

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）
（総合）研究報告書

中規模建築物所有者等による自主的な維持管理手法の検証のための研究

研究代表者 本間義規 国立保健医療科学院 統括研究官

研究要旨

建築物衛生法に基づく特定建築物の衛生環境確保は、建築物全体の約 11%にしか及んでいない。残り約 89%を占める中小規模建築物等の衛生環境は、建築物衛生法第 4 条第 3 項の努力義務が課せられてはいるものの、あくまで自主的な管理となっている。本研究の目的は、オフィスビルを対象に、面積規模や高さ等によってどのような建築的或いは建築設備的な特徴と差異を有しているのか、またそうした差異によって建築物衛生管理にどのような問題が生じるのかを明確にすることである。

以上に示した目的を達成するため、以下の項目①～③について研究を実施した。すなわち①国内外の室内環境・知的生産性、給水に関する評価システムを調査検討すること、②ローコストかつ効果的な維持管理を可能にする手段として主観評価を活用したチェック方法を取り入れること、③中小規模建築物の特徴を明確にした維持管理上での確認箇所を明示すること、の 3 点である。

上記①に関して、EU ALDREN プロジェクトにおいて開発された IEQ(室内環境質)レーティングシステムである TAIL スキームの内容を詳細に調査分析し、本邦への応用について検討した。

上記②に関して、長期測定結果を詳細に分析し、そこから得られる建物の特徴と建築物衛生法の改善課題を明確にした。さらに主観評価に関しては、外部環境、自宅の温熱環境のほか、各環境要素相互のバイアスや個人特性の影響に関しても検討を行った。

上記③に関して、令和 4～6 年度に実施した全国 6 件のオフィスビルの詳細測定により、中小規模建築物の特徴として、建築物(階数、開口部)、空調設備(個別分散空調が多いこと、加湿設備がないこと、換気量設定)、給排水設備に関連した 10 の要素を抽出した。室内環境調整は空調設備及び換気設備に依存する要素が大きい。そのほか、地域性の考慮についてもいくつかの知見を得た。こうした中小規模建築物の特徴を勘案しつつ、かつ建築物を取り巻く法規制(建築物省エネ法、環境配慮契約法、不動産資料と ESG 投資等)を踏まえ、中小規模向けのガイドライン・マニュアル案を検討した。

研究分担者

東 賢一・近畿大学 教授
小林健一・国立保健医療科学院 上席主任研究官
島崎 大・国立保健医療科学院 上席主任研究官
阪東美智子・国立保健医療科学院 上席主任研究官
下ノ蘭 慧・国立保健医療科学院 研究員
西原直枝・日本女子大学 准教授

研究協力者

鎌倉良太・公財日本建築衛生管理教育センター
杉山順一・公財日本建築衛生管理教育センター
谷川力・公社日本ペストコントロール協会
黒田洋平・ダイキン工業株式会社
笹井雄太・ダイキン工業株式会社
森 太郎・北海道大学大学院工学研究院教授
尾崎貴之、下平智子、関内健治
・公社全国ビルメンテナンス協会

A. 研究目的

建築物衛生法に基づく特定建築物の衛生環境確保の範囲は、事務所を対象とする場合、用途全体の約 11%にしかすぎない（法人土地・建物基本調査に基づく推計）。残り約 89%を占める中小建築物規模の事務所の衛生環境は、建築物衛生法第 4 条第 3 項の規定により衛生的な環境の確保の努力義務を負っているものの、建築物所有者等の自主的な取り組みに依存している。

利用者の快適性や健康性・知的生産性向上など、いわゆるウェルネスの向上が世界的にも注目されている。また、感染症に対する建築的配慮や災害時対応・BCP の視点においても、建築物の環境衛生管理の重要性は益々高まっている状況にある。

国立保健医療科学院では、これまで特定建築物の管理基準の検証や空気調和設備等の適切な運用管理手法の研究を進めてきた。

建築物衛生法による維持管理義務が適用されない建築物の衛生環境を向上させるためには、中規模建築物の特質を踏まえた維持管理手法の検討が不可欠であると同時に、衛生管理に所有者等の行動変容を促すような実効性・汎用性の高い自主的な維持管理手法の構築が求められる。

建築物衛生法は温湿度、CO、CO₂、浮遊粉塵、風速計がセットになった測定装置を持ち込んで、2 か月以内に 1 回、午前と午後に執務室の中央付近で測定するというアナログな方法で行われているが、中小規模建築物はこれと同様なビル管理を求めることはコスト的に難しいだろう（第 1～8 号事業者等とビル管理契約をしているのであればその限りではない）。法制定された 55 年前と比較するとローコストなセンサーが増えてきており、ロガー機能の付いたものや Wi-Fi 経由でクラウド上にデータを保存できるものも増えてきた。こうした IoT と親和性の高いセンサーを組み合わせ、簡易に評価・把握できるシステムを構築することは重要である。低層・中層建築物は直結直圧式給水が殆どであり受水槽が不要である。排水について

もグリース阻集器等がなければ日常的にメンテナンスが必要な部分は殆どない。衛生害虫は特定建築物と同様の IPM 管理が求められるが、規模や外部開放頻度の観点で注意すべき点異なる可能性がある。これらのほか建築物環境衛生管理基準に基づく検査項目全般について簡易評価が困難なものがあればそれを明確にする必要がある。

中小規模建築物に特有な衛生管理上の注意点の明確化、具体的な衛生管理方法を示すこと、また、中小規模建築物に特有な設備の一般的なメンテナンス方法を示すこと等、中小規模建築物所有者等が自ら測定評価・維持改善対策が可能なガイドライン・マニュアルを作成することが本研究の目的である。

健康障害に関連する建築物環境の物理要因には、温湿度、空気、光、音・振動があり、化学的要因には化学物質及び浮遊粒子状物質等の空気質汚染が、生物学的要因にはウイルスを含む浮遊微生物やレジオネラ属菌の細菌等がある。こうした要素は適切な測定により定量的に評価する必要があるが、一般の建築物所有者或いは維持管理権原者が専用の機器を利用して環境評価を行うことは一般に困難である。一方、その空間を利用する執務者の知覚要素（視覚、聴覚、触覚、味覚、嗅覚、温熱感覚等）をセンサー替わりにすること（利用者簡易環境診断）が可能であれば、建築物衛生管理のバリエーションは飛躍的に拡大する。IoT を活用すれば個々人の簡易環境診断の情報収集は容易であり、クラウドに集めたデータから個々の建築物の衛生状態をわかりやすくレーティングすることにより、建築物環境衛生管理技術者はもとより、ビルメンテナンス業者もしくは自治体保健所の環境衛生監視員等の人的資源を増員せずとも、よりきめ細やかな建築物衛生環境の維持管理が可能となる（図 1）。

