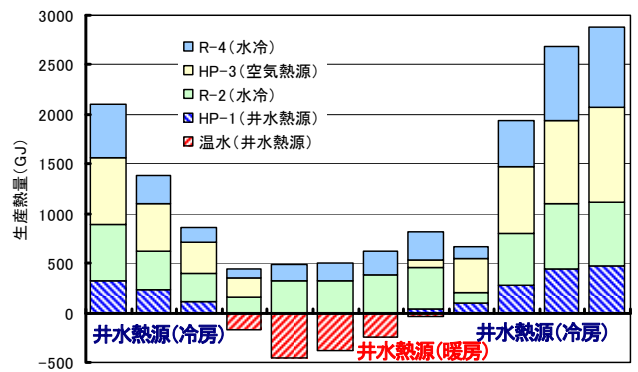
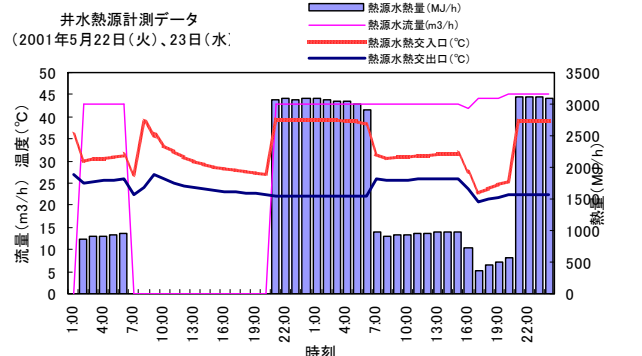
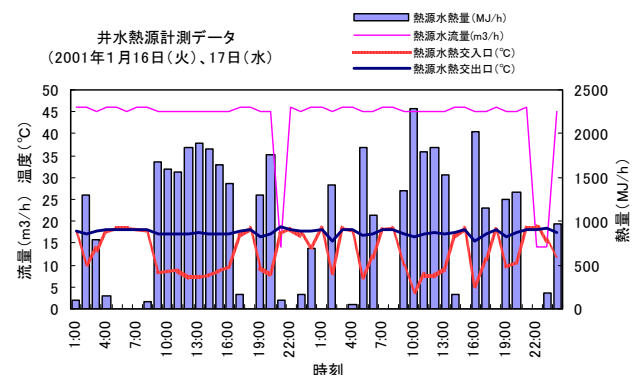


図11 年間生成熱量(2001~2002年実績)



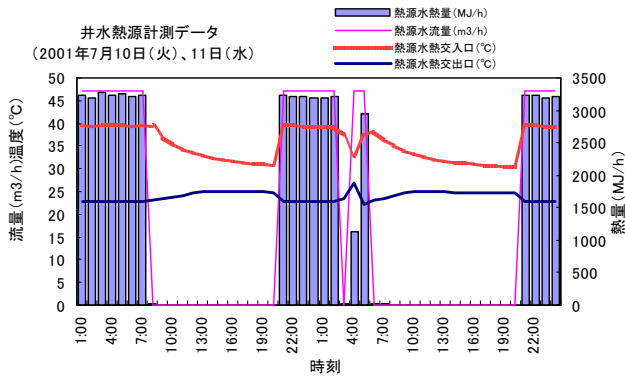


図 12 代表日の井水運転状況(上:冷房 中:中間期 下:暖房)

5. 地盤熱を直接冷却加熱に利用—神戸国際会館⁷⁾

5.1 建築概要

地下水を汲み上げ、外気の子冷予熱、ホールと電気室の冷房などに直接、熱利用している神戸国際会館の例を示す。

神戸国際会館は、約 2,000 席のホール、オフィス、映画館、商業施設や地域冷暖房施設などをもつ複合施設であり、地下で三宮地下街（さんちかタウン）、地下鉄海岸線三宮・花時計前駅に、地下階と地上階で大型百貨店に接続している。

施設は阪神・淡路大震災で半壊した旧会館を建て替えたものである。旧会館も井戸を設け地下水を水源として使っていた。



図 13 神戸国際会館

建物名称	神戸国際会館
所在地	神戸市中央区
用途	ホール、オフィス、店舗、地域冷暖房施設
敷地面積	58,985m ²
階数	地下 3 階、地上 22 階
完成	1999 年 4 月

5.2 熱・水同時利用

旧会館の建て替えにあたり、地下水を水利用のみならず、地下水の恒温性を活かして熱利用を図った。

冷凍機を稼働させずに熱利用できるように、地下水を、空調機コイルに直接、通して熱利用した。地下水は、一般的な冷水（約 7°C）、温水（約 45°C）に比べ温度条件が良くないため（年間約 18°C）、熱利用先は温度差が確保できる外気の子冷予熱や室温条件の厳しくない電気室冷房（室温 30~40°C）とした。

