

平成 29 年 6 月 1 日現在

機関番号：12301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350064

研究課題名(和文) LESと空中浮遊アレルゲン物質挙動解析に依拠した空気清浄機アシストデバイスの開発

研究課題名(英文) Development of assist device of air-purifier relying of LES and motion analysis of airborne allergenic particulate matter

研究代表者

高橋 俊樹 (TAKAHASHI, TOSHIKI)

群馬大学・大学院理工学府・准教授

研究者番号：10302457

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：室内の空気環境の改善を目指して、花粉やハウスダストなどの空中浮遊アレルゲン物質の空気清浄機による除去を促進するアシストデバイスの開発を行った。数値流体力学による予測では、空気清浄機の上方向排気流と同程度の流量を持つアシストデバイスを天井設置すると、花粉除去効率を30%向上できることが示された。空気清浄機排気主流をシロッコファンにより吸気し、二方向排気する天井設置型のアシストデバイスを開発した。

研究成果の概要(英文)：To improve the indoor air quality, we have developed an assist device of commercial air-purifier, which enhances its removal performance of allergenic airborne particulate matters such as pollen and house dusts. The prediction from computational fluid dynamic has shown that 30% increment of removal efficiency of pollen when the assist device with comparable flow rate with that of upward exhaust from the air-purifier is placed on a ceiling. We have manufactured the ceiling-mounted assist device which intakes the upward main flow stream from the air-purifier by the sirocco fan and has two-way exhaust.

研究分野：室内環境学

キーワード：室内空気質 空気清浄機 数値流体力学 ラージエディシミュレーション アレルギー 花粉

1. 研究開始当初の背景

スギ花粉やハウスダストなどに対してアレルギー疾患を有する患者数は、年々増加している。例えば、スギ花粉症は国民の約3割が罹患しているという報告もある。遺伝に伴い若年層の疾病率が高くなっているため、患者数は今後さらに増加すると予想できる。したがって、居住空間の空気清浄は、アレルギー患者の生活の質 (Quality of Life: QOL) を低下させないために必要なことである。室内に空中浮遊するアレルゲン除去の目的で、一般に広く普及しているのは空気清浄機であり、多種多様な吸排気構造のものが市場に出されている。しかしながら、空気清浄機の空中アレルゲン除去性能を定量的に評価し、ユーザーへ科学的知見を基礎とした情報発信は、十分になされていなかった。特に、アレルゲン空中濃度や床面のアレルゲン分布など、十分に研究されているとは言い難い状況であった。国内外において、換気扇や空気清浄機作動の有無による微粒子除去性能評価の研究例はわずかしかなかく、居住空間の3次元空中濃度を評価するには至っていない。

2. 研究の目的

我々の研究グループでは、空気清浄機の生成する乱流シミュレーションおよびその乱流内エアロゾル挙動解析を可能とする統合ソフトウェア CAMPAS (Computational fluid dynamics and Aerosol Motion Property Analysis Suite) を開発した。空気清浄機の生成する気流の流速ベクトルや圧力分布などの3次元分布を可視化でき、さらに、計算で再現された乱流内を運動する微粒子を追跡することで、空気清浄機に除去されたのか、床面に落下するのかを明らかにできる。つまり、空気清浄機が微粒子を除去可能な有効範囲、床面に落下した微粒子の2次元分布、落下や除去された微粒子数の時間発展などの情報を得ることができ、さらには、浮遊微粒子挙動アニメーションを作成できる。CAMPAS による室内のスギ花粉挙動解析結果から、1) 空気清浄機近傍の床面に落下花粉が多くなること、2) 室内により広範囲の循環気流を形成できれば除去効率を高められること、3) 排気主流が天井や壁面に衝突することで、花粉の拡散が促進し除去に悪影響を及ぼすこと、などの定性的知見を得ることができた。そこで、排気主流に含まれるアレルゲン物質を室内に拡散する前に捕集する補助装置 (アシストデバイス) の開発に想到した。アシストデバイスを空気清浄機の上方に設置すると、除去効率の向上を期待できる。シミュレーションで有効性を確認できたアシストデバイスを製作することが目的である。空気清浄機の排気主流に含まれるアレルゲン物質は、天井や壁に衝突して室内に拡散するが、アシストデバイスによって衝突前に捕集することができる。また、空気清浄機

の排気と吸気を結ぶ循環気流は有害微粒子除去に大きな役割を担うが、従来の使用形態では家具の配置により循環気流形成の妨げとなっている。この障害をアシストデバイスは回避でき、高汎用性を有する。

