

国際科学技術共同研究推進事業  
地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)

研究領域「低炭素社会の実現とエネルギーの高効率利用に関する研究」

研究課題名「脱炭素社会に向けた炭酸塩化を利用した

カーボンリサイクルシステムの開発」

採択年度：令和2年（2020年）度/研究期間：5年/

相手国名：南アフリカ共和国

令和3（2021）年度実施報告書

国際共同研究期間<sup>\*1</sup>

2022年1月27日から2027年1月26日まで

JST側研究期間<sup>\*2</sup>

2020年8月1日から2026年3月31日まで

(正式契約移行日 2021年11月1日)

\*1 R/Dに基づいた協力期間（JICA ナレッジサイト等参照）

\*2 開始日=暫定契約開始日、終了日=JSTとの正式契約に定めた年度末

研究代表者：飯塚 淳

東北大学多元物質科学研究所・准教授

# I. 国際共同研究の内容 (公開)

## 1. 当初の研究計画に対する進捗状況

### (1) 研究の主なスケジュール

研究題目・活動	2020年度 (8ヶ月)	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度 (12ヶ月)
<b>1. 廃コンクリート等の直接炭酸化 (MCC&amp;U1) 技術開発</b> 1-1 廃コンクリート発生場所の調査と収集・運搬方法に関する検討 1-2 廃コンクリートの物理化学的性状の分析 1-3 炭酸化条件の影響の把握 1-4 副産物の再利用先の確立 1-5 全体の炭酸塩化反応の理論的な解析 1-6 GHG削減量の試算とLCA評価 1-7 評価と技術展開・ビジネスプランに向けた課題抽出						社会実装に向けた検討 (4-1) へ
<b>2. コンクリートスラッジ等の間接炭酸塩化技術 (MCC&amp;U2) のパイロットプラントの運転</b> 2-1 コンクリートスラッジの収集システムの確立とLCA評価 2-2 パイロットプラントの導入 (1 m <sup>3</sup> -size reactor) 2-3 パイロットプラントの運転 (最適条件検討・副産物に関する検討) 2-4 評価と技術展開・ビジネスプランに向けた課題抽出						社会実装に向けた検討 (4-2) へ
<b>3. バイポーラ膜電気透析による炭酸塩化技術 (MCC&amp;U3) の開発</b> 3-1 利用可能なスラグやフライアッシュ等の物理化学的性状の分析 3-2 廃棄物からのCa/Mg抽出条件の最適化 3-3 副産物の分析と再利用先の確立 3-4 炭酸塩析出条件の最適化 3-5 バイポーラ膜電気透析による酸・アルカリの再生条件の最適化 3-6 全体の炭酸塩化反応の理論的な解析 3-7 パイロットプラント導入のための評価						社会実装に向けた検討 (4-3) へ

4. 社会実装に向けた検討						
4-1 MCC&U1技術（廃コンクリート等）の実装のためのCO <sub>2</sub> /資源循環ループと資金支援に関する検討				←	→	→
4-2 MCC&U2技術（コンクリートスラッジ等）の実装のためのCO <sub>2</sub> /資源循環ループと資金支援に関する検討	←	←	←	←	→	→
4-3 MCC&U3技術（その他の廃棄物）の実装に向けた官民合同技術ワークショップの開催				←	→	→
4-4 MCC&U技術を用いたCO <sub>2</sub> 排出量削減量の算出方法に関するワークショップの開催	←	←	←	←	→	→

\* スケジュール修正は、JICA の相手国でのプロジェクト開始が当初想定より数か月遅れ、2022 年 1 月 27 日となったことに合わせたため。先日提出した 2022 年度の年次計画書と同一のスケジュール。

(2) プロジェクト開始時の構想からの変更点(該当する場合)  
該当無し。

## 2. プロジェクト成果の達成状況とインパクト (公開)

### (1) プロジェクト全体

本プロジェクトは 2021 年 11 月 1 日に正式化し、日本側の研究機関での研究活動が正式にスタートした。一方、JICA の相手国でのプロジェクト開始は、当初想定より数か月遅れ、2022 年 1 月 27 日からとなった。相手国には 2022 年 2 月上旬から JICA の業務調整員が着任し、本プロジェクトの遂行のためのサポートを行っている。一方、新型コロナウイルスの影響によって、研究者が渡航をしての直接的な交流は行えなかった。そのため、打合せは全てオンラインによって行った。2021 年度にはこれまでの計画やねらい、本プロジェクトの位置づけ等について、変更点は特に生じていない。個別の研究題目についての進捗と達成状況は以下にまとめた。

