

表 4.1.27 ローボリュームエアサンプラ (L-V)・デジタル粉じん計・
 ピエゾバランス粉じん計による外気濃度 (空調時) (E ビル)

L-V測定	捕集重量(mg)	吸引流量(m ³)	重量濃度(mg/m ³)
外気	0.437	14.4	0.030

デジタル粉じん計	cpt	cpm	係数值
LD-3	20,105	41.89	0.7

ピエゾバランス粉じん計	1回目測定値	2回目測定値	平均測定値	係数值	
8:00	0.06	0.06	0.06		
9:00	0.06	0.06	0.06		
10:00	0.06	0.06	0.06		
11:00	0.06	0.06	0.06		
12:00	0.05	0.04	0.05		
13:00	0.04	0.03	0.04		
14:00	0.02	0.03	0.03		
15:00	0.02	0.02	0.02		
16:00	0.01	0.01	0.01		
17:00	0.03	0.03	0.03		
平均値	0.04	0.04	0.04		0.7

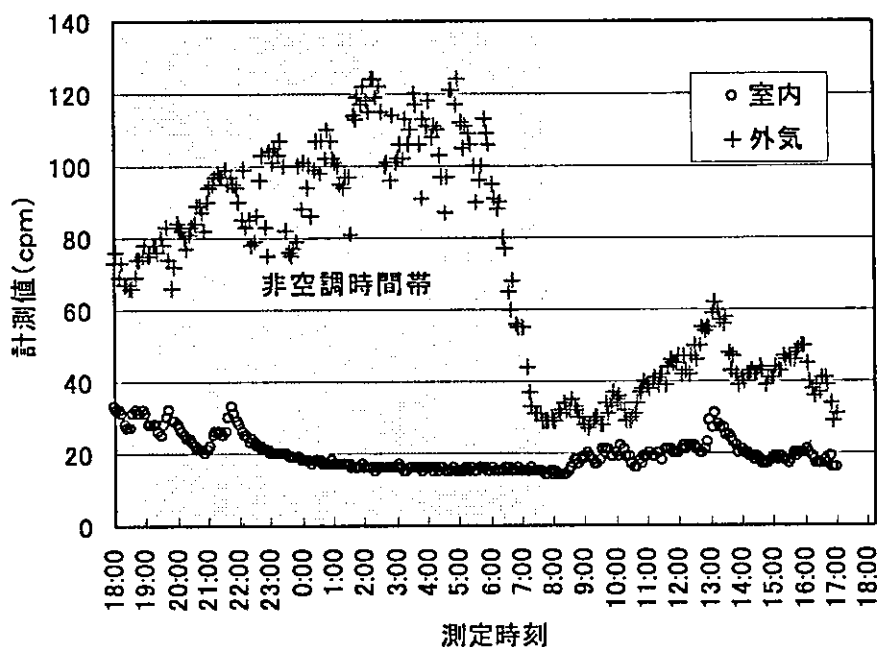


図 4.1.7 デジタル粉じん計による室内外粒子濃度の経時変化 (E ビル)

表 4.1.29 インパクトによる室内空調時粒径別捕集量 (E ビル)

Filters No.	捕集量	捕集率	累積	重量濃度[mg/m ³]
A	0.010	8.0	8.0	0.0023
B	0.012	9.9	18.0	0.0029
C	0.008	6.2	24.1	0.0018
D	0.024	19.3	43.4	0.0056
F	0.070	56.6	100.0	0.0163
合計	0.124			0.0288

表 4.1.30 インパクトによる室内非空調時粒径別捕集量 (E ビル)

Filters No.	捕集量	捕集率	累積	重量濃度[mg/m ³]
A	0.014	10.7	10.7	0.0021
B	0.009	6.8	17.4	0.0013
C	0.009	6.8	24.2	0.0013
D	0.024	18.5	42.7	0.0037
F	0.073	57.3	100.0	0.0113
合計	0.128			0.0198

表 4.1.31 インパクトによる外気 (空調時) 粒径別捕集量 (E ビル)

Filters No.	捕集量	捕集率	累積	重量濃度[mg/m ³]
A	0.027	14.7	14.7	0.0063
B	0.017	9.4	24.1	0.0041
C	0.010	5.5	29.6	0.0024
D	0.049	26.2	55.8	0.0113
F	0.082	44.2	100.0	0.0190
合計	0.186			0.0430

E ビルにおける測定結果について、カスケードインパクトによる室内空調・非空調時と外気における粒径別捕集量及び重量濃度を表 4.1.29、4.1.30、4.1.31 に示す。捕集時間は、空調時は 8 時間、非空調時は 12 時間であった。室内捕集粒子については他ビルと同様に、0.25 μm 以下の微小粒子の存在量が最も多い結果となった。外気捕集量は室内捕集量よりも多いが、そのうち最下段の微小粒子については外気よりも室内側で全捕集量に占める割合が大きいことがわかった。また、室内における空調時の重量濃度は非空調時よりも高い値となり、ローボリュームエアサンプラとデジタル粉じん計、ピエゾバランス粉じん計と同様の傾向を示した。

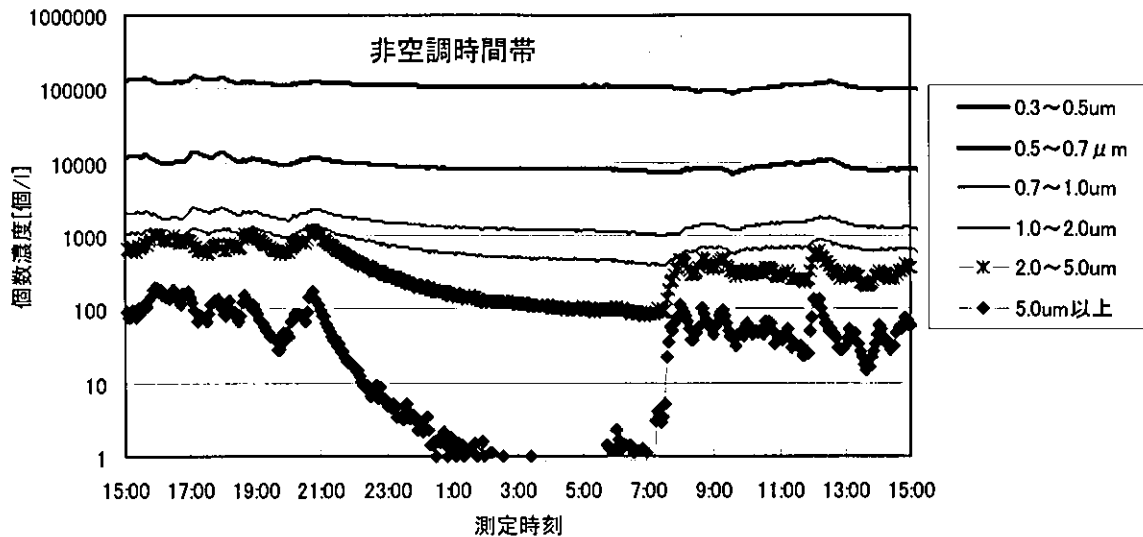


図 4.1.8 パーティクルカウンタによる室内粒子個数濃度 (E ビル)

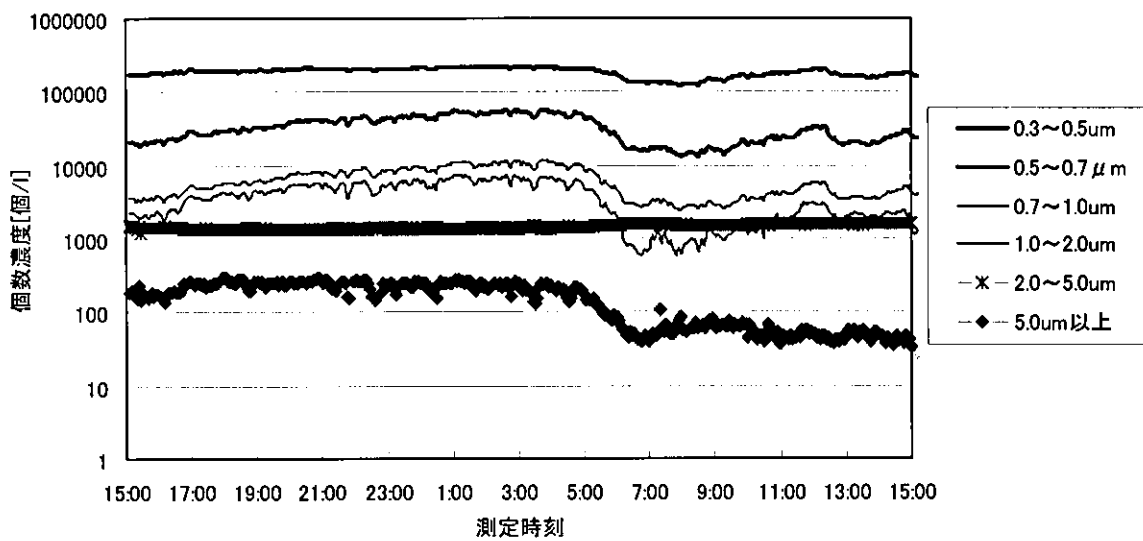


図 4.1.9 パーティクルカウンタによる外気粒子個数濃度 (E ビル)

