シーリングファン併用空調システムの計画手法と性能検証

自然換気・シーリングファンを併用した空調換気システムの制御手法と性能評価に関する研究 第2報

DESIGN METHOD AND PERFORMANCE VERIFICATION ABOUT
AIR CONDITIONING SYSTEM WITH CEILING FANSA study on performance evaluation and control method design about a hybrid air conditioning system
with a combination of natural ventilation and ceiling fans Part 2水出 喜太郎*, 石野 久彌**, 郡 公子***, 永田 明寛****
長井 達夫*****, 大高一 博*, 大原 千幸*Kitarou MIZUIDE, Hisaya ISHINO, Kimiko KOHRI, Akihiro NAGATA
Tatsuo NAGAI, Kazuhiro OTAKA and Kazuyuki OOHARA

This paper deals with authors' elaborated air conditioning system composed of under-floor air conditioning and natural ventilation in combination and equipped with ceiling fans. This paper as Part II of the preceding one reports details of our study on desirable shape of ceiling fan and lighting fixtures integrated unit in place. Also introduced are results of experiments, field measurements and simulation about load reduction on the air conditioning system the authors conducted to confirm effects of the ceiling fans, especially actual indoor air distribution tendency, air conditioning load reduction effect, and comfortableness office workers feel when air conditioned with ceiling fans sending a little air to them.

Keywords : Performance Evaluation, Measurement Survey, Natural Ventilation, Ceiling Fan, Cooling Load Reduction Effect
性能検証、実測調査、自然換気、シーリングファン、冷房負荷削減効果

1. はじめに

自然換気と機械換気、空調設備とを組み合わせる室内環境を制御する空調換気システムが、省エネルギー性と快適性を両立させる手法として定着しつつあるといえる^{5),6),7)}。しかしながら計画から運用の各段階での検証によってその導入効果と執務空間の室内環境の実態について明らかにした事例は少ない。

本研究は、筆者らの設計による事務所建築において、自然換気と空調設備ならびにシーリングファンの併用によるハイブリッド空調換気システムを対象とした実測調査、および運用データ解析によって、快適性の確保と省エネルギーの実現について検証するものであり、前報⁸⁾では、非定常な外部気象条件と内部条件の影響下で、使用状態にある建物における自然換気風量実測により、建物の換気性能を評価し、また自然換気併用空調を実施する執務空間の空気質の維持と空調負荷削減効果について明らかにした。

近年、建築物の省エネルギー対策の一環として、空調用エネルギー消費の増大する夏期の室内設定温度を従来の 26℃から 28℃へ緩和する取り組みが推進されているところである。この取り組みの広範な普及のためには、執務環境を犠牲にするのではなく、クールビズをはじめ快適性の低下を補う手法の併用が重要であるといえる。

この観点から、本建物の空調システムでは、冷房時の制御シーク

エンスにおいて自然換気と機械空調との間にシーリングファン運転の状態を追加することで、快適性の低下を補う手法として気流感を付加することを意図している。それによって快適性を維持しながら、熱源運転と空調機運転を伴う空調の開始をできるだけ遅らせ、省エネルギーを図っている。また、夏期冷房時の省エネルギー対策として、シーリングファンによる気流感を活用することで、快適性を確保した 28℃空調を実現することをめざした。^{注1)}

一方、可感気流を得るためにシーリングファンを用いる既往の事例は、大空間⁹⁾や、美術館展示室¹⁰⁾などの居住環境改善を目的としたものが主体であり、オフィス執務空間の空調システムとしての適用事例は少ない。その計画にあたっては、居住域における適正な気流環境とともに執務空間の照明計画や内観のデザイン性との整合もまた重要な因子であるといえる。

そこで本報では、気流感によって快適性を補うことを目的として天井面に「口の字型」照明器具と一体化して計画されたシーリングファンの適切な設置形状について、計画段階で実物大空間における比較実験により明らかにした。また運用段階での実測結果を基に、シーリングファンによる気流分布性状、空調負荷削減効果ならびに気流感を付加した空調を行うオフィスにおける執務環境の快適性について明らかにした。

参考文献1)~4)は本論文に関する既往発表論文

* 日建設計

** 首都大学東京大学院 教授・工博

*** 宇都宮大学大学院 助教授・工博

**** 首都大学東京大学院 准教授・工博

***** 東京理科大学工学部 講師・工博

Nikken Sekkei Ltd.

