

特集：地中熱の利用

藤のさとセンターへの地下水利用型地中熱利用ヒートポンプシステムの導入

地熱エンジニアリング(株)企画営業部 部長代理 池内 研

同 地中熱利用部 阿部 孝男

同 代表取締役社長 高杉 真司

同 企画営業部 課長 佐藤 敬二

ゼネラルヒートポンプ工業 ソフトウェア開発部 課長 柴 芳郎

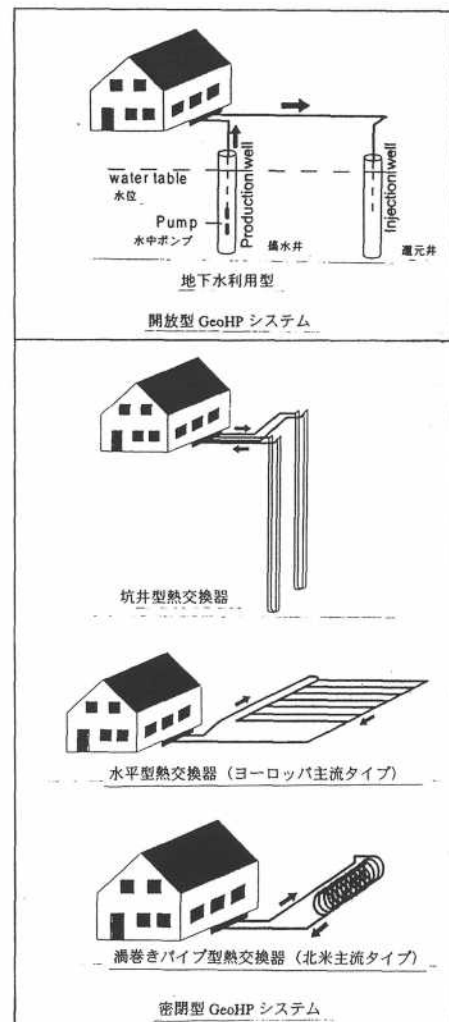
1 はじめに

新潟県糸魚川市では、市内下早川地区公民館として、2000年6月から翌年1月にかけて藤のさとセンターを建設した(グラビア1.7.1)。本センターの冷暖房には、エコアイスと組み合わせた地下水利用の地中熱利用ヒートポンプシステム(GeoHP)を採用した。著者らは、糸魚川市役所のご協力を得て、本年8月中旬から9月上旬にかけて、冷房運転時のヒートポンプ稼働状況をモニタリングした。本報告では、藤のさとセンターの地中熱利用ヒートポンプシステムとその冷房運転状況について報告する。

2 地下水利用型地中熱利用ヒートポンプシステム

地中熱利用ヒートポンプ(GeoHP)は、近年欧米でのその経済性から、環境負荷の低さ故に急速に普及しつつある技術である^{1), 2), 3), 4), 5)}。

冷暖房、給湯、融雪等に使用されるGeoHPシステムは、大きく分けて次の2種類に分類される(第1図)。一つは、地下水を熱輸送媒体として直接ヒートポンプと熱交換するOpen systemであり、一つは主に不凍液を熱輸送媒体として地中とヒ



第1図 タイプ別GeoHPシステム⁶⁾

ートポンプとを熱交換するClosed Systemである⁶⁾。

Open Systemでは、地下水を汲み上げさらに地下還元する必要があることから、以下の地域特性が必要である。

①地下水を汲み上げ・還元できる十分な透水性がある。

②季節変動が少なく、冷暖房に必要な十分な水量を確保できる。

③地下水の質がよい（鉄分が少ない、スケール付着や腐食の問題がない、還元井の目詰まりがない、天候の影響による濁りが少ない）。

藤のさとセンター周辺の下早川地区は、質の良い地下水が豊富にあり、上記の条件を十分に満たしている。

藤のさとセンターでは、周辺の地下水散水式融雪用の坑井仕様を参考に、深度50 m（150 Aストレーナー設置）の坑井を2本掘削した。これらは、それぞれ地下水揚水井と還元井であるが、将来、揚水量の変化や目詰まりによる還元量の減衰に対応するため、揚水井と還元井を交換できるように、両坑井とも揚水できるように仕上げた。なお、坑井掘削は、建家建設の支障とならぬよう建家建設に先駆けて行った（写真1、写真2）。

第1表、第2表に各坑井の揚水試験結果を示す。



写真-1 揚水井・還元井掘削状況(揚水井掘削中(エアハンマー法))



写真-2 揚水井・還元井掘削状況(還元井掘削終了(建家建設前に先行施工))

