

図-12 Ethylbenzene 定常状態確認試験

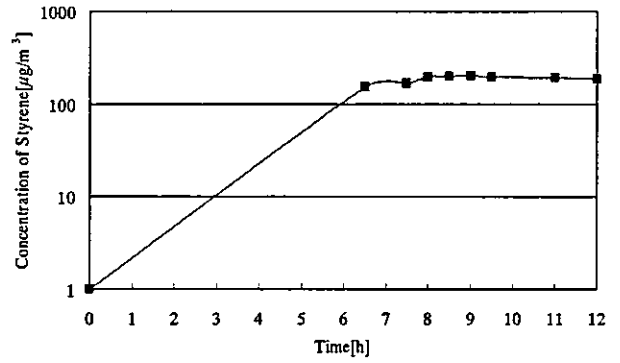


図-14 Styrene 定常状態確認試験

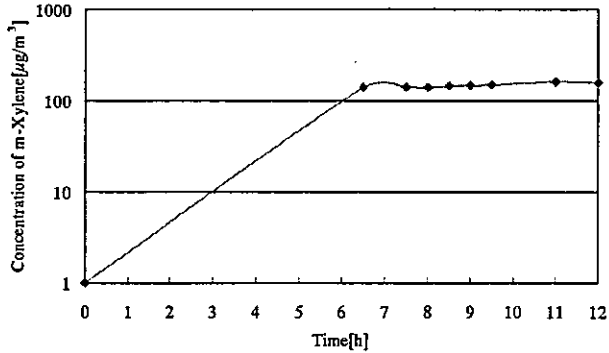


図-13 m-Xylene 定常状態確認試験

表-5 VOC 濃度変化

	機器名	機器非運転期間 (平均濃度)	機器運転期間 単位: [μg/m³]	運転モード	除去対象濃度
Etylbenzene (3rd)	AC-2	122	~ 83.9	弱	高濃度
m-Xylene (3rd)		130	~ 90.3		
Styrene (3rd)		159	~ 122		
Etylbenzene (4th)		207	~ 148		
m-Xylene (4th)		196	~ 125		
Styrene (4th)		301	~ 179		
Etylbenzene (5th)		185	~ 99.1	超急速	
m-Xylene (5th)		203	~ 98.2		
Styrene (5th)		235	~ 145		
Etylbenzene (6th)		170	~ 88.3		
m-Xylene (6th)		177	~ 78.0		
Styrene (6th)		240	~ 110		

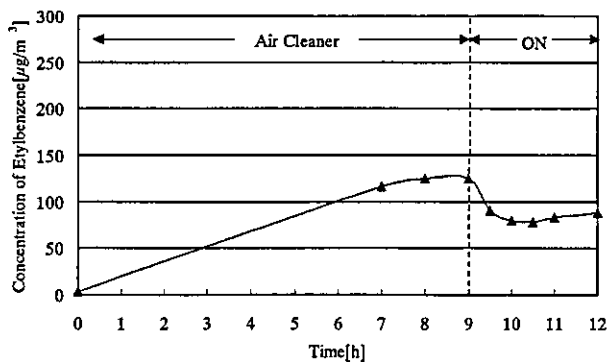


図-15 機器運転に伴うEthylbenzene濃度の経時変化 (3rd)

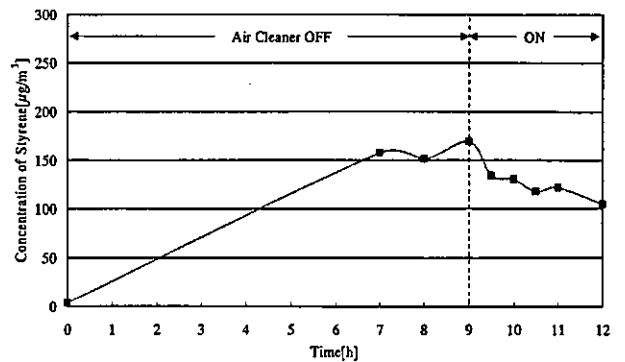


図-16 機器運転に伴うm-Xylene濃度の経時変化 (3rd)

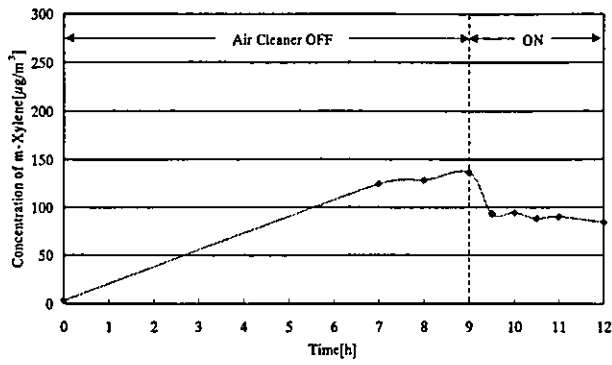


図-17 機器運転に伴うStyrene濃度の経時変化 (3rd)

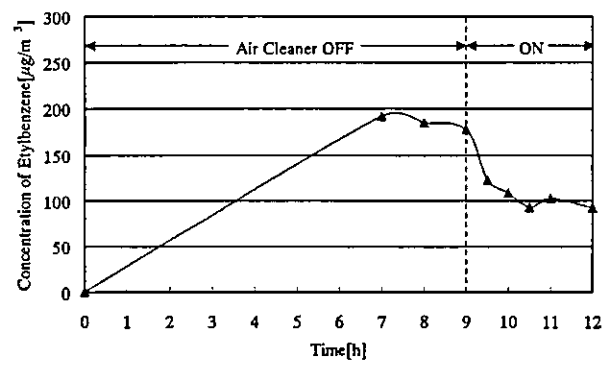


図-21 機器運転に伴うEthylbenzene濃度の経時変化 (5th)

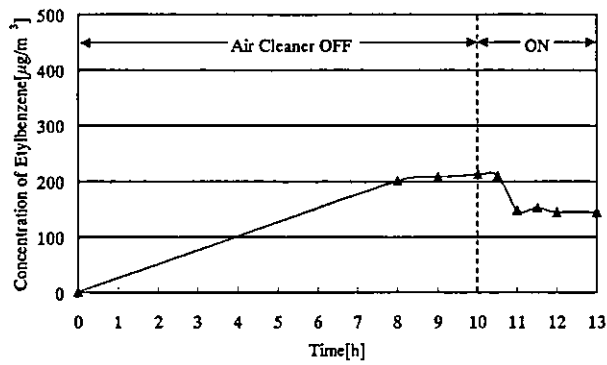


図-18 機器運転に伴うEthylbenzene濃度の経時変化 (4th)

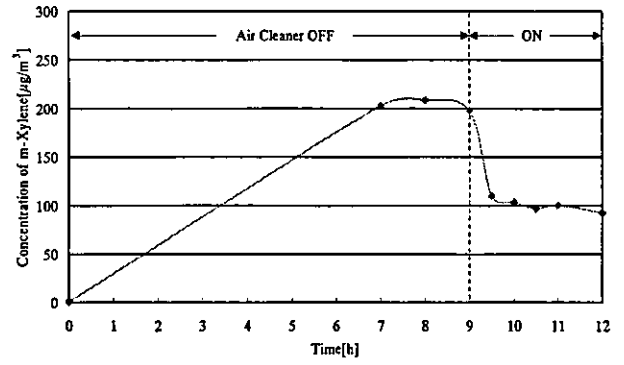


図-22 機器運転に伴うm-Xylene濃度の経時変化 (5th)

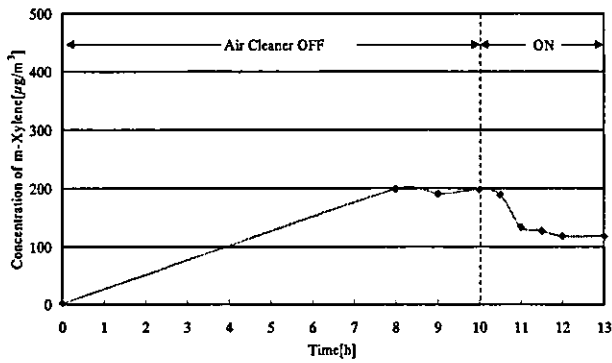


図-19 機器運転に伴うm-Xylene濃度の経時変化 (4th)

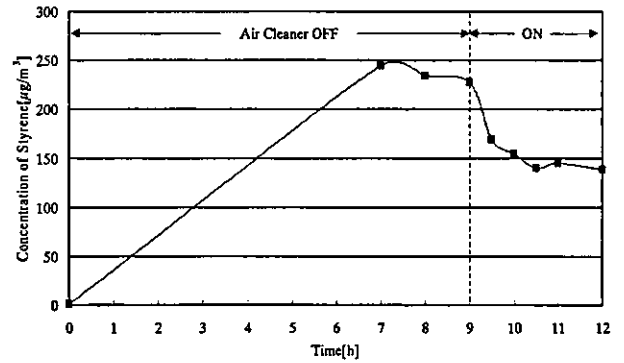


図-23 機器運転に伴うStyrene濃度の経時変化 (5th)

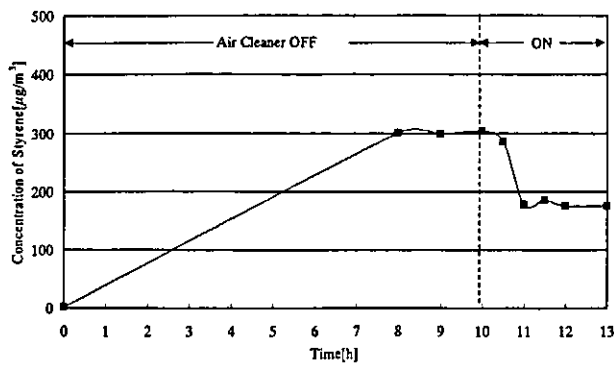


図-20 機器運転に伴うStyrene濃度の経時変化 (4th)

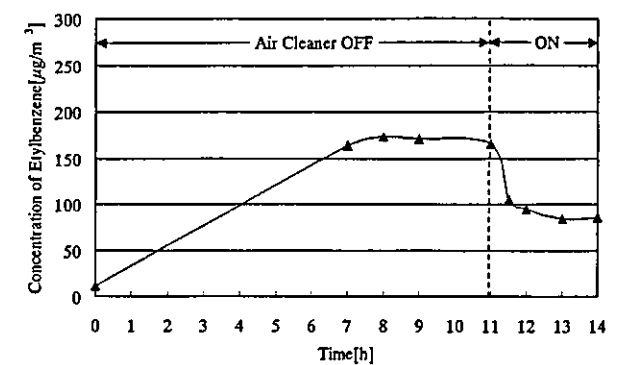


図-24 機器運転に伴うEthylbenzene濃度の経時変化 (6th)

