

日本伝熱学会特定推進研究課題報告書
Report of Specific Promotion Researches in Heat Transfer Society of Japan

特定推進研究企画委員会

鹿園 直毅 (委員長・東京大学)

加藤 之貴 (東京工業大学)

Specific Promotion Research Planning Committee

Naoki SHIKAZONO (Chairperson, The Univ. of Tokyo)

Yukitaka KATO (Tokyo Inst. Tech)

1. はじめに

特定推進研究企画委員会は 2012 年に日本伝熱学会に設置され、我が国の抱える科学技術的課題への対応や今後の発展に寄与すると考えられる研究開発課題を選定し、課題ごとに研究グループを設置して検討を進めていただいています。現在までに特定推進研究課題として 11 件の課題が選定されています。このたび「熱エネルギーシステムのための化学蓄熱の高出力密度化」(主査:加藤之貴(東京工業大学))の課題につきまして最終報告が提出されました。報告書作成に向けて 3 年あまりにわたってご尽力いただきました委員各位に心より敬意を表します。以下にこの課題のエグゼクティブサマリーを記載し、会員の皆様に検討結果の概要をご紹介します。

なお、過去に終了した課題

(<http://www.htsj.or.jp/announcement/1010.html>)

も含め、報告書の詳細につきましては、それぞれの主査までお問い合わせください。

2. 「熱エネルギーシステムのための化学蓄熱の高出力密度化」
HTSJ-FY2018-08

主査 加藤 之貴 (東京工業大学)
副主査 藤岡 恵子 (ファンクショナル・フルイッド)
幹事 窪田 光宏 (名古屋大学)
kato.y.ac@m.titech.ac.jp

本研究は熱エネルギー有効利用のための、実装可能な高出力密度を有した化学蓄熱技術の検討を目的とした。現在、日本は最終エネルギー消費 (13.5

EJ)の中で電力割合は 26%であり残りは化石燃料を用いた熱プロセスなどで消費されている(エネルギー白書, 2019)。日本が真に 2030 年に二酸化炭素(CO₂)排出削減目標 26%, 2050 年同 80%の低炭素化を目指すとするれば、熱の有効利用を避けての目標の達成は困難であろう。熱利用技術の進化によって、利用可能な排熱量を増やすことが日本の CO₂ 排出削減の一選択肢と考えられる。熱利用においては熱源側と需要側の時空間の不一致を接続するために蓄熱機能が必要である。本提案はこの蓄熱の強化に注目した。

化学蓄熱は熱利用の時間的ミスマッチを解決する蓄熱機能、質的ミスマッチを解決するヒートポンプ機能を有しており、他の蓄熱材料より高密度の蓄熱が可能で、次世代の熱利用技術として期待できる。化学蓄熱は気固反応が有力であり、その出力は吸着/化学反応速度が理論上の性能限界となる。しかし、実システムでは、熱の授受のために反応粒子が熱交換器に充填、塗布されて反応器が構成されるため、その出力性能は複合的な熱・物質同時輸送現象の総括速度として決定される。また、気固反応では反応の進行に伴い固体粒子の密度、熱伝導率などの熱物性値や反応気体の透過係数などの非定常変化を伴う。以上のように、化学蓄熱は非常に複雑な熱・物質輸送同時現象を伴い、ナノメートルからメートルまでの整合性ある気固熱・物質輸送の現象理解と促進が必要である。

蓄熱対象としては低温熱 (50~100 °C) 程度が量的に、中温熱 (100~300 °C) が質的に重要である。また、利用においては例えば移動体向けであれば熱出力密度 1 kW/L、蓄熱密度 1 MJ/L 程度が目安である。特に起動時など極めて短時間に放熱を行うサーマルキャパシターとして、出力密度 2 kW/L の達成

は化学蓄熱の社会実装に重要な目標と考えられる。そこで、本研究では利用側が求める高い出力密度実現のための、要素技術のボトルネックの抽出と解決方法を検討した。このため本研究では熱エネルギーシステムの熱需要を把握し、これに応じた化学蓄熱技術の設計要件を定量的に検討し、技術の律速段階を明らかにした。そして課題解決のための要素技術の開発とシステム最適化によって高出力密度化への道程を示すこととした。

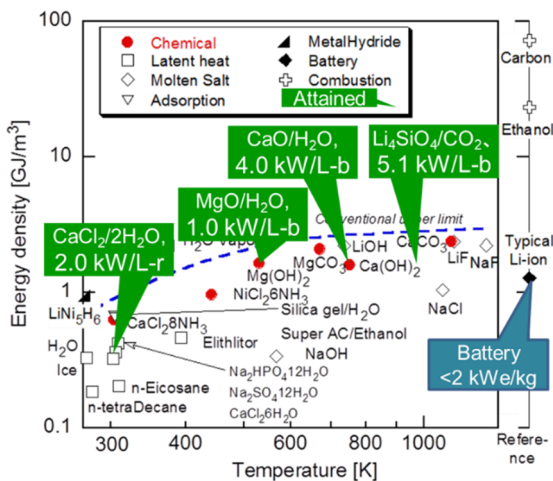


Fig. 1 横軸蓄熱操作温度，縦軸体積蓄熱密度で示した各蓄熱方法の蓄熱密度分布を示し、吹き出しで、各蓄熱材料について、本研究において達成された体積熱出力密度の最大値(kW/L-bは単位材料充填層あたり，kW/L-r 単位反応器あたり)を示す。

研究成果の概要を Fig. 1 に示す。本図は横軸に蓄熱操作温度 [K]，縦軸に体積蓄熱密度 [GJ/m³] で示した各蓄熱方法の蓄熱密度分布を示し、吹き出しで、各蓄熱材料について、本研究において達成された体積熱出力密度の最大値 (kW/L-b は単位材料充填層あたり，kW/L-r は単位反応器あたり) を示す。吹き出しの先端が実際の測定に基づくおよその代表的な出力温度と蓄熱密度を示す。蓄熱材料は他材料と複合化されているため、蓄熱密度は純蓄熱材料の値より小さい。従来の 1 kW/L に対して材料また装置の高熱伝導度化により 5 kW/L-b 程度まで数倍に向上できる見通しを示した。

本研究より、熱出力密度 [kW/L]は伝熱条件、反応操作条件(温度、圧力)に依存し、充填層反応器あたりの熱出力密度 2 kW/L-r は伝熱設計によって達成可能である。接触熱抵抗 $1/h$ の低減、材料の熱伝導度 λ の向上は技術的に可能である。一方で、さらなる反応速度定数 k 、反応層内物質拡散係数 D の向上が必要である。特に、蓄熱材料のペレット化、複合化、固定化により、充填密度、接触熱抵抗、材料の熱伝導度、拡散係数の向上が可能であり、従来 1 kW/L-b 未満であった性能が数倍オーダーで向上できることが示された。今後は、反応器の伝熱面、反応層を一体化した熱交換パッケージ技術を統合したシステムの最適設計が重要であると判断された。

なお、日本伝熱学会に研究会「蓄熱技術社会実装研究会 (2019-20FY)」が後継として設置された。引き続きの課題への対応、大型予算獲得による研究加速、化学蓄熱の低炭素化への貢献を目指すことが期待される。