

デジタル技術を活用した建築物環境衛生管理基準の達成等に向けた検証研究

研究代表者 阪東 美智子 国立保健医療科学院生活環境研究部上席主任研究官

研究要旨

本研究は、建築物衛生法におけるデジタル技術の活用に向けて、利用可能な技術、機器、ソフトウェア等を抽出し、従来の手法との比較検証等を実施して、適切な維持管理方法の探索とその際の判断基準や留意点を明確化することにより、政府全体の方針であるデジタル原則の達成と公衆衛生の向上を目指す。

今年度は、環境衛生管理へのデジタル技術の適用について、空気環境、ねずみ・衛生害虫防除、清掃、水管理の各分野における現状と課題を整理した。空気環境の連続測定以外では、導入コストや適切なデジタル機器が市場にないなど課題が多く普及が進んでいないことを把握した。

また、ねずみ・衛生害虫防除と清掃分野における目視点検・調査について、それぞれアイトラッキングシステムを使った試行調査を行い、その有用性を確認した。

研究分担者

開原典子 国立保健医療科学院 生活環境研究部  
三好太郎 国立保健医療科学院 生活環境研究部  
林基哉 北海道大学大学院工学研究院  
柳宇 工学院大学 建築学部  
鎌直樹 東京工業大学 環境・社会理工学院  
尾方壮行 東京都立大学 都市環境学部

研究協力者

茂手木眞司 日本ペストコントロール協会  
谷川力 イカリ消毒株式会社、日本ペストコントロール協会  
木村悟朗 イカリ消毒株式会社  
下平智子 全国ビルメンテナンス協会  
鎌倉良太 日本建築衛生管理教育センター  
杉山順一 日本建築衛生管理教育センター  
正田浩三 東京美装興業株式会社  
芝生圭吾 鵬凶商事株式会社  
杖先寿里 一般財団法人建築物管理訓練センター  
森郁恵 産業技術総合研究所

橋本知幸 日本環境衛生センター

栢森聡 クリーンクリエイターズラボ

杉田洋 広島工業大学

杉田宗 広島工業大学

A. 研究目的

建築物衛生管理へのデジタル技術の活用の可能性については、令和4年度より、「IoTを活用した建築物衛生管理手法の検証のための研究（研究代表者：金勲）」や「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）」が進められている。前者は特定建築物を対象に、自動測定が可能なもののデータ精度と維持管理の効果を検証するものであり、後者は中規模建築物を対象に、所有者等の自主的な維持管理手法を検証するものである。両研究によりデジタルを活用した自動化等の可否やエビデンスが

蓄積されつつあるものの、建築物衛生管理基準として規定する項目の中で、空気環境や水質検査に関するデジタル活用の検討に比べて、清掃やネズミ等の防除に関する検証は遅れを取っている。

この状況を踏まえ、本研究は、建築物衛生法が求める各種項目のうち、特にネズミ等の防除や清掃等において、デジタル技術の活用でその目的の達成が見込まれる技術、機器、ソフトウェア等を抽出するとともに、手動で行われた結果との比較検証等を実施し、適切な維持管理方法の探索とその際の判断基準や留意点を明確化することによって、政府全体の方針であるデジタル原則の達成と公衆衛生の向上を目指す。また、「建築物環境衛生管理に関する検討会報告書（令和3年7月）」で継続検討とされた維持管理項目である、PM2.5、CO2等について、改正案の提案の根拠となる科学的エビデンスの収集を行う。

令和5年度の研究目標は、先行している、「IoTを活用した建築物衛生管理手法の検証のための研究（研究代表者：金勲）」においてカバーされていない維持管理項目について、IoTで対応可能なものを抽出する。活用可能なデジタル技術に関する知見や課題を整理するとともに、デジタル活用の現状やニーズ等を把握する。

## B. 研究方法

研究期間は3年間である。初年度は、先行している2つの研究（「IoTを活用した建築物衛生管理手法の検証のための研究（研究代表者：金勲）」と「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）」）でカバーされていない維持管理項目について、既往研究・報告をレビューし、活用可能なデジタル技術に関する知見や課

