

厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
総括研究報告書

建築物環境衛生管理における空気調和設備等の適切な運用管理手法の研究

研究代表者 林 基哉 北海道大学大学院 教授

研究要旨

本研究は、個別空調方式に特化した空気環境管理手法の確立と行政指導等のマニュアル作成のため、適切な運用管理手法に資する科学的根拠を示す。個別空調の現状調査に基づく類型化と管理者や行政指導の課題を整理し、中央空調方式と個別空調方式の違いを整理する。不適率上昇に関する調査により各方式の管理実態及び室内環境の差を明らかにする。空気環境管理手法及び行政指導等のマニュアルを作成する。以上により、今後増えると予測される個別空調への効率的な行政指導等を行う。

R2年度の研究では、以下の知見が得られた。個別空調方式は中央管理に比べ年間一次エネルギー消費量が小さくなる傾向があるが、外気の影響を受けやすく建物内に環境の差が生じやすい。行政報告例の不適率と比較すると、個別空調方式では換気と加湿の制御が十分ではない場合が多く、粒径別浮遊粒子濃度においても高い値を示す場合がある。個別空調のろ過性能が劣っている傾向がある。

R3年度は、以下の研究を行った。個別空調方式を類型化し、その特徴（施工性、コスト、建築スペース、操作性、維持管理等）を整理した。ELPACを用いた空調設備とエネルギー消費量に関する分析により個別空調の特徴を明らかにした。また、個別空調の室内空気環境の調査によって、COVID-19下における運用と空気環境、エネルギー消費に関する分析を行い、空気環境やエネルギー消費が多様になりやすいことを確認した。また、個別空調方式に特化した空気環境管理手法の検討の基礎として、個別空調におけるろ過清浄方法の検討、空調方式による室内空気環境の際に関するCFD解析モデルの構築とモデル計算を行った。

次年度は、個別空調の特質を踏まえた、衛生管理、行政指導に関する効果的な手法をまとめる。

研究分担者	研究協力者
開原 典子 国立保健医療科学院	金 勲 国立保健医療科学院
柳 宇 工学院大学	小林 健一 国立保健医療科学院
長谷川兼一 秋田県立大学	東 賢一 近畿大学
中野 淳太 東海大学	鍵 直樹 東京工業大学
菊田 弘輝 北海道大学大学院	齋藤 敬子 日本建築衛生管理教育センター
李 時桓 名古屋大学大学院	関内 健治 全国ビルメンテナンス協会
	谷川 力 ペストコントロール協会

A. 研究目的

特定建築物における建築物環境衛生管理基準のうち、相対湿度、温度、二酸化炭素の不適率が近年、上昇傾向にある。既往の研究「H29-R1「建築物環境衛生管理基準の検証に関する研究」により、

その要因として、建築物の大規模化と用途の複合化により、建築物の衛生管理が複数のテナントによって行われ、中央一括管理ができないこと、省エネルギーを目的とした換気回数の減少があることを示すとともに、個別空調方式の使用が拡大し

てきたことも不適合率の上昇の要因の一つであることを示してきた。

既往研究「H29-R1「建築物環境衛生管理基準の検証に関する研究」により行った空気環境測定者へのアンケート調査と自治体の建築物の衛生管理担当者へのヒアリング調査からは、個別空調の管理の難しさや立入検査時の難しさが指摘されるとともに、実態調査からは、室内空間のムラが大きいことが指摘された。個別空調の急速な普及に伴う運用管理手法の情報は不足している状況にあり、今般、より効率的な監視指導が求められるなか、個別空調方式に特化した空気環境管理手法の確立とその管理手法に基づいた行政指導等を行う際のマニュアルの検討が急務である。

本研究班では、これまでの特定建築物に関する既往研究で行った室内空気環境の測定データの蓄積がある。これらの中央一括管理方式のデータは、個別空調方式を用いて形成される室内空気環境の比較対象として利用可能である。また、本研究は、自治体、ビルメンテナンス業の実情を踏まえた調査が必要であるが、本研究班では、公益財団法人日本建築衛生管理教育センター、公益社団法人全国ビルメンテナンス協会との共同や、建築物の衛生管理担当者との連携を行いながら、急速に普及する個別空調に関する現場に必要な情報を収集・整備することが可能である。

