

# 児童用椅子型パーソナル空気清浄装置の開発と性能評価

空正 熊谷一清 (東京大学)  
空正 高原 清 (新菱エコビジネス)  
空正 湯 懐鵬 (新菱冷熱工業)

空正 伊藤一秀 (東京工芸大学)  
空正 橋田三樹雄 (新菱エコビジネス)  
空正 柳沢幸雄 (東京大学)

## 1. 序

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、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)等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、その有効性を実験の結果をもとに検討する。

特に、本報では清浄装置の概要を示すと共に、室内化学物質の除去性能の評価を行い、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の把握を行う。

## 2. シックスクール用空気清浄装置開発のコンセプト

改修工事などによる教室への化学物質の放散源の施工、学童によるワックスがけ、あるいは音楽室におけるピアノなどの搬入などにより教室内の空気質が悪化し、化学物質過敏症(CS, Chemical Sensitivity)などに代表される体調不良を訴える学童が急増しており社会問題になっている。学校に通えないことにより他の学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影響を及ぼしうることも懸念される。発

症した学童のうち、軽度の化学物質過敏症の場合、教室内空気質を改善することで通学の妨げを取り除ける可能であり、早急な対策が望まれている。

教室内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、緊急措置的な対応を前提とし、大規模なダクト工事が不要で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。ここで多くのパーソナル空調は、机上面に箱型あるいは電気スタンドのような吹出口を取り付け、そこから供給される空気に座っているものがあたるのが一般的である。しかし、それでは周りで授業を受けている学童の視界を妨げる可能性があるため、本報で紹介する空気清浄装置は学校で一般的に使用されている椅子に取り付けられるような設計になっている。

以上のより小学校低学年の児童からクラスメートと共に学習する機会を奪うことなく、緊急に室内空気環境改善に対応するためには、個別対応が可能で大規模工事を伴わないパーソナル空気清浄装置に対する潜在的要望が高いと考えられる。

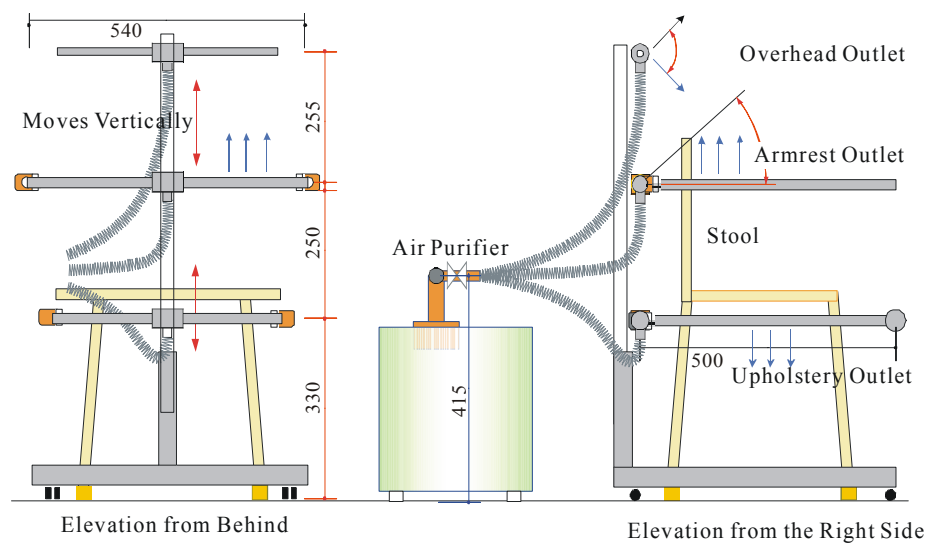
## 3. 空気清浄装置ユニット概要

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



(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

で、100V 電源にして作動する。また、6 系統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。処理空気の化学物質濃度は TVOC 濃度で、 $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  以下であることを確認している。供給風量は最大  $0.45 \text{ m}^3/\text{min}$  ( $=27.0 \text{ m}^3/\text{h}$ ) 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。

#### 4. 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、一定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した結果、供給空気の NMHC 濃度は  $30\mu\text{g}/\text{m}^3$  以下であることが確認された。

#### 5. 実験による空気清浄装置の性能評価

上述のパーソナル空気清浄装置の性能評価とくに人体呼吸域周辺の空気質評価を行うために、発熱する人体モデルを用いて人体周辺流れ場の測定、ならびに流れ場の可視化実験を行う。

##### 5.1 発熱人体モデル

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。

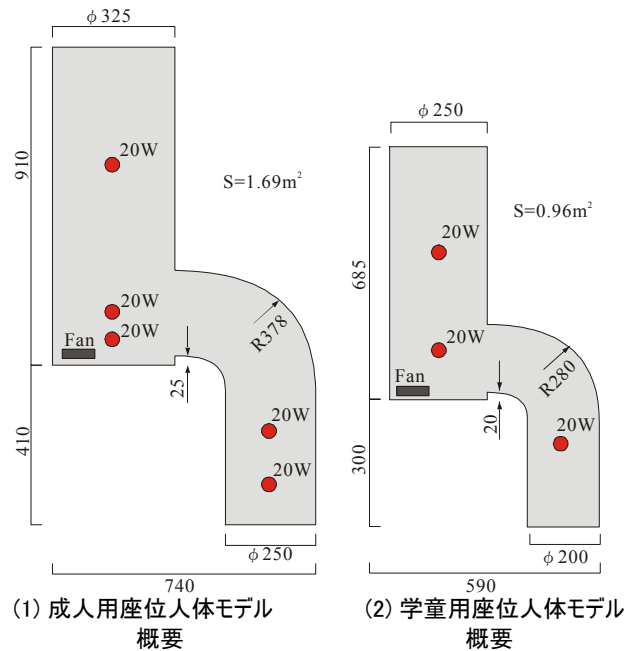
実験で使用する人体モデルを図 2 に示す。空気清浄装置が着席時を対象とするため、座位の人体モデルを使用する。図 2(1) は Sweden の M. Sandberg らの研究グループによって開発された成人を対象とした人体モデルである。図 2(2) は M. Sandberg らの人体モデルを参考に、人体表面積ならびに人体発熱量を小学校低学年(8 歳児童)をターゲットにスケールダウンした人体モデルである。両モデル共に、スチール製ダクト内に人体頭熱発熱を模擬した電球を設置し、模型内での温度成層を防ぐために攪拌用のファンを設置している。人体モデル表面は着衣をモデル化し、0.3 clo に相当するストレッチング素材の布により覆われている。

##### 5.2 空気清浄装置ならびに人体周辺気流の測定概要

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

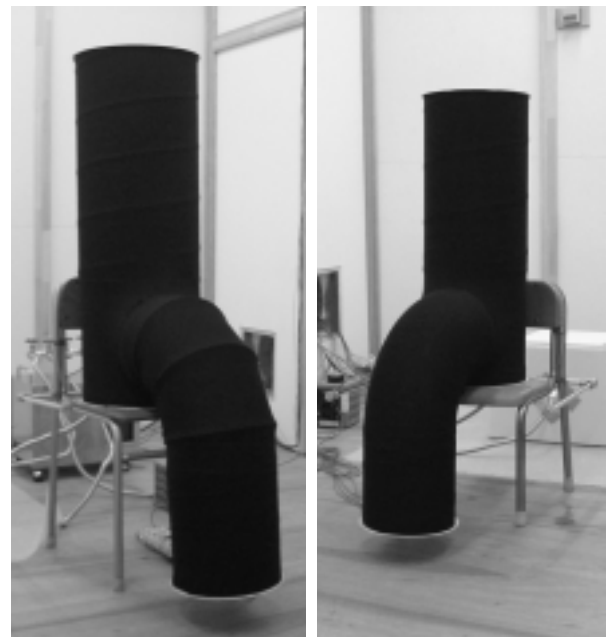
表 1 空気清浄装置本体の性能

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 $0.45 \text{ m}^3/\text{min}$ ( $=27.0 \text{ m}^3/\text{h}$ )
供給空気濃度	$30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下 (NMHC 濃度)
電源	100 V



(1) 成人用座位人体モデル概要

(2) 学童用座位人体モデル概要



(1) 成人用座位人体モデル写真

(2) 学童用座位人体モデル写真

図 2 発熱人体モデル概要

均化を行う。風速測定は図 2 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(室温  $25^\circ\text{C}$ )に設置して実験を行う。

##### 5.3 空気清浄装置ならびに人体周辺気流の可視化概要

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

ル周辺を全て対象とすることが望ましいが、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。

## 6. 測定結果

### 6.1 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。成人用座位人体モデルを用いた場合、および児童用座位人体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。また人体モデル表面から  $0.1 \text{ m}$  離れたラインでは、臀部から胸部にかけて平均風速が  $0.6 \text{ m/s}$  程度であり、ドラフトはほとんど感じない。

呼吸域空気質に対する Armrest Outlet からの清浄空気の寄与率に関しては、今後同条件で行う CFD 解析にて詳細に検討するものとする。

### 6.2 可視化結果

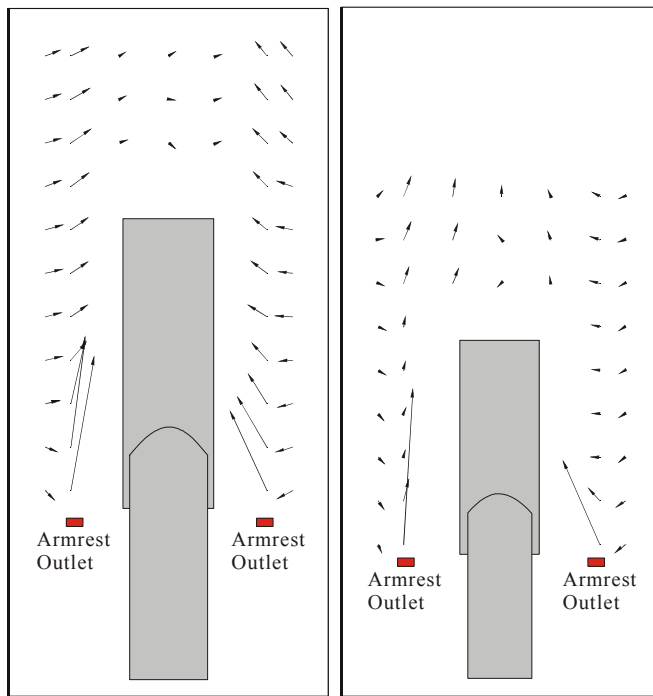
Laser Light Sheet を用いた Armrest Outlet から供給される吹出気流の可視化結果を図 4 に示す。流れ場の測定結果と同様に、成人用座位人体モデルを用いた場合、および児童用座位人体モデルを用いた場合の両者において、Armrest Outlet から上方に吹き出された清浄空気は人体モデルに沿って上昇する様子が観察される。可視化写真には現れていないが、成人用座位人体モデルを対象とした場合、Armrest Outlet から上方に吹き出された清浄空気は、人体モデル胸部付近で人体熱上昇流と混合し、頭部付近では人体表面に付着して流れる様子が観察された。

## 7. 結論

- (1) 児童用座席設置型のパーソナル空気清浄装置を開発し、その概要を示すと共に、空気清浄度の試験を行った。
- (2) 流れ場の測定および可視化の両者において、吹出口から呼吸域への上昇気流が確認され、清浄空気が呼吸域に清浄空気が供給されたことが確認された。
- (3) 上昇流の平均風速は  $0.6 \text{ m/s}$  程度でありドラフト感がないことが確認された。
- (4) 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。

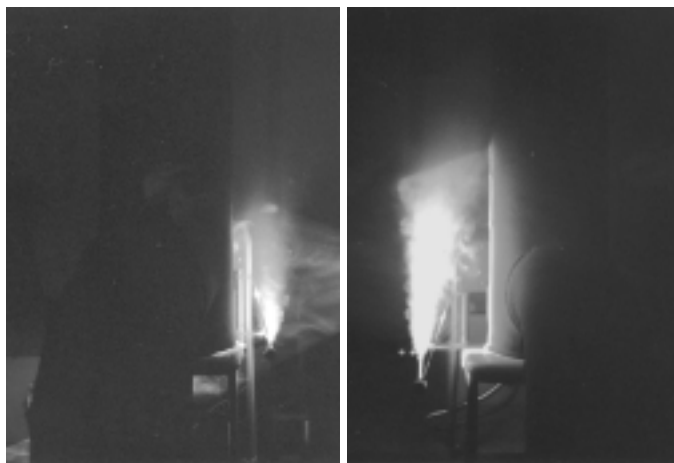
### 今後の課題

- (1) 人体モデル上部で逆流域の処理を吹出風量を変えることにより修正する。
- (2) CFD により異なる条件によるシミュレーションを行い、パーソナル空気清浄装置の最適な吹出し口の形状、吹出し風量、吹出し角度などについて検討を進める。



(1) 成人用座位人体モデル (2) 学童用座位人体モデル

図 3 流れ場の測定結果



(1) 成人用座位人体モデル (2) 学童用座位人体モデル

図 4 流れ場の可視化結果

- (3) 効率のよい吹出特性を探索し、空気清浄装置の小型化を検討する。

### 参考文献

- [1] 国民衛生の動向 (2001)
- [2] 温熱生理学 (1981)
- [3] Magnus Mattsson (1999) On the Efficiency of Displacement Ventilation, Doctoral Thesis, KTH, Sweden
- [4] Nagano. Y., et al. (1994) A new turbulence model for predicting fluid flow and heat transfer in separating and reattaching flows-1. Flow field calculations, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 38, No.1, 139-151
- [5] 小林光、村上周三、加藤信介 (1992) 不完全混合室内における局所領域に換気効率の同定に関する研究(その 1)、室内における空調吹出口と排気口の勢力範囲の同定、建築学会年次大会