

令和 2 年 6 月 7 日現在

機関番号：14401  
研究種目：若手研究(A)  
研究期間：2016～2019  
課題番号：16H06110  
研究課題名（和文）中高層自然換気建物の換気設計指針の提案と設計段階における自然換気量の簡易予測法

研究課題名（英文）Simplified Prediction of Natural Ventilation Rate and Guide of Natural Ventilation Design for Mid- to High-Rise Office Building

研究代表者  
小林 知広（Kobayashi, Tomohiro）  
大阪大学・工学研究科・准教授

研究者番号：90580952  
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、市街地における中高層建物の自然換気設計を容易にすべく、まずは市街地に位置する中高層自然換気建物に利用可能な簡易かつ汎用的な風圧係数データベースを整備し、それを利用した際に想定される誤差を示した。次に、中高層ビルの自然換気設計で重要な設計項目として換気口面積と換気経路の抵抗に焦点を当て換気回数を体系的に整備した。また、自然換気口位置と流入方向による室内環境の分布の違いをまとめた上で、実建物での実測に基づき実運用時に想定される問題点の抽出と検証を行った。

#### 研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、ZEB実現、快適性の確保、BCPへの対応を目的として、自然換気システムを採用した高層建物が比較的多く見られるようになったが、中高層建物の自然換気設計は特殊な設計技術が必要となるため容易でなく、実用的な精度を有する一般的な自然換気設計手法は未だ存在しない。このため、本研究で行った自然換気ビル用の風圧係数データベースの構築、開口面積と通気抵抗による換気回数の整備、流入タイプ毎の室内環境の分布の評価などの成果は、一般的な知見と設計指針を与える意味で実務設計の参考になり得る成果であり、短い設計期間で詳細かつ高度な検討が困難な場合にも自然換気設計を可能にするための知見を与えるものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：To facilitate natural ventilation design for mid- to high-rise office building, this work first organized a generic database of wind pressure coefficient of the buildings in a city, and evaluated error of the natural ventilation rate estimated by using the database. Second, a parametric study regarding natural ventilation opening area and resistance of the flow path is performed, which can be used for simplified estimation in the preliminary design phase. Then, tendencies of indoor distribution of several quantities are analyzed by computational fluid dynamics for each type of natural ventilation inlet opening. Finally, the practical problems under the actual operation of natural ventilation building is clarified based on field study of high-rise office building where natural ventilation system was installed.

研究分野：建築空気環境、建築熱環境、建築設備

キーワード：自然換気 風圧係数 換気回路網 風洞実験 CFD解析

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

ZEB（Zero Energy Building）の実現、快適性の確保、さらには事業継続計画（BCP）への対応を目的として、自然換気システムを採用した高層建物が比較的多く見られるようになってきている。しかし、中高層建物で自然換気設計を行うことは特殊な設計技術が必要となるため容易でない。例えば日本建築学会の活動の一環でまとめられた自然換気設計に関するハンドブックでは、典型的な自然換気設計のフローが提示され、各設計フェイズで必要な検討内容については一定の見解が示されたと言える段階である。しかし、ここで示された設計フローでは複雑な換気回路網計算や非定常シミュレーションや数値流体力学（CFD 解析）など、高度な技術と十分な検討期間を要する詳細計算が必要なため実施設計段階で実務者が簡易には利用しづらく、現実的かつ実用的な精度を有する一般的な自然換気設計手法は未だ存在しない状況である。このため、「物件数は多いが設計期間はあまり長くない中高層建物」での自然換気設計は必然的に検討自体が容易でなくなり、「自然換気設計の経験を有する設計者が、比較的長い設計期間で行うビッグプロジェクト」という限られた状況で導入の可能性が高まるのが現状である。この意味で中高層建物を対象とすると、一般的な設計として自然換気システムの導入は社会に浸透しているとは言いがたい。近年では過去の自然換気設計の知見が蓄積されてはきたが、これらはいくまでケーススタディ的な事例であり、設計者はそれらの過去の事例と自身の感覚に頼った換気設計をすることが多く、その他の拠り所がないため竣工後の実測検証を行うまでは自然換気性能のオーダーすら予測できないことが少なくない。結果として十分な性能が発揮されずに運用を止め、設計時に期待した省エネ性能や快適性は達成できずに設計が失敗に終わることも十分に考えられる。しかし、自然換気口やシャフト、パスダクト等の「自然換気建物で確保されるべき重要な設計項目の数値目標」を体系的にまとめることができたとなると、そのような事態の発生件数を低減することができる可能性があり、学術的観点からの知見の提供が求められている。

