

論文・報告

地中熱・空気熱ハイブリッド空調システムの開発

～川田工業(株)の工場事務所棟に GEOneo[®]ハイブリッドを導入～

Development of Hybrid Air Conditioning System Using Ground and Air Sources Heat Pump

勝俣 盛^{*1}
Mori KATSUMATA

畠中 真一^{*1}
Shinichi HATAKENAKA

甲木 里沙^{*2}
Risa KATSUKI

串田 勝治^{*3}
Katsuji KUSHITA

久米 昭光^{*4}
Akimitsu KUME

川田 太郎^{*5}
Taro KAWADA

これまでに、同時運転マルチの空気熱源ヒートポンプ(以下、EHP)と個別運転マルチの水熱源ヒートポンプ(地中熱利用。以下、GSHP)を用いて、2系統のパッケージエアコンを集中制御するシステムを構築した。前報¹⁾では、冷房時(室温設定 27℃)は負荷の少ない早朝などは EHP から運転を開始して、外気温度 24℃を閾値として GSHP に切換えることで消費電力量を低減できることを紹介した。その後、暖房時に同様の検証を行ったところ、外気温に関わらず GSHP が省エネに優れることを明らかにした。しかし、これらの試験結果は限られた条件の元で実施したものであり、一般化が困難である。また、建物の断熱性能、最新機種のパフォーマンスおよび室内負荷側の冷媒ガスと熱媒の別などによっても、結果が異なることが予想された。そこで、汎用の空気熱源と水熱源の二系統のビル用マルチエアコンを集中管理する“GEOneo[®]ハイブリッド”を新たに開発した。本報では、川田工業(株)の富山工場、栃木工場の両事務所棟にて 2017 年 11 月より稼働するシステムの概要について述べる。

キーワード：地中熱、ヒートポンプ、ハイブリッド、ビル用マルチエアコン、デマンド制御

1. はじめに

近年、大型商業施設²⁾や地域熱供給事業³⁾の熱源に、地盤中の低温エネルギーを利用したヒートポンプシステムが導入されるなど、地中熱が着目されている。欧米では 1980 年代から普及し始めているが、わが国では 2010 年 6 月に閣議決定された『エネルギー基本計画』で、再生可能エネルギー熱の一つとして取り上げられるまで、一般に認知度は低かった。

著者らは、2009 年から地中熱利用の研究開発に取り組んでおり、空調の熱源として、その有効性を実証してきた。これまでに、地中熱利用空調システムの施工実績を積み重ねつつ、数多くの企業より検討の依頼を受けてきた。その際には、同等能力の EHP やガスヒートポンプ(以下、GHP)などとトータルコストを比較して、インシヤルコストの差額をランニングコストの差益で相殺できるか否かを検討してきた。税法上の減価償却期間内に費用回収できれば導入する動機付けになる。しかし、企業の社会的責任(以下、CSR)とは別に、コストメリットを重視した場合は、導入に至らないケースが多い。現状では、GSHP は補助金などの充当を前提にした非常に高価な設備である。

大規模設備の例をみると、空気熱を基本に蓄熱システムやボイラーなど、幾つかの熱源を組合せて運用することで、リスク分散や高効率化を図っている。また、2013 年に改正された省エネ法では、エネルギーミックスによる電気需要の負荷平準化が求められている。ガスの小売完全自由化を見据えて、大手空調メーカー数社は、相次いで GHP と EHP のハイブリッド空調システムを発表してきた⁴⁾⁵⁾⁶⁾。これらは、電気料金の大幅カットを謳っているが、エネルギー源は化石燃料である。また、都市ガス(13A など)の供給区域は限定的であり、それ以外は“い号 LP ガス”仕様になる。主成分はプロパンガスで、大半を輸入に依存している。その価格は貿易時の取引条件と為替レートなどに連動しており、ランニングコストを試算する際に、燃料費が変動するリスクを伴う。

これに対して、価格が安定している電気稼働する GSHP と EHP のハイブリッドシステムは、上記システムの競合対象に成り得る。既に専用機が製品化⁷⁾⁸⁾⁹⁾されているが、選択肢が少なく開発の余地が残っている。そこで、汎用のビル用マルチエアコンをプログラマブルロジックコントローラ(以下、PLC)で集中管理することで、高効率に運用する地中熱・空気熱ハイブリッド空調システム

*1 川田テクノロジーズ(株)技術研究所 主幹

*2 川田テクノロジーズ(株)技術研究所

*3 川田工業(株)北陸事業部建築部 次長

*4 川田工業(株)事業企画部 ECO 事業室 課長

*5 川田工業(株)事業企画部 部長

“GEOneo®ハイブリッド”を開発した。通常のリモコン操作とは別に、LAN 経由で遠隔のパソコンなどからも室内機を個別に運転操作でき、かつ室外機の出力を系統毎に制御できる。さらに、デマンド監視・制御の機能を付加して、省エネルギー対策を強化した。本報では、基礎実験の結果と本システムの特徴について述べる。

2. 現状の課題

(1) エネルギー消費の動向

2016 年度版のエネルギー白書¹⁰⁾によれば、二次エネルギーである電気の需要は、1970 年代のオイルショックを経て、家庭用および業務用を中心に増加傾向である。電力化率(最終エネルギー消費量に占める電力消費量の割合)は、1970 年代から上昇傾向で推移しており、2011 年の東日本大震災で一時的に減少に転じたものの、2015 年度には 24.7%に達している(図 1)。なお、最終エネルギー消費量とは、発電所などで作り出された時点でのエネルギー量ではなく、工場やオフィス、運搬や家庭で実際に消費されたエネルギーを指す。

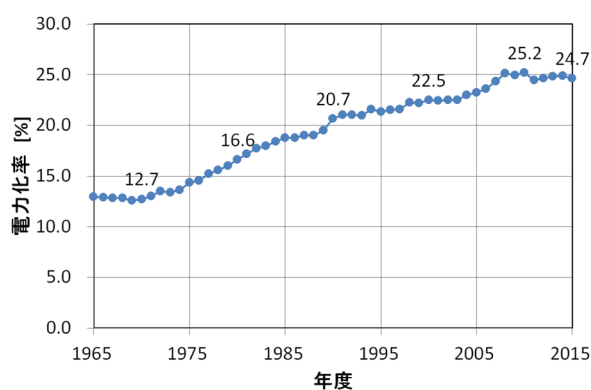


図 1 電力化率の推移

業務他部門における冷暖房のエネルギー消費原単位(床面積当たりのエネルギー消費量)は、建物の断熱性能の向上、非効率な老朽設備の更新やクールビズ、ウォームビズといった省エネ行動などの浸透により、減少傾向である。大手電力 10 社合計の最大電力発生日は夏期で、その電力需要の推移を図 2 に示す¹¹⁾。