市販の空気清浄機排気主流に含まれるアレルゲン物質を効率よく捕集するアシストデバイスを開発し、除去性能を改善することを目標とする。また、室内に石松子を疑似花粉として暴露し、購入予定のパーティクルカウンターによってアシストデバイスの動作有無による空中濃度の差異を調査し、性能を定量評価する。

3. 研究の方法

(1) CAMPAS によるシミュレーション

アシストデバイスの開発ならびに実際に製作する予定の暴露室における疑似花粉暴露実験に先駆けて、CAMPAS による乱流シミュレーションならびにエアロゾル挙動シミュレーションを行う。B 社製の市販空気清浄機の特定の運転モード (流量 $6.6[\text{m}^3/\text{min}]$, 排気流速 $1.76[\text{m}/\text{s}]$) においてシミュレーションを実施する。また、アシストデバイスの流量が空気清浄機よりも大きい場合 (流量 $10[\text{m}^3/\text{min}]$) と空気清浄機と近い値 (流量 $5[\text{m}^3/\text{min}]$) で比較を行う。疑似花粉の初期配置は花粉飛散実験を想定し、疑似花粉源の位置から毎秒 216 個ずつ・30 秒間だけ自由落下させる。疑似花粉には石松子のパラメータ (直径、質量) を使用する。直径は電子顕微鏡の写真から推測し、質量は密度から算出した。

(2) アシストデバイス開発

①アシストデバイスの製作

空気清浄機に使用されているシロッコファンを利用してアシストデバイスを製作した。本来ならシロッコファンの設計・製作も必要かも知れないが、製作時間とコストを削減するため、市販の空気清浄機を分解し活用した。ファンの排気部を改良し、自由樹脂等を用いて2方向排気とした。その際、両方の流量が等しくなるように調整を行なった。製作したシロッコファンを図1に示す。下部にある吸引口を全て覆うように空気清浄機用フィルターを取り付け、花粉を捕集する。このアシストデバイスを高さ 2m まではメタルフレームを用いて持ち上げた。将来的には天井に取り付けられるように工夫する必要があるが、ここでは原理実証を目的としている。図1右に装置設置の様子を示す。

②エアアシスト部の製作

空気清浄機の排気とアシストデバイスの吸引部の間で竜巻状の上昇気流を生成できれば、排気主流の剥離流に伴う微粒子輸送効率の低下を抑制することができる。本研究では、原理実証のため竜巻状の上昇気流を生成する方法として、空気清浄機上方に回転気流を生成する装置 (エアアシスト装置) を取り付け付けた。本研究課題ではアシストデバイスを

支えているメタルフレームにホースを巻きつけ、そのホースに空気が通る銅チューブを刺して回転気流を生成した。

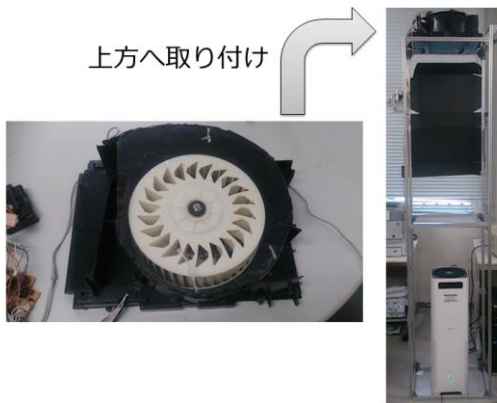


図1 アシストデバイス

③気流可視化

気流可視化法にはスモークワイヤ法を使用した。本研究では空気清浄機の排気口から10[cm]離れた位置にニクロム線を配置し、直流安定化電源を用いて12[V]印加した。スモークをより鮮明に見るために前面以外を黒塗したボードを配置し、空気供給源のある下部からアシストデバイスのある上部に向かってライトを照らした。白煙を見やすくするため、緑色のライトを用いた。

(3)疑似花粉暴露実験の方法

花粉飛散実験を行える外乱の少ない閉鎖系を構築するため、暴露室を製作した。メタルフレームを用いて暴露室の外枠を組んだ。壁面は農業用ビニールハウスのビニールを使用し、暴露室への空気供給源には市販の換気扇を使用した。全体の写真を図2に示す。この暴露室内に空気清浄機や補助装置を入れて実験を行う。疑似花粉の計数は、購入したリオン社製 KC-20A と神栄テクノロジー社製 PS2 を用いた。