Prof., Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng.

Assoc. Prof., Graduate School of Engineering, Utsunomiya Univ., Dr. Eng.

Assoc. Prof., Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng.

Lecturer, Faculty of Eng., Tokyo University of Science, Dr. Eng.

図1 基準階天井伏図

図2 従来型空調(上)に対する
28°C空調概念(下)表1 空調システムの年間運転モード⁸⁾

期間	外気条件	運転制御条件	自然換気	シーリングファン	床吹出空調
中間期 冷房運転時 4~6月 10, 11月	16°C以下	室内温度 θ_r $\theta_r < 24^\circ\text{C}$	—	—	○
	16°C以上	室内温度 θ_r $\theta_r < 24^\circ\text{C}$	○	—	—
		室内温度 θ_r $24^\circ\text{C} \leq \theta_r < 26^\circ\text{C}$	○	○	—
	26°C以上	室内温度 θ_r $26^\circ\text{C} \leq \theta_r$	○	○	○
夏期 7~9月	28°C以上	室内条件 28°C, 50%程度	—	○	○
	28°C以下、 エンタピーが 室内より小	室内条件 28°C, 50%程度	○	○	○
冬期 12~3月	—	室内条件 22°C, 40%	—	—	○

2. 建物概要および実験・実測概要

本建物は、前報と同じ大阪府内の都市部に立地する事務所建築であり、ハイブリッド空調換気システムを採用し、執務環境を損なうことなく自然エネルギーを有効に活用することを意図している。

図1にシーリングファンの設置概要について、基準階天井伏図により示す。図2に従来型26°C設定空調に対して、同レベルのPMV値を確保した28°C空調の概念を示す。またハイブリッド空調システムの年間における空調自動制御モードについて表1に示す。

室内設定温度条件を緩和するにあたって、温熱環境改善のために調整可能な要素である「放射温度」「湿度」「気流」「着衣量」のうち、在室者個人の調整に委ねられる着衣量を除いて、より少ないエネルギー消費量で快適感を補うために「気流」を用いることとした。熱源システムの運転を伴う「冷放射」や「除湿」ではなく、少ない動力で大きな攪拌能力を持つシーリングファンに着目した。

本建物で採用したシーリングファンは基準階において4.5m間隔、20.5㎡に1つの割合で設置され制御シークエンスに従い一括制御によりON-OFFを行うが、個々のファン毎に在室者が5段階の回転数設定および停止の操作を行うことが可能となっている。5段階の各回転数は、1ノッチ:90rpm、2ノッチ:120rpm、3ノッチ:150rpm、4ノッチ:180rpm、5ノッチ:210rpmである。本建物での実際の運用は2ノッチでの設定が多くなっている。

シーリングファンの仕様は、1台あたりの風量11,000CMH、定格動力76W、羽数3枚、羽径1300mmであり、比較的少ない動力によって高い攪拌機能を持つといえる。ここで夏期の快適域としてPMV=+0.5となる環境の実現に必要な風速は、その他5条件を代謝量1.0met、室温28°C、平均放射温度28.5°C、相対湿度50%、着衣量0.6cloとすると、平均風速0.5m/sとなる。

執務空間の空調システムを構成する一要素としてシーリングファンを採用するにあたり、適切な攪拌気流を室内に発生させるための設置形状について、計画段階で実物大空間での比較実験を行った。また運用段階における実測結果を用いて、シーリングファンによる気流分布性状、空調負荷削減効果ならびに気流感を付加した空調を行う執務環境の快適性について検証を行った。建物概要、ならびにシーリングファンに関する実験・実測概要について表2にまとめて示す。

表2 シーリングファンに関する実験・実測概要

建物概要	所在地	大阪府
	用途	事務所
計画段階における実験検証	延床面積	7,155㎡
	構造階数	SRC造およびS造、地上7階、塔屋1階
計画段階における実験検証	実験1	気流可視化実験による折上げ寸法の検討実験
	実験日	2000年4月5日
	測定項目	模擬空間における風速・温度分布
	測定機器	c-c熱電対、熱線風速計(カマックス 6511)
	実験2	ファン設置部の折上げ形状の相違による風速測定
	実験日	2001年10月8日、9日
運用段階における実測検証	測定項目	模擬空間における折上げ形状のバリエーション実験
	測定機器	熱線風速計(リオン AM-09T)
	実測1	シーリングファン(2ノッチ)運転時の風速水平面分布
	実測日	2004年11月3日 2:00~3:45
	測定項目	シーリングファン運転時の執務空間FL+1.1mの風速分布
	測定機器	熱線風速計(カマックス 6531)
	実測2	シーリングファン近傍風速の詳細測定
	実測日	2004年11月6日 10:00~16:00
	測定項目	シーリングファン近傍における風速分布の詳細測定
	測定機器	3次元超音波風速計(カイジョー DA-600)
運用段階における実測検証	実測3	執務者へのシーリングファン気流に関するアンケート調査
	実測日	2004年7月30日 15:00~16:00
	測定項目	シーリングファンの効果、気流感に関する申告

3. 計画段階における実物大実験

3-1. 気流可視化実験によるシーリングファン基本性能の検証

計画段階において、シーリングファンを活用したハイブリッド空調を計画するにあたり、以下の問題点を解決するため基本性能について実験を行った。

- 1) 天井に取り付けることによる執務空間への圧迫感
- 2) シーリングファンによる照明のちらつき防止
- 3) 適切な風速の攪拌気流が得られることの確認

ここで圧迫感とちらつき防止の解決のために、天井に規則的に配置される照明器具との統合を行うこととした。

具体的には「口の字型」照明器具の中央部天井面を折り上げたボックス内に口径1300mmのシーリングファンを設置することとした。これにより執務空間への圧迫感を和らげ、大部屋オフィスにおいてファン羽面が天井面より下の高さで回転する際に懸念される照明のちらつき防止を図ることとした。

上記の形状にて設置するシーリングファンの基本性能として、ファン近傍、ならびにファン周囲の居住域における気流性状を確認する目的で表2の実験1を行った。

図3 気流可視化実験室概要

図4 折り上げ 345mm 気流分布実験

図5 折り上げ 250mm 気流分布実験

実験1としては、図3に示す実験室^{注3)}においてシーリングファンを折り上げボックス内に設置し、直下面で2次元メッシュ(500mmメッシュ、横2m×高さ2.5mの30メッシュ)にて風速計を配置して、設定室温23.5°Cに対して15.5°Cで吹出し、実際と同じ $\Delta t = 8^\circ\text{C}$ での床吹出し冷房を実施して、風速分布の自動測定ならびに気流の可視化を行った。

この実験は、シーリングファン羽面の下端までが天井を折り上げたボックス内部に完全に隠れる「折り上げ寸法345mm」のケースと、羽が天井より下に位置し羽面上端が天井高さに一致する高さに取り付けた「折り上げ寸法250mm」の2ケースで実施した。

図4に示す「折り上げ寸法345mm」の実験の結果からは、気流はファンの直下における下向き気流に限定されほとんど攪拌しないことが確認された。これは図4に「循環渦流」として図示するとおり、シーリングファンの裏側へ吸い込まれる空気の流れが、下向きのファン吹出し気流と干渉して、ファン直下の外周部に渦流を形成し、ファンの下向き吹出し気流の水平方向への拡散を妨げるためであることが原因であると考えられる。

それに対して図5に示す「折り上げ寸法250mm」の実験結果からは、羽面裏側への空気の吸い込みが円滑化し、居住域において気流が水平方向にも拡散している様子が確認された。

この結果から、折り上げボックス内にシーリングファンを設置する場合には、天井面より下に羽面が出る設置形状である「折り上げ250mm」のケースの方が、攪拌気流性状において優れており、設置形状として適すると判断できる。

3-2. 折り上げ形状の相違による気流性状の比較実験

実験室における気流可視化実験から、天井面より下に羽面が出る設置形状が攪拌気流性状の面で優れることを確認した。

次に什器を設置した実物大空間において、天井の折り上げ形状が異なるケースでの発生気流を確認する目的で、表2の実験2の概要により比較実験を行った。比較実験の各ケースは、折り上げ寸法345mm, 250mm, 150mmの3ケース(ケースA, D, E)と、折り上げ四周を面取りしてファン裏面への気流吸い込みに対する抵抗の低減を図った2ケース(ケースB, C)とした。

折り上げ形状の相違による比較実験の結果を図6に示す。

ケースAは、羽面が完全に天井折り上げボックス内に収まる形状とした場合である。この結果からファン裏面への吸い込み不良により、直下部居住域での到達気流風速が極端に弱いことが確認され、実験室での詳細実験の結果(図4)が実大空間での実験においても裏付けられる結果となった。またケースEは、天井折り上げ寸法150mmとした場合であり、全ケースの中で最も大きな風速を示した。しかしケースEはシーリングファンの羽面が天井面より下に完全に露出し、写り込みが生じない照明器具からの角度 30° の範囲に羽面が収まらず、居住者に対する照明のちらつきの発生が予想されたため不採用とした。一方で天井の折り上げボックスの四周を面取りした場合について、折り上げ高さ345mmにおいて面取りを行ったケースB、同じく折り上げ250mmで面取りを実施したケースCでの実験を行った。ケースBでは同じ折り上げ高さで面取りを施さないケースAよりも明らかに風速が大きくなっており、面取りによる抵抗の低減効果が表れているといえる。

4-2. シーリングファン近傍の風速分布

シーリングファン近傍風速について表2の実測2の概要により測定を行った。測定は図13に示す、天井まで壁で仕切られた一室で行った。床上2500mm（天井下200mm）の水平断面に測定ポイントを設定している。図7の断面図にシーリングファンと測定面との位置関係を示す。実測時のシーリングファン運転設定は2ノッチとし、床吹き出し空調は行っていない。また床上1100mm、中心軸からの距離800mmの位置（この高さでの平均風速が最大となる位置）におけるスカラー風速の時間変動を図14に示す。風速は大きくゆらいでおり、非定常な流れ場であることがわかる。

これは羽数3枚の軸流ファンであることと、折り上げボックス

図11 最寄のシーリングファンからの水平距離と風速

図12 風速頻度分布 (上:シーリングファン停止、下:シーリングファン2ノッチ運転)

への吸い込み気流と吹き出し気流との干渉が影響していると考えられる。また風速が最大を示す位置でのグラフであり、居住域の風速としてはやや大きい値を示すが、ゆらぎを伴ったシーリングファンによる気流の特徴が顕著に現れているといえる。

図15,16に水平方向、垂直方向の風速ベクトルの測定値（1分間の平均）を示す。図中の0.0mのポイントがシーリングファン中心部を示しており、図15の水平断面からは旋回方向の気流が大きく発生している様子がわかる。周辺からの空気を誘引しながら旋回流による攪拌気流を発生させている様子がうかがえる。

図16の垂直断面における風速ベクトルからも、シーリングファンが周辺空気を誘引しながら下方の気流を発生させており、居住域付近まで攪拌気流が十分に到達している様子が確認できる。

図15の床上2500mmの測定結果を、半径方向の風速成分 U_r 、旋回方向の風速成分 U_t 、鉛直方向の風速成分 W とシーリングファン

図13 シーリングファン近傍風速測定室

図14 スカラー風速の時間変動
(床上1100mm、中心軸から800mm)

図15 床上2.5mでの水平断面風速ベクトル測定結果

図16 垂直断面風速ベクトル測定結果

中心軸からの距離の関係にして示したものが図 17 である。円形のファン形状と正方形のボックス形状の相違から流れ場は中心軸に対して軸対象にはならないことが想定されたが、その影響はなく、ほぼ中心軸に対象の分布を示した。中心軸付近の半径方向風速成分のばらつきがやや大きく、不安定な流れ場となっている可能性が示された。プロットに対する各種の線は kernel 関数を用いて平滑化を行った回帰曲線を示す (kernel: 正規分布、バンド幅: 0.05m)。この測定結果の定性的な傾向は、同型のシーリングファンの詳細測定を行った文献¹¹⁾の結果と一致している。しかしほぼ自由空間に設置した測定である文献¹¹⁾の結果と比較して、折り上げ天井内に設置した本実測は、主流方向の風速が小さく、旋回方向の風速が相対的に大きくなっている。図 17 より、流れがほぼ軸対象になっているため、測定範囲での実測値を kernel 関数により平滑化した結果をもとに、ファン周辺気流の全体像を明示する目的で、図 18 に示すとおり床上 2500mm における風速ベクトル図を作成した。

4-3. 執務者の着席継続時間の検証

執務空間において執務者は頻繁に離席しながら業務を行っている実態が報告されており^{12), 13), 14)}、執務席の周辺空間であるアンビエント域の熱環境計画の重要性が高まりつつあるといえる。そこで以下の概要により執務者の離着席状況の調査を行い、本建物における実態の把握を試みた。椅子座面の温度変化より着席・離席状況を把握する方法が野部¹²⁾らによって示されており、同じ方法により測定を行った。対象は総務部門の 7 名とした。センサーは T&D 社製のサーモレコーダ RTR-52 を使用し、座面中央部分にガムテープを用いて固定した。測定間隔は 30 秒とし、1 分間に 0.2℃ 以上の変化があった場合に着席または離席と判定した。図 19 の変動例より A で着席し C で離席、また E で着席し F で離席と判断することになる。離着席の判定条件の妥当性を検討するため、4 時間にわたり目視で離着席状態を確認し、自動判定の結果と比較した。着席・離席の正確な時間については必ずしも対応しない場合があったが、着席継続時間 (図 20) についてはほぼ妥当な判定をしていることが確認できた。

この方法により測定した着席継続時間の頻度分布を図 21 に示す。着席継続時間の最頻値は 1.0 分、平均値は 8.9 分、中央値は 4.5 分であり、既往の調査結果と同様、着席継続時間はきわめて短いことがわかった。目視によると、離席理由は、来客、コピー機やプリンターへの往来、携帯電話の応答、打ち合わせなどであった。

測定検証の結果より、執務空間において執務者は頻繁に離席しながら業務を行っている状況がわかる。このことから執務席の周辺空間であるアンビエント域の熱環境についても、計画的な快適性の確保が重要であるといえる。特に夏期に 28℃ 設定での空調を実施する本建物において、執務空間全体を緩やかに攪拌するシーリングファンの気流を活用することは、アンビエント域に滞在して業務を行う頻度が多い実態との整合性が高いといえる^{注 4)}。

5. シーリングファンの負荷削減効果

本建物のハイブリッド空調の負荷削減効果について、HASP/ACLD^{15), 16)}による年間熱負荷シミュレーションにて再現計算を行った。負荷計算は前報⁹⁾と同じ条件を用いて、実際の制御フローに従い大阪標準気象データによる外気条件と室内設定条件を与えて年間の空調モードを再現して行った。本報ではシーリングファンの性能検証として、その負荷削減効果を分析することを目的に、シーリングファンの採用による自然換気時間の延長効果を主体とした中間期の熱負荷削減効果 (図 22) と、同じくシーリングファン併用による冷房設定温度 28℃ への緩和を主体とした夏期の熱負荷削減効果 (図 23)

図 17 水平断面風速測定結果 (FL+2500mm)

図 18 風速ベクトル図 (FL+2500mm)

図 19 座面温度の変動例と離着席判断

図 20 目視と自動判定による着席継続時間の比較

についてそれぞれ再現計算により明らかにした^{注5)}。

図22について、シーリングファンを活用した空調モードによる冷房負荷削減効果は、熱源運転を伴わない空調モードである「自然換気+シーリングファン」の効果が28%、ファンの気流を活用して設定温度を緩和して床吹出し空調を行う空調モードである「床吹出し空調+シーリングファン+自然換気」の効果が7%、「床吹出し空調+シーリングファン」の効果が1%であり、以上を合計して36%となる結果を得た。中間期には、シーリングファンを活用することによって、熱源設備と空調機の運転を伴わない空調時間帯を延長できることの省エネルギー効果が大きいといえる。

また図23について、夏期に一般的な26℃設定とせず、シーリングファンによる気流感を活用して快適性の低下を補う28℃空調による冷房設定温度緩和は、夏期冷房負荷を6%削減する結果を得た。一方で夏期にも朝方などに自然換気が可能となり、「自然換気+シーリングファン+床吹出し空調」を実施する時間帯が発生し、負荷削減効果は7%となる。これらより、夏期にシーリングファンを活用することによる冷房負荷削減効果は13%となる。

以上により中間期と夏期のそれぞれにおけるシーリングファンの負荷削減効果について再現計算によって明らかにした。

6. シーリングファン併用空調の快適性評価

シーリングファンの気流を活用した空調システムについて、執務者に対するアンケート調査を実施した。シーリングファンの効果に関して、盛夏のシーリングファンを併用した28℃空調実施時に表2の実測3の概要にて、基準階の執務者(男性70名、女性24名)に対してアンケート調査を実施した。その結果から、気流感と視覚による涼感を肯定的に捉える回答が、100%となった(図24)。このときの気流に関するアンケート調査より77%の執務者が気流を「感じる」または「やや感じる」と回答しており(図25)、また室内気流の快適性に関するアンケートに対しては72%がその気流について「快適」または「やや快適」と感じている(図26)との結果を得た。シーリングファンによる気流を取り入れた空調空間の快適性評価として、執務者約100名を母集団としたアンケートにより量的調査を行い、全般的に満足度の高い回答が得られた。

7. まとめ

自然換気併用空調システムに、気流感によって快適性を補いながら省エネルギーを実現させることを目的としてシーリングファンを付加した空調システムについて実測調査・実験を行った。

- (1) 省エネルギーを目的とした空調設定温度の緩和を実施するにあたり、快適性の低下を補う要素としてシーリングファンによる可感気流を付加することとした。シーリングファンは単位動力あたりの発生風量が大きく、高い攪拌機能を有する。
- (2) 天井設置の際の執務空間への圧迫感、照明器具との視覚的干渉、適切な攪拌気流の確保という必要条件をクリアするために、計画段階において気流可視化実験、天井設置形状に関する比較実験を実施し、最適な設置条件を決定した。
- (3) 運用段階で執務空間におけるシーリングファン運転時の風速分布実測を行った。ファンの運転設定は5段階の2ノッチ(120rpm)での選択が最も多く、全体的に概ね0.1~0.2m/s、平均で0.16m/sの風速分布を示した。
- (4) シーリングファン近傍の風速分布の詳細な実測により、居住域において風速が短い周期で大きくゆらいでいること、既往の自由空間に近い場での風速測定結果と比較して下向きの主流方向

図2-1 着席継続時間の頻度分布(7月27日~8月3日)

図2-2 中間期(4~6, 10~11月) 冷房負荷削減効果

図2-3 夏期(7~9月) 冷房負荷削減効果

図2-4 2004年7月30日 シーリングファンの効果

図2-5 2004年7月30日 気流の申告結果

図2-6 2004年7月30日 気流感の申告結果

よりも巡回方向の風速成分が大きく、周囲の空気を誘引する高い攪拌性能を有することが確認された。

- (5) 実測より執務者の着席継続時間の最頻値は1分間であり、頻繁に離席して業務を行っていることから、執務空間全体を緩やかな気流で攪拌するシーリングファンの活用は、アンビエント域に滞在して業務を行う頻度が多い実態との整合性が高いといえる。
- (6) HASP/ACLDによる年間熱負荷シミュレーションを行い、シーリングファン採用による自然換気時間の延長効果等による中間期の負荷削減効果は36%、シーリングファン併用による冷房設定温度28℃への緩和等による夏季の負荷削減効果は13%となった。
- (7) シーリングファンによる気流を取り入れた空調空間の快適性評価として、執務者約100名を母集団としたアンケート調査を行った。気流感と視覚による涼感を肯定的に捉える回答により、全般的に高い満足度を示す結果となった。

謝辞

本研究にあたり、ご指導ご協力を頂きました首都大学東京中山哲士助手、宇都宮大学佐藤豊技官、大阪ガス岡克己氏、植田浩文氏、安井建築設計事務所小林陽一氏、金政秀氏、高砂熱学工業宮田浩次氏に記して謝意を表します。

付録

環境工学研究に携わる有識者によるシーリングファン運転時の本空調空間を実地に体験した上での快適性に関する評価を、個別対面により口述収集する手法^{注6)}で調査した。これにより得られた評価回答の概要を付表1にまとめて示す。

これらの調査より、シーリングファンによる気流感には室温と同温度の空気によるゆらぎの大きな気流によって得られている感覚であり、アンケートによる量的調査、個別対面による質的調査とともに、中立的な快適性というよりもむしろ、積極的な評価により快適性を示す回答が多く得られた。

付表1 シーリングファン併用空調空間の快適性について

空調空間体験者 ^{注7)}	日時	体験時の自由回答内容
A, B, C	2005年4月23日 10:00～11:00	風速は予想よりも小さく、気流場に多数の微細な乱れがあるように感じる。ドラフト感のない快適な気流感であり、今後の定量化が期待される。
D	2005年8月31日 16:30～17:30	平均的な仕様のオフィスビル空調に自然換気と風を活用したパッシブ手法が適合している。視覚に訴え、居住者の誇りを養う独特の快適性である。
E	2005年9月3日 11:00～12:00	気温が高くてもゆるやかな気流によって心地よさを感じる室内である。積極的な快適性を提供しているといえる。
F	2005年9月20日 14:00～15:00	日本の風土に適したヴァンキュラーな手法が生かされている。東南アジアで同様の緩やかな風を活用するコンセプトが見られる。
G	2005年11月16日 10:00～11:00	自然の風、シロッコファン、シーリングファンの風を評価する実験で、シロッコファンはドラフトによる不快感が示された例がある。この建物は自然換気とシーリングファンが融合しており、快適性も高い。
H	2006年3月20日 14:00～15:00	旧来のシーリングファンによる緩やかな風を活用し、自然換気、床吹出し空調と整合した新しい空調方式により、28℃空調における快適性確保を実現している。

注

注1) 本建物ではプレッシャー式床吹出し空調を採用している。ここでは積極的に温度成層を形成し置換換気を行う全面床吹出し空調¹⁹⁾と異なり、吹出し気流によって周辺空気を誘引し室内空気攪拌により一様な室内温度の実現を意図しており、居住域空調を主たる目的とはせず、むしろ床吹出し空調に対して積極的にシーリングファンの気流を付加することに重きを置き、シーリングファンの気流感により快適性を維持しながら熱源運転と空調機運転を伴う空調開始を遅延させ、また盛夏の28℃空調を確実に実施し省エネルギーを図ることを主たる目的とした。

また、一般的天井高さの執務空間での空調時の上下温度分布については、例えば深尾により²⁰⁾、プレッシャー式床吹出し空調と天井吹出し空調とではほぼ同等となり共に2℃以下であったとする報告がなされており、一様な設定環境を目指す機軸空調として適用可能な空調方式であるといえる。

以上より図22、23の熱負荷シミュレーションにおいても温度成層の上部高温層を勘案した計算とはしていない。

注2) 28℃空調では長袖シャツ着用による一般的夏の着衣量として0.6cloを想定した。26℃空調時はカーディガン等着用者の一部混在を想定し、平均的な着衣量としては肌着を加えた0.7clo²¹⁾を着衣量として想定した。

注3) 図3に示す実験室は長さ6700mm×幅4000mm×高さ2600Hのガラス張りの明視室である。天井には折り上げボックスを2ヶ掛け、そのうちの一の方にシーリングファンを組み込む。空調を実施し定常状態に至った後に、室内に針状結晶を浮遊させ側面から投光器でスリット光を照射し、気流性状を可視化する。500mmメッシュの交点においてC-C熱電対により空気温度、熱線風速計により風速をそれぞれ自動測定して分布を確認した。

注4) シーリングファン運転時の平面全体での風速の水平面分布は図1.0に示すとおり、ファン直下はやや風速が高く0.5m/s程度を示すポイントもあ

るが、全体での平均風速は0.16m/s、図11,12から頻度分布は概ね0.1～0.2m/sとなり、ファン直下だけでなく平面全体として緩やかな気流が得られることを把握した。また、図10の風速分布測定と併せて実施した、シーリングファン運転時の水平面温度分布については前報⁸⁾に図示したとおり、シーリングファン運転時の水平面温度分布の測定結果で25.1～26.6℃と偏りの少ないほぼ一様な分布となることを確認している。

注5) 本建物における自然換気、シーリングファン、機械空調が相互に関連した制御実態に対し詳細な熱負荷実績の通年把握が困難であったため、シーリングファンによる空調条件緩和効果、実測から明らかにした自然換気時の換気風量を用いた自然換気による負荷削減効果について、HASP/ACLDによる再現計算を行うことにより把握を試みた。

注6) アンケートにより比較的大きな母集団から得られる統一された尺度に基づく質問に対する回答を統計的に処理し、調査事象の傾向や評価を演繹的に行う量的調査法に対して、調査者が特定の目的をもつ小集団または個人から、インタビューや観察を通して得られる主観的記述や口述から、調査事象の傾向や評価を帰納的に抽出する手法である、質的調査法を採用した^{17),18)}。具体的には個別対面による質的調査の際には、本空調空間を体験した上での自由な評価回答を口頭により求め、調査対象の口述による評価回答を記述により記録した。

注7) シーリングファンの気流感を活用した空調空間体験とその際の個別対面による聞き取り調査に協力いただいた有識者は以下の通りである。ここに記して謝意を表する。関東学院大学秋元孝之教授、日本フレクト(株)村田敏夫氏、東京工業大学藤井晴行助教授、首都大学東京須永修通助教授、名古屋大学久野寛教授、ウェリントン・ヴィクトリア大学ジョージ・ペアー博士、オールボー大学ベル・ハイゼルベルグ教授、早稲田大学田辺新一教授(順不同)。

参考文献

- 1) 水出喜太郎、大原千幸ほか：都市部に建つ環境共生オフィスビルにおける自然換気併用空調に関する研究 その1、その2 自然換気併用空調制御手法の構築と運用実績による省エネルギー効果の検証、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、p1839-p1846, 2004.9
- 2) 水出喜太郎、石野久彌、郡公子、永田明寛、長井達夫ほか：自然換気・シーリングファン併用ハイブリッド空調オフィスの性能評価 第1報～第4報、日本建築学会大会学術講演梗概集、p1131-p1146, 2005.9
- 3) 水出喜太郎、石野久彌、郡公子、永田明寛、長井達夫ほか：ハイブリッド空調を行う環境共生建築の性能解析 第1報～第4報、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、p1213-p1228, 2005.8
- 4) 水出喜太郎、石野久彌、郡公子、永田明寛、長井達夫ほか：ハイブリッド空調オフィスにおけるシーリングファンの計画手法と性能検証に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、p1037-p1040, 2006.9
- 5) 近本智行、伊香賀俊治、中村准二、加藤信介、村上周三ほか：ポイドを有する高層大学校舎における自然換気ハイブリッド空調システムに関する研究 その1～2、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、2000.9
- 6) 細井昭憲、成田樹昭、須永修通：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、p25-p31, 2003.2
- 7) 堀川晋、山中俊夫ほか：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1報～第2報、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、p1193-p1200, 2003.9
- 8) 水出喜太郎、石野久彌、郡公子、永田明寛、長井達夫、大高一博、大原千幸：自然換気・シーリングファンを併用した空調換気システムの制御手法と性能評価に関する研究、日本建築学会環境系論文集、第604号、p69-p76, 2006.6
- 9) 堀川晋、山中俊夫、甲谷寿史、大高一博、桃井良尚、田口雄一郎：大空間における気流・温熱環境制御手法に関する研究 その1～その3、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2、p799-p804, 2002.8
- 10) 勢木宇太郎、中田平八郎ほか：南海放送サンパーク美術館の設備、空気調和・衛生工学 第65巻 第13号、p90-p93, 1991.12
- 11) 杭瀬真知子、相良和伸、山中俊夫、甲谷寿史、桃井良尚：天井扇を用いた室内気流の制御手法に関する研究 その9、その10、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2、p745-p748, 2004.8
- 12) 野部達夫、田辺新一ほか：オフィスの使われ方データベースに関する研究 その1 着席状況調査、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、p1673-p1676, 2002
- 13) 野部達夫：オフィスの使われ方データベースに関する研究 その2 大学事務部門における執務状況調査、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、p2033-p2036, 2003
- 14) 秋葉友利、真野智敬、柴田理、刑部尚樹、神野潤、石山徹、野部達夫：省エネルギー改修建築の実測評価 その2 オフィスの執務状況とコンセント電力消費量、日本建築学会大会学術講演梗概集、p1233-p1224, 2004
- 15) 松尾陽、横山浩一、石野久彌：空調設備の動的熱負荷計算入門、日本建築設備士協会、1980.3
- 16) 松尾陽：HASP/ACLD/8501解説、社団法人 建築設備技術者協会、1985
- 17) 福武直：社会調査 補訂版、岩波全書、1984
- 18) S.B.メリアム：質的調査法入門、ミネルヴァ書房、2004
- 19) 全面床吹出し空調におけるパーソナル空調用床吹出し口の開発 第1報、日本建築学会大会学術講演梗概集、p449-p450, 2003.9
- 20) 深尾仁：プレッシャー式床吹出し空調システムによる床下の熱挙動と室内の温熱・空気質環境：日本建築学会床吹出し空調システム小委員会報告書、p113-p119, 1995.3
- 21) 空気調和・衛生工学会：空気調和衛生工学便覧第12版、1基礎篇 p.468

(2007年2月6日原稿受理、2007年6月22日採用決定)