

原 著

自然暖房による実験住宅の温熱性能の検証 暖房システムを有しない住宅の日本における可能性

A Study on Thermal Performance of a Demonstration House with Passive Heating
Feasibility of houses without heating systems in Japan

林 基哉*
Motoya HAYASHI

In order to estimate the thermal performance of a house with passive heating, the indoor climate and the flow of energy were investigated using a simulation program and a demonstration house in Yamanashi prefecture. The measurements through a year showed the following results. The equivalent leakage area was $0.5 \text{ cm}^2/\text{m}^2$. The indoor temperature was kept above 20°C almost all the time in winter with the use of electric power and the direct gain from sunlight. The heat loss coefficient was almost the same as the calculated coefficient: $0.74 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$. The results of measurements using a thermal camera and the responses from students staying in the house showed that the indoor climate in the cooling season was better than in a house without proper insulation. The temperature was uniform on all of the interior surfaces because of the well insulated envelope and windows with well designed sunshades.

1. はじめに

1970年代の石油危機を契機とした住宅の省エネルギー化は、近年では次世代省エネルギー基準対応住宅の普及の段階に達している。他の先進諸国においては、地球環境負荷低減のための更なるエネルギー性能の向上を目指した取り組みが続けられており、例えば国際エネルギー機構のANNEX38 “Sustainable solar housing” においては、商用エネルギーへの依存から自立に向けた建物の建設と測定評価が行われた。その中で、スウェーデンのヨーテボリにおける暖房システムを有しない住宅¹⁾は、暖房設備費を断熱性の強化に当てることで暖房のランニングコストをほぼ無くすという分かりやすい考え方を採用し、わが国にも広く紹介された。わが国においても、軽微な暖房器具で全室の室温を維持する住宅に関する研究や試行^{1)~5)}が行われており、更なるエネルギー性能を持つ住宅のひとつのモデルとなりつつあると考えられる。

冬期の室温は生活環境の必須要素であるが、これが商用エネルギーに依存しないことで得られることは、今後のエネルギー事情の変化や高齢化などの生活条件の変化への備えとして有益な要素となると考えられる。新築住宅や改修の選択肢として、その設計施工法と建物にふさわしい生活方法の確立は、重要な課題のひとつであると考えられる。

本研究では、暖房設備を設置する必要が無い程度に断熱化した住宅を、一般の住宅では暖冷房負荷が発生する地域に建設して温熱性能及び体感に関する測定を行うことで、建物性能にふさわしい生活の方法に関する知見を得ること

を目的とした。本報告では、建物の断熱性能、冷房と換気、太陽光発電などの構成及び性能、冬期の室温維持の状況と年間のエネルギーの流れについて示し、建物の温熱・エネルギー性能の検証を行う。



写真1 実験住宅の南側外観

2. 建物の概要

対象建物は、在来軸組構法に断熱強化に伴う改良を加えた方法で、2006年4月に次世代省エネルギー基準Ⅲ地域の山梨県甲府市郊外に建設された。延床面積は 183.5 m^2 で4人家族を想定した総2階建である。1階リビングに吹抜けがあり、2階の寝室、子供室と浴室及びトイレを除いて、空間内に仕切りが無い開放的な間取りとなっている。主な開口を南面に設け、水平庇及びバルコニーと袖壁によ

