

屋根空気集熱式ソーラーシステムを搭載した戸建住宅に関する研究  
床下付加蓄熱体の吸放熱性状把握のための床下風速推定式の検討

太陽熱 シミュレーション 実測 推定式 蓄熱体 自然エネルギー 正会員 ○山本 遼子\*1 同 井上 隆\*2 同 前 真之\*3 同 高瀬 幸造\*4 同 崔 榮晋\*5 同 盧 炫佑\*6 同 佐藤 誠\*7

1. はじめに

一般に、太陽熱を暖房に利用するシステムを搭載した住宅では、負荷発生時間と日射熱取得時間にずれが生じるので、居室温度を安定させるために蓄熱を行う必要がある。また、地域や運転方法等により適正な蓄熱容量が異なるため、設計段階に蓄熱部の検討を行うことが重要である。本研究で対象とする、屋根空気集熱式ソーラーシステム(図 1)では、蓄熱部として基礎コンクリートと付加蓄熱体である水入りペットボトル(以下、水 PET)を利用するが、床下の空気の流出入口の位置や、水 PET の配置方法により気流性状は変化するため、適切な蓄熱部を計画するためには、住宅ごとに気流解析を行い、蓄熱部表面の対流熱伝達率を算出し、その結果に基づいて熱負荷計算を行う必要がある。しかし、一般の設計者にとってこのような検討を行うのは困難であると考えられる。そこで、本研究では設計者や施主に向けたシミュレーションツールで、簡易的に蓄熱部の検討を行うシミュレーションフロー(図 2)を提示することを目的とする。本報では、CFD 解析を用いて水 PET 表面の対流熱伝達率を計算するために必要となる床下風速の簡易推定式を提案する。

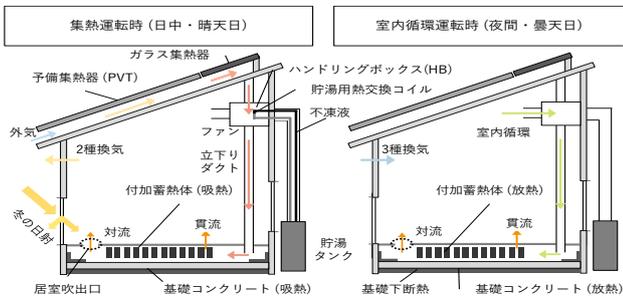
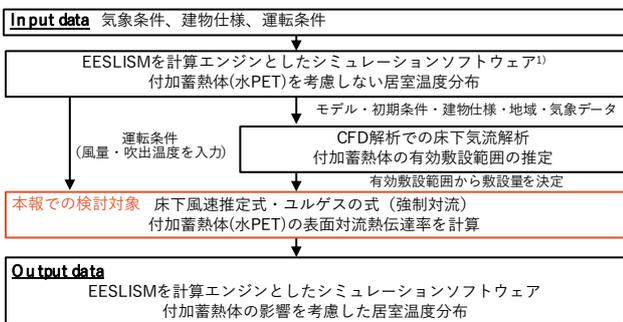


図 1 屋根空気集熱式ソーラーシステム概要図(冬期)



1) 住宅性能診断士ホームズ君 省エネ診断エキスパート 株式会社 インテグラル

図 2 蓄熱部位を考慮した簡易検討のための計算フロー

2. CFD 精度検証

2-1.実測概要及びシミュレーション条件

2016/1/1~1/2 の浜松実証住宅<sup>2)</sup>での実測値(外気温、物性初期温度、ダクト吹出温度・風量)をCFD解析(汎用CFDソフトの FlowDesigner2018 を使用)の入力値とし、水 PET 表面温度、床下空間温度、水 PET 吸放熱量について、計算値と実測値の比較から、CFD 解析の精度検証を行った。図 3、4、5、表 1 に CFD 解析モデル、解析条件を示す。

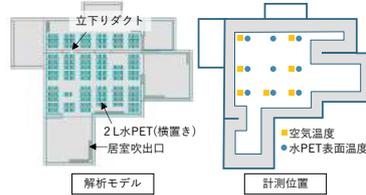


図 4 浜松実証住宅

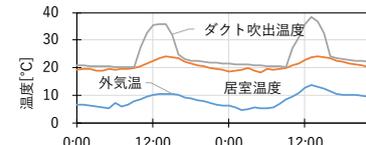


図 3 CFD 解析入力値

表 1 CFD 解析条件

解析コード	FlowDesigner2018
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>-25</sup>
メッシュ数	2,118,300
解析期間	1/1 0:00~1/2 23:00
境界条件	居室 実測値
外気温	実測値
温度	実測値
風量	600m <sup>3</sup> /h
土壌	接触温度固定19.5°C
流出	自由流出



