

水平換気システムを有する高層オフィスの換気性能の検証

環境都市専攻 建築都市デザインコース 6143120029-4 水島 大輝
(指導教員 近本智行)

1. はじめに

近年、省エネ・低炭素化社会の実現と節電時における BCP の観点から、これまで換気方式を機械換気が主流となっていた高層オフィスビルにおける自然換気システムの導入が着目されている。研究対象となる高層オフィスビルでは、季節や気候、室内環境などの条件に応じて自然換気と空調制御を自在に組み合わせることができ、冷房負荷の低減を図る設計がなされている。しかし、実際の換気性能や自然換気に伴う影響などは明らかになっておらず、条件に応じて自然換気を最大限に有効利用するためのシステムの確立には至っていないのが現状である。

自然換気システムを最適運用する仕組みづくりには、自然換気時の執務室環境と居住者への影響の把握が必要であり、本プロジェクトではそれらのデータベースの確立を最終的な目的としている。その第一段階として、本研究では現地実測を行い、自然換気時の流入風量や流量係数など自然換気システムの性能検証と、室内温度分布など自然換気時に形成される温熱環境の把握を行った。

2. 研究対象の概要

2-1 対象建物

対象建物は、大阪都心部に位置する地下 3 階・地上 38 階建(高さ 175m 程度)の複合施設であり、自然換気を行うオフィス階は 10~37 階を占めている。対象建物の外観写真および自然換気口の断面図・内観写真を図 1 に示す。

2-2 空調制御システム

図 2 に各空調方式の概念図を示す。対象建物では、「自然換気」「完全空調」制御に加えて、自然換気と空調方式を同時に行うことで室温を一定に保つ「ハイブリッド空調(以下、HV)」、機械による強制排気によって室内を負圧にすることで自然換気を促す「第 3 種換気」といった空調方式が用いられている。各空調制御は、入居テナントによる自然換気の可否判断と、外気温・風速など外部条件によって自動的に切り替えられる。

3. 春季実測による換気性能の把握と室内環境調査

3-1 実測の概要

測定は 2013 年 4 月 17 日~2013 年 4 月 23 日にかけて 31F オフィスフロア(テナント未入居)で行った。実測中は照明による熱負荷に加えて、ホットカーペット(500W×50 台)を用いて、人体による熱負荷を模擬した状態で行った。実測における各空調制御ケースの制御方法を表 1 に示す。

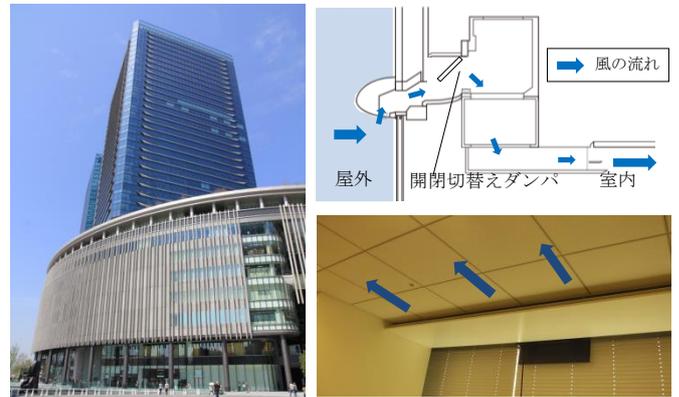


図 1 建物外観(左)と自然換気口の断面図(右上)内観(右下)

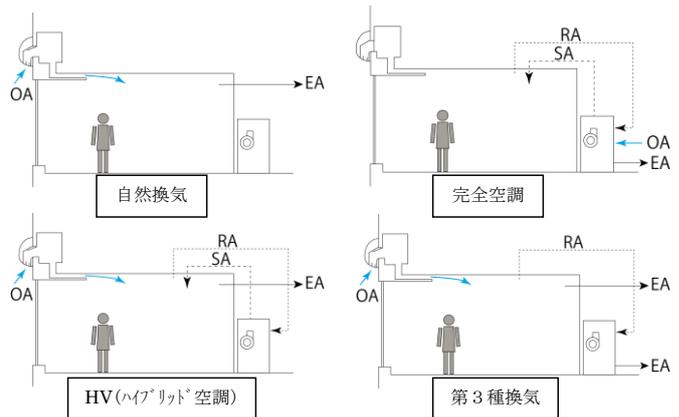


図 2 各空調方式の概念図

表 1 実測における各空調ケースとその設定

	自然換気の開閉	空調機の運転	機械排気(強制)量
自然換気	全面開放	OFF	2800 m ³ /h
完全空調	全閉	24°C 設定	14000 m ³ /h
HV	全面開放	24°C 設定	11200 m ³ /h
第3種換気	全面開放	OFF	25200 m ³ /h

