

複雑な形状の吹出し口を有する室内気流のCFD解析に関する研究

(その2) 冷房設定時のアネモ型ディフューザー近傍気流性状

○岡市 敦雄 (大阪大学)

山中 俊夫 (大阪大学)

甲谷 寿史 (大阪大学)

桃井 良尚 (大阪大学)

1. はじめに 室内気流のCFD解析が、空調設計のツールとして現実的なものとなりつつある。しかしながら、複雑形状を含む領域の解析を行う場合、その領域での複雑気流を解くために詳細なメッシュ分割を要し、解析負荷は大きなものとなる。特に吹出し口の配置計画等を目的として室内気流解析を行う場合、アネモ型ディフューザーに代表される複雑な形状を持つ吹出し口ではその吹出し口近傍でのメッシュの詳細な分割が避けられず、解析負荷の問題から、現時点ではCFD解析を基本設計時のパラメータスタディに使用するケースは限られてくる。

これまで解析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ように、吹出し口に与える境界条件をモデル化し、少ないメッシュで室内気流の解析を行う種々の試みがなされている¹⁾⁴⁾。本研究では、吹出し口及び吹出し気流が複雑な性状を示す領域を解析領域に含まない

ように設定した仮想境界面上に吹出し気流の測定値そのものを与えたCFD解析により解析負荷の軽減を行い、作成した境界条件が室内気流の解析精度に及ぼす影響を検討する。本研究で検討する手法では全ての仮想境界面に境界条件を与えることで、既往のBOX法¹⁾では表現できない吹出し気流への誘引による周辺気流への影響を考慮する。本研究の構成を図1に示す。基礎的検討として等温場を対象として、図1の①に示す解析精度の検討に用いるための室内気流性状の把握実験については前報²⁾で報告した。本報では②の仮想境界面の位置を設定するために行った自由場における冷房用設定時アネモ型ディフューザー吹出し気流の測定実験について報告を行う。なお暖房用設定時の吹出し気流性状に関し

