

空気集熱式ソーラーシステムの省エネルギー効果の評価に関する研究
(第3報) 基礎コンクリートスラブにおける蓄放熱量に関する計測結果

Study on Energy Saving Effect of Air-Based Solar Heating System

Part 3 Measurement Results on Heat Reserving and Radiating Volume at the Concrete Slab

正会員 ○赤嶺 嘉彦 (建築研究所) 正会員 桑沢 保夫 (建築研究所)
正会員 前 真之 (東京大学) 正会員 盧 炫佑 (OMソーラー)
正会員 中村 正吾 (OMソーラー)

Yoshihiko AKAMINE*¹ Yasuo KUWASAWA*¹ Masayuki MAE*²

Hyunwoo ROH*³ Shogo NAKAMURA*³

*¹ Building Research Institute *² The University of Tokyo *³ OM Solar, Inc.

In this study, detailed field-measurement of detached house which installed the air-based solar heating system has been carried out. In this paper, we discuss the measurement results on heat reserving and radiating volume at the concrete slab. The ratio of the volume of heat radiating to heat reserving was 20% to 30%. And there is a risk that the heat reserving volume had lost from the concrete slab. So, it is important to prevent the loss for the optimization of the system.

はじめに

地球温暖化への対応や日本のエネルギー問題の解決策として、太陽エネルギーは有用な再生可能エネルギーとして期待されており、太陽光発電や太陽熱利用の技術開発や普及が国策として進められている。本研究で対象とする空気集熱式ソーラーシステムは、太陽熱により屋根に設置した集熱部で空気(外気)を温め、その暖気を、基礎コンクリートスラブを蓄熱体とする床下を介して居室へ搬送するシステムであり、主に暖房エネルギーの削減に寄与する。同様のシステムに対し、岩田・相良らは、実測による温度状況の把握を行うとともに、シミュレーションにより、基礎コンクリートスラブの蓄熱量に関する検討を行っている^{1),2)}。また、中村らは、建物性能、集熱・蓄熱部位、運用方法などを変数とするシミュレーションにより、温熱環境の差異を検討し、設計指針を提案している³⁾。他にも、温度状況の実態については、多くの知見が見られるものの、熱量に関してはシミュレーションによる検討に留まっており、定量的な情報は十分とは言えない。

そこで、本研究では、空気集熱式ソーラーシステムの省エネルギー効果を定量的に評価することを目的とし、本システムが導入された住宅の実測を実施している。これまでに、夏期・冬期の集熱量や集熱効率、及び、集熱時の熱収支などの熱量に関する定量的な知見や、居室の温度状況、暖房エネルギーの削減効果について報告している^{4),5)}。本稿では、基礎コンクリートスラブにおける蓄放熱量に関する実測結果を報告する。

1. 実測概要

1.1 実測物件の概要

表-1、図-1に実測物件の概要と外観を示す。実測対象物件は、2008年春に愛知県安城市に竣工した延床面積96m²の2階建て木造住宅である。熱損失係数は2.65W/(m²・K)(図面から算出)であり、当該地域の次世代省エネ基準を満たす断熱性能を有する。

表-1 実測物件の概要

所在地	愛知県安城市
竣工年	2008年春
床面積	延床: 96m ² (1階: 48m ² , 2階: 48m ²)
断熱性能	Q値: 2.65 W/(m ² ・K) (図面から算出)
集熱面積	ガラス付き集熱部: 11.6m ² ガラス無し集熱部: 14.4m ²



図-1 実測物件の外観(南側)

図-2 に実測物件の平面図及び断面図を示す。冬季の集熱時に、床下の基礎コンクリートスラブを蓄熱部として活用することを意図して、基礎断熱としている。押出法ポリスチレンフォーム1種を使用し、基礎立上りの外気に接する壁は 50mm、基礎底盤表面の外周部から 600mm までは 25mm の内断熱とし、基礎底盤裏面の全体に 50mm の断熱が施されている。各季節のソーラーシステム運転における温度の閾値等は前報⁴⁾と同様である。

