

平成29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）
分担研究報告書

2. 室内空気環境衛生の実態

分担研究者	柳 宇	工学院大学建築学部 教授
分担研究者	鍵 直樹	東京工業大学環境・社会理工学院 准教授
分担研究者	金 勲	国立保健医療科学院 主任研究官
分担研究者	東 賢一	近畿大学医学部 准教授
分担研究者	長谷川兼一	秋田県立大学システム科学技術学部 教授

研究要旨

本研究では、中規模建築物における空気衛生環境及び給排水の管理に係る実態を把握する目的で現場測定を行った。調査項目は、温度・湿度・CO₂濃度、浮遊微生物（カビ、細菌濃度）、パーティクル、PM2.5、化学物質（アルデヒド類、VOCs）、エンドトキシン（細菌内毒素）である。

温湿度、CO₂、微生物及びパーティクル濃度は夏期実測に対する結果のみ解析が行われた。温度は全ビルの75パーセンタイル値は管理基準17~28を満足していた。最高温度は28を超えることがあったが、28を上回ると温度が急に下がることから、低い温度設定の冷房運転がされていた。相対湿度は上限の70%を超えることはなく、すべてのビルの相対湿度中央値は50%以下となっていた。CO₂濃度の中央値は400~700ppmの範囲にあったが、窓の閉め切りなどにより1,000ppmを超える時間帯も生じていた。

浮遊細菌濃度において、日本建築学会の維持管理基準値を満足する結果となった。外気濃度より室内濃度（I/O比）が高くなっていったが、2物件は室内濃度と外気濃度が比較的近い濃度が検出された。給気中の浮遊細菌濃度より室内の浮遊細菌濃度が高く、室内に細菌の発生源（人体）があることが再確認された。空調方式別にみると、AHU方式がPAC方式よりも比較的に低い濃度を示した。

パーティクル濃度のI/O比は、1物件で5.0μm以上の粒径で顕著に高い結果を示した以外は1.0を下回った。粒径0.3~0.5μmのI/O比は全て1.0を下回った。空調方式ではAHUのI/O比は低かった。浮遊粒子濃度のS/O比（給気/外気濃度）では、1.0μm以下の粒径が1.0を上回る結果となり、空調機内での浮遊粒子の汚染発生が示唆された。粒径が小さくなるにつれて、給気濃度の方が高くなる傾向が見られた。

室内PM2.5は10μg/m³以下と大気環境基準を下回った。I/O比<1.0と、既往調査の特定建築物と同様の傾向となった。PM2.5の全国大気濃度を調べた結果、北東部では濃度が低く、南西部では濃度が高い傾向が確認できた。特に冬季における九州地方の濃度が他の地域と比較して高い。

化学物質では、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドは全測定点で低い水準であり、ホルムアルデヒドは平均濃度13.6±8.3μg/m³、アセトアルデヒドは10.9±5.5μg/m³であった。VOCs成分も厚生労働省指針値未満となり、TVOC暫定目標値も上回ることはなかった。全物質とも外気からは殆ど検出されていないか低かったことから室内由来が多い。

ET濃度は2ヶ所を除いた7ヶ所が0.5EU/m³未満であり、一般的なオフィス濃度レベルにあった。一方、3月の大阪実測ではやや高い傾向が示されたが、雨天による影響の可能性も疑われることから、今後の影響因子として考慮してゆく必要がある。

研究協力者

谷川 力（公社）日本ペストコントロール協会
渡邊康子（公社）全国ビルメンテナンス協会

奥村龍一 東京都健康安全研究センター
齋藤敬子（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

2. 室内空気環境衛生の実態

建築物衛生法が適用される特定建築物（店舗、事務所等の特定用途で延床面積 3000 m²以上の建築物、同 8000 m²以上の学校）には、建築物環境衛生管理基準の遵守、その管理実態の報告、建築物環境衛生管理技術者の選任等が義務づけられている。同法が適用されない中小規模の建築物（以下、中小建築物）においても衛生管理に努めるように記されているが、現在は監視や報告の義務がないことから衛生管理状況の実態が不明瞭となっている。

そこで本研究では、建築物衛生法が適用されない 2000～3000 m²の中規模建築物における空気衛生環境及び給排水の管理に係る実態を把握する目的で現場測定を行った。

調査項目は、温度・湿度・CO₂濃度、浮遊微生物（カビ、細菌濃度）、パーティクル、PM2.5、化学物質（アルデヒド類、VOCs）、エンドトキシン（細菌内毒素）そして貯水槽の維持管理・点検状況と蛇口飲料水の水質検査である。

但し、今年度の実測は調査と測定の方針を定めるための概況把握を目的とした試行的なものであり、全ての項目を同時に行っている訳ではない。

2-1 温度・湿度・CO₂濃度

A. 調査対象ビルの概要

測定対象を表 2-1-1 に示す北海道札幌市内にある 3 ビルとした。立ち入り測定は 2017 年 8 月 26 日であり、測定終了後に温湿度二酸化炭素（CO₂）濃度データロガーを設置し、2 週間の連続測定（測定間隔：20 分）を行った。H1～H3 ビルの空調方式は図 2-1-1～2-1-3 に示す通りである。なお、H1 と H2 ビルは機械換気であるが、H3 ビルは窓開けによる自然換気の方式をとっている。

立ち入り測定に IAQ モニター 2211（KANOMAX 製）、パーティクルカウンター、バイオサンプラー、2 週間連続測定に Thermo Recorder（TR-76Ui、T&D 社製）を用いた。

表 2-1-1 測定対象室の概要

測定対象	測定日	測定対象室面積 [m ²]	在室者 [人]	人員密度 [m ² /人]
H1	8/26～9/7	200	17	11.8
H2	8/26～9/8	25	3	8.3
H3	8/26～9/9	75	10	7.5

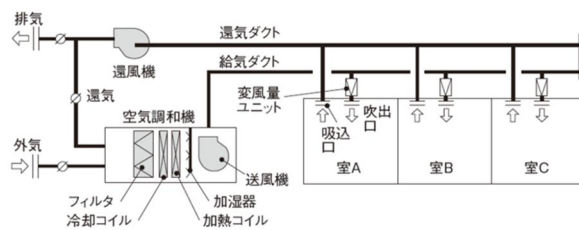


図 2-1-1 H1 ビルの空調方式

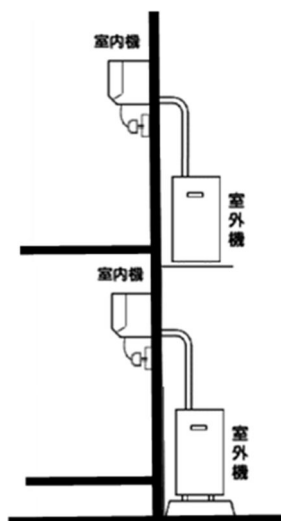


図 2-1-2 H2 ビルの空調方式

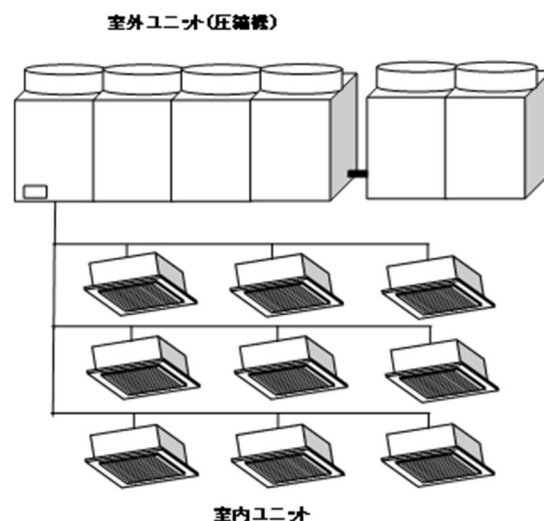


図 2-1-3 H3 ビルの空調方式

B. 測定結果

B.1 温度

図 2-1-4 に各測定対象室に 9~17 時の室内温度の四等分値（最大値、75% タイル値、中間値、25% タイル値、最小値）を示す。図中の赤線は建築物衛生法管理基準の上限値 28 を示している。

全てのビルの 75% タイル値は建築物衛生法の管理基準 17~28 を満足しているが、H1 と H2 ビルの最高温度は建築物衛生法管理基準値の上限を超えていた。

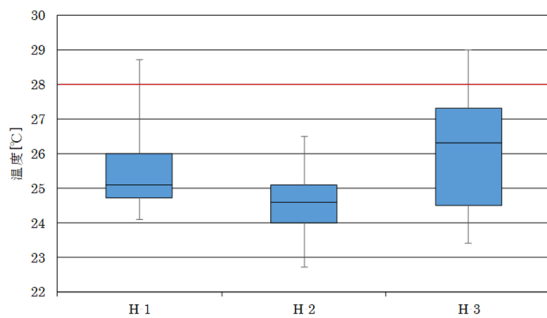


図 2-1-4 測定対象ビルの室内温度分布

図 2-1-5 と図 2-1-6 に測定対象 H-1 の室内温度の 1 週間目と 2 週間目の経時変化を示す。図中の赤枠は休日、青枠は執務時間帯（9 時～17 時）を示している。平日は 24~28 の間で変動していた。1 週間目の後半からの執務時間帯の室内温度の変動は大きく、定常状態に達することはなかった。

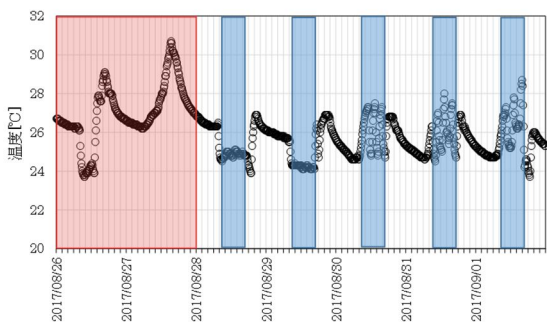


図 2-1-5 H1 ビル室内温度の経時変化(1 週間目)

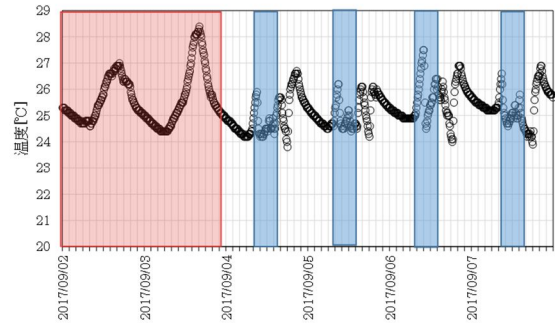


図 2-1-6 H1 ビル室内温度の経時変化(2 週間目)

図 2-1-7 と図 2-1-8 に測定対象 H2 の 1 週間目と 2 週間目の室内温度の経時変化を示す。図中の赤枠は休日、青枠は執務時間帯（9~17 時）を示す。室内温度は 22~27 の間で変動していた。前述した H1 ビルと同様に、執務時間帯の室内温度の変動は大きく、定常状態に達することはなかった。

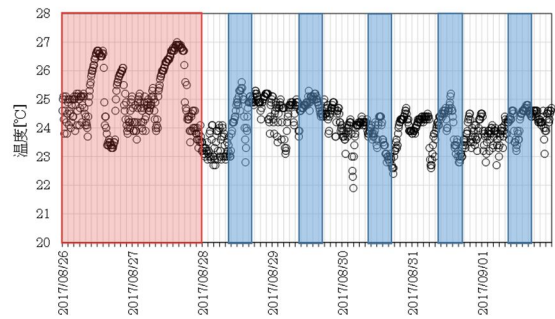


図 2-1-7 H2 ビル室内温度の経時変化(1 週間目)

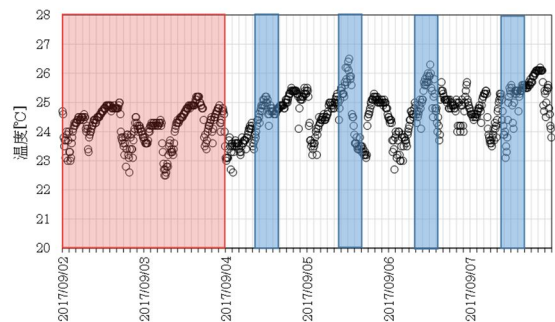


図 2-1-8 H2 ビル室内温度の経時変化(1 週間目)

図 2-1-9 と図 2-1-10 に測定対象 H3 ビルの 1 週間目と 2 週間目の室内温度の経時変化を示す。図中の赤枠は休日、青枠は執務時間帯を示す。執務時間帯にも基準値の 28 を上回る日があったが、28 を上回ると温度が急に下がり、低い温度設定の冷房運転がされていることが窺えた。

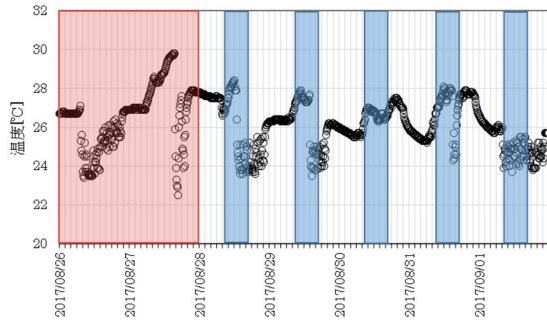


図 2-1-9 H3 ビル室内温度の経時変化(1 週間目)

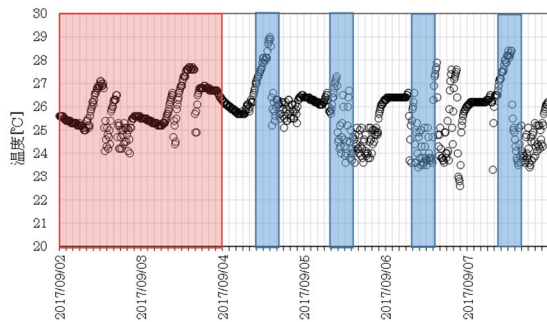


図 2-1-10 H3 ビル室内温度の経時変化(2 週間目)

B.2 相対湿度

図 2-1-11 に各測定対象の執務時間帯(9 時~17 時)の室内温度の四等分値を示す。図中の赤線は建築物衛生法の管理基準値の 40~70%を示している。何れの値が上限の 70%を超えることはなかった。また、すべてのビルの相対湿度の中央値 50%以下となっていた。

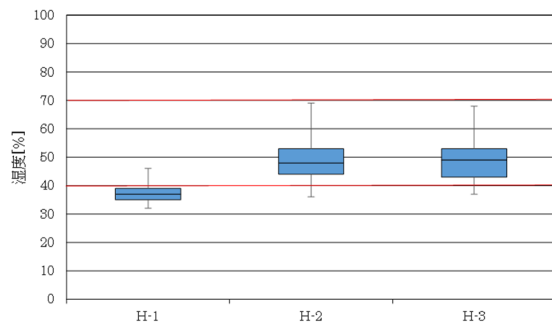


図 2-1-11 測定対象ビルの室内温度分布

図 2-1-12 と図 2-1-13 に測定対象 H1 ビルの室内相対湿度の経時変化を示す。図中の赤枠は休日、青枠は執務時間帯(9 時~17 時)を示す。室内相対湿度において、測定対象 H1 では 30~50%の間で変動していた。

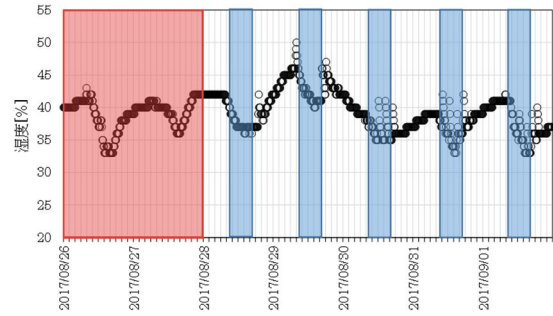


図 2-1-12 H1 ビル室内相対湿度の経時変化(1 週間目)

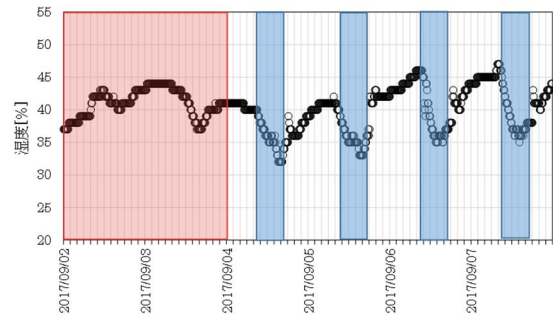


図 2-1-13 H1 ビル室内相対湿度の経時変化(2 週間目)

図 2-2-14 と図 2-2-15 に測定対象 H2 の室内相対湿度の経時変化を示す。図中の赤枠は休日、青枠は執務時間帯(9 時~17 時)を示す。相対湿度において、H2 ビルでは 35~70%の間で変動していた。

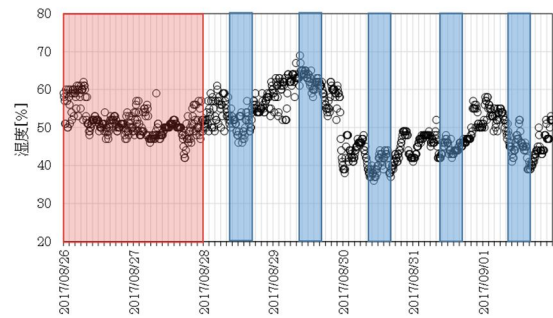


図 2-1-14 H2 ビル室内相対湿度の経時変化(1 週間目)

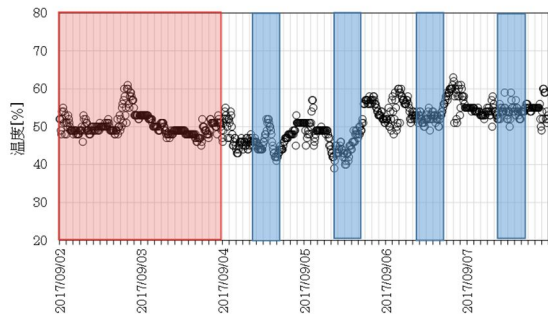


図 2-1-15 H2 ビル室内相対湿度の経時変化
(2週間目)

図 2-2-16 と図 2-2-17 に測定対象 H3 の室内相対湿度の経時変化を示す。図中の赤枠は休日、青枠は執務時間帯（9 時~17 時）を示す。相対湿度において、H3 では 35 ~ 70% の間で変動していた。最大でも基準値の 70% を超えることはなかった。

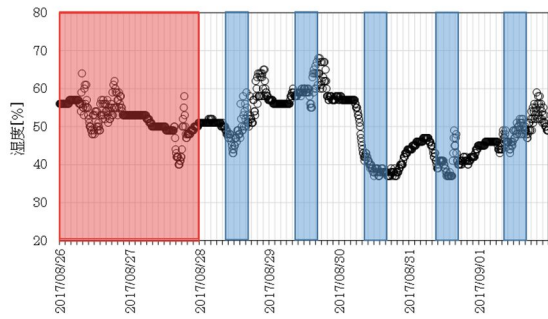


図 2-1-16 H3 ビル室内相対湿度の経時変化
(1週間目)

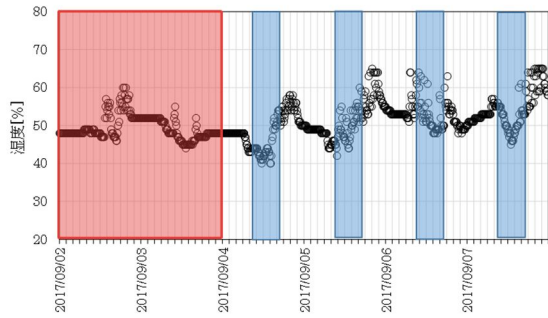


図 2-1-17 H3 ビル室内相対湿度の経時変化
(2週間目)

B.3 CO₂濃度

図 2-2-18 に各測定対象の執務時間帯（9~17 時）の CO₂ 濃度を示す。図中の赤線は建築物衛生法の管理基準の 1000ppm を示している。CO₂ 濃度の中央値は 400 ~ 700ppm の範囲にあり、十分な外気量が導入されていることが分かった。

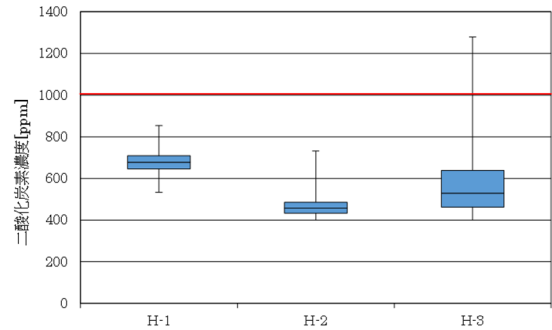


図 2-1-18 測定対象ビルの室内 CO₂ 濃度の分布

図 2-1-19 と図 2-1-20 に H1 の室内 CO₂ 濃度の経時変化を示す。図の赤枠は休日、青枠は執務時間帯（9 時~17 時）を示す。H1 の室内 CO₂ 濃度については、400ppm ~ 900ppm の間で変動していた。建築物衛生法により定められた基準値

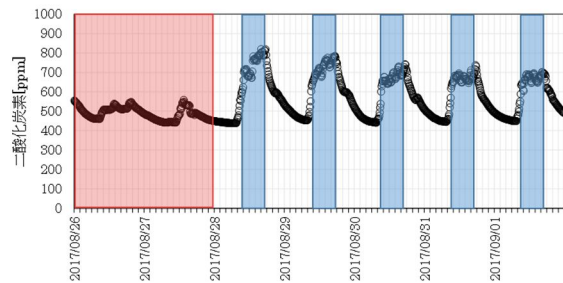


図 2-1-19 H-1 室内 CO₂ 濃度の経時変化
(1週間目)

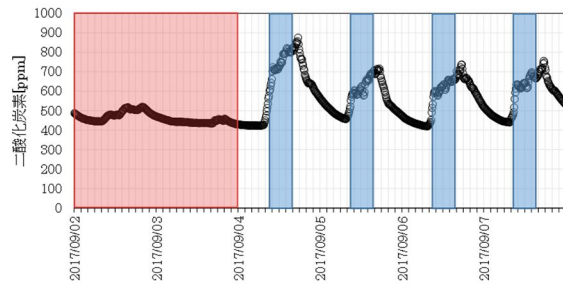


図 2-1-20 H-1 室内 CO₂ 濃度の経時変化
(2週間目)

の 1000ppm 以下を常に満たしている結果となった。執務時間帯の CO₂ 濃度は上昇し続け、終業後徐々に低下していた。

図 2-1-21 と図 2-1-22 に H2 の室内 CO₂ 濃度を示す。図中の赤枠は休日、青枠は執務時間帯（9~17 時）を示す。H2 の執務時間の室内 CO₂ 濃度は 400 ~ 1000ppm の間で変動していた。

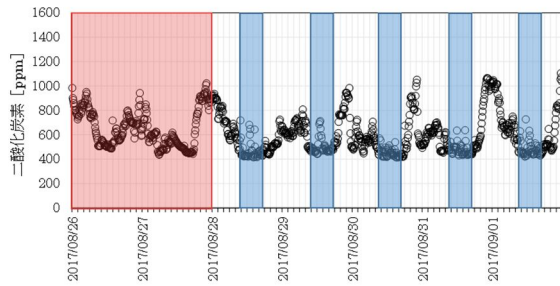


図 2-1-21 H-2 ビル室内 CO₂ 濃度の経時変化
(1週間目)

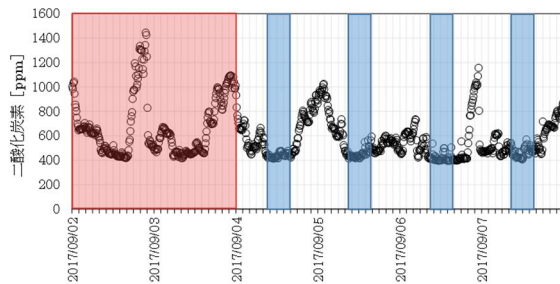


図 2-1-22 H-2 ビル室内 CO₂ 濃度の経時変化
(2週間目)

図 2-1-23 と図 2-1-24 に H3 の室内 CO₂ 濃度の経時変化を示す。図中の赤枠は休日、青枠は執務多くの人がいる時間帯（12時~21時、ビルメンテナンス業）を示す。H3 の室内 CO₂ 濃度については、400~2000ppm の間で変動していた。最大値は建築物衛生法により定められた基準値である 1000ppm 以下を大きく上回っていた。

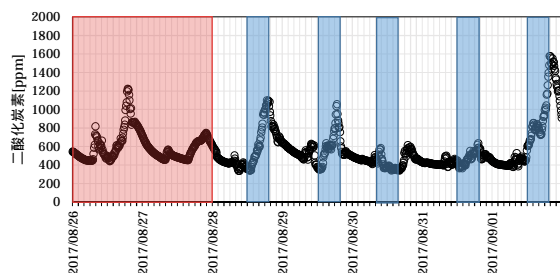


図 2-1-23 H-3 室内 CO₂ 濃度の経時変化
(1週間目)

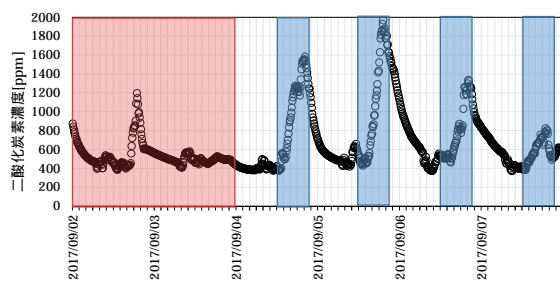


図 2-1-24 H-3 室内 CO₂ 濃度の経時変化
(2週間目)

2-2 微生物・パーティクル

A. 研究方法

対象建物は「2-1 温度・湿度・CO2」と同じ北海道の3物件である。微生物の測定は8月26日の立ち入り時に行った。浮遊細菌と真菌の測定にはバイオサンプラー（MBS-1000、ミドリ安全製）を使用した。測定箇所は室内の机上（IA）、給気口（SA）、屋外（OA）の3ヶ所で、各箇所ですぐダブルサンプリングを行った。IA・SA・OAともにサンプリング量は、1分間100ℓ（100ℓ/min）で行った。細菌のサンプリングと培養にはソイビーンカゼイン寒天培地（SCD培地）を用い、真菌にはジクロラン・グリセロール寒天培地（DG-18培地）を用いた。

B. 測定結果

B.1 浮遊細菌

図2-2-1に浮遊細菌濃度、図2-2-2に浮遊細菌濃度の室内濃度と外気濃度の比（I/O比）を示す。図2-2-1中の赤線は日本建築学会の維持管理基準値であるAIJES-A0002-2013の500cfu/m³を示している。図2-2-2中の赤線は、室内濃度と外気濃度の比であるため、1を上回ると室内に主な発生源があることを示しており、1を下回ると、汚染源が室内ではなく外気にあることを示している。

今回測定を行った測定物件すべてにおいて、日本建築学会の維持管理基準値である500cfu/m³を十分に満足する結果となった。すべての建物で外気濃度より室内濃度が高くなっていったが、H1とH2は室内濃度と外気濃度が比較的近い濃度が検出された。H3は外気濃度の4倍程度の室内濃度（360cfu/m³）が検出された。今回の測定で給気の測定を行えたのはH1のみであるが（H2ビルは換気運転を止めていた）H1の給気濃度は外気濃度よりも低いため、空調機のアエフィルタによって空気中の浮遊細菌が捕集されることが確認された。また、給気中の浮遊細菌濃度より室内の浮遊細菌濃度が高いため、室内での細菌の発生源（居住者）があることは再確認された（図2-2-3）。

空調方式別にみると、AHU方式のH1方が、PAC方式のH2、H3よりも比較的に低い濃度を示している。

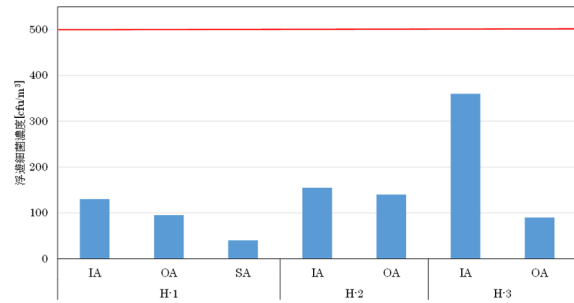


図 2-2-1 浮遊細菌濃度

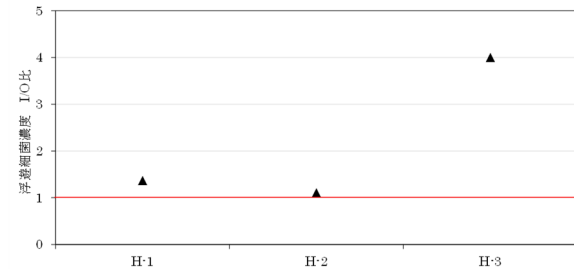


図 2-2-2 浮遊細菌濃度の I/O 比

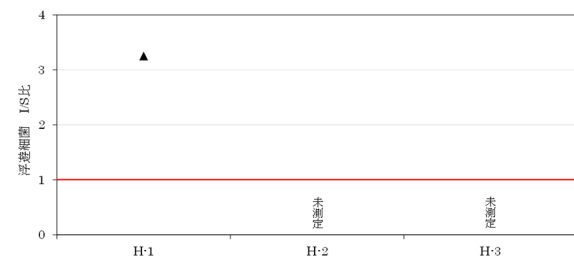


図 2-2-3 浮遊細菌濃度の I/S 比

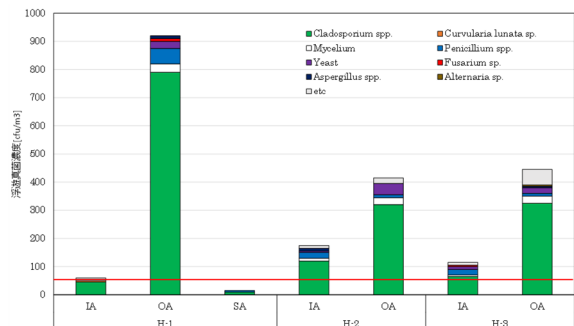


図 2-2-4 浮遊真菌濃度

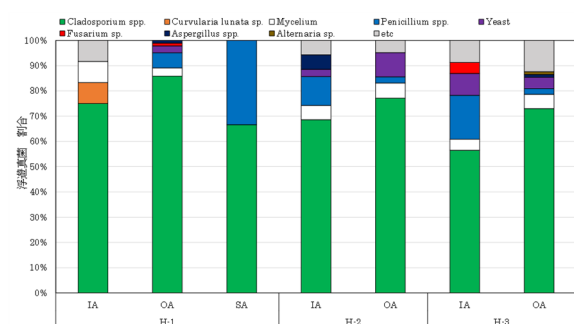


図 2-2-5 真菌の菌種別割合

B.2 浮遊真菌

図 2-2-4 に浮遊真菌濃度、図 2-2-5 に真菌の菌種別割合を示す。図 2-2-4 中の赤線は日本建築学会の AIJES-A0002-2013 の維持管理基準値であるある 50cfu/m³を示しており、IA は室内、SA は給気口、OA は外気である。

室内浮遊真菌濃度においては、H2 と H3 の室内濃度が 50cfu/m³ を上回る結果となった。H3 は自然換気であり、外気の影響を受けているためさほど問題とならない。また、H2 の室内真菌叢は外気と似ていることから、外気の影響を受けているものと推察された。

浮遊真菌の菌種別割合については、H1、H2、H3 の建物の室内、外気、給気すべてにおいて、好湿性真菌の *Cladosporium* spp. が最も多く検出された。

H1 の室内では、*Cladosporium* spp. の約 75% で 45cfu/m³ に次いで、*Curvularia lunata* が約 10% の 5cfu/m³、*Mycelium* は 10% の 5cfu/m³ の真菌が検出された。また、H1 の外気、給気、H2 の室内、H3 の室内においては、*Cladosporium* spp. に次いで、好乾性真菌の *Penicillium* spp. が検出された。

H2 の室内では、*Cladosporium* spp. は全体の約 70% の 120cfu/m³ で、*Penicillium* spp. は約 10% の 20cfu/m³ 検出され、次いで好乾性真菌の *Aspergillus* spp. が、約 5% の 10cfu/m³ の濃度で検出された。

H3 の室内では、*Cladosporium* spp. は約 55% の 65cfu/m³ で *Penicillium* spp. が、約 15% の 20cfu/m³ の濃度で検出され、次いで好湿性真菌の *Yeast* が約 10% の 10cfu/m³、同じく好湿性真菌の *Fusarium* spp. も約 5% の 5cfu/m³ の濃度で検出された。全体的に外気において *Cladosporium* spp. の濃度が顕著に高く、室内でも濃度は低くなったものの、多くの割合で *Cladosporium* spp. が検出される結果となった。

図 2-2-6 浮遊真菌濃度の室内濃度と外気濃度の比 (I/O 比) を示す。いずれの建物においても 1 を下回る結果となった。そのため、汚染源は室内ではなく、外気にあることが示唆された。H1 は特に低く室内濃度は約外気濃度の 1/10 であり、AHU 内のエアフィルタによる浮遊真菌の捕集効果が高いことが分かった。

B.3 浮遊微粒子

浮遊微粒子の測定は 8 月 26 日の立ち入り時に行った。浮遊微粒子の粒径別浮遊粒子個数濃度の測定には、パーティクルカウンター

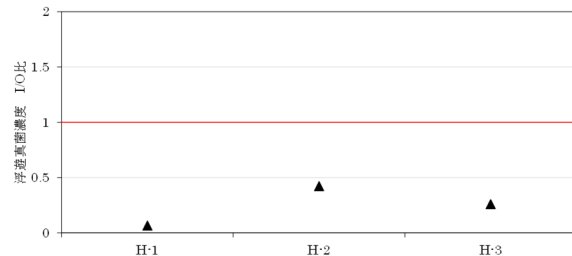


図 2-2-6 浮遊真菌濃度の I/O 比

(P611 AIRY TECHNOLOGY 製) を使用し、空気中の粒子濃度を 6 段階の粒径別 (0.3 ~ 0.5 μ m、0.5 ~ 0.7 μ m、0.7 ~ 1.0 μ m、1.0 ~ 2.0 μ m、5.0 μ m ~) に測定を行った。測定時間は約 20 ~ 30 分間で行い、測定間隔は 1 分間とした。図 2-2-8 ~ 図 2-2-13 粒径別浮遊微粒子濃度を示す。

H1 の IA はほかの建物と比べてもすべての粒径において低い濃度を示した。一方、H1 の SA 中の 1.0 μ m 以下の浮遊粒子濃度が、外気より高い値を示しており、空調系にサブミクロン粒子の発生があったものと推察される。

H2 は IA、OA とともに他の建物に比べて高い値で検出された。粒径別でも、5.0 μ m 以上を除くすべての粒径で IA、OA とともに他の建物に比べて高い濃度で検出された。特に OA においては、0.3 ~ 0.5 μ m と 5.0 μ m 以上を除き、他の建物に比べてどの粒径においても顕著に高い濃度が検出された。IA については、5.0 μ m 以上を除くすべての粒径で他の建物と比較して少し高い値であった。

H3 では、5.0 μ m 以上の粒径で IA が他の建物より顕著に高い数値が検出された。また唯一、IA の浮遊粒子濃度が OA の浮遊粒子濃度よりも高い値で検出された。

図 2-2-14 に浮遊粒子濃度の室内濃度と外気濃度の比 (I/O 比) を、図 2-2-15 に浮遊粒子濃度の給気濃度と外気濃度の比 (S/O 比) を示す。

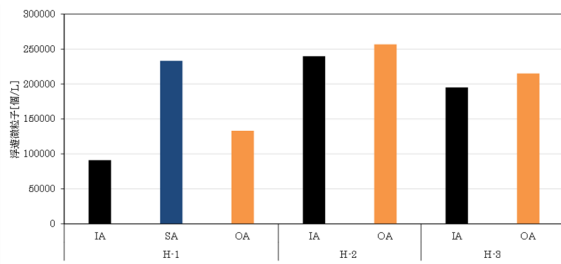


図 2-2-8 浮遊微粒子濃度 (0.3 ~ 0.5μm)

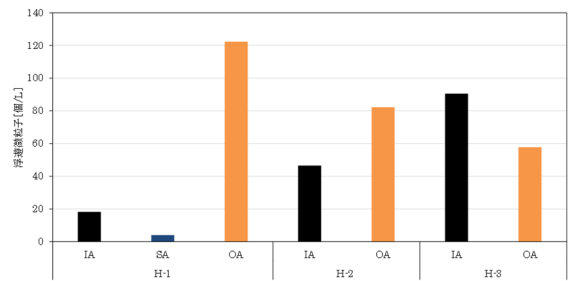


図 2-2-13 浮遊微粒子濃度 (5μm ~)

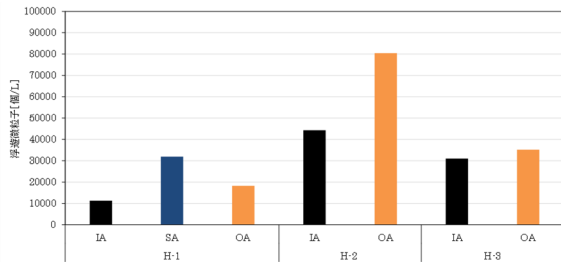


図 2-2-9 浮遊微粒子濃度 (0.5 ~ 0.7μm)

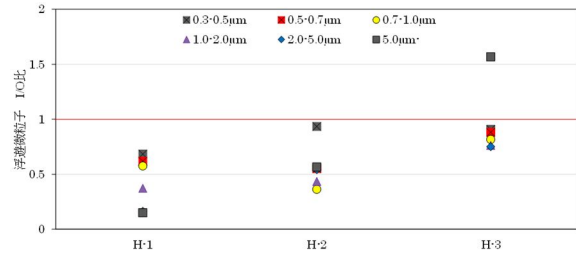


図 2-2-14 粒径別浮遊粒子濃度の I/O 比

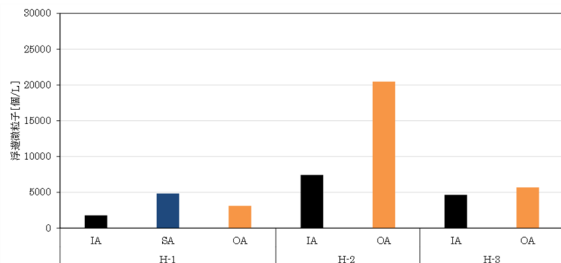


図 2-2-10 浮遊微粒子濃度 (0.7 ~ 1.0μm)

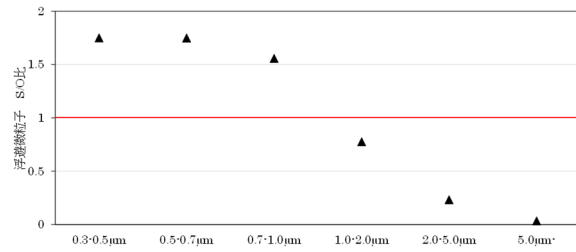


図 2-2-15 粒径別浮遊粒子濃度の S/O 比

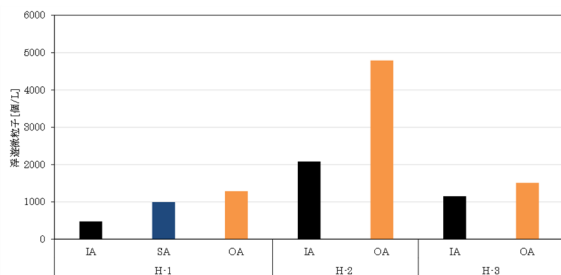


図 2-2-11 浮遊微粒子濃度 (1.0 ~ 2.0μm)

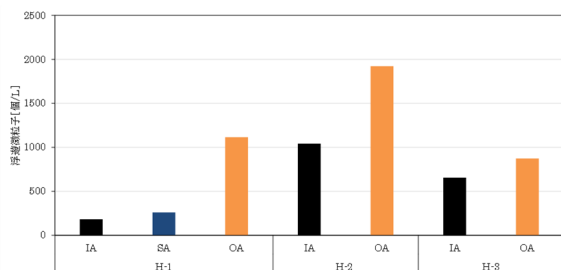


図 2-2-12 浮遊微粒子濃度 (2.0 ~ 5.0μm)

図中の赤線は、1を下回ると外気濃度の方が、浮遊粒子濃度が高いことを示しており、1を上回ると室内濃度の方が、浮遊粒子濃度が高く室内に汚染源があることを示している。また図中の赤線は、1を下回ると外気濃度の方が高いことを示し、1を上回ると給気濃度の方が高く給気口内に汚染源があることを示している。

浮遊粒子濃度の I/O 比において、H3 の 5.0μm 以上を除くすべてにおいて、1を下回る値となった。H3 の 5.0μm 以上の粒径では、ほかのビルの 5.0μm 以上と比較しても著しく高い結果であった。一方で 0.3 ~ 0.5μm については、すべて 1を下回っているが、他の粒径に比較しても高い値であった。また建物別では、H3 において、5.0μm を除くすべての粒径で 1を下回っているが、すべての粒径において、1に近く外気の粒子がほとんど除去されることなく室内に入って

きていることが示唆された。建物の空調方式別にみると、AHU方式の方が、I/O比が低い値であった。

浮遊粒子濃度のS/O比において、1.0 μm 以下の粒径において1を上回る結果であった。外気濃度と給気濃度の比であり1を大きく上回っていることから、空調機内で浮遊粒子の汚染が示唆された。また、粒径が小さくなるにつれて、給気濃度の方が高くなる傾向が見られた。

2-3 室内 PM_{2.5}

A. 研究目的

浮遊粒子に関する建築物室内の基準は、建築物衛生法で 10 μm 以下の粒子を対象として 0.15 mg/m³ 以下と設定されている。一方、大気環境では PM_{2.5} を対象として 1 年平均が 15 μg/m³ 以下、1 日平均が 35 μg/m³ と設定されているが、建築物室内の PM_{2.5} に関する基準はない。

平成 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）「建築物環境衛生管理に係る行政監視等に関する研究」では、特定建築物において室内 PM_{2.5} の実測調査を行った。結果として、室内 PM_{2.5} 濃度は 0.002 ~ 0.03 mg/m³ 程度となり、大気の基準である「1 日平均値が 35 μg/m³ 以下」は下回った。また、I/O 比（室内濃度/外気濃度の比）については、同一建物内の濃度は概ね同様の値を示しており、室内での発生源のほか、浮遊粒子の粒径分布、空調方式の種類より検討することで、外気からの侵入する微粒子を処理する空調機（フィルタ）の特性が関係しているものと示唆された¹⁾。

本研究では、中規模建築物においても、同様に室内 PM_{2.5} 濃度の実測を行うことで、その傾向を把握することとした。更に I/O 比の観点から、室内 PM_{2.5} 濃度は外気濃度に影響を強く受ける。よって、日本全国の PM_{2.5} 濃度の傾向について整理し、特徴の把握を行った。

B. 研究方法

B.1 建築物における実測調査

対象とした建築物は、表 2-3-1 に示すとおり事務用途となっている。2018 年冬期において、東京、埼玉、大阪における建築物にて行った。対象とした建築物の空調設備は、個別方式に分類され、換気設備として全熱交換器が採用されているところもあるが、換気設備がないものもあった。なお、E02-1、E02-2、E02-3 は同一建物となっている。

PM_{2.5} の測定には、多くの既往の研究において用いられている可搬型の PM_{2.5} 計（TSI DustTrak DRX 8533）を用いることとした。この装置は、光散乱法を用いており、1 分毎の濃度を記録するものである。ただし、粒子の性状によりこの機器が表示する濃度と実際の質量濃度は異なる

ことが知られており、換算係数を乗じて濃度とするのが一般的である。本研究においては、この係数を大気で通常用いられている 0.38 とし、表示する。測定については、各対象部屋において 30 分程度の計測を行った。また、外気においても同様に測定を行った。

表 2-3-1 実測対象建物の概要

	E01	E02-1	E02-2	E03-3	W01	W02
場所	東京	埼玉			大阪	大阪
空調方式	個別	個別			個別	個別
換気装置	換気装置	全熱交換器			換気装置	なし

B.2 日本全国大気 PM_{2.5} 濃度

日本全国の大気中 PM_{2.5} 濃度については、国立環境研究所で公開されている環境数値データベースを元に、都道府県別の PM_{2.5} 濃度についてまとめた

（<http://www.nies.go.jp/igreen/index.html>）

なおここでは、各都道府県における一般環境大気測定局（一般局）及び自動車排出ガス測定局（自排局）における平成 27 年度（平成 27 年 3 月～平成 28 年 4 月）のデータを使用した。

C. 結果及び考察

C.1 建築物における実測調査

図 2-3-1 に各室内及び外気における PM_{2.5} 濃度の測定結果及び室内と外気濃度の比を表す I/O 比を示す。今回の室内濃度については、全ての室内において 0.01 mg/m³ 以下となっており、大気の基準値の「1 日平均値が 35 μg/m³ 以下及び年平均値の 15 μg/m³」を下回る結果となった。なお、外気については、室内よりも高い値になっており、大気の基準値である「1 日平均値が 35 μg/m³ 以下」となった。同一建物である E02 においては 3 部屋とも室内濃度及び I/O 比が同じ値になった。I/O 比は、1 以下となること、同一建物においては同様の傾向となることについては、特定建築物における調査結果と同じ傾向であり、建築物の外調機及び換気装置に含まれるエアフィルタなどの設備による影響が大きいものと考えられる。

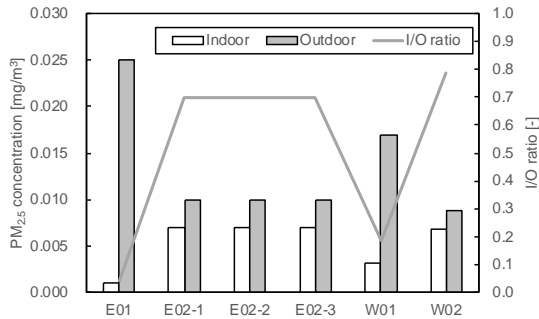


図 2-3-1 室内・外気 PM_{2.5} 濃度と I/O 比

C.2 日本全国大気 PM_{2.5} 濃度

図 2-3-2 に大気における PM_{2.5} の年平均値 (μg/m³) を都道府県別に表したものを示す。北海道、宮城県、秋田県、長崎県は濃度が低く、10 μg/m³ であった。一方、岡山県、香川県、佐賀県、長崎県は比較的濃度が高く、16 μg/m³ であった。概ね、北東部では濃度が低く、南西部では濃度が高い傾向が確認できた。瀬戸内地域においては、瀬戸内工業地域や瀬戸内海に面するため、濃度が高くなったものと考えられる。また、九州地方は大陸からの偏西風などによる越境大気汚染により、広域で高濃度現象が発生したものである。

図 2-3-3 に各都道府県において日平均値が 35 μg/m³ を超えた日数及びその割合を示す。比較すると香川県で最大 18 日、広島、愛媛、福岡でも 10 日以上であった。日平均値が 35 μg/m³ を超えた日数に関して、南西部の方が多かった。しかし、その割合は最大日数の香川県でも 5% で、基本的には日平均値以下の濃度であることがわかった。超過した日数に関して、南の地域の方が多いたことがわかる。

図 2-3-4 及び図 2-3-5 には、各地域の月別の大気中の PM_{2.5} 濃度を示す。季節にかかわらず、南西側の地域の PM_{2.5} 濃度が高い傾向が確認できた。特に、10 月から 3 月にかけては九州地方の濃度が他の地域と比較して高い。中国からの PM_{2.5} の越境汚染は黄砂と同じ時期で 2 月～4 月に多いことから、同様の傾向が確認できた。また 5 月から 7 月は中国地方の濃度が高い。日本全体の PM_{2.5} 濃度では、4 月及び 5 月が高く、9 月、11 月、12 月の濃度は低いことがわかった。

10 月の濃度が前後の月よりも特異に高いため、図 2-3-5 及び図 2-3-6 に、10 月及び直近の 9

月における各地域の月平均及び日平均 PM_{2.5} 濃度を示す。両者を比較しても、地域によらず、全国的に 10 月の濃度が高い傾向であることがわかった。10 月においては、中国においても石炭による暖房需要のため、大気汚染が悪化することが多く、その影響が現れたものと考えられている。

図 2-3-7 には、関東地方の月平均値の月別 PM_{2.5} 濃度変化であるが、概ね 15 μg/m³ 以下であった。

なお、PM_{2.5} の経年変化は、図 2-3-8 に示す大気汚染のモニタリングを行う一般環境大気測定局 (一般局) 及び自動車排出ガス測定局 (自排局) の年平均値から、平成 25 年度以降緩やかな改善傾向にある²⁾。平成 28 年度においては、夏季に梅雨前線や多発した台風影響により、各地で降水量が多く、光化学反応により生成された二次粒子が蓄積し、高濃度現象が発生しなかった。冬季には全国的に暖冬となり気象条件による高濃度現象が発生しにくい気象状況であった。そのため、この年度は気象条件の影響により、低い濃度傾向であったことと考えられる。

また、近年の低減傾向は、観測値と化学輸送モデルによる解析により、中国国内の PM_{2.5} 濃度レベルの低減傾向より、PM_{2.5} 高濃度越境汚染が急速に改善に向かうことによるものが原因であるとしている³⁾。しかしながら、中国の大気汚染物質の年平均濃度は低下傾向にあるが、PM_{2.5} 濃度に影響を与える様々な要因は気象条件など時期や地域によって異なること、今後は日本国内における大気汚染発生への寄与が相対的に増大することから、引き続き注視していく必要があると考えられる。

D. まとめ

中規模建築物における室内 PM_{2.5} 濃度の測定の結果、0.01 mg/m³ 以下となっており、大気の基準値の「1 日平均値が 35 μg/m³ 以下及び年平均値の 15 μg/m³」を下回る結果となった。I/O 比については、1 以下となり、特定建築物と同様の傾向となった。

大気における PM_{2.5} の傾向を調査した結果、近年は減少傾向にあるものの、地域ごとでは、北東部では濃度が低く、南西部では濃度が高い

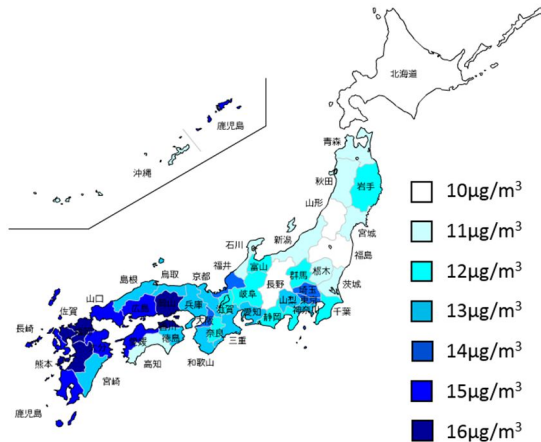


図 2-3-2 PM_{2.5} 濃度地図

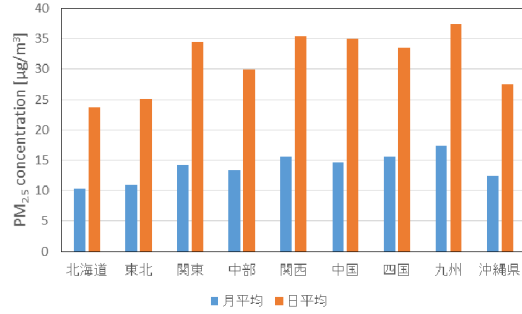


図 2-3-6 10月の各地域月・日平均 PM_{2.5} 濃度

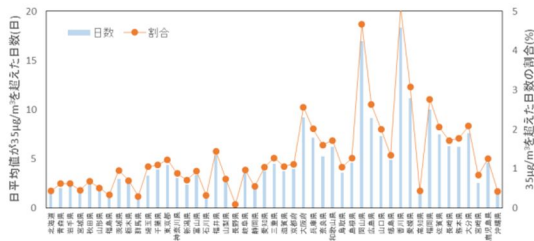


図 2-3-3 日平均値が 35 µg/m³ を超えた日数とその割合

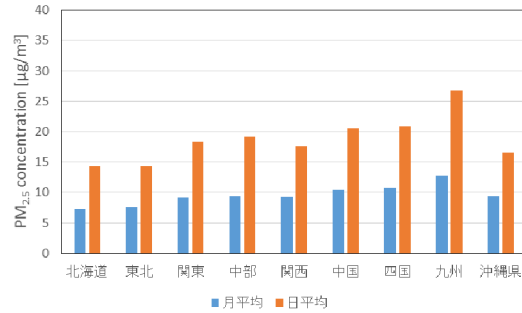


図 2-3-7 9月の各地域月・日平均 PM_{2.5} 濃度

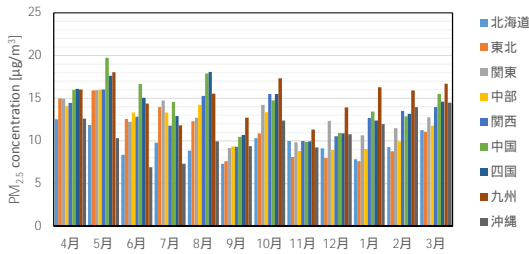


図 2-3-4 地域別月別の PM_{2.5} 濃度

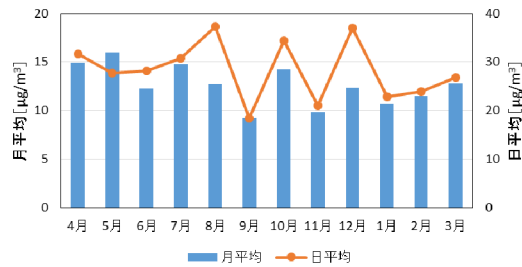


図 2-3-8 関東地方の各月の月平均・日平均

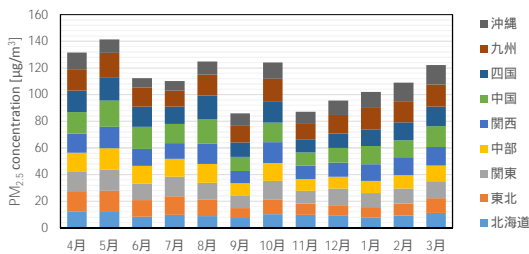


図 2-3-5 各月の各地域 PM_{2.5} 濃度の積み上げ

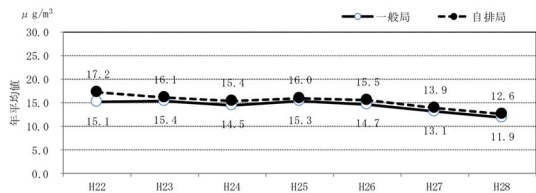


図 2-3-9 PM_{2.5} の年平均値の推移

傾向が確認できた。更に冬季における九州地方の濃度が他の地域と比較して高い。しかしながら、ここ数年で PM_{2.5} 濃度は減少する傾向となっていることを確認した。

E. 参考文献

- 1) 鍵直樹:事務所建築物における PM_{2.5} 濃度の実態と室内外濃度比, 空気清浄, 54(4), 258-262, 2016
- 2) 環境省水・大気環境局:平成 28 年度大気汚染の状況, 2018.3
- 3) 鵜野伊津志ほか:PM_{2.5} 越境問題は終焉にむかっているのか?, 大気環境学会誌, 52(6), 177-184, 2017

2-4 化学物質

A. 研究目的

建築物環境衛生管理基準におけるホルムアルデヒドの基準値は 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ である。シックハウスに関連してホルムアルデヒドを含む 13 物質が厚生労働省により濃度指針値が、TVOC については暫定目標値が定められているが、建築物衛生法においては基準値にはなっていない。特定建築物では、建築物環境衛生管理基準により二酸化炭素濃度を基準に適切な換気が行われていることが確認できることや、室内の化学物質発生源が住宅ほど多くないこと、設計換気量が住宅より多いことから化学物質濃度は低いと考えられている。

ここでは、建築物衛生法の適用対象ではない中小規模の事務所建築物における化学物質濃度の現状を把握するため、厚生労働省の指針値に示されている物質を中心に実測調査を行った。

B. 研究方法

B.1 調査対象

対象とした建築物は前項で対象としている北海道（記号 H、3 件） 関東（記号 E、2 件） 関西（記号 W、2 件）の中小規模事務所ビル全てである。2017 年 8 月（夏期）及び 2018 年 1 月及び 3 月（冬期）に、各建築物において測定を行った。

B.2 調査方法

ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドなどのカルボニル化合物については、DNPH カートリッジを用いて 30 L 捕集（30min at 1.0L/min）を行い、HPLC により 12 成分の定量分析を行った。トルエンなど VOCs については、Tenax-TA 充填捕集管を用いて 5L 捕集（30min at 166mL/min）し、GC/MS により 45 成分の定量を行った。なお、TVOC の算出には、C6 ヘキサンから C16 ヘキサデカンに検出したピークをトルエン換算して算出した。

C. 研究結果及び考察

各測定点における化学物質濃度を表 2-4-2 及び表 2-4-3 に示す。指針値が定められている物質の中で、今回の測定から検出された成分や住宅やオフィスなど室内でよく検出される成分は

表 2-4-1 空气中化学物質の測定概要

測定項目	内容
アルデヒド類	DNPH カートリッジ 30L(at 1.0L/min) HPLC (12 物質定性)
VOCs	Gerstel Tube(Tenax-TA) 5L(at 166mL/min) GC-MS (45 物質定性)

表内に青の陰影で記している。

アルデヒド類であるホルムアルデヒド、アセトアルデヒドは厚生労働省指針値 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 及び 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ に対し指針値を超過する室はなかった。

両物質共に全測定点で検出されたが、ホルムアルデヒドは平均濃度 13.6 \pm 8.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、アセトアルデヒドは 10.9 \pm 5.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と低い値であった。

他の物質としてはアセトン、プロピオンアルデヒド、クロトンアルデヒド、メタクロレインが検出されているがいずれも低い濃度である。室内濃度が外気濃度よりやや高くなっているが、普段の室内濃度レベルであり、室内に高放散の汚染源は存在しないと考えられる。

アセトアルデヒドはエタノールの酸化物で二日酔いの原因物質とも知られているが、木材から放散されることがある。

アセトンは生活中で最もよく使われる溶剤の一つであり、マジックペン、マニキュア除去剤など日用品にも幅広く使われており、人体や木材からも放散される物質である。

プロピオンアルデヒドは油臭や汗臭成分として知られているが、亜麻仁油を含んだ天然ワックスから放散されるとの報告もある。

メタクロレインは室内では普段見られない物質であり、今回の実測でも検出されたのは殆どが外気からであった。

VOCs の中からも厚生労働省指針値や TVOC 暫定目標値を上回る成分はなく低い値となっていた。

厚生労働省で指針値が定められている 13 物質中、有機溶剤系としてはトルエン、エチルベンゼン、キシレン、テトラデカンが検出されたが、濃度としては低い水準であり、厚生労働省指針値を超えた物質はなかった。

表 2-4-2 アルデヒド類濃度[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

Carbonyls	2017年8月(北海道)						2018年1月(東京)						2018年3月(大阪)			
	H01		H02		H03		E01		E02				W01		W02	
	In	OA	In	OA	In	OA	In	OA	1F	2F	3F	OA	In	OA	In	OA
Formaldehyde	20	4	14	7	15	2	12	2	5	6	6	1	14	3	31	
Acetaldehyde	14	4	11	5	8	3	12	4	5	6	7	4	12	3	23	
Acetone	24	4	15	4	20	5	23	3	11	17	17	3	28	3	68	
Propionaldehyde	3	3	4	3		3	10	6	8	9	9	7				
Crotonaldehyde													15	18	38	
2-Butanone								4								
Methacrolein		3				3						8			5	
n-Butyraldehyde														4		
Benzaldehyde																
Valeraldehyde																
m-Tolualdehyde																
Hexaldehyde																

表 2-4-3 VOCs 濃度[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

VOCs	2017年8月(北海道)						2018年1月(東京)						2018年3月(大阪)			
	H01		H02		H03		E01		E02				W01		W02	
	In	OA	In	OA	In	OA	In	OA	1F	2F	3F	OA	In	OA	In	OA
2-Butanone																
Hexane																
Ethyl Acetate							7								14	26
Benzene																
Methyl Isobutyl Ketone																
Toluene	12		7		11		9	4		4	4	3	11	8	14	16
Ethylbenzene	8				9		3						4	2	3	4
Xylene					32		6									5
Styrene																
Nonane	12				12								5		5	
α -Pinene																
1,2,3-Trimethylbenzene					28											4
p-Dichlorobenzene																
D-Limonene	8				5		3						3			
Undecane					18		2									5
Nonanal					6		3			3			7		9	
Dodecane	4				3		1									
Tridecane					3											
Tetradecane					3		1									2
Hexadecane																2
TVOC	161	-	11	-	303	15	120	9	11	41	4	6	87	26	109	66

中でもトルエンが殆どの室内で検出されたが、平均濃度 $8.9 \pm 3.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と低い値であった。全物質外気からは殆ど検出されていないか低かったため室内由来が多い。

α ピネン、D リモネンなどは木材や果実の香り成分であり、建材だけでなく洗剤、芳香剤などにも使われるため住宅ではよく検出されるが、今回測定したオフィスビルでは殆ど検出されな

かった。

TVOCも暫定目標値 $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える結果はなく、平均濃度 $94.3 \pm 96.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、最大値 $303.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と全体的に低い水準にあった。VOCs は竣工初期に高く、時間経過と共に放散が促進され低くなるのが一般的であり、今回測定対象としたオフィスビルは建築から長年使われている物件であったことから室内濃度が低く

なっていたと考えられる。

D. まとめ

今回の実測においては、季節に関わらずいずれの建築物においてもホルムアルデヒドの基準値及び厚生労働省の室内化学物質指針値、TVOC 暫定目標値を上回る建物はなかった。

2-5 エンドトキシン（細菌内毒素）

A. 研究目的

エンドトキシン（Endotoxin、以下 ET）は微生物（グラム陰性菌）の細胞壁成分であり、細胞壁の破壊により放出される。ET は内毒素、リポ多糖（LPS）、外因性発熱物質（Exogenous pyrogen）とも知られる。微生物の中でも真菌及び陽性グラム群生物を除く陰性グラム群生物に限定され、グラム陰性菌には大腸菌、サルモネラ、腸内細菌科、ヘリコバクター、レジオネラなど真正細菌の大部分が属するため、実質的に ET は水、空気、土壌などあらゆる生活環境に存在する。

微生物汚染度の同定のために ATP（adenosine triphosphate；アデノシン三リン酸）法や個数濃度測定機なども紹介されているがまだ確立した方法とは言えず、最近 PCR 法を用いた DNA 解析など先端技術も導入されつつある。分野、目標とする結果、費用や現場適用など目的によって何を選ぶかが決まるが、例えば換気指標の CO₂ 濃度や化学物質汚染指標の TVOC のように、微生物に関してもそのような指標の存在は室内環境における汚染状況や環境改善の面で大変有意義であり、空气中細菌濃度や汚染度の指標として ET 濃度に注目している。

B. 研究方法

B.1 調査対象

対象とした建築物は前項で対象としている北海道（記号 H、3 件） 関東（記号 E、2 件） 関西（記号 W、2 件）の中小規模事務所ビル全てである。2017 年 8 月（夏期）及び 2018 年 1 月及び 3 月（冬期）に、各建築物において測定を行った。

B.2 調査方法

B.2.1 空気サンプリング

図 2-5-1 に捕集用フィルター及び現場測定風景を示す。空気試料として微生物の培地吸引では 100L を用いることが多い。本研究における ET サンプリングでは、直径 47mm の MCE フィルター（Mixed Cellulose Ester Membrane Filter）に 100L（30min at 3.3L/min）を吸引・捕集した。捕集したフィルターは線滅菌試験管に保管、蒸留水（注射用水；ET フリー）を添加し、ボル



図 2-5-1 MCE フィルター及び測定風景

テックスミキサーで攪拌した後、上澄み液を分注・分析した。

B.2.2 濃度分析

分析装置として Toxinometer ET-5000（和光純薬）を用いた。日本薬局方及び FDA 認証分析法にはゲル化法・比濁法・比色法の 3 つがあるが吸光比濁法は精度が高く定量しやすい利点があり、1~0.001EU/mL の広範囲・高感度で検出できるため環境中汚染程度を測定するのに適合している。リムルステスト（Limulus test）ではライセート（Limulus amoebocyte lysate）試薬と反応させた ET のゲル化に伴う濁度変化をカイネティック比濁法で測定し、検量線に基づいて定量する。ET 濃度が高いとゲル化反応が速く、低いと遅くなることを原理としている。

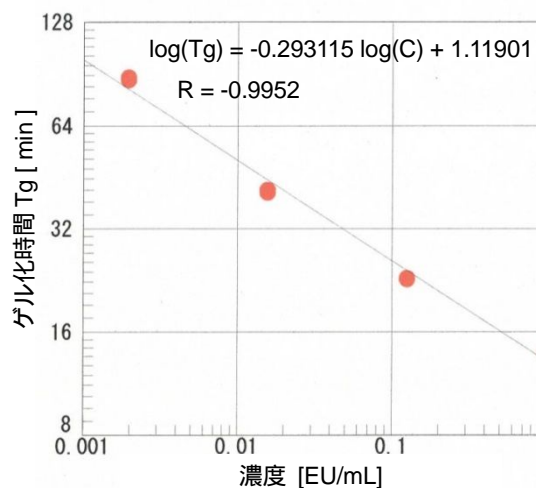


図 2-5-2 検量線例（4 点、8 倍稀釈）

ゲル化に伴う透過光量比変化を計測し測定開始から設定閾値（94.9% at 37.0）に達するまでの時間（Tg：ゲル化時間）で ET 濃度が決定される。定量のために、1.0、1/8、1/64、1/512(=0.00195)EU/mL の 4 段階の濃度標準を用

いて検量線例を図 2-5-2 に示す。
濃度単位としては、「EU/m³」：空気単位容積当たり濃度、EU は Endotoxin Unit (ET 活性値) のことである。

C. 研究結果及び考察

ET 濃度測定結果について図 2-5-3 に示す。棒グラフは ET 濃度であり、図中の印は I/O 比 (Indoor air concentration/Outdoor air concentration: 外気濃度に対する室内空気濃度の比) である。

空气中エンドトキシンに関する指針値は存在しないが今までの研究^{1), 2)}から、オフィスにおける濃度は 1 EU/m³ 以下が多く、高齢者施設など発生源 (人体) が多く存在する場合や冬期加湿器による水の汚染がある場合は数 EU/m³ から 70EU/m³ を超えることも観察される。

今回の実測では在室者が少ない中小建築物だったこと、外気の直接導入による換気が想定される時期だったことから濃度は低い水準となっていた。

既往研究³⁾から、外気 ET 濃度は夏・冬より中間期の方が高く、室内は冬期の加湿器の使用によって濃度が高くなる場合があることが示されている。

今回の測定では 3 月の大阪実測物件は ET 濃度がやや高い傾向を示しており、偶然性、地域的特性、測定当日の気候 (晴天、雨天) の影響などが考えられるが、既報告では大阪と東京との地域による濃度の差はさほど大きくなかった。今回の 3 月測定日は雨天となっていたが、雨滴が土壌菌を飛散させ遠くまで運ぶことを示している論文⁴⁾もあり、雨の影響の可能性も考えられる。

D. まとめ

中小規模オフィスにおける室内 ET 濃度は 2 ヶ所を除いた 7 ヶ所が 0.5 EU/m³ 未満であり、一般的なオフィス濃度レベルにあった。高齢者施設や一般住宅では数 ~ 数十 EU/m³ を超える濃度も観察されることから中小規模のオフィス濃度は低いと言える。

3 月の大阪実測ではやや高い傾向が示された

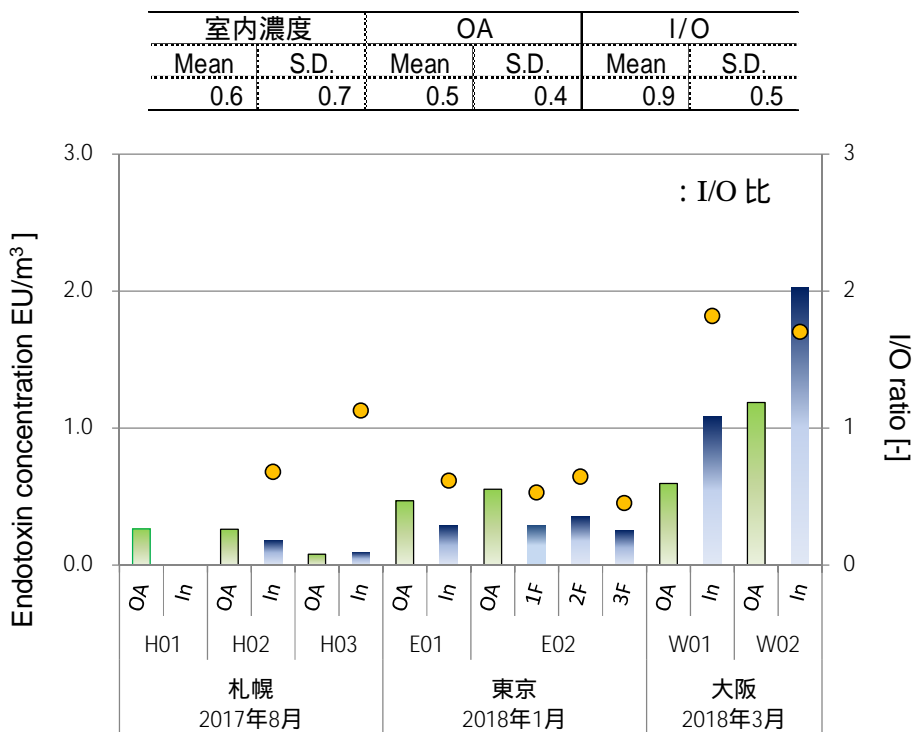


図 2-5-3 中小規模オフィスの ET 測定結果

が、雨天による影響の可能性も考えられ、今後の影響因数として考慮してゆく必要がある。

特定建築物の場合は在室密度が低いことに加え、空調による換気とフィルターリングで ET 濃度が低いことが示されているが、中小規模建築に対しても測定を継続し、冬季の加湿器使用による微生物汚染も視野に入れ、中小規模建築物で起こりうる環境を想定しながら、室内 ET 濃度の実態を把握していく。

E. 参考文献

- 1) 金勲, 柳宇, 鍵直樹, 東賢一, 大澤元毅, 林基哉: 室内環境中エンドトキシンに関する研究 その 1 空気中エンドトキシン濃度と培養法による浮遊細菌濃度との関係、日本建築学会大会学術講演梗概集 .pp.613-4、2017.9.
- 2) 金勲, 柳宇, 鍵直樹, 東賢一, Lim Eunsu, 大澤元毅, 林基哉: エンドトキシンの室内環境濃度、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.719-22、2016.8.
- 3) 金勲: 2. 健康危機に対応した環境衛生の実態と管理項目の検討—2-5 エンドトキシン、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「建築物環境衛生管理に係わる行政監視等に関する研究」(研究代表者: 大澤元毅・課題番号: H26-健危-一般-007) 平成 26~28 年度総括・分担総合研究報告書、p.40-44、2017.3.
- 4) Young Soo Joung, Zhifei Ge and Cullen R. Buie : Bioaerosol generation by raindrops on soil, Nature Communications, DOI: 10.1038/ncomms14668, pp.1-10, 2017.3.