CFD を利用した水平可動式ノズル吹出し空調の解析

(第2報) 可動式ノズル吹出口の大空間への適用に関する研究

CFD ANALYSIS OF AIR-CONDITIONING BY MOVABLE NOZZLE-TYPE
SUPPLY AIR OUTLETS INSTALLED HORIZONTALLY

Part. 2 Application of movable nozzle-type supply air outlets in large spaces

加治屋 亮一*, 久保 隆太郎**, 酒井 孝司***, 坂上 恭助****, 植田 俊克*****

Ryoichi KAJIYA, Ryutaro KUBO, Koji SAKAI,

Kyosuke SAKAUE and Toshikatsu UEDA

When planning the thermal environment for an indoor area, it is critical to avoid uneven air flow distributions in the occupied zone and to ensure the conditioned air is uniformly circulated in the room. It is also essential to avoid generating cold drafts that may cause occupants to experience unpleasant chilliness. For these reasons, when air conditioning a large space it is common practice to employ a horizontal supply diffusing device that supplies air parallel to the ceiling from upper sections of the walls. In most horizontal supply diffusing devices, nozzle outlets with air long throw are commonly used. It is important to determine an appropriate supply velocity and an appropriate temperature difference between the nozzle temperature and the occupied zone temperature in order to appropriately control the thermal environment of rooms.

We have proposed a movable nozzle-type supply air outlets method in which the supply direction varies periodically as a means of controlling the terminal velocity in the occupied zone by increasing the diffusion area of the air flow without reducing the throw. A previous report compared the conventional outlet design guideline and the movable nozzle-type supply air outlets method by assuming the outlet is installed on the ceiling. It is confirmed that it is possible to constitute a comfortable occupied zone by adopting the movable nozzle-type supply air outlets to a large room by calculating the air diffusion performance index (ADPI). In the present report, the characteristics of the movable nozzle-type supply air outlets method are analyzed by assuming that the nozzle outlet is on the wall and by using an unsteady simulation based on a CFD simulation. The ADPI is used in the thermal environmental evaluation of the occupied zone in a similar manner as the previous report. However, in this present report, the effect of drafts in the occupied zone is additionally evaluated using the draft rating (DR) that calculates the effect of drafts in the occupied zone based on the air flow velocity and the occupied zone temperature.

Keywords: Movable Nozzle-type Supply Air Outlets, CFD, DR, ADPI

可動式ノズル吹出口, CFD, DR, ADPI

1. はじめに

室内空間の温熱性状の計画を行う際には、居住域に不均一な気流分布・温度分布が形成しておらず、室内にむらなく空調空気が循環していることが重要である。また、在室者が不快な冷感を感じるドラフトを生じさせないような配慮が必要である。大空間の空調では、側壁上部から天井に平行に吹出す水平吹出し方式が採用される場合が多い。水平吹出し方式の多くは、気流の到達距離が長いノズル型吹出口が用いられ、気流の拡散性の低いノズル形吹出口を設置して室内温熱環境を適切に制御するためには、吹出し初速度や、吹出し温度と居住域温度との適切な温度差設定が肝要となる。

戸河里ら¹⁾は、大空間に形成される上下温度分布を簡易に予測するためのマクロモデルを作成し、空調吹出し方法や吸込み位置が上下温度分布形成に及ぼす影響を定量的に評価している。また、桃井居住域環境性能指標である ADPI²⁾を算出し、可動吹出し空調手法を大空間空調に採用することにより、良好な居住域環境を構築することが可能であることを示している。本報では、ノズル吹出口が側壁

ら²⁾は、アトリウムなどの大空間の空調に際して、暖房時の浮力効果による上下温度差の発生を緩和させるための天井扇の気流制御効果に着目し、室内気流および温熱環境を制御する装置としての天井扇の利用法について検討を行っている。また、庄司ら³⁾は巡回流空調を行う大空間を対象とし、制御センサーの適切な配置計画を行う方法を検討し、温熱環境形成寄与率第1(CRI1)と第3(CRI3)指標を用いて、室内温熱環境を評価している。

