

空気式太陽熱集熱システムを採用した実証住宅に関する研究 (第2報) 熱負荷シミュレーションによる年間負荷削減効果検討

A Study of Demonstration Houses with Air-Based Solar System

Part2. Consideration about Annual Load Reduction Effect by Heat Load Simulation

正会員 ○崔 榮晋 (東京大学) 学生会員 深野木 託 (東京大学)

正会員 高瀬 幸造 (東京理科大学) 正会員 前 真之 (東京大学)

正会員 盧 炫佑 (OMソーラー)

Youngjin CHOI*¹ Taku FUKANOKI*¹ Kozo TAKASE*² Masayuki MAE*¹ Hyunwoo ROH *³

*¹ The University of Tokyo *² Tokyo University of Science *³ OM Solar

In this paper, the heating load simulations of 5 sites explained Part. 1 are carried out for verifying the effect of existing air-based solar system. Furthermore, the methods for performance improvement such as insulation and thermal storage are suggested and simulated. The each cases are compared by temperature and the load of heating, cooling and hot water.

1. はじめに

本報では前報に示された5物件(伊達、仙台、浜松、鹿児島、沖縄)に対して年間負荷シミュレーションを行った。検討内容は既存空気式太陽熱システムの性能を把握し、集熱・断熱・蓄熱改善や太陽熱冷房適用による年間冷暖房・給湯負荷削減効果を検討する。本報で検討した付加蓄熱材(水ペットボトル)の対流熱伝達率(集熱時、非集熱時)は前報のCFD計算結果を用いて負荷計算を行った。本報で使用したシミュレーション(ExTLA)は、東京大学前研究室で開発した熱負荷計算ツールで、Microsoft Office Excelの循環参照や反復計算機能を用いてGauss-Seidel法により連立方程式の収束計算を行っている。各セルに使用者から数式を入力することや数式の中で他のセルの値を参照することができるのがExcelベースのシミュレーションの特徴である。¹⁾

2. シミュレーション条件

本計算では標準的な4人家族を想定し、給湯で40°Cの450L/日の湯消費(修正M1モード²⁾の「平日・大」のスケジュールを基に年間平均値である450L/日に合わせるように一部修正)とした。内部発熱は既往研究³⁾の機器・人体・照明発熱を1時間間隔のスケジュールで入力して計算を行った。表1にシミュレーション条件を示す。計算は1時間間隔で土壌・基礎コンクリートなどの温度安定を考慮して、1年間助走計算後に対象期間1年間計算を行った。また室温26°C以上、外気温24°C以下の条件では10回/h換気するように設定して中間期の通風効果を反映した。付加蓄熱材の表面熱伝達率はその2のCFD結果を用いて計算を行った。また太陽熱冷房は実験室での

負荷削減率の実験データを用いて、本報の太陽熱冷房なしの計算結果から換算した。シミュレーションケースは、高断熱住宅の集熱なし(CASE1)を基準として、従来の集熱器を採用する既存システム(CASE2)、ガラス集熱器にLow-Eガラスを採用した新型集熱パネルや基礎下断熱設置(伊達、仙台、浜松、鹿児島)・床下空間に付加蓄熱材設置(伊達、仙台、浜松)・太陽熱冷房(浜松、鹿児島、沖縄)を適用したCASE3、さらに夜間断熱用真空断熱材とPCM建材を採用したCASE4を対象として計算を行った。沖縄の場合は冷房負荷削減効果を検討するCASE3までを対象とした。各物件のシミュレーションケースを表2に示す。付加蓄熱材やPCM建材は前報の表1に示した条件で計算を行った。

