

ソーラーシステムの運転実績と評価

その2 蓄熱コンクリートの蓄放熱量について

岩田 剛 (工学部 建築学科)

1. はじめに

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、前報¹⁾ではその概要と冬期の実測について検討した結果を報告した。

またその¹²⁾では、夏期の夜間放射冷却の効果と集熱パネルの性能評価、及び暖房太陽依存率と年間の運転実績について検討した結果を報告した。

本報では、実測結果を基にした蓄熱コンクリートのシミュレーションを行い、集熱した空気が床から吹き出されるまでの熱の出入りについて概算した結果を報告する。

2. 実験住宅の概要

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装置を通り、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。冬期の集熱量は、天候に左右されるため、集熱が十分でない場合には、補助暖房装置(石油ストーブ2台)で賄うようになっている。なお、このストーブでは、二重煙突で排熱を回収して床下に送風している。

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。

3. 蓄熱コンクリートの蓄放熱シミュレーション

図2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、前報¹⁾では、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

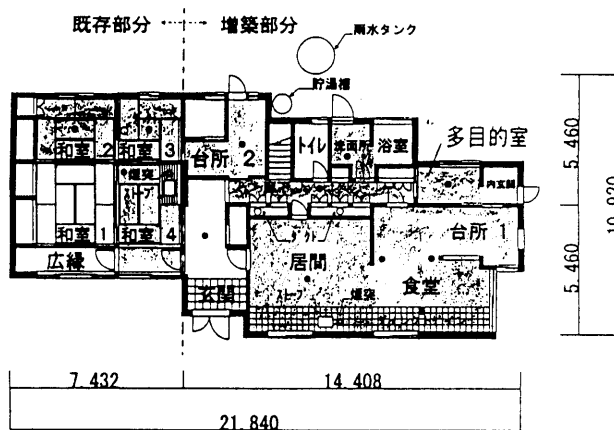


図1 実験住宅の1F平面図 (●は、測定点を示す)

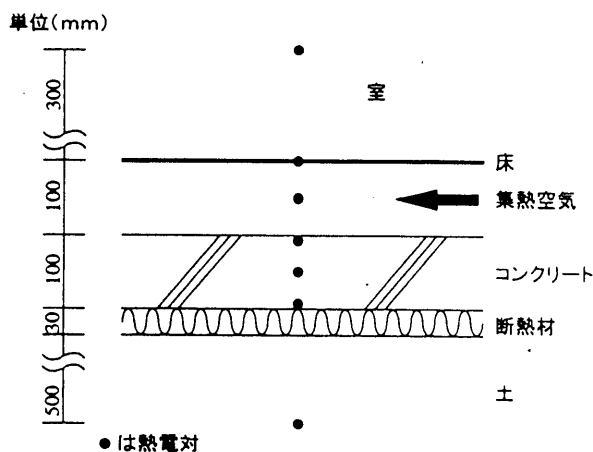


図2 測定点の概要

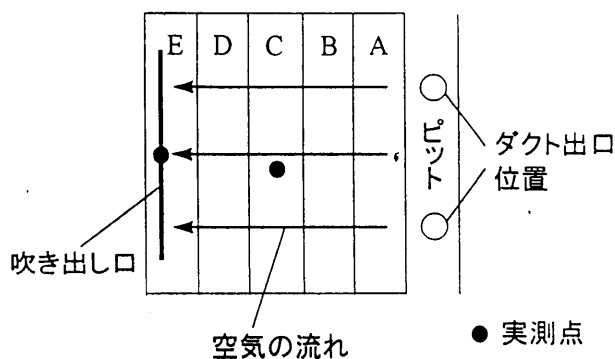


図3 床下空気の流れの模式図

Operating result of solar system and performance estimate
Part 2. Thermal storage condition of underfloor concrete

IWATA takeshi et al.