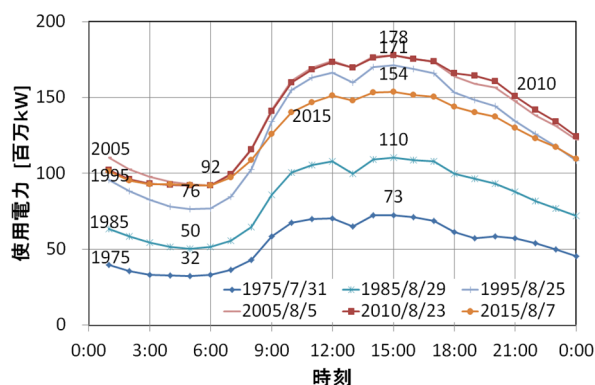


図 2 最大電力発生日における電気需要の推移
昼間の最大電力は 15 時前後にピークを迎え、その値

は猛暑や経済成長などに左右される。そのため、時限的なピークカットよりも、電力使用自体の削減が求められる。

(2) 空調機の能力選定

空調設備の設計に際しては、まず、対象範囲、面積に対して冷暖房需要最大時の熱負荷計算を行い、部屋毎に空調負荷のピーク値を算定する。次に、これら来处理する能力を有する室内機を合算して、さらに経年係数や能力補償係数などの安全率を乗じた能力以上の室外機を選定する。しかし、室内機全数が同時にピーク負荷を迎えることは稀で、結果的に過大な設備に成りがちである。一般的に、冷房需要最大時でも設備能力の 50~60%で賄え、それ以外は年間を通じて低負荷運転の割合が大きい¹²⁾。空調機メーカーが実際に空調機の年間使用状況を調査したところ、真夏や真冬の高負荷での運転時間は短く、運転時間の約 90%が定格能力の 50%以下で運転されていることが判明した¹³⁾。

(3) 室外機のインバータ制御

最近の室外機は、負荷状況に応じて圧縮機の回転数を調節できるようにインバータ制御が導入されている。旧来の ON-OFF 制御に比較して、性能が格段に向上した。しかし、斎藤¹⁴⁾は、インバータ搭載機といえども、低負荷時にはインバータ制御を活かしきれずに、実際には ON-OFF 運転になることを指摘している。また、平岡

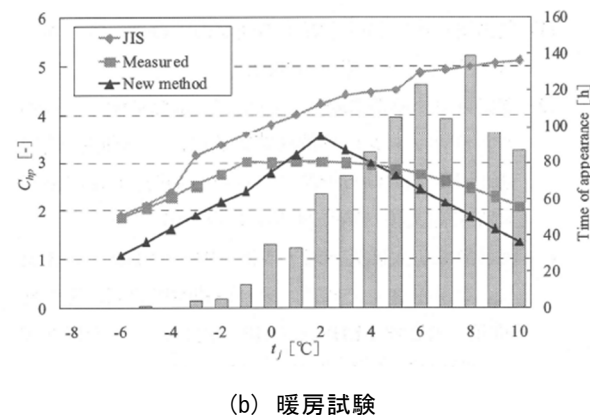
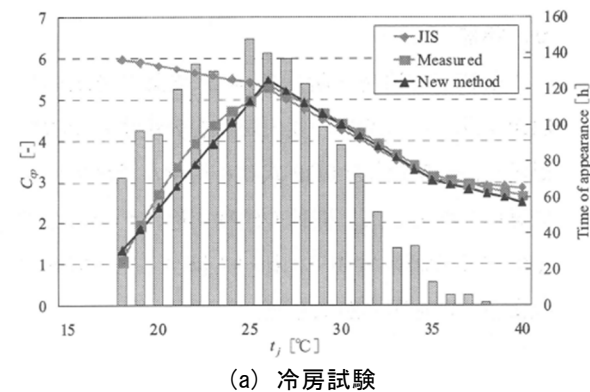


図 3 部分負荷性能試験における COP 実測値と試算値の比較(事務所ビル)¹⁶⁾

ら¹⁵⁾は、余裕率を考慮する場合、機器能力を最大空調負荷に対して小さく設定する方が ON-OFF 運転を避けられるので高効率運転になると進言している。

この問題に対して、廣田ら¹⁶⁾は旧 JIS 規格¹⁷⁾による期間エネルギー消費評価方法では、低負荷時におけるエネルギー消費効率(以下、COP)の低下が予測できずに通年エネルギーが過小評価されることを実験的に明らかにした。また、大型試験装置を用いた実機試験の結果から、実測値は冷暖房とも負荷率 50%で COP が最大になること、負荷率がこれ以下になると旧 JIS 規格による予測値と実測値の乖離が著しくなることを見出した(図 3)。

(4) GSHP の費用対効果

GSHP の費用対効果を概算する上で、ヒートポンプ出力あたりのインシヤルコストが指標になる。環境省¹⁸⁾は、業者ヒアリングの結果を取りまとめて、図 4 を公表している。出力で整理すると、クローズドループ方式は 25~60 万円/kW、オープンループ方式は 10~30 万円/kW である。ただし、オープンループ方式は、使用後の熱源水を処理する際に、有料の場合があり、処理方法やその量により費用が異なるので、一概に比較できない。