表1 シミュレーション条件

気象データ	拡張アメダス標準年(2000年) 伊達、仙台、浜松、鹿児島、那覇
計算間隔	1時間
暖房設定温度	20°C
暖房 スケジュール	7:00~10:00、12:00~14:00、 16:00~23:00
冷房設定温湿度	26°C/60%
冷房 スケジュール	7:00~10:00、12:00~14:00、16: 00~23:00
暖房期間	11月17日~4月16日
冷房期間	6月8日~9月26日
計算期間	助走期間1月1日~12月31日、 対象期間翌年1月1日~12月31日
計算時間間隔	1時間
給湯使用量	450L/日(40°Cで出湯) 貯湯層:420L
内部発熱	1日13.26kWh
通風計算	室温26°C以上、外気温24°C以下の条件 ⇒10回/h換気

表2 シミュレーションケース

	集熱器	断熱有無 基礎下	付加蓄熱 (水)	太陽熱冷房	PCM 建材	真空断熱材 使用建具
CASE1	×					
CASE2	従来	×	×	×	×	×
CASE3	新型 集熱 パネル	伊達 仙台 浜松 鹿児島	伊達 仙台 浜松	浜松 鹿児島 沖縄	伊達 仙台 浜松 鹿児島	伊達 仙台 浜松 鹿児島

3. シミュレーション計算結果

気候が異なる5物件に対する空気式太陽熱システムの効果や断熱強化、付加蓄熱、太陽熱冷房利用などの改善効果を検討するシミュレーションを行った。図1~5に5物件の冬期の気象条件、室温と年間負荷(暖房、冷房、給湯負荷)の結果を示す。気象条件と室温結果は1月1日から7日までの結果を示す。

まず、寒冷地の伊達の場合は冬期に晴天日が少ないため太陽熱が利用可能な日々が少ないが、図1の結果のように従来の空気式太陽熱システムを利用することで最低温度が11.9℃から12.7℃にし、最高温度は20.0℃から23.7℃に上昇した。また、新型集熱パネル仕様や基礎下断熱と付加蓄熱材を設置すること(CASE3)で、最低温度が13.5℃まで上昇した。さらにPCM設置と夜間真空断熱の利用によって、最低温度は15.3℃まで上昇した。

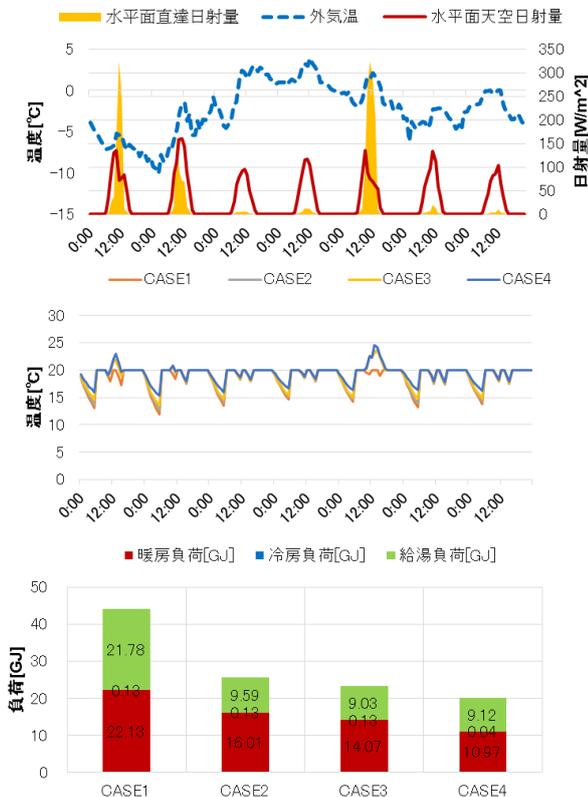


図1 室温と負荷シミュレーション結果 (伊達)

表3に各ケースの年間負荷計算結果を示す。従来の空気式太陽熱システムを適用することで年間負荷は約41.6%削減し、断熱強化や付加蓄熱を利用するCASE4では54.3%負荷削減になった。

表3 年間負荷 (伊達)

