

5. 現場立入調査とアクティブサンプリング

分担研究者 鍵 直樹 東京工業大学環境・社会理工学院 教授
分担研究者 金 勲 国立保健医療科学院 上席主任研究官

研究要旨

建築物環境衛生管理基準におけるホルムアルデヒドの基準値は、 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ である。シックハウスに関連してホルムアルデヒドを含む13物質が厚生労働省により濃度指針値が、TVOCについては暫定目標値が定められているが、建築物衛生法においてホルムアルデヒド以外は基準値にはなっていない。特定建築物では、建築物環境衛生管理基準により二酸化炭素濃度を基準に適切な換気が行われていることが確認できることや、室内の化学物質発生源が住宅ほど多くないこと、設計換気量が住宅より多いことから化学物質濃度は低いと考えられている。その他の物質として、2-エチル-1-ヘキサノール（2E1H）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生成し、発生することが示されている。

そこで、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、ホルムアルデヒドを含む厚生労働省の指針値に示されている物質を中心にアクティブ法を用いて実測調査を行った。さらに事務所室内空気中の2E1H発生特性を実測調査によって明らかにした。また、並行して温度、湿度、 CO_2 濃度、浮遊微粒子濃度の測定を行った。

結果として、基準値であるホルムアルデヒドおよび指針値に挙げられている化学物質については、濃度を超過する建物はなかった。TVOC濃度については、暫定目標値を超過する建物が冬期に1件存在したが、この建物は前年に倉庫を改修して事務所とした建物で、比較的新しい内装材料により濃度が若干高くなったものと考えられる。ただし、指針値物質については、いずれも低い濃度であった。また、2E1Hの事務所建築物における実態調査では、TVOCに占める2E1Hの値が高い建物があり、特にコンクリートが下地の建物において高い傾向となった。

室内温度は冬期 $24.6 \pm 0.9^\circ\text{C}$ 、 $26.0 \pm 1.3^\circ\text{C}$ と安定していた。相対湿度は冬期は $32 \pm 9\%$ で40%以上を維持しているところは1施設のみ、他の建物は全て30%未満となっていた。40%以上の物件は外調機と無給水加湿器を併設している個別式空調であった。一方、中央式空調を導入している物件であっても40%を下回っており、空調方式による違いというよりは、空調運転による立ち上がりや測定時刻などの影響も考慮する必要がある。夏期は $51 \pm 9\%$ と建築物衛生法の管理基準40～70%を満足していた。

CO_2 濃度では冬期・夏期を問わず1件（建物B）だけ1000ppm近傍で運用されていたが、全体的には室内濃度600ppm台と良好な環境で維持されていた。個別式空調より中央式空調の室内 CO_2 濃度が低く観察された。

個数濃度の積算値として、外気（OA）が室内濃度（IA）より高い傾向が見られた。室内濃度は外気よりは低くなっているが、外気濃度に追従して増減しており、外気の影響を受けている。個数濃度は粒径が小さな粒子の濃度が高く、大きな粒径の粒子濃度は低い、典型的な濃度分布を示している。冬期測定では室内発生粒子の除去性能は中央式が優れている可能性が推察されたが、夏期実測からは空調方式による明確な違いは見られなかった。

5-1 化学物質-カルボニル化合物及び揮発性有機化合物 (VOC)

A. 研究目的

建築物環境衛生管理基準におけるホルムアルデヒドの基準値は、 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ である。シックハウスに関連して表 5-1-1 のようにホルムアルデヒドを含む 13 物質が厚生労働省により濃度指針値が、TVOC については暫定目標値が定められているが、建築物衛生法においてホルムアルデヒド以外は基準値にはなっていない。特定建築物では、建築物環境衛生管理基準により二酸化炭素濃度を基準に適切な換気が行われていることが確認できることや、室内の化学物質発生源が住宅ほど多くないこと、設計換気量が住宅より多いことから化学物質濃度は低いと考えられている。

ここでは、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、ホルムアルデヒドを含む厚生労働省の指針値に示されている物質を中心にアクティブ法を用いて実測調査を行った。

表 5-1-1 化学物質の濃度指針値

揮発性有機化合物	室内濃度指針値
ホルムアルデヒド	$100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.08 ppm)
アセトアルデヒド	$48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.03 ppm)
トルエン	$260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.07 ppm)
キシレン	$200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.05 ppm)
エチルベンゼン	$3800 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.88 ppm)
スチレン	$220 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.05 ppm)
パラジクロロベンゼン	$240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.04 ppm)
テトラデカン	$330 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.04 ppm)
クロルピリホス	$1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.07 ppb) 小児の場合 $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.007 ppb)
フェノブカルブ	$33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (3.8 ppb)
ダイアジノン	$0.29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.02 ppb)
フタル酸ジ-n-ブチル	$17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1.5 ppb)
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	$100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (6.3 ppb)
TVOC (暫定目標値)	$400 \mu\text{g}/\text{m}^3$

B. 研究方法

B.1 調査対象

対象とした建築物は表 5-1-2 に示す建築物 A から G の大阪府、東京都、埼玉県にある事務所建築物である。建築物 A 及び G については、同じ建築物内で居室 3 箇所を測定対象としたが、その他は各建物 1 箇所のみとなる。2021 年 3 月の暖房期及び 2021 年 10 月の冷房期に同じ建物において行った。

表 5-1-2 空气中化学物質の測定概要

ID	測定日	地域	空調方式
A_1	2021/3/18	大阪	個別
A_2	2021/10/14		
A_3			
B	2021/3/18 2021/10/14	大阪	個別
C	2021/3/18 2021/10/14	大阪	個別
D	2021/3/19 2021/10/15	大阪	中央
E	2021/3/23 2021/10/5	東京	中央
F	2021/3/23 2021/10/5	東京	中央
G_1	2021/3/25	埼玉	中央
G_2	2021/10/8		
G_3			

B.2 調査方法

建築物衛生法によるホルムアルデヒドの測定については、2・4-ジニトロフェニルヒドラジン (DNPH) 捕集—高速液体クロマトグラフ法により測定する機器、4-アミノ-3-ヒドラジノ-5-メルカプト-1・2・4-トリアゾール (AHMT) 法により測定する機器又は厚生労働大臣が別に指定する測定器とされている。

厚生労働省による通知「室内空气中化学物質の室内濃度指針値及び標準的測定方法について」によれば、ホルムアルデヒド濃度の指針値制定にあたっては、一般的な人達における明らかな刺激感覚を防ぐことを指標として、30 分平均値で $0.1 \text{mg}/\text{m}^3$ を指針値とすることが適当である、

