

放射状壁面噴流を用いた準置換換気方式空調に関する研究
 (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
 A Study on Semi-Displacement Ventilation using Radial Wall Jet
 (Part 9) Effect of Heat Load Distribution on Turbulent Thermal Diffusivity

○杉田 雄希 (大阪市立大学) 小林 知広 (大阪市立大学) 梅宮 典子 (大阪市立大学)
 Kazuki SUGITA *¹ Tomohiro KOBAYASHI *¹ Noriko UMEMIYA *¹
 *¹ Osaka City University

The Impinging Jet Ventilation (IJV) system is an air-conditioning method to form thermal stratification. This system mixes air more moderately within the occupied zone than the Displacement Ventilation. The final objective of this work is to establish a simplified prediction method of vertical temperature profile based on the Block Model. A parametric study on interior heat load is conducted by CFD, and the appropriate turbulent thermal diffusivity for the Block Model is determined. Because this is of great importance on vertical temperature profile, a method to predict appropriate diffusivity based on design parameter is proposed.

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^{1,2)} (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^{3,4)}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⁵⁾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_t) 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 解析をによる数値実験

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、Fig.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、Fig.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 条件において、給気風量を 400, 600, 900, 1,200m³/h の 4 段階に変更し、流入境界には総給気量を吹出面積合計で除した風速と給気温度 20℃を与えた。乱流モデルは SST $k-\omega$ 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 Fig.3 に示す。全条件において給気風速が減少するととも

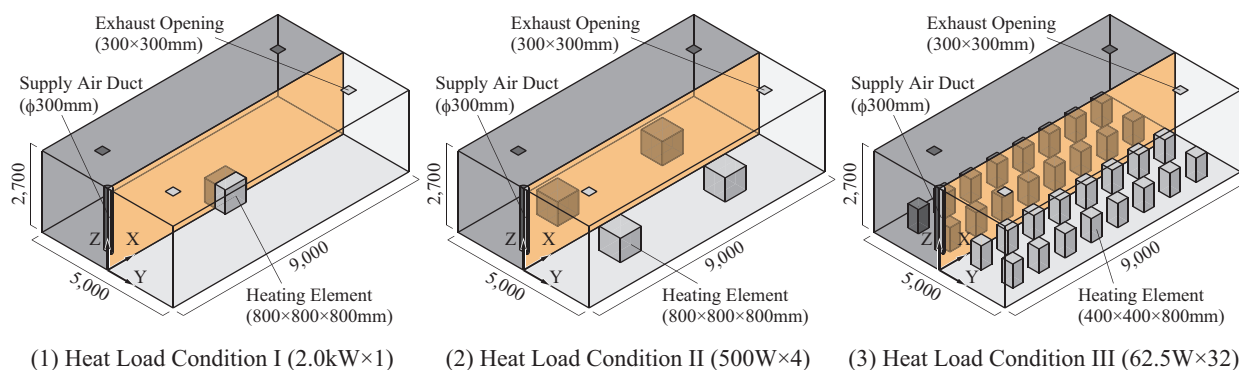


Fig.1 Calculation Domains for Heat Load Conditions

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⁵⁾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、発熱量はブルームブロック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^2/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。これはブ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_t を設計条件等から予測可能とするため、流れ場を特徴付ける2種の Ar 数

