

再生可能エネルギー利用のための水循環・分散型ヒートポンプシステムの開発
 (第1報) 住宅規模向けの技術開発の実現可能性調査
 Development of distributed water source heat-pump system for renewable energy
 (Part.1) Feasibility study for residence-scale system

技術フェロー○大岡龍三(東京大学) 正会員 日野俊之(東京大学) 正会員 林鍾衍(東京大学)
 技術フェロー 塩谷正樹(鹿島建設) 正会員 柴 芳郎(ゼネラルヒートポンプ工業)

RyozoOOKA^{*1}, Toshiyuki HINO^{*1}, Jongyeon LIM^{*1}, Masaki SHIOYA^{*2}, Yoshiro SHIBA^{*3}

^{*1}The University of Tokyo, ^{*2}Kajima Technical Research Institute, ^{*3}Zeneral Heatpump Industry Co., Ltd.

We have developed a water-circulation heat pump system which uses renewable energy sources such as solar heat, ground heat and ambient air as energy sources. We aim to put this system to practical and wide use. In this paper, through feasibility study, the potential and both of strengths and weaknesses of this system were evaluated. The main criteria to judge feasibility is the balance of reduced operating cost by performance improvement of whole system and increased initial cost of system introduction. The results will help us plan additional improvement of the system performance and the way to initial cost down.

1. はじめに

著者らは、これまで建物における熱用途の大幅な省エネルギー化を目指して、多様な再生可能エネルギー源と多様な用途を組み合わせた Multi-source Multi-use Heat Pump システムの概念に基づき、太陽熱と地中熱を熱源とし、水循環ループで連結させる分散型ヒートポンプシステムに関する技術開発の検討を行い、システム構成機器の要素技術開発及び性能評価、システム全体の簡易的な実大実験を行い、その効果を示した^{1)~5)}。今後、この技術の実用化並びに普及のためには、更なる要素技術の改良(性能向上)や導入コスト削減方を具体化する必要がある。そこで、まずシステムの実現可能性調査(Feasibility study、以下FS)を実施し、本システムの導入によるユーザーのコストメリットを従来採用される一般システムと比較検討する。また、普及可能なシステムとしての要求性能を明らかにするとともに、最適な実用化システム及びその前提条件、運用条件を明確にすることも本FSの目的としている。

以上の結果は、各要素技術の改良に対する課題、またコスト削減の目安の整理につながり、実用システムとして採算が取れるコストの見通しを立てることを可能にすることが期待される。具体的には、従来システムと比較した上で本システムの性能向上、またイニシャルコスト・ランニングコストの増減を試算し、最終的には運用何年目で投資額がパイバックされるかを予測する。本報では一般的な戸建て住宅を対象にFSを行い、次報では病院を対象としたFSを実施する。

2. 分析概要

FSの分析対象は、空調及び給湯需要のある一般的な戸建て住宅を想定しており、建築環境・省エネルギー機構の自立循環型住宅を参考に作成した⁶⁾。図1に分析対象の戸建て住宅の詳細を示す。



地域	千葉	断熱性能	
用途	住宅	熱損失係数	2.7 W/Km ²
構造	木造	日射取得係数	0.07
規模	地上2階	R 値	4.1 (天井)
延床面積	120.7 m ²		2.0 (壁)
居住者数	4人		2.5 (床)