図 5 水 PET モデル

2-2.シミュレーション結果

水 PET 表面温度の計算値と実測値の誤差は最大で 0.8°C 程度であった。また床下空気温度の誤差は±1.0°C程度、水 PET 吸放熱量の誤差については、吸熱量は 0.2MJ/日、放熱量は 1.1MJ/日であり、いずれも実測値と計算値が概ね一致したことから、CFD 解析結果の妥当性が確認できた。

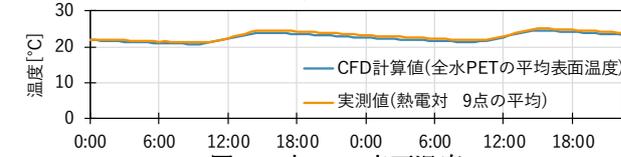


図 6 水 PET 表面温度

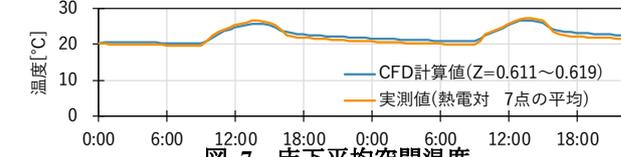


図 7 床下平均空間温度



図 8 水 PET 吸放熱量 (1/2 0:00~23:30 の積算値)

Study of Detached Houses with Air-Based Solar System  
Investigation of Estimation of Underfloor Wind Velocity for  
Undertanding the Thermal Performance of Additional Heat  
Storage

YAMAMOTO Ryoko, INOUE Takashi, MAE Masayuki  
TAKASE Kozo, CHOI Youngjin, ROH Hyunwoo  
SATO Makoto

### 3. CFD解析を用いた床下空間の風速推定式

#### 3-1.シミュレーション条件

単純な床下空間を想定した定常解析を行った。気流性状に影響を及ぼす要素の把握を目的とし、①立下りダクト吹出温度、②立下りダクト吹出風量、③水 PET 敷設間隔、④水 PET 敷設容量、⑤建物規模の5項目を変数としたケーススタディを行った。CFD解析条件を表2、解析モデルを図9、検討ケースの一覧を表3に示す。

表2 CFD解析条件

解析コード	FlowDesigner2018	
流体モデル	標準k-εモデル	
収束判定条件	(定常) 1.0×10 <sup>-3.0</sup>	
解析領域メッシュ数	3,396,360 ~ 9,768,330	
境界条件	外気	外気温11.5°C、外表面熱伝達率18.6W/m <sup>2</sup> K
	土壌	接触温度固定・外周部8.3°C/中心部12.2°C
	流入風量	300・450・600m <sup>3</sup> /h
	流入温度	集熱時40°C、非集熱時20°C
流出	自由流入	

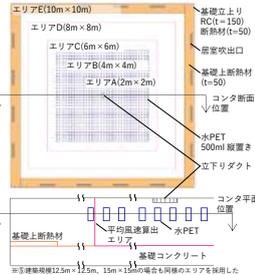


図9 解析モデル

表3 検討ケース

⑤ 建築規模 [m <sup>2</sup> ]	④ 水PET容量 [L]	③ 水PET敷設間隔 [mm]																											
		30mm						50mm						100mm															
		40°C						20°C						40°C															
		① 立下りダクト吹出温度 [°C]																											
		② 立下りダクト風量 [m <sup>3</sup> /h]																											
		300	450	600	300	450	600	300	450	600	300	450	600	300	450	600	300	450	600	300	450	600							
10m*10m	500L	1-1	1-2	1-3	1-4	4-1	4-2	4-3	4-4	-	7-1	7-2	7-3	7-4	10m*12.5m	1000L	-	-	-	-	5-1	5-2	5-3	5-4	5-5	8-1	8-2	8-3	8-4
	1500L	3-1	3-2	3-3	3-4	6-1	6-2	6-3	6-4	-	9-1	9-2	9-3	9-4	15*15m	1000L	-	-	-	-	5-1	5-2	5-3	5-4	5-5	-	-	-	-

#### 3-2. シミュレーション結果

##### (a) 立下りダクト吹出風量ごとの比較(300・450・600m<sup>3</sup>/h)

床下の気流分布にはムラがみられたが、床下平均風速は風量に比例し、立下りダクトから離れるほど風量による影響が小さくなる傾向が確認できた。(図10、11)

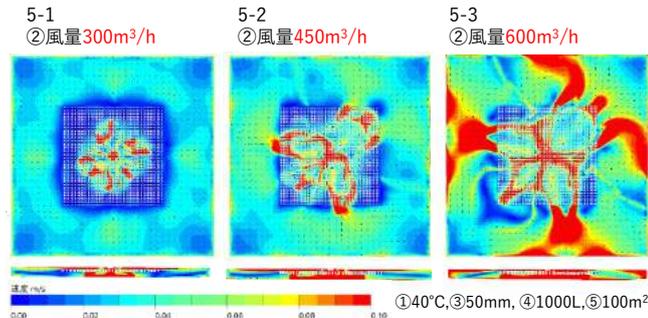


図10 吹出風量別風速分布コンタ (上:平面、下:断面)