*宮城学院女子大学生活文化デザイン学科

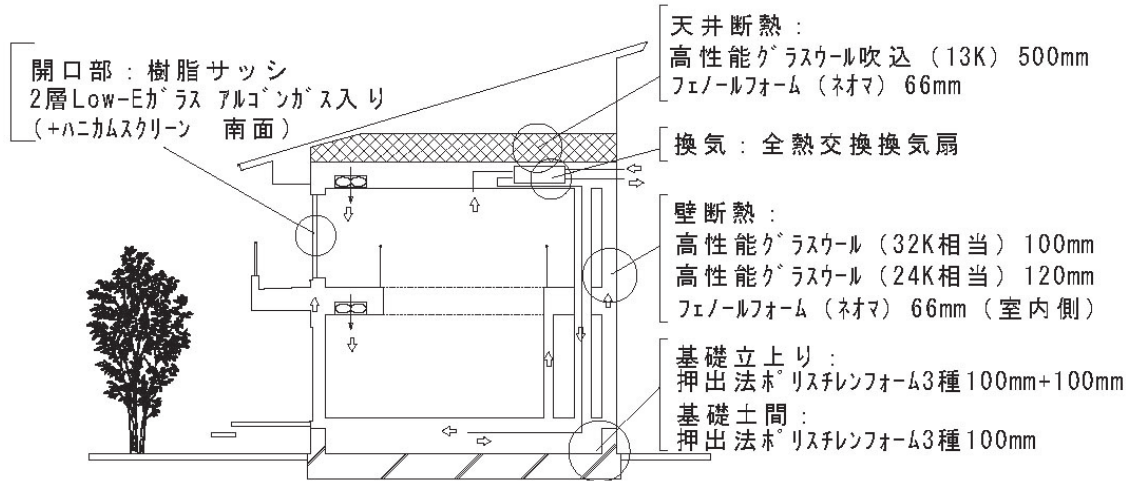


図1 建物の外観と断熱仕様と換気システムの概要

って夏期の直射光侵入を防いでいる。南面の開口面積は約18㎡である。建物の断熱性能については、熱損失係数が0.74 W/㎡Kであり、次世代省エネルギー基準 (Ⅲ地域): 1.9 W/㎡Kよりも大幅に小さくなっている。相当隙間面積の測定結果は、0.5cm²/㎡であった。設計段階でSMASH (熱負荷計算プログラム) を用いてシミュレーションを行い、暖房負荷がほぼ無くなる程度の断熱仕様を表1のように採用した。なお、基礎断熱としている。

表1 対象建物の断熱仕様

部位	仕様	k値
天井	高性能ガラスウール吹込 (13K) 500mm+ネオマフォーム66mm	0.076 [W/㎡K]
壁	ネオマフォーム66mm+高性能ガラスウール吹込 (24K) 120mm+(32K) 100mm	0.105 [W/㎡K]
基礎	押出法ポリスチレンフォーム3種 100mm+100mm	0.135 [W/㎡K]
開口部(窓)	2層Low-Eガラス 樹脂サッシアルゴンガス	1.5 [W/㎡K]
南面開口部(窓)	2層Low-Eガラス 樹脂サッシアルゴンガス+ハニカムスクリーン。	1.22 [W/㎡K]
開口部(ドア)	断熱ドア	2.33 [W/㎡K]
熱損失係数:Q	0.74 [W/㎡K] 延床:183.5㎡	

換気は全熱交換型換気システムが設置されており、熱回収後の給気は、床下、天井裏、内装面と断熱層の間に設けられた内部空間を介して、居住空間へ送られている。また、過熱対策として室温が27℃を上回ると熱交換を介しないバイパスを経由した換気に切り替えて排熱するようにプログラムしている。また、冷房機を2階天井裏に設置して、内部空間に冷気を循環させることで居住空間の温度を維持する冷房システムを用いている。今回の測定期間では、8月から9月に26℃設定で運転を行っている。この建物の用途は温熱性能の検証の他に体感宿泊による知見の収集と啓発であるため、一時的には宿泊者による調理や窓開放などの生活行為が生じた。

なお、11kWの発電能力を持つ太陽光発電装置を設置している。また加湿ユニットを換気経路内に設けている。

表2 シミュレーションの条件

設定温度	暖房温度 18℃ 冷房温度 28℃ 冷房湿度 60%
換気回数	0.5回/h(第1種機械換気 熱交換効率:0.70)
生活発熱	顕熱 4.65W/㎡、潜熱 1.16W/㎡
排熱換気条件	外気温度 25℃以下 かつ 室内温度 27℃以上

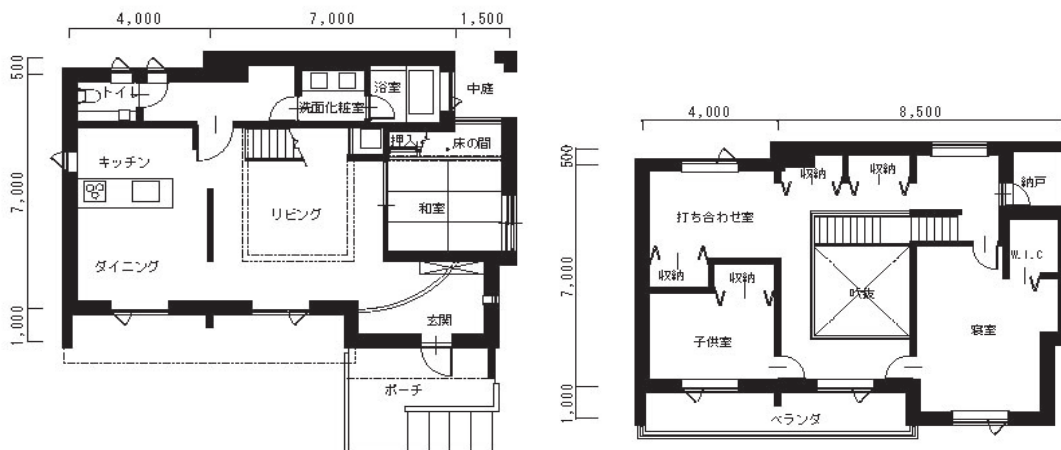


図2 対象建物の間取

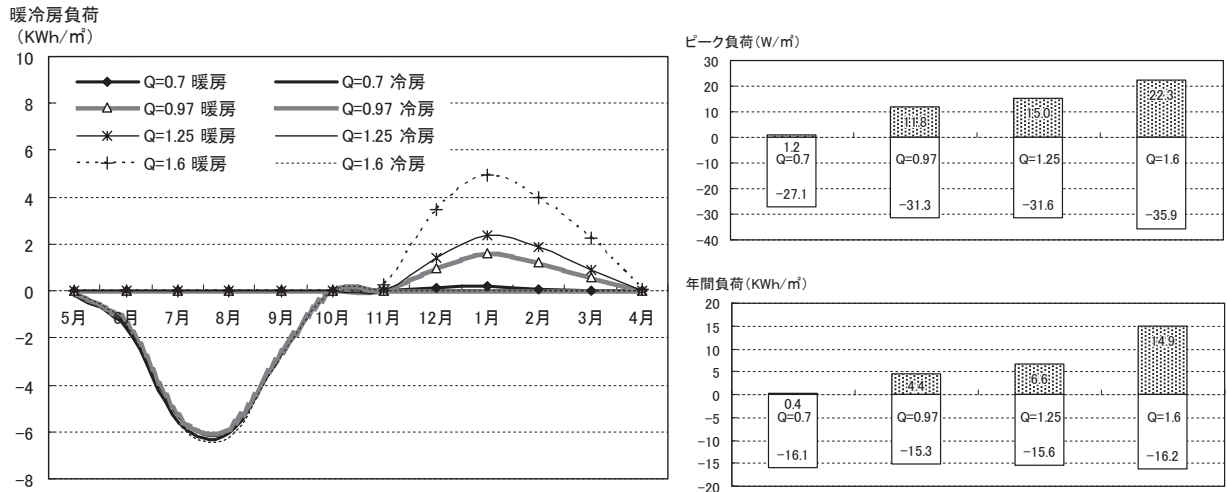


図3 暖房負荷の推定結果 (SMASH)

3. 設計時の数値実験

表2に示す設定で、SMASHを用いて暖冷房負荷の計算を行った結果、図3に示すように、熱損失係数が0.7程度で暖房負荷がほぼ無くなる結果となった。冷房負荷については、熱損失係数によって顕著に変わず、16kWh/m²程度となった。ただし、数値実験の精度の他、隣家などによる日射取得熱への影響、生活に左右される生活発熱などの要因によって、実際の暖房負荷は推定値と一致しないと考えられる。

4. 測定の方法及び結果

測定は2006年4月から2007年4月まで行い、外気、各室、壁や天井などの内部空間、断熱層内の温湿度を温湿度測定データロガー（T&D製おんどり）を用いて、同時に温度については熱電対を用いて、15分間隔で連続測定

