

研究種目：基盤研究(B)
研究期間：2006～2008
課題番号：18360274
研究課題名(和文) 大空間オフィスにおける自然通風型タスクアンビエント空調の 快適制御法に関する研究
研究課題名(英文) Comfort-controlling method of task & ambient air-conditioning system combined with natural cross-ventilation in large office room
研究代表者 山中 俊夫(YAMANAKA TOSHIO) 大阪大学・大学院工学研究科・教授 研究者番号：80182575

## 研究成果の概要：

大空間を有するオフィスにおいて、自然換気を利用した次世代型自然換気・空調システムにおける様々な通風導入システムの室内気流・温度分布特性を温度、CRI3、CO<sub>2</sub>濃度などの指標を用いて明らかにするとともに、省エネルギー性について検討を行い、自然風の利用によって空調による冷房負荷の約60%が削減されることを明らかにした。また、自然換気用チムニーの設置位置に関する基礎的なデータも収集した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2007年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	5,200,000	1,560,000	6,760,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築環境・設備

キーワード：自然通風、タスクアンビエント空調、快適性、CFD解析、換気

## 1. 研究開始当初の背景

ここ20年間でオフィスビルの省エネルギー化は飛躍的に進んだが、現在最も注目されている省エネルギー手法が、自然風、太陽エネルギーなどの自然エネルギーを利用した空調システムである。80年代のシックビル症候群(SBS)以来、室内の空気質に対する関心が高まり、必要換気量を満足するだけでなく、より快適で健康な室内空気質が強く求められている。今世紀、化石エネルギーの枯渇とはうらはらに、より積極的な快適性を追求するべく、換気計画のパラダイムシフトが起こるであろう事は必至であった。

## 2. 研究の目的

本研究は、大面積を有するオフィスを対象

に、省エネルギーのみならず、よりピュアな快適性を居住者に供与できる次世代型の自然換気・空調システムとして、自然通風型タスク・アンビエント空調を提案し、様々な通風導入システムの特性を明らかにするとともに、その有効性の実証と設計手法の確立を目的としている。本研究の具体的な目的と明らかにする内容は、下記の通りである。

## (1) 自然換気用チムニーを用いた大空間の換気性能の検討に関する研究

建物屋上に自然換気用のチムニーを設置し、風力換気と重力換気を併用した大空間の自然換気システムを提案し、その換気効果を検討する。

## (2) 自然換気を目的とした屋上開口の最適配置に関する検討(学会発表④⑤⑥⑧⑩⑪)

建物屋上に換気口を配置した場合の、屋上開口の最適な設置位置を検討する。

(3) 外気温・風向及び自然換気口の形状が室内気流性状に及ぼす影響に関する検討 (学会発表⑭⑮)

大面積を有するオープン型オフィスの室内に自然風を取り込む手法として、窓上部コアンダ効果型自然通風口方式、ベリカウンター方式の2つの方式を再現し、それら各種通風導入システムを床吹出し空調に組み込む場合、室内に形成される熱・空気環境 (温度分布、気流分布、SVE4) などが吹き出し条件にどの様に影響されるかを明らかにする。

(4) 自然換気導入方式の違いが室内温熱・空気環境に及ぼす影響の解明 (学会発表⑦⑫⑬)

ハイブリッド換気システムを有するオフィスを対象として、各種の自然換気導入方式と空調方式の組み合わせによって形成される室内の温熱・空気環境のメカニズムを把握する。それら各種通風導入システムを天井吹出し空調及び床吹出し空調に組み込む場合、室内に形成される熱・空気環境 (温度分布、気流分布、CRI3) などが吹き出し条件によってどの様に影響されるかを明らかにする。

(5) 換気性能指標を用いた室内環境評価法の確立 (学会発表①②③⑦⑨⑫⑬⑭⑮)

換気性能の評価指標として、加藤らが提案する室内各点における新鮮空気の到達割合を意味する換気効率指標第4 (吹出口の勢力範囲を示すSVE4) と温熱環境形成寄与率第3 (CRI3) を用いて、複数の評価指標から室内の換気性能を評価する考え方を確立するため、各指標の意味と特性を明らかにする。なお、この目的についての検討は、上記(3)、(4)の中で行う。