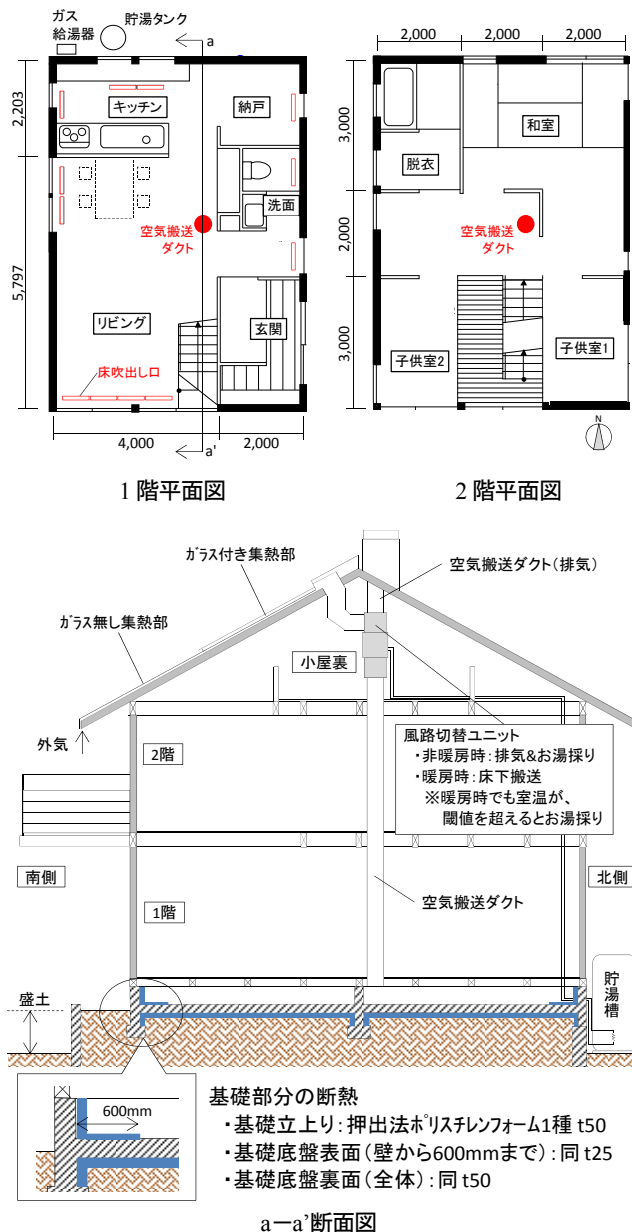


図-2 1・2階平面図(上)と断面図(下)

1.2 計測内容及び分析方法

計測内容は前報⁴⁾で示したものに加え、基礎スラブにおける蓄放熱の状況を詳細に把握するために、床下まわりの計測点を追加した(表-2)。図-3 に基礎伏図及びセンサー設置状況と各評価面の概要を示す。

蓄放熱量は基礎コンクリートが床下空間と直接接する非断熱部分(基礎内壁と基礎底盤)で評価することとした。蓄放熱量について、基礎内壁部分は、表面温度と床下空間温度の計測値から推定した。基礎底盤部分は、評価面を6つに分け(図3中の①~⑥)、それぞれの中央付近に設置した熱流センサーの計測値に各面積を掛けて算出した。

その他の諸量(集熱量、集熱効率、床下搬送熱量、給湯利用熱量、床下から室への空気搬送熱及び床貫流熱など)については、前報^{4,5)}と同様の方法で算出した。

表-2 床下まわりの計測概要
(2011年2月19日にセンサーを追加)

測定項目	点数	センサー	計測間隔
基礎底盤熱流	6	英弘精機 MF-190	5秒
基礎壁面熱流	1	英弘精機 MF-190	
基礎底盤表面温度	10	熱電対	
基礎壁面温度	7	熱電対	
床下空気温度	11	熱電対	

