

ホルムアルデヒド吸着剤の開発

圧力損失低減対策の検討

高 村 祐 貴
小 林 徳 和
湯 懐 鵬

佐 伯 寅 彦
穴 井 俊 博

(新菱冷熱工業株式会社)

病理検査室では、臨床検査技師がホルマリンに固定された臓器などの検体を取り出して検査を行う。作業の過程で検体から発生するホルムアルデヒドは有毒性が高く、管理濃度が 0.1 ppm と厳しく定められている。筆者らは、労働者を保護するため、空気中のホルムアルデヒドをシリカゲルに薬品を添着した吸着剤（以下、本吸着剤）で除去する技術を開発した。本吸着剤は、SV 値 50,000 h⁻¹ で 0.1 ppm のホルムアルデヒドガスを通気したとき、90 %以上の除去率を 400 h 以上保持する性能を有している。しかし、本吸着剤の粒径は約 1.74~4.00 mm と小さいため、圧損が高く搬送動力が大きくなるという課題があった。この課題を解決するため、粒径が約 2.36~4.75 mm でシリカゲルよりも圧損が小さいヤシ殻活性炭を混合し、圧損の低減を試みた。SV 値 50,000 h⁻¹ の時、圧力損失は本吸着剤で 125 Pa、ヤシ殻活性炭で 60 Pa であり、混合吸着剤（ヤシ殻活性炭：本吸着=50:50）は 95 Pa だった。また、混合吸着剤のホルムアルデヒドガス除去性能を同様の条件で確認した結果、80 %以上の除去率を 800 h 保持できることを確認した。

1. はじめに

病院や検査機関の病理検査を行う作業場では、臓器等の検体をホルマリンに浸漬もしくは注入して固定することが一般的である。ホルマリンや浸漬後の検体から発生するホルムアルデヒドは有害性が高く、管理濃度が 0.1 ppm と厳しく定められているため、作業者のばく露対策が求められる。筆者らは、作業場のホルムアルデヒド濃度を低減することを目的とした湿式のホルムアルデヒド除去装置を開発し、複数の病院に導入した¹⁾。湿式のホルムアルデヒド除去装置は高いホルムアルデヒド除去性能を示したが、薬液タンクや給排水の接続が必要なため、システムの複雑化と設置スペースが課題であった。

そこで、ホルムアルデヒド除去装置の小形化を図るため、シリカゲルに薬品を添着した吸着剤（以下、本吸着剤）を開発した²⁾。病理検査を行う作業場における本吸着剤の活用方法として、(1)フィルタ化・装置化し固定作業中に発生したホルムアルデヒド含有空気を通気して除去する使用方法、(2)検体保管容器とともにパッシブ吸着剤として設置することにより、非作業時に保管容器から放散するホルムアルデヒドが室内に拡散することを防ぐ

使用方法、の2つが想定される。本吸着剤を実用化するにあたっては、いずれの使用方法でも除去率や維持期間といった除去性能の評価が必要となる。また、本吸着剤は粒径が小さいため、フィルタ化して通気する使用方法では圧力損失が高く、十分な風量を通気するのに多くのエネルギーが必要となることが予想された。

本研究では、開発した吸着剤の除去性能の評価を、通気する条件および静的に吸着させる条件のそれぞれについて行った。また、圧力損失の低減のため活性炭と混合した際の圧力損失の低減効果および除去性能を確認したので報告する。

2. 実験方法

2.1 吸着剤の通気時の除去性能

本吸着剤の通気時のホルムアルデヒド除去性能を確認するため、吸着剤を吸収管に充填しホルムアルデヒド約 0.1 ppm を含むガスを通気しシングルパス除去率を測定した。吸収管はポリプロピレン製の直径 14 mm の円筒形容器を用い、吸収剤の充填量は 2 mL、通気量は 0.1 m³/h、SV 値は 50,000 h⁻¹ とした。ホルムアルデヒド含有ガスは

25℃、50%RH に調整した空気 0.1 m³/h が流れる 300 mm × 300 mm のダクト内に開放容器に入れた 10%中性緩衝ホルマリン液を設置し、ダクトに設けた採取口から吸気管を通してエアポンプで吸引して通気した。ダクト内および吸気管通気後の空気を 10 L 捕集して 2,4-ジニトロフェニルヒドラジン固相捕集-高速液体クロマトグラフ法 (DNPH-HPLC 法) でホルムアルデヒド濃度を測定し、ダクト内濃度と吸気管通気後の濃度より除去率を算出した。