### 3. 研究の方法

(1) 自然換気用チムニーを用いた大空間の換気性能の検討に関する研究

大空間窓面とチムニートップの風圧を風洞実験により測定し、その風圧係数をもとにした換気計算を行うことによって、大空間の換気量を算出した。測定点、モデル、実験パラメータを図1、図2、表1に示す。

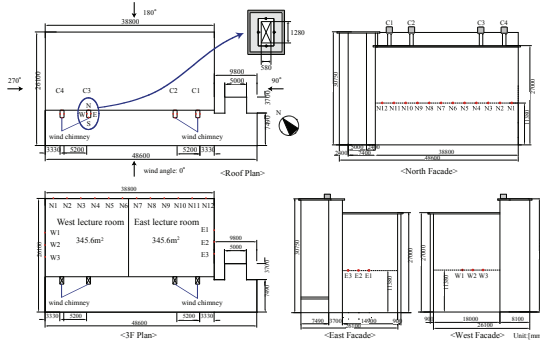


図1 実験模型及び測定点

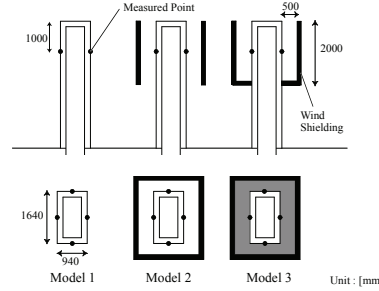


図2 チムニートップの遮風板の形状

表1 実験・計算パラメータ

Model	Measurement		Calculation of Ventilation Rate		
	Chimney Height [m]	Wind Angle [°]	Velocity [m/s]	Occupants [Person]	Wind Angle [°]
Model 1,	4, 6, 10	0°~360° (45° Interspace)	1,	Absence	0°~360° (45° Interspace)
Model 2,			2,		
Model 3			3		
	8	0°~360° (22.5° Interspace)		300	0°~360° (22.5° Interspace)

(2) 自然換気を目的とした屋上開口の最適配置に関する検討

正方形平面の建物と縦横比の異なる長方形平面の建物模型 (図3) を対象として、建物の屋上面における風圧係数分布及び屋上面近傍の風速分布の測定を風洞実験によって行った。

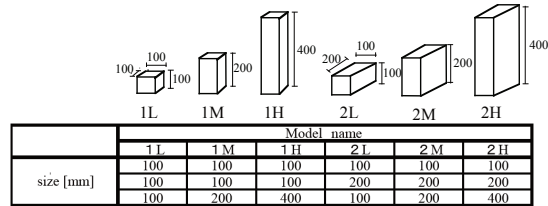


図3 実験模型

(3) 外気温・風向及び自然換気口の形状が室内気流性状に及ぼす影響に関する検討

自然換気併用床吹出し空調を有するオフィス空間を再現し、外気温、風向及び自然換気口をパラメータとし室内気流解析を行った。また、風速・温度分布のみならず、SVE4を用いて、室内の気流・空気環境を評価した。CFD解析概要、空間を表2、図4に示す。

表2 解析概要及び解析条件

a. Boundary conditions of flow rate				
	Number	Each flow rate	Supply temperature	
Flooroutlet	210	110m <sup>3</sup> /h	23°C	
Ceiling exhaust	294	78.6m <sup>3</sup> /h		
b. Boundary conditions of internal heat load				
Source	Number	Each heat load		
Heat load by person	208	60W		
Laptop PC	208	30W		
Lighting at ceiling	294	32W		
		60% on setting position 40% on floor, desks and walls		
c. Analysis Conditions				
	Model	Outdoor temperature	Outdoor Wind Direction	Outdoor Velocity
Effect of Outdoor Temperature	A	15°C, 20°C, 25°C	W	5m/s
Effect of Outdoor Wind Direction	B	17.5°C	W,NW, N	5m/s
Effect of model	A,B	17.5°C	W	5m/s

