

自然エネルギー利用住宅の開発と性能評価（その1）

-冬期における簡易型空気循環式太陽熱利用システムと日射吸収・蓄熱床の効果-

Development and Performance Evaluation of Natural Energy Utilizing House (Part 1)

- Effects of Air Circulation Type Simple Solar Heat Utilizing System and Solar Radiation Absorbing Heat Reserving Floor -

塙 藤 徳^{*1}

Fujinori HANAWA

森川 岳^{*2}

Takeshi MORIKAWA

Abstract

Simple and cost saving solar energy utilizing system, for which under-roof-draft-path from eaves to ridge that ventilate the hot air formed between roofing and roof insulator by solar radiation in summer was used as a solar collector in winter, was installed in an experimental house equipped with simple and cost saving solar radiation absorbing heat reserving floor. Under a real living condition, they were tested for their efficiency and showed a good performance especially in combination of both of them making the experimental house comfortable in winter.

キーワード：太陽熱、空気集熱、日射吸収、蓄熱、屋根、床

Key Words : Solar heat, air-type heat collection, solar radiation absorption, heat reservation, roof, floor

1. はじめに

化石資源に頼らない住宅温熱環境の快適化は、同資源の枯渇対策および地球温暖化防止のための二酸化炭素の排出削減対策として重要である。我国でも、太陽光発電設備設置に対する補助金制度が復活し、2020年をめどに現状に対して20倍の太陽光発電設備の導入をめざしてフィードインタリフ制度による余剰電力の高価買取り制度の導入が予定されるなど、自然エネルギーの利用促進のための措置が講じられ始めた。しかしながら太陽エネルギーの利用効率においては最も効果的である熱利用に関しては、効果的な政策が実施されていないことも有り、太陽熱の利用は低迷している^①。このような中、政策にたよらずに住宅における自然エネルギーの利用を促進するには、装置の簡素化・低価格化が重要である。

我々は、太陽熱の利用技術の普及をめざし、エネルギーの効率的利用が可能な高気密・高断熱住宅において夏の屋根面へ照射される日射熱の室内への取込み回避を目的に設けられることが多い（屋根面断熱材と屋根材との間に設けられた軒下と棟をつなぐ）屋根下通気を利用した単純な空気集熱式太陽熱利用システム（以下 簡易ソーラーシステム）を考案した。屋根面で集めた太陽熱利用システムとし

ては集熱器が屋根材と一体化した空気集熱式ソーラーシステム（例えば小泉ら^②）の先例などがあり自然エネルギー利用に関する意識の高い施主を中心に建築されているが、住宅の標準機能として搭載されるような価格ではなく、普及は限られている。

木造住宅は木材の蓄熱性能が低いことから簡易ソーラーシステムの効果を高めるためには、建物全体の蓄熱性能を高めることが重要である。しかし、重量のあるコンクリートを基礎から床面の高さまで打設する方法、コンクリートやレンガでできたトロンブウォールを設置する方法（例えば、中村ら^③）、高価な潜熱蓄熱材を利用する方法などは、価格の面から実用的ではない。このため我々は、木造住宅

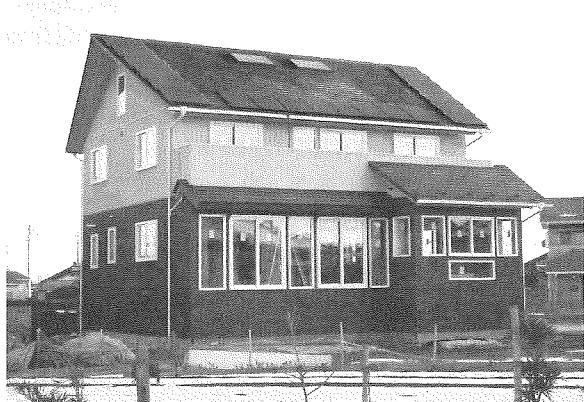


Fig. 1 External appearance of the experimental house.

*¹ 独立行政法人森林総合研究所 主任研究員
(〒305-8687 茨城県つくば市松の里1)

e-mail: fujinori@ffpri.affrc.go.jp

*² 独立行政法人森林総合研究所 主任研究員
(原稿受付 2009年9月19日)

Table 1 Specification of the experimental house.

