

h)であった。7日後には59[%]減少して、262[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]となった。

VOC成分はNP(A)とほぼ同様にアセトン、ピネンやリモネンへプタン、2-プロパノール、エタノールが比較的大きな値を示した。

7日経過後もアセトンの放散量は196[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]と大きな値を示した。これは、NP(C)から放散したVOCの約9割を占める結果となった。未塗装フローリング(NP(F))において、アセトンは検出されなかったことから、天然型ワックスC自体からアセトンが発生したと考えられる。アセトンはエーテル臭のある無色の液体である。樹脂や脂肪などの溶剤、マニキュアを除去する溶剤として、幅広く使用されている。アセトンを多量に吸入すると、眼への刺激性と中枢神経への影響を及ぼし不安感、頭痛、吐き気などの症状を引き起こすため、注意が必要である。

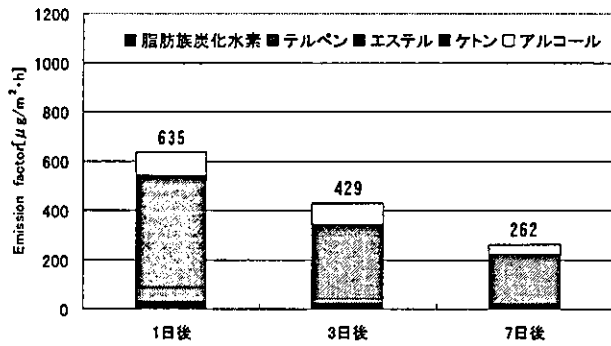


図-15 VOC放散速度の経時変化(NP(C))

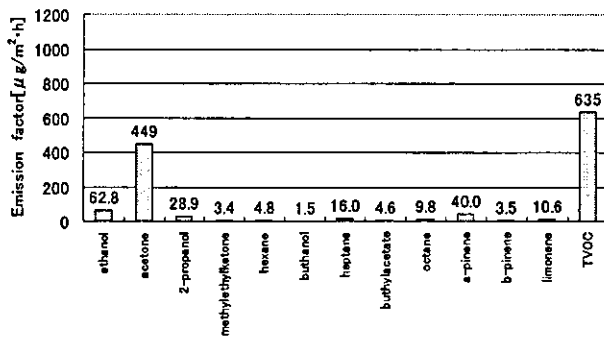


図-16 VOC成分毎の放散速度(NP(C)、1日後)

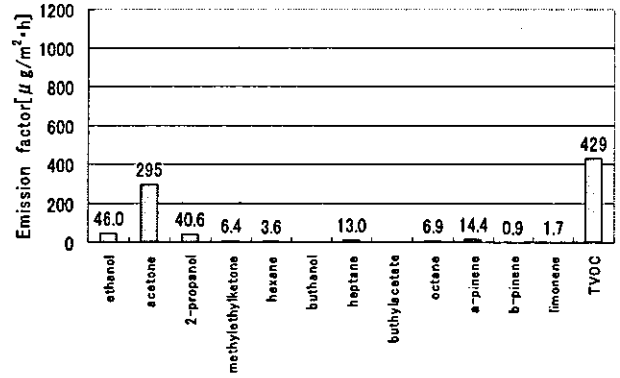


図-17 VOC成分毎の放散速度(NP(C)、3日後)

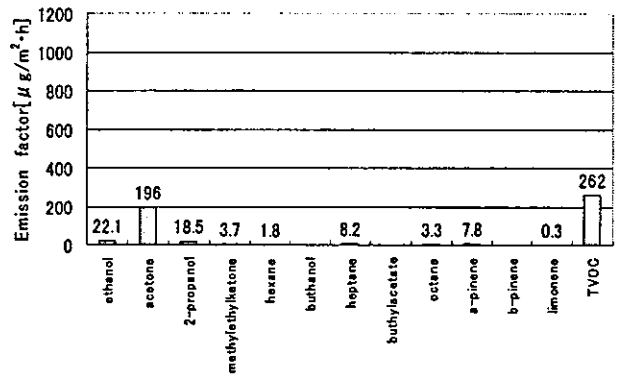


図-18 VOC成分毎の放散速度(NP(C)、7日後)

(b) フローリング(ワックスD)のVOC放散速度(NP(D))

図-19にVOC放散速度の経時変化を、図-20~22にチェンバー内設置1日後、3日後、7日後におけるVOC成分毎の放散速度を示す。

NP(D)の7日後のVOC放散速度は32[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]となり、本実験で塗布したフローリングの中で最も小さい値を示した。

検出されたVOC成分は、ピネン、2-プロパノール、リモネンであった。7日後では、ピネン、2-プロパノールのみ、発生が確認された。未塗装フローリング(NP(F))の放散速度(65[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$])よりも小さい値を示したことから、ワックスとして期待できる製品であると言える。

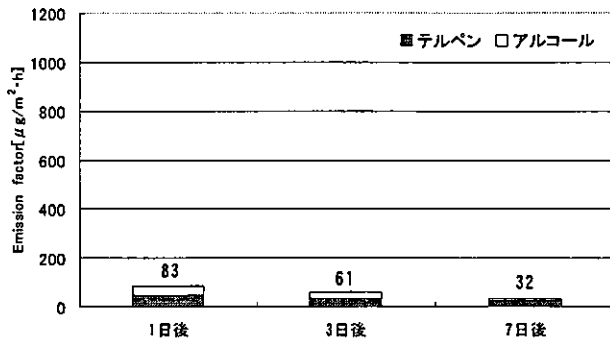


図-19 VOC 放散速度の経時変化(NP (D))

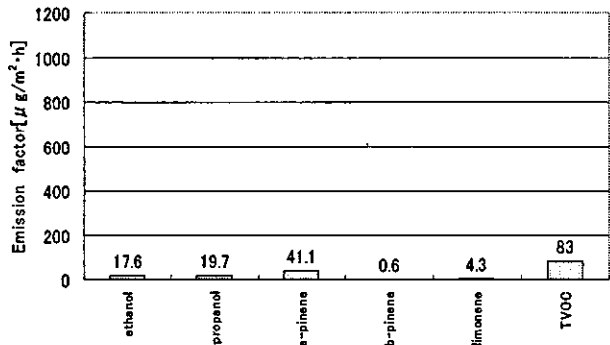


図-20 VOC 成分毎の放散速度(NP (D)、1日後)

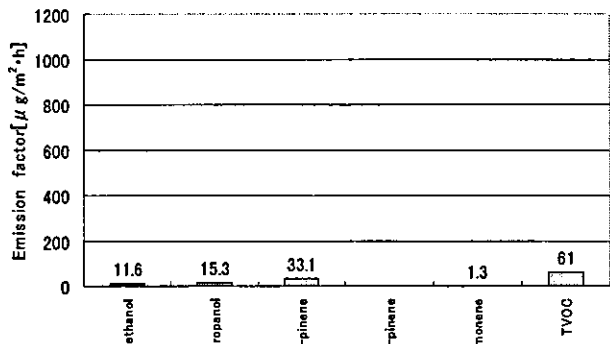


図-21 VOC 成分毎の放散速度(NP (D)、3日後)

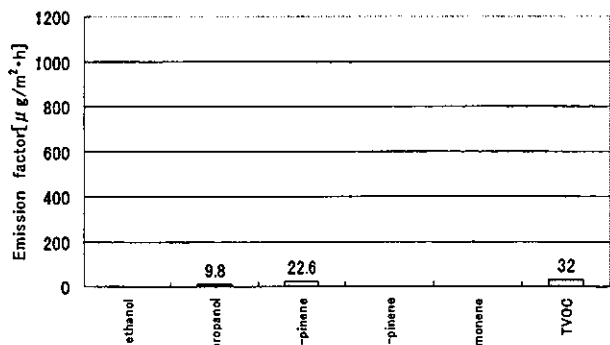


図-22 VOC 成分毎の放散速度(NP (D)、7日後)

(c) フローリング(ワックス E)の VOC 放散速度(NP(E))

図-23に VOC 放散速度の経時変化を、図-24~26にチェンバー内設置1日後、3日後、7日後における VOC 成分毎の放散速度を示す。

NP(E)の1日後の放散速度は、1200[μg/m²·h]であった。7日後には54%減少し、556[μg/m²·h]となったが、本実験で対象としたフローリングの中では最も大きい値を示した。特にアセトンの発生量が NP(A~D)と比較して、2~6倍の値であった。そのため、ワックス E 自体に、アセトンが多量に含まれていたと考えられる。アセトンは前述の通り、多量に吸入すると、不安感、頭痛、吐き気、眼への刺激などの症状を引き起こすため注意が必要である。

他の成分については、エタノール及びピネンの顕著な発生が確認されたが、他の成分の放散量は小さかった。

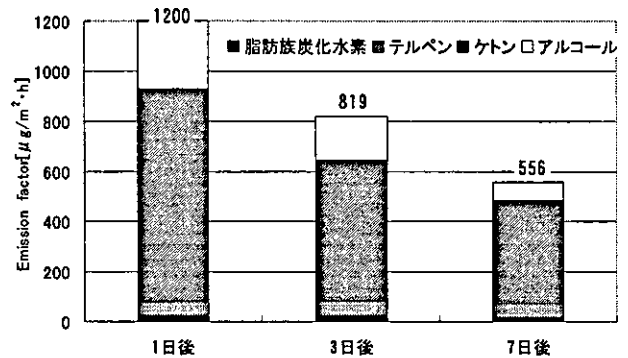


図-23 VOC 放散速度の経時変化(NP (E))

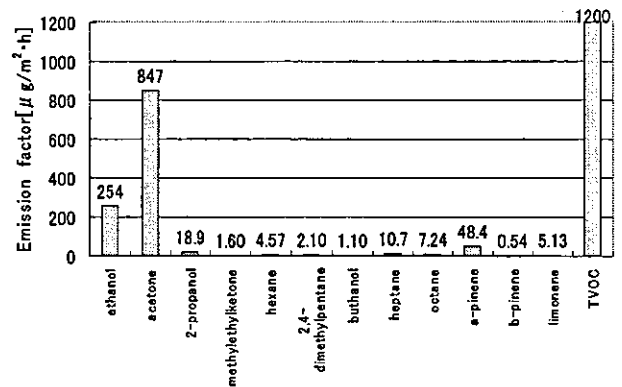


図-24 VOC 成分毎の放散速度(NP (E)、1日後)

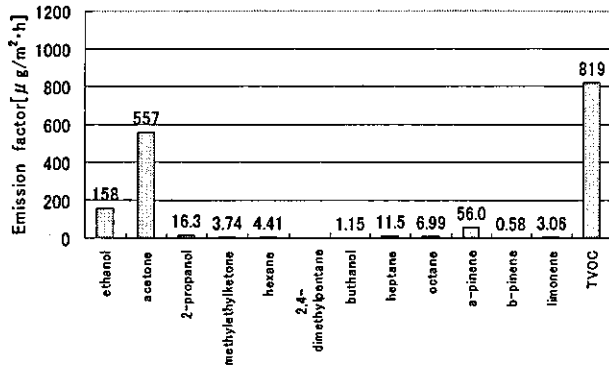


図-2 5 VOC成分毎の放散速度(NP(E)、3日後)

