

実用ローエネルギー住宅における暖房・換気性能および室内温熱環境の実測 Measurement of Heating and Ventilation Performances and Indoor Thermal Environment in an Actual Low Energy House

正会員 長野 克則 (北海道大学) 学生会員 ○堀 彰吾 (北海道大学)
正会員 武田 清香 (北海道大学) 正会員 中村 真人 (北海道大学)
正会員 射場本 忠彦 (北海道大学) 正会員 成田 樹昭 (北海道大学)
正会員 葛 隆生 (藤原環境科学研究所) 正会員 柴田 和夫 (日伸テクノ)
正会員 仁木 康介 (サンポット)

Katsunori NAGANO*¹ Shogo HORI*¹ Sayaka TAKEDA*¹ Makoto NAKAMURA*¹

Tadahiko IBAMOTO*¹ Shigeaki NARITA*¹ Takao KATSURA*² Kazuo SHIBATA*³

Kousuke NIKI*⁴

*¹ Hokkaido University *² Fujiwara Environmental Science Institute Ltd. *³ Nissin Techno Incorporated

*⁴ Sunpot Co., Ltd.

The objective of this paper is to describe the performance of Ground Source Heat Pump (GSHP) system for heating and ventilation applied in an actual low energy house. Recently, in Japan, GSHP systems have been introduced, however only few of them have been demonstrated their efficiency. Firstly we investigated the performance of GSHP system which is applied to the actual low energy house of cold region by actual inspection. Secondly, ventilation system with earth tube was observed its efficiency. From the inspection, the system showed satisfied performance in terms of energy conservation.

1. はじめに

居住空間を快適に保つためには、暖房・断熱・気密・換気の4つの要素を総合して考える必要がある。筆者らは高性能住宅における、暖房・換気性能の検証およびそのときの室内温熱環境の測定を行った。本物件において、暖房設備には地中熱を熱源として利用する地中熱ヒートポンプ (Ground Source Heat Pump; 以下GSHPとする) システムを使用している。GSHPシステムの導入物件の数は徐々に増えてきたが、実際にGSHPシステムが理想的に導入された建物はほとんどなく、GSHPシステムが本来持つポテンシャルが実証された例もない。そこで、実測によるGSHPシステムの有意性と環境性能の検証を行った。また、換気性能については、アースチューブによる導入外気の予熱効果の検証と、それを伴う熱交換換気装置を用いた集中換気システムの性能検証を行った。

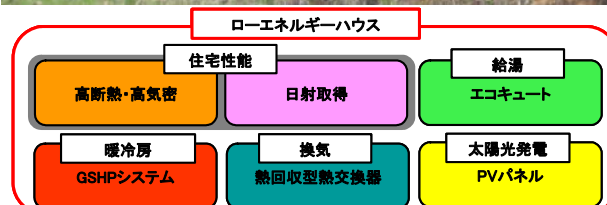


図-1 外観とコンセプト

2. 実測調査先の概要

今回の実測調査先は、様々な要素を取り入れたローエネルギーハウスである。外観とローエネルギーハウスのコンセプトを図-1に示す。住宅性能は、高断熱・高気密な仕様となっている。屋根・壁の断熱材厚さはそれぞれ

れ240 mm、186 mmである。さらに、厚さ300 mmの床スラブの蓄熱効果により、温暖な環境を保持することが可能である。また、日射をより多く取り入れるために家全体の窓面積83 m²の63%は南面に配置されている。窓

ガラスにはLow-Eトリプル・ガラスを採用しており、K値は1.1~1.3 W/m²/Kである。なお、可視光線透過率は73%、日射熱取得率は68%である。熱損失係数Q値は0.96 W/m²/Kであり、I地域における次世代省エネ基準値1.6 W/m²/Kを大きく下回った高性能住宅ということを示している。暖冷房にはGSHPシステムを採用しており、冬は全室床暖房を行い、夏はファンコイルユニットを用いた冷房を行う。換気にはアースチューブを伴う第一種換気を採用している。