図1 分析対象の平面図と基本情報

空調機は居間、子供室1、子供室2、寝室の4室に設置され、在室者がいるときに運転する。各室の在室スケジュールと機器発熱スケジュールを図2と3に示す。

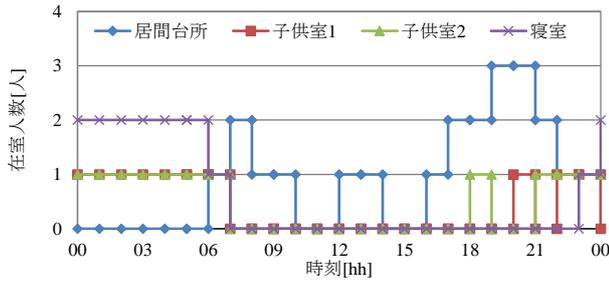


図2 在室スケジュール

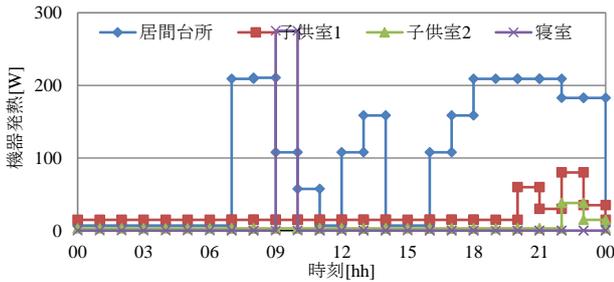


図3 機器発熱スケジュール

本報では、この住宅に開発システム及び従来システム（個別空調設備、全館空調設備）それぞれを導入した場合のインシャルコストを試算するとともに年間消費電力予測を行い、ランニングコストの増減、さらに、単純消却年数を予測する。機器エネルギー使用算定には非定常エネルギーシミュレーションツールである TRNSYS が用いられた。また、その入力条件である空調負荷の算出するために動的熱負荷計算プログラムである AE-Sim/Heat を使用した。入力条件中の気象条件は、アメダス気象データの標準年(1990~2000年)を用いた。空調負荷の計算結果を図4に示す。

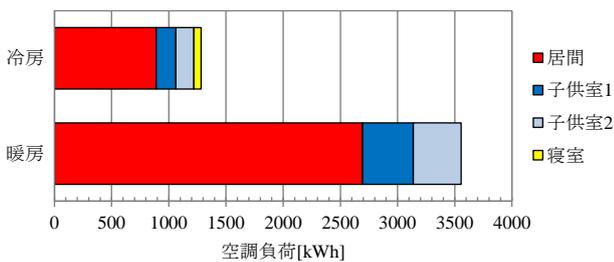


図4 空調負荷の計算結果

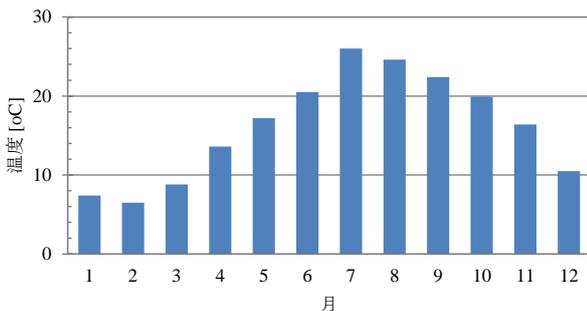


図5 給水温度スケジュール

給湯については、瞬間式給湯を想定しており、使用時に40°Cに給湯し、その需要は470L/dayである。給湯スケジュールはIBEC給湯設備のエネルギー消費量に関する評価手法⁷⁾を参考に決定した。また、月毎の給水温度を図5に示す⁸⁾。

3. システムの構成

開発システムは、天空熱源ヒートポンプ、水熱源空調ヒートポンプ（4台）、水熱源給湯ヒートポンプ（冷媒としてCO₂を使用、通称「エコキュート」）が水ループによって地中熱交換器（深さ50m、2本）に接続される構成になっている。地中熱交換器に関しては、無排土孔壁工法によるヘリカルコイル型の熱交換器の埋設を想定した。全体システム構成の概念図を図6に示す。

従来システム（個別空調設備）は、概ね開発システムと同様であり、空調機（4台）と給湯ヒートポンプが設置されている。しかし、すべて空気熱源ヒートポンプであり、天空熱源ヒートポンプと地中熱交換器はない。さらに、全館空調設備の従来システムとの比較も行なった。

