

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

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

令和元年度 分担研究報告書

令和元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

1. 室内空気環境衛生の実態調査

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

研究要旨

中規模建築物における空気衛生環境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、PM_{2.5}、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。

温度については、冬期と夏期の中央値が冬期で 24.0℃（中小規模ビル）と 24.8℃（特定建築物）、夏期で 25.5℃（中小規模ビル）と 25.9℃（特定建築物）であり、規模別の間に大きな差が見られなかった。

相対湿度については、夏期では規模を問わず概ね良好であった。一方、冬期では 4 室（特定 2、中小 2）の中央値が 40%を上回っていたが、残りの 15 室の中央値（75%タイル値も）が 40%を下回っていた。規模を問わず、冬期の低湿度問題が再確認された。

CO₂濃度については、季節・規模を問わず概ね良好であった。

細菌について、季節を問わず、中小規模ビルでは特定建築物と同様に日本建築学会の管理規準値 500cfu/m³ を満足している。真菌について、冬期では中小規模ビルの室内濃度が日本建築学会の管理規準値 50cfu/m³ を満足しているが、夏期では中小規模ビルの空調・換気設備のろ過性能が比較的劣っていたため、高濃度の外気の侵入により室内浮遊真菌濃度が上昇し、50cfu/m³ を超える対象室が散見された。一方、特定建築物は季節を問わず、浮遊真菌濃度の中央 NGS 値が 50cfu/m³ を下回っている。

NGS を用いたメタゲノムの菌叢解析において、検出された細菌属と真菌属の何れにおいても、これまで報告された生菌の結果よりはるかに多かった。これは、培地を用いた方法では殆どの種類の細菌と真菌を検出できないためである。また、菌量の多さを表すリード数において、中小規模ビルでは特定建築物に比べ、細菌は多いものの、真菌は少なかった。この結果と I/O 比の結果を併せて考えると特定建築物では空調システム内で真菌が発生している可能性があることが強く示唆された。

室内 PM_{2.5} 濃度の測定の結果、全ての室内において大気の基準値の「1 日平均値が 35 µg/m³ 以下」を下回る結果となった。I/O 比については、概ね I/O 比が 1 を下回っていた。建築規模、空調方式別に室内 PM_{2.5} 濃度、I/O 比を比較すると、中央方式の空調機を有する建築物の方が低い値を示した。

化学物質濃度について、今回の測定から特段高濃度を示す建物はなく、化学物質に関して厚生労働省の指針値を超えることはなかった。厚労省指針値 13 物質の中で主に検出された物質はホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、トルエン、エチルベンゼン、キシレン、p-ジクロロベンゼン、テトラデカンであり、いずれも濃度は低かった。指針物質ではないが、ベンゼン、リモネン、ノナナール、2E1H が多くの物件から検出された。殆どの建物で該当物質の濃度は低い、アロマ噴霧やアロマ添加加湿器を使う物件からリモネンが 200µg/m³ 前後で検出されている。冬物件は TVOC も他の建物より高く、アロマ成分による影響と考えられた。

ベンゼンが検出された物件では検出濃度も大気環境基準 $3\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えるところが多く、外気由来のところが多いと判断されるなか、外気濃度が低くても室内で環境基準を超えるところが見られたため、室内発生源についても注意する必要がある。

アルデヒド類、個別 VOCs、TVOC 共に平均濃度としては、夏期濃度が冬期より高い傾向を示した。特に p-ジクロロベンゼンや 2E1H は季節間の差が明確に現れた。

また建物規模についても、特定建築物は中小規模建築と比較して全体的に濃度が低い傾向が見られ、最大値（検出濃度範囲）においても中小規模建築の方が高い結果であった。

また、建築物室内における 2E1H 濃度の実態を把握するために、夏期及び冬期の 17 件の事務所用途の特定建築物及び非特定建築物において実測を行った。結果として、2E1H は多くの室内で検出され、TVOC に占める 2E1H の濃度が 50% を超える建物もあり、2E1H が室内環境の汚染に影響を与えていることが明らかとなった。

また、コンクリートが床下地である室内では、2E1H 濃度は高く、金属製のフリーアクセスフロアの室内では低い傾向が見られた。さらに絶対湿度と 2E1H 濃度との関係も見られ、対策を講ずるためには、換気の他にも、床仕様、環境湿度などが 2E1H の発生に影響を与えていることが示唆された。

室内エンドトキシン濃度では $1.0\text{EU}/\text{m}^3$ を下回る物件が多く、 $1.0\text{EU}/\text{m}^3$ を超えても $1\sim 2\text{EU}/\text{m}^3$ と比較的低い水準が殆どであった。1 件のみ冬期室内濃度が $8.5\text{EU}/\text{m}^3$ と高く、IO 比も 18 を超えていた。また夏期と冬期の室内濃度が明らかに異なることから冬期だけ室内に汚染源が存在していることが分かった。当該建物では、家庭用の中型加湿器を複数台使っていた。培養法による細菌濃度の測定結果でも高い濃度が観察されていることから、当該オフィスでは加湿器による微生物汚染が起きていると判断された。I/O 比が 1.0 を超える結果は 22 件中 8 件 (36%) であり、多くの建物で外気より低い水準が保たれていた。特定建築物と中小規模建築の比較では、夏期の室内平均濃度は同水準であり、冬期は中小規模での濃度が高い結果となった。

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

1. 室内空気環境衛生の実態調査

中規模建築における室内空気衛生環境を把握するため、建築物衛生法に規定された空気環境 (6 項目) に加え、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 (内毒素) など室内空気環境の詳細調査を行っている。

測定対象は Phase2 の 50 件の中から毎年 10 件程度を選定し、冷・暖房期を中心に現場の立ち入りと測定を行った。併せて、従業員及び管理者を対象に環境衛生に係る健康影響実態のアンケート調査を行い、室内環境と執務者健康の相関分析を行っている。

2019 年度は関東 (東京)、中部 (名古屋) のオフィスビル計 11 件を対象とした。対象ビルの建築・設備の概要および測定日は表 1-1-1 に示している。

なお、A01、A03、E08、E14 は特定建築物に分類されるが、中小規模建築との比較のために一緒に示している。

2019 年 8 月 (夏期)、2020 年 1 月～2 月 (冬期) に測定を行った。

1-1 温度・室内・CO₂濃度

1-1-1 測定方法

(1) 調査対象ビル概要

2018年12月～2020年2月の間に、東京都、神奈川県、大阪府、福岡県、愛知県にあるオフィスビル計29件(32室)を対象に実態調査を行った。測定対象ビルの建築と設備概要などを表1-1-1に示す。なお、表中赤字で表記している対象は特定建築物であるため、以後に示す結果は中小規模と特定建築物に分けて解析したものである。

(2) 測定方法

測定は、立ち入り調査と立ち入り調査日から約2週間の温湿度・CO₂濃度の連続測定の種類であった。立ち入り調査日は表1-1-1に示す通りである。立ち入り時の測定項目は室内と屋外の温湿度・CO₂濃度(IAQモニター)、粒径別浮遊粒子濃度(パーティクルカウンタ)、浮遊細菌・真菌(バイオサンプラー)などであった。室内と屋外の温湿度・CO₂濃度、粒径別浮遊粒子濃度をそれぞれ1分間隔の計30分間の連続測定で行った。浮遊細菌と浮遊真菌の測定にダブルサンプリングを行った。細菌にSCD培地、真菌にDG18培地を用いた。培養条件はそれ

表1-1-1 測定対象建築物の建築と設備概要

測定日	対象物件ID	地域	空調方式	対象床面積(m ²)	測定時在室人数(測定者)	一人当たりの面積(m ²)	天候		
冬季 (2019)									
2018/12/18	PM	E06	1F 2F	神奈川	中央式(外調機)	204	13(8)	9.7	晴れ
						123	9(8)	7.2	晴れ
2018/12/19	AM	E04	東京	中央式(外調機)	1178	76(7)	14.1	晴れ	
	PM	E03		個別式(PAC+換気装置)	169	8(8)	10.6	晴れ	
		E05		個別式(PAC)換気なし	133	12(8)	5.7	晴れ	
2019/1/10	AM	W03	大阪	中央式(外調機+PAC)	193	26(3)	6.7	-	
	PM	F02	福岡	個別式(PAC+換気装置)	93	6(3)	10.3	-	
2019/1/11	AM	F03	福岡	個別式(PAC+換気装置)	122	11(3)	8.7	-	
	PM	F01		個別式(PAC+換気装置)	44	1(7)	5.5	-	
		F04		個別式(PAC+換気装置)	383	14(4)	21.3	-	
夏期 (2019)									
2019/8/1	AM	E07	東京	個別式(PAC+換気装置)	55	3(5)	6.9	晴れ	
	PM	E08		中央式(外調機)	1050	150(5)	6.8	晴れ	
		E09		個別式(PAC+換気装置)	92.4	9(5)	6.6	晴れ	
2019/8/2	PM	E06	1F 2F	神奈川	中央式(外調機)	204	19(4)	8.9	晴れ
						123	9(4)	9.5	晴れ
2019/8/27	AM	E10	東京	個別式(PAC+換気装置)	93	11(4)	6.2	曇り	
	PM	E11		中央式(外調機)	196	2(3)	39.2	晴れ	
		E12		個別式(PAC+換気装置)	110	12(3)	7.3	晴れ	
2019/8/29	PM	A01	愛知	個別式(PAC+換気装置)	96	3(6)	10.7	晴れ	
AM	A02	中央式(外調機)		176	12(6)	9.8	曇り		
PM	A03	個別式(PAC+換気装置)		266	15(4)	14	雨		
冬季 (2020)									
2020/1/15	AM	E07	東京	個別式(PAC+換気装置)	55	3(5)	6.9	雨	
	PM	E12		個別式(PAC+換気装置)	110	9(7)	6.9	曇り	
2020/2/13	AM	A02	愛知	個別式(PAC+換気装置)	176	9(6)	11.7	曇り	
	PM	A03		個別式(PAC+換気装置)	266	13(6)	14.0	晴れ	
	PM	A01		中央式(外調機)	96	7(6)	6.4	曇り	
2020/2/14	PM	E09	東京	個別式(PAC+換気装置)	92	11(6)	5.4	曇り	
2020/2/17	PM	E11	東京	中央式(外調機)	196	5(6)	17.8	晴れ	
	PM	E08	東京	中央式(外調機)	1050	98(6)	10.1	晴れ	
2020/2/21	AM	E13	群馬	個別式(PAC+換気装置)	330	21(5)	12.7	晴れ	
	PM	E14	東京	中央式(外調機)	1350	102(6)	12.5	晴れ	
	PM	E10	東京	個別式(PAC+換気装置)	93	11(6)	5.5	晴れ	

ぞれ 32℃・2 日間と 25℃・5 日間であった。

上記の測定が終了した後に、温湿度・CO₂センサーを設置し、5 分間隔の 2 週間連続測定を行った。

1-1-2 結果

(1) 温度

図 1-1-1～図 1-1-3 に 2019 年度冬期と夏期、2020 年冬期における執務時間帯 (9:00~17:00) の室内温度四等分値 (最大値, 75%タイル値, 中間値, 25%タイル値, 最小値) を示す。図中の赤線はそれぞれ建築物衛生法管理基準の下限値 17℃と上限値 28℃を示している。

冬期では、全てが 17℃を上回っており、建築物衛生法の管理規準値を満足してる。また、それぞれのビルの最小値が比較的低い温度を示しているのは空調の立ち上がり時であった。

夏期では、E-06 (1F), E09, E10 の最大値が 28℃を超えていた。これは朝立ち上がり時に温度が高かったためである。

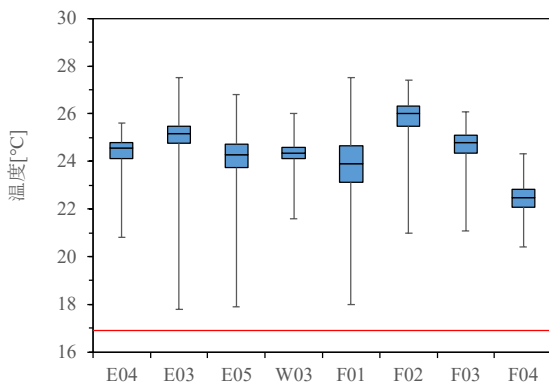


図 1-1-1 冬期の室内温度四等分値 (2019 年)

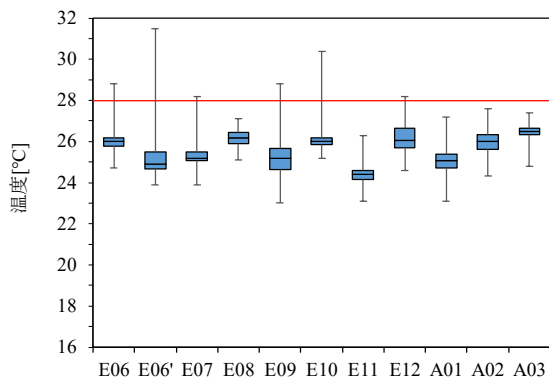


図 1-1-2 夏期の室内温度四等分値 (2019 年)

図 1-1-4 と図 1-1-5 に本調査で行った中小規模ビル 14 件と特定建築物 7 件の冬期 (2018~2019 年冬期, 2020 年冬期, 表 1-1-1 に示す赤字対象, 以後同),

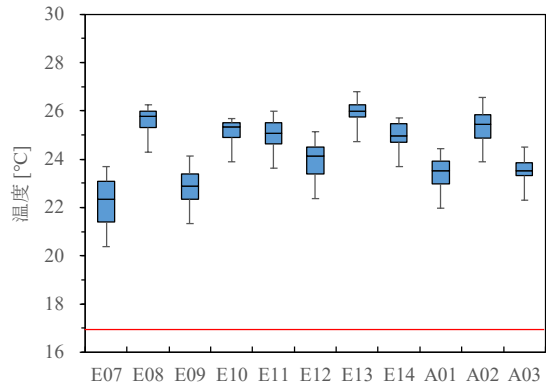


図 1-1-3 冬期の室内温度四等分値 (2020 年)

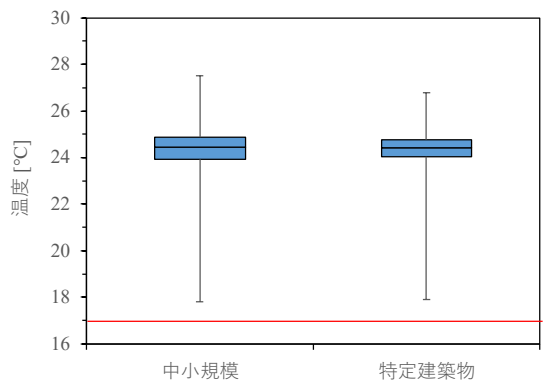


図 1-1-4 冬期における中小規模ビルと特定建築物の室内温度四等分値の比較

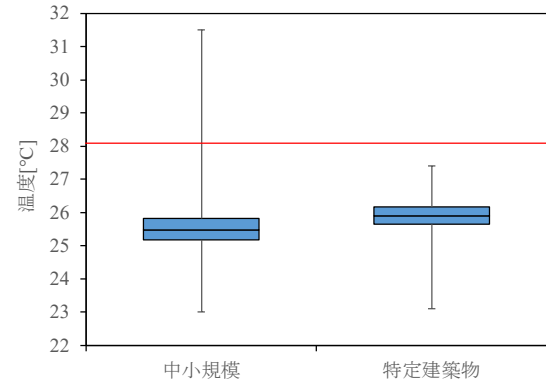


図 1-1-5 夏期における中小規模ビルと特定建築物の室内温度四等分値の比較

夏期中小規模 8 件と特定建築物 3 件 (2019 年夏期, 表 1-1-1 に示す赤字対象, 以後同) の室内温度四等分値を示す。冬期の中小規模ビルの中央値が 24.0℃であるのに対し, 特定建築物の中央値は 24.8℃であった。一方夏期では, 中小規模ビルの中央値の 25.5℃に対し, 特定建築物はほぼ同じ (25.9℃) であった。なお, 中小規模最大値を示したのは 2019 年 8 月お盆明けの朝空調立ち上がりの時であった。

