

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

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：特定建築物（延床面積 3,000 m²以上の建築物、学校は 8,000 m²以上）に該当しない中小規模の建築物には建築物衛生法が適用されていない。中規模建築物の数が特定建築物のおよそ半数に及ぶことが報告されているが、建築物衛生法の適用対象外であるため、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。

本研究は、2,000～3,000 m²の中規模建築物における室内環境及び空気衛生環境を中心に、建築物衛生法の環境衛生管理基準項目に係る要素の実態と、建築物利用者の健康状況を調査し、特定建築物の適用範囲拡大も含めた適切な衛生管理方策の検討に必要な科学的根拠を得ることを目的としている。

本章では中規模建築物を中心に比較対象として特定建築物を含め、室内空気衛生環境に係る実態を把握するため現場の詳細測定を行った結果を報告している。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（浮遊粉じん）と 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。

(1) **温度：**中央値が冬期で 24.5℃（中小規模ビル）と 24.3℃（特定建築物）、夏期は 26.0℃（中小規模ビル）と 25.6℃（特定建築物）であり、大きな差が見られなかった。また、一部の個別方式の対象室では、運用状態によって夏期の立ち上がり時に室内温度が 28℃を上回るケースがあった。

(2) **相対湿度：**冬期に最大値が 40%RH を上回るビルがあったが、規模を問わず 75%タイル値が 40%RH を下回っており冬期の低湿度問題が再確認された。夏期は規模を問わず概ね良好であった。

(3) **CO₂濃度：**季節と規模を問わず全てが建築物衛生法管理基準値の 1000ppm を満足した。Phase2 研究として行った冷暖房機の 2 週間連続測定結果に関する詳細調査は第 3 章で報告する。

(4) **微生物：**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 50cfu/m³ を満足していた。真菌は、冬期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 を満足していたが、夏期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値が 50cfu/m³ を下回っていた。

NGS（次世代シーケンサー）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。

(5) **浮遊粉じん/PM_{2.5}：**特定建築物及び中規模建築物における室内 PM_{2.5} 濃度は、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。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 PM2.5 分級器を装着した計測器であっても、従来の PM2.5 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 PM2.5 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。

大気における PM2.5 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 PM2.5 濃度は減少する傾向となっていることを確認した。

(6) 化学物質：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にあり、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ものと考えられ、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な相関があるかを検証する必要がある。

厚生労働省により 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-ペンタン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 物質についても、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。

そこで、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中小規模建築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、換気以外にも、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。

(7) エンドトキシン (グラム陰性菌の内毒素)：室内エンドトキシン濃度では 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。一方、冬期室内濃度が 10 EU/m³近く高く、IO 比も 18 を超える物件が存在した。この建物は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。家庭用の中型加湿器を複数台使っていたことが原因と考えられた。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 を超える結果も存在するが、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

A. 研究目的

本研究は、建築物衛生法の特定建築物に含まれない中小規模、特に床面積 2000～3000 m²の建築物における空気温熱環境、給排水の管理、清掃、ねずみ等の防除など適切な衛生管理方策の検討と提言を目的とする。建築物衛生法は環境衛生全体を網羅して管理・監督する法律であり、これまで 40 年間以上室内環境の悪化防止と改善に貢献してきた我が国固有のものであるが、本研究ではこの建築物衛生法の中規模建築物への適用可能性について検討するものである。

2-1 温度・湿度・CO₂濃度

A. 調査対象ビル概要

2018 年 1 月～2020 年 2 月の間に、東京都、大阪府、福岡県、神奈川県、愛知県、群馬県にあるオフィスビル計 46 件 (52 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 2-1-1 に示す。なお、表中赤字で標記されている対象は結果的に特定建築物に分類されたため、以後に示す結果は中小規模と特定建築物を分けて解析したものである。

B. 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 2-1-1 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。培養条件はそれぞれ 32°C・2 日間と 25°C・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。

C. 結果

C.1 温度

図 2-1-1～図 2-1-2 に冬期 (2018 年, 2019 年, 2020 年, 以後同) と夏期 (2018 年, 2019 年, 以後同) における執務時間帯 (9:00～17:00) の規模別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值 17°C と上限値 28°C を示している。

冬期の中小規模ビルの中央値が 24.5°C であるのに対し、特定建築物の中央値は 24.3°C であった。一方夏期では、中小規模ビルの中央値の 26.0°C に対し、特定建築物はほぼ同じ (25.6°C) であった。なお、夏期に中小規模最大値を示したのは 2018 年の F01 の朝立ち上がり時であった。F-01 は在室者が極端に少なく (常駐者 1 名)、出勤時間によっては、冷房を入れるのは 9:00 以後になる可能性がある。

C.2 相対湿度

図 2-1-3 と図 2-1-4 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 35% であり、特定建築物の方が比較的高い値を示したが、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 56% であるのに対し、特定建築物はやや低めの 55% であり、ほぼ同じであった。

C.3 CO₂濃度

図 2-1-5～図 2-1-6 に冬期と夏期の室内 CO₂濃度の四等分値を示す。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 762ppm と 737ppm、夏期ではそれぞれ 764ppm と 750ppm であり、季節と規模を問わず全てが建築物衛生法管理基準値の 1000ppm を満足した。

表 2-1-1 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		
冬期 (2018)									
2018/1/10	AM	E01	東京	個別方式(PAC+換気装置)	118	12(7)	6.2	晴れ	
	PM	E02		1F	個別方式(PAC+外調機+換気装置)	328	22(7)	11.3	晴れ
				2F		409	22(7)	14.1	晴れ
				3F		614	33(8)	15.0	晴れ
2018/3/5	AM	W01	大阪	個別方式(PAC+換気装置)	124	6(5)	11.3	雨	
	PM	W02		個別方式(PAC)換気なし	109	12(5)	6.4	雨	
夏期 (2018)									
2018/8/23	AM	E03	東京	個別方式(PAC+換気装置)	169	12(7)	8.9	晴れ	
	PM	E02		個別方式(PAC+外調機)	328	21(3)	13.7	晴れ	
					409	21(3)	17.0	晴れ	
					614	27(9)	17.1	晴れ	
2018/8/27	AM	F01	福岡	個別方式(PAC+換気装置)	44	1(8)	4.9	曇り	
	PM	F02		個別方式(PAC+換気装置)	93	7(4)	8.5	曇/雨	
		F03		個別方式(PAC+換気装置)	122	4(3)	17.4	晴れ	
2018/8/28	AM	F04	大阪	個別方式(PAC+換気装置)	383	10(5)	25.5	晴れ	
PM	W01	個別方式(PAC+換気装置)		124	2(6)	15.5	晴れ		
2018/8/29	AM	W03	大阪	中央方式(外調機+PAC)	193	15(4)	10.2	晴れ	
	PM	W02		個別方式(PAC)換気なし	109	12(4)	6.8	晴れ	
2018/9/18	AM	E04	東京	中央方式(外調機)	1178	77(6)	14.2	晴れ	
	PM	E05		個別方式(PAC)換気なし	133	10(5)	8.9	晴れ	
		E01		個別方式(PAC+換気装置)	118	5(5)	11.8	晴れ	
冬期 (2019)									
2018/12/18	PM	E06	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	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	
2019/8/30	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	

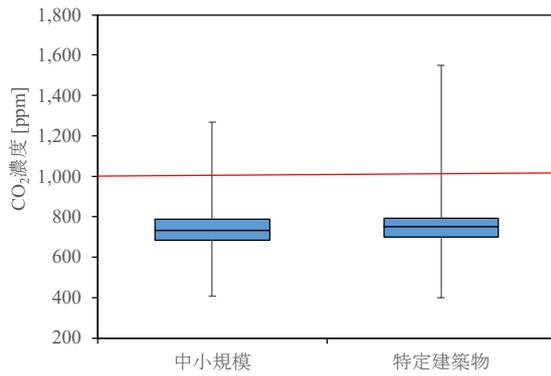


図 2-1-1 冬期における中小規模ビルと特定建築物の室内CO₂濃度四等分値の比較

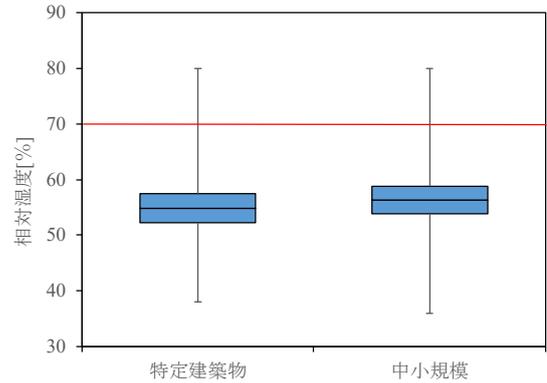


図 2-1-4 夏期における中小規模ビルと特定建築物の室内相対湿度四等分値の比較

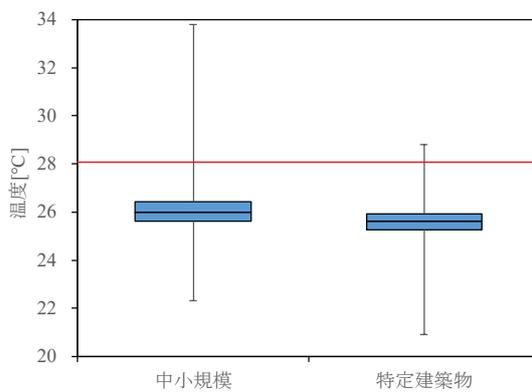


図 2-1-2 夏期における中小規模ビルと特定建築物の室内温度四等分値の比較

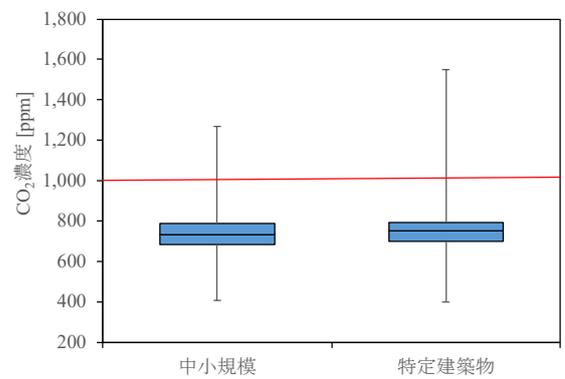


図 2-1-5 冬期における中小規模ビルと特定建築物の室内CO₂濃度四等分値の比較

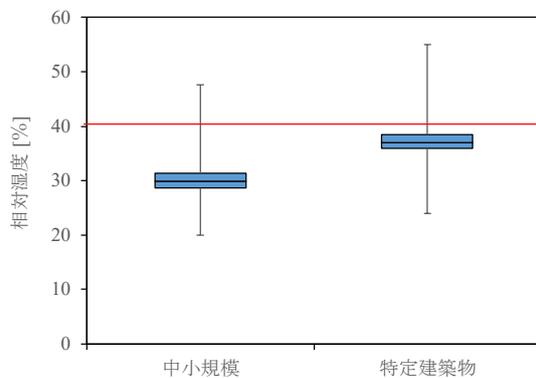


図 2-1-3 冬期における中小規模ビルと特定建築物の室内相対湿度四等分値の比較

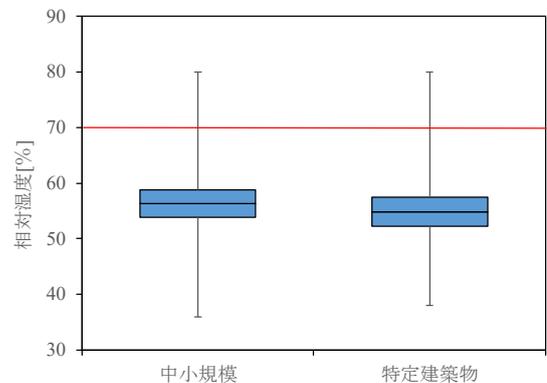


図 2-1-6 夏期における中小規模ビルと特定建築物の室内CO₂濃度四等分値の比較

2-2 微生物・微粒子

A. 研究方法

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。培養条件はそれぞれ 32°C・2 日間と 25°C・5 日間であった。

