

呼吸器感染症の感染リスク低減対策のための 教育現場向け参考ガイド

2021年10月12日

国立大学法人東京大学

ダイキン工業株式会社

日本ペイントホールディングス株式会社

注意要望事項

1. 本参考ガイドは、国立大学法人東京大学、ダイキン工業株式会社、日本ペイントホールディングス株式会社の三者による産学協創の成果である。学校におけるウイルス等による呼吸器感染対策に苦慮されている学校現場に最新の研究結果に基づく知見を参考資料として提供することを目的としている。本参考ガイドの内容は、実際に使用されている学校教室における実測、データ解析、シミュレーションによる分析に基づいている。これらの学術的成果に基づき、感染リスク低減に対する考え方、実証結果を具体的に提示し、空気感染・エアロゾル感染リスク対策、接触感染リスク対策の工学的手法に基づく具体的な選択肢をまとめて参考ガイドとして提供する。本参考ガイドは、国立大学法人東京大学およびダイキン工業株式会社が「教育現場における換気による空気感染・エアロゾル感染リスク低減対策の参考ガイド」を、国立大学法人東京大学および日本ペイントホールディングス株式会社が「教育現場における抗ウイルス・抗菌コーティングによる接触感染リスク低減対策の参考ガイド」を策定し、かつ、これを発行している。
2. 呼吸器のウイルス感染は、空気・エアロゾル感染、接触感染以外に、飛沫感染のリスクも残っている。また、本参考ガイドで示す対策も、完全な空気感染防止、接触感染防止につながるものではなく、あくまで、感染ルートの一部である空気感染・エアロゾル感染と接触感染の一部のルートの感染リスク低減を図るものでしかない。残念ながら完全なウイルス感染防止対策は、現時点では存在しない。国立大学法人東京大学、ダイキン工業株式会社、日本ペイントホールディングス株式会社は、現時点で得られうる最新の知見を用いて「教育現場における換気による空気感染・エアロゾル感染リスク低減対策の参考ガイド」および「教育現場における抗ウイルス・抗菌コーティングによる接触感染リスク低減対策の参考ガイド」を提供するが、必要十分でも、また、完全なものでもない。今後のさらなる研究によって得られた知見により、更新される可能性もある。これらに基づいて為された対策の効果については、保証の限りではなく、また、責任を持つものではない。
3. 本参考ガイドの、複製、頒布は、これを発行する三者の許諾を求めることなく、本参考ガイドの利用者の責任において、自由である。しかし、本参考ガイドの趣旨を誤解させるような部分的な引用、または改編は許さない。本参考ガイドを引用する場合は、本参考ガイド名の他、発行者の名称および、発行年月日の記載を求める。
4. 本参考ガイドは、西暦 2021 年 10 月 12 日、日本国、東京で発行される。

まえがき

国立大学法人東京大学（総長：藤井 輝夫、以下「東京大学」）とダイキン工業株式会社（本社：大阪府大阪市、代表取締役社長兼 CEO：十河政則、以下「ダイキン工業」）、日本ペイントホールディングス株式会社（本社：東京都中央区 代表執行役共同社長：若月 雄一郎、ウィー・シューキム、以下「日本ペイント」）は共同で、厚生労働省をはじめ政府・行政機関などから発出された新型コロナウイルス感染症（COVID-19）などの呼吸器感染症の感染リスク低減対策に対応する室内環境の整備方法に関して、学校などの教育施設の管理責任者向けの参考資料として、工学的実証に基づく具体的な対策案をまとめた参考ガイドを策定しました。

東京大学は、世界の公共性に奉仕する本学の使命を踏まえ、地球と人類社会の未来への貢献に向けた協創を効果的に推進するために、全学的組織として未来社会協創推進本部（FSI）を設置し、様々な活動を展開しています。産学協創とは、FSI のガバナンスのもとで、東京大学とパートナー企業双方の経営層による合意形成の上で、組織対組織で連携して未来社会ビジョンを共有し、その実現に向けて共に活動し、学術の一層の発展とその社会還元を推進する活動です。ダイキン工業とは 2018 年 12 月から「空気の価値化」に関する産学協創を進め、日本ペイントとは 2020 年 5 月から「革新的コーティング技術の創生」に関する産学協創を進めています。

今回、東京大学とダイキン工業との産学協創において進めてきた空気感染・エアロゾル感染対策*1 に関する研究成果と、東京大学と日本ペイントとの産学協創において進めてきた接触感染対策に関する研究成果を束ねることにより、三者共同で、将来を担う児童生徒や学生が日々を過ごす学校などの教育施設への早期導入を見据えた具体的な対策案をまとめた参考ガイドを策定いたしました。この成果は、感染対策という同一の目的を持つ二つの産学協創から発展して生まれた、三者共同の産学協創による初めての成果となります。

昨年来の我が国の新型コロナウイルス感染症の流行により、社会は大きな行動変容を迫られました。厚生労働省をはじめとして政府・行政機関は感染防止の基本的な対策として「マスクの着用」「手洗い」「3密（密接・密集・密閉）回避」の徹底を呼びかけるとともに、窓開け換気や機械換気による必要換気量の確保による空気感染・エアロゾル感染対策、マスクの着用や十分な対人距離の確保、衝立の使用などによる飛沫感染対策、手指消毒や不特定多数が高頻度で接触する部位であるドアノブや什器などの消毒・除菌による接触感染対策などを推奨しています。本参考ガイドは、これらの中で室内環境の整備に関わる対策に関し

て、策定しています。

オフィスや商業施設を中心に感染対策が進む中、学校などの教育施設においても感染対策の推進が課題となっています。しかしながら、学校などの教育施設では多くの児童生徒や学生がひとつの教室に長時間滞在するのが一般的で、十分な対人距離を保つことは困難です。また、教室を換気する際には窓を開けたり換気扇をつけたりして対応する 경우가多く、特に夏期・冬期など、室内外の環境や湿度の差が大きい期間には、暑く湿った空気や冷たく乾いた空気の流入が増加することで、室内環境の快適性が損なわれ、学習効果の低下や在室者の体調不良につながることも懸念されます。さらに、通常清掃をより丁寧に行う以上の対策として、児童生徒や学生が高頻度で接触する机や椅子、手すりや扉の取手などの定期的な消毒にも、膨大な時間と労力がかかり、実施が困難です。本参考ガイドは、産学協創の活動の一環として行われ、学校現場におけるフィールド実験やシミュレーション等の学術的検討を通して得られた成果に基づき、具体的な対策案をまとめたものです。

本参考ガイドは2部構成となっています。第1部は、空気感染・エアロゾル感染対策としての「教育現場における換気による空気感染・エアロゾル感染リスク低減対策の参考ガイド」であり、第2部は、接触感染対策としての「教育現場における抗ウイルス・抗菌コーティングによる接触感染リスク低減対策の参考ガイド」です。第1部は、この換気に関して実践的な対策方法を記載しています。第2部は、人が高頻度で接触し、感染性の病原が広範囲に拡散する可能性を秘めるドアノブや扉表面や、感染性飛沫が長時間、残存する可能性のある壁や床等の抗ウイルス・抗菌コーティングに関して、実践的な対策方法を記載しています。既存の教育施設でも比較的早期に導入可能な対策案を具体的に提示しており、空気感染・エアロゾル感染対策と接触感染リスク低減に対して、個別にも同時に参考にしていただける構成となっています。この参考ガイドが広く実施されれば、より安全・安心かつ快適な教育環境の構築に資するものと考えています。

2021年10月12日

東京大学 副学長 産学協創推進本部 副本部長 吉村 忍

参考ガイド 検討 執筆メンバー

統括

吉村 忍 東京大学 副学長、産学協創推進本部 副本部長、教授

加藤 信介 東京大学 産学協創推進本部 特命教授、東京大学名誉教授

第1部

大宮司 啓文 東京大学 大学院工学系研究科 機械工学専攻 教授

菊本 英紀 東京大学 生産技術研究所 人間・社会系部門 准教授

香川 謙吉 ダイキン工業株式会社 テクノロジー・イノベーションセンター 専任役員

黒井 聖史 ダイキン工業株式会社 テクノロジー・イノベーションセンター 主任技師

田中 利夫 ダイキン工業株式会社 テクノロジー・イノベーションセンター 技師

第2部

脇原 徹 東京大学 大学院工学系研究科 総合研究機構 教授

津本 浩平 東京大学 大学院工学系研究科 バイオエンジニアリング専攻 教授

栞田 一明 日本ペイント株式会社 理事 商品開発部長

佐藤 弘一 日本ペイント株式会社 商品開発部マネージャー

宮前 治広 日本ペイント株式会社 商品開発部グループリーダー

参考ガイドレビュー メンバー（本産学協創関係者外）

赤司 泰義 東京大学 大学院工学系研究科 建築学専攻 教授

大島 義人 東京大学 大学院新領域創成科学研究科 環境システム学専攻 教授

小玉 重夫 東京大学 大学院教育学研究科 研究科長、教授

野口 貴文 東京大学 大学院工学系研究科 建築学専攻 教授

柳元 伸太郎 東京大学 保健・健康推進本部 教授(医師)

金光 謙一郎 東京大学 施設部施設部長

教育現場における換気による空気感染・エアロゾル感染リスク低減対策の参考ガイド

目次

- 1 本ガイドラインの位置づけ
 - 1.1 適用範囲
 - 1.2 策定の目的・背景
- 2 アフターコロナ時代に向けて留意すべき知見
 - 2.1 浮遊ウイルスの特徴
 - 2.2 COVID-19 対策に関する行政の指針
 - 2.3 学校環境に関する現行の基準とその課題
- 3 学校現場の実態調査に見る課題
 - 3.1 調査建物と調査方法
 - 3.2 換気状態の測定結果
 - 3.3 空間シミュレーションによる妥当性検証
- 4 対策方針
 - 4.1 目標値
 - 4.2 熱交換型換気機器の使用
 - 4.2.1 効能の考え方
 - 4.2.2 使用上の注意事項
 - 4.2.3 長期運用上の課題
 - 4.3 空気清浄機の使用
 - 4.3.1 効能の考え方
 - 4.3.2 使用上の注意事項
 - 4.3.3 長期運用上の課題

参考文献

- 付録 A 教室の換気量に関する実態調査
付録 B 空気清浄機運転時の教室空間でのシミュレーションによる浮遊粉塵挙動の把握
付録 C 空気清浄機 使用台数計算用ワークシート

1 本ガイドラインの位置づけ

1.1 適用範囲

複数の児童生徒等が集合型で教育を受ける屋内施設に適用する。

1.2 策定の背景・目的

従来から学校環境衛生基準があり、室内の二酸化炭素(CO₂)の濃度が 1,500 ppm 以下となるような換気(自然換気、機械換気)が推奨されてきた。これは換気回数(単位時間当たりの換気量をその部屋の容積で除した値)が、1時間当たり 2.1~4.6 回相当(幼小中高で異なる)の換気に対応できる。

しかしながら 2020 年の COVID-19(新型コロナウイルス感染症)対策では、1人あたり 30 m³/h の換気量が推奨され、教師も含め 40 人の教室であれば 1,200 m³/h の換気量が必要となる。標準的な教室の大きさは 7 m×9 m もしくは 8 m×8 m 程度とされており、天井高さは 3 m 程度確保されることが一般的と考えられている。これらを考慮して教室の空間容積を 180 m³ とすると、換気回数を 4 回/h としても 720 m³/h しかなく、授業合間の休憩時などに開閉可能な窓を全開として授業開始時の室内空気を外気と同程度とし、その後窓を適宜、閉鎖して、授業終了時まで室内の空気清浄度(CO₂濃度が目安)が基準を満たすようにすることになる。

しかしながら夏期・冬期など室内外の気温の差が大きい期間にこのような換気を行えば、外気からの温熱・冷熱の導入が大きくなるため、室内環境の温熱快適性が著しく損なわれる。これにより教育効果を低下させるだけでなく、在室者の健康状態を悪化させることにもなりかねない。

平成 16 年に文部科学省がまとめた「学校施設の換気設備に関する調査研究報告書」¹⁾では、“夏季及び冬季に直接外気を入れる方式は温熱快適性の観点からあまり好ましいとは言えない”として、全熱交換器などが対応策として事例紹介されている。校舎を新たに建設するならそれも対応可能だが、既存建築物にも適用できる(後付けできる)機器は少ない。

COVID-19 対策に換気が推奨される主な理由は、空気中に浮遊するウイルスを速やかに除去するためだが、換気に限らず空気清浄装置等を用いれば、換気量の増加によらずとも機能的には同じことを実現できる。しかし不適切な運用を行えば、その期待される効果を発揮できず、気付かないうちに室内の状態は悪化することになる。

そこで本ガイドラインでは、教育現場での快適な温熱環境と適正な感染症対策の両立のために、好適な換気・空気清浄機器ならびにその維持管理についての指針をまとめた。あくまでも想定は、クラスターの発生リスクを抑えることであって、人手による清掃や消毒作業とともに、空気環境において講じることのできる現実的な改善策を提示することが目的である。

なお、本ガイドラインの内容については、今後の更なる研究によって得られた知見

により変更される可能性もあり、本ガイドラインに基づいて為された対策の効果の程度については保証の限りではなく責任を持たないことをご理解いただきたい。

2 アフターコロナ時代に向けて留意すべき知見

2.1 浮遊ウイルスの特徴

日本の学校現場では、集団教育の場における感染症拡大防止の見地から、食中毒や気道感染症（呼吸器感染症）の拡大防止に注意が払われてきた。気道感染症としては長らく結核菌やインフルエンザウイルスへの感染が懸念されてきたが、2020年以降、新型コロナウイルス（SARS-CoV-2）への配慮も必要になった。結核菌の主な感染経路は、空気感染である一方で、インフルエンザウイルスや新型コロナウイルスは、飛沫感染および接触感染によるものとされたが、新型コロナウイルスについての研究が進むにつれて、空気感染や、「エアロゾル感染」と呼ばれる新たな感染経路が注目されるようになった。エアロゾル感染は飛沫感染と空気感染の中間的なものとして、学術的な定義はまだ議論の段階であるが、空気感染、エアロゾル感染はいずれも、空气中に浮遊する感染原因物質の呼吸を介した摂取により生じるものである。

ウイルスは感染者の咳やくしゃみ、あるいは発話の際に生じる飛沫に混じって空間へ排出される。飛沫径の大きなものは重さによってすぐに落下するが、小さな飛沫は空气中に一定時間浮遊し、これが他者の呼吸器に取り込まれることで感染が広がる。空气中に浮遊する微粒子としてのウイルスが人から人へ伝播するリスクを抑えるには、室内で発生する浮遊微粒子を速やかに除去する方策が効果的ということになる。

そこで、本ガイドラインでは、学校現場の現状も踏まえて、新型コロナウイルスへの感染リスク低減のための効果的かつ現実的な対策について提案するものである。

2.2 COVID-19 対策に関する行政の指針

新型コロナウイルス感染対策専門会議の「新型コロナウイルス感染対策の見解」（令和2年3月9日及び3月19日公表）²⁾によると、集団感染が確認された場所で共通するのは、①換気の悪い密閉空間、②多くの人が密集していた、③近距離での会話という3つの条件が同時に重なった場合であるとしている。

このうち、「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気方法について、厚生労働省が発行した参考資料「冬場における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気について」（令和2年11月27日発行）³⁾によると、一人あたり毎時30m³が、「換気の悪い密閉空間」を改善するための必要換気量であるとしている。併せて、「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気と、室温を適切に維持することの両立は重要であり、高齢者、子供等、低室温に脆弱なものにとって特に重要としている。この中で推奨されている室内の温熱環境は、室温18℃以上、相対湿度40%以上である。

一方、厚生労働省による参考資料³⁾では、“HEPA フィルタ方式の空気清浄機に、空

気中のウイルスを低減させる効果があることは明らか”として、単純な換気以外にも方策を提示している。すなわち、HEPA フィルタ付きの空気清浄機を用いることで、温度及び相対湿度の基準を維持しつつ、空気中のウイルスを低減させることが実現できる。また、空気中のウイルスを低減できる空気清浄機の条件も記載されている。これによると、“①HEPA フィルタ付きであり、かつ、風量が 5 m³/min 程度以上である空気清浄機を使用すること、②人の居場所から 10 m²程度の範囲に空気清浄機を設置すること、③空気のおよびみを生じさせないように、外気取り入れの風向きと空気清浄機の風向きを一致させることに留意すべき”としており、空気清浄機が期待された効果を発揮するには、適切な機器選定と運用が不可欠であることを注意喚起している。

2.3 学校環境に関する現行の基準とその課題

文部科学省の学校環境衛生管理マニュアル～「学校環境衛生基準」の理論と実践～（平成 30 年度改訂版）⁴⁾によると、児童生徒等の健康を保持増進し、学習能率の向上を図るためには、健康的で快適な学習環境を作り上げることが必要であり、そのためには「学校環境衛生基準」を準用して、適切な環境衛生の維持管理に努める学校環境衛生活動が重要であるとしている。その中では、浮遊粉塵や有害ガスの除去を目的とした換気の励行が明記されており、これがインフルエンザ等の感染症拡大の予防対策にもなるとしている。

また、二酸化炭素濃度 1,500 ppm 以下が維持されているとしても、教師 1 人及び幼稚園児 35 人又は児童・生徒 40 人在籍、容積 180 m³の教室において、人体から発生する二酸化炭素呼出量（幼稚園児・小学生・中学生・高校生・大人で異なる）に基づき計算すると、表－1 に示される通り、その換気回数は 2.1～4.6 回/h に相当する⁴⁾。

「換気の悪い密閉空間」を改善するために一人当たり毎時 30 m³の必要換気量を確保するには、40 人の教室であれば毎時 1,200 m³の換気量が必要となる。容積 180 m³の教室において、換気量が最も必要となる高校生・大人の呼気量で設計された 4.6 回/h の換気回数の教室でも毎時 828 m³の換気量であり、「換気の悪い密閉空間」を改善するための毎時 1,200 m³の換気量には届かないことから、さらなる窓開け等で換気量を追

表－1 教師 1 人及び幼稚園児 35 人又は児童・生徒等 40 人在室、容積 180 m³の教室において、1 時間後に二酸化炭素濃度を 1,500 ppm 以下に保持するために必要な換気回数⁴⁾

	換気回数
幼稚園	2.1 回/h
小学校（低学年）	2.4 回/h
小学校（高学年）・中学校	3.4 回/h
高等学校等	4.6 回/h

加する必要がある。

その際には厚生労働省による参考資料³⁾にもある通り、「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気と、室温を適切に維持することに留意すべきである。しかしながら夏季・冬季など室内外の温度差が大きい期間において換気量を増やすことは、外気からの温熱・冷熱の導入が大きくなることから、室内環境の温熱快適性が著しく損なわれる可能性がある。これにより、「学校環境衛生基準」が目指す児童生徒等の健康の保持増進や学習能率の向上に反して、児童生徒等の健康状態そのものの低下や学習能率の低下を引き起こしかねない。

先述のように、文部科学省による調査研究報告書¹⁾では、“夏季及び冬季の冷暖房設備の運転時に、直接外気を室内に導入する方式は、室内の温熱的な快適性を確保する観点からあまり好ましい方式とはいえません”としている。また、“外気の取り入れ方式の選定にあたっては、省エネルギーや温熱快適性等を考慮して選定することが望ましい”としており、外気の熱処理を行った上で給気する方式として全熱交換型等の事例が紹介されている。また、それ以外にも、外気の熱負荷を軽減したうえで室内へ給気する方式の換気機能付き空調機などがある。しかし、それらの多くは建物の隠蔽部に送風ダクトの敷設を伴うものが多く、既築建物に「換気の悪い密閉空間」を改善するための追加措置として適用可能な（後付けできる）機器は少ない。よって、新築建物では対応可能ではあるが、既築建物、つまり、我々が直面している既存の学校への対策が困難であることが課題である。

3 学校現場の実態調査にみる課題

3.1 調査建物と調査方法

東京都心部にある中高一貫教育校の教室2室（教室 A、C）を使って、換気状況等に関する実態調査を行った。2室は同じ階にある部屋で、間に別の1室を挟んでいる。両室とも、縦9 m×横7 m×高さ3 m（容積189 m³）で席数は約40、機械換気として全熱交換式換気装置（以下、全熱交換器という）が装備され、給排気口のレイアウトは同じである。調査実施時の屋外風はほぼ静穏、建物内と屋外の気温差は数度以内であった。なお、実態調査は室内でのおおよその換気性状、粒子濃度の減衰を調べることに目的を置いたため、換気性状や粒子濃度の空間的な偏りを調べることは目的とせず、測定を行った地点が、なるべく室内全体の様相を代表することを意図して行っている。

この教室において、自然換気（窓や扉を閉めた状態での漏気）、窓開け換気、機械換気の特徴に加えて、空気清浄機を設置したときの浮遊粉塵の除去特性を実測した。換気特性は室内にドライアイスを持ち込み、CO₂を充満させた後の減衰特性から、また浮遊粉塵の除去特性は、教室内で塩化カリウム（KCl）粒子を発生・充満させた後の減衰特性から、それぞれ計算によって相当換気回数を求めた。ここで KCl 粒子を用いた理由は、ウイルスが飛沫に包まれて浮遊する動態を模擬するのに KCl 粒子が好適なためである。すなわち、SARS-CoV-2 の大きさは0.1 μm 前後とされるが、空気中においては様々な大きさの飛沫に包まれ、それよりも大きな粒子として浮遊している。KCl 粒子を発生させる場合、0.1 μm 以上の大きさにも広く分布した粒子を浮遊させることができるため、その挙動を観測することで、ウイルスを含む飛沫の挙動を推定できる。

図-1は教室 A と C の内部の状態、図-2は測定時の機器の設置状況を示している。CO₂や KCl 粒子の発生中は窓を閉め、機器を停止した。また、窓開け換気時は窓の一カ所のみを10 cm 開けた状態、空気清浄機の運転風量は7 m³/min とした。

3.2 換気状態の測定結果

(1) 換気回数

教室 A、C の CO₂ 濃度の減衰をそれぞれ図-3、4 に示す。またこのデータに基づいて計算された各室の換気回数を表-2 に示す。機械換気 OFF は、実質的には自然換気の数値を表し、機械換気 ON の数値は自然換気と機械換気の合算を示している。よって、機械換気のみ換気回数は、教室 A で0.15 回/h、教室 C で2.58 回/h である。

教室 A と C は同じ機種的全熱交換器が装備されていたが、運転中の換気回数は両室で大きく異なる結果となった。換気回数の小さい教室 A では初期の施工不良の可能性や、長期の使用に伴って空気通路上で粉塵等による閉塞が発生して実際の換気量が低下している可能性等が考えられた。この報告を受け、後日、原因を調査したところ本来2台の全熱交換器を1台のリモコンで制御しているため機器本体の設定を1台は『主』、もう1台を『従』にする必要があるが、教室 A は2台とも『主』設定になっていて動作してい

ないことを確認し、その場で設定を修正した。現在は、すべての教室の全熱交換器において換気量は正常化されている。

(2) 室内浮遊粉塵濃度の低減効果

教室 A と C において、KCl 粒子の濃度減衰データを計 3 回取得した。そのうち 1 回分の濃度推移をそれぞれ、図-5, 6 に示す。粒子径別に個数濃度を計数し、減衰によって濃度が低下した際には追加散布して、減衰特性が明確に得られるよう工夫した。このデータを元に、計算で求めた粒子径毎の相当換気回数をそれぞれ、表-3, 4 に示す。数値は 3 回分の平均値で、すべての数値には自然換気分が含まれている。



図-1 教室 A (左) と教室 C (右)

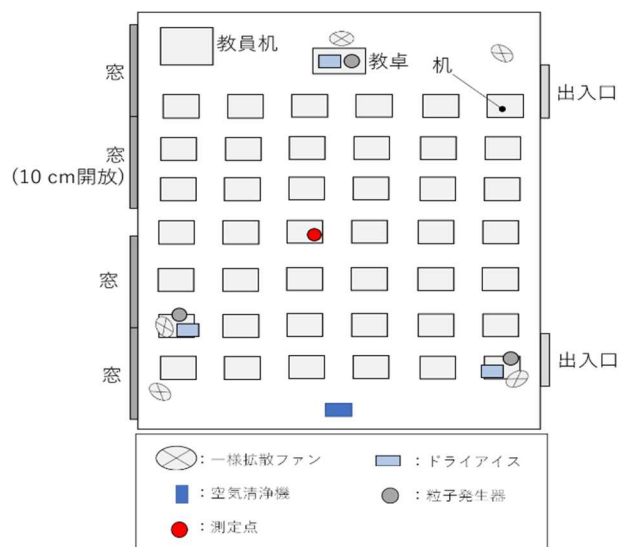


図-2 測定用器材の配置

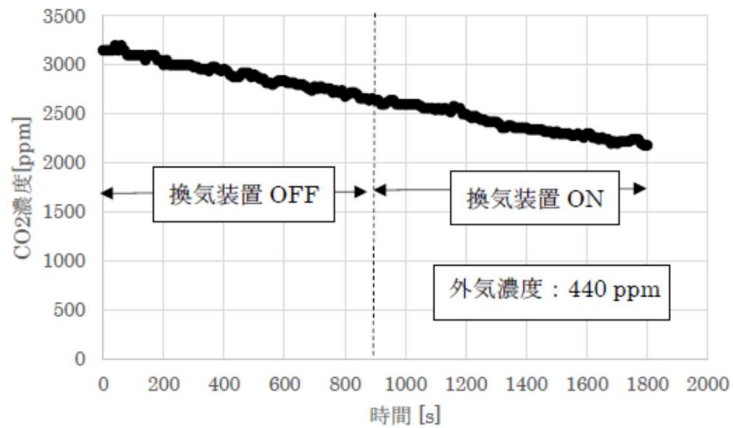


図-3 教室 A の CO₂ 濃度減衰

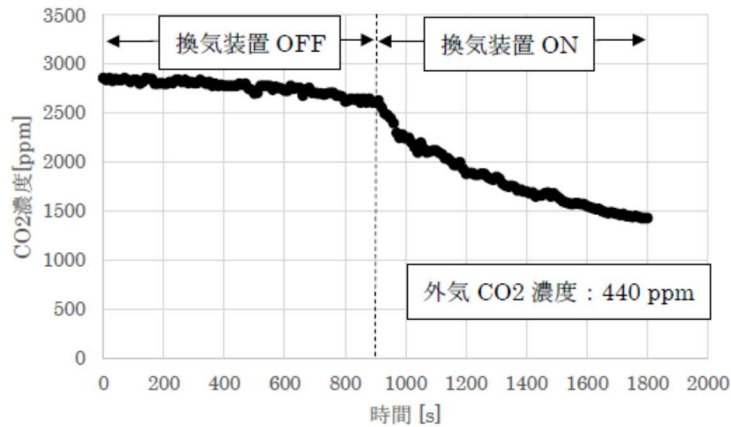


図-4 教室 C の CO₂ 濃度減衰

表-2 教室 A, C の換気回数

	機械換気 OFF	機械換気 ON
教室 A	0.83	0.98
教室 C	0.38	2.96

単位：回/h

SARS-CoV-2 のウイルス径は 0.1 μm 前後とされているので、例えば飛沫に包まれた状態で浮遊する粒子径を 0.1~0.3 μm と仮定すると、この粒径範囲の数値を用いて相当換気回数を求めることができる。表-3, 4 を用いて教室 A, C の換気状況は下記のように推定された。

【教室 A】

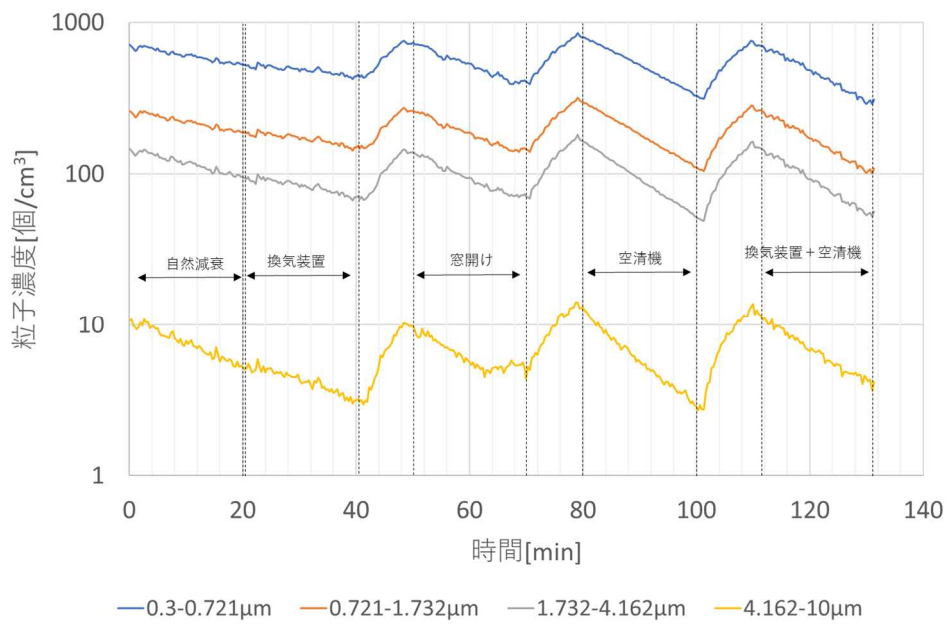
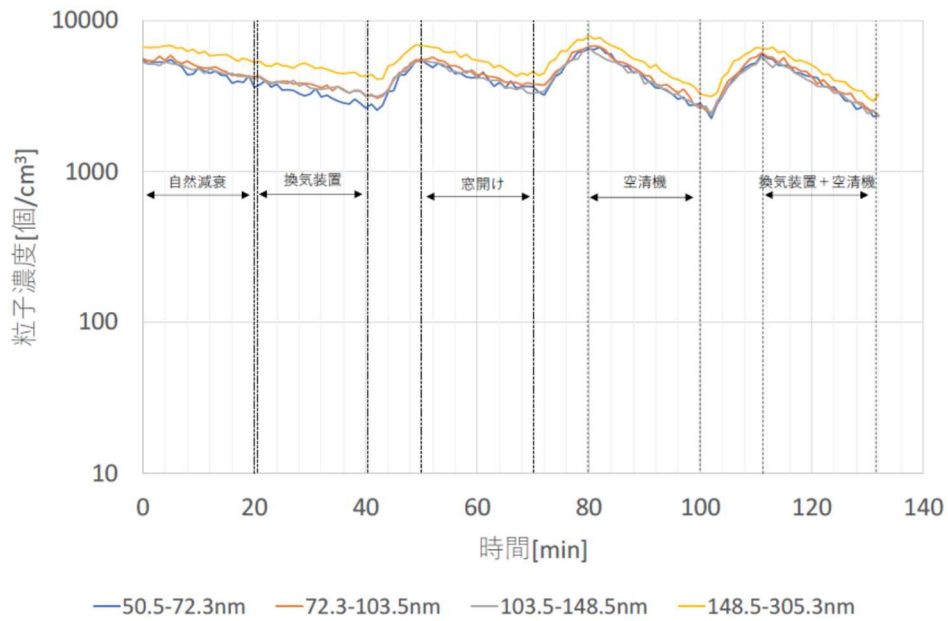
- ・自然換気回数：0.78 回/h (0.81 と 0.74 の平均値)
- ・機械換気回数：0.07 回/h (0.87 と 0.81 の平均値－自然換気)
- ・空気清浄機の相当換気回数：2.02 回/h (2.86 と 2.72 の平均値－自然換気)

【教室 C】

- ・自然換気回数：0.49 回/h (0.49 と 0.48 の平均値)
- ・機械換気回数：3.58 回/h (3.94 と 4.19 の平均値－自然換気)
- ・空気清浄機の相当換気回数：1.95 回/h (2.40 と 2.47 の平均値－自然換気)

なお、表-4 に示される通り、教室 C において大きな粒径をもつ粒子の挙動から求めた換気回数・相当換気回数が、機械換気運転時に 10 回/h を超える結果となったが、実際にそれに相当する換気がなされたとは考えにくい。ここでは、図-5, 6 に示されるような KCl 粒子の濃度減衰データから粒子径別に換気回数・相当換気回数を求めたが、特に大きな粒径をもつ粒子、機械換気運転時については、より詳細に実験方法を検討する必要がある。

なお、実態調査の詳細データを付録 A として添付した。付録 A では、教室 A, C だけでなく、参考として、同校の音楽室において同様の計測と分析を行った結果を、特別教室の事例として掲載した。



