

自然エネルギー利用住宅の開発と性能評価（その3） —簡易型空気循環式太陽熱利用システムの放射冷却と 日射による吸放湿現象と居住空間への加湿効果—

Development and Performance Evaluation of Natural Energy Utilizing House (Part 3)
—Humidification effect on living space by the moisture absorption and desorption
phenomenon of an air circulation type simple solar heat utilizing system caused by
radiative cooling and solar radiation—

埴 藤 徳^{*1}
Fujinori HANAWA

森 川 岳^{*2}
Takeshi MORIKAWA

Abstract

In the course of our experiments on an air circulation type simple solar heat utilizing system installed on a well-insulated and air-tight experimental house, we found a humidification effect of the solar system that stems from the radiative cooling at night in winter. An average amount of moisture desorption from the solar system during the system operation was 12.5 kg/day. Among that, 0.9 kg/day of average amount of moisture was supplied into the living space. When a calculated moisture loss of 2.4 kg/day by ventilation, that was compensated by the solar system during 5 hours of the operation time, was taken into consideration, total amount of moisture supplied by the system was calculated to be 3.3 kg/day. This humidification effect, together with the moisture conditioning effect of the walls that are finished with diatomaceous earth and wood posts and beams that are exposed to the room atmosphere kept the relative humidity of the living space vary stable with the daily variation of 3 – 5%.

キーワード： 放射冷却，太陽熱，加湿，自然エネルギー，高断熱・高気密住宅，温度湿度指数，居住性能

Key Words： Radiative cooling, Solar heat, Humidification, Natural energy, Well-insulated and airtight houses, Temperature humidity index, Dwelling ability

1. はじめに

化石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排出削減対策として同資源に頼らない住宅の温熱環境の快適化が重要である。これを実現するための方法としては、建物の断熱性能・気密性能の強化，開口部工夫による冬季の日射取得／夏季の日射遮蔽，自然換気の工夫など建築的手法によるものと，自然エネルギー利用機器（あるいは省エネ機器・設備）を利用する方法がある。前者による方法については「エネルギーの使用の合理化に関する法律」に基づく告示等により温度環境の改善が図られて来たが，湿度環境に関しては建物の断熱・気密性能が高まったことにより逆に冬季に過乾燥が発生することが報告

され始め，¹⁾ 改善策として加湿器や洗濯物の室内干し等の効果が試されている。²⁾ 後者の自然エネルギー機器や省エネ設備に関しては，太陽光発電装置や

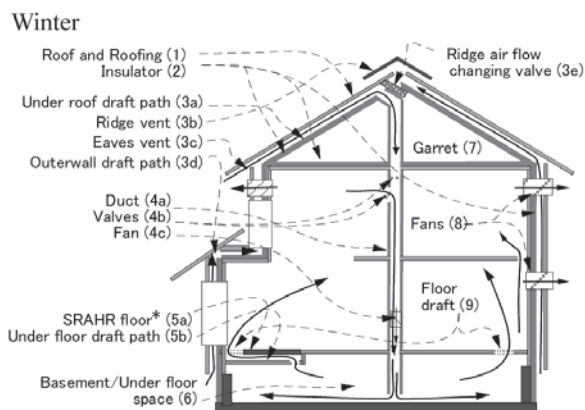


Fig. 1 Outline of the air type simple solar heat utilizing system in winter. Air flows are shown with solid arrows.

*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：2012年11月30日)

ヒートポンプもしくは燃料電池給湯器に対する補助金政策が効を奏しているが、太陽熱利用促進のための効果的な政策が遅れていることもあり、住宅分野における太陽熱利用は（エネルギー利用効率が太陽光発電より高いにもかかわらず）低迷したままである。³⁾ このような中、政策に頼らずに住宅における自然エネルギーの利用を促進させるためには、装置の簡素化・低価格化が必要である。このため我々は、屋根下通気路を利用した簡易ソーラーシステム、木造住宅の蓄熱性能を高めること目的とした、日射を吸収し、吸収した熱を夜まで持ち越すことができる軽量で安価な日射吸収・蓄熱床を開発し、これら装置の性能⁴⁾と、これら装置ならびに太陽光発電設備（実効 6.5 kW 程度）を備えた高気密・高断熱実証住宅において 4 人家族が実際に居住した状態でエネルギー収支上 21 GJ/年の創エネルギーを達成した事、および温度湿度指数から判断される実証建物の性能が、ほぼ快適な範囲に収まっている事を明らかにした。⁵⁾

この際、実証建物の冬季における居住空間の相対湿度が真冬でも 50 % 程度を維持し（一時 45% 程度に低下）、春先にかけて 60–65 % に上昇するなど加湿器を使用せずとも高い相対湿度を冬季において維持できる事が示され、これは、簡易ソーラーシステムの夜間の放射冷却現象に基づく加湿効果⁶⁾と、躯体の吸放湿性能を最大限に利用できる柱・梁頭わし工法⁷⁾と珪藻土仕上げの壁による吸放湿効果のためと推測されていた。本報告では、簡易ソーラーシステムの集熱部分となった屋根下通気路と居住空間および外気の温度・湿度の詳細な解析から求めた同システムの加湿効果について報告し、同システムが高気密高断熱住宅における冬季の問題点の一つである過乾燥を低減する効果について検討する。

2. 実証建物と簡易ソーラーシステムを構成する屋根下通気路の概要

実証建物は、冬季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 $2.905 \text{ W/m}^2\text{K}$ と高くはないが、日射熱取得率 0.79 の（LowE 仕様ではない）樹脂製複層ガラス窓を設置した。建物の熱損失係数は $2.50 \text{ W/m}^2\text{K}$ であり（ただし、換気量を $80 \text{ m}^3/\text{h}$ とした場合は $2.02 \text{ W/m}^2\text{K}$ ）、隙間相当面積（C 値）は $0.57 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ 。簡易ソーラーシステム（図 1）を構成する屋根材には、日射吸収率 $\alpha = 94.7\%$ 、熱線放射率 $\varepsilon = 0.86$ （既報⁴⁾）の 0.88 を訂正）のガルバリウム鋼板（ 37.9 m^2 ）を用いた。建物 1 階の開口部に面した床には、蓄熱量； 1580 kJ/K の日射吸収・蓄熱床 7.94 m^2 を設置した。なお実証建物の仕様・設備の詳細ならびに平面図については既報⁴⁾を参照されたい。

簡易ソーラーシステムの空気集熱部であり、かつ夜間の放射冷却による集水部分となる屋根下通気路の

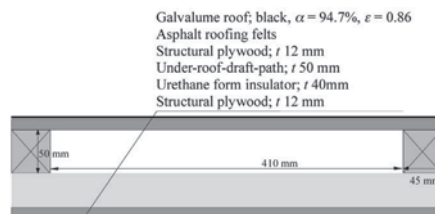


Fig. 2 Perpendicular cross section of under-roof-draft-path.

屋根面に対する垂直断面図を図 2 に示した。1 段目の屋根垂木（図中では省略）の上に 厚さ 12 mm の構造用合板を張り、その上に厚さ 40 mm のウレタンフォーム断熱材、その上に高さ 50 mm、横 45 mm の 2 段目の垂木を芯-芯で 455 mm 間隔で設置した後、それらを厚さ 12 mm の二層目の構造用合板で覆い、屋根下通気路とした。二層目の合板は通常の屋根と同じようにアスファルトルーフィングで防水し、ガルバリウム鋼板屋根材で仕上げた。屋根下通気路の建物の軒から棟付近の流路切替弁までの長さは 4512 mm であり、この通気路が南面屋根に 22 本形成されている。簡易ソーラーシステムの運転は晴れの日（ここでは日射が期待できる薄曇り、晴れ、及び快晴とした。運転日は図 6 参照）の 10:30 — 15:30 の間に送風量 $396 \text{ m}^3/\text{h}$ で行った（床下空間に 1 箇所のみ設けられた縦ダクト排気口の断面積にケストレル社、Kestrel 4000、誤差：3% で測定された風速を乗じる事で、送風量とした）。したがって、屋根下通気路の総体積と送風量から計算される通気路を流れる空気の流れの速度は、 0.24 m/s である。温度と湿度の測定には株式会社ティアンドデイのデータログ機能付き温湿度計 TR-72U もしくは TR-73U を用いた（共に、温度測定範囲： $-10 \sim 60^\circ\text{C}$ 、誤差： $\pm 0.3^\circ\text{C}$ 、相対湿度測定範囲： $10 \sim 95\%$ 、誤差： 25°C , 50% に於いて $\pm 5\%$ 。なお、本報告の簡易ソーラーシステムの加湿量の計算に用いた同システム稼働時間の相対湿度は上記測定範囲内に収まっているため、実験誤差は $\pm 5\%$ 程度と考えている）。計測器は、屋根下通気路用はダクト接続部分付近の屋根下通気路内に、居住空間用は、建物一階南東部の居間の間仕切り壁付近の床から 180 cm の位置に、外気用は、建物の西側約 7 m に設置した百葉箱中（地上 150 cm）に設置し、測定値は 30 分間隔で記録した。

3. 冬季間を通しての温度・相対湿度・絶対湿度の変化

図 3 に、居住空間と外気の温度、相対湿度、絶対湿度と屋根下通気路の相対湿度と絶対湿度の 2008 年 9 月から 2009 年 3 月（上）および 2007 年 9 月から 2008 年 3 月（下）の変動を示した。なお温度 θ ($^\circ\text{C}$)、相対湿度 H (%) の時の容積絶対湿度 V (g/m^3) の計算は、 $V(\theta) = 10^a \times H/100$ 、ただし $a = (7.567 \times \theta + 157.1) / (\theta + 229.2)$ を用いた。居住空間の温度、

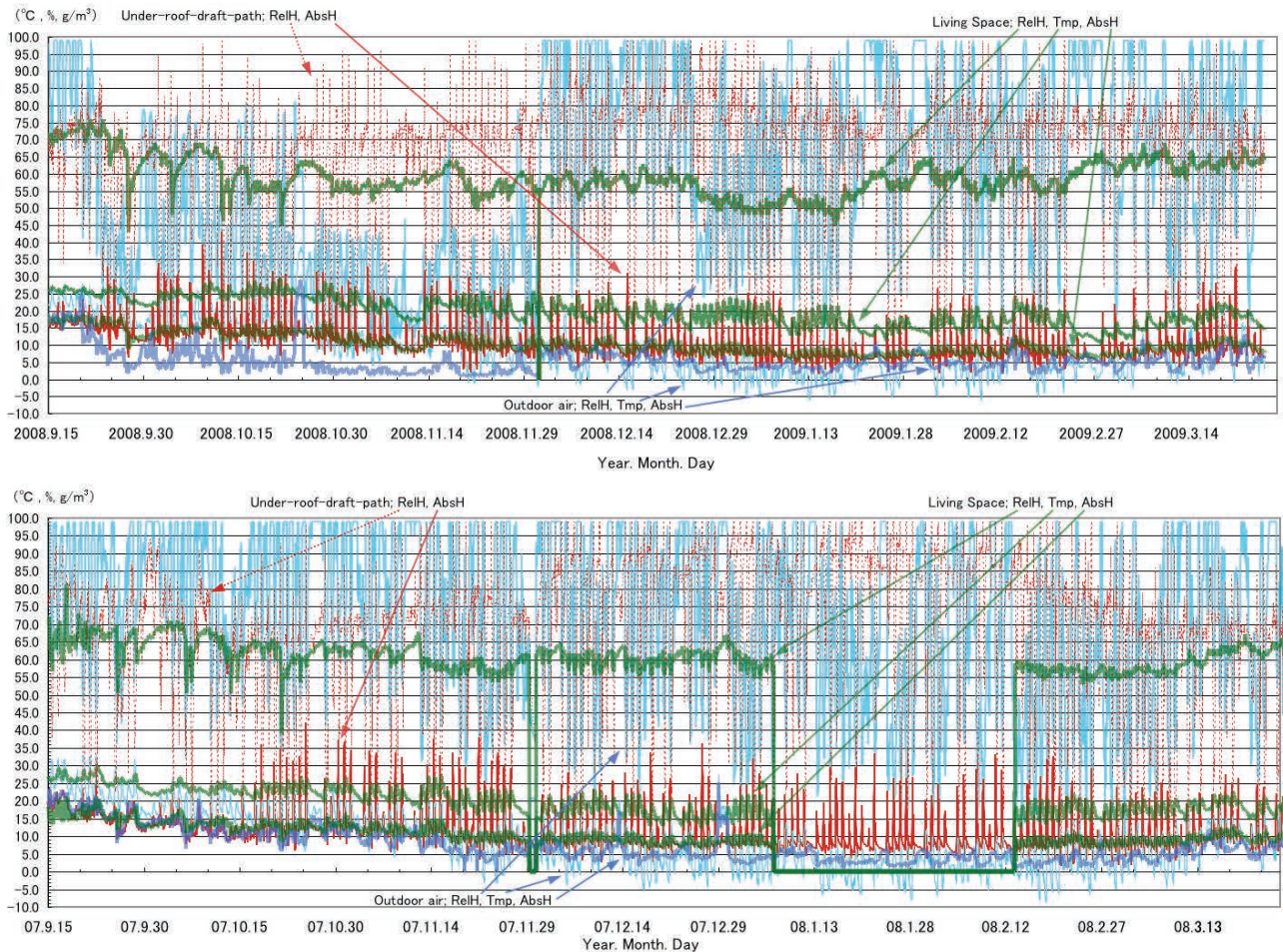


Fig. 3 Temperature (Tmp), relative humidity (RelH), and absolute humidity (AbsH) of living space (1F South-east part) and outdoor air, relative humidity and absolute humidity of under-roof-draft-path, during 2008.9.15 – 2009.3.24 (Upper) and 2007.9.15 – 2008.3.23 (Lower).

相対湿度の変動については既に報告した通りである。
5) いずれのシーズンに関しても、屋根下通気路の最高温度は（2006 年 9 月から 2007 年 3 月のデータ⁶⁾と同じ変化のパターンを示したためデータを示していないが）、外気温および日射の影響を受け、10 月下旬の 50°C 程度から徐々に下がり、太陽高度の低い冬至前後の 1 ヶ月間ほどは、日射があっても 40°C を切るまで低下したが、その後日射の回復とともに徐々に上昇した。（1 日の典型的な変動パターンは図 4 の 2009 年 1 月 3 日などに見られるが）2008 年 9 月から 2009 年 3 月の記録では、屋根下通気路の相対湿度は、8:00 に急激に上昇し始め 9:00 にピークに達し、午後 13:00 – 14:00 にかけて最低となり、その後急激に上昇し午後 20:00 頃から上昇率が低下し、夜間に安定した値となり、明け方急激に上昇するというパターンを繰り返した。夜間の外気相対湿度は 12 月よりも 1 月の方が低いにも関わらず、屋根下通気路の夜間相対湿度が下られて低下する事はなかった。2008 年 9 月からのシーズンの屋根下通気路の絶対湿度は、簡易ソーラーシステムを稼働させるために棟付近通気路切り替え弁を閉じた 9 月 24 日には、最高湿度が前日に比べ急激に上昇し 33 g/m³ になり、10 月 12 日に 43 g/m³ に達し、その後外気絶対湿度

の低下とともに低下して行き、12 月中旬から 2 月初旬にかけて 20 g/m³ を割り込むことが多くなり、その後外気湿度の上昇とともに徐々に上昇した。2007 年 9 月からのシーズンにおいても同様に簡易ソーラーシステムを稼働させるために棟付近通気路切り替え弁を閉じた 10 月 18 日以降、屋根下通気路の絶対湿度の最高湿度は前日に比べ急激に上昇し 36 g/m³ になり、晴れの日には冬の間中高い値を保持したが、期間を通して 2008 年からのシーズンよりも高めの値を示した。

屋根下通気路の相対湿度が高くなる時間帯があるため、屋根下通気路を構成する木材の劣化が懸念されるが、ファイバースコープで屋根下通気路の内部を目視した限りにおいては、腐朽菌の発生等は見られなかった。一日のうちに高湿度と低湿度を繰り返す環境は生物にとって過酷であり、生物劣化に繋がるカビの繁殖は抑制されたと考えられた。

なお 2008 年 9 月 24 日から 11 月 30 日にかけて外気相対湿度が低下しているのは、データログ機能付き温湿度計の湿度検出センサーの故障と考えている。ただし、その他の期間の外気相対湿度に関しては、実証建物から直線距離で 8 km 程の距離にあるつくば市館野のアメダス気象データと同様の変動パターン

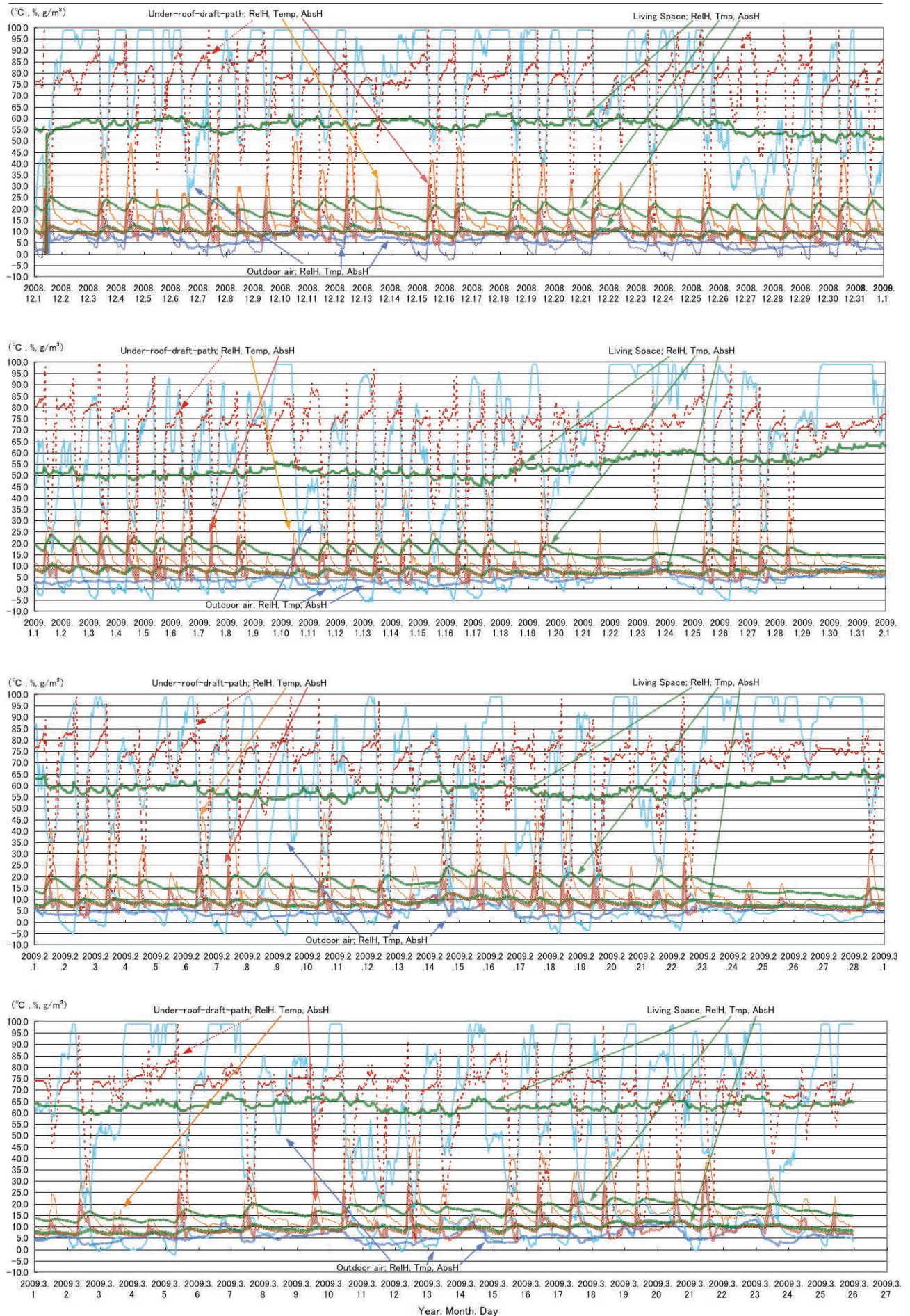


Fig. 4 Temperature (Tmp), relative humidity (RelH), and absolute humidity (AbsH) of living space (1F South-east part), outdoor air, and under-roof-draft-path, Dec, 2008 – Mar, 2009.

を示しており、データの信頼性が著しく低下していることはないと考える。さらに、4ヶ月に一度データを抽出する際に、測定器を同じテーブルの上に30から40分程度放置後に各測定器が示す相対湿度のばらつきは大きくても3%程度であったことを確認している。また、2007年からのシーズンの居住空間の2008年1月7日から2月13日までのデータがセンサーと本体の電気信号経路の断線などの原因により欠損しているが、欠損していない期間の居住空間の温湿度データは継続測定している他の年の同時期のデータと大きく変わるものではない。

4. 冬季月別の温度・相対湿度・絶対湿度の変化

図4に2008年12月から2009年3月までの月ごとの居住空間と外気および屋根下通路の温度、相対湿度および絶対湿度の変動を示した。12月初旬から25日まで外気の絶対湿度が $5 - 10 \text{ g/m}^3$ で推移している間、夜間の外気相対湿度は検出上限を超えたが、この時の居住空間の相対湿度は概ね53 - 63%、絶対湿度は $8 - 13 \text{ g/m}^3$ で推移した。12月25日以降、2月23日まで、晴れの日、外気の絶対湿度が $2 - 5 \text{ g/m}^3$ に低下、夜間の外気相対湿度は最高でも80 - 95%程度になり、この時の居住空間の相対湿度は概ね50%前後（ただし2月は55 - 60%）、絶対湿度は $7 - 10 \text{ g/m}^3$ で推移した。この間、外気の絶対湿度と相対湿度の最高値と居住空間の絶対湿度と相対湿度は、それぞれ一定の変動パターンを示している。ところが1月18日から24日、1月29日から31日、2月23日から27日は曇りや雨の日が続き、外気絶対湿

度の上昇に伴い外気相対湿度の最高値および居住空間の相対湿度も上昇したが、居住空間の絶対湿度は 7 g/m^3 程度を維持した（この間温度は低下）。これは簡易ソーラーシステムからの加湿効果および（居住空間の温度上昇が無かったことによる）室内側に顕わしになった柱・梁および珪藻土壁からの温度上昇時に見られる水分の放出がなかったためと考えられる。3月は13日に簡易ソーラーシステムを停止するまでの間、天気の良い日（晴れもしくは薄曇り）と悪い日（薄曇りを除く曇りもしくは雨）が交互に訪れ、外気の絶対湿度は $2 - 12 \text{ g/m}^3$ の範囲でばらついたが、居住空間は温度が低めだったこともあり相対湿度が12月より高い60 - 70%程度であった。この間、絶対湿度は1月と同程度の $7 - 10 \text{ g/m}^3$ で推移した（ただし変動パターンは1月のように周期的ではない）。

5. 加湿効果の検証

図5に2009年2月6日および7日の居住空間、屋根下通路および外気の温度、相対湿度および絶対湿度の変動を示した。両日とも屋根下通路の相対湿度は、夜間80%程度で推移して来たものが、日射の上昇とともに午前8:00に上昇しはじめ午前9:00に95%以上となった。ところが同通路の絶対湿度は、両日とも午前8:00に上昇しはじめたが、ピークは6日が午前10:30、7日が午前9:30であった。簡易ソーラーシステムの稼働時間は午前10:30 - 午後15:30であり、この間、屋根下通路の絶対湿度は、6日は13:00まで7日は11:30まで居住空間の絶対湿度を上回っていた。このことから、簡易ソーラーシ

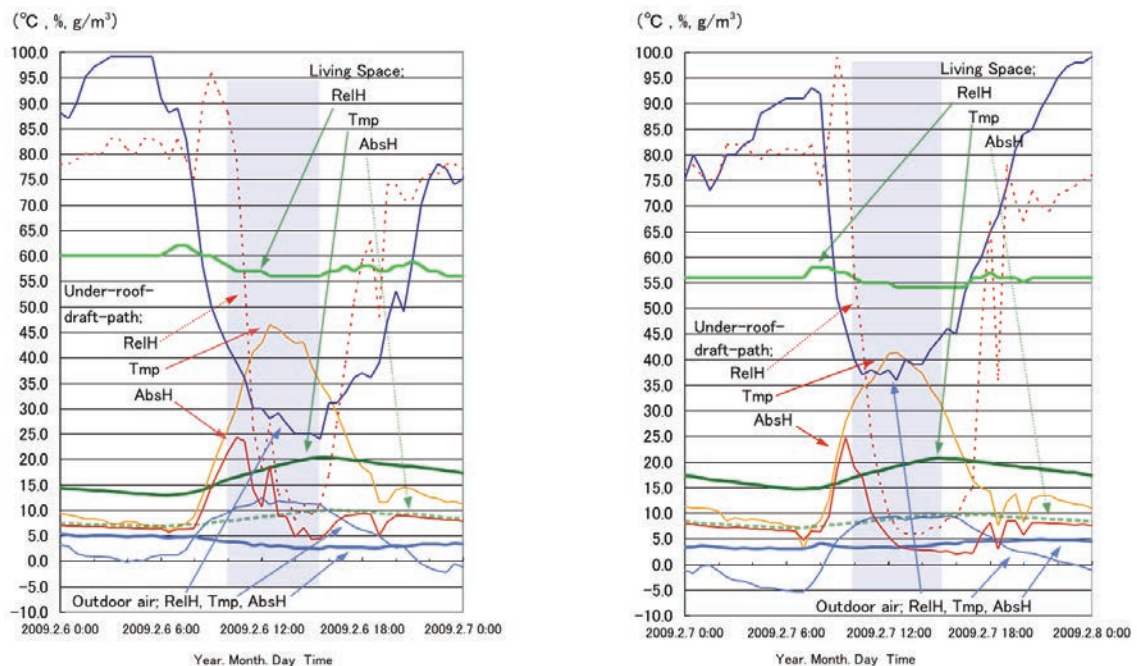


Fig. 5 Temperature (Tmp), relative humidity (RelH), and absolute humidity (AbsH) of living space (1F South-east part), outdoor air, and under-roof-draft-path, respectively on 6th (left) and 7th (right) Feb, 2009. Simple solar system was operated during the period shown as shaded area 10:30 - 15:30.

