

空気式太陽熱集熱システムにおける蓄熱部位での吸放熱量に関する研究

正会員 ○軽部 達也*1 正会員 前 真之*5
 正会員 高瀬 幸造*3 正会員 盧 炫佑*4
 正会員 井上 隆*5

太陽熱 空気式集熱 付加蓄熱
 CFD

1. はじめに

空気式太陽熱集熱システム（以下本システム）において集熱時間と暖房負荷の発生時間にはずれが生じるため蓄熱によりピークシフトを行う必要がある。本研究では、水蓄熱の中でも体積あたりの表面積が大きく吸放熱の効果増大が見込まれる水入りペットボトルについて実験により実空間におけるシステムの特性を把握し、続いてCFD解析により水入りペットボトルの挙動の解析をするとともに、シミュレーションの精度検証を行う。

2. システム概要

本システムの概要を図1に示す。屋根面の集熱器で温められた空気をダクトを通じて床下空間に放出し、居室への温風の吹き出しと床から居室への貫流により、居室を温める。熱の一部は基礎や付加蓄熱材に吸熱され夜間に放熱することで室温低下を抑制するが、集熱量に応じた蓄熱部位の適切な設計が求められる。

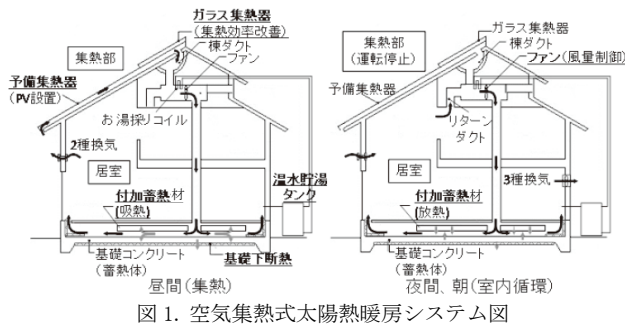


図1. 空気集熱式太陽熱暖房システム図

3. 実験

3-1 実験棟建物概要

実験は静岡県浜松市の実験棟で行った（図2、3）。本実験棟の内部は居室・床下基礎空間・小屋裏・計測器室の4室からなり、居室の延床面積は約23㎡、気積は約58㎡であり真南を向くように配置されている。本実験棟の断熱材厚さは住宅性能表示基準の等級4に相当する。基礎床下空間には付加蓄熱材として水入り500mlペットボトルが2000本（計1000L）、大引間に配置されている（図4）。

3-2 実験概要

実験は2014年11月28日を評価対象とした。実験では立下りダクト途中のヒーターを用いて空気を加熱することで集熱運転を模擬（約40℃、180㎡/h）し、それ以外は室内循環運転（約20℃、180㎡/h）を行った。居室はエアコンにより約20℃程度に制御を行ったが、外気温は制御不可のため成り行きとなっている。また室温を一定に保つため窓外に日射遮蔽シートを設置し、日射の影響をなくした。計測点の詳細は既往研究¹⁾²⁾を参照されたい。

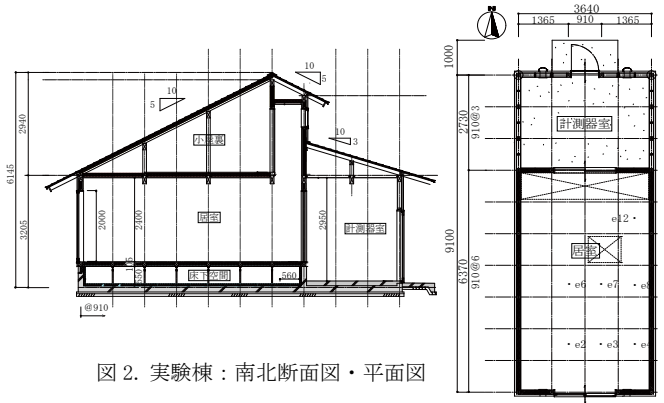


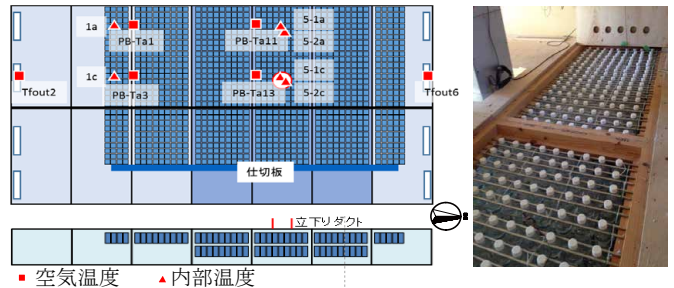
図2. 実験棟：南北断面図・平面図

表1. 実験棟仕様詳細

基礎コンクリート	立ち上がり：幅150mm 高さ600mm 平面：厚さ180mm 幅3790mm 長さ6520mm
壁	カラー鋼板 PB t=9.5mm 通気層 t=36mm 透湿防水シート 構造用合板 t=9mm 高性能GW16K 100mm PB t=9.5mm
(U値：0.335W/m2K)	
床	構造用合板 t=28mm 天井 構造用合板 t=28mm フェノールフォーム
(U値：0.361W/m2K)	
屋根	空気層 40mm PB t=9.5mm 樹脂系ルーフィング t=0.42mm 構造用合板 t=12mm GW32K t=50mm
(U値：0.627W/m2K)	
南面窓 (日射遮蔽)	断熱Low-Eガラス (3-A12-3) +アルミ複層サッシ・樹脂複合枠
基礎断熱	立ち上がり：押出法XPS3種B t=50mm 基礎床：押出法XPS3種B t=50mm



