

令和2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

4. 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 熱 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。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 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。一方、温度については、 $12^\circ\text{C} \sim 22^\circ\text{C}$ 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。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 件のみで他の建物は全て 30%未満となっていた。外気 CO_2 濃度平均 427ppm に対し、室内濃度は 662ppm と全体的に良好な環境で維持されていた。浮遊粒子城物質については個別式空調であっても外調機が設置されている場合は、中性能フィルター、加湿器の働きがあり、室内粒子は低くなることが観られた。一方、在室密度が高い場合は $3.0 \mu\text{m}$ 以上の比較的大きな粒子濃度が増加した。

4-1 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 4-1-1 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。

B. 研究方法

B.1 調査対象

対象とした建築物は表 4-1-2 に示す ID_1 から ID_6 の大阪府及び東京都にある事務所建築物である。ID_1 については、室内 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 月の暖房期に行った。

表 4-1-1 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

表 4-1-2 空気中化学物質の測定概要

ID	測定日	地域	空調方式
1_1	2021/3/18	大阪	個別
1_2	2021/3/18	大阪	個別
1_3	2021/3/18	大阪	個別
2	2021/3/18	大阪	個別
3	2021/3/18	大阪	個別
4	2021/3/19	大阪	中央
5	2021/3/23	東京	中央
6	2021/3/23	東京	中央

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 mg/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、室内空气中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、翌年の測定期間に中に 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 30 L 捕集 (30min at 1.0L/min) を行い、HPLC により 12 成分の定量分析を行った。トルエンなど VOCs については、Tenax-TA 充填捕集管を用いて 9 L 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 4-1-2 空気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) 加熱脱着-GC/MS

C. 研究結果及び考察

各測定点における化学物質濃度を表 4-1-3 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 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 及び厚生労働省指針値 $48\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 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検出はされているが、指針値よりは低い値であった。

TVOC も暫定目標値 $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ を大きく超える結果はなく、超過した ID_3 については、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つ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。

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 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つ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。

表 4-1-3 室内化学物質濃度の結果

ID	1 1	1 2	1 3	2	3	4	5	6	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	6.9
アセトアルデヒド	8.2	7.5	8.2	12.7	7.2	8.7	8.3	8.7	8.7
トルエン	13.6	5.7	16.1	16.6	26.3	21.9	12.3	10.3	15.4
エチルベンゼン	5.4	2.1	6.8	6.0	16.2	8.1	4.4	4.5	6.7
キシレン	6.2	2.6	6.8	5.8	11.9	11.4	6.7	4.4	7.0
スチレン	4.5	1.5	5.4	3.1	n.d.	8.1	n.d.	n.d.	4.5
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.	2.4
テトラデカン	2.6	8.2	4.0	4.1	5.3	6.2	3.1	n.d.	4.8
TVOC	275.2	222.6	376.7	261.5	440.2	281.3	156.8	178.3	274.1

4-2 溫度、湿度、CO₂濃度

A. 研究目的

建築物衛生法では CO₂ 濃度 1000ppm を管理基準としており、これは CO₂ の有害性による人体影響からではなく換気基準として定まったものである。人間活動が行われる空間では人体や燃焼器具など必ず CO₂ が発生するため、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し、他の空気汚染物質もコントロールできるという考え方である。

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ー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^{②③}。

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^{②③}。

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

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 15 分～30 分間測定した。

C. 測定結果

図 4-2-1 に温度、図 4-2-2 に相対湿度、図 4-2-3 に CO₂ 濃度の集計グラフを示す。また、表 4-2-1 には各項目の平均値を集計したものである。

C.1 溫度

外気温は 12°C～22°C までと測定場所と時間による差が見られたが、室内温度は 24～25°C 程度で安定していた。全物件の室内温度平均は

24.6±0.9°C であった。同一物件である D_TIC は 3 ケ所共に 24°C 付近で非常に安定している。他の建物も 24～25°C の間で変動は少なく、安定した環境を維持している。

C.2 相対湿度

外気の相対湿度は全測定点で 40%を下回り、ID_1 の外気が平均 36%と最も高く ID_6 の外気は 20%を下回り最も低い。全体の湿度平均は 32±9% であった。室内の相対湿度で 40%以上を維持しているところは D_TIC のみであり、ID_6 は 36%と 40%には満たないが近いところで維持されていた。他の建物は全て 30%未満となっていた。

