

地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)
研究課題別中間評価報告書

1. 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
(2022年1月～2027年1月)

2. 研究代表者

2. 1. 日本側研究代表者：飯塚 淳
(東北大学 大学院環境科学研究科 教授)
2. 2. 相手側研究代表者：Tunde Victor Ojumu
(ケーブペニンシュラ工科大学 教授)

3. 研究概要

本プロジェクトは、セメント産業からのCO₂排出の60%を占めるプロセス由来のCO₂排出を削減するために、アルカリ性副産物や廃棄物を利用して炭酸塩鉱物化を行い、副生成物を活用する炭素循環システムの開発を目指している。得られた炭酸塩はセメント製造に資源循環し、さらに循環できない資源については環境浄化材として利用し、新たな循環ループを構築する。機器の調達・稼動・メンテナンスが容易でCO₂限界削減費用が低い技術開発を行い、カーボンニュートラルに貢献する。また、アルカリ性副産物や廃棄物を原料とした環境浄化材などの低コストで有用な製品が開発されるとともに、酸性坑廃水の処理にも活用されることなどが成果として期待できる。

プロジェクトは下記の4つの研究題目で構成されている。

- (1) 廃コンクリート等の直接炭酸化 (MCC&U1) 技術開発
- (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
- (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
- (4) 社会実装に向けた検討

※MCC&U: Mineral Carbon Capture & Utilization

4. 評価結果

総合評価：A

(所期の計画と同等の取組みが行われ、成果が期待できる。)

本プロジェクトは、南アフリカの廃コンクリートやコンクリートスラッジ¹、石炭火力発電所からのフライアッシュ²を原料にして、CO₂を炭酸塩鉱物として固定化・削減することで、産業廃棄物の再利用を目指すMCC&U技術の研究開発と社会実装を目的としている。コロナ禍や学生デモ等の想定外の事象が発生したため、供与機器を使った現地調査・研究などの進捗に多少の遅れが出ているものの、日本と相手国とで同一の実験セットとマニュアルを準備して実験指導を行うなど、計画の遅れを最低限にとどめる努力がなされ、ハードとソフトの双方で着実な研究の進捗と適切なマネジメントがされている。機器の納入遅れの挽回、日本人若手研究者の育成、日本側産業界への直接的な貢献など、今後一層促進していただきたい点も見受けられるが、相手国側のモチベーションが高い点や、互いの信頼関係構築も非常に良好に進んでいる点は高く評価できる。本プロジェクトで扱うリサイクル技術は非常に重要であるものの、成果の定量化や評価指標の明確化は容易ではない。今後、供与機器や研究成果が活用されることで、相手国側の企業や関連省庁を巻き込んだ社会実装に向けた取り組みが加速され、両国それぞれでのビジネスモデルの構築なども含めた成果が得られることを期待する。

4-1. 国際共同研究の進捗状況について

コロナ禍の影響で遅れが生じてはいるものの、適切なマネジメントにより、全ての研究項目がほぼ順調に進捗している。当初想定されていなかった新たな展開は生じていない。各研究項目の進捗については、以下の通りである。

研究項目（1）廃コンクリートの直接炭酸塩化の技術開発であるMCC&U1では、入手したサンプルと供与機器を活用して、組成などの分析と直接炭酸化試験を推進している。廃コンクリートの試料を追加で収集するため、ケープペニンシュラ工科大学（以降、GPU）の相手国側研究代表者から現地企業にコンタクトし、情報収集とサンプル入手を行っている。直接炭酸化技術の研究成果が国際会議でも発表され、さらに、来年度の国際会議でも発表予定であり、成果が上がりつつある。

研究項目（2）コンクリートスラッジなどの間接（非直接）炭酸塩化技術のMCC&U2では、2023年2月に日本国内で完成したパイロットプラントのGPUへの設置を推進した。日本国内での試運転とマニュアル作成後、船便で南アフリカに搬出した。GPU内の設置場所が当初予定地から変更となったため、水平に設置するための部品を購入するとともに、GPU内でも設置許可の手続きが進められた。2023年11月の日本側の第5回渡航時に、日本のプラントメーカーの技術者の協力の下、GPUにパイロットプラントが設置された。本パイロットプラントを用いて、コンクリートスラッジを原料とした炭酸化試験を実施し、炭酸カルシウムが生成されることを確認済みである。今後は半年程度、GPU内で運転を行い、その後、協力体制にある民間企業に移設して、現地の原料を用いた運転を行う予定となっているため、今後の進展が期待される。

¹ コンクリートスラッジ：生コンクリートを運んだトラックアジテータのドラムの洗浄によってスラッジ水が発生する。このスラッジ水や戻りコンクリート・残りコンクリートから骨材を回収した残さのこと。

² フライアッシュ：石炭を燃焼する際に発生する灰の一種で、飛灰とも言われ、集塵装置で採取された灰のこと。

研究題目（3）バイポーラ膜電気透析による炭酸塩化技術開発の MCC&U3 では、2023 年 4 月に CPUT にバイポーラ膜電気透析装置が導入された。高炉スラグ試料を用いた酸抽出の基礎試験が進んでおり、結果が出始めている。また、2023 年 10 月より膜研究の専門家も参画したため、相手国での研究活動が本格化し、今後更に成果が上がっていくことが期待される。また、CPUT での設置が遅れていた ICP-AES（誘導結合プラズマ原子発光分析装置）は、2023 年 10 月に設置が行われた。

研究題目（4）社会実装に向けた検討においては、詳細な実験データが必要不可欠である。MCC&U2 では、パイロットプラントでの実験データが必要であるため、相手国の民間企業 3 社からプロジェクトへの協力を取り付けて、それぞれの工場内で発生している原料を用いた基礎試験やパイロットプラントでの試験を行う予定となっている。また、相手国のセメント産業関係者を主な対象として、MCC&U 技術を用いた CO₂ 排出削減量算出方法に関するオンラインワークショップが 2023 年 9 月に開催されており、産学の連携が進められている点が評価できる。

4-2. 国際共同研究の運営体制について

2023 年 6 月以降、月 1 回の定例会議を設けているなど、両国の研究代表者のリーダーシップは非常に高く、プロジェクトの進め方やマネジメントは大変良好である。相手国側の研究者からは、日本の研究者とのコラボレーションは順調で、エクセレントであると高評価をいただいている。

今後は、構築された両国間の信頼関係に基づき、納品された大部分の供与機器を活用して、相手国での研究活動がさらに活発化していくことが期待できる。

4-3. 科学技術の発展と今後の研究について

南アフリカ側での調査や機器の導入が進み、相手国側企業が参画する実験も計画されているなど、研究成果への期待が醸成されつつあり、学術研究と社会実装の両面でバランスのとれた推進が期待できる。また、リサイクルシステム構築の実証によるカーボンニュートラルへの貢献に加え、廃棄物処理や土壌・水質汚染などの環境問題にも資するといった波及効果も期待できる。さらに、相手国だけでなく日本の企業や社会でも、産業廃棄物を含む循環型経済へ活用されていくことも期待できる。

一方で、相手国の大学から留学生を受け入れて相手国の人材育成には大いに貢献していると考えられるが、日本人若手研究人材の育成については、今後さらに強化されることを期待する。

4-4. 持続的研究活動等への貢献の見込みについて

廃コンクリート発生状況の調査や廃コンクリートやスラグのサンプル入手などを相手国側が行っており、本プロジェクトへの期待と意気込みが感じられる。さらに、パイロットプラント等から得られる実験データを元に、全体的なエネルギー収支や CO₂ 削減量などが具体的に示されることで、相手国での理解の醸成と議論が一層深まり、社会実装につながることを期待したい。

相手国研究資金獲得の事情から、プロジェクトに従事する学生の生活支援ができないことによ

る学生数の不足が懸念点としてあがっていた。プロジェクトの自立発展性向上のためには、より多くの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、相手国側での研究活動がより活発化する必要がある。このため、CPU 上層部の理解とサポートによる学生支援とともに、現地関係省庁や現地企業の理解促進による社会実装に向けた資金調達等の研究支援についても、積極的にアピールしていくことが必要であるとする。

5. 今後の研究に向けての要改善点および要望事項

- 1) 廃コンクリートの再生を社会実装するためには、プロセス全体の反応過程を考慮して、エネルギー消費量を低減させる必要がある。また、コンクリートには、すでに廃棄物の焼却灰など重金属が混成されており、コンクリートがそれら重金属の固定先として利用されている。これらを踏まえ、以下に注力してプロジェクト推進をお願いしたい。
 - ・ 環境浄化材や建材への再利用含め、ライフサイクルでの CO₂ 削減効果とエネルギー収支の明確化。
 - ・ 社会実装への道筋の整理。
 - ・ 持続的に両国が研究・開発を行えるような体制、システム、組織、制度などの構築。
- 2) 今後の研究の継続や発展のためには、両国の持続的な研究体制の構築が必要であり、南アフリカの学生などの研究従事者の確保が重要である。これまでの良好な関係を継続するとともに、相手国の企業や関係省庁を巻き込んで、継続的な研究支援が必要であることを積極的にアピールしていただきたい。

以上



図1 成果目標シートと達成状況(2023年12月時点)