

# ソーラーハウスの最適運転法に関する研究

## その2 夜間放射冷却と蓄放熱量の検討

岩田 剛 (工学部 建築学科)

### 1. はじめに

前報<sup>1)</sup>では、太陽熱利用床暖房を主として、夏期の夜間放射冷却を考慮した空気集熱式ソーラーシステム及び太陽光発電システムをもつ住宅について実測する機会を得たので、その概要と実測について検討した結果を報告した。

別報<sup>2)3)</sup>では、システムの成績係数と床下コンクリートの蓄放熱量の概算結果について報告した。

本報では、夏期の夜間放射冷却の効果と蓄放熱における床下コンクリート内の温度のシミュレーション結果、及び年間の運転実績について検討した結果を報告する。

### 2. 実験住宅の概要

図1に、実験住宅の平面図を示す。陰影の部分は、床暖房対象の領域を示す。

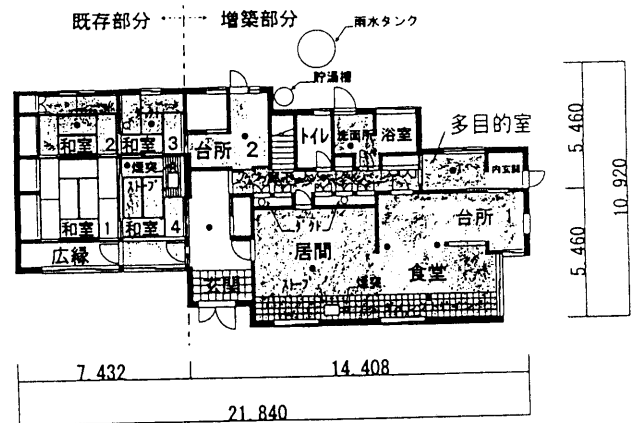
この住宅は、南面の屋根に、暖房用の集熱パネルを設置すると共に、国のモニター事業による補助金を利用して3kWの太陽電池（系統連系 逆潮流あり）を取り付けている。

なお、小屋裏に集熱ファンを既存部分（1台）、増築部分（2台）に設置して2系統で制御している。

図2にシステム概要の一例を示す。軒下から外気を取り入れ、棟ダクトで集熱された空気は、ファンを内蔵したハンドリングボックスと呼ばれる唯一の機械装置を通り、夏期は、給湯用コイルを介して排熱し、冬期は、縦ダクトを利用して1階床下に送風し、蓄熱コンクリートに蓄熱すると同時に床を温めて窓下の床より吹き出される。またこの住宅では、夏期、3台のファンの内2台で夜間の天空放射によって外気温度よりも低くなった空気を増築部分の室内に取り入れている。

### 3. 蓄熱コンクリートのシミュレーション

図3に、居間の中央に設置した測定点の概要を示す。ただし、居間以外の室については、コンクリート内中央1点しか測定していないため、別報<sup>2)3)</sup>で