(2) 相対湿度

図 1-1-6～図 1-1-8 に冬期と夏期の室内相対湿度の四等分値を示す。冬期では、特定建築物 E04 と E08、中小規模の E09 と E11 の中央値(25%のタイル値も)が 40%を上回ったものの、他の全ての中央値が 40%を下回っていた。不適合率は約 80%であった(19 室中 15 室)。

一方、夏期では最大値は 70%を超えるビルがあったが、全ての中央値(75%タイル値も)が 70%を下回っており、総じて良好であった。

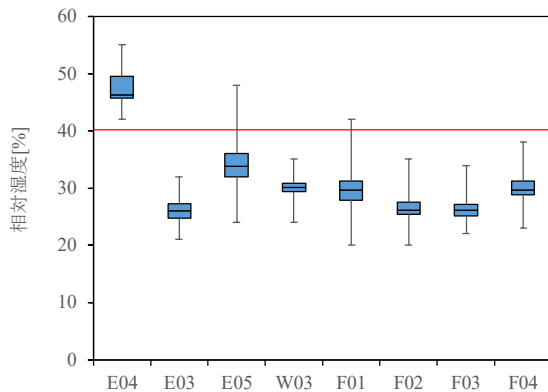


図 1-1-6 冬期の室内相対湿度四等分値 (2019 年)

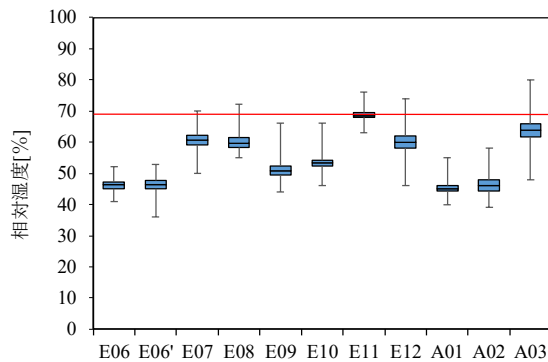


図 1-1-7 夏期の室内相対湿度四等分値 (2019 年)

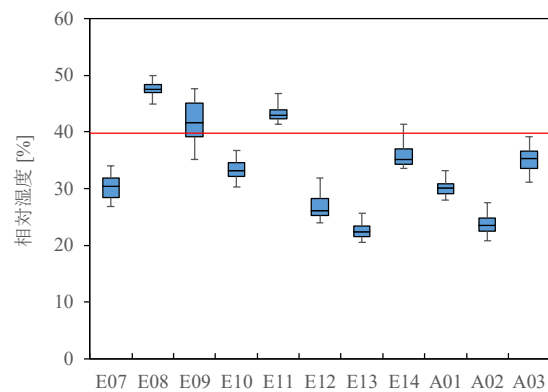


図 1-1-8 冬期の室内相対湿度四等分値 (2020 年)

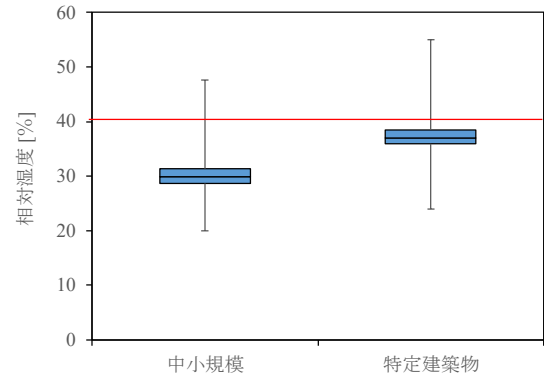


図 1-1-9 冬期における中小規模ビルと特定建築物の室内相対湿度四等分値の比較

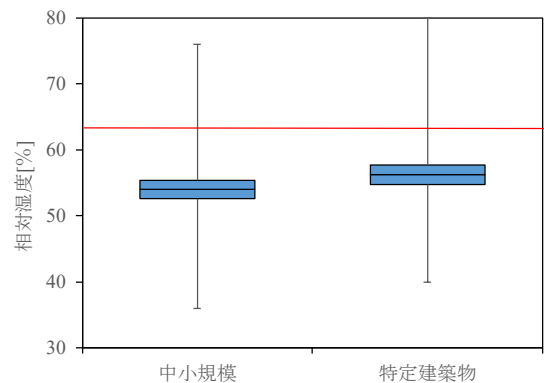


図 1-1-10 夏期における中小規模ビルと特定建築物の室内相対湿度四等分値の比較

図 1-1-9 と図 1-1-10 に本調査で行った中小規模ビルと特定建築物の冬期と夏期の相対湿度の四等分値を示す。中央値において、冬期では、中小規模ビルと特定建築物の相対湿度がそれぞれ 30%と 37%であり、特定建築物の方が比較的高い値を示した。建築物の規模を問わず冬期の低湿度問題が存在していることが確認された。

一方夏期では、中小規模の中央値の 54%であるのに対し、特定建築物はほぼ同じ (56%) であった。

(3) CO₂濃度

図 1-1-11～図 1-1-13 に冬期と夏期の室内 CO₂濃度の四等分値を示す。中央値において、季節を問わず全てが 1000ppm を下回った。

図 1-1-14 と図 1-1-15 に中小規模ビルと特定建築物の冬期と夏期の室内 CO₂濃度の四等分値を示す。最大値が高いものの、他の四等分値は季節と規模を問わず、何れも建築物衛生法の基準値 1000ppm を満足した。

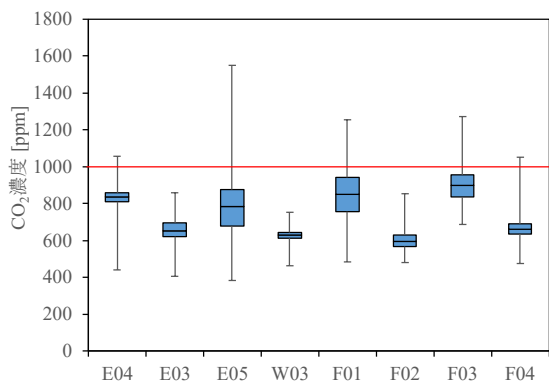


図 1-1-11 冬期の室内 CO₂ 濃度四等分値 (2019 年)

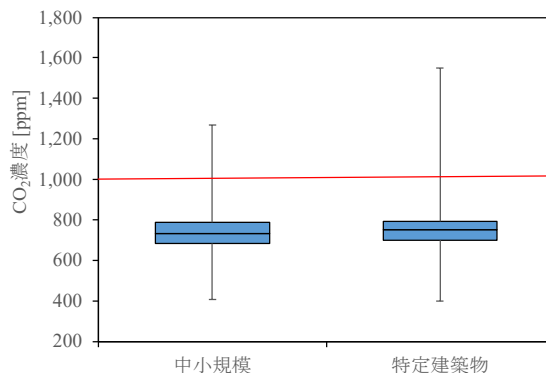


図 1-1-14 冬期における中小規模ビルと特定建築物の室内 CO₂ 濃度四等分値

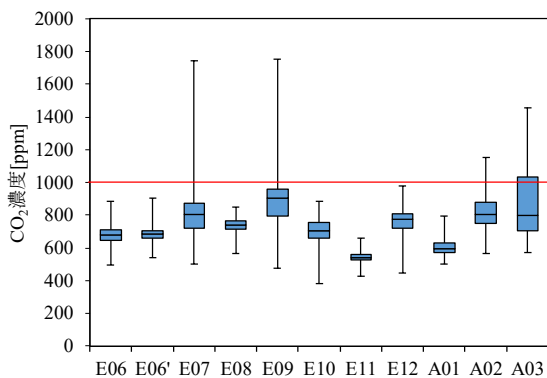


図 1-1-12 夏期の室内 CO₂ 濃度四等分値 (2019 年)

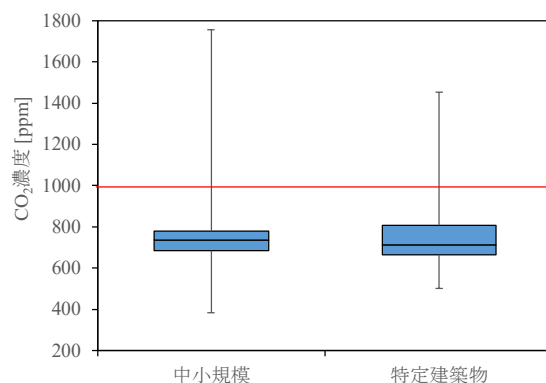


図 1-1-15 夏期における中小規模ビルと特定建築物の室内 CO₂ 濃度四等分値

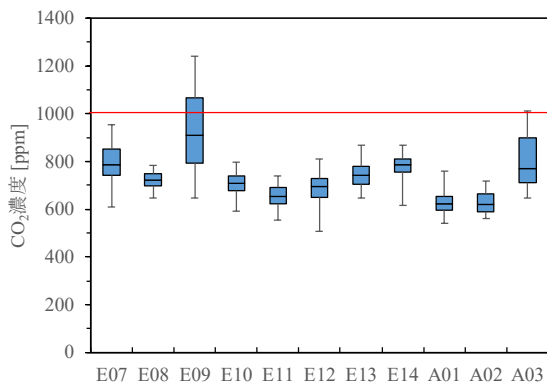


図 1-1-13 冬期の室内 CO₂ 濃度四等分値 (2020 年)

1-1-3 まとめ

温度については、冬期と夏期の中央値が冬期で 24.0°C (中小規模ビル) と 24.8°C (特定建築物)、夏期で 25.5°C (中小規模ビル) と 25.9°C (特定建築物) であり、規模別の間に大きな差が見られなかった。

相対湿度については、夏期では規模を問わず概ね良好であった。一方、冬期では 4 室 (特定 2, 中 小 2) の中央値が 40% を上回っていたが、残りの 15 室の中央値 (75% タイル値も) が 40% を下回っ

ていた。規模を問わず、冬期の低湿度問題が再確認された。

CO₂ 濃度については、季節・規模を問わず概ね良好であった。

1-2 微生物・微粒子

1-2-1 生菌

(1) 浮遊細菌

図 1-2-1 に冬期における室内と屋外の浮遊細菌濃度を示す。何れの室内においても日本建築学会の管理規準値 500cfu/m³ を下回った。

図 1-2-2 に給気 (SA) 中細菌が測定できた対象ビルの SA 濃度とそのビルの外気 (OA) 濃度の比を示す。E06 の 2 階では SA/OA 比約 1 であり、外調機のフィルタのろ過性能が不十分か、空調ダクトからの飛散があったものと推察される。他の対象室の SA/OA 比は 0.5 以下となっており、空気搬送系内での明確な発生が見られなかった。

図 1-2-3 に冬期における中小規模ビルと特定建築物の浮遊細菌濃度四等分値を示す。何れも日本建築

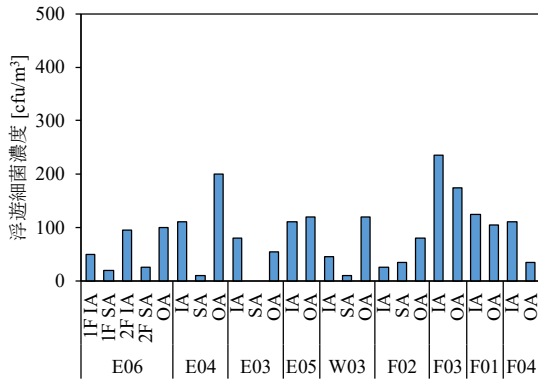


図 1-2-1 冬期における室内浮遊細菌濃度

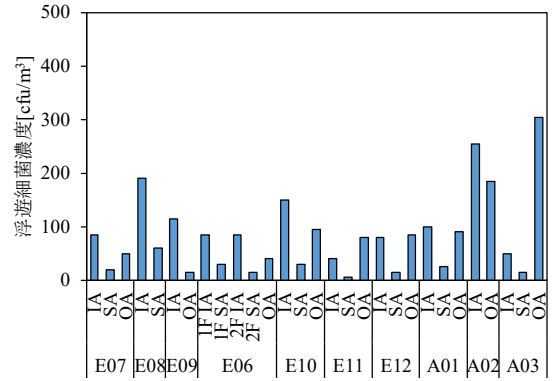


図 1-2-4 夏期における室内浮遊細菌濃度

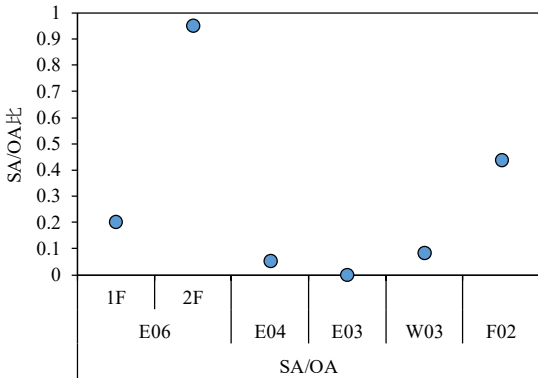


図 1-2-2 冬期における浮遊細菌濃度の SA/OA 比

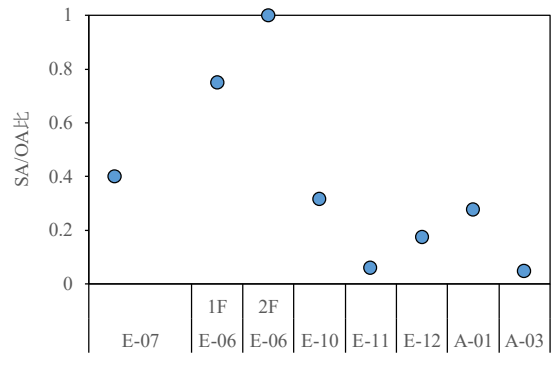


図 1-2-5 夏期における浮遊細菌濃度の SA/OA 比

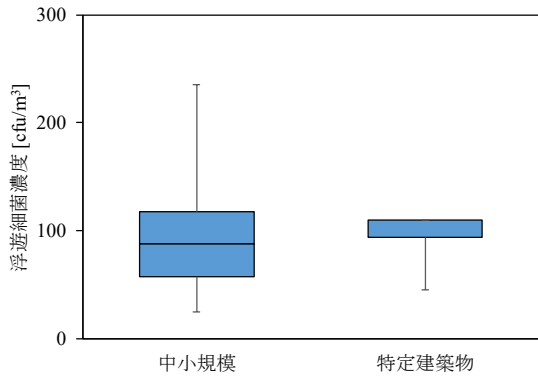


図 1-2-3 冬期における中小規模ビルと特定建築物の室内浮遊細菌濃度四等分値

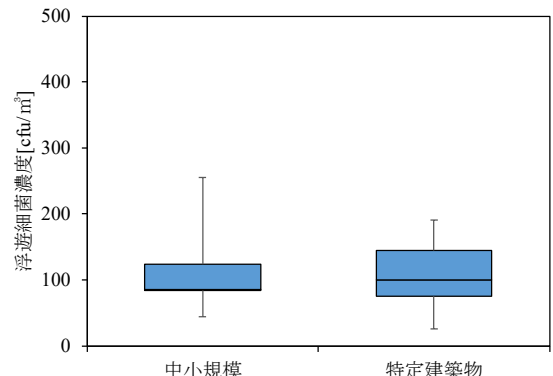


図 1-2-6 夏期における中小規模ビルと特定建築物の室内浮遊細菌濃度四等分値

学会の管理規準値 $50\text{cfu}/\text{m}^3$ を満足している。また、特定建築物の方 $100\text{cfu}/\text{m}^3$ 前後に分布しているが、中小規模の方がビルによって、その濃度の差が見られた。その差は在室人員密度や活動状況に起因するものであると考えられる。

