

## B-77 シート状有機系高分子収着剤の 温湿度制御への適用

○須藤 将太<sup>1\*</sup>・黒田 正和<sup>2</sup>・木村 和矢<sup>2</sup>・小森 正人<sup>2</sup>・窪田 恵一<sup>3</sup>・渡邊 智秀<sup>3</sup>

<sup>1</sup>群馬大学大学院 社会環境デザイン工学専攻 (〒376-8515 群馬県桐生市天神町1-5-1)

<sup>2</sup>株式会社ヤマト 大和環境技術研究所 (〒371-0844 群馬県前橋市古市町118)

<sup>3</sup>群馬大学理工学研究院 環境創生部門 (〒376-8515 群馬県桐生市天神町1-5-1)

\* E-mail: watanabe@gunma-u.ac.jp

### 1. はじめに

吸着は、水や空気中からの微量有害成分の除去、脱臭、目的物質の濃縮および調湿等といった分離操作に幅広く応用されている。その中で水蒸気への吸着作用は、乾燥剤や空調における減湿操作へ利用されている。一般に水蒸気吸着では、水蒸気の凝縮潜熱が発生するので、空気は減湿される一方で加熱されて温度が上昇する。そのため、特に空調への利用では調湿された空気の目的温度への冷却操作が不可欠となり、消費エネルギー増大の主要原因の一つとなっている<sup>1)</sup>。

水蒸気吸着に伴う潜熱は、吸着剤への熱伝導と吸着剤-空気間の対流熱伝達によって空気へ伝わっていると推定される<sup>2)</sup>。これに基づくと吸着に並行して吸着剤の再生、すなわち蒸発熱を要する脱着を同時的に行進させることができれば、空気温度を上昇せずに減湿する等温減湿を達成する可能性があると考えられる。この仮説を実現する吸着剤が有すべき特性として、同一の吸着剤に吸着領域と脱着領域を分けて設けられること、吸着剤内での熱・物質移動が系内の他の熱・物質移動に比べ十分に大きいこと、比較的低温での脱着が可能であること、吸・脱着量やそれらの速度が大きい等が挙げられる。

本研究では、上述した全く新しい発想による等温減湿の可能性を明らかにするための第一段階として、種々のシート状の基材にポリアクリルニトリル系収着剤を含有させたシート状収着材を試作し、平衡吸着量、吸脱着速度および水蒸気や水の透過特性を把握するとともに、材料の影響について実験的に検討を行った。

### 2. 実験方法

#### (1) 試料

試作したシート状収着材の構成と吸着成分の含有率お

よび厚さを表-1に示す。基材として、多孔性で表面積が大きく強度もある合成繊維パルプ、無孔性ポリウレタン、多孔性ポリウレタン、スポンジ状ポリ塩化ビニルおよびガラス繊維紙を選定して実験に供した。吸着成分には、水分子との水素結合作用により大きな吸着量が期待できるポリアクリロニトリル系の収着剤を使用した。なお、対照系としてゼオライトを使用した試料も用意した。

表-1 試作したシート状収着材の構成と諸物性

| 略号 | 吸着成分   | 基材       | 含有率 (wt%) | 厚さ (mm) |
|----|--------|----------|-----------|---------|
| A  | 有機性収着剤 | 合成繊維パルプ  | 78        | 0.05    |
| B  | 有機性収着剤 | 無孔性PU    | 36        | 0.02    |
| C  | 有機性収着剤 | 多孔性PU    | -         | 0.03    |
| D  | 有機性収着剤 | スポンジ状PVA | 23        | 1       |
| E  | 有機性収着剤 | ガラス繊維紙   | 66        | 0.05    |
| F  | ゼオライト  | ダンボール原紙  | -         | -       |

#### (2) 平衡吸着量の測定

平衡吸着量は、水蒸気吸着量測定装置(日本ベル製 BELSORP-max)を用い、10°C~50°Cの温度範囲での一定温度条件において相対湿度 0~100%RH で測定した。高相対湿度へ変更していく吸着過程に加え、低相対湿度へ変更していく脱着過程における平衡吸着量も測定した。試料は、細かく裁断してから流通加熱前処理装置(日本ベル製, BELPREP-flowII)を用いて、90°Cで24h加熱乾燥した後に測定へ供した。

#### (3) 吸・脱着速度試験

吸着速度と脱着速度は、所定条件下で平衡状態に達し

ている試料をそれと異なる温湿度条件へ暴露した際の吸着または脱着に伴う試料重量の経時変化に基づいて算出した。一方の温湿度条件は、夏期の外気条件を想定して35°Cで56%RHとした。もう一方は、使用した収着剤から脱着が可能な温湿度条件のひとつとして、50°Cで26%RH条件を設定した。試験は、それぞれ所定の温湿度に調整された2台の恒温恒湿装置の一方に入れて平衡状態となっていることが確認されている試料を、もう一方へ瞬時に移動させ、試料を載せた電子天秤が計測した重量の経時変化をPCへ転送しながらモニタリングした。

