

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 4 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01492

研究課題名(和文)換気と室内気流制御による室内の新型コロナウイルス等感染症予防対策に関する研究

研究課題名(英文) Study on prevention measures for infection of COVID-19 by means of ventilation and control of indoor air distribution

研究代表者

山中 俊夫 (Yamanaka, Toshio)

大阪大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：80182575

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究により、対面での会話が行われる病院の診察室においては、全面床吹き空調システムと局所排気システムの併用により、患者の会話に起因する感染性の飛沫核による医者や医療従事者の感染リスクを極めて低く維持することが可能であり、加えて、フランジ形の局所排気装置を患者の頭上に設置し、咳に対する防御策としては、局所排気装置の直下に透明なアクリル製パーティションを設けることが有効であることがわかった。また、一般的な事務室においては、置換換気に加えて、居住者の呼吸域に清浄な空気を供給する居住域給気併用置換換気方式が有効であり、通常の置換換気よりも省エネルギーで在室者数の変化にも対応できる可能性が確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって、病院の診察室において、新型コロナウイルス感染症やインフルエンザなどに感染している可能性のある患者と対面で会話を行う医者や看護師などの医療技術者の感染リスクを低減し、エッセンシャルワーカーを守る事が可能となる。また、一般の事務室においても、通常の置換換気に感染リスク低下に加えて、在室者の呼吸域に安定して清浄な空気を供給でき、かつ省エネルギーにも貢献できる手法として呼吸域給気型置換換気の特性を明らかにすることができ、今後の事務室空調の一つの空調換気手法としての有用性を明らかにすることができた。以上の成果により、本研究は学術的かつ社会的に大きな貢献ができるものと言える。

研究成果の概要(英文)：This study has shown that in hospital examination rooms where face-to-face conversations take place, the risk of infection of doctors and health care workers from infectious droplet nuclei caused by patient conversations can be maintained at a very low level by using a full floor-supply air conditioning system in combination with a local exhaust system, and in addition, a flange-type local exhaust hood can be installed above the patient's head. It has been found that a transparent acrylic partition directly below the local exhaust system is effective as a protective measure against coughing, with the flange-type local exhaust system placed above the patient's head. In addition to displacement ventilation, occupant air supply that supplies clean air to the breathing zone of the occupants is effective in general office rooms, and it was confirmed that it is more energy-efficient than ordinary displacement ventilation and can cope with changes in the number of occupants.

研究分野：建築環境工学

キーワード：感染防止 飛沫核 診察室 置換換気 呼吸域給気 実験室実験 CFD解析 事務室

1. 研究開始当初の背景

研究計画を行った2020年は、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の世界的大流行に伴い、感染症防止のメカニズムとその対策に対する研究が注目され、世界的に多くの研究が行われた。しかし、当初は新型コロナウイルス（SARS-CoV-2）の特性も感染メカニズムもわからず、換気や室内気流との関係も未知であった。当初空気感染はしないと思われていたCOVID-19であったが、例えば結核菌ほどの感染力はないものの、換気の悪い室内における比較的近距离でのSARS-CoV-2を含む飛沫や飛沫核の空気伝搬によって、感染が生じることが明らかになり、感染者から発生した飛沫・飛沫核の挙動の制御が重要な研究課題となった。

研究計画時には、ウイルスの寿命を考慮することが感染確率の予測計算においては重要と考えられたが、その後、SARS-CoV-2の感染力低下に関する知見もわずかながら得られてきたことから、基本的には、寿命を考慮しない計算による感染確率予測を行うことで、より安全側の判断ができると考え、研究の目的におけるウイルス寿命に対する考慮の重要性を低くし、室内の気流制御と換気方式の工夫によって、室内でのCOVID-19の感染防止対策手法の開発と検討を研究の目的とするに至る。

