

ボイドを有する高層オフィスビルにおける 自然換気性能評価に関する研究

第1報——外気風速及びボイド形状が室内各所の温度・換気効率分布性状に及ぼす影響

田 辺 慎 吾^{*1}
小 林 知 広^{*3}

山 中 俊 夫^{*2}
丹 羽 達 哉^{*4}

本研究はセンターコアに排気ボイドを有する矩形オフィスビルを対象に、自然換気を計画する設計初期段階で室内換気性状を定量的に予測可能なデータ蓄積及び外部条件に応じた自然換気口開閉運用方法の提案を行うことを目的とする。本報では換気量、換気経路が大きく変動する因子として予想される①外部風速、②ボイド開口比率（ボイドへの自然換気開口面積を全自然換気開口面積で除したもの）、③ボイド開口位置ごとにCFD解析を行い、室内部各所における温度上昇と局所平均空気齢を算出した。なお、空調と併用した自然換気運用も想定し、空調制御単位となる7,200mm×7,200mmモジュール単位にデータ整理を行った。

キーワード：自然換気・CFD・オフィス・換気性能・室内温熱環境

はじめに

近年、ZEBを目指すオフィスビルでは多くの建物で自然エネルギーの活用が計画され、その中でも自然換気は必須項目の一つとなる。昨今多発するインフラ供給の遮断といった非常時においても建物内の最低限の除熱を目的とし自然換気が採用される建物も多く、テナントリーシングでも「リフレッシュ外気導入の増強」は指標の一つとなり、注目を浴びている。また生産性向上を狙いwellnessの考えを取り入れ、WELL-AP・CASBEE-WOの評価を受けることも多く、その評価項目の中には自然換気の採否のみならず、開口サイズの制約まで加えられ、質も重視される。しかし、外気温度、外部風速・風向などの外部条件により、自然換気量は大きく変動し、コントロールが難しく、非制御による非省エネ・局所的な自然風によるドラフト・突風による書類の飛散といった利用者からの苦情も起こっている¹⁾。

自然換気の研究²⁾はこれまでも多く行われ、歴史も深く基礎式の立案や運用の実績の報告³⁾など多岐にわたる。実測による換気性状の把握として、高村ら⁴⁾は長野県に建つ

平屋型オフィスにおける実測を行い方位別換気開口の外部風との関係から風上ほど流入量が多いこと、室内CO₂濃度計測から通過風量が多い箇所ほど室内と外気のCO₂濃度の相関が高いこと、温冷感アンケートから26±2℃以内で快適性が高いことを明らかにした。細井ら⁵⁾⁶⁾は神奈川県に建つ研究所における実測を行い、浮力を用いた換気システムでは外部風速が低い条件でも自然通風量が得られること、通風量と室内風速には比例関係が成り立ち、外部風速6.0m/s以下までは利用可能であること、室温23.0～28.5℃で不満足者が少ないことを明らかにした。CFD解析による換気性状の把握として、張ら⁷⁾⁸⁾は中庭を有するオフィス内の断面方向の気流・温度・空気質の評価を行い、室内温度分布形成による冷房負荷削減効果を明らかにした。イム⁹⁾らは各種空調吹出方式と自然換気の外気導入量の組み合わせによって形成される室内の温熱・空気環境の特性を明らかにした。開口部の制御についても、樋山¹⁰⁾らは熱・換気回路網解析を用いた運用計画の提案を行った。下之蘭ら¹¹⁾はチムニーを有した建物で自然換気制御を目指し、階ごとの性能を把握している。

本研究では、ボイドを持つ高層オフィスビルでの自然換

^{*1} (株)日建設計

正会員

^{*2} 大阪大学大学院

SHASE 技術フェロー

^{*3} 大阪大学大学院

正会員

^{*4} パナソニックエコシステムズ(株)

気システムの設計・運用のため、自然換気経路や開口部面積の設定など定量的な設計基準の確立に資する資料作成を目的とする。前述のこれまでの研究は室形状が複雑なものや室全体を平均的に評価したものが多く、平面的なばらつきまでは配慮されていない。本研究では建物形状は矩形なものとし、換気性状に大きく影響を与える外部風速や自然換気口の開口面積及び開閉状況を変数としてCFD解析を行い、それぞれの影響を評価する。なお、本解析に先立って自然換気システムが導入された建物を対象に実測とCFD解析による精度検証が行われた¹²⁾。本報では、その結果をもとに作成した標準モデルオフィスを対象として解析を行い、室内各所の換気性状の把握を行った結果について報告する。

1. 解析概要

1.1 解析対象領域

図-1に示す基準階平面図、立面図のような標準オフィスを解析対象とする。解析モデルの概要を図-2に示す。本研究では、ハイブリッド空調（自然換気併用空調）を想定した検討を行うこととし、空調制御単位 7,200 mm×7,200 mm を1モジュールとして分析を行った。ただし、本報ではまず自然換気による影響のみを検証するため、空調による除熱は行わず自然室温を前提とし、便所排気等の機械換気は動かないこととする。自然換気口は各外壁面に4箇所設け、ボイドに通じる排気口を建物コア部各壁面に1箇所設置し、建物外壁は完全断熱、日射による熱負荷は無いものとする。自然換気口は、天井近傍（CH-200mm）で横吹出・吸込に設定し、各条件に応じてセンターボイド排気口の高さを変更させ開口面積を調整し、ボイド面の風量は各面同一とした。

図-3に各自然換気口における換気量の算出に用いた壁面及びボイド頂部の風圧係数¹³⁾¹⁴⁾を示す。後述するCFDで境界条件として与える各自然換気口での自然換気量は、換気回路網計算により算定した。換気回路網計算では室内を1質点として計算を行い、コア内には十分大きなボイドが設けられ、ボイド内の上下方向の移動に伴う圧損はないものの、ボイド内に発熱もなくボイド内の温度は室温と同一とし、外気温との差で重力換気が行われるものとした。

1.2 解析条件

計算条件を表-1に、開口面積を表-2、境界条件を表-3に示す。各条件で外気温は20℃で一定とし、各自然換気口部の流入量を変えた条件で解析を行い、オフィス空間内の温度分布、及び換気効率分布を把握する。また、解析領域に机、椅子等の障害物は無く、照明等に相当する発熱を天井および床面にそれぞれ 6.5W/m² ずつ与えた。なお、汚染物については空間一様発生とする。外部風速と開口面積についてそれぞれ4条件の比較を行う。

