

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）

分担研究報告書

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 建築環境衛生の実態とデジタル技術に関する調査

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 上席主任研究官
研究分担者 林 基哉 北海道大学 大学院工学研究院 特任教授

研究要旨

デジタル技術を活用し建築環境衛生管理を効率的に行うための建築環境衛生管理基準のあり方を検討するために、関連する技術開発の動向を把握して基礎資料とすることを目的とし、建築環境衛生に関連する既存技術、技術開発動向を継続的に収集し、整理した。

環境衛生管理のためのデジタル技術の適応として、感染症対策のために、デジタル技術を利用する試みについて情報を収集した。COVID-19パンデミックによって感染症対策のために、デジタル技術の利用の試みが行われており、その基礎として室内環境検知による感染リスク推定の方法として、特に環境中トレーサーを用いた感染リスク推定について整理した。ウイルス濃度の検知技術は開発段階にあり、今後の実用化が期待されている。環境中トレーサー（室内空気質）、空調換気設備、在室者行動などの間接的な情報については、複数の要素を検知し感染リスクを推定するための技術が検討され、実用化されている事例がある。

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について、企業及び大学などの研究機関から収集した。まずは、デジタル技術を活用する際の課題について、スマートビルのガイドラインから抽出し整理した。現状では、設備機器のデータに「どのような機器か」「どの場所に設置されているか」といったメタデータが十分に表現されていないため、データの横断的な利活用が難しいといった「データの意味／情報の不足」の課題がある。また、空間情報の表現の必要性や、データ標準化ができていないことにより専門知識がないとデータを正しく判断し現象を理解することが難しいこと、ユースケースの多様化への対応、システムの大規模化／複雑化によるセキュリティ対策や運用の課題があること等を整理した。次に、デジタル技術を活用する際のセキュリティ対策の強化が必要となることから、その内容を整理した。基本方針の策定や、脅威の分類と対策要件の整理、建物の設計・施工・運用管理等のフェーズ等のライフサイクルに応じたセキュリティ対策をとること、外部ネットワークへの接続対策、IoTデバイスの認証機能やデータの暗号化等のセキュリティ強化、監視とインシデント対応について、スマートビルのガイドラインから抽出し整理した。更に、デジタル技術を活用するために、センシング機器の信頼度の確保が重要であるため、講ずる対策を整理した。データの品質管理、誤ったデータやノイズを排除するデータフィルタリングの必要性、ネットワーク切断時のデータ欠損防止のためのデータ一時保存等の機能を有すること、デバイス認証、定期的な構成とメンテナンスの必要性、トラブル発生時の原因特定活用のための通信ログ記録をとる等、これらの対策を講じることで、センシング機器の信頼度を向上させ、データの正確性と信頼性を確保できると考えられる。以上、デジタル技術導入に関する現状、デ

ジタル技術を活用する際の課題、そしてその活用時のセキュリティ対策とセンシング機器の信頼度について、情報を整理した。

A. 研究目的

デジタル技術を活用し建築環境衛生の維持向上を効率的に行うために、技術開発の動向を把握して建築環境衛生管理基準のあり方を検討するための基礎資料とすることを目的とする。建築環境衛生における課題を整理し、その維持向上に資する要素を明確するとともに、建築環境衛生に関連する既存技術、技術開発動向を収集整理する。

B. 研究方法

環境衛生管理のためのデジタル技術の適応として、感染症対策のために、デジタル技術を利用する試みについて情報を収集する。COVID-19 パンデミックによって感染症対策のために、デジタル技術の利用の試みが行われており、その基礎として室内環境検知による感染リスク推定の方法として、特に環境中トレーサーを用いた感染リスク推定について整理する。また、建築物衛生法の環境衛生管理項目を中心に、今後の環境衛生管理に資するデジタル技術の導入例について、関連する企業等からデジタル技術に関する情報を収集し整理する。

C. 研究結果

C1. 環境衛生管理のためのデジタル技術の適応

C1.1. 室内環境検知による感染リスク推定

室内環境中で健康影響を及ぼす物質には、病原体（ウイルス、細菌、真菌など）、アレルゲン（カビ、ダニ、ゴキブリ等の昆虫、ペットの毛・フケ、花粉など）、化学物質（燃焼ガス、揮発性化学物質、オゾンなど）、病原体・アレルゲン・化学物質を含む粒子（粉塵、ハウスダスト）などがある。空気を介して伝播する病原体には、新型コロナウイルス、インフルエンザウイルス、水痘ウイルス、麻疹ウイルス、風疹ウイルス、ノロウ

イルス、レジオネラ属菌、結核菌、マイコプラズマ、百日咳菌などがある。

図 1 に示すように、空気中の物質濃度は、その発生量と換気量によって推定される。空気中の病原体濃度は健康リスクの基礎情報であり、その濃度は病原体発生量と換気量によって推定される。

表 1 に、室内環境検知と感染リスクに係る項目を示す。検知の対象には、ウイルス濃度などの感染リスクの直接的な要因、在室者の行動、室内空気質、空調換気設備などの感染リスクの間接的な要素が挙げられる。直接的な検知については、ウイルスの検知技術が開発段階にあり、今後の実用化がきたいされている。また、間接的な要素については、複数の要素を検知して感染リスクを推定するための技術が検討され、実用化されている事例がある¹⁾⁻¹²⁾。