3. 実用ゼロエネルギー住宅におけるGSHPシステムの性能評価

3.1 GSHPシステムの概要

本物件の暖房設備は、GSHPシステムによる床暖房である。使用しているGSHPユニットの仕様と性能曲線を表-1、図-2に示す。圧縮機はインバータを搭載しており、二次側送水温度が一定となるように回転数が制御される。一次側0°C、二次側35°Cの温度条件において、最大熱出力は約10 kWであり、その時のCOPは約3.7である。同じ温度条件で熱出力が5 kWの場合、COPは約4.4に上昇する。

図-3は地質柱状図を示している。本システムでは地中熱交換器として、深さ100 mのボアホールを2本用いており、シングルUチューブを挿入している。地下水位は約14.7 mで、水温は10.8°Cであった。熱応答試験により、地盤の平均有効熱伝導率は約1.2 W/m/Kと推定された。熱媒には、一次側にエチレングリコール30%、二次側にプロピレングリコール20%を使用している。

3.2 GSHPシステムの性能評価

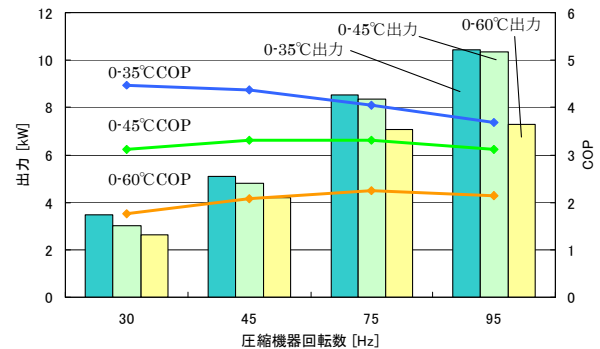
3.2.1 日運転性能と室内温熱環境

図-4は、GSHPから床暖房への送水温度を30°C(2007年1月20日)とした場合の1日の各温度と熱出力の変化を示している。また、表-2に各条件における日運転性能を示す。SCOPは、一次・二次側の循環ポンプの消費電力を含めた値である。

床暖房への送水は基本的に24時間行われるが、ヒートポンプの運転は送水温度が一定となるようにインバータ制御されるため、負荷に応じて運転または停止を繰り返す。送水温度が30°Cの場合、平均熱出力は4 kW程度であり、COP、SCOPはそれぞれ5.46、4.25と高い値を示した。図-2に示したGSHPユニットの性能曲線によると、一次側0°C、二次側30°Cの温度条件で出力が4 kW程度ならば圧縮機回転数は30~45 Hz程度で部分負荷運転が行われていると考えられる。このとき、室温は1日を通して概ね20°C以上を保っており、本物件のような高断熱仕様建物においては30°C程度の低温送水でも十分な温熱環境が得られることが示された。他方で、日射の影響により日中に室温は26°C程度まで上昇し、オーバーシュートの傾向が見られる。今後、日射による余剰熱を

表-1 GSHP1001仕様表

定格電圧		100V(制御回路) 200V(圧縮機・循環ポンプ)
定格消費電力	100V	6 W
	200V	3.05 kW
暖房能力		10.0 kW
COP		3.7
圧縮機		インバーター駆動ロータリー式
ポンプ流量	1次側	24 L/min、136.2 W
	2次側	17 L/min、84 W



データ提供元：サンポット(株)

図-2 GSHPユニットの性能曲線

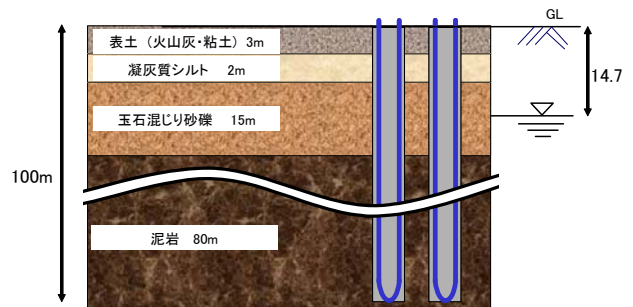


図-3 地質柱状図

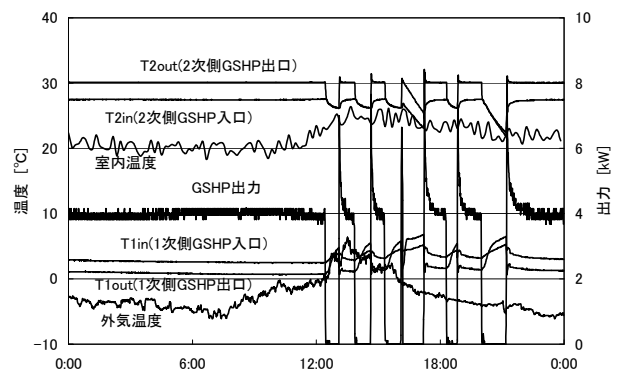


図-4 1日の温度および熱出力の変化(送水温度30°C)

表-2 日運転性能

2次側送水温度	GSHP出力積算値① [kWh]	GSHP消費電力量② [kWh]	ポンプ消費電力量③ [kWh]	COP ①/②	SCOP ①/(②+③)
30°C (2007/1/20)	77.4	14.2	4.0	5.46	4.25

③は1次側・2次側ポンプの合計

有効に蓄熱し、負荷の大きい時間帯に再利用する方法を考える必要がある。

3.2.2 シーズンを通した暖房運転性能と環境性能評価

図-5は、2006年11月～2007年3月の暖房シーズンにおける外気温とGSHPの各出入口温度(運転時平均値)、日平均熱出力を示している。二次側への送水温度によるが、一次側出口温度はシーズンを通して概ね0°C以上を保っており、GSHPシステムとして安定した運転が行われたといえる。日平均熱出力は運転時間により違いがあるが、期間平均では約3.0kWとなった。この値を期間平均の室温と外気温の差および床面積で除し、実測値より熱損失係数を求めたところ0.70 W/m²/Kとなった。これは、建物性能の物性値から算出した値(0.96 W/m²/K)より低く、昼間の日射熱取得により、実際に暖房に要する熱エネルギーは理論値に比べて小さくて済むことを表すと言える。

図-6は各月の熱出力と平均COP、平均SCOP₁を示している。ここで、SCOP₁とはGSHP本体と一次側ポンプの消費電力量を考慮したものである。月平均外気温度が低い月ほど積算GSHP出力は大きくなった。COPは4.6～5.6、SCOP₁は4.2～4.7を示し、冬期間を通して高効率な運転が行われたことがわかる。

図-7はシーズン合計の地中採熱量と消費電力量、放熱量を示している。地中採熱量8774kWh、GSHPと一次側ポンプの消費電力量2467kWhに対し、放熱量は10614kWhとなり、期間平均COPは4.91、SCOP₁は4.30となった。以上より、本事例のように全館床暖房を行う高断熱建物においてインバータ搭載のGSHPユニットを採用した場合には、低い送水温度で効率の高い部分負荷運転を行えることから、期間を通して高い運転性能が得られることが示された。図-7ではまた、熱源として灯油ボイラ、ガスボイラを用いた場合とGSHPを用いた場合のCO₂排出量を比較している。各条件とも、年間に暖房に要する熱需要は実測による放熱量10614kWhとし、ボイラシステムにおける熱効率は85%とした。その結果、GSHPシステムでは灯油ボイラシステムと比べて約58%のCO₂削減効果が見込まれた。

4. 換気システム

4.1 換気システムの概要

本物件では第一種換気を採用し、温度効率90%のクロスカウンターフロー式熱交換換気装置を用いている。また、地中にアースチューブを設けており、外気はあらかじめ加温され、その後熱交換換気ユニットへ供給される。図-8に換気システムとアースチューブの概念図を示す。アースチューブの全長は約50mで、地表から約1.55mの深さに埋設されている。アースチューブの口径は150mmまたは200mmで、表面がリブ状に加工されたプラ