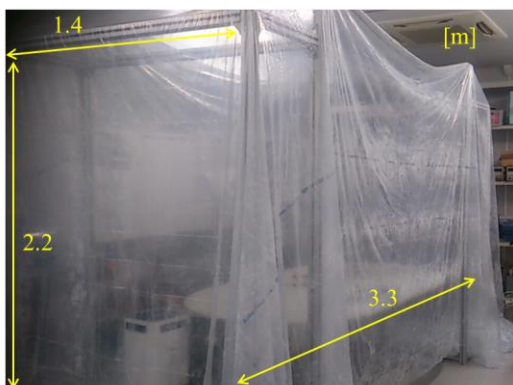


図2 暴露室の製作

4. 研究成果

(1) CAMPAS によるシミュレーションの結果

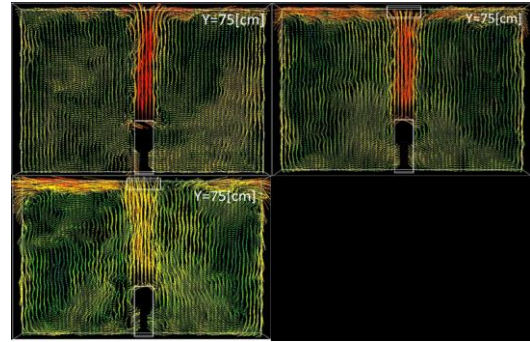


図3 気流可視化結果(左上:空気清浄機単体、右上:アシストデバイス流量 5[m³/min]、左下:同流量 10[m³/min])

製作した暴露室内の CAMPAS 乱流シミュレーションの結果を図3に示す。空気清浄機単体、及びアシストデバイス付き(5[m³/min], 10[m³/min])の結果である。事前の検討では、アシストデバイス流量が空気清浄機流量よりも大きいとき、システム除去性能が向上する結果であったが、本研究では 10[m³/min]のケースでは部屋全体で気流が乱れていることがわかり、この結果、除去性能が低下することが示唆された。空気清浄機ならびにアシストデバイス流量の設定は、これら相互の関係の他にも部屋の大きさにも依存していることがわかった。

(2)アシストデバイスの効果

エアアシスト機能のある気流は、空気清浄機からの排気直後に回転気流が形成された。しかしながら、空気清浄機とアシストデバイス間で定常的な竜巻状気流は形成できなかった。気流可視化の結果を図4に示す。竜巻状気流が形成されなかった原因としては、空気清浄機の排気流量がエアアシストよりも強いことが考えられ、工夫が求められる。

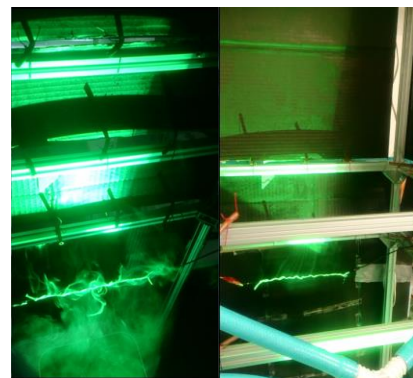


図4 スモークワイヤ法による実験結果(右:エアアシスト有り、左:エアアシスト無し)

(3)暴露実験の結果

製作した暴露室内における疑似花粉の飛散をシミュレーションと実験で調べた。空気清浄機とアシストデバイスを両方とも動作させた状態での実験結果を図5に示す。シミュ

レーションと実験との粒子数をそろえることはできないので、この実験では空間分布について調査している。シミュレーションではほとんど観察されないはずの床面でPS2の測定値が高くなっている。

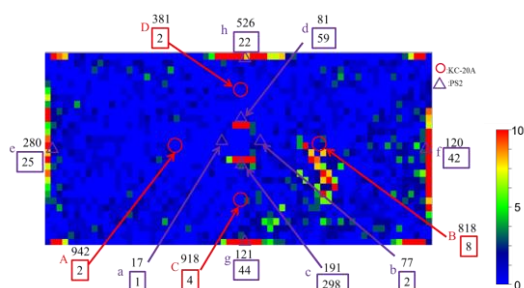


図5 疑似花粉の落下花粉分布のシミュレーション結果と実験値の比較（赤丸がKC-20A、紫三角がPS2の設置位置であり、四角で囲った値がシミュレーション、囲み無しの数値が実験値）

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 3件）

[1] 中川翔太郎, 橋本明憲, 高橋俊樹, 窓と換気扇を有する室内の空気清浄機花粉捕集に関するシミュレーション研究, *室内環境* 19(1), 1-10 (2016). 査読有.

[DOI:10.7879/siej.19.1]

[2] T. Takahashi, S. Tokoi, and A. Hashimoto, Feasibility of Ceiling-mounted Assist Device of Air-Purifier for Removal of Airborne Allergic Pollen Grains, *Key Engineering Materials*, Vol. 643, pp. 205-208 (2015). 査読有.

[DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.643.205]

[3] A. Hashimoto and T. Takahashi, Simulation Study on Indoor Pollen Removal with Variable Exhaust Angle of an Air Purifier, *Key Engineering Materials*, Vol. 643, pp 199-204 (2015). 査読有.

[DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.643.199]

〔学会発表〕（計 12件）

[1] 福田裕也, 高橋俊樹: 数値シミュレーションによる空気清浄機の浮遊粒子除去性能評価, 第7回電気学会東京支部栃木・群馬支所合同研究発表会, 資料ETG-17-40, 足利工業大学工学部, 2017年3月2日-3日.

[2] Y. Fukuda, S. Nakagawa, T. Takahashi, M. Goto, and A. Hashimoto, Motion of pollen grains in a furnished room, Conference of

International Society for Environmental Epidemiology and International Society of Exposure Science - Asia Chapter 2016 (ISEE-ISES AC2016), June 26-June 29, 2016, Sapporo, Japan.

[3] T. Takahashi, T. Shimada, S. Nakagawa, Y. Fukuda, M. Goto, and A. Hashimoto, Tornado-like indoor airflow generation for allergenic pollen removal, Conference of International Society for Environmental Epidemiology and International Society of Exposure Science - Asia Chapter 2016 (ISEE-ISES AC2016), June 26-June 29, 2016, Sapporo, Japan.

[4] G. Sakai, T. Takahashi, F. Hayashi, T. Muraoka, M. Goto, S. Ino, S. Kondou, and M. Takahashi, Numerical simulation for deodorization effect of ozone, Conference of International Society for Environmental Epidemiology and International Society of Exposure Science - Asia Chapter 2016 (ISEE-ISES AC2016), June 26-June 29, 2016, Sapporo, Japan.

[5] 福田裕也, 坂井岳, 高橋俊樹: 数値シミュレーションによる空気清浄機のスギ花粉除去性能評価, 平成 28 年室内環境学会学術大会, 産業技術総合研究所つくば中央 (共用講堂), 2016 年 12 月 15-16 日.

[6] 坂井岳, 福田裕也, 高橋俊樹: オゾンによる脱臭効果とその室内空気環境への適用, 平成 28 年室内環境学会学術大会, 産業技術総合研究所つくば中央 (共用講堂), 2016 年 12 月 15-16 日.

[7] 高橋俊樹, 中川翔太郎, 松崎啓, 島田毅, 橋本明憲, 後藤誠: 窓と換気扇のある室内での花粉挙動と空気清浄機による捕集, 平成27年室内環境学会学術大会, 沖縄コンベンションセンター会議棟B, 2015年12月3-4日.

[8] 中川翔太郎, 高橋俊樹, 後藤誠: 家具を設置した室内における空気清浄機生成気流と微粒子挙動のシミュレーション研究, 平成27年室内環境学会学術大会, 沖縄コンベンションセンター会議棟B, 2015年12月3-4日.

[9] 島田毅, 中川翔太郎, 高橋俊樹, 後藤誠: 上昇旋回気流を生成する空気清浄システムを導入した室内の花粉挙動シミュレーション, 平成 27 年室内環境学会学術大会, 沖縄コンベンションセンター会議棟 B, 2015 年 12 月 3-4 日.

[10] 床井駿介, 橋本明憲, 高橋俊樹, 後藤誠: 空気清浄機の性能向上を目指した補助装置の開発, 平成26年室内環境学会学術大会, 工学

院大学新宿キャンパス，2014年12月5-6日．

[11] 中川翔太郎，橋本明憲，高橋俊樹，後藤誠：空気清浄機の生成する室内乱流解析の高精度化とその花粉除去効率評価に及ぼす影響，平成26年室内環境学会学術大会，工学院大学新宿キャンパス，2014年12月5-6日．

[12] 小幡拓見，橋本明憲，高橋俊樹，後藤誠：二台の空気清浄機の連携運転による花粉除去性能，平成26年室内環境学会学術大会，工学院大学新宿キャンパス，2014年12月5-6日．

〔図書〕（計 0件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0件）

○取得状況（計 0件）

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 俊樹 (TAKAHASHI TOSHIKI)

群馬大学・大学院理工学府・准教授

研究者番号：10302457