一方、筆者らはこれまでに、吹出し噴流の拡散半径を増大させ、到達距離を減らすことなく、居住域の端末風速を制御する手法として、吹出し方向を周期的に変動させる可動式吹出し空調を提案している。前報⁴⁾では、CFD による非定常解析を用いて、吹出口が天井に設置された場合を想定して、通常の吹出口設計指針に従った空調法と本研究で提案する可動吹出し空調法との比較に際し、冷房時のに設置されている場合を想定して、CFD による非定常解析を用いて、本研究で提案する可動吹出し空調手法の特徴について分析する。居住域の温熱環境評価のための手法には、前報と同様に、ADPI を用

* 明治大学理工学部建築学科 講師・博士(工学)

** 日建設計総合研究所 研究員・博士(工学)

*** 明治大学理工学部建築学科 准教授・博士(工学)

**** 明治大学理工学部建築学科 教授・工博

***** 三菱冷熱工業(株)中央研究所 博士(工学)

Lecturer, Dept. of Architecture, School of Engineering and Technology, Meiji Univ., Dr. Eng. Researcher, NIKKEN SEKKEI Research Institute, Dr. Eng.

Assoc. Prof., School of Science and Technology, Meiji University, Dr. Eng.

Prof., School of Science and Technology, Meiji University, Dr. Eng.

Research and Development Center, Shinryo Corporation, Dr. Eng.

いるが、本報ではさらに、居住域空間におけるドラフトの影響を、気流速度と居住域温度で算出する Draft Rating⁶⁾ (以降、DR と称す) を用いて評価する。

2. 解析概要

2.1 解析対象領域の概要

図 1 に対象とする領域の概要を示す。対象領域は、10m×10m×10m の劇場などの大空間を想定しており、側壁から水平方向に吹き出す空調方式となっている。本報では、室内冷房時において、吹出口の設計法に則った通常の空調時と可動吹出し空調時の居住域の差異を明らかにするために、平山・野村による最適設計指針⁷⁾に従って吹出口の配置をするもの(Case-1)、ノズルの個数を減じた可動吹出し空調(Case-2)、通常の最適設計指針に依らず、Case-2 の吹出口個数と同一とするもの(Case-3)の計 3 ケースに対して比較・検討を行う。表 1 に、Case-1 の吹出口配置決定に用いた設計指針の概略を示す。表 1 に示した側壁からの水平軸流吹出し方式の設計指針は、対象とする領域の大きさ、吹出口から居住域までの距離、及び冷房顕熱負荷を所与条件として、吹出口の個数、吹出し風速、吹出口の直径を算出する。表 2 に各ケースの解析条件の詳細を示す。側壁に設置された可動式ノズル吹出口は、水平方向に±30°の範囲を 1 周期 60 秒で往復運動しており、いずれのケースも吹出し風速 4m/s、吹出し温度 16℃、吹出し総風量 1,837[m³/h]で吹出している。また、設計指針で算出される吹出口は円形のノズル型吹出口であるが、本解析では、直交座標系を用いて計算を行うため、算出した円形ノズルと同様の面積である矩形ノズルを採用している。また、居住域内に 8.0m×0.4m のスリット型吸込口を 1 箇所設置し、吹出口対向壁面に日射負荷を想定した発熱面とした。各壁面における熱負荷は吹出口からの投入熱量に等しいものと設定しているが、このような設定は最大熱負荷計算によって算出された値を用いて、ある空間の風速・温度分布予測を行う際に適用される。