図一 5 教室 A の換気条件と粒子径別の KCl 粒子濃度

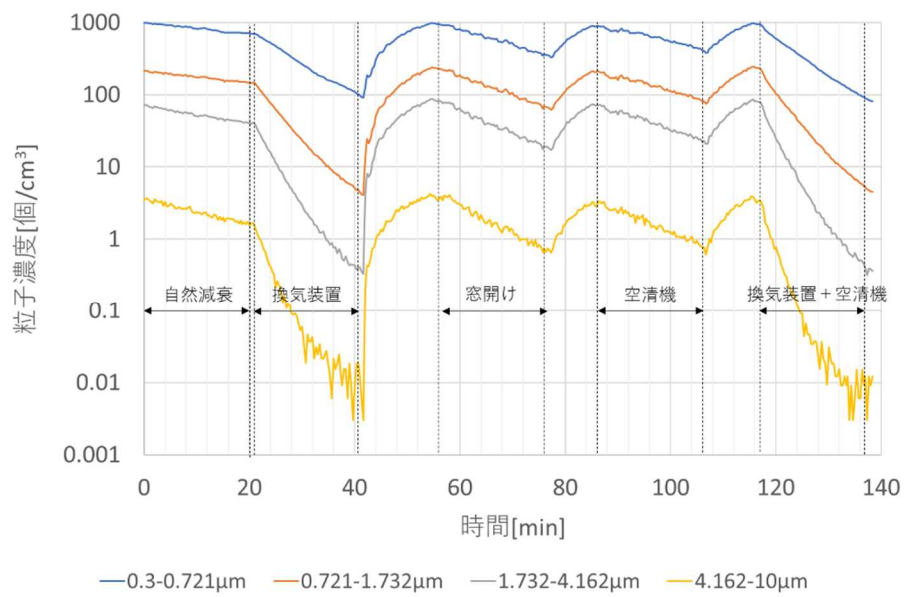
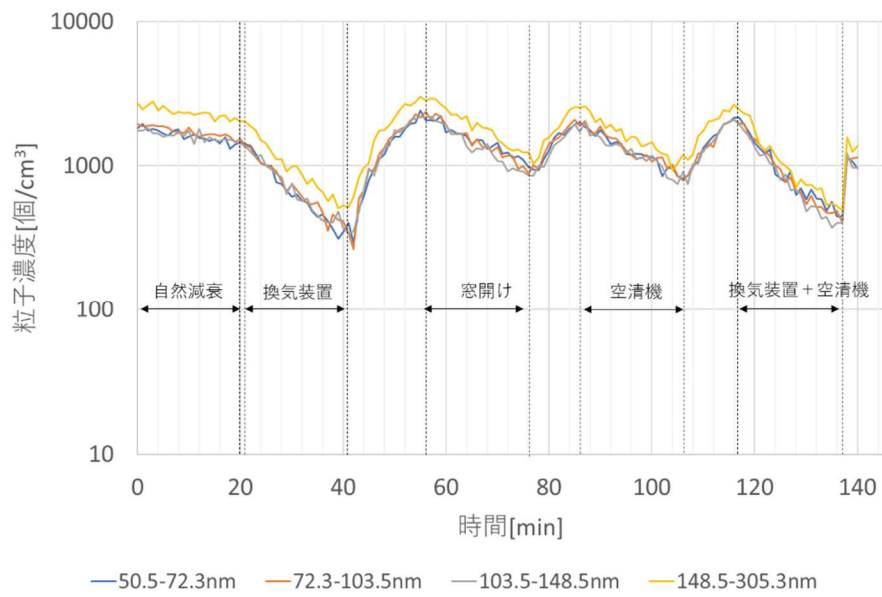


図-6 教室 C の換気条件と粒子径別の KCl 粒子濃度

表－3 粒子径別の換気回数と相当換気回数（教室 A）

粒径[μm]	自然換気	機械換気	窓開け	空清機	機械換気+空清機
0.05-0.07	1.13	1.27	2.53	3.37	3.41
0.07-0.10	0.83	0.91	2.01	3.01	2.96
0.10-0.15	0.81	0.87	1.99	2.86	2.86
0.15-0.30	0.74	0.81	2.02	2.72	2.82
0.30-0.72	1.78	1.39	2.65	2.94	2.89
0.72-1.73	1.38	1.18	2.44	3.06	3.11
1.73-4.16	1.30	1.24	2.72	3.54	3.48
4.16-10	2.06	2.03	3.13	4.49	4.15

単位：回/h

表－4 粒子径別の換気回数と相当換気回数（教室 C）

粒径[μm]	自然換気	機械換気	窓開け	空清機	機械換気+空清機
0.05-0.07	0.71	3.85	1.69	2.69	4.90
0.07-0.10	0.56	3.92	1.95	2.55	5.26
0.10-0.15	0.49	3.94	2.10	2.40	5.39
0.15-0.30	0.48	4.19	2.00	2.47	5.41
0.30-0.72	1.04	7.54	2.38	2.44	8.82
0.72-1.73	0.98	11.4	2.74	2.79	12.8
1.73-4.16	1.54	15.3	3.48	3.47	16.7
4.16-10	2.26	20.8	4.27	4.34	18.9

単位：回/h

3.3 空間シミュレーションによる妥当性検証

空間シミュレーションでは、室内の気流の解析により、室内気流がエアロゾルを運ぶ過程の分析や、室内における換気の偏りやエアロゾル濃度の偏りなどが分析できる。

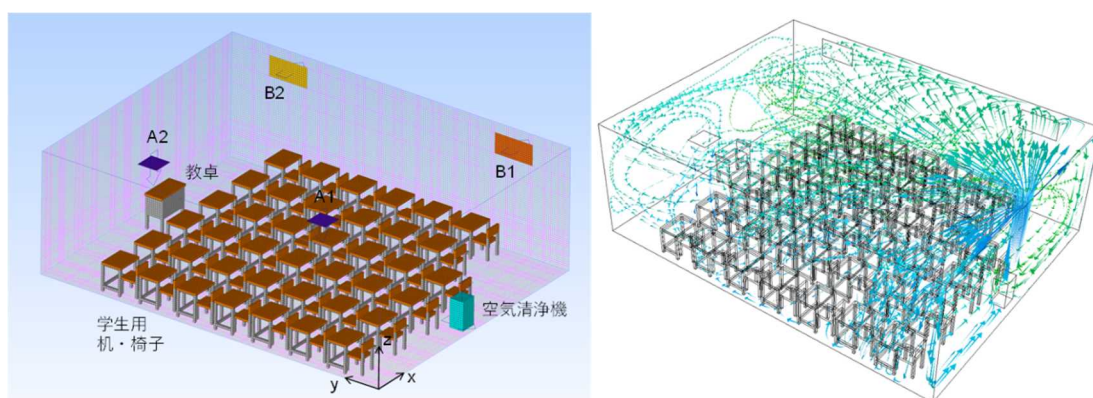
厚生労働省による参考資料³⁾は空気清浄機の用法について、“人の居場所から 10 m² (6 畳)程度の範囲内に設置する”こととしているが、設置スペースの限られる教室でそれを実現することは難しい。そこで、40 人学級をモデルとして、教室の後方 1 カ所に空気清浄機を設置したときの教室内の気流および粉塵濃度のシミュレーションから、清浄空気供給量、すなわち、追加的に得られる相当換気量を求めた (図-7)。ただし、このシミュレーションでは、空気中を長時間浮遊する粒子を対象とするため、粒子の重力による落下や壁、什器などへの付着の効果は考慮していない。

教室の室容積を 189 m³ とし、機械換気による換気回数を 1 回/h (換気量 189 m³/h) と

した。また、実態調査時と同じように、教卓1個、生徒用の机と椅子40組を設置し、人は不在とした。教室の後部中央に設置する空気清浄機の一過性除去率は94.9% ($\eta = 0.949$)、運転風量は7.2 m³/min (432 m³/h) とした。

まず、この空気清浄機を運転することによって、単純に風量と一過性効率から求まる $\eta \times Q = 0.949 \times 432 = 410$ [m³/h] に対応する相当換気量の増加が期待できる。これに対して、シミュレーション結果では、部屋全体での相当換気量が585 m³/h となった。従って、空気清浄機の運転によって、396 (= 585 - 189) m³/h の追加的な相当換気量が得られた。これは $0.92 \times Q$ に相当し、単純計算から期待される効果とほとんど変わらない実効性が得られたということになる。つまり、教室全体に空気のスムーズな循環が起きて粉塵濃度が均一に近くなり、什器が存在しても、空気清浄機の持つ浄化能力を十分に発揮できることを意味する。

前節の実態調査では、教室A、Cにおける空気清浄機の相当換気回数は2.02回/h、1.95回/hであった。部屋の容積を勘案すると、それぞれ382 m³/h、369 m³/hに相当する。これと比較すると、シミュレーションから得られた相当換気量396 m³/hはほぼ対応している。シミュレーション手法については付録Bにて詳述するが、空気清浄機の設置位置や風量、さらには人からの発熱などを計算に加味していくことによって、教室での機器の効果がある程度可視化・数値化できると考えられる。



図一七 教室の空気流れシミュレーション (解析領域と流線ベクトル)

4 対策方針

4.1 目標値

2.2 節ならびに 2.22.2 節に記載した通り、換気量を $30 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{人}$ とすることが、現時点での一つの目標値とみなすことができる。よって、これを実現目標とすべきであろう。 $30 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{人}$ の必要換気量は、集団感染のリスクを低減するための一つの到達目標として設定された数値であり、最悪の状況を想定した場合でも達成すべき数値であるべきであろう。人は1時間あたり約 0.6 m^3 の呼気量を有する。つまり、 $30 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{人}$ の必要換気量の意味は、感染者の呼気を50倍に薄めることができれば、集団感染のリスクを低減できるといえる。ただし、本ガイドラインは、教室内に複数の感染した児童・生徒を想定したのではなく、あくまで集団感染を防ぐためのものである。その場合、教室内の感染者が最少人数（0または1名）であると想定すると、厚生労働省が推奨する $30 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{人}$ の換気量、つまり40人の教室で毎時 $1200 \text{ m}^3/\text{h}$ の換気量では、一人の感染者の呼気を2000倍に薄めることが可能であり、上記の例に対して一人当たり40倍の安全率を有するとも考えられる。

換気方法には、局所換気と全般換気の違いがある。前者は感染源が既知である場合に拡散を抑える方策として極めて有効である。しかし、教室のように感染源の特定が困難な環境で感染リスクを最小限に抑えるためには、空気全体を一様に混合・希釈することが合理的な方策である。また、給気口から排気口へと向かう空気の流れを考慮して効率よく空気を循環させる空間設計は可能であるものの、気流と感染者との位置関係によっては、リスクを下げる場合もあれば、逆にリスクを高める場合もある。以上のことから、本ガイドラインでは全般換気を前提として、上述の目標値を設定する。

空間全体の換気には大別すると2種類あり、機械換気（ファンなどの機械的動力を使って空気を動かす換気）と自然換気（動力を使わず、温度差や気圧の差による躯体や窓、ドアの隙間などからの自然な空気流通による換気）である。これらの換気量を合算して、 $30 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{人}$ 以上を実現する必要があるが、このうち自然換気は建物の構造や気象条件等によって常に変化する量であるから、確実に担保される自然換気量を特定することは、通常では非常に難しい。実際の換気状態を知る上で自然換気の寄与は重要であるが、後述の必要換気に対する換気設備設計の際には、根拠が明確な場合を除いては自然換気量をゼロとした。

さらに本ガイドラインにおいては、上述したような課題認識と厚生労働省による参考資料³⁾に基づいて、機械換気と自然換気だけでなく、空気清浄の効果も合算して合計 $30 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{人}$ 以上（の換気に相当する浮遊エアロゾルの除去能力）を実現することを目指すものとする。

4.2 熱交換型換気機器の使用

4.2.1 効能の考え方

建築物衛生法によれば、相対湿度は40～70%、学校環境衛生基準でも30～80%と定められている。また室温については、どちらの基準とも17～28℃である。しかしながら、特に冬期において30 m³/h・人を外気そのままに室内に流入させれば、この範囲から外れるであろう。室温の過度の低下が感染リスクを高めることは厚生労働省による参考資料³⁾でも示唆されており、単純に換気を増やすだけでは総合的な予防策として不十分と言える。

全熱交換器は機械換気装置であって、室外の空気を室内に供給する際、室内の熱(顕熱=温度、潜熱=湿度)の一部を回収することができる。すなわち、室内の浮遊微粒子を屋外へ排出しながらも、室内側の温熱や人が呼気として排出した水分を回収し、再び室内へ戻すことができる。従って、窓開け換気などで室外の空気をそのまま室内に供給するのと比べて、室内の温熱快適性が著しく損なわれることを防ぐことができる。

全熱交換器の有効換気量 Q_{ER} [m³/min] は、機器仕様で表示される給気風量と有効換気量率の積で表される。感染症の原因となるウイルスは屋外空気に浮遊していないという前提ならば、自然換気量 Q_N や、換気扇など他の機械換気手段による換気量 Q_M を合算したときの合計換気量 Q_{total} は、次式で表される。

$$Q_{total} = Q_M + Q_N + Q_{ER} \quad (1)$$

既築建物等で全熱交換器を追加敷設する場合、 Q_{total} が30 m³/h・人以上となるように機器選定を行う必要がある。なおここでは、全熱交換器を例として合計換気量の考え方を提示したが、全熱交換器以外の熱交換型換気機器の場合も、これと同様にして計算することができる。また、上述したように Q_N を定量的に定めることが困難な場合には、 $Q_N=0$ とし、自然換気以外の手段のみで目標の換気量を確保する必要がある。

4.2.2 使用上の注意事項

既存の全熱交換器の多くは、本体が天井面や天井裏に設置され、その本体から延びたダクトが室内空間の給排気口に接続されている。この方式では既築建物において、大規模な工事が必要になることが想定される。従って、建物の側壁に本体を支持し、天面ではなく側壁面から給排気する形態などとして設置のしやすさを向上させることが望ましい。

その他に望まれる機能は、例えば下記の通りである。

- ・ 熱回収が不要な中間期などのためにバイパス経路を具備した機器
- ・ 所望の換気量を確実に確保するため、設置場所で個別に運転状態が操作されないようなロック機能の具備や集中制御システム
- ・ 各室の状況を管理者が常時把握できるよう、運転状態をリアルタイムでモニタできるシステム

4.2.3 長期運用上の注意事項

3章の実態調査からもその可能性が明らかになったように、機器内に納装されている熱交換素子は、経年で汚れが蓄積すると通気抵抗が上がり、初期に想定した換気量が得られなくなる場合もあるため、メンテナンスを行ったり定期的に交換したりするなどの維持保全が重要である。

同様に、製品自体の耐用年数にも考慮が必要である。換気性能は、空調機の冷却・加熱性能などとは違って、その性能が低下していても使用者が簡単に判別することは困難である。従って、必要な換気量が確実に担保されるように、製品寿命を念頭に置いた計画的な更新が望ましい。

また、施設管理者以外の者が容易に機器の分解や取り外しを行えないような製品設計（手では開けられない等）も、長期の性能を担保する意味においては重要である。

4.3 空気清浄機の使用

4.3.1 効能の考え方

空気清浄機は大風量で空気を循環させながら微粒子を除去することができ、除去性能は微粒子の粒子径によって概ね決定される。ウイルスは微粒子の状態では浮遊するため、その粒子径に基づき、空間からの除去性能はおおよそ計算によって把握することができる。また、室内の空気を循環させることができるため、空気の滞留を防ぎ、効率よく部屋全体を希釈できる点でも空気清浄機の利用は好ましい。

空気清浄機が空気中の浮遊物を除去する能力 P [m^3/min] は、次式によって表される。

$$P = \eta \times Q \quad (2)$$

ここで、 Q は空気清浄機の運転風量 [m^3/min]、 η は一過性での除去率である。 P が大きいほど、室内の浮遊物を速やかに取り除くことができる。このように空気清浄機は、浮遊ウイルスの除去という点では換気と同じ役割を果たすため、空気清浄機による見かけの相当換気量 Q_{AC} [m^3/min] は式(2)の P に等しくなる。

$$Q_{AC} = P \quad (3)$$

以上のことから、換気と空気清浄機を併用したときの除去能力（相当換気量） Q_{total} は、

$$Q_{total} = Q_M + Q_N + Q_{AC} \quad (4)$$

と表せる。建物が既築の場合などで、換気量を簡単には増やせない場合は、 P の大きい空気清浄機を用いることによって、浮遊ウイルスを低減することが可能である。そして Q_{total} が $30 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{人}$ 以上となるように機器選定を行う必要がある。近年の可搬型空気清浄機では、 η が 90% 以上、 Q が $5 \sim 7 \text{ m}^3/\text{min}$ の製品が多くなっており、例えば $7 \text{ m}^3/\text{min}$ の機器を 1 台運転すれば $Q_{AC} = 0.9 \times 7 \times 60 = 378 [\text{m}^3/\text{h}]$ 以上、すなわち 1 台で

12 人以上の必要換気量が得られることになる。また、前節と同様に Q_N を定量的に定めることが困難な場合には、 $Q_N=0$ とする。

なお、空気清浄機の業界規格（日本電機工業会規格 JEM1467）では、「集じん能力」という用語で式(2)が明確に定義されており⁵⁾、製品にはその集じん能力から計算で求まる適用畳数 A [畳]が次式に基づいて表記されている。

$$A \doteq (7.7/1.65) \times P \quad (5)$$

式(5)より、

$$P \doteq (1.65/7.7) \times A \quad (6)$$

であるから、製品に表示されている適用畳数 A （日本電機工業会規格 JEM1467 に基づくもの）から P を算出し、式(3)、(4)によって対象とする部屋の Q_{total} を導出することができる。また、空気清浄機に限らず、浮遊粉塵の浄化機能を有する他の製品があれば、これと同様の考え方で選定することが可能である。

4.3.2 使用上の注意事項

一般論として、空間の空気が攪拌されるほど、発生源から放出された微粒子の希釈が進む。空間内の空気循環をスムーズに行うことが効率的な希釈につながるため、空気清浄機の設置場所や運転風量などが重要となる。特に風量に関しては、運転音が学習の邪魔にならない範囲で、できるだけ風量の大きな空気清浄機を使う方が効果は高い。また可能であれば、サーキュレータ等を併用して空間内の空気澱みを減らすことも、速やかな浄化のポイントである。さらに、感染症は人が発生源であるから、風の下流側はリスクが高くなる。従って、極力人に向けて風を当てない方がよい。

その他、空気清浄機が安全かつ確実に空気を攪拌できるようにするためには、全熱交換器と同様の下記の様子が望まれる。

- ・ 故意か否かに関わらず在室者が触れたり接触したりして、ケガおよび機器の破損・停止のリスクを抑えるため、日常活動の中で触れることのないような天吊り型や壁掛け型の機器
- ・ 所望の空気浄化量を確実に確保するため、設置場所で個別に運転状態が操作されないようなロック機能の具備や集中制御システム
- ・ 各室の状況を管理者が常時把握できるよう、運転状態をリアルタイムでモニタできるシステム

なお、既存のほぼ全ての空気清浄機は CO_2 を除去することができない。よって、空気清浄機を用いても、換気と同じように室内の CO_2 が低減されることはない。感染リスクの低減を優先するとしても、室内が息苦しくならないように、空気清浄機以外の手段で、最低限の換気を心掛ける必要がある。

※一般的な活性炭方式の空気清浄機では、CO₂の他にCOやNOの除去も期待できない

4.3.3 長期運用上の課題

既存の空気清浄機は通常、機体本体に操作スイッチが付いており、運転停止や風量を自由に設定することができる。また一般的な100Vコンセントから電源を取るタイプの場合、何かの拍子に電源プラグが抜けてしまうと機器は機能できない。このような事態を防ぎ、適正な運転状態を担保できるような工夫や監視が必要になる。また、空気清浄機は通常、除塵性能の経年劣化が生じるが、使用者がその性能低下に気づくことは困難である。従って、メインフィルタやプレフィルタを定期的に清掃・交換したり、適切な清掃・交換時期を発報したりするなど、一定以上の性能が確保されるような保守運用が不可欠と考えられる。

本ガイドラインのように学校での感染防止を目的とするならば、 Q_{AC} の過度の低下は Q_{total} の無視できない低下を招く可能性があるため、早めの交換を推奨すべきである。例えば、10%低下（初期性能の90%まで低下）を目安にメンテナンス時期を設定するものとし、式(4)の代わりに、低下を見越した式(4')のような Q_{total} を用いるのが実用的と考えられる。

$$Q_{total} = Q_M + Q_N + 0.9 \times Q_{AC} \quad (4')$$

市販されている住宅用空気清浄機の場合、フィルタの交換時期は Q_{AC} が初期性能の50%まで低下する時期として表示されている⁵⁾。 Q_{AC} の低下傾向が時間経過に対して一様であるとすれば、フィルタ寿命の称呼値（初期の50%低下）に対して約1/8の時間で10%低下することになる。従って、例えばフィルタ寿命を10年と表示している住宅用空気清浄機の場合、安全率も考慮して1年程度（寿命表示の1/10の期間）で交換することが目安となろう。なお、フィルタ交換時においては、汚染された可能性のあるフィルタを直接触ることになるため、交換前に機内でフィルタを除菌する機能を具備したり、交換用の器材を持つ作業員だけが作業したりするなどが望ましい。

参考文献

- 1) 学校施設の換気設備に関する調査研究報告書；文部科学省（平成16年）
- 2) 新型コロナウイルス感染対策の見解；新型コロナウイルス感染対策専門会議（令和2年3月9日及び3月19日）
- 3) 冬場における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気について；厚生労働省（令和2年11月）
- 4) 学校環境衛生管理マニュアル～「学校環境衛生基準」の理論と実践～ 平成30年度改訂版；文部科学省
- 5) JEM1467「家庭用空気清浄機」；日本電機工業会（JEMA）

【付録 A】

教室の換気量に関する実態調査

目次

1. 換気回数の算出方法
2. 実態調査結果
 - 2.1. 教室 A
 - 2.2. 教室 C
 - 2.3. 音楽室

1. 換気回数の算出方法

室内空気に CO₂ や KCl 粒子を充満させ、種々の換気条件ごとに連続的な濃度減衰データを取得した。室内濃度 C (単位は CO₂ なら [ppm], KCl 粒子なら [個/cc]) は外気濃度 C_0 に向かって減衰していき、そのときの室内濃度の減衰特性は指数関数で近似できる。

各換気条件における換気回数 (相当換気回数) N [回/h] は、次式にて算出可能である。

$$\ln(C - C_0) = N \cdot t$$

ここで、 t は時間[h]である。

KCl 粒子の濃度測定データから導かれる相当換気回数は、各条件の区間における減衰性を換気に相当させたものであり、すなわち、それぞれ自然減衰分を含んだものとなる。

なお、浮遊粒子の外気濃度は5分程度で測定を行ったが、室内の測定時間中にも変動している可能性があることと、室内の充填濃度と比べるとはるかに低値であることから、今回の分析では便宜上、外気粉塵濃度はゼロであるとして、相当換気回数を計算することとした。

2. 実態調査結果

2.1. 教室 A

2.1.1. 調査方法

教室 A の詳細や調査方調査方法については本編に記載があるため、ここではデータのみ掲載する。図-A1 は教室 A の内部の状態、図-A2 は測定時の機器の設置状況を示している。

2.1.2. 換気状態の測定結果

● 室内浮遊粉塵濃度の低減効果

教室 A において、KCl 粒子の濃度減衰データを計 3 回取得した。そのうち 1 回分の濃度推移を図-A3 に示す。このデータを元に、計算で求めた粒子径毎の相当換気回数を表-A1 に示す。有効数字は 2 桁とし、3 桁目は参考として表記した。また、表-A1 に示す 3 回分の



図-A1 教室 A

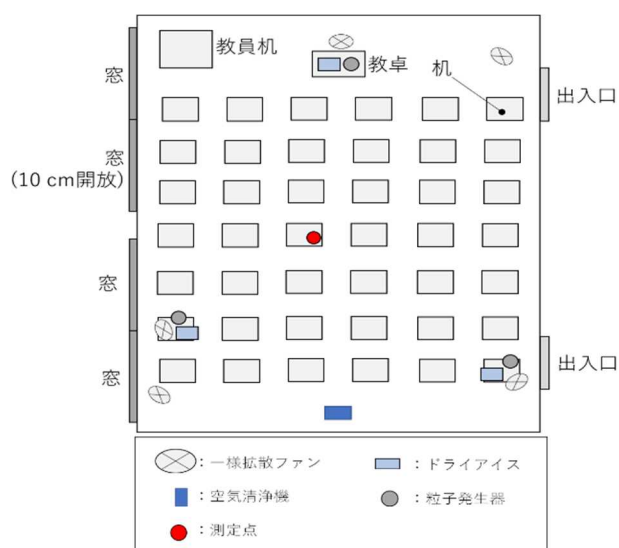


図-A2 測定用器材の配置

数値を単純平均したものを表-A2 に示す。なお、すべての数値には自然換気分が含まれている。

SARS-CoV-2 のウイルス径は $0.1\mu\text{m}$ 前後とされているので、たとえば飛沫に含まれた状態で浮遊する粒子径を $0.1\sim 0.3\mu\text{m}$ と仮定すると、この粒径範囲の数値を用いて相当換気回数を求めることができる。表-A2 を用いて教室 A の換気状況は下記のように推定された。

- ・自然換気回数：0.78 回/h (0.81 と 0.74 の平均値)
- ・機械換気回数：0.07 回/h (0.87 と 0.81 の平均値－自然換気)
- ・空気清浄機の相当換気回数：2.02 回/h (2.86 と 2.72 の平均値－自然換気)

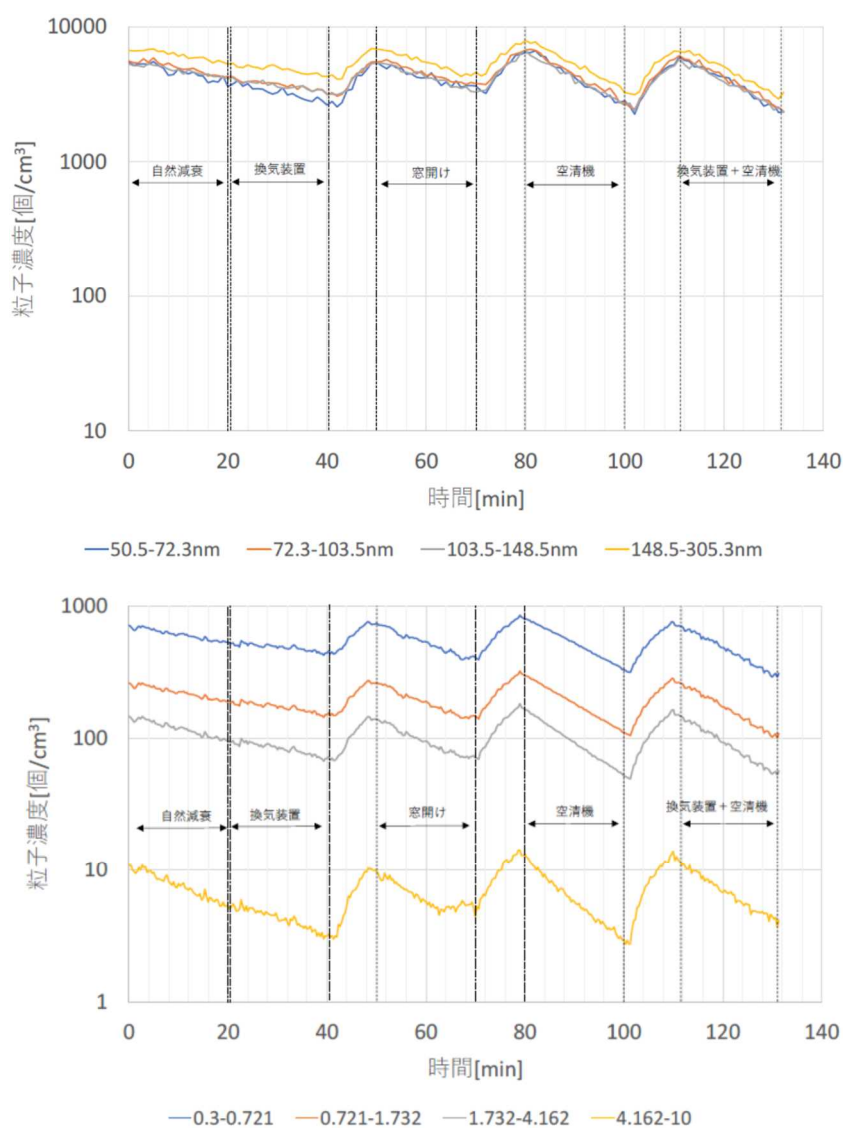


図-A3 教室 A の換気条件と粒子径別の KCl 粒子濃度

表-A1 粒子径別の換気回数と相当換気回数（3回分全データ）

粒径 [μm]	自然減衰			換気装置			窓開け			空気清浄機			換気装置+空清		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0.05-0.07	1.52	0.76	1.12	1.93	0.82	1.06	4.61	1.71	1.26	4.28	2.93	2.91	4.35	3.13	2.76
0.07-0.10	1.04	0.52	0.94	1.31	0.70	0.71	3.27	1.41	1.35	3.46	2.80	2.77	3.41	2.81	2.65
0.10-0.15	1.07	0.60	0.76	1.27	0.67	0.68	3.29	1.13	1.54	3.17	2.73	2.68	3.19	2.87	2.51
0.15-0.30	0.89	0.59	0.75	1.13	0.71	0.60	3.33	1.26	1.46	3.06	2.50	2.60	3.37	2.60	2.50
0.30-0.72	3.47	0.98	0.88	1.96	1.67	0.54	4.49	1.55	1.91	3.80	2.34	2.68	3.13	2.80	2.74
0.72-1.73	2.30	0.86	0.97	1.57	1.23	0.73	3.76	1.65	1.92	3.40	2.79	2.99	3.50	2.90	2.93
1.73-4.16	1.60	1.02	1.27	1.75	0.99	0.98	4.09	1.94	2.12	3.94	3.23	3.44	3.96	3.31	3.16
4.16-10	2.15	1.85	2.18	2.85	1.52	1.72	4.80	2.75	1.85	4.88	4.28	4.30	4.93	4.33	3.18

単位：[回/h]

表-A2 粒子径別の換気回数と相当換気回数（平均値）

粒径[μm]	自然換気	機械換気	窓開け	空清機	機械換気+空清機
0.05-0.07	1.13	1.27	2.53	3.37	3.41
0.07-0.10	0.83	0.91	2.01	3.01	2.96
0.10-0.15	0.81	0.87	1.99	2.86	2.86
0.15-0.30	0.74	0.81	2.02	2.72	2.82
0.30-0.72	1.78	1.39	2.65	2.94	2.89
0.72-1.73	1.38	1.18	2.44	3.06	3.11
1.73-4.16	1.30	1.24	2.72	3.54	3.48
4.16-10	2.06	2.03	3.13	4.49	4.15

単位：[回/h]

2.2. 教室 C

2.2.1. 調査方法

教室 C の詳細や調査方法については本編に記載があるため、ここではデータのみ掲載する。図-A4 は教室 C の内部の状態を示している。測定時の機器の設置状況は図-A2 と同じである。



図-A4 教室 C

2.2.2. 換気状態の測定結果

● 室内浮遊粉塵濃度の低減効果

KCl 粒子の濃度減衰データを計 3 回取得した。そのうち 1 回分の濃度推移を図-A5 に示す。このデータから計算で求めた粒子径毎の相当換気回数を表-A3 に、また、3 回分の数値を単純平均したものを表-A4 にそれぞれ示す。すべての数値には自然換気分が含まれている。

0.1~0.3 μ m の粒径範囲の数値を用いて求めた教室 C の相当換気回数は下記のように推定された。

- ・自然換気回数：0.49 回/h (0.49 と 0.48 の平均値)
- ・機械換気回数：3.58 回/h (3.94 と 4.19 の平均値－自然換気)
- ・空気清浄機の相当換気回数：1.95 回/h (2.40 と 2.47 の平均値－自然換気)

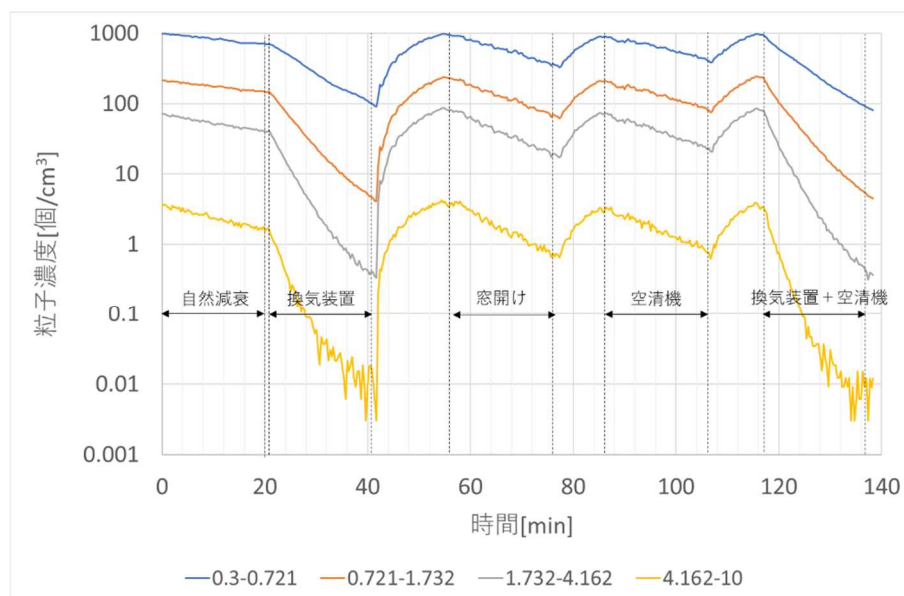
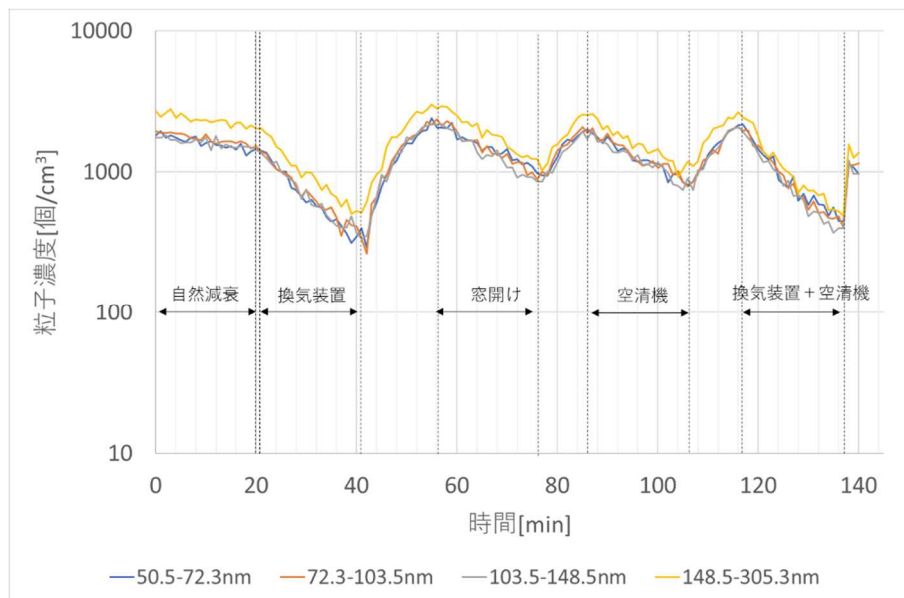