また、図 3 に 31F 平面図・測定箇所を示す。自然換気口は各方向 12 個ずつ計 48 個設置されており、端部とそれ以外の中央部では開口面積・流量係数が異なっている。

本測定では、トレーサーガス法^{文1)}による濃度測定、室内水平温度分布、上下温度分布、換気口差圧測定を行った。実測の流れを図 4 に示す。ステップダウン法を行うために、実測開始前に換気を全く行わない状態でトレーサーガスを発生させ、濃度を室内で一様に上昇させた。また、室温は 24°C になるように調整した。濃度と温度の上昇の確認した後、各空調制御による換気を開始した。

3-2 トレーサーガス法による局所換気回数の分布

トレーサーガスステップダウン法を用いて新鮮外気分配性状の検討を行った。トレーサーガスには CO₂ を用いており、室内 24 点^{文2)}の CO₂ 濃度減衰データから局所換気回数を算出することができる。各測定点の CO₂ 濃度減衰による局所換気回数 n は、以下の式から算出した。

$$\ln \frac{(P_t - P_0)}{(P_{t_0} - P_0)} = -nt$$

t	: 経過時間	[h]
P _t	: t 時の局所 CO ₂ 濃度	[%]
P ₀	: 初期の局所 CO ₂ 濃度	[%]
P _o	: 外気の CO ₂ 濃度	[%]
n	: 換気回数	[回/h]

図5に「自然換気」「HV」「第3種換気」時における代表日 A・B・C(順当)の局所換気回数分布を示す。各空調制御の代表日は、平均風速が 3.8・3.3・3.4 m/s と同程度となる日を選んだ。また、室平均換気回数は全局所換気回数の平均値とした。換気口の流入流出を表す矢印の方向は平均差圧の正負から判断し、流入出風量の大きさを表す矢印の大小は、平均差圧の絶対値から判断した。

代表日 A では、風上にあたる西側の局所換気回数が高く、多くの新鮮外気が流入していることがわかる。また、同じ風下側でも流出風量(矢印)の大きい北側・南側の測定点では、3.0 回/h 以上の局所換気回数が記録されていたのに対し、風上の正反対にあたる東側では、流出風量が小さく局所換気回数も比較的低くなっていた。これは、ビルの中心にコア部があることで、西面から流入した新鮮外気が東側に到達する前に、北面・南面の換気口から排気してしまうことが原因であると考えられる。

