

「炭素循環型セメント製造プロセス技術開発」
事後評価報告書

2022年10月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

2022年10月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
理事長 石塚 博昭 殿

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会 委員長 木野 邦器

NEDO技術委員・技術委員会等規程第34条の規定に基づき、別添のとおり評価結果
について報告します。

「炭素循環型セメント製造プロセス技術開発」
事後評価報告書

2022年10月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

目 次

はじめに	1
審議経過	2
分科会委員名簿	3
評価概要	4
研究評価委員会委員名簿	7
研究評価委員会コメント	8
第1章 評価	
1. 総合評価	1-1
2. 各論	1-6
2. 1 事業の位置付け・必要性について	
2. 2 研究開発マネジメントについて	
2. 3 研究開発成果について	
2. 4 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	
3. 評点結果	1-19
第2章 評価対象事業に係る資料	
1. 事業原簿	2-1
2. 分科会公開資料	2-2
参考資料1 分科会議事録及び書面による質疑応答	参考資料 1-1
参考資料2 評価の実施方法	参考資料 2-1

はじめに

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構においては、被評価プロジェクトごとに当該技術の外部専門家、有識者等によって構成される分科会を研究評価委員会によって設置し、同分科会にて被評価対象プロジェクトの研究評価を行い、評価報告書案を策定の上、研究評価委員会において確定している。

本書は、「炭素循環型セメント製造プロセス技術開発」の事後評価報告書であり、NEDO 技術委員・技術委員会等規程第 32 条に基づき、研究評価委員会において設置された「炭素循環型セメント製造プロセス技術開発」(事後評価)分科会において評価報告書案を策定し、第 70 回研究評価委員会 (2022 年 10 月 31 日) に諮り、確定されたものである。

2022 年 10 月
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

審議経過

● 分科会（2022年6月23日）

公開セッション

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明

非公開セッション

6. プロジェクトの詳細説明

公開セッション

7. まとめ・講評
8. 今後の予定
9. 閉会

● 現地調査会（2022年6月9日）

太平洋セメント株式会社 熊谷工場

● 第70回研究評価委員会（2022年10月31日）

「炭素循環型セメント製造プロセス技術開発」

事後評価分科会委員名簿

(2022年6月現在)

	氏名	所属、役職
分科 会長	しみず 清水 ただあき 忠明	新潟大学 工学部 化学システム工学プログラム 教授
分科 会長 代理	よしだ 吉田 ともこ 朋子	大阪公立大学 人工光合成研究センター 教授
委員	くわはた 桑畑 みなみ	株式会社エヌ・ティ・ティ・データ経営研究所 社会・環境戦略コンサルティングユニット マネージャー
	しばた 柴田 よしあき 善朗	一般財団法人日本エネルギー経済研究所 電力・新エネルギーユニット 新エネルギーグループ マネージャー
	たけわき 武脇 たかひこ 隆彦	三菱ケミカル株式会社 Science & Innovation Center フェロー
	みずの 水野 えいじ 英二	株式会社 TBM 開発・生産本部 本部長
	やました 山下 ひろし 洋	電源開発株式会社 技術開発部 研究推進室 研究計画タスク 総括マネージャー

敬称略、五十音順

評価概要

1. 総合評価

セメント産業は CO₂ 排出源として大きな比重を占めていることから、同産業からの CO₂ 排出低減技術の確立は重要な課題である。本事業の目的とする排ガスからの CO₂ 分離・回収、廃コンクリートの CO₂ 固定化と有効利用、スラッジ利用などの技術開発は、我が国の施策と一致するものであり、さらに、大規模な実証設備等を必要とすることから、民間活動のみでの実施は困難と考えられ、NEDO が関与することは適切と考えられる。

2 年という短期間にもかかわらず、最終目標はほぼ達成しており、また、成果は CO₂ 削減にとどまらず、将来における市中の廃コンクリートの有効利用とそれによる廃棄物の減量にもつながることが期待できることから、高く評価できる。

一方、事業化するにあたっては経済性を前もって明らかにする必要があるため、後継事業では、消費エネルギーの削減による CO₂ 削減ポテンシャル向上を目指した設備の最適化を行ったうえで、経済性を踏まえた技術開発目標を設定し事業を推進していただきたい。また、企業、大学の連携が有効に機能するようマネジメントを行い、このプロジェクトで必要とされる新規要素技術の創出と、それに基づく新たな学問体系の創出を期待したい。本技術は、国外での需要も見込まれることから、早めに多くの外国特許出願をすることが望まれる。加えて、CO₂ 削減効果に関する国際標準化や規格制定など、社会実装と海外展開を目指した基準整備も業界全体として考慮することが望まれる。

今後、プロセスに必要となるエネルギー、特に電力については積極的な再エネの調達を期待したい。

2. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

セメント産業は CO₂ 排出源として大きな比重を占めていることから、同産業からの CO₂ 排出低減技術の確立は重要な課題である。本事業の目的とする排ガスからの CO₂ 分離・回収、廃コンクリートの CO₂ 固定化と有効利用、スラッジ利用などの技術開発は、革新的イノベーション戦略およびグリーン成長戦略で国の政策でも明確に位置付けられており、我が国の施策と一致するものである。また、セメント産業はスケールが大きく、大規模な実証設備等を必要とすることから、民間活動のみでの実施は困難と考えられ、さらに CO₂ 排出低減という公共性も有することから、NEDO が関与することは適切と考えられる。

一方で、2 年間の事業期間は、予算年度の制約などやむを得ない事情もあったとは言えるが、さらに新型コロナの影響を考えると、目指す成果を上げるにはかなり短いと考えられるため、事業の継続性の観点からも、GI 基金などの他事業に引き継がれていくことが望ましい。

注) GI (Green Innovation)

2. 2 研究開発マネジメントについて

研究開発目標は、国内外の競合する技術動向の調査に基づき、社会が求める目標値を実質的に上回る戦略的な目標を常に数値として示していることは妥当であると考えられる。開発スケジュール及び研究開発費についても、時間的制約などを考慮して実施可能なCO₂分離・回収プロセスの選択を行い、セメント製造プロセスの上流から下流まで、炭素循環の各要素技術開発の実証が計画的に行われており、適切であると考えられる。

実施者は、これまでのセメント産業で培ってきた技術力に加え、CO₂分離・回収装置など通常のセメント産業ではあまり使われてこなかった新規技術を導入するなど、目標達成に向け技術力を大いに発揮したと考えられる。

一方、研究開発の実施体制においては、大学の成果が少ないように思われるため、後継事業においては、企業、大学の連携が有効に機能するようマネジメントを行い、このプロジェクトで必要とされる新規要素技術の創出と、それに基づく新たな学問体系の創出を期待したい。また、本技術は、国外での需要も見込まれることから、早めに多くの外国特許出願をすることが望まれる。

2. 3 研究開発成果について

本事業の目的である、排ガスCO₂分離・回収装置の運転、廃コンクリートの破碎・分別、CO₂の固定化反応装置の運転、低CO₂コンクリート製品の製造の成果は、2年という短期間にもかかわらず、最終目標を全て達成しており、また、その成果は将来における市中の廃コンクリートの有効利用とそれによる廃棄物の減量にもつながることが期待できることから、高く評価できる。さらに、本事業を実際の製造プロセスの中で実証したことは社会実装に向け大きな一歩であると考えられる。

後継事業においては、コンクリート生産量、廃コンクリート、スラッジの発生量の将来見通しを踏まえたうえで、サプライチェーン全体での長期的なCO₂固定化可能量（ポテンシャル）を特定して示すことによって、本技術の影響度合いを把握することを期待したい。

2. 4 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

事業化に向けて、試験の継続、設備投資判断など事業開始まで、ステップごとに適切に計画化されており、また、事業化の開始に際しては、CO₂削減ポテンシャルの計算が図られ、将来の電力・輸送のCO₂発生原単位の変動においても見直すことが考慮されていることから、事業化へは適切に取り組まれていると考える。さらに、本事業の成果はCO₂削減にとどまらず、廃コンクリートからの骨材の回収、生コンスラッジの有効利用による廃棄物処理量の低減のメリットもあり、産業としての適用が期待できる。

一方、事業化へは、経済性を明らかにする必要があると思われる。後継事業では、要求CO₂純度とエネルギー消費の兼ね合いの視点から、消費エネルギーの削減によるCO₂削減ポテンシャル向上を目指した設備の最適化を行ったうえで、経済性を踏まえた技術開発目標を設定し事業を推進していただきたい。また、ステークホルダーのメリット・デメリットを整理して、廃コンクリート流通の変革を含めた新たなサプライチェーンの創生を検討いただき、

環境価値をどのようにコスト転嫁できるかの検討も期待したい。

研究評価委員会委員名簿

(2022年10月現在)