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3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、ダクト出口、部屋の中心、吹き出し口のそれぞれの実測床下温度を用いて、床下ピットから吹出口の間は床下温度が線形分布であると仮定し、A~Eの分割部分の床下空気温度とした。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接触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。ただし、計算に必要な初期温度の影響を考慮して、地中温度分布は、熱の出入りを概算した日の一週間前から助走計算している。なお、断熱材内部については、定常であると仮定し境界温度を求め、初期地中温度分布は、実測の地中温度と線形分布であると仮定して求めた。

表1にシミュレーションに用いた熱定数³⁾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5.5kcal/m²h℃、空気の流れのない放熱時(ファンは停止する)の場合2.5kcal/m²h℃を用いた。

図4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5に居間の中央における蓄熱コンクリート内の蓄熱時(図4下部A)、放熱時(図4下部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。また、図6に3日間のコンクリート内部の温度の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おり、放熱時も若干差があるもののほぼ一致した結果となっている。

これとは別に、床下空気温度と室温から定常

表1 計算に用いた熱定数

材料名称	密度 γ (kg/m ³)	熱伝導率 λ (kcal/mh℃)	比熱 C_p (kcal/kg℃)
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
床材(合板)	550	0.13	0.31

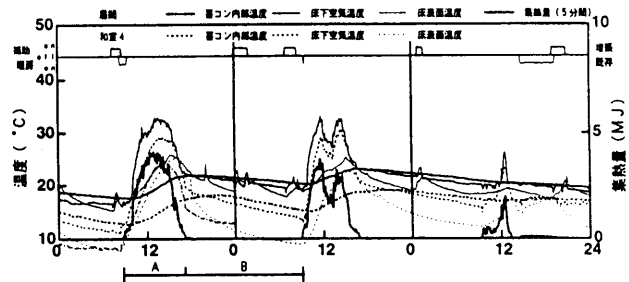


図4 冬期の実測結果 (96年2月7~9日)