代表日 B(「HV」)の結果においても、代表日 A の結果と同様の結果となり、風上に位置する北東側と正反対方向の南西側とで局所換気回数に大きな差が見られた。

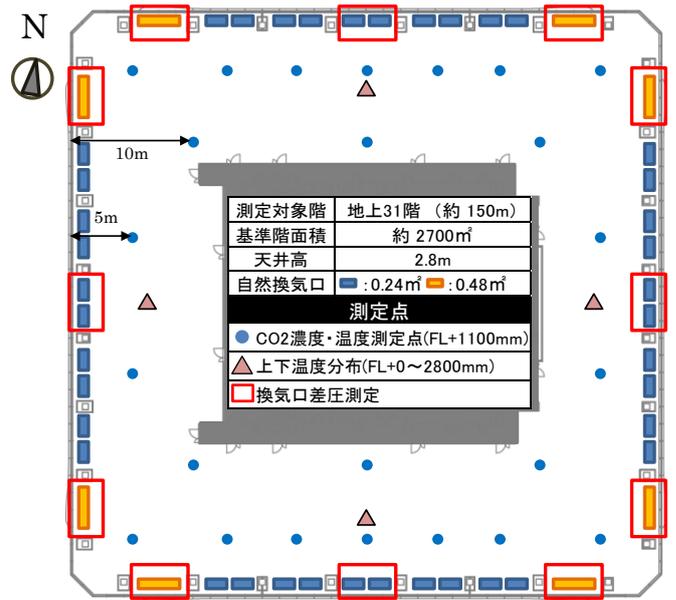


図3 測定階(31F)の平面図と測定箇所

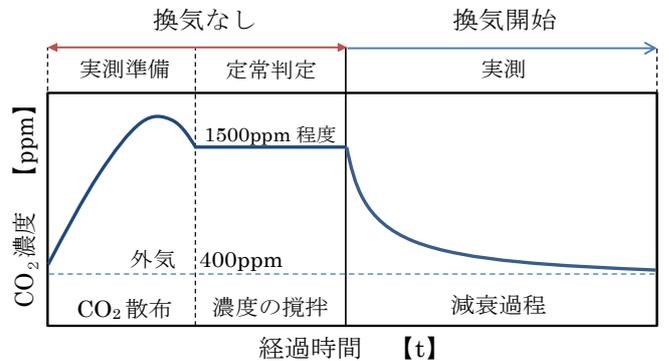


図4 実測の流れの概要

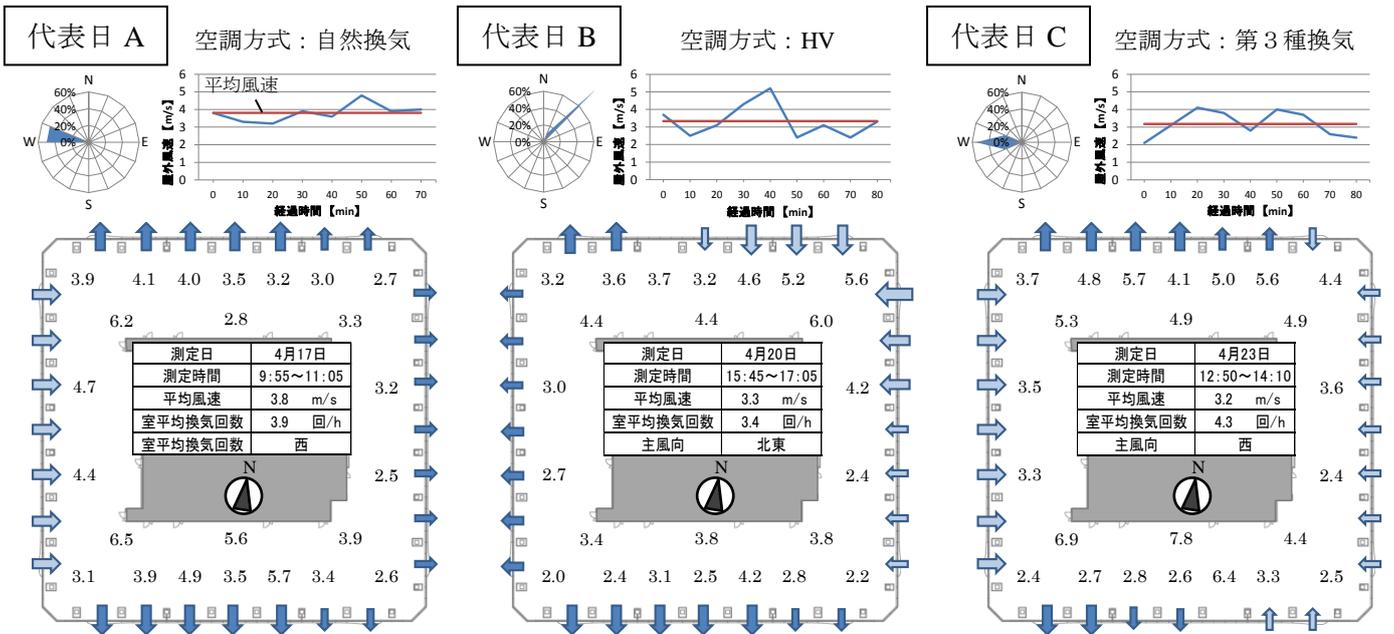


図5 各空調制御におけるトレーサーガス法による局所換気回数

代表日 C(「第3種換気」)では、実測中の風向が西側に集中しているのに対し、建物の東面の自然換気口からも若干の流入が見られた。これは、機械排気によって室内が負圧になることで、元々、流出の少ない東面換気口の差圧が流入側に移行したからであると思われる。