B. 結果

B.1 生菌

B.1.1 細菌

図 2-2-1 と図 2-2-2 に冬期と夏期における室内と屋外の浮遊細菌濃度の四等分値を示す。冬期では, E09 の濃度は日本建築学会管理規準値 500cfu/m³ を上回ったが, 他は全て当該基準値を満足した。また最大値を除いた他の四等分値は規模別による差があまりなかった。夏期では, 全て 500cfu/m³ を上回ったものの, 中小規模より特定建築物の方が低い値を示した。

B.1.2 真菌

図 2-2-3 と図 2-2-4 に冬期と夏期における室内と屋外の浮遊真菌濃度の四等分値を示す。冬期では, 中小規模ビルの最大値が日本建築学会管理規準値 50cfu/m³ を上回ったが, 他は全て当該基準値を満足した。夏期では, 特定建築物の 75%のタイトル値が 50cfu/m³ を下回っているのに対し, 中小規模ビルの中央値が 50cfu/m³ を上回っており, 規模による差が見られた。

B.2 菌叢

B.2.1 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 2-1-1) 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。サンプリング流量は 180ℓ (3ℓ/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 も解析できるようになっている。

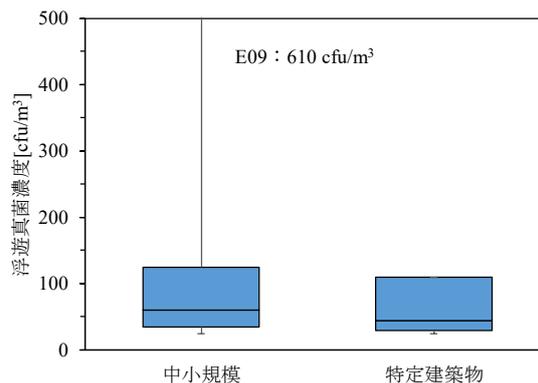


図 2-2-1 冬期における中小規模ビルと特定建築物室内の浮遊細菌濃度四等分値

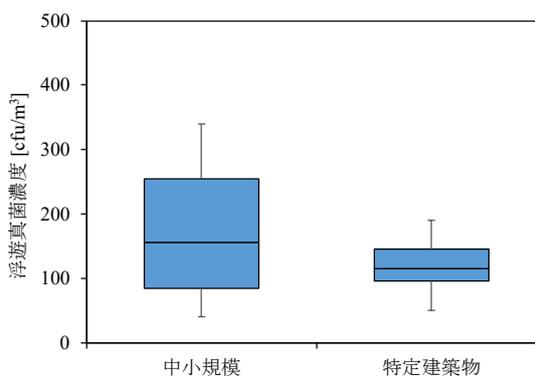


図 2-2-2 夏期における中小規模ビルと特定建築物室内の浮遊細菌濃度四等分値

B.2.2 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。

B.2.3 解析結果

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。

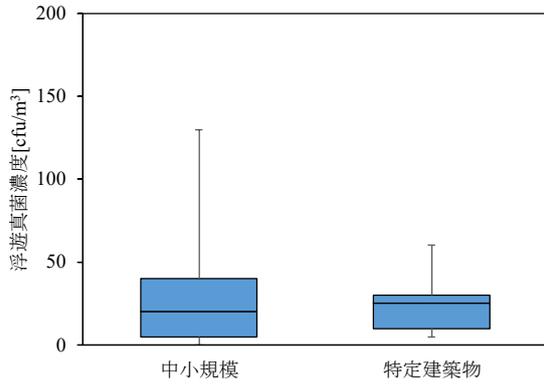


図 2-2-3 冬期における中小規模ビルと特定建築物室内の浮遊真菌濃度四等分値

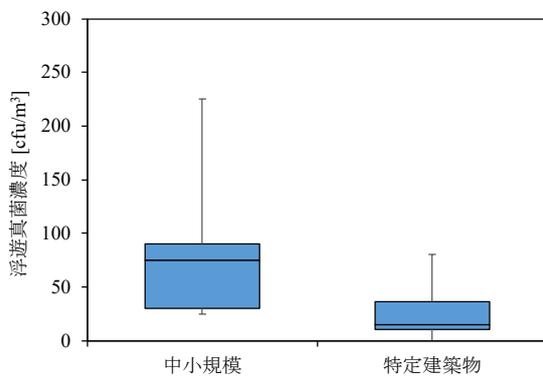


図 2-2-4 夏期における中小規模ビルと特定建築物室内の浮遊真菌濃度四等分値

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 2-2-2 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 2-2-1 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。また、リード数を問わず、屋外より室内から

表 2-2-2 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

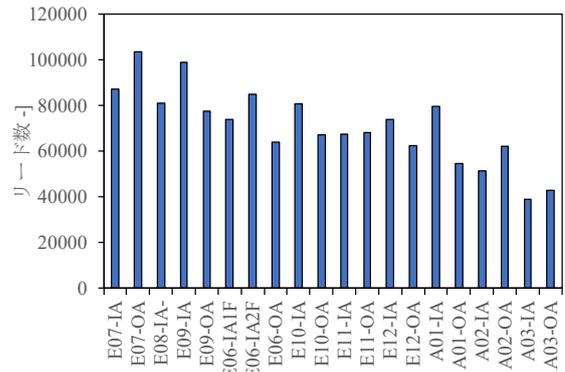


図 2-2-5 各箇所検出された細菌の総リード数

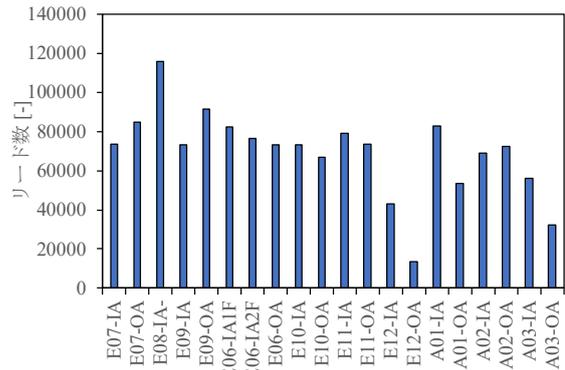


図 2-2-6 各箇所検出された真菌の総リード数

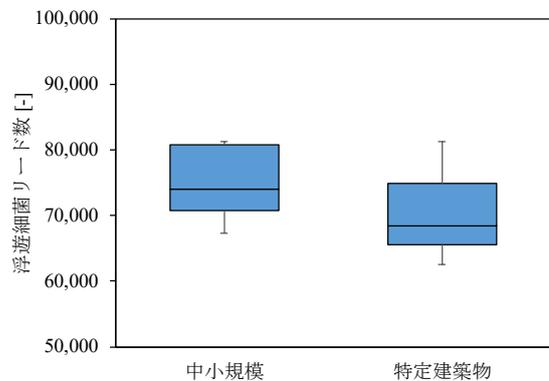


図 2-2-7 室内浮遊細菌リード数の四等分値

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いが、1000 以上の場合室内の方が多いたことが分かった。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 2-2-5 と図 2-2-6 に細菌と真菌の総リード数を示す。図 2-2-7 と図 2-2-8 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。この結果から、特定建この点について、今後さらなるデータの蓄積が必要であると思われる。

図 2-2-9 と図 2-2-10 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 2-2-11～図 2-2-12 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 2-2-13～図 2-2-14 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ことに起因するものであると考えられる。また、外気がフィルタを通過して室内に導入されるため、室内の発生がなければ I/O がかなり低くなる（フィルタの捕集率による）が、上記の I/O の結果から室内で細菌と真菌の発生があったものと考えられる。

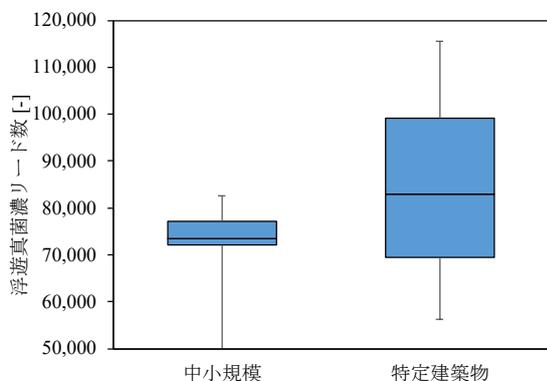


図 2-2-8 室内浮遊真菌リード数の四等分値

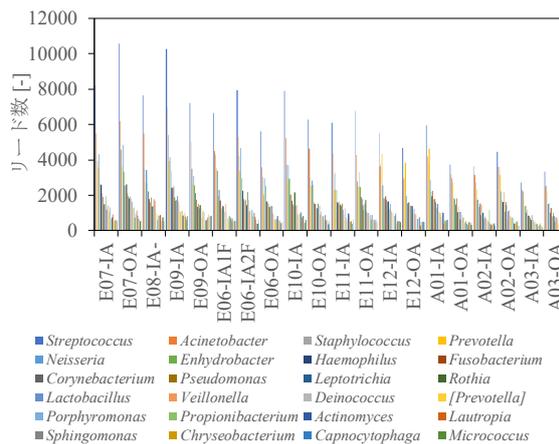


図 2-2-9 細菌属別リード数 (合計 10000 以上)

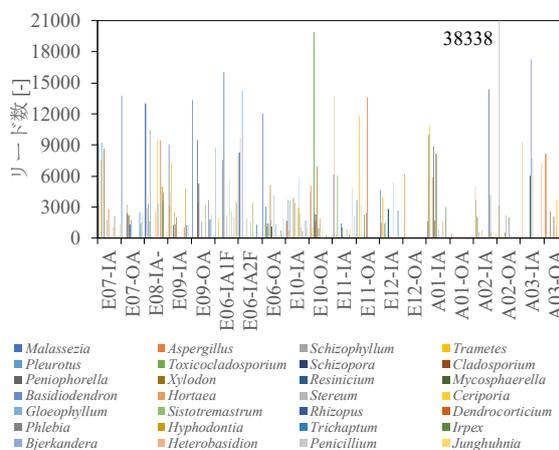


図 2-2-10 細菌属別リード数 (合計 10000 以上)

