

家庭用空気清浄機による揮発性有機化合物除去性能の比較

山口県環境保健研究センター

洲村 弘志・長田健太郎・松田 義彦・有田 正義

Comparison of Volatile Organic Compounds Removal Efficiency by Home Air Cleaner

Hiroshi SUMURA, Kentaro OSADA, Yoshihiko MATSUDA, Masayoshi ARITA

Yamaguchi Prefectural Research Institute of Public Health

はじめに

オイルショック以降産業界では省エネルギー化が図られ、住宅業界でも当然その流れが進んだ。その結果、高気密・高断熱住宅が増加していったが、同時にシックハウス症候群という新たな健康被害を生み出すこととなった。これには、室内の新建材や生活用品から発生するホルムアルデヒドやトルエン等の揮発性有機化合物 (VOCs) が関与していると言われている。このような室内空気汚染は、従来の住宅構造では風通しの良さから問題とならなかったが、住宅の気密性や断熱性が向上したために表面化してきた。

これに対し室内空気を浄化する方法として、家庭用の空気清浄機が近年普及しつつある。これらの性能には、集塵、脱臭、抗菌、抗ウイルス、抗カビ、窒素酸化物除去などのほかに、VOCs除去を挙げる機種が増えてきている。しかし、家庭用空気清浄機規格の性能試験には、タバコの燃焼成分に対する脱臭性能 (アンモニア、アセトアルデヒド、酢酸) と集塵性能 (粉塵) が必要とされており¹⁾、その他の除去性能については明記されていない。また、空気清浄機による VOCs の除去性能試験に関する報告は、最近になって出始めたばかりである²⁻⁹⁾。

そこで今回我々は、ステンレス製の無臭室 (約6m³) を使い、市販の家庭用空気清浄機3機種によるホルムアルデヒド等代表的な VOCs 7 種の除去性能の比較を行った。その結果について報告する。

調査方法

1 無臭室

図1に実験を行った無臭室の略図を示す。材質はステンレスで、1.44m×1.69m×2.45m≒6m³の広さがある。正面の扉から中に入ることができ、側面の小窓から物の出し入れも可能である。また、天井のファンで室内の空気を攪拌でき、ダクトを使って機械的に排

気もできる。小窓の横には小さな穴があり、これをサンプリング口として使用した。

無臭室内の VOCs ブランク濃度を低減化するために、一連の実験を行う前には必ず換気を行った。その方法は、扉や小窓を全開し、ファンを回しながらダクトによる機械的排気を行うもので、これを1時間以上続けて無臭室内空気を清浄化した。

2 VOCs の発生方法

清浄化した無臭室の扉、小窓、ダクトを閉め、ホットプレートの電源を入れ、ファンを回した。10分後に、表1に示す VOCs 7 種のメタノール混合溶液 1mL を入れた 50mL ビーカーを、小窓からホットプレートの上に置いた。溶液は数分ですべて蒸発したが、15分間はホットプレートの加熱を続け、その後電源を切った。ファンはさらに15分間回し続け、十分に無臭室内の空気を均一化した後に止めた。なお、ホットプレートの電源とファンは、無臭室の外から操作できるため、無臭室は小窓を開ける時以外は密閉された状態である。

表1 メタノール 1L 中の VOCs 混合容量

アルデヒド	ホルムアルデヒド	0.5mL
脂肪族炭化水素	ヘキサン	1.0mL
	オクタン	4.0mL
芳香族炭化水素	ベンゼン	1.0mL
	トルエン	2.0mL
ハロゲン炭化水素 アルコール	クロロホルム	0.5mL
	エタノール	1.0mL

3 サンプリング方法

サンプリングは、無臭室中央の高さ1.2m地点からサンプリング口までシリコンチューブをのぼし、無臭室の外で行った。捕集管は、ホルムアルデヒドには Waters の Sep-PakDNPH カートリッジ shortbody