ID_1 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と念頭に置いた設計となっている。ID_4、ID_5、ID_6 の 3 件は全て中央式空調が入っているが、40%には満たず、ID_6 が 40%に近い湿度となっていた。こちらは、ID_4、ID_5 は午前 9 時の実測であり、ID_6 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に時間がかかっていることも考えられる。ID_2、ID_3 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、加湿量は足りない。

C.3 CO₂

外気の CO₂ 濃度平均は 427±11ppm、室内濃度は 662±146ppm であった。ID_2 の室内濃度だけ 1003ppm と管理基準値付近で推移していたが、他の測定対象では 523～686ppm 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。

一方、CO₂ 濃度では個別式と中央式空調の差が見られた。個別式である ID_1、ID_2、ID_3 の室内濃度平均は 715ppm だったのに対し、中央式空調である ID_4、ID_5、ID_6 は 574ppm と低い濃度で運転されていた。CO₂ 濃度は在室者密度と換気量のバランスで現れるため、空調設計によって換気量が変わるために、CO₂ 濃度が低いからよい設計とは限らないただ、粒子濃度では在室者が多いとされた JM の方が CO₂ 濃度は低

く観察されたことから、こちらの在室者に対する換気風量が大きいことが分かる。

D. 結論

12°C～22°Cの外気温度に対して室内温度は24～25°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±0.9°Cであった。

相対湿度平均は32±9%で、40%以上を維持しているところは1件のみで他の建物は全て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%を下回っているところがあったが、空調運転開始間もない時間帯であり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。1件だけ1000ppm近傍となっていたが、外気CO₂濃度平均427ppmに対し、室内濃度は662ppmと全体的に良好な環境で維持されていた。今回の測定対象では、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。

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.