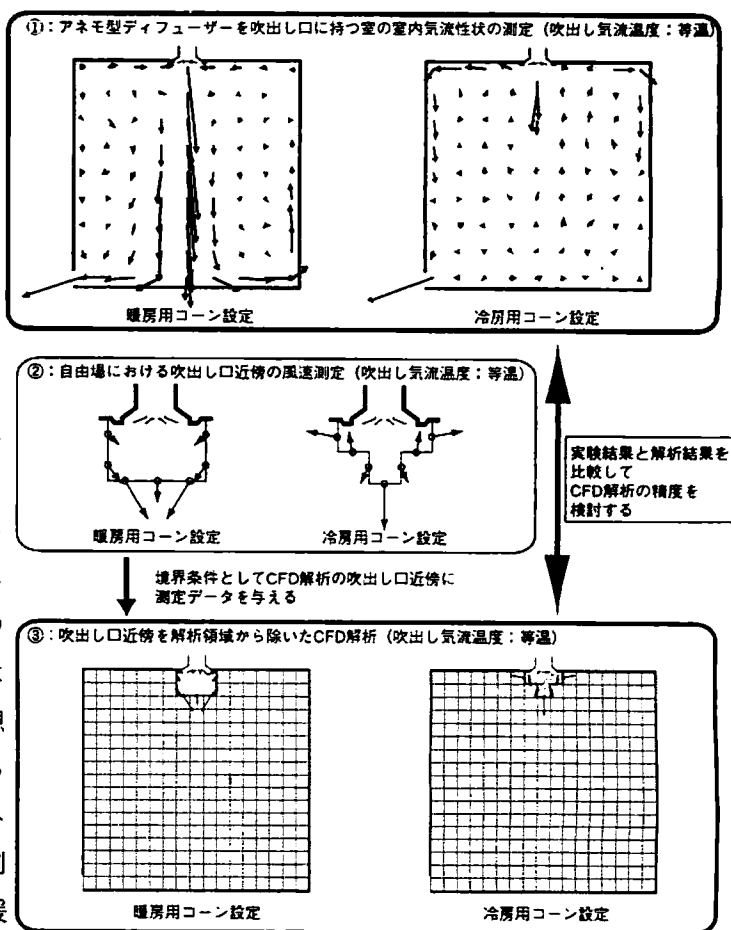


図1 研究の構成

ては既報⁶⁾で報告している。

2 実験概要 実験は十分な気積を有する大空間である大阪大学工学部共同大実験棟にて図2に示す実験装置を用いて行った。等温場を対象とするため鉛直面を天井面と仮定しその中央にコーンを冷房用に設定したアネモ型ディフューザー(図3)を設置した。アネモ型ディフューザーの設定吹出し流量は、上流ダクトに設置したオリフィス流量計により室内気流の数値解析及び室内気流測定実験に合わせて88.4 m³/hと設定した(ディフューザーネック部風速2 m/s)。吹出し気流の風速測定には、スプリットフィルムプローブ(TSI MODEL1288)を用いた定温度型熱線風速計(KANOMAX MODEL 1011)を使用した。測定は図4に示す測定領域において1 cm間隔で行い、風速の直交3成分を測定するために表1に示す3方向から風速計をアプローチして7500データ(測定周

表1 スプリットフィルムプローブのアプローチ

	X成分風速Uの測定	Y成分風速Vの測定	Z成分風速Wの測定
センサーアプローチ方向			
U	ベクトルを測定	測定不可	スカラーを測定
V	測定不可	ベクトルを測定	測定不可
W	スカラーを測定	スカラーを測定	ベクトルを測定

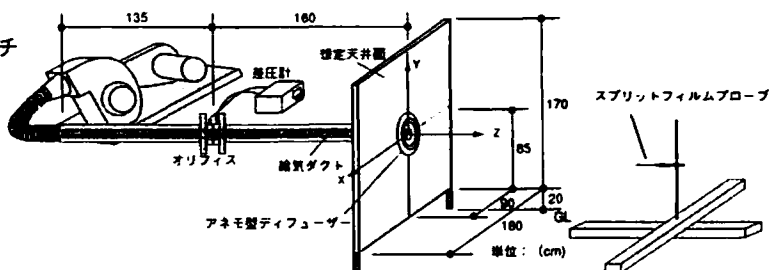


図2 実験装置の構成

表2 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 (周囲温に等しい)
流量	88.4 m ³ /h
コーン設定	冷房用設定

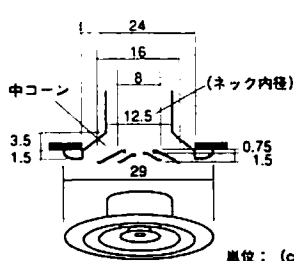


図3 アネモ型ディフューザー

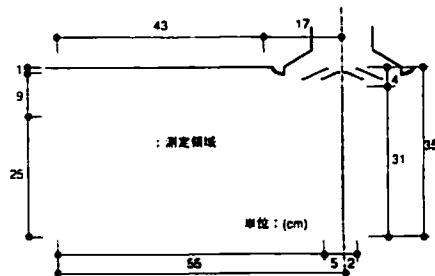


図4 風速測定領域

表3 スプリットフィルムプローブの較正式

風速較正曲線	角度較正曲線	近似式適用範囲 (m/s)
式① $V_1 + V_2 = 6.697U_n^{1.28}$	式① $\frac{V_1 - V_2}{\sin \theta} = 2.801U_n^{1.28}$	$0 < U_n \leq 0.25$
式② $V_1 + V_2 = 4.112U_n^{1.58}$	式② $\frac{V_1 - V_2}{\sin \theta} = 1.913U_n^{1.58}$	$0.25 < U_n \leq 1$
式③ $V_1 + V_2 = 4.112U_n^{1.58}$	式③ $\frac{V_1 - V_2}{\sin \theta} = 1.913U_n^{1.58}$	$1 < U_n \leq 2$
式④ $V_1 + V_2 = 4.009U_n^{1.71}$	式④ $\frac{V_1 - V_2}{\sin \theta} = 1.840U_n^{1.71}$	$2 < U_n \leq 5$

V_1, V_2 : スプリットフィルム型プローブのフィルム1,2に加わる電圧
 U_n : センサー部における風速 θ : スプリットに対する気流角度

表4 乱流統計量の計算式

乱流エネルギー k : $k = \frac{1}{2}(\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2})$
渦の長さスケール l : $l = \frac{l_1 + l_2 + l_3}{3}$
ただし $l_1 = U \cdot T_1$, $T_1 = \int_0^{R_1(\tau)=0} R_1(\tau) d\tau$, $R_1(\tau) = \frac{u'(t) \cdot u'(t+\tau)}{u'^2(t)}$
$\overline{u'_i(t)u'_i(t+\tau)} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T u'_i(t)u'_i(t+\tau) dt$, $\overline{u'_i(t)^2} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T u'_i(t)^2 dt$
エネルギー逓減率 ϵ : $\epsilon = C_D \frac{k^{\frac{3}{2}}}{l}$
u'_i : i成分風速 u'_i : i成分風速変動成分
k : 乱流エネルギー t : 測定中の任意の時点 τ : 自己相関の時間差
T : 測定時間 $R_1(\tau)$: τ 時間差の自己相関係数 T_1 : 特徴時間
l_i : i成分の渦の長さスケール U : 主流風向風速平均値
ϵ : エネルギー逓減率 C_D : 係数 (≈ 0.09)

