

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117）

非空調空間の拡張外壁置換法の精度検証

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part 117)

Modification and Accuracy Validation of the Exterior Wall Replacement Method for Non-Air-Conditioning Zone

正会員 ○木本 慶介（大林組） 技術フェロー 石野 久 彌（首都大学東京名誉教授）
 技術フェロー 郡 公子（宇都宮大学） 正会員 佐藤 誠（佐藤エネルギーリサーチ）
 特別会員 村上 周三（建築環境・省エネルギー機構）

Keisuke KIMOTO*¹ Hisaya ISHINO*² Kimiko KOHRI*³ Makoto SATOH*⁴ Shuzo MURAKAMI*⁵

*¹ Obayashi Corporation *² Tokyo Metropolitan University *³ Utsunomiya University

*⁴ Satoh Energy Research *⁵ Institute for Building Environment and Energy Conservation

In this paper, we modify "the exterior wall replacement method of non-air-conditioning zone" as the calculation technique of thermal load calculation that we already proposed. As a result, this method can take into consideration the influence of solar radiation, heat generation from a number of outer wall in a non-air-conditioning room. Accuracy validation was performed that the result with the exterior wall replacement method was close to that of a large number room calculation.

1. 序

既報¹⁾にて熱負荷計算における空調室に隣接する非空調室から空調室への熱的影響の仮定法として、外壁置換法を提案した。しかし、外壁置換法では非空調室の窓の透過日射を考慮できない、非空調室の外壁方位は一方位で代表させなければならない等の課題も存在した。そこで、上記課題を解決すべく外壁置換法の拡張（以下、拡張外壁置換法と呼ぶ）を行った²⁾。本報では、拡張外壁置換法の精度検証を行ったので報告する。

2. 拡張外壁置換法の概念と理論

2.1 概念

図1に拡張外壁置換法の概念図を示す。拡張外壁置換法は、隣接する非空調室を、空調室の一部として熱負荷計算を行う手法である。具体的には、非空調室の外皮面積、換気量、内部発熱量を空調室にあるものとして換算を行う。換算にあたり、外壁面積、窓面積、換気量、内部発熱の置換係数を提案する。

2.2 理論

表1に理論式を示す。拡張外壁置換法は、非空調室の定常熱平衡式（表1(1)式）を基としている。非空調室の定常熱平衡式より求めた非空調室の室温と空調室に隣接する非空調室の内壁*i*からの貫流熱負荷を算出する過程で、式(5)のような変換を行う。変換を行う過程で、非空

調室の外壁面積、窓面積、換気量、内部発熱の置換係数 f_i を導入する。ここで、 f_i は非空調室の熱損失係数のうち内壁*i*から損失する比率であり、この f_i を非空調室の外壁面積、窓面積、換気量、内部発熱に乘じることで、非空調室の外壁面積、窓面積、換気量、内部発熱を空調室にあるように換算することが可能となる。

2.3 拡張外壁置換法による入力データの置換表

表2に拡張外壁置換法による熱負荷計算プログラムへの入力データの置換表を示す。計算者は置換係数 f_i を算出し、非空調室の外壁面積、窓面積、換気量、内部発熱量に f_i を乗じた値をプログラムに入力する。ここで、表2の f_i は瞬時値、 \bar{f}_i は期間平均値を示している。これは、拡張外壁置換法が定常熱平衡式を基としていることから、換気が間欠の場合でも、算出される f_i は連続換気時の値であることから、その補正を行うためである。