2.2 CFD 解析概要

CFD 解析には、商用コード STAR-CD ver. 3.26 を用いている。乱流モデルには、標準 $k-\epsilon$ 型 2 方程式モデルを採用し、非定常解析を行った。計算アルゴリズムに PISO 法を、空間差分には MARS 法を適用した。いずれのケースも計算負荷軽減のため、定常解析結果を初期条件として解析を行った。なお、前報では乱流モデルに LES を採用したが、事前の予備検討により、居住域の平均的な気流・温度分布を予測するためには、本研究で採用する標準 $k-\epsilon$ 型 2 方程式モデルでも、十分に解析することが可能であると判断して、本モデルを

図 2 各ケースの結果表示断面とモニター点(単位:[m])

図 1 解析対象領域(単位:[m], ハッチ部発熱面)

表 1 側壁からの水平軸流吹出し方式の設計指針⁷⁾

・吹出口個数 n の算出式

$$0.42K_p \frac{l}{de} \leq n \leq 1.28K_p \frac{l}{de} \quad (1)$$

・吹出口の個数 n と吹出口直径 D_0 に関する制約条件

$$n \geq \frac{0.42 \cdot \beta \cdot g \cdot K_p^2 \cdot q}{900\pi \cdot C_p \rho \cdot v_{al}^3 \cdot h_a}, \quad D_0 = \frac{K_p \cdot q}{900\pi \cdot n \cdot de \cdot v_{al} \cdot C_p \rho \cdot \Delta\theta} \quad (2)$$

・居住域の風速 V_x

$$V_x = U_0 K_p \frac{D_0}{X} \quad (3)$$

【記号】
 K_p : 吹出し定数[-], l : 壁長[m], de : 有効室奥行(≒3/4×室奥行),
 β : 体膨張率[1/°C], g : 重力加速度[m/s²], q : 冷房顕熱負荷[W],
 $C_p \rho$: 容積比熱[J/(m³・K)], v_{al} : 居住域風速[m/s], h_a : de における気流の降下距離[m], X : 吹出口から居住域までの水平方向距離[m],
 n : 吹出口個数, D_0 : 吹出口直径[m], $\Delta\theta$: 吹出口と居住域との温度差[°C], V_x : X における最大風速[m/s], U_0 : 吹出口風速[m/s]

表 2 各ケースの解析条件

	Case-1	Case-2	Case-3
吹出口幅 ^{注1)}	0.160[m]	0.211[m]	0.206[m]
吹出し方法	水平吹出し	水平往復運動	水平吹出し
ノズル個数	5[個]	3[個]	
格子分割数 ^{注2)}	62 _(X) ×83 _(Y) ×66 _(Z)	53 _(X) ×67 _(Y) ×53 _(Z)	52 _(X) ×63 _(Y) ×65 _(Z)
冷房顕熱負荷	6,400[W]		
吹出し温度	16[°C]		
吹出し総風量	1,837[m ³ /h]		
吹出し風量 (ノズル1個当り)	367[m ³ /h]	612[m ³ /h]	612[m ³ /h]

表 3 流入境界・壁面境界条件の詳細

- ・流入境界条件
流入条件: $U_{lin} = 4.0 \cdot \cos \omega$ [m/s], $U_{2m} = \pm 4.0 \cdot \sin \omega$ [m/s], $\Theta_m = 16.0$ [°C]
・Case-1: $\omega = 0$, $L_0 \approx 1.60 \times 10^{-1}$ (図 A)
・Case-2: 往復周期 60 秒, $-\pi/6 \leq \omega \leq \pi/6$, $L_0 \approx 2.11 \times 10^{-1}$ (図 B)
・Case-3: $\omega = 0$, $L_0 \approx 2.06 \times 10^{-1}$ (図 A)
流出条件: 自由流出
・壁面境界条件
・速度: 一般化対数則
・温度: 発熱面を除き断熱条件
・発熱量: 吹出口対向壁面に、冷房顕熱負荷を一様に配分

