

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) 実測概要と夏期・冬期の計測結果

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

Part 1 Outline of Field-Survey and Measurement Results in Summer and Winter

正会員 ○桑沢 保夫 (建築研究所) 正会員 赤嶺 嘉彦 (東京大学)
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)

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

Shogo NAKAMURA*³ Hyunwoo ROH*³

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

As a solution to our energy problems and respond to global warming, solar energy is expected to be useful. But, if we use solar power as heat source, it is difficult to be independently building system. So it is important to care in the design phase of building. In this study, detailed measurements of building heat and temperature conditions, and experiments on the efficiency of heat collector, will be carried out a systematic simulation, solar thermal collection system air which aims to evaluate quantitatively the effect of energy conservation.

1. はじめに

地球温暖化への対応や我が国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自然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。給湯や暖房の熱源として太陽熱を利用する場合は、日照時間と熱負荷の発生時間が異なるため、蓄熱部位が必要となり、システムを建築と独立させることが困難であるなど、建物の設計段階において居住者の住まい方を含めた綿密な計画が不可欠となる。これに対し、戸建住宅を対象とした研究として、岩田・相良ら¹⁾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る蓄放熱量の検討を行っている。また、中村ら²⁾は、シミュレーションにより、建物性能、集熱・蓄熱部位、運用方法などの条件による快適性の差異を検討し、設計指針を提案している。このように、温度状況の実態については報告されているものの、熱量に関してはシミュレーションによる検討にとどまっており、実際の集熱量や蓄(放)熱量などの熱利用に関する定量的な知見は無い。

そこで、本研究では、建物の温度状況と熱利用の実態を実測により詳細に把握するとともに、集熱部位の効率に関する実験や、シミュレーションを系統的に実施し、空気集熱式ソーラーシステム(後述)の省エネルギー効果を定量的に評価することを目的とする。本稿(第1報)では、実測概要、および、夏期・冬期の集熱量や温度状況の計測結果について報告する。次稿(第2報)⁴⁾では、

暖房集熱時における熱利用状況を示すとともに、暖房エネルギー削減効果に関する計測結果を示す。

2. 実測概要

2.1 実測物件の概要

図-1、表-1に実測物件の概観・図面、建物概要を示す。実測対象の物件は、安城市に2008年春に竣工した設計Q値2.65[W/m²・K]の次世代省エネ基準を満たす戸建住宅である。各季節に応じてエアハンドリングユニットにより、表-2の示す運転となる。

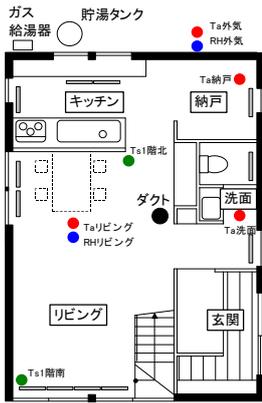
冬期は南面の軒先から外気を取り入れ、黒色鋼板仕上げの屋根面とガラス集熱パネルで太陽熱により加温して基礎部分に集熱し(以下、前者を予備集熱面、後者をガラス集熱面と記す)、基礎スラブへの蓄熱・床スラブの加温(床暖房の効果)・床吹き出し口からの暖気搬送により暖房を行う。ただし、室温が17℃を超えると、集熱と同時に、不凍液を循環し、エアハンドリングユニットで給湯用の採熱(お湯採り)を開始する。また、夜間は最上階のロフトにある空気取り入れ口から基礎部分に空気を搬送し、基礎からの放熱を促す(以下、室内循環)。なお、集熱時は付属の太陽光パネルで発電した電力を使用し、空気搬送や不凍液の循環に要する商用電力は約2[W]と非常に小さい。夜間の室内循環では、約20[W]となる。このように、空気を熱媒として、太陽熱を屋根面で集熱し、基礎部分への蓄熱を利用した暖房を行うシステムを本研究では、空気集熱式ソーラーシステムと定義する。