また、どの代表日においても共通して、流入側では外皮から 5m 地点の測定点より、外皮から 10m 地点の測定点のほうが、局所換気回数は高くなった。これは自然換気口(h:FL+2500mm)から流入した外気は、すぐに居住域(h:FL+1100mm)に到達するわけではなく、やや距離を置いて居住域に達することが要因の一つだと考えられる。

このことは、煙発生器による流入外気の可視化実験においても確認された。(図6参照)

3-3 各空調制御における局所温度変化の水平分布

CO₂ 濃度測定と同時に、室内 24 か所の測定点において温度も測定し、各空調制御下において形成される室内の水平温度分布の把握を行った。図7に 24 か所の測定点における実測後の局所温度変化を示す。図中の縦棒は、各測定点の中で実測後の温度変化の最高値・最低値を示しており、縦棒が長くなるほど水平温度分布の差が大きいことを意味している。図中の横棒は、全 24 か所の測定点における温度変化量の平均値である室平均温度変化を示している。また、代表日①～⑤は「完全空調」制御時の室平均換気回数が 1.8 回/h と同程度の室平均換気回数を記録した日を選定した。

室内外温度差が小さい代表日①(「自然換気」)では、温度変化量の最高値と最小値をそれぞれ示した測定点間で 2.2(+1.2～-1.0)℃の差が見られた。一方で、代表日④(「HV」)では、代表日①と似た条件であるにもかかわらず、各測定点間の温度変化量差が最大で 1.0(-0.2～-1.2)℃と比較的小さいことがわかる。室内と外気との温度差が大きかった代表日②・③と⑤を比較しても、同様に「自然換気」に比べて「HV」制御のほうが、水平方向で温度分布が形成されにくい傾向が確認された。

以上より、「HV」制御では、自然換気のデメリットの一つである流入外気による水平温度分布の形成を、温度分布を形成されにくい空調制御と組み合わせることによって緩和することができる^{文3)}ことを確認した。

3-4 自然換気による上下温度分布の形成

上下温度分布の測定点高さは、FL+0・100・600・1100・1600・2100・2600・2800mm(天井)の 8 点とした。

図8に風上側における上下温度分布を示す。流入した外気の影響によって、温度低下が生じる測定点があり、特に高さ FL+1600・2100mm の測定点が顕著に外気の影響を受けていると思われる。また、外部風速が強くなると、より上下温度分布の差が大きくなることが確認された。同様の結果が、「HV」制御時においても見られた。

