

ソルエアヒートポンプシステムの基礎特性と 長期運転特性^{※1}

(第1報 気象とシステム特性)

Basic Characteristics and Long - Term Operation Capabilities
of the Sol - Air Heat Pump System
(1st Report: Atmosphere and System Characteristics)

大橋一正^{※2} 中島 康孝^{※2} 増岡 陽一^{※3} 日野俊之^{※4}
Kazumasa OHASHI Yasutaka NAKAJIMA Yoichi MASUOKA Toshiyuki HINO

Abstract

In order to investigate natural energy use in practical applications, basic experiments and long term measurement were performed on the Sol - Air Heat Pump System installed at Hachioji Kogakuin University in 1986. Basic experiments were performed using a direct expansion-type sol air heat gathering panel and the long-term operation characteristics were evaluated. From this evaluation, the influences of the SAT value, which show the condition of the atmosphere around the panel, and various atmospheric factors, including cooling by radiation, on the system were analyzed and a system COP of 2.0 to 5.5 was obtained for actual system operation.

Key words: Experiment, Survey, Sol-Air Heat Pump System, Sol-Air Temperature (SAT), System COP, Ice Storage

1. はじめに

太陽と空気を熱源として運転されるソルエアヒートポンプシステムの効率は、気象と直膨形太陽空気集熱パネル（以降パネルと称す）の熱交換特性に大きく影響される。そこで、パネルの形状、面積、材質と相当外気温度（以降SATと称す）の関連、即ちパネル周囲の気象条件（日射、天空放射、実効放射、外気温湿度、風向、風速、雲、雨、等）が、熱交換特性にどの

ような影響を与えるか定性的に捉えると有効と考える。

本研究で扱うSATの考えは、Mackey, Wright³⁾、前田敏男⁴⁾らの提案から始まり、太陽光が壁体に当った場合の熱移動を算定する因子として、空気調和設備の負荷計算に実用されている。太陽集熱器の性能表示においては、SATを用いることの有効性について斎藤⁵⁾らの貴重な研究がある。また、パネルにおける集熱量の大気放射による補正是田中⁶⁾に詳しい。これらの提案研究に対し、日中太陽光を対象とした、集熱パネルの集熱量は、短波長域の因子が大きく、実用上は長波長を考慮しなくても大きな差異は生じない。一方、本システムのように、夏期夜間にパネルより天空に対して、対流と放射冷却により放熱することで稼働する場合は、長波長域の因子を考慮する必要がある。本研究は、各気象因子がシステムに与える影響を分析し、実用システムの効率を長期運転実測により考察する。

原稿受付 平成8年7月5日

- ※1. 本論は文献1), 2)で発表したものに、新たな検討を加えまとめ直した。
- ※2. 工学院大学 工学部 建築学科
(〒160 東京都新宿区西新宿1-24-2)
- ※3. (株)横河建築設計事務所
(〒153 東京都目黒区下目黒2-20-28)
- ※4. 鹿島建設(株)技術研究所
(〒182 東京都調布市飛田給2-19-1)

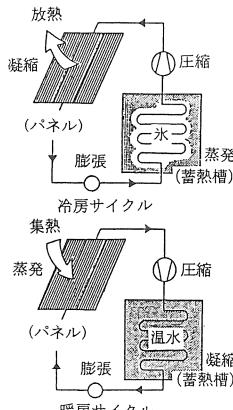


図-1 基本冷凍サイクル

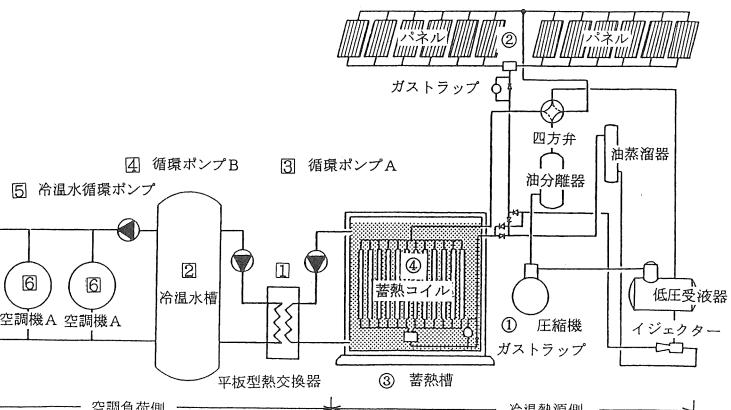


図-2 ソルエアヒートポンプシステム概要

2. システム概要

研究対象とするシステムは、工学院大学八王子校舎に設置されたもので、自然エネルギー（太陽熱、空気熱、地中熱）を利用し、各種の蓄熱方式（水、氷、地中、水素吸蔵合金）を有機的にコントロールして、空調を行うシステムである。