した。この他に、水平面日射量、電力消費量、太陽光発電量、加湿量を測定した。

図4に示すように、冬期の室温平均はほとんどの時間に20℃から25℃の範囲にある。一時的に室温が低下しているのは、掃除や宿泊体験にともなう窓開放によるものである。図5に冬期の温湿度の日変動を示す。室温は建物内でほぼ均一になっているが、外気温度と日射にともなって室温が変動した。熱損失係数が小さいために、外気温度の変動の影響は少なく、日射侵入の影響が顕著であると考えられる。また、基礎断熱であるが床下が給気経路になっているために、基礎のコンクリートの熱容量の影響が間接的であることがこの温度変動の要因として考えられる。室内の湿度は、室温がある程度安定していることと、加湿器の調整機能によって40%から50%の範囲に大略安定している。

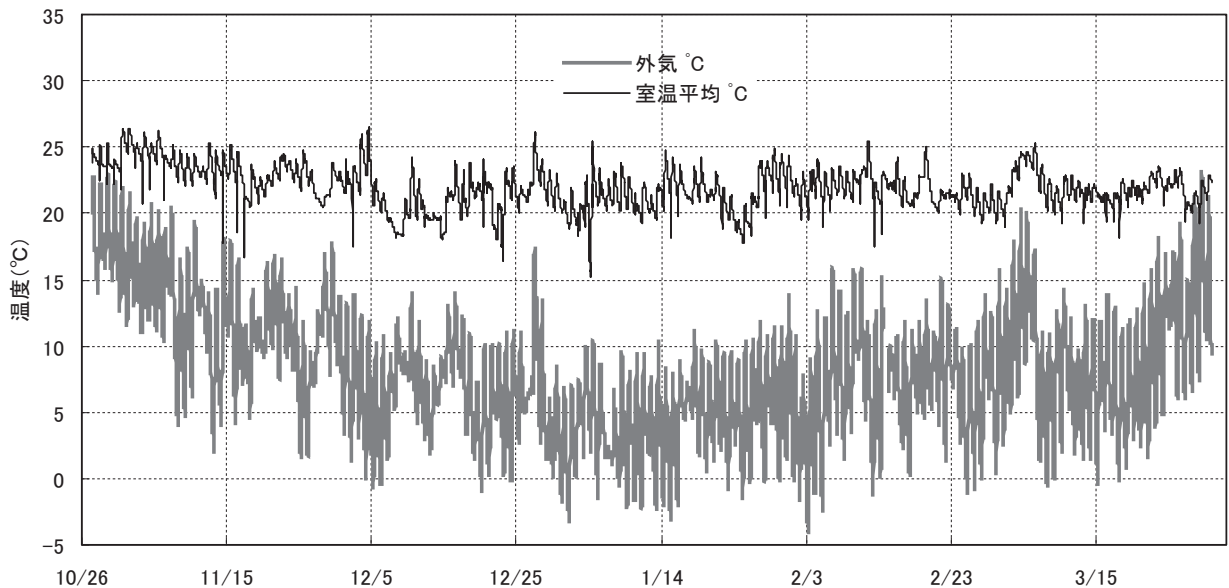


図4 冬期の温度推移

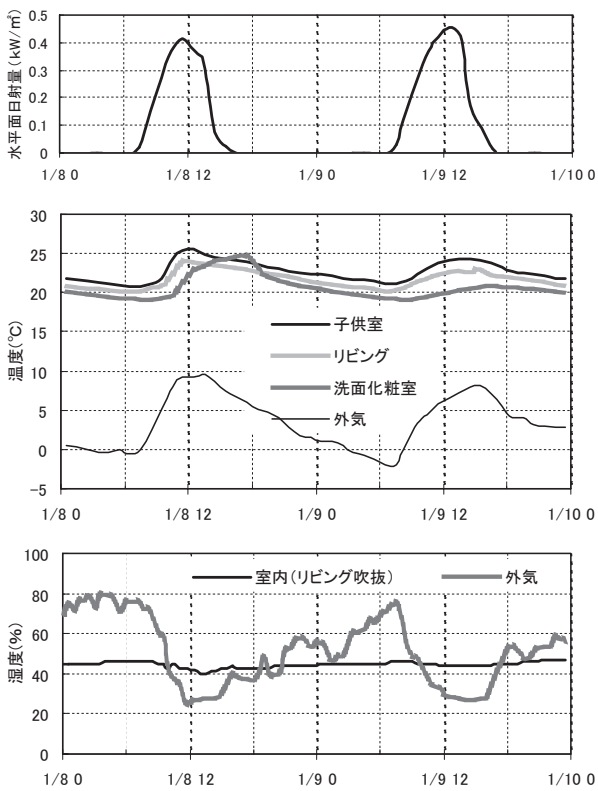


図5 冬期の日変動（日射、温度、湿度）

図6に、外気温度と室温の関係を示す。室温は外気温度と共に上昇する傾向を持つが、外気温度が低い場合にも室温が高く維持されており、十分に居住可能な自然室温が冬期間を通じて維持されている。

図7に、太陽光発電量（PV発電量）及び売電量、購入電力量から算出した電力使用量を示す。住宅内では生活ス

ケジュールに対応した発熱をする人体発熱体（電球使用）を設けて日平均0.4kWの発熱を行っている。その他、照明、冷蔵庫、計測器、電磁調理器による電力使用がある。これらの使用は、宿泊体験の頻度などで変化するため、冬期においては1月と2月の電力使用量が多くなった。なお、年間発電量（1109kWh）は電力使用量（874kWh）を上まわった。