図 1-2-4 に夏期における室内と屋外の浮遊細菌濃度を示す。何れ室内においても日本建築学会の管理規準値 $500\text{cfu}/\text{m}^3$ を下回った。

図 1-2-5 に SA の細菌が測定できた対象ビルの浮

遊細菌濃度の SA/OA 比を示す。全体的に 1 以下となっているが、冬期に比べ比較的高い値を示している。

図 1-2-6 に夏期における中小規模ビルと特定建築物の浮遊細菌濃度の四等分値を示す。中央値において、特定建築物の方がやや高い値を示しているが、何れも日本建築学会の規準値を満足しており、規模間に大きな差が見られなかった。

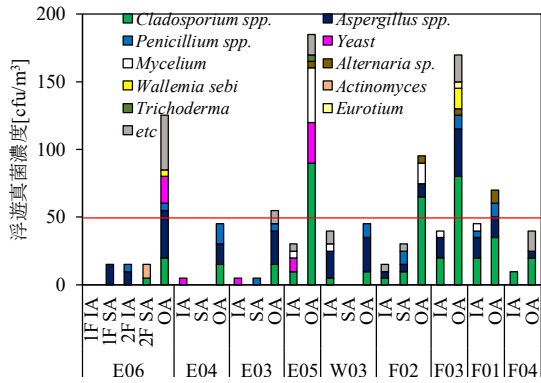


図 1-2-7 冬期における室内浮遊真菌濃度

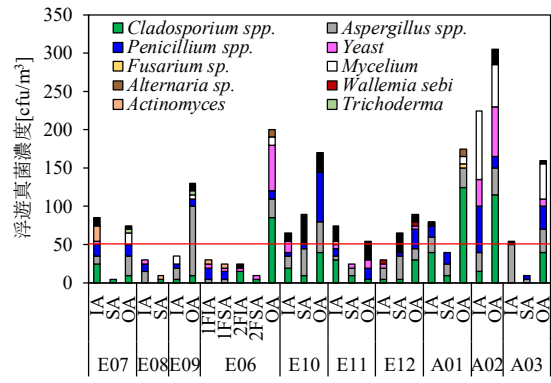


図 1-2-10 夏期における室内浮遊真菌濃度

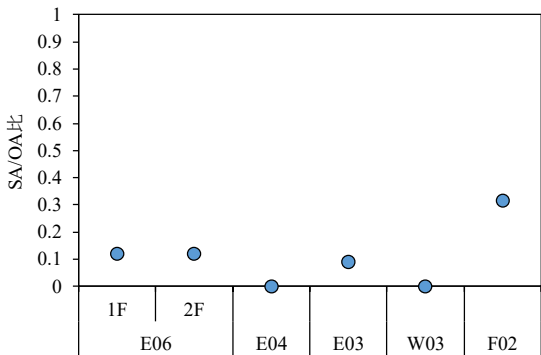


図 1-2-8 冬期における浮遊真菌濃度の SA/OA 比

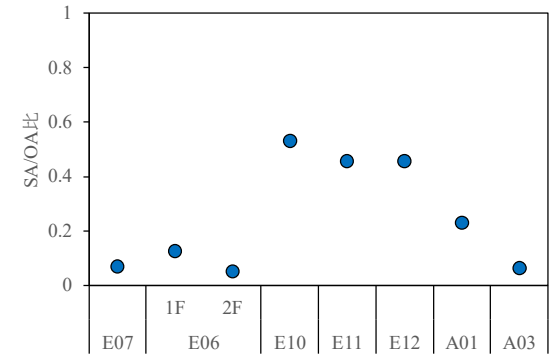


図 1-2-11 夏期における浮遊真菌濃度の SA/OA 比

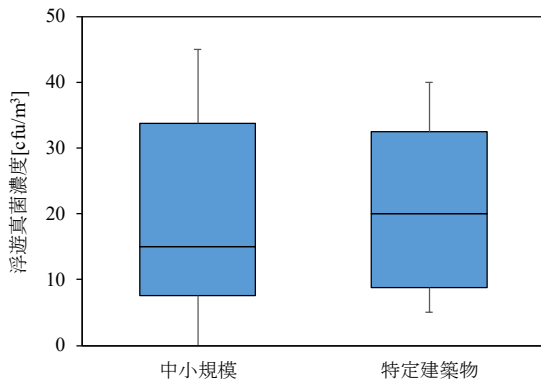


図 1-2-9 冬期における中小規模ビルと特定建築物の室内浮遊真菌濃度四等分値

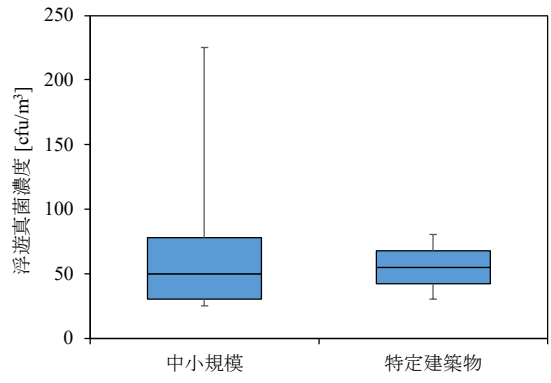


図 1-2-12 夏期における中小規模ビルと特定建築物の室内浮遊真菌濃度四等分値

(2) 浮遊真菌

図 1-2-7 に冬期における室内と屋外の菌種別浮遊真菌濃度を示す。何れの室内濃度が日本建築学会の管理規準値 50cfu/m^3 を満足した。また、菌種別から、室内浮遊真菌は外気浮遊真菌の影響を受けていることが分かった。

図 1-2-8 に SA の真菌が測定できた対象ビルの浮遊真菌濃度の SA/OA 比を示す。SA/OA 比は 0.3 以下となっており、空気搬送系での明確な真菌の発生が見られなかった。

図 1-2-9 に冬期における中小規模と特定建築物の浮遊真菌濃度の四等分値を示す。規模別による明確な差が見られなかった。

図 1-2-10 に夏期における室内と屋外の浮遊真菌濃度を示す。E07, E10, E11, A01, A02 (何れも中小規模) の室内濃度が日本建築学会の管理規準値 50cfu/m^3 を上回った。とくに、A02 の室内浮遊真菌濃度が基準値の 4 倍以上の値を示した。冬期に比べ、夏期の外気濃度が高く、それに加え空調・換気設備

のろ過性能が比較的劣っているため、上記の室内高濃度の原因になっていると考えられる。

図 1-2-11 に夏期に SA の真菌が測定できた対象室浮遊真菌濃度の SA/OA 比を示す。冬期の 0.3 以下に比べ、夏期では 0.6 以下の値を示した。

図 1-2-12 に夏期中小規模ビルと特定建築物における室内浮遊真菌濃度の四等分値を示す。中央値において、日本建築学会の管理基準 50cfu/m³ を満足しているが、中小規模ビルでは高い値を示す対象室があった。

1-2-2 菌叢解析

(1) サンプルング方法

ここでは、2019 年夏期に測定を行った時に、各対象ビル（表 1-1-1）の室内と屋外に DNA フリーフィルタとエアポンプを用いた測定を行った。サンプルリング流量は 1800 (30/min×60min) であった。

本研究では、メタゲノム手法を用いた。メタゲノム解析は、培養のプロセスを経ずに、環境サンプルから直接に回収した DNA を解析するもので、培養できないとされている微生物の DNA も解読できるようになっている。

(2) DNA 抽出・増幅・精製・解析方法

DNA の抽出、増幅、精製については筆者らの既報を参照されたい¹⁻²⁾。なお、NGS（次世代シーケンサー）による DNA 解読を商用ラボに依頼した。

(3) 結果

現在、生物は3つのドメイン、即ち、ユーキャリア（真核生物）、バクテリア（真正細菌）、アーケア（古細菌）に分類されており、それぞれのドメインの下に門 (phylum)、綱 (class)、目 (order)、科 (family)、属 (genus)、種 (specie) に細分類されている。ここでは、これまでの研究と比較するために主として細菌と真菌の属について検討を行った。

表 1-2-1 にリード数別の細菌と真菌の属数を示す。リード数とは、NGS で解析した塩基配列の数であり、細菌と真菌の量の多さを表す指標である。これまで、培地を用いた生菌の測定結果から、細菌の主な発生源が室内、真菌の主な発生源は外気中にあることが知られている。表 1-2-1 より、培地法よりはるかに多い属菌が検出されていることが分かった。他、リード数を問わず、屋外より室内から検出された細菌属数が多かった。一方、真菌においては、リード数が 1000 までの属数が屋外の方が多く、1000 以上の場合室内の方が多く分かった。

表 1-2-1 検出された細菌と真菌の属数

		リード数			
		10~	100~	1000~	10000~
細菌	室内	244	159	61	15
	屋外	242	142	52	12
真菌	室内	104	95	82	22
	屋外	146	116	65	9

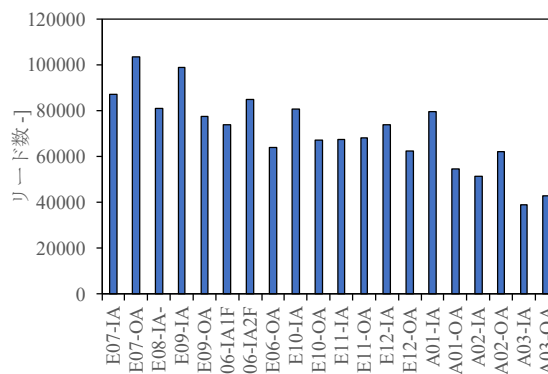


図 1-2-13 各箇所検出された細菌の総リード数

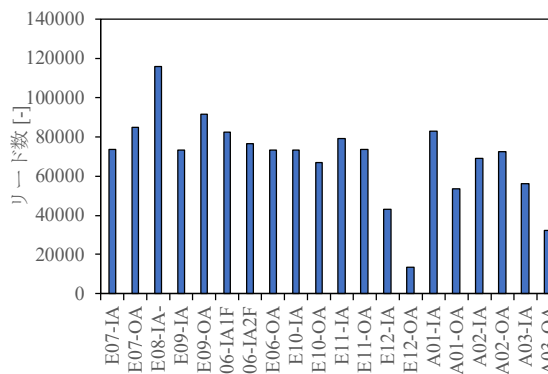


図 1-2-14 各箇所検出された真菌の総リード数

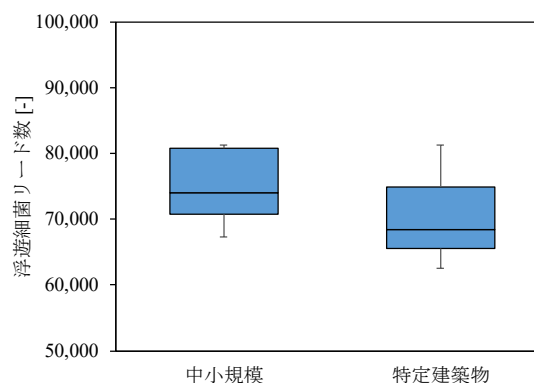


図 1-2-15 室内浮遊細菌リード数の四等分値

これは室内、または外気を導入する空気搬送系での発生があったと推測される。

図 1-2-13 と図 1-2-14 に細菌と真菌の総リード数を示す。図 1-2-15 と図 1-2-16 に規模別ビル室内における細菌と真菌の総リード数の四等分値を示

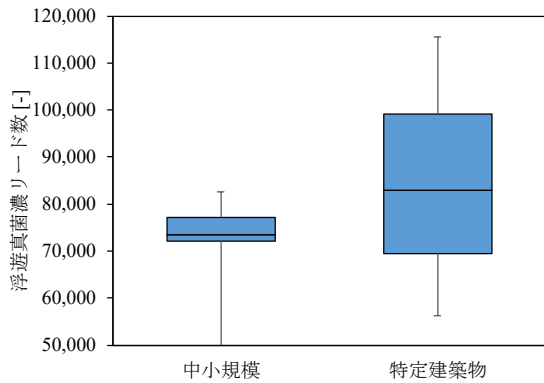


図 1-2-16 室内浮遊真菌リード数の四等分値

す。細菌では、中小規模ビルが高い値を示したが、真菌では逆の傾向を示した。この結果を勘案し、今後中小規模と特定建築物において、さらなるデータの蓄積が必要であると思われる。

図 1-2-17 と図 1-2-18 に細菌と真菌の総リード数 10000 以上の細菌属と真菌属を示す。上位細菌属と真菌属はこれまで培地法でも検出されているものを含んでいる。

図 1-2-19～図 1-2-20 に各箇所検出された総リード数の I/O 比と浮遊細菌（生菌）の I/O 比を示す。全体的にリード数の I/O 比が高い値を示した。

図 1-2-21～図 1-2-22 に各箇所検出された総リード数の I/O 比と浮遊真菌（生菌）の I/O 比を示す。細菌と同様に全体的にリード数の I/O 比が高い値を示した。これらの結果は、生菌は培地の選択性により、測定できる細菌が僅かであるのに対し、メタゲノムを用いた方法では殆どの細菌と真菌を検出できることに起因すると考えられる。