1F 平面図 ●は、測定点を示す。  
図1 実験住宅の平面図

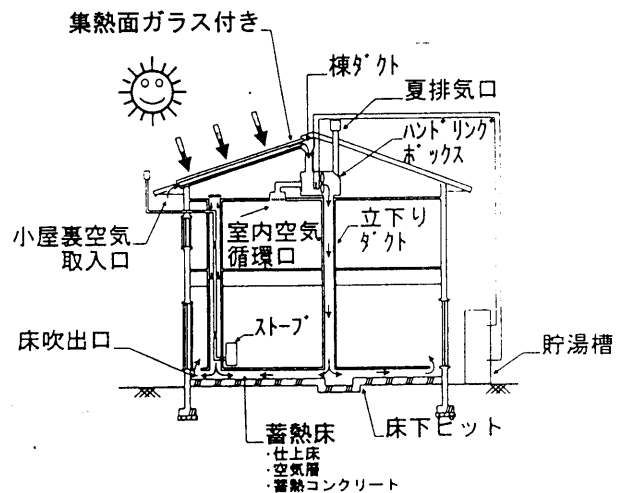


図2 システム概要の一例

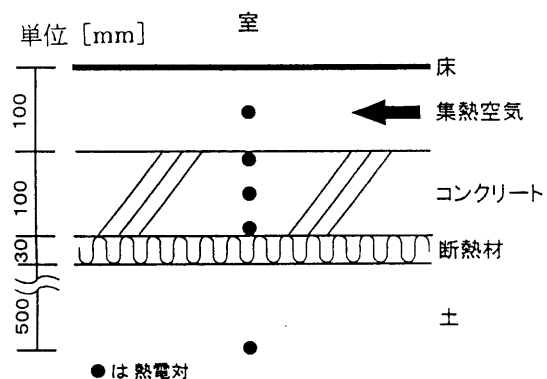


図3 測定点の概要

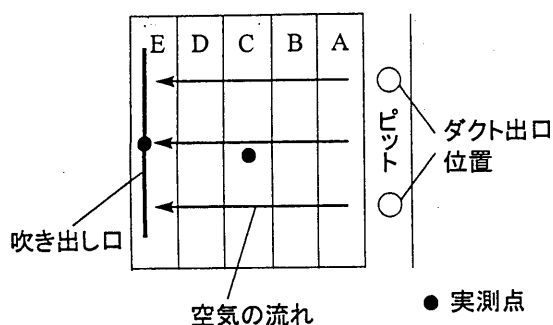


図4 床下空気の流れの模式図

は、各部屋の中央の蓄熱コンクリート内（厚さ方向に対して中間点）の実測温度から求めた蓄放熱量の概算結果について報告した。この方法では、比較的広い範囲のコンクリート温度を1点で概算するため、簡易であるが精度に問題がある。そこで、床下空気温度と地中温度から差分法により蓄熱コンクリート内の垂直温度分布のシミュレーションを行った。床下の集熱空気の流れは、吹き出し口の大きさ、位置等によって複雑であると考えられるが、ここでは図4に示したように集熱空気は、立ち下がりダクト出口より床下ピットに入りそこから床吹き出し口に向かって流れると仮定した。その時の床下空気温度は、コンクリート平面を流れに対して垂直に5分割（A～E）し、実測したダクト出口、部屋の中心、吹き出し口のそれぞれ実測した床下温度を用いて床下ピットから吹出口の距離に対して床下温度が線形であると仮定し、A～Eの分割部分の温度とした。地中温度については、ばらつきがないものとして同じ実測温度を用いたが、断熱材表面と地中との熱抵抗が無視できると仮定して地中の実測点との間も同様に数値計算を行った。なお、断熱材内部については、定常であると仮定した。表1にシミュレーションに用いた熱定数<sup>4)</sup>を示す。また、床下空気と蓄熱コンクリートの熱伝達率は、空気の流れのある蓄熱時の場合  $5.5 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ 、空気の流れのない放熱時の場合  $1.0 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$  を用いた。

図5に、シミュレーションに用いた冬期3日間（'96.2.7～9）の実測結果を示す。図中下部のA～Eは、蓄熱、放熱の期間を示す。図6に居間の中央における蓄熱コンクリート内の蓄熱時（A）、放熱時（B）のそれぞれについての垂直温度分布の実測結果とシミュレーション結果を示した。放熱時に若干差があるものの、蓄放熱時の実測とシミュレーショ

表1 計算に用いた熱定数

材料名称	密度 $\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	熱伝導率 $\lambda$ kcal/mh $^\circ\text{C}$	比重 $C_p$ (kcal/kg $^\circ\text{C}$ )
普通コンクリート	2200	1.4	0.21
断熱材(硬質ウレタンフォーム)	38	0.023	0.3
土	1890	0.54	0.2