採用している。

速度の壁面境界条件には一般化対数則を用い、壁面の温度境界条件は吹出口対向壁面の発熱面を除き、断熱境界とした。本報告における吹出し、吸込み、壁面境界条件の詳細を表3に示す。

3. 気流・温度分布の解析結果

図3に、図2中に示した結果表示断面における風速ベクトル及び温度分布の解析結果を、図4に、水平断面（居住域高さ1.5m）におけるスカラー風速及び温度分布のプロファイルを示す。Case-2の解析結果は、ノズル位置が吹出し方向に対して0°となる時点における解析結果である。なお、各ケースの格子分割は等間隔(50×50mesh)に配分し、解析結果を表示している。

風速ベクトル及びスカラー風速のコンター図に示すように、Case-1は、居住域では0.1～0.2m/s程度の風速分布になっている。居住域の温度分布については、設計値が26℃であるのに対して、実現される温度分布は概ね25℃程度となっている。これは、平山・野村らによる設計指針のもととなるKoestelの式⁸⁾が本報の制限噴流と異なり、自由噴流を対象としていることに起因しているものと考

えられる。Case-2の場合は、温度分布のコンター図や水平面における温度のプロファイルに示すように、他のケースよりも居住域温度が低下している傾向にある。これは、吹出口の往復運動により吹出し気流が拡散し、吹出口からの冷気流が居住域全体に到達しているためであると考えられる^{注3)}。Case-3の場合は、吹出し対向壁面近傍における風速がCase-2と比較して若干強くなっており、風速分布もCase-2よりも不均一となっている。

4. 居住域温熱環境

4.1 風速・温度分布の経時変化

図5に、図2中に示した各モニター点におけるスカラー風速の経時変化を示す。全てのモニター点の高さは1.5mであり、それぞれの位置は吹出口対向壁面近傍、気流の最も停滞しやすいと予測される居住域隅角部近傍、居住域中央である。また、結果は180秒間の瞬時値である。

居住域中央では、Case-1及びCase-3は0.05～0.1m/s程度の弱風速となっているのに対し、Case-2はノズルの吹出し方向の変化に伴い、気流速度が周期的に変動している。また、気流の渦み点が発生しや

図3 各ケースの気流・温度分布解析比較（鉛直断面，ベクトル長さ： $\sqrt{U_1^2 + U_3^2}$ ，スカラー風速： $\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2}$ ）

すいと推測される居住域隅角部では、Case-2 以外の検討ケースでは、いずれの時間帯も 0.1m/s 以下の端末速度となっていることがわかる。また、吹出口からの噴流が最も到達しやすいと考えられる吹出口対向壁面近傍では、いずれのケースも可感気流以上の風速変動となっている。Case-1 の場合は他のケースよりもすべての時間帯で気流速度が速く評価されているが、これは、吹出口対向壁面近傍で互いの吹出し噴流が誘引し合い、局所的に強風速になったためである。従って、この領域では継続的に風速が強い傾向にあり、不快なドラフト感を居住者に与える可能性があることが推測される。

また、図 6 に示す各ケースのモニター点におけるスカラー風速の標準偏差に示すように、Case-2 の風速変動は他のケースよりも大きくなっていることがわかる。このように、モニター点として採用した居住域中央部、隅角部、吹出口対向壁近傍の全ての点において、Case-2 の気流速度の変動は他のケースよりも顕著であり、吹出し噴流が広範囲に拡散し、気流の停滞域の解消に寄与していることが示されている。

