

生活スタイルの変化による住宅におけるエネルギー削減効果の研究
(第5報) 室内温熱環境改善効果の検証

The Energy Reduction Effect due to Lifestyle Changes

Part 5 Investigation of Indoor Thermal Environment Improvement Effect

○学生会員 橋本 侑美 (芝浦工業大学) 学生会員 奥秋 萌々 (芝浦工業大学)
正会員 千葉 麻貴 (当時芝浦工業大学) 技術フェロー 秋元 孝之 (芝浦工業大学)
正会員 近藤 武士 (日建設計総合研究所) 技術フェロー 湯澤 秀樹 (日建設計総合研究所)
正会員 久保 隆太郎 (日建設計総合研究所)

Yumi HASHIMOTO*¹ Momo OKUAKI*¹ Asaki CHIBA *¹ Takashi AKIMOTO*¹

Takeshi KONDO*² Hideki YUZAWA*² Ryutaro KUBO*²

*¹ Shibaura Institute of Technology *² NIKKEN SEKKEI Research Institute

We quantitatively grasp how the indoor thermal environment changes by improving the thermal insulation performance of windows and frames using simulation method. Indoor thermal environment is evaluated by operative temperature and PMV. Moreover, by matching with results of energy conservation of the previous paper, we evaluate both energy conservation and indoor thermal environment.

1.はじめに

前報において、シミュレーションの概要と、エネルギー消費量に関する結果について述べた。本報では、室内温熱環境に関するシミュレーション結果と、得られた結果から窓の断熱性能向上の効果について考察を行う。

2.作用温度 計算結果

作用温度は空気温度に放射の影響を加味した環境温度であり、空気温度よりも体感温度に近いとされるため、作用温度の変化により分析を行った。

2.1 作用温度の経時変化

計算に用いた気象データにおいて、外気が年間最高となる7月25日を夏期代表日、最低となる1月10日を冬期代表日とし、作用温度の1日の経時変化の違いを比較する。H4モデル・現行家電ケースの中側2階と西側3階を代表住戸として、窓の断熱性能により比較を行う。図1に夏期および冬期代表日におけるリビングと廊下の作用温度の経時変化を示す。図中の網掛け部分はリビングでの冷暖房の使用を表すこととする。

リビングは夏期の冷房停止時に作用温度の上昇が、冬期の暖房停止時には作用温度の低下が見られ、いずれについても冷暖房停止時間が長いほど大きく変化する。空調停止時の夏期の15時では中側2階は0.9[°C]、西側3階は1.9[°C]作用温度が上昇しており、住戸位置の違いが明らかになった。夏期よりも冬期で窓の違いによる作用温度の差が大きく、冬期の暖房稼働前の5時で、アルミ単

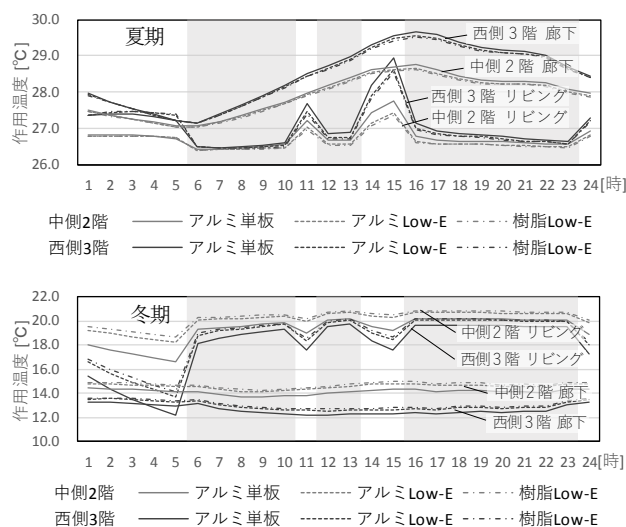


図1 夏期・冬期代表日における作用温度の経時変化

板に比べアルミ Low-E は約 1.5[°C]、樹脂 Low-E では約 1.9[°C]高く、窓の断熱性能向上により夜間作用温度の低下が抑制されていることが分かる。廊下は窓が設置されていないが、隣接する居室の影響により、窓の断熱性能向上で約 0.5[°C]作用温度低下が抑制される。

2.2 部屋移動による作用温度の変化

部屋を移動した際に居住者が経験する作用温度差の比較を行う。部屋間での作用温度の違いは、ヒートショックの原因となる可能性があり、特に非空調の部屋における作用温度の低下を軽減することが重要である。

本検討では、①暖房の効いた寝室から暖房稼動前のリビングまでの移動、②暖房の効いたリビングから浴室までの移動の2種類について比較する。想定時間は①起床時として6時、②就寝前として22時とする。

まず住戸位置の違いで比較を行う。H4モデル・現行家電ケースの結果から、各窓パターン時の作用温度差を住戸位置別に比較する。図2に①の移動による作用温度差を、図3に②の移動による作用温度差を示す。9住戸のうち、東側1階・中側2階・西側3階の3住戸を代表住戸とする。なお、西側住戸は寝室およびリビングが、東側住戸では洗面所および浴室が、外壁に面している。

住戸位置では、①および②の移動に含まれる全ての部屋において中側2階の作用温度が最も高いことが確認できる。外壁に面する部屋は、非空調時に他の住戸位置で外壁に面さない同じ部屋よりも2.7~5.2[°C]作用温度が低くなっている。部屋移動で経験する作用温度の最高温度と最低温度の差を比較すると、いずれの窓性能でも①は東側1階で4.8[°C]、中側2階で5.5[°C]、西側3階で6.1[°C]となり、作用温度の差が中側2階で小さく、西側3階で大きい。②では東側1階で8.6[°C]、中側2階で6.1[°C]、西側3階で7.2[°C]となり、中側2階で小さく東側1階で大きい。よって外壁に面する部屋は非空調時作用温度の低下が大きく、部屋移動によるリスクが大きいといえる。

次に窓および躯体の断熱性能の違いで比較を行う。各躯体モデル・現行家電ケースの結果から、①はリビングの作用温度が最も高い中側2階と最も低い西側3階、②は浴室の作用温度が最も高い中側2階と最も低い東側3階で、窓の性能別に比較を行う。図4および図5に①の移動、図6および図7に②の移動による作用温度差を示す。なお窓はリビング・寝室・子供部屋1・2の4部屋の南あるいは北面に配置されており、住戸位置による違いはない。

①では窓の断熱性能向上でリビングの作用温度が上昇しており、アルミ単板から樹脂Low-Eの変化量はS55モデルで1.5[°C]、H4モデルで2.0[°C]、H25モデルで2.3[°C]と、躯体の断熱性能が高いほど作用温度が上昇した。②では暖房の効いたリビング以外の部屋は窓がないため、窓の断熱性能向上による作用温度の変化は小さいものの、①と同様に躯体の断熱性能が高いほど作用温度がより上昇することが確認できる。これは、H25モデルのように躯体と比較して窓の断熱性能が劣る場合、窓の断熱性能向上によって熱の流出部を塞ぐことができるために、作用温度の低下防止も実現できる。廊下や浴室等の窓のない部屋においては、窓よりも躯体の断熱性能向上の方が作用温度が上昇している。リビングと子供部屋1以外の移動では必ず廊下を経由する必要があるため、部屋移動による作用温度差を小さくするためには、窓よりも躯体の断熱性能を向上させることが重要と考える。

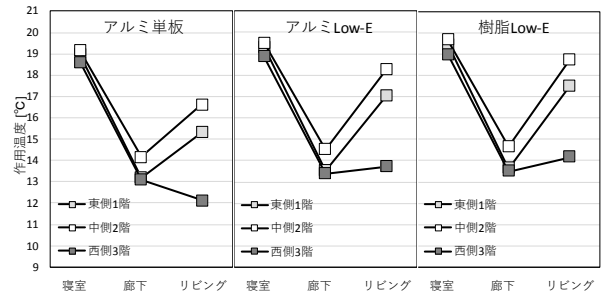


図2 寝室からリビングへの移動による作用温度差 (住戸位置による比較)

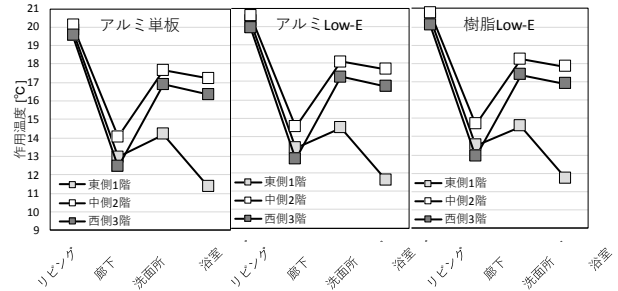


図3 リビングから浴室への移動による作用温度差 (住戸位置による比較)

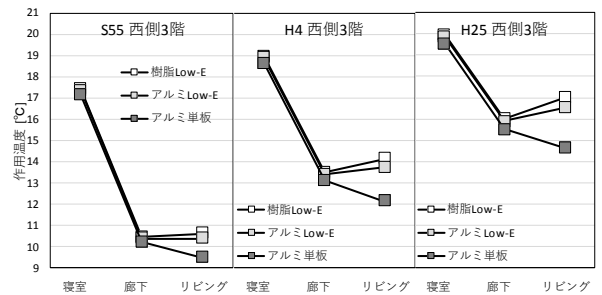


図4 寝室からリビングへの移動による作用温度差(西側3階)

