

## 換気計算による高層ビル内の湿度・空気質・空調負荷の分布特性の検討

谷口 桂悟, 高田 暁  
神戸大学大学院工学研究科

**A study on characteristics of distributions of humidity, air quality, and air-conditioning load in the high-rise building based on ventilation calculation**

Keigo TANIGUCHI, Satoru TAKADA  
Graduate School of Engineering, Kobe University

**Abstract:** In winter, the stack effect influences ventilation properties of high-rise buildings. There is a possibility of reduction in the mechanical ventilation rate by adequately evaluating the amount of natural ventilation caused by stack effect. This study shows the distribution of humidity, air quality and air-conditioning load by ventilation calculation in a standard high-rise office building. By counting the natural ventilation in the necessary ventilation rate, mechanical ventilation rate can be cut 0.2 times/h as a the whole building, and at the same time, the relative humidity increases 5%, and heating load can be cut 90kW under the given.

**Key Words:** Stack Effect, High-Rise Building, Natural Ventilation, Residential Environment, Ventilation Calculation

**要旨：**冬季の高層ビルでは、ビル内外の温度差から煙突効果が生じ、換気性状に影響を与えている。煙突効果による自然換気量を的確に評価することによって、必要な空気質を確保しつつ、機械換気量を低減できる可能性がある。本報では、多数室についての換気計算モデルにより、標準的な高層オフィスビルでの、湿度、空気質、空調負荷のビル内での分布特性について冬季の条件で検討を行った。自然換気を室内換気量にカウントし、空気質を保つのに不足する分を機械換気で補った場合、今回設定した計算条件下では、0.5 回/h 機械換気を行った場合に比べ、機械換気量が建物全体で平均 0.2 回/h 減少し、各階で相対湿度が約 5%増加した。さらに暖房熱負荷が 90kW 減少した。

**キーワード：**煙突効果、高層ビル、自然換気、居住環境、換気計算

## 1. はじめに

冬季の高層ビルでは、ビル内外の温度差から煙突効果が生じ、換気性状に影響を与えている。煙突効果とは、ビル下部から外部の冷気が侵入し、ビル内の暖気が竪穴空間(EV シャフトなど)を上昇し、ビル上部から流出する現象である(早川ら 1988)。この煙突効果による自然換気量を的確に評価することによって、必要な空気質を確保しつつ、機械換気量を低減できる可能性がある。本報では、多数室についての換気計算モデルにより、冬季における高層ビル内での湿度、空気質、空調負荷の分布特性について検討を行う。

## 2. 計算方法

### 2.1. 計算対象モデル

標準的な高層オフィスを EV シャフトなどの竪

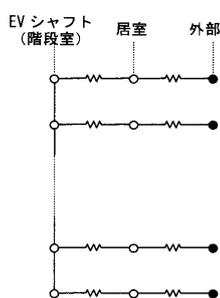
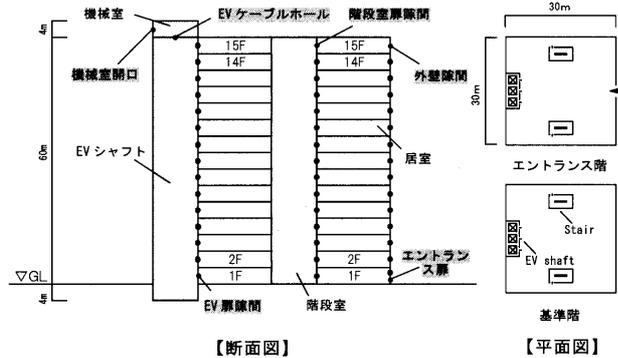


図1 単純化したビルの換気回路網

穴と居室のみに単純化して表現した戒能ら(2010)のモデルを用いる。換気回路網で表現すると図1のようになる。計算には換気回路網シミュレーションソフト VentSim を用い、各階の圧力と空気流量を求める。換気回路網計算を行うにあたり、換気計算の条件として与える EV シャフト温度を、(1)式の EV シャフト内空気の定常熱収支式を満足するように修正するという収束計算を行う(EV シャフトは 1 節点、EV シャフト温度は一樣と仮定)。EV シャフトへ流入する外気と居室空気による熱移動と、EV シャフト外壁と居室との間仕切り壁の伝熱のみで EV シャフト温度

が形成されていると仮定すると、EV シャフト内空気の定常熱収支式は (1)式となる(空気密度一定)。冬季の空調を想定し、居室、階段室、機械室は 22℃とする(図 2)。また、開口部の条件を表 1 に示す。各壁の隙間面積を開口条件とする。

$$T_{shaft} = \frac{c\rho V_i T_{in} + (K_{in-wall} A_{in-wall} + K_{in-door} A_{in-door}) T_{in} + K_{out} A_{out} T_{out}}{c\rho V_i + K_{in-wall} A_{in-wall} + K_{in-door} A_{in-door} + K_{out} A_{out}} \quad (1)$$



室内外の環境条件		EV 扉、シャフト壁の条件	
外気	0℃, 60%, 300ppm	EV 扉	熱貫流率 4.6W/m <sup>2</sup> ·K
居室	22℃		面積 85.05m <sup>2</sup>
階段室	22℃	EV シャフト	熱貫流率 0.9W/m <sup>2</sup> ·K
機械室	22℃	間仕切り壁	面積 874.95m <sup>2</sup>
居室人数	50人/フロア**	EV シャフト	熱貫流率 1.0W/m <sup>2</sup> ·K
水分発生	68g/h·人***	外壁	面積 600m <sup>2</sup>
CO <sub>2</sub> 発生	0.02m <sup>3</sup> /h·人***		

\*関根 1991, \*\*仲 1990, \*\*\*銚井 2002

図 2 計算対象ビル(基準ビル)の概要

表 1 計算対象ビル(基準ビル)の開口部条件

開口部	有効開口面積	位置
エントランス扉(閉鎖時)	0.024m <sup>2</sup> (上部1.2m <sup>2</sup> 、下部1.2m <sup>2</sup> )	上部・1階床上1.5m 下部・1階床上0.5m
エントランス扉(開放時)	2.4m <sup>2</sup> (上部0.012m <sup>2</sup> 、下部0.012m <sup>2</sup> )	上部・1階床上1.5m 下部・1階床上0.5m
EV扉隙間* (3枚分)	0.034m <sup>2</sup> × 3 = 0.102m <sup>2</sup>	各階床上1m
階段室扉隙間* (2枚分)	0.01m <sup>2</sup> × 2 = 0.02m <sup>2</sup>	各階床上1m
外壁隙間 (各階)	1.4cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> × 480m <sup>2</sup> = 0.0672m <sup>2</sup>	各階床上2m
EVケーブルホール*	0.3m <sup>2</sup>	機械室床面
機械室開口	0.5m <sup>2</sup>	機械室床上2m
EVシャフト外部開口 (対策時のみ)	0.6m <sup>2</sup>	地上2m

\*早川ら 1989

## 2.2. 室内の水分収支、CO<sub>2</sub> 収支

各室内空間での水分に関する定常収支式は (2) 式となる。

$$X_{in} = \frac{P' A + U + X_{out} \rho V_{oi} + X_e \rho V_{ei} + X_s \rho V_{si}}{\rho(V_{io} + V_{ie} + V_{is})} \quad (2)$$

また、空気質の指標として各室の CO<sub>2</sub> 濃度について考える。室内空間に対して CO<sub>2</sub> に関する定常収支式 (3) が成り立つ。

$$C_{in} = \frac{k \times 10^6 + C_{out} V_{oi} + C_e V_{ei} + C_s V_{si}}{V_{io} + V_{ie} + V_{is}} \quad (3)$$

## 3. エントランスの開閉と空気流量の計算結果

居室温が外気温よりも高い冬季に図 3 に示す差圧分布から、ビル下層部で居室から EV シャフトへ、ビル上層部で EV シャフトから居室へと空気が流れる。EV ケーブルホールから外気へと抜ける空気の経路の影響を受け、中性帯が 10 階付近に位置している。エントランス開放時はエントランス閉鎖時に比べ、1 階での居室とシャフトの差圧が大きい。しかし、他の階を見ると大きな差はみられない。これはエントランス閉鎖時と開放時に 1 階での開口部の条件が異なるためである。図 4 はエントランス閉鎖時の居室の流量収支、図 5 はエントランス開放時の居室の流量収支を表している。1 階では流量に大きな差があるものの、他階では大きな差がない。以下では、エントランス閉の場合の結果を示す。