図-A5 教室Cの換気条件と粒子径別のKCl粒子濃度

表-A3 粒子径別の換気回数と相当換気回数（教室 C）

粒径 [μm]	自然減衰			換気装置			窓開け			空気清浄機			換気装置+空清		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0.05-0.07	0.86	0.63	0.65	4.38	3.61	3.55	2.16	2.23	0.67	2.56	2.77	2.73	4.50	6.04	4.17
0.07-0.10	0.73	0.59	0.37	4.05	4.05	3.66	2.73	2.37	0.74	2.51	2.62	2.52	4.82	6.22	4.75
0.10-0.15	0.55	0.62	0.29	4.16	4.05	3.61	2.95	2.53	0.83	2.48	2.42	2.31	5.00	6.01	5.17
0.15-0.30	0.75	0.45	0.23	4.14	3.80	4.64	2.81	2.42	0.77	2.68	2.42	2.31	4.74	5.90	5.60
0.30-0.72	1.09	0.89	1.13	5.94	6.67	10.01	2.99	2.90	1.25	2.23	2.70	2.40	6.89	8.18	11.4
0.72-1.73	1.13	0.95	0.86	10.3	11.0	13.0	3.68	3.32	1.21	2.70	3.15	2.51	11.0	12.8	14.5
1.73-4.16	1.69	1.52	1.42	13.8	14.7	17.3	4.44	4.09	1.91	3.38	3.77	3.27	15.1	16.4	18.6
4.16-10	2.45	2.39	1.93	14.6	24.0	23.7	5.32	4.79	2.71	4.25	4.66	4.11	17.6	16.7	22.5

単位：回/h

表-A4 粒子径別の換気回数と相当換気回数（教室 C）

粒径[μm]	自然換気	機械換気	窓開け	空清機	機械換気+空清機
0.05-0.07	0.71	3.85	1.69	2.69	4.90
0.07-0.10	0.56	3.92	1.95	2.55	5.26
0.10-0.15	0.49	3.94	2.10	2.40	5.39
0.15-0.30	0.48	4.19	2.00	2.47	5.41
0.30-0.72	1.04	7.54	2.38	2.44	8.82
0.72-1.73	0.98	11.4	2.74	2.79	12.8
1.73-4.16	1.54	15.3	3.48	3.47	16.7
4.16-10	2.26	20.8	4.27	4.34	18.9

単位：回/h

2.3. 音楽室

2.3.1. 調査方法

音楽室は、図-A6 で示すように、縦 13.5m×横 18m×高さ 3.3m（容積 802 m³）であり、両側に窓が並んでいる。機械換気として、全熱交換式の換気装置が装備されているが、給気風量など具体的な仕様は明示がされておらず、不明である。

教室のときと同様、換気回数や相当換気回数を計測するために CO₂、KCl 粒子を利用し、その発生中は窓を閉め、機器を停止した。また、窓開け換気時は両側の窓の 2 カ所ずつ（計 4 カ所）を、それぞれ 20cm 開けた。また空気清浄機は合計 6 台を図-A8 のように配置し、すべて運転風量は 7 m³/min とした。

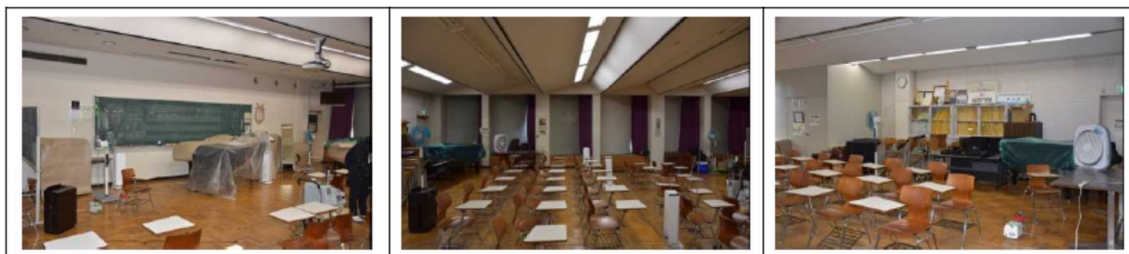
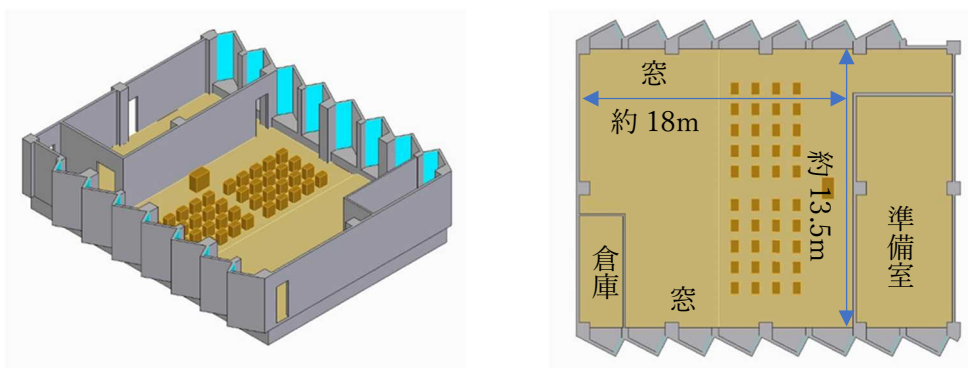


図-A6 音楽室



図-A7 窓開け 20cm の状態

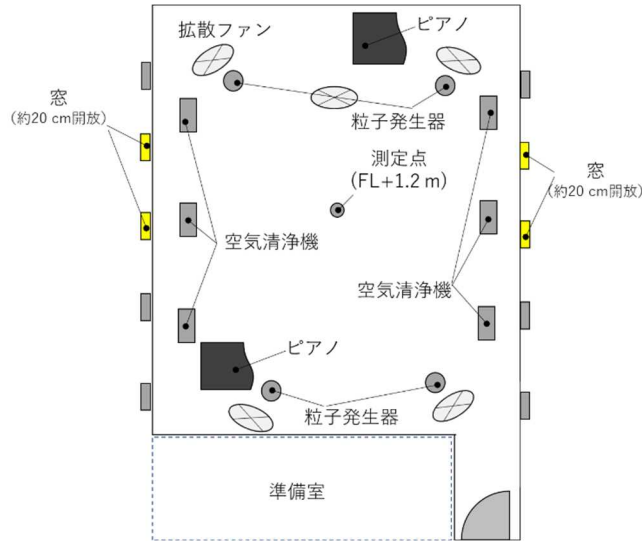


図-A8 器材の配置

2.3.2. 換気状態の測定結果

(1) 換気回数

CO₂濃度の減衰を図-A9 に示す。またこのデータに基づいて計算された換気回数を表-A5 に示す。機械換気 OFF は、実質的には自然換気の数値を表し、機械換気 ON の数値は自然換気と機械換気の合算を示している。よって、機械換気のための換気回数は、0.90 回/h である。

(2) 室内浮遊粉塵濃度の低減効果

KCl 粒子の濃度減衰データを計 3 回取得した。そのうち 1 回分の濃度推移を図-A10 に示す。このデータから計算で求めた粒子径毎の相当換気回数を表-A6 に、また、3 回分の数値を単純平均したものを表-A7 にそれぞれ示す。すべての数値には自然換気分が含まれている

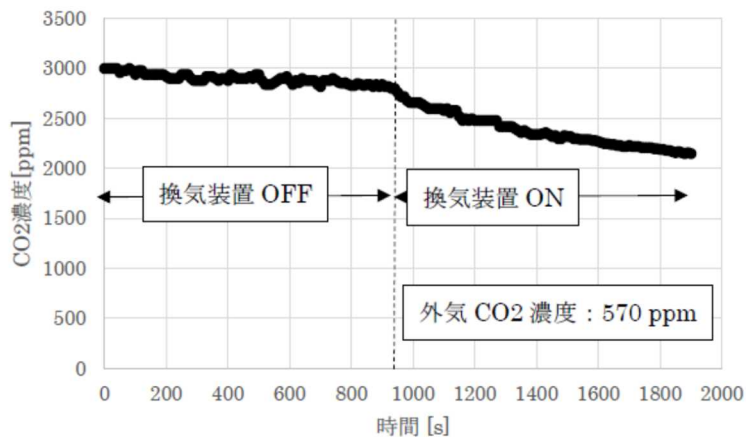


図-A9 音楽室の CO₂濃度減衰

表-A5 音楽室の換気回数

	換気装置 OFF期間	換気装置 ON期間
換気回数[h-1]	0.25	1.15

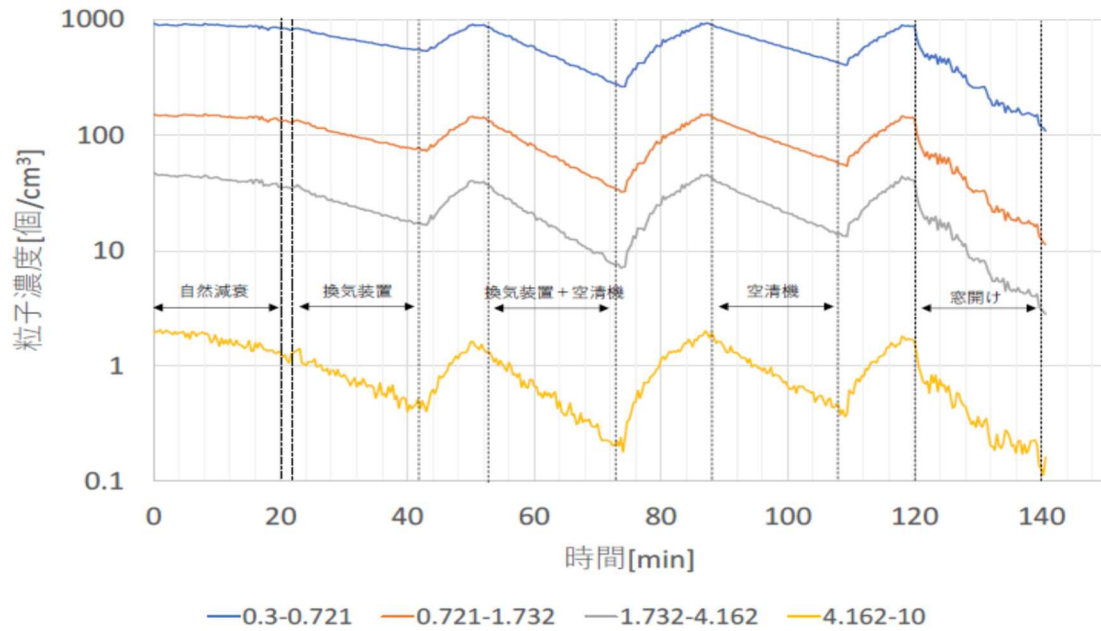
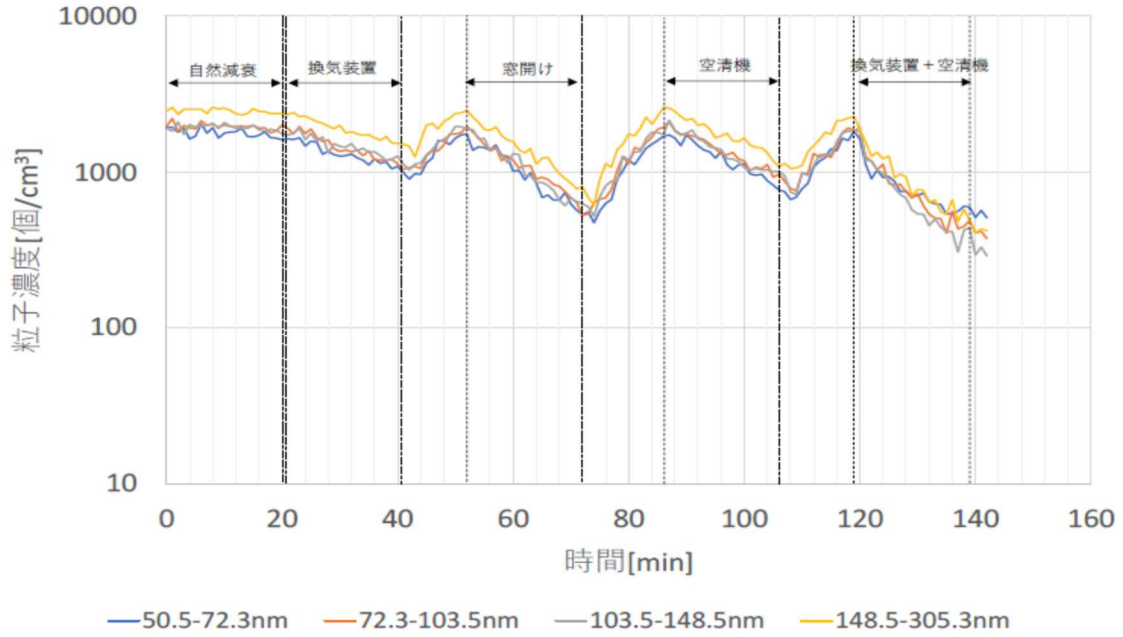


図-A10 音楽室の換気条件と粒子径別の KCl 粒子濃度

表-A6 粒子径別の換気回数と相当換気回数（音楽室）

粒径 [μm]	自然減衰			換気装置			窓開け			空気清浄機			換気装置+空清		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0.05-0.07	0.20	0.10	0.35	1.11	0.86	1.41	0.67	4.86	3.45	2.39	2.55	2.41	2.49	3.29	2.94
0.07-0.10	0.14	0.21	0.16	1.06	0.83	1.74	0.86	5.43	3.35	2.46	2.59	2.32	2.69	3.36	4.14
0.10-0.15	0.00	0.05	0.15	0.86	0.90	1.30	1.16	5.41	3.55	2.36	2.49	2.32	2.74	3.72	4.68
0.15-0.30	0.15	0.18	0.15	1.07	1.07	1.41	1.49	4.79	3.32	2.37	2.27	2.34	3.00	3.45	4.16
0.30-0.72	0.08	0.21	0.21	1.08	1.19	1.33	1.93	6.44	4.86	2.72	2.19	2.22	3.43	3.58	3.32
0.72-1.73	0.11	0.24	0.29	1.67	1.68	1.77	3.69	7.71	5.56	2.84	2.69	2.70	4.04	4.10	4.00
1.73-4.16	0.29	0.59	0.67	2.18	2.06	2.23	4.16	7.91	6.24	3.12	3.26	3.26	4.64	4.69	4.60
4.16-10	0.49	0.79	1.36	3.17	2.97	3.12	4.73	7.96	5.61	4.09	4.20	4.08	5.66	5.66	5.31

単位：回/h

表-A7 粒子径別の換気回数と相当換気回数（音楽室）

粒径[μm]	自然換気	機械換気	窓開け	空清機	機械換気+空清機
0.05-0.07	0.22	1.13	2.99	2.45	2.91
0.07-0.10	0.17	1.21	3.21	2.46	3.40
0.10-0.15	0.07	1.02	3.37	2.39	3.71
0.15-0.30	0.16	1.18	3.20	2.33	3.54
0.30-0.72	0.17	1.20	4.41	2.38	3.44
0.72-1.73	0.21	1.71	5.65	2.74	4.05
1.73-4.16	0.52	2.16	6.10	3.21	4.64
4.16-10	0.88	3.09	6.10	4.12	5.54

単位：回/h

音楽室の換気では、窓開け換気の数値に特徴が見られた。表-A6 の通り、窓開け換気の3回の測定値、特に $0.10\sim 0.30\mu\text{m}$ の範囲に注目すると、換気回数は明らかに、1回目<3回目<2回目の傾向が表れている。これは、窓を開けた際の屋外の気温や風向き、風速などによって、窓開け換気の効果は左右されていることを示唆するものである。例えば室内・外の温度差が大きいときや、屋外の風が強いときには、室内との空気の交換量が大きくなることは容易に想定される。すなわち、窓開け換気の場合、実際にどれだけの換気が行われるかは条件によって変動すると考えるべきであって、感染症対策として窓開け換気を併用する際には、期待できる最小値をもってその空間の換気量を設計することが不可欠であろう。

0.1~0.3 μ m の数値から求めた音楽室の相当換気回数は下記のように推定された。

- ・自然換気回数：0.12 回/h （0.07 と 0.16 の平均値）
- ・機械換気回数：0.99 回/h （1.02 と 1.18 の平均値－自然換気）
- ・空気清浄機（6 台）の相当換気回数：2.25 回/h （2.39 と 2.33 の平均値－自然換気）

【付録 B】

空気清浄機運転時の教室空間での シミュレーションによる浮遊粉塵挙動の把握

目次

- 1 解析条件
 - 1.1 対象とする室空間
 - 1.2 浮遊粒子を模擬したトレーサーガスと発生条件
 - 1.3 空気清浄機のモデル
 - 1.4 気流・濃度解析の条件
 - 1.5 人体発熱および温度の解析条件
 - 2 空の教室の条件での解析の結果
 - 2.1 空気清浄機の有無による気流と濃度分布の違い
 - 2.2 解析格子サイズの影響
 - 3 什器を設置した条件での解析の結果
 - 3.1 什器の影響
 - 3.2 空気清浄機の位置の影響
 - 3.3 空気清浄機の風量の影響
 - 3.4 全般換気の向きの影響
 - 4 人体を設置した条件での解析の結果
 - 4.1 発熱のない人体を配置した場合（等温条件）
 - 4.2 発熱のある人体を配置した場合（非等温条件）
 - 5 まとめ
- 参考文献

1 解析条件

1.1 対象とする室空間

国内の学校の教室一部屋を想定し、幅 (x) 7.0 m × 奥行 (y) 9.0 m × 天井高さ (z) 3.0 m の直方体型の空間を解析領域 (以降、教室) として設定した。つまり、教室の室容積は 189 m³ である。また、その中でも床上 1.8 m までの空間を居住域と定義し、後述する浮遊粒子を模擬したトレーサの発生領域と平均濃度の評価領域とした。

図-B1 に、什器等をいずれも設置してない状態での教室の概要を示す。天井面には 0.5 m (x) × 0.5 m (y) の通気口が 2 つ (A1, A2) と、x = 7.0 m の壁に 1.0 m (y) × 0.5 m (z) の通気口が 2 つ (B1, B2) が設置されている。特に断らない限り、A1・A2 を給気口、B1・B2 を排気口として解析ケースを設定した。また、これらの給排気口を介して、教室の全般換気 (機械換気) が行われていると想定し、その換気量は換気回数にして 1.0 回/h (189.0 m³/h) とした。

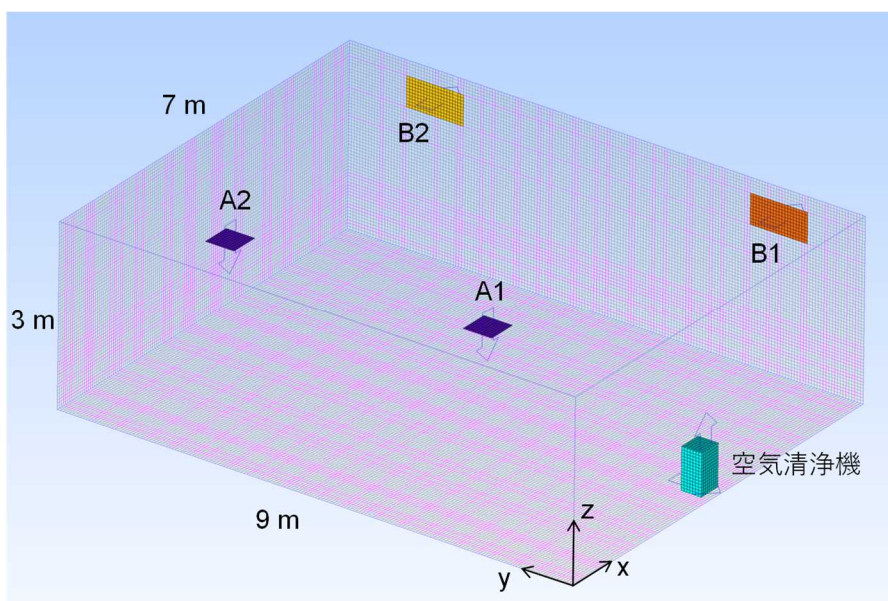


図-B1 教室モデルとしての解析領域 (什器などない状態)

図-B2 には、什器を設置した場合の教室モデルの様子を示す。什器としては、学生用の机と椅子および教卓を考慮した。学生用の机は、天板サイズを幅 700 mm × 奥行 500 mm、机面高さを 700 mm とした。椅子は、座面幅 400 mm × 奥行 400 mm、座面高 400 mm、背もたれ高 750 mm とした。教卓については、幅 900 mm × 奥行 450 mm × 高さ 900 mm とした。また、解析格子の都合上、いずれも板厚は 50 mm を基本として構成した。机の棚内部となる空間は物体が詰まっているとしてモデル化し、解析対象といていない。学生用の

机と椅子は、40 人教室を想定し同数を教室内に配置した。図-B3 に示すように、机の前後および横間隔はいずれも 500 mm である。

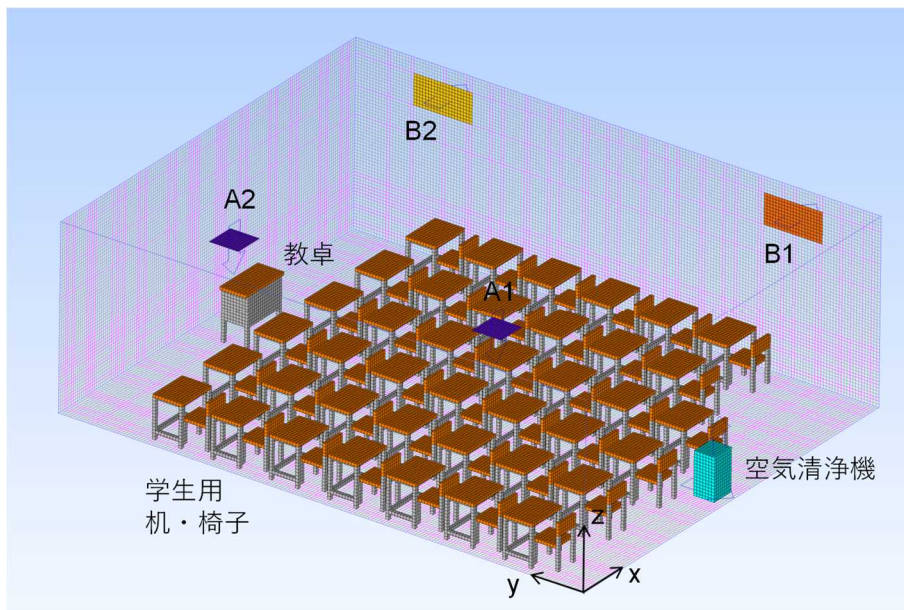


図-B2 机と椅子を配置した状態の教室

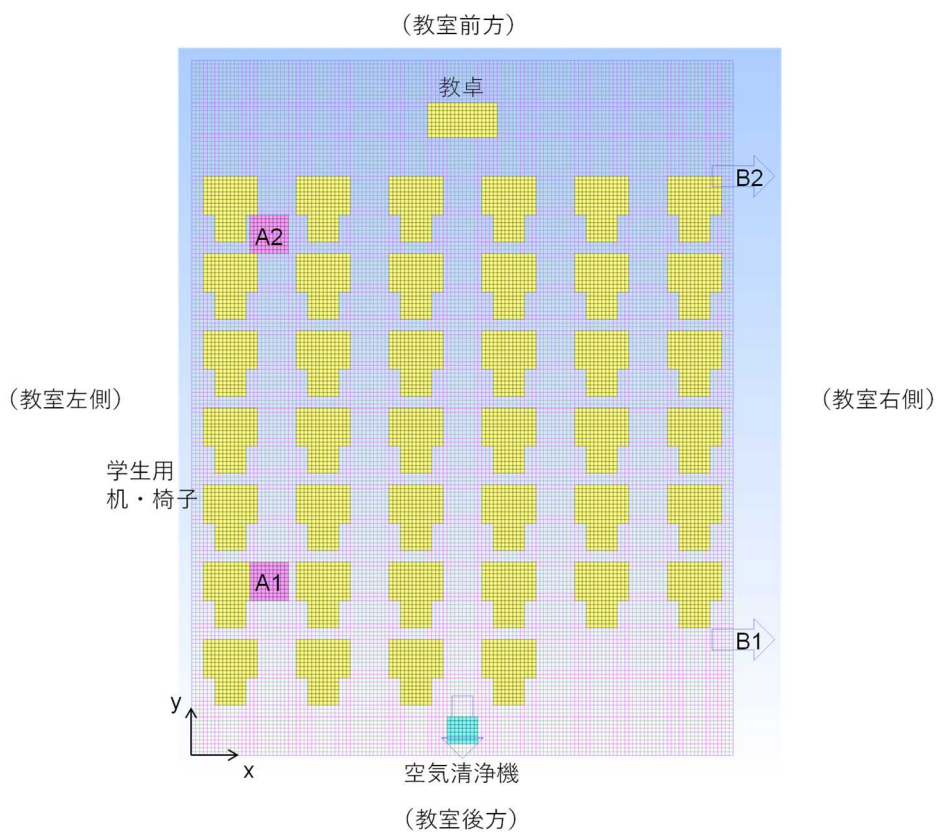


図-B3 机と椅子の配置を上から見た図 (図中に見える格子は 50 mm 間隔)

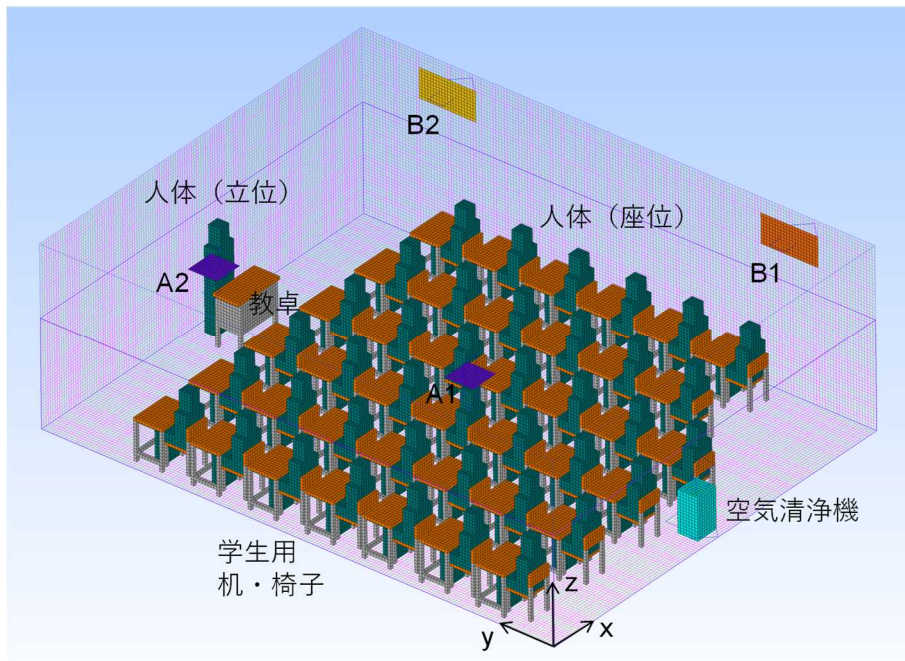


図-B4 机と椅子および人体を配置した状態の教室

図-B4 に、什器に加え人体を設置した場合の教室モデルを示す。学生用の机・椅子に着席した座位 40 体と教卓付近に立位 1 体を配置した。直方体を組み合わせた簡易なモデル化ではあるが、教室内の気流を阻害する要因としての効果は十分に組み込まれていると考える。

1.2 浮遊粒子を模擬したトレーサースガスと発生条件

本検討では、室内空間での浮遊粒子を模擬するため質量を持たず流れに完全に追従するパッシブトレーサーを用い、その濃度を解析対象とした。また、その濃度はオイラー法に基づき、濃度の輸送方程式（1.4 節参照）によりその分布を解析した。

このトレーサーは、重力沈降や表面沈着などは生じないものとした。また、本検討では高レイノルズ数の流れを解析対象とするためほとんど結果には影響しないと思われるが、浮遊粒子の粒子径は $0.1 \mu\text{m}$ と想定し、そのブラウン拡散の効果を分子拡散の代わりの拡散項とすることで考慮した。

ブラウン拡散係数およびその中で用いられる Cunningham 補正係数のモデル式には、以下のものを用いた。

$$D_B = \frac{k_B T}{3\pi\mu d_p} C_C \quad (1.1)$$

$$C_C = 1 + K_n \left[A + B \exp\left(-\frac{C}{K_n}\right) \right], K_n = \frac{2\lambda}{d_p} \quad (1.2)$$

ここで、各パラメータとその値の設定は、以下の通りである。

D_B : ブラウン拡散係数 [m^2/s]

k_B : ボルツマン定数, 1.380649×10^{-23} J/K

T : 温度, 293.15 K = 20 °C

μ : 空気の粘度, 1.822×10^{-5} Pa · s

d_p : 粒子直径, 0.1×10^{-6} m

C_C : Cunningham 補正係数 [-]

A, B, C : モデル係数, $A = 1.165, B = 0.483, C = 0.997$ [1]

K_n : クヌッセン数

λ : 気体分子の平均自由行程, 67.3 nm

以上の式とパラメータを用いた計算により $D_B = 6.78 \times 10^{-10}$ [m^2/s] とした。

また、浮遊粒子は居住域内のどのような位置でも発生しうるとして、居住域 ($z \leq 1.8$ m) で一様に発生させることとした (ただし、什器や人体がある場合はその部分を除く)。居住域全体での単位時間当たりのトレーサの発生量を S [$1/\text{s}$]、教室の全般換気量を Q_n [m^3/s] とする。この換気量のみでの完全混合濃度を C_n [$1/\text{m}^3$] とすると次の関係がある。

$$C_n = \frac{S}{Q_n} \quad (1.3)$$

本報告で示す濃度の値は、特に断らない限り C_n で無次元化した値である。

また、本検討では、この発生条件による居住域での平均濃度に加え、Purging flow rate (PFR) の評価を行った。PFR (Q_{PFR}) は、次式で定義されるような量である。

$$Q_{\text{PFR}} = \frac{S}{\bar{C}} \quad (1.4)$$

ここで、 S は先と同様に居住域全体での単位時間当たりのトレーサの発生量 [$1/\text{s}$]、 \bar{C} は居住域内のトレーサの (無次元化していない) 平均濃度 [$1/\text{m}^3$] である。PFR は対象領域における換気経路の短絡や再帰、循環などを考慮した上で、その領域内で発生する汚染物質を除去するのに有効である実質的な換気量 [m^3/s] を表す [2]。空気清浄機の除去効果によって \bar{C} が低下することで、 Q_{PFR} は大きくなることが予想されるが、その結果から空気清浄機の効果を相当換気量という観点から評価することが可能になる。

1.3 空気清浄機のモデル

空気清浄機の外形寸法は、高さ 700 mm × 幅 400 mm × 奥行 350 mm とし、そこに設置される吸込み口は高さ 100 mm (床面から) × 幅 400 mm、吹出し口は幅 400 mm × 奥行 150 mm (上面のおよそ半分) とした。また、標準条件においては、空気清浄機は教室の後部中央に設置した。ただし、壁からは 150 mm 離して設置した。

風量については、標準 (モード) 条件として 0.06 m^3/s (吹出し口風速 1.0 m/s, 吸込み口風速 1.5 m/s) とした。また、強または弱モードを想定したケースでは、風量をそれぞれ 0.12

m³/s、0.03 m³/s とした。

空気清浄機によるトレーサーのワンパス除去率は 94.9% とした。

1.4 気流・濃度解析の条件

気流解析には CFD 解析ソフトウェア Cradle STREAM V2021 を用いた。乱流モデルには、レイノルズ平均型ナビエ・ストークス方程式に基づく標準 k-ε モデル[3]を採用し、流れおよび濃度分布の定常解析を実施した。平均濃度 C の輸送方程式は、次式である。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial U_j C}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(D_B + \frac{\nu_t}{Sc_t} \right) \frac{\partial C}{\partial x_j} \right] + s \quad (1.5)$$

ここで、 U_j は平均流速、 ν_t は渦動粘性係数、 Sc_t は乱流シュミット数、 s は発生項（単位体積当たり）である。 U_j と ν_t は、標準 k-ε モデルの流れ場（平均流速、乱流エネルギーおよびその散逸率）の解析から計算される。 Sc_t については 0.9 とした。

離散化スキームについては、流れ場・濃度場の解析ともに、移流項には 2 次精度風上差分 (QUICK) を用い、その他には 2 次精度中心差分を用いた。

給気口には、通気量に対応する平均流速 (U_{in}) を与え、排気口には給気量に一致する通過流量を規定するような境界条件を与えた。また、給気口の乱流エネルギー (k_{in}) およびその散逸率 (ε_{in}) は、以下の式により計算し与えた[2]。

$$k_{in} = \frac{3}{2} (U_{in} \times TI)^2 \quad (1.6)$$

$$\varepsilon_{in} = \frac{C_\mu k_{in}^{3/2}}{l_{in}}, \quad l_{in} = \frac{1}{7} L_0 \quad (1.7)$$

ここで、 TI は乱流強度で 5% とした。 C_μ は標準 k-ε モデルのモデル係数 (= 0.09) であり、 L_0 は給気口の (短い方の) 幅である。その他壁面には No-slip 条件 (滑面对数則) を与えた。

解析格子には、全方向同じ幅の均等間隔の直交格子を用いた。標準条件では、格子幅を 50 mm (標準格子) とした。解析格子への依存性の検討では、粗格子 (100 mm) および細格子 (25 mm) を用いた。