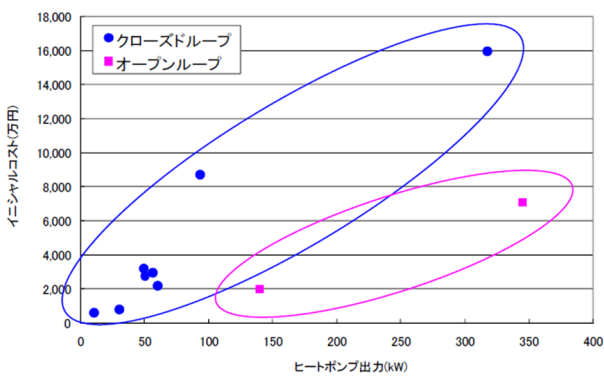
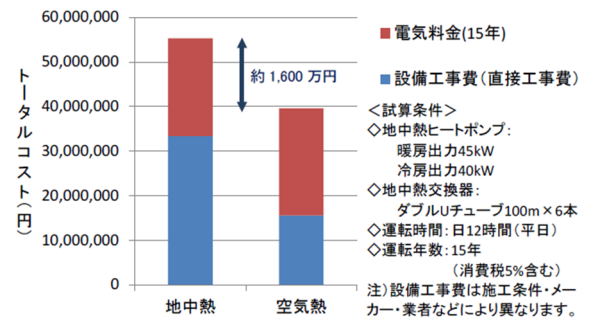


図 4 ヒートポンプ出力あたりのインシヤルコストの事例¹⁸⁾

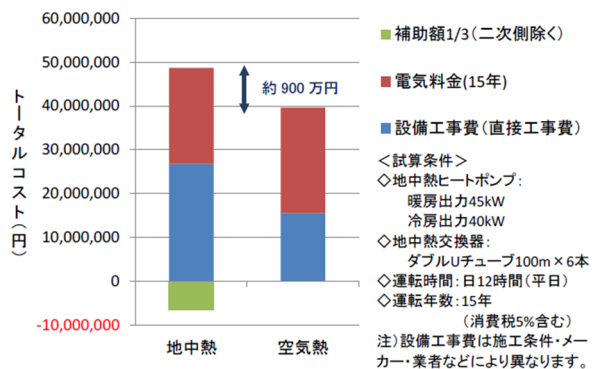
横浜市¹⁹⁾は、一般的な事業所(空調稼働 12hr/平日)などを対象に、老朽化した EHP をクローズドループ方式の GSHP (冷房能力 40kW, 暖房能力 45kW, ボアホール型の地中熱交換器 100m×6 本)に更新する際の直接工事費と電気料金を合わせた費用対効果を試算している。これによれば、GSHP は直接工事費が約 3000 万円で、15 年間の電気料金を含めて約 5500 万円である。EHP の約 3900 万円に比較して、約 1600 万円高くなる(図 5(a))。これに、補助事業の対象設備(ヒートポンプ、地中熱交換器および熱源側の付帯設備など。負荷側の設備は対象外)に 1/3 の補助金約 700 万円を充当すると、その差額が約 900 万円に圧縮されるが、費用回収は困難である(図 5(b))。

上記地中熱交換器の設置費用はインシヤルコストに

直結する。地中熱交換器を適切な本数に抑えるためには、有効熱伝導率などの地盤情報が欠かせない。この有効熱伝導率は、熱応答試験²⁰⁾で求めることができる。しかし、その試験には熱交換器の設置工事とは別に 100 万円程度の試験費用が掛かり、小規模な GSHP を設置する場合、大きな負担になる。そこで、東京都²¹⁾や神奈川県²²⁾などの地方自治体では、地中熱ポテンシャルマップを作成して概略検討の経費軽減と GSHP の普及促進を後押ししている。



(a) 補助金なし



(b) 補助金 1/3

図 5 事業所への導入コストの試算例¹⁹⁾

(5) 既往ハイブリッド専用機の特徴

C 社の製品は、GSHP と EHP を連動制御するハイブリッド冷温水システム⁷⁾(暖房能力 11.0kW, 冷房能力 9.0kW)を販売している。この製品は、GSHP がクローズドループ方式で、地中熱交換器の設置工法を工夫して、インシヤルコストの軽減を図っている。また、負荷側(以下、2 次側)は熱媒循環で、エアコン以外に床暖房などにも併用できる。しかし、ヒートポンプ出力が小さく事務所ビルへの適用は困難と思われる。

ビル用マルチエアコンでは、D 社の製品⁸⁾が先駆けである。GSHP と EHP のハイブリッドシステム(冷房能力 28.0~50.4kW, 暖房能力 31.5~56.5kW)で、同能力のユニット構成から選択できる。なお、EHP は GSHP で熱量が賅えないときのバックアップであり、同時には稼働できない。熱源側(以下、1 次側)はクローズドループ方式を想定しているようであるが、オープンループ

方式への拡張も可能と思われる。

E社の製品⁹⁾は、地中熱交換器の埋設費用の削減を目的に、EHPを積極的に運用するところがD社と異なる。また、需要に応じてGSHP(冷房能力22.4~84.0kW, 暖房能力25.0~94.0kW)とEHP(冷房能力14.0~100.0kW, 暖房能力16.0~112.0kW)を柔軟に組合せできるのも利点である。機器制御の基本は、ベースの空調負荷をGSHPで賄い、能力が不足する際にEHPでアシストする仕様である。さらに、AI制御を導入しており、24時間先まで空調負荷の状況を予測して、GSHPとEHPの能力配分を最適化している。なお、当該機も1次側の施工事例は、クローズドループ方式しか見当たらない²³⁾²⁴⁾。

3. ハイブリッドの基礎実験

前報¹⁾では、汎用のEHP(1次、2次側とも冷媒ガス)とGSHP(1次、2次側とも熱媒)を集中制御するシステム(以下、熱源分離型。図6)を構築した。夏期冷房運転の結果から、ヒートポンプの運転・停止の順序などを制御することで、消費電力量の軽減を指摘した。その後、同様の暖房試験を実施したので、以下に概要を報告する。

また、GSHPの1次側の熱媒管路に、同社製の冷温水熱源機(1次側冷媒ガス、2次側熱媒。以下、EHP)を介在させて、熱媒温度を機械的に昇温(暖房時)、降温(冷房時)するシステム(以下、熱源付加型。図8)を別途増設した。基礎試験を実施したので、以下に結果を紹介する。

(1) 熱源分離型

GSHPは、1次側に熱源水を搬送するための補機(循環ポンプ、揚水ポンプなど)が必要で、これらもエネルギーを消費する。空調負荷が少ないときは、これらの消費電力が相当の割合を占めることがあり、COPはEHPよりも劣る場合がある。また、補機が故障などで停止すると、システムとして機能しない。また、先述の通り、室外機の能力が大きめに設計される傾向にあり、計算上はピーク負荷に安全率を乗じた熱量が必要で、それ以上の熱源を確保しなければならない。これは、