	氏 名	所属、役職
委員長	きの くにき 木野 邦器	早稲田大学 理工学術院 教授
委員	あさの ひろし 浅野 浩志	東海国立大学機構 岐阜大学 特任教授 一般財団法人電力中央研究所 研究アドバイザー
	あたか たつあき 安宅 龍明	元先端素材高速開発技術研究組合 (ADMAT) 専務理事
	かわた たかお 河田 孝雄	技術ジャーナリスト
	ごないかわ ひろし 五内川 拡史	株式会社ユニファイ・リサーチ 代表取締役社長
	さくま いちろう 佐久間 一郎	東京大学 大学院工学系研究科 教授
	しみず ただあき 清水 忠明	新潟大学 工学部工学科 化学システム工学プログラム 教授
	ところ ちはる 所 千晴	早稲田大学 理工学術院 教授 東京大学 大学院工学系研究科 教授
	ひらお まさひこ 平尾 雅彦	東京大学 先端科学技術研究センター ライフサイクル工学分野 教授
	まつい としひろ 松井 俊浩	情報セキュリティ大学院大学 情報セキュリティ研究科 教授 国立研究開発法人産業技術総合研究所 名誉リサーチャ
	やまぐち しゅう 山口 周	独立行政法人大学改革支援・学位授与機構 研究開発部 特任教授
	よしもと ようこ 吉本 陽子	三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング株式会社 政策研究事業本部 経済政策部 主席研究員

敬称略、五十音順

研究評価委員会コメント

第70回研究評価委員会（2022年10月31日開催）に諮り、本評価報告書は確定された。
研究評価委員会からのコメントは特になし。

第1章 評価

この章では、分科会の総意である評価結果を枠内に掲載している。なお、枠の下の箇条書きは、評価委員の主な指摘事項を、参考として掲載したものである。

1. 総合評価

セメント産業は CO₂ 排出源として大きな比重を占めていることから、同産業からの CO₂ 排出低減技術の確立は重要な課題である。本事業の目的とする排ガスからの CO₂ 分離・回収、廃コンクリートの CO₂ 固定化と有効利用、スラッジ利用などの技術開発は、我が国の施策と一致するものであり、さらに、大規模な実証設備等を必要とすることから、民間活動のみでの実施は困難と考えられ、NEDO が関与することは適切と考えられる。

2年という短期間にもかかわらず、最終目標はほぼ達成しており、また、成果は CO₂ 削減にとどまらず、将来における市中の廃コンクリートの有効利用とそれによる廃棄物の減量にもつながることが期待できることから、高く評価できる。

一方、事業化するにあたっては経済性を前もって明らかにする必要があるため、後継事業では、消費エネルギーの削減による CO₂ 削減ポテンシャル向上を目指した設備の最適化を行ったうえで、経済性を踏まえた技術開発目標を設定し事業を推進していただきたい。また、企業、大学の連携が有効に機能するようマネジメントを行い、このプロジェクトで必要とされる新規要素技術の創出と、それに基づく新たな学問体系の創出を期待したい。本技術は、国外での需要も見込まれることから、早めに多くの外国特許出願をすることが望まれる。加えて、CO₂ 削減効果に関する国際標準化や規格制定など、社会実装と海外展開を目指した基準整備も業界全体として考慮することが望まれる。

今後、プロセスに必要なエネルギー、特に電力については積極的な再エネの調達を期待したい。

<肯定的意見>

- 研究期間の制約と新型コロナによる物流の停滞の問題などがあつたにもかかわらず、当初の目標を達成したことは、高く評価すべきである。この成果は、CO₂ の排出低減だけでなく、廃コンクリート、スラッジの有効利用による廃棄物低減などにもつながる技術であり、社会的な意義は大きいと考えられる。まだシステムの最適な構成によるエネルギー消費低減などの検討事項は残っているが、「ここまでは技術が確立した」と言えるレベルに到達したことは評価すべきである。
- 本プロジェクトは、セメント製造工程で排出される CO₂ 再資源化のための新しい技術開発であり、二酸化炭素削減の観点からも、国内外の技術動向、政策動向、国際貢献の観点からも、大きく貢献する重要技術を提供するものである。投じた研究開発費との比較において期待以上の十分な効果が得られている。各要素技術における目標数値の算出根拠も十分説明されており、どこまで達成しているかが明確に評価できる。更に、得られた成果に対して社会実装を常に意識している点、NEDOを含め産学官との連携も良い点、プロジェクトリーダーの優れた統率力など、高く評価できる点も多い。セメントキルン排ガスからの CO₂ 分離・回収パイロット実証と、セメント廃棄物の再資源化、セメント製品への CO₂ 固定化の全ての要素技術開発において、短期間にもかかわらず、最終目標はほぼ達成されている。また幾つもの優れた成果や、当初目標として挙げていた以上の成果が得られおり、総合的なカーボンリサイクルの実現に資する要素技術が確立さ

れている。成果の実用化・事業化に向けての戦略として、パイロットプラントも導入し、システムの大型化と大規模スケールでの性能評価も行っている点は、高く評価できる。競合する製品・システムと比較して性能面・コスト面等で、現時点において優位性を明確に示している。

- ・ 模擬ガスでは実際に回収した CO₂ を利用して製品生成まで完成させたことの成果は高く評価できる。
- ・ セメント産業からの CO₂ 排出削減は非常に困難であることから、CO₂ と廃コンクリートから炭酸塩を製造し再資源化するという本事業の目的は合理的であり、また、民間企業単独では困難な技術開発であることから NEDO の関与は必要である。
- ・ 実際にセメント工場に CO₂ 回収装置を導入し、一定期間、安定に運転し、回収した CO₂ を廃セメント等に導入し、実際に製品にすることができたという点で非常に重要な成果であると思う。
- ・ 目標に対し、上回る成果を出せている事は、開発マネジメント・取り組み事業者の双方の協力があって成し遂げた成果物であり、評価できる。
- ・ セメント製造プロセスの上流から下流までの各要素において、炭素循環の実証が網羅的になされており、適当な研究開発だったと理解します。また、事業者が自社負担で引続き実証試験を行うことは、この成果が実用化・事業化へ向けて有用であることを示していると思います研究期間の制約と新型コロナによる物流の停滞の問題などがあつたにもかかわらず、当初の目標を達成したことは、高く評価すべきである。この成果は、CO₂ の排出低減だけでなく、廃コンクリート、スラッジの有効利用による廃棄物低減などにもつながる技術であり、社会的な意義は大きいと考えられる。まだシステムの最適な構成によるエネルギー消費低減などの検討事項は残っているが、「ここまでは技術が確立した」と言えるレベルに到達したことは評価すべきである。
- ・ 本プロジェクトは、セメント製造工程で排出される CO₂ 再資源化のための新しい技術開発であり、二酸化炭素削減の観点からも、国内外の技術動向、政策動向、国際貢献の観点からも、大きく貢献する重要技術を提供するものである。投じた研究開発費との比較において期待以上の十分な効果が得られている。各要素技術における目標数値の算出根拠も十分説明されており、どこまで達成しているかが明確に評価できる。更に、得られた成果に対して社会実装を常に意識している点、NEDOを含め産学官との連携も良い点、プロジェクトリーダーの優れた統率力など、高く評価できる点も多い。セメントキルン排ガスからの CO₂ 分離・回収パイロット実証と、セメント廃棄物の再資源化、セメント製品への CO₂ 固定化の全ての要素技術開発において、短期間にもかかわらず、最終目標はほぼ達成されている。また幾つもの優れた成果や、当初目標として挙げていた以上の成果が得られおり、総合的なカーボンリサイクルの実現に資する要素技術が確立されている。成果の実用化・事業化に向けての戦略として、パイロットプラントも導入し、システムの大型化と大規模スケールでの性能評価も行っている点は、高く評価できる。競合する製品・システムと比較して性能面・コスト面等で、現時点において優位性を明確に示している。

- ・ 模擬ガスでは実際に回収した CO₂ を利用して製品生成まで完成させたことの成果は高く評価できる。
- ・ セメント産業からの CO₂ 排出削減は非常に困難であることから、CO₂ と廃コンクリートから炭酸塩を製造し再資源化するという本事業の目的は合理的であり、また、民間企業単独では困難な技術開発であることから NEDO の関与は必要である。
- ・ 実際にセメント工場に CO₂ 回収装置を導入し、一定期間、安定に運転し、回収した CO₂ を廃セメント等に導入し、実際に製品にすることができたという点で非常に重要な成果であると思う。
- ・ 目標に対し、上回る成果を出せている事は、開発マネジメント・取り組み事業者の双方の協力があって成し遂げた成果物であり、評価できる。
- ・ セメント製造プロセスの上流から下流までの各要素において、炭素循環の実証が網羅的になされており、適当な研究開発だったと理解します。また、事業者が自社負担で引続き実証試験を行うことは、この成果が実用化・事業化へ向けて有用であることを示していると思います。

