

アネモ型ディフューザーを空調吹出し口に用いた室の気流解析に関する研究

- コーン位置が室内気流性状に及ぼす影響及び吹出し口近傍を解析領域としないCFD解析 -

正会員 ○ 岡市敦雄*1
同 山中俊夫*2
同 甲谷寿史*3
同 加藤正宏*1

1. はじめに

これまで計算負荷の軽減を目的として、室内気流の解析結果が妥当なものとなる（実験との比較などにより）ように、吹出し口に与える境界条件をモデル化し、少ない分割数で室内気流の解析を行う種々の試みがなされている^{2,11,12}。これに対して、本研究では室内照明計算における器具の配光特性を用いた解析手法と同様に、ディフューザー形状による吹出し口近傍の複雑気流場を解析領域から除き、同領域外周の境界条件に自由場における実験測定値を与えるCFD解析手法の確立および計算負荷の軽減を目的とする。

本研究の構成を図1に示す。現在、研究の第1段階として等温場でのアネモ型ディフューザー吹出し気流について検討を行っており、本報ではCFD解析の結果と比較することを目的とした模型実験の結果¹¹（①）と、CFD解析に用いる暖房用コーン設定の境界条件作成を目的とした自由場での風速測定実験（②左）、及び同境界条件を用いたCFD解析の結果（③左）と模型実験の測定値との比較について報告を行う。

2. 模型実験に基づく室内気流性状の把握

2.1 実験概要

実験装置を図2に示す。模型室は寸が一辺170cmの立方体であり、等温場を対象とする実験であるので模型室側面を天井面と見なして実験を行った。吹出し口には、吹出し口近傍に複雑な気流を生じさせる円形のアネモ型ディフューザーを用いた（図3）。アネモ型ディフューザーはコーンにより暖房用と冷房用の2種類の設定を行うことができる。室内気流性状への影響が大きいと考えられる吸込み口を10cm角の正方形とし、図2に示す3箇

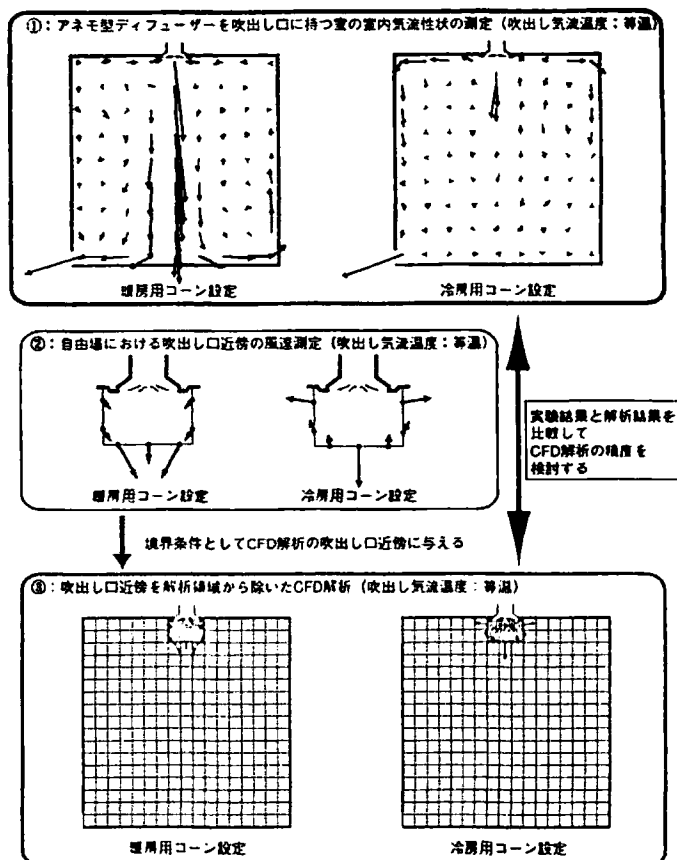


図1 研究の構成

表1 実験条件

吹出し風速	2m/s (ディフューザーネック部)					
吹出し温度	等温 (周囲温度に等しい)					
流量	88.4 m³/s					
コーン設定	暖房用設定			冷房用設定		
吸込み口位置	A	B	C	A	B	C