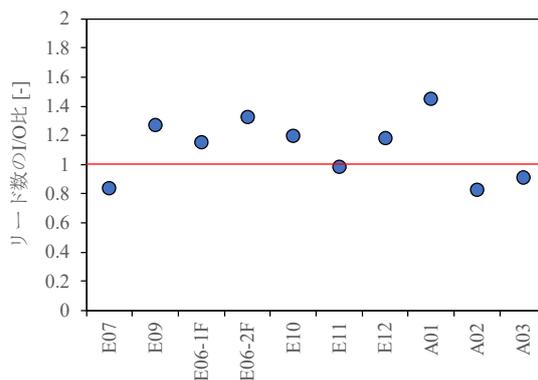


図 2-2-11 各箇所における細菌リード数の I/O 比

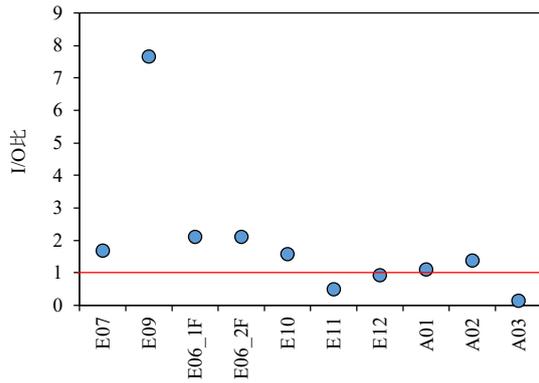


図 2-2-12 各箇所における細菌（生菌）の I/O 比

B.3 浮遊粒子

B.3.1 測定結果

図 2-2-15 と図 2-2-16 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、規模別間に $1\mu\text{m}$ 以下の浮遊粒子濃度(中央値)の間に大きな差はなかったが、 $1\mu\text{m}$ 以上の浮遊粒子濃度において特定建築物の方が低い値を示している。夏期では、粒径を問わず特定建築物の方が低い値を示した。この差は空調機に備えられているエアフィルタの捕集性能

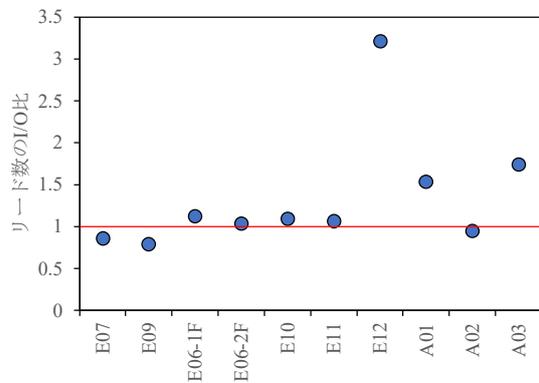


図 2-2-13 各箇所における真菌リード数の I/O 比

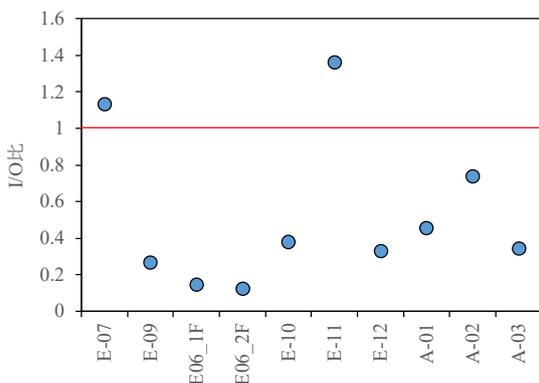


図 2-2-14 各箇所における真菌（生菌）の I/O 比

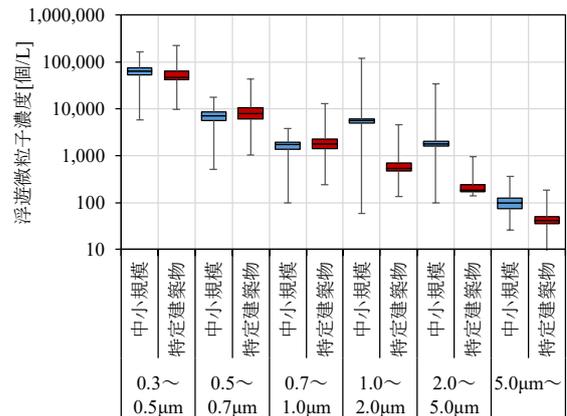


図 2-2-15 規模別浮遊粒子濃度（冬期）

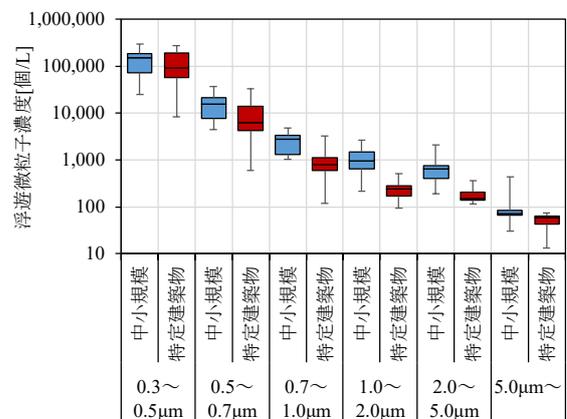


図 2-2-16 規模別浮遊粒子濃度（夏期）

の差によるものと考得られている。

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>

2-3 化学物質

2-3-1 VOCs 及びアルデヒド類

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 (2E1H)、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气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。

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。更に、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 (2E1H) の測定結果について纏めた。

B. 研究方法

B.1 調査対象

2017年度の測定対象は、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。

2018年度は東京、大阪、福岡のオフィスビル計12件で測定を行った。但し、E01、E04、E05、F04、W03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。2018年1月 (冬期)、2018年8月～9月 (夏期) 及び2018年12月～2019年1月 (冬期) に測定を行った。

2019年度の調査は関東 (東京)、中部 (名古屋) のオフィスビル計11件を対象とした。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ヘキサンから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 2-3-1 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 2017 年度測定結果

各測定箇所における化学物質濃度を表 2-3-2 及び表 2-3-3 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、室内に高放射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。

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。

C.2 2018 年度測定結果

C.2.1 指針物質濃度

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、テトラデカンであった。他にもスチレン、p-ジクロロベンゼンが少数物件から検出されたが、いずれも濃度は低かった。

有意な濃度が検出されたホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、トルエンのグラフを図 2-3-1～図 2-3-3 に、また TVOC の結果を図 2-3-4 に示す。

指針物質ではないが、リモネン及びのノナナールが多数物件から検出され、いずれも濃度は低い。また、ウンデカン、ドデカンが少数検出された。ベンゼンは検出されなかった。

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が、夏期に $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ 近い物件が 3 件あった。

アセトアルデヒド指針値は $48\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、F04 を除いた全対象において高い濃度は認められなかった。F04 においては $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の濃度を示したが、当建物には室内に喫煙スペースがあったが、近年室内喫煙室を廃止している。F04 では個別 VOC や TVOC 濃度は高くなかった。

個別 VOC では、夏期の W01 のみ溶剤系 VOCs (トルエン、エチルベンゼン、キシレン) で指針値は超えないが他の建物に比べ、高い濃度を示していると共に、TVOC 値も $900\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えている。当建物の夏期測定時に建物改修工事が行われており、外気でも溶剤系物質の濃度が高く検出されたためその影響によるものであり、冬期測定時には低い濃度を示している。

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小数建物で検出されたが、いずれも濃度は低かった。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、ノナールは多数物件から検出されたがその濃度は低かった。また、ウンデカン、ドデカンが小数、低濃度で検出された。

C.2.2 季節及び建築規模による検討

図 2-3-5 及び図 2-3-6 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 及び TVOC に対しては、特定建築物は差がなく、中小規模建築で夏期濃度が冬期より高い傾向を示している。しかし、W01 の工事の影響による夏期 VOCs 濃度の上昇要因があったため、一概には言えず、データの蓄積が必要である。

冬期測定結果において、平均濃度として特定建築物と中小規模建築に差はなかったが、最大値はアルデヒド類及び VOCs 共に中小規模建築の方が高く、TVOC の最大値も中小規模建築が高かった。平均としては似ているが、環境に偏差がより大きいことが分かる。

夏期には、中小規模建築における VOCs や TVOC で平均値と最大値が特定建築物より高く

なっているが、F04 の工事による影響があり、F04 を除けば特定建築物と有意な差はなくなる。

C.3 2019 年度測定結果

C.3.1 指針物質濃度

有意な濃度が検出されたホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、トルエンのグラフを図 2-3-7~図 2-3-9 に、また TVOC の結果を図 2-3-10 に示す。

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 (図 2-3-11) が大気環境基準 $3\mu\text{g}/\text{m}^3$ を若干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ところはなかったが、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、夏冬期とも室内での検出は E08 の 1 物件のみであったが、夏期

184 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、冬期 229 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、冬期 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と他の溶剤系成分よりも高い。

C.3.2 ベンゼン濃度

ベンゼンの測定結果を図 2-3-11 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。室内発生源は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.3.3 季節及び建築規模による検討

図 2-3-12 及び図 2-3-13 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

2019 年 1 月に厚生労働省により、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-ペンタン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。

2017 年度の実測では、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をはじめ厚生労働省の室内化学物質指針値及び TVOC 暫定目標値を上回る建物はなかった。

2018 年度の測定から、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、テトラデカンであった。他にもスチレン、p-ジクロロベンゼンが少数物件から検出されたが、いずれも濃度は低かった。

室内に喫煙室があった物件でアセトアルデヒドがやや高めに検出された。溶剤系 VOCs が高く検出されれば物件が 1 件あったが、こちらは改修工事による影響と判断された。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 年度の測定からも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。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 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 前後で検出された。当該物件は 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。

E. 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/hyou.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)

表 2-3-2 2017 年度調査のアルデヒド類濃度[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

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 2-3-3 2017 年度調査の 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

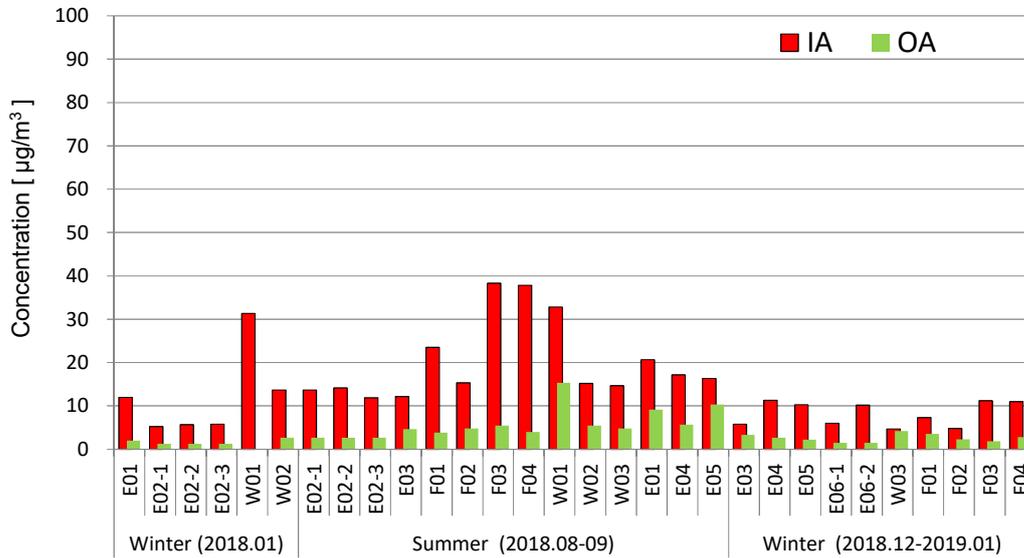


図 2-3-1 ホルムアルデヒドの空气中濃度 (2018 年度)

