

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
Study on Energy Saving Effect of Air-Based Solar Heating System
Part 2 Measurement Results of the Heat Transfer from Solar Thermal Energy
and Energy Saving Effect on House Heating

正会員 ○赤嶺 嘉彦 (東京大学) 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 中村 正吾 (OMソーラー)
 正会員 盧 炫佑 (OMソーラー)

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

Shogo NAKAMURA*³ Hyunwoo ROH*³

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

In the previous paper ¹⁾, the purpose of this study noted, and the outline of field measurement and measurement results of summer and winter were showed. In this paper, we discuss the situation with the transfer of heat during the winter heat collection. We use air conditioning to residents on a trial basis, and report the results of measurements of energy differences with and without solar heating system.

1. はじめに

前報 ¹⁾では、本研究の目的を記し、実測概要を示すとともに、夏期・冬期の計測結果を示した。本稿では、冬期の集熱時の熱移動状況に関する考察を行うとともに、居住者にエアコンを試験的に使用していただき、ソーラーシステムの有無による暖房エネルギーの差異について計測した結果について報告する。

2. 集熱時の熱移動状況

集熱時に屋根面で集熱し、床下へ搬送された熱は、基礎部分への蓄熱(夜間に放熱)・床から居室への貫流熱・床吹き出し口からの対流熱により、居室の暖房に利用される。集熱時にそれらの熱移動が、どのような割合で生じているかを検討する。ここでは、比較的、日射量が安定していた2009年2月1日(日)~2月7日(土)の計測結果を対象として分析を進める。また、分析にあたり、図-1に示すように、建物を外部・床下空間・居室の3つの空間に簡略化した。

基礎部分への蓄熱量は、各計測点の面積加重平均をとった、基礎表面温度 $T_{s, \text{基礎}}$ と、体積加重平均をとった床下空気温度 $T_{a, \text{床下}}$ 、を用いて(1)式により算出した(測定点は前報図-1参照)。

$$Q_{\text{蓄熱}} = \alpha_{\text{基礎}} (T_{a, \text{床下}} - T_{s, \text{基礎}}) \times A_{\text{基礎}} \quad [\text{W}] \quad (1)$$

ここで、

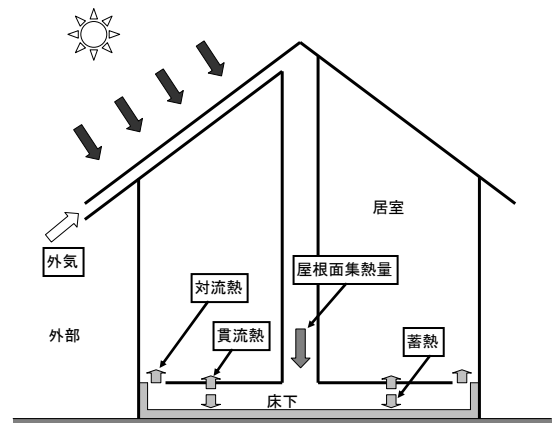


図-1 分析時の簡略化した建物のイメージ

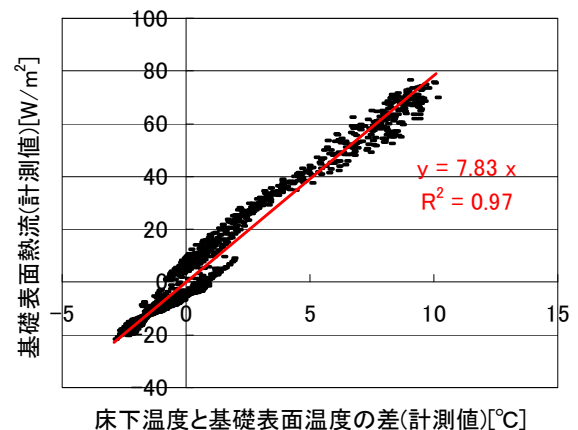


図-2 基礎表面の対流熱伝達率

$Q_{\text{基礎}}$: 基礎への蓄熱量 [W]
 $\alpha_{\text{基礎}}$: 基礎表面の対流熱伝達率 [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]
 $A_{\text{基礎}}$: 基礎スラブの表面積 [m^2]

基礎表面の対流熱伝達率は、基礎表面に設置した熱流計の計測値と、その近傍で計測した床下空気温度と基礎表面温度から求めた。図-2 に示す、グラフの回帰直線の傾きが $\alpha_{\text{基礎}}$ となり、約 $7.8[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$ であった。