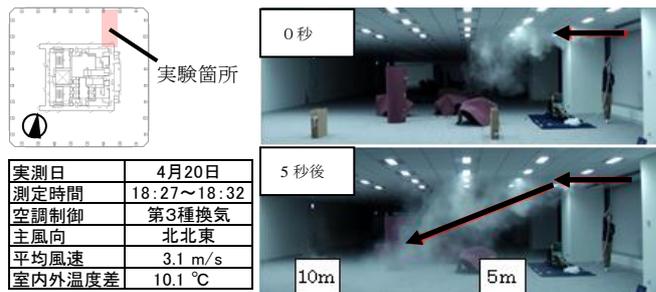


図6 流入外気の可視化実験

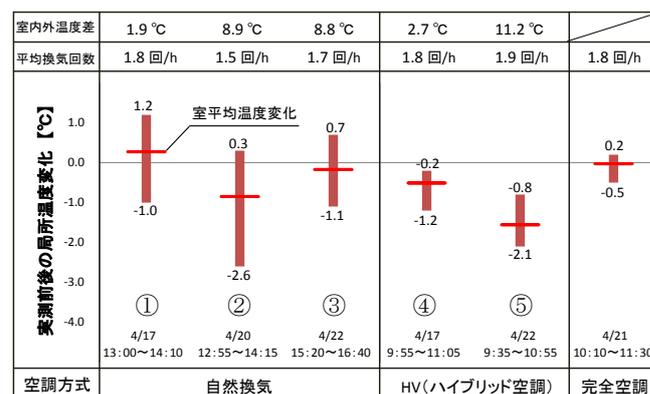


図7 各測定点における実測後の局所温度変化

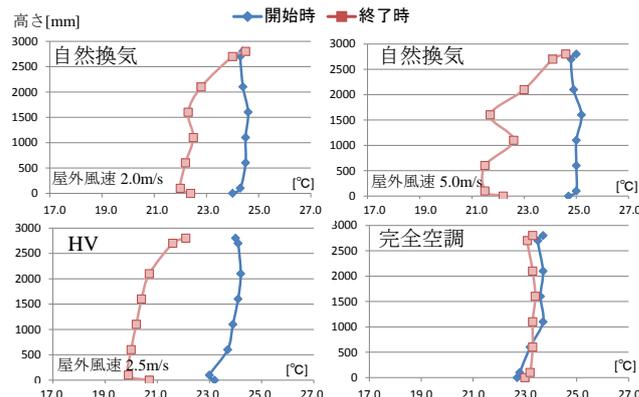


図8 風上側における上下温度分布

4. 流入風量算出のための追加実測

4-1 p-Q 特性の作成

春季実測結果だけでは、各換気口の流入風量を算出することができなかったため、流路の差圧と通過流量の関係を表す p-Q 特性の作成を目的とした追加実測を行った。

実測期間は 2013 年 11 月 9 日～2013 年 11 月 25 日とし、測定対象とする自然換気口は、春季実測で差圧を計測した 31F の換気口とした。(図3参照)また、流入風量は、流入風の平均風速に換気口面積を乗じることで算出した。

図9に自然換気口の風速測定点を示す。中央部・端部換気口それぞれ 48 か所の風速測定^{文4)}を行い、平均風速を算出した。なお、p-Q 特性の作成には流入時の風速のみを用いており、流入流出の判断は差圧の正負から行った。

図 10 に中央部・端部の自然換気口における差圧の平方根と通過風量の相関関係を示す。どちらの換気口においても回帰式の決定係数が高い値を示しており、p-Q 特性は図中の回帰式で表すことができると判断できる。また、端部と中央部の回帰式を比べると、開口面積に比例して端部換気口の流入風量が、中央部換気口の流入風量の約 2 倍になることが、それぞれの傾きからうかがえる。

得られた p-Q 特性から、自然開口における圧力差に対する通過風量の算出式を用いて、流路の通過効率を表す流量係数 α をそれぞれ算出した。

$$Q = \alpha A \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p}$$

Q	: 通過風量	[m ³ /h]
α	: 流量係数	[-]
ρ	: 流体の密度	[kg/m ³]
Δp	: 差圧	[Pa]

計算結果より、換気口の流量係数はそれぞれ $\alpha_{\text{中央部}}=0.50$ 、 $\alpha_{\text{端部}}=0.53$ であった。

4-2 流入風量の算出と比較

追加実測によって得られた p-Q 特性を用いて、春季実測の差圧測定結果から、各換気口の通過風量を算出した。差圧測定を行っていない換気口の通過風量は、隣接している差圧測定箇所の内挿により算出した。

図 11 に各空調制御におけるトレーサーガスおよび p-Q 特性による全測定の室平均換気回数と外部風速との相関図を示す。トレーサーガス法と p-Q 特性による算出結果を比較すると、ほぼ全ての実測日において、p-Q 特性結果のほうが室平均換気回数は大きくなった。これは、p-Q 特性結果では自然換気口から流入した風量を全て測定するのに対し、トレーサーガス法は居住域のみの局所測定であるためだと思われる。また、p-Q 特性結果のほうが回帰線の傾きが大きく、決定係数 R^2 も高いことがわかる。同様に、各空調制御時の機械による強制排気量(自然換気: 0.3、HV: 1.2、第3種換気: 3.2 回/h 程度の換気回数、表 1 参照)を回帰線の切片が概ね示すことから判断しても、p-Q 特性結果のほうが回帰線の信頼性が高いと思われる。