Total floor area	173.99 m ² (182.69 m ² , including a stairwell)
Building volume	483.90 m ³
Azimuth angle	-2° (Eastward)
Location	Lat. 36° 02' N., Long. 140° 13' E. (IV area)
Equivalent leakage area (C value):	0.57 cm ² /m ² (< 5.0 cm ² /m ²)
Coefficient of heat loss (Q value):	2.02 W/m ² K (< 2.7W/m ² K)
Overall coefficient of heat loss:	368.5 W/K (ventilation; 80 m ³ /h)
Solar radiation gain (μ value):	0.030 (Summer)、0.107 (Winter)
【Insulator】	Foundation ; Form glass ($\lambda = 0.035 \text{ W/mK}$, $t = 60\text{mm}$, $K = 0.583 \text{ W/m}^2\text{K}$) , Wall and Ceiling ; High performance phenol form ($\lambda = 0.020 \text{ W/mK}$, $t = 50 \text{ mm}$, $K = 0.400 \text{ W/m}^2\text{K}$) , Roof: urethan form ($\lambda = 0.021 \text{ W/mK}$, $t = 40 \text{ mm}$, $K = 0.525 \text{ W/m}^2\text{K}$)
【Windows】	East, West and South ; double glazing plastic sash ($K = 2.905 \text{ W/m}^2\text{K}$, $\eta = 0.79$) , North ; Insulation double glazing plastic sash ($K = 1.720 \text{ W/m}^2\text{K}$, $\eta = 0.62$)
【Roof】	Solar radiation collecting part (37.9 m ²) ; Galvalume sheet steel (Black, $\alpha = 94.7\%$, $\epsilon = 0.88$) , Other part ; Galvalume sheet steel (Deep green, $\alpha' = 87.8\%$)
【Wall】	First floor ; Galvalume sheet steel (Deep green, $\alpha' = 87.8\%$) Second floor ; Galvalume sheet steel (Sand white, $\alpha' = 48.5\%$)
【Others】	3.8 kW of Solar cell, Electric hot-water supplying system, LPG Range, Public water supply, Amalgamation septic tank.
cf. λ ; coefficient of heat conduction, K; coefficient of over-all heat transmission, α ; absorption coefficient of solar radiation, ϵ ; thermal emissivity, α' ; absorption coefficient of near infrared, η ; solar heat Gain coefficient.	

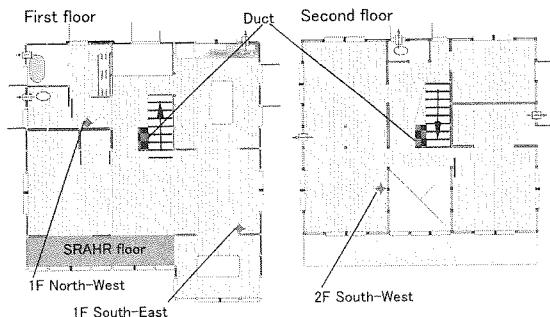


Fig. 2 Floor plan and measuring positions (+).

にも設置可能な軽量で効率よく日射を吸収し、かつ吸収した熱を夜まで持ち越すことを目的とした安価な日射吸収・蓄熱床（以下 SRAHR 床）を考案した。ここでは、簡易ソーラーシステムならびに SHAHR 床を設置した実証建物において実際に人が住んでいる状態で実測したデータを基に、これらの自然エネルギー利用装置の相乗効果を含む性能と有効性について報告する。

2. 実証建物の概要

本システムを導入した実証建物の外観を図 1 に、仕様の概要を表 1 に示した。本建物は、冬期におけるダイレクトゲインを大きく取るために、1 階南面に開放部を大きく取り、熱貫流率 2.905 W/m²k、日射熱取得率 0.79 の樹脂製

複層ガラス窓を設置した。建物の熱損失係数は 2.02 W/m²k、であり（ただし、換気量を 80 m³/h とした場合）、IV 地域における次世代省エネルギー基準の値 2.7 W/m²k を下回っている。隙間相当面積（C 値）は 0.57 cm²/m² である。集熱効果を高めるための屋根材は、日射吸収率 94.7 % のガルバリウム鋼板（37.9 m²）を用いた。基礎部分は、基礎断熱、ベタ基礎で、立ち上がり部分およびスラブコンクリートの厚みを 200 mm とし、1 階は高床式とした（これにより床下空間の空気の流れを良くしている。また年間を通して一定温度の地中熱を冷暖房に利用することが可能となっている。）。換気は、第 3 種換気装置である。また、3.8 kW の太陽光発電パネルを屋根の日射吸収面の周囲に設置し、ハイブリッドソーラーとした。

実証建物の平面図ならびに 1 階および 2 階の温度・湿度の測定ポイントを図 2 に示した。1、2 階ならびに各部屋の空気の流れを良くするために、南面の中央に大きな吹き抜けを設け、建具を極力排している。建物の中央には簡易ソーラーシステム用の縦ダクトが設けられている。

3. 簡易ソーラーシステムの概要

簡易ソーラーシステムの概要と冬期（A）および夏期（B）における利用法（および床下と小屋裏における温度・湿度の測定ポイント）を図 3 に示した。本システムの構成は、屋根面に対する夏の日射の影響を緩和するために設けた屋根下通気路（3a: 軒先と棟にそれぞれ設けた通気口を屋根材と屋根面断熱材の間に形成した空間で繋ぐ通気路）、棟付近通気路切替装置（3e: 屋根下通気路の棟付近に設置した弁で、これにより屋根下に形成された暖気の流路を切り替える）および縦ダクト（4a: 冬期における屋根下通気路の暖気を床下に送風する）からなる。冬期の日射がある日の場合、軒先通気口より流入した冷たい空気は、屋根下通気路を通るうちに屋根面に照射された太陽熱により暖められ上昇する。このとき、棟付近通気路切替弁を遮断し、

