

サンシャイン計画

—枚方ソーラーハウス概要と冬期運転実績—

サンシャイン研究グループ

The Sunshine Project

—A Short Review of the Hirakata Solar House and Measurement Results from the Heating Season—

Sunshine Research Group

Abstract

Ohbayashi-Gumi, Ltd. and Sanyo Electric Company, Ltd. have been conducting research on a solar heating and cooling system and a solar building as part of the Sunshine Project of the Agency of Industrial Science and Technology. In March 1977, the Hirakata Solar House was completed at Hirakata City, Osaka. This report describes external insulation, double glazing with insulation panels, and small window area of the house to conserve energy, and also the solar heat collector of vacuum-tube type, the small-size absorption-type refrigerating machine, and the heat storage tank of the solar system. The system simulation, evaluation method by measurements, and measurement results on the solar system for February 1978 are reported.

概 要

サンシャイン計画の一環として、通産省工業技術院から大林組、三洋電機が委託を受けて研究開発を進めてきた、太陽熱を利用して冷暖房給湯を行なう実験用個人住宅が1977年3月大阪府枚方市に完成した。上記実験住宅の省エネルギー建築としての特徴である外断熱・開口部の処理および太陽熱利用システムとしての特徴である真空ガラス管式集熱器、小型吸収式冷凍機、温度成層形蓄熱槽の屋内設置等について述べるとともに、太陽熱利用システムのシステムシミュレーション方法および計測による評価方法と1978年2月の実測結果について報告する。

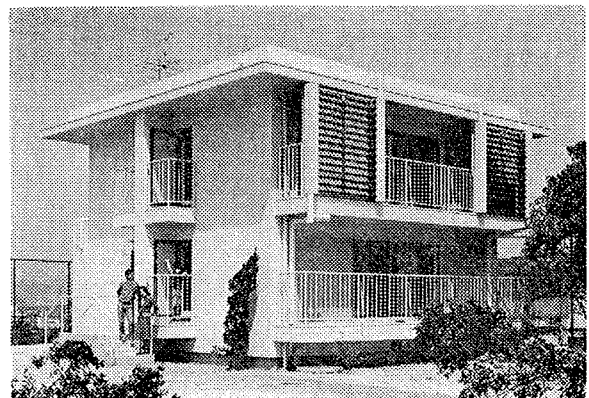
1. はじめに

太陽エネルギーは無尽蔵かつクリーンなことから、石油・石炭に代わる新しいエネルギー源として、その開発・実用化が期待されている。その中で、サンシャイン計画の一環として、通産省工業技術院から大林組、三洋電機が委託を受けて研究開発を進めてきたソーラーハウスが1977年3月大阪府枚方市に完成した。ここでは、枚方ソーラーハウスの建物、太陽熱利用システムおよび太陽熱利用機器の特徴について述べるとともに、シミュレーション・計測による太陽熱利用システムの解析・評価方法ならびに1978年2月の実測結果について報告する。