2. 研究の目的

研究の目的を考える上で、感染対策を行う室の設定が重要となる。室の用途によって、取り得る感染対策の内容が異なるものになることが予想されるからである。本研究では、感染対策を行う上で、もっとも重要で感染リスクが高いと考えられる病院の診察室と一般環境としては事務室を研究の対象とすることとした。また、感染防止効果の高い換気方式の候補として、置換換気（Displacement Ventilation）と局所排気を取り上げることとした。ただし、置換換気については、北欧型の置換換気ディフューザーではなく、日本で多く採用される床吹き型の空調システムを採用することとした。床吹き空調は、これまで病院では採用されることがないものの、診察室においては、採用の可能性が高く、全面床吹き空調、旋回流型床吹き空調、置換換気型床吹き空調などについて検討を行うこととする。なお、事務室などでは、従来型の置換換気に加えて、呼吸域に新鮮空気を供給する呼吸域給気型置換換気を開発し、その性能を検証することとする。

以上を踏まえて、本研究の主な目的は以下の通りとした。

- (1) 会話による呼出風速測定に基づく呼出飛沫・飛沫核の呼出速度の解明
- (2) 全面床吹き空調と局所排気フードとの併用による感染防止換気システムの性能検証
- (3) 呼吸域給気併用型置換換気の換気効率に関する性能検証
- (4) 各種床吹き空調と局所排気システムの併用による感染防止制御技術の開発と性能検証

3. 研究の方法

本章では、上述のそれぞれについて、研究方法の概略を列記する。詳細については、既発表の論文や梗概を参照して頂きたい。

(1) 会話による呼出風速測定に基づく呼出飛沫・飛沫核の呼出速度の解明

日本語のテキストを被験者に読ませて、そのときの呼出風速を超音波風速計で測定するとともに、逆止弁のついたマスクを通して、呼出した流量をPET製のバッグに収集し、その流量を測定することで、呼出流量を測定した。なお、実験は本学学生6名（男性3名、女性3名、21～24歳）を被験者とした。被験者は提示された日本語の文章を1分間音読し、呼気速度と流量の測定をそれぞれ一人当たり3回ずつ測定した。

(2) 全面床吹き空調と局所排気フードとの併用による感染防止換気システムの性能検証

モデルケースとして、標準的な病院の診察室を対象とし、医者と患者が対面で会話する状況を想定した場合の患者から医者への感染確率について、CFD解析と実大実験室を用いた実験の両方で検討を行うこととした。局所排気装置としては、横風に対する捕集効率の高いフランジ形を採用する。CFD解析では、日本語の会話の場合の呼出速度・流量の測定データを基にして決定し、実験では、模擬唾液を用いたネブライザーによる飛沫核発生とともに、CFD解析で与えた呼出条件をトレーサーガスとしたCO₂とHeの混合ガスで再現し、CO₂濃度分布を測定した。なお、CFD解析では、定常解析と非定常解析を行い、ガス捕集率や換気効率指標SVE5などについても検討した。検討パラメータとしては、局所排気フードの位置（水平と垂直）、局所排気フードの排気量、全面床吹き空調の風量とした。

(3) 呼吸域給気併用型置換換気の換気効率に関する性能検証

水平方向から呼吸域に直接清浄な空気を供給する手法を置換換気と組み合わせることにより、省エネルギーと負荷変動に伴う汚染物境界面の低下に対応する手法を提案し、その感染防止性能を実物大の実験室実験とCFD解析によって検討を行う。実験室は、5m×5.45mの平面を持ち、

天井高さ 2.88m の人工気候室であり、事務室を模擬し、5名の模擬人体（75W）を模擬 PC（50W）が置かれた事務机の前に着座させた。1名の模擬感染人体の口の位置からトレーサースガスとして CO₂ を発生させ、室内における CO₂ の濃度分布を計測する。CFD 解析では、実験室実験を再現し、実験では捉えきれない気流や詳細な温度・濃度分布について検討を行う。

(4) 各種床吹き出し空調と局所排気システムの併用による感染防止制御技術の開発と性能検証

(2) で検討した診療室を対象として、局所排気フードのある場合に加えてない場合も検討対象として床吹き出し空調の方式を 3 条件に拡張し、全面床吹き出し空調、旋回流型床吹き出し空調、置換換気型床吹き出し空調について検討をする。また呼吸は CO₂ と He の混合ガスとする。パラメータは局所排気の有無と床吹き出し空調の換気量とする。

