

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 229) 住宅版を活用した温熱環境の評価事例
 Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the
 BEST (Part 229) Case Study Using BEST-H Program

正会員 ○芹川 真緒 (佐藤エネルギーリサーチ) 正会員 佐藤 誠 (佐藤エネルギーリサーチ)
 正会員 川久保 俊 (法政大学) 技術フェロー 長井 達夫 (東京理科大学)
 技術フェロー 秋元 孝之 (芝浦工業大学) 技術フェロー 伊香賀 俊治 (慶應義塾大学)
 名誉会員 村上 周三 (建築環境・省エネルギー機構)

Mao SERIKAWA*¹ Makoto SATOH*¹ Shun KAWAKUBO*² Tatsuo NAGAI *³

Takashi AKIMOTO *⁴ Toshiharu IKAGA*⁵ Shuzo MURAKAMI *⁶

*¹ Satoh Energy Research Co., Ltd. *² Hosei University *³ Tokyo University of Science

*⁴ Shibaura Institute of Technology *⁵ Keio University *⁶ Institute for Building Environment and Energy Conservation

In this research, we investigated the impact of insulation and heating in a house on energy consumption and occupants' health by heat load simulation. We confirmed that the higher insulation level of the model house gets, the lower energy consumption for heating get. We also confirmed that higher insulation level could reduce the health hazard of phenomena such as high blood pressure, overactive bladder, accident risk during taking a bath, stiff shoulder and backache. Heating rooms appropriately is also effective for reducing these hazards.

はじめに

既報^{1),2)}等では、ストック住宅に占める割合の高い昭和55年省エネルギー基準相当の断熱性能の住宅を対象に、断熱・気密改修や暖房運転見直しの温熱環境改善効果を、BEST住宅版^{3)~5)}を用いた計算で明らかにした。

本報では、BEST住宅版等での温熱環境計算結果の表示に活用され、断熱改修や適切な暖房使用の促進に繋がることを期待して、住宅の温熱環境より健康性の評価を行う方法およびその表現方法の提案を行う。健康性の評価は、国土交通省スマートウェルネス住宅等推進事業調査(以下、「全国調査」)により得られつつある室温と居住者の健康性の関係⁶⁾に基づき血圧の予測等を行うこととし、断熱性能や住まい方と健康性の関係を考察する。

1. 健康性の評価方法

全国調査で得られつつある知見⁶⁾をもとに、表1に示す5項目について評価を実施する。同表中に、全国調査と本研究における評価対象の時刻・時間帯、室を示す。本研究では、住宅事業建築主の判断基準⁷⁾の4人世帯の親46歳男性の生活時間を想定する。生活習慣等は、全国調査結果の平均的な男性を参考とする^{注1)}。本研究における評価対象の時刻・時間帯は全国調査と差があるが、計算での暖房スケジュール設定を考慮し、全国調査の評価対象時刻・時間帯から、適宜、変更を行っている。全国調査の測定対象は室温(床上1mの温度)であるが、BEST住宅版では断熱性能の差に起因する放射環境の差も考慮するため、作用温度を用いて評価を行う。全国調査は、

表1 健康リスク要因の評価指標(参考:全国調査⁶⁾)

	評価期間	全国調査における評価			BEST住宅版を用いた評価			指標の示し方
		室温測定結果			作用温度計算結果			
		居間	脱衣室	寝室	居間	脱衣室	寝室	
a 高血圧	11~3月のうち各住戸の実測期間	起床後1時間以内の血圧測定時の温度	-	起床後1時間以内の血圧測定時の居間温度と寝室温度の差	居間暖房開始前温度と開始1時間後温度の平均	-	居間暖房開始前と開始1時間後の居間温度と寝室温度の差	起床時収縮期血圧予測値
b 夜間頻尿		23時温度	-	-	就寝時温度	-	-	室の温度の分類(寒い/中間/暖かい住宅) ※全国調査の分類は仮置きの数値である点に留意
c 入浴事故リスク		帰宅→就寝平均温度	帰宅→就寝平均温度	-	起床→就寝平均温度	起床→就寝平均温度	-	
d 肩こり		帰宅→就寝平均温度	-	就寝→起床平均温度	起床→就寝平均温度	-	就寝→起床平均温度	
e 腰痛		帰宅→就寝平均温度	-	就寝→起床平均温度	起床→就寝平均温度	-	就寝→起床平均温度	

11～3月のうち各住戸2週間の実測を行っている。一方、本研究では、代表期間2月1日朝～2日朝（月平均外気温が低い1～2月の平均日最低外気温と、2月2日の日最低外気温に近い値を取る）について評価を行う。