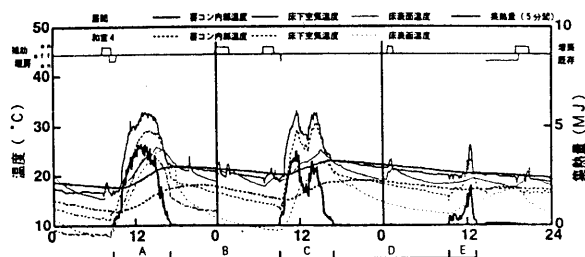


図5 冬期の実測結果（96年2月7～9日）

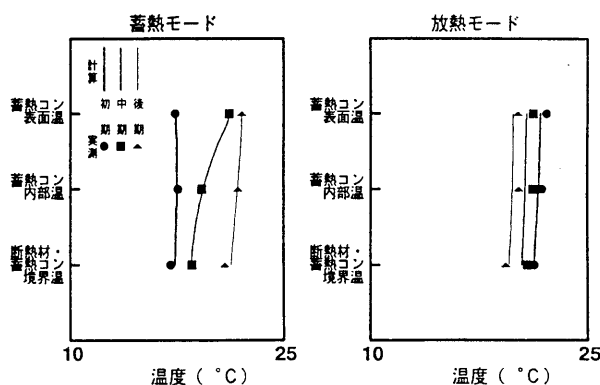


図6 コンクリート内垂直温度分布の時間推移

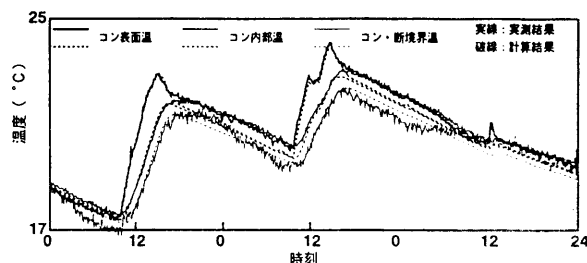


図7 コンクリート内温度の時間推移

表2 蓄放熱量のシミュレーション結果

	日射量(MJ)	集熱量(MJ) (集熱量/日射量)	蓄熱量(MJ) (蓄熱量/集熱量)	放熱量(MJ) (放熱量/集熱量)
1日目 (2/7)	610.0	129.3 (A) (16.0%)	43.2 (A) (33.4%)	31.5 (B) (24.4%)
2日目 (2/8)	554.8	90.4 (C) (16.3%)	37.6 (C) (41.6%)	35.6 (D) (39.4%)
3日目 (2/9)	170.8	11.4 (E) (6.7%)	16.7 (E) (146.5%)	

ン結果は、ほぼ一致した結果となった。また、放熱モードにおいて温度分布がほぼ垂直に変化していることから、室内側への放熱量と同様かそれ以上の熱が地中に流れている可能性がある。

