

居住環境の空気質向上技術に関する研究

—多孔質粘土鉱物による室内空気汚染物質の低減効果—

佐々木静郎* 村上順也* 大脇雅直** 麻生康弘***

近年、建材や家具などから発生する揮発性の化学物質による室内空気汚染が問題となっている。特に、建物の内装仕上げ完了直後は、化学物質の発散量が多く、汚染度の高い状態にあるため、入居までの短期間で、効果的に汚染を低減する方法が求められている。この一つとして、吸着材などの利用により室内濃度を低減する方法が考えられる。今回、アミノ基化合物を担持させた粘土鉱物混入シートによる濃度低減について検討を行った結果、従来品よりも優れた吸着性能を有していることが明らかになった。

キーワード：ホルムアルデヒド、セピオライト、シックハウス症候群、室内空気質、吸着

1. はじめに

近年、新築・改築直後の住宅、学校などにおいて、建材や家具などから発生するホルムアルデヒドや揮発性有機化合物（VOC：Volatile Organic Compounds）による室内空気汚染が、いわゆるシックハウス症候群・シックスクールの要因として取り上げられ、その対策が急務となっている^{1)・2)}。

シックハウス問題を解決するために、厚生労働省では室内化学物質濃度指針値の順次策定、「建築物における衛生的環境の確保に関する法律」（ビル管理法）の改正によるホルムアルデヒドの項目追加、国土交通省では「住宅品質確保の促進等に関する法律」（品確法）における空気環境項目の盛り込み、文部科学省では「学校環境衛生の基準」の改訂に伴う、引き渡し時におけるホルムアルデヒド・トルエンなどの性能確認と定期検査の義務付けの追加などといったように、行政側ではさまざまな取り組みを進めている。

さらに国土交通省では、建築基準法を一部改正し、クロルピリホス使用建材の禁止・ホルムアルデヒド発散建材の内装仕上げ使用に対する面積制限・機械換気設備設置の義務付け・天井裏等の制限を骨子としたシックハウス規制を盛り込み、平成15年7月1日以降の着工物件に対して施行・適用開始している。しかし、これらの対策を実施しても室内の空気汚染物質をゼロにすることは現実的には困難である。特に、建物の内装仕上げ完了直後は、化学物質の発散量が多く、汚染度の高い状態にあるため、入居までの短期間に室内の化学物質濃度を効果的に低減する手法が求められている。

室内化学物質濃度を低減する一つの方法として、吸着材を利用する方法がある。今回、アルデヒド類の除去を

目的として、吸着材の検討を行った結果、アミノ基含有化合物を担持させた多孔質粘土鉱物によるホルムアルデヒドの低減性能が従来品よりも優れた性能を有していることが明らかになった。本稿では、多孔質粘土鉱物を混入したシート（ホルムアルデヒド吸着・分解シート）の吸着特性や実物件における低減効果について報告する。

2. ホルムアルデヒド吸着・分解シート

2.1 シートの組成

本シートは、Fig.1 に示すように、紙（パルプ）と多孔質粘土鉱物（セピオライト）を主成分として、アミノ酸（グリシン）および炭酸ナトリウム（グリシンの活性剤）を配合したものであり、人体に有害な物質は含まれていない。

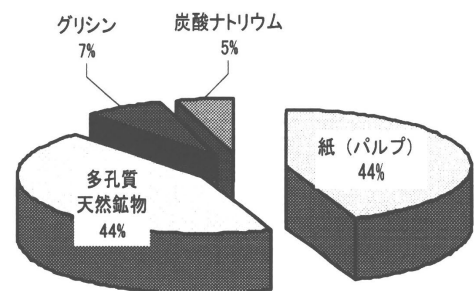


Fig.1 シート組成

2.2 吸着・分解メカニズム

アルデヒド類の除去は、アミノ基含有化合物を用いて化学反応により捕捉する方法が効果的であることが知られており、活性炭などの多孔材料との組み合わせにより利用されている。さらに、多孔材料として含水珪酸塩系粘土鉱物の一種であるセピオライトを用いて、アミノ基含有化合物の一種であるアミノ酸を担持させた場合のア

* 技術研究所 環境技術研究部
 ** 技術研究所 音環境研究グループ
 *** アイシン精機株式会社 L&A 技術部

ルデヒド類の吸着性能は、活性炭に担持させた場合よりも優れていることが報告されている³⁾。これは、Fig. 2に示したように、アミノ酸がセピオライトのMgに配位した結晶水と置換し、分子レベルで担持されていることによるためと考えられている。このマグネシウムにイオン結合されているアミノ酸はホルムアルデヒドと化学反応を起こし、Fig. 3に示すように、安定した物質（イミン化合物）となる。

3. 基本特性試験

3.1 吸着速度

本シートと一般市販品（平成14年6月時点）とのホルムアルデヒド吸着速度の比較試験を行った。一般市販品は、主にアンモニウム塩やイミド系化合物を利用したもので、本シートと同様に化学吸着によるものである。試験は、各シートと所定濃度（初期濃度：50ppm）のホルムアルデヒドを含む空気を、ガス非透過性の袋（内容積：4L）に入れ、密閉した後、所定時間後の袋内ホルムアルデヒド濃度を測定することとした。試験中の温度は25℃一定とし、シートの大きさはすべて75mm×115mmとした。

Fig. 4に、経過時間ごとのホルムアルデヒド濃度の変化を示す。吸着速度は、経過時間に対するホルムアルデヒド濃度の低減割合とみなすことができるので、図中の破線の傾きが大きいほど、吸着速度が高いことになる。本シートの吸着速度は他品よりも明らかに高く、一般市販品の最も性能が良いものに比べても2倍以上の性能を有していることがわかる。

3.2 吸着容量

本シートと一般市販品とのホルムアルデヒド吸着容量の比較試験（平成14年6月時点）を行った。試験は、各シートと所定濃度（初期濃度：600ppm）のホルムアルデヒドを含む空気をガス非透過性の袋（内容積：5L）に入れ、密封し、24時間後の袋内ホルムアルデヒド濃度を測定し、初期濃度との差から吸着容量を求めた。

Fig. 5に、単位面積あたりに換算したホルムアルデヒド吸着量の比較を示す。図から、本シートは一般市販品の最も性能が良いものに比べて4倍以上の吸着容量を有していることがわかる。

3.3 再放散性

一般に、炭などの吸着材は一度吸着しても加熱、加湿などの外力が加わると、再放出する性質がある。そこで、本シートと活性炭とのホルムアルデヒドの脱離特性について比較検討した。試験は、十分にホルムアルデヒドを吸着させた試験体をガス非透過性の袋に入れて、80℃の恒温槽内に1時間静置させた。加熱終了後、袋内のガスをDNPHにて捕集し、HPLCで分析した。

Fig. 6に、ホルムアルデヒドの加熱再放散率（脱離率）

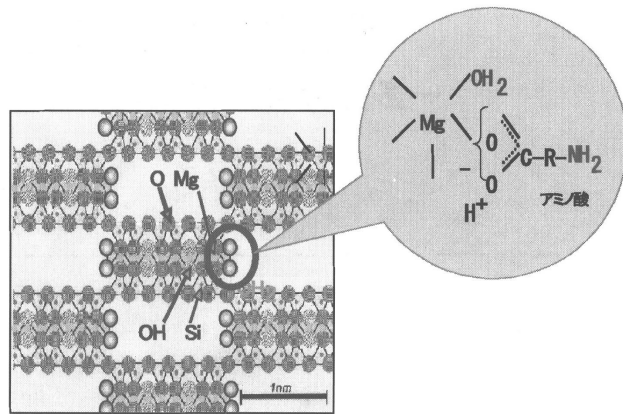


Fig. 2 アミノ酸のセピオライトへの担持状態

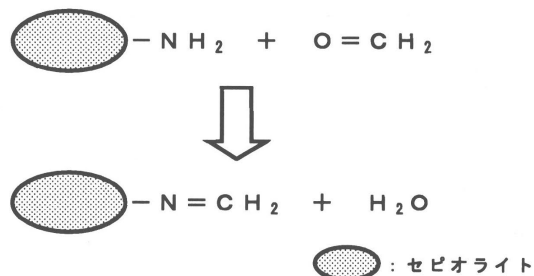


Fig. 3 アミノ酸とホルムアルデヒドの反応

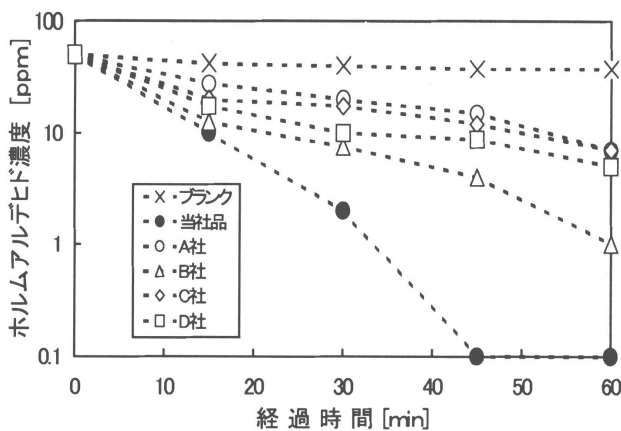


Fig. 4 ホルムアルデヒド吸着速度の比較

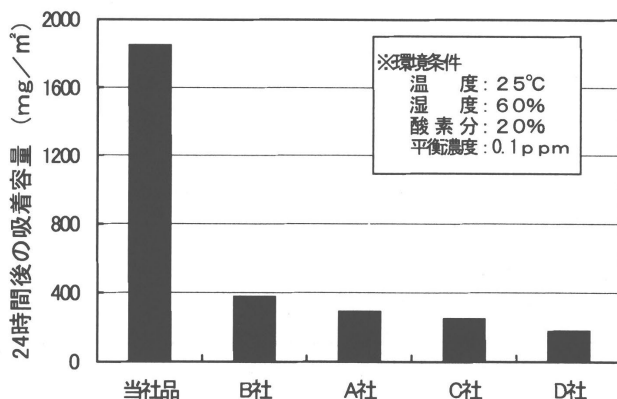


Fig. 5 ホルムアルデヒド吸着容量の比較

を示す。本シートの脱離率は 0.1%未満であり、活性炭に比べて非常に少ないことが明らかとなった。

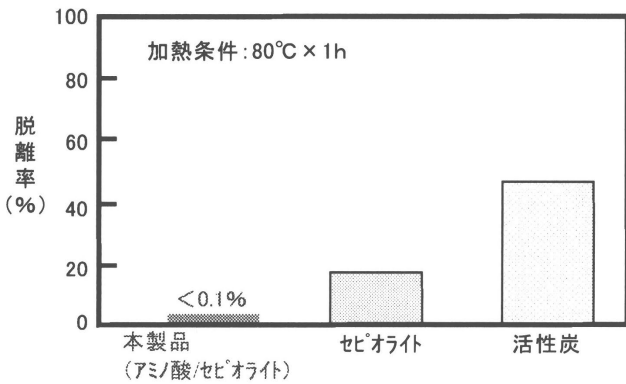


Fig. 6 ホルムアルデヒドの脱離性比較

4. 実物件による性能試験

4.1 試験概要

4.1.1 試験場所

試験場所の概要を Table 1 に示す。試験 I では居室を、試験 II では大きさの異なる収納部を対象としてそれぞれ行った。内装仕様および規模は Table 1 に示したとおりである。なお、試験はいずれも竣工直後の新築集合住宅で行った。

4.1.2 試験方法

試験条件を Table 2 に示す。試験 I では、シートを居室の窓部カーテンレールおよびピクチャーレールに枚数を変えて吊り下げた。また、LD においてはエアコンを 25°C 設定で運転することにより、室温を一定に制御した。試験 II では、収納内の棚板にシートの枚数を変えて設置した。温度は特に制御せず、成り行き条件とした。

4.1.3 空気の採取と分析方法

室内空気の採取は、試験 I においては DNPH (2,4-ジニトロフェニルヒドラジン) 含浸カートリッジ (Waters 社製) をガス吸引ポンプに接続し、0.7L/min で 30 分間捕集した (アクティブ採取法)。試験 II においては、DSD-DNPH 含浸カートリッジ (スペルコ社製) を所定の場所に 24 時間放置することにより採取した (パッシブ採取法)。

分析は、試料ガスを捕集したカートリッジをアセトニトリルで抽出した後、高速液体クロマトグラフ (島津製作所製, LC-6AD) で定量した。

4.2 結果および考察

4.2.1 居室における低減効果

LD および洋室におけるホルムアルデヒド濃度の低減効果を Fig. 7, Fig. 8 に、試験状況を Photo. 1 にそれぞれ示す。試験期間中の室温は、LD が 22~28°C、洋室が 24~27°C で推移した。

Fig. 7 から、シートを設置して 1 日後には、未設置の場合と比較して 2 枚設置で約 45%、4 枚設置で約 55%、8 枚設置では約 68% の濃度低減効果が認められた。同様に Fig. 8 から、シートを設置して 1 日後には、未設置の

Table 1 試験場所概要

項目	住宅	対象	仕上げ仕様	サイズ	容積 (m ³)
試験 I	A	LD	床: F ₆₀ フローリング	約 8 畳	31.10
	B	洋室	壁: 天井: ビニルクロス (RAL)	約 6 畳	23.50
試験 II	A	収納 1	E ₁ パーテイクルボード	870 × 560 × 340	0.17
		収納 2	E ₂ パーテイクルボード	480 × 460 × 335	0.07
		収納 3	E ₂ パーテイクルボード	830 × 680 × 395	0.22
	C	収納 4	床: F ₆₀ フローリング 壁: 棚板: ポリ化粧合板	650 × 250 × 700	0.12

Table 2 試験場所概要

項目	場所	温度制御	シート寸法 (mm)	枚数
試験 I	LD	エアコンにより室温を制御 (25°C)	920 × 1500	2, 4, 8
	洋室	成り行き		1, 2
試験 II	収納 1	成り行き	250 × 250	1, 2, 4
	収納 2			1
	収納 3			1
	収納 4			5

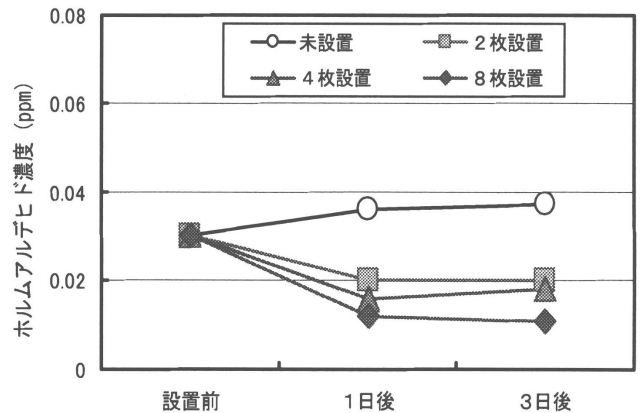


Fig. 7 LDにおけるホルムアルデヒド濃度の変化

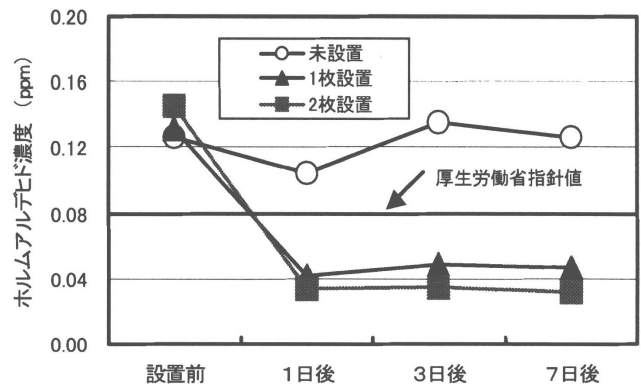


Fig. 8 洋室におけるホルムアルデヒド濃度の変化

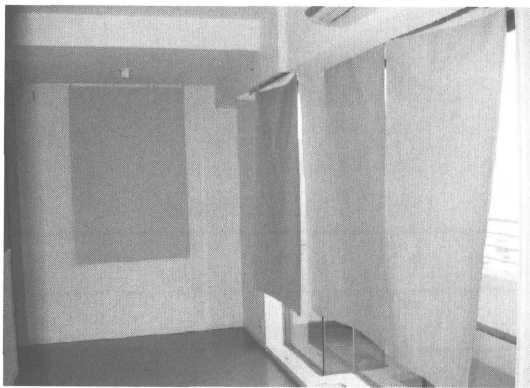


Photo. 1 居室におけるシート設置状況

場合と比較して1枚設置で約60%、2枚設置で約80%の濃度低減効果が得られ、設置前の濃度が厚生労働省指針値を大きく上回っていたのに対して、設置後の濃度は指針値の1/2程度にまで減少していた。また、いずれの場合も濃度は1日で急激に低減し、その後はほぼ横這い状態の挙動を示していたことから、本シートの吸着速度の速さを裏付ける結果となった。このことから、本シートは内装完了後から引き渡し・入居までの短期間における濃度低減対策として有効な方法であると考えられる。

4.2.2 収納における低減効果

各収納におけるホルムアルデヒド濃度の低減効果を Fig. 9 に、試験状況を Photo. 2 に示す。試験期間中の温度は、収納1および収納2が10~13℃、収納3が12~17℃、収納4が15~20℃で推移した。初期濃度と比較して、収納1ではシート1枚および2枚設置時で約67%、4枚設置時で約80%、収納2では約50%、収納3では約60%の低減効果が得られた。さらに、収納4では他の収納と比べて初期濃度が80ppb以上と高い数値を示したにも関わらず約88%と優れた低減効果が得られた。またいずれも試験Iと同様に、開始直後の濃度減衰が大きいことが認められた。

4.2.3 シート面積と低減効果の関係

シート設置面積によるホルムアルデヒド低減効果について検討した。ここで、対象空間容積当たりのシートの設置面積を設置率 (Setting Ratio) と定義した。すなわち、 $\text{設置率 (m}^2/\text{m}^3) = \text{シート敷設面積 (m}^2) / \text{対象空間容積 (m}^3)$ である。設置率とシートを設置して1日後のホルムアルデヒド残存率との関係を Fig. 10, Fig. 11 に示す。ホルムアルデヒド残存率は、初期濃度を100としたときの比率を示したものである。

Fig. 10 から、居室においてはシート設置率を0.1以上にすると、1日でホルムアルデヒド残存率を50%以下に低減できることがわかる。すなわち、LD (約10畳) では2枚程度、洋室 (約6畳) では1枚程度が目安となる。

Fig. 11 から、収納においてはシート設置率を0.5以上にすると、1日でホルムアルデヒド残存率を40%以下に抑制できることがわかる。すなわち、一般的な造り付け収納 (幅900mm×奥行600mm×高さ2400mm) では12枚

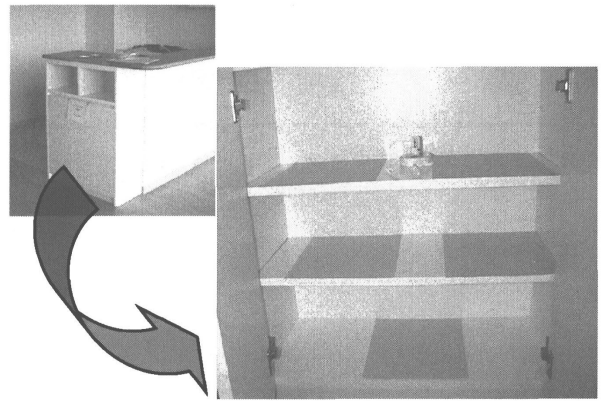


Photo. 2 収納におけるシート設置状況

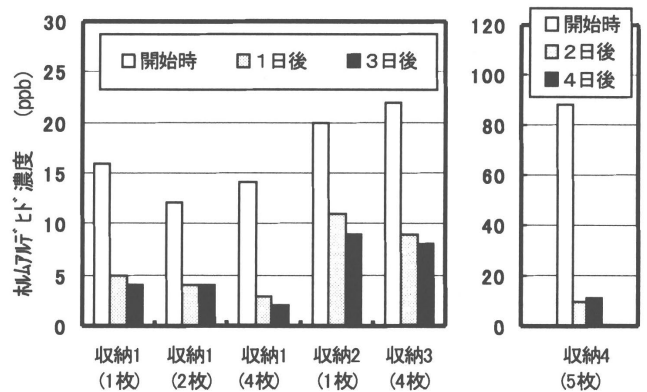


Fig. 9 収納におけるホルムアルデヒド濃度の変化

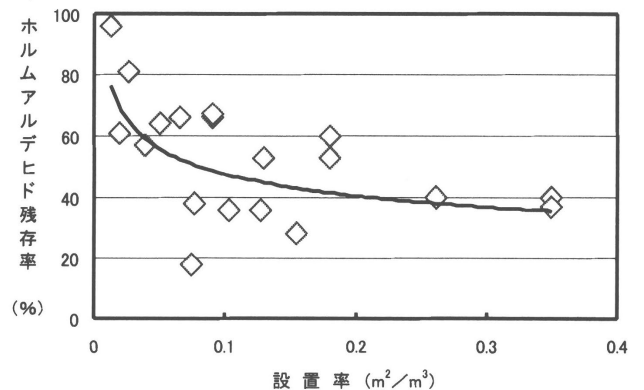


Fig. 10 シート設置率と低減効果の関係 (居室)

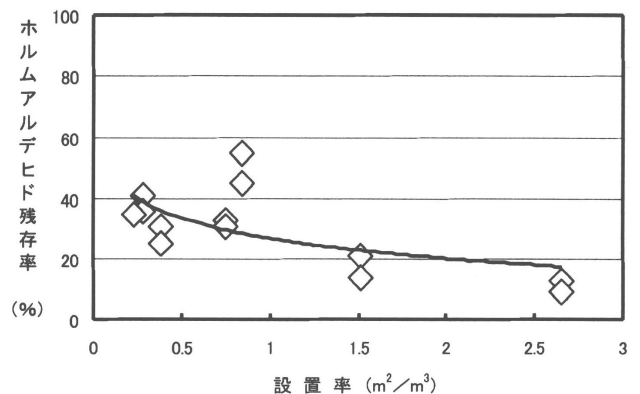


Fig. 11 シート設置率と低減効果の関係 (収納)

となり、柵が6段とすると、1段当たり2枚が目安となる。

5. まとめ

多孔質粘土鉱物を混入したシートによるホルムアルデヒド吸着特性や実物件における低減効果について検討した結果、以下の知見が得られた。

- (1) シートの吸着速度及び吸着容量は、一般市販品の最も性能の良いものに比べて、それぞれ2倍以上、4倍以上の性能を有している。
- (2) ホルムアルデヒドの脱離率は0.1%未満であり、再放散はほとんど認められないことが明らかになった。
- (3) 実物件による検証試験の結果、ホルムアルデヒド低減は1日で効果を発揮することが認められ、内装完了から引き渡し・入居までの短期間における濃度低減対策として有効な手段であることが判明した。
- (4) シート設置率を居室では0.1以上、収納では0.5以上にすると、ホルムアルデヒド残存率はそれぞれ50%以下、40%以下に低減できることが認められた。

6. おわりに

住宅の室内空気汚染による健康影響（シックハウス問題）は社会的な問題となっている。これに伴い、建築基

準法の改正のほか、「品確法」の拡充、「学校環境衛生の基準」の改訂、「ビル管法」の改正など、ここ数年の行政側の対応にはめまぐるしいものがある。これらの社会動向をふまえつつ、ユーザーのニーズを的確に把握した室内空気汚染防止技術の開発・提案に向けてこれからも取り組んで行く予定である。

なお、本論文は、参考文献4)にデータを追加し、加筆したものであることを付記する。

謝辞

本研究を進めるにあたり、実物件試験に多大なご協力を頂いた首都圏支店関係者に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 大澤元毅, 池田耕一, 林基哉, 桑沢保夫, 真鍋純, 中村由行: 2000年全国実態調査に基づく化学物質による住居室内空気汚染の状況, 日本建築学会環境系論文集, 第566号, pp. 65~71, 2003. 4
- 2) 文部科学省: 学校における室内空気中化学物質に関する実態調査(概要), 平成13年12月
- 3) 毛利登美子, 福本和広, 小野田誠次: 含水珪酸塩系粘土鉱物によるアルデヒドの吸着, 第13回におい環境学会, pp. 72~73, 2000. 6
- 4) 佐々木静郎, 村上順也, 大脇雅直, 麻生康弘: 粘土鉱物(セピオライト)混入紙によるホルムアルデヒドの低減効果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学II, pp. 1015~1016, 2002. 8

Study on Improvement of Indoor Air Quality in Residential Environments

Indoor Air Contaminant-Reduction Effects of a Porous Claylike Mineral

Shizuo SASAKI, Junya MURAKAMI, Masanao OWAKI, and Yasuhiro ASO

Abstract

The contamination of indoor air by volatile organic compounds produced by building materials and furniture and the like has in recent years posed a growing problem. A method is required to reduce such contamination quickly and effectively, before a new dwelling is occupied, as the quantity of diffused chemicals is particularly high (and the degree of contamination is thus particularly high) immediately after completion of interior finishing. One method of achieving this consists of reducing interior concentrations using an adsorptive material. The results of a study of such reduction of concentration using sheets impregnated with a claylike mineral containing amino group compounds have demonstrated that such sheets feature greater adsorption performance than conventional products.

Keywords: formaldehyde, sepiolite, sick building syndrome, indoor air quality, adsorption