実測物件の概観



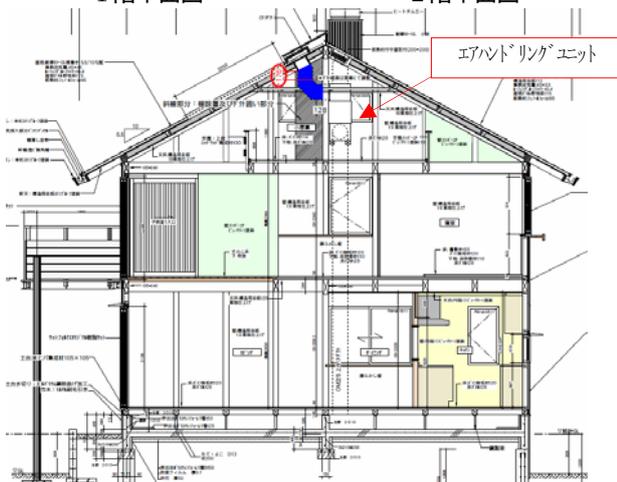
基礎伏図



1階平面図



2階平面図



断面図

図-1 実測物件の概要

表-1 実測物件の概要と家族構成

所在地	愛知県安城市
竣工年	2008年春
床面積	述べ: 96m ² (1階: 48m ² 、2階: 48m ²)
家族構成	4人家族 父(会社員)、母(主婦)、姉(中学生)、弟(小学生)

表-2 各季節のソーラーシステム運転状況の温度閾値

モード (運転開始条件)	集熱	集熱 お湯とり	お湯とり 排気
冬期 (棟温 30℃以上)	Tr ≤ 17℃	17 < Tr ≤ 27℃	28℃ ≤ Tr
中間期 (棟温 35℃以上)	Tr ≤ 12℃	12 < Tr ≤ 22℃	23℃ ≤ Tr
夏期 (棟温 40℃以上)	Tr ≤ 12℃	なし	13℃ ≤ Tr

Tr : 室温[℃]

夏期は、屋根面で過熱された空気は、居室に入らずにお湯採り後、排気される。また、夜間に放射冷却で冷えた屋根面から外気を基礎部分に取り込み(蓄冷)、日中に建物北側から基礎部分に外気を取り込み、予冷した空気を居室へ送るシステムも設置されている。

なお、換気システムはロフト部分に24時間換気用の排気ファンと、トイレ・浴室に局所排気ファンが設置された第3種換気方式(換気回数: 0.6[回/h](実測値))である。冬期の集熱時は、24時間換気は自動的に停止し、換気回数: 1.8 ~ 2.5[回/h](実測値)の第2種換気となる。また、夏期の日中に建物北側から取り込む風量は換気回数 0.76[回/h]程度であり、消費電力は 8.0[W]であった(いずれも実測値)。

2.2 測定概要

表-3に測定概要を示す。居室の温度状況に加え、日射熱の利用状況を詳細に計測するために、空気搬送ダクト(基礎部分、排気部分)に風量計、基礎表面と1階床裏表面に熱流計を設置した(図-1参照)。給湯機器まわりも図-2に示すように、不凍液や給湯給水の温度・流量などを計測し、給湯に利用した熱量を把握した。

表-3 測定概要

計測期間: 2008年12月26日~2010年5月現在継続中

測定項目	点数	センサー	計測間隔
水平面全天日射	1	英弘精機 MS-601	5秒
屋根面全天日射	1		
屋根面内部気温	1	熱電対	
エアハンドリングユニット内温・湿度	2・1	熱電対	
外気温・湿度	2・1		
床下気温・湿度	8・1	TDK製 CHS-UPS	
居室気温・湿度	14・1	熱電対	
基礎表面温度	3		
床裏表面温度	3		
床面温度	5		
天井面温度	5		
壁面温度	4	ウェットマスター AE250D	
空気搬送風量	2		
給湯タンク温度	2	熱電対	1分
給湯給水温度	2		
不凍液温度	2		
給湯給水流量	2	愛知時計電機 MND20	
不凍液流量	2	愛知時計電機 MND10	
エアコン電力	1	三菱電機 ME110NSR	
換気ファン電力	1		
エアコン電力	1	コーナ札幌 KNS-WP	
ホットカーペット電力	1		