第1表 No.1井揚水試験結 (揚水井)

(1) 段階揚水試験結果			
試験日	2000年07月20日	自然水位	GL- 33.74 m
適正揚水量	240 L/min (346 m ³ /day)	適正揚水量	GL- 34.20 m
限界揚水量	326 L/min (469 m ³ /day)	限界揚水量	GL- 34.47 m
最大揚水量	326 L/min (469 m ³ /day)	最大揚水量	GL- 34.47 m
試験内容	施工時	水温	13.0℃
適正揚水量の判定		限界揚水量の80%	
(2) 連続揚水試験結果			
試験日	2000年07月21日	自然水位	GL- 33.71 m
揚水量	326 L/min (469 m ³ /day)	水温	13.0℃
(3) 水理定数の算出結果			
	透水量係数	透水係数	貯留係数
ヤコブの直線解析法	5.97 × 10 ⁻¹ m ² /min	9.95 × 10 ⁻² cm/sec	
グイスの非平衡式	5.39 × 10 ⁻¹ m ² /min	8.98 × 10 ⁻² cm/sec	7.39 × 10 ⁻⁸
回復法	1.49 × 10 ⁰ m ² /min	2.48 × 10 ⁻¹ cm/sec	
平均	8.75 × 10 ⁻¹ m ² /min	1.46 × 10 ⁻¹ cm/sec	7.39 × 10 ⁻⁸

第2表 No.2井揚水試験結果（還元井）

(1) 段階揚水試験結果			
試験日	2000年07月22日	自然水位	GL- 33.18 m
適正揚水量	270 L/min (389 m ³ /day)	適正揚水量	GL- 33.70 m
限界揚水量	337 L/min (485 m ³ /day)	限界揚水量	GL- 33.86 m
最大揚水量	337 L/min (485 m ³ /day)	最大揚水量	GL- 33.86 m
試験内容	施工時	水温	12.5℃
適正揚水量の判定		限界揚水量の80%	
(2) 連続揚水試験結果			
試験日	2000年07月22日	自然水位	GL- 33.18 m
揚水量	337 L/min (485 m ³ /day)	水温	12.5℃
(3) 水理定数の算出結果			
	透水量係数	透水係数	貯留係数
ヤコブの直線解析法	3.08×10 ⁰ m ² /min	1.03×10 ⁰ cm/sec	
ダイスの非平衡式	m ² /min	cm/sec	
回復法	3.43×10 ⁻¹ m ² /min	1.14×10 ⁻¹ cm/sec	
平均	1.71×10 ⁰ m ² /min	5.72×10 ⁻¹ cm/sec	

後述のヒートポンプ容量に見合う設計流量は120 L/minであることから、両坑井とも揚水流量は、十分であることが確認された。

3 施設概要とシステム構成

藤のさとセンターの概要は以下のとおりである。

- 1) 所在地：新潟県糸魚川市上覚22-2
- 2) 構造：木造平屋建
- 3) 建築面積：1,004 m²
- 4) 延床面積：989 m²

藤のさとセンターの冷暖房は、軽スポーツ場や廊下・便所を除く6室を対象としている。冷暖房対象床面積は422 m²である。

第2図に空調配管平面図を第3図に熱源システム概要を示す。

冷暖房を行う6室は、事務室（55 m²）・図書館（52 m²）・小会議室（45 m²）・調理室（47 m²）・学習研究室（119 m²）・多目的室（104 m²）で、各々2台ないし4台のファンコイルコンベクターを用いて冷暖房を行っている。

ファンコイルコンベクターへの熱供給はGeoHPで造成した冷温水（水道水）を循環させる方式である。冷房用循環冷水は7℃、暖房用循環熱水は45℃で供給する。

藤のさとセンターのシステム概要を以下に示す（グラビア1.7.2～1.7.3）。

- 1) 地中熱ヒートポンプ：7.5馬力×2機

加熱能力：45.4 kW

冷却能力：55.8 kW

氷蓄熱能力：31.4 kW

- 2) 氷蓄熱槽

大きさ：2,500×2,000×2,000 H (mm)

