

空気集熱式ソーラーシステムを搭載する ZEH 住宅の性能評価 その2 モデル住宅における2年間にわたる実測結果の分析

Performance Evaluation of the Zero Energy House equipped with the Solar System using Air Collectors

Part 2 Analysis of Measurement Results during Two Years in the Model House

鈴木 裕也*、三田村 輝章**、大澤 敦也***、嶋村 俊史***、立見 公一***

Yuya Suzuki, Teruaki Mitamura, Atsuya Osawa,
Toshifumi Shimamura and Koichi Tatsumi

keywords: Solar system using solar collectors, Wooden domino house, Indoor thermal environment, Field measurement, Performance Evaluation

空気集熱式ソーラーシステム、木造ドミノ住宅、室内温熱環境、実測調査、性能評価

1. はじめに

平成25年に住宅の省エネ基準が改定され、建物の外皮性能のみならず、設備機器を含めた建物全体の一次エネルギー消費量による評価が導入されている。そのため、高効率な設備システムの他、パッシブ・アクティブ手法による自然エネルギー利用など、多様な省エネ手法の導入が考えられ、今後、個々の事例における性能評価による検証が重要となる。

本研究では、前橋市内に建設された空気集熱式ソーラーシステムを搭載し、ZEHを意図して設計されたモデル住宅における性能評価を行っている。前報では、室内の温湿度、熱流束等の実測調査により、冬期における暖房方法の検討結果について報告した¹⁾。

本報では、引き続き、同モデル住宅における約2年間にわたる実測結果を元に、年間での性能評価を行う他、太陽光発電量と消費電力量の収支について考察した結果について報告する。

2. 調査概要

2.1 対象住宅の概要

対象住宅は、群馬県前橋市に2017年5月に建設され、延床面積は91.09㎡、 U_A 値は0.49W/㎡・K、C値は0.91cm²/㎡である。構造躯体と内装や設備を分離したスケルトンインフィル方式のドミノ住宅工法により建設されている。写真1に外観、図1に平面図、図2に断面図及び空気集熱式ソーラーシステムの概要を示す。南側の大きな開口によるダイレクトゲイン手法の他、空気集熱式ソーラーシステム(OMクワトロソーラー)が搭載され、暖房設備として床下吹出型ペレットストーブ、屋根には太陽光発電パネル(出力4.125kw)が設置されている。また、日射遮へい装置として、南側のテラスにはアウターシェードが設置されている他、東西面の窓外側には可動式格子戸が設置されている。冬期では屋根の集熱空気層と集熱パネルで暖められた高温の空気を立てダクトにより床下に供給して基礎スラブへの蓄熱と床スラブの加温する他、リビング南面と東西面の窓下部に設けられた床吹出口から高温の空気を室内に供給して家全体を暖める。一方、夏期は暖められた空気は排熱すると同時に、一部は給湯に使用される。暖房は集熱システムの他、1階に設置された床下吹出型ペレットストーブとエアコンにより行う。



写真1 対象住宅の外観

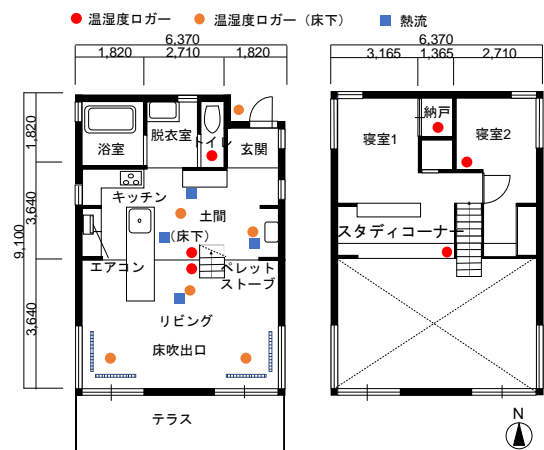


図1 平面図及び測定点

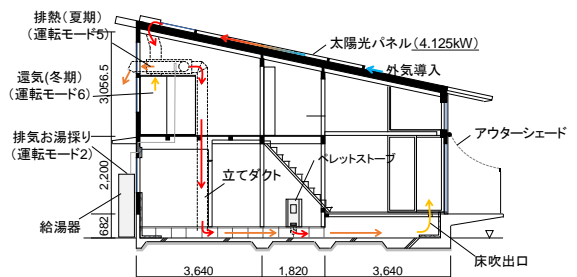


図2 断面図及び空気集熱式ソーラーシステムの概要

* 前橋工科大学大学院・工学研究科 博士前期課程
Graduate Student, Graduate School of Engineering, Maebashi Institute of Technology