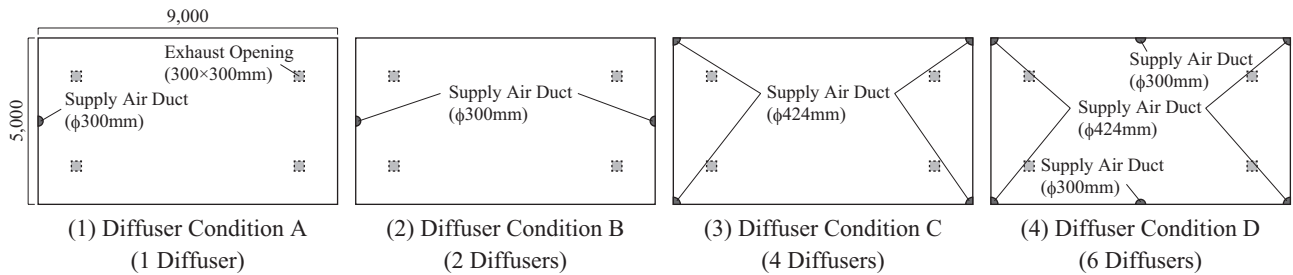


Fig.2 Floor Plans for Diffuser Conditions

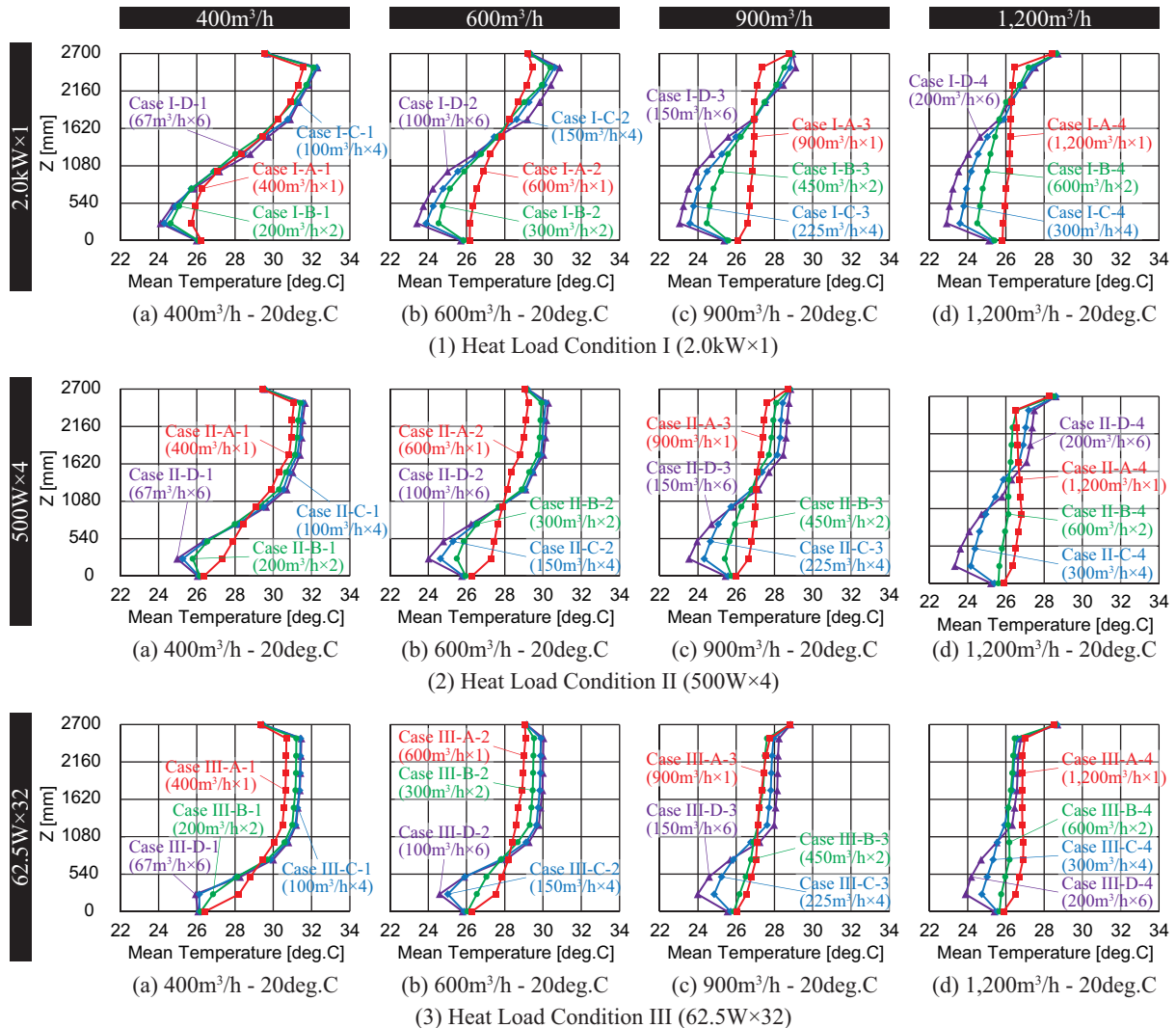


Fig.3 Vertical Profiles of Horizontal Averaged Temperature obtained from CFD

を用いて関数化を行う。以下のように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_{plume} を定義し、室下部は吹出气流が支配的と仮定して給気風速に基づく Ar_{sa} を定義する^{注1)}。