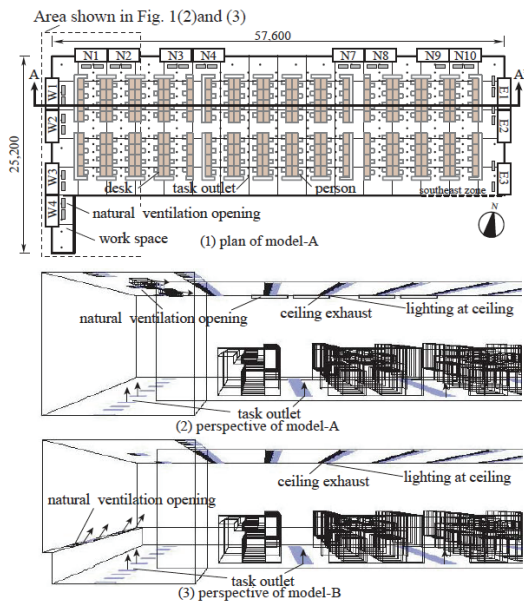


図4 解析空間

#### (4) 自然換気導入方式の違いが室内温熱・空気環境に及ぼす影響の解明

一般的と思われる中規模のオフィスビルを想定し、空調吹出し方式として天井吹出しと床吹出し方式の2通りにおいて、自然換気導入方式の4通りを設定した。CFD解析(標準  $k-\epsilon$  乱流モデル)を行い、室内温度分布、CRI3分布及びCO2濃度分布を用いて検討を行った。また、空調機処理熱量についても検討を行った。空調方式と自然換気導入方式の組合せを図5に、解析空間を図6に示す。

		Introduction Method of Natural Ventilation (⇔)			
		NC	NW <sub>L</sub>	NW <sub>H</sub>	NF
Supply Method of Air-conditioning (→)	AC	AC-NC 	AC-NW <sub>H</sub> 	AC-NW <sub>L</sub> 	AC-NF 
	AF	AF-NC 	AF-NW <sub>H</sub> 	AF-NW <sub>L</sub> 	AF-NF 

□ Analysed Area

図5 空調と自然換気導入方式の組合せ

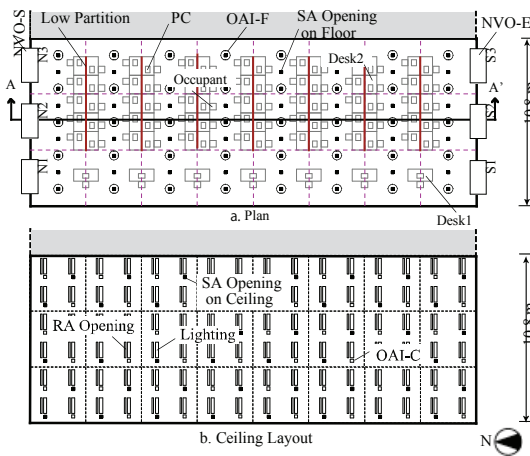


図6 解析空間

## 4. 研究成果

### (1) 自然換気用チムニーを用いた大空間の換気性能の検討に関する研究

風向によって風速の影響が大きく現れること、遮風板の形状とチムニー高さによる差異は比較的小さいことが明らかになり、室内とチムニー間の有効開口面積の影響が大きいこと、チムニーを用いた自然換気システムの有効性等を確認することができた(図7)。

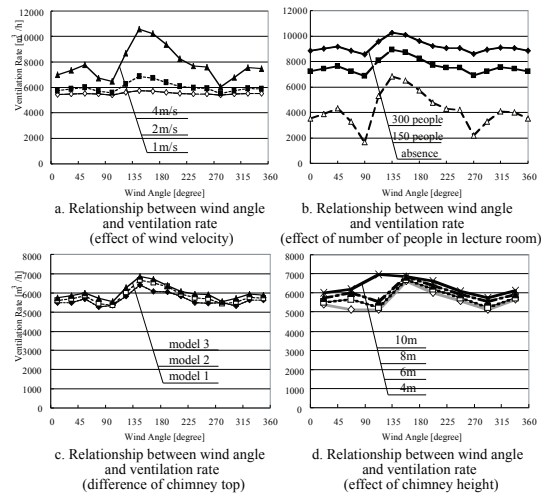


図7 各パラメータが換気量に及ぼす影響

### (2) 自然換気を目的とした屋上開口の最適配置に関する検討

同じ屋上面形状を持つ建物ならば建物高さが高いほど風圧係数(軒高基準)の絶対値は大きいこと、風下側においても屋上面の縁付近では負圧が大きいこと、風向90°の場合を除き、同じ風向・同じ軒高で比較した場合、長方形平面建物の風上側半分の風圧係数分布は正方形平面の建物の風圧係数分布図にほぼ一致することなどが明らかになった。風上側の風圧係数分布は、建物の奥行き長さの影響をあまり受けず、見付面の形状の影響を強く受けること、風速分布より屋上面の中心軸上で最も剥離の高さが高くなること等が明らかになった。結果の詳細は以下の通り。

