

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3報 実証住宅における実測概要と結果

A Study of Demonstration Houses with Air-Based Solar System

Part3.Outlines and Measurement Results of Demonstration Houses

学生会員 ○軽部 達也 (東京大学) 正会員 前 真之 (東京大学)
正会員 高瀬 幸造 (東京理科大学) 正会員 崔 榮晋 (東京大学)
学生会員 深野 木 託 (東京大学) 学生会員 森田 舟哉 (東京理科大学)
正会員 盧 炫佑 (OMソーラー) 技術フェロー 井上 隆 (東京理科大学)

Tatsuya KARUBE*¹ Masayuki MAE*¹ Kozo TAKASE*² Youngjin CHOI*¹

Taku FUKANOKI*¹ Shuya MORITA*² Takashi INOUE*² Hyunwoo ROH*³

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

We analyzed and measured five demonstration houses which have air-based solar system. In this paper, we introduced outlines and the results of measurements. We examined indoor thermal environment focusing on the effect of additional thermal mass (Water in PET bottles) in underfloor space and revealed that the additional thermal mass contributed to improve the system.

1. はじめに

本報では第1報¹⁾に示した実証住宅5件のうち北海道伊達市、宮城県仙台市、静岡県浜松市、鹿児島県鹿児島市に建設された4物件(図1)において2015年3月、4月に行った実測の結果から空気式太陽熱集熱システム(以下、本システム)の効果を検証する。今回、本システムのみ運用時の自然室温状態と、実運用を想定し補助暖房を併用した状態の実測を行った。

2. 計測概要

2015年3月からの実測期間を表1に示す。各月の第一月曜日から翌週金曜日までの計12日間の測定を基本とし年間を通じての室内温熱環境、エネルギー消費量などの計測を行う。計測点の概要については図2-図6、表2に示す通りである。集熱部から居室までの熱の流れを詳細に測定することを目的とし気象観測器や日射計、熱電対・熱流計、流量計、その他各種測定器を約140点にわたり設置した。本システムの運転状況の把握に重要と思われる計測項目については10秒間隔での測定とし、比較的小さい項目については1分間隔での測定とした。これらの各物件共通の項目に加え、物件ごとに異なる付加蓄熱材や太陽熱冷房システム、熱交換器などについても熱電対や無線式温湿度計を用いて計測を行う。特に本システムの性能向上に寄与が期待される付加蓄熱材(水入りペットボトル)や真空断熱建具、潜熱蓄熱材については詳細に計測を行っている。各物件の詳細な仕様については第1報¹⁾に示す。



図1.各物件外観(左上:伊達 右上:仙台 左下:浜松 右下:鹿児島)

表1.2015年実測計画

3月	9日 ~ 20日
4月	6日 ~ 17日
5月	11日 ~ 22日
6月	8日 ~ 19日
7月	6日 ~ 17日
8月	3日 ~ 14日
9月	7日 ~ 18日
10月	5日 ~ 16日
11月	2日 ~ 13日
12月	7日 ~ 18日



図2.外気・集熱器周辺測定点

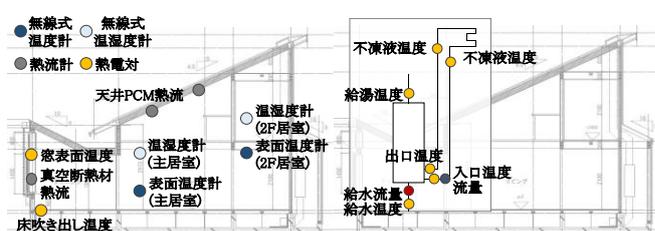
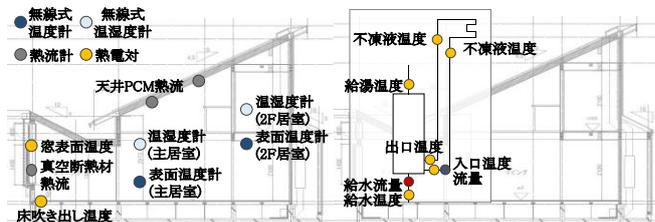