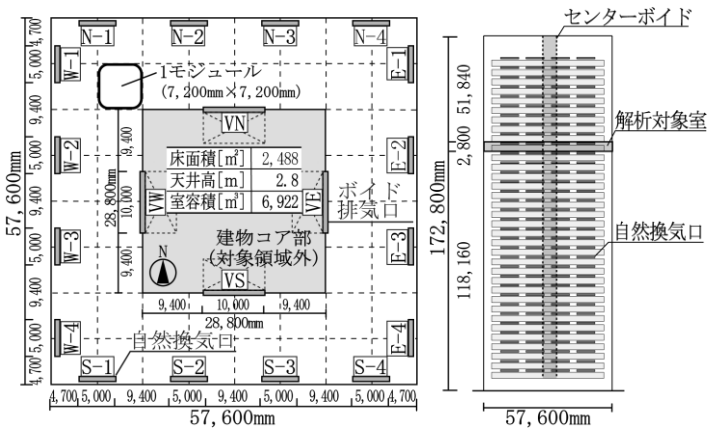


図-1 解析モデル基準階平面図及び立面図

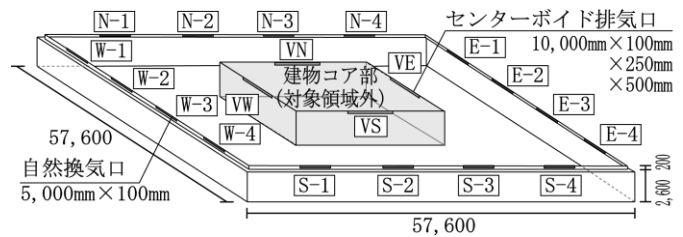


図-2 解析モデル概要図

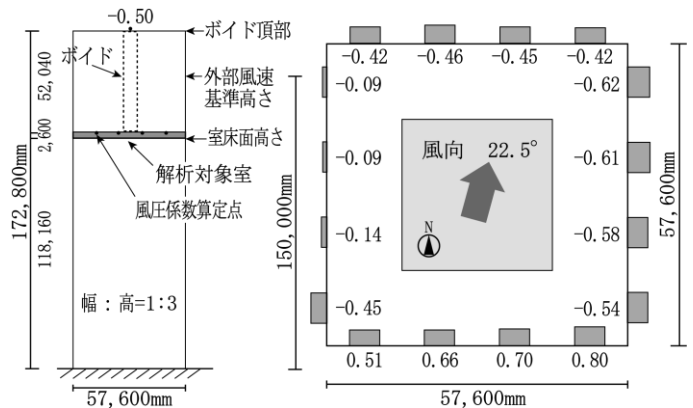


図-3 各自然換気口における風圧係数

表-1 計算条件

解析ソフト	ANSYS FLUENT 16.1/17.2
乱流モデル	標準 k-ε モデル
アルゴリズム	SIMPLE
移流項差分スキーム	QUICK
壁近傍処理	標準壁関数
流体密度	Boussinesq 近似
圧力補間スキーム	Body Force Weighted
乱流プラントル数	0.85
乱流シュミット数	1
乱流の長さスケール	0.007m
メッシュ数	2,190,200

表-2 開口面積および流量係数

各開口部	ボイド開口面積 換気開口面積	面積 [m ²]	個数	流量係数 [-]
外壁面換気口		0.5	16	0.40
ボイド 換気開口	0	0.0	4	0.40
	1/6	0.4	4	0.40
	1/3	1.0	4	0.40
	1/2	2.0	4	0.40

表-3 条件ごとの境界条件の整理

条件	①外部風速の影響				②ボイド開口比率の影響				③ボイド開口位置の影響			
	Case1c	Case2c	Case3c	Case4c	Case2a	Case2b	Case2c	Case2d	Case2c -N	Case2c -S	Case2c -E	Case2c -W
外気温度[°C]	20				20				20			
内部発生熱[W/㎡床]	13 (天井+床: 6.5+6.5)				13 (天井+床: 6.5+6.5)				13 (天井+床: 6.5+6.5)			
汚染物発生源	空間一様発生 passive contaminant				空間一様発生 passive contaminant				空間一様発生 passive contaminant			
外部風速[m/s]	0.5	2.5	5.0	9.0	2.5				2.5			
ボイド開口面積 全換気開口面積	1/3				0	1/6	1/3	1/2	1/3			
ボイド開口位置	VN+VS+VE+VW (全方位)				VN+VS+VE+VW (全方位)				VN	VS	VE	VW
換気回数[回/h]	2.7	2.8	3.5	5.2	1.2	1.7	2.8	4.2	2.8			
全換気量[m³/h]	18,689	19,382	24,227	35,994	8,306	11,767	19,382	29,072	19,382			

外部風向は 22.5° の南南西方向とし、150m 基準高さ外部風速 V_n について 0.5m/s(Case1c)、2.5m/s(Case2c)、5.0m/s(Case3c)、9.0m/s(Case4c)で解析を行った。ボイド開口比率は 0/6(Case2a)、1/6(Case2b)、1/3(Case2c)、1/2(Case2d)で行う。なお、ボイド高さは本報では同一とし、面積を変更し重力換気の影響を変化させた。ボイド開口位置は、ボイド開口を北面 (Case2c-N)、南面 (Case2c-S)、東面 (Case2c-E)、西面 (Case2c-W) の1面のみを開にした条件で解析を行い、分布性状の詳細およびすべての条件について室内各所の温度上昇と局所平均空気齢の考察を示す。

1.3 外部条件の整理

図-4 に竣工設備調査用紙一覧のデータ¹⁵⁾から都道府県別オフィスビルから総延床面積の積算値の分析を行った。東京 46%、大阪 14%、愛知 (名古屋) 5%の3都市で全国の65%をカバーする。図-5 に大阪 (大阪管区気象台: 大阪市東成区東中本、高さ 24m を本報外部風速高さ 150m、4.5 べき乗則で換算) における外部風速を 4~6、9~11 月 9 時~20 時の 18°C~26°C までの自然換気可能時間ごとに分類した。年間で 1557 時間が対象となり、3.0m/s 以下で半数程度の 754 時間、5.0m/s 以下で 80%程度の 1261 時間、9.0m/s 以下で 99%程度の 1538 時間となり、平均風速は 2.5m/s で最頻度付近と同程度となった。ただし、赤林¹⁶⁾らがオフィスビルを対象とした室内通風デグリーアワーの提案で示したように風速が与える影響は大きく、外部風速の影響を考慮した条件は必須と言える。風向についてはセンターコアの矩形基準階平面のため、16 方位の風は1面の外壁に対して風が 0°、22.5°、45° の3条件で吹き付けることになるが、16 方位中 8 方位は風上面对して 22.5° の角度を保つこととなる。図-6 に3都市の風配図を示すとおり地区により主・副風向は決まるが、表-4 に示す大阪における風上外壁面に対して 22.5° 傾いた風の出現率が最多となり、建物向きを変えさせた場合でも同様である。これは地域を変えた場合にも同様の傾向がみられ、本報における基本条件は建物に対し 22.5° (南南西) 風向とした。