2. ソーラーハウス概要

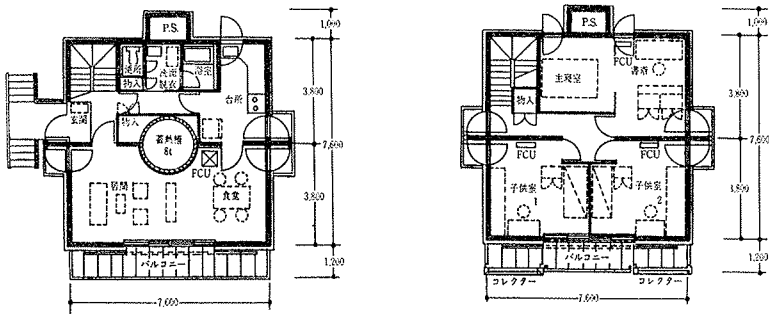
2.1. 建物

ソーラーハウスの外観を写真—1に、平面図を図—1に

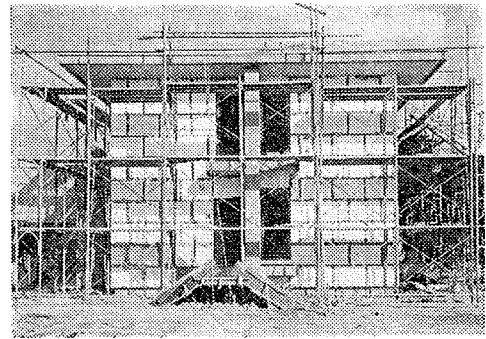


写真—1 枚方ソーラーハウス外観

示す。この建物は平均的家族構成4名（夫婦と子供2名）を想定して設計された壁式鉄筋コンクリート造2階建であり、建築面積は65.20 m²、延床面積は118.52 m²である。またこの建物の意匠上の特色は、「真空ガラス



図一1 平面図 (左: 1階, 右: 2階)



写真一2 外断熱施工状況

管式集熱器」の採用により、ソーラーハウスにありがちな片流れ屋根を廃し、フラットルーフに集熱器を水平に並べたことである。

エネルギー密度の希薄な太陽熱を使って効率よく冷暖房を行なう場合には、建物自体を省エネルギー的にする必要があるが、この建物では以下の省エネルギーのための手法が用いられている。

- (1) 外壁, 屋根, 床の建物すべてに発泡ポリスチロール100 mm の外断熱を行なっている。(写真一2)
- (2) 開口部面積を必要最小限に小さく(窓面積率15%)している。
- (3) 二重窓を用いるとともに、断熱雨戸を採用している。

2.2. 太陽熱利用システム

太陽熱利用冷暖房給湯システムの系統図を図一2に、設備機器仕様を表一に示す。

冷房時には屋上と南面バルコニーに設置した集熱器で太陽熱を集熱し、1次蓄熱槽に90℃の温水を蓄え、これを吸収冷凍機の発生器に送り約10℃の冷水をつくる。この冷水を一度2次蓄熱槽に蓄えた後、冷水ポンプにより各室のファンコイルユニット

トに送り冷房を行なう。

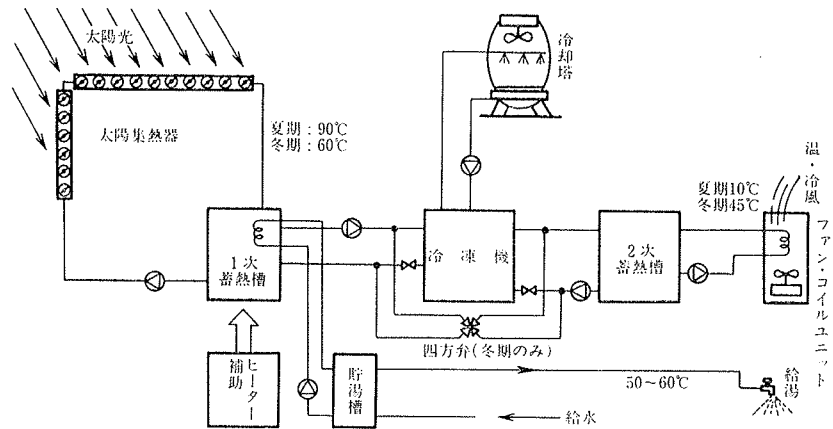
暖房時には、同様に集熱し、1次蓄熱槽に約60℃の温水を蓄えた後、4方弁をかいして2次蓄熱槽に適切な温度レベル(約45℃)の温水を送る。これを各室のファンコイルユニットに送り暖房を行なう。