本研究は、この中の1システムである太陽熱と空気熱を主熱源とした蓄熱式ヒートポンプシステムで基本冷凍サイクルを図-1、システム概要を図-2に示す。

夏期冷房運転では、夜間、蓄熱コイル内の冷媒が蓄熱槽内の水から吸熱し、コイル外周部に製氷（蓄熱）する。そして圧縮機で高温にし、パネルから空気と天空へ放熱する。昼間は、蓄熱槽内の氷を解氷しながらこの冷水を空気調和機に供給し、冷房を行う。

冬期暖房運転では、昼間、冷媒がパネルで太陽熱と空気熱を集め、圧縮機で高温にして、蓄熱槽内の水に温水蓄熱する。そして温水を空気調和機へ供給し、暖房を行う。また、他のソーラーシステムと冷温水槽を供有し、延床面積200m²の空気調和設備として実用に供される。

主要機器は表-1、2に示す仕様で、主に集放熱パネル、蓄熱槽内の蓄熱コイルが熱交換部分となり、冷媒はパネルで自然エネルギーと対応し、膨張作用はガストラップにより行われる。

図-3は、パネルの詳細及び日射吸收率、放射率を示したものである。外界との熱交換を有効に行うために表面は平板で、黒色のフッ素系樹脂が塗装しており、裏面にはアルマイド仕上げで4枚のフィンがついている。設置角度は、水平面から33°で真南方向に傾斜している。図-4は蓄熱槽断面で、冷媒が通る銅管製の蓄熱コイルが槽内にヘアピン状に設置され、冷房運転においては、その管表面に氷を固着し、蓄熱するス

表-1 冷温熱源側主要機器の仕様

機器名称	仕様
① 圧縮機	冷却能力 18200kcal/h R 2 2 凝縮温度 45°C(冷却時) 45°C(加熱時) 蒸発温度 -6°C(冷却時) 0°C(加熱時)
② パネル	材質 アルミ成型(表面はフッ素系樹脂塗装) 外法寸法 2400(縦)×1210(横)×90(厚さ)mm 集放熱面積 33.12m ² (2.76m ² ×12枚)
③ 蓄熱槽	材質 F R P製(断熱材厚 50mm) 外法寸法 2310(縦)×2310(横)×1710(高さ)mm 容積 6.0m ³
④ 蓄熱コイル	材質 銅管製ヘアピン型 冷媒管 12.7φ×45.2m×12本(総延長542.4m) 総伝熱面積 21.6m ² (1.8m ² ×12本)

表-2 空調負荷側主要機器の仕様

機器名称	仕様
① 平板型熱交換器	外法寸法 540(幅)×580(厚さ)×1140(長さ)mm 伝熱面積 4.2m ²
② 冷温水槽	材質 ステンレス製(断熱材厚 100mm) 外法寸法 1400φ×2596mm 容積 3.5m ³
③ 循環ポンプA	40φ×90(l/min)×15(m)×0.75(kW)
④ 循環ポンプB	50φ×160(l/min)×15(m)×1.5(kW)
⑤ 冷温水循環ポンプ	50φ×170(l/min)×15(m)×1.5(kW)
⑥ 空調機 A (2台)	冷却能力 17000kcal/h 送風量 3350m ³ /h 暖房能力 14000kcal/h
⑦ 空調機 B (1台)	冷却能力 14000kcal/h 送風量 2500m ³ /h 暖房能力 13000kcal/h

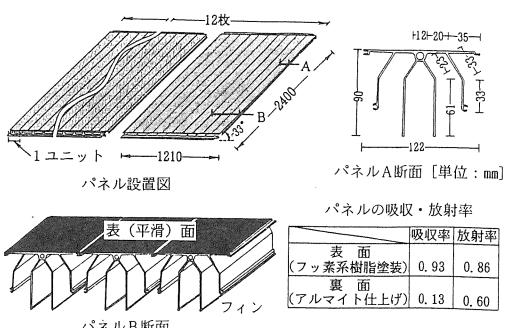


図-3 パネル詳細

ティック型の氷蓄熱槽となり、暖房運転においては、温水蓄熱槽となる。

3. SATと実効放射量

本システムは、自然エネルギーを熱源として利用するシステムであることから、時々刻々の運転性能は、気象変動に影響される。気象には様々な因子があるが、複数の気象因子をまとめて表すものとして、SAT (sol-air temperature) がある。SATの基礎式に用いられる外気温度、日射量、風速、実効放射量は、システムに深く関わりがある。このSATの基礎式⁷⁾⁸⁾は、式(1)で表される。

$$SAT = \theta_0 + \frac{a \cdot I}{\alpha_0} + \frac{\epsilon \cdot J_N}{\alpha_0} \quad \dots \text{式 (1)}$$

SAT : 相当外気温度 [°C]

θ_0 : 外気温度 [°C]

I : 日射量 [kcal/m²h]

J_N : 実効 (夜間) 放射量 [kcal/m²h]

a : 吸收率 [-]

ϵ : 放射率 [-]

α_0 : 総合熱伝達率 [kcal/m²h°C]

