# 床面衝突噴流を用いた準置換換気空調方式に関する研究 (その9)室内熱負荷配置条件が乱流熱拡散係数に及ぼす影響

正会員 〇杉田雄希\*1 同 小林知広\*2 同 梅宮典子\*3

## 4. 環境工学 - 13. 空気流動応用 - b. 室内気流 衝突噴流 置換換気 温度成層 数値実験 ブロックモデル

#### 1. はじめに

本研究では床面付近から鉛直下向きに給気する Impinging Jet Ventilation 方式<sup>1,2)</sup>(以降 IJV 方式) を対 象とし、十分に明らかにされていない鉛直温度分布の 性状解明とその簡易予測手法の提案を目的とする。温 度成層を形成する空間を対象とした温度予測モデルに ブロックモデル<sup>3,4)</sup>があるが、当該モデル中で温度分 布に大きな影響を及ぼすパラメータである乱流熱拡散 係数に関する検討事例は少ない。筆者らの既往研究<sup>5)</sup> ではブロックモデルを用いた鉛直温度分布の簡易予測 ならびに上下ブロック間の乱流熱拡散係数の同定を行 うとともに、流れ場を特徴付けるアルキメデス数を用 いた関数化を行ったが、対象は熱負荷が集中して配置 された条件に限定していた。そこで、本報では CFD 解析を用いて室内熱負荷の配置条件を変更した数値実 験を実施し、各条件でブロックモデルにより適切な温 度分布を再現し得る乱流熱拡散係数(a,)の同定を行っ

た上で、設計パラメータから算出可能なアルキメデス 数を用いて配置条件毎に乱流熱拡散係数の関数化を試 みた結果を報告する。

#### 2.CFD 解析による数値実験

対象空間は 9.0×5.0×2.7m の室とし、発熱体の配置条 件を以下の 3 条件とした(I~III、図 1)。 (I) 発熱体(800×800×800mm) 1 個を室中央に配置 (II) 発熱体(800×800×800mm) 4 個を均等配置 (III) 発熱体(400×400×800mm) 32 個を均等配置 冷房を想定した計算を行い、室内総発熱量は 2.0kW、 発熱体数で除した発熱量 2.0kW, 500W, 62.5W を各発熱 体に与えた。発熱体の境界条件は発熱量を床面を除く 5 面の面積で除した熱流束で与えた。各配置条件にお いて、吹出口数を 1, 2, 4, 6 個の 4 条件(A~D、図 2) とし、吹出面が床上 600mm になるように設置する。 発熱体条件 I~III と吹出口条件 A~D を組み合わせた 12



図2 吹出口条件

A Study on Semi-Displacement Ventilation System using Impinging Jet Flow Part 9. Effect of Heat Load Distribution on Turbulent Thermal Diffusivity

SUGITA Kazuki, KOBAYASHI Tomohiro, UMEMIYA Noriko

条件において、給気風量を 400, 600, 900, 1,200m<sup>3</sup>/h の 4 段階に変更し、流入境界には総給気風量を吹出面積 の合計で除した風速と給気温度 20℃を与えた。既往研 究<sup>5)</sup>と同様に乱流モデルは SST *k-ω* モデルを使用し、 Surface-to-Surface モデルを用いた放射連成解析とした。

各条件における水平面平均温度の鉛直分布を図3に 示す。全条件において給気風速が減少するとともに室 下部の温度が低下し、居住域内の上下温度差が増加す る傾向が見られる。また、配置条件により成層高さに 差異が生じている。次章では、CFD 解析の結果を真値 と仮定してブロックモデルによる鉛直温度分布の簡易 予測を行う。

### 3. ブロックモデルによる乱流熱拡散係数の同定

既報<sup>5</sup>と同様に、対象空間を鉛直方向に均等に10 分割し、室上部から順にブロック番号を1~10とし、 給気は最下部の室ブロック10、排気は室ブロック1か ら行い、発熱量はプルームブロック10に与えた。ブ ロックモデルの計算方法の詳細は次報にまとめて記 す。本報では、前章の結果を真値として適切な温度分 布を予測する乱流熱拡散係数 $a_t$  [m<sup>2</sup>/s] を室の上部と下 部の2領域に分けて最小二乗法により有効数字2桁で 同定する。上部7ブロック内のブロック境界面の $a_t$ を $a_{t\_upper}$ とし、下部4ブロック内の境界面の $a_t$ を $a_{t\_lower}$ とする。これはプルームによる浮力が支配的な室上部 と吹出気流が支配的な室下部を区別することを意図し た。

次に、同定された2領域の*a*,を設計条件等から予測 可能とするため、以下のような各領域の*a*,に対応する 2種の*Ar*数を用いて関数化を行う<sup>注1)</sup>。

$$Ar_{plume} = \frac{g \cdot \beta \cdot \sqrt{A_h} \cdot \left(T_p - T_{middle}\right)}{U_p^2} \tag{1}$$

$$Ar_{sa} = \frac{g \cdot \beta \cdot \sqrt{A_{in}} \cdot (T_{bottom} - T_{sa})}{U_{sa}^{2}}$$
(2)