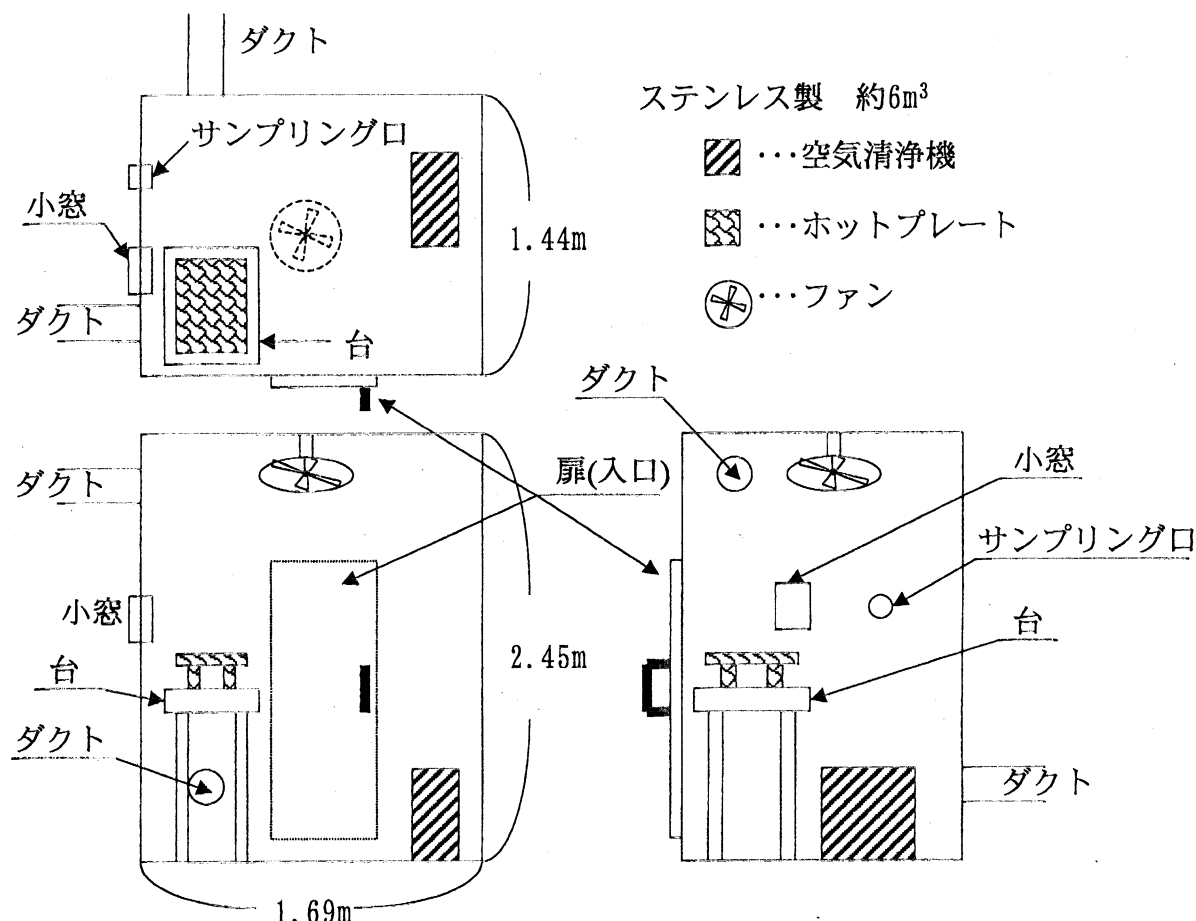


図1 無臭室略図 (上左: 平面図, 下左: 正面図, 下右: 側面図)

を、ホルムアルデヒドを除く6種のVOCsには柴田科学のチャコールチューブ単層型を用いた。遮光しながら、500mL/分で30分吸引し、積算流量が約15Lとなるように採取を行った。サンプリング終了後は、それぞれの捕集管の両端にフタをして、アルミホイル等で遮光し、分析に用いるまで活性炭入りのタイトボックスで冷凍保存した。