本研究は、3年間の研究期間で、中央空調方式と個別空調方式の設備の違い等に注目した特定建築

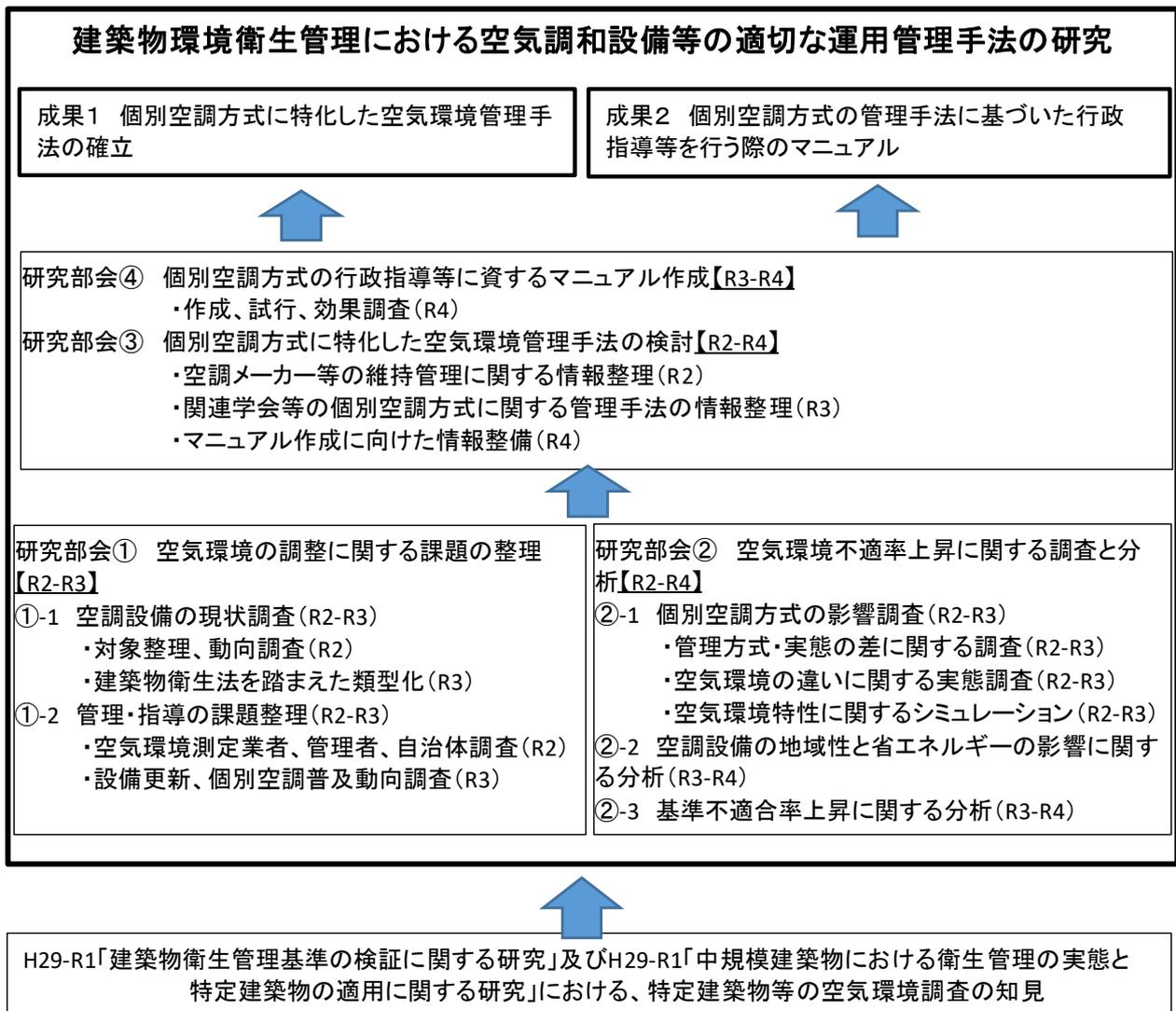


図1 研究の構造

物における空気環境調整の課題整理と、近年の建築物環境衛生管理基準の不適合率上昇との関連を分析し、個別空調方式に特化した空気環境管理手法の確立を目指すとともに、その管理手法に基づき、行政指導等を行う際のマニュアルの検討を行い、建築物環境衛生管理における空気調和設備等の適切な運用管理手法に資する科学的根拠を示す。

B. 研究方法

本研究班「建築物環境衛生管理における空気調和設備等の適切な運用管理手法の研究」は、①空気環境の調整に関する課題の整理、②基準不適合率上昇に関する調査と分析、③個別空調方式に特化した空気環境管理手法、④個別空調方式の行政指導に資するマニュアル作成の4つの研究部会から構成される。その具体的な研究計画及び方法を以下に示す。