<改善すべき点>

- ・ 研究プロジェクトには大学も共同研究として参画していたが、事業原簿などの資料を見る限りでは、大学との産学連携の効果についてはあまり明確とは言えない。大学には、今後、この事業で得られた結果の学術的な裏付けとなる研究を継続されて、学問体系として社会に発信することを希望する。
- ・ 現時点では CO₂ 固定化を評価がまだ定性的であることから、空間分解能を備えた定量的な評価が今後必要と感じられる。一方、このような大きなプロジェクトは、産官学の連携がなければ推進できないこと、本技術が確立された時の公共性も非常に高いことが予測されることから、NEDO が産官学の橋渡しの役割を担うことや、得られた研究成果をプレス発表などで更に広く社会に発信するなど、サポートを期待したい。現在は、本研究開発が科学技術的にも経済的にも進展し続けている段階であるが、最終的な実用化を見据えた時に、コスト面を重視し過ぎて、新しい科学・技術の発展を妨げるようでは残念である。次のグリーンイノベーション事業においても、産官学の連携やバランスを意識しながらも、科学技術における発展に貢献し続けて頂きたい。
- ・ 一部の研究開発について、エネルギー収支を含めて競合技術と比較した優位性については確認ができなかったため、今後は熱利用方法の工夫等で更なる改善を期待したい。
- ・ 標準化に関してはユーザー側での検討が必要になるものの、製造側の事業化要件も踏まえ積極的に関与し検討を進めて頂きたい。
- ・ コンクリートストック量、コンクリート生産量、廃コンクリート、スラッジの毎年の発生量の将来見通しを踏まえ、サプライチェーン全体での長期的な CO₂ 固定化可能量（ポテンシャル）を特定することで、本技術のインパクトを定量化することが重要と思われる。
- ・ これまで記載したように、CO₂ 回収の低コスト化と、CO₂ 利用における建築用セメン

トへの適用可能性の検討が、今後必要と思われる。

- ・ 国際競争力という観点で、ベンチマークをどこに置くか・目標設定のバーをどう設定するかが非常に重要で、その設定次第で、どうやって達成するかのアプローチが変わってきます。

<今後に対する提言>

- ・ 本事業では技術の基盤がかなり明確化したが、事業化をするにあたっては、まだエネルギー消費を低減するための最適化の余地があると思われる。今後とも開発を継続されたい。
- ・ 本プロジェクトの各要素技術は、今後国内だけでなく国外での需要も大きくなることが見込まれることから、できるだけ多く早めに国内外において特許出願することが望まれる。また今後の科学技術の発展や、本技術開発から得られる公共の利益を考慮すると、若手の研究者・技術者の養成も重要である。化学吸着法によるセメントキルン排ガスからの CO₂ 分離・回収に関しては大変優れた技術開発であるが、長期間に亘る吸収液の耐久性や CO₂ 回収性能の評価を実施することが望まれる。炭酸化養生技術など、現段階では無筋コンクリート製品にのみ適用できる技術を鉄筋コンクリートなど建造物にも応用するなど、更なる研究技術展開が望まれる。炭素循環型セメント製造プロセスを社会実装した場合のシステム全体の CO₂ 削減効果やコスト削減効果を考慮するためには、電力や輸送のカーボンフリー化が実現しない状況でも、どこまで削減が可能かを各開発段階に応じて評価することが重要である。
- ・ 今回の成果物である CO₂ 吸収コンクリートは貴重なモニタリング対象となるため、可能な範囲で長期的なモニタリング評価をお願いしたい。
- ・ 実用化に向けた規格化への働きかけ、設備の大型化、CO₂ 混焼率の向上、エネルギー収支の改善については、引き続き検討をお願いしたい。
- ・ プロセスに必要なエネルギー、特に電力については積極的な再エネの調達を考えてもらいたい。変動再エネ電力への対応が技術的に困難な場合は、その解決に必要な技術開発があるかもしれない。本技術を社会実装させるためには、廃コンクリートの流通等の既存のサプライチェーンの変更が求められるかもしれない。したがって、サプライチェーンにける各ステークホルダーのメリット・デメリットを整理して、望ましい市場のあり方を検討していただきたい。本技術の CO₂ 削減効果を保証するためには、CO₂ 漏洩や CO₂ 固定化量の測定等の基準作りが必要となる。現在進行している CCS の ISO/TC265 のように、当該技術に関する国際標準化策定に関する議論の機会があれば、積極的に参加・関与されることを期待したい。
- ・ CO₂ 回収量、回収コスト、CO₂ 利用率、製品量などの種々のファクターについて、製品のコストと全体の CO₂ 排出量についての傾向を把握し、カーボンニュートラルへ向けての目標を定めて、GI 基金のプロジェクト等を行うのがよいと思われる。
- ・ 妥当性のある目標値はどうしてもボトムアップ思想になるので、NEDO さんの支援をうけるのであれば、<改善すべき点>で記述させていただいたよう、あるべき姿に基づ

いた目標設定を検討いただけたら幸いです。

- ・ 繰り返しになりますが、今後の社会実装に向けては、「JIS 規格化」や「施工指針の策定」という業界全体での取り組みが必要だと感じます。事業者だけでなく、NEDO 殿や GI 基金を通じた切れ目ない取組をお願いしたい。

2. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

セメント産業は CO₂ 排出源として大きな比重を占めていることから、同産業からの CO₂ 排出低減技術の確立は重要な課題である。本事業の目的とする排ガスからの CO₂ 分離・回収、廃コンクリートの CO₂ 固定化と有効利用、スラッジ利用などの技術開発は、革新的イノベーション戦略およびグリーン成長戦略で国の政策でも明確に位置付けられており、我が国の施策と一致するものである。また、セメント産業はスケールが大きく、大規模な実証設備等を必要とすることから、民間活動のみでの実施は困難と考えられ、さらに CO₂ 排出低減という公共性も有することから、NEDO が関与することは適切と考えられる。

一方で、2年間の事業期間は、予算年度の制約などやむを得ない事情もあったとは言えるが、さらに新型コロナの影響を考えると、目指す成果を上げるにはかなり短いと考えられるため、事業の継続性の観点からも、GI 基金などの他事業に引き継がれていくことが望ましい。

注) GI (Green Innovation)

<肯定的意見>

- CO₂ 排出低減は我が国だけでなく世界的な課題であり、セメント産業は CO₂ 排出源として大きな寄与をしていることから、セメント産業からの排出低減技術の確立は重要な課題である。さらに、使用済みコンクリート、生コンスラッジにはセメント原料(石灰石)由来のアルカリ分があり、その CO₂ 吸収源としての活用は、廃棄物の再利用だけでなく安定化にも資すると考えられ、CO₂ 吸収だけにとどまらない効果があると考えられる。したがって、本事業の目的とする排ガスからの CO₂ 回収、廃コンクリートの CO₂ 固定化と有効利用、スラッジの利用などは、大きな可能性を有する技術であり、我が国の施策と一致するものである。一方、セメント産業はスケールが大きく、本事業では実用に近い規模での試験を必要とすることから、民間活動のみでの実施は困難と考えられ、さらに CO₂ 排出低減という公共性も有することから、NEDO が関与することは適切と考えられる。
- 本プロジェクトは、セメント製造工程の CO₂ を再資源化し、セメント原料や土木資源として再利用するための技術開発であり、セメント産業における脱炭素技術のイノベーションを目指すものとなっている。二酸化炭素削減の観点からも、国内外の技術動向、政策動向、国際貢献の観点からも、大きく貢献する重要技術開発である。当初から設定されている施策・制度の目標も十分達成されている。投じた研究開発費との比較において期待以上の十分な効果が得られている。
- CO₂ のセメント化は革新的イノベーション戦略およびグリーン成長戦略で国の政策でも明確に位置付けられており、本事業の成果は正にこれらの施策に合致する取組であると言える。
- また、当該技術の確立は構造的に CO₂ 排出量の排出が多いセメント業界における脱炭素化の手法として期待される一方で、技術開発要素が多く商用化・普及に向けては

NEDO 事業としての関与が必要な事業であると考えます。

- セメント産業からの CO₂ 排出削減は非常に困難であることから、セメントキルン排ガスから回収した CO₂ と廃コンクリートから炭酸塩を製造し再資源化するという本事業の目的は妥当であり、技術開発が果たす役割は大きいものと思われる。民間企業単独では困難な技術開発である、NEDO の関与は必要である。
- 多量の CO₂ をプロセス上排出せざるを得ないセメント製造において、CO₂ 削減を目指す本事業は喫緊にやるべき事業であると思われる。2050 年にはカーボンニュートラルを目指すことになるが、今回のセメント工場のように、まずは現状、何もないところから CO₂ を回収して利用するという事を実証することは意義がある。しかし、そのためには大規模な実証設備等が必要となり、企業のみでは迅速に対応できないと思われる。その点で NEDO 事業として妥当である。
- (1)石灰石市場は 50 ギガトン規模の CO₂ 吸収源言われており、セメント製造プロセスにおける CO₂ 吸収を検討するのは必須である。
- (2)環境価値を価格転嫁しにくい市場かと思うので、NEDO の支援は必要なテーマである。
- 2050 年のカーボンニュートラルに向け、産業界の脱炭素に欠かせない事業であり、脱炭素の動きに一致した取組だと思えます。また、現時点でセメント製造プロセスからの CO₂ 排出に関しては、世間の注目が相対的に小さい中、2030 年以降を見通し、NEDO 事業として取り組んだことは事業の先見性として評価します。費用対効果としても、CO₂ 固定化の側面から優位がある取組だと思えます。

<改善すべき点>

- 本事業は、予算年度の制約などやむを得ない事情もあったとは言えるが、2 年間での事業はこの事業が目指す成果を上げるにはかなり短く、さらに新型コロナの影響でかなり物品の調達に通常とは異なる制約があったことを考えると、実施者には大変な努力を求めたと考えられる。CO₂ 分離システムを調達するにも、本当にこの事業の構想に適合しているかを考えるには、これらの制約が大きな影響を与えたと考えられる。(この事業に限らず)事態の変化に応じた柔軟な対応ができる制度を検討すべきと思われる。
- 改善すべき点は殆どないが、あえて挙げるならば、このような大きなプロジェクトは、産官学の連携がなければ推進できないこと、本技術が確立された時の公共性も非常に高いことが予測されることから、NEDO が産官学の橋渡しの役割を更に担って推進いくことが必要である。グリーンイノベーション基金事業など、今後も NEDO が関与しバックアップを続けることを期待したい。
- 当該事業の費用対効果の妥当性は将来の CO₂ 取引価格の見通しに大きく依存をするが、各事業における CO₂ 価値の設定は各事業者に委ねられているように見受けられるため、複数の事業を相対的に比較することができるような CO₂ の価値設定に関する助言が必要である。
- 事業原簿の NEDO が関与することの意義において、冒頭で石炭火力の重要性の記述の

後、本事業のセメント業界への貢献に対する期待が述べられているが、石炭火力とセメント業界の直接的な関係性は無い。本事業（セメント業界における CO₂回収と廃コンクリートからの炭酸塩製造による CO₂ 排出削減）の位置づけが曖昧になる表現や記述は避けるべきである。

- 海外は、特にカーボンニュートラルの意識が高いと考えられる、欧州の動向を注目して、今後、目標を建てるのが良いと思われる。現在のウクライナ情勢により、場合によっては一気にエネルギーの転換が行われる可能性もあると思われる。
- 事業の継続性の観点からも、GI 基金の事業「セメント製造プロセスにおける CO₂回収システムの開発」が連続性のある事業となることが望ましいと考えます。

2. 2 研究開発マネジメントについて

研究開発目標は、国内外の競合する技術動向の調査に基づき、社会が求める目標値を実質的に上回る戦略的な目標を常に数値として示していることは妥当であると考えられる。開発スケジュール及び研究開発費についても、時間的制約などを考慮して実施可能なCO₂分離・回収プロセスの選択を行い、セメント製造プロセスの上流から下流まで、炭素循環の各要素技術開発の実証が計画的に行われており、適切であると考えられる。

実施者は、これまでのセメント産業で培ってきた技術力に加え、CO₂分離・回収装置など通常のセメント産業ではあまり使われてこなかった新規技術を導入するなど、目標達成に向け技術力を大いに発揮したと考えられる。

一方、研究開発の実施体制においては、大学の成果が少ないように思われるため、後継事業においては、企業、大学の連携が有効に機能するようマネジメントを行い、このプロジェクトで必要とされる新規要素技術の創出と、それに基づく新たな学問体系の創出を期待したい。また、本技術は、国外での需要も見込まれることから、早めに多くの外国特許出願をすることが望まれる。

<肯定的意見>

・ (1)研究開発目標の妥当性

内外の競合する技術動向の調査が行われており、それらとの比較で優位に立ちうる目標が設定されており、妥当と考えられる。

(2) 研究開発計画の妥当性

開発スケジュール及び研究開発費については、時間的制約などを考慮して実施可能なCO₂分離プロセスを選択するなど、適切に計画されていたと考えられる。目標達成に必要な要素技術の開発は、CO₂分離から廃物を使つてのCO₂固定化、生成物の有効利用までを含み網羅的に行われており妥当である。

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

実施者は、これまでのセメント産業で培ってきた固体ハンドリング(粉碎・分級等)や固体反応器技術、コンクリート製造技術などの技術力を発揮して、さらにはCO₂分離装置など通常のセメント産業ではあまり使われてこなかった新規技術の運転を行うなど、技術力を大いに発揮した。この研究開発が順調に行った背景には、技術力を発揮するための体制が十分整っていたと考えられる。個別テーマについては、大学との共同研究を実施する体制があり、適切と考えられる。

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

技術推進委員会が適切な頻度で開催され、研究開発の進捗状況が委員会によって把握されており、適切な管理が行われたと考えられる。CO₂分離装置については、新型コロナの影響下での調達制約などを考慮して、実施可能な装置が選択されており、情勢に応じた対応がなされたと考えられる。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

知的財産に関する戦略は、オープン(特許化)するか、クローズするかの方針を明確にし

ており、特許化の対象となる技術については特許出願の数も多く、妥当であると考えられる。

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえ、社会が求める目標値を提示しながらも、更にこの値を実質的に上回る戦略的な目標を常に数値として示している。また各要素技術における目標数値の算出根拠も十分説明されており、どこまで達成しているかが明確に評価できる。各要素技術の進行状況に対して、実施日誌、月間工程表、執行管理表の確認や現地調査・ディスカッションなどを通して適切に管理している。また得られた成果に対して社会実装を常に意識している点、NEDOを含め産学官の連携の良さ、プロジェクトリーダーの統率力は高く評価できる。
- ・ 国内外の技術動向等を踏まえ、適切な目標設定、開発計画の設定、実施体制が行われている。研究開発の進捗管理については現場調査や技術推進委員会の設置を含み丁寧に実施されているものと考えられる。
- ・ 特許出願の実績も確認でき、知財の取り扱いルールにのっとり、適切に運用されたものと評価できる。
- ・ 進捗の把握・管理は適切に行われていると思われる。2年という短期間で実証試験設備を導入し実証を行ったことは評価できる。
- ・ セメント製造において、まずはCO₂回収設備を導入し、回収したCO₂を廃コンクリート等に導入して製品にするというCCUの研究開発はやらなければならない課題であり、重要であると考えられる。

注) CCU(Carbon Capture and Utilization)

- ・ 総括として、PMが良く機能しており、期間内に目標を超えるよう活動できた印象です。製品の出口戦略として応用の効く技術として幾つかの用途試作で検証できている点も素晴らしいと感じた。
- ・ モデル工場に示されていたように、セメント製造プロセスの上流から下流までの各要素において、炭素循環の実証が網羅的になされており、適当な研究開発だったと理解します。

<改善すべき点>

- ・ 実施体制においては、本事業では大学との共同研究も行われていたが、事業原簿など資料を見る限りでは大学の出した成果(对外発表などを含む)についての記述が少ない。ただし、大学の基礎研究はすぐには成果につながらない場合もあり、ノウハウなどに関連するものもあるので、今後の成果の発表などを期待したい。
- ・ 当初予定していた開発スケジュールよりも早く成果が得られている要素技術も見られている。研究開発費の配分が、開発ペースに合わせて自由度高く変更できるなど、実施者にとって遂行しやすいようにする工夫も必要ではないか。
- ・ 動向・情勢の把握と対応において、「グリーンイノベーション基金」の創設に対応するため新たな技術開発プロジェクト「CO₂を用いたコンクリート等製造技術開発」を立ち上げた点は評価できる。一方で、国際動向も重要であり、海外の技術動向と比較して本技

術の性能の位置を示すことができれば、国際競争力の観点からも有効な情報と思われる。

- セメント工場に CO₂ 回収設備を導入する事をまず実施した事は意義が大きいですが、市販装置を導入したということであり、今後は、CO₂回収コストや回収した CO₂の利用の側面からも適切な回収装置の選定、改良を行うのが望ましい。
- (1)NEDO の支援を受けるとい点では、世界で勝ち抜くためのチャレンジな目標値の設定であるべきだと思います。海外のベンチャー企業の多くは、妥当性のある目標設定ではなく、野心的な目標設定を置くことで投資を集め、独創性をもって達成しようとしています。必ず技術革新がともなう市場なので、先進的なアイデアを検討し導入を目指して欲しい。
- セメントキルン排ガスからの CO₂ 分離回収については、アミン回収法という選択がセメント製造プロセスに最適なものかについて十分な事前検討が不足していたことが懸念されます。