個々人の簡易環境診断は、①スマートフォン等を用いて 10 項目以内の簡単な質問を定期的（数日～1 か月の範囲）にプッシュ送信、②人間の感覚で知り得る要素（温熱感覚、臭い、衛生害虫等の発見記憶等）を収集、③主観評価と

は別にローコストセンサーを用いて連続的に温湿度、二酸化炭素、等価騒音レベル、照度、浮遊微粒子等のデータを収集、④これらを総合的に分析して健康影響を及ぼし得る環境要素をレーティングする、という要素・流れで構成される。

このようなシステム：B-HERS（Building Hygiene Environment Rating System）を構築することが本研究の究極的な目標であるが、アプリケーションの開発やメンテナンス等のインフラ整備、情報セキュリティ等、さらには保健所等の監視指導業務や運用体制など解決すべき課題が多岐に渡ることから、本研究ではプロトタイプの検討に留め、実用化の検討までは行わない。各年度の実施内容を以下に示す。

令和 4 年度

- 1) 温湿度・光・音・空気環境の実測調査結果および執務者の主観評価手法に関する検討
- 2) 給水環境の実態ならびに利用者の主観に関する調査
- 3) 国内外の室内環境・知的生産性の評価・レーティングシステムの調査
- 4) 建築物環境性能レーティングシステムの室内環境要素及び労働生産性評価ツールの調査
- 5) 健康・水質に関わる海外のレーティングシステムに関する調査
- 6) 健康と室内環境にまつわる行動変容に関する検討

令和 5 年度

- 1) 室内熱環境・空気質・音環境・光環境に関する夏期詳細測定と主観評価調査結果
- 2) 夏季のオフィスワーカーの着衣量と主観評価に関する調査研究
- 3) 給水環境の実態並びに利用者の主観に関する調査
- 4) 長期測定に基づく温湿度環境形成要因の分析と空気管理規準不適合割合
- 5) 室内環境・知的生産性の評価システムの検討

- 6) 建築物利用者の建築環境と健康評価の再分析

令和 6 年度

- 1) 室内環境・知的生産性の評価システムの検討
- 2) 居住者の主観評価による空気温湿度の維持管理手法の検討
- 3) オフィスワーカーの着衣量と主観評価に関する調査研究
- 4) 階層分析法を用いた個人・集団の主観評価バイアスに関する検討
- 5) 衛生管理に関するガイドライン・マニュアルに関するレビュー

B. 研究方法

B1. 国内外の室内環境・知的生産性の評価・レーティングシステムの調査及び検討

国内外の室内環境・知的生産性評価及びレーティングシステムについて、関係諸機関の評価文書や報告書、関連論文等をインターネット検索および文献データベース検索で調査した。また、オフィスの室内環境に関するアンケートを調査会社に委託し、調査を実施した（回答数 621）。

B2. 給水に関する海外のレーティングシステムに関する調査

海外の室内環境・知的生産に係るレーティングシステムとして LEED O+M、GBAC STAR、fitwel を選定し、各システムのウェブサイトから評価項目ならびに運用状況等の情報を抽出し整理した。本研究に関わる項目の設定状況、とりわけ、水道水や給水・給湯に関連する項目の設定状況について考察を行っている。

B3. 空気環境の連続測定による室内環境評価と居住者の主観評価による空気温湿度の維持管理手法の検討

日本各地の 6 件の建築物を対象として室内環境測定（連続測定と詳細測定）と主観評価調査を実施した。連続測定では空気温湿度と CO2 濃度に関して冬期（2022 年 12 月～2023 年 3 月）と夏期（2023 年 7 月～2023 年 9 月）ごと

に時別・曜日別・基準値内時間率（平日 9～18 時の全時間数に対して建築物環境衛生管理基準値内である時間数の比）で評価した。詳細測定と主観評価調査は 2023 年冬期（2023 年 3 月）、2023 年夏期（2023 年 8～9 月）、2025 年冬期（2025 年 1～2 月）の 3 回にわたり代表 1 日を選定して実施した。詳細測定は CO₂ 濃度、空気温湿度、黒球温度、気流速度、上下温度分布（床面から 0.1m、0.6m、1.1m、1.7m）、浮遊微粒子個数濃度を測定した。主観評価調査は各回 100 名程度から温度環境と湿度環境の主観評価、個人特性のデータを取得し、室内環境測定結果と合わせて分析した。

B4. 室内環境質（IEQ）に係る光環境、音環境、空気環境の評価とその複合影響

光環境は照度計（ONSET HOBO MX1104）を用いて、長期測定を実施した。相関色温度、色度偏差、演色性評価数はスペクトロメーター（SEKONIC SPECTROMETER C700）を用いて、オフィスの床面積に応じて執務者デスク上 6～10 点の測定を行った。音環境に関しては、等価騒音レベル測定（RION NL-42）を実施した。空気環境については、総合指標としての CO₂ 濃度のほか、詳細測定時にはパーティクルカウンターで粒子状浮遊物質及びバイオサンプラーで真菌、細菌を採取した。なお、現地訪問しての詳細測定時に、光環境、音環境、空気環境に関する主観評価質問を実施し、実測値との比較を行った。

B5. 長期測定に基づく温湿度環境形成の要因分析

6 件の事務所（特定建築物 3 件、非特定建築物 3 件）における温湿度及び CO₂ 濃度の連続測定結果について、曜日ごと、時間帯ごと（午前、午後、勤務時間外）に分類した。建築物衛生法・建築物管理衛生基準に則り、不適時間の割合を明らかにするとともに、温度と相対湿度から算出される絶対湿度をベースとして、地域性、加湿の有無、夜間の換気設備停止の有無などをパラメータとして分析を行っている。執務室内の温湿度環境形成にどのように影響を及ぼすのかを考察した。

B6. オフィスワーカーの着衣量と主観評価に関する調査研究

オフィスにおける温熱環境評価には、着衣量を精確に把握することが必要であるが、多様な衣服が市販されているため、正確な衣服熱抵抗或いは着衣量に基づく推定は難しい。画像による着衣量の推定や外気温度から一律に着衣量を指定する方法など、室内環境レーティングの際の入力方法にはいくつかのアイデアがあるが、今回は ISO9920 に則ったかたちで学術的に正確なデータをとることを心掛けた。対象は他の実測と同様、6 件の建物（うち 3 件は特定建築物、3 件は中小規模建築物）を対象とし、夏季（2023 年 8 月から 9 月）および冬季（2025 年 1 月から 2 月）に Web 回答システムを用いて実施した。