1.5 人体発熱および温度の解析条件

本報告の検討は、基本的には等温条件 (20°C) を仮定し解析を行なった。しかし、人体は常に発熱しているため、その周囲の空気の温度を温め、浮力効果によって流れ場を変化させることが知られている。また、換気や空調、壁を通じた熱流によっても室内空気の温度に分布が生じる。それらによって、温度成層が形成される場合には、空気清浄機の吹き出し気流と干渉し、空気清浄機のトレーサー除去効果にも影響する可能性がある。そこで、本検討では人体を配置した教室を対象に、人体の発熱と換気および壁を通じた熱貫流により、非等温な状態が形成された教室の場合について、ある一つの条件を設定し解析を行なった。

非等温な教室については、様々な熱・温度条件が考えられるが、本検討では冬季の非空調（暖房なし）の状態を想定し条件を設定した。具体的には、まず、換気によって 10°C の温度の空気が給気口 (A1, A2) から流入しているとした。また、 $x=0$ の壁 (y - z 平面) は、外気に触れる壁として、その表面温度を 15°C とした。 $x=7\text{ m}$ の壁 (y - z 平面) は、廊下のような非空調かつ人のような発熱するものも少ない空間に接する壁として、その表面温度を 20°C とした。その他のすべての壁 (天井・床を含む) は、隣接する同様の教室との間の壁と想定し断熱条件を与えた。

人体については、1 体あたり 100 W の発熱条件を体積当たりの値に換算し、体積発熱条件として人体を模擬した物体部に与えた。その比熱や熱伝導率は、水の物性値を参考に与えた。また、机・椅子については、木材 (杉) の物性値を参考に比熱や熱伝導率を与えた。空気清浄機については、その表面には断熱条件を与えたが、吹き出し気流の温度は吸い込み気流と同じとする条件を与えた。

計算の簡略化のため放射による熱移動は考慮していない。また、温度はその平均値の輸送方程式によって分布を解析し、ブジネスク近似を用いて流れ場への浮力の効果を考慮した。

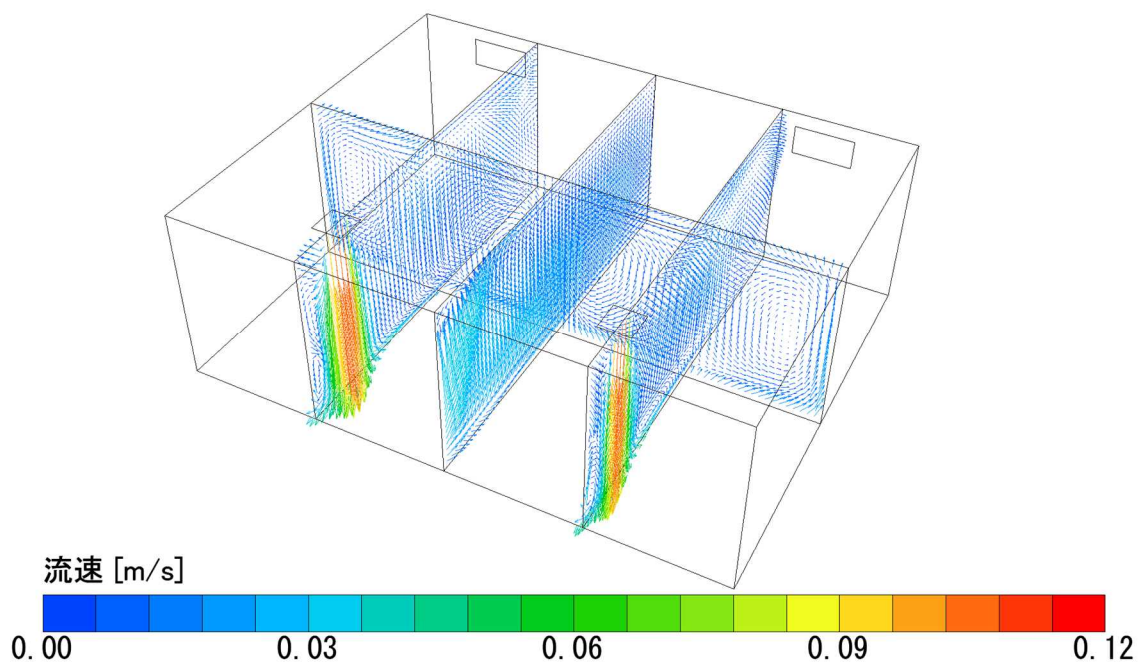
2 空の教室の条件での解析の結果

2.1 空気清浄機の有無による気流と濃度分布の違い

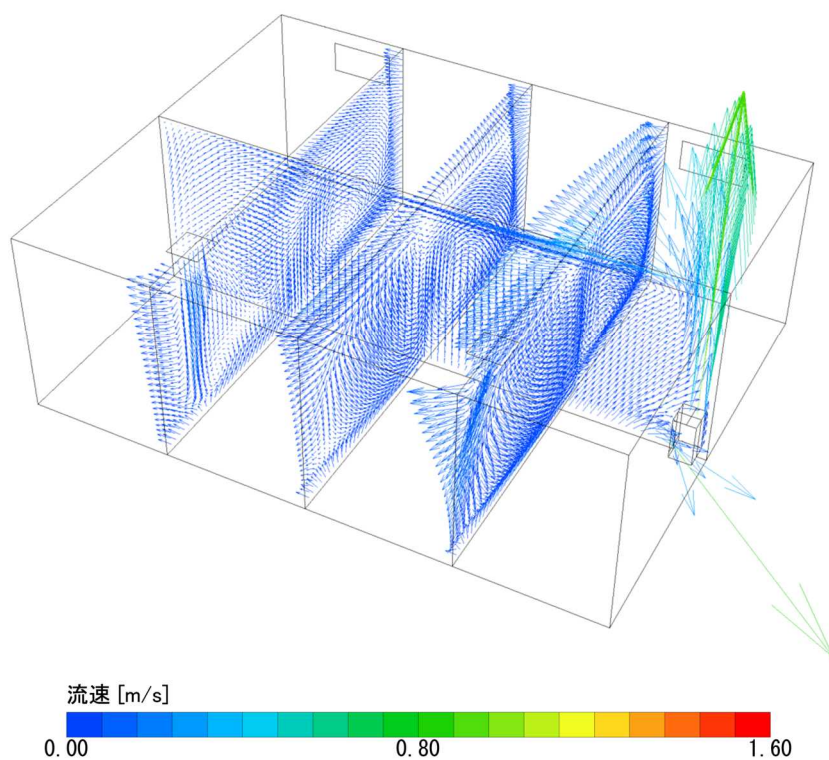
図-B5 に什器や人を配置していない空の教室における平均流速ベクトルの分布を示す。空気清浄機がない場合とある場合について示しているが、いずれも標準格子を用いた結果である。また、図-B6 には特に空気清浄機がある場合における平均流速の流線を示している。

空気清浄機がない場合、給気口(A1, A2)から吹き降ろす気流がよく見てとれる(図-B5(a))。また、 $y = 4.5 \text{ m}$ の x - z 断面に対して対称な解析条件となっているため、気流も同面に対して対象な分布をしている。一方、空気清浄機がある場合、空気清浄機からの強力な吹き出しによって y 方向の対称性を破り、教室全体の空気を巻き込んだ気流が生じるようになる(図-B5(b))。図-B6 に示すように空気清浄機から吹き出した空気は、まずその直上の天井面に達した後、天井面に沿って様々な方向に流れる。その一部は、教室前方にも到達し、給気口からの吹き出し気流とも複雑に絡み合いながら教室内を 3 次元的に蛇行し、最終的には床面付近を流れて空気清浄機へと戻ってくる。このように空気清浄機による送風の効果は教室全体の空気を複雑に混合するような作用があることが分かる。

図-B7 に、上記と同条件の解析における平均濃度の分布を示す。空気清浄機がない場合、新鮮空気が供給される給気口(A1, A2)直下では濃度は低い、教室中央や排気口(B1, B2)のある壁($x = 7.0 \text{ m}$)付近において濃度が高くなる傾向にある。空気清浄機を設置すると、給気口直下の濃度が低いことには変わりはないが、さらに空気清浄機の吹き出し直上でも濃度が低くなる。また、空気清浄機からの吹き出し気流の影響を受けた流れの効果によって教室全体的にも濃度が低下するとともに、濃度の高い部分と低い部分との差が小さくなる。



(a) 空気清浄機なし



(b) 空気清浄機あり (位置: 教室後部中央, 風量: 標準)

図-B5 空の教室における平均流速ベクトルの分布
(標準格子; 手前角が座標原点; 断面: $x = 3.5 \text{ m}$, $y = 2.25, 4.5, 6.75 \text{ m}$)

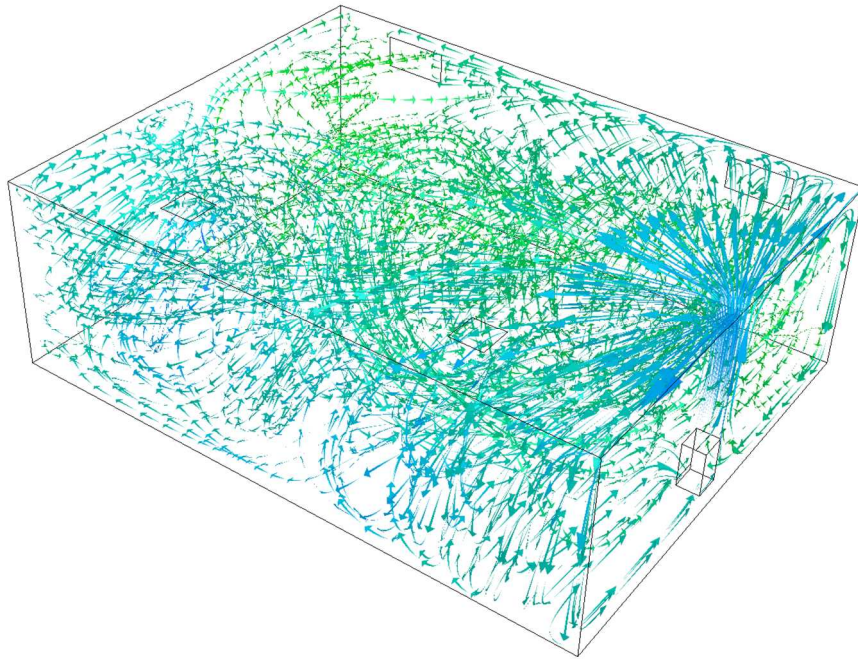
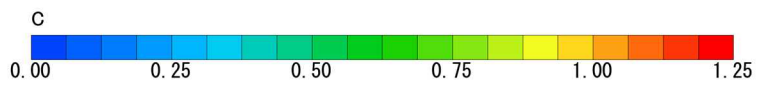
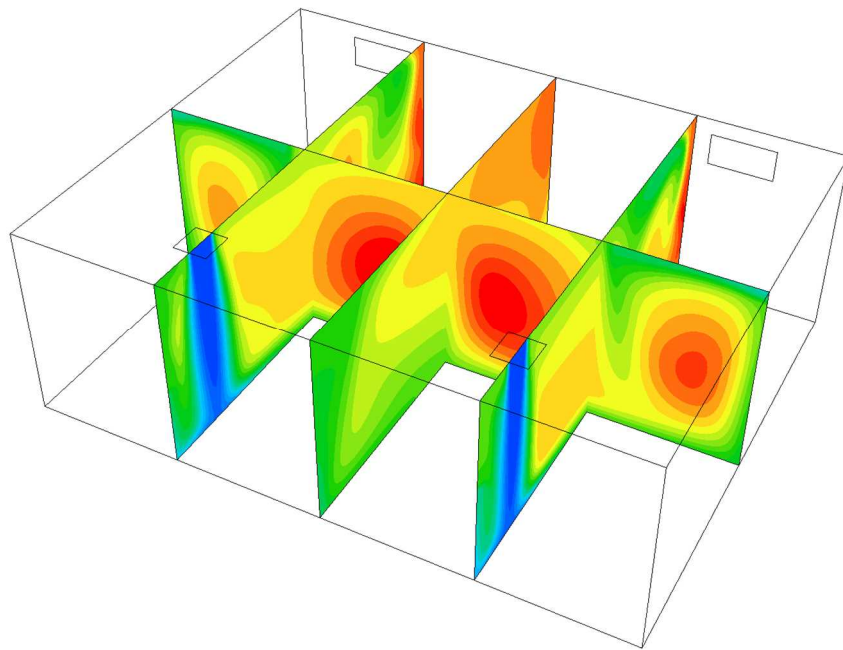
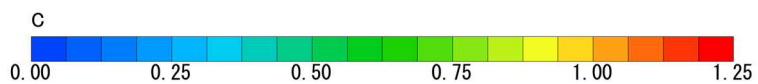
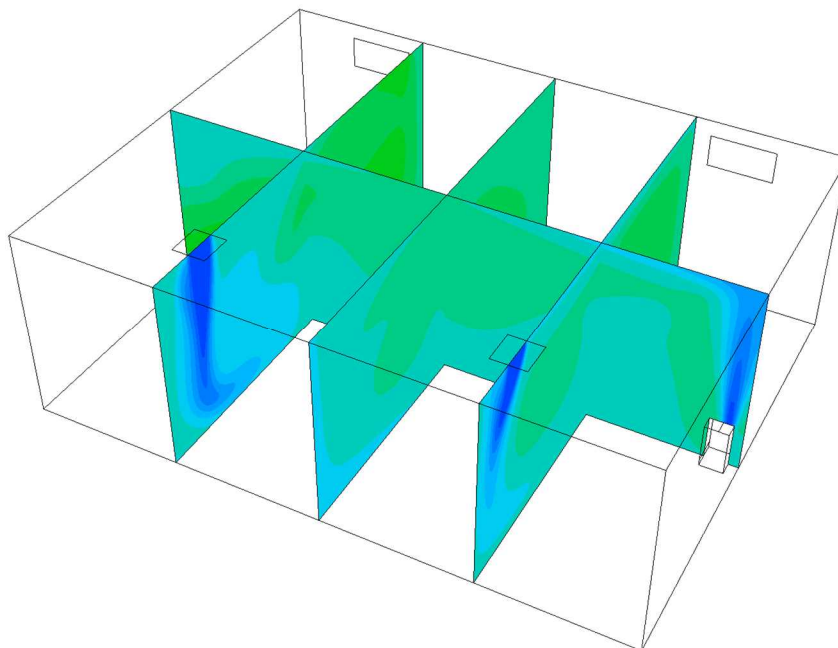


図-B6 空の教室に空気清浄機を設置した場合の平均流速ベクトルの流線
(標準格子；手前角が座標原点； C_n で無次元化した濃度で色付け)



(a) 空気清浄機なし



(b) 空気清浄機あり (位置: 教室後部中央, 風量: 標準)

図-B7 空の教室における平均濃度の分布

(C_n で無次元化; 標準格子; 手前角が座標原点; 断面: $x = 3.5$ m, $y = 2.25, 4.5, 6.75$ m)

2.2 解析格子サイズの影響

図-B8 と図-B9 は、図-B7 と同様の結果であるが、それぞれ鉛直断面 (x 方向中央位置) と水平断面 ($z = 1.0, 1.5 \text{ m}$) の分布を取り出して示している。 $z = 1.0, 1.5 \text{ m}$ の高さは、座位および立位の口のおおよその高さを想定している。また、空気清浄機ありの条件については、細格子を用いた結果も示している。空気清浄機のなしとありに対する基本的な分布の傾向は、図-B7 を用いて説明した通りである。空気清浄機ありにおける標準格子と細格子の結果を比べると、細格子を用いた方が給気口直下や空気清浄機直上の低濃度領域やより鮮明に捉えられているようには見えるが、全体的な分布の傾向は標準格子でも十分に捉えられていると思われる。

表-B1 には、空の教室を対象として実施した全 5 ケースの条件と居住域平均濃度と PFR をまとめている。空気清浄機のなし・ありに関わらず標準格子での解析では、細格子の解析と居住域平均濃度を数パーセント程度の差で予測できており、次節以降の検討においても標準格子を用いて解析を行うこととした。また、空気清浄機がある場合、ない場合に対しておおよそ半分程度の居住域平均濃度になっている。さらに、それを用いて評価した PFR は、全般換気量と空気清浄機風量の単純な和 $405 \text{ m}^3/\text{h}$ とほぼ同等の値を示した。つまり、空の教室に対しては、おおむね空気清浄機の風量分が全般換気量に加わって教室内で発生するトレーサの除去に寄与していると言える。

表-B1 空の教室の解析における条件と濃度 (C_n で無次元化) および PFR の結果
(丸括弧内の数値は空気清浄機なし・標準格子のケースの値に対する割合)

空気清浄機	計算格子 [mm]	全般換気量 [m^3/h]	空気清浄機風量 [m^3/h]	居住域平均濃度 [-]	PFR [m^3/h]
なし	100 (粗)	189	—	0.896 (96%)	211 (104%)
なし	50 (標準)	189	—	0.933 (100%)	203 (100%)
なし	25 (細)	189	—	0.916 (98%)	206 (102%)
あり	50 (標準)	189	216	0.460 (49%)	411 (203%)
あり	25 (細)	189	216	0.477 (51%)	397 (196%)

空気清浄機

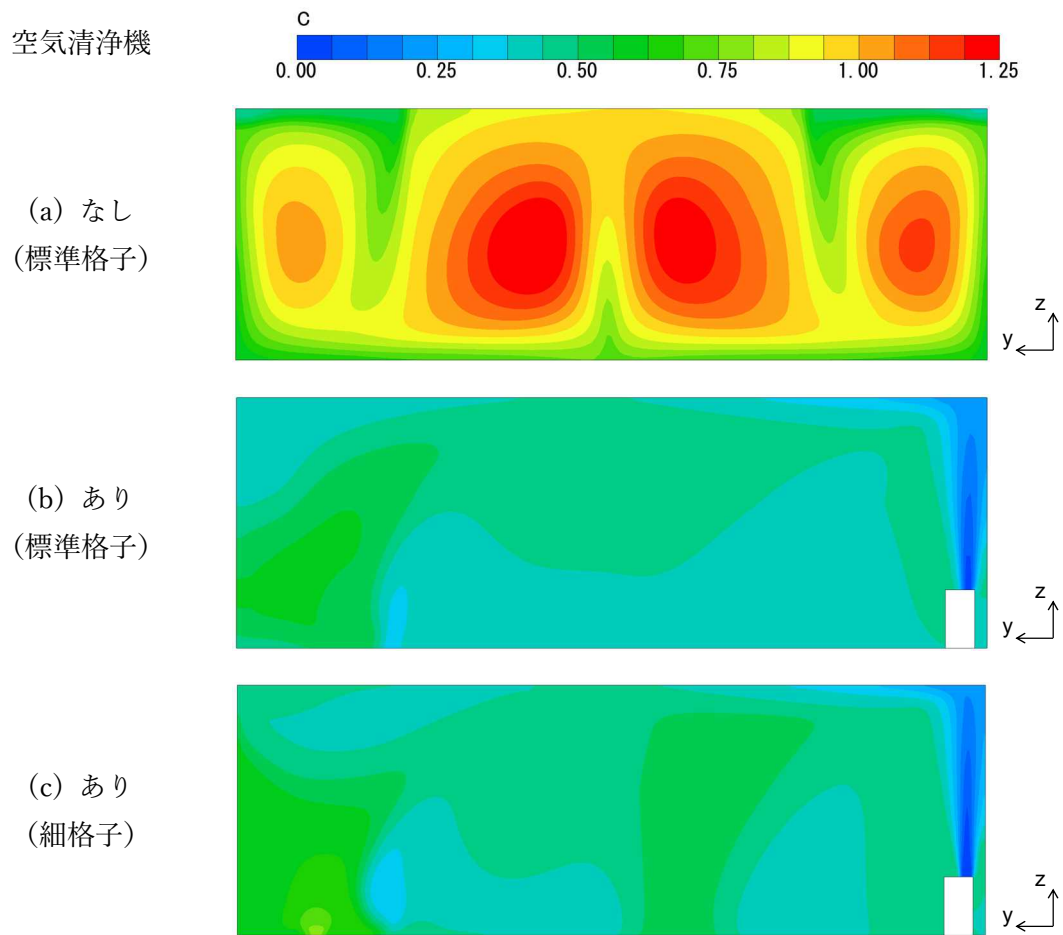


図-B8 空の教室における平均濃度の鉛直断面内の分布
(C_n で無次元化; 断面: $x = 3.5$ m)

空気清浄機

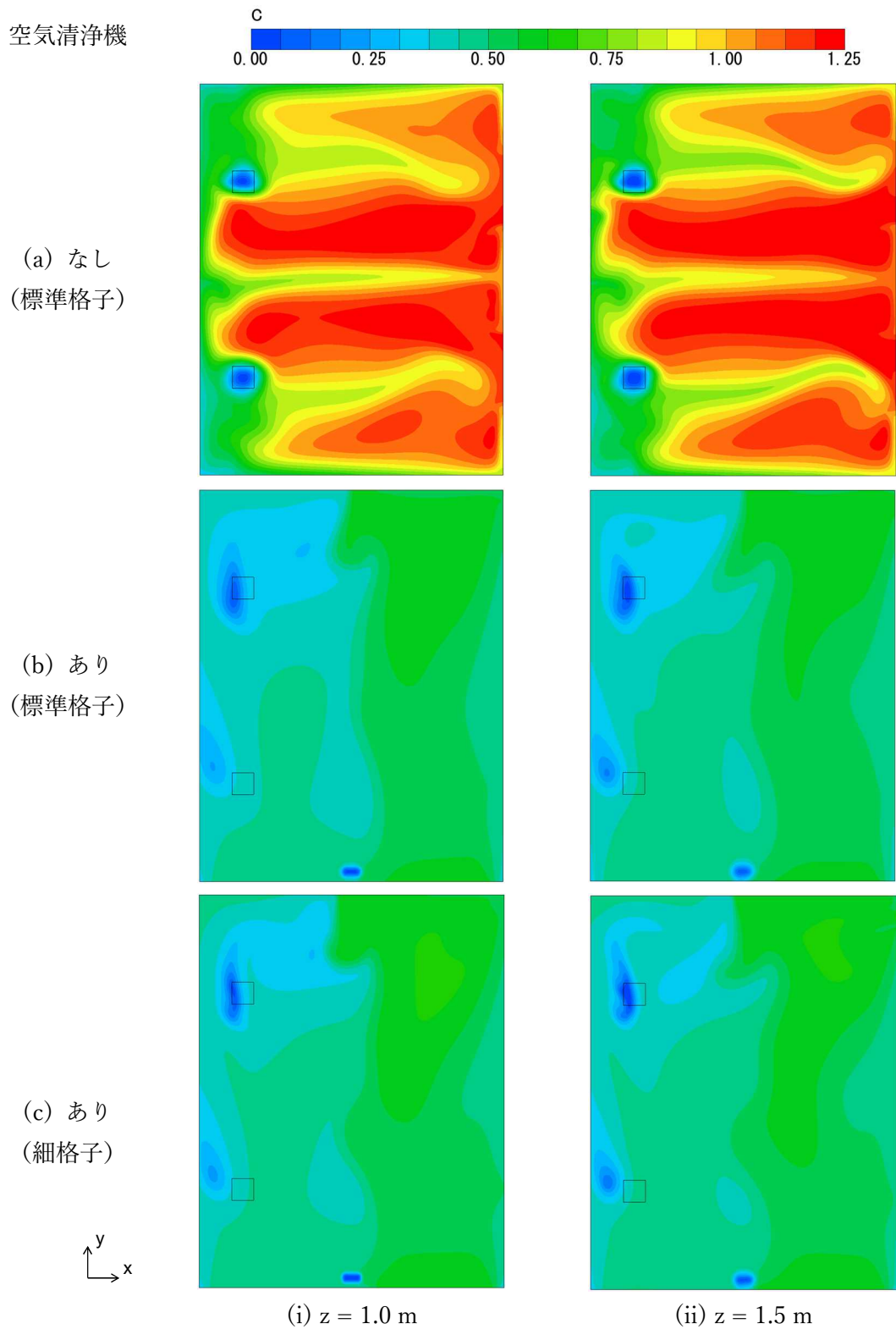


図-B9 空の教室における平均濃度の水平断面内の分布

(C_n で無次元化; 断面: $z = 1.0, 1.5 \text{ m}$; 標準格子: 幅 50 mm; 細格子: 幅 25 mm)

3 什器を設置した条件での解析の結果

本節では、学生用の机と椅子（40組）と教卓（1個）、および空気清浄機を設置した解析ケースの結果を報告する。表-B2には、これらのケースにおける条件と居住域平均濃度とPFRの結果をまとめている。この詳細については、以降の各小節の説明を参照されたい。

表-B2 什器を置いた教室の解析における条件と濃度（ C_n で無次元化）およびPFRの結果
（丸括弧内の数値は基準ケース（最上列）の値に対する割合）

空気清浄機 位置	全般換気量 [m ³ /h]	空気清浄機風量 [m ³ /h]	居住域平均濃度 [-]	PFR [m ³ /h]	備考
後部中央	189	216	0.463 (100%)	408 (100%)	図-B12
後部左側	189	216	0.527 (114%)	359 (88%)	図-B13
後部右側	189	216	0.501 (108%)	377 (92%)	図-B14
後部中央	189	108	0.607 (131%)	312 (76%)	図-B15
後部中央	189	432	0.323 (70%)	585 (143%)	図-B16
後部中央	189 *	216	0.543 (117%)	348 (85%)	図-B17

* 全般換気の向きを「B1, B2 → A1, A2」に変えたケース

3.1 什器の影響

まず、什器の存在が室内の気流や濃度分布、および空気清浄機の効果に与える影響を検討する。図-B10に什器および空気清浄機（後部中央・標準風量）を設置した教室での平均流速ベクトルの流線を示す。図-B6の什器なしの教室の結果と比べると、什器を置くことで若干弱まっているようにも思われるが、教室全体の空気を混合するような流れは変わらず存在している。

図-B11、図-B12はそれぞれ什器なし、ありの条件における平均濃度分布の結果である。図-B11は図-B8、図-B9のともに(b)のデータと同じものであるが、比較を容易にするためカラーマップの範囲を狭めて再掲している。什器がない場合、教室前方右側で濃度が最大となっているが、什器を設置するとその位置が中央寄りへ移動している。しかし、居住域平均濃度とPFRについては、什器なしで順に0.460, 411 m³/h（表-B1）であるのに対し、什器ありで0.463, 408 m³/h（表-B2）とほぼ同じ値となった。つまり、什器の存在は教室内の分布は多少変化させるものの、教室内の平均的な濃度および空気清浄機の効果にはほとんど影響しなかった。

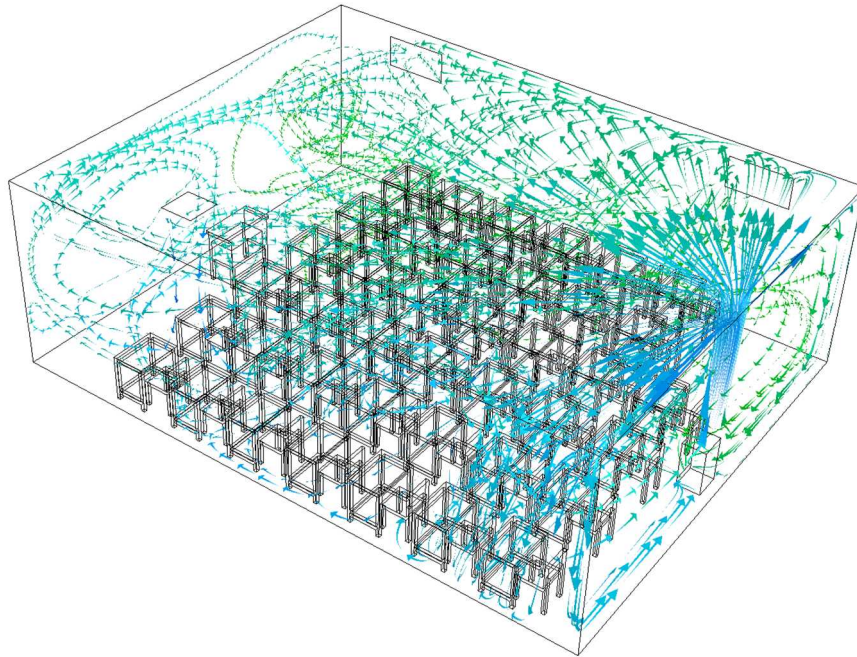
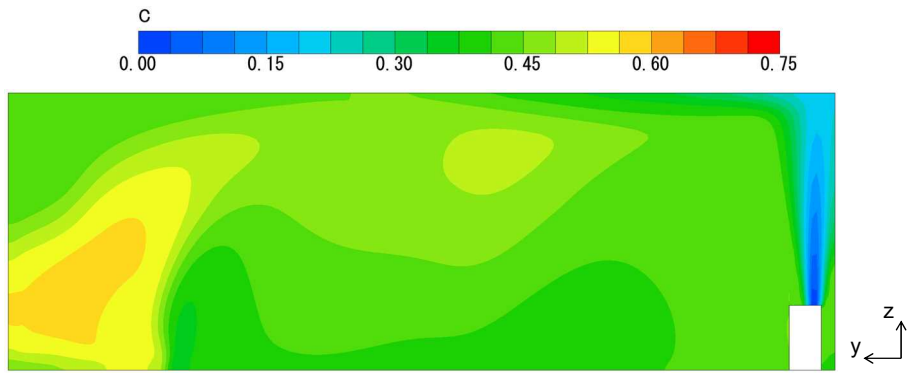
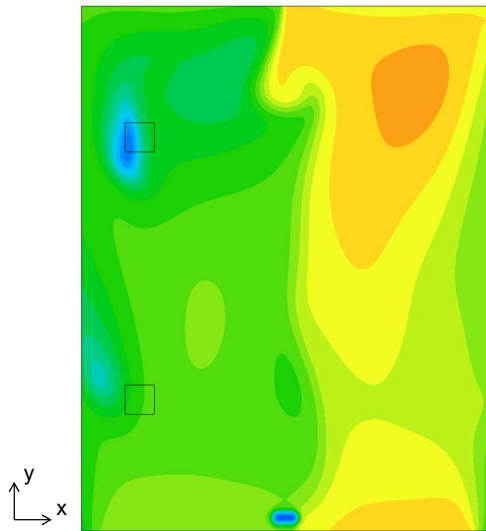


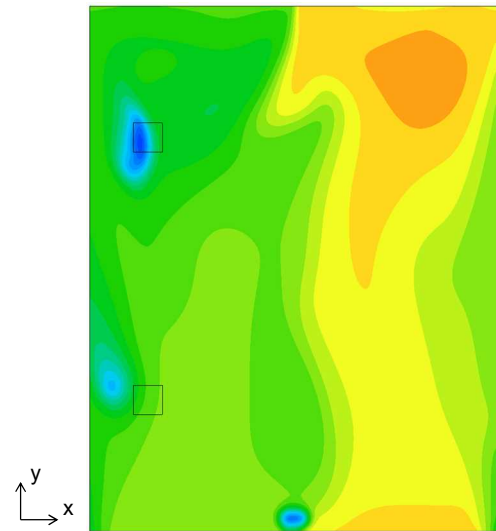
図-B10 什器および空気清浄機を設置した教室における平均流速ベクトルの流線
 (全般換気の方法：A→B；手前角が座標原点； C_n で無次元化した濃度で色付け)



(a) $x = 3.5$ m



(b) $z = 1.0$ m



(c) $z = 1.5$ m

図-B11 空の教室における平均濃度の分布
 (空気清浄機：後部中央, 標準風量; 濃度は C_n で無次元化)

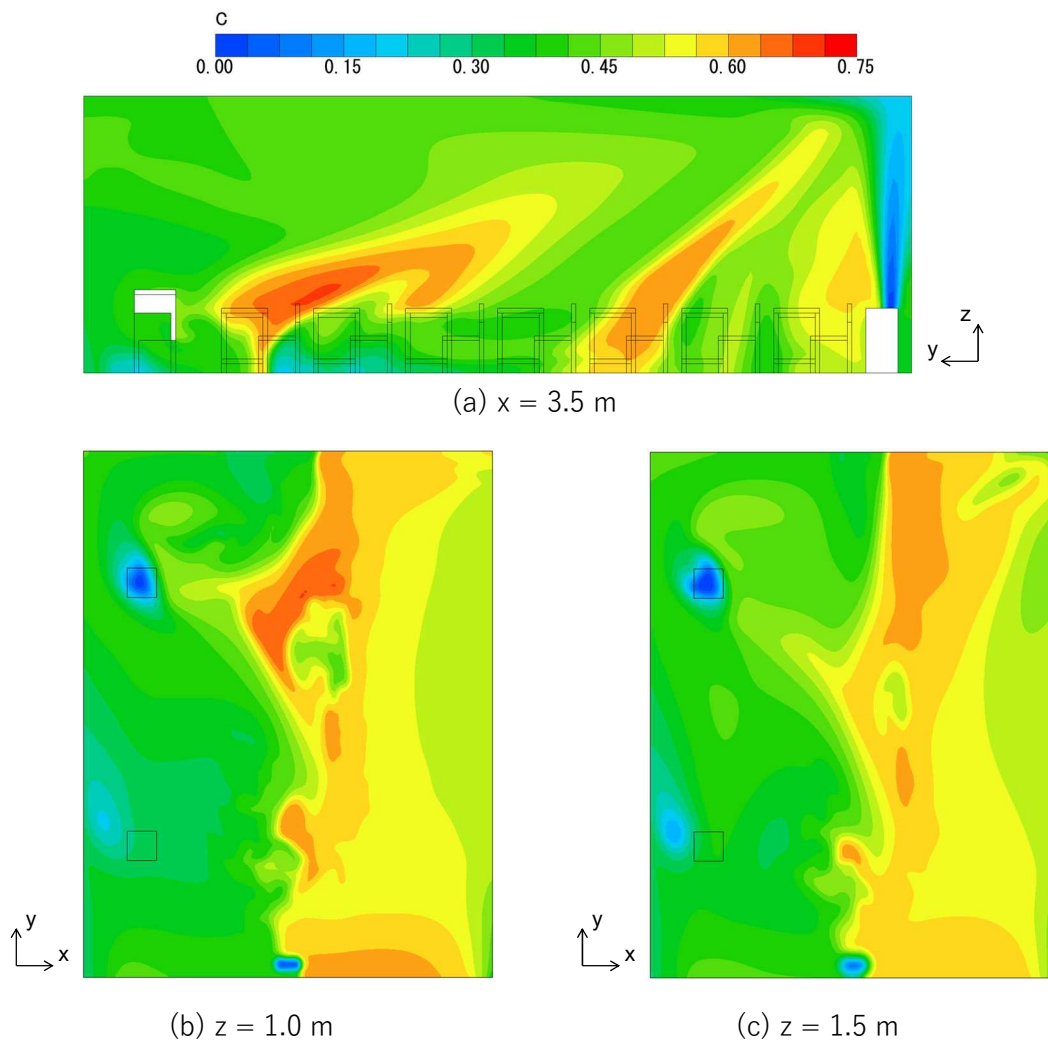


図-B12 什器を置いた教室における平均濃度の分布
(空気清浄機：後部中央，標準風量；濃度は C_n で無次元化)