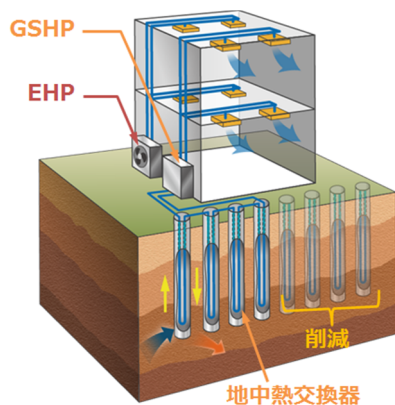


図6 熱源分離型のイメージ

クローズドループ方式では地中熱交換器の埋設長の延伸、オープンループでは揚水井の能力アップが要求される。これに伴い補機も大型になり、インシヤルコストの上昇を誘発している。したがって、GSHPとEHPの2系統に分離することで、リスク分散を図るとともに、高価なGSHPの一部を安価なEHPに置換できる。例えば、GSHPとEHPの熱負荷の処理能力を50:50にすれば、GSHPの出力は半分が良い。結果として、1次側の設備規模も縮小できる。

暖房試験は、表1に示した試験設備を用いて以下の条件で、冷房試験と同様にGSHPとEHPを1時間毎に交互運転した。なお、前述のEHPの増設工事を行った都合で、試験開始が2月中旬になり、暖房時のピーク負荷を捕捉できなかった。

表1 試験設備の構成

| 仕様 | EHP | GSHP |
|-------|----------------------------|-----------------------------|
| | 同時運転マルチ | 個別運転マルチ |
| 室外機 | 1台@空冷ヒートポンプ ^{※1} | 1台@水冷ヒートポンプ ^{※2} |
| 室内機 | 2台@パッケージユニット ^{※1} | 3台@ファンコイルユニット ^{※1} |
| 風量(弱) | 14m ³ /min/台 | 10m ³ /min/台 |
| リモコン | 1個@ワイヤードリモコン | 3個@ワイヤードリモコン |
| 暖房能力 | 16.0kW ^{※3} | 10.0kW ^{※4} |
| 消費電力 | 5.06kW | 3.06kW+3@0.047kW |
| 設備稼働 | 1995年12月 | 2010年1月 |

※1: A社, ※2: B社

※3: 外気温度7°CDB, 室内吸込み空気温度20°CDB

※4: 採熱戻り温度0°C, 採熱側循環流量250/min
 温水行き温度35°C, 暖房側循環流量160/min

【試験方法】

- ・試験期間: 2017年2月14日~3月8日
- ・運転時間: 8:00~18:00 (1時間毎に交互運転)
- ・設定温度: 27°C
- ・熱媒設定: 温水行き温度45°C (2次側)
- ・風量設定: 弱

就業日と休業日を比較すると、GSHPの消費電力に大きな差異が認められないことから、OA機器や電灯および人体発熱の影響は少ないと考え、ここでは就業日みの結果を紹介する。暖房試験の結果を図7に示す。冷房試験と異なり、負荷が大き朝8時台の計測データも考慮した。一般的に、EHPはON-OFF制御で断続運

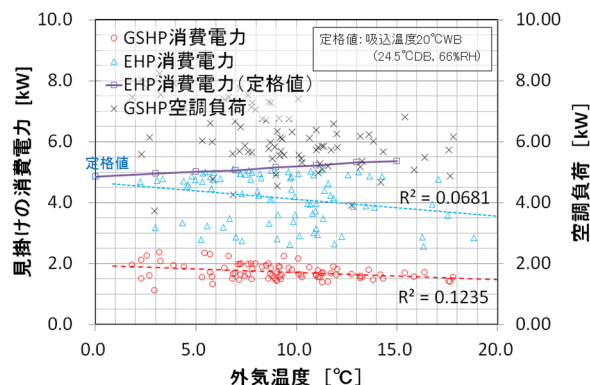


図7 外気温度と消費電力の関係(暖房運転; 就業日)

転を繰り返すために、見掛けの消費電力が定格値よりも少なく、かつ規則性がない。一方、GSHPは外気温に関わらず、2kW程度で安定的に推移した。

試験で使用した設備構成では、EHPに比較して、GSHPの成績が優れ、外気温度が低下するにつれて、その傾向は顕著になった。したがって、暖房運転時は、GSHPでベースロードを保持しつつ、熱量不足をEHPで補う制御が適当である。しかし、ビル用マルチエアコンの最新機種は大幅な性能向上が見込まれるので、実機テストを踏まえて制御方法を再考する。

(2) 熱源付加型

冷房負荷と暖房負荷が大きく乖離する場合、その大きい方の空調負荷で設備設計すると、小さい方では部分負荷の運転時間が長くなる。熱源を全量確保できない場合などに、その不足相当をEHPで補えば、1次側の設備が小規模で済む。また、暖房時に熱源水をEHPで予熱すれば、ヒートポンプの仕事量が減少するので、COPは大幅に改善する。これに関しては、後述の設備を用いて、実験的に費用対効果を検証する予定である。ただし、冷房時は室温設定を極端に低くすることがないので、暖房ほどの効果が期待できない。設計・施工面では、冷媒配管、機器制御が一系統で済むので、工数増を誘発しない。また、クローズドループ方式は、地中熱交換器の埋設長を誤ると、経時的に循環熱媒と