B7. 給水環境の実態ならびに利用者の主観に関する調査

全国の 7 事業所（冬期：2023 年 2-3 月）、および 6 事業所（夏期：2023 年 8-9 月）において、室内環境に係る各項目の測定ならびに執務者に対する主観評価調査を実施した。調査時と同時に給水の臭い、濁り、浄水器の設置等に関する主観評価調査を実施した。

B8. 階層分析法を用いた個人・集団の主観評価バイアスに関する検討

温湿度及び CO₂ 濃度を連続測定している 6 件の建築物において、階層分析法（AHP）を用いた主観評価に影響するバイアスについて追加検討を行った。AHP は一対比較法を用いて温熱感、湿度感、空気質の 3 種類についてその重要度の評価をしてもらい、各々の重み係数について考察を行う。温熱感、湿度感、空気質は室内環境コントロールによって連動する要素であり、物理的な影響度合いについて数値実験を行った。

C. 研究結果

C1. 国内外の室内環境・知的生産性の評価・レーティングシステムの調査及び検討

EU ALDREN プロジェクトの TAIL スキームは、EU 加盟国各国の研究者が参加するプロジ

ェクトであり、国や地域レベルで活用可能な包括的な評価スキームとして提案されたものである。欧州空調・換気設備協会（REHVA: Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations）は、「2024年EPBD改正の新しい規定に沿ったモデルIEQ規制」を2025年1月に公表し、その中でTAILスキームを利用可能なスキームとして紹介している。TAILスキームの目的は、既存の建築物におけるエネルギー性能と室内環境の質（indoor environmental quality, IEQ）を評価し、最も費用対効果の高い改修方法を特定、大幅な改修を支援することにある。最終結果を色で表示するのが特徴であり、グリーンが基準をクリアしていることを意味し、イエロー、オレンジ、レッドと色が濃くなるごとに評価が低くなる。

本研究班が測定を行った6件の建物の測定データを用いて、TAILスキームによる評価を実施したところ、温度（T：温熱）、相対湿度（I：室内空気質）、音圧レベル（A：音環境）、二酸化炭素濃度（I：室内空気質）。冬期（暖房期）、夏期（冷房期）ともに、いずれの建物においても総合評価でグリーンと評価された建物はなかった。冬期では日平均の総合評価で6件中4件がイエロー、2件がオレンジであった。夏期では、6件中全てがオレンジとなり、夏期のケースにおいて特に評価が低い結果となった。

C2. 給水に関する海外のレーティングシステムに関する調査

LEED（Leadership in Energy and Environmental Design）は、非営利団体 U.S. Green Building Council が開発、運用し、Green Business Certification Inc.が認証の審査を行っている。各評価項目の合計ポイントに応じて4段階の認証レベル（プラチナ・ゴールド・シルバー・標準）が設けられている。本研究の目的に合致するものは、LEED O+M（バージョン4.1）が水の効率的利用が該当する（全7つの評価カテゴリ、計22項目）。

GBAC STAR は非営利団体 International Sanitary Supply Association の一部門 Global

Biorisk Advisory Council (GBAC) が開発、運用しており、建築物の清掃、消毒、感染症予防に関する、施設認証またはサービス認証（清掃業者向け）である。同部門が公開する建築物衛生の評価・監査に関する資料集には、環境衛生の監視に係る技術として以下が挙げられており、GBAC 登録制度に登録されている製品・製造業者が示されていた。

Fitwel は、米国疾病対策センター（CDC）および米国一般調達局（GSA）が共同提案、非営利団体 The Center for Active Design (CfAD)が運用している、居住用・商用建築物に関する Building Health 認証である。バージョン2.1における評価項目（商用・複数テナント向け – Multi-Tenant Whole Building）は以下の12カテゴリ・65項目である。飲料水は水へのユニバーサルアクセス、ボトル給水設備、水質に関する評価が示されている。

C3. 空気環境の連続測定による室内環境評価と居住者の主観評価による空気温湿度の維持管理手法の検討

連続測定による空気環境評価では、主に基準値内時間率により空気温湿度とCO₂濃度を評価し、冬期の低湿環境が観察されたほか、一部の建物ではある時期を境に何らかの影響で換気量が減少した傾向を把握することができた。詳細測定による空気環境評価では、PMV やSET*による評価は特定建築物と中小規模建築物で一貫した結果が得られなかったものの、一部の中小規模建築物ではF.L.+1100mmとF.L.+100mmの空気温度差が3.3Kとなる場合があり、熱環境が悪化している可能性が見受けられた。また、中小規模建築物の浮遊微粒子個数濃度のI/O比は特定建築物と比較して高い傾向が見られ、空調機に付属するフィルタや清掃頻度による影響の差が出たと考えられる。主観評価調査では、個人属性や温湿度環境に対する主観評価をまとめ、詳細測定の結果との分析により寒冷側申告率、乾燥側申告率、湿潤側申告率といった指標で空気温湿度の維持管理ができる可能性を示した。

C4. 室内環境質（IEQ）に係る光環境、音環

境、空気環境の評価とその複合影響

今回測定した物件の光環境はLED光源で相関色温度も白色(4000~5000K)の範囲が多かった。クルイトフ曲線(相関色温度と照度とから光環境の快適性を判断する曲線)上では、すべての測定物件で快適範囲に入っていた。一方、一部で平均演色性評価数が80を下回る物件があった。

音環境に関しては、等価騒音レベルで50~60dB(A)となっており、小声会話が存在するレベルの騒音状態であった。空調機器騒音やプリンター等のモーター機器に対する不満率は18~26%程度で高くなく、音環境全体の不満率は19%とそれほど高くなかった。また、室内換気量の評価方法として、等価騒音レベルと会話時間とから換気量を推定する方法について検討した。

空気環境に関しては、CO₂濃度、浮遊微粒子濃度、浮遊微生物濃度と執務者の空気質に対する主観評価を用いて分析を行った。執務者のCO₂呼出量から換気量を推定し、すべての測定建物で30m³/h/personを満たしていることを確認した。浮遊微粒子濃度は粒径1.0~3.0μmの範囲で換気量と有意に相関があることを確認した。また中性能フィルタが利用されていない換気設備を使っている建築物では、窓開放併用により個数濃度が高めであることがわかった。浮遊微生物に関しては日本建築学会規準の基準値以下であった。空気質に関しては空気の汚れ感と換気量は有意に相関があり、満足度とも関連することがわかった。さらに等価騒音レベルと空気の汚れ感に関する主観評価を用いた換気量推定の検討を行った。

