

戦略的イノベーション創造プログラム  
(SIP)  
2019年度  
研究開発成果等報告書

課題名：脱炭素社会実現のためのエネルギーシステム

研究開発項目：C - 安価な酸素製造技術の開発

研究開発テーマ：高速酸素吸脱着材料による革新的排熱  
利用酸素製造装置の開発

研究期間：2019年4月1日 ~ 2020年3月31日

研究 責任者	氏名	本橋 輝樹
	所属機関	学校法人 神奈川大学
	部署	工学部物質生命化学科
	役職	教授

## 研究開発成果等の概要

各種産業セクターにおける多量の酸素ガスのニーズに対し、酸素吸脱着材料を用いた革新的オンサイト型酸素製造技術が注目を集めている。これまでに申請者の研究グループは、コバルト系酸素吸脱着材料  $\text{YBaCo}_4\text{O}_{7+\delta}$  (以後 YBCO と記す) を独自開発し、この材料を用いた酸素製造プロセスが従来技術と比較して酸素製造エネルギーコストに優れることを立証した。本研究では、大規模実用化を想定して原料コストが安価なマンガン・鉄系酸素吸脱着材料に着目し、低コストと性能を両立した新規材料を開発する。さらに、対象材料のスケールアップ製造法、使用材料に最適化した圧力変動吸脱着 (PSA) プロセス、酸素製造に要する熱源としての排熱回収技術の開発を実施する。これらの新規技術に基づき、テストモジュール設計・製造、パイロット運転を行い、現行法比で大幅なエネルギー消費量低減を見込める排熱利用酸素製造装置の開発を最終目的としていた。

本テーマは我が国として極めて重要なシステム技術開発と位置付けられていたが、ガバナングボードの方針変更により、2019 年度をもって SIP からの離脱が決定された。2019 年度が最終年度となるが、今後、単独省庁での技術開発システムへの移行に努力するとの決断がなされた。よって本年度は、将来プロジェクト化を視野に入れ、現候補材料 YBCO、次期候補の Co レス材料 ( $\text{Ca}_2\text{AlMnO}_{5+\delta}$  (CAMO)、 $\text{YMnO}_{3+\delta}$  (YMO) など) における酸素吸脱着特性の向上を図り、排熱利用酸素製造装置への実装を検討した。本年度の研究により、以下に示す成果が得られた。

### 個別テーマ 1：高速酸素吸脱着材料の開発 (神奈川大・京都大・JFCC・東北大・三菱ケミカル)

現候補材料の YBCO の機能向上を図りつつ、将来を見据えて Co レス材料の開発に重点を置き研究を推進した。これと並行して、酸素吸脱着反応の速度論解析・電子顕微鏡観察・第一原理計算を実施し、動作温度の制御ならびに反応速度向上の指針確立を図った。また、将来のベンチスケール装置のためのスケールアップを見据えて、YBCO と Co レス材料のスケールアップ合成およびその性能評価を行った。

- ・ CAMO における動作温度の低温化 (神奈川大)
- ・ Fe 系新規材料の開発 (神奈川大)
- ・ 元素置換型複合酸化物の開発 (京都大)
- ・ YMO における酸素吸脱着速度の向上 (東北大)
- ・ YBCO 合成プロセスにおけるメカノケミカル処理による酸素吸蔵機能の向上 (東北大)
- ・ CAMO の酸素吸脱着における反応律速の特定 (神奈川大)
- ・ YBCO 粒内における積層欠陥構造の STEM 観察 (JFCC)
- ・ CAMO の酸素放出挙動のその場 TEM 観察 (JFCC)
- ・ 第一原理計算を用いた CAMO における粒内酸化物イオン拡散機構の解明 (JFCC)
- ・ ベンチテスト用造粒体の 25 kg バッチ合成 (三菱ケミカル)
- ・ CAMO の合成法変更に基づく 0.2 kg スケール合成 (三菱ケミカル)

### 個別テーマ 2：PSA 酸素製造プロセスの開発 (太陽日酸)

吸脱着特性基礎評価やラボスケールの PSA プロセス試験装置を使用した酸素発生量の定量評価を実施し、各種試作サンプルの酸素吸脱着特性把握を行った。

- ・ YBCO：基礎評価において、酸素の平衡吸着量は維持しつつ、サンプル強度の向上や吸着速度が改善されていることがわかった。また、プロセス試験においても PSA 性能が向上していることを確認した。
- ・ CAMO：組成の最適化により動作温度が低温化するとともに、酸素吸着速度も改善されていることを確認した。

### 個別テーマ 3：製鉄所排熱回収技術の開発 (JFE スチール)

原料空気温度を高速酸素吸脱着材料 YBCO の作動温度 340 °C まで加熱し、且つ温度変動を最小限まで抑止可能なプロセス設計を行うため、製鉄所排ガス発生挙動の詳細調査、製鉄所排ガスと原料空気との熱交換プロセスの設計 (熱交換器の調査、選定等) 温度一定制御プロセス設計 (制御ロジックの調査と選定等) 全体系のシミュレーション計算を行い、原料空気

を  $340\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  で供給できることを見出した。