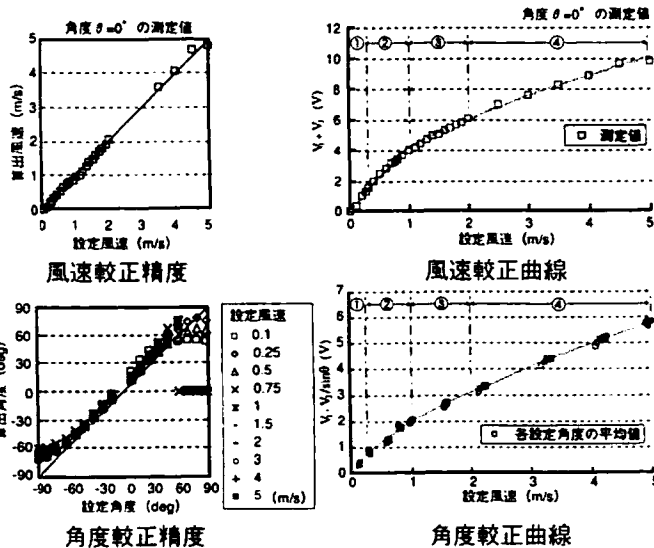


図5 スプリットフィルムプローブの較正

波数 250 Hz, 測定時間 30 秒) を記録した。実験条件を表 2 に、スプリットフィルムプローブの較正式を表 3 に較正結果を図 5 に示す。なお風速の測定値から乱流エネルギー、渦の長さスケール、エネルギー逸散率は表 4 により算出した。

3 結果と考察

3.1 風速ベクトル (図 6)

吹出し口から吹出された気流は、吹出し口中央小穴からの直径 5 cm 程度の細く強い気流と、コーンの形状によるコアンダ効果で天井面に平行に流れる薄い壁面流の大きく二つに分かれる。吹出し気流周辺の空気が天井の壁面流によって誘引される現象が見られる。

3.2 X-Z 成分風速分布 (図 7)

吹出し気流の風速は、吹出し口中央小穴からの気流と天井の壁面流の領域で 1 m/s を越えており、天井の壁面流風速は吹出し口から離れるほど減衰し壁面流の厚みが増す。吹出し口中央小穴からの気流は 1.25 m/s を越えており周辺の気流との速度勾配も大きい。Z = 20 cm 付近で X 方向の速度勾配が小さくなっている。

3.3 乱流エネルギー分布 (図 8)

図 7 と図 8 から乱流エネルギーは流速が大きい領域で大きくなる傾向が見られ、特に吹出し口中央小穴からの気流による乱流エネルギーの値が $0.4 \text{ m}^2/\text{s}^2$ 以上と大きく

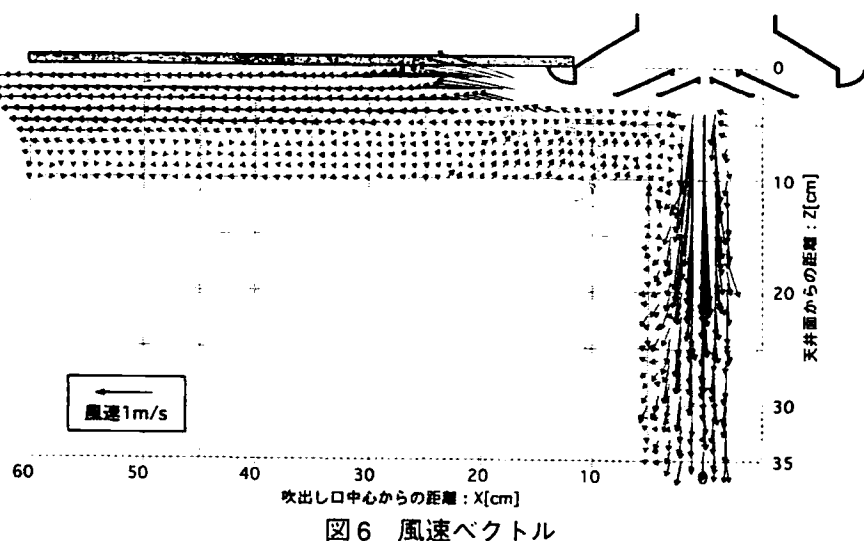


図 6 風速ベクトル

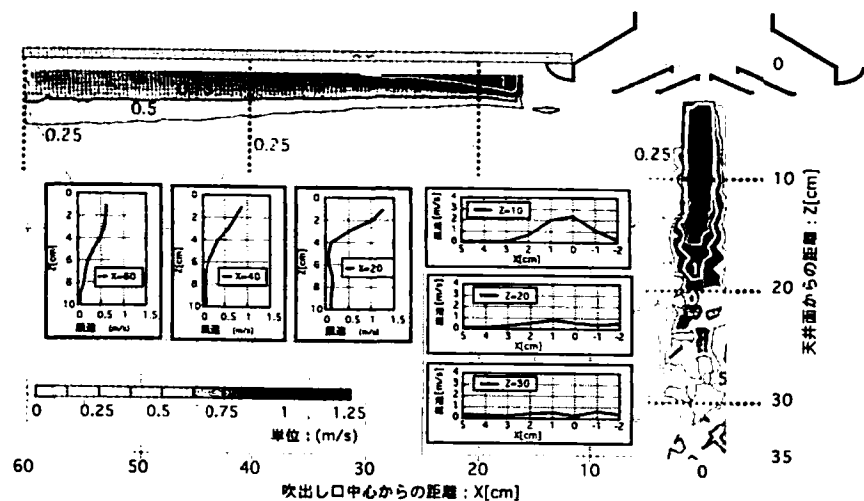


図 7 風速分布

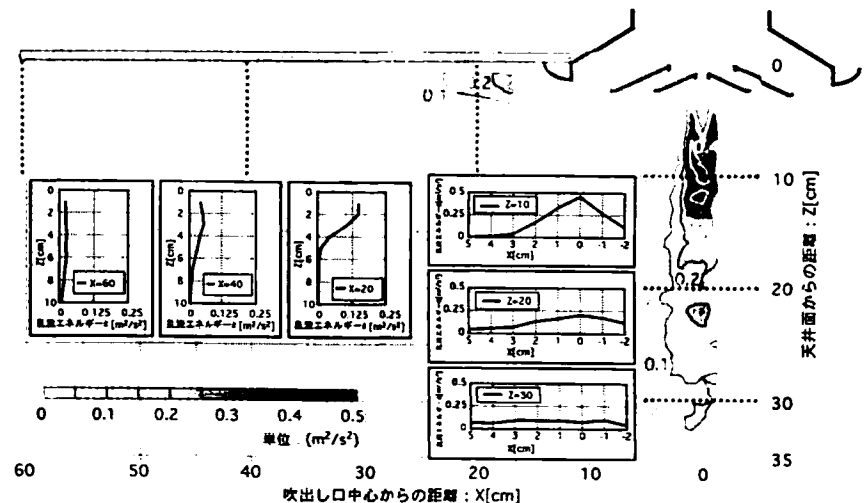


図 8 乱流エネルギー分布

なっている。天井の壁面流の乱流エネルギーは $X=25\text{ cm}$ で $0.1\text{ m}^2/\text{s}^2$ 以下と乱れの減衰が大きいことがうかがえる。

3.4 渦の長さスケール分布 (図9)

図9から渦の長さスケールは、吹出し口中央小穴からの気流周辺および天井の壁面流に誘引される気流の領域で 0.25 m 以上と大きく、天井の壁面流は 0.05 m 以下となっている。このことから吹出し気流に周辺気流が巻き込まれる領域での渦の長さスケールが大きくなることが分かる。

