

論文・報告

地下水を熱源利用した空調システムの運用実績

～1年間の運用を通じて見えてきた課題と改善策の実証～

The Performance Evaluation of the Geothermal Heat Pump Air-Conditioning System

勝俣 盛 *1
Mori KATSUMATA

畠中 真一 *1
Shinichi HATAKENAKA

甲木 里沙 *2
Risa KATSUKI

越後 滋 *3
Shigeru ECHIGO

久米 昭光 *4
Akimitsu KUME

堀之内 里視 *5
Satoshi HORINOUCHI

川田工業は、(株)鼓月(以下、鼓月とする)の新工場建設に際して、地下水を熱源に直接利用する空調システムの設計・施工を担当した¹⁾。本システムは、地下水を汲み上げて採熱して、余熱があれば還流し、再度採熱してから地下帯水層に涵養する。このため、一般的な開放型と比較して、ランニングコストを抑えて、かつシステム成績係数(以下、SCOPとする)が高い。2013年9月から本格的に運用を開始して、改善が望ましい課題が散見された。いずれも空調機能に支障はないが、簡単な改修工事で省エネ効率を改善できる。例えば、還流量は、当初は手で2方弁(以下、GVとする)の開度を調整していたが、改修後は電動弁を増設して機械的なシーケンス制御に変更した。この結果、夏季冷房運転時のSCOPは改修前と比較して10%程度向上した。本稿では、設計段階での検討事項を整理するとともに、運用概況と設備改修にともなう改善結果について報告する。

キーワード：地中熱ヒートポンプ、開放型、地下水、還元井、シーケンス制御

はじめに

現在の京都市内の人々の暮らしを支えているのは、明治時代に建設された琵琶湖疏水により運ばれた琵琶湖の水であるが、この地は古来より水資源に恵まれてきた。京都盆地の地下貯水量は211億m³と試算され、その量は琵琶湖に匹敵する²⁾といわれている。特に伏見は、かつては“伏水(ふしみず)”と呼ばれるほど豊富な伏流水に恵まれた地域で、現在も地下水の利用が盛んである。京菓子類の製造と販売を手がける鼓月が、この地を拠点に選んだ理由の一つが良質な水の確保であった。

鼓月は、これまで廃棄物として処理していた動物性残渣物などを家畜飼料の原料としてリサイクルするなど、早くから環境対策に取り組んでいる。今回、主力商品“千寿せんべい”の供給能力の増強を目的に、新工場が建設された。建設に際しては、環境負荷の低減を推進するために、屋上緑化、太陽光発電および地中熱利用空調システムなどの設備が導入された(写真1)。

本プロジェクトにおいて、川田工業は上記空調システムの設計・施工を担当した。現場踏査、リスク分析および費用対効果などから、地下水を熱源に直接利用する開放型を提案した。その際に、採熱後の地下水を還元井から

涵養するなど、水循環にも配慮している。還元井の目詰まり対策として、気泡の発生や土粒子の再配列の抑制などを施した^{3),4)}。また、シーケンス制御を導入することで、温度や流量をセンシングするとともに、これらのデータを機器動作に帰還するなど、効率化を図っている。この結果、夏季冷房時に揚水ポンプの消費電力量を約1/3に低減することができ、SCOPが10%程度向上した。

本稿では、計画段階でのリスク分析とその解決策を示すとともに、1年間の運用を経て、設備改修を行い、その効果を検証した。さらに、今後の課題について整理したので、以下に概説する。



写真1 鼓月本社工場・新工場

*1 川田テクノロジーズ㈱技術研究所 主幹

*2 川田テクノロジーズ㈱技術研究所

*3 川田テクノロジーズ㈱技術研究所 所長

*4 川田工業㈱事業企画本部ECO事業室 係長

*5 川田工業㈱建築事業部営業部営業課 課長

1. システムの特徴

(1) 設備概要

一般的に、地下水から採熱する場合は、直接利用(地下水を熱源ユニットに直入れる)と間接利用(地下水の熱のみを不凍液に伝熱して、不凍液を熱源ユニットに入れる)に大別できる(図1)。直接利用は、地下水の水質に由来する熱源ユニットの損傷リスク(例えば、配管類の腐食やスケール析出など)をともなうが、シンプルかつ高効率で安価なシステムを構築できる。一方、間接利用は上記リスクを回避できるが、プレート式熱交換器や不凍液配管および循環ポンプなどの設備が別途必要になる。さらに熱交換性能を向上させるためには、熱移動単位数が大きい熱交換器の選定や循環ポンプのインバータ化などが要求される。

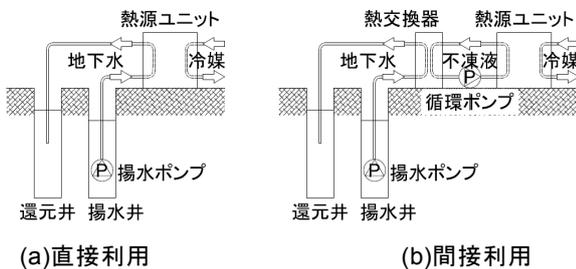


図1 開放型の地下水利用空調システム

開放型では、採熱後の排水処理がしばしば問題になる。さらに、当工場が水質汚濁防止法の特定施設に該当するために、公共用水域や下水道へ容易に放流できない。例えば、下水道に放流する場合は、使用料のほかに、定期的に水質分析を実施して、その結果を報告しなければならない。これは、地下水を汲み上げて、水質に変状をきたさない場合にも適用される。

