住宅のエネルギー消費量と健康性の評価に関する研究

熱負荷シミュレーションを使用した戸建住宅の高断熱・高気密化に関する検討 その1

EVALUATION OF ENERGY CONSUMPTION AND HEALTH HAZARDS IN RESIDENTIAL HOUSES

Part.1 Investigation of high insulation and air tightness in detached houses using time series heat load simulation

芹川 真緒^{*1}, 佐藤 誠^{*2}, 長井 達夫^{*3}, 秋元 孝之^{*4}Mao SERIKAWA, Makoto SATOH, Tatsuo NAGAI
and Takashi AKIMOTO

Energy consumption and health hazards in a model house were investigated using a heat load simulation tool in this research. The simulation tool were capable to show that annual heat load, energy consumption for HVAC, and room air temperatures of every five minutes in the house. It was confirmed that the higher thermal insulation could realize the lower health hazards and energy consumption for heating. In some cases, where thermal insulation was added to existing houses, air temperatures in rooms without heating were not high enough. Effective heating methods could improve health hazards level in rooms only with a little additional energy.

Keywords : Health, The BEST Program, Temperature difference, Residential house, Thermal environment

健康, BEST, 温度差, 住宅, 温熱環境

1. 研究の背景と目的

日本における戸建住宅の多くは、現行の省エネルギー基準を満たさない断熱性能の低い住宅である^{注1)}。これらの住宅は、断熱・気密性能の低さのために、暖房室の非暖房時間帯や非暖房室における冬の温熱環境が劣悪であり、健康面に悪影響を与える可能性があるとともに、暖房に多量のエネルギーを費やしていると推察される。この状況の改善のためには、まず、断熱性能の低い住宅の問題点を明らかにし、断熱・気密性能の向上に伴う温熱環境やエネルギー性能の改善に関する情報を提示することが望まれる。

住宅におけるエネルギー消費と断熱性能の関係については、一般に、他の条件が同じであれば、断熱性能が高い住宅ほど、暖房負荷や暖房用のエネルギー消費が削減されることが知られている。行政においても、エネルギー使用の合理化の観点から、エネルギー消費性能の向上に関する法律、建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律等において、確保すべき断熱性能の基準値等が示されてきた。また、これらの法律の運用において使用される暖房用一次エネルギー消費量の基準値および設計値も、全体的な傾向として、断熱性能が高いほど小さくなる²⁾。

住宅の冬の温熱環境に関しては、同条件下において断熱・気密性能が高い住宅ほど、暖房室の非暖房時間帯や非暖房室の室温が高

くなり、暖房室と非暖房室間の温度差が小さくなることが知られている。例えば、澤島ら³⁾の研究では、実測により、冬の外気温と明け方の最低室温の差は、断熱性能が高い住宅ほど大きくなる傾向があることを確認している。また、改修による室温上昇効果について、岩前、山中による一連の研究^{4)~6)}では、プラン等が限定された条件下ではあるが、外皮平均熱貫流率(U_A 値)の低減量から室温変化を予測する式を導出している。予測式より、 U_A 値の低減量が大きいほど、即ち断熱性能が高くなるほど、室温が高くなることを確認できる。

住宅の温熱環境が居住者の健康に与える影響に関しては、近年、低温で劣悪な水まわりの温熱環境や、住戸内の温度差によりもたらされるヒートショック等の疾患が注目されている。伊香賀らの研究⁷⁾では、アンケート調査により、高断熱・高気密住宅への転居後に、居住者の高血圧性疾患、心疾患、脳血管性疾患、その他さまざまな疾患の有病率が低下することを確認している。

以上のように、住宅の断熱性能と、エネルギー消費や温熱環境、居住者の健康の関係はそれぞれ、さまざまな研究で扱われているが、これらを一体的に扱った研究は少ない。従って、エネルギー消費と温熱環境がともに改善される断熱方法等について検討の余地が残る。

本研究では、ストック住宅における部分断熱・気密改修や建て替

本稿は、文献^{19)~21)}の内容に加筆・修正したものである。

*1 佐藤エネルギーリサーチ

*2 佐藤エネルギーリサーチ 代表取締役・博士(工学)

*3 東京理科大学 教授・博士(工学)

*4 芝浦工業大学工学部 教授・博士(工学)

Satoh Energy Research Co., Ltd.