図3. 実験棟外観



■ 空気温度 ▲ 内部温度

図4. 実験棟：ペットボトル配置と温度比較点（平面、断面、写真）

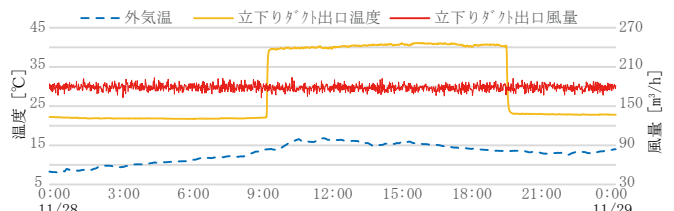


図5. 実験棟：外気温・立下りダクト出口風量、温度

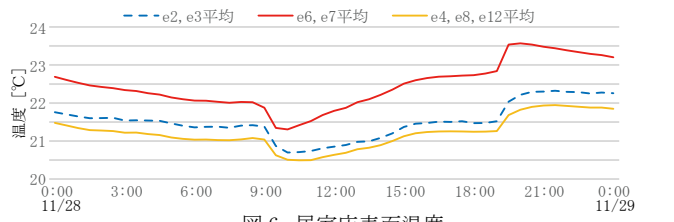


図6. 居室床表面温度

4. CFD 解析

実験での実測データの一部を入力条件として CFD 解析 (解析には FlowDesigner を使用) を行い、実測データと比較することで精度の検証を行った。

4-1 解析モデル・条件

本検討では特に床下空間での挙動を解析するため浜松実験棟の床下のみ再現した (図 8)。水入りペットボトルは直方体に近似しモデリングしている (図 7)。

境界条件として、実測データ (1 分間隔) より外気温・居室床表面温度・立下りダクト出口風量、温度を 30 分ごとの平均値になおし線形で継時変化させた。また基礎空間温度、躯体内部温度・付加蓄熱材内部温度については 28 日 0 時での温度を初期条件とした。その他の解析条件については表 2 を参照されたい。

4-2 実測値・シミュレーション値比較

実測値とシミュレーション値の比較は室内吹出し口 2 点、基礎空間温度 4 点 (ダクト近傍、遠方各 2 点ずつ)、水入りペットボトル内部温度 6 点 (ダクト近傍上段下段、遠方各 2 点ずつ) について行った (図 4)。グラフの色が各測定点に対応し添え字が計算時間間隔、もしくは実験値であることを表す。水入りペットボトル内部温度はダクト近傍はかなり高い精度で実測値に合うが (図 9)、ダクトから離れるにつれずれていき、実測値に比べ挙動が遅れる傾向がある (図 10)。モデルの蓄熱体表面積が実際のペットボトル表面積よりも小さいことなどが影響していると考えられる。基礎空間温度については実測値とシミュレーション値に大きな差異はなく精度は概ね良好である (図 11, 12)。また各ケースにおいて計算時間間隔 1 分と 10 分の間に大きな差異がないことが確認された。

4-3 付加蓄熱材吸放熱量

水入りペットボトル 1 本あたりの吸熱量 ($\Delta T > 0$ について、 $吸熱量 = \rho C_p V \Delta T$ 、ただし ρ : 水の密度 [kg/m³]、 C_p : 水の比熱 4220 [kJ/kgK]、 V : 水の体積 [m³]、 ΔT : 各時刻の温度変化 [K]) はダクト近傍 (図 4, 5-1a) で 40.35kJ、ダクト遠方 (図 4, 1c) で 1.34kJ であった。ダクト遠方ではその位置まで温風が届かないため (図 14) 温度上昇が小さく吸熱できていない。ダクト付近ではペットボトルが蓄熱体周辺の空気温度に近い温度まで温められており十分吸熱されていることが確認できる。

5. 総括

本研究では、システムの CFD 解析について実測値と比較・検証することでシミュレーションの妥当性を確認した。今後はメッシュ作成やモデル形状などについて検証を進め、さらに精度を高めていく必要がある。また付加蓄熱材配置により吸放熱量が大きく変わるためシステム性能改善のためには適切な配置の検討が重要となる。

[参考文献] 1) 高瀬幸造 他, 「太陽熱フル活用を目的とした空気式太陽熱集熱システムを用いた戸建て住宅に関する研究 第 1 報」 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, 2013. 9

2) 崔榮晋 他, 「実験棟における冬季の床下吸熱特性の評価 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, 第 79 巻第 697 号, 2014. 3

[謝辞] 本実験は OMソーラー株式会社 駒野清治氏、東京理科大学 遅沢亮政氏 (当時卒論生) 等の協力により実施したものである。関係各位に心から感謝の意を表します。