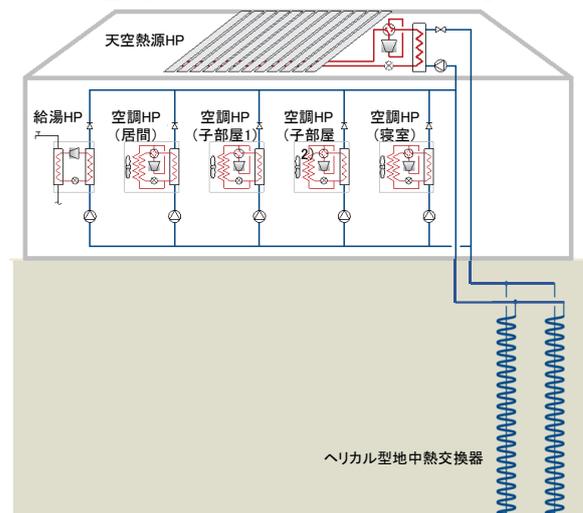


図6 システム構成

4. 電力消費量の計算

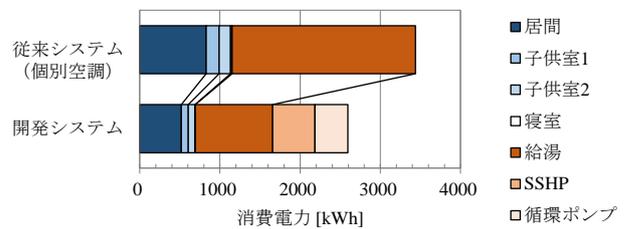


図7 電力消費量の計算結果

図7に年間消費電力の予測結果を示す。年間を通して開発システムの消費電力が低いことが分かる。天空熱源ヒートポンプと循環ポンプの消費電力の占める割合は大きく、本開発による要素技術の性能向上が達成されると、従来システムとの差はより大きくなると予測される。

表1 現状技術による経済性予測

		単価	数量	設備費	耐用年数	減価償却費 (定額, 年間)	備考	電力消費量 [kWh/year]	電力単価 [JPY/kWh]	運転費計	備考
開発システム	地中熱交換器	¥ 850,000	2	¥1,700,000	50	¥34,000	ヘリカルコイル +無排土掘削	0.00		¥0	無動力
	水ループ	¥ 900,000	1	¥900,000	50	¥18,000	樹脂配管	0.00		¥0	循環水ポンプは 各HPIに含まれる
	天空熱源HP	¥ 1,700,000	1	¥1,700,000	30	¥56,667	PV付(1kW)	0.00		¥0	消費とPV発電が 積算ゼロバランス
	水熱源HP(空調)	¥ 700,000	1	¥700,000	20	¥35,000	ダクト式	555.45	¥32.03	¥17,791	冷暖房 昼間平均電力料金
								138.86	¥12.48	¥1,733	冷暖放熱の 夜間電力料金
	水熱源HP(給湯)	¥ 900,000	1	¥900,000	20	¥45,000	水熱源エコキュート タンクー体型	964.52	¥12.48	¥12,037	夜間電力料金
	小計			¥5,900,000		¥188,667					¥31,561
年間経費			¥220,228								
従来システム (個別空調)	空調設備	¥ 180,000	4	¥720,000	15	¥48,000		1151.99	¥32.03	¥36,898	昼間平均電力料金
	給湯設備	¥ 1,000,000	1	¥1,000,000	15	¥66,667	エコキュート (屋外機+タンク)	2287.44	¥12.48	¥28,547	夜間電力料金
	小計			¥1,720,000		¥114,667				¥65,446	
年間経費			¥180,112								
単純消却年数		消却不可能									
従来システム (全館空調)	空調設備	¥ 2,000,000	1	¥2,000,000	15	¥133,333		2014.00	¥32.03	¥64,508	昼間平均電力料金
	給湯設備	¥ 1,000,000	1	¥1,000,000	15	¥66,667	エコキュート (屋外機+タンク)	1667.00	¥12.48	¥20,804	夜間電力料金
	小計			¥3,000,000		¥200,000				¥85,313	
	年間経費			¥285,313							
単純消却年数		44.6									

表2 技術開発による将来の経済性予測

		単価	数量	設備費	耐用年数	減価償却費 (定額, 年間)	備考	電力消費量 [kWh/year]	電力単価 [JPY/kWh]	運転費計	備考
開発システム	地中熱交換器	¥ 425,000	2	¥850,000	50	¥17,000	ヘリカルコイル +無排土掘削	0.00		¥0	無動力
	水ループ	¥ 135,000	1	¥135,000	50	¥2,700	樹脂配管	0.00		¥0	循環水ポンプは 各HPIに含まれる
	天空熱源HP	¥ 1,020,000	1	¥1,020,000	30	¥34,000	PV付(1kW)	0.00		¥0	消費とPV発電が 積算ゼロバランス
	水熱源HP(空調)	¥ 560,000	1	¥560,000	20	¥28,000	ダクト式	308.28	¥32.03	¥9,874	冷暖房 昼間平均電力料金
								77.07	¥12.48	¥962	冷暖放熱の 夜間電力料金
	水熱源HP(給湯)	¥ 900,000	1	¥900,000	20	¥45,000	水熱源エコキュート タンクー体型	535.31	¥12.48	¥6,681	夜間電力料金
	小計			¥3,465,000		¥126,700					¥17,517
年間経費			¥144,217								
従来システム (個別空調)	空調設備	¥ 180,000	4	¥720,000	15	¥48,000		1151.99	¥32.03	¥36,898	昼間平均電力料金
	給湯設備	¥ 1,000,000	1	¥1,000,000	15	¥66,667	エコキュート (屋外機+タンク)	2287.44	¥12.48	¥28,547	夜間電力料金
	小計			¥1,720,000		¥114,667				¥65,446	
年間経費			¥180,112								
単純消却年数		48.6									
従来システム (個別空調 +地中熱交換 器)	地中熱交換器	¥ 1,700,000	1	¥1,700,000	50	¥34,000	u-tube	0.00		¥0	無動力
	水熱源HP(空調)	¥ 225,000	4	¥900,000	20	¥45,000	FCUを含め	1151.99	¥32.03	¥36,898	昼間平均電力料金
	給湯設備	¥ 1,000,000	1	¥1,000,000	15	¥66,667	エコキュート (屋外機+タンク)	2287.44	¥12.48	¥28,547	夜間電力料金
	配管	¥ 900,000	1	¥900,000	15	¥60,000					夜間電力料金
	小計			¥4,500,000		¥205,667				¥65,446	
	年間経費			¥271,112							
単純消却年数											
従来システム (全館空調)	空調設備	¥ 2,000,000	1	¥2,000,000	15	¥133,333		2014.00	¥32.03	¥64,508	昼間平均電力料金
	給湯設備	¥ 1,000,000	1	¥1,000,000	15	¥66,667	エコキュート (屋外機+タンク)	1667.00	¥12.48	¥20,804	夜間電力料金
	小計			¥3,000,000		¥200,000				¥85,313	
	年間経費			¥285,313							
単純消却年数		3.3									

5. 経済性試算及び単純消却年数の予測

以上の予測結果に基づき、開発システムの経済性試算を行なった。単純消却年数は、下式により算出される。

$$\text{単純消却年数} = \frac{IC_{\text{開発}} - IC_{\text{従来}}}{RC_{\text{従来}} - RC_{\text{開発}}}$$

ここで、IC はイニシャルコストとしての設備費、RC はランニングコストとしての年間経費（減価償却費+運転費計）である。

表1は、現状技術で開発システムを構成した場合の経済試算の結果である。現状技術のコストは、著者らの実験システムの導入費用、建設物価等を参考に設定した。個別空調の従来システムとの比較では、開発システムのICが高く、また、設備の減価償却費が高いことでRCも従来システムより高く計上されているため、消却不可能との結果が得られた。全館空調の従来システムとの比較では、開発システムのICは高いものの、RCが低くなり、単純消却が約45年の結果が得られた。システム構成要素、特にHPの耐用年数から考えると、ほぼ回収不可能と見なせる結果であった。