<今後に対する提言>

- 実施体制においては、大学との共同研究が行われているが、単なる研究下請けではなく、このプロジェクトで必要とされる新規要素技術の創出と、それに基づく新たな学問体系の創出を期待したい。
- 外国特許に関しては廃コンクリートに関するもの、即ち技術開発の中で最優先の内容で 1 件出願している。本プロジェクトの各要素技術は、今後国内だけでなく国外での需要も大きくなることを見込まれることから、できるだけ多く早めに特許出願することが望まれる。また今後の科学技術の発展や、本技術開発から得られる公共の利益を考慮すると、若手の研究者・技術者の養成も重要である。
- 研究開発の進捗管理については、国内外の技術開発や政策等の動向を踏まえ必要に応じて柔軟に対応頂くとともに、NEDO および事業者双方の負担を可能な限り低減できる部分がないか、効率化の観点から検討を頂きたい。
- 各技術開発項目における個別目標の設定は理解できるが、セメント・コンクリート業界全体に対する各技術の影響度合いがどの程度あるのかを分かり易く説明する必要がある。そのためには、セメント生産量、廃コンクリート発生量、生コンスラッジ等の発生量と流通形態を描写し、そこに、各技術の CO₂ 削減インパクトを表示すれば理解しやすくなる。
- CO₂ 回収については上記の通りであるが、CO₂ の利用においても、まずは路盤材など、実際に使用できる製品ができる事を実証できた点は意義深い。しかし、セメント用途として大きい建築用途への適用について、どのような方策をとるのか、建築用に適用できない場合は、回収した CO₂ をどう利用するのか、あるいは CCS にするのかなどについて、長期的な計画をたてる必要があると思われる。

注) CCS(Carbon dioxide Capture and Storage)

- 諸外国では、出口戦略まで面倒をみているケースも増えてきている（例えば、二酸化炭素吸収型セメントを公共機関の建設に優先的に使用するなど）。導入事例が増える事が

社会実装を普及させるのに効果的であるので、ぜひ検討して頂きたい。

- 技術開発の進捗が早い市場の場合、期中であっても目標値を再検討できるような PM を検討頂きたい。
- 廃コンクリートは CO₂ 固定として有望であると思われるが、一方、重量が大きい事から必ずしも広域の大規模集積には向かないことが懸念されます。今回の実証は高濃度 CO₂ に対する固定化でしたが、ローカルな低濃度 CO₂ 排出源からの CO₂ 固定化を想定するなど、簡易に社会実装ができる可能性を模索し、より実用に即した開発を進めて頂きたい。

2. 3 研究開発成果について

本事業の目的である、排ガス CO₂ 分離・回収装置の運転、廃コンクリートの破碎・分別、CO₂ の固定化反応装置の運転、低 CO₂ コンクリート製品の製造の成果は、2 年という短期間にもかかわらず、最終目標を全て達成しており、また、その成果は将来における市中の廃コンクリートの有効利用とそれによる廃棄物の減量にもつながることが期待できることから、高く評価できる。さらに、本事業を実際の製造プロセスの中で実証したことは社会実装に向け大きな一歩であると考えられる。

後継事業においては、コンクリート生産量、廃コンクリート、スラッジの発生量の将来見通しを踏まえたうえで、サプライチェーン全体での長期的な CO₂ 固定化可能量（ポテンシャル）を特定して示すことによって、本技術の影響度合いを把握することを期待したい。

<肯定的意見>

・ (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

本事業が目的としていた、排ガス CO₂ 分離回収装置の運転、廃コンクリートの破碎・分別、CO₂ の固定化反応装置の運転(廃コンクリート微粉及び生コンスラッジによる)、低 CO₂ コンクリート製品の製造の成果は、それぞれ目標を達成したといえるので、本研究開発事業としてすべて達成したと認められる。事業の目標は、競合技術と比較して優位性を持つことを目的として設定されており、この目標が達成されたことで優位性があると考えられる。成果は将来における市中の廃コンクリートの有効利用とそれによる廃棄物の減量にもつながると期待でき、高い評価を受けるに値する。

(2) 成果の普及

学会発表・論文等の学術的発表については、多いとは言えないが、実施期間が短かったこと、新型コロナで研究者のラボなどでの実験的研究に制約があったこともあり、やむを得ない事情があったと言える。業界誌、プレスリリースなどで、ユーザーや一般に向けた本事業の情報発信が行われており、適切である。なお、粒子内が炭酸化しているか未反応アルカリが残存しているかを「見える化」するためにフェノールフタレインを噴霧して発色の具合を見せる方法は、特に一般に向けた効果的なアピール方法になると考えられ、その工夫を高く評価したい。

(3) 知的財産権等の確保に向けた取組

外国出願 1 件を含めて 10 件以上の特許出願がなされており、適切である。

- ・ 短期間にもかかわらず、最終目標はほぼ達成されている。また幾つもの優れた成果や、当初目標として挙げていた以上の成果が得られている。化学吸着法によるセメントキルン排ガスからの CO₂ 分離・回収に関しては、ラボ試験においてアミン系吸収液自体が CO₂ 吸収や脱離に与える影響がないことを確認したうえで、実証試験において CO₂ 回収量及び濃度の目標性能及び目標時間を達成している。また本事業でパイロットプランまで導入し、本技術開発がセメントキルン排ガスに十分適用できることを実証している。廃コンクリートによる CO₂ 吸収及び建設資材・セメント原料としての利用技術開発に

関しては、ラボ試験において段階的にスケールアップの検討をした結果、実証試験での処理条件最適化を速やかに行うことができている。またセメントペースト・骨材分離回収技術では、従来の再生骨材製造時の副産微粉に比べ高品位のセメント原料回収も実現している。その他の要素技術（生コンクリートを用いた CO₂ 固定化技術の開発、低炭素型炭酸化養生コンクリート製品開発）についても短期間にもかかわらず、ラボレベルから実証試験へとスムーズに移行できている。このように、総合的なカーボンリサイクルの実現に資する要素技術が確立されていることは評価できる。

- 全ての研究開発項目について目標を達成しており、十分な成果を挙げていることを確認した。特に実際に回収した CO₂ を活用したコンクリート製品の製造についてサプライチェーンを含み実証を完成させたことについては、社会実装に近づけた研究として高く評価できる。
- また新聞・雑誌等への掲載など実用化の担い手やユーザーに向けた対外的な情報発信も行われていることも一定評価できる。
- 本事業の核となる二酸化炭素の固定化方法・廃コンクリートからのセメント原料回収方法・クリンカ粉末及びその製造方法について基本特許を出願されていることから、知的財産権の確保について適切に行ったことを確認した。
- 設定した目標を全て達成している点は評価できる。
- 成果は最終目標を達成している。
- (1)達成している。(2)リリースなど適切に発信できている。(3)出来ている。
- CO₂ を固定化した製品を実際の製造プロセスの中で実証したことは社会実装に向け大きな一歩であると考えます。事業者が実際の物流等を勘案し、用途に応じた CO₂ 固定を模索しており、現実性の高さが伺われました。また、2年間の短期間の中で各項目において十分な成果を上げていると感じました。

<改善すべき点>

- フェノールフタレイン溶液の着色と断面観察によってセメント材料への CO₂ 固定化を評価しているが、空間分解能を備えた定量的な評価が今後必要と感じられる。得られた研究成果をプレス発表など更に広く社会に発信することが望まれる。そのための NEDO のサポートを期待したい。
- 一部の研究開発について、エネルギー収支を含めて競合技術と比較した優位性については確認ができなかったため、今後は熱利用方法の工夫等で更なる改善を期待したい。
- 情報発信については研究発表・講演、新聞・雑誌等への掲載に留まっており、本事業の成果を他社が活用できるレベルの情報発信ではないと思われるため、研究論文としてより踏み込んだ情報発信に努めて頂きたい。
- 標準化に関してはユーザー側での検討が必要になるものの、製造側の事業化要件も踏まえ積極的に関与し検討を進めて頂きたい。
- 成果の普及活動が少ない印象がある。例えば、見学会の拡充等、更に多様な媒体を通じ

て成果の公表をすべきと思われる。その際、専門家のみならず一般人を対象とした情報発信のあり方も検討していただきたい。

- ・ 今回は、まずセメント製造に CO₂ 回収装置を導入し、その CO₂ を利用することができたという点で十分目標を達成しているが、2050 年のカーボンニュートラルに向けては、セメント製造にかかわるすべての CO₂ について回収する必要がある、さらにより低コスト化が必要となると考えられるので、既存のアミン吸収だけではなく、より低コスト、高効率な CO₂ 回収技術の導入検討等も望まれる。
- ・ 目標に対しては成果を出せているが、前述したが目標値の設定は野心的であるべきかと思う。

<今後に対する提言>

- ・ 現段階では、廃コンクリートの利用の際の消費エネルギーの削減及び本構想に適した CO₂ 分離方式(回収 CO₂ 純度仕様と分離エネルギー消費の観点)について検討を継続し、低エネルギー消費型固定化プロセスの構築に向けた検討を継続されたい。大学との共同研究が行われており、本事業の成果を学術的な視点からまとめて対外発表されるとともに、新たな学問体系の構築を期待したい。
- ・ 化学吸着法によるセメントキルン排ガスからの CO₂ 分離・回収に関しては大変優れた技術開発であるが、長期間に亘る吸収液の耐久性や CO₂ 回収性能の評価を実施することが望まれる。炭酸化養生技術など、現段階では無筋コンクリート製品にのみ適用できる技術を鉄筋コンクリートへ応用するなど、更なる研究技術展開が望まれる。
- ・ 今回の成果物である CO₂ 吸収コンクリートは貴重なモニタリング対象となるため、可能な範囲で長期的なモニタリング評価をお願いしたい。
- ・ コンクリートストック量、コンクリート生産量、廃コンクリート、スラッジの毎年の発生量の将来見通しを踏まえたうえで、サプライチェーン全体での長期的な CO₂ 固定化可能量(ポテンシャル)を特定して示すことによって、本技術の影響度合いを把握することが大事である。
- ・ CO₂ の利用において、路盤材としては十分有効であることがわかったが、大量の CO₂ を処理するという点では、建築用のセメントへの適用が必要と思われる。そのためには、品質などの課題があると思われるので、それに対しての検討が必要と考える。
- ・ 今後の社会実装に向けては、「JIS 規格化」や「施工指針の策定」という業界全体での取り組みが出来るよう進めて頂きたい。

2. 4 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

事業化に向けて、試験の継続、設備投資判断など事業開始まで、ステップごとに適切に計画化されており、また、事業化の開始に際しては、CO₂削減ポテンシャルの計算が図られ、将来の電力・輸送のCO₂発生原単位の変動においても見直すことが考慮されていることから、事業化へは適切に取り組まれていると考える。さらに、本事業の成果はCO₂削減にとどまらず、廃コンクリートからの骨材の回収、生コンスラッジの有効利用による廃棄物処理量の低減のメリットもあり、産業としての適用が期待できる。

一方、事業化へは、経済性を明らかにする必要があると思われる。後継事業では、要求CO₂純度とエネルギー消費の兼ね合いの視点から、消費エネルギーの削減によるCO₂削減ポテンシャル向上を目指した設備の最適化を行ったうえで、経済性を踏まえた技術開発目標を設定し事業を推進していただきたい。また、ステークホルダーのメリット・デメリットを整理して、廃コンクリート流通の変革を含めた新たなサプライチェーンの創生を検討いただき、環境価値をどのようにコスト転嫁できるかの検討も期待したい。

<肯定的意見>

・ (1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

本事業のうちCO₂の分離回収は、本事業の廃セメント・生コンスラッジ・コンクリートへの適用に限らず、単なる地中貯留(CCS)の場合でも必要とされる技術であり、今後の実用化の見通しがあると思われる。廃セメントの利用、生コンスラッジについては、回収の方法など今後の課題がまだあると思われるが、実用化に対する技術的見通しがこの事業でかなり明確化したと思われる。成果の事業化については、自社による実施を想定して、実用化に向けた試験の継続、設備投資判断、事業開始のステップごとのタイムスケジュールが考えられている。事業化の開始に際しては、事業によるCO₂削減効果の有無が大きな判断基準となるが、削減ポテンシャルの計算がなされており、さらに将来の電力・輸送のCO₂発生原単位の変動があった場合に削減ポテンシャルの計算を見直す用意ができており、適切である。本事業の成果はCO₂削減にとどまらず、廃コンクリートからの骨材の回収、生コンスラッジの有効利用による廃棄物処理量の低減のメリットもあり、廃棄物減量にも寄与することから、産業としての適用が期待できる。

- ・ 本プロジェクトにおいては、特に廃コンクリートをセメント原料として再利用することにより、天然石灰石の使用量を削減する技術を開発しており、実際にCO₂とコストの双方の削減に成功している。成果の実用化・事業化に向けての戦略として、パイロットプラントも建設し、システムの大型化と大規模スケールでの性能評価も行っている点は、高く評価できる。競合する製品・システムと比較して性能面・コスト面等で、現在優位性を明確に示している。
- ・ セメントキルン排ガスから回収したCO₂と廃コンクリートを活用して炭酸塩を製造するプロセスについては確立されたため、実用化の定義は満たしていることを確認した。
- ・ 実証試験の継続等、今後の計画が立てられている点は評価できる。
- ・ セメントキルンの排ガスからのCO₂を回収して、廃セメント等に含有させ、路盤材など

に利用するという事業において、実際に目標通りに CO₂ を回収し、それをを用いて実用性を持った路盤材等を開発できたという点で、戦略、具体的な取り組みは明確であり、実用化への見通しについてもある程度明確である。

- ・ 実用化は十分に社会実装可能な水準だと思われる。事業化に向けて、幾つかの用途展開の事例をつくれているのは素晴らしい。
- ・ 本技術開発で用いられた実証設備を活用し、事業者が引き続き実証試験を行うと聞いています。事業者が自社負担で引き続き実証試験を行うことは、この成果が実用化・事業化へ向けて有用であることを示していると理解します。

<改善すべき点>

- ・ 本事業においては、予算年度や新型コロナによる調達の問題などがあり、例えば CO₂ 分離回収において要求 CO₂ 純度とエネルギー消費の兼ね合いの観点から最適な設備が用いられたかについては検討の余地が多にあると思われる。CO₂ 分離回収プロセスの選択に関する本質的な「問い」としては、「所要 CO₂ 純度はどの観点で決定すべきか」であり、本事業においてその解が得られたかは明確ではない。この問いに対する解を得るためには、それぞれの CO₂ 固定化装置において必要とされる純度スペックを明確にするとともに、他の分離回収技術の調査に基づく検討が必要と思われる。
- ・ 現在は、本研究開発が科学技術的にも経済的にも進展し続けている段階であるが、最終的な実用化を見据えた時に、コスト面を重視し過ぎて、新しい科学・技術の発展を妨げるようでは残念である。次のグリーンイノベーション事業においても、産官学の連携やバランスを意識しながらも、科学技術における発展に貢献し続けて頂きたい。
- ・ 円滑な生産・事業活動を行う上では、現時点では経済効果を期待できると確信できるレベルではないため、熱エネルギーを含む省エネ化や設備のシンプル化や大型化による費用圧縮の取組の方針を明確化する必要がある。
- ・ 一方で、研究開発項目ごとの目標は達成されたものの、実用化・事業化を実現させるためには、どのような新たな目標（技術的）が必要かを特定し明示的に示すことが必要である。特に事業化に向けては経済性の特定が必須になることから、経済性を踏まえた技術開発目標を設定してもらいたい。経済性が明らかになると、補助や助成等、今後の支援策のあり方も明確になる。
- ・ 今後、コスト低下などの課題を克服できれば、円滑な生産、事業活動も可能と思われるが、コストの点ではより低コストが可能な CO₂ 回収プロセスが望まれ、CO₂ の利用については建築材料への応用などのより広範な利用の可能性の検討が必要と思われる。
- ・ どうコスト競争力をつけていくか（環境価値をコスト転嫁できるか）を含め売するためのマーケティングが必要。

<今後に対する提言>

- ・ 本事業において CO₂ の利用が成功した一つの要因として、溶液吸収法により回収された CO₂ の純度が極めて高かったことが考えられる。また、廃コンクリートの粉碎・分級