CEO, Satoh Energy Research Co., Ltd., Dr.Eng.

Prof., Tokyo Univ. of Science, Dr.Eng.

Prof., Faculty of Engineering, Shibaura Institute of Technology, Dr.Eng.

えを想定した断熱強化によりもたらされる省エネルギー効果や温熱環境改善効果、居住者の健康性^{注2)}の向上効果について、期間シミュレーションにより明らかにすることを目的とする。また、建物断熱性能のみでなく、設備についても、複数の暖房のケースを想定し、ケース間の比較を行うことで、効果的な暖房方法の検討を行った。暖房エネルギーと温熱環境改善効果の総合的な評価にあたっては、これらを一体的に扱う表現方法を提案する。

2. 調査方法および計算に関する設定

2. 1 シミュレーションプログラム

ケーススタディには、非住宅用に開発された BEST 省エネ基準対応ツール^{8)・9)}等を、住宅の検討が行えるように一部改良して使用した^{注3)}。主な変更箇所は、①上下階室の熱移動の考慮、②住宅用開口部のデータベース拡張、③隣室間換気の設定、④浴室・脱衣室暖房機能の追加等である。

2. 2 モデル住宅およびシミュレーション設定条件

図1 検討対象住宅平面図・断面図¹⁰⁾ および換気経路

表1 シミュレーション設定条件

項目	設定内容
地域	東京
気象データ	拡張アメダス気象データ 2000 年版標準年
プログラム	BEST 住宅版 (試行バージョン)
計算時間間隔	5 分
暖房期間	11 月 4 日～4 月 21 日
建物モデル	自立循環型住宅モデル (木造住宅) ¹⁰⁾
延床面積	120m ²
暖房方式	居室：空調するLD、寝室、子供室にルームエアコンを設置。各室の定格暖房能力、定格暖房 COP は LD: 8.5kW (3.63)、寝室: 2.8kW (5.00)、子供室: 2.2kW (4.89) 浴室・脱衣室：ヒーター式暖房。能力は浴室 1200W、脱衣室 600W。
設定温度	居室は各室作用温度で 20℃設定
内部発熱	人体、照明、機器を住宅事業建築主の判断基準 ¹¹⁾
スケジュール	に示されるスケジュールに準じて平日と休日を別々に設定。機器の顕熱発熱は全て対流成分、照明は対流成分を 70%として入力した。潜熱発熱は人体と調理を設定。浴槽からの放熱や、入浴時に使用する湯からの放熱は考慮しない。
暖房	居室：住宅事業建築主の判断基準 ¹¹⁾ における居室
スケジュール	間歇空調をベースとする。寝室・子供室は、ケースに応じ、就寝時暖房 (就寝前 1 時間と就寝後 2 時間) と起床時暖房 (起床前 1 時間) を追加 浴室・脱衣室：最初の入浴者入浴時刻の 30 分前から 30 分間 ¹²⁾ 運転
常時換気	第 3 種換気：住宅事業建築主の判断基準 ¹¹⁾ に準じ居室に設置した給気口より給気、1 階はトイレと浴室、2 階はトイレより排気した。換気動力は比消費電力 0.3W/(m ³ /h)とした。 第 1 種換気：全居室にエンタルピー交換効率 74%の壁付け全熱交換換気ユニットを設置する。換気動力は比消費電力 0.54W/(m ³ /h)とした。
局所換気	台所、1 階トイレ、浴室に住宅事業建築主の判断基準 ¹¹⁾ の風量、経路、スケジュールを設定。ただし、実態を鑑み浴室は玄関→ホール→脱衣室→浴室とした。換気動力は比消費電力 0.3W/(m ³ /h)とした。
隣室間換気 ¹³⁾	室間建具がないもしくは開放していると想定した室間 (LD と台所間、1F ホールと 2F ホール間、廊下と脱衣室間)：隣接 2 室合計気積の 20 回/h 相当 室間建具で仕切られている室間：隣接 2 室合計気積の 1 回/h 相当
家具などの熱容量	LDK: 28kJ/m ³ K ¹⁴⁾ LDK 以外の室: 19kJ/m ³ K ¹⁵⁾ ※吸熱応答係数を使用し、熱的な遅れを考慮した計算。
開口部遮へい	昼間 (7～18 時)：レースカーテンを閉鎖。夜間 (18～7 時)：レースカーテン+厚手のカーテンを閉鎖。

