

第5章 建材からの化学物質の発生

2.5.2 フローリング

野崎淳夫(東北文化学園大学)

表-2.5.2.1 測定対象のVOC

| VOCs | | 化学式 | 分子量 | 沸点 | 比重 | |
|----------------------------|---|---|--|---------|---------|-------|
| 脂肪族炭化水素 | Decane | C ₁₀ H ₂₂ | 142.3 | 174.0 | 0.730 | |
| | Undecane | C ₁₁ H ₂₄ | 156.3 | 193.6 | 0.740 | |
| | Dodecane | C ₁₂ H ₂₆ | 170.3 | 213.0 | 0.749 | |
| | Tridecane | C ₁₃ H ₂₈ | 184.4 | 232.5 | 0.755 | |
| | Tetradecane | C ₁₄ H ₃₀ | 198.4 | 253.0 | 0.765 | |
| | Pentadecane | C ₁₅ H ₃₂ | 212.4 | 273.5 | 0.776 | |
| | Hexadecane | C ₁₆ H ₃₄ | 226.5 | 286.5 | 0.773 | |
| | Heptane | C ₇ H ₁₆ | 100.2 | 98.43 | 0.684 | |
| | Octane | C ₈ H ₁₈ | 114.2 | 125.4 | 0.703 | |
| | Nonane | C ₉ H ₂₀ | 128.3 | 150.7 | 0.722 | |
| | Dichloromethane | CH ₂ Cl ₂ | 84.90 | 40.00 | 1.300 | |
| | Hexane | C ₆ H ₁₄ | 86.20 | 69.00 | 0.700 | |
| | 2,4-dimethylpentane | (CH ₃) ₂ CHCH ₂ CH ₂ CH ₃ | 100.2 | 80.00 | - | |
| | 2,4-trimethylpentane | C ₆ H ₁₄ (CH ₃) ₃ | 114.3 | 95.00 | 0.690 | |
| 芳香族炭化水素 | Bromochloromethane | BrCH ₂ Cl | 163.8 | 88.4 | 1.925 | |
| | Dibromochloromethane | CMBr ₂ Cl | 208.3 | 114.1 | 2.421 | |
| | Benzene | C ₆ H ₆ | 78.11 | 80.10 | 0.879 | |
| | Toluene | C ₇ H ₈ | 92.13 | 110.7 | 0.864 | |
| | Ethylbenzene | C ₈ H ₁₀ | 106.2 | 136.2 | 0.867 | |
| | Styrene | C ₈ H ₈ | 104.1 | 145.0 | 0.900 | |
| | o-xylene | 1,2-C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂ | 106.2 | 144.0 | 0.880 | |
| | m-xylene | 1,3-C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂ | 106.2 | 138.8 | 0.868 | |
| | p-xylene | 1,4-C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂ | 106.2 | 138.3 | 0.861 | |
| | o-cymene | 2-(C ₆ H ₅)C ₂ H ₅ | 120.2 | 164.165 | 0.887 | |
| | m-cymene | 3-(C ₆ H ₅)C ₂ H ₅ | 120.2 | 159 | 0.865 | |
| | p-cymene | 4-(C ₆ H ₅)C ₂ H ₅ | 120.2 | 162.0 | 0.868 | |
| | 1,2-dimethylbenzene | C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂ | 106.2 | 236.0 | 0.957 | |
| | 1,3-dimethylbenzene | C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂ | 106.2 | 176.0 | 0.894 | |
| 1,2,4,5-tetramethylbenzene | C ₆ H ₂ (CH ₃) ₄ | 120.2 | 196.0 | 0.888 | | |
| 1,2,3,5-tetramethylbenzene | C ₆ H ₂ | 120.2 | 164.4 | 0.883 | | |
| ハロゲン | Chloroform | CHCl ₃ | 119.4 | 62.00 | 1.480 | |
| | Carbon tetrachloride | CCl ₄ | 153.8 | 76.50 | 1.590 | |
| | Trichloroethylene | CHCl ₂ CH=CH ₂ | 131.4 | 86.70 | 1.456 | |
| | Tetrachloroethylene | C ₂ Cl ₄ | 165.8 | 121.0 | 1.623 | |
| | p-dichlorobenzene | C ₆ H ₄ Cl ₂ | 147.0 | 173.7 | 1.438 | |
| | 1,2-dichlorobenzene | C ₆ H ₄ Cl ₂ | 113.0 | 96.00 | 1.160 | |
| | 1,2-dichloroethane | C ₂ H ₄ Cl ₂ | 98.96 | 83.50 | 1.255 | |
| | 1,1,1-trichloroethane | C ₂ HCl ₃ | 133.4 | 74.00 | 1.240 | |
| | テルペン | α-pinene | C ₁₀ H ₁₆ | 136.2 | 155.156 | 0.859 |
| | | β-pinene | C ₁₀ H ₁₆ | 136.2 | 164.166 | 0.865 |
| | | Limonene | C ₁₅ H ₂₄ | 204.4 | 176.4 | 0.842 |
| | | γ-terpinene | C ₁₀ H ₁₆ | 136.2 | 177.0 | 0.895 |
| | エステル | Bisphenol A | C ₁₅ H ₁₆ O ₂ | 228.3 | 228.3 | 1.190 |
| | | Bisphenol F | C ₁₂ H ₁₀ O ₂ | 198.2 | 198.2 | 1.190 |
| ケトン | Acetone | CH ₃ COCH ₃ | 58.08 | 56.20 | 0.792 | |
| | Methyl ethyl ketone | CH ₃ COCH ₂ CH ₃ | 72.10 | 80.00 | 0.800 | |

2.5.2.1 はじめに

室内での化学物質発生源としては、建材、家具、燃焼器具、日用品などが挙げられる。そのなかで、床部に使用されているフローリングについては、室内での使用面積が大きく発生源強度も比較的大きいと考えられており、各種研究機関、大学により様々な研究がなされている。

本研究では、発生量が小さいと考えられるムクフローリング建材のVOCの発生量・特性について把握することを目的とし、汚染低減対策を講ずる上での基礎的資料の収集を行うものである。

2.5.2.2 実験概要

1) 測定対象汚染物質

表-2.5.2.1に測定対象のVOCを示す。

VOCは、さらに脂肪族炭化水素、芳香族炭化水素、ハロゲン、ケトン、エステル、テルペン、アルデヒドに分類される。VOCの総量は、総揮発性有機化合物(TVOC: Total Volatile Organic Compounds)として、厚生労働省より暫定値400 μg/m³が設けられている。

2) 試験片の概要

表-2.5.2.2に測定対象とした試験片の概要を示す。

本研究では、ムクフローリング建材9種類(材種: マツ、カエデ、クリ、ブナ、スギ、ナラなど)を試験片とした。

また、試験片は、建材商社などから購入した。

試験片の保管は、表裏をアルミ箔などで被覆し、一定の環境条件が得られる場所に保管した。

3) 実験室の概要

本研究では、図-2.5.2.1に示す実験システムを構築することにより、各種フローリングからのVOCの発生について測定を行った。

測定に使用した小型環境制御チェンバー(気積: 0.065 m³)は、温度(28 ± 0.5 [°C])、湿度(50 ± 5 [%])、換気量(0.5 ± 0.05 [l/h])の制御が可能であり、清浄空気が導入されている。

4) 捕集・分析機器

捕集・分析機器を以下に示す。

VOC(固体捕集-加熱脱離-GC/MS法)

a) 捕集装置: 定流量ポンプ(柴田機械工業社製 Model.), 積算流量計(シナガワ社製 Model: DC-1A)、VOC捕集管(Spelco社製 Air Toxics)

b) 分析装置: 加熱導入装置(Perkin Elmer社製 Model: Turbo Matrix ATD)、GC/MS(Perkin Elmer社製 Model: Turbo Mass Gold)

5) VOCの捕集・分析

試料空気は、炭素系捕集剤に0.05 (l/min)の流量にて、30 (min)採取し、これを分析試料とした。試料空気は、加熱導入

表-2.5.2.2 試験片の概要

| 試験片 | 記号 | 木材種 | 表面塗料 | F1等 |
|---------|-------|-----|------------|-----|
| フローリングA | FL(A) | マツ | 無 | 無 |
| フローリングB | FL(B) | カエデ | 無 | 有 |
| フローリングC | FL(C) | クリ | 無 | 有 |
| フローリングD | FL(D) | ブナ | 無 | 有 |
| フローリングE | FL(E) | スギ | 無 | 無 |
| フローリングF | FL(F) | ナラ | 無 | 無 |
| フローリングG | FL(G) | ナラB | 無 | 無 |
| フローリングH | FL(H) | ナラC | ダークブラウン | 無 |
| フローリングI | FL(I) | ナラD | ナチュラル | 無 |
| フローリングJ | FL(J) | ナラE | 天然ワックスクリヤー | 無 |
| フローリングK | FL(K) | ヒノキ | クリヤー | 無 |
| フローリングL | FL(L) | チーク | マロンカラー | 無 |
| フローリングM | FL(M) | サクラ | クリヤー | 無 |

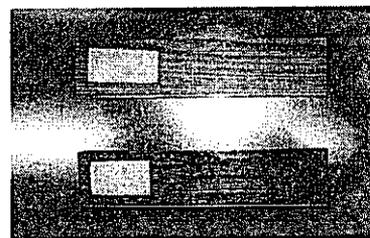


写真-2.5.2.1 フローリング

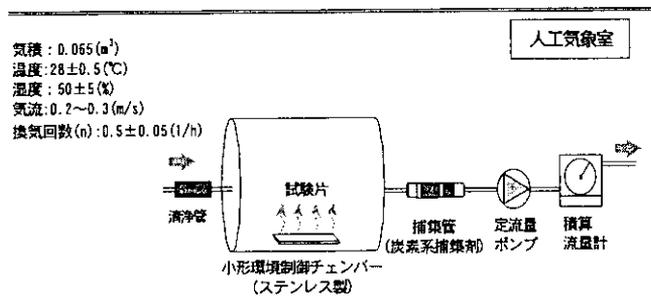


図-2.5.2.1 実験システムの概要

装置を用いてGC/MSに導入し、VOCの定性・定量分析を行った。

6) 実験手順

本研究では、以下の手順によりフローリング建材からのVOCの発生について測定を行った。

- a) 予め、チェンバー内を薬液により洗浄した後、十分に換気を行い、チェンバー内への薬液の残留を最小限に抑える。
- b) チェンバー内に一定の環境条件を構築する。(温度: 28 ± 0.5 (°C)、湿度(50 ± 5 (%))、換気回数(0.5 ± 0.05 (1/h))、気流速度($0.2 \sim 0.3$ (m/s))
- c) フローリングの試験片を速やかにチェンバー内に挿入する。
- d) 光音響法測定装置により、定常状態に達したことを確認し、VOCの捕集を行う。
- e) VOCは、加熱導入装置を用いてGC/MSに導入し、定性・定量分析を行う。

2.5.2.3 実験結果と考察

1) フローリングのVOC放散速度

a) 未塗装ムクフローリング建材[FL(A)~(G)]

チェンバー実験により得られた測定結果について、図-2.5.2.2~2.5.2.8に示す。

i) FL(A) (マツ)

図-2.5.2.2にFL(A)のVOC放散速度について示す。

FL(A)のTVOC放散速度は、 $50 (\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 程度の値を示した。VOC成分では、天然成分であるテルペン類のPinene、Limoneneが顕著な発生を示した。また、他の成分については、顕著な発生を示すものは確認されなかった。

ii) FL(B) (カエデ)

図-2.5.2.3にFL(B)のVOC放散速度を示す。

FL(B)のTVOC放散速度は、 $36.2 (\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 程度の値を示した。VOC成分では、Ethanol、Acetoneなどの低沸点側の成分および、芳香族炭化水素類のTolueneの発生が確認された。

iii) FL(C) (クリ)

図-2.5.2.4にFL(C)のVOC放散速度を示す。

FL(C)のTVOC放散速度は、 $50 (\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 程度の値を示した。VOC成分では、FL(B)と同様にEthanol、Acetoneなどの低沸点側の成分および、芳香族炭化水素類のTolueneの発生が確認された。特にEthanolについては、 $30 (\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 程度の放散速度を

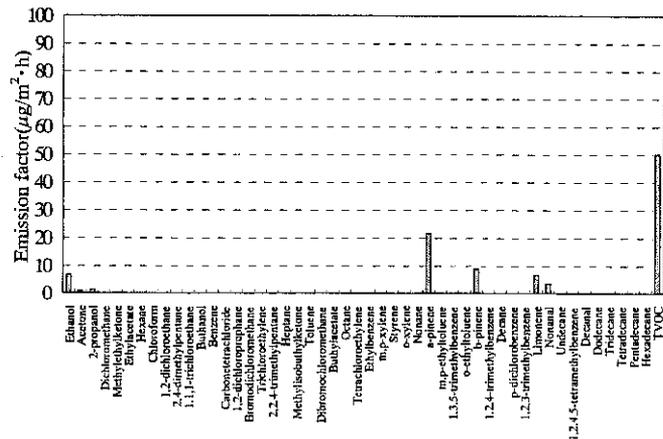


図-2.5.2.2 フローリングのVOC放散速度(FL(A)マツ)

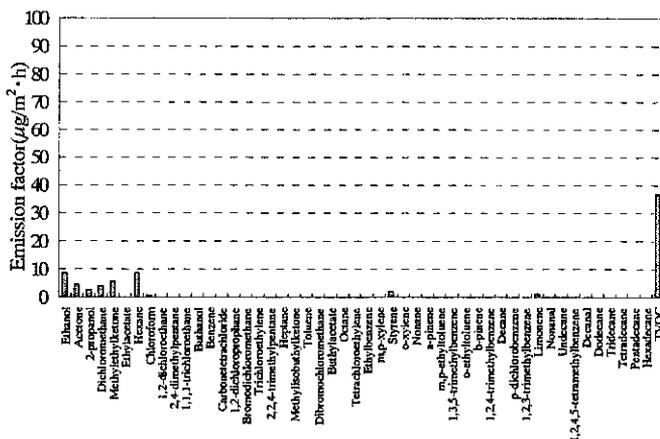


図-2.5.2.3 フローリングのVOC放散速度(FL(B)カエデ)

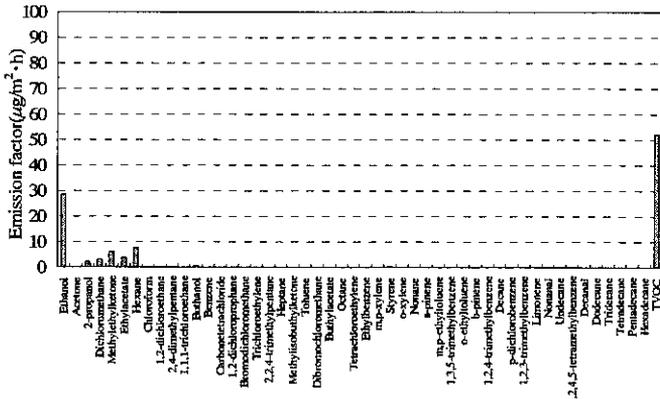


図-2.5.2.4 フローリングのVOC放散速度(FL(C)クリ)

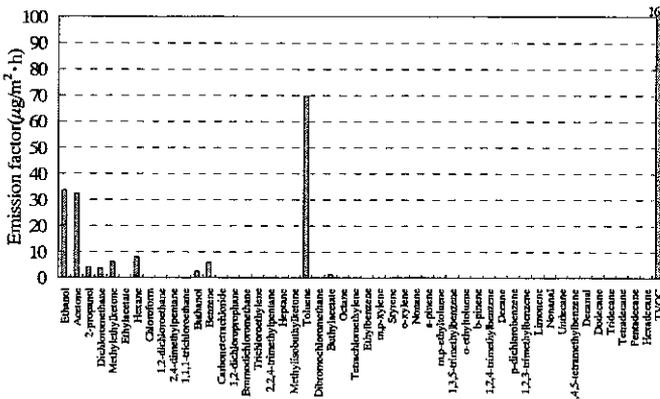


図-2.5.2.5 フローリングのVOC放散速度(FL(D)ブナ)

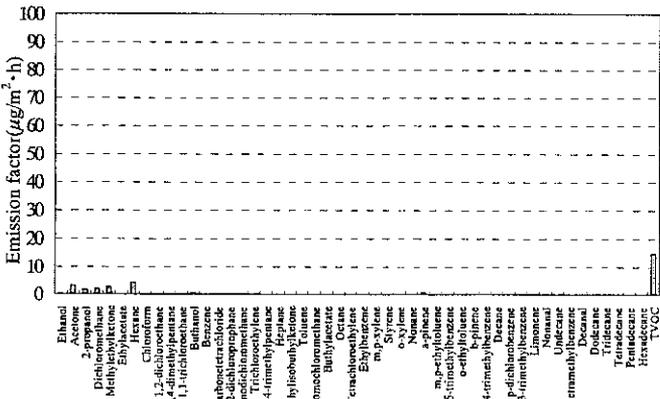


図-2.5.2.6 フローリングのVOC放散速度(FL(E)スギ)

示した。本建材は、ムク材でジョイントなしのフローリングであり、本来、溶剤系化学物質の発生はないと考えられていた。ところが、Ethanol、Acetoneの発生が示された。原因としては、建材の乾燥過程と乾燥後の保管過程において、同物質を建材が吸収した可能性が高い。現在、詳しい調査を行っており、今後明らかにしていきたい。

iv) FL(D) (ブナ)

図-2.5.2.5にFL(D)のVOC放散速度を示す。

FL(D)のTVOC放散速度は、170($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)程度の値を示した。VOC成分では、芳香族炭化水素類のTolueneの顕著な発生が確認された。他の成分については、Ethanol、Acetoneが顕著な発生を示した。FL(D)のTVOC放散速度は、他の試験片と比較して2倍以上の値を示した。Tolueneが顕著な発生を示した原因としては、ジョイント部分に使用されている接着剤から発生したものと考えられる。

v) FL(E) (スギ)

図-2.5.2.6にFL(E)のVOC放散速度を示す。

FL(E)のTVOC放散速度は、15($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)程度の値を示した。VOC成分は全体的に発生が小さく、試験片の中で最も小さい発生を示した。

vi) FL(F) (ナラA)

図-2.5.2.7にFL(F)のVOC放散速度を示す。

FL(F)のTVOC放散速度は、60($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)程度の値を示した。VOC成分では、脂肪族炭化水素類のUndecaneの顕著な発生が確認された。

vii) FL(G) (ナラB)

図-2.5.2.8にFL(G)のVOC放散速度を示す。

FL(G)のTVOC放散速度は、35($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)程度の値を示した。VOC成分では、アルコール類のEthanolの顕著な発生が確認された。FL(F)のナラ材と比較すると、TVOC値で半分程度の放散速度を示した。

b) 塗装済ムクフローリング建材 [FL(H) ~ (M)]

チェンバー実験より得られた測定結果について、図-2.5.2.9 ~ 2.5.2.14に示す。

i) FL(H) (ナラC ダークブラウン)

図-2.5.2.9にFL(H)のVOC放散速度を示す。

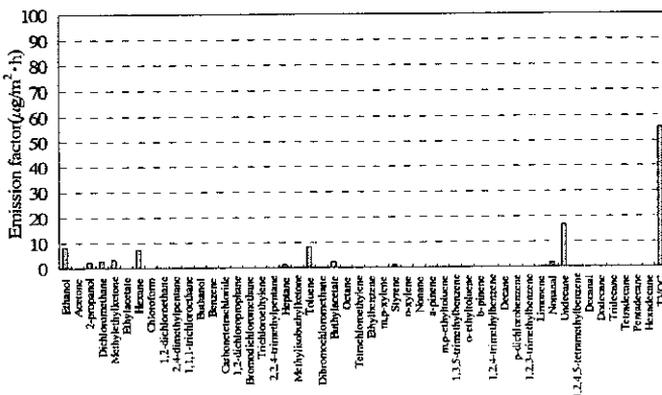


図-2.5.2.7 フローリングのVOC放散速度(FL(F)ナラA)

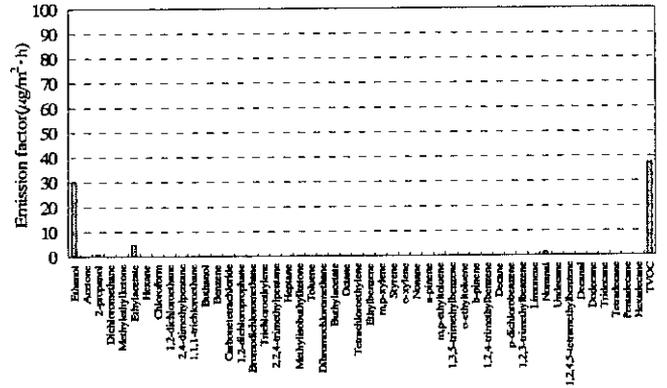


図-2.5.2.8 フローリングのVOC放散速度(FL(G)ナラB)

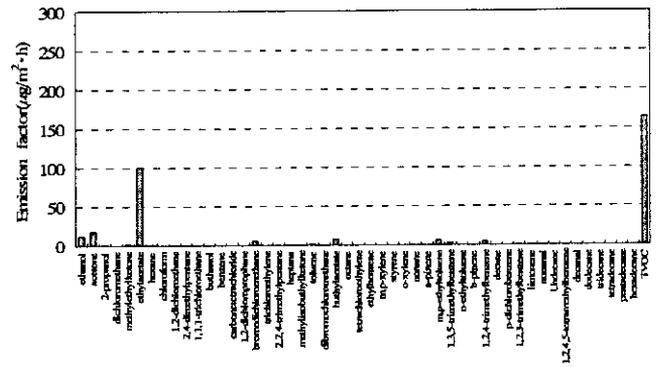


図-2.5.2.9 フローリングのVOC放散速度(FL(H)ナラC ダークブラウン)

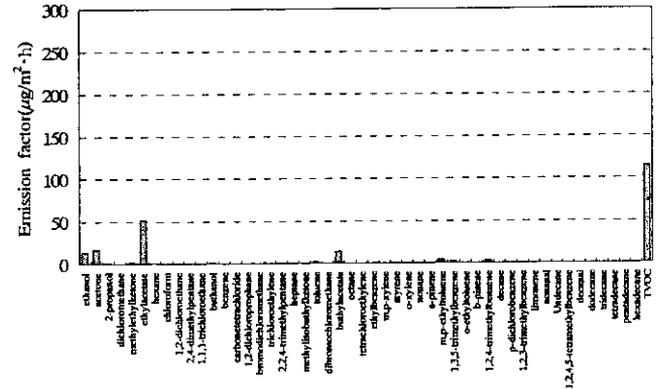


図-2.5.2.10 フローリングのVOC放散速度(FL(I)ナラD ナチュラル)

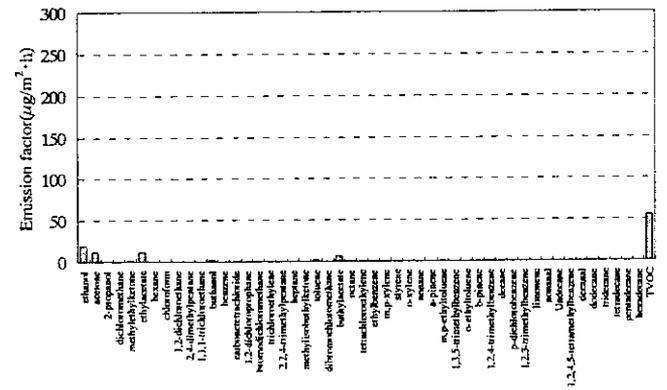


図-2.5.2.11 フローリングのVOC放散速度(FL(J)ナラE 天然ワックスクリアー)

FL(H)のTVOC放散速度は、160($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)程度の値を示した。VOC成分では、エステル類のEthylacetateの顕著な発生が確認された。他の成分については、アルコール類のEthanol、Acetoneが若干の発生を示した。

ii) FL(I) (ナラD ナチュラル)

図-2.5.2.10にFL(I)のVOC放散速度を示す。

FL(I)のTVOC放散速度は、110($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)程度の値を示した。VOC成分では、エステル類のEthylacetate、Buthylacetateにおいて顕著な発生が確認された。他の成分については、アルコール類のEthanol、Acetoneが若干の発生を示した。

iii) FL(J) (ナラE 天然ワックスクリアー)

図-2.5.2.11にFL(J)のVOC放散速度を示す。

FL(J)のTVOC放散速度は、50($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)程度の値を示した。VOC成分では、アルコール類のEthanol、Acetoneにおいて若干の発生が確認された。他の試験片において顕著な発生を示したエステル類のEthylacetate、Buthylacetateについては、発生が小さかった。

iv) FL(K) (ヒノキ クリアー)

図-2.5.2.12にFL(K)のVOC放散速度を示す。

FL(K)のTVOC放散速度は、150($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)程度の値を示した。VOC成分では、アルコール類のEthanolの顕著な発生が確認された。

v) FL(L) (チーク マロンカラー)

図-2.5.2.13にFL(L)のVOC放散速度を示す。

FL(L)のTVOC放散速度は、270($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)程度の値を示した。VOC成分では、エステル類のEthylacetate、Buthylacetate及びアルコール類のEthanol、Acetoneにおいて、顕著な発生が確認された。Ethylacetateの放散速度は、130($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)程度の比較的大きな値を示した。

vi) FL(M) (サクラ クリアー)

図-2.5.2.14にFL(M)のVOC放散速度を示す。

FL(M)のTVOC放散速度は、400($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)程度の値を示した。VOC成分では、エステル類のEthylacetate、Buthylacetate及びアルコール類のEthanolにおいて、顕著な発生が確認された。特にEthylacetateは、200($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)程度の放散速度であり、TVOC値の50%を占める値を示した。

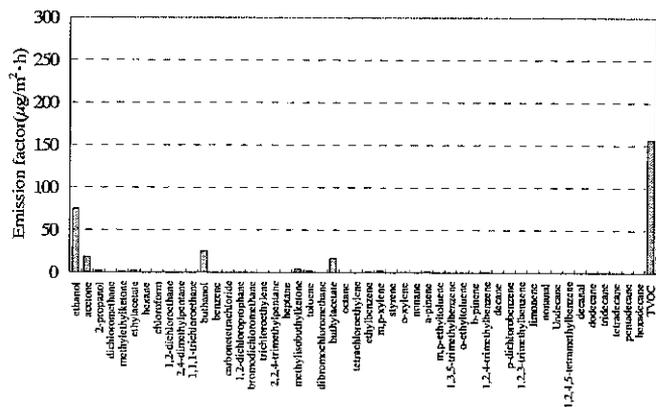


図-2.5.2.12 フローリングのVOC放散速度 (FL(K)ヒノキ クリアー)

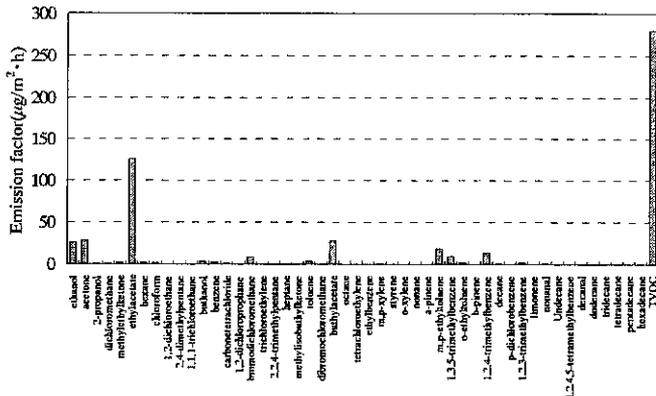


図-2.5.2.13 フローリングのVOC放散速度 (FL(L)チーク マロンカラー)

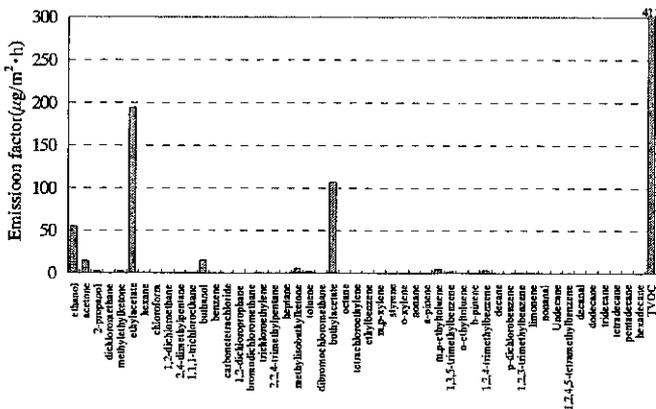


図-2.5.2.14 フローリングのVOC放散速度 (FL(M)サクラ クリアー)

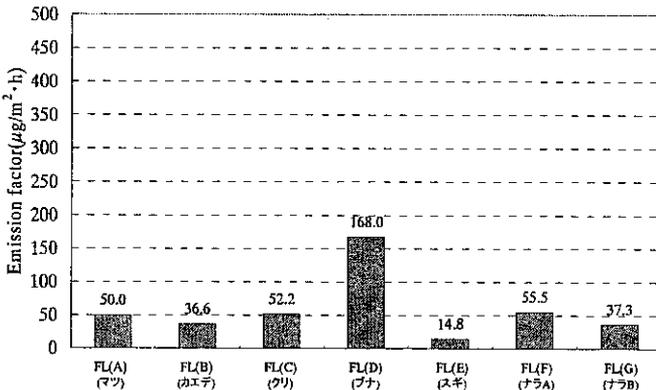


図-2.5.2.15 未塗装フローリングのVOC放散速度

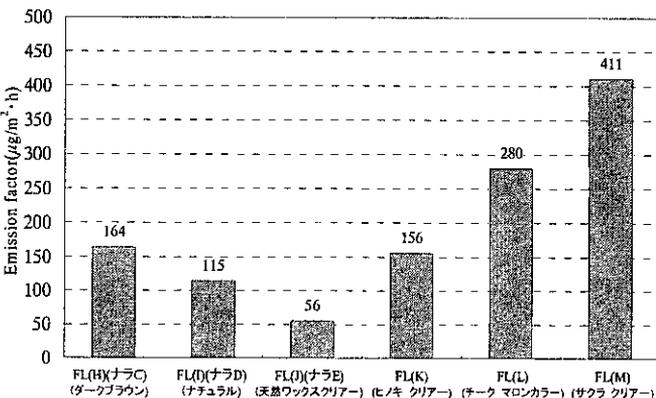


図-2.5.2.16 塗装済フローリング建材のVOC放散速度

2.5.2.4 まとめ

本研究で得られた知見について以下に示す。

- 1) 各種フローリング建材からのVOCの発生について、定量的に明らかにした。
- 2) 未塗装フローリング建材のVOC放散速度は、14.8～168($\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$)の範囲を示した。ジョイント部が存在するFL(B)、(D)は、FL(D)においてTolueneの発生が確認された。
- 3) 塗装済フローリング建材のVOC放散速度は、56～411($\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$)の範囲を示した。VOC成分では、Ethylacetate、Butylacetateの顕著な発生が確認された。

2.5.2.5 今後の課題

本研究では、測定対象物質としてVOCについて着目し、その発生について把握することを目的とした。

今後は、材種と塗料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。また、建材の加工の工程で、防虫剤などの薬品を使用する可能性が考えられるため、エステル類についても検討する必要がある。

2.5.2.6 謝辞

本研究を遂行するにあたり、甚大なご協力をいただいた折笠智昭君(当時東北文化学園大学大学院生)、長崎衣里さん、山田慎子さん(東北文化学園大学学生)に謝意を表す。

2.5.2.7 参考文献

- 1) 野崎淳夫、折笠智昭他：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、pp44～45、2003年11月
- 2) 野崎淳夫他：床下等の空間における化学物質濃度の実態と室内移流に関する研究(その1)、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp873～874、2003年9月
- 3) 田辺新一、中川貴文他：小型チェンバーADPACを用いたアルデヒド類、VOC放散量の測定に関する研究(その11)、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp935～936、2003年9月
- 4) 市原英樹他：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、pp837～838、2000年
- 5) 市原真希他：チャ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放散量、pp871～872、2002年8月
- 6) 吉田弥明、森俊之他：小型チェンバー(ADPAC)による木材由来のVOCs放散測定、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp837～838、2001年9月

第5章 建材からの化学物質の発生

2.5.3 建具

野崎淳夫(東北文化学園大学)

2.5.3.1 序論

1) 研究の背景

近年、シックハウスや化学物質過敏症の問題が大きく取り上げられている。その主要因として揮発性有機化合物が指摘されており、現在、材料レベルではホルムアルデヒドのJIS、JAS等の規格も定められている。

しかし、木質材料や接着剤を多量に使う建具の発生量についての調査は成されていない。

2) 研究の目的

そこで本研究では、以下の①、②を目的とする。

- 1) 建具からの化学物質の発生量を測定
- 2) 化学物質の抑制法を検討

2.5.3.2 実験概要

1) 試験体の概要

試験対象の建具は、襖戸とフラッシュ戸である。(H:2000mm、W:900mm)試験体を写真-2.5.3.1、2.5.3.2に示す。

2) 実験システムの概要

本実験は、空気環境実験室内に設置されたチェンバー(4.98m³)を用いて行った。実験システムの概要図を図-2.5.3.1に示す。

尚、チェンバーはある一定の環境条件(Temp:28±0.5[°C]、R.H.:50±[%]、R:4.98[m³]、n:0.50±0.05[l/h]、V:0.3~0.4[m/s])が制御できるものである。

3) 試料空気の捕集と分析方法

試料空気の測定法と捕集・分析機器を以下に示す。

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

- ・VOC捕集管-炭素系捕集管(Spelco社製、充填剤:Air Toxics)
- ・定流量ポンプ(柴田機械工業社製、Model:MP-Σ30H型)
- ・積算流量計(シナガワ社製、Model:DC-1A型)
- ・加熱導入装置(Perkin Elmer社製Model:Turbo Matrix ATD)、GC/MS(Perkin Elmer社製Model:Turbo Mass Gold)

4) VOCの捕集・分析方法

試料空気の捕集は、炭素系捕集剤を用いて行い、0.05(l/min)の流量にて30(min)採取し、これを分析試料とした。炭素系捕集剤に捕集された試料空気は、加熱導入装置を用いてGC/MSに導入し、定性・定量分析を行った。

2.5.3.3 化学物質発生量の算出

チェンバー換気量Q(m²/h)はチェンバー換気回数n(l/h)とチェンバー気積R(m³)によって表され、次式(1)にて示される。

$$Q = n \times R \quad (1)$$

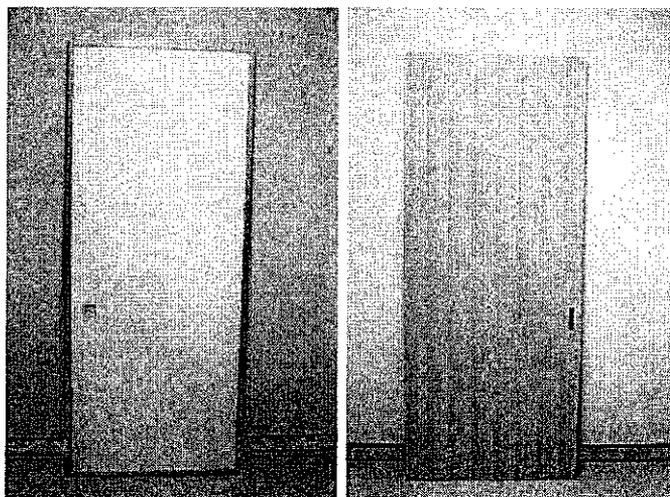


写真-2.5.3.1 襖戸

写真-2.5.3.2 フラッシュ戸

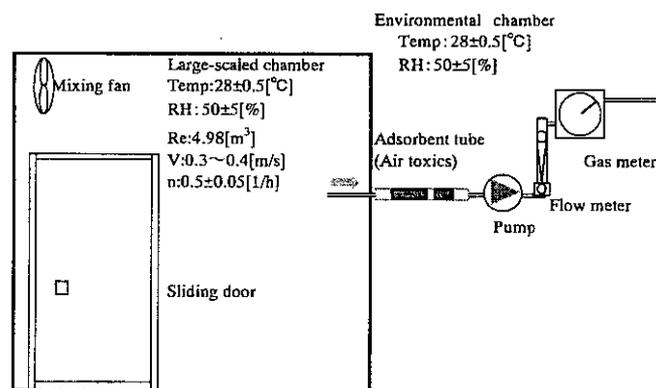


図-2.5.3.1 実験システムの概要図

ここで、n:チェンバー換気回数(l/h)

R:チェンバー気積(m³)

試験体の化学物質発生量M(μg/h)は、次式(2)を用いて求めた。]

$$M = Q(C_{ss} - C_0) \quad (2)$$

ここで、C_{ss}:チェンバー内における対象汚染物質の定常濃度(μg/m³)

C₀:チェンバー供給空気の対象汚染物質濃度(μg/m³)

～45、2003年11月

2.5.3.4 結果と考察

襖戸における化学物質の発生について、表-2.5.3.1と図-2.5.3.2に示す。VOCのバックグラウンド濃度、発生量を見ると襖戸からエタノールが顕著な濃度変化を見せた。これは、襖戸に塗布剤を噴霧した為と考えられる。しかし、その他のVOC成分の発生は認められなかった。

2) 野崎淳夫、橋本康明、工藤彰訓、笹原怜子：家具からの化学物質の発生について(その1)、第10回大気環境学会総会講演集、pp.54～55、2003年11月

3) 野崎淳夫、浅野康明、折笠智昭、若生文隆：家具からの化学物質の発生について(その2)、第10回大気環境学会総会講演集、pp.56～57、2003年11月

表-2.5.3.1 建具からの発生量

| Name | $\mu\text{g/h}$ |
|----------------------|-----------------|
| ethanol | 523 |
| acetone | 15.8 |
| 2-propanol | 13.4 |
| hexane | 7.93 |
| benzene | 3.78 |
| carbon tetrachloride | 1.12 |
| toluene | 8.57 |
| TVO C | 573 |

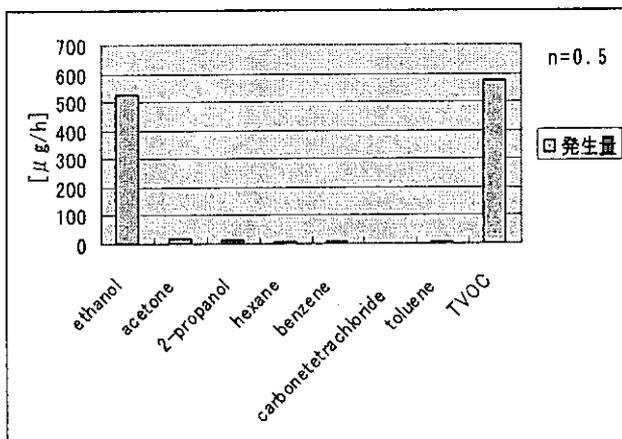


図-2.5.3.2 チェンバー内に設置した建具からの発生量

2.5.3.5 まとめ

今回の実験では、襖戸からエタノールが発生が確認できた。エタノールは襖戸に使用された封止系塗料(セラック系)から発生したものと考えられる。

2.5.3.6 今後の課題

今後は発生、発生量の抑制について、さらに詳細な実験を行い検討を重ねていく予定である。

2.5.3.7 謝辞

本研究を遂行するにあたり、甚大なご協力をいただいた一條佑介君(東北文化学園大学学生)に謝意を表す。

2.5.3.8 参考文献

1) 野崎淳夫、大澤元毅、坊垣和明、折笠智昭：フローリング、自然塗料から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回大気環境学会総会講演集、pp.44

**第3編 各種対策技術の化学物質
除去性能に関する研究**

第1章 家庭用空気清浄機の汚染物質 除去性能

要約

第1章 家庭用空気清浄機の汚染物質除去性能

3.1.1 ホルムアルデヒド

野崎淳夫（東北文化学園大学）

飯倉一雄（東北文化学園大学）

1. はじめに

近年、種々の家庭用空気清浄機が市販されているが、除去対象物質、除去原理は様々であり、除去特性の表示方法も統一されていないのが現状である。

そこで、本研究では、化学物質除去機能を唱えている空気清浄機を対象に、ホルムアルデヒドの除去性能についての実験室実験を行い、空気清浄機の器具仕様の違いと除去効果との関係を明らかにするものである。

2. 実験概要

1) 測定対象器具

測定対象とした空気清浄機の概要を表-1に示す。

2) 実験室の概要

本実験は東北文化学園大学の空気環境実験室内に設置された実験チェンバーで行われた。チェンバーは、0.528m³の気積を有し、温湿度と換気量制御が可能である。実験チェンバーの概要を図-1に示す。尚、実験チェンバー内の一様拡散状態を得る為に、小型拡散ファンを設置した。

3) 測定法と測定機器

測定機器を以下に示す。

- ・光音響法：マルチガスモニタ(B & K社製、Model 1312型)
 - ・DNPH・HPLC法：DNPHカートリッジ、高速液体クロマトグラフ
- 4) 捕集・分析法

ホルムアルデヒドは、DNPHカートリッジに0.5(l/min)の流量で2(min)採取し、試料空気とした。カートリッジに捕集されたホルムアルデヒドは、アセトニトリル5(ml)で5分間溶出後(溶出速度:1(ml/min))、HPLC(日立社製、Model L-7000、恒温槽:50℃、移動層;アセトニトリル:水/70:30、検出器;UV検出器(波長:360nm))に導入し(10(μl))、定性・定量分析を行った。

5) 実験手順

実験手順を次に示す。

- ①ステンレス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、対象汚染ガス発生装置の準備を行う。
 - ②チェンバー内を数時間換気した後、空気環境実験室及び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パラメータの測定を開始する。
 - ⑤室内汚染濃度が定常に達したことを確認した後、汚染物質の発生を停止し、対象物質濃度の自然減衰の様子を測定する。その後、空気清浄機を運転し室内濃度の推移を測定する。
- 以上の実験行程を汚染物質毎に各機種について行った。

表-1 空気清浄機の概要

| 機種 | 対象汚染物質 | 風量 (m ³ /min) | | フィルターの構造 | 適用面積 (畳) | 製造 (年) |
|-----|-------------------------------------|-----------------------------|-----|-----------------|-------------|-----------|
| | | 強 | 弱 | | | |
| AC1 | 粉塵, VOC, HCHO, NO _x , 臭気 | 3.1 | 1 | プレ + ULPA + 活性炭 | ~21 | 2000 |
| AC2 | 粉塵, HCHO, NO _x , 臭気 | 3.4 | 0.6 | プレ + 静電 + ULPA | ~20 | 2000 |
| AC3 | 粉塵 | - | - | 静電 | ~18 | 2000 |
| AC4 | 粉塵, HCHO, NO _x , 臭気 | 3.0 | 0.5 | プレ + HEPA + 抗菌 | ~20 | 2000 |
| AC5 | 粉塵, VOC, HCHO, NO _x , 臭気 | 4.0 | 1.9 | プレ + 静電 + 活性炭 | | 2000 |

※カタログに記載されている事項を整理した。

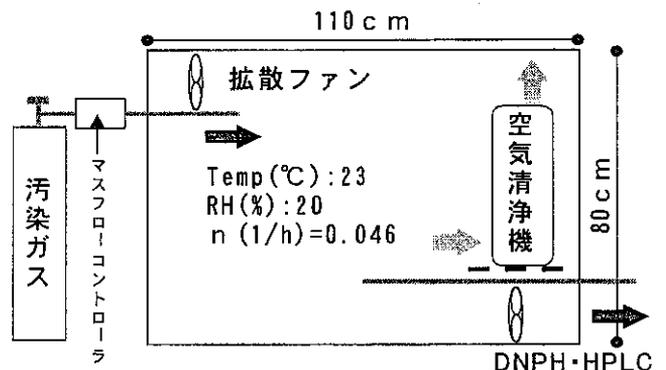


図-1 実験チェンバーの概要図

3. 除去特性の評価法¹⁾

空気清浄機によるガス状物質の除去に関しては、相当換気量を用いた。相当換気量の定義と本指標を用いた評価法を注-1に示す。

4. 結果と考察

本実験で対象とした空気清浄機5台の運転に伴うホルムアルデヒド濃度の経時変化の一例を図-2に示す。これらの結果から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)を得た。さらに、得られた相当換気回数を注-1中の(4)式に代入し、相当換気量としてまとめた。(表-2)

フィルター式でファンを搭載している機種AC1、AC2、AC4、AC5の相当換気量(Q_{eq})は1.77~3.31(m³/h)であり、比較的大きな除去効果が得られたと言える。

しかし、静電集塵式の機種AC3の Q_{eq} に関しては、0.03(m³/h)と小さく、ホルムアルデヒドに対する除去効果は期待できない。

空気清浄機は、ベイクアウトと並んで注目の高い汚染防止対策の一つである。特に、本機器は一般ユーザーのみならず、設計者や施工者の期待も大きい。本研究で得られた空気清浄機のホルムアルデヒド除去特性は、著者ら^{1), 4)}が5年ほど前に実験した機種の数値に比べ除去効果は大きく、一つの室内浄化

空気浄化設備を有する室内の定常濃度 C_{ss} (ppm) は、次式にて表される。⁵⁾

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

ここで、 C_0 : 外気濃度 (ppm)、 M : 発生量 (ml/h)、 Q : 室換気量 (m^3/h)、 F : 空気浄化能力 (m^3/h) とする。

一般の空調システムにおいて、 F はフィルター部の浄化能力を示すものであり、汚染物質除去率に通過風量に乗ずることにより求まる。

ところが、家庭用の空気清浄機では、フィルター部における室内空気の通過回数が大きいため、One pass による除去性能 (汚染物質除去率) を求める意義は小さい。

そこで、家庭用空気清浄機の評価に用いられるのが、相当換気回数である。相当換気回数は、実験により一義的に得られる器具の浄化指標である。

すなわち、実験チェンバー内で空気清浄機を用いないときの換気回数 (N_1 (1/h))、空気清浄機を用いたときの換気回数 (N_2 (1/h)) を用いて、次式 (2) 式より表わされる。

$$\text{相当換気回数 } N(1/h) = N_1 - N_2 \quad (2)$$

換気回数 $N_{1,2}$ は、トレーサーガス濃度減衰法により、(3) 式より求め、各種汚染物質に対する器具の除去性能が明らかなものとなる。

$$n = 2.303 \times \frac{1}{t} \times \log \left\{ \frac{(C_1 - C_0)}{(C_2 - C_0)} \right\} \quad (3)$$

ここで、 n : 換気回数 (1/h)、 t : 濃度減衰の測定時間 (h)、 C_1 : 測定開始時の対象汚染物濃度 (ppm)、 C_2 : t 時間後の対象汚染物濃度 (ppm)、 C_0 : 外気中の対象汚染物濃度 (ppm) とする。

さらに、実験チェンバーの気積 R_e (m^3) と実験値である N (1/h) を用いて、空気清浄機の浄化力を換気量に相当させることが出来る。尚、このときの換気量を相当換気量 Q_{eq} (m^3/h) と言い、次式にて表される。

$$\text{相当換気量 } Q_{eq} (m^3/h) = N \times R_e \quad (4)$$

ちなみに、(1) 式中の F (空気浄化能力) が Q_{eq} と等しくなる。

図-1 器具の評価法及び相当換気量について²⁾

設計法として活用できる可能性を示唆している。

今後は、更に多くの機種や VOC の除去特性に関する実験を行い、現時点でのホルムアルデヒド、VOC 除去特性に関わる総合的資料を得る必要がある。

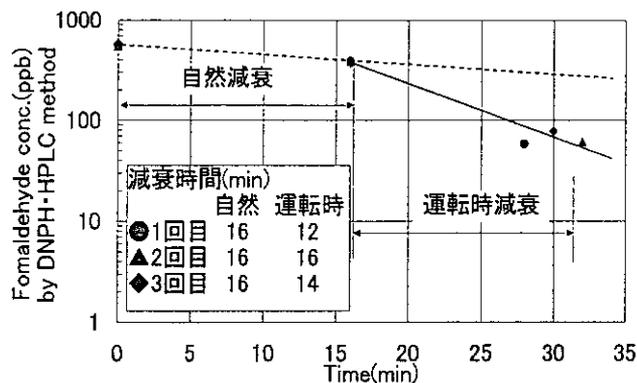


図-2 空気清浄機ホルムアルデヒドに対する除去特性 (機種 AC1)

表-2 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 、相当換気量 Q_{eq})

| 機種 | 除去特性 | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 平均値 |
|-----|-----------------|------|------|------|------|
| AC1 | $N(1/h)$ | 8.12 | 5.65 | 5.04 | 6.27 |
| | $Q_{eq}(m^3/h)$ | 4.29 | 2.98 | 2.66 | 3.31 |
| AC2 | $N(1/h)$ | 4.72 | 3.63 | 4.55 | 4.30 |
| | $Q_{eq}(m^3/h)$ | 2.49 | 1.92 | 2.40 | 2.27 |
| AC3 | $N(1/h)$ | - | 0.02 | 0.10 | 0.06 |
| | $Q_{eq}(m^3/h)$ | - | 0.01 | 0.05 | 0.03 |
| AC4 | $N(1/h)$ | 4.23 | 2.91 | 2.89 | 3.35 |
| | $Q_{eq}(m^3/h)$ | 2.23 | 1.54 | 1.53 | 1.77 |
| AC5 | $N(1/h)$ | 5.13 | 7.49 | 4.01 | 5.55 |
| | $Q_{eq}(m^3/h)$ | 2.71 | 3.95 | 2.12 | 2.93 |

5. 謝辞

本研究を遂行するに当たり、御協力いただいた工藤彰訓君 (当時東北文化学園大学卒論生) に深謝いたします。

6. 引用文献

- 1) 日本規格協会: 空気清浄機 JIS C9615, PP; 13~16, 平成7年3月31日
- 2) 吉澤晋他: 空気清浄装置の粉塵捕集率と室内空気の浄化性能, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 799~800, 昭和63年
- 3) 野崎淳夫他: 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, p. 81-82, 1998年
- 4) 野崎淳夫他: 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, 空調和・衛生工学会大会学術講演論文集, p. 61-64, 平成9年
- 5) 吉澤晋他: 衣服と住まいの健康学, 大修館書店, 1984年

第1章 家庭用空気清浄機の汚染物質除去性能

3.1.1 ホルムアルデヒド

野崎淳夫（東北文化学園大学）

飯倉一雄（東北文化学園大学）

3.1.1.1 序論

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よ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通過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^{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。

3.1.1.2 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、フィルタ通過式（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概要は表-3.1.1.1に示される。

2) 実験室の概要

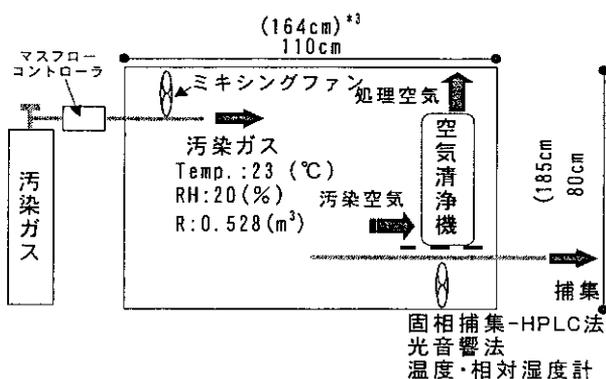
実験は東北文化学園大学の空気環境実験室内に設置された実験チェンバーで行われた。実験チェンバーは、0.528m³及び4.98m³の気積を有したガラス製及びステンレス製である。実験チェンバーでは、温湿度（温度：10～40（℃）、相対湿度：20～80（%））と換気量（換気回数：0～5.0（1/h））の制御が可能である。実験チェンバーの概要を図-3.1.1.1に示す。（写真-3.1.1.1～3参照）

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。

表-3.1.1.1 測定対象の空気清浄機の概要

| 機種 | 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) | 寿命 (年) |
|-----|--|---|-----|--|--------|-------------------------------|-----------|
| | | 密 | 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+HPLPA 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 +HPLPA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 ^{#1} | フィルタ通過 | ~20 | 2000 |
| ACS | 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 ^{#1} +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



*3: () 内の数値は、ステンレス製チェンバー（4.98m³）の内寸法である。

図-3.1.1.1 実験チェンバーの概要図

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方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))

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-3.1.1.5参照)

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(μL)導入し、定性・定量分析を行った。(分析条件は、表-3.1.1.2参照のこと。)

4) 揮発性有機化合物(VOCs)の測定方法

VOCsの測定方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)

③分析装置

・GC/MS(Perkin elmer社製、Turbo mass gold)

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-3.1.1.3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-3.1.1.4を参照のこと。)

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¹¹⁾。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、ガスポ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。

表-3.1.1.2 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(°C) |
| 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)) |

表-3.1.1.3 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) |

表-3.1.1.5 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 ₂ Cl ₂ | 84.9 | 40.1 | 1.34 | 96.0 |
| アセトン | (CH ₃) ₂ 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-C ₆ H ₁₄ | 86.2 | 68.7 | 0.659 | 97.0 |
| エタノール | C ₂ H ₅ OH | 46.1 | 78.3 | 0.816 | 96.6 |
| 1,1,1-トリクロロエタン | 1,1,1-C ₂ H ₃ 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 | CH ₃ COOC ₂ H ₅ | 88.1 | 77.0 | 0.895 | 96.2 |
| メチルエチルケトン | CH ₃ COC ₂ H ₅ | 72.1 | 79.6 | 0.805 | 97.4 |
| 2,4-ジメチルペンタン | 2,4-(CH ₃) ₂ C ₅ H ₁₀ | 100 | 80.5 | 1.382 | 98.1 |
| ベンゼン | C ₆ H ₆ | 78.1 | 80.1 | 0.879 | 98.2 |
| 1,2-ジクロロエタン | 1,2-C ₂ H ₄ Cl ₂ | 99.0 | 58.0 | 1.42 | 98.5 |
| トリクロロエチレン | C ₂ HCl ₃ | 131 | 86.7 | 1.46 | 97.1 |
| 1,2-ジクロロプロパン | 1,2-CH ₂ H ₄ Cl ₂ | 113 | 96.0 | 1.16 | 96.8 |
| n-ヘプタン | n-C ₇ H ₁₆ | 100 | 98.4 | 0.684 | 99.2 |
| i-ブタノール | 2-(CH ₃) ₂ C ₃ H ₁₀ | 74.1 | 117 | 0.800 | 97.7 |
| トルエン | C ₇ H ₈ | 92.1 | 111 | 0.866 | 97.1 |
| メチルイソブチルケトン | (CH ₃) ₂ CHCO(CH ₂) ₂ | 100 | 116 | 0.804 | 96.4 |
| n-ブタノール | n-C ₄ H ₉ 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 ₂ Cl ₄ | 166 | 121 | 1.63 | 96.7 |
| 酢酸ブチル | CH ₃ COOC ₄ H ₉ | 116 | 126 | 0.883 | 97.3 |
| n-オクタン | n-C ₈ H ₁₈ | 114 | 126 | 0.703 | 97.5 |
| エチルベンゼン | (C ₂ H ₅)C ₆ H ₅ | 106 | 136 | 0.867 | 98.5 |
| p-キシレン | p-C ₈ H ₁₀ | 106 | 139 | 0.868 | 97.9 |
| m-キシレン | m-C ₈ H ₁₀ | 106 | 139 | 0.861 | 98.2 |
| o-キシレン | o-C ₈ H ₁₀ | 106 | 144 | 0.880 | 98.2 |
| スチレン | (C ₂ H ₅)C ₆ H ₅ | 104 | 145 | 0.900 | 99.6 |
| n-ノナン | n-C ₉ H ₂₀ | 128 | 151 | 0.722 | 96.7 |
| α-ピネン | α-C ₁₀ H ₁₆ | 136 | 160 | 0.862 | 97.6 |
| 1,3,5-トリメチルベンゼン | 1,3,5-(CH ₃) ₃ C ₆ H ₃ | 120 | 165 | 0.863 | 97.6 |
| 1,2,4-トリメチルベンゼン | 1,2,4-(CH ₃) ₃ C ₆ H ₃ | 120 | 236 | 0.957 | 98.0 |
| p-ジクロロベンゼン | p-C ₆ H ₄ Cl ₂ | 147 | 174 | 1.458 | 90.5 |
| n-デカン | n-C ₁₀ H ₂₂ | 142 | 174 | 0.730 | 98.4 |
| 1,2,3-トリメチルベンゼン | 1,2,3-(CH ₃) ₃ C ₆ H ₃ | 120 | 176 | 0.894 | 98.3 |
| リモネン | C ₁₀ H ₁₈ | 136 | 176 | 0.842 | 98.1 |

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、ポンペ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))

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、表-3.1.1.5 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)

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カ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、C₀: 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: N₁ (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: N₂ (1/h)) を求めるものである。N₁、N₂ 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 N₁ (機器非運転期間の換気回数)、N₂ (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) 式にて求める。

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

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

- ここで、t₁: 機器非運転期間の測定時間 (h)
- t₂: 機器運転期間の測定時間 (h)
- C₁: 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)
- C₂: 機器非運転期間の測定開始から t₁ 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_a : 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 (m^3) 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。

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

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。

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

3.1.1.3 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-3.1.1.2 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パー (Waters 社製) を用いて、オゾン除去し、試料空気の捕集を行った。

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 3.1.1.3 ~ 3.1.1.7 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

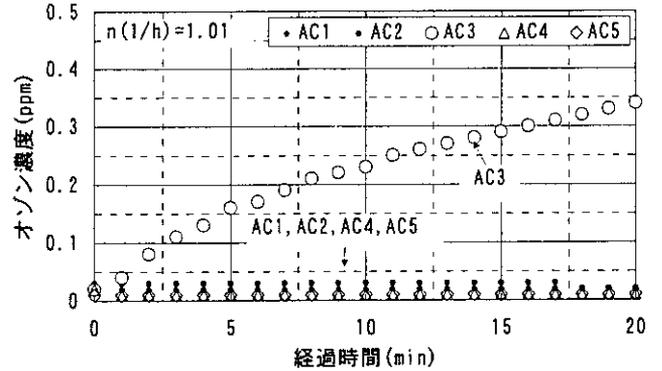


図-3.1.1.2 空気清浄機運転に伴うチェンバー内のオゾン濃度

(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かった。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、その後に見ら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-3.1.1.6 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-3.1.1.7 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。この主要な原因として、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 AC-2 では、相当換気量 Q_{eq} が 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。

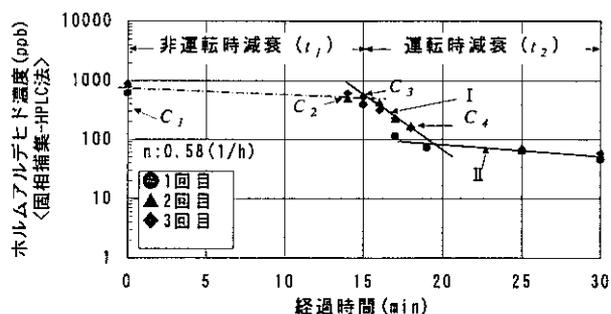


図-3.1.1.3 ホルムアルデヒド濃度の経時変化 (機器AC1)

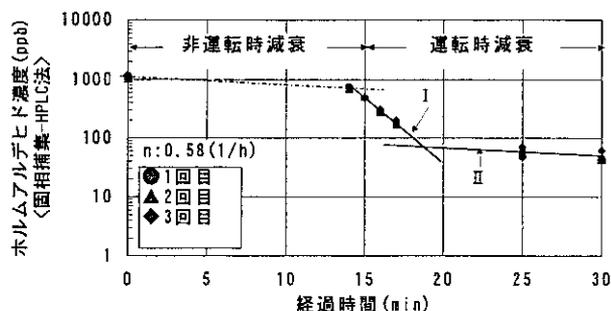


図-3.1.1.4 ホルムアルデヒド濃度の経時変化 (機器AC2)

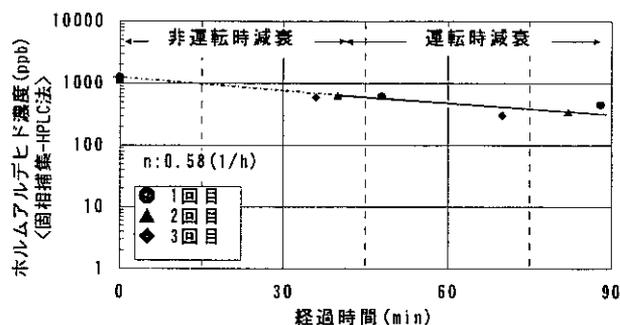


図-3.1.1.5 ホルムアルデヒド濃度の経時変化 (機器AC3)

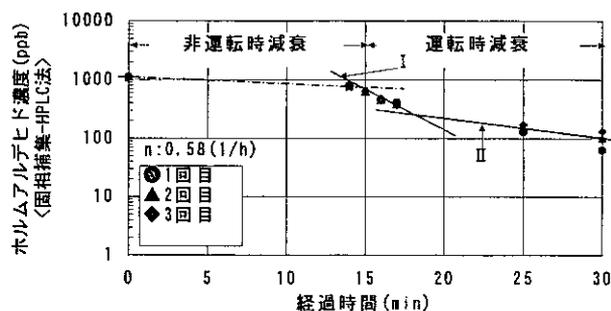


図-3.1.1.6 ホルムアルデヒド濃度の経時変化 (機器AC4)

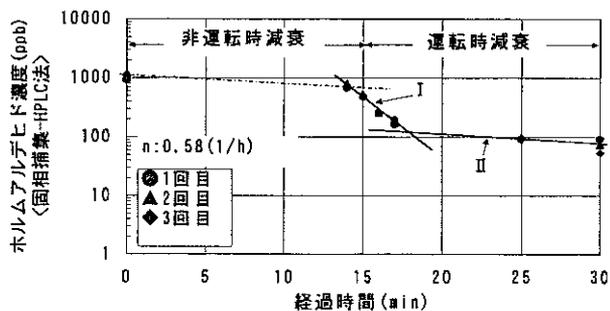


図-3.1.1.7 ホルムアルデヒド濃度の経時変化 (機器AC5)

表-3.1.1.6 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)

| 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 |

3) 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-3.1.1.8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-3.1.1.9を参照のこと。)

表-3.1.1.7 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 |

3.1.1.4 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(°C)、相対湿度:20.4(%)、実験チェンバーの気積:5.25(m^3)、空気清浄機の処理風量:1.2~3(m^3/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-3.1.1.10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} (m^3/h)を表-3.1.1.8に示す。

機器AC8、AC9の相当換気量 Q_{eq} は、1.47(m^3/h)、2.47(m^3/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} (m^3/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(m^3/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($m^3/h \cdot 人$)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。

3.1.1.5 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。

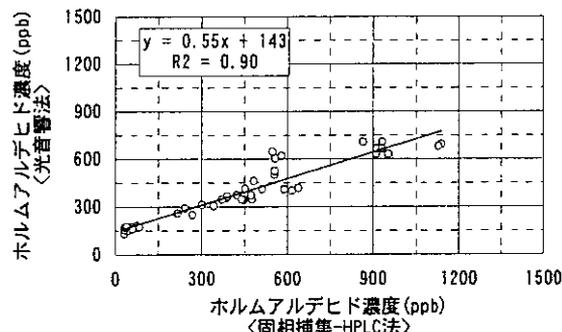


図3.1.1.8 光音響法と固相捕集-HPLC法の相関関係

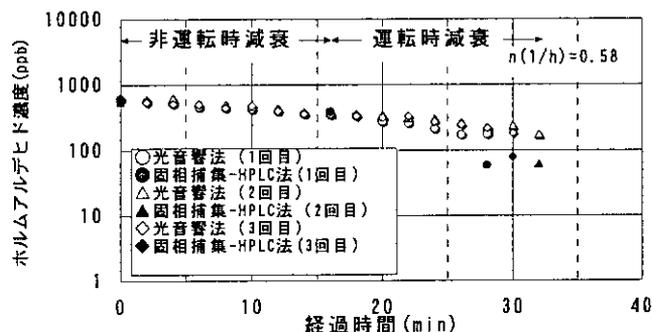


図3.1.1.9 除去特性実験における光音響法と固相捕集-HPLC法の測定値の一例(機器AC1)

表-3.1.1.8 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) |
|------|-----------------------|------------------------------|-------|------------------|----------------------------|
| AC5 | 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 |

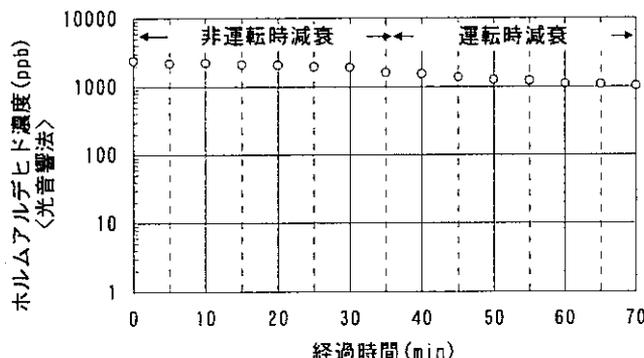


図-3.1.1.10 ホルムアルデヒド濃度変化の一例(機器AC8)

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8.10～19.9(m³/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(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。

3) 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。

3.1.1.6 謝辞

本研究を遂行するに当たり、御協力いただいた工藤彰訓君(当時東北文化学園大学卒論生)に深謝いたします。

3.1.1.7 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 Air Purifiers, 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

要約

第1章 家庭用空気清浄機の汚染物質除去性能

3.1.2 VOC

野崎淳夫(東北文化学園大学)
飯倉一雄(東北文化学園大学)

1. はじめに

近年、室内化学物質汚染の低減対策として家庭用空気清浄機が注目されており、いくつかの研究が成されている。

家庭用空気清浄機の開発サイクルは短く、続々と新製品が販売されているが、家庭用空気清浄機のカスタム汚染物質に関する性能評価試験方法が確立されておらず、VOC除去性能に関する定量的資料も不足している。この様な実状から機器の化学物質除去性能の実態を把握するには困難を極める。

そこで、本研究では以下の①～⑥を明らかにするものである。

- ①化学物質除去機能を有する空気清浄機の揮発性有機化合物除去性能の解明。
- ②相当換気量を用いた空気清浄機の揮発性有機化合物除去性能の評価。
- ③機器の違いと除去性能の検討。
- ④空気清浄機使用室のVOC濃度予測式の提案。
- ⑤提案した理論式から室内VOC濃度予測を行い、予測値と実測値との比較検討。
- ⑥定常発生活における空気清浄機のガス状汚染物質除去性能評価式の提案。

これらにより、最適な室内空気汚染低減対策に資する基礎的資料を得るものである。

2. 実験概要

1) 測定対象機器

測定対象の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、2000年製のフィルター濾過式3台、1998年製フィルター濾過式1台、静電集塵式1台、2002年製の最新式フィルタ濾過式3台、フィルタ清浄式1台、1995年製のフィル

タ濾過式1台を含めた計10台であり、機器の対象汚染物質、風量、フィルタ構成、除去原理等は表-1、2に示される。

2) 測定対象物質

測定対象物質はVOC24成分とした。

3) 実験室概要

実験は、東北文化学園大学空気環境実験室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、4.98[m³]の気積を有したステンレス製である。実験チェンバーでは、温湿度(温度:-10~40[℃]、相対湿度:20~80[%])と換気量(換気回数:0~5.0[1/h])の制御が可能である。実験チェンバーの概要を図-1に示す。

尚、実験チェンバー内には一様拡散を図る為に拡散ファンを設置した。

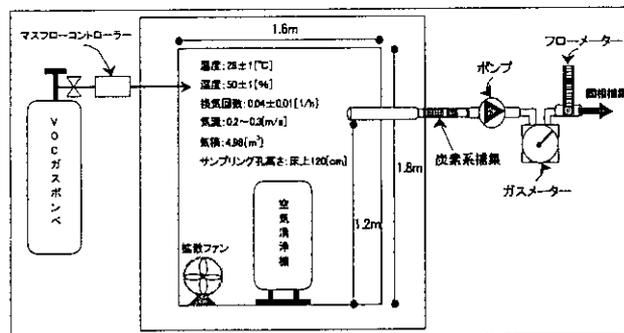


図-1 実験チェンバーの概要

3. 家庭用空気清浄機のガス状汚染物質除去性能の評価法

家庭用空気清浄機のガス状汚染物質除去性能の評価は、「相当換気量(Q_{eq})[m³/h](ECAR:Equivalent Clean Air Rates)」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。

1) 濃度減衰法における相当換気量(Q_{eq})算定式

濃度減衰法における家庭用空気清浄機の性能評価式について示す。

実験チェンバーの気積 Re [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できる。

尚、このときの室換気量を相当換気量 Q_{eq} [m³/h]と云い、次式(1)にて表す。

$$Q_{eq} = N \times R_e \quad (1)$$

2) 空気清浄機使用室における汚染物質濃度予測式

空気清浄機使用室における汚染物質濃度予測式の検討を行った。以下に理論式を示す。

ある任意の時間における室内濃度を C [μg/m³]とすると、ある限られた短時間 dt [h]における室内VOC濃度の変化 dc [μg/m³]は、次式(2)で表される。

$$dt(M + QC_0 - QC - VISC - \alpha RC - Q_{eq}C) = dc \quad (2)$$

表-1 AC-1~5の空気清浄機の概要(2000年製)

| 機種 | 対象汚染物質 | 風量 (m ³ /min) | | | | フィルタの構成 | 適用面積 (畳) | 製造年 |
|------|-------------------------------------|--------------------------|-----|---|---|-------------|----------|------|
| | | 強 | 弱 | 強 | 弱 | | | |
| AC-1 | 粉塵, VOC, HCHO, NO _x , 臭気 | 3.1 | 1 | | | プレ+活性炭+ULPA | ~21 | 2000 |
| AC-2 | 粉塵, HCHO, NO _x , 臭気 | 3.4 | 0.6 | | | プレ+静電+ULPA | ~20 | 2000 |
| AC-3 | 粉塵 | - | - | | | 静電 | ~18 | 2000 |
| AC-4 | 粉塵, HCHO, NO _x , 臭気 | 3 | 0.5 | | | プレ+抗菌+HEPA | ~20 | 2000 |
| AC-5 | 粉塵, VOC, HCHO, NO _x , 臭気 | 4 | 1.9 | | | プレ+静電+活性炭 | ~18 | 1998 |

*上記の概要はカタログより抜粋したものをまとめたものである。

表-2 AC-6~10の空気清浄機の概要(2002年製)

| 機種 | 除去対象汚染物質 | 風量(m ³ /h) | | | | フィルタの構成 | 適用面積 | 適用面積 (畳) | 製造年 | |
|-------|---|-----------------------|-----|-----|----|---------|--|--------------|-----|------|
| | | 強 | 弱 | 強 | 弱 | | | | | |
| AC-6 | ウイルス/花粉/NO _x /タバコ臭/臭気/生臭/臭気/ペット臭/花粉/ダニ/ホルムアルデヒド | 312 | 246 | 156 | 72 | 36 | プレフィルター+活性炭フィルター+プラスチックスフィルター | プラズマ方式+フィルター | ~24 | 2002 |
| AC-7 | ウイルス/花粉/ダニの死骸/ホルムアルデヒド/生臭/臭気/ペット臭/タバコ臭/臭気/ホルムアルデヒド | 258 | 180 | 120 | 78 | 39 | プレフィルター+活性炭フィルター+イオン交換樹脂フィルター+イオン交換樹脂フィルター+イオン交換樹脂フィルター+イオン交換樹脂フィルター | プラズマ方式+フィルター | ~20 | 2002 |
| AC-8 | ウイルス/花粉/ダニの死骸/ホルムアルデヒド/生臭/臭気/ペット臭/タバコ臭/臭気/ホルムアルデヒド | 240 | 180 | 102 | 30 | 15 | プレフィルター+活性炭フィルター+イオン交換樹脂フィルター+イオン交換樹脂フィルター | 電磁イオンフィルター | ~19 | 2002 |
| AC-9 | VOCトルエン、ベンゼン、HCHO等/ウイルス/花粉/ダニの死骸/ホルムアルデヒド/生臭/臭気/ペット臭/タバコ臭/臭気/ホルムアルデヒド | 110 | 95 | 75 | | | プレフィルター+活性炭フィルター+イオン交換樹脂フィルター | フィルター | | 2002 |
| AC-10 | カビ/花粉/ダニの死骸/ホルムアルデヒド/生臭/臭気/ペット臭/タバコ臭/臭気/ホルムアルデヒド | 180 | | 132 | 88 | 44 | プレフィルター+活性炭フィルター | 静電集塵+フィルター | ~24 | 1995 |

*上記の概要はカタログより抜粋したものをまとめたものである。

ここで、M：汚染物質発生量[μg/h]、Q：室換気量[m³/h]、C₀：外気濃度[μg/m³]、Vt：汚染物質落下速度[m/h]、S：床面積[m²]、α：室の汚染物質吸着率[1/h]、R：室の気積[m³]、Q_{eq}：相当換気量[m³/h]

また、対象汚染物質の吸着面への吸着速度a[m/s]、室の全吸着面積A[m²]とすると、次式(3)が成立する。

$$\alpha = \frac{aA}{R} \quad (3)$$

t=0[h]の時、室内VOC濃度をC₁[μg/m³]とし、C=C₁とする。
また、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、V₁=0[m/h]となり、次式(4)が得られる。

$$C = C_1 e^{-\frac{(Q+aA+Q_{eq})t}{R}} + \frac{M+QC_0}{Q+aA+Q_{eq}} (1 - e^{-\frac{(Q+aA+Q_{eq})t}{R}}) \quad (4)$$

ここで、M：汚染物質発生量[μg/h]、Q：室換気量[m³/h]、C₀：外気濃度[μg/m³]、S：床面積[m²]、対象汚染物質の吸着面への吸着速度a[m/s]、室の全吸着面積A[m²]、R：室の気積[m³]、Q_{eq}：相当換気量[m³/h]

3) 定常発生法における相当換気量(Q_{eq})算定式

空気清浄機使用室の室内濃度予測式(4)式を用いて、室内で汚染物質が定常発生する場合の機器の相当換気量(Q_{eq})を求めることが出来る。

(4)式で、t=∞[h]とし、C=C_{ss}とすると、次式(5)が得られる。

$$Q_{eq} = \frac{M}{C_{ss}} + Q \left(\frac{C_0}{C_{ss}} - 1 \right) - \alpha R \quad (5)$$

ここで、C_{ss}：定常発生濃度[μg/m³]

4. 結果と考察

1) 濃度減衰法による家庭用空気清浄機のVOC除去性能

a) AC-1～5のチェンバー内濃度減衰性

家庭用空気清浄機のVOC除去性能を求めるために、機器運転に伴うチェンバー内VOC濃度の変化について明らかにした。

空気清浄機を運転しない機器非運転期間において、約2500[μg/m³]から5000[μg/m³]までのVOCの濃度変位を測定し、空気清浄機を運転する機器運転期間においては、約4800[μg/m³]から1500[μg/m³]までの濃度変位を測定した。

結果の一例を、図-2に示す。

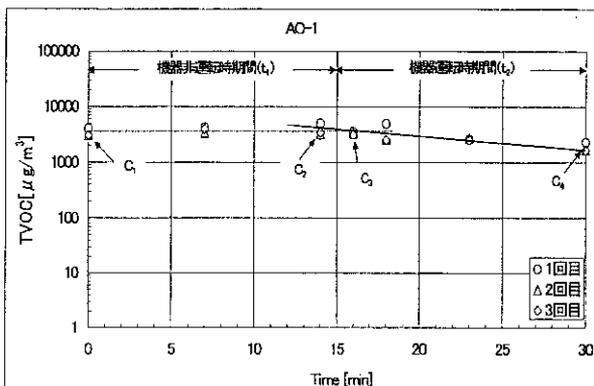


図-2 空気清浄機運転に伴う総VOC濃度の経時変化(AC-1)

b) AC-6～10のチェンバー内濃度減衰性

AC-1～5と同様に、家庭用空気清浄機の運転に伴うチェンバー内VOC濃度の変化について明らかにした。

機器非運転期間においてAC-6では一時的な濃度減少が示され、その後、濃度が上昇する傾向が示された。また、濃度上昇に伴い初期濃度よりも高い値が示された。この要因としては、機器発生の可能性が考えられた。AC-8では微小な減少を示した。AC-7、AC-9、AC-10については、各成分とも濃度変移はほとんど見られなかった。

機器運転期間において、AC-6については機器運転に伴い急激な濃度減少を示した。AC-7、AC-9については、顕著な濃度減少を示した。特にAC-9では、Methylethylketone、Ethylacetate、Benzeneの濃度がほぼ0[μg/m³]となった。AC-10については、機器運転直後から濃度減少を示したが、機器運転後23分～33分間に濃度はむしろ上昇した。

結果の一例を、図-3に示す。

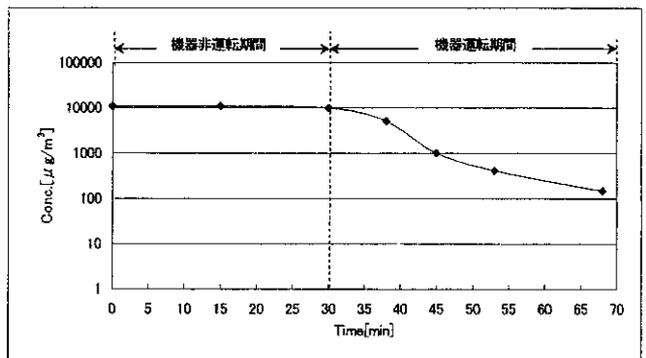


図-3 空気清浄機運転に伴う総VOC濃度の経時変化(AC-9)

2) VOC成分毎の相当換気量

a) AC-1～5のVOC成分毎の相当換気量

チェンバー内の濃度測定により求められたAC-1～5の相当換気量(Q_{eq})は、平均値で0.88～26.0[m³/h]であった。

中でもAC-1は、ヘキサン、ヘプタン、オクタン等の脂肪族炭化水素やベンゼン、トルエン、エチルベンゼン、キシレン類(m, p, o-)の芳香族炭化水素に対し高い除去性能を示した。また、静電集塵式のAC-3の相当換気量(Q_{eq})は、ほぼゼロに等しく、VOC除去性能は、ほとんど期待できない結果となった。

除去方式がフィルタ濾過式の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VOC除去性能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性能がほとんど期待できない結果となった。

また、AC-1、AC-2、AC-5については建築基準法、ビル管法に

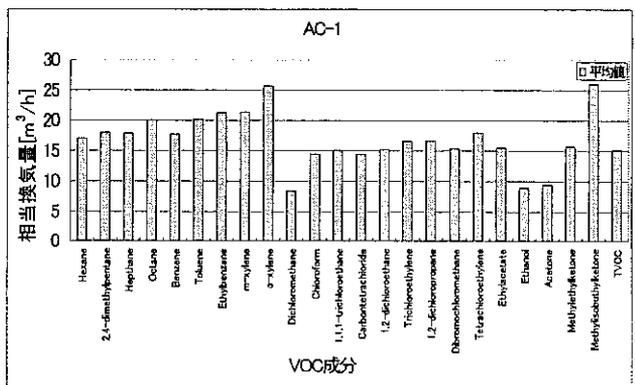


図-4 VOC成分毎の相当換気量(AC-1)