### (2) 研究題目 1 : 「廃コンクリート等の直接炭酸化 (MCC&U1) 技術開発」

#### ① 研究題目 1 の当初の計画 (全体計画) に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

当該年度の進捗は計画通りであった。相手国における廃コンクリートの発生状況については、建設廃棄物の発生動向の予測に関するレポート等、文献による調査を進めた。また、相手国研究者と共にコンクリート副産物の発生のある相手国企業担当者とオンラインでの打合せを持ち、情報の収集を行った。反応装置及び付属装置類については、順次相手国研究機関に送付した。国内の塩基性副産物試料を対象とした直接炭酸化試験を開始した。

#### ② 研究題目 1 のカウンターパートへの技術移転の状況

オンラインでの実験指導も想定し、改良した炭酸塩化の反応装置及び付属装置類について、相手国研究機関に送付し、実験に必要なガス等の消耗品類について指導を行った。また、実験のための参考となる学術論文の共有を行った。さらに、実験手順を写真入りで解説したマニュアルの作

【令和 3 年度実施報告書】【220531】

成を進めた。

③ 研究題目1の当初計画では想定されていなかった新たな展開

世界的な半導体不足の影響で、実験に必要な一部物品の調達が遅れている。

④ 研究題目1の研究のねらい（参考）

廃コンクリートを主要な対象とした直接炭酸化技術について、技術の評価と社会実装に向けた課題抽出を行うこと。

⑤ 研究題目1の研究実施方法（参考）

廃コンクリート発生場所の調査と収集・運搬方法に関する検討、実際の廃コンクリート試料の分析、炭酸化試験を行う。結果に基づき、理論的解析やLCA分析を行う。

(3) 研究題目2：「コンクリートスラッジ等の間接炭酸塩化技術（MCC&U2）のパイロットプラントの運転」

① 研究題目2の当初の計画（全体計画）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

当該年度の進捗は計画通りであった。新型コロナウイルスの影響で相手国への渡航が困難な状況が続いたため、国内の生コンクリート工場を訪問し、時間の経過によって固化する生コンクリート廃棄物の発生状況、試料採取の方法、試料の運搬時の取り扱い等について検討を進めた。また、パイロットプラントの導入に向けたプラント設計や運用方法に関わる協議を進めた。相手国側の関係機関とはプラントの設置場所やセキュリティー対策、電圧や電源容量等についての協議を行った。

② 研究題目2のカウンターパートへの技術移転の状況

パイロットプラントを用いて行う試験について、対象や目的、操作手順等の共有を進めた。

③ 研究題目2の当初計画では想定されていなかった新たな展開

世界的な半導体不足の影響で、プラントの製造に若干の遅れが見込まれている。

④ 研究題目2の研究のねらい（参考）

コンクリートスラッジを対象とした間接炭酸化技術の実証のためのパイロットプラントを導入し、実際の副産物を利用した実証試験を行い、技術の評価と社会実装に向けた課題抽出を行うこと。

⑤ 研究題目2の研究実施方法（参考）

移動可能なパイロットプラントを製造し、実際の副産物の発生箇所において実証実験を行う。

(4) 研究題目3：「バイポーラ膜電気透析による炭酸塩化技術（MCC&U3）の開発」

① 研究題目3の当初の計画（全体計画）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

当該年度の進捗は計画通りであった。日本国内で入手したフライアッシュ試料を用いて、カルシウム抽出とバイポーラ膜電気透析の基礎試験を進めた。また、スラグ試料も入手し、各種分析と抽出の基礎試験を進めた。

② 研究題目3のカウンターパートへの技術移転の状況

相手国へは電気透析槽を2022年度に導入予定であり、現在は装置の組み立てや実験に関するマニュアルの作成を進めている。

③ 研究題目3の当初計画では想定されていなかった新たな展開

該当なし。

④ 研究題目 3 の研究のねらい (参考)

バイポーラ膜を利用した電気透析技術による比較的不活性な塩基性廃棄物を対象とした間接炭酸化技術について、技術の評価と課題抽出を行うこと。

⑤ 研究題目 3 の研究実施方法 (参考)

各種の塩基性廃棄物を収集し、炭酸化実験を行う。使用する酸・塩基の組み合わせを想定し、酸によるカルシウム等の抽出試験を行う。また、電気透析による塩溶液の再生実験を行う。結果に基づき、理論的解析や評価を行う。

(5) 研究題目 4 : 「社会実装に向けた検討」

① 研究題目 4 の当初の計画 (全体計画) に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

MCC&U 技術を用いた CO<sub>2</sub> 排出削減量の算出方法について、2021 年度に出版した学術論文 (Izumi et al., *J. Clean. Prod.*, **312**, 127618, 2021) の内容を元に更に詳細な検討を進めると共に、相手国関係機関との情報共有を進めた。

② 研究題目 4 のカウンターパートへの技術移転の状況

MCC&U 技術を用いた CO<sub>2</sub> 排出削減量算出方法について相手国関係機関と内容の共有を進めた。

③ 研究題目 4 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

該当なし。

④ 研究題目 4 の研究のねらい (参考)

対象や開発段階の異なる各種の MCC&U 技術について、それぞれのフェーズに合わせた社会実装を目指した検討を進めること。

⑤ 研究題目 4 の研究実施方法 (参考)

それぞれの MCC&U 技術に関する評価と抽出した課題に基づき、炭素/資源リサイクルループの検討や資金支援に関する検討及び関係者を集めたワークショップを行う。

## II. 今後のプロジェクトの進め方、および成果達成の見通し（公開）

新型コロナウイルスや世界的な半導体不足の影響が長期化しており、相手国への渡航や物品の調達に引き続き困難が生じている。オンラインでの代替や物品の調達を計画的に前倒して行う等、留意が必要と考えている。全体計画が遅滞しないように工夫を行い、研究を推進することが必要と考える。

引き続き、世界的に CO<sub>2</sub> の排出量削減の目標値の押上げが加速しており、社会における認識も変容が加速している。本プロジェクトで取り扱う炭酸塩鉱物化技術は、CO<sub>2</sub> フリーの水素を必要とせず、また得られる炭酸塩の市場規模も比較的大きいことから、早期の社会実装が期待される技術である。その意味で本プロジェクトの社会的なインパクトはより大きくなると考えられる。本プロジェクトにおける研究の推進も可能な限り加速して行っていきたい。

## III. 国際共同研究実施上の課題とそれを克服するための工夫、教訓など（公開）

### (1) プロジェクト全体

新型コロナウイルスや半導体不足の影響はあるものの、現在のところプロジェクトは計画通りに進行している。日本側研究機関では、2021年11月にプロジェクトが正式スタートとなり、研究活動が開始している。一方、JICAの相手国でのプロジェクト開始は、当初想定より遅れて2022年1月27日からとなったため、相手国での研究活動をスムーズに活発化していくことが今後必要である。

新型コロナウイルスの影響があるため、オンラインでの実験指導が可能となるようマニュアル等の作成を進めている。

プロジェクトが取り扱う炭酸塩鉱物化技術は世界的に注目されている分野であり、国内外で研究プロジェクトが開始している。社会実装に向けた取り組みのみならず、学術的な成果も遅滞することなく挙げていく必要がある。

プロジェクトの自立発展性向上のためには、相手国側での実験活動が活発化する必要があり、より多くの大学院学生や研究スタッフが研究プロジェクトのテーマに配置されることが必要と考える。

### (2) 研究題目1：「廃コンクリート等の直接炭酸化（MCC&U1）技術開発」

対象試料となるコンクリート廃棄物/副産物の発生状況の確認と採取のために、相手国研究者が発生場所を直接訪問することが必要である。そのため、新型コロナウイルスの感染拡大状況を鑑みつつ、訪問を行うことが今後重要である。また、相手国でのMCC&U1実験のために、半導体不足で遅れている実験装置類の調達が行われる必要がある。MCC&U1実験についてはオンラインでも実験の指導ができるよう準備を進めている。

### (3) 研究題目2：「コンクリートスラッジ等の間接炭酸塩化技術（MCC&U2）のパイロットプラントの運転」

世界的な半導体不足の影響で、プラントの製造に若干の遅れが見込まれている。

(4) 研究題目 3 : 「バイポーラ膜電気透析による炭酸塩化技術 (MCC&U3) の開発」  
現在のところ特に該当なし。

(5) 研究題目 4 : 「社会実装に向けた検討」  
現在のところ特に該当なし。

#### IV. 社会実装 (研究成果の社会還元) (公開)

##### (1) 成果展開事例

本格的な研究がスタートしたところであり、現在のところ該当する事例は無い。

##### (2) 社会実装に向けた取り組み

本プロジェクトでは、相手国の科学イノベーション省 (DSI) 担当者が、プロジェクトダイレクターに就任しており、プロジェクトの状況が共有されている。また、相手国の関連各社ともコンタクトを継続しており、プロジェクト内でパイロットプラントを用いたデモンストレーション試験を進める計画となっている。MCC&U 技術に関する CO<sub>2</sub> 排出量削減量の算出方法については、2021 年度に出版した学術論文の内容を関連協会に共有しており、今後、相手国政府にも働きかけを行っていく予定となっている。

#### V. 日本のプレゼンスの向上 (公開)

- JST 主催の Science Agora 2021 にて、在日南アフリカ大使館の企画である「資源循環型社会への変革～南アフリカでの取り組み」(2021 年 11 月 4 日) において、プロジェクトの概要を紹介するために「脱炭素社会に向けた炭酸塩化を利用したカーボンリサイクルシステムの開発」と題した講演とパネルディスカッションを行った。

以上

VI. 成果発表等

(1) 論文発表等【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 原著論文(相手国側研究チームとの共著)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)

論文数 0 件  
 うち国内誌 0 件  
 うち国際誌 0 件  
 公開すべきでない論文 0 件

② 原著論文(上記①以外)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
2021	Yoshito Izumi, Atsushi Iizuka, and Hsing-Jung Ho, Calculation of Greenhouse Gas Emissions for a Carbon Recycling System using Mineral Carbon Capture and Utilization Technology in the Cement Industry, Journal of Cleaner Production, 2021, 312, article no.127618.	10.1016/j.jclepro.2021.127618	国際誌	発表済	top5%の引用、FWCIは4.67 (Scopusで2022年3月18日時点)、掲載誌のIFは9.297, CiteScoreは13.1の分野トップレベルジャーナル。

論文数 1 件  
 うち国内誌 0 件  
 うち国際誌 1 件  
 公開すべきでない論文 0 件



③その他の著作物(相手国側研究チームとの共著)(総説、書籍など)

年度	著者名,タイトル,掲載誌名,巻数,号数,頁,年		出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項

著作物数 0 件  
 公開すべきでない著作物 0 件

④その他の著作物(上記③以外)(総説、書籍など)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ-おわりのページ		出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項

著作物数 0 件  
 公開すべきでない著作物 0 件

⑤研修コースや開発されたマニュアル等

年度	研修コース概要(コース目的、対象、参加資格等)、研修実施数と修了者数	開発したテキスト・マニュアル類	特記事項

VI. 成果発表等

(2) 学会発表【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 学会発表(相手国側研究チームと連名)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別

招待講演 0 件  
口頭発表 0 件  
ポスター発表 0 件

② 学会発表(上記①以外)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別

招待講演 0 件  
口頭発表 0 件  
ポスター発表 0 件

VI. 成果発表等

(3) 特許出願【研究開始～現在の全期間】(公開)

①国内出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する外国出願※
No.1													
No.2													
No.3													

国内特許出願数 0 件  
 公開すべきでない特許出願数 0 件

②外国出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する国内出願※
No.1													
No.2													
No.3													

外国特許出願数 0 件  
 公開すべきでない特許出願数 0 件

VI. 成果発表等

(4) 受賞等【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 受賞

年度	受賞日	賞の名称	業績名等 (「〇〇の開発」など)	受賞者	主催団体	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項

0 件

② マスコミ(新聞・TV等)報道

年度	掲載日	掲載媒体名	タイトル/見出し等	掲載面	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項

0 件

VI. 成果発表等

(5) ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等の活動【研究開始～現在の全期間】(公開)

① ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等

年度	開催日	名称	場所 (開催国)	参加人数 (相手国からの招聘者数)	公開/ 非公開の別	概要
2021	11月4日	サイエンスアゴラ2021	日本		公開	JST主催のサイエンスアゴラ2021において、南アフリカ共和国大使館の企画である「資源循環型社会への変革～南アフリカでの取り組み：Toward a Zero-Waste Society through circular economy practices ? a Case of South Africa」中で「脱炭素社会に向けた炭酸塩化を利用したカーボンリサイクルシステムの開発」というタイトルで講演し、SATREPSプロジェクトの概要を説明した。

1 件

② 合同調整委員会(JCC)開催記録(開催日、議題、出席人数、協議概要等)

年度	開催日	議題	出席人数	概要
2021	1月27日	キックオフミーティング	31	南アフリカ共和国でのJICAプロジェクト期間を開始するため、キックオフミーティングを開催した。本プロジェクトの概要やスケジュールの確認等がなされ、プロジェクトの名称(CRERプロジェクト)が報告された。また、参加者でプロジェクトリーダーヘッドを投票で決定し、プロジェクトの基本イメージを決定した。会議の結果、本プロジェクトを開始し、関係機関各位がプロジェクトの成功に向けて密に協力していくことが合意された。

1 件

# 成果目標シート

研究課題名	脱炭素社会に向けた炭酸塩化を利用したカーボンリサイクルシステムの開発
研究代表者名 (所属機関)	飯塚 淳 (国立大学法人 東北大学)
研究期間	R2採択(令和2年6月1日～令和8年3月31日)
相手国名/主要相手国研究機関	南アフリカ共和国/ケープペニンシュラ工科大学, 他大学(UCT, UWC), 研究所(Council for Geoscience)
関連するSDGs	目標13. 気候変動及びその影響を軽減するための緊急対策を講じる 目標12. 持続可能な生産消費形態を確保する 目標9. レジリエントなインフラを整備し、包摂的で持続可能な産業化を推進するとともに、イノベーションの拡大を図る

## 成果の波及効果

日本政府、社会、産業への貢献	<ul style="list-style-type: none"> <li>地球規模の気候変動枠組みへの活用</li> <li>コンクリート廃棄物等を再利用することで、循環型社会の構築に貢献し、廃棄物処理場を延命する</li> <li>日本の産学連携による成果の事業化</li> </ul>
科学技術の発展	<ul style="list-style-type: none"> <li>セメント産業を軸としたカーボンリサイクルシステムの確立(リサイクル工学、資源循環工学の発展)</li> <li>各種廃棄物を利用した途上国に即する地球温暖化対策技術(CO<sub>2</sub>の吸収・固定)の確立(環境学の発展)</li> </ul>
知財の獲得、国際標準化の推進、遺伝資源へのアクセス等	<ul style="list-style-type: none"> <li>カーボンリサイクル技術のプロセス・手法・装置</li> <li>廃棄物の再資源化に係る新規プロセス・手法・装置</li> <li>地球温暖化対策に係る新規プロセス・手法・装置</li> <li>プロセス副生成物を利用した環境浄化材・環境浄化方法</li> </ul>
世界で活躍できる日本人人材の育成	<ul style="list-style-type: none"> <li>持続可能な社会構築のための循環経済の事例を世界に発信することのできる日本の若手研究者を育成(国際会議に参加、レビュー付雑誌への論文掲載など)</li> </ul>
技術及び人的ネットワークの構築	<ul style="list-style-type: none"> <li>MCC技術を途上国に普及するための国際的なネットワークを構築</li> <li>南アフリカ国内で関連業界の技術ネットワークを構築</li> </ul>
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	<ul style="list-style-type: none"> <li>カーボンリサイクル、廃棄物の再資源化、地球温暖化対策、環境浄化に関する学術論文</li> <li>各種塩基性廃棄物に関する炭酸化反応データセットなど</li> </ul>

# 上位目標

- 提案技術(MCC&U)が、南アフリカをはじめ、他の途上国において広く実装され、脱炭素を目指す循環経済の下でカーボンリサイクルシステムを構築する
- 技術開発を通じた我が国のGHG削減努力への貢献度の拡大

南アフリカ共和国のセメント産業が、循環経済の活動の一つとして、提案技術(MCC&U)を導入し、カーボンリサイクルシステムによる脱炭素社会の構築に貢献する

# プロジェクト目標

セメント産業におけるプロセス由来のCO<sub>2</sub>排出削減に向けて、MCC&U技術を核とした5つ以上の資源・CO<sub>2</sub>循環ループで構成されるカーボンリサイクルシステムを開発する

