



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Study on high-temperature latent heat storage using Al-Si alloy [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	坂井, 浩紀
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第14867号
Issue Date	2022-03-24
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/85232">https://hdl.handle.net/2115/85232</a>
Rights(URL)	<a href="https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</a>
Type	doctoral thesis
File Information	Hiroki_Sakai_review.pdf, 審査の要旨



## 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 坂井 浩紀

審査担当者 主査 准教授 能村 貴宏  
副査 教授 大野 宗一  
副査 教授 林 重成  
副査 教授 渡辺 精一

### 学位論文題名

#### Study on high-temperature latent heat storage using Al-Si alloy

(Al-Si 合金を用いた高温潜熱蓄熱に関する研究)

本論文は、「Al-Si 合金を用いた高温潜熱蓄熱に関する研究」と題し、産業排熱回収や再生可能エネルギー安定利用に資する Al-Si 合金を用いた高温潜熱蓄熱システムの実現に向けた材料開発、プロセス開発における技術的課題に対する解決策を提示することを目的としている。全六章より構成されている。

第一章は序論であり、本研究の背景及び目的を述べている。蓄熱技術は、蓄エネルギー技術や、産業排熱回収技術として注目されていることを述べている。本論文では、高蓄熱密度、熱源の恒温化、熱の入出力のみで繰り返し使用可能である相変化物質 (Phase change material: PCM) を用いた潜熱蓄熱技術に着目している。様々な PCM 候補が報告されているが、高温域で利用可能な Al-Si 合金を PCM として用いた高温潜熱蓄熱技術が有望であることを述べている。この高温潜熱蓄熱技術の課題として、PCM の蓄熱槽構成材料に対する高い腐食性が挙げられるが、相変化マイクロカプセル (MEPCM: Micro Encapsulated PCM) の開発、利用により解決可能であることを述べている。一方、MEPCM を利用した蓄熱システムの設計には、MEPCM から構成される蓄熱体の開発や過冷却特性の理解と抑制が課題となることを指摘している。そこで本論文では、Al-Si 合金を用いた高温潜熱蓄熱の技術基盤確立を目的としている。

第二章では、MEPCM 蓄熱体の設計について述べている。MEPCM はセラミックス粒子同様に、MEPCM を原料としてペレット、球体、ハニカムやリングなど様々な形状の蓄熱体を成型できることを着想し、MEPCM と無機バインダーを混合し、成型、焼成することで、MEPCM をメインコンポーネントとした MEPCM 蓄熱体を開発している。この蓄熱体は MEPCM の融点を超える高温の焼成でも PCM の漏出なく焼成前の形状を保持し、300 回以上の高い蓄放熱繰り返し耐久性、120 J/g 以上の潜熱量持ち、固体顕熱蓄熱体よりも高性能な高温用蓄熱体としての利用が期待できることを示している。

第三章では、MEPCM 蓄熱体の触媒担体としての利用およびその反応熱制御効果について述べている。触媒充填層に適した MEPCM 蓄熱体を作製し、Ni 触媒を含浸法にて担持することで潜熱蓄放熱機能を備えた触媒を作製し、エタノールの水蒸気改質反応に対する触媒の性能と熱制御効果について検討している。Ni を担持した蓄熱体により、反応に必要な熱供給が停止された場合においても MEPCM に蓄熱された潜熱の放熱によって触媒層温度の低下、それに伴う反応転化率の低下を抑制できることが示されている。MEPCM による制御方式はパッシブな手法であるため、既往の

制御法とも技術的親和性がある新たな熱制御法としての利用が期待できることを示している。

第四章では、Al-Si 合金系 MEPCM において、含有する Si 濃度に起因する初晶の種類や有無、MEPCM のサイズ、および過熱度が、過冷却に与える影響について検討している。過冷却現象は MEPCM の利用において、放熱開始温度の低温化や蓄放熱温度の不一致を意味するため、精密な温度制御が求められる用途において大きな課題となることに言及している。種々の検討の結果、Al-Si 二元系 MEPCM においては、含有する Si 濃度が過冷却度に与える影響が最も大きく、Al 初晶の析出が認められる亜共晶組成では共晶反応に対する過冷却はほぼ観察されない一方、共晶、過共晶組成ではおおむね 30 度前後の過冷却が観察されている。また、MEPCM のサイズが過冷却度におよぼす影響は本実験条件下では大きくないことを示している。さらに、いずれの Si 濃度においても過熱度の増加は過冷却度の増大を引き起こし、特に 1000 度までの加熱により、亜共晶組成であっても過冷却度が著しく増大することが示されている。これらの知見は MEPCM の組成設計と推奨作動温度域に関する具体的な指針を示している。

第五章では、乾式の高速気流中衝撃処理法を用いた MEPCM 内部への不純物元素の添加による過冷却抑制効果を検討している。高速気流中衝撃処理法により MEPCM の原料 Al-Si 合金に  $TiO_2$  を打ち込み、マイクロカプセル化行程で MEPCM コア成分の Al にて  $TiO_2$  を還元することで、バルク Al-Si 合金において過冷却抑制効果が報告されている Ti を MEPCM 内部へ添加させることを試行している。その結果、MEPCM 内部では Ti は Si との化合物として存在しているが、凝固ピークは高温側に大きくシフトし MEPCM に対する過冷却の抑制効果が示されている。

第六章は終章であり、MEPCM を基盤とした蓄熱体開発や熱制御法の提案、および MEPCM の過冷却現象の解明とその抑制法の提案が、産業排熱利用や再生可能エネルギーの利用促進に資するとしている。

以上をまとめると、本研究は Al-Si 合金を用いた高温潜熱蓄熱技術の確立に向けて、新たな蓄熱体の開発、新規プロセス実現の可能性を示すと共に、作動原理の解明に必須の過冷却現象の抑制手法を示しており、材料科学を起点とした蓄熱工学に貢献するところ大なるものがある。よって、北海道大学博士(工学)の学位を授与するに値するものと認める。