

太陽エネルギー活用型ヒートポンプ暖冷房換気給湯システムの住宅への導入に関する研究
(第1報) システム概要と冬季暖房時の温熱環境の計測

Study on PVT Air Collector & Heat Pump System for Domestic Air Conditioning Ventilation
and Hot Water Supply in House

Part1. System Overview and measurement of thermal environment during winter heating

学生会員 ○真島 繁 (東京大学) 学生会員 大平 豪士 (東京大学)
学生会員 孫 路寧 (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 盧 炫佑 (OM ソーラー)

Shigeru MAJIMA*1 Tsuyoshi OHIRA *1 Luning SUN*1 Masayuki MAE *1

Kozo TAKASE*2 Hyunwoo ROH*3

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

This study is about PVT air collector and heat pump system for domestic air conditioning ventilation and hot water supply in house. We studied the design of air conditioning in order to improve the indoor comfortable environment. This article shows system overview and measurement results of thermal environment during winter heating.

1. はじめに

COP21 におけるパリ協定採択や、それを踏まえた日本政府による省エネルギー基準適合義務化が進められることを受け、住宅分野の省 CO₂化、省エネルギー化が求められており、特に住宅内の消費エネルギーの過半数を占める暖房・給湯分野 には再生可能エネルギーの活用が望まれている。一方、ヒートショックや熱中症といった熱的健康被害が注目され、年間を通して住宅内全体を適切な温熱環境に保つことが健康や快適性の面からも求められている。

こうした現状を踏まえ、本研究では、太陽エネルギー活用型ヒートポンプ暖冷房換気給湯システム (以下本システム) を搭載した住宅を対象に、実測による温熱環境の把握とシミュレーションを用いた設計方法の提案を行うことを目的としている。ここでは、本システムの概要と本システム搭載住宅の冬期実測結果について報告する。

2. 本システム

2.1 本システム概要

本システムは (図 1) に示すように、屋根面に設置された Photovoltaic and Thermal (以下 PVT) で太陽光発電および太陽熱集熱・夜間放射冷却を利用することで太陽エネルギー利用の最大化を目指しながら、1 台のヒートポンプ (以下 HP) による暖冷房を行う。冷房時の温排熱や余剰集熱は給湯に使用され、エネルギー消費を高効率化する。また、本体に第一種全熱交換換気機能を内蔵しており、各居室に換気口を設けず 24 時間換気が可能である。空調空気は本体から給気ダクトを通じて、A,B,C の

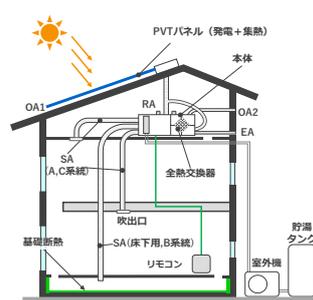


図 1: 本システム概要

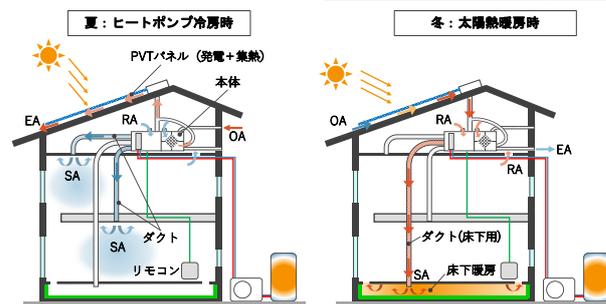


図 2: 夏季と冬季の運転モード

表 1: システム能力概要

冷房	定格冷房能力[kW]	4.0
	定格冷房消費電力[kW]	1.115
	エネルギー消費効率	3.59
暖房	定格暖房標準能力[kW]	4.0
	定格冷房標準消費効率[kW]	0.905
	定格暖房低温能力	4.70
	定格暖房低温消費電力[kW]	1.700
換気	エネルギー消費効率	4.00
	定格換気風量[m ³ /h]	200
	定格消費電力[W]	65
給湯	温度交換効率[%] (夏期/冬期)	80 / 90
	全熱交換効率[%] (夏期/冬期)	75 / 85
	タンク容量[L]	370
	冬期高温消費電力[kW]	1.35
	中間期標準消費電力[kW]	1.06