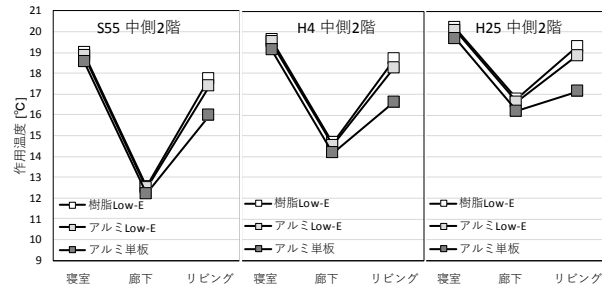


図5 寝室からリビングへの移動による作用温度差(中側2階)

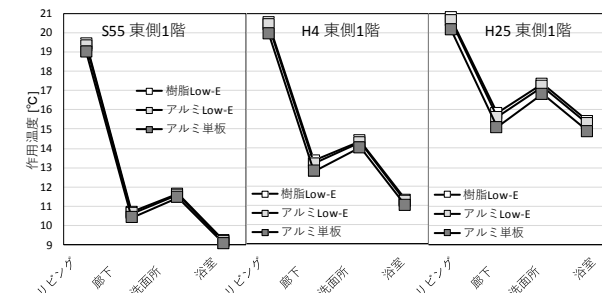


図6 リビングから浴室への移動による作用温度差(東側1階)

3. 許容温度差時間 計算結果

居住者の健康リスクと室内温熱環境との関係について定量的な根拠は見つかっていないが、イギリスでは冬期の住宅内温度指針として 18[°C]が最低推奨気温とされている。本研究では、暖房期間において作用温度が 18[°C]を下回った際の 18[°C]からの温度差と時間を乗じて累計し、これを許容温度差時間と定義する。許容温度差時間を算出する際に対象とする時間は、在室者のいる時間として、在室スケジュールを設定していない廊下では在宅者のいる全ての時間とした。各躯体モデル・現行家電ケースで窓性能別に比較を行う。図 8 に代表住戸の東側 1 階・中側 2 階・西側 3 階における許容温度差時間を示す。

窓および躯体の断熱性能向上によって、いずれの住戸位置でも許容温度差時間が減少しており、作用温度が 18[°C]を下回りにくくなっていることを確認した。許容温度差時間が 3 住戸で最も大きいのは S55 モデルでは西側 3 階、H4 モデルでは東側 1 階であり、H25 モデルでは 2 住戸で同程度となっている。外壁に面する部屋は、西側住戸は空調室 2 部屋、東側住戸は空調室 2 部屋と非空調室 2 部屋であることから、H4 モデルの断熱性能では非空調室よりも空調室の作用温度低下をより抑制していると考えられる。

4. PMV 計算結果

PMV 算出にあたり、気温、湿度、MRT は計算値を用い、その他は風速 0.1[m/s]、代謝量 1.2[met]、着衣量は夏期は 0.5[clo]、冬期は 1.0[clo]とした。

各住戸において PMV が快適範囲(PMV±0.5 以内)となる時間数を求め、それぞれの対象時間中の割合を算出する。対象時間は在室者のいる時間とし、在室スケジュールを設定しない廊下では在宅者のいる全ての時間とした。各躯体モデル・現行家電ケースで窓性能別に比較を行う。図 9 に年間で PMV が快適範囲となる割合、図 10 には夏期(冷房運転期間)と冬期(暖房運転期間)において PMV が快適範囲となる割合を示す。

年間の快適範囲の割合では、躯体の断熱性能が高くなるほど PMV が快適範囲となる割合が増加することを確認した。また、東側および西側の妻側住戸よりも、中側住戸は快適範囲となる割合は大きく、S55 モデルの結果と比較すると、東側 1 階および西側 3 階は 27~34[%]であるのに対し、中側 2 階では 38~42[%]となっている。この中側 2 階の結果は、H4 モデルの東側 1 階および西側 3 階とほぼ同等の値であり、中側住戸は妻側住戸よりも快適になりやすいといえる。窓性能で比較すると、S55 モデルと H4 モデルでは窓の断熱性能が高くなるほど快適範囲の割合が増加したのに対し、H25 モデルでは概ね同等であった。

