

2022 年度 風工学研究拠点 共同研究成果報告書

研究分野：新型コロナウイルス

研究期間：2022 年度

課題番号：222012

研究課題名（和文）： 隔離室ドア開閉時の浮遊飛沫漏出を防止するための条件

研究課題名（英文）：Improvement of ventilation efficiency by optimal planning of natural ventilation pathways using wind catchers and its application to countermeasures against infectious spread

研究代表者：林 基哉

交付決定額（当該年度）：420,000 円

1. 研究の目的

新型コロナウイルス（SARS-CoV-2）は感染性エアロゾルによる空気感染の可能性が指摘されている。また、病床数の不足によって自宅療養者が増加傾向にあり、家庭内感染が大きな問題となっている。家庭内で陽性者専用の隔離室を設けることは有効な対策と考えられるが、ドアの開閉等によって共用部へのエアロゾル流出が発生する可能性も考えられる。また、一般的な住宅は3種換気を採用しており、居室から共用部、トイレ等への換気経路を計画している物件も多く、扉開放時のエアロゾル流出性状について明らかにする必要がある。

本研究は、上述の課題に対し、住宅における隔離室を対象として実験を行い、様々な陰圧状態・室内エアロゾル濃度・室間温度差において、扉開閉によってエアロゾルが流出する条件を明らかにすることを目的とした。更に実際の住宅においても実測を行い、実験の結果との比較を行う。実験・実測の際には、空気清浄機や飛沫防止板により室内エアロゾル濃度を低減する手法の効果についても併せて検討を行った。

2. 研究の方法

2.1 隔離室ドア開閉時の浮遊飛沫漏出実験

新型コロナウイルスは感染経路の一つとしてエアロゾル感染が指摘されており、家庭内感染についても問題視されている。本研究では、家族が感染して住宅内に隔離室を設けた場合、扉の開閉によってエアロゾルが隔離室から他の室に漏出するかを確認し、その対策について検討した。

図1に実験概要を、図2に実験室の平面図を示す。人工気候室の前室を隔離室、測定室を清浄エリアと想定し、2室の間の扉を開閉した場合のエアロゾル漏出を確認した。確認方法は、レーザーによる可視化、扉前の風速測定、エアロゾル漏出量測定である。図3に風速計の設置位置、図4に測定室側からみた扉廻りの実験装置設置状況、図5にエアロゾル濃度測定機 OPS (Optical Particle Sizer) の4点の測定点を示す。また、表1に実験条件を示す。前室と測定室に温度差や圧力差がある場合を検討ケースとした。

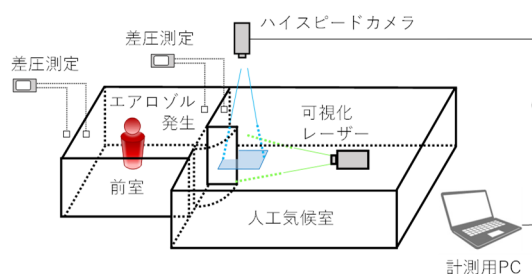


図1 人工気候室実験の概要

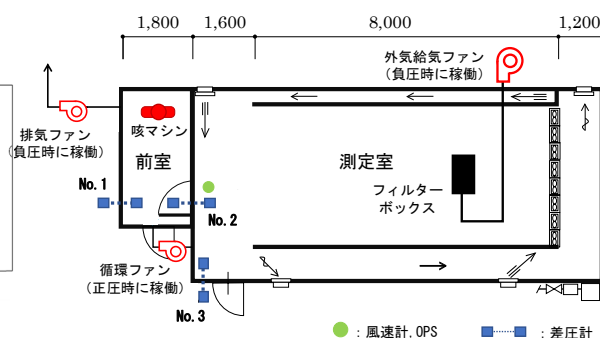


図2 実測機器の設置位置

図6に前室と測定室に8℃の温度差を付けた場合の扉開放時の状況を示す。前室にスモークを発生させ、扉を開放した場合の可視化画像である。+8℃差は前室が28℃で測定室が20℃であり、浮力によりスモークは扉上部より測定室側に漏出していることが分かる。対して前室が20℃

である -8°C 差では、スモークは扉下部より勢いよく漏出している。これらの可視化実験より、温度差がある場合は扉開放面で大きな温度差換気が働くことが分かった。また、漏出後について、 $+8^{\circ}\text{C}$ 差では前室の空気は測定室の天井付近に滞留するが、 -8°C 差では測定室の床付近(居住域)に滞留する傾向にあった。

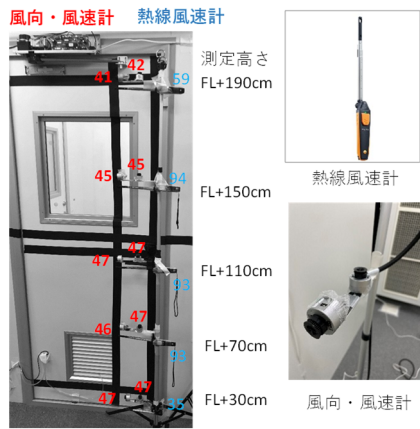


図3 風速計設置高さ

表1 実験条件

① 等温等圧
② $+5^{\circ}\text{C}$ 等圧 (前室 25°C ,測定室 20°C)
③ -5°C 等温 (前室 20°C ,測定室 25°C)
④ 等温負圧 (-8Pa)
⑤ 等温正圧 ($+8\text{Pa}$)
⑥ $+5^{\circ}\text{C}$ 負圧 (-8Pa)
⑦ $+5^{\circ}\text{C}$ 正圧 ($+8\text{Pa}$)
⑧ -5°C 負圧 (-8Pa)
⑨ -5°C 正圧 ($+8\text{Pa}$)

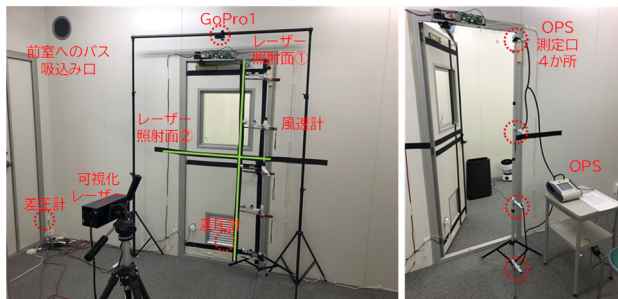
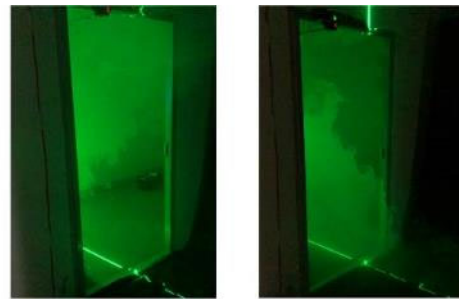


図4 実験装置の設置位置

図5 OPSの測定位置



(a) $+8^{\circ}\text{C}$ 差,等圧 (b) -8°C 差,等圧

図6 可視化実験結果

2.2 戸建て住宅における陰圧室形成に関する実験

実際の戸建て住宅において陰圧室を形成し、人の出入りがある条件でのエアロゾル漏出量を測定した。陰圧室に至る廊下に前室スペースを作り、局所排気を確保することによって、扉出入りによる陰圧解消やエアロゾル漏出の影響を最小化するような工夫を行った。図7に実験対象住宅の平面図と実測機器の設置状況等を示す。2階の洋室3を陰圧室として想定した。

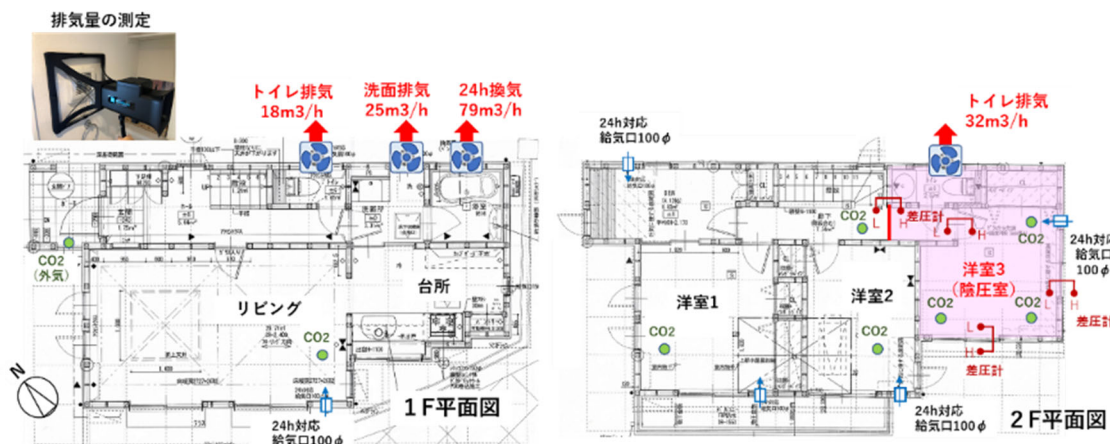


図7 実験対象住宅の排気風量と実測機器設置状況

3. 研究成果

3.1 隔離室ドア開閉時の浮遊飛沫漏出実験

扉前に設置した熱線風速計の測定結果を図 8~10 に示す。60 秒間のうちに 0, 20, 40 秒のタイミングで 3 回扉を開閉している。1 回の開閉は約 13 秒であった。結果を比較すると、等温負圧時が最も風速は落ち着いており、等温正圧、 -5°C 負圧では開放している間に FL+0.3m、1.9m の高さの風速が瞬間的に早くなっていることが分かる。 -5°C 負圧については可視化画像で確認した温度差換気の影響によって 0.3m の高さの風速が速いと考えられる。

図 11 に④等温負圧のケースにおける差圧計の測定結果を示す。扉前後差圧を見ると、扉を開放する前や閉鎖後は -8Pa を確保しているが、扉開放直後に 1 秒程度で差圧は 0Pa となっている。扉が開放している間は室間差圧の影響は極めて小さくなっていることが考えられ、この間での負圧によるエアロゾル流出防止効果は期待できない事が分かった。

図 12 に全 9 ケースにおける扉開放時のエアロゾル流出量を比較した結果を示す。このグラフは、図 5 に示すように OPS によって扉前に 4 点から空気を吸い込み OPS にて 4 点の平均濃度を測定したものである。測定は扉が開閉している 13 秒間の平均値であり、開放直前の室内空気のエアロゾル濃度をバックグラウンド濃度として差し引いている。各ケースで 2 回ずつ計測し、その平均値をグラフ化したものである。扉開放前は、極めてエアロゾル濃度が低い状態であるが、扉が開放するに従ってエアロゾル漏出により OPS で測定するエアロゾル濃度が高まっていた。それを前室からのエアロゾル漏出量として評価したものである。結果を見ると、③,⑧,⑨などの -5°C の条件のエアロゾル漏出量が多いことが分かる。これは可視化実験で確認した温度差換気によるもので、更に扉の下部から漏出することによって、OPS で測定している居住域付近の濃度が高まったものと考えられる。 $+5^{\circ}\text{C}$ 条件においても同様に温度差換気が働いているが、エアロゾルは測定室の天井面付近に流れていくため居住域の濃度上昇は少ない。 -5°C 条件では、前室が負圧であっても同様のエアロゾル漏出が見られ、 8Pa 室間圧力差では防止するのが難しいことが分かる。ただし、等温条件では -8Pa の漏出量が等圧、 $+8\text{Pa}$ 時よりも少ない結果であった。なお、この結果では示されていないが、正圧時 ($+8\text{Pa}$) では扉が閉鎖している状態でも扉の隙間からエアロゾルが漏出していること状態が可視化実験で確認されている。 -8Pa では扉閉鎖時のエアロゾルの漏出はほとんど確認されなかった。

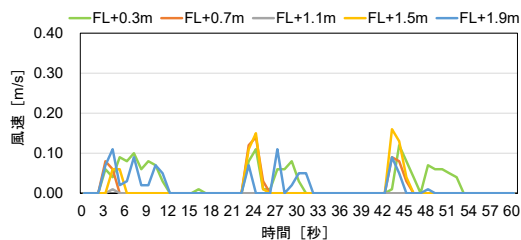


図 8 ④等温負圧

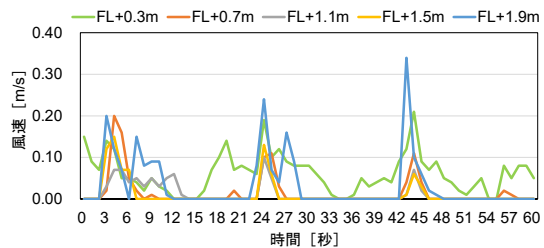


図 9 ⑤等温正圧

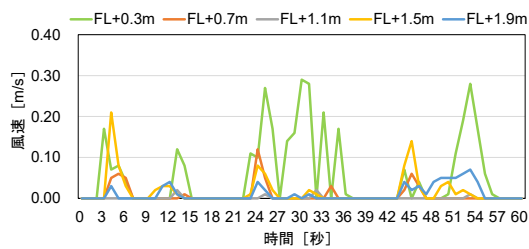


図 10 ⑧ -5°C 負圧 (-8Pa)

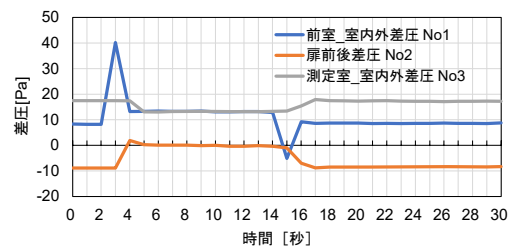


図 11 差圧変化 (④等温負圧のケース)

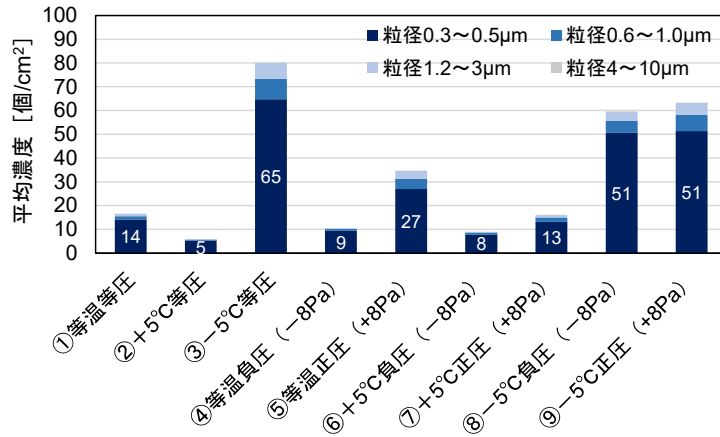


図 12 扉開放時のエアロゾル流出量比較

3.2 戸建て住宅における陰圧室形成に関する実験

人工気候室での扉開閉実験より、室間で温度差があるような実態に近い条件では扉開閉時にエアロゾルの漏出を十分に防止することは難しいと思われた。そこで、前室を確保し、さらに前室からの局所排気を確保することにより流出量を減らせる可能性について検討した。実際の住宅において前室を伴った陰圧室形成を行い、その時のエアロゾル漏出量を測定した。陰圧室は2Fの洋室3とし、廊下にビニルカーテンを設置してトイレ排気ファン等によって陰圧化を行った。図13に扉閉鎖時の前室でのエアロゾル濃度変化(No.52)と清浄ゾーンである廊下(No.53)でのエアロゾル濃度変化を示す。また、図14に人が出入りした場合の結果を示す。結果より、陰圧化を行うことにより扉閉鎖時のエアロゾル漏出は防止され、ビニルカーテンにて前室を設けることにより、人の出入りによるエアロゾル漏出量が低減できていることが分かる。しかし、人が出入りするパターンにおいては微量ではあるがエアロゾルの漏出が見られるため、前室や陰圧室内に空気清浄機を設置するなど、陰圧ゾーンのエアロゾル濃度を低下させる工夫も必要になると思われる。

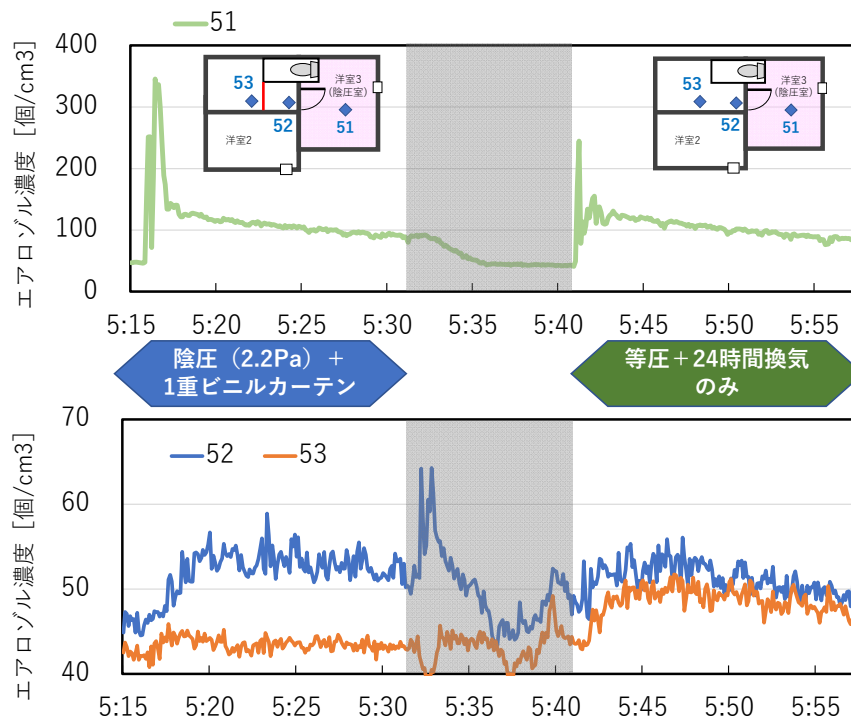


図 13 扉閉鎖時のエアロゾル漏出量

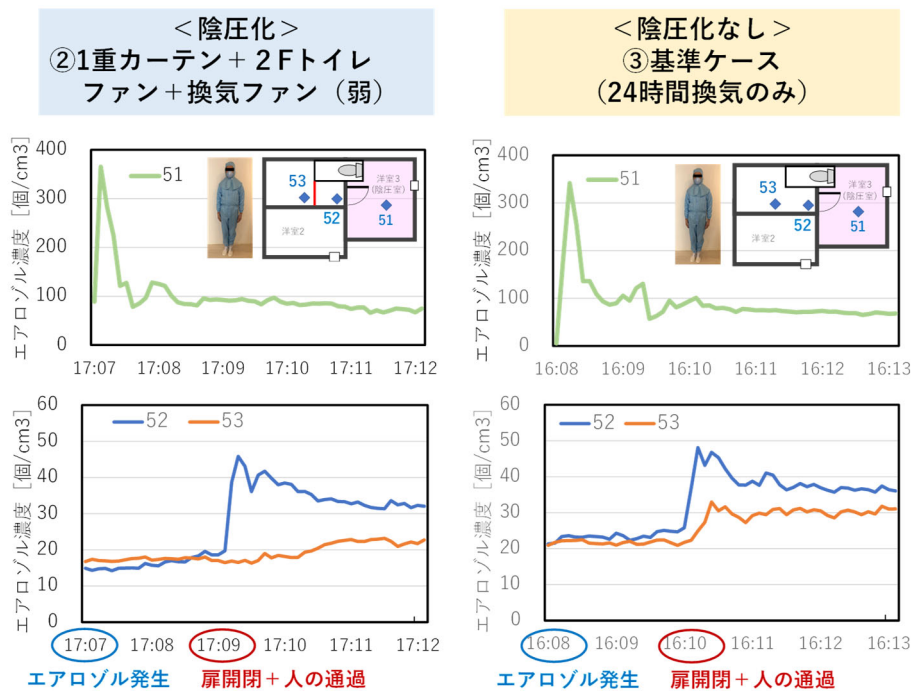


図 14 扉開閉+人が出入りする条件における漏出量

3.3 考察・まとめ

本研究では、住宅内に隔離室を設けることによって家庭内感染を防止することを目的とし、人工気候室において様々な室圧・温度差条件における扉開閉時のエアロゾル漏出量を測定した。また、実際の住宅においてビニルカーテンにて前室を設けた場合のエアロゾル漏出量を測定した。

人工気候室においては、扉からのエアロゾル漏出量を抑えるために室間温度差、圧力差を発生させた状態での実験を行った。実験の結果より、室間温度差がある場合はエアロゾル流出量が大きく、前室を負圧に管理することでは漏出を防止できない結果であった。室間差圧は扉が閉鎖された状態でのエアロゾル漏出を防ぐのには有効であることが確認されたが、扉開放時には差圧が短時間で解消されるため、その間のエアロゾル漏出防止については別の手法を用いる必要がある。

また、住宅における実験結果では、陰圧化を行うことにより扉閉鎖時のエアロゾル漏出は防止されることが確認された。更に、ビニルカーテンにて前室を設けることにより、人の出入りによるエアロゾル漏出量が低減されることも明らかとなった。しかし、人が出入りするパターンにおいては微量ではあるがエアロゾルの漏出が見られ、前室や陰圧室内に空気清浄機を設置するなど、陰圧ゾーンのエアロゾル濃度を低下させる工夫も必要になることが分かった。

4. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者には下線)

研究計画における実験に加え、今後追加実験を行う予定であり、それらの実験結果を取りまとめた上で論文発表等を行う予定。

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 0 件)

[図書] (計 0 件)

5. 研究組織

(1) 研究代表者

林 基哉 (北海道大学 大学院工学研究院 建築都市部門 教授)

(2) 研究分担者

1. 菊田弘輝 (北海道大学 大学院工学研究院 建築都市部門 准教授)

2. 山本佳嗣 (東京工芸大学 工学部工学科建築コース 准教授)

3. 網野太河 (東京工芸大学大学院 建築・風工学専攻 修士2年)

Research Theme

Improvement of ventilation efficiency by optimal planning of natural ventilation pathways using wind catchers and its application to countermeasures against infectious spread

Representative Researcher (Affiliation)

Motoya HAYASHI (Hokkaido University)

Summary · Figures

In this study, we aimed to prevent domestic infections by setting up an isolation room with negative pressure in a house, and measured the amount of aerosol leakage when opening and closing the door under various room pressure and temperature conditions in an artificial climate room. In addition, the amount of aerosol leakage was measured when the front room was set up with a vinyl curtain in an actual house.

In the artificial climate chamber, the experiment was conducted under the condition that the temperature difference and the pressure difference between the rooms were generated in order to suppress the amount of aerosol leakage from the door. Experimental results show that the outflow of aerosols is large when there is a temperature difference between the chambers, and leakage cannot be prevented by maintaining a negative pressure in the antechamber. It was confirmed that the differential pressure between rooms is effective in preventing aerosol leakage when the door is closed. It was considered necessary to use a different method.

Experimental results in a house confirmed that aerosol leakage was prevented when the door was closed by creating a negative pressure. Furthermore, it was also found that the amount of aerosol leakage caused by people coming in and out was reduced by providing a front room with a vinyl curtain. However, in the pattern of people coming in and out, a small amount of aerosol leakage is observed, and it is necessary to take measures to reduce the aerosol concentration in the negative pressure zone, such as installing an air purifier in the antechamber and negative pressure room.

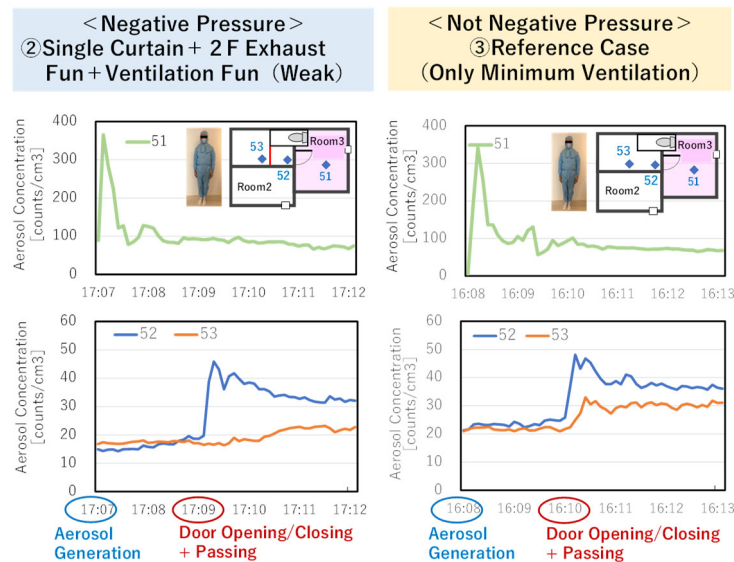


Fig. Amount of aerosol leakage under door open/close conditions