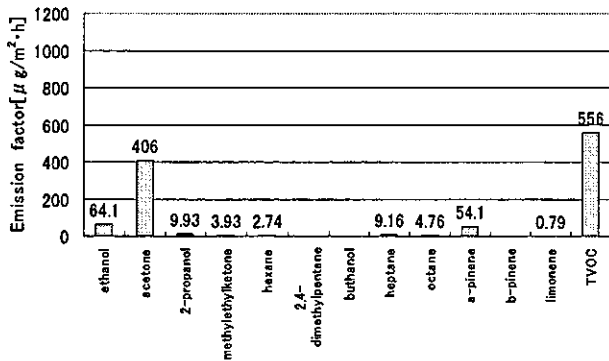


図-2 6 VOC成分毎の放散速度(NP(E)、7日後)

の種類によっては、塗膜が強固でないことも考えられ、エタノールが透過してしまったことが考えられる。

第3にNP(a)とNP(c)の値が近似していることから、塗料(c)がNP(b)で形成された塗膜を破壊してしまった可能性が考えられる。

いずれも、エタノールの放散量は大きかったことから、居住環境に与える影響は軽視できない。

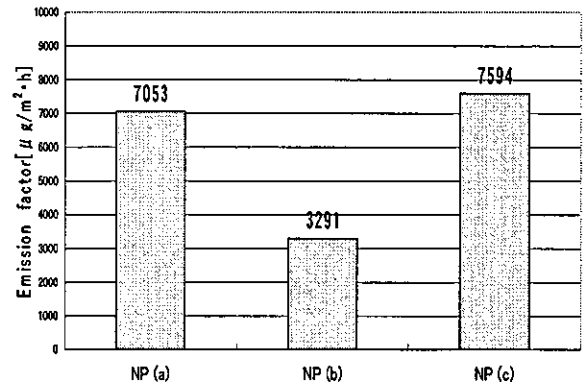


図-2 7 Ethanol放散速度

2. 封止系塗料

①エタノール

無垢フローリングに封止系塗料 a~c を塗布したものを NP(a)~NP(c)とし、NP(a)~NP(c)のエタノールの放散速度を図-27に示す。

NP(a)のエタノール放散速度は 7053[μg/m²·h]、NP(b)は 3291[μg/m²·h]、NP(c)は 7594[μg/m²·h]を示した。

NP(a)に関しては、セラック系封止系塗料の溶剤であるエチルアルコールによって、エタノールの放散が大きい値を示したと考えられる。

NP(b)は NP(a)に更に塗料 b を塗布したものであるが、エタノール放散速度は NP(a)の 1/2 の値を示した。そのため、塗料 b はエタノールの発生を抑制していると考えられる。

NP(c)は NP(b)に更に塗料 c を塗布したもので、放散速度は NP(b)のおよそ 2 倍の値を示し、抑制効果は見られなかった。原因として第 1 に、塗料 c 自体にエタノールが含まれていたことが考えられる。第 2 に、塗料 c がエタノールを遮断していなかったことが考えられる。封止系塗料は、アクリル等の樹脂が溶剤の乾燥に伴って固まり、塗膜を形成する。しかし、樹脂や溶剤

② 有害物質の発生

図-28~30にエタノールを除いた VOC 放散速度を示す。

NP(b)の VOC 放散速度はエタノールと同様に、NP(a)のおよそ 1/2 の値を示し、天然成分であるリモネンの顕著な発生が確認されたものの、他の成分に対しては抑制効果があったと考えられる。

NP(c)に関しては、NP(b)のおよそ 3 倍の値を示し、2-プロパノール、酢酸エチル、アセトンの顕著な発生が確認された。塗料 c は、エタノール以外の VOC においても抑制効果は見られなかった。

封止系塗料からのエタノール放散速度は、自然塗料や天然型ワックスを塗布したフローリング(NP(A~E))と比較すると、非常に大きな値であった。しかし、エタノールを除く VOC においては、逆に小さい値を示した。

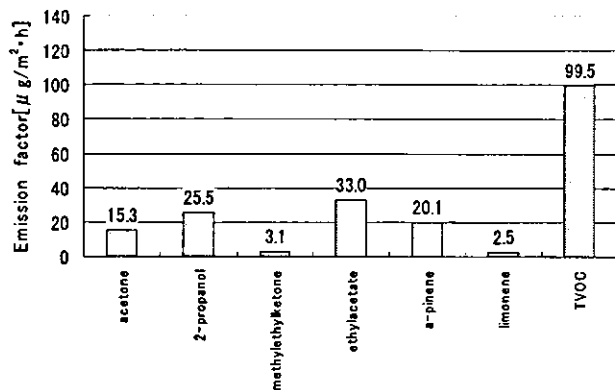


図-28 VOC成分毎の放散速度(NP(a))

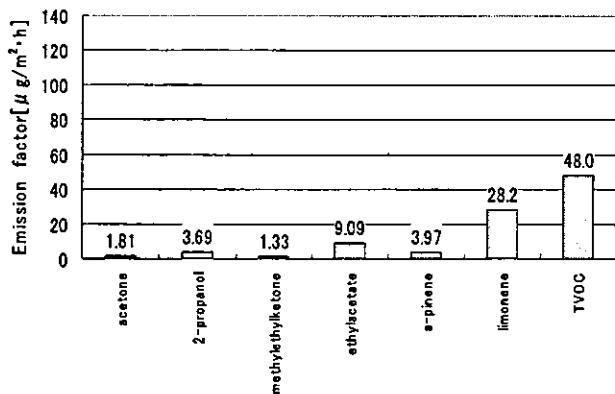


図-29 VOC成分毎の放散速度(NP(b))

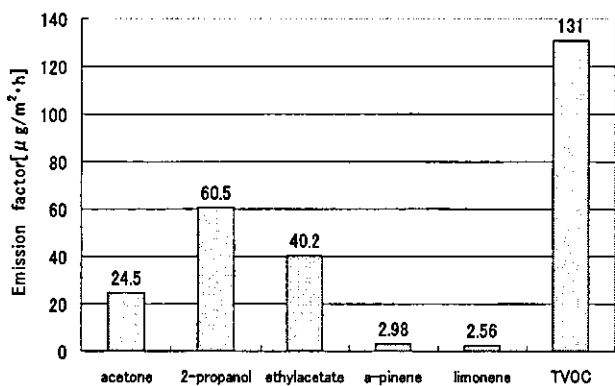


図-30 VOC成分毎の放散速度(NP(c))

3. 現場施工材

(1) 腰壁材

①VOC発生

VOC測定濃度を(1)式に代入し、試験体からの放散速度を求めた。結果を図-31~34に示す。

(a) 腰壁 i (TP(i)、写真-19)

図-31に1日後、図-32に3日後の表面、裏面、両面のVOC放散速度を示す。

TP(i)の表面からの1日後の放散速度は239[μg/m²·h]で、3日後ではおよそ30[%]減

少し、166[μg/m²·h]の値となった。VOC成分としては、アルコール類エタノールの顕著な発生が確認された。放散速度の約7割をエタノールが占める結果となり、塗布されている塗料自体から発生したものと考えられる。他の成分については、エステル類の酢酸エチル、ハロゲン類のジクロロメタン、またケトン類のアセトン等が検出された。

裏面からのVOC放散速度は、1日後で331[μg/m²·h]であり、3日後で252[μg/m²·h]まで減少した。検出されたVOC成分は表面の結果と同様にエタノールの放散量が顕著であった。表面からの放散速度より大きい値を示したことから、表面に塗装された塗料の成分が裏面まで浸透したと考えられる。

両面のVOC放散速度は、1日後で372[μg/m²·h]、3日後で341[μg/m²·h]となり、表面及び裏面より大きい値を示したが、表面と裏面の放散速度の和(1日後:570[μg/m²·h]、3日後:418[μg/m²·h])よりも小さい値を示した。

建材からの化学物質の発生を抑制する塗料であっても、塗料自体からの溶剤系化学物質発生があることを確認した。また、表面部分で抑制されている化学物質が建材内部を浸透してしまうことも確認された。そのため、室内側の汚染だけでなく、壁体内や床下空間汚染の要因の一つとなりうると考えられる。

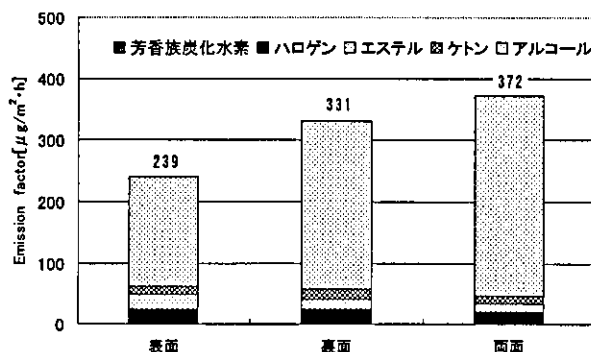


図-31 1日後のVOC放散速度(TP(i))

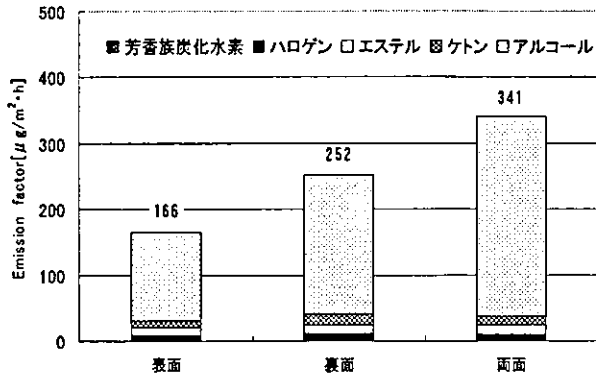


図-32 3日後のVOC放散速度(TP(i))

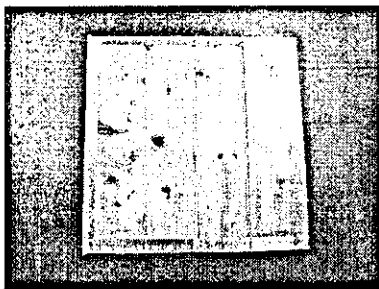


写真-19 腰壁 i (TP(i))

(b) 腰壁 ii (TP(ii), 写真-20)

図-33に1日後、図-34に3日後の表面、裏面、両面のVOC放散速度を示す。

TP(ii)の表面からのVOC放散速度は、1日後で142[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]、3日後では219[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]まで増加した。増加した原因については現在調査中である。

TP(ii)のVOC成分としては、TP(i)と同様にアルコール類エタノールの顕著な発生が確認された。放散速度の約8割をエタノールが占める結果となり、塗布されている塗料自体から発生したものと考えられる。他の成分については、酢酸エチル、アセトンなどが検出された。

裏面からの1日後の放散速度は254[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]で、3日後では約40[%]減少し、153[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]の値となった。検出されたVOC成分はエタノールが顕著な発生を示し、表面からの放散速度より大きい値を示したことから、表面に塗装された塗料の成分が裏面まで浸透したと考えられる。