C.1.2. 環境中トレーサーを用いた感染リスク推定

換気を定量化するためには、給排気風量を測定する風量法とトレーサー法がある。トレーサー法は、建物隙間を介する通気や他室との相互換気等がある場合でも定量化が可能である。

換気量の測定では、CO₂ や SF6 などのガスを用いたトレーサーガス法が用いられている。空間で発生量が想定（例えば、人体の CO₂ 発生量）できる物質は、トレーサーとして利用できる。

図 2 に示すように、トレーサー法によって、空間全体（換気量、換気回数）、分布（空気齡、局所換気回数）、多空間（相互換気量、換気回路）に関する換気量が算出される。換気量と病原体発生量から、その濃度が算出され、感染リスク評価の基礎情報となる。なお、新型コロナウイルスの室内濃度から感染リスクを推定した事例がある¹²⁾⁻¹⁶⁾。

表2に換気量の推定方法を示す。環境中トレー
サー濃度の情報数によって、空間の平均濃度や分
布、変化などの推定レベルが制約される。

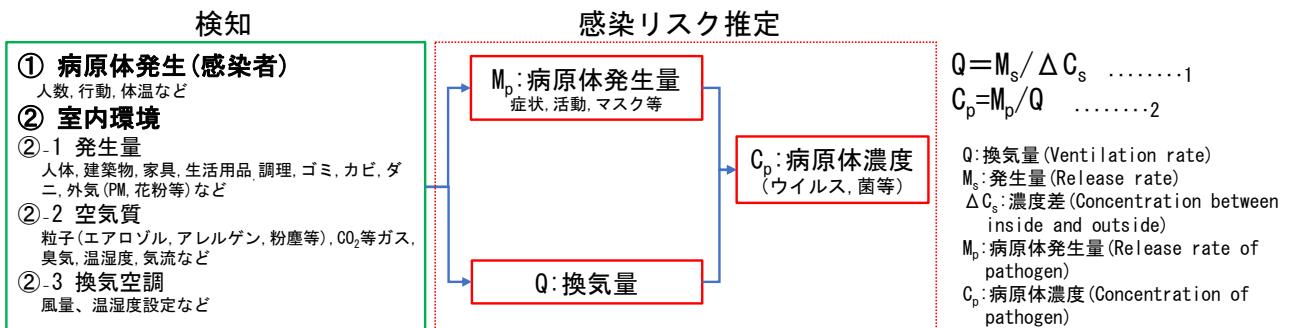


図1 室内環境検知と感染リスク推定の基本枠組

表1 室内環境検知と感染リスクに係る推定

対象	検知	検知に基づく推定	備考
① 病原体発生 (感染者)	<ul style="list-style-type: none"> 人感(動態) 放射温度 熱画像 感染情報 	<ul style="list-style-type: none"> 在室の有無、通過人数 体温(発熱) 体温(発熱)、在室者数 感染者の在室確率 	<ul style="list-style-type: none"> IoT AI等による分析
② 室内環境			
②-1 発生量	<ul style="list-style-type: none"> 人体: ①と共通 建築情報(設計図書、家具情報等) 生活情報(購入履歴、生活習慣) 室内環境情報(結露やカビ、ダニ) 外気情報(気象、PM_{2.5}、花粉等) 	<ul style="list-style-type: none"> 発生量 建築物、家具からの発生量 生活用品、調理、ゴミからの発生量 結露、カビ、ダニ等に伴う発生量 侵入量 	<ul style="list-style-type: none"> BIM (Building Information Modeling) AI等による分析
②-2 空気質	<ul style="list-style-type: none"> 測定器(粒子(エアロゾル、アレルゲン、粉塵等)、CO₂等のガス、臭気、温湿度、気流) 測定値による分析(結露、カビ、ダニ、アレルゲンなど) 室内環境指標(温熱環境、空気環境)) 	<ul style="list-style-type: none"> ②-1 発生量と②-2 空気質から換気量を推定 	<ul style="list-style-type: none"> BEMS (Building Energy Management System) AI等による分析
②-3 換気空調	<ul style="list-style-type: none"> 外気量、循環量(OA, EA, SA, RA) 設定温湿度 設定CO₂濃度 	<ul style="list-style-type: none"> ②-3 換気空調から換気量を推定 	<ul style="list-style-type: none"> BEMS (Building Energy Management System) AI等による分析
感染リスク	<ul style="list-style-type: none"> ウイルス濃度の測定分析: PCR (Polymerase Chain Reaction)、バイオエアロゾルセンサー(UV)、ウイルスセンサー(人工DNAアプタマー) AI等による分析 		