題の整理を行う。また、デジタル活用の現状やニーズ等について調査を行う（図1）。

具体的には、以下の7つの部会に分かれて実施する。

- |   |
|---|
| 部会① 環境衛生管理の実態と課題の把握<br>(R5-R6)                        |
| 部会② デジタル技術のシーズの把握 (R5-R6)                             |
| 部会③ 空気環境・粉じんの調整に関するデジタル化技術の特性および適用課題の検討<br>(R5-R7)    |
| 部会④ ネズミ・衛生害虫の防除に関するデジタル化技術の特性および適用課題の検討<br>(R5-R7)    |
| 部会⑤ 清掃に関するデジタル化技術の特性および適用課題の検討 (R5-R7)                |
| 部会⑥ 飲料水、雑用水・排水等の管理に関するデジタル化技術の特性および適用課題の検討<br>(R5-R7) |
| 部会⑦ 建築物環境衛生管理基準の改正案の提案<br>(R6-R7)                     |

今年度は、国の検討会（「デジタル技術を活用した建築物環境衛生管理のあり方に関する検討会」）の動きも見据えながら、3か月ごとに開催する全体会議において、研究協力者も交えて情報共有・意見交換を行い、研究全体の方向性を確認しあいながら研究を進めた。

部会①「環境衛生管理の実態と課題の把握」及び部会②「デジタル技術のシーズの把握」では、先行している2つの研究（「IoTを活用した建築物衛生管理手法の検証のための研究（研究代表者：金勲）」と「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）」）と情報交換を行い、カバーされていない維持管理項目を抽出した。そのうえで、建築物衛生法の環境衛生管

理項目に対するデジタル技術の導入例を関連企業等から取得し、デジタル技術導入に関する研究段階の知見を、企業及び研究機関等から収集した。

部会③「空気環境・粉じんの調整に関するデジタル化技術の特性および適用課題の検討」では、建築物環境衛生基準のうち、空気環境の測定項目について、建築物衛生法の政省令を確認し課題を整理した。また、CO2計測機器、とくに換気制御用に用いられる機器も含めて、仕様を調査し課題を整理した。さらに浮遊微生物測定について、迅速測定法とリアルタイム測定法のそれぞれの現状と課題を整理した。

部会④「ネズミ・衛生害虫の防除に関するデジタル化技術の特性および適用課題の検討」では、研究協力者を交えて3回の部会を開き情報・意見交換を行った。まず、ねずみ・衛生害虫の防除に関する報告書例を収集し現在の調査方法や点検結果の報告内容について整理を行った。次に市販されているデジタル機器を中心に、ねずみ・衛生害虫の防除に活用可能な機器を収集し適用可能性を検討した。また、これらの機器の活用状況を調べるため、北海道・東京都・神奈川県・愛知県・大阪府・福岡県の6地区のペストコントロール協会所属会員企業を対象にアンケート調査を実施した。さらに、現在の目視による点検作業の詳細を確認するため、アイトラッキングシステムによりデータ収集を行った。

部会⑤「清掃に関するデジタル化技術の特性および適用課題の検討」では、研究協力者を交えて4回の部会を開き情報・意見交換を行った。清掃に関する既往研究を整理し論文・資料のデータベースを作成した。また、清掃分野における活用可能なデジタル機器について、2023年度ビルメンヒューマンフェアの展示品やインターネット上の公開情報等から資料収集を行

った。収集した情報の中から、清掃点検報告システムや清掃維持管理状況の把握に活用可能と思われるIoTシステムについて、次年度の実証実験に向けて課題を整理した。さらに、現在の目視による点検作業の詳細を確認するため、アイトラッキングシステムによりデータ収集を行った。

部会⑥「飲料水、雑用水・排水等の管理に関するデジタル化技術の特性および適用課題の検討」では、建築物衛生法に基づく水の衛生管理のうち、貯水槽の清掃に関連する技術として水中清掃ロボットと、水関連設備点検技術としてセンサーやドローン技術等についてインターネット上で公開されている情報をもとに、現状の製品開発状況や実用化状況を取りまとめた。

詳細な研究方法については、各部会の分担研究報告書を参照されたい。

#### (倫理面への配慮)

本研究は、建築物衛生法に基づく特定建築物の衛生管理手法について研究を行うものであり、主たる調査対象は建築物である。令和5年度の研究では、研究倫理審査の申請を必要とする調査は行わなかった。

建築物の衛生環境や清掃・設備管理等の実態やニーズを把握するために、建築物の管理者やビルメンテナンス業者等を対象とする調査も実施したが、いずれも業務や制度に関する内容を扱うものであり、個人情報を取得するものではない。