腰壁iiは腰壁iの処理方法と若干異なっていたため、腰壁iから発生したVOC成分以外のものが検出されると考えられたが、発生した成分はほぼ同様なものであった。また、腰壁iiの放散速度は腰壁iより小さい結果となった。

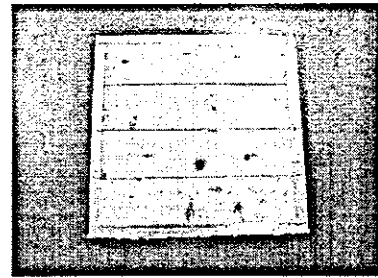


写真-20 腰壁 ii (TP(ii))

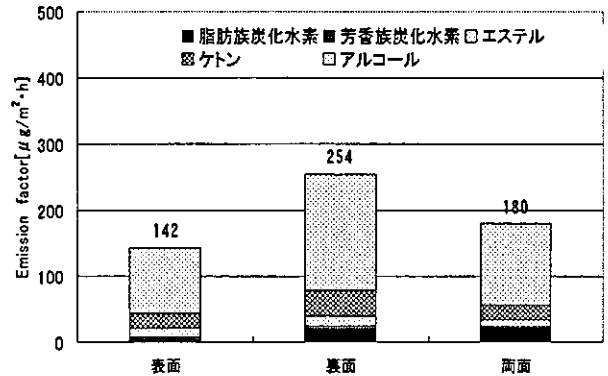


図-33 1日後のVOC放散速度(TP(ii))

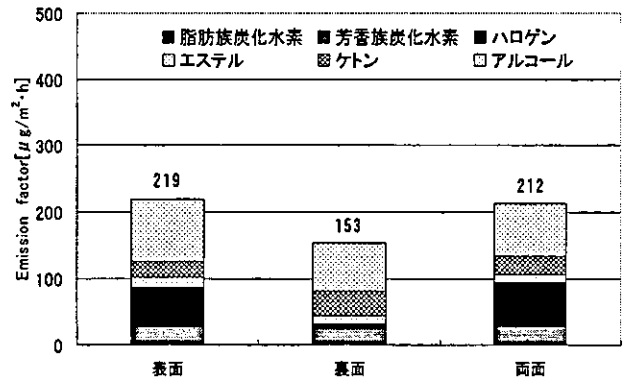


図-34 3日後のVOC放散速度(TP(ii))

②アルデヒド類発生

ホルムアルデヒド及びアセトアルデヒド測定濃度を(1)式に代入し、試験体からの放散速度を求めた。結果を図-35~38に示す。

(a) 腰壁 i (TP(i))

図-35に表面、裏面、両面のホルムアルデヒド放散速度を、図-36にアセトアルデヒドの放散速度を示す。

TP(i)の表面からのホルムアルデヒド放散速度は、1日後で3.55[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]、3日後では5.90[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]まで増加した。

裏面からのホルムアルデヒド放散速度は、チェンバー内設置1日後で7.56[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]、3日

後では $8.65[\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}]$ となり、表面と同様に増加傾向を示した。この原因については現在調査中である。

しかし、この増加量は微量であり、大きな変化はなかったと言える。

両面のホルムアルデヒド放散速度においては、表面裏面より大きい値を示した。

TP(i)の表面からのアセトアルデヒド放散速度は、1日後、3日後共に $165[\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}]$ となり、変化は見られなかった。

裏面のアセトアルデヒド放散速度については、1日後で $198[\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}]$ であり、3日後で $169[\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}]$ まで減少した。

TP(i)から発生したホルムアルデヒドとアセトアルデヒドを比較すると、全体的に明らかにアセトアルデヒドが大きい結果となった。この原因として、使用していた塗料自体にアセトアルデヒドが大量に含有されていたこと、また基材である、さわら材自体から発生したためではないかと考えられる。

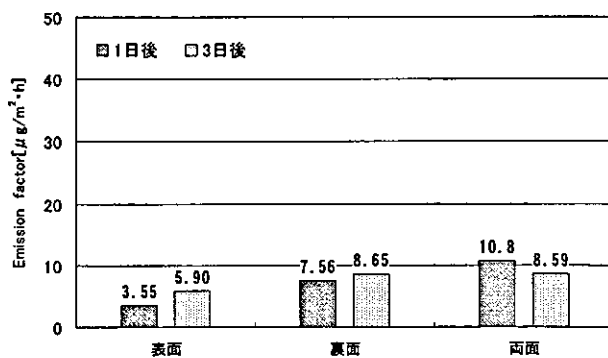


図-35 ホルムアルデヒド放散速度(TP(i))

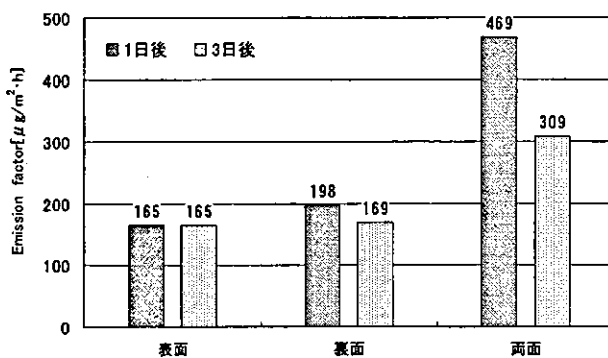


図-36 アセトアルデヒド放散速度(TP(i))

(b) 腰壁 ii(TP(ii))

図-37に表面、裏面、両面のホルムアルデヒド放散速度を、図-38にアセトアルデヒド

の放散速度を示す。

TP(ii)の表面からのホルムアルデヒド放散速度は、1日後で $7.15[\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}]$ 、3日後では $11.4[\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}]$ まで増加した。

裏面からのホルムアルデヒド放散速度は、1日後で $15.2[\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}]$ 、3日後では $17.1[\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}]$ の値となり、表面と同様に増加傾向を示した。

TP(ii)の表面のアセトアルデヒド放散速度は、1日後、3日後共におよそ $15.0[\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}]$ となり、前項と同様に変化は見られなかった。

裏面からのアセトアルデヒド放散速度については、1日後で $28.2[\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}]$ であり、3日後で $21.4[\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}]$ まで減少した。

両面のアセトアルデヒド放散速度においては、裏面と同程度の値を示した。

ホルムアルデヒド放散速度は腰壁 i と比較すると大きい値となったが、アセトアルデヒド放散速度に関しては、小さい結果となった。アセトアルデヒド放散速度が小さかった原因として、塗料及び、基材のさわら材自体のアセトアルデヒドが既に揮発していたことが考えられる。詳細について今後調査すべき課題である。

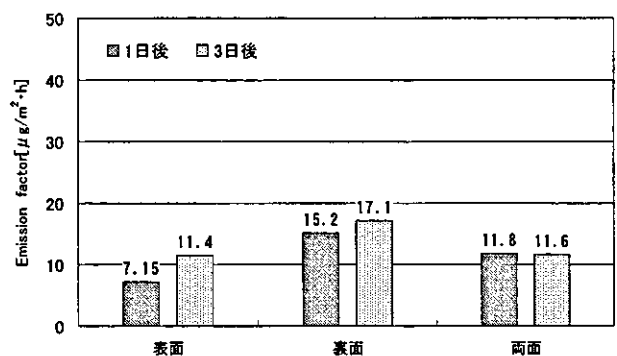


図-37 ホルムアルデヒド放散速度(TP(ii))

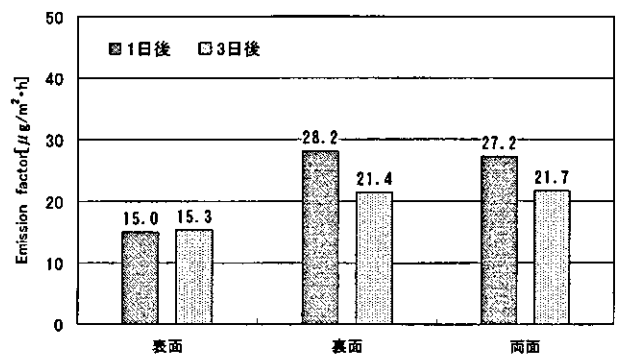


図-38 アセトアルデヒド放散速度(TP(ii))

(2) 床材

①VOC 発生

VOC 測定濃度を(1)式に代入し、試験体からの放散速度を求めた。図-39に1日後、図-40に2日後、図-41に3日後の表面及び裏面のVOC放散速度を示す。

床材iii (TP(iii)、写真-22)の表面からのVOC放散速度は、1日後で171[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]、2日後で259[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]、3日後で263[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]となり、増加傾向を示した。VOC成分としては、エタノールの発生が顕著で、全体の5割以上を占める結果となった。床材(TP(iii))も腰壁材(TP(i、ii))と同様に、塗布されている塗料自体から発生したものと考えられる。他の成分については、ジクロロメタン、アセトン、酢酸エチル等が検出された。

裏面からのVOC放散速度は、3日間を通して、165~262[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]となり、表面からの放散速度と同程度の値を示した。VOC成分においても、表面と同じ成分の放散が確認された。



写真-22 床材iii(TP(iii))

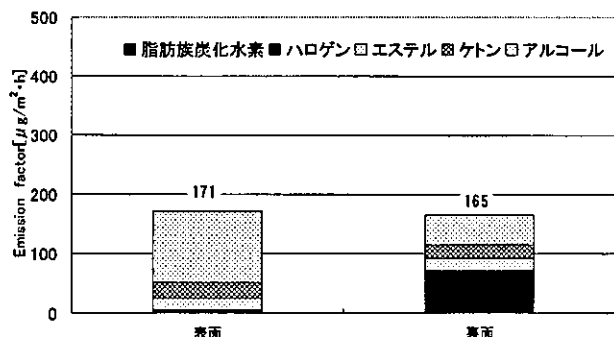


図-39 1日後のVOC放散速度(TP(iii))

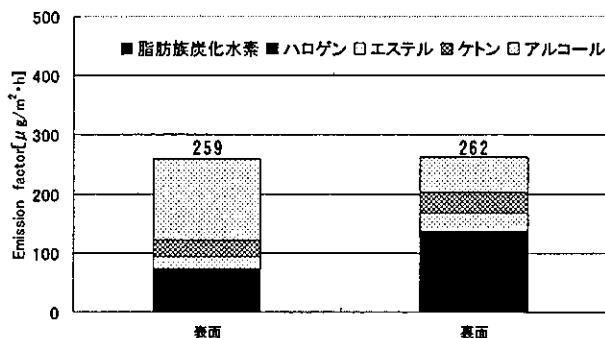


図-40 2日後のVOC放散速度(TP(ii))