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

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

各配置条件における Ar 数と a_t の関係式を **Fig.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 **Fig.5** に示す。関数式から算出した a_{t_lower} が同定結果と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、 a_{t_lower} 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を行い、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/s²]、 β : 体積膨張率 [1/K]、 U_p : プルーム風速 [m/s]、 A_h : 発熱体面積 [m²]、 T_p : プルームブロック6の温度 [°C]、 T_{middle} : 室ブロック6の温度 [°C]、 U_{sa} : 給気風速 [m/s]、 A_{in} : 吹出面積 [m²]、 T_{sa} : 給気温度 [°C]、 T_{bottom} : 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⁶⁾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 [m²] 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。

$$U_p = \left\{ 0.005 \cdot W^{\frac{1}{3}} \cdot (0.945 + h_o)^{\frac{5}{3}} \right\} / A_b$$

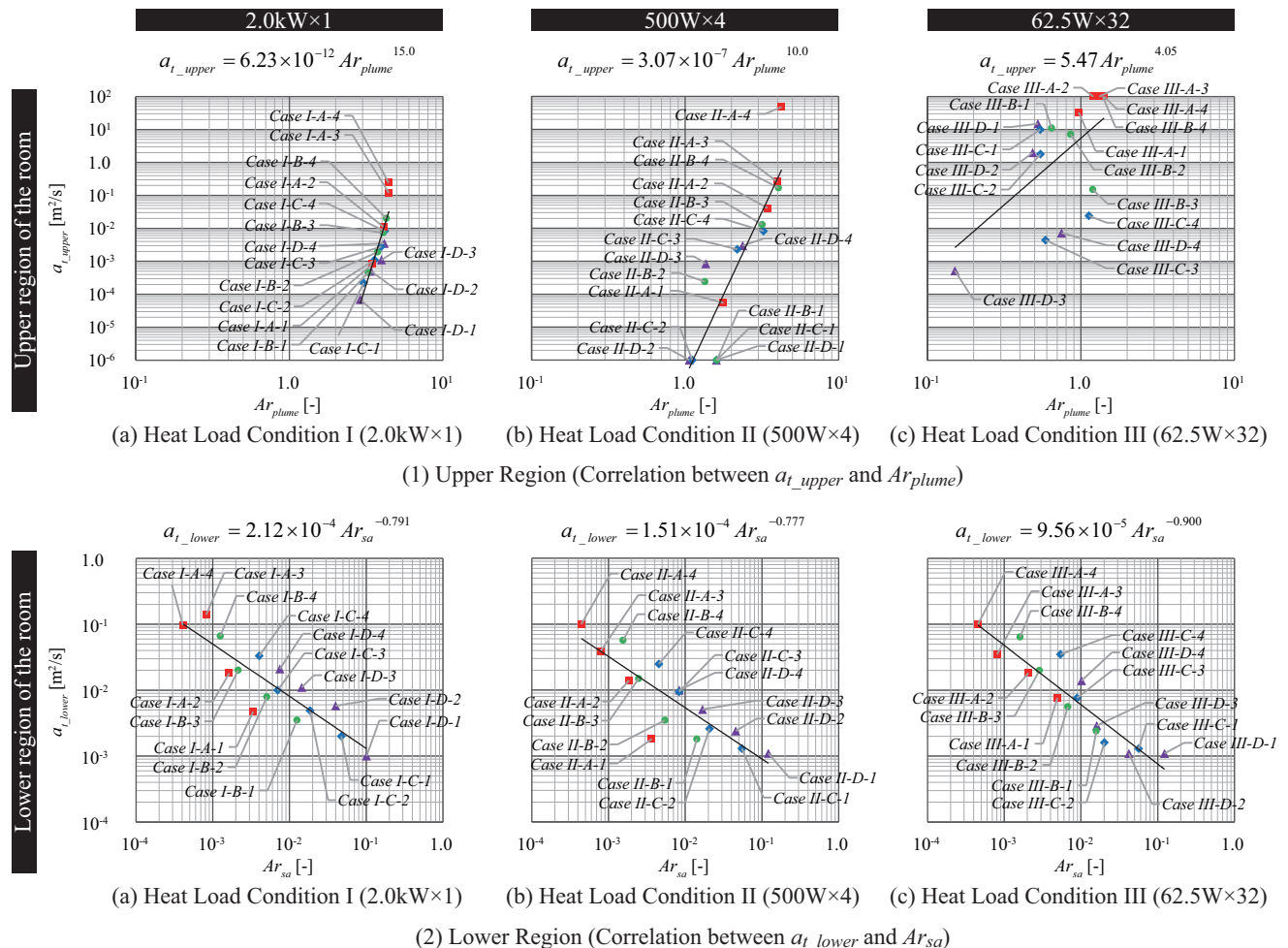


Fig.4 Correlation between Turbulent Thermal Diffusivity and Archimedes Number for Upper/Lower Region for Block Model