図3.室内温度・熱流測定点

図4.給湯器測定点



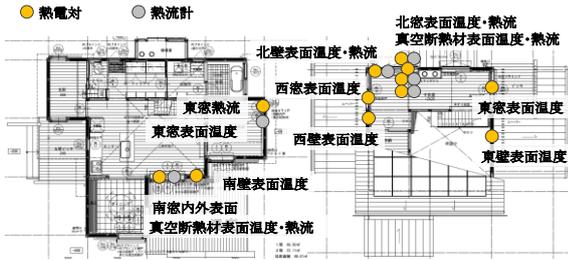


図5.室内測定点



図6.床下測定点

計測期間には集熱運転に加え、補助冷暖房のスケジュール運転（暖房 20℃、冷房 26℃設定）、人体発熱等を模擬した熱発生（100W 電球 4 つ）、自動出湯（450L/日）、日射遮蔽建具・断熱建具の使用、人の立ち入り制限を行った。3月、4月の計測期間における設定条件の詳細を表3に示す。実測期間初めの5日間については本システムのみ運用時の自然室温状態の計測とし、その後7日間については実運用を想定し補助暖房を併用した状態での計測とした。実運用を想定しているため真空断熱建具についても夜間のみ使用としている。

3. 実測結果

3.1 伊達実証住宅

北海道伊達市の実証住宅における計測期間中の外気条件を図7に、居室の温度状況を図8に示す。3/9-3/13の実測では日射量が少なく補助暖房も使用していないため室温は15℃を下回る程度にまで低下している。ただしこの期間外気温は-2℃から6℃程度を推移しており、外気温に比べて非常に安定していると考えられる。3/13以降、日射が多い日には集熱パネルにより空気が70℃程度まで熱せられ、50℃から60℃程度で床下空間に吹き出している（図9）。これにより室温は20℃から30℃程度で推移しており安定しているといえる。集熱のある日には付加蓄熱体（水入りペットボトル）の温度が最大15℃程度あがり吸熱していることがわかる（図10, 11）。さらに集熱があった日の夜間や晴天日の後の曇天日に付加蓄熱体が徐々に放熱していることが確認された。付加蓄熱体間に最大で10℃程度の温度差が見られるがこれは立下りダクトとの位置関係によるものだと考えられ、付加蓄熱体の吸放熱を増大させるためには付加蓄熱体の配置の検討が必要であるといえる。

表2.計測箇所(浜松実証住宅の例)

外部条件		集熱関係(10秒間隔)	
温湿度	各1点	予備集熱器入口温度	1点
風向・風速・雨量・気圧	各1点	ガラス集熱器入口出口温度	各4点
※1分間隔、Davis Vantage Vueを使用		棟温度	1点
水平面全天日射量	1点	H.B.出入口温度・排気温度	各1点
屋根面全天日射量	1点	室内循環入口温度	1点
※10分間隔、英弘電機MS-602(伊達・仙台は601)を使用		立下りダクト風量	1点
		H.B.排気風量	1点
給湯関係(10秒間隔)		居室空間(1分間隔)	
給水・給湯温度	各1点	1F 南側・北側温湿度	各1点
H.B.熱交換出入口温度	各1点	1F 床表面温度	1点
H.B.貯湯槽循環流量	2点	2F 温湿度・床表面温度	各1点
貯湯タンク出入口温度	各1点	床下温湿度	1点
給湯流量	1点	消費電力量(10秒間隔)	
消費電力量(10秒間隔)		床下空間(10秒間隔)	
主幹・太陽光発電	各1点	立下りダクト出口温度	1点
ハンドリングボックス	1点	床吹き出し口温度	8点
給湯器	1点	床下空間温度	10点
エアコン	1点	PCM上・下面熱流	各4点
換気・シーリングファン	各1点	付加蓄熱材温度	10点
照明	1点	床下湿度	1点
外皮回り(10秒間隔)		窓断熱補強用建具間温度	
壁表面温度	4点	夜間断熱補強建具	2点
壁表面熱流	1点	両側表面温度・熱流	計8点
窓表面温度	2点	天井PCM室内側温度・熱流	各2点
窓表面熱流	1点		

表3.実測詳細

	3月		4月	
	9日~13日	14日~20日	6日~10日	11日~17日
集熱	運転(冬モード)			
補助暖房	なし	あり	なし	なし
真空断熱建具	常時閉	8時~18時開	常時閉	8時~18時開
熱交換換気(仙台・鹿児島)	なし	運転	なし	運転
内部発熱	常時・100W電球4球点灯			
給湯	自動出湯(450L・40℃/日)			

