

令和4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)
総括研究報告書

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 国立保健医療科学院 上席主任研究官

研究要旨

建築物衛生法の空気環境に関しては、「浮遊粉じん、一酸化炭素 (CO)、二酸化炭素 (CO₂)、温度、相対湿度、気流速度」に対して2ヶ月以内ごとに1回(1年に6回以上)の測定が義務づけられている。給水に関しても項目によって測定義務が定められている。

測定は測定技術者による現場測定が基本となるが、近年はIoTやセンシング技術の発展により、建築物環境衛生管理の人手不足や中小規模建築物の自主管理の可能性なども視野にこのような技術を活用すべきという声も上がっている。

本研究は、自動測定によるデータの精度を検証するとともに、自動測定で得られるデータを活用することによって、現行の測定方法よりも適切な維持管理を行うことができるかどうかを検証する。加えて、自動測定が既存測定(手動測定)と同程度以上の精度であると判断できる条件(センサー精度、測定箇所、測定機器の校正の頻度等)を明確化することで、特定建築物のより適切な維持管理手法を確立することを目標とする。

本年度は2年計画の1年目として、連続計測用小型センサーとして、温湿度・CO₂濃度センサー4種類、PM_{2.5}センサー2種類を対象に長期間比較評価を行った。建物7施設(11フロア)に自動計測センサーを設置し、6施設9フロアに対して法定測定法による管理基準項目6項目の立入調査を実施した。また、BEMSデータ、測定技術者による報告調書を収集して、連続計測用小型センサー及び法定立入調査結果と精度の比較検討を行った。また、国内IoT関連会社3社を対象にIoT技術の建物設備衛生管理への活用に関するヒアリング調査を実施した。また、建物設備の管理技術者らを対象に管理の現状、要望に関するヒアリングを行った。

本年度は、下記項目に関する研究を行いまとめた。

- ①特定建築物の報告統計
- ②室内環境に関する現場調査
- ③温熱環境の測定
- ④空気環境衛生管理に向けたIoTセンサー活用手法の検討
- ⑤空気環境管理に向けたBEMSデータ活用手法の検討
- ⑥水の衛生管理の実態調査とIoT技術活用可能性に関する検討
- ⑦水の衛生管理の改善に向けたBEMSデータ活用可能性の検討
- ⑧IoT技術を活用した管理手法の調査

研究組織

研究分担者

樺田 尚樹 (産業医科大学)
鍵 直樹 (東京工業大学)
海塩 渉 (東京工業大学)
中野 淳太 (東海大学)
増田 貴則 (国立保健医療科学院)
三好 太郎 (国立保健医療科学院)
下ノ菌 慧 (国立保健医療科学院)

研究協力者

白根 和明 (アズビル (株))
原山 和也 (アズビル (株))
三浦 眞由美 (アズビル (株))
吉村 太志 (日本カノマックス (株))
内山 功 (日本カノマックス (株))
東山 泰造 (日本カノマックス (株))
小島 謙太郎 (柴田科学 (株))
檜山 功 (柴田科学 (株))
黒田 洋平 (ダイキン工業 (株))
笹井 雄太 (ダイキン工業 (株))
近藤 純史 (ダイキン工業 (株))
関内 健治 (全国ビルメンテナンス協会)
齋藤 敬子 (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)
谷川 力 (日本ペストコントロール協会)

A. 研究目的

建築物衛生法の空気環境に関しては、浮遊粉じん、一酸化炭素 (CO)、二酸化炭素 (CO₂)、温度、相対湿度、気流速度が2ヶ月以内ごとに1回 (1年に6回以上) の測定が義務づけられている。給水に関しても項目によって測定義務が定められている。特に測定頻度の高い、空気環境の6項目、水質の塩素濃度に関しては自動測定の必要性や要求があることから技術開発が進んでいる。

本研究はIoT技術を含む自動測定によるデータの精度を検証し、「現行の測定方法よりも適切な維持管理を行うことができるかどうか」、また「自動測定と既存測定 (手動測定) が同程度以上の精度であると判断できる条件を明確化」することで、特定建築物のより適切な維持管理手法を確立することを目的とし、以下4項目の研究を遂行する。