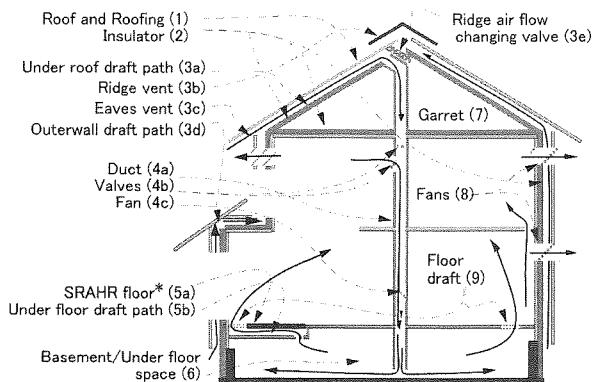
（縦ダクト内の最上階の天井付近に設けた弁を開放した状態で）縦ダクト内のファンを下方向に向けて作動させることにより、暖かい空気を床下に送る。この空気は、SRAHR 床の下に設けた空気流路に入り込み、SRAHR 床で受けた太陽熱によりさらに暖められて床面吹出口より居住空間に導入される。

夏期においては、棟付近通気路切替装置を開放し、縦ダクト内の最上階付近の弁を遮断することで、屋根下通気路に形成された熱気を棟換気口から排出することで、建物内部に熱を取り込むことを回避する。

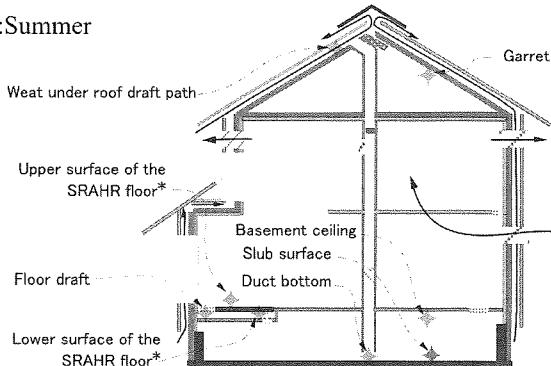
4. 日射吸収・蓄熱床（SRAHR 床）の概要

図 4 に SRAHR 床の概要を示した。押出し形成セメント板（以下 EMC 板、重量比熱 1.13 J/gK、比重 2017

A:Winter



B:Summer



*Solar radiation absorbing heat reservoir floor

Fig. 3 Outline of the air type simple solar heat utilizing system and Solar radiation absorbing heat reserving floor and their operation in winter and summer. Air flows are shown with solid arrows. Temperature and relative humidity measuring points in garret and basement/under floor space are also indicated (⊕)

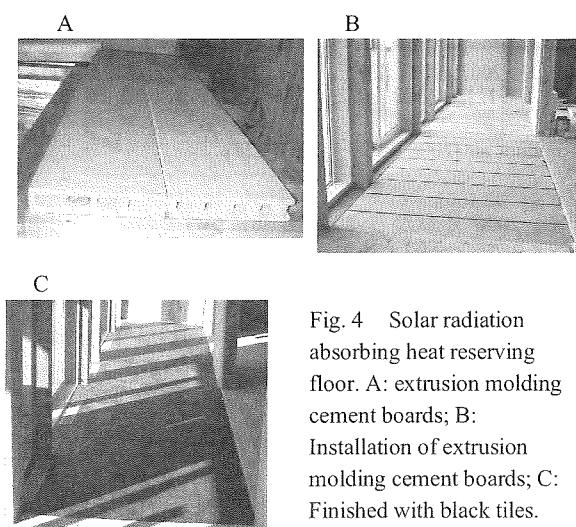


Fig. 4 Solar radiation absorbing heat reserving floor. A: extrusion molding cement boards; B: Installation of extrusion molding cement boards; C: Finished with black tiles.

kg/m^3 、 $t 60 \times W 303 \times L 1200 \text{ mm}$ ）の中空部分（断面形状 $55 \times 32 \text{ mm}$ もしくは $56 \times 32 \text{ mm}$ の空洞が縦方向に合計 4 カ所存在）にプラスチック容器に入れた水を充填したもの（A）を構造体に固定し（B）、厚さ 9 mm の黒いタイルで仕上げた（C）。SRAHR 床の単位面積あたりの重量は、 97.18 kg/m^2 あり、これは、コンクリート平板（ $t 100 \times W 910 \times L$

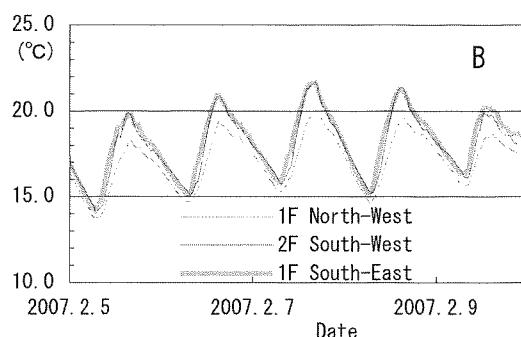
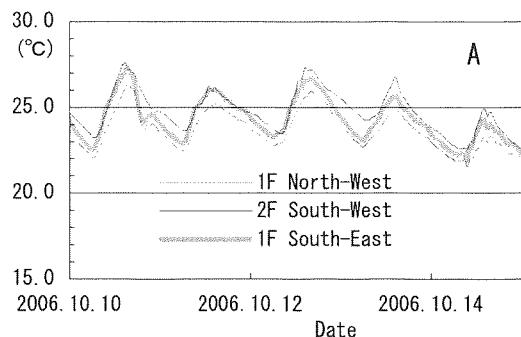


Fig. 5 Differences of Indoor temperatures with (B) and without (A) solar system.

1200、比重 2300 kg/m^3 、重量比熱 0.795 kJ/kgK の場合）を同タイルで仕上げた場合の同重量 250.7 kg/m^2 の 47% である。後者の重量を持つ蓄熱体を補強なしで木造住宅に設置することは不可能だが、前者ならばそれが可能である。また、前者の蓄熱床の設置面積 7.944 m^2 あたりの蓄熱量は 1580 kJ/K であるが、これは後者の蓄熱量 (1588 kJ/K) の 99.5% である。構造用合板（厚さ 28 mm、容積比熱 $716 \text{ kJ/m}^3\text{K}$ 、比重 530 kg/m^3 の場合）を用い、厚さ 12 mm の木材によるフローリング仕上げを行った場合の単位面積あたりの重量および設置面積 7.944 m^2 あたりの蓄熱量は、それぞれ 168.4 kg 、および 227.5 kJ/K であることから、SRAHR 床は、設置した床面積あたり 1352 kJ/K の蓄熱量を木造住宅に付与することができる。

5. 簡易ソーラーシステムの効果

図 5 に見られるソーラーシステムを運転しない場合（A）とした場合（B）の建物内部に見られた一日の温度（それぞれ 4°C および 6°C 程度）の差、約 2°C は、各測定期間の室内へのダイレクトゲインの差および本システムの効果によるものと考えられる。また図 5 に示した建物内部の代表的な 3 カ所の温度差は、A では、最大 2°C 程見られるが、ソーラーシステムの運転により、暖気が床下に運ばれることにより屋内の温度が均一化し、日射のある南側は、階によらず温度が等しくなることが分かった。このため、

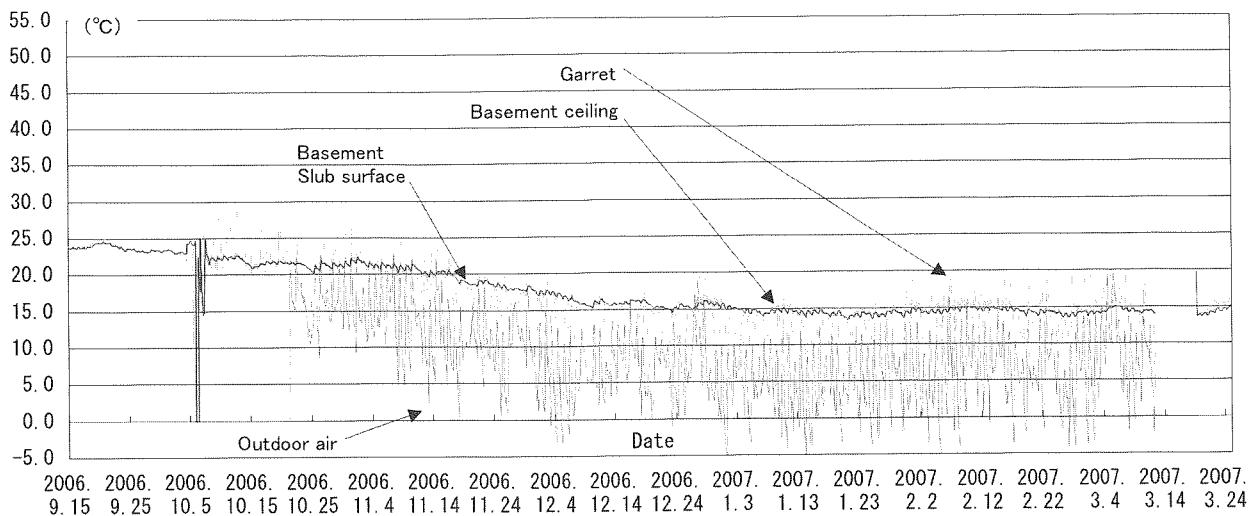


Fig. 6 Temperatures of slab surface and ceiling of basement, garret and outdoor air (2006.9.15 – 2007.3.24)