4. 研究成果

それぞれの研究目的により行った実験の結果及び CFD 解析の結果得られた代表的な研究成果について以下に記す。

(1) 会話による呼出風速測定に基づく呼出飛沫・飛沫核の呼出速度の解明

呼吸速度と鉛直角度の測定結果には男性と女性の被験者間で顕著な差がないが、女性被験者の呼吸流量は男性被験者より低かった。測定結果データ全体のばらつきが大きい、被験者間の個人差が原因だと考える。CFD の境界条件としては、平均値として、呼吸速度 0.30 m/s、呼吸流量は 5.21 L/min 及び鉛直角度として水平方向から下向き 11.88° を提案することができた。

(2) 全面床吹き出し空調と局所排気フードとの併用による感染防止換気システムの性能検証

実験と CFD 解析の結果から、感染症対策として、局所排気と全面床吹き出し空調を併用して使うことの効果が確認された。排気フード位置は、できるだけ低く、かつ患者の口前 10cm の真上が良く、当然のことながら排気風量は大きいほど感染確率は低下した。実大実験では、捕集率、感染リスクにおいても、CFD 解析と絶対値の差はあるものの、同様の傾向が得られた。また非定常の CFD 解析の結果から、マスクをしていない患者の突然の咳飛沫の飛来に対して、医者の暴露は避けられないものの、局所排気フードの直下に透明なパーティションを設けることで、咳飛沫への暴露を防ぐことができることが明らかになった。

(3) 呼吸域給気併用型置換換気の換気効率に関する性能検証

実験室実験と CFD 解析の結果から、呼吸域給気を人体の近くから行う場合と、壁から行う場合とでは、居住域の汚染質濃度に関しては、壁からの給気の方がよく、給気温度については、同じ高さの室温より、多少低い温度で給気をすると、新鮮な給気がいったん在室者の胸から腰の位置に効果し、その後人体の上昇気流と合流し、顔から頭に向かって上昇することから、居住者により清浄な空気を供給することができることがわかった。ただし、呼吸域給気の風量が置換換気風量に比較して小さい場合には、人体付近での給気の方が呼吸域の汚染質濃度を低くすることができた。いずれにしても、置換換気の風量と呼吸域給気の風量のバランスによって、置換換気呼吸域給気それぞれの最適な温度が異なることから、設計においては、CFD 解析による確認が必要であると言える。

(4) 各種床吹き出し空調と局所排気システムの併用による感染防止制御技術の開発と性能検証

実験結果に基づいた、異なる床吹き出し方式における換気量ごとの感染リスク評価の結果、フードの有無に関わらず、感染リスクが最も低いのが、全面床吹き出し空調であり、その次に置換換気型ディフューザーを用いた床吹き出し空調システムとなり、最もリスクが高いのが、旋回流型のディフューザーであることが明らかとなった。旋回流型のディフューザーは居住域内の空気を攪拌する効果が高いことがその原因であると考えられる。また、置換換気ディフューザーは吹き出しの角度が浅く、攪拌効果が旋回流型に比べて弱いとは言えるものの、全面負荷吹き出し空調に比較すると運動量が大きいことから、完全な置換換気が形成されていないためと考えられた。また、いずれの床吹き出し空調システムにおいても、診察室内の患者の上部に局所排気フードを設置することで、室内に攪拌される飛沫核を低減させ、医者や看護師などの医療スタッフの感染を防止できることが明らかになった。