E ビルでの測定結果について、パーティクルカウンタでの室内・外気粒子個数濃度を図 4.1.8、4.1.9 に示す。室内では、空調の停止に伴って $2.0\mu\text{m}$ 以上の粒子が急激な減少をみせたが、小粒径の粒子に関してはほとんど変化がみられなかった。そして、翌朝の空調稼働時には、 $2.0\mu\text{m}$ 以上の粒子のみ急上昇する様子がみられ、粒径が大きな粒子について変動が大きいことがわかった。外気濃度については、 $2.0\sim 5.0\mu\text{m}$ 範囲の粒子の変化量が終日ほとんどみられないのを除き（測定器の不具合も考えられる）、その他の粒径範囲にある粒子は、午前 5 時以降に濃度の低下が観測された。当ビルの空調稼働時における室内濃度と外気濃度のレベル差は小さい。

b)ガス状物質測定結果

アクティブ法、パッシブ法による、Eビル（埼玉県和光市）におけるVOC、ホルムアルデヒドなどのカルボニル化合物に関する屋内外の分析結果を表4.1.32、4.1.33に示す。

室内濃度はCビルと同様に外気濃度を上回っており、検出限界以下である物質以外の物質についてこの傾向がみられる。空調時・非空調時には、アルデヒド類の濃度が若干上昇している様子が伺えるが、空調時・非空調時間の濃度上昇の規則性や室内・外気間での相関などもほとんどみられない結果となっている。

表 4.1.32 アクティブサンプリングによる測定結果（Eビル）

単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

条件	室内				外気			
	非空調任意 時間30min	空調時間帯 連続8hr	空調時間帯任意時刻30min		非空調任意 時間30min	空調時間帯 連続8hr	空調時間帯任意時刻30min	
採取開始	10/26 8:30	10/26 9:00	10/26 14:00	10/26 16:00	10/26 8:35	10/26 9:00	10/26 14:00	10/26 16:00
採取終了	10/26 9:00	10/26 17:00	10/26 14:30	10/26 16:30	10/26 9:05	10/26 17:00	10/26 14:30	10/26 16:30
温度(°C)	23.2	23.3	23.2	23.2	17.9	15.9	15.0	14.2
湿度(RH%)	55	54	60	59	76	87	96	97
ホルムアルデヒド	10	8.2	10	10	5.2	2.6	4.5	4.0
アセトアルデヒド	5.2	3.5	11	5.7	3.1	<3	<3	4.6
トルエン	22	16	12	24	14	19	5.2	28
エチルベンゼン	6.9	8.4	7.5	8.1	3.9	3.8	<3	5.4
キシレン	12	14	13	12	5.2	6.2	<3	5.5
ステレン	3.1	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
パラジクロロベンゼン	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
テトラデカン	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
DBP	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
DEHP	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3

表 4.1.33 パッシブサンプリングによる測定結果（Eビル）

単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

条件	室内				外気					
	空調時間帯8hr		非空調時間帯12hr		空調時間帯8hr		非空調時間帯12hr			
	柴田科学	スベルコ	アクティブ	柴田科学	スベルコ	柴田科学	スベルコ	アクティブ	柴田科学	スベルコ
採取開始	10/26 9:00	10/26 9:00	10/26 9:00	10/25 20:00	10/26 9:00	10/26 9:00	10/26 9:00	10/25 20:00	10/26 9:00	10/25 20:00
採取終了	10/26 17:00	10/26 17:00	10/26 17:00	10/25 8:00	10/26 17:00	10/26 17:00	10/26 17:00	10/25 8:00	10/26 17:00	10/25 8:00
温度(°C)	22.7	23.3	23.1	23.1	16.4	15.9	18.1	18.1	16.4	15.9
湿度(RH%)	59.5	54	48.2	48.2	81.9	87	68.7	68.7	81.9	87
ホルムアルデヒド	19	9.6	8.2	24	14	6.1	2.9	2.6	14	8.4
アセトアルデヒド	6.7	5.2	3.5	22	16	5.2	3.1	<3	8.9	6.5
トルエン	—	—	16	—	—	—	19	—	—	—
エチルベンゼン	—	—	8.4	—	—	—	3.8	—	—	—
キシレン	—	—	14	—	—	—	6.2	—	—	—
ステレン	—	—	<3	—	—	—	<3	—	—	—
パラジクロロベンゼン	—	—	<3	—	—	—	<3	—	—	—

*サンブラー入手の不備により、今回VOCは測定が出来なかった。

(垂水弘夫)

4.1.3 測定結果のビル間比較による考察

(1)外気測定に関する考察

今年度測定を行ったオフィスビルのうち、Cビル（東京都新宿区）、Dビル（石川県野々市町）、Eビル（埼玉県和光市）の3棟に加え、前年度（平成15年度）調査を行ったAビル（東京都港区）も含め考察を行う。

まず、各対象ビルにおける外気濃度についてみると、ローボリュームエアサンプラによる重量濃度測定では、Dビルで $0.033\text{mg}/\text{m}^3$ 、Eビルで $0.030\text{mg}/\text{m}^3$ 、Cビルで $0.020\text{mg}/\text{m}^3$ を記録した。ピエゾバランス粉じん計では、DビルとEビルにおいて平均測定値は $0.04\text{mg}/\text{m}^3$ となり、両者とも午前中に高めの値を示す傾向にあった。外気に関して、ローボリュームエアサンプラとピエゾバランス粉じん計による平均値はよく一致する結果となった。デジタル粉じん計による外気濃度の変動についてみると、いずれのビルにおいても最大値は非空調時間帯に120cpm程度を示し、最小値は18時前後に10cpm程度まで低下する様子が観測された。石川県野々市町と東京都心部、東京郊外における外気濃度レベルの大小に関して、地域性による大きな違いはみられなかった。

インパクタによる粒子捕集による重量濃度は、Cビル、Dビル、Dビルの夫々で、 0.0479 、 0.0430 、 $0.0366\text{mg}/\text{m}^3$ となり、他の測定方法による計測値との大小には多少の差異がみられた。しかし、Cビル、Eビル、前年度計測を行ったAビルの3棟に共通して、捕集粒子全体のうちインパクタの捕集特性上最下段である $0.25\mu\text{m}$ 以下の微小粒子に占める割合が最も大きく、最上段である $2.5\mu\text{m}$ 以上の比較的粒径が大きな粒子についても室内に比べて捕集率が高いことを示した。一方、以上に挙げた東京地域の対象ビル3棟と比較して、Dビルでは粒径が最下段よりも一段大きな粒子の割合が多い結果となった。

また、外気粒子について個数濃度測定による経時変化でみると、室内濃度が空調の稼働と停止によって時間帯で大きく変動しているのに比べ、終日安定しており、Dビルでその傾向は顕著であった。

(2)室内空調時に関する考察

室内空調時について、ローボリュームエアサンプラによる重量濃度測定では、Cビル、Dビル、Eビルで、 0.012 、 0.006 、 $0.025\text{mg}/\text{m}^3$ を示し、ピエゾバランス粉じん計による計測値も、CビルとDビルで $0.02\text{mg}/\text{m}^3$ 、Eビルで $0.04\text{mg}/\text{m}^3$ を観測した。また、インパクタ捕集による測定値は、 0.0194 、 0.0084 、 $0.0288\text{mg}/\text{m}^3$ を記録し、ローボリュームエアサンプラとインパクタ捕集による測定値は概ね一致しており、測定器間で計測値の大小に多少の違いはみられるものの、いずれの測定方法でも室内基準値である $0.15\text{mg}/\text{m}^3$ を大きく下回る結果となった。

デジタル粉じん計による経時変化をみると、CビルとEビルにおいては空調稼働とともに室内濃度は増加傾向にあるのに対してCビルでは急激に減少する様子がみられた。

一方、個数濃度測定でも、空調稼働・停止に伴って室内濃度は増減するが、特に $2.0\mu\text{m}$ 以上の粒子において変動は大きく、変動傾向はデジタル粉じん計の室内濃度値と同様であった。