3. 拡張外壁置換法の精度検証

拡張外壁置換法の精度検証として、多数室計算法³⁾（空調室、非空調室の相互影響を考慮した室内温湿度状態、熱負荷を時刻毎に計算する方法）との比較を行った。計

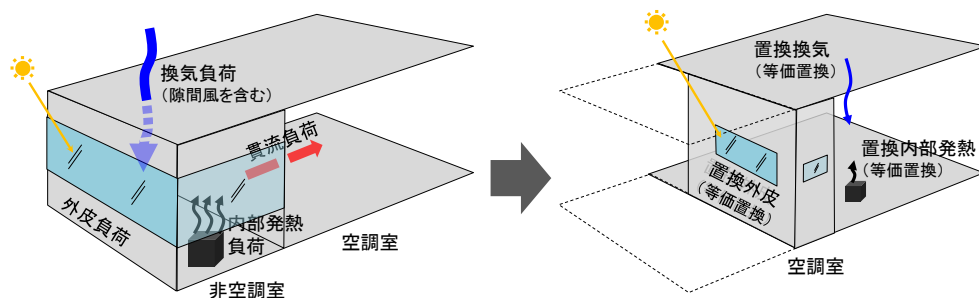


図1 外壁置換法の概念図（断面）

算プログラムはBESTを用い、最大冷暖房負荷、年間熱負荷積算値、時刻別熱負荷の比較を行った。

3.1 計算概要

図2、表3に計算モデルの概要を示す。また、計算に利用した気象データを表4に示す。計算モデルは、拡張外壁置換法の特徴を明確にするため、非空調室、空調室が1室ずつの単純なモデルで検証を行った。また、非空調室から空調室への熱的影響を検証するため、空調室の内壁は、非空調室に接する部分のみとし、通常想定される空調室の外気導入や照明負荷等は無いものとした。

3.2 計算条件

図1、表1の基本式より、拡張外壁置換法の計算結果への影響因子を非空調室の換気、内部発熱、熱容量、換気・内部発熱スケジュール、空調運転時間とした。表5に計算ケースを示す。換気は、換気の有無、換気空気の種類(外気、パス換気)の違いによる検証、内部発熱は、内部発熱の有無、熱容量は内壁の仕様を変更した場合の検証、換気・内部発熱スケジュール、空調運転時間については、連続(24時間)、間欠(9-18時)の場合の検証を行った。

3.3 計算結果

表6に各ケースの拡張外壁置換法による置換係数、図2、3に各ケースの最大熱負荷、年間熱負荷積算値、年間時刻別熱負荷相関結果を示す。各因子の比較対象となるケース①に着目すると、最大負荷計算、年間熱負荷積算値ともに拡張外壁置換法は、多数室計算法と概ね一致した結果となっている。また、年間時刻別熱負荷相関に着目すると、決定係数R²値が0.98と非常に高い相関が得られている。最大熱負荷に関して、拡張外壁置換法の負荷変動が多数室計算法に比べ、大きくなっている。この理由として、拡張外壁置換法が非空調室を空調室の一部としているため、非空調室の内壁による遅れを十分に再現できていないことが挙げられる。

(1) 換気による影響

ケース②に着目すると、最大熱負荷、年間熱負荷積算共に拡張外壁置換法は、多数室計算法と概ね一致している。

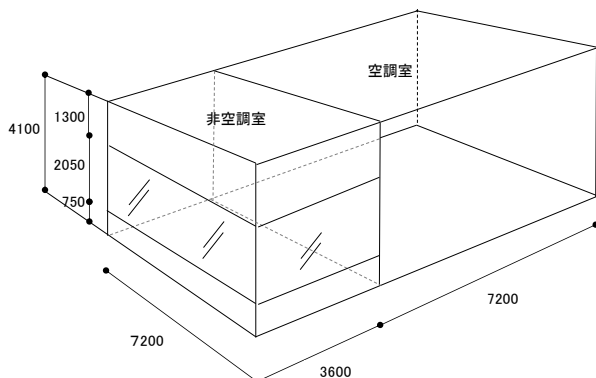


図2 モデルビルの概要

表1 拡張外壁置換法の理論式

ある非空調室の熱平衡式は、

$$\sum_j U_j \cdot A_j (SAT_j - t_a) + (\sum_g U_g \cdot A_g + c_p \cdot \rho \cdot V_o)(t_o - t_a) + q_m + K(t_r - t_a) = 0 \quad \dots (1)$$

$$K = \sum_i U_i \cdot A_i + c_p \cdot \rho \cdot V_r \quad \dots (2)$$

非空調室の室温は、

$$t_a = \left\{ \sum_j U_j \cdot A_j \cdot SAT_j + (\sum_g U_g \cdot A_g + c_p \cdot \rho \cdot V_o) t_o + q_m + K \cdot t_r \right\} / (\sum_j U_j \cdot A_j + \sum_g U_g \cdot A_g + c_p \cdot \rho \cdot V_o + K) \quad \dots (3)$$

非空調室の内壁iから空調室への貫流熱負荷は、

$$q_i = U_i \cdot A_i (t_a - t_r) \quad \dots (4)$$

ここで、式(3)で求めたt_aを式(4)に代入すると、

$$q_i = U_i \cdot A_i \left\{ \sum_j U_j \cdot A_j (SAT_j - t_r) + (\sum_g U_g \cdot A_g + c_p \cdot \rho \cdot V_o)(t_o - t_r) + q_m \right\} / (\sum_j U_j \cdot A_j + \sum_g U_g \cdot A_g + c_p \cdot \rho \cdot V_o + K)$$

$$= f_i \left\{ \sum_j U_j \cdot A_j \cdot (SAT_j - t_r) + (\sum_g U_g \cdot A_g + c_p \cdot \rho \cdot V_o)(t_o - t_r) + q_m \right\}$$

$$= \sum_j U_j \cdot f_i \cdot A_j \cdot (SAT_j - t_r) + (\sum_g U_g \cdot f_i \cdot A_g + c_p \cdot \rho \cdot f_i \cdot V_o)(t_o - t_r) + f_i \cdot q_m \quad \dots (5)$$

ここに、

$$f_i = U_i \cdot A_i / (\sum_j U_j \cdot A_j + \sum_g U_g \cdot A_g + c_p \cdot \rho \cdot V_o + K) \quad \dots (6)$$

と表すことができる。

【記号】サフィックスi: 内壁番号, サフィックスj: 外壁番号, A: 面積[m²], c_p: 空気の定圧比熱 (=1005)[J/(kg·K)], f_i: 非空調室の熱損失係数のうち内壁iから損失する比率[-], K: 非空調室の空調室側熱損失係数[W], ρ: 空気の密度(=1.2)[kg/m³], q: 非空調室iの貫流熱負荷[W], q_m: 非空調室の内部発熱[W], SAT: 相当外気温度[°C], t_a: 非空調室の室温[°C], t_o: 外気温[°C], t_r: 空調室の室温[°C], U: 熱貫流率 [W/(m²·K)], V_o: 非空調室の換気風量 [m³/s], V_r: 空調室から非空調室へのパス換気風量[m³/s]

表2 外壁置換法による入力データの置換係数

置換係数f _i	$U_i \cdot A_i / (\sum_j U_j \cdot A_j + \sum_g U_g \cdot A_g + c_p \cdot \rho \cdot V_o + K)$
置換外壁面積	$\bar{f}_i \cdot A_j$
置換窓面積	$\bar{f}_i \cdot A_g$
置換換気量	$\bar{f}_i \cdot V_o$
置換発熱量	$\bar{f}_i \cdot q_m$

表3 計算条件

空調室 (50m ²)	空調	設定温湿度: 夏期26°C/60%, 冬期22°C/40%
	内壁	運転時間: 9-18時 石膏ボード12mm+中空層+石膏ボード12mm、面積: 30m ²
非空調室 (25m ²)	外壁1	コンクリート150mm、面積: 15m ² 方位: 南
	外壁2	コンクリート150mm、面積: 7.5m ² 方位: 東
	窓1	単盤フロートガラス8mm、面積: 15m ² 方位: 南
	窓2	単盤フロートガラス8mm、面積: 7.5m ² 方位: 東
	内部発熱	換気(外気) 換気回数: 5回/h、運転時間: 9-18時 10W/m ² 、発熱時間: 9-18時

表4 熱負荷計算に用いた気象データ

地点	東京	
最大熱負荷計算	暖房用	t-x 外気温と絶対湿度が厳しく、ある程度の日射量がある
		t-Jh 日最高気温が低く、湿度はやや高め、日射量は小さい
		h-t エンタルピー、気温が厳しく、天空日射量が比較的大きい
	冷房用	l-c-t 水平面、西面、東面日射量が比較的大きい、気温も厳しい
		J-s-t 10月の南面日射の強いデータ
年間熱負荷計算	実在年データ (2006年, BEST1分値データ)	

表5 計算ケース

因子 (水準)	ケース									
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
非空調室の換気 (無/有(外気/パス換気))	無	有 (外気)	無	無	有 (外気)	無	無	有 (外気)	無	有 (パス換気)
非空調室の窓 (無/有)	無	無	有	無	無	有	有	有	無	無
非空調室の内部発熱 (有/無)	無	無	無	無	無	無	無	無	有	無
内壁の熱容量 (大/小)	小	小	小	小	小	小	大	小	小	小
非空調室の換気・内部発熱 スケジュール(連続/間欠)	連続	連続	連続	間欠	間欠	間欠	間欠	間欠	間欠	間欠
空調運転時間 (連続/間欠)	連続	連続	連続	間欠	間欠	間欠	間欠	間欠	間欠	間欠
設定条件	非空調室の換気：外気、パス換気の換気量は530m ³ /hとした。 非空調室の内部発熱：10W/m ² とした。 内壁の熱容量：大はコンクリート、小は石こうボード+中空層+石こうボードとした。 非空調室の換気・内部発熱スケジュール、空調運転時間：連続は24時間、間欠は9~18時とした。									

表6 外壁置換法による各ケースの置換係数と置換した熱負荷計算プログラムへの入力値

計算モデル デフォルト値	ケース										
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	
$f_i (\bar{f}_i)$	-	0.29	0.24	0.24	0.29	0.17 (0.23)	0.24	0.29	0.15 (0.19)	0.29	0.23

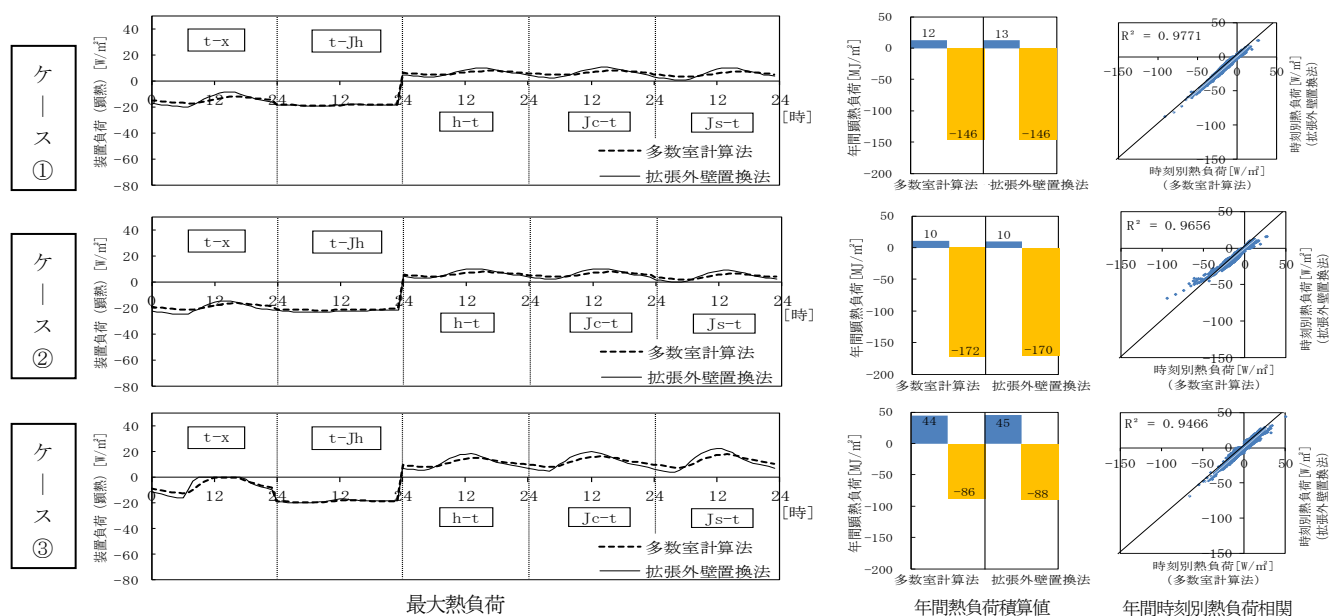


図2 ケース①~③の計算結果

また、ケース⑤、⑩についても、換気量を期間平均することで、置換外壁面積が過大となることを抑え、多数室計算と概ね一致している。

(2) 窓による影響

ケース③、⑥、⑧に着目すると、最大熱負荷、年間熱負荷積算値とも多数室計算法と概ね一致している。年間の時刻別熱負荷相関では、決定係数 R^2 値が 0.95 と非常に高い相関が得られており、外壁置換法の拡張により、窓の透過日射の影響を再現できている。

(3) 内部発熱による影響

ケース⑨に着目すると、最大熱負荷、年間熱負荷積算値とも多数室計算法と概ね一致しており、内部発熱の影響を再現できている。

(4) 熱容量による影響

ケース⑥、⑦に着目すると、ケース⑦では最大熱負荷

では、多数室計算に比べ一日の負荷変動が大きくなっていることがわかる。また、年間の時刻別熱負荷相関も R^2 が 0.88 とケース⑥に比べ、ばらつきが大きくなっている。この理由は、前述のように拡張外壁置換法が非空調室を空調室の一部としているため、非空調室の内壁による遅れを十分に再現できていないためである。熱容量が大きい内壁の場合、誤差が大きくなることもある。

(5) 換気・内部発熱スケジュール、空調運転時間による影響

ケース①~③に着目すると、換気・内部発熱スケジュール、空調運転時間が連続の場合、最大熱負荷、年間熱負荷積算値とも多数室計算に近い結果が得られている。年間熱負荷積算値はほとんどのケースで多数室計算法との誤差が 5%程度となっている。また、ケース④~⑩のような換気・内部発熱スケジュール、空調運転時間が間欠の場合にも、多数室計算に近い結果が得られている。