また、サンプリング中は無臭室内中央で温度と湿度を1分毎に測定し、30分間の平均値をサンプリング時の温度、湿度として表した。

試験は以下の(1)~(3)について行った。

(1) 無臭室の密閉性試験

VOCsを発生させた直後に初期濃度をサンプリングした。そのままの状態に30分間放置した後、30分自然減少濃度をサンプリングした。

(2) 空気清浄機によるVOCs濃度の除去性能試験

(1)と同様に初期濃度をサンプリングした後、無臭室の外から空気清浄機をリモコンで起動させた。風量はすべての空気清浄機で3m³/分に統一した。30分後に空気清浄機を止め、すぐに30分減少濃度をサンプリングした。

(3) ブランク試験

清浄化した無臭室を閉め切った状態で30分間放置した後に、ブランク濃度をサンプリングした。以下に示す各VOCsの濃度は、ブランク濃度を引いた値である。

4 分析方法

(1) ホルムアルデヒド

捕集管からアセトニトリル5mLでゆっくりとDNPH誘導体を溶出し、5mLにメスアップしてサンプルとした。分析はHPLC(東ソー 8020シリーズ)で行った。分析条件を表2に示す。定量はピーク面積による検量線法で行った。

表2 HPLC分析条件

カラム	Discovery RP-Amide C16 粒径5 μ m 4.6mm $\times$ 250mm
移動相	アセトニトリル:水=45:55
流量	1.5mL/分
試料注入量	20 μ L
カラム温度	40 $^{\circ}$ C
検出器	UV 360nm

(2) ホルムアルデヒドを除く VOCs

二硫化炭素1mLを入れたバイアル瓶に、捕集管から活性炭を取り出して入れ、軽く振り混ぜた。2時間静置した後に内部標準物質トルエン-d₈の1000 μg/mL二硫化炭素溶液を5 μL加えた。均一に振り混ぜた後、別のバイアル瓶に上澄み溶液を取り出してサンプルとした。分析はGC/MS (HP 5890-II/5971)で行った。分析条件を表3に示す。定量は内部標準物質とのピーク面積比による検量線法で行った。

表3 GC/MS分析条件

カラム	DB-1 膜厚1mm 0.25mm×60m
カラム温度	40℃×5分→10℃/分→300℃×3分
カラムヘッド圧	14.5psi
キャリアガス	He
試料注入法	スプリット (スプリット比1:10)
試料注入量	1 μL
注入口温度	250℃
イオン源温度	220℃
検出法	SIM

結果と考察

1 無臭室の密閉性試験

まず、無臭室の密閉性を確認するために、VOCs濃度の自然減少を測定した。各VOCsの濃度とサンプリング時の温度、湿度を表4に示す。サンプリングは2回 (run1とrun2) 行ったが、run1とrun2で濃度に多少の差が見られ、またオクタンやトルエンのように30分自然減少濃度が初期濃度より高くなるVOCsもあった。これは、サンプリング中はファンを止めていたために、無臭室内のVOCs濃度が不均一になったことが原因ではないかと考えられる。また、捕集管までの経路に使用したシリコンチューブへのVOCsの吸着や、サンプリング時の温度、湿度の違いなども影響を与えた可能

性があると思われる。

次に、30分自然減少率 [%] = $100 \times \{1 - (30 \text{分自然減少濃度}) / (\text{初期濃度})\}$ と定義して、表4の値を使って計算を行い、run1とrun2の平均値を図2に示した。その結果エタノールが20%を少し超える程度で最も高く、その他のVOCsは20%以下であった。このことは、家庭用空気清浄機規格の集塵性能試験で必要とされる測定室の密閉度が30分で80%以上¹⁾という条件をほとんど満たしており、無臭室の密閉度は問題ないと判断した。