としている。

建築物衛生法においても、ホルムアルデヒド測定のコアタイミングを、新築、増築、大規模の修繕又は大規模の模様替えを完了し、その使用を開始した時点から直近の6月1日から9月30日までの間に1回と規定している。これは、ホルムアルデヒドの発生が新しい建材から多く発生すること、温度上昇に伴って多く発生することを意識したものである。なお、ホルムアルデヒドの量の測定結果が管理基準を超過した場合は、空気調和設備又は機械換気設備を調整し、外気導入量を増加させるなど、室内空気におけるホルムアルデヒドの量の低減策に努める必要がある。さらに、翌年の測定期間中に1回、再度、当該測定を実施することが必要となる。

測定時間についての規定はないものの、上述のように30分平均値で 0.1 mg/m^3 を指針値としていることから、30分の平均値が求められると考えられる。厚生労働大臣が別に指定する測定器においても、30分のサンプリング時間での測定値の一致を求めている。ただし、特定建築物などの室内においては、空調条件が定常であれば、室内濃度は定常状態となっているものと考えられる時点でのサンプリングを行うことを考慮することが重要である。

ここでは、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9L捕集(30min at 300 mL/min)し、GC/MSにより45成分の定量を行った。なお、TVOCの算出には、C6(ヘキサン)からC16(ヘキサデカン)に検出したピークをトルエン換算して算出した。

表 5-1-2 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) 溶媒抽出-HPLC
VOCs	Tenax-TA 9L (at 300 mL/min)

C. 研究結果及び考察

各測定点における化学物質濃度を冬期について表 5-1-3、夏期について表 5-1-4 に示す。

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建築物衛生法の基準値 $100 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ 及び厚生労働省指針値 $48 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ に対し指針値を超過する室はなかった。室内濃度が外気濃度よりやや高くなっているが、普段の室内濃度レベルであり、室内に高放散の汚染源は存在しないと考えられる。

VOCs の中からも厚生労働省指針値を超過する物件はなく、冬期にTVOC暫定目標値を上回る物件が1件あった。

厚生労働省で指針値が定められている13物質中、室内の建材からの発生源としてトルエン、エチルベンゼン、キシレン、スチレン、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。また、室内の持ち込みとなる防虫剤から発生するパラジクロロベンゼンについても冬期に検出はされているが、指針値よりは低い値であった。夏期には検出限界以下であった。

TVOCも暫定目標値 $400 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ を大きく超える結果はなく、冬期に超過した建物Cについては、この前年に倉庫を改修して事務所とした建物で、比較的新しい内装材料により濃度が若干高くなったものと考えられる。ただし、指針値物質については、いずれも低い濃度であった。また、その後の夏期の冷房期においては、TVOC濃度も低濃度となった。

D. まとめ

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、ホルムアルデヒドを含む厚生労働省の指針値に示されている物質を中心にアクティブ法を用いて実測調査を行った。

結果として、基準値であるホルムアルデヒドおよび化学物質の指針値については、濃度を超過する建物はなかった。TVOC濃度については、暫定目標値を超過する建物が冬期に1件存在したが、この建物は前年に倉庫を改修して事務所とした建物で、比較的新しい内装材料により濃

表 5-1-3 冬期の室内化学物質濃度の結果

ID	A 1	A 2	A 3	B	C	D	E	F	G 1	G 2	G 3	mean
ホルムアルデヒド	7.3	7.3	7.8	9.3	5.3	6.2	3.5	8.3	7.8	10.0	5.8	7.2
アセトアルデヒド	8.2	7.5	8.2	12.7	7.2	8.7	8.3	8.7	6.3	7.3	5.8	8.1
トルエン	13.6	5.7	16.1	16.6	26.3	21.9	12.3	10.3	13.7	14.0	8.9	14.5
エチルベンゼン	5.4	2.1	6.8	6.0	16.2	8.1	4.4	4.5	3.1	2.2	2.0	5.5
キシレン	6.2	2.6	6.8	5.8	11.9	11.4	6.7	4.4	3.5	1.9	1.7	5.7
スチレン	4.5	1.5	5.4	3.1	n.d.	8.1	n.d.	n.d.	0.8	0.3	0.4	3.0
p-ジクロロベンゼン	1.4	n.d.	3.8	2.0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.2	0.8	1.4	1.8
テトラデカン	2.6	8.2	4.0	4.1	5.3	6.2	3.1	n.d.	0.9	n.d.	n.d.	4.3
TVOC	275.2	222.6	376.7	261.5	440.2	281.3	156.8	178.3	86.1	80.5	111.5	224.6

表 5-1-4 夏期の室内化学物質濃度の結果

ID	A 1	A 2	A 3	B	C	D	E	F	G 1	G 2	G 3	mean
ホルムアルデヒド	6.3	6.8	8.2	11.2	7.8	10.7	9.3	11.8	12.3	15.7	16.0	10.6
アセトアルデヒド	6.5	7.0	7.8	30.8	9.2	8.8	10.0	16.2	6.0	6.3	5.8	10.4
トルエン	4.6	5.9	5.1	6.1	7.5	14.2	20.2	10.8	3.4	3.1	3.3	7.7
エチルベンゼン	1.8	2.0	1.9	2.6	6.6	3.1	8.5	4.4	1.6	1.5	1.5	3.2
キシレン	2.1	2.2	2.6	3.8	4.7	3.3	8.5	2.8	1.4	n.d.	n.d.	3.5
スチレン	1.7	2.1	1.8	2.0	2.6	2.7	4.5	2.0	n.d.	n.d.	n.d.	2.4
p-ジクロロベンゼン	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.0
テトラデカン	2.0	3.4	2.1	0.9	4.1	1.6	n.d.	n.d.	1.2	n.d.	1.4	2.1
TVOC	113.9	133.6	114.7	115.7	142.1	91.1	114.2	118.7	31.1	39.1	34.2	95.3

度が若干高くなったものと考えられる。ただし、指針値物質については、いずれも低い濃度であり、その後の夏期の測定では暫定目標値以下となっていた。

E. 参考文献

なし

F. 研究発表

なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

予定なし

5-2 化学物質-2E1H

A. 研究目的

建築物衛生法においては、揮発性有機化合物 (VOC) の中でもホルムアルデヒドのみ基準値としている。厚生労働省ではホルムアルデヒドも含め 13 物質の指針値を示している。その他の物質として、2-エチル-1-ヘキサノール (2E1H) は、塩ビ建材や接着剤、塗料などの建材から発生し、眼、皮膚への刺激、中枢神経系などに影響を与え、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 2017 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、指針値を 130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と定める予定であった²⁾。しかし、2018 年 12 月の第 23 回シックハウス(室内空気汚染)問題に関する検討会において、対策を講ずるにあたり科学的知見のさらなる収集が必要であり、また技術的観点から実効性に疑義のある値が提案されている可能性があるとの意見や、国際動向も踏まえて、指針値案は見直されることになった³⁾。