本研究により、対面での会話が行われる病院の診察室においては、全面床吹き出し空調システムと局所排気システムの併用により、患者の会話に起因する感染性の飛沫核による医者や医療従事者の感染リスクを極めて低く維持することが可能であることがわかり、加えて、フランジ形の局所排気装置を患者の頭上に設置し、突然の咳に対する防御策としては、局所排気装置の直下に透明なアクリル製パーティションを設けることが有効であることがわかった。また、一般的な事務室においては、置換換気に加えて、居住者の呼吸域に清浄な空気を供給する居住域給気併用置換換気方式が有効であり、パラメータをうまくできれば、通常の置換換気よりも省エネルギーで在室者数の変化にも対応できる可能性が確認できたものと言える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Jun Yoshihara, Toshio Yamanaka, Tomohiro Kobayashi, Narae Choi, Noriaki Kobayashi	4. 巻 6
2. 論文標題 Performance of Combination of Local Exhaust System and Floor-Supply Displacement Ventilation System as Prevention Measure of Infection in Consulting Room	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japan Architectural Review	6. 最初と最後の頁 1-19
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/2475-8876.12413	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計22件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 張靱, 山中俊夫, 小林知広, 崔ナレ, 小林典彰, 吉原隼
2. 発表標題 ヒト由来飛沫・飛沫核を対象とした診療室の局所排気システムに関する研究（その1）非定常 CFD 解析に基づく会話・咳飛沫核の捕集性能に関する検討
3. 学会等名 日本建築学会2022年度近畿支部研究報告集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉原隼, 山中俊夫, 小林知広, 崔ナレ, 小林典彰, 張靱日
2. 発表標題 ヒト由来飛沫・飛沫核を対象とした診療室の局所排気システムに関する研究（その2）定常 CFD 解析に基づく会話飛沫核による対面感染リスクに関する検討
3. 学会等名 日本建築学会2022年度近畿支部研究報告集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 難波和佳子, 山中俊夫, 崔ナレ, 小林知広, 小林典彰, 鹿野奈々
2. 発表標題 感染症予防を目的とした呼吸域給気併用置換換気に関する研究（その1）給気条件が温度・呼出汚染物濃度分布に及ぼす影響
3. 学会等名 日本建築学会2022年度近畿支部研究報告集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鹿野奈々, 山中俊夫, 崔ナレ, 小林知広, 難波和佳子
2. 発表標題 感染症対策を目的としたブース型置換換気に関する研究 (その2) 従来型置換換気と比較したブース型置換換気の特性に関する検討
3. 学会等名 日本建築学会2022年度近畿支部研究報告集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 張靱・ 山中俊夫・ 小林知広・ 崔ナレ・ 小林典彰・ 吉原隼
2. 発表標題 診察室における感染予防対策としての局所換気システムの性能評価 その1 CFD解析によるヒト由来飛沫核の拡散挙動と換気による除去性能の検討
3. 学会等名 日本建築学会2022年度大会学術講演梗概集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉原隼・ 山中俊夫・ 崔ナレ・ 小林知広・ 小林典彰・ 張靱
2. 発表標題 診察室における感染予防対策としての局所換気システムの性能評価 その2 対面者からの飛沫核暴露による在室者の感染リスクに関する検討
3. 学会等名 日本建築学会2022年度大会学術講演梗概集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 難波和佳子・ 山中俊夫・ 崔ナレ・ 小林知広・ 小林典彰・ 鹿野奈々
2. 発表標題 感染症予防を目的とした呼吸域給気併用置換換気に関する研究 その2 実大実験室実験による温度・呼気汚染物濃度分布に関する検討
3. 学会等名 日本建築学会2022年度大会学術講演梗概集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鹿野奈々・山中俊夫・崔ナレ・ 小林知広・小林典彰・難波和佳子
2. 発表標題 感染症予防を目的とした呼吸域給気併用置換換気に関する研究 その3 CFD解析による温度・呼気汚染物濃度分布に関する検討
3. 学会等名 日本建築学会2022年度大会学術講演梗概集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 張靱, 山中俊夫, 小林知広, 崔ナレ, 小林典彰, 吉原隼
2. 発表標題 診察室における感染予防対策としての局所換気システムの性能評価に関する研究 (その3) 非定常 CFD 解析に基づく会話・咳由来飛沫核の暴露濃度応答及びフード捕集性能
3. 学会等名 令和4年度空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉原隼, 山中俊夫, 小林知広, 崔ナレ, 小林典彰, 張靱
2. 発表標題 診察室における感染予防対策としての局所排気システムの性能評価に関する研究 (その4) CFD 解析及び実大模型実験による会話飛沫核に伴う対面感染リスクに関する検討