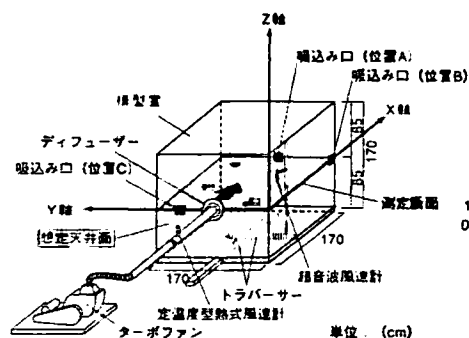


図2 実験装置の構成

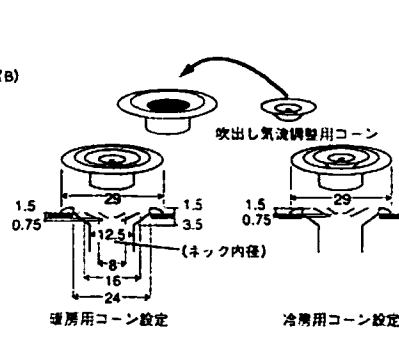


図3 アネモ型ディフューザー

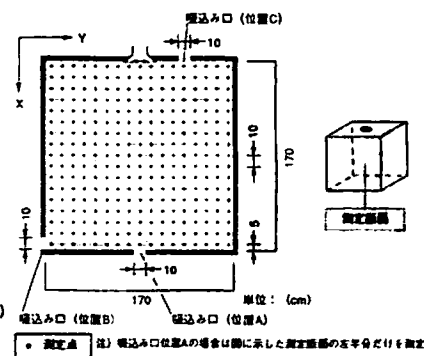


図4 風速測定点

Study on CFD of Rooms with Anemostat Type Air Diffuser

Influence of Cone Setting of Diffuser on Air Flow Patterns inside room and simplified CFD Simulation

OKAICHI Atsuo, YAMANAKA Toshio, KOTANI Hisashi and KATO Masahiro

所に設定した。風速測定は3次元超音波風速計（WA-390型、海上電機製）を用いて10Hzで30秒間測定を行い、各風速成分の平均値と変動の実効値を図4で示した各測定点毎に記録した。アネモ型ディフューザーの吹出し風速は、自由場における暖房用コーン設定の到達距離と冷房用コーン設定の拡散半径が模型室寸法よりも小さくなるように、到達距離及び拡散半径とネック部風速との関係（カタログ資料）を参考にネック部風速を2m/sに設定した。このとき流量は88.4m³/hであり、流量調整は、定温型熱式風速計（CLIMOMASTER, MODEL-6511, KANOMAX社製）を用いた給気パイプ内の風速測定によった。実験条件を表1に示す。

2.2 結果と考察

(1) 風速ベクトル（図5）

暖房用コーン設定時（以下、暖房用設定）の吹出し気流は軸流であり、吸込み口の位置による差異は吸込み口近傍以外では見られない。冷房用設定の吹出し気流はふく流であり、吹出し口が設置された壁面に沿って流れるために吸込み口の位置の影響を受けやすく、室内の気流性状は吸込み口の位置により大きく異なっている。暖房用設定と冷房用設定との比較を行うと、暖房用設定の吹出し気流が拡がりやすく流速も約1.5m/sと速いのに対して、冷房用設定は放射状に吹き出すために速度が約0.4m/sと遅い。

(2) 風速分布（図6）

暖房用設定では吹出し気流の風速が大きく、吸込み口のごく近傍以外は風速分布に差異が見られない。冷房用設定の風速分布は吹出し気流が到達している範囲以外では非常に小さく風速0.1m/s以下の領域がほとんどであるが、アネモのコーン中心にある小穴前面では、風速が1.5m/sと大きくなっている。暖房用設定の室内気流は吹出し気流の速度の違いから冷房用設定と比べると室内の気流速度が全体的に0.1m/s以上と速くなっている。