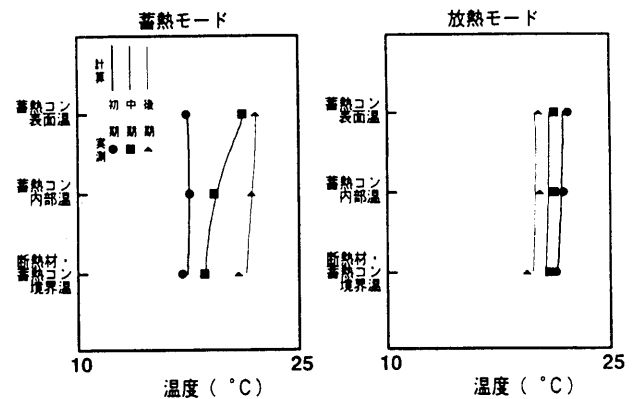


図5 コンクリート内垂直温度分布の時間推移

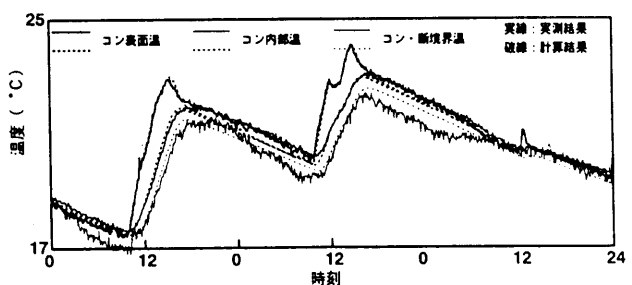


図6 コンクリート内温度の時間推移

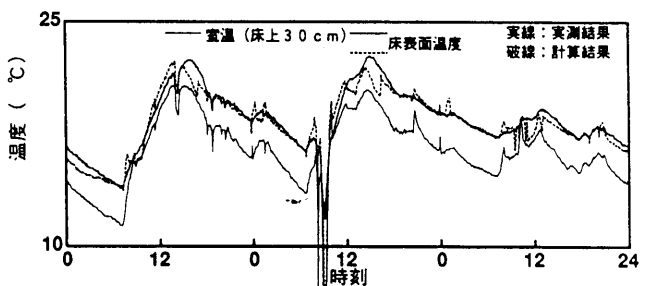


図7 床表面温度の時間推移

計算を行い、床表面温度を求め、床からの放熱量を求めた。図7に床表面温度の実測と計算結果を示す。ほぼ一致した結果となっている。

4. シミュレーション結果

前日が雪であった比較的晴天日における蓄放熱時(2月7~8日)の熱の出入りについて、模式的に表したものを、図8に示す。図中の数値は、集熱量を100として、集熱時の積算熱収支と放熱時の積算熱収支を表している。集熱時の計算上の熱収支は、集熱量に対して19%過剰となり、集熱量以外の計算結果にこの誤差が含まれるものとして、集熱モード時における集熱空気に面する熱の流れの合計が100%となるように補正した結果を示した。床面の熱伝達率は、 $20\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ を用いており、今後検討の余地を残している。放熱時も同様の補正を行っているが、この結果が正しいとすると、床からの放熱は、補助暖房量や床材自身の熱容量の影響が加わったものと考えられるが、床とコンクリートからの放熱量の差は、実測を基にした床下空気温度からそれぞれ別のモデルで求めているため必ずしも整合性があるわけではない。また、地中への放熱が比較的大きいのは、建物の下の地中温度がかなり低いことを示している。なお、集熱モードより放熱モードの方が地中への放熱が大きいのは、放熱モードの時間が長いのが影響している。そこで、断熱材の厚さを現状の2倍に仮定してコンクリート内部温度のシミュレーションを新たに行った結果を図中括弧内に示した。その結果地中への熱の流れは、ほぼ半分に減少した。それに伴い、コンクリートへの熱の流れが若干減少し、熱損失が減少した分蓄熱量が増加した。放熱モードについては、熱損失が減少した分、残蓄熱量と床下への放熱量がそれぞれ若干増加した結果となったが、実際には、床下空気温度も異なってくるため放熱量については問題があるものの少なくともより多い残蓄熱量が翌日に持ち越されるとはいえるであろう。

図9~12に天候、気候の条件の異なる場合の熱の出入りのシミュレーション結果について4つの

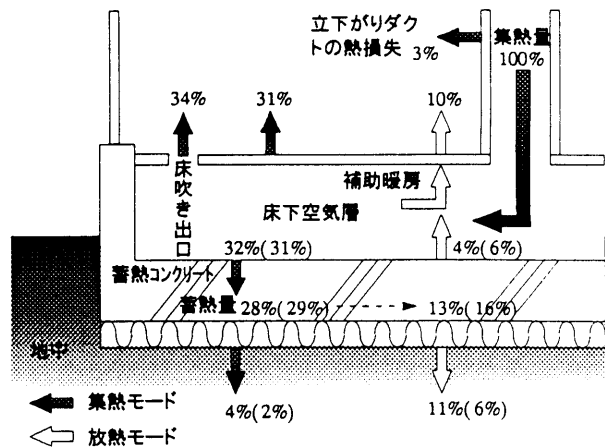


図8 熱の出入りの模式図 (96年2月7~8日)
(冬期：前日が雪、計算日は晴天)

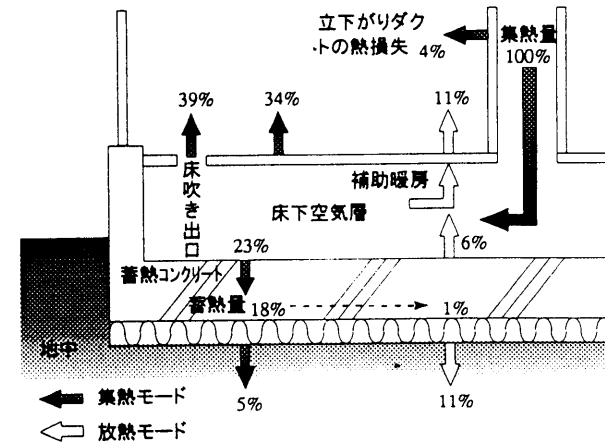


図9 熱の出入りの模式図 (96年2月22~23日)
(冬期：計算日は晴天が続いた最終日)

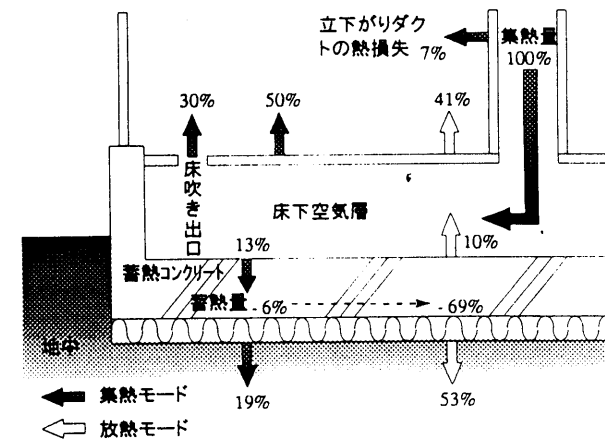


図10 熱の出入りの模式図 (96年3月29~30日)
(中間期：前日が晴天、計算日は雨天)