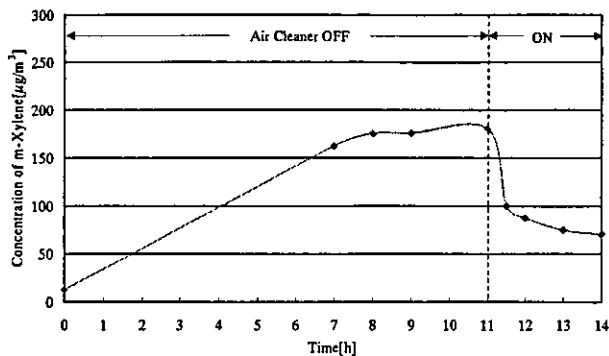


図-25 機器運転に伴うm-Xylene濃度の経時変化 (6th)

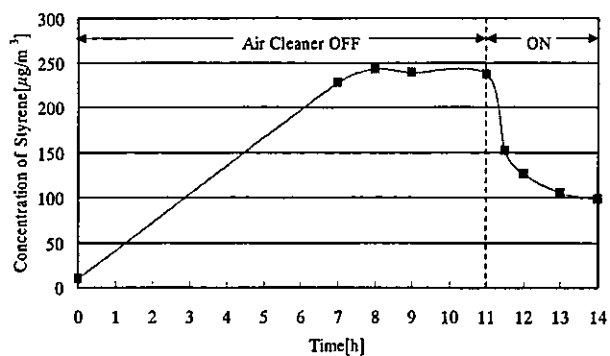


図-26 機器運転に伴うStyrene濃度の経時変化 (6th)

## 2. 化学物質除去性能

### (1) Formaldehyde

実験室実験により測定されたFormaldehyde濃度の経時変化から(8)式を用いて相当換気量( $Q_{eq}$ )の算出を行った。

求められた機器のFormaldehyde相当換気量を表-6、図-27に示す。

機器、除去対象濃度別での $Q_{eq}$ は大きな差が認められなかった。また、機器風量が増大するにつれ $Q_{eq}$ が増大する結果となった。

表-6 Formaldehyde 相当換気量

	機器名	$Q_{eq}$ [ $\mu\text{g}/\text{h}$ ]	運転モード	除去対象濃度
Formaldehyde (1st)	AC-1	16.4	弱	低濃度
Formaldehyde (2nd)		17.5		
Formaldehyde (3rd)	AC-2	16.1		高濃度
Formaldehyde (4th)		17.5		
Formaldehyde (5th)		24.8	超急速	
Formaldehyde (6th)		25.7		

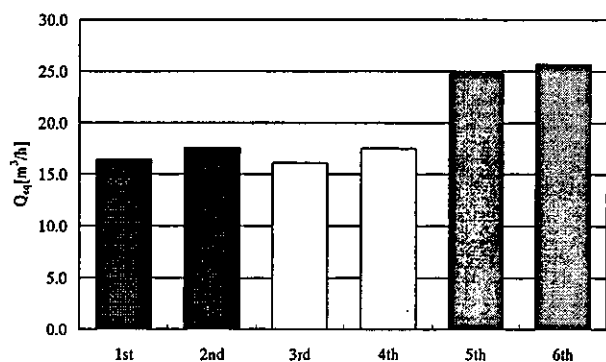


図-27 Formaldehyde 相当換気量

### (2) VOC

実験室実験により測定されたVOC濃度の経時変化から(8)式を用いて相当換気量( $Q_{eq}$ )の算出を行った。

求められた機器のVOC相当換気量を表-2.1.2.2、図-28~30に示す。

Formaldehydeの場合と同様に、機器風量が増大するにつれ $Q_{eq}$ が増大する結果となった。

表-7 VOC相当換気量

	機器名	Qeq [μg/h]	運転モード	除去対象濃度
Etylbenzene (3rd)	AC-2	36.3	弱	高濃度
m-Xylene (3rd)		32.5		
Styrene (3rd)		35.8		
Etylbenzene (4th)		29.6		
m-Xylene (4th)		37.5		
Styrene (4th)		26.4		
Etylbenzene (5th)		46.6	超強風	
m-Xylene (5th)		41.5		
Styrene (5th)		33.2		
Etylbenzene (6th)		50.5		
m-Xylene (6th)		51.6		
Styrene (6th)		44.3		

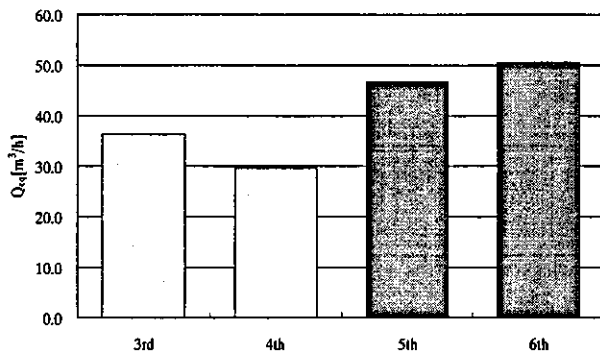


図-28 Ethylbenzene 相当換気量

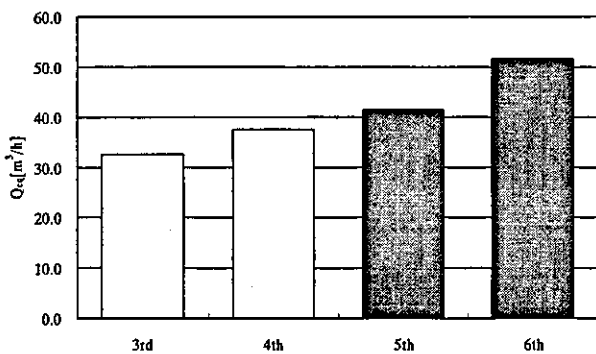


図-29 m-Xylene 相当換気量

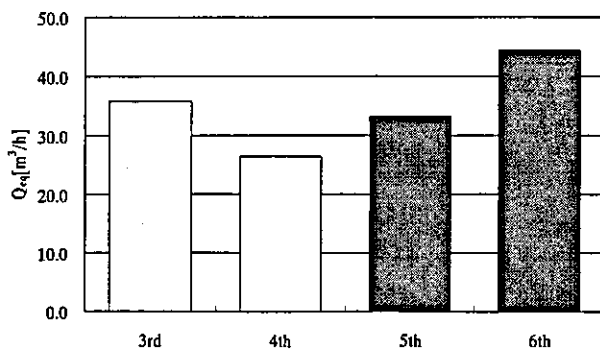


図-30 Styrene 相当換気量

### 3. 室内濃度予測手法

空気清浄機使用室のガス状汚染物質濃度予測式の理論的検討を行った。以下に理論式を示す。

ある任意時刻の室内濃度を  $C$  [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ppb] とすると、ある限られた短時間  $dt$  [h] における室内汚染物質濃度の変化  $dC$  [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ppb] は、次式(9)で表される。

$$\frac{dt}{R} (M + QC_0 - QC - VtSC - \alpha RC - Q_{eq}C) = dC - (9)$$

ここで、 $M$ : 汚染物質発生量 [ $\mu\text{g}/\text{h}$ ,  $\mu\text{l}/\text{h}$ ]、 $Q$ : 室換気量 [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]、 $C_0$ : 外気濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ppb]、 $Vt$ : 汚染物質落下速度 [ $\text{m}/\text{h}$ ]、 $S$ : 床面積 [ $\text{m}^2$ ]、 $\alpha$ : 室の汚染物質吸着率 [ $1/\text{h}$ ]、 $R$ : 室の気積 [ $\text{m}^3$ ]、 $Q_{eq}$ : 相当換気量 [ $\text{m}^3/\text{h}$ ] とした。

$t=0$  [h] の時、室内汚染物質濃度を  $C_1$  [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ppb] とし、 $C=C_1$  として(9)式を解くと、次式(10)が得られる。

$$C = C_1 e^{-\left(\frac{Q}{R} + \frac{VtS}{R} + \alpha + \frac{Q_{eq}}{R}\right)t} + \frac{M + QC_0}{Q + VtS + \alpha R + Q_{eq}} \left(1 - e^{-\left(\frac{Q}{R} + \frac{VtS}{R} + \alpha + \frac{Q_{eq}}{R}\right)t}\right) \quad (10)$$

ガス状物質の場合、物質の落下速度が比較的小さいため  $Vt=0$  とすると次式(11)が得られる。

$$C = C_1 e^{-\left(\frac{Q}{R} + \alpha + \frac{Q_{eq}}{R}\right)t} + \frac{M + QC_0}{Q + \alpha R + Q_{eq}} \left(1 - e^{-\left(\frac{Q}{R} + \alpha + \frac{Q_{eq}}{R}\right)t}\right) \quad (11)$$

また、対象汚染物質の吸着面への吸着速度  $a$  [ $\text{m}/\text{s}$ ]、室の全吸着面積  $A$  [ $\text{m}^2$ ] とすると、次式(12)が成立する。

$$\alpha = \frac{aA}{R} \quad (12)$$

(12)式を、(11)式へ代入すると、室内の汚染物質

濃度予測式、(13)式が得られる。

$$C = C_1 e^{-\frac{(Q+aA+Q_{eq})t}{R}} + \frac{M + QC_0}{Q + aA + Q_{eq}} (1 - e^{-\frac{(Q+aA+Q_{eq})t}{R}}) \quad (13)$$

本式により、家庭用空気清浄機使用室の汚染物質濃度予測が実現する。

## 2. 4. 予測精度の検証

### (1) Formaldehyde

実験室実験により実験チェンバー内の濃度減衰性を測定した結果から得られた  $Q_{eq}$  を (13) 式に

代入し Formaldehyde 濃度予測値を算出し、濃度実測値との比較を行った。また、Formaldehyde 符合率の算出し、精度の確認を行った。

Formaldehyde 濃度予測値と濃度実測値との比較を表-8、図-3 1~3 6に示す。

定常法除去性能試験における Formaldehyde 濃度の符合率は 機器、機器風量、除去対象濃度別のいずれの場合でも 87.8~99.8[%]、平均で 96.0[%]であり非常に高い精度で符合した。

表-8 Formaldehyde 符合率

	機器名	運転モード	除去対象濃度	符合率[%]						
				30min	60min	90min	120min	150min	180min	
Formaldehyde(1st)	AC-1	弱	低濃度	99.5	91.7	98.8	99.8	—	98.8	
Formaldehyde(2nd)				93.3	91.4	96.1	98.4	—	96.2	
Formaldehyde(3rd)				87.8	99.9	97.0	89.7	—	97.2	
Formaldehyde(4th)	AC-2		超強風	高濃度	89.8	96.8	99.4	—	98.0	—
Formaldehyde(5th)					93.7	92.7	97.6	96.3	—	96.7
Formaldehyde(6th)					97.8	95.3	—	98.8	—	99.0
AVERAGE				96.0						

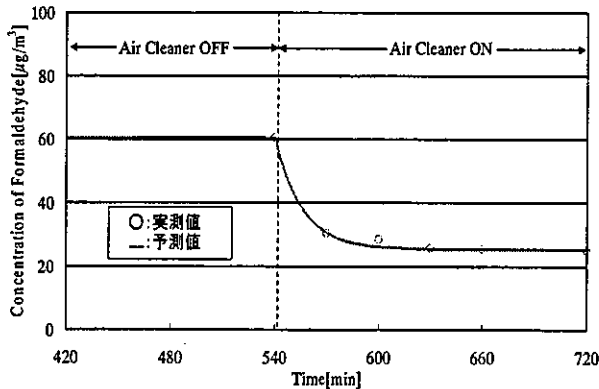


図-3 1 Formaldehyde濃度実測値と濃度予測値との比較 (1st)

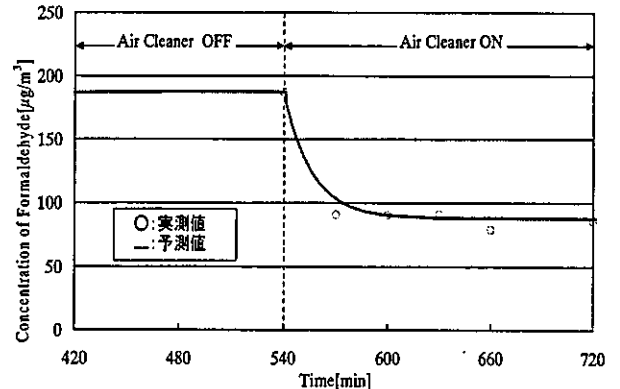


図-3 3 Formaldehyde濃度実測値と濃度予測値との比較 (3rd)

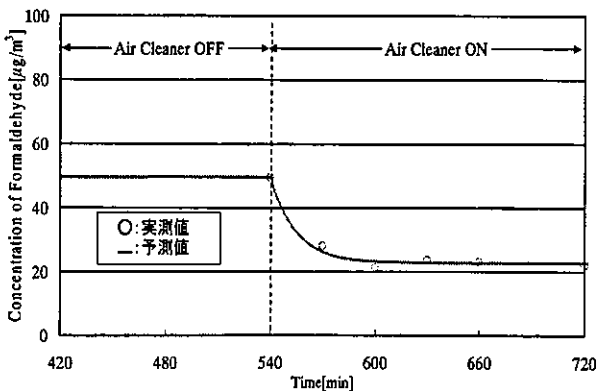


図-3 2 Formaldehyde濃度実測値と濃度予測値との比較 (2nd)

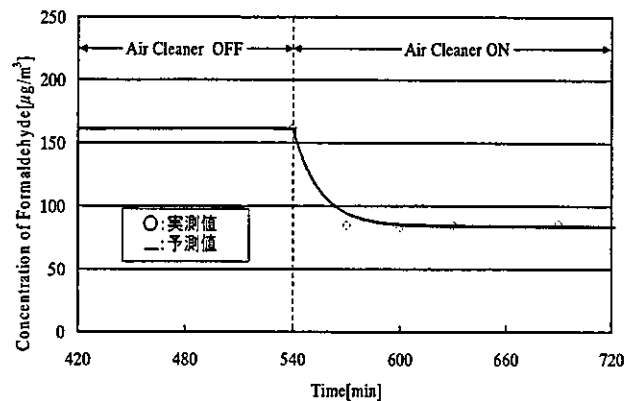


図-3 4 Formaldehyde濃度実測値と濃度予測値との比較 (4th)

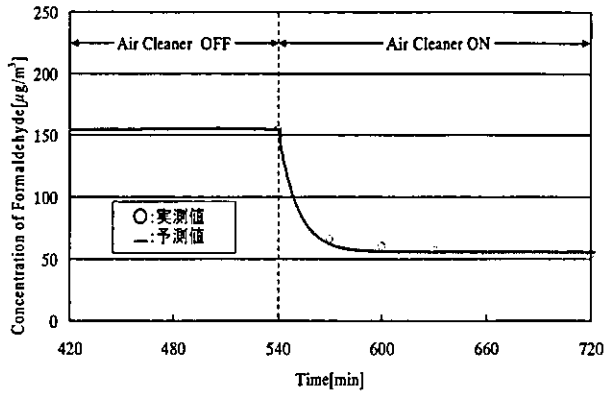


図-35 Formaldehyde 濃度実測値と濃度予測値との比較 (6th)

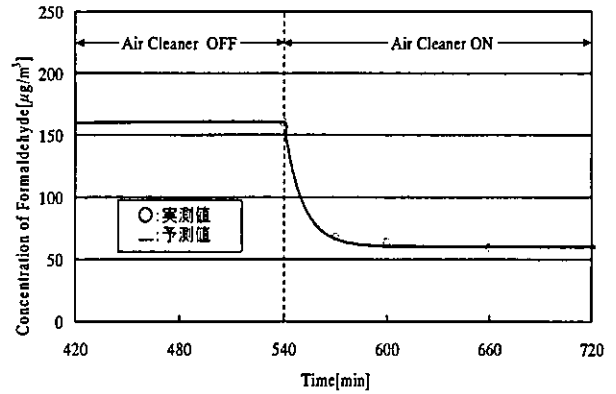


図-36 Formaldehyde 濃度実測値と濃度予測値との比較 (6th)

(2) VOC

実験室実験により実験チェンバー内の濃度減衰性を測定した結果から得られた  $Q_{eq}$  を (13) 式に代入し VOC 濃度予測値を算出し、濃度実測値との比較を行った、また、VOC 符合率の算出を行い、精度を確認した。

VOC 濃度予測値と濃度実測値の比較を表-9~11、図37~48に示す。

定常法除去性能試験における Etylbenzene 濃度の符合率は、風量別の場合でも 81.3~99.0[%]、

平均で 94.2[%]であり非常に高い精度で符合した。

定常法除去性能試験における m-Xylene 濃度の符合率は、風量別の場合でも 77.6~99.9[%]、平均で 94.0[%]であり、Etylbenzene と同様に非常に高い精度で符合した。

定常法除去性能試験における Styrene 濃度の符合率は、風量別の場合でも 73.0~99.9[%]、平均で 92.9[%]であり、他の VOC 成分と同様に非常に高い精度で符合した。

表-9 Etylbenzene 符合率

	機器名	運転モード	除去対象濃度	符合率[%]					
				30min	60min	90min	120min	150min	180min
Etylbenzene(3rd)	AC-2	弱	高濃度	93.5	95.4	93.0	99.0	—	95.3
Etylbenzene(4th)				98.4	96.5	98.1	—	98.2	—
Etylbenzene(5th)		超強風		81.3	91.7	94.4	96.8	—	93.1
Etylbenzene(6th)				84.4	92.6	—	95.7	—	97.3
Average				94.2					

表-10 m-Xylene 符合率

	機器名	運転モード	除去対象濃度	符合率[%]					
				30min	60min	90min	120min	150min	180min
m-Xylene(3rd)	AC-2	弱	高濃度	97.8	95.4	98.1	99.9	—	93.6
m-Xylene(4th)				94.1	97.6	95.1	—	95.1	—
m-Xylene(5th)		超強風		90.6	95.1	98.5	97.9	—	94.2
m-Xylene(6th)				77.6	88.3	—	96.9	—	91.0
Average				94.0					

表-11 Styrene 符合率

	機器名	運転モード	除去対象濃度	符合率[%]					
				30min	60min	90min	120min	150min	180min
Styrene(3rd)	AC-2	弱	高濃度	91.2	93.4	96.8	99.9	—	86.1
Styrene(4th)				96.0	96.4	98.2	—	98.2	—
Styrene(5th)		超強風		87.1	93.7	96.9	99.7	—	95.8
Styrene(6th)				73.0	86.9	—	96.0	—	89.7
Average				92.9					

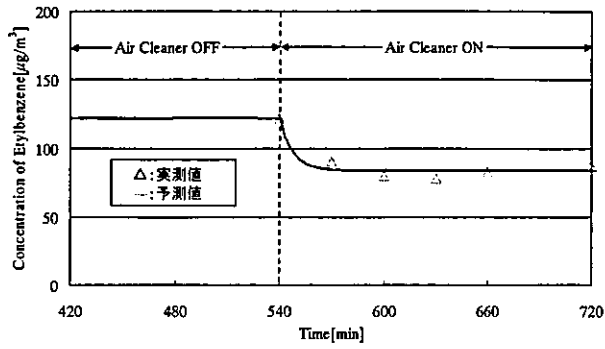


図-37 Ethylbenzene濃度実測値と濃度予測値との比較 (3rd)

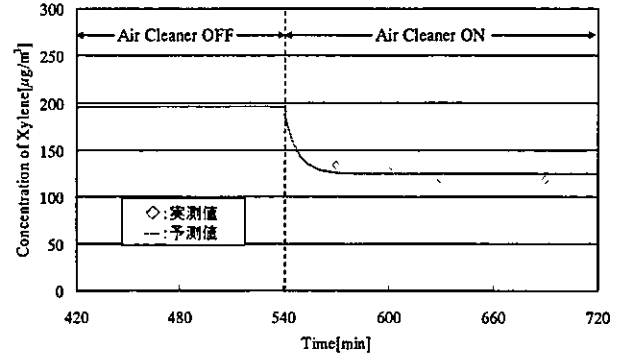


図-41 Styrene濃度実測値と濃度予測値との比較 (4th)

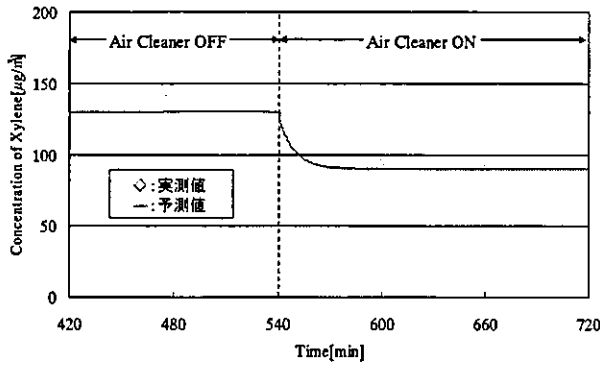


図-38 Styrene濃度実測値と濃度予測値との比較 (3rd)

