

伝熱面一体型吸着体を用いた吸着反応器の熱物質移動特性の解明

大内, 崇史

<https://hdl.handle.net/2324/1654872>

出版情報：九州大学, 2015, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：やむを得ない事由により本文ファイル非公開（3）



論 文 名 : 伝熱面一体型吸着体を用いた吸着反応器の熱物質移動特性の解明

氏 名 : 大内 崇史

論 文 内 容 の 要 旨

現在、冷凍空調分野における最も重要な課題の一つは、環境負荷が小さい熱駆動型空調機の開発で、中でも未利用の低温熱や再生可能エネルギー熱を利用して駆動する吸着式冷凍機・ヒートポンプならびにデシカント除加湿器の開発が注目を集めている。それらの機器では、冷温熱出力や除加湿速度の向上、すなわち吸着反応器における蒸気の吸脱着速度の向上が重要な技術開発の目標となっており、そのために、反応器表面に吸着材を薄膜状に塗布あるいは直接生成して熱物質移動促進を図った反応器の開発が期待されている。本論文は、膜状の吸着材を伝熱面表面に直接生成した伝熱面一体型吸着体を対象として、熱物性値や水蒸気吸脱着反応に伴う熱物質移動特性を実験により解明するとともに、本吸着体を用いた吸着反応器の吸脱着速度の予測モデルを構築してシミュレーションを行い、従来の粒子充てん型反応器と比較して、一体型吸着体反応器の性能特性と有意性を定量的に明らかにしたものである。

第1章では、本論文が対象とする吸着反応器の熱物質移動特性の解明の重要性を説明し、吸着現象の基礎と吸着反応器の従来研究を概説して、課題を示し、本論文の目的を明らかにした。

第2章では、一体型吸着体として採用したアルミニウム陽極酸化皮膜およびシリカゲル膜の製法、細孔特性および測定試料の仕様をそれぞれ述べた。

第3章では、酸化皮膜およびシリカゲル膜一体型吸着体の比熱と熱伝導率を、比熱測定では示差走査熱量測定器(DSC)を用い、また酸化皮膜の熱伝導率は一次元定常法を、シリカゲル膜の熱伝導率は周期加熱法を適用して、それぞれ求めた。あわせて、酸化皮膜の熱伝導率は、膜構造を単純なピンフィンでモデル化しても、推算は困難であること、ならびに、シリカゲル膜の熱伝導率は、膜の細孔率と主成分である石英ガラスの熱伝導率を用いて、多孔質材料の有効熱伝導率の一般的な予測式である Luikov モデルにより予測できることを明らかにした。さらに、一体型吸着体の熱抵抗は、粒子充てん型の熱抵抗と比べて、 $1/2 \sim 1/5$ 倍程度と小さく、厚膜化するほど熱抵抗の差は大きくなることを示して、一体型吸着体は優れた伝熱特性を有することを明らかにした。

第4章では、酸化皮膜およびシリカゲル膜一体型吸着体の水蒸気平衡吸着量を測定し、種々の因子の影響を考察するとともに、平衡吸着量の定式化を行った。まず、酸化皮膜を用いて平衡吸着量に及ぼす空気(不凝縮性ガス)の影響はみられないことを確認し、さらに、酸化皮膜では、低相対圧で蒸気分圧の影響がわずかにみられること、一方、シリカゲル膜では、製膜後の期間の経過および吸脱着繰返し回数の増加とともに平衡吸着量は低下すること、そして低下がみられなくなる(安定化)条件は15カ月経過あるいは4回の繰返し回数であることを明らかにした。また、定式化においては、平衡吸着量を相対湿度(相対圧)の関数として表し、特にシリカゲル膜では製膜直後および経過期間別に式を得た。

第5章では、酸化皮膜の一体型吸着体とシリカゲル膜をフィン表面に製膜したクロスフィンチューブ型熱交換器の吸着体について、それぞれ水蒸気吸脱着反応過渡実験を行い、有効拡散係数を算出して、吸着材温度および風速の影響を検討した。その結果、まず、有効拡散係数の温度依存性は Sladek 形式で再現できることを明らかにした。次いで、有効拡散係数の物質伝達抵抗を吸着材内の

拡散抵抗と吸着材外面の濃度境界層の2つの抵抗に分離して検討し、濃度境界層の抵抗は、水蒸気中では無視できること、また、湿り空気中でも、風速がない場合は大きいものの、風速が少しでもあれば影響はみられなくなることを明らかにした。そして、温度依存性と風速の影響を考慮した有効拡散係数の推算式を作成した。

第6章では、シリカゲル製膜クロスフィンチューブ型熱交換器吸着体を対象として、水蒸気吸脱着速度の物理モデルを構築し、数値計算により、吸着式冷凍機に適用した場合の吸着反応器性能特性を予測した。計算では、第3章で測定した比熱と熱伝導率、第4章で定式化した平衡吸着量ならびに第5章の各抵抗値を与え、反応開始後の膜の温度と吸着量の変化を算出して、吸脱着速度を予測した。まず、吸着材内の膜厚方向に生じる熱伝導と物質拡散および吸着材外面濃度境界層の物質伝達と熱伝達を考慮した一次元モデルにより膜厚さの影響を検討し、100 μm 程度で吸脱着速度が極大となることを明らかにした。次いで、膜厚さ 100 μm の吸着反応器を対象に、濃度境界層を含めて膜厚さ方向を集中容量系とした簡易モデルにより、冷凍機として運転した場合の反応器単位体積あたりの冷熱出力量を算出した。その結果、従来のシリカゲル粒子充填型吸着反応器と比較して、製膜直後のシリカゲル膜では21%の出力向上が見込まれ、より平衡吸着量の大きいシリカゲルA型の製膜では3.4倍の大幅な改善が期待できることを明らかにした。さらに、高出力化を目指した設計において重要な流量と温度の最適化、フィンの寸法やピッチの最適化による熱交換器の熱容量の低減、ならびにサイクルタイムの最適化に、本シミュレータが有用であることを示した。

第7章では、本論文の総括を行った。