

## 北見工業大学自然エネルギーシステムの性能（III）

Performance Evaluation on the Renewable Energy Laboratory  
at Kitami Institute of Technology; Part 3

金山 公夫\*  
Kimio KANAYAMA  
馬場 弘\*\*  
Hiromu BABA  
福田 武幸\*\*\*  
Takeyuki FUKUDA

### Abstract

An experimental study of space cooling for the house No.1 of the renewable energy laboratory at Kitami Institute of Technology, or a hybrid system which consists of a vacuumed glass-tube solar collector and an absorption refrigerator, was carried out from the end of July to the middle of August in 1985. Since this summer was very hot, the space cooling is comfortable for residents even if in the northern region of Japan. Thus the measured data and evaluated numerals of the performance for eight days, each of which reached above 30°C of ambient temperature in the maximum, were analysed and treated as an available numeral. The experimental results as the average value for the eight days are as follows : The cooling temperature of two rooms (measurement room and study room) ranged from 23 to 27°C and the temperature of the storage tank from 80 to 84°C in daily average value, the collection efficiency for the solar system is 0.752, the solar fraction for the refrigerator is 0.677, the coefficient of performance for the refrigerator, COP, is 0.397, the coefficient of performance for the total system, (COP)<sub>s</sub> is 0.773, and the attainable rate of system performance to Carnot cycle efficiency is 0.451 respectively.

**Key Words :** Space cooling, Vacuumed glass-tube solar collector, Absorption refrigerator, COP of the refrigerator, (COP)<sub>s</sub> of the system

### 1. まえがき

北見工業大学自然エネルギー実験室は、ソーラシステム・ヒートポンプ・ウォーターチラーの設備を有する太陽熱暖冷房給湯のための実験システムである。このうちソーラヒートポンプシステムによる暖房に関する性能評価は既に報告<sup>1)~4)</sup>され、今回はソーラウォーターチラーシステムによる夏期冷房実験の結果について報告する。

この種の個人住宅規模の太陽熱冷房実験<sup>5), 6)</sup>は過去にも行われたが、気象条件と結果の整理法を異にするものである。

北海道東北部の北見地方の夏は強い日射のため日中の気温が30°C以上になることがしばしばあり、このような日には太陽熱冷房が適している。昭和60年はいわゆる暑い夏で、本自然エネルギー実験室において7月下旬から8月上旬にかけての8日間にわたって、ソーラシステムとウォーターチラー（吸収式冷凍機）を組み

入れたいわゆるソーラウォーターチラーシステムによる本学自然エネルギー実験室1号棟の冷房実験を行った。この報告は、システム各部の温度、流量、熱量、室内温度および日射、気温などの気象量の測定値を得て、各種の依存率、効率、成績係数などの性能値を熱力学的観点から算出してシステムの一般的な性能評価を行い、さらに、システムのカルノーサイクル達成率の点から若干の考察を加えたものである。

### 記号および性能値

$Q_{J30}$ : 30°C傾斜面日射量	M J
$Q_c$ : 集熱量	M J

\* 北見工業大学 教授

Dept. of Mechanical Engineering, Kitami Institute of Technology, Professor

\*\* 北見工業大学 助手

ibid, Research Associate

\*\*\* 北見工業大学 技官

ibid, Technician

$Q_S$	: 太陽有効熱量 (ソーラ熱量)	M J
$Q_B$	: 補助ボイラ供給熱量	M J
$Q_b$	: 補助ボイラ有効熱量	M J
$Q_{CE}$	: 集熱ポンプ電力 (ソーラ電力) 热当量	M J
$Q_{PE}$	: 冷温水循環ポンプ電力の熱当量	M J
$Q_{WE1}$	: 冷凍機 1 次側加熱量	M J
$Q_{WE2}$	: 冷凍機 2 次側冷却熱量	M J
$Q_{CO,T}$	: 冷却塔放熱量	M J
$\eta_C$	: 集熱効率 ( $= Q_C / Q_{J30}$ )	
$\eta_{CE}$	: ソーラ電力率 ( $Q_{CE} / Q_C$ )	
$F_S$	: システム太陽依存率 ( $= Q_C / (Q_C + Q_B + Q_{CE} + Q_{PE})$ )	
$F_B$	: システムボイラ依存率 ( $= Q_B / (Q_C + Q_B + Q_{CE} + Q_{PE})$ )	
$F'_S$	: チラーソーラ依存率 ( $= Q_S / (Q_S + Q_b)$ )	
$F'_B$	: チラーボイラ依存率 ( $= Q_b / (Q_S + Q_b)$ )	
COP	: 冷凍機成績係数	
	$COP_1 = Q_{WC2} / Q_{WC1}$	
	$COP_2 = Q_{WC2} / (Q_{WC1} + Q_{PE})$	