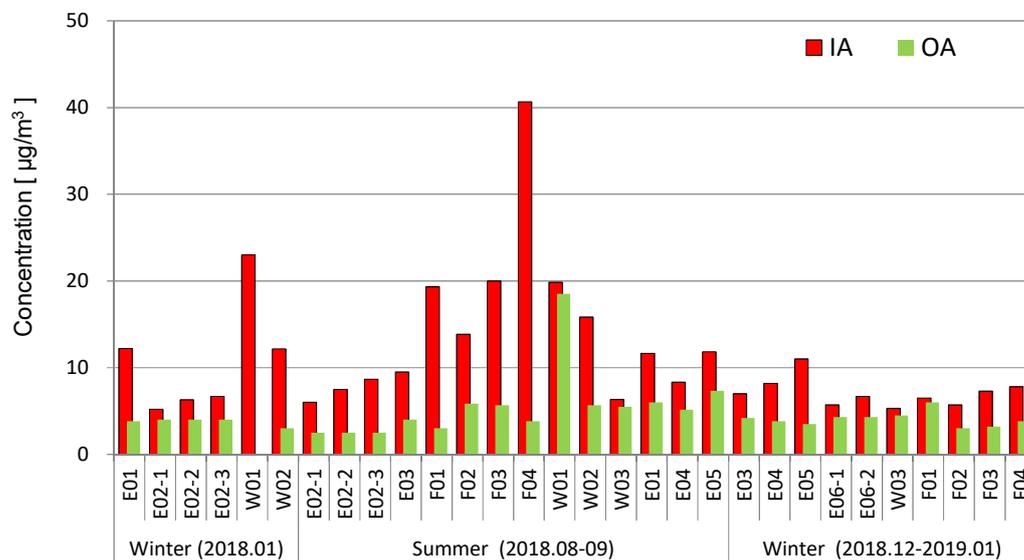


図 2-3-2 アセトアルデヒドの空气中濃度 (2018 年度)

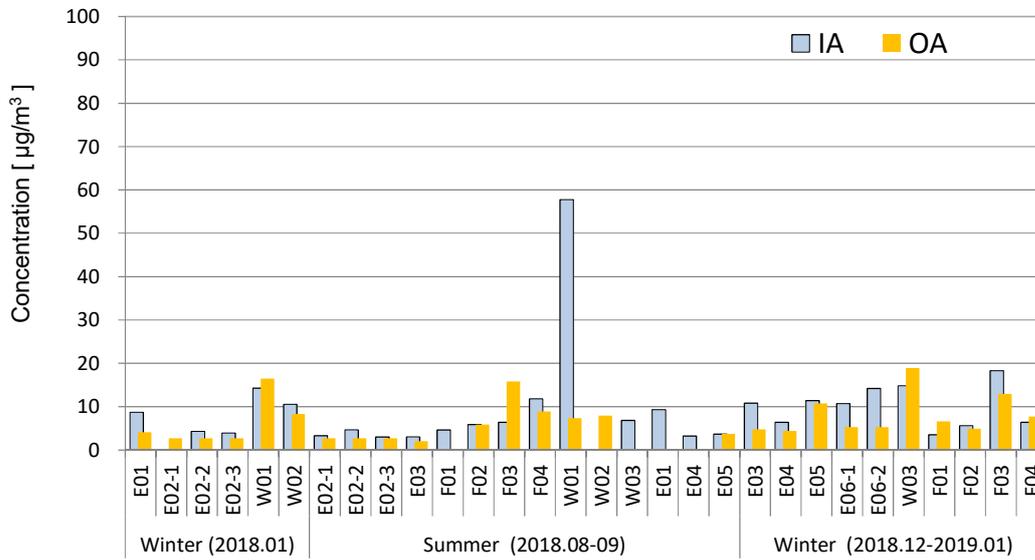


図 2-3-3 トルエンの空气中濃度 (2018 年度)

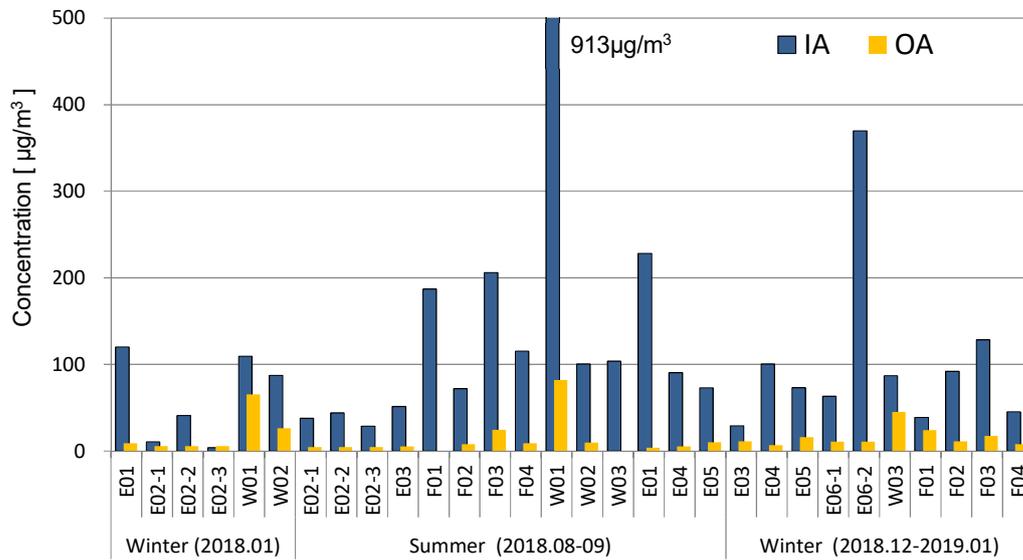


図 2-3-4 TVOC 空气中濃度 (2018 年度)

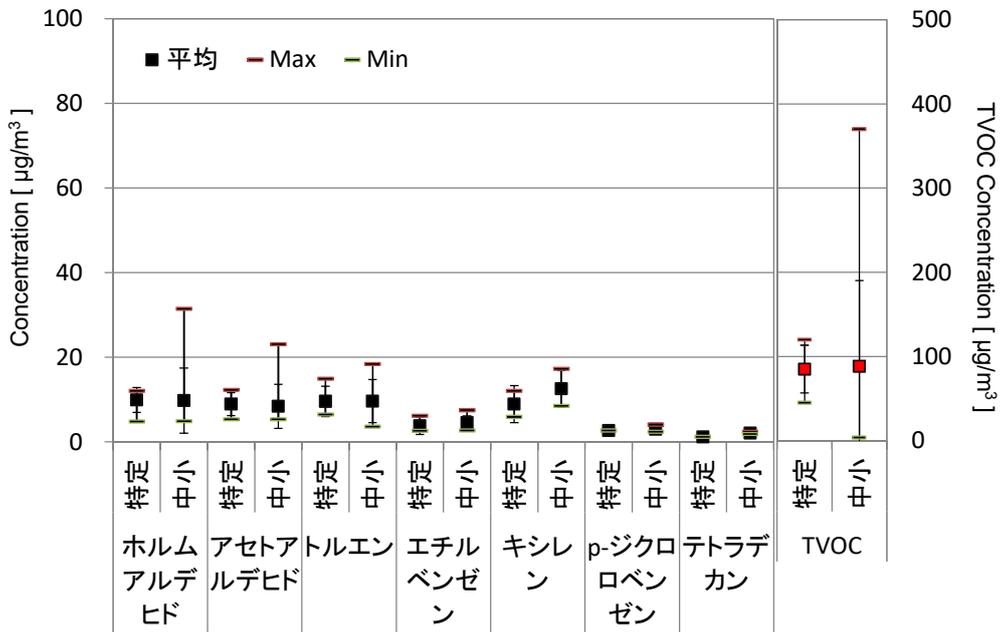


図 2-3-5 冬期の化学物質濃度 (2018 年度)

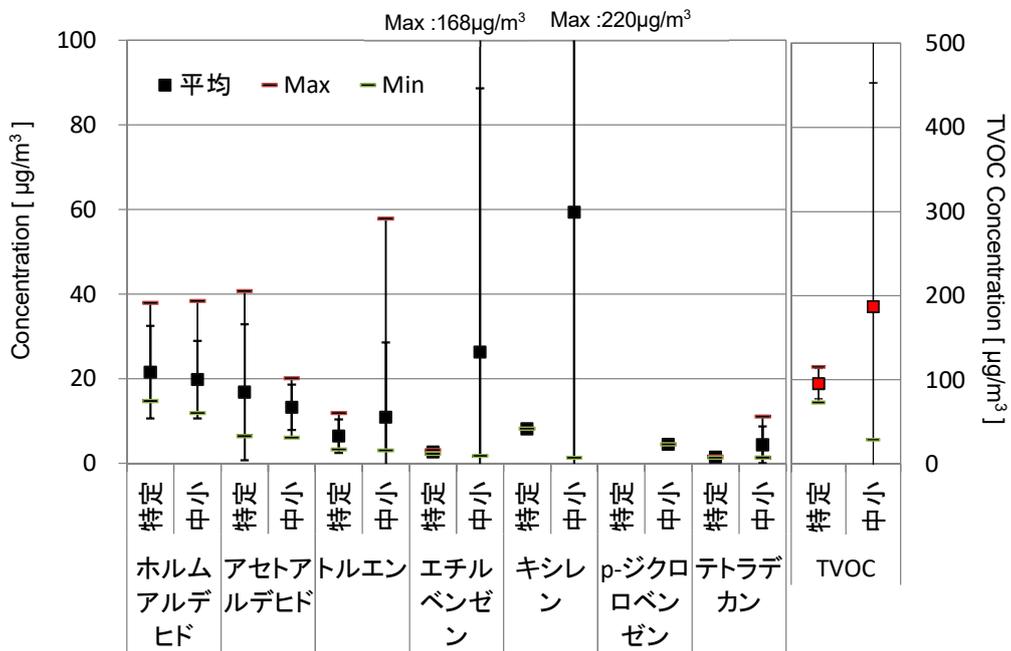


図 2-3-6 夏期の化学物質濃度 (2018 年度)