** 前橋工科大学・工学部 准教授・博士(工学)
Assoc. Prof., Faculty of Engineering, Maebashi Institute of Technology, Dr. Eng.

*** 立見建設株式会社
Tatsumi Co., Ltd.

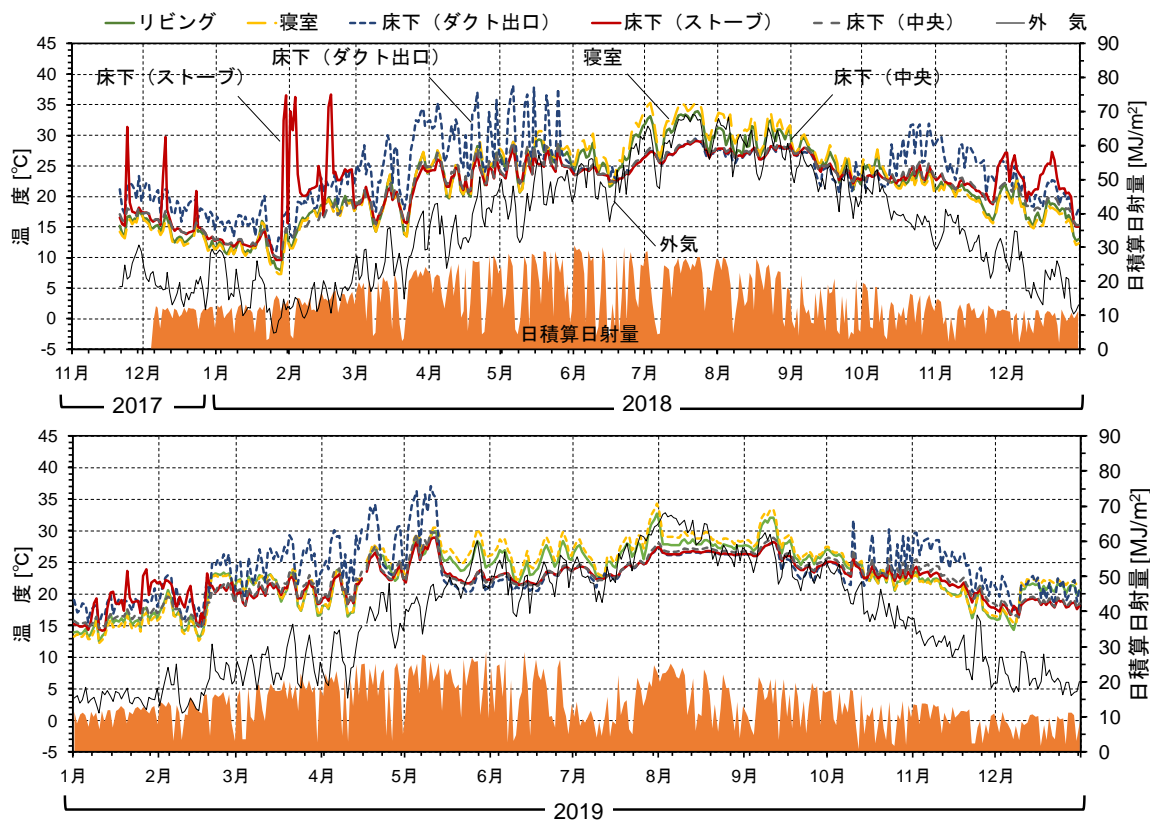


図3 年間日平均温度変動

表1 集熱システム運転条件

季節モード	設定室温23℃の場合		空気集熱システム 運転開始温度条件	自動運転の 季節判断	
	室温22℃以下では 「集熱取り込み」	室温23℃以上で 「集熱お湯採り」			
冬期	室温22℃以下では 「集熱取り込み」	室温23℃以上で 「集熱お湯採り」	棟温30℃以上	朝5時における 外気温が13℃以下	
中間期	室温12℃以下では 「集熱取り込み」	室温22℃以下では 「集熱お湯採り」	室温23℃以上で 「排気お湯採り」	棟温35℃以上	朝5時における 外気温が14～20℃ 以下
夏期(昼)	室温12℃以下では 「集熱お湯採り」	室温13℃以上で 「排気お湯採り」	「自動換気」	棟温40℃以上	朝5時における 外気温が21℃以上
夏期(夜)	室温22℃以下では 運転停止・換気停止		室温23℃以上で 「外気取り入れ」	・昼の運転が停止	

2.2 測定概要

測定項目は、室内の温度変動、床スラブと床表面の熱流変動である。図1に測定箇所を平面図に併せて示す。温度の測定には、小型温湿度データロガー(ティアンドディ社製、RTR-503)を用い、測定間隔は15分間隔に設定する。熱流束の測定には熱流センサー(江藤電気製、M55A)を用い、データロガー(日置電機製、LR8416)に接続して、測定間隔は5分間隔で記録する。測定は2017年11月から開始し、現在も継続しているが、本報では2019年12月31日までの約2年間の測定結果について示す。

