

長野市内の信州大学工学部キャンパス内に建設した高気密高断熱実験住宅の性能実証実験
 The experiment of performance in high airtight and high insulation experimental house in
 campus of Dep. of Eng., Shinshu Univ. at Nagano city

正 会 員 山 下 恭 弘 (信 州 大 学)

Yasuhiro YAMASHITA*¹

*¹ Shinshu University

次世代省エネルギー基準を大幅に上回る断熱層と気密化を図り、室内での人体の発熱と電気器具等の排熱によって外気温度に影響されずに冬季間、無暖房で過ごせるかを実証する目的で実験住宅を造り、詳細な計測と実際に宿泊をして快適性の感覚を評価した。その結果、実現可能であるという見通しを得た。なお、年間を通じての快適性・省エネルギー効果についての検証は引き続き検討中である。

1. はじめに

2006年8月末に信州大学工学部内に可能な限り断熱材の厚さを厚くして、冬季は無暖房住宅の実現を目指した高気密高断熱実験住宅を建設し、測定を行った。梅雨、夏に向けて、どのような工夫をするかについて引き続き研究を進めている。本稿では秋季、冬季についての実験のコンセプト、実験計画、これまでの測定結果について述べる。

ここでは実験住宅の構造、計測方法、最寒日、秋季、冬季の宿泊実験結果、および、SMASHによるシミュレーションなど示す。

2. 実験住宅の概要

1) 実験住宅の構造

実験住宅は、キャンパス内のグラウンドとテニスコート、体育館の間の平坦な空き地に期限付き許可のもと建設された。図1に平面、図2に断面を示す。構造は在来軸組み工法とし、規模は延べ床面積 24m²の平屋である。なお、筋交いの代わりに12mmの構造合板を貼り付ける構造である。建物は真南に8畳の広さ、天井高2.6mを確保した実験居住室と、北面には風除室を兼ねた2畳の大きさの計測室からなっている。したがって、南、東、西面は十分に通風が得られる環境である。土台は、凍結深度まで掘り下げずに地面を少し掘り下げた位置に捨てコンクリートをした上に建物外郭部分を無筋の布コンクリート基礎とした。床根太受けは、等間隔に正方形にコンクリートを打設した。

床下の断熱は、厚手の気密シートを敷いて、その上に50mmのスタイロホームを2層張りとした。棒状根太受けの底部にはウレタンを充填した。基礎部のコンクリート外側には100mmのスタイロホーム断熱としモルタル塗り仕上げとした。断面に示すとおり床は、スタイロホーム100mm+グラスウール(以下GWとする)400mmで計500mm、壁面は構造合板を除いてGW520mm、天井はGW700mmのブロ-イングとなっている。気密化

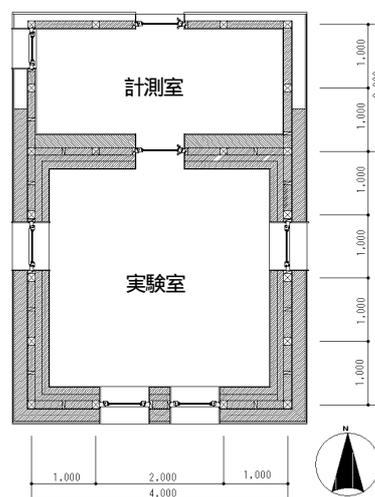


図1 平面

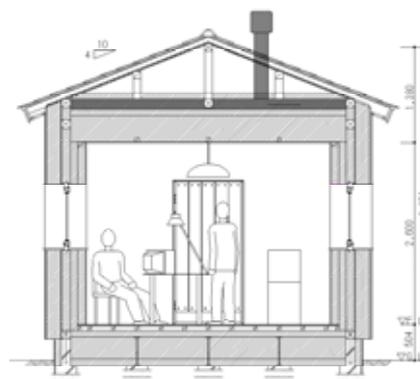


図2 断面

は気密シートの重ね貼りをした上、気密テープを使っている。構造合板の外側のGW取り付けは、450mm間隔に巾100mmの縦胴縁を作り、100mmのGWを充填し、さらに胴縁に100mm高さのL型のプラスチック留め器具を等間隔に取り付け、撥水性のGW100mmを挟み込

み、透湿シートを張って15mm厚の縦胴縁材を取り付けて固定した。

外装には樹脂サイディングを横張り仕上げとした。なお、樹脂サイディングの特性上、コーキングはしていない。

2) 各部位の熱貫流率

各部位の熱貫流率は、

壁：0.072W/m²K 天井：0.054 W/m²K
 床：0.069 W/m²K 扉：1.0W/m²K

3) 熱損失係数

実験住宅の熱損失係数は0.72W/m²K、開口部比率は28.6%となる。「住宅の次世代省エネルギー基準と指針」にある床面性100m²以下の場合に緩和される数値で算出すると、地域2.27W/m²Kに対して0.72W/m²Kとなる。

4) 気密性能

実験室は8畳の広さであるため、従来の差圧方式の気密測定でなく、ドライアイスが常温で昇華して発生するCO₂ガスを用いたトレーサーガス法による計測をおこなった。計測は、ほぼ無風に近い日におこなった。8時間後減衰し始めたところで回帰をした結果、自然換気回数は0.04回/hであった。換気システムを作動させると、1時間以内に1000ppm以下に達した。このときの全熱換気システムによる換気回数は1.33回/hとなり、熱交換後の新鮮空気風量は40m³/hであった。秋季、年末までの実験は、1.33回/hで実施した。年明けの実験からは風量を16m³/hに調整して換気回数0.5回/hにして実験を実施したので、宿泊実験のアンケートに微妙な差が出たことを後述する。

3. 計測方式

1) 計測の方針

計測は、基礎データを収集する目的で地中温度、厚い断熱材の外壁面からの室内壁面までの温度勾配、床面、壁面、天井表面温度、室内の垂直温度分布、床上1.2mの温湿度、グローブ温度、全熱換気の吸気、排気温度、流量、消費電力などについて、1分間隔でロガーに収集して、その場で1分ごとに全測定点を図面上に計測値をプロットするように工夫をした。従来の精密な測定では、単に無人の状態で作動させて消費量を測定するようなモデル住宅を対象とするか、実際に引き渡されて住む居住者に了解を取って測定することが多く、後者はプライバシーなどが絡むなど実現が難しくなっている。そこで、前者の居住者のいない住宅の計測を正確に行うにはどうすれば良いかを考えた。かつパソコンで各種解析処理をすることによるトラブルを出来るだけ少なくすることを念頭に置いた。そのために無人の室内環境の測定は意味がないので、人体模型2体による発熱を行い、実生活に近い電気製品などの廃熱がでる状態を再現することを試みた。人体の発熱、電気器具の照明、TVの廃熱の時間制御を行った。冷蔵庫、電気ポットなどはコンセントに繋いだ状態とした。このように実生活に近くな

るように時間でon-off制御する計測方法を採用した。今回の測定の特徴であり、測定のコンセプトである。

今年は、例年になく長野県は寒さが厳しかった。昨年の12月から大雪に見舞われ、今年1/7の最寒日における20分後との平均値は図3に示すとおりであった。これによると信大キャンパス内でも-11℃となっている。長野市内では近年このような寒さになったことはまれである。このような状態でも実験住宅室内では、人体模型2体と時間制御した電気器具の廃熱で20℃前後を保持している。この時の換気回数は0.5回/hと設定してある。なお、窓のカーテンは一日中開けっ放しの状態であった。実際に生活する場合はこのようなことは無く、カーテンを閉じるはずである。以上から、異例の寒さの長野において、実験住宅では無暖房が可能であることを実証したと考える。

2) 人体模型ほかによる実生活の再現

人体模型は、サーマルマネキンのような高級なものもあるが、今回は人体に近い形を細木と針金で人体の形を作り、そこに10Wもしくは5Wの小型白熱電球を頭部、胸部、腹、ひざの部分に配置して、その金枠にジャージを着せた簡単な人体模型を用いた。1体の消費電力は75W、食後1時間は20W増加するようにしてある。静座の顕熱は22W、室内で67W程度であるので、白熱電球の効率を考えると妥当な電力と考えた。図4は、自作した人体模型を示す。サーモカメラによる表面温度は模型の発熱は、実際の人体の発熱より小さめの結果となった。

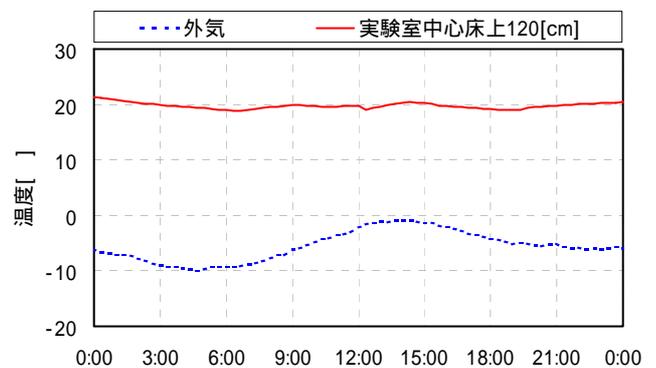


図3 最寒日の室内外温度



図4 人体模型

したがって、無人の場合の測定は、実生活に近い状況を作るために小型TV、スタンド照明が点灯し、人体模型は食後75Wから95Wに1時間ほど増加するように設定した。

3) 秋季の人体模型2体設置

実験棟は8月中旬に完成したが、測定機の設置、調整に手間取り正常に可動するようになったのが9月中旬であった。しかしながら、9月の日中の外気温は33前後まで上昇し、夏季のdataとして扱える結果であった。窓の外部に日射遮蔽シートを貼り付けて窓は締め切った状態では、30度前後まで上昇する結果となった。これでは実生活を実現しているといえないので、エアコンを動かした。しかし、通風のうまく利用するとエアコンの使用量を抑えられる見通しを得て、現在実験中である。

4) 宿泊にあたり室内の整備

宿泊実験をするには、ある程度通常暮らしているような室内状況を作る必要がある。まず、床にニードルパンチカーペットを敷き、窓にはカーテンを取り付け、室内には電波時計、机、消費電力59Wの小型テレビ、机には100Wのスタンド照明、部屋の中央には60Wの蛍光灯、ほかに小型冷蔵庫を設けた。ほかに電気ポットと飲むカップ、冷蔵庫にはお茶などを常備し、机には花とビスケットなどの軽食を用意した。

4. 宿泊実験

宿泊実験は、人体模型1体を除いて宿泊者と折りたたみ式の簡易ベッドと寝具を持ち込んで行った。食事前後の人体の額、胸など衣服を着けた状態で放射温度計により計測をし、かつサーモカメラの撮影等を行い体温の変化を見た。表1に示すように、快適感については7段階の評定尺度、温冷感には9段階の評定尺度評価をしてもらい、かつ感じたことを何でも書き込んでもらった。なお、宿泊に際して日中は折りたたんでいた簡易ベッドを就寝時に引き伸ばして使用した。室内での着衣はなるべく一定としたいことから、同一の薄手のトレーナ、Tシャツ、靴下、下着で0.73cloに統一した。食事は実験者が被験者に決まった時間に差し入れ、トイレや喫煙での退出は時間の記録をつけて自由に行ってもらった。

1) 第1回宿泊実験(秋季)

実験期間は10/24から11/2である。被験者は20歳代の男子9名の結果である。人体模型は1体使用した。実験時間は19時から翌日の18時とした。被験者には自由に読書、またはテレビ鑑賞してもらい、部屋でくつろいでいる状態を想定している。

2) 第2回宿泊実験(冬季1)

実験期間は11/26から12/29である。実験時間は11時から翌日の10時までの1グループと18時から翌日9時までの2グループとした。1グループの被験者は20歳代の男子9名(人体模型1体と被験者)、2グループの被験

表1 申告の尺度

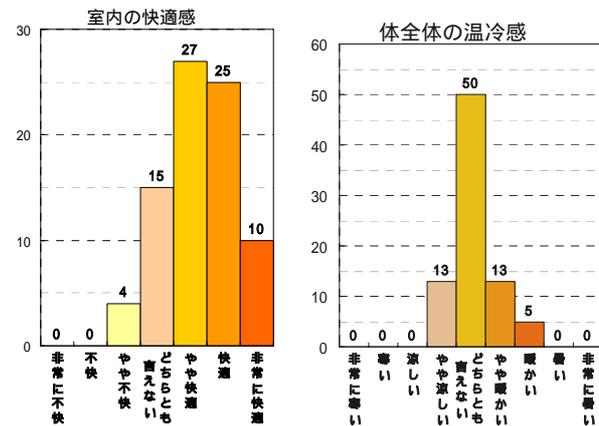
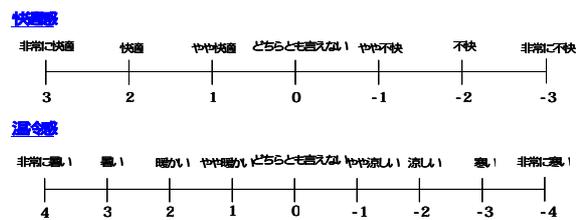


図5 冬季宿泊実験快適感と温冷感

者は20歳代の男子6名(人体模型1体と被験者)、女子6名(2名ずつ)で行った。1グループの被験者には事務作業としてパソコンで作業をしてもらい、2グループの被験者には自由に読書またはテレビ鑑賞をもらった。

5. 解析結果

1) 第1回宿泊実験(秋季)

宿泊期間の外気温と室温の経時変化は、外気温は朝夕10前後まで下がるが、日中は20前後まで上昇する中で、実験室の平均室温は25から27の間で推移していた。室内の相対湿度は、加湿器を作動させてほぼ40%を保つようにした。

図5の左側のグラフは快適感についての被験者の回答の累積度数を示した。これによると1番大きな値では「快適」と回答している。「どちらでもない」という回答は、「不快でない」と解釈ができるので、快適感は良好であると判定する。なお、宿泊期間の室内温度の幅は22から28あり、被験者の快適と感じる温度に差があった。図5の右側のグラフは、各部位の温冷感の全体評価の累積結果である。この結果も「やや暖かい」が1番大きな値であり、続いて「暖かい」との回答となっている。これからも温冷感についても良好であると判定する。なお、窓の開閉は、被験者に自由に任せた。

2) 第2回宿泊実験(冬季1)

宿泊期間の外気温と室温の変動幅は、実験室の平均室温は21から24の間で推移している。外気温に5から4程度であった。室内の相対湿度は加湿器を作動さ

せてほぼ 40%を保つようにした。快適感の 1 番大きな値は「やや快適」、次いで「快適」である。また温冷感「どちらともいえない」が 1 番大きな値であり良好であった。

3) 換気回数による影響

第 1 回、第 2 回の宿泊実験について考察する。細かく体の各部位の温冷感の結果を見ると、第 1 回、第 2 回において、足の甲などにやや不快と申告が見られる。「足元がすーすーする」といった申告があり、調べてみると換気回数が測定開始時のまま 1.33 回/h であった。通常住宅の換気回数は 0.5 回/h でよいとされていることを考えると、吹き出し空気の温度が微妙に人体に影響を与えていると考えられる。

4) 第 3 回宿泊実験(冬季 2)

実験は、正月明けの 1/11 から 1/22 におこなわれた、被験者は男子 9 名である。冬季宿泊実験第 1 回が 11/26 から 12/29 におこなわれたが、足の甲が「やや涼しい」と申告があつて、検討してみたところ、夏季の換気回数のとき設定した 1.33 回/h となっていた。このことが影響していると考え、0.5 回/h に設定して実験をおこなった。結果は、第 1 回冬季の平気外気温は日中平均、7 前後で朝夕は 0 に対し、第 2 回冬季宿泊実験は、外気が朝方 -2、日中 3、夕方 0 平均とほぼ真冬日に近い状態であったにもかかわらず、室内は 1 日中 22 前後とであった。相対湿度は加湿器により日中は 45%、朝方は 55% 前後であった。その結果、快適感、体全体の温冷感第 1 回冬季宿泊実験より良い結果となった。

全体の温冷感でも「やや涼しい」の申告が減っている。これは明らかに換気回数を変更したことの効果であり、物理量では変化が定量的に把握できない程度でも、宿泊している被験者は微妙に反応することがわかった。秋季宿泊実験、第 1 回冬季宿泊実験、第 2 回冬季宿泊実験の快適感についてまとめると、当然、秋季が一番いい結果となっているが、冬季は第 2 回のほうが良い結果となっている。

第 2 回宿泊実験では全熱熱交換しても、外気温が零下になるよう寒さには、室温に比べて相当低い温度の新鮮空気を噴出すことになり、無暖房になるまで断熱気密化を徹底すると、この性能が無視できなくなる。熱交換器にプレヒートするなどの工夫が必要となることがわかった。

5) 窓の開閉の頻度について

実際被験者の行動について窓を開けた行動について分析してみた。これから秋季は窓を開けた累積数で昼間は 7 名、夜間は 5 名、開けっ放しで就寝が 3 名であった。冬季の第 1 回でも、昼間には 2 名程度が窓を開けており、夜中にも 1 名が窓をあけている。それが冬季の第 2 回では、昼間に 2 名程度あけているが、夜間は全員が窓を閉めて就寝していた。なお、この窓はノッチ式の回転窓で、開けてノッチがする状態では、窓の上端が 5cm 程、開く

表 2 年間冷暖房負荷計算結果

pattern	0.5		0.5		0.5		1.0		2.0		5.0	
換気回数 [回/h]	0.5		0.5		0.5		1.0		2.0		5.0	
排熱換気窓開放	なし		あり		なし		なし		なし		なし	
日射の入射	あり		なし		なし		なし		なし		なし	
冷暖房負荷 [MJ/m ² ・year]	冷房	暖房	冷房	暖房	冷房	暖房	冷房	暖房	冷房	暖房	冷房	暖房
年間	284.8	0.6	50.5	8.8	206.6	8.8	198.1	18.9	185.3	43.1	166.1	123.8
	285.4		59.3		215.4		216.9		228.4		289.8	

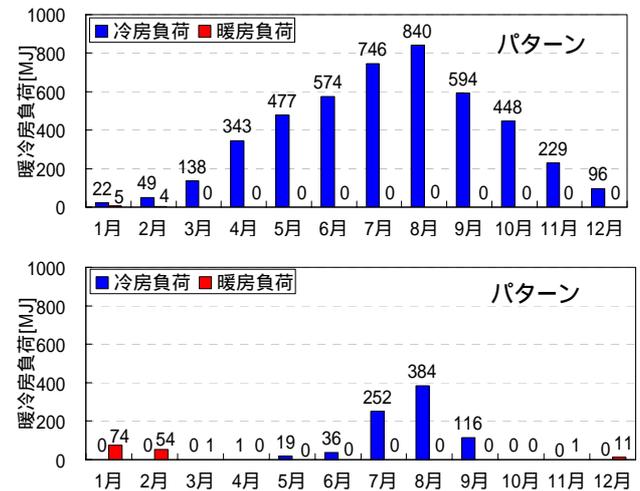


図 6 シミュレーション結果

程度である。

6. シミュレーション

この実験において、まずは断熱材の厚さを現実では考えられない壁面を 50cm 以上としたため、確かに冬は無人の状態にて人体模型 2 体と電気製品の排熱、換気で十分室内の温度が維持できたことを示した。しかし、梅雨、夏の猛暑に対してどう対処するかについて各種条件を変えて SMASH によりシミュレーション実験をおこなってみた。計算結果を表 2 に示す。そのうちのパターン、について月毎のエネルギー消費を図 6 に示す。パターンのシミュレーションは夏季の日射を入れずに室温が 27 以上で、外気温が 26 以下のとき排熱換気をする(窓を開けて換気回数を 10 回と換算)としての結果である。これにより計算パターンに比べて上記のパターンは約 20%となる。また、次世代省エネルギー地区の年間消費 390MJ/m²・year に対して約 15%になる。

7. まとめ

実験住宅の計測結果、秋季、冬季の結果から、いくつかの問題点がわかってきた。また、シミュレーションの結果と梅雨、夏の暑さ対策も課題であるし、もし計算どおりの結果になると省エネルギーの効果は大きいと考えられる。本研究は、民間企業との共同研究の報告であることを付記します。

参考文献

- 1) 住宅の次世代省エネルギー基準と指針:財団法人建築環境・省エネルギー機構:平成 12 年 9 月