実容量：8.0 m³

- 3) 冷温水クッションタンク

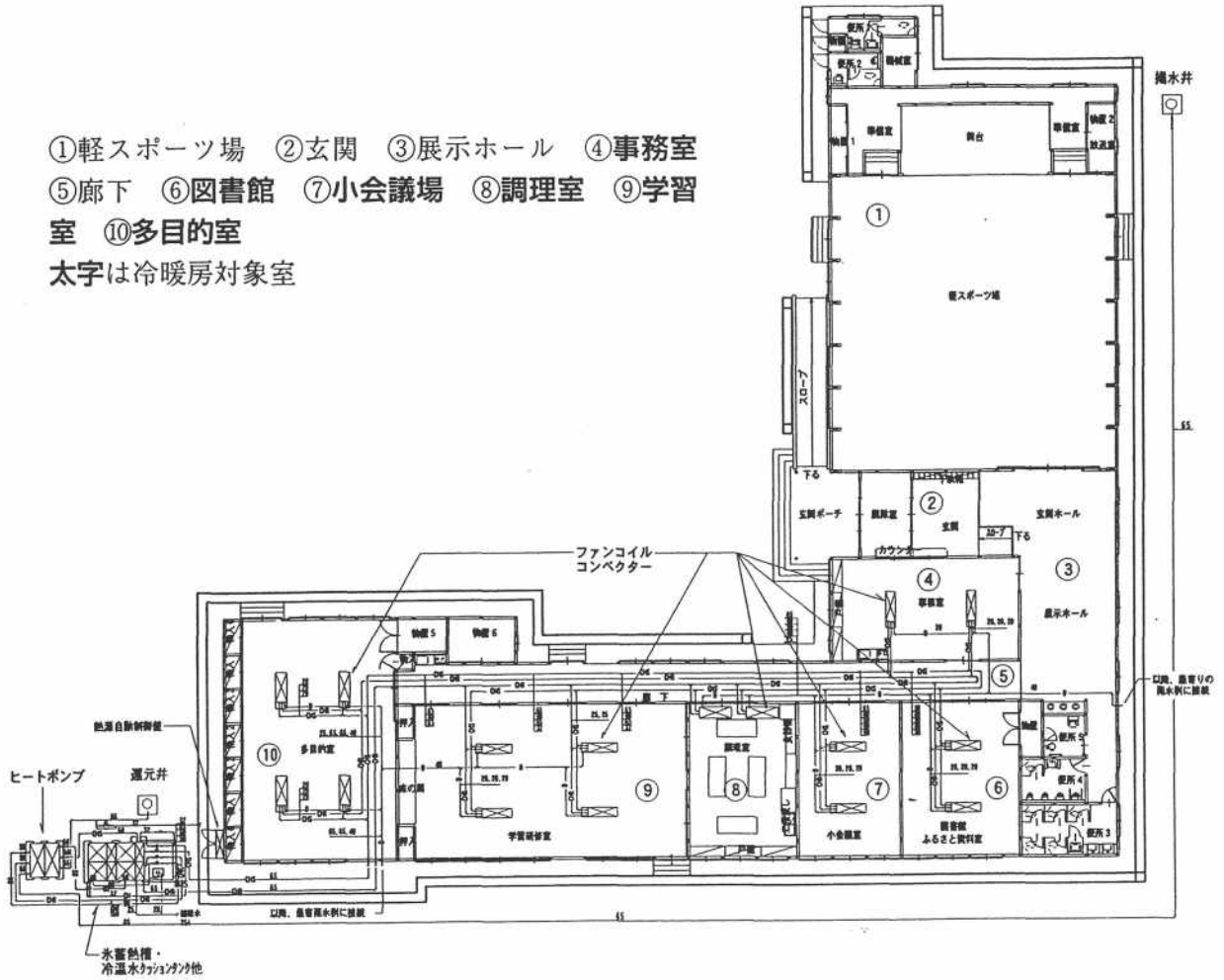
大きさ：2,000×500×2,000 H (mm)

実容量：1.6 m³

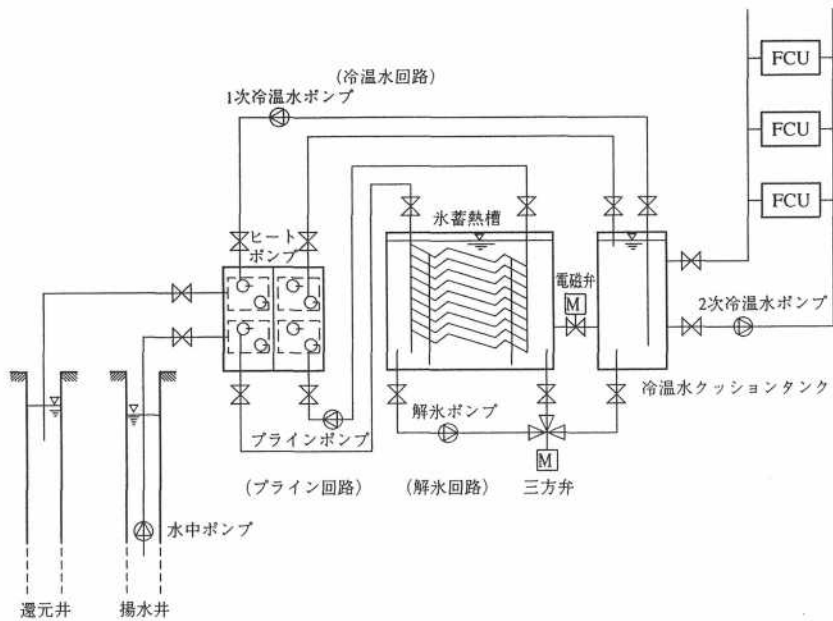
本システムでは、基本的に冷房用氷蓄熱は深夜電力で行い、昼間の冷水造成はほとんど行わずにすむ設計になっている。暖房用熱水は、深夜電力で造成後、昼間に熱水を造成する追いかけ運転を実施する方法を採用している。