3つの送風ファン (A,C 系統は暖冷房兼用, B 系統は床下暖房時のみ使用) によって各室に供給され、階段室や吹き抜けを通り小屋裏に設置された本体へ戻り住戸全体を循環する全館空調方式をとる。各ファンの回転数を個別に制御することはできるが、吹き出し口ごとの風量を制御することはできないCAV (定風量型) 方式で、主居室のメインリモコンに内蔵されたセンサーから計測した居室温度を基に吹き出し口温度を制御するシステムである。

表 2：実測物件の概要

	a邸				b邸				c邸				d邸				e邸				
外観																					
地域区分	6地域 A4 H2				6地域 A3 H4				6地域 A3 H5				6地域 A4 H4				6地域 A3 H4				
床面積	1階	140.1㎡	2階	-	1階	60.8㎡	2階	50.0㎡	1階	58.0㎡	2階	51.3㎡	1階	59.4㎡	2階	48.9㎡	1階	81.2㎡	2階	50.1㎡	
UA値 / ηAC値	0.41 / 1.4				0.47 / 1.2				0.42 / 1.4				0.45 / 1.6				0.42 / 1.6				
家族構成	夫婦2人+子供2人				夫婦2人+子供1人				夫婦2人+子供2人				夫婦2人+子供2人				夫婦2人+子供2人				
太陽光パネル	6.96kW				5.8kW				5.8kW				6.09kW				5.22kW				
1階平面																					
2階平面																					
断熱性能 (断熱材の熱伝導率と厚み)	屋根	λ=0.040	240mm		屋根	λ=0.032	190mm		屋根	λ=0.036	200mm		屋根	λ=0.034	210mm		屋根	λ=0.040	200mm		
	外壁	λ=0.040	120mm		外壁	λ=0.035	105mm		外壁	λ=0.028	85mm		外壁	λ=0.034	105mm		外壁	λ=0.040	120mm		
	基礎	λ=0.028	50mm	25mm	基礎	λ=0.028	50mm	30mm	基礎	λ=0.028	50mm		基礎	λ=0.019	90mm		基礎	λ=0.028	50mm	30mm	
	窓	北	U=2.33 / η=0.27			北	U=1.51 / η=0.29			北	U=1.23 / η=0.22			北	U=1.31 / η=0.29			北	U=1.90 / η=0.46		
		南	U=2.33 / η=0.27			南	U=1.51 / η=0.44			南	U=1.23 / η=0.22			南	U=1.31 / η=0.46			南	U=1.23 / η=0.46		
		西	U=2.33 / η=0.27			西	U=1.51 / η=0.29			西	U=1.23 / η=0.22			西	U=1.31 / η=0.29			西	U=1.23 / η=0.46		
		東	U=2.33 / η=0.27			東	U=1.51 / η=0.29			東	U=1.23 / η=0.22			東	U=1.31 / η=0.29			東	U=1.23 / η=0.29		

2.2 夏季の運転モード

夏季(図2左)はA,C系統の2つの送風ファンからダクトを通じて天井あるいは壁に設置した吹き出し口から室内に給気する。日中の熱負荷はHPにて処理し、全熱交換器で処理空気の熱回収を行った後PVTパネル裏面を通して排気する。夜間は、放射冷却により冷やされた空気を屋根面から取り入れ、室温が高い場合はHP冷房を行う。給湯に関しては、冷房時の排熱を利用した沸き上げが可能であるため、1台のHPで冷房と給湯を同時に行うことが可能である。

2.3 冬季の運転モード

冬季(図2右)は主に床下用ダクトを通じて床下に暖気を送るが、夏季に使用するA,C系統からの給気を併用することも可能。晴天時はPVTによる太陽熱集熱により暖房を行い、集熱量が不足する場合はHP暖房を行い補う。夜間もしくは曇天時にはHP暖房を主暖房とする。給湯に関しては、HP暖房とHP給湯沸き上げを同時に行うことはできない。

2.4 運転制御(室温制御と風量制御)

運転制御に関しては、主居室に設置された本システムのリモコンのセンサーが感知した温度に応じ、送風温度と合計風量を制御する。各系統のファンの風量分配比は調整可能だが、各部屋で送風量や送風温度を制御することはできないCAV方式であるため、主居室の温度が日射の影響等で急上昇すると、他の居室が冷房時には冷えすぎたり、暖房時には温度が上がりにくくなるなど、他の居室温度は主居室の状況次第で設定温度との乖離が生じることが予想される。

3. 冬季実測概要

実測は、2019年1月以降に竣工した新築戸建て住宅で、本システムを搭載した全国5物件(表2)を対象とした。

いずれも省エネルギー地域区分の6地域に立地し、平屋型または2階建て吹き抜け型である。全世帯で子育て世代の家族が住んでいる。断熱性能はいずれもHEAT20が定めるG1もしくはG2の基準をクリアした高断熱高気密の新築住宅で、屋根には5.22~6.96kWの太陽光発電パネルを搭載しており、家電分の消費電力を含めた年間のネット・ゼロエネルギーを目標に設計されている。これらの物件をそれぞれa~e邸とし、冬季暖房時の温熱環境を明らかにすることを実測の目的とした。

各物件に19点の計測機器を設置し、「温湿度/CO₂濃度/日射量/熱流/床表面温度」を測定した(床表面温度は主居室のみ計測)。同時に、本システムに組み込まれたHEMSによりシステムの運転状況と消費電力も測定した。本報では、計測開始2020/1/1から2/29までの、本システムが冬季の運転モードである際の実測結果を報告する。

4. 冬季実測結果

実測結果については、5物件の中でも平屋型のa邸と2階建て吹き抜け型のc邸の2物件について記述する。

4.1 代表日の室温変動(平屋型)

平屋型であるa邸(図3)に関して、日最高気温と最低気温の差が大きく積算日射量が多い2020/1/3~1/4の2日間を晴天日として、外気条件、設定温度と室温変動を図4に示す。また、日最高気温と最低気温の差が小さく積算日射量の少ない2020/1/7~1/8の2日間を曇天日として、外気条件、設定温度と室温変動を図5に示す。晴天日と曇天日どちらも、設定温度は23°Cで24時間運転していた。

設定温度に対する各室温の推移は、晴天日と曇天日いずれも全ての時間帯で下回っている。晴天日のリモコン室内温度とリビング室温は、日中、屋根傾斜面日射量の

増減にしたがって上下しており、曇天日にその傾向が見られないことから、これはリビングが南面に位置することで日射の影響を受けたためと考えられる。晴天日では、特に正午前後から夕方の時間帯はリモコン室内温度が設定温度を大きく超えているが、その時間帯には床下温度とリビング以外の各室温度は下降している。曇天日では、リモコン室内温度が設定温度を上回った最も高い 1/7 の 6:00 付近で、床下温度、各室温ともに大きく下降し、それ以降リモコン室内温度は 23℃より少し高い値で推移し、床下温度、各室温とともに大きな上下動は見られない。本システムの送風温度と合計風量はリモコン室内温度で決定されるため、リモコン室内温度が設定温度を大きく上回る時間帯は送風温度や合計風量が低下したと考えられる。リモコン室内温度はリビングに位置するが、リビング室温よりも全時間帯で高い値をとっている。リモコン位置がリビング室温測定点（図 3 の LDK における室温測定点）よりも日射の影響を受けやすいことなどが要因として考えられる。このため、リビングや他の室が設定温度に届いていなくても、リモコン室内温度が設定温度を上回ることによって送風温度や合計風量が低下してしまうために、晴天日と曇天日ともに各室温は設定温度に届かなかったと考えられる。

室温に関して各室ごとでの比較では、和室や寝室が多くの時間帯に低温で推移している。和室や寝室の床面スリットは、子供室の床面スリットよりも、床下用ダクトの距離が遠いために暖気が届きにくく、室温が上がりにくくなっていることが要因として考えられる。

4.2 代表日の室温変動（2階建て吹抜け型）

2階建て吹抜け型であるc邸（図6）に関して、日最高气温と最低气温の差が大きく積算日射量が多い2020/1/29~1/30の2日間を晴天日として、外気条件、設定温度と室温変動を図7に示す。また、日最高气温と最低气温の差が小さく積算日射量の少ない2020/1/27~1/28の2日間を曇天日として、外気条件、設定温度と室温変動を図8に示す。晴天日と曇天日どちらも、設定温度は25℃または26℃で24時間運転していた。この期間においてA,C系統は未稼働であったため、暖気はB系統による床面スリットから出たもののみとして考察する。

リモコン室内温度に関して、晴天日では設定温度の25℃の付近を上下し、リビング室温はそれより低い傾向ではあるが、平屋型住宅のa邸の場合と比べ、互いに大きな差はなく推移している。曇天日では、リモコン室内温度とリビング室温は大きな差がなく、設定温度付近に達しては下降し、1~2℃程度低下した後また設定温度付近に上昇することを繰り返している。晴天日と曇天日いずれも、リモコン室内温度が設定温度を上回っている時間帯は床下温度が下降し、下回っている時間は上昇している。これは、設定温度に対するリモコン室内温度によ

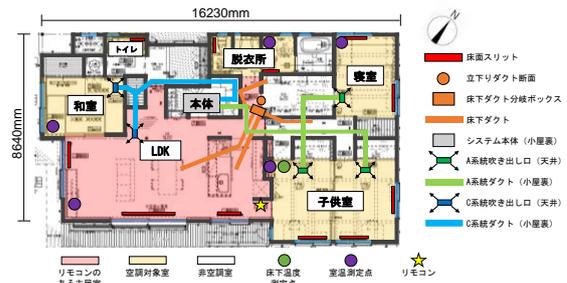


図 3 : a 邸の平面図

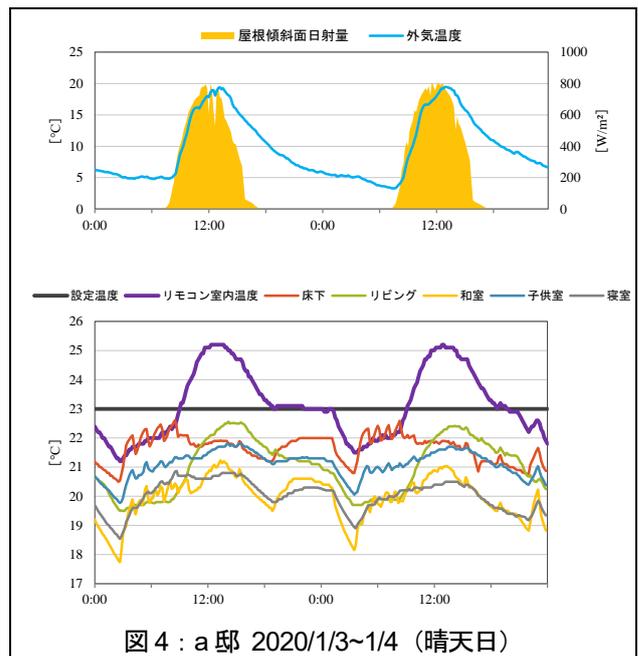


図 4 : a 邸 2020/1/3~1/4 (晴天日)

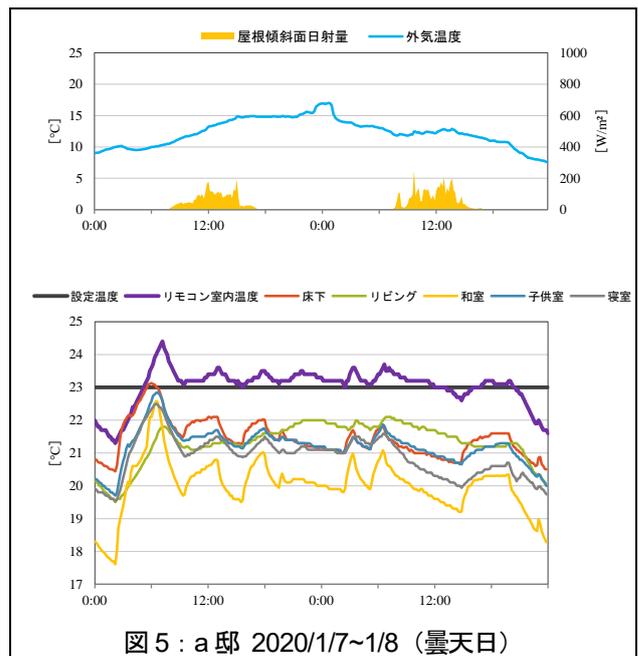


図 5 : a 邸 2020/1/7~1/8 (曇天日)

って、システム本体がB系統の送風温度と合計風量を制御した結果であると考えられる。平屋型住宅のa邸と比べリモコン室内温度とリビング室温の差が小さいのは、リモコンの設置位置が室中央付近であり、日射の影響を受けにくかったことが要因として考えられる。

室温に関して、晴天日では、正午以降18時までの時間帯で全室温の上昇が見られ、2階書斎はその傾向が顕著である。室温が上昇するまでの午前中の2階室温は1階リビングよりも低い。曇天日では、2階室温はほとんどの時間帯で1階リビングよりも低く推移している。これは、窓際に設置された2階室温測定点よりも、1階室温測定点は日射の影響を受けにくかったことが要因として考えられる。また、そのような外気条件に影響を受けて室温が上がる時間帯以外は、1階よりも2階の室温が低くなる傾向がある。A,C系統は稼働していなかったため、床下からの暖気で1階から2階までを暖房していることになるが、暖気が十分に行き渡っていないことが考えられる。

5. まとめと今後の展望

本報では、太陽エネルギー活用型ヒートポンプ暖冷房換気給湯システム（以下本システム）を搭載した住宅について、本システムの概要と、本システム搭載住宅の冬期実測結果について報告した。実測では以下の三点が明らかになった。

(1)本システムは、設定温度に対するリモコン室内温度によって送風温度と合計風量を決定するため、リモコン室内温度が設定温度を超えていれば、室温が設定温度に達していなくても送風温度と合計風量が低下してしまい、室温が設定温度に達さないことがある。リモコン室内温度が日射等の外部影響を受けず、各室温に近い値をとるよう設置位置を設計段階で十分に検討する必要がある。

(2)平屋型住宅では、各室が同じ高さにあるため、床面スリットからの暖気が各室温の違いに影響を与える。各室温差が大きくなり適切な風量配分となるような床下ダクト計画が重要となる。

(3)2階建て吹抜け住宅では、A,C系統が未稼働である場合、1階よりも2階室温の方が低くなりやすい。2階へ暖気が十分に行き渡りやすくなる計画を事前に十分に検討することや、2階室温が低い場合にA,C系統を稼働させるようにする必要がある。