-条件名ルール-

Case「数字」「ローマ字」(-「方位」)

数字: 外部風速, ローマ字: ボイド開口比率, 方位: ボイド開口位置

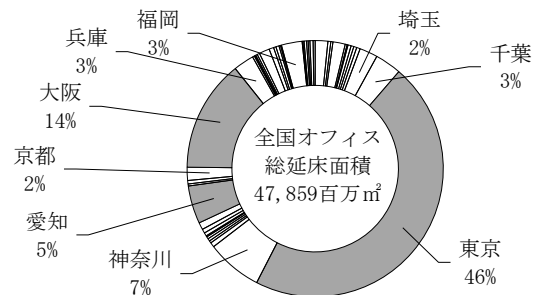


図-4 1984~2005 年におけるオフィス竣工建物分布

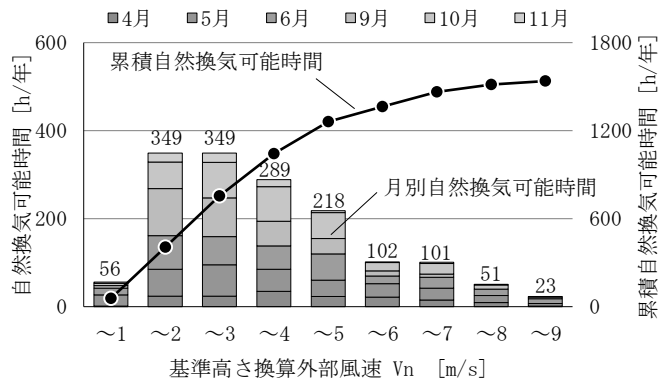


図-5 自然換気有効時の風速分布および自然換気可能時間 (大阪)

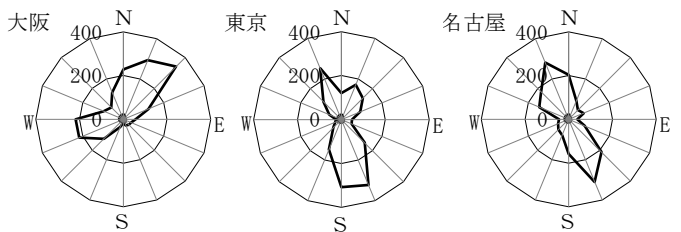


図-6 各地区の気象台における風向分布

表-4 建物向き別の風向分布まとめ (大阪)

		建物向き (南向き基準)			
		0° 傾き	22.5° 傾き	45° 傾き	67.5° 傾き
風向分	A-0°	21.5%	19.0%	24.9%	19.0%
	A-22.5°	53.6%	46.4%	53.6%	46.4%
	A-45°	24.9%	34.6%	21.5%	34.6%

2. CFD シミュレーションの結果と考察

自然換気による室内温度・換気効率を評価するための指標として、温度上昇と局所平均空気齢を利用する。図-7～9 は各条件における各自然換気口部の流出入流速（+：流入、-：流出）、流出入矢印（白抜：流入、黒塗：流出）の境界条件と、温度上昇、局所平均空気齢について FL+1, 100mm でモジュール単位のメッシュごと結果から面積加重平均をとり、それぞれの分布図を示す。また全モジュールの平均値と完全混合を仮定した場合の温度上昇及び名目換気時間を図中央に示す。

2.1 外部風速についての比較

図-7 より、室平均温度上昇は Case1c、2c、3c で近い値であるのに対し、外部風速が大きい Case4c で非常に小さくなり、室平均空気齢については外部風速が大きくなるほど小さくなり、開口面積の違いによる自然換気量の差異の影響が大きい。Case1c、2c の条件においては外壁 4 方位から分散して流入し、すべてのボイドから排気され換気経路が短く天井面での発熱が居住域を加熱することなく排気される。

分布は、Case2c、3c、4c において風上側である南西方向の温度上昇が小さく、風下側である北東ゾーンの温度上昇

が大きくなる。特に case3c における北東ゾーンの室温は自然換気量の小さい case2c と同値程度となり排熱が十分に行えていない。総自然換気量が小さい case1c において北東ゾーンは改善できており、ボイドからの排出によって 4 方の外壁より均等に流入できていることによる。同様に、局所平均空気齢についても、Case2c、3c、4c では、局所平均空気齢が風上側で小さく、風下側で大きくなる。

2.2 ボイド開口比率についての比較

図-8 より、室平均温度上昇はボイド開口比率が大きくなるほど小さくなる。室平均空気齢についても温度上昇と同様に、ボイド開口比率が大きくなるほど小さくなる。Case2b、2c、2d において完全混合を仮定した温度上昇、名目換気時間と同程度の値となるが、ボイド排気がない Case2a のみ差異がある。

分布は、Case2a において風上側で温度上昇が小さく、風下側で温度上昇が大きくなるが、ボイド開口比率が大きくなるほど風上側と風下側での温度上昇の差が小さくなり、Case2d ではほとんど見られない。局所平均空気齢についても、温度上昇と同様にボイド開口比率が大きくなるほど風上側と風下側の差が小さくなる。

