

児童用椅子設置型パーソナル空気清浄装置の開発

(その1)コンセプト紹介および CFD による清浄空気勢力範囲解析

熊谷 一清*1, 伊藤 一秀*2, 橋田三樹雄*3, 高原 清*3, 湯 懐鵬*4, 柳沢 幸雄*1

*1 東京大学, *2 東京工芸大学, *3 新菱エコビジネスヒューマンエコカンパニー, *4 新菱冷熱

1.はじめに:改修工事などによる教室への化学物質の放散により教室内の空気質が悪化し、さらに学校に通えないことにより他の児童との接点をもてなくなることは、社会性、あるいは人格形成に対し、悪影響を及ぼしうることも懸念される。教室空気質の改善を図る際、一部の患者のために全体空調システムの改修・導入を行うことは時間的および経済的にも全体的コンセンサスを得ることが難しい。そのため、緊急且つ応急措置的な対応を前提とし、大規模なダクト工事が不要で簡易に座席に着脱可能なパーソナル空気清浄装置を開発し、必要に応じて個別に空気清浄装置を導入する、との解決策を提案する。本研究ではシックスクール対策として、空気清浄装置プロトタイプを用いた実験では、発熱する人体モデルを用いて空気清浄装置周辺の気流を可視化し、空気清浄装置ならびに人体発熱により形成される人体周辺微気象性状を把握するとともに、CFD 解析では、供給された清浄空気の寄与率評価を行うことで効率的な清浄空気供給法を検討する。特に、供給空気の吹出角度を変化させたケースの解析を行うことで、呼吸域空気質の清浄化を達成する最適吹出角度の検討結果を報告する。

2. パーソナル空気清浄装置ユニット概要: 図 1 に空気清浄装置本体ならびに清浄空気供給ユニットの概要を示す。なお、本空気清浄装置のワンプラスによる処理空気 TVOC 濃度で、 $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下である。

3. 空気清浄装置を用いた実験および CFD 解析概要: 本研究では、パーソナル空気清浄装置から供給された清浄空気の移流・拡散現象を定性的に把握するため、発熱する座位型の人体モデル (図 3 参照) を用いて流れ場を 3 次元の超音波風速計にて測定し定量的な評価は、主に CFD 解析で行った。実験および CFD 解析は $3.4\text{m} (x) \times 3.4\text{m} (y) \times 2.5\text{m} (z)$ の空間容積を有し静穏環境を達成する恒温室内(室温 25°C)に設置して実験を行った。また CFD 解析ケースを表 2 に示す。

4. 流れ場の測定結果: 人体モデル周辺の流れ場の測定結果を図 3 に示す。Armrest Outlet から上方に吹き出された清浄空気は人体モデルに沿って上昇する様子が観察される。吹出風量を $5.0\text{ m}^3/\text{h}$ と設定した本実験条件では、Armrest Outlet 近傍の風速は 0.4 m/s 程度とやや大きいものの、吹出風速はすぐに減衰し、数 cm/s 以下の風速となる。

5. 流れ場および勢力範囲の解析結果: Armrest Outlet から供給された清浄空気の勢力範囲(SVE4)解析結果を図 4 に示す。天井吹出・床面吸込型の全体換気システムを設置した Case 1-1 (垂直方向吹出、図 4(1))では、SVE4(勢力範囲)の値が居住域全体に拡散しており、 $\text{SVE4}=0.2$ のコンタラインが室中央部に観察されるのに対し、Case 1-2 (45° 吹出、図 7(2))では、比較的人体周辺に SVE4 の値が集中しており、人体を中心として半球状に勢力範囲が分布している。垂直方向吹出、 45° 吹出の両者共に人体呼吸域周辺の清浄空気勢力範囲は 0.2 前後となっている。