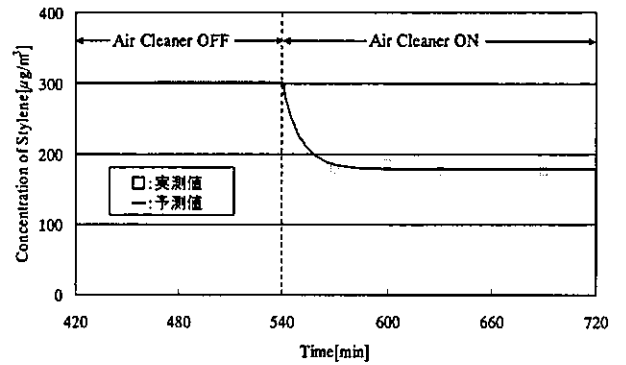


図-42 m-Xylene濃度実測値と濃度予測値との比較 (4th)

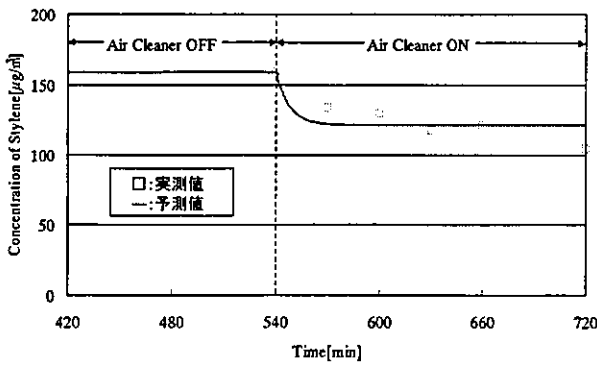


図-39 m-Xylene濃度実測値と濃度予測値との比較 (3rd)

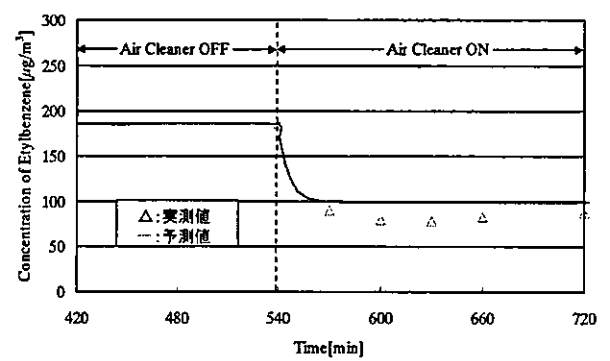


図-43 Ethylbenzene濃度実測値と濃度予測値との比較 (5th)

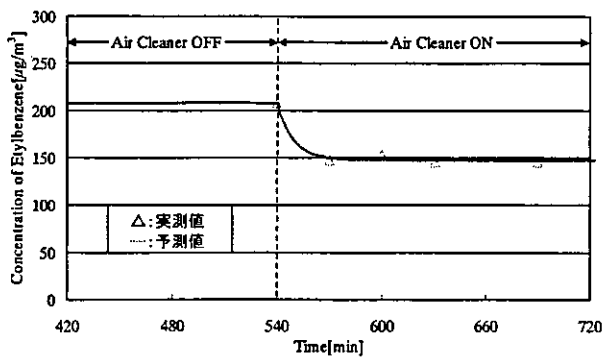


図-40 Ethylbenzene濃度実測値と濃度予測値との比較 (4th)

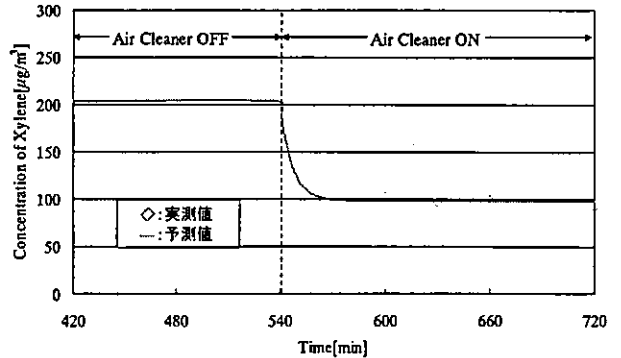


図-44 Styrene濃度実測値と濃度予測値との比較 (5th)

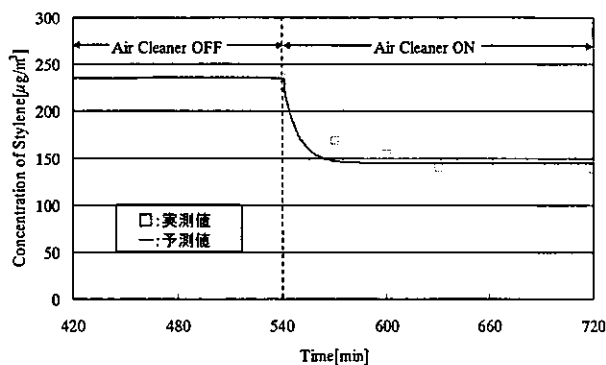


図-4.5 m-Xylene濃度実測値と濃度予測値との比較 (5th)

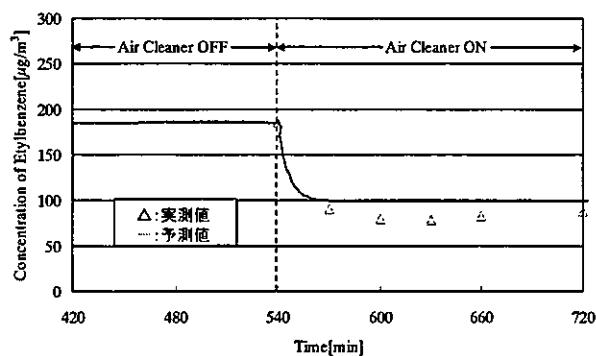


図-4.6 Ethylbenzene濃度実測値と濃度予測値との比較 (6th)

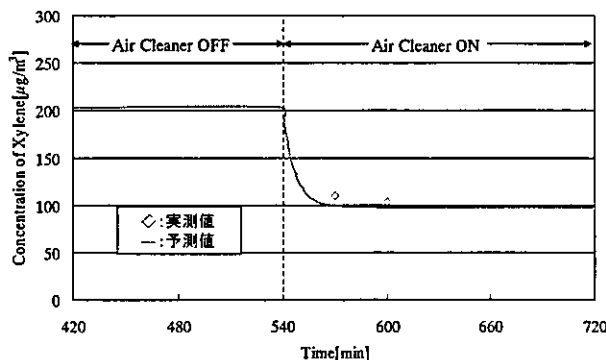


図-4.7 Styrene濃度実測値と濃度予測値との比較 (6th)

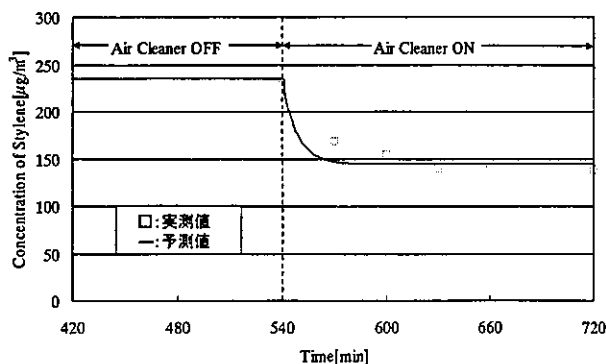


図-4.8 m-Xylene濃度実測値と濃度予測値との比較 (6th)

## D. 結論

以下に本研究の成果について示す。

- ①定常ガス発生装置の開発を行った。
- ②本定常ガス発生装置を用いて、換気量を制御

した実験チェンバー内に Formaldehyde、VOC の定常状態を構築した。

③定常法除去試験における家庭用空気清浄機の Formaldehyde、VOC 除去特性について明らかにした。

④定常法除去試験における相当換気量算出式を提案した。

⑤提案した相当換気量算出式を用いて、定常法除去性能試験による家庭用空気清浄機の Formaldehyde、VOC 除去性能を定量的に明らかにした。

⑥Formaldehyde の濃度実測値と濃度予測値との符合率は平均で 96.0[%]であり、高精度の室内化学物質濃度予測を実現した。

⑦Ethylbenzene の濃度実測値と濃度予測値の符合率は平均で 94.2[%]であった。m-Xylene の濃度実測値と濃度予測値の符合率は平均で 94.0[%]であった。Styrene の濃度実測値と濃度予測値の符合率は平均で 92.9[%]であり、VOC においても高精度の室内化学物質濃度予測を実現した。

今後の課題として、以下の事項が挙げられる。

①2機種目の家庭用空気清浄機を用いて試験を行ったが、より多くの機種目の Formaldehyde、VOC 除去性能を把握する。

②約 5[m<sup>3</sup>]の実験チェンバーを用いて試験を行ったが、実空間において想定される居室の大きさとして、6畳程度の大きさを有した実験チェンバーにて試験を行う必要がある。

③求められた機器性能はフィルタが新しいものである。その為、フィルタ性能の持続性については不明瞭な点が多いことから持続性を求める耐久性能試験を行う。

等であった。

## E. 健康危機情報

家庭用空気清浄機の化学物質除去性能を求める実験を行ったが、実験過程でフィルターに吸着された化学物質の再放散現象が確認された。

また、多くの家庭用空気清浄機に装備されている静電フィルターから、オゾン発生が確認された。同機器運転に伴う、室内オゾン汚染とその健康影響が危惧される。



## F. 研究発表

- 1) 野崎淳夫、一條祐介、工藤彰訓:家庭用空気清浄機の化学物質除去性能と室内濃度予測手法の開発に関する研究 室内空気環境とその快適性に関する研究(その28)、第11回(社)大気環境学会北海道東北支部学術集会講演要旨集、pp.18-19、2004年11月
- 2) 野崎淳夫、工藤彰訓、吉澤晋:家庭用空気清浄機使用室のホルムアルデヒド濃度予測に関する研究、第45回大気環境学会年会講演要旨集、p662、2004年10月
- 3) 野崎淳夫、工藤彰訓、吉澤晋:家庭用空気清浄機使用室におけるホルムアルデヒド濃度予測に関する研究、日本環境学会・室内環境学会合同研究発表会講演予稿集、pp.332-333、2004年10月
- 4) 野崎淳夫、工藤彰訓、吉澤晋:家庭用空気清浄機使用室におけるガス状汚染物質濃度予測に関する研究、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、pp.1443-1446、2004年9月
- 5) 野崎淳夫、工藤彰訓、吉澤晋:定常発生法による家庭用空気清浄機の性能評価試験法に関する研究、日本建築学会学術講演梗概集、DⅡ巻、pp.1089-1090、2004年8月
- 6) 野崎淳夫、清澤裕美、屋田聖、吉澤晋:家庭用空気清浄機の浮遊粒子状物質除去性能に関する研究、日本建築学会学術講演梗概集、DⅡ巻、pp.1091-1092、2004年8月
- 7) 野崎淳夫、吉澤晋:家庭用空気清浄機使用室におけるVOC濃度予測に関する研究、第22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.124-125、2004年
- 8) 野崎淳夫、工藤彰訓、吉澤晋:家庭用空気清浄機の性能評価試験法及びその化学物質除去性能に関する研究、第22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.289-290、2004年