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。タイルカーペットや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おり⁴⁾、室内の 2E1H 濃度が高い原因として二次発生を挙げているものが多く、コンクリート下地の含水率に着目した研究が多くなされている。

本報告では、事務所室内空气中の 2E1H 発生特性を実測調査によって明らかにする。

B. 研究方法

事務所室内における化学物質の実態、特に

2E1H の状況を 2018 年から 2020 年の夏期と冬期に東京・埼玉・神奈川・大阪・福岡の表 5-2-1 に示す 17 軒 35 室の事務所建築物室内の調査を行った。E01～E05, E07～E12, A01～A03, W01～W03, F01～F04 は夏期と冬期に測定しており、その他の建物では夏期か冬期のどちらかで測定している。各部屋とも床にタイルカーペットが敷かれており、床の下地はタイル地、コンクリートスラブ、金属製・コンクリート製・プラスチック製 OA フロアの 5 種類に分類した。

VOC の捕集には、Tenax 捕集材を用いたアクティブサンプリング法により行った。捕集は対象室内の机上で行い、300 mL/min. で 30 分間、合計 9 L とした。分析には、加熱脱着装置により GC/MS に導入して行った。なお、TVOC の算出には、C6 (ヘキサン) から C16 (ヘキサデカン) に検出したピークをトルエン換算して算出した。

表 5-2-1 事務所建築物の実測調査における調査対象室の概要

Location	Building ID	Sampling places	Floor material	Summer	Winter	
Tokyo	E01	-	Concrete	○	○	
	E02	1F	OA (Steel)	○	○	
		2F		○	○	
	E03	3F	Tile	○	○	
		-		○	○	
	E04	-	Concrete	○	○	
	E05	-	OA (Steel)	○	○	
	E06	1F	OA (Plastic)	○	-	
		2F		○	-	
	E07	-	Tile	○	○	
	E08	-	OA (Steel)	○	○	
	E09	-	Tile	○	○	
	Saitama	E10	-	OA (Plastic)	○	○
		E11	-	OA (Plastic)	○	○
Kanagawa	E12	-	Concrete	○	○	
	E13	-	OA (Steel)	-	○	
	E14	-	OA (Steel)	-	○	
	T01	-	OA (Steel)	-	○	
	T02	roomA	Tile	-	○	
		roomB		-	○	
	T03	1F	Concrete	-	○	
5F		○		○		
T04	-	OA (Steel)	-	○		
T05	-	OA (Concrete)	-	○		
T06	-	Concrete	○	-		
T07	-	Concrete	○	-		
Aichi	K01	-	Concrete	○	-	
	A01	-	Tile	○	○	
	A02	-	Concrete	○	○	
Osaka	A03	-	OA (Plastic)	○	○	
	W01	-	Tile	○	○	
	W02	-	Concrete	○	○	
Fukuoka	W03	-	Tile	○	○	
	O01	-	Concrete	○	-	
	O02	-	OA (Plastic)	○	-	
Fukuoka	F01	-	Concrete	○	○	
	F02	-	Concrete	○	○	
	F03	-	Concrete	○	○	
	F04	-	OA (Steel)	○	○	

C. 研究結果および考察

C.1 事務所建築物における 2E1H の実態

図 5-2-1 にタイル地の建物での 2E1H 濃度を示す。タイル地の建物では、2E1H 濃度の低い建物が多い。しかし、夏期の W01 と E09 では総揮発性有機化合物 (TVOC) 濃度が厚生労働省による暫定目標値 $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えており、2E1H 以外の VOC が空気質に影響しているものである。タイル地の建物は改装によって竣工当初に施工されたタイル地の上にタイルカーペットをそのまま貼り付けている建物である。そのため、下地となるタイルの種類が建物によって違うことで床材から発生する物質が異なっていると考えられる。

図 5-2-2、図 5-2-3 に金属製 OA フロア及びコンクリート製・プラスチック製 OA フロアの建物での 2E1H 濃度を示す。コンクリート製 OA フロアの T05 の $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ が最も高い濃度を示しており、金属製・プラスチック製 OA フロアでは低い傾向にあった。

図 5-2-4 にコンクリートスラブが下地の建物での 2E1H 濃度を示す。コンクリートスラブが下地の建物では、2E1H 濃度が高い傾向にあった。特に夏期の K01、E01 では $139 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $123 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と調査した建物のなかでも高濃度で検出された。また、夏期においては TVOC に占める 2E1H の濃度も高い。

床仕様別の 2E1H 濃度を図 5-2-5 に示す。コンクリートスラブが下地の建物は、他の建物と比べても 2E1H の濃度が高い傾向であることが明らかになった。特に、金属製 OA フロアとコンクリートスラブが下地の建物との濃度には有意な差があった。

また、床仕様別の TVOC 濃度に占める 2E1H 濃度をまとめたものを図 5-2-6 に示す。TVOC 中の 2E1H 濃度の割合もコンクリートが下地の建物において高い傾向がある。既往研究⁸⁾において、2E1H の嗅覚閾値は $76 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、TVOC に対する割合が 45~64% の付近から 2E1H の臭気を感じると示唆されている。コンクリートスラブが下地の事務所室内ではそれらの値を超える建物もいくつか存在していることから、コンクリート下地が事務所の室内環境に影響を与えていることが示唆された。これはコンクリート