例を示す。図中の数値については、図8と同様の補正を行っている。図9は、4日間比較的晴天が続いた最終日における蓄放熱時(2月22~23日)の熱の出入りを表しており、毎日同様な集熱条件で繰り返し運転されているために夜間の放熱分だけが昼間蓄熱される結果となっている。従って、冬期の集熱条件がよい場合の基本例となる。図10は、前日晴天であった雨天における蓄放熱時(3月29~30日)の熱の出入りを表しており、集熱量がほとんど無い条件となっているため他の図に比べ実量としては小さく、コンクリートについては、前日までの蓄熱量を終日放熱し続けるので負の値となりそのほとんどが地中に流れる結果となっている。図11は、前日雨天であった比較的晴天日における蓄放熱時(5月9~10日)の熱の出入りを表しており、コンクリートが冷えた状態でシミュレーションを行った図8が冬期であったのに対して、これは、外気温度が比較的高い中間期の例となっている。コンクリートが冷えていた分、図9に比べて若干蓄熱量が大きく、残蓄熱量も表れている。熱の流れとしては、図8と同様な割合で推移しているようである。図12は、中間期の比較的晴天が続いた最終日における蓄放熱時(5月17~18日)の熱の出入りを表しており、熱の流れとしては、冬期の図9と同様な割合で推移しているようである。以上の結果から、蓄熱コンクリートについては、放熱モード時の室内側への放熱量が意外に小さく、どちらかというとな室内側から地中へ熱を逃さない効果が大きいと考えられる。しかし、断熱材を厚くし、コンクリートを薄くすると高温蓄熱となり室内側への放熱量が増えることが予想でき、今後は、蓄熱コンクリートの在り方を含めた両者の厚みによる性能を検討する必要がある。

5. おわりに

集熱された空気が床から吹き出すまでの熱の流れを検討するために、床下コンクリート内温度のシミュレーションを行い、蓄放熱量の定量的な把握を試みた。その結果、蓄熱コンクリートから室内側への放熱量が比較的小さく、地中へ

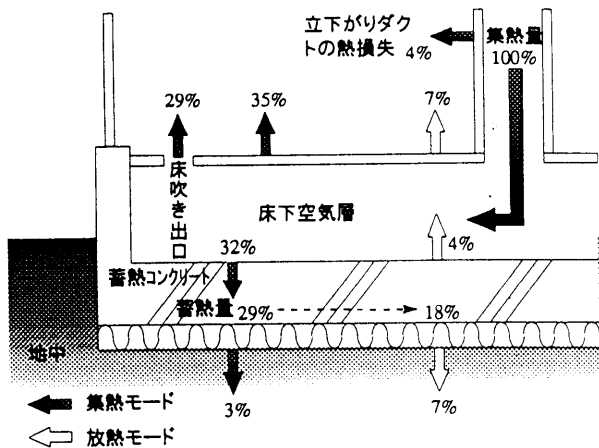


図11 熱の出入りの模式図 (96年5月9~10日)
(中間期：前日が雨天、計算日は晴天)

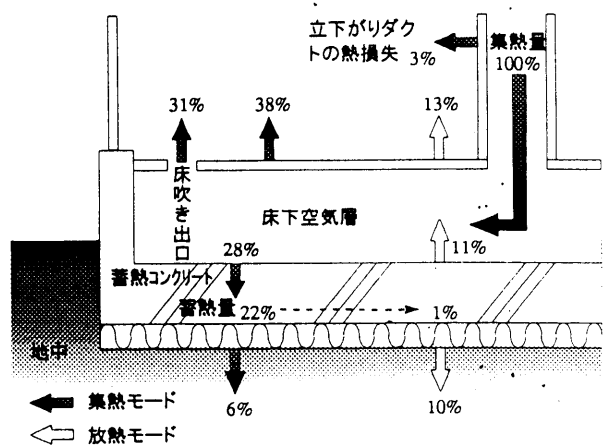


図12 熱の出入りの模式図 (96年5月17~18日)
(中間期：計算日は晴天が続いた最終日)

の放熱が大きい結果となった。しかし、実測に基づいた床下空気温度に対して、床面及びコンクリート面とそれぞれ別々に計算しているため、必ずしも整合性がとれているわけではないことと計算に必要な初期温度のモデル化によっては、異なる結果となる可能性がある。

【文献】

1. 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
2. 木村・岩田・相良：ソーラーシステムの運転実績 その1、空気調和・衛生工学会学術講演会論文集、H.9年
3. 空気調和衛生工学便覧第10版