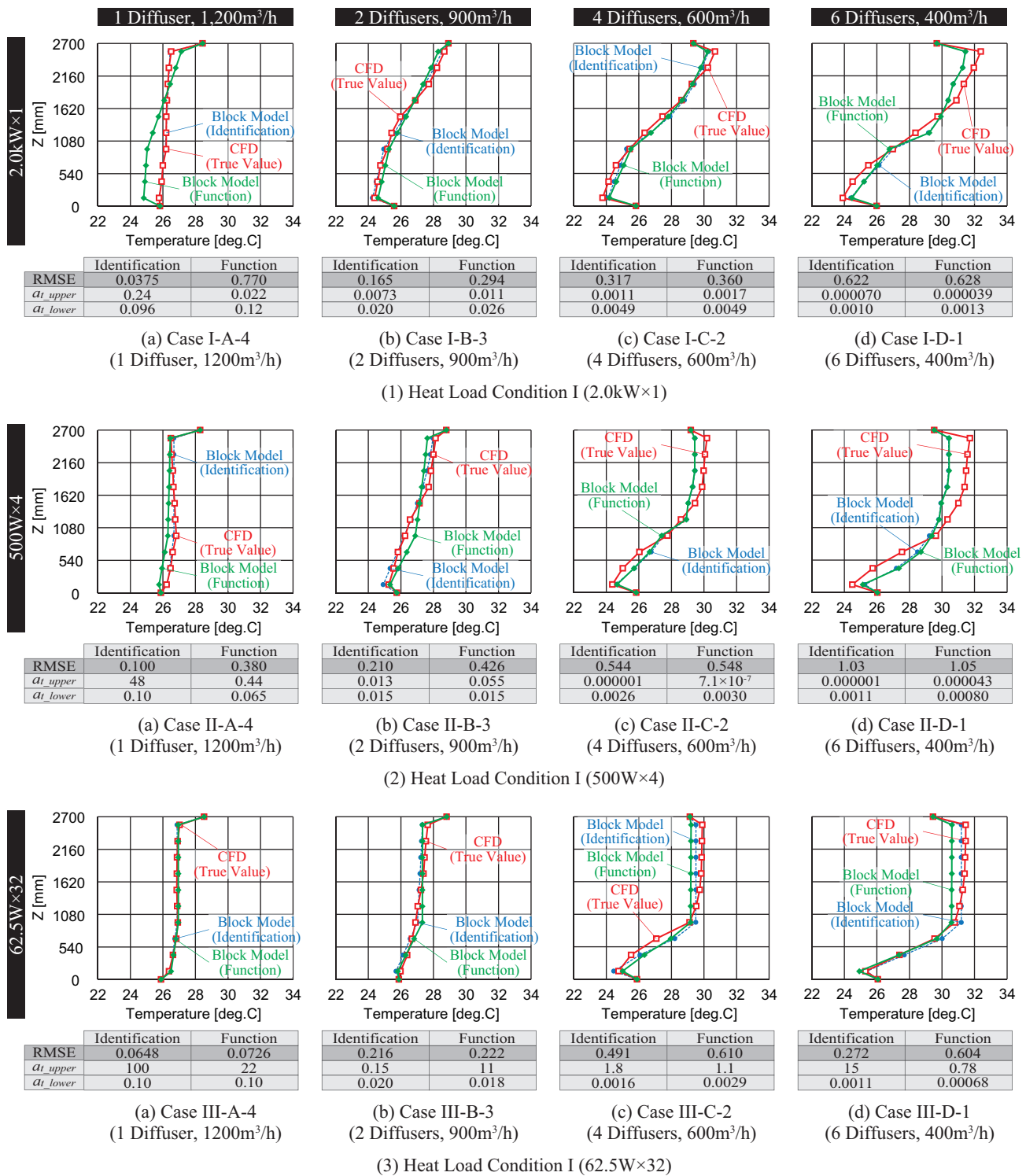


Fig.5 Vertical Profiles of Horizontal Averaged Temperature obtained from CFD and Block Model

[参考文献]

- 1) T. Karimipناه, 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
- 2) H. Chen, B. Moshfeh : Investigation on the flow and thermal behavior 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—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) 東本文明, 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—熱ブルームを組み込んだ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