B1. 空気環境の調整に関する課題の整理【R2-R3】

本部会では、空気環境の調整に関する課題を整理するために、空調機器の現状調査を行い類型化するとともに、実態に応じた監視指導の課題を明らかにする。

B1-1. 空調設備の現状調査（中野/長谷川/菊田）

令和2年度は、本研究で対象とする個別空調方式の整理を行うとともに、空調設備メーカーに対する空調機器の種類や販売状況および開発動向に関するヒアリングを行う。令和3年度は、令和2年度に引き続き、空調設備メーカー調査を行うとともに、建築物衛生法の定義を踏まえて、類型化を行う。

B1-2. 管理・指導の課題整理（開原/ビル管/ビルメン/自治体（東京都・福岡等））

令和2年度は、空気環境測定業者、管理者、自治体の立入検査等を行う職員へのヒアリングとアンケート調査を行い個別空調に関する行政指導等の課題を明らかにする。なお、調査にあたっては、日本建築衛生管理教育センター、全国ビルメンテナンス協会の協力を得る。令和3年度は、令和2年度に行った自治体調査の中から、立入検査等と同行し、指導時の課題等の情報を収集するとともに、提出された設備の変更情報から自治体の個別空調

の普及動向の調査を行う。

B2. 空気環境不適合率上昇に関する調査と分析【R2-R4】

本部会では、空調方式の類型化を踏まえた空気環境の実態調査を行い、不適合率上昇の機序を解明する。

B2-1. 個別空調方式の影響調査（真菌・細菌：柳、放射・熱的分布・温熱指標：中野、建物設備・断熱性能：菊田、数値実験（CFD）：李、維持管理：開原/長谷川/李）

令和2年度は、用途や地域性を踏まえるとともに空調設備方式の違いにより20件程度を対象に、中央空調方式と個別空調方式の管理方式および管理実態の差に関する調査と、空気環境の違いに関する実測調査（空気環境の管理項目、浮遊真菌・細菌、PM2.5等）を行う。実測調査では、空気環境の時間変動、空間分布を明らかにする。また、実測調査の結果を利用して、空調方式による時間変動、空間分布に関するシミュレーションを行う。

令和3年度は、令和2年度と同様の方法で調査と測定および分析を継続し、個別空調の普及が基準不適合率上昇に与えている可能性とその機序を明らかにする。

B2-2. 空調設備の地域性と省エネルギーの影響に関する分析（菊田）

令和3年度は、令和2年度に行った調査物件の結果を用いて、地域性の観点から、個別空調方式を用いた場合の省エネルギー効果に関する分析を行う。令和4年度は、令和3年度に引き続き、分析を行う。

B2-3 基準不適合率上昇に関する分析（林）

令和3年度は、個別空調方式に特化した管理手法や行政指導の改善が不適率改善に与える効果を推定する。令和4年度は、令和3年度に続き、分析を行う。

B3. 個別空調方式に特化した空気環境管理手法の検討【R3-R4】（柳）

本部会では、空調設備メーカーの維持管理情報収集と整理、機器のマニュアル・建物マニュアルの入手と整理、関連学会の情報整理を行うとともに、部会①および②の結果を踏まえて、空気環境

の管理手法の案を作成する。

令和2年度は、部会①の空調設備の類型化と連携し、空調設備メーカーの個別空調方式に関する機器の維持管理マニュアルを入手し、その情報を整理する。令和3年度は、関連の学会情報から、個別空調方式の管理手法に関する情報を整理する。令和4年度は、部会①の管理・指導の課題整理と連携し、個別空調方式に特化した空気環境管理手法について、管理者用、行政担当者用等のレベルに分けたマニュアル作成に向けた情報整備を行う。

B4. 個別空調方式の行政指導等に資するマニュアル作成【R4】(全員(とりまとめ開原))

本部会では、管理手法、様式の共通化、事例調査、パターン解析等を踏まえて、個別空調方式の行政指導に資するマニュアル案の作成を行う。令和4年度は、部会①～③までの一連の成果を踏まえて、個別空調方式の行政指導マニュアル案を作成し、自治体職員への試行と効果に関するヒアリングを行う。