表 1 真空ガラス管型集熱器 (F社) の仕様

形 式	F E S 6	F E S 8
集熱ガラス管本数	6	8 (本)
集熱ガラス管ピッチ	158	123 (mm)
有効集熱面積	1.36	1.81 (m <sup>2</sup> )
保有水量 (ヘッダ部含む)	2.9	3.4 (l)
集熱板、集熱管	アルミ選択吸収膜付き、銅管	
選択吸収特性	太陽光吸収率 $\alpha \geq 0.91$ 、放射率 $\varepsilon \leq 0.12$	
集熱板傾斜角度	30°	
流 量	標準 2 l/min で可変	
圧力損失	57 (2 l/min)、136 (4 l/min) mmAq	

表 2 吸収式冷凍器 (Y社、WFC-400 S) の仕様

呼称能力	1.3 RT
冷凍能力	4000 kcal/h
冷 水	冷水出口温度 9 °C (最低 8 °C) 冷水出入口温度差 5 °C 冷水循環量 13.3 l/min 蒸発器圧力損失 1.6 mH <sub>2</sub> O 蒸発器使用最大圧力 3 kg/cm <sup>2</sup> 成績係数 0.6
熱 媒	熱媒インプット 6670 kcal/h 熱媒入口温度 88 °C (75~100 °C) 熱媒出入口温度差 6 °C 熱媒循環量 18.5 l/min 再生器圧力損失 1.0 mH <sub>2</sub> O 再生器使用最大圧力 1 kg/cm <sup>2</sup>
冷 却 水	冷却水放熱量 10,670 kcal/h 冷却水入口温度 29.5 °C (24~31 °C) 冷却水出入口温度差 5 °C 冷却水循環量 35.6 l/min 冷却水器内圧力損失 1.5 mH <sub>2</sub> O 冷却水系使用最大圧力 3 kg/cm <sup>2</sup>
冷 却 水 循 環 ボ ン ド	電 源 単相 100V 電動機定格入出力 195W, 100W 電動機定格電流 2.2 A 揚程 × 流量 8.1 mH <sub>2</sub> O × 13.3 l/min バラジウムセルヒーター 単相 100V, 20W

M J	(COP) <sub>s</sub> : システム成績係数 [ $= Q_{WC2} / (Q_B + Q_{CE} + Q_{PE})$ ]
M J	$\overline{COP}_c$ : カルノーエンジン冷凍機総合成績係数
M J	$R_{carnot}$ : カルノーサイクル達成率
M J	$R'_{carnot} : COP / \overline{COP}_c$
M J	$R_{carnot} : (COP)_s / \overline{COP}_c$

## 2. 実験施設および方法

実験施設に関する詳細は前報<sup>1~4)</sup>に説明してあるので、ここでは省略する。

太陽集熱器には高温集熱に適する真空ガラス管型集熱器(図1および表1)を用い、ガラス管6本のもの(1.36 m<sup>2</sup>)を3モジュールと8本のもの(1.81 m<sup>2</sup>)を3モジュール設置し、合計集熱面積は9.54 m<sup>2</sup>である。真空ガラス管型集熱器は集熱用フィンチューブが納めらされているガラス管内が10<sup>-4</sup> mm Hg程度の真空中に保たれ、真空断熱により対流熱損失が抑制される。そのため吸収式冷凍機の加熱用に用いられる80~90°C程度の高温集熱の際の集熱効率が高い。冷凍機には臭化リチウムを吸収済、水を冷媒とする冷凍能力1.3 RTの太陽熱用吸収式冷凍機を用い、その仕様を表2に、性能曲線の1例を図2に示す。ソーラシステムとウォーターチラーシステムからなるソーラウォーターチラーシステムのフローを図3に示す。