従来、日中、コレクターの性能を表現するために用いられるSATの基礎式は、実効放射量の項が式(1)より省略され式(2)とする場合がある。

$$SAT = \theta_0 + \frac{a \cdot I}{\alpha_0} \quad \dots \text{式 (2)}$$

この理由として斎藤⁵⁾は、実効放射量は、日射量と比較して絶対量が少ないと考えられていたためではないかとしている。そこで、斎藤らの提案した建物周壁部の熱移動やコレクターの運転性能表示等を行う際に用いる標準SAT計⁷⁾を製作し、それより得た実測値、式(1)、式(2)により求まるSAT値の差異を比較評価した。

標準SAT計は、文献7)に示される仕様で、銅平板の表面を黒色全艶消塗装し、裏面を十分断熱した物で、SAT値は、この銅板裏面の温度をT型熱電対により計測した値である。また、標準SAT計の実測と同時に、外気温度、日射量、実効放射量、風速、等の気象因子を実測し、それらを統計分析し、総合熱伝達率を算出¹¹⁾した。気象変動の一例として、夏期夜間にについては、晴天の1991年7月25日～26日、曇天の7月27日～28日、冬期日中については、晴天の1992年1月25日、曇天の1月30日の実測値を図-5に、実測と試算値の比較を図-6、7に示す。

実測値を基に式(1)より算出した値(図中プロッ

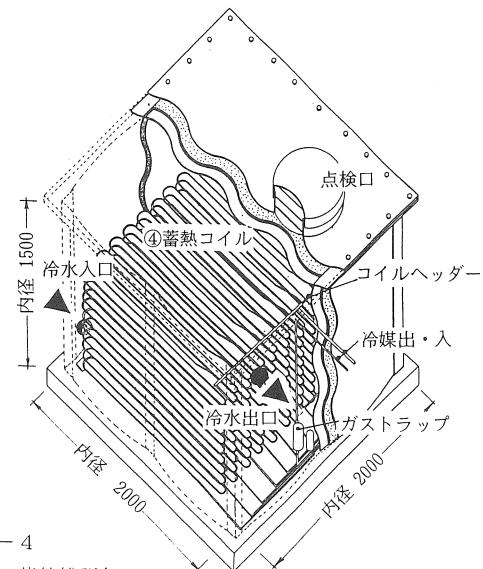


図-4
蓄熱槽詳細

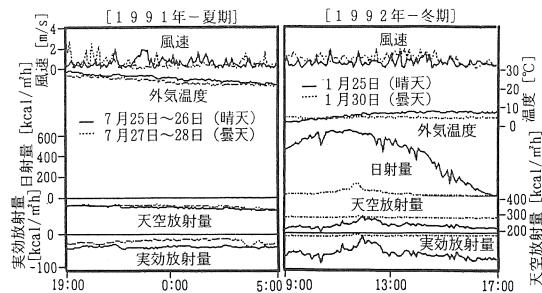


図-5 代表日気象変動(実測値)

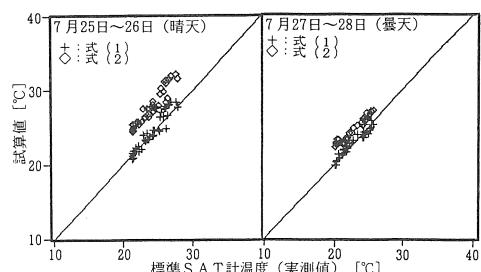


図-6 夏期SAT比較

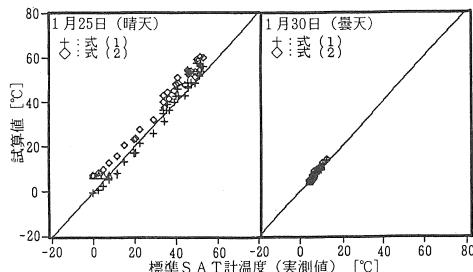


図-7 冬期SAT比較

ト+)は、一対直線に近い位置にあるが、実効放射量を省略した式(2)（図中プロット◇）の計算値は、実測値よりも高いSAT値を示している。図-6のプロット◇は、夜間のため式(2)の日射量が無く、外気温度と同じ値となる。

以上のように、実効放射量を省略すると、SATの実測値と計算値に差異が生じる。特に、本システムのように夜間に放射冷却作用を利用するシステムでは、必要不可欠な因子であることからも実効放射量は省略すべきものではない。また、日中においても実効放射量は存在することから、検討の対象となるシステムによっては、十分考慮する必要がある。

4. 気象変動とシステム特性

4-1 気象とシステムCOPの日変動

図-8-A, Bは、夏期晴天日におけるシステムの運転状況である。風速は1~3m/sで比較的安定し、実効放射量^(注2)は、晴天日^(注3, 4)のため約-50kcal/m²hの一定値を示す。システムCOPは、いくぶん変動するがほぼ一定値で推移し、平均で2.8である。曇天日もほぼ同様の挙動を示すことを確認している。なお、雨天日は、一般的に実効放射量がほとんどなく、外気温度は、晴天日・曇天日よりも低く、平均して約25°C以下の低温になることから、COPも3.3と増加する。また、連続した降雨はパネル面での放熱を促進させることから、COPの上昇に有効であった。

