

児童用椅子設置型パーソナル空気清浄装置の開発と性能評価

空気清浄装置の概要と CFD による勢力範囲解析

Development of a Personal Air Purifier for Schoolchildren's Chair

正会員○三田名津季(東京工芸大学) 正会員 熊谷一清(東京大学新領域) 正会員 伊藤一秀(東京工芸大学)
正会員 橋田三樹雄(新菱エコビジネス) 正会員 高原 清(新菱エコビジネス) 正会員 柳沢幸雄(東京大学新領域)

Natsuki MITA*¹ Kazukiyo KUMAGAI*² Kazuhide ITO*¹

Mikio HASHIDA*³ Kiyoshi TAKAHARA*³ Yukio YANAGISAWA*²

*¹ Tokyo Polytechnic University *² University of Tokyo *³ Sinryo-Eco Business

There are many schoolchildren who have a minor chemical sensitivity and cannot go to school just because of the activities take place such as arts & craft or just opening the text book. The solution to for those children to go school is to protect them from those chemicals. In this paper will propose a personal air purifier would be effective for the children who have minor chemical sensitivity so that they could go to school and study with their schoolmates. The personal air purifier is able to attach and detach easily to a schoolchildren's chair, which is regularly used in schools. In addition, the air stream from the outlet of the personal air purifier to the breathing zone of the sitting child will be determined.

はじめに

オフィス・住宅を中心に室内空気汚染問題が顕在化しているが、近年になり、更に保育園および学校においてもホルムアルデヒドおよびVOC(揮発性有機化合物)による空気汚染が深刻化しており、早急な対策が望まれている。特に学校における室内空気汚染問題は、シックスクール問題と呼ばれ、学童の Total Body Load が成人と比較して小さいことも相まって、深刻な社会問題となっている。このような背景のもと、本研究では教室内、特に児童の呼吸域周辺の効率的な空気清浄化を目的として児童用の椅子に着脱可能なパーソナル空気清浄装置を開発し、その有効性を実験ならびに CFD により検討する。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。CFD 解析では、供給された清浄空気の寄与率評価を行う。また、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を検討する。

1. 空気清浄装置ユニット概要

図 1(1)に空気清浄装置本体ならびに清浄空気供給ユニットを示す。また図 1(2)に概要図を示す。空気清浄装置本体は W×D×H=405×305×400mm の大きさで、100V 電源にて作動する。また、1 台の清浄装置本体で 6 系統までの清浄空気供給が可能となっている。空気清浄装置は教室内空気を取り入れ、表面処理した特殊活性炭で構成されたケミカルフィルタを通過させることで化学物質除去を行う。供給風量は最大 0.45 m³/min (=27.0 m³/h)で、VD を制御することで供給風量を変化させることが可能

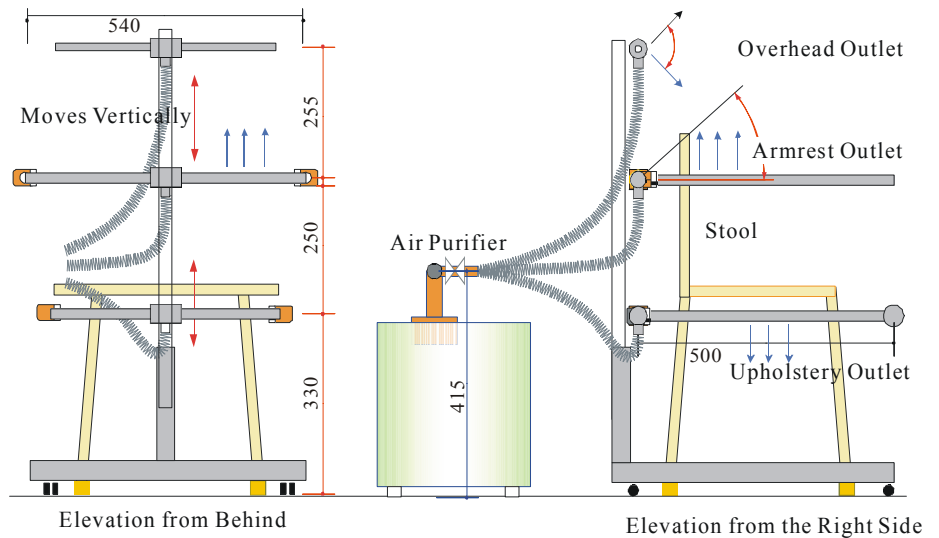
である。詳細を表 1 に示す。清浄空気をドラフトを感じさせず効率的に呼吸域に到達させるため、人体発熱に起因する熱上昇流に沿った吹出口を基本とし、肘掛け位置に Armrest Outlet を設置する。Armrest Outlet は、直径 3mm の孔を 10mm 間隔で直線的に設置したもので、ほぼ均一にシート状の吹出風速分布を得ることが出来る。更に補助的な吹出口として、頭部へのダイレクトな吹出口である Overhead Outlet、および座面位置に設置する Upholstery Outlet の 2 種類の吹出口を追加で設置可能な構造となっている。空気清浄装置本体ならびに清浄空気供給ユニットは sus 製のフレキシブルダクトにより結合する。本報では、学童用の椅子に設置する空気清浄装置の吹出ユニットのうち、肘掛け位置に設置する Armrest Outlet のみ使用した場合を対象として実験を行う。Armrest Outlet からの吹出風量は 15.0 m³/h とする。