床スラブから居室への貫流熱は、次式により算出した。

$$Q_{\text{貫流熱}} = K_{\text{床}}(T_{\text{a床下}} - T_{\text{a居室}}) \times A_{\text{床面}} \quad [\text{W}] \quad (2)$$

ここで、

$Q_{\text{貫流熱}}$: 床スラブを熱伝導で居室に搬送される熱 [W]
 $K_{\text{床}}$: 床スラブの熱貫流率 [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]
 $T_{\text{a居室}}$: 各居室温度の計測値の体積加重平均 [$^{\circ}\text{C}$]
 $A_{\text{床面}}$: 床面積 [m^2]

床スラブの熱貫流率は、基礎表面の対流熱伝達率と同様に、床裏面に設置した熱流の計測値と床下平均温度と居室平均温度の差から算出した。結果を図-3 に示す。基礎表面とことなり、居室側の対流熱伝達率は、風速などの影響により、非常に不安定となるため、回帰精度は低いですが、ここでの解析では、回帰直線の傾きを床スラブの熱貫流率 ($4.3[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$) とした。この精度については今後の課題である。

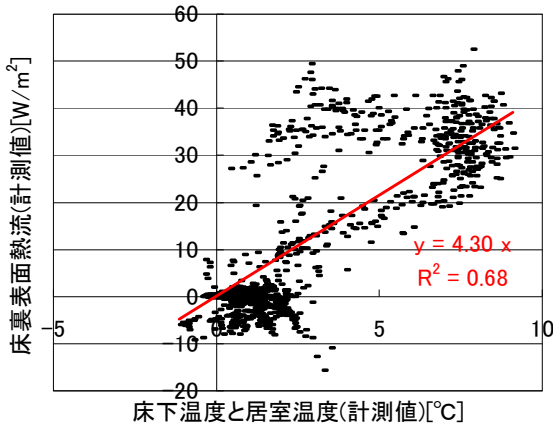


図-3 床スラブの熱貫流率

床吹き出し口からの空気搬送による対流熱は、(3)式により算出した。

$$Q_{\text{対流}} = M \times C_p(T_{\text{a床下}} - T_{\text{a居室}}) \quad [\text{W}] \quad (1)$$

ここで、

$Q_{\text{対流}}$: 床吹き出し口からの空気搬送による対流熱 [W]
 M : 集熱時の風量 [kg/s]
 C_p : 空気の比熱 [J/kgK]

図-5 に集熱量と各経路の熱量の日積算データのグラフを示す。床スラブの熱貫流率の同定精度や、計測精度の限界により、集熱量の方が、各経路の熱量の積算よりも、若干、大きくなっているが、図のように、熱の収支は概ね把握することが可能であった。各経路の熱移動の割合は、基礎部分への蓄熱が約 4 割、床スラブへの熱伝導が約 3 割、床吹き出しからの対流熱伝達が約 3 割であった。これは、岩田ら²⁾のシミュレーション結果とほぼ一致する結果であった。

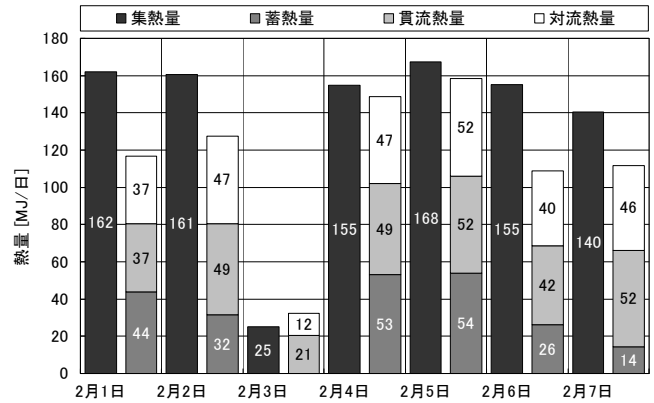


図-4 各経路の熱量の日積算

なお、各日の蓄熱量と放熱量、および、蓄放熱比 (蓄熱量に対する法熱量の比率) を表-1 に示す。放熱は、翌日の集熱開始まで続いたため、集熱が開始される朝 9 時から翌日の 9 時前までを各日の結果とした。の 2 月 3 日は、曇りで、日中の集熱 (蓄熱) ができなかったため、蓄放熱比は 44% と、相対的に放熱量が大きい結果となっている。その他の日で平均を取ると、蓄放熱比は約 16% であった。なお、冬期の期間を通した結果では、蓄放熱比は約 19% という結果になった (表-2)。