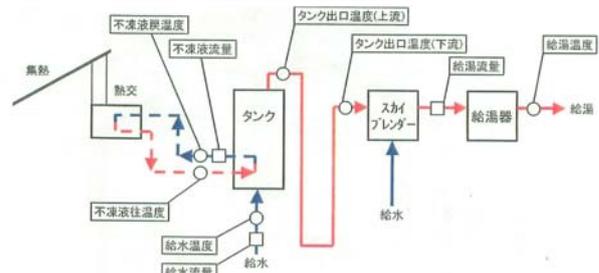


図-2 給湯まわりの測定概要

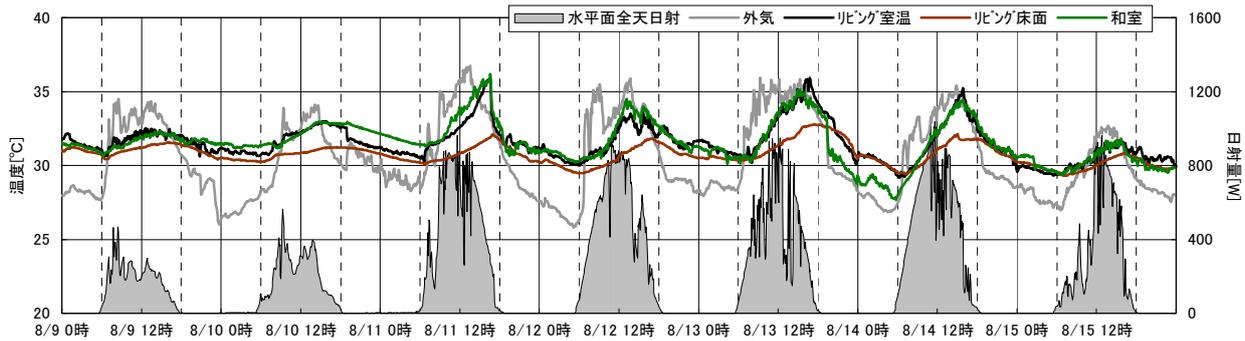


図-3 夏期の外部気象と居室の温度状況 (2009年8月9日~8月15日)

2.3 集熱量の算出方法

予備集熱面、および、ガラス集熱面における日射量と集熱量は表-4に示す式により算出した。式(4)~(6)のように、集熱量は外気温を基準とした。

表-4 集熱量の算出方法

屋根面日射量の算出式		
予備集熱面の日射量	$J_{sub}=J \times A_{sub}$	[W] (1)
ガラス集熱面の日射量	$J_g=J \times A_g$	[W] (2)
屋根面全体の日射量	$J_{total}=J_{sub}+J_g$	[W] (3)
集熱量の算出式		
予備集熱面の集熱量	$Q_{sub}=M \times C_p \times (T_{roof}-T_o)$	[W] (4)
ガラス集熱面の集熱量	$Q_g=M \times C_p \times (T_h-T_{roof})$	[W] (5)
屋根面全体の集熱量	$Q_{total}=Q_{sub}+Q_g$	[W] (6)
各集熱面の集熱効率 (日射量に対する集熱量の比率)		
予備集熱面の集熱効率	$E_{sub}=Q_{sub}/J_{sub} \times 100$	[%] (7)
ガラス集熱面の集熱効率	$E_g=Q_g/J_g \times 100$	[%] (8)
屋根面全体の集熱効率	$E_{total}=Q_{total}/J_{total} \times 100$	[%] (9)

ここで、
 J : 屋根面全天日射量 [W/m²] (計測値)
 A_{sub} : 予備集熱面の面積[m²] (14.4m²)
 A_g : ガラス集熱面の面積[m²] (11.6m²)
 M : 集熱時の風量[kg/s], C_p : 空気比熱[J/kgK]
 T_{roof} : 屋根内の予備集熱面とガラス集熱面の境目の空気温度[°C]
 T_o : 外気温度[°C]
 T_h : ガラス集熱面通過後のエアハンドリングボックス内の温度[°C]