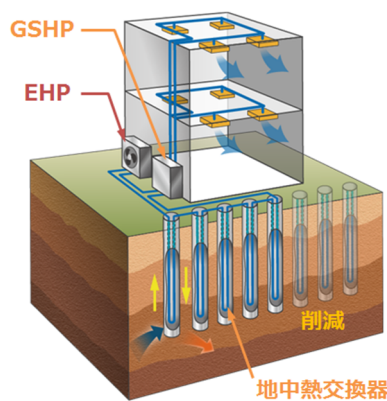


図8 熱源付加型のイメージ

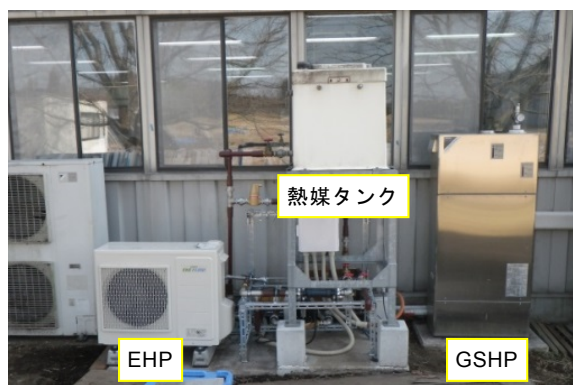


写真1 熱源付加型の実験設備

地盤の温度差が少なくなり、採熱、放熱が不能状態の次側の熱源回路にEHPを増設することで、熱量不足を補うとともに、地盤の熱回復を図ることができる。実験用設備では、B社製のGSHPの1次側の熱媒入口上流に同社製のEHP(冷水出力5.0kW、温水出力6.7kW)を介在させた(写真1)。このEHPの制御は、熱媒温度をリモコンで初期設定するが、E-CON端子を利用した外部からON-OFF指令のみで、GSHPの1次側の熱媒出口温度を閾値にした追従運転である。冷房時は熱媒温度が“地中往きく地中戻り”の時にEHP停止、暖房時はその逆とした。このため、熱媒温度は管理していない。

基礎試験は、埋設間隔5mの既設ダブルUチューブ20mを2本用いて、放熱試験(設定温度40℃)と採熱試験(設定温度7℃)を行った。熱媒流量は何れも約9.50/minであった。なお、試験期間中は地下水の自然水位がGL-9m程度で、上記Uチューブは半分程度浸漬した状態であった。横引き配管は、往復60m程度、埋設深度が約40cmで全長に渡り表皮付きの発泡ポリエチレン製の保温材で被覆している。

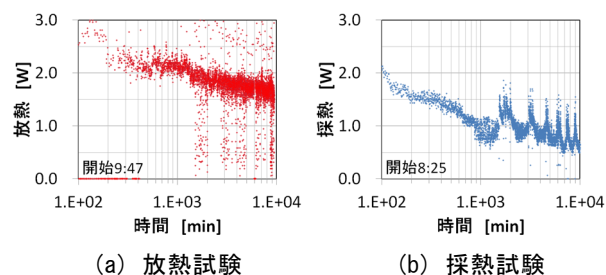


図9 ダブルUチューブを用いた放熱・採熱試験

試験は2017年5月22日から6月5日まで行った。試験結果を図9に示す。いずれも右下がりを経時的に、熱移動の減少が認められる。しかし、熱枯れに近い状態であれば、地盤と熱媒の温度差が大きくなるので、上方にドリフトするものと考えられる。また、(a)で下に凸、(b)中で上に凸になるタイミングがあるが、何れも日中で外気温が最大になる前後の時間帯である。放熱時は冷媒ガスの圧力異常による機器停止、採熱時はGSHPの熱交換器に滞留した2次側の熱媒への熱移動および配管露出部で空気への熱移動と考える。なお、試験期間中の最高気温は31.4℃であった。したがって、実際の運用では、地中の熱回復を狙った採熱、放熱は日中を避けて夜間実施が効果的である。

今夏期の冷房時に、GSHPとEHPを同時の運転することが出来なかった。今後は、暖房運転時にGSHP入口の熱媒を昇温する試験を行い、費用対効果を検証する予定である。

4. デマンド制御の検討

電気料金は、基本料金と電力量料金から成る(図10)。電力量料金は文字通り、使用した電力量に対して課金さ

れるもので、使用量に応じて料金が上昇する。一方、基本料金は、単価に契約電力を乗じるので、その月の使用量とは直接関係ない。契約電力はその月と過去11ヶ月の最大需要電力(デマンド値：毎時0分～30分、30分～60分の平均消費電力で、その月の最大値)の中で、最も大きい値が用いられる。契約電力は、その月の最大需要電力が契約電力を下回っても変動しないが、契約電力を超えると、違約金の支払いや契約電力の更新などの協議が科せられる。したがって、電気料金の抑制対策として、基本料金が上昇しないように、デマンド値を監視・制御することが肝要である。

$$\text{電気料金} = \text{基本料金} + \text{電力量料金} + \text{消費税}$$

使用した電力量に課金

$$\text{基本料金} = \text{単価} \times \text{契約電力} \times \text{力率割引(割増)}$$

最大需要電力(デマンド値)

図10 電気料金の仕組み

現状把握を目的に、川田工業(株)の栃木工場事務棟において、既設空調8系統(AC-1～8)の消費電力を1分間隔でモニタリングした。計測期間2017年6月30日～7月31日の就業日で、最も平均気温が高かった7月10日のデータを図11に示す。瞬時消費電力は、空調負荷の定量的な消費電力と、ON-OFF運転の繰り返しによる瞬時値を合算したものである。また、各系統の積算電力量と積算外気温の関係を図12に示す。個別に消費電力pをみると、折

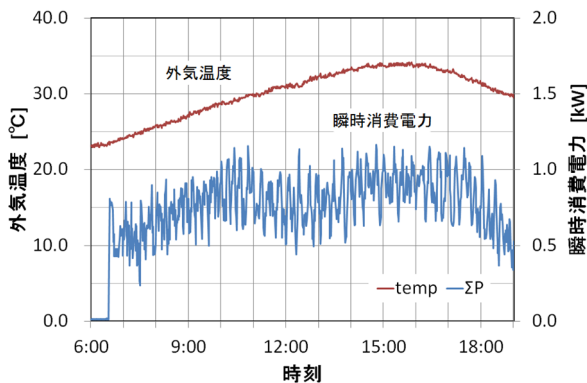


図11 外気温と瞬時消費電力の推移

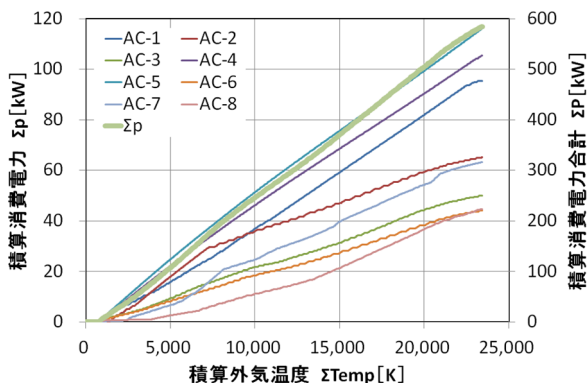


図12 積算外気温と消費電力の関係

れ線になり、完全な線形ではない。しかし、各系統の合計Σpは、直線とみなすことができる。さらに、期間中の日消費電力量と積算外気温の関係をプロットすると、相関係数R=0.95で強い相関が認められる(図13)。