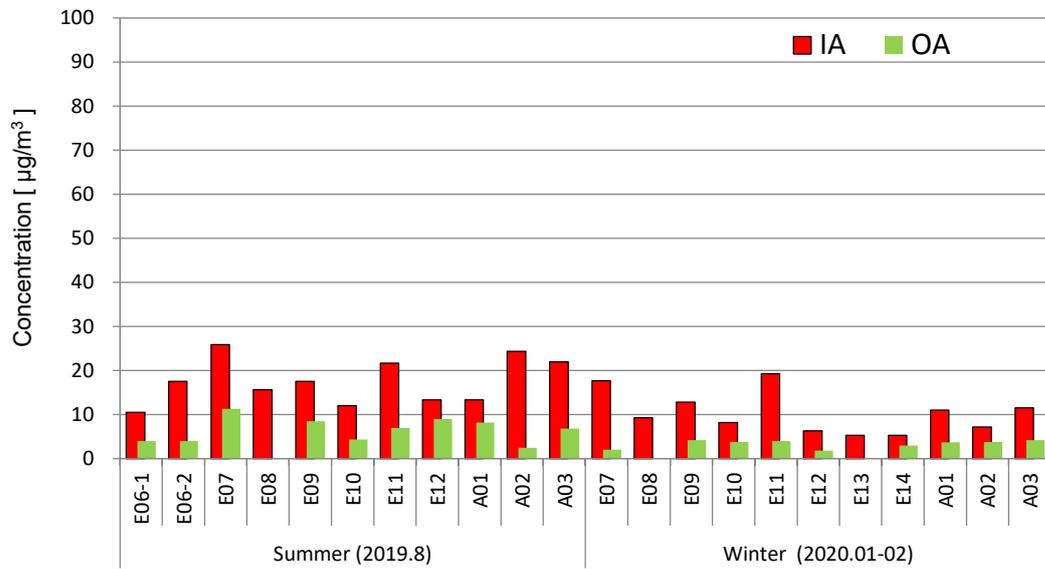


図 2-3-7 ホルムアルデヒドの空气中濃度 (2019 年度)

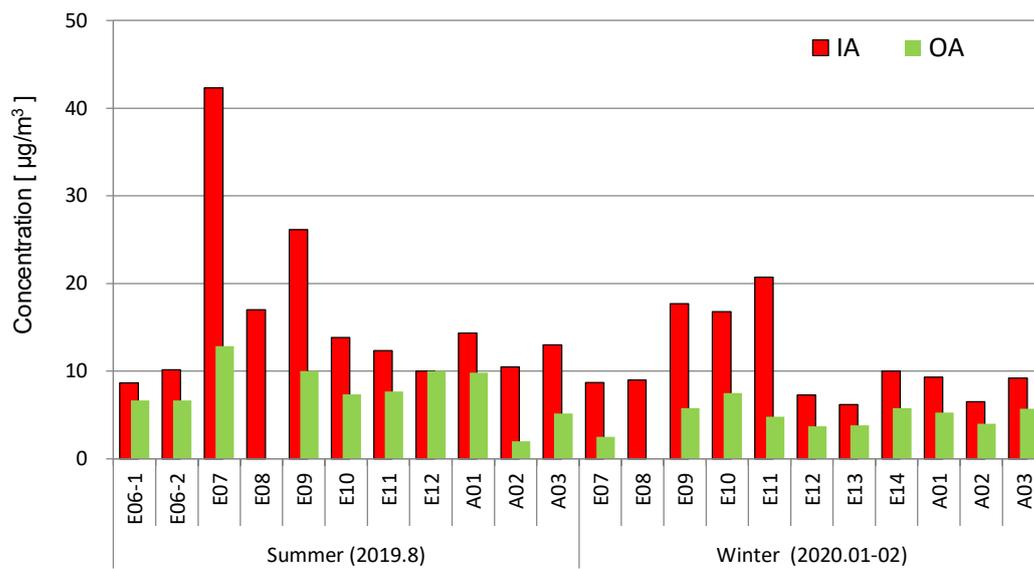


図 2-3-8 アセトアルデヒドの空气中濃度 (2019 年度)

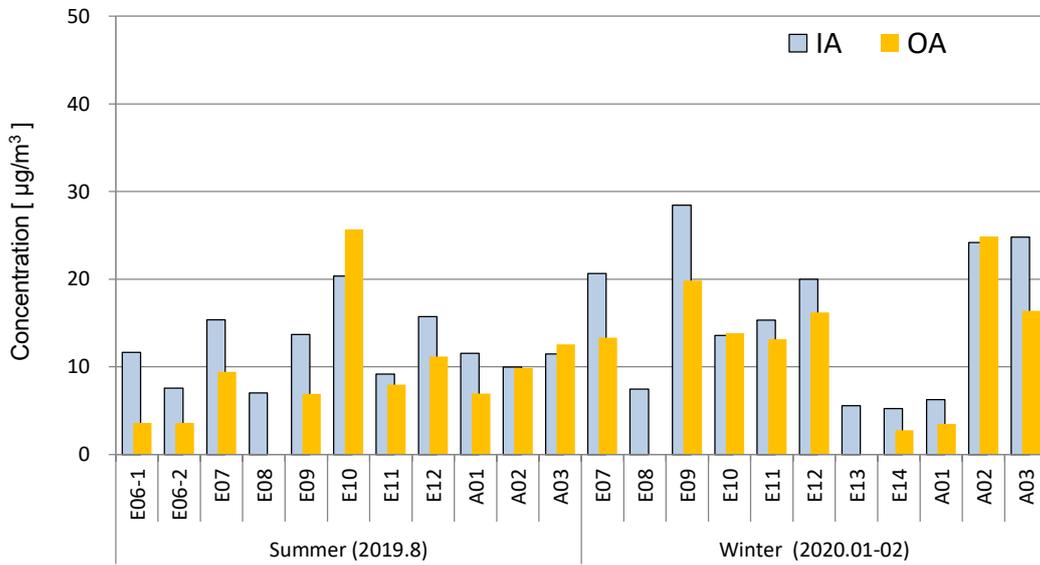


図 2-3-9 トルエンの空气中濃度 (2019 年度)

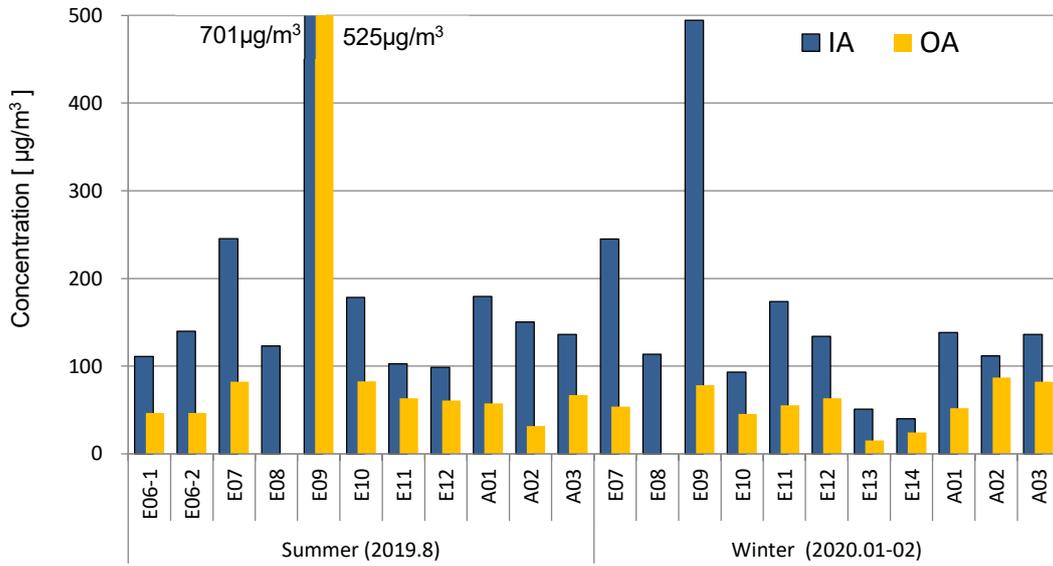


図 2-3-10 TVOC 空气中濃度 (2019 年度)

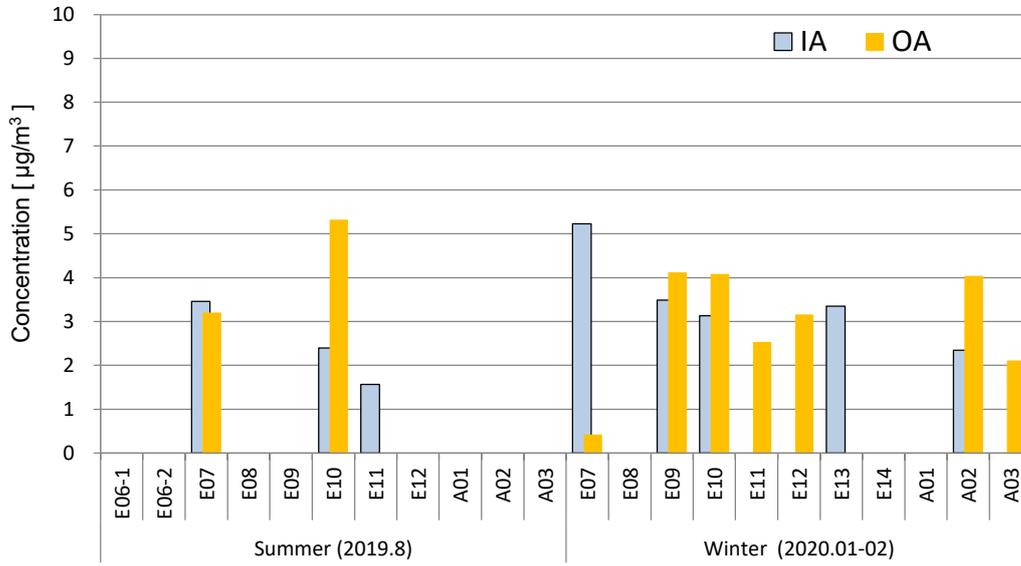


図 2-3-11 ベンゼンの空気中濃度 (2019 年度)

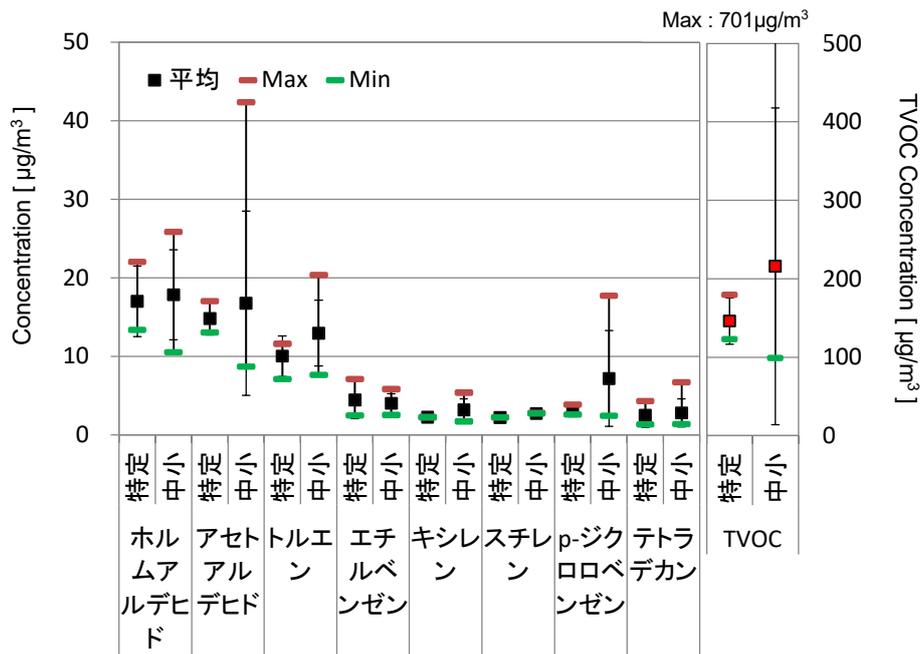


図 2-3-12 夏期の化学物質濃度 (2019 年度)