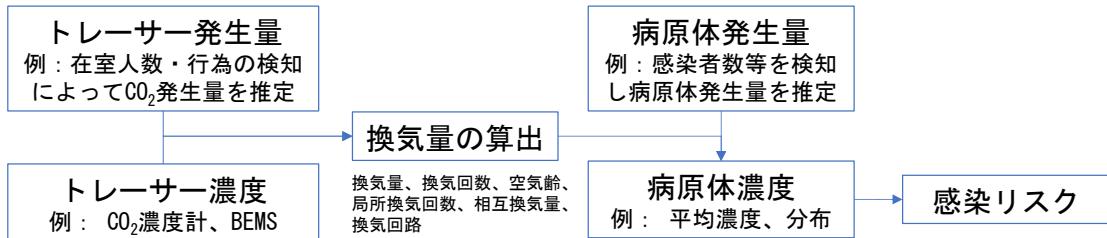


図2 環境中のトレーサーを用いた病原体濃度の推定

表2 トレーサー法による換気量推定

換気の指標	推定方法	基本式及び計算手法の例
換気量・換気回数	トレーサーの発生量と濃度から、空間の換気量・換気回数を算出する。 病原体発生量を想定すると、空間の病原体濃度を推定することが出来る。	基本式：トレーサー質量収支式 $V_i \cdot C'_i(t) = Q(t) \cdot (C_o - C_i) + M_i(t)$ $V_i: \text{空間容積}, C_i: \text{空間濃度}, C_o: \text{外気濃度}, Q: \text{換気量}, M: \text{発生量}$ 換気量・換気回数：濃度変化、濃度減衰、濃度上昇から、算出
空気齢、局所換気回数	トレーサーの発生量と空間内濃度分布・変化から、空間の各点の空気齢、局所換気回数を算出する。 病原体発生量を想定し、空間の病原体濃度の分布を推定することが出来る。ただし、発生源に分布がある場合は、CFD等による解析が必要となる。	空気齢：点のCO ₂ 濃度減衰から空気齢は式(1)により得られる。 $\tau_p = \int_0^{\infty} \frac{C_r - C_o}{C_{r0} - C_o} dt \quad \dots (1)$ $\tau_p: \text{局所空気齢}[h], C_o: \text{外気濃度}[\text{m}^3/\text{m}^3], C_r: \text{時刻tにおける室内濃度}[\text{m}^3/\text{m}^3], C_{r0}: \text{時刻t}_0 \text{における室内濃度}[\text{m}^3/\text{m}^3]$ 局換気回数： $N = 1/\tau_p$
相互換気量・換気回路	複数空間のトレーサーの発生量と濃度から、相互換気量・換気回数を算出する。 病原体発生量と発生する空間を想定すると、発生する空間から他の空間に移動し、それぞれの空間の病原体濃度を推定することが出来る。	基本式：複数空間のトレーサー質量収支の連立式 $\{V_i \cdot C'_i(t)\} = [Q(t)] \cdot \{C_i\} + \{M(t)\}$ $V_i: \text{空間iの容積}, C_i: \text{空間iの濃度}, [Q]: \text{風量マトリックス}, [M]: \text{発生量マトリックス}$ 計算手法：微分方程式の数値解法（ルンゲ=クッタ法、New mark β法、EXCELソルバー等）

C2. 環境衛生管理におけるデジタル技術の現状

C2.1. デジタル技術の現状

表3に、環境衛生管理に資する項目ごとにその技術概要を示し、実装の技術を紹介する。本表は、令和5年度の追加更新情報である。整理する項目は、建築物環境衛生管理基準の項目（空気環境の調整、給水及び排水の管理、清掃及びねずみ等の防除）を踏まえて、空気環境の調整に資するものを“空気”、給排水及び排水の管理に資するものを“水”、清掃及びねずみ等の防除に資するものをそれぞれ“清掃”・“ねずみ”、様々な技術を統合して管理するものを“総合”、それ以外を“その他”としている。近年、スマートビルディング（スマートビルともいう）の市場規模が大きくなっている。スマートビルは、IoT (Internet of Things)・AI (Artificial Intelligent)などの技術を用いて、既存の設備制御システムでは実現が難しかった高度な省エネ（脱炭素、気候変動対応）や快適性・利便性の向上等だけではなく、データを活用した新たな価値を提供するプラットフォームとして機能しているとされている¹⁷⁾。特に「BEMS (Building Energy Management System)」は、空調等をセンシング・分析するシステムであり、環境衛生管理の空気環境の調整への使用可能性が期待されている。

C2.2. デジタル技術の可能性

スマートビルとは、建物内の設備やシステムをデジタル技術で統合し、効率的な運用、快適な環境、安全性の向上を実現する次世代型の建物を指すとされている。デジタル技術を活用する際の課題について、スマートビルの「スマートビルシステムアーキテクチャガイドライン」¹⁷⁾から抽出し整理する。