図 14 に地下水利用システムを示す。揚水井から汲み上

げた地下水は雑用水槽に蓄え、空調機系統の循環水と熱交換して使う。熱需要が雑用水需要より多い時は、熱のみ使い、地下水を還水井によって地中に戻せるようにした。翌日に地下水熱を多く使いたい時は、夜間に地下水水槽内の水を入れ替えて（夜間入替え）、夏は冷たく、冬は温かくできる。

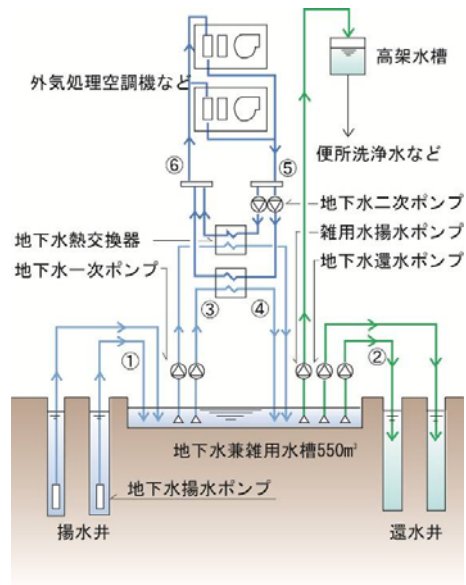


図 14 地下水利用システム

表 4 に地下水利用システムの仕様を示す。揚水井と還水井は、ショートサーキット防止のため直線距離で約 70m 離している（図 15）。

表 4 地下水利用システム仕様

井戸	揚水井 350φ 深さ 100m 2 本 (常水位は雑用水槽の水位より高い) 還水井 450φ 深さ 100m 2 本 揚水・還水量とも 500lit/min/本
水槽	雑用水槽 550m ³ (水深 3.5m)
熱交換器	交換熱量 279kW 2 台 夏期 18→23°C/24→19°C 冬期 18→13°C/12→17°C
地下水ポンプ	一次・二次側とも 800lit/min 2 台
地下熱利用先	外気処理空調機 計 139,000m ³ /h 電気室空調機 計 30,000m ³ /h ホール床吹出空調機 計 27,000m ³ /h



図 15 揚水井と還水井の位置

5.3 夏期, 冬期の実測結果

夏期(2000年7月30日~8月7日,18日,19日),冬期(2001年2月9日~3月4日)において,地下水利用システムの温度,流量,熱量を実測した。表5に実測時の地下水利用システム,地下水利用を行っている外調機の運転スケジュールを示す。

表5 地下水利用システム,外調機の運転スケジュール

地下水	夏期	熱利用 8:00~20:00,入替え 1:00~5:00
	冬期	熱利用 8:00~20:00,入替え 3:00~7:00
外調機		熱利用 8:00~20:00

5.3.1 地下水利用熱量

図16に夏期・冬期の代表日(8月6日,2月26日)の地下水利用熱量を示す。夏期は100~140kWの地下水熱を,冬期は50~80kWの地下水熱を使っていた。地下水の日用熱量は夏期1,516kWh/日,冬期716kWh/日であった。

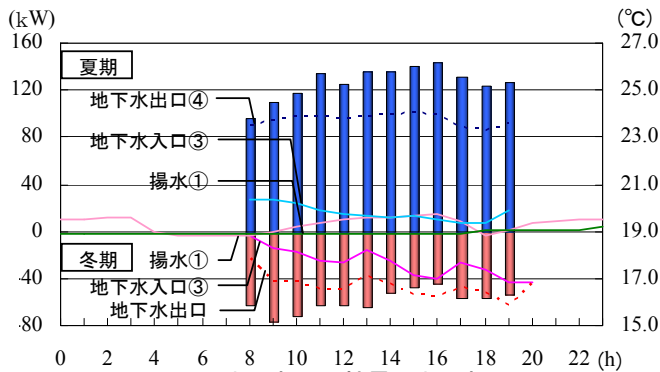


図16 地下水利用熱量と地下水温度

図17に地下水コイル付き外調機の写真と図18,図19に外調機廻りの温度,熱量を示す。地下水専用コイルを外気側に設けた。夏期・冬期とも地下水利用熱量は概ね15kW以上であり,外気を地下水コイルにより3.5~5.0°C予冷または予熱していた。外調機の必要熱量のうち,地下水熱で夏期は約25%,冬期は約40%賄っていた。