### 2. 研究の目的

中高層ビルの自然換気に関する学術研究は比較的ケーススタディ的な取り組みが多い。これは、換気経路の抵抗や開口面積等の設計段階で目安とすべき値が設計法として確立しておらず、学術的検討も不十分であることが大きな原因と考えられる。前述の背景から「ニーズはあるが設計法が確立していない自然換気では、特に中高層建物を対象として主たる設計項目の目安を学術的かつ体系的に示す必要がある」と思われる。そこで、本研究では学術的根拠に基づき、自然換気設計に必要な知見を整備することとし、開口面積等の主たる設計要素の影響について体系的に整備することを目標とし、具体的に以下の取り組みを行う。

#### i. 市街地における中高層建物の風圧係数データベース構築と検証：

「市街地に位置する中高層自然換気建物」に利用可能であることに特化した汎用的な風圧係数データベースを整備し、現実の市街地に立つ現実の建物形状との風圧係数の違いを明らかにした上で、データベースで簡易的に予測される風圧係数を回路網計算に用いた際に生じる自然換気量の算定誤差の評価を行う。これにより、簡易的にデータベースから風圧係数を求めて換気量算定を行った際に想定される誤差の範囲を自然換気タイプごとに明らかにする。

#### ii. 自然換気建物分類別の自然換気量の体系的整備：

中高層オフィスビルを想定し、自然換気設計で最も重要な設計項目として換気口面積と換気経路の抵抗に焦点を当てて換気量計算のパラメトリックスタディを行い、執務室容積で無次元化して換気回数との関係を体系的に整備することで、設計者に開口面積と自然換気パス面積の設計指針として簡易的な設計値の目安を与えることを目的とする。

#### iii. 自然換気の流入タイプ別の室内環境の分布の評価：

自然換気建物では室内環境が一様でなくなることも設計の難しさに繋がる大きな要因の一つと考えられる。そのため、自然換気口位置と流入方向によって、気流分布によるドラフト感の違いや空気齢分布の違いを定量的に評価する。

#### iv. 実建物の実運用時に想定される問題点の抽出

自然換気建物の設計時に想定される建物内の状況と実運用下で異なる点を明らかにする。そのため、実建物での換気量や自然換気経路内の環境実測を行い、想定が困難な項目を明らかにすることで設計時の留意点についての知見を整備する。

### 3. 研究の方法

前述の研究目的に応じて、i の風圧係数については汎用性の観点から簡易な矩形の建物を対象に想定したデータ整備を行う。市街地の自然換気建物に特化するため、周辺建物を配置した状況を想定し、対象建物の高さを周辺建物の1倍、2倍、3倍と条件を設定し、16風向で風圧係数の分布を整備することで設計対象に応じて使い分けができるデータベースを構築する。自然換気建物に特化するため、自然換気の排気口に想定される部位としてペントハウス部の風圧係数も合わせて整備する。

ii の換気量整備のためのパラメトリックスタディについては、フロアごとに換気量のばらつきが想定され設計も容易ではない重力換気を主体とする自然換気建物を主に対象とし、基準階の床面積に対する比率として自然換気口と自然換気パスのそれぞれの有効開口面積をパラメータに設定して自然換気量計算を行い、その傾向をまとめる。

iii の室内環境分布の評価については特に分布が生じやすい大規模平面を有する自然換気オフィス想定して CFD 解析によるケーススタディを行う。1) 窓下部の低いペリカウンターからの流入、2) 腰壁程度のペリカウンターからの流入、3) 窓上部の天井付近から水平に流入、4) 窓付近の天井部から鉛直下向きに流入、という現実的に考える 4 条件に分類してドラフト感 (Draught Rate, DR) 評価と空気齢の評価を行う。

iv の実建物での評価は、実建物での自然換気量の把握の困難さの程度を知るために差圧に基づく自然換気量とエアバランスの評価、空気齢分布の評価、設計時に予測が困難かつ換気駆動力に大きな影響を及ぼすと考えられる屋外の自然換気ボイド内の温度分布の実測評価を行う。