本解析条件のもとでは、Armrest Outlet から供給された清浄空気の移流・拡散性状は、全体換気システムに

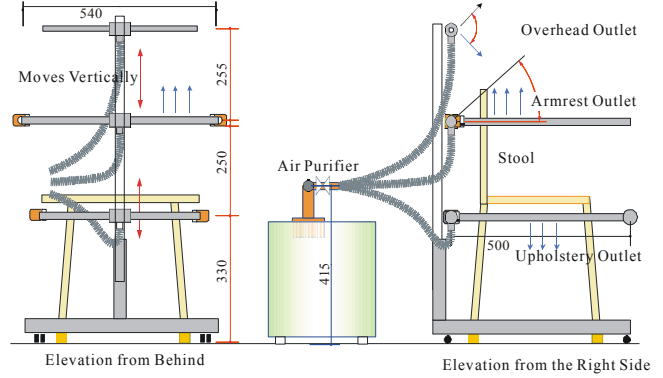
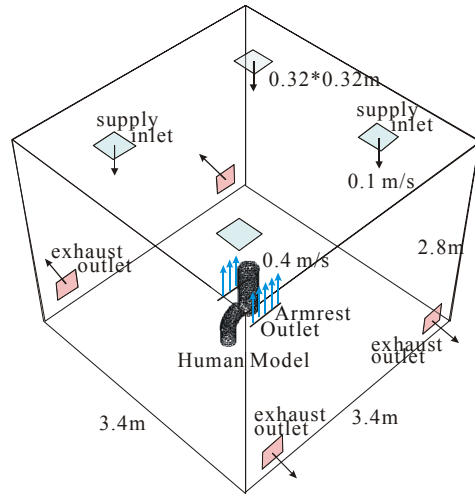


図 1 空気清浄装置の概要

表 1 空気清浄装置本体の性能

清浄装置本体	W×D×H=405×305×400mm ダクトおよび清浄空気供給ユニットは全て SUS304 製
供給風量	最大 $0.45\text{ m}^3/\text{min}$ (=27.0 m^3/h)
供給空気濃度	$30\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下 (TVOC 濃度)
電源	100 V



(1) 天井吹出・床面吸込型 Case 1

図 2 実験・解析対象空間

表 2 解析ケース

解析ケース	全体空調方式	Armrest Outlet 角度
Case1-1	天井吹出・ 床面吸込型	z 方向垂直
Case1-2		45° 吹出
Case2-1	天井吸込・ 床面吹出型	z 方向垂直
Case2-2		45° 吹出

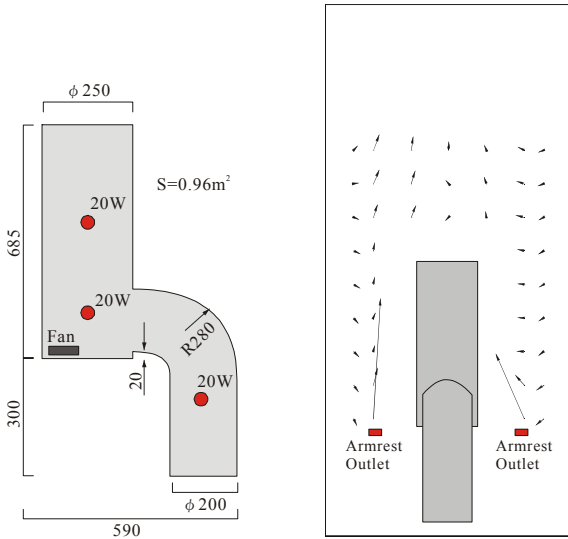


図 3 児童用人体モデル概要(左図)

および実測による風速分布(右図)

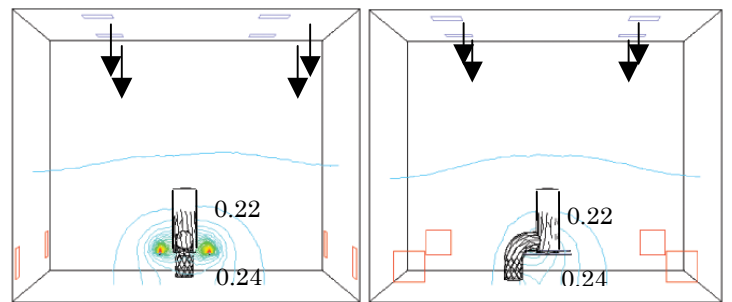
よって形成される室内の流れ場性状にある程度依存する結果となった。本研究で提案するパーソナル空気清浄装置の汎用的な使用を可能とするためには、今後のさらなる検討が必要である。