C. 研究結果

C1. 空気環境の調整に関する課題の整理

個別空調方式の類型化

個別空調方式では、熱源・熱交換器・送風機・制御装置等が一体となったパッケージ型空調機(パッケージエアコン)が用いられる。熱源側の熱交換器と利用側の熱交換器が1つのユニットに内蔵された一体型と、別ユニットに分けられた分離型がある。分離型では、熱源側のユニットが室外機、利用側が室内機と呼ばれ、両者は冷媒配管で接続されている。家庭用エアコンでは室内機と室外機が1対1で接続されているタイプが一般的であるが、多くの室内機が必要となる事務所建築等では、室外機1台に複数の室内機を接続できるマルチタイプ(ビル用マルチエアコン)が用いられる。部屋ごとやゾーンごとに室内機が設置されるため、個別分散空調方式とも言われる。パッケージ型空調機には以下のような特徴が挙げられる。

- 施工が簡単であり、設備費も比較的安価である。
- 機械室が不要になるため、建物内スペースが有効活用できる。

- ユニットごとの発停や設定温度の操作が可能である。
- 集中制御機器により、分散配置されたユニットの運転状況を集中的に管理することも可能である。

上記の利点に加え、近年の機器性能の向上や利便性の観点から、大規模な建物でも採用事例が増えてきている。

竣工設備データベース「ELPAC」を用いた6地域の事務所建築の空調設備とエネルギー消費量の動向分析

空調方式に着目した延床面積や空調設備、エネルギー消費量等の動向を把握するために、建築設備情報年鑑・竣工設備データベース「ELPAC」(一般社団法人建築設備技術者協会)を用いて分析した。本研究では建築物データが多い6地域の事務所建築に着目した。その結果、以下のことがわかった。①竣工年度が新しくなるにつれて「個別空調方式」「個別空調方式+中央管理方式」の空調設備を導入する建築物が増加している。②加湿方式は「気化式」のものが大半である。「未導入」の割合は不明であるが、「個別空調方式」の方が相対的には「データなし・未導入」の割合が高いため、冬期の低湿度環境の形成の要因になっている可能性がある。③「年代を経るに従って原単位の中央値が小さくなる傾向が見られる。これは、設備機器の高効率化が進んでいることと整合していると推察できる。また、空調方式で比較すると、「中央管理方式」の方が原単位は若干小さい。

維持管理・行政指導に関する課題の整理

建築物衛生法によって管理されない建物も含めて、平時の事務所ビルにおける空調設備と維持管理に関する質問紙調査を行い、COVID-19等感染症対策が行われる前と感染症対策が行われた後で、困難な状態に陥っていないか等を把握した。平時と比較してCOVID-19の感染拡大後は、感染対策として行っている窓開け換気により、空調設備を用いた室内の温熱環境調整が難しくなっていると

考えられた。

今後、詳細な分析が必要であるものの、感染症対策による空調設備等の運用管理手法の変化も含めて、COVID-19 等感染症対策後の室内環境調査データの分析が必要である。また、空気環境の調整に関する課題を整理するために、空調機器の現状調査を行い類型化するとともに、感染症対策等の緊急時の情報も含めた管理手法に関する情報の整理が望まれている。

C2. 空気環境不適合率上昇に関する調査と分析 個別空調方式の室内空気環境の実態調査

この十数年間で温度、相対湿度、二酸化炭素(CO₂)濃度の不適合率が上昇し続けており、個別方式空調が建築物衛生法の適応対象になったことがその一因であるといわれている。現在では、個別方式空調がビルの規模を問わず多く採用されてきている。居住者による個別運転ができるなどの長所がある一方、その運転実態と室内微生物、温湿度、CO₂濃度などの空気質に関する実態が把握されているとは言えない現状である。

ここでは、主として室内温湿度、CO₂濃度、浮遊微粒子、浮遊細菌・真菌に関する実態を把握するために行った調査の結果について報告する。

本研究では、冬期におけるオフィスビルの室内温湿度、CO₂濃度、粒径別浮遊粒子濃度、浮遊細菌濃度、浮遊真菌濃度の測定結果について述べた。本研究より下記の事柄が分かった。

- ① 温度については、何れも建築物衛生法管理基準値下限値の18℃を上回った。AビルとCビルは一般に用いられている設計値よりそれぞれ3℃と1.5℃が高かった。それは室内低湿度の原因になっている。Aビルにおいては、設定温度を22℃に下げれば、ほぼ40%を満足できるようになる。
- ② 相対湿度については、Cビルが常に40%を大きく上回った。AとBビルはほとんどすべてが40%を下回った。それは温度が高めであるほか、多くの外気量による湿気のロスにも一因がある。