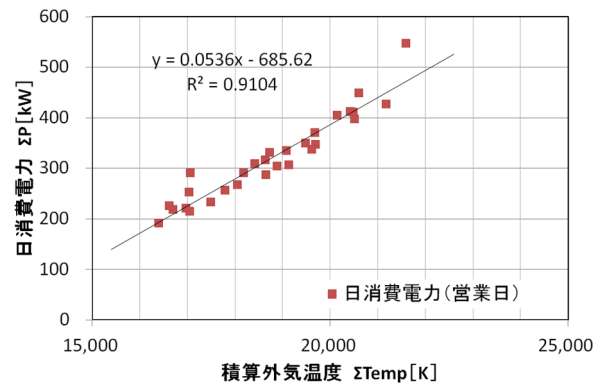


図13 積算外気温と日消費電力の関係

10分毎の消費電力pの算定に、自己回帰移動平均モデルを適用したところ、規則性が乏しいON-OFF制御による振幅の大きな波形を捉えることが困難であった。予測精度も80%程度であり、実用には厳しいと判断した。そこで、10分毎の気温データを正規分布とみなして、確率密度からデマンド値を予測した。具体的に、2017年7月10日の外気温、消費電力の関係から、10分間隔で室外機出力を制御するシミュレーションを行った。その結果、デマンド値の更新を抑制できることを確認した(図14)。

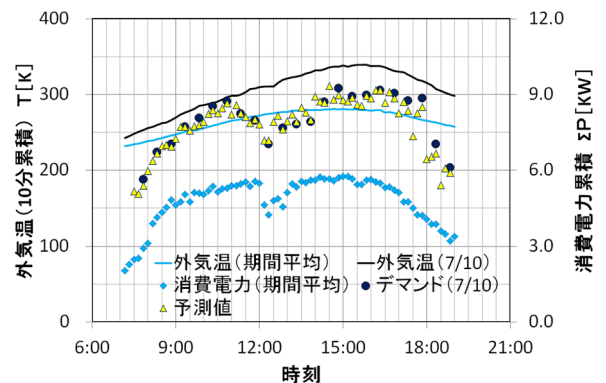


図14 デマンド制御のシミュレーション結果

5. GEOneo®ハイブリッドの特徴

(1) システムの概要

川田工業(株)の富山工場事務所棟、栃木工場事務所棟に導入が決まり、2017年11月稼働予定で着工した。いずれも、オープンループ方式であるが、富山は消費用の既設井の余剰水を利用して熱源水を熱交換1回で農業用水路に放水する(図15)。栃木は揚水井、還元井を新設して、汲み上げた熱源水を貯水槽に蓄え、熱源水の温度を監視して、数回熱交換した後に還元井に注水する。これらに、LAN経由による遠隔操作をはじめとしたオプション機能を付加している(表2, 図16)。また、一部の室内機は設定温度を外部操作できるようにした。

表 2 川田工業(株)GEOneo®ハイブリッド形式
(熱源分離型)の諸元

| 対象建物 | 富山工場新事務所棟 | 栃木工場事務所棟 |
|---------|--|---------------------|
| 構造 | S造 4階 | S造 4階 |
| 空調工事 | 新設 | 更新 |
| 空調面積 | 518.7m ² | 341.0m ² |
| EHP | 冷房能力 56.0kW | 冷房能力 28.0kW |
| | 暖房能力 63.0kW | 暖房能力 31.5kW |
| GSHP | 冷房能力 56.0kW | 冷房能力 22.4kW |
| | 暖房能力 63.0kW | 暖房能力 25.0kW |
| 地中熱利用 | オープンループ方式 | |
| 取水設備 | 揚水井 | 揚水井 |
| 排水設備 | 用水路 | 還元井 |
| オプション機能 | 遠隔操作/見える化 (LAN経由またはWi-Fiネットワーク経由) 室内機個別運転制御 室外機デマンド制御 センシングデータ監視 | |

空調制御の基本は、EHPとGSHPを同時に始動するが、表3の要領で室内機を個別に制御する。ここで、空調負荷を概念的に小、中、大としているが、富山と栃木では建物の断熱性能が異なり、外気温度と消費電力の関係が一致しないと予想される。また、中間的な負荷状態では交互運転や送風に切り替える断続運転を行う計画である。ただし、暖房運転時に、室内機を送風に切り換えると冷感ドラフトの影響が懸念されるので、注意が必要である²⁵⁾。そのため、現場計測、アンケート調査等の結果を踏まえて運転時間などを調整する。

なお、機器制御は標準運転時に、制御信号を割り込ませるもので、手動運転と自動運転は後操作が優先される。したがって、自動運転を選択していても、ユーザーが運転リモコンを直接操作することで、運転条件

を変更できる。また、自動制御に不満が生じて、同様に手動操作で変更できるので、運用上は通常の空調と同じである。

表 3 空調制御の基本

| | 空調負荷 | | |
|------|------------------------|------------------------|------|
| | 小 | 中 | 大 |
| EHP | 自動制御 | サーモOFF制御 ^{※1} | 自動制御 |
| GSHP | サーモOFF制御 ^{※1} | 自動制御 | |