下地による加水分解により、二次発生していることが高濃度の原因であると推測される。

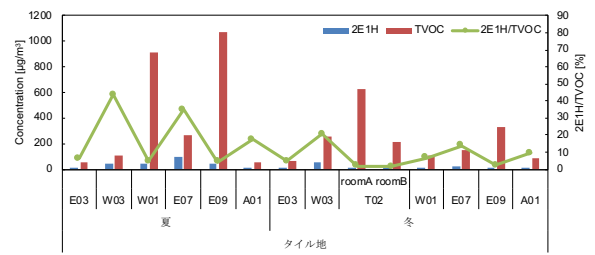


図 5-2-1 タイル地の室内 2E1H 濃度と TVOC 濃度

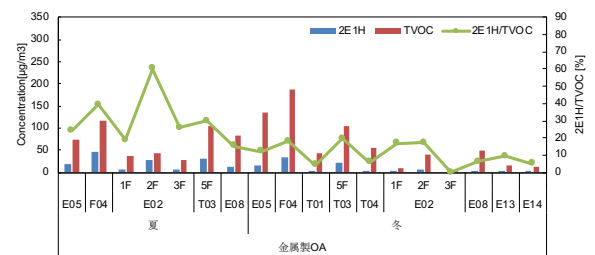


図 5-2-2 金属製 OA フロアの室内 2E1H 濃度と TVOC 濃度

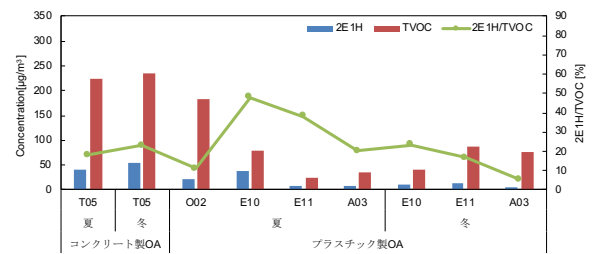


図 5-2-3 コンクリート・プラスチック製 OA フロアの室内 2E1H 濃度と TVOC 濃度

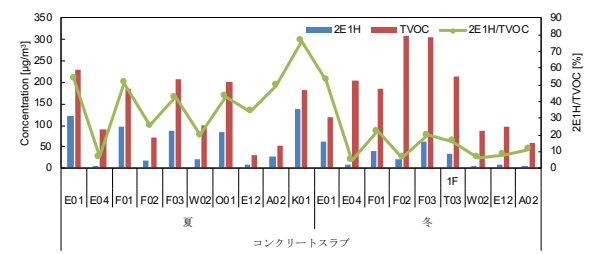


図 5-2-4 コンクリートスラブ下地の室内 2E1H 濃度と TVOC 濃度

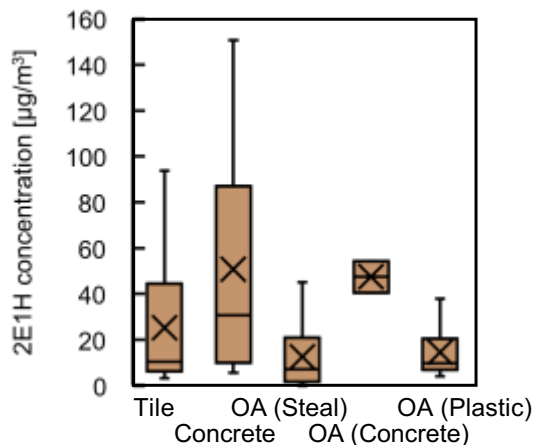


図 5-2-5 床仕様別の室内 2E1H 濃度

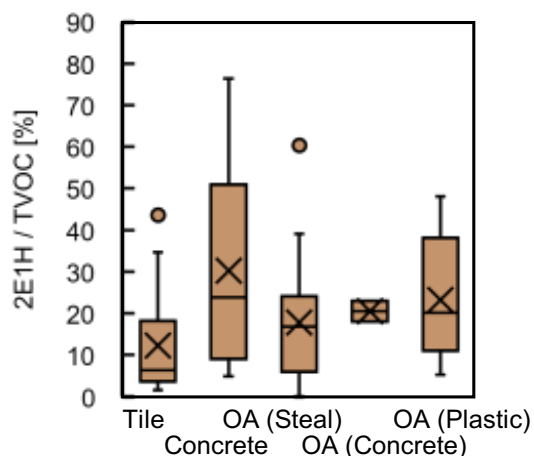


図 5-2-6 床仕様別の TVOC に占める 2E1H の割合

C.2 考察

事務所建築物において室内化学物質濃度の実測調査を行ったところ、TVOC に占める 2E1H の割合が比較的高い建物が多く存在し、主要成分が 2E1H となっていることを表している。2E1H の発生源として、接着剤やカーペットの下地材が考えられるが、その他にもコンクリート中に含まれる水分により、カーペット裏地の塩ビ材料との二次生成も要因としてあり、室内の温度、湿度などの影響により、新築建物でなくとも濃度が高くなる可能性もあり、引き続き注視する必要がある。

D. まとめ

事務所室内空気中の 2E1H 発生特性を実測調

査によって明らかにした。2E1H の事務所建築物における実態調査では、TVOC に占める 2E1H の値が高い建物があり、特にコンクリートが下地の建物において高い傾向となった。

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: 建築に使用される化学物質事典, 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.htm>
1 (参照: 2021.1.28)

- 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(2018): 第 23 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,

https://www.mhlw.go.jp/stf/shingi2/0000166151_00002.html (参照: 2021.1.28)

- 4) 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), pp. 1021-1031, 2005

- 5) 鍵直樹, 池田耕一, 柳宇, 長谷川あゆみ, 藤井修二: パッシブ法による事務所における揮発性有機化合物の実態調査と汚染原因の検討, 日本建築学会環境系論文集, 日本建築学会, Vol.74, No. 638, pp. 501-506, 2009.4

- 6) 勘坂弘子: におい問題事例の原因と対策, 第 31 回におい・かおり環境学会, pp. 276-285, 2019

F. 研究発表

なし

G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定含む)

予定なし

5-3 温度、湿度、CO₂濃度

A. 研究目的

建築物衛生法では CO₂ 濃度 1000ppm を換気の管理基準としている。CO₂ の有害性による人体影響からではなく外気導入による室内 CO₂ 希釈と排出効果を換気基準として定めたものである。人間活動が行われる空間では人体の呼吸、暖房器具、調理器具の燃焼から必ず CO₂ が発生するため、換気が足りない場合は CO₂ 濃度が上昇し、適切な換気が行われていれば CO₂ 濃度も一定レベル以下に維持できる。更に、建材や人体、人間活動から発生する化学物質、におい、粒子状物質など他の空気汚染物質もコントロールできる。

2017 年現在、相対湿度の不適合率は 55%以上、温度 30%以上、CO₂ は 30%に近接し、上昇傾向が続いている¹⁾。近年、地球環境保全や省エネ傾向により相対湿度、温度、CO₂ 濃度にて不適合が顕著に表れ、全国平均として CO₂ 濃度の不適合率は 30%近いと報告されている²⁾。

原因としては建築物衛生法の改正 (H14)、幾度に渡る省エネ法の改定 (H15、H17、H25、H29)、東日本大震災 (H23) による節電要求などに加え、社会的な要因以外にも設備の管理・運用上の問題、省コスト、立入検査や報告徴収の方法、定点測定の代表性など明らかになっていない問題があることを指摘されている²⁾³⁾。

本研究は特定建築物における室内空气中化学物質濃度の実態調査であるが、空気濃度は換気と直結するため、換気の把握を行う必要がある。そこで、立入による化学物質のアクティブサンプリング測定と同時に温度、湿度、CO₂ 濃度の測定を行った。

B. 研究方法

現場測定は 2021 年 3 月 (暖房期) 及び 2021 年 10 月 (冷房期) にて実施した。温度・湿度・CO₂ 用の連続測定小型センサー (T&D TR-76Ui) を空気サンプリング場所に設置、5 分間隔で 30 分以上測定し、その中から設置後から 5~10 分以上経過した安定している 30 分間のデータを抽出して使用した。但し、建物 G では 1 日連続測定ができたため勤務時間帯の 10:00~17:00 のデータを採用した。

C. 測定結果

図 5-3-1 に CO₂ 濃度、図 5-3-2 に温度、図 5-3-3 に相対湿度の集計グラフを示す。また、表 5-3-1 には各項目の平均値を集計した。

C.1 CO₂

冬期の外気 CO₂ 濃度平均は 427±11ppm、室内濃度は 662±146ppm、夏期は外気 445±27ppm、対象物件全体の室内濃度平均は 622±167ppm と季節毎の大きな違いは見られなかった。

B の室内濃度だけ平均が 1000ppm を若干超え、管理基準値付近で推移していたが、他の測定対象では 439~777ppm と低いレベルで管理されていた。全体的に良好な状態で維持管理されていた。冬期測定では、個別式と中央式空調の差が見られた。

個別式である A、B、C は冬期 715ppm、夏期 745ppm だったのに対し、中央式空調である D、E、F は冬期 574ppm、夏期 551ppm と低い濃度で運用されていた。G は中央式空調であるが、測定当日窓開け換気を行っていたことから外気と同レベルの濃度となっている。

CO₂ 濃度は在室者密度と換気量のバランスで決まり、空調設計によって換気量が変わるため、CO₂ 濃度が低いからよい設計とは限らないが、低い濃度で管理されていることは室内空気汚染因子によるリスク低減の面では好ましい。

C.2 温度

冬期の室内温度は 24~25°C程度、夏期は 24~27°C (G は窓開け換気のため除く) と安定していた。全物件の室内温度平均は冬期 24.6±0.9°C、夏期全体平均は 26.0±1.3°Cである。

同一物件である A は 3ヶ所共に冬期 24°C、夏期 26°C付近で非常に安定している。G は夏期の平均温度が 27~28.3°Cとやや高めとなっているが、窓開け換気による影響である。

A、B、C は個別式空調、D、E、F (G は中央式であるが窓開け換気を行っていたことから除く) 中央式空調であるが、空調方式による室内温度の違いは見られなかった。

C.3 相対湿度

冬期の外気における相対湿度は全測定点で

40%を下回り、Aの外気が平均36%と最も高くFの外気は20%を下回り最も低かった。室内の湿度平均は $32\pm 9\%$ と、40%以上を維持しているところはAのみであり、Fは36%と40%付近で維持されていた。Aは外調機と無給水加湿器が設置されており、湿度管理をしっかり念頭に置いた設計となっている。他の建物は全て30%未満となっており、冬期の加湿不足が確認された。

D、E、Fの3施設は中央式空調が入っているが40%には満たず、Fが40%に近い湿度となっていた。こちらは、D、Eは午前9時の実測であり、Fは11時過ぎの測定だったため、相対湿度が低く観察された要因としては空調の立ち上がり時間に時間がかかっていることも考慮しなければならない。B、Cは外気の絶対湿度(水蒸気量)より室内の絶対湿度が高いことから、空調加湿やその他加湿要因(人体、個別加湿器など)による加湿は行われているものの、加湿量は足りていない。

夏期の外気は全測定点で34~59%、室内では44~62%と良好な湿度環境となっていた。まだ冷房運転がされている10月であり、外気の湿度も低くないことが影響していると考えられる。室内の湿度平均は $51\pm 9\%$ と、夏期測定では建築物衛生法の管理基準40~70%に不適な物件はなかった。

A、B、Cは個別式空調、D、E、F、Gは中央式空調であり、空調方式に係わらず冷房期の湿度管理に問題はなかった。Gは測定時間が業務時間帯全体と長かったこと、コロナ禍での感染防止のため窓開け換気を行っていたこと、から湿度変動が見られているがその幅は大きくなかった。

D. 結論

冬期測定からは、 $12^{\circ}\text{C}\sim 22^{\circ}\text{C}$ の外気温度に対して室内温度は $24\sim 25^{\circ}\text{C}$ 程度で安定していた。測定対象全体の室内温度平均は $24.6\pm 0.9^{\circ}\text{C}$ であった。相対湿度平均は $32\pm 9\%$ で、40%以上を維持しているところは1件のみ、他の建物は全て30%未満となっていた。中央式空調を導入している物件であっても40%を下回っていたが、空調運転開始間もない時間帯に測定を行っていることから空調運転による立ち上がりまで時間が

かかることが原因である可能性も考えられた。CO₂濃度では1件(建物B)だけ1000ppm近傍で運用されていたが、全体的には外気CO₂濃度平均427ppmに対し、室内濃度は662ppmと良好な環境で維持されていた。冬期測定では、個別式空調より中央式空調の室内CO₂濃度が低く観察された。

夏期測定からは、 $22.0^{\circ}\text{C}\sim 30.6^{\circ}\text{C}$ の外気温度に対して、窓開け換気物件を除くと室内温度は $24.3\sim 26.6^{\circ}\text{C}$ と安定していた。測定対象全体の室内温度平均は $26.0\pm 1.3^{\circ}\text{C}$ であった。空調方式による温度環境の差は見られなかった。室内湿度平均は $51\pm 9\%$ で対象建物全てが建築物衛生法の管理基準40~70%を満足していた。空調方式に係わらず冷房期の湿度管理には問題なかった。CO₂濃度は1件(建物B)だけ1000ppm近傍で推移していたが、全体的には外気CO₂濃度平均445ppmに対し、室内は622ppmと良好な環境で維持されていた。今回の測定対象でも、個別式空調より中央式空調の室内CO₂濃度がやや低く観察された。

夏期の測定においても、個別式空調より中央式空調の室内CO₂濃度が低く観察された。

E. 参考文献

- 1) 金勲、東賢一、鍵直樹、柳宇 他、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」(研究代表者:小林健一)、3.事務所建築物におけるCO₂濃度の全国実態調査-Phase2 調査-、平成29年~令和元年度総括・分担総合研究報告書、2020.3
- 2) 林基哉、金勲、開原典子、小林健一、鍵直樹、柳宇、東賢一、特定建築物における空気環境不適率に関する分析、日本建築学会環境系論文集、Vol.84 No.765、2019.11、pp.1011-1018.
- 3) 金勲、林基哉、開原典子、小林健一、柳宇、鍵直樹、東賢一、長谷川兼一、中野淳太、李時桓、事務所建築の室内空気環境管理に関する調査 その3 冷暖房期における二酸化炭素濃度の実態、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、2019.9、pp.53-56.