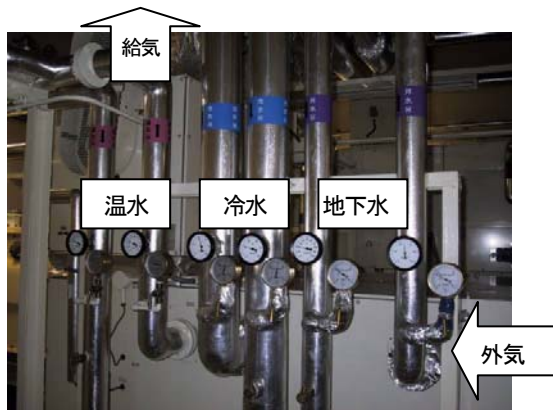


図17 地下水コイル付き外調機

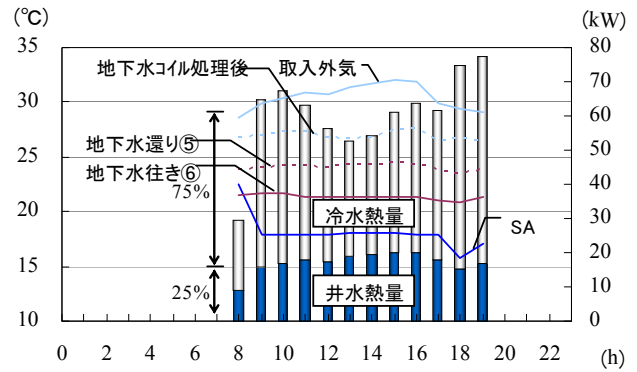


図18 外調機廻りの温度・熱量(8月6日)

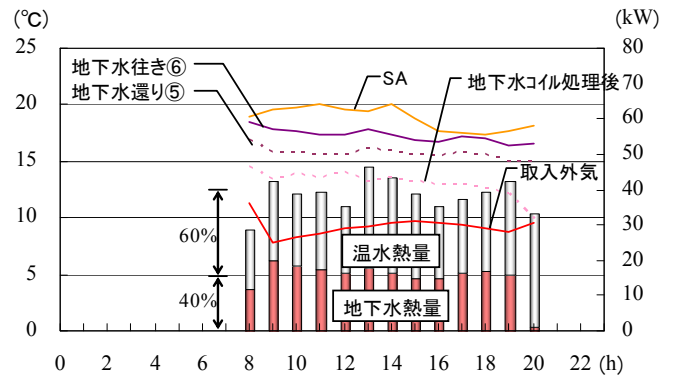


図19 外調機廻りの温度・熱量(2月15日)

5.3.2 夜間入替えによる効果

図20に雑用水利用量と夜間入替え量を示す。夏期は,地域冷暖房施設の冷却塔補給水が多いため,水利用のみで雑用水槽(550m³)の約3/4が一日で入替わる。冬期は,冷却塔補給水がないため,雑用水槽が約1/4しか一日で入れ替わらない。夜間入替えを行うと,約130m³(雑用水槽の約1/4)の水が入れ替わる。

図21,図22に夏期,冬期の夜間入替え有無による地下水温度と地下水利用熱量を示す。

夏期は,地下水の日用熱量で,夜間入替え無し1,516kWh/日,夜間入替え有り1,487kWh/日と,殆ど差が見られない。また,熱利用開始時(8:00)の熱交換器一次側入口温度(地下水入口③)も僅か0.2°Cしか差が見られない。これは,雑用水利用のみで雑用水槽内の地下水の大部分が入替わるため,夏期は夜間入替えが不要と判断できる。

冬期は,夜間入替え有り716kWh/日の方が夜間入替え無し527kWh/日より地下水利用熱量が多い。地下水利用開始時の熱交換器一次側入口温度も,夜間入替えにより約3°C高く保たれている。冬期は雑用水利用量が少ないため,夜間入替えによって,地下水利用熱量が増えている。

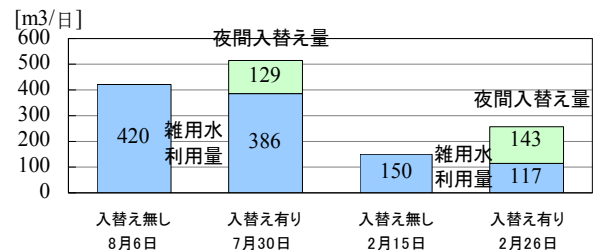


図20 雑用水利用量と夜間入替え量

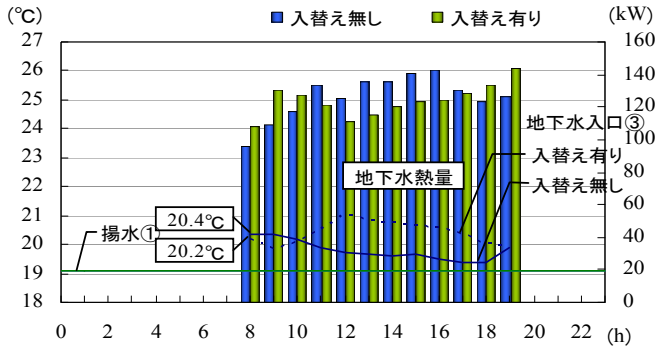


図 21 地下水温と地下水利用熱温(夏期)