- ① IoTを活用した建築物衛生管理基準関連の計測技術に関する調査
- ②自動測定と既存測定 (手動測定) によるデータ精度、測定位置、代表性に関する比較検証
- ③ BEMSデータの活用手法
- ④ 建築物衛生管理基準に対する適切な測定方法及び維持管理手法に関する提案

特に、空気環境6項目 (浮遊粉じん、CO、CO₂、温度、相対湿度、気流) 及び水質 (残留塩素濃度) など測定義務として頻度の高い項目を対象とする。

B. 研究方法

本年度は (2年計画の1年目)、連続計測用小型センサーとして、温湿度・CO₂濃度センサー4種類、PM2.5センサー2種類を対象に長期間比較評価を行った。

建物7施設 (11フロア) に自動計測センサーを設置し、6施設9フロアに対して法定測定法による管理基準項目6項目の立入調査を実施した。

また、BEMSデータ、測定技術者による報告調書を収集して、連続計測小型センサー及び法定立入調査結果と精度の比較検討を行った。

更に、国内IoT関連会社3社を対象にIoT技術の建物設備衛生管理への活用に関するヒアリング調査を実施した。また、建物設備の管理技術者らを対象に管理の現状、要望に関するヒアリングを行った。

B.1 特定建築物の報告統計

厚生労働省から公表されている全国の立ち入り調査のデータを用いた空気環境項目の不適合率の最新動向について整理した。

B.2 室内環境に関する現場調査

建物7施設11フロアにIoTセンサーによる二酸化炭素（以降、CO₂）濃度、温湿度、粒径2.5 μ m以下の微小微粒子状物質（以降、PM_{2.5}）の連続自動測定を行っている。そのうち、建物6件9フロアを対象に建築物衛生法で定める立入測定を実施した。また、建物及び設備情報は担当者へのヒアリングや建築図面から収集した。

B.3 温熱環境の測定

ASHRAE 55は、ASHRAE（米国暖房冷凍空調学会）の温熱環境に関する基準であり、2020年版が最新となっている。中でも建物管理に使われるBAS (building automation system; 日本のBEMSに相当)による環境評価法も解説されており、連続測定値を用いた管理に参考になるため、関連部分を翻訳し整理した。

また、気候、季節、建物仕様の異なる建築物の実測調査を行い、ASHRAE55-2020に準拠して室内温熱環境特性を明らかにする。建物6件9フロアについて調査を行った。いずれもBEMSによる室内環境データの記録とモニタリングを行っていた。

B.4 空気環境衛生管理に向けたIoTセンサー活用手法の検討

4種類のIoTセンサーの測定値比較ならびにIoTセンサーと建築物衛生法に準じた現場立入測定の測定値比較により、IoTセンサーの建築物衛生管理への利用可能性について検討した。対象項目は温度、相対湿度、CO₂濃度である。ここでは、①複数のIoTセンサーの測定値比較、②IoTセンサーと現場立入測定の測定値比較、③温度・相対湿度・CO₂濃度の平面分布の測定、を実施した。

B.5 空気環境管理に向けたBEMSデータ活用手法の検討

建築物の空気環境管理へのBuilding Energy Management System (BEMS) データの応用可能性の検討にあたって、BEMSの空調関連データとして通常取得しているデータを整理し、建築物環境衛生管理基準の項目との比較を行った。

BEMSには温度、相対湿度、二酸化炭素(CO₂)濃度の3項目が取得されていたため、このデータを空気環境管理に応用できる可能性について検討した。

B.6 水の衛生管理の実態調査とIoT技術活用可能性に関する検討

特定建築物において実施されている衛生管理業務の実態（実際の作業頻度、検査方法、結果の取りまとめなど）に関する聞き取り調査を行った。また、特定建築物の水の衛生管理にIoT技術を活用するためには、自動、もしくは連続測定が可能な水質計測装置が不可欠となるため、6カ月毎に1回以上の頻度で検査が必要な項目に対し、自動もしくは連続測定が可能な測定装置に関する技術動向の調査した。