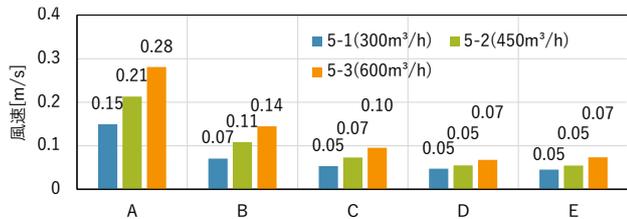


図11 エリア別平均風速

##### (b) 立下りダクト吹出温度ごとの比較(20・40・60°C)

20°C吹出時は、速度の大きい範囲が広く分布したのに対し、40・60°C吹出時は、中央付近の風速は大きく、外周部は風速が小さくなり、温度による傾向の違いがみられた。しかし、エリア別平均風速で比較すると、風速の差は最大でも0.02m/s(エリアA)で、水PETの対流熱伝達率にほぼ影響を与えない程度の差であった。(図12、13)

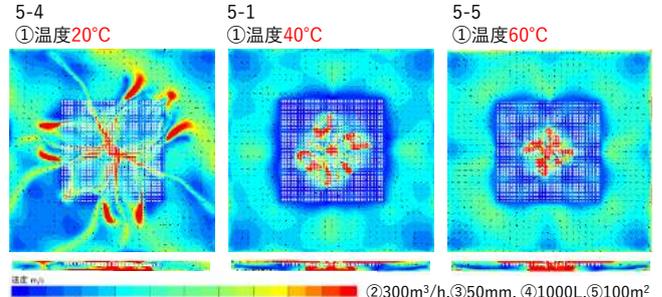


図12 吹出温度別風速分布コンタ (上:平面、下:断面)

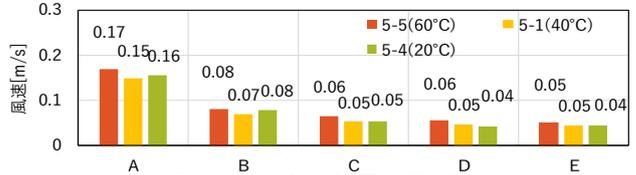


図13 エリア別平均風速

##### (c) その他の項目

各項目で同様の分析をした結果、②風量、③間隔、④容量、⑤規模、①温度差の順に平均風速への影響が小さくなった。

#### 3-3. 床下空間の風速推定式

風速への影響が小さい⑤規模、①温度の項目を除き、風量、間隔、容量から床下換気係数( $n$ )を、エリアごとにエリア係数( $R$ )を定義し、床下換気係数( $n$ )とエリア係数( $R$ )を変数として、風速( $v$ )との相関を回帰分析から求めた。風速推定式を式(1)に、床下換気係数( $n$ )の定義式を式(2)、(3)に示す。ただし各式の適用条件は  $V_{duct} \neq 0$  とする。

$$v = 0.007658n + 0.178928R - 0.004326 \quad \dots (1)$$

$$n = V_{duct} \div V_{air} \quad \dots (2)$$

$$V_{air} = V_{uf} - V_{pet} \quad \dots (3)$$

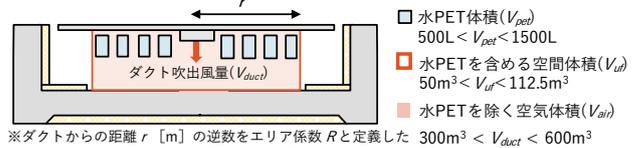


図14 風速推定式の領域

#### 4. 総括

本報では CFD 解析によるケーススタディから床下風速の推定式を提示した。今後は風速の実測からシミュレーション値の妥当性の確認を行い、推定式の精度を高めた上で、水 PET の適切な敷設範囲の予測方法について検討をすすめ、簡易シミュレーションへの応用をはかる。

[参考文献] 2) 盧、崔ら: 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1), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2015. 9

\*1 東京大学 大学院修士課程  
 \*2 東京理科大学 教授 工博  
 \*3 東京大学大学院 准教授 博士(工学)  
 \*4 東京理科大学 助教 博士(工学)  
 \*5 九州大学 助教 (当時東京大学) 博士 (工学)  
 \*6 OM ソーラー 取締役・技術部長・博士 (工学)  
 \*7 佐藤エネルギーリサーチ・博士 (工学)

\*1 Master's Student, Tokyo Univ. of Science  
 \*2 Prof., Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng  
 \*3 Assoc. prof., The Univ. of Tokyo, Dr. Eng  
 \*4 Assistant prof., Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng  
 \*5 Assist. Prof., Kyushu University, Dr. Eng.  
 \*6 Director, OM Solar Inc., Dr. Eng.  
 \*7 Satoh Energy Research Co., Ltd, Ph. D.