3.2 空気清浄機の位置の影響

空気清浄機の設置位置の影響を調べるため、空気清浄機を教室後部の前方向かって左側または右側に配置した条件でも解析を行った。図-B13, 図-B14 はそれらの解析による平均濃度分布の結果である。これらの図で高さ 1.0 あるいは 1.5 m の水平断面の結果を見ると、給気口が左側、排気口が右側にある。よって、図-B12(b), (c)に示すように、空気清浄機が後部中央にある場合には、大まかに教室の左側の濃度が低く、右側の濃度が高くなる傾向にある。一方で、空気清浄機が後部左側にある場合には教室の後方右側に (図-B13 (b), (c))、空気清浄機が後部右側にある場合には教室の前方右側に (図-B14 (b), (c))、平均濃度の比較的高い領域が移動している。また、それに応じて、 x 方向中央断面における最高濃度の発生位置も変化している。

居住域平均濃度で見ると、後部中央に対して、空気清浄機位置を移動するといずれも値がやや大きくなり、左側のケースで 14%、右側のケースで 8%の増加となった（表-B2）。また、これらに応じて PFR の値は、ともに 10%前後減少している。このような変化が起きる理由としては、まず、空気清浄機を左側に設置すると給気口（A1）からの新鮮空気を比較的すぐに空気清浄機で吸い込むことになり、その風量あるいは清浄効果の一部が十分に発揮されなかったことが可能性として考えられる。一方、右側に設置した場合には、空気清浄機からの吹き出し気流の流路上の比較的近い位置に排気口（B1）が位置することになる。つまり、空気清浄機によって清浄化された空気の一部がすぐに教室外へと排気されてしまい、教室内の濃度の低下には十分に寄与しなかった可能性がある。このように、今回の検討条件では平均濃度と PFR とともに 10%程度の影響ではあったが、より効率的な空気清浄機の運用においては主に換気口との関係によりその設置位置にも配慮する必要があると思われる。

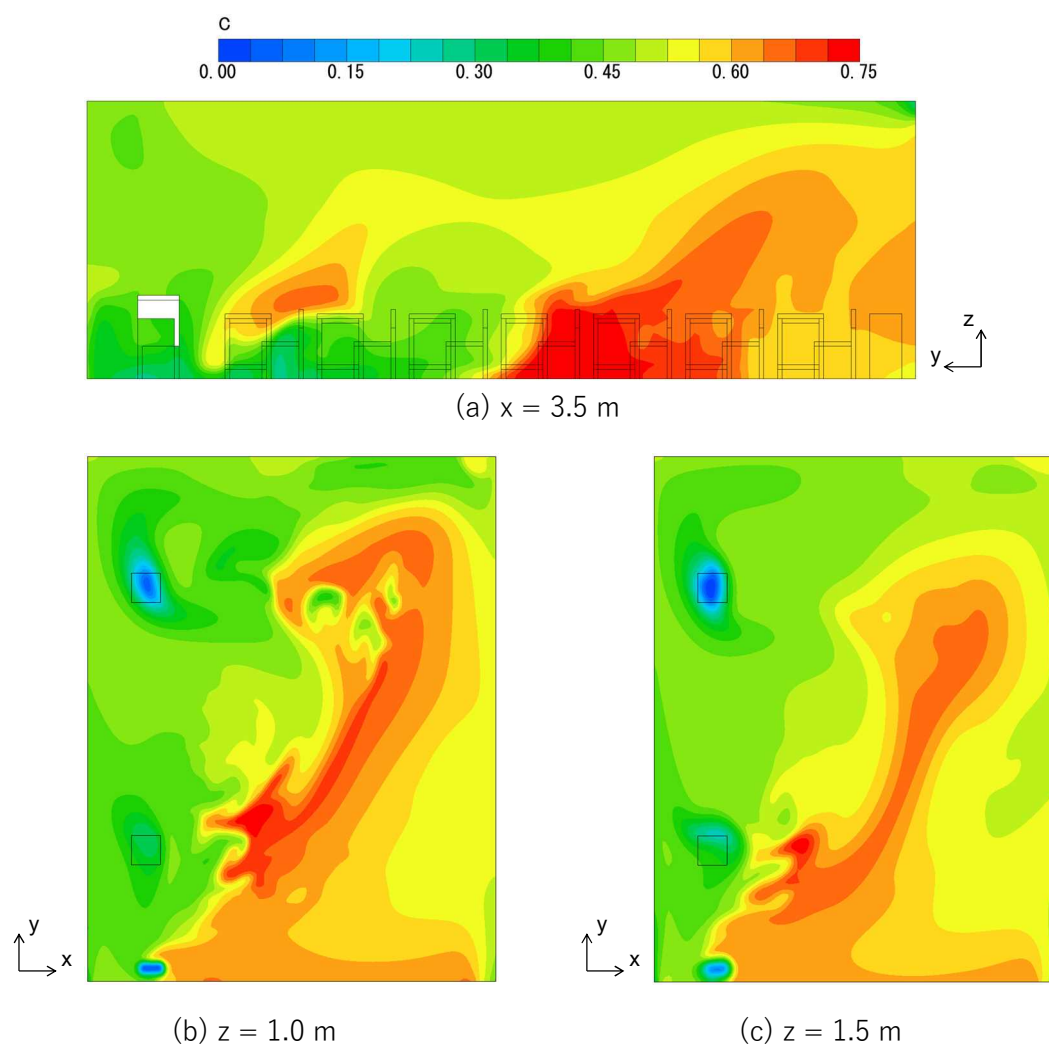


図-B13 什器を置いた教室において空気清浄機を左側に移動した場合の平均濃度の分布（空気清浄機：後部左側（-2.4m），標準風量；濃度は C_n で無次元化）

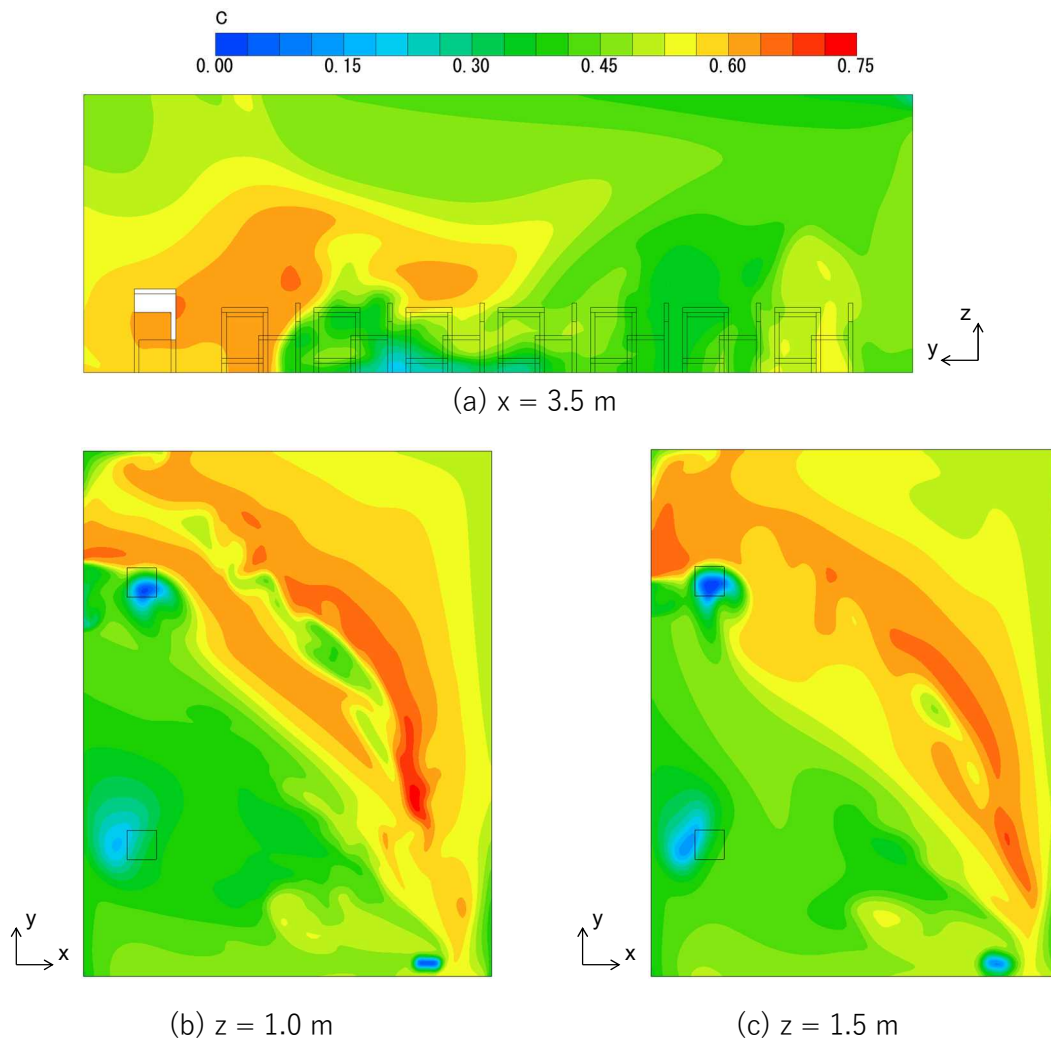


図-B14 什器を置いた教室において空気清浄機を右側に移動した場合の平均濃度の分布
 (空気清浄機：後部右側 (+2.4m)，標準風量；濃度は C_n で無次元化)

3.3 空気清浄機の風量の影響

空気清浄機の位置は後部中央のまま、風量を標準条件に対し 1/2 (弱風量を想定) にした場合と 2 倍 (強風量を想定) した場合のケースも設定し解析を行った。それらのケースにおける平均濃度分布の結果が図-B15, 図-B16 である。

図-B15 に示すように、当然のことながら風量の減少は濃度の上昇をもたらす (図-B15 では濃度がカラーバーの表示範囲を超えている位置もあるが比較のためその範囲は変えていない)。また、全般換気に対して空気清浄機による気流形成が相対的に弱まるため、教室全体の空気を混合する効果も弱まり、特に教室前方で左側にも高濃度の領域が発生している。そして、居住域平均濃度としては、31%の増加となった (表-B2)。

一方、図-B16 に示すように風量の増加は全体的な濃度の低下をもたらしともにより均一な濃度分布をもたらしした。その結果、居住域平均濃度は 30%の減少となり、これに応じて PFR は 43%の増加となった。ただし、この PFR の値 $585 \text{ m}^3/\text{h}$ は、全般換気量と空気清浄機風量の単純な和の $621 (= 189 + 432) \text{ m}^3/\text{h}$ よりはやや小さい。空気清浄機のワンパス除去率が 100%でないということや空気清浄機の吹き出しから吸い込みへの短絡によって、必ずしも空気清浄機風量のすべてを有効に活用できていないといった可能性が考えられる。

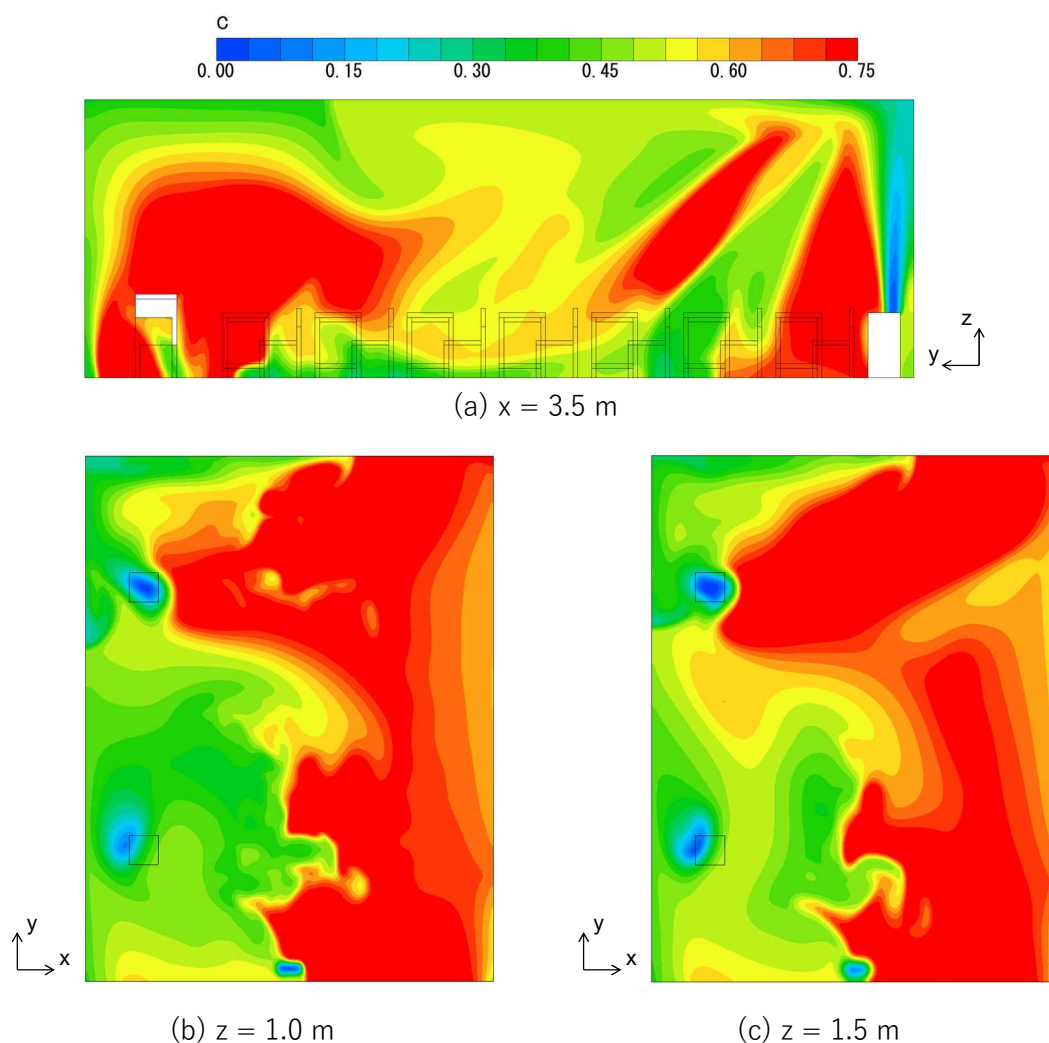


図-B15 什器を置いた教室において空気清浄機の風量を減らした場合の平均濃度の分布
(空気清浄機：後部中央, 弱風量; 濃度は C_n で無次元化)

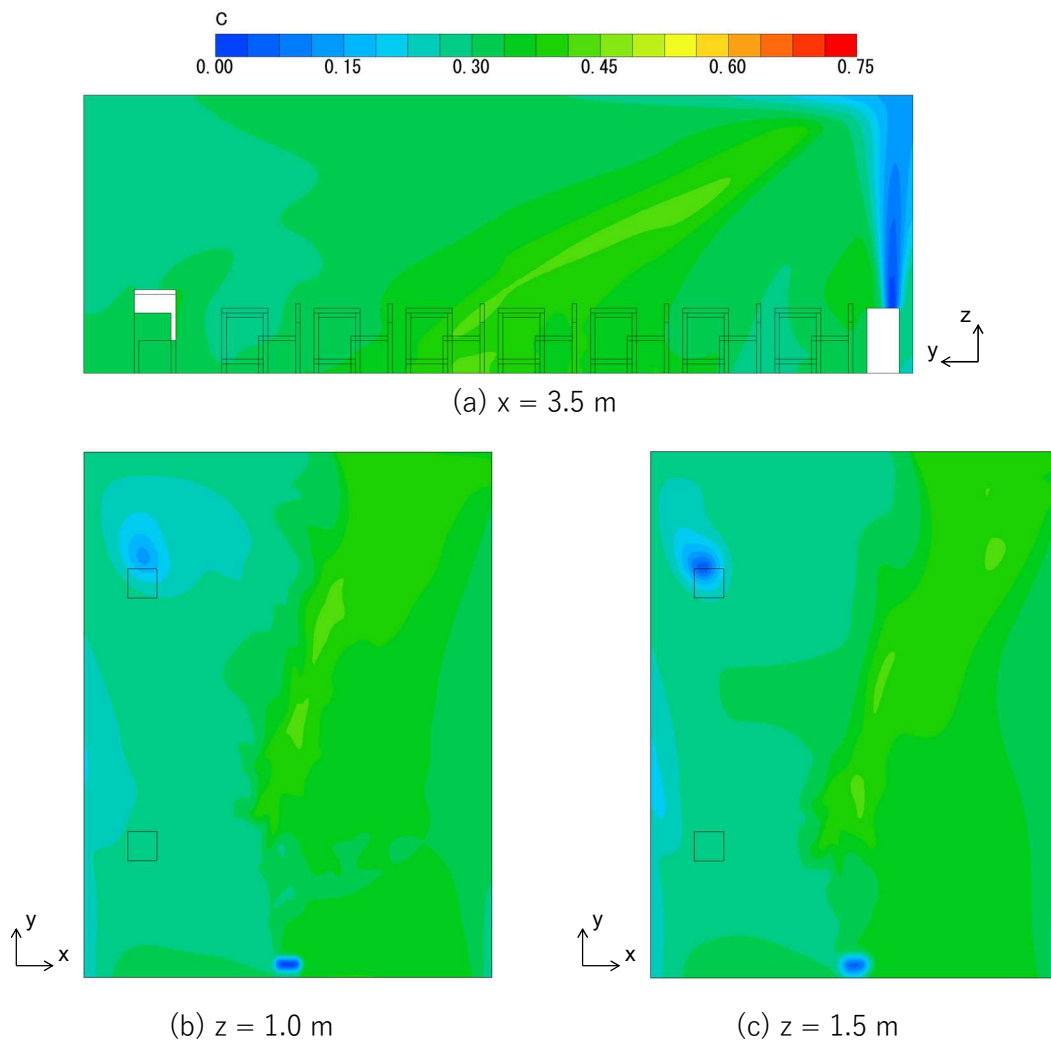


図-B16 什器を置いた教室において空気清浄機の風量を増やした場合の平均濃度の分布
(空気清浄機：後部中央, 強風量; 濃度は C_n で無次元化)

3.4 全般換気の向きの影響

ここまでのすべての解析は、A1, A2 を給気、B1, B2 を排気とする全般換気の実行条件で行ってきた。この条件設定への感度を調べるため、換気量は変えず、換気の向きを B1, B2 を給気、A1, A2 を排気と反転した条件でも解析を行った。図-B17 はこの条件における平均濃度の分布である。また、図-B18 には同条件での平均流速ベクトルの流線も示している。

全般換気の向きが変わることで、気流および濃度の分布もやや変化する。流れのパターンが複雑ではあるが、例えば B2 の給気口から供給された空気が天井を沿って -x 方向に流れた後、教室中央付近で下降するようなパターンが見てとれる。そのため、下降気流が生じる場所の付近で周囲より濃度が低くなっている。一方、その下降気流に阻害されて滞留しているのか教卓付近の濃度が高くなっている。

B1, B2 を給気とすると、新鮮空気が居住域を通過せずに A1, A2 の排気口に到達しやすくなると考えられる。そのためか、居住域平均濃度は A1, A2 を給気口する条件に比べて 17% ほど濃度が高くなった (表-B2)。ただし、これは空気清浄機というより全般換気的方式の問題であり、このような条件においても (A1, A2 を給気口するが) 空気清浄機がなしの状態 (表-B1) に対しては、58%ほどに濃度が低下していることに注意されたい。

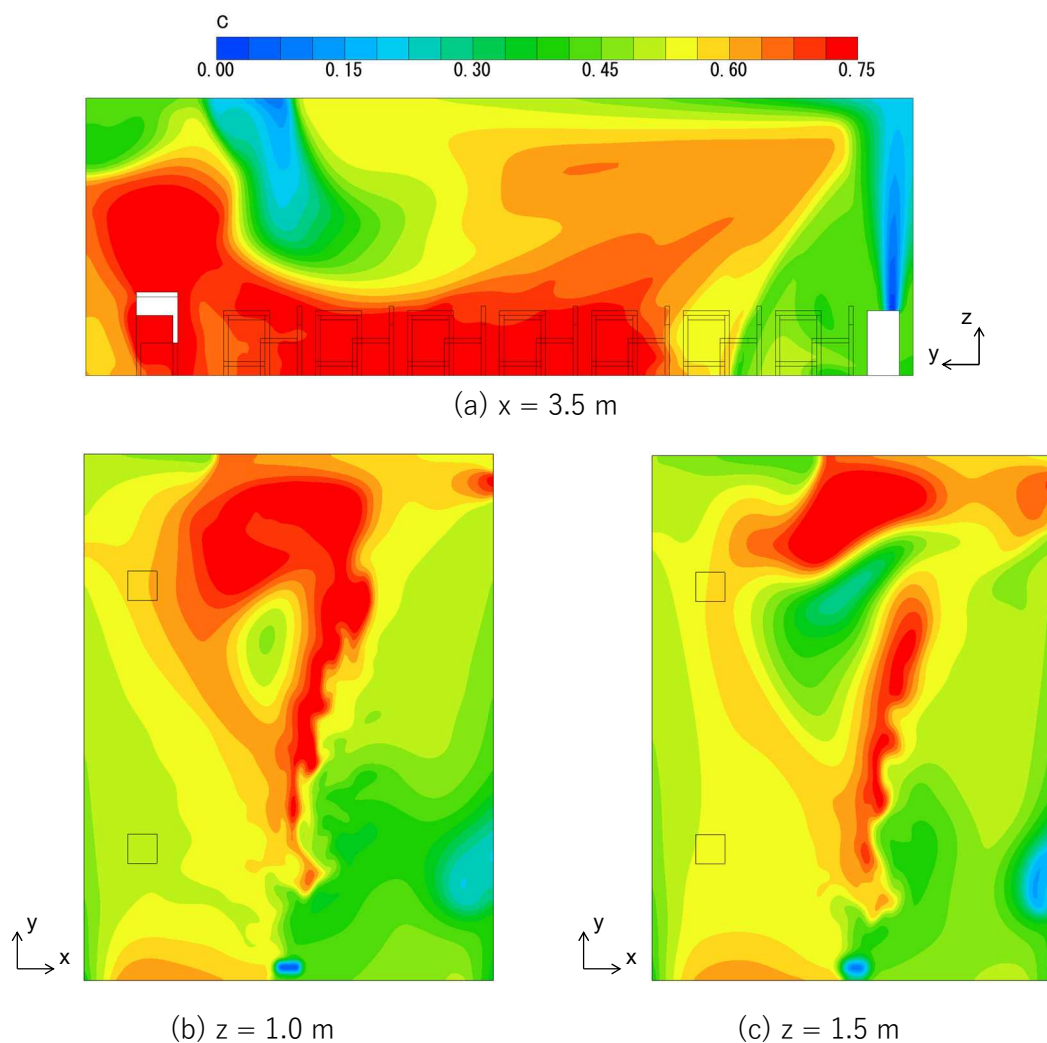


図-B17 什器を置いた教室において換気の給排気の向きを逆にした場合の平均濃度の分布 (空気清浄機：後部中央, 標準風量; 濃度は C_n で無次元化)

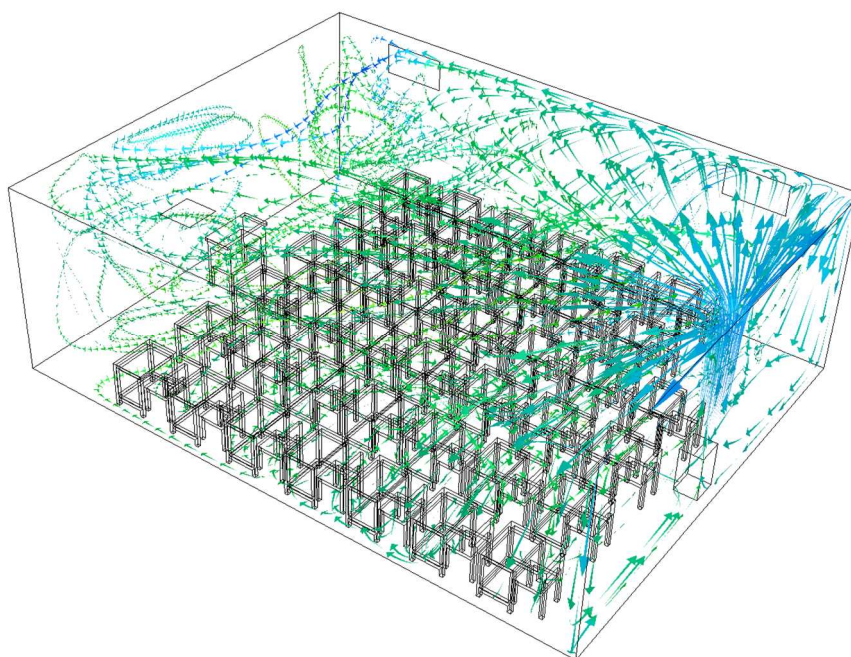


図-B18 什器および空気清浄機を設置した教室において
 換気方向を反転した場合の平均流速ベクトルの流線
 (全般換気方向: B→A; 手前角が座標原点; C_n で無次元化した濃度で色付け)

4 人体を設置した条件での解析の結果

人体の存在も什器と同様に室内気流および濃度分布に影響を与える可能性がある。そこで本節では、学生用の机と椅子に座位の人体（40体）と教卓近くに立位の人体（1体）を加えた教室での解析ケースの結果を報告する。表-B3には、前節までの解析における基準となるケースと本節の条件における居住域平均濃度とPFRの結果をまとめている。この詳細については、以降の各小節の説明を参照されたい。

表-B3 各教室内の設置条件と濃度（ C_n で無次元化）およびPFRの結果
（丸括弧内の数値は基準ケース（最上列）の値に対する割合；標準格子；全般換気の方
向：A→B；空気清浄機位置：後部中央）

条件	全般換気量 [m ³ /h]	空気清浄機風量 [m ³ /h]	居住域平均濃度 [-]	PFR [m ³ /h]
空	189	-	0.933 (100%)	203 (100%)
空気清浄機追加	189	216	0.460 (49%)	411 (203%)
什器追加	189	216	0.463 (50%)	408 (201%)
人体（発熱なし）追加	189	216	0.460 (49%)	411 (203%)
人体（発熱あり）追加	189	216	0.510 (55%)	371 (183%)

4.1 発熱のない人体を配置した場合（等温条件）

まず、単に流れを阻害する存在としての人体の影響を把握するため、発熱のない人体を設置した解析を行なった。この条件における平均流速ベクトルの流線を図-B19に示すが、教室全体の流れの傾向としては什器のみを設置した場合(図4.1)と大きくは変わっていない。また、図-B20にこの条件における平均濃度の分布を示す。人体周囲で若干の局所的な濃度上昇が見られるほか、中央右側（ $x = 4.1$ m）の机の列付近において濃度が高い傾向があるが、大まかな分布の傾向は什器のみを置いた教室の結果（図-B12）と同様である。

表-B3に主な解析条件における居住域平均濃度とPFRを示す。什器の有無、人体の有無に関わらず、人体発熱（教室空気の非等温性）の影響を考慮しない場合、空気清浄機を設置することで居住域平均濃度を半分程度に減少させ、PFR（実質的な換気量）を2倍程度に増やすことができることが分かった。

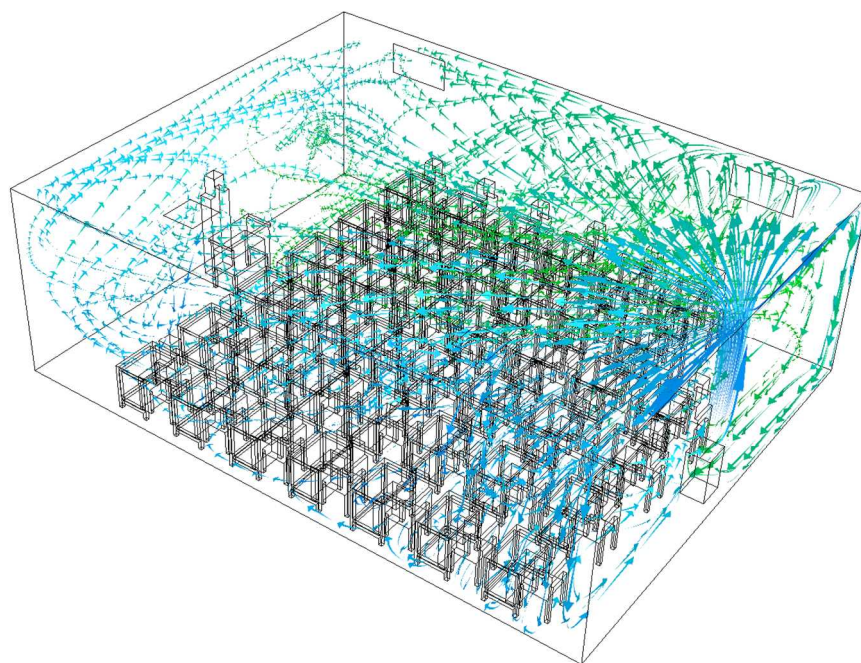
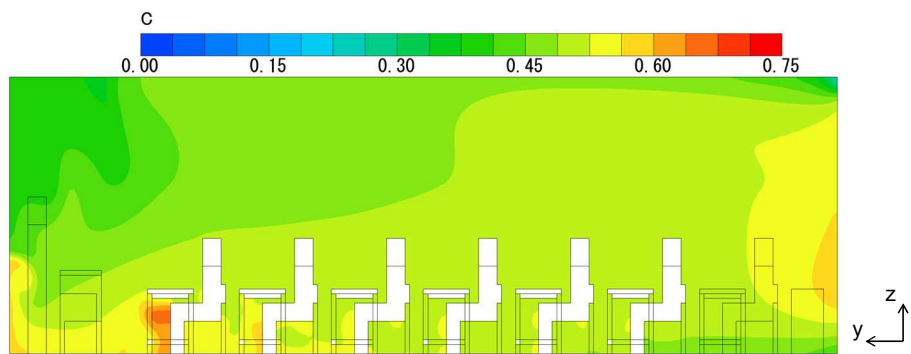
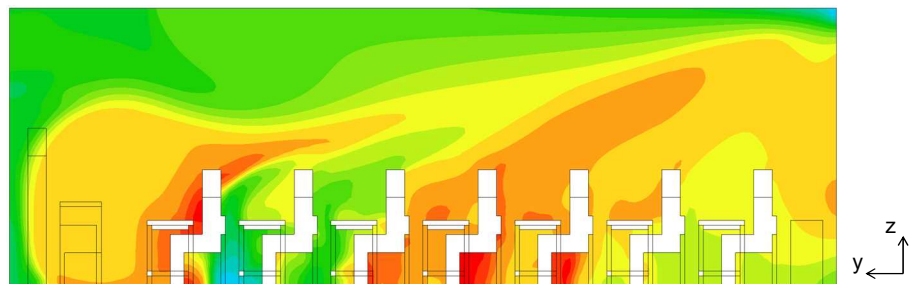


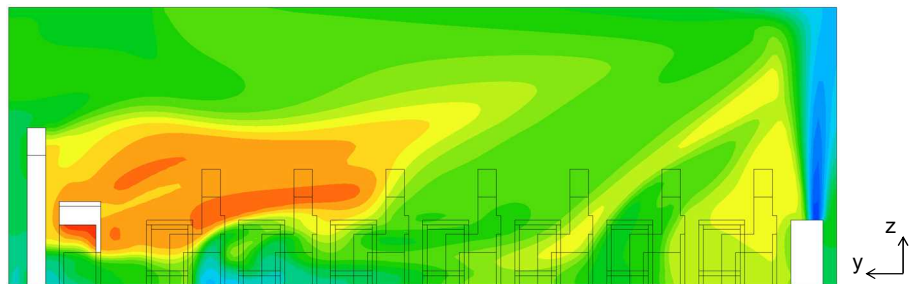
図-B19 什器・人体および空気清浄機を設置した教室における平均流速ベクトルの流線
(人体発熱なし・等温条件；手前角が座標原点； C_n で無次元化した濃度で色付け)