1) データの意味／情報の不足

現状では、設備機器のデータに「どのような機器か」「どの場所に設置されているか」といったメタデータが十分に表現されていないため、データ

の横断的な利活用が難しい。

2) 空間情報の表現の必要性

設備のメタデータとして空間情報を表現することは可能だが、設備とは独立した「空間」として表現することが適切であり、これが十分に実現されていない。

3) データの標準化の不足

データ名称や構造が標準化されていないため、建築・設備ドメインの専門知識がないとデータの意味を正しく理解することが難しい。

4) ユースケースの多様化への対応

スマートビルのビジョンに基づくユースケースの詳細検討が進んでおらず、新たな概念の抽出や関連付けの詳細化が必要である。

5) システムの複雑化

外部ネットワークへの接続や IoT デバイスの導入により、システムが大規模化・複雑化しており、セキュリティや運用の課題が増加している。

これらの課題を解決するためには、データモデルの標準化、空間と設備の関係性の明確化、セキュリティ対策の強化などが必要とされている。

C2.3. デジタル技術活用時のセキュリティ対策

デジタル技術活用時のセキュリティ対策として、スマートビルのガイドライン¹⁷⁾から、その内容を抽出し整理する。

1) 基本方針の策定

ビルシステムにおけるセキュリティ対策の汎用的な基本方針については、経済産業省が策定した「サイバー・フィジカル・セキュリティ対策フレームワーク (CPSF)」等を参考に定めることが望ましいとされている。

2) 脅威の分類と対策要件の整理

建物内の場所や機器の種類ごとに脅威を分類し、それに対して想定されるインシデントやリスク源を特定し、対策要件をポリシーレベルで整理するのが望ましい。

3) ライフサイクルに応じた対応策

設計、施工、運用管理などのフェーズごとに取るべきセキュリティ対応策を明確化するとよい。

4) 外部ネットワークへの接続対策

外部ネットワークへの接続が必要な場合、通信の暗号化や認証・認可の仕組みを導入し、不正アクセスを防止する。

5) IoT デバイスのセキュリティ強化

IoT デバイスの認証機能やデータの暗号化を実施し、デバイス間の通信を安全に保つ。

6) 監視とインシデント対応

不正な通信を検知・遮断する機能をネットワークに実装し、インシデント発生時の迅速な対応体制を整備する。

これらの対策を講じることで、スマートビルのセキュリティを強化し、システムの安定運用を実現できるとされている。

C2.4. センシング機器の信頼度確保

デジタル技術を活用するために、センシング機器の信頼度の確保が重要である。機器の信頼度確保について、スマートビルシステムアーキテクチャガイドライン¹⁷⁾から、その対策を抽出し整理する。

1) データの品質管理

センシング機器から取得したデータに対してバリデーションを実施し、所定のデータ形式や構文チェックを行うことで、信頼性の高いデータのみを受信するとよい。

2) データフィルタリング

センシング機器が提供するデータに対して異常値を判定し、フィルタリングを実施する。これにより、誤ったデータやノイズを排除可能となる。

3) ネットワーク切断時のデータ保存

センシング機器がネットワーク切断時にデータを一時保存し、復旧後に送信する機能を持つことで、データ欠損を防止することが可能となる。

4) デバイス認証

センシング機器を認証し、正規の機器からのデータのみを受信する仕組みを導入する。これにより、不正なデバイスからのデータを排除することが可能となる。

5) 定期的な校正とメンテナンス

センシング機器の精度を維持するために、定期的な校正やメンテナンスを実施するとよい。

6) 通信ログの記録

センシング機器のデータ送信に関する通信ログを記録し、トラブル発生時の原因特定に活用する。

これらの対策を講じることで、センシング機器の信頼度を向上させ、データの正確性と信頼性を確保できると考えられる。

表3 環境衛生管理におけるデジタル技術の事例

項目						内容（技術等） ^{注)}
空 気	水	清 掃	ね ず み	総 合	そ の 他	
○				○	○	中小規模ビル（延床面積3,000m²以下）向けソリューション： <ul style="list-style-type: none"> スマートフォンを使用してエントランスやエレベーターのセキュリティを解除 カメラと連動してモニター管理+データはクラウド保存で記録装置不要 低コストでの導入が可能、セキュリティカードの発行管理業務を低減 設備異常時にメール配信+技術者派遣、現地の映像を確認しながらリモートで初期対応可能
				○	○	建物運営管理支援サービス： <ul style="list-style-type: none"> ビル運営管理情報をクラウドによって「見える化」 いつでもどこでも見られるため、よりスピーディーな対応が可能 複数ビルの運営管理情報を一元管理でき、運営管理業務を効率化
○				○		ビル全体の省エネルギー推進サポート： <ul style="list-style-type: none"> テナントがパソコンからエネルギー使用量を確認、空調や照明を制御
○				○	○	BIMとデータベースを連携、全体最適を視野に入れたデータドリブンな設計手法の確立： <ul style="list-style-type: none"> BIMとデータベース連携による設計の効率化 BIMとデータベースを活用したデータプレチェックによる設計の高品質化 BIMを活用したトータルカーボン算出の試行・実践を通じ、エネルギー効率や環境を最適化するデザインの推進 IoTセンシングと建物運用フェーズのBIMモデルを統合。オフィス内のデータ（温湿度などの環境・在室者情報）がリアルタイムに3Dで可視化。従業員は自身のパソコンやデジタルサイネージなどを通じて、オフィス内の環境をいつでも把握。 ←均質でない環境をつくり、コノミヤその日の体調などで環境を選択（ウェルビーイングなオフィス環境の構築）。
○				○	○	ビルディングオートメーションシステム： <p>統合コントローラが各種設備を統合し、連携制御することで建物全体の省エネルギーや安全性・利便性を向上</p> <p>確認を要する画面が自動的に表示され、トラブル発生時のスムーズな対応が可能。監視用のPCは汎用PCを利用可能</p> <p>多彩なセンサーを使ってアクチュエータを制御し、快適な温熱環境と建物の省エネルギーを実現</p> <p>チャートや日週月年報、警報・状態変化・操作情報の履歴を活用して管理品質が向上</p> <p>クラウドサービスを利用して効率的な管理を実現</p>
(次のページに続く)						