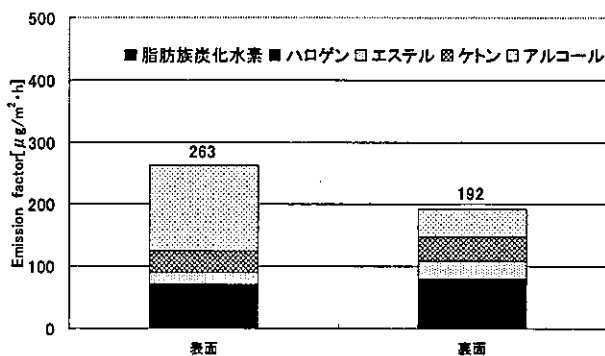


図-41 3日後のVOC放散速度(TP(ii))

②アルデヒド類発生

ホルムアルデヒド及びアセトアルデヒド測定濃度を(1)式に代入し、試験体からの放散速度を求めた。

図-42に表面、裏面、両面のホルムアルデヒド放散速度を、図-43にアセトアルデヒド放散速度を示す。

TP(iii)の表面からのホルムアルデヒド放散速度は、1日後で14.5[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]、2日後で10.2[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]、3日後では4.81[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]となり、減少傾向を示した。

裏面からのホルムアルデヒド放散速度は、1日後で10.9[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]、3日後では26.5[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]まで増加した。この原因については現在調査中である。

TP(iii)の表面からのアセトアルデヒド放散速度は、1日後で6.65[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]、3日後で5.87[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]となり、ほとんど変化は見られなかった。

裏面のアセトアルデヒド放散速度においても、1日後で6.42[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]、2日後で7.47[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]、3日後で7.66[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]となり、ほとんど変化は見られなかった。

TP(iii)からのアセトアルデヒド放散速度は、

腰壁材(TP(i, ii))と比較すると小さな値となった。

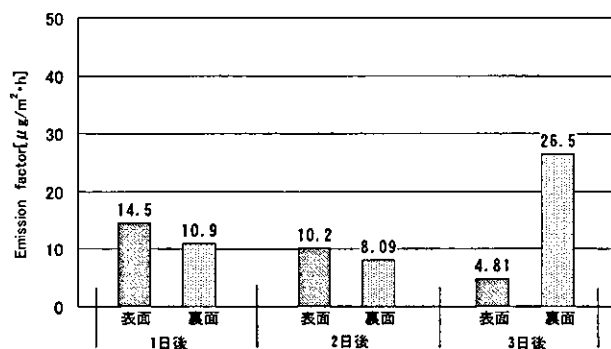


図-42 ホルムアルデヒド放散速度(TP(iii))

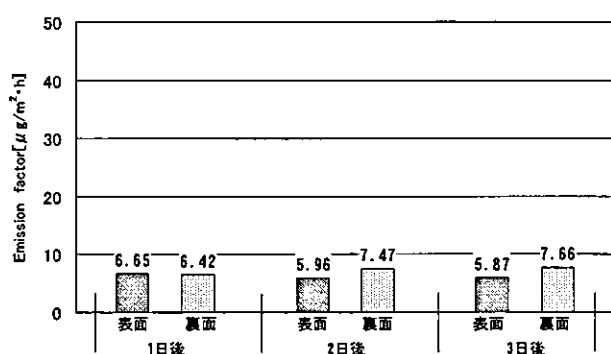


図-43 アセトアルデヒド放散速度(TP(iii))

D. 考察

1. 自然塗料及び天然型ワックス

自然塗料及び天然型ワックスを塗布した無垢フローリングからの VOC 放散速度は、日数の経過に伴い、減少傾向を示した。自然塗料を塗布した NP(A, B)の放散速度は 191~1179[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]、天然型ワックスを塗布した NP(C~E)では 32~1200[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]の範囲であった。

今回使用した塗布剤の主要成分は天然のものであるにも関わらず、全ての検体から溶剤系化学物質が検出された。特に、アセトンの顕著な発生が確認され、塗布剤自体に多量に含まれていたと考えられる。他に、エタノール、2-プロパノール、ピネン、リモネン等が検出された。

2. 封止系塗料

封止系塗料を塗布した無垢フローリングにおいて表面からの VOC 発生を定量的に明らかにした。エタノールは全ての検体において顕著な発生が見られ、VOC 放散速度の 98[%]を占める結果となった。

今回使用した封止系塗料からの VOC 放散速度が大きかった理由として、塗膜に残存していた化学物質の発生や、化学物質が塗膜を透過してしまったことが考えられる。

今後は、表面に塗布した塗料が建材裏面まで浸透し、裏面からの化学物質発生も考えられるため、裏面からの発生量について把握する必要がある。

3. 現場施工材(腰壁材及び床材)

腰壁材の VOC 放散速度は、TP(ii)の3日後を除いて、表面より裏面からの放散速度が大きい値を示した。VOC 成分についてはエタノールの顕著な発生が確認された。

腰壁材のホルムアルデヒドとアセトアルデヒドの放散速度を比較すると、アセトアルデヒドが大きい値を示した。この原因としては、使用した塗料自体にアセトアルデヒドが含有されていたこと、また、基材であるさわら材自体から発生したためではないかと考えられる。

床材の表面及び裏面からの VOC 放散速度は、同程度の値を示した。腰壁材と同様にエタノールの発生が顕著であった。アセトアルデヒドの放散速度は腰壁材と比較すると小さい値を示した。

全ての腰壁及び床材において、表面部分だけではなく、裏面からも化学物質が発生していることが明らかとなった。

E. 結論

1. 自然塗料及び天然型ワックス

本研究では、以下の知見を得ることができた。

- ①自然塗料又は天然型ワックスを塗布した無垢フローリングからの VOC 発生を定量的に明らかにした。
- ②日数の経過に伴い、VOC 放散速度は減少した。
- ③全ての検体から、溶剤系化学物質の発生が確認された。
- ④アセトン、エタノールの顕著な発生が確認された。

今後は、長期にわたるフローリングからの VOC 発生量変化や材種の違いによる発生量の変化について把握する必要がある。

2. 封止系塗料

本研究では、以下の知見を得ることができた。

- ①封止系塗料を塗布した無垢フローリングにおい

- て表面からの VOC 発生を定量的に明らかにした。
- ②NP(b)において、VOC の抑制効果が確認された。
 - ③エタノールの発生が顕著で、放散速度は 3291～7594[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]の範囲を示した。
 - ④エタノールを除く VOC の発生は小さい値を示した。

表面に塗布されている塗料が裏面まで浸透し、裏面からの化学物質発生も考えられるため、今後は裏面からの発生量について把握する必要がある。

3. 現場施工材(腰壁材及び床材)

本研究では、以下の知見を得ることができた。

- ①実際の住宅で使用され、低減対策が施された腰壁材及び床材からの VOC、アルデヒド類の発生を定量的に明らかにした。
- ②腰壁の VOC 放散速度は、TP(ii)の3日後を除いて、表面より裏面からの放散速度が大きい値を示した。ホルムアルデヒドは、表面で 3.55～11.4[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]、裏面で 7.56～17.1[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]で、アセトアルデヒドについては、表面で 15.0～165[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]、裏面で 21.4～198[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]であった。
- ③床材の VOC 放散速度は、表面で 171～263[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]、裏面で 165～262[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]であった。ホルムアルデヒドは、表面で 4.81～14.5[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]、裏面で 8.09～26.5[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]で、アセトアルデヒドについては、表面で 5.87～6.65[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]、裏面で 6.42～7.66[$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$]であった。
- ④全ての腰壁及び床材において、表面部分だけではなく、裏面からも化学物質が発生していることが明らかとなった。

今後は、長期的な化学物質発生量の変化について把握していく必要がある。

F. 健康危機情報

自然系塗料、ワックス塗布の試験片から検出された化学物質の中で、特に大きな放散速度を示したものはエタノールである。

同塗布剤はトルエン、キシレンなどの規制対象物質を全く含まないものと多少含むものとに分かれることが判明した。同物質の使用抑制により、建築現場における施工性低下が生ずる。すなわち、施工後の塗膜面における乾燥性の低下である。この問題の補填のために、エタノールが使われ始めている。

今回、同塗布剤のエタノール放散性が明らかになったが、相当地に大きな放散速度であり、高濃度の室内エタノール汚染が危惧される。

今後、室内汚染濃度の実態把握と健康影響に関わる調査も求められるものと思われる。

G. 研究発表

- 1)野崎淳夫、山田慎子、成田泰章、折笠智昭、大江陽一、長崎衣里:木質建材からの有害化学物質発生に関する研究、室内空気環境とその快適性に関する研究(その35)、第11回(社)大気環境学会北海道東北支部学術集會講演要旨集、pp.32-33、2004年11月
- 2)野崎淳夫、折笠智昭:小型チェンバーによる建築材料からの VOC の放散に関する研究、ムクフローリング建材、自然塗料からの VOC 放散測定、第45回大気環境学会年會講演要旨集、p664、2004年10月
- 3)野崎淳夫、折笠智昭:フローリング建材、自然塗料からのガス状汚染物質の発生に関する研究、日本環境学会・室内環境学会合同研究発表會講演予稿集、pp.286-287、2004年10月
- 4)野崎淳夫、折笠智昭:ムクフローリング建材、自然塗料からの VOC の発生に関する研究、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、pp.1411-1414、2004年9月
- 5)野崎淳夫、大澤元毅、桑沢保夫、田辺新一:塗布剤の化学物質除去性能に関する研究(その1)、日本建築学会学術講演梗概集、DⅡ巻、pp.1095-1096、2004年8月
- 6)野崎淳夫、折笠智昭、桑沢保夫、大澤元毅、坊垣和明:小型チェンバーを用いたムクフローリング建材、自然塗料からの化学物質放散に関する研究、日本建築学会学術講演梗概集、DⅡ巻、pp.969-970、2004年8月
- 7)野崎淳夫、折笠智昭、坊垣和明、大澤元毅:木製フローリング及び自然塗料からの化学物質の発生に関する研究、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會予稿集、pp.270-271、2004年4月

H. 知的財産権の出願・登録状況

現時点では、特になし。

1. 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。

J. 参考・引用文献

- 1)野崎淳夫：平成 13～15 年度厚生労働科学研究費補助金 生活用品、対策建材からの化学物質の発生と除去特性に関する研究、『生活用品、対策品からの化学物質の発生と除去特性に関する研究』、2004 年 3 月
- 2)野崎淳夫、折笠智昭、大澤元毅、坊垣和明：フローリング、自然塗料からの VOC の発生について、室内空気環境とその快適性に関する研究(その 17)、第 10 回大気環境学会北海道東北支部学術集会講演要旨集、pp.44～45、2003 年 11 月
- 3)野崎淳夫、浦山尚子、坊垣和明、大澤元毅：室内空気環境とその快適性に関する研究(その 17)、第 10 回大気環境学会北海道東北支部学術集会講演要旨集、pp.46～47、2003 年 11 月
- 4)野崎淳夫、鈴木奈々：自然塗料および接着剤からの VOC 発生、室内空気環境とその快適性に関する研究(その 6)、大気環境学会北海道東北支部学術集会講演要旨集、pp.58～59、2002 年 11 月
- 5)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」委員会：塗布・噴霧などによる発散速度抑制効果の標準試験法(案)（主査野崎淳夫）、2004 年 1 月