検討を行う住宅の平面図・断面図を図 1 に、シミュレーションの設定条件を表 1 に示す。リビングは 1 階、寝室は 2 階にあり、浴室・脱衣室は 1 階北側下屋部にある。図 1 には換気・漏気の経路を併せて示すが、常時換気と漏気は、合成した風量を入力している。基本となる条件は、住宅事業建築主の判断基準¹¹⁾に準じている。後述のとおり、本研究では非暖房室の温熱環境を健康性の評価対象としている。住宅の非暖房室の温熱環境に影響すると考えられる隣室間換気や家具などの熱容量は、標準的な値がほとんどないことから、文献^{13)～15)}を参考に設定した。実居住状態における隣室間換気量や家具などの熱容量の妥当性については今後の課題であるが、付録 1 に示すように簡易的な実測とシミュレーションの結果を比較したところ、一定の精度は有しているものと推察される。

2. 3 想定するケーススタディ

表 2 想定したケース

断熱性能			A. 無断熱	C. 平成 25 年 基準	D. 超高断熱	B. 部分断熱改修				
						①	②	③	④	⑤
平均熱貫 流率 [W/㎡ K]	天井		3.06	0.24	0.20	改修対象室				
	外壁		2.30	0.53	0.28	LDK		1 階全体		
	床		3.36	0.48	0.35	改修部位				
	開口部	昼	5.09	3.63	1.57	開口部	開口部 ・ 床	開口部	開口部 ・ 床	開口部・床 ・ 外壁・天 井※1
		夜	4.67	3.41	1.53					
日射取得率 開口部 昼[-]			0.56	0.53	0.45					
常時換気[回/h]（基準気積）			なし	第 3 種換気： 0.5（全館）	第 1 種換気： 0.5（各居室）※2	なし		第 3 種換気：0.5（全館）		
漏気[回/h]（基準気積）			1.0（全館）	なし	なし	0.5（全館）※3		0.25（全館）※4		
暖房	a. 基準※5		○	○	○	○	○	○	○	○
	b. 浴室・脱衣室暖房		○	○						
	c-1. 就寝時暖房			○						
	c-2. 起床時暖房			○						

○：ケーススタディを実施したケース ※1：天井は1階下屋部分 ※2：壁付け式の全熱交換機ユニットを想定 ※3：開口部の気密化や通気止めを想定 ※4：※3に加え、1階階段部に扉の設置を想定 ※5：住宅事業建築主の判断基準¹¹⁾に準じる

ケーススタディを行うにあたり、ストック住宅の建て替えまたは改修を想定した。建て替えによる高断熱化とストック住宅の部分断熱改修の比較を目的として、また、入浴時や就寝時、起床時に短時間の暖房を行うことによるエネルギー消費量と健康性の変化に着目して、表2に示すようにケースを設定した。各条件での部位別の平均熱貫流率等を併せて示す。ケーススタディでは、熱橋部を考慮した平均熱貫流率となるように一般部の断熱材厚さを調整して与えた。

ストック住宅はA.無断熱住宅を想定し、B.部分断熱改修はこれを基準に行う想定とした。改修対象室(LDKまたは1階全体)と改修部位(開口部、開口部+床または開口部+床+外壁+下屋部分天井)を組み合わせ設定した。改修後の部位性能は、平成25年省エネルギー基準相当となるように設定した。また、部分断熱改修時においても通気止めは優先的に実施すると仮定し、LDK改修の場合は0.5回/h(基準気積：全館)、1階全体改修の場合は1階階段に扉を設置することを想定し0.25回/h(基準気積：全館)となるように設定した。

新築住宅はC.平成25年省エネルギー基準相当を基準とし、さらに高断熱化したドイツ基準(EnEV 2014)を参考に設定したD.超高断熱条件も対象としている。超高断熱条件では、換気負荷の軽減にも配慮し壁付け式の全熱交換機ユニットを想定した。