次報では、本システム搭載住宅の室内温熱環境改善のため、CFD解析を用いて、冷房時の吹き出し口の個数と配置計画、暖房時の床下ダクト計画の検討を行う。

参考文献

- 1) 溝口 暉人：主居室温度を基準に制御する全館空調の負荷分布を考慮した各室の設計指針の研究, 東京大学大学院建築学専攻 2019年度 修士論文梗概集

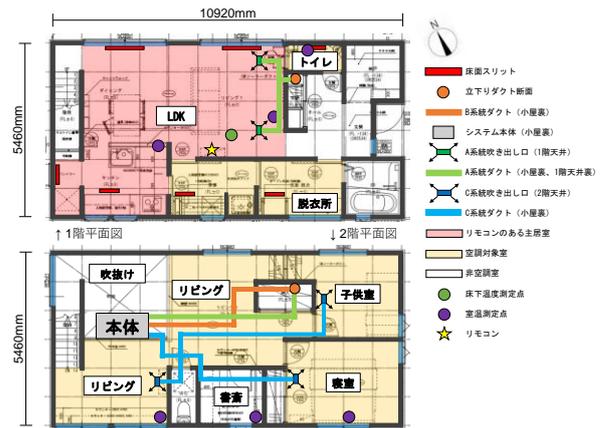


図6：c邸の平面図

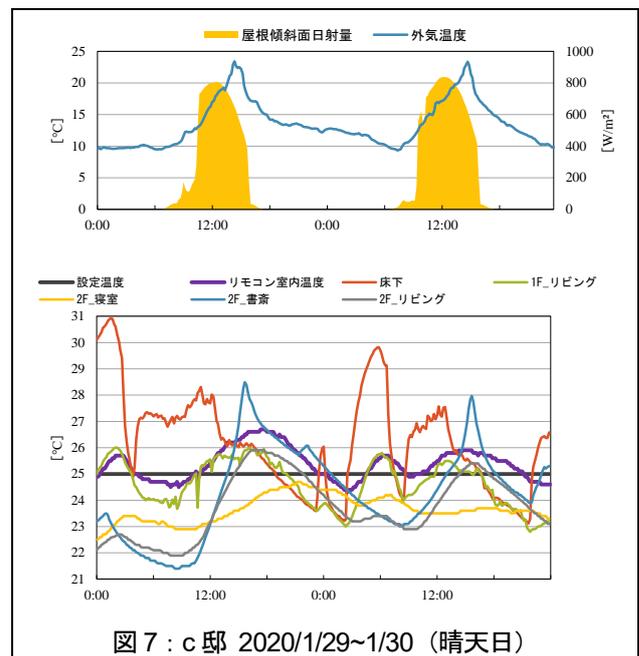


図7：c邸 2020/1/29~1/30（晴天日）

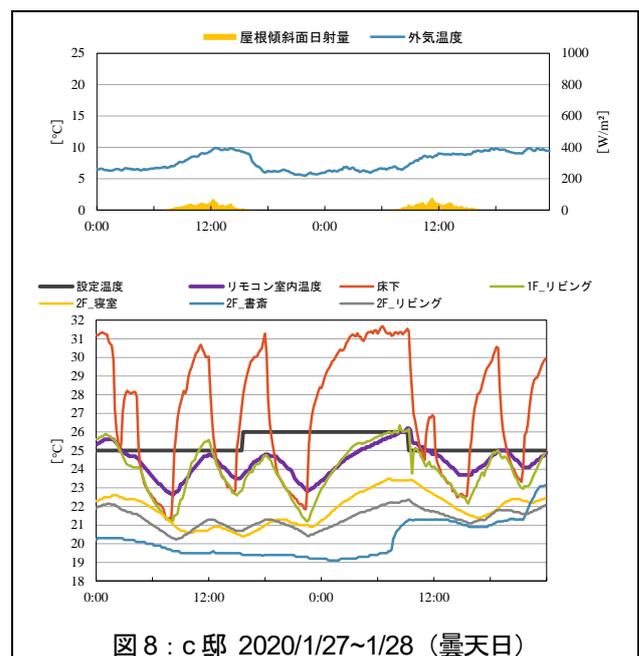


図8：c邸 2020/1/27~1/28（曇天日）