1.1 指標 a 起床時収縮期血圧

起床時収縮期血圧は、居間温度と、居間・寝室温度差より予測する。算出には、全国調査でのロジスティック回帰分析結果を用いる。回帰分析結果によると、起床時収縮期血圧は、居間室温、居間寝室の温度差、睡眠の質、睡眠時間、飲酒有無、年齢×居間室温の日レベルの説明変数、および、年齢、性別、BMI、塩分チェックシート得点、野菜の摂取、喫煙有無、飲酒有無、降圧剤服用有無の個人レベルの説明変数と、有意な相関が確認される。全国調査では、血圧測定は起床後1時間以内に行われることとなっており、起床後に暖房運転を開始する世帯では、血圧測定時の室温は暖房立ち上がりの途中の温度であると考えられる。そのため、本研究では、間歇暖房スケジュールの朝の暖房の開始前6:00と開始1時間後7:00の室温や温度差の平均値で評価することとする。

1.1 指標 b 夜間頻尿

夜間頻尿について、全国調査を参考に、就寝時23:30の居間温度が18℃以上の住宅を「温暖群」、12℃以上18℃未満の住宅を「中間群」、12℃未満の住宅を「寒冷群」と分類する。全国調査では、居間の就寝時間帯温度が18℃以上の群に対し、夜2回以上トイレに行くリスクが、12℃以上18℃未満の群で1.61倍、12℃未満で3.01倍との結果が得られている。

1.2 指標 c 入浴事故リスク

入浴事故リスクについて、全国調査を参考に、居間・脱衣室ともに18℃以上の住宅を「温暖群」、居間18℃以上・脱衣室18℃未満の住宅を「中間群」、居間・脱衣室ともに18℃未満の住宅を「寒冷群」と分類する。全国調査では、居間・脱衣所とも18℃以上の温暖群に対し、湯船温度を熱めとする確率は、居間18℃以上・脱衣所18℃未満の中間群で1.75倍、居間・脱衣所とも18℃未満の寒冷群で1.77倍との結果が得られている。全国調査では、在宅時間帯の温度を評価対象としているが、在宅時間帯には居間暖房停止時間帯も含む。そのため、計算結果の評価においても居間暖房停止時間帯を含むよう、評価対象時間帯を起床時6:30から就寝時23:30までとする。

1.3 指標 d・e 肩こり・腰痛

肩こり・腰痛について、全国調査を参考に、居間・寝室ともに18℃以上の住宅を「温暖群」、居間18℃以上・寝室18℃未満の住宅を「中間群」、居間・寝室ともに18℃未満の住宅を「寒冷群」と分類する。全国調査によると、居間・寝室とも18℃以上の温暖群に対し、諸症状の有割合が、居間18℃以上・寝室18℃未満の中間群で肩こり1.85倍、腰痛1.38倍、居間・寝室とも18℃未満の寒冷群

で肩こり3.16倍、腰痛2.04倍との結果が得られている。居間の評価対象時間帯は指標cと同様とし、寝室の評価対象時間帯は就寝時23:30から起床時6:30までとする。

表-2 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 住宅版開発者版
【計算時間間隔】	5分
【建物モデル】	自立循環型住宅モデル（木造住宅） ⁸⁾
【延床面積】	120m ²
【暖房期間】	11月4日～4月21日
【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/COPはLD：8.5kW/3.63、寝室：2.8kW/5.00、子供室：2.2kW/4.89。開放型暖房使用を想定したケースでは、居間について、開放型暖房をヒーター3000Wで模擬し、エアコンは停止。浴室・脱衣室：ヒーター式暖房。能力は浴室が1200W、脱衣室が600W
【暖房設定温度】	居室は各室作用温度で20℃設定。ただし、開放型暖房を模擬したヒーターは、プログラムの制約上、空気温度制御。二段階室温設定のケースでは、就寝時間帯に作用温度18℃設定。
【暖房スケジュール】	居室：住宅事業建築主の判断基準 ⁷⁾ における居室間空調をベースとする。寝室・子供室については、就寝時暖房（就寝前1時間と就寝後2時間）、起床時暖房（起床前1時間）、就寝中暖房のケースも追加 浴室・脱衣室：最初の入浴者の入浴開始30分前から30分間 ⁹⁾ 運転
【内部発熱スケジュール】	人体、照明、機器を住宅事業建築主の判断基準 ⁷⁾ のスケジュールに準じて設定。機器の顕熱発熱は全て対流成分、照明は対流成分70%として入力。潜熱発熱は人体と調理を設定。
【常時換気】	第3種換気：住宅事業建築主の判断基準 ⁷⁾ に準じて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。換気動力は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 ⁷⁾ の风量、スケジュールに則り設定。換気動力は0.3W/(m ³ /h)とした。
【隣室間換気 ⁹⁾ 】	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：28.35kJ/(m ³ ・K) ¹⁰⁾ LDK以外の室：18.9kJ/(m ³ ・K) ¹¹⁾
【開口部遮へい】	昼間（7～18時）はレースカーテンを閉鎖し、夜間（18～7時）はレースカーテン+厚手のカーテンを閉鎖