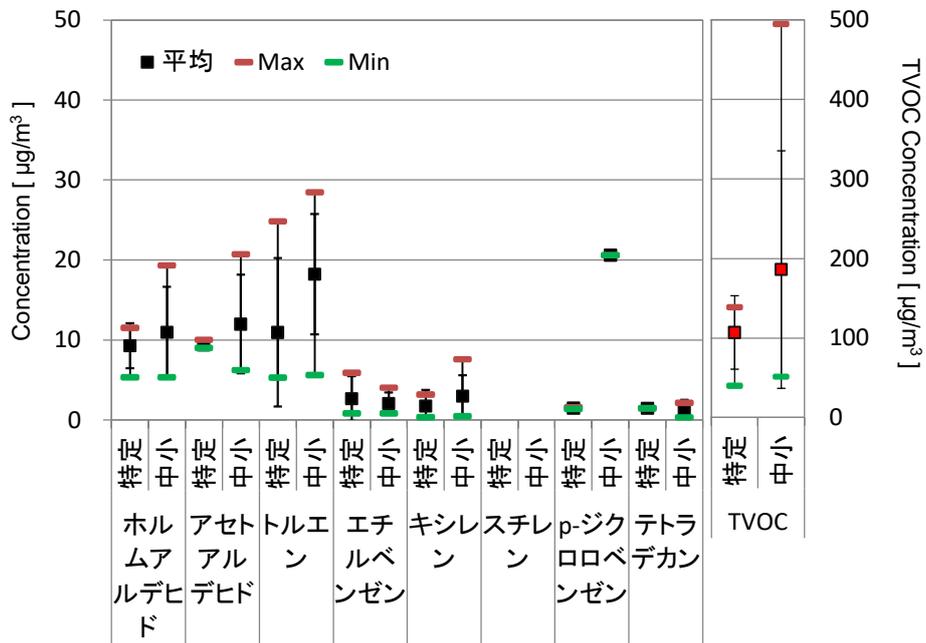


図 2-3-13 冬期の化学物質濃度 (2019 年度)

2-3-2 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、上述のような発生機構による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2-3-4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2-3-4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2-3-14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。最も高かったのは夏期のE01で122.6 µg/m³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

表 2-3-4 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	○	-

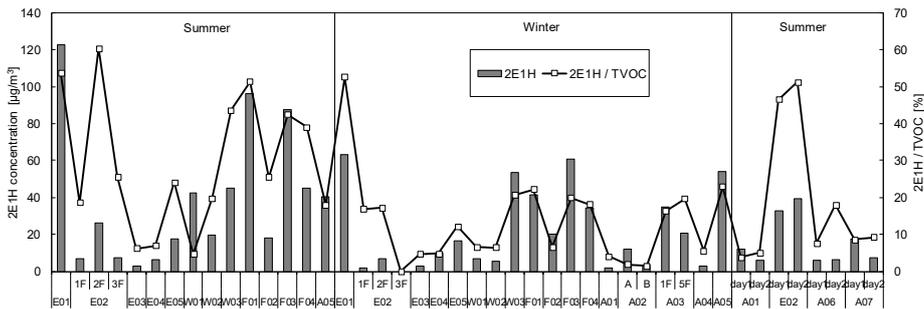


図 2-3-14 夏期と冬期における 2E1H 濃度と 2E1H / TVOC 比

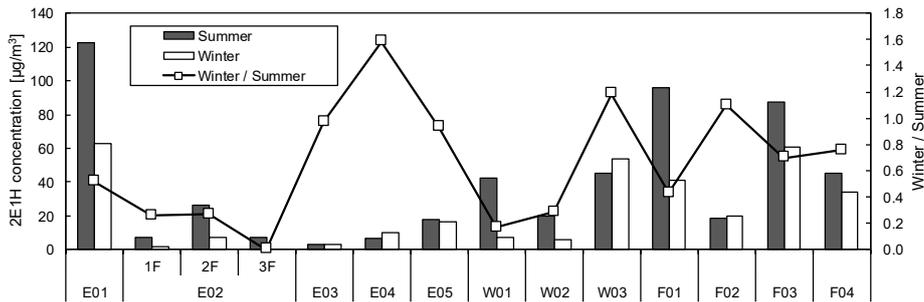


図 2-3-15 夏期と冬期の 2E1H 濃度の比較

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。

夏期と冬期に測定を行った E01, E02, E03, E04, E05, W01, W02, W03, F01, F02, F03, F04 における 2E1H の濃度と夏期と冬期の濃度比を図 2-3-15 に示す。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 2-3-16 に CO₂ 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 2-3-16 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 2-3-17 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。

また、図 2-3-18 に室内の絶対湿度と 2E1H 濃度の関係を示す。2E1H の二次生成には、水分の影響が大きいこと知られているが、空気中の湿気の絶対量が多い方が、2E1H の濃度が高い傾向となった。よって、二次生成においても、環境中の湿度も 2E1H 濃度に影響を与えていることが示唆される。

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。さらには、絶対湿度との関係も見られ、室内濃度低減の為に、換気以外にも発生源の対策を講じる必要があると考えられる。

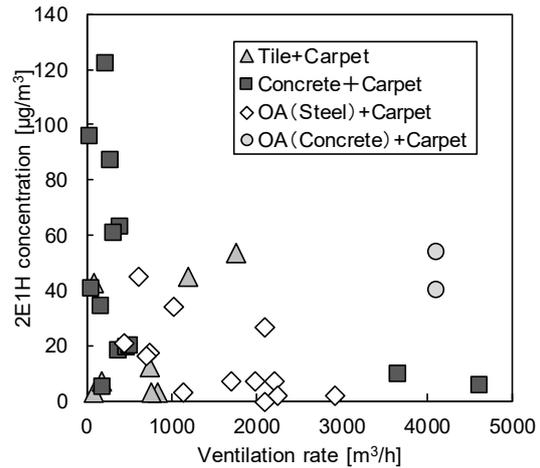


図 2-3-16 換気量と 2E1H 濃度の関係

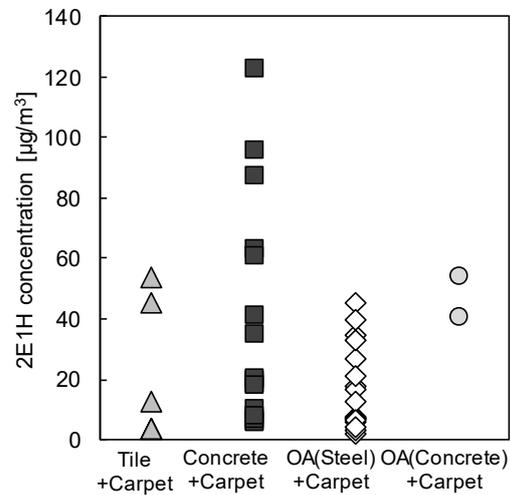


図 2-3-17 床仕様別の 2E1H 濃度のまとめ

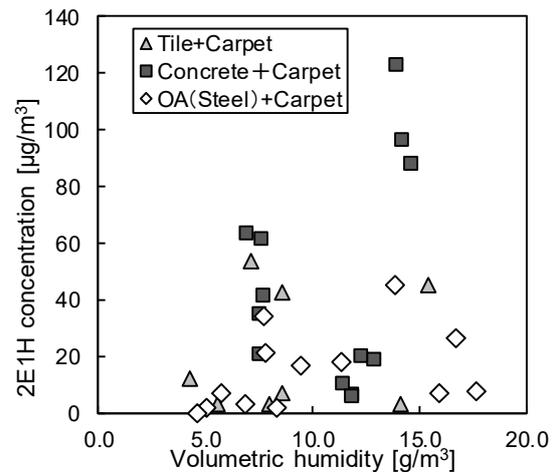


図 2-3-18 容積絶対湿度と 2E1H 濃度の関係

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。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。

E. 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.

2-4 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。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 2-1-1 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 2-4-1 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。

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。

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

表 2-4-1 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						2018						2019											
Winter	2018						2019						2019											

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

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

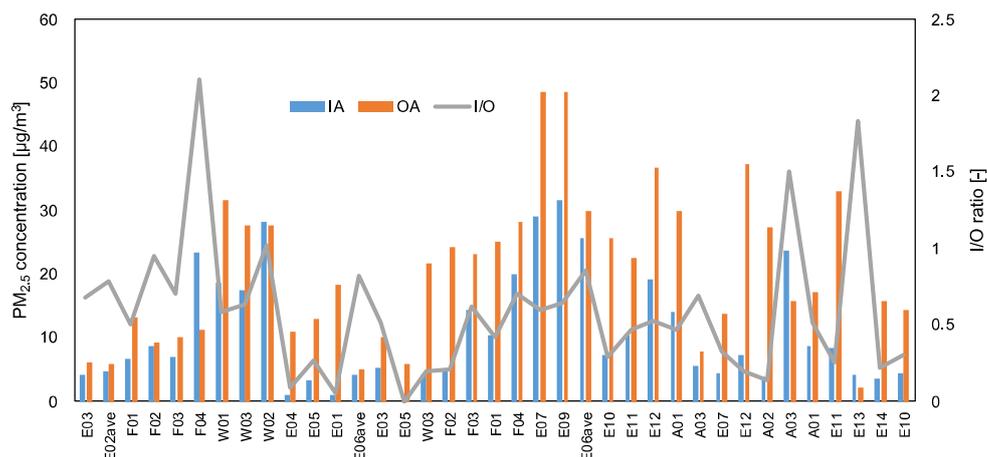


図 2-4-1 各建築物の PM_{2.5} 濃度と I/O 比 (DustTrak)

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 建築物における室内 PM_{2.5} 濃度と特徴

図 2-4-1 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 2-4-2 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。

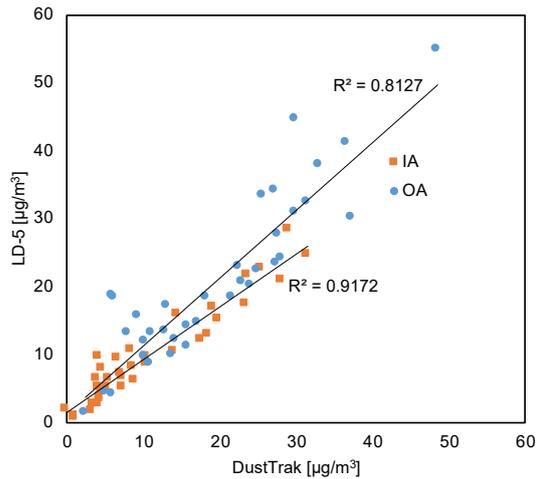


図 2-4-2 DustTrak と LD-5 による PM_{2.5} 濃度の相関

図 2-4-3 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、大気中の PM_{2.5} 濃度は夏期の方が高いと推測される。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 2-4-4 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)}。