そこで、まず地下水の水質が上記法の地下浸透基準を満足することを検証した。さらに、井戸からの注水試験などを経て、涵養が可能であると判断した。なお、空調用配水管はクロスコネクションを避けて、その他の系統と分離独立させて有害物質などの混入を防止を担保した。

この結果、熱源水の流れは、揚水井、貯水槽、熱源ユニット、還元井の順になる(図2)。

(2) 設備諸元

空調機器は、ビル用マルチの熱源ユニット(Ve-upⅢWシリーズ; 8, 10馬力の組合せ)と室内ユニット(天井埋込カセット形, 天井埋込ダクト形)を部屋毎の空調負荷に合わせて構成した。なお、冷媒はHFC混合系(R410A)である。以下に設備諸元を示す。

- ・構造: 鉄骨造 2階
- ・空調面積: 1階 1 505m², 2階 1 375m²
- ・熱源ユニット: 8馬力@11基+10馬力@9基 (写真2)
暖房能力: 計 559kW
冷房能力: 計 504kW

- ・揚水ポンプ: 5.5kW@2台 (個別運転)
- ・送水ポンプ: 3.7kW@2台 (交互並列運転)
- ・冷温水配管: ダイレクトリターン方式+定流量弁
- ・揚水井: φ200×50m@2本
- ・還元井: φ250×45m@2本



写真2 熱源ユニットの外観

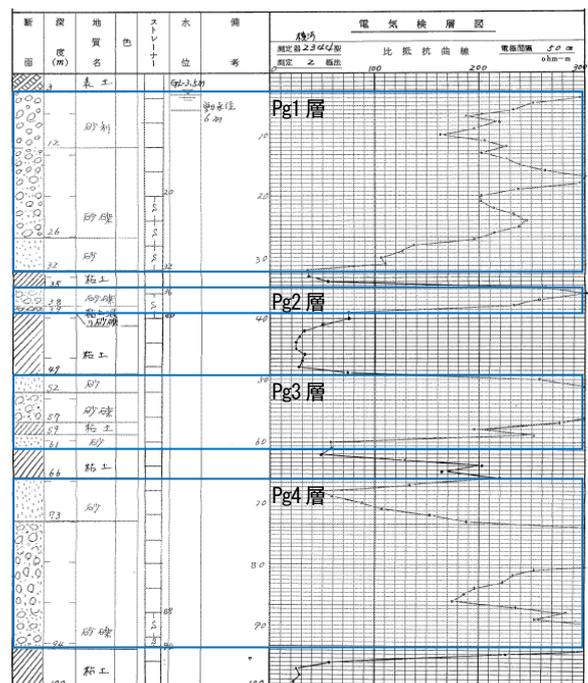
(3) 地質構造と地下水流動

地質構造は、非海成の砂礫層の間に、海層の粘土層が幾重にも堆積して互層をなした大阪群群で、その上には桃山礫層と呼ばれる砂利層がのっている⁵⁾。また、当工場の南方数百メートルには宇治川断層⁶⁾があり、この断層帯の南側では基盤が急激に落ち込んでいる。

北岡ら^{5),7)}は、当該区域の水利地質構造を把握するため、既設井データおよびボーリングデータから、浅層の帯水層はPg1層, Pg2層, Pg3層に大別でき、連続性が良いことを明らかにしている。特にPg1層は降雨の影響を受け、揚水による影響は非常に小さいとしている。現在ではPg1層から酒蔵の原水を揚水することはない。

また、これ以深の深層地下水は降雨よりも揚水による影響が主と考察している。さらに、地下水流動を数

表1 既設井の地層縦断図(1981年5月)