なお、このシステムは、緊急時の監視体制として、ヒートポンプメーカーであるゼネラルヒ

- ①軽スポーツ場 ②玄関 ③展示ホール ④事務室
 - ⑤廊下 ⑥図書館 ⑦小会議場 ⑧調理室 ⑨学習
 - 室 ⑩多目的室
- 太字は冷暖房対象室



第2図 空調配管平面図



第3図 藤のさとセンターGeoHPシステム概要

ートポンプ工業(株)とシステム施工・設置を実施した地熱エンジニアリング(株)が運転状況を電話回線を用いPCで常時確認できるシステムになっている。

4 藤のさとセンターでの冷房運転

藤のさとセンターの冷房運転状況を第3表に示

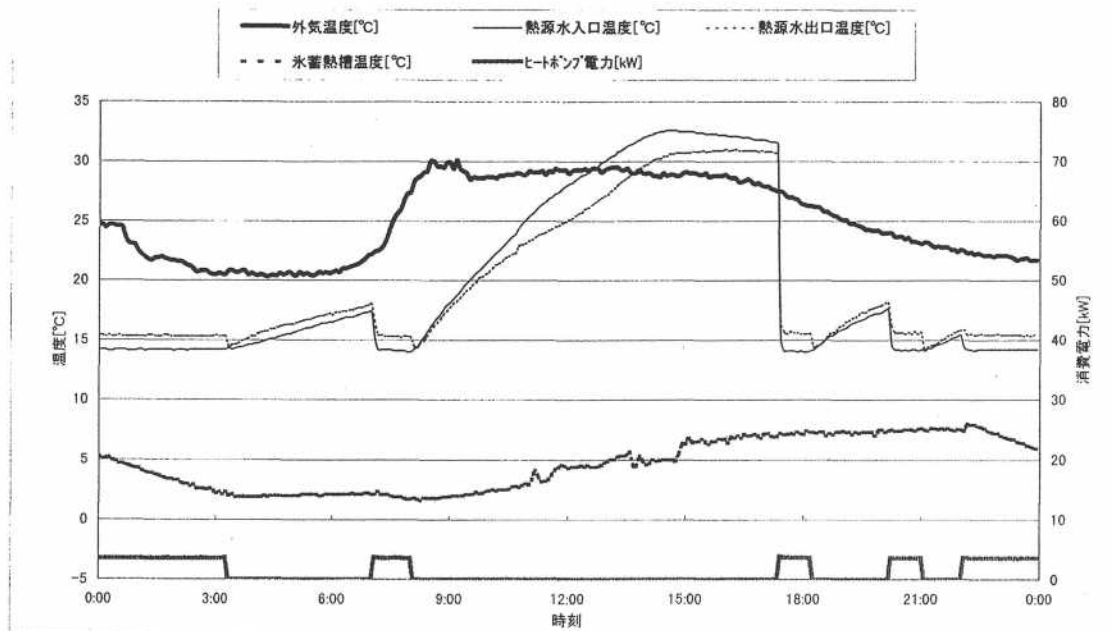
す。この期間中で昼間運転が行われたのは2日間であった。これは、基本的に氷蓄熱槽の解凍で冷房を賄う方式であることと、この期間にあまり施設が使用されなかったためである。

第4図に2001年8月23日の運転状況を示す。ヒートポンプの稼働状況を見ると、まず、氷蓄熱は3:00に終了している。これは深夜電力開始の前日22:00から運転している。その後7:00~8:00まで一旦運転し、追いかけて運転となる昼間ヒート

第3表 藤のさとセンター冷房運転解析結果 (2001年8月22~28日)

