

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

本研究では、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を行う際のマニュアルを目指して、4つの研究を行い、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。

部会①は、個別空調における現状調査による建築物衛生法を踏まえた類型化と管理者や行政指導における課題を整理することで、中央空調方式と個別空調方式の違いによる課題を整理する。

部会②は、不適率上昇に関する調査により個別空調方式の管理方式や管理実態及び室内環境の差を明らかにし不適率上昇について分析する。

部会③と④は、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し、管理手法に基づいた行政指導等を行う際のマニュアルを作成しその効果について調査する。以上により、管理者側、自治体側、双方に不足している情報を整備し、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ことが可能となる。また、個別空調を備えた建物の空気環境が改善されることで、特定建築物全体の空気環境が改善され（不適率の上昇が抑えられ）、シックビルディング症候群を防除することができることが期待される。

R4年度の研究によって、以下の知見が得られた。個別空調の運用上の課題は、まず冬季の湿度管理である。特に外気が15℃を下回ると不適率が急増する傾向にあり、十分な加湿が不可欠である。全体的な傾向として、個別空調では中央式空調に比べて水平方向および垂直方向の分布を生じやすく、特に冬季にその傾向が顕著になる。また、たばこ煙による室内浮遊微粒子濃度の上昇や、加湿器と考えられる浮遊微粒子と浮遊細菌濃度の異常な上昇がみられたことから、運用時における適切な衛生管理は重要である。個別熱源、中央熱源、ハイブリッド方式において、空気調和設備のエネルギー消費性能が向上するにつれて冷暖房ごとの熱源機器容量が小さく、個別熱源は中央熱源に比べて熱源機器容量が大きくなる傾向がある。このような状況を踏まえて、個別空調方式の特性を踏まえた維持管理、行政指導に関するマニュアル案を作成した。

研究分担者

開原 典子 国立保健医療科学院
柳 宇 工学院大学
長谷川兼一 秋田県立大学
中野 淳太 東海大学
菊田 弘輝 北海道大学大学院
李 時桓 名古屋大学

研究協力者

齋藤 敬子 日本建築衛生管理教育センター
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
金 勲 国立保健医療科学院
小林 健一 国立保健医療科学院
東 賢一 近畿大学
鍵 直樹 東京工業大学

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、二酸化炭素の不適合率が近年、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

