

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  
その9. シミュレーションによる床下蓄熱体の有効蓄熱範囲と適正風量の検討

正会員 ○山本 遼子\*1 同 森田 舟哉\*2  
同 崔 榮晋\*3 同 高瀬 幸造\*4  
同 前 真之\*5 同 井上 隆\*6

太陽熱 空気式集熱 蓄熱  
CFD 解析 熱負荷計算

1. はじめに

本報では、空気集熱式太陽熱集熱システム(以下、本システム)搭載住宅の床下に設置した付加蓄熱体による熱性能改善効果の検証を目的とし、床下蓄熱体の有効蓄熱範囲及び最適な運転風量について CFD 解析で検討を行う。

2. 各省エネ地域区分の代表地点及び標準住宅モデル設定

2.1 省エネ地域区分ごとの代表地点選定

本システムの性能を把握するにあたり、地域ごとの日射量が大きく影響すると考えられる。そこで、拡張アメダス標準年気象データ(2000 年版)より、暖房期暖房度日(18-18)及び暖房期平均日射量を算出し、それらの値が平均に近い点を代表地点として選定した。表 1 に詳細を示す。なお、該地点が複数の場合は人口が多い方を代表地点とし、暖房期間は事業主基準の暖冷房負荷計算条件に従った。また、8 地域はほぼ暖房負荷がないため解析対象から除外した。

2.2 標準住宅モデル概要

実住宅を想定した解析では、解析結果が住宅モデルの形状や規模に大きく左右される。そこで、東京大学前研究室で行った図面調査(ハウスメーカーの HP 上で閲覧可能な図面 133 件を対象とした)をもとに作成された標準住宅のプランを一部改変した住宅モデルを採用した(表 2, 図 1 以下、標準モデル)。断熱性能は各地域で HEAT20 の G1 相当を想定した。標準モデルは延床面積 127m<sup>2</sup> で、日射熱取得を利用するため南面に大開口を持ち、吹抜のある開放的な空間構成となっている。なお、本システム搭載住宅 100 物件の図面調査より延床面積、吹抜面積の中央値が 121.6m<sup>2</sup>、8.3m<sup>2</sup> であることから、標準モデル利用の妥当性を確認した。

3. シミュレーションによる有効蓄熱範囲検証

3.1 シミュレーション概要

床下空間を解析対象とし、CFD 解析による有効蓄熱範囲の検証を行った。解析には汎用ソフトの FlowDesigner2017 を使用した。各代表地点の晴天日且つ日平均外気温が 1,2 月の平均外気温に近い 2 日間を代表日(表 1)とし、立下ダクト出口温度、土壌温度、基礎及び建物部位の初期温度の境界条件を熱回路網計算ツール ExTLA で算出した。ExTLA では 1 年間の助走計算を行った。CFD 解析の入力条件算定フローを図 2, CFD 解析条件, ExTLA 計算条件を表 3, 表 4 に示す。

3.2 CFD 解析による有効蓄熱範囲検証

本システムでは、付加蓄熱体として 500ml の水入りペットボトル(以下、PB)を利用した。PB 設置によって、大きな吸

表 1: 気象データ代表地点

地域区分	代表地点		各地点 数値(暖房期)		代表的な都市	代表日(7:00-7:00)
	No.	地点	暖房度日	日平均日射量		
1地域(I a)	80	北海道遠軽	4441	4092	旭川・北見	2/1-2/3
2地域(I b)	59	北海道岩見沢	3905	3931	札幌	2/10-2/12
3地域(II)	184	青森県三戸	3157	3708	盛岡・秋田	2/25-2/27
4地域(III)	393	長野県長野	2723	4733	仙台・福島	2/17-2/19
5地域(IV a)	610	岡山県津山	2199	4376	前橋・さいたま	2/23-2/25
6地域(IV b)	713	山口県山口	1684	4522	東京23区・大阪	2/11-2/13
7地域(V)	811	鹿児島県鹿屋	1309	4617	宮崎・鹿児島	2/23-2/25

表 2: 標準住宅モデル 仕様詳細

延床面積	127.5m <sup>2</sup> (3x吹抜+9.9m <sup>2</sup> )	外皮等表面積	341.0m <sup>2</sup>	住戸気積	306.1m <sup>3</sup>	集熱面積	PV面24.8m <sup>2</sup> ガラス面38.3m <sup>2</sup>	開口部面積	30.6m <sup>2</sup> (南面21.1m <sup>2</sup> )	部位ごとの値[W/m <sup>2</sup> K]						
										U値 [W/m <sup>2</sup> K]	η 値	屋根	外壁	南面開口部	基礎	
										1~3地域	0.32	1.7	0.13	0.20	1.70 (0.39)	0.32
										4~5地域	0.40	1.9	0.18	0.25	1.90 (0.46)	0.49
										6~7地域	0.52	2.2	0.19	0.38	2.33 (0.51)	0.49

※開口部 0 内は η, 係

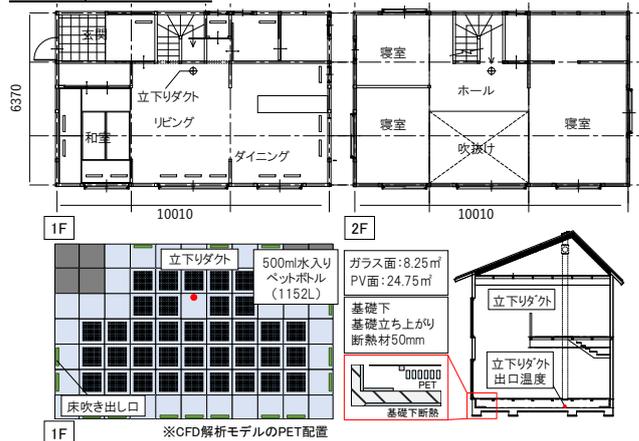


図 1: 標準住宅モデル (上, 左下: 平面図、右下: 断面図)

表 3: CFD 解析条件		
解析コード	FlowDesigner2017	
流体モデル	標準k-ε モデル	
収束判定条件	(非定常) 1.0 × 10 <sup>-2.5</sup>	
解析領域サイズ	X, Y, Z=10.01m, 6.37m, 0.7m	
解析期間	各代表地点ごと	
計算時間間隔	10分間隔	
境界条件	外気	気象データ外気温
	土壌	表面熱伝達率18.6W/m <sup>2</sup> K 接触温度固定・外周部/中心部別
流入条件	風量	乱流強度10%/長さスケール比0.01 集熱時300m <sup>3</sup> /h~900m <sup>3</sup> /h 循環時300m <sup>3</sup> /h
	温度	風量ごとにExTLAにより算出
流出条件	自由流出入・有効開口率40%	

図 2: 入力条件算定フロー

表 4: ExTLA 計算条件			
使用ツール	ExTLA(非定常一次元熱回路網計算)	換気	非集熱時のみ 0.5回/h
建物モデル	標準住宅モデル	設定室温	暖房20°C
気象データ	拡張アメダス標準年データ(2000年版)	暖房時間	7:00-10:00, 12:00-14:00, 16:00-0:00
計算期間	1/1-12/31(助走計算:1年間)	遮蔽率	Honeybeeシミュレーション値
計算時間間隔	10分	日射熱取得量	Honeybeeシミュレーション値
内部発熱	13.26kWh/日	出湯量	40°C・450L/日

放熱量を見込めるが、床下空間の気流性状は複雑で気流ムラも大きい。立下ダクト吹出口から離れたPBは、PB温度が居室温度よりも低下し、暖房負荷を増大させる可能性がある。そこで、風量を600m<sup>3</sup>/h(換気回数2回/h)とし、各代表地域について有効蓄熱範囲の検討を行った。解析モデルには、床下に設置できる最大本数である2304本のPBを設定した。三戸と山口において、PB平均温度が最高となる時間の床下温度分布及びPB温度の解析結果を図3に示す。日射量の少ない3地域(三戸)では、立下ダクト吹出温度が低下するため、居室設定温度の20℃を下回るPBが多く有効範囲は小さくなった。一方、日射量が十分確保できる6地域(山口)では、すべてのPB温度が20℃を上回り、全範囲のPBが有効に機能した。表5に各代表地域の有効蓄熱容量を示す。

#### 4. CFD解析による最適な運転風量の検討

##### 4.1 CFD解析概要

前章の有効範囲の検討を踏まえ、PB本数を調整したモデルで運転風量による居室への熱伝達性状を検証するために、風量を変化させてCFD解析を行った。風量は300m<sup>3</sup>/hから150m<sup>3</sup>/h刻みでCase1~5とした(図4)。CFD解析条件及び入力値は前章同様とし、1~7地域について解析を行った。

##### 4.2 運転風量ごとの熱伝達性状把握

小風量時は吹出温度が高く立下ダクト付近のPBは高温になるが、ダクトから離れた位置まで暖気が届かないため、PBの温度ムラが大きくなる(図5)。山口では600~900m<sup>3</sup>/hの風量の際にPB温度の分散値が小さくなり、PB全体が均一に暖められることが分かった。吸熱量はCase3の風量600m<sup>3</sup>/h時に最大となり、中風量が最適であることが示された。三戸はPB本数が少ないため、分散値は山口と比べて小さくなる。吸熱量は450~600m<sup>3</sup>/hの時に大きくなった。寒冷地で適正風量が小風量側にシフトしたのは、設置範囲が狭まり、温度ムラが減少したことが原因と考えられる。次に、集熱時における各吹出風量の熱収支を示す(図6)。風量が増加するとともに、床からの貫流による居室供給熱量は減少し、居室吹出口からの対流による居室供給熱量が増加した。

#### 5. まとめ

本報では1~7地域でPBの有効蓄熱範囲及び最適な運転風量を検討した。1~3地域の寒冷地ではダクトから離れたPBは機能しない。一方、4~7地域の温暖地ではすべてのPBが有効であった。したがって、寒冷地ではPBの設置範囲の検討が必要となる。また、風量が大きくなるにつれ居室供給熱量のうち床貫流成分は減少し、対流成分は増加した。寒冷地では風量450~600m<sup>3</sup>/h、温暖地では風量600~750m<sup>3</sup>/hの時に吸熱量が最大となった。