表-3 ケーススタディの検討ケース

断熱性能	改修前：昭和55年基準相当				
	改修なし	1・2階全体断熱改修			
部分断熱改修範囲および部位		開口部	開口部/床	開口部/床/外壁/天井	
常時換気[回/h]（基準気積）	なし	第3種換気：0.5（全館）			
漏気[回/h]（基準気積）	1.0（全館）	0.25（全館） ^注			
暖房	基準（20℃設定）	B基準	B5	B6	B7
	浴室・脱衣室暖房	B10			
	就寝時/起床時/就寝中暖房	B1/B2/B3			
	就寝中暖房 二段階室温設定（18℃設定）	B4			
居間開放型暖房	B13				
断熱性能	平成4年基準相当	平成25年基準相当	超高断熱		
常時換気[回/h]（基準気積）	第3種換気：0.5（全館）		全熱交換換気：0.5（各居室）		
漏気[回/h]（基準気積）	なし				
暖房	基準（20℃設定）	B14	B15	B16	

注：開口部の気密化や通気止めを想定 ※B基準、B1～B16：ケーススタディを実施した条件 ※断熱改修のケースは、改修後の対象部位の性能が、平成25年基準相当の断熱性能となるよう設定

2 計算の条件設定

計算の設定条件を表2に示す。基本となる条件は住宅事業建築主の判断基準⁷⁾に準じている。隣室間換気や家具などの熱容量は、文献^{9)~11)}を参考に設定しているが、実居住状態を反映した設定は今後の検討課題である。

ケース設定を表3に示す。基準の暖房のケースでは、外皮性能を昭和55年、平成4年、平成25年省エネルギー基準相当としたケース、ドイツ基準(EnEV 2014)を参考に設定した超高断熱のケースで計算を行う。また、昭和55年基準相当の外皮性能から開口部、床、外壁、天井を平成25年基準相当への改修を想定した断熱改修のケースを実施する。換気や漏気は、外皮の断熱性能に応じた設定とする。暖房に関しては、昭和55年基準相当の外皮性能で、浴室・脱衣室を暖房するケース、就寝時、起床時、就寝中に寝室や子供室を暖房するケース、就寝中の暖房設定温度を緩和する二段階室温設定のケースの計算を行う。また、エアコンの代わりに、開放型暖房で居間を暖房することを想定したケースでの計算を行う。