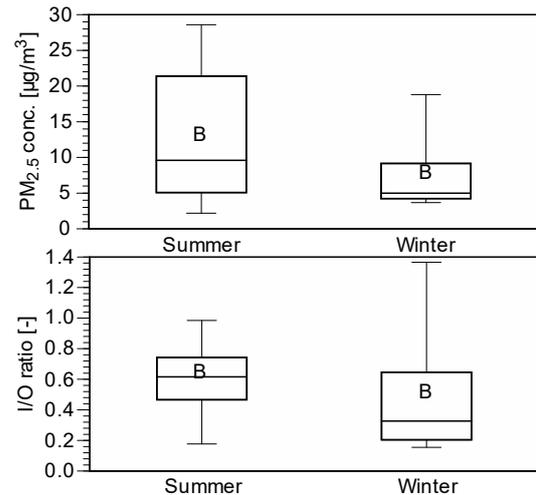


図 2-4-3 季節別の PM_{2.5} 濃度と I/O 比

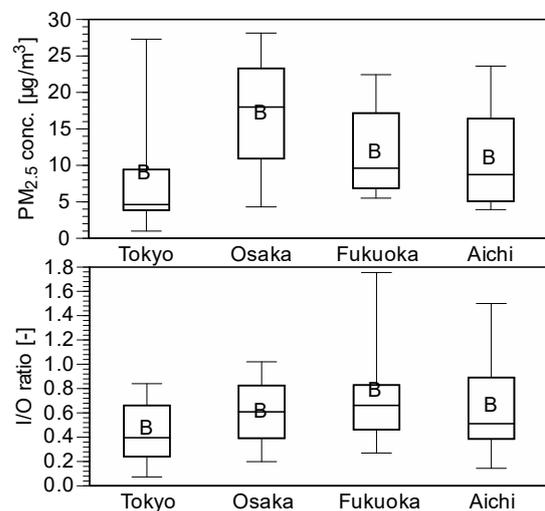
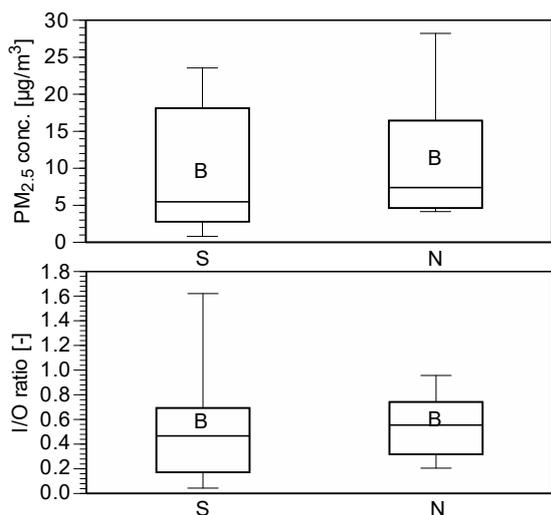


図 2-4-4 地域別の PM_{2.5} 濃度と I/O 比

図 2-4-5 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 2-4-6 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 2-4-5 建物規模別の PM_{2.5}濃度と I/O 比

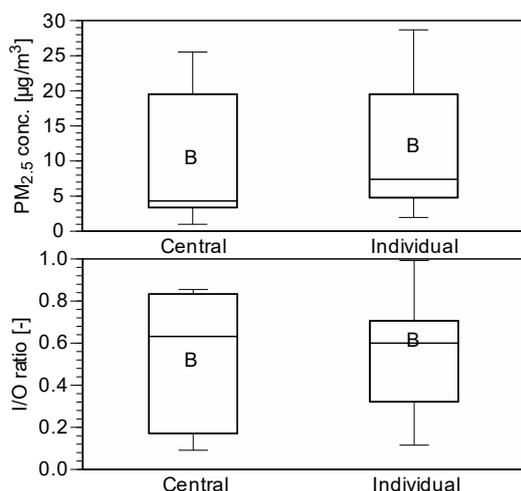


図 2-4-6 空調方式別の PM_{2.5}濃度と I/O 比

C.2 日本全国大気 PM_{2.5}濃度

図 2-4-7 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 2-4-8 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も、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も、南の地域の方が多いことがわかる。

図 2-4-9 及び図 2-4-10 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 2-4-11 及び図 2-4-12 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 2-4-13 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 2-4-14 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⁶⁾。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⁷⁾。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。

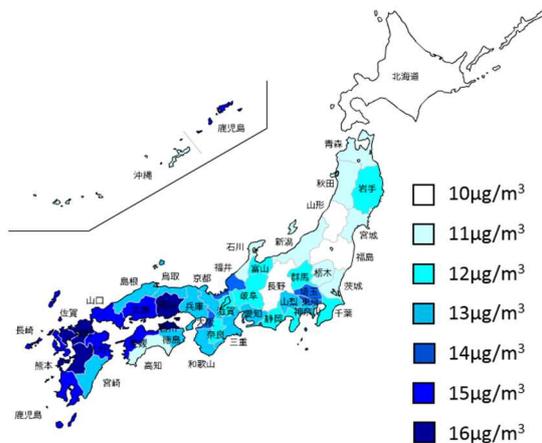


図 2-4-7 PM_{2.5}濃度地図

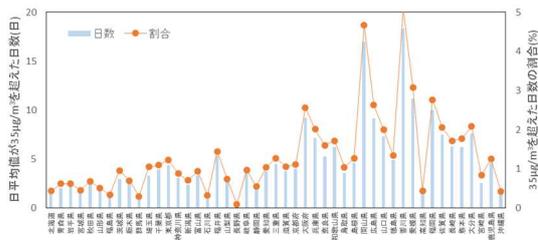


図 2-4-8 日平均値が 35 µg/m³ を超えた日数とその割合

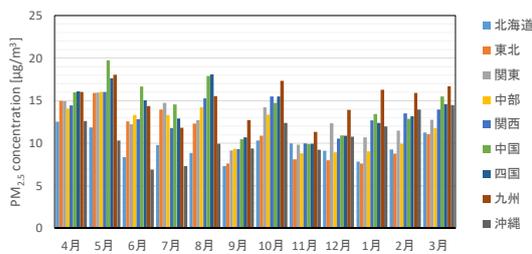


図 2-4-9 地域別月別の PM_{2.5}濃度

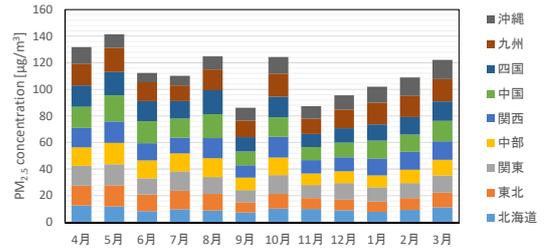


図 2-4-10 各月の各地域 PM_{2.5}濃度の積み上げ

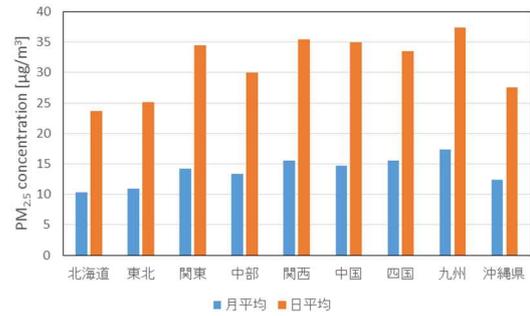


図 2-4-11 10月の各地域月・日平均 PM_{2.5}濃度

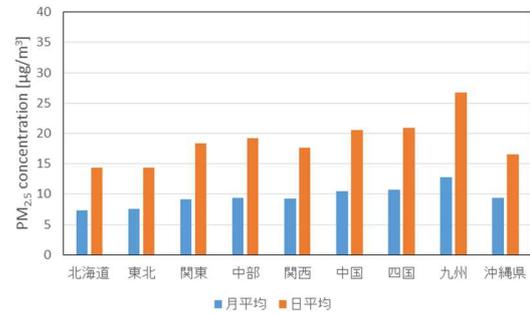


図 2-4-12 9月の各地域月・日平均 PM_{2.5}濃度



図 2-4-13 関東地方の各月の月平均・日平均

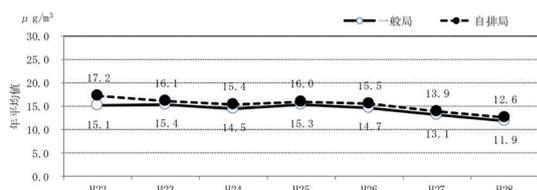


図 2-4-14 PM_{2.5}の年平均値の推移

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。

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。

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
- 6) 環境省水・大気環境局：平成28年度大気汚染の状況, 2018.3
- 7) 鶴野伊津志ほか：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

2-5 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濃度に着目している。

B. 研究方法

B.1 調査対象

2017年度は北海道（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を対象に、2017年8月（夏期）及び2018年1月及び3月（冬期）に測定を行った。

2018年度の調査対象は東京、大阪、福岡のオフィスビル計12件であった。なお、E01、E04、E05、F04、W03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。2018年1月（冬期）、2019年8月～9月（夏期）及び2018年12月2019年1月（冬期）に測定を行った。

2019年度は、関東、中部地域のオフィスビル計11件であった。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。測定期間は2019年8月、2020年1月～2月である。

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2-5-1 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。

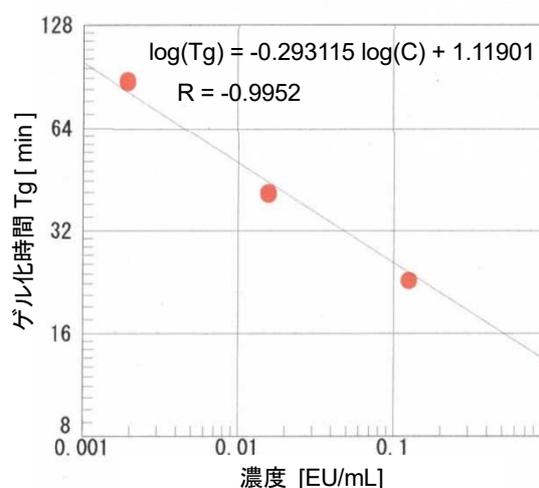


図2-5-2 検量線例（4点、8倍稀釈）

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°C）に達するまでの時間（T_g：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. 結果

C.1 2017 年度測定結果

2017 年度の 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既往研究^{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 70 EU/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。

また、本研究グループによる既往研究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。

C.2 2018 年度測定結果

図 2-5-4 に空气中 ET 濃度の測定結果を、図 2-5-5 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 1.0 EU/m³ 以下であったが、夏期 E02、E04、冬期 E04 で高い濃度が示された。E02 は冬期と夏期の外気濃度が明らかに異なるため、測定日の条件による違いと考えられる。一方、E04 は夏期、冬期共に外気としては高い濃度を示している。排気口や冷却塔などが集まっている屋上で外気測定をしていることからこれらの影響を受けている可能性がある。

室内濃度では 1.0 EU/m³ を下回る建物が殆どであり、1.0 EU/m³ を超える 4 件においても 1～2 EU/m³ と比較的低い水準であった。

I/O 比が 1.0 を超える結果は 30 件中 11 件と 37% 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、冬期の室内平均濃度は同水準であり、夏期は中小規模での濃度がやや低い結果となった。しかし、いずれも平均値としては 1.0 EU/m³ 未満と低い水準となっている。

一方、最高値は冬期に中小規模の方が高く、夏期は特定建築物の方がやや高くなっている。

C.3 2019 年度測定結果

図 2-5-6 に空气中 ET 濃度の測定結果を、図 2-5-7 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 1.0 EU/m³ 以下であり、夏期 E07、E10、A03、冬期 A02 で 1.0 EU/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 1.0 EU/m³ を下回る物件が多く、1.0 EU/m³ を超えても 1～2 EU/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。

D. まとめ

中小規模オフィスにおける室内 ET 濃度は室内濃度では 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

一方、冬期に 8.5 EU/m³ と高く IO 非も 18 を超える物件が存在していた。室内で家庭用加湿器を複数台使っていたことから加湿器と加湿水による影響と考えられる。

外気濃度(OA)は多くが 1.0EU/m³ 以下であったが、夏期・冬期共に高い濃度が示すところが存在した。同一測定点で季節による濃度差があるところは雨など気候による影響と考えられる。一方、夏・冬期共に外気としては高い濃度を示しているところもあり、排気口や冷却塔などが集まっている屋上で外気測定をしていることからこれらの影響を受けている可能性が考えられた。

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。

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、引き続き室内ET濃度の実態を把握していく必要がある。

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.