## G. 知的財産権の出願・登録状況

現時点では、特になし。

## H. 謝辞

本研究は、厚生科学研究「家庭用品中化学物質のリスク評価に関する総合研究」研究代表者:安藤正典(武蔵野大学教授)により行われた。

また、NPO 法人室内環境技術研究会の協力を得た。関係各位に深甚なる謝意を表す。

## I. 引用文献

- 1) JEM 1467 家庭用空気清浄機:日本電気工業会規格、1995年
- 2) JIS C 9615 空気清浄機:日本規格協会、1995年
- 3) 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
- 4) M.Ohmura, T.Irie, K.Ikeda et al.: On Comparison of Performance between Filter Type and Ion Type Domestic Air Purifiers, Proc. of the 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Vol.2, pp.185~188, 1996
- 5) 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
- 6) 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
- 7) 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・衛生工学会大会学術講演論文集、Ⅱ巻、pp.621~624、1998年
- 8) 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
- 9) 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
- 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、工藤彰訓、大澤元毅、吉澤晋:家庭用空気清浄機の化学物質除去特性に関する研究(その1)、日本建築学会大会学術講

演梗概集、pp.1001~1002、2003年

- 12)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、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.865~866、2000年
- 13)羽田崇秀、長谷川麻子、小峯裕己、鎌田元康：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2)化学物質除去基本性能評価用試験装置の性能について、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.883~884、2001年
- 14)羽田崇秀、長谷川麻子、小峯裕己、鎌田元康：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3)考案したワンパス除去率試験方法の提案とVOCSに対する除去性能、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.989~990、2002年
- 15)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(その1)ホルムアルデヒドに対する除去効果、日本建築学会計画系論文集、No.554、pp.35~40、2002年
- 16)野崎淳夫、吉澤晋、大澤元毅、大懸崇史：家庭用空気清浄機のVOC除去特性、室内空気環境とその快適性に関する研究(その3)、大気環境学会北海道東北支部総会抄録集、pp.40~41、2002年9月
- 17)野崎淳夫、飯倉一雄、大澤元毅、坊垣和明、桑沢保夫、吉澤晋：家庭用空気清浄機の化学物質除去特性に関する研究(その2)、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1003~1004、2003年

## J. 参考文献

- 1)吉澤晋 他：衣服と住まいの健康学、大修館書店、1984年
- 2)環境庁大気保全局回帰規制課：有害大気汚染物質測定方法マニュアル、pp.41~46、1996年
- 3)呂俊民、石黒武、森長一郎：室内の空気質に関する研究(その5)空気清浄機の効果、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.749~750、1999年
- 4)宮崎竹二：空気清浄機のホルムアルデヒドの除去性能、日本建築学会大会学術講演梗概集、

pp.809~810、1999年

- 5)室内空気清浄便覧：(社)日本空気清浄協会編、2000年
- 6)JIS Z 8122 コンタミネーションコントロール用語：日本工業規格、2000年
- 7)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
- 8)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
- 9)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
- 10)シックハウス辞典：(社)日本建築学会、2001年9月
- 11)野崎淳夫、飯倉一雄、吉澤晋、大澤元毅：家庭用空気清浄機のホルムアルデヒド除去特性、室内空気環境とその快適性に関する研究(その2)、大気環境学会北海道東北支部総会抄録集、pp.38~39、2002年9月
- 12)日本建築学会ホルムアルデヒドに関する学会基準(案)：日本建築学会、2003年6月
- 13)長谷川麻子、羽田崇秀、小峯裕己、鎌田元康：単体ガス成分に対する家庭用空気清浄機の性能試験方法に関する検討、日本建築学会環境系論文集、No.572、pp.55~62、2003年10月
- 14)野崎淳夫、工藤彰訓、吉澤晋：家庭用空気清浄機を使用する室内のVOC濃度予測について、室内空気環境とその快適性に関する研究(その19)、大気環境学会北海道東北支部総会抄録集、pp.16~17、2003年11月
- 15)野崎淳夫、大澤元毅、桑沢保夫、坊垣和明、吉澤晋、大江陽一：家庭用空気清浄機のVOC除去性能について、室内空気環境とその快適性に関する研究(その20)、大気環境学会北海道東北支部総会抄録集、pp.48~49、2003年11月
- 16)野崎淳夫、工藤彰訓、吉澤晋：家庭用空気清浄機使用室のホルムアルデヒド濃度予測に関する

- 研究、大気環境学会年会講演要旨集、pp.662、  
2004年
- 17)野崎淳夫、清澤裕美、吉澤晋：家庭用空気清浄機  
の汚染物質除去性能と室内濃度予測に関する  
研究、日本建築学会環境系論文集No.576、pp.37  
～42、2004年2月
- 18)野崎淳夫、吉澤晋：家庭用空気清浄機使用室に  
おけるVOC濃度予測に関する研究、第22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、2004年4月
- 19)野崎淳夫、工藤彰訓、吉澤晋：家庭用空気清浄  
機の性能評価試験法及びその化学物質除去性能  
に関する研究、第22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、2004年4月
- 20)野崎淳夫、工藤彰訓、吉澤晋：家庭用空気清浄  
機の性能評価試験法及びその除去性能に関する  
研究、第22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.289～290、  
2004年4月
- 21)国土交通省総合技術開発プロジェクト「シック  
ハウス対策技術の開発技術の開発」報告書、  
2004年7月
- 22)野崎淳夫、工藤彰訓、吉澤晋：定常発生法によ  
る家庭用空気清浄機の性能評価試験法に関する  
研究、日本建築学会学術講演梗概集(北海道)、  
pp.1089～1090、2004年8月
- 23)香川謙吉：「改正建築基準法の遂行に必要な空  
気清浄機によるホルムアルデヒド除去性能評価  
法並びに相当換気量の算出法等」、工業技術会講  
習会テキスト、2004年9月

ii) 室内空气中化学物質の低減対策の実態に関する研究  
③一般住宅における実測調査

分担研究者 野崎淳夫 東北文化学園大学大学院 健康社会システム研究科 教授

対策品・技術として光触媒製品、珪藻土壁、吸着系内装材、空気清浄機、放散面遮断技術を取り上げ、これらを実環境に適用し、実測調査によりその性能を検証した。

光触媒製品においては室内VOC濃度が約33%減少し、分解除去効果が確認された。珪藻土壁では、トルエン濃度が約94%減少したが、エタノール濃度は約23%増加する結果となった。吸着系内装材では、ホルムアルデヒドに対して吸着効果が見られ、ホルムアルデヒド濃度は4.5[ppb]から0[ppb]に減少した。空気清浄機においては、VOCに対して約45%の低減効果が確認された。以上の4品目においては、ある程度の濃度低減性が確認されたが、温湿度の影響等も考えられるため、引き続き調査をする必要がある。放散面遮断技術は、放散面をシートなどで被覆することにより化学物質発生抑制を狙ったものであるが、本研究の調査では、抑制効果は確認されなかった。今後チェンバー実験により、検証していく必要がある。

A. 目的

近年、シックハウス問題が大きな社会問題となっている。シックハウス症候群の原因物質として、室内で発生するホルムアルデヒドや揮発性有機化合物(VOC)などの有害化学物質が指摘されている。これに伴い、原因化学物質の室内濃度低減化のために、数多くの汚染対策品・技術が研究、開発されている。例えば、家庭用空気清浄機、吸着系建材、自然塗料・封止系塗料、光触媒利用製品やベイクアウトなどである。これらの汚染対策品・技術の性能については、チェンバー実験によりいくつか報告されており<sup>10)</sup>、中にはシックハウス対策として有効なものも存在することが分かってきた。

一方で、実環境においては複合的な要因が干渉するため、実際に一般住宅において低減対策を行う際には、チェンバー実験による情報のみでは資

料として不十分であり、実測調査による情報が不可欠である。ところが、汚染対策品・技術の実環境への適用による効果について、未だ不明な点が多い。

そこで、本研究は様々な汚染対策品・技術を実環境に適用し、その性能を実測調査により明らかにすることを目的とする。

B. 研究方法

(1) 測定対象住宅の概要

測定対象住宅は東北地方のRC造3階建ての一般住宅である(図-1)。測定は2004年10月から12月にかけての4回(10/04、10/25、11/15、12/29)にわたって行った。各測定日の測定条件を表-1に示す。また、各測定日における各部屋の測定対象化学物質を表-2に示す。

表-1 各測定日の測定条件(居間)

	10月4日	10月25日	11月15日	12月29日
温度	20.2℃	22.0℃	15.2℃	20.4℃
湿度	70.2%	51.0%	72.5%	37.2%
暖房	OFF	OFF	OFF	ON※
換気システム	床下装置ON	床下装置ON	床下装置ON	床下装置ON
開口部	閉	閉	閉	閉

※3F:子供室、居室1、居室2、2F:居間、ダイニング、和室東、和室西に導入

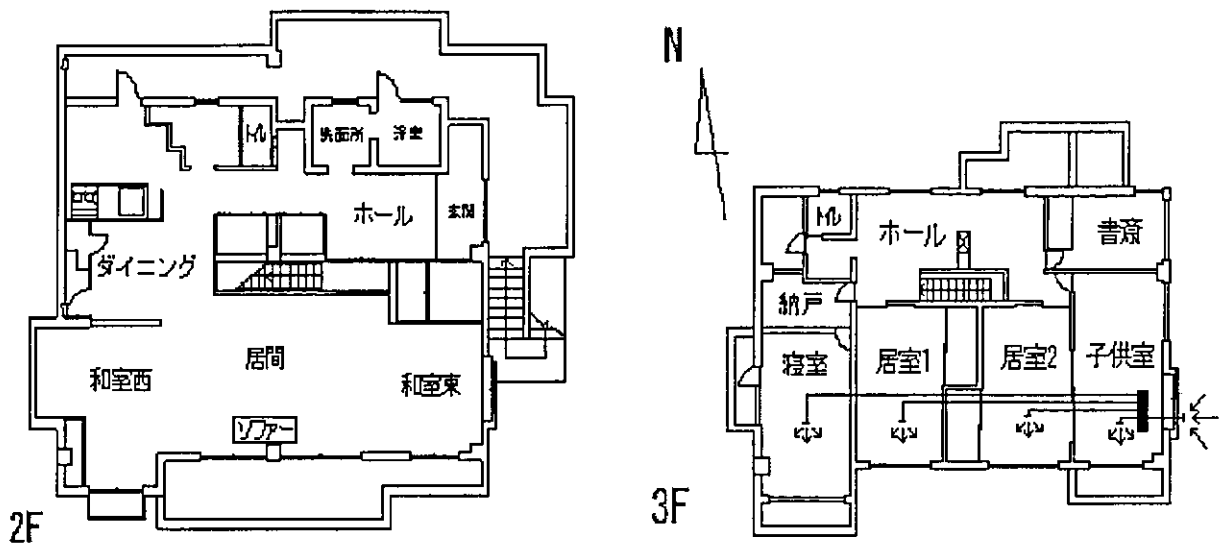


図-1 測定対象住宅の間取り図

表-2 測定対象化学物質

		2004/10/4		2004/10/25		2004/11/15		2004/12/29	
		HCHO	VOC	HCHO	VOC	HCHO	VOC	HCHO	VOC
3F	ホール	○	○		○	○	○		○
	書斎	○	○		○	○	○		○
	子供室	○	○		○	○	○		○
	居室1	○	○		○		○		○
	居室2	○	○		○		○		○
	寝室	○	○		○	○	○	○	○
2F	居間	○	○		○	○	○	○	○
	ダイニング	○	○			○	○		○
	和室東	○	○				○		○
	和室西	○	○				○		○
	玄関ホール	○	○				○		○