各空調制御の回帰線の傾きを比べると、「自然換気」が最も大きく、外部風速の上昇に対して換気回数も増加しやすいことがわかる。一方で、機械による強制換気量が多い空調制御ほど室平均換気回数は外部風速に影響されにくい傾向にある。なお、自然換気時に「完全空調」時の換気回数である 1.8 回/h 以上を満たすためには、外部風速が 2.0m/s 以上を一つの目安とすることができる。

【参考文献】

- 1) 空調調和・衛生工学会 SHASE-S 115-2010: 室内換気効率の現場測定法・同解説,2010
- 2) 空調調和・衛生工学会 SHASE-S 116: トレーサーガスを用いた端質の換気量測定法,2011
- 3) 近本、村上、加藤ら ほか: 冷房時のオフィス空間における自然換気併用ハイブリッド空調方式に関する研究(その1~17)、日本建築学会大会学術講演梗概集,D-2,pp.597-598 ほか
- 4) 安永、白石ら: 空調試運転時を対象とした実測・数値シミュレーションによる自然換気量評価(第一報)、日本建築学会環境系論文集,vol.77, No.678,2012・8
- 5) 田辺、高山、山中、甲谷、和田ら: コーナー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3~5)、空調調和・衛生工学会(北海道)論文集,2013年9月

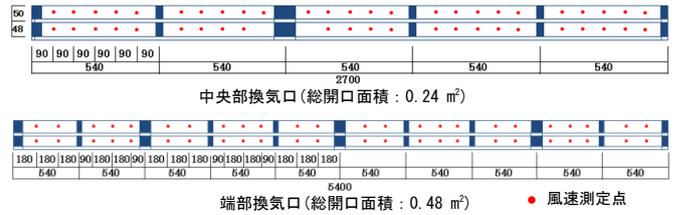


図 9 自然換気口の風速測定点

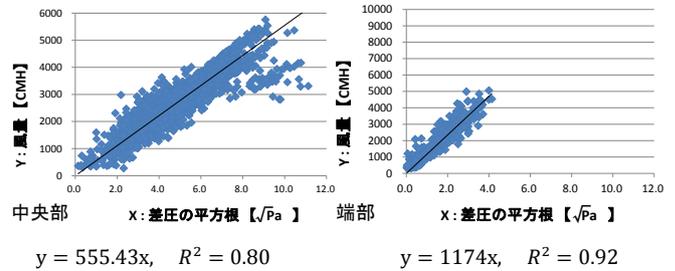


図 10 各自然換気口の p-Q 特性

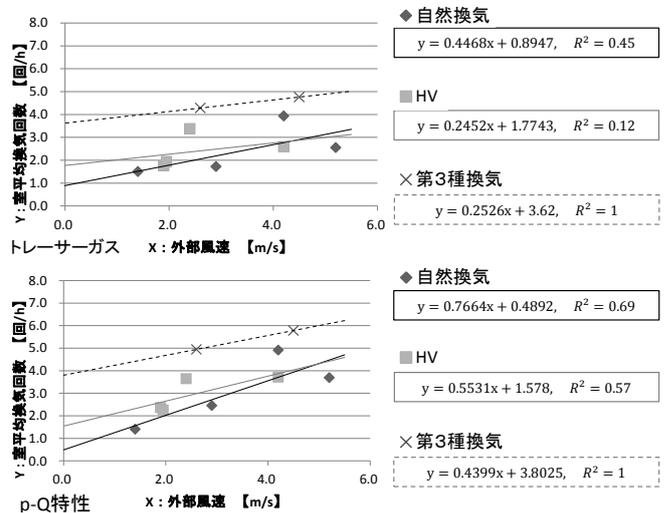


図 11 各空調制御の室平均換気回数と外部風速との相関

5. まとめ

本研究では、対象建物における自然換気性能の検証を目的とした実測を行い、各空調制御における換気効率の分布性状および形成された温熱環境の把握を行った。

今後は、この研究結果を踏まえたうえでの運用システムを構築するとともに、居住テナントが自然換気を積極的に利用しやすくなるように、空調利用実態の把握とオフィス環境・居住者の快適性の調査を行っていく。