研究で知りえた情報等については、漏えいに十分注意して取り扱うとともに、本研究以外の目的では使用していない。

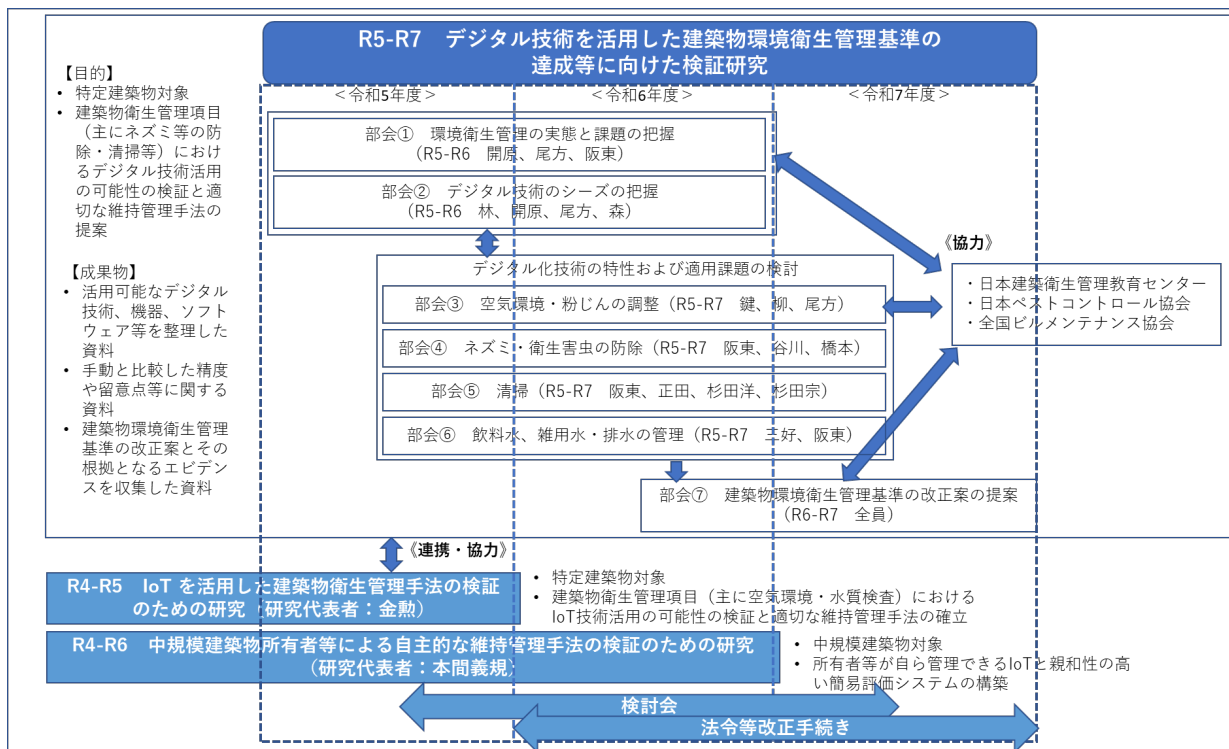


図1 研究の流れ図

## C. 研究結果

### C.1 建築環境衛生の実態とデジタル技術に関する調査

環境衛生管理へのデジタル技術の利用レベルをモデル化し、目視や検査によって行われる環境衛生管理項目がセンシングで対応できれば、環境衛生管理の信頼性が向上する可能性があることを示した。

研究開発段階の技術には、エアロゾル感染症対策に関するデジタル技術の導入に関する情報を収集し、感染性が未知の新興再興感染症の対策における、デジタル技術の可能性をまとめた。

また、ドレンパンの点検をモデルケースとし、人件費・工数等による試算における課題を整理し、点検の実態や効果について、現場の実務者等から情報を得る必要があることを示した。

### C.2 空気環境・粉じんの調整に関するデジタル化技術の特性および適用課題の検討

空気環境項目については、連続測定器により置き換えが可能なものもあるが、例えば省令の機器の精度の表現などについては見直しが必要になるものと考えられる。空調設備の維持管理については総合的に評価するところもあり、自動化などにおいてはまだ課題があるものと考えられる。

C02 センサーについては、その多くが、一定期間内の最小値を大気中 C02 濃度とみなして自動補正を行うアルゴリズムが使用されていることから、24 時間使用される等の理由で一定期間中に C02 濃度が大気濃度相当まで下がらないような居室においては注意が必要である。