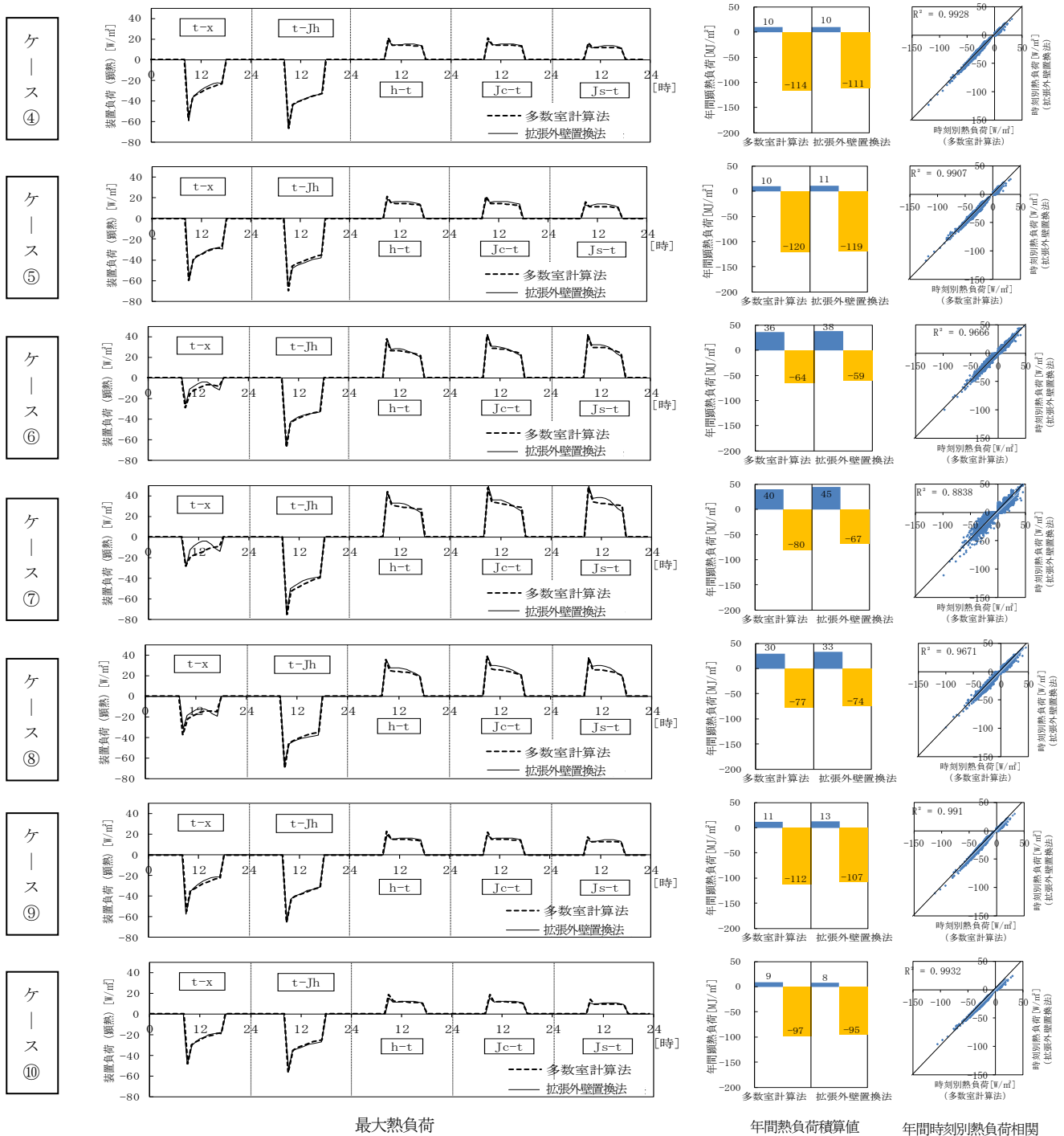


図3 ケース④～⑩の計算結果

4. 結

外壁置換法の拡張を行い、非空調室を空調室の一部とするための換算係数 f_i を導入することで、窓からの透過日射の計算、外壁が複数方位ある場合の計算が可能となった。モデルビルで精度検証を行い、外壁置換法が多数室計算に近い結果が得られることを示した。

【謝辞】本報は、(財)建築環境・省エネルギー機構内に設置された産官学連携による環境負荷削減のための建築物の総合的なエネルギー消費算出ツール開発に関する「BEST コンソーシアム」・「BEST 企画委員会(村上周三委員長)」および専門版開発委員会(石野久彌委員長)、行政支援ツール開発委員会(坂本雄三委員長)、統合化WG(石野久彌主査)の活動成果の一部であり、関係各位に謝意を表するものである。統合化WG名簿(順不同) 主査:石野久彌(首都大学東京名誉教授)、委員:一ノ瀬雅之(首都大学東京)、内海康雄(宮城高等専門学校)、大西晴史(関

電工)、木下泰斗(日本板硝子)、木本慶介(大林組)、工月良太(東京ガス)、郡公子(宇都宮大学)、孤田英晴(鹿島建設)、佐藤誠(佐藤エネルギーリサーチ)、芝原崇慶(竹中工務店)、新武康(清水建設)、菅長正光(菅長環境設備事務所)、田中拓也(大成建設)、長井達夫(東京理科大学)、二宮秀典(鹿児島大学)、野原文男、長谷川巖、二宮博史、丹羽勝巳、久保木真俊、田端康宏(以上、日建設計)、保木栄治(東京電力)、柳井崇、品川浩一(日本設計)、事務局:生稻清久、石田真理(以上、建築環境・省エネルギー機構)

【参考文献】

- 1) 木本慶介、石野久彌、郡公子、佐藤誠、村上周三:熱負荷計算における非空調空間の仮定法に関する研究 第1報 外壁置換法の提案、空調調和・衛生工学会論文集、2013.6
- 2) 木本慶介、石野久彌、郡公子、佐藤誠、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41報 非空調空間の改良外壁置換法、日本建築学会大会学術講演梗概集、2013
- 3) 郡公子、石野久彌、長井達夫、村上周三:建築総合エネルギーシミュレーションツール BEST のための建築熱シミュレーション法に関する研究、空調調和・衛生工学会論文集、2010