E. 参考文献

なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

予定なし

F. 研究発表

なし

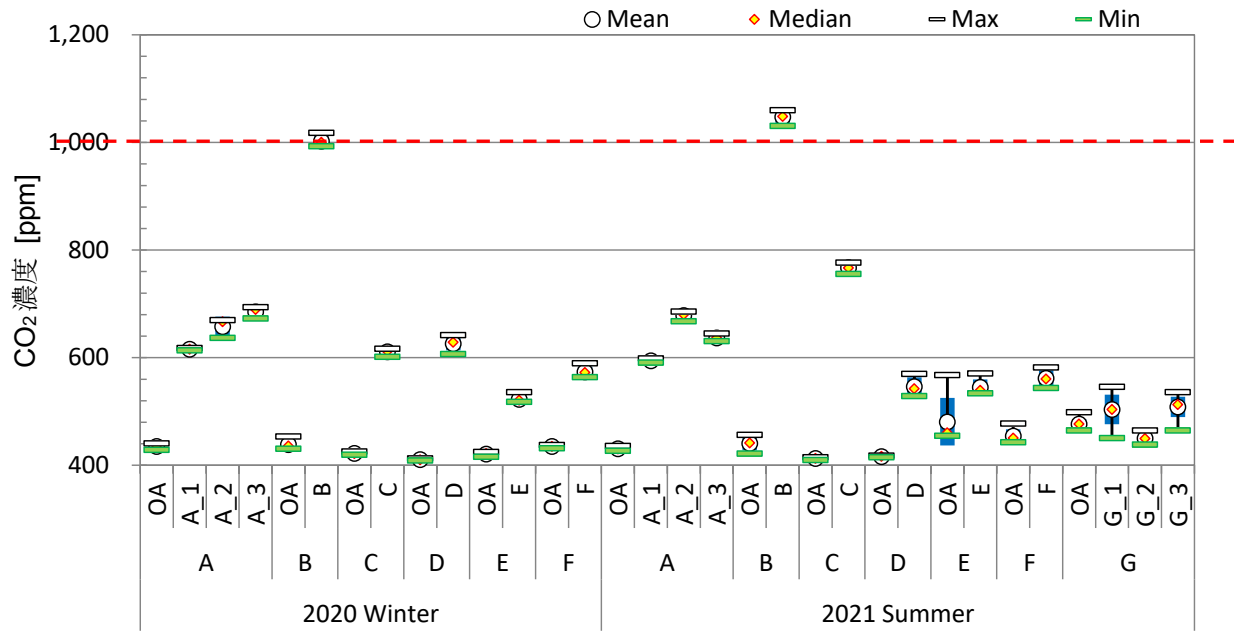


図 5-3-1 CO₂ 濃度測定結果

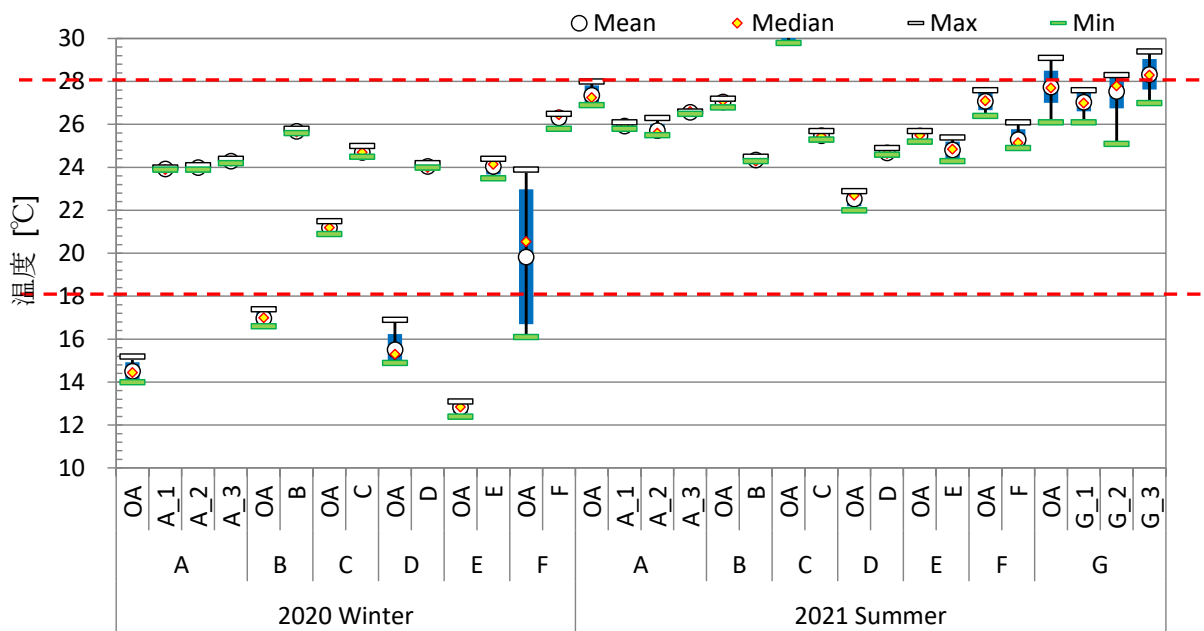


図 5-3-2 温度測定結果

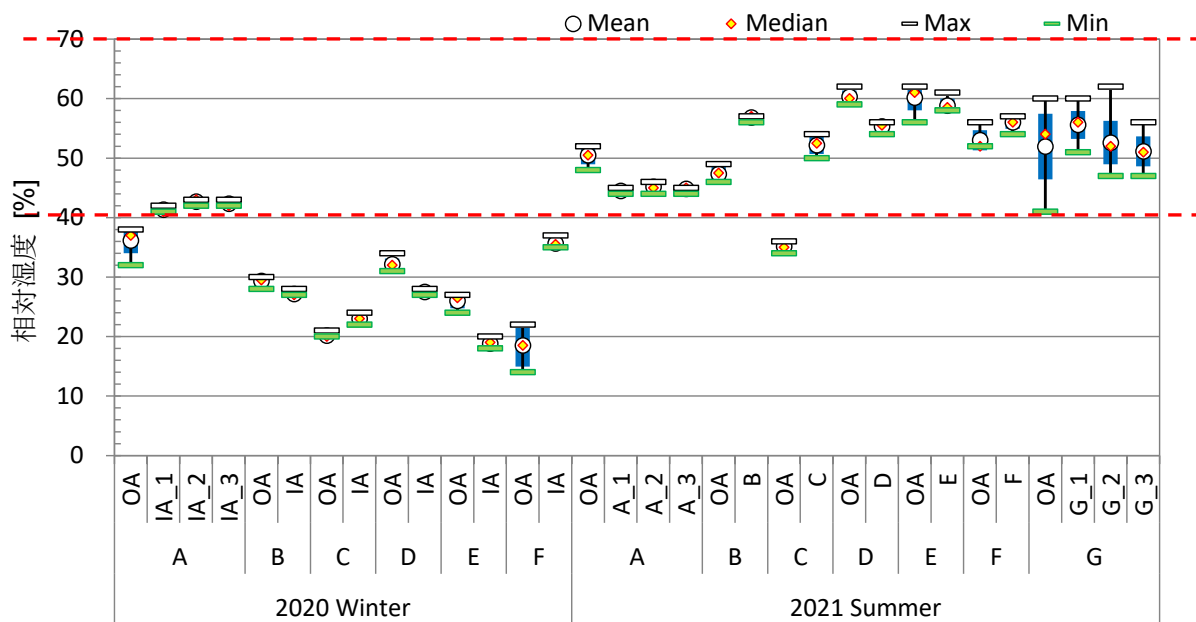


図 5-3-3 相対湿度測定結果

表 5-3-1 CO₂濃度、温度、相対湿度の測定結果集計

2020 Winter	CO ₂ [ppm]		Temp [°C]		RH [%]	
	OA	IA	OA	IA	OA	IA
Mean	427	662	16.8	24.6	27	32
S.D.	11	146	3.2	0.9	7	9
2021 Summer	CO ₂ [ppm]		Temp [°C]		RH [%]	
	OA	IA	OA	IA	OA	IA
Mean	445	622	26.8	26.0	51	52
S.D.	27	167	2.3	1.3	9	5

5-4 浮遊粒子状物質

A. 研究目的

建築物衛生法における浮遊粒子に関する室内基準は、浮遊粉じん濃度 0.15 mg/m^3 以下と設定されている。ここでの浮遊粉じんは粒径 $10 \mu\text{m}$ 以下の粒子となるが粉じん計のカットオフ径に関する定義の違いから PM10 とは少し異なる。また、大気環境基準は PM2.5 の 1 年平均が $15 \mu\text{g/m}^3$ 以下、1 日平均が $35 \mu\text{g/m}^3$ と設定されている¹⁾が、室内基準は存在しない。

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、特定建築物における室内 PM2.5 濃度は $2 \sim 30 \mu\text{g/m}^3$ 程度と、大気環境基準である「1 日平均値が $35 \mu\text{g/m}^3$ 以下」を下回っていた。I/O 比(室内濃度と外気濃度の比=室内濃度/外気濃度)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、空調機フィルターの特性が関係しているとしている³⁾。

また、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)「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」⁴⁾では、室内 PM2.5 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 $35 \mu\text{g/m}^3$ 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 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であることを示している。

本研究では、特定建築物における室内浮遊粒子状物質(Suspended Particulate Matter)濃度の実測を行うことで、建築物における浮遊粒子状物質濃度のデータの蓄積と実態把握、そして空調方式の違いによる室内 PM 濃度の差などの比較を行い、その特徴について検討する。

B. 研究方法

粒径別浮遊粒子濃度は Particle Counter(Kanomax Model 3889)を用いて、6 粒径(0.3、0.5、1.0、3.0、5.0、 $10 \mu\text{m}$)に対する個数濃度の測定を行った。

2.83 L/min で 1 分間の計測を 15 分間連続で行い、濃度が安定していると考えられる開始から 4 分～13 分までの 10 分間のデータを平均して用いた。