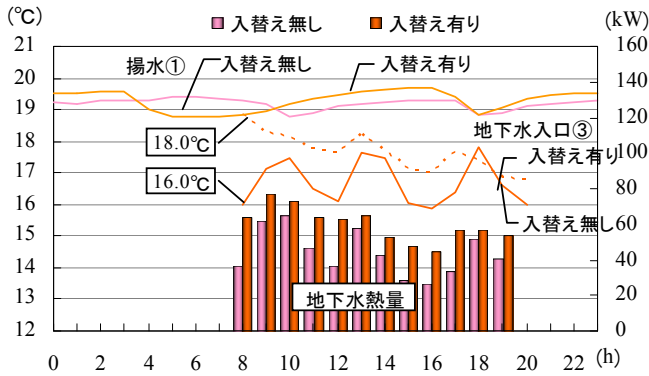


図 22 地下水温と地下水利用熱量(冬期)

5.3.3 年間使用水量

図 23 に水の年間消費量を示す。地下水は雑用水と地域冷暖房施設の冷却塔補給水を足したものであり、全使用量の約 70% を占めた。

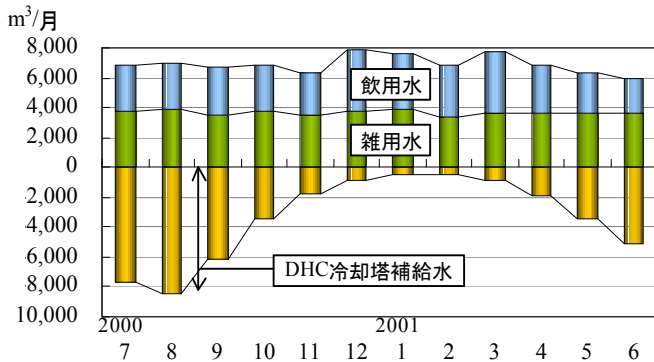


図 23 年間水消費量

5.4 メンテナンス状況

現在 (2013 年 1 月時点) も、地下水の熱利用と雑用水利用が行われている。井戸のしゅんせつは、東南井戸が 2010 年に実施、北西井戸が 2013 年に計画されている。また、揚水ポンプの整備は、北西井戸が 2003 年、2008 年、2013 年 (予定)、東南井戸が 2005 年、2010 年、2015 年 (予定) と 5 年ごとに行われている。

6 地盤熱を直接冷却・加熱に利用—奄美病院⁸⁾

6.1 建築概要

地下水を外気の子冷予熱に直接利用している奄美病院の例を示す。



図 24 慈愛会奄美病院

建物名称 : 慈愛会奄美病院
 所在地 : 鹿児島県名瀬市
 延床面積 : 16,839m²
 階数 : 地上 5 階
 完成 : 2003 年 6 月

6.2 地下水利用システム

東京、大阪のほぼ 2 倍の年間降雨量 (2,871mm/年) は、山からの伏流水となり、豊富な地下水を恵む。地下水の利用ほかに、地下水の恒温性を外気の子冷予熱に利用した (図 25)。地下水を空气中に暴露すると溶存鉄分などが溶出してくるので、地下水を直接、空調機コイルに通して熱利用を行い、熱利用後、直接、還水井より地中に戻した。還水井は、地中へ浸透圧を確保するため、地表面より約 50cm 立ち上がっている (図 26)。