(2) 導入汚染対策品・技術の概要  
 各居室に、光触媒製品、珪藻土壁、吸着系内装材、空気清浄機、放散面遮断技術を導入した。各

居室の汚染対策導入状況を表-3に示す。また、以下に各汚染対策品・技術の概要を示す。

表-3 各居室の汚染対策導入状況

		光触媒製品	珪藻土壁	吸着系内装材	空気清浄機	遮断技術	導入日
3F	ホール	○					光:12/29※
	書斎		○		○		空:10/25、11/15 珪:12/29
	子供室		○		○		空:10/4 珪:12/29
	居室1				○		空:10/4、11/15
	居室2						
	寝室		○	○	○		空:10/4、10/25、11/15 珪:12/29 吸:12/29
2F	居間					○	遮:11/15、12/29
	ダイニング						
	和室東						
	和室西						
	玄関ホール		○				珪:12/29

※光:光触媒製品、珪:珪藻土壁、吸:吸着系内装材、空:空気清浄機、遮:遮断技術

①光触媒製品

現在、光触媒技術は数多く製品化されており、その化学物質分解性能に期待が寄せられている。本研究では、光触媒製品として光触媒カーテンを採用し、その化学物質分解性能を検証した。

測定対象の光触媒カーテン(写真-1)の仕様を表-4に示す。

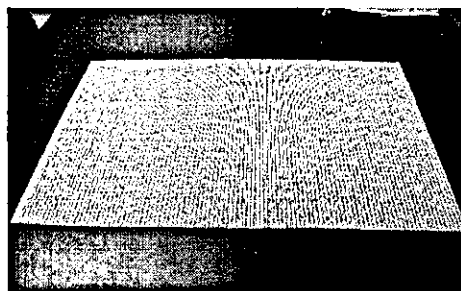


写真-1 測定対象の光触媒カーテン(サンプル)

表-4 光触媒カーテンの仕様

	遮光カーテン	レースカーテン
組成	ポリエステル100%	ポリエステル93%、綿4%、ナイロン3%
機能	遮光(3級)、防炎、光触媒	抗菌、光触媒

②珪藻土壁

珪藻土は珪藻と呼ばれる藻類の化石であり、海水中で長い年月を経て珪殻と呼ばれるシリカ質の遺骸のみを残してできた土である。粒径は10~200[μm]であり、内部は直径0.1~1.0[μm]のマクロ孔で構成され、多孔質構造となっている。細孔を持つことで、化学物質を吸着するとされており、壁装材等に利用されている。

本研究では、ホルムアルデヒド分解剤入りの珪藻土を使用した。

③吸着系内装材

近年、環境配慮型の内装材として、カーペットやカーテン等に化学物質吸着性能を持たせたものが市場に出現しつつある。これらの内装材は、ホルマリンキャッチャー剤など、室内の有害化学物質と化学的に結合しやすい物質を含有しており、これにより室内空気が浄化されるとしている。

本研究では、表-5に示す仕様の吸着カーペットを使用した。

表-5 吸着カーペットの仕様

	吸着カーペット
組成	アクリル系40%、アクリル60%
寸法	8畳
機能	防炎、遮音、防ダニ、抗菌防臭、ホルムアルデヒド吸着

④空気清浄機

本研究で、使用した空気清浄機の仕様を表-

6に示す。

表-6 空気清浄機の概要

	対象汚染物質	50HZ時		主な除去方式	フィルタの構造	適用 床面積(畳)	製造 (年)
		強	弱				
空気清浄機	浮遊粒子状物質、VOC、HCHO、NO <sub>x</sub> 、臭気	3.1	1	フィルタ濾過	プレフィルタ+活性炭フィルタ+ULPAフィルタ*1	~21	2000

⑤放散面遮断技術

建材の下地材からの化学物質放散防止を目的としたバリアー性の高い封止系塗料がある。野崎らは、一部の封止系塗料は VOC に対して発

生抑制効果があるが、エタノールの顕著な発生があることを報告している<sup>3)</sup>。エタノールは大量に気道摂取すると、吐き気や嘔吐、昏睡、頭痛などの原因となる物質であるため、居住環境

に与える影響は軽視できない物質である。

本実測の対象住宅においては、封止系塗料を多量に使用しており、エタノールが高濃度で検出されている。そこで、エタノールの発生を抑制するために、放散面に被覆を行い、その抑制効果の検証を行った。

本研究では、ビニールテープ、ビニールシートや杉製カバー（図-2）を用い、エタノール発生源となっている2F居間の柱・梁を被覆した。まず、ビニールテープ、ビニールシートの順で被覆を行い（図-3）、最後にその上から杉製カバーで被覆した。（図-4）

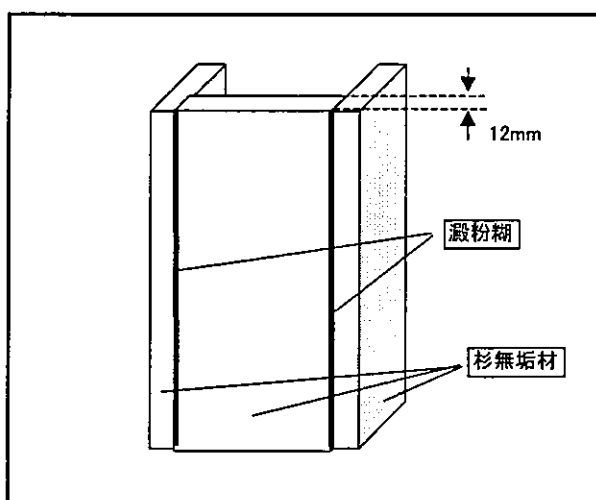


図-2 杉製カバーの概要図

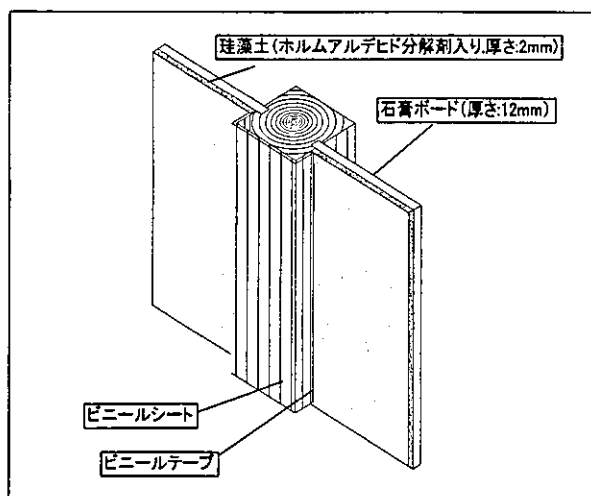


図-3 柱(梁)へのビニールシート装着概要図

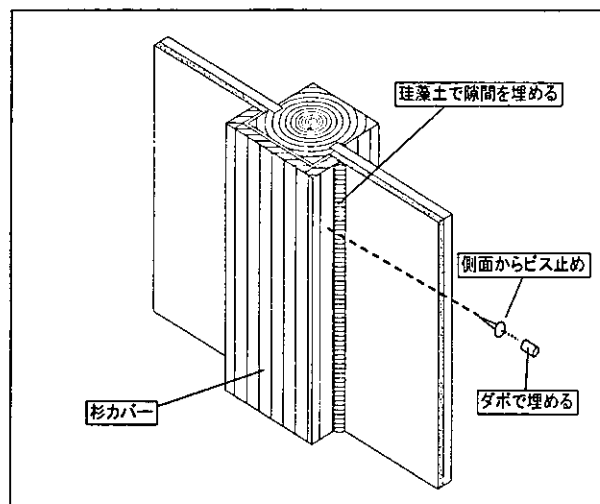


図-4 柱(梁)への杉製カバー装着概要図

### (3) 捕集及び分析

#### ① 捕集装置及び分析装置

捕集装置及び分析装置を表-7に示す。

表-7 捕集装置及び分析装置

装置	メーカー	モデル	
捕集装置	定流量ポンプ	柴田科学	HCHO:MP Σ-100H、VOC:MP Σ-30
	VOC捕集管	SUPELCO	Air-toxics
	アルデヒド類捕集管	Waters	Sep-Pak Xposure
分析装置	加熱導入装置	PERKIN ELMER	Turbo Matrix ATD
	ガスクロマトグラフ質量分析器	PERKIN ELMER	Turbo Mass Gold
	高速液体クロマトグラフ	日立	L-7000

#### ② 捕集・分析方法

捕集・分析方法については前編で示された方法と同方法で行った。

- ・VOC(固体吸着-加熱脱着-GC/MS法)
  - ・アルデヒド類(固相捕集-溶媒抽出-HPLC法)
- なお捕集量は、VOCは0.1[L/min]の流量で30[min]、アルデヒド類は1.5[L/min]の流量で20[min]捕集した。

### C. 研究結果及び考察

各居室のVOC濃度を図-5、6、ホルムアルデヒド濃度を図-7、8示す。

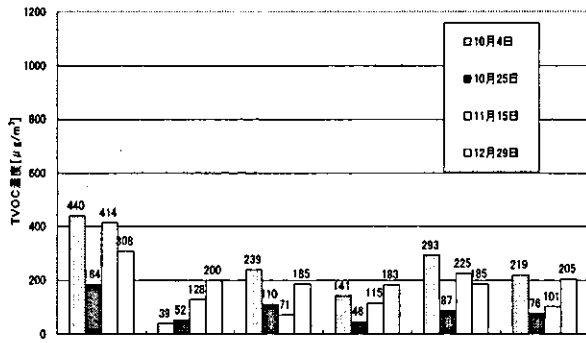


図-5 各居室のVOC濃度 (3F)