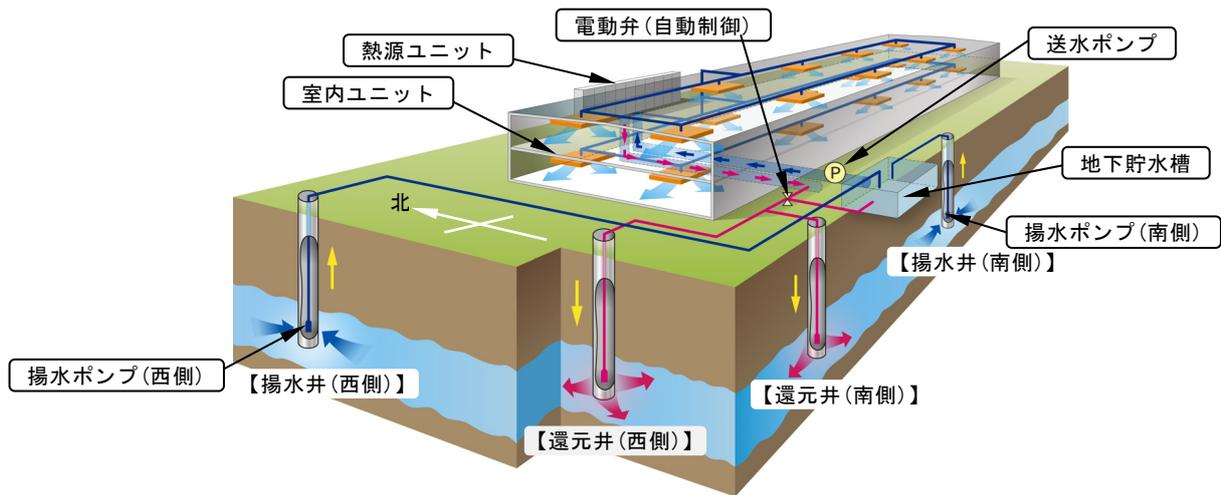


図2 地下水利用空調システムの概略図¹⁾

値シミュレーションによって解析した結果、地下水の流れは、概ね北東の桃山丘陵から、南西方向の桂川・宇治川合流点に向けて流れていることを明らかにしている。この結果から、当工場近傍ではやや南方に向かってしていると推測できる。

一方、太田⁸⁾は、深井戸7本から、地表付近の地下水面と深部の地下水の圧力水頭の差から地下水ポテンシャルに着目して、深さ方向の流動について研究を行っている。これによれば、流動系はおおむね下向きで、巨視的には不圧・被圧といった顕著な帯水層の区別がないと考察している。

よって、Pg1層、Pg2層から揚水して、同じ層に涵養すれば、地下水流動に大きな乱れは生じないと考えた。

(4) 地下水の水質

地下浸透基準に設定された有害物質29項目を計量して、いずれも定量下限値未満であること確認した。次に、日本冷凍空調工業会の水質基準(JRA-GL 02:1994)⁹⁾に照らし合わせて適用性を検証した。水質分析を依頼したクリタ分析センターでは水質評価¹⁰⁾も行っており、ここで有用なデータを収集できた。この評価抜粋を表2に示す。また、分析結果の考察は以下のとおりであった。

- ・遊離炭酸が基準値を大きく超えており、鉄や銅系の材料の腐食が懸念される。
- ・飽和指数が-1.0より小さく、CaCO₃が析出し難くて、鉄に対して腐食が生じやすい。

既往配管設備の更新時に切り出した給水管の断面を写真3に示す。この系統では、地下水を貯水槽に汲み上げて、濾過器を通して塩素消毒した後に、給水している。この写真から、スラッジが付着している状況が確認できる。

表2 水質評価シート(全37項目)の抜粋

No.	分析項目	単位	測定値	補給水(冷却水)
1	電気伝導度	mS/m	23.1	30以下
3	pH [※]	at25°C	6.9	6.0~8.0
4	酸消費量(pH4.8)	mg/l	61	50以下
5	全硬度	mg/l	53	70以下
6	カルシウム硬度	mg/l	33	50以下
10	全鉄	mg/l	0.06	0.3以下
23	マンガン	mg/l	0.95	—
27	遊離炭酸	mg/l	15.7	4.0以下
30	飽和指数(冷水SI)	at10°C	-1.70	-1.0~1.0
31	飽和指数(温水SI)	at50°C	-1.14	-1.0~1.0
35	(SO ₄ +Cl)/T-値 eq	%	44.9	—

※持ち帰り測定値

マンガンは、鉄とともに地下水中に広く分布しており、鉄と同様に二価のイオンMn²⁺として存在する。鉄に比べて酸化還元電位が高いため、Fe²⁺と違って中性付近のpHでは酸化されない。pH10程度になって、ようやく空気酸化されるために、一般環境下ではほとんど酸化析出されることなく、Mn²⁺のまま存在する。一方、塩素存在下ではゆっくり酸化される。酸化されたマンガンは黒色の水和二酸化マンガンMnO₂・mH₂Oになって析出する。これが管壁にスラッジとなって沈着する¹¹⁾。

なお、マンガンの毒性は低く、人体への吸収も低い。成人の健康障害非発現量は11mg/dayであり、大量に摂取しなければ健康に影響しない¹²⁾。



写真3 既往設備の状況(2012年7月)

(5) 井戸構造

敷地内の北側に既設井が1本ある(表1)。構造は口径φ250、深度100mで、スクリーンが3層12m(GL-20~32m, GL-36~40m, GL-88~94m)であり、揚水量は350l/minである。この既設井との干渉を軽減すべく離隔を80m以上にして、揚水井2本(呼びφ200×50m, スクリーン2層15.8m), 還元井2本(呼びφ250×45m, スクリーン2層31.6m)を掘削した。ここで、揚水量と還元量の関係¹³⁾から、還元井のスクリーンを長くした。なお、スクリーンはVP製横スリット型で、開口率は揚水井が8.01%, 還元井が8.12%である。