いずれにしても、空調時、非空調時では、室内空気中の粒子状物質の濃度は異なる傾向となっており、特に小粒径の粒子状物質については、空調することにより外気及び室内の

環気中の粒子が空調機のフィルタにより取り除かれる効果がでていていると考えられる。また、執務者の出社直後は微粒子濃度が上昇する可能性があることがわかった。

(3)VOC およびアルデヒド類の測定結果に関する考察

室内濃度について、全4棟のうち石川県野々市町Dビルで最も高い値となっており、続いて東京都新宿区のCビル、大阪府豊中市のBビルと続いている。そのうち、Dビルの非空調時にアセトアルデヒドの値が指針値と同じ $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ となった。同じく非空調時の外気についてみると、高い値はみられないことから、Aビルでは非空調時に室内で何らかの化学物質が発生したと考えられる。また、Bビルの非空調時のうちトルエンに関して、指針値は超えないものの他と比較して高い値が得られた。事務室・講義室ともに値は目立つが、特にアクティブサンプリングによる事務室での測定結果では $210 \mu\text{g}/\text{m}^3$ という結果をみせた。

また、全ビルに共通して、室内濃度が外気濃度を上回る傾向にあることが明らかとなった。空調時のビルの室内は、VOC,アルデヒド類ともに非常に濃度が低く、厚生労働省指針値を超過するものは見られなかった。そのような低濃度の中でも、空調が停止する時間帯（非空調時間帯）の濃度は上昇する傾向が見られた。表4.1.34にVOCおよびアルデヒド濃度の内外比を算出したものを示す。VOCおよびアルデヒド類はほとんどが室内濃度の方が高かった。内外比も時間帯により変化しており、空調が停止する時間帯で高くなった。外気に比べ室内濃度は2~3倍程度が平均的であったが、改装直後であったBビルでは、スチレンの内外比が90にもなっていた。

空調・非空調時の濃度に関しては、ビルによって濃度比は異なっており、Bビル、Dビル、Eビルでは空調時よりも非空調時に室内濃度が上昇する傾向にあるが、Cビルでは逆に、空調稼働時において室内濃度が高い値を示す傾向にあることが判った。ガス状物質については、室内中の建築材料に限らず執務者や人間の活動によるものなど室内からの発生源があることを示しており、空調停止によりその濃度上昇が顕著になることがわかった。

また、パッシブ法による測定結果はビル4棟に共通して空気中濃度は低い値となった。パッシブ法とアクティブ法で測定結果のオーダーについて比較すると、概ね一致はしているが、パッシブ法の方がアクティブ法よりも若干高めに値が出る結果となっている。外気測定についても同様の傾向がみられる。

また、空調・非空調時による濃度については、各々におけるパッシブ法とアクティブ法の比較を行うと、絶対値は異なるものの、濃度の高低の傾向はよく一致していることがわかる。パッシブ法による測定についての絶対値は、信頼性が高いと考えられるアクティブ法と異なるものの、それよりも高い値を出すことから、空調時間帯のパッシブ法の曝露により、ある程度の精度を持った測定が可能であることが分かった。

表 4.1.34 VOC およびアルデヒド類検出濃度の内/外比

(1)Aビル

	24hr			非空調時間帯			空調時間帯		
	室内	外気	I/O比	室内	外気	I/O比	室内	外気	I/O比
ホルムアルデヒド	11	7.7	1.4	10	7.4	1.4	12	8	1.5
アセトアルデヒド	11	8.6	1.7	9.3	6.1	1.5	12	6.6	1.8
トルエン	31	24	1.3	36	31	1.2	24	14	1.7
エチルベンゼン	5.9	5.1	1.2	6.7	5.4	1.2	5.2	4	1.3
キシレン	11	9.0	1.2	13	10	1.3	9.2	6.6	1.4
スチレン	7.2	5.5	1.3	6.5	5.8	1.1	10	6.2	1.6
パラジクロロベンゼン	4.0	3	1.3	4	3	1.3	<3	<3	-

(2)Bビル-課員室

	24hr			非空調時間帯(夜)			非空調時間帯(朝)			空調時間帯		
	室内	外気	I/O比	室内	外気	I/O比	室内	外気	I/O比	室内	外気	I/O比
ホルムアルデヒド	16	5	3.2	15	4.6	3.3	19	4.4	4.3	12	6.2	1.9
アセトアルデヒド	28	4.8	5.8	20	4.7	4.3	41	6.2	6.6	17	7.6	2.2
トルエン	22	4.5	4.9	78	41	1.9	130	24	5.4	43	23	1.9
エチルベンゼン	12	2.6	4.6	11	6.2	1.8	25	3.5	7.1	8.6	3.7	2.3
キシレン	18	4.2	4.3	16	9.4	1.7	39	5.3	7.4	13	4.6	2.8
スチレン	9.0	0.1	90.0	8.4	2.4	3.5	24	2.6	9.2	6.7	1.4	4.8
パラジクロロベンゼン	2.9	1.2	2.4	2.5	1.2	2.1	4.0	1.7	2.4	1.9	1.1	1.7

(2)Bビル-事務室

	24hr			非空調時間帯(夜)			非空調時間帯(朝)			空調時間帯		
	室内	外気	I/O比	室内	外気	I/O比	室内	外気	I/O比	室内	外気	I/O比
ホルムアルデヒド	18	5	3.6	16	4.6	3.5	25	4.4	5.7	8.0	6.2	1.3
アセトアルデヒド	20	4.8	4.2	14	4.7	3.0	29	6.2	4.7	6.2	7.6	0.8
トルエン	14	4.5	3.1	64	41	1.6	210	24	8.8	39	23	1.7
エチルベンゼン	7.7	2.6	3.0	9	6.2	1.5	21	3.5	6.0	4.4	3.7	1.2
キシレン	11	4.2	2.6	12	9.4	1.3	29	5.3	5.5	6.2	4.8	1.3
スチレン	9.2	0.1	92.0	8.6	2.4	3.6	42	2.6	16.2	3.6	1.4	2.6
パラジクロロベンゼン	2.6	1.2	2.2	1.9	1.2	1.6	4.5	1.7	2.6	1.9	1.1	1.7

(3)Cビル

	非空調任意時間帯			空調時間帯			空調時間帯任意時刻30min		
	室内	外気	I/O比	室内	外気	I/O比	室内	外気	I/O比
ホルムアルデヒド	37	3	12.3	26	6	4.3	23	8	2.9
アセトアルデヒド	24	12	2.0	16	4	4.0	17	6	2.8
トルエン	7	7	1.0	13	3	4.3	8	4	2.0
エチルベンゼン	3	3	1.0	4	3	1.3	<3	<3	-
キシレン	5	3	1.7	6	3	2.0	4	3	1.3
スチレン	<3	<3	-	<3	<3	-	<3	<3	-
パラジクロロベンゼン	3	3	1.0	7	3	2.3	5	3	1.7

(4)Dビル

	非空調任意時間帯			空調時間帯			空調時間帯任意時刻30min(朝)			空調時間帯任意時刻30min(昼)		
	室内	外気	I/O比	室内	外気	I/O比	室内	外気	I/O比	室内	外気	I/O比
ホルムアルデヒド	59	39	1.5	20	6	3.3	55	26	2.1	38	23	1.7
アセトアルデヒド	48	7	6.9	9	3	3.0	46	14	3.3	10	8	1.3
トルエン	63	96	0.7	8	7	1.1	100	110	0.9	98	92	1.1
エチルベンゼン	7	8	0.9	<3	<3	-	10	10	1.0	11	11	1.0
キシレン	4	3	1.3	<3	<3	-	3	3	1.0	4	4	1.0
スチレン	48	79	0.6	6	5	1.2	84	82	1.0	78	70	1.1
パラジクロロベンゼン	6	3	2.0	<3	<3	-	4	3	1.3	<3	<3	-

(5)Eビル

	非空調任意時間帯			空調時間帯			空調時間帯任意時刻30min(朝)			空調時間帯任意時刻30min(昼)		
	室内	外気	I/O比	室内	外気	I/O比	室内	外気	I/O比	室内	外気	I/O比
ホルムアルデヒド	10	5.2	1.9	8.2	2.6	3.2	10	4.5	2.2	10	4.0	2.5

*定量下限値未満のものは定量下限値を使用して解析した

(垂水弘夫・竹田菊男)

4.1.4 VOC およびアルデヒド類の精密法およびパッシブ法との比較

本調査で行った VOC 及びアルデヒド類の分析方法の概要と測定結果から見たそれぞれの方法の特長について検討を行った。VOC およびアルデヒド類は、一般にアクティブサンプリングが精密な測定方法として知られている。今回各オフィスビルにおける化学物質濃度を測定し、ビルの空気質についてしらべた。

アクティブサンプリング法は正確な濃度が把握できる一方、ポンプなど機材が必要であり、操作も簡単とはいえない。本研究では全国調査が予定されているが、このような機材を用いた方法は現実的でない。そこで、最近急速に利用が広まっているパッシブサンプリング法の適用をあわせて検討した。

(1)アクティブサンプリング

<測定項目>

カルボニル化合物

ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド

揮発性有機化合物

トルエン、キシレン、パラジクロロベンゼン、エチルベンゼン、スチレン、テトラデカン、フタル酸ジ-n-ブチル、フタル酸ジ-2-エチルヘキシル

<採取方法>

カルボニル化合物

DNPH 吸着管に室内空気を 500ml/min 程度の流量で採取した。

揮発性有機化合物

TENAX-GR 吸着管に室内空気を 100ml/min 程度の流量で採取した。

<分析方法>

カルボニル化合物：アセトニトリル溶出-高速液体クロマトグラフ法

装置：LC-10Avp (高津製作所)

カラム：SUMIPAX PG-ODS 4.6mmφ×25cm 粒径 7μm (住化分析センター)

移動相：アセトニトリル/水=60/40

検出器：紫外分光光度計 (λ=360nm)

流量：1ml/min 温度：40℃ 注入量：20μL

揮発性有機化合物：加熱脱離-ガスクロマトグラフ/質量分析法

装置：Turbomatrix-ATD (パーキンエルマー) + 6890-5973N (Agilent)

カラム：DB-5 0.25mmφ×60m×0.25μm (J&W)

温度：40℃ - (10℃/min) - 250℃

キャリアガス：He 流量：1ml/min

脱着温度：250℃ 脱着時間：10分

(2)パッシブサンプリング

<サンプラー>

カルボニル化合物 DSD-DNPH (スペルコ製)

UMEx100 (SKC製)

揮発性有機化合物 パッシブガスチューブ（柴田科学製）
VOC-SD（スペルコ製）
有機ガスモニター No.3500（スリーエム製）
575-001（SKC製）
パッシブガスチューブ（柴田科学製）

<測定項目>

カルボニル化合物

ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド

揮発性有機化合物

トルエン、エチルベンゼン、キシレン、スチレン、パラジクロロベンゼン

<暴露時間>

サンプラーの暴露時間は次の3つの時間で行い、結果を比較した。

24時間暴露、空調時間帯連続暴露、非空調時間帯連続暴露

*ただし、外気は上記に即していない。

<前処理方法>

カルボニル化合物：アセトニトリル5mlで溶出した。

揮発性有機化合物：二硫化炭素2mlおよび内部標準物質（トルエン-d₈）2μgを添加し、
30分溶出後、溶出液を回収した。

<分析方法および条件>

カルボニル化合物：アクティブ法と同一

揮発性有機化合物：ガスクロマトグラフ/質量分析（選択イオン検出）法

装置：Agilent 6890-5973N（Agilent）

カラム：DB-5 0.25mmφ×60m×0.25μm（J&W）

温度：40℃ -（10℃/min）- 250℃

注入：280℃（スプリットレス）

キャリアガス：He 流量：1ml/min 注入量：1μL

(3)結果および考察

パッシブ法による測定結果とアクティブ法による測定結果の相関を解析した。頻度高く検出されたホルムアルデヒドおよびトルエンで解析を行った。

図4.1.10に非空調時間帯のホルムアルデヒド濃度のアクティブ法とパッシブ法の比較を示す。非空調時間帯は、30分サンプリングによる時間内の代表点しか測定を行わなかったが、パッシブ法とよい相関を示した。また、図4.1.11に空調時間帯のアクティブ法とパッシブ法の比較を示す。空調時間帯は、30分サンプリングによる時間内の代表点ではあまり相関がよくなかったが、時間内を連続測定した結果では、パッシブ法とよい相関を示した。

図4.1.12に非空調時間帯のトルエン濃度のアクティブ法とパッシブ法の比較を示す。非空調時間帯は、測定点数が少なく相関係数が低い、パッシブ法も同等の結果が得られると思われる。また、図4.1.13に空調時間帯のアクティブ法とパッシブ法の比較を示す。空調時間帯は、時間内を連続測定した結果では、パッシブ法とよい相関を示した。

以上より、パッシブ法による測定結果には妥当性があると考えられ、全国調査にパッシブ法を適用することは問題がないと考えられる。

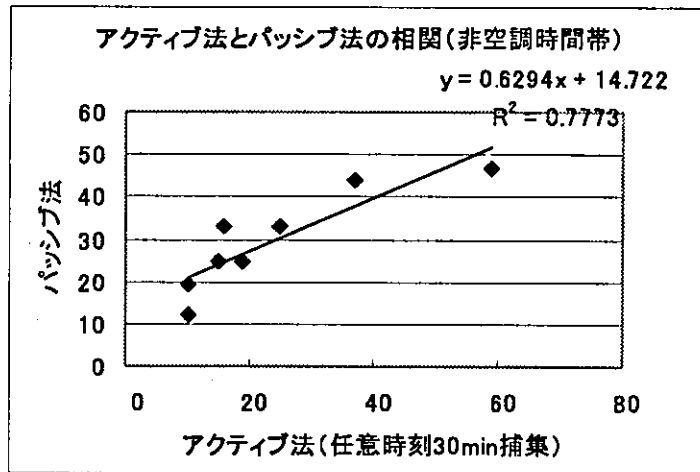


図 4.1.10 ホルムアルデヒド濃度のアクティブ法とパッシブ法の比較 (非空調時間帯)

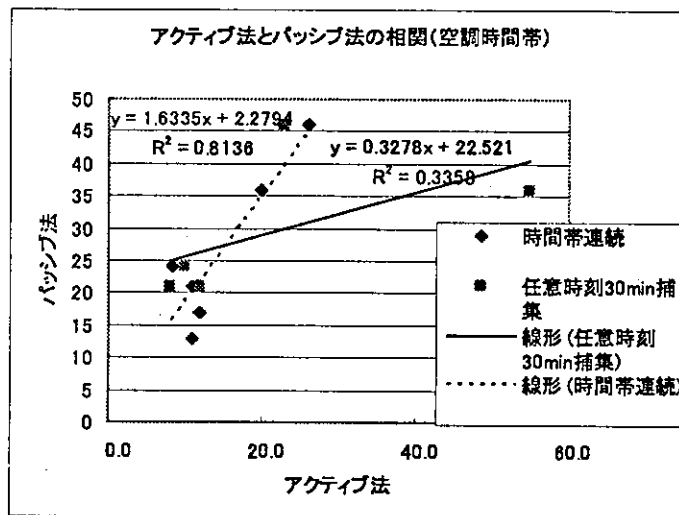


図 4.1.11 ホルムアルデヒド濃度のアクティブ法とパッシブ法の比較 (空調時間帯)

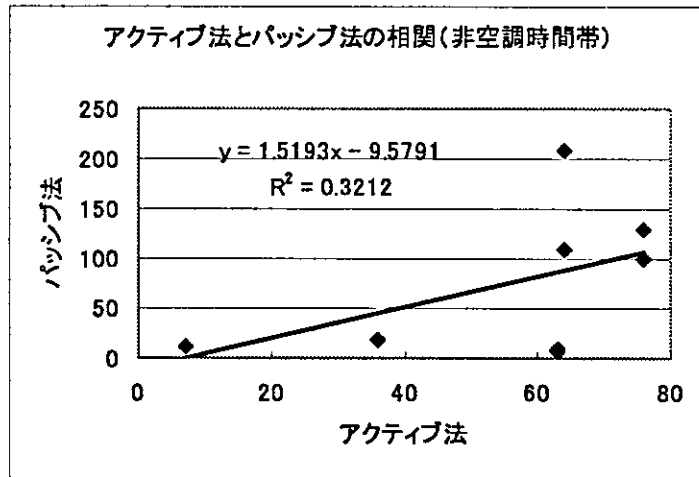


図 4.1.12 トルエン濃度のアクティブ法とパッシブ法の比較 (非空調時間帯)

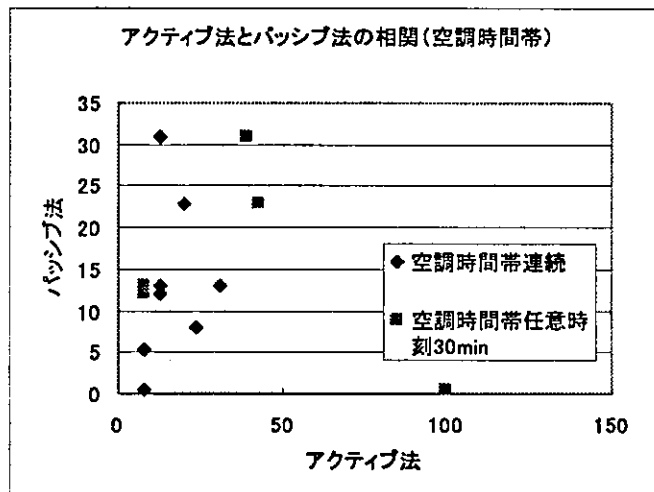


図 4.1.13 トルエン濃度のアクティブ法とパッシブ法の比較 (空調時間)

(竹田菊男)

4.1.4 デジタル粉じん計の係数値

デジタル粉じん計は SPM の質量濃度（単位： mg/m^3 ）を測定するための計測器であるが、空気中に浮遊している粉じんの質量濃度を散乱光の強弱として間接的に測定するものである。散乱光の強度は、粒子と屈折径に支配されるが、粒子数に比例した散乱光強度が得られるとされているため、散乱光強度を測定することで粒子個数が推定でき、粒子個数は粉じん濃度に比例する。濃度は、相対濃度（CPM: Count Per Minutes）で表されるが、質量濃度に変換する場合に、質量濃度変換係数（ $=0.0013\text{mg}/\text{m}^3/\text{CPM}$ ）を乗じて質量濃度を算出することが一般的である。

今回実測を行った、C,D,E ビルにおけるローボリュームサンプラーにより計測した室内の浮遊粒子の質量濃度 $[\text{mg}/\text{m}^3]$ と、デジタル粉じん計により得られた平均相対濃度 $[\text{cpm}]$ 及びその比率である係数値 $[\times 10^{-3} \text{mg}/\text{m}^3/\text{CPM}]$ について表 4.1.35 に示す。空調、非空調時に分けたが、空調時については、1.3 前後の値となったが、非空調時には 0.7 と空調時よりも低い値となった。

散乱光から質量濃度を変換する際には、粒子の粒径、形状及び組成などが影響し、変換の誤差を生じさせる。室内環境中に浮遊している粒子の性状は、比較的安定しているためこの値は、1.3 程度となっている。今回の結果のように、非空調時に値が小さくなるのは、空調が停止することにより、室内における気流の滞留が少なくなることで大粒径の粒子が沈降し、 $1\mu\text{m}$ 以上の粒子の数濃度が少なくなるものの、それ以下の微粒子については変化が少ない又は増加することが、先の実測におけるパーティクルカウンタでの結果となっていた。空間中の粒径分布が異なることによっても、重量濃度に変換する際には大きな影響を与えることから、係数値が非空調時に小さな値となったと考えられる。

その他にも、現在オフィスビルにおける分煙化、禁煙化が進んでおり、過去数十年以来空間内の粒子の性状も徐々に変わりつつあることも、係数値に影響を与える。また、デジタル粉じん計自体の仕様によっても異なる。いずれにせよ、今回の空調時の結果からは、ばらつきはあるものの、1.3 程度の値となっていることを確認した。

表 4.1.35 各測定における係数値の比較

	C ビル		D ビル		E ビル	
	空調時	非空調時	空調時	非空調時	空調時	非空調時
L-V 測定 質量濃度 $[\text{mg}/\text{m}^3]$	0.012	0.020	0.006	0.033	0.025	0.030
LD-3 $[\text{cmp}]$	7.7	27.74	5.8	45.54	19.91	41.89
係数値 $[\times 10^{-3} \text{mg}/\text{m}^3/\text{CPM}]$	1.5	0.7	1.0	0.7	1.3	0.7

(鍵 直樹)

4.2 化学物質の経時変化

調査建築物における VOC とアルデヒド類について経時変動（空調時・非空調時）の調査を行った。

(1)A ビルについて

既存建築物の事務室における VOC およびアルデヒド類の経時変化の結果を表 4.2.1 および図 4.2.1 に示した。

調査時期は平成 16 年 3 月、空調時間帯は 7 時 30 分～19 時であった。

室内に対する外気の測定は 9 時に実施した。

空調時・非空調時ともに全ての測定結果は基準値あるいは指針値以下であった。トルエンは空調停止後から空調開始直前まで濃度上昇が見られ、空調稼働後に濃度減少の傾向を示したがホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、キシレン、1,4 ジクロロベンゼン、エチルベンゼン、スチレン、ノナール、テトラデカンに空調・非空調に関わらずほぼ一定濃度であった。

表 4.2.1 室内 VOC の測定結果

comp name ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	室内															外気 9:00
	10:00	12:00	14:00	15:00	16:00	20:00	22:00	0:00	2:00	4:00	6:00	8:00	10:00	空調時 平均	非空調 時平均	
ホルムアルデヒド	10.8	10.5	11.8	10.0	10.7	8.9	8.9	8.3	8.1	6.7	6.3	8.8	11.3	10.6	7.9	6.8
アセトアルデヒド	10.5	10.0	15.3	10.8	10.7	7.7	7.1	9.4	7.6	6.7	7.2	8.6	11.0	11.0	7.6	5.5
トルエン	27.7	25.5	16.3	21.8	23.2	17.4	33.8	28.9	41.5	46.0	52.1	37.7	37.4	27.1	36.6	18.9
m,p,o-キシレン	6.3	6.6	4.3	4.0	6.2	4.6	8.1	8.2	10.2	8.4	8.7	5.8	7.2	5.8	8.0	7.0
1,4-ジクロロベンゼン	2.7	2.1	1.8	1.4	1.8	3.4	3.9	3.1	4.6	3.0	2.8	2.0	2.4	2.0	3.5	0.7
エチルベンゼン	4.9	5.9	3.7	3.6	5.6	3.6	5.8	6.0	7.8	7.1	8.1	4.6	6.3	5.0	6.4	7.1
スチレン	4.7	3.0	2.4	3.1	2.1	1.2	1.6	1.8	2.2	2.2	1.8	1.7	1.9	2.7	1.8	0.4
ノナール	2.0	1.7	1.5	2.0	1.9	2.0	2.3	2.0	1.7	1.6	1.2	1.7	2.0	1.8	1.8	0.4
テトラデカン	2.0	2.0	1.7	1.4	1.6	0.9	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.2	1.3	1.6	1.1	0.6
室温($^{\circ}\text{C}$)	24.5	24.7	25.1	24.9	25.0	25.5	24.6	23.3	22.8	22.3	21.8	24.4	24.0	24.7	23.4	16.0
湿度(%)	36	35	35	34	37	37	31	27	25	24	23	36	34	35	28	24

* 網掛け時刻は空調稼働

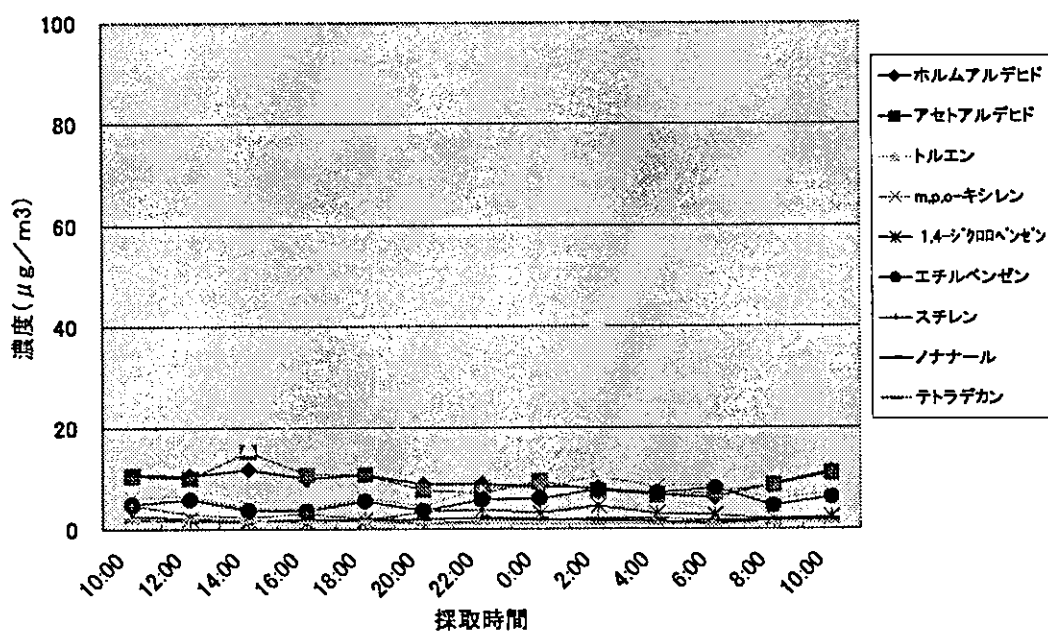


図 4.2.1 室内 VOC 濃度の時間変化

(2)B ビルについて

改装直後の事務室及び講習会場における VOC 類の経時変化の結果を表 4.2.2、表 4.2.3 及び図 4.2.2、図 4.2.3 に示した。

調査時期は平成 16 年 4 月、空調稼働時間は 9 時～17 時とした。

空調時・非空調時ともに VOC 類濃度は基準値並びに指針値以下であった。

ただし、トルエン、アセトアルデヒドなど全体的に空調停止後から濃度上昇し、空調稼働により減少する傾向が見られた。なお、外気の測定は 18 時 40 分と 11 時に行ったが、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドの外気濃度は $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下と低濃度であり変動は見られない。

表 4.2.2 事務室室内 VOC 類の測定結果

comp name($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	室内												外気	
	18:00	19:25	22:00	1:00	7:00	8:00	9:00	10:00	13:00	16:00	空調時平均	非空調時平均	18:40	11:00
ホルムアルデヒド	17.6	19.4	22.5	22.2	26.4	25.8	18.1	12.5	15.0	14.4	15.0	22.3	2.9	6.5
アセトアルデヒド	11.0	17.8	31.0	20.3	30.0	33.1	19.7	12.1	14.3	10.6	14.2	23.9	1.4	5.4
トルエン	64.0					210.0			39.0					
キシレン	12.0					29.0			6.2					
1,4-ジクロロベンゼン	1.9					4.5			1.9					
エチルベンゼン	9.0					21.0			4.4					
スチレン	8.6					42.0			3.6					
室温($^{\circ}\text{C}$)	25.2	24.1	26.0	26.2	25.7	26.3	25.4	24.3	24.8	25.4	25.0	25.6	17.2	22.3
湿度(%)	19	21	18	18	21	20	21	21	20	20	21	20	26	22

* 網掛け時刻は空調稼働

表 4.2.3 講習会場内 VOC 類の測定結果

comp name($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	室内												外気	
	18:00	19:25	22:00	1:00	7:00	8:00	9:00	10:00	13:00	16:00	空調時平均	非空調時平均	18:40	11:00
ホルムアルデヒド	15.3	13.6	15.7	17.0	17.8	19.2	14.1	9.6	14.5	13.8	13.0	16.4	2.9	6.5
アセトアルデヒド	16.4	15.8	25.9	25.2	38.7	46.6	24.7	13.2	18.4	16.3	18.1	28.1	1.4	5.4
トルエン	76.0					130.0			43.0					
キシレン	16.0					39.0			13.0					
1,4-ジクロロベンゼン	2.5					4.0			1.9					
エチルベンゼン	11.0					25.0			8.6					
スチレン	8.4					24.0			6.7					
室温($^{\circ}\text{C}$)	23.1	23.7	23.1	23.7	22.5	22.9	22.5	21.7	22.5	23.1	22.5	23.2	17.2	22.3
湿度(%)	18	18	21	21	23	22	24	21	22	21	22	21	26	22

* 網掛け時刻は空調稼働

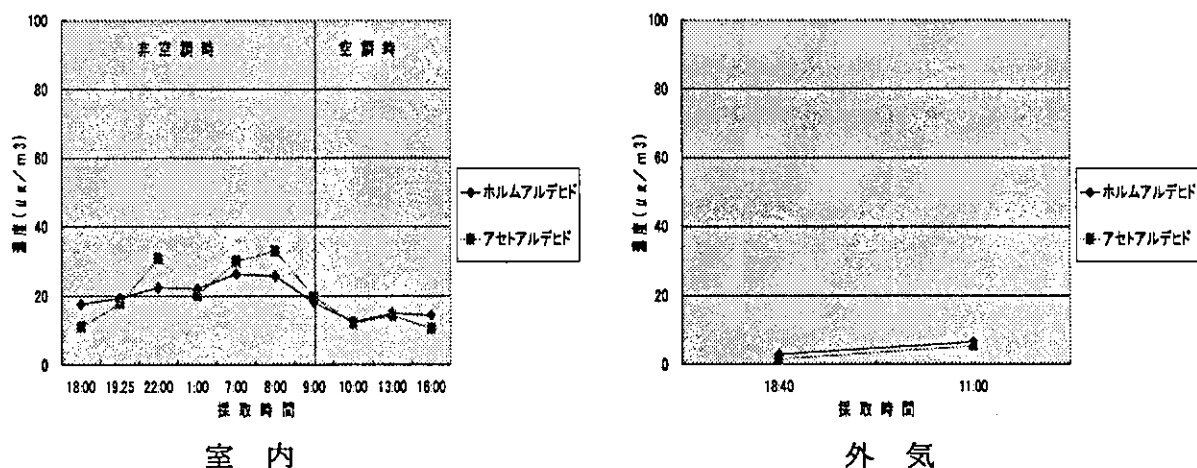


図 4.2.2 アルデヒド類の時間変化 (事務室)

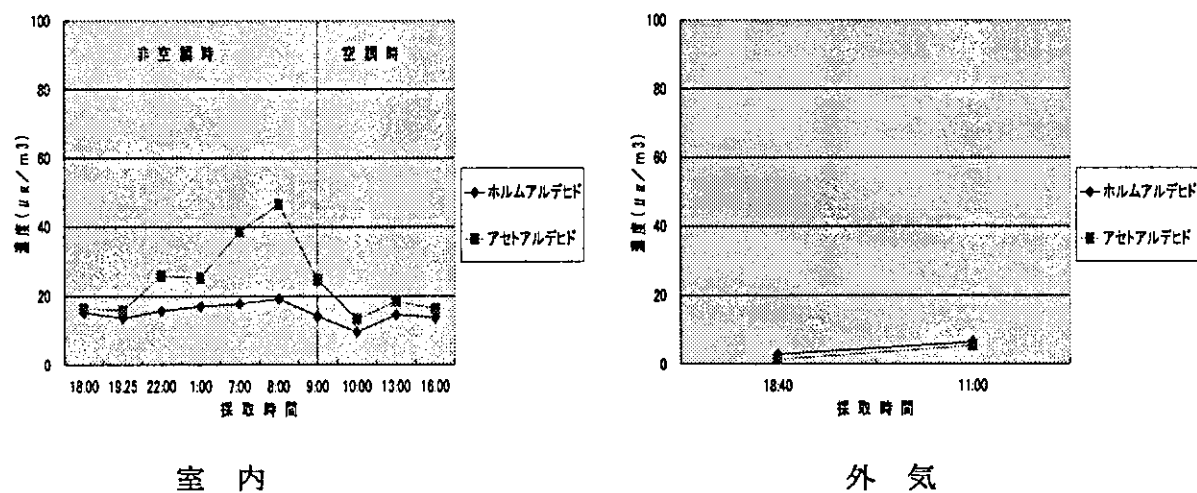


図 4.2.3 アルデヒド類の時間変化 (講習会場)

(3)C ビルについて

既存建築物の事務室におけるVOCおよびアルデヒド類の経時変化の結果を表 4.2.4 および図 4.2.4 に示した。調査時期は平成 16 年 7 月、採取時刻は全て空調稼働中であった。なお、外気の測定は行わなかった。

空調時における室内の各物質の平均値はホルムアルデヒド $26.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、アセトアルデヒド $18.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ でありトルエン、キシレン、1,4 ジクロロベンゼン、エチルベンゼン、スチレン、ノナナール、テトラデカンはいずれも $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であった。全物質の時間変化はほぼ一定に推移しており基準値あるいは指針値と比較しても概ね低濃度であった。

表 4.2.4 室内VOCの測定結果

comp name($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	室内						空調時 平均
	18:30	7:00	9:30	12:00	14:30	17:00	
ホルムアルデヒド	30.0	30.7	28.7	23.6	23.1	24.4	26.7
アセトアルデヒド	16.8	26.3	20.0	20.4	13.6	13.0	18.3
トルエン	8.5	8.4	9.5	9.5	9.1	9.1	9.0
m,p,o-キシレン	6.3	6.9	6.5	5.4	5.1	5.5	5.9
1,4-ジクロロベンゼン	4.3	3.3	6.6	5.9	4.7	4.5	4.9
エチルベンゼン	4.0	4.5	4.0	3.4	3.2	3.5	3.7
スチレン	1.1	1.1	1.3	0.9	0.7	0.6	0.9
ノナール	4.2	4.1	4.0	3.7	4.4	4.0	4.1
テトラデカン	2.3	2.0	2.2	1.9	1.7	1.6	2.0
室温($^{\circ}\text{C}$)	28.3	27.4	27.5	26.8	26.7	26.5	27.2
湿度($\%$)	50	48	49	48	54	55	51

* 網掛け時刻は空調稼働

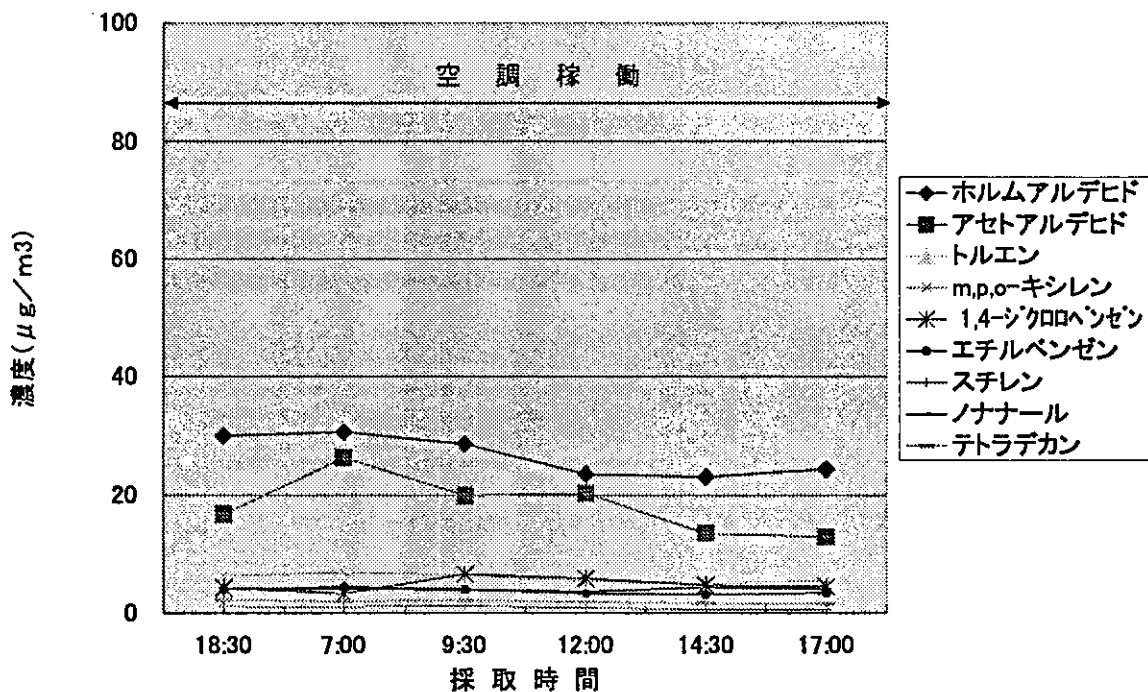


図 4.2.4 室内VOC濃度の時間変化

(4)Dビルについて

既存建築物の事務室におけるVOCおよびアルデヒド類の経時変化の結果を表 4.2.5 および図 4.2.5 に示した。

調査時期は平成 16 年 7 月、空調時間帯は 8 時 30 分～19 時であった。

また、室内に対する外気の測定を同時刻に実施した。

空調時・非空調時ともに全ての測定結果は基準値あるいは指針値以下であった。夕刻のトルエンの外気濃度が高かったがホルムアルデヒドとアセトアルデヒドは空調停止後から空調開始直前まで濃度上昇が見られ、空調稼働後に濃度減少の傾向を示した。

キシレン、1,4ジクロロベンゼン、エチルベンゼン、スチレン、ノナール、テトラデカン は概ね室内外で濃度差も見られずまた、空調・非空調に関わらずほぼ一定濃度であった。

表 4.2.5 室内外のVOCの測定結果

comp name($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	室内						外気					
	19:30	8:00	10:00	14:00	空調時平均	非空調時平均	19:30	8:00	10:00	14:00	空調時平均	非空調時平均
ホルムアルデヒド	66.6	78.0	68.0	63.8	65.9	72.3	8.0	7.4	5.7	5.6	5.7	7.7
アセトアルデヒド	12.3	27.5	17.6	9.0	13.3	19.9	6.3	4.2	1.9	1.1	1.5	5.2
トルエン	8.2	10.0	20.9	7.7	14.3	9.1	33.8	7.0	5.4	7.0	6.2	20.4
m,p,o-キシレン	2.8	5.1	4.7	6.3	5.5	3.9	3.8	1.4	1.3	1.8	1.6	2.6
1,4-ジクロロベンゼン	2.4	6.6	3.9	3.5	3.7	4.5	1.2	1.6	0.5	0.4	0.4	1.4
エチルベンゼン	2.1	3.8	3.4	5.3	4.4	2.9	2.8	0.9	1.1	1.5	1.3	1.9
スチレン	1.1	2.5	1.2	0.6	0.9	1.8	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3
ノナール	3.8	5.6	3.5	4.0	3.8	4.7	1.4	0.7	1.4	1.3	1.4	1.1
テトラデカン	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	0.0	0.2	0.1
室温($^{\circ}\text{C}$)	27.1	27.5	25.7	25.3	25.5	27.3	26.8	27.2	28.4	30.4	29.4	27.0
湿度(%)	60	60	57	61	59	60	73	64	63	46	55	69

* 網掛け時刻は空調稼働

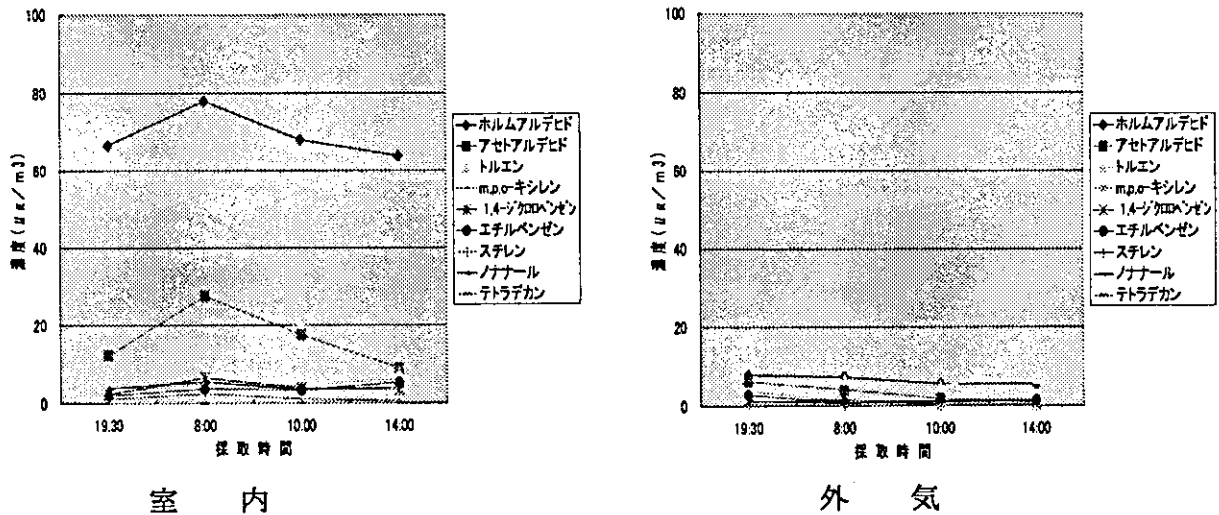


図 4.2.5 室内外のVOC時間変化

(5)E ビルについて

新築建築物の事務室におけるVOCおよびアルデヒド類の経時変化の結果を表 4.2.6 および図 4.2.6 に示した。

調査時期は平成 16 年 10 月、空調時間帯は 8 時～18 時であった。

また、室内に対する外気測定をほぼ室内と同時刻に実施した。

空調時・非空調時ともに全ての測定結果は基準値あるいは指針値以下であった。トルエンとアセトアルデヒドは空調停止後から空調開始直前まで濃度上昇が見られ、空調稼働後に濃度減少の傾向を示した。

ホルムアルデヒド、キシレン、1,4ジクロロベンゼン、エチルベンゼン、スチレン、ノナール、テトラデカンは空調・非空調に関わらずほぼ一定濃度であった。トルエンの外気濃度に変動が見られたがその他については室内外で著しい濃度の違いや傾向は見られなかった。