3. 計測結果

3.1 夏期の測定結果

ここでは、夏期の代表日として、2008年8月9日(日)~8月15(土)の測定結果を示す。図-3に外部気象と居室の温度状況を示す。床温・室温ともに30°Cを超える暑い状態だが、エアコンの使用はせず、居住者は扇風機等で暑さを凌いでいたと思われる。図-4に屋根面日射量と集熱量の日積算値の結果を示す。図のように、屋根面全体の集熱効率は、晴天日で35%程度であった。なお、予備集熱面の集熱効率は27%程度、ガラス集熱面は44%程度(いずれも晴天日)であった。図-5に集熱量のうち給湯に利用された熱量(給湯利用熱量)と給湯負荷の日積算値を示す。このように、天気作用されるものの、期間を通じて概ね屋根面集熱で給湯負荷を賄っていた。

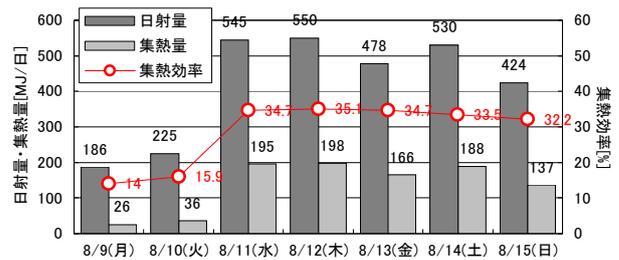


図-4 日射量と屋根面集熱量の日積算と集熱効率

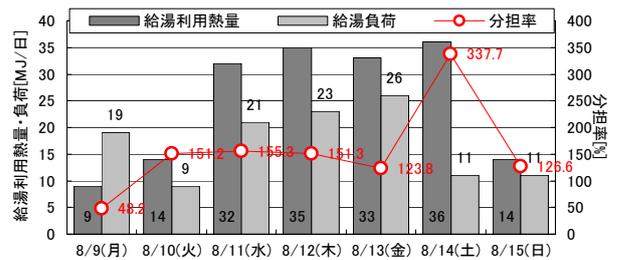


図-5 給湯用熱量と給湯負荷の日積算と太陽熱分担率

3.2 冬期の測定結果

ここでは、冬期の代表日として、2009年2月1日(日)~2月7(土)の測定結果を示す。図-6に外部気象と居室の温度状況を示す。エアコン等の補助暖房は一切使用していなかったが、日中は25°C付近まで室温が上昇しており、比較的快適な温度範囲にあると言える。ただし、曇天日(2月3日)などは、室温が20°Cを下回る。

図-7にリビングの室温と床表面温度の関係を示す。このように、床表面の温度は室温と同等、あるいは若干高めで推移しており、基礎部分に暖気を送ることで、床暖房に似た効果が現れており、床温度と快適性については、明らかになっていないものの、居住者は「床板が暖かく心地良い」と感じていた(アンケート結果による)。

図-8に屋根面日射量と集熱量の日積算値の結果を示す。屋根面全体の集熱効率は、晴天日で37%程度であり、夏期の結果とほぼ同程度であった。

表-5に、各月の屋根面日射量・集熱量の日平均値のデータを示す。屋根面の集熱効率は、年間を通して、予備集熱面19.4%、ガラス集熱面32.3%、屋根面全体25.1%であった。

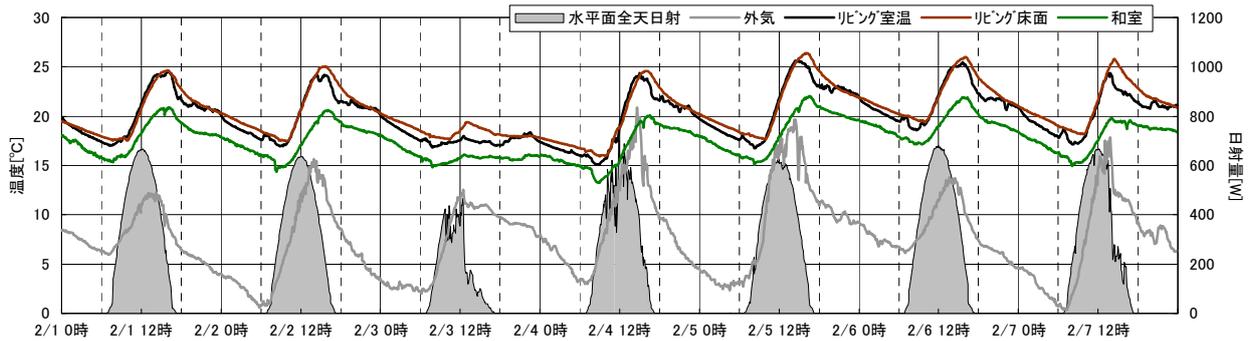


図-6 冬の外部気象と居室の温度状況 (2009年2月1日~2月7日)