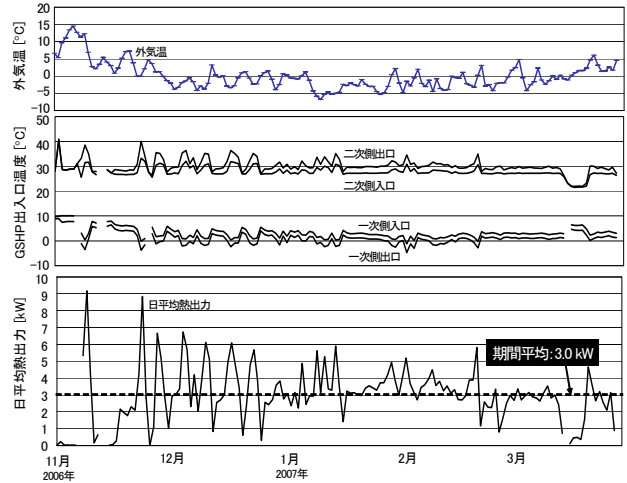


図-5 暖房シーズンにおける温度と熱出力の変化

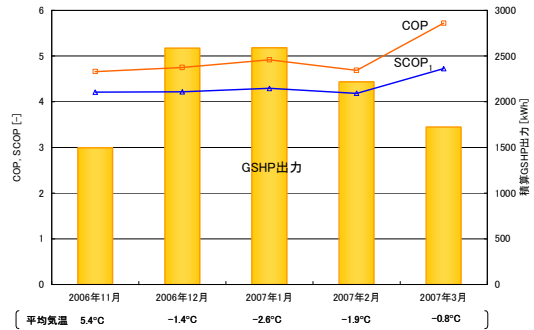


図-6 月毎出力積算値

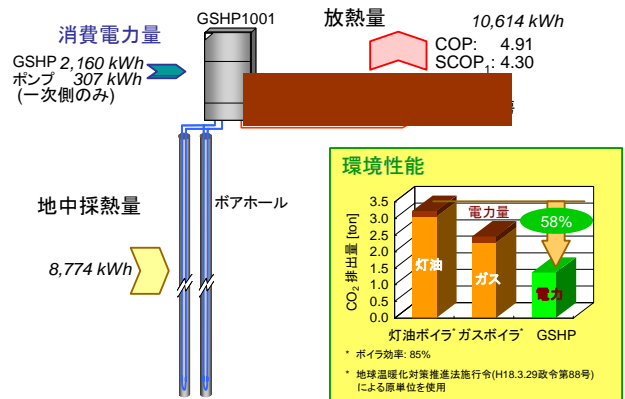


図-7 期間合計の熱収支とCO₂削減効果

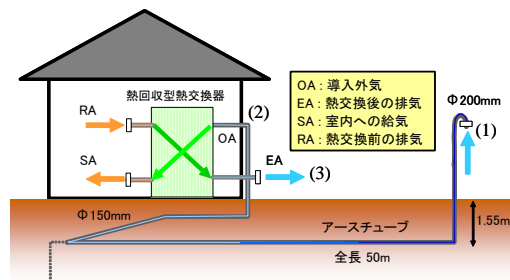


図-8 換気システムの概要

スチックパイプを用いている。さらに、アースチューブには傾斜がつけられており、最下部には結露水排出のためのドレーンが備えられている。

4.2 アースチューブによる加温効果

温度測定は、アースチューブの給気口から0 m、4.6 m、25 m、34 m、46 mの5点で行われた。また、熱交換器の出入口においても測定した。図-9は2006年12月12日と2007年1月20日の各点における温度を示している。なお、46 m地点に比べ導入外気(OA)の温度は低下しているが、これは配管が地中から一度地上へ出た後に熱交換換気ユニットに接続されているためである。連続して地中から採熱することにより、1月20日における加温効果は12月12日に比べて小さくなっていることがわかる。

図-10は2006年12月～2007年3月における(1)外気温度と(2)熱交換換気ユニット入口温度、(3)熱交換換気ユニット出口温度の変化を示している。期間中、連続して地中から採熱することにより、熱交換換気ユニット入口温度は約6°C低下した。しかし、最低でも0°Cを下回ることなく、アースチューブの使用により熱交換器表面の着霜を防止でき、デフロスト運転を回避できたといえる。外気温度と熱交換換気ユニット入口温度の差がアースチューブによる加温効果を示しており、期間中の平均温度差からアースチューブ単位長さ当たりの採熱量を計算した。その結果、今回の条件においては期間平均で4.4 W/mを地中から採熱できたことがわかった。