揚水井 300φ 深さ 70m
 還水井 450φ 深さ 50m
 地下水利用空調機 78,200m³/h

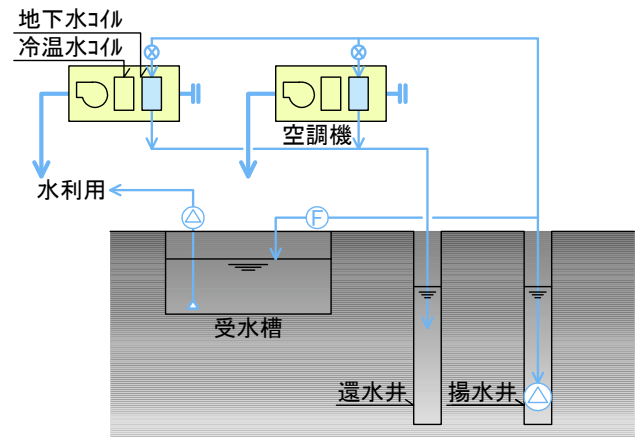


図 25 地下水利用システム



図 26 還水井

6.3 地下水熱の利用状況

図 27 に外気温と地下水温の相関を示す。地下水は、外気温の影響を受けずに年間を通して 21°C 程度と温度が安定しているため、外気の冷却・加熱に利用した。熱利用後

の地下水は、冷却時約22~26℃、加熱時約17~20℃であった。

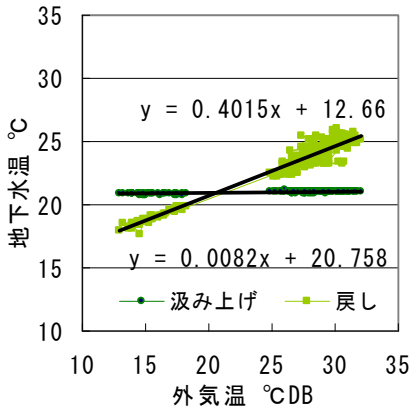


図 27 外気温と地下水温

図 28、図 29 に示すように、地下水は約 21℃ で汲み上げ熱利用後に、約 25℃ で地中に戻している。冷房能力は 7 月の最大で 830MJ/h、平均で 500MJ/h であった。年間では地下水を 4~11 月は冷房に、1~4、12 月は暖房に利用しており、その量は、冷房が 773GJ/年、暖房が 253GJ/年であった。

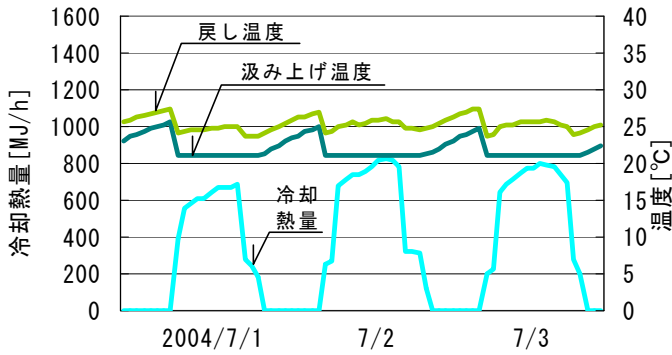


図 28 地下水温と地下水冷却熱量

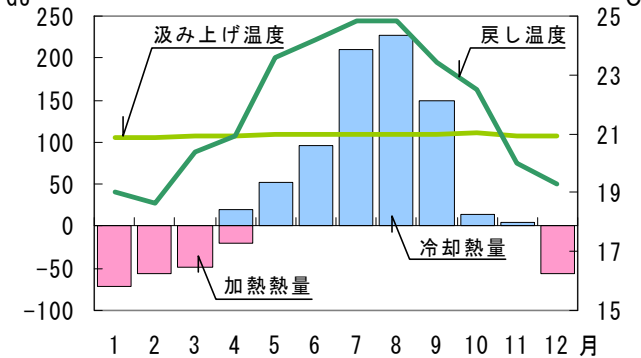


図 29 地下水温と地下水利用熱量

7 地域冷暖房施設での地盤熱採用—東京スカイツリー

国内の地域冷暖房施設で最初に地盤の恒温熱を利用した東京スカイツリーの例を示す。

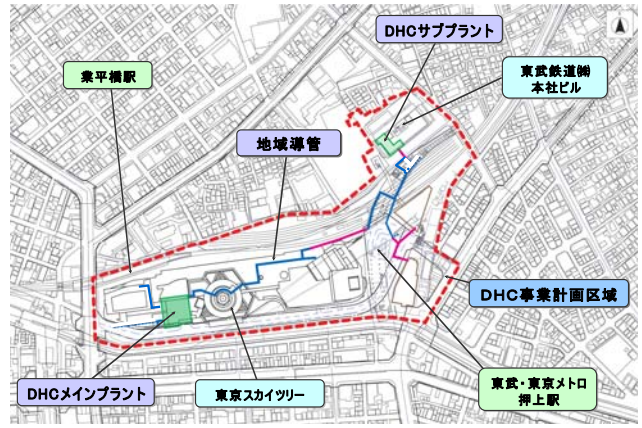


図 30 東京スカイツリー地域冷暖房供給エリア

供給エリア 東京スカイツリータウンおよび周辺建物 (約 10.2ha) (図 30)。

供給熱媒 冷水、温水

供給開始 サブプラント 2009 年 10 月

メインプラント 2012 年 4 月

地盤熱利用 水熱源ヒートポンプの熱源水として利用

7.1 採熱概要

メインプラント内に地盤熱を熱源水とした水熱源ヒートポンプを設け、冷水、温水を製造している。建物の基礎杭に採熱管を取り付けたもの (図 31) と 堅穴を掘って採熱管を埋設したもの (図 32) の両方で地盤熱を利用している。

採熱方式 基礎杭深さ 18.65m+採熱井深さ 120m 21 本

採熱管 ダブルチューブ

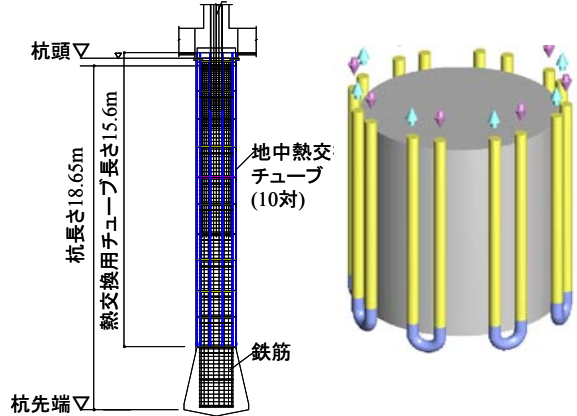


図 31 地盤熱利用基礎杭 (大成建設 (株) 施工・特許工法)

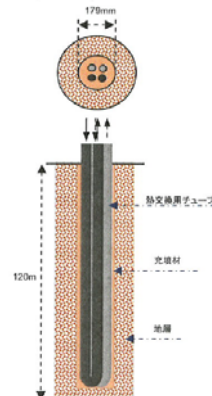


図 32 採熱井 ((株) 大林組、三菱マテリアルテクノ (株) 施工)

表 6 に地盤熱利用年間測定を示す。温熱が冷熱より若干多く、地盤を少し冷やしている。地下鉄などの都市排熱

を考えれば、年間での冷熱と温熱のバランスが変わってくる。

表 6 地盤熱利用年間予測量

	基礎杭	採熱井	計
冷熱	156GJ/年	518GJ/年	674GJ/年
温熱	176GJ/年	627GJ/年	803GJ/年
計	332GJ/年	1,145GJ/年	1,477GJ/年

8.韓国での地盤熱利用—釜山大学釜山キャンパスの例⁹⁾

韓国では、2002年3月に「代替エネルギーの開発及び利用・普及促進法」により、一定規模以上の政府支援金を受けた建物に対して、標準建築費の5%以上を再生エネルギー利用施設に投資するように義務化された。

太陽光発電・太陽熱給湯以外には、風力など使えるエネルギーに限られるため、地盤熱利用が増えている。韓国は日本の寒冷地に相当する場所が多い事も影響していると考えられる。水熱源ヒートポンプエアコンの熱源水に地盤熱を使っている釜山大学釜山キャンパスでの例を示す。

8.1 地盤熱利用システム

- 採熱井 深さ 175m 24本
- 採熱管 40A
- 熱源 水熱源ヒートポンプエアコン
10HP 12台(空調) 2台(給湯)

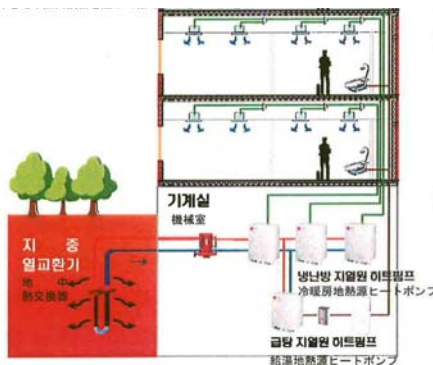


図 33 地盤熱源ヒートポンプ

採熱範囲を採熱管中心半径2.5mとして、5mごとに深さ175mの堅穴を24本掘削、25Aの採熱管を埋めて、地盤熱を使っている。採熱管が将来、建物建設の障害にならないように、公園内の散策路下に設けている。

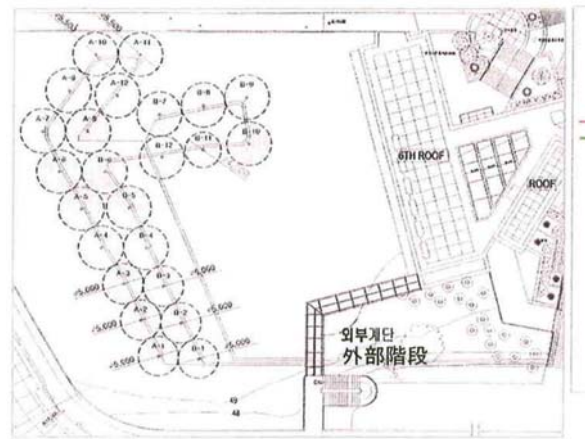
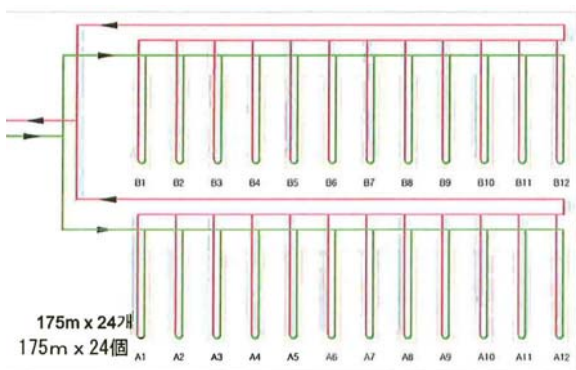


図 34 採熱井のフローと配置図

8.2 地盤内温度

図 35 に地盤内温度と外気温の月別平均を示す。深さ 5m で年変動±約 4°C程度、10m より深くでは年変動±2°C以内であった。

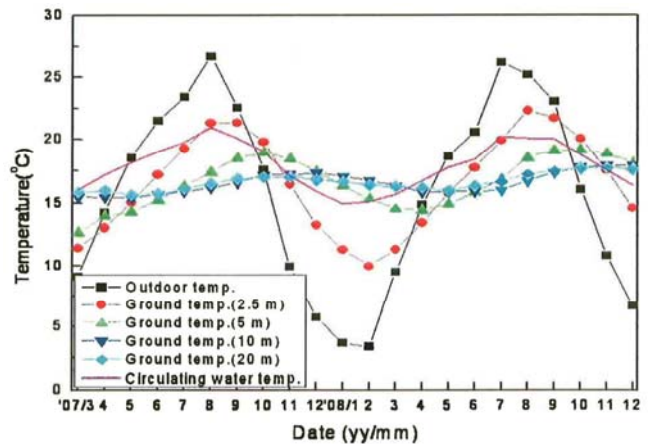


図 35 地盤内温度

8.3 地盤熱源ヒートポンプの成績係数

図 36 に地盤熱源ヒートポンプと空気熱源ヒートポンプの成績係数 (COP) を示す。採熱ポンプの搬送動力は含まれていないが、地盤熱源ヒートポンプの方が、空気熱源ヒートポンプに比べ成績係数が概ね 2 以上高い。

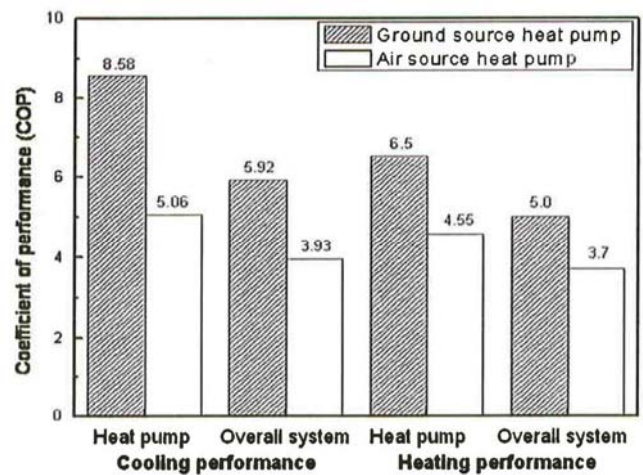


図 36 地盤熱源ヒートポンプの効率

9.アメリカでの地盤熱利用

アメリカは世界で最も地盤熱源ヒートポンプが普及している (図 37)。高い建設費を掛けたのに、年間での冷熱

と温熱の利用量のバランスが取れてなくて、年々効率が悪くなり、満足した結果が得られていない例も報告されている。ASHRAE JOURNALの中で長期間での地盤熱源ヒートポンプでの性能について特集¹⁰⁾が組まれている。