給湯は1次蓄熱槽内の給湯コイルで水を加熱し、貯湯槽に温水をためて行なう。

また気象条件により蓄熱槽内の熱量が不足した場合、補助ヒーターにより熱量を補う。

2.3. 太陽熱利用機器

2.3.1. 太陽集熱器 本システムでは真空ガラス管式



図一2 太陽熱冷暖房給湯システム図

| 記号 | 名称 | 形式 | 仕様 | 記号 | 名称 | 形式 | 仕様 |
|----|-------|---------|---|----|--------------|------------------------------|--|
| 1 | 太陽集熱器 | 真空ガラス管式 | 集熱(有効)面積: 64.0(46.6)m ² 設置傾斜角: 0° フィン傾角: 15°(方位南) 集熱温度(夏): 90°C (冬): 60°C | 5 | 補助ヒーター | 瞬間式電気ヒーター | 能力: 8,600kcal/h |
| 2 | 太陽集熱器 | 真空ガラス管式 | 集熱(有効)面積: 10.0(7.4)m ² 設置傾斜角: 90° 他は1と同じ | 6 | 貯湯槽(補助ヒーター) | 電気温水器(特殊形) | 有効容量: 500l |
| 3 | 冷凍機 | 吸収式 | 能力: 6,000kcal/h 冷水条件 温度: 15°C(入口)10°C(出口) 流量: 20l/min 冷却水条件 温度: 31°C(入口)35°C(出口) 流量: 63.5l/min 熱源水条件 温度: 85°C(入口)80°C(出口) 流量: 30.8l/min | 7 | 1次蓄熱槽(給湯コイル) | 給湯コイル組込 | 有効容量: 1,000l 給湯コイル: 能力4,500kcal/h(60°C) |
| 4 | 冷却塔 | F R P 製 | 能力: 16,000kcal/h | 8 | 2次蓄熱槽 | 温度成層形 | 有効容量: 8,000l 鋼板製、内部エポキシコーティング 断熱 GW100mm 脱着可能断熱扉付 |
| | | | | 9 | 膨張水槽 | (2台) | 有効容量: 50l |
| | | | | 10 | ファンコイル・ユニット | ダクト接続床置形 床置形 床置特殊形(2台) | 能力: 3,700kcal/h 5,100kcal/h 能力: 3,000kcal/h 3,600kcal/h 能力: 1,400kcal/h 1,700kcal/h (夏期) (冬期) |

表一1 設備機器仕様

集熱器を屋上に46.6 m²、南面バルコニーに7.4 m²、フィン傾向15°で設置しているがこの外観を写真-3に示す。この集熱器のガラス管の外径は10 cmで一本の長さは1.8 mである。またガラス管内部は真空度を10⁻⁴ mm Hgとすることにより対流・伝導熱損失を低減するとともに管内のフィンとチューブで構成されている集熱板に吸収率0.9、ふく射率0.1の選択吸収膜を持たせることにより、高温における集熱効率も高めている。(図-3参照) またこの集熱器は、円筒型をしているため、ほこり雪、風圧に対しても有利である。

2.3.2. 吸収冷凍機 吸収式冷凍機は小形で高性能のものであり、図-4に示すように冷媒に水を用いて真空中で蒸発させ、その蒸発潜熱によって冷水を取り出し、蒸発した水蒸気を臭化リチウムと塩化リチウムの混合溶液に吸収される。この吸収液を太陽熱により加熱された温水で加熱再生させる。また強制循環方式の採用により温度安定性が高いのも大きな特徴である。この冷凍機の加熱温水入口温度に対する成績係数、冷凍能力を図-5に示す。

2.3.3. 蓄熱槽 温度成層形蓄熱槽を採用することにより、蓄熱効率を高めるとともに、温度レベルの異なる1次蓄熱槽(集熱側)と2次蓄熱槽(放熱側)を分離することによりシステムの選択性を高めた。また蓄熱槽からの熱損失は大きく、従来はそのまま損失になっていたが、ここでは放熱側の2次蓄熱槽(8 m³)を室内に設置することにより蓄熱槽からの熱損失を有効利用するとともにふく射暖冷房の効果も持たせた。(写真-4)

2.3.4. その他の機器 上記の太陽熱利用機器以外に特殊ファンコイルユニットによる温風床暖房設備や、住宅全体の給排気用の全熱々交換器、厨房での給排気用の給排気バランス形レンジフードおよび便所で用いられる「無臭便座」といった換気設備によって、間接的に太陽熱利用システムの効率を高めている。

3. システム解析

3.1. シミュレーションによる評価

上記太陽熱利用システムの性能評価、実測値との比較検討および最適化を目的としてシミュレーション・プログラムを作成した。

プログラムの計算手法は、各コンポーネントをサブルーチン化し、メインプログラムにおいてタイムスライシング法を用い、システム運転をコントロールするものである。図-6に概略のフローチャートを示す。