	暖房負荷 [GJ]	冷房負荷 [GJ]	給湯負荷 [GJ]	年間負荷 [GJ]	負荷削減率[%]
CASE1	22.13	0.13	21.78	44.03	
CASE2	16.01	0.13	9.59	25.73	41.6%
CASE3	14.07	0.13	9.03	23.23	47.2%
CASE4	10.97	0.04	9.12	20.13	54.3%

図2に仙台の1月1日から7日までの気象条件と室温結果、年間負荷結果を示す。示した期間中の高断熱一般住宅の温度は最低12.8℃、最高23.7℃になった。空気式太陽熱システムを適用するCASE2の場合は最高温度が26.9℃まで上昇するが夜間になると13.7℃まで室温が下がった。夜間温度低下を減らすために付加蓄熱(水ペットボトル500L)を設置すること(CASE3)で最低温度は14.4℃、PCMと夜間真空断熱利用すること(CASE4)で最低温度は18.2℃まで上昇し、仙台でも無暖房の可能性を確認した。表4のように従来の空気式太陽熱システム利用(CASE2)で年間負荷を41.8%削減、暖房や蓄熱を強化した今回提案システム(CASE4)は年間72.8%削減が可能性を確認した。

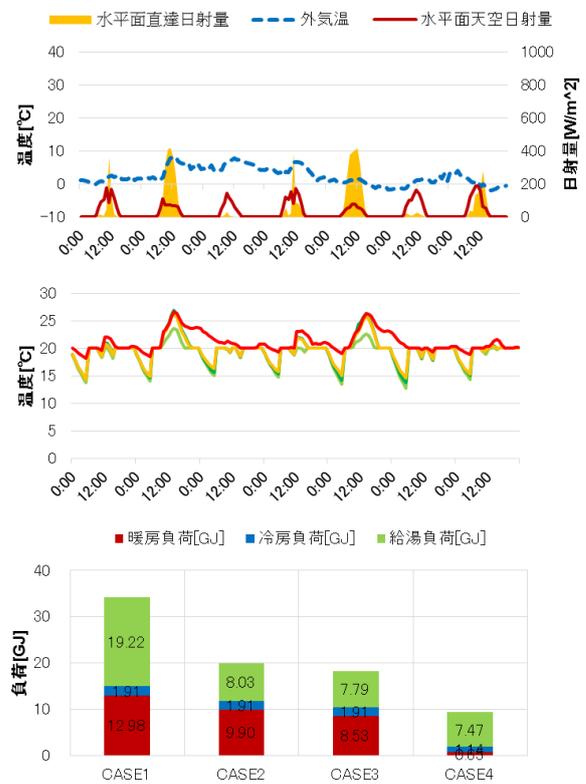


図2 室温と負荷シミュレーション結果 (仙台)

表4 年間負荷 (仙台)

	暖房負荷 [GJ]	冷房負荷 [GJ]	給湯負荷 [GJ]	年間負荷 [GJ]	負荷 削減率[%]
CASE1	12.98	1.91	19.22	34.11	
CASE2	9.90	1.91	8.03	19.84	41.8%
CASE3	8.53	1.91	7.79	18.23	46.6%
CASE4	0.65	1.14	7.47	9.27	72.8%

浜松の場合は冬期の日射量が豊富な地域であり、外気温として温暖地である。1月1日から7日の間に集熱なしの一般住宅では室温が13.1℃～23.9℃を示す。従来空気式太陽熱システムを適用すること(CASE2)で室温は14.2℃～27.8℃まで上昇するが昼間にオーバーヒートすることを確認した。CASE3では室温が15.8℃～25.6℃、CASE4では17.2℃～25.9℃に最低温度が上昇し、昼間のピーク温度が下がることを確認した。