観測月日		8/22	8/23	8/24	8/25	8/26	8/27	8/28	期間計
熱源機COP	昼間	なし	6.3	なし	5.2	なし	なし	なし	5.1
	夜間	6.0	5.8	5.7	5.7	5.7	5.6	5.6	5.8
	総合	6.0	6.0	5.7	6.1	5.7	5.6	5.5	5.7
生成熱量 (kWh)	昼間	0.0	40.2	0.0	18.8	0.0	0.0	0.0	59.0
	夜間	201.8	127.3	187.7	131.8	129.8	119.4	76.3	974.1
	総合	201.8	167.5	187.7	150.6	129.8	119.4	76.3	1,033.1
熱源消費電力 (kWh)	昼間	0.3	6.4	0.3	3.6	0.3	0.3	0.3	11.5
	夜間	33.5	21.9	32.9	23.0	23.0	21.2	13.7	169.2
	総合	33.8	28.3	33.2	26.6	23.3	21.5	14.0	180.7
地中排熱量 (kJ)		811.4	675.3	734.4	661.5	532.7	489.5	321.9	4,226.7
還元井戸温度 (℃)		14.2	14.2	14.2	14.4	14.2	14.2	14.2	14.2

注) 昼間時間は8:00~22:00であり、夜間時間は昼間時間以外である。



第4図 8月23日観測結果

ポンプ稼働は、17:25～18:10と20:15～21:00の2回である。

熱源水である地下水の温度変化を見ると、ヒートポンプの稼働時の入口温度は約14℃であり、出口温度は約15℃であることから、ほぼ1℃昇温させて還元している。ヒートポンプが稼働していない3:00～7:00や昼間にこれらの温度が著しく上昇している理由は、ヒートポンプが作動していないため配管内の流体が動かず、保温材を施してはいるものの外気や日射の影響を受けるためである。

第3表に示す観測期間中の熱源機COPをみると、昼間の平均は5.1、夜間の平均は5.8、全区間を通しての熱源機COPは5.7と評価された。全区間を通したCOP:5.7は非常に良好な値であると考えられる。ここで、COPとは、成績係数と呼ばれる熱源機の効率を示す値で、入力電力(kW)に対する出力(kW)の比率である。

夜間の氷蓄熱状況を確認すると、おおよそ22:00から氷を製造し3:00にヒートポンプは停止している(第4図)。この氷の潜熱と7℃になるまでの顕熱を使用し、昼間の冷房を行っている。これを全て昼間の運転でのみ賄うとすると、追いかけて運転を加えてヒートポンプ出力を10kW程度大きくする必要がある。この出力増加分の基本料金を加味し、夜間蓄熱契約と昼間電気料金とで比較すると、1日506円の経費節減になっている。すなわち、エコアイスを採用した経済効果は1ヵ月15,180円と評価される。なお、藤のさとセンターは、エコアイスと追いかけて運転とを採用することで、ヒートポンプの出力を小さくすることができ、低圧受電設備となっている。

5 おわりに

本報告では、8月中下旬に実施した藤のさとセンターでの冷房運転状況について評価した。このデータ解析を基に、今後、藤のさとセンターでは、冬季暖房のより効率的な運転方法を検討するために、継続して観測を行っていく予定である。

本報告に資する運転観測データは、糸魚川市教育委員会のご協力のもと採取している。デー

タの採取・公表にご協力頂きました糸魚川市教育委員会並びに同委員会黒坂課長・山崎課長補佐に感謝いたします。

参考文献

- 1) 小宮山宏(1999) 地球維持の技術, 岩波書店, pp. 202-204.
- 2) 高杉真司(2001) 環境に優しい大地の恵み—地熱をいかに使うか!?, 技術と経済, No. 407, pp. 42-50.
- 3) Takasugi, S., Akazawa, T., Okumura, T., and Hanano, M. (2001) Feasibility Study on the Utilization of Geothermal Heat Pump (GHP) Systems in Japan, GEO-HEAT CENTER Quarterly Bulletin, Vol. 22, No. 1, pp. 3-8.
- 4) Ikeuchi, K., Takasugi, S., and Miyazaki, S. (2001) Hot Water Supply Test Using Geothermal Heat Pump Systems at Ptropavlovsk-Kamchatka, Russia, GEO-HEAT CENTER Quarterly Bulletin, Vol. 22, No. 1, pp. 9-12.
- 5) 高杉真司, 池内 研, 桑野 恭(2001) 中国長春市: 極寒冷地への地中熱利用ヒートポンプ技術の適用・普及調査, 地熱, Vol. 38, No. 3, pp. 43-49.
- 6) Sanner B. (2001) Shallow Geothermal Energy, GEO-HEAT CENTER Quarterly Bulletin, Vol. 22, No. 2, pp. 19-25.