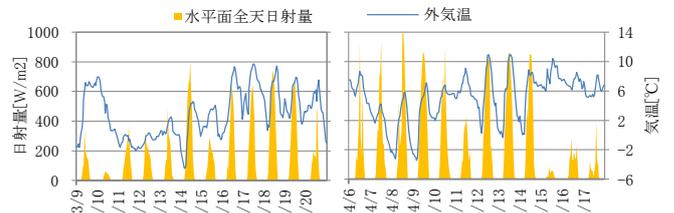


図7.伊達外気象条件

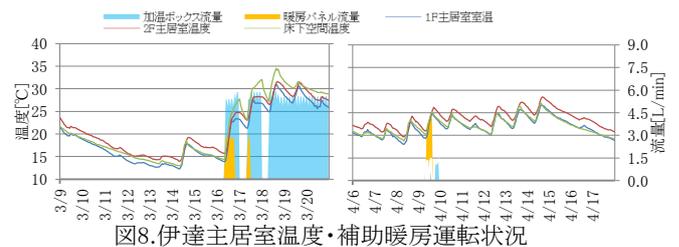


図8.伊達主居室温度・補助暖房運転状況

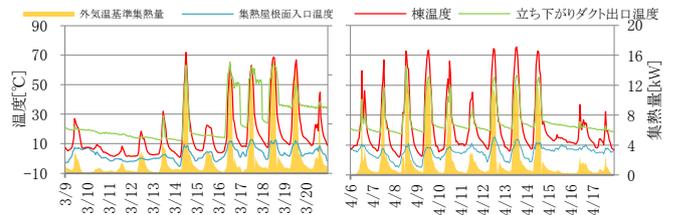


図9.伊達集熱器周辺温度・集熱量

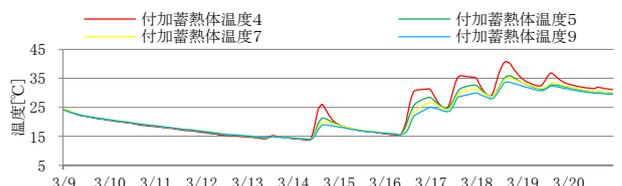


図10.伊達付加蓄熱体内部温度(3月)

3.2 仙台実証住宅

次に宮城県仙台市の実証住宅における実測結果を示す。3月の計測期間中はおおむね晴天日（図12）が続き、屋根の集熱パネルで暖められた空気は最大で50℃程度で床下に吹き出している（図14）。4月の計測時は曇天日が多く集熱が少ないが、室温は20℃から25℃程度と非常に安定して推移している。仙台の実証住宅においても集熱パネルによって得られた熱が付加蓄熱体に吸熱されており、晴天日が続いた3/18には37℃程度まで内部温度が上昇している（図15）。4月の実測結果を見ると（図16）、晴天日に付加蓄熱体に吸熱された熱がその後2日間の曇天日で徐々に放熱されており、付加蓄熱体による蓄熱の効果がみられる。また仙台の住宅では伊達の住宅に比べて付加蓄熱体間の温度差が小さく、付加蓄熱体全体がまんべんなく暖められていることが分かる。これは仙台の基礎空間が比較的シンプルな平面であること、付加蓄熱体の配置方法が空気の流れやすい形式であったことなどが影響していると考えられる。

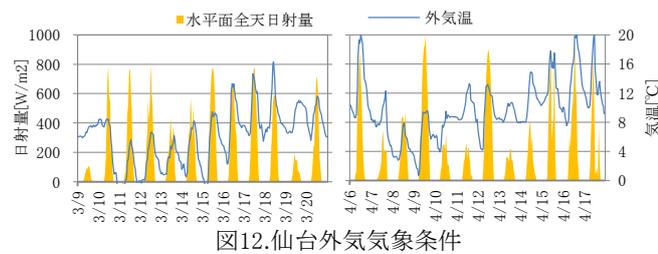


図12.仙台外気気象条件

3.3 浜松実証住宅

続いて浜松実証住宅での実測について報告する。浜松住宅のみ表4に示すようなスケジュールで実測を行った。給湯や内部発熱、人の立ち入り制限などの諸条件については他の3物件と同様である。3月の計測期間中は集熱運転により主居室温度は20℃から25℃程度と非常に安定しており（図18）、曇天日が2日間続き、集熱が得られなかった時でも20℃程度を維持している。図21を見ると前日までの集熱運転により付加蓄熱体温度が最大35℃程度まで上昇しており、これが徐々に放熱することで室温維持に貢献したと考えられる。4月の計測期間では外気温が比較的高くなったため給湯・排気モードとなり、給湯負荷の削減への効果が期待される（図19）。4月の測定期間には2F主居室の室温が30℃を超える日もあり、このようなオーバーヒート抑制のためにも蓄熱部の設計が重要だと考えられる。