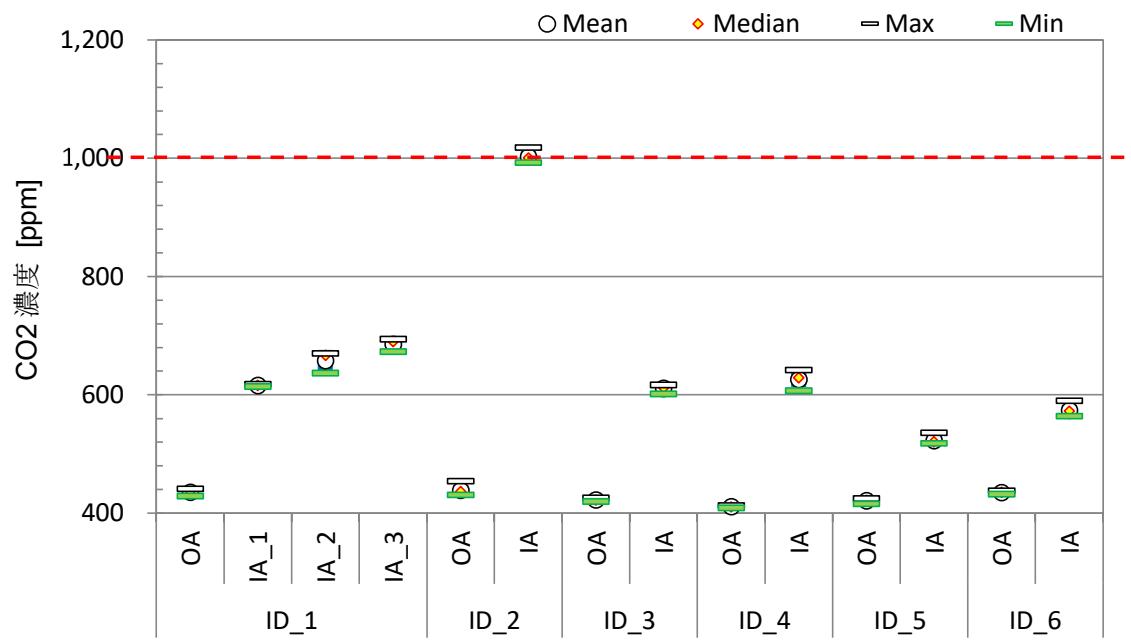


図 4-2-1 CO2 濃度測定結果

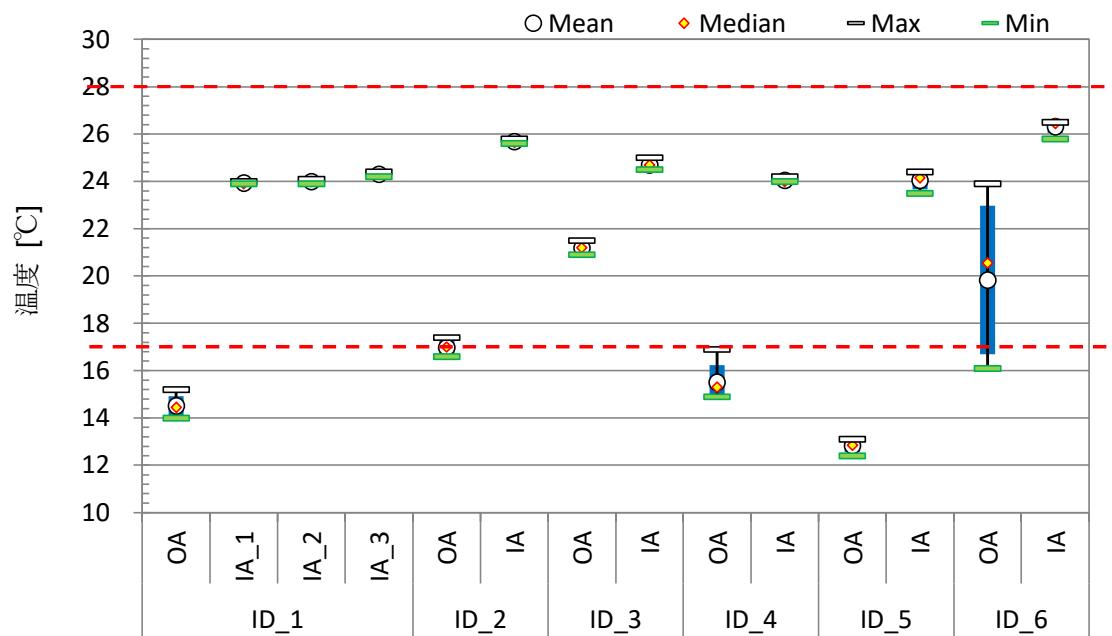


図 4-2-2 溫度測定結果

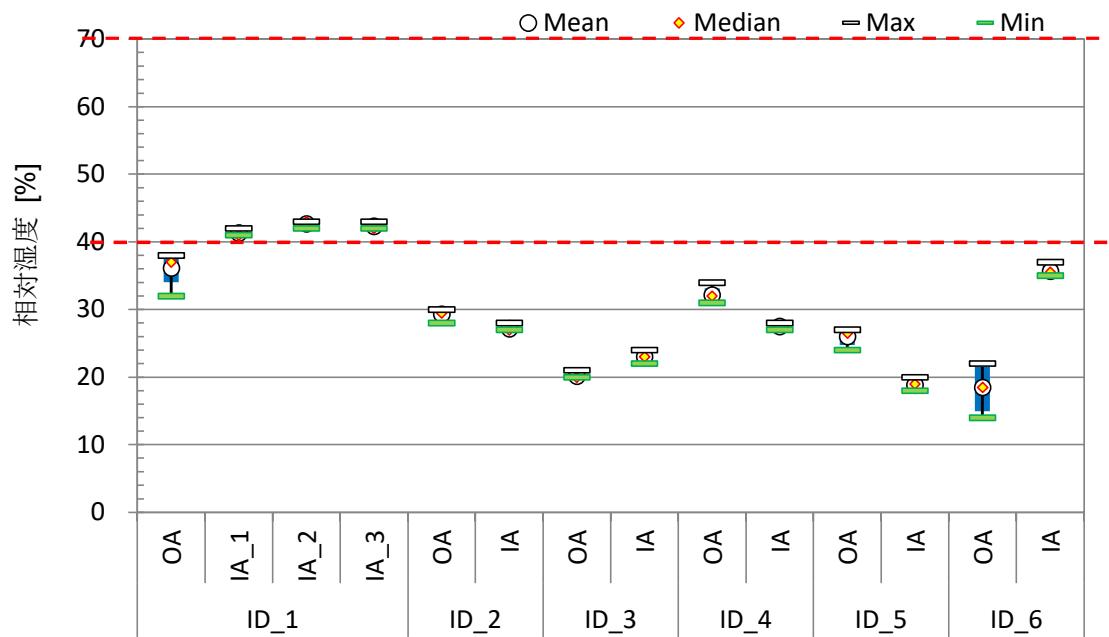


図 4-2-3 相対湿度測定結果

表 4-2-1 CO2 濃度、温度、相対湿度の測定結果集計

	CO2 [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

4-3 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、粒径 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以下の粒子を対象とした浮遊粉じん濃度として 0.15 mg/m^3 以下と設定されている。大気環境基準は PM2.5 の 1 年平均が $15\text{ }\mu\text{g/m}^3$ 以下、1 日平均が $35\text{ }\mu\text{g/m}^3$ と設定されている^①ものの、室内における PM2.5 の基準はない。

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 PM2.5 濃度は $2\sim30\text{ }\mu\text{g/m}^3$ 程度と、大気環境基準である「1 日平均値が $35\text{ }\mu\text{g/m}^3$ 以下」を下回っていた。また、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 $35\text{ }\mu\text{g/m}^3$ 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、そして中央式・個別空調方式の比較を行い、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 ($0.3\text{, }0.5\text{, }1.0\text{, }3.0\text{, }5.0\text{, }10\mu\text{m}$) に対する個数濃度の測定を行った。 2.83L/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 4-3-1 に室内浮遊粒子の個数濃度積算値を、図 4-3-2 には代表粒径の個数濃度分布を示す。また、図 4-3-3 に粒径別 IO 比（室内濃度／外気濃度）を示す。

