

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32報 非空調空間の外壁置換法の提案

BEST 非空調室 隣室温度差係数 正会員 同 石野久彌*2
同 郡公子*3 同 村上周三*4

1. はじめに

熱負荷計算において、空調室に隣接する非空調室からの熱負荷計算法として、隣室温度差係数を与える手法¹⁾が広く用いられている。この手法は、非空調室の室温変動要因(換気、日射、内部発熱)の空調室への影響を十分に考慮できるとは言い難い。そこで、これらの影響を考慮できる新たな計算手法“外壁置換法”を提案する。

外壁置換法は、非空調室とその内外壁を、空調室側から“空調室と非空調室の間の内壁+空気層+非空調室外壁”と一体化した仮想の外壁に置換し、その外壁の面積、日射吸収率、及び空調室の設定室温を補正して非空調室の室温変動要因を考慮する手法である。

本手法の特徴は、既往の熱負荷計算プログラムの入力値に、補正係数を乗じるだけで計算できる点にある。

2. 外壁置換法の理論

図1に外壁置換法の概念図を示す。外壁置換法は、空調室に隣接する非空調室を、空調室に面する仮想の外壁に置換することにより、非空調室の室温変動要因を考慮する方法である。表1に理論式を示す。非空調室の定常熱平衡式を式(1)に示す。非空調室の室温について解くと、式(3)が得られ、式(4)に示す非空調室への内壁貫流熱負荷の式に代入すると式(5)となる。さらに換気の有無により整理し、表2に示す補正係数を導入すると式(12)が得られる。式(12)より、非空調室とその内外壁を一体化した外壁に置換したことになる。 f_j, f_v が時刻により変動しない値とすれば、表2に示す補正係数により、外壁の面積・空調室の設定室温・日射吸収率を補正するだけで、その影響を考慮できる。

表2 外壁置換法の補正係数^{*2}

基本式 ^{*3}	$q = C_1 \cdot \sum_k U_k \cdot \sum_i A_i \left(t_o - C_2 \cdot t_r + C_3 \cdot \frac{al}{h_o} \right)$	
換気	無	有
C_1 (面積補正係数)	$\frac{\sum U_i}{\sum U_k} \cdot \sum f_j$	$\frac{\sum U_i}{\sum U_k} \cdot \left(\sum f'_j + f'_v \right)$
C_2 (設定室温補正係数)	$\Phi \cdot \left(1 - \frac{f'_v \cdot q_{in}}{\sum f_j \cdot t_r} \right)$	$\Phi \cdot \left(1 - \frac{f'_v}{\sum f'_j + f'_v} \cdot \frac{q_{in}}{c_p \cdot \rho \cdot V_o \cdot t_r} \right)$
C_3 (日射吸収率補正係数)	1	$\frac{\sum f'_j}{\sum f'_j + f'_v}$
f_j, f'_j	$f_j = U_j \cdot A_j / \left(\sum_j U_j \cdot A_j + K \right)$	$f'_j = U_j \cdot A_j / \left(\sum_j U_j \cdot A_j + c_p \cdot \rho \cdot V_o + K \right)$
f_v, f'_v	$f_v = 1 / \left(\sum_j U_j \cdot A_j + K \right)$	$f'_v = c_p \cdot \rho \cdot V_j / \left(\sum_j U_j \cdot A_j + c_p \cdot \rho \cdot V_o + K \right)$

*2 非空調室の換気量が多く、隣室温度が外気に近くなるような場合は、隣室温度差係数を与える方法の適用が望ましい。

*3 非空調室の外壁の方位は一方方向のみとし、非空調室の外壁の日射吸収率と同じ値とする。

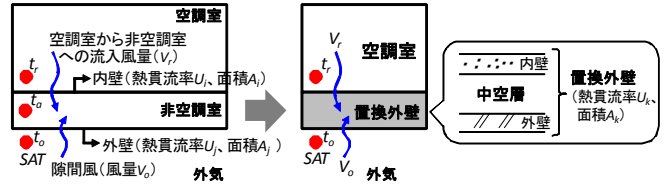


図1 外壁置換法の概念図(平面)

表1 外壁置換法の理論式

非空調室の定常熱平衡式は、

$$\sum_j U_j \cdot A_j (SAT - t_o) + c_p \cdot \rho \cdot V_o (t_o - t_a) + q_{in} + K(t_r - t_a) = 0 \quad \dots (1)$$

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

非空調室の室温は、

$$t_a = \frac{\sum_j U_j \cdot A_j \cdot SAT + c_p \cdot \rho \cdot V_o \cdot t_o + q_{in} + K \cdot t_r}{\sum_j U_j \cdot A_j + c_p \cdot \rho \cdot V_o + K} \quad \dots (3)$$

空調室への内壁貫流熱負荷は、

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

ここで、式(3)で求めた t_a を式(4)に代入すると、

$$q = \sum_i U_i \cdot A_i \left(\frac{\sum_j U_j \cdot A_j (SAT - t_r) + c_p \cdot \rho \cdot V_o (t_o - t_r) + q_{in}}{\sum_j U_j \cdot A_j + c_p \cdot \rho \cdot V_o + K} \right) \quad \dots (5)$$

