

室内化学汚染対策技術の研究

－換気システムの性能とホルムアルデヒド吸着剤の効果－

茂木正史* 小河義郎*

1. はじめに

近年、室内における有害な化学物質の発生量の増加や高断熱・高気密化にともなう換気量の減少等を起因として、室内化学汚染が問題となり、大きな社会的関心を呼んでいる。この問題に対処すべく、国をはじめとして建設会社、住宅メーカー、建材メーカー等において種々の取り組みが実施されている。厚生労働省では、ホルムアルデヒドの室内濃度指針値を皮切りに、トルエン、キシレン、エチルベンゼンと次々に指針値を公表し、その化学物質の種類を増やしている。国土交通省では、住宅性能表示制度の中で、ホルムアルデヒドの放散量対策等級として、JIS（日本工業規格）や JAS（日本農林規格）で規定された材料の使用を定めている他、ホルムアルデヒドや4種類の揮発性有機化合物（トルエン、キシレン、エチルベンゼン、スチレン）の濃度を測定し表示する制度も定めている。

一方、室内化学汚染の低減を目的に種々の具体的な対策方法が検討されている。室内で汚染を発生させないための材料選定法、室内で発生した汚染を除去するための換気方法や、室内温度を高めて材料中の汚染物質を強制的に排除するベークアウトなどが代表的な例である。このような状況の中、換気システムとホルムアルデヒド吸着剤について検討を行った。換気システムでは、一般的な24時間換気システムにおいて、居室と廊下の壁にファンを設けることにより、より安定した換気量が得られることを解析と実験で確かめた。ホルムアルデヒド吸着剤については、ホルムアルデヒド放散量の低減率、その効果の持続性について十分な性能を有していることを検証した。

2. 居室の壁にファンを設けた換気システムの性能

一般に用いられている換気システムは、居室から自

然給気しサニタリーから排気する、排気セントラル換気システムであるが以下のような問題がある。

- i. 各すきまの大きさにより各室の換気風量が定まることが、居室に必要な換気量を得るためのすきまのコントロールがむずかしい
- ii. 気密性の悪い玄関ドアを用いている場合など、玄関から入ってサニタリーから排出される流れが主流になり、居室に十分な換気が得られない
- iii. ある居室のドアを開けると、その部屋の換気量が増加するが、これにともなって他室の換気量が減少する

これらの問題を解決するために、居室と廊下の壁にファンを設ける方法について検討した。

2.1 解析による検討

a. 解析概要

(a) 開口を通過する風量の設定

計算に用いたのは多数室換気計算プログラム COMIS Ver3.0¹⁾である。COMIS では開口を通過する風量は次式で表わし、 C_s と n を入力項目としている。

$$m = C_s P^n \quad \dots\dots\dots (1)$$

m : 風量(kg/s)

C_s : 1Pa の圧力差の時の流量(kg/s/Pa)

P : すきま両側の圧力差(Pa)

n : すきま特性によるべき数

一方、一般に開口を通過する風量は(2)式でも表わされる。

$$m = \alpha A \sqrt{2\rho P} \quad \dots\dots\dots (2)$$

m : 風量(kg/s)

α : 流量係数

A : 有効開口面積(m²)

ρ : 空気密度(kg/m³)

P : 開口両側の圧力差(Pa)

(2)式は

$$m = \alpha A \sqrt{2\rho P}^{0.5} \quad \dots\dots\dots (3)$$

*技術研究所

と変形できるので、(1)式におけるプログラム入力値にそれぞれ次の値を入れる。

$$Cs : \alpha A \sqrt{2\rho}$$

$$N : 0.5$$

(b) 解析ケース

以下の項目について性能確認のための解析を行った。

- i. 1室のファンの風量を変化させた場合の各室の風量変化
- ii. 居室のドアを開け放した場合の風量の制御性
- iii. 外部に大きな開口（すきま）がある場合の風量の制御性

(c) 解析モデル

解析モデルを図-1に示す。また解析モデルにおける基本条件を表-1に示す。モデルは排気セントラル換気システムを単純化したものである。室容積はA、B室がともに 50 m³、共有部を 20 m³ と想定した。住戸全体の換気回数 0.5 回/h として排気ファンは 60 m³/h とし、壁ファンはケーススタディで変更するものの居室の換気回数 0.5 回/h に相当する 25 m³/h を基本の風量として設定した。表-2にホルムアルデヒド放散量を示す。ホルムアルデヒドは 0.04 mg/m³h の放散速度で床部より発生するものと仮定した。

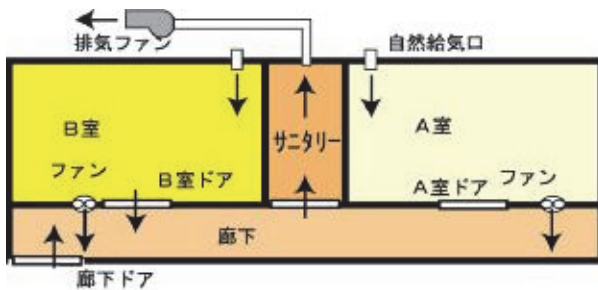


図-1 解析モデル

表-1 解析モデルの基本条件

室名	部位	面積 (m ²)	流量係数Cs (kg/s/Pa)	換気回数n (回/h)	備考
A室	ドアすきま	0.008	0.0087	0.5	アンダーカット10mm
	給気口	0.011	0.0123	0.5	φ120
B室	ドアすきま	0.008	0.0087	0.5	アンダーカット10mm
	給気	0.011	0.0123	0.5	φ120
サニタリー	ドアすきま	0.011	0.0217	-	
玄関	ドアすきま	-	0.0011	-	JIS A-3相当
排気fan風量			60	m ³ /h	換気回数0.5回/h
壁fan風量			25	m ³ /h	基本風量

表-2 各室からのホルムアルデヒド放散量

	単位面積当り放散量	床面積	総放散量
	mg/m ² h	m ²	mg/s
A室	0.04	20	0.000222
B室	0.04	20	0.000222
廊下	0.04	10	0.000111

b. 解析結果

(a) 壁ファンの風量と各部風量

図-2にA、B室に同一風量の壁ファンを設置し、その風量を変化させた場合の給気風量、ドア下部風量および居室内のホルムアルデヒド濃度を示す。壁ファン風量の増加に伴って、外部からの給気風量は増加し、ドア下部を通過して居室から廊下に流れる風量は減少する。表-1の解析条件に示すように、給気口の面積の方がドアすきまの面積よりも大きく抵抗が小さいにもかかわらず、ファン風量の増加に伴う風量の変化は給気口の方がドアすきまよりも小さくなっている。これは、壁ファンにより廊下側に送風した分、廊下の圧力が増加し、外気-居室間の差圧（給気風量に影響）よりも、居室-廊下間の差圧の変化が大きくなるためである。また、ファン風量が 0 m³/h から 25 m³/h までの間では、ドアすきまを通る風の流れは居室から廊下に排出する方向であるが、30 m³/h まで壁ファンの風量を増加させると、ドアすきまを通過して廊下から居室への逆流が生じている。一方、居室内のホルムアルデヒド濃度は、換気ファンの風量が 25 m³/h 以下では、ファン風量の増加に従って減少するが、ファン風量が 30 m³/h となり、ドアすきまを通過して廊下から居室に逆流すると増加するようになる。

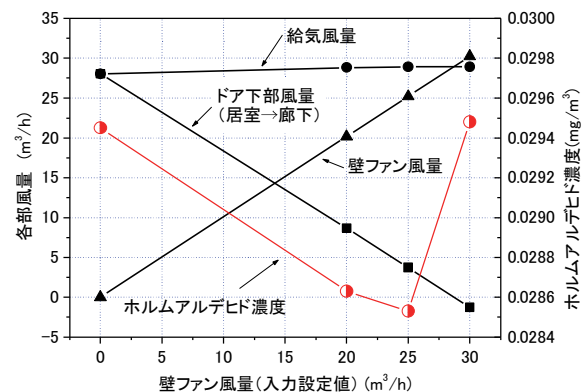


図-2 壁ファン風量と各部風量およびホルムアルデヒド濃度

以上のことから、サンタリーに設ける排気ファンと壁ファンの風量のバランスは、外部からサンタリーに向って順に圧力が低くなるような圧力状態を維持するように定めなければならない。そのためには、居室の換気回数が住戸全体の換気回数に等しくなるような換気量に合わせて、壁ファンの風量を設定すれば良い。

(b) 他室ドア開放時の壁ファンの効果

図-3に、A室のドアを開いた際の壁ファンの有無と給気風量、図-4にA室のドアを開いた際の壁ファンの有無とホルムアルデヒド濃度を示す。壁ファンが無い場合には、A室ドアを開くことによりA室への給気量が増加し、その分B室の給気量が減少する。これに応じて室のホルムアルデヒド濃度もA室は小さくB室は大きい。一方両室の壁ファンを稼働させると、A室ドアを開いても両室の風量の違いは少なく、ホルムアルデヒド濃度も差が小さくなっている。一般に、在室時にはドアは閉めておくが、壁ファンが無い場合は、ドアを開放すると在室者が居るB室のホルムアルデヒド

ド濃度が増加することになる。壁ファンによってこの現象を防ぐことができる。ドアの開放は極端な例であるが、すべてのドアが閉じられていてもドアアンダーカット部の面積が居室容積に対応して設定され、各室の換気回数が等しくなるような設計施工は困難である。しかし、壁ファンの設置によりドアのすきまとは独立して各室の換気回数を定めることができる。

(c) 外部ドア開放時の壁ファンの効果

図-5、図-6に外部ドア開放時の給気風量とホルムアルデヒド濃度を壁ファンの有無で比較する。外部ドアが開くと、外部—廊下間の差圧が0に近づくので、外部ファンが無い場合の居室の換気量は非常に小さくなる。一方、壁ファンが稼働すると給気が増加するが、ドアすきまを通じては、廊下から居室への流れが発生する。換気ファンが無い場合、ホルムアルデヒド濃度は0.38 mg/m³と、労働厚生省指針値(0.1 mg/m³)の3倍を超えるが、換気ファンにより1/7程度に減少する。換気ファンを稼働した場合、居室には廊下からの

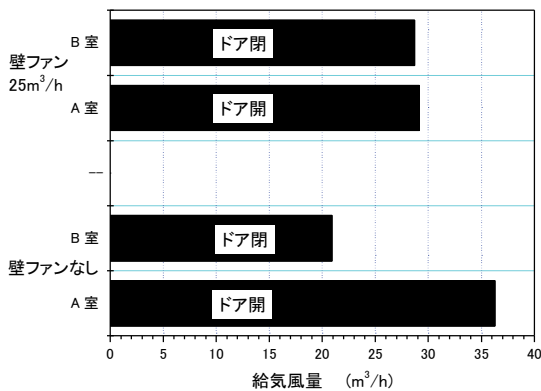


図-3 壁ファンの有無と給気風量

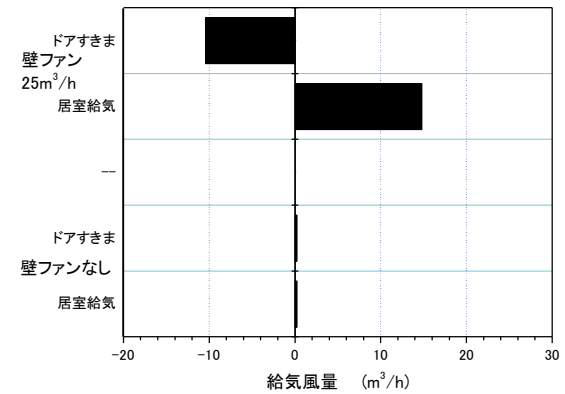


図-5 壁ファンの有無と外部ドア開放時の給気風量

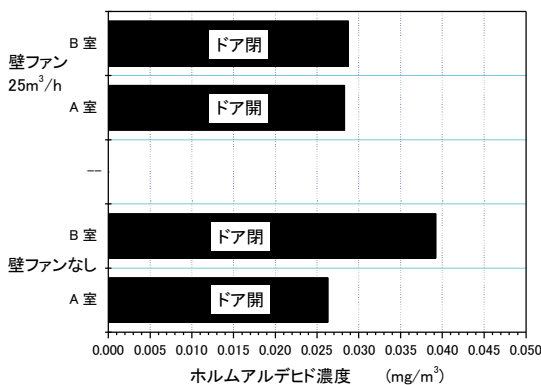


図-4 壁ファンの有無とホルムアルデヒド濃度

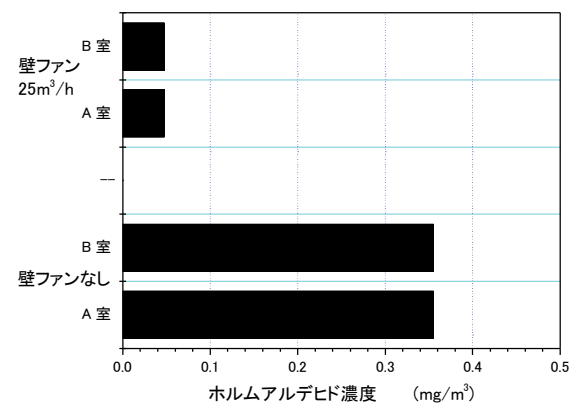


図-6 外部ドア開放時のホルムアルデヒド濃度

空気の進入があるが、外部ドアを通じて廊下に入る外気成分が多いため、ホルムアルデヒド濃度が低く抑えられていると考えられる。また、ドアすきまを通じた廊下から居室への風量は、給気口よりドアすきまの抵抗を大きくすると減少する。従って、壁ファンを設置した場合には、ドアアンダーカット面積を最小限にすべきと考えられる。

2.2 実験による検討

a. 実験概要

解析と同様な室構成の実験モデルによって壁ファンの効果を確認した。図-7に実験モデルを、表-3に実験モデルの諸元を示す。壁ファンはA室のみに設置した。A室ドアにアンダーカットは設けなかった。壁ファンはファン風量の影響を調べるために大、中、小の3種類を用いた。ファンの仕様を表-4に示す。

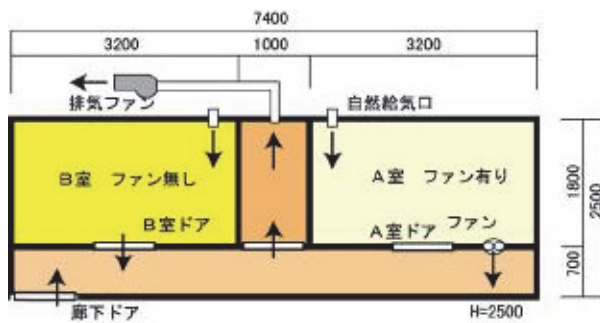


図-7 実験モデル

表-3 実験モデルの諸元

室名	面積(m ²)	容積(m ³)
A室	5.76	14.40
B室	5.76	14.40
サニタリー	1.80	4.50
廊下	5.18	12.95

表-4 ファンの仕様

ファンの種類	最大風量(m ³ /h)
排気ファン	110.0
壁ファン(小)	21.0
壁ファン(中)	48.0
壁ファン(大)	72.0

測定項目は、給気風量、ドアアンダーカット風量、壁ファン風量、排気ファン風量、炭酸ガス濃度である。

b. 実験結果

(a) 他室ドア開放時の壁ファンの効果

図-8に、A室は壁ファンを設置、B室は壁ファン無しで、A、B室のドアを開いた時の各室給気風量を示す。A室のドアを開けた場合、A室の給気風量がファンの無いB室より多く、その差は 23m³/h になった。A室で換気ファンが稼働している場合はB室のドアを開けても、両者の給気風量の差は6m³/h である。このように、ファンが無い一般の 24 時間換気システムで生活上のドア開閉などによって居室への新鮮空気導入量に変化するが、壁ファンによってその変化を小さくすることができる。

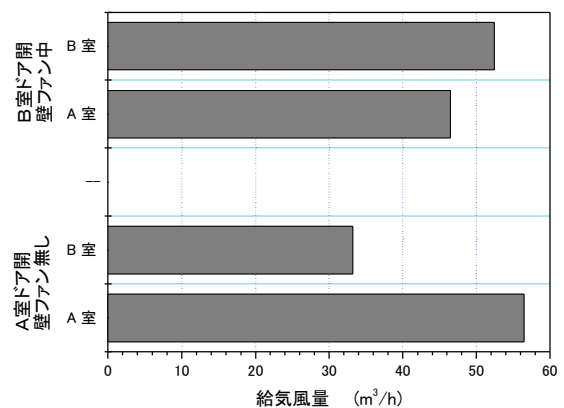


図-8 他室ドア開放時の壁ファンの風量制御性

(b) 廊下ドア開放時の壁ファンの効果

廊下ドアを空けると廊下の室圧が上昇し、外気に近づくので、壁ファンが無ければ外気と廊下の差圧が駆動力となって行われる居室への給気量が少なくなる。図-9に廊下ドアを開放した場合の二酸化炭素濃度を示す。壁ファンのあるA室は順次濃度が減衰してゆく。

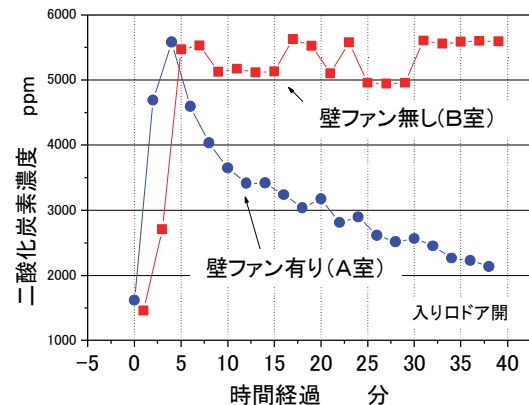


図-9 廊下ドアを開放時の二酸化炭素濃度

ファンの設置されていないB室では炭酸ガスが停滞をつづけている。解析でも同様の結果が得られた。玄関ドアなどの気密性が悪い場合に、廊下への新鮮空気導入が多くなり居室の換気量が減る問題が、壁ファンを稼働させることによって解決できる。

3. ホルムアルデヒド吸着剤の検討

3.1 吸着剤の概要と実験ケース

検討に用いた吸着剤は以下の特徴を有している。

- i. ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドを選択的に吸着する
- ii. アルデヒド類を化学結合により捕捉するため、一旦吸着したアルデヒドを離す（リリース）ことはない
- iii. 吸着量が化学当量計算によって求められる、吸着剤 1 g あたり約 0.3~0.4 g のホルムアルデヒドを吸着する
- iv. 水系、溶剤系いずれの液性にも使用可能
- v. 安全性の高い化合物である

当該吸着剤の性能を把握するために以下の検証実験を行った

- i. 材料レベルの（持続性を含む）効果の検証
- ii. 実大モデルにおける効果の検証
- iii. 塗布後に後処理を行った影響の検討

3.2 材料レベルの（持続性を含む）効果の検証

a. 試験方法

試験体は、JAS 規格の Fc0 合板、Fc2 合板、および F3 合板（旧 JAS 規格）とそれらに吸着剤を塗布したものである。測定は精密法（JAS デシケータ法）と簡易法（検知管法）による。デシケータ法では、デシケータ内で試験片（15cm×5cm）から放出されるホルムアルデヒドを蒸留水に吸収させ試料溶液とし、その溶液の濃度で評価した。検知管法では、デシケータに試験片（15cm×5cm）を入れ 300ml/min の換気量で換気しながら検知管でホルムアルデヒド気中濃度を測定した。なお、持続性の試験は簡易法で測定し、測定時以外の試験体は室温で保管した。

b. 試験結果

図-10 に精密法による試験結果を示す。Fc2 合板は吸着剤塗布により、放散量がもとの 4%まで低減し、Fc0 の 1/8 まで低減した。F3 合板は吸着剤塗布により、

放散量がもとの 16%まで低減した。

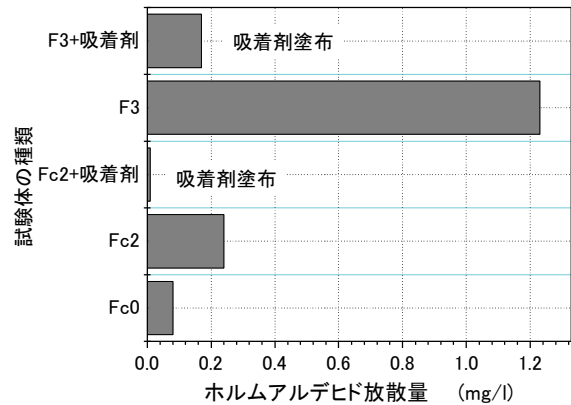


図-10 吸着剤の効果（精密法）

図-11 に約 300 日経過後までの各試験体のデシケータ内ホルムアルデヒド濃度を示す。Fc2 合板に吸着剤を塗布することにより、300 日経過後まで Fc0 レベルの放散量を維持している。F3 合板に吸着剤を塗布することにより 300 日経過後まで Fc2 レベルの放散量性能を維持している。F3 合板をはじめ各合板は 300 日経過しても、ほぼもとの放散量を維持している。

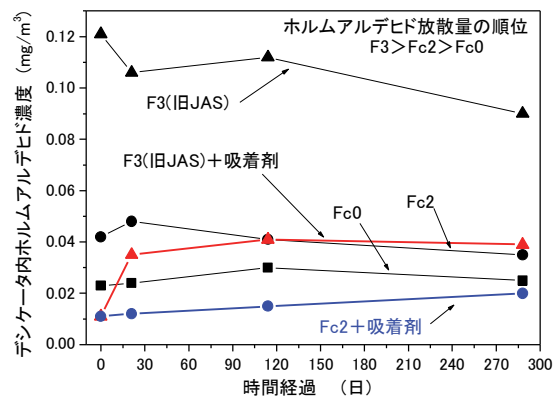


図-11 吸着剤の持続性効果確認試験結果

3.3 実大モデルにおける効果の検証

a. 試験方法

図-7 に示した実大のモデル（Fc1 の合板を用いて製作）を用いて、吸着剤の効果を検証した。A室は前面に吸着剤を塗布しB室には吸着剤を使用していない。ホルムアルデヒドの測定は 30 分間換気後 5 時間閉鎖して、検知管で両室同時に行った。

b. 試験結果

試験結果を図-12 に示す。吸着剤を塗布した室内は、塗布しない室の 18%程度までホルムアルデヒド濃度が低減している。2日目に測定した結果も同様であった。2日目に若干濃度が高くなっているのは室温が高くなったためと考えられる。

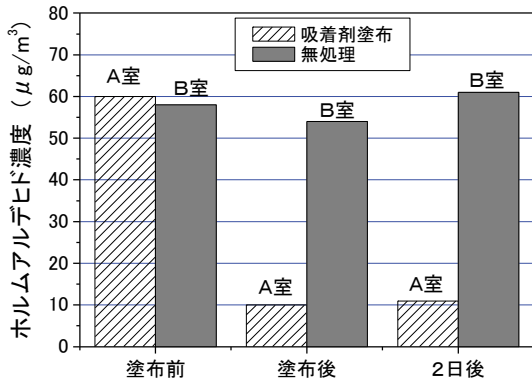


図-12 実大モデルによる吸着剤の効果確認

3.4 塗布後に後処理を行った影響の検討

吸着剤を塗布した建材表面は乾燥すると表面に吸着剤が粉状で残留する可能性がある。そこで、フローリング材に吸着剤を塗布後、後処理を行った場合の吸着剤の効果を確認した。

処理の方法は次の5種類である。

- i. 目地のみ塗布、後処理無し
- ii. 乾燥後ワックスかけ
- iii. 乾燥後水拭き
- iv. 乾燥後空拭き
- v. 塗布後 10 分で空拭き

a. 試験方法

各処理の影響を評価するために、写真-1 に示す容器内のホルムアルデヒド濃度を検知管法で測定した。

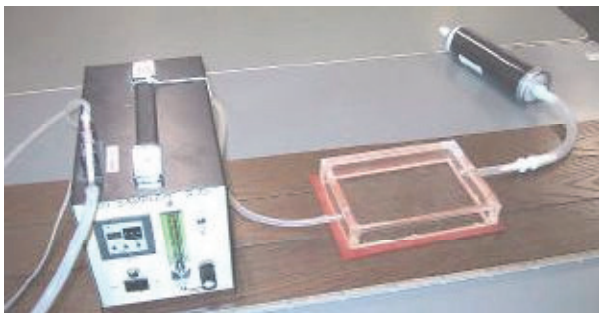


写真-1 後処理後の吸着剤効果測定状況

b. 試験結果

後処理を行った場合の試験結果を図-13 に示す。10 分後に空拭きしたものがもっとも低い濃度を示しているが、どの方法による後処理を行っても放散量低減効果は維持されている。

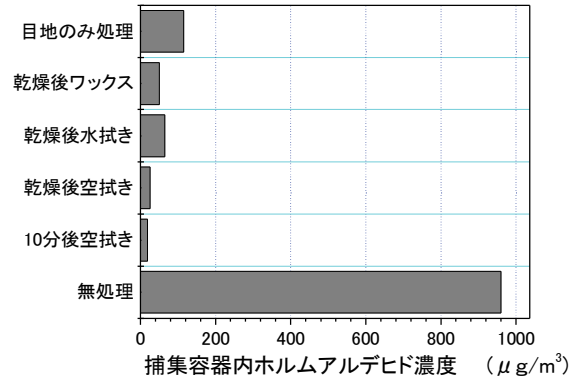


図-13 吸着剤塗布後の後処理方法とホルムアルデヒド濃度

4. おわりに

室内化学汚染対策のための換気システムとホルムアルデヒド吸着剤について検討した。

換気システムでは、一般的な排気セントラル換気システムにおいて廊下と居室の壁にファンを設けるシステムについて検討し、従来システムにおいて、他室のドア開放、外部ドア開放により換気量に変化する、極端な問題にも対応でき、各室に安定して換気量が得られることを確認した。また、ファンの容量が過大になると逆効果となるので、住戸全体の換気回数に合わせた居室の換気回数分の風量を設定すれば良いことがわかった。

化学吸着型のホルムアルデヒド吸着剤の基本的効果、効果の持続性、実大モデルでの効果、後処理の影響を調べ、吸着剤塗布により合板からの放散量が4%～16%まで減少する、300日経過後まで効果が持続するなどの結果を得た。これより、吸着剤がホルムアルデヒド低減に有効であることを確認した。

【参考文献】

- 1) 内海他、「多数室換気量計算モデル COMIS with IISiBat の開発研究」、日本建築学会学術講演梗概集、1997