2 空気清浄機によるVOCs濃度の除去性能試験

今回使用した3機種の空気清浄機について、カタログに掲載されている有害物質除去性能を表5にまとめた。VOCs類の除去に関しては、空気清浄機Ⅰはフィルターで吸着するタイプ、空気清浄機Ⅱはプラズマで分解してフィルター吸着するタイプ、空気清浄機Ⅲは光触媒で分解するタイプである。

これらの空気清浄機を使ったVOCs除去性能試験について、各VOCsの濃度とサンプリング時の温度、湿度を表6～表8に示す。密閉性試験と同様にサンプリングは2回 (run1とrun2) 行った。まず、すべての試験を通してホルムアルデヒド、ヘキサン、オクタン、エタノールの初期濃度が安定しなかった。また表7のオクタンやエタノールのようにrun1とrun2で30分減少濃度に大きな差が見られるVOCsや、表8のオクタンやトルエンのように30分減少濃度が初期濃度より高いVOCsも見られた。これらもサンプリング中にファンを止めていたために、無臭室内のVOCs濃度が不均一になったことが最大の原因と考えられ、温度、湿度などの条件も試験毎に異なったために多少影響したのではないかと推察される。

表4 自然減少測定時のVOCs濃度とサンプリング時の温度、湿度

	run1		run2	
	初期濃度	30分自然減少濃度	初期濃度	30分自然減少濃度
ホルムアルデヒド	77 μg/m ³	56 μg/m ³	90 μg/m ³	80 μg/m ³
ヘキサン	140	120	96	89
オクタン	160	230	190	220
ベンゼン	110	110	98	97
トルエン	150	160	150	160
クロロホルム	110	100	96	93
エタノール	96	66	95	79
平均温度 [℃]	33	30	32	29
平均湿度 [%]	44	52	41	49