6. 考察: CFD 解析では、Armrest Outlet を簡易的にスリット型吹出と設定している。その為、吹出気流は急激に減速・拡散し、人体モデル周囲では数 cm/s 程度の流れ場となる。また、今回の解析条件では、Armrest Outlet から供給された清浄空気量は室の換気量の 1/30 程度と大変小さい。そのため清浄空気の勢力範囲が室全体に大きく拡散することなく、人体周辺に集中する結果となった。本パーソナル空気清浄装置を設置した場合の呼吸域濃度レベルは TVOC 値で 270~330 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度となり、十分な清浄度を確保しているとは言い難い。今度補助的な吹出口である Overhead Outlet 等との併用を検討し、更なる呼吸域空気質の改善を図る必要がある。

7. 結語: 児童用の椅子に着脱可能なパーソナル空気清浄装置のプロトタイプを制作し、人体周辺に形成される流れ場の測定を行うと共に、CFD による勢力範囲解析を行った。得られた知見を以下に示す。(1) 児童用座席設置型のパーソナル空気清浄装置のプロトタイプを制作し空気清浄度の試験を行った結果、TVOC レベルで 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下の清浄度確保を確認した。(2) 人体モデルを用いてパーソナル空気清浄装置を運転させた場合の人体周辺気流の測定を行った結果、静穏環境下において呼吸域位置では上昇流が観察された。(3) CFD 解析により吹出角度および SVE4 (勢力範囲)の解析を行った結果、天井吹出・床面吸込型の全体換気システムを設置したケースにおいては、人体に向け 45° 吹出とした場合吹出噴流が人体により拡散し、SVE4 が人体下部領域に集中する結果となった。

表 3 計算・境界条件

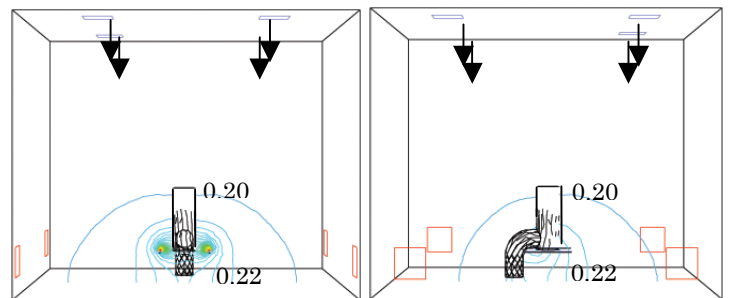
乱流モデル	低 Re 型 k- ϵ model (Abe-Nagano model)
スキーム&mesh	移流項: QUICK, 729,262 mesh
全体空調吹出口	$Q_{in}=147\text{m}^3/\text{h}$ (換気回数 4.5 回/h), $U_{in}=0.1\text{m/s}$, $T_{in}=25^\circ\text{C}$, $k_{in}=3/2(U_{in}\times 0.05)^2$ $\epsilon_{in}=C_{\mu} k_{in}^{1.5}/L_{in}$, $L_{in}=(\text{Supply opening width})/7$
全体空調吸込口	U_{out1} , k_{out} , ϵ_{out} , T_{out} , (質量保存, 勾配 0)
Armrest Outlet	$U_{AO}=0.4\text{m/s}$, $k_{in}=3/2(U_{AO}\times 0.05)^2$ $\epsilon_{in}=C_{\mu} k_{in}^{1.5}/L_{in}$, $T_{in}=25^\circ\text{C}$
壁面	速度: no-slip, 温度: 断熱 放射: 放射率はすべての壁面で 0.9
人体モデル (児童用モデル)	人体表面積: 0.96 m^2 , 発熱量: 60 W



(a) SVE4 (X-Z 面)

(b) SVE4 (Y-Z 面)

(1) Case 1-1 (児童用モデル: 垂直吹出)



(a) SVE4 (X-Z 面)

(b) SVE4 (Y-Z 面)

(2) Case 1-2 (児童用モデル: 45° 吹出)

図 4 Armrest Outlet の勢力範囲 SVE4 解析結果