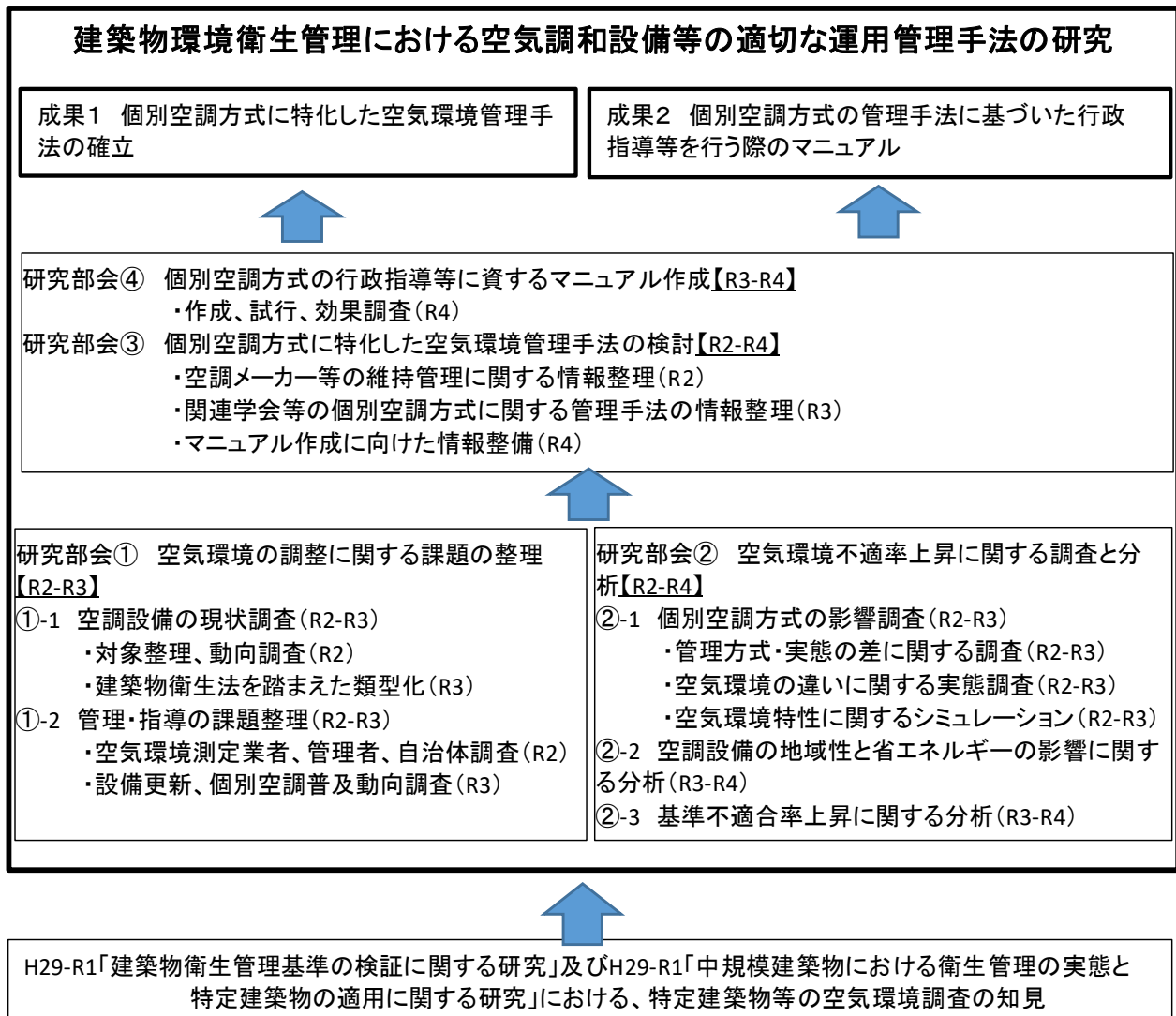


図1 研究の構造

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着目した特定建築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、立入検査等に同行し、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合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

個別空調方式に特化した空気環境の維持管理・行政指導マニュアル作成に資する知見を得るために、秋田市内の事務所建築物2件を対象に、①メンテナンス担当者へのヒアリング調査、②執務者の主観申告による執務環境の評価、③年間のエネルギー消費量の把握、を実施した。その結果、以下のことがわかった。①個別暖冷房では湿度コントロールができないため、冬季にはポータブルの加湿器を設置して加湿している。また、第三種換気の場合、排気系統の目詰まり、ダンパーが開かない、ガラリの目詰まりが懸念される。温熱環境よりも空気環境の方が知覚しにくい傾向にあり、空気清浄を維持することが疎かになりやすい。②10月の執務者の主観評価では、「熱的快適性」では“寒い”との申告が見られ、「空気質」に対する評価も低い。空気質の評価については、開口部窓が開け換気が難しくなったことが関連していることや、そもそも換気に対する意識が低いことが影響している可能性がある。③ZEB改修を実施したSビルでは、同地域のDECCデータの下位25%程度のエネルギー消費量の事例に位置していることを確認し、省エネルギーには効果があったものと判断できる。例えば、照明用エネルギー消費量は、DECCデータよりも半分程度の消費量に抑えられている。

個別空調に特化した行政指導に資する維持管理マニュアル（案）の作成にあたり、「設備業者等による定期点検時の管理者の留意事項」、個別空調方式に特化した立入検査に資する情報として「基本的な指導の流れ」と「立入検査及び報告徴取の事例」について、東京都の事例を紹介した。