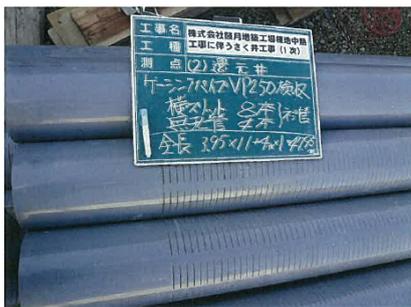


写真4 還元井のスクリーン

(6) 揚水試験と注水試験

揚水井(南側)において、2012年12月16日に段階揚水試験を、17日に定量連続揚水試験および回復試験を実施した。試験開始前の自然水位は、それぞれGL-6.15m, GL-6.07mであった。

段階揚水試験の結果を図3に示す。この結果から、約700l/minに折れ点が認められた。定量連続揚水試験は、700l/minを連続7時間実施して、試験開始後、3時間程度で水位低下が約1.7mで安定した。その後回復試験を行い、揚水停止後1時間経過で試験前水位より0.5m程度低い位置で停滞した。これらの結果から、揚水井(南側)の限界揚水量を700l/min程度と判断した。

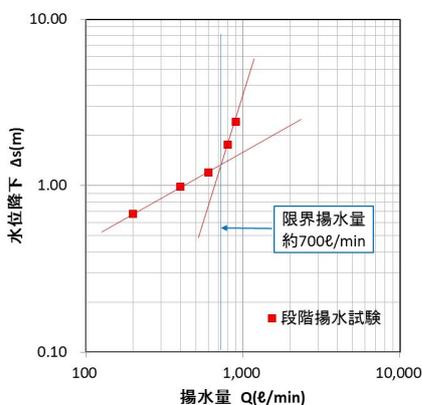


図3 揚水井(南側)の段階揚水試験の結果

還元井(南側)では、2012年12月26日に段階揚水試験、27日に連続揚水試験と回復試験を実施した。試験開始前の自然水位は、それぞれGL-6.35m, GL-6.25mであっ

た。段階揚水試験は300, 600, 900, 1200, 1500, 1800l/minで行ったが、折れ点は認められなかった。定量揚水試験で1500l/minを連続7時間行い、試験開始後、3時間程度で水位低下が約1.4mで安定した。その後回復試験を行い、揚水停止後1時間経過で試験前水位より0.2m程度低い位置で停滞した。

これらの結果から、透水係数は揚水井(南側)が7~9×10⁻⁴m/s, 還元井(南側)が2×10⁻³m/sと見込まれ、スクリーン長を考慮すれば、ほぼ同じ値で信頼性が高い。

続いて、2013年1月22日に段階注水試験と回復試験、23日に連続注水試験と回復試験をそれぞれ実施した。その際、注水試験は揚水井(南側)から汲み上げ、還元井(南側)に注水した(図4)。

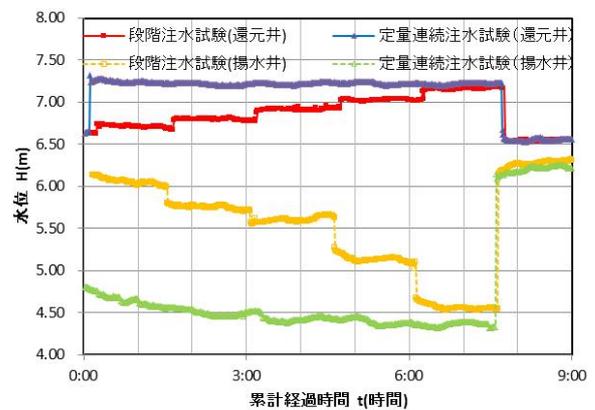


図4 段階注水試験、定量連続注水試験における水位変動

試験前後での水位を表3に示す。揚水井と還元井でGLが異なるため、差分で評価すると、注水量は限界に達していないものと推察できる。

表3 注水試験時の地下水水位 (GL基準)

水位	段階注水試験		連続注水試験	
	揚水井	還元井	揚水井	還元井
開始時 [m]	-6.56	-6.69	-6.50	-6.66
終了時 [m]	-6.36	-6.59	-6.31	-6.58
差分 [m]	+0.20	-0.10	+0.19	-0.08

2. リスクとその対策

(1) 還元井の目詰まり

還元井において、最も懸念されるリスクはスクリーンの目詰まりである。主な原因と対策を表4に示す¹⁴⁾。ここでは、注水時に発生する気泡や土粒子の再配列などの対策を施した。また、表2に示した飽和指数から、熱源水の水温に関わらず、鉄材が腐食しやすいことが明らかである。したがって、ケーシングやスクリーン、埋設管などには硬質塩化ビニル管を、熱源ユニット周りはSUS管を採用した。また、地下水の酸化を抑えるように、送水回路を密閉にして、外部からの酸素供給を抑制した。ただし、地下貯水槽は排気管から大気中に開放している。