図3 CFD 解析による水平面平均温度の鉛直分布

なお、室上部はプルームの浮力が支配的と仮定してプ ルーム風速とプルーム内外温度差に基づく $Ar_{plune}$ を定 義し、室下部は吹出気流が支配的と仮定して給気風速 に基づく $Ar_{sa}$ を定義した。各配置条件におけるAr数 と $a_t$ の関係式を図4にまとめる。室上部領域では発熱 体条件 III においてばらつきが生じ、 $a_{t\_upper}$ を過大ある いは過小に評価する可能性があるものの、その他の条 件では $a_{t\_upper}$ と $Ar_{plume}$ に明確な関係が見られる。一方、 室下部領域では全条件で $a_{t\_lower}$ と $Ar_{sa}$ に明確な関係が 見られ、3条件の近似曲線が類似することが示された。 このため、室下部の $a_{t\_lower}$ は熱負荷配置によらず(2) 式の $Ar_{sa}$ のみで概ね決定されると言える。

最後にこの関数式をブロックモデルに適用して鉛直 温度分布の簡易予測を行う。同定結果とともに関数式 を用いた予測結果を図5に示す。関数式から算出した *a<sub>t</sub>\_lower</sub>が同定結果と1桁異なる場合には予測精度が低 下するものの、同程度の場合には温度分布が解析結果 と非常によく一致する傾向が見られ、<i>a<sub>t</sub>\_lower</sub>*は鉛直温 度分布に大きな影響を及ぼすと言える。

#### 4. まとめ

本報では熱負荷の配置条件と給気条件を変更した数 値実験行い、適切な乱流熱拡散係数を同定するととも に、2種のAr数を用いた関数式を示した。次報では大 空間を想定して天井高を変更した検討を行う。

[注釈] 注 1) g: 重力加速度 [m/s<sup>2</sup>]、 $\beta$ :体積膨張率 [1/K]、 $U_p$ : プルーム風速 [m/s]、 $A_h$ : 発熱体面積 [m<sup>2</sup>]、 $T_p$ : プルームブロック 6 の温度 [°C]、  $T_{midde}$ : 室ブロック 6 の温度 [°C]、 $U_{sa}$ : 給気風速 [m/s]、 $A_m$ : 吹 出面積 [m<sup>2</sup>]、 $T_{sa}$ : 給気温度 [°C]、 $T_{botom}$ : 室ブロック 10 の温度 [°C]とする。なお、給気風速  $U_{sa}$ には給気風量を総吹出面積で 除した風速を適用した。また、プルーム風速  $U_p$ には次式のよ うに文献<sup>6</sup>のプルーム流量予測式を用いてブロック 6 のプルー ム流量を算出し、ブロック境界面積  $A_b$  [m<sup>2</sup>] で除した風速を適 用した。式中の W は発熱量 [W]、 $h_o$ は仮想点熱源から床面ま での距離 [m] を表す。

$$U_{p} = \left\{ 0.005 \cdot W^{\frac{1}{3}} \cdot \left( 0.945 + h_{o} \right)^{\frac{5}{3}} \right\} / A_{b}$$

[参考文献]

 T. Karimipanah, H.B. Awbi : Theoretical and experimental investigation of impinging jet ventilation and comparison with wall displacement ventilation, *Building and Environment*, Vol.37, pp.1329-1342, 2002



(1) Upper Region (Correlation between  $a_t$  upper and  $Ar_{plume}$ )



(2) Lower Region (Correlation between  $a_{t\_lower}$  and  $Ar_{sa}$ )

図4 室上部領域ならびに室下部領域における乱流熱拡散係数とアルキメデス数の関係



#### 図5 CFD 解析とブロックモデルによる水平面平均温度の鉛直分布

- 2)H. Chen, B. Moshfegh, M. Cehlin : Investigation on the flow and thermal behavier of impinging jet ventilation systems in an office with different heat loads, *Building and Environment*, Vol.59, pp.127-144, 2013
- 3) 戸河里敏,荒井良延,三浦克弘:大空間における上下温度分布の 予測モデルー大空間の空調・熱環境計画手法の研究(その1),日
- 本建築学会計画系論文報告集,第 427 号, pp.9-19, 1991.9
- 4)東本丈明、山中俊夫、甲谷寿史、花野弘行:冷却面を有する置換換気室内の温度・汚染物濃度分布-熱プルームを組み込んだ
- \*1大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻 前期博士課程
- \*2大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻 講師 博士 (工学)
- \*3大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻 教授 博士(工学)

ブロックモデルの適用,日本建築学会環境系論文集,第571号, pp.47-53,2003.9

- 5) 小林知広,杉田雄希,梅宮典子:床面衝突噴流を用いた準置換換 気空調方式に関する研究-CFDを用いた数値実験に基づくブロッ クモデルによる室内鉛直温度分布の予測-,日本建築学会環境系 論文集,第81巻,第730号,pp.1117-1125,2016.12
- 6) H. Skistad : DISPLACEMENT VENTILATION, Research Studies Press LTD., 1994

Graduate Student, Department of Urban Eng., Graduate School of Eng., Osaka City University Lecturer, Department of Urban Eng., Graduate School of Eng., Osaka City University, Dr.Eng. Professor, Department of Urban Eng., Graduate School of Eng., Osaka City University, Dr.Eng.