(3) 乱流エネルギー分布（図7）

暖房用設定では、吹出し気流速度が速く軸流となっているため、周辺の空気と接する部分で乱流エネルギーは0.02m²/s²以上と大きい、吹出し気流の中心部では乱流エネルギーは周囲と比較して0.015m²/s²と若干小さくなっている。冷房用設定の場合、乱流エネルギーの値は全体的に小さな値になっているが、アネモの中心にある小穴

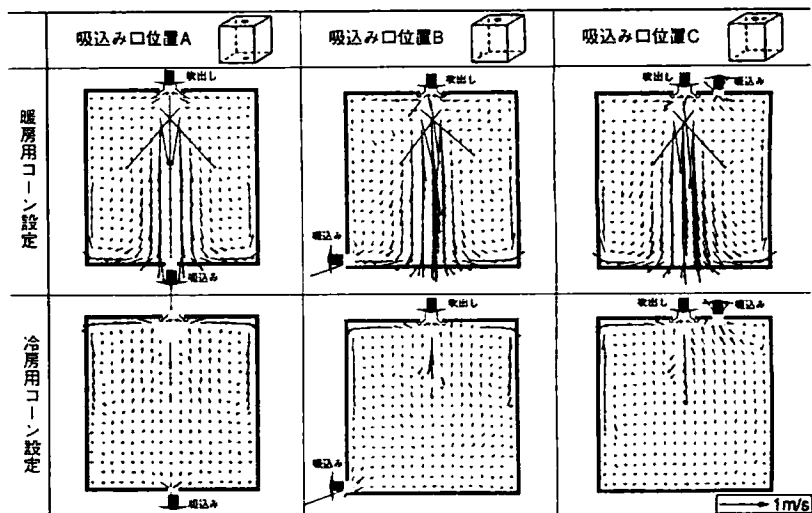


図5 風速ベクトルの測定結果一覧

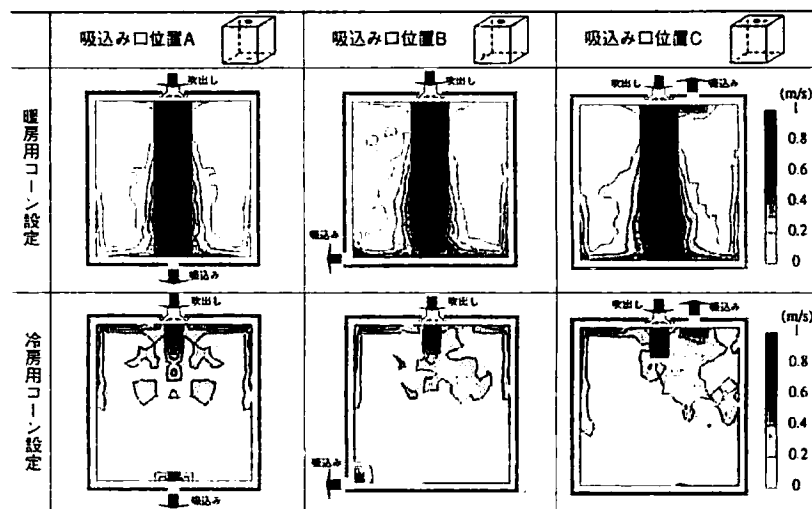


図6 風速の測定結果一覧

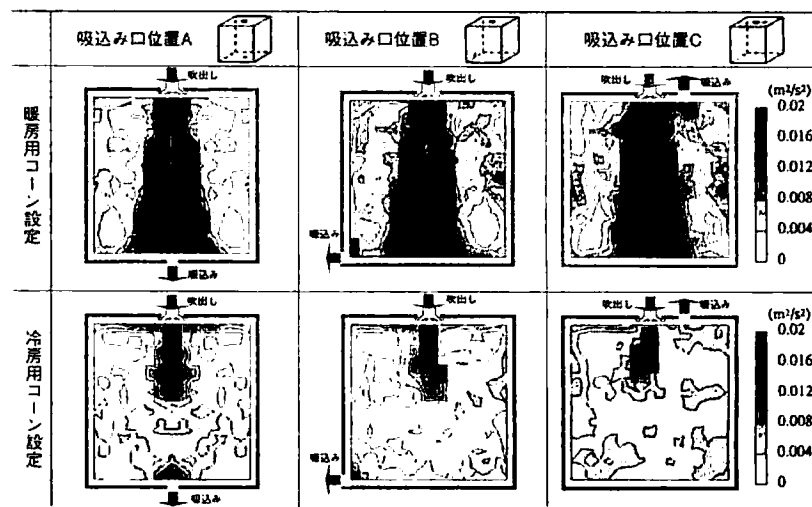


図7 乱流エネルギーの測定結果一覧

から吹き出す約1.5m/s程度の速度を持つ軸流がアネモ近傍に誘引される気流と接する領域において、乱流エネルギーの値が0.04m²/s²と大きくなっている。図6からわかるように冷房用設定の気流速度が暖房用設定と比べて小さくなるために室内気流全体の乱れも暖房用設定と比べると小さいことがわかる。

3. CFD解析に用いる境界条件の作成(暖房用設定時)

3.1 境界面の設定

本研究で試みるCFD解析の負荷軽減手法は、形状の複雑な吹出し口とその近傍の複雑気流場を含めた領域を解析対象に含めず、その領域の外面に境界条件を与えることである。そのため解析対象としない吹出し口近傍領域は、直径29cmのアネモ型ディフューザーを含み、かつ吹出し口近傍の複雑気流場を含まなくてはならない。暖房用設定の吹出し口近傍領域は、スプリットフィルムプローブを用いた既往のアネモ近傍の風速測定結果^(註2) 註4)と吹出し口形状より、図8に示す領域に設定した。このことからCFD解析の境界条件を与える境界面は図9に示す30cm×30cm×20cmの面とした。

3.2 実験概要

実験は、自由場と見なせる大空間を有する大阪大学共同実験棟において、図10に示す実験装置を用いて行った。後述するCFD解析の解析条件に対応させるため、境界条件は境界面を10cm間隔で分割した分割面の中央に与える。境界条件は、境界条件を与える点で風速を測定して作成するが、検討に用いるディフューザーの吹出し気流が中心軸に対象であるため、風速の測定は図9に示す7つの測定点で行う。風速の測定には、3次元超音波風速計