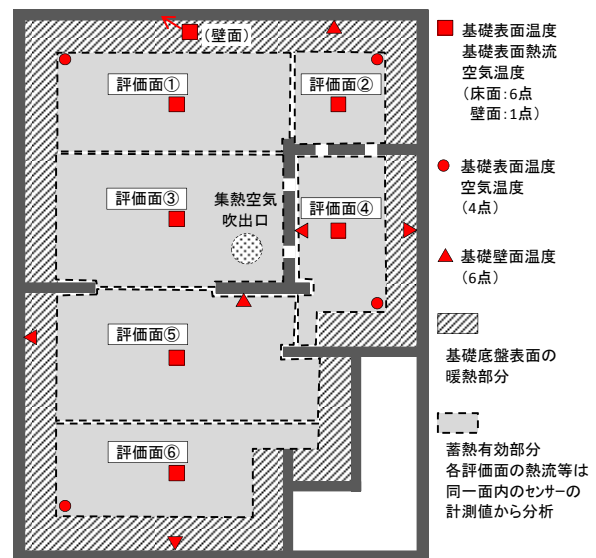
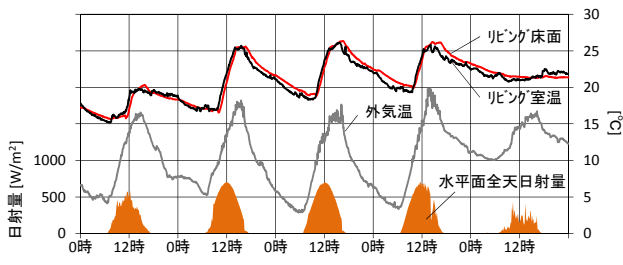


図-3 基礎伏図及びセンサー設置状況と評価面の概要

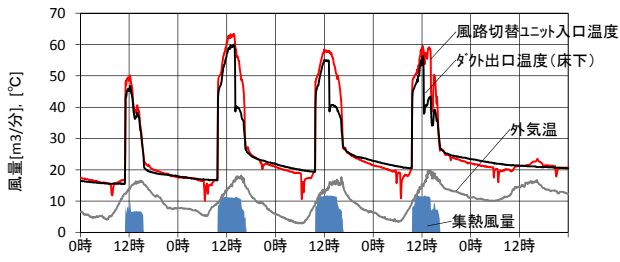
2. 計測結果

2.1 冬期暖房時の運転状況

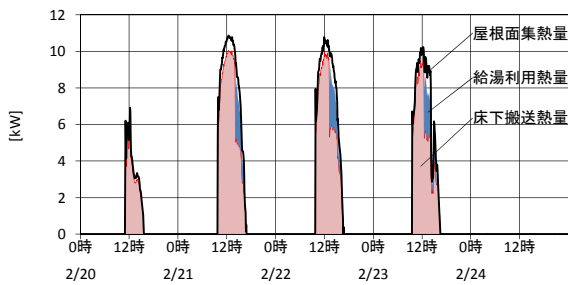
図-4 に、2011年2月20日から24日までの各種時系列データを示す。21日から23日は晴天であり、ピーク時には10kW程度の集熱が見られ、午後には床下への集熱と同時に太陽熱を給湯に利用していた(A~ウ)。集熱時には熱収支⁹⁾のバランスが概ねとれており、蓄放熱量に関する計測点及び分析方法が妥当であることが確認できる(エ)。基礎底盤の評価面①~⑥の各熱流の計測値を見ると、どの点も蓄熱量に対して放熱量が小さく(オ)、基礎全体でも蓄熱量に対する放熱量の比率(以後、蓄放熱比と記す)は10%程度であった(カ)。