また、これまでに「建物の空調設備と維持管理」に関する質問紙調査（夏期・冬期）の結果を報告している。質問紙調査の結果から、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いう回答が得られていることについて、郵送調査において、その実態の一端を捉えるデータを得ることができた。本研究班では、建築物衛生法によって管理されない建物も含めて調査を行っているが、COVID-19 による感染症対策の一つである換気対策が行われた際の測定結果から、一部の建物を除いて、二酸化炭素濃度が 1,000ppm 以下のより外気に近い値となっていることが確認された。一方、湿度は、既往の調査結果よりもさらに低湿度環境となっていることをとらえるデータが得られた。この結果は、「建物の空調設備と維持管理」に関する質問紙調査（夏期・冬期）の結果の感染症対策に関する行動と符合するものである。COVID-19 の感染症対策としてとられた換気対策や行動変容が、空気調和設備等の運用管理に影響していくのか、継続的に動向を調査し、新たな感染症対策の一助となるべく、今後も調査を継続していくことは重要であると思われる。

日本全国の個別空調を行っている事務所建築物 26 件を対象に夏季と冬季の実測調査を行い、温熱環境特性を分析した。測定方法は、建築物衛生法および ASHRAE55-2020 基準に準拠した。空気温度は、夏季の 1 つの建物を除き、18~28℃の衛生管理基準を満たしていたが、高さ 0.1m と 1.1m の空気温度差が冬季に 3℃を超える値が見られ、外気温が低いほどその傾向は顕著になった。夏季の平均放射温度は高い方に、冬季は低い方に広く分布しており、平均値はそれぞれ 27.3℃、23.5℃であった。夏季は平均放射温度が空気温度よりも平均で 1.4℃高く、冬季は 0.8℃低くなっていた。夏季の相対湿度は概ね衛生管理基準値を満たしていたが、外気温が 15℃未満になると管理基準値を下回る割合が急激に増加することがわかった。気流速度については、概ね基準値を満たしていた。

インテリアとペリメータの環境を比較したとき、夏季はペリメータでインテリアよりも空気温度が高く、冬季はインテリアより高い方にも低い方に

も分布していた。冬季はインテリアもペリメータも上下温度分布が大きかった。また、ペリメータの平均放射温度は、冬季がインテリアより低め、夏季にインテリアより高めになる傾向にあった。

個別空調の運用上の課題は、まず冬季の湿度管理である。特に外気が 15℃を下回ると不適率が急増する傾向にあり、十分な加湿が不可欠である。全体的な傾向として、個別空調では中央式空調に比べて水平方向および垂直方向の分布を生じやすく、特に冬季にその傾向が顕著になる。衛生管理基準を満たしていても、潜在的な不快の要因となりうる点に配慮する必要がある。

7事務所ビル9執務室の夏期と冬期における室内空気環境の測定結果より、夏期と冬期の室内温度、二酸化炭素濃度、夏期の相対湿度は総じて良好であったが、冬期の6室の相対湿度が全て40%を下回った。また、1室ではあるが、機械換気を止めており、その室内二酸化炭素濃度の中央値が1200ppm、最大値が1600ppmであった。換気運転を行うように啓発する必要性が示唆された。たばこ煙による室内浮遊微粒子濃度の上昇や、加湿器と考えられる浮遊微粒子と浮遊細菌濃度の異常な上昇がみられたことから、運用時における適切な衛生管理は必要であることが示された。

空調設備の地域性と省エネルギーの影響に関する分析において、個別熱源、中央熱源、ハイブリッド方式において、データベースに基づく機器選定後の熱源機器容量等（設計時、実態）を分析し、比較した。また、個別熱源方式をベースとした上で、シミュレーションに基づく空調用の一次エネルギー消費量とCO₂排出量（運用時、計算）を計算し、比較した。

得られた知見を以下に示す。1. 空気調和設備のエネルギー消費性能が向上するにつれて冷暖房ごとの熱源機器容量が小さく、個別熱源は中央熱源に比べて熱源機器容量が大きくなる傾向がある。2. 中央熱源方式は個別熱源方式に比べて約45%の増加に対し、主に搬送系の削減に伴い、