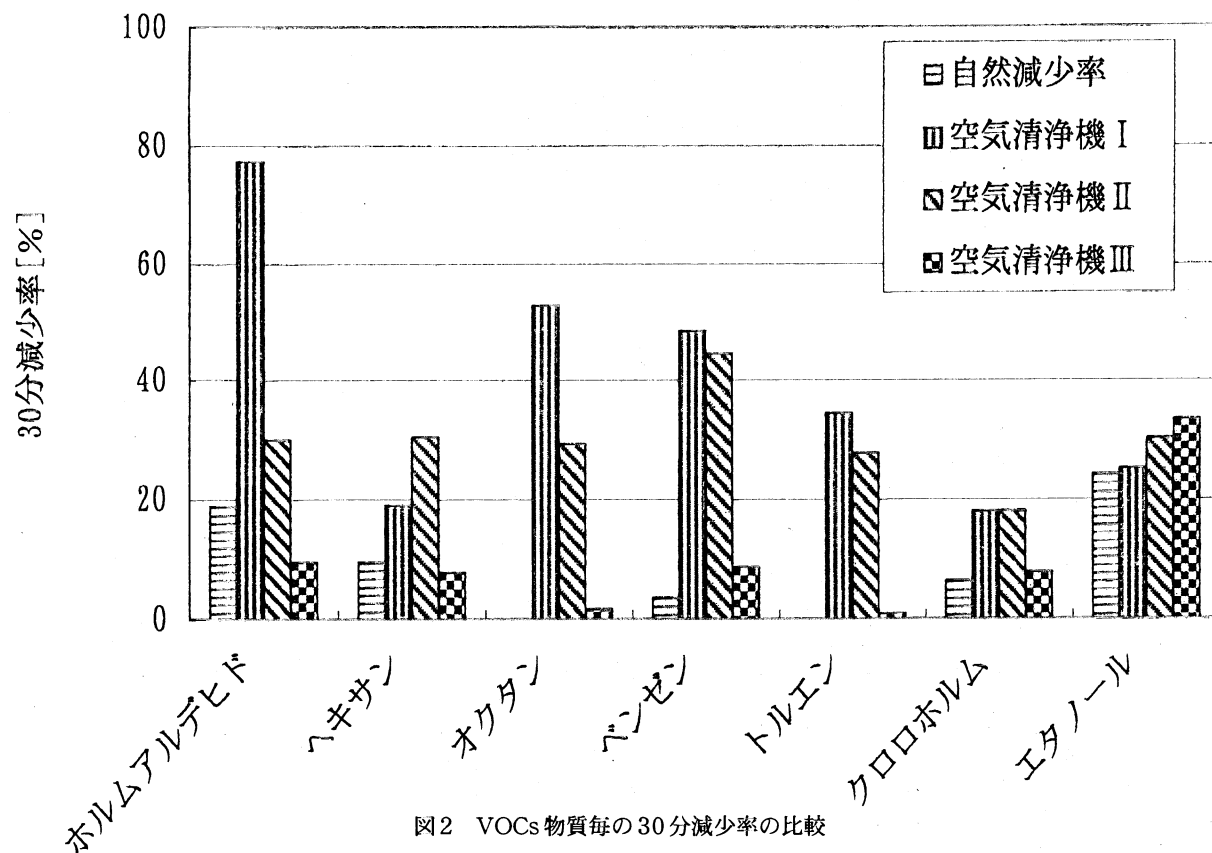


図2 VOCs 物質毎の30分減少率の比較

表5 カタログに掲載されている有害物質除去性能

		空気清浄機 I	空気清浄機 II	空気清浄機 III
適用床面積		18畳	21畳	18畳
除去性能	集塵	フィルター吸着	フィルター吸着	プラズマ+フィルター吸着
	脱臭	フィルター吸着	プラズマ分解+フィルター吸着	光触媒分解
	抗菌	フィルター吸着	フィルター吸着	プラズマ+フィルター吸着 光触媒不活化
	VOCs類	フィルター吸着	プラズマ分解+フィルター吸着	光触媒分解

表6 空気清浄機 I の試験での VOCs 濃度とサンプリング時の温度、湿度

	run1		run2	
	初期濃度	30分減少濃度	初期濃度	30分減少濃度
ホルムアルデヒド	59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
ヘキサン	170	140	100	78
オクタン	170	67	95	51
ベンゼン	110	57	94	50
トルエン	150	92	120	83
クロロホルム	110	92	100	79
エタノール	68	51	50	52
平均温度 [°C]	29	27	28	26
平均湿度 [%]	58	67	55	64

表7 空気清浄機Ⅱの試験でのVOCs濃度とサンプリング時の温度、湿度

	run1		run2	
	初期濃度	30分減少濃度	初期濃度	30分減少濃度
ホルムアルデヒド	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
ヘキサン	100	66	160	120
オクタン	170	100	140	120
ベンゼン	90	45	97	59
トルエン	120	79	120	92
クロロホルム	90	69	96	84
エタノール	62	31	47	42
平均温度 [°C]	30	28	30	28
平均湿度 [%]	54	61	58	66

表8 空気清浄機Ⅲの試験でのVOCs濃度とサンプリング時の温度、湿度

	run1		run2	
	初期濃度	30分減少濃度	初期濃度	30分減少濃度
ホルムアルデヒド	110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
ヘキサン	160	140	93	91
オクタン	250	250	160	230
ベンゼン	110	100	94	95
トルエン	160	150	130	160
クロロホルム	110	97	98	94
エタノール	140	91	52	55
平均温度 [°C]	35	33	33	31
平均湿度 [%]	39	45	55	62

そこで比較を行いやすいように、30分減少率 [%]
 $= 100 \times \{1 - (30\text{分減少濃度}) / (\text{初期濃度})\}$ と定義して、表6～表8の値を使って計算を行い、run1とrun2の平均値を図2に示した。