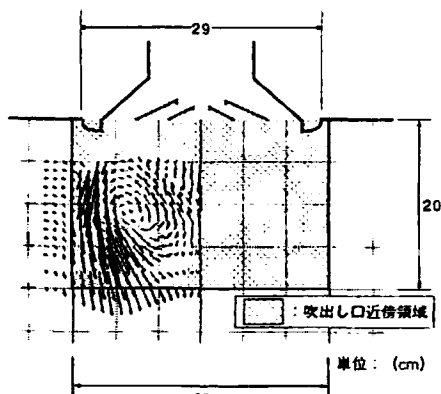


図8 吹出し口近傍領域の設定

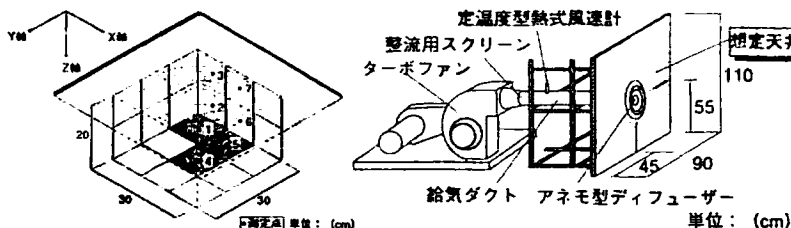


図9 風速測定位置

図10 実験装置の構成

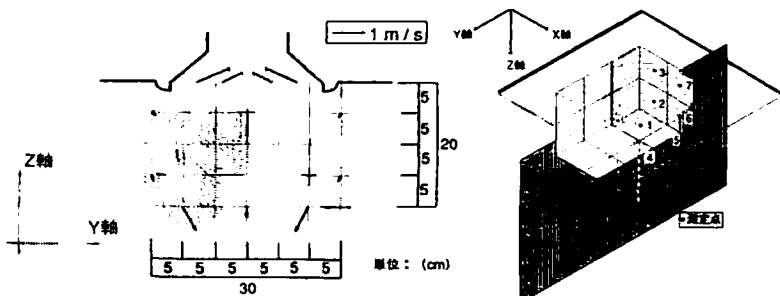


図11 境界条件測定結果

(WA-390型, 海上電機製)を用い、10Hzで30秒間測定を行い、各風速成分の平均値と変動の実効値を各測定点毎に記録した。吹出し流量は室内模型実験と同じ88.4m³/sとし、等温で吹出した。

3.3 結果と考察

測定によって得られた境界条件を図11および表2に示す。図11に黒いベクトルで示す測定結果と灰色のベクトルで示す過去の測定結果(図8参照)を比べると各測定点での風速ベクトルがよく一致しており、超音波風速計を用いた測定においてスプリットフィルムプローブと同等の精度で計測ができていたことがわかる。

4. 境界条件を用いたCFD解析

4.1 解析概要

CFD解析は、CFD解析ソフトウェアSTREAM(株式会社ソフトウェアクレアドル)を用いて、図13に示す模型室と同じ形状で吸込み口位置を模型実験における吸込み口位置Bとした解析空間について、吹出し口近傍に前述の境界条件(表2)を与えて解析を行った。解析条件を表3に示す。

境界条件のエネルギー逸散率 ϵ は、境界面における渦の長さスケールの値 l と乱流エネルギーの値 k によって求められるが、 l が大きくなるにつれて、室内における乱流エネルギーの逸散は小さくなることが既往の研究により確認されている^(註5)。測定結果に大きな影響を与える

表2 境界条件測定結果一覧

測定点	U - m/s	V - m/s	W - m/s	k - m²/s²
1	1.97E-01	-1.10E-02	5.48E-01	1.68E-02
2	6.57E-02	1.10E-01	-4.38E-02	1.19E-03
3	8.77E-02	2.19E-01	-2.19E-02	4.53E-04
4	0	0	4.38E-01	5.71E-02
5	0	4.49E-01	8.22E-01	1.67E-02
6	0	9.86E-02	2.41E-01	9.18E-03
7	0	1.10E-01	1.10E-01	1.89E-03

表3 解析条件

CFD解析ソフトウェア	Stream Ver.2.10
移流項差分スキーム	一次風上差分
境界条件	吹出し口近傍領域境界面: U, V, W, k...表2の値を使用 $\epsilon \sim \epsilon_0 \frac{k^2}{l}$ より l を2.5, 5, 10, 20cmとして算出 ($C_0 = 0.09$)
吸い込み口	自由流出入
壁面	対数則
記号	U: X方向平均風速 V: Y方向平均風速 W: Z方向平均風速 k: 乱流エネルギー ϵ : 乱流逸散率 l : 乱れの長さスケール
計算条件	解析範囲: 図12に図示 分割数: 等間隔で17×17×17 (1メッシュ10×10×10cm)

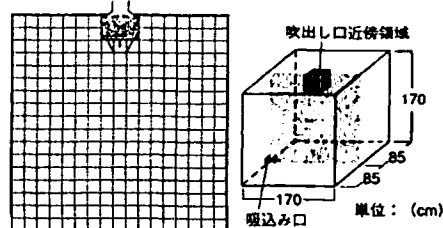


図12 解析領域

ϵ の分布測定は通常困難であるため、適当な l の値を与えることが現実的である。そのため解析結果の検討は、境界面における l の値の違いによる影響に着目して行う。