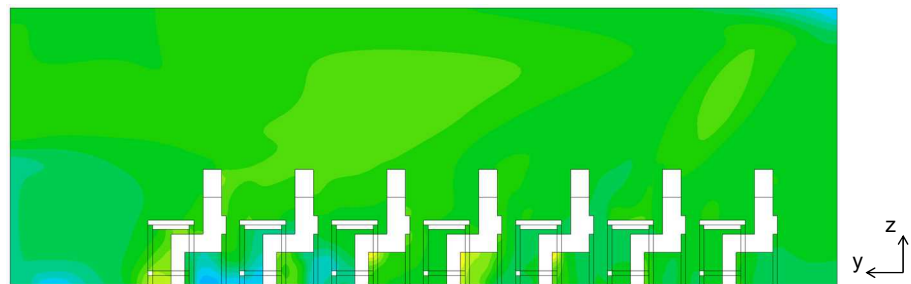
(a) $x = 6.5$ m



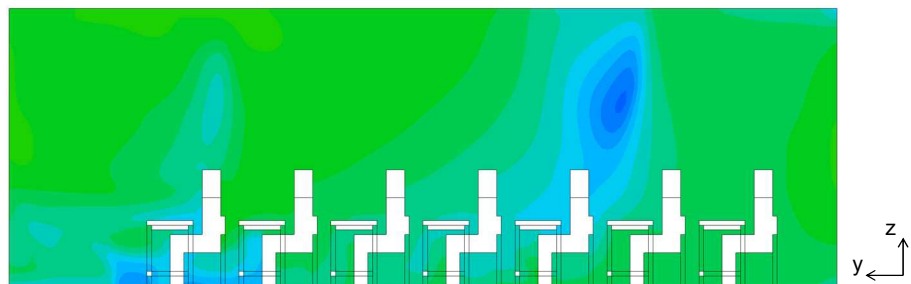
(b) $x = 4.1$ m



(c) $x = 3.5$ m



(d) $x = 2.9$ m



(e) $x = 0.5$ m

(次ページに続く)

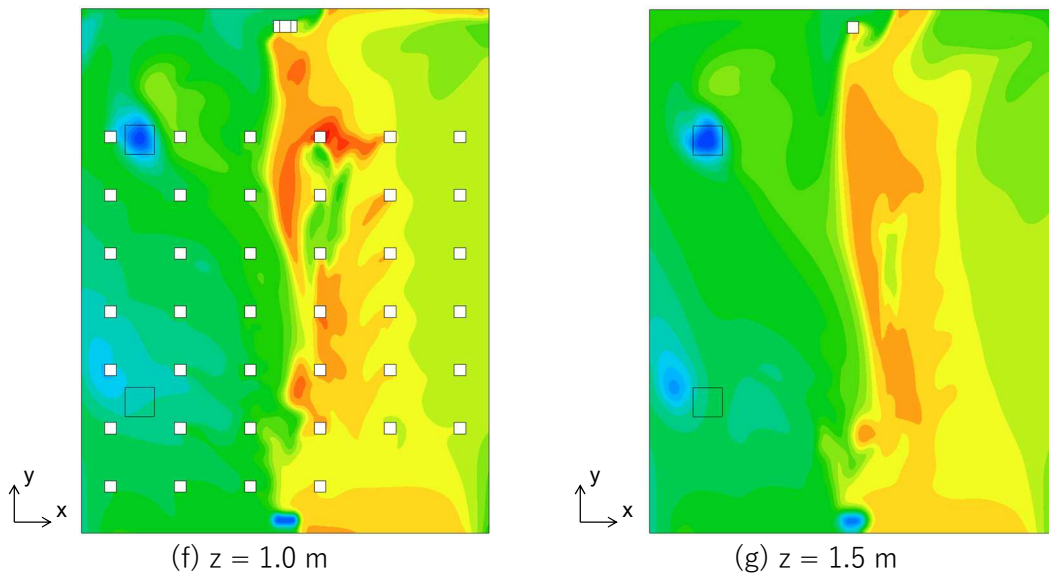


図-B20 人体（発熱なし）を置いた教室における平均濃度の分布
 （空気清浄機：後部中央，標準風量；全般換気の方法：A→B；濃度は C_n で無次元化）

4.2 発熱のある人体を配置した場合（非等温条件）

次に、人体からの発熱や換気による冷気流入、壁を介した熱流出といった要素を考慮し、非等温な教室空間での気流と温度、濃度分布を解析した。図-B21 は、この条件による平均流速ベクトルの流線である。空気清浄機から吹き出した気流は変わらず教室全体へと到達しているが、等温条件の図-B19 に比べるとその勢力は弱まっているように見受けられる。また、教室後部に沿って流れ比較的短い経路で空気清浄機へと戻ってくるような流線が増えている。他には、 $x=0$ と $x=7$ m の教室左および右側の壁は、それぞれ 15°C 、 20°C の表面温度を条件として与えたため、教室内空気より低い温度になる傾向がある。そのためか、これらの壁の付近で下降するような流線が見取れる。

図-B22, 図-B23 には、それぞれ等温条件、非等温条件における鉛直断面内の平均流速ベクトルを示す。人体発熱がなく等温条件な条件においては、各断面内で比較的単純な流れの傾向がある（図-B22）。一方で、非等温条件な条件においては、各人体の周囲でその発熱による上昇気流が生じ、複雑な流れのパターンが形成されるようになる（図-B23）。また、 $x=0.5$ m の断面では、 10°C の冷気が流入する給気口（A1, A2）付近で、非等温条件の方が下降する気流が強化されている。

図-B24 は、非等温条件における平均温度の分布である。人体周囲での局所的な温度上昇、給気口（A1, A2）付近での温度低下がみられるほか、いずれの場所でも大まかに床付近から天井付近へと徐々に温度が上昇するいわゆる安定な温度成層が見られる。なお、居住域内の空間平均温度（人体・什器部内部を除く）は 24.3°C となった。

空気清浄機は、吸い込み空気と同じ温度の空気を吹き出すように計算条件を与えた。つまり、比較的温度の低い床付近の空気を吸い込み、温度の高い空気の多い天井付近へ向かって吹き出すことになる。このことによって、吹き出し気流が下向きの浮力によってその勢いを減じられるほか、人体付近で形成される上昇気流とも天井付近で干渉するようになり、図-B21 や図-B23 で説明したような流れのパターンが形成されたものと考えられる。

図-B25 は、同じく非等温条件におけるトレーサの平均濃度の分布である。図-B20 で示したように等温条件においては、教室の左側と右側で平均濃度の低い部分と高い部分が分かれるような分布を示した。一方、図-B25 の非等温条件においては、空気清浄機の吹き出し気流の勢力が弱まったためか、教室の後方（やや左より）と前方（やや右より）で平均濃度の低い部分と高い部分が分かれるような分布へと変化した。また、最も濃度が高い部分の値は非等温条件の方が等温条件よりも大きくなった。

表-B3 には、非等温（人体（発熱あり）追加）条件における居住域平均濃度と PFR も載せている。平均濃度の値（0.510）は、等温条件に比べれば約 10%高い値となった。また、PFR の値（371 m³/h）も同様に約 10%小さくなり、全般換気量と空気清浄機風量の和（405 m³/h）に対する PFR の値は約 92%となった。

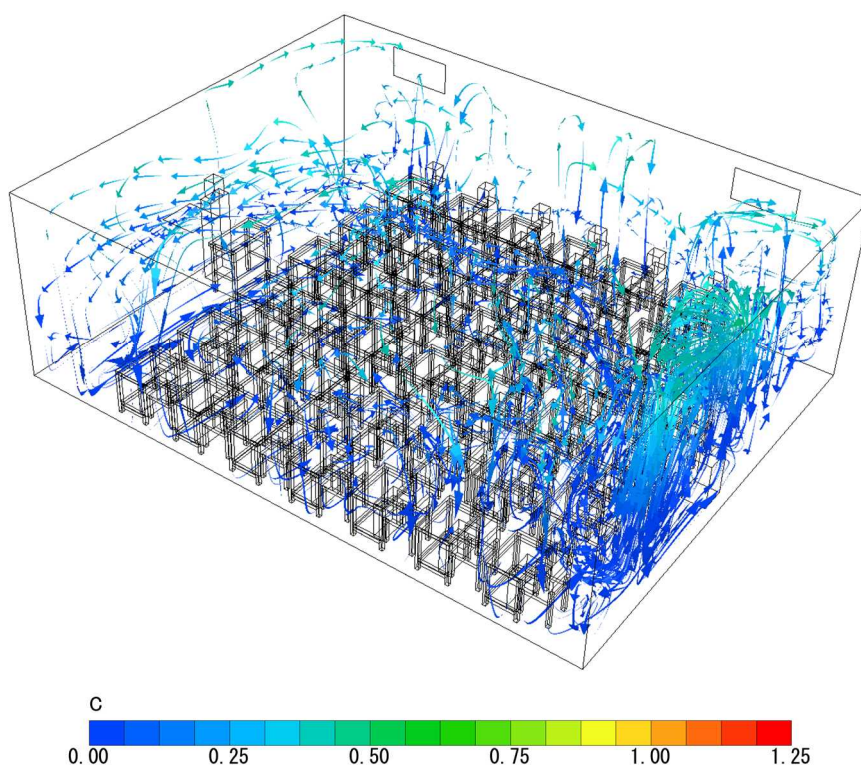


図-B21 什器・人体および空気清浄機を設置した教室における平均流速ベクトルの流線（人体発熱あり・非等温条件；手前角が座標原点； C_n で無次元化した濃度で色付け）

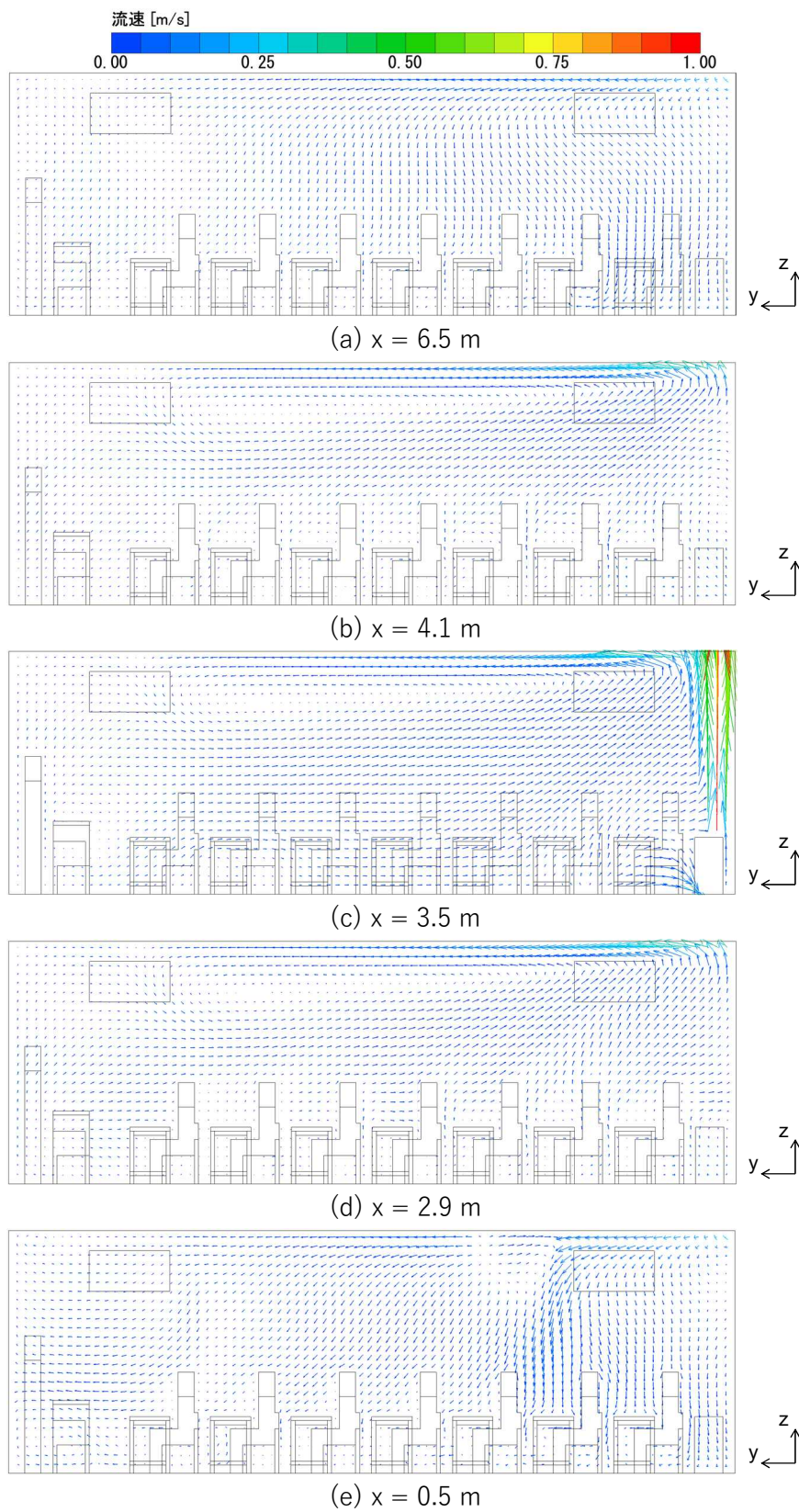


図-B22 人体（発熱なし）を置いた教室における平均流速ベクトルの分布
 （等温条件；空気清浄機：後部中央，標準風量；全般換気の方法：A→B）

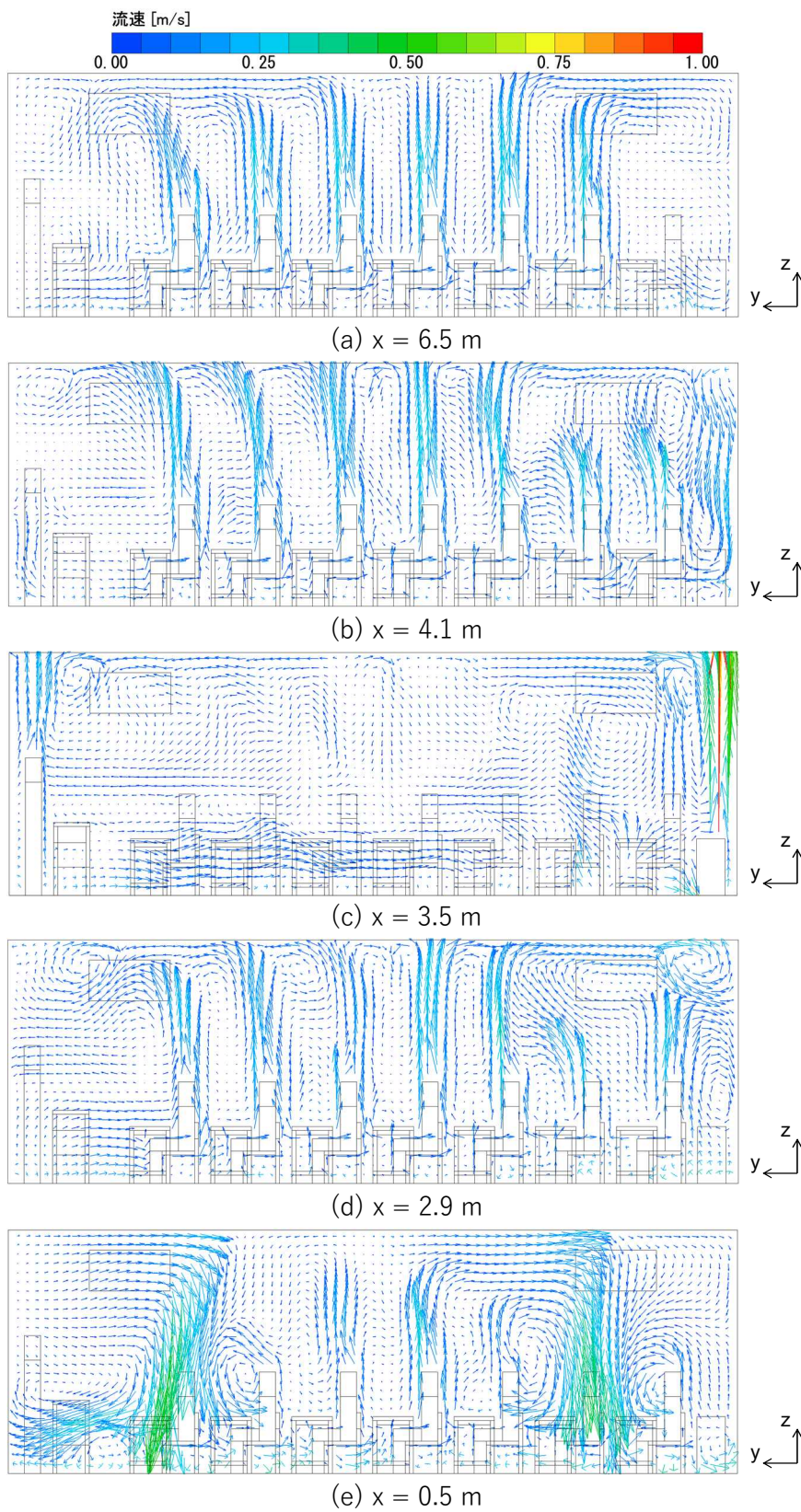
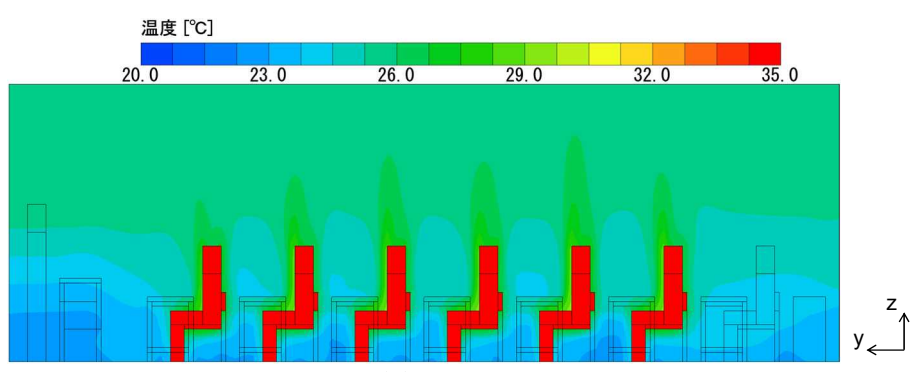
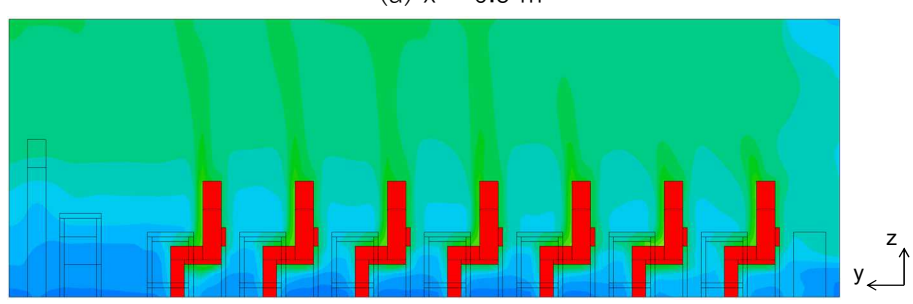


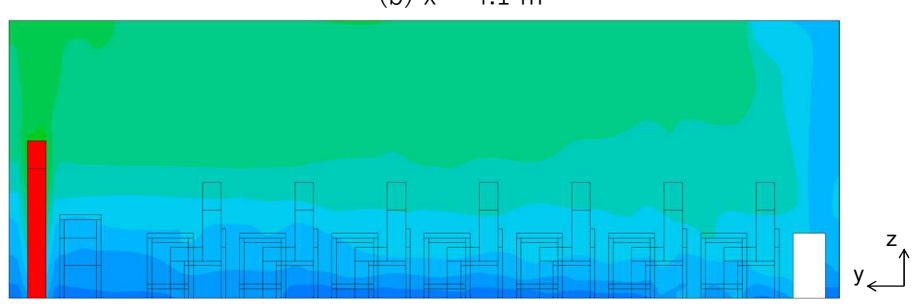
図-B23 人体（発熱あり）を置いた教室における平均流速ベクトルの分布
 （非等温条件；空気清浄機：後部中央，標準風量；全般換気の方法：A→B）



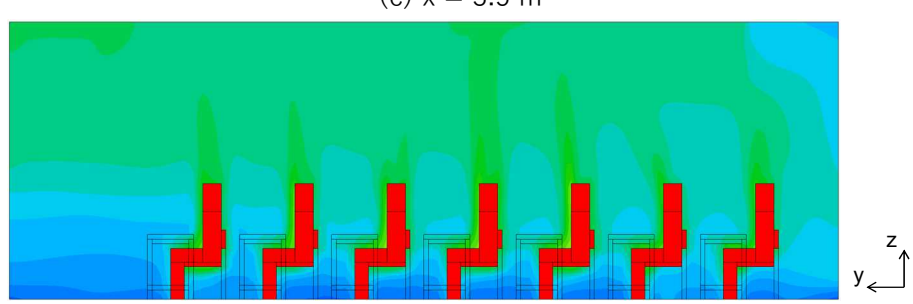
(a) $x = 6.5$ m



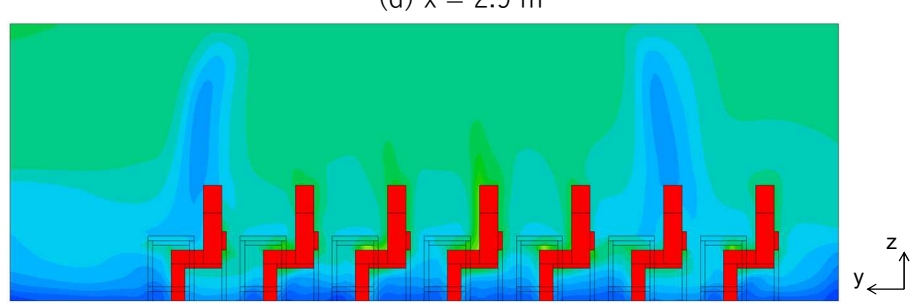
(b) $x = 4.1$ m



(c) $x = 3.5$ m



(d) $x = 2.9$ m



(e) $x = 0.5$ m

(次ページに続く)

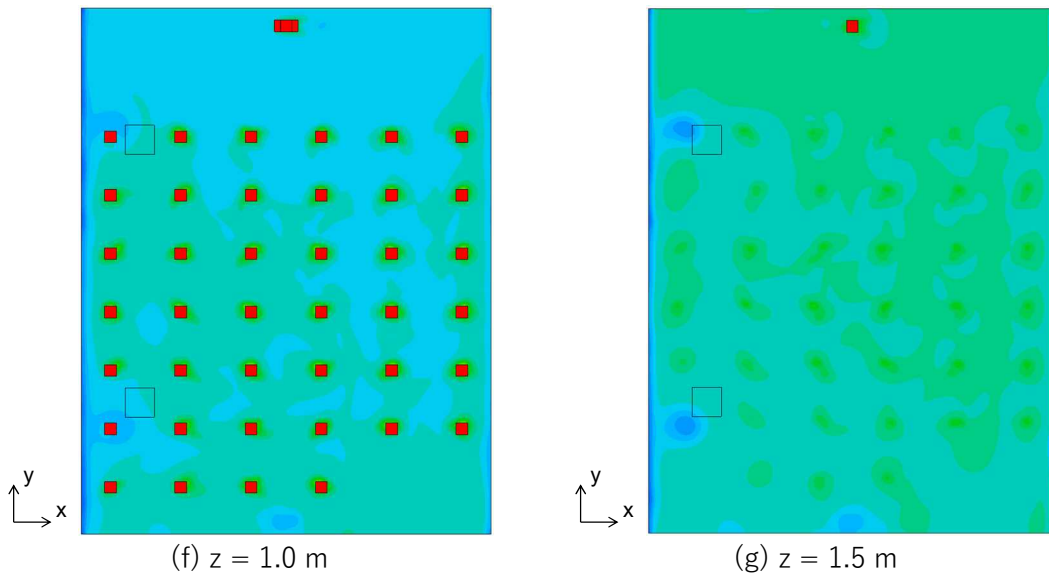
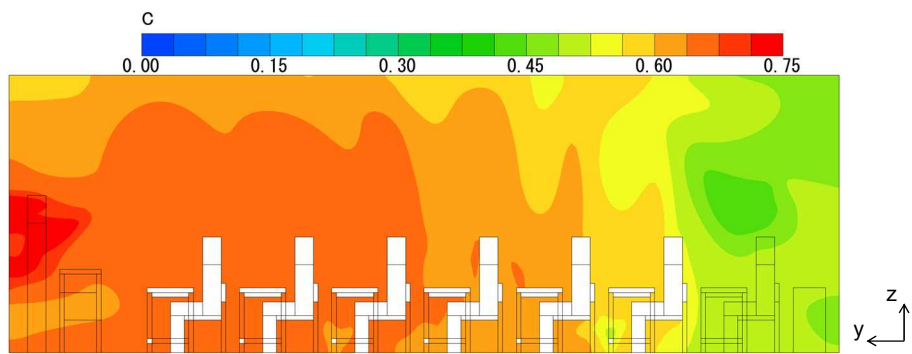
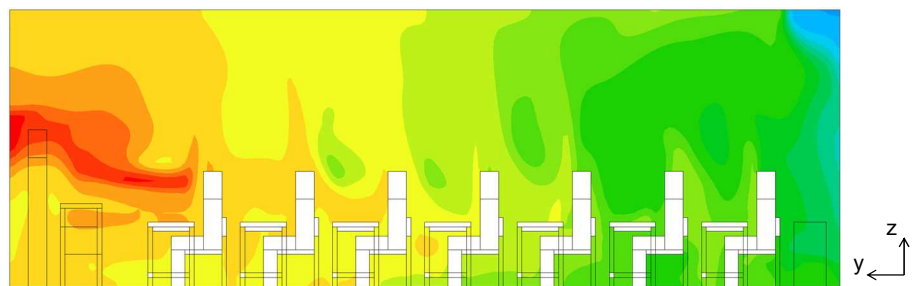


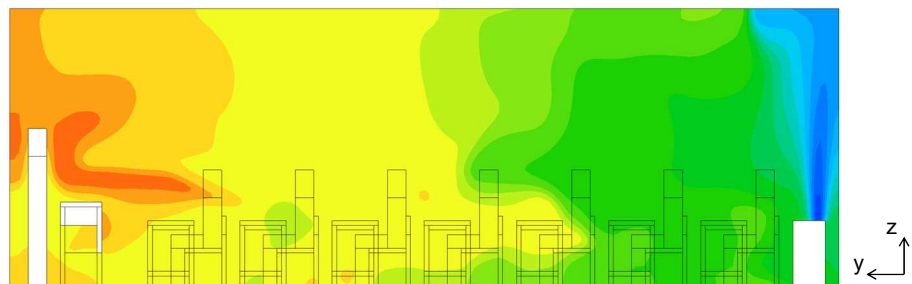
図-B24 人体（発熱あり）を置いた教室における平均温度の分布
 （非等温条件；空気清浄機：後部中央，標準風量；全般換気の方法：A→B）



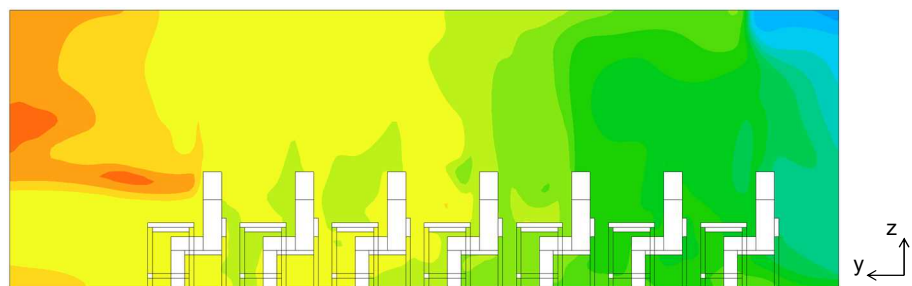
(a) $x = 6.5$ m



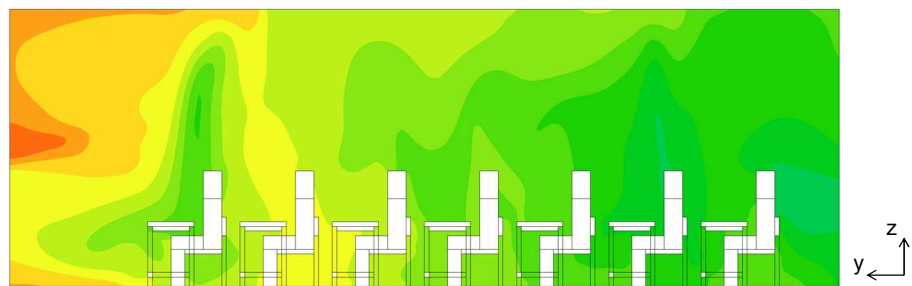
(b) $x = 4.1$ m



(c) $x = 3.5$ m



(d) $x = 2.9$ m



(e) $x = 0.5$ m

(次ページに続く)

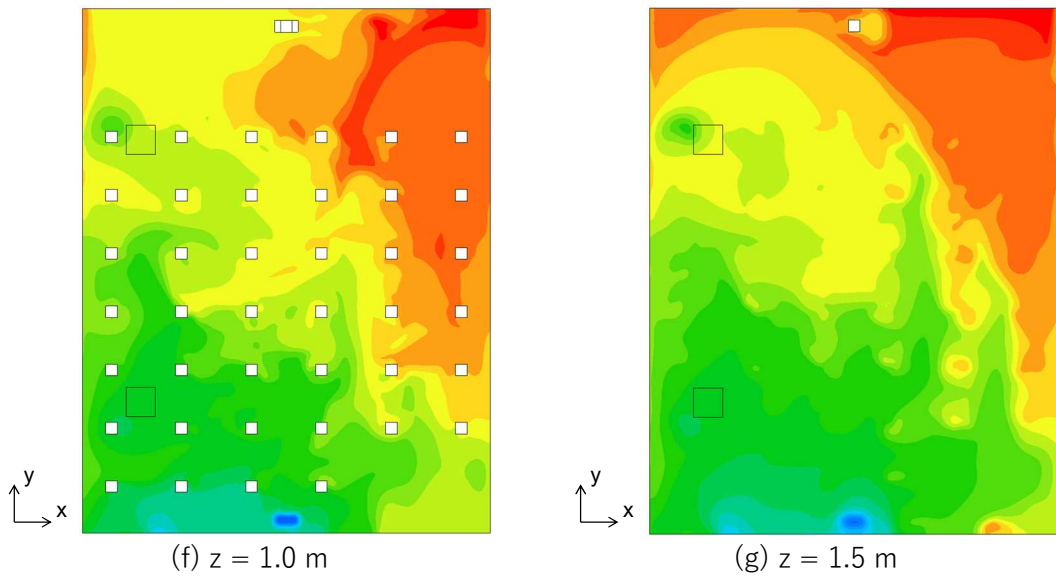


図-B25 人体（発熱あり）を置いた教室における平均濃度の分布
 （非等温条件；空気清浄機：後部中央，標準風量；全般換気の方法：A→B；濃度は C_n で無次元化）

5 まとめ

学校の教室空間における空気清浄機による浮遊粒子の除去を想定し、数値流体解析 (CFD) モデルを用いた教室内の気流およびトレーサー濃度分布の解析を実施した。典型的なサイズをもつ教室一室を対象に、教室が空の状態とそこに空気清浄機を設置した場合、さらに机や椅子の什器を設置した場合、人体を配置した場合、空気の非等温性を考慮した場合、それぞれについて解析を実施した。そして、条件による教室内の気流やトレーサー濃度分布の違いを考察するとともに、居住域におけるトレーサー平均濃度や PFR (実質換気量) を評価し、空気清浄機によるトレーサー除去性能を定量的に評価した。その結果として、主に以下のような結果を得た。

- 空気清浄機の送風により教室全体の空気を 3 次元的に巻き込んだ気流が形成された。その気流による混合効果により、教室内のトレーサー濃度は空気清浄機がない場合に比べて均一な分布を示すようになった。
- 空気清浄機の送風による空気の流れは、机・椅子といった什器や人体の存在により多少変化するものの、等温条件である限り、教室全体を巻き込んだ気流の傾向は大きくは変化しなかった。
- 空かつ空気清浄機もない状態の教室を基準として、什器や人体の有無にかかわらず、等温条件においては、 $189 \text{ m}^3/\text{h}$ の全般換気に対して、 $216 \text{ m}^3/\text{h}$ ($= 0.06 \text{ m}^3/\text{s}$) の風量設定の空気清浄機 (ワンパス除去率 94.9%) を設置することで、居住域におけるトレーサー濃度の空間平均値は約 0.5 倍に減少した。また、PFR は約 2 倍に増加した。
- PFR は、全般換気量と空気清浄機風量の和におおよそ等しく、空気清浄機の風量が概ね全般換気に加わって居住域で発生する汚染質除去に寄与した。
- 空気清浄機を教室の後部に設置する場合、中央か端よりかという位置によって、トレーサーの居住域平均濃度と PFR が 10% 程度変化した。特に中央に設置した条件において、最もトレーサー濃度の低減効果が大きかった。
- 空気清浄機の風量の増加は、基本的には居室内のトレーサー濃度の低減に寄与するが、必ずしも単純には空気清浄機の風量の増分が PFR の増分に対応しなかった。
- 人体の発熱や換気による冷気流入、壁を介した熱流出がある場合には、人体周囲の上昇気流や教室空気内の安定な温度成層の影響により、空気清浄機の吹き出し気流の勢力が弱まることが分かった。ただし、本検討の計算条件におけるこれらの影響は、等温条件と比べて、トレーサーの居住域平均濃度が約 10% の上昇、PFR が約 10% の減少といった程度であった。

参考文献

- [1] J.H. Kim, G.W. Mulholland, S.R. Kukuck, D.Y.H. Pui, Slip correction measurements of certified PSL nanoparticles using a nanometer differential mobility analyzer (nano-DMA) for Knudsen number from 0.5 to 83, *J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol.* 110 (2005) 31. <https://doi.org/10.6028/jres.110.005>.
- [2] 伊藤一秀, 加藤信介, 村上周三, 平均拡散場解析によるVisitation Frequency, Purgig Flow Rateの解析: 不完全混合室内の居住域換気効率の評価に関する研究, 日本建築学会計画系論文集. (2000) 31–37. <http://ci.nii.ac.jp/naid/110004657408/> (accessed August 1, 2016).
- [3] B.E. Launder, D.B. Spalding, The numerical computation of turbulent flows, *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.* 3 (1974) 269–289. [https://doi.org/10.1016/0045-7825\(74\)90029-2](https://doi.org/10.1016/0045-7825(74)90029-2).