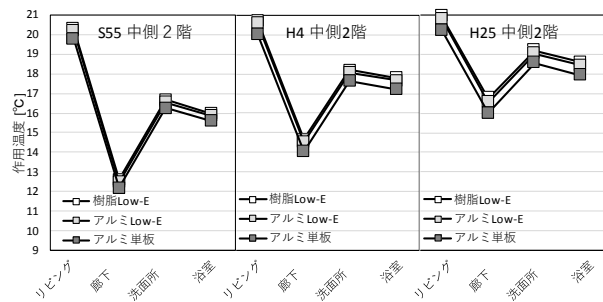


図 7 リビングから浴室への移動による作用温度差(中側 2 階)

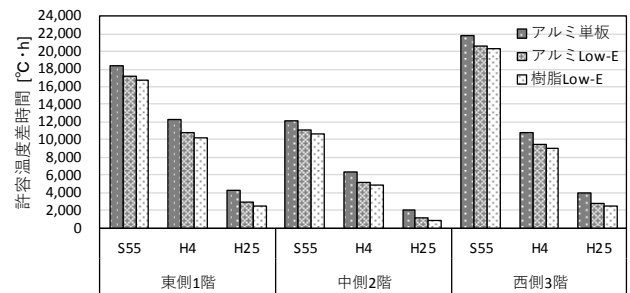


図 8 許容温度差時間の比較

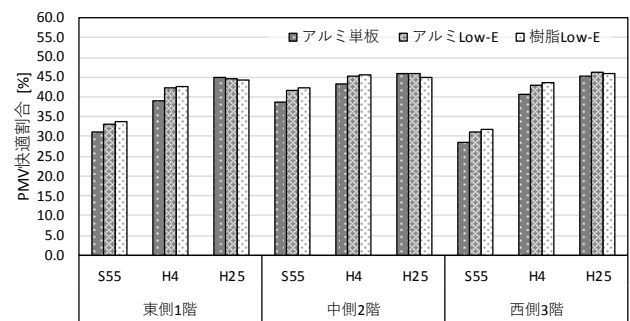


図 9 PMV が快適範囲となる時間数割合(年間)

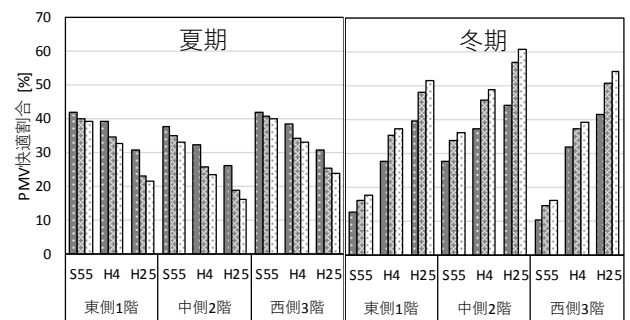


図 10 PMV が快適範囲となる時間数割合(時期別)

夏期および冬期の快適範囲の割合では、冬期は躯体および窓の断熱性能が高くなるほど快適範囲の割合も増加することを確認した。一方、夏期は躯体および窓の断熱性能が高くなるほど快適範囲の割合は減少している。躯体や窓の断熱性能を向上させると室内の熱の流出が抑制され、外気温度が低下した夜間などにも外気表面温度の低下が抑制されたためと考えられる。

5. エネルギー消費量と室内温熱環境の関係

5.1 暖房エネルギー消費量と許容温度差時間

窓パターンの違いによるエネルギー消費量と室内温熱環境について検討する。図 11 に現行家電ケースにおける代表住戸の暖房エネルギー消費量と許容温度差時間の関係を示す。縦軸を許容温度差時間、横軸を暖房エネルギー消費量とし、いずれも減少するほど良い結果を表す。

窓および躯体の断熱性能向上により、いずれの住戸位置でも暖房エネルギー消費量、許容温度差時間ともに減少していることが確認できる。3 住戸の中で暖房エネルギー消費量、許容温度差時間ともに最も大きいのは西側 3 階であるが、S55 モデル・アルミ単板から H25 モデル・樹脂 Low-E へ窓と躯体の断熱性能を高めることによって暖房エネルギー消費量は 69.3%減少、許容温度差時間は 89.0%減少している。このことから、温熱環境が不利な住戸位置であっても断熱性能の向上によって、暖房エネルギー消費量を削減し、室内温熱環境の向上が可能といえる。

5.2 年間一次エネルギー消費量と PMV 快適範囲割合

冬期だけでなく年間を通しての検討を行うために、年間一次エネルギー消費量と PMV によって、エネルギー消費と室内温熱環境の関係を比較する。図 12 に現行家電ケースでの代表住戸の年間一次エネルギー消費量と PMV が快適範囲となる時間数割合の関係を示す。縦軸を PMV が快適範囲となる時間数割合、横軸を年間一次エネルギー消費量とし、縦軸は増加するほど良い結果、横軸は減少するほど良い結果を表す。