気象データは大阪平均年を用い、計算期間は夏期7/15~9/15、冬期12/1~3/15である。また計算のタイム・ステップは5分とした。

集熱器は図-3に示した効率曲線を用い、冷凍機は実

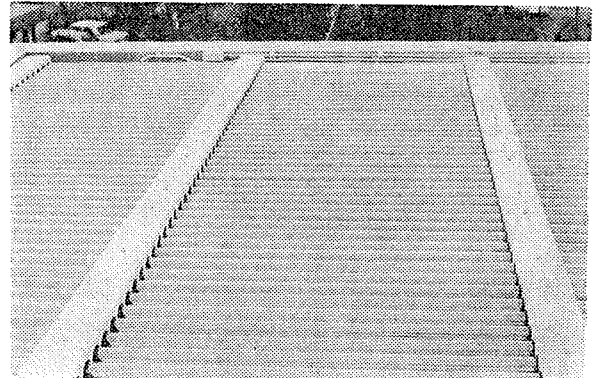


写真-3 真空ガラス管式集熱器

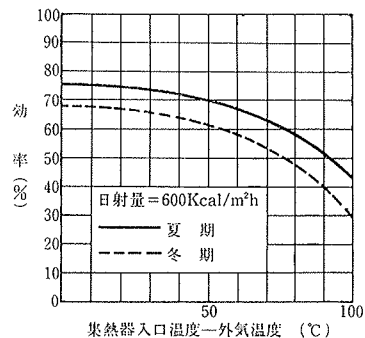


図-3 集熱管効率曲線 (計算値)

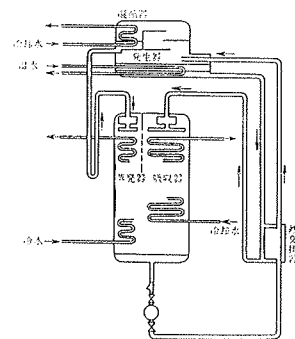


図-4 吸収冷凍機フローシート

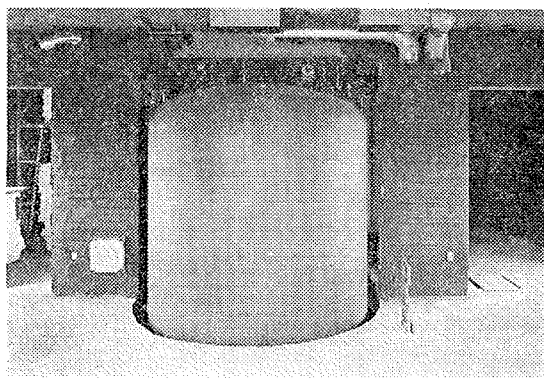


写真-4 屋内設置した2次蓄熱槽

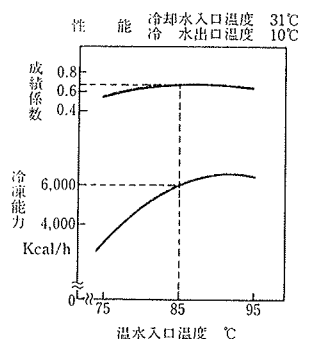


図-5 吸収冷凍機の性能曲線

験より得られた性能曲線 (式(1)~(2)) を用いた。

$$HACE = 6000 \times N_e \times N_c \times N_g \quad \dots\dots(1)$$

$$\eta = 0.65 \times C_e \times C_c \times C_g \quad \dots\dots(2)$$

但し HACE : 冷房能力 [kcal/h]

η : 冷凍機成績係数 [-]

$N_e = f_1(t_c), C_e = g_1(t_c)$ [-]

$N_c = f_2(t_c), C_c = g_2(t_c)$ [-]

$N_g = f_3(t_g), C_g = g_3(t_g)$ [-]

t_c : 冷水出口温度 [°C]

t_c : 冷却水入口温度 [°C]

t_g : 熱源水入口温度 [°C]

冷却塔も同様に実験より得られた性能曲線 (式(3)) を用いた。

$$HCLT = 16000 \times (0.129 \times t_{cc} - 0.108 \times WB - 0.606) \quad \dots\dots(3)$$

但し HCLT : 冷却塔冷却熱量 [kcal/h]

t_{cc} : 冷却水入口温度 [°C]