3. 健康性の評価を目的とした冬期の温熱環境評価指標案

現在のところ、筆者らの確認する限り、居住者の健康性と室内温熱環境との関係についての定量的な根拠が示された調査結果は見当たらない。本研究では暫定的に、イギリスの冬期住宅内温度指針¹⁶⁾における推奨値(18℃)を各室作用温度の目標値ととらえ、文献¹⁷⁾を参考に、暖房期間の169日間について、入浴時(評価対象室：トイレ、廊下、脱衣室、浴室)、起床時(評価対象室：寝室、子供室1、2)それぞれの実現作用温度と目標作用温度18℃との差(ただし、実現作用温度が18℃を超える場合はゼロとする)を積算したものを、健康性の評価に繋がるものと考え、温熱環境評価指標案として使用することとした。平日と休日では、異なるスケジュールを用いており¹¹⁾、入浴時の評価は、最初の入浴者が入浴を開始する時刻である

平日 20:45、休日 17:00(2人目以降は給湯や浴槽からの放熱によって浴室が温まっていると仮定し評価から除いた)で行い、起床時は平日、休日とも6:30を評価時刻とした。実際の健康性をより反映した評価法の整備については今後の課題である。

$$I = \sum \max(0, OT_t - OT_r) \quad (1)$$

I：冬期の温熱環境に関する評価指標案(温熱環境評価指標案)[℃・回]

OT_t：目標作用温度[℃] 暫定的に18℃を使用する。

OT_r：実現作用温度[℃]

Σ：各室のある時刻(入浴時または起床時)について、暖房期間169日間の総和。

4. 計算結果

4. 1 代表日の計算結果

図2に代表日2月1～2日の作用温度の計算結果を示す。代表日の選定にあたっては、月平均外気温度が年間で最も低くなる1～2月(月平均外気温度12月9.0℃、1月6.3℃、2月6.5℃、3月9.2℃)に着目し、1～2月の平均的な日最低外気温度と、日最低外気温に近い値をとる日(2月2日)を選定した。また、同図A.無断熱条件に、温熱環境評価指標案の算定に使用する実現作用温度と作用温度目標値の差のイメージを併せて示す。

今回の計算条件では、断熱性能について、A.無断熱条件では全ての室の作用温度が明け方に外気温度付近まで低下している。B.部分断熱改修②で、LDKのみ開口部・床を断熱改修した場合であっても、無断熱からの温熱環境改善効果はほとんど見られない。B.部分断熱改修⑤で、1階全体の外皮全てを断熱改修することでようやく浴室や脱衣室の温熱環境の改善が見られた。C.平成25年基準では、各室作用温度が10℃以上、D.超高断熱では15℃以上に保たれる。

暖房についてみると、b.浴室・脱衣室暖房では、入浴前の30分のみ局所的に暖房するため、暖房運転している時間帯・室のみ、室温が上昇している様子が確認できる。一方、c-1.就寝時暖房やc-2.起床時暖房では、暖房時間帯の後の温度にも影響が見られる。暖房時間が長めで、暖房室の空間も大きいため、熱容量が影響していると推察される。寝室温度が、a.基準と比較して、就寝時暖房では明け方

に2℃程度高く、起床時暖房では日中に高い温度で推移している。

4. 2 温熱環境評価指標案の室間分布

図3に温熱環境評価指標案の室間分布を示す。温熱環境評価指標案が小さく、レーダーチャートの中心部に近いほど健康性が向上したと推察されることを表す。

断熱性能についてみると、無断熱から平成25年基準、超高断熱と断熱性能が向上するに従い、全ての室の温熱環境評価指標案が改善している様子が確認できる。入浴開始時についてみると、無断熱と平成25年基準の差と比較して、平成25年基準と超高断熱の差はわずかであるように見えるが、超高断熱では作用温度の目標値を下回ることがほとんどなく、改善が見られる。起床時は、暖房停止から時間が経過しており、超高断熱の温熱環境評価指標案の改善効果はさらに顕著である。

無断熱と比較し、平成 25 年基準や超高断熱のように建物全体を高断熱化するほど堅調に左下へ推移していることが確認される。部分断熱改修は 1 階が対象であるため、寝室の温熱環境評価指標案の改善は見られない。また部分断熱改修の一部のケースで無断熱よりも廊下の温熱環境評価指標案が大きくなっているが、これはリビング空調を作用温度制御としているため、断熱改修により室内表面温度が高くなることからリビング空気温度が低下すること、また、改修に伴う気密性能の向上によりリビングから廊下への暖房空気の流入が減少することに起因する。