表-1 2009年2月1日~2月7日の蓄熱量と放熱量

	蓄熱量[MJ/日]	放熱量[MJ/日]	蓄放熱比[%]
2/1	131.7	19.2	14.5
2/2	135.1	22.6	16.8
2/3	21.2	9.5	44.7
2/4	138.9	16.1	11.6
2/5	144.1	15.4	10.7
2/6	128.9	27.3	21.1
2/7	113.2	20.6	18.2

表-2 冬期における各月の蓄熱量と放熱量 (日平均)

	蓄熱量[MJ/日]	放熱量[MJ/日]	蓄放熱比[%]
09年1月	84.0	16.6	19.7
09年2月	87.0	15.0	17.3
09年3月	60.6	10.5	17.4
09年12月	78.1	16.2	20.8
10年1月	123.6	30.1	24.3
10年2月	66.8	11.0	16.5
10年3月	78.1	13.5	17.3

3. 暖房エネルギー削減効果に関する検討

3.1 計測概要

エアコンを使用した場合の、空気集熱式ソーラーシステムによる暖房エネルギーの削減効果と温熱環境に関する検討を行った。エアコンはリビングに設置されているものを使用した。エアコンの仕様を表-3に示す。

エアコンは、設定温度 20℃、風向風速の設定は自動とし、測定のケースは、表-4に示すように「エアコンのみ」、「ソーラー併用」とした。

表-4 測定ケース

ケース名	測定期間	ソーラーシステム	エアコン
エアコンのみ	'10/1/30-2/5	停止	朝 6~9時 夜 17~22時
ソーラー併用	'09/12/14-12/20	運転*	

*ソーラーシステムの冬期運転モードは前報より表-2参照

図-5、図-6に各ケースの気象、リビングの温度状況、

機器使用状況の時系列データを示す。図のように、エアコンとソーラーシステムはスケジュールどおり、運転されている。外気温は、「エアコンのみ」のケースが「ソーラー併用」の週よりもやや高めであった。各日のエアコン使用時の日平均のデータを図-7、図-8に示す。図のようにリビングの気温は、ケースによる差は無いが、リビングの床面温度は、朝は約3℃、夜は4℃程度、「ソーラー併用」のケースが高くなっていた。また、エアコンの消費エネルギーも「ソーラー併用」のケースが小さくなっていることがわかる。

図-9に、エアコンの消費エネルギーの日合計の期間平均データを示す。この比較では、前日の蓄熱の影響を除くため、各ケースの初日を除く6日間の期間平均データとしている。なお、「ソーラー併用」のケースについては、ソーラーシステムの消費エネルギー約0.5[MJ/日] (待機電力: 約8[W]、集熱時: 約2[W] (実測値)) も暖房エ