#### ① 模型高さが風圧係数に及ぼす影響

図8にModel-1の風圧係数分布を示す。風向0°では、高さが高くなるほど風圧係数の絶対値は大きくなることわかる。

#### ② 模型の平面寸法が風圧係数に及ぼす影響

平面寸法の影響を把握するため2L、2M、2Hの風上側にそれぞれ1L、1M、1Hを重ねて比較した結果、分布形状・風圧係数の値ともほぼ一致し、Modelの間で大きな値の違いはみられなかった。屋上面の気流性状は見付面積に依存すると考えられる。

#### ③ 屋上面風速分布

風向0°場合のx-z断面における風速分布を図10-aに、乱れの強さの分布を図9-bに



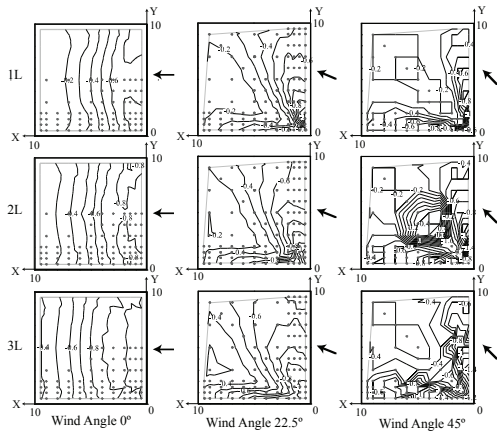


図8 屋上面風圧係数分布 (1L, 1M, 1H)

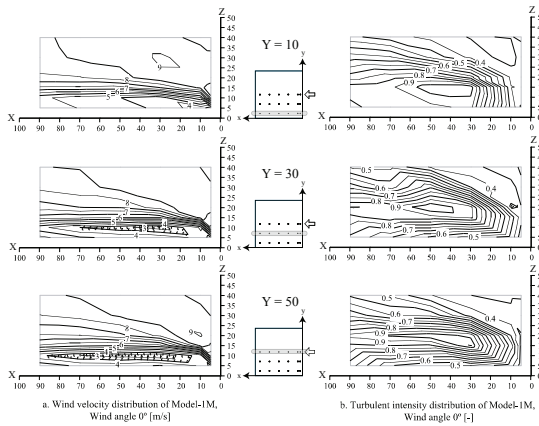


図9 外部風向及び乱れの強さの分布 (1M, 外部風向 0°)

示す。約 3~9 m/s に分布しており、中心軸上  $y=50$  で最も剥離の高さが高くなる。乱れの強さでは剥離直後の風上側で小さく、 $x=30\sim60$  で最も大きくなるのがわかる。

### (3) 外気温・風向及び自然換気口の形状が室内気流性状に及ぼす影響に関する検討

外部温度が高いほど室奥まで自然気供給されること、オフィス平面の長辺に平行な風向よりも短辺に平行な風向の方が室内の分布状態は均一になることがわかった。また、天井直下吹き出しとペリカウンター吹き出しを比較すると、ペリカウンター吹き出しでは流入した外気がすぐに下降するために窓際の熱環境が悪化し、外気の分配も不均一になるのに対し、天井直下吹き出しでは、外気がより室奥まで到達することがわかった。

AA' 断面(図4)におけるFL+1100mmでのSVE4の分布を図10に示すが、結果の詳細は以下の通り。

#### ①外部温度が室内気流性状に及ぼす影響

model-A、西風時、外部風速 5m/s で外気温度を変化させた場合、外気温度が高いほど空調(Task)が占める比率が高くなる(図10-a)。

#### ②風向が室内気流に及ぼす影響 (model-A)

外気温度 17.5°C、風速 5m/s での各風向に対して、自然換気口周辺は外気の影響で約 18~20°Cと低温となり、居住域周辺では約 1~4°C高くなったが、北風の場合は、西風と北西風に比べ新鮮外気が東西方向により均等に供給されることが分かる(図10-b)。