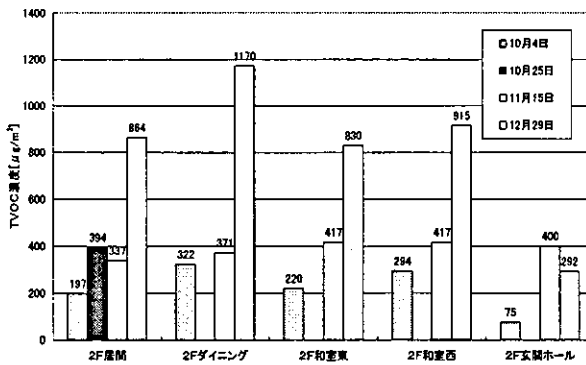


図-6 各居室のVOC濃度 (2F)

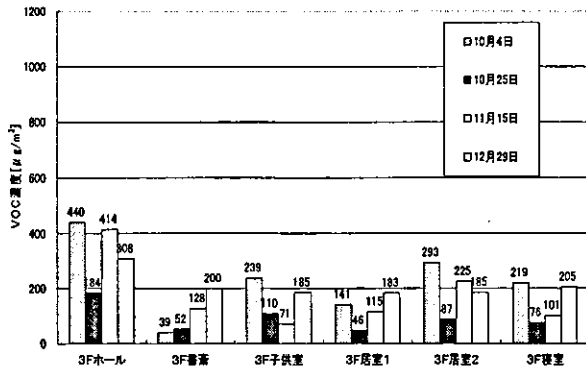


図-7 各居室のホルムアルデヒド濃度 (3F)

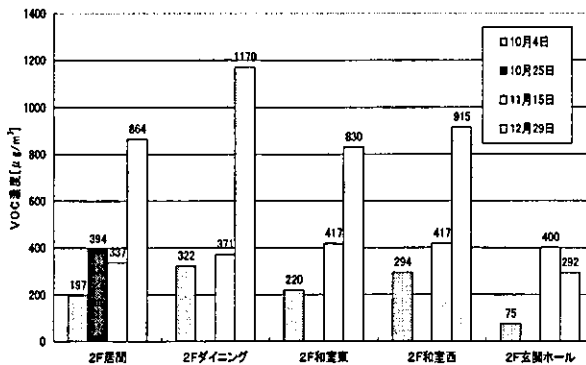


図-8 各居室のホルムアルデヒド濃度 (2F)

測定は秋期から冬期にかけての短期間に行ったため、また、各測定日において暖房や対策品設置の有無など条件が異なったため、季節的変動は確認されなかった。

VOC濃度に関しては、12月29日に2階において292~1170[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]と比較的大きな値を示し、中でも特にエタノールが高濃度で検出された。これは、2階において用いた封止系塗料から発生したものと考えられる。更に、12月29日は暖房運転を行っていたため、発生が促進されたものと考えられる。

ホルムアルデヒド濃度に関しては、4.6~20.6[ppb]で、平均では9.8[ppb]となり、全体的に低い値を示した。また、室内温度の低下に伴い、室内濃度も減衰する傾向が見られた。

次に、汚染対策品・技術の導入による低減効果を検証する。

以下に各汚染対策品・技術導入室の実測結果を示す。

①光触媒利用製品

測定対象住宅の3Fホールにおいて、光触媒カーテン適用前(2004年10月4日)と適用後(2004年12月29日)の化学物質濃度を測定した。測定対象室の環境条件と測定対象化学物質を表-8に示す。

なお、測定箇所は床から1.2[m]の地点とした。測定結果を図-9に示す。

表-8 測定対象室の環境条件と測定対象化学物質

	2004/10/4	2004/12/29
温度 [°C]	20.2	10.9
湿度 [%]	70.2	37.2
光触媒製品	未設置	設置
測定対象化学物質	VOC	VOC



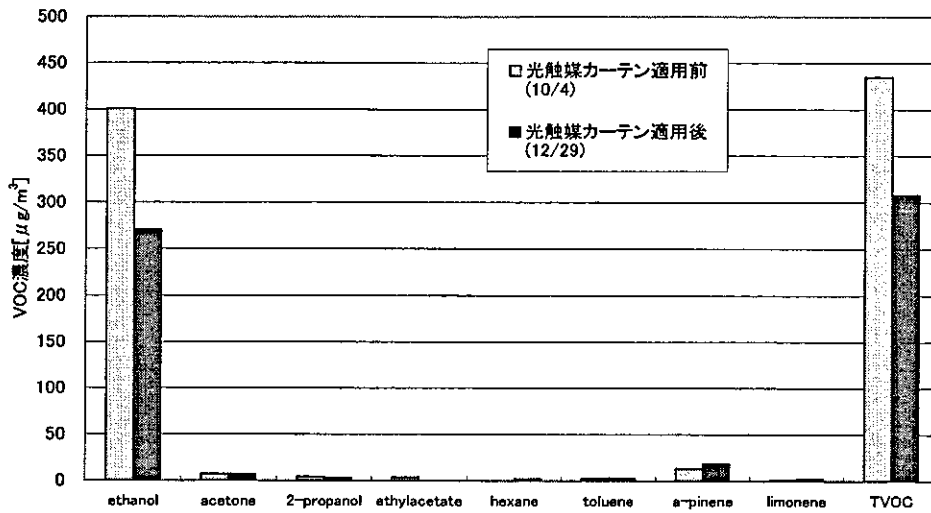


図-9 光触媒カーテン適用前後のVOC濃度(3Fホール)

光触媒カーテン適用前と適用後を比較すると、エタノール濃度が適用前は401[μg/m³]、適用後は270[μg/m³]となり、約33%の低減が示された。その他のVOCについては、適用前後でほとんど変化が見られなかった。

しかし、エタノール濃度の減少については、適用前後での温度差が約10℃あるため、光触媒反応による減衰であると結論づけることはできない。光触媒カーテンの化学物質除去性能を把握するためには、今後、温湿度等の諸条件を統一して測定する必要がある。

ルムアルデヒド分解剤入りの珪藻土を塗布した。測定は、珪藻土塗布前(2004年11月15日)と塗布後(2004年12月29日)に行った。測定対象室の環境条件と測定対象化学物質を表-9に示す。なお、測定位置は床から1.2[m]の地点とした。珪藻土塗布前後のVOC濃度を図-10に示す。

表-9 測定対象室の環境条件と測定対象化学物質

	2004/11/15	2004/12/29
温度 [°C]	15.2	10.9
湿度 [%]	72.5	53.9
珪藻土	塗布前	塗布後
測定対象化学物質	VOC	VOC

## ②珪藻土壁

測定対象住宅の2F玄関ホールの壁面に、ホ

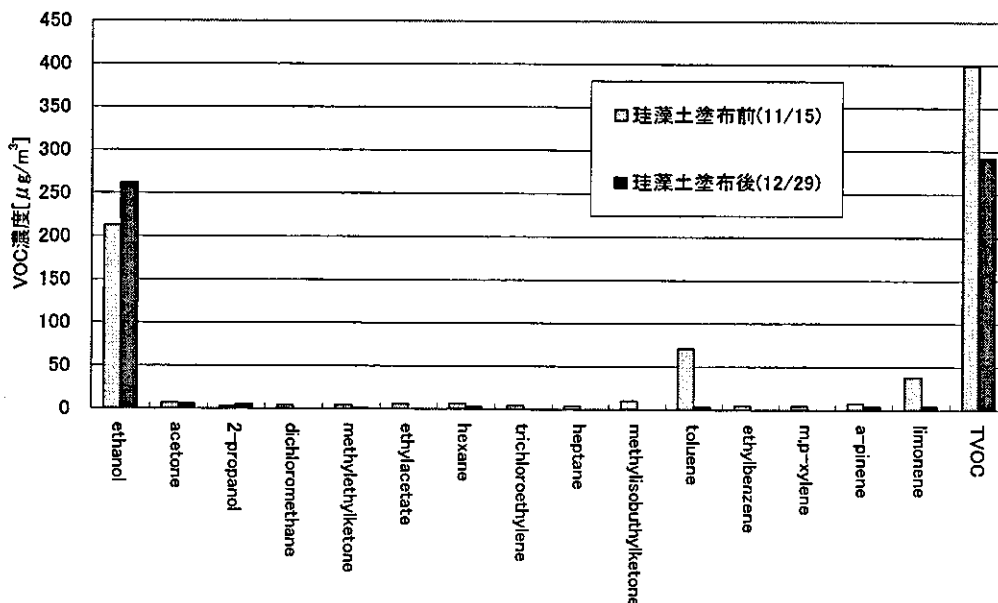


図-10 珪藻土塗布前後のVOC濃度(2F玄関ホール)

珪藻土塗布前と塗布後を比較すると、全体的に濃度低減が確認された。特にトルエンは70[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]から4[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]へ、リモネンは38[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]から5[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]と濃度が低減した。ただ、塗布後の温度は塗布前に比べて約4℃低いので、吸着による低減と結論付けることはできない。一方で、エタノールは212[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]から262[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]へと濃度が上昇し、効果は見られなかった。

### ③吸着系内装材

測定対象住宅の3F 寝室において、吸着カーペットを設置し、化学物質濃度測定を行った。測定は、吸着カーペット設置前(2004年11月15日)と設置後(2004年12月29日)に行った。測定室の環境条件と測定対象化学物質を表-10に示す。

測定結果を図-11、12に示す。

表-10 測定対象室の環境条件と測定対象化学物質

	2004/11/15	2004/12/29
温度[°C]	15.2	20.4
湿度[%]	72.5	37.2
吸着カーペット	未設置	設置
測定対象化学物質	VOC、アルデヒド類	VOC、アルデヒド類

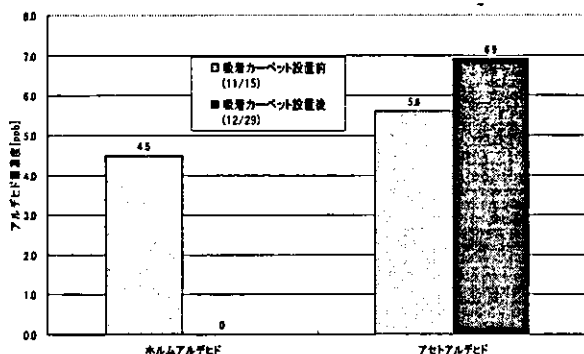


図-11 吸着カーペット設置前後のアルデヒド類濃度

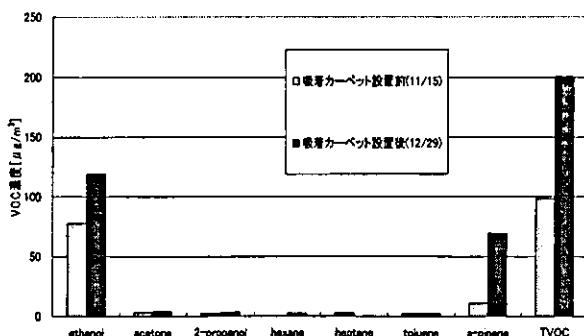


図-12 吸着カーペット設置前後のVOC濃度

吸着カーペット設置前後の化学物質濃度を比較すると、ホルムアルデヒド濃度は4.5[ppb]から0.0[ppb]へと減少した。吸着カーペットには、ホルムアルデヒドキャッチャー剤が含有されており、これにより減少したことが考えられるが、同室には同時期に壁面にホルムアルデヒド分解剤入りの珪藻土を塗布しているため、吸着カーペット設置による効果と断定することはできない。今後、チャンバー実験で確認する必要がある。