3. 学会等名 令和4年度空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 難波和佳子, 山中俊夫, 崔ナレ, 小林知広, 小林典彰, 鹿野奈々
2. 発表標題 オフィスにおける感染症対策のための呼吸域給気併用置換換気に関する研究 (その2) 実大実験室実験に基づく室内換気性能に関する検討
3. 学会等名 令和4年度空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鹿野奈々, 山中俊夫, 崔ナレ, 小林知広, 難波和佳子
2. 発表標題 オフィスにおける感染症対策のための呼吸域給気併用置換換気に関する研究 (その3) CFD 解析に基づく室内換気性能に関する検討
3. 学会等名 令和4年度空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 難波和佳子, 山中俊夫, 崔ナレ, 小林知広, 小林典彰, 鹿野奈々
2. 発表標題 オフィスにおける居住者の感染症予防のための呼吸域給気併用置換換気に関する研究
3. 学会等名 令和4年度室内環境学会学術大会講演要旨集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤原碧海, 山中俊夫, 小林知広, 崔ナレ, 小林典彰, 吉原隼, 張靱
2. 発表標題 診察室における感染予防対策としての局所換気システムの性能評価に関する研究 (その5) 各給気方式におけるトレーサーガスによる飛沫核感染リスク評価
3. 学会等名 令和4年度(第52回)空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉原隼, 山中俊夫, 小林知広, 崔ナレ, 小林典彰, 張靱, 藤原碧海
2. 発表標題 診察室における感染予防対策としての局所換気システムの性能評価に関する研究 (その6) 各給気方式における模擬唾液飛沫による感染リスク評価
3. 学会等名 令和4年度(第52回)空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 張 毅, 山中俊夫, 小林知広, 崔ナレ, 小林典彰, 吉原隼, 藤原碧海
2. 発表標題 診察室における感染予防対策としての局所換気システムの性能評価に関する研究 (その7) 咳による飛沫の拡散特性とその対策の検討
3. 学会等名 令和4年度(第52回)空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鹿野奈々, 山中俊夫, 崔ナレ, 小林知広, 小林典彰, 難波和佳子
2. 発表標題 オフィスにおける感染症対策のための呼吸域給気併用置換換気に関する研究(その4)呼吸域給気条件が飛沫核分布に及ぼす影響
3. 学会等名 令和4年度(第52回)空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 難波 和佳子, 山中 俊夫, 崔 ナレ, 小林 知広, 小林 典彰, 鹿野 奈々
2. 発表標題 オフィスにおける感染症対策のための呼吸域給気併用型置換換気に関する研究 (その1) 呼吸域給気条件が温度・人体発生汚染室の鉛直分布に及ぼす影響
3. 学会等名 令和3年度空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 張 毅, 山中 俊夫, 小林 知宏, 崔 ナレ, 小林 典彰, 吉原 隼
2. 発表標題 診察室における感染予防対策としての局所換気システムの性能評価に関する研究 (その1) CFD解析によるヒト由来飛沫核の拡散挙動と換気による除去性能の検討
3. 学会等名 令和3年度空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉原 隼, 山中 俊夫, 小林 知宏, 崔 ナレ, 小林 典彰, 張 毅
2. 発表標題 診察室における感染予防対策としての局所換気システムの性能評価に関する研究 (その2) 対面者からの飛沫核暴露による在室者の感染リスクに関する検討
3. 学会等名 令和3年度空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤原碧海, 山中俊夫, 崔ナレ, 小林知広, 山澤春菜, 小林典彰, 永田久子, 岡本茂, 安井さおり, 杉田雄希, 吉原隼
2. 発表標題 床吹き出し空調方式における人体由来汚染質の除去性能に関する研究 - 吹き出し気流特性と換気量が室内温度・汚染質濃度に及ぼす影響 -
3. 学会等名 令和5年度空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 吉原隼, 山中俊夫, 崔ナレ, 小林知広, 山澤春菜, 小林典彰, 永田久子, 岡本茂, 安井さおり, 杉田雄希, 藤原碧海
2. 発表標題 診察室における感染予防対策としての局所換気システムの性能評価に関する研究 (その10) 各種床吹き出し方式における感染リスク評価
3. 学会等名 令和5年度空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	崔 ナレ (Choi Narae) (10826481)	東洋大学・理工学部・助教 (32663)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	小林 知広 (Kobayashi Tomohiro) (90580952)	大阪大学・大学院工学研究科・教授 (14401)	
研究分担者	小林 典彰 (Kobayashi Noriaki) (60880656)	大阪大学・大学院工学研究科・技術職員 (14401)	
研究分担者	山澤 春菜 (Yamasawa Haruna) (80982305)	大阪大学・大学院工学研究科・助教 (14401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関