項目						内容（技術等） ^{注)}
空 気	水	清 掃	ね ず み	総 合	そ の 他	
○				○	○	<p>ビル向けクラウドサービス：</p> <p>IoT 技術を利用してビルのエネルギー管理や設備管理業務の効率化を図り、管理コストの削減を実現</p> <p>時間や場所を選ばずに確認でき、関係者間での情報共有を促進</p> <p>気象データを用いたエネルギー使用量の予測や、電力逼迫状況に応じた受電電力の抑制が可能</p>
○						<p>セル型空調システム：</p> <p>セントラル空調において吹出口単位で変風量を制御</p>
○					○	<p>研究施設向け風量制御システム：</p> <p>研究施設、感染症対応病床などにおいて、室内空気の温度・湿度・圧力・気流・清潔度を厳密に制御</p> <p>サッシセンサ、高速 VAV、ヒュームフードモニタ、人検知センサー</p>
○					○	<p>CO₂濃度制御搭載製品：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・業務用換気機器は、天埋型・天吊型・露出型・屋外設置型等、部屋用途・規模にあわせた商品展開 ・CO₂センサーは、NDIR 方式 ・リモコンに二酸化炭素濃度表示/空気の状態やメンテナンス時期を色で知らせる機能有 ・二酸化炭素濃度に応じた換気量自動制御（リニア制御の場合、濃度判定は 30 分。二酸化炭素濃度が 700ppm 以下の場合は弱ノッチ運転となる） ・クラウド型空調コントロールサービスで空調・換気・各設備（照明、センサースイッチ、防犯設備、火災警報、熱源機器、電力系、AHU 等）がつながり、まとめて管理
○						<p>スマート空調システム：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・オフィス向け ・天井内に空調空気を直接供給し、天井面の約 10m 毎に設置した軽量小型のファン付吹出口（以下 FDU※）を用いるダクトレス空調方式 ・FDU の風量設定は PC やタブレット端末などを用いて、在室者が 1 台単位で自由に操作可能 ・FDU の風量制御専用の制御配線は不要 ・FDU に給気ダクトを接続する必要がなく、かつ、シンプルな電力配線のみで構成 ・ダクト工事量の削減、運用後のレイアウト変更が容易

(次のページに続く)

項目						内容（技術等） <small>注）</small>
空 気	水	清 掃	ね ず み	総 合	そ の 他	
				○	○	<p>ビル監視向け統合システム：</p> <p>オープンシステムでコストを削減。中央監視システムのほか、電力、空調/熱源、照明、防災、セキュリティ/防犯/入退室/駐車場などのサブシステムとしても使用可能</p>
					○	<p>IoT ガス報知器：</p> <ul style="list-style-type: none"> LTE 通信機能付きガス警報器をリース方式（5年間）で提供 アプリと連携して自宅の異常や災害情報をスマートフォンに通知 停電時に内蔵バッテリーにより最大2日間作動
					○	<p>太陽光発電システム：</p> <ul style="list-style-type: none"> 毎日の電気を、可能な限り太陽光発電でまかなう 余った電気は蓄電池にためる 給湯の光熱費削減に寄与
					○	<p>家庭用蓄電池の遠隔制御：</p> <ul style="list-style-type: none"> 電力需給バランスを維持するために、電力供給量の変動に応じて、電力需要量を抑制・創出する 家庭用蓄電池を用いた調整力の創出
		○				<p>自立型掃除ロボット：</p> <p>AIと3Dカメラによるマッピング機能による自動清掃、PCでスケジュール設定 割れたガラス、小石・コンクリート、粉塵等に対応</p>
	○	○				<p>IoT 害虫検知システム：</p> <ul style="list-style-type: none"> 特定の場所にセンサー（電源不要）を設置し、害虫の存在を検知すると通知・記録
			○			<p>デジタル害虫駆除ソリューション：</p> <ul style="list-style-type: none"> 害虫センサー、トラップを設置し、定期的に送信されるレポートにより適切な駆除が実施可能
○				○	○	<p>ワイヤレスセンサーネットワーク：</p> <p><ビル・商業施設 工場・プラント></p> <ul style="list-style-type: none"> 建物施設の状態監視、AIによる駐車車両監視、電気設備等の監視制御、照明・空調コントロール、防災システムのための無線インフラ整備
(次のページに続く)						