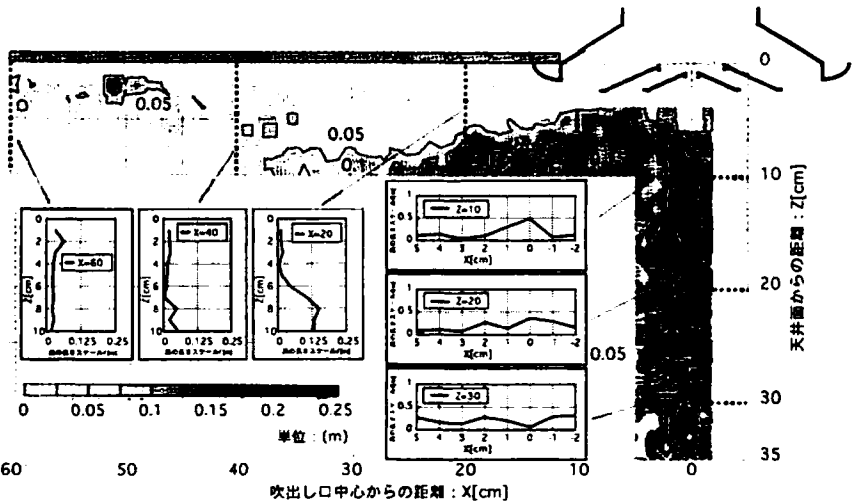


図9 渦の長さスケール分布

3.5 エネルギー逸散率分布 (図10)

図8と図10から乱流エネルギーの大きい領域でエネルギー逸散率も大きく、吹出し直後に $0.5\text{ m}^2/\text{s}^3$ と大きなエネルギー逸散が生じて

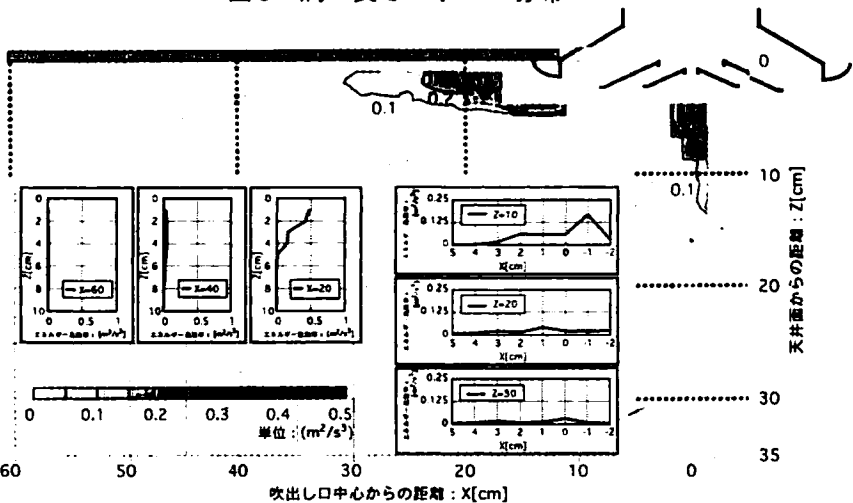


図10 エネルギー逸散率分布

いるが、吹出し口から離れると急速に値が減少して $X=30\text{ cm}$ の天井壁面流では $0.1\text{ m}^2/\text{s}^3$ 以下になっていることが分かる。

4 まとめ 冷房用吹出し口設定時のアネモ型ディフューザー吹出し気流を測定し、吹出し口近傍の風速ベクトル・乱流エネルギー・渦の長さスケール・エネルギー逸散率の分布を得た。今後はこの測定結果を用いて仮想境界面を設定し、境界条件設定点を定め、その測定値に基づき境界条件を作成した上で解析を行い、その精度について検討を行う予定である。

参考文献)

- 1) P.V.Nielsen 「DESCRIPTION OF SUPPLY OPENINGS IN NUMERICAL MODELS FOR ROOM AIR DISTRIBUTION」 ASHRAE Transaction Part1, pp.963-971, 1992年2月
- 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
- 3) 水谷国男・赤松伸一・森原亮一・中村慎二・何平「空調方式と換気効率の関係に関する数値解析 その5」建築学会大会(関東)学術講演梗概集D-2, pp.587-588, 1997年9月
- 4) 守屋賢志・近藤靖史・関口真由美・張本和芳「CFD解析における空調用吹出口のモデリング」空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.1337-1340, 2000年9月
- 5) 岡市敦雄・山中俊夫・甲谷寿史・加藤正宏「複雑な形状の吹出し口を有する室内気流のCFD解析に関する研究」空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, pp.137-140, 2000年3月
- 6) 平野武志・佐藤隆二・山中俊夫・甲谷寿史・宮本敬介「CFDへの組み込みを目的としたアネモ型ディフューザー周辺の気流性状の計測」空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.509-512, 1997年8月