表2は、将来の本開発技術の普及や要素技術の性能向上を仮定した経済性試算の結果である。技術の普及による市場拡大が設備費の低減につながり、また要素技術の更なる性能向上が達成された将来を仮定しており、その詳細を表3に示す。性能向上分は電力消費量に反映されている。個別空調の従来システムとの比較では、開発システムのICが高いことで単純消却が約50年の結果が得られた。しかし、居住環境の質など Non Energy Benefit が考慮に入れた評価ではシステムの優劣について再考の余地があると考えられる。全館空調の従来システムに対しては、IC差が縮まったことで単純消却が約3年の結果が得られた。追加分析として、u-tube型（深さ100m, 1本）の地中熱交換器の採用した個別空調の従来システムとの比較を試みた。その結果は、ICとRCが両方ともに開発システム有利の結果が得られた。

表3 開発技術の普及や要素技術の性能向上によるコスト変化

	設備費の低減率	性能向上率
地中熱交換器	50%	150%
水ループ	85%	
天空熱源 HP	40%	
水熱源 HP（空調）	20%	
水熱源 HP（給湯）	0%	

6. まとめ

本報では、一般的な戸建て住宅を対象に、再生可能エネルギーである太陽熱と地中熱を熱源とし、水循環ループで連結させる分散型ヒートポンプシステムを適用した

場合の実現可能性調査を実施し、その有効性の確認を行った。得られた結果は下記の通りである。

- ① 現時点の技術レベルでは、従来システムに対するコストメリットはほとんどない。
- ② 開発終了後、本システムは全館空調の従来システムに対して投資額を3~4年で回収できる見通しを得た。しかし、技術の普及による市場拡大を前提としている。
- ③ 個別空調の従来システムとの比較では、コストメリットがすくない。ただし、居住環境の質など Non Energy Benefit が考慮に入れた評価ではシステムの優劣について再考の余地があると考えられる。

謝辞

本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の再生可能エネルギー熱利用技術開発事業の「再生可能熱エネルギー利用のための水循環・分散型ヒートポンプシステムの開発」プロジェクトの一環として行ったものである。また本解析の一部は、兒玉和生氏（三菱地所設計：研究当時東京大学大学院生）によるものである。ここに記して謝辞を記す。

参考文献

- 1) 大岡ら（2012）、太陽熱と地中熱を利用する水循環ヒートポンプシステムの開発（その1）：技術コンセプト、空気調和・衛生工学会大会学術講演集
- 2) 日野ら（2012）、太陽熱と地中熱を利用する水循環ヒートポンプシステムの開発（その2）：ソルエアヒートポンプの集熱運転特性、空気調和・衛生工学会大会学術講演集
- 3) 小野ら（2012）、太陽熱と地中熱を利用する水循環ヒートポンプシステムの開発（その3）：水熱源空調ヒートポンプの性能検証と膨張弁制御による省エネ効果の検証、空気調和・衛生工学会大会学術講演集
- 4) 吉田ら（2012）、太陽熱と地中熱を利用する水循環ヒートポンプシステムの開発（その4）：水熱源瞬間式給湯ヒートポンプの開発、空気調和・衛生工学会大会学術講演集
- 5) 浅井ら（2012）、太陽熱と地中熱を利用する水循環ヒートポンプシステムの開発（その5）：実大と数値解析による全体システム性能評価、空気調和・衛生工学会大会学術講演集
- 6) 建築環境・省エネルギー機構、住宅事業建築主の判断の基準におけるエネルギー消費計算方法の解説、第3章暖冷房負荷計算
- 7) 建築環境・省エネルギー機構、住宅事業建築主の判断の基準におけるエネルギー消費計算方法の解説、第6章給湯設備のエネルギー消費量に関する評価方法
- 8) 東京都水道局、水道水の水温、
http://www.waterworks.metro.tokyo.jp/water/w_info/s_kekka_to_pi03.html