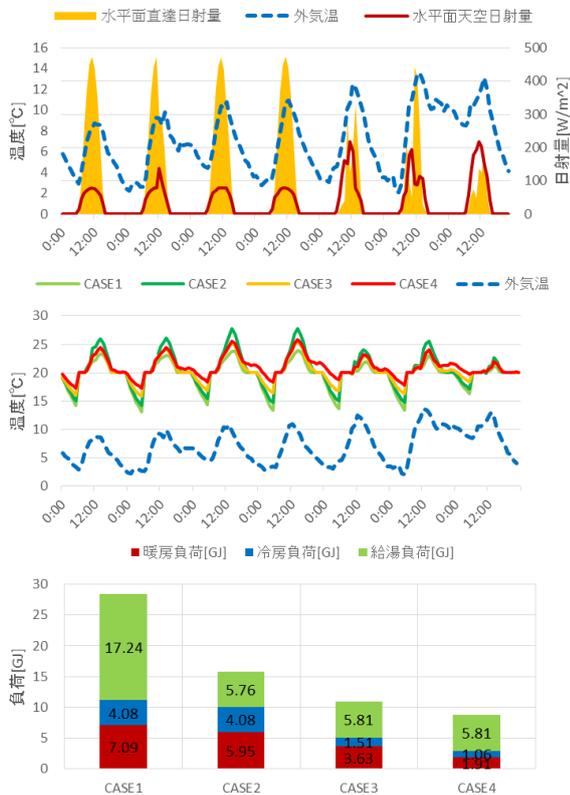


図3 室温と負荷シミュレーション結果 (浜松)

表5に年間冷暖房、給湯負荷を示す。高断熱住宅(CASE1)に従来の空気式太陽熱システムを適用すること(CASE2)で、年間約44.4%の負荷削減になった。断熱強化や付加蓄熱を適用するCASE4の場合、CASE1と比べて暖房負荷が約5.18GJ、給湯負荷が11.43GJ削減になった。また、夏期の太陽熱冷房運転による効果で年間冷房負荷は約3.02GJ削減になり、年間約69.1%の負荷削減効果を確認した。

表5 年間負荷 (浜松)

	暖房負荷 [GJ]	冷房負荷 [GJ]	給湯負荷 [GJ]	年間負荷 [GJ]	負荷 削減率[%]
CASE1	7.09	4.08	17.24	28.41	
CASE2	5.95	4.08	5.76	15.80	44.4%
CASE3	3.63	1.51	5.81	10.96	61.4%
CASE4	1.91	1.06	5.81	8.78	69.1%

準蒸暑地の鹿児島シミュレーション結果を図4に示す。1月1日から7日までの室温は、CASE1が13.6℃～26.0℃、CASE2が14.7℃～28.5℃、CASE3が14.9℃～28.7℃、CASE4が20.0℃～29.9℃になった。鹿児島の場合は冬期外気温が他の地域と比べて相対的に暖かいので水ペットボトルの適用がなくても夜間の真空断熱材による開口部断熱強化でほぼ無暖房が可能になった。表6に年間負荷の計算結果を示す。従来の空気式太陽熱システムを適用することで約40.3%、太陽熱冷房や断熱強化で約73.8%の年間負荷削減になった。

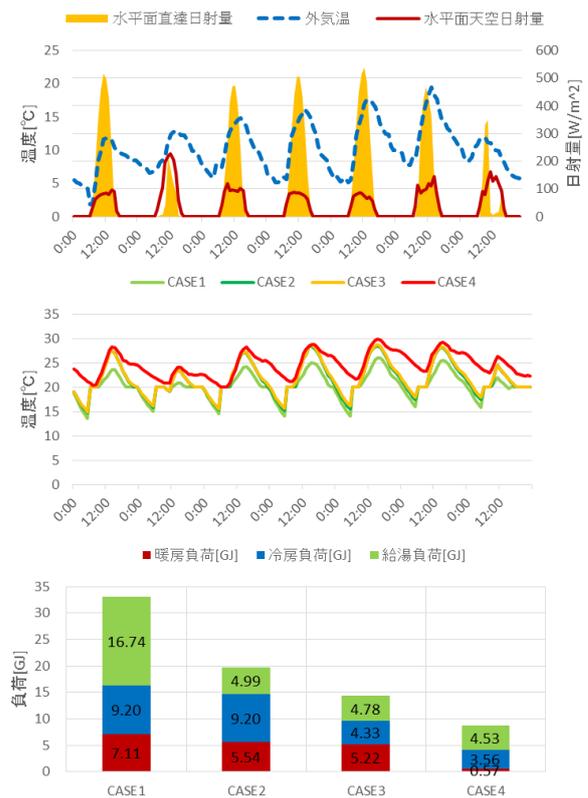


図4 室温と負荷シミュレーション結果 (鹿児島)