表4 還元井の目詰りの原因と対策¹⁴⁾

原因(閉塞物質)	対策
① 注水中の懸濁物	・懸濁物の濾過等による除去 ・注水に不適な濁水のバイパス放流
② 注水中の有機物で増殖した微生物	・注入水の塩素処理
③ 帯水層中の化学反応生物	・注入水の化学処理
④ 揚注水時に発生する気泡	・注入管を水面下にする ・揚水量を限界揚水量以下にする
⑤ ストレーナー等の腐食による酸化鉄	・耐腐食性材料を使用する ・注水中の溶存酸素を除去する
⑥ 帯水層中の土粒子の再配列	・注水開始前の井戸周辺地盤の揚水による洗浄 ・限界動水勾配以内での注水
⑦ 井戸の削孔方法	・オールケーシング工法の採用 ・ペントナイトの不使用 ・設置直後の十分な洗浄

(2) 銅管の腐食

山田ら¹⁵⁾は、地下水を扱う給水・給湯用の軟質銅管に生じる孔食に着目して、実使用の水質との相関を考察している。それによれば、孔食が発生した水は、遊離炭酸が多いほか、カルシウム硬度、酸素消費量(pH 4.8)およびHCO₃⁻が多いことを挙げている。特に、遊離炭酸の下限值は15ppmと言及している。また、中島¹⁶⁾が提唱する、Nakajima Diagramに(SO₄+Cl)/T=α≦eq=44.9%をプロットすると、pH7以下で孔食の発生が懸念される水質である。

熱源水はユニット内蔵のSUS316製のプレート式熱交換器内を通過するのみで、銅製部品には直接触れないことがわかった。しかし、バルブなどの黄銅製部材においては脱亜鉛腐食などが懸念された。

(3) コンクリートの浸食

カルシウム硬度と遊離炭酸濃度の関係から、コンクリートに対する浸食性を評価する指標がある¹⁷⁾。本システムでは地下貯水槽にプレキャスト製のHC式防火水槽を採用している。内面はエポキシ樹脂コーティングしているが、初期不良などを想定すると、浸食リスクは中程度と考えた。

表5 自然水の浸食性評価基準¹⁷⁾

分類	硬度 (CaCO ₃ 換算) [mg/100cm ³]	遊離炭酸ガス [mg/100cm ³]	コンクリートに対する水の浸食性
I	>3.5	<1.5	事実上なし
II	>3.5 0.35~3.5	1.5~4.0 <1.5	わずか
III	>3.5 0.35~3.5 <3.5	4.0~9.0 1.5~4.0 <1.5	中程度
IV	>3.5 0.35~3.5 <0.35	>9.0 >4.0 >1.5	大きい

(注) mg/100cm³は、ドイツやフランスで用いられる硬度の単位。1mg/100cm³=10ppm

(4) 水質の改善

pH緩衝能が低い水(アルカリ性、全硬度、カルシウム硬度が少ない水)は、微量の酸やアルカリの添加で

pH値が大きく増減する。このため、pH調整が非常に困難であり、水質改善はアルカリ剤と炭酸ガスを併用して処理するのが望ましい¹⁸⁾。

ここでは、飽和指数の改善効果が高い牡蠣殻(8mm~1.5cmに粉碎した後に水洗い済み)を地下貯水槽に投入した。投入量は水槽容積19.4m³に対して10kg/袋を20袋とした(写真5)。炭酸カルシウムが遊離炭酸に溶解することで、浸食性から従属性に変化して、炭酸カルシウムが金属表面に付着して保護皮膜を形成することを期待した。遊離炭酸は曝気処理なども有用であるが、酸化鉄の生成を避けて採用しなかった。



写真5 牡蠣殻の外観

(5) 地下水位の監視

2013年9月16日に、台風18号が京都を直撃した。当日は大雨特別警報が適用されるなど、局地的な大雨に見舞われた。桂川が氾濫して伏見下鳥羽周辺では冠水して、当該地区でも一時避難勧告が発令された(写真6)。幸いにも直接被害は免れたが、その後数日間、地下水の自然水位が上昇したままになり、涵養に支障をきたした。京都地域地下水マップ¹⁹⁾から、設計では当該地区の季節間の水位変動幅を1.5m程度と見込んでいたが、このときの地下水位は通常時と比較して3m以上上昇したものと推察される。



写真6 伏見区の浸水被害²⁰⁾

このような想定外の自然災害に対して、地下水の経時変化を把握するため、絶対圧型水位計(S&DLmini)を同年11月に設置した。この水位計は、投入型で、データをメモリに蓄積するものでリアルタイムの値はわからない。また、日常の浅層の地下水位は表層水と関係があると考え、国土交通省水文水質データベースより、

向島観測所(京都市伏見区向島橋詰町)の宇治川の水位データを参照している。図5より、河川水位と地下水位に相関が認められ、異常時の指標になる。

3. 運用実績と機器改修

(1) 定流量弁の改修

熱源ユニットへの熱水の送水は、配管方式をダイレクトリターンにして、定流量弁で流量バランスをとった。ユニット数が20基と多く、ユニット毎に比例電動弁などを設置すると制御が複雑になる。イニシャルコストも増加するので簡素化を図った。さらに、送水管を電磁弁付きの本管とバイパス管に分割して、空調負荷に応じて2段階に調整できるようにした。送水ポンプを定格で運転しても、待機運転時には電磁弁を閉じることで、送水量を抑制でき、コンプレッサ稼働時には電磁弁を開放して、本管とバイパス管の全量を送水できる。これにより熱源水の使用量を抑えて、揚水

