

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

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
中央方式と個別方式における室内空気環境及び感染リスクの比較

研究分担者 柳 宇 工学院大学 建築学部 教授

研究要旨

本研究は、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。

- ① 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。
- ② 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。
- ③ 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。
- ④ 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。
- ⑤ 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。

A. 研究目的

今年度では、H26 年度～R1 年度に行った個別方式と中央方式空調を有するオフィスビル室内空気環境に関する測定結果を解析し、個別空調方式

における室内環境の特徴を把握することを目的としている。また、猛威を振り続けている新型コロナ感染症において、個別空調方式における感染性エアロゾル粒子の対策方策を検討した。

B. 研究方法

B1. 個別方式空調と中央方式空調における室内空気環境の比較

(1) 調査対象

本研究では、以下に示す 2 つの既往研究の調査結果を用い、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空気環境を比較した。

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）

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）

調査期間は 2013 年 8 月 23 日から 2020 年 2 月 13 日までの 7 年半であった。東京、大阪、北海道、福岡、愛知の特定建築物、中規模ビル延べ 138 室を対象とした。2013 年夏期から 2016 年夏期までは特定建築物、2017 年夏期から 2020 年冬期までは中規模ビルを主に調査した。測定対象ビルの建築と空調・換気設備の概要を表 1、測定対象の空調・換気システムの分類を図 1～3 に示す。本研究では、図 1 に示す方式を中央方式、図 2 と図 3 に示す方式を個別方式として解析を行った。

(2) 調査項目と測定方法

測定は立ち入り測定と 2 週間の連続測定の 2 種類とした。立入調査時では、IAQ モニター（KANOMAX 製）を用いた温度、相対湿度、CO₂ 濃度の測定、パーティクルカウンタ（AIRY 製）を用いた粒径別浮遊粒子濃度の測定、バイオサンプラー（ミドリ安全製）を用いた浮遊細菌と浮遊真菌の測定を行った。浮遊微粒子の粒径は ≥ 0.3 から $\geq 5.0\mu\text{m}$ の 6 段階である。浮遊細菌の測定に SCD 培地、浮遊真菌の測定に DG18 培地を用いた。

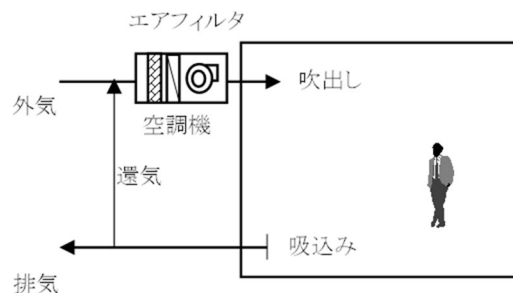


図 1 中央冷暖房・中央換気方式

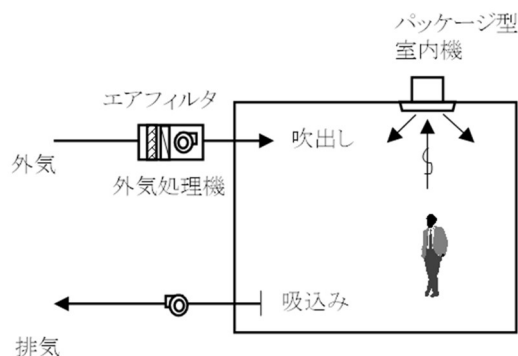


図 2 個別冷暖房・中央換気方式

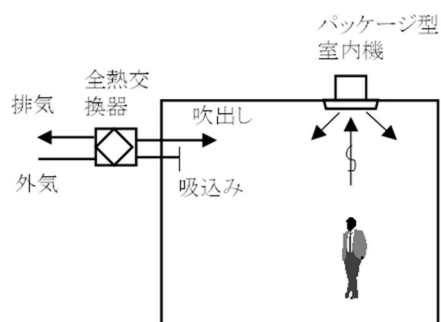


図 3 個別冷暖房・個別換気方式

B2. 個別方式空調と中央方式空調における感染リスクの比較

室内における新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の感染経路の一つであるエアロゾル感染の対策として、換気による希釈とフィルタによるろ過が有効である。本研究では、中央方式と個別方式における感染確率の比較を行い、個別方式空調における感染対策方を検討した。

表1 測定対象建築と空調・換気設備概要

| 測定日 | 対象物件ID | 地域 | 空調方式 | 対象床面積(m ²) | 測定時在室者人数(測定者) | 一人当たりの面積(m ²) | 天候 | 特定建築物 | | | |
|------------|--------|---------------|------------------|------------------------|---------------|---------------------------|------|-------|------|------|------|
| 2013年 夏期 | | | | | | | | | | | |
| 2013/8/23 | T-01 | 東京 | 中央式 | 737 | 36 | 20.5 | 曇り/雨 | ○ | | | |
| 2013/9/10 | O-01 | 大阪 | 個別+外調機 | 246 | 19 | 12.9 | 晴 | ○ | | | |
| | O-02 | | 個別 | 610 | 20 | 30.5 | 晴 | ○ | | | |
| | O-03 | | 個別+中央(全熱交換器+外調機) | 454 | 29 | 15.7 | 晴 | ○ | | | |
| 2013/9/11 | O-04 | | 個別+中央(FCU+外調機) | 137 | 4 | 34.2 | 晴 | ○ | | | |
| 2014年 冬期 | | | | | | | | | | | |
| 2014/2/21 | T-01 | 東京 | 中央式(システム天井) | 737 | 51 | 14.5 | 曇り/雨 | ○ | | | |
| 2014/2/26 | O-01 | 大阪 | 個別+外調機 | 246 | 20 | 12.3 | 晴 | ○ | | | |
| | O-02 | | 個別 | 610 | 17 | 35.9 | 晴 | ○ | | | |
| | O-03 | | 個別+中央(全熱交換器+外調機) | 454 | 41 | 11.1 | 晴 | ○ | | | |
| | O-04 | | 個別+中央(FCU+外調機) | 137 | 6 | 22.8 | 晴 | ○ | | | |
| 2015年 夏期 | | | | | | | | | | | |
| 2015/6/18 | T-01 | 東京 | 中央方式(AHU+ダクト) | 737 | 70 | 10.5 | 曇り/雨 | ○ | | | |
| 2015/10/8 | T-01 | | 中央方式(AHU+ダクト) | 737 | 57 | 12.9 | 曇り | ○ | | | |
| 2015/8/20 | T002 | | 中央方式(AHU+ダクト) | 922 | 75 | 12.3 | 雨 | ○ | | | |
| 2015/10/20 | T002 | | 中央方式(AHU+ダクト) | 922 | 90 | 10.2 | 曇り | ○ | | | |
| 2015/8/20 | T003 | | 個別方式(PAC) | 92 | 4 | 23.0 | 曇り | ○ | | | |
| 2015/10/20 | T003 | | 個別方式(PAC) | 92 | 11 | 8.4 | 曇り | ○ | | | |
| 2015/8/20 | T004 | | 4F | 個別方式(PAC) | 422 | 50 | 8.4 | 曇り | ○ | | |
| | | | | | 645 | 45 | 14.3 | | | | |
| 2015/10/20 | T004 | | 4F | 個別方式(PAC) | 422 | 22 | 19.2 | 曇り | ○ | | |
| | | | | | 1 | 65 | 0.0 | | | | |
| 2015/10/8 | T005 | | 2F | 中央方式(AHU+ダクト) | 1152 | 100 | 11.5 | 曇り | ○ | | |
| | | | | | 3F | 1152 | 39 | | | 29.5 | |
| 2015/8/5 | O001 | | 大阪 | 中央方式(AHU+ダクト) | 194 | 5 | 38.8 | 晴 | ○ | | |
| 2015/10/2 | O001 | | | 中央方式(AHU+ダクト) | 194 | 6 | 32.3 | 晴 | ○ | | |
| 2015/8/5 | O002 | | | 個別方式(PAC) | 119 | 5 | 23.8 | 晴 | ○ | | |
| 2015/10/1 | O002 | | | 個別方式(PAC) | 119 | 4 | 29.8 | 雨 | ○ | | |
| 2015/10/1 | O003 | | | 1F | 個別方式(PAC) | 186 | 8 | 23.3 | 雨 | ○ | |
| | | | | | | 2F | 186 | 8 | | | 23.3 |
| | | | | | | 4F | 186 | 18 | | | 10.3 |
| | | 5F | | | | 186 | 18 | 10.3 | | | |
| | | 5F | | | | 119 | 14 | 8.5 | | | |
| 2015/10/1 | O004 | 中央方式(AHU+ダクト) | | 119 | 8 | 14.9 | 雨 | ○ | | | |
| | | | 119 | 11 | 10.8 | | | | | | |
| | | | 253 | 34 | 7.4 | | | | | | |
| 2015/10/2 | O005 | 中央方式(AHU+ダクト) | 207 | 26 | 9.7 | 晴 | ○ | | | | |
| | | | 316 | 70 | 3.6 | | | | | | |
| | | | 316 | 76 | 3.3 | | | | | | |
| | | | 217 | 19 | 13.3 | | | | | | |
| | | | 217 | 19 | 13.3 | | | | | | |
| 2016/1/15 | T005 | 東京 | 中央方式(AHU+ダクト) | 922 | 78 | 11.8 | 晴/曇り | ○ | | | |
| 2015/12/22 | T006 | | 個別方式(PAC+HEX) | 92 | 7 | 13.1 | 晴 | ○ | | | |
| 2015/12/22 | T017 | | 中央方式(AHU+ダクト) | 737 | 60 | 12.3 | 晴 | ○ | | | |
| 2016/1/15 | T-18 | | 山側 | 個別方式(PAC+HEX) | 422 | 16 | 26.4 | 曇り/晴 | ○ | | |
| | | | | | 海側 | 645 | 58 | | | 11.1 | |
| 2015/12/22 | T019 | | 2F | 中央方式(AHU+ダクト) | 1152 | 120 | 9.6 | 晴 | ○ | | |
| | | | | | 3F | 1152 | 41 | | | 28.1 | |
| | | | | | 1F | 180 | 22 | | | 8.2 | |
| 2016/2/23 | O002 | | 7F | 中央方式(AHU+ダクト) | 248 | 36 | 6.9 | 曇り | ○ | | |
| | | | | | 9F | 200 | 26 | | | 7.7 | |
| | | 9F | | | 90 | 12 | 7.5 | | | | |
| 2016/2/24 | O003 | 2F-1 | 中央方式(AHU+ダクト) | 148 | 21 | 7.0 | 曇り | ○ | | | |
| | | | | 2F-2 | 109 | 12 | | | 9.1 | | |
| | | | | 5F | 119 | 8 | | | 14.9 | | |
| | O004 | 1F | 個別方式(PAC+HEX) | 253 | 41 | 6.2 | 曇り | ○ | | | |
| | | | | 207 | 34 | 7.4 | | | | | |
| O005 | 2F | 中央方式(AHU+ダクト) | 316 | 44 | 4.7 | 曇り | ○ | | | | |
| | | | 3F | 316 | 66 | | | 4.8 | | | |
| | | | 4F | 217 | 21 | | | 10.3 | | | |
| | | | 5F | 194 | 10 | | | 19.4 | | | |
| 2016/2/23 | O006 | 中央方式(AHU+ダクト) | 56 | 9 | 6.2 | 曇り | ○ | | | | |
| | | | 169 | 9 | 18.8 | | | | | | |
| | | | 178 | 14 | 12.7 | | | | | | |
| | | | 244 | 16 | 15.3 | | | | | | |
| | | | 244 | 16 | 15.3 | | | | | | |

表1 測定対象建築と空調・換気設備概要(つづき 1)

| 測定日 | 対象物件ID | 地域 | 空調方式 | 対象床面積(m ²) | 測定時在室者人数(測定者) | 一人当たりの面積(m ²) | 天候 | 特定建築物 | |
|------------|--------|----------------|--------------------|------------------------|---------------|---------------------------|-------|-------|---|
| 2016年 夏期 | | | | | | | | | |
| 2016/8/2 | T005 | 東京 | 中央方式(AHU+ダクト) | 922 | 63 | 14.6 | 曇り | ○ | |
| | T006 | | 個別方式(PAC+HEX) | 92 | 11 | 8.4 | 曇り | ○ | |
| | T017 | | 中央方式(AHU+ダクト) | 737 | 70 | 10.5 | 曇り | ○ | |
| 2016/8/3 | T018 | | 山側 | 個別方式(PAC+HEX) | 422 | 24 | 17.6 | 曇り | ○ |
| | | | 海側 | | 645 | 58 | 11.1 | | |
| 2016/8/3 | T019 | | 2F | 中央方式(AHU+ダクト) | 1152 | 121 | 9.5 | 曇り | ○ |
| | | | 3F | | 1152 | 40 | 28.8 | | |
| 2016/8/9 | O002 | | 1F | 中央方式(AHU+ダクト) | 180 | 21 | 8.6 | 晴 | ○ |
| | | | 7F | | 248 | 39 | 6.4 | | |
| | | | 9F | | 200 | 18 | 11.1 | | |
| 2016/8/8 | O003 | 2F-1 | 中央方式(AHU+ダクト) | 90 | 10 | 9.0 | 晴 | ○ | |
| | | 2F-2 | | 148 | 12 | 12.3 | | | |
| | | 5F | | 109 | 16 | 6.8 | | | |
| 2016/8/8 | O004 | | 個別方式(PAC+HEX) | 119 | 11 | 10.8 | 晴 | ○ | |
| 2016/8/9 | O005 | 大阪 | 中央方式(AHU+ダクト) | 1F | 253 | 40 | 6.3 | 晴 | ○ |
| | | | | 2F | 207 | 28 | 7.4 | | |
| | | | | 3F | 316 | 51 | 6.2 | | |
| | | | | 4F | 316 | 59 | 5.4 | | |
| | | | | 5F | 217 | 22 | 9.9 | | |
| 2016/8/9 | O008 | | 個別方式(PAC+HEX) | 1F | 56 | 14 | 4.0 | 晴 | ○ |
| | | | | 2F | 169 | 8 | 21.1 | | |
| | | | | 4F | 178 | 10 | 17.8 | | |
| | | | | 5F | 244 | 7 | 34.9 | | |
| 2017年 夏期 | | | | | | | | | |
| 2017/8/25 | H01 | 北海道 | 中央式(AHU+ダクト) | 200 | 11(6) | 11.8 | - | - | |
| | H02 | 北海道 | 個別方式(PAC+換気装置) | 25 | 0(3) | 8.3 | - | - | |
| | H03 | 北海道 | 個別方式(PAC) | 75 | 5(5) | 7.5 | - | - | |
| 2018年 冬期 | | | | | | | | | |
| 2018/1/10 | E01 | 東京 | 個別方式(PAC+換気装置) | 118 | 12(7) | 6.2 | 晴 | ○ | |
| | | | 個別方式(PAC+外調機+換気装置) | 1F | 328 | 22(7) | 11.3 | 晴 | |
| | | | | 2F | 409 | 22(7) | 14.1 | 晴 | |
| | | | | 3F | 614 | 33(8) | 15.0 | 晴 | |
| 2018/3/5 | W01 | 大阪 | 個別方式(PAC+換気装置) | 124 | 6(5) | 11.3 | 雨 | | |
| | | | 個別方式(PAC)換気なし | 109 | 12(5) | 6.4 | 雨 | | |
| 2018年 夏期 | | | | | | | | | |
| 2018/9/18 | E01 | 東京 | 個別方式(PAC+換気装置) | 118 | 5(5) | 11.8 | 晴 | ○ | |
| 2018/8/23 | E02 | | 個別方式(PAC+外調機) | 1F | 328 | 21(3) | 13.7 | 晴 | |
| | | | | 2F | 409 | 21(3) | 17.0 | | |
| | | | | 3F | 614 | 27(9) | 17.1 | | |
| 2018/9/18 | E03 | | 個別方式(PAC+換気装置) | 169 | 12(7) | 8.9 | 晴 | | |
| | E04 | | 中央方式(外調機) | 1178 | 77(6) | 14.2 | 晴 | ○ | |
| 2018/8/27 | F01 | | 福岡 | 個別方式(PAC)換気なし | 133 | 10(5) | 8.9 | 晴 | ○ |
| | | | | 個別方式(PAC+換気装置) | 44 | 1(8) | 4.9 | 曇り | |
| | | | | 個別方式(PAC+換気装置) | 93 | 7(4) | 8.5 | 曇/雨 | |
| 2018/8/28 | F02 | | 個別方式(PAC+換気装置) | 122 | 4(3) | 17.4 | 晴 | | |
| | | 383 | | 10(5) | 25.5 | 晴 | ○ | | |
| 2018/8/28 | W01 | 大阪 | 個別方式(PAC+換気装置) | 124 | 2(6) | 15.5 | 晴 | | |
| | | | 個別方式(PAC)換気なし | 109 | 12(4) | 6.8 | 晴 | | |
| 2018/8/29 | W03 | 中央方式(外調機+PAC) | 193 | 15(4) | 10.2 | 晴 | ○ | | |
| 2019年 冬期 | | | | | | | | | |
| 2018/12/19 | E03 | 東京 | 個別方式(PAC+換気装置) | 169 | 8(8) | 10.6 | 晴 | | |
| | | | 中央式(外調機) | 1178 | 76(7) | 14.2 | 晴 | ○ | |
| | | | 個別方式(PAC)換気なし | 133 | 12(8) | 6.7 | 晴 | ○ | |
| 2018/12/18 | E06 | 神奈川 | 中央式(外調機) | 204 | 13(8) | 9.7 | 晴 | | |
| | | | 123 | 9(8) | 7.2 | | | | |
| 2019/1/10 | F01 | 福岡 | 個別方式(PAC+換気装置) | 44 | 1(7) | 5.5 | 一 | | |
| | | | 個別方式(PAC+換気装置) | 93 | 6(3) | 10.3 | 一 | | |
| | | | 個別方式(PAC+換気装置) | 122 | 11(3) | 8.7 | 一 | | |
| | | | 個別方式(PAC+換気装置) | 383 | 14(4) | 21.3 | 一 | ○ | |
| | | | W03 | 大阪 | 中央式(外調機+PAC) | 193 | 26(3) | 6.7 | 一 |
| 2019年 夏期 | | | | | | | | | |
| 2019/8/2 | E06 | 神奈川 | 中央式(外調機) | 204 | 19(4) | 8.9 | 晴 | | |
| | | | 123 | 9(8) | 7.2 | 晴 | | | |
| 2019/8/1 | E07 | 東京 | 個別方式(PAC+換気装置) | 55 | 3(5) | 6.9 | 晴 | | |
| | | | 中央式(外調機) | 1050 | 150(5) | 6.8 | 晴 | ○ | |
| | | | 個別方式(PAC+換気装置) | 92.4 | 9(5) | 6.6 | 晴 | | |
| 2019/8/27 | E10 | 個別方式(PAC+換気装置) | 93 | 11(4) | 6.2 | 晴 | | | |
| | | | 196 | 2(3) | 39.2 | 晴 | | | |
| 2019/8/29 | A01 | 愛知 | 個別方式(PAC+換気装置) | 110 | 12(3) | 7.3 | 晴 | | |
| | | | 96 | 3(6) | 10.7 | 晴 | ○ | | |
| 2019/8/30 | A02 | 中央式(外調機) | 176 | 12(6) | 9.8 | 曇り | | | |
| | | | A03 | 個別方式(PAC+換気装置) | 266 | 15(4) | 14.0 | 雨 | ○ |

表1 測定対象建築と空調・換気設備概要(つづき 2)

| 測定日 | 対象物件ID | 地域 | 空調方式 | 対象床面積(m ²) | 測定時在室者人数(測定者) | 一人当たりの面積(m ²) | 天候 | 特定建築物 |
|-----------|--------|----|----------------|------------------------|---------------|---------------------------|----|-------|
| 2020年 冬期 | | | | | | | | |
| 2020/1/15 | E07 | 東京 | 個別方式(PAC+換気装置) | 55 | 3(5) | 6.9 | 雨 | |
| 2020/2/17 | E08 | | 中央式(外調機) | 1050 | 98(6) | 10.1 | 晴 | ○ |
| 2020/2/14 | E09 | | 個別方式(PAC+換気装置) | 92 | 11(6) | 5.4 | 曇り | |
| 2020/2/21 | E10 | | 個別方式(PAC+換気装置) | 93 | 11(6) | 5.5 | 晴 | |
| 2020/2/17 | E11 | | 中央式(外調機) | 196 | 5(6) | 17.8 | 晴 | |
| 2020/1/15 | E12 | | 個別方式(PAC+換気装置) | 110 | 9(7) | 6.9 | 曇り | |
| 2020/2/21 | E13 | 群馬 | 個別方式(PAC+換気装置) | 330 | 21(5) | 12.7 | 晴 | |
| | E14 | 東京 | 中央式(外調機) | 1350 | 102(6) | 12.5 | 晴 | ○ |
| 2020/2/13 | A01 | 愛知 | 中央式(外調機) | 96 | 7(6) | 7.4 | 曇り | ○ |
| | A02 | | 個別方式(PAC+換気装置) | 176 | 9(6) | 11.7 | 曇り | |
| | A03 | | 個別方式(PAC+換気装置) | 266 | 13(6) | 14.0 | 晴 | ○ |

*換気装置は稼働を問わず記載している。

*人数(測定者)は立ち入り調査時の在室者数を示す。

*天候は立ち入り調査時の天候を示す。

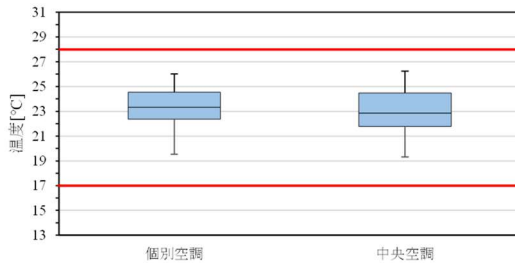


図4 冬期の室内温度四等分値

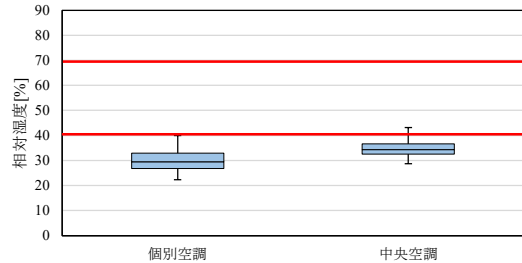


図6 冬期の室内相対湿度四等分値

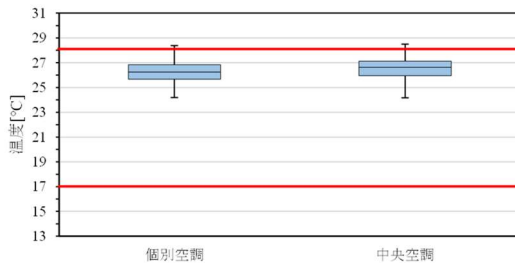


図5 夏期の室内温度四等分値

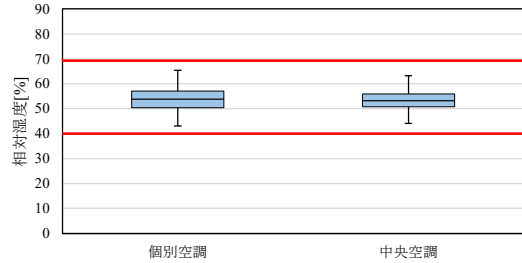


図7 夏期の室内相対湿度四等分値

C. 研究結果および考察

C1. 個別方式空調と中央方式空調における室内空気環境の比較

(1) 温度

図4と図5に空調方式別による冬期と夏期の室内温度の四等分値(最大値、75%タイル値、中央値、25%タイル値、最小値、以後同)を示す。夏期の最大値を示すビルを除けば、すべてが建築物衛生法の管理基準値を満足した。夏期に始業時の室内温度が28℃をわずかながら上回った。

中央値については、冬期の個別空調で23.3℃、

中央空調で22.8℃、夏期の中小規模で26.2℃、特定建築物で26.6℃であった。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。

(2) 相対湿度

図6と図7に空調方式別による冬期と夏期の室内相対湿度の四等分値を示す。冬期では、40%を上回った中央方式のビルがみられたが総じて建築物衛生法の管理基準値の下限值40%を下回った。

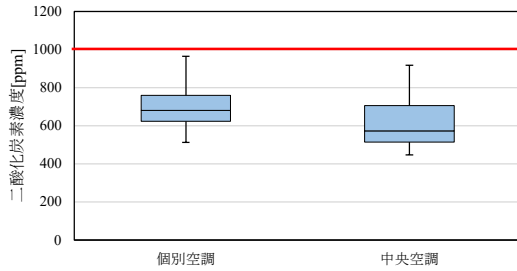


図 8 冬期の室内 CO₂ 濃度四等分値

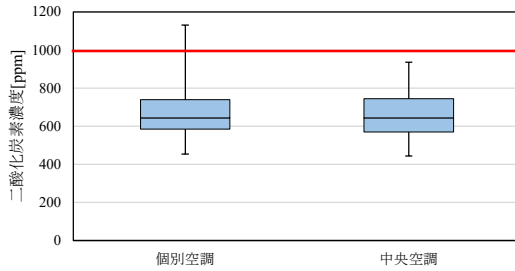


図 9 夏期の室内 CO₂ 濃度四等分値

中央値については、冬期の個別空調で 29.4%、中央空調で 34.3%であり、中央方式が 5%高かった。一方、夏期では個別空調で 53.9%、中央空調では 53.3%であり、ほぼ同じであった。

(3) CO₂ 濃度

図 8 と図 9 に空調方式別による冬期と夏期の室内 CO₂ 濃度の四等分値を示す。建築物衛生法の管理基準値 1000ppm を超えた個別方式のビルがあったが、総じて 1000ppm を下回った。

中央値については、冬期の個別空調で 680ppm、中央空調で 573ppm であり、中央方式の方が約 100ppm 低かった。一方、夏期では個別空調で 644ppm、中央空調で 643ppm であり、ほぼ同じであった。

(4) 浮遊微生物

1) 浮遊細菌

図 10 と図 11 に空調方式別による冬期と夏期の室内浮遊細菌濃度の四等分値を示す。建築物衛生法に浮遊微生物に関する管理基準が定められていないが、日本建築学会ではオフィスビルの浮遊

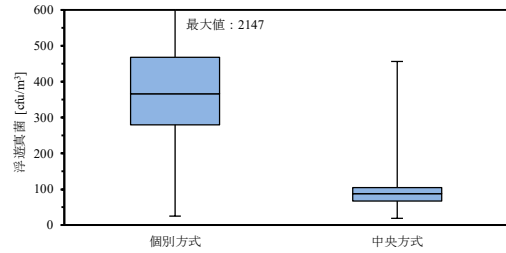


図 10 冬期の室内浮遊細菌濃度四等分値

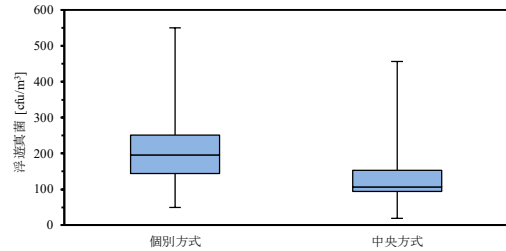


図 11 夏期の室内浮遊細菌濃度四等分値

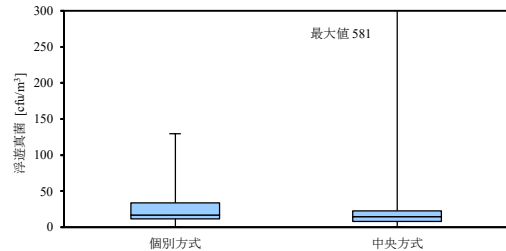


図 12 冬期の室内浮遊真菌濃度四等分値

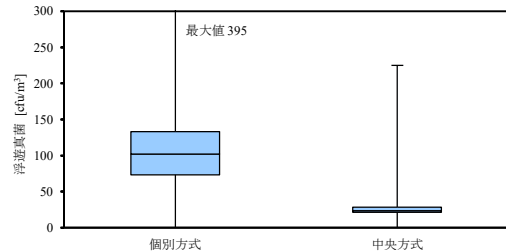


図 13 夏期の室内浮遊真菌濃度四等分値

細菌濃度を 500cfu/m³ 以下との維持管理基準がある。中央値は何れも 500cfu/m³ を下回っているが、冬期と夏期ともに中央方式より個別方式の室内浮遊細菌濃度が高くなっている。また、個別方式では夏期より冬期の方は室内濃度が高かった。

2) 浮遊真菌

図 12 と図 13 に空調方式別による冬期と夏期

の室内浮遊真菌濃度の四等分値を示す。日本建築学会の室内浮遊真菌維持管理基準を 50cfu/m^3 と定めている。夏期の個別方式の室内濃度の中央値が 50cfu/m^3 を上回った。

(5) 浮遊微粒子

図14と図15に空調方式別による冬期と夏期の室内粒径別浮遊粒子濃度の四等分値を示す。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。これは、室内浮遊粒子をろ過するためのフィルタの性能の差異によるものと推察された。

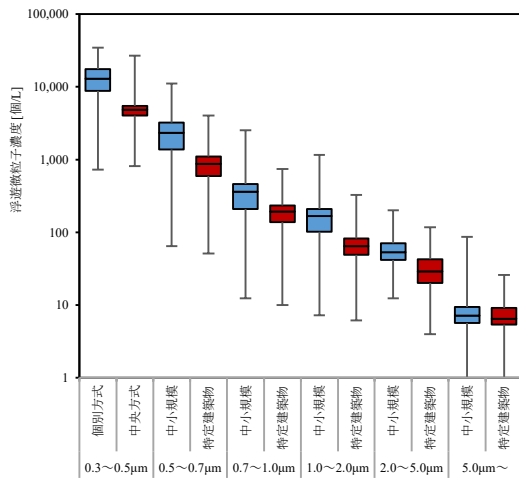


図14 冬期の室内浮遊粒子濃度四等分値

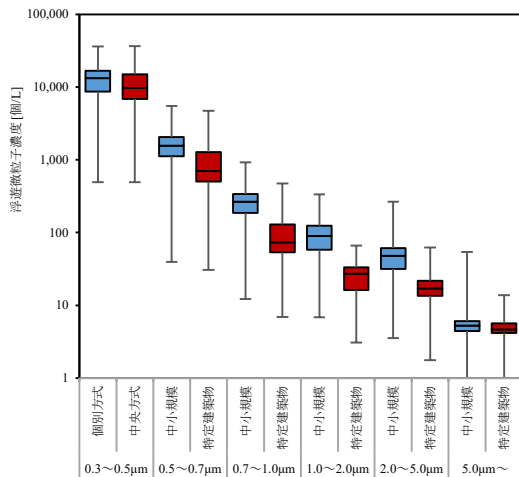


図15 夏期の室内浮遊粒子濃度四等分値

C2. 個別方式空調と中央方式空調における感染リスクの比較

(1) 室内汚染物質濃度の構成機構

中央方式空調を有する室内エアロゾル粒子の濃度はマスバランスにより式(1)と式(2)より表される。

$$C = C_s + \frac{M}{Q} (1 - e^{-\frac{Q}{V}t}) \quad (1)$$

$$C_s = \frac{(Q_o C_o + Q_r C) \times (1 - \eta)}{Q} \quad (2)$$

- C : 室内汚染物質濃度 [個/ m^3]
- C_s : 給気中汚染物質濃度 [個/ m^3]
- C_o : 外気中汚染物質濃度 [個/ m^3]
- M : 室内汚染発生量 [個/h]
- Q : 送風量 [m^3/h]
- Q_o : 外気量 [m^3/h]
- Q_r : 還気量 [m^3/h]
- V : 室容積 [m^3]
- t : 経過時間 [h]
- η : 空調機中エアフィルタの捕集率 [-]

感染リスクを低減することは、室内空气中汚染物質濃度 C を下げることであり、その方法としてフィルタのろ過による給気濃度 C_s の低減、発生量 M の抑制、換気量 Q の増加による希釈である。以下に、フィルタによるろ過、換気による希釈について検討を行った。

(2) エアフィルタによるろ過

エアフィルタは主として、粒子が大きいほど効果が大きくなる慣性衝突、粒子が小さいほど効果が大きくなる拡散、およびさえぎりと静電気のメカニズムにより、フィルタろ材近傍の浮遊粒子を捕集するが、 $0.2\mu\text{m}$ 前後の粒子に対する総合的な捕集率が最も低くなる。表2にASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 米国暖房冷凍空調学会) 基準に基づく粒径別浮遊粒子に対する

エアフィルタの捕集率を示す¹⁾。表中の E1~E3 の 3 グループはそれぞれの対象粒径を 0.3~1.0 μm 、1.0~3.0 μm 、3.0~10 μm を表している²⁾。

中央方式の空調機には一般的に中性能エアフィルタが使用されている。比色法 (NBS 法、JIS9908:2001) 60%、75%、90%、95%の中性能エアフィルタはそれぞれ MERV11、12、13、14

(MERV: Minimum efficiency reporting values, 粒径別最小捕集率報告値) に相当する³⁾。捕集性能 MERV12 以上のフィルタは、呼吸器系由来の感染性エアロゾル粒径の<5-10 μm ⁴⁻⁹⁾の大きい飛沫核に対し 90%以上の捕集率を示す。

一方、パッケージエアコンのような個別方式の空調機には一般に標準仕様として質量法 50%程度の粗塵用フィルタしか備えられておらず、感染性エアロゾルに対する捕集率は 20%以下になる。

表2 粒径別最小捕集率報告値(MERV)

| MERV | 0.3-1.0 μm | 1.0-3.0 μm | 3.0-10 μm | 質量法 | 比色法 |
|------|--------------------------|--------------------------|----------------------|-----|-----|
| 1 | n/a | n/a | E3<20 | <65 | - |
| 2 | n/a | n/a | E3<20 | 65 | - |
| 3 | n/a | n/a | E3<20 | 70 | - |
| 4 | n/a | n/a | E3<20 | 75 | - |
| 5 | n/a | n/a | 20 \leq E3 | 80 | - |
| 6 | n/a | n/a | 35 \leq E3 | 80 | - |
| 7 | n/a | n/a | 50 \leq E3 | 90 | 40 |
| 8 | n/a | 20 \leq E ₂ | 70 \leq E3 | 90 | 40 |
| 9 | n/a | 35 \leq E ₂ | 75 \leq E3 | | 50 |
| 10 | n/a | 50 \leq E ₂ | 80 \leq E3 | | 50 |
| 11 | 20 \leq E ₁ | 65 \leq E ₂ | 85 \leq E3 | | 60 |
| 12 | 35 \leq E ₁ | 80 \leq E ₂ | 90 \leq E3 | | 75 |
| 13 | 50 \leq E ₁ | 85 \leq E ₂ | 90 \leq E3 | | 90 |
| 14 | 75 \leq E ₁ | 90 \leq E ₂ | 95 \leq E3 | | 95 |
| 15 | 85 \leq E ₁ | 90 \leq E ₂ | 95 \leq E3 | | 98 |
| 16 | 95 \leq E ₁ | 95 \leq E ₂ | 95 \leq E3 | | - |

n/a: not available

(3) 換気

飛沫中の活性物質粒子の粒径の殆どは<5-10 μm であること、10 μm 以下の粒子の沈降速度は 0.003m/s 以下であり、空調・換気設備が運転する室内の気流によって容易に遠くまで (最終は還気口) 運ばれることから、換気量の確保と適正な室内気流計画によって SARS-CoV-2 を含んだエアロゾルを制御することは可能であることが分かる。

WHO では、換気回数が 2 ACH (Air Change per Hour、回/h) 以下の場合、非隔離病室で勤務していた臨床スタッフの間の皮膚テストのツベルクリン反応率は高くなると報告している^{10、11)}。

換気量と感染リスク (確率) の関係について Wells-Riley モデルがある。Wells は¹²⁾、換気が一定で室内の空気が完全混合の状態の場合、肺結核の空気感染の確率がポアソン分布に従うとしている。また、閉鎖空間では 1 quanta の感染核を各被感染者が吸入した場合に平均的 63.2% (1-e⁻¹) が感染し、式 (3) により感染リスク (確率) が推定可能であるとしている。Quanta は quantum の複数形で、量を表すラテン語である。Wells は Quanta を最小感染単位と定義した。

$$P_I = \frac{C}{S} = 1 - e^{-\frac{Iqpt}{Q}} \quad (3)$$

P_I : 感染確率 [-]

C : 新たな感染者数 [人]

S : 感受者宿主数 [人]

I : 感染者数 [人]

Q : 室換気量 [m^3/s]

q : 発生量 [quanta/s]

p : 一人当たり呼吸量 [$\text{m}^3/(\text{人}\cdot\text{s})$]

t : 曝露時間 [s]

感染のリスクを下げるために、式 (3) 中の換気量 Q を増やす必要がある。また、中央方式空調のオフィスビルなどの場合、省エネを図るため、還気を取るの是一般的である (図 1)。この場合、空調機内のフィルタの捕集率が高ければ、室内から還気中の感染性エアロゾルの濃度を低減させることができる。

Dai ら¹³⁾は、これまで報告されている MERS、SARS-CoV-1、Influenza、Measles の R_0 値と quanta 値を用いた解析では、SARS-CoV-2 の quanta は 14~48h⁻¹ であるとしている。図 16 に図中に示す条件で求めた感染確率 (式 3 中の P_I) と換気回数 (ACH) の関係を示す。換気量が多ければ多い

ほど、感染確率が指数関数的に低くなることが分かる。

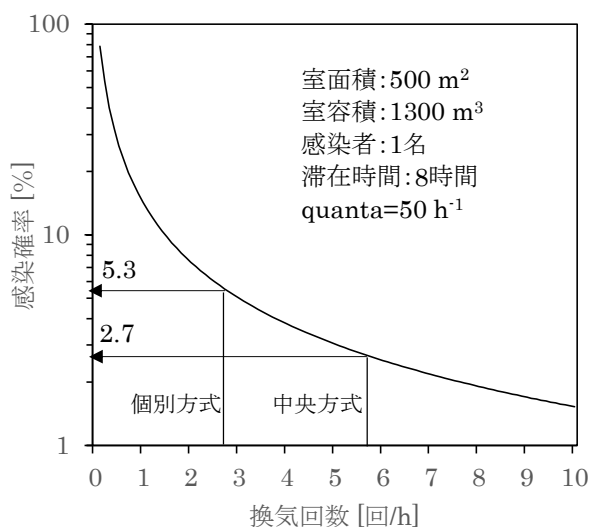


図16 感染確率と換気量の関係

中央方式空調を有する一般のオフィスビルでは、換気回数は2回/h程度、循環送風量は6回/h（外気の2回/hを含む）程度である。仮に、MERV12（表2）に相当する中性能フィルタ（比色法75%）を用いれば、感染性エアロゾルの捕集率が90%になり（前出）、清浄な空気の相当換気回数は5.6回/h（ $2+4 \times 0.9$ ）になるため、quantaが 50h^{-1} であっても、その感染確率は2.7%になると予想される（図16）。

個別方式については、外調機を用いる中央換気・個別冷暖房方式があるが（図2）、外調機に備えられているフィルタは外気中粒子状物質のろ過に有効であるが、還気を取らないため室内の感染者から発生する感染性エアロゾル濃度の低減に寄与しない。図3に個別冷暖房・個別換気方式では、前述した通り、標準仕様として一般に室内機に質量法50%程度の粗塵用フィルタが使用されている。この場合の捕集性能はMERV1に相当し、感染性エアロゾルに対する捕集率が20%以下になり、循環風量が中央式と同じである場合の相当換気回数は2.8回/h（ $2+4 \times 0.2=2.8$ ）になるため、感染確率は前述した中央方式の約2倍の5.3%になると予想される（図16）。感染症対策の視点からパッケージエアコンのフィルタをオプション仕様の中

性能フィルタにグレードアップすることが望ましい。

D. 結論

D1. 個別空調方式と中央空調方式の室内環境の比較

2014年～2019年度におけるオフィスビル計138室の調査結果を空調方式別で解析した結果下記の事柄が分かった。

① 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°C 高く、夏期に 0.4°C 低くなっている。

② 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。

③ CO_2 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。

④ 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 $500\text{cfu}/\text{m}^3$ 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 $50\text{cfu}/\text{m}^3$ を上回ったが、ほかは当該基準を満足した。

⑤ 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。

D2. 個別方式空調と中央方式空調における感染リスクの比較

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（MERV1）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。

E. 研究発表

1. 論文発表

- 1) Motoya Hayashi, U Yanagi, Kenichi Azuma, Naoki Kagi, Masayuki Ogata, Shoichi Morimoto, Hirofumi Hayama, Taro Mori, Koki Kikuta, Shin-ich Tanabe, Takashi Kurabuchi, Hiromi Yamada, Kenichi Kobayashi, Hoon Kim and Noriko Kaihara. Measures against COVID-19 concerning Summer Indoor Environment in Japan. *Japan Architectural Review*, Volume 3, Issue 4, 2020
<https://doi.org/10.1002/2475-8876.12183>
- 2) Kenichi Azum, U Yanagi, Naoki Kagi, Hoon Kim, Masayuki Ogata and Motoya Hayashi, 2020. Environmental factors involved in SARS-CoV-2 transmission: effect and role of indoor environmental quality in the strategy for COVID-19 infection control. *Environmental Health and Preventive Medicine*, Volume 3, Issue 4, 2020
<https://doi.org/10.1186/s12199-020-00904-2>
- 3) 柳 宇：ウイルス感染拡大を抑えるために設備技術者ができることー感染とその制御, BE 建築設備, 第 71 巻, 第 7 号, pp.14-20, 2020
- 4) 柳 宇：建築環境における SARS-CoV-2 の挙動とその対策方法, ビルと環境, 第 170 号, pp.21-35, 2020
- 5) 柳 宇：空調・換気・UVGI による感染性エアロゾルの対策, 空気清浄, 第 58 巻, 第 3 号, pp.26-33, 2020
2. 学会発表
- 1) 林基哉, 小林健一, 金 勲, 開原典子, 島崎大, 柳 宇, 長谷川兼一, 東賢一, 鍵直樹, 中野淳太, 樺田尚樹：建築物の環境衛生管理の実態に関する全国調査 その 1 事務所建築の空気環境不適率, 第 79 回日本公衆衛生学会総会抄録, p.480, 2020
- 2) 斎藤敬子, 島崎大, 林基哉, 開原典子, 金 勲, 中野淳太, 鍵直樹, 東賢一, 長谷川兼一, 柳 宇, 小林健一, 樺田尚樹：建築物の環境衛生管理の実態に関する全国調査 その 2 空気環境測定に関する実態調査, 第 79 回日本公衆衛生学会総会抄録, p.480, 2020
- 3) 開原典子, 金 勲, 東賢一, 柳 宇, 鍵直樹, 長谷川兼一, 中野淳太, 島崎大, 樺田尚樹, 斎藤敬子, 小林健一, 林基哉：建築物の環境衛生管理の実態に関する全国調査 その 3 室内湿度の実態と課題, 第 79 回日本公衆衛生学会総会抄録, p.480, 2020
- 4) 金 勲, 小林健一, 開原典子, 島崎大, 林基哉, 東賢一, 柳 宇, 鍵直樹, 長谷川兼一, 樺田尚樹, 中野淳太, 斎藤敬子：建築物の環境衛生管理の実態に関する全国調査 その 4 冷暖房期の CO2 濃度と換気の実態, 第 79 回日本公衆衛生学会総会抄録, p.480, 2020
- 5) 中野淳太, 鍵直樹, 柳 宇, 金 勲, 林基哉, 開原典子, 東賢一, 長谷川兼一, 島崎大, 樺田尚樹, 小林健一：建築物の環境衛生管理の実態に関する全国調査 その 5 中小規模・特定建築物の温熱環境, 第 79 回日本公衆衛生学会総会抄録, p.481, 2020
- 6) 鍵直樹, 柳 宇, 金 勲, 東賢一, 中野淳太, 島崎大, 小林健一, 長谷川兼一, 開原典子, 斎藤敬子, 樺田尚樹, 林基哉：建築物の環境衛生管理の実態に関する全国調査 その 6 室内 PM2.5 濃度の実態, 第 79 回日本公衆衛生学会総会抄録, p.481, 2020
- 7) 東賢一, 鍵直樹, 柳 宇, 金 勲, 中野淳太, 長谷川兼一, 島崎大, 開原典子, 樺田尚樹, 林基哉, 小林健一：建築物の環境衛生管理の実態に関する全国調査 その 7 ビル関連病と室内環境, 第 79 回日本公衆衛生学会総会抄録, p.481, 2020
- 8) 長谷川兼一, 東賢一, 鍵直樹, 柳 宇, 金 勲, 中野淳太, 島崎大, 開原典子, 樺田尚樹,

林基哉，小林健一：建築物の環境衛生管理の実態に関する全国調査 その 8 建築規模と執務者の曝露環境，第 79 回日本公衆衛生学会総会抄録，p.481，2020

- 9) 島崎大，開原典子，金 勲，小林健一，林基哉，斎藤敬子，中野淳太，鍵直樹，東賢一，長谷川兼一，柳 宇，樺田尚樹：建築物の環境衛生管理の実態に関する全国調査 その 9 給水管理状況と課題，第 79 回日本公衆衛生学会総会抄録，p.482，2020
- 10) 柳 宇，鍵直樹，金 勲，野淳太，中東賢一，長谷川兼一，島崎大，開原典子，樺田尚樹，林基哉，小林健一：建築物の環境衛生管理の実態に関する全国調査 その 10 中小規模と特定建築物の比較，第 79 回日本公衆衛生学会総会抄録，p.482，2020

F. 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) ANSI/ASHRAE Standard 52.2-2017. Method of Testing General Ventilation Air-Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size. 2018
- 2) NIOSH. Filtration and Air-Cleaning Systems to Protect Building Environments. 2003
- 3) 大垣豊：各国の一般換気用エアフィルタの規格にける捕集率の比較に関する指針（JACA No.53），空気清浄，第 56 巻，第 1 号，pp.36-40，2018
- 4) Chao CYH, Wan MP, Morawska L, et al. Characterization of expiration air jets and droplet size distributions immediately at the mouth opening. *J Aerosol Sci.* 2009; 40: 122-133.
- 5) Papineni RS, Rosenthal FS. The size distribution of droplets in the exhaled breath of healthy human subjects. *J Aerosol Med.* 1997; 10: 105-116.
- 6) Edwards DA, Man JC, Brand P, et al. Inhaling to mitigate exhaled bioaerosols. *PNAS.* 2004; 101: pp.17383-17388, 2004
- 7) Fang M, Lau APS, Chan CK, et al. Aerodynamic properties of biohazardous aerosols in hospitals. *Hong Kong Med J.* 2008; 14: 26-28.
- 8) Fabian P, McDevitt JJ, DeHaan WH, et al. Influenza virus in human exhaled breath: an observational study. *PLoS ONE.* 2008; 3: e2691.
- 9) Morawska L, Johnson GR, Ristovski ZD, et al. Size distribution and sites of origin of droplets expelled from the human respiratory tract during expiratory activities. *J Aerosol Sci.* 2009; 40: 256-269.
- 10) WHO. Natural ventilation for infection control in health-care settings. 2009. ISBN 978 92 4 154785 7
- 11) Menzies D, Fanning A, Yuan L,

FitzGerald JM. Hospital ventilation and risk for tuberculous infection in Canadian health care workers. *Ann Internal Med.* 133 (10), pp.779–789, 2000

- 12) Wells WF: Airborne Contagion and Air Hygiene. An Ecological Study of Droplet Infections. Harvard University Press , Cambridge, 1955.
- 13) Dai H, Zhao B. Association of the infection probability of COVID-19 with ventilation rates in confined spaces. *Building Simulation*, volume 13, pp.1321–1327, 2020