#### 4. 研究成果

##### i) 風圧係数データベースの構築：

高さの異なる 3 種の対象建物模型を周辺建物 (60mm 角) の中央に配置して風洞実験により風圧測定を行い、風圧係数を整備した。対象模型の高さは周辺建物と同じ 60mm を Model 1、2 倍の 120mm を Model 2、3 倍を Model 3 と呼称する。16 風向を想定し、これを 22.5 度刻みで測定し、鉛直の風圧係数分布の近似式をモデル・風向ごとに整備した。これを実建物に適用した場合と、実建物の風圧係数を入力した場合の回路網による自然換気量計算結果を図 3 に示す。また、対象とした実建物と周辺建物の配置を、外部風向とともに図 4 に示す。

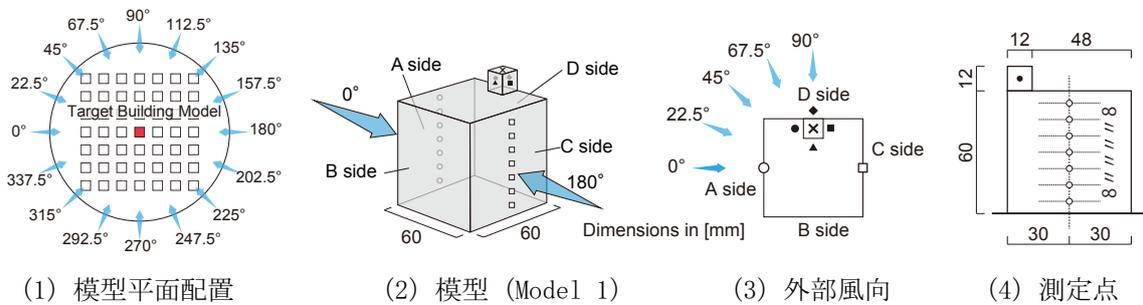
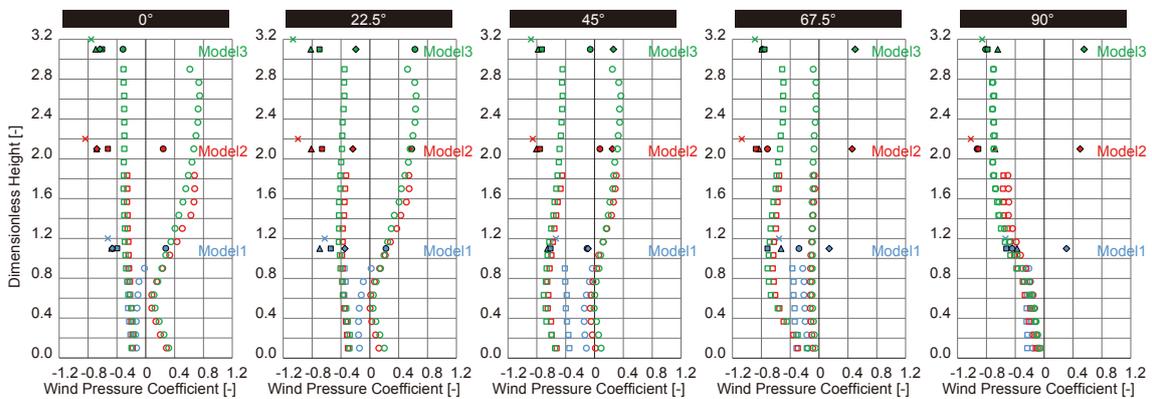
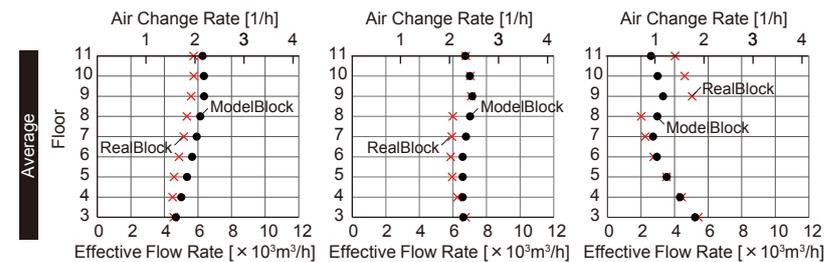