- 6)市原英樹、庄司研、洞田浩文、樋渡潔・深尾仁：フローリングより発生する HCHO と VOC の濃度およびその減衰の研究(その 1) 各種フローリングの比較、日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)、pp.837～838、2000 年 9 月
- 7)市原真希、市原英樹、洞田浩文：チェンバー実験における各種建材の温度別放散量の研究(その 2)TVOC 発生、日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)、pp.871～872、2002 年 8 月
- 8)上平崇弘、本橋健司、今井誠弘：低 VOC 型塗料～低 VOC 型塗料からの化学物質の放散挙動～、日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)、pp.657～658、2003 年 9 月
- 9)日本塗料協会：塗料と塗装、1997 年 10 月
- 10)財団法人日本規格協会：シックハウス対策に役立つ小形チェンバー法解説 (JIS A 1901)、2003 年 4 月
- 11)財団法人日本規格協会：塗料の選び方・使い方、2002 年 12 月
- 12)財団法人日本規格協会：JIS ハンドブック 塗料、1997 年 4 月
- 13)NPO 法人シックハウス診断士協会：シックハウス診断士補受験テキスト、2004 年 3 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
②家庭用空気清浄機による室内空气中化学物質の除去性の評価

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

研究では室内での化学物質発生状況に注目し、1)定常発生法による性能評価試験法を開発し、同試験法を用いて2)空気清浄機の化学物質除去性能を相当換気量により求め、さらには同指標を用いて3)高精度の室内化学物質濃度予測法を実現させ、個人暴露量評価や推計上の基礎データを蓄積した。

結果として、最新の家庭用空気清浄機において、ホルムアルデヒドは16.4~25.7 (m³/h)、VOCは29.6~51.6 (m³/h)の相当換気量が示された。また、室内化学物質濃度予測値と実測値の符合率はホルムアルデヒドで平均96.0(%)、VOCで約94(%)となり、本予測手法は高精度の室内化学物質濃度予測法であることが判明した。

A. 目的

(1) 背景

シックハウス症候群や化学物質過敏症に関して Formaldehyde や VOC が大きく関与していることが指摘されている。

家庭用空気清浄機は従来、タバコ煙対策の商品だったが、近年では建材などから発生する化学物質による「シックハウス症候群」の予防や健康志向の高まりから、広く利用されるようになっていく。

現在市販されている家庭用空気清浄機には、除去対象物質やその除去原理などにより、いくつかの種類がある。また最近では、Formaldehyde や VOC などのガス状化学物質による室内空気汚染の除去対策として、家庭用空気清浄機が注目されるようになり、化学物質除去機能を記載した機種が増えている。

以上のことから、室内化学物質の低減対策の一つとして、家庭用空気清浄機が注目され、機器の性能評価についての研究が進められている。

(2) 既往の研究

吉澤ら^{3,4)}は、家庭用空気清浄機の浮遊粒子物質除去特性を求める試験・評価法を確立している。この中で有効な機器の浄化指標として「相当換気回数」を提案している。

日本電気工業会 (JEMA)¹⁾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。その為、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通気風量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^{5,6,7)}は、1995年に家庭用空気清浄機の SPM*1 及びガス状物質 (Formaldehyde、NOx*2、CO*3、SPM*1、NMHC*4) 除去効果を機器の実用的な性能評価指標として「相当換気量 (ECAR:Equivalent clear Air Rates) Qeq[m³/h]」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。

小峯ら⁸⁾は、Formaldehyde を対象とし、One-pass 法と相当換気量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、Formaldehyde の機器試験に関する基礎研究を行っている。また、L.Erdinger ら⁹⁾は、化学吸着方式の空気清浄機について、真菌、SPM*1、また、ポリ塩化ビフェニル (PCB) *5 の One-pass 法による除去率を求めている。

また、野崎ら^{10, 11)}は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として「相当換気量」を提案し、2000年製の家庭用空気清浄機で減衰法除去性能試験を用いて、家庭用空気清浄機の Formaldehyde 及び VOC 除去性能について明らかにし、相当換気量を用いて性能評価を行った。

機器の Formaldehyde 除去性能は相当換気量 (Qeq) 8.10~19.9[m³/h]であり、平均値 15.1[m³/h]であった。また、VOC 除去性能は相当換気量 (Qeq) 4.40~16.3[m³/h]であり、平均値 12.5[m³/h]であった。

これらは、建築基準法、ビル管法における必要換気量(20~30[m³/h])に相当し、家庭用空気清浄機が室内汚染低減対策上、有効であることを示している。

(3)目的

これまでに、野崎らは減衰法除去性能試験を用いて、家庭用空気清浄機の Formaldehyde 及び VOC 除去性能について明らかにし、相当換気量

を用いて性能評価を行った。

しかし、実空間においては建材等の発生源からガス状汚染物質は常時発生しており、定常発生時における空気清浄機除去性能の解明が待たれている。

そこで、本研究では室内での化学物質発生状況に注目し、

- ①定常発生装置を用いた性能試験法の開発。
- ②同試験法を用いて、空気清浄機の性能評価指標である相当換気量から、機器の除去性能を求める。
- ③求められた機器の除去性能から高精度の室内化学物質濃度予測法を実現する。

以上の3項を目的とする。

B. 研究方法

(1) 測定対象機器

測定対象とした機器は、カタログ中に化学物質除去が記載しているものの中から、除去方法やフィルタ構成を考慮して選定した。機器の概要を表-1に、外観を写真-1、写真-2に示す。

表-1 測定対象機器の概要

機器	除去対象汚染物質	風量(m ³ /h)					フィルタの構成	除去原理	適用床面積(畳)	製造(年)
		超急速	急速	強	標準	弱				
AC-1	ウイルス/カビ孢子/NO _x /タバコ臭・タバコ煙/生活臭/体臭/ペット臭/花粉/ダニの死骸/ホコリ・チリ/HCHO	312	246	156	72	36	プレフィルタ+活性炭フィルタ+プラズマULPAフィルタ	プラズマ方式+フィルタ通過	~24	2002
AC-2	ウイルス/カビ孢子/NO _x /タバコ臭・タバコ煙/生活臭/体臭/ペット臭/花粉/ダニの死骸/ホコリ・チリ/HCHO	420	330	240	150	60	プレフィルタ+光触媒フィルタ+バイオ抗菌フィルタ+フラッシュストリーマ	フラッシュストリーマ方式+フィルタ通過	~29	2004

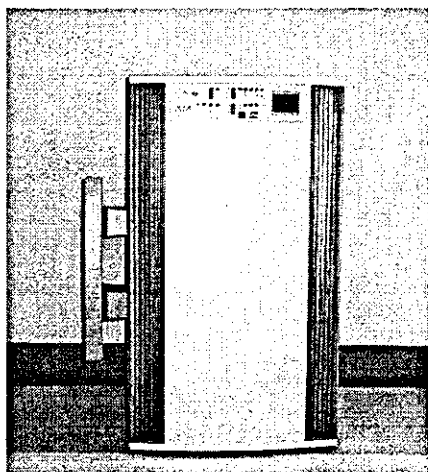


写真-1 AC-1

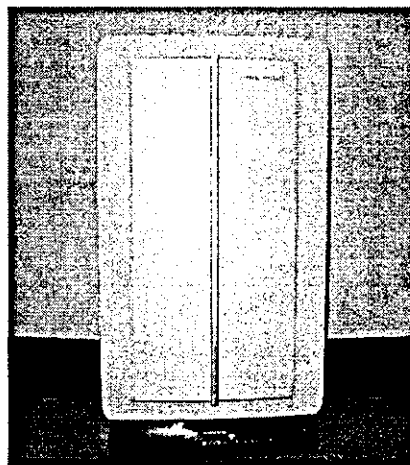


写真-2 AC-2

(2) 試験評価システム

本試験評価システムは、空気環境実験室内に設

置したステンレス製チェンバー(4.98m³)と定常ガス発生装置により構成されている。大型チェンバ

一では、ある一定の環境条件(Temp.: 28 ± 0.5 [$^{\circ}\text{C}$], R.H.: 50 ± 5 [%], R: 4.98 [m^3], n: 0.50 ± 0.05 [1/h], v: $0.2\sim 0.3$ [m/s])が制御できるものである。実験チェンバー、空気環境実験室の外観を写真-3、写