項目						内容（技術等） ^{注)}
空 気	水	清 掃	ね ず み	総 合	そ の 他	

注)
技術等の内容について、引用文献を基に編集した。

引用文献：

- 1) <https://www.hbs.co.jp/products/builmirai/>
- 2) <https://www.hbs.co.jp/products/kanri/support/uneikanrishien.html>
- 3) https://www.hbs.co.jp/products/solution/bivale/service/energy_saving/
- 4) https://www.nihonsekkei.co.jp/news/detail_19702/
- 5) <https://www.azbil.com/jp/product/building/system/building-automation-system/savic-net-G5/index.html>
- 6) <https://www.azbil.com/jp/product/building/building-cloud-service/index.html>
- 7) <https://www.azbil.com/jp/product/building/cell-airflow-control/index.html>
- 8) <https://www.azbil.com/jp/product/building/airflow-control-system/index.html>
- 9) <https://www.ac.daikin.co.jp/va/kinou1>
- 10) <https://www.sanki.co.jp/service/technology/article/detail183.html>
- 11) <https://eee.tokyo-gas.co.jp/lp/joy/watcher/lp/ba/index.html>
- 12) https://www.tepco.co.jp/ep/notice/pressrelease/2022/1663085_8667.html
- 13) <https://www.tepco.co.jp/ep/kurashi/denka/index-j.html>
- 14) 例えば、
<https://www.kyocera.co.jp/newsroom/news/2024/002520.html>
- 15) https://wwwplibot.co.jp/products/kemaro_k900/
- 16) <https://www.astina.co/work/insect-detector/>
- 17) <https://iot.telenor.com/wp-content/uploads/2020/06/Telenor-Connexion-Case-Study-Anticimex-JP.pdf>
- 18) <https://www.kandenko.co.jp/business/service42.html>

E. 結論

COVID-19 パンデミックを契機に感染症対策にデジタル技術を利用する試みがある。その基礎として、環境中トレーサーを用いた感染リスクの推定について整理した。ウイルス濃度の検知技術は開発段階にあり、今後の実用化が期待されている。環境中トレーサー（室内空気質）、空調換気設備、在室者行動などの間接的な情報については、複数の要素を検知し感染リスクを推定するための技術が検討され、実用化されている事例がある。

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について、企業及び大学などの研究機関から収集した。まずは、デジタル技術を活用する際の課題について、スマートビルのガイドラインから抽出し整理した。現状では、設備機器のデータに「どのような機器か」「どの場所に設置されているか」といったメタデータが十分に表現されていないため、データの横断的な利活用が難しいといった「データの意味／情報の不足」の課題がある。また、空間情報の表現の必要性や、データ標準化ができていないことにより専門知識がないとデータを正しく判断し現象を理解することが難しいこと、ユースケースの多様化への対応、システムの大規模化／複雑化によるセキュリティ対策や運用の課題があること 등을整理した。次に、デジタル技術を活用する際のセキュリティ対策の強化が必要となることから、その内容を整理した。基本方針の策定や、脅威の分類と対策要件の整理、建物の設計・施工・運用管理等のフェーズ等のライフサイクルに応じたセキュリティ対策をとること、外部ネットワークへの接続対策、IoT デバイスの認証機能やデータの暗号化等のセキュリティ強化、監視とインシデント対応について、スマートビルのガイドラインから抽出し整理した。更に、デジタル技術を活用するために、センシング機器の信頼度の確保が重要であるため、講ずる対策を整理した。データの品質

管理、誤ったデータやノイズを排除するデータフィルタリングの必要性、ネットワーク切断時のデータ欠損防止のためのデータ一時保存等の機能を有すること、デバイス認証、定期的な構成とメンテナンスの必要性、トラブル発生時の原因特定活用のための通信ログ記録をとる等、これらの対策を講じることで、センシング機器の信頼度を向上させ、データの正確性と信頼性を確保できると考えられる。以上、デジタル技術導入に関する現状、デジタル技術を活用する際の課題、そしてその活用時のセキュリティ対策とセンシング機器の信頼度について、情報を整理した。

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) 山田裕巳, 杉山幸輝, 菊田弘輝, 長谷川麻子, 鍵直樹, 本間義規, 林基哉; 保育施設におけるエアロゾル感染対策のための機械換気設備の改修(その1): CO₂ トレーサガスを用いた換気改修効果の検証, 日本建築学会環境系論文集 830, p. 185–194, 2025. 04
- 2) Ryo Asaoka, Wataru Umishio, Naoki Kagi, Motoya Hayashi, Takao Sawachi, Takahiro Ueno; Office environments and worker satisfaction with thermal and air environments during and after the COVID-19 pandemic in Japan, Building and Environment 268(2025) 112319.
- 3) Motoya Hayashi, Sayaka Murata, Koki Kikuta; Ventilation characteristics in a hospital where a COVID-19 outbreak occurred in the winter of 2020, Indoor Environment, 2025.03, <https://doi.org/10.1016/j.indenv.2024.100065>
- 4) Koki Kikuta, Shun Omori, Masakazu Takagaki, Yasuhiko Ishii, Kazuhiro Okubo, Yuta Ohno, Yoshihiro Fujiya, Hitomi Kurosu, Tomoe Shimada, Tomimasa