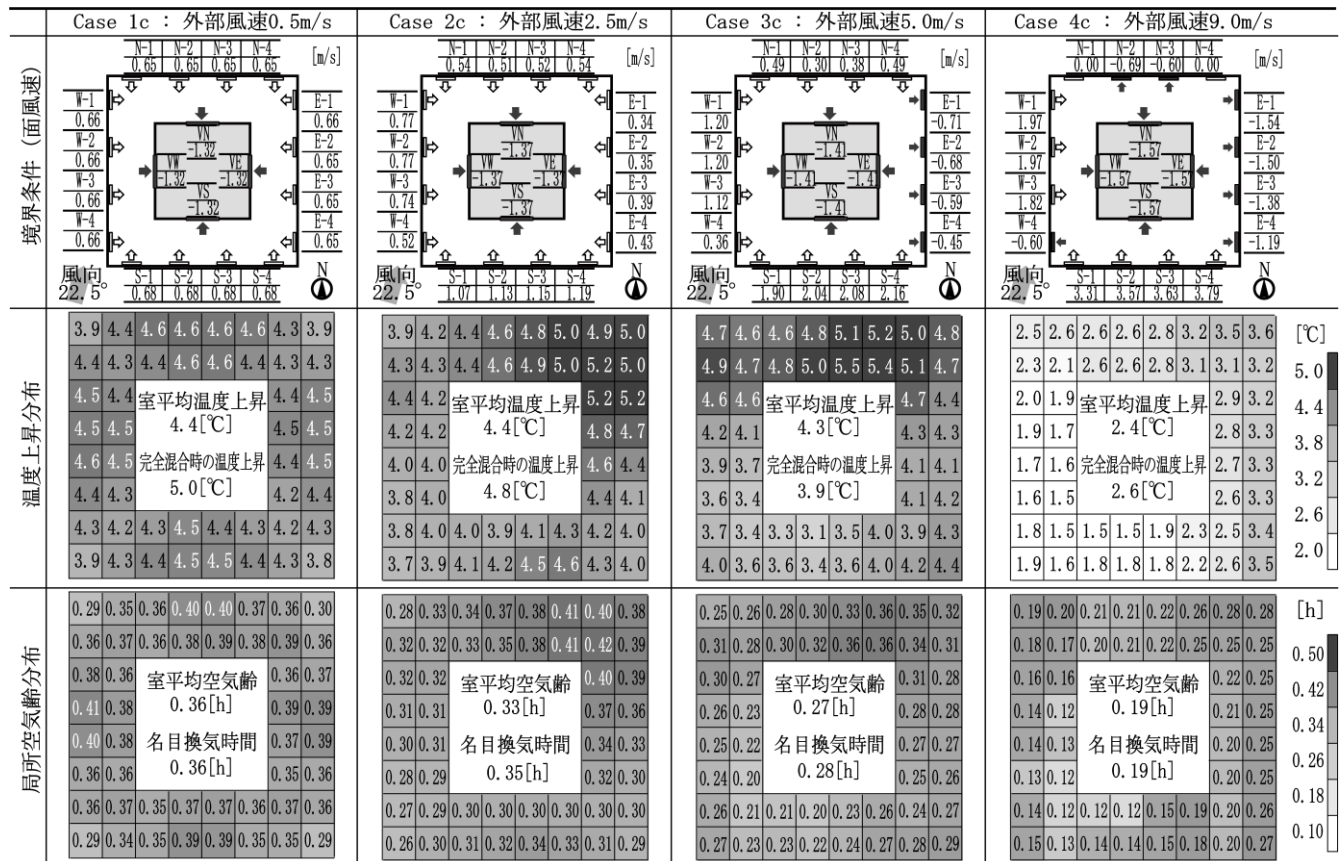


図-7 外部風速ごとのモジュール単位の結果（上段：自然換気口流出入・面風速、中段：温度上昇分布、下段局所平均空気齢分布）

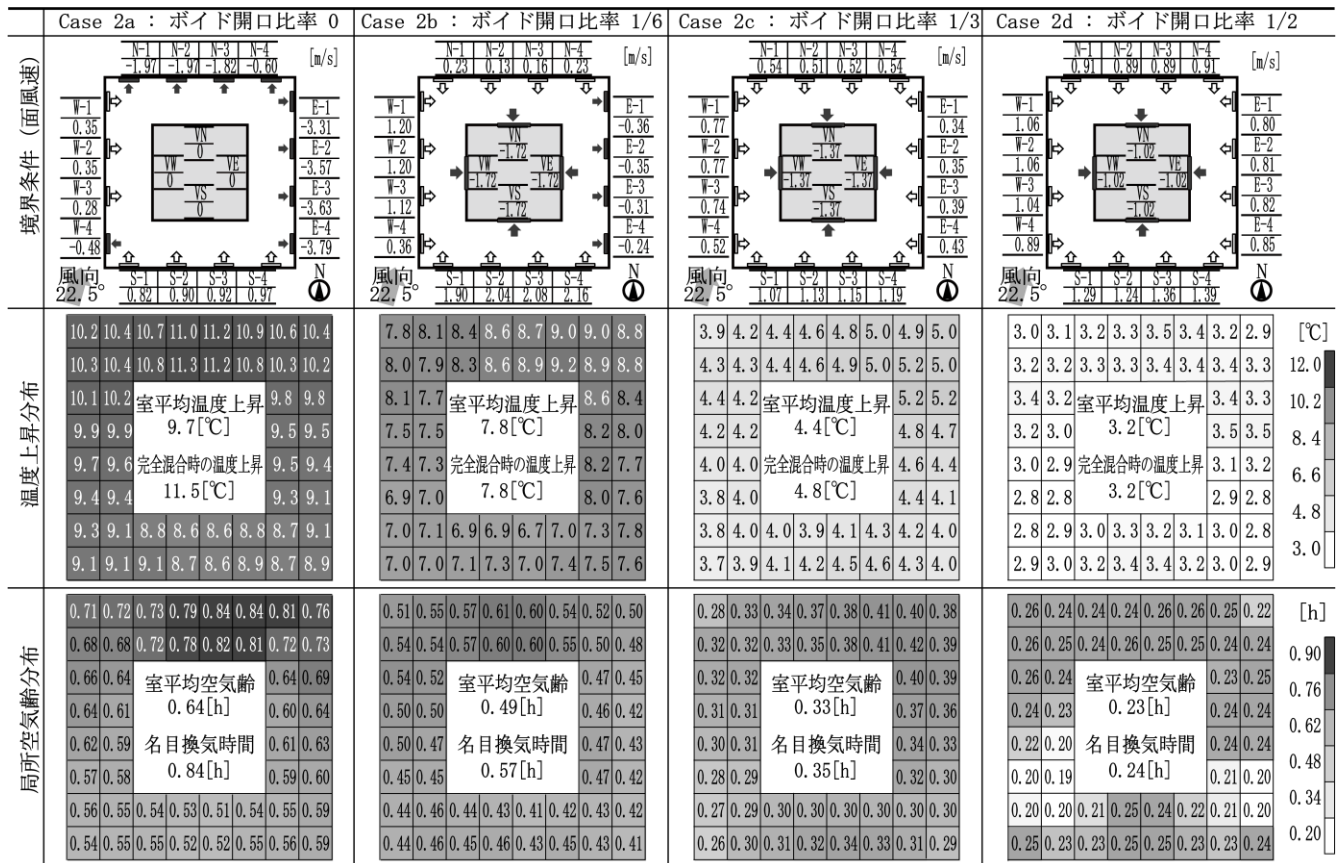


図-8 ボイド開口比率ごとのモジュール単位の結果 (上段：自然換気口流出・面風速、中段：温度上昇分布、下段局所平均空気齢分布)