ポンプの稼働時間を低減できる。この定流量弁は、各熱源ユニットの設計負荷に応じて本管とバイパス管の合計を24~50l/min/基にした。

1年間の運用を経て、空調設備は連続24時間運転で設計したが、実際には稼働率が低く、また空調負荷に偏りがあった。一部の熱源ユニットは送水量が不足気味で、熱源水の出口温度が設計よりも5℃程度高くなった。この問題に対して、2014年11月に、本管側の定流量弁をサイズアップして熱量を確保した(写真7)。

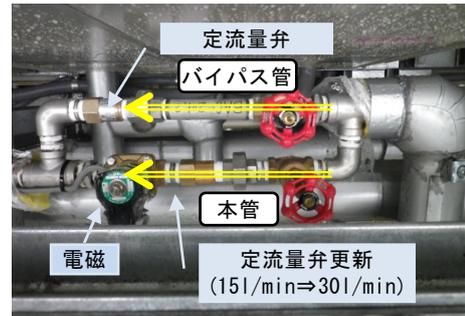


写真7 定流量弁の改修

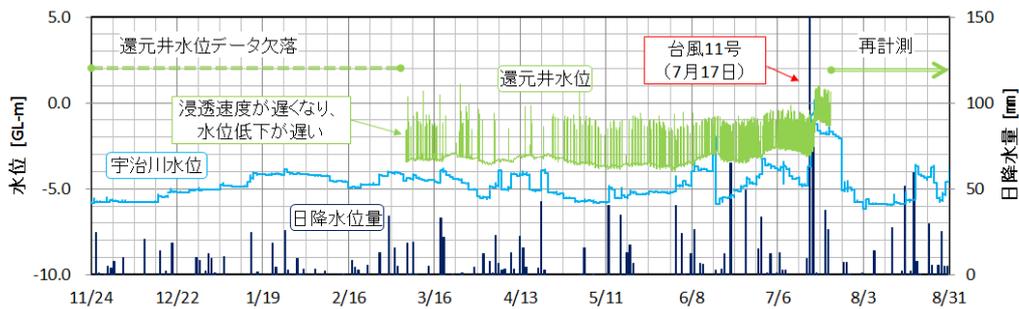
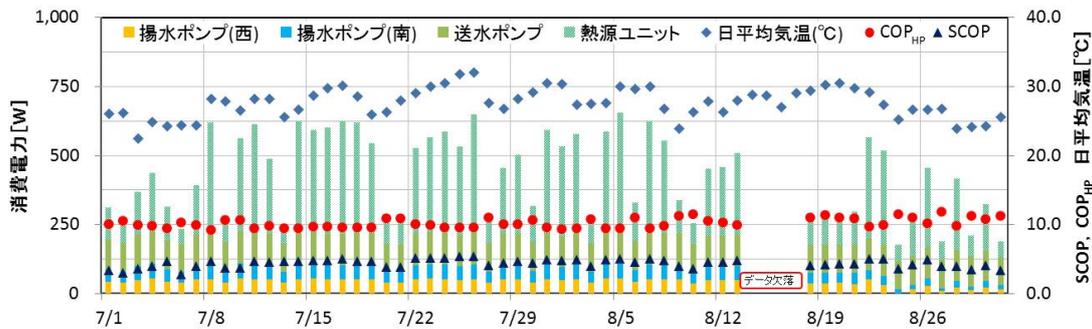
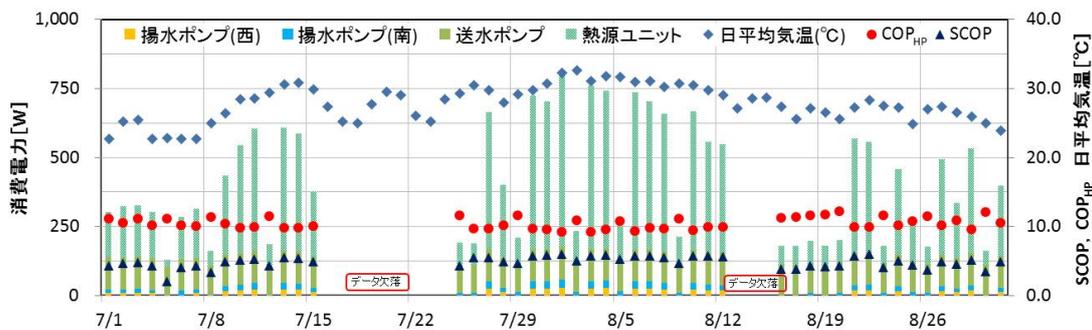


図5 還元井水位と日降水量の関係 (2014年11月24~2015年8月31日)