- ③ CO₂濃度については、Covid-19 流行期間中のこともあって、何れのビルはかなり低い濃度で運用されている。これも冬期低湿の一因になっている。相対湿度を改善するために、ウォームビズの励行による室内設定温度を22℃、外気量について1000ppmを維持する前提で、外気を取り入れすぎないようにすることが重要である。
- ④ $\leq 1\mu\text{m}$ の浮遊粒子濃度は、エアフィルタの捕集性能の差による室内濃度の差が顕著にみられた。一方、 $\geq 1\mu\text{m}$ の浮遊粒子濃度は、在室者の活動などに影響されるため、在室者数最も低いCビルは低い値を示した。SARS-CoV-2の粒径が $1\mu\text{m}$ 以上のものも多いため、感染症流行期間中に補助設備としての空気清浄機を活用することは有効である。
- ⑤ 室内の浮遊細菌と浮遊真菌濃度はおおむね日本建築学会の管理基準値を満足したが、Bビルの吹出口中に高濃度の浮遊真菌が検出されたことから、空気搬送系内に真菌の汚染源があることが示唆された。

空調設備の地域性と省エネルギーの影響に関する分析

空調設備の地域性と省エネルギーの影響に関する分析において、クラスター感染が発生した複数の事例を対象として、空調換気設備調査と室内空気環境測定を行い、感染対策における空調換気設備の問題点を挙げ、改善点を示した。また、標準的な事務所のモデルを設定し、個別空調方式と中央管理方式における空調用の一次エネルギー消費量を計算し、比較した。

得られた知見を以下に示す。1. 就業人数の増加によりCO₂濃度は概ね上昇するため、コールセンター事業者側はクラスター感染対策として就業人数の適正管理が必要である。2. 空調換気運転時には、十分な換気量を確保するために、それぞれの地域性や周辺環境等に応じて、適切な窓開け換気を行うことが必要である。3. サーキュレーターを使用する際には、空調換気によって換気量が十分に確保された状態で使用することが望ましい。

4. クラスター感染発生時に建物の CO₂ 濃度制御が十分に機能していなかった可能性があり、更なる検証が必要である。5. APF と COP が同じ条件で計算した結果、個別熱源方式は中央熱源方式に比べ約 45%の省エネルギー効果が期待できる。6. 北海道と沖縄を除く 45 都府県の県庁所在地を対象とした個別熱源方式において、トップランナーの温暖地仕様であれば、空調用で 200MJ/(m²・年)前後に抑えられる。

C3. 個別空調方式に特化した空気環境管理手法の検討

個別方式におけるろ過清浄向上方法の検証

昨年度は、H26 年度～R1 年度に行った個別方式と中央方式空調を有するオフィスビル室内空気環境に関する測定結果を解析し、浮遊粒子について季節を問わず、中央方式より個別方式の室内粒径別浮遊粒子濃度が高い値を示すことが明らかになった。また、浮遊微生物の測定結果からも、個別方式を採用した室内の浮遊粒子状物質に対するろ過性能が劣っているが強く示唆された。

今年度は、Covid-19 の拡大により 9 月末までに 2 回の緊急事態宣言が出されたため、実態調査が遅れている。現在 12 月中旬から東京と北海道の実態調査を行うことになっている。ここでは、現時点まで行った個別方式を有するビルにおける浮遊粒子濃度の低減策に関する検討の結果を報告する。

個別方式室内機のフィルタが中性能にアップグレードができれば、中央方式と同等な捕集性能を有することが実証された。アップグレードができない場合、HEPA フィルタ付きのポータブル空気清浄機で適用床面積の条件を満足すれば粒径別浮遊粒子濃度を低下させることが実証された。

室内空気・熱環境に対する数値計算による事例検討

個別空調の使用率拡大に伴い、立入検査時の難しさや運用管理手法の情報不足が課題として挙げられ、より効率的な監視指導が求められている。そこで、個別空調に関する知見を深めるために、

CFD 解析（数値流体解析）を利用し、オフィス空間モデルに対する空調方式の違いによる室内空間の影響についてパターン検討を行った。検討は二段階で行われ、始めに空調方式による室内環境の違いについて、現場調査を行い、数値解析の境界条件を得る。次に人体周辺（タスク域）を目標温度に維持有無と共に、アンビエント域における温度・流速環境を検討する。検討結果から、現状の空調・換気方式の使用により、室環境の制御が容易になるのか考察した。