前述の通り、評価対象時間帯前後を集中的に暖房する浴室・脱衣室暖房や就寝時・起床時暖房はエネルギー消費量の増加も少なく、温熱環境評価指標案が改善されている様子が確認できる。ただし、無断熱の浴室・脱衣室暖房のケースでは、廊下は寒い環境のままであり、入浴前にリビングから廊下を経由して脱衣室・浴室に移動する経路を考えると、人体が大きな温度変化にさらされることとなる。このような温度変化が居住者の健康性に及ぼす影響については、今後、より詳細に検討するための指標の整備が必要である。

5. まとめ

期間シミュレーションにより、無断熱住宅を基準として、生活空間の中心である 1 階部分を集中的に断熱・気密改修する部分断熱改修を行う場合と、建て替えを想定したケースを設定し、ケーススタディを行った。健康性を表現するための温熱環境評価指標案と、エネルギー消費量の関係について検討し、以下の知見が得られた。

- 断熱性能の向上に伴い、概ね、温熱環境評価指標案の改善および暖房用エネルギーの削減が確認された。暖房用エネルギーは、無断熱と比較し、平成 25 年基準相当の条件では約 13MJ/年、超高断熱では約 20GJ/年の削減が見られた。温熱環境については、1～2 月の代表日について、無断熱条件では全ての室の作用温度が明け方に外気温度付近まで低下するのに対し、平成 25 年基準相当の条件では 10℃以上、超高断熱では 15℃以上に保たれる。
- ストック住宅の部分断熱改修では、改修範囲や部位によっては効果が限定的であることが確認された。暖房の削減率は、1 階全体を断熱改修する条件で、35%であった。廊下の温熱環境については、断熱改修後に、作用温度が低下するケースも見られた。断熱性能の向上により作用温度制御の暖房室の空気温度が低下したこと、気密性能の向上により暖房室から廊下へ流入する暖房空気の量が減少することに起因する。
- 暖房用エネルギーと温熱環境の総合的な評価のための表現方法を提案した。この方法は、指標の見直しを行った際にも、引き続き使用できるものと期待される。
- 浴室・脱衣室暖房導入によるエネルギー消費量の増加は限定的であるが、浴室の温熱環境評価指標案は大きな改善が見られた。一方、リビングから浴室までの移動経路で対策をとっておらず、作用温度が低いままの廊下を通ることについては注意が必要である。
- 就寝時や起床時の暖房について、基準のケースからのエネルギー消費量の増加は就寝時 1.0GJ/年、起床時 1.6GJ/年である。一方、起床時の暖房運転により起床時の温熱環境評価指標案は大きく改善される。しかしながら、今回の評価指標は暫定的にある一時刻

を取り出して定めたものであり、就寝中の評価等については今後検討する必要がある。

今後の課題として、主に以下が挙げられる。

- さまざまなプランや断熱改修の範囲、世帯等を想定した検討を行い、設定条件に応じて好ましい改修方法や暖房方法の提案を行う。
- 本論では暫定的な指標案として扱った温熱環境評価指標の見直しを行う。本論では、温熱環境評価指標案として、ある時刻における実現作用温度と目標作用温度との差を期間積算した値[℃・回]を使用した。在室時間帯について同様に積算した値[℃・時間]や、室間温度差に着目した指標等も想定される。今後、実際の健康性と温熱環境の関係についてのデータの収集、およびその関係の定式化を通して、健康性をより反映した指標による高い精度での健康性の評価が可能となることが期待される。