$\cdot V_o = 0$ の時

$$q = \sum_i U_i \cdot A_i \left(\frac{\sum_j U_j \cdot A_j (SAT - t_r) + q_{in}}{\sum_j U_j \cdot A_j + K} \right)$$

$$= \sum_i U_i \cdot A_i \cdot \sum_j f_j (SAT - t_r) + f'_v \cdot q_{in} \cdot \sum_i U_i \cdot A_i$$

$$= \sum_i U_i \cdot A_i \cdot \sum_j f_j \left\{ t_o - \left(1 - \frac{f'_v \cdot q_{in}}{\sum_j f'_j \cdot f'_v} \right) t_r + \frac{al}{h_o} \right\} \quad \dots (6)$$

ここに、

$$f_j = U_j \cdot A_j / \left(\sum_j U_j \cdot A_j + K \right) \quad \dots (7)$$

$$f'_v = 1 / \left(\sum_j U_j \cdot A_j + K \right) \quad \dots (8)$$

$\cdot V_o \neq 0$ の時

$$q = \sum_i U_i \cdot A_i \cdot \sum_j f'_j (SAT - t_r) + \sum_i U_i \cdot A_i \cdot f'_v (t_o + q_{in} / (c_p \cdot \rho \cdot V_o) - t_r)$$

$$= \sum_i U_i \cdot A_i \cdot \sum_j f'_j \left(\frac{al}{h_o} + t_o - t_r \right) + f'_v \cdot \sum_i U_i \cdot A_i \left(t_o + q_{in} / (c_p \cdot \rho \cdot V_o) - t_r \right)$$

$$= \sum_i U_i \cdot A_i \cdot \left(\sum_j f'_j + f'_v \right) \left\{ t_o - \left(1 - \frac{f'_v}{\sum_j f'_j + f'_v} \cdot \frac{q_{in}}{c_p \cdot \rho \cdot V_o \cdot t_r} \right) t_r + \frac{\sum_j f'_j}{\sum_j f'_j + f'_v} \cdot \frac{al}{h_o} \right\} \quad \dots (9)$$

ここに、

$$f'_j = U_j \cdot A_j / \left(\sum_j U_j \cdot A_j + c_p \cdot \rho \cdot V_o + K \right) \quad \dots (10)$$

$$f'_v = c_p \cdot \rho \cdot V_j / \left(\sum_j U_j \cdot A_j + c_p \cdot \rho \cdot V_o + K \right) \quad \dots (11)$$

ここで、(6)式、(9)式に着目すると、

$$q = C_1 \cdot \sum U_k \cdot \sum A_i \left(t_o - C_2 \cdot t_r + C_3 \cdot \frac{al}{h_o} \right) \quad \dots (12)$$

と代表させることができる。

【記号】 サフィックス i : 内壁 サフィックス j : 外壁 サフィックス k : 置換外壁 (内壁+非空調室を想定した空気層+外壁) Φ : 影響係数^{*1} [-] A : 面積 [m²] a : 外壁日射吸収率 (=0.7) [-] C_j : 面積補正係数 [-] C_2 : 設定室温補正係数 [-] C_3 : 日射吸収率補正係数 [-] c_p : 空気の定圧比熱 (=1005) [J/(kg·K)] h_o : 外壁表面熱伝達率 [W/(m²·K)] I_j : 外壁面全日射量 [W/m²] K : 非空調室の空調室側熱損失係数 [W/m²] ρ : 空気の密度 (=1.2) [kg/m³] q_{in} : 非空調室の内部発熱と透過日射量 [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 : 非空調室の隙間風風量 [m³/s] V_r : 空調室から非空調室への流入風量 [m³/s]

*1 Φ は影響係数(非空調室の q_{in} の空調室装置負荷への影響度)。非空調室の内部発熱等による空調室への影響を考慮するために設定室温補正を行うが、空調室の他の負荷に影響を与えてしまい、過大補正となってしまう。それを内壁の影響のみとするための係数。代表的な室モデルにて、内壁がある場合とない場合の室温変位に対する除去熱量重み係数の比より算出。

3. 外壁置換法の精度検証

外壁置換法の計算精度を検証するため、BEST を用いて図 2 に示すモデルビルのホワイエについて、隣室温度差係数を与える方法、多数室相互の熱的影響を考慮した方法、及び外壁置換法による最大冷暖房負荷計算を行い、装置負荷（顕熱）の比較を行った。

3.1 モデルの概要・計算条件

図 2 に計算対象とするオフィスの平面図を示す。非空調室の室温変動に関して、外壁からの貫流熱の影響も考慮するため、サイドコアオフィスを対象とし、技術研究所本館²⁾を計算モデルとした。計算対象は、ホワイエとホワイエ北側に隣接する非空調室とし（図 2 点線部）、ホワイエの装置負荷により比較した。計算条件を表 3 に示す。なお、非空調室から空調室への熱的影響を検証するため、非空調室の内外壁は仕様を変更し、熱貫流率の大きな壁とし、天井・床、ホワイエの南側内壁は、隣室温度差係数 0 とした。また、外壁置換法の精度検証にあたり、非空調室の条件を変更した場合の比較も行った。

3.2 結果と考察

各種計算条件における最大冷暖房負荷計算結果（顕熱）を図 3 に示す。外壁置換法は、隣室温度差係数法に比べ、BEST による多数室相互の熱的影響を考慮した計算と近い結果が得られた。

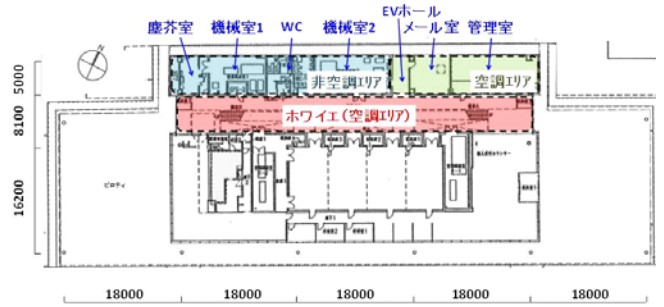


図 2 モデルビル（平面図）

表 3 計算条件^{※4}

厚さの単位: mm		
ホワイエ	窓	強化ガラス12
	内部発熱	人体: 0.1人/m ² 、照明: 15W/m ²
	空調	8-17時
	外気導入量	4m ³ /(h・m ²)
	季節隙間風	夏季6-9月、中間期4.5.10.11月、冬季12-3月 0.2回/h
コア共通	外壁	タイル10+PCコンクリート150+吹付硬質ウレタン20
	内壁	石膏ボード12+中空層+石膏ボード12
機械室1,2	内部発熱	機器15W/m ²
	換気(外気)	3m ³ /(h・m ²) (8-17時)
WC	窓面積率	8%
	内部発熱	無し
	換気(パス)	ホワイエ→WC 22m ³ /(h・m ²) (8-17時)
塵芥室	内部発熱	無し
	換気(外気)	10m ³ /(h・m ²) (8-17時)

※4 モデル化にあたり、設計条件を一部変更している。

4. まとめ

空調室に隣接する非空調室の熱的影響を考慮できる新たな熱負荷計算手法として、外壁置換法を提案した。これにより、隣室温度差係数を与える手法と比較し、精度良く熱負荷計算が可能となった。

【謝辞】

本報は、久保木真俊氏（日建設計）、佐藤誠氏（佐藤エネルギーリサーチ）、高橋亜璃砂氏（大林組）、はじめ(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「BEST 企画委員会(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。

【参考文献】

- 1) 郡公子、石野久彌：設計用非空調隣室温度に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、1989。
- 2) 伊藤剛ら：低炭素化と知的生産性に配慮した最先端オフィスの調査研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、2011

・非空調室の条件設定

ケース	ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
機器密度[W/m ²]	15	30	15	15
換気量[m ³ /h]	2000	2000	4000	2000
パス換気量[m ³ /h]	1000	1000	1000	無
置換外壁方位	北	北	北	北
窓	無	無	無	無

※灰色部分はケース①からの変更点を示す。

・外壁置換法による換算値

C_1	0.79	0.79	1.02	1.18
壁面積[m ²]	137	137	176	204
C_2 (夏)	0.97	0.94	0.98	0.97
C_2 (冬)	0.96	0.93	0.98	0.96
設定室温(夏)[°C]	25.2	24.4	25.5	25.2
設定室温(冬)[°C]	21.2	20.4	21.5	21.2
C_3	0.51	0.51	0.34	0.51
日射吸収率[-]	0.36	0.36	0.24	0.36

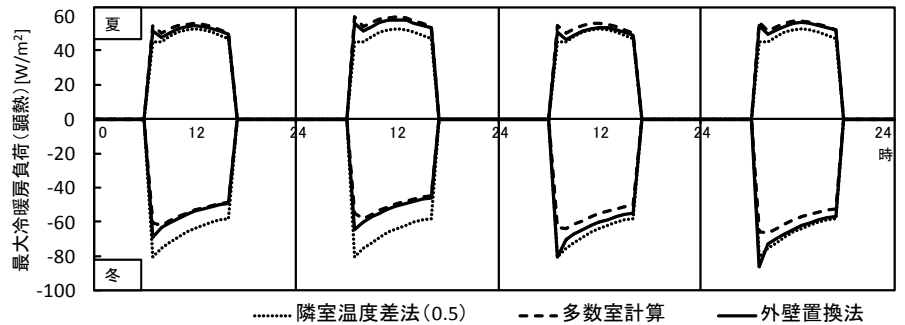


図 3 非空調室の条件の違いによる各種計算法の比較（最大冷暖房負荷）

*1 大林組	工修	*1 Obayashi Corporation, M.Eng.
*2 首都大学東京	名誉教授・工博	*2 Emeritus Prof., Tokyo Metropolitan Univ., Dr.Eng.
*3 宇都宮大学	准教授・工博	*3 Associate Prof., Utsunomiya Univ., Dr.Eng.
*4 建築環境・省エネルギー機構	理事長・工博	*4 Chief Executive, Institute for Building Environment and Energy Conservation, Dr.Eng.