また、図7に3日間のコンクリート内部の温度の

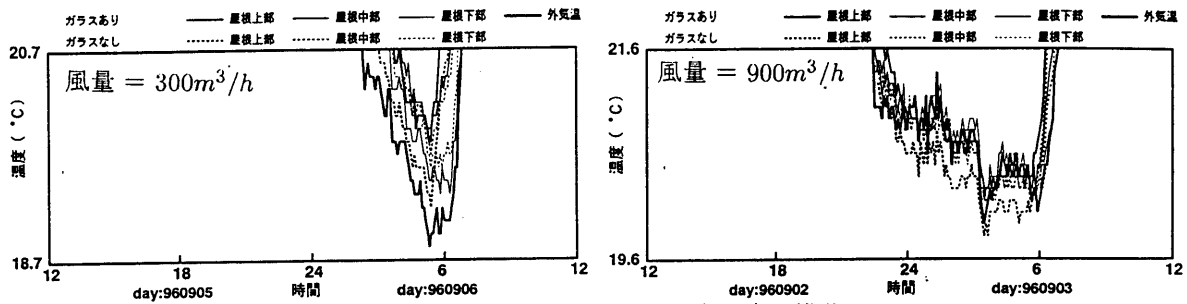


図8 夜間放射冷却モードにおける集熱空気温度の時間推移

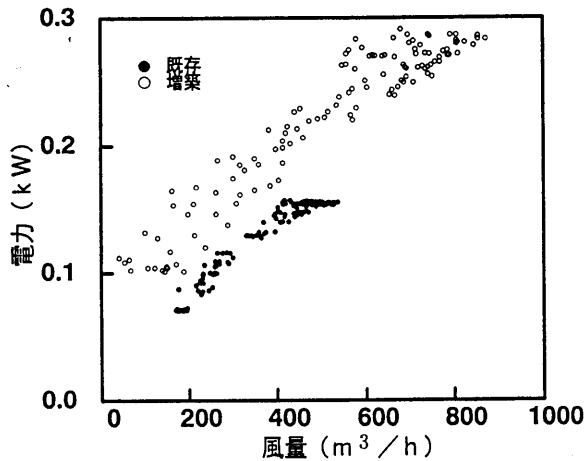


図9 集熱ファンの消費電力と風量の関係図

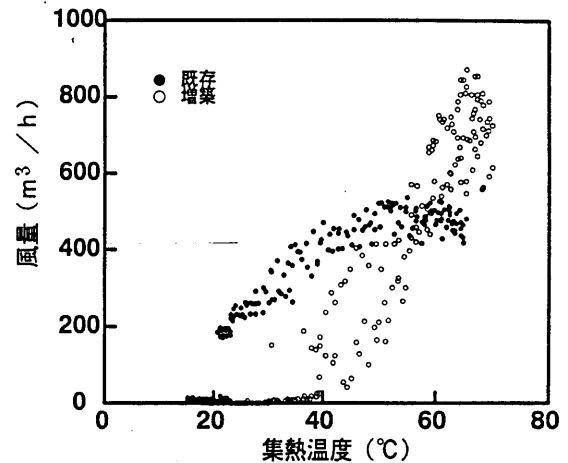


図10 集熱ファンの風量と集熱温度の関係図

実測結果とシミュレーション結果の時間推移を示した。蓄熱時はよく一致しているが、放熱時は若干差があるものの定性的には一致した結果となっている。ただし、3日目のコンクリート下部の温度の低下は、緩やかとなり計算結果とかなり差が生じた。この原因については、不明である。

表2に、2系統のシステムの内、増築部分のシステムを対象にした蓄放熱量のシミュレーション結果を示した。表中のA～Eは、図5中の記号に対応し、熱量を求めた期間を表す。蓄放熱量は、集熱量に対して3～4割を蓄熱し、その蓄熱量に対して7～9割を放熱した結果となった。これは、別報で求めた概算結果と比べて、特に放熱量が増加した。なお、3日目の蓄熱量は、集熱量よりも大きい結果となっているが、この原因については、集熱ファンの発停を左右するレベルでの日射の変動が激しく、測定間隔(5分毎)との関係で実際の運転状態と実測とに差が生じ、集熱量の計算条件に違いが表れたためであると考えられる。

#### 4. 実測結果

##### 夏期の夜間放射冷却

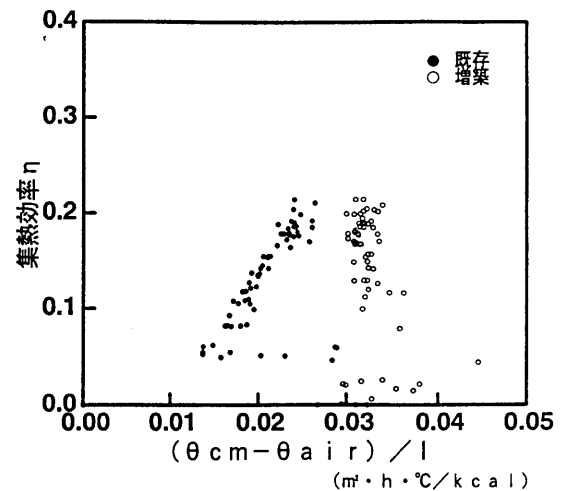


図11 集熱効率による性能図

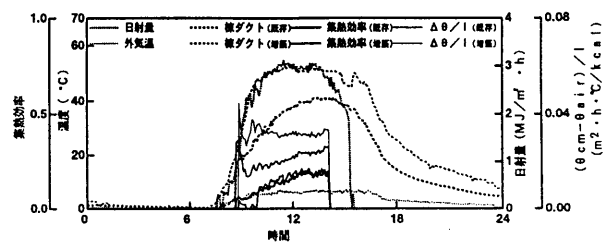


図12 冬期の実測結果(96年2月7日)

図8に、夏期の比較的天気の良いが続いた96年9月2～3日(風量=900m³/h)と96年9月5～6日(風

量=300m<sup>3</sup>/h)の夜間放射冷却モードにおける集熱温度の時間推移を示した。集熱面に放熱防止用のガラスがある場合は、両風量ともほとんど効果がないことがわかった。また、ガラスのない場合でも、風量が900m<sup>3</sup>/hの場合については、外気温度より0.2～0.3℃低くなる程度の効果しか得られない結果となった。