4.2 気流速度の補正

Popielek, Melikov⁹⁾によると、RANS 系の CFD で算出されるアン

サンプル平均値であるスカラー風速 $\bar{U} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2}$ と乱流エネルギー k を用いて算出される乱流強度 $Tu' (= \sqrt{2k/3} / \bar{U})$ と、無指向性の風速計で測定された Tu は大きく異なる場合があることを指摘している。Popielek, Melikov は(4)式に示すように、 $\bar{U}$ 、 Tu' によって V を算出する方法を提案しており、本報告もこの手法を採用することにする。

$$V = \bar{U} (1 - 0.044 \cdot Tu' + 1.195 \cdot Tu'^2 - 0.329 \cdot Tu'^3), \quad Tu' \leq 1.3$$

$$V = \bar{U} (0.287 + 1.502 \cdot Tu'), \quad Tu' > 1.3 \quad (4)$$

以下に示す DR 及び ADPI 算出に用いる気流速度は、(4)式に示した補正済みの気流速度である。Popielek らによると Tu' と Tu の誤差は、気流速度の小さな領域で大きくなると指摘している。図 3 及び図 4 に示すように、居住域の気流速度は 0.3m/s 以下の弱風域となっており、実測と CFD 解析との誤差が比較的大きくなる。従って、本報告では、Popielek らの補正式を用いている。

4.3 DR による評価

Fanger ら⁵⁾は、乱流強度がドラフト感に与える影響について検討しており、(5)式に示す関係式で居住域におけるドラフト感の予測不

図 4 水平面における気流、温度のプロファイル ($z=1.5\text{m}$)

図 5 モニター点におけるスカラー風速経時変化

図 6 各ケースのモニター点におけるスカラー風速の標準偏差

図7 水平断面及び鉛直断面における DR の解析結果 (単位 : [%])

満足率率 $DR[\%]$ を算出している^{注4)}。

$$DR = (34 - t_a)(V - 0.05)^{0.62} (0.37 \cdot V \cdot Tu + 3.14) \quad (5)$$

Tu は、乱流強度[%]であり(6)式により算出される。

$$Tu = 100 \cdot \frac{V_{sd}}{V} \quad (6)$$

ここで、 $V < 0.05 \text{ m/s}$ の場合 $V = 0.05 \text{ m/s}$ 、 $DR > 100$ の場合 $DR = 100$ である。また、 V_{sd} は気流速度の標準偏差[m/s]で、(7)式により算出される。

$$V_{sd} = (\overline{U}^2 + 2k - V^2)^{0.5} \quad (7)$$

なお、快適域の推奨範囲は $DR < 20\%$ となる領域である。

図7に、図2中に示した水平断面及び鉛直断面における DR の解析結果を示す。また、図8に、各ケースの水平断面、鉛直断面における DR の快適域割合を示す。 DR の快適域割合とは、(5)式によって算出された DR が、結果比較対象断面内で $DR < 20\%$ を満たしている割合を百分率で表したものである。また、図8内の Case-2 の場合の()は、表3中の図Bのノズルからの吹出し角度 ω を示している。

水平断面における DR のコンター図(図7)に示すように、吹出口対向壁面近傍では、吹出口からの噴流の影響で、快適範囲である 20% を超える箇所があり、特に Case-1 及び Case-3 では 30% 以上となる領域が存在している。また、鉛直断面に示す DR は、吹出口近傍から居住域に到達するまでに、吹出し風速が低下することによりドラフトが緩和され、居住域中央や吹出口の直下の領域では、いずれのケースも快適域となっている。また、図8に示す各断面における DR の快適域割合は、水平断面及び鉛直断面共に、Case-3 が最も小さく、本研究で採用している可動式ノズルを採用する Case-2 が、通常的设计指針に従う Case-1 よりも高評価となっていることがわかる。これは気流変動に伴い、風速の到達距離が増大すると共に、

図8 各ケースの水平断面、鉛直断面における DR の快適域割合^{注5)}

図9 各ケースの居住域 ADPI の解析結果^{注5)}

時変動を伴う気流変化が乱流強度に影響を及ぼしていることが原因と考えられる。

4.4 ADPI による評価

可動式ノズル吹出口を用いた際の居住域における影響を検討するために、CFD 解析結果をもとに ADPI を算出した。ADPI は、居住域における温度差と風速分布によりコールドドラフトの指標である