図-9-A, Bは、冬期晴天日におけるシステムの運転状況でCOPは平均4.5と高く、比較的日射量の変動と同様に変化する。曇天日もほぼ同様の挙動であることを確認している。また雨天日では日射量がほとんど無いため、空気よりの集熱が主となり、COPは約3.0でほぼ一定の値で推移している。なお、実効放射量はほぼ0kcal/m²hである。

夏期、冬期共、運転終了時に近づくほどCOPが低下するのは、蓄熱槽への蓄熱が進むことによる。

天候の違いによる運転特性を明らかにするために、夏期、冬期をそれぞれ天候の違いにより区分^(注4)し、COPを目的変数に、各気象因子を説明変数とした重回帰分析を行った。その結果が表-3で、夏期及び冬期の気象に対し、晴天日、曇天日及び雨天日共、それぞれ0.73~0.88と比較的の重相関係数が高いことから各気象因子が、COPに影響を与えていることが確認された。夏期の特性として晴天日、曇天日、雨天日になるにつれて実効放射量が少なくなり、放射冷却による放熱が期待できなくなることから、実効放射量の偏相関係数も0.56から0.07に低下する。

また、冬期、雨天日では、日射からの集熱が期待できなくなるため、日射量の偏相関係数が0.20で、他の説明変数に比べて極端に低くなる。

なお、本項では、気象とシステムCOPの関連を明らかにするため、説明変数を気象因子に限定したが、冷凍機に関連する冷媒温度や圧力等の因子を取り入れると相関係数はより向上する。

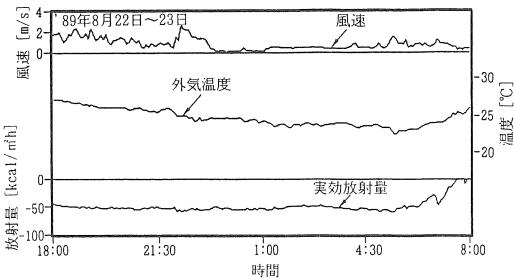


図-8-A 夏期の気象変動 (晴天日^{注3, 4}実測値)

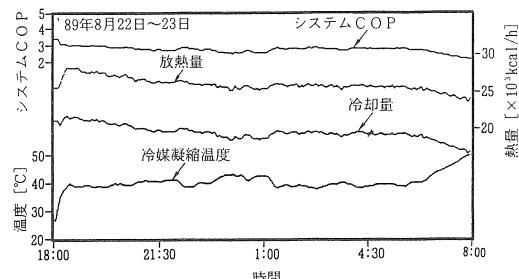


図-8-B 夏期の運転特性 (晴天日^{注3, 4}実測値)

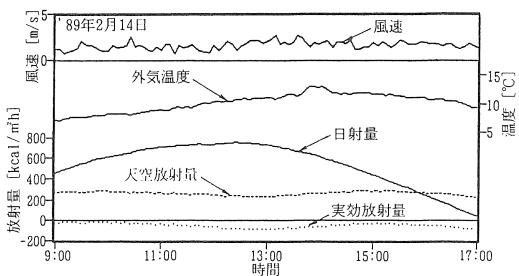


図-9-A 冬期の気象変動 (晴天日^{注3, 4}実測値)

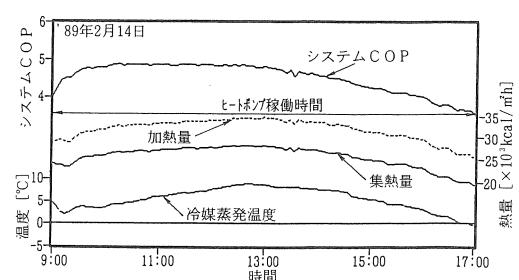


図-9-B 冬期の運転特性 (晴天日^{注3, 4}実測値)

表-3 天候別運転特性結果（実測値）

期間	1989年 / 1993年	夏期(8月)				冬期(2月)			
		晴天日	曇天日	雨天日	晴天日	曇天日	雨天日		
データ数	490	322	381	201	313	302			
目的的変数		重相関係数		重相関係数		偏相関係数		偏相関係数	
システム COP		0.73	0.75	0.76	0.86	0.86	0.88		
説明変数数		偏相関係数		偏相関係数		偏相関係数		偏相関係数	
X ₁ :外気温度		0.59	0.46	0.34	0.49	0.25	0.25		
X ₂ :日射量		—	—	—	0.82	0.78	0.20		
X ₃ :空気放射量		—	—	—	—	0.25	0.07	0.37	
X ₄ :実効放射量		0.56	0.28	0.07	—	—	—		
X ₅ :風速		0.61	0.70	0.54	0.18	0.07	0.28		
X ₆ :降雨の有無		—	—	0.61	—	—	—		
分散比 F-RAT		185.4	139.4	3.32	141.4	207.0	187.8		
F 値 (1%)		3.78	3.32	3.32	3.32	3.02	3.02		
重回帰式	晴天日	$Y = -0.051X_1 + 0.02X_2 + 0.16X_3 + 4.93$				$Y = -0.050X_1 + 0.0016X_2 + 0.0014X_3 + 0.07X_4 + 3.61$			
	曇天日	$Y = -0.06X_1 + 0.004X_2 + 0.22X_3 + 4.10$				$Y = -0.019X_1 + 0.001X_2 + 0.0005X_3 + 0.02X_4 + 2.98$			
	雨天日	$Y = -0.05X_1 + 0.003X_2 + 0.15X_3 + 0.30X_4 + 3.90$				$Y = -0.08X_1 + 0.0016X_2 + 0.025X_3 + 0.08X_4 + 3.86$			