- *1 東京大学大学院 大学院生
- *2 東京大学大学院 准教授・博士 (工学)
- *3 東京理科大学 助教・博士 (工学)
- *4 OMソーラー 取締役・技術部長・博士 (工学)
- *5 東京理科大学 教授・博士 (工学)

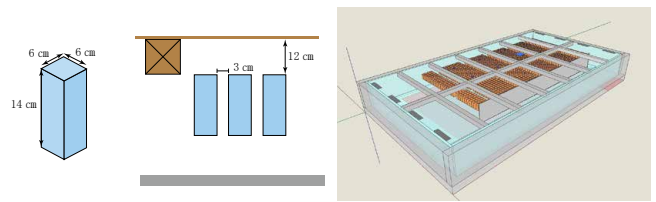


図 7. ペットボトル形状・配置

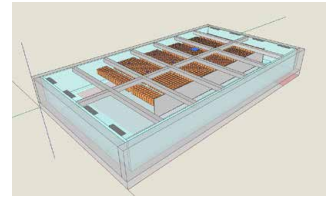


図 8. 解析床下モデル

表 2. CFD 解析条件

解析対象	空気集熱式太陽熱暖房 実験棟床下モデル	
解析期間	11/28/0:00-11/29/0:00	
計算間隔	10分, 1分	
メッシュ数	620,0000程度	
収束判定条件	非定常計算: $1 \times 10^{-2.5}$	
乱流モデル	高レイノルズ数型 $k-\epsilon$ モデル	
境界条件	外気 土 室内	計測値 (継時変化) 周縁部 18℃、中心部 19.5℃ (一定、計測値より) 計測値より (継時変化)
初期条件	床下空気 躯体	25.9℃ 計測値より
立下りダクト 出口温度・風量	集熱模擬時 室内循環時	約 40℃ (180m ³ /min) (計測値・継時変化) 約 20℃ (180m ³ /min) (計測値・継時変化)

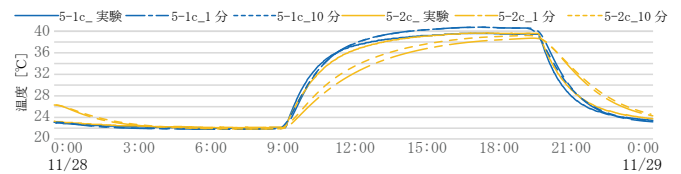


図 9. ペットボトル内部温度：ダクト近傍

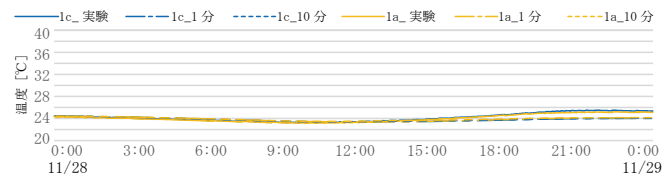


図 10. ペットボトル内部温度：ダクト遠方

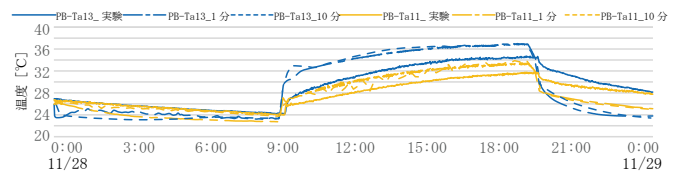


図 11. 基礎空間温度：ダクト近傍

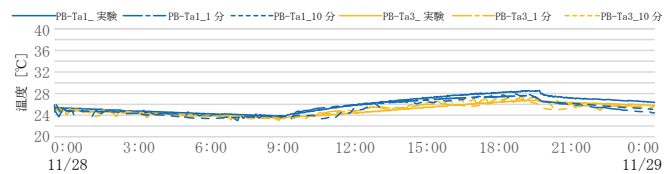


図 12. 基礎空間温度：ダクト遠方

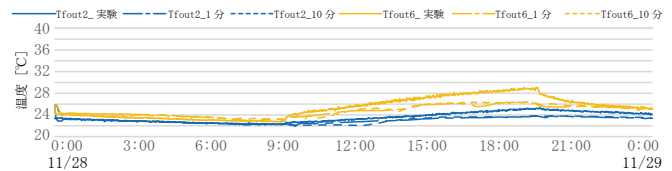


図 13. 室内床吹出し口温度

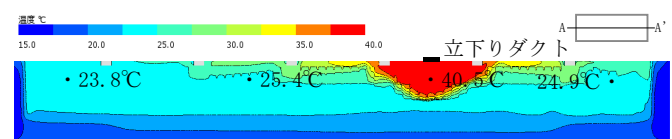


図 14. CFD 解析床下断面温度分布 (A-A')

- *1 Graduate Student, Dept. of Architecture, the Univ. of Tokyo
- *2 Assoc. Prof., the Univ. of Tokyo, Dr.Eng.
- *3 Assistant Prof., Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng.
- *4 Director, R&D Department, OM Solar Inc., Dr. Eng.
- *5 Prof., Tokyo Univ. of Science, Dr.Eng.