また、比較のため、ヤシ殻破碎状活性炭にも同様に通気し、除去性能の評価を行った。

2.2 吸着剤の静的吸着性能の測定

病理検査室ではホルムアルデヒドは作業中だけでなく、密閉容器で保存している検体などからも放散するため、保管棚の中のホルムアルデヒド濃度が上昇し、扉の開放時に室内に漏出する懸念がある。開発した吸着剤を検体とともに設置することで棚内の濃度上昇の抑制が期待できるため、吸着剤の静的吸着性能を測定した。測定は 28℃、50%RH、0.5 回換気条件で小形チャンバー法に準じてチャンバー内濃度を測定した。チャンバーは容量 20 L のステンレス製チャンバーとし、チャンバー内に 10%中性緩衝ホルマリン液 500 mL を入れた食品用密閉プラスチック容器 (縦 187 mm × 横 129 mm × 高さ 85 mm)、および吸着剤 100 g を入れた不織布の袋を食品用密閉プラスチック容器の上に設置した。ホルムアルデヒド濃度は小形チャンバーからの排気を DNPH-HPLC 法で測定した。

2.3 吸着剤および活性炭と混合した吸着剤の圧力損失測定

本吸着剤は粒径が小さいため、ファンを用いて通気する使用方法では圧力損失が高くなることが懸念される。そこで圧力損失低減のため、粒径 2.36~4.75 mm のヤシ殻破碎状活性炭を混合して圧力損失を低減することを試みた。本吸着剤と活性炭を 100:0、50:50、0:100 の体積比で混合したものをフィルタケーシング (縦 180 mm × 横 180 mm × 高さ 30 mm) に充填後、通気し、フィルタケーシング前後の圧力差をマノメータで測定して圧力損失を確認した。SV 値は風量を変えることで 10,000~50,000 h⁻¹ の間で調整した。

吸着剤の混合はビニール袋の中に本吸着剤と活性炭を入れて振とうして行った。この時、粒径の差による分離を起こさず均一に混合されていることを目視で確認した。

2.4 混合吸着剤の除去率測定

本吸着剤とヤシ殻破碎状活性炭を混合した場合、活性炭はホルムアルデヒドに対する除去性能が低いため、混合吸着剤のホルムアルデヒド除去性能に影響する可能性がある。そこで混合吸着剤のホルムアルデヒド除去性能

の評価を行った。本吸着剤とヤシ殻破碎状活性炭を 50:50 および 25:75 の体積比で混合した吸着剤を前節と同様の方法で作成し、ポリプロピレン製の直径 14 mm の円筒形吸気管に充填してホルムアルデヒドガスを通気した。ホルムアルデヒドガスは、濃度 0.1 ppm、SV 値 50,000 h⁻¹ の条件で通気し、DNPH-HPLC 法で吸気管前後の濃度を測定して除去率を求めた。

3. 結果と考察

3.1 吸着剤の通気時の除去性能

本吸着剤に濃度 0.1 ppm のホルムアルデヒドを通気した時の除去率の推移を Fig.1 に示す。本吸着剤は 400 h にわたって 90 %以上の除去率を維持した。除去率は 400 h 後から徐々に低下したが、急激な低下は確認されなかった。なお、活性炭については、短時間で除去率が低下し、約 5 h で除去率は 50%以下まで低下した。この結果から本吸着剤は活性炭より長期間性能を維持できることを確認した。

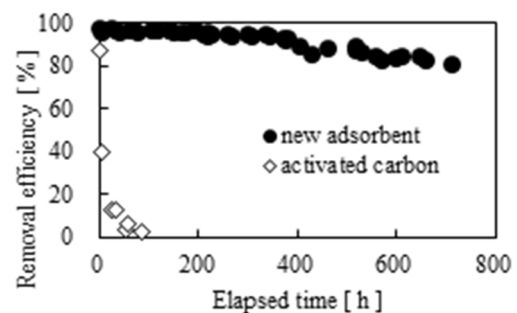


Fig. 1 Formaldehyde removal efficiency of new adsorbent in long term test

3.2 吸着剤の静的吸着性能の測定

静的吸着性能の測定結果を Fig.2 に示す。小形チャンバー内にホルムアルデヒドを入れた食品用密閉プラスチック容器を設置したところ、ホルムアルデヒド濃度は 2.8 ppm まで上昇した。2 日経過後不織布に入れた本吸着剤を小形チャンバー内に設置したところ、ホルムアルデヒド濃度は 0.5 ppm まで低下し、この効果は 1 カ月以上持続することを確認した。このことから、本吸着剤を保管棚などホルムアルデヒドの発生する環境に設置することにより、長期的にホルムアルデヒドの濃度上昇を抑制することが期待される。

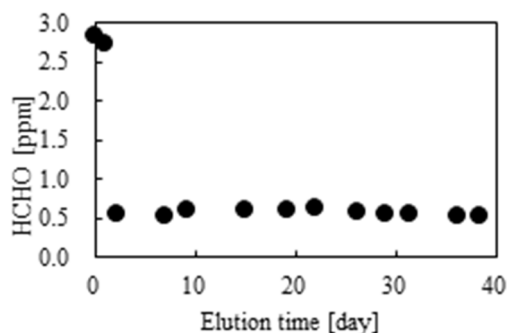


Fig. 2 Static removal performance of new adsorbent

3.3 吸着剤の圧力損失測定

本吸着剤、活性炭、混合吸着剤（本吸着剤：活性炭＝50:50）の各 SV 値の圧力損失測定結果を Fig.3 に示す。SV 値が増大すると圧力損失の差も大きくなり、SV 値 50,000 h⁻¹ の時、圧力損失は本吸着剤で 125 Pa、活性炭で 60 Pa を示した。混合吸着剤の圧力損失は両者の中間程度の 95 Pa を示し、本吸着剤と活性炭を混合することにより、圧力損失の低減ができることを確認した。

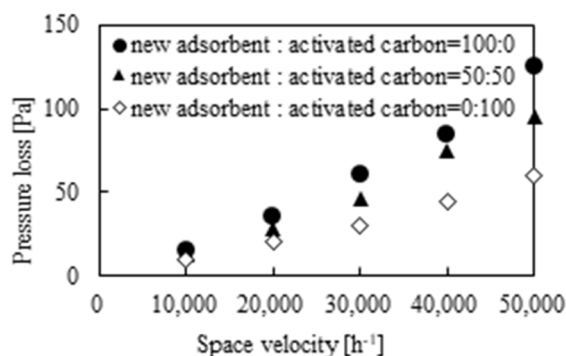


Fig. 3 Pressure loss of blended new adsorbent

3.4 混合吸着剤の除去率測定

本吸着剤：活性炭＝50:50、25:75 の混合吸着剤に 0.1 ppm のホルムアルデヒドガスを 800 h 通気した場合の除去率を Fig.4 に示す。本吸着剤：活性炭＝25:75 の場合でも 80 % ±10% 程度の除去率を示した。この結果から混合吸着剤

は圧力損失を低減しながら、高い除去性能を維持することを確認した。

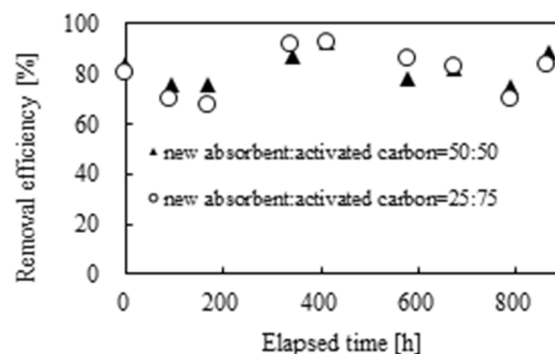


Fig. 4 Formaldehyde removal efficiency of blended adsorbent

4. まとめ

本報ではホルムアルデヒド除去に用いる吸着剤を考案し、実験で除去性能を評価した。評価方法は、本吸着剤の実用的な活用を考慮して、本吸着剤に通気する条件と静的に吸着する条件について行った。本吸着剤は SV 値＝50,000 h⁻¹ の条件で長時間にわたり、高い除去性能を示すことを確認した。また、本吸着剤を設置することにより、ホルマリンを入れた食品用密閉プラスチック容器から放散したホルムアルデヒドの濃度上昇を 1 カ月以上、抑制できることを確認した。

本吸着剤の圧力損失の課題を改善するため、ヤシ殻破砕状活性炭を混合する手法を考案し、圧力損失と除去性能を評価した。本吸着剤とヤシ殻破砕状活性炭を同等の割合で混合した結果、圧力損失は本吸着剤のみの圧力損失よりも低減でき、80% 前後の除去率を 800 h 以上維持できることを確認した。

5. 参考文献

- 1) 湯懷鵬、穴井俊博、前田康博、近都州彦、佐伯寅彦：空気清浄、51 巻 5 号（2014）54～60
- 2) 高村祐貴、小林徳和、佐伯寅彦、穴井俊博、湯懷鵬：第 29 回日本臨床環境医学会学術集会（2021）