4-2 蓄熱槽の運転特性

本蓄熱システムは、夜間の蓄冷と昼間の放冷による1日単位の負荷時間の移転、槽容積の縮少を主目的としたスタック型の蓄熱槽を有するシステムである。夏期、蓄熱から放冷運転における蓄熱槽の熱特性を図-10～13に示す。蓄熱から放冷運転の1サイクルは、蓄冷時間を18:00～8:00、放冷を8:00～15:30とした。

○蓄冷運転結果

図-10は、実験1の蓄熱槽底板からの高さ0,400,800,1200mmの4ポイントの水温変化を30分ごとに示したものである。時間の経過にしたがい槽内各部の水温がどのように変動するかを分析することにより蓄冷状況がわかる。これによると19:00までは、槽上部ほど水温が高い状態であるが、19:30以降は槽上部ほど水温が低い状態になる温度成層の逆転現象が起こる。これは、4°Cを境に水の密度が反転する為と考えられる。また、上部コイルは、21:00に着氷状態になったことを目視により確認しているが、その時の槽内水温は、槽底(0mm)を除いて0~1°Cであることから、槽内のコイル表面には均一に着氷が開始されたと推定される。

氷蓄熱槽の性能評価値として、氷充てん率（IPF : Ice Packing Factor）⁹⁾がある。本蓄熱槽のIPFの経時変化を表したものが図-11である。実験4は、降雨で外気温度が低いことから冷凍機に有利な運転となり、IPFの増加が大きいが他の実験1, 2, 3も4とほぼ同様な増加傾向を示す。これらから、IPFは直線的に増加し、35~45%の範囲にあり、実験4において氷厚センサの感知による運転停止時（6:30）に最大約45%の値を得た。

○放冷運転結果

放冷運転は、蓄熱槽内の解氷と空調機への供給冷水の状態により評価した。槽からの冷水取り出し水量は、図-2、表-2に表すように、循環ポンプAにより、

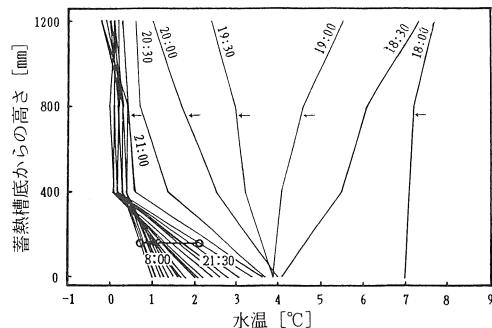


図-10 蓄冷時 時刻別槽内水温垂直分布 [実験1]

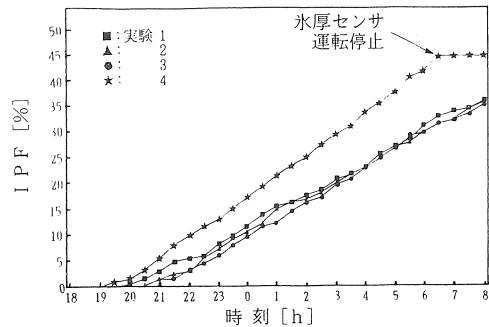


図-1-1 I P F の経時変化

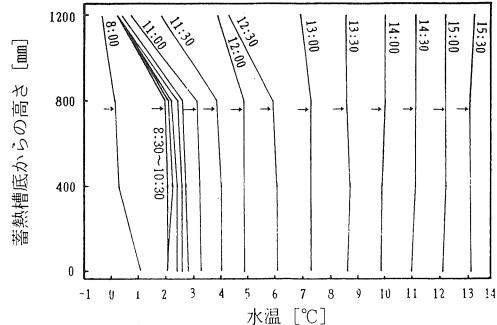


図-12 放冷時 時刻別槽内水温垂直分布〔実験1〕

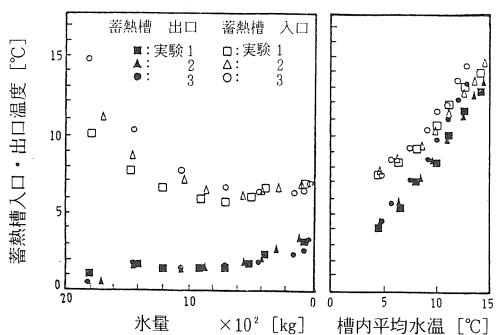


図-13 氷量・槽内平均水温と蓄熱槽出入口水温
[実験1]