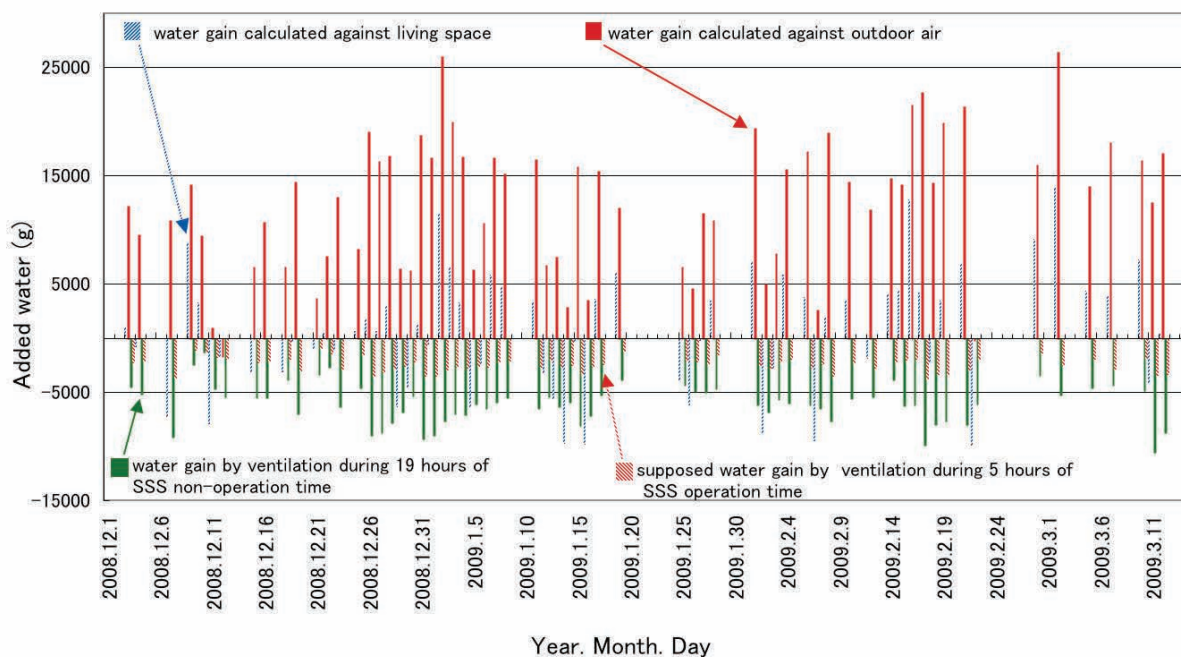


Fig. 6 Daily amount of water supplied to the living space of the experimental house from the under-roof-draft-path by simple solar system (SSS). The water amount was obtained by multiplying the air flow volume ($396 \text{ m}^3/\text{h}$) of the solar system to the integrated difference of the absolute humidity between the under-roof-draft-path and the living space and the outdoor air, respectively. Daily amount of water loss (depicted as minus gain) from the living space by ventilation was also calculated in the same manner using air flow volume of ventilation ($80 \text{ m}^3/\text{h}$) and the difference of the absolute humidity between the living space and the outdoor air.

システム稼働中に 30 分間隔で記録された屋根下通気路と居住空間のそれぞれの連続する 2 点の絶対湿度の中間値の差に簡易ソーラーシステムの送風量 $398 \text{ m}^3/\text{h}$ の半分の値を乗じたものを足し合わせる事で、居住空間に供給される加湿量を計算できると考えた（以下、居住空間の絶対湿度に対する加湿量の計算値とする）。また、絶対湿度の大きさを屋根下通気路と外気の間で見ると、6 日は、簡易ソーラーシステムの稼働中ずっと、7 日は、13:30 まで屋根下通気路の絶対湿度が外気の絶対湿度を上回っていた。したがって、同様の計算を屋根下通気路の絶対湿度と外気の絶対湿度との間で行う事により、簡易ソーラーシステムのもつ放湿能力を計算できると考えた。（ただし、夜間の放射冷却によって引き起こされる吸湿については、日中の放湿量と収支がバランスしているものと見なした。）

2008 年 12 月 1 日から 2009 年 3 月 13 日までの、簡易ソーラーシステムによる加湿量を計算した結果を図 6 に示した。これによると居住空間の絶対湿度に対する計算値は 3 月 2 日のように 13.9 kg の加湿効果が有った日も有れば、2 月 22 日のように 10.0 kg 近い除湿効果があった日も見られた。12 月 1 日から 3 月 13 日までの簡易ソーラーシステム稼働日 65 日間での平均では、 0.9 kg/day の加湿効果がある事が分かった。同様の計算を屋根下通気路の絶対湿度と外気の絶対湿度の間で行うと、一日単位で放湿量がマイナスになる日は無く、 26.4 kg の放湿量を示した日（3 月 2 日）もあった。65 日間の平均放湿量は、 12.5 kg/day となった。

図 2. に示した屋根下通気路を構成する二層目垂木および二層目合板の屋根下通気路に曝された面積は、1 通気路当たり 2.3 m^2 ($= (455 - 45 + 50 + 50) \times 4512/1000/1000$)。これが 22 本あるので、通気路空間に面する木材の表面積は、 50.6 m^2 になる。この表面を構成する木材が全て厚さ 12 mm の構造用合板でありその比重を 0.4 と仮定すると、その体積は 0.607 m^3 、重量は 242.8 kg と計算される。実験から得られた最大の加湿量 26.4 kg は、この仮想合板重量 242.8 kg の 11% であり、構造用合板の含水率が 10% から 21% の程度の間で変化する量に相当する。このため、屋根下通気路を構成する木材は、実験結果から得られた水分を保持することが可能であると考えられた。なお屋根下通気路は、下端は外気に、上端はダクトを通して屋内に開放されているため、これらの水分は、屋内もしくは屋外から供給されることになるが、屋根下通気路が冷却される事から、屋根下通気路内部にダウンドラフトが起こり、主に建物内部の水分が空気と共に屋根下通気路上部から供給されることが予想された。しかし、詳細な解析は行っていない。

一日のうち簡易ソーラーシステム稼働時間帯 5 時間に同システムを稼働させない場合に換気により失われる水分量並びに、簡易ソーラーシステム非稼働時間帯 19 時間に換気により失われる水分量を、居住空間と外気の絶対湿度を用いて計算した値を図 6 に示した。簡易ソーラーシステム非稼働時間帯 19 時間に換気により失われる水分量は、 10 kg を超える日もあったが、平均で 6.0 kg であった（ただしこの値は、測定器の相対湿度測定範囲の 95% を超える外気