D. 結論

個別空調方式を類型化し、その特徴（施工性、コスト、建築スペース、操作性、維持管理等）を整理した。ELPAC を用いた空調設備とエネルギー消費量に関する分析により個別空調の特徴を明らかにした。また、個別空調の室内空気環境の調査によって、COVID-19 下における運用と空気環境、エネルギー消費に関する分析を行い、空気環境やエネルギー消費が多様になりやすいことを確認した。また、個別空調方式に特化した空気環境管理手法の検討の基礎として、個別空調におけるろ過清浄方法の検討、空調方式による室内空気環境の際に関する CFD 解析モデルの構築とモデル計算を行った。

次年度は、個別空調の特質を踏まえた、衛生管理、行政指導に関する効果的な手法をまとめる。

E. 研究発表

1. 論文発表

- 1) 柳 宇：エアフィルタ，空気清浄機，紫外線殺菌照射（UVGI），ビルと環境，No.173，pp.18-24，2021.
- 2) 柳 宇：ウイルス感染拡大を抑えるために設備設計者ができること，MET，第 32 号，pp.4-9，2021.
- 3) Motoya Hayashi, State of Poor Ventilation and Indoor Air Environment in Buildings - Environmental Hypersensitivity from Perspective of a Building Environmental

Hygiene Researcher -, Indoor Environment, Vol25, No1, pp.1-8, 2022.

- 4) 林基哉, 室内環境における新型コロナウイルスの性質と感染対策, ビルと環境, No.173, pp.1-9, 2022.
- 5) 林基哉, 新型コロナウイルス感染症対策のための二酸化炭素濃度の測定と換気制御, ビルと環境, No.174, pp.1-9, 2022.
- 6) Takashi Kurabuchi, U. Yanagi, Masayuki Ogata, Masayuki Otsuka, Naoki Kagi, Yoshihide Yamamoto, Motoya Hayashi and Shinichi Tanabe, Operation of air-conditioning and sanitary equipment for SARS-CoV-2 infectious disease control. Japan Architectural Review, 4, 423-434, 2021. <https://doi.org/10.1002/2475-8876.12238>
- 7) 林基哉, 我が国における新型コロナウイルス感染症に対する建築環境対策, 空気調和・衛生工学 第95巻, pp.381-388, 2021.05

2. 学会発表

- 1) 渡邊健介, 柳 宇, 殷 睿: HEPA フィルタ付きの空気清浄機による大空間空気浄化性能の実証, 2021 年室内環境学会学術大会講演用要旨集, pp.82-83, 2021.
- 2) 殷 睿, 柳 宇, 渡邊健介: COVID-19 に関する自宅療養のリスク低減方法の実証, 2021 年室内環境学会学術大会講演用要旨集, pp.80-81, 2021.
- 3) 山崎佑基, 菊田弘輝, 玉村壮太, 林基哉, 室内環境が新型コロナウイルスの空気感染に与える影響に関する実験法, 日本建築学会大会梗概集, 2021.9
- 4) 松永崇孝, 菊田弘輝, 吉住佳子, 林基哉, 学校教室を対象とした新型コロナウイルス感染症対策における換気と空気清浄の効果検証, 日本建築学会大会梗概集, 2021.9

- 5) Kenichi AZUMA, Naoki KAGI, U YANAGI, Hoon KIM, Noriko KAIHARA, Motoya HAYASHI, Haruki OSAWA. Effects of suspended particles, chemicals, and airborne microorganisms in indoor air on building - related symptoms: a longitudinal study in air - conditioned office buildings. Healthy Buildings 2021 – Europe Proceedings of the 17th International Healthy Buildings Conference 21-23 June 2021; ISSN: 2387-4295 (SINTEF Proceedings (online)). ISBN: 978-82-536-1728-2 (pdf). SINTEF Proceedings no 9. Paper5.2.
- 6) 開原典子, 島崎大, 齋藤敬子, 金勲, 東賢一, 中野淳太, 樺田尚樹, 柳宇, 鍵直樹, 長谷川兼一, 建築物の環境衛生管理の実態に関する全国調査 その 11 中規模建築物の環境衛生管理の実態. 第 80 回日本公衆衛生学会総会; 2021.12; 東京 (ハイブリッド). 抄録集 P-21-12. p. 488.

3. 総説

- 1) 開原典子. 行政の動き 特定建築物の不適率の状況. ビルと環境2021.9; 174: 44-9.
- 2) 開原典子. COVID-19対策と熱中症対策を両立させる換気と冷房. 公衆衛生 2021; 85(7): 477-82.

F. 知的財産権の出願・登録状況 (予定含む)

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