表6 年間負荷 (鹿児島)

	暖房負荷 [GJ]	冷房負荷 [GJ]	給湯負荷 [GJ]	年間負荷 [GJ]	負荷 削減率[%]
CASE1	7.11	9.20	16.74	33.06	
CASE2	5.54	9.20	4.99	19.73	40.3%
CASE3	5.22	4.33	4.78	14.33	56.6%
CASE4	0.57	3.56	4.53	8.66	73.8%

沖縄の場合は冷房負荷が多いため、今回の検討では空気式集熱器の性能を改善した新型集熱パネルと太陽熱冷房による負荷削減効果を検討した。図5のように1月外気温が15°C以上になるので、暖房負荷は多くないが太陽熱暖房を適用することで室温は14.8°Cから15.7°Cとして約0.9°C上昇した。また、表6の年間負荷のように太陽熱利用による冷房負荷と給湯負荷削減で年間約59.7%負荷削減効果があることを確認した。

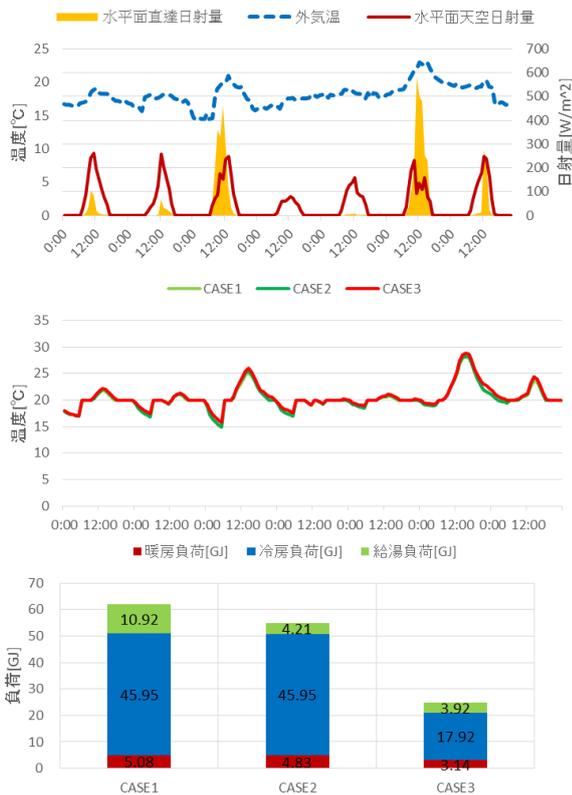


図5 室温と負荷シミュレーション結果 (沖縄)

表6 年間負荷 (沖縄)

	暖房負荷 [GJ]	冷房負荷 [GJ]	給湯負荷 [GJ]	年間負荷 [GJ]	負荷削減率[%]
CASE1	5.08	45.95	10.92	61.95	
CASE2	4.83	45.95	4.21	54.99	11.2%
CASE3	3.14	17.92	3.92	24.97	59.7%

図6には1年中の毎月5日、15日、25日の24時間冷暖房負荷 (横軸は1月から12月、縦軸は時間を示す。赤色は暖房負荷、青色は冷房負荷) の結果を示す。5物件ともに空気式太陽熱システムを適用 (CASE2) することで昼間の暖房時間が減り、断熱強化や付加蓄熱を適用する (CASE4) ことで暖房運転時間とピーク値が減ることを確認した。また、浜松・鹿児島・沖縄では太陽熱冷房システムを適用による冷房負荷削減効果を確認した。