室内濃度		OA		I/O	
Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
0.6	0.7	0.5	0.4	0.9	0.5

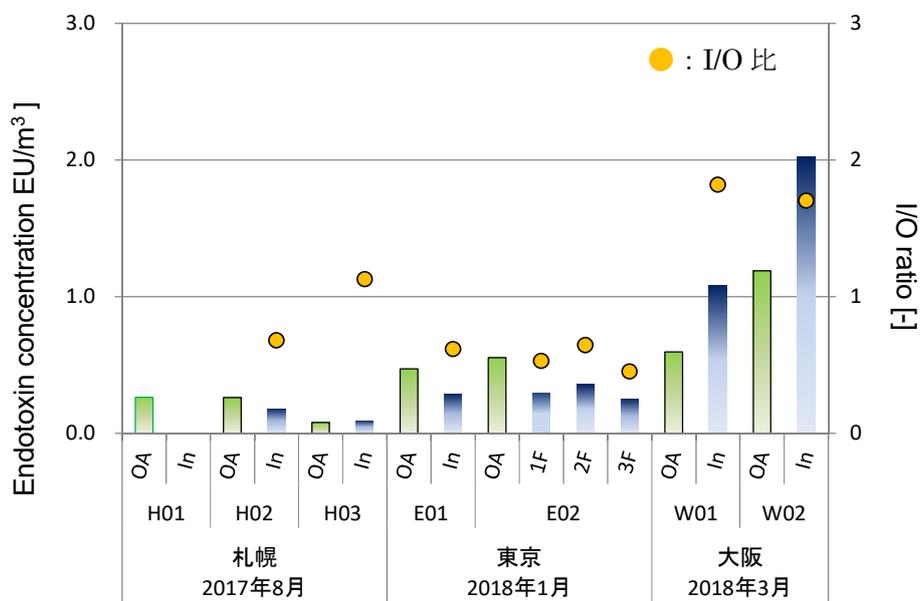


図 2-5-3 中小規模オフィスの ET 測定結果 (2017 年度)

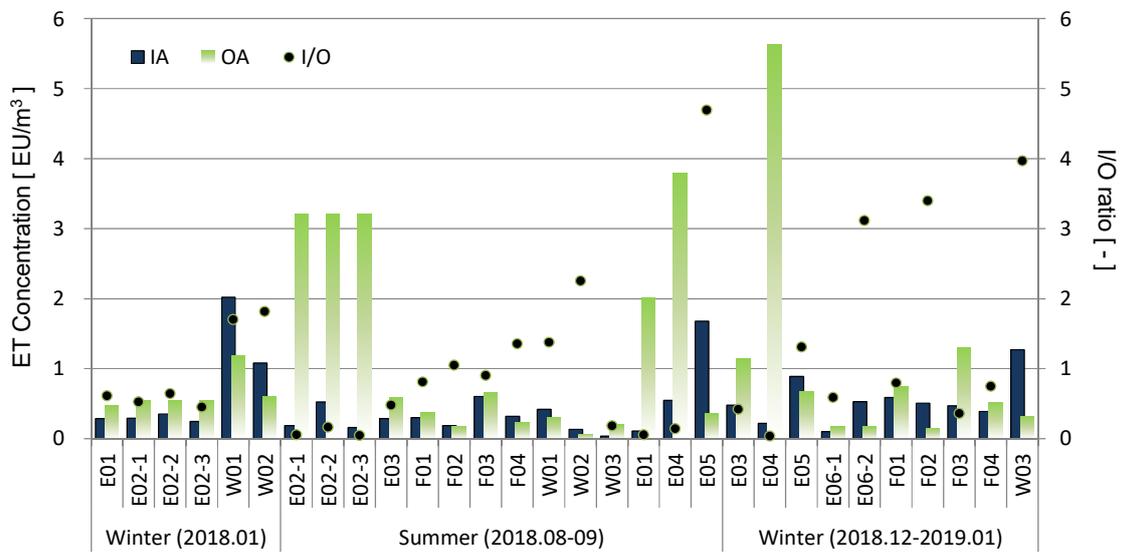


図 2-5-4 ET 濃度測定結果 (2018 年度)

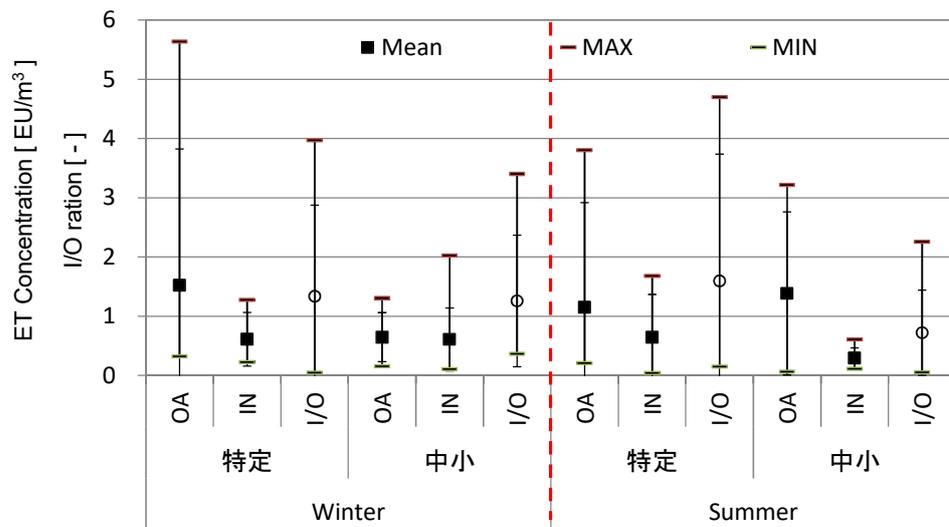


図 2-5-5 季節及び建物規模による ET 濃度 (2018 年度)

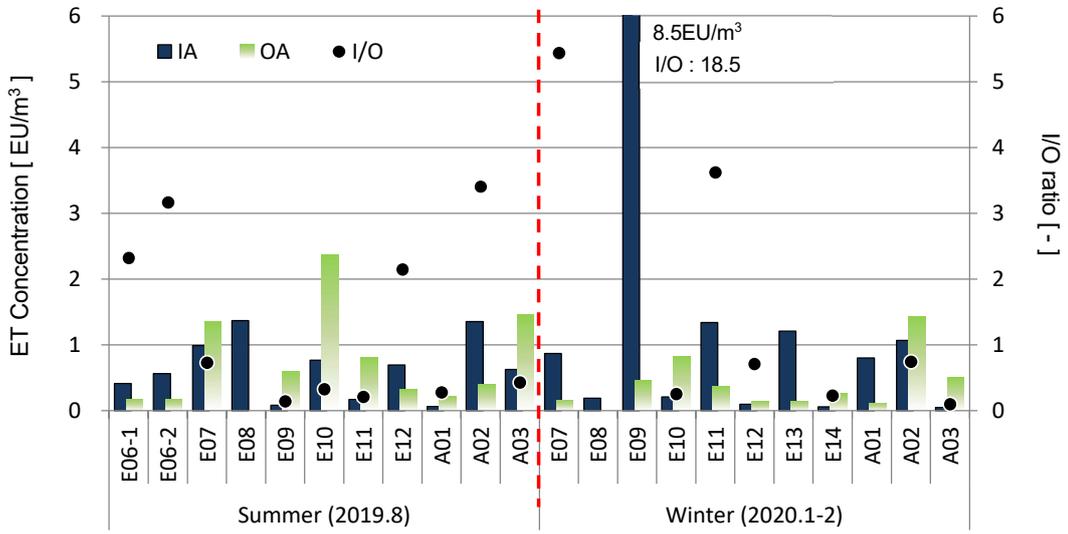


図 2-5-6 ET 濃度測定結果 (2019 年度)

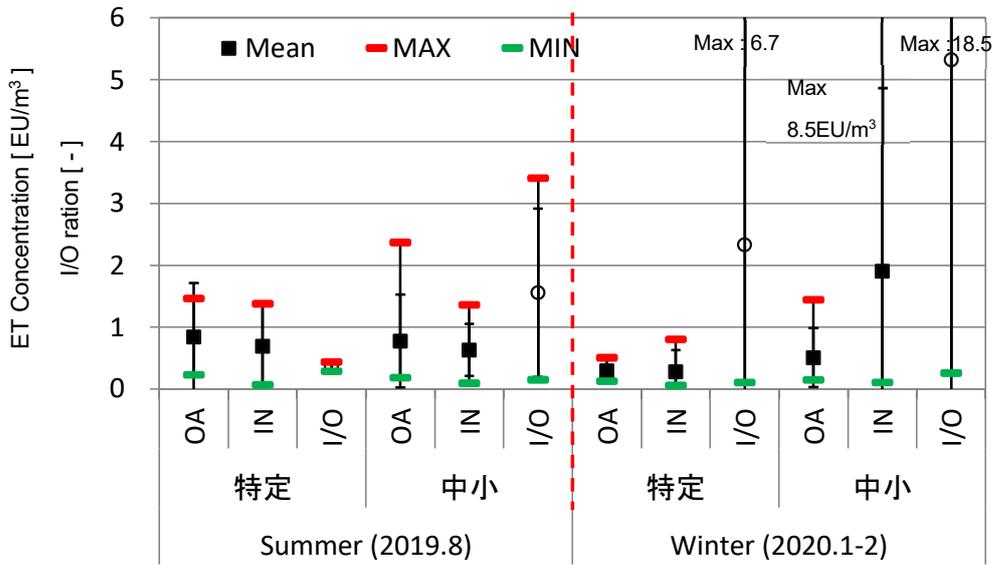


図 2-5-7 季節及び建物規模による ET 濃度 (2019 年度)