浮遊微生物については、現在はその測定に培養法を用いる場合が多いが、デジタル化の進展を踏まえると、今後微生物のリアルタイムの測定が有用なツールになると考えられる。

### C.3 ねずみ・衛生害虫の防除に関するデジタル化技術の特性および適用課題の検討

ねずみ・衛生害虫防除については、市販されているデジタル化商品 18 機種について、対象害虫、どのような調査に活用できるか、商品の概要、費用、主な使用場所、使用頻度、将来的な発展性を整理した。対象害虫は主にねずみであり、ハエ、ゴキブリが続いた。ネズミについては赤外線センサーを用いたカウンターまたは暗視カメラが主流で、初回調査や難防除時の生息調査に利用可能であるが、それ以外の調査・計画・対策・効果判定で利用可能なデジタル機器はほとんどないことが明らかになった。18 機種のデジタル機器の活用について、PCO 協会会員のアンケート調査 (N=112) では、赤外線センサー式暗視カメラの 1 機種を除いてほとんど使用実績がなく、その 1 機種も特定建築物での使用に限定すると 1 割強の企業でしか使用されていなかった。なお、デジタル機器のうち 2 機種については、次年度にその精度を検証するための実験を行うこととし、その具体的な計画を立てている。アイトラッキングシステムを使った目視点検のデータ分析では、熟練者と素人で確認場所や点検時間に大きな違いが見られた。

#### C.4 清掃に関するデジタル化技術の特性および適用課題の検討

清掃については、まず既往研究を整理し論文・資料のデータベースを作成した。清掃分野におけるデジタル機器について収集した情報から、最も導入が容易と思われる清掃点検報告システムを取り上げ、その有用性を検証するために、現在使用している清掃点検報告書を参考に点検報告書のデジタル様式の記入用紙案を作成した。また、トイレの清掃維持管理状況を把握するために、マグネットセンサーや人感カウントセンサー、ゴミ箱容量の検知センサー等、各種センサーを用いた実証実験の方法について検討した。いずれも本格的な実証実験は次年度に行う予定である。アイトラッキングシステムを使った目視点検のデータ分析からは、どの場所をどのように確認しているのかを

「見える化」することで、カメラ等による点検と人による目視との点検内容の違いを具体的に検証できる可能性が示唆された。

#### C.5 貯水槽清掃並びに水関連設備点検に活用できるロボットに関する技術調査

水の衛生管理に活用できるデジタル技術として、水中で稼働できる清掃ロボット並びに貯水槽等水関連施設の点検に活用できる可能性のあるロボット等がある。水中で稼働できるロボットは、技術水準としては活用可能な段階に到達しているが、点検作業者が手動で操作する製品が中心であった。水関連設備点検技術においても、カメラに加え、サーマルセンサーや收音装置などを搭載した点検ロボットや点検ドローンが販売されているが、手動での操作が前提とされているものが主要であり、定期点検、清掃の代替手法としてこれらの製品を活用するためには、現段階では多くの障壁が残されているといえる。

#### D. 考察

先行研究「IoT を活用した建築物衛生管理手法の検証のための研究 (研究代表者：金勲)」では、主に空気環境分野におけるデジタル技術を対象に、建築物における継続的な測定調査により、センサー機器を用いた常時測定・常時監視の有効性の評価や課題の把握、デジタル機器導入のための条件整理などが行われている。研究結果は、2023 年 8 月に立ち上げられた国の検討会(「デジタル技術を活用した建築物環境衛生管理のあり方に関する検討会」)の資料として活用された。2024 年 6 月に同検討会による中間とりまとめが発表される予定である。

本研究では、先行研究がカバーしていない分野におけるデジタル技術の活用について検討することを目的としていることから、とくに、ねずみ・衛生害虫防除分野や清掃分野におけるデジタル技術の活用について検討を行った。

調査結果から、ねずみ・衛生害虫防除及び清掃分野では、いずれもデジタル技術はほとんど普及しておらず、空気環境分野のような常置できるセンサー類もほとんどないことが把握できた。普及が広がらない理由として、そもそも活用できる市販品がほとんどないことが挙げられる。ねずみ・衛生害虫防除分野では、対象とする害虫の種が多様であることや、点検調査により発生・生息が確認された場合は、その駆除・防除作業やその効果の確認作業などが必然的に伴われるため、一連の工程に対応できることが必要とされる。しかし、多様な種に対応でき、しかも調査から駆除・防除、報告までマルチに対応できる機器の開発は困難である。現状では対象種ごと、工程ごとに必要な機器を導入することとなり、導入や維持管理コストが大きくなることが課題となる。清掃分野においては、清掃ロボットが導入されつつあるが、清掃の実施状況の確認や点検作業に関するデジタル機器については情報が限られている。また、導入・維持管理に要するコストを誰が負担するのか（清掃事業者か委託元のビル管理者か等）によって状況が変わるが、現状ではデジタル化で「人の手」が全く不要になるわけではなく、清掃作業面積により費用対効果が大きく異なることが予測されることから、デジタル技術の導入に対するインセンティブが働いていない状況が見られる。