3. 実測結果

3.1 室内温度変動

図3に日平均温度変動を示す。測定期間中、外気は2.4℃～33.3℃の範囲で変動しているのに対して、リビングの温度変動は、2018年は7.8～33.3℃、2019年は12.4～32.7℃の範囲で変動している。集熱システムの運転条件は表1に示す通りであり、設定室温は23℃として、季節ごとに室温が設定温度に達した際に、集熱システムは季節モードで設定された運転モードに切り替わ

る。空気集熱システムは冬期では棟温30℃以上、中間期では棟温35℃以上、夏期の昼では棟温40℃以上で運転が開始される。以下、季節ごとに温度変動を考察する。

3.1.1 冬期の室内温度変動

2018年は、リビングの温度が最低で7.8℃、平均で14.3℃と快適とは言い難い室温となっている。これは、対象住宅がモデル住宅であり、非居住状態で実測を行っているため、来客時や実験時以外は床下吹出型ペレットストーブ等の暖房機器の運転頻度が少ないためだと考えられる。また、床下吹出型ペレットストーブの稼働により床下(ストーブ)の温度は最高で37.2℃となっているが、リビングの温度には大きな変化が見られない。これは、前報¹⁾で床下への断熱材設置の検討を行ったことを報告したが、2018年の1～2月は断熱材は設置していなかったため、ストーブを稼働させても室温が大きく変化しなかったことが考えられる。2019年では、非居住状態で実測ではあるが、起床時間帯に加え、一日で最も気温の低下する朝方5時と、日没の