設置面積の関係で集熱器の規模が建物床面積(96 m<sup>2</sup>)

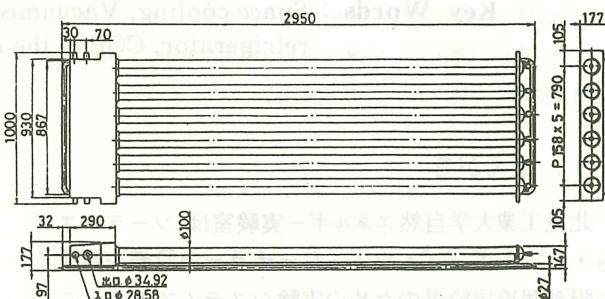


図1 真空ガラス管型集熱器(FES 6)の形状と寸法

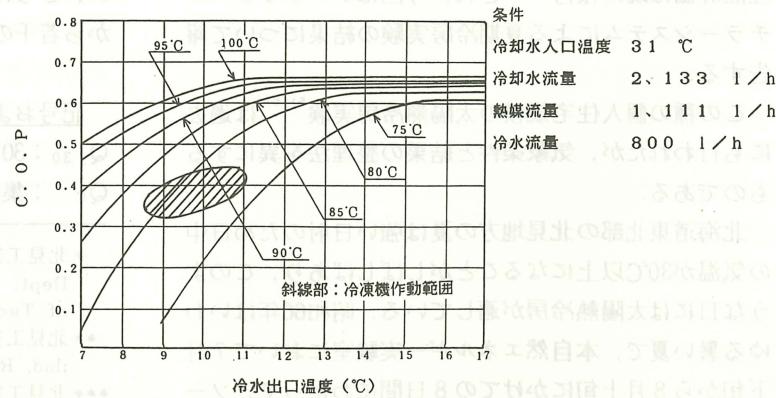
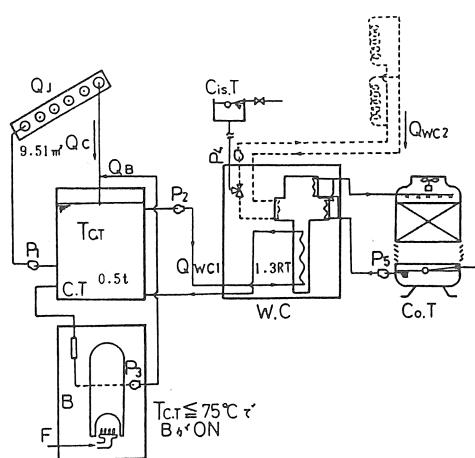


図2 吸収式冷凍機の性能曲線



C.T : 集熱タンク W.C : 吸収式冷凍機 Cis.T : シスター  
 Co.T : クーリングタワー F : 燃料 P<sub>1</sub> : 集熱ポンプ P<sub>2</sub> : 高温水ポンプ  
 P<sub>3</sub> : 熱湯ポンプ P<sub>4</sub> : 冷温水ポンプ P<sub>5</sub> : 冷却水ポンプ  
 T<sub>C.T</sub> : 集熱タンク温度 B : 補助ボイラ

図3 ソーラウォーターチラー冷房装置のシステムフロー

の1/10しかとれず、そのために補助ボイラの援助を受けるが、冷房負荷が6 MJ/hと小さいので6割程度の太陽依存率で熱供給が可能である。

太陽熱は真空ガラス管集熱機で80°C程度の高温水になって集熱タンク(0.5 t)に貯えられ、この高温水を吸収式冷凍機の一次側に供給して二次側で得られた10°C前後の冷水を計測室および研究室のファンコイルに送って冷風を取り出し、冷房を行う。その際、冷凍機加熱量と室内からの吸収熱量は屋外の冷却塔(クーリングタワー)から大気に放熱される。補助ボイラの起動は集熱タンク温度が75°Cに低下したときに、また冷凍機の停止は計測室壁面の気温が約20°Cに低下したときに、それぞれサーモスタットが動き、自動的に発停が行われる。