#### ③自然換気口の形状が室内気流に及ぼす影響

model-B では、西壁面より約 10m までは W1~W4 の SVE4 が 0.8 以上であり、自然換気口からの流入外気に大きく影響され、自然風のみによって環境が形成され安定した熱環境が形成されにくいと考えられる(図10-c)。

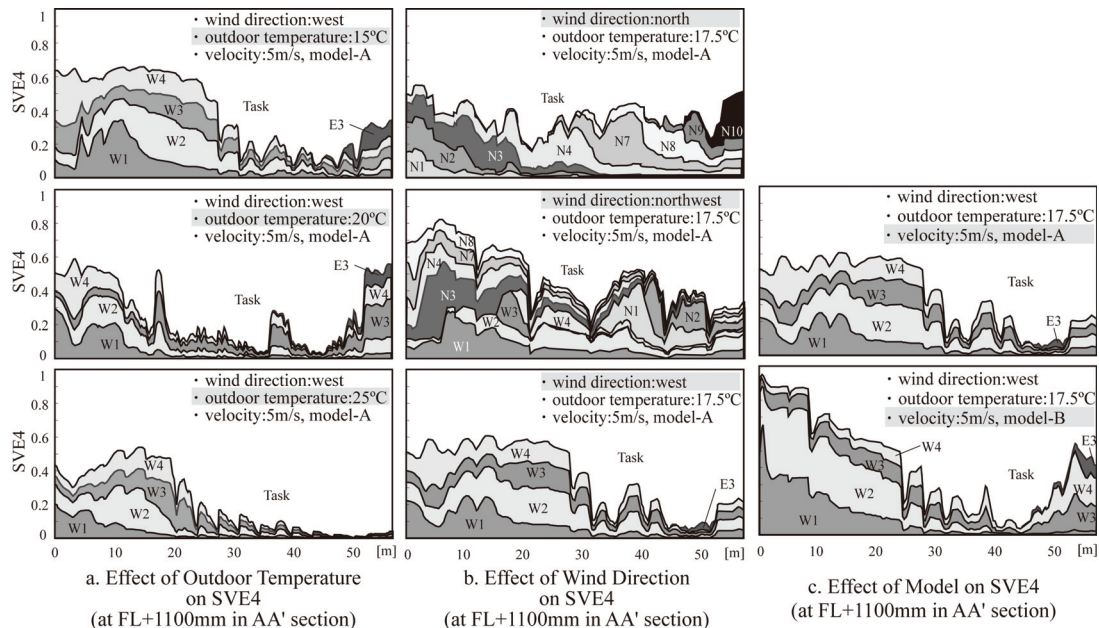


図10 外気温度分布・風向及び自然換気口の形状が外気の SVE4 に及ぼす影響

(4) 自然換気導入方式の違いが室内温熱・空気環境に及ぼす影響の解明

窓の上部或いは下部から自然風を取り入れる場合には、水平方向の温度分布が大きくなり、床或いは天井から自然風を供給する方が室内の温度分布が小さくなり均一な快適環境が得られる。CRI3については、平均温度分布と比較すると温度の低い領域では導入外気のCRI3が大きく、自然換気による導入外気が室内の温度形成に及ぼす影響が大きいと言える。処理熱量については、自然換気を併用することの省エネルギー効果が大きいこと、条件による差異は少ないことが明らかになった。詳細は以下の通り。

①居住域の各エリアにおける平均温度・CRI3及び濃度分布

居住域の各エリア(図11参照)における平均温度分布を図12に、平均CRI3分布を図13に、CO<sub>2</sub>濃度分布を図14に示す。自然換気のNC、NF case(図5参照)は空調の両条件ともに南北間の温度差が小さい。このようなハイブリッド換気システムでは外気が天井裏・床下チャンバーを通り、風下の南側でも比較的均一に導入されることがわかる(図12)。CRI3は全条件、全領域で0.5以上である。自然換気のNC、NF caseでは南北間の導入外気のCRI3の差が小さく、NW<sub>H</sub>、NW<sub>L</sub> caseでは南北間の差は大きく、自然換気導入方式の違いによって外気の室内温熱環境への寄与度が大きく異なることが言える(図13)。CO<sub>2</sub>濃度分布にも同様な傾向が見られた(図14)。