C. 測定結果

図 5-4-1 に室内浮遊粒子の個数濃度積算値を、表 5-4-1 に粒径別 IO 比(室内濃度/外気濃度)の集計結果を示す。

C.1 個数濃度

個数濃度の積算値として、外気(OA)が室内濃度(IA)より高い傾向が見られる。室内濃度は外気よりは低くなっているが、外気濃度に追従して増減しており、外気の影響を受けている。個数濃度は粒径が小さな粒子の濃度が高く、大きな粒径の粒子濃度は低い、典型的な濃度分布を示している。

A、B、C は個別式空調であり、夏期の C 以外は外気より有意に低くなっていることから、「外調機+換気装置+PAC」と外調機の中性能フィルターによる粒子浄化能力を有していると見られる。C は外気と同レベルの PM 濃度を示しており、外気導入時の PM 低減が行われず、更に室内発生分が加算されていると見られる。

D、E、F、G は中央式空調が入っており、D、E、F は外気より有意に低い粒子濃度を示している。G は窓開け換気を行っていたため外気影響が大きく、粒子濃度の低減が大きくなかった。

C.2 IO 比

IO 比としては、小さな粒径の粒子において IO 比 < 1 が多く、外気由来の粒子が室内では低く維持されている。一方、 $5 \mu\text{m}$ や $10 \mu\text{m}$ の大きな粒子では IO 比 > 1 の室内が増加している。大きな粒子は人工的に生成されることが多く、在室者密度が高く室内での活動が多くなると濃度が高くなることがある。

冬期 B の粒径 5.0 、 $10 \mu\text{m}$ 粒子の IO 比 8.3、3.6 に対して、D、E、F は $5.0 \mu\text{m}$ は IO 比 ≈ 1 、 $10 \mu\text{m}$ は IO 比 $> 2 \sim 3$ で推移していたことから、室内発生粒子の除去性能は中央式がよりよい可能性が推察された。

夏期実測では、0.3、0.5、1.0、3.0、 $5.0 \mu\text{m}$ までは全測定個所で IO 比 < 1 と外気由来の粒子が

室内では低く維持されているが、10 μm では IO 比 >1 が A_2、D の 2ヶ所で観測された。

粒径 0.3、0.5 μm の小さな粒子では平均 IO 比 $=0.6$ 、粒径 1.0、3.0、5.0 μm では IO 比 0.3 \sim 0.4 とより低くなっていた。粒径に対する空調システムや室内環境での低減効率による違いものと考えられる。大きな粒子は人工的に生成されることが多く、5.0 μm や 10 μm の比較的大きな粒子の IO 比が高い室内 (A_2、D) は在室者密度が高いか他に室内発生分が多いと推測される。

冬期測定からは、粒子の除去性能は中央式がよりよい可能性が示唆されたが、夏期の実測結果からは空調方式による明確な違いは見出せなかった。

D. 結論

個数濃度の積算値として、外気 (OA) が室内濃度 (IA) より高い傾向が見られる。室内濃度は外気よりは低くなっているが、外気濃度に追従して増減しており、外気の影響を受けている。個数濃度は粒径が小さな粒子の濃度が高く、大きな粒径の粒子濃度は低い、典型的な濃度分布を示している。

A、B、C は個別式空調であり、夏期の C 以外は外気より有意に低くなっていることから、「外調機+換気装置+PAC」と外調機の中性能フィルターによる粒子浄化能力を有していると思われる。C は外気と同レベルの PM 濃度を示しており、外気導入時の PM 低減が行われず、更に室内発生分が加算されていると見られる。

D、E、F、G は中央式空調が入っており、D、E、F は外気より有意に低い粒子濃度を示している。G は窓開け換気を行っていたため外気影響が大きく、粒子濃度の低減が大きくなかった。