図 10 各ケースの PMV の分布

有効ドラフト温度 EDT を算出し、 EDT が $-1.7K$ から $1.1K$ の範囲にあり、居住域の局所風速が $0.35m/s$ 以下の場合に快適域と定められ、その領域が居住域全体に占める割合を $ADPI$ と定義される。図 9 に、各ケースの気流速度、温度より算出された $ADPI$ の解析結果を示す。なお、図 9 内の Case-2 の場合の()は、図 8 と同様である。

Case-1 の $ADPI$ による評価結果では、発熱面近傍を除いたほぼ全領域で快適な環境の構築が可能であると評価された。Case-2 の場合は、ノズルの吹出し方向が変化するために、ノズル角度による $ADPI$ が変動しており、ほとんど全てのノズル位置の場合で Case-1 を上回る評価となっている。また、従来の固定式ノズルを採用する Case-3 の $ADPI$ は 90% 程度であった。従って、吹出口個数を減じた場合、従来の固定式の吹出し方式は居住域環境が低下するが、本研究で提案する可動吹出口を採用すれば、設計指針に従って吹出口を設置する Case-1 を上まわる気流・温熱空間を構築できることを示した。

4.5 PMV による評価

解析では、吹出口対向壁のほぼ全面が日射負荷を想定した発熱面となっている。ここでは、居住域における発熱面からの放射熱の影響を考慮するために、居住域における PMV を算出する。図 10 に、各ケースの居住域高さにおける PMV の分布を示す。また、図 11 に居住域高さにおける PMV の算術平均値を示す。 PMV の算出にあたっては、CFD 解析により算出された各壁面の表面温度から、面積荷重平均温度を求め、この温度を各壁面からの平均放射温度と考え、計算された気流速度、温度をもとに算出した。また、湿度計算は行っていないため相対湿度は 50% とし、作業強度は $1.1Met$ 、着衣量は $0.6clo$ と仮定した。

図 10 に示すように、発熱面近傍の PMV は他の領域よりも高くなっているが、居住域中央付近の PMV は各ケースとも $0.2 \sim 0.8$ 程度となっている。Case-2 を他のケースと比較すると、水平方向の PMV 分布が他のケースよりも均一であり、図 11 に示す居住域高さにおける PMV の平均値は、その差異は僅かではあるが他のケースよりも高評価となることが示されている。

5. 結論

本報では、従来の吹出し設計指針による空調手法と本研究で提案する可動式吹出し空調の比較にあたり、吹出しノズルが水平方向に複数設置されている場合を対象として CFD 解析を実施し、気流分布、温度分布、 DR および $ADPI$ を算出し、可動吹出し空調の優位性につ

図 11 居住域高さにおける PMV の平均値の比較

いて検討を行った。得られた結果を以下に示す。

- (1)本報告で対象とした領域において、平山・野村により提案された最適設計手法を用いて解析した結果、閉鎖空間を対象とする本計算領域では、設計指針と若干異なる居住域の温度分布となることを確認した。また、吹出し噴流同士の誘引効果により、居住域風速が局所的に増大することを示した。
- (2)本報告で対象とする領域において、気流分布、温度分布について各ケースで比較した結果、可動式ノズルを採用するケースの場合は、吹出口の往復運動により吹出し気流が拡散し、吹出口からの冷気流が居住域全体に到達することにより、他のケースよりも居住域温度が低下する傾向にあることが明らかになった。
- (3)気流速度の非定常解析結果から居住域各点のスカラー風速の経時変化を各ケースについて比較した結果、本研究で採用する可動式ノズルを用いる場合、ノズルの動作に伴って可感気流が増加する傾向にあることが確認され、いずれのモニター点においても気流停滞域を解消することが可能であることを示した。
- (4)Popiolek, Melikov の提案する気流速度の補正方法を用いて、気流の不満足率 DR から快適域割合を算出した結果、水平断面及び鉛直断面共に、本研究で採用している可動式ノズルを採用するケースが、通常の設計指針に従うケースよりも高評価となることを示した。
- (5)可動式ノズル吹出口を用いた際の居住域における影響を検討するために、CFD 解析結果をもとに $ADPI$ を算出した結果、吹出口個数を減じた場合、従来の固定式の吹出し方式は居住域環境が低下するが、本研究で提案する可動吹出口を採用すれば、設計指針に従って吹出口を設置するケースを上まわる温熱環境が構築できることがわかった。