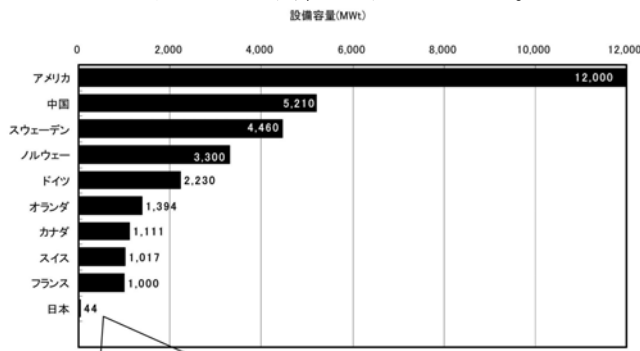


図 37 国別地盤熱源ヒートポンプ設備容量²⁾

10. 温泉熱利用—鹿児島市町村自治会館¹¹⁾

地盤の恒温性を利用する場合、掘削孔の深さは 100～200m のものが多い。温泉は、マグマによる加温を期待するため、深さ 1,000m を超えるものが多い。

鹿児島県は大分県の次に泉源が多く、人々に温泉が慕われている。湯上がりには、温泉をかぶり温泉成分を身に着けたまま、風呂を出たいという人も多い。温泉熱を利用して鹿児島市町村自治会館の例を示す。

10.1 建築概要



図 38 鹿児島市町村自治会館

建物名称	鹿児島県自治会館
所在地	鹿児島市
用途	事務所、ホテル
延床面積	12,433m ²
階数	地下1階、地上9階
完成	1997年5月

10.2 温泉熱利用システム

宿泊施設内に温泉を使った大浴場がある。泉源は 53℃ と風呂適温の 41℃ より高いので、その温度差を使って、給湯予熱と蓄熱槽の昇温を行っている。

泉源温度	53℃
温泉汲上量	100lit/min (条例による規制上限値)
熱交換器	
給湯予熱	55.8kW 温泉 51→43℃/給湯 26→43℃
蓄熱槽昇温	55.8kW 温泉 51→43℃/温水 42→47℃

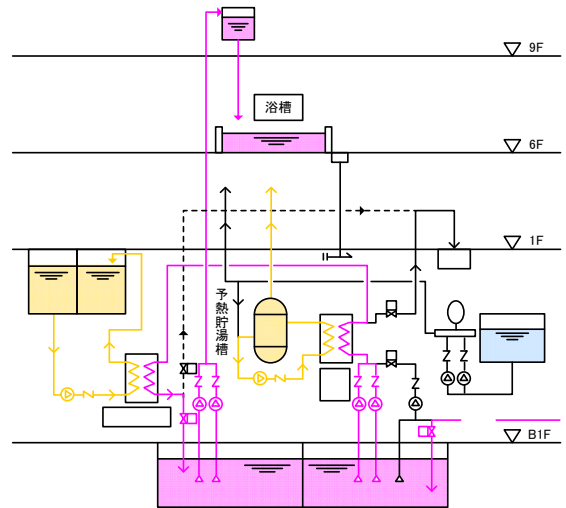


図 39 温泉熱利用システム

11. おわりに

地盤熱利用は、日本だけでなく、韓国、アメリカでも未利用エネルギーとして、一層の普及が望まれている。一般的な空気熱源に比べ、地盤という個体との熱の授受をするため、設備が大がかりものになりがちである。建築計画と上手く組み合わせて、建設費を下げながら、地盤熱利用の拡大を図っていきたい。

参考文献

- 1) 空気調和衛生工学便覧第 14 版
- 2) 地中熱利用にあたってのガイドライン、環境省水・大気環境局
- 3) 伊香賀ほか：岩手県立大学における環境親和型空調・衛生設備、空気調和・衛生工学学会誌、2001.11
- 4) 松本、永井、牛尾：密閉型蓄熱井戸およびその周辺地域の熱性状解析 (その 1) (その 2)、日本建築学会計画系論文集 (その 1) 第 464 号、p.31~38、1994.10、(その 2) 第 470 号、p.37~44、1995.4
- 5) 柴芳郎：地熱利用ヒートポンプシステム<地中熱利用と温泉排熱利用>、建築設備と配管工事、2008.2
- 6) 環境省パンフレット「地下水・地中熱利用施設の概況について」2010.12
- 7) 丹羽、牛尾：神戸三宮の地下水利用：神戸関電ビルディング、神戸国際会館、空気調和・衛生工学学会誌、2006.9
- 8) 堀川、牛尾：慈愛会奄美病院「素朴な癒しの建築」徹底したランニングコスト低減を目指した環境建築、空気調和・衛生工学学会誌、2006.10
- 9) Jaekeun Lee, Youngman Jeong: Introduction of PNU Green Campus、2009.6
- 10) Long-term Commercial GSHP Performance Part1~7, ASHRAE JOURNAL 2012.6~2013.2
- 11) 牛尾：鹿児島市町村自治会館の蓄熱空調システム、HACTEC 1998.11