一方で、アセトアルデヒド濃度は5.6[ppb]から6.9[ppb]となり、変化は無かった。

VOC濃度は、吸着カーペット設置後でエタノール、 $\alpha$ -ピネンが上昇する結果となった。これは、カーペット設置前後の室内温度差が約5℃あるため、これによって他箇所からの放散が促進されたものと思われる。

### ④空気清浄機

測定対象住宅の3F居室1において、空気清浄機を設置・運転し、化学物質濃度測定を行った。測定は、空気清浄機運転日(2004年11月15日)と非運転日(2004年12月29日)に行った。測定対象室の環境条件と測定対象化学物質を表-11に示す。

測定結果を図-13に示す。

表-11 測定対象室の環境条件と測定対象化学物質

	2004/11/15	2004/12/29
温度[°C]	15.2	10.9
湿度[%]	72.5	53.9
空気清浄機	運転	非運転
測定対象化学物質	VOC	VOC

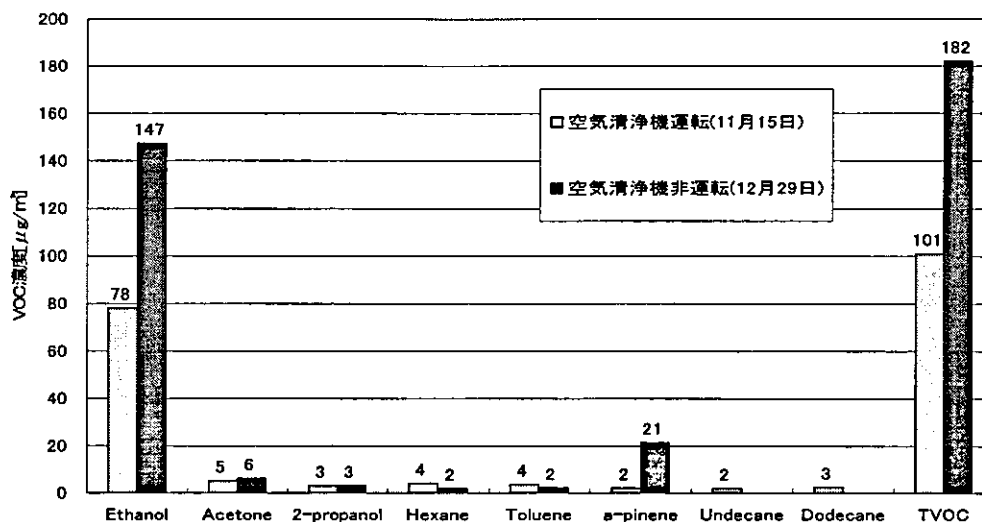


図-13 空気清浄機運転に伴う VOC 濃度変化(3F居室1)

空気清浄機運転日はエタノール、 $\alpha$ -ピネン、TVOC 濃度がそれぞれ  $78[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ 、 $2[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ 、 $101[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ であったのが、空気清浄機非運転日にはそれぞれ  $147[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ 、 $21[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ 、 $182[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ と上昇していた。これは、空気清浄機運転による効果とみなす事もできるが、非運転日は温度が  $5^\circ\text{C}$  高いため、放散が促進されたことも考えられる。

⑤ 遮断技術

(a) ビニールテープ

測定対象住宅の 2F 居間において、中央部の封止系塗料が塗布された柱・梁をビニールテープで被覆した。測定は被覆前(2004年10月4日、10月25日)と被覆後(2004年11月15日)に行った。測定対象室の温湿度と測定対象化学物質を表-12に示す。

測定結果を図-14、15に示す。

表-12 測定対象室の温湿度と測定対象化学物質

	2004/10/4	2004/10/25	2004/11/15
温度[°C]	20.2	22.0	15.2
湿度[%]	70.2	51.0	72.5
ビニールテープ	被覆前	被覆前	被覆後
測定対象化学物質	アルデヒド類、VOC	VOC	アルデヒド類、VOC

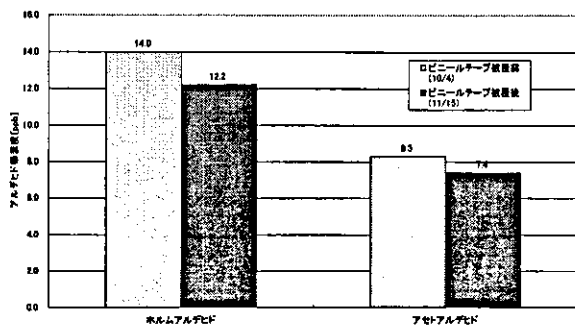


図-14 ビニールテープ被覆前後のアルデヒド類濃度

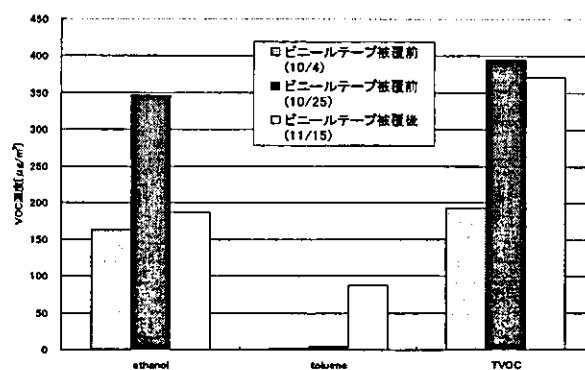


図-15 ビニールテープ被覆前後の VOC 濃度

アルデヒド類については、ホルムアルデヒド濃度は 12.2[ppb]、アセトアルデヒド濃度は 7.4[ppb]となり、ビニールテープ被覆前（ホルムアルデヒド：14.0[ppb]、アセトアルデヒド：8.3[ppb]）と比べて低い値となった。しかし、その差は僅かであり、被覆前後における変化は無かったといえる。

VOC については、エタノールとトルエンが高濃度で検出された。封止テープ被覆後（11月15日）の VOC 濃度は、エタノールについては10月4日と同程度、10月25日とは約55%の低減が示された。ただ、本測定日の室内温度は15.2[°C]と他の2日と比べて低いため、温度の低下によって放散量が減少したことが考えられ、ビニールテープ被覆の放散抑制効果によるものかは疑わしいといえる。

ビニールテープの使用により、トルエンの発生が確認されたが、この一つの原因としてビニールテープの接着層からの放散が考えられる。これについては、今後ビニールテープからの発生化学物質について調べる必要がある。

(b)杉製カバー

測定対象住宅の2F居間において、ビニールテープで被覆した柱・梁の上からビニールシート、杉製カバーで被覆した。測定は杉製カバー被覆前（2004年11月15日）と被覆後（2004年12月29日）に行った。測定対象室の環境条件と測定対象化学物質を表-13に示す。

測定結果を図-16、17に示す。

表-13 測定対象室の温湿度と測定対象化学物質

	2004/11/15	2004/12/29
温度[°C]	15.2	20.4
湿度[%]	72.5	37.2
杉製カバー	被覆前	被覆後
測定対象化学物質	アルデヒド類、VOC	アルデヒド類、VOC

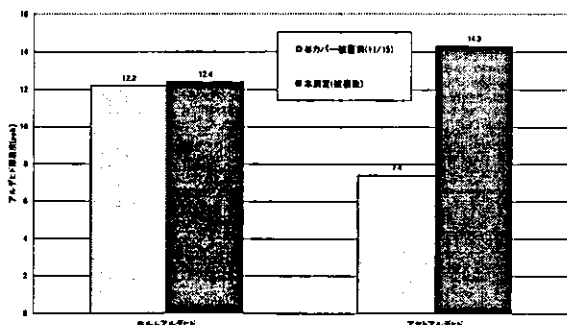


図-16 杉製カバー被覆前後のアルデヒド類濃度

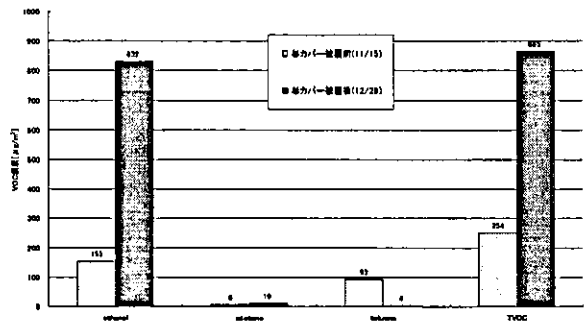


図-17 杉製カバー被覆前後の VOC 濃度

アルデヒド類については、ホルムアルデヒド濃度は 12.4[ppb]、アセトアルデヒド濃度は 14.3[ppb]となり、杉製カバー被覆前（アセトアルデヒド：7.4[ppb]）と比べてアセトアルデヒド濃度が上昇した。

VOC については、エタノールが高濃度で検出された。エタノール濃度は杉カバー被覆前の5倍以上となった。杉製カバーに用いられている接着剤は、澱粉系の接着剤であり、杉製カバー自体からのエタノール発生は考えにくい。

エタノール発生の主因としては、暖房運転に伴う室温の上昇によって、柱・梁以外からのエタノール発生が促進されたのではないかと考えられる。封止系塗料は柱・梁だけでなく、同室内にあるテーブル、サイドボード等にも塗布されており、これらからの発生は抑えられなかったものと考えられる。特に、テーブルは杉カバー被覆前の測定時（11月15日）には同室内に無かったものであり、テーブルからの発生強度が強かったことも推察される。

結論としては、杉カバー被覆による化学物質抑制性は確認できなかった。今後は、複合的な干渉要因を除くため、チェンバー実験により確認することが必要である。

D. 結論

本実験では以下に示す知見が得られた。

- 1) 温度の上昇に伴い、化学物質発生が促進される傾向が確認された。また、2Fリビングなどにおいてエタノールの顕著な発生(832[μg/m³])が確認された。
- 2) 光触媒カーテン、吸着カーペット、空気清浄機導入により、一部の化学物質の低減効果が確認された。しかし、温度差による影響等が考えられ、今後引き続き調査が必要である。