

## 論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 13598 号
------	---------------

氏名 市瀬 篤博

### 論文題目

化学蓄熱装置の蓄放熱促進に関する研究

(Study on augmentation of heat charge and discharge in chemical  
heat storage)

### 論文審査担当者

主査	名古屋大学	准教授	小林 敬幸
委員	名古屋大学	教授	永岡 勝俊
委員	名古屋大学	教授	川尻 喜章
委員	名古屋大学	教授	加藤 丈佳

## 論文審査の結果の要旨

市瀬篤博君提出の論文「化学蓄熱装置の蓄放熱促進に関する研究」は、持続可能な社会を構築するための課題として、未利用排熱の有効利用への対策として期待でき、熱エネルギーを高密度かつ長期的に蓄えられる化学蓄熱に着目した。その実用化のために、排熱として最も多量に放出される200°C以下の熱を蓄えられ、安価で環境親和性の高いCaCl<sub>2</sub>の水和反応系を選定し、その装置設計と操作手法の構築について関して学術と技術の両面から検討し、取り纏められたものである。

序章では、本研究の背景を述べるとともに研究目的を記した。

第1章では、200°C以下の熱を蓄えられる化学蓄熱材として選定したCaCl<sub>2</sub>について、蓄放熱操作時に想定される反応温度と圧力条件下での水和・脱水反応速度を圧力法により精密に評価した。水蒸気圧力と反応温度の関係で表される反応平衡線付近の条件で水和・脱水反応速度が低下するものの、想定される蓄放熱操作条件下の水和反応では、反応率が0.9に到達するのに要する時間は180秒以内であり、後述する充填層を有する蓄熱器の放熱速度に対して十分に速いことを示した。脱水開始直後には誘導期間が見られ、その期間での反応速度は比較的遅く、一定期間後に脱水速度が加速度的に増加した。脱水反応平衡線付近では誘導期間が顕著に長く、誘導期間内の脱水反応速度は、誘導期間後の脱水反応速度より極めて遅くなった。また、脱水反応速度を速度式を用いて解析的に評価した。凝縮器温度が低い程、相界面反応の活性化エネルギーが表面反応のそれと比べ、顕著に低下していた。誘導期間中のみ低圧条件下にすることで核形成を止め、脱水時間の短縮が可能であると考えた。材料と凝縮器の平衡蒸気圧の差が僅か1kPa以下の条件下において、脱水反応速度の向上には脱水反応開始直後の一定期間、低圧条件で操作することにより、誘導期間を顕著に短縮し、高い蓄熱速度を発現させることを見出した。

第2章では、CaCl<sub>2</sub>水和系化学蓄熱を対象として、アルミ製コルゲートフィン型熱交換器とSiCハニカム構造を有する熱交換器を用いた放熱性能の評価および、蓄熱装置の放熱性能予測可能なシミュレーションモデルを構築した。シミュレーションモデルの構築にあたり、CaCl<sub>2</sub>の水和反応、熱交換器内の物質移動、熱移動の各現象をそれぞれ個別の実験系で評価し、それに基づいて各現象を表現する基礎式の速度パラメータを決定した。さらに、シミュレーション時間の短縮のために三次元を合理的に二次元で表現可能なシミュレーションモデルの構築手法を提案した。実験的検討結果から、本装置の放熱性能への影響として、単粒子の水和反応速度は十分に速く、充填層の物質移動または熱移動が律速であることが明らかとなった。次に放熱性能を予測可能な三次元シミュレーションモデルの構築を行い、SiCハニカム構造を有する熱交換器およびAl製コルゲートフィン型熱交換器による放熱過程を表現した結果、実験値と良好な一致を示したことから、計算精度を維持しつつシミュレーション時間を大幅に短縮可能な、熱交換器の放熱性能の予測可能な二次元のシミュレーションモデルを提案した。円筒状ハニカム構造内の熱移動を表現するために、推算した径方向および軸方向の有効熱伝導度の値をシミュレーションモデルに用いた。計算対象のメッシュ数が少ない二次元のシミュレーションモデルを構築することで、計算時間が三次元モデルと比べ9分の1以下に短縮した。また、実験結果と二次元シミュレーションモデルの結果は良好な一致を示した。このシミュレーションモデルを用いて、パフォーマンスを引き出すための反応器設計をすることが可能となった。

第3章では、第2章で構築したSiCハニカム構造を有する熱交換器のシミュレーションモデルに伝熱促進体の構造や充填層の熱伝導度等の様々なパラメータを割り当て、計算を繰り返すことで、ボトルネックを抽出し熱出力の向上が可能な反応器を設計する手法を構築した。伝熱性の向上や、物質移動の促進により熱出力の増加をシミュレーション上で確認した。その中でも本熱交換器で優先的に改善する必要があるボトルネックは熱交換流体側の伝熱抵抗であり、次点はハニカム構造の径方向の伝熱抵抗であることを示した。そこで、以上の伝熱抵抗を下げるとの可能なSiCハニカム構造内に流体流路を設けた構造を提案した。シミュレーションにより、実用化の目安とされている2000W/L-reactorを実現するための設計条件を見出した。

終章では、本研究で得られた成果および知見をまとめ、今後の展望が記されている。

以上のように本論文では、熱エネルギーを高密度かつ長期的に蓄えられる化学蓄熱に着目し、その実用化のために、排熱として最も多量に放出される200°C以下の熱を蓄えられるCaCl<sub>2</sub>の水和反応系で動作する蓄熱装置の設計と操作手法の構築について関して学術と技術の両面から解決を図り、その有効性と当該技術の成立可能性を示した。これらの成果は、エネルギー利用効率の向上と低炭素社会の構築に資するものであり、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者である市瀬篤博君は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格があると判断した。