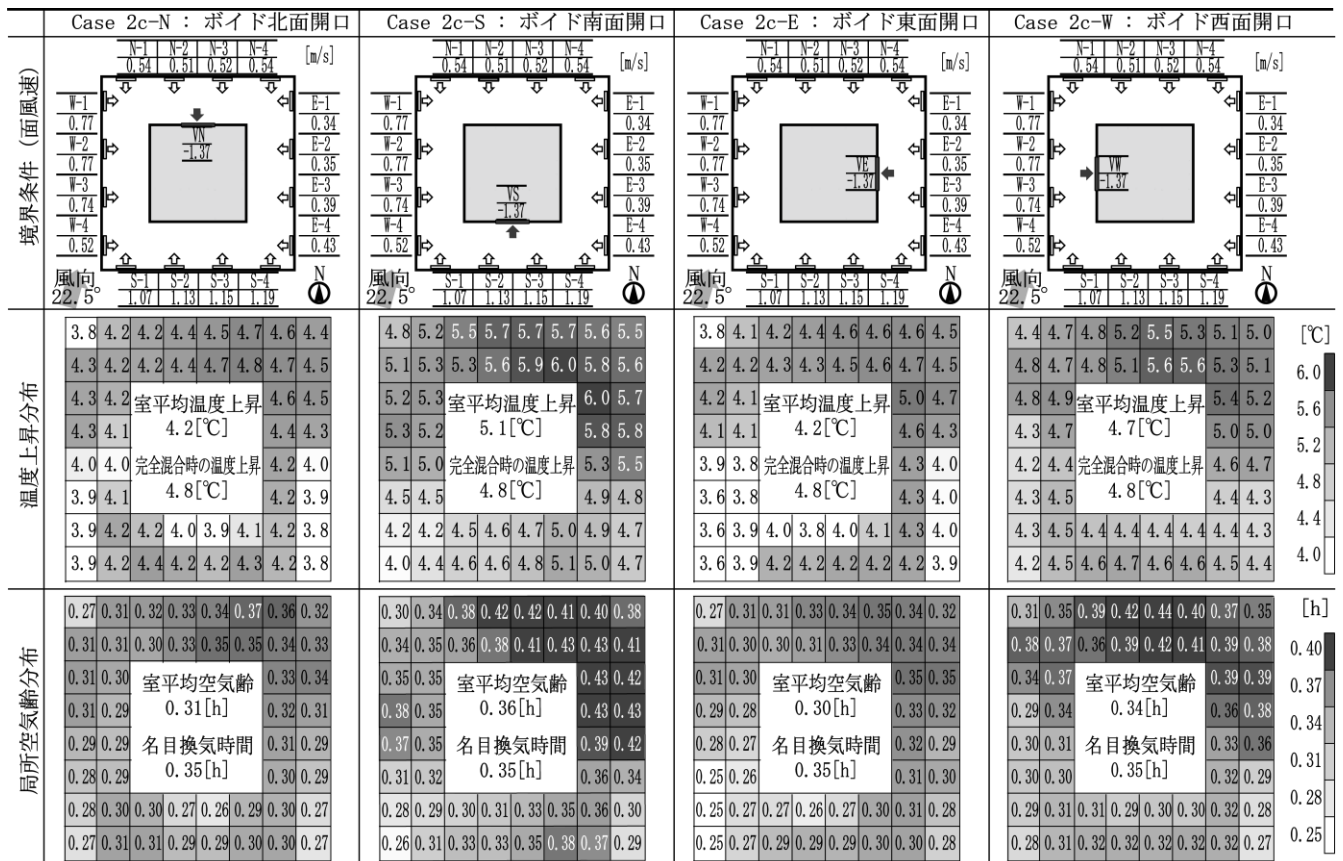


図-9 ボイド開口位置ごとのモジュール単位の結果 (上段：自然換気口流出・面風速、中段：温度上昇分布、下段局所平均空気齢分布)

2.3 ボイド部開口位置についての比較

図-9 より、すべての条件で風上側と風下側で温度差が見られる。室平均温度上昇について、Case2c-S、2c-W が 5.1℃、4.7℃と Case2c の 4.4℃より大きく、Case2c-N、2c-E は 4.2℃と小さくなる。これは、Case2c-N、2c-E は風下側である北面、東面にのみボイド部開口が設けられていることから、その他の条件に比べて新鮮空気が室全体に広がったことによる。また、流入が最も多い南面に開口がある Case2c-S で最も室平均温度上昇が大きく、室平均空気齢も一番大きく、温度上昇と空気齢の分布ともに風下側室内に大きな値が見られることから、開口が風上に近い条件では新鮮空気が十分に排熱に貢献しないまま排気され、ショートサーキットが発生している。

3. 無次元化後の結果と考察

それぞれの条件の換気量の差異を補正した上で評価するため、完全混合時を仮定した場合の値で無次元化した、無次元温度上昇 (=温度上昇/完全混合時の温度上昇)、及び SVE3¹⁷⁾ (換気効率指標第三)を用いる。このとき、SVE3 は局所平均空気齢を名目換気時間 (完全混合時の値) で無次元化した値と同値となる¹⁸⁾。

3.1 温度上昇と局所平均空気齢の分布の相関

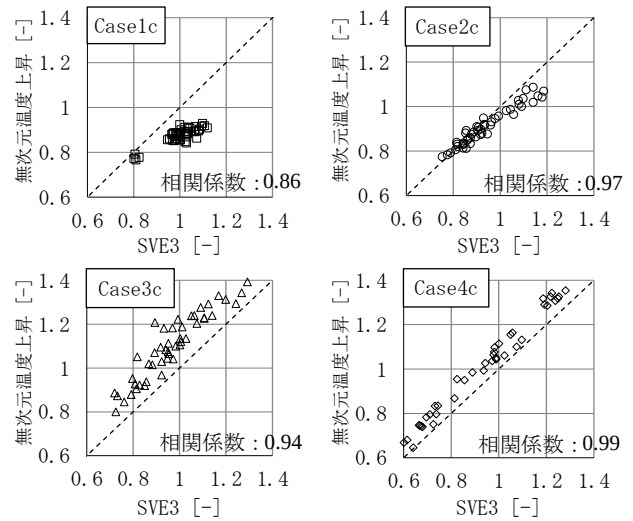
図-10 は、各条件について、縦軸に無次元温度上昇、横軸に SVE3 を取り、各モジュールの平均値をプロットし、室内のある点における温度上昇と空気齢の関係を示す直線を併記した図である。関係式(1)は以下に示される。なお、室温上昇に寄与する発熱は天井面と床面、空気齢で前提とする汚染物は空間一様発生であるため、熱と汚染物の発生位置の違いによる分布性状の差異についてここで検討を行う。

$$\Delta T = \frac{W}{C_p V} \tau \quad \cdots \cdots (1)$$

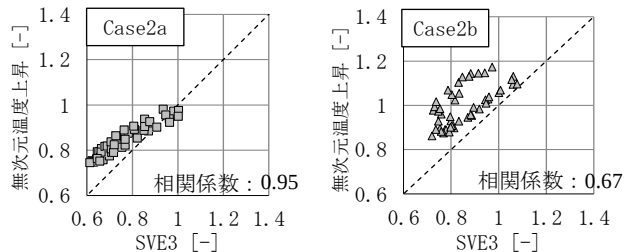
ΔT : 温度上昇	[℃]
W : 発熱量	[W]
C_p : 空気の容積比熱	[Wh/m ³ ℃]
V : 体積	[m ³]
τ : 局所平均空気齢	[h]