WB : 外気湿球温度 [°C]

蓄熱槽は完全混合多層モデルを用いた。基本式を以下に示す。

$$C_p \cdot \gamma \cdot V dt/d\theta = C_p \cdot \gamma \cdot Q_{T1} \cdot (t_{s1} - t_s) + C_p \cdot \gamma \cdot Q_{T2} \cdot (t_{s2} - t_s) + K_T \cdot A_T \cdot (t_x - t_s) \quad \dots\dots(4)$$

但し C_p : 比熱 [kcal/kg°C] γ : 比重 [kg/m³] V : 蓄熱槽体積 [m³] t_s : 蓄熱槽内温度 [°C] θ : 時間 [h] Q_{T1-2} : 流入量 [m³/h] $t_{s1-t_{s2}}$: 流入温度 [°C] K_T : 熱貫流率 [kcal/m²h°C] A_T : 表面積 [m²] t_x : 気温 [°C]

3.2. 計測による評価

実験による設計の検証ならびにシステム性能評価指標の算出, システムの正常運転の確認と異常部分の発見および現システムの運転における最適化, システムバリエーションの検討のための基礎資料を得ることなどを目的として, 計測を行なっている。

上記の目的に必要とされる, 外界条件 (日射量, 外気温度, 外気湿度, 風向, 風速), 室内条件 (空気温度, 湿度, 表面温度, 壁体内温度), システム状態 (温度, 温度差, 熱流量, 流量, 積算電力量, 機器作動状況) を計測対象としている。計測ポイント, センサーおよび計測システムの概略を図-7に示す。また評価項目と評価指標の算出式をまとめたものを以下に示す。

<システムの評価>

- システム成績係数 = 熱負荷 / 補助熱量 [-]
- 全システム成績係数 = 熱負荷 / (補助熱量 + 搬送エネルギー) [-]

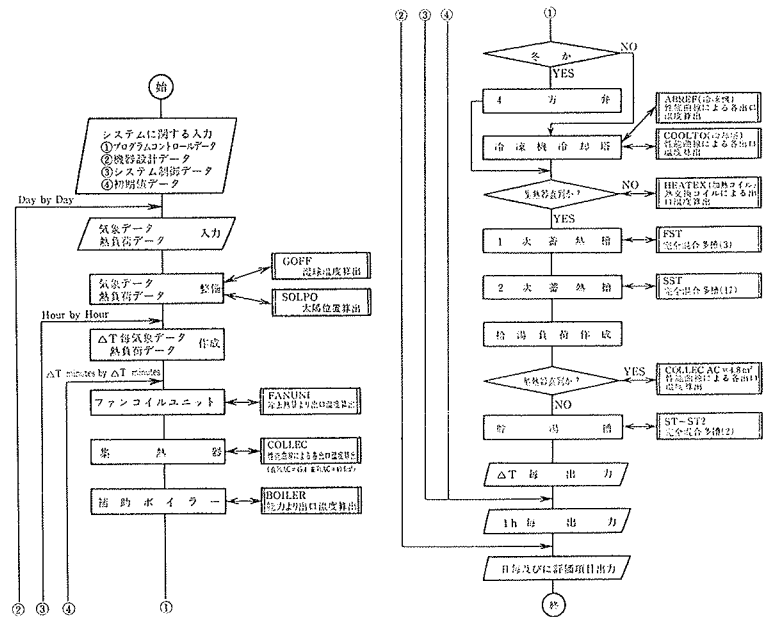


図-6 フローチャート

- 太陽依存率 = 太陽エネルギーでまかなった負荷/負荷 [-]

注) 負荷は冷暖房と給湯を別々にする場合と和とする場合がある。補助熱量, 搬送エネルギーは, 1次エネルギー換算と2次エネルギー換算とがある。

<各太陽熱利用機器の評価>

- 集熱効率 = 集熱量 / (集熱面全天日射 × 集熱面面積) [-]
 - 冷凍機 COP = 冷水熱量 / (熱源熱量 + 冷凍機内の搬送エネルギー*) [-]
- 注) * は考慮しない考え方もある。

- 蓄熱効率 = 蓄熱槽出力熱量 / 蓄熱槽入力熱量 [-]