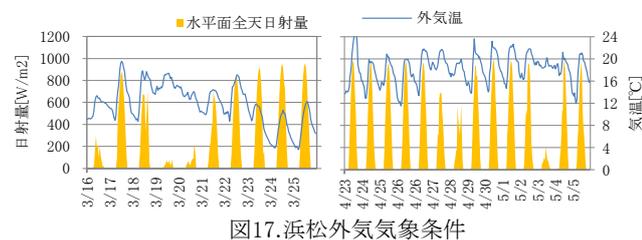


図17.浜松外気気象条件

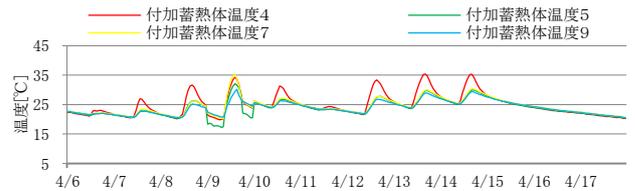


図11.伊達付加蓄熱体内部温度(4月)

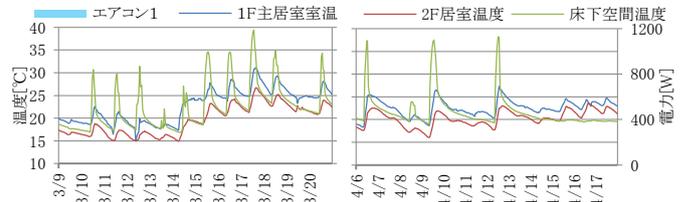


図13.仙台主居室温度・補助暖房運転状況

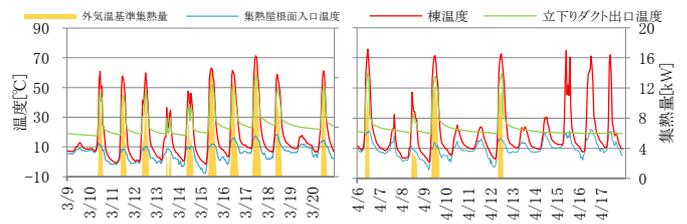


図14.仙台集熱器周辺温度・集熱量

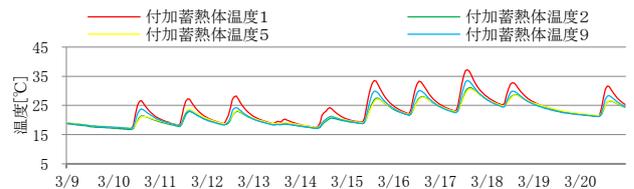


図15.仙台付加蓄熱体(3月)

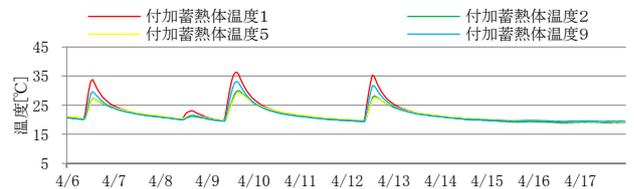


図16.仙台付加蓄熱体(4月)

表4.浜松住宅実測詳細

	3月			4月・5月	
	16日～20日	21日～23日	24日～27日	23日～29日	30日～6日
集熱	運転	調整期間	運転	なし	運転
補助暖房	なし	調整期間	あり	なし	あり
断熱建具	常時閉	調整期間	夜間のみ閉	常時閉	夜間のみ閉

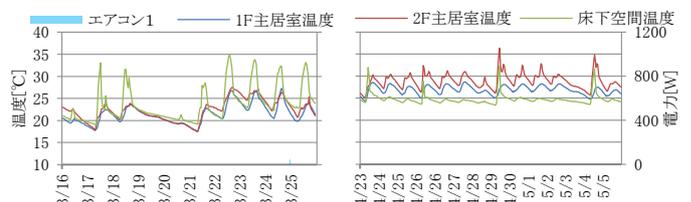


図18.浜松主居室温度・補助暖房運転状況

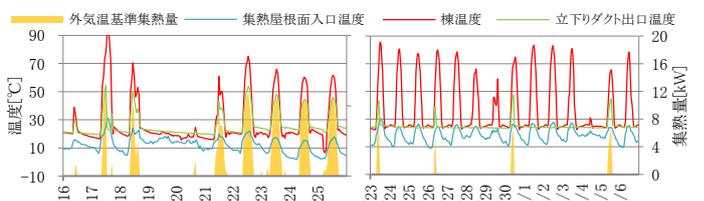


図19.浜松集熱器周辺温度・集熱量

3.4 鹿児島実証住宅

次に鹿児島市の実証住宅における外気気象条件を図22に示す。3月の実測期間前半は晴天日が続き集熱運転が行われていたため外気温が低いにも関わらず補助暖房なしで室温は20℃から25℃程度を推移している。他の物件に比べ、比較的床下空間温度が高いのは付加蓄熱体として水ペットボトルを導入していない影響だと考えられる。その後3/15から曇天日が2日間続き、補助暖房を併用することで室温を維持している。

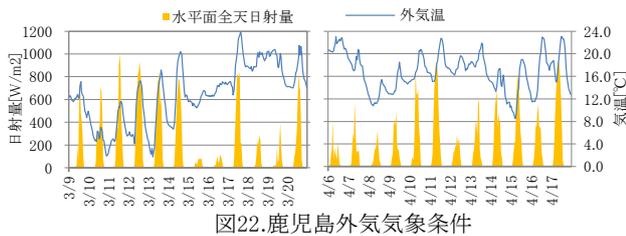


図22.鹿児島外気気象条件

3.5 蓄熱評価

これら4物件について付加蓄熱体（水入りペットボトル）と基礎表面の吸放熱量の検討を行った。実測期間について積算し表したのが図25、図26である。基礎コンクリートの吸放熱量については基礎表面の測定点（10点）の測定値に基礎コンクリートの面積を乗じることで算出した。付加蓄熱体（温度測定点10点）については1分ごとの温度変化 ΔT について熱量 $=\rho C_p V \Delta T$ （ただし ρ ：水の密度[kg/m³], V ：水の体積[m³]、 C_p ：水の比熱4220[J/(kg・K)]）により算出している。付加蓄熱体の吸放熱比は0.9を超えているのに対し、基礎コンクリートは地中への熱損失が大きくあまり放熱効果が見られない。吸放熱比が1を超えるのは積算期間外の影響だと考えられる。3月実測期間中の付加蓄熱体による放熱量は伊達実証住宅において約12.3MJ/日、仙台実証住宅において約13.3MJ/日、浜松実証住宅においては約19.6MJ/日であり、蓄熱による暖房負荷削減効果が期待できる。このように付加蓄熱体は基礎コンクリートに比べ蓄熱による効果がより大きいと予想され、今後検討を行っていく必要がある。

4. まとめ

本報では空気式太陽熱集熱システムを採用した実証住宅の実測概要を示し、3月、4月のデータからシステムの検討を行った。付加蓄熱体を導入した物件については蓄熱による効果が見られ、付加蓄熱体配置による暖房負荷削減効果が期待される。今後は夏期、冬季に得られる実測データをもとに、付加蓄熱体や潜熱蓄熱材、断熱建具などの効果についてより詳細な検討を行い、さらには暖房・給湯・冷房負荷削減効果を示していく。

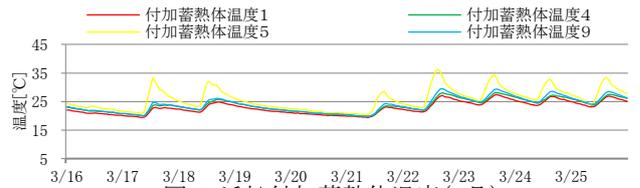


図20.浜松付加蓄熱体温度(3月)

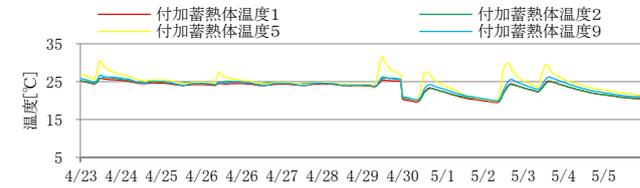


図21.浜松付加蓄熱体温度(4月)



図23.鹿児島主居室温度・補助暖房運転状況

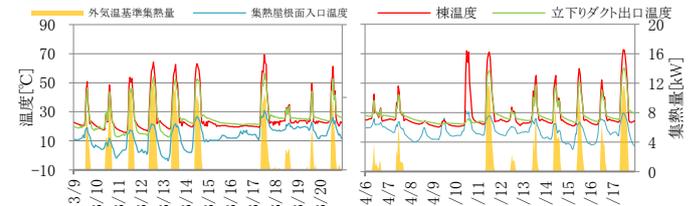


図24.鹿児島集熱器周辺温度・集熱量



図25.3月実測期間積算吸放熱量



図26.4月実測期間積算吸放熱量

[参考文献]

- 1) 森田舟哉 他, 「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1報 実証住宅5件の概要及びCFD解析による床下蓄熱方式の検討」 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2015年9月(投稿予定)

[謝辞]

本報の執筆にあたり東京大学北潟寛史氏に多大なご尽力をいただきました。ここに感謝の意を表します。