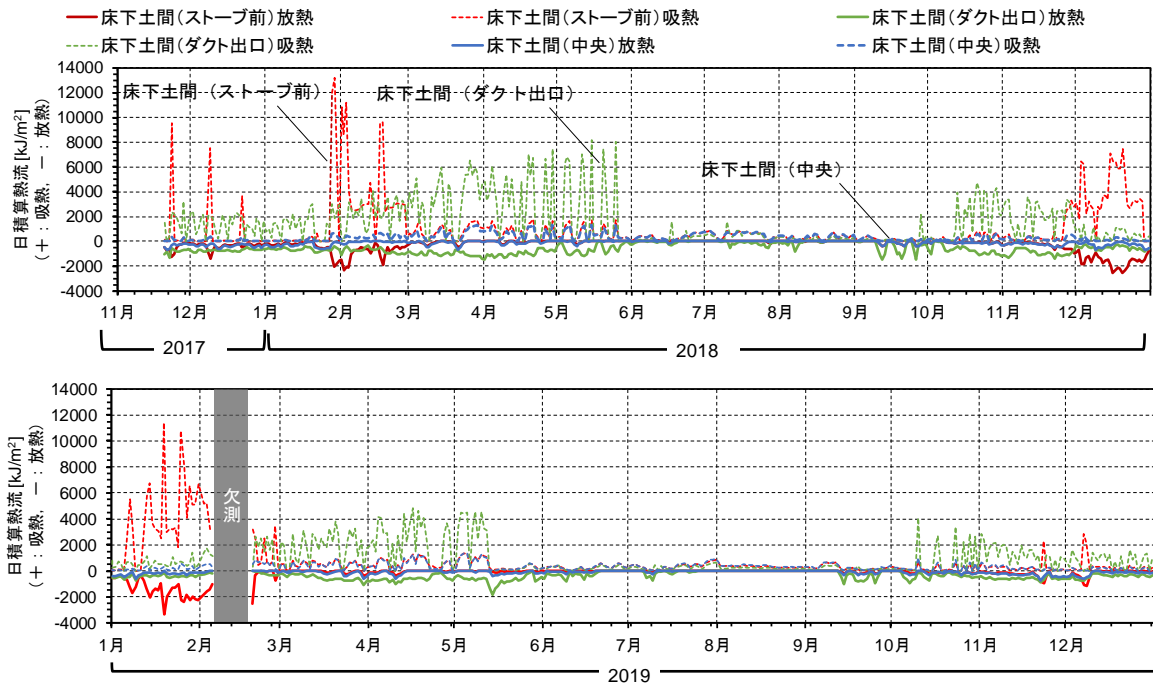


図4 年間日積算熱流変動

時間帯である18時に床下吹出型ペレットストーブを自動運転設定により稼働させ、暖房方法に関する実験を行っている。床下（ストーブ）の温度は最高で24.0℃と、2018年よりも低い結果となったが、2019年は空気集熱式ソーラーシステムの立てダクト出口付近と床下吹出型ペレットストーブの吹出口付近の床下スラブに断熱材を設置したため、リビングの室温は最低で12.4℃、平均で16.9℃と、2018年と比較して最低温度では4.6℃高く、平均温度では2.6℃高くなっている。また、集熱システムは一年を通して稼働しているが、2018年の結果から、集熱システムのみでは室内温度は快適な温度を維持することができないことがわかる。そのため、床下吹出型ペレットストーブやエアコンなどを併用し、日中は集熱システム、夜間は暖房機器を稼働させることが必要である。

3.1.2 夏期の室内温度変動

対象住宅では、集熱システムの夜間放射による冷却効果のほか冷房設備は当初、1階のダイニング西側に設置されたエアコン1台のみであったが、住宅全体に対して冷房能力が不十分であったため、2019年に2階の寝室にエアコン一台を追加で設置している。室内の最高温度は、2018年は33.3℃、2019年は32.7℃と高かったが、8月中は30℃を超える日が14日間続いたにもかかわらず、リビングの温度は27.0～28.6℃の狭い範囲での変動に抑えられている。これは、対象住宅の断熱・気密性能の高さにより快適な温度に保たれていることが考えられる。

3.1.3 中間期の室内温度変動

中間期（3～6月、10～11月前後）は外気温の変動幅と比較して、リビングの温度は20.1～27.2℃と、安定した室温に保たれていることが確認できる。床下（ダクト出口）の温度は中間期に最も大きく変動し、最高で37.8℃まで上昇する。中間期はペレットストーブやエアコンはほとんど使用しておらず、集熱システムのみで室温が安定な範囲に保たれていることから、

集熱システムは中間期で最も効果的に稼働しているといえる。

3.2 熱流変動

図4に日積算熱流変動を示す。床下土間（ストーブ前）吸熱の熱流は最高で13174kJ/m²となり、床下土間（ストーブ前）放熱は最高で3386kJ/m²となった。床下吹出型ペレットストーブや集熱システムにより床下スラブに多量の吸熱が行われると、吸熱後には放熱をしていることが確認でき、床下空間を温めていることがわかる。床下土間（ダクト出口）吸熱の熱流は「集熱取り込み」運転を終える5月下旬にかけて上昇していき、最高で8177kJ/m²となり、床下土間（ダクト出口）放熱は最高で1815kJ/m²となっている。

3.2.1 冬期の熱流変動

床下吹出型ペレットストーブを使用しているため、床下土間（ストーブ前）の吸放熱量が大きくなっている。2018年はペレットストーブの使用頻度が低かったため、熱流が大きく変動する期間は少ない。2019年はペレットストーブを自動運転設定にしていたため、床下土間（ストーブ前）の熱流は大きく変動している期間が多い。また、2018年の放熱量と比較すると2000kJ/m²を超える日が多く続き、それによって床下に放熱が行われることで床下の温度上昇を促しているといえる。

3.2.2 夏期の熱流変動

集熱システム、床下吹出型ペレットストーブともに稼働していないため、熱流に変動はわずかである。集熱システムの運転モードは、昼間はほとんどが「排気お湯採り」となっており、屋根裏の集熱層で暖められた空気はそのまま外へ排出し、一部を給湯として利用しているため、室内側の熱流変動に変化が見られないためと考えられる。

3.2.3 中間期の熱流変動

中間期（3～6月、10～11月前後）は床下吹出型ペレットストーブはほとんど稼働させていないが、集熱システムは一年を通じて中間期が最も運転が行われる時期のため、床下土間（ダクト出口）の熱流が大きく変動していることがわかる。2018年の

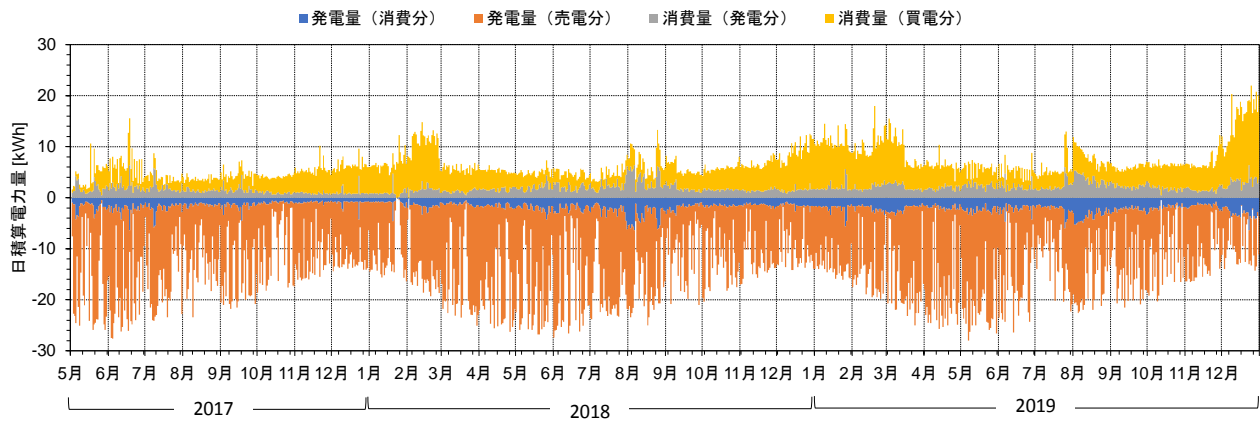


図5 年間日積算電力量

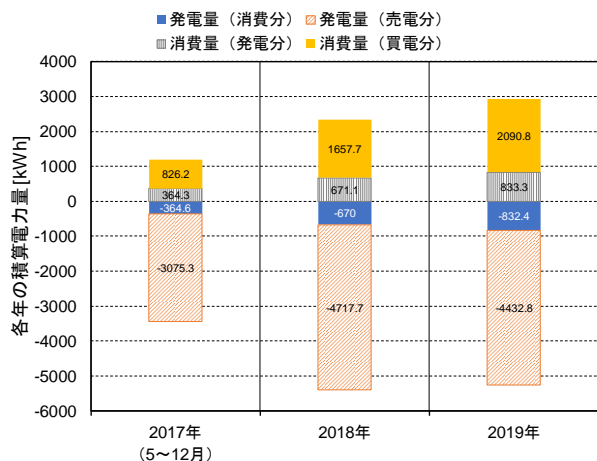


図6 各年積算電力量

中間期は最高で 8177 kJ/m²の吸熱が行われ、最高で 1781 kJ/m²の放熱が行われているのが確認できた。2019 年では最高で 4822 kJ/m²の吸熱が行われ、最高で 1815 kJ/m²の放熱が行われているのが確認できる。

3.4 電力量

図5に2017年5月～2019年12月までの日積算電力量を、図6に年ごとの買電量と発電量の総量を示す。非居住状態であるため電力消費量は少なく、参考データではあるが、太陽光発電量との関係から ZEH 化を検討する目安とする。2018 年と 2019 年と比較すると、両年とも 5300kWh (19.1GJ) 程度と同様な発電量となっている。買電量を比較すると 2018 年は 1656.6kWh、2019 年は 2089.9kWh であり、2019 年の方が 433.3kWh 多い。これは 2019 年はエアコンを一台増設し、2 台のエアコンで冷暖房を行っていたためであると思われる。しかし、2018 年は買電量と発電量を比較すると発電量の方が 3731.1kWh 多く、約 3 倍であり、2019 年は発電量の方が 3175.3kWh 多く、約 2.5 倍であるため、エアコンを増設しても買電量よりも発電量の方が多いため、太陽光発電による創エネと対象住宅の省エネ性によって消費電力以上の電力を創ることが可能だとわかる。