- Sunagawa, Takuya Yamagishi and Motoya Hayashi; Verification of Ventilation and Aerosol Diffusion Characteristics on COVID-19 Transmission through the Air Occurred at an Ice Arena in Japan; Buildings 2024, 14(6), 1632, 2024.4.
- 5) 開原典子, 林基哉, 本間義規;高齢者の乾燥由來の健康リスク低減に向けた住まいの湿度環境提案, 住総研研究論文集・実践研究報告集, 2024年50巻 p. 257-268 (2024)
 - 6) 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2）：2020年と2021年における室内環境と環境満足度の関連;日本建築学会環境系論文集 817, p. 135-140, 2024. 03.
 - 7) Motoya Hayashi, Yoshinori Honma, Koki Kikuta, Asako Hasegawa, Sayaka Murata, Hiromi Yamada, Masayuki Ogata, Naoki Kagi, U Yanagi, Toshio Yamanaka, Hoon Kim, Kenichi Kobayashi, Noriko Kaihara, Akira Ito, Fumihiko Shinohara and Shoichi Morimoto; Ventilation measures to control aerosol transmission based on COVID-19 outbreaks in hospitals in Japan, JAPAN ARCHITECTURAL REVIEW 7(1), 2024.1.
- ## 2. 学会発表
- 1) 林基哉「フィンランド高齢施設の室内環境特性と感染症対策」第83回日本公衆衛生学会総会国立保健医療科学院企画シンポジウム「高齢者施設の室内環境と感染症対策を考える」(2024)
 - 2) 林基哉「環境衛生管理における不適の実態と課題を考える」第51回建築物環境衛生管理全国大会シンポジウム「求められる建築物衛生管理を考える」(2024)
 - 3) 林基哉「ポスト COVID-19 における 空調・換気・通風計画」自立循環プロジェクトフェーズ7シンポジウム,IBECs (2024)
 - 4) 青山恭子,森太郎,林基哉,大沢飛智;省エネルギー区分別にみた日本における気象データと健康の関係に関する分析, 日本建築学会学術講演梗概集, 環境工学 I , p.569-570, 2024.07.
 - 5) 金勲,東賢一,林基哉,篠原 直秀; SVOC のハウスダスト中濃度と居住環境に関する全国調査, 日本建築学会学術講演梗概集, 環境工学 I , p.1235-1256, 2024.07.
 - 6) 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4報 4D 映画館ミスト噴出口の付着細菌叢, 日本建築学会学術講演梗概集, 環境工学 I , p.1281-1282, 2024.07.
 - 7) 開原典子,柳宇,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5報 観覧場内における 4D 上映中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, 環境工学 I , p.1283-1284, 2024.07.
 - 8) 新谷理一,菊田弘輝,金勲,阪東美智子,東賢一,長谷川兼一,本間義規,林基哉; 新築戸建住宅における室内化学物質と換気に関する全国実態調査, 日本建築学会学術講演梗概集, 環境工学 I , p.1335-1336, 2024.07.
 - 9) 田中雄,菊田弘輝,勝木皓大,井口雅登,林基哉; ダクト式全館空調システム住宅のエアロゾル感染に関する研究 その1 エアロゾル感染リスクの試算, 日本建築学会学術講演梗概集, 環境工学 I , p.1337-1338, 2024.07.
 - 10) 勝木皓大,田中雄,菊田弘輝,井口雅登,林基哉; ダクト式全館空調システム住宅のエアロゾル感染に関する研究 その2 室内濃度シミュレーションモデルの構築, 日本建築学会学術

- 講演梗概集, 環境工学 I , p.1339-1340,
2024.07.
- 11) 勝木皓大,田中雄,菊田弘輝,井口雅登,林基哉; ダクト式全館空調システム住宅のエアロゾル感染に関する研究 その 2 室内濃度シミュレーションモデルの構築, 日本建築学会学術講演梗概集, 環境工学 I , p.1339-1340, 2024.07.
 - 12) 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; 4D と 2D 映画館の付着真菌叢, 空気調和・衛生工学会大会学術論文集,p.37-40, 2024.09
 - 13) 水口晃輔,菊田弘輝,林基哉; 室内浮遊ウイルスの効果的な捕集方法の検討および病室等における捕集実験, 空気調和・衛生工学会大会学術論文集, p.45-49, 2024.09
 - 14) 田中雄,菊田弘輝,勝木皓大,井口雅登,林基哉; ダクト式全館空調システム住宅のエアロゾル感染対策に関する研究（第 1 報）エアロゾル感染リスクの試算, 空気調和・衛生工学会大会学術論文集, p.105-109, 2024.09
 - 15) 勝木皓大,菊田弘輝,田中雄,井口雅登,林基哉; ダクト式全館空調システム住宅のエアロゾル感染対策に関する研究（第 2 報）室内濃度シミュレーションモデルの構築,空気調和・衛生工学会大会学術論文集, p.109-112, 2024.09
 - 16) 長屋杏美,菊田弘輝,林基哉,佐藤花菜子,高橋篤志,竹田恵美,古橋拓也; 換気回路網計算モデルを用いた戸建て住宅の常時換気設備におけるエアロゾル除去性能の評価, 空気調和・衛生工学会大会学術論文集, p.113-116, 2024.09

