

3. 測定対象検体

(1) 漆喰材

粉末状漆喰と塗り壁状漆喰の2検体を対象とした。

粉末状の漆喰は、アルミ製の金属板(380×380[mm])に試料負荷率が2.2[m²/m³]になるように均一に敷詰め、試験片とした。

また、アルミ製の金属板に塗布した漆喰は、製品の施工方法に則り、試料負荷率が2.2[m²/m³]になるように作製した。

(2) 炭素系吸着建材

検体は、漆喰材同様に試料負荷率が2.2[m²/m³]になるように作製した。

(3) 吸着カーペット

実験対象の吸着カーペットの仕様を表-2に示す。

表-2 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	450[mm]×360[mm]
機能	防炎、遮音、防ダニ、抗菌防臭、ホルムアルデヒド吸着

4. 試験評価法

(1) 試験方法

- 1) チェンバーの洗浄
- 2) バックグラウンド濃度
- 3) 化学物質定常濃度の確認

本研究では、3台の小型チェンバーを用いて標準ガス発生装置からチェンバー内に供給される化学物質が、3日間一定濃度で供給できるかについての確認を行った。

4) 吸着性能試験

予め、暖機運転を行ったガス定常発生装置をチェンバーに接続した。次に、チェンバー内に試験体を設置し、試験体設置から1~3日後における供給空気中汚染物質濃度と排出空気中汚染物質濃度を測定した。

(2) 評価方法

試験で得られたチェンバー供給空気中の対象汚染物質濃度 C_{in} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] と排出空気中の対象汚染物質濃度 C_{out} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] の濃度差により、(1)式を用いて、化学物質濃度低減率 R [%] を求めた。

また、吸着材の吸着能力は、室換気量に相当させることができる。そこで、測定値から(2)式を用いて相当換気量 Q_{eq} [$\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$] を算出した。

$$R = \left(1 - \frac{C_{out}}{C_{in}}\right) \times 100 \quad - (1)$$

$$Q_{eq} = \left(\frac{C_{in}}{C_{out}} - 1\right) \times \frac{Q}{A} \quad - (2)$$

ここで、 Q : チェンバー換気量 [m^3/h]、 A : 対象汚染物質の吸着面積 [m^2] とする。

なお、本試験評価法は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」により提案されている試験評価法「吸着・分解効果の標準試験法」によるものである。

C. 結果と考察

1. 漆喰材の化学物質吸着性能

(1) 吸着性能

ガス定常発生装置を用いて、ホルムアルデヒドをチェンバー内に定常的に供給し、漆喰の吸着性能についての試験を行った。

その結果、塗り壁状漆喰試験片設置24時間後から72時間後では、供給空気中ホルムアルデヒド濃度が548~600 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] で、排出空気中ホルムアルデヒド濃度は62.8~146 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] であった。また、粉末状漆喰では、供給空気中ホルムアルデヒド濃度が511~554 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] で、排出空気中ホルムアルデヒド濃度は50.5~156 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] であった。結果の一例を図-3に示す。

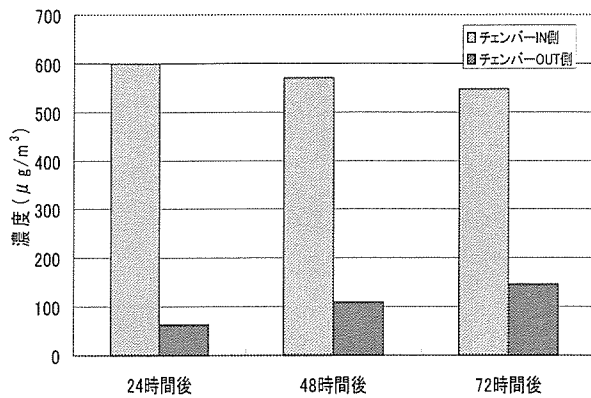


図-3 塗り壁状漆喰のホルムアルデヒド吸着性能

(2) ホルムアルデヒド濃度低減率

測定値から(1)式を用いてホルムアルデヒド濃度低減率 R [%] を求めた。今回の実験では、漆喰材によるホルムアルデヒド濃度の低減効果は良好なものであった。

塗り壁状漆喰の濃度低減率 R は 73.0~90.0 [%]、粉末状漆喰の濃度低減率 R は 69.0~91.0 [%] となり、両検体間の低減率に大きな差は示されなかった。

(3) ホルムアルデヒド相当換気量

本実験で得られた測定結果から(2)式を用いて相当換気量 Q_{eq} を求めた。

塗り壁状漆喰の相当換気量 Q_{eq} は、0.30~0.94 [$m^3/m^2 \cdot h$]、粉末状漆喰の相当換気量 Q_{eq} は 0.25~1.10 [$m^3/m^2 \cdot h$] であり、両者に大きな差は認められなかった。求めた相当換気量を図-4 に示す。

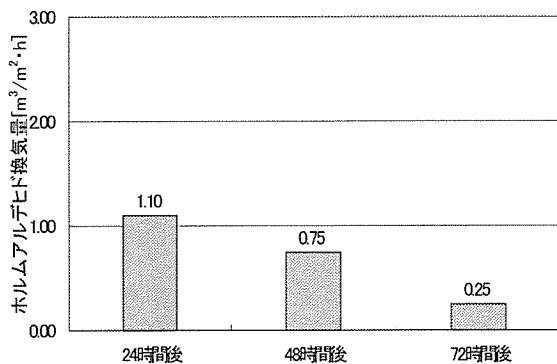


図-4 塗り壁状漆喰のホルムアルデヒド相当換気量

2. 炭素系吸着建材の化学物質吸着性能

(1) 吸着性能

定常ガス発生装置を用いてホルムアルデ

ヒドおよびトルエンを定常的に供給し、吸着性能について漆喰材同様の評価を行った。その結果、設置 24 時間後におけるチェンバーの供給空气中ホルムアルデヒド濃度は、495 [$\mu g/m^3$] で、排出空气中ホルムアルデヒド濃度は 228 [$\mu g/m^3$] であった。また、72 時間後の供給空气中ホルムアルデヒド濃度は、658 [$\mu g/m^3$] で、排出空气中ホルムアルデヒド濃度は、121 [$\mu g/m^3$] であった。結果を図-5, 6 に示す。

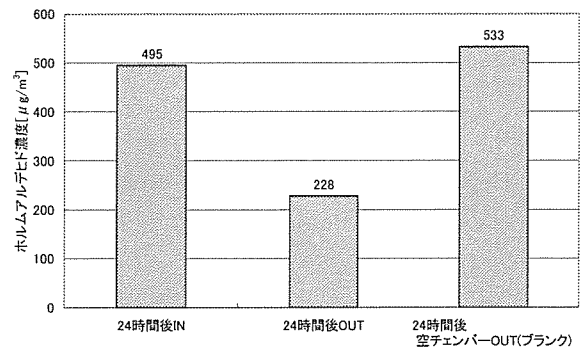


図-5 炭素系吸着建材のホルムアルデヒド吸着性能 (24 時間後)

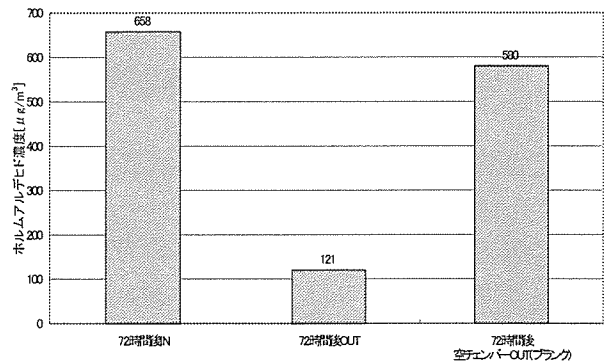


図-6 炭素系吸着建材のホルムアルデヒド吸着性能 (72 時間後)

(2) 濃度低減率

1) ホルムアルデヒド

実験的に得られた測定結果から、ホルムアルデヒド濃度低減率 [%] を求めた。濃度低減率算出式は(1)式を用いた。

今回の実験では、炭素系吸着建材によるホルムアルデヒド吸着性能は良好なものであった。炭素系吸着建材設置 24 時間後から 72 時間後では、54.0~81.6 [%] であった。

2) トルエン

測定結果からトルエン濃度低減率 $R[\%]$ を求めた。結果、炭素系吸着建材設置 24 時間後から 72 時間後では、64.0～70.0[%] となった。

(3) 相当換気量

漆喰同様に(2)式を用いて相当換気量 $Q_{eq}[\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}]$ を算出した。その結果、24 時間後の相当換気量 Q_{eq} は $0.26[\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}]$ であったが、72 時間後の相当換気量 $Q_{eq}[\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}]$ では $0.98[\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}]$ と増大する結果となった。結果の一例を図-7 に示す。

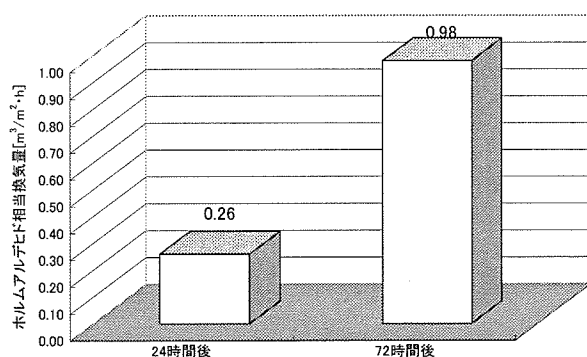


図-7 ホルムアルデヒド相当換気量

3. 吸着カーペットの化学物質吸着性能

(1) 吸着性能

炭素系吸着建材と同様の実験を行い、ホルムアルデヒドおよびトルエンに対する吸着性能の評価を行った。ホルムアルデヒドにおいては、設置 24 時間後におけるチェンバーの供給空気濃度は、 $483[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ で、排出空気濃度は $102[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ となった。また、72 時間後の供給空気濃度は、 $460[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ で、排出空気濃度は、 $99[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ となった。一方でトルエンにおいては、設置 24 時間後におけるチェンバーの供給空気濃度は $531[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ で、排出空気濃度は $567[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ となった。また、72 時間後の供給空気濃度は $904[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ で、排出空気濃度は $910[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ となった。トルエンに対しては吸着性能が無いことが明らかとなった。結果を図-8, 9 に示す。

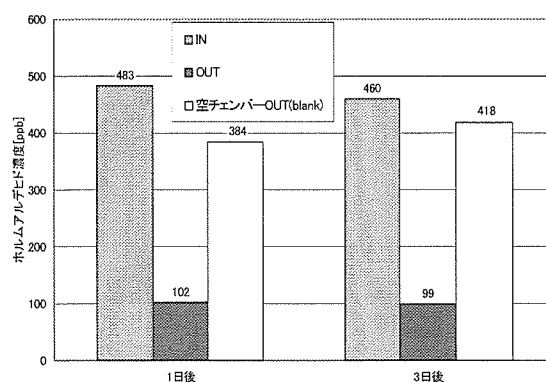


図-8 吸着カーペットのホルムアルデヒド吸着性能

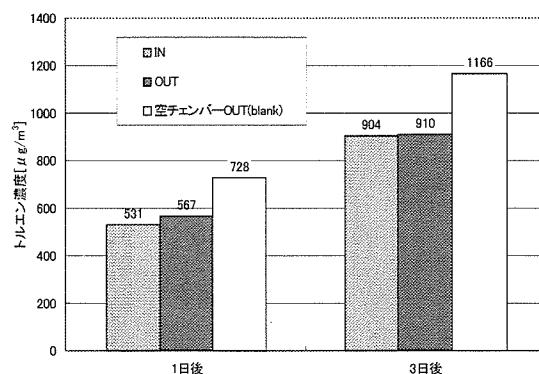


図-9 吸着カーペットのトルエン吸着性能

(2) 濃度低減率

実験的に得られた測定結果から、(1)式を用いてホルムアルデヒド濃度低減率[%]を求めた。

今回の実験では、吸着カーペットによるホルムアルデヒド吸着性能は良好なものであった。濃度低減率は吸着カーペット設置 24 時間後では 78.9[%]、72 時間後では 78.5[%]であった。

(3) 相当換気量

漆喰同様に(2)式を用いてホルムアルデヒド相当換気量 $Q_{eq}[\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}]$ を算出した。その結果、24 時間後の相当換気量 Q_{eq} は $0.69[\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}]$ 、72 時間後の相当換気量 $Q_{eq}[\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}]$ は $0.73[\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}]$ となった。(図-10 参照)

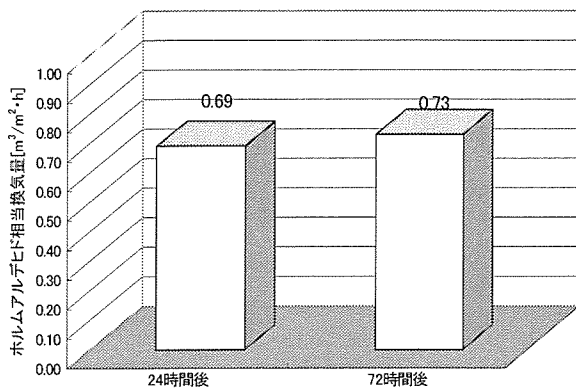


図-10 ホルムアルデヒド相当換気量

D. 結論

本研究において、以下の知見が得られた。

- 1) 化学物質の定常発生技術を確立した。
- 2) 塗り壁材及び粉末状漆喰のホルムアルデヒド濃度低減効果が明らかになった。
- 3) 塗り壁材及び粉末状漆喰のホルムアルデヒド相当換気量が求められた。
- 4) 炭素系吸着建材のホルムアルデヒド及びトルエンの濃度低減効果が明らかになった。
- 5) 炭素系吸着建材のホルムアルデヒド及びトルエンの相当換気量が求められた。

E. 今後の課題

- 1) 吸着建材の吸着効果持続性の検討
- 2) より多くの製品データの蓄積

F. 健康危機情報

現在、建材の多くには、ホルムアルデヒド放散抑制のために、ホルムアルデヒド処理剤（通称:キャッチャー剤）が使用されている。

今回、実験対象とした吸着系建材にもキャッチャー剤が用いられており、ホルムアルデヒド吸着性能はこの処理剤によるところが大きい。

しかしながら、同処理剤の物理・化学的組成は企業の保護情報にも当たり、全容は開示されていないことが多い。そのため、同処理剤の持続性を含めた効力と健康影響に関わる情報の整理検討が必要であろう。

G. 研究発表

- 1) 野崎淳夫、折笠智昭、中村寛希:壁装材の室内化学物質吸着性能に関する研究 室内空気環境とその快適性に関する研究 (その 32)、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.26-27、2004 年 11 月
- 2) 石崎功雄、福田克伸、高野亮、桑沢保夫、大澤元毅、野崎淳夫:屋外実験棟における吸着材料の性能に関する研究その 1、実験方法設定、日本建築学会学術講演梗概集、DII 巻、pp.1065-1066、2004 年 8 月
- 3) 福田克伸、石崎功雄、高野亮、桑沢保夫、大澤元毅、野崎淳夫:屋外実験棟における吸着材料の性能に関する研究その 2、実験結果、日本建築学会学術講演梗概集、DII 巻、pp.1067-1068、2004 年 8 月
- 4) 高野亮、福田克伸、石崎功雄、桑沢保夫、大澤元毅、野崎淳夫:屋外実験棟における吸着材料の性能に関する研究その 3、発生量、低減量の考察、日本建築学会学術講演梗概集、DII 巻、pp.1069-1070、2004 年 8 月
- 5) 野崎淳夫、飯倉一雄、坊垣和明、大澤元毅:多孔質材料、塗り壁材のガス状物質吸着効果に関する研究、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.128-130、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。

I-2.3. グラフト重合技術

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

A. はじめに

既存の化学吸着材は経時劣化や揮発ロスにより、吸着対象物質との接触効率が低下する問題がある。

しかし、グラフト重合高分子利用の化学吸着材は、吸着対象物質と吸着分子の接触効率や吸着速度や吸着容量が大きく、経時劣化が小さいため、高い吸着性能が継続的に得られるとされている。^{1)、2)}

そこで、本研究では国土交通省総合技術プロジェクト「シックハウス対策技術の開発」による試験評価法「吸着・分解効果の標準試験法」に準拠し、定常発生状態におけるグラフト重合高分子を用いた化学吸着材の化学物質吸着性能を定量的に明らかにする。さらには、野崎らの既往研究¹⁾における物理吸着材の性能と比較を行い、より有効な化学物質低減対策技術の開発に資する基礎的資料を得るものである。

B. 実験装置

1. ガス定常発生装置

ガス定常発生装置は、校正ガス発生装置、マスフローコントローラ、空気清浄管、ポンプなどにより構成されている。

試験評価対象物質の液状試薬を拡散管に分注後、校正ガス発生装置に設置する。温度等の発生条件を制御することにより、対象化学物質の任意発生量が得られるものである。

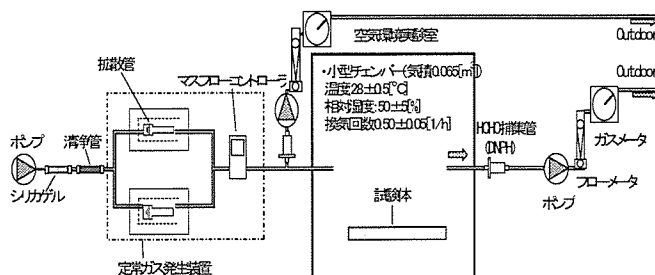


図-1 実験装置の概要

2. 試験体

試験体は、6種類のグラフト重合吸着材とした。不織布状試験体は片面をアルミ箔で被覆し、粒状化学吸着材はアルミ製の型枠に均一となるように敷詰めた。また、試料負荷率は $2.2[m^2/m^3]$ とした。(表-1参照)

表-1 試験体の概要

記号	吸着剤	サイズ[mm]×[mm]	含浸基材	形状	用途
A	グラフト重合高分子	[L]380×[W]380	不織布	布状	内装材
B					
C					
D			セルロース繊維	粒状	芳香・消臭剤
E			不織布	布状	内装材
F					

3. 測定対象化学物質

測定対象化学物質は、厚生労働省により室内濃度指針値が示されている13物質のうち、ホルムアルデヒドとした。

4. ホルムアルデヒド濃度の測定法と測定機器

試料空気の捕集は、DNPHカートリッジを用いて行い、捕集流量は $0.5[L/min]$ で30分間の捕集を行った。

DNPHカートリッジに捕集されたホルムアルデヒドは、 $5[mL]$ のアセトニトリルにて5分間の溶媒抽出を行い、分析試料とした。その後、分析試料 $10[\mu L]$ を高速液体クロマトグラフ(HPLC)に導入し、定性・定量分析を行った。

5. 試験評価方法

ホルムアルデヒド除去性能の評価は、濃度低減率 $R[\%]$ と相当換気量 $Q_{eq}[m^3/h \cdot m^2]$ により行った。チェンバー供給空气中ホルムアルデヒド濃度(C_{in})と排出空气中ホルムアルデヒド濃度(C_{out})を測定し、(1)式に測定値を代入して濃度低減率 $R[\%]$ を求めた。

$$R = \left(1 - \frac{C_{out}}{C_{in}}\right) \times 100 \quad (1)$$

C_{in} : チェンバー供給空気中のホルムアルデヒド濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]、 C_{out} : チェンバー排出空気中のホルムアルデヒド濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

また、同測定値を(2)式に代入して、相当換気量 Q_{eq} [$\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$] を算出した。

$$Q_{eq} = \left(\frac{C_{in}}{C_{out}} - 1\right) \times \frac{Q}{A} \quad (2)$$

Q : チェンバー換気量 [m^3/h]、 A : 吸着面積 [m^2]

C. 結果及び考察

1. 定常状態確認試験

定常ガス発生装置を用いて、換気回数 0.5[1/h]の小型チェンバー内へホルムアルデヒドガスを供給した結果、装置運転開始 24 時間から試験終了(72 時間)まで、ホルムアルデヒドの定常状態再現に成功した。(図-2 参照)

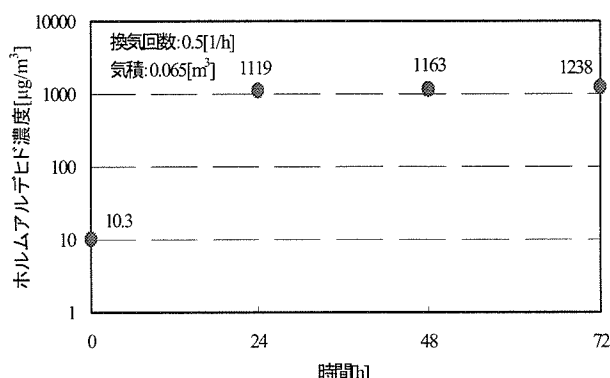


図-2 チェンバー内ホルムアルデヒド濃度の定常状態確認試験

2. 吸着性能

各試験体において、チェンバー内ホルムアルデヒド濃度の顕著な低減効果が示された。不織布にグラフト重合高分子薬液を含浸させた試験体 A、B、C、F のうち、特に試験体 B では、検体設置後 24 時間から 72 時間における供給空気中ホルムアルデヒド濃度は 1031 ~ 1138 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]、排出空気中ホルムアルデヒド濃度では 88.2 ~ 95.5 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] になり、大きな低減が示された。また、セルロース繊維に含浸させた粒状の試験体 D、E においても、供給空気濃度が 999 ~ 1061 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]、排出空気濃度では 88.0 ~ 200 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] となり大きな濃

度低減効果が示された。(図-3 参照)

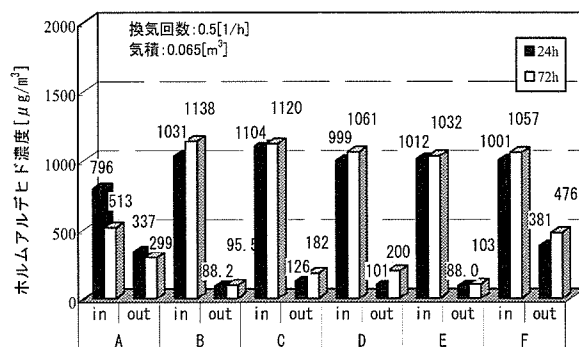


図-3 チェンバー内ホルムアルデヒド濃度の経時変化

3. 濃度低減率

測定結果から(1)式を用いて濃度低減率 R を求めた。試験体 B、C、D、E においては、24 時間後で 88.6 ~ 91.4 [%]、72 時間後においても 78.6 ~ 90.0 [%] と高い濃度低減率を示した。

一方で、試験体 A、F においては 24 時間後で 57.6 ~ 62.0 [%]、72 時間後では 41.8 ~ 54.9 [%] と、他の検体に比べ低い濃度低減率となった。(図-4 参照)

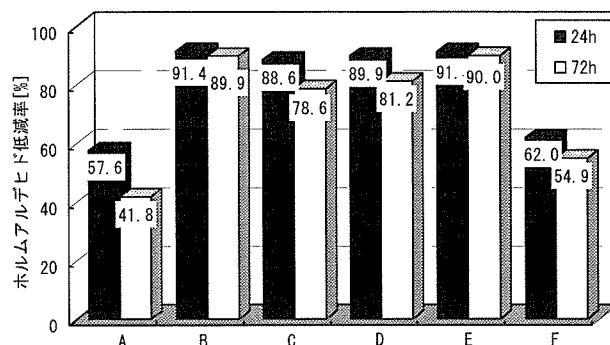


図-4 ホルムアルデヒド濃度の低減率

4. 相当換気量

測定結果から(2)式を用いて相当換気量 Q_{eq} を求め、各試験体における吸着性能の評価を行った。顕著な濃度低減を示した試験体 B、C、D、E の検体設置 24 時間後の Q_{eq} は 2.02 ~ 2.43 [$\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$] であり、72 時間後の Q_{eq} は 0.84 ~ 2.06 [$\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$] であった。試験体 B、E では検体設置 72 時間後においても 2.00 [$\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$] 以上の相当換気量が示された。(図-5 参照)

これらは既往の研究³⁾(図-6 参照)と比較すると、ゼオライト、珪藻土、シリカゲル以上

の相当換気量を有し、備長炭と同程度となる。ただし、時間経過に伴い、全ての試験体において吸着性能が低下する傾向が示された。

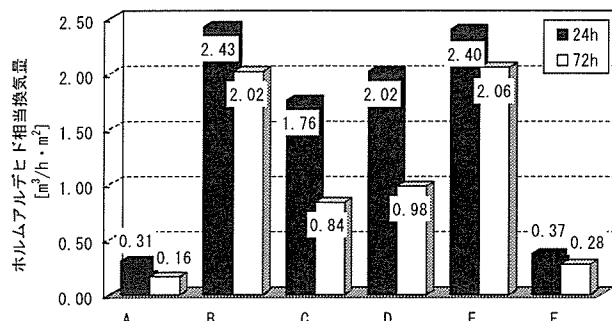


図-5 ホルムアルデヒドの相当換気量

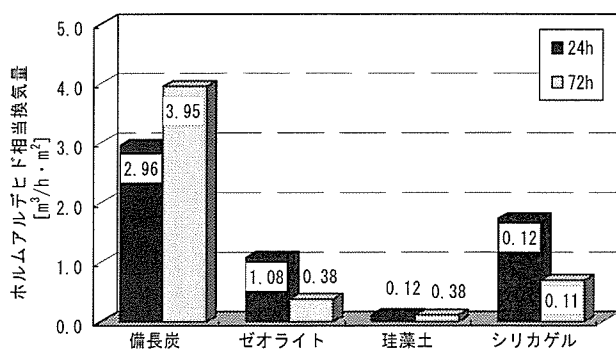


図-6 多孔質材のホルムアルデヒド相当換気量

D. 結論

本研究により得られた知見を以下に示す。

- 1) 定常ガス発生装置を用いて、ホルムアルデヒドのチェンバー内定常状態を再現することに成功した。
- 2) 定常発生法を用いて、グラフト重合高分子吸着材のホルムアルデヒド吸着性能を定量的に明らかにした。
- 3) 吸着材に対するホルムアルデヒドガスの曝露時間の増大に伴い、ホルムアルデヒド吸着性能の低下傾向が示された。
- 4) 試験体 B、E は、粉末状の備長炭に近似し

たホルムアルデヒド吸着性能を有する事が明らかとなった。

- 5) 吸着容量が小さく、物質選択性の無い物理吸着材と比較すると、グラフト重合利用の化学吸着材は一度吸着した化学物質を脱離しにくく、吸着容量、吸着力や性能持続性の面で優れていると思われる。

E. 今後の課題

- 1) 当該化学吸着材の耐久性能を明らかにする。
- 2) 供給空気濃度別(高濃度・中濃度・低濃度)におけるホルムアルデヒド吸着性能を明らかにする。

F. 健康危機情報

特になし。

G. 知的財産権の出願・登録状況

特になし。

H. 引用文献

- 1) 下之園孝、堀 雅宏、大河原忠義、半田晋也：グラフト重合高分子吸着材を用いる VOC 除去と発散制御、日本建築学会 2004 年度大会(北海道) 学術講演梗概集、D-II、pp. 1071~1072、2004 年 8 月
- 2) 大河原忠義、特許番号 2643823、吸着剤およびその製造方法、1997 年
- 3) 野崎淳夫、飯倉一雄、坊垣和明、大澤元毅：多孔質材料、塗り壁材のガス状物質吸着効果に関する研究、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、D-II、pp. 128~130、2004 年 4 月

I - 2. 4. リン酸チタニア化合物(合板)

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

A. はじめに

室内化学物質濃度低減対策の一つとして、光触媒等の触媒技術が注目されている。触媒技術は、エネルギー消費に伴う二酸化炭素等の温室効果ガスの排出が無く、自然エネルギーにより反応・分解を行うため、クリーンかつ有効な対策法として注目されている。

触媒技術の一つとして、光触媒¹⁾に類似した化学物質除去原理を持つリン酸チタニア化合物利用の空気汚染対策製品がある。リン酸チタニア化合物は光照射によって効果を発揮する光触媒と異なり、空気中の酸素との接触により反応するため、室内空気汚染対策として期待される技術である。

本研究は、リン酸チタニア化合物利用製品の室内化学物質除去性能を定量的に明らかにし、室内空気環境改善に資する基礎的研究を行うものである。

B. 実験概要

1. 試験片

表-1 に示すように、試験片はリン酸チタニア化合物利用製品を塗布した検体 (3 検体) と未塗布のブランク検体 (1 検体) である。検体基材は低圧メラミン化粧合板でサイズ 300×300×2[mm] である。

表-1 試験片の概要

	未塗布検体 (ブランク)	サンプル1	サンプル2	サンプル3
塗布量	-	3[cc/m ³] 0.27[cc/枚]	7[cc/m ³] 0.63[cc/枚]	14[cc/m ³] 1.27[cc/枚]

2. 実験装置

本研究では、環境制御型の大型チェンバーを使用した。チェンバー内はある一定の環境条件(温度:28±1[°C]、相対湿度:50±1[%]、

換気回数:0.01[1/h]、気流速度:0.2～0.3[m/s])に制御し、チェンバー内空気の様拡散状態を構築するため、拡散ファンを運転した。(図-1 参照)

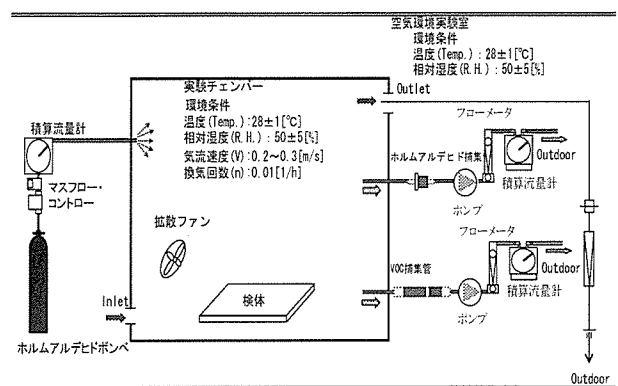


図-1 実験装置

3. 実験方法

- ①チェンバー(4.98[m³])の環境条件を制御し、定常状態における試料空気の捕集を行う。
- ②リン酸チタニア化合物は酸素反応型のため、試験片が室内空気に接触しないよう全体を被覆する。
- ③試験片をチェンバー内に設置し、定常状態の試料空気を捕集する。
- ④チェンバー内にVOC(約40物質)とホルムアルデヒドガスを放出する。チェンバー内のVOCとホルムアルデヒド濃度は、厚生労働省の室内濃度指針値の約2～3倍の濃度になる様に、ボンベ供給のVOC混合ガス(3[L])とホルムアルデヒドガス(10[L])をチェンバー内へ放出する。定常状態での試料空気の捕集を行う。
- ⑤リン酸チタニア化合物塗布面の被覆材をはがす。ある一定時間毎にチェンバー内空気の捕集を行なう。

C. 結果

1. ブランク検体からの VOC、アルデヒド類の発生

ブランク検体設置チェンバー内のアルデヒド類と VOC 濃度の経時変化をそれぞれ図-2~3 に示す。

チェンバー内アルデヒド類濃度は、時間経過に伴い僅かな濃度上昇が見られたが、特に大きな変化は無かった。また、チェンバー内 VOC 濃度はとても低く、また時間経過に伴う変化は認められない。

2. サンプル (1)、(2)、(3) チェンバー内のアルデヒド類濃度の経時変化

サンプル (1)、(2)、(3) を設置したチェンバー内アルデヒド類濃度の経時変化を図-4~6 に示す。

いずれのサンプルにおいても、アルデヒド類濃度低下は見られず、同製品のホルムアルデヒドとアセトアルデヒドの室内濃度低減効果は認められない。

サンプル (1) において、0 分値と 30 分値が 113[ppb]であったが、60 分値では 157[ppb]まで上昇しており、検体からのホルムアルデヒドの放散も考えられる。

3. サンプル (1)、(2)、(3) 設置チェンバー内の VOC 濃度の経時変化

サンプル (1)、(2)、(3) を設置したチェンバー内 VOC 濃度の経時変化を図-7、8 に示す。

サンプル (1)、(2)、(3) とともに、時間経過に伴いチェンバー内濃度の低下は示されず、同製品の VOC の室内濃度低減効果は認められない。チェンバー内濃度はむしろ上昇傾向にあり、濃度上昇値はサンプル (1)、(2)、(3) でそれぞれ 100~300[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]、150~200[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]、200~900[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]程度である。

D. 考察

サンプル (1)、(2)、(3) 共にホルムアルデヒドと VOC の濃度低減は見られず、当該リン酸チタニア化合物利用対策品の化学物質除去性能は確認されなかった。

ブランク検体の VOC、ホルムアルデヒド濃度の発生量は微少でありチェンバー内濃度を上昇させないが、サンプル (1)、(2)、(3) において時間経過に伴い VOC 濃度が上昇した。また、サンプル (1) ではホルムアルデヒドの上昇も観察された。

このことから、当該製品自身から VOC とホルムアルデヒドの発生が示唆された。

E. 結論

本研究により得られた知見を以下に示す。

- 1) リン酸チタニア化合物利用製品による明確なホルムアルデヒドと VOC の室内濃度低減効果は示されなかった。
- 2) リン酸チタニア化合物利用製品設置チェンバー内で、VOC 濃度の上昇が確認された。

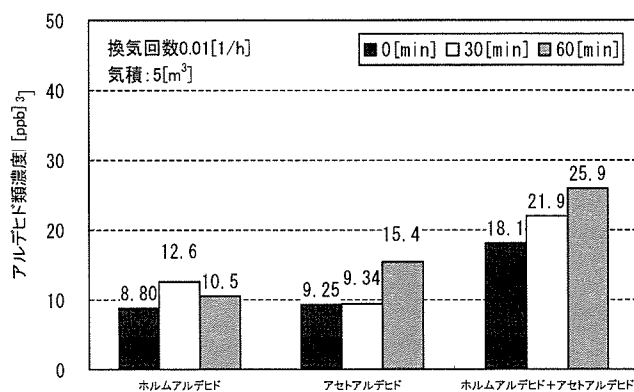


図-2 アルデヒド類濃度の経時変化(ブランク検体)

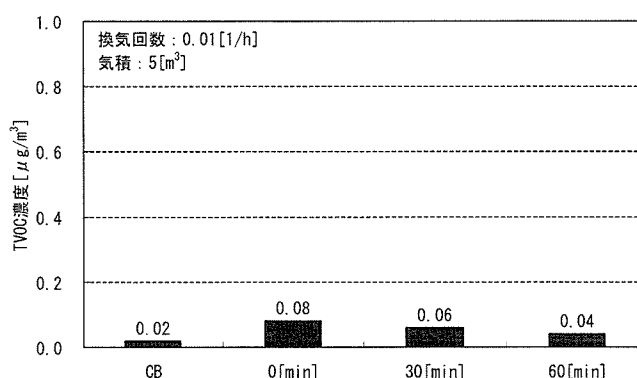


図-3 VOC 濃度の経時変化(ブランク検体)

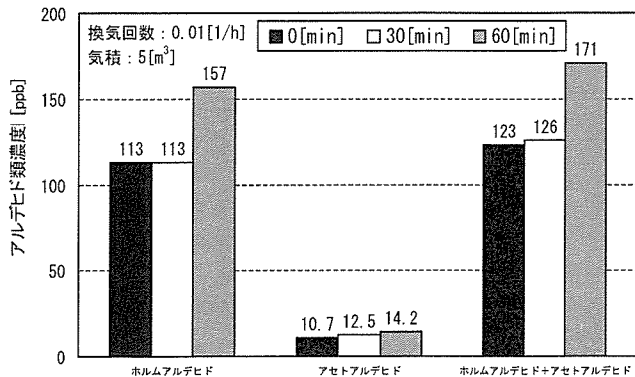


図-4 アルデヒド類濃度の経時変化(サンプル(1))

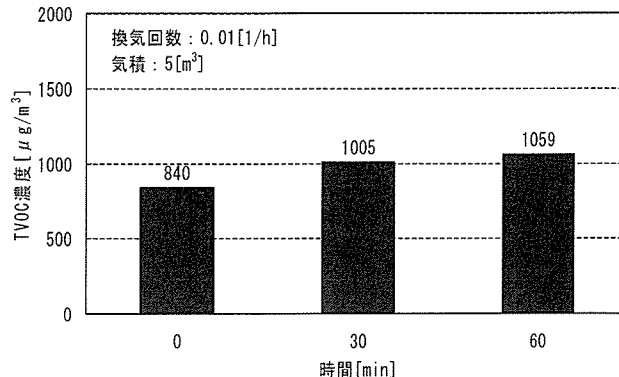


図-8 VOC濃度の経時変化(サンプル(2))

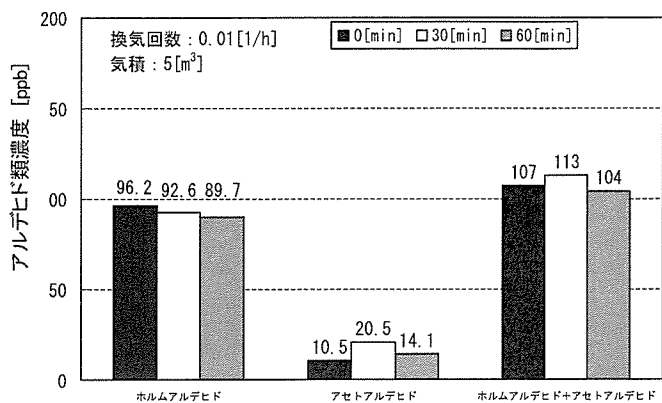


図-5 アルデヒド類濃度の経時変化(サンプル(2))

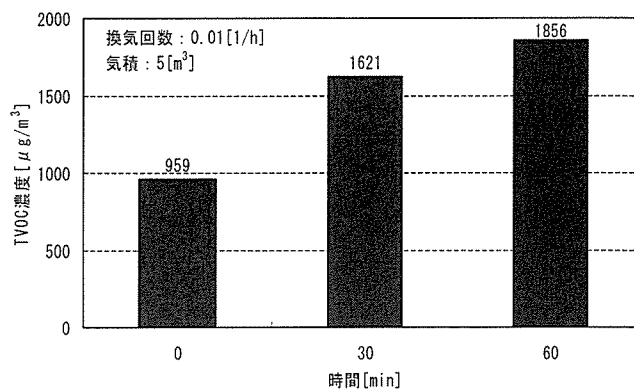


図-9 VOC濃度の経時変化(サンプル(3))

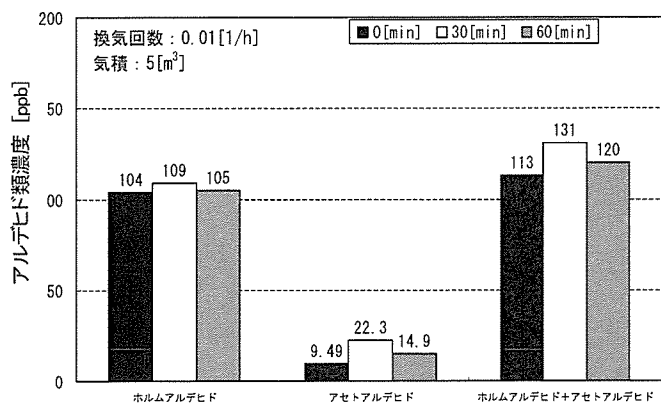


図-6 アルデヒド類濃度の経時変化(サンプル(3))

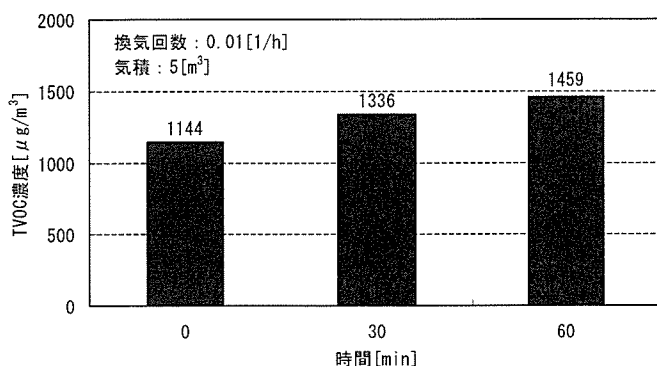


図-7 VOC濃度の経時変化(サンプル(1))

F. 健康危機情報

室内空気汚染物質の分解に伴う 2 次生成物の検証が必要である。

G. 知的財産権の出願・登録

現時点では、特になし。

H. 引用文献

- 野崎淳夫、橋本康弘、鈴木 学:光触媒による室内化学物質分解性能に関する研究-室内空気環境とその快適性に関する研究(その30):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. 22~23、2004年11月

I-2. 5. ベイクアウト技術の評価

i) 住宅設備機器

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

A. はじめに

ホルムアルデヒドをターゲット物質とした改正建築基準法の施行に伴い、室内ホルムアルデヒド濃度は減少傾向にある。

これは、建築物に使用される建材の低ホルム化の進行によるものである。ところが、造作家具や住宅設備家具（住設家具）に関する化学物質発生量の実態や発生源発生量低減手法に関する研究は不足している現状にある。

野崎らは、室内化学物質汚染の低減対策としてベイクアウト技術を実験的に検証しているが、同技術を家具に適応した場合に、高い化学物質低減効果が示されるケースを報告している。¹⁾

そこで本研究では、1) 住宅設備機器（洗面化粧台）の化学物質発生量を大型チェンバーを用いて明らかにするとともに、2) ベイクアウト技術による化学物質発生量の低減効果を明らかにすることを目的とする。

B. 実験概要

1. 測定対象住設機器の概要

本研究では洗面化粧台を測定対象とした。なお、異なる湿度条件でベイクアウト試験を実施するため、製造方法等が全て同一の洗面化粧台を3検体用意した。

2. ベイクアウトの概要

野崎らは、国土交通省や大学機関などにより構成された「シックハウス総プロ」において室内化学物質汚染の低減対策としてベイクアウト技術を実験的に検証している。結果として、同技術を家具に適応した場合に高い化学物質低減効果が示されるケースを報告している。^{2)、3)、4)}

本研究では、従来のベイクアウト^{3)、4)}を異

なる湿度条件で実施し、ベイクアウト効果をより向上させるための基礎的要件の検討を行うものである。すなわち、温度は一定で乾燥（相対湿度 20[%]）、加湿（相対湿度 50[%]）、乾湿（相対湿度 20~50[%]）の3つの湿度条件にて実験を行い、発生量低減率を求めるものである。3種類の実験プログラムにおけるチェンバー内環境条件を表-1に示す。

表-1 各ベイクアウトプログラムのチェンバー内環境条件

	ベイクアウト実施前	ベイクアウト実施中	ベイクアウト実施後
温度	28±1[°C]	40±1[°C]	28±1[°C]
湿度	(1)プログラム1 (乾燥状態)	50±5[%]	20±5[%]
	(2)プログラム2 (加湿状態)	50±5[%]	50±5[%]
	(3)プログラム3 (乾湿状態)	50±5[%]	20±5[%]→50±5[%]
換気回数	0.5±0.05[回/h]		
気流	0.5[m/s]		

3. 測定・分析法

(1) アルデヒド類

固相捕集-溶媒抽出-高速液体クロマトグラフ法

(2) VOC(揮発性有機化合物)

固相捕集-加熱脱離-ガスクロマトグラフ/質量分析法

4. 評価方法

本研究における試験評価法として、1時間あたりの化学物質発生量 M [$\mu\text{g/h}$]とベイクアウトによる発生量低減率 R_0 [%]を用いた。

4. 1. 発生量 (M)

実験により得られた測定値を以下の(1)式に代入し、発生量 M [$\mu\text{g/h}\cdot\text{unit}$]を算出する。

$$M = n \times R(C_{ss} - C_0) \quad - (1)$$

ここで、

n :チェンバー換気回数[1/h]、 R :チェンバー気積[m³]、 C_{ss} :室内対象汚染物質定常濃度[μg/m³]、 C_0 :供給空气中汚染物質濃度[μg/m³]とする。

4. 2. バイクアウトによる発生量低減率 (R_b)

発生量低減率 R_b [%] は、測定値を次式 (2) 式に代入して求める。

$$R_b = \left(1 - \frac{C_{sa} - C_{1a}}{C_{sb} - C_{1b}} \right) \times 100 - R_m \quad - (2)$$

ここで、

C_{sb} : バイクアウト実施後の室内定常濃度[μg/m³]、 C_{1b} : バイクアウト実施前の室内初期濃度[μg/m³]、 C_{sa} : バイクアウト実施後の室内定常濃度[μg/m³]、 C_{1a} : バイクアウト実施前の室内初期濃度[μg/m³]、 R_m : 実験期間中の建材履歴実験による発生量減少率[%]とする。

C. 結果及び考察

1. 実験プログラム毎の化学物質発生量の変化

濃度測定値を (1) 式に代入し、単位時間当たりの機器発生量を求めた。

(1) ホルムアルデヒド

各プログラムのバイクアウト実施前後におけるホルムアルデヒド発生量の変化を図-1に示す。

プログラム1のバイクアウト実施前後の発生量は142[μg/h·unit]から132[μg/h·unit]、プログラム2で54.8[μg/h·unit]から57.9[μg/h·unit]、プログラム3では50.1[μg/h·unit]から45.1[μg/h·unit]と、全てのプログラムにおいて発生量の変化はほとんど示されなかった。

すなわち、対象とした洗面化粧台は低ホルムアルデヒド対策製品であり、発生量が小さく、この発生レベルのホルムアルデヒドに対しては、本バイクアウト条件では低

減できないことが示された。

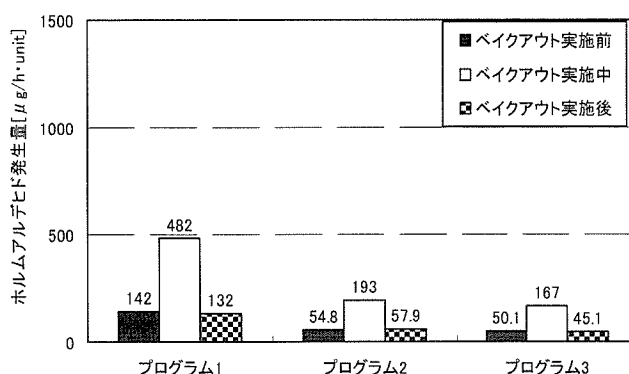


図-1 各プログラムにおけるホルムアルデヒドの発生量

(2) VOC

バイクアウト実施前後におけるVOC発生量の変化を図-2に示す。プログラム1のバイクアウト実施前後の発生量は、341[μg/h·unit]から205[μg/h·unit]、プログラム2で155[μg/h·unit]から54.2[μg/h·unit]、プログラム3では162[μg/h·unit]から75.4[μg/h·unit]と、各プログラムにおいてVOC濃度の低減効果が示された。

検出VOC成分の中で、顕著な発生を示したのはメチルエチルケトン(以下、MEK)である。また、VOC発生量の約60~90[%]がMEKであった。(図-3参照)すなわち、当住設機器においてはMEKの有効な低減対策技術が要求される。

そこで、バイクアウトによるMEKの低減率を求めた(図-4参照)。MEKのバイクアウト実施前後の発生量は、プログラム1で314[μg/h·unit]から151[μg/h·unit]、プログラム2で138[μg/h·unit]から40.5[μg/h·unit]、プログラム3では146[μg/h·unit]から69.1[μg/h·unit]となった。いずれのプログラムでも、バイクアウトによるMEK発生量の低減効果が示された。

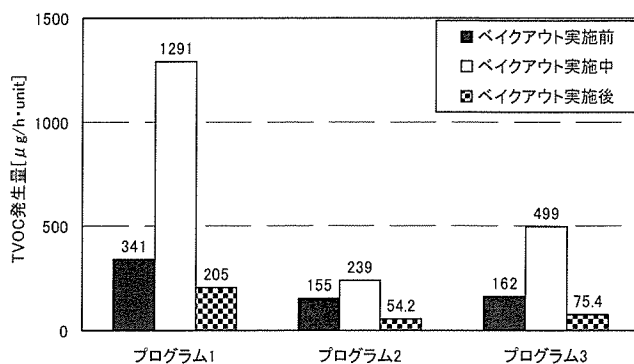


図-2 各プログラムにおける VOC の発生量

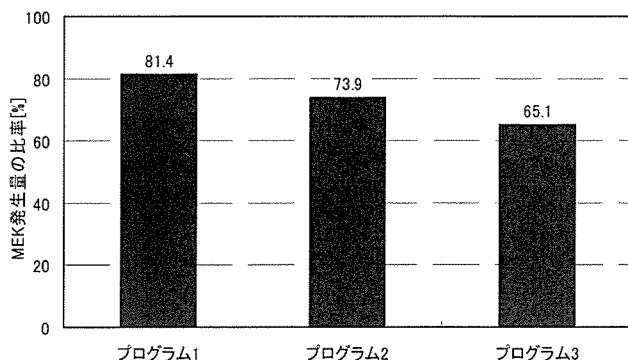


図-3 VOC 発生量に対する MEK 発生量の比率

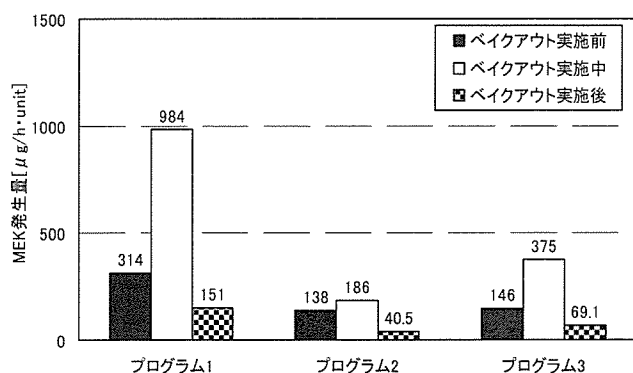


図-4 各プログラムにおける MEK の発生量

2. ベイクアウト実施に伴う発生量低減率 (R_b) の算出

測定値を(2)式に代入し、ベイクアウト実施に伴う化学物質発生量低減率 R_b を求めた。

ホルムアルデヒドと VOC の発生量低減率を表-2、3に示す。

両物質において相対湿度を増大させることにより、発生量低減率の向上が示された。

表-2 ホルムアルデヒドの発生量低減率

プログラムNo.	発生量低減率 R_b [%]
プログラム1	5.61
プログラム2	22.6
プログラム3	27.3

表-3 VOC の発生量低減率

プログラムNo.	発生量低減率 R_b [%]
プログラム1	39.7
プログラム2	60.9
プログラム3	70.9

D. 結論

1. ホルムアルデヒド

1) ホルムアルデヒド低減率は 5.61～27.3[%]の範囲にあった。

なお、相対湿度 20[%]の低湿度条件ではほとんどホルムアルデヒド発生量を低減できないが、相対湿度を 50[%]まで増大させることにより、20[%]台の発生量低減率が示された。

2) 測定対象の洗面化粧台は低ホルムアルデヒド対策が施されており、ホルムアルデヒド発生量は比較的小さかった。

2. VOC

1) 測定対象とした洗面化粧台の VOC 総発生量の約 60～90[%]を MEK が占めている事が明らかとなった。

2) ベイクアウトにおける湿度条件の違いにより、化学物質発生量は同じ物質であっても変化する事が示された。

E. 健康危機情報

システムキッチンから有害物質 (MEK) が多く検出された。

F. 知的財産権の出願・登録状況

特になし。

G. 引用文献

- 野崎淳夫、鈴木昭人：平成 14 年度厚生科学研究費補助金、食品・化学物質安全総合研究事業、「生活用品などからの化学物質の発生に関する研究」、pp. 39-45、2003 年 3 月
- 鈴木昭人、野崎淳夫：住設機器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会、pp. 233-235、2004 年 4 月

3)野崎淳夫他：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2)、日本建築学会環境系論文集、No. 557、pp. 73-79、2002年7月

4)野崎淳夫他：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3)、日本建築学会環境系論文集、No. 568、pp. 57-62、2003年6月

I-2.5. バイクアウト技術の評価

ii) 多孔質材のバイクアウト

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

A. はじめに

室内空気汚染対策として、多孔質建材の吸着性能が注目されており、野崎らは一部の多孔質建材について、その化学物質吸着性能を明らかにしている¹⁾。その中で、畳材が比較的大きな化学物質吸着性能を有することを明らかにしている。

しかし、畳材の化学物質発生特性・発生量については、未解明な部分が多い現状にある。

本研究は、1) 畳材の化学物質発生量と 2) 室内空気汚染低減対策技術として期待されるバイクアウト技術²⁾を畳材に適用した場合の化学物質発生量低減率を定量的に明らかにするものである。

設置した。チェンバー内の環境条件は、温度：28±1 [°C]、湿度：50±1 [%]、換気回数：0.50±0.05 [1/h]、気流速度：0.2~0.3 [m/s] に制御した (図-1 参照)。

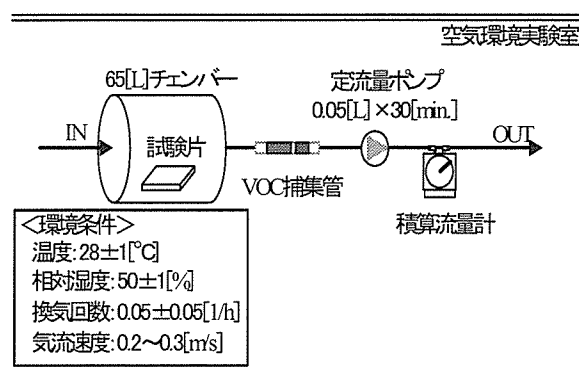


図-1 実験装置概要図

B. 実験概要

1. 測定対象試験片の概要

試験片は表面のみからの化学物質発生を調べるため、端面と裏面をアルミ箔で被覆した (表-1 参照)。試験片のサイズは 37.8 [cm] × 37.8 [cm] とした (試料負荷率: 2.2 [m²/m³])。また、試験片は室内化学物質による汚染を防ぐため、製造後速やかに密閉保管した。

表-1 試験片の概要

試験片NO	材質	備考
①	稲ワラ畳(3級)	ダニシラズ バージンわら100[%]
②	建材畳Ⅲ型	カイハツボード カネライトフォーム60M厚
③	稲ワラ畳(3級)	防虫P バージンわら100[%]

2. 畳材の化学物質放散速度測定(実験 I)

(1) 実験装置

任意の環境条件に制御できる空気環境実験室に 65 [L] のステンレスチェンバーを

(2) 使用機器

実験使用機器を以下に示す。

- 1) 光音響法測定機器: B&K 社製、Model: 1200 型
- 2) 定流量ポンプ: SIBATA 社製、Model: MPΣ-30
- 3) 積算流量計: シナガワ社製、Model: DC-1
- 4) VOC 捕集管: Supelco 社製、炭素系捕集管 (上流: Air toxics、下流: Air monitoring)

(3) VOC の捕集・分析方法

VOC はチェンバー内空気を 0.05 [L/min] の流量にて、30 [min] 間捕集した。その後、試料空気は加熱導入装置を用いて GC/MS に導入し、内部標準法 (内部標準物質: Toluene-d8) により定性・定量分析を行った。

(4) 実験評価方法

濃度測定値を以下の (1) 式に代入して、化学物質放散速度 $EF [\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}]$ を求めた。

$$EF = \frac{Q(C - C_o)}{A} \quad - (1)$$

ここで、 C :チェンバー排出空気中対象汚染物質濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]、 C_o :チェンバー供給空気中対象汚染物質濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]、 Q :チェンバー換気量 [m^3/h]、 A :試験片表面積 [m^2]とする。

3. ベイクアウト実施に伴う畳材の化学物質発生量低減性 (実験Ⅱ)

(1) 畳の汚染

ベイクアウト実施による発生量の低減性を明確に捉えるため、試験片を化学物質で汚染させた。汚染対象化学物質はトルエンおよびベンゼンとした。

1) 畳の汚染装置

実験Ⅰで使用した試験片を大型チェンバー(気積: $4.98[\text{m}^3]$)内に設置し、ガス定常発生装置で発生させたVOCをチェンバー内に導入した(図-2参照)。

なお、大型チェンバー内の環境条件は、温度: $28 \pm 1 [^\circ\text{C}]$ 、相対湿度: $50 \pm 1 [\%]$ 、換気回数: 0.5 ± 0.05 、気流速度: $0.2 \sim 0.3 [\text{m}/\text{s}]$ に制御した。

また、一様拡散状態を得るために、拡散ファンを設置した。

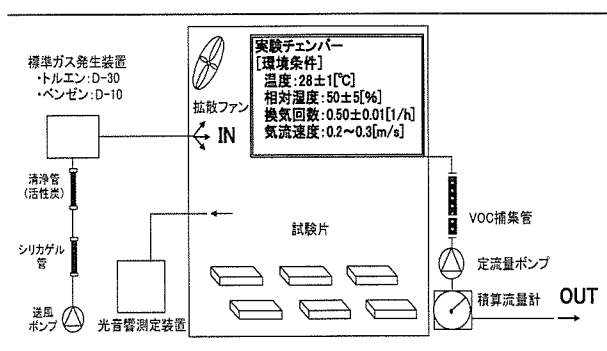


図-2 汚染装置概要図

2) 使用機器

実験Ⅰで用いた計測機器と以下の標準ガス発生装置を用いて、畳の汚染作業を行った。

- ・較正ガス発生装置: ガステック社製、Model: PD-1B型、デフュージョンチューブ D-10 及び D-30

- ・マスフローコントローラ: エステック社製、Model: SEC-B40、PAC-D2型

(2) ベイクアウトの概要

畳に含まれる湿気やダニを駆除する畳乾燥機が実用化されており、畳のベイクアウトに用いられている。

本研究では、同乾燥機を用いてベイクアウトを実施し、その化学物質発生量低減率を求めるものである。

ここで、ベイクアウトの温度条件を以下に示す。

1) 加熱時間: 70分

- ・表面温度: $90 [^\circ\text{C}]$ 、芯温度: $50 [^\circ\text{C}]$ に達するまで 40分間の加熱
- ・表面温度: $90 [^\circ\text{C}]$ 、芯温度: $50 [^\circ\text{C}]$ 以上の状態で 30分間の加熱

2) 冷却時間: 30分

表面温度: $28 [^\circ\text{C}]$ 、芯温度: $30 [^\circ\text{C}]$ 以下まで冷却

(3) VOCの捕集・分析方法

実験Ⅰと同様である。

(4) 発生量低減性の評価方法

ベイクアウト実施前後のチェンバー内濃度と実施期間中の建材履歴実験による発生量低減率 $R_m [\%]$ を以下の(2)式に代入して、発生量低減率 $R_b [\%]$ を求めた²⁾。

$$R_b = \left(1 - \frac{C_{sa} - C_{La}}{C_{sb} - C_{Lb}} \right) \times 100 - R_m \quad - (2)$$

ここで、 C_{sb} :ベイクアウト実施前の室内定常濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]、 C_{Lb} :ベイクアウト実施前の室内初期濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]、 C_{sa} :ベイクアウト実施後の室内定常濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]、 C_{La} :ベイクアウト実施後の室内初期濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]、 R_m :実験期間中の建材履歴実験による発生量低減率 [%]とする。

C. 結果と考察

1. 畳材の化学物質放散速度測定(実験Ⅰ)

濃度測定値を(1)式に代入して、畳材のVOC放散速度を求めた(図-3参照)。

全ての畳材において、アセトン、2-プロパ

ノールが多量に検出された。当該物質が検出された原因として、畳材の作製から実験開始までの間に付着したことが考えられる。

建材畳においては、他の試験片と比べブタノール、酢酸ブチルが多く検出された。

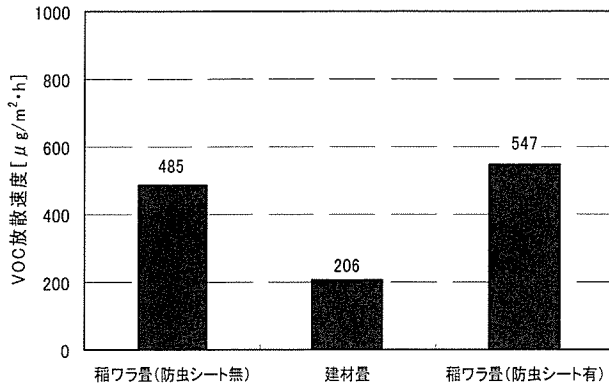


図-3 畳材の VOC 放散速度

2. バイクアウト実施に伴う化学物質発生量の低減性(実験Ⅱ)

バイクアウトの実施に伴い、トルエン放散速度が $46.9 [\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}]$ から $0.91 [\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}]$ に減少した。建材履歴試験においては $41.9 [\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}]$ から $9.55 [\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}]$ に減少した。(図-4 参照)

ベンゼンについては、トルエンと同様の傾向が示された。(図-5 参照)また、建材畳、稲わら畳(防虫シート無)においても同様の傾向が確認された。

次に、チェンバー内の濃度測定値を(2)式に代入して化学物質発生量低減率を求めた。バイクアウトによる発生量低減率 R_b [%] を表-2 に示す。

今回の実験条件の場合、建材履歴試験による発生量低減率 R_m は大きくなることが確認された。これは、高濃度の VOC 濃度環境下に短期間の設置であったため、VOC が畳材の表面にとどまり、放散し易い状態であったことが考えられる。

実環境において、ガス状汚染物質は内部(畳床)に徐々に浸透するものと考えられる。この場合の R_m は小さくなり、今回の実験結果とは異なる傾向を示す可能性もある。

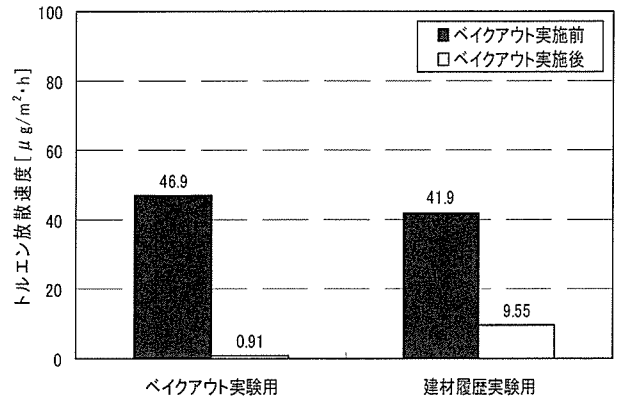


図-4 バイクアウト実施に伴う稲わら畳(防虫シート無)の放散速度変化(トルエン)

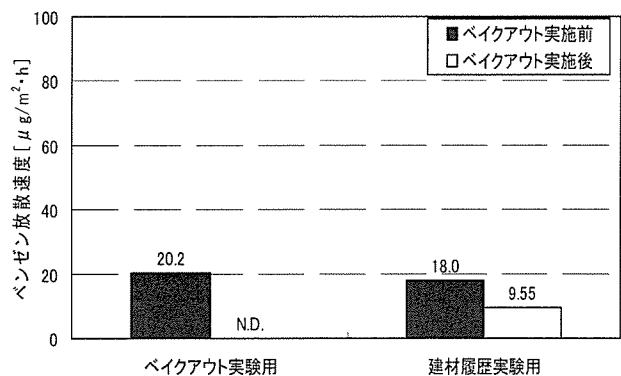


図-5 バイクアウト実施に伴う稲わら畳(防虫シート無)の放散速度変化(ベンゼン)

表-2 VOC 発生量低減率

	発生量低減率[%]		
	稲ワラ畳(防虫シート無)	建材畳	稲ワラ畳(防虫シート有)
ベンゼン	11.8	26.4	25.3
トルエン	21.0	25.2	34.3
TVOC	16.4	25.8	29.8

D. 結論

- 1) 実環境にて汚染された畳材を用いてのバイクアウトによる発生量低減効果の検証
- 2) 他の吸着建材を対象としたバイクアウトによる発生量低減効果の把握

E. 健康危機情報

特になし。

F. 知的財産権の出願・登録状況

特になし。

G. 引用文献

- 1) 野崎淳夫：「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」、平成 13～15 年度厚生労働科学研究費補助金化学物質リスク研究事業総括報告書、pp. 259～268、2004 年 3 月
- 2) 野崎淳夫他：室内化学物質汚染低減対策としてのベイクアウトの効果(その 3)、室内 VOC、ホルムアルデヒド汚染に関する研究(その 4)、日本建築学会計画系論文集、No. 568、pp. 57～62、2003 年 6 月

I-2. 6. 循環型換気システム

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

A. はじめに

シックハウス対策として、2003年7月に改正建築基準法が施行され、24時間換気システムの設置が義務付けられた。

これは新築住宅に0.5[1/h]の換気回数を保証するものであるが、室内に持込まれる物品からの化学物質により、室内濃度が時として室内濃度指針値を超える。

また、これ以上の換気量を住宅に与える事は省エネ上の観点から問題が残る。

そこで、空気清浄化ユニットを搭載し、外気導入量を増大させることなく、室内空気汚染物質の除去が図れる「循環型換気システム」に着目した。本研究では定常ガス発生装置を用いて、新たな試験評価方法による循環型換気システムの除去性能確認試験を行い、同換気システムの性能検証を行うことを目的とするものである。

B. 実験概要

1. 実験室概要

チェンバー内の環境条件は温度:28±1[°C]、相対湿度:50±1[%]、換気回数:0.5±0.05[1/h]、気流速度0.2~0.3[m/s]に制御した。実験概要を図-1、換気システムを写真-1に示す。

2. 測定対象汚染物質

厚生労働省が室内濃度指針値を提示した13物質のうち、ホルムアルデヒド、エチルベンゼン、m-キシレン、スチレンの4物質とした。

3. ガス定常発生装置の概要

ガス定常発生装置は、較正ガス発生装置、コンプレッサ、マスフローコントローラ、清浄管1(活性炭層)、清浄管2(シリカゲル層)

等により構成されている。発生条件の制御により、対象化学物質の任意発生量が得られるものである。

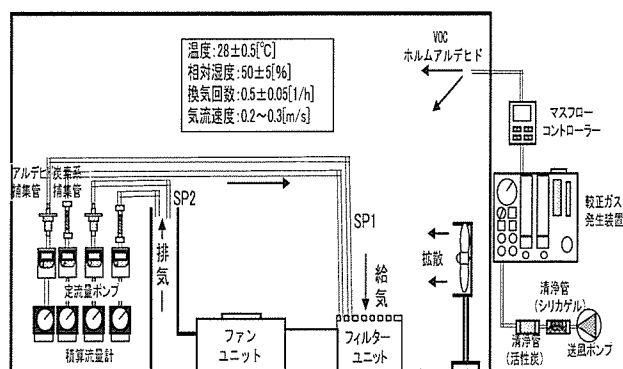


図-1 除去性能評価試験の概要



写真-1 循環型換気システムの空気清浄ユニット

4. 実験対象機器

実験対象機器は循環型換気ユニットとした。機器風量は75[m³/h]とし、運転制御は電圧調整器により行った。

5. ワンパス法と定常発生法の相当換気量算出式

本試験における測定対象汚染物質の除去率 η [%]を(1)式、相当換気量 Q_{eq} [m³/h]は(2)式を用いて算出した。

$$\eta = \left(1 - \frac{C_{out}}{C_{in}}\right) \times 100 \quad - (1)$$

$$Q_{eq} = \eta \times Q \quad - (2)$$

ここで、 C_{in} :供給空气中汚染物質濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$], C_{out} :排出空气中汚染物質濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$], η :汚染物質除去率[%], Q :機器風量 [m^3/h]とする。

C. 結果及び考察

1. チェンバー内における汚染物質濃度の経時変化

(1) ホルムアルデヒド

換気システム運転に伴うホルムアルデヒド濃度の経時変化を図-2に示す。機器運転30分後にチェンバー内濃度は急激に減衰し、機器のホルムアルデヒドに対する優れた除去性能が確認された。

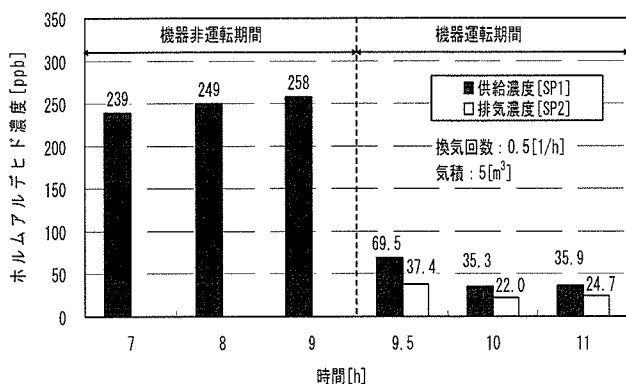


図-2 機器運転に伴うホルムアルデヒド濃度の経時変化 (75[m³/h])

(2) VOC

換気システム運転に伴うエチルベンゼン、m-キシレン、スチレン濃度の経時変化を図-3~5に示す。機器運転後、チェンバー内濃度は緩やかに減衰し、機器のVOCに対する除去性能が確認された。

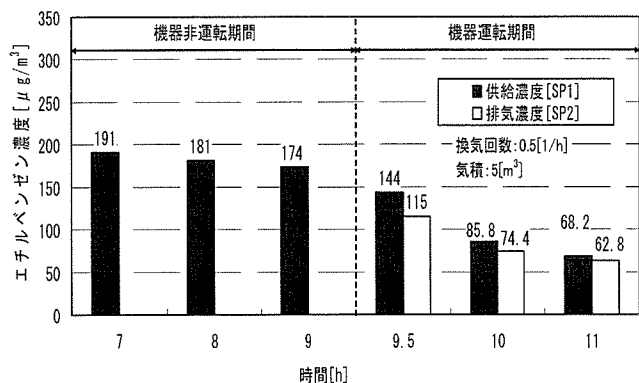


図-3 機器運転に伴うエチルベンゼン濃度の経時変化 (75[m³/h])

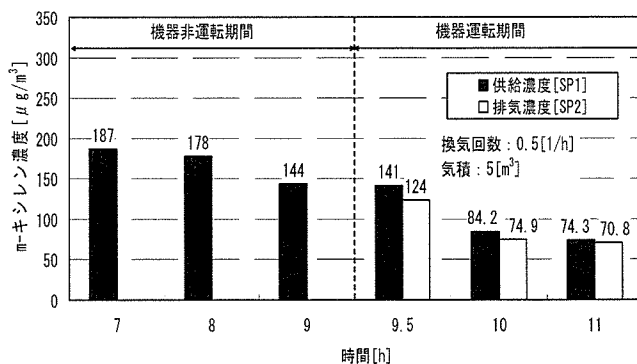


図-4 機器運転に伴う m-キシレン濃度の経時変化 (75[m³/h])

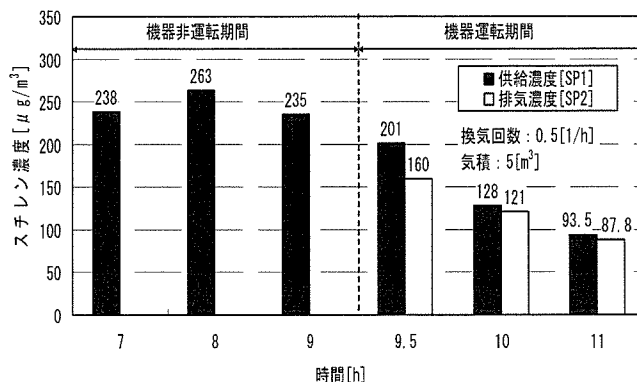


図-5 機器運転に伴うスチレン濃度の経時変化 (75[m³/h])

2. 機器の汚染物質毎の除去率

(1) ホルムアルデヒド

濃度測定値を(1)式に代入し、ホルムアルデヒド定常発生時のワンパス除去率を求めた。機器運転当初では47.0[%]と高く、平均では39.0[%]となった。(表-1参照)

(2) VOC

濃度測定値を(1)式に代入し、定常発生時のワンパス除去率を求めた。機器運転当初では12.4~20.5[%]で、平均では9.40~13.6[%]となった。(表-2~4参照)

3. 機器の汚染物質毎の相当換気量

(1) ホルムアルデヒド

測定値を(1)式に代入して得られた除去率を(2)式に代入し、機器の相当換気量を求めた。相当換気量は、機器運転当初では35.2[m³/h]となり、平均では29.2[m³/h]となった。