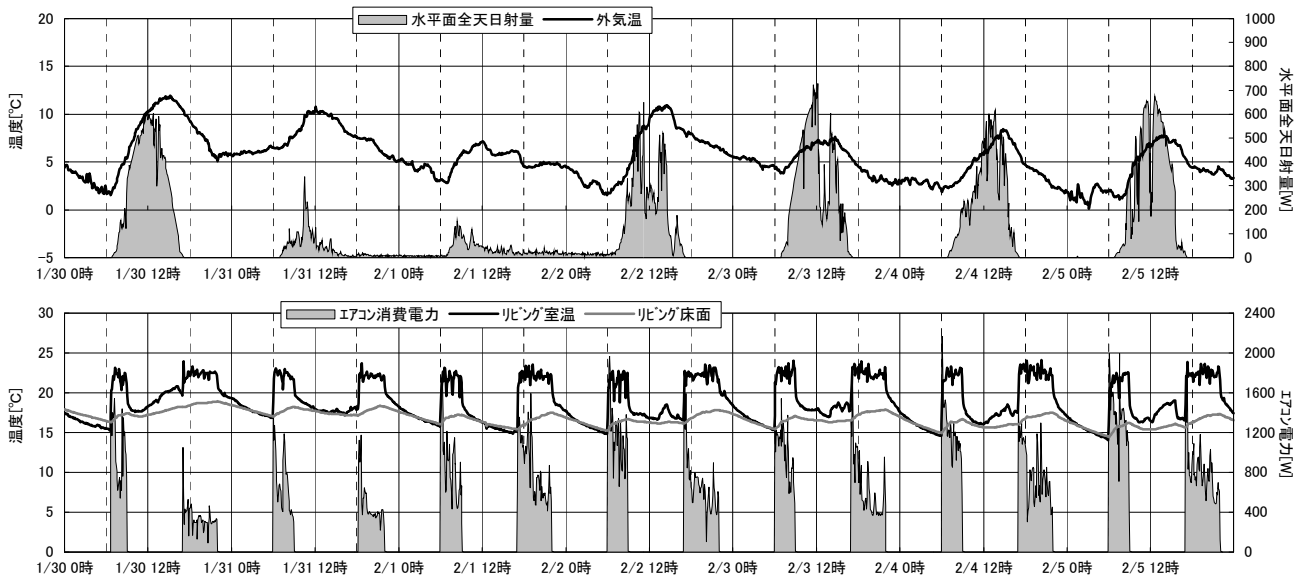


図-5 「エアコンのみ」ケース時の気象・リビング温度状況・機器使用状況

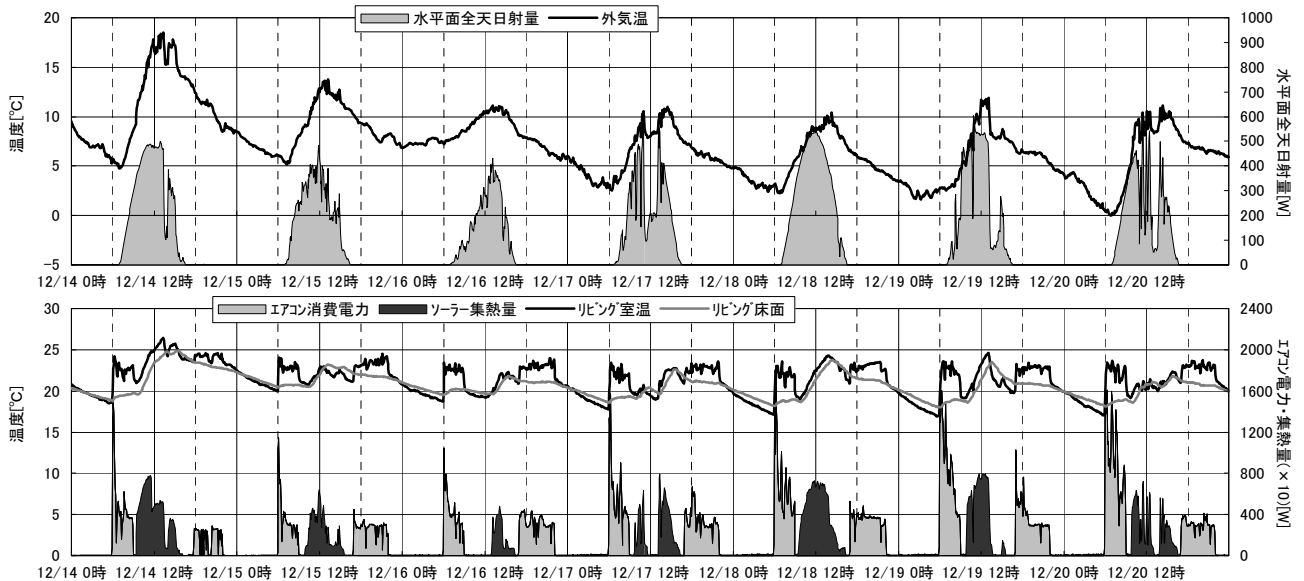


図-6 「ソーラー併用」ケース時の気象・リビング温度状況・機器使用状況

エネルギーに含めている。今回のケースでは、ソーラーシステムを併用することで、約 44.8%の省エネ効果が見られた。ただし、外気温の違いや、ソーラーシステムが有効に機能するように配慮された建物プランであることに注意が必要である。

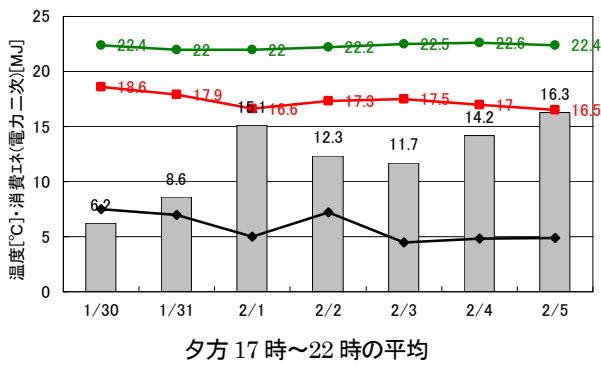
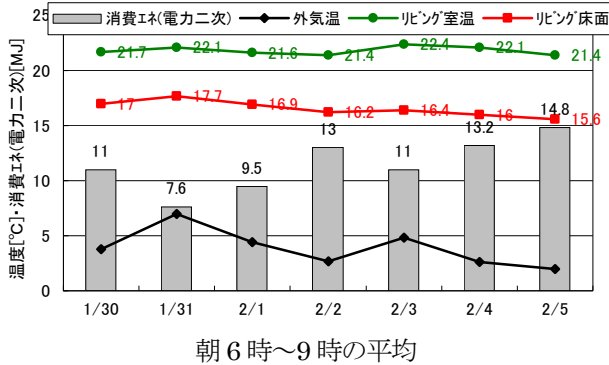