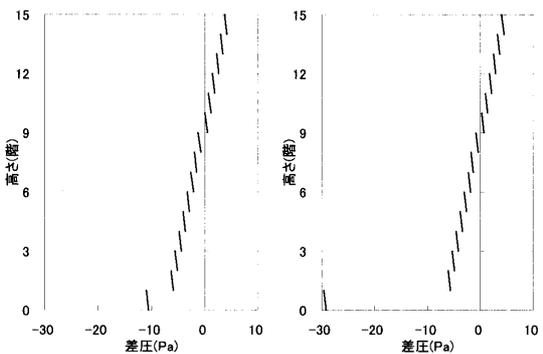


図 3 冬季における居室とシャフト間の差圧分布

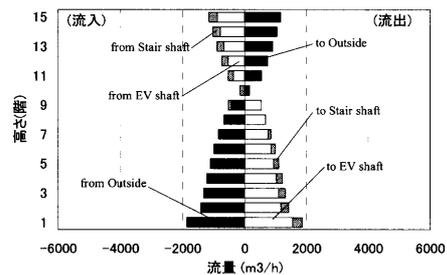


図 4 自然換気による居室の流量収支(エントランス閉)

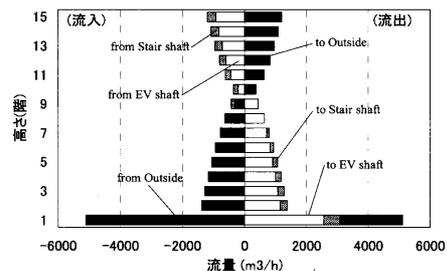


図 5 自然換気による居室の流量収支(エントランス開)

### 4. 室内湿度、CO<sub>2</sub>濃度の分布の計算結果

対象のオフィスビルにおいて各階居室で 0.5 回/h の機械換気を行っているとする、各階での流量収支は図 6 となる。図 7 は各階での相対湿度を表している。人体からの水分発生のみを図 2 に基づいて与え、強制的な加湿は考慮していない。外気流入量の多い階ほど相対湿度が低い。各階での室の CO<sub>2</sub> 濃度の分布は図 8 のようになる。どの階も建築物衛生管理法に制定されている 1000ppm 以下となる。

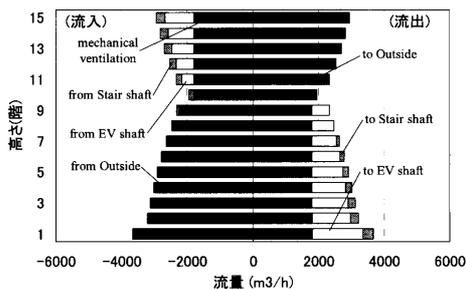


図 6 自然換気+0.5 回/h 機械換気による各階の流量収支

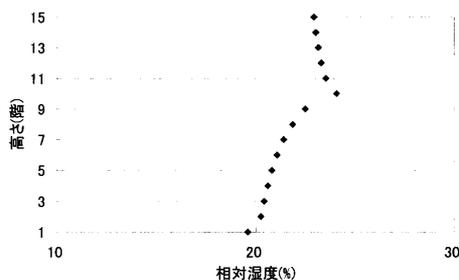


図 7 自然換気+0.5 回/h 機械換気による各階の相対湿度

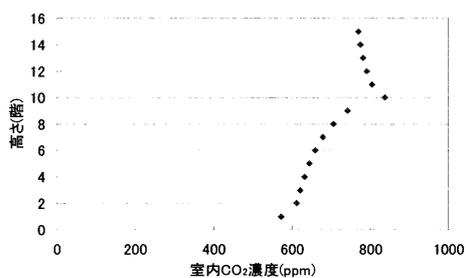


図 8 自然換気+0.5 回/h 機械換気による各階の CO<sub>2</sub> 濃度

### 5. 自然換気を考慮し機械換気量を減らした場合

本節では、自然換気量を各室の換気量としてカウントし、機械換気量を減らす効果について検討を行う。上層階でシャフトから居室へと流入する空気は、下層階を通ってくるので新鮮な空気ではない。その空気質を考慮して、正味の換気回数を式(4)を用いて求める。

$$N_c = N_n \cdot \frac{C_e}{C_{out}} \quad (4)$$

各階居室の自然換気のみによる換気量、および 0.5 回/h 換気を行うのに必要な残り換気回数を表 2 に示す。

表 2 各階での換気回数

階数	自然換気のみによる換気回数(回/h)	0.5回/h換気に必要な残り換気回数(回/h)
15	0.08	0.42
14	0.07	0.43
13	0.06	0.44
12	0.05	0.45
11	0.04	0.46
10	0.01	0.49
9	0.13	0.37
8	0.19	0.31
7	0.23	0.27
6	0.27	0.23
5	0.31	0.19
4	0.34	0.16
3	0.37	0.13
2	0.39	0.11
1	0.52	0.00