#### (4) 水蒸気および水分透過速度試験

試料の水蒸気および水透過能は、繊維の透湿性評価に利用されているJIS-L1099を参考にして試験した。

水蒸気透過試験は、所定温度で一定の温湿度に両面がさらされた試料の片面からもう一方の面へ、透過した水蒸気量を測定した。試験は、内径60mm、高さ22mmのアルミニウム製容器に塩化カルシウムを約33g入れ、シート状収着材でその開口部を完全に閉じた。この容器を40°Cで90%RHに調湿された恒温恒湿装置内に入れて、その重量変化を測定した。

水分透過速度試験は、シート状収着材の両面を一定の水圧差とした際の水透過量を測定した。試験は、内径80mm、高さ50mmの塩ビ製容器の約2/3まで酢酸カリウムを入れ、厚さ約25 $\mu$ mで空孔率約80%の多孔性ポリテトラフルオロエチレンフィルムにより開口部を完全に閉じた。23°Cに調整した水がPTFEフィルムとシート状収着材を介して酢酸カリウムへ透過するよう水槽に設置し、15分後と30分後に容器の重量を測定した。

### 3. 結果および考察

#### (1) 試作した試料の吸着特性

##### (a) 吸着等温線の特徴

図-1に50°C条件を例として、各試作試料の吸着等温線を示す。有機性収着剤を用いたシート状収着材は、ゼオライトを用いた場合に比べて、広い相対湿度の範囲で

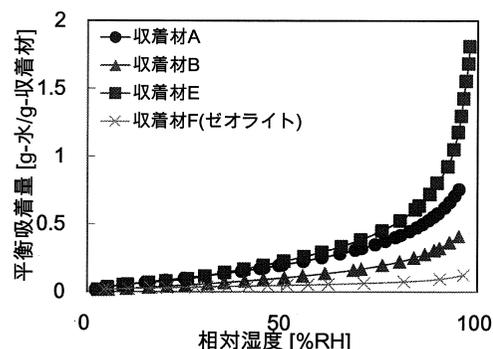


図-1 各材料の吸着等温線(50°C)

吸着量が大きく、特に相対湿度が高いほどその傾向が顕著であった。有機性収着剤を使用した試料の中では、試料Bの平衡吸着量が最も大きかった。これは、有機性収着剤の含有量が大きく、基材自体も吸着作用を有していたことが主たる原因であると考えられる。

##### (b) ヒステリシス

図-2に吸着および脱着過程で得られた平衡吸着量の相違について、試料Bと試料Fを例として示す。どちらの試料においても、ヒステリシスは小さいことがわかる。他の試料についても同様であった。ヒステリシスが大きく脱着過程での平衡吸着量の方が小さいと、本提案における脱着に伴う潜熱による収着材の冷却が不十分となる可能性があったものの、ヒステリシスが小さい試作試料は、いずれも望ましいことが示唆された。

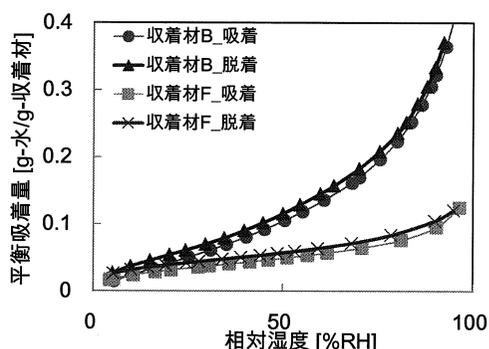


図-2 吸着および脱着過程における平衡吸着量(50°C)

##### (c) 平衡吸着量の温度依存性

相対湿度が一定の条件での平衡吸着量と温度の関係を50%RH条件を例にして図-3に示す。ゼオライトでは、50°Cまでの範囲で温度依存性は認められなかったのに対して、有機性収着剤を用いた試料AおよびBでは、低温条件において吸着量が増加する傾向にあった。これは、有機性収着剤が低温条件下で化学的構造に変化が生じていることが影響している可能性がある。しかし、相

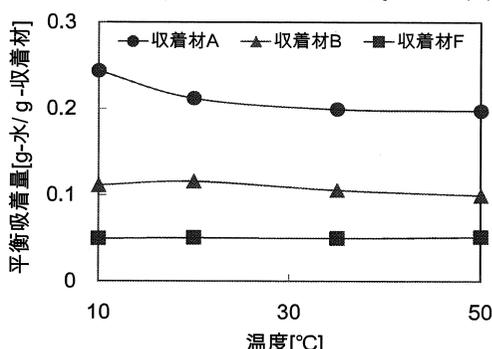


図-3 平衡吸着量の温度依存性(50%RH)

違は 10%程度であるため、これによる影響はほとんど無いと考えられる。

### (2) 吸・脱着速度の特性

試料 A および B を例として吸着速度と脱着速度を図-4に示す。試料 A と試料 B のいずれにおいても脱着速度が吸着速度に比べて大きくなる傾向があった。脱着は吸着した量を超えて生じることはないので、脱着速度の方が大きいことは、吸着によって生じた凝縮熱による吸着材の温度上昇を効果的に相殺する可能性があると考えられる。得られた吸着速度に基づいて潜熱移動速度を算出すると、試料 A で  $6.4[\text{J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}]$ 、試料 B で  $1.7[\text{J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}]$  となった。収着材-空気間の対流熱伝達で空気温度が上昇するため、この対流熱伝達速度よりも十分に大きな脱着による冷却速度を達成することが必要となるので、今後両者の比較を行っていく予定である。

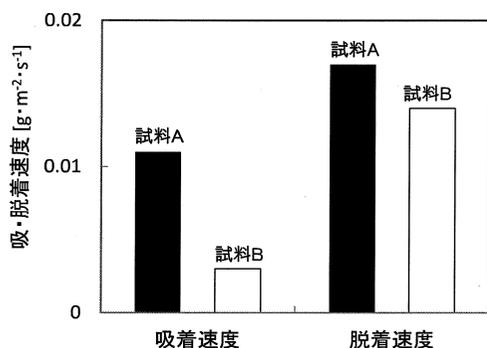


図-4 各試料の吸・脱着速度

### (3) 水蒸気透過の特性

図-5に水蒸気透過速度を示す。水蒸気透過速度は、多孔性ポリウレタンを基材に用いた試料Cが試作した試料中で最も大きかった。その一方で、無孔性ポリウレタンを基材に用いた試料Bが最も小さかったが、その差は40%程度であった。また、水蒸気透過と材料厚さには直接的な関係は見られなかった。水蒸気透過は、試料の細

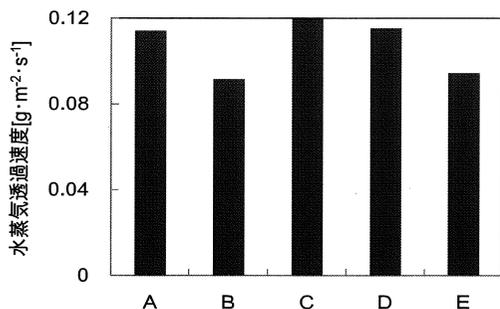


図-5 各試料の水蒸気透過速度

孔径分布や空隙率に強く依存し、貫通した空隙を通じて移動していることが推察された。

### (4) 水透過の特性

図-6に水分透過速度を示す。繊維状の構造を有する試料Aで最も大きく、試料Cで最も小さかった。図-5に示した水蒸気透過速度の大小関係の傾向と比較すると、試料Cを除くと概ね同様であるといえる。つまり、水透過に対しても空隙構造が重要であることが示唆された。試料Cで水蒸気透過速度が大きいものの、水透過をしにくかった理由は現段階で不明であり、今後検討が必要である。しかし、水透過しにくいことは、潜熱を有効に活用できる可能性を示唆しており、本提案に対して望ましいと考えられる。

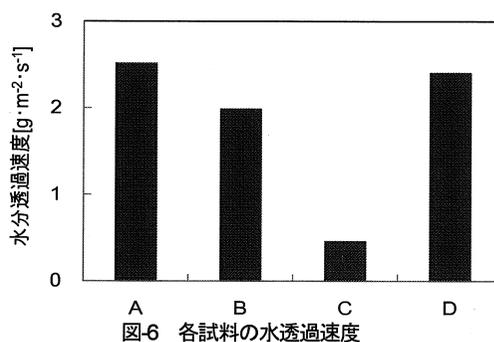


図-6 各試料の水透過速度

## 4. まとめ

シート状収着材を試作し、その吸・脱着ならびに水蒸気や水の透過特性について検討し、以下の知見を得た。

- (1) 有機性高分子収着剤を用いた収着材は、従来からあるゼオライトを用いた場合に比べ、吸着量が大きく、ヒステリシスが小さいことがわかった。また、吸着量の温度依存性も小さかった。
- (2) 試作した試料はいずれも吸着速度に比べて脱着速度のほうが大きかったことから凝縮熱による吸着材の温度上昇を気化熱により相殺できる可能性が示唆された。
- (3) シート状収着材からの水蒸気透過速度と水透過の傾向は、概ね同様で基材の空隙率や細孔径分布等の構造が深く関係しているものと推察された。

## 5. 参考文献

- 1) 財団法人ヒートポンプ・蓄熱センター 低温排熱利用機器調査研究会, デシカント空調システム, 日本工業出版 (2006)
- 2) 辻口拓也、児玉昭雄, 日本冷凍空調学会論文集 22(4) 417-428 (2005)