図8に、外気温度と室温平均の年推移を示す。7月までは、一時的に窓を開放しており、8月から10月にかけて冷房を26℃設定で連続運転した。その後は、暖冷房なしの状態である。

図9に、電力使用量と1階廊下に設置された太陽光発電のインバーターの発熱量（発電量の5.5%）から算出した床面積当たりの生活発熱量と内外温度差の年推移を示す。11月以降の内外温度差は、生活発熱量に対応して変化している。

図10に床面積当たりの生活発熱量と内外温度差の関係を示す。内外温度差は、11月以降については直線上に分布している。この直線の傾きは、同図中に示す熱損失係数と生活発熱量から、日射取得がないとして算出した内外温度差:図中の「計算値（日射なし）」の傾きに大略一致しており、実際の熱損失係数が設計時の計算値に大略一致していることを示した。本測定期間では、最も外気温度が低くなる1月に生活発熱が多くなることで、年間を通じて室温平均が21℃以上に維持された。1月の生活発熱量は10.2W/m²と比較的多く、より電力消費量を削減すると室温がこの結果よりも低くなると考えられるが、図9を用いて推定すると生活発熱が6.5W/m²であれば、内外温度差が13deg生じて1月の室温平均が18℃程度になると考えられる。

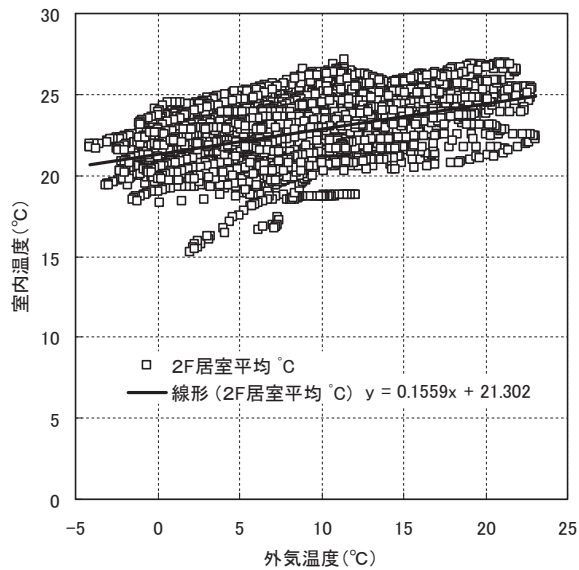
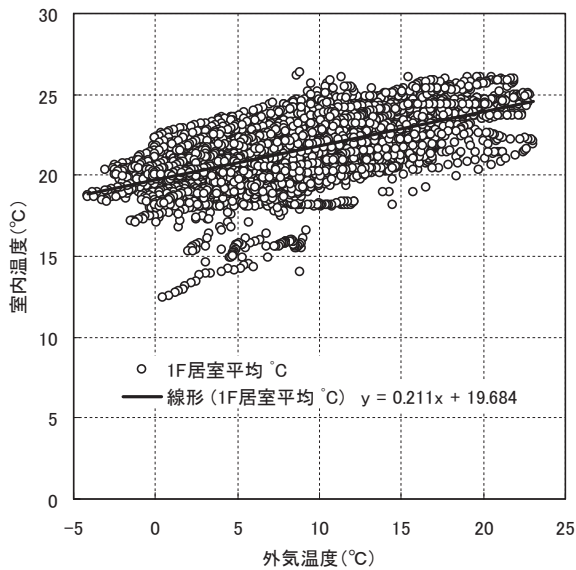