3. 書籍等

- 1) 林基哉, 新建築物の環境衛生管理, 第 1 章 建築物環境衛生管理総論 要点, 1. 4. 4 建築物環境衛生管理業務の課題, 1. 5 建築物環境衛生

管理の展望, 第 2 章 建築物衛生行政概論 要点 (2024)

- 2) 林基哉, ポスト COVID-19 の高齢者施設における空気清浄の課題と対策, 空気清浄 62 卷 4 号, PP. 42-49 (2024)
- 3) 林基哉, 海塩涉, 菊田弘毅, 村田さやか, 開原典子, 今後の住宅・建築物の感染症対策 ポスト COVID-19 の空調・換気・通風計画, IBECS No. 251PP2-17 (2024)
- 4) 林基哉 卷頭言 ポスト COVID-19 における空気清浄管理への期待, 空気清浄第 62 卷第 3 号, PP. 1-2 (2024)
- 5) 林基哉 室内環境の健康リスクと居住リテラシー - 健康維持増進のための住環境整備に関する一連の研究 -, 住まいと環境東北フォーラム H&E レター, PP. 1-3 (2024)
- 6) 林基哉 COVID-19 クラスター事例の換気性状と対策—換気不良とエアロゾル感染—, 空気調和・衛生工学 98 (10), PP. 839-846 (2024)

G. 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

<参考文献>

- 1) Doe, J., Smith, A., and Johnson, P.; Indoor Localization and Occupancy Estimation Using Bluetooth Low Energy (BLE) Signals. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 69, No. 5, pp. 1234-1245.
- 2) Nguyen, H.T., and Patel, S.; Occupancy Detection Using WiFi Infrastructure: Counting Devices to Estimate Occupancy

- Levels., IEEE Wireless Communications, Vol. 28, No. 3, pp. 45–51. 2021.
- 3) 福田雄大, 山本高広, 画像解析モデル YOLO を用いた在室人数測定手法の提案及び空調システム設計への応用に関する研究, 日本建築学会四国支部研究報告集, 第 22 卷, pp. 51–52, 2022. 5.
- 4) 富樫英介, 室内温熱環境の廉価な無線計測記録装置の開発, 日本建築学会技術報告集, 第 28 卷, 第 68 号, pp. 267–274, 2022. 2.
- 5) 菅原正則, 遠藤千和, 林基哉, CO₂濃度変化に基づいた住宅内滞在人数の推定, 日本建築学会東北支部研究報告集. 計画系, 第 71 卷, pp. 103–106., 2008. 6.
- 6) モノワイヤレス株式会社 TWEelite-DIP (TWE-L-DI-W) , <https://mono-wireless.com/jp/products/twelitedip/index.html>
- 7) Seeed Studio; PIR Motion Sensor module, (Device Wiki page), https://wiki.seedstudio.com/PIR_Motion_Sensor_Large_Lens_version/
- 8) 杉山幸輝, 山田裕巳, 菊田弘輝, 林基哉, 長谷川麻子, 保育所等及び高齢者福祉施設における COVID-19 感染リスク低減に向けた改善効果の検証 (その 2) 北海道と福岡県の保育施設における換気設備の増設, 日本建築学会学術講演講演集, pp. 1377–1378, 202407
- 9) 株式会社構造計画研究所 行動センシング・デザイン室, ピープルカウンター, <https://www.sensing.kke.co.jp/>
- 10) 株式会社 OPTEX, 在室・在席検知機器, <https://www.optex.co.jp/products/occupancy-sensor/>
- 11) フジタ技研, 在室者の位置情報に基づく三密回避システムの開発 ~位置情報検知精度と自動換気制御機能による室内空気環境に関する検証~, フジタ技研報告第 58 号 2022 年, https://www.fujita.co.jp/tech_center/img/up/2022/2022_12.pdf
- 12) 三菱電機, ムーブアイの役割と効果, https://www.mitsubishielectric.co.jp/ldg/ja/air/products/slim/knowledge/item_04.html
- 13) 本間義規, 開原典子, 林基哉: 興行場における衛生的な環境確保のための研究, 映画館内の換気に関する実態とその評価法に関する検討, 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）分担研究報告書, 2023
- 14) Kosuke Minakuchi, Koki Kikuta, Hisashi Hagiwara, Kenji Miyazaki, and Motoya Hayashi, Effective Method to Collect Indoor Floating Aerosols Using Cooling Equipment, Atmosphere, 2023. 11.
- 15) 「病院の気流制御」最新技術 | 鹿島技術研究所 | 鹿島建設株式会社
- 16) 新型コロナウイルスを検出するバイオセンサーを開発 | ニュースルーム | ニュース | DENSO - 株式会社デンソー / Crafting the Core /
- 17) 独立行政法人情報処理推進機構 デジタルアーキテクチャ・デザインセンター スマートビルプロジェクト. スマートビルシステムアーキテクチャガイドライン. 2023.5.31 第 1 版.