B.7 水の衛生管理の改善に向けたBEMSデータ活用可能性の検討

BEMSに集約されている情報を活用した建築物内の水の衛生管理の改善手法を検討した。

今回BEMSデータを提供してもらった建築物において集約対象となっていた項目のうち、上水流量に着目し、受水槽の水理的滞留時間 (hydraulic retention time: HRT) の評価に活用した。1時間毎の上水流量値が利用可能であった建築物を対象として、受水槽容量の聞き取りを行い、受水槽におけるHRTを算出した。

B.8 IoT技術を活用した管理手法の調査

自動調査・自動測定技術の建築物衛生管理への適用も見据えて、現時点で開発されている関連技術に関して調査を行うことを目的とし、ヒアリングを実施した。空気環境の調整に関する

IoT 技術が 2 件（IoT カメラによる日常点検と解析技術、画像データの 3 次元 CAD モデリング化と室内環境の数値シミュレーション技術）、ねずみ等の防除に関する IoT 技術が 1 件である。

C. 研究結果

C.1 特定建築物の報告統計

建築物衛生法においては対象となる特定建築物の維持管理手法として環境衛生管理基準値を定めており、2 ヶ月以内に 1 回以上の測定を行い適切な維持管理に努めている。

厚生労働省から公表されている全国の立ち入り調査の統計報告から、ここ 30 年間は特定建築物の空気環境 6 要素の中で二酸化炭素濃度、温度、相対湿度の不適率の経年変化はいずれも値が高く、上昇する傾向にあった。それぞれが、省エネ法の改正、建築物衛生法の改正、東日本大震災の影響が示唆された。一方、浮遊粉じん、一酸化炭素、気流、ホルムアルデヒドについては、低い不適率で推移していた。

一方、新型コロナウイルス感染症による建築物衛生への影響として、2021 年度は二酸化炭素濃度の不適率が大幅に減少し、温度及び相対湿度は上昇している。二酸化炭素濃度の不適率が最も高かった 2017 年度は二酸化炭素、温度、湿度の不適率がそれぞれ 27.7%、31.9%、57.2%であったのに対し、2021 年度は 14.5%、34.6%、59.8%と二酸化炭素濃度は大幅に減少している反面、温度と相対湿度は過去最高値を更新した。原因は新型コロナ感染症防止対策として、換気量を増強したことによるものと考えられる。

C.2 室内環境に関する現場調査

建物 7 施設 11 フロアに IoT センサーによる二酸化炭素（以降、CO₂）濃度、温度、相対湿度、粒径 2.5µm 以下の微小微粒子状物質（以降、PM_{2.5}）の測定を行っている。そのうち、建物 6 件 9 フロアを対象に建築物衛生法で定め

られる立入測定を実施した。同時に、化学物質（VOCs 及びカルボニル化合物）、PM_{2.5} 等の粒子状物質、エンドトキシン（細菌の内毒素）濃度の測定を行った。

(1) 6 件の建物概要として立地・竣工年月・延床面積・階数・軒高・構造のほか、外皮断熱仕様や空気調和設備を整理した。

(2) 温度・相対湿度・気流に関して建築物衛生法に準拠した測定方法により、2 種類の環境測定モニター（ビル管セット）を用いて現場立入調査を実施した。温度と気流はいずれの建物でも建築物衛生管理基準値を満たしていた。相対湿度については一部の建物で管理基準値を下回る建物があったが、全体的には基準値と同等程度の建物が多かった。また、2 種類の測定機器による差は小さくなく、測定機器の差の最大値は温度が 0.3K、相対湿度が 2.7%RH、気流が 0.04m/s であった。

浮遊粉じん濃度は、いずれも管理基準濃度 0.15mg/m³ に比べると低濃度であった。測定機器間では平均 0.0043±0.0027 mg/m³ の差が見られた。

CO の外気濃度は 0.1 ppm 程度、室内 CO 濃度も 0.1ppm 程度と等しく、室内 CO 濃度は殆どが外気由来によるものと判断された。いずれも管理基準値に対して低い水準であった。

CO₂ に関しては外気濃度平均 470ppm 程度に対して、室内平均 630～710ppm 程度であった。管理基準 1000ppm を上回る建物はなく、いずれの建物も 1000ppm より低いレベルで管理されていた。昨今の新型コロナ感染症による換気量の増大や在宅勤務による在室者数の縮小などが影響していると考えられる。