実験は午前9時の天候が快晴または晴れた日に実施し、日中最高気温が30°Cを超えた8日間の結果をデータとして採用した。測定はシステム各部の温度、流量、熱量、室内温度および気象量について行い、10分毎に測定値をプロコスVII(90点)およびパソコン(PC-8801)のフロッピディスクにデジタル量で納め、そのうち主要な測定値はさらに打点式記録計(24点)にアナログ量として記録させた。性能値の算出等は別のパソコン(PC-9801)を用いて所定の計算処理を行った。

実験の手順はまず午前8時から9時の間に補助ボイラを手動で作動させ、集熱タンク温度を85°Cまで昇温させ初期温度の設定を行い、その後は太陽熱と補助ボ

イラの自動点滅で集熱タンク温度を75°C以上に維持する。冷凍機は午前9時に始動させ、7月中は、計測室壁面に設置されたサーモスタットの制御温度を25°Cと高く設定したため、冷凍機は何度か発停を繰り返したが、8月に入ってこれを19°Cと低く設定し直したため、冷凍機はほぼ連続運転を行った。冷房運転の時間帯は午前9時から午後4時までの7時間である。

### 3. 測定結果および考察

測定期間中の特定日における終日の冷房実験の結果を図4(a)~(c)に示す。図の(a)は期間中の結果が最も良い日のもの、(b)は結果が悪い日のもの、また(c)は外気温度が最高の日のものである。測定結果から期間中全般的にいえることは、10分間に3 MJ以上の集熱量のある時間帯は集熱タンク内温度が80°C以上に保たれ、補助ボイラの援助を受けることなしに太陽熱冷房が行われる。

図4(a)(昭和60年7月27日)は期間中の日射量、集熱量、太陽依存率、集熱効率およびシステム成績係数が最高で、システム成績係数が唯一1を超えた日のものである。日射量は変動しているが平均値は大きく、3 MJ/10分(18 MJ/h)以上の安定した集熱量が得られ、午前中は初期設定熱量と集熱量の合計で集熱タンク内の温度は80°C以上に保たれる。したがって補助ボイラは点火しない。午後になって日射量が若干減って集熱タンク温度が75°Cに低下したので、ボイラが断続的に作動してタンク内温度を75°C以上に維持している。その間外気温度は30~35°Cで推移するが、冷凍機は6回発停して冷水出口温度の上昇を伴うものの、計測室と研究室の平均室温は26~27°Cに保たれて快適な冷房が行われている。図4(b)(8月3日)は日射量、集熱量が悪く、したがって太陽依存率、冷凍機成績係数、システム成績係数が最低に近い日のものである。集熱量が少なく、冷凍機が始動して間もなく集熱タンク温度が急激に低下し、補助ボイラが点火し、その後も頻繁に点滅を繰り返す。冷房運転中の外気温度は27~32°Cと比較的低く、しかも冷凍機はほぼ連続運転を行っているため、2室(計測室と研究室)平均温度は約23°Cと低く、過度の冷房が行われる結果となった。図4(c)(8月10日)は午前中快晴で日射量、集熱量が大きいが、午後に曇ってそれらが低下し、全体で中位の集熱量の日のものである。冷凍機の始動は予定より1時間弱遅れたが、強い日射で午前中は補助ボイラは点火せず、12時半から点滅を繰り返す。外気温度は30~37.5°Cで測定期間中の最高気温を示したが、冷凍機の連続運転で2室平均温度は27.5°Cを維持できた。

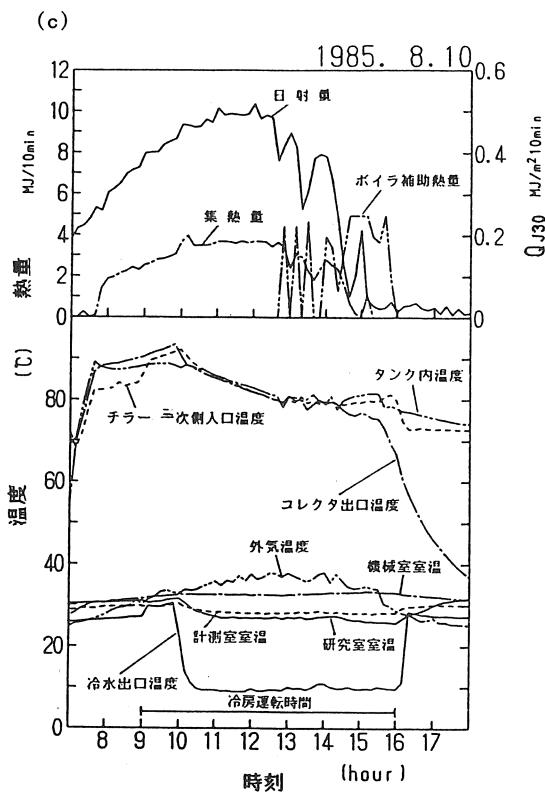
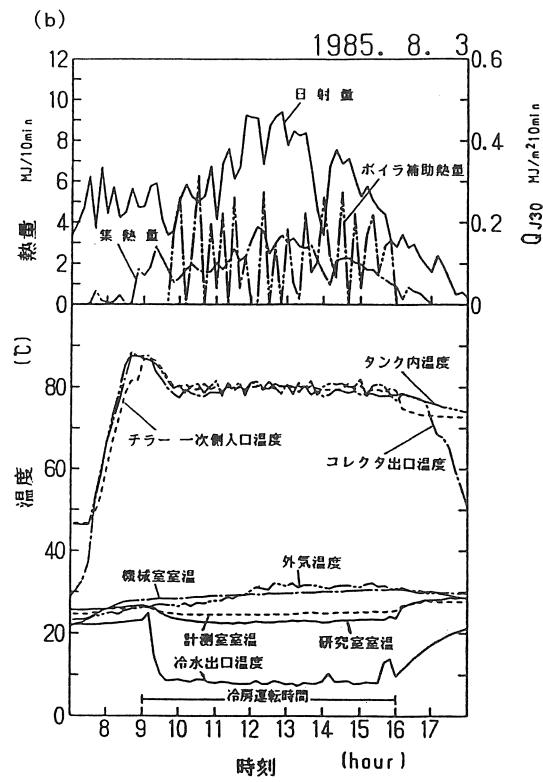
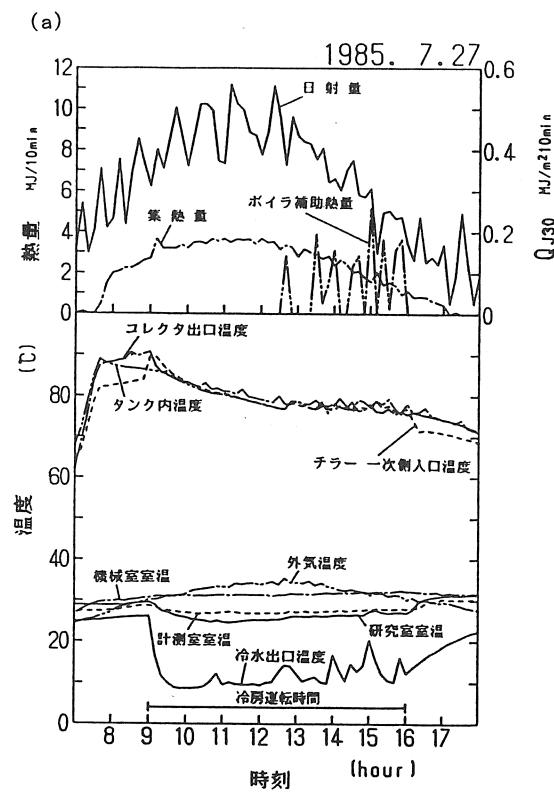