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。ID_1、ID_2、ID_3 は個別式空調であるが、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。ID_4、ID_5、ID_6 は全て中央式空調が入っており、外気より有意に低い粒子濃度を示している。

代表粒径の濃度分布は小さな粒子濃度が高く、大きな粒径の粒子濃度は低い、対数的に減少する典型的な濃度分布を示している。

IO 比としては、 $0.3\text{, }0.5\text{, }1.0\mu\text{m}$ までは 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。一方、 $3.0\mu\text{m}$ では ID_2 の IO 比=2.6 と顕著に増加し、 $5.0\text{, }10\mu\text{m}$ でもそれぞれ IO 比 8.6、3.6 と室内が高い。ID_4、ID_5、ID_6 は $5.0\mu\text{m}$ は IO 比 ≈ 1 、 $10\mu\text{m}$ は IO 比 $>2\sim 3$ と高くなる。大きな粒子は人工的に生成されることが多く、在室者密度としても ID_1、ID_3 が他の物件より粗だったことから、在室者活動に由来するものと考えられる。

一方、ID_2 の粒径 $5.0\text{, }10\mu\text{m}$ 粒子の IO 比 8.3、3.6 に対して、ID_4、ID_5、ID_6 は $5.0\mu\text{m}$ は IO 比 ≈ 1 、 $10\mu\text{m}$ は IO 比 $>2\sim 3$ で推していたことから、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。

D. 結論

個別式空調であっても外調機が設置されている場合は、中性能フィルター、加湿器の働きがあり、室内粒子は低くなることが観られた。一方、在室密度が高い場合は $3.0\mu\text{m}$ 以上の比較的大きな粒子濃度が増加する。人間活動由来の比較的大きな粒径は室内濃度が外気より高くな