窓および躯体の断熱性能向上により、年間一次エネルギー消費量は減少、PMV が快適範囲となる時間数割合は増加する傾向が見られる。ただし 3. で述べたとおり、H25 モデルまで躯体の断熱性能を上げると、窓の断熱性能を向上させた際に PMV が快適範囲となる時間数割合はほとんど変わらない。それでも断熱性能の最も低い S55 モデル・アルミ単板と最も高い H25・樹脂 Low-E を各住戸位置で比較すると、中側 2 階で 15.9%、東側 1 階で 41.6%、西側 3 階で 61.4%PMV が快適範囲となる時間数割合が増加しており、より快適な室内温熱環境を実現している。年間一次エネルギー消費量に占める割合は冷房よりも暖房が大きいため、断熱性能向上によって PMV が快適範囲となる時間数割合は変わらない場合にも、年間一次エネルギー消費量は削減されていることが確認された。

6. まとめ

窓の断熱性能向上により、リビングの作用温度が冬期代表日には最大で 1.9[°C]上昇し、夏期代表日には最大で 0.4[°C]低下した。また、部屋間での作用温度差は小さくなった。躯体の断熱性能向上による冬期の作用温度低下の抑制効果は、窓の断熱性能向上時よりもさらに大きく、窓

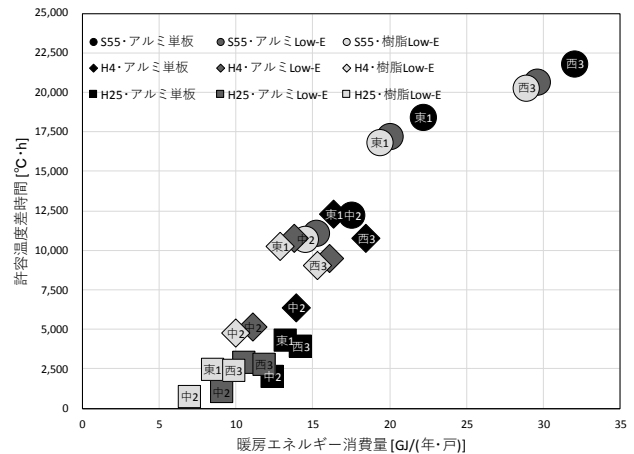


図 11 暖房エネルギー消費量と許容温度差時間の関係

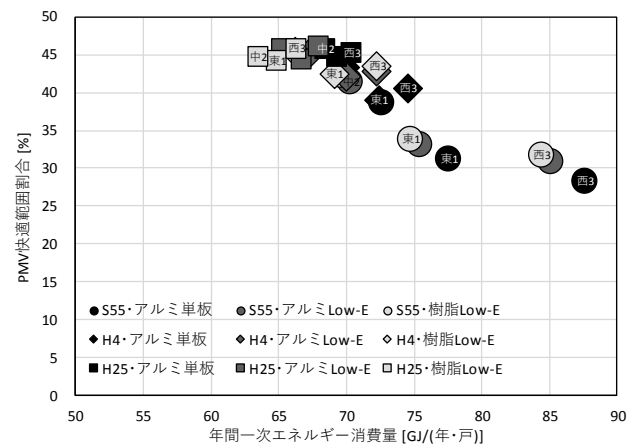


図 12 年間一次エネルギー消費量と PMV が快適範囲となる時間数割合の関係

の小さい部屋で特に変化が見られた。作用温度が高く保たれることで PMV も快適範囲となりやすいため、冬期の快適範囲の時間数は増加した。窓および躯体の断熱性能向上で暖房エネルギー消費量は減少することから、冬期においてはエネルギー消費量、室内温熱環境ともに改善が確認できた。ただし夏期には室内の熱が流出しにくくなることで、PMV が快適範囲の時間数は減少し、冷房エネルギー消費量は増加した。夏期においてエネルギー消費量を削減し、室内温熱環境を向上させるためには、室内に熱を取り込まないための対策が必要となる。年間では、窓および躯体の断熱性能向上によって年間一次エネルギー消費量、室内温熱環境ともに概ね改善が見られた。

【謝辞】

本研究の一部は、塩ビ工業・環境協会に設置された「ZEB・ZEHの実現を考える会」(委員長：芝浦工業大学 秋元孝之)の活動の一環として実施されたものである。ここに謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 英国保健省イングランド公衆衛生庁「イングランド防寒計画 (Cold Weather Plan for England) 2015.10」