注)自然換気が 0.5 回/h 以上の場合、機械換気は 0 回/h とする

このときの各階での空気流動は図 9 のようになる。上層では機械換気を多く行う必要があるものの、下層階では自然換気による換気効果を期待することができ、通常行う機械換気量を削減できると考えられる。自然換気量を考慮して機械換気を削減した場合の各階の湿度分布を図 10 に表す。全ての階でほぼ同様の湿度となっており、自然換気量と無関係に 0.5 回/h 機械換気を加えた場合 (図 7) に比べ、相対湿度で 5%、絶対湿度で 1g/kg'ほど高い。乾燥が問題となる冬季において、有利な結果と思われる。また各階での CO<sub>2</sub> 濃度は図 11 のように、全階で 1000ppm 以下となる。

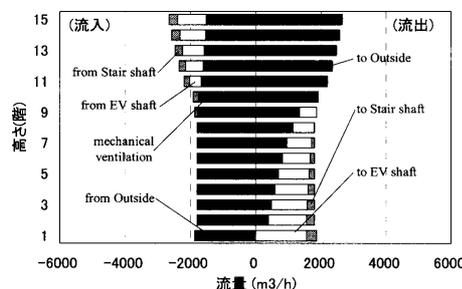


図 9 自然換気量を考慮して機械換気を減らした場合の各階の流量収支

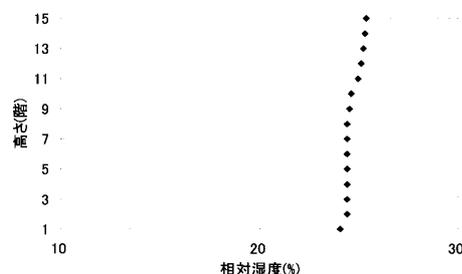


図 10 自然換気量を考慮して機械換気を減らした場合の各階の湿度分布

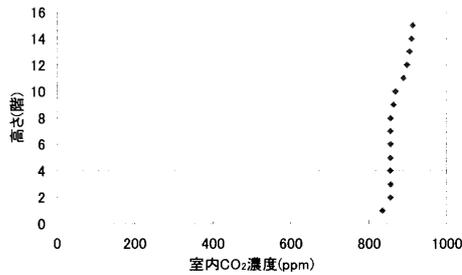


図 11 自然換気量を考慮して機械換気を減らした場合の各階の CO<sub>2</sub> 濃度

表 3 発熱条件

発熱体	発熱量*
人体	119W/人
照明負荷	20W/m <sup>2</sup>
機器負荷	20W/m <sup>2</sup>

\*田中(2002)

図 12 は全ての階で 0.5 回/h 機械換気を行った場合と、自然換気量を考慮して機械換気を削減した場合の暖房負荷を表している。発熱条件として表 3 に示す発熱体を想定した。自然換気を取り入れ、空気質を考慮した場合に不足分を機械換気で補った場合のほうが、90kW 熱負荷が少なく、約 40%減少している。特に下層階では機械換気量の削減によって暖房負荷を削減することができると考えられる。本報の計算モデルでは暖房空調を行っているが、ビル内の人体や設備機器等の発熱量の増加により、冬季でも室内冷房を行う場合には逆に冷房負荷が増す可能性があるため注意が必要である。

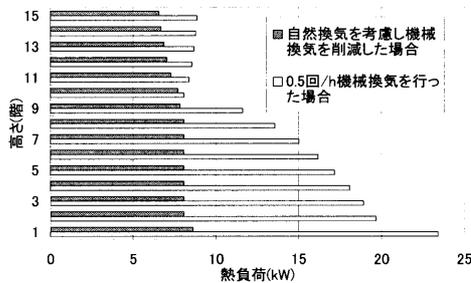


図 12 各階の暖房負荷

### 6.まとめ

本報では、多数室についての換気計算モデルにより、湿度、空気質、空調負荷のビル内での分布特性について検討を行った。本報で取り扱った高層ビルモデルにおいて、エントランス閉鎖時に外気温度 0℃、各階の室温を 22℃一定とした場合、ビル全体での自然換気による居室への外気流入量が計 9800 m<sup>3</sup>/h であった。また、自然換気量を各室の換気量としてカウントし、不足分を機械換気で補った場合、0.5 回/h 機械換気を行った場合に比べ、機械換気量が建物全体で平均 0.2 回/h 減少し、各階で相対湿度が約 5%増加した。さらに暖房負荷が 90kW 減少した。煙突効果による自然換気