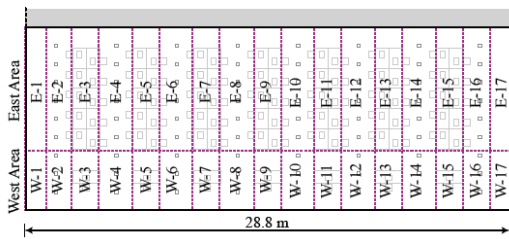


図11 居住域における平均値計算エリア (FL ~ FL+1.8m)

②空調と自然換気の負荷処理量

図15に空調と自然換気の熱負荷処理量及び負荷処理分担比率を各給排気温度より求めた結果を示す。今回の設定条件においては自然換気を併用することで空調負荷処理量を約60%削減できることが分かる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計15件)

- ① E. Lim, T. Yamanaka, H. Kotani, Y. Momoi and K. Sagara, Influence of Supply and Natural Ventilation Openings on Airflow

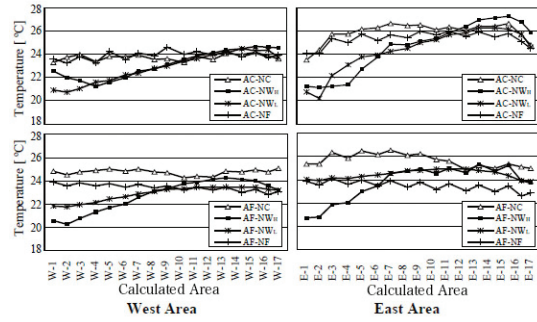


図12 居住域の各エリアの平均温度分布

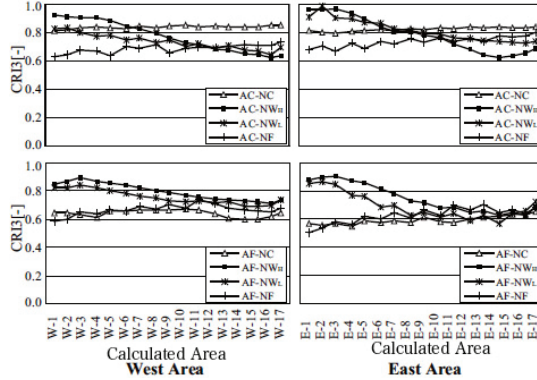


図13 居住域の各エリアの平均 CRI3 分布

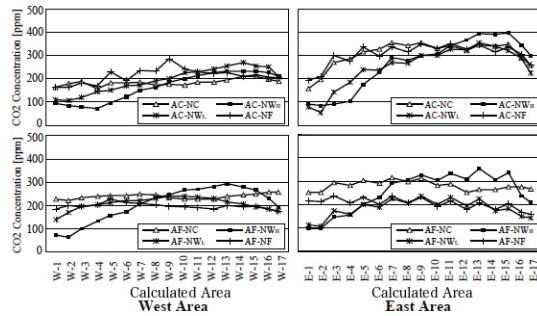


図14 居住域各エリアの平均 CO<sub>2</sub> 濃度分布

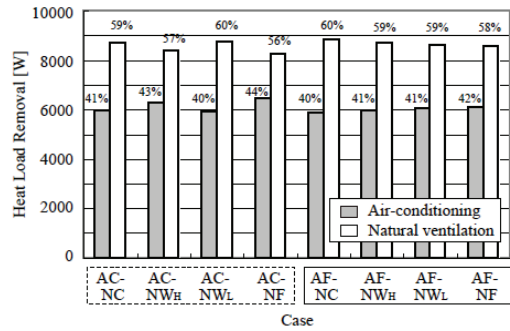


図15 空調と自然換気の熱負荷処理量

Characteristics in Office Room with Hybrid Air-Conditioning System, Roomvent2009 10th International Conference on Air Distribution in Rooms, 2009.5, Busan

- ② Lim Eunsu, 相良和伸, 山中俊夫, 甲谷寿史, 桃井良尚, ハイブリッド換気システムを有するオフィスの換気計画に関する研究(その3)空調吹出し方式と自然換気導入方式の組合せが室内温熱・空気環境