るが、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。

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

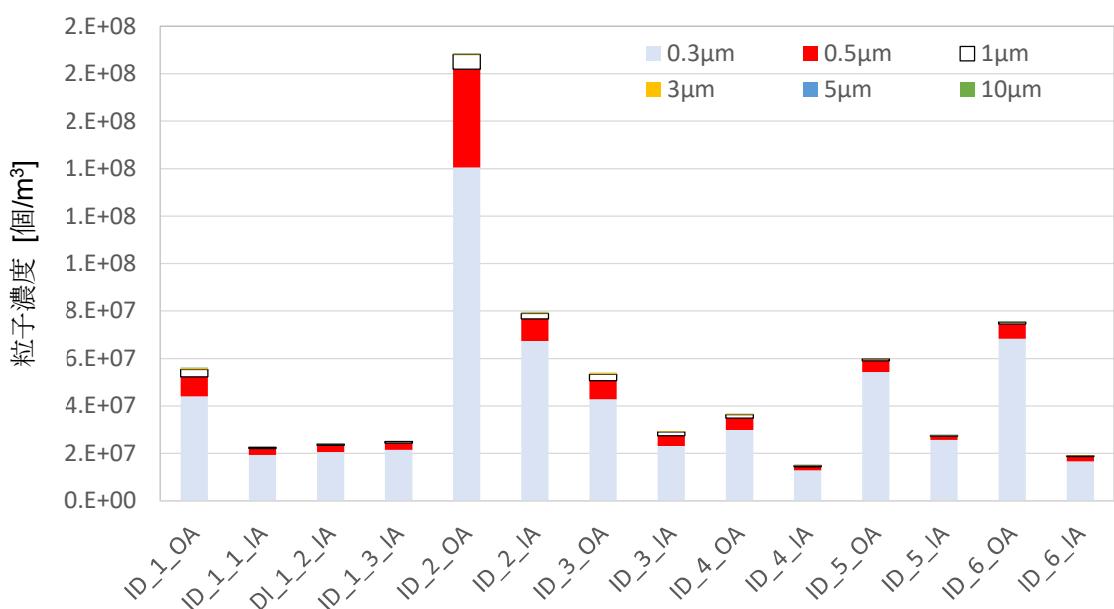


図4-3-1 室内浮遊粒子の個数濃度積算値

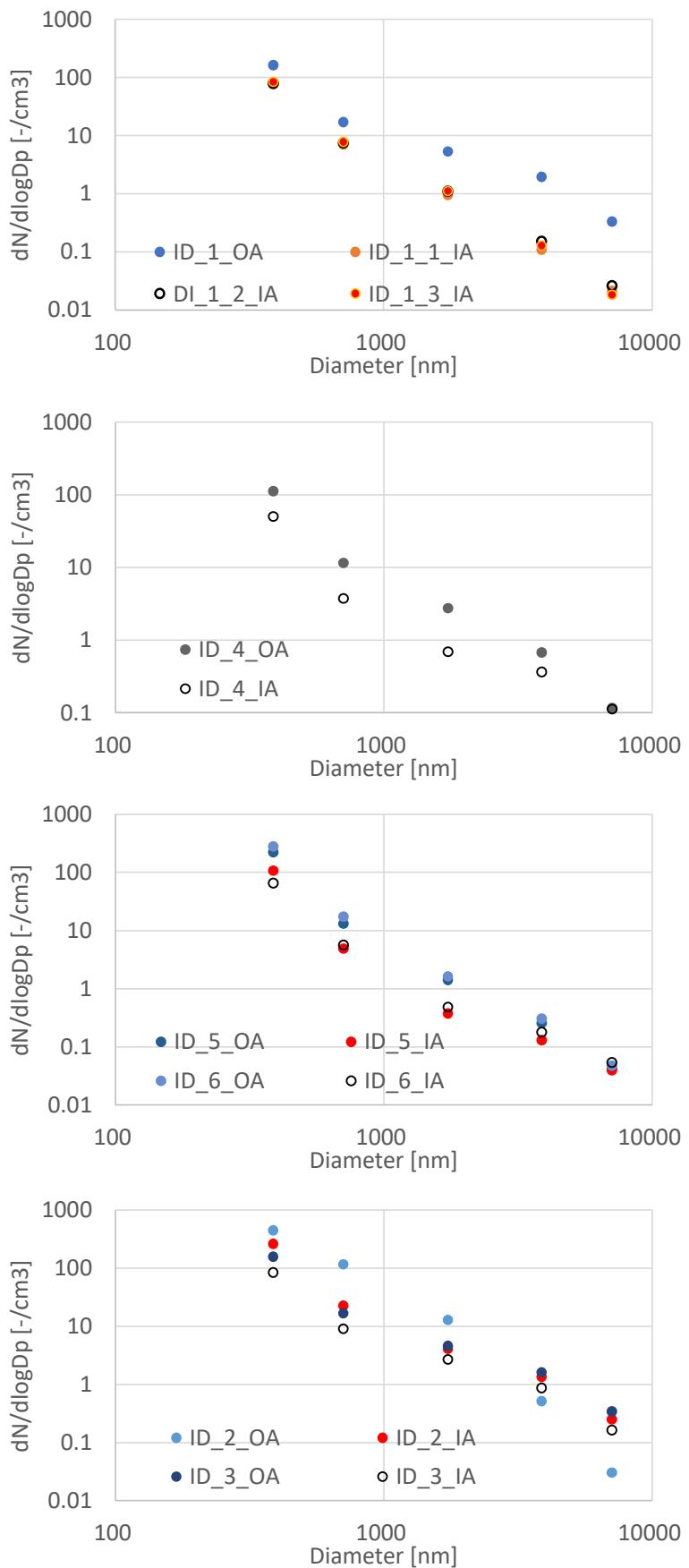


図 4-3-2 代表粒径の個数濃度分布

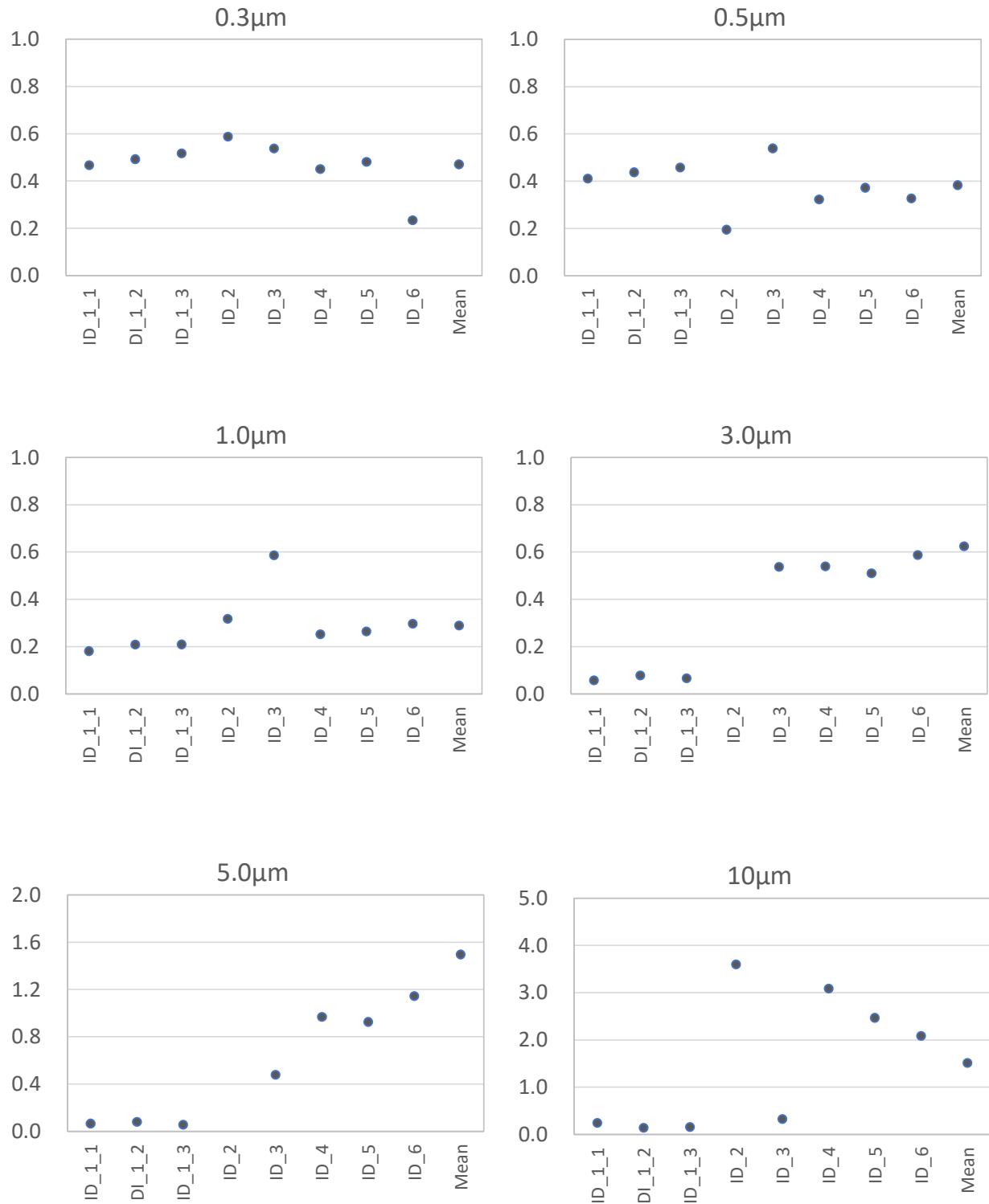


図 4-3-3 粒径別 IO 比 (室内濃度／外気濃度)