図 1 自然換気建物用の風圧係数データベースの実験模型



(1) 風向 0° (2) 風向 22.5° (3) 風向 45° (4) 風向 67.5° (5) 風向 90°

図 2 簡易的な汎用データベースとして整備した風圧係数分布



(1) 通風型 (2) 併用型 (3) シャフト型

図 3 風圧係数の入力値による自然換気量の違い

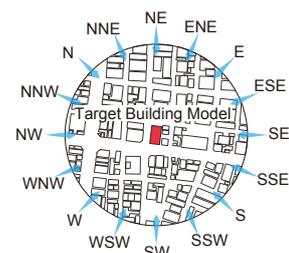


図 4 実建物での外部風向

図 3 の結果は中間期の代表的な条件として外気温 20℃、外部風速は大阪における拡張アメダスデータの執務時間帯の平均値として軒高 (1.5m) で 3.3m/s を想定し、16 風向全てで計算を行った結果の平均値である。この結果、事例検討ではあるが風圧係数にデータベースの値を用いても最終的に算出される自然換気量の誤差は大きくないことが示された。また、同様の検討を様々な建物形状に適用し、当該データベースの有用性についてのさらなる確認が必要と考えられる。

ii) 自然換気建物分類別の自然換気量の体系的整備：

重力換気主体のシャフト型の中高層オフィスビルを想定し、自然換気設計時の最も基本的かつ重要な設計要素である、各フロアの自然換気口面積の有効開口面積 ( $\alpha A_{opening}$ ) と執務室と自然換気シャフトの自然換気パスの有効開口面積 ( $\alpha A_{path}$ ) の 2 種に焦点を絞り、基準階床面積 ( $A_f$ ) との比率で自然換気量算定を行い、その結果を整備した。図 5 がその算定結果である。大まかな傾向として重要な点は、「自然換気口の有効開口面積を床面積の 1/500 (流量係数を 0.4 と仮定すると 1/200、つまり 0.5%) 確保することで平均的な換気回数が 3 回/h 程度は確保できる」、「パスの有効開口面積を絞ると換気量は減少するが、フロア間のばらつきが抑えられる利点もあり、1/2000 程度に抑えても自然換気は機能する」という傾向が示され、これらの値は実務での設計時一つの目安となり得る。