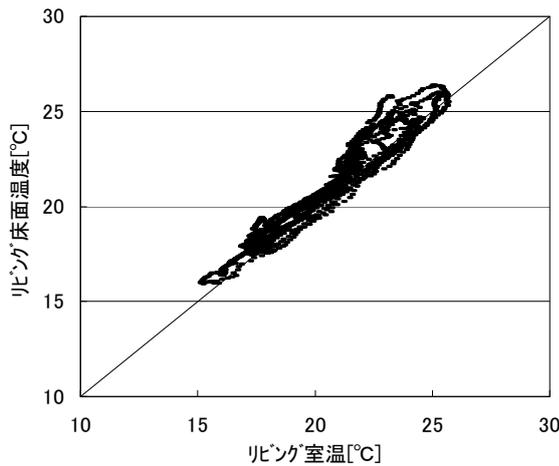


図-7 冬のリビングの室温と床面温度の比較

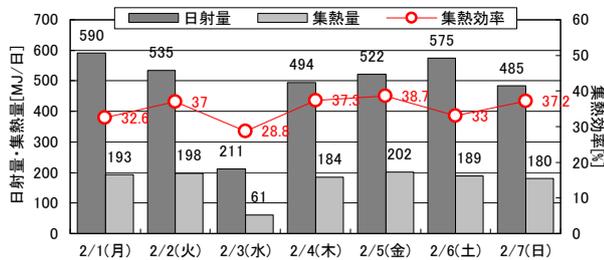


図-8 日射量と屋根面集熱量の日積算と集熱効率

表-5 各月の屋根面日射量と集熱量の日平均値[MJ/日]

	予備集熱面 集熱量/日射量	ガラス集熱面 集熱量/日射量	屋根面全体 集熱量/日射量
09年1月	53.1/190.3	62.9/152.7	116.1/343.1
09年2月	40.0/218.4	56.5/175.3	96.6/393.7
09年3月	29.7/232.7	43.2/186.8	72.9/419.5
09年4月	49.2/275.0	70.4/220.6	119.6/495.6
09年5月	52.4/247.0	72.1/198.2	124.5/445.2
09年6月	56.7/230.0	64.6/184.6	111.3/414.6
09年7月	39.4/197.6	54.1/158.6	93.5/356.2
09年8月	53.5/225.2	68.9/180.7	122.5/405.9
09年9月	61.5/246.5	74.1/197.8	135.6/444.3
09年10月	51.3/204.7	63.0/164.3	114.3/369.0
09年11月	37.2/180.1	47.3/144.5	84.5/324.6
09年12月	31.4/187.2	45.6/150.3	77.0/337.5
10年1月	27.1/210.8	40.5/169.2	67.6/380.0
10年2月	19.9/185.2	27.4/148.6	47.3/333.7
10年3月	35.6/199.0	49.5/159.7	85.1/358.7

3. まとめ

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、まず、実態調査として、実測物件の概要を記すとともに、夏期と冬期の主な測定結果を示した。主な知見は以下のとおり。

- 本測定物件では、夏期の給湯負荷は太陽熱で概ね賄うことが可能であった。
- 屋根面の集熱効率は、年間を通して、予備集熱面 19.4%、ガラス集熱面 32.3%、屋根面全体 25.1%であった。

次報では、冬期の屋根面集熱時の熱移動の定量的な分析と、暖房エネルギーの削減効果に関する計測結果について報告する。

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) 岩田, 相良, 久保: 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, 1996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, 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, 渡辺, 林, 龍, 赤司: 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, 第516号, pp. 31-38, 1999年2月
- 4) 赤嶺, 桑沢, 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, 2010年9月