

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 13300 号
------	---------------

氏 名 志連 陽平

論 文 題 目

硫酸カルシウムの水和反応を用いたケミカルヒートポンプの実用化に向けた研究

(Study for practical application of chemical heat pump using hydration reaction of calcium sulfate)

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	川尻 喜章
委員	名古屋大学	教授	則永 行庸
委員	名古屋大学	准教授	義家 亮

論文審査の結果の要旨

志連陽平君提出の学位論文「硫酸カルシウムの水和反応を用いたケミカルヒートポンプの実用化に向けた研究」は、150℃未満の排熱を昇温し回生可能なケミカルヒートポンプに着目し、反応系にCaSO₄の水和反応を適用する当該ヒートポンプの実用化に向けた課題を解決すべく、反応材CaSO₄の耐久性向上、および反応器の熱入出力の高密度化に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、ケミカルヒートポンプの運転時におけるCaSO₄の水和脱水繰り返し反応における耐久性向上を目的とし、添加物によるCaSO₄の改質を検討した。CaSO₄の水和反応不活性化はIII-CaSO₄がより安定な結晶構造であるII-CaSO₄に相変化によるものであることに着目し、硫酸化合物を添加剤として結晶構造の安定性を変化させることでII型化転移進行を抑制可能という仮説を立て、添加剤のスクリーニングおよび水和脱水サイクル試験での耐久性向上を検証した。その結果、MgSO₄に顕著なII型化抑制効果が見られ、水和脱水サイクル実験においても、未劣化材料の水和反応熱量に対し80%以上の熱出力を維持できる水和脱水反応の繰り返し回数は、未改質CaSO₄に比べ約3.6倍となり、耐久性が向上することを確認した。さらに、石膏の硬化遅延剤であるMg(CH₃COO)₂を混合追加混合した試料を作製し、水和脱水サイクル試験における耐久性向上を検討ところ、水和脱水サイクル試験における耐久回数は、未改質CaSO₄に比べ、約6.7倍に向上した。

第2章では、反応器の熱入出力密度を向上させるため、従来の粒子状化学蓄熱材を熱交換器に充填する構造から、ブロック状の化学蓄熱材を熱交換器に担持させる構造とともに、水蒸気拡散を促進する水蒸気流入スリットを導入する新規構造を有するモジュールを試作し、熱入出力密度を評価した。入力熱媒温度433K、403Kにおける実験の結果、放熱、蓄熱動作が可能で、CaSO₄系ケミカルヒートポンプで昇温運転が実現できることを示した。また、蓄放熱入力熱媒温度差10 Kにおいて、昇温運転での最大COP 0.57を確認した。また、水蒸気流入スリットの導入により、蓄熱、放熱出力密度はそれぞれ最大で3.3、2.5倍に向上した。さらに、実験結果を用いて、運転条件に対する排熱COP、1時間当たりの熱出力密度を計算することにより、効率的運転条件の指針を得た。

第3章では、改質したCaSO₄を用いた昇温式ケミカルヒートポンプの熱交換器の最適化設計に向け、高精度な実験再現シミュレータの開発を試みた。化学蓄熱材の水和平衡ヒステリシスを考慮することにより、高い精度で実験結果を再現することが可能であることを示した。また、反応進行の可視化により、本実験で用いた反応器では水蒸気の拡散速度の影響が大きく、拡散距離を短縮する構造において熱出力密度が向上することを数値解析により確認した。

第4章では、実排熱系への導入効果の試算を行うための実験方法、データ整理、計算手法を検討した。熱出力温度と熱入出力密度の流量依存性等の実験結果をまとめ、これをもとに、廃熱源の規模、廃熱温度、回生出力温度、出力規模等を考慮した導入効果の試算を行う合理的な手法を提案した。具体的な算出例では、ケミカルヒートポンプ導入により、20.9kWの回生熱が得られ、1日24時間、年間300日稼働の場合、年間で814,500円のコスト削減が可能であると見込まれた。

終章では、本論文の結論を与えるとともに、今後の展望が記されている。

以上のように本論文では、150℃未満の排熱を昇温し回生可能なケミカルヒートポンプに着目し、反応系にCaSO₄の水和反応を適用する当該ヒートポンプの実用化を図るために重要な課題である、反応材CaSO₄の耐久性向上および反応器の熱入出力の高密度化に関して、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志連陽平君は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格があると判断した。