図-7 「エアコンのみ」の日平均データ

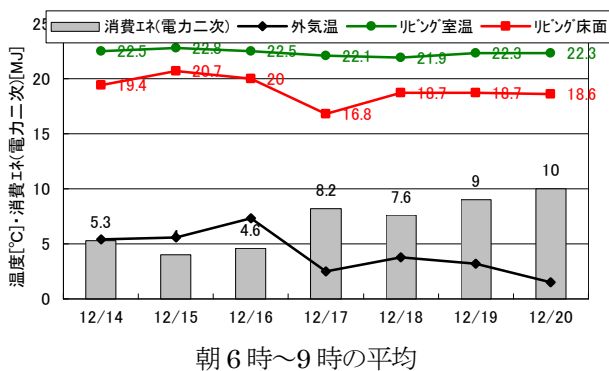


図-8 「ソーラー併用」の日平均データ

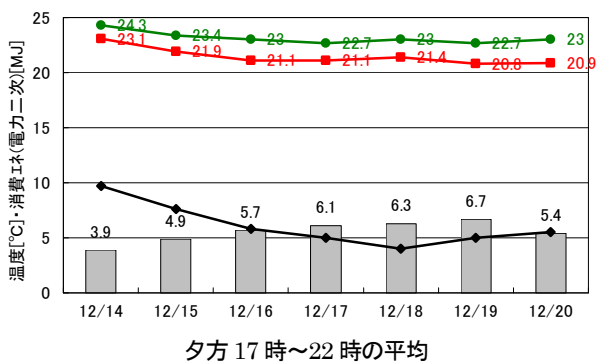


図-8 「ソーラー併用」の日平均データ

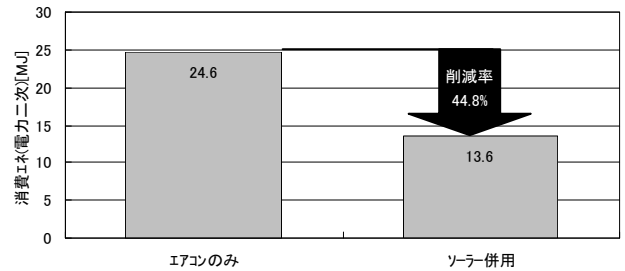


図-9 「ソーラーシステム併用」による暖房エネ削減状況

3. まとめ

本稿では、冬期の集熱時の熱移動状況に関する考察を行うとともに、ソーラーシステムによるエアコン使用時の暖房エネルギーの削減効果について計測した結果を報告した。主な知見を以下に示す。

- 屋根面での集熱量は、屋根面全天日射量の約3割。
- 集熱した熱の移動状況は、基礎部分への蓄熱が約4割、床スラブへの熱伝導が約3割、床吹き出しからの対流熱伝達が約3割であった。
- 日中の基礎部分への蓄熱量のうち、夜間の放熱量は約2割であった。
- 外気温が同程度の場合、ソーラーシステムによるエアコンの暖房エネルギーの削減率は46.8%となり、その省エネ効果が非常に高いことを確認した。
- また、エアコンのみの場合よりも床表面温度が3~4°C程度高くなっており、温熱環境もソーラーシステムにより改善する。

今後は、集熱パネルなどの構成部材の性能検証を行うとともに、シミュレーションにより、地域や建物の方位や仕様などによる空気集熱式ソーラーシステムの検討を行い、その省エネルギー効果を定量的に評価することを課題としている。

謝辞

本研究は、(財)建築環境・省エネルギー機構に設置された自立循環型住宅に係る技術開発研究(発展プロジェクト)における研究活動の一環として行ったものである。委員会の議論で多くのご助言をいただいた。委員各位に謝意を記します。

参考文献

- 1) 桑沢, 赤嶺, 前, 中村, 盧: 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) 実測概要と冬期の温度状況に関する計測結果, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2010年9月
- 2) 岩田, 相良, 木村: 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, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 447-448, 1997年9月