

## 審査の結果の要旨

氏名 崔 智慧

本論文は「Development of phase change material-inserted adsorbent for the recovery of the heat of adsorption(相変化物質内包吸着材の開発による吸着熱の制御)」と題し、相変化物質(PCM)を吸着材の中に直接内包させるという新規な吸着熱制御の方法を提案、設計、準備、そして評価することによって、より迅速で有効な吸着熱の制御による吸着プロセスの性能向上を目指している。

第1章では、本研究の背景となる吸着熱制御の重要性、PCMを利用した吸着熱制御法、吸着材として用いる多孔質物質の合成法や特性等について紹介している。また、既往のPCMを利用した吸着熱制御法の課題を改善できる新規な方法としてPCM内包吸着が提案されている。PCM内包吸着材はPCMを吸着材に直接内包することによって、吸着熱の発生と吸着熱の除熱を1つのユニット内で完結させる方法である。これによって、より迅速で有効な熱制御が実現可能になるという開発意義、および、究極的には熱制御による吸着性能が向上させたいという目標について述べている。

第2章では、閉じ込められたPCMの融点と融解エンタルピー変化について検討している。細孔径、PCMの官能基、ホスト材料の表面官能基の量がPCMの細孔内容融特性への影響因子として検討された。閉じ込められたPCMの融解エンタルピーは細孔径の増加とともに直線的に増加した。また、PCM分子の官能基と細孔壁表面が弱く相互作用すると、メソ細孔内でより高い融解エンタルピーが得られた。さらに、融解エンタルピーはPCM分子と相互作用する表面官能基の量によっても影響された。これらの検討結果より、高い融解エンタルピーを達成してPCMの潜熱空間として有利な空間となるためには、大きなサイズを有するメソ細孔内にパラフィンなどの弱く相互作用するPCMを選定することが重要であることが示されている。

第3章では、PCM内包吸着材を実現するための具体的なコンセプトの提案、準備、そして評価が行われている。PCM内包吸着材の3つの異なるコンセプトとしてPCM内包SBA-15、PCM内包CNT、およびPCM内包MSSZ-13を提案している。それぞれのPCM内包吸着材が吸着機能と蓄熱機能を合わせ持つ目的通りの材料になっていることを特性評価により明らかにした。それぞれのPCM内

包吸着材の有効性を除湿固定床吸着プロセスのシミュレーションにより評価したところ、提案されたすべての PCM 内包吸着材が最初の数分間において PCM による潜熱蓄熱が達成されていることが示唆された。また、有効性評価によって、吸着等温線の形状に伴う吸着材の温度感受性や、PCM 内包に伴う平衡吸着量の減少具合が PCM の熱制御による吸着性能の向上に大きく影響することを考察している。これらの考察に基づき、三つのコンセプトの中、PCM 内包 SBA-15 において PCM の内包により吸着性能が向上し、有効なコンセプトであることが明らかにされた。

第 4 章では、PCM 内包 SBA-15 をパラメータ解析により最適化している。PCM の融解エンタルピー、PCM の内包量、および入口での流体の温度がキーパラメータとして検討された。固定床除湿吸着プロセスのシミュレーションを用いてパラメータ解析を行った結果、内包された PCM の融解エンタルピーが高いほど、PCM の内包量が多いほど、そして、入口での流体温度が高いほど、吸着性能が向上することが見出された。これより、PCM の蓄熱容量および見かけの吸着速度が PCM 内包吸着量の性能に影響を及ぼすことが示唆されている。これらのパラメータを合わせて、適切なパラメータ値としてモデル化された PCM 内包 SBA-15 は固定床除湿吸着プロセスに適用された場合、最初の数分で 4 倍ほど著しい性能向上を達成している。

第 5 章では、固定床除湿吸着プロセスの実験を通じて PCM 内包吸着材の有効性を実証している。PCM 内包 SBA-15 は、吸着熱発生に伴う固定床内の温度上昇を抑えることが実証された。これは、内包されている PCM が蓄熱材として機能したことを示唆している。また、PCM 内包 SBA-15 の相対吸着量の経時変化より、最初の 8 分間において PCM を内包していない SBA-15 より吸着性能が向上していることが実証された。したがって、PCM 内包 SBA-15 は有効な吸着熱制御方法であるということが実証された。

第 6 章では、各章で示された成果が整理されている。また、PCM 内包吸着材の将来の展望について説明されている。

以上、本博士論文では PCM を使用した吸着熱の制御の新規方法として、PCM 内包吸着材を提案、準備、評価している。PCM 内包吸着材は、蓄熱機能と吸着機能を同時に果たらせるという研究の始発点となり、吸着を用いる各種の化学プロセスにおいて性能向上に繋がる可能性を開いていることから高い価値を有していると認められる。したがって、化学システム工学の発展に大いに貢献するものと認定される。

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。