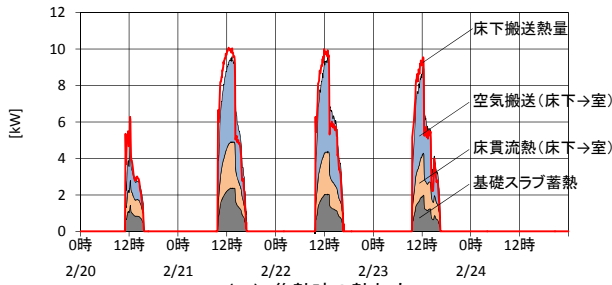
(ア) 水平面全天日射量、外気温、リビング床面温度・室温



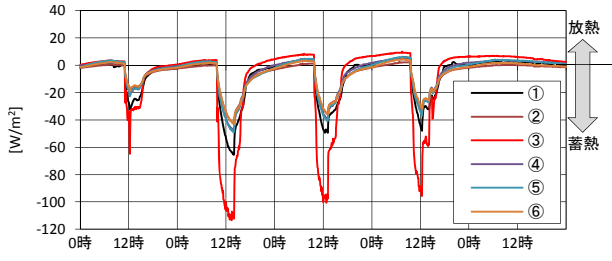
(イ) 集熱風量、風路切替ユニット入口温度、ダクト出口 (床下)



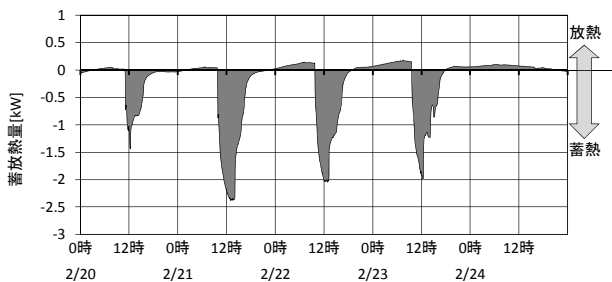
(ウ) 屋根面集熱、給湯利用熱、床下搬送熱



(エ) 集熱時の熱収支



(オ) 基礎コンクリートスラブ表面の熱流計測値 (①~⑥)



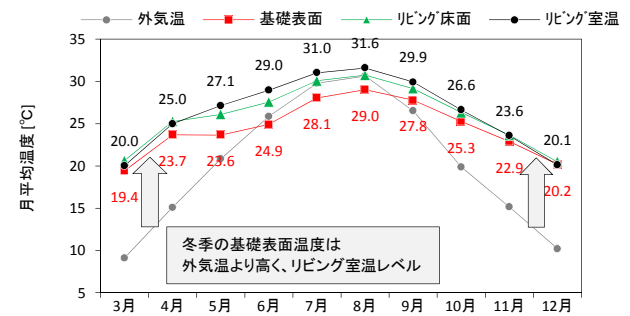
(カ) 基礎コンクリートスラブの蓄放熱量

図-4 各種時系列データ (2011年2月20日~24日)

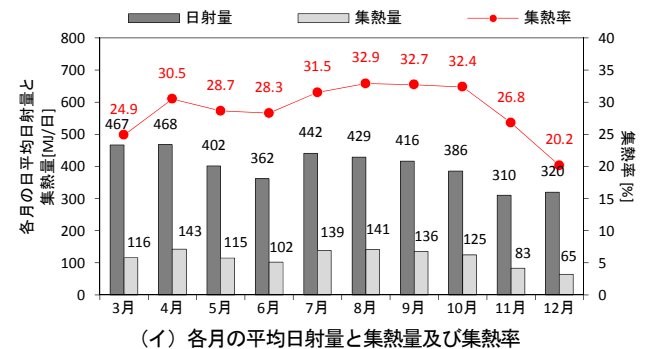
2.2 月ごとの平均値

図-5に、2011年3月から12月までの各種月平均データを示す (ただし、12月は17日までの平均値)。

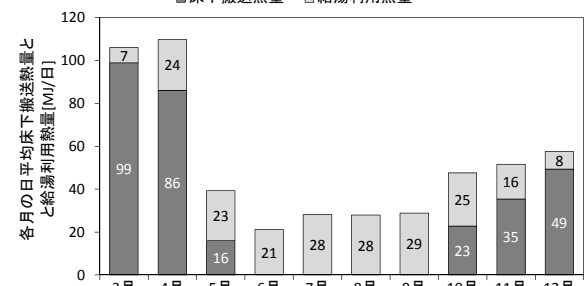
冬季は、太陽熱が基礎スラブに蓄熱されるため、基礎表面温度は19°C以上となり、外気温度よりも高く、リビング室温に近い(ア)。また、リビング床面温度が室温と同程度と高めに維持されている点も空気集熱式ソーラーシステムの特徴である。蓄放熱比は最大で38.1%となっており、蓄熱分はコンクリートの昇温及び維持に寄与するとともに、地盤面へ損失するものと推測される(エ)。