C5. 長期測定に基づく温湿度環境形成の要因分析

長期測定したデータを分析した結果、温度に関しては、空調停止時の不適率が高いほど執務時間の不適率が高いこと、PACでは空調開始時の設定室温に至るまでの時間を短くするために、大きな温度むらが形成されることがわかった。湿度に関して、冬期相対湿度は夜間の換気装置の稼働状態及び外気湿度状態に依存し、寒

冷地ほど不適状態の時間が多くなることを示した。夏期は微生物汚染を抑制するため、適切な除湿と送風運転が必要である。加湿・除湿の判断指標として、設備の運転制御とも相性の良い絶対湿度基準で不適状態を確認した。外気絶対湿度基準で判断できるため、地域によらず加湿量自体(加湿行為自体)を適切に評価できることが明らかとなった。逆に夏期は除湿が不十分な状態を明確にすることができた。またCO₂濃度に関しては、性能の低い建物ほどエネルギー消費抑制のために間引き運転或いは風量低減等が行われがちであり、結果としてCO₂濃度が高く維持されることが示された。

C6. オフィスワーカーの着衣量と主観評価に関する調査研究

ISO 9920 に示される着衣単品の着衣量を基にして、各執務者の基礎着衣熱抵抗値を加算し算出したところ、夏季は男性で0.58clo、女性で0.64cloであった。冬季の分析では、男性1.07clo、女性1.11cloであった。着用者率の分布をみると、夏季は、男性の73.5%が、0.5clo以上0.6clo未満の着衣量であり、分布が集中していたが、女性は0.5clo以上0.6clo未満のカテゴリで36.8%であり、男性よりも比較的広範囲に分布していた。冬季については、男女ともに広く分布しており、着衣量に個人差が大きいたことが示された。建物規模別の分析では、3,000 m²以上の特定建築物では夏季は、0.56clo、中小規模建築物では0.62cloであり、中小規模建築物において有意に高い着衣量であった。冬季は、特定建築物では1.02clo、中小規模建築物では1.11cloであったが、建物規模の違いによる着衣量の平均値に有意な差は認められなかった。着席位置から、インテリアゾーン(IZ)とペリメーターゾーン(PZ)との間の比較をしたところ、夏季はIZで0.59clo、PZで0.61cloであり、平均着衣量に有意な差は認められなかったが、冬季は、IZで0.95clo、PZで1.20cloであり、有意にPZがIZより高い傾向があり、着衣を多く着ることによって、調整を行っている様子が示された。

C7. 給水環境の実態ならびに利用者の主観

に関する調査

調査の結果、一部の建築物から採取した試料の遊離残留塩素は、水道法の下限值0.1mg/Lを下回っていた。濁度はいずれもほぼゼロに近く目視でも異常は確認されてなかった。従属栄養細菌数は、一部の特定建築物およびすべての中規模建築物について1.0×10²CFU/mL以上で存在し、微生物学的な衛生状況が芳しくないことが示唆された。

執務者に対する主観評価調査では、各年とも、水道水の直接的な飲用には事業所によって大差がみられた。水質に関しては、「塩素臭・カルキ臭」による異臭味が指摘されており、塩素消毒による臭味と考えられた。一方、「金気臭」の指摘は給水装置等の腐食に由来する可能性が考えられた。

C8. 階層分析法を用いた個人・集団の主観評価バイアスに関する検討

建築物特性に基づく温熱感、湿度感、空気質各々の感度について、簡単な単室換気モデルで検討した結果、1°Cの変化幅は相対湿度1.5～2.0%RH、CO₂濃度150～200ppm、換気回数0.5ACH程度の変化幅と同等であると推定でき、特に外気相対湿度の地域性は室内要素のチューニング幅より大きいことが明らかとなった。また、環境暴露する人の温熱感、湿度感、空気汚染度の重要性に関する意識が及ぼす影響について、階層分析法（一対比較法）により検討を行った結果、相対湿度の重要性比率が高くなるA、D、E、F、空気質の重要性比率が高くなるCが抽出された。相対湿度に関しては、全体的に乾燥側の申告が多いが、加湿を十分に行っているAではやや乾燥しているとする回答者が多く、一方で非特定建築物のD、E、Fは「非常に乾燥している」、「乾燥している」、「やや乾燥している」に広く分布し、この状況は相対湿度40%を超えていても同様であることを確認した。湿度に関しては、冬期は乾燥しているという一般的な意識がバイアスになっている可能性を示した。

D. 考察

D1. 国内外の室内環境・知的生産性の評価・

レーティングシステムの調査及び検討

建物内の温熱環境、音環境、室内空気環境、光環境の4項目の評価とともに、これらの4項目を統合した総合的なIEQの評価格付けシステムの提案が世界的なトレンドと言える。これらのなかで、EUが推進するTAILスキームは、健康リスクと快適性を指標としつつ、エネルギー性能と室内環境質の両面から大幅な改修を支援することが目的となっている。衛生管理のみの単一目的ではなく、省エネルギー性や知的生産性、ウェルネスなどの付加価値にも重点が置かれていることが特徴的である。TAILスキームの適用事例では、2件のパイロット研究の結果が研究論文として報告されており、改善すべき項目や改善効果が明確に評価されていた。EUでは、EPBDが2024年5月に改正され、IEQの評価と改善が導入された。TAILスキームは改正EPBDの一環として開発されたものであり、REHVAが改正EPBDのモデル規制の中でTAILスキームを利用可能なスキームとして紹介していた。今後、EU各国の国内法での適用結果を注視する必要がある。

また、オフィスの室内環境に関するアンケート調査に関して、温熱や湿度に関する不満の割合が高く、次いで音環境に対する不満の割合が高いことが明らかとなった。延べ床面積による建物の規模との関係性を評価した結果、音環境の満足度では、建物の規模が小さくなるほど満足度が有意に低下した。特に建物外の騒音において気になる度合いが有意に増加した。但し、その他の項目では建物の規模との有意な関係はみられなかった。なお、室内環境簡易評価システムを導入するにあたっては、デバイスの保有率の結果より、スマホ用のアプリだけでなく、パソコン用のアプリも同時に開発する必要があると考えられ、本研究の方向性自体には問題がないことを確認した。

D2. 給水に関する海外のレーティングシステムに関する調査

今回調査したレーティングシステムのうち、飲料水についてはfitwelが唯一、水質検査に関する評価項目を示していた。詳細は以下のと

おり。①定期的に年2回以上、ならびに、給水システム関連の施工や修理等の後に実施、②各階ごとに水源（貯水槽等）から最遠となる給水栓を1箇所以上対象に含める、③公共水道等から給水を受ける場合には、以下項目の最大汚染濃度を満たすこと、（ヒ素: 0.010 mg/L、銅: 1.3mg/L、大腸菌群: 陽性率 5.0%、鉛: 0.015 mg/L、レジオネラ: 0.000 mg/L、硝酸イオン: 50mg/L、塩化ビニル: 0.002 mg/L）、④公共水道等から給水を受けない場合には、米国環境保護庁、世界保健機関、あるいは地方自治体が定める飲料水水質基準や水質ガイドラインを満たすこと、⑤水管理計画（Water Management Program）を策定すること、⑥冷却塔など給水システムと切り離された設備について飲用水の供給を確認すること、とある。このように人の健康に関連する水質項目の遵守が考慮されており、水道の資機材等を由来とする金属類（銅・鉛）、有機化合物（塩化ビニル）、日和見感染菌（レジオネラ）、糞便汚染指標（大腸菌群）が含まれていた。特にレジオネラについては、さらに水管理計画の策定が求められている点は特筆すべき点である。一方、水道水の衛生状態を反映する残留消毒剤に関連する項目は、いずれも含まれていなかった。

D3. 空気環境の連続測定による室内環境評価と居住者の主観評価による空気温湿度の維持管理手法の検討

空気温湿度の維持管理手法については平均空気温度と寒冷側申告率（冬期）、平均相対湿度と乾燥側申告率（冬期）には負の相関、平均空気温度と湿潤側申告率（夏期）には正の相関が見られたことから、この相関を評価に利用できる可能性がある。しかし、現時点では6件の建築物に限定されていること、夏期の空気温度に対する不満は「寒冷側」の理由もあること、温湿度環境に対する主観評価は年齢、性別、暑がり・寒がりといった個人属性に影響される等の課題であり、今後もデータを蓄積することにより精度の高い維持管理手法の提案につながると考えられる。

D4. 室内環境質（IEQ）に係る光環境、音環

境、空気環境の評価とその複合影響

7つのオフィス空間の光環境を測定した結果、中小規模建築物は開口部からの採光も取り入れているため、全体的に照度が高めであることがわかった。暗いとの申告のあるオフィスは色度偏差が大きめで平均演色性評価数が低い傾向にあった。音環境に関しては、今回測定した7つのオフィスの等価騒音レベルは平均値で55dB(A)を下回った。音環境に関する主観者評価では、オフィス毎に他人の会話・電話・オンライン会議や交通騒音を気にする人が見られたが、コピー機等のOA機器や空調騒音は気にならない執務者が多かった。また、これらの騒音要素と音環境の満足度については、会話・電話等が影響しているものの有意差は得られなかった。空気清浄度の評価項目である微粒子個数濃度と等価騒音レベルの関連は、粒径0.5～3.0μmの微粒子個数と相関が高いこと、また等価騒音レベルと平均会話時間とで一人当たり換気量を推定できる可能性があることがわかった。

D5. 長期測定に基づく温湿度環境形成の要因分析

A～Cは3000m²を超える特定建築物である。空気管理基準を満たす設計が行われ、かつ保健所長通知（建築基準法第93条第5・6項）を経て竣工しているはずであり、適切な運転を行えば、建築物衛生法の空気管理項目で不適と判定される確率は本来低いはずである。非特定建築物であるD～Eは、建築基準法及び建築物省エネルギー法上は適法となる反面、例えば換気量に関しては、0.5回換気の確保ではCO₂濃度基準を守られない可能性があることが示された。冬期低湿度に関しては、加湿装置を新たに追加しない限り相対湿度40%を確保することは困難である。

D6. オフィスワーカーの着衣量と主観評価に関する調査研究

ISO 9920 に示される着衣単品の着衣量を基にして、各執務者の基礎着衣熱抵抗値を加算し算出したところ、夏季は男性で0.58clo、女性で0.64cloであった。冬季の分析では、男性

1.07clo、女性 1.11clo であった。着用者率の分布をみると、夏季は、男性の 73.5% が 0.5clo 以上 0.6clo 未満の着衣量であり、分布が集中していたが、女性は 0.5clo 以上 0.6clo 未満のカテゴリで 36.8% であり、男性よりも比較的広範囲に分布していた。冬季については男女ともに広く分布しており、着衣量に個人差が大きいことが示された。

建物規模別の分析では、3,000 m²以上の特定建築物では夏季は、0.56clo、中小規模建築物では 0.62clo であり、中小規模建築物において有意に高い着衣量であった。冬季は、特定建築物では 1.02clo、中小規模建築物では 1.11clo であったが、建物規模の違いによる着衣量の平均値に有意な差は認められなかった。また、着席位置の比較をしたところ、夏季はインテリアゾーン (IZ) で 0.59clo、ペリメータゾーン (PZ) で 0.61clo であり、平均着衣量に有意な差は認められなかった。一方、冬季は、IZ で 0.95clo、PZ で 1.20clo であり、有意に PZ が IZ より高い傾向がみられた。

D7. 給水環境の実態ならびに利用者の主観に関する調査

給排水は共用部のみでテナント部分には水回りが設置されていないケースが多く、通常の飲用水はウォーターサーバー等が多く利用されている。直結直圧方式にあるにも関わらず日常的な給水量、使用頻度が少ないため、吐水口付近で真菌・細菌が増殖しやすい環境にあることが示された。主観評価においては異臭味、濁り、色が重要であるものの、塩素消毒由来の異臭味は、給水・給湯システムの衛生状態が良好であることを反映する点に留意する必要がある。また、浄水器の設置の有無が主観に大きく影響を与える可能性がある。濁りや色は、給水装置や給水用具の腐食や劣化、細菌の再増殖等に由来する可能性が想定されることから、主観評価においてチェックすべき重要な項目といえる。

D8. 階層分析法を用いた個人・集団の主観評価バイアスに関する検討

階層分析法を用いた個人・集団の主観評価バイアスに関する検討を行った。主観評価に先立

ち、物理環境要素 (TC、HS、IAQ) に関する建築物特性の感度に関して単室換気モデルで検討したところ、温度、相対湿度及び CO₂ 濃度の変化量の関係より、1℃の変化幅は相対湿度 1.5～2.0%RH、CO₂ 濃度 150～200ppm、換気回数 0.5ACH 程度の変化幅と同等であると推定することができた。

階層分析法を用いて算出した TC、HS、IAQ の重み係数は、平均値で見ると HS の重要性比率が高くなる A、D、E、F、IAQ の重要性比率が高くなる C などが抽出された。HS に関しては、今回調査した建築物は全体的に乾燥側の申告が多く、かつ中立的な回答がないという結果になった。こうした乾燥感は相対湿度 40%を超えている状況であっても同様であった。湿度に関しては、冬期は乾燥しているという一般常識がバイアスになっている可能性があり、主観評価の限界といえそうである。温度、空間湿度、換気量は物理的に連動するパラメータであり、主観評価でコントロールされることを考慮すると、相対湿度の優先度は低いと言わざるを得ないだろう。

E. 結論

E1. ガイドライン・マニュアルの位置づけ

令和 4～6 年度の 3 年間、中小規模建築物所有者の自主的な維持管理手法について検討してきた。過去の厚労科研の知見を確認・検証しつつ、さらに本研究で得られた知見・成果を積み上げた結果としてガイドライン・マニュアルを策定・提供することが本研究の目的である。建築物衛生に関しては、建築物における衛生的環境の確保に関する法律 (昭和 45 年法律第 20 号)、建築物における衛生的環境の確保に関する法律施行令 (昭和 45 年政令第 304 号)、建築物における衛生的環境の確保に関する法律施行規則 (省令) が定められており、この法律に該当しない中小規模建築物についても、建築物衛生法第 4 条第 3 項の規定により特定建築物と同等の努力義務を負っている。すなわち、特定建築物に準じた取り扱いをすればよいのであるから、具体的にはこれら法律、政令、省

令で実施されている内容をトレースすればよいだけである（図 2）。ただ大きな違いは建築物環境衛生管理技術者（以下、管理技術者とする）の選任や維持管理権原者を定める必要がないという点であろう。特定建築物所有者等は管理技術者を選任する義務があり、管理技術者は専門的見地から維持管理権原者に助言を行うこととされている。努力義務を履行するには建築設備に関する専門家の介入を必要とするが、こうした人材の確保は義務ではない。特定建築物と同等の管理を求めることは、中小規模建築物所有者等に、ビル管理の専門的知識を理解してもらうことが必要となる。

従って、本研究に求められるガイドライン或いはマニュアルの役割は、いわば管理技術者の代替を意味する。管理技術者になるには、建築物衛生行政、建築物の構造、室内環境管理、給排水の管理、清掃、ねずみ・昆虫等の防除等 100 時間を超える学習が求められる。特に建築設備に関する意見具申には、建築環境工学或いは機械設備工学（熱力学や流体力学）、微生物学や水道工学の知識が求められるが、こうした専門知識を求めるのは現実的ではない。必要となるのは、エッセンスの伝達と IoT・AI 技術を活用した行為代替或いは情報提供である。また、環境衛生監視員等による履行確認ができないことから、自ら維持管理手法として取り組んでもらう工夫が求められる。結果の可視化や他社との比較は、コスト的なメリットがなくても取り組む意欲につながる可能性がある。IoT を活用した温湿度、CO₂ 濃度などのリアルタイムセンシングや主観評価収集、そしてそれを即座に分析し簡易・容易な評価結果としてダッシュボードに表示する仕組みは重要である。

E1. 本研究の成果

本研究は、次の項目を念頭におき実施している。①国内外の室内環境・知的生産性、給水に関する評価システムを調査検討し特に有効な取り組みを参考にすること、②可能な限りローコストでありながら効果的な維持管理を可能にする手段として主観評価を活用したチェック方法を取り入れること、③3000m²以上の大

規模建築物と中小規模建築物の違いを明確にした維持管理上での確認箇所を明示すること、の 3 点である。これらの点を踏まえながら本研究の概要について簡潔に紹介する。

上記①に関して、海外の取り組みでは EU ALDREN プロジェクトの TAIL スキームにフォーカスしてその内容を詳細に分析し、本邦への応用について検討した。また、オーストラリア連邦政府が開発し国家基準として運用している NABERS（レーティングシステム）とそのデータ収集システム（BOSSA）についても調査を行っている。世界規模で発信されているが、オーストラリア国内でどのように受け止められているか等は今後も引き続き情報収集が必要である。TAIL スキームや NABERS のような取り組みは、不動産市場のグローバル化、世界的なカーボンニュートラルに向けた ESG 投資と GRESB に基づく格付け等が背景にある。これらの点も引き続き注目していく必要がある。

上記②に関して、測定項目を最小限にしつつローコスト化を図りながらも一定の水準で維持管理手法を確認する手段として、主観評価により対応可能な範囲を探った。また長期測定結果を詳細に分析することにより、そこから得られる建物の特徴と建築物衛生法の改善課題を明確にした。さらに主観評価に関しては、外部環境、自宅の温熱環境のほか、評価項目間に対するバイアス等に関しても検討を行っている。

上記③に関して、令和 4～6 年度に実施した全国 6 件のオフィスビルの詳細測定により、中小規模建築物の特徴として以下の要素を抽出した。すなわち、A. 個別分散型空調設備（マルチパッケージ型空調機と換気システムの組み合わせ）が多いこと。B. 建築基準法準拠（0.5ACH 連続換気）が多いこと。C. 窓開け対応が多いこと。D. 加湿設備が設置されないケースが多いこと。E. 給水設備は直結直圧方式が多いこと。F. 鉄骨造、木造で建築しやすく、木造であれば住宅用サッシが使われることもあること。G. 従って隙間性状や気密性能が異なること。H. 断熱性能が異

なること。I. 基準モジュールはスプリンクラーヘッド1か所のカバーエリアに対応していること。J. 空調系統・換気系統が規模によって個別分散或いは中央管理式（各階方式）であること。、などである。こうした中小規模建築物の特徴を勘案しつつ、かつ建築物を取り巻く法規制（建築物省エネ法、環境配慮契約法、不動産資料と ESG 投資等）を踏まえ、ガイドライン・マニュアル案を検討した。

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) Azuma K, Kagi N, Yanagi U, Hoon K, Osawa H. A longitudinal study on the effects of hygro-thermal conditions and indoor air pollutants on building-related symptoms in office buildings. *Indoor Air* 32(11): e13164. doi: 10.1111/ina.13164.
- 2) 東 賢一. シックビルディング症候群に関連するオフィスの室内環境要因. *クリーンテクノロジー* 32(11), 1-4, 2022.

2. 学会発表

- 1) Azuma K. Indoor air quality and health effects in modern office buildings. 16th international conference on indoor air quality and climate, Workshop Kuopio, Finland, 12-16 June, 2022.
- 2) 東 賢一. 室内空気環境対策総論－室内環境における健康リスク要因とその対策について－. 第 32 回日本産業衛生学会全国協議会シンポジウム:新型コロナウイルス感染症と室内空気環境対策, 札幌, 2022 年 9 月 30 日.
- 3) 東 賢一. 室内環境における健康影響問題の経緯と近年の動向. 大気環境総合センター令和 5 年度特別セミナー. 東京, 2023 年 11 月 17 日.
- 4) 東 賢一. 空気成分の指針動向. 2023 年室内環境学会学術大会車室内環境分科会

セミナー. 沖縄, 2023 年 11 月 30 日.

- 5) Azuma K. Effects of the total floor area of an air-conditioned office building on building-related symptoms: associations with suspended particles, chemicals, and airborne microorganisms. The 34th International Congress on Occupational Health, Marrakesh, Morocco, April 28-May 3, 2024.
- 6) Azuma K. The latest information on the scientific evidences and political activity in Japan. 2024 Asia Conference on Innovative Approaches to Enhance Healthy Indoor Environment (TSIEQ 2024). Chung Shan Medical University, Taichung, Taiwan, November 1, 2024.
- 7) Azuma K. Risk assessment concepts for indoor air pollutants: past approach and future issues in Japan. 20th Anniversary Event of Korean Society for Indoor Environment. EL Tower, Seoul, Republic of Korea, May 23, 2024.
- 8) Azuma K, et al. Health risk assessment of indoor air pollutants in modern large office buildings in Japan. 18th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Honolulu, Hawaii, USA. July 7-11, 2024.
- 9) 東 賢一、本間義規、下ノ薊 慧、島崎 大、阪東美智子、小林健一、西原直枝. 中小規模建築物の衛生的環境の維持管理手法（第 4 報）室内環境評価システムの検討. 第 83 回日本公衆衛生学会総会（於 北海道大学、札幌）, 2024 年 10 月 29-31 日.
- 10) 東 賢一. 室内環境中における二酸化炭素の吸入曝露によるヒトへの影響に関する近年の知見. 自動車技術会、車室内環境技術部門委員会セミナー. 東京, 2024 年

- 10月11日。
- 11) 下ノ菌慧, 本間義規, 東賢一, 島崎大, 小林健一, 阪東美智子, 西原直枝. 中小規模建築物における衛生的環境の維持管理手法の構築 (第1報) 室内温湿度の維持管理手法に関する検討. 令和5年度空気調和・衛生工学会大会 (福井); 2023.9.6-8; 福井. 同学術講演論文集. p.177-180.
 - 12) 下ノ菌慧, 本間義規, 島崎大, 阪東美智子, 東賢一, 小林健一. 中規模建築物の衛生環境と執務者の主観評価 その2 等価騒音レベルを用いた室内環境評価. 第82回日本公衆衛生学会総会; 2023.10.31-11.2; つくば. 日本公衆衛生雑誌. 2023;70(9 特別付録):671
 - 13) 下ノ菌慧, 本間義規, 東賢一, 島崎大, 小林健一, 阪東美智子, 西原直枝. 中小規模建築物における衛生的環境の維持管理手法の構築 (第3報) 夏期の室内空気温湿度の維持管理手法に関する検討. 令和6年度空気調和・衛生工学会大会; 2024.9.11-13; 佐賀. 同学術講演論文集. E-39. p.109-112.
 - 14) 下ノ菌慧, 本間義規, 東賢一, 島崎大, 西原直枝, 阪東美智子, 小林健一. 中小規模建築物の衛生的環境の維持管理手法 (第7報) 室内空気質の維持管理手法の検討. 第83回日本公衆衛生学会総会; 2024.10.29-31; 札幌. 同抄録集. P21-11(31AM006). p.606.
 - 15) 本間義規・下ノ菌慧・東賢一・島崎大・小林健一・阪東美智子・西原直枝: 中小規模建築物における衛生的環境の維持管理手法の構築 (第2報) 空気環境の実態と利用者の主観評価, 空気調和衛生工学会学術講演論文集 (福井), 2023.9, 177-180
 - 16) 本間義規・下ノ菌慧・島崎大・阪東美智子・東賢一・小林健一: 中規模建築物の衛生環境と執務者の主観評価その1 オフィスの光環境と明るさ感, 日本公衆衛生学会総会第20分科会産業保健, P-2001-1, 2023.10
 - 17) 本間義規, 下ノ菌慧, 東賢一, 島崎大, 西原直枝, 阪東美智子, 小林健一. 中小規模建築物の衛生的環境の維持管理手法 (第6報) 建物規模・性能と浮遊微生物. 第83回日本公衆衛生学会総会; 2024.10.29-31; 札幌. 同抄録集. P21-10(31AM005). p.606.
 - 18) 本間義規, 下ノ菌慧, 東賢一, 島崎大, 小林健一, 阪東美智子, 西原直枝. 中小規模建築物における衛生的環境の維持管理手法の構築. (第4報) 連続測定に基づく規模・設備別の室内温湿度環境形成要因の考察, 空気調和衛生工学会大会学術講演論文集, E-40. p.113-116, 2024
 - 19) 本間義規, 下ノ菌慧, 島崎大, 小林健一, 阪東美智子. 事務所ビルの室内湿度と執務者の湿度感に関する主観評価. 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, 967-698, 2024.8
 - 20) 本間義規. 人と湿度, 日本建築学会環境工学委員会熱環境運営委員会第53回熱シンポジウム, 87-92, 2024.10
 - 21) Yoshinori Honma, Kei Shimonosono, Kenichi Azuma, Dai Shimazaki, Kenichi Kobayashi, Michiko Bando and Naoe Nishihara. Temperature, Relative Humidity and Indoor Air Quality in office buildings and their subjective evaluation. 44th AIVC Conference Proceedings, Croke Park, Dublin, Ireland, 2024.10.9-10, 541-550
 - 22) 西原直枝, 本間義規, 下ノ菌慧, 東賢一, 島崎大, 小林健一, 阪東美智子「中小規模建築物の維持管理を目的とした夏季オフィスワーカーの着衣量調査」, 第48回人間-生活環境系シンポジウム報告集, pp. 59-60, 2024
 - 23) 島崎大, 下ノ菌慧, 小林健一, 阪東美智子, 東賢一, 本間義規. 中規模建築物の衛生環境と執務者の主観評価 その3 給水に係る衛生状況と水道水質. 第82回日本公衆衛生学会総会; 2023.10.31-11.2; つくば. 同

講演集. P-2001-3.

- 24) 島崎大, 下ノ菌慧, 本間義規, 東賢一, 西原直枝, 阪東美智子, 小林健一. 中小規模建築物の衛生的環境の維持管理手法 (第 5 報) 給水に係る衛生状況と水質. 第 83 回 日本公衆衛生学会総会 ; 2024.10.29-31 ; 札幌. 同講演集. P-21-9.
- 25) 本間義規, 下ノ菌慧, 西原直枝, 東賢一, 島崎大, 阪東美智子, 小林健一. 階層分析法を用いた個人・集団の主観評価バイアスに関する検討、日本公衆衛生学会総会、2025 (投稿中)

3. 書籍

- 1) 東 賢一他. 室内環境の事典. 朝倉書店, 東京, 2023.
- 2) 東 賢一他. テキスト健康科学改訂第 3 版 : 第 6 章住宅と健康. 南江堂, 東京, 2024.

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

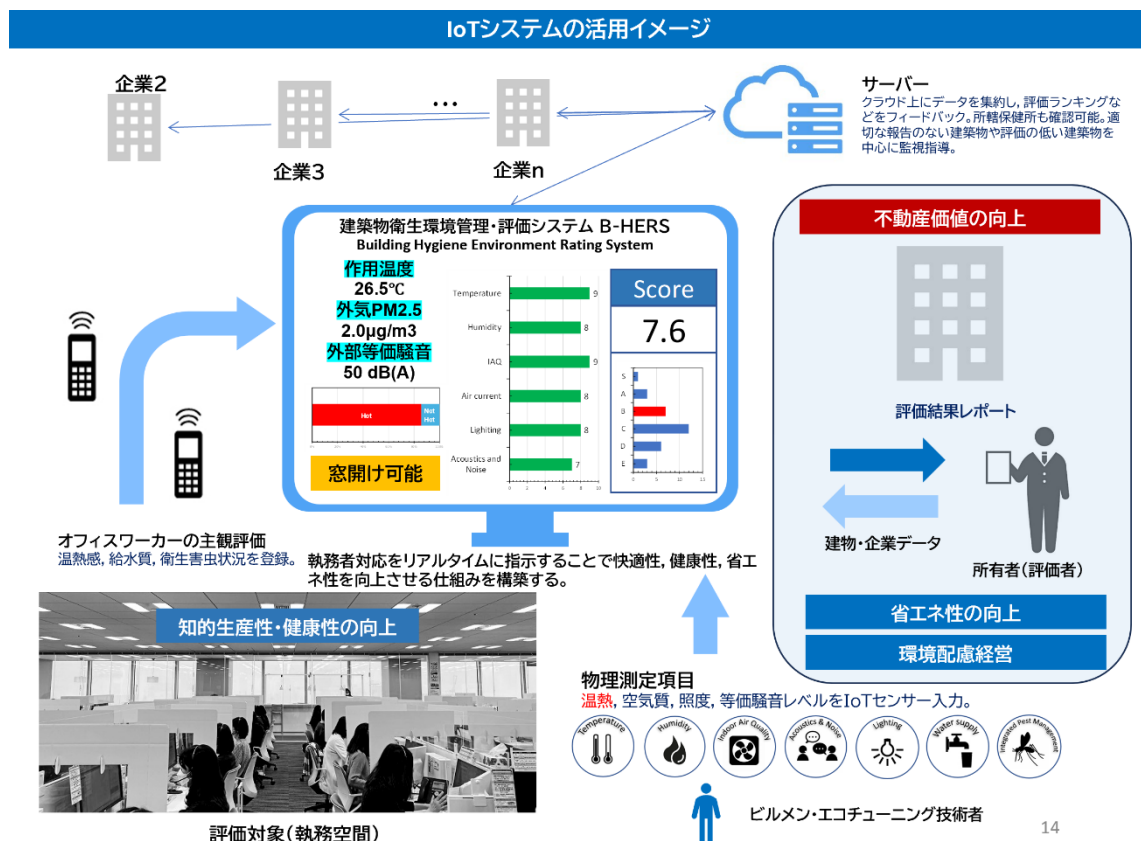


図1 中規模建築物所有者等による自主的な維持管理に資するIoT活用のイメージ

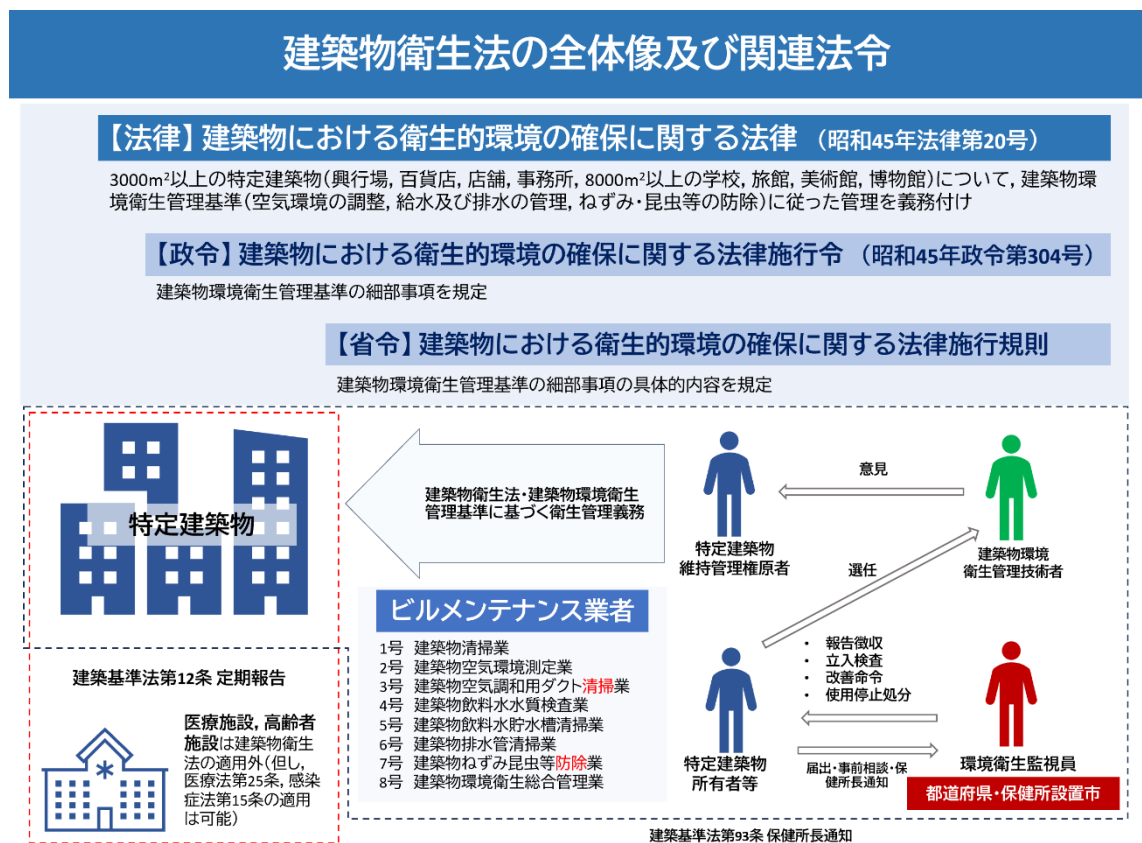


図2 建築物衛生法の全体像及び関連法令