IO 比としては、小さな粒径の粒子において IO 比 <1 が多く、外気由来の粒子が室内では低く維持されている。一方、5 μm や 10 μm の大きな粒子では IO 比 >1 の室内が増加している。大きな粒子は人工的に生成されることが多く、在室者密度が高く室内での活動が多くなると濃度が高くなることもある。

冬期測定からは室内発生粒子の除去性能は中央式がよりよい可能性が推察されたが、夏期実測からは空調方式による明確な違いは見出せ

なかった。

E. 参考文献

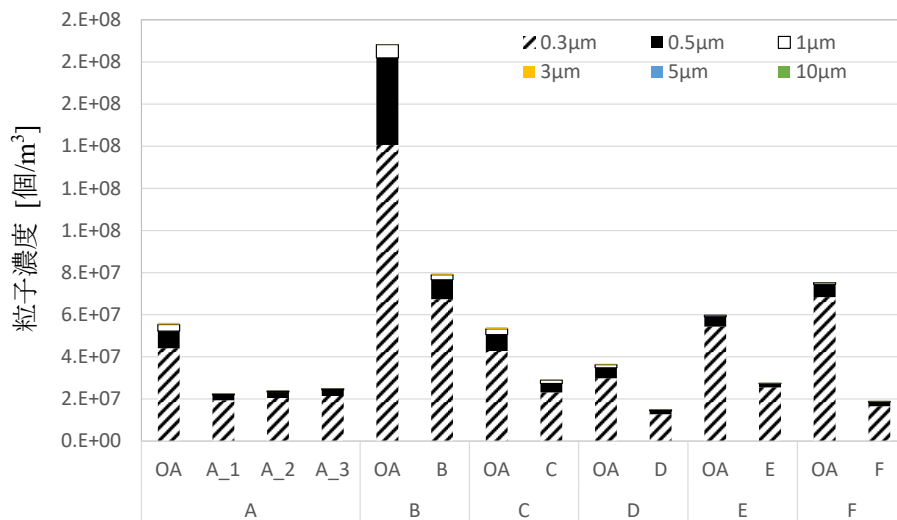
- 1) 環境省：微小粒子状物質健康影響評価検討会報告書：粒子状物質の特性について、2008
- 2) 大澤元毅ほか：建築物環境衛生管理に係る行政監視等に関する研究、平成 28 年度厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）、2017.3
- 3) 鍵直樹：事務所建築物における PM2.5 濃度の実態と室内外濃度比、空気清浄、54(4)、258-262、2016
- 4) 小林健一、金勲、鍵直樹ほか：中規模建築物における衛生管理の実態と特定建築物の適用に関する研究、令和元年度厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）、2020.3

F. 研究発表

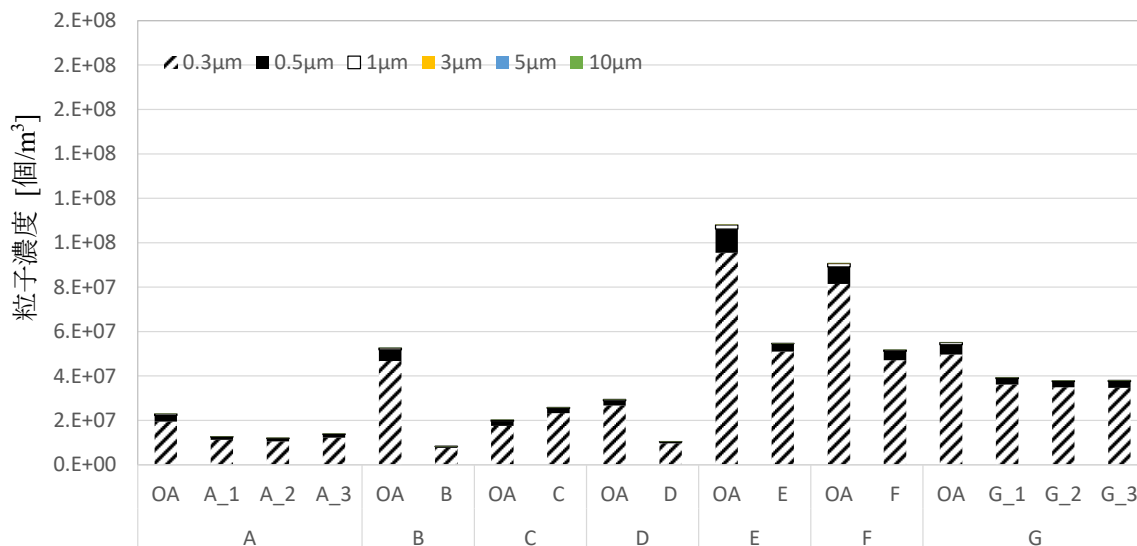
なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

予定なし



a) 2020年 冬期



b) 2021年 夏期

図 5-4-1 室内浮遊粒子の個数濃度積算値

表 5-4-1 粒径別 IO 比 (室内濃度/外気濃度)

2020 Winter	A_1	A_2	A_3	B	C	D	E	F	Mean	S.D.	Max	Median	Min			
0.3µm	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.2	0.5	0.1	0.6	0.5	0.2			
0.5µm	0.4	0.4	0.5	0.2	0.5	0.3	0.4	0.3	0.4	0.1	0.5	0.4	0.2			
1.0µm	0.2	0.2	0.2	0.3	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1	0.6	0.3	0.2			
3.0µm	0.1	0.1	0.1	2.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.8	2.6	0.5	0.1			
5.0µm	0.1	0.1	0.1	8.3	0.5	1.0	0.9	1.1	1.5	2.8	8.3	0.7	0.1			
10.0µm	0.2	0.1	0.2	3.6	0.3	3.1	2.5	2.1	1.5	1.5	3.6	1.2	0.1			
2021 Summer	A_1	A_2	A_3	B	C	D	E	F	G_1	G_2	G_3	Mean	S.D.	Max	Median	Min
0.3µm	0.6	0.6	0.6	0.2	1.4	0.4	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6	0.3	1.4	0.6	0.2
0.5µm	0.5	0.5	0.6	0.1	1.1	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	0.6	0.3	1.1	0.5	0.1
1.0µm	0.3	0.3	0.3	0.1	0.8	0.2	0.1	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.2	0.8	0.3	0.1
3.0µm	0.2	0.3	0.2	0.1	0.6	0.4	0.1	0.4	0.3	0.1	0.4	0.3	0.2	0.6	0.3	0.1
5.0µm	0.2	0.6	0.3	0.2	0.5	0.6	0.1	0.4	0.3	0.1	0.4	0.3	0.2	0.6	0.3	0.1
10.0µm	0.4	1.0	0.6	0.6	0.8	1.8	0.4	0.6	0.5	0.2	0.6	0.7	0.4	1.8	0.6	0.2