相関係数の値からすべての条件で温度上昇分布と局所平均空気齢分布に非常に強い正の相関が見られる。

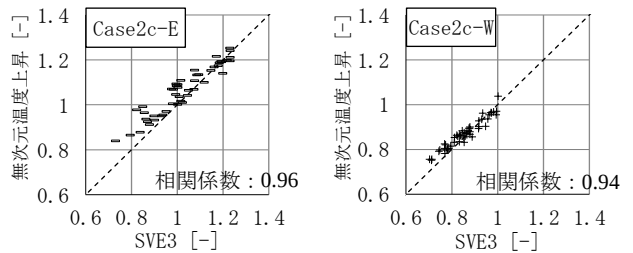
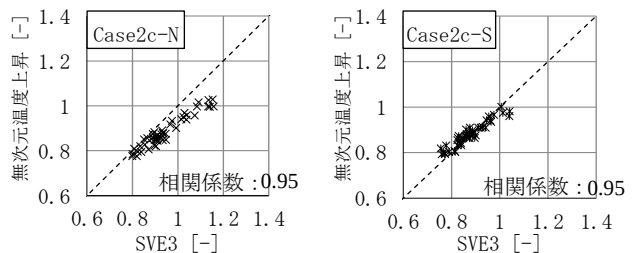
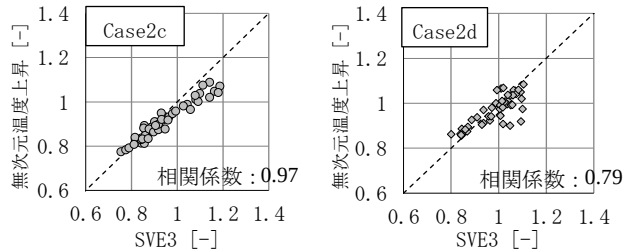
Case1c で温度上昇の方が小さく表れる。これは重力換気が支配的な条件下で換気経路が最も短いため、発熱体が天井面に 1/2 と与えられた条件のため居住域まで温められた空気が下りることなく排気されたことによる。Case3c、Case2b について、温度上昇が大きく表れ空間で一様に与えられた



(a) 外部風速による影響



(b) ボイド開口比率による影響



(c) ボイド開口位置による影響

図-10 温度上昇分布と局所平均空気齢分布の相関

汚染物の方が、天井・床面に分散して与えられた発熱帯よりも除去できていることによる。いずれの条件もボイドに加え、外壁面東側から流出される重力換気と水平換気が混在するケースであり、換気経路の長短が多く存在する。Case2a、Case2cについては非常に強い正の相関が見られるが、Case2bで特に相関が低い。外壁面3面から流入し、1面は排気側となっておりCase3cも同様の条件である。SVE3よりも無次元温度上昇が全モジュールで大きく出ている共通点があり、発熱と汚染物の発生点の差異が生まれ上下の分布が大きい、すなわち天井付近から流入した自然風が拡散されずに天井付近の流出口から排出することによる。

Case2c-SとCase2c-Wで無次元温度上昇、SVE3とも小さくなり、分布図で示したのと同様にショートサーキットが発生している。

3.2 無次元温度上昇と SVE3 の降順結果

室内の状態を想定せず、外部条件のみから求める自然換気による除去総熱量を算出する際には、モジュール単位の温度を把握することは重要な課題とはならないが、ドラフトや冷え過ぎと言った利用者からの苦情を考慮した場合には下限許容温度やモジュール単位の空調のON/OFF（ハイブリットの必要性）を想定する必要がある、モジュール単位で自然換気時の自然室温値は重要な指標となる。モジュール単位に温度上昇を降順に示すことで空調機の必要な範囲の想定と室温の下限値の確認を割合で示すことができ、年間の外気温、風速の条件を入れ、時刻別に計算し積算することで実運用を考慮した総除去熱量を想定することも可能となる。

図-11はそれぞれ無次元温度上昇とSVE3のモジュール単位の平均値を降順に並べた図である。風速が大きい条件ほど回帰直線の傾きが大きくなり、分布が大きい。また、Case3cでは無次元温度上昇の値が全体に大きくなる。これは、外部風速が大きくなるほど北東側の開口からの流入が小さくなり、Case3cでは北東側開口の流出入がその他の条件より小さいことによる。Case4cでは、流出する開口が増えたことで値が小さくなる。

Case2a、2b、2cについては回帰直線の傾きに差がないことから、分布の大きさは変わらない。これに対して、SVE3はボイド開口比率が大きくなるほど回帰直線の傾きが小さく、分布が小さくなる。また、SVE3の値はボイド開口比率が小さい条件ほど小さくなる。これはボイドの開口面積が小さい条件ほど、よりピストンフローに近い性状となることによる。