空気清浄機Ⅰでは、ホルムアルデヒドで70%以上の30分減少率を示しており、フィルター吸着により有害物質を除去するタイプの空気清浄機でこれまでに報告されてきた値^{2), 7)}と同等かそれ以上の結果となった。また、オクタン・ベンゼンは約50%、トルエンは約30%であり、まずまずの減少率が得られた。一方エタノールは約20%の減少率で、30分自然減少率とほとんど変わらなかった。このように、今回の試験条件では、エタノールを除くVOCsの除去に対してフィルタータイプの空気清浄機が効果があることがわかった。

次に空気清浄機Ⅱでは、ヘキサンで空気清浄機Ⅰよりも高い値を示したが、その他のVOCsでは空気清浄機Ⅰと同程度かそれよりも低かった。これは、フィルターの差と考えられ、今回の試験条件では運転時間が30分と短かったためにプラズマ分解の効果はあまり見

られなかった。

最後に空気清浄機Ⅲでは、エタノールを除き空気清浄機Ⅰ、Ⅱよりもかなり低く、ホルムアルデヒドとヘキサンでは、30分自然減少率よりも低くなった。またこれまでに報告された光触媒で有害物質を分解するタイプの空気清浄機での値^{6), 8)}と比べても低い結果であった。今回の試験では空気清浄機の運転時間が30分であるのに対し、これらの報告値^{6), 8)}は1日～数日と長く、この差が原因で減少率が低かったのではないかと考えられる。

以上VOCs除去性能に関して3機種の空気清浄機を比較してみると、VOCs濃度が100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度、風量3 $\text{m}^3/\text{分}$ で30分運転という条件では、空気清浄機Ⅰ＞空気清浄機Ⅱ＞空気清浄機Ⅲの順序であった。つまりこの条件では、VOCsを分解して除去するタイプよりもフィルターで吸着させるタイプの空気清浄機がVOCs除去に有効であった。

ま と め

市販の家庭用空気清浄機3機種について、VOCs除去性能試験を行った結果、空気清浄機Ⅰを風量3 m³/分で30分運転すると、ホルムアルデヒドが70%以上減少した。またオクタン・ベンゼンが約50%、トルエンが約30%、ヘキサン・クロロホルム・エタノールが約20%の減少率であった。一方空気清浄機Ⅱでは、空気清浄機Ⅰには劣るものの、各物質で約20%~40%の減少率を示した。また空気清浄機Ⅲでは、エタノールが約30%の減少率であったが、他はすべて10%以下であり、VOCs除去性能に関しては他の2機種に比べて劣っていた。空気清浄機Ⅱ、Ⅲについては、VOCsを分解して除去するタイプであるため、運転時間を長くすれば効果が上がるのではないかと考えられる。

謝 辞

本研究で空気清浄機に関する情報の提供や空気清浄機の使用にご協力頂いた県消費生活センターの久野朗主任(現廃棄物・リサイクル対策課主任)と伊東史代技師(現徳山健康福祉センター技師)に心より感謝いたします。

参考文献

- 1) 日本電機工業会規格 JEM1467 家庭用空気清浄機 (1995)
- 2) 田代義和ほか：臭気の研究 30 (1) 34~38 (1999)
- 3) 関根嘉香ほか：資源環境対策 35 (5) 441~446 (1999)
- 4) 房家正博ほか：環境化学 9 (1) 39~52 (1999)
- 5) 房家正博ほか：第40回大気環境学会年会要旨集 374 (1999)
- 6) 田原修ほか：島津評論 56 (3・4) 157~161 (2000)
- 7) 箭内慎吾ほか：第41回大気環境学会年会要旨集 543 (2000)
- 8) 森康明ほか：第9回環境化学討論会要旨集 552~553 (2000)
- 9) 原英司ほか：第9回環境化学討論会要旨集 152~153 (2000)