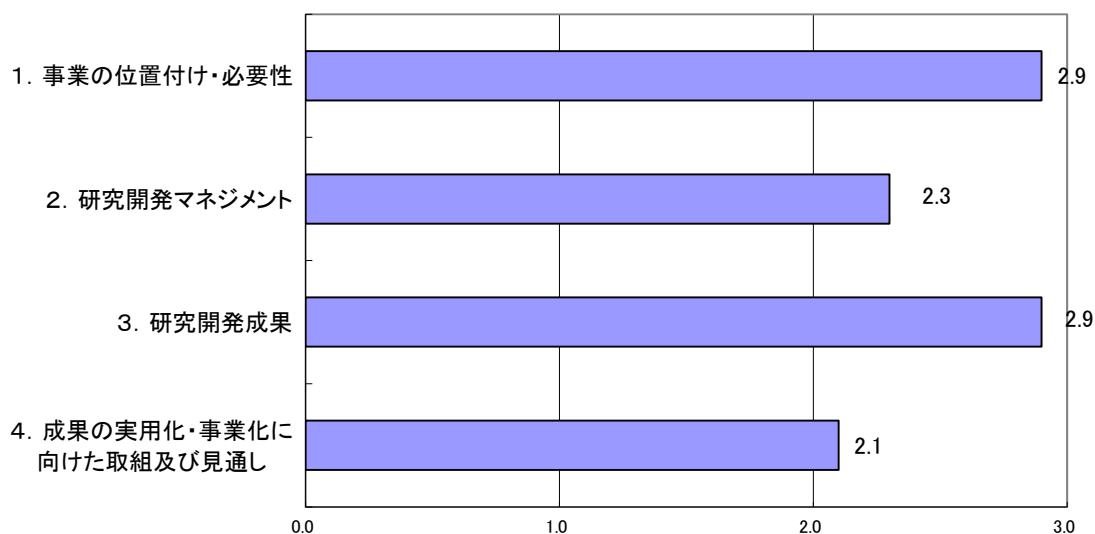
もかなり精密な分離ができていたが、これも消費エネルギーを増やす要因になると考えられる。その結果として、CO₂削減ポテンシャル計算では現状のままでは必ずしも満足のような結果が得られたとはいえないが、試算結果も見られている。今後は、消費エネルギーの削減によるCO₂削減ポテンシャル向上を目指した最適化について検討されたい。

- 現段階では、モデル工場の想定CO₂排出量を計算しており、電力や輸送のカーボンフリー化が実現した場合でのCO₂削減量を評価している。炭素循環型セメント製造プロセスを社会実装した場合のシステム全体のCO₂削減効果やコスト削減効果を考慮するためには、電力や輸送のカーボンフリー化が実現しない状況でも、どこまで削減が可能かを各開発段階に応じて評価することが重要である。
- 本技術によるCO₂削減効果をプラスにするためには電源や輸送におけるCO₂排出係数の大幅な削減が必要との結論に至っており、受動的な感じが強い。近年は企業自身が直接再エネ電力の調達に向けた取組みを進めており、本技術においても積極的に再エネ電力を調達する方策を検討してもらいたい。再エネ電力の変動に対応できるような技術・用途を特定し、変動に対応するための技術開発項目を検討することが大事である。本技術を社会実装するためには、CO₂固定化技術の開発のみならず、廃コンクリート流通の変革を含めた新たなサプライチェーンをイメージした市場の創生が求められる。サプライチェーンにおける各ステークホルダーのメリット・デメリットを整理して、どのような市場があり得るかを検討していただきたい。炭酸カルシウムとして固定されるCO₂は長期に亘り分解されることはないかと思われるが、技術が社会実装されるためには、CO₂の漏洩やCO₂固定化量の測定等の基準作りが必要となる。CCSのISO/TC265のように国際標準化策定の機会があれば、積極的に参加・関与していかれることを期待したい。
- カーボンニュートラルを目指す場合、上記に示したような低コストのCO₂回収プロセス、CO₂利用セメント領域の拡大が必要であり、また回収CO₂をすべてセメント関連に利用できない場合は、ご提案にあったメタネーションなどへの利用も考える事になると思うが、その場合はCO₂フリー水素の利用が必須となり、その調達や低コスト化も課題となってくる。そうした場合は、単独のプロジェクトだけでは解決できないと思われるので、カーボンニュートラルに関連した種々のプロジェクトの連携が必要となると思われる。
- LCAなど環境側面での価値を定量化し、使用者にとっての価値提案まで踏み込んだプロジェクトになっていると、より事業化推進が加速すると思います。

注) LCA(Life Cycle Assessment)

- セメント製造プロセスにおいては、本事業を進めるセメント製造業者とセメント利用者（建設業者）に立場の違いが発生してしまうと想定されます。セメント利用者（建設業者）にもメリットがある事業スキームの構築をお願いしたい。

3. 評点結果



評価項目	平均値	素点 (注)							
		A	A	A	B	A	A	A	
1. 事業の位置付け・必要性について	2.9	A	A	A	B	A	A	A	
2. 研究開発マネジメントについて	2.3	B	A	B	B	A	B	B	
3. 研究開発成果について	2.9	A	A	A	B	A	A	A	
4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	2.1	B	A	B	B	B	C	A	

(注) 素点：各委員の評価。平均値は A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算し算出。

〈判定基準〉

- | | |
|--|--|
| <p>1. 事業の位置付け・必要性について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・非常に重要 →A ・重要 →B ・概ね妥当 →C ・妥当性がない、又は失われた →D | <p>3. 研究開発成果について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・非常によい →A ・よい →B ・概ね妥当 →C ・妥当とはいえない →D |
| <p>2. 研究開発マネジメントについて</p> <ul style="list-style-type: none"> ・非常によい →A ・よい →B ・概ね適切 →C ・適切とはいえない →D | <p>4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて</p> <ul style="list-style-type: none"> ・明確 →A ・妥当 →B ・概ね妥当 →C ・見通しが不明 →D |

第2章 評価対象事業に係る資料

1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

「炭素循環型セメント製造プロセス技術開発」

事業原簿

公開版

担当部	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 環境部
-----	--------------------------------------

—目次—

概 要

プロジェクト用語集

1. 事業の位置付け・必要性について	1-1
1. 事業の背景・目的・位置づけ.....	1-1
2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性.....	1-4
2.1 NEDO が関与することの意義.....	1-4
2.2 実施の効果（費用対効果）.....	1-5
2. 研究開発マネジメントについて	2-1
1. 事業の目標.....	2-1
2. 事業の計画内容.....	2-1
2.1 研究開発の内容.....	2-1
2.2 研究開発の実施体制.....	2-7
2.3 研究開発の運営管理.....	2-8
2.4 研究開発成果の実用化・事業化 [※] に向けた マネジメントの妥当性.....	2-9
3. 情勢変化への対応.....	2-10
3. 研究開発成果について	3-1
1. 事業全体の成果.....	3-1

2.研究開発項目毎の成果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・3-1

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて・・・・・・・・・・・・4-1

1.成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて・・・・・・・・・・・・4-1

(添付資料)

- ・プロジェクト実施方針
- ・プロジェクト開始時関連資料（事前評価結果）
- ・特許論文等リスト

概要

		最終更新日	2022年6月23日		
プロジェクト名	炭素循環型セメント製造プロセス技術開発	プロジェクト番号	P20013		
担当推進部/ PMまたは担当者	環境部 主担当 井原 公生 (2020年7月~2022年3月) " " 木下 茂 (2022年4月~6月)				
0. 事業の概要	<p>本事業では、セメント製造工程のCO₂を再資源化し、セメント原料や土木資材として再利用する技術の開発や、実用化に向けた実証試験を実施する。セメント工場内にCO₂分離・回収実証設備を設置して、セメントキルン排ガス中から1日当たり10トンのCO₂を分離・回収する実証試験を実施する。この規模でセメント工場においてCO₂を分離・回収する実証試験は、国内で初めてである。また、分離・回収したCO₂を廃コンクリートや生コンクリートスラッジを用いて炭酸塩として固定化し、セメント原料や道路舗装用の路盤材などとして再資源化する要素技術を開発する。</p> <p>本事業により、セメント工場に最適なCO₂分離・回収システムや、CO₂を原料とする製造プロセス技術を確立し、社会実装の初期段階として、2030年度までに国内のセメント工場への導入を目指す。</p>				
1. 事業の位置 付け・必要性に ついて	<p>地球規模の課題である気候変動問題を解決するためには、クリーンエネルギー技術の開発と実用化に向けた抜本的コストダウンが必要。</p> <p>日本としても、世界の脱炭素化を牽引すべく、「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」（令和元年6月閣議決定）において、『2050年までに80%の温室効果ガス削減を目標とすること』、『非連続的なイノベーションを創出するために革新的環境イノベーション戦略を策定すること』等を表明。</p> <p>また、2020年1月に「革新的環境イノベーション戦略」が策定された。</p> <p>本事業では、革新的環境イノベーション戦略を加速化させるため、CO₂排出量の多いセメント産業において、当該戦略の中に位置づけられているカーボンリサイクル技術の開発による原料化や再資源化するセメント製造プロセス構築を実施する</p>				
2. 研究開発マネジメントについて					
事業の目標	<p>a) セメント工場に最適なCO₂分離・回収システムを構築：セメントキルン排ガスに適した経済的で効率的なCO₂吸収液・回収プロセスの選定(目標：10t-CO₂/日規模の実証による検証)</p> <p>b) CO₂をセメント廃棄物等に固定する技術の確立：廃コンクリート中のセメントに固定するCO₂量70kg-CO₂/t-cem.*以上(自主目標：100kg-CO₂/t-cem.以上)</p> <p>c) 本助成事業「炭素循環型セメント製造プロセス技術開発」の「実施方針」に記載の「最終年度目標」に関連する目標に加えて、廃コンクリート、生コンスラッジ、コンクリート製品、生コンを活用したCO₂有効利用・炭酸塩化技術の確立による総合的なカーボンリサイクルの実現に向けた技術開発及びCO₂排出削減効果・固定効果の評価</p> <p>*kg-CO₂/cem.: セメント1tあたりのCO₂量(kg)</p>				
事業の計画内容	主な実施事項	2020fy	2021fy		
	CO ₂ 分離・回収技術	←	→		
	CO ₂ 有効利用・炭酸塩化技術	←	→		
	CO ₂ 排出削減・固定効果の評価	←	→		
事業費推移 (単位:百万円) (助成)	会計・勘定	2020fy	2021fy	総額	
	特別会計(需給)	448	2,630	3,078	
	総NEDO負担額 (助成): 助成率 1/2	224	1,315	1,539	