の夜間のデータを含むため誤差が大きいものと考えられる）。また簡易ソーラーシステム稼働時間帯 5 時間に同システムを稼働させない場合に換気により失われる水分量は、平均で 2.4 kg であった。

実験期間中実証建物に居住したのは大人 2 名と子供 1 名、幼児 1 名であり、軽動作中に大人 および子供 1 人から発せされる水分量はそれぞれ 100 g/h、50 g/h、就寝中にはそれらの半分とされる⁸⁾ 事から、一日の建物内部での居住者の活動時間を 6 時間、就寝時間を 8 時間とすると、居住者から発せされる水分量は一日 3 kg と計算された。今回の実験期間を含む 2008 年度の調理用 LP ガスの使用量は 20.8 m³ であった。ガス会社から示された LP ガスの容積比重 2.075 kg/m³ を用いると、ガス使用量は 0.118 kg/day と計算された。LP ガスは、3.1 kg/kg の水分を発生させることから、調理用 LP ガスから発生する水分は 366 g/day である。既報⁸⁾ より調理により発生する水分はガスを燃料とした場合、朝食と夕食の合計でガスから 679 g、食物から 1069 g（朝食；ガスから 341 g、食物から 461 g、夕食；ガスから 338 g、食物から 608 g）発生するので、ガスから 366 g の水分が発生する場合の食物から発生する水分量は 576 g と計算される。すなわち実験期間中の調理による水分発生量は 0.94 kg/day（366 g/day + 576 g/day）程度であったと推測される。したがって、実験期間中、人体および調理による水分供給量は 4 kg/day 程度である。また、居住空間の相対湿度が高かった事もあり、冬季の実験期間中、樹脂ペアガラスサッシのガラス面の下から 70-80% 程度の位置まで、びっしりと結露が生じたため、この現象により本来換気等により逃げてしまう居住空間内の水分がトラップされる効果も居住空間の高い相対湿度に寄与していると考えられた。一方で 150 mm のベタ基礎を通しての地盤面からの

水分、および竣工後 1 年半ほど経過してからベタ基礎コンクリートそのものからの水分の寄与は、これらの水分供給源からの部位分の供給量に比べて無視できる程度に小さいものと考えられた。

以上のことから、簡易ソーラーシステム稼働日に実証建物から失われる水分量は換気による 6.0 kg/day であるが、これは簡易ソーラーシステムによる加湿量 0.9 kg/day ならびに生活による加湿量 4 kg/day や窓ガラス面の結露により本来逃げてしまう水分のトラップ効果などにより補填され、実証建物の居住空間の湿度環境を快適に保つ一因となっている事が分かった。（実験期間中、加湿器は使っておらず、洗濯物を室内に干す場合は、浴室において乾燥機を使用したため、これらの加湿効果は、無視した。）なお、簡易ソーラーシステムを稼働しない場合、稼働時間帯 5 時間にさらに 2.4 kg の水分が失われるため、簡易ソーラーシステムは、実質的に 3.3 kg/day の加湿効果を持つ事が分かった。

6. 温度湿度指数による実証建物居住性能評価

Thom と Bonsen により提唱された不快指数（discomfort index⁹⁾）は、衛生学、建築学の分野で用いられる温度、湿度および風速をパラメータにした Houghten と Yaglou の実効温度（effective temperature¹⁰⁾、有効温度¹¹⁾ともいう）から風速の影響を省いて温度と湿度の一次式により求められる指数として考案されたものであり¹²⁾ 後に温度湿度指数 <Temperature Humidity Index (THI)> と改められた¹¹⁾ ため、本稿でもこの名称を用いた。THI のベースになった実効温度は、もともと室内の温熱環境の指数として使われて来たものであり、風や日射の影響の少ない室内環境の善し悪しを表す指標としては有効である

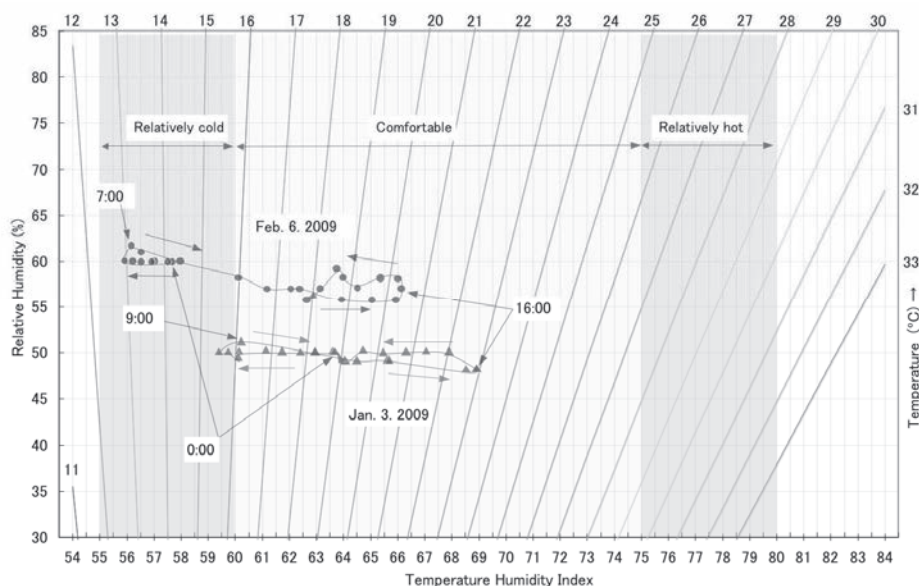


Fig. 7 Hourly changing pattern of relative humidity, temperature humidity index and temperature of Jan. 3rd and Feb. 6th, 2009.