今後は、前報で示した天井からの下向き吹出口を設置した場合と本報で示した吹出し空調を側壁に設置した場合を対象として、吹出口の個数等について詳細に検討する予定である。

謝辞

本研究を行うにあたり東京大学教授・坂本雄三氏、東京理科大学教授・倉淵隆氏、神奈川大学准教授・岩本静男氏を始めとする流れの会の皆様に多大な御助言を戴いた。なお、本研究の成果の一部は、平成 20 年度日本学術振興会科学研究費補助金（基盤研究(B)，課題番号 19360264，代表 酒井孝司）及び平成 20 年度日本学術振興会科学研究費補助金（特別研究員奨励費，課題番号 19・6049，代表 久保隆太郎）によるものである。ここに記して謝意を表する。

注

注 1) Case-2 のようにノズルが時間経過に伴い傾斜して吹出す場合、吹出口面の法線方向の風速成分のみが計算領域に流入する。従って、吹出口の大きさをノズル面積と等しい矩形に近似すると、Case-2 と Case-3 は風量、供給熱量ともに一致しないため、Case-2 の 1 周期分の風量が Case-3 と同様となるよう、吹出口幅を算出した。

注 2) Case-1 は吹出口の個数が他のケースより多いため、他のケースよりも高密度なメッシュ分割となっている。また、Case-2 の Y 方向の格子分割数は Case-3 よりも密となっているが、Case-2 の場合、吹出し方向が Y 方向に変化するため、Y 方向のメッシュ密度を若干高めに設定している。このメッシュ数とほぼ同等になるよう、Case-3 の Z 方向密度を調整している。

注 3) 本研究で提案する可動式ノズル吹出口を用いる場合の上下方向の温度分布は、図 4 に示すように、温度成層の生成を抑制する可能性がある。これにより、Case-2 の居住域上部の温度は他のケースよりも若干高温となる可能性がある。しかしながら、図 5 に示すように、ノズルの往復運動に伴う吹出し噴流の影響で、居住域の気流速度が増大している。本報告では言及しないが、Case-2 の場合、居住域の可感気流が増大することによりドラフト感が増し、その結果、他のケースよりも若干高め温度であっても快適感を感じることができる可能性があると考えられる。今後は吹出し気流による冷涼感や爽快感が快適感に与える影響を考慮して、可動式吹出しノズルの効果について検討する予定である。

注 4) Fanger によるドラフト感の予測不満足者率は PD (Percent Dissatisfied) と表記されるが、近年ではこれを DR と称す場合が多い。従って本研究でもこの表記方法に従っている。DR は(5)式に示すように、気流の乱れの度合いを示す乱流強度 Tu が含まれる。そのため、ADPI のように平均的な流れ場を評価する指標と異なる。本研究で提案する可動式吹出口による空調手法の場合では、DR のような風速変動成分を考慮する指標が必要と考え本報告では新たに採用した。

注 5) 図 8，9 中の Case-1~3 の結果は、表 A に示す時点の結果である。

参考文献

1) 戸河内敏，荒井良延，三浦克弘：大空間の空調・熱環境計画手法の研究 その 1 大空間における上下温度分布の予測モデル，日本建築学会計画系論文報告集，No.427，pp.9-19，1991.9