図6 冬期の外気温度と室温の関係

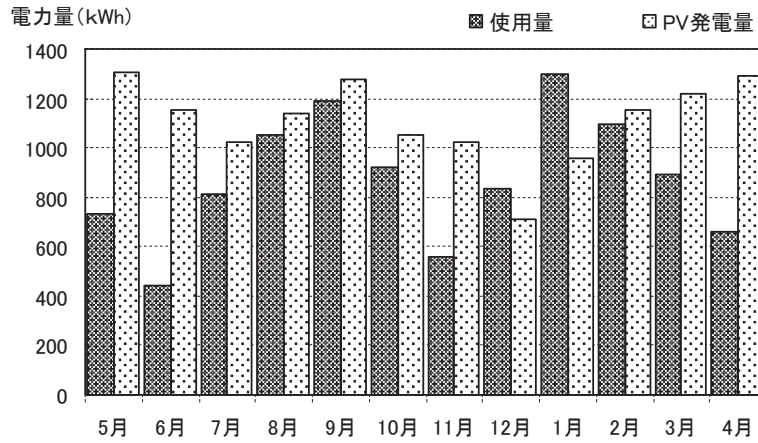


図7 電力量（使用量と発電量）の年推移

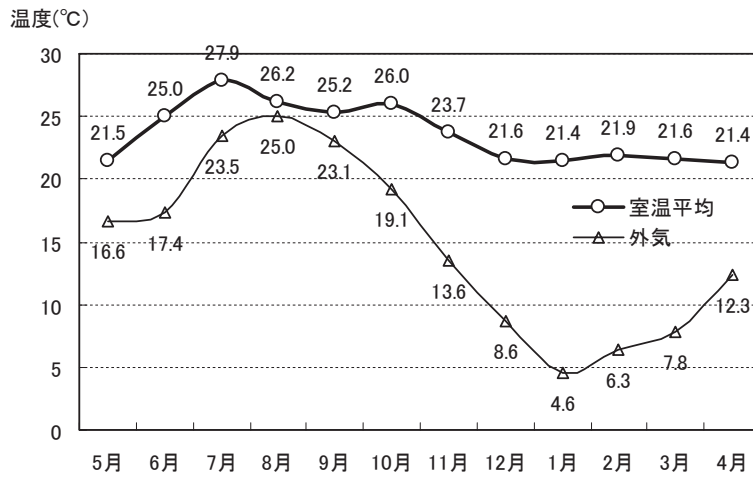


図8 外気温と室温の年推移

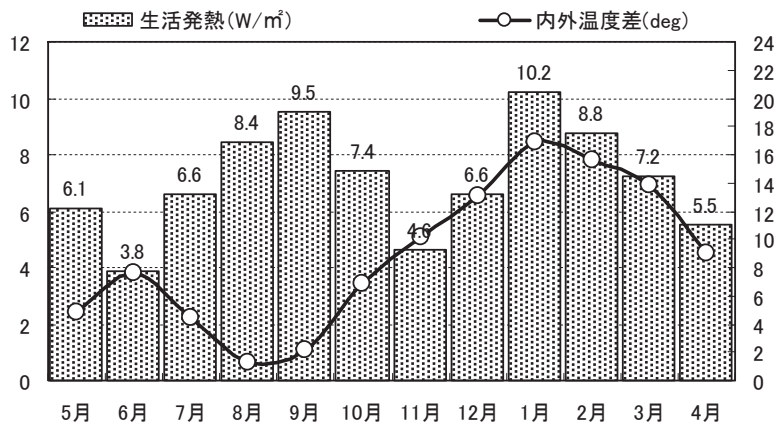


図9 生活発熱と内外温度差の年推移

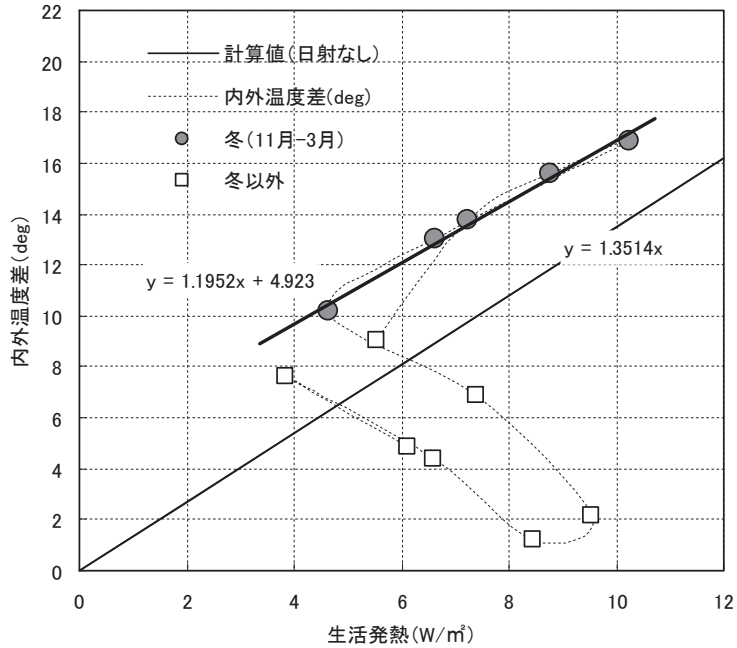


図10 生活発熱と内外温度差の関係

断熱性が高い住宅においては、一般的に冬期の室内環境が均一である。夏期における実験住宅の室内環境のムラについて、被験者による体感実験を行った。夏期に被験者(女子大学生)が3日間居住して、室内環境に関する申告を記録した。旧省エネルギー基準レベルの断熱性を有する住宅における間欠冷房時と連続冷房を行っている実験住宅における体感及び表面温度分布の比較を行った。実験住宅では、天井裏、壁内空間にエアコンの吹き出し口を設け、これらの空間を経由した後に、通気口から室内に供給する方法が用いられている。従って、天井及び壁面の温度が室温よりも若干低くなると考えられる状況となっている。

図11に、夏期冷房時の室内表面温度分布(サーモカメラの熱画像)を示す。旧省エネルギー基準レベルの断熱性を持つ住宅(図11左)で、壁掛けエアコンを運転開始直後で、冷気流が人体にあたっている状態である。室内

の表面温度は全体的に33.5～34.5℃程度で高い状態である。人体背後のカーテンは日射によって35℃程度になり、体表面温度も35℃以上となっている。しかし、この10分程度後には、被験者の体表面温度は低下し「寒さ」を感じた。ただし、その時点でも室内の表面温度のムラは解消されていなかった。エアコンの冷気流によって、露出された体表面の温度が低下したことによる「寒さ」と考えられる。

実験住宅の室内の室内表面温度は29℃程度で均一となっている。人体背後の窓スクリーン面は、壁部分より若干高めであるが31～32℃と比較的低く、ガラスの断熱性と日射遮蔽の効果が示されている。被験者は、安静時には「暑さ」を感じないが、動くとき多少「暑さ」を感じる状況であった。冬期の場合と同様に、夏期冷房時においても、ムラのない室内環境となっていることが確認された。