表 4.2.6 室内外のVOCの測定結果

comp name($\mu\text{R}/\text{m}^3$)	室内						外気					
	19:30	7:30	10:00	14:00	空調時平均	非空調時平均	18:30	8:30	10:30	14:30	空調時平均	非空調時平均
ホルムアルデヒド	15.2	15.1	11.4	9.5	10.5	15.2	11.2	4.8	11.2	13.6	12.4	8.0
アセトアルデヒド	13.1	25.6	6.4	9.0	7.7	19.3	3.8	1.0	0.6	0.3	0.4	2.4
トルエン	45.0	65.5	22.8	14.1	18.4	55.3	101.0	16.5	57.2	15.5	36.4	58.8
m,p,o-キシレン	9.5	14.1	8.5	9.0	8.7	11.8	21.4	5.2	15.0	3.5	9.2	13.3
1,4-ジクロロベンゼン	3.0	2.3	1.9	1.2	1.6	2.7	3.3	1.1	2.6	1.0	1.8	2.2
エチルベンゼン	10.3	13.0	7.7	9.0	8.3	11.6	23.9	4.3	17.3	3.8	10.6	14.1
スチレン	1.8	2.2	0.7	0.5	0.6	2.0	4.3	0.4	2.8	0.5	1.7	2.4
ノナール	5.1	5.3	1.6	2.8	2.2	5.2	2.4	0.1	0.5	0.0	0.3	1.3
テトラデカン	4.4	5.0	2.1	1.6	1.9	4.7	1.1	0.2	1.1	0.0	0.6	0.7
室温($^{\circ}\text{C}$)	25.5	23.9	23.8	23.6	23.7	24.7	19.0	17.3	18.6	15.0	16.8	18.2
湿度(%)	43	46	52	57	55	45	65	75	79	91	85	70

* 網掛け時刻は空調稼働

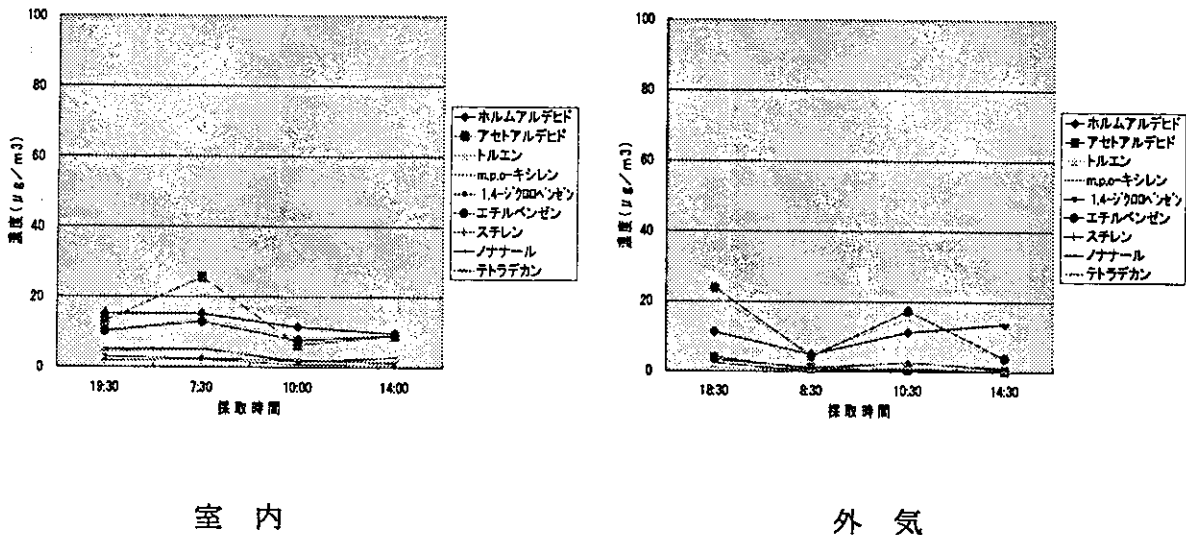


図 4.2.6 室内外のVOC時間変化

(6) 考察

新築、改修、既存の5建物の特定建築物事務所について空調・非空調の違いをみるために時間変動を調査したが、全てのVOC類濃度は非空調時においても基準値あるいは指針

値以下であった。D ビルのホルムアルデヒドのように施設によりホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、トルエンはやや高い濃度を示したが室内の発生要因は特定できなかった。また、E ビルの外気トルエン濃度の挙動は、本建物については新築物件で内装を含めて工事中であったため外気のトルエン濃度が影響を受けたのではないかと推察される。

室内の濃度変動は、基準値あるいは指針値に対して低いレベルで起こっていることが確認されたが、その要因として、換気量の変化、室内発生源の変化、外気濃度の変化などが上げられる。しかし、発生源については特定するには至らなかった。発生源が室内にある場合、空調を停止することにより外気導入が減少することで VOC の濃度の上昇傾向が確認された。発生量にもよるが、今回の建物では基準値あるいは指針値を超過することはなかった。しかし、発生源の条件によっては、早朝の空調稼働前には、この値を超えることも考えられることから、適切な空調管理が重要であると考えられる。

今回の調査では新築、改修、既存に関係なく特定建築物の事務室では非空調時においても VOC 類は基準値あるいは指針値以下であり、空調機を稼働させている通常の特定建築物では化学物質濃度は低濃度で推移していると推察されるが、同施設の継続調査による濃度推移も見ていく必要があると考える。

((財) ビル管理教育センター)

4.3 粒子組成からみた解析

4.3.1 ICP-MS による粒子状物質の化学組成分析

ICP-MS 法は大気圧プラズマをイオン源として用い、プラズマ中で生成したイオンをインターフェースを介して高真空下の質量分析計に引き込み、検出する方法である。原子吸光法やプラズマ発光分光法と比べて感度が非常に高く、また多元素迅速分析が可能であり、特に粒子状物質の化学組成分析を行う場合、フィルタ上に捕集した粒子を酸で溶出し、溶液としたものをプラズマに導入、測定するが、捕集される量が極微量のため高感度、迅速分析が可能であることは非常に有利な特徴である。

粒子の粒径別捕集にはシウタスインパクトを用いた (図 4.3.1)。この小型のカスケードインパクトは、低価格で吸引流量も 9 l/min と大きい。大気汚染を考慮して、インパクトは 4 段で 2.5, 1.0, 0.5, 0.25 μm の粒径 (50%カット径) の粒子を分級・捕集する。ノズルはスリット形で、その通気抵抗は大きくない。インパクトの捕集板として、石英フィルタ、石英フィルタでオイルを塗布したもの、PTFE フィルタ (テフロンフィルタ)、アルミ箔を用いて捕集能力を比較している。アルミ箔を用いた場合には若干、捕集した粒子の再飛散が認められたが、他の捕集板では設計のカット径が確認された。

本測定ではメーカー指定のテフロンフィルタを衝突板の上と最後のフィルタにそれぞれ使用し、粒子捕集前後に秤量して粒子量を求め、さらに溶解後に上記 ICP-MS を用いて半定量分析し、粒子中の金属濃度を算出した。A ビル (空調、非空調)、C ビル (空調、非空調、昼外気)、D ビル (空調、非空調、昼と夜の外気) E ビル (空調、非空調、昼と夜の外気) においてフィルタ上に捕集された粒子状物質は、高純度の酸で溶出した後、希硝酸溶液として測定を行った。なお、捕集に用いたフィルタは事前に溶出に使用する高純度酸で洗浄を行ない、ブランク値を低減したものを使用した。

4.3.2 測定結果及び考察

ICP-MS による化学組成分析結果を捕集された粒子中の濃度として表したものを表 4.3.1 から 4.3.4 に示す。また、室内と外気の両者から検出された元素については、内外比 (I/O 比) を求めた。粒子中濃度の内外比を表 4.3.5 から 4.3.7 に示す。

結果として捕集された粒子の量は分析に十分とはいえず、定量下限を下まわる元素も多い。ここでは測定された各ステージともに値のある元素について検討した。表 4.3.8 から 4.3.11 に室内の空気(空調または非空調)を基準とし、外気や非空調の空気に含まれる金属の相対比 (ng/m^3 の濃度を基準とした) を示した。見やすくするために小数点以下を切り捨てた。ここでは 0 または 1 は両者の違いは少なく、数字が大きくなるほど違いは大きくなる。

空調と外気の粒子濃度比は各測定場所とも、粒径が小さくなるほど、つまり A 段から D 段へ進むほど、各金属ともに室内空気との濃度の違いは少なくなる。これは空調装置のフィルタの粒子捕集性能を示していると考えられる。A 段に捕集された粒子は 2.5 μm 以上の粗大粒子であるが、これらは空調装置のフィルタで捕集され、外気に比べてかなり低下している。しかしながらナトリウムやマグネシウムの違いに比べてカリウムやカルシウムの違いは少ない。(表中で太字) この原因については不明であるが、C、D、E ビルのすべてにおいて同様の結果であり、なにか理由があると思われる。カリウムやカルシウムは室内