3 エネルギーおよび健康性の評価指標の試算結果

3.1 エネルギー

住戸全体の暖房用一次エネルギー消費量の計算結果を図1に示す。断熱性能、暖房スケジュールや暖房方式に

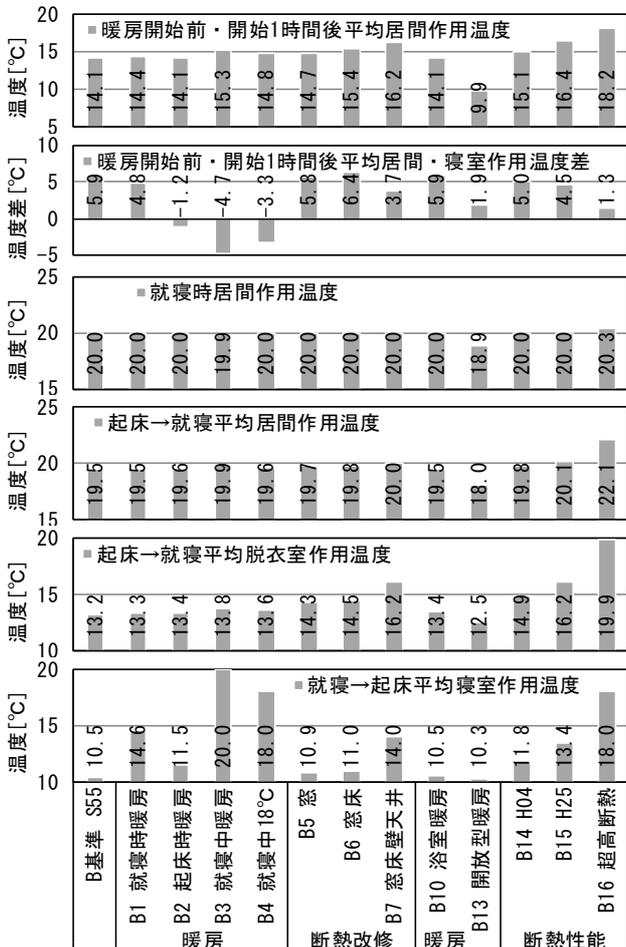


図-2 作用温度計算結果

応じたエネルギー消費量の変化が確認される。

3.2 温熱環境および健康性の評価指標

健康性の評価に用いる作用温度計算結果を図2に示す。

(1) 指標 a 起床時収縮期血圧

図3, 図4に、起床時収縮期血圧の予測結果を示す。

血圧予測値は、断熱性能が高いケースや就寝時間帯に追加的に暖房を行うケースで低くなる。予測値は加齢に伴い上昇する。予測値が家庭血圧高血圧基準135mmHg¹²⁾に達する年齢は、ケース間の差が最大で15歳程度となる。

暖房エネルギー消費量と血圧予測値の関係を、図5に示す。断熱性能向上に伴うエネルギー性能と健康性の向上が確認される。暖房能力が小さい開放型暖房では、居間室温が低下し血圧が上昇するとともに、エネルギーも増加する。適切な暖房方式の選択の必要性が確認される。

(2) 指標 b 夜間頻尿

図6に、夜間頻尿評価に関する居間温度計算結果を示す。開放型暖房で温度が低いが、「暖かい」分類となる。

(3) 指標 c 入浴事故リスク

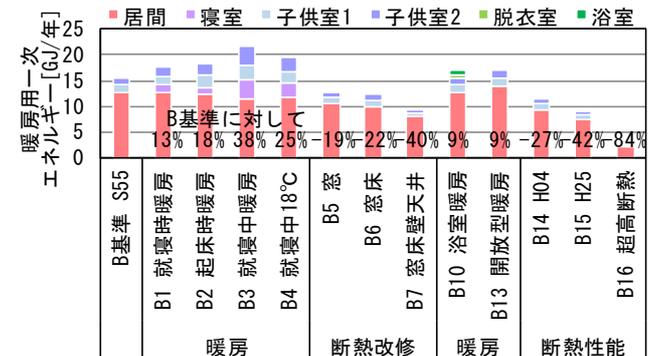


図-1 暖房用一次エネルギー消費量計算結果

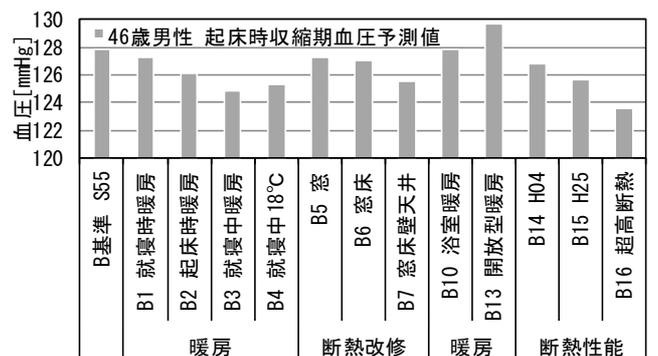


図-3 断熱性能・暖房使用と血圧の予測値の関係

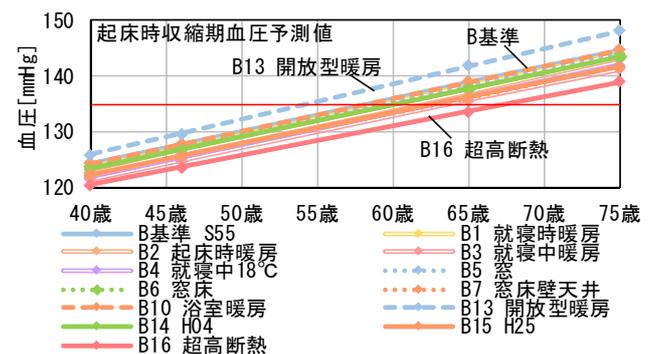


図-4 年齢と収縮期血圧予測値の関係

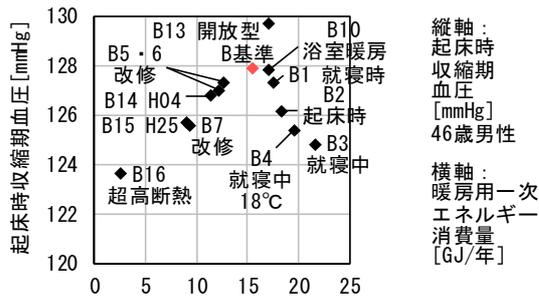


図-5 暖房エネルギー消費量と血圧予測値の関係

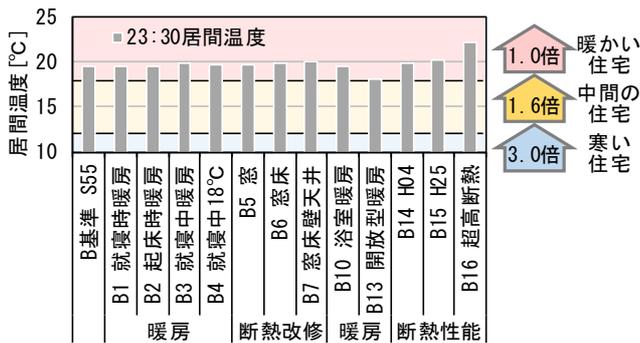


図-6 断熱性能・暖房使用と夜間頻尿の評価

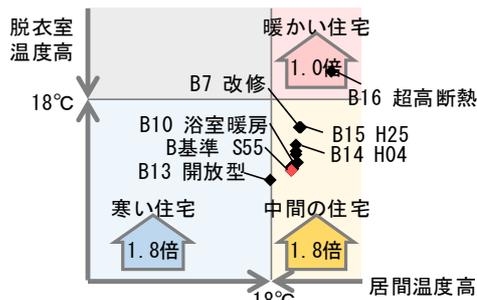


図-7 断熱性能・暖房使用と入浴事故リスクの評価

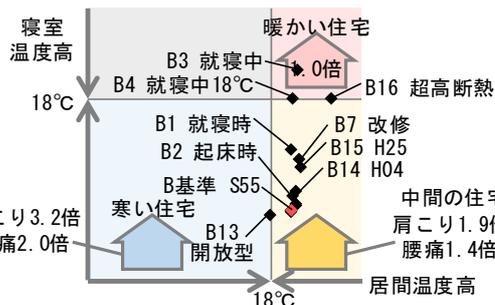


図-8 断熱性能・暖房使用と肩こり・腰痛の評価

図7に、入浴事故リスクに関する住宅の分類を示す。超高温断熱では非暖房室である脱衣室温度が上昇し「暖かい」住宅に分類されること、短時間の浴室・脱衣室暖房の使用は分類の結果に影響しないこと等が確認される。

(4) 指標 d・e 肩こり・腰痛

図8に、肩こり・腰痛に関する住宅の分類を示す。断熱性能向上や暖房使用により寝室温度が上昇し、就寝中に暖房を使用するケースは「暖かい」住宅に分類される。

4 まとめと今後の課題

本報では、住宅の温熱環境計算結果を用いて健康性の評価を行い、その結果を表示する方法の提案を行った。

継続して実施されている全国調査の分析で得られつつある知見¹³⁾では、住宅の床近傍温度と健康性の関連が指摘されている。今後、BEST 住宅版を用いた床表面温度計算の精度確認を行い、評価に反映することが望まれる。

参考文献

- 1) 芹川真緒ら：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，2016.9
- 2) 芹川真緒ら：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8，日本建築学会大会学術講演梗概集，2018.7
- 3) 小林弘造ら：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192）住宅版の概要・機能，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，2017.9
- 4) 飯田玲香ら：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193）住宅版の建築計算方法，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，2017.9
- 5) 二宮博史ら：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194）住宅版の設備計算方法，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，2017.9
- 6) （一社）日本サステナブル建築協会：住宅の断熱化と居住者の健康への影響に関する全国調査第2回中間報告会講演資料，2017.1
- 7) （一財）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
- 8) （一財）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
- 9) 楠崇史ら：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，2012.9
- 10) 豊原範之ら：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 空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報告集，1991.6
- 11) 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
- 12) 日本高血圧学会：高血圧治療ガイドライン2014
- 13) （一社）日本サステナブル建築協会：住宅の断熱化と居住者の健康への影響に関する全国調査第3回中間報告会講演資料，2019.2

注

- 1) 野菜よく食べる，運動・喫煙・降圧剤なし，飲酒毎日，前夜の睡眠の質は良い，前夜の飲酒ありとする。BMI・塩分チェック得点・睡眠時間は全国調査の男性調査対象者の平均値，外気温は全調査対象者の平均値を投入する。

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。研究の実施にあたり、BEST 住宅版開発委員会の協力を得た。