<建物の評価>

- 冷暖房給湯負荷係数 = 冷暖房給湯負荷 / 建物延床面積 [kcal/daym²]

3.3. 計算値と実測値の比較 (1978年冬期)

冬期の居住実験と計測を1978年2月6日から3月25日

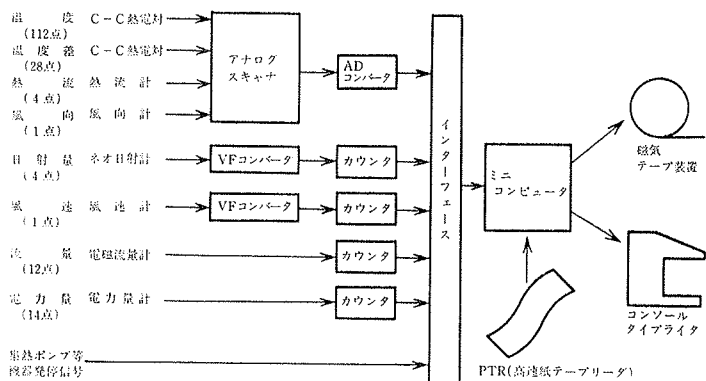


図-7 計測ポイントと計測システム

までおこなった。3.2.項で示した方法で計測データを処理するとともに3.1.項で示したシミュレーション手法で計算した結果と比較(注1) 検討をおこなった。暖房システムの実測熱収支の日変化を図-8に、期間積算値を図-9に、各機器・システムの成績の実測値と計算値の比較を表-2に示す。同様に給湯システムについては、図-10、図-11および表-3にその結果を示す。

以上の図表等から指摘できる点を以下に示す。

- (1) 集熱器はシミュレーション結果と同等以上の性能を發揮している。
- (2) 集熱系での熱損失が大きい。{1}集熱ポンプ発停のタイミングによるもの。{2}膨張タンクからの熱損失。
- (3) 集熱系配管からの熱損失。{1}凍結防止によるもの。{2}1次蓄熱槽まわりの熱損失が大きい。{1}蓄熱槽表面からの熱損失。{2}接続配管および突出部の熱損失。
- (4) 暖房負荷が多い。{1}生活パターンの計算仮定との違い。{2}建物内外の気密性と断熱性。{3}空調域間の気密性と断熱性}
- (5) 給湯用の補助熱量が多い。{1}暖房システムと給湯システムの分離運転}

以上の点を考慮した各部の改良および補助ボイラ、4方弁および南面集熱器に関する変更によって今後はさらにシステムの成績係数を向上することができよう。

謝 辞

本研究は通産省工業技術院の委託研究として三洋電機(株)と(株)大林組・本社本店技術研究所が共同で行っているものであり、関係各氏の御指導御協力に対し心からお礼

申し上げる。なお昭和52年度の技術研究所スタッフは田中辰明、西岡利晃、小宮英孝、佐羽内真知子、大久保嘉子である。(文責 小宮英孝)

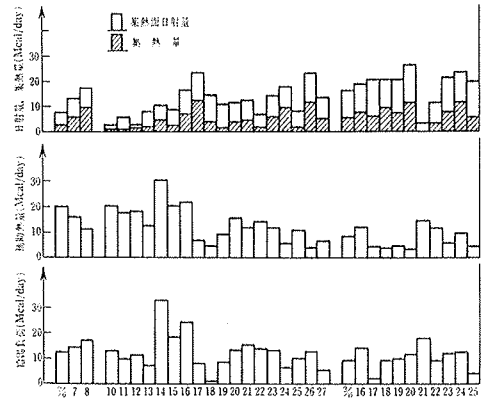
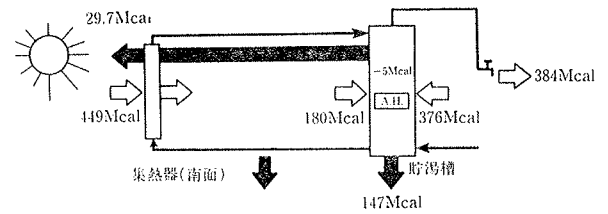


図-10 冬期給湯実測結果(日変化)



2/6~3/25(2/9, 2/28~3/14を除く32日間)

図-11 冬期給湯実測結果(期間積算値)

| 項目 | 日射量 | 集熱器 | | 補助熱量 | 全熱量 | 蓄熱出力 | | 給湯熱量 | システム効率 |
|--------------|-----|------|------|------|------|------|------|-------|--------|
| | | 集熱効率 | 蓄熱効率 | | | 蓄熱出力 | 蓄熱効率 | | |
| 実測値*1 (Mcal) | 449 | 180 | 376 | 556 | 29.7 | 384 | | | |
| (-) | | 399 | | | .053 | 690 | | 1.023 | .975 |
| 計算値*2 (Mcal) | 298 | 134 | 251 | 385 | 0.0 | 321 | | | |
| (-) | | .449 | | | .0 | 834 | | 1.272 | 1.211 |

*1 1978 2/6~3/25(2/9, 2/28~3/14を除く32日間)

*2 シミュレーション105日間で32日間にした場合

表-3 冬期給湯の計算値と実測値の比較

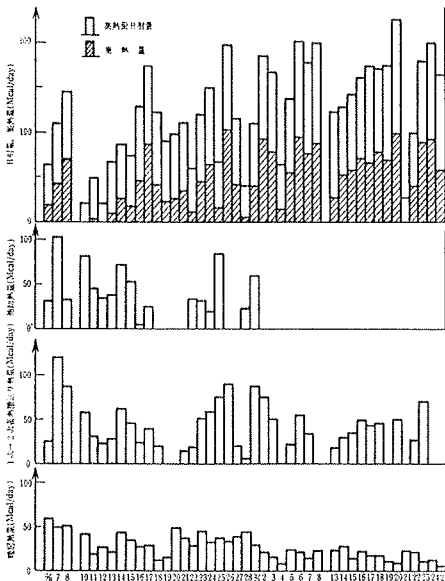
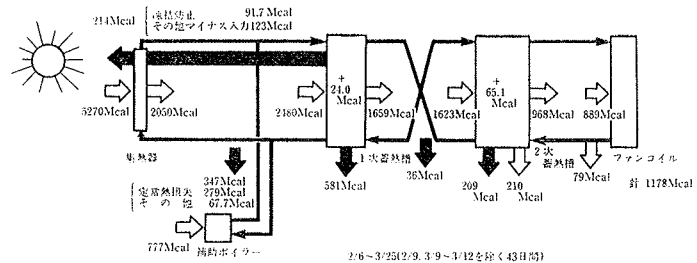


図-8 冬期暖房実測結果(日変化)



2/6~3/25(2/9, 3/9~3/12を除く43日間)

図-9 冬期暖房実測結果(期間積算値)

| 項目 | 日射量 | 集熱器 | | 補助熱量 | 全熱量 | 1次蓄熱出力 | 2次蓄熱出力 | 1次出次蓄力 | 2次出次蓄力 | F. 伝熱 C. 損失 | 有効蓄熱 | システム効率 |
|--------------|------|------|------|------|------|--------|--------|--------|--------|-------------|------|--------|
| | | 集熱効率 | 蓄熱効率 | | | | | | | | | |
| 実測値*1 (Mcal) | 5270 | 2050 | 777 | 2827 | 2480 | 214 | 1659 | 1623 | 968 | 889 | 1178 | |
| (-) | | 389 | | | .877 | .086 | .668 | .978 | .596 | .918 | .726 | 1.368 |
| 計算値*2 (Mcal) | 3542 | 880 | 178 | 1058 | 1058 | 0 | 960 | 960 | 643 | 643 | 761 | |
| (-) | | .249 | | | 1.0 | .0 | .907 | 1.0 | .670 | 1.0 | .793 | 4.287 |
| | | | | | | | | | | | | 1.694 |

*1 1978 2/6~3/25(2/9, 3/9~3/12を除く43日間)

*2 シミュレーション105日間で43日間にした場合

*3 2次蓄熱出力に熱損失の一部を加えたもの

表-2 冬期暖房の計算値と実測値の比較

注1) 計算用に用いた気象データは大阪平均年気象データであり、実測時の気象データとは異なる。したがって厳密な比較ではない。