図 4 (a) ~ (c) 測定値の時間的変化

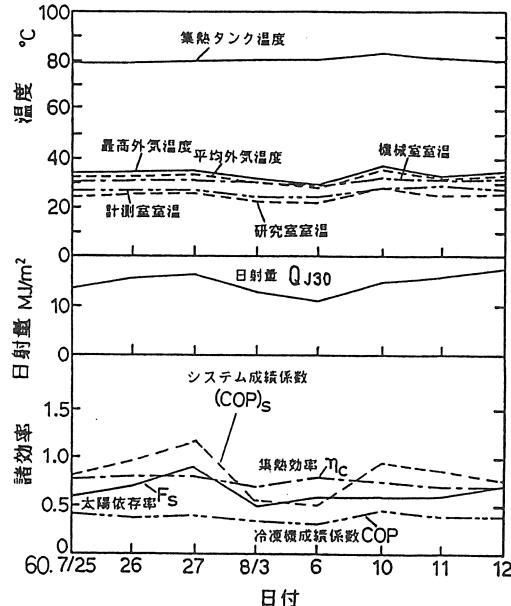


図 5 8日間の測定値および性能値の比較

表3 8日間の測定値および性能値(熱量の単位はMJ)

月 日	Q <sub>J30</sub>	Q <sub>c</sub>	Q <sub>s</sub>	Q <sub>B</sub>	Q <sub>b</sub>	Q <sub>CE</sub>	Q <sub>PE</sub>	Q <sub>WC1</sub>	Q <sub>WC2</sub>
7/25	129.1	99.6	58.2	39.1	33.8	3.88	2.93	92.1	38.4
7/26	149.5	117.6	90.8	40.2	25.2	4.68	3.74	116.0	46.9
7/27	155.8	124.3	97.2	33.1	15.0	4.67	3.51	112.2	46.0
8/3	125.4	90.0	80.4	79.5	57.8	5.61	4.21	138.2	49.0
8/6	105.3	83.3	75.8	82.2	64.0	4.86	4.21	139.8	46.7
8/10	141.2	107.2	90.4	59.5	53.6	5.07	4.21	144.0	65.1
8/11	152.8	108.9	101.7	64.2	49.4	5.46	4.56	151.1	64.1
8/12	167.8	116.8	99.2	62.3	41.1	5.22	4.10	140.3	54.2
平均	140.9	106.0	87.5	57.5	41.7	4.93	3.93	129.2	51.3

表3 (その2)

月 日	Q <sub>CO2T</sub>	$\eta_c$	$\eta_{CE}$	F <sub>s</sub>	F <sub>B</sub>	F' <sub>s</sub>	F' <sub>B</sub>	COP	
								COP <sub>1</sub>	COP <sub>2</sub>
7/25	130.5	0.771	0.039	0.684	0.269	0.632	0.368	0.417	0.404
7/26	162.9	0.787	0.040	0.707	0.242	0.783	0.217	0.404	0.392
7/27	158.2	0.798	0.038	0.751	0.200	0.866	0.134	0.410	0.398
8/3	187.2	0.718	0.062	0.502	0.443	0.582	0.418	0.355	0.344
8/6	186.5	0.791	0.058	0.477	0.471	0.542	0.458	0.334	0.324
8/10	209.1	0.759	0.047	0.609	0.338	0.628	0.372	0.452	0.439
8/11	215.2	0.713	0.050	0.595	0.351	0.673	0.327	0.424	0.412
8/12	194.5	0.696	0.045	0.620	0.331	0.707	0.293	0.386	0.375
平均	180.5	0.752	0.047	0.615	0.334	0.677	0.323	0.397	0.385

表3 (その3)

月 日	(COP) <sub>s</sub>	COP <sub>c</sub>	R' carnot		R carnot
			COP <sub>1</sub> /COP <sub>c</sub>	COP <sub>2</sub> /COP <sub>c</sub>	
7/25	0.836	1.782	0.234	0.227	0.469
7/26	0.965	1.728	0.234	0.227	0.558
7/27	1.114	1.746	0.235	0.228	0.638
8/3	0.549	1.761	0.202	0.195	0.312
8/6	0.512	2.017	0.166	0.161	0.254
8/10	0.946	1.440	0.314	0.305	0.657
8/11	0.864	1.709	0.248	0.241	0.506
8/12	0.757	1.531	0.252	0.245	0.494
平均	0.773	1.714	0.232	0.225	0.451

8日間の測定結果について1日毎に測定値および性能値をまとめると図5および表3のとおりである。図5において外気温度、室温、太陽依存率、冷凍機(チラー)成績係数、システム成績係数は日射量に比例して増減するが、集熱タンク温度、集熱効率は日射量による明瞭な変化はみられない。集熱タンク温度は補助ボイラによる初期加熱の程度によっても変化し、集熱効率は日射量とタンク温度の両方に影響されるためと思われる。8日間の結果から最高外気温度30~37.5°C、2室平均温度23~27.5°C、集熱タンク温度80~84°Cに対して、平均チラー太陽依存率0.677、システム太陽依存率0.615、集熱効率(フィン面積基準)0.752、チラー成績係数0.385、システム成績係数0.773など良い性能を得ることができた。チラーおよびシステムの成績係数は単に日射量(タンク内温度)すなわち冷凍機加熱温度のみでなく、図2に示すごとく冷却水温度(凝縮器温度)すなわち外気温度、および冷水温度(蒸発

器温度)すなわち室内温度にも大きく影響されるので、これらを含めて総合的に判断しなければならない。ただし、これら性能値の計算において、集熱タンクの初期温度設定のための補助ボイラー熱量は入熱に含まれていない。

つぎに吸式冷凍機を理想化して、太陽熱駆動カルノー熱機関と逆カルノー冷凍機の組み合わせに置換え、集熱タンク温度、大気温度および冷水温度を基準に求めた総合成績係数COP<sub>c</sub><sup>7)</sup>は表3に示すごとく8日間の平均で1.71(1.44~2.02)、同様にチラー成績係数は0.385(0.324~0.439)、システム成績係数は0.773(0.512~1.114)、したがってカルノーサイクル達成率はチラー単独で0.225(0.161~0.305)、システム全体で0.451(0.254~0.657)に達したが、熱源温度の上昇、冷却水温度の低下、冷水温度の適正値維持などの励行により、現状でもシステムとしてのカルノーサイクル達成率は平均で0.60程度は可能と思われる。

ただし、補助ボイラ熱量を考慮に入れるとこれらの値は0.7倍程度に低下する。したがって太陽熱のみでこれと同等の性能を得るために集熱器面積を現在の1.6倍程度に増大する必要がある。

#### 4. むすび

北見工業大学自然エネルギー実験室のソーラウォータチラーシステムによる太陽熱冷房実験を行って、次の結果を得た。

1) 北海道東北部の北見地方は真夏の強い日射を受けて気温がしばしば30°C以上に上昇するが、太陽熱冷房により室内の環境を快適に保つことができる。

2) その際、冷房負荷は小さいので冷房床面積に対する集熱面積の割合は小さくてよい。

3) ソーラーシステムの成績係数が大きいので、ソーラウォータチラーシステムのカルノーサイクル達成率は大きな値となる。

本研究の実験遂行およびデータ整理にあたって、本学大学院（機械工学専攻）昭和62年修了の山本政樹君

および機械工学科昭和61年卒業の後藤誠一君の協力を得たことを付記して感謝する。

#### 文 献

- 1) 金山公夫、馬場弘、福田武幸、太陽エネルギー12, 5 (昭和61-9), PP. 13~20.
- 2) 金山公夫、馬場弘、福田武幸、太陽エネルギー13, 2 (昭和62-3), PP. 12~17.
- 3) 金山公夫、馬場弘、山本政樹、日本機械学会論文集, B, 52, 484, (昭和61-12), PP. 4046~4052.
- 4) 金山公夫、馬場弘、山本政樹、日本機械学会論文集, B, 54, 499, (昭和63-3), PP. 728~733.
- 5) 石橋敏宏、空気調和・衛生工学, 50, 4, (昭和51-4), PP. 67~77.
- 6) 石橋敏宏、猿田容祥、日本太陽エネルギー学会第3回研究発表会講演論文集, PP. 41~44.
- 7) 田中俊六、太陽熱冷暖房システム、(昭和52), オーム社, P. 125.

(昭和63年5月12日 原稿受理)