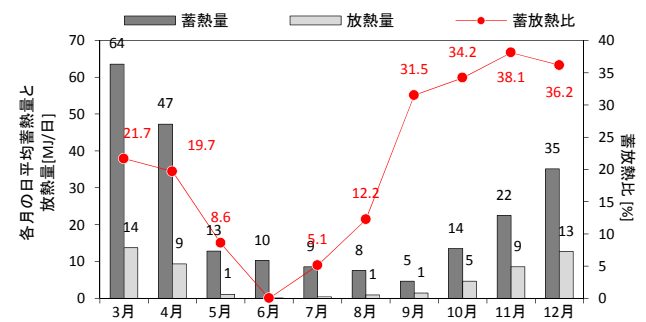
(ア) 月平均外気温、基礎表面温度、リビング床面温度・室温



(イ) 各月の平均日射量と集熱量及び集熱率



(ウ) 各月の平均床下搬送熱量と給湯利用熱量



(エ) 各月の平均蓄放熱量及び蓄放熱比

図-5 各種月平均データ (2011年3月~12月)

3. 基礎スラブから地盤面への熱損失に関する考察

基礎スラブから地盤面への熱損失が妥当なオーダーであるかについて考察する。岩前らは数値計算により基礎部からの熱損失の定量的な評価を行っており、基礎部分の熱貫流率を求める近似式を提案している(表-3)⁶⁾。実測物件は基礎底盤裏面全体も断熱が施工されているが、その仕様に対応する近似式は示されていないので、ここでは、表-3 に示す仕様にて基礎部熱貫流率 K_L 及び K_F を求めた。この熱貫流率は、冬期間全体の屋内から外部に流出する熱損失(期間熱損失)を求めることを想定したものである。そこで、3月~5月及び10月~12月の6ヶ月間の期間熱損失の実測値と基礎部熱貫流率から求めた推定値を比較した。実測値は当該期間の蓄熱量と放熱量の差分^{補注)}とし、推定値はリビング室温と外気温の差の期間平均値から算出した。なお、実測現場における土の熱伝導率は確認できないため、0.58、1.0、1.74W/(m・K)の3種類を想定して期間熱損失を求めた。

表-3 基礎部熱貫流率の近似式(べた基礎・基礎内断熱)⁶⁾

$$K_L = 1.8 + 0.4\lambda - 0.73T_1^{0.15} - 0.003W - 0.035T_2 \quad (1)$$

$$K_F = 0.016 + 0.057\lambda \quad (2)$$

ここで、

K_L : 外周 1m あたりの熱貫流率 [W/(m・K)]

K_F : 土間床等の中央部の熱貫流率 [W/(m²・K)] (外壁から 1m を除く)

λ : 土の熱伝導率 [W/(m・K)] (0.58~1.74 W/(m・K))

注) 一般的には 1.0 W/(m・K) を用いる

T_1 : 基礎外側の断熱材の厚さ [cm] (2.5~15cm)

W : 土間外周の断熱長さ [cm] (0~90cm)

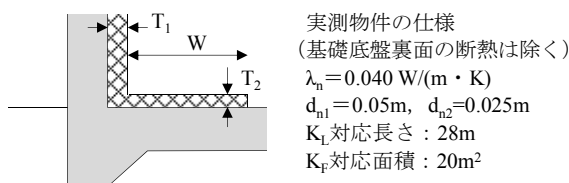
T_2 : 土間外周の断熱材の厚さ [cm] (0~6cm)