また、デジタル技術の導入以前に、解決すべき課題もある。特に、目視点検については、点検箇所や点検・評価のポイントなどが基準等に明示されていないため、自社や協会等の独自基準で実施されており標準化が図れていない。今年度は、アイトラッキングシステムを使った目視点検作業の分析を試行したが、点検時間・点検箇所が具体的に可視化されることにより、目視調査の詳細が把握できることがわかった。目視点検のための作業シートの開発や、経験の浅い作業員への教育ツールの開発などに応用することが可能になると思われる。さらには、置き換えが難しいとされる目視

点検・調査のデジタル化を検討する上で、貴重な資料になると考えられる。

## E. 結論

環境衛生管理へのデジタル技術の適用について、空気環境、ねずみ・衛生害虫防除、清掃、水管理の各分野における現状と課題を整理した。空気環境の連続測定以外では、導入コストや適切なデジタル機器が市場にないなど課題が多く普及が進んでいないことを把握した。

また、ねずみ・衛生害虫防除と清掃分野における目視点検・調査について、それぞれアイトラッキングシステムを使った試行調査を行い、その有用性を確認した。

## F. 健康危険情報

該当なし

## G. 研究発表

### 1. 論文発表

- 1) Kosuke Minakuchi, Koki Kikuta, Hisashi Hagiwara, Kenji Miyazaki, and Motoya Hayashi, Effective Method to Collect Indoor Floating Aerosols Using Cooling Equipment, *Atmosphere*, 14(11),p.1648, 2023.11.
- 2) 山田裕巳,本間義規,阪東美智子,林基哉; 宿泊施設の衛生的環境に関する実態調査 住宅宿泊事業法施行期の長崎・京都・大阪における室内環境調査; 日本建築学会環境系論文集 813,p.857-868,2023.11.
- 3) 浅岡凌,海塩渉,鍵直樹,林基哉,澤地孝男,上野貴広; 新型コロナウイルス感染症蔓延時のオフィスにおける室内環境質の実態 (その1): 室内環境の2時点比較および感染症対策との関連; 日本建築学会環境系論文集 808,p.547-555,2023.06.
- 4) 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

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 p.300-306,2023.04.

- 5) 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),p.150, 2023.01.
- 6) 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 p.43-49,2023.01.
- 7) 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, P.4-9, 2023
- 8) Yanagi, U; Fukushima, N.; Nagai, H.; Ye, H.; Kano, M. Bioaerosol Sensor for In Situ Measurement: Real-Time Measurement of Bioaerosol Particles in a Real Environment and Demonstration of the Effectiveness of Air Purifiers to Reduce Bioaerosol Particle Concentrations at Hot Spots. Atmosphere. 2023. 14, 1656. <https://doi.org/10.3390/atmos14111656>.

## 2. 学会発表

- 1) 浅井 敦人, 柳 宇, 開原 典子, 本間 義規, 島崎 大, 戸次 加奈江, 伊庭 千恵美, 林

基哉, 映画館における室内空気質実態に関する調査研究 第 1 報 4D と 2D 映画館における生菌と浮遊微粒子の測定結果,日本建築学会学術講演梗概集,p1393-1394,2023-07

- 2) 柳 宇, 開原 典子, 本間 義規, 島崎 大, 戸次 加奈江, 伊庭 千恵美, 浅井 敦人, 林基哉,映画館における室内空気質実態に関する調査研究 第 2 報 4D と 2D 映画館付着細菌叢の解析結果,日本建築学会学術講演梗概集,p1395-1396, 2023-07
- 3) 開原 典子, 柳 宇, 本間 義規, 島崎 大, 伊庭 千恵美, 戸次 加奈江, 林 基哉, 映画館における室内空気質実態に関する調査研究 第 3 報 観覧場内の温湿度及び二酸化炭素濃度の測定,日本建築学会学術講演梗概集,p1397-1398,2023-07
- 4) 松永 崇孝, 菊田 弘輝, 林 基哉,換気と空気清浄によるエアロゾル除去性能の評価,日本建築学会学術講演梗概集,p1561-1562,2023-07

## H. 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