3. 空気清浄装置の化学物質低減性能

椅子設置型パーソナル空気清浄装置の性能を評価するため、静穏環境下に本装置を設置し、各種のバックグラウンド濃度下で、呼吸域周辺空気の化学物質濃度を測定下結果、雰囲気室内空気に含まれる化学物質濃度レベルに依存せず、処理空気の化学物質濃度は TVOC 濃度で、30 µg/m³ 以下であることを確認している。

4. 人体モデル

本研究で開発するパーソナル空気清浄装置は、シックスクール対策を前提としている。そのため対象とする人体スケールは小学校低学年から高学年まで幅広い範囲で存在する。本報では 8 歳程度の人体スケールを再現する学童用人体モデルと高校生に相当する成人の人体スケール



(1) 空気清浄装置本体&清浄空気供給ユニット

(2) 概要

図1 空気清浄装置

を再現する成人用人体モデルの2種類を作成し、人体周辺微気象、特に流れ場の測定を行う。実験で使用する人体モデルを図2および図3に示す。空気清浄装置が着席時を対象とするため、座位の人体モデルを使用する。図1はSwedenのM. Sandbergらの研究グループによって開発された成人を対象とした人体モデルである。図2はM. Sandbergらの人体モデルを参考に、人体表面積ならびに人体発熱量を小学校低学年(8歳児童)をターゲットにスケールダウンした人体モデルである。両モデル共に、スチール製ダクト内に人体顕熱発熱を模擬した電球を設置し、模型内での温度成層を防ぐために攪拌用のファンを設置している。人体モデル表面は着衣をモデル化し、ストレッチング素材の布により覆われている。人体モデルは3.4m(x)×3.4m(y)×2.5m(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)に設置する。

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 m ³ /min (=27.0 m ³ /h)
供給空気濃度	30 μg/m ³ 以下 (TVOC濃度)
電源	100V

5. 人体周辺気流の測定ならびに可視化概要

風速分布を3次元の超音波風速計を用いて測定する。データサンプリング速度は10Hz、1測定点あたり10分間の時間平均化を行う。風速測定は図1に示す人体モデルの胴体断面ならびに空気清浄装置吹出口の両者を含むx-z断面を対象とする。空気清浄装置ならびに人体モデルは静穏環境を実現する恒温室内に設置して実験を行う。気流の可視化は、空気清浄装置ユニットならびに人体モデルによるLaser Sheetの遮蔽を考慮し、人体モデル半身領域を中心に可視化する。Seeding ParticleとしてDANTEC社製のSmoke Generatorを用いる。

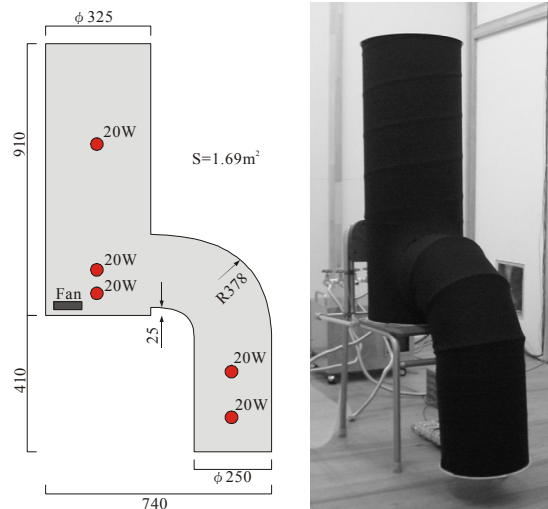


図2 成人用人体モデル概要

6. 流れ場の測定結果ならびに可視化結果

人体モデル周辺の流れ場の測定結果を図4に示す。成人用座位人体モデルを用いた場合、および学童用座位人体

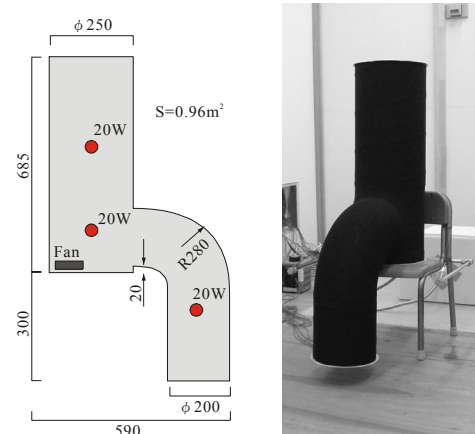
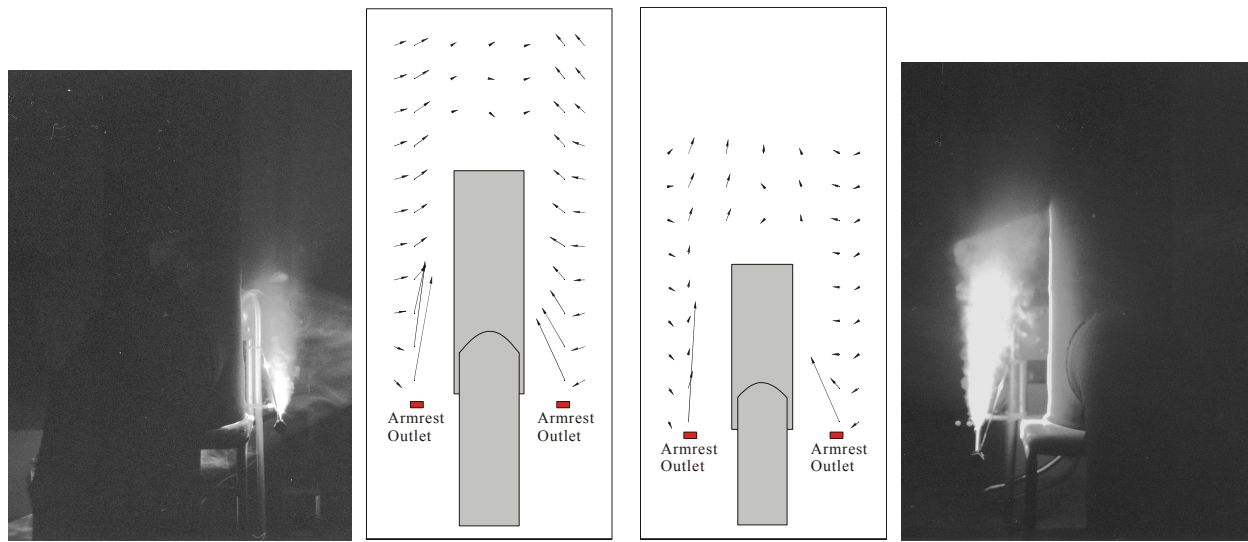


図3 児童用人体モデル概要



(1) 成人モデル可視化結果 (2) 成人モデル風速分布 (3) 児童モデル風速分布 (4) 児童モデル可視化結果

図4 流れ場ならびに可視化結果

モデルを用いた場合の両者において、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 $15.0 \text{ m}^3/\text{h}$ と設定した本実験条件では、人体発熱による熱上昇流と比較し、Armrest Outlet からの吹出気流が卓越しており、人体モデル上部で上昇流が観察されず、逆流域となっている。人体モデル呼吸域位置では上昇流が観察されており、呼吸域に対する清浄空気の供給という観点からは目的が達成されていると推測される。

Laser Light Sheet を用いた Armrest Outlet から供給される吹出気流の可視化結果を図4に示す。Armrest Outlet から供給される吹出噴流の拡散性状、ならびに呼吸域周辺での緩やかな上昇流の様相が定性的に確認できる。

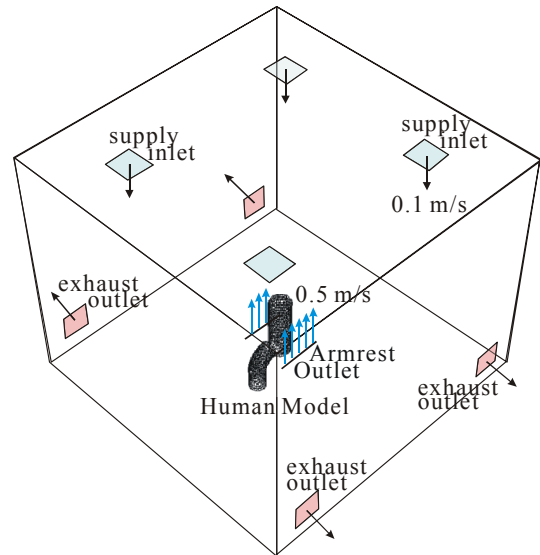


図5 解析対象空間

7. CFD 解析概要

実験と同条件で CFD 解析を行うことで、実験的に把握が困難な吹出清浄空気の勢力範囲、ならびに呼吸空気質の濃度レベルの解析を行う。本報では児童用人体モデルのみを対象とする。図5に解析対象空間を示す。流れ場の解析は低 Re 型 $k-\epsilon$ モデル(Abe-Nagano model) を用いて行う。温度場は対流場と放射を連成して解析する。すなわち各壁面要素で熱収支を解き壁面温度を算出する。各壁面間の形態係数は Discrete Transfer Method、相互放射は Radiosity Method による緩和計算により算出する。解析は児童用人体モデルを用い、Armrest Outlet の吹出角度を2種類(Case 1-1 : z 方向垂直吹出、Case 1-2 : 人体モデルに向け 45° 吹出)設定する。

8. 吹出気流の勢力範囲解析

本解析では空気清浄装置から供給される清浄空気が効率的に人体呼吸域に輸送される Armrest Outlet の条件を探ることに主眼がある。そのため、Armrest Outlet から

表2 計算・境界条件

乱流モデル	低 Re 型 $k-\epsilon$ 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	$U_{out}=k_{out}=\epsilon_{out}=T_{out}=\text{free slip}$
Armrest Outlet	$U_{iAO}=0.4\text{m/s}$, $k_{in}=3/2(U_{AO}\times 0.05)^2$
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 (児童モデル)	人体表面積 : 0.96 m^2 , 発熱量 : 60 W

供給される清浄空気の勢力範囲を直接的に評価可能な換気効率指標である SVE 4 (Scale for Ventilation Efficiency 4) ^{文3)}を用いて形成される清浄空気流れ場の評価を行う。

9. 流れ場の解析結果

流れ場の解析結果を図6に示す。Case 1-1 (児童、垂直方向吹出)と Case 1-2 (児童、 45° 吹出)を比較した場合、Case

1-1 において頭部付近でより拡散的な流れ場が形成されている。Case 1-2 では比較的風速の大きい領域が人体周囲のみに形成されている。

10. 吹出気流勢力範囲の解析結果

Armrest Outlet から供給された吹出気流の勢力範囲解析結果を図7に示す。垂直方向吹出の Case 1-1 では勢力範囲が居住域全体に拡散しているのに対し、45°吹出の Case 1-2 では比較的人体周辺に勢力範囲が集中しており、人体を中心として半球状に勢力範囲が分布している²⁾。

11. 結論

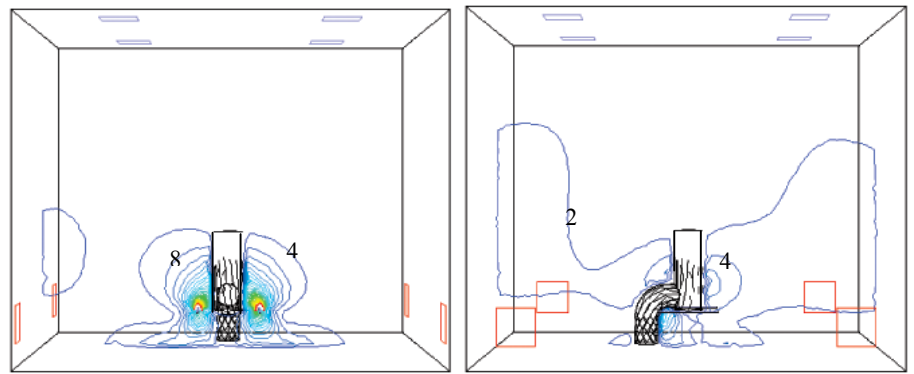
- (1) 児童用座席設置型のパーソナル空気清浄装置のプロトタイプを制作し空気清浄度の試験を行った結果、TVOC レベルで $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下の清浄度確保を確認した。
- (2) 人体モデルを用いて空気清浄装置を運転させた場合の人体周辺気流の測定を行った結果、呼吸域位置では上昇流が観察された。
- (3) CFD 解析により吹出角度および勢力範囲の解析を行った結果、人体に向け 45°吹出とした場合に吹出噴流が人体衝突により拡散し、SVE4 が人体下部領域に集中する結果となった。