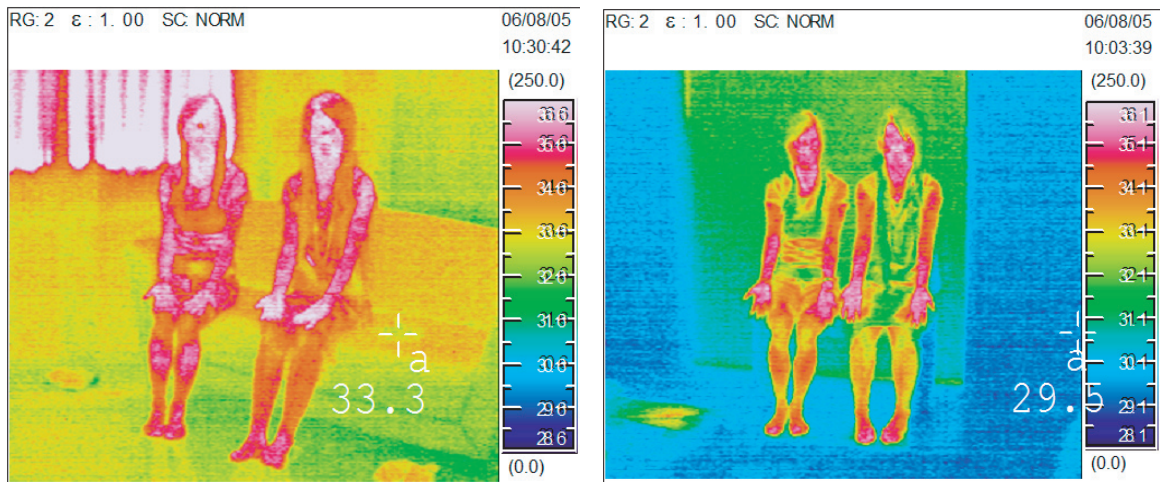


図11 冷房時の熱画像(左:旧省エネレベルの住宅、右:実験住宅)

5. おわりに

本研究では、暖房設備を設置する必要が無い程度に断熱性能を高めた実験住宅をシミュレーションを利用して設計・建設し、温熱性能に関する1年間の測定を実施した結果、以下の知見を得た。

- 1) 大きな熱容量が無く冬期の室温は主に日射の影響を受けて変動するが、日格差は5deg程度であった。
- 2) 熱損失係数計算値が0.74W/m²Kであるが、生活発熱が6.5W/m²程度であれば、南面開口の日射取得がある条件で、月平均内外温度差が13deg程度確保される。
- 3) 11kWの発電能力を持つ太陽光発電によって、建設地において冷房も含めて建物での使用エネルギーを全てまかなうことが可能である。
- 4) 冬期及び夏期冷房時の室内環境は均一であり、高い断熱気密性と日射遮蔽の効果が確認される。

本研究は、株式会社サンワホーム、三菱電機エンジニアリングと宮城学院女子大学の共同研究によって行われたものであり、五十嵐誠（サンワホーム）、大島光生（三菱電機エンジニアリング）の両氏に謝意を表す。また、卒業研究として取組んだ宮城学院女子大学生生活文化学科の柴田里美、千葉静、高橋詩織の本研究への貢献を記す。

参考文献

- 1) Göteborg, Sweden IEA - SCH Task 28 / ECBCS Annex 38:Sustainable Solar Housing, www.iea-shc.org, www.ecbcs.org
- 2) 断熱建物で可能になる定常熱負荷算法と低負荷暖冷房, サデギアン タギ(タギ建築環境所), 荒谷登, 1999年, D-2分冊, p.49
- 3) 長野市内信州大学キャンパスに建設した高气密高断熱実験住宅 その2 最寒日における無暖房住宅の実態, 山下恭弘(信州大)・山野井彰・寺沢正道・森川健太・日合絢乃・小林義孝・黒木拓, 2006年, D-2分冊, p.325
- 4) 長野市内に建設された低負荷型住居の省エネルギー性に関する研究 その1 建物の概要, 計測の概要, 暖房負荷の試算について, 長谷川兼一(信州大)・大和田重喜・小澤寛之・山下恭弘, 2000年, D-2分冊, p.465
- 5) 長野市内に建設された低負荷型住居の省エネルギー性に関する研究 その2 初年度冬期の室温, 暖房システム各部温度, 灯油消費量の測定結果, 大和田重喜(信州大大学院)・長谷川兼一・小澤寛之・山下恭弘, 2000年, D-2分冊, p.467