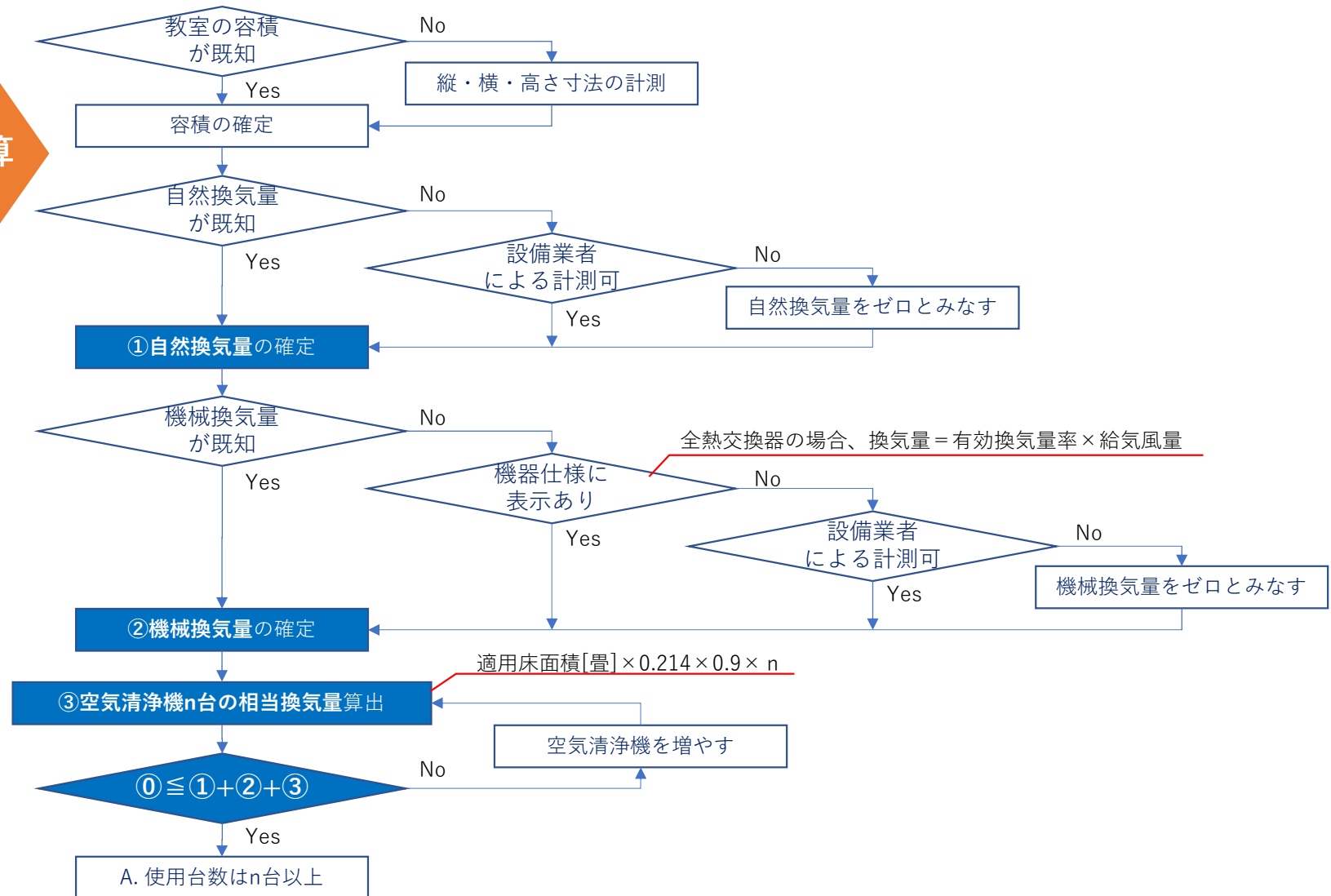
【付録C】

空気清浄機の使用台数計算用フロー図

目標値の決定

①必要換気量
= 想定人数 × 30[m³/h]

計算



【付録C】

空気清浄機の使用台数計算用ワークシート

● 教室の条件

空間容積 (A) _____ [m³] ← 縦 _____ [m] × 横 _____ [m] × 高さ _____ [m]

想定人数 (B) _____ [人]

必要換気量 (C) _____ [m³/h] ← (B) × 30

● 相当換気量

自然換気 (D) _____ [m³/h] ← 自然換気回数 _____ [回/h] × (A) ※不明の場合は(2)へ

機械換気 (E) _____ [m³/h] ← i) + ii)

i) 換気扇 _____ [m³/h] ← 実測による

ii) 全熱交換器 _____ [m³/h] ← 有効換気量率 0. _____ × 給気風量 _____ [m³/h]

空気清浄 (F) _____ [m³/h] ← iii) × 安全率 0.9

iii) 相当換気量 _____ [m³/h] ← 適用床面積 _____ [畳] × 0.214

	(1) 自然換気回数が既知の場合		(2) 自然換気回数が不明の場合	
空気清浄機	(D) + (E) + (F) × 台数	判定：(C)以上？	(E) + (F) × 台数	判定：(C)以上？
1 台				
2 台				
3 台				
4 台				

教育現場における抗ウイルス・抗菌コーティング による接触感染リスク低減対策の参考ガイド

(目次)

1. はじめに
2. 接触表面の抗ウイルス化・抗菌化の重要性
3. 教育現場における抗ウイルス・抗菌コーティングの提案と選定案内

付録 A 抗ウイルス・抗菌コーティングの実使用環境における検証

付録 B 抗ウイルス・抗菌コーティング選定案内書

1. はじめに

昨今、新型コロナウイルス(SARS-CoV-2)による感染症(COVID-19)をはじめ新規のウイルス感染症が問題になっている。新型コロナウイルス感染対策専門会議は、集団感染によるクラスターの発生が確認された場所の共通項として、①換気の悪い密閉空間、②多くの人の密集、③近距離での会話という3つの条件が同時に重なった場合を挙げている^{1),2)}。新型コロナウイルスの感染拡大防止として、この3つの密(密閉・密集・密接)を避けることを推奨している。

学校教育現場においても、SARS-CoV-2によってクラスターの発生が懸念され、場合によっては臨時休校等により子供たちが学校に登校できず、学びの場が奪われるなどの問題も発生している。文部科学省は、手洗い、咳エチケット、換気、「3つの密」の回避など基本的な感染症対策を要請している^{3),4)}。また、学校における新型コロナウイルス感染症対策の考え方として、どんなに感染症対策を行っても、感染リスクをゼロにすることはできないという事実を前提として、感染およびその拡大のリスクを可能な限り低減させるための、さまざまな感染症予防対策を行う必要がある。感染予防としては、厚生労働省によって消毒・除菌方法について整理されており⁵⁾、身の回りのモノへの消毒、手洗い、手指の消毒等が挙げられている。多くのヒトが触れる物質表面を頻繁に消毒することは、時間と労力がかかるが、感染症リスク低減対策として実施されている。

そこで安全・安心の確保が求められる学校教育現場における、新型コロナウイルス対策の1つの手段として、上記の対策に加えて「抗ウイルス・抗菌コーティングによる接触表面の抗ウイルス・抗菌化」を提案し、その有効性を高めるために、抗ウイルス・抗菌機能を持つ塗料およびコーティングの選定方法や運用方法について、本参考ガイドにて案内する。

2. 接触表面の抗ウイルス化・抗菌化の重要性

2.1 ウイルスの感染経路

Otterらは、WHOが示した指針⁶⁾よりコロナウイルス(SARSやMARS)とインフルエンザウイルスの感染ルートに関して言及している⁷⁾。図1に示すように、ウイルス感染経路として、以下が挙げられる。

- (1) 接触感染(ウイルスを手などで触り、体内の粘膜から感染)
- (2) 空気感染・エアロゾル感染(ウイルスを含んだ飛沫核を吸入することで感染)
- (3) 飛沫感染(咳やくしゃみなどで発生した飛沫を吸入することで感染)

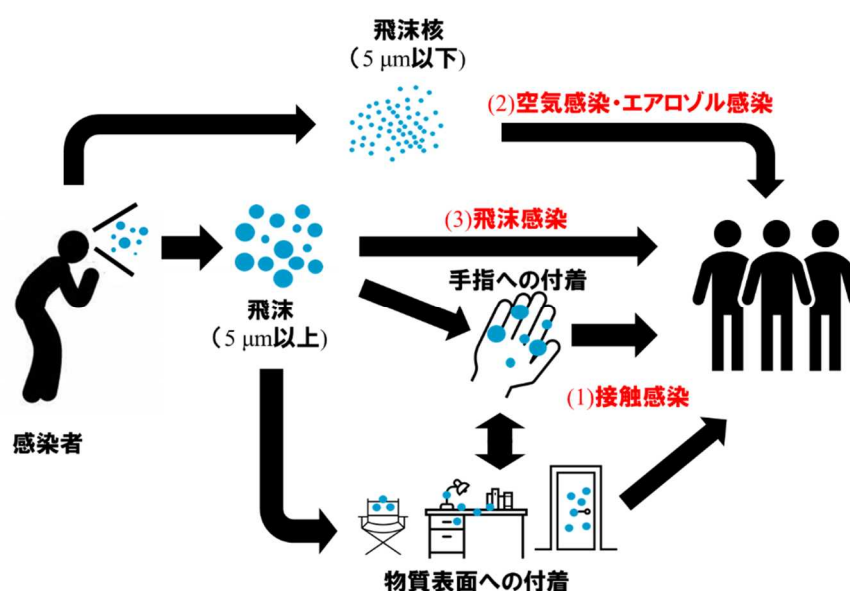


図1 ウイルスの感染経路⁷⁾

例えば、飛沫感染は、一般的に会話や咳、クシャミなどによるウイルスを含む飛沫等が原因である。それに対して、接触感染では、ウイルスを含む飛沫が、手のひらや指に付着することや、机や壁等の物質表面を介して手のひらや指に付着することで移動・拡散する。なお、ウイルスを含む唾液等は家具、建物表面、床に付着した場合、空気中のように拡散により希釈されることは期待できない。そのため、物質表面を抗ウイルス・抗菌化し、物質表面からの移動・拡散を低減することは有効である。

2.2 感染経路と感染リスク

表1に示すように、Nicasらは、インフルエンザの罹患者と同じ部屋における4つの感染経路のウイルス感染リスク割合(相対的寄与度)に関して数学的モデルを用いてシミュレーションを実施した⁸⁾。それによると、飛沫に含まれるウイルス量により異なるが、接触感染は27~58%、飛沫感染が11~58%であり、感染経路の中では接触感染によるリスクが大きいことが示されている。

表1 感染経路ごとのウイルス感染リスクの割合(シミュレーション)⁸⁾

感染経路	インフルエンザウイルス 感染経路ごとの寄与率
(1)接触感染	27%~58%
(2)空気感染 (10 μm以下のエアロゾル粒子)	14%~31%
(3)空気感染 (10 μm~100 μmのエアロゾル粒子)	0.5%~1%
(4)飛沫感染 (100 μmより大きい飛沫粒子)	11%~58%

したがって、教育現場における抗ウイルス対策についても、換気等の空気感染を防止することの他、ウイルスが付着したものの表面から感染する接触感染を防止することは非常に重要となる。また、新型コロナウイルスの伝播様式についての研究も盛んに行われており、実例は少ないものの物質表面を介した接触感染もいくつか報告されている^{9)~13)}。

2020年2月にダイヤモンドプリンセス号内で新型コロナウイルス感染症のクラスターが発生した。このとき、船内の共有部分で国立感染症研究所の調査が行われ、ライトスイッチ、ドアノブ、トイレボタン、トイレ便座、トイレ床、椅子、手すりなどでウイルスが検出されたかどうかの実験結果が報告されている。検出頻度として、浴室内・トイレ床で39%、机24%であった¹⁴⁾。また、ヒトの呼気に含まれる飛沫の拡散に関する研究が報告されている¹⁵⁾。飛沫中に含まれる粒子は、その大きさにより異なるが、飛沫の大部分は、重力沈降による床面への付着、室内対流による天井や壁面への付着が起こることが示されている。

教育現場においても、飛沫による汚染の可能性がある移動可能な机や椅子は、清掃時のみならず様々な学校活動で接触の機会がある。また上記の理由から、手すり、ドアの取っ手に加えて、床面や壁面も飛沫により汚染される可能性があり、それらとの接触機会もあるため、教育現場における接触感染リスクとなりうる。

2.3 接触感染リスク低減対策

さまざまな物質表面における新型コロナウイルスの不活化の研究も報告されている¹⁶⁾⁻¹⁸⁾。Doremalenらは、プラスチック、ステンレス、銅、段ボールの5つの環境下で比較し、どれくらいウイルスが感染力を維持して残存していたかを調査した。その結果、新型コロナウイルスは、銅では4~8時間後、段ボールでは24時間後に残存が確認されなくなったのに比べて、感染力は低下したものの、ステンレスで48時間(2日間)後、プラスチックで72時間(3日間)後まで長期間にわたり残存していることが確認された。

また、廣瀬らは、ヒトの皮膚表面上の新型コロナウイルスとインフルエンザウイルスの生存時間は、ステンレススチール・耐熱ガラス・ポリスチレンの物質表面の生存時間より大幅に短くなり、ヒト皮膚の表面はウイルスの生存には不向きであるものの、新型コロナウイルスは皮膚表面上で9時間程度生存し、1.8時間程度で不活化されるインフルエンザウイルスに比して大幅に生存時間が長いことを言及している¹⁹⁾。

よって1章で述べたように接触感染による感染予防として、手洗いや身の回りのものの消毒・除菌は非常に重要であると考えられ、「新型コロナウイルスの消毒・除菌方法について(厚生労働省・経済産業省・消費者庁特設ページ⁵⁾」にて、消毒・除菌方法について整理されている。多くのヒトが触れる物質表面を頻繁に消毒することは、時間と労力がかかるが、感染症リスク低減対策として実施されている。しかし、どこに触れたか、また、どこに飛沫が付着したかが明確ではない場合、広範囲に対する消毒・除菌を実施することは非常に困難である。人の手のひらや指は、摩擦力保持のため、汗等で湿潤しており、接触時に物質表面に付着したウイルスを含む飛沫等の微粒子を拭き取る効率が高い。それにより、汗とともに付着した微粒子を転写させる。したがって、手洗いや身の回りのものの消毒・除菌に加えて、壁や床、手が触れる身の回りのものの物質表面に、抗ウイルス・抗菌コーティングを施すことにより、その表面で、持続的にウイルス・菌を抑制する抗ウイルス・抗菌性能が期待できる。

3. 教育現場における抗ウイルス・抗菌コーティングの提案と選定案内

3.1 抗ウイルス・抗菌塗膜の種類および特徴

一般的な塗膜と同様に、抗ウイルス・抗菌塗膜は、図2に示すように大きく3つの種類があり、効果の持続性や耐久性、塗膜自体の清掃・メンテナンス方法等が異なる。ここで、持続性：長期間（静置）、抗ウイルス・抗菌性を維持できること、耐久性：物理的な負荷をかけた後でも抗ウイルス・抗菌性を維持できること、と定義する。一般的に30-60 μm 程度の比較的膜厚の高い有色塗膜や透明塗膜は抗ウイルス性の持続性や耐久性が高いものも多く、日常的の水拭きなどの清掃においても、塗膜が残存する。一方で1 μm 以下のオーバーコートタイプの透明薄膜は、清掃などの摩耗により塗膜が削り取られる可能性があり、その耐久性が非常に重要である。ただし、各メーカーの製品設計・コンセプトによって、これら性能に差があるため、各メーカーが実施している持続性・耐久性試験後の抗ウイルス・抗菌の維持を示すエビデンス（根拠）を確認する必要がある。

また、抗ウイルス・抗菌塗膜中には抗ウイルス・抗菌剤が含有され、その機能を発揮する。一般的な抗ウイルス・抗菌剤として、光触媒(酸化チタンなど)、銀や銅等の金属成分、4級アンモニウムなどの有機化合物が挙げられる。抗ウイルス・抗菌メカニズムとして、ウイルスや菌の表面のタンパク質や細胞膜などに作用し、それらを変性・破壊することで効果が発現するといわれている。

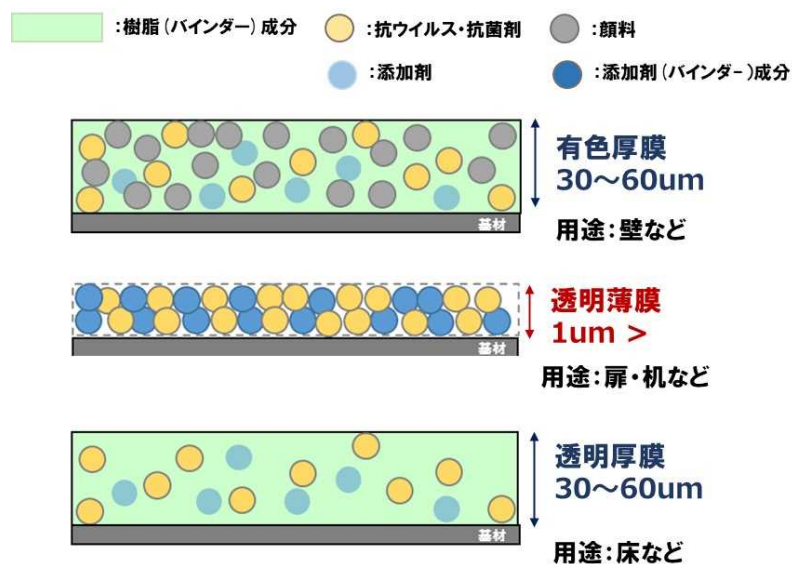


図2 抗ウイルス・抗菌塗膜の種類

3.2 抗ウイルス・抗菌コーティングの実環境での効果検証

本提案を作成するにあたって、実際の教育現場として、東京都内の中高一貫教育の学校において、実環境での効果検証を行った。教室および扉、椅子、エントランス・トイレ等の床、階段の手すりなど、接触機会が多い物質表面に、抗ウイルス・抗菌コーティングおよび比較となる一般コーティングを施工し、抗ウイルス・抗菌効果を3ヶ月間にわたり調査した。本検証では、抗ウイルス性能として、ISO 21702 や JIS R1756 等の試験方法にて、インフルエンザウイルスやバクテリオファージ Q β 等に対する抗ウイルス活性 2.0 以上を示し、かつ、抗菌性能として、JIS Z2801 や JIS R1752 等の試験方法にて、黄色ブドウ球菌や大腸菌等に対する抗菌活性値 2.0 以上を示すものを抗ウイルス・抗菌コーティングとして、一般コーティングと比較して効果を確認した。その結果、表 2 のとおり、以下の3点が確認できた。なお、詳細データは付録 A として添付する。

- ① 抗ウイルス・抗菌コーティングを施工することにより、実使用環境下においても、ラボ検証データと同様に抗ウイルス・抗菌性能が確認された。
- ② 特に、持続・耐久性試験を確認している抗ウイルス・抗菌コーティングでは、本実証試験期間において、抗ウイルス活性の持続が確認された。
- ③ 高頻度接触表面で検出されたコロニー数が少なかったことから、抗ウイルス・抗菌コーティングによる対策に加えて、日常清掃の有効性も示唆された。

表 2 抗ウイルス・抗菌コーティングの効果まとめ

		抗菌効果	抗ウイルス効果※
壁	教室	差なし(清潔を維持)	あり
扉	教室・トイレ	差なし(清潔を維持)	あり
手すり・椅子背もたれ		差なし(清潔を維持)	未評価 *試験片設置不可
床	トイレ(中)	差なし(定期清掃の影響)	—
	トイレ(外)	あり	—
	図書室	あり	—
	美術室	あり	—
	エントランス	あり	あり

※効果まとめの詳細データについて、付録 A を添付する。

3.3 抗ウイルス・抗菌コーティングの提案と選定案内

実環境での効果検証において、第三者試験機関として ISO 9001:2015 認証取得の試験機関や公設試験機関にて、ISO 21702、JIS R1756 等の抗ウイルス試験を適正かつ公正中立に実施し、抗ウイルス・抗菌コーティングによる接触表面の抗ウイルス化・抗菌化の効果を確認することができた。このことより、学校教育現場での接触感染が問題になる場合においては、接触感染リスクをできる限り低減するための1つの手段として、接触を介してウイルスや菌が移動・拡散する可能性のある壁、床、扉や手すり等の物質表面に対して抗ウイルス・抗菌コーティング使用の有効性が期待される。また、教育現場での使用において、抗ウイルス・抗菌性能が維持されることが望ましく、製品の初期性能だけではなく、実環境を想定した持続・耐久試験後も性能が維持しているエビデンス（根拠）が示されていることが重要である。このような持続・耐久性により、接触感染のリスク低減の一助となることが期待される。

また、実際に教育現場において、抗ウイルス・抗菌機能を有する塗料およびコーティングを選定する際に、各メーカー製品を比較検討することが必要となる。その参考資料として、製品選定案内書を付録 B として添付する。採用を検討している各メーカーに対して、付録 B（製品選定案内書）を記入いただくことで、各製品を比較検討することができる。

各メーカー、各製品のコンセプトにより、耐久性とメンテナンスサイクルが異なるため、実際に使用するシーンに合わせて、製品を選定する必要がある。この製品選定案内書を用いることで、製品性能として初期データだけでなく、耐久性試験後の性能データ、およびその試験方法を整理でき、さらに、日々のメンテナンスや再塗装時期についても確認することができる。これら付録 B の情報より、使用者の実情に合わせて、製品を選定することができる。

本提案と選定案内により、教育現場での抗ウイルス・抗菌製品の選定を助け、安全・安心の教育環境を整備するために貢献できると考える。

【参考文献】

- 1) 厚生労働省.”新型コロナウイルス感染症対策の見解”
https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/newpage_00011.html
- 2) 厚生労働省.”新型コロナウイルス感染症対策の状況分析・提言”
https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000121431_senmonkakaigi.html
- 3) 文部科学省.”新型コロナウイルス感染症に対応した持続的な学校運営のためのガイドライン”
https://www.mext.go.jp/a_menu/coronavirus/mext_00049.html
- 4) 文部科学省.”学校における新型コロナウイルス感染症に関する衛生管理マニュアル～「学校の新しい生活様式」～”
https://www.mext.go.jp/a_menu/coronavirus/mext_00029.html
- 5) 厚生労働省.”新型コロナウイルスの消毒・除菌方法について（厚生労働省・経済産業省・消費者庁特設ページ）”
https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/syoudoku_00001.html
- 6) Atkinson *et al.*, Geneva ; Annex C : Respiratory droplets, World Health Organization (2009).
https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/natural_ventilation.pdf
- 7) Otter *et al.*: *J. Hosp. Infe.*, **92**, 235-250(2016).
- 8) Nicas *et al.*: *Risk Analysis*, **29**, 1992-1303(2009).
- 9) Butot *et al.*, *Appl. Environ. Microb.*, AEM0109821 (2021).
- 10) Belluco *et al.*, *Eur. J. Epidemiol.*, **36**, 685–707 (2021).
- 11) Rochas *et al.*, *Sci. Rep.*, Article number 15960 (2021).
- 12) Yuan *et al.*, *Clin. Infect. Dis.*, ciaa1494 (2020).
- 13) Xie *et al.*, *BMC Public Health*, 20:1202 (2020).
- 14) 国立感染症研究所 ダイヤモンドプリンセス号環境検査に関する報告（要旨）(2020).
- 15) Chen *et al.*: *Indoor Air* , **20**, 95-111 (2010).
- 16) Doremalen *et al.*: *New Engl. J. Med.* , **382**, 1564-1567(2020).
- 17) Liu *et al.*: *J.Hosp.Infect.*, **107**,105-107 (2021).
- 18) Chin *et al.*: *Lancet Microbe*, **1**, e10(2020).
- 19) Hirose *et al.* : *Clin. Infect. Dis.*, ciaa1517 (2020).

教育現場における 抗ウイルス・抗菌コーティングによる 接触感染リスク低減対策の参考ガイド

(付録A) 抗ウイルス・抗菌コーティングの 実使用環境における検証

付録Aについて

「教育現場における抗ウイルス・抗菌コーティングによる接触感染リスク低減対策の参考ガイド」を作成するために、実際の教育現場において実環境での効果検証を行った。

抗ウイルス・抗菌効果に関する検証結果の詳細を「付録A」として添付する。

よって、「付録A」は、

- ・外部機関で得られる抗ウイルス・抗菌性能の重要性
 - ・実環境を想定した持続・耐久性能に関するエビデンスの重要性
- を示し、別添の「付録B」を作成する根拠を明確にした資料である。
特定の製品を選定、または、推奨するものではない。

概要

抗ウイルス・抗菌コーティングの実使用環境における検証

研究期間および研究実施場所

日程：2021年2月上旬～2021年5月末
※以後、2週間ごとの追跡データを取得

**場所：教室(2室)の壁(後方)、扉(取っ手部)、椅子(背もたれ部)、
エントランス・図書室・美術室・トイレの床、
階段の手すり、トイレ扉**

※東京都内の中高一貫教育の学校にて実施
※施工後、通常通り各場所を使用、清掃頻度も通常通り変更なし

実使用環境下の効果把握と留意点抽出を行い、教育現場で採用する際の、活用、対策の織り込みをはかる。

報告内容

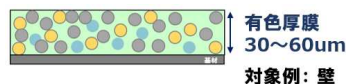
- **検証用の対象材料(製品、開発品、比較品)**
- **実使用環境の検証結果および考察**
- **抗ウイルス・抗菌コーティングの選定案内**

検証用の対象材料（製品、開発品、比較品）

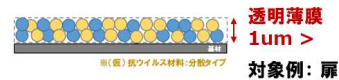
- 十分な試験データを有する塗料・コーティング材料を選定し、実使用環境における抗ウイルス・抗菌性の効果を検証する。
- 上記材料として、ラボ・外部機関における抗ウイルス・抗菌性データの取得が完了している製品、開発品を用いる。
- 比較として、壁・床においては、抗ウイルス・抗菌機能のない一般塗料を用い、扉においては、未塗装部および客観性を担保するために市場より入手した抗ウイルス・抗菌スプレーを用い、有効性を確認する。

検証用 塗料・コーティング材料

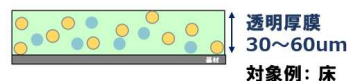
壁： 内装用エナメル塗料
・N社製内装用エナメル塗料(抗ウイルス・抗菌)
・一般内装用塗料(比較)



扉： オーバーコート
・N社製オーバーコート(抗ウイルス・抗菌)
・抗ウイルス・抗菌スプレー市場品(比較)
・未塗装(比較)



床： 床用クリアー塗料
・N社製床用クリアー(抗ウイルス・抗菌)
・一般床用クリアー(比較)



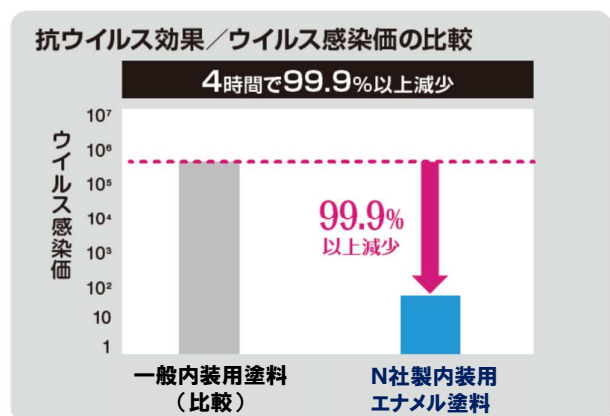
※N社製各塗料の抗ウイルス・抗菌性能(ラボ・外部機関における抗ウイルス・抗菌性データ)については、以降ページに示す。

検証で使用了製品に関する 抗ウイルス・抗菌データ (p.87~p.90)

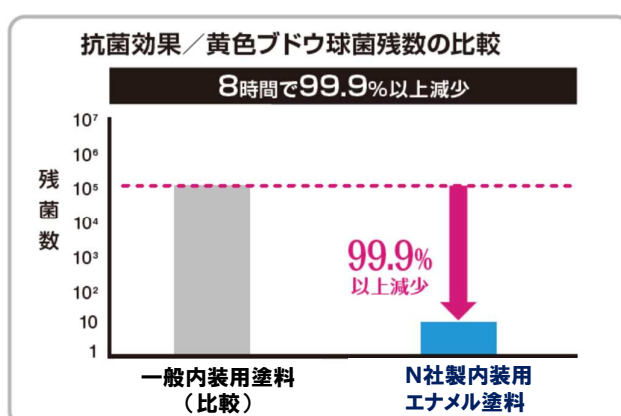
N社製内装用エナメル塗料に関する抗ウイルス・抗菌性データ

ラボ・外部機関における抗ウイルス・抗菌性データ

可視光応答形ハイブリッド光触媒により、塗膜表面で抗ウイルス性を発揮。



【可視光抗ウイルス評価】
JIS R1756準拠
ウイルス種：バクテリアオファージQβ
照射条件：FL_500L×4時間
シャープカットフィルタ：TypeB(N169)

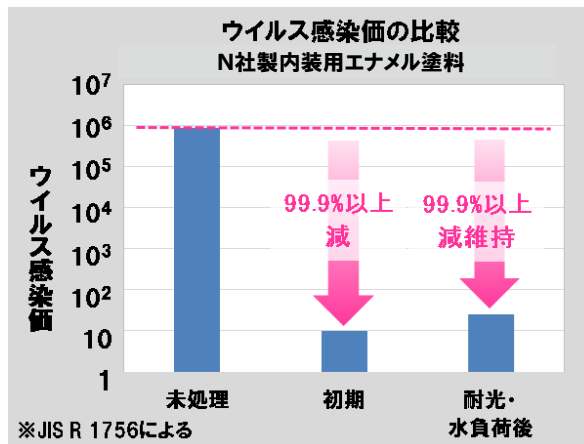


【可視光抗菌評価】
JIS R1752準拠
菌種：黄色ブドウ球菌
照射条件：FL_500L×8時間
シャープカットフィルタ：TypeB(N169)

N社製内装用エナメル塗料に関する抗ウイルス性データ

ラボ・外部機関における抗ウイルス・抗菌性データ

光と水の負荷による持続性・耐久性試験後も、高い抗ウイルス性を保持。



塗装された内壁の想定される使用シーン (イメージ)

※ウイルス種: バクテリオファージQβ
照射条件: 500L x4時間 シャープカットフィルタ: TypeB

N社製オーバーコートに関する抗ウイルス性データ

ラボ・外部機関における抗ウイルス・抗菌性データ

高濃度アルコールを配合することで、ウイルスや菌を瞬間的に除去。
10秒で99.99%以上のウイルス除去効果を検証済み。

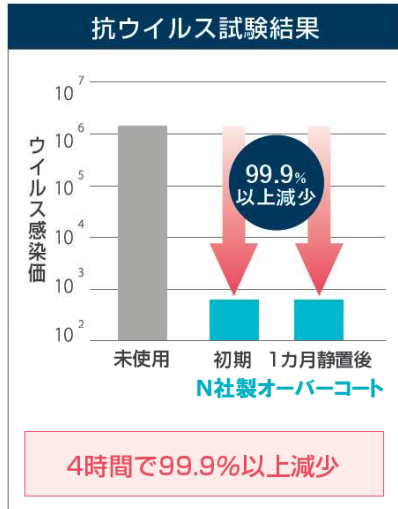


【除ウイルス試験】
試験方法: ASTM E 1052
ウイルス種: A型インフルエンザウイルス
作用時間: 10秒
温度: 室温

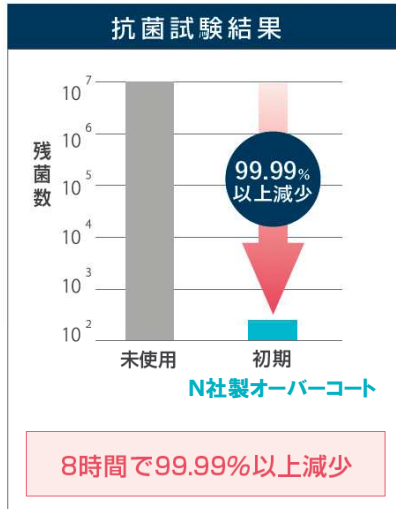
N社製オーバーコートに関する抗ウイルス・抗菌性データ

ラボ・外部機関における抗ウイルス・抗菌性データ

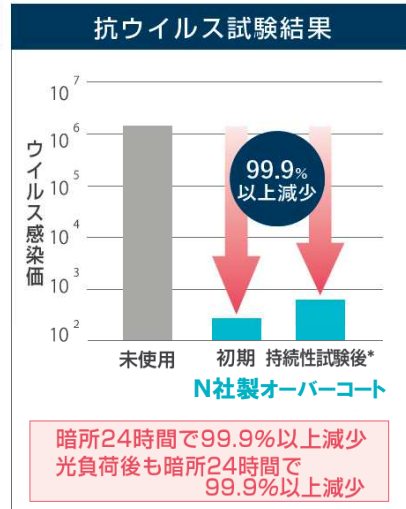
可視光応答形ハイブリッド光触媒により、塗膜表面で抗ウイルス性を発揮。
その効果は1カ月以上持続。光による劣化への耐性も保有。



【可視光抗ウイルス試験】
JIS R1756準拠
ウイルス種：バクテリアオファージQβ
照射条件：FL_500L×4時間
シャープカットフィルタ：TypeB(N169)



【可視光抗菌試験】
JIS R1752準拠
菌種：黄色ブドウ球菌
照射条件：FL_500L×8時間
シャープカットフィルタ：TypeB(N169)



