

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。

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、建物による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。

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 信州大学

研究協力者

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
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 日本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

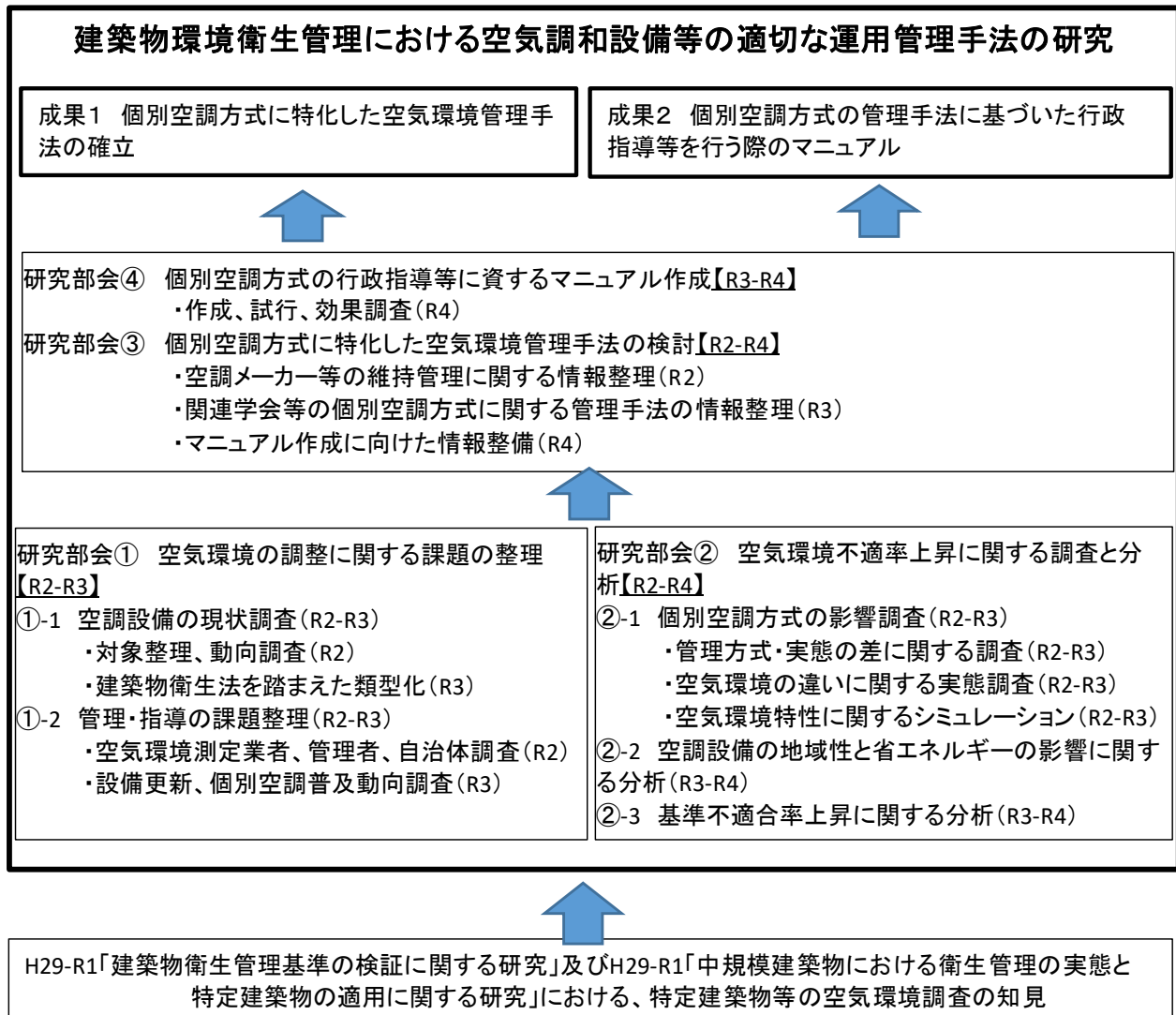


図1 研究の構造

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

個別空調設備に関する現状の把握および課題抽出を目的とし、個別空調に関わる業種をビル管理業、設備製造業、総合建設業(設備設計部門)の3つに分け、1社ずつヒアリング調査を行った。個別空調方式の管理マニュアルを作成していく上で、「個別空調方式」という大きな分類のみでは整理しきれない機器性能や管理実態の差異があることが示唆された。組み合わせられている換気設備や加湿設備の仕様の実態を明らかにし、中

