

## 審査の結果の要旨

氏名 余 丽丽

温度と湿度を同時に制御することは快適な環境をつくり出すために必要である。エアコンを用いて除湿を行う場合、露点まで温度を下げることにより、水蒸気を結露させ水分を取り除く。一方、デシカント材（吸湿材）を用いて除湿を行う場合、適切な材料を選択することにより、露点まで温度を下げることなく水分を取り除くことができる。デシカント除湿器とエアコンを組み合わせたハイブリッド空調システムは、空調システムの高効率化、高性能化を目指す次世代の技術と考えられている。

このようなデシカント除湿器とエアコンを組み合わせたハイブリッド空調システムは、通常、既存の材料、既存の機械要素を組み合わせて経験的に設計する。しかし、ハイブリッド空調システムの効率、性能は材料のガス吸着・移動特性に大きく依存することから、本来は材料レベルからシステムレベルまで、関連する技術を網羅的に考えて設計することが必要である。このような目標に対して、本研究においては、材料レベル、機械要素レベルにおける吸着・移動現象のモデル化、システムレベルにおける効率、性能の評価、運転条件の最適化を行った。本論文は、「**Optimization of the design and operation conditions for air dehumidification systems using solid desiccant materials**（固体デシカント材料を利用した除湿システムの設計と運転条件の最適化）」と題し、全5章から構成されている。

第1章は序論であり、除湿システム、デシカント材料（多孔質材料）、移動現象のモデリングなどを中心に従来の研究を示した上で、本論文の位置づけ及び目的が述べられている。

第2章では、デシカント材料の吸着特性評価とポアネットワークモデルの構築が述べられている。本研究では、デシカント材料として、特に液体クロマトグラフィー用充填剤として優れた吸着特性を有した機能性真球状シリカゲルに着目した。吸着材料のポアネットワークモデルについて、従来の研究は、特殊な拘束条件を用いたり、表面の特異な脱着現象をモデル化したりすることにより、吸着等温線の正確な再現を目的としているものが多い。一方、本研究は、吸着等温線の正確な再現よりも、特殊な拘束条件を用いずに、材料の構造・トポロジカル特性（細孔径分布、細孔長さ、多孔質材料の代表長さ、細孔の接続性）が吸着等温線に与える影響を評価することに重点を置いた。また、構築されたデシカント材料のポアネットワークモデルを基準として、各種パラメータが吸着等温線や

ガス拡散性に与える影響を評価した。本提案手法を用いることにより、適用可能な条件は限定的であるが、ポアネットワークモデルを用いて、デシカント材料の構造・トポロジカル特性、吸着特性、移動特性の関係を評価することが可能になった。

第3章では、水蒸気吸着の速度論について述べられている。デシカント材料の水蒸気吸着の緩和曲線（吸着量－時間曲線）の評価においては、一般にサンプル量の影響を無視できない。緩和曲線を適切に理解するためには、ガス吸着に直接に寄与するマイクロ孔、メソ孔に加え、デシカント粒子内のマクロ孔、さらにはデシカント粒子間の移動など、異なる緩和速度をもつ吸着過程を適切にモデル化する必要がある。また、測定装置の特性についても十分に考慮する必要がある。本論文では、定容法による吸着量測定装置における、サンプル量の影響を考慮した吸着緩和曲線の解析モデルを示した。サンプル量の影響を考慮した吸着緩和曲線のモデル化はデシカント材料の設計のみならず、デシカント材料を敷き詰めた吸着層の設計においても有用である。

第4章では、固体デシカント材料を利用した除湿システムの運転条件の最適化が述べられている。はじめに除湿ユニットを集中定数系でモデル化し、その熱・物質移動特性の計算結果を実験結果、数値計算結果と比較検討し、妥当性を検証した。その後、各種パラメータ（材料特性、機械要素特性、運転条件）が除湿システムの除湿性能とエネルギー効率に与える影響を評価した。さらに、除湿性能とエネルギー効率を目的関数として、運転条件を最適化した。除湿性能とエネルギー効率は一般にトレードオフの関係を示すが、除湿性能を優先した運転、エネルギー効率を優先した運転など、予め目的を定めて、各種運転パラメータの最適化を行った。

第5章では、結論が述べられている。固体デシカント材料を利用した除湿システムの設計においては、異なる時間・空間スケールの熱・物質移動現象を理解し、材料、機械要素、システムを設計しなければならない。本論文では、ポアネットワークモデルを用いて、デシカント材料の構造・トポロジカル特性、吸着特性、移動特性の関係を考察することを可能にした（第2章）。また、サンプル量の影響を考慮した吸着緩和曲線の解析モデルを示した（第3章）。さらに、除湿のモデルシステムについて、材料特性、機械要素特性、運転条件などパラメータが除湿性能とエネルギー効率に与える影響を評価し、運転条件を最適化した（第4章）。また、これらの結論は、異なる時間・空間スケールの熱・物質移動現象の有機的な関係を示しており、今後、材料レベルから除湿システムを設計する際に、有用な知見を与えると考えられる。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。