※1: サーモOFF制御: 冷房/暖房運転時に、間欠的に送風運転に切り換える。このとき、運転間隔は熱負荷に応じて変更する。

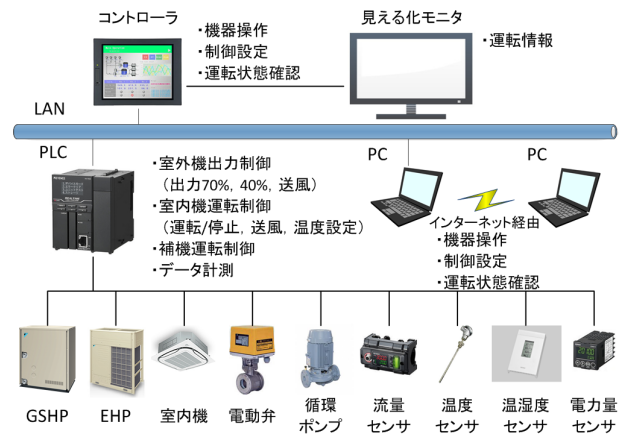


図 16 システムの構成

(2) ヒートポンプの構成

ヒートポンプは、汎用の水熱源機と空気熱源機¹³⁾ (低負荷時の効率改善)で構成した。

水熱源機は、地中熱利用を想定していないが、熱媒温度を最適化することで運転可能であり、これまでも運用実績がある。また、空気熱源機は産学官共同プ

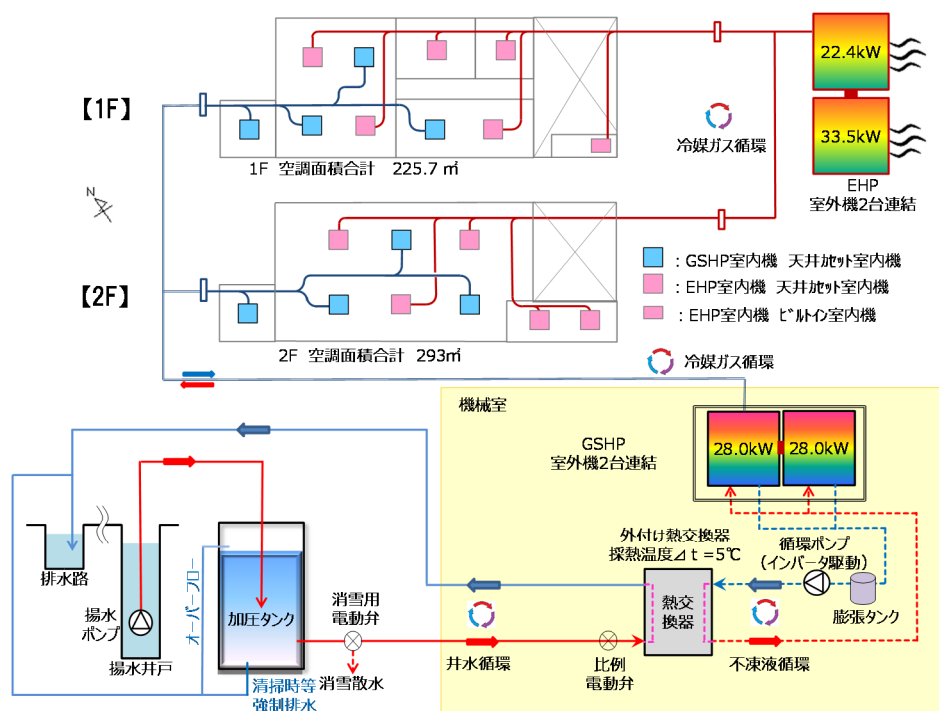


図 15 富山システムのフロー図

プロジェクト『次世代型ヒートポンプシステム研究開発』の研究成果²⁶⁾を活用した機種で、負荷率40%以下での運転効率を改善した(図17)。

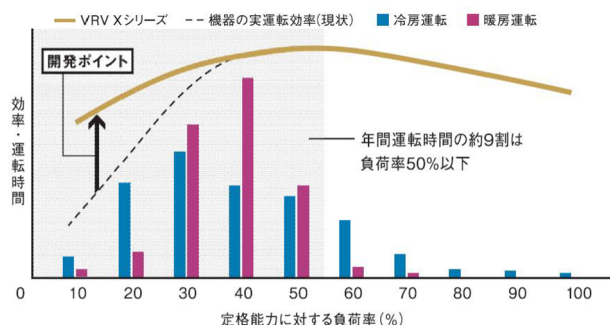


図17 定格能力に対する負荷率と運転時間の関係¹³⁾

(3) 室外機のレイアウト

2次側の冷媒配管が二系統になるので、施工が煩雑になるとともに、ユーザーは2系統の空調機器をリモコン操作しなければならない。室内機の配置は、ペリメータエリア(外周部)を地中熱、インテリアエリア(内周部)を空冷など空調負荷に応じてゾーニングする方法、または交互配置にして空調付加を均等にする方法が考えられる(図18)。ここでは、いずれも建物の縦横比が大きく、開口部が広くて直射日光の影響が著しいことから、交互配置とした。

従来のシステムは、GSHPとEHPの使用比率の変化に応じて、各設定を手動で変更していたため、室内に発生する極端な温度ムラが発生することがあった。本システムでは、室内機を個別に自動制御することで、設定変更の煩わしさを解消する。

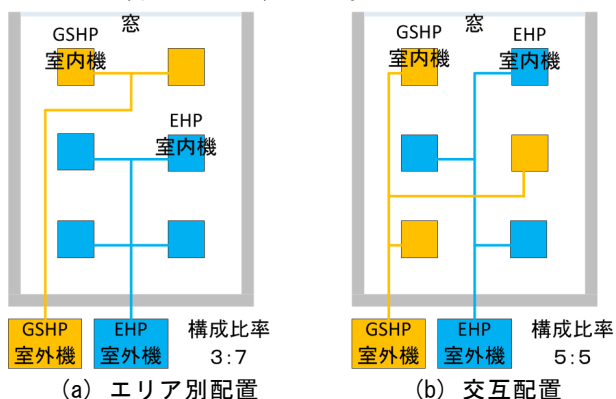


図18 室内機のレイアウト

(4) 費用対効果の検証

富山工場事務所棟の費用対効果を試算した。直接工事費の比率は、EHP(冷房能力112.0kW, 暖房能力125.0kW)を1.0とすると、図17に示したEHP(冷房能力56.0kW, 暖房能力63.0kW)+GSHP(冷房能力56.0kW, 暖房能力63.0kW)のハイブリッド(補助金考慮, オプション別)が1.4であった。JIS規格²⁷⁾に準拠して、下記条件で期間エネルギー消費効率を比較したところ、費用回