(a)2014年7月~8月



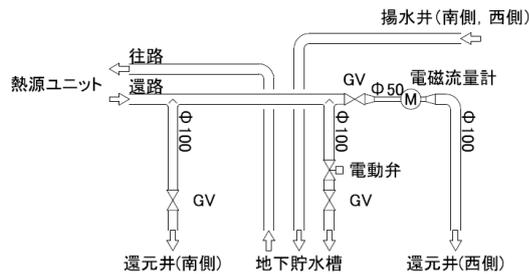
(b)2015年7月~8月

図6 夏期冷房運転時の結果

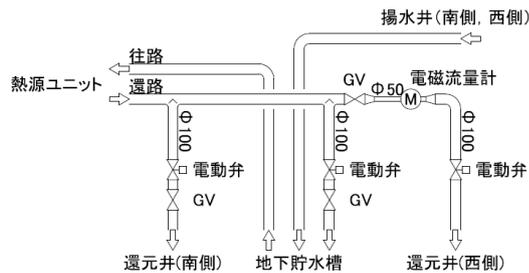
(2) 還路の流量制御

採熱後の地下水は、還路の水温をセンシングして電動弁の開閉を行い、地下貯水槽もしくは還元井に戻している。このとき、還元井は南側と西側に分岐されるが、西側の管径を絞ることで、管抵抗に差をつけて、南側に優先的に注水するように、排水バランスを物理的に割り振った。さらに、手で二方弁(図7中のGV)の開度を調整して、流量バランスを微調整した(図7(a))。

しかし、経時的に還元井(南側)は、地下水の浸透速度が遅くなってきたため、電動弁を増設して、シーケンスで機械的に制御するように改修した(図7(b))。この結果、還流量が多くなるので、揚水量に対する採熱量が増した。



(a)電動弁の改修前



(b)電動弁の改修後

図7 熱源水の還流制御

(3) 成績係数

電動弁の改修前後で冷房時の成績を比較した(表6)。揚水ポンプの消費電力量が約1/3に低減しており、ヒートポンプ単体の成績係数COP_{HP}、SCOPとも、改善したのがわかる。一方、送水ポンプの消費電力に変動がなく、空調負荷に関わらず定格運転しているため、改善の余地が残される。

なお、送水ポンプは、冬季に配管内の溜水の凍結防止、空調起動時の熱源水確保の観点から、何れかの空調機の電源ON時には常時稼働している。

表6 消費電力と成績係数の比較

項目	2014年(改修前)		2015年(改修後)	
	7月度	8月度	7月度	8月度
日平均気温 [°C]	27.6	27.5	27.2	28.3
熱源ユニット [kWh]	7 819	6 825	7 985	9 309
揚水ポンプ(西側) [kWh]	1 550	1 231	470	491
揚水ポンプ(南側) [kWh]	1 493	1 176	453	473
送水ポンプ [kWh]	3 438	3 400	3 444	3 453
小計	14 300	12 631	12 352	13 725
COP _{HP}	9.95	10.48	10.39	10.49
SCOP	4.38	4.34	4.70	4.95

4. 今後の課題

(1) スクリーンの目詰り

南側の還元井に、温度、深度センサ付きの赤外線搭載水中カメラ(Big Catch: 解像度 32 万画素)を投入して、間接目視を行った。その動画の一場面を出力した静止画を写真8に示す。実施は2015年7月29日で、当日13時の外気温は温度センサの読みで36°Cであった。なお、以下に記載した水温は本センサの読みである。

この結果、Pg1層のスクリーンに付着物を視認した。光量が乏しく、色彩は不鮮明であるが、コブ状で表面は黒色と思われる。牡蠣殻が地下貯水槽内で攪拌、細粒化されて、主成分である炭酸カルシウムが集積してスクリーンの目詰りを誘発したように見受けられる。水中カメラが衝突すると剥落するので、付着力は弱い。Pg1層の水温は27°Cで一定であった。

一方、粘土層より下のPg2層のスクリーンには付着がない。また、深度が増すにつれて水温が低下して、最深部は22°Cであった。冬季に実施した際には逆の傾向が認められたことから、Pg2層は被圧帯水層と考えられる。



(a)自然水位-5.95m



(b)自然水位-15.04m



(c)自然水位-39.63m

写真8 水中カメラによる還元井(南側)の間接目視

したがって、被圧帯水層から常時遊離炭酸が供給されるので、炭酸カルシウムは長期的には溶解して炭酸水素カルシウムになり、目詰まりが解消すると推測する。

(2) マンガンの析出

運用から1年2ヶ月経過後の2014年11月に地下貯水槽内を点検した。内面の水位線が黒色に変色していた。これは、マンガンが析出したものと推察される。また、それよりも下は淡い黄緑色で、水酸化第二鉄の影響と思われる。この時、投入した牡蠣殻はほぼ流失していた。

牡蠣殻の炭酸カルシウムの結晶相はカルサイトである²¹⁾。三宅ら²²⁾は、カルサイトが Mn^{2+} に対してほとんど不活性であることを明らかにしている。マンガンが析出した原因の1つとして、牡蠣殻の水洗いが不十分で、運転直後はCl⁻が残留していた可能性がある。これにより、二酸化マンガンが析出したものと推測できる。Cl⁻の継続的な供給がなく、十分に時間が経過したので、この酸化反応は終了したと考える。なお、定流量弁を交換した際には、配管内に付着が認められなかった。

