

# ガス吸着性能を有する繊維材料の評価方法に関する検討

## *A Study on Evaluation Method for Textile Materials with Gas Adsorption Performance*

小河 宏\*  
Hiroshi Ogawa

(2010年7月13日 受理)

キーワード：シックハウス, 揮発性有機化合物, VOC, 吸着

### 1. はじめに

近年, 建築材料から放散される室内空気汚染物質による健康被害, いわゆるシックハウス症候群の発生を契機として, より安全な室内の空気環境が求められている<sup>1-3)</sup>. また, 快適・清潔志向の高まりから, 生活空間における臭気の低減化に対する要求も年々増してきている. 室内空気汚染物質と臭気を発する物質は, 通常, 気化した状態(ガス)で人体に取り込まれる揮発性有機化合物(volatile organic compounds: VOC)である. そのため, 市場にはVOCのガスを吸着する壁紙やカーテンのように, ガス吸着性能を付与した製品が多くみられる. 当所には, VOCガスを吸着する製品及び材料の開発に関し, 特に, ガス吸着性能の評価についての技術相談等が多く寄せられている.

一般に, 活性炭やシリカゲルなどのガス吸着性能を有する材料の性能を評価する方法として, BET比表面積計を用いて比表面積や飽和吸着量を求める方法がある. しかし, 樹脂と複合化された不織布やカーペットなどの繊維製品のガス吸着性能は, 樹脂表面から放散されるVOCにより, 正確に測定ができないことがある. さらに, BET比表面積計は主に窒素ガスを用いて物理吸着性能を測定する装置であり, アンモニアや酢酸などの極性を持つガスに対する化学吸着性能評価にはあまり用いられていない.

現在, 繊維製品のガス吸着性能評価には, (社)織

維評価技術協議会が採用している静置法(バッグ法)が広く用いられている<sup>3)</sup>. この方法は, 初期吸着性能を簡便に評価できる試験方法であるが, 長期間にわたる持続的な吸着性能の評価には適していない. 一方, 持続的なガス吸着性能を評価するため, JIS A 1905-2003に規定されている小形チャンバー法を応用した試験方法が提案されている<sup>4)</sup>. 小形チャンバー法とは, 建築材料などの表面から放散するVOCの測定を目的として開発された方法である. しかし, 評価装置が高価であり, かつ, その操作が煩雑であるなどの理由から, ガス吸着性能の評価方法として普及するまでには至っていない.

当所ではこれまでに, 共同研究の委託者とガス吸着性能に優れた繊維製品を開発するとともに, それらのガス吸着性能評価方法に関して, 適切な評価方法の検討を行ってきた. 本報告では, ガス吸着性能を有する繊維製品の初期吸着性能を静置法により評価するとともに, 特に吸着性能の持続性を評価する方法として,

①静置法を応用した繰り返し注入法

②マイクロチャンバーを用いた連続通気法

の二つの方法について検討を加えた結果について報告する.

### 2. ガス吸着性能の評価方法

#### 2.1 試料

評価に供する試料は, 委託者作製のタフテッドカーペット, タイルカーペット, 不織布マットとした. そ

\* 化学環境部 環境・エネルギー・バイオ系

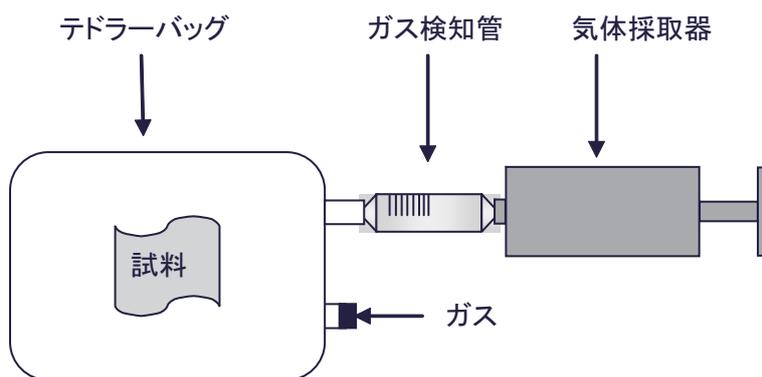


図1 初期吸着性能の評価方法の概略図

それぞれの試料にガス吸着性能を付与するための活性炭は、アクリル樹脂と混練した後、タフテッドカーペットはバック層の発泡 SBR 樹脂に、タイルカーペットはバック層の塩化ビニル樹脂に、不織布マットはバインダー（アクリル樹脂）に混合した。それぞれの試料から所定の大きさの試験片を採取した後、20℃-65%RH の恒温恒湿室内に 24 時間以上静置した。

## 2.2 吸着されるガスおよび試薬

吸着性能評価に用いるガスは、アンモニア、酢酸、ホルムアルデヒド、トルエンとした。それぞれのガス発生用試薬は、アンモニア水（関東化学・電子工業用）、酢酸（和光純薬・一級）、ホルムアルデヒド液（和光純薬・特級）、トルエン（キンダ化学・特級）を用いた。

## 2.3 静置法による初期吸着性能評価

静置法による初期吸着性能の評価方法の概略図を図1に示す。5 L のテドラーバッグに清浄空気 3 L と試験片 1 枚 (5 cm × 5 cm) を入れ、テドラーバッグ内のガス濃度が 100 ppm となるようにガスを注入後、密封した。同時にブランク試験として、テドラーバッグにガスのみを注入したものを用意した。次に、所定時間後のテドラーバッグ内のガス濃度をガステック社製ガス検知管により測定した。測定結果から、下記の式にしたがって、2 時間後および 24 時間後のガス濃度の

減少率を求めた。なお、試験は 2 回行い、その平均を求めた。

$$\text{減少率 (\%)} = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100$$

$C_0$ ：ブランク試験のテドラーバッグ内のガス濃度 (ppm)

$C$ ：サンプルが封入されたテドラーバッグ内のガス濃度 (ppm)

## 2.4 吸着性能持続性評価

### 2.4.1 繰り返し注入法

5 L のテドラーバッグに清浄空気 3 L と試験片 1 枚 (10 cm × 10 cm) を入れ、テドラーバッグ内のガス濃度が 100 ppm となるようにガスを注入後、密封し、24 時間後のテドラーバッグ内のガス濃度を測定した。次に、100 ppm のガスの注入と、24 時間後のガス濃度の測定からなる操作を、ガスの吸着が飽和に達するまで繰り返した。飽和とは、ガス注入直後のテドラーバッグ内のガス濃度 ( $C_0$ ) と、24 時間後のガス濃度 ( $C$ ) との濃度比 ( $C / C_0$ ) が 1 に達することを指す。ガス濃度の測定結果から、飽和に達するまでに、試料単位面積当たり吸着されたガスの分子数 (飽和吸着分子数) を下式により求めた。すなわち、ガス注入回数ごとに

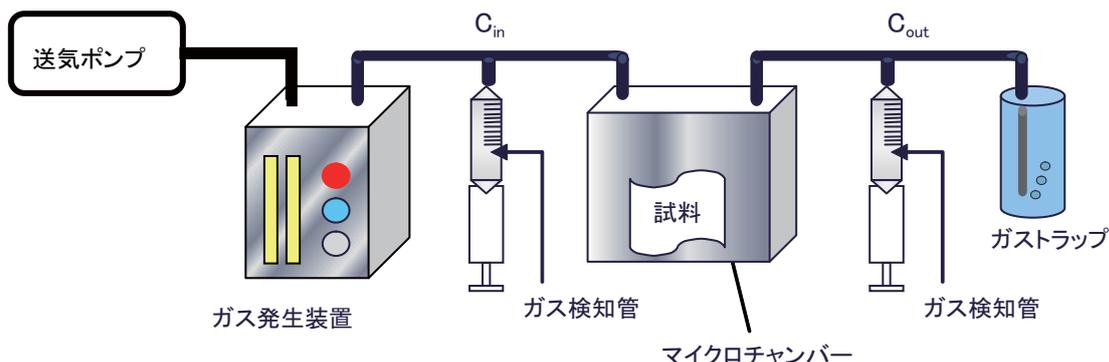


図2 連続通気法による吸着効果持続性評価方法の概略図

吸着された分子数を求め、それを積算して飽和吸着分子数とした。さらに、飽和吸着分子数に各ガスの分子量を乗じて飽和吸着量を求めた。

$$\text{飽和吸着分子数 (mol/m}^3\text{)} = \frac{3 \times (C_0 - C) \times 10^{-6}}{24 \times S}$$

$C_0$ : 注入したガスの濃度 (ppm)

$C$ : 24 時間後のテドラーバッグ内のガス濃度 (ppm)

$S$ : 試料の表面積 ( $\text{m}^2$ )

#### 2.4.2 連続通気法

連続通気法による吸着性能持続性評価方法の概略図を図2に示す。この評価方法は、ガスを長時間安定した濃度で供給できるガス発生装置と、マイクロチャンバー、送気ポンプ、ガストラップから構成される。ガス発生装置は、ガラス管に封入したガス原液(ガスパーミエーションチューブ)から 10 ppm 前後の一定濃度のガスを長時間供給できるものである。また、マイクロチャンバーは、JIS R 1701-1: 2004「光触媒材料の空気浄化性能試験方法(第1部 窒素酸化物の除去性能)」に準拠した物を用いた。評価は以下に示す手順で行った。マイクロチャンバー内に試験片1枚(5 cm × 5 cm)を設置し、清浄空気を 100 mL/min の流量で通気しながら、所定時間ごとにマイクロチャンバーの入口と出口のガス濃度をガス検知管により測定した。測定は、マイクロチャンバーの入口濃度( $C_{in}$ )と出口濃度( $C_{out}$ )から求めた濃度比( $C_{out} / C_{in}$ )が平衡に達するまで続けた。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 静置法による初期吸着性能評価

2.4 静置法により、タフテッドカーペット、タイルカーペット、不織布マットの初期吸着性能評価を行った結果を表1に示す。

タフテッドカーペットの減少率は、酢酸が2時間後で96%、24時間後には99%と非常に良好な値を示し、他のガスも24時間後の減少率が80%以上と良好なガス吸着性能を有することがわかった。また、初期のガス吸着性能は、アンモニア、ホルムアルデヒド、トルエンともほぼ同等の値を示した。一方、タイルカーペットの減少率は、24時間後に酢酸で98%と良好な値を示したが、他のガスに対しては50~76%と、ある程度の吸着性能は有するもののタフテッドカーペットに比べて低い値を示した。その原因としては、タイルカーペットはタフテッドカーペットのようにバックリング層を発泡させていないため、比表面積が小さく、加えて、活性炭表面の吸着サイトが塩化ビニル樹脂により被覆されたことが考えられる。不織布マットの24時間後の減少率は他の試料と同様に酢酸で95%と高く、アンモニア(75%)、トルエン(78%)に対しても比較的良いガス吸着性能を有することがわかった。

#### 3.2 繰り返し注入法によるガス吸着性能の持続性評価

ガス吸着性能を有する製品及び材料については、初期の吸着性能以外にその性能の持続性を評価する必要がある。そこで、持続性を評価する方法として、繰り

表1 静置法による初期吸着性能の評価結果

	測定時間 (hr)	タフテッドカーペット	タイルカーペット	不織布マット
		減少率(%)	減少率(%)	減少率(%)
アンモニア	2	65	40	35
	24	84	61	75
酢酸	2	96	95	90
	24	99	98	95
ホルムアルデヒド	2	75	50	50
	24	83	76	68
トルエン	2	70	15	55
	24	81	50	78

表2 繰り返し注入法により求めた飽和吸着分子数と飽和吸着量

	アンモニア	酢酸	ホルムアルデヒド	トルエン
吸着分子数 (mmol/m <sup>2</sup> )	3.7	95	36	10
吸着量 (mg/m <sup>2</sup> )	63	5700	1100	960

返し注入法について検討した。試験に供する試料はタフテッドカーペットとし、2.4.1 に記述した方法に従って評価を行った結果を図3に示す。図3は、100 ppmのガスの注入回数をx軸に、濃度比 ( $C/C_0$ ) をy軸にプロットしたものである。なお、酢酸については、吸着飽和に達するまでに長期間を要したため  $C/C_0 = 0.5$  となった時点で試験を終了した。また、トルエンについては注入9回～12回で濃度が平衡となったため12回で終了した。図3からタフテッドカーペットの吸着性能の持続性は、アンモニアでは7回注入、トルエンでは12回注入で吸着飽和に達したのに対して、酢酸では100回以上注入を繰り返しても吸着性能を維持しており、非常に良好な持続性が認められた。静置法による初期のガス吸着性能試験において、アンモニア、トルエン、ホルムアルデヒドについては同等の吸着性能を示したが、持続性については、ホルムアルデヒド>

トルエン≒アンモニアの順となり、初期性能と持続性との間では、ガス選択性に大きな違いがみられた。次に、吸着飽和に達するまでのガスの吸着量(飽和吸着分子数と飽和吸着量)を求めた結果を表2に示す。

タフテッドカーペットに関して各ガスの飽和吸着分子数、飽和吸着量を比較すると、アンモニア、トルエンの値が小さかったことから、アンモニア、トルエンの吸着は物理吸着が主であると推測される。一方、酢酸の値は、アンモニアとトルエンの値と比較するとはるかに大きく、物理吸着以外の化学吸着作用が働いていると考えられる。

### 3.3 連続通気法によるガス吸着性能の持続性評価

繰り返し注入法は、試料のガス吸着性能の持続性が高い場合、注入回数の増加により、試験期間が100日以上と非常に長期間となる欠点がある。そこで、より短時間で簡便に持続性を評価する方法として、2.4.2に

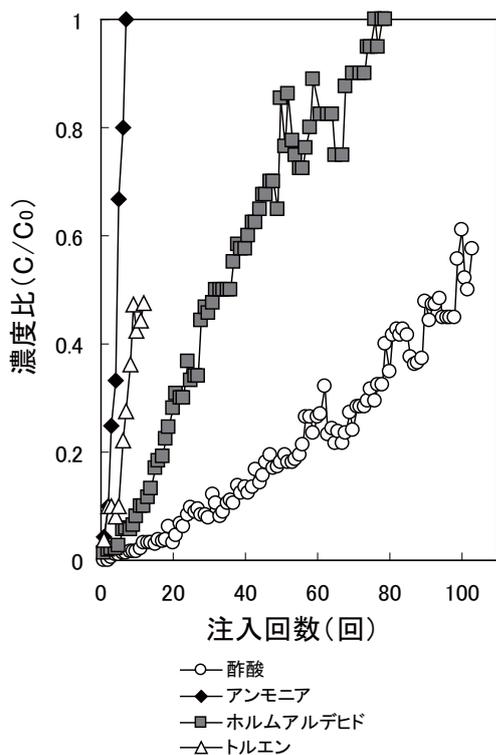


図3 繰り返し注入法による飽和吸着に達するまでの挙動

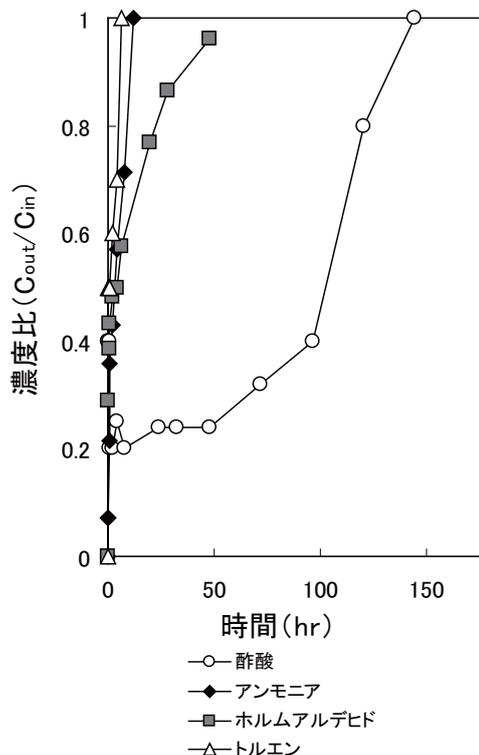


図4 連続通気法による飽和吸着に達するまでの挙動

表3 連続通気法により求めた飽和吸着分子数と飽和吸着量

	アンモニア	酢酸	ホルムアルデヒド	トルエン
吸着分子数 (mmol/m <sup>2</sup> )	3.1	89	11	2
吸着量 (mg/m <sup>2</sup> )	52	5300	340	180

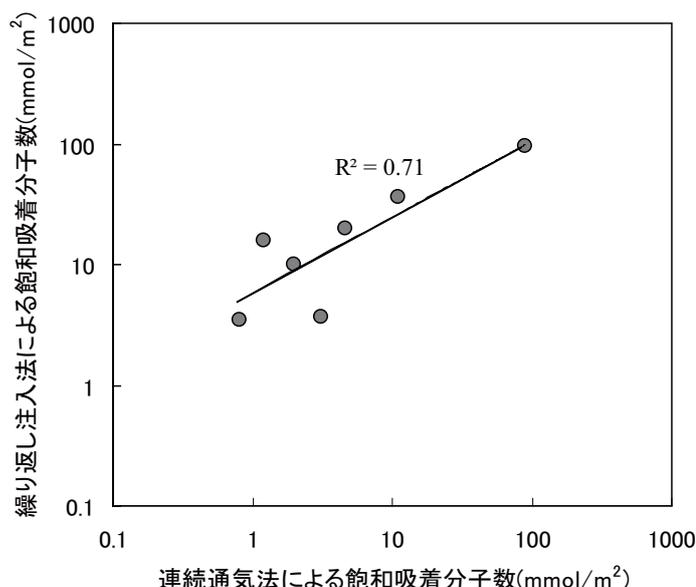


図5 吸着効果持続性評価方法による飽和吸着分子数の比較

記述したマイクロチャンバーを用いた連続通気法について検討を行った。試験に供する試料はタフテッドカーペットとし、連続通気法について検討を行った結果を図4に示す。繰り返し注入法においても吸着性能が持続した酢酸については、連続通気法においても144～168時間(6～7日間)と長時間にわたって吸着性能を維持した。また、吸着飽和が最も早かったトルエンは6時間、アンモニアは11時間、ホルムアルデヒドは48時間で吸着飽和に達しており、繰り返し注入法と同様の傾向を示していることが図4からわかる。次に、連続通気法における飽和吸着分子数および飽和吸着量を求めた結果を表3に示す。タフテッドカーペットに対するガスの飽和吸着量は、酢酸>ホルムアルデヒド>アンモニア≒トルエンの順となり、繰り返し注入法とほぼ同様の傾向を示した。

3.4 繰り返し注入法と連続通気法との比較

タフテッドカーペットについて、繰り返し注入法および連続通気法により求めた飽和吸着分子数の相関関係を検討した結果を図5に示す。図5から、両試験方

法の間で比較的良好な相関関係が認められることがわかる。一方、吸着飽和に達するまでの期間は、繰り返し注入法では、最も早く吸着飽和に達したアンモニアでは7日、最も長かった酢酸では100日以上を要したのに対し、連続通気法では、ガス濃度を繰り返し注入法の1/10である10 ppmとしたにもかかわらず、アンモニアでは7時間、酢酸では150時間で吸着飽和に達した。これらの結果から、吸着性能持続性評価において、評価に要する期間が大幅に短縮できる連続通気法が有効であることが明らかとなった。

4. まとめ

ガス吸着性能を有する繊維製品の性能評価方法として、特に、吸着性能の持続性の評価方法について検討を行った。以下に得られた知見を示す。

- 1) 初期のガス吸着性能と持続性との間で、ガス選択性に相違があることがわかった。
- 2) タフテッドカーペットを用いた持続性評価によ

り、アンモニア、トルエンについては物理吸着が支配的であるのに対して、酢酸については物理吸着に加えて化学吸着作用もことが示唆された。

- 3) 持続性評価については、繰り返し注入法と比較して、評価に要する期間が大幅に短縮できる連続通気法が有効であることがわかった。

## 参考文献

- 1) 田辺新一：室内化学汚染，講談社 (1998)
- 2) 室内空気室健康影響研究会：室内空気質と健康影響，ぎょうせい (2004)
- 3) (社) 繊維評価技術協議会：消臭加工繊維製品認証基準 (2007)
- 4) JIS A 1905(2007)；小形チャンバー法による室内空気汚染物質低減材の低減性能試験方法