謝辞

本研究は、国土交通省住宅市場整備推進等事業費補助金を受け（一社）日本サステナブル建築協会に設置された「スマートウェルネス住宅研究企画委員会（委員長 村上 周三 建築環境・省エネルギー機構 理事長）の一環として実施されたものである。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 平成 25 年住宅・建築物の省エネルギー基準解説書編集委員会：平成 25 年省エネルギー基準に準拠した算定・判断の方法及び解説 II 住宅，pp.622-629，2013.5
- 澤島智明，松原斎樹，藏澄美仁：住宅の断熱性能による冬期居間の温熱環境と暖房の仕方の差異，関西地域における住宅の温熱環境と居住者の住まい方に関する事例研究 その 1，日本建築学会計画系論文集，第 565 号，pp.75-81，2003.3
- 山中克仁，岩前篤：戸建住宅における部分断熱の温度上昇効果に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学 II，pp.125-126，2012.9
- 山中克仁，岩前篤：戸建住宅における部分断熱の温度上昇効果に関する研究，その 2 主寝室における温度変化の簡易推定モデルの検討，日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学 II，pp.101-102，2013.8
- 岩前篤，山中克仁：戸建住宅における部分断熱の温度上昇効果に関する研究，その 3 他地域における簡易推定モデルの検討，日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学 II，pp.103-104，2013.8
- 山中克仁，岩前篤：戸建住宅における部分断熱の温度上昇効果に関する研究，その 4 開口部の変化を考慮した簡易推定モデルの検討，日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学 II，pp.141-142，2014.9
- 伊香賀俊治，江口里佳，村上周三，岩前篤，星旦二，水石仁，川久保俊，奥村公美：健康維持がもたらす間接的便益（NEB）を考慮した住宅断熱の投資評価，日本建築学会環境系論文集，第 76 巻 第 666 号，pp.735-740，2011.8
- 二宮博史，飯田玲香，長谷川巖，野原文男，石野久彌，村上周三：建築エネルギー・環境シミュレーションツール BEST の開発，第 38 報 省エネ推進を目的とした新しい U I を実装したツール（改正省エネ基準対応ツール）の開発，日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学 II，pp.1237-1238，2013.8
- 野原文男，村上周三，石野久彌，長谷川巖，二宮博史，飯田玲香：外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発，その 142 平成 25 年省エネ基準対応ツールの開発概要と特徴，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 第 5 巻，pp.49-52，2014.9
- 建築環境・省エネルギー機構：自立循環型住宅への設計ガイドライン，2009.9
- 建築環境・省エネルギー機構：住宅事業建築主の判断の基準におけるエネルギー消費量計算方法の解説，2009.3

- 12) 平成 20 年度経済産業省委託事業：平成 20 年度規制対象製品の技術基準の策定等調査報告書，2008.9
- 13) 楠崇史，宇田川 光弘，盧炫佑，佐藤誠：ソーラー改修住宅を利用した EESLISM の検証 ―T 邸の暖房期のシミュレーション―，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，pp.2131-2134，2012.9
- 14) 豊原範之，長谷川房雄，長友宗重，吉野博，石川善美：住宅における断熱・気密性能の向上が室内熱環境と暖房負荷に及ぼす影響 室間相互換気を考慮した多数室伝熱計算，日本建築学会東北支部研究発表会，pp.159-164，1991.6
- 15) 宇田川光弘：標準問題の提案 住宅用標準問題，日本建築学会第 15 回熱シンポジウム，1985.9
- 16) Office of the Deputy Prime Minister：Housing Health and Safety Rating System Guidance (Version 2)，2004.11
- 17) 吉田伸治：冬期の浴室内の温熱環境と安全性に関する研究，その 1 気候条件・住宅の断熱性能が浴室でのヒートショック発症に与える影響，日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2 分冊，pp.425-426，2007.8
- 18) 藤澤美恵子：住宅エコポイントがもたらした効果 - 消費者の省エネ意識の変化の検証 -，第 2 回 BECC JAPAN，2015.9
- 19) 長井達夫，芹川真緒，佐藤誠，秋元孝之：スマートウェルネス住宅のエネルギー・情報・設備システムに関する研究，その 2 熱負荷時刻歴・期間シミュレーションのケーススタディ条件，日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学 I，pp.1117-1118，2016.8
- 20) 佐藤誠，芹川真緒，長井達夫，秋元孝之：スマートウェルネス住宅のエネルギー・情報・設備システムに関する研究，その 3 期間シミュレーションによる健康リスクとエネルギー消費量の評価，日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学 I，pp.1119-1120，2016.8
- 21) 芹川真緒，佐藤誠，長井達夫，秋元孝之：熱負荷時刻歴・期間シミュレーションによる健康リスクとエネルギー消費量の評価，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 第 6 巻，pp.89-92，2016.9

注

- 注 1) 文献¹⁸⁾によると、総務省「住宅土地統計調査」を利用して、住宅の断熱状況を推計した結果では、無断熱 40%、旧省エネ基準（昭和 55 年基準）31%、新省エネ基準（平成 4 年基準）20%、次世代省エネ基準（平成 11 年基準）8%、次世代省エネ基準以上 1%の割合となっている。
- 注 2) 健康性の低下を引き起こすものとして、本論では、居住者のヒートショック等を引き起こす可能性（健康リスク）を有する危険性（ハザード）を扱う。
- 注 3) BEST 住宅版（試行バージョン）。基本的な計算方法は BEST 省エネ基準対応ツールを踏襲し、一部を住宅用に改良している。