図-10より、熱交換換気ユニット出口温度は最低でも5°C程度であり、給気加温の一方で、排気側の温度レベルも高く維持されていることがわかる。したがって、この排熱を有効利用し、例えばGSHPシステムの一次側熱媒の加温に用いることができれば、システム全体のさらなる性能向上が期待できる。

4.3 給排気量の測定結果

図-11に建物全体の換気の流れと、各点における給排気量の実測結果を示す。居室であるリビング、ダイニング、寝室、洋室には給気口が設けられ、水蒸気や匂い、汚染空気が発生するトイレ、ドライルームからは排気が行われている。全体で給気量は約231 m³/h、排気量は約224 m³/hであった。本物件の天井高さは平均で約2.5 m、屋内気積は約500 m³であり、換気回数を0.5回/hとすると、必要換気量は250 m³/hと算出される。したがって、実測値はこれをほぼ満足していることが確認できた。

5. まとめ

寒冷地仕様のローエネルギー住宅にGSHPシステムが適用された事例について、暖房期間を通じたシステム性能評価を行った。

1) 本事例のように高断熱建物(熱損失係数 0.96

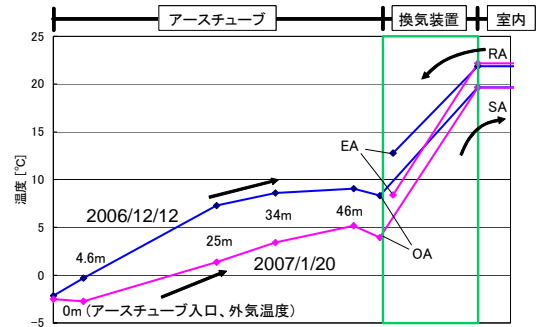


図-9 アースチューブ内の温度変化

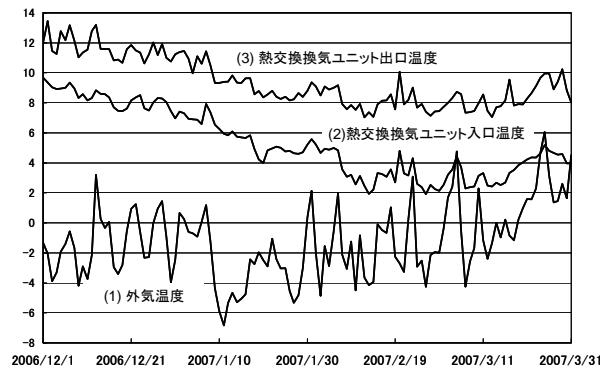


図-10 給気、排気、外気温度の変化

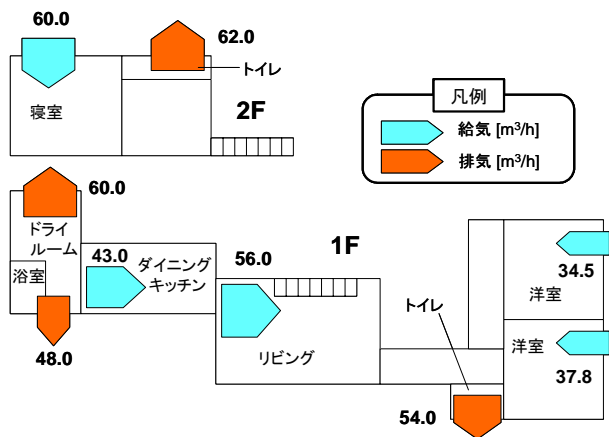


図-11 換気空気の流れ

W/m²/K)において全館床暖房を行う場合には、30°C程度の低い送水温度で室内温熱環境を満足でき、またヒートポンプの部分負荷運転により期間を通して高い効率を得られることが示された。期間平均のCOPは4.91、一次側循環ポンプの消費電力を含めたSCOP₁は4.30となった。このとき、灯油ボイラシステムと比べCO₂排出量は約58%削減されると推算された。

2) 排熱回収型の熱交換換気ユニットを用いた第1種換気システムにおいて、全長50 mのアースチューブにより外気を予熱することにより、期間平均で単位長さ当たり4.4 Wを地中から採熱することができた。