環境省の統計による関東甲信地方の一世帯当たりの年間エネルギー消費量は 29.2GJ/年・世帯であり、対象住宅の 2017 年分を除いた年間発電量の 19.1GJ は統計値の 65.4%にあたるため、当住宅において統計値より 34.6%のエネルギー消費量を削減できれば ZEH 化を達成可能である。

4. まとめ

本報では、空気集熱式ソーラーシステムを搭載する ZEH 住宅

を対象とし、約 2 年間にわたる実測結果を元に、年間での性能評価と電力量の収支について考察したほか、冬期における集熱システムの稼働状況や温度変動、熱流変動の実測結果について報告した。

その結果、室内温度変動は冬期では、床下吹出型ペレットストーブを自動運転設定にし、集熱システムを昼間に使用していくことで、室内温度は快適な範囲で変動することが確認できた。夏期では、エアコン 1 台では室内全体を冷房することは困難であり、追加で 2 階に 1 台設置することで室内温度は快適な範囲に収めることができた。中間期では、床下吹出型ペレットストーブやエアコンをほとんど使用せず、集熱システムの運転のみで室内温度を快適な範囲に収めることができた。熱流変動では冬期の場合、床下吹出型ペレットストーブを稼働させることにより床下土間に暖気を蓄熱させることが可能で、蓄熱させた熱を放熱することによって暖房効果を見込める。中間期は集熱システムの稼働により、床下土間に暖気を蓄熱させることが確認できた。電力量の収支は、非居住状態であるが、買電量よりも発電量が 2.5～3 倍程度多い結果となった。

今後は、対象住宅の数値シミュレーションモデルを構築し、冷暖房や住まい方等をパラメータとした計算を行い、ZEH 化の条件について検討する予定である。

参考文献

- 1) 鈴木裕也 他：空気集熱式ソーラーシステムを搭載する ZEH 住宅の性能評価 (その 1) 住宅の概要と冬期における暖房方法の検討、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2 2019
- 2) 木造ドミノ住宅 つくる、くらす、たのしむ「ハコとくらし」、<http://www.domiken.jp/index.php>
- 3) OM ソーラー株式会社の HP、<https://omsolar.jp/>
- 4) 環境省 HP、家庭部門の CO2 排出実態統計調査 調査の結果の概要 地方別世帯当たり年間エネルギー種別消費量 www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/chosa1801-1.pdf