### 集熱ファンの特性

図9に、既存部分(ファン1台)と増築部分(ファン2台)のそれぞれのシステムにおける集熱ファンの消費電力と風量の関係を示し、図10に風量と集熱温度の関係を示した。図9、10共にほぼ比例関係であることがわかる。また、電力が2倍になると風量、集熱温度もそれぞれほぼ2倍となり、集熱量としては4倍となる。従って、システムの成績係数として、できるだけ高い集熱温度で運転する方が有効であるが、運転制御としては、最適な集熱温度を含めた条件を検討する必要がある。

### 集熱パネルの性能

図11に、冬期(96年2月7日)の5分毎の集熱効率による性能図を示す。図12に、図11で示した日の運転状況と縦軸、横軸で表した計算結果の時間推移を示す。図11中の既存部分については、横軸の値が大きくなると共に集熱効率も大きくなる結果となり、増築部分については、横軸の値に大きな変化がなく、集熱効率だけ大きくなっている。この結果については、

$$Q = c_p \rho F (\theta_{cout} - \theta_{air}) t, \quad \theta_{cm} = \frac{\theta_{cout} + \theta_{air}}{2} \quad (1)$$

から、

$$\eta = \frac{Q}{AI} = \frac{2c_p \rho F t (\theta_{cm} - \theta_{air})}{A I} \quad (2)$$

の関係が得られ、このシステムでは、 $(\theta_{cm} - \theta_{air})/I$ が大きくなると集熱効率 $\eta$ も大きくなり、 $(\theta_{cm} - \theta_{air})/I$ に変化がなくても風量 $F$ が大きくなれば集熱効率 $\eta$ は大きくなる可能性があることが示された。また、大きく分散する場合については、熱容量の影響であると考えられる。

### 月毎のエネルギー量の推移

図13、14に、月毎の各電力量の実績を示す。図13の発電量は、年間を通じておよそ250kWh/月前後で

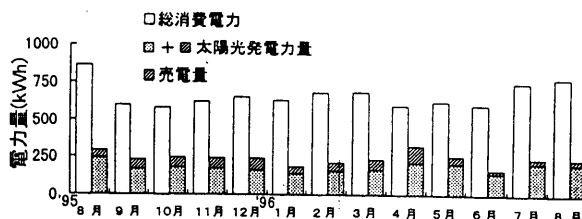


図13 月毎の各電力量の実績

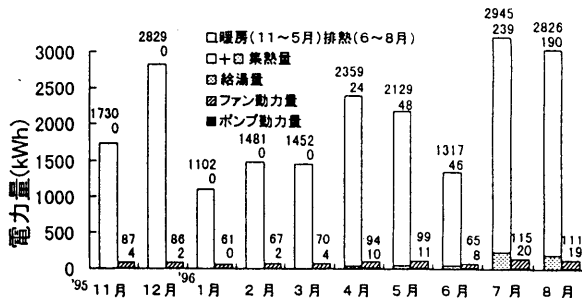


図14 月毎の動力量に対する集熱量の実績

あり、そのうち売電量は、25%程度であった。

図14は、動力量に対して得られた熱量を示したが、6～8月の排熱量を差し引いても年間を通じてかなり大きい成績係数になることが示された。図中の数値は、それぞれの熱量を示す。なお、給湯量については測定していないため、給湯システムに取り付けられている簡易メータの目視による概算とした。

## 5. おわりに

ソーラーシステムを導入した住宅の性能評価について検討した。その結果、夏期の夜間放射冷却については、あまり効果がみられなかった。また、冬期の床下コンクリート内温度のシュミレーションを行い、蓄放熱量の定量的な把握を試みた。

### 【記号】

A: 集熱面積、 $c_p$ : 空気比熱、 $F$ : 風量、 $I$ : 日射、 $Q$ : 集熱量、 $t$ : 時間、 $\theta_{cout}$ : 集熱温度、 $\theta_{air}$ : 外気温度、 $\rho$ : 空気密度

### 【文献】

1. 岩田・相良他: ソーラーハウスの最適運転法に関する研究 その1、日本建築学会東海支部研究報告集、H.8年
2. 岩田・久保・相良: ソーラーハウスの性能評価に関する研究 その1,2、日本建築学会大会学術講演梗概集、H.8年
3. 久保・岩田・相良: ソーラーシステムの冬期における運転実績、空気調和・衛生工学会学術講演会論文集、H.8年
4. 空気調和衛生工学便覧第10版