真-4に、試験評価システム装置の概要を図-1に示す。尚、実験チェンバー内の一様拡散状態を図るためにミキシングファンを設置した。

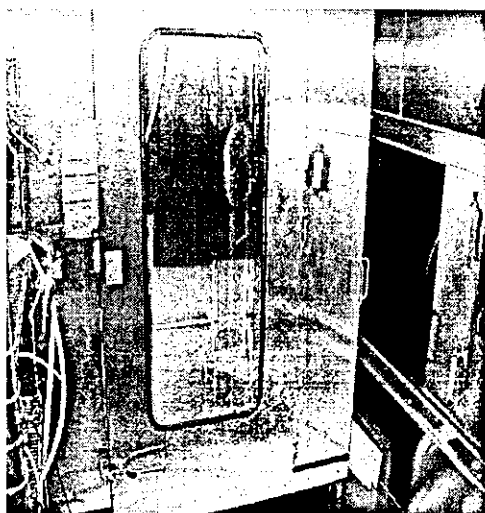


写真-3 実験チェンバー

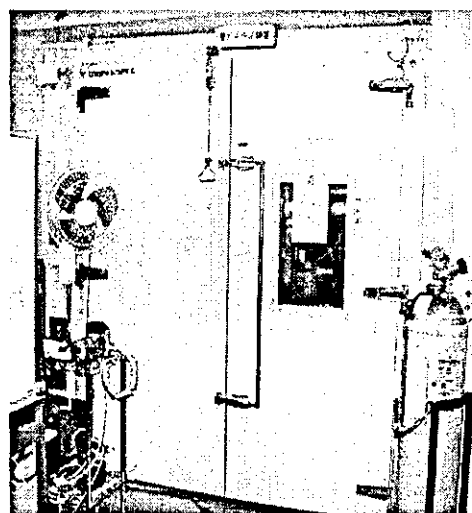


写真-4 空気環境実験室

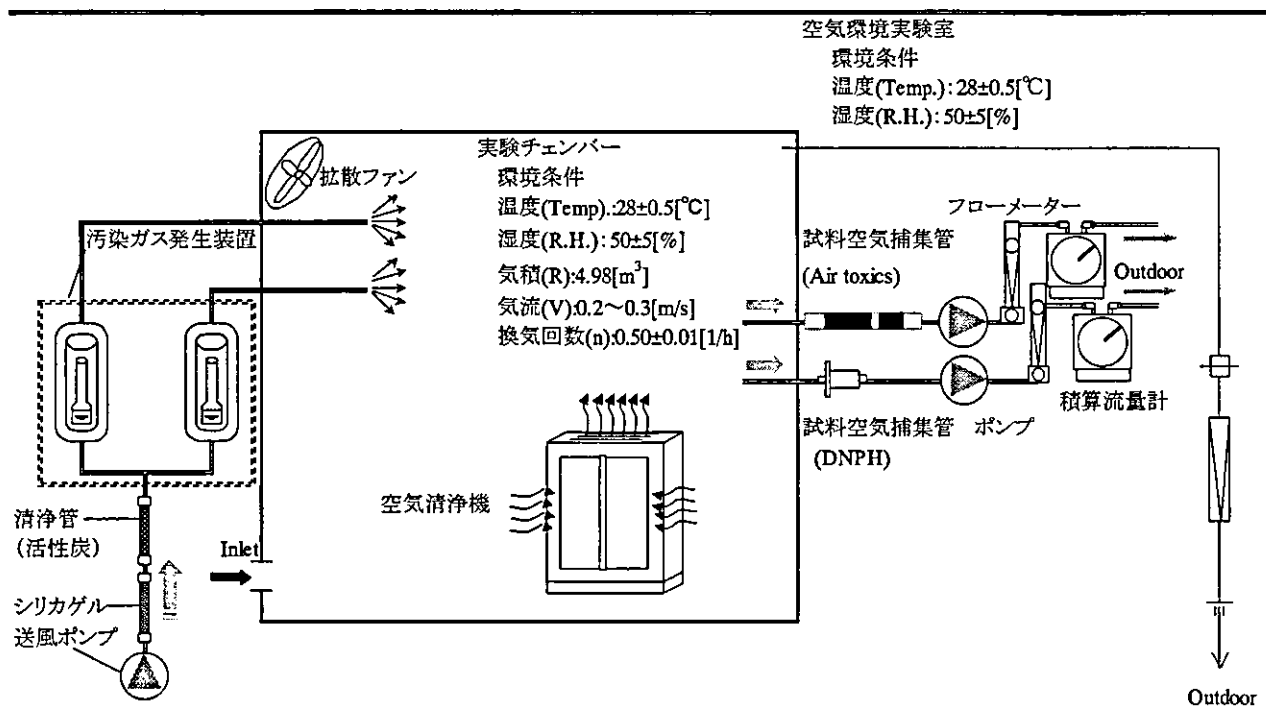


図-1 試験評価システム装置の概要

また、定常ガス発生装置の概要を以下に示す。本研究にて開発した定常ガス発生装置(写真-5)は、校正ガス発生装置(写真-6)、マスフローコントローラ(写真-7)、清浄管(写真-8)、シ

リカゲル層(写真-9)、コンプレッサ(写真-10)等により構成されている。発生条件を制御することで、対象化学物質の任意の発生量が得られるものである。

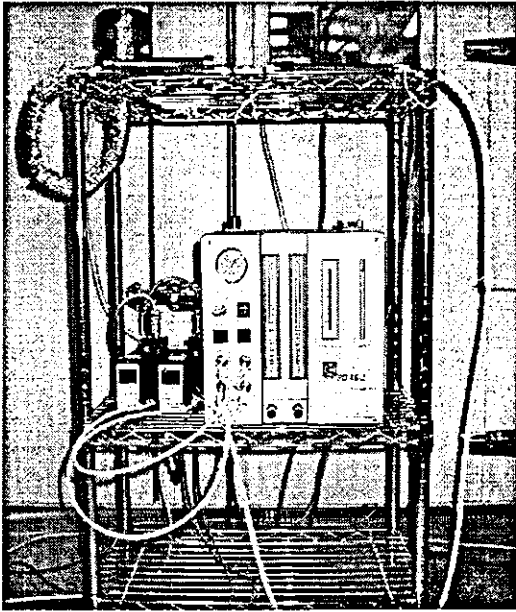


写真-5 定常ガス発生装置

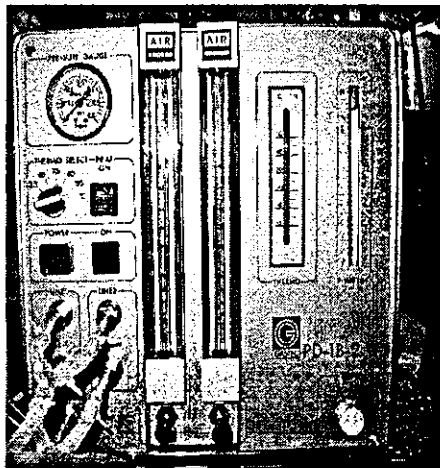


写真-6 校正ガス発生装置

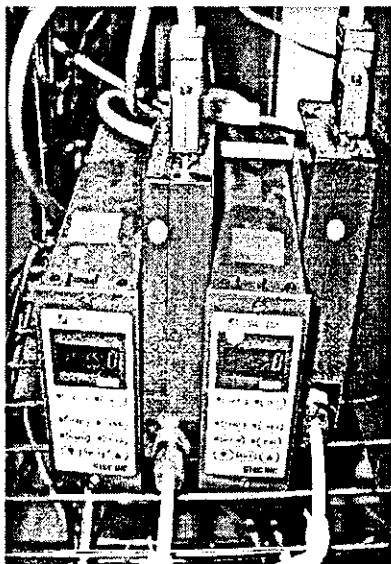


写真-7 マスフローコントローラ



写真-8 清浄管



写真-9 シリカゲル層

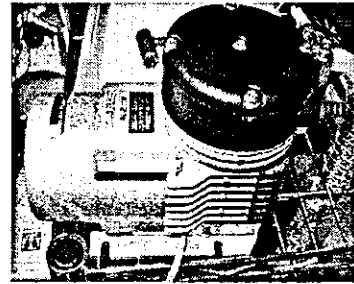


写真-10 コンプレッサ

(3) 除去対象物質と測定法

除去対象とした化学物質は、厚生労働省指針値対象物質とされている13成分のうち、校正ガス発生装置を用いて発生量が得られる5成分 (Formaldehyde、Toluene、Ethylbenzene、m-Xylene、Styrene) とした (写真-11参照)。

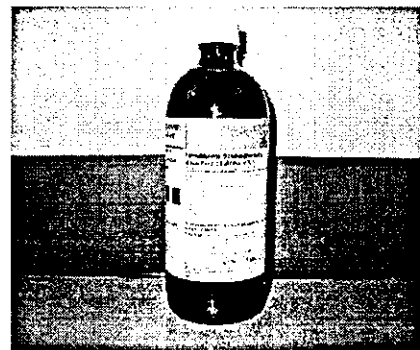


写真-11 測定対象物質の一例
(Formaldehyde 溶液)

また、測定法の概要を以下に示す。

① Formaldehyde の測定方法

Formaldehyde の測定法及び測定機器を以下に示す。

固相捕集・高速液体クロマトグラフ
(HPLC:High Performance Liquid

Chromatograph) 法

(a) 捕集装置

- ・定流量ポンプ (SIBATA 社製、Model MP-Σ 300 型) (写真-1 2)
- ・積算流量計 (シナガワ社製、Model DC-1A 型) (写真-1 3)
- ・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) 含浸シリカゲル) (粒径: 18/35 メッシュ) (写真-1 4)

(b) 分析装置

- ・高速液体クロマトグラフ (HPLC) (日立社製、Model L-7000 型) (写真-1 5)

(c) 測定方法

Formaldehyde の捕集は、DNPH カートリッジを用いて行い、捕集流量は 1.5 (L/min) で採取時間は 15 分間とした。DNPH カートリッジに捕集された Formaldehyde 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 (μL) 導入し、定性・定量分析を行った。また、HPLC で分析可能な化学物質を表-2 に示す。

②揮発性有機化合物 (VOC) の測定方法

VOC の測定法及び測定機器を以下に示す。

固相捕集-加熱脱着-ガスクロマトグラフ/質量分析 (以下、GC/MS) 法

(a) 捕集装置

- ・定流量ポンプ (SIBATA 社製、Model MP-Σ 300) (写真-1 6)
- ・積算流量計 (シナガワ社製、Model DC-1A 型) (写真-1 3)
- ・捕集管 (Spelco 社製、充填剤: Air toxics) (写真-1 7)

(b) 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-1 8)

(c) 分析装置

- ・GC/MS (Perkin Elmer 社製、Turbo mass gold) (写真-1 8)

(d) 測定方法

VOC の捕集は、VOC 捕集管 (Air toxics 充填) を用いて行い、捕集流量は 0.5 (L/min) で採取時間 30 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。その後、GC/MS に導入し、定性・定量分析を行った。また、GC/MS で分析可能な化学物質を表-3 に示す。

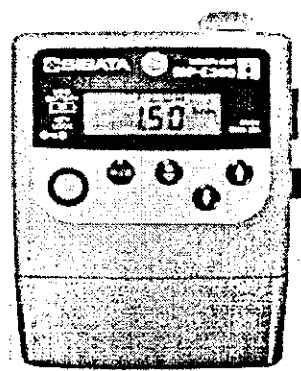


写真-1 2 定流量ポンプ
(Formaldehyde 捕集用 (flow:1.5[L/min]))

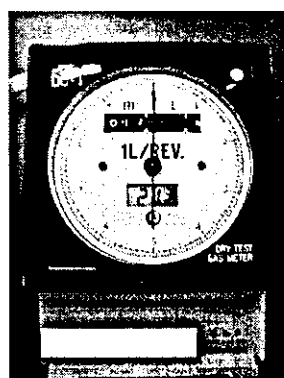


写真-1 3 積算流量計

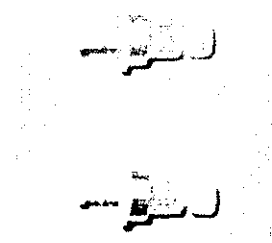


写真-1 4
Formaldehyde 捕集管 (DNPH)

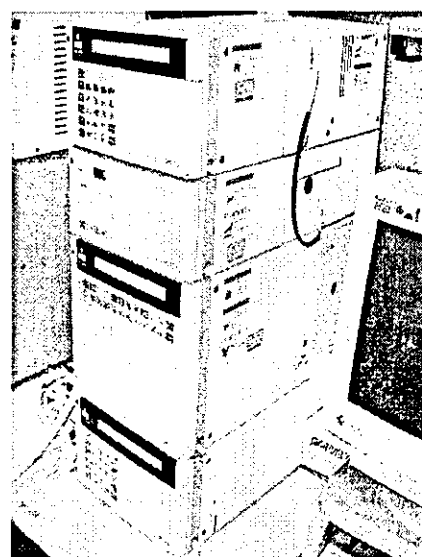


写真-1 5 HPLC

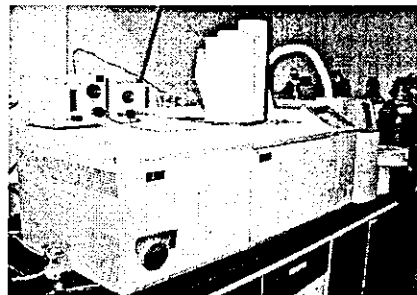
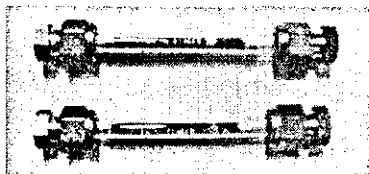
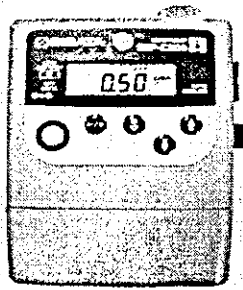


写真-16 定流量ポンプ 写真-17 VOC 捕集管 写真-18 加熱脱着/導入装置・GC/MS (VOC 捕集用 (flow:0.5[L/min]))

表-2 HPLC で分析可能な化学物質

Classification	Substance		Chemical formula	Molecular weight	Boiling point(°C)
	English	Japanese			
Aldehyde	Formaldehyde	ホルムアルデヒド	HCHO	30.03	-19.2
	Acetaldehyde	アセトアルデヒド	CH ₃ CHO	44.05	21.0

表-3 GC/MS で分析可能な化学物質

Classification	Substance		Chemical formula	Molecular weight	Boiling point(°C)
	English	Japanese			
Alkanes	hexane	ヘキサン	CH ₃ (CH ₂) ₄ CH ₃	86.2	69
	heptane	ヘプタン	CH ₃ (CH ₂) ₅ CH ₃	100.2	98.43
	2,4-dimethylpentane	2,4-ジメチルペンタン	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ CH(CH ₃) ₂	100.21	80
	2,2,4-trimethylpentane	2,2,4-トリメチルペンタン	CH ₃ C(CH ₃) ₂ CH ₂ CH(CH ₃) ₂	114.3	99
	octane	オクタン	CH ₃ (CH ₂) ₆ CH ₃	114.23	125.6
	nonane	ノナン	C ₉ H ₂₀ / CH ₃ (CH ₂) ₇ CH ₃	128.26	150.7
	decane	デカン	CH ₃ (CH ₂) ₈ CH ₃	142.28	174
	Undecane	ウンデカン	CH ₃ (CH ₂) ₉ CH ₃	156.31	195.6
	dodecane	ドデカン	CH ₃ (CH ₂) ₁₀ CH ₃	170.34	213
	tridecane	トリデカン	CH ₃ (CH ₂) ₁₁ CH ₃	184.37	225.5
	tetradecane	テトラデカン	CH ₃ (CH ₂) ₁₂ CH ₃	198.4	253.5
	pentadecane	ペンタデカン	CH ₃ (CH ₂) ₁₃ CH ₃	212.42	270.5
	hexadecane	ヘキサデカン	CH ₃ (CH ₂) ₁₄ CH ₃	226.45	286.5
Aromatics	benzene	ベンゼン	C ₆ H ₆	78.11	80.1
	toluene	トルエン	C ₆ H ₅ CH ₃	92.13	110.7
	ethylbenzene	エチルベンゼン	C ₆ H ₅ C ₂ H ₅	106.16	136.2
	m-xylene	m-キシレン	1,3-C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂	106.16	138.8
	p-xylene	p-キシレン	1,4-C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂	106.16	138.5
	o-xylene	o-キシレン	1,2-C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂	106.16	144
	styrene	スチレン	C ₆ H ₅ CH=CH ₂	104.1	145
	m-ethyltoluene	m-エチルトルエン	4-(C ₂ H ₅)C ₆ H ₄ CH ₃	120.2	162
	p-ethyltoluene	p-エチルトルエン	3-(C ₂ H ₅)C ₆ H ₄ CH ₃	120.2	161.3
	o-ethyltoluene	o-エチルトルエン	2-(C ₂ H ₅)C ₆ H ₄ CH ₃	120.2	165.2
	1,2,3-trimethylbenzene	1,2,3-トリメチルベンゼン	C ₆ H ₃ (CH ₃) ₃	120.19	176
	1,2,4-trimethylbenzene	1,2,4-トリメチルベンゼン	C ₆ H ₃ (CH ₃) ₃	120.19	236
	1,3,5-trimethylbenzene	1,3,5-トリメチルベンゼン	C ₆ H ₃	120.19	164.6
	1,2,4,5-tetramethylbenzene	1,2,4,5-テトラメチルベンゼン	C ₆ H ₂ (CH ₃) ₄	120.19	196
Terpenes	a-pinene	α-ピネン	C ₁₀ H ₁₆	136.24	155~156
	β-pinene	β-ピネン	C ₁₀ H ₁₆	136.24	164~166
	limonene	リモネン	C ₁₀ H ₁₆	136.24	176.4
Halogenes	dichloromethane	ジクロロメタン	CH ₂ Cl ₂	84.9	40
	chloroform	クロロホルム	CHCl ₃	119.4	62
	1,1,1-trichloroethane	1,1,1-トリクロロエタン	CH ₃ CCl ₃	133.4	74
	1,2-dichloroethane	1,2-ジクロロエタン	ClCH ₂ CH ₂ Cl	98.96	83.5
	carbon tetrachloride	四塩化炭素	CCl ₄	153.8	76.5
	trichloroethylene	トリクロロエチレン	CHCl=CCl ₂	131.38	86.7
	1,2-dichloropropane	1,2-ジクロロプロパン	C ₃ H ₆ Cl ₂	113	96
	bromodichloromethane	ブロモジクロロメタン	BrCHCl ₂	163.83	88.4~88.6
	dibromochloromethane	ジブロモクロロメタン	CHBr ₂ Cl	208.3	118~122
	tetrachloroethylene	テトラクロロエチレン	C ₂ Cl ₄	165.82	121
	p-dichlorobenzene	p-ジクロロベンゼン	C ₆ H ₄ Cl ₂	147	173.7
Esters	ethylacetate	酢酸エチル	CH ₃ COOC ₂ H ₅	88.1	77
	butylacetate	酢酸ブチル	CH ₃ COOCH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₃	116.16	126.3
Aldehyde or Ketones	acetone	アセトン	CH ₃ COCH ₃	58.08	56.2
	methyl ethyl ketone	メチルエチルケトン	CH ₃ COCH ₂ CH ₃	72.1	80
	methyl isobutyl ketone	メチルイソブチルケトン	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ COCH ₃	100.2	117~118
	nonanal	ノナール	C ₉ H ₁₇ CHO	146.24	190~192
Alcohol	decanal	デカール	CH ₃ (CH ₂) ₈ CH ₂ OH	160.29	232.9
	ethanol	エタノール	C ₂ H ₅ OH	46.07	78.3
	2-propanol	2-プロパノール	(CH ₃) ₂ CHCO	60.1	83
	butanol	ブタノール	CH ₃ (CH ₂) ₃ CHOH	74.1	117

④実験手順

本研究の手順を以下に示す(図-2)。

- (a)実験チェンバーの天井、内壁、床、の薬液洗浄を行う。それに伴い、家庭用空気清浄機、ミキシングファン等の清浄(精製水等)も行う。薬液洗浄後は実験室に清浄空気を供給しつつ、実験室内の温度、換気回数、気流速度をそれぞれ40[°C]、3[1/h]、2~3[m/s]に増大させ、残留物の除去を図る。尚、薬液はエタノールとアセトンを用いている。さらに、家庭用空気清浄機、ミキシングファンを隣接する空気清浄室に設置し、空運転を行いながら、同機器に付着する汚染物質の除去を図る。
- (b)実験チェンバー内に家庭用空気清浄機、ミキシングファンをセットする。
- (c)チェンバー内を(a)の状態に24時間保持した後、空気環境実験室及び実験チェンバー内の環境条件を実験時の環境条件に再度調整する。(温度：

28±0.5[°C]、相対湿度：50±5[%]、気流：0.2~0.3[m/s])

- (d)実験チェンバー供給空気の Formaldehyde 及び VOC を測定する。[捕集①]
- (e)実験チェンバー内の Formaldehyde、VOC の初期濃度を測定する。[捕集②]
- (f)室内をミキシングファンで攪拌しつつ化学物質を導入する。(Formaldehyde 及び VOC は定常ガス発生装置を用い流量を制御し、導入する。)
- (g)実験チェンバー内の Formaldehyde 及び VOC 濃度安定待ち(9h)
- (h)機器非運転期間における Formaldehyde 及び VOC 濃度の測定を行う。[捕集③、④、⑤]
- (i)家庭用空気清浄機を運転させ、機器運転期間における Formaldehyde 及び VOC 濃度測定を行う。[捕集⑥、⑦、⑧、⑨、⑩]

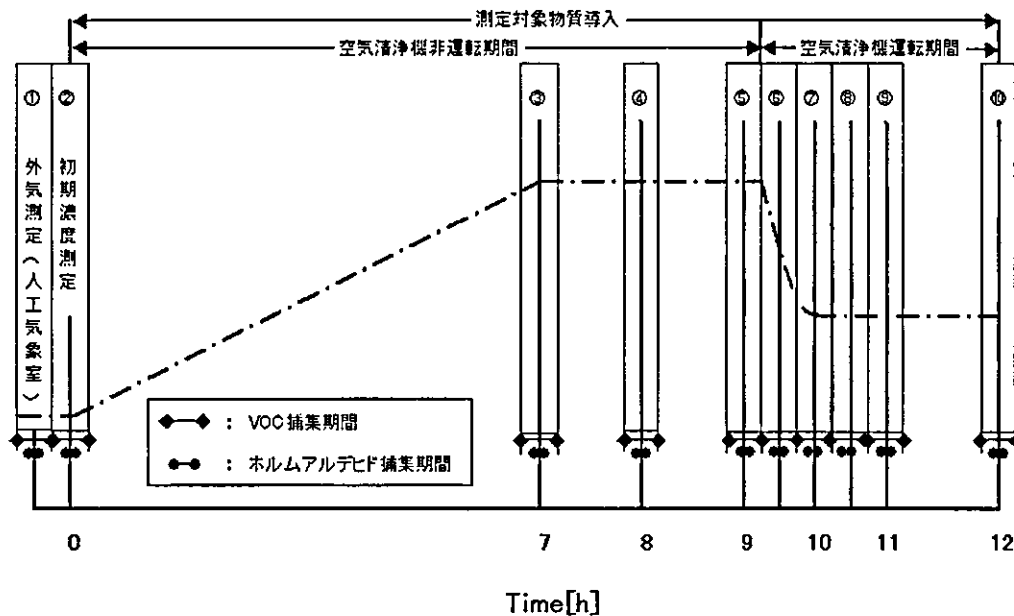


図-2 捕集タイムスケジュール

⑤定常法除去性能試験における空気清浄機の化学物質濃度予測、相当換気量の算出式

ある任意の時間における室内濃度を C [ppb, $\mu\text{g}/\text{m}^3$] とすると、ある限られた短時間 dt [h] における室内濃度の変化 dC [ppb, $\mu\text{g}/\text{m}^3$] は、次式(1)で表される。

$$\frac{dt}{R} (M + QC_0 - QC - VtSC - \alpha RC - Q_{eq}C) = dc \quad (1)$$

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 [m^3/h]、 C_0 ：外気濃度 [ppb, $\mu\text{g}/\text{m}^3$]、 Vt ：落下速度 [m/h]、 S ：床面積 [m^2]、 α ：吸着率 [$1/\text{h}$]、 R ：室の気積 [m^3]、 Q_{eq} ：相当換気量 [m^3/h] とした。

対象ガス状物質の分子量が小さく、自然落下による影響が無視できる場合には、 $Vt=0$ [m/h] となる。また、 $t=0$ [h] の時、室内濃度を C_1 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

とし、 $C=C_1$ として(1)式を解くと、次式(2)が成立する。

$$C = C_1 e^{-\left(\frac{Q+\alpha R+Q_{eq}}{R}\right)t} + \frac{M+QC_0}{Q+\alpha R+Q_{eq}} \left(1 - e^{-\left(\frac{Q+\alpha R+Q_{eq}}{R}\right)t}\right) \quad (2)$$

(2)式において $t=\infty$ とし、 $C=C_{ss}$ となり次式(3)が得られ、定常発生状態における家庭用空気清浄機の性能評価式が得られる。

$$C_{ss} = \frac{M+QC_0}{Q+\alpha R+Q_{eq}} \quad (3)$$

(3)式を展開することにより次式(8)が得られ、これを用いて定常除去性能試験における相当換気量(Q_{eq})を求めることが出来る。

$$C_{ss}Q + C_{ss}\alpha R + C_{ss}Q_{eq} = M + QC_0 \quad (4)$$

$$C_{ss}Q_{eq} = M + Q(C_0 - C_{ss}) - C_{ss}\alpha R \quad (5)$$

$$Q_{eq} = \frac{M}{C_{ss}} + \frac{Q}{C_{ss}}(C_0 - C_{ss}) - \alpha R \quad (6)$$

$$Q_{eq} = \frac{M}{C_{ss}} + \frac{Q}{C_{ss}}C_0 - Q - \alpha R \quad (7)$$

$$Q_{eq} = \frac{M}{C_{ss}} + Q + \left(\frac{C_0}{C_{ss}} - 1\right) - \alpha R \quad (8)$$

C. 研究結果及び考察

1. 空気清浄機運転に伴う室内濃度変化

(1) Formaldehyde

図3、図-4に示すように高濃度と低濃度における Formaldehyde の定常状態確認試験を行った。

低濃度、高濃度共に実験チェンバー内における Formaldehyde の定常状態を構築することに成功した。また、機器、機器風量、濃度別での機器運転試験を行った。

家庭用空気清浄機の運転に伴い Formaldehyde の顕著な濃度減少が示された。機器運転に伴う実験チェンバー内 Formaldehyde 濃度の経時変化について表-4、図5~10に示す。

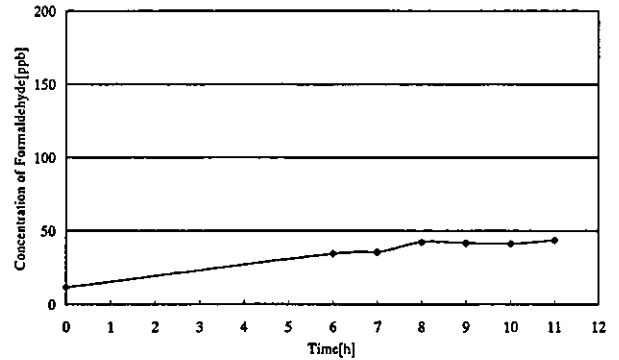


図-3 Formaldehyde 定常状態確認試験 (低濃度)

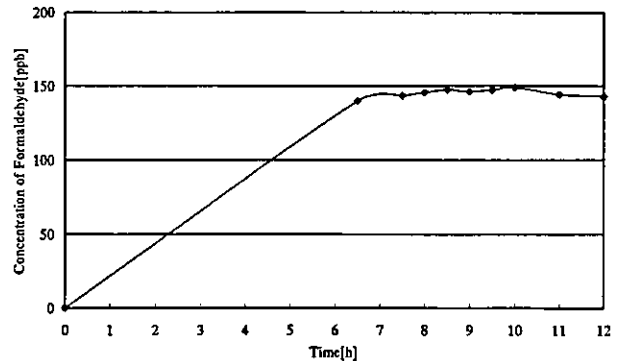


図-4 Formaldehyde 定常状態確認試験 (高濃度)

表-4 Formaldehyde 濃度変化

	機器名	機器非運転期間 (平均濃度)	~	機器運転期間 (平均濃度)	単位: [ppb]	運転モード	除去対象濃度
Formaldehyde (1st)	AC-1	60.4	~	25.4		弱	低濃度
Formaldehyde (2nd)		49.5	~	22.9			
Formaldehyde (3rd)	AC-2	187	~	89.1		超急速	高濃度
Formaldehyde (4th)		161	~	84.6			
Formaldehyde (5th)		155	~	56.2			
Formaldehyde (6th)		160	~	60.9			

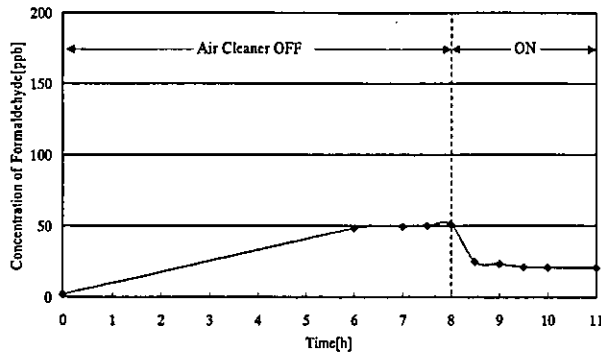


図-5 機器運転に伴うFormaldehyde濃度の経時変化 (1st)

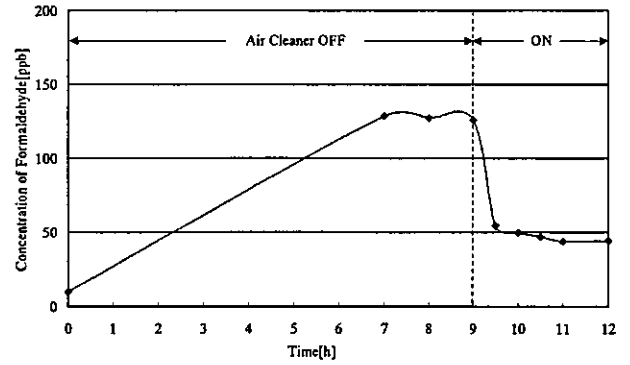


図-9 機器運転に伴うFormaldehyde濃度の経時変化 (5th)

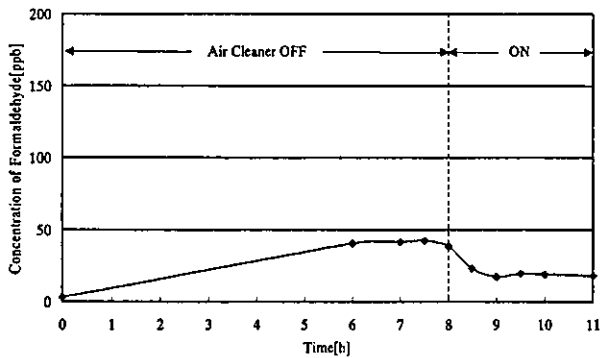


図-6 機器運転に伴うFormaldehyde濃度の経時変化 (2nd)

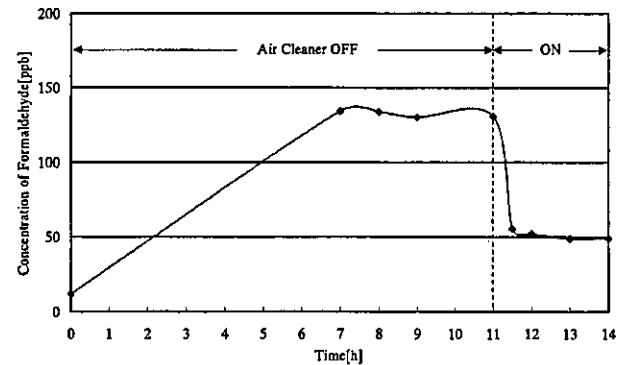


図-10 機器運転に伴うFormaldehyde濃度の経時変化 (6th)

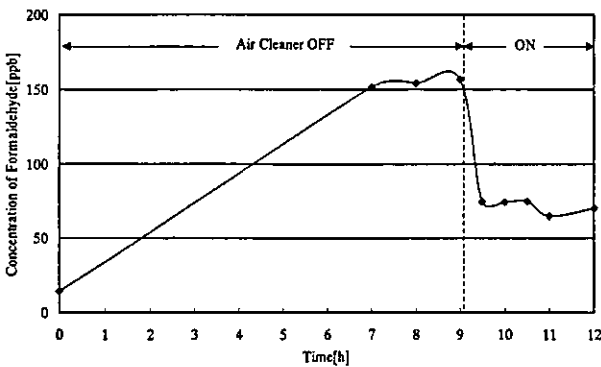


図-7 機器運転に伴うFormaldehyde濃度の経時変化 (3rd)

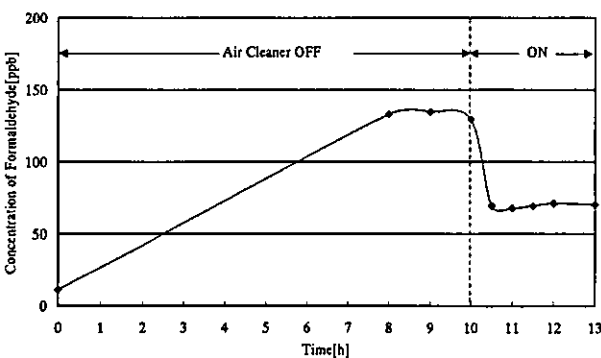


図-8 機器運転に伴うFormaldehyde濃度の経時変化 (4th)

(2) VOC

図-11~14, に示すように各 VOC 成分での定常状態確認試験を行った。実験チェンバー内における Ethlbenzene、m-Xylene、Styrene の定常状態を構築することに成功した。

しかし、図-11に示されるように Toluene は定常状態を構築することが難しく期待する結果を得ることができなかった。

また、機器風量別での機器運転試験を行った。

家庭用空気清浄機の運転に伴い Ethlbenzene、m-Xylene、Styrene の顕著な濃度減少が示された。機器運転に伴う実験チェンバー内 VOC 濃度の経時変化について表-5、図-15~26に示す。

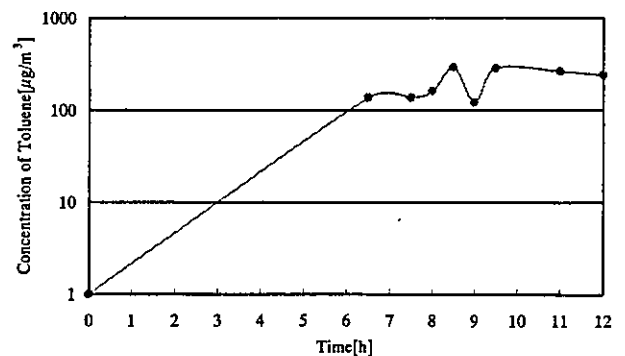


図-11 Toluene 定常状態確認試験