収期間は6.1年である。

- ・建物用途： 事務所ビル
- ・空調面積： 518.7m²
- ・運転期間と空調負荷：
 - 冷房5月中旬～9月中旬, 153W/m²
 - 暖房11月中旬～3月中旬, 202W/m²
- ・週運転日数： 5日(土日休み)
- ・日運転時間： 7:00～19:00
- ・補機： 循環ポンプ750W(インバータ駆動)

なお、試算にあたって、工場設備既設井の余剰水を使用するため、井水を供給する揚水ポンプ、加圧タンクなどの付帯設備のインシャルコスト、ランニングコストを考慮していない。また、“水冷式パッケージエアコン”がJIS規格²⁷⁾の適用外のため、当該機の消費電力は、室内吸込空気温度が冷房時19.0°CWB, 暖房時20.0°CDBの能力線図を熱源水温度15.0°C一定で外挿した。循環ポンプの消費電力は、冷房時30Hz, 暖房時48Hzの定速運転の値を用いた。

6. おわりに

東日本大震災後の電力需要ひっ迫を契機に、従来の省エネ対策(エネルギー効率の改善, 化石燃料の使用低減など)の強化だけでなく、電力需要バランスを意識したエネルギー管理の重要性が認識されつつある。本システムはエネルギー変換効率が良いGSHPを主体で稼働させて、不足分を最新式のEHPで賄うことで、電力需要を抑制するものである。ここではA社製のビル用マルチエアコンで構成したが、他メーカーの製品でも集中制御対応機種であれば、制御可能である。快適性よりもインシャルコストを優先する場合は、店舗・オフィス用エアコンの選択肢もある。1次側をオープンループ方式としたが、クローズドループ方式でも適用できる。今後は、デマンドレスポンスなどにも対応できるように、ソフトウェア開発に注力するとともに、実機での計測データを解析して、CSRのみならず、コストメリットを含めて、GEOneo®ハイブリッドの優位性を実証していきたい。

参考文献

- 1) 勝俣, 杉本, 甲木: 地中熱と大気熱源エアコンを集中制御, 川田技報, Vol. 36, 2016.
- 2) 中村, 堀池: IKEA福岡新宮における国内最大級の地中熱利用空調システム, 中国電力, ヒートポンプとその応用, No. 86, pp. 27-30, 2013.
- 3) 今野: 「押上・業平橋地域冷暖房区域」東京スカイツリー®地区熱供給(地域冷暖房: DHC)の概要について, 「東京都地域冷暖房セミナー(これからの地域冷暖房とは)」講演資料, 2012.
- 4) パナソニック(株): <http://www2.panasonic.biz/es/air>

- /ghp/smartmulti/
- 5) ダイキン工業(株):<http://www.daikinaircon.com/catalog/ghp/hybrid/index.html>
 - 6) ヤンマー(株):https://www.yanmar.com/jp/energy/ghp/products/smart_multi/
 - 7) (株)コロナ:http://www.corona.co.jp/geosis_hybrid/
 - 8) ゼネラルヒートポンプ工業(株): <http://www.zeneral.co.jp/seihinjyouhou/seihinjyouhou.html#hi-topumpтира>
 - 9) JFE エンジニアリング(株): 地中熱/空気熱ハイブリッド式空調システム GeoTOPIA-hp®, JFE 技報, No. 32, pp. 106-108, 2013.
 - 10) 経済産業省: 経済産業省: 平成 28 年度版エネルギーに関する年次報告, 第 193 回国会提出, 2017.
 - 11) 日本原子力文化財団: 最大電力発生日における 1 日の電気の使われ方の推移, 原子力・エネルギー図面集, 1-2-10, 2017.
 - 12) 松下, 米田: エネルギー消費面から見た現在の建築設備設計基準の問題点とその改善策に関する検討, 京都大学環境衛生工学研究会, 第 29 回シンポジウム, pp. 183-186, 2007.
 - 13) ダイキン工業(株): ビル用マルチエアコン『VRV X』シリーズを新発売, CORPORATE NEWS, 2015 年 12 月 15 日.
 - 14) 斉藤: 冷凍サイクル制御の課題と最新技術, 伝熱, Vol. 54, No. 227, pp. 1-7, 2015.
 - 15) 平岡, 菰田, 奥宮, 尹: 空調設計条件および機器選定の余裕度による省エネルギー・室温への影響に関する研究, 空気調和・衛生工学会論文集, No. 222, pp. 13-21, 2015.
 - 16) 廣田, 宮田, 渡邊, 徳田, 中山, 宮岡: 業務用エアコンにおける期間エネルギー消費量予測の高精度化に関する研究, 三重大学社会連携研究センター研究報告, 土木学会論文集, No. 18, pp. 109-114, 2010.
 - 17) 日本規格協会: パッケージエアコンディショナ, JIS B 8616, pp. 16-59, 2006.
 - 18) 環境省水・大気環境局: 地中熱利用にあたってのガイドライン, p11-14, 2012.
 - 19) 横浜市: 平成 24 年度泉区地中熱利用普及可能性調査報告書, 2013.
 - 20) 地中熱利用促進協会: 一定加熱・温水循環方式熱応答試験技術書(案), Ver. 3.2, 2016.
 - 21) 東京地中熱ポテンシャルマップ:http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/energy/renewable_energy/ne2/tichumap/index.html
 - 22) 神奈川県地中熱ポテンシャルマップ:<http://www.pref.kanagawa.jp/cnt/f535689/>
 - 23) 川崎市: 川崎エコテク通信シリーズ, A-6, 地中熱利用空調システム, 2010.
 - 24) JFE エンジニアリング(株): 国内初の取り組み! コンビニに地中熱利用空調システムを導入, ニュースリリース, 2011. 10. 24
 - 25) 東京都, 森ビル: 平成 25 年度テナントビルにおけるデマンドレスポンス実証事業報告書, 2016.
 - 26) 新エネルギー・産業技術総合開発機構: 次世代型ヒートポンプシステムの革命的省エネ制御の研究開発, 平成 22 年度~平成 24 年度成果報告書, 2013.
 - 27) 日本規格協会: パッケージエアコンディショナ, JIS B 8616, pp. 27-61, 2015.