機器による測定値の差が見られ、CO は 0.026±0.015ppm、CO₂ は平均 75±40ppm で濃度差の範囲は 4～141ppm であった。

校正の問題や、機器によるセンサー感度の違いも見られた。

(3) 化学物質濃度の現状把握として、ホルムアルデヒドを含む厚生労働省の指針値に示されている物質（13 個別物質及び TVOC）を中心にアクティブサンプリング法を用いて調査を行った。結果、ホルムアルデヒド及び個別指針物質については濃度を超過する建物はなかった。TVOC 濃度については、2 件の建築物において暫定目標値（ $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）を超過した。これは、厚生労働省の指針物質は低濃度であったが、2E1H 及び芳香族炭化水素類の濃度が高かったことが原因である。

(4) 6 粒径を対象にした浮遊粒子状物質測定では、全体的に外気（OA）が室内濃度（IA）より高い傾向が見られた一方、一部室内における $1.0\mu\text{m}$ 以下の細かい粒子濃度が顕著に高い測定箇所もあり、OA 機器や個別式加湿器などの影響が考えられた。殆どの場合、室内濃度は外気より低くなっているが、外気濃度に追従して増減していた。

小さな粒径の粒子において IO 比 <1 が多く、外気由来の粒子が室内では低く維持され、 $10\mu\text{m}$ の大きな粒子は IO 比 >1 の室内が多くなっている。細かい粒子は外気由来であり空調システムで一部除去されるため室内濃度は外気より低くなるのが一般的な傾向であるが、大きな粒子は人工的に生成されることが多く、在室者密度が高く室内での活動が多くなると濃度が高くなることもある。

C.3 温熱環境の測定

ASHRAE55-2020 には BAS (building automation system)による環境評価法が解説されている。ここに規定される測定機器の精度は現行の建築物衛生法で定められる精度と比較して高く、測定位置は室中央だけでなく極端な環境になる点も測定すること、測定高さは1点ではなく3点を測定することが規定されている。

測定精度を高く規定していることから ASHRAE55 に準拠した室内温熱環境の測定を行った。この測定結果より、①窓面方向で放射温度が下がりやすく不均一な放射環境となる、②階段室や開放された空間に隣接している場所では冷気の流入により足元の空気温度が低くなることもある、③建物の外皮熱性能が低く、暖房方式がそのような空間に対応していない場合は、垂直方向の空気温度分布が極端に大きくなることもある、といった室内環境の詳細分析が可能となる。

更に、この測定に IoT センサーを活用できるかを検証した。対象建物に設置した IoT センサーにより計測した室内環境のヒストグラム、特別値、建築物環境衛生管理基準値内である時間率（適合頻度）を算出した。結果、温度と CO_2 濃度はほとんどの時間帯で管理基準値を満たしていた。相対湿度は E ビルと F ビルでは全時間で基準を満たしていたが、その他の建物では基準値外となる時間率が高く、特に、北海道に建つ建物の相対湿度は低い傾向にあった。

IoT センサーは設置の自由度が高く、それらの連続的なデータ収集も簡便に行うことが可能となる。室内環境の平面分布、上下温度分布等の詳細分析が可能となるほか、定点測定結果ではなく連続計測結果を集計し統計処理した評価も可能になることから、現行の定点測定より適切な衛生環境管理ができる可能性がある。一方で、浮遊粉じん、 CO 、気流の連続測定が可能な手軽なセンサーはまだないのが現状である。

校正頻度等の課題もあることから引続き検討を行う必要がある。

C.4 空気環境衛生管理に向けた IoT センサー活用手法の検討

(1) IoT センサーの測定値比較では、3 件の建物（A ビル、D ビル、E ビル）に設置した 4 種の IoT センサー（センサー A、B、C、D）の

測定値を比較した。IoT センサーは CO₂ 濃度の手動校正・自動校正の有無等の機能が異なるほか、データ容量の有無等の IoT センサーの特徴がある。

温度についてはセンサーD の測定値が他の IoT センサーの測定値と比較して 0.5K 以上低くなっており、センサーD を除いた 3 種の IoT センサーの差は 0.5K 以内であった。

相対湿度についてはセンサーB の測定値が他の IoT センサーと比較して 10%RH 以上高くなることもあり、測定機器の個体差が見受けられた。

CO₂ 濃度については初期濃度から差が現れた建物においては 100ppm 以上の差異が見受けられたが、全体的には多くの時間帯で 100ppm 以下の差であった。

(2) IoT センサーと現場立入測定の測定値比較では、現場立入測定を実施した同時刻の瞬時値を比較した。

温度については IoT センサーと現場立入測定の結果は 1K 程度の差、相対湿度についてはセンサーB を除くと IoT センサーと現場立入測定の結果は ±5%RH 程度の差、CO₂ 濃度についてはセンサーC を除くと IoT センサーと現場立入測定の結果は ±100ppm 程度の差であった。

(3) 温湿度・CO₂ 濃度の平面分布の測定では、冬期の温度の平面分布については外皮に近いペリメータゾーンで低くなる傾向が見受けられた。また、相対湿度については多くの建物で平面分布は見られなかったが、測定値は温度に影響されることから温度の平面分布が大きい建物においては相対湿度の測定値にも差が生じる可能性がある。

以上の結果より、IoT センサーは現場立入測定の結果と概ね同等の結果が得られていると考えられるが、測定機器の個体差がある、CO₂ 濃度の初期値の設定、浮遊粉じんの量・CO 濃度・気流の連続測定センサーの開発、適切な測

定位置等の課題があることから、引続き調査・測定を行う予定である。

浮遊粉じん濃度について、大気環境の改善や空調性能の向上等により管理基準値より十分に低いことが知られている。また、連続測定が可能な小型センサーもまだ存在しない。一方、粒径 2.5 μ m 以下の粒子 (PM_{2.5}) については健康影響が大きいことから、室内環境測定に利用可能な測定機器の調査を行っている。小型センサーによる PM_{2.5} 濃度測定結果からは、センサー個体差、機器間の精度、換算係数、校正の方法等を考慮する必要性が示唆された。

C.5 空気環境管理に向けた BEMS データ活用手法の検討

BEMS を導入している 3 棟のオフィスビルを対象にデータ収集を行い、BEMS データの空気環境管理への応用可能性について検討を行った。

空間分布に関するデータ分析の結果、①温度は居住域とインテリア壁面設置センサーで近い値を取るため、この 2 箇所は空気環境管理に利用できる可能性が高いが、ペリメータ壁面や還気ダクトへの設置センサーはゾーニングや空調方式の影響を受ける可能性があること、②相対湿度はセンサーの測定精度等の影響で一貫した結果が得られず、空気環境管理への応用に向けたハードルが高いこと、③CO₂ 濃度は空間的に大きく離れた還気ダクトに設置されている場合でも居住域と近い値を取り、空気環境管理へ応用の可能性が高いが、センサーの校正の影響を大きく受けることが示唆された。

時系列分析の結果、①温度は朝の暖房立ち上がり時に低く、特に建物を使用していない連休明けに注意が必要であること、②CO₂ 濃度は朝から夕方にかけて上昇していく傾向を示し、夕方に 1000 ppm 以下を達成できるかがポイントとなることが示された。

従来の2か月以内に1回、午前と午後にスポットで測定する環境衛生管理手法では把握できない時刻変動が見えることで、基準を逸脱している場合の原因特定や対策立案が容易になること、基準を逸脱している時間割合という新たな指標で環境を管理できることは、BEMSによる空気環境管理の大きな長所と言える。一方で、通常BEMSデータとして測定している項目が温度、相対湿度、CO₂濃度の3項目しかなく、浮遊粉じん、CO濃度、気流の3項目については別途測定を行う必要があるため、人的コストの削減などは課題である。

C.6 水の衛生管理の実態調査とIoT技術活用可能性に関する検討

衛生管理業務の実態に関して聞き取り調査を行った結果、水質検査においては担当者が採水箇所を訪問し、手で採水もしくは原位置での分析を実施している項目が多く、自動もしくは連続測定装置による測定を採用している事例は調査した範囲では見られなかった。

自動もしくは連続測定技術の動向としては、残留塩素濃度など、電極を活用して測定できる項目に関しては、IoT化に向けて必要な通信機能(アナログ出力やデータ通信機能など)を備えた測定装置が多数販売されている。

一方で、定期検査が必要な水質項目の中には自動もしくは連続測定が困難と考えられる項目も含まれている。これらの項目に関しても、研究段階のものも含めるとほぼすべての水質項目について、測定可能な技術が検討されていた。IoT技術を活用した水の衛生管理の市場規模が拡大すると、関連する技術の開発が加速する可能性が期待される。

C.7 水の衛生管理の改善に向けたBEMSデータ活用可能性の検討

水に関連する項目としては流量、水温、ポンプ稼働状況など、エネルギー消費量に影響を及ぼす項目が中心となっていた。一方で、水質関

連の項目に関しては、調査対象とした建築物の範囲では収集事例が見られなかった。

BEMSによる連続データの収集項目のうち、上水流量に関しては、受水槽有効容積と組み合わせることによって受水槽の滞留時間管理に活用できる可能性が考えられる。特定建築物における上水流量の利活用状況を調査したところ、多くの建築物において上水流量の測定結果は活用されておらず、一部の建築物においては連続データの収集対象となっていなかった。調査対象とした建築物においては、上水流量の利活用は低調であるといえる。

上水流量測定結果を活用した受水槽滞留時間管理技術に関して、予備的な検討を実施した。

調査対象とした建築物の中から1建築物を選定し、受水槽有効容積と上水流量測定結果から受水槽内滞留時間の12時間平均値を算出した。受水槽設計指針より検討用の滞留時間管理目標値として12時間を設定した場合、深夜から早朝にかけて検討用管理目標値を超過する時間帯が認められた。

一方で、上水流量測定結果に応じ、自動的に捨水を実施する受水槽滞留時間自動制御技術を導入した場合を想定した滞留時間算出結果では、検討用管理目標値を超過する時間帯が大幅に減少していた。

このようなBEMSデータを活用した建築物衛生管理手法を導入した場合の効果(消毒副生成物関連項目の改善効果など)を検討することで、IoTを活用した建築物衛生管理手法の検討を促進させることができる可能性が考えられる。

C.8 IoT技術を活用した管理手法の調査

(1) IoTカメラによる日常点検と解析技術では、温湿度計・圧力計等の計器類の付近に電池だけで長期間稼働可能なカメラを設置し、計器盤などの定期的な撮影・画像の保存とAIによる解析を駆使して異常値を検出するなど日常

点検を可能にしていた。

(2) 3次元CADモデリング化とシミュレーション技術では、複雑で設計データがない建物や図面がない室内などで3次元CADデータが必要な場合に有用で、温熱・気流・汚染物質濃度・換気など室内環境の数値流体解析、建物や設備管理や改修計画、などに活用できる。

(3) ねずみ等の防除に関する事例では、赤外線暗視カメラ・粘着紙・振動板センサーによるねずみ等の生息調査が可能であった。飛翔昆虫のAI自動同定・報告書作成システムは、25種類の昆虫の自動同定+個体数判断がAI技術により可能で、捕虫紙で捕獲した昆虫の写真を転送のみで、同定・検数・報告書の自動作成も可能である。

人員削減・コスト削減の観点から自動調査・自動測定の新技術の建築物衛生管理への適用は大きく期待できる。

D. まとめ

本研究では、自動測定によるデータの精度を検証するとともに、自動測定で得られるデータを活用することによって、現行の測定方法よりも適切な維持管理を行うことができるかどうかを検証している。

以下に結果と知見を纏める。

1) 統計報告から、ここ30年間は特定建築物の空気環境6要素の中でCO₂、温度、相対湿度の不適率の経年変化はいずれも値が高く、上昇する傾向にあった。2017年度に不適率はピークを示しそれ以降は横ばいの状態であるが、2021年度は新型コロナの影響により、CO₂濃度の不適率が14.5%と大幅に減少した反面、温度及び相対湿度は34.6%、59.8%と更に上昇している。

2) 現場立入測定では、温度、浮遊粉じん、気流、CO濃度については管理基準値を満足していた。相対湿度は一部建物で冬期湿度が40%RHを下回りやや低かったが、顕著に低い

物件はなかった。CO₂濃度は外気濃度平均470ppm程度に対して、室内平均630~710ppm程度であった。大きな差ではないものの測定機器による校正の問題や、センサー感度の違いも見受けられた。

化学物質では厚生労働省の指針物質の中で問題になる物質はなく、TVOCが暫定目標値を超える物件があった。また、指針物質ではないが2E1H濃度が高く観察される物件があった。

6粒径を対象にした浮遊粒子状物質測定では、全体的に外気濃度が室内濃度より高い傾向が見られた一方、一部室内における1.0μm以下の細かい粒子濃度が顕著に高い測定箇所があった。OA機器や個別式加湿器などの影響が考えられた。殆どの場合、室内濃度は外気より低くなっているが、外気濃度に追従して増減していた。

3) ASHRAE55に準拠した室内温熱環境の測定を行った。結果、窓面方向で放射温度が下がりやすく不均一な放射環境となる、②階段室や開放された空間に隣接している場所では冷気の流入により足元の空気温度が低くなることがある、③建物の外皮熱性能が低く、暖房方式がそのような空間に対応していない場合は、垂直方向の空気温度分布が極端に大きくなることがあった。

こちらに関連した測定にIoTセンサーを活用できるかを検証した結果、IoTセンサーは設置の自由度が高く、それらの連続的なデータ収集も簡便に行えた。室内環境の平面分布、上下温度分布等の詳細分析が可能となるほか、定点測定結果ではなく連続計測結果を集計し統計処理した評価も可能になることから、現行の定点測定より適切な衛生環境管理ができる可能性が示された。一方で、IoTセンサーは個体差や校正頻度等は課題である。

4) 温度、相対湿度、CO₂濃度用のIoTセンサー一間の比較では、温度と湿度に関しては概ね良

好な精度が確保できていた。CO₂センサーも全体的には100ppm未満の差が多かった。一方で、センサーの個体特性や初期設置（校正）によって測定値に差が開いてしまうことがあった。

立入測定とIoTセンサー測定の比較では大きな差異は生じず、概ね良好な結果が得られた。平面分布では、外皮に近いペリメータゾーンで冬期温度低くなる傾向が見られた一方、相対湿度の平面分布はほぼ見られなかった。しかしながら、測定値は温度に影響されることから温度の平面分布が大きい建物においては相対湿度の測定値にも差が生じる可能性がある。

5) BEMS データから空間分布分析の結果、温度は居住域とインテリア壁面設置センサーで近い値を取るため、この2箇所は空気環境管理に利用できる可能性が高いが、ペリメータ壁面や還気ダクトへの設置センサーはゾーニングや空調方式の影響を受ける可能性があった。相対湿度はセンサーの測定精度等の影響で一貫した結果が得られず、空気環境管理への応用に向けたハードルが高い。

CO₂濃度は室内空間とは離れた還気ダクトに設置されている場合でも居住域と近い値を取り、空気環境管理へ応用の可能性が高いが、センサーの校正の影響を大きく受けることが示唆された。

既存の法定測定法では把握できない時刻変動が見えるため、基準不適の原因特定や対策立案が容易になること、また不適の時間割合という新たな指標で環境を管理できることは、BEMSによる空気環境管理の大きな長所である。一方、BEMSは通常、温度、相対湿度、CO₂濃度の3項目しか対応していないのが課題である。

6) 水質検査においては自動・連続測定装置による測定を採用している事例は見られなかった。

一方、連続測定が困難と考えられる項目関し

ても、研究段階のものも含めるとほぼ全ての水質項目について、測定可能な技術が検討されていた。

水に関連するBEMS項目としては流量、水温、ポンプ稼働状況など、エネルギー消費量に影響を及ぼす項目が中心となっていた。特に、上水流量に関しては、受水槽有効容積と組み合わせることによって受水槽の滞留時間管理と水質改善に活用できる可能性が示された。

7) IoTカメラ画像とAIによる画像解析を建物設備の日常点検と異常値検出に利用する技術や、カメラ、振動センサーによるネズミ等の生息と行動調査、画像解析による昆虫の同定と報告書の自動作成など、建築物衛生分野でもIoT技術を駆使した技術が開発され、実際にサービスを提供している企業も増えており、人員削減・コスト削減の観点から自動調査・自動測定の技術の建築物衛生管理への適用が期待できる。

E. 健康危険情報

該当なし。

F. 研究発表

該当なし。

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

該当なし。