4.2 解析結果と考察

(1) 風速ベクトル (図13)

l の値による解析結果への影響は、室の吸込み口が設置されていない側の床面近く (図中右下) で生じる大きな渦の形状に最も現れており、 l の値が大きくなるに従って、渦は室の上方に向かって大きくなっている。測定値における渦は、床面から約115cmの位置に達する大きさであり、これに最も近い解析結果は、 $l=20\text{cm}$ の条件である。

(2) 風速分布 (図14)

解析結果の精度を室内の風速から検討すれば、 l の値が大きくなるにつれて吹出し気流は気流の乱れにより到達距離が短くなっており、この点で l の値は短い方がより測定結果に近いことがわかる。

(3) 乱流エネルギー分布 (図15)

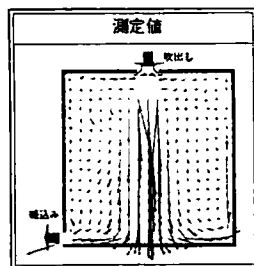
k の値は前述のように l の値が大きくなるにつれ逸散しにくくなっており、解析結果より l の値が小さいほど測定結果に近づくことがわかる。

4.3 まとめ

解析結果を実験結果と比較したところ、風速分布および乱流エネルギー分布の考察と風速ベクトルの考察が異なったが、吹出し気流の到達距離及び乱れの強さに着目すると、 $l=2.5\text{cm}$ の条件が最も実験結果と一致する。

5 結語

模型実験の結果よりアネモ型ディフューザーのコーン設定毎の室内気流性状を把握することができた。実験結果に基づいた解析結果の考察より、 $l=2.5\text{cm}$ の条件が最も実験結果に近いという結論に達したが、4.2 (1) で検討した渦の形が測定値と異なる。このことは壁面の境界条件を改善することで測定結果に近づく可能性を有していると考えられる。



凡例 $\rightarrow 1\text{m/s}$

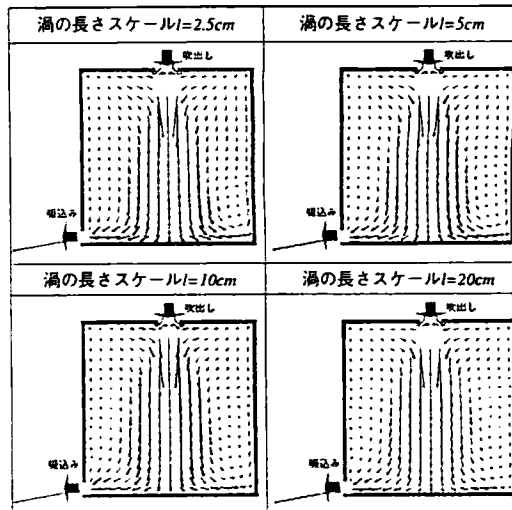
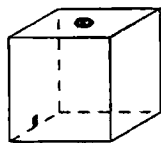


図13 風速ベクトルの解析結果一覧

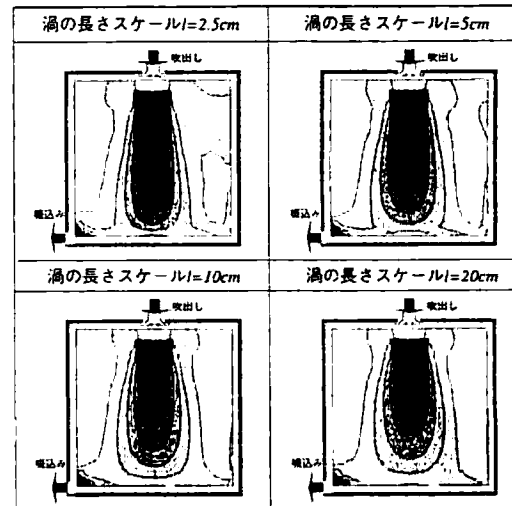
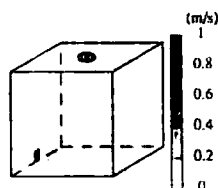
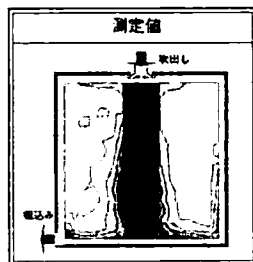