と考えられたため、この指数を用いて実証建物の年間の居住性能を評価し、その結果を既に報告した。⁵⁾ここでは、 $THI = 0.81 ta + 0.01rh (0.99ta-14.3) + 46.3$ (ta ; 温度℃, rh ; 相対湿度 [%])¹¹⁾ で与えられる THI を相対湿度について解き、THI と温度を変数とした場合のグラフに上に 2009 年 1 月 3 日および 2009 年 2 月 6 日の相対湿度、THI および温度を 1 時間ごとにプロットし、その変動を解析した (Fig. 7)。なお、気象研究所の調査によると、THI と日本人の体感の対応は、「寒い (55 未満)、肌寒い (55-60)、なにも感じない (60-65)、快い (65-70)、暑くない (70-75)、やや暑い (75-80)、暑くて汗が出る (80-85)、暑くてたまらない (85 以上)」とされており、¹³⁾ 本研究でもこれを居住性能の指標とした。

その結果、前後の数日間の天候が非常に安定していた 1 月 3 日は、午前零時の THI 63、相対湿度 50%、室温 18.7 °C に始まり、その後温度の低下とともに THI も低下 (ただし、相対湿度は柱・梁頭わし工法と珪藻土仕上げの壁による吸放湿効果のため非常に安定) し、午前 7、8 時に THI が肌寒いとされる領域に一時入ったが、その後日射と共に温度が上昇し壁からの水分の放湿が加わり相対湿度が 51% に若干増加 (午前 9 時)、温度が最高に達する午後 4 時にかけて相対湿度は若干低下し 48%となった。その後室温の低下とともに、壁と構造材への吸収が遅れ相対湿度が 2% 増加、1 時間後に再び 50% となり、ほぼ同じ値を午後 23 時まで保持した。セーターを着れば、ほぼ快適な居住環境である。

前日が曇りだった 2 月 6 日は、午前零時の THI 58、相対湿度 60%、室温 14.4 °C と相対湿度が高く温度が低く始まり、その後さらに温度が低下するとともに THI も低下 (ただし、相対湿度は柱・梁頭わし工法と珪藻土仕上げの壁による吸放湿効果のためやはり安定) し、日射とともに午前 7 時に温度が上昇 (壁からの水分の放湿が加わり) 相対湿度が 62% に若干増加、温度が最高に達する午後 4 時の一時間前まで相対湿度は若干低下し 56%となった。その後室温の低下とともに、相対湿度が若干増加 (午後 9 時に相対湿度の極大値 59%を記録) し、午後 23 時に THI 62、相対湿度 56%、室温 17.7 °C となった。この状態から同様のサイクルを繰り返すとすれば、翌日は、THI で肌寒いと感じる時間帯は、1 月 3 日同様極短いはずである。データを示さないが、翌 2 月 7 日 THI が 60 を切ったのは午前 4 時から 9 時までの間であり、しかも全ての時間帯において 58 以上の値を保持していた。実証建物程度の断熱・気密性能を持ち日射を有効利用可能な建物に、簡易ソーラーシステム程度の加湿効果のある装置を組み合わせる事で、低エ

ネルギーでありながら快適な居住環境を実現することが示された。

7. まとめ

夜間の放射冷却により屋根下通気路に蓄積された水分が、太陽高度の上昇とともに通気路中に放出され、5 時間の簡易ソーラーシステムの稼働時間中に 12.5 kg/day の放湿 (65 日間の平均) が行われ、そのうち 0.9 kg/day (同平均) の水分が居住空間に対する直接の加湿効果として使われた。簡易ソーラーシステムの稼働時間中に、簡易ソーラーシステムを稼働させないと仮定した場合に換気により失われる水分量 2.4 kg/day (同平均) が実際には同システムを稼働させることによる居住空間に供給されたと考えられることから、同システムの正味の加湿能力は 3.3 kg/day と計算された。

構造材である柱・梁を頭わしにし、壁を珪藻土仕上げにすることで吸放湿効果を高めた居住空間にこの水分を供給することで、一日サイクルでの調湿効果が有効に働き、居住空間の一日の相対湿度の変動を 3 - 5% に抑える非常に安定した状態に保つ事が可能であることが分かった。

参考文献

- 1) 長谷川 兼一, 吉野 博 日本建築学会計画系論文集 (509) 91-96 項, 1998
- 2) 千葉 智成, 櫻井 洋一, 張 会波, 高木 理恵, 尹 星勲, 吉野 博 日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州) 2007, 293-294 項
- 3) 伊藤定祐 太陽エネルギー, 33 巻, 19-24 項, 2007
- 4) 塙 藤徳, 森川 岳 太陽エネルギー 35 巻, 351-355 項, 2009
- 5) 塙 藤徳, 森川 岳 太陽エネルギー 37 巻 31-39 項, 2011
- 6) 塙 藤徳, 森川 岳 第 59 回日本木材学会講演要旨集, 120 項, 2009
- 7) 塙 藤徳, 森川 岳 第 61 回日本木材学会講演要旨集, 126 項, 2011
- 8) 最新 建築環境工学 (改訂 3 版), 井上書院, 東京, 2006
- 9) Thom E.C. and Bosen J.F. Weatherwise, 12, 57-60, 1959
- 10) Houghten F. C. and Yaglou C. P. Journal of ASHVE, 29, 165-167, 1923
- 11) 社団法人空気調和・衛生工学会編 新版・快適な温熱環境のメカニズム 豊かな生活空間をめざして 丸善, 東京 2006
- 12) 神山恵三 「気象と人間」: 生気象学入門 (復刻版) 紀伊國屋書店, 東京, 1994
- 13) 気象庁編 気象観測技術資料 第 20 号 不快日数, 1-2 項, 1963