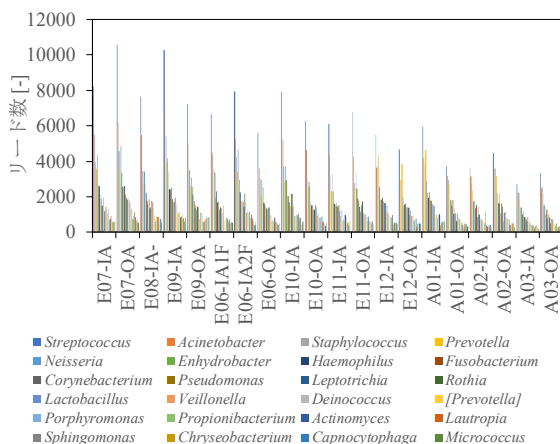


図 1-2-17 細菌属別リード数（合計 10000 以上）

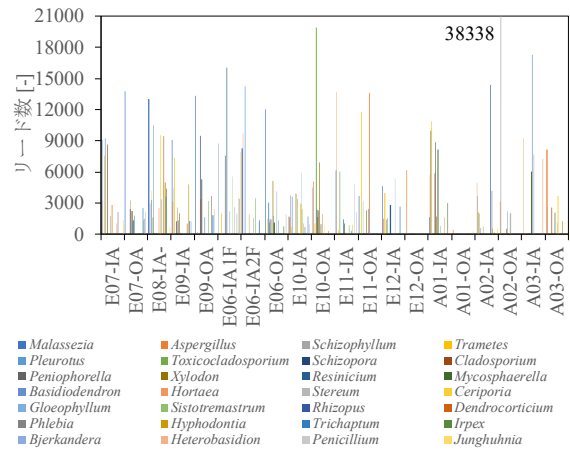


図 1-2-18 細菌属別リード数（合計 10000 以上）

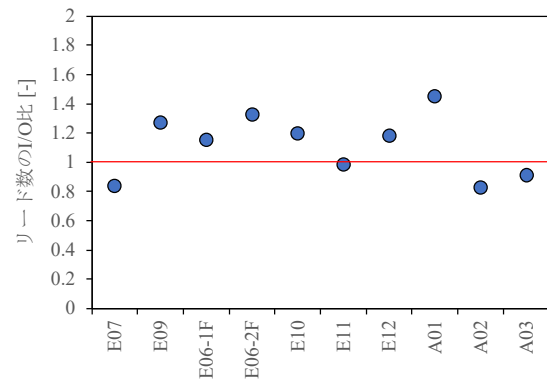


図 1-2-19 各箇所における細菌リード数の I/O 比

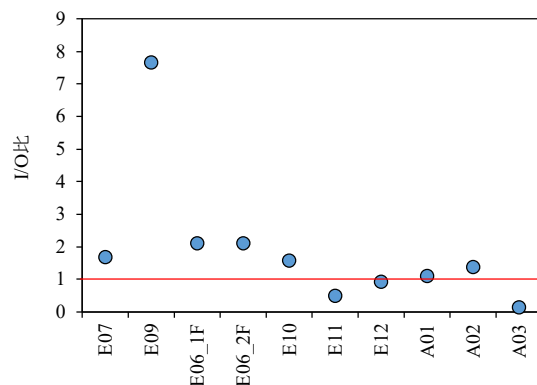


図 1-2-20 各箇所における細菌（生菌）の I/O 比

1-2-3 浮遊微粒子

図 1-2-23 と図 1-2-24 に冬期と夏期に中小規模と特定建築物の粒径別浮遊粒子濃度の四等分値を示す。冬期では、1 μ m 以下の浮遊粒子濃度の規模別間に明確な差が見られないが、1 μ m 以上の浮遊粒子濃度において中小規模ビルの方が高い値を示している。一方、夏期では、粒径を問わず、中小規模ビルの方が高い値を示している。これは、中小規模ビ

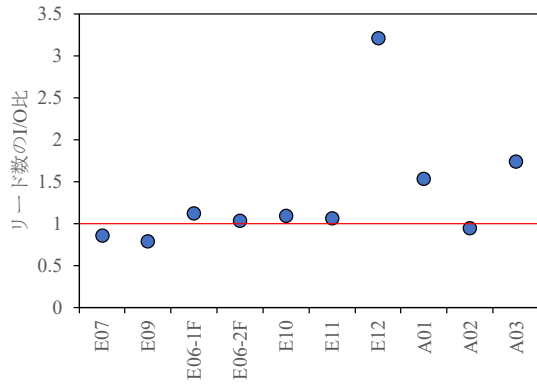


図 1-2-21 各箇所における真菌リード数の I/O 比

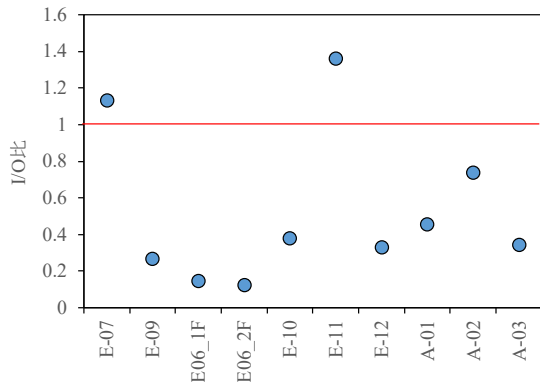


図 1-2-22 各箇所における真菌（生菌）の I/O 比

ルの空調・換気設備に備えられているフィルタの捕集性能が劣っていることが原因になっていると考えられる。

1-2-3 まとめ

細菌について、季節をと問わず、中小規模ビルでは特定建築物と同様に日本建築学会の管理規準値 $500\text{cfu}/\text{m}^3$ を満足している。

真菌について、冬期では中小規模ビルの室内濃度が日本建築学会の管理規準値 $50\text{cfu}/\text{m}^3$ を満足しているが、夏期では中小規模ビルの空調・換気設備のろ過性能が比較的劣っていたため、高濃度の外気の侵入により室内浮遊真菌濃度が上昇し、 $50\text{cfu}/\text{m}^3$ を超える対象室が散見された。一方、特定建築物は季節を問わず、浮遊真菌濃度の中央NGS値が $50\text{cfu}/\text{m}^3$ を下回っている。

NGS を用いたメタゲノムの菌叢解析において、検出された細菌属と真菌属の何れにおいて、これまで報告された生菌の結果よりはるかに多かった。これは、培地を用いた方法では殆どの種類の細菌と真菌を検出できないためである。また、菌量の多さを表すリード数において、中小規模ビルでは特定建築

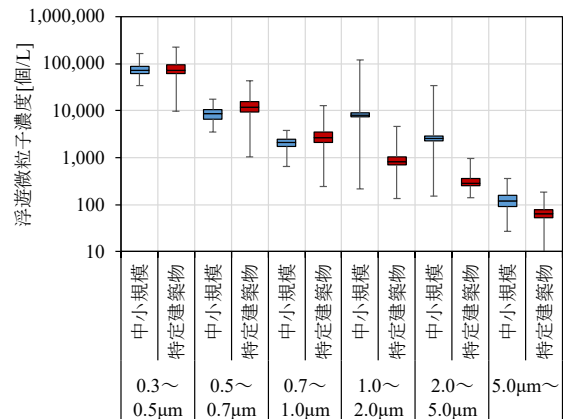


図 1-1-23 冬期における中小規模ビルと特定建築物の粒径別浮遊粒子濃度の四等分値

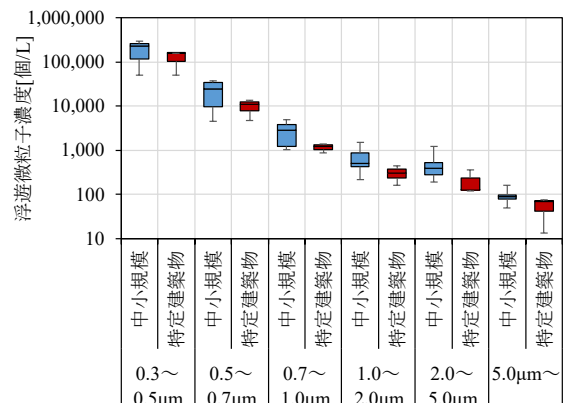


図 1-1-24 夏期における中小規模ビルと特定建築物の粒径別浮遊粒子濃度の四等分値

物に比べ、細菌は多いものの、真菌は少なかった。この結果と I/O 比の結果を併せて考えると、特定建築物では空調システム内での真菌の発生がある可能性あることが強く示唆された。今回今後更なるデータを蓄積する必要がある。

引用文献

- 1) 柳宇, 加藤信介, 畑中未来: 建築環境における呼吸器系病原体モニタリング法の確立に関する研究-その 1 研究全体の概要とサンプリング・DNA 解析方法, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学II, pp.859-862, 2018
- 2) 新村美月, 柳宇, 鍵直樹, 金 勲, 畑中未来: クール・ヒートピットにおけるマイクロバイオームの実態解明 第 1 報: 室内とピット内の細菌叢の比較, 日本建築学会環境系論文集 第 85 巻 第 770 号, pp.259-266, 2020 年 4 月, DOI <http://doi.org/10.3130/aije.85.259>

1-3 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、建築物衛生法で粒径 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¹⁾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」²⁾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 2~30 μg/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³⁾。

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、建築物における室内 PM_{2.5} 濃度のデータの蓄積と共に、特定建築物・非特定建築物の比較、中央式・個別空調方式の比較を行うことで、その特徴について検討した。

B. 研究方法

B.1 実測対象建築物の概要

対象とした建築物は、表 1-1-1 に示すとおり事務用途となっている。2018 年度、2019 年度の夏期及び冬期において、東京、埼玉、神

奈川、大阪、福岡、群馬における建築物にて行った。建物は、表 1-3-1 に示す延床面積 3000 m² 以上の特定建築物、延床面積 3000 m² 未満の中規模の非特定建築物となっていた。各建物の空気調和方式については、外調機を有する中央方式、ビルマル及び換気設備による個別方式に分類した。また、換気設備が当日稼働されていない建物もあった。

B.2 室内 PM_{2.5} の測定方法

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 として表示する。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。

さらに、同時に浮遊粉じんの測定に使用されるデジタル粉じん計(LD-5)を用いて、この粉じん計の標準採気口に PM_{2.5} 用サイクロン式分級装置を装着することで PM_{2.5} の測定を行った。上述の PM_{2.5} 計と値を比較することで、室内測定において粉じん計適用の可能性について検討を行った。

C. 結果及び考察

C.1 建築物における室内 PM_{2.5} 濃度

図 1-3-1 に DustTrak により測定した各室内(IA)及び外気(OA)における PM_{2.5} 濃度の

表 1-3-1 実測対象建物の概要

ID	E01	E02	E03	E04	E05	E06	T01	W01	W02	W03	F01	F02	F03	F04	E07	E09	E10	E11	E12	E13	E14	A01	A02	A03
City	Tokyo / Saitama / Kanagawa							Osaka				Fukuoka				Tokyo / Kanagawa / Gunma						Aichi		
Type ¹⁾	N	N	N	S	S	N	S	N	N	S	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	S	S	N	S
AC ²⁾	I	I	I	C	I	C	C	I	I	C	I	I	I	I	I	I	I	C	I	I	C	C	I	I
Summer	2018						2019						2018						2019					
Winter	2018						2019						2018						2019					

1) S: Specific building, N: Non-specific building

2) C: Central air conditioning, I: Individual air conditioning

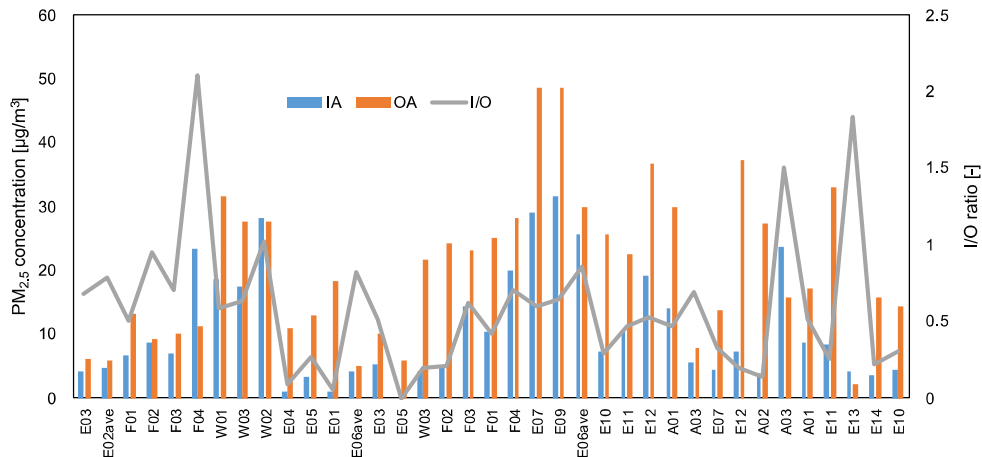


図 1-3-1 各建築物の PM_{2.5} 濃度と I/O 比 (DustTrak)

測定結果及び室内と外気濃度の比である 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 35 µg/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」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。同一建物である例えば 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^りと同じ傾向であり、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。夏期の F04 では居室に隣接する喫煙室により、室内の濃度が高く検出され、I/O 比も 2.0 付近と非常に高くなった。しかし冬期には喫煙室の使用をやめており、室内濃度は外気よりも低い濃度となった。よって、不完全な喫煙室によるたばこ煙により、非喫煙居室であっても室内 PM_{2.5} 濃度は非常に高くなることが明らかになった。E13 については、外気濃度が非常に低く、室内も低濃度であるものの、室内での発生が小さくても、I/O 比としては大きくなった。その他の建物においては、概ね I/O 比が 1 を下回っていた。よって、室内に支配的な粒子発生源が無い場合、室内の PM_{2.5} 濃度は主に外気中の粒子の侵入が影響していると考えられる。

なお、暖房期に使用されている卓上超音波

加湿器の使用により、光散乱方式の粉じん計及び PM_{2.5} 計はこのミストを検出することがあり、特異に高濃度に表示される場合があるため、注意が必要である。

測定機器の比較として、夏期と冬期それぞれの PM_{2.5} 濃度の結果について、PM_{2.5} 濃度計の DustTrak と粉じん計に PM_{2.5} 分級器を装着した LD-5 の相関関係を図 1-3-2 示す。両者には良い相関があり、絶対値も概ね同じ値を示した。両者とも光散乱方式を用いていることから、室内における PM_{2.5} の適切な係数値を用いることで、分級器を装着した粉じん計も十分使用できるものと考えられる。

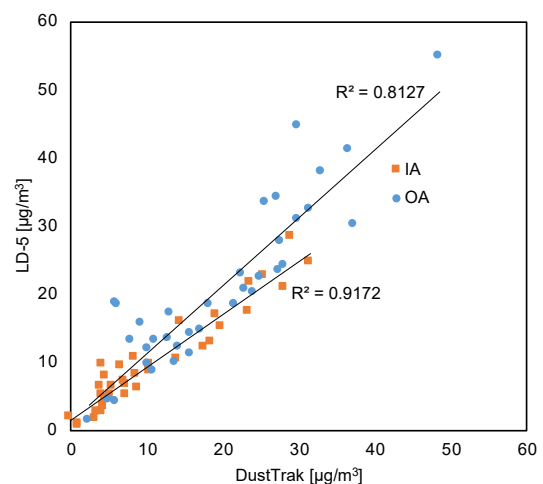


図 1-3-2 DustTrak と LD-5 による PM_{2.5} 濃度の相関

C.2 建築物規模と空調方式による特徴

図 1-3-3 に、測定季節別の PM_{2.5} 濃度と I/O 比の箱ひげ図を示す。なお、先述の理由により喫煙室を有した夏期 F04 の結果は除外している。PM_{2.5} 濃度と I/O 比共に、平均値は夏期より冬期の方が低い値となった。特に PM_{2.5} 濃度については、最大値が非常に高く、大気の PM_{2.5} 濃度は夏期の方が高いためと推測される。I/O 比の方が季節の差は PM_{2.5} 濃度に比べれば小さいことが確認できる。

図 1-3-4 に、測定地域別の PM_{2.5} 濃度と I/O 比の箱ひげ図を示す。東京（神奈川、埼玉、群馬を含む）の PM_{2.5} 濃度は大阪や福岡に比べかなり低く、大気濃度の地域差が影響しているものとなった。しかし、I/O 比は地域差が少なく、各地域の平均値は 0.3~0.6 程度となり、1 以下となった。

以上のことより、PM_{2.5} 濃度は季節や地域により変動するものの、I/O 比はそれらによらず、平均して 0.5 程度であることが分かった。逆に、I/O 比の差は、季節や地域ではなく、建物固有の特性である空調方式及び空調機内部のフィルタ性能の違いに由来すると予測できる^{4,5)}。

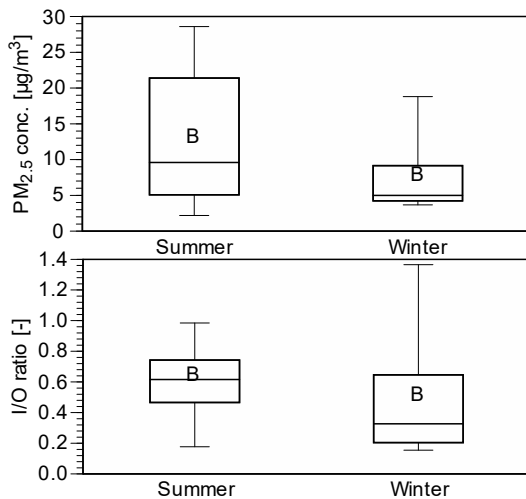


図 1-3-3 季節別の PM_{2.5} 濃度と I/O 比

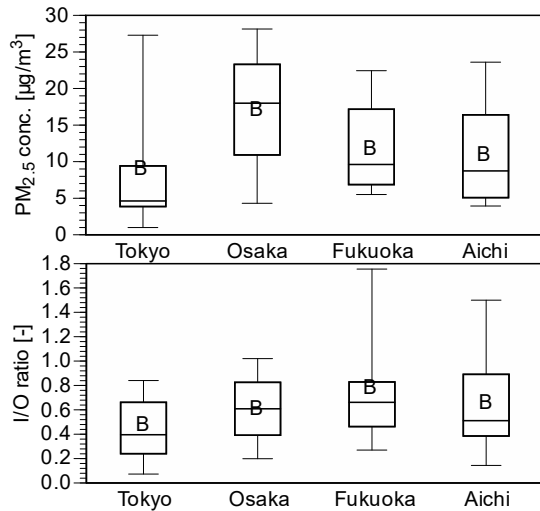
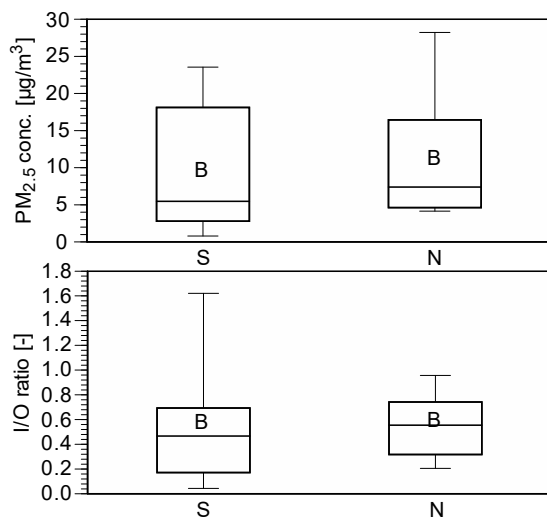


図 1-3-4 地域別の PM_{2.5} 濃度と I/O 比

図 1-3-5 に、建築規模別の PM_{2.5} 濃度と I/O 比の箱ひげ図を示す。なお、先述の喫煙室の影響により夏期 F04 の結果は除外している。また図 1-3-6 に、空調方式別の PM_{2.5} 濃度と I/O 比の箱ひげ図を示す。特定建築物、非特定建築物の PM_{2.5} 濃度及び I/O 比の平均値は、共に同様の値を取り、違いがないことがわかる。一方、空調方式別では、中央方式の方が個別方式より低くなった。

以上より、粗じんフィルタに加えて中性能フィルタを設置していることが多い中央方式の建物では、低く抑えられることが分かった。



S:特定建築物, N:非特定建築物

図 1-3-5 建物規模別の PM_{2.5} 濃度と I/O 比

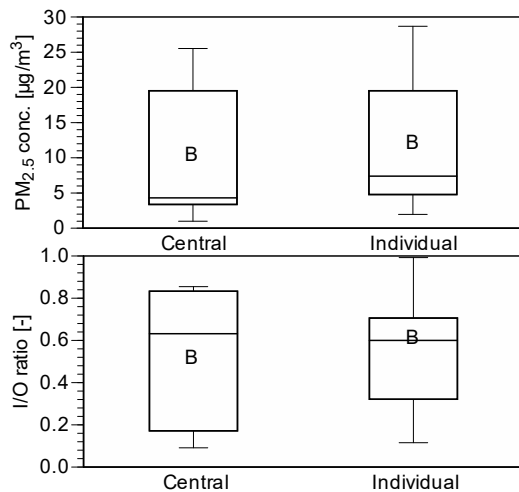


図 1-3-6 空調方式別の PM_{2.5} 濃度と I/O 比

D. まとめ

特定建築物及び非特定建築物である中規模建築物における室内 PM_{2.5} 濃度の測定の結果、全ての室内において 35 µg/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」を下回る結果となった。I/O 比については、概ね I/O 比が 1 を下回っていた。よって、室内に支配的な粒子発生源が無い場合、室内の PM_{2.5} 濃度は主に外気中の粒子の侵入が影響していると考えられた。

また、測定方法として、粉じん計に PM_{2.5} 分級器を装着した計測器であっても、従来の PM_{2.5} 計測器と良い相関が得られており、室内での適用可能性を示した。

建築規模、空調方式別に室内 PM_{2.5} 濃度、I/O 比を比較すると、中央方式の空調機を有する建築物の方が低い値を示し、空調に使用されているフィルタの性能に影響されていることによるものであると示唆された。

参考文献

- 1) 環境省：微小粒子状物質健康影響評価検討会報告書 粒子状物質の特性について、2008
- 2) 大澤元毅ほか：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 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）、2017
- 3) 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

- 4) 鍵直樹, 柳宇, 西村直也：事務所ビルにおける室内浮遊微粒子の特性と PM_{2.5} 濃度の実態調査, 日本建築学会技術報告集, 第 18 巻, 第 39 号, 613-616, 2012
- 5) 鍵直樹, 並木則和：建築物の空調機及びエアフィルタの超微粒子捕集特性, 日本建築学会環境系論文集, Vol. 84, No. 755, 65-71, 2019

1-4 化学物質

1990年代のシックハウス問題を受け、厚生労働省によりホルムアルデヒドを含む13物質の濃度指針値¹⁾が、TVOCについては暫定目標値が定められている。

更に、最後の指針値が制定されてからちょうど10年が過ぎた時点である2012年9月から厚生労働省は「シックハウス関連指針値の検討会」²⁾を再会し、指針値の見直しと指針物質の追加など議論を行ってきた。

その結果、2019年1月に既存物質であるキシレン、フタル酸ジ-n-ブチル (DBP)、フタル酸ジ-2-エチルヘキシル (DEHP) の指針値が強化されることになった¹⁾。

また、エチルベンゼンの指針値の見直しに加え、新たな物質としてテキサノール、2-エチル-1-ヘキサノール (2EIH)、2,2,4-トリメチル-1,3-ペンタンジオールジイソブチレート (TXIB) に関する議論が続いている。

特定建築物では、建築物環境衛生管理基準によりCO₂濃度を基準に適切な換気を行うように定めていることや設計換気量が住宅より多いこと、室内表面積の比が住宅より小さい、また内装材も住宅とは異なることから化学物質濃度は低いと考えられている。

一方、中規模建築に関しては、労働者の安全と健康を確保する目的で1日8時間勤務を想定した最低限の基準として労働安全衛生法の「事務所衛生基準規則」により室内濃度として5000ppmが、供給空気中のCO₂濃度1000ppm以下が定められている。しかしながら、測定や管理など実際の運用に関しては不明な点が多い。

このような背景から、中規模建築に関してもホルムアルデヒド以外の指針物質はもちろん、代替物質など室内空気中化学物質濃度をモニタリングし、実態を把握してゆく必要がある。

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。また、シックハウス検討会で議論さ

れており、オフィスなどビル建築でよく検出される2-エチル-1-ヘキサノール (2EIH) の測定結果について纏めた。

1-4-1 シックハウス関連の厚生労働省指針物質

A. 研究目的

厚生労働省によりシックハウスに関連して13物質の濃度指針値及びTVOCの暫定目標値が定められている。特定建築物を対象とした建築物衛生法においては、新築・改築・大規模改修などを行った際にホルムアルデヒドのみを対象に濃度100 µg/m³が適用されている。

中小規模のオフィスビルが対象となる労働安全衛生法の「事務所衛生基準規則」でも同じ内容が定められている。しかし、中小規模建築の実態が不明であること、また他の化学物質の現状は分からないことから室内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

調査は関東 (東京)、中部 (名古屋) のオフィスビル計11件で行った。対象ビルの建築・設備の概要および測定日は表1-1-1に示している。

なお、A01、A03、E08、E14は特定建築物に分類されるが、中小規模建築との比較のために一緒に示している。

2019年8月 (夏期)、2020年1月~2月 (冬期) に測定を行った。

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30L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40成分の定量を行った。なお、TVOCはC6へ

キサンからC16ヘキサデカンに検出した全ピーク面積をトルエン換算して算出した。

表 1-4-1 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)
VOCs	Gerstel Tube (Tenax-TA) 5L (at 166mL/min) GC-MS (40 物質)

C. 結果及び考察

C.1 空气中濃度の測定結果

13 物質の中で、主に検出された物質はホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、トルエン、エチルベンゼン、キシレン、p-ジクロロベンゼン、テトラデカンであった。他にもスチレンが一部物件から検出されたが、いずれも濃度は低かった。

指針物質ではないが、ベンゼン、リモネン及びノナール、2E1H が多数物件から検出された。殆どの建物で該当物質の濃度は低い、ベンゼンが大気環境基準 $3\mu\text{g}/\text{m}^3$ を若干

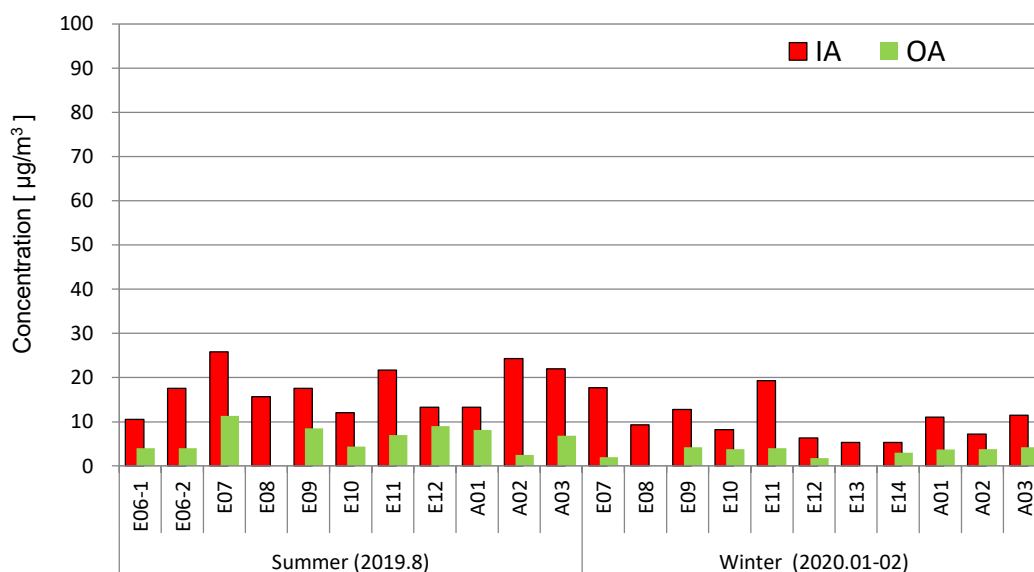


図 1-4-1 ホルムアルデヒドの空气中濃度

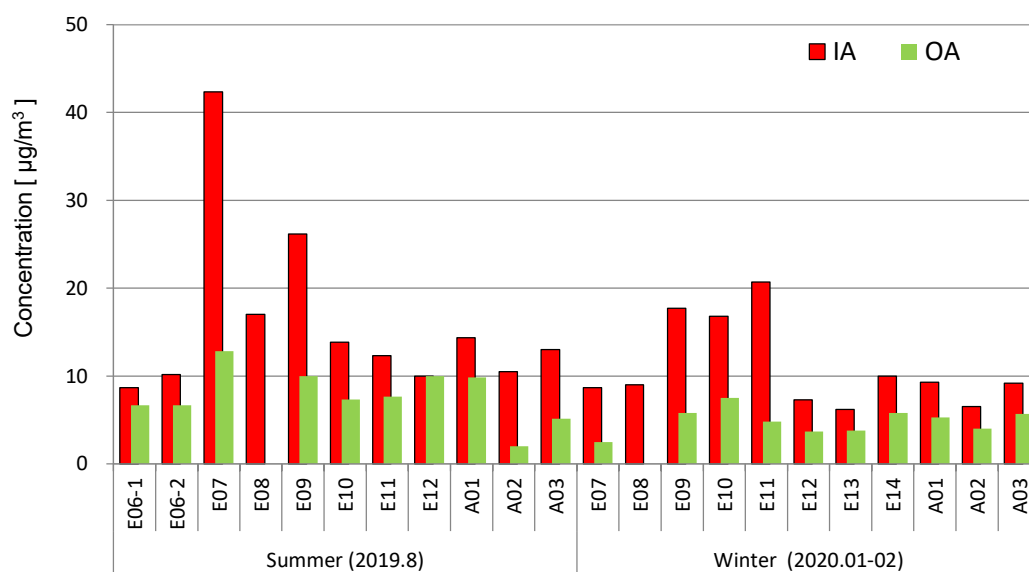


図 1-4-2 アセトアルデヒドの空气中濃度

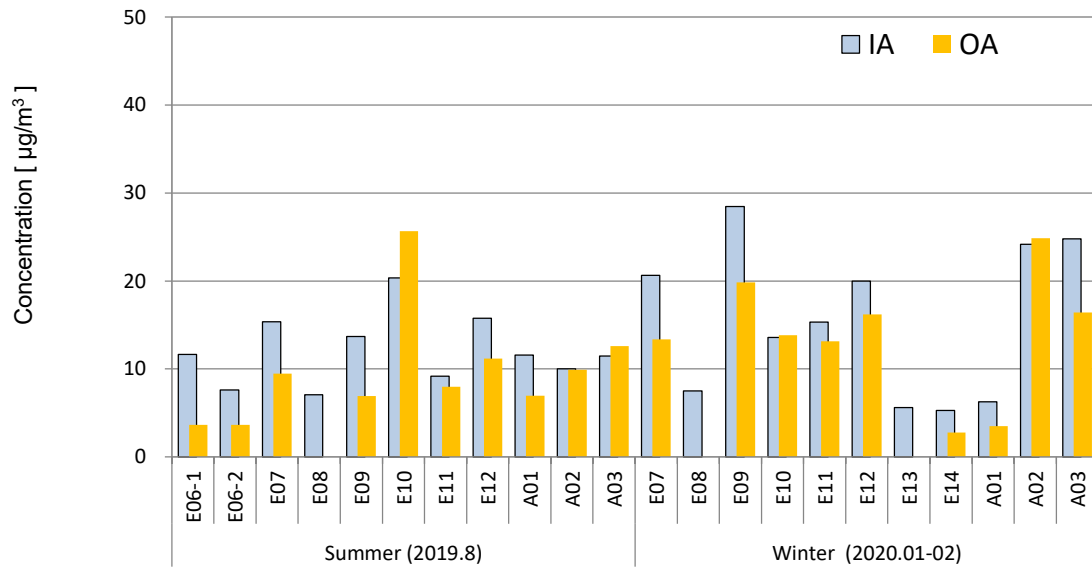


図 1-4-3 トルエンの空气中濃度

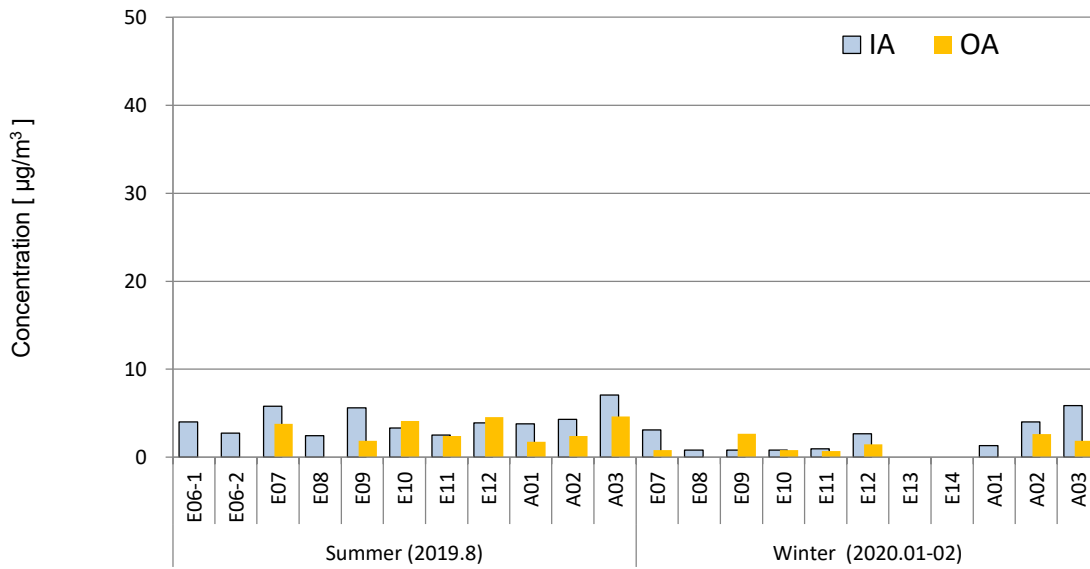


図 1-4-4 エチルベンゼンの空气中濃度

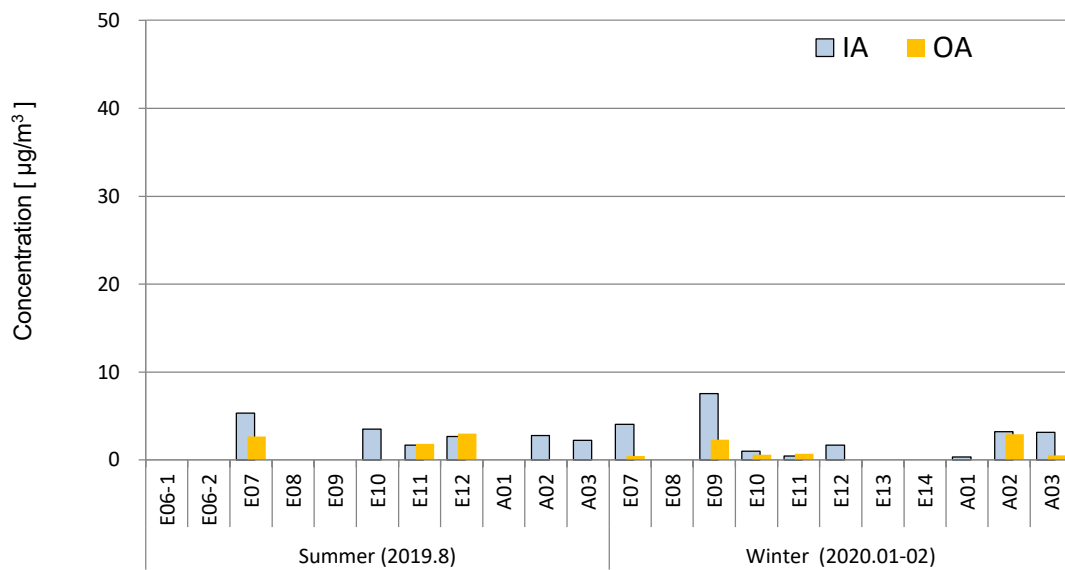


図 1-4-5 キシレンの空气中濃度

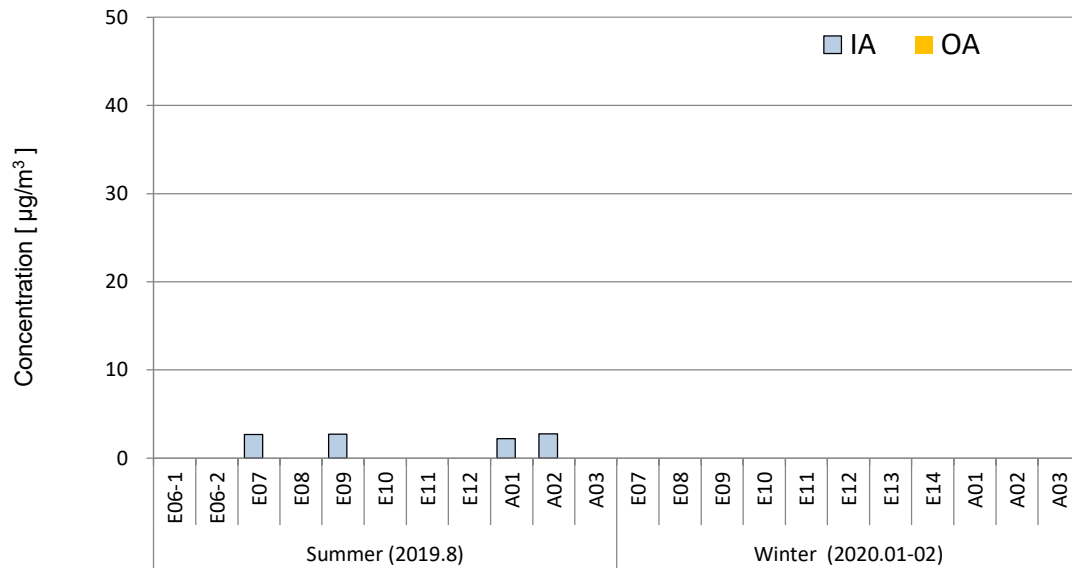


図 1-4-6 スチレンの空气中濃度

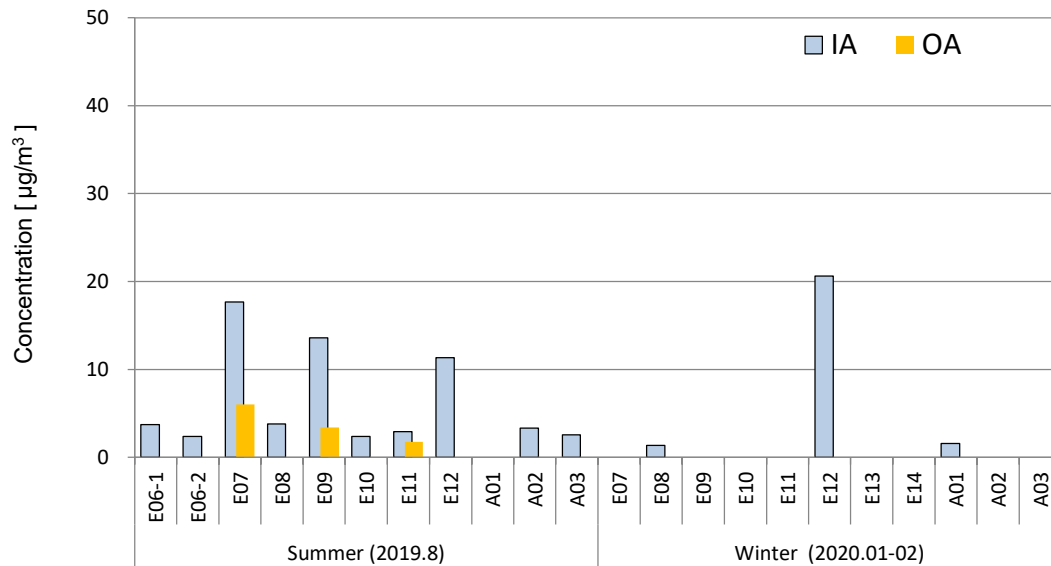


図 1-4-7 p-ジクロロベンゼンの空气中濃度

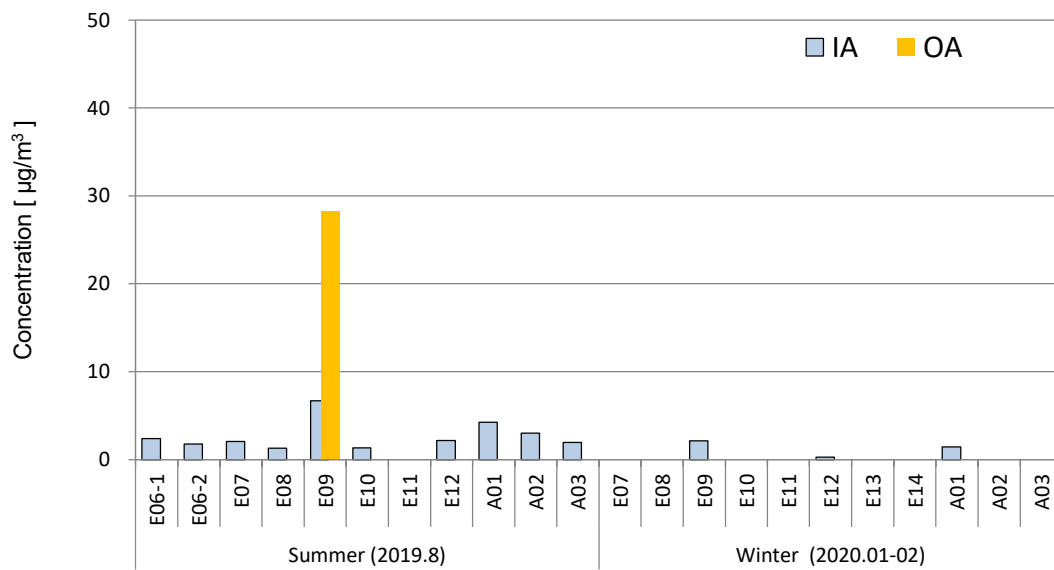


図 1-4-8 テトラデカンの空气中濃度

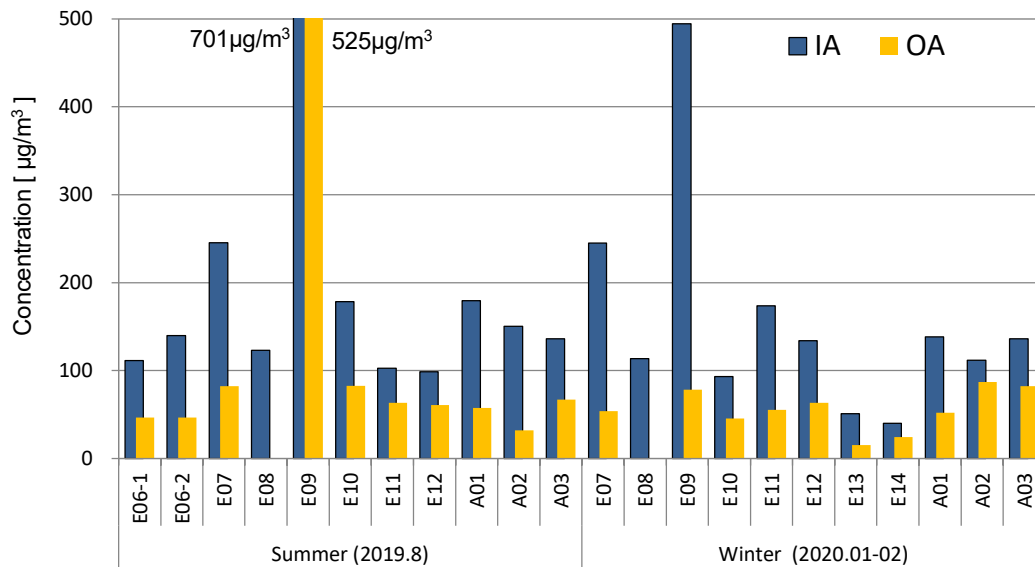


図 1-4-9 TVOC 空气中濃度

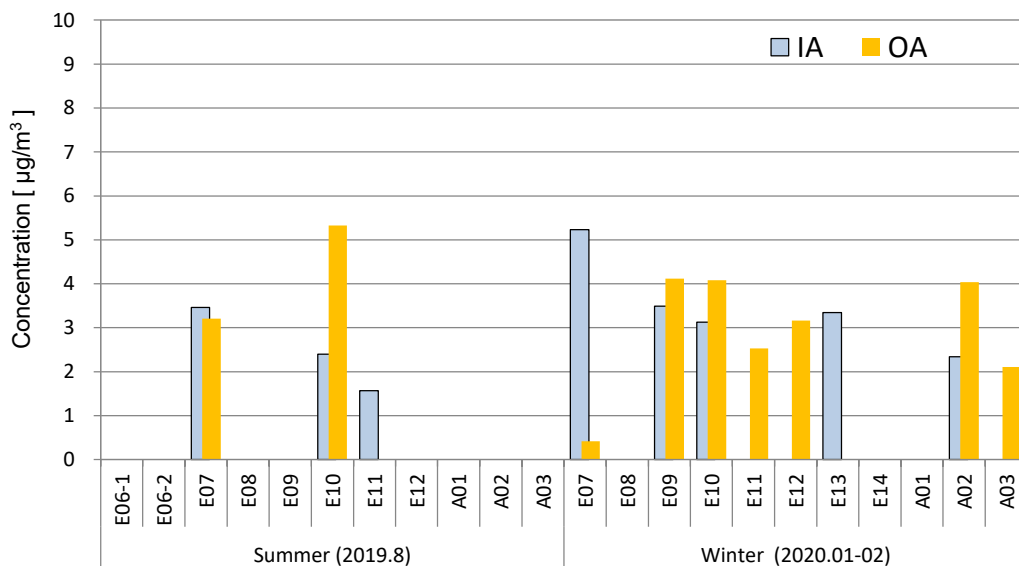


図 1-4-10 ベンゼンの空气中濃度

超える物件が複数あり、E09 ではリモネンが多く検出されたが、こちらは室内にアロマ噴霧やアロマ添加加湿を行っていることが原因と考えられる。また、ウンデカン、ドデカンが一部から検出された。

ホルムアルデヒド濃度指針値 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ に対して、特に高い建物はなかった。アセトアルデヒド指針値は $48\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり指針値を超える物件はなかったが、夏期の E07 のみが $43\mu\text{g}/\text{m}^3$ を示した。E07 では個別 VOC や TVOC 濃度は高くなかった。

他に個別 VOC で、夏期・冬季共に溶剤系

VOCs (トルエン、エチルベンゼン、キシレン、スチレン) で高い濃度を示しているところはなかった。

他に個別 VOC や TVOC で高い濃度を示す建物はなかった。p-ジクロロベンゼンは濃度が高くなることはなかったが、夏期に検出率 100%、冬期 27% と季節による差が大きい。テトラデカンも同様に濃度が高いところは存在しないが、夏期 91%、冬期 27% の検出率を示した。

洗剤、芳香剤など生活用品にも多用される香り成分であるリモネンは、夏冬期とも室内

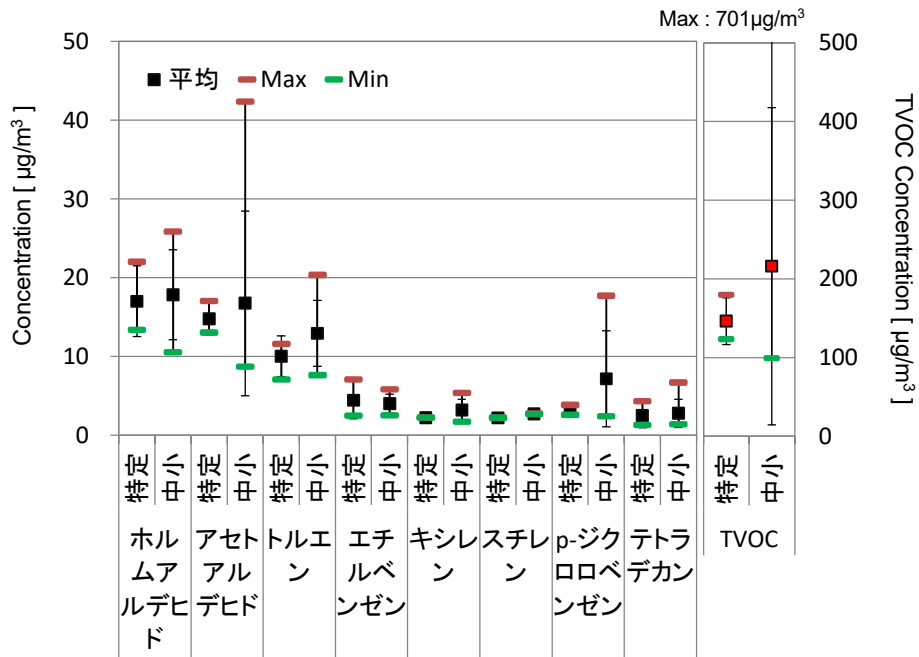


図 1-4-11 夏期の化学物質濃度

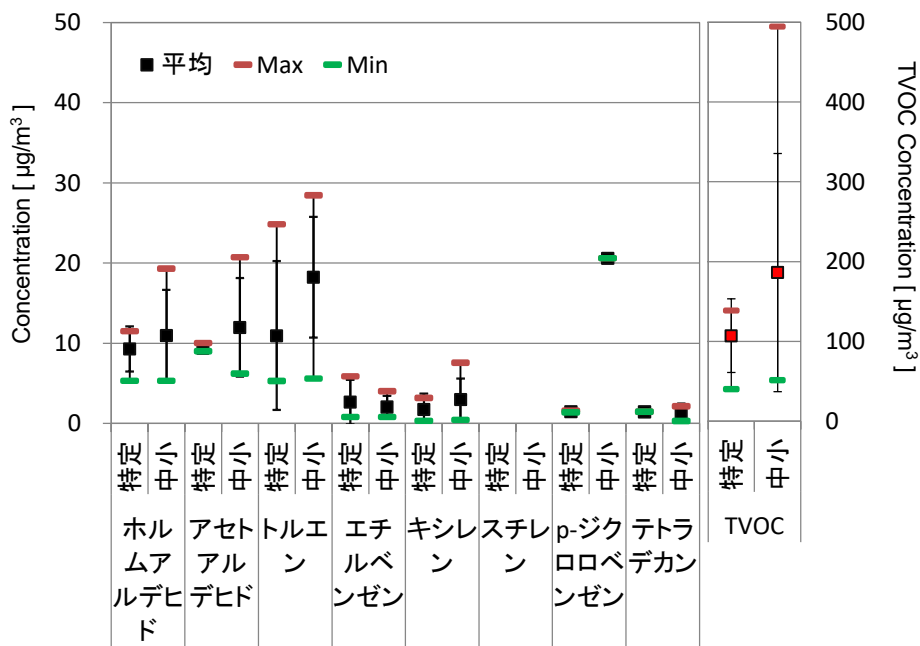


図 1-4-12 冬期の化学物質濃度

での検出はE08の1物件のみであったが、夏期184、冬期229とオフィスの室内濃度としては高い値を示した。ノナナールは夏期91%、冬期82%の検出率を示しているが濃度が高いところはなかった。

可塑剤として用いられるDEHPの加水分解成分である2E1Hはオフィスで頻繁に検出される物質であり注意する必要があるが、本研

究でも夏期91%、冬期73%と高い検出率を示した。検出されて室内の平均濃度は夏期32、冬期29%と他の溶剤系成分よりも高い。

C.2 ベンゼン濃度

ベンゼンの測定結果を図1-4-10に示す。ベンゼンはシックハウス関連の指針物質として指定されていない。室内発生源が石油など

燃焼器具が主となることから発生源が制限されること、また日本国内は外気濃度が低いことから室内濃度指針値は定まっていない。大気濃度基準としては1年平均値が $3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下となっている。

今回の測定では室内で検出された例は11ヶ所中夏期3件、冬期が5件あった。検出濃度も大気環境基準 $3\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えるところが多く、外気由来のところが多いと判断されるなか、外気濃度が低くても室内で環境基準を超える物件が見られるため、室内発生源についても注意する必要がある。ベンゼンについては今後も継続観察が必要と考えられる。

C.3 季節及び建築規模による検討

図1-4-11及び図1-4-12に示すように、主に検出された物質に対して、季節及び建築規模による違いがあるかを検討した。

アルデヒド類は特定建築物、中小規模建築共に冬期より夏期の平均濃度が高い。VOCsの平均濃度に対しては冬期の中小規模建築のトルエン及びp-ジクロロベンゼン濃度が夏期より高い他は全体的に夏期濃度が冬期より高い傾向を示している。p-ジクロロベンゼンは冬期に3件のみから検出され、そのうちの特定建築物2件は濃度が低く、中小規模であるE12の1件のみが濃度が高かったため平均値としての意味をなさない。

TVOCにおいても同様に特定・中小規模に関わらず夏期の平均濃度が冬期より高い。

建物規模による濃度の違いが見られ、特定建築物が中小規模建築より全体的に濃度が低い傾向が見られた。特定建築物は平面が広く空間容積に対する各面面積の割合が低い上、中央式空調の割合が高いことから、外気導入（換気）による空気清浄と濃度低減の効果が考えられる。

アルデヒド類、個別VOCs、TVOC共に平均濃度としても特定建築物が中小規模建築より低いが、最大値（検出濃度範囲）においても中小規模建築の方が高く、環境に偏差がより大きいことが分かる。

D. まとめ

今回の測定から特段高濃度を示す建物はなく、化学物質に関して厚生労働省の指針値を超えることはなかった。

2019年8月～2020年2月までの測定から、13物質の中で主に検出された物質はホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、トルエン、エチルベンゼン、キシレン、p-ジクロロベンゼン、テトラデカンであり、いずれも濃度は低かった。スチレンが一部物件のみで検出された。

指針物質ではないが、ベンゼン、リモネン、ノナナール、2E1Hが多く物件から検出された。殆どの建物で該当物質の濃度は低いが、アロマ噴霧やアロマ添加加湿器を使う物件からリモネンが $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 前後で検出されている。冬物件はTVOCも他の建物より高く、アロマ成分による影響と考えられる。

ベンゼンが検出された物件では検出濃度も大気環境基準 $3\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えるところが多く、外気由来のところが多いと判断されるなか、外気濃度が低くても室内で環境基準を超えるところが見られたため、室内発生源についても注意する必要がある。

アルデヒド類、個別VOCs、TVOC共に平均濃度としては、夏期濃度が冬期より高い傾向を示した。特にp-ジクロロベンゼンや2E1Hは季節間の差が明確に現れた。

建物規模による濃度の違いが見られ、特定建築物が中小規模建築より全体的に濃度が低い傾向が見られ、最大値（検出濃度範囲）においても中小規模建築の方が高く、環境に偏差がより大きかった。

空間容積に対する各面面積の割合、在室密度、空調方式の違いによると考えられ、特に中小規模建築に比べて特定建築物には中央式空調の割合が高く、中央式空調の利点が現れていると考えている。今後、相関分析を行い明確は相関があるかを検証する必要がある。

2019年1月に既存指針物質であるキシレン、フタル酸ジ-n-ブチル（DBP）、フタル酸ジ-2-エチルヘキシル（DEHP）の3物質に対する濃度指針値が強化された。さらに、エチルベンゼンの指針値の見直し、新たな物質としてテ

キサノール、2-エチル-1-ヘキサノール (2E1H)、
2,2,4-トリメチル-1,3-ペンタジオールジイ
ソブチレート (TXIB) に関する議論が行われ
ている。

このような社会背景から、指針値物質に関
しては引き続き実態把握を行うと共に、検討
物質として議論されている3物質に関しても、
オフィスにおける検出率やリスクが高い物質
を選定して実態調査を行ってゆく必要がある。

参 考 文 献

1) 厚生労働省、医薬・生活衛生局 医薬品審
査管理課 化学物質安全対策室:シックハウス
対策 HP—シックハウス関連化学物質の室内
濃度指針値、

[http://www.nihs.go.jp/mhlw/chemical/situnai/hyo.html](http://www.nihs.go.jp/mhlw/chemical/situnai/hy<u>o</u>.html) (accessed on 2019.5.10)

2) 厚生労働省:シックハウス(室内空気汚染)
問題に関する検討会、第11回～第17回議事
録、<http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi> (accessed on
2018.6.20)

1-4-2 2-エチル-1-ヘキサノールの実態

A. 研究目的

揮発性有機化合物 (VOC) の一つである 2-エチル-1-ヘキサノール(2E1H)は、塩ビ建材、接着剤、塗料などの建材から発生し、健康被害をもたらすことが指摘されている¹⁾。また、2E1H は特異臭があるため、建物内での悪臭の原因にもなり得る。これまで 2E1H は室内では未規制であったが、多くの建物で検出されるようになり、中には高濃度で検出される室内も存在することから、厚生労働省は平成 29 年 4 月に、2E1H を揮発性有機化合物の室内濃度に関する指針値に追加する改定案を示し、その後もパブリックコメントなどの意見を踏まえ、指針値を定めることを検討している^{2,3)}。なお、この議論においては、主に住宅における室内濃度を基に検討しており、建築物については情報が少ないことが課題である。よって、建築物における室内 2E1H 濃度の実態把握を行い、今後の建築物における低減対策を進めることが必要であると考えられる。

建材からの 2E1H 発生には、一次発生と二次発生が知られている。一次発生は建材の製造中に含有された 2E1H が発生することを示す。二次発生は、コンクリートなどの下地に施工した塩ビ建材や接着剤に含まれる可塑剤のフタル酸ジ-2-エチルヘキシル (DEHP) がコンクリートに含まれるアルカリ水溶液によって加水分解されることで 2E1H を生成し、発生することを示す^{4,5)}。タイルカーペット及び塩化ビニルがコンクリート下地に直接敷かれている部屋では、2E1H の濃度が高いと報告されている⁶⁾。近年では事務所建築物において、フリーアクセスフロアが多用され、直接コンクリート下地に接触する機会は少ないものの、コンクリート製フロアパネルを利用したフリーアクセスフロアも存在しており、このような建材からの二次発生が促進される可能性が高い。よって、建築物における床仕様に着目することで、上述の様な発生機構による 2E1H の室内空気質の影響を把握することが重要であり、対策についても検討が可能となる。

そこで本報告では、事務所用途の特定建築

物及び非特定建築物における室内の実測によって、2E1H の実態を把握することとした。

B. 研究方法

室内 2E1H 濃度の実態調査については、表 1-1-1 に示す東京・埼玉、大阪、福岡の事務所建築物 (建築物 E, W, F) に加え、他の建物 (建築物 A) を含めて表 1-3-2-1 に示す建築物において 2018 年度の夏期と冬期及び 2019 年度の夏期を対象とした。

2E1H の発生源として、床材からの発生が考えられることから、それぞれの居室の床仕上げについても確認した。各部屋とも床にタイルカーペットが敷かれていた。床の仕様として、タイルにカーペットを置いたもの、コンクリートスラブにカーペットを置いたもの、OA フロアで金属製フロア、コンクリート製フロアと分類を行った。

測定対象室内では、VOC 濃度の他、温湿度・CO₂濃度の測定を行った。また、温湿度、CO₂濃度については、外気においても測定を行った。測定方法として、温湿度、CO₂濃度については、CO₂ Recorder TR-76Ui (T&D 製) を、VOC については、Tenax TA 管 (0.3 L/min, 30 分捕集) により捕集、GC/MS (島津製作所、GC/MS-QP5050 又は GC/MS-QP2010SE) により分析を行った。

なお、当日室内の換気回数 N [回/h] は在室者数と室内・外気の CO₂濃度から以下の式で算出した。また、換気量は、換気回数に室容積 V を乗じて求めた。

$$N(\text{回/h}) = \frac{M}{(C_{in} - C_{out}) \times 10^{-6} \times V}$$

M : CO₂発生量[m³/h]=0.02×在室者数

C_{in} : 室内 CO₂濃度 [ppm]

C_{out} : 外気 CO₂濃度 [ppm]

V : 室容積 [m³]

C. 結果及び考察

C.1 建築物における実測調査

図 1-3-2-1 に 2E1H 濃度と TVOC 濃度に対する比を示す。2E1H は冬期の E02 を除いた全ての建物で検出された。最も高かったのは

表 1-3-2-1 事務所建築物の実測調査における調査対象室の概要

Building ID	Location	Sampling places	Floor material	Summer	Winter
E01		-	Concrete+Carpet	○	○
E02	Tokyo	1F	OA(Steel)+Carpet	○	○
		2F		○	○
		3F		○	○
E03	Saitama	-	Tile+Carpet	○	○
E04		-	Concrete+Carpet	○	○
E05		-	OA(Steel)+Carpet	○	○
W01		-	Tile+Carpet	○	○
W02	Osaka	-	Concrete+Carpet	○	○
W03		-	Tile+Carpet	○	○
F01		-	Concrete+Carpet	○	○
F02	Fukuoka	-	Concrete+Carpet	○	○
F03		-	Concrete+Carpet	○	○
F04		-	OA(Steel)+Carpet	○	○
A01		-	OA(Steel)+Carpet	○	○
A02		roomA	Tile+Carpet	-	○
		roomB		-	○
A03	Tokyo	1F	Concrete+Carpet	-	○
		5F	OA(Steel)+Carpet	-	○
A04		-	OA(Steel)+Carpet	-	○
A05		-	OA(Concrete)+Carpet	○	○
A06		-	Concrete+Carpet	○	-
A07		-	Concrete+Carpet	○	-

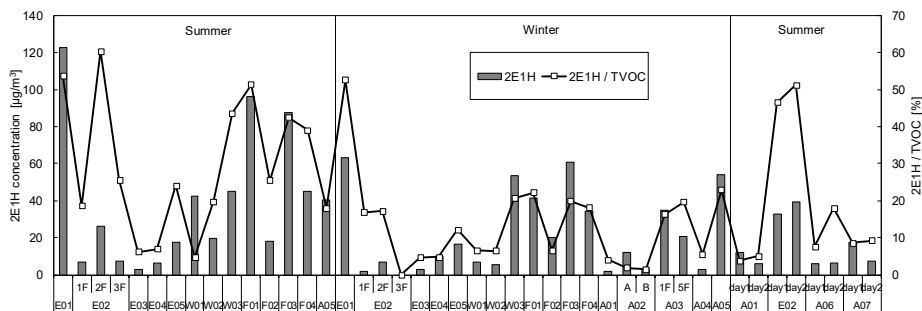


図 1-3-2-1 夏期と冬期における 2E1H 濃度と 2E1H / TVOC 比

夏期の E01 で $122.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。E01 はコンクリートスラブにタイルカーペットを直貼りにしている建物であるため、二次発生が主な要因として考えられ、指針値として提案されていた $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$ に近い値であった。

2E1H 濃度と TVOC 濃度に対する比 (2E1H / TVOC 比) については、建物によりばらつきはあるものの、2E1H 濃度の高い建物は TVOC も高い値を示す傾向にあり、TVOC に対して 50% を上回る濃度の建物もあった。これより、2E1H が事務所室内の空気質汚染の主な化学物質であり、室内空気質に影響を与えていることが明らかとなった。多くの建物で夏期か

ら冬期にかけて減少する傾向が見られた。これにより、2E1H の発生は季節の変化に影響を受けるものと推測される。

図 1-3-2-2 に CO_2 濃度により算出した換気量と 2E1H 濃度の関係について示す。換気量が大きくなるにつれて 2E1H が低濃度となる傾向となった。これより、換気が室内空気中の 2E1H 濃度の低減に一定の効果があると考えられる。今回 1 棟のみであったコンクリート製フロアパネルを使用している建物 (図 1-3-2-2 中の●) においては、換気量が多いにもかかわらず、比較的高い濃度で 2E1H が検出された。

床の仕様別に 2E1H 濃度をまとめたものを図 1-3-2-3 に示す。コンクリートスラブにカーペットを直貼りにした一部の建物では、2E1H が高濃度で検出された。一方で、金属製フロアパネルを使用している建物の多くは 2E1H 濃度が低い傾向にあった。

以上より、床の仕様が 2E1H の発生に影響を与えている可能性があり、コンクリートスラブに直貼りをしている建物及び、コンクリートフロアパネルを使用した OA フロアにおいては二次発生の可能性が高い傾向となった。

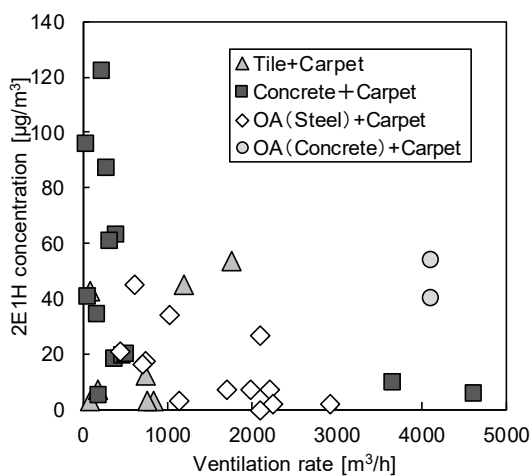


図 1-3-2-2 換気量と 2E1H 濃度の関係

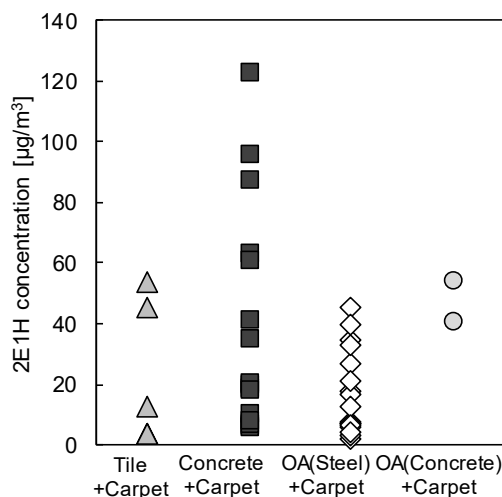


図 1-3-2-3 床仕様別の 2E1H 濃度のまとめ

D. まとめ

建築物室内における 2E1H 濃度の実態を把握するために、夏期及び冬期の 19 件の事務所

用途の特定建築物及び非特定建築物において実測を行った。結果として、2E1H は多くの室内で検出され、TVOC に占める 2E1H の濃度が 50% を超える建物もあり、2E1H が室内環境の汚染に影響を与えていることが明らかとなった。また、コンクリートが床下地である室内では、2E1H 濃度は高く、金属製のフリーアクセスフロアの室内では低い傾向が見られた。対策を講ずるためには、換気の他にも、床仕様、環境湿度などが 2E1H の発生に影響を与えていることが示唆された。

参考文献

- 1) 東賢一, 池田耕一, 久留飛克明, 中川雅至, 長谷川あゆみ, 森有紀子, 山田裕巳: 建築に使われる化学物質事典, 株式会社風土社, 2006.5.1.
- 2) 厚生労働省 医薬・生活衛生局医薬品審査管理課化学物質安全対策室: 第 21 回シックハウス (室内空気汚染) 問題に関する検討会 議事録, 2017.
<http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi2/0000166151.html> (参照 2019.2.14)
- 3) 厚生労働省 医薬・生活衛生局医薬品審査管理課化学物質安全対策室: シックハウス (室内空気汚染) 問題に関する検討会 中間報告書-第 23 回までのまとめ, 2019.1.
<https://www.mhlw.go.jp/content/000470188.pdf> (参照 2019.2.14)
- 4) 千野聡子, 加藤信介, 徐長厚: 塩化ビニル床材からの可塑剤分解物質等の放散メカニズムの解明(その 7)床材内での VOCs の拡散と放散性状, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(仙台), 493-496, 2007.
- 5) 長尾 聡子, 加藤 信介, 徐 長厚, 安宅 勇二: 塩化ビニル床材からの可塑剤分解物質等の放散メカニズムの解明(その 4)床材接着剤からの化学物質放散性状に関する検討, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(長野), 515-518, 2006.

- 6) 上島通浩, 柴田英治, 酒井潔, 大野浩之, 石原伸哉, 山田哲也, 竹内康浩, 那須民江: 2-エチル-1-ヘキサノールによる室内空気汚染 室内濃度, 発生源, 自覚症状について, 日本公衛誌 52(12), 1021-1031, 2005.

1-5 エンドトキシン（細菌内毒素）

A. 研究目的

細菌汚染の指標としてエンドトキシン（Endotoxin；以下 ET）濃度の測定を行っている。細菌の測定には培養法、ATP（adenosine triphosphate；アデノシン三リン酸）法、r-PCR を用いた DNA 解析などが利用されているが、現場測定にはいずれも長短がある。

一方、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 濃度に着目して室内濃度の実態を調べている。

B. 研究方法

B.1 調査対象

調査対象は前項の測定と同様、関東、中部地域のオフィスビル計 11 件であった。対象ビルの建築・設備の概要および測定日は表 1-1-1 に示している。なお、E08、E14、A01、A03 は特定建築物に分類されるが、中小規模建築との比較のために一緒に示している。

2019 年 8 月（夏期）、2020 年 1 月～2 月（冬期）に測定を行った。

B.2 調査方法

B.2.1 空気サンプリング

図 1-5-1 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γ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。



図 1-5-1 MCE フィルター及び測定風景

B.2.2 濃度分析

分析装置として Toxinometer ET-5000（和光純薬）を用いて、吸光比濁法による定量計測を行った。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した。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。

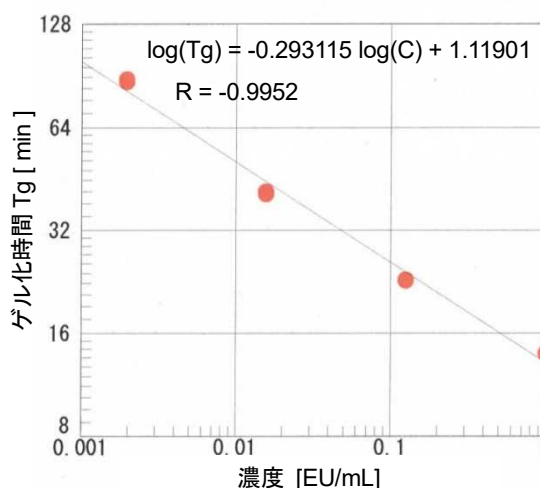


図 1-5-2 検量線例（4点、8倍希釈）

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°C）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 1-5-2 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。

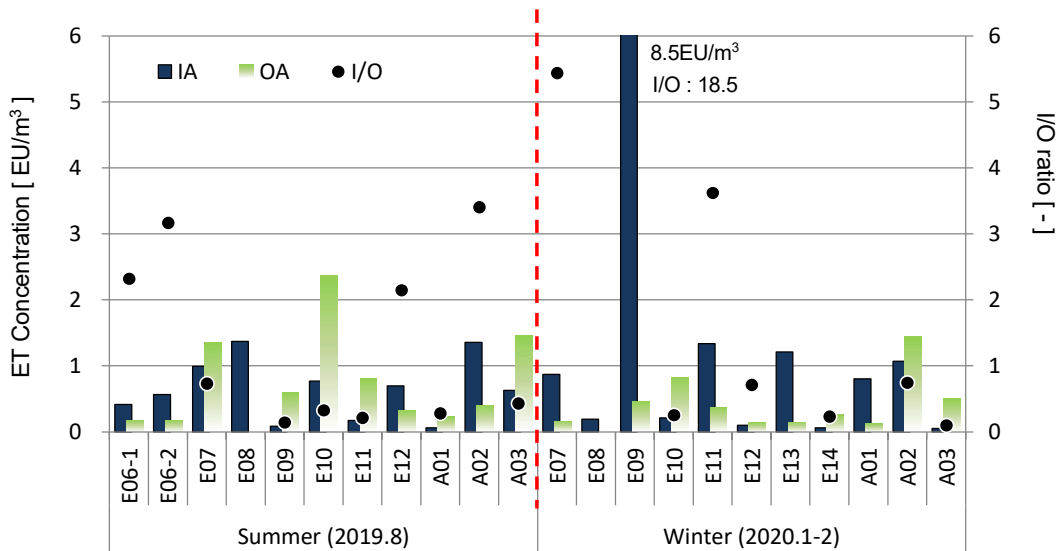


図 1-5-3 ET 濃度測定結果

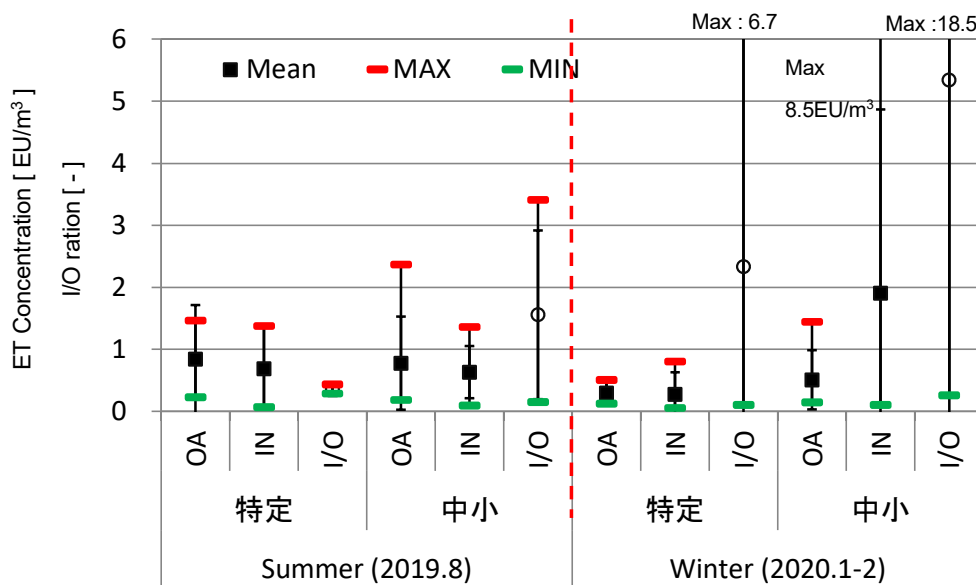


図 1-5-4 季節及び建物規模による ET 濃度

C. 結果

図 1-5-3 に空气中 ET 濃度の測定結果を、図 1-5-4 に季節及び建物規模で比較したグラフを示す。

外気濃度 (OA) は多くが 1.0EU/m³ 以下であり、夏期 E07、E10、A03、冬期 A02 で 1.0EU/m³ を超えていたが、さほど高い濃度ではなかった。外気として夏期、冬期共に有意に高い濃度を示しているところはなかった。

室内濃度では 1.0EU/m³ を下回る物件が多く、1.0EU/m³ を超えても 1~2EU/m³ と比較的低い水準が殆どであった。1 件のみ、E09 の冬期室内濃度が 8.5 EU/m³ と高く、IO 比も 18 を超えている。また夏期と冬期の室内濃度が明らかに異なることから冬期だけ室内に汚染源が存在していることが分かる。この建物では、家庭用の中型加湿器を複数台使っている。

培養法による細菌濃度の測定結果でも高い濃度が観察されていることから、当該オフィスでは加湿器による微生物汚染が起きている

と判断される。

I/O 比が 1.0 を超える結果は 22 件中 8 件 (36%) であり、多くの建物で外気より低い水準が保たれていた。

特定建築物と中小規模建築の比較では、夏期の室内平均濃度は同水準であり、冬期は中小規模での濃度が高い結果となった。