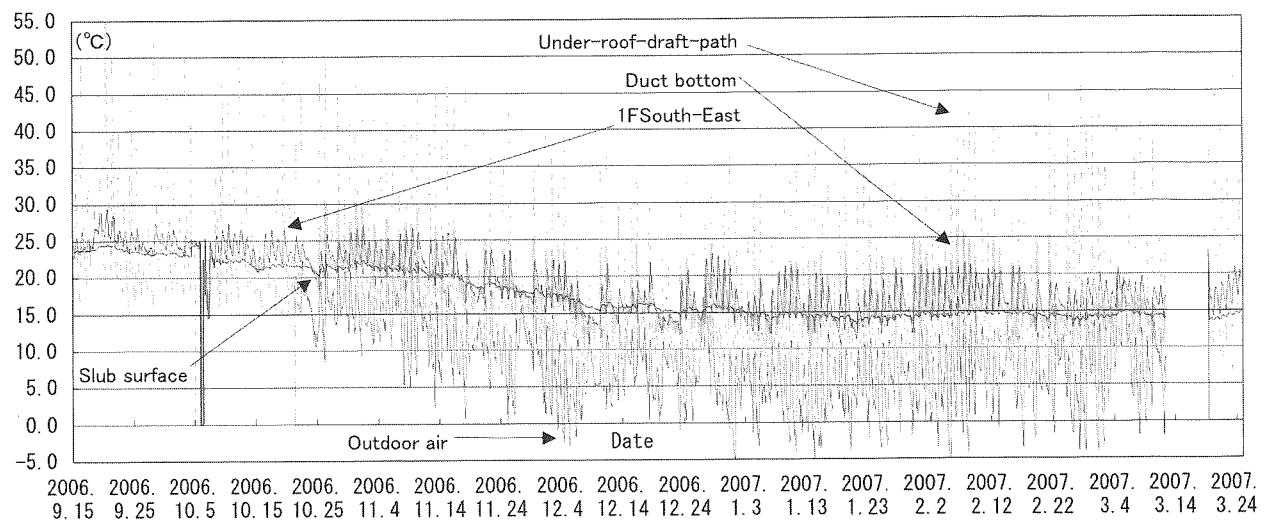


Fig. 7 Temperatures of under-roof-draft-path, duct bottom, 1F south-east and outdoor air (2006.9.15 – 2007.3.24)

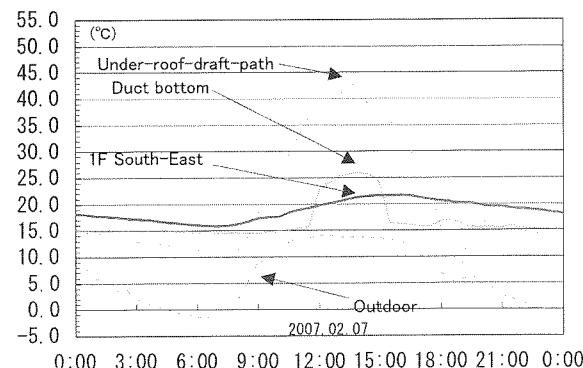


Fig. 8 Temperatures of under-roof-draft-path, duct bottom, 1F south-east and outdoor air (2007.2.7)

以下、屋内温度は、1階南東部の温度で代表させている。

図6に、2006年秋から2007年春にかけての床下、小屋裏、および外気の温度を示した（ソーラシステムは2006年10月25日より2007年2月21日まで運転）。高床式の床下では、天井付近もスラブ面もほぼ同じ温度を示し、10月初旬（22.5°C程度）から12月末（15°C程度）にかけて7.5°Cほど低下したが、その後の低下は見られなかった。これに対して小屋裏は、日射の影響を強く受け、太陽高度の低くなる冬至前後の2カ月間は、最高でも床下の温度を上回ることはなかったが、日射が回復する2月初旬からは、小屋裏最高気温が床下温度を上回るようになった。図7には同秋から春にかけての屋根下通気層、室内温度および外気温を示した。屋根下通気層の最高温度は、外気温および日射の影響を受け、10月下旬の50°C程度から徐々に約15°C程下がり、太陽高度の低い冬至前後の2カ月間は、日射があつても35°C程度までしか上がらなかった。これに対し室内の平均温度は10月初旬（24°C程度）から12

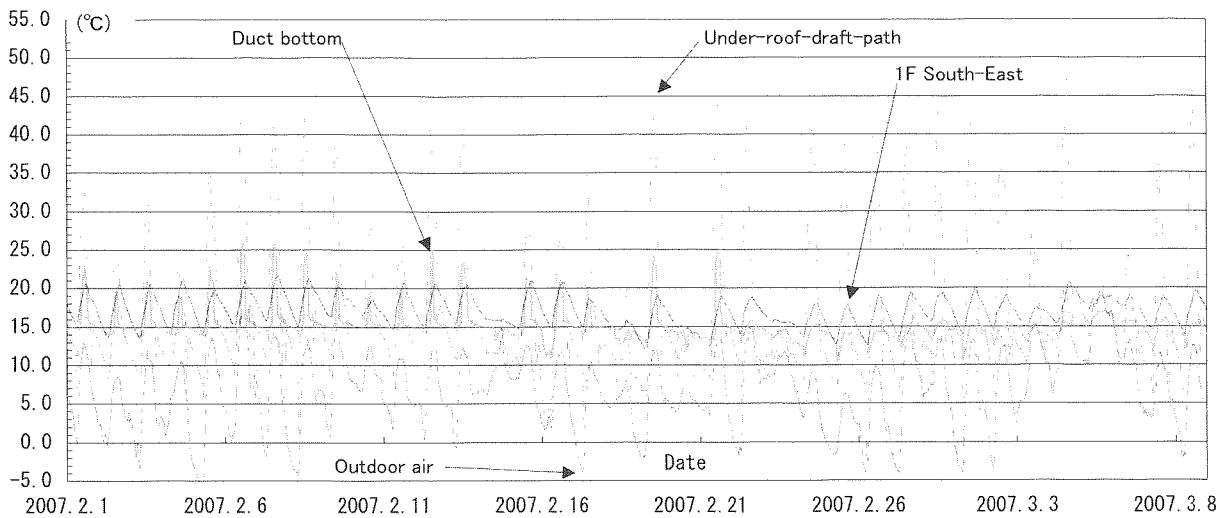


Fig. 9 Temperatures of 1F South-East position, under-roof-draft-path, duct bottom and outdoor air (2007.2.1 – 2007.3.8)

月末（17°C 程度）にかけて 7°C ほど低下したが、この低下幅は、床下の温度の同期間の低下幅とほぼ同じである。

図 8 に 2007 年 2 月 7 日の屋根下通気層、ダクト最下部、屋内および外気温の変化を示した。厳冬期にも関わらず屋根下通気層の最高温度は、午後 2 時に 42°C を越したが、この暖気がダクトを通り床下に運ばれるまでに、26°C

にまで低下した。屋内の温度は、やや遅れて午後 4 時に 22°C に達し、最低気温は午前7時の 16°C であった。この朝の屋内温度は、快適とは言えないが、耐えられない温度ではない。

図 9 に 2 月 1 日から 3 月 8 日の屋根下通気層、ダクト最下部、屋内および屋外の温度を示した。2月22日以降

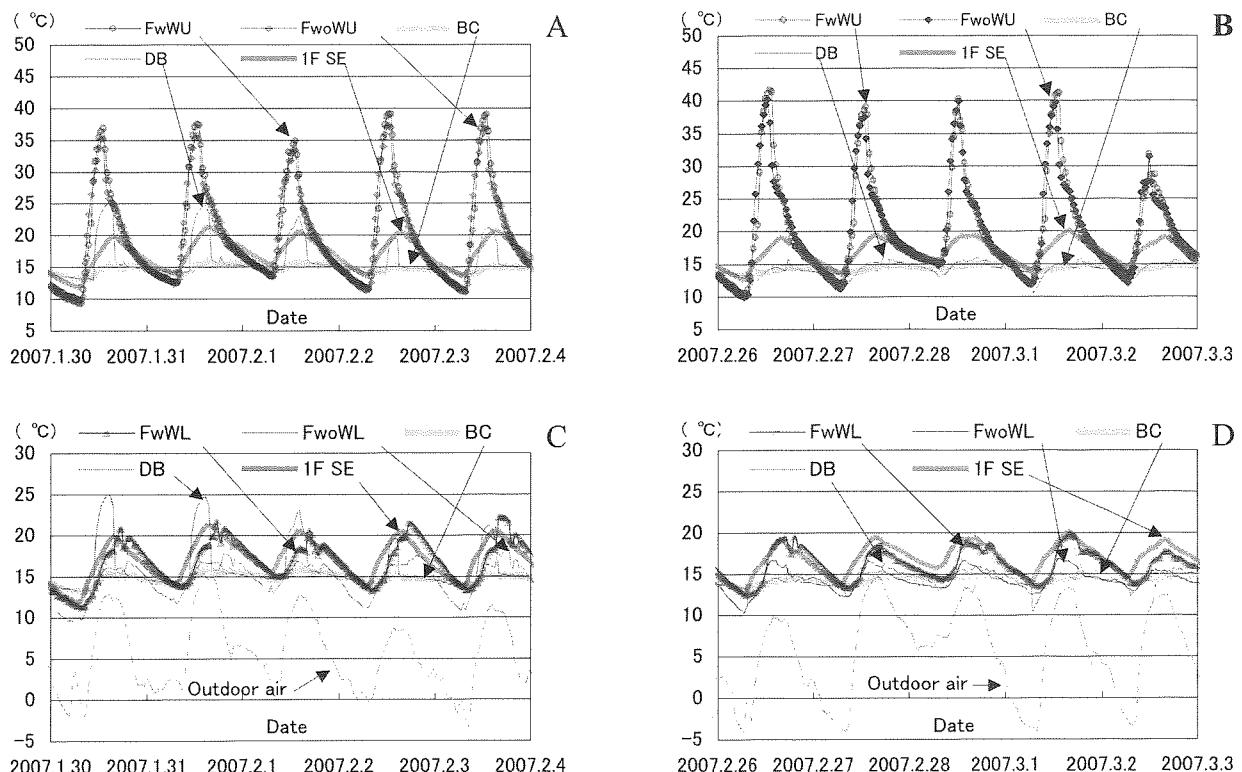


Fig. 10 Temperature of the upper (A and B) and lower (C and D) surface of the solar radiation absorbing heat reserving floor using (A and C) and no-using (B and D) air type simple solar heat utilizing system. Abbreviations; FwWU: upper surface of the floor with water, FwoWU: upper surface of the floor without water, BC basement ceiling, DB: Duct bottom, 1F SE: south-east part of the 1st floor; FwWL: lower surface of the floor with water, FwoWL: lower surface of the floor without water.

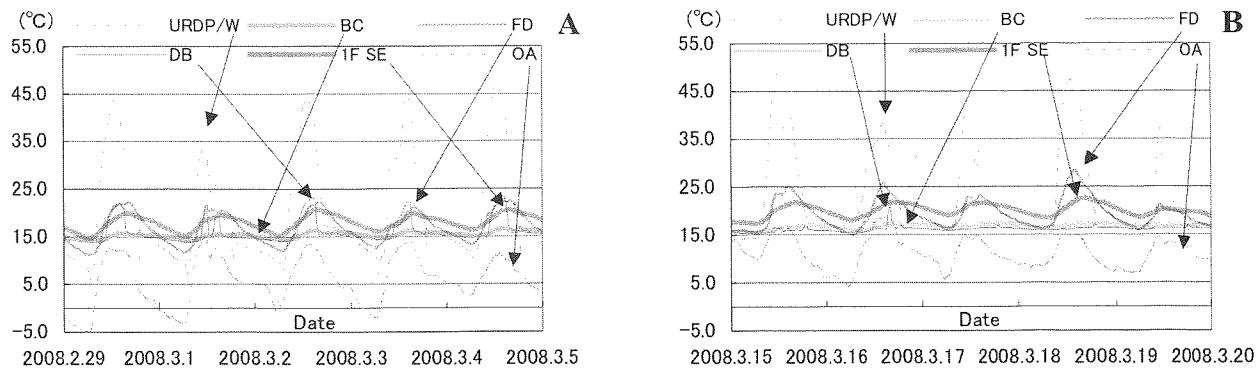


Fig. 11 Temperature of the west under roof draft path (URDP/W), BC basement ceiling, FD: floor draft of the south part of the solar radiation absorbing heat reserving floor, DB: Duct bottom, 1F SE: south-east part of the 1st floor, OA: outdoor air. Air circulation type simple solar heat utilizing system was used (A) and not used (B).