を取り入れることにより、室内湿度、空気質を確保しつつ、機械換気による暖房熱負荷を削減する可能性を示した。

### 7. 文献

早川 真ら、1988、煙突効果現象の解明と各種障害への対応、日本建築学会計画系論文報告集、387、42/52  
 早川 真ら、1989、各種扉類や外壁の漏気特性、日本建築学会計画系論文報告集、402、9/18  
 早川 真ら、1990、煙突効果と風力による漏気量の予測、日本建築学会計画系論文報告集、407、47/56  
 戒能 慧邦、高田 暁、牛尾 智秋、松下 敬幸、2010、エントランス開放に起因する高層ビルのエレベーターシャフトにおける煙突効果抑制に関する研究、日本建築学会環境系論文集第 75 巻第 658 号(掲載予定)  
 関根 進、1991、オフィススペースに関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、E、建築計画、農村計画、5403、805/806  
 仲 隆介、1990、オフィスにおける一人当たり面積に関する考察、日本建築学会大会学術講演梗概集、E、建築計画、農村計画、5309、617/618  
 鉾井 修一ら、2002、エース建築環境工学Ⅱ、朝倉書店、212/214  
 田中 俊六、2002、建築設備工学、井上書院、86/97

### 記号

$T_{shaft}$ :EV シャフト温度(K)、 $T_{in}$ :居室温度(K)、 $T_{out}$ :外気温度(K)、 $V_1$ :EV シャフトへの居室空気流入量(m<sup>3</sup>/s)、 $c$ :空気の比熱(J/kg·K)、 $\rho$ :空気の密度(kg/m<sup>3</sup>)、 $K_{in.wall}$ :EV シャフト間仕切り壁の熱貫流率(W/m<sup>2</sup>·K)、 $A_{in.wall}$ :EV シャフト間仕切り壁の面積(m<sup>2</sup>)、 $K_{in.door}$ :EV 扉の熱貫流率(W/m<sup>2</sup>·K)、 $A_{in.door}$ :EV 扉の面積(m<sup>2</sup>)、 $K_{out}$ :EV シャフト外壁の熱貫流率(W/m<sup>2</sup>·K)、 $A_{out}$ :EV シャフト外壁の面積(m<sup>2</sup>)、 $X_{in}$ :室内絶対湿度[kg/kg]、 $X_{out}$ :室外絶対湿度[kg/kg]、 $X_e$ :EV シャフト内絶対湿度[kg/kg]、 $X_s$ :階段室内絶対湿度[kg/kg]、 $V_{in}$ :室内体積[m<sup>3</sup>]、 $V_{oi}$ :室外から室内へ流入する体積[m<sup>3</sup>/h]、 $V_{ie}$ :室内から EV シャフトへ流出する体積[m<sup>3</sup>/h]、 $V_{si}$ :階段室から室内へ流入する体積[m<sup>3</sup>/h]、 $V_{is}$ :室内から階段室へ流出する体積[m<sup>3</sup>/h]、 $P'A$ :人体の水分発生量[kg/h]、 $U$ :人体以外の水分発生量[kg/h]、 $\rho$ :空気密度[kg/m<sup>3</sup>]、 $C_{in}$ :室内 CO<sub>2</sub> 濃度[ppm]、 $C_{out}$ :室外 CO<sub>2</sub> 濃度[ppm]、 $C_e$ :EV シャフト内 CO<sub>2</sub> 濃度[ppm]、 $C_s$ :階段室内 CO<sub>2</sub> 濃度[ppm]、 $k$ :人体の CO<sub>2</sub> 発生量[m<sup>3</sup>/h]、 $N_n$ :自然換気の空気移動による各階での換気回数(回/h)、 $N_e$ :屋外と同等の空気質を確保した場合の自然換気の空気移動による各階での換気回数(回/h)

### <連絡先>

著者名：谷口 桂悟  
 住所：兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1  
 所属：神戸大学工学研究科  
 E-mail アドレス：102t034t@stu.kobe-u.ac.jp