- に及ぼす影響, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, pp. 91-94, 2009. 3, 大阪
- ③ E. Lim, K. Sagara, T. Yamanaka and H. Kotani, CFD analysis of Airflow Characteristics inside Office Room with Hybrid Air-conditioning System, Advanced building ventilation and environmental technology for addressing climate change issues, 2008.10, Kyoto
- ④ Y. Komatsu, K. Sagara, T. Yamanaka, H. Kotani, E. Lim, H. Watanabe, M. Higuchi and M. Nishida Study on Airflow around Building Roof for Design of Natural Ventilation by Chimney - Part2 Wind Velocity Distribution above Building Roof-, Advanced building ventilation and environmental technology for addressing climate change issues, 2008.10, Kyoto
- ⑤ 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, 2008.10, Kyoto
- ⑥ 小松由佳, 相良和伸, 山中俊夫, 甲谷寿史, Lim Eunsu, 渡邊裕美, 樋口祥明, 西田恵, 自然換気用チムニー設計を目的とした屋上近傍気流場に関する研究 (その 3) 屋上面風圧係数分布の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2 pp. 705-706, 2008. 9, 広島
- ⑦ Lim Eunsu, 相良和伸, 山中俊夫, 甲谷寿史, オフィスにおけるハイブリッド換気システムの換気計画に関する研究 (その 2) 自然換気導入方式及び外部風向が室内の温熱・空気環境に及ぼす影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp. 631-632, 2008. 9, 広島
- ⑧ 小松由佳, 相良和伸, 山中俊夫, 甲谷寿史, Lim Eunsu, 樋口祥明, 西田恵, 自然換気用チムニー設計のための屋上近傍気流場に関する研究 (その 3) 屋上面風圧係数分布及び風速測定による屋上近傍気流性状の把握, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp. 345-348, 2008. 8, 草津
- ⑨ Lim Eunsu, 相良和伸, 山中俊夫, 甲谷寿史, ハイブリッド換気システムを有するオフィスの換気計画に関する研究 (その 2) 自然換気導入方式と外気温度が室内温度・気流性状に及ぼす影響, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp. 337-340, 2008. 8, 草津
- ⑩ 小松由佳, 相良和伸, 山中俊夫, 甲谷寿史, Lim Eunsu, 渡邊裕美, 小松由佳, 樋口祥明, 西田恵, 自然換気用チムニー設計を目的とした屋上近傍気流場に関する研究 (その 2) 風速測定による屋上近傍気流性状の把握, 日本建築学会近畿支部研究報告集 第 48 号 環境系, pp. 177-180, 2008. 6, 大阪
- ⑪ 渡邊裕美, 相良和伸, 山中俊夫, 甲谷寿史, Lim Eunsu, 小松由佳, 樋口祥明, 西田恵, 自然換気用チムニー設計を目的とした屋上近傍気流場に関する研究 (その 1) 屋上面の風圧係数分布, 日本建築学会近畿支部研究報告集 第 48 号 環境系, 2008. 6, 大阪
- ⑫ Lim Eunsu, 相良和伸, 山中俊夫, 甲谷寿史, オフィスのハイブリッド空調における風力換気導入法に関する研究-自然換気導入経路が室内の温熱・空気環境に及ぼす影響-, 日本建築学会近畿支部研究報告集 第 48 号 環境系, pp. 189-192, 2008. 6, 大阪
- ⑬ Lim Eunsu, 相良和伸, 山中俊夫, 甲谷寿史, ハイブリッド換気システムを有するオフィスの換気計画に関する研究(その 1) 自然換気導入方式の違いが室内温熱・空気環境に及ぼす影響, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, pp. 109-112, 2008. 3, 大阪
- ⑭ Lim Eunsu, 相良和伸, 山中俊夫, 甲谷寿史, 三島憲明, 堀川晋, 自然換気併用型タスク・アンビエント空調を有する室の温熱・空気環境の形成メカニズムに関する研究 (その 11) 外部条件と自然換気口形状が室内気流性状に及ぼす影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp. 1005-1006, 2007. 8, 福岡
- ⑮ Lim Eunsu, 相良和伸, 山中俊夫, 甲谷寿史, 山際将司, 堀川晋, 高層オフィスビルにおける自然換気併用タスクアンビエント空調に関する研究(第 13 報) 外気温・風向及び自然換気口形状が室内気流性状に及ぼす影響, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, pp. 239-242, 2007. 3, 大阪

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山中 俊夫 (YAMANAKA TOSHIO)  
大阪大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：80182575

### (2) 研究分担者

相良 和伸 (KAZUNOBU SAGARA)  
大阪大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：30109285  
甲谷 寿史 (HISASHI KOTANI)  
大阪大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号：20243173