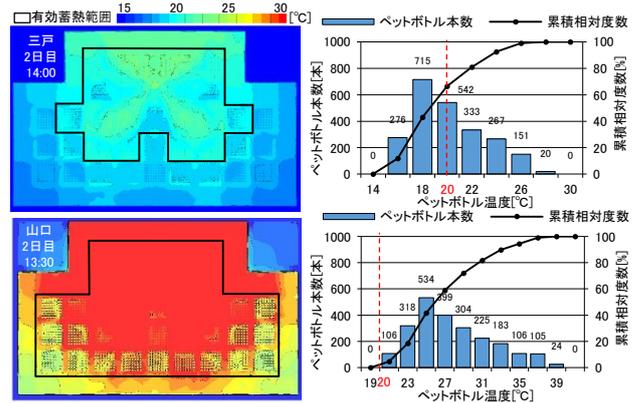


図3: 床下温度分布及びペットボトル温度(上:三戸、下:山口)

表5: 各代表地域における有効蓄熱容量

有効ペットボトル容量	1地域 遠軽	2地域 岩三沢	3地域 三戸	4地域 長野	5地域 津山	6地域 山口	7地域 鹿屋
有効ペットボトル容量	208L	240L	704L	1152L	1152L	1152L	1152L
風量300m <sup>3</sup> /h							
風量450m <sup>3</sup> /h							
風量600m <sup>3</sup> /h							
風量750m <sup>3</sup> /h							
風量900m <sup>3</sup> /h							

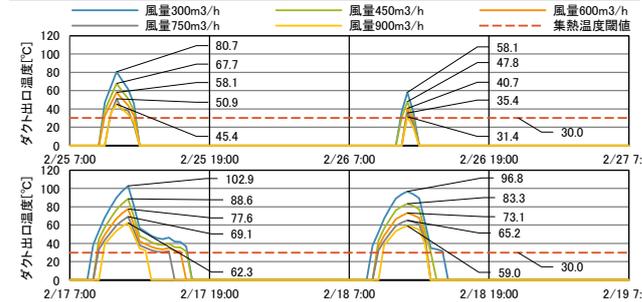


図4: 立下ダクト出口温度(上:三戸、下:山口)

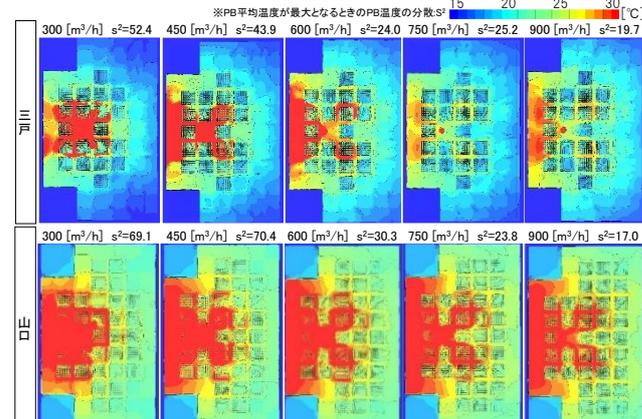


図5: 各風量での温度コンタ(上:三戸、下:山口)

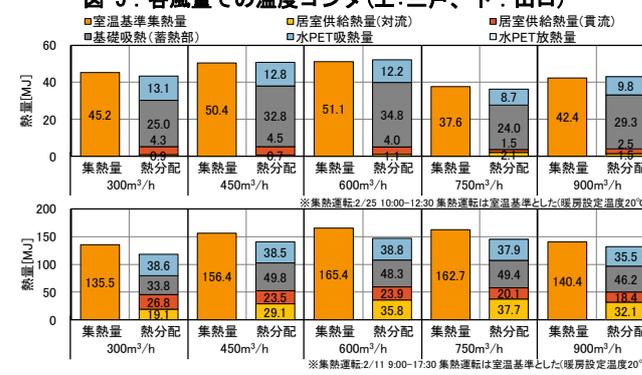


図6: 各風量の床下投入熱量と熱収支(上:三戸、下:山口)

\*1 東京大学大学院 修士課程  
 \*2 元・東京理科大学大学院 大学院生・修士(工学)  
 \*3 東京大学大学院 特任研究員・博士(工学)  
 \*4 東京理科大学 助教・博士(工学)  
 \*5 東京大学大学院 准教授・博士(工学)  
 \*6 東京理科大学 教授・工学博士

\*1 Graduate student, the Univ. of Tokyo  
 \*2 Former graduate student, Tokyo Univ. of Science, M. Eng.  
 \*3 Project Researcher, the Univ. of Tokyo, Dr. Eng.  
 \*4 Assistant Prof., Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng.  
 \*5 Assoc. Prof., the Univ. of Tokyo, Dr. Eng.  
 \*6 Prof., Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng.