

PVT 活用型屋根空気集熱式ソーラーハウスのシミュレーションによる性能評価 街区密度・太陽エネルギー利用形態に着目した検討

Simulation Study on Solar Houses with Roof-Integrated PVT Air Collector

Influence of Site Condition and Solar Energy Utilization Methods

学生会員 ○鈴木 琢幹 (東京理科大学) 特別会員 井上 隆 (東京理科大学)
 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 (九州大学) 正会員 盧 炫佑 (OM ソーラー)

Takumi SUZUKI *¹ Takashi INOUE*¹ Masayuki MAE*² Kozo TAKASE*¹

Youngjin CHOI *³ Hyunwoo ROH *⁴

*¹ Tokyo University of Science *² The University of Tokyo *³ Kyushu University *⁴ OM Solar

To apprehend the performance of solar energy utilization system, we have been studying Solar Houses with Roof-Integrated PVT Air Collector. In this paper, we introduce the results of simulation and confirmed how much site condition and solar energy utilization methods affect indoor thermal environment and the energy consumption for heating and hot water in warm climate zone.

1. はじめに

1-1 背景・目的

本研究では、我が国の住宅のエネルギー消費量の過半数を占める暖房・給湯用途の負荷削減を目的とし屋根面の太陽エネルギーを発電だけでなく集熱にも利用する Photovoltaic and thermal (以下、PVT) パネルを用いた PVT 活用型屋根空気集熱式ソーラーシステム (以下、本システム) を対象とした。戸建住宅に本システムを導入する場合の快適性および暖房・給湯負荷削減効果について把握するため、省エネルギー基準における地域区分 6 地域を対象に街区密度・太陽エネルギー利用形態に着目した検討をおこなった。

1-2 システム概要

本システムの概要を図 1 に示す。日中 (集熱時) は、屋根面に設置された PVT パネルと高効率なガラス集熱器で軒下から取り入れた外気を温め、温めた空気を小屋裏のハンドリングボックス (以下、HB) に設置されたファンにより床下を経由して室内に送ることで暖房を行い、同時に床下蓄熱部位 (基礎) に蓄熱し、基礎断熱により地中への熱損失を防ぐ。夜間や曇天日 (非集熱時) には、室内循環となり小屋裏で室内の空気を吸い込み床下空間に送ることで、床下に蓄熱された熱を取り出し室温低下を抑制する。また、夏期・中間期や冬期において室内が十分に暖房された際には、HB 内の熱交換器にて不凍液を介して貯湯タンク内の水と熱交換することで貯湯し、太陽熱を給湯用途にも活用する。さらに、屋根面の PVT パネルでの発電により住宅内の空調・照明などの電力消費を賄うことができる。

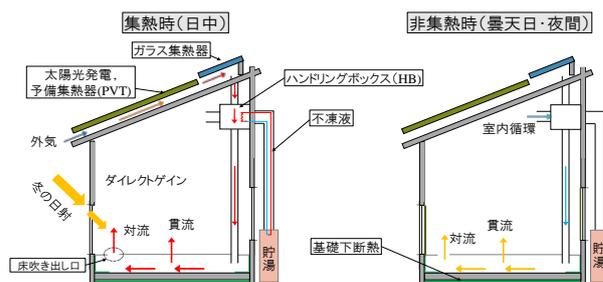


図 1 PVT 活用型屋根空気集熱式ソーラーシステム概要

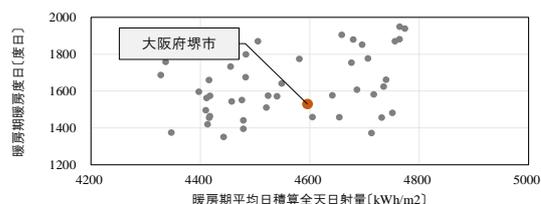


図 2 6 地域の気象データ代表地点

表 1 住宅モデル概要

標準モデル(空気集熱式暖房型、木造2階建て)	
建築面積	63.8m ²
延べ床面積(うち吹き抜け)	127.5m ² (9.9m ²)
外皮等面積	351.4m ²
住戸気積	398.5m ³
南面屋根勾配	5.5寸
開口面積(うち南面)	32.5m ² (21.2m ²)
断熱方式	屋根断熱、基礎断熱、大壁充填(+外張断熱)

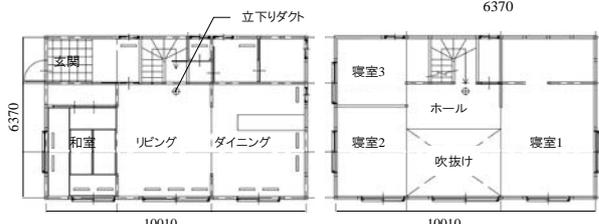
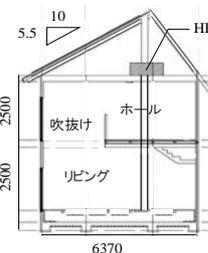


図 3 住宅モデルの図面 (左: 1F, 右: 2F, 上: 断面)

2. シミュレーション概要

2-1 6地域の代表地点選定

本研究では、省エネルギー基準における地域区分6地域の気象データ代表地点に拡張アメス標準年気象データ(2010年版)を用いて、気象条件(外気温・日射量)が最も平均的であった大阪府堺を選定した(図2)。暖房期及び冷房期の設定は、文献¹⁾の設定法を用いた。暖房期間は11/14~4/8となった。

2-2 住宅モデルの設定

計算対象住宅については、既報²⁾の標準住宅モデルを用いた(表1、図3)。標準住宅モデルは延床面積127m²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。断熱性能については、平成28年省エネ基準(以下、「H28相当」)・HEAT20³⁾G1・G2水準相当(以下、「G1相当」・「G2相当」)の3パターンを取り扱った(表2)。

2-3 街区密度の設定

周辺条件の影響を考慮した検討を行うため、現状の法規制に則った街区モデルを作成した(図4)。街区モデルは、標準住宅モデル6棟とそれぞれの敷地、前面の道路で1街区を構成した。各住宅は北側敷地境界から1m外壁を後退させた位置に設置し、対象住宅は4方位に隣棟のある日射が最も得にくい街区中央北側に設置した(図4)。街区密度は、「隣棟なし」と南側境界からの距離を変化させた「境界距離4.0m」、「境界距離2.5m」の3パターンを取り扱った。

2-4 太陽エネルギー利用形態の設定

本研究では、太陽エネルギーの熱利用と電気利用のバランスの検討を行うため、標準住宅モデルの屋根面に Photovoltaic (以下、PV) パネルのみを用いて集熱を行わない「PVのみ(集熱なし)」と「集熱あり」を比較した。

「集熱あり」については、一般的な仕様となるガラス集熱器とPVTパネルを併用することによりPVTパネルで発電しつつ温めた外気をガラス集熱器にてさらに暖めることができる「集熱器併用型」と集熱能力で劣るがガラス集熱器の面積分だけ発電量が増える、PVTパネルのみを用いた「全面PVT型」の2パターンを取り扱った(表3)。

2-5 熱回路網計算の概要

本研究では、熱回路網計算ツールについては、既報⁴⁾で精度検証されている熱回路網計算ツール ExTLA を用いた。エアコン等の各種スケジュールや内部発熱などは、文献¹⁾、文献³⁾に基づき設定し(表4、図5)、隣棟を考慮した日射取得率は Radiance をエンジンとした光環境ツール Honeybee にて算出した値を用いた。さらに、部屋ごとの温熱環境を検討するため、各階の部屋を暖房室、非暖房室に分割した。今回の設定条件では、暖房室と非暖房室は完全に壁で仕切り、床下からの風量は、各部屋の面積比で分配した。本システムの冬期の集熱運転条件と集熱運転

表2 住宅モデルの断熱性能

地域区分	断熱性能	U _a 値	η _a 値	部位ごとU値(W/m ² K) ※開口部()内はη値			
				屋根	外壁	南面開口部	基礎
6地域	H28相当	0.86	2.7	0.5	0.46	4.65(0.63)	0.49
	G1相当	0.56	2.3	0.23	0.46	2.33(0.51)	0.49
	G2相当	0.41	1.9	0.19	0.25	1.9(0.46)	0.49

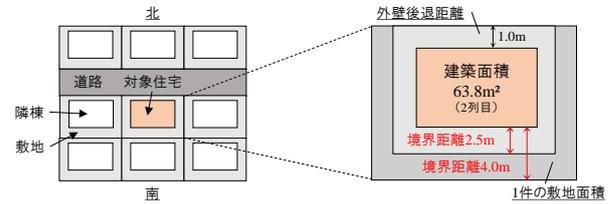


図4 街区モデル概要

表3 太陽エネルギー利用形態の検討ケース

モード	集熱なし		集熱あり	
	PVのみ	集熱器併用型	全面PVT型	全面PVT型
模式図				
集熱部位	-	ガラス集熱器(8.25m ²) PVT(24.75m ²)	PVT(33.0m ²)	PVT(33.0m ²)
発電能力	4.50[kW]	3.38[kW]	4.50[kW]	4.50[kW]
発電効率(パネル)	$T_{PV}(\text{パネル表面温度}) \leq 25^{\circ}\text{C}$: 定格効率13.4% $T_{PV} > 25^{\circ}\text{C}$: $13.4\% * (100 + (T_{PV} - 25) * (-0.37)) / 100$			

表4 熱回路網計算条件

使用ツール	ExTLA	エアコン設定室温	1F 暖房:20°C, 冷房:27°C 2F 暖房:20°C, 冷房:28°C
建物モデル	標準住宅モデル	冷房時間	1F 平日 6:00~9:00, 12:00~13:00, 16:00~23:00 休日 8:00~11:00, 16:00~22:00
気象データ	拡張アメス標準年データ(2010年版)		2F 平日 0:00~5:00, 23:00 休日 0:00~6:00, 23:00
計算期間	1/1~12/31(助走期間:3ヶ月)	内部発熱	平日 14.39[kWh/日] 休日 17.44[kWh/日]
計算時間間隔	1時間	暖房区画	1F 居室:LDK,和室 2F 居室:寝室,ホール
換気	非集熱時のみ 0.5回/h		エアコン設置位置
日射取得率	Honeybee計算値		
出湯量	40°C:450L/日		

時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
1F 平日																									
1F 休日																									
2F 平日																									
2F 休日																									

図5 エアコンの空調スケジュール(暖房時)

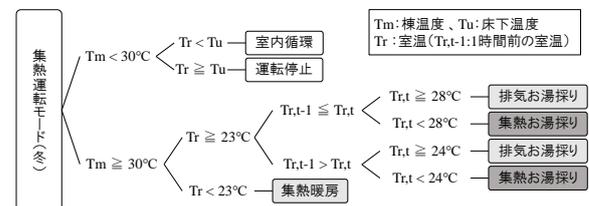


図6 冬期集熱運転条件

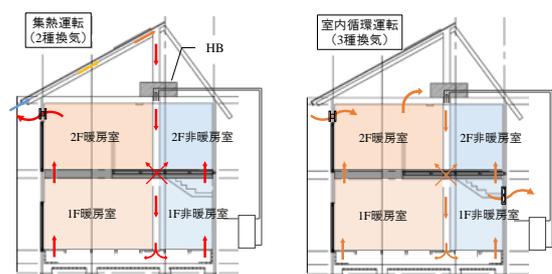


図7 運転モードによる空気の流れ

時・室内循環時の空気の流れを図6、図7に示す。また、本研究では、年間の住宅内での一次消費エネルギー量と発電量を比較するため、算出した1時間ごとの暖冷房・給湯・換気負荷を用いて、文献¹⁾の算出方法に基づいて一次エネルギー換算した。

