HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Study on performance improvement of low working temperature phase change material [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	董, 凱欣
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第15173号
Issue Date	2022-09-26
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/87135
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Dong_Kaixin_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (工学)　氏名　董　凱欣

審査担当者　主　査　准教授　能村 貴宏
副　査　教　授　渡辺 精一
副　査　教　授　橋本 直幸

学位論文題名

Study on performance improvement of low working temperature phase change material
(低温作動相変化材料の性能改善に関する研究)

本論文は「低温作動相変化材料の性能改善に関する研究」と題し、産業排熱回収や再生可能エネルギー安定利用、さらにはリチウムイオン電池や電子機器の熱管理技術の高度化に資する潜熱蓄熱技術の実現に向けた技術的課題に対する解決策を呈示することを目的としている。全五章より構成されている。

第一章は序論であり、研究背景及び目的を述べている。本論文では、室温近傍から約 200ºC 以下の熱源を対象とした低温作動相変化物質 (Phase change material:PCM) を用いた潜熱蓄熱技術に着目している。低温域で利用可能な PCM としてパラフィン、糖アルコール類などの有機系 PCM、またはガリウムなどの金属 PCM が有望であることを述べている。有機系 PCM の課題として低熱伝導性が挙げられるが、高熱伝導性フィラーとの PCM コンポジット化により解決可能であることを述べている。より少量のフィラー充填量で高熱伝導化を達成する必要があること、さらには蓄放熱繰返し耐久性が課題となることを指摘している。金属 PCM の課題として溶融時の高い腐食性が挙げられるが、マイクロカプセル PCM(MicroEncapsulated PCM:MEPCM) の開発により、解決可能であることを述べている。一方、室温近傍で作動する金属 PCM であるガリウムの MEPCM 化に関する報告例は無いことに言及している。そこで本論文では、コンポジット化と MEPCM 化の二つの観点から低温作動 PCM の性能改善を達成することを目的としている。

第二章では、糖アルコール系 PCM であるエリスリトール (融点:118 度) を対象としている。高熱伝導性フィラー兼 PCM 担持体としての炭素繊維シートを新たに提案し、PCM コンポジットの開発を検討している。コンポジット化する方法として、真空含浸法を採用し、シート中の空間をエリスリトールでほぼ完全充填させることに成功している。作製した PCM コンポジットの有効熱伝導率は、シートの占有体積が約 14.8 パーセントの時エリスリトールの熱伝導率の約 30 倍以上となり、飛躍的な向上を達成している。また、この値は既往のコンポジットよりもはるかに高く、本研究の優位性が明らかとなっている。溶融凝固試験の結果、作製した PCM コンポジットは溶融凝固 100 回後も PCM の漏出はなく、初期のコンポジット試料の熱伝導率に対して約 90 パーセントの熱伝導率を維持している。PCM コンポジットの高耐久性の理由として、炭素繊維シート、溶融 PCM 間の毛管力による PCM の担持およびバインダーによる炭素繊維シートの形状維持効果により、溶融時も炭素繊維が流動せず初期の形状を維持できたことを指摘している。本研究で開発した PCM コンポジットは、高速の入力と出力が想定される低温産業排熱利用用途や再生可能エネルギー有効利用技術などへの適用が期待される。

第三章では、有機系 PCM として最も一般的である一方低熱伝導性の課題のあるパラフィンを対象として、第二章と同様に高熱伝導性フィラー兼 PCM 担持体としての炭素繊維シートの利用を提案している。作製した PCM コンポジットの有効熱伝導率は炭素繊維シートの占有体積が約 17 パーセントの時パラフィンの熱伝導率の 45 倍以上の値を示し、飛躍的な向上に成功している。溶融凝固試験の結果、作製した PCM コンポジットは溶融凝固 200 回後も初期のコンポジット試料の熱伝導率に対して約 80 パーセントの熱伝導率を維持している。本研究で開発した PCM コンポジットは、電子機器の冷却、温度保持などへの適用が期待される。

第四章では、低温作動可能な金属 PCM であるガリウム (融点:29.5 度) を対象として、その MEPCM 化を検

討している。薄膜旋回ミキサーによるバルク状ガリウムのマイクロ粒子化、水熱処理、酸化・熱処理の三工程を用いたガリウム系 MEPCM の作製方法を提案している。特に、水熱処理時の pH が MEPCM のシェル膜厚、潜熱、および耐久性に及ぼす影響を調査している。検討の結果、ガリウムをコアとして酸化ガリウムをシェルとする MEPCM の作製に成功している。一方、pH によってその性状は異なり、水熱処理時の pH を 9 として作製した MEPCM はシェルが最も厚くかつシェルを構成する結晶のサイズが小さくなり、繰返し蓄放熱耐久性の確保に有利な構造であることに言及している。融解凝固試験の結果、この条件で作製した MEPCM は 200 回の繰返し試験もシェルの破損や PCM の漏出がなく、高い耐久性を示している。ガリウム系 MEPCM は、電子機器の冷却、熱管理などへの適用が期待される。

第五章は終章であり、本論文で検討した低温作動相変化材料の性能改善に関する研究が、低温産業排熱の有効利用や、再生可能エネルギーの安定利用およびリチウムイオン電池や電子機器の熱管理の高度化に資するとしている。

これを要するに、本研究は低温作動相変化材料を用いた熱回収技術および熱管理技術の確立に向けて、コンポジットや MEPCM 等の新たな材料の開発、性能向上の可能性を示した。その結果、材料科学を基盤として蓄熱工学の発展に貢献した。よって著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。