ただし、 T_1 と T_2 は、断熱材の熱伝導率を 0.0326W/(m・K) とした場合であり、これ以外は次式で T_1 と T_2 を熱抵抗換算する。

$$T_{n1} \text{ or } T_{n2} = (d_n / \lambda_n) \times 0.0326 \quad (3)$$

T_{n1}, T_{n2} : 換算厚み [m], d_n : 採用する断熱材の厚み [m]

λ_n : 採用する断熱材の熱伝導率 [W/(m・K)]



結果を表 4 に示す。期間熱損失の実測値は妥当なオーダーであると言えるが、推定値は基礎底盤裏面の断熱材は無いものとしているので、実測値は若干大きいと判断される。この原因としては、実測物件の基礎は盛土の上に構築されており(図-2)、地盤の温度が外気温の影響を受けやすいことが挙げられる。一般的な基礎断熱工法においても、このような地盤面の状況によって、意図せぬ熱損失が生じる恐れがあるので注意が必要であろう。

期間熱損失 4.01GJ は、同期間の太陽熱集熱量 8.54GJ の約半分であり、決して少なくない。空気集熱式ソーラーシステムのさらなる効率化に向けて、蓄熱部における熱損失の対策は重要な事項と言える。

表-4 期間熱損失の実測値と推定値の比較

項目	実測	推定値		
λ [W/(m・K)]		0.58	1.00	1.74
K_L [W/(m・K)]		0.879	1.047	1.343
K_F [W/(m ² ・K)]		0.049	0.073	0.115
期間平均内外温度差 [°C]	8.70			
期間日数 [日] [*]	166			
期間熱損失 [GJ]	4.01	3.19	3.84	4.98

※当該期間の内、欠測日(3/17, 4/14, 5/22, 5/23, 12/18 以降)を除く。

4. まとめ

実測による基礎コンクリートスラブにおける蓄放熱量の計測結果を示した。冬期の蓄放熱比は、20~38%であった。基礎部分からの熱損失を抑えることで、蓄熱部の温度の上昇と放熱量の増加が見込めるので、システムの効率化が期待される。また、一般的な基礎断熱工法においても、地盤の状況により、意図せぬ熱損失が生じる恐れがあることを指摘した。

今後は、他の地域に建つ住宅を対象とした実測により、地盤温度や基礎から地盤への熱流なども含め、各種基礎データの蓄積を行うとともに、シミュレーションによる省エネルギー効果の評価を予定している。

補注

蓄熱分にはコンクリートの昇温及び維持に寄与する熱も含まれるので、すべてが損失とは言えないが、ここでは推定値との比較の際に混乱を避けるため、期間熱損失という表現を用いた。

謝辞

本研究は自立循環型住宅開発委員会第3フェーズの一環として実施した。また、内容の一部は平成23年度国土交通省住宅建築関連先端技術開発助成事業として実施したものである。

参考文献

- 1) 岩田他:ソーラーハウスの性能評価に関する研究 その1 実験住宅の概要と実測結果, 同題その2 システムの成績係数と蓄放熱について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.417-420, 1956年9月
- 2) 岩田他:ソーラーハウスの性能評価に関する研究 その3 蓄熱コンクリートの蓄放熱量について, 同題 その4 太陽熱依存率について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.447-450, 1997年9月
- 3) 中村他:太陽熱利用空気集熱式床暖房住宅の設計指針, 日本建築学会計画系論文集, 題516号, pp.31-38, 1999年2月
- 4) 桑沢他:空気集熱式ソーラーシステムの省エネルギー効果の評価に関する研究(第1報) 実測概要と下記・冬期の計測結果, 空気調和・衛生工学会大会学術講演会論文集, pp.2063-2066, 2010年9月
- 5) 赤嶺他:同題(第2報) 暖房集熱時の熱移動と暖房エネルギー削減効果の計測結果, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.2067-2070, 2010年9月
- 6) 岩前他:基礎断熱住宅の基礎部からの熱損失の定量的評価, 日本建築学会環境系論文集, 第567号, pp.37-42, 2003年5月