付録 1 簡易的な実測によるシミュレーション条件設定の検証

隣室間換気量や家具などの熱容量（以下、「家具熱容量」と記す）の妥当性の確認のため、これらのパラメータを変更した場合のシミュレーション結果と実測の非暖房室温度を比較する。なお、ここでの目的は、本論中の隣室間換気量や家具熱容量の設定が実測のおおよその結果を再現するものであることを確認することであり、実測の詳細な再現を意図したものではないため、実測は期間や測定項目を限定した簡易的な方法としている。

建物および実測の概要を付表 1 に、実測住戸の平面図を付図 1 に、温度測定結果を付図 2 に示す。測定は、おんどとり RTR53（R&D 社）を使用し、10 分間隔で行った。温度は居住者の日々の生活スケジュールの影響を受けるため、検証には、居住者が概ね不在にしていた 2016 年 1 月 9～11 日のデータを使用した。

シミュレーション設定条件を付表 2 に示す。パラメータとして、隣室間換気量および家具熱容量を変更し、家具熱容量は空気熱容量に加算する。

現地では日射量を測定していなかったこと、隣障等の影響を受けること、検証期間は厚手のカーテンや障子をほぼ閉鎖していたこと

付表 1 建物概要および実測概要

項目	建物概要
所在地	埼玉県さいたま市
竣工	2002 年
延床面積	132.5 m ²
断熱性能	Q 値 2.04W/m ² K (窓：遮熱複層ガラス＋樹脂サッシ)
気密性能	C 値 2.5 cm ³ /m ²
項目	実測条件
測定期間	2015/12/22～2016/1/13
局所換気	リビング・クローゼット・トイレ：それぞれ湿度、湿度、人感センサで自動発停 浴室：停止（浴室暖房不使用）
リビング暖房	壁掛けエアコンを適宜運転
全館空調・全館換気	全館空調停止 全熱交換換気ユニット運転 (2016/1/9 0:00～1/12 7:00)

付図 1 実測物件平面図

付図 2 温度測定結果

付表2 シミュレーション設定条件

項目	設定内容
気象データ	外気温度：測定値 夜間放射量：一定値とした（80W/m ² 、拡張アメダス標準年データ 2000 年の浦和の 1 月の夜間放射量を参考に決定）。
計算期間	2015/12/22～2016/1/13 昼間（5～18 時）：室温測定値を与える。室温を測定していない室は、近い室の温度で代用。 夜間（18～5 時）：自然室温計算 ⇒1/9～1/11 の夜間の温度低下を実測値と比較
プログラム	EESLISM7.2
計算時間間隔	10 分
換気	全般換気を 800 m ³ /h（カタログ値）で与える。居室より全館空調吹出温度の測定値で給気、2 階ホールより排気。各居室への吹出風量は等しいとした。
内部発熱	家電の状況に応じ、リビング、台所、トイレ、寝室に 280W を割り付ける。280W は、実測期間中の住戸全体の消費電力の最低値約 400W から、全熱交換器と全館空調（送風）の定格消費電力を差し引いた値。
開口部	実態に応じて、カーテン閉、障子閉、または付属部材なしのいずれかとした。

から、検証対象を夜間の室温低下に絞り、昼間は室温測定値をシミュレーション入力条件として与えた。

ここでは、隣室間換気量や家具熱容量の検討が目的であるため、シミュレーションプログラムを本文中のものとは統一していない。

実測とシミュレーションの比較を付図 3 に示す。網掛けをしている昼間の時間帯は、室温測定値をシミュレーション入力条件として与えている。ここでは、夜間の温度低下を比較する。

仮に、①家具熱容量 12.6kJ/m³ K、隣室間換気なしの設定とした場合、玄関ホールのように居室と連続した非居室では、発熱もなく熱容量も大きくないため、実測と比較して温度低下が大きくなる。

家具熱容量のみ本文と合わせて、②家具熱容量 LDK:29kJ/m³ K、LDK 以外の室：19kJ/m³ K、隣室間換気なしの設定とした場合、玄関ホールの温度低下はやや小さくなるが、依然として、実測と比較して温度低下が大きい。