注

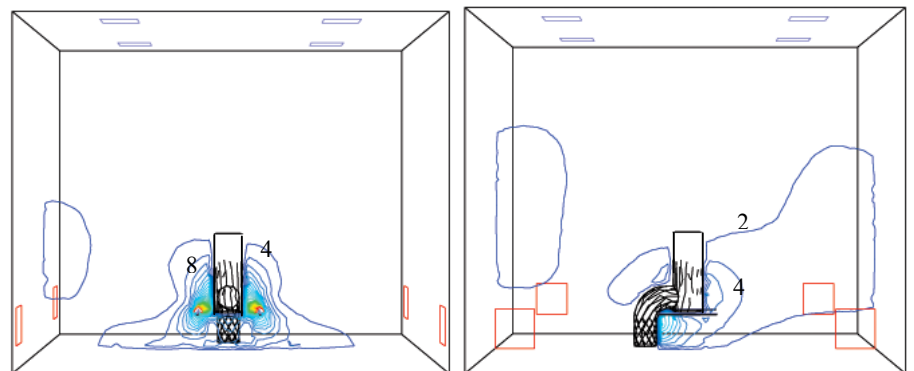
解析対象恒温室は天井吹出の為、人体熱上昇流および清浄空気上昇を抑制する条件となっている。そのため清浄空気の勢力範囲 SVE4 が人体下部領域に集中する結果となったと考えられる。

参考文献

- (1) 国民衛生の動向(2001)、温熱生理学(1981)
- (2) Magnus Mattsson, On the Efficiency of Displacement Ventilation, Doctoral Thesis, KTH, Sweden, 1999.9
- (3) Kato, S. et al., (1988) New ventilation efficiency scales based on spatial distribution of contaminant concentration aided by numerical simulation. ASHRAE Transactions 94 (2), pp.309- 330

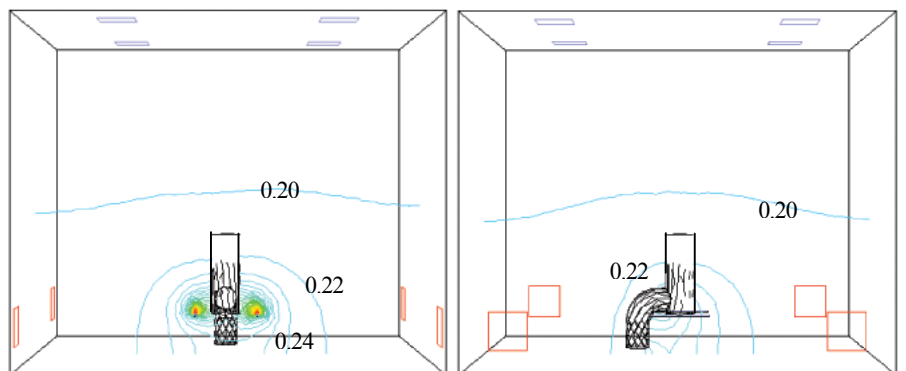


(1) Case 1-1 (児童用モデル：垂直吹出, $\times 10^{-3}$ m/s)

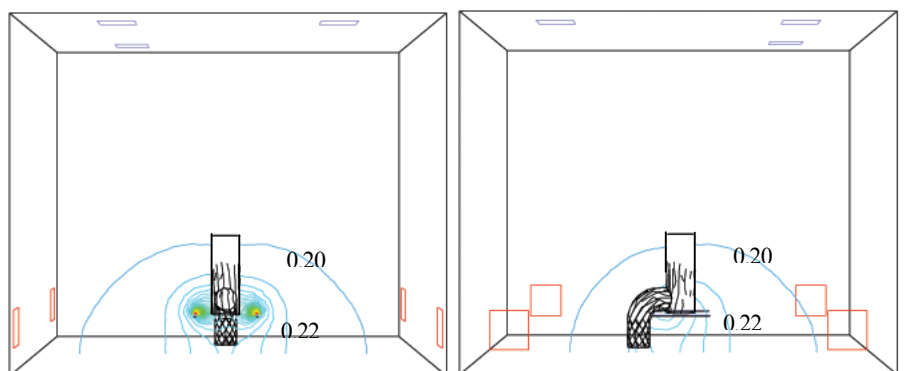


(2) Case 1-2 (児童用モデル：45°吹出, $\times 10^{-3}$ m/s)

図6 流れ場(スカラ風速)の解析結果



(1) Case 1-1 (児童用モデル：垂直吹出)



(2) Case 1-2 (児童用モデル：45°吹出)

図7 Armrest Outlet の勢力範囲 SVE4 解析結果