Case2c-N、-Eに差異はなく、Case2c-Sが全モジュールで相対的に無次元温度上昇、SVE3とも大きくなる。

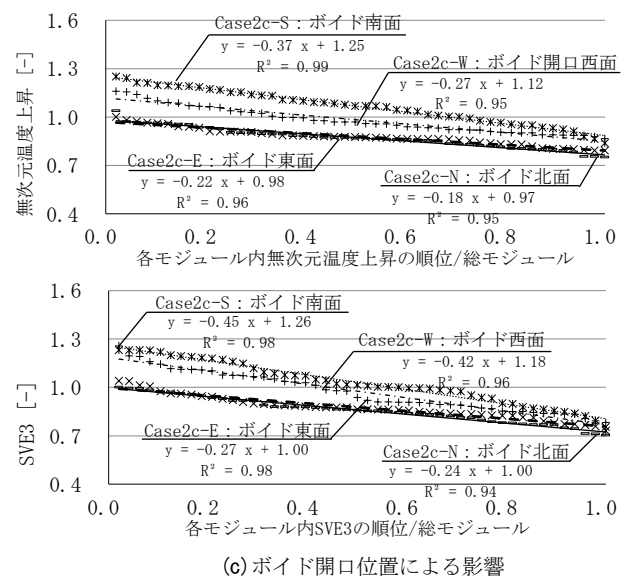
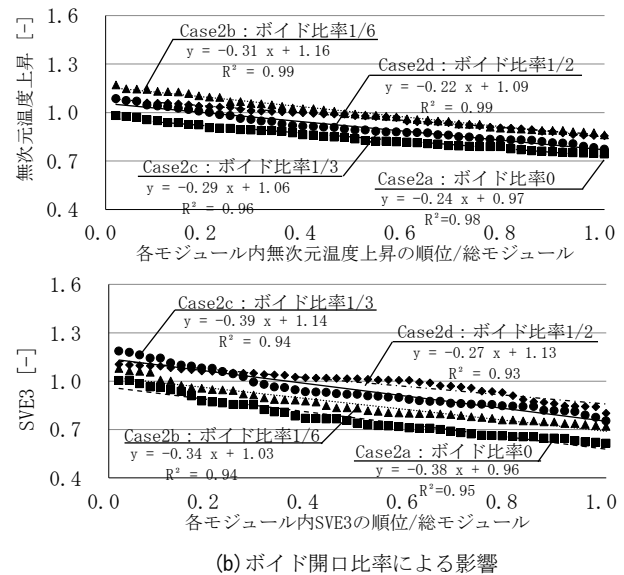
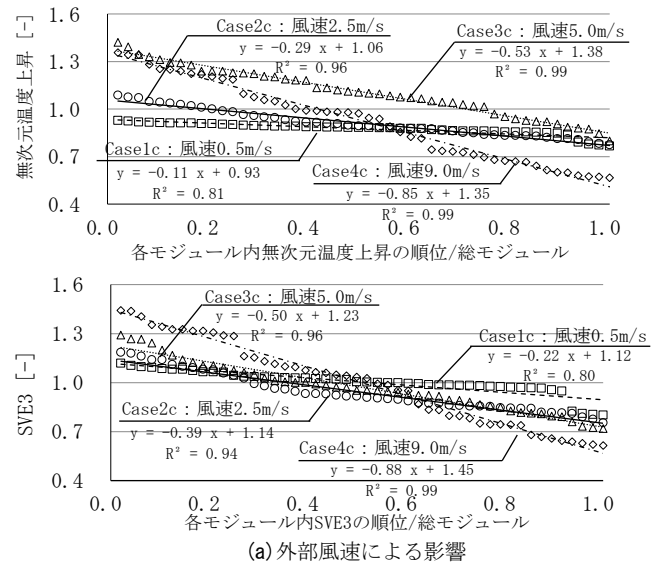


図-11 各モジュールにおける温度上昇、SVE3

表-4 各条件における自然換気風量比率と近似直線

		重力主体			重力+水平		水平主体		重力主体 (ボイド開口偏心)			
Case		1c	2d	2c	2b	3c	4c	2a	2c-N	2c-S	2c-E	2c-W
外壁面 (流入、流出)		入 4 面、出 0 面			入 3 面、出 1 面		入 2 面、出 2 面		入 4 面、出 0 面			
自然換気 風量比率 [%]	壁面	北	24.7	22.2	19.9	16.4	13.8	-2.5	-37.1	19.9		
		南	25.7	32.5	39.3	54.1	57.8	69.0	75.1	39.3		
		東	24.6	20.4	15.5	-7.3	-15.1	-26.3	-53.2	15.5		
		西	25.0	24.8	25.3	25.7	22.8	25.6	15.2	25.3		
	ボイド	北	-25.0	-25.0	-25.0	-22.9	-21.2	-16.5	0	-100	0	0
		南	-25.0	-25.0	-25.0	-22.9	-21.2	-16.5	0	0	-100	0
		東	-25.0	-25.0	-25.0	-22.9	-21.2	-16.5	0	0	0	-100
		西	-25.0	-25.0	-25.0	-22.9	-21.2	-16.5	0	0	0	-100
近似直線	無次元 温度上昇	傾き	-0.11	-0.22	-0.29	-0.31	-0.53	-0.85	-0.24	-0.18	-0.37	-0.22
		切片	0.93	1.09	1.06	1.16	1.38	1.35	0.97	0.97	1.25	0.98
	SVE3	傾き	-0.22	-0.27	-0.39	-0.34	-0.50	-0.88	-0.38	-0.24	-0.45	-0.27
		切片	1.12	1.13	1.14	1.03	1.23	1.45	0.96	1.00	1.26	1.00

表-4 に条件ごとに流入出壁面数、自然換気風量比率、近似直線の各係数をまとめたものを示す。ここでは外壁面 4 面から流入する条件を重力主体、外壁面 3 面から流入・外壁面 1 面から流出する条件を重力+風力、外壁面 2 面から流入・外壁面 2 面から流出する条件を風力主体と定義した。

図-12 に横軸に外壁面風量の標準偏差 (ばらつき) と縦軸に近似直線の係数を示す。風力主体ほどばらつきは大きく、重力主体ほど小さくなる。無次元温度上昇の傾きは、ボイドからの流出がない Case2a を除くとばらつきが大きいほど負側に大きくなり、SVE3 も同様の傾向となる。切片 1 は完全混合時の状態と同値であることを示し、ばらつきが大きいほど正側に大きくなる。ボイド開口偏心による近似直線への影響は小さい。

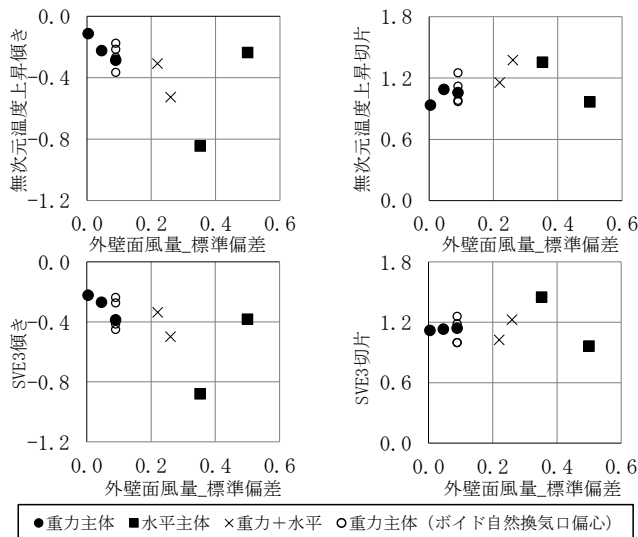


図-12 各条件における外壁面風量の標準偏差と近似直線係数の関係

ま と め

外部風速やボイド開口比率、ボイド部開口位置が居住域 (FL+1, 100mm) における室内温度・換気効率分布を整理した。空調単位で平均化すると温度上昇と局所平均空気齢は直線近似が可能である。以下の知見を得た。