ソーラーシステムを停止したが、この前後で、例えば 2 月 7、8、9 日と 2 月 28 日から 3 月 1、2 日では、室内の最高温度および最低温度が後者の方が太陽高度が高くなり日射量が増加するにも関わらず 2°C 程低い。したがって、本ソーラーシステムは、建物の屋内温度を 2°C 程上昇させる効果があると言える。換気量を 80 m³/h に制限した場合のこの建物の総熱損失効率は、368.5 W/K であるため、2°C 室内温度を高く保つには、737 W の電力（一日当たり、17.69 kWh）が必要となる。暖房が必要な日数のうち晴れの日を 75 日とすると、この間に、1326.6 kWh すなわち 4.8 GJ（一次エネルギー換算で 13.2 GJ）のエネルギーが本ソーラーシステムにより供給されることになる。平成 10 年度全国日射関連データマップ（NEDO）⁴⁾ から読み取れる実証建物の立地する茨城県南部の水平面全天空日射量の 12 – 2 月の平均値に基に計算される簡易ソーラーシステムの暫定的な太陽熱利用効率は、19.0% であった。南側の屋根面全体を集熱面として利用できることを考えれば、この効率は、悪くはない。

6. 日射吸収・蓄熱床 (SRAHR 床) の効果

図 10 に 簡易ソーラーシステム を作動させた場合 (2007.1.30 – 2007.2.3) よび、させなかった場合 (2007.2.26 – 2007.3.2) のSRAHR床の上下面、高床式の床下天井付近、居室空間 (1 階南東部) 、および縦ダクト下部 (スラブ面) の温度を示した。表 2 には、図 10 のデータを基にしたSRAHR床の上下面および居室空間の最高温度と最低温度の 5 日間の平均値、およびこれらの温度に到達したおおよその時刻を示した (各部位の略号は、図 10 のキャプションを参照)。居住空間はソーラーシステムを作動させた場合もさせない場合も、午後 3:30 頃に最高温度 (5 日間の平均で それぞれ 20.54°C および 19.42°C) に達した。SRAHR床の上面および下面の温度は、簡易ソーラーシステム を作動させた場合もさせない場合も EMC 板の中空部分に水を充填させたものの方が高いが、これは水により蓄熱量が増し、前日の熱を持ち越すことによる

Table 2 Five days averages of the highest and the lowest temperatures (°C) of each positions of the solar radiation absorbing heat reserving floor and a living space (1F SE) and approximate times of the average temperatures based on Fig. 10.

	FwWU	FwoWU	FwWL	FwoWL	1F SE
Highest temp.					
+ Solar sys.	37.4	35.7	21.4	17.6	20.5
Approx. time	13:00	12:30	17:00	19:00	15:30
No solar sys.	40.1	37.4	18.9	16.5	19.4
Approx. time	12:30	12:30	17:00	13:30	15:30
Lowest temp.					
+ Solar sys.	11.8	11.5	13.4	11.3	13.7
Approx. time	7:00	7:00	8:00	7:00	6:30
No solar sys.	12.5	12.0	13.5	12.2	14.0
Approx. time	6:30	6:30	7:30	7:00	6:30

ものと考えられる。この傾向は特に 簡易ソーラーシステムを作動させた場合の下面において顕著であった (FwWL と FwoWL の温度差は 3.84°C)。このため以下、水を充填させた EMC 板を用いたSRAHR床について主に考察を行う。

この床の上面 (FwWU) の温度は太陽高度とともに上昇し、午後 1 時前後に最高温度に達している。簡易ソーラーシステム を作動させた日時と作動させなかった日時が異なるため後者の日射量が多く、窓ガラス越しの日射の影響を受ける上面の温度は 簡易ソーラーシステム を作動させない後者の期間の方が平均で 2.7°C 高い(前者は、37.4°C、後者は、40.1°C)。これに對して日射の影響を直接受けない下面 (FwWL) では、太陽高度とともに温度が上昇するが、簡易ソーラーシステム を作動させている間は、床下の気流の影響により温度の上昇は抑制され、午後 3:30 頃の 簡易ソーラーシステム 停止後、温度が急速に上昇し午後 5 時ころに 21.4°C の最高温度に達した。簡易ソーラーシステム を作動させない場合、下面の

Table 3 Five days averages of the highest and the lowest temperatures of floor draft (FD) and a living space (1F SE) and approximate times of the average temperatures based on Fig 11.

	FD		1F SE	
	approx. time	temp.	approx. time	temp.
Highest temperature				
+Solar sys.	16:00	21.96	15:30	20.02
No solar sys	14:00	24.88	16:00	21.56
Lowest temperature				
+Solar sys.	6:30	12.04	6:30	15.38
No solar sys	6:00	15.66	6:30	18.22

最高温度は、2.5°C 低い 18.9°C。屋根面で集熱された太陽熱がSRAHR床の下面を暖めていることが示された。

前述のようにSRAHR床 7.944 m² の蓄熱量は、1580 kJ/K であり、簡易ソーラーシステムを作動させた場合のSRAHR床下面温度の日較差は表 2 から 8°C と計算できるので、SRAHR床が最高温度から最低温度に達するまでの約 12 時間に 12.64 MJ (= 3.51 kWh) の熱量を放出することが分かる。この間の仕事率は、293 W。同様に 簡易ソーラーシステムを作動させない場合、198 Wと計算されるから SSSによりSROHR床に蓄熱される熱量は 1.5 倍に増加する。

図 10 の A あるいは C に示されているように 簡易ソーラーシステムを作動させた場合、縦ダクト底部から吹き出される空気の温度は、日中、25°C 程度にまで達するが、床下天井付近の温度は、16°C 程度に止まっている。したがって、簡易ソーラーシステムより運ばれる暖気の熱は、床下空間にあるスラブコンクリートあるいは構造材、床を構成する構造用合板などに吸収されてしまっているようである。この場合、SRAHR床の南部分に設けられたSRAHR床下通気路から居住空間に導入される空気の温度が、床下天井付近の温度と同程度の16°C 程度なのか、それともより高温なのかという点が問題となるが、2007 年の冬にこの温度を測定することができなかった。このため2008 年に床面通気口の温度を測定した。その結果を図 11 および表 3 に示した。

簡易ソーラーシステムを作動させた場合に床面通気口から吹出す空気温度は最高で 22°C (5 日間の平均、午後 4 時) である。このことから、床下天井付近の 16°C の空気がSRAHR床下の通気路を通る際に 22°C まで暖められてから居室空間に導入されることか分かり、SRAHR床と 簡易ソーラーシステムの相乗効果が示された。簡易ソーラーシステムを作動させない場合、床面通気口 (FD) の温度は、気流が無いため 25°C に達した(午後 2 時ころ; 日射条件により 2008.3.15 のようにピークが 2 つに分かれることもある)。簡易ソーラーシステムを作動させた場合、床面通気口 (FD) の温度には、午後 2 時と午後 4 時の 2 つのピークがある。これは 簡易ソーラーシステムを作動させない場合の午後 2 時のピークに加えて、午後 3 時半ころに 簡易ソーラーシステムを停止させて以

降、SRAHR床に蓄えられた熱が放熱され、気流の無い状態の床面通気口の温度を上昇させるためと考えられた。

7. まとめ

- 屋根下通気路を集熱スペースとして用いる簡易ソーラーシステムは、シーズン当たり 4.8 GJ (暫定太陽熱利用効率 19.0%) 程度の熱エネルギーを供給可能であり、気密・断熱性能を高めた住宅においては、高い暖房補助効果があることが示された。
- 厚さ 60 mm のSRAHR床は、単位面積あたりの重量; 97.18 kg/m²、全設置面積の蓄熱量; 1580 kJ/K であり、これらの値は、厚さ 100 mm のコンクリート平板を用いた場合のそれぞれ 47%、99.5% である。これにより木造住宅にも補強無しで設置可能となるため、安価に導入可能である。
- SRAHR床に／から蓄積／放出される熱量は、簡易ソーラーシステムを作動させた場合、12.64 MJ であり、作動させない場合の 1.5 倍である。
- SRAHR床は、簡易ソーラーシステムを作動させた場合、16 °C の(高床式の)床下天井付近の空気を 22°C (一日の最高) まで暖め、床面通気口から室内に導入することができ、2) と合わせて 簡易ソーラーシステムと良い相乗効果を持つことが示された。

8. おわりに

簡易ソーラーシステムおよびSRAHR床の導入費用は、それぞれ 30 および 7 万円程度と見積もられ、効果のある性能を持つ太陽熱利用システムが低価で実現可能である。また屋根下で形成された暖気の床下への運搬経路の改良により太陽熱利用のさらなる効率化、あるいは、使用する部材の検討によりさらなるコストダウンが期待されるが、システム自動運転化等の課題も残されている。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、システムの施工方法等について御議論いただいた(株)つくばホーム沼尻静雄氏に感謝申し上げます。

参考文献

- 伊藤定祐、わが国における太陽熱利用の低迷と新展開、太陽エネルギー、33-4 (2007), 19.
- 小泉尚夫・河田善之輔、太陽熱利用 (2) 特集 実施例 —“空気集熱”東芝ソーラーハウス、空気調和・衛生工学, 52-10, (1978), 977.
- 中村 美紀子・渡辺 俊行・林 徹夫・赤司 泰義・高瀬 秀芳・永田麻由子・大里 雅子・永田 修三、煉瓦の熱的特性と自然エネルギーを利用した室内熱環境制御システムの提案：自然エネルギーを利用した空気循環式煉瓦造住宅の開発研究 その 1、日本建築学会計画系論文集, 563,(2003),17.
- ソーラー建築デザインガイド編集委員会、ソーラー建築デザインガイド [太陽熱利用建築事例集], (2007), 134-139, (独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構、川崎。