90 ℥/minの循環水量になっている。

図-12は蓄冷時と同様に、実験1の蓄熱槽底板からの高さ別の水温を30分ごとに表したものである。放冷開始の8:00から150分経過した10:30までの槽内は、3°C以下に維持され、解氷が順次進んでいると判定される。また、0~800mmにおいては、各時間ごとの水温はほぼ均一であり、13:00以降は全ポイントにおいて均一となる。これは槽下部の冷水放出形がヘッダー状になっており、下部より上部の流れが槽内全体を混合状態にするためと考えられる。一般には、冷水出口を下部にとるが、均一解氷を考慮して出口を上部にとることも放冷運転として有効であることが確認できる。

図-13は、水量・槽内平均水温と蓄熱槽出口水温の関係を示したものである。図の左側は、8:00~11:30までの温度変動を示す。開始直後の入口水温が10~15°Cと高いのは二次側の冷温水槽が高温であるためで、時間が経つと5~8°Cに安定する。しかしながら、この時間帯では出口水温の上昇はほとんどないことから、負荷に対応して解氷が進んでいると判断される。図-13の右図は12:00以降で、急速に昇温していることから解氷終了後の放冷状態と考えられる。以上から解氷状態では、潜熱利用、解氷終了後は、顯熱利用で適切に空気調和の負荷に対応したと評価される。

5. 長期運転特性

図-14、15は、5年間（1989~1993年）の実際運転時間による性能評価を行うため、気象要因と一日の平均及び年度平均システムCOP値を示したものである。各値は運転日の値を日平均した値で、運転日が少ないので、当システムの利用形態が実用と研究の両用途に供されているためである。気象要因が、一部欠測により揃っていない日も含めているので、データ数に偏りがあるが、夏期、冬期共に気象の影響を受けながらも順調な運転が行われている。

図-14は、夏期の運転実績で平均外気温度、実効放射量と共に平均COPの変動が認められるが、比較的一定値で運転されている。図-15は、冬期で平均日射量の変動と共に平均COPが大きく変動し、夏期と異なり日射量に対し強い相関が認められる。

5年間のシステム運転の実績COP値は、夏期においては、平均2.8（2.0~4.0）と変動が小さく、冬期は、平均3.7（2.5~5.5）と比較的の変動が大きい。長期運転結果によれば、夏期は外気温度、実効放射量、COP、冬期は日射量とCOPの相関が高い結果であった。なお、表-4、5に詳細データの一例として、1993年8月期における気象と運転実績を示す。