ハイブリッド方式は個別熱源方式に比べて約15%の増加に抑えられる。3. 同じ年間熱負荷の基で、個別熱源方式におけるAPF、省エネルギー手法による削減率を段階的に示し、札幌では特に全熱交換器、東京と那覇では他にも外気冷房システムが省エネルギー化に繋がることを確認された。4. カーボンニュートラルの視点から、個別熱源方式における電力主体とガス主体の一次エネルギー消費量とCO₂排出量を示し、特に札幌は冷熱源に電力、温熱源にガスを選択することで、さらなる省エネルギー効果が期待できる。5. 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。

C2. 空気環境不適合率上昇に関する調査と分析

COVID-19 パンデミックに際し、政府機関によって換気の必要性が啓発された。夏期の熱中症、冬期の寒さ対策を踏まえた換気対策を示すなど、WHO等の国外の情報、国内のクラスター調査の知見を踏まえ、日本独自の対策が発信された。また、感染抑制に必要な換気量、空気の流れに関する定量的な知見が非常に少ないと共に、変異株の流行の影響に関する定量的な推定も困難である中、国立感染症研究所はエアロゾル感染に関する整理を行い、政府の新型コロナウイルス感染症対策分科会は、エアロゾル感染対策として、空気の流れを考慮した効率的な換気方法を示した。これらの対応は、今後の新興再興感染症への対策に影響し、パンデミック時の空調換気運転のあり方、建築設備の設計と維持管理に関する課題を提起した。しかし、COVID-19のパンデミックに伴って、二酸化炭素濃度の不適合率が急激に低下し、温度の不適合率が上昇した。行政報告例の空気環境不適合率は、COVID-19パンデミックに伴って、推奨された換気対策による換気量の増加、行動制限に伴う在室者数の減少によって、室内二酸化炭素濃度が低下したと考えられる。また、同様の理由で温度の不適合率が増加

したと考えられる。

行政報告例の空気環境不適合率は、相対湿度、温度、二酸化炭素濃度の不適合率は、2019年まで、基本的な上昇傾向が継続している。2000年以降、個別空調方式の比率が高まることや、相対湿度、温度、二酸化炭素濃度の不適合率上昇の要因になった可能性がある。個別空調方式では、室毎の制御が行われるために、建物全体の空気環境制御が十分に行われないため、室間差や時間変化が発生する可能性が高い。このために、定期的測定や立入検査において、基準を満たさない結果が増えると考えられる。このような機序によって、報告聴取の増加、省エネルギーの影響、外部環境の変化に加えて、個別空調の普及によって、温度、相対湿度、二酸化炭素濃度の不適合率が上昇したと考えられる。

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。特に建築物環境衛生管理では「測定点」、「測定時期」が重要なキーワードであり、本研究ではCFD解析(数値流体解析)を用い、オフィス空間における「測定点」、「測定時期」について検討することを目的とする。

検討結果から、現状の空調・換気方式の使用により、室内分布(温度、湿度、CO₂、気流速度など)を明らかにし、冬期の暖房期間、夏期の冷房期間に対する「測定点」による違いについて考察した。

C4. 個別空調方式の行政指導等に資するマニュアル作成

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った。

マニュアルを用いた自治体職員への試行と効果に関しては、十分な結果が得られていないものの、今後のデジタル技術の導入を見据えた現状の限界と課題に関する記述が必要である等の意見が得ら

れている。

D. 結論

R2年度の研究によって、以下の知見が得られた。個別空調方式の建物や個別空調と中央管理の併用の建物は、中央管理のみの建物に比べて年間一次エネルギー消費量が小さくなる傾向がある。これは、個別空調方式では、必要な空間のみを空調換気することが出来ることが要因であると考えられる。しかし、個別空調は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とともに、建物間の差も生じやすい可能性がある。従って、個別空調方式の衛生管理において、室内環境の分布や変化に着目した評価が重要になる。行政報告例の不適合率と比較すると、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、室内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。浮遊微生物の測定結果と併せて考えると、個別空調を採用した室内の粒子状物質のろ過性能が劣っている傾向がある。調査研究を継続し、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検討する。

E. 研究発表

1. 論文発表

- 1) Motoya Hayashi, U Yanagi, Yoshinori Honma, Yoshihide Yamamoto, Masayuki Ogata, Koki Kikuta, Naoki Kagi, Shin-ichi Tanabe ; Ventilation Methods against Indoor Aerosol Infection of COVID-19 in Japan ; Atmosphere 14(1) 150-150, 2023. 01. 10
- 2) 林基哉, 環境工学からの情報発信-予期せぬ事態に専門家がとるべきスタンスとは(連載) > コロナ備忘録), 日本建築学会建築雑誌, p36-39, 2023. 01
- 3) 林基哉, 建築物環境衛生研究者からみた環境過敏症 建築物の換気不良と室内空気環境の実態, 室内環境 25, p33-40, 2022
- 4) 林基哉, 【特集】COVID-19 を振り返る 日本政府による新型コロナウイルス感染症のエアロゾル感染対策, 空気清浄 60 巻 5 号, 2023. 01. 31
- 5) 赤松大成, 森太郎, 林基哉, 羽山広文, 新型コロナウイルス感染症流行下の寒冷地の学校教室における室内環境と換気代替手法の評価, 日本建築学会環境系論文集 Vol. 803 p43-49, 2023. 01
- 6) 金勲, 阪東美智子, 小林健一, 下ノ菌慧, 鍵直樹, 柳宇, 菊田弘輝, 林基哉, 接待を伴う飲食店における室内環境と感染症対策(その1): 建築設備の概要及びコロナ禍における換気運用と感染状況, 日本建築学会環境系論文集 Vol. 806 p300-306, 2023. 04
- 7) 柳宇: コロナウイルス対策として空調・換気設備ができること, 住まいと電気, 第34,, 第8号, 5-8. 2022. ISSN 2187-8412.

2. 学会発表

- 1) 川崎嵩, 菊田弘輝, 林基哉, 阪東美智子, 長谷川兼一, 澤地孝男, 新型コロナウイルス感染下における居住リテラシーに関するWEB調査 その2 冬期の調査結果, 日本建築学会学術講演梗概集, p901-902, 2022. 07
- 2) 尾方壮行, 山本佳嗣, 鍵直樹, 林基哉, 田辺新一, デスクパーティションが呼吸器エアロゾル粒子への曝露に与える影響, 日本建築学会学術講演梗概集, p1331-1332, 2022. 07
- 3) 金勲, 阪東美智子, 小林健一, 下ノ菌慧, 鍵直樹, 柳宇, 菊田弘輝, 林基哉, 接待を伴う飲食店における換気と室内環境 感染症対策に関する実態調査, 日本建築学会学術講演梗概集, p1355-1358, 2022. 07
- 4) 山本直輝, 菊田弘輝, 長谷川麻子, 林基哉, 新型

コロナウイルス感染症のクラスター感染が発生したコールセンターの空気環境, 日本建築学会学術講演梗概集, p1547-1548, 2022. 07

- 5) 赤松大成, 森太郎, 五宮光, 林基哉, 羽山広文, 換気方式の異なる室内空間における換気効率の比較, 日本建築学会学術講演梗概集, p2093-2094, 2022. 07
- 6) 柳 宇, 林基哉, 中野淳太, 菊田弘輝, 本間義則, 長谷川兼一: 建築物の空調換気設備と環境衛生の実態 その1 空調・換気方式別における空気環境の比較, 公衆衛生学会, 2022.
- 7) 林基哉, 菊田弘輝, 柳 宇, 中野淳太, 鍵直樹, 長谷川兼一, 東賢一, 本間義規, 小林健一, 阪東美智子, 金 勲, 開原典子: 建築物の空調換気設備と環境衛生の実態 その2 COVID-19事例における空調換気の調査, 公衆衛生学会, 2022.
- 8) 開原典子, 柳 宇, 林基哉: 建築物における空気調和設備の維持管理に関する調査, 2022年室内環境学会学術大会講演要旨集, 150-151, 2022.

F. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし