

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 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く、いずれも低い濃度であった。また、TVOC濃度についても、暫定目標値を超過している建物はなかった。 $22.0^\circ\text{C}\sim 30.6^\circ\text{C}$ の外気温度に対して、室内温度平均は $26.0\pm 1.3^\circ\text{C}$ と安定していた。湿度平均は $51\pm 9\%$ で建築物衛生法の管理基準40～70%に不適な物件はなかった。 CO_2 濃度は1件だけ1000ppm近傍で推移していたが、全体的には外気 CO_2 濃度平均445ppmに対し、室内濃度は622ppmと全体的に良好な環境で維持されていた。温度・湿度においては空調方式による大きな顕著な差は見られなかったが、 CO_2 濃度に対しては個別式より中央式空調の室内濃度がやや低く観察された。

浮遊粒子状物質の個数濃度積算値としては1施設を除く全施設で室内濃度(IA)は外気濃度(OA)より低い傾向が見られたが、粒径別IO比では $10\mu\text{m}$ の大きな粒径でIO比 >1 が2施設のみ観測された。他の全ての粒径では全測定個所でIO比 <1 と外気より低い濃度を示した。前年度測定では、粒子濃度に対しては中央式がよりよい可能性が示唆されたが、本年度の実測結果からは空調方式による明確な違いは見られなかった。

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 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 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

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 10 月の冷房期において行った。

表 4-1-2 空气中化学物質の測定概要

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

G_2			
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 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) 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もなかった。

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は検出限界以下であった。

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かった。建物 C については、その前に冬期における実測で、TVOC の暫定目標値を超過していたが、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。今回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 濃度についても超過する建築物はなかった。前回冬期に暫定目標値を超過した建物においても、この夏期にはその濃度以下となっていた。

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

表 4-1-3 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

4-2 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気、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) -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

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 分間以上測定し、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 だけは 1 日連続測定ができたため勤務時間帯の 10 : 00~17 : 00 のデータとなっている。

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 温度

外気温は 22.0~30.6°C で平均 26.8±2.3°C と測定場所と時間による差が見られたが、室内温度は 24.3~29.4°C とばらつきがあったが、G では窓開け換気を行っており、G を除くと 24.3~26.6°C と安定している。全体平均は 26.0±1.3°C

と外気より安定していた。

同一物件である A_1、A_2、A_3 は 3 ヶ所共に 26°C 付近で変動も少なく非常に安定していた。G は平均温度が 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) 中央式空調であり、平均温度はそれぞれ 25.6°C、24.9°C と空調方式による大きな顕著な差は見られなかった。

C.2 相対湿度

外気の相対湿度は全測定点で 34~59%、室内では 44~62% と良好な環境となっていた。まだ冷房運転がされている 10 月であり、外気の相対湿度もさほど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±9% であった。建築物衛生法の管理基準 40~70% に不適な物件はなかった。冷房期には稼働しないが、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。

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は問題なかった。但し、G はコロナ禍での感染防止のため窓開け換気を行っていたため、相対湿度に変動が見られるがその幅は大きくなかった。

C.3 CO₂

外気の CO₂ 濃度平均は 445±27ppm、対象物件全体の室内濃度平均は 622±167ppm であった。B の室内濃度だけ平均 1048±11ppm と管理基準値を少し超える濃度で推移していたが、他の測定対象では 439~777ppm と低いレベルで管理されていた。室内濃度の平均が 450~500ppm 程度と外気濃度に近い濃度を示している物件 G_1、G_2、G_3 は窓開け換気の影響によるものである。

一方、CO₂ 濃度では個別式と中央式空調に傾向の差が見られた。個別式である A、B、C の室内濃度平均は 745ppm だったのに対し、中央式空調である D、E、F (G は窓開け換気を行っていたことから除く) は 551ppm 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。

D. 結論

22.0°C～30.6°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 24.3～26.6°Cと安定していた。測定対象全体の室内温度平均は 26.0±1.3°Cであった。空調方式による大きな顕著な差は見られなかった。

室内の湿度平均は 51±9%で建築物衛生法の管理基準 40～70%に不適な物件はなかった。空調方式に係わらず冷房期の湿度管理は問題なかった。

CO₂濃度は1件だけ 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、室内濃度は 622ppm 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。

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.

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

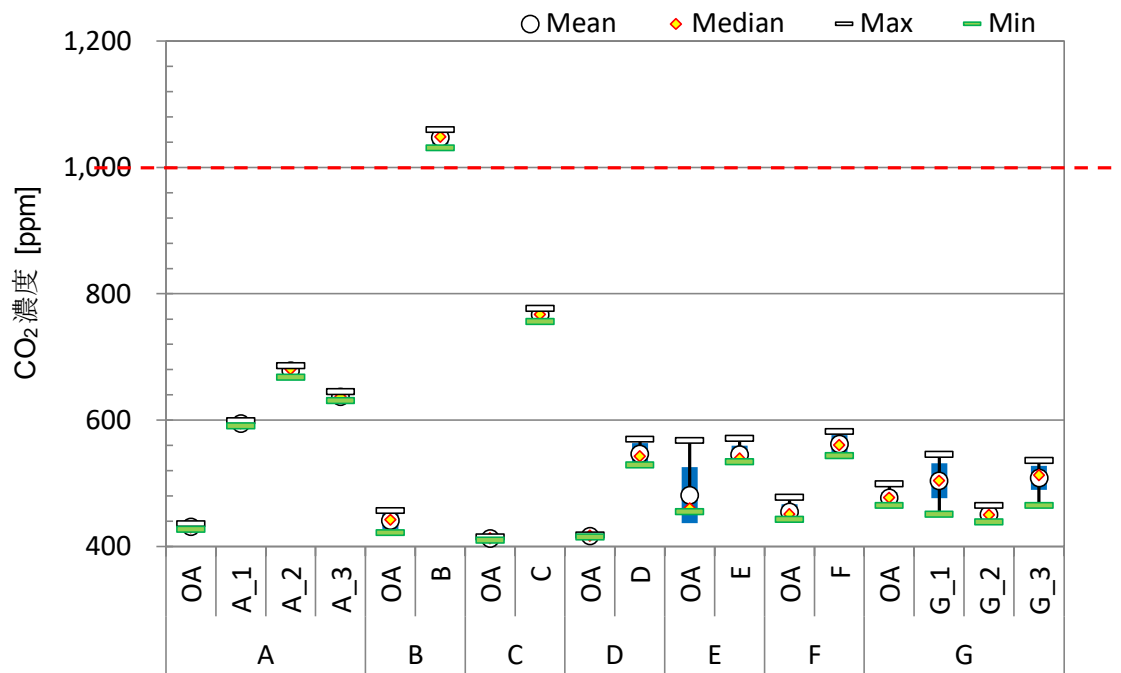


図 4-2-1 CO₂濃度測定結果

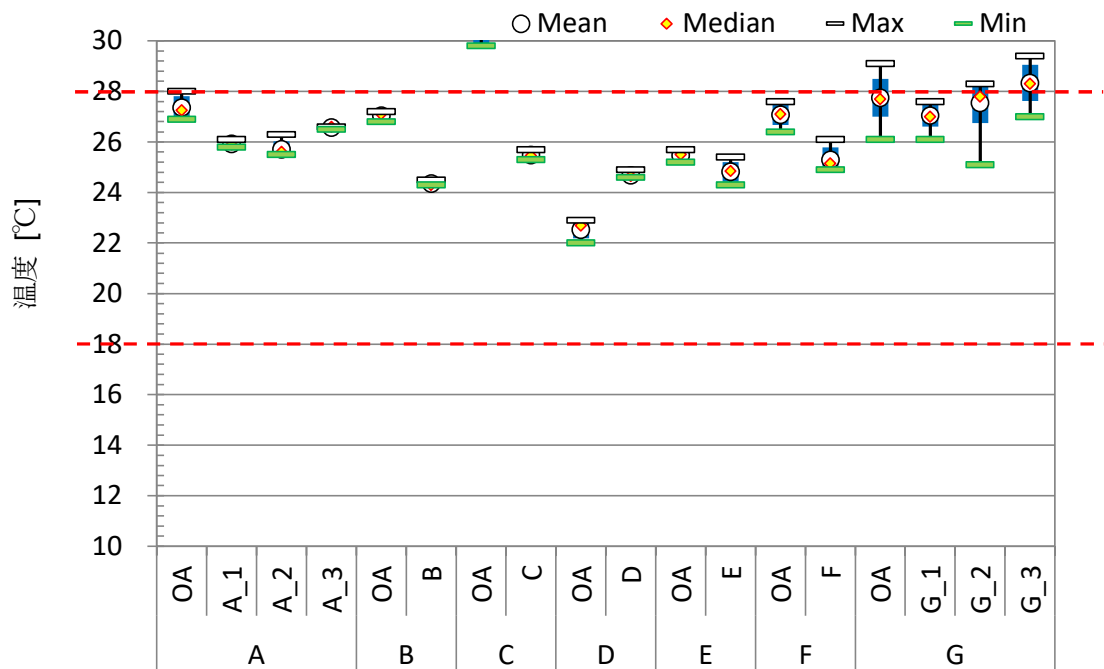


図 4-2-2 温度測定結果

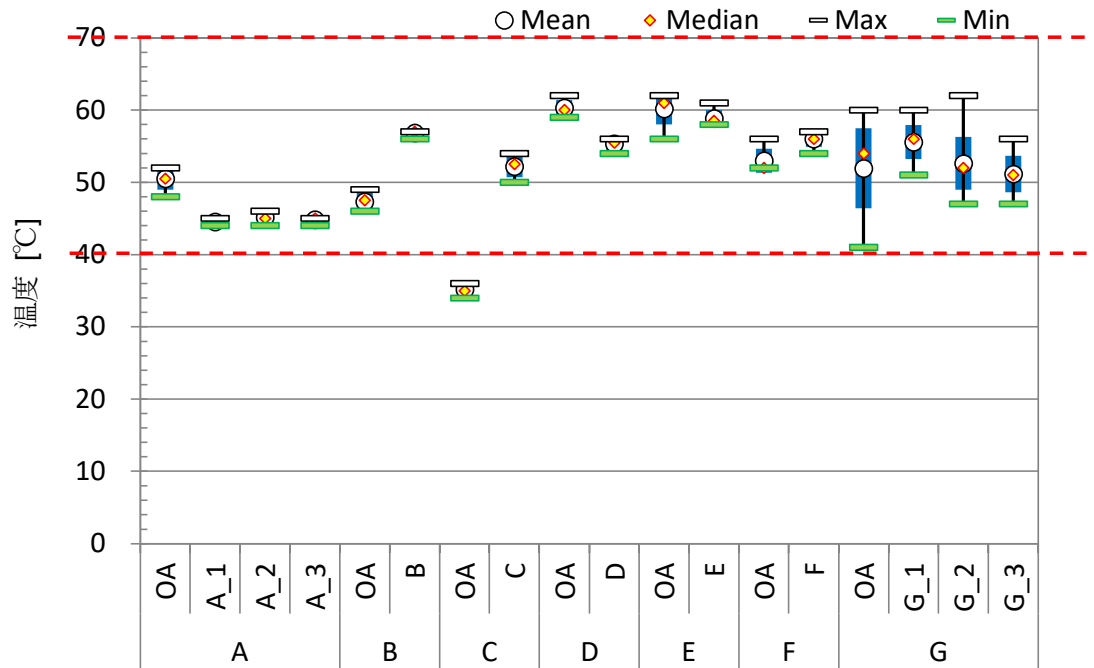


図 4-2-3 相对湿度測定結果

表 4-2-1 CO₂濃度、温度、相对湿度の測定結果集計

2021	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

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、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 $35 \mu\text{g/m}^3$ と設定されているが、室内基準は存在しない。

特定建築物及び中規模建築物における PM2.5 濃度の実態に関する既往研究結果については、本研究の令和 2 年度研究報告書に説明している。

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。2.83L/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 (図 4-3-1) として、C を除く全施設で外気 (OA) が室内濃度 (IA) より高い傾向が見られる。

外気濃度は大阪 (A、B、C、D) が東京・埼玉 (E、F、G) より低く、地域と季節特性に加え測定対象の立地による差と考えられる。一般的に室内濃度は外気より低くなっているが、室内濃度は外気濃度に影響され追従して増減している。

A、B、C は個別式空調であり、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。しかしながら、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。

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、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、 $10 \mu\text{m}$ では IO 比 > 1 が A₂、D の 2 ヶ所で観測された。

0.3、 $0.5 \mu\text{m}$ の小さな粒子では平均 IO 比 = 0.6、1.0、3.0、 $5.0 \mu\text{m}$ では IO 比 0.3～0.4 とより低くなっている。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、 $5.0 \mu\text{m}$ や $10 \mu\text{m}$ の比較的大きな粒子の IO 比が高い室内 (A₂、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。

前年度測定からは、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、本年度の実測結果から空調方式による明確な違いは見出せなかった。

D. 結論

外気濃度は大阪が東京・埼玉より低く、地域と季節特性に加え測定対象の立地による差が考えられた。個数濃度積算値としては 1 施設を除く全施設で室内濃度 (IA) は外気濃度 (OA) より低い傾向が見られたが、粒径別 IO 比では $10 \mu\text{m}$ の大きな粒径で IO 比 > 1 が 2 施設のみ観測されたものの、他の全ての粒径では全測定個所で IO 比 < 1 と外気より低い濃度を示した。大きな粒径の粒子は人工的に生成されることが多いことから、室内発生分が多いと推測された。

前年度測定では、粒子濃度に対しては中央式がよりよい可能性が示唆されたが、本年度の実

測結果からは空調方式による明確な違いは見られなかった。

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

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

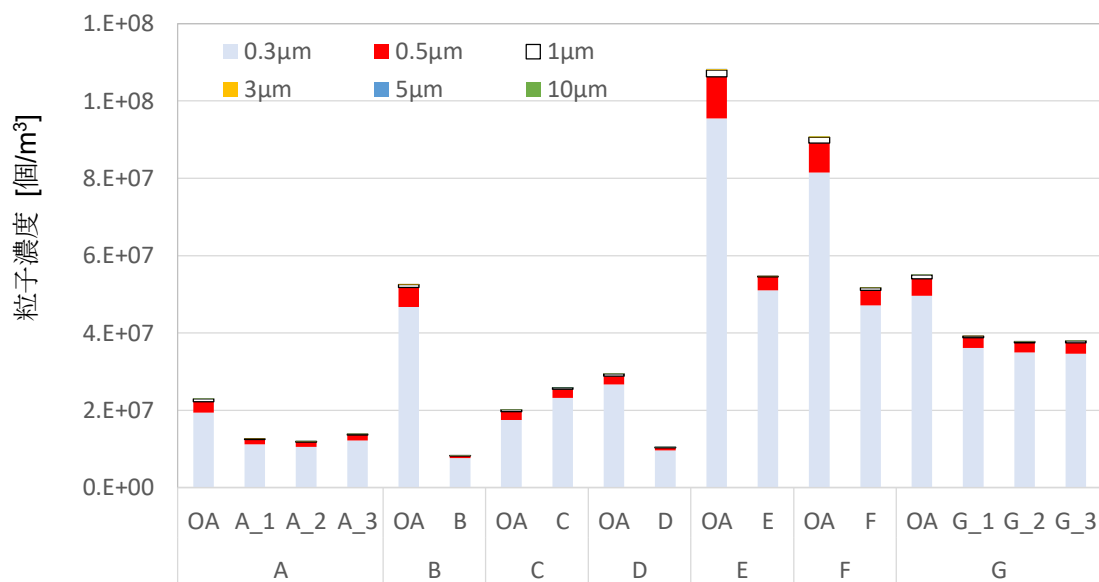


図 4-3-1 室内浮遊粒子の個数濃度積算値

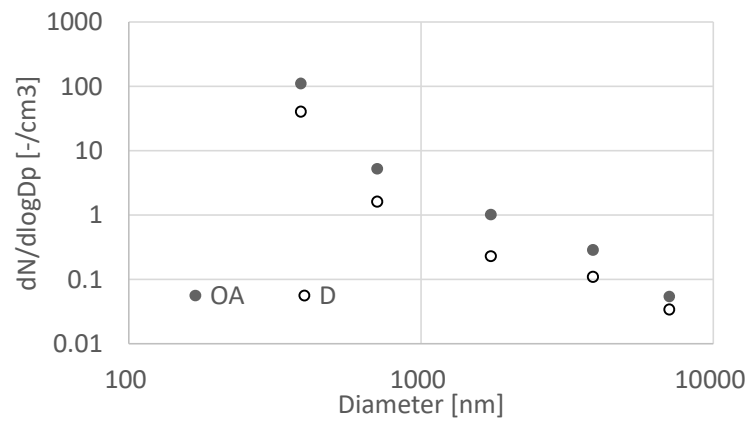
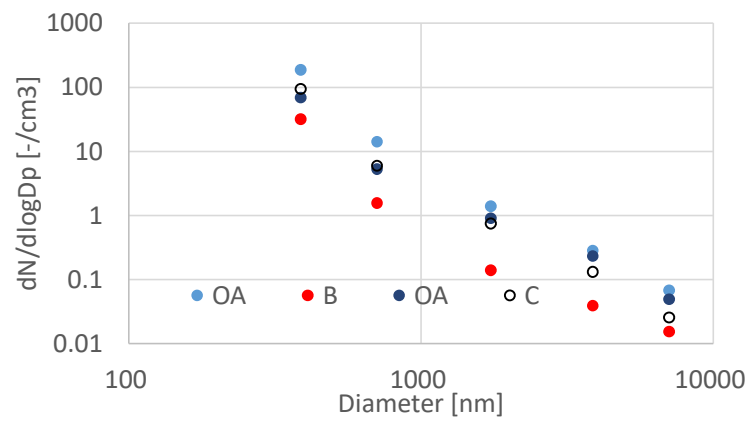
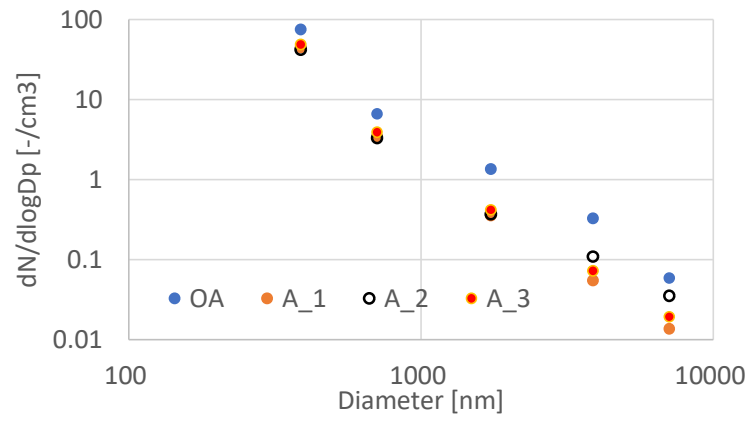


図 4-3-2 代表粒径の個数濃度分布

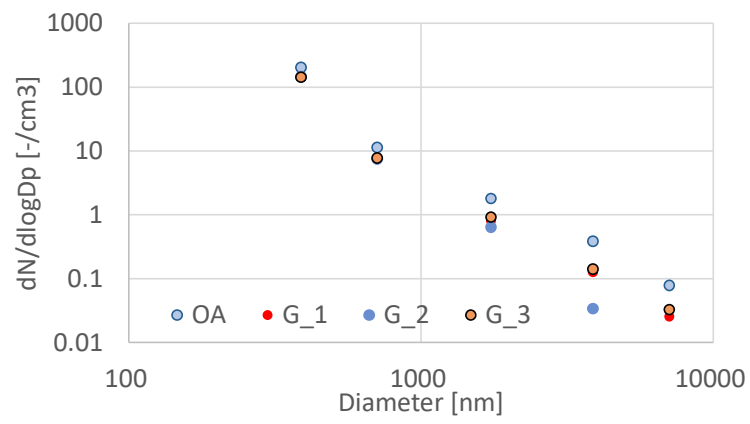
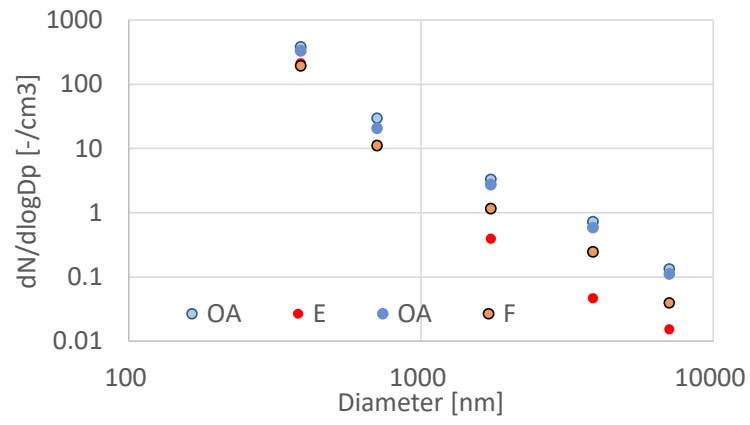


図 4-3-2 (続き) 代表粒径の個数濃度分布

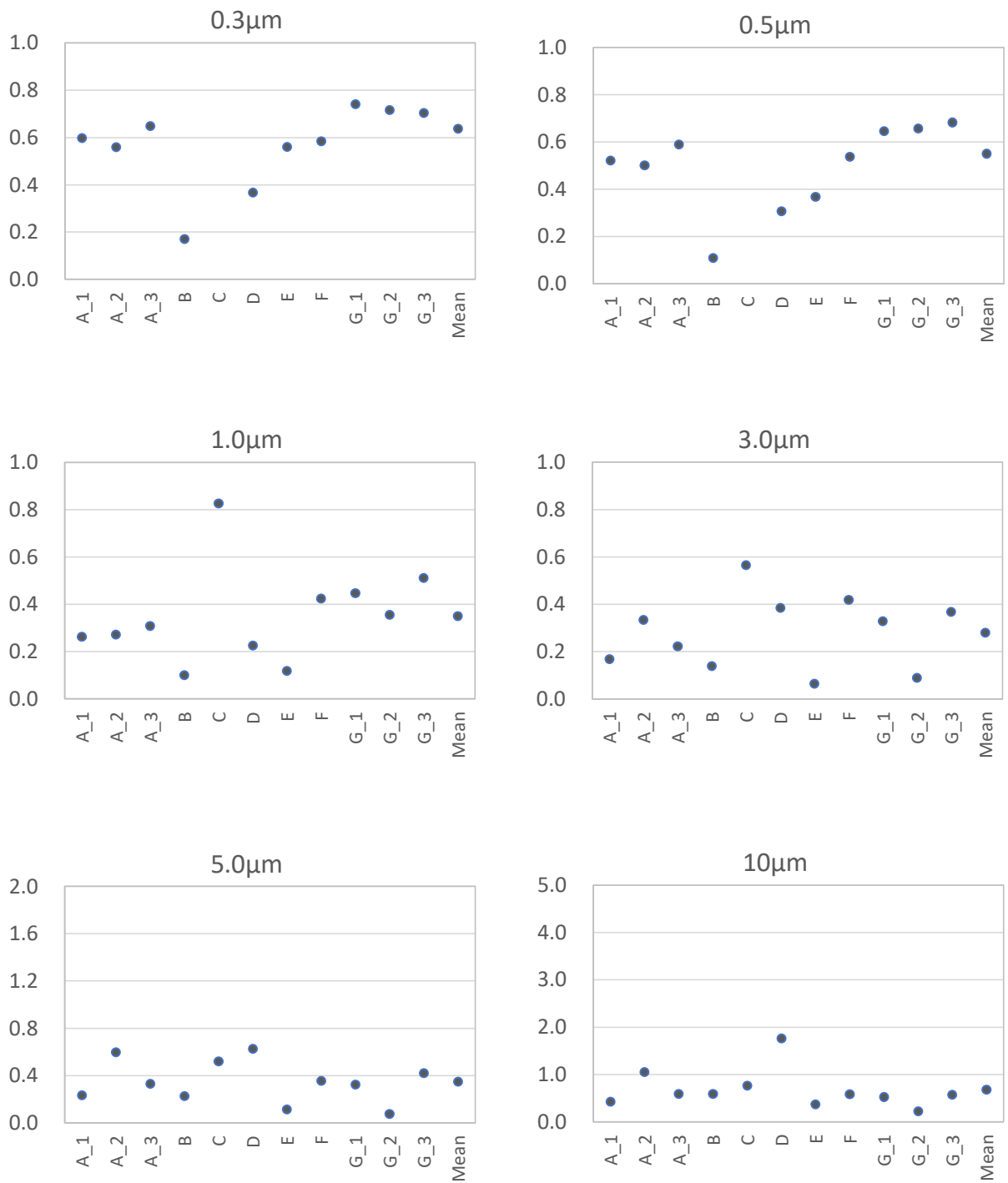


图 4-3-3 粒径别 IO 比 (室内濃度 / 外気濃度)