図14 風速分布の解析結果一覧

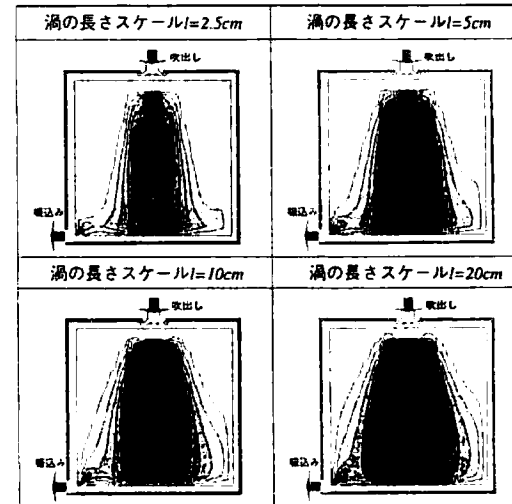
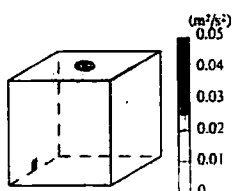
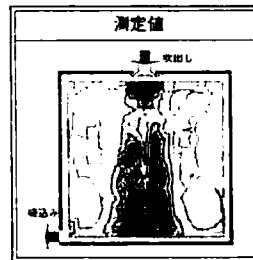


図15 乱流エネルギーの解析結果一覧

注1) 測定結果のうち、暖房用設定時の結果については既報²⁾で報告済みであるが、乱流エネルギーの表記に誤りがあったために本報で再掲する。

注2) 吹出し口から5cmまでの測定が行えなかったことから、風速の測定範囲が境界条件の作成には不十分である。

参考文献・引用文献)

文1) 中村慎二, 赤林伸一, 水谷国男, 森原亮一, 近藤俊晴「居住域の換気効率と給排気口位置の関係に関する検討」空気調和衛生工学会学術講演会講演論文集Ⅱ, pp.533-536, 1996年9月

文2) 樋口祥明, 高橋紀行「数値解析における床吹出し口のモデル化に関する研究」空気調和衛生工学会学術講演会講演論文集Ⅲ, pp.1037-1040, 1997年8月

文3) 岡市敦雄, 佐藤隆二, 山中俊夫, 甲谷寿史「ディフューザー吹出し噴流の室内空間内性状に関する研究」日本建築学会近畿支部研究報告集第39号・環境系, pp.181-184, 1999年6月

文4) 平野武志, 佐藤隆二, 山中俊夫, 甲谷寿史, 宮本敬介「ディフューザー周辺の風速と乱流性状の把握に関する研究(その4)」日本建築学会大会学術講演集(関東) D-2, pp.539-540, 1997年9月

文5) 岡市敦雄, 佐藤隆二, 山中俊夫, 甲谷寿史「ディフューザー吹出し噴流の室内空間内性状に関する研究(その2)」日本建築学会大会学術講演集(中国) D-2, pp.651-652, 1999年9月

*1 大阪大学大学院工学研究科建築工学専攻修士前期課程

*2 大阪大学大学院工学研究科建築工学専攻 助教授・博士(工学)

*3 大阪大学大学院工学研究科建築工学専攻 助手

Graduate Student, Department of Architectural Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka University

Assoc. Prof., Department of Architectural Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka University, Dr.Eng.

Research Associate, Department of Architectural Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka University