

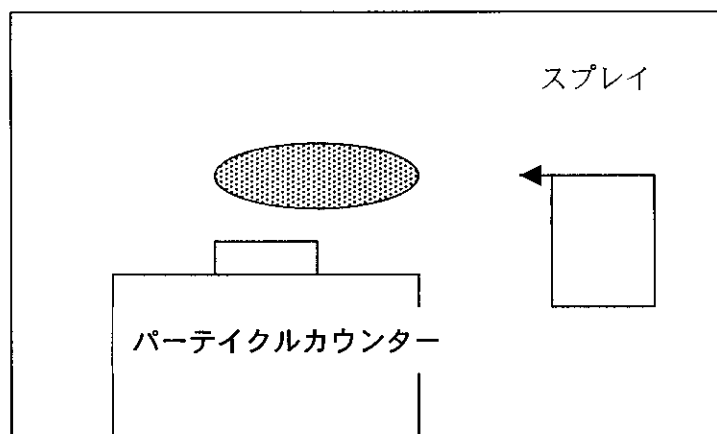


図-3.1.1 ミスト撒布測定実験模式図

(b) スプレーミストから発生する VOC

チャンバーは図-3.1.2に示す。チャンバー内でミストが沈降した後、空間の空気試料を 1ml ガスタイトシリリングでとり FID 付きキャピラリーガスクロマトグラフ (GL サイエンス製 GC-353) に

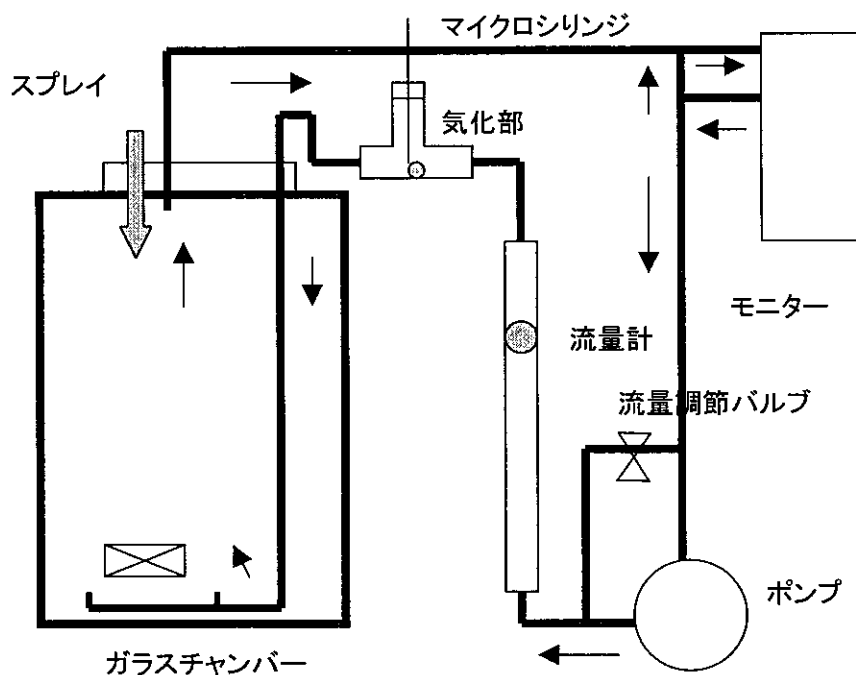


図-3.1.2 チャンバー試験装置

(c) マスキング蒸散消臭剤の VOC

チャンバーの底部にマスキング蒸散消臭剤容器を入れ、循環、あるいは静置時の濃度の変化をモニター：TVOC 計 (新コスモス電機製 XP339 型) または毒性ガス測定器 (理研計器 FP85) あるいはガスタイトシリリングで採取し測定した。

(2) 脱臭剤の除去効果

チャンバー試験 (図-3.1.3) で行った。8L ガラス瓶の上部のふたから循環用の管を出し、それにダイアフラムポンプとモニター、ガス発生部を付けたものである。ガス発生部に臭気成分の溶液を一定量注入、加熱気化し、循環 (攪拌) した。濃度をモニターし、10 分後ガスタイトシリリングで採気し、ガスクロマトグラフで定量した。

試験ガスとしてはアンモニア、酢酸、アセトアデヒドを水溶液として気化して用いた。

気化後、測定直前にテフロン管で攪拌し、10分ごとに濃度を測定した。次に10分後の濃度測定直後10分にスプレーし、さらに10分ないし20分経過後に濃度測定を10分ごとに行った。

この両者を比較し、除去効果を評価した。

スプレー後は循環ポンプを作動させずに、放置後、瓶全体を振り、あらかじめ入れておいたテフロン管（8mm x 5cm）2本で攪拌した後、同様に採気し、ガスクロマトグラフで定量した。

3.1.3 結果

(1) 撒布型スプレイミストの環境空気中における残留性

3種の市販の撒布型消臭剤のスプレイミストの環境空気中における残留性を測定した。消臭剤試料と使用条件は次の通りである。

試料：No.1 消臭剤 effaron 液体 “無臭” (株)オルグ製

No.2 空気を洗うミスト WILL “後に香りが残らないタイプ” 花王(株)

No.3 ピュアエアスプレー ピュアハーブ “微香性” 小林製薬

使用条件：No.1 2回ブッシュ 0.29 g チャンバー試験では1回

No.2 2回ブッシュ 0.37 g チャンバー試験では1/2.(途中まで)

No.3 2秒間吐出 0.57 g チャンバー試験では1秒

測定結果（パーテクルカウンターの指示値）を表-3.1.2及び図-3.1.3に示す。発生ミストの粒径は吸入性粒径すなわち鼻毛でとれず気道に入り込み沈着する粒径である $8\mu\text{m}$ 以下のものが大半であることが分かった。粒径分布でみると個数濃度では一般の浮遊粉塵（バックグラウンドのデータ）と同様に小粒径（ $0.3\sim 0.5\mu\text{m}$ ）の方が高い傾向があった。

今回測定した中で最も滞留時間の長い $0.3\sim 0.5\mu\text{m}$ でみるとNo.3の試料で約20分、他はおよそ10分間で滞留した。最も大粒径である $5\mu\text{m}$ 以上のミストは3分でほぼ沈降した。スプレーで気化ガスを用いたもの（No.3）はガスでバックグラウンドの粒子を排除するために一旦大粒径（ $5\mu\text{m}$ 以上）以外の濃度は低下し、数分後沈降してきて観測された。沈降性の低い、滞留時間の長い小粒径とくに $0.55\mu\text{m}$ 以下のもの（ここで用いた測定器は $0.3\mu\text{m}$ 以下の粒径は観測できない）が存在する可能性が大きい。ミストの沈降が完了したとみなした10～20分後に悪臭ガス濃度測定のために空気試料をガスクロマトグラフに注入し、クロマトグラム（図4）をみるとカラム昇温するに従ってベースラインがあがり、 200°C 以上で顕著になった。これらは高沸点有機物の存在を示している。粒径測定で検出されなくとも微小ミストが長時間滞留し、検出された成分の中には気化している成分の存在も考えられるが、それは蒸気圧が低いためごく一部である。

表-3.1.2 撒布型スプレミストの環境空気中における粒径分布 (単位: 個/280ml)

実験1 No.2 1回スプレー(サンプリング位置50cm)						
粒径(μ)	0.3~0.5	0.5~1	1~2	2~5	>5	
噴射前	18838	2053	384	42	6	
8s後	18829	2001	345	67	51	
1M18s後	18958	2035	365	53	38	
2M18s後	19179	2048	383	67	19	
3M33s後	19147	2037	394	59	11	
4M33s後	18807	2062	360	44	9	
5M33s後	18741	2076	355	58	13	
6M48s後	18354	2092	343	60	5	
8M8s後	18247	2047	386	71	14	
9M8s後	18339	2003	426	45	5	
実験2 No.2 2回スプレー(50cm)						
Mm	0.3~0.5	0.5~1	1~2	2~5	>5	
噴射前	15481	1737	355	45	9	
5s後	15436	1759	368	51	89	
1M後	15420	1718	312	58	32	
2M後	15133	1732	345	42	33	
3M後	15393	1641	338	42	10	
4M後	15005	1745	332	45	13	
5M後	15362	1692	313	38	12	
6M10s後	15366	1755	321	40	10	
7M後	15214	1747	330	52	10	
8M10s後	15109	1700	328	30	10	
9M後	15011	1663	304	37	3	
10M後	14865	1676	316	44	7	
実験3 No.2 2回スプレー(40cm)						
Mm	0.3~0.5	0.5~1	1~2	2~5	>5	
噴射前	18507	1972	358	46	10	
10s後	17950	1915	388	40	6	
1M20s後	17668	1981	371	54	5	
2M30s後	18307	2118	430	57	7	
4M10s後	18286	2302	510	55	10	
5M10s後	18516	2477	554	77	4	
6M30s後	18451	2473	550	57	6	
7M50s後	17958	2421	567	52	7	
9M後	18160	2379	548	50	5	
10M20s後	17945	2304	531	68	5	
11M30s後	17793	2335	502	51	7	
13M後	17309	2180	502	38	4	
14M後	17097	2270	513	49	7	
15M後	17073	2184	504	53	4	
16M後	17248	2243	460	52	7	
17M後	17508	2177	463	51	5	
18M後	17028	2185	443	44	8	
19M後	17088	2048	459	50	4	
20M後	16667	2076	438	49	4	
22M後	16566	2023	421	51	10	
23M後	16598	2051	399	42	7	
24M30s後	16388	1985	375	38	7	
実験4 No.3 2秒スプレー(40cm)						
Mm	0.3~0.5	0.5~1	1~2	2~5	>5	
噴射前	16159	1949	369	44	9	
10s後	15819	1842	369	46	8	
1M10s後	16046	1963	362	29	5	
2M10s後	16002	1820	354	40	9	
3M10s後	15990	1773	349	46	7	
4M10s後	15667	1831	308	34	4	
5M10s後	15852	1819	356	38	6	
6M後	15898	1860	383	40	3	
7M後	15635	1798	326	33	7	
8M後	15704	1757	322	56	7	
9M後	15767	1823	328	38	5	
10M後	15581	1788	321	28	5	
実験5 No.1 2回スプレー(40cm)						
Mm	0.3~0.5	0.5~1	1~2	2~5	>5	
噴射直後	19438	1942	266	307	47	
1M後	19705	1943	330	60	24	
2M後	19890	1960	343	59	14	
3.5M後	20411	1998	303	62	21	
4.5M後	18570	1843	310	45	18	
実験6 バックグラウンド(繰り返し7回) ブランク値						
Mm	0.3~0.5	0.5~1	1~2	2~5	>5	
	16096	1543	266	51	9	

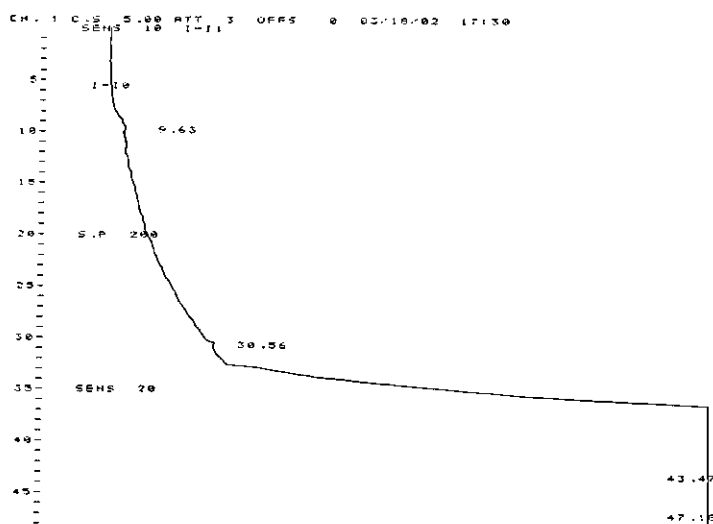
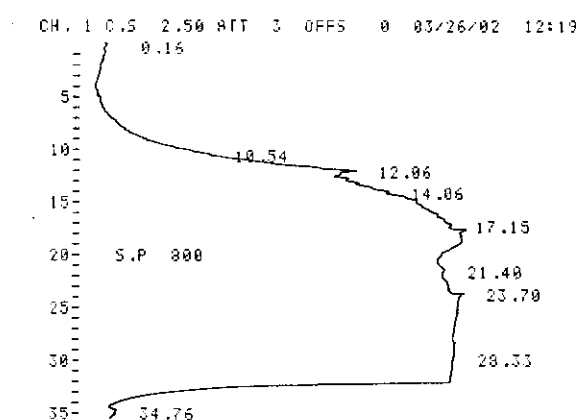


図-3.1.4 スプレー後の試料ガス繰り返し注入後、昇温した時のガスクロマトグラム

(1)発生 VOC

図-3.1.2に示したチャンバーでスプレーし、その10～20分後のチャンバー内空気のガスクロマトグラムである。比較のためにスプレーなしの場合のチャートをブランク値として示した(図-3.1.5)。ブランクのベースラインの上昇はカラムの固定相液体の気化分でスプレーミストとは無関係である。No.1、No2、No3の試料のクロマトグラムは図-3.1.6、3.1.7、3.1.8に示す。

No1の消臭剤ではエタノールが大量に出ている。No2の消臭剤でもエタノールが大量に出ている。この他4成分ほど検出されている。No3の消臭剤は気化剤のブタンが大量に検出され、この他6成分ほど検出されている。



107ゲラレト

図-3.1.5 ブランクのガスクロマトグラム

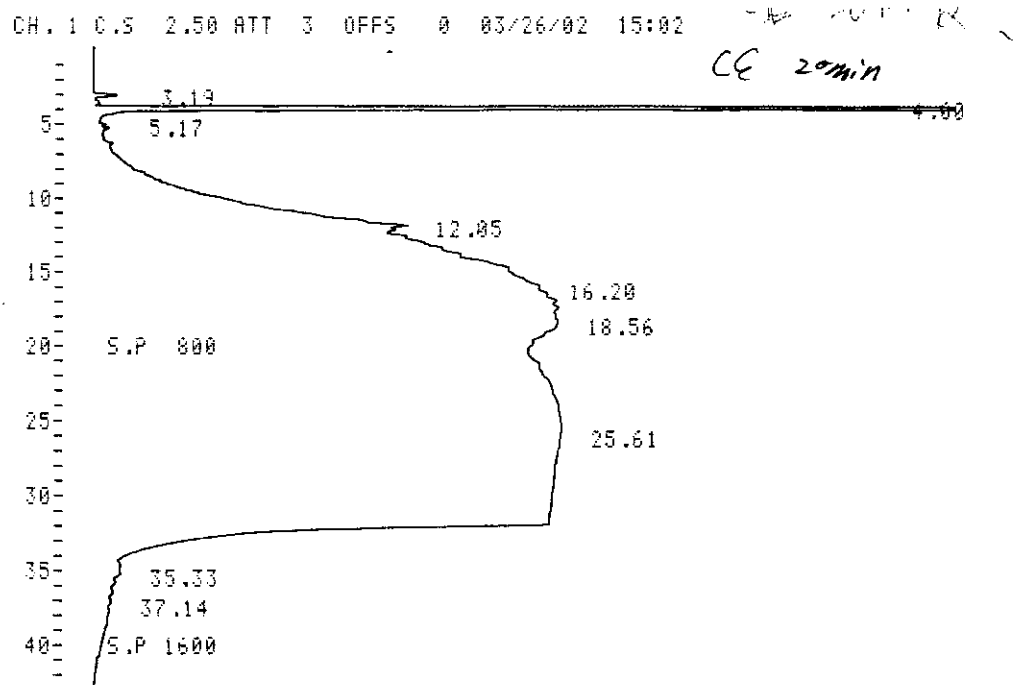


図-3.1.6 No.1の消臭剤のガスクロマトグラム

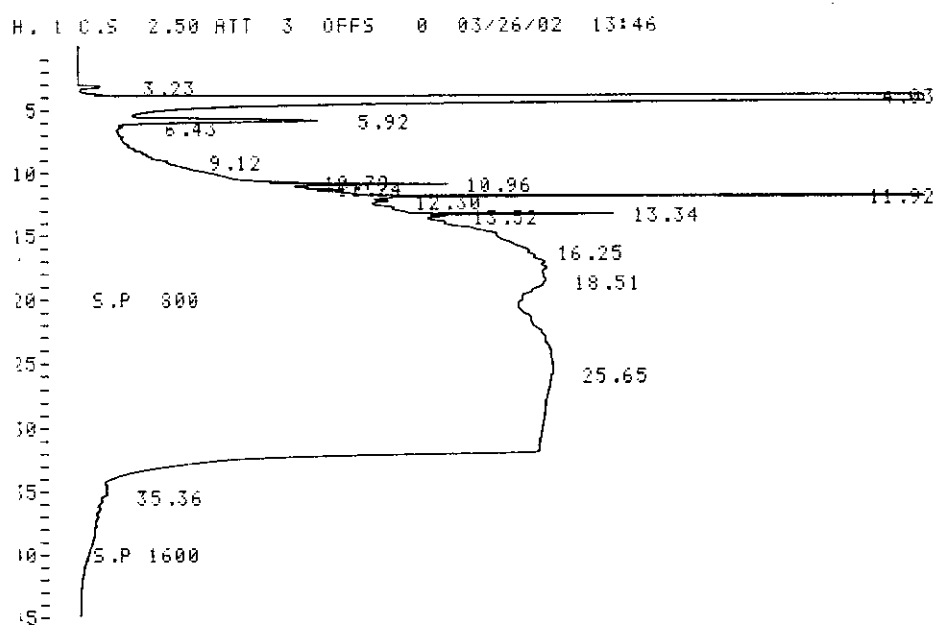


図-3.1.7 No.2の消臭剤のガスクロマトグラム

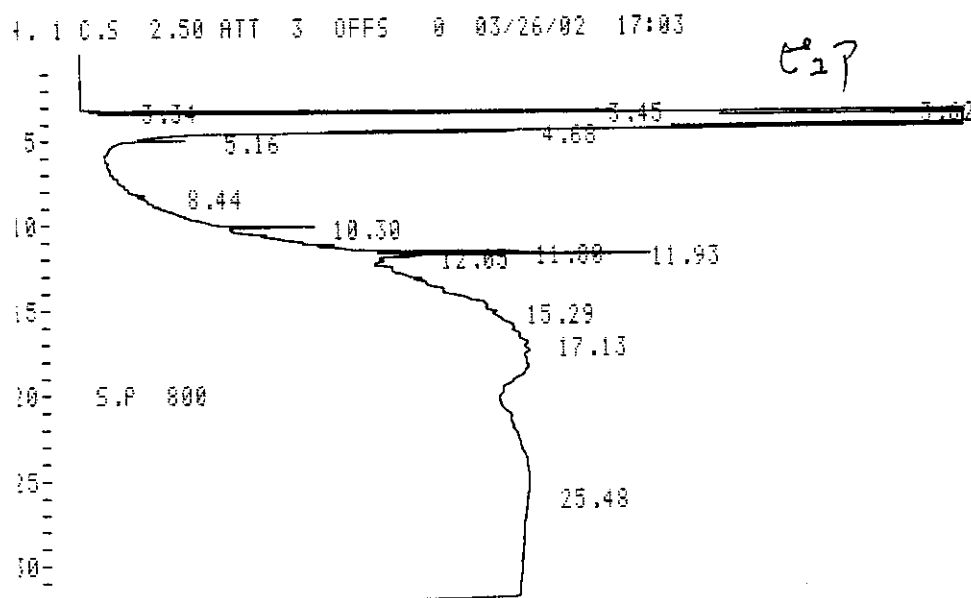


図-3.1.8 No.3の消臭剤のガスクロマトグラム

(3) 除去特性

3種の消臭剤によるアンモニア、酢酸、アセトアルデヒドの除去効果をみた結果を表-3.1.3に示す。20分後に濃度が安定した後、スプレーした。N01の消臭剤はアンモニア、酢酸に対し、効果が認められたが、アセトアルデヒドに対してはほとんど効果は認められなかった。

N02の消臭剤は酢酸のみに効果が認められた。N03の消臭剤はアンモニア、酢酸に対しては効果が認められなかった。アセトアルデヒドはクロマトグラム上の分離ができず、定量不能であった。これについては分析法を変えて行わなければならない。

表-3.1.3 撒布型消臭剤による悪臭ガス除去特性 (単位:ppm)

消臭剤	No1				No2				No3			
	時間	1回目	2回目	3回目	時間	1回目	2回目	3回目	時間	1回目	2回目	3回目
アンモニア	10(分)	35	33	35	10	30	33	32	10	35	33	35
	20	34	33	34	20	30	32	30	20	34	34	34
	30	14	13	14	30	29	31	30	40	33	33	32
	50	13	12	14	50	28	29	29	50	32	32	32
	300	11	9	10	300	28	28	28	300	31	30	31
酢酸	10	5.8	6	5.7	10	6.1	6.5	6.2	10	4.9	5	5
	20	5.8	6	5.6	20	6.1	6.5	6.2	20	4.9	5	4.8
	30	ND	ND	ND	30	1.1	1.2	1.2	40	4.9	5	4.8
	40	ND	ND	ND	40	ND	ND	ND	50	4.9	5	4.8
アセトアルデヒド	10	11.8	10.1		10	21	19.8			*		
	20	12	10.2		20	21.3	20					
	50	11.5	9.8		40	20.2	19					
	70	11.4	9.8		50	20.1	19.1					

* ガスクロマトグラムが重なり定量不能

3.1.4 考察

微細ミストの空気中の残留性は繰り返しスプレー後10～20分以上経過した試料空気をガスクロマトグラフに入れ、100℃のカラム温度ではミストが高沸点のためカラム内にたまったものが図-3.1.4にみられるように200から250℃で追い出されたことより確認されたが、1ml、1回の注入で定量を試みた図-3.1.6、3.1.7、3.1.8のピークからはブランクとの差が検出されず、定量的には明らかにできなかった。これはミスト成分が蒸気圧

の低いSVOCであるのに対して本法が感度不足のためであり、TENAX濃縮分析などを適用すべきである。

微細ミストはストークス沈降により $10\mu\text{m}$ のもので 2mm/s であるが、 $0.55\mu\text{m}$ 以下のものはブラウン運動によりほとんど沈降しない。従ってガスと同様に振る舞い拡散か器壁への沈着により濃度は減少するが、限られた空間では滞留する。勿論これらは $8\mu\text{m}$ 以下の吸入性エアロゾルである。

撒布時に発生するVOCは相当量でNo1の消臭剤で計算すれば次のようになる。

1回フルプッシュ/8Lでピーク面積より 930ng/ml のすなわち 485ppm 、これが10倍の空間に広がったとして(この範囲に脱臭効果が及ぶとは考えられないが) 50ppm である。半分プッシュしたNo2の消臭剤ではピーク面積より 8070ppm でこれが10倍の空間に広がったとして 800ppm になる。さらに部屋の容積と撒布量と換気によって異なるが、仮に換気回数が0.2程度の6畳にNo2の消臭剤をフルプッシュで10回撒布し、部屋の半分の空間に均一に拡散したとすると数十分後およそ 100ppm になる。これは作業環境の許容濃度が 1000ppm であるから相当な濃度であるが、実大空間では未測定である。

撒布型除去剤の相対的な評価は求まるものの、定量的に除去効率を評価することは、濃度、撒布量、撒布位置、撒布高さ撒布時間、ミスト径などの条件によって異なってくるために一般に困難である。ここでは除去効果の判断の妥当性では8Lチャンパーでのこの撒布条件はガスとミストとの接触率が問題になるが、除去されているガスもあることより、接触率が問題ではないといえる。また接触を濃度拡散に依存する空間における除去反応速度は遅く、中和型反応でようやく確認されたので、アルデヒドのように包摂によるものは除去が期待できないと推察される。

3.1.5 本章のまとめ

1) 消臭効果をパネルなどの官能試験でなく、機器分析によりみた。市販の3種の撒布型消臭剤も用いてアルカリ性、酸性、中性(有機)の3種の臭気ガス(アンモニア、酢酸、アセトアルデヒド)の除去率を測定した結果、中和型反応で除去できるものはあったが、3種のガスすべてに除去効果のあるものはなく、ほとんど除去しないとみなされるものもあった。ここではマスキング剤が混入し、官能試験では除去の判定の不可能であったものの除去効果を明らかにできた。

2) スプレーで撒布されたミストには $8\mu\text{m}$ 以下の吸入性ミストが含まれていた。大粒径のものは沈降し減少したが、微細ミストは拡散されなければ撒布後の空間では数十分(10～30分程度)滞留することが確認された。定量的な把握及び有害性はまだは明確ではない。

3) 撒布時エタノール、ブタンなどのVOCが発生し、使用条件によっては生活環境としては高濃度になる。

3.1.6 引用文献

- 1) 空気清浄協会：室内空気清浄便覧 p265 (2000)
- 2) JEM1467 家庭用空気清浄機規格 (1995)
- 3) 梅田和彦：空気清浄協会 IAQ 専門委員会報告 9 臭気 p390 (1997)
- 4) 高橋幹二：基礎エアロゾル工学 p 122 養賢堂 (1977)
- 5) 環境庁大気保全局特殊公害課編

第2章 空気清浄機の化学物質の除去特性に関する研究

野崎淳夫、飯倉一雄(東北文化学園大学)

3.2.1 はじめに

(1) 本研究の背景と既往の研究

近年、建築物内の建材、家具、塗料、開放型燃焼器具等に由来するホルムアルデヒドや揮発性有機化合物(VOCs)により引き起される刺激感や健康被害が、大きな社会問題となっている。また、その低減対策の一つとして、家庭用空気清浄機が注目されている。

吉澤ら^{1), 2)}は、家庭用空気清浄機の浮遊粒子状物質除去特性を求める試験・評価法を確立している。この中で「相当換気回数」という有用な機器の浄化指標を提案している。

日本電気工業会³⁾では、機器の入口、出口側の濃度測定により、機器の汚染物質除去率を求める性能試験法(One-pass 法)を示している。ところが、家庭用空気清浄機のガス状物質処理容量は、業務用空気清浄機に比較して小さく、フィルタ層は数mm~十数mmの活性炭や吸着剤で構成されているものが多い。そのため、ガス状物質の除去率は、機器の設置環境やフィルタ部における処理対象空気の影響を受けやすい。これにより、One-pass 法による値を室内濃度予測式に外挿した濃度予測値は、精度に欠ける側面を有している。

この点を踏まえ、野崎ら^{4), 5), 6)}は、1995年に、家庭用空気清浄機のSPM及びガス状物質(ホルムアルデヒド、NO_x、CO、SPM、NMHC)除去効果を相当換気回数を用いて評価している。結果として、ガス状物質の相当換気回数は、SPMのそれと比較して著しく小さく、顕著な除去効果は期待できない旨の報告が行われている。

ただし、本研究成果を契機に、ガス状物質除去を目的とした機器開発が、積極的に行われるようになり、多くの空気清浄機が登場し、これらの機器のガス状物質除去性能に関心が高まっている。

小峯ら⁷⁾は、ホルムアルデヒドを対象とし、One-pass 法と相当換気回数から求めた除去率との関連性について報告している。この中で、ホルムアルデヒドの機器試験法に関する基礎的研究を行っている。また、L.Erdingerら⁸⁾は、化学吸着方式の空気清浄機について、真菌、SPM、また、ポリ塩化ビフェニル(PCB)のOne-pass 法による除去率を求めている。

(2) 本研究の目的と内容

現在、家庭用空気清浄機のガス状物質除去に関する試験・評価法が確立しておらず、また、新たに開発された機器の室内浄化効果についても不明な点が多い。

そこで、本研究では、

- 1) 家庭用空気清浄機の定量的な室内空気浄化指標及び機器評価指標として「相当換気量」を提案する。
- 2) 化学物質除去を唱えている最新の家庭用空気清浄機を対象として、ホルムアルデヒド及びVOCs除去性能についての実験室実験を行い、評価値を得る。
- 3) 機器の違いと除去効果との関係についての検討を行う。

これらにより、最適な室内汚染低減化対策を確立するための基礎的資料を得るものである。

3.2.2 実験概要

(1) 測定対象機器

測定対象とした家庭用空気清浄機は、カタログ中に化学物質除去が記載されているものの中から、除去方式やフィルタの違いを考慮して選定した。測定対象機器は、フィルタ濾過式(4台)及び静電集塵式(1台)であり、対象汚染物質、風量、フィルタの構造等の仕様は表-3.2.1に示される。

表-3.2.1 測定対象とした空気清浄機

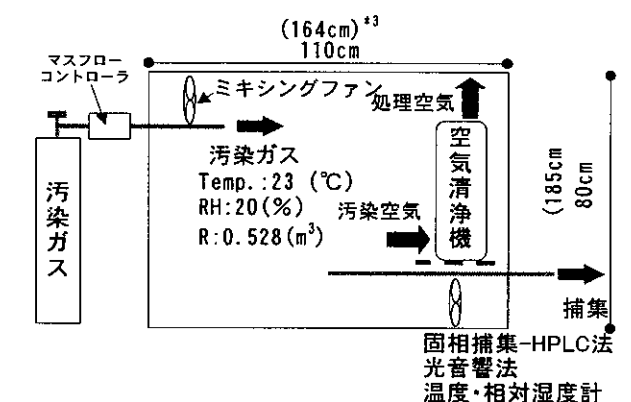
機器	対象汚染物質	50Hz時の風量 (m^3/min)		フィルタの構造	主な除去方式	適用 床面積 (m^2)	製造 (年)
		強	弱				
AC1	浮遊粒子状物質、VOC、 HCHO、 NO_x 、臭気	3.1	1	プレフィルタ+活性炭フィルタ+ULPA フィルタ ^{*1}	フィルタ通過	～21	2000
AC2	浮遊粒子状物質、HCHO、 NO_x 、臭気	3.4	0.6	プレフィルタ+静電集塵フィルタ +ULPAフィルタ ^{*1}	フィルタ通過	～20	2000
AC3	浮遊粒子状物質	-	-	静電集塵フィルタ	静電集塵	～18	2000
AC4	浮遊粒子状物質、HCHO、 NO_x 、臭気	3	0.5	プレフィルタ+抗菌フィルタ+HEPA フィルタ ^{*2}	フィルタ通過	～20	2000
AC5	浮遊粒子状物質、HCHO、 NO_x 、臭気	3	0.5	プレフィルタ+HEPAフィルタ ^{*2} +脱臭 フィルタ+抗菌フィルタ	フィルタ通過	～18	2000

*1:Ultra low penetration air filter, *2:High efficiency particulate air filter

(2) 実験室の概要

実験は東北文化学園大学の人工気象室内に設置された実験チェンバーで行われた。実験チェンバーは、 0.528m^3 及び 4.98m^3 の気積を有したガラス製及びステンレス製である。実験チェンバーでは、温湿度（温度： $10\sim 40\text{ (}^\circ\text{C)}$ ）、相対湿度： $20\sim 80\text{ (}\%)$ ）と換気量（換気回数： $0\sim 5.0\text{ (1/h)}$ ）の制御が可能である。実験チェンバーの概要を図-3.2.1に示す。（写真-3.2.1～3参照）

尚、実験チェンバー内には、一様拡散状態を得る為に、小型ミキシングファンを設置した。



*3: () 内の数値は、ステンレス製チェンバー (4.98m^3) の内寸法である。



図-3.2.1 実験チェンバーの概要図

写真-3.2.1 ガラス製チェンバー (0.528m^3) の概要

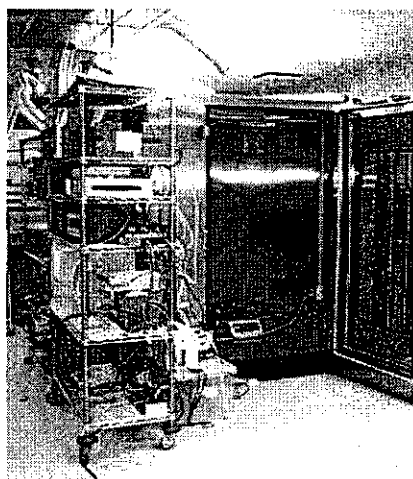


写真-3.2.2 ステンレス製チェンバー (4.977m^3)

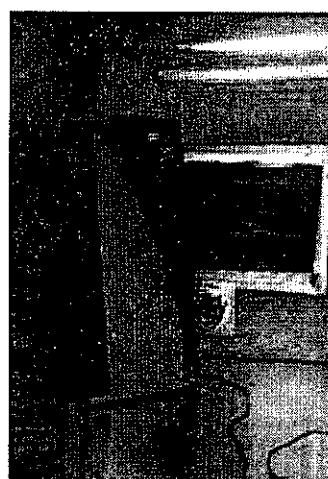


写真-3.2.3 ステンレス製チェンバーと空気清浄機

(3) ホルムアルデヒドの測定方法

ホルムアルデヒドの測定法及び測定機器を以下に示す。

(a) 光音響法

①測定装置

- ・マルチガスモニタ (B&K 社製、Model 1312 型)

②測定方法

試料空気をマルチガスモニタに導入して、チェンバー内のホルムアルデヒド濃度の経時変化をモニタリングした。

(b) 固相捕集 - 高速液体クロマトグラフ (以下、HPLC; High Performance Liquid Chromatograph) 法⁹⁾

①捕集装置

- ・定流量ポンプ (GL サイエンス社製、Model SP-206AC 型)
- ・積算流量計 (シナガワ社製、Model DC-1A 型)
- ・捕集管 (Waters 社製、Sep-pak Xposure Sampler、充填剤: 2,4-ジニトロフェニルヒドラジン (以下、DNPH) 含侵シリカゲル (粒径: 18/35 メッシュ、写真-3.2.4 参照)

②分析装置

- ・高速液体クロマトグラフ (日立社製、Model L-7000 型、写真-3.2.5 参照)

③測定方法

ホルムアルデヒドの捕集は、DNPHカートリッジを用いて行い、捕集流量は0.5 (l/min) で採取時間は2分間とした。DNPHカートリッジに捕集されたホルムアルデヒドは、5 (ml) のアセトニトリルで5分間の溶出を行い分析試料とした。尚、溶出速度は1 (ml/min) である。その後、HPLCに分析試料を10 (μ L) 導入し、定性・定量分析を行った。(分析条件は、表-3.2.2 参照のこと。)

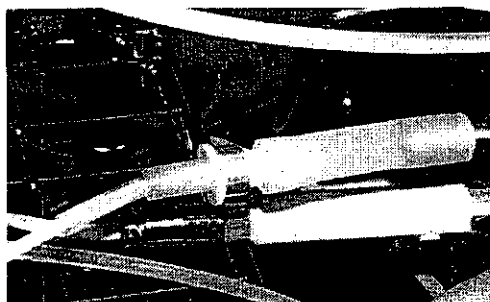


写真-3.2.4 DNPHカートリッジの捕集

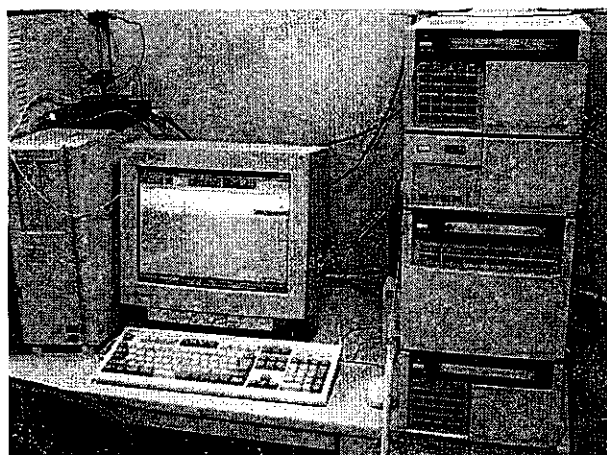


写真-3.2.5 HPLCによる分析システム

表-3.2.2 HPLCの分析条件

HPLC	日立社製、Model L-7000 型
カラム	ODS-3、内径 4.6 (mm) × 長さ 250 (mm)
恒温槽	50 (℃)
移動層	アセトニトリル : 水 / 70 : 30
流量	1.0 (ml/min)
検出器	紫外線吸収 (UV) 検出器 (波長 : 360 (nm))

(4) 揮発性有機化合物 (VOCs) の測定方法

VOCs の測定法及び測定機器を以下に示す。

(a) 光音響法

①測定装置

- ・マルチガスモニタ (B&K 社製、Model 1312 型)

②測定方法

試料空気をマルチガスモニタに導入して、チェンバー内の TVOC 濃度の経時変化をモニタリングした。

(b) 固体捕集 - 加熱脱着 - ガスクロマトグラフ / 質量分析法 (以下、GC/MS) 法

①捕集装置

- ・定流量ポンプ (GL サイエンス社製、Model SP-206AC 型)
- ・積算流量計 (シナガワ社製、Model DC-1A 型)
- ・捕集管 (Spelco 社製、充填剤: Air toxics、写真 -3.2.6 参照)

②加熱脱着 / 導入装置

- ・加熱脱着 / 導入装置 (Perkin elmer 社製、Turbo matrix ATD、写真 -3.2.7 参照)

③分析装置

- ・GC/MS (Perkin elmer 社製、Turbo mass gold、写真 -3.2.7 参照)

④測定方法

VOCs の捕集は、VOC 捕集管 (Air toxics 充填) を用いて行い、捕集流量は 0.1 (l/min) で採取時間は 1 分間とした。VOC 捕集管に捕集された VOC は、加熱導入装置を用いて加熱脱着した。(加熱脱着 / 導入条件は、表 -3.2.3 を参照のこと。) その後、GC/MS に導入し、定性・定量分析を行った。(分析条件は、表 -3.2.4 を参照のこと。)

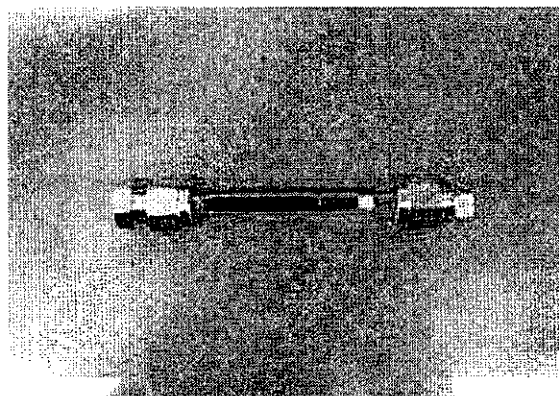


写真 -3.2.6 VOC 捕集管 (Air toxics 充填済み)

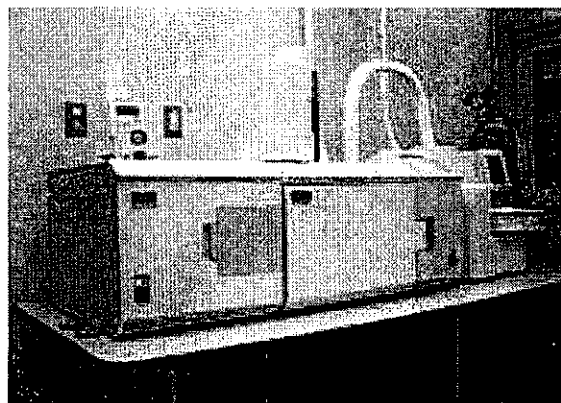


写真 -3.2.7 GC/MS による分析システム

表 -3.2.3 加熱脱着 / 導入条件

機種名	Turbo matrix ATD
サンプルチューブ捕集剤	Air toxics
加熱前バージ時間	1(min)
チューブ加熱温度	280(°C)
加熱時間	10(min)
加熱バルブ温度	250(°C)
トランスファー温度	260(°C)
コールドトラップ捕集剤	Air monitoring
捕集低温度	20(°C)
コールドトラップ加熱温度	300(°C)
加熱時間	15(min)
Desorb 流量	30(ml/min)
Inlet split 流量	15(ml/min)
Outlet split 流量	10(ml/min)

表 -3.2.4 加熱脱着 / 導入条件

機種名	Turbo mass gold
GCカラム種類	SPB-1
内径	0.25(mm)
膜厚	1(μm)
長さ	60(m)
キャリアガス流量	15(psi)
カラム昇温	50~300(°C)
MSインタフェース温度	250(°C)
イオン源温度	250(°C)
スキャンモード	Scanモード(m/z 40~250)

(5) 実験方法

(a) 実験手順^{10), 11)}

空気清浄機の室内除去性能は、1) フィルタ部の捕集率、2) ファンによる汚染物質と室内空気の混合力及び運搬力に強く依存することが指摘されている⁹⁾。本研究では、2) の評価に入る前の段階として、室内空気を一様拡散させた場合の汚染物質除去特性を得るものである。本研究の実験手順を次に示す。

- ①実験チェンバー内に空気清浄機、ミキシングファンをセットし、汚染物質発生の準備を行う。
- ②チェンバー内を数時間換気した後、チェンバー内の温湿度を調整する。
- ③汚染物質を発生させる。(HCHO 及び VOCs は、ガスボンベを使用しマスフローコントローラにより流量を制御する。)
- ④室内をミキシングファンで攪拌しつつ、汚染物質濃度などの測定を開始する。
- ⑤汚染濃度をマルチガスモニタでモニタリングし、定常濃度に達したことを確認した後、汚染物質の発生を停止し、機器非運転期間の濃度を測定する。その後、空気清浄機を運転し濃度の推移を測定する。

以上の実験行程を各機器について行った。

尚、性能評価実験は、測定条件を温度 20～25 (°C)、相対湿度 20～80 (%) の範囲で行うものとする。ここでは、室温 23 (°C)、相対湿度 20 (%), 換気回数 0.6 (1/h) のもとで実験を行い、また、一番弱い風量(運転モード：弱)で空気清浄機を運転した。 -

(b) 汚染ガス発生装置の仕様

本研究で用いた汚染ガスは、ボンベに充填された標準ガスを用いた。汚染ガスは、マスフローコントローラを用いて流量を 5 (l/min) に制御して、チェンバー内に 1 分間発生させることとした。汚染ガス及び発生制御部の仕様を以下に示す。

①ホルムアルデヒド

ホルムアルデヒド標準混合ガス (高千穂化学工業社製、ホルムアルデヒド濃度：59.8 (ppm) 写真-3.2.8 を参照のこと。)

②VOCs

VOCs 標準混合ガス (高千穂化学工業社製、VOCs 成分と各成分の濃度は、写真-3.2.9 及び表-3.2.5 参照のこと。)

③発生制御部

マスフローコントローラ (エステック社製、SEC-B40、PAC-D2、標準流量レンジ：100 (ml/min)～10 (l/min)、精度：1%F.S. 以内、耐圧：1000kPa (10kgf/cm²G)、使用温度：5～50°C)



写真-3.2.8 ホルムアルデヒドガスと
ガス発生の制御部



写真-3.2.9 VOCs ガスとガス発生の制御部

表-3.2.5 VOCs 標準ガス成分と充填濃度

VOCs成分	化学式	分子量	沸点	比重	濃度 (ppm)
ジクロロメタン	CH_2Cl_2	84.9	40.1	1.34	96.0
アセトン	$(\text{CH}_3)_2\text{CO}$	58.1	56.2	0.792	96.0
クロロホルム	CHCl_3	119.0	61.2	1.49	95.8
n-ヘキサン	$n\text{-C}_6\text{H}_{14}$	86.2	68.7	0.659	97.0
エタノール	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	46.1	78.3	0.816	96.6
1,1,1-トリクロロエタン	$1,1,1\text{-C}_2\text{H}_3\text{Cl}_3$	133	75.0	1.330	97.2
テトラクロロエチレン	CCl_4	166	121	1.630	95.9
酢酸エチル	$\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$	88.1	77.0	0.895	96.2
メチルエチルケトン	$\text{CH}_3\text{COC}_2\text{H}_5$	72.1	79.6	0.805	97.4
2,4-ジメチルペンタン	$2,4\text{-(CH}_3)_2\text{C}_5\text{H}_{10}$	100	80.5	1.382	98.1
ベンゼン	C_6H_6	78.1	80.1	0.879	98.2
1,2-ジクロロエタン	$1,2\text{-C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$	99.0	58.0	1.42	98.5
トリクロロエチレン	C_2HCl_3	131	86.7	1.46	97.1
1,2-ジクロロプロパン	$1,2\text{-CH}_3\text{H}_6\text{Cl}_2$	113	96.0	1.16	96.8
n-ヘプタン	$n\text{-C}_7\text{H}_{16}$	100	98.4	0.684	99.2
i-ブタノール	$2\text{-(CH}_3)_2\text{C}_5\text{H}_{10}$	74.1	117	0.800	97.7
トルエン	C_7H_8	92.1	111	0.866	97.1
メチルイソブチルケトン	$\text{CH}_3\text{CO(i-C}_4\text{H}_9)$	100	116	0.804	96.4
n-ブタノール	$n\text{-C}_4\text{H}_9\text{OH}$	74.0	-	-	97.7
クロロジブロモメタン	CHClBr_2	86.5	-	-	95.7
テトラクロロエチレン	C_2Cl_4	166	121	1.63	96.7
酢酸ブチル	$\text{CH}_3\text{COOC}_4\text{H}_9$	116	126	0.883	97.3
n-オクタン	$n\text{-C}_8\text{H}_{18}$	114	126	0.703	97.5
エチルベンゼン	$(\text{C}_2\text{H}_5)\text{C}_6\text{H}_5$	106	136	0.867	98.5
p-キシレン	$p\text{-C}_8\text{H}_{10}$	106	139	0.868	97.9
m-キシレン	$m\text{-C}_8\text{H}_{10}$	106	139	0.861	98.2
o-キシレン	$o\text{-C}_8\text{H}_{10}$	106	144	0.880	98.2
スチレン	$(\text{C}_2\text{H}_3)\text{C}_6\text{H}_5$	104	145	0.900	99.6
n-ノナン	$n\text{-C}_9\text{H}_{20}$	128	151	0.722	96.7
α -ピネン	$\alpha\text{-C}_{10}\text{H}_{16}$	136	160	0.862	97.6
1,3,5-トリメチルベンゼン	$1,3,5\text{-(CH}_3)_3\text{C}_6\text{H}_3$	120	165	0.863	97.6
1,2,4-トリメチルベンゼン	$1,2,4\text{-(CH}_3)_3\text{C}_6\text{H}_3$	120	236	0.957	98.0
p-ジクロロベンゼン	$p\text{-C}_6\text{H}_4\text{Cl}_2$	147	174	1.458	90.5
n-デカン	$n\text{-C}_{10}\text{H}_{22}$	142	174	0.730	98.4
1,2,3-トリメチルベンゼン	$1,2,3\text{-(CH}_3)_3\text{C}_6\text{H}_3$	120	176	0.894	98.3
リモネン	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	136	176	0.842	98.1

(6) 家庭用空気清浄機の汚染物質除去特性の評価法^{10)、11)、12)}

家庭用空気清浄機のガス状物質除去特性の評価は、「相当換気量(m³/h) (Equivalent clean air rates; ECAR)」^{10)、11)} を用いて行った。以下に、相当換気量の定義と本指標を用いた評価法について示す。空気浄化設備を有する室内定常濃度 C_{ss} (ppm) は、次式にて表される。¹²⁾

$$C_{ss} = C_0 + \frac{M}{(Q + F)} \quad - (1)$$

ここで、 C_0 : 外気濃度 (ppm)

M : 汚染物質発生量 (ml/h)

Q : 室換気量 (m³/h)

F : 空気浄化能力 (m³/h) とする。

一般の空調システムにおいて、 F はフィルタ部の浄化能力を示すものであり、次式が成立する。

$$F = \eta \times Q_a \quad - (2)$$

ここで、 η : 機器の汚染物質除去率 (%)

Q_a : 機器の処理風量 (m³/h) とする。

ところが、家庭用の空気清浄機では、フィルタ部における室内空気の通過回数が大きいため、One-pass 法により得られた汚染物質除去率 (除去性能) を用いた室内濃度予測値は、実際の室内濃度と容易に符合しない側面を有している。

そこで、家庭用空気清浄機の評価に用いられるのが、相当換気回数 N (1/h) である。相当換気回数は、実験的に求められる機器の浄化指標である。^{1)、4)、5)}

すなわち、実験チェンバー内に汚染物質を導入し、空気清浄機非運転時の対象汚染物質濃度の濃度減衰により得られる換気回数 (機器非運転期間の換気回数: N_1 (1/h)) と空気清浄機を運転する場合の対象汚染物質の濃度減衰による換気回数 (機器運転期間の換気回数: N_2 (1/h)) を求めるものである。 N_1 、 N_2 と相当換気回数 N は、次式にて表わされる。

$$N_2 = N_1 + N \quad - (3)$$

換気回数 N_1 (機器非運転期間の換気回数)、 N_2 (機器運転期間の換気回数) は、トレーサーガスを用いた濃度減衰法により、(4)、(5) 式にて求まる。

$$N_1 = 2.303 \times \frac{1}{t_1} \times \log \left\{ \frac{(C_1 - C_0)}{(C_2 - C_0)} \right\} \quad - (4)$$

$$N_2 = 2.303 \times \frac{1}{t_2} \times \log \left\{ \frac{(C_3 - C_0)}{(C_4 - C_0)} \right\} \quad - (5)$$

ここで、 t_1 : 機器非運転期間の測定時間 (h)

t_2 : 機器運転期間の測定時間 (h)

C_1 : 機器非運転期間の測定開始時における対象汚染物質濃度 (ppm)

C_2 : 機器非運転期間の測定開始から t_1 時間後の対象汚染物質濃度 (ppm)

C_3 : 機器運転期間の測定開始時における対象汚染物質濃度 (ppm)

C_4 : 機器運転期間の測定開始から t_2 時間後の対象汚染物質濃度 (ppm)

C_0, C_0' : チェンバー供給空気の対象汚染物質濃度 (ppm) とする。

上式により、機器の対象汚染物質除去性能が明らかなものとなる。

さらに、実験チェンバーの気積 R_c (m³) と実験によって求まる相当換気回数 N (1/h) を用いて、空気清浄機の浄化力を室換気量に相当させることが出来る。

尚、このときの室換気量を相当換気量 Q_{eq} (m^3/h) と言い、次式にて表す。

$$Q_{eq} (m^3/h) = N \times R_e \quad - (6)$$

ちなみに、(1) 式の F (空気浄化能力) が Q_{eq} と等しくなり、次式が成立する。

$$F = Q_{eq} \quad - (7)$$

(7) 家庭用空気清浄機を有する室内の汚染物質濃度予測法

定常状態を仮定した場合に、室内定常濃度 C_{ss} (ppm) は外気濃度 C_0 (ppm) に加えて、室内発生量 M (ml/h) を室換気量 Q (m^3/h) と相当換気量 Q_{eq} (m^3/h) の和でもって除したもので表せる。すなわち、室内定常濃度 C_{ss} (ppm) は、次式 (8) にて表せる。

$$C_{ss} = C_0 + \frac{M}{Q + Q_{eq}} \quad - (8)$$

3.2.3 結果

(1) 空気清浄機運転時における室内オゾン濃度の上昇

高電圧を利用している静電集塵式の空気清浄機においては、オゾンの発生が指摘されているため¹³⁾、空気清浄機運転に伴うチェンバー内オゾン濃度を測定した。実験条件は、換気回数 $n:1.01$ (1/h)、温度:22.8 (°C)、相対湿度:26.4 (%)である。測定結果を図-3.2.2に示す。

機器 AC1、AC2、AC4、AC5 では、機器運転に伴うチェンバー内オゾン濃度の上昇は認められなかったが、静電集塵式の機器 AC3 では、オゾン濃度が 0.34 (ppm) まで上昇した。

ところで、試料空気中のオゾンは、DNPHカートリッジに捕集された DNPH-ホルムアルデヒド誘導体を分解し、測定結果に負の影響を与えることが指摘されている¹⁴⁾。そこで、測定の際には、オゾン除去するオゾンスクラバー (Waters 社製) 用いて、オゾン除去し、試料空気の捕集を行った。

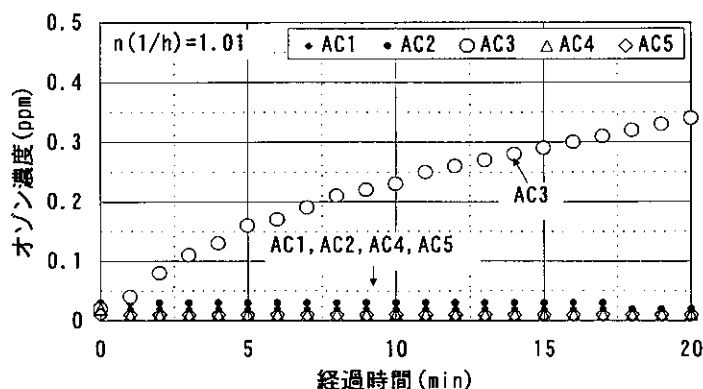


図-3.2.2 空気清浄機運転に伴うチェンバー内のオゾン濃度

(2) 空気清浄機のホルムアルデヒド除去特性

空気清浄機を運転しない期間(機器非運転期間)と空気清浄機を運転する期間(機器運転期間)におけるホルムアルデヒド濃度の経時変化を図3.2.3～3.2.7に示す。図中では、横軸に時間(min)、縦軸にチェンバー内のホルムアルデヒド濃度(ppb)を示している。機器非運転期間において、約1000(ppb)から700(ppb)までのホルムアルデヒドの濃度変位を測定し、機器運転期間においては、約700(ppb)から60(ppb)までの濃度変位を測定した。

また、機器運転期間における測定値を解析したところ、2つの直線にて回帰できることが分った。すなわち、運転開始直後から現れる急な勾配の直線(図中の実線Ⅰ)と、その後に現れる比較的緩やかな勾配の直線(図中の実線Ⅱ)である。前者の急な勾配(実線Ⅰ)の直線で回帰できる範囲にある測定値を(3)、(4)、(5)式に

代入して、相当換気回数 N (1/h)を求めた。結果を表-3.2.3に示す。さらに、実験的に得られたこれらの相当換気回数の平均値を(6)式に代入して、機器の平均的な相当換気量 Q_{eq} (m^3/h)を求めた。表-3.2.7に示すように、フィルタ濾過式の機器AC1、AC2、AC4、AC5の相当換気量 Q_{eq} は、8.10～19.9(m^3/h) (相当換気回数 N :15.3～37.8(1/h))であり、比較的大きな除去効果が示された。

しかし、静電集塵式の機器AC-3では、相当換気量 Q_{eq} はゼロに等しく、ホルムアルデヒドに対する除去効果は、全く期待できない結果となった。この主要原因として、除去方式がフィルタ濾過式である家庭用空気清浄機は、フィルタ部における吸着剤の使用量に依存した除去効果が期待できるものの、静電集塵式の機器では、このような除去効果がほとんど無かったものと考えられる。

尚、4.98(m^3)の気積を有するステンレス製のチェンバーで、同一の手法で除去評価実験を行った。例えば、機器AC2では、相当換気量 Q_{eq} で14.1～20.8(m^3/h)の評価値が得られた。本研究で用いたガラス製チェンバー(0.528 m^3)による実験から求められた評価値は、4.98(m^3)チェンバーの実験から求められた値の85～95(%)であった。

また、緩い勾配の直線で回帰される範囲の測定値は、汚染物質がフィルタ部で濾過された結果、現れたものと考えられる。この値は、測定時のバックグラウンド濃度とフィルタの性能により構成されているものと考えられる。この詳細な解析については、今後の課題とする。

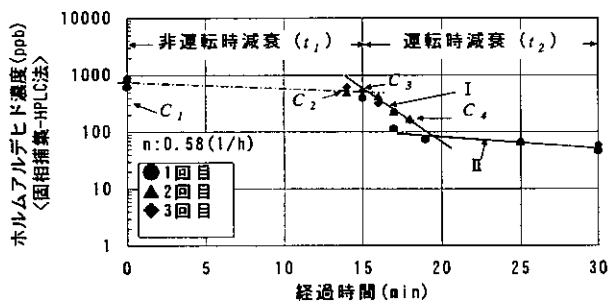


図-3.2.3 ホルムアルデヒド濃度の経時変化
(機器AC1)

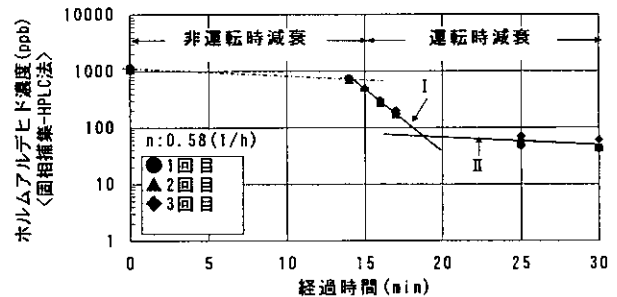


図-3.2.4 ホルムアルデヒド濃度の経時変化
(機器AC2)

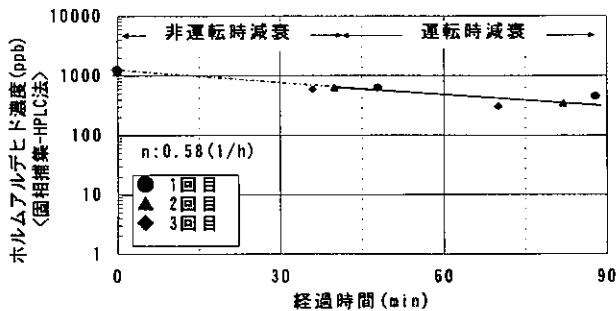


図-3.2.5 ホルムアルデヒド濃度の経時変化
(機器AC3)

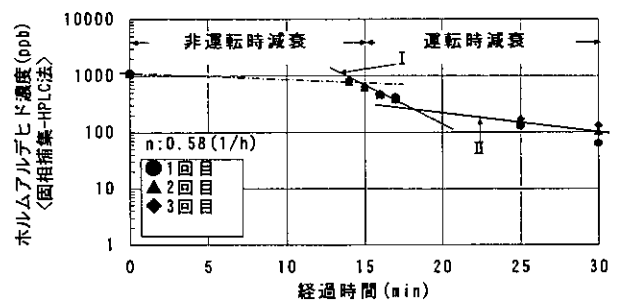


図-3.2.6 ホルムアルデヒド濃度の経時変化
(機器AC4)

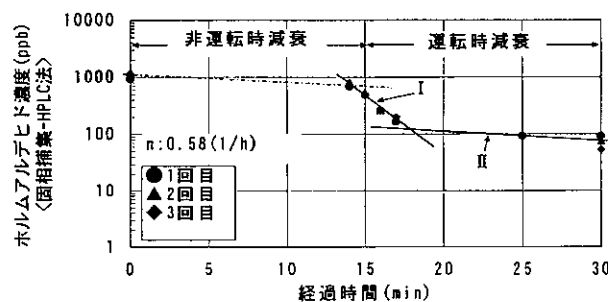


図-3.2.7 ホルムアルデヒド濃度の経時変化
(機器AC5)

表-3.2.6 空気清浄機ホルムアルデヒド
に対する除去特性(相当換気回数 N)

機器	換気回数	1回目	2回目	3回目	平均値
AC1	N ₁ (1/h)	1.80	2.49	1.58	1.96
	N ₂ (1/h)	37.2	38.4	31.6	35.7
	N(1/h)	35.4	35.9	30.0	33.8
AC2	N ₁ (1/h)	1.81	1.75	1.57	1.71
	N ₂ (1/h)	29.4	32.7	26.9	29.7
	N(1/h)	27.6	31.0	25.3	28.0
AC3	N ₁ (1/h)	0.90	0.87	1.08	0.95
	N ₂ (1/h)	0.48	0.89	1.18	0.85
	N(1/h)	-	0.02	0.10	0.06
AC4	N ₁ (1/h)	1.45	1.50	1.61	1.52
	N ₂ (1/h)	14.1	18.7	17.8	16.9
	N(1/h)	12.6	17.2	16.2	15.3
AC5	N ₁ (1/h)	1.26	1.75	2.20	1.73
	N ₂ (1/h)	37.1	43.4	38.0	39.5
	N(1/h)	35.8	41.7	35.8	37.8

表-3.2.7 空気清浄機ホルムアルデヒド
に対する除去特性(相当換気量 Q_{eq})

機器	相当換気量 Q _{eq} (m ³ /h)			
	1回目	2回目	3回目	平均値
AC1	18.7	19.0	15.9	17.8
AC2	14.6	16.3	13.4	14.8
AC3	-	0.01	0.05	0.03
AC4	6.67	9.09	8.54	8.10
AC5	18.9	22.0	18.9	19.9

(4) 光音響法の測定性¹⁵⁾

本研究では、測定値が瞬時に得られる光音響法でホルムアルデヒド濃度をモニタリングしながら、固相捕集-HPLC法による同時測定を行った。光音響法と固相捕集-HPLC法による測定値の相関関係を図-3.2.8に示す。図中では、横軸に固相捕集-HPLC法による濃度(ppb)、縦軸に光音響法によるホルムアルデヒド濃度(ppb)を示すものである。測定対象試料中にVOC等の干渉ガスがなく、また、測定対象濃度が150(ppb)を超える場合に、両測定法による測定値には高い相関(R²=0.90)が示されている。

しかし、光音響法と固相捕集-HPLC法による同時測定の結果、150(ppb)以下の濃度では両者の測定値は符合しない。つまり、測定対象濃度が150(ppb)以下の場合には、光音響法で評価することはできない。(図-3.2.9を参照のこと。)

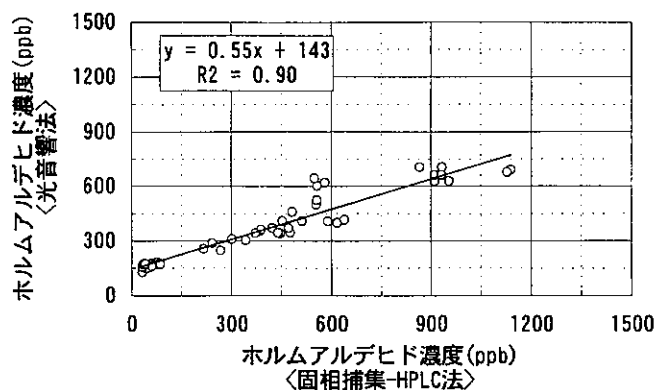


図 3.2.8 光音響法と固相捕集-HPLC法の相関関係

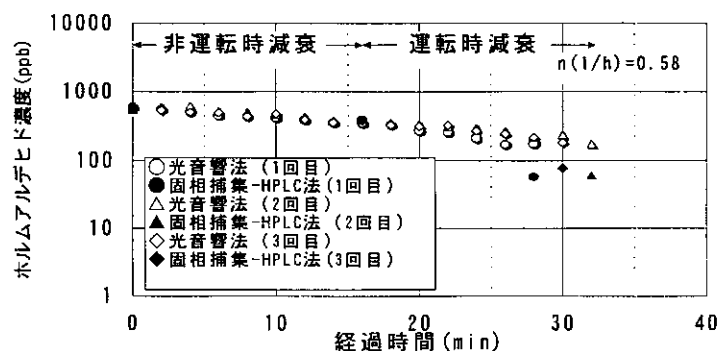


図 3.2.9 除去特性実験における光音響法と固相捕集-HPLC法の測定値の一例(機器 AC1)