分類を検討することが望ましいと考えられる。

2017～2020年の夏季と冬季において、北海道、東京、埼玉、横浜、名古屋、大阪、福岡にある事務所建築物27件にて行った調査の再分析を行い、空気環境不適合率上昇における個別空調方式の影響を調査した。PAC+換気方式は外気の影響を大きく受け、特に相対湿度は不適合となる範囲まで分布しやすい傾向にあることがわかった。空気温度および気流速度については、衛生管理基準の範囲を超えることはまれであった。ISO17772-1による評価結果からは、PAC+換気方式において総合評価およびPMVの評価がカテゴリI～N/Aまで広く分布していることがわかった。これは、同一空間内でもインテリアとペリメータの空気温度および平均放射温度の差が大きくなる傾向にあるためであった。また、冬季の上下温度分布も中央方式より大きくなりやすいことが確認された。以上を総合すると、換気を伴う個別空調方式は外気湿度の影響を受けやすく、同一空間内の高さ方向および水平方向の環境に分布が生じやすいことがわかった。また、同じ空調方式でも建物による差が生じやすいと言える。衛生管理において、個別空調方式では室内環境分布に着目した評価が重要になると考えられる。

事務所建築物を対象に、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ことを目的とし、一般社団法人建築設備技術者協会が提供している、建築設備情報年鑑・竣工設備データベース「ELPAC」を用いた。これは、47都道府県の建築物の管理者等を対象にアンケート用紙を配布して行われた独自調査データである。分析にあたり、非住宅建築物の省エネルギー基準の変遷²⁾から竣工年度に基づき、建築物を1984～1998年度、1999～2012年度、2013～2018年度の3つのグループに分類した。

各空調方式の延床面積や空調設備、エネルギー消費量等の動向の把握を行い、以下を把握することができた。

- 竣工年度が新しくなるにつれて「個別空調方式」の空調設備を導入する建築物が増加している。

- 加湿設備は「気化式」のものが大半である。「不明・なし」の割合が高く、設計時の加湿に対する配慮が重要であるといえる。
- 「中央管理方式」を導入している建築物において、「個別空調方式」「個別空調方式+中央管理方式」を導入している建築物よりも年間一次エネルギー消費量が大きくなる。

今後は、件数が増加している「個別空調方式」を導入している建築物に着目した、室内空気環境やエネルギー消費量等に関するさらなる分析に取り組む必要がある。

C2. 空気環境不適合率上昇に関する調査と分析

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室内温湿度の再解析を行った。約 60 件の事務所ビルの夏期と冬期の測定結果より、平時の場合、温度は、多くの建物が建築物衛生法の基準に近い状況にあり、個別の空調方式を用いている 2,000~3,000 m²の中規模ビルや 2,000 m²未満の小規模ビルであっても、調整可能であることが示唆された。一方で、冬期の相対湿度の結果は、気化式の加湿設備や空調の個別方式が増えている今般の平時の事務所ビルの低湿度環境の傾向を示しているといつてよい。今後、感染症対策による個別空調の運用管理手法の変化も含めて情報整備を進める必要があると思われる。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。

特定建築物で最も多い事務所ビルに注目して、衛生環境と健康影響の実態に関する基礎情報を入手するために、特定建築物に関する行政報告例の分析、特定建築物及び中規模建築物の空気環境を中心とした実態調査を行った。山形県から沖縄県までの全国の事務所 42 件の夏期及び冬期の 5 日間の執務時間帯の室内空気環境測定データを用いて、室内空気環境の特性、建築物環境衛生管理基準の適合状況に関する分析を行った結果、以下の知見を得た。

- 執務時間内の室内空気環境変化については、

冬期の温度、絶対湿度、冬期と夏期の CO₂ 濃度に上昇傾向がみられる。

- 事務所ビル毎の温度、湿度、CO₂ 濃度、PMV 概算値については、冬期の温度が高いほど相対湿度が低い傾向が伺えるとともに、PMV は温度に依存している。
- 対象全体の不適時間率については、温度は冬期 1%夏期 26%、相対湿度は冬期 65%夏期 19%、CO₂ 濃度は冬期 39%夏期 43%であった。
- 行政報告例の不適合率と比較すると、中小規模で個別空調が多い対象では、換気と加湿の制御が十分ではない場合が多いことが要因として挙げられる。

C3. 個別空調方式に特化した空気環境管理手法の検討

既往研究 1「(建築物環境衛生管理に係る行政監視等に関する研究, 平成 26~28 年度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))と、既往研究 2「中規模建築物における衛生管理の実態と特定建築物の適用に関する研究, 平成 29~令和 1 年度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)」の調査結果を用い、空調方式別の視点から中央方式空調システム(中央方式)と個別方式空調システム(個別方式)を採用した建築物の室内環境を比較した結果、下記の事柄が分かった。

- 温度：季節と空調方式を問わず、室内温度は建築物衛生法の管理基準値を満足した。また、個別方式の温度設定が居住者に任せているため、中央方式に比べると冬期に 0.5℃高く、夏期に 0.4℃低くなっている。
- 相対湿度：夏期では建築物衛生法の管理基準値を満足したが、冬期では空調方式を問わず、40%を下回った。また、冬期では個別方式より中央方式の方が 5%程度高かった。
- CO₂ 濃度：季節を問わず何れの方式においても、室内濃度の中央値が 1000ppm を下回った。
- 浮遊微生物：季節を問わず室内浮遊細菌濃度

が建築学会の維持管理基準値の 500cfu/m³ を満足した。また、中央方式に比べ、個別方式の方が高い値を示した。一方、浮遊真菌については、夏期の個別方式の室内濃度の中央値が 50cfu/m³ を上回ったが、ほかは当該基準を満足した。

- 浮遊粒子：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した。浮遊微生物の測定結果と併せて考えると、個別方式を採用した室内の粒子状物質のろ過性能が劣っている。

また、個別方式空調と中央方式空調における感染性エアロゾルに起因する感染リスクの比較を行った。個別方式空調機のフィルタが標準仕様 (MERV 1) の場合の感染確率は、一般に中性能フィルタ (MERV12 以上) が備えられる中央方式空調の場合に比べ約 2 倍高くなる。従って、個別方式の空調機 (パッケージエアコン) のフィルタを中性能 (MERV12 以上) にグレードアップすることが望ましい。

空調方式の違いによる室内環境の違いについて、セントラル空調と個別空調を併用した場合、各空調方式を単体で使用した場合を対象に、CFD 解析による検討を行った。セントラル空調と個別空調を併用した場合について解析を行った結果、セントラル空調のみでは吹出口、風向等の位置関係により温度ムラが生じてしまうが、個別空調を使用することでこの問題を解消することが可能である。空調温度設定、風量設定が等しい場合でも、空調方式の違いによる温度ムラに差が生じた。セントラル空調のみを使用した場合は、気流の滞留などにより温度ムラが生じてしまい、室内温度分布を一定に保とうと制御をかけてもある程度の誤差が生じてしまった。これに比べて、個別空調を使用することで、熱源の局所排気などが行われ、居室の利用数が減少した場合でも室環境の制御が容易になると考えられる。

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、個別空調の特長を踏まえた、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

なし

2. 総説

なし

3. 書籍

なし

4. 学会発表

- 1) 林 基哉, 小林 健一, 金 勲, 開原 典子, 柳 宇, 鍵 直樹, 東 賢一, 長谷川 兼一, 中野 淳太, 李 時桓. 事務所建築の室内空気環境管理に関する調査 その 6 冬期及び夏期の室内空気環境の不適合性. 令和 2 年度空気調和・衛生工学会大会 (オンライン); 2020 年 9 月. 令和元年度空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集.
- 2) 開原 典子, 金 勲, 小林 健一, 林 基哉, 柳 宇, 鍵 直樹, 東 賢一, 長谷川 兼一, 中野 淳太, 李 時桓. 事務所建築の室内空気環境管理に関する調査 その 7 夏期及び冬期の室内温湿度の実態. 令和 2 年度空気調和・衛生工学

会大会（オンライン）；2020年9月．令和元年度空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集．

- 3) 金 勲, 小林 健一, 開原 典子, 柳 宇, 鍵 直樹, 東 賢一, 長谷川 兼一, 中野 淳太, 李 時桓, 林 基哉. 事務所建築の室内空気環境管理に関する調査 その8 冷暖房期における二酸化炭素濃度の連続測定結果. 令和2年度空気調和・衛生工学会大会（オンライン）；2020年9月．令和元年度空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集．
- 4) 中野 淳太, 林 基哉, 小林 健一, 金 勲, 開原 典子, 柳 宇, 鍵 直樹, 東 賢一, 長谷川 兼一, 李 時桓. 事務所建築の室内空気環境管理に関する調査 その9 建築物衛生法とISO 17772-1による室内温熱環境評価の比較. 令和2年度空気調和・衛生工学会大会（オンライン）；2020年9月．令和元年度空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集．

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