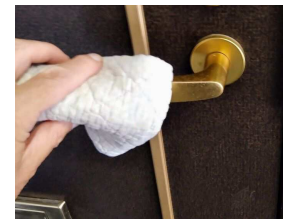
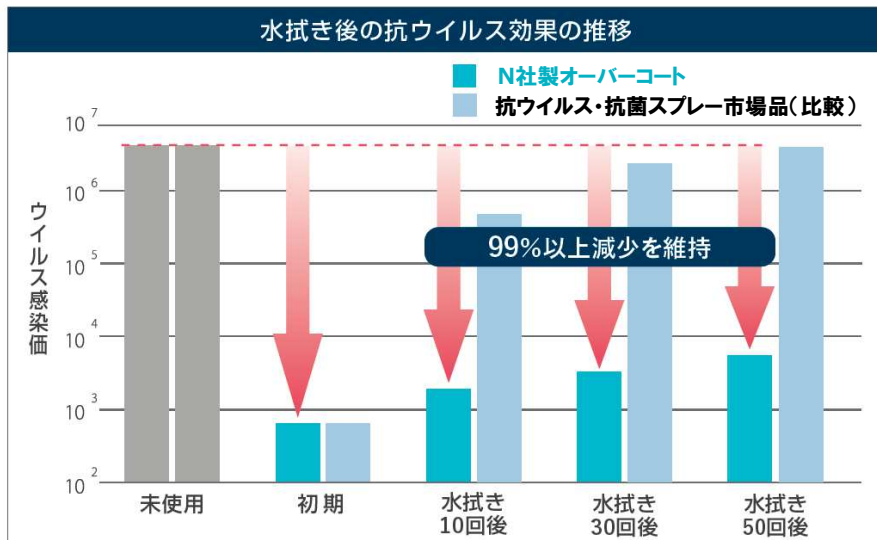
【抗ウイルス試験】
ISO21702:2019
ウイルス種：ネコカリシウイルスATCC VR-782
暗所×24時間

【持続性試験*】
キセノンランプ
60W/cm²×10時間
※屋内使用製品
(製品寿命5年以上)基準

N社製オーバーコートに関する抗ウイルス性データ

ラボ・外部機関における抗ウイルス・抗菌性データ

水拭き後(荷重ラビング試験)も抗ウイルス膜が残存し、高い抗ウイルス性を維持。
一般的なアルコール系抗ウイルス・抗菌スプレーに比べて、高い耐久性を発揮。



水拭き掃除(イメージ)

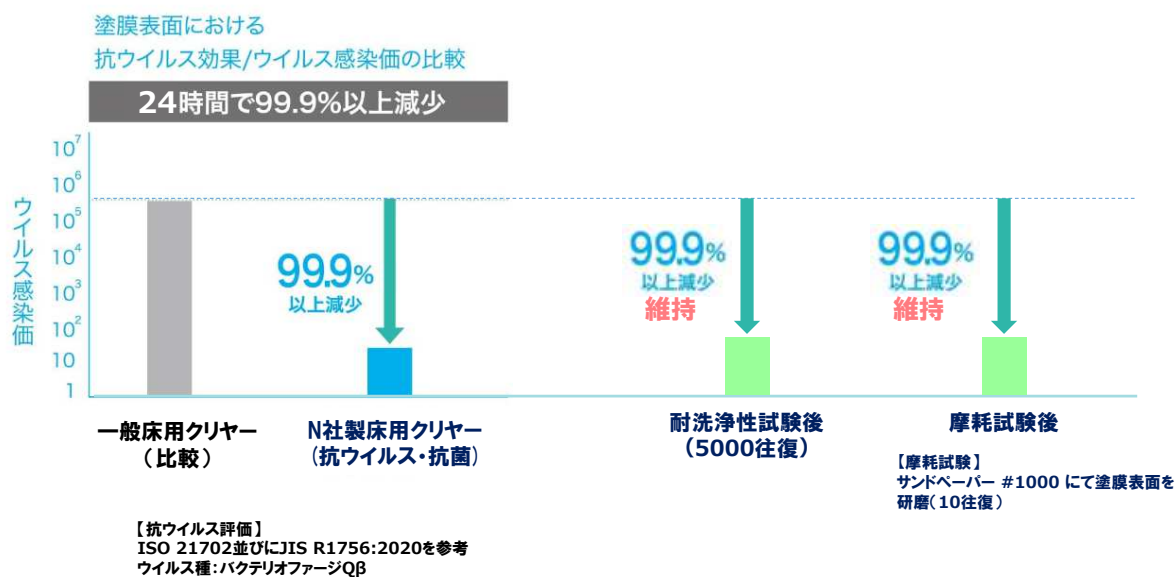
【実環境負荷の社内標準】
力を加えたクロス水拭き負荷：
2kg/100cm²
※平均的な成人男性(70kg)の手
・重量：0.7kg(体重の約1%)
・表面積：100cm²

【可視光抗ウイルス試験】
JIS R1756準拠
ウイルス種：バクテリアオファージQβ
照射条件：FL_500L×4時間
シャープカットフィルタ：TypeB(N169)

N社製床用クリヤーに関する抗ウイルスデータ

ラボ・外部機関における抗ウイルス・抗菌性データ

初期および耐水・耐久試験後も、塗膜表面で抗ウイルス性を発揮。



報告内容

- **検証用の対象材料**(製品、開発品、比較品)
- **実使用環境の検証結果および考察**
- **抗ウイルス・抗菌コーティングの選定案内**

検証手法

現場検証

- **ATP発光法による生物由来成分の評価**
- **寒天培地によるコロニー評価**
- **ドライ培地によるコロニー評価**

試験片回収

- **抗ウイルス試験**(試験片を回収し、検査機関に実施)

試験エリア：教室



試験エリア：トイレ



クリアー塗装した床シートを設置



オーバーコート塗布した試験体を設置



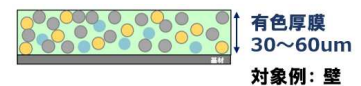
クリアー塗装した床シートを設置

試験エリア：手すり、エントランス、美術室、図書室



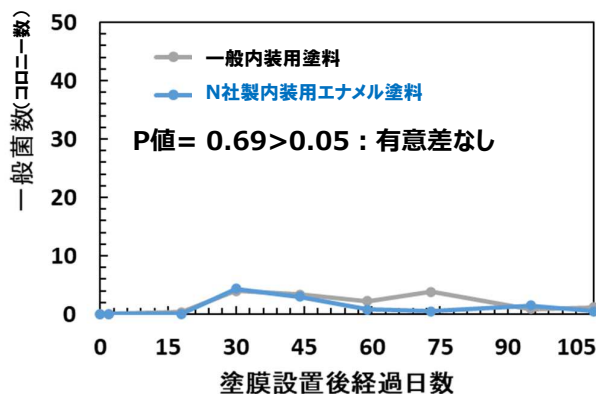
内装用エナメル塗料

- 壁： 内装用エナメル塗料
- ・N社製内装用エナメル塗料(抗ウイルス・抗菌)
 - ・(比較)一般内装用塗料



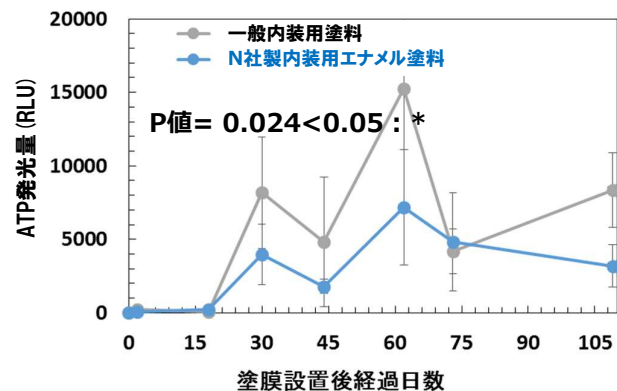
教室 壁

<抗菌効果：寒天培地によるコロニー評価>



- ・コロニー数が少なく**抗菌性の差を判断できなかった**。(良好な清掃状態と推察)

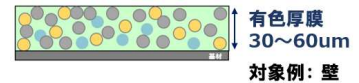
<生物由来成分の評価：ATP発光量>



- ・増加傾向で、試験エリアが生物由来成分の付着が確認できる。(=生活環境)
- ・抗ウイルス塗膜において、**良化傾向**が見られた。

内装用エナメル塗料

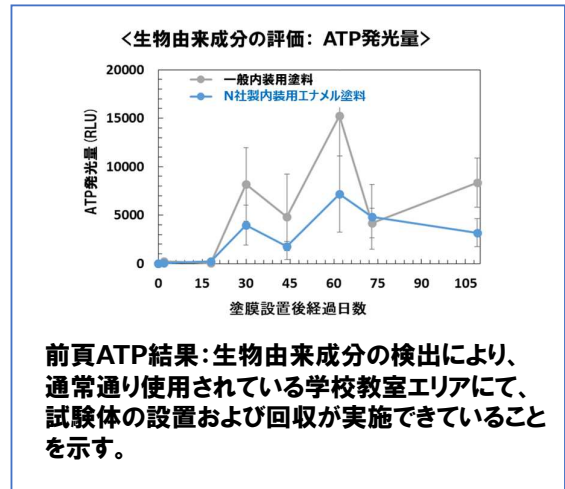
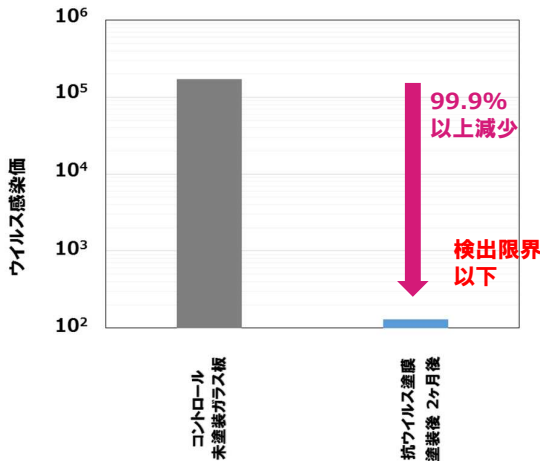
壁： 内装用エナメル塗料
 ・N社製内装用エナメル塗料(抗ウイルス・抗菌)
 ・(比較)一般内装用塗料



教室 壁

＜抗ウイルス効果：インフルエンザ評価＊＞

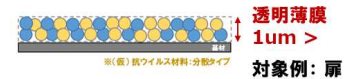
＊試験体を回収し、ISO 21702に基づき、検査機関にて、試験体の塗膜表面に、インフルエンザウイルスを接種し、ウイルス感染価により評価



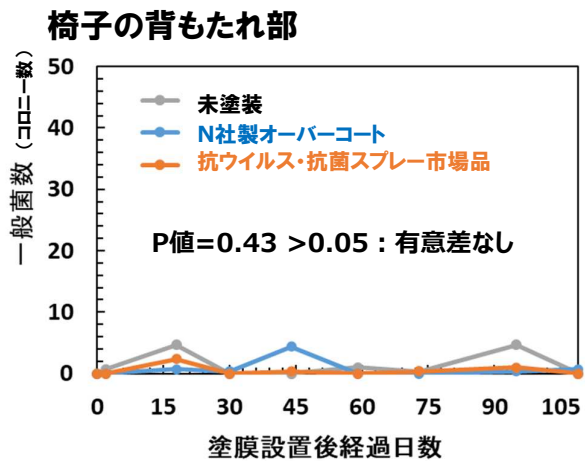
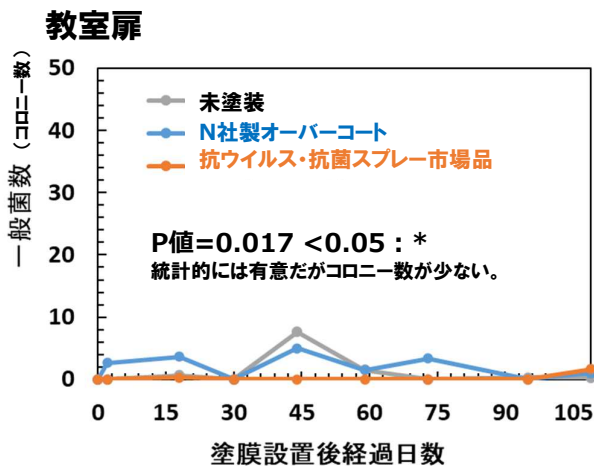
・ 実環境(教室の壁)において、塗装2ヶ月後も抗ウイルス活性を保持している。

オーバーコート

扉など：オーバーコート
 ・N社製オーバーコート(抗ウイルス・抗菌)
 ・(比較)抗ウイルス・抗菌スプレー市場品 および 未塗装



＜抗菌効果：寒天培地によるコロニー評価＞

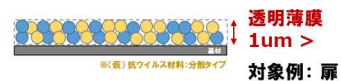


・ コロニー数が少なく抗菌性の差を判断できなかった。
 (良好な清掃状態と推察)

オーバーコート

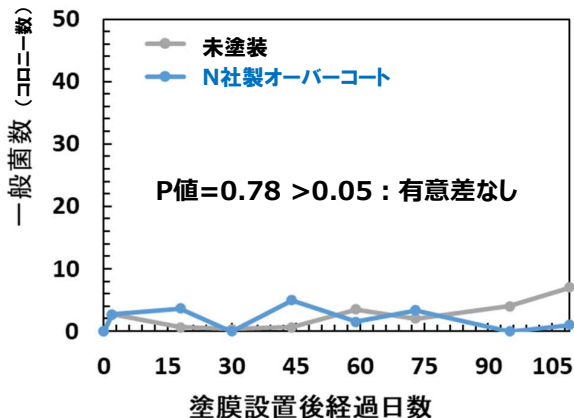
扉など：オーバーコート

- ・N社製オーバーコート(抗ウイルス・抗菌)
- ・(比較)抗ウイルス・抗菌スプレー市場品 および 未塗装

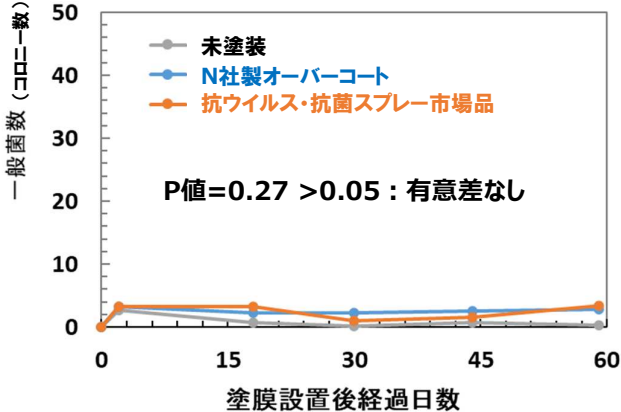


<抗菌効果：寒天培地によるコロニー評価>

トイレ扉



階段の手すり

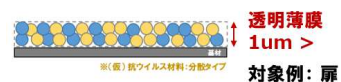


- ・ コロニー数が少なく**抗菌性の差を判断できなかった。**
(良好な清掃状態と推察)

オーバーコート

扉： オーバーコート

- ・N社製オーバーコート(抗ウイルス・抗菌)
- ・(比較)抗ウイルス・抗菌スプレー市場品 および 未塗装

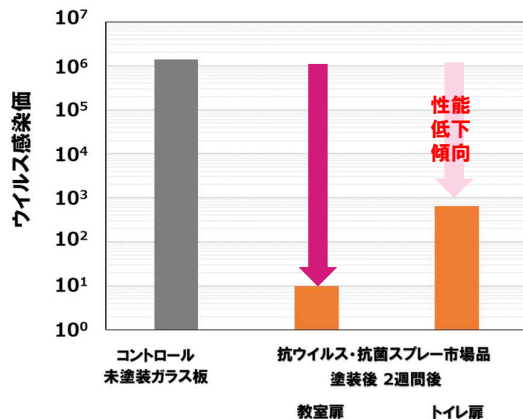
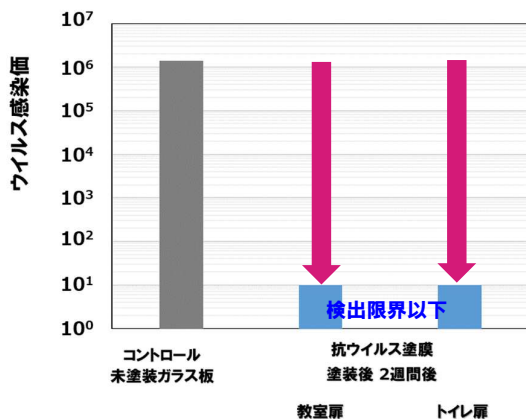


<抗ウイルス効果：Qβファージ評価> *試験体を回収し、JIS R1756に基づき、検査機関にて、試験体の塗膜表面に、バクテリオファージQβを接種し、ウイルス感染価により評価

教室の扉、トイレ扉

N社製オーバーコート

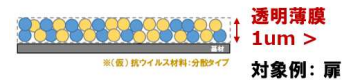
抗ウイルス・抗菌スプレー市場品



- ・ N社製オーバーコート塗膜は、トイレ扉においても**高い耐久性を保持している。**
- ・ トイレ扉は、教室扉に比べて掃除頻度が高く、より高い耐久性が必要であると推測される。

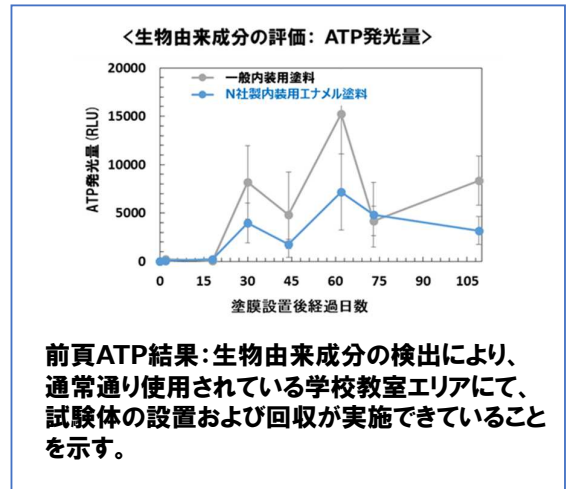
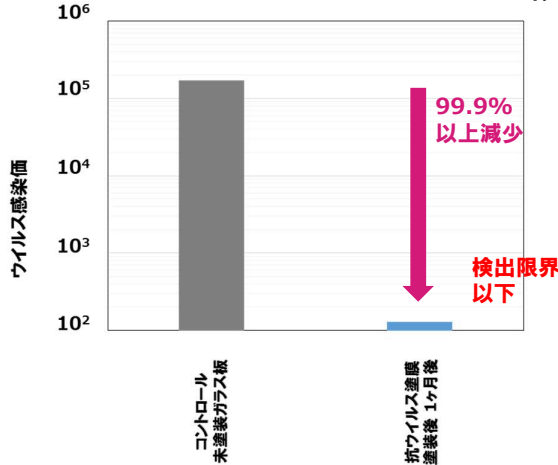
オーバーコート

扉： **オーバーコート**
 ・N社製オーバーコート(抗ウイルス・抗菌)
 ・(比較)抗ウイルス・抗菌スプレー市場品 および 未塗装



教室 壁

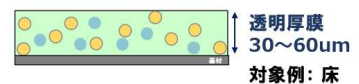
<抗ウイルス効果：インフルエンザ評価*> *試験体を回収し、ISO 21702に基づき、検査機関にて、試験体の塗膜表面に、インフルエンザウイルスを接種し、ウイルス感染価により評価



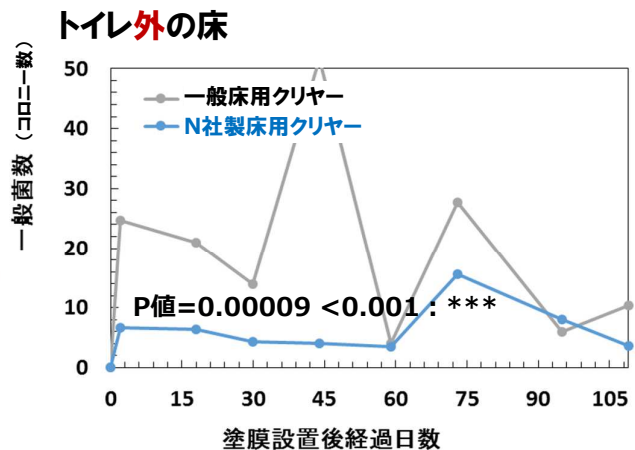
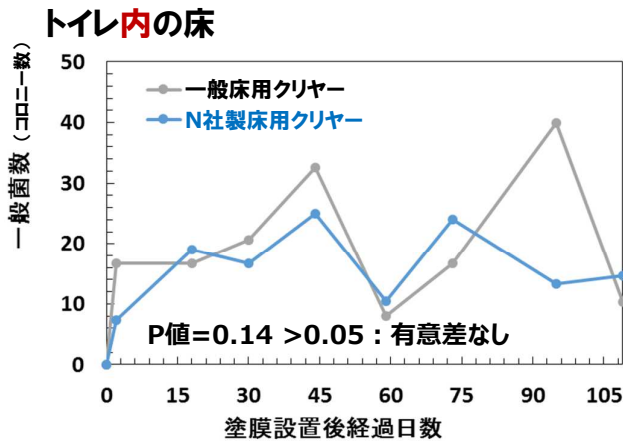
・ 実環境(教室の扉)において、**塗装1ヶ月後も抗ウイルス活性を保持している。**

床用クリヤー塗料

床： **床用クリヤー塗料**
 ・N社製床用クリヤー(抗ウイルス・抗菌)
 ・(比較)一般床用クリヤー



<抗菌効果：寒天培地によるコロニー評価>

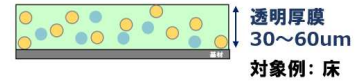


・ **抗菌性の差をあまり確認できなかった。**
 (週1回 水洗掃除で表面が洗浄されたためと推察)

・ **抗ウイルス塗膜において、良化傾向が見られた。**

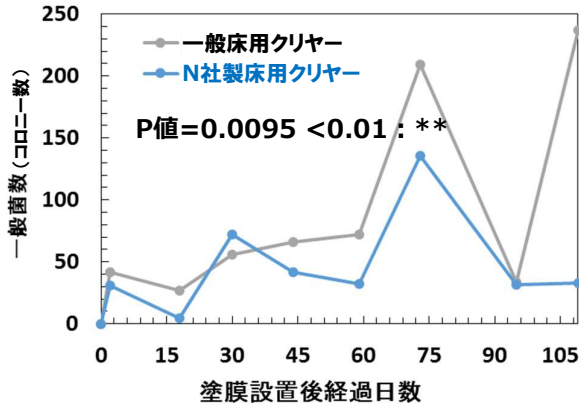
床用クリアー塗料

- 床： 床用クリアー塗料
- ・N社製床用クリアー(抗ウイルス・抗菌)
 - ・(比較)一般床用クリアー



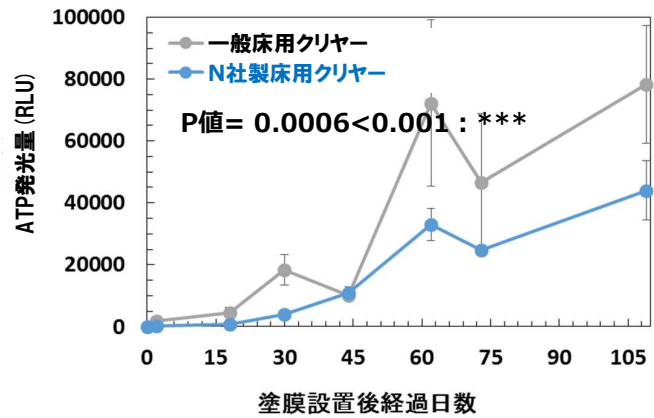
エントランスの床

<抗菌効果: ドライ培地によるコロニー評価>



- ・ 抗ウイルス塗膜において、**良化傾向**が見られた。

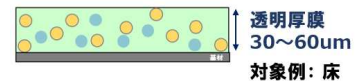
<生物由来成分評価: ATP発光量>



- ・ 増加傾向で、試験エリアが生物由来成分の付着が確認できる。(=生活環境)
- ・ 抗ウイルス塗膜において、**良化傾向**が見られた。

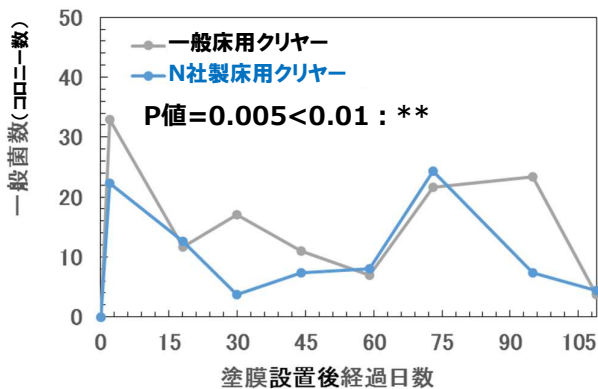
床用クリアー塗料

- 床： 床用クリアー塗料
- ・N社製床用クリアー(抗ウイルス・抗菌)
 - ・(比較)一般床用クリアー



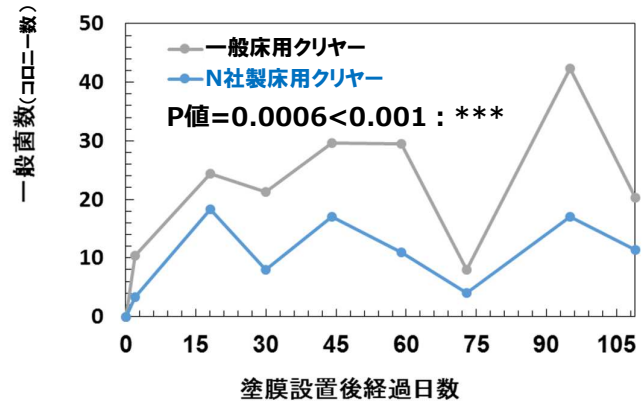
<抗菌効果: 寒天培地によるコロニー評価>

美術室の床



- ・ 抗ウイルス塗膜において、**良化傾向**が見られた。

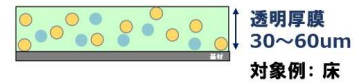
図書室の床



- ・ 抗ウイルス塗膜において、**良化傾向**が見られた。

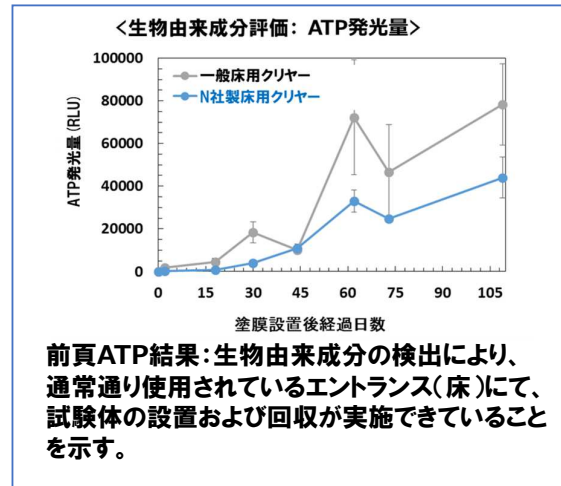
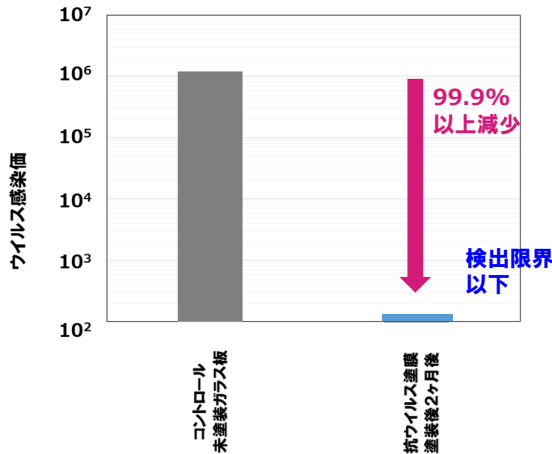
床用クリアー塗料

床： 床用クリアー塗料
 ・N社製床用クリアー(抗ウイルス・抗菌)
 ・(比較)一般床用クリアー



<抗ウイルス効果:Qβファージ評価> *試験体を回収し、JIS R1756に基づき、検査機関にて、試験体の塗膜表面に、バクテリオファージQβを接種し、ウイルス感染価により評価

エントランス床



- ・ 実環境(床)において、塗装2ヶ月後も抗ウイルス活性を保持している。

実使用環境下での効果検証まとめ

- ・ 抗ウイルス・抗菌コーティングを施工することにより、実使用環境下においても、ラボ検証データと同様に抗ウイルス・抗菌性能が確認された。
- ・ 特に、持続・耐久性試験を確認した抗ウイルス・抗菌コーティングでは、本実証試験期間において、抗ウイルス活性の持続が確認された。
- ・ 高頻度接触表面で検出されたコロニー数が少なかったことから、抗ウイルス・抗菌コーティングによる対策に加えて、日常清掃の有効性も示唆された。

抗ウイルス・抗菌コーティングの効果

		抗菌効果	抗ウイルス効果
壁	教室	差なし(清潔を維持)	あり
扉	教室・トイレ	差なし(清潔を維持)	あり
手すり・椅子背もたれ		差なし(清潔を維持)	未評価 *試験片設置不可
床	トイレ(中)	差なし(定期清掃の影響)	—
	トイレ(外)	あり	—
	図書室	あり	—
	美術室	あり	—
	エントランス	あり	あり

報告内容

- 検証用の対象材料(製品、開発品、比較品)
- 実使用環境の検証結果および考察
- **抗ウイルス・抗菌コーティングの選定案内**

抗ウイルス・抗菌コーティングの選定案内

- JISおよびISOで規定された適切な試験方法による抗ウイルス・抗菌性能データを有する塗料・コーティング製品を選定する。
- 上記試験方法における抗ウイルス・抗菌性能の目安として、**99%以上※の抑制効果**(活性値:2.0以上)を有する塗料・コーティング製品を選定する。
※抗ウイルス・抗菌性の試験規格および認証における一般的な基準
- 実使用環境では、持続・耐久性が重要になるため、初期性能だけでなく、**抗ウイルス・抗菌性能の持続・耐久性データ※**を有する塗料・コーティング製品を選定する。
※「SIAA持続性試験区分」、「建材・住宅設備機器における抗菌性能試験方法」を推奨する。
- 選定においては、日々の**清掃や再塗装などメンテナンス**について、明示されている塗料・コーティング製品を選定する。
- 安全・安心の教育環境確保に向けて、抗ウイルス塗料・コーティングの選定する参考資料として、**選定案内書**(付属B)での運用を提案する。

(付録B) 抗ウイルス・抗菌コーティングの製品選定案内書

申請日		
製品名		
企業名		
性能	<input type="checkbox"/> 抗菌性	
	<input type="checkbox"/> 抗ウイルス性	
	<input type="checkbox"/> その他 ()	※性能値、および、再現可能な試験情報を提示すること。
施工部位 (素材)	<input type="checkbox"/> プラスチック及びその他の非多孔質表面	※部位 (例示) :
	<input type="checkbox"/> 多孔質表面	※部位 (例示) :
	<input type="checkbox"/> 繊維	※部位 (例示) :

抗菌性	性能	<input type="checkbox"/> 大腸菌	活性値	推奨基準 2.0以上
		<input type="checkbox"/> 黄色ブドウ球菌		
		<input type="checkbox"/> その他 ()		
		※活性値が「2.0」は抗菌効果により菌数が1/100に、「3.0」は菌数が1/1000になることを表す。		
	試験方法	<input type="checkbox"/> JIS Z2801 <input type="checkbox"/> JIS R1752 (ISO 17094) <input type="checkbox"/> JIS R1702 (ISO 27447) <input type="checkbox"/> その他 () ※自主試験の場合、再現可能な試験情報を提示すること。 ※施工部位の素材に適した試験方法であること。		

抗ウイルス	性能	<input type="checkbox"/> インフルエンザウイルスA型	活性値	推奨基準 2.0以上
		<input type="checkbox"/> ネコカリシウイルス (ノロウイルス代替)		
		<input type="checkbox"/> バクテリオファージQβ		
		※活性値が「2.0」は抗ウイルス効果により活性なウイルス数が1/100に、「3.0」は活性なウイルス数が1/1000になることを表す。		
	試験方法	<input type="checkbox"/> ISO 21702 <input type="checkbox"/> JIS L1902 (ISO 20743) <input type="checkbox"/> JIS R1756 (ISO 18071) <input type="checkbox"/> JIS R1706 (ISO 18061) <input type="checkbox"/> その他 () ※自主試験の場合、再現可能な試験情報を提示すること。 ※施工部位の素材に適した試験方法であること。		

持続耐久性	抗菌	菌種 (活性値) :	活性値	推奨基準 2.0以上
	抗ウイルス	ウイルス種 (活性値) :		
	試験方法	<input type="checkbox"/> SIAA持続性試験区分: 耐水 () 耐光 () <input type="checkbox"/> 建材・住宅設備機器における抗菌性能試験方法 水浸漬 () 耐光 () 耐洗剤 () <input type="checkbox"/> その他 () ※自主試験の場合、再現可能な試験情報を提示すること。		

メンテナンス	<input type="checkbox"/> 一般的な清掃	乾拭 () 水 () 洗剤 () アルコール () その他 () ※○: 可, ×: 不可を記入。 (注記)
	<input type="checkbox"/> 特殊なメンテナンス	※特殊なメンテナンス方法について、手順書を提示すること。 (注記)

再塗装・再施工	目安	<input type="checkbox"/> 1週間 <input type="checkbox"/> 1ヶ月 <input type="checkbox"/> 3ヶ月 <input type="checkbox"/> 6ヶ月 <input type="checkbox"/> 1年 <input type="checkbox"/> その他 () ※再塗装期間の目安を示すデータを提示すること。 (注記)
	注意点	

安全性	経口急性毒性	LD 50 2,000mg/kg、または GHS 分類 区分外	<input type="checkbox"/> 適合 <input type="checkbox"/> 不適合
	皮膚一次刺激性試験	刺激無し、または 弱い刺激性、または GHS 分類 区分外	<input type="checkbox"/> 適合 <input type="checkbox"/> 不適合
	変異原性試験	突然変異誘起性が陰性であること、または GHS 分類 区分外	<input type="checkbox"/> 適合 <input type="checkbox"/> 不適合
	皮膚感作性試験	陰性であること または、GHS 分類 区分外	<input type="checkbox"/> 適合 <input type="checkbox"/> 不適合