3.2.4 考察

(1) 旧タイプの家庭用空気清浄機のホルムアルデヒド除去特性との比較^{4), 5), 6)}

野崎らは、1995年に量販店で購入した空気清浄機について、相当換気回数を用いて、ガス状物質の除去効果を求めている^{4), 5), 6)}。この時の実験条件は、室温:21.4(℃)、相対湿度:20.4(%)、実験チェンバーの気積:5.25(m³)、空気清浄機の処理風量:1.2～3(m³/h)(運転モード:強)である。ホルムアルデヒドの濃度変化の一例を図-3.2.10に示す。また、これらの実験結果から得られた相当換気回数N(1/h)、及び相当換気量Q_{eq}(m³/h)を表-3.2.8に示す。

機器AC8、AC9の相当換気量Q_{eq}は、1.47(m³/h)、2.47(m³/h)と、微小な除去効果が認められたものの、機器AC-6、7のQ_{eq}(m³/h)では、0.37以下とゼロに等しく、ホルムアルデヒドに対する除去効果は、全く期待できない。しかも、5年程前の空気清浄機は、運転モード「強」で相当換気量を評価しているにもかかわらず、ホルムアルデヒドに対する除去効果は小さい。

しかし、今回対象とした最新のフィルタ濾過式空気清浄機(AC1、AC2、AC4、AC5)では、運転モード「弱」で相当換気量を評価しているものの、相当換気量Q_{eq}は8.10～19.9(m³/h)の値を示しており、顕著な除去効果が認められている。この要因として、最新の空気清浄機では、活性炭の使用量が増加されたことや、活性炭に使用されている添着剤の改良が行われたこと等が考えられる。すなわち、機器のフィルタ部では活性炭による物理吸着量の増大に添着剤による化学吸着量の増大が付加され、結果として、機器のホルムアルデヒド除去性能の向上に結びついたものと考えられる。

特に、AC1、AC2、AC5については、必要換気量20～30(m³/h・人)に近い相当換気量を示し、これらの空気清浄機は、室内空気環境の改善に寄与できるものと考えられる。

表-3.2.8 空気清浄機のホルムアルデヒドに対する除去特性
(相当換気回数N、相当換気量Q_{eq})

機器	50Hz時の風量(m ³ /min)	フィルタの構造	製造(年)	相当換気回数N(1/h)	相当換気量Q _{eq} (m ³ /h)
AC6	2.3	プレフィルタ+脱臭フィルタ+活性炭フィルタ+静電フィルタ	1995	-	-
AC7	1.2	プレフィルタ+脱臭フィルタ+活性炭フィルタ	1995	0.07	0.37
AC8	1.9	プレフィルタ+脱臭フィルタ+活性炭フィルタ	1995	0.28	1.47
AC9	3	プレフィルタ+脱臭フィルタ+活性炭フィルタ	1995	0.47	2.47
AC10	-	静電フィルタ	1995	0.06	0.31

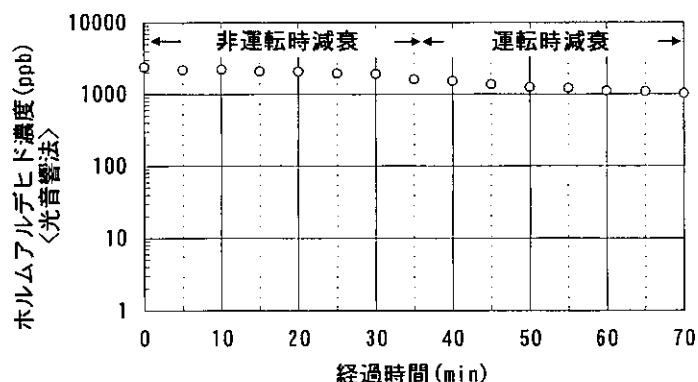


図-3.2.10 ホルムアルデヒド濃度変化の一例(機器AC8)

3.2.5 本章のまとめ

(1) 本研究の目的と内容

現在、家庭用空気清浄機のガス状物質除去に関する試験・評価法が確立しておらず、また、新たに開発された機器の室内浄化効果についても不明な点が多い。

そこで、本研究では、

- 1) 家庭用空気清浄機の定量的な室内空気浄化指標及び機器評価指標として「相当換気量」を提案する。
- 2) 化学物質除去を唱えている最新の家庭用空気清浄機を対象として、ホルムアルデヒド及びVOCs除去性能についての実験室実験を行い、評価値を得る。
- 3) 機器の違いと除去効果との関係についての検討を行う。

これらにより、最適な室内汚染低減化対策を確立するための基礎的資料を得るものである。

(2) 本研究における知見

本研究の範囲において、以下の知見を得ることが出来た。

- 1) 相当換気量を用いた家庭用空気清浄機のガス状物質除去特性に関する試験・評価法を具体的に提案した。
- 2) 家庭用空気清浄機のホルムアルデヒド除去特性に関する基礎的資料を得ることができた。すなわち、ホルムアルデヒドの除去効果に関して、最新のフィルタ濾過式の空気清浄機では、相当換気量 Q_{eq} が $8.10 \sim 19.9 (\text{m}^3/\text{h})$ であり、室内濃度低減効果を期待できうるものであった。一方、静電集塵式の空気清浄機に関しては、相当換気量はゼロに等しく、除去効果は認められなかった。
- 3) 家庭用空気清浄機からのオゾン発生が指摘されており、フィルタ濾過式と静電集塵式からのオゾン発生に関する実験を行った。フィルタ濾過式からのオゾン発生は認められず、静電式集塵機器からは、顕著なオゾン発生が確認された。また、ある室内環境条件下におけるオゾン濃度の上昇性を把握した。
- 4) 光音響法を用いて、本空気清浄機性能評価試験を実施する場合、測定対象濃度が $150 (\text{ppb})$ を超える場合には同法を用いての測定が可能であるが、それ以下の測定対象濃度の場合には何らかの補正を行う必要がある。
- 5) 最新の家庭用空気清浄機では、1995年頃に販売された機器と比較して、ホルムアルデヒド除去能力の向上が図られており、ホルムアルデヒド汚染に対する一つの室内浄化設計法として活用できうる可能性を示した。

(2) 今後の課題

以下の事項が今後の課題として挙げられる。

- 1) 多くの家庭用空気清浄機がVOCs、 NO_x の除去を唱っており、これらの機器の同物質の除去特性を把握する。
- 2) 各種共存汚染物質が機器のホルムアルデヒド、VOC除去特性に及ぼす影響を把握する。

3.2.6 引用文献

- 1) 吉澤晋、菅原文子、小竿真一郎：空気清浄装置の粉塵捕集率と室内浄化性能、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.799～800、1988年
- 2) M.Ohmura, T.Irie, K. Ikeda et al.: On Comparison of Performance between Filter Type and Ion Type Domestic AirPurifiers, Proc.of the 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Vol.2, pp.185～188, 1996
- 3) 日本電気工業会：家庭用空気清浄機、JEM-1467、1995年
- 4) 野崎淳夫、吉澤晋：家庭用空気清浄機汚染物質除去特性に関する研究、日本労働衛生工学会、講演抄録集、pp.81～82、1998年
- 5) 野崎淳夫、池田耕一、吉澤晋、入江建久、飯倉一雄：家庭用空気清浄機におけるガス状物質の除去特性に関する研究、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.61～64、1997年
- 6) 野崎淳夫、池田耕一、吉澤晋、入江建久、飯倉一雄：我が国における室内化学汚染物質汚染低減化対策の現状について、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、Ⅱ巻、pp.621～624、1998年
- 7) 羽田崇秀、長谷川麻子、小峯裕己：家庭用空気清浄機によるホルムアルデヒド(HCHO)除去性能の評価に関する研究、(その1)化学物質除去基本性能評価用試験装置の性能について、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.521～524、2000年
- 8) L.Erdinger, M.Durr, F.Hammes, H.G.Sonntag: Performance of a Modular Room Air Cleaner, Proc. of the 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Vol.4, pp.193～198, 1996
- 9) 環境庁大気保全局大気規制課：有害大気汚染物質測定方法マニュアル、pp.41～46、1996年
- 10) 野崎淳夫、飯倉一雄、大澤元毅、吉澤晋：家庭用空気清浄機によるホルムアルデヒドの除去特性に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、2001年
- 11) 野崎淳夫、飯倉一雄、大澤元毅、吉澤晋：家庭用空気清浄機による室内化学物質の除去特性に関する研究、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、2001年
- 12) 吉澤晋他：衣服と住まいの健康学、大修館書店、1984年
- 13) 野崎淳夫、飯倉一雄、池田耕一、吉澤晋：オゾン発生源による室内空気汚染に関する研究(第2報)、日本空気清浄協会第19回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集、pp.273～274、2000年
- 14) R.R.Arnts, S.B.Tejada: 2,4-Dinitrophenylhydrazine-coated Silica Gel Cartridge Method for Determination of Formaldehyde in Air, Identification of an Ozone Interference, Environmental Science Technology, Vol.23, pp.1428～1430, 1989
- 15) 野崎淳夫、飯倉一雄、吉澤晋、池田耕一、堀雅宏：室内化学物質汚染低減化対策としてのベイクアウトの効果(その1)、室内VOC、ホルムアルデヒド汚染に関する研究(その2)、日本建築学会計画系論文集、No.530、pp.61～66、2000年
- 16) 野崎淳夫、飯倉一雄、大澤元毅、吉澤晋：家庭用空気清浄機のガス状物質除去特性に関する研究、ホルムアルデヒド除去効果、日本建築学会計画系論文集、No.554、pp.35～40、2002年