更に、隣室間換気も本文と合わせて、③家具熱容量 LDK：28kJ/m³ K、LDK 以外の室：19kJ/m³ K、隣室間換気 建具を閉鎖している室間：1.0 回/h、建具を開放している室間：20.0 回/h とした場合、実測結果を概ね良く再現する結果となった。

ただし、室によっては多少の差が見られ、完全に実測結果を再現するには至っていない。これは、実際の住戸は室により家具熱容量や隣室間換気量等が異なるためと推察される。しかしながら、実測とシミュレーションで生じる温度の差は、一晩で 1℃未満であり、一定の精度は確保されていると考えられる。

付録 1 の実測とシミュレーションの比較は、ある 1 住戸における結果であり、参考程度ではあるが、本文における隣室間換気量および家具熱容量の設定により、夜間における室温低下の傾向が概ね一致することが確認された。

①家具熱容量 12.6kJ/m³ K、隣室間換気なし ②家具熱容量 LDK：28kJ/m³ K、LDK 以外の室：19kJ/m³ K
隣室間換気なし ③家具熱容量 LDK：28kJ/m³ K、LDK 以外の室：19kJ/m³ K
隣室間換気 建具を閉鎖している室間：1.0 回/h
建具を開放している室間：20.0 回/h

網掛け部は室温測定値をシミュレーション入力条件として与えている。

付図3 実測とシミュレーションの結果の比較

EVALUATION OF ENERGY CONSUMPTION AND HEALTH HAZARDS IN RESIDENTIAL HOUSES

Part.1 Investigation of high insulation and air tightness in detached houses using time series heat load simulation

*Mao SERIKAWA^{*1}, Makoto SATOH^{*2}, Tatsuo NAGAI^{*3}
and Takashi AKIMOTO^{*4}*

^{*1} Satoh Energy Research Co., Ltd.

^{*2} CEO, Satoh Energy Research Co., Ltd., Dr.Eng.

^{*3} Prof., Tokyo Univ. of Science, Dr.Eng.

^{*4} Prof., Faculty of Engineering, Shibaura Institute of Technology, Dr.Eng.

Since many of residential houses in Japan were built before 1980, they have very poor thermal insulation. With poor thermal insulation specification, these houses could consume much amount of energy for heating. In addition to that, indoor thermal environment in winter could be so poor especially in non-living rooms such as bathrooms. Low temperature in houses could cause occupants' higher blood pressure, heat shock, and many other diseases.

Energy consumption and health hazards in a model house were investigated using a heat load simulation tool in this research. The simulation tool were capable to show that annual heat load, energy consumption for HVAC, and room air temperatures of every five minutes in the house in several cases which differed thermal insulation performances. We confirmed that, in general, the higher insulation level of the model house were associated with the lower health hazards and reduce energy consumption for heating. We also indicated that effective heating methods enable to reduce health hazards with a small amount of additional energy.

In Chapter 1, we referred to previous studies relating to this research. There are many research papers discussing topics, thermal insulation, thermal environment in houses, and health respectively, however, most of the preceding papers are not dealing with the topics integrally.

In Chapter 2, we indicated that input condition for simulation case studies. We chose the model house plan for the simulation which met 'Standards of Judgment for Residential Construction Clients'. The simulation conditions include not only various insulation performances, but also several heating methods such as heating sanitary space just before bathing time.

In Chapter 3, we proposed an index that indicated health hazards. This index was provisional since the relationship between indoor temperature and occupant's health should be reconsidered by further actual health hazards study results.

In Chapter 4, we showed results of the case studies. Indoor temperature with no insulation reached about 5°C in winter morning. The case that had enough insulation performance to meet the Japanese energy saving standard, the room temperature did not get below 10°C. In order to keep the room temperature above 15°C, insulation level needed to be as high as the German energy saving standard. However, the temperatures of non-heating rooms did not get higher in some cases which had implemented partial thermal insulation renovation of only at LDK (a living room, dining room and kitchen) or other rooms.

Energy consumption for heating could reduce by high insulation level. Heating energy of no insulation house was more than twice as much as the house which had enough insulation level that met the Japanese energy saving standard. In order to reduce health hazards, heating non-heating rooms in short time was as effective as improvement of thermal insulation performance. By heating the sanitary space and bedroom, it enabled to improve the health hazard index with a small amount of additional energy.

(2016年7月6日原稿受理, 2016年11月28日採用決定)