2) 桃井良尚，山中俊夫，甲谷寿史，堀川晋：天井扇を有する大空間内の夏期における気流・温度分布の実測及び CFD 解析，日本建築学会環境系論文集，No.600，pp. 21-27，2006.2

表 A 各ケースの経過時間

	経過時間[s]
Case-1	420.0
Case-2(+30)	660.0
Case-2(+15)	682.5
Case-2(0)	705.0
Case-2(-15)	727.5
Case-2(-30)	750.0
Case-2(-15)	772.5
Case-2(0)	795.0
Case-2(+15)	817.5
Case-3	240.0

3) 庄司研，樋渡潔，大野茂，森川泰成，加藤信介：大空間における空調制御方法に関する研究 その 3 温熱環境形成寄与率第 1(CRI1)及び第 3(CRI3)を用いた検討，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集，Vol.2004，No.2，pp.1155-1158，2004.8.20

4) 久保隆太郎，加治屋亮一，酒井孝司，植田俊克，松尾陽：LES 解析結果を用いた ADPI による居住域温熱環境評価 可動式ノズル吹出口の大空間への適用に関する研究（第 1 報），日本建築学会環境系論文集，No.588，pp.41-49，2005.2

5) R. G. Nevins, E. D. Ward: Room air distribution with an air distributing ceiling, ASHRAE Transactions, vol.74, Part1, No.2072, pp.VI.2.1-VI.2.14, 1968

6) ASHRAE Handbook Fundamentals (SI): Thermal comfort. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. chapter8, p.8.14, 2005

7) 平山嵩，野村豪：室内空気分布に関する研究，日本建築学会論文報告集，66 号，pp.133~136，1960，69 号，pp.185~188，1961

8) A. Koestel: Computing Temperatures and Velocities in Vertical Jets of Hot or Cold Air, A.S.H.V.E. Transactions, vol.60, pp.385-410, 1954

9) Zbigniew Popiolek, Arsen K. Melikov: Improvement of CFD predictions of air speed turbulence intensity and draught discomfort, Indoor Air, pp.17-22, 2008

10) 久保隆太郎，加治屋亮一，酒井孝司，石原修：可動式ノズル吹出し口を用いた空調システムに関する研究 第 1 報 CFD 解析による水平可動吹出し空調の解析，空気調和・衛生工学会九州支部研究報告，No.14，pp.5-8，2007.5

11) 久保隆太郎，加治屋亮一，酒井孝司，植田俊克：可動式ノズル吹出口の空調室内への適用に関する研究(第 3 報)CFD を用いた水平可動吹出し空調の解析，日本建築学会学術講演梗概集 D-2 環境工学 2，pp.1193-1194，2007.7

12) 久保隆太郎，加治屋亮一，酒井孝司：可動式ノズル吹出し口を用いた空調手法に関する研究，日本流体力学会年会講演集，p.266，2007.8

13) 東恵介，植田俊克，加治屋亮一，酒井孝司：CFD 解析における高速誘引ノズルの近似法に関する研究 第 1 報 吹出し口面積に関する検討，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集，No.2，pp.903-906，2007.8

14) 矢島義宏，加治屋亮一，酒井孝司，久保隆太郎：可動式ノズル吹出口の大空間への適用に関する研究(第 3 報)LES による CFD 解析と測定実験との比較，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集，No.2，pp.1205-1208，2006.9

15) 松木直哉，加治屋亮一，酒井孝司，矢島義宏，久保隆太郎：可動式ノズル吹出口の大空間への適用に関する研究(第 4 報)暖房空間の CFD 解析と測定実験との比較，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集，No.3，pp.2061-2064，2007.8

16) 東恵介，加治屋亮一，酒井孝司，植田俊克：CFD 解析における高速誘引ノズルの近似法に関する研究 第 2 報 メッシュ依存性に関する検討，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集，No.3，pp.1895-1898，2008.8

(2008年11月 8 日原稿受理，2009年 4 月 7 日採用決定)