1) 外部風による影響

無次元温度上昇、SVE3 とともに外部風速が大きい条件で風上側と風下側で大きな分布が発生した。

2) ボイド開口比率による影響

無次元温度上昇、SVE3 とともにボイド開口が大きい条件では風上側と風下側での分布が小さくなる。ボイドが全自然換気開口面積の 1/6 と小さい条件では外壁 1 面から流出が見られ他条件と異なった温度上昇となる。

3) ボイド部開口位置による影響

無次元温度上昇、SVE3 とともに風下側にボイド開口を設けることで換気経路が確保できることで風上側と風下側での分布が小さくなり均等な室内条件が得られる。

今後は本報で得られた各条件での近似直線を用いて空調単位ごとの運用を想定した除去熱量の把握を行う所存である。

謝 辞

本研究において熱心なるご指導、ご助言を頂いた故甲谷寿史教授 (大阪大学) に深謝いたします。

参 考 文 献

- 山本佳嗣, 久保木真俊, 鈴木宏昌, 田辺新一: 自然換気システムの運用実態に関する調査, 日本建築学会環境系論文集, 第 619 号, pp. 9-16, 2007. 09
- 日本建築学会: 実務者のための自然換気設計ハンドブック (2013), 技報堂出版
- 小林知広: 我が国における建物の自然換気及び通風に関する研究の 130 年の歴史, 日本建築学会環境系論文集, 第 751 号, pp. 749-759, 2018. 09
- 高村秀紀, 青山純也, 中川滋, 西本真道: 大平面オフィスに導入された自然換気システムの性能評価, 空気調和・衛生工学会論文集, No. 253, pp. 9-21, 2018. 04
- 細井昭憲, 成田樹昭, 須永修道: 風圧力と浮力が同時に作用する建物における通風特性: 自然通風に関する実測研究 その

- 1, 日本建築学会計画系論文集, 第 564 号, pp. 25-31, 2003. 02
- 6) 細井昭憲, 成田樹昭, 須永修道: 自然通風の温熱快適性に基づく制御方法と省エネルギー効果: 自然通風に関する実測研究 その 2, 日本建築学会環境系論文集, 第 577 号, pp. 7-12, 2004. 03
- 7) 張賢在, 加藤信介, 村上周三, 近本智行, 金泰延: オフィスにおける自然換気併用ハイブリットと空調に関する研究: 第 1 報-タスク・アンビエント型ハイブリット空調方式とその省エネルギー効果に対する外気条件の影響, 空気調和・衛生工学会論文集, No. 83, pp. 81-90, 2001. 10
- 8) 張賢在, 加藤信介, 近本智行: オフィスにおける自然換気併用ハイブリットと空調に関する研究: 第 2 報-各種設定条件が室内環境と期間のエネルギー使用に与える影響, 空気調和・衛生工学会論文集, No. 88, pp. 63-72, 2003. 01
- 9) イムウンス, 山中俊夫, 相良和伸, 甲谷寿史, 桃井良尚: 風力換気併用ハイブリット空調を導入したオフィス室内における温度・汚染物質濃度分布及び省エネルギー性, 日本建築学会環境系論文集, 第 648 号, pp. 171-178, 2010. 02
- 10) 樋山恭助, 竹内健一郎: 熱・換気回路網解析を用いた設計時における自然換気運用計画検討手法の提案 建物利用者及び管理者視点に立った自然換気システムの運用最適化(第 1 報), 日本建築学会環境系論文集, 第 756 号, pp. 161-170, 2019. 02
- 11) 下之菌慧, 郡公子: 自然換気利用建物の実態調査と温度差換気の基本解析 オフィスビルを対象とした自然換気制御の性能評価に関する研究(第 1 報), 日本建築学会環境系論文集, 第 755 号, pp. 55-63, 2019. 01
- 12) 佐嶋俊彦, 田辺慎吾, 甲谷寿史, 山中俊夫, 相良和伸, 桃井良尚: 高層オフィスビルにおける風力・重力換気併用型の自然換気に関する研究(その 12)CFD 解析による室内温度および換気効率分布, 日本建築学会近畿支部研究報告集, pp. 269-272, 2017. 06
- 13) 甲谷寿史, 山中俊夫, 檜崎正也, 大黒賢宏: 建築物壁面における風圧係数の机上予測法に関する研究(その 2)二次方程式による風向特性の関数化, 日本建築学会大学学術講演梗概集, pp. 535-536, 1990. 10
- 14) H. Watanabe, K. Sagara, T. Yamanaka, H. Kotani, E. Lim, Y. Komatsu, M. Higuchi, and M. Nishida: Study on Airflow around Building Roof for Design of Natural Ventilation by Chimney-Part1 Distribution of wind pressure coefficient on a building roof-, Advanced building ventilation and environmental technology for addressing climate change issues, Volume1, pp. 261-266, 2008. 1
- 15) 竣工設備調査用紙一覧 空気調和衛生工学, 空気調和 衛生工学会, 1984-2005
- 16) 赤林伸一, 宮本啓太, 坂口淳, 佐藤英樹, 富岡誠子: 事務所ビルを対象とした通風性能評価に関する研究(その 1)室内熱負荷を考慮しない場合, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 691-692, 2009. 08
- 17) 村上周三, 加藤信介: 新たな換気効率指標と三次元乱流数値シミュレーションによる算出法: 換気効率の評価モデルに関する研究, 空気調和・衛生工学会論文集, No. 32, pp. 91-102, 1986. 10
- 18) REHVA(翻訳空気調和衛生工学会): 換気効率ガイドブックー理論と応用ー (2009), 丸善

(令和 2. 4. 10 原稿受付)

Natural Ventilation Performance of High Rise Office Building with Voids

Part1—Influence of External Wind Speed, Opening Area, and Position of Void on Distribution of Room Temperature and Ventilation Efficiency in Open Office

by Shingo TANABE ^{*1}, Toshio YAMANAKA ^{*2}, Tomohiro KOBAYASHI ^{*3} and Tatsuya NIWA ^{*4}

Key Words: Natural Ventilation, CFD, Office, Ventilation Performance, Indoor Thermal Environment

Synopsis : Natural ventilation is effective for saving energy. However, the indoor thermal environment with natural ventilation varies widely by external wind and the position of opening areas. This study aimed to establish the operation of a natural ventilation

system in a high-rise office building with voids. This paper presents the distribution of the natural ventilation performance within the office building obtained by CFD analysis, which is evaluated based on the indoor temperature and local mean age of air for each external wind speed, opening area, and position of void.

(Received April 10, 2020)

^{*1} Nikken Sekkei Ltd., Member

^{*2} Graduate School of Engineering, Osaka University, Fellow Engineer

^{*3} Graduate School of Engineering, Osaka University, Member

^{*4} Panasonic Ecology Systems Co., Ltd.