

未来社会創造事業（探索加速型）
「地球規模課題である低炭素社会の実現」領域
年次報告書（探索研究）

令和 3 年度採択研究開発代表者

[研究開発代表者名:加藤 之貴]

[東京科学大学 総合研究院 ゼロカーボンエネルギー研究所・教授]

[研究開発課題名:P2H2P 向けケミカルヒートポンプ]

実施期間：令和 6 年 4 月 1 日～令和 7 年 3 月 31 日

§1. 研究開発実施体制

(1)「加藤」グループ(国立大学法人東京科学大学)

- ① 研究開発代表者:加藤 之貴 (東京科学大学 総合研究院 ゼロカーボンエネルギー研究所、教授)
- ② 研究項目
 - ・酸化カルシウム(CaO)/水系ケミカルヒートポンプ(CHP)向け SiC/CaO 複合蓄熱ブロックの開発
 - ・開発材料ブロックの化学蓄熱充填層反応器を用いたケミカルヒートポンプ性能実証(反応性能、熱出力、ヒートポンプ昇温温度を測定)
 - ・ブロック、充填層について数値計算モデルを構築と開発 CHP の P2H2P に応用した際の低炭素化価値の定量化

(2)「藤井」グループ(国立大学法人東京大学)

- ① 主たる共同研究者:藤井 祥万 (東京大学 未来ビジョン研究センター、特任准教授)
- ② 研究項目
 - ・CHP を用いた P2H2P システムの技術経済性分析及びライフサイクルアセスメント

§2. 研究開発成果の概要

再生可能エネルギーの大規模貯蔵を目的としたケミカルヒートポンプを開発するために、酸化カルシウムと SiC フォームを用いた複合材料を開発した。単体 CaO は繰り返し反応中に凝集塊を形成することが知られており、本研究では凝集性を抑制するためにナノメートルオーダーの SiO₂ 表面処理を行った CaO 材料を開発した。SiC フォームを用いた複合材料の最適化検討では、充填層型化学蓄熱実験装置を用いて複合材料の熱出力パワー密度を最大化するフォーム気孔率を見出した。さらに複合材料の数値モデルを精緻化し、フォーム気孔率の熱出力パワー密度に与える影響を調べ、実験結果を良く再現できた。SiC/CaO 蓄熱ブロックを 10 個充填し、熱媒に熔融塩を用いた間接熱交換式固定層反応器を用いてケミカルヒートポンプ運転を行い、500 °C で蓄熱し約 600 °C に昇温し熱出力するケミカルヒートポンプ性能を実証した。この昇温性能は他に例が無く世界初の成果と判断された。間接熱交換式化学蓄熱反応器の有限要素法に基づく数値モデルを開発し、熱出力実験において観察された水和反応中の充填層内の温度・反応転化率を再現できた。さらに水和反応中の局所エントロピー生成を数値計算により算出し、熱出力時のケミカルヒートポンプ内のエクセルギー損失を算出した。これらの研究成果は申請者の知る限りにおいてこれまで報告がなく、学術的な独自性・新規性を有するものと考えられる。さらに開発したケミカルヒートポンプの不可逆損出を考慮した P2H2P システムのエクセルギー解析を行い、競合技術である水素蓄エネ・電池とエクセルギー効率を比較した。また、P2H2P のコスト評価のために、価格追従モデルを用いた年間運転シミュレーションモデルを開発、シミュレーションに基づいて蒸気タービン、タンク、熱交換器といった設備投資、年間での買電量や補機動力などの運用コスト、売電量を見積もり、蓄熱コストを推定した。エクセルギー効率、コスト、安全性、国産性に関する検討結果からケミカルヒートポンプを用いた P2H2P の大規模蓄エネ技術としての他の蓄エネ技術との棲み分けを定量的に明らかにした。

【代表的な原著論文情報】

- [1] Kyosuke Mochizuki, Shigehiko Funayama, Massimiliano Zamengo, Hiroki Takasu, Yukitaka Kato, “Power-density enhancement of composite materials using open-cell foams for thermochemical energy storage”, *Progress in Nuclear Science and Technology*, **7** (2025), 286–292. doi: 10.15669/pnst.7.286
- [2] Shigehiko Funayama, Massimiliano Zamengo, Kai Risthaus, Kyosuke Mochizuki, Takahiro Furuya, Andrea Hanke, Alexander Wimmer, Inga Bürger, Marc Linder, Matthias Schmidt, Hiroki Takasu, Yukitaka Kato, “Maximization of thermal discharge power density of composite foam for thermochemical energy storage using calcium hydroxide and silicon-impregnated silicon carbide”, *Applied Thermal Engineering*, **274** (2025), 126575. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2025.126575