3. シミュレーション結果

3-1 温熱環境

暖房期の1F暖房室の作用温度(室温+MRT)/2とした)分布について検討した。「PVのみ(集熱なし)」の場合、「隣棟なし」でも、「H28相当」では、作用温度18℃(諸外国の許容温度の規定²⁾)を下回る割合は50%を超える(図8)。さらに、「境界距離2.5m」のように隣棟が建て込んでくると「G1相当」でも50%を超える(図9)。このため、「PVのみ(集熱なし)」の場合、隣棟の建て込んだ敷地では「G1相当」の断熱性能であっても快適な温熱環境を保つのは厳しいと考えられる。また、「集熱あり」の場合でも、「境界距離2.5m」のように隣棟が建て込んでくると、「H28相当」だと18℃を下回る割合が50%を超えるため快適な温熱環境を保つのは難しいと考えられる(図10)。しかし、「G1相当」以上の断熱性能であれば、18℃を下回る割合を50%以下に抑えられる(図11)。また、街区密度での比較では、「PVのみ(集熱なし)」の「G1相当」の場合、建て込んでくると日射を得られなくなり、隣棟の有無での差が大きくなった(図12)。しかし、「集熱器併用型」の「G1相当」の場合、建て込んでくても、屋根面にて集熱するため、「PVのみ(集熱なし)」に比べて、隣棟の有無での差は小さくなった(図13)。また、建て込み度合いの比較では、「境界距離4.0m」でも窓面からの日射がほぼなくなるため、「境界距離2.5m」との差はほぼみられなかった。

次に、1F暖房室と1F非暖房室の作用温度の日推移を検討した。代表期間は気象条件(外気温・日射量)が冬期(12月~2月)の平均に近い連続する晴天日2日間の2011年2月5日~2月6日とした。「PVのみ(集熱なし)」の場合、「境界距離2.5m」・「G1相当」の条件だと、1F暖房室は20℃前後で推移しているが、1F非暖房室との温度差が大きいため、ヒートショックなどの健康リスクもふえてくる(図14)。しかし、「集熱あり」の場合、日中、屋根面にて集熱した熱が床下を介して住宅全体を暖めるため、「集熱なし(PVのみ)」に比べて、暖房室と非暖房室の温度差が小さく、18℃以下を下回る時間も少ない(図15)。また、「集熱あり」の「集熱器併用型」と「全面PVT型」の比較では、「全面PVT型」の方がやや劣ってはいるが、大差はみられないため、「全面PVT型」でも快適な温熱環境を形成することができることを示した(図16)。

3-2 暖房・給湯一次エネルギー削減効果

街区密度の比較では、「境界距離4.0m」でも窓面からの日射がほぼなくなるため、「境界距離2.5m」と暖房・給湯

表5 一次エネルギー算出概要

項目	負荷計算からの入力値	EXTLA計算値
	暖冷房	居室の種類 エネルギー消費効率の区分 容量可変型コンプレッサ
給湯	負荷計算からの入力値 機器種類 効率[%]	EXTLA計算値 ガス給湯器 78.2[%](6地域)
発電量	パワーコンディショナーの効率[%]	95[%]
換気	換気設備の種類 比消費電力[W/(m³/h)] 換気回数[回/h]	壁付け式第3種換気設備 2[W/(m³/h)] 0.5[回/h](集熱時は停止)
照明	機器種類 調光・他灯分散照明方式	すべてLED 採用しない
ハンドリングボックス	室内循環運転時[W] 集熱時[W]	96[W] 自立運転PVIにより電力を随い, 0[W]
その他	家電[GJ] 調理[GJ]	17.3[GJ]/年(4人世帯) 3.9[GJ]/年(4人世帯)

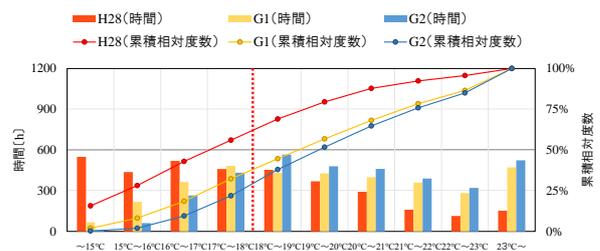


図8 作用温度分布：断熱性能の比較 (PVのみ-隣棟なし)

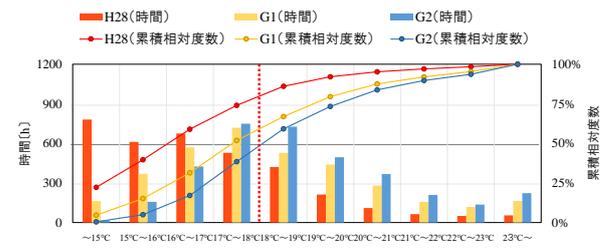


図9 作用温度分布：断熱性能の比較 (PVのみ-2.5m)

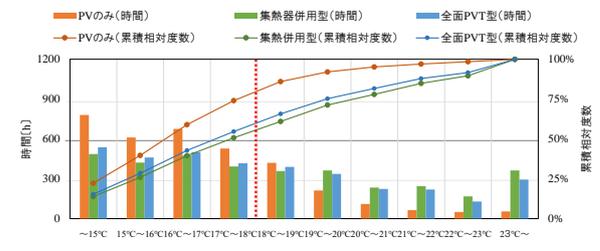


図10 作用温度分布：本システム有無の比較 (H28-2.5m)

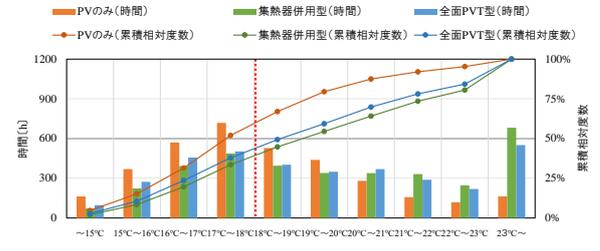


図11 作用温度分布：本システム有無の比較 (G1-2.5m)

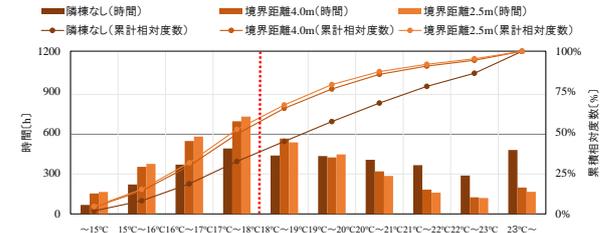


図12 作用温度分布：街区密度の比較 (PVのみ-G1)

の一次エネルギー消費量は同程度になった(図17)。また、「境界距離2.5m」での「PVのみ(集熱なし)」に対する「集熱あり」の暖房・給湯の一次エネルギー削減率は、「G1相当」で「集熱器併用型」は、3割強、「全面PVT型」は、3割程度となった。このため、本システムであれば隣棟の建て込んだ敷地であっても暖房・給湯の一次エネルギー削減効果があることが確認された。また、断熱性能が高くなるにつれて、一次エネルギー削減率が増加しているため、断熱性能が高い方がより本システムの恩恵を得ることができることを確認した(図18)。

さらに、家電等を含む住宅内の全消費エネルギーと発電量を比較すると、今回検討した住宅モデルおよびシミュレーション条件の場合、「PVのみ(集熱なし)」は、発電量は確保できているが、エネルギー消費量を削減できておらず、また「集熱器併用型」は「PVのみ(集熱なし)」に比べて消費エネルギーを削減できてはいるが、ガラス集熱器の面積だけ発電できないため、年間の住宅内での一次エネルギー消費量が発電量を上回った。しかし、「全面PVT型」ならば一次エネルギー消費量の削減しつつ、発電量も確保できるため年間の発電量が住宅内での一次エネルギー消費量を上回ることができた(図19)。

4. 総括

本研究では、PVT活用型屋根空気集熱式ソーラーシステムを搭載した住宅を対象として街区密度・太陽エネルギー利用形態に着目し検討した。今回検討した住宅モデルおよびシミュレーション条件においては、「PVのみ(集熱なし)」の場合、隣棟の建て込んだ敷地では、「G1相当」の断熱性能でも1F暖房室の作用温度が18℃(諸外国の許容温度の規定³⁾)を下回る割合は50%を超え、また、非暖房室との温度差も大きく、居住者の健康リスクが増えるため快適性を保つことが厳しいことを示した。しかし、本システムを利用することにより、「G1相当」以上の断熱性能であれば、建て込んだ敷地でも床下を介して住宅全体を暖めるため暖房室だけでなく非暖房室の快適性も保ちつつ、暖房・給湯負荷削減効果があることを示した。さらに、「全面PVT型」ならば、住宅内での年間の一次消費エネルギー量を上回るのに必要な発電量を確保しつつ快適性向上と暖房・給湯負荷削減効果の両立が可能であることを示した。

[参考文献]

- 1) 「平成25省エネルギー基準に準拠した算定・判断の方法及び解説II住宅」2013
- 2) 山本遼子 他：空気式太陽熱集熱システムを採用した戸建住宅に関する研究 第6報 空気調和・衛生工学会学術講演論文集 2017.9
- 3) 2020年を見据えた住宅の高断熱化技術開発委員会：「HEAT20 設計ガイドブック+Plus」2016
- 4) 崔 榮晋 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5報 空気調和・衛生工学会学術講演論文集 2016.9

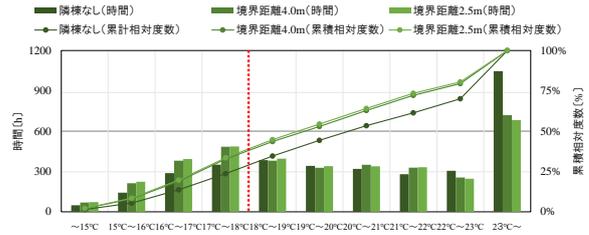


図13 作用温度分布：街区密度の比較(集熱器併用型-G1)

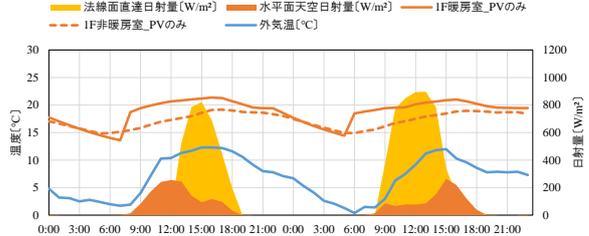


図14 作用温度(1F)：PVのみ(G1-2.5m)

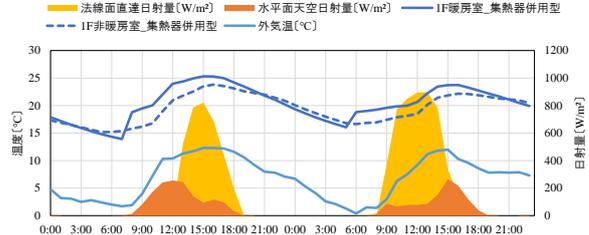


図15 作用温度(1F)：集熱器併用型(G1-2.5m)

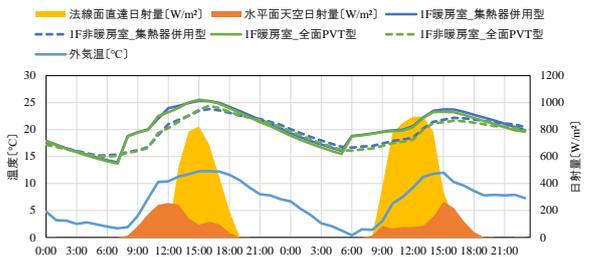


図16 作用温度(1F)：本システムの比較(G1-2.5m)

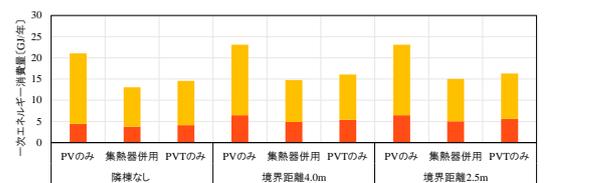


図17 敷地条件の比較での削減効果(G1)

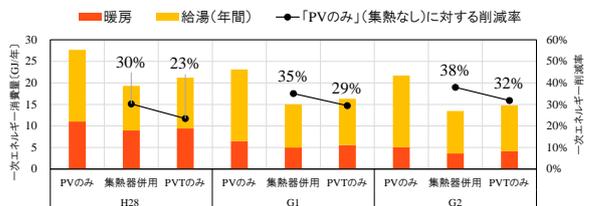


図18 本システム有無での削減効果(境界距離2.5m)

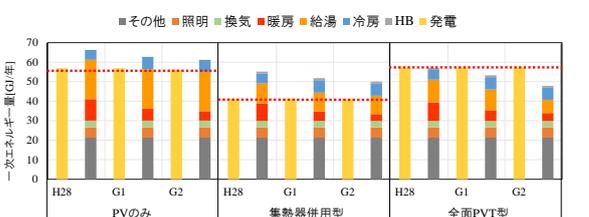


図19 年間一次エネルギー量