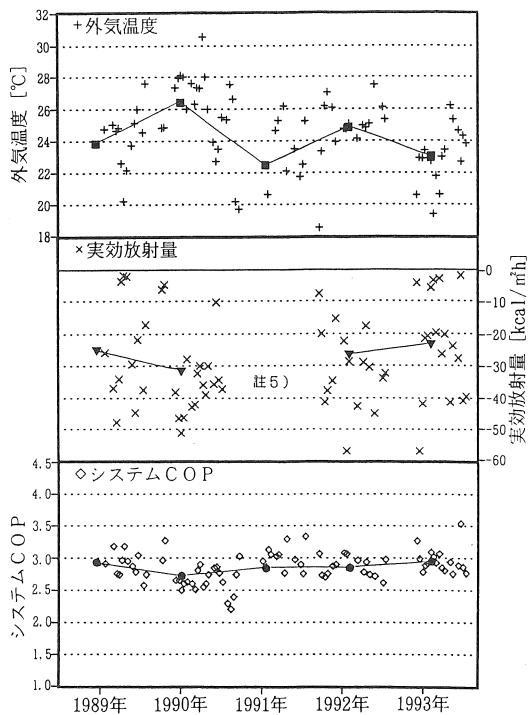


図-14 夏期COPと気象因子、年度平均

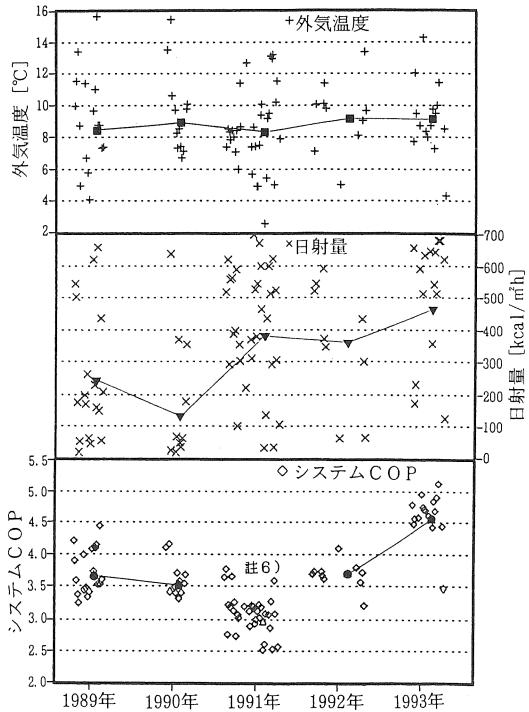


図-15 冬期COPと気象因子、年度平均

6. まとめ

ソルエアヒートポンプシステムの基礎実験及び実用運転を追跡調査し、以下のことを明らかとした。

●実効放射量は、省略すべきものではなく、特に、本システムのように夜間放射冷却作用を利用するシステムには必要不可欠な因子である。

●天候によっては、実効放射量が少なくなり、放射冷却作用が期待できなくなると、外気温度の因子が高く、実効放射量のシステムCOPに対する影響度が低くなる。

●IPFは、直線的に増加し、運転終了時には35~45%の範囲であった。また、氷厚センサの感知による運転停止時に最大約45%の値を得た。

●解氷状態では潜熱利用、解氷終了後は、顯熱利用で適切に空気調和の負荷に対応した。

●5年間のシステム運転のCOP実績値は、夏期においては、平均2.8(2.0~4.0)と変動が小さく、冬期は、平均3.7(2.5~5.5)と比較的変動が大きいが、実用システムとして十分な実績を得た。

以上、自然エネルギーを有効に利用した実用システムとして長期の運転実績を得た。なお、IPFやCOP等の特性値は、当システムの固有のものであるが、日射、外気、天空などと集熱や放熱をするシステムを検討する場合の基礎データになろう。

次報においてはSAT、パネル等の詳細な特性を報告する予定である。

謝辞

本研究の実験解析は、大橋研究室ソルエア班卒論生の労力であった。ここに記して謝意を表します。

表-4 システム運転時間内の気象(1993年度実測値平均)

運転日	天 気	外気温度 [°C]	天空放射量 [kcal/m²h]	実効放射量 [kcal/m²h]	風速 [m/s]	降雨時間 [min]
1993/8/10~8/11	●	20.6	358.7	-4.30	1.83	430
8/11~8/12	○	22.9	316.9	-57.0	1.01	0
8/12~8/13	○	22.8	332.9	-41.9	1.00	0
8/13~8/14	○	23.4	355.9	-21.5	1.31	85
8/14~8/15	○	22.8	353.8	-20.7	0.80	5
8/15~8/16	○	22.7	368.2	-5.7	1.27	90
8/16~8/17	○	19.4	354.1	-3.4	0.67	110
8/17~8/18	○	21.8	349.5	-19.7	0.80	5
8/18~8/19	○	20.6	360.6	-3.0	0.73	55
8/19~8/20	○	22.9	348.7	-26.5	0.90	0
8/20~8/21	○	23.4	357.5	-20.2	1.13	5
8/22~8/23	○	26.2	350.4	-41.5	1.54	0
8/23~8/24	○	25.3	363.5	-23.7	0.59	0
8/25~8/26	○	24.7	356.3	-27.6	1.40	0
8/26~8/27	●	22.6	371.9	-1.8	1.73	520
8/27~8/28	○	24.3	341.4	-40.8	2.98	15
8/28~8/29	○	23.9	340.4	-39.5	1.63	0

表-5 システム運転実績(1993年度実測値平均)

運転日	冷却量 [kcal/h]	放熱量 [kcal/h]	蒸発温度 [°C]	凝縮温度 [°C]	システム COP	運転時間 [h][min]
1993/8/10~8/11	20310	23109	-2.55	34.3	3.27	13h35
8/11~8/12	19497	22492	-0.54	39.8	2.99	13h45
8/12~8/13	19574	23142	-1.17	43.1	2.78	13h50
8/13~8/14	19901	23321	-1.10	41.3	2.88	13h50
8/14~8/15	20936	24584	0.88	27.0	2.90	2h20
8/15~8/16	20122	23157	-2.42	37.8	3.09	13h55
8/16~8/17	19652	22806	-2.47	37.5	3.01	13h45
8/17~8/18	19399	22579	-2.56	39.2	2.92	13h45
8/18~8/19	19806	22800	-2.55	36.7	3.06	12h45
8/19~8/20	19296	22611	-2.34	41.0	2.84	13h50
8/20~8/21	19300	22692	-2.07	42.0	2.81	13h50
8/22~8/23	19322	22440	2.50	43.6	2.93	13h50
8/23~8/24	18726	22119	1.13	45.1	2.76	13h55
8/25~8/26	20009	23327	-1.11	41.9	2.89	13h50
8/26~8/27	21418	24693	-2.25	31.9	3.55	13h50
8/27~8/28	19509	22730	-2.03	41.5	2.86	13h30
8/28~8/29	19092	22472	-1.28	40.8	2.77	13h10

(註1) 総合熱伝達率 α_0 は文献7)を参考にくり返しの実測を行い統計値を得た。

$$\alpha_0 = \alpha_o + \alpha_r$$

α_o : 総合熱伝達率 [$\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$]

α_o : 対流熱伝達率 [$\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$]

風速を実測し、ユルゲス⁸⁾の実験式により算出した。

α_r : 放射(輻射)熱伝達率 [$\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$]

$$\alpha_r = \epsilon \cdot \sigma (T_s^{-4} - T_o^{-4}) / (SAT - \theta_0)$$

ϵ : 放射率 [-] を 1 とした。

σ : シュテファン・ボルツマン常数 ($4.88 \times 10^{-8} \text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{K}^4$)

T_s : SAT 実測値絶対温度 [K]

T_o : 外気実測値絶対温度 [K]

θ_0 : 外気実測温度 [$^\circ\text{C}$]

上式から、長期実測による統計値として、

$\alpha_r = 4 [\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}]$ を得た。また文献8)によれば、 $\alpha_r = 4 \sim 4.4 [\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}]$ であることから統計より求めた値は有効と判断した。

(註2) 日中における天空放射量の算出は、ポリエチレンドーム付風防型放射計の短波長域感度と長波長域感度が異なるため、計測器のセンタ一部分の熱収支式を立て、晴天日に、全天日射計及び放射収支計に入射する直達日射を、一定の時間おきに遮蔽を繰り返すことで、その出力を得て、短波長域感度係数の検定を行い、その係数を用い放射収支計を補正し、天空放射量を算出した。この手法は文献10)に詳しい。

(註3) 夏期は、18:00から8:00、冬期は、9:00から17:00までの運転時間内におけるデータで晴天日の代表的例。

(註4) 天候区分は、夏期においては8月の八王子天気相談所・HASP標準気象データを用い、18:00から6:00の天気が○(快晴)で、実効放射量の絶対量が平均約40kcal/ m^2h 以上ある日を晴天日。天気が○(くもり)で外気温度が晴天日同様、実効放射量が平均200kcal/ m^2h 以下である日を曇天日とした。天気が●(雨)で、降雨が確認された日を雨天日とした。冬期は、『建築気候』¹¹⁾斎藤平蔵著 P.144を参考に平均日射量が300kcal/ m^2h 以上を晴天日、300kcal/ m^2h 未満を曇天日、300kcal/ m^2h 未満で降雨が確認された日を雨天日とした。

(註5) 1991年夏期は、放射収支計の一部に欠測があったため、平均値を算出していない。

(註6) 1991年冬期は、一部にシステムの故障があつたため、平均値を算出していない。

引用文献

- 1) 大橋一正、中島康孝、白石帰一、日野俊之、望月慎太郎、内山忠、柏谷敦、中村准二：ソルエアヒートポンプシステムの最適運転法に関する研究（その1～6），日本太陽エネルギー学会研究発表講演論文集，(1987～1991)
- 2) 大橋一正、中島康孝、日野俊之 他：太陽・空気熱源蓄熱式ヒートポンプシステムの最適化に関する研究（その1～10），日本建築学会学術講演梗概集，(1988～1994)
- 3) Mackey, Wright : Heating Piping Air Conditioning, (1942)
- 4) 建築学大系編集委員会編：建築学大系 8, (1969), PP. 331, 彰国社
- 5) 斎藤平蔵：太陽集熱器の試験方法と性能表示法、空気調和・衛生工学論文集, NO. 39, (1989)
- 6) 田中俊六：太陽熱冷暖房システム，(1980)オーム社
- 7) 建材試験センター規格：SAT 計による建物周壁の放射空気温度測定法, JSTM J 6110-1992, (1992)
- 8) 田中俊六、足立哲夫 他：最新建築環境工学, (1985), 井上書院
- 9) 日本工業標準調査会：氷蓄熱システム用語, JIS B 8624-1993
- 10) 浦野良美、渡辺俊行 他：水平面大気放射量の観測と部材外表面に入射する長波長放射量について, 日本建築学会論文集, 第330号, (1983)
- 11) 斎藤平蔵：建築気候, (1991), 共立出版

参考文献

- a) 日野俊之：太陽熱利用ヒートポンプシステム、空気調和衛生工学, 第60巻 第1号, (1986)
- b) 斎藤武雄、吉岡正治 他：放射冷却による原子力発電所排熱の宇宙放散, 日本太陽エネルギー学会研究発表講演論文集, (1988)
- c) 伊藤定祐、三浦直勝 他：夜間放射冷却の研究（自然循環による蓄冷）, 日本太陽エネルギー学会研究発表会講演論文集, (1984)
- d) 松田守弘、寺田重雄 他：放射冷却の基礎実験, 太陽エネルギー VOL. 10, NO. 1, (1984)
- e) 一木明紀：長波長・短波長および全波長の下向き放射量と放射収支量の季節変動, Journal of Meteorological Research VOL. 31, Nos. 3-4, (1979)
- f) 山本義一：新版気象学概論, (1991), 朝倉書店
- g) 内嶋善兵衛：農林・水産と気候, (1992), 朝倉書店