4. まとめ

全国5か所に建設した実証住宅を対象に従来の空気式集熱システムや断熱強化、付加蓄熱適用による冷暖房・給湯負荷の削減効果に対して熱負荷シミュレーションで検討を行った。従来太陽熱利用システムの問題点である昼間オーバーヒートと朝の室温低下に対して、今回提案した水ペットボトル付加蓄熱や夜間の開口部断熱によって大幅の年間負荷削減効果が得られることを確認した。

参考文献

- 1) 崔 榮晋 他, 実験棟における冬季の床下吸放熱特性の評価, 空気式太陽熱集熱を利用した住宅のシステム性能改善に関する研究 (その1), 日本建築学会環境系論文集 79(697), pp. 271-280, 2014年3月
- 2) 自立循環型住宅への設計ガイドライン, 財団法人 建築環境・省エネルギー機構
- 3) 住宅事業建築主の判断の基準におけるエネルギー消費量計算方法の解説, 財団法人建築環境・省エネルギー機構

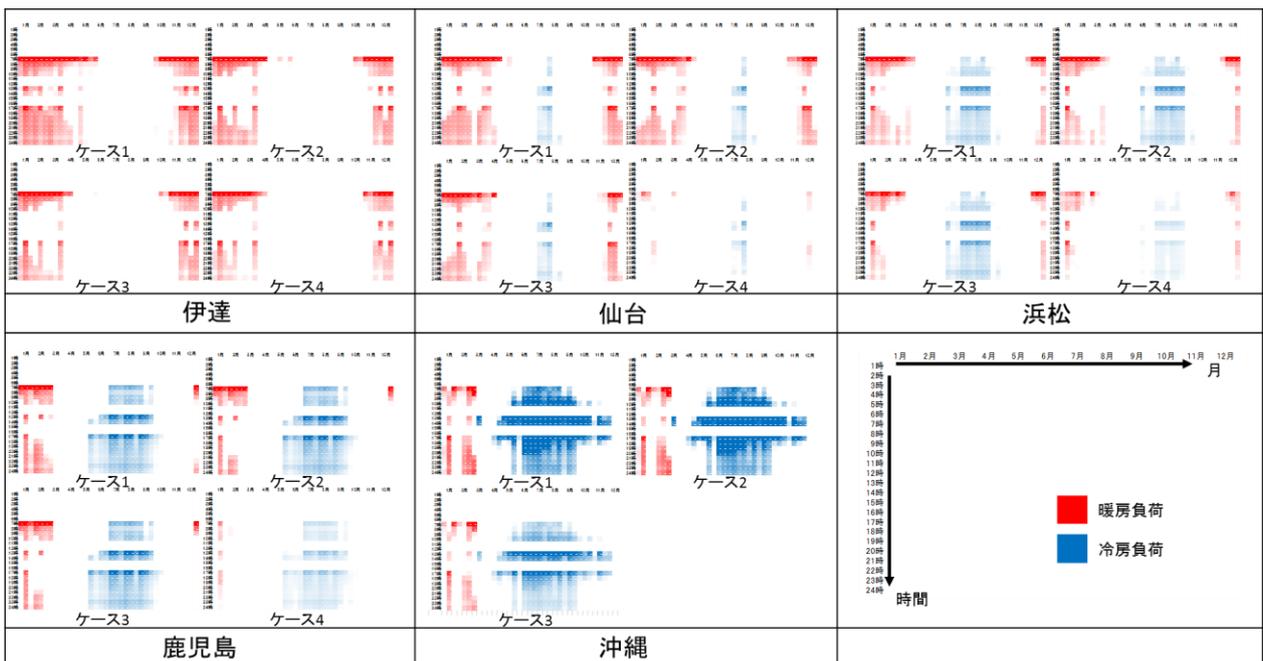


図6 5物件の年間暖冷房負荷