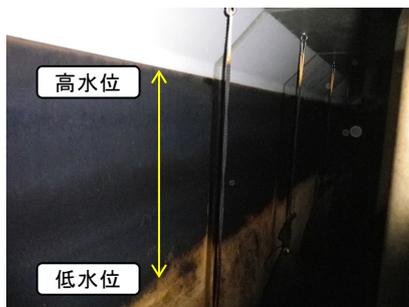


写真9 貯水槽内面の変色

5. まとめ

地下水を熱源にした空調システムを構築して、約1年の運用を経て、2つの実情が明らかになった。①当初設計と比較して暖房負荷が少ない。②年間を通じて熱源ユニットの稼働率に偏りがある。これらは、空調機能に支障は無いが、SCOPの低下などを誘発していた。そこで、熱源水の還流制御を改修することで、地下水からの採熱量を増加させるとともに、揚水ポンプの稼働率を抑制した。この結果、夏季冷房運転時のSCOPが約10%向上することを実証した。

また、現状把握を目的に、還元井内を水中カメラで観察したところ、スリット周りに集積物が認められた。経年的に浸透速度が遅延しているようなので、目詰まりが進行中と思われる。ただし、この集積物が炭酸カルシウム由来であれば、長期的には溶解して目詰まりは改善すると考える。一方、白色の粘着性フロックが視認できなかったので、鉄細菌に起因した目詰りのリスクは乏しい。

地下水涵養は古くて新しい技術である。今後も機器計測データの監視、還元井の間接目視点検を継続して、本システムの高効率維持に努めたい。

参考文献

- 1) 小神野, 堀之内, 勝俣: 伏見の名水で銘菓工場を高効率に空調, 川田技報, Vol. 33, 2014. 1.
- 2) 楠見: 城陽市の地質と地下水流動特性について, 第6回城陽市環境フォーラム, 2007. 11.
- 3) 日本地下水学会: 地下水は誰のものか, 第7回「人工涵養」, <http://www.jagh.jp/content/shimin/images/column/column107.pdf>
- 4) 馬場, 沢田: 井戸法による長期地下水人工涵養例, 応用地質調査事務所年報, No. 4, pp. 141-153, 1982.
- 5) 北岡, 楠見, 寺田ほか: 京都市伏見区域における現場計測による地下水性状の把握と3次元浸透流解析, 応用地質, Vol. 54, No. 1, pp. 16-24, 2013.
- 6) 京都市地域活断層調査委員会: 京都盆地の地下構造を南北に分ける宇治川断層の第四記断層活動, 活断層研究, Vol. 24, pp. 139-156, 2004.
- 7) 北岡, 楠見, 中村: 京都市伏見地域における地下水保全に伴う地下構造物施工の影響に関する3次元シミュレーション解析, 地盤の環境・計測技術に関するシンポジウム2010, pp. 83-88, 2010. 11
- 8) 太田: 京都市伏見における地下水の賦存量と利用, 奈良大学大学院年報, 7号, pp. 201-208, 2002. 3.
- 9) 冷凍空調機器用水質ガイドライン: 日本冷凍空調工業会, 1993. 5.
- 10) 松尾: 工業用水分析の必要性和水質評価について, S A T 10周年記念TXテクノロジー・ショーケースinつくば, P-106, 2010. 12.
- 11) 水の科学エッセイ: <http://www005.upp.so-net.ne.jp/wanatra/waterSessey.html>
- 12) 厚生労働省: 日本人の食事摂取基準(2010年版), pp. 234-236, 2009. 5.
- 13) 伊藤, 玉腰, 三好: 地下水の注入量は揚水量の半分強, 地下水技術, Vol. 48, No. 2, pp. 24-26, 2006. 2.
- 14) 苗村, 小野寺, 朝倉ほか: 地下空間建設における地下水環境の保全技術マニュアル(案)-復水工法の設計・施工法-, 土木研究所, 共同研究報告, pp. 14, 1993.
- 15) 山田, 河野, 鈴木ほか: 地下水使用環境下での銅管の孔食, 材料と環境, Vol. 48, No. 10, pp. 648-653, 1999. 10.
- 16) 中島: 銅の腐食と水質, 腐食センターニュース, No. 54, pp. 15-39, 2010. 8.
- 17) Ballim Y.: Deterioration of Concrete in Soft Waters A Review and Limited Lab. Study, SAICE Jour., Third Quarter 1993, pp. 1-6, 1993.
- 18) 北栄建設: pH調整及びランゲリア指数改善の考え方について, <http://www.hokuei-k.co.jp/>
- 19) 国土交通省: 平成12年度京都地域地下水マップ作成業務報告書, 土地・水資源局国土調査課, 平成13年3月.
- 20) 京都市: 平成25年台風18号における災害対応について, 行財政局防災危機管理室, 2013. 12.
- 21) 江成, 伊藤, 嘉村ほか: 海洋生物資源からのアパタイト系材料の作製, 資源・素材学会, 2008 秋季大会, YP32, 67, 2008. 10.
- 22) 三宅, 今川, 長沢, 田中, 鈴木: 炭酸カルシウムとマンガニオンの反応特性, 石膏と石灰, Vol. 1989, No. 223, P363-367, 1989. 11.