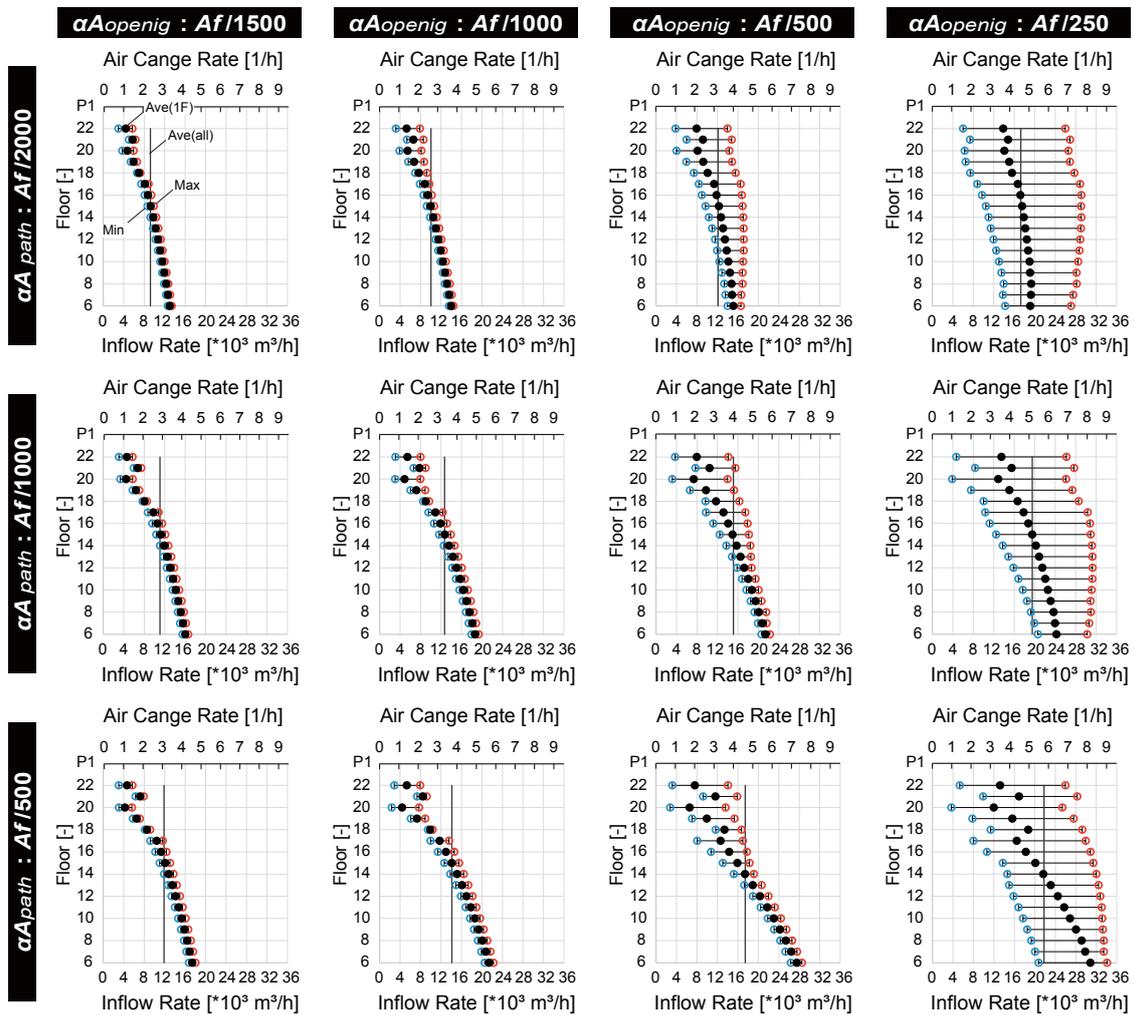
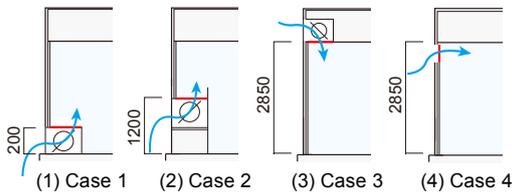


図 5 自然換気口と自然換気パスの有効開口面積を変更した自然換気量算定結果

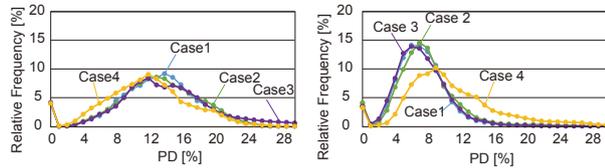
iii. 自然換気の流入タイプ別の室内環境の分布の評価：

大規模平面を有する自然換気オフィスビルを想定し、幅 63.2m、奥行き 21.5m、天井高 2.85m の執務室を想定して CFD 解析を実施した。自然換気口は東西および南面に均等に配置され、北面にコアが配置されている計画を想定した。自然換気装置の位置と流入風向を解析条件とし、図 6 に示す 4 条件を想定した。CFD の計算格子数は各条件で 750 万程度であり、流入風量は換気回路網計算に基づいて与えた。代表的な結果として、低温の自然換気気流のドラフトによる不満足者率 (DR) を図 7 に示す。ここでは、自然換気時の「足元の寒さ」と「頭部付近の寒さ」をそれぞれ評価するために、床上 100mm と 1,100mm での結果を分けて示す。また、流入タイプごとの特徴の違いを評価するために、分級幅 2% での相対頻度分布として表現している。

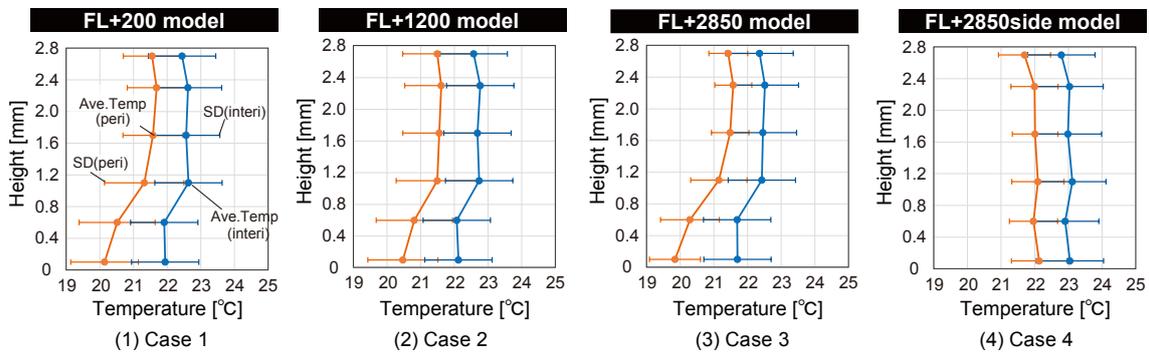
この結果、Case 4 では天井に沿った気流の流入により足元のドラフト感は若干軽減される傾向が示された。しかし、当該方式では窓上部から流入して天井に沿って流れるコアンダ効果が見られた後に、気流が天井から剥離して降下するため、インテリア領域で人体に気流が当たることになり、床上 1,100mm の高さでは不満足者率が上昇してしまうことが定量的に示された。また、図 8 に各方式でのインテリアとペリメーター領域での鉛直温度分布を示す。どの条件でもペリメータはインテリアと比較して温度は下がる。Case 4 ではインテリア部でもペリメーター部でも足元付近の極端な温度低下はない。このため、Case 4 では主に気流感で不満足者率が上昇する。一方その他の鉛直吹き出しの 3 条件では、ペリメーター部で 1°C から 2°C の足元の温度低下が見られたため、特に窓際付近の執務者の足元が寒くなりやすく、環境設計に留意が必要と言える。



(1) Case 1 (2) Case 2 (3) Case 3 (4) Case 4  
図 6 自然換気口流入についての CFD 解析条件



(1) 床 100 mm (2) 床 1,100 mm  
図 7 足元と椅座頭部のドラフト率 (DR)



(1) Case 1 (2) Case 2 (3) Case 3 (4) Case 4  
図 8 各条件におけるペリメーターとインテリアでの平均鉛直温度分布

#### iv. 実建物の実運用時に想定される問題点の抽出

大阪に位置する地上 21 階建の重力風力併用型の高層自然換気建物で実測調査を行った。測定項目は自然換気量に加え、屋外ボイド内の鉛直温度分布、室温分布、室内 CO<sub>2</sub> 濃度分布であり、BEMS データにおける自然換気口内外およびボイド開口前後の差圧も分析した。その結果、設計時に関心が高くこれまで知見が乏しい項目、屋外ボイドの鉛直温度分布は、相対的にボイドの深さが深いと中間期の夜間であっても外気温と同程度までは温度が低下しないことが確認された。このことは、屋外ボイドであってもその高さが温度差換気に有効な高低差に見込むことができるという設計上重要な知見に繋がると言える。このことはあくまで実測対象とした建物における屋外ボイドのアスペクト比についての知見ではあるが、同様の知見の蓄積が今後も求められる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 藤田有香、小林知広、山中俊夫、梅宮典子、川分芳子、粕谷 敦、小林佑輔、和田一樹
2. 発表標題 外部ボイドを有する高層事務所ビルの自然換気性能に関する研究 (その 1) トレーサガス法による空気齢分布及び換気量の予備測定
3. 学会等名 平成30年度日本建築学会近畿支部研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川分芳子、小林知広、梅宮典子
2. 発表標題 中高層オフィスビルを対象とした自然換気量予測法に関する研究 (その3)異なる自然換気システムにおける風圧係数入力方法の影響
3. 学会等名 平成30年度日本建築学会近畿支部研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤田有香、小林知広、山中俊夫、梅宮典子、川分芳子、粕谷 敦、小林佑輔、和田一樹
2. 発表標題 外部ボイドを有する高層事務所ビルの自然換気性能に関する研究 その 2 トレーサガス法による空気齢分布及び換気量の実運用前測定
3. 学会等名 平成30年度日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 粕谷 敦、小林佑輔、和田一樹、小林知広、山中俊夫
2. 発表標題 高層オフィスビルにおける自然換気のパフォーマンス評価 (第 3 報) 換気回路網計算によるボイド換気の影響評価
3. 学会等名 平成30年度日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川分芳子、小林知広、梅宮典子
2. 発表標題 中高層オフィスビルを対象とした自然換気量予測法に関する研究 (その4)異なる自然換気システムにおける風圧係数の入力方法とその影響
3. 学会等名 平成30年度日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshiko Kawawake, Tomohiro Kobayashi, Noriko Umemiya
2. 発表標題 General Wind Pressure Coefficient Database and Its Application for Estimation of Natural Ventilation rate of Mid- to High-rise Office Building
3. 学会等名 Roomvent 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川分芳子、小林知広、梅宮典子
2. 発表標題 中高層オフィスビルを対象とした自然換気量予測手法に関する研究 (その4)異なる自然換気システムにおける風圧係数の入力方法とその影響
3. 学会等名 平成30年度空気調和・衛生工学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤田有香、小林知広、山中俊夫、梅宮典子、川分芳子、粕谷 敦、小林佑輔、和田一樹
2. 発表標題 自然換気・放射併用パーソナル空調を導入したテナントオフィスビルの評価研究 (第3報) トレーサガス法による空気齢分布及び換気量の予備測定
3. 学会等名 平成30年度空気調和・衛生工学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤田有香、小林知広、山中俊夫、梅宮典子、袁繼輝、川分芳子、西堀啓規、粕谷敦、小林佑輔、和田一樹
2. 発表標題 外部ボイドを有する高層オフィスビルの自然換気性能に関する研究(その2) 実運用下における自然換気時の室内環境実測及び換気量評価
3. 学会等名 平成30年度 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林知広、山中俊夫、梅宮典子、袁繼輝、藤田有香、川分芳子、西堀啓規、粕谷敦、小林 佑輔、和田一樹
2. 発表標題 外部ボイドを有する高層オフィスビルの自然換気性能に関する研究(その3) 実運用下における自然換気用ボイド内の鉛直温度分布測定
3. 学会等名 平成30年度 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川分芳子、小林知広、梅宮典子
2. 発表標題 中高層オフィスビルを対象とした自然換気量予測手法に関する研究(その5) 高層自然換気オフィスを対象とした換気回路網計算 用風圧係数の入力方法の影響
3. 学会等名 平成30年度 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川分芳子、小林知広、梅宮典子、落合奈津子、松本明広
2. 発表標題 中高層オフィスビルを対象とした自然換気量予測法に関する研究(その1) シャフト型自然換気システムにおける風圧係数の入力方法の影響
3. 学会等名 平成29年度日本建築学会近畿支部研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 川分芳子、小林知広、梅宮典子、落合奈津子、松本明広
2. 発表標題 中高層オフィスビルを対象とした自然換気量予測法に関する研究(その2)シャフト型自然換気ビルにおける風圧係数の入力方法の影響
3. 学会等名 平成29年度日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 川分芳子、小林知広、梅宮典子、落合奈津子
2. 発表標題 中高層オフィスビルを対象とした自然換気量予測手法に関する研究(その2)シャフト型自然換気ビルにおける風圧係数の入力方法の影響
3. 学会等名 平成29年度空気調和・衛生工学会大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 川分芳子、小林知広、梅宮典子
2. 発表標題 中高層オフィスビルを対象とした自然換気量予測手法に関する研究(その3)異なる自然換気システムにおける風圧係数の入力方法の影響
3. 学会等名 平成29年度 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川分芳子、小林知広、梅宮典子、落合奈津子、松本明広
2. 発表標題 中高層オフィスビルを対象とした自然換気量予測手法に関する研究(その1)シャフト型自然換気システムにおける風圧係数の入力方法の影響
3. 学会等名 平成28年度 空気調和・衛生工学会近畿支部 学術研究発表会論文集
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	川分 芳子  (Kawawake Yoshiiko)	大阪市立大学・大学院工学研究科・大学院生	
研究協力者	藤田 有香  (Fujita Yuka)	大阪市立大学・大学院工学研究科・大学院生	
研究協力者	明石 大  (Akashi Hajime)	大阪大学・大学院工学研究科・大学院生	
研究協力者	佐藤 可奈  (Sato Kana)	大阪大学・大学院工学研究科・学部生	