開発体制	経産省担当原課	製造産業局素材産業課
	助成先	太平洋セメント株式会社 共同研究先：国立大学法人東京大学、学校法人早稲田大学
情勢変化への対応	グリーンイノベーション基金事業の基本方針に基づき「CO ₂ を用いたコンクリート等製造技術開発プロジェクト」を上げた。そのなかで本事業の成果を踏まえてセメント製造過程で発生するCO ₂ を全量近く回収でき、既存と同等以上のコスト低減を目指す技術開発を開始した。	
評価に関する事項	事前評価	2019年度実施 担当 製造産業局素材産業課
	事後評価	2022年度 事後評価実施
3. 研究開発成果について	<p>1.化学吸収法によるセメントキルン排ガスからのCO₂分離・回収</p> <ul style="list-style-type: none"> ・CCL社のアミン系吸収液が最もCO₂吸収・脱離ポテンシャルが高いことを確認 ・パイロットプラントで10t-CO₂/日を満たす基本運転条件を達成(連続100時間以上、回収CO₂濃度:99%以上) ・LCAにより現状を把握 <p>2-①廃コンクリートによるCO₂吸収及び建設資材・セメント原料としての利用技術開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実証設備の安定運転に成功し目標のCO₂固定量を達成(70kg-CO₂/t-cem.以上) ・廃コンクリートに適した破碎方式を把握、粒度毎の選別機の運転条件を確立し回収物の目標品位を達成(微粒分中のセメント含有率70%以上) <p>2-②生コンスラッジを用いたCO₂固定化技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実証設備のCO₂固定化条件を最適化しCO₂固定量を達成(125kg-CO₂/t-cem.以上) ・セメント工場での実機設備で生コンスラッジ(CO₂固定後)を添加したセメントを製造し品質に問題ないことを確認 <p>2-③低炭素型炭酸化養生コンクリート製品の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・低炭素型の新規セメント系材料の開発と製造に成功 ・新規セメント系材料を用いた炭酸化養生ILブロックを実製品工場で製造し、駐車場舗装として供用性に問題ないことを確認 ・製造したILブロックは目標のCO₂削減・固定量を達成(320kgCO₂/t-cem.以上) <p>2-④生コンへのCO₂固定化技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・効率的なCO₂注入方式としてセメントスラリー方式を新たに開発 ・生コンや軽量土の品質を損なわず目標のCO₂固定量を達成(10kg-CO₂/t-cem.以上) <p>3. CO₂排出削減効果・固定効果の評価</p> <p>モデル工場を設定した評価により、本技術の導入による普及期のCO₂削減ポテンシャルおよび開発した技術の有効性を示した。</p>	
	投稿論文	「査読付き」0件、「その他」7件
	特許	「出願済」12件、「登録」0件、「実施」0件（うち国際出願1件）
	その他の外部発表 (プレス発表等)	4件

<p>4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて</p>	<p>現状、キルンから発生するCO₂分離回収とCO₂の固定化で技術的知見を得られているが、実用化に向けて以下のような部分で検討を継続する必要がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2022～2023 年度：実証試験の継続 ① CO₂回収技術 連続運転の継続検証、熱収支評価、各種アミンの評価 ② CO₂利用技術 廃コンクリート炭酸化の更なる向上策検討 ・2024～2026 年度：改造した設備での実用化を想定した試験 <p>上記期間の試験結果を踏まえての設備改造、ならびに各課題についての更なる検証ならびに必要な応じた大型化</p>	
<p>5. 基本計画に関する事項</p>	<p>作成時期</p>	<p>2020 年度実施方針策定：2020 年 2 月制定 2021 年度実施方針策定：2021 年 2 月制定</p>

プロジェクト用語集

用語の定義

セメント	:	水と反応して、硬化する鉱物質の微粉末。ポルトランドセメント、混合セメントなどがある。
クリンカ	:	ケイ素、アルミニウム、鉄、カルシウムのいずれかを含む原料を適切な割合で混ぜ、その一部が熔融するまで焼成して得られたもの。クリンカに石こうや少量混合成分を加えて粉碎したものがポルトランドセメント。
コンクリート	:	セメント、水、細骨材、粗骨材および必要に応じて加える混和材料を構成材料とし、これらを練混ぜその他の方法によって混合したもの、または硬化させたもの。
モルタル	:	セメント、水、細骨材および必要に応じて加える混和材料を構成材料とし、これらを練混ぜその他の方法によって混合したもの、または硬化させたもの。
セメントペースト	:	セメント、水および必要に応じて加える混和材料を構成材料とし、これらを練混ぜその他の方法によって混合したもの、または硬化させたもの。
骨材	:	モルタルまたはコンクリートを造るために、セメントおよび水と練り混ぜる砂、砂利、砕砂、碎石、スラグ骨材、その他これらに類似の材料。
細骨材	:	10mm 網ふるいを全部通り、5mm 網ふるいを質量で 85%以上通る骨材。
粗骨材	:	5mm 網ふるいに質量で 85%以上留まる骨材
再生骨材	:	解体したコンクリート塊等の処理を行うことにより製造したコンクリート用の骨材。
廃コンクリート	:	コンクリート構造物・建物を解体し、さらに破碎したコンクリートの塊。
生コン	:	整備されたコンクリート製造設備を持つ工場(生コン工場)から、荷卸し地点における品質を指示して購入することができるフレッシュコンクリート(まだ固まらない状態のコンクリート)。JIS用語：レディーミクストコンクリート。
生コンスラッジ	:	生コン工場のミキサやアジテータ車の洗い水、建設現場で使用されずに残ったコンクリートや荷卸し検査に不合格となったコンクリートの処理排水に含まれる固形物。主にセメント水和物、未水和セメント、骨材微粒分から構成される。
コンクリート製品	:	常設された工場で製造され、最終的に使用される場所以外で製作されたコンクリート製品。
路盤材	:	道路の基礎として、道路表面から伝達される自動車等の荷重を分散して地表に伝える役割をもつ部材に用いられる材料。碎石のほか、コンクリートやアスファルトを細かく破碎した、再生路盤材などが用いられる。

1 事業の位置付け・必要性について

1. 事業の背景・目的・位置づけ

地球規模の課題である気候変動問題を解決するためには、クリーンエネルギー技術の開発と実用化に向けた抜本的なコストダウンが必要である。日本としても、世界の脱炭素化を牽引すべく、「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」（2019年6月閣議決定）において、2050年までに80%の温室効果ガス削減目標を掲げるとともに、非連続なイノベーションの推進を表明した。また、2019年10月の「グリーンイノベーション・サミット」での議論を踏まえ、2020年1月に「革新的環境イノベーション戦略」が策定された。同戦略において、温室効果ガス削減量が大きく、日本の技術力による大きな貢献が可能な39テーマのひとつとして、「CO₂を原料とするセメント製造プロセスの確立」が設定された。

セメント産業は、世界の温室効果ガス総排出量の約8%に相当する二酸化炭素を排出している産業であり、その排出削減対策は重要な課題となっている。このうちの約6割を占める非エネルギー起源二酸化炭素については、セメントの中間製品であるクリンカを製造するプロセスで原料（石灰石）から化学反応によって必然的に発生するものである。そのため、クリンカを製造する限り、その排出削減は困難であり、セメント産業における脱炭素技術の革新的なイノベーションが求められている。

本事業では、セメント産業における脱炭素技術の革新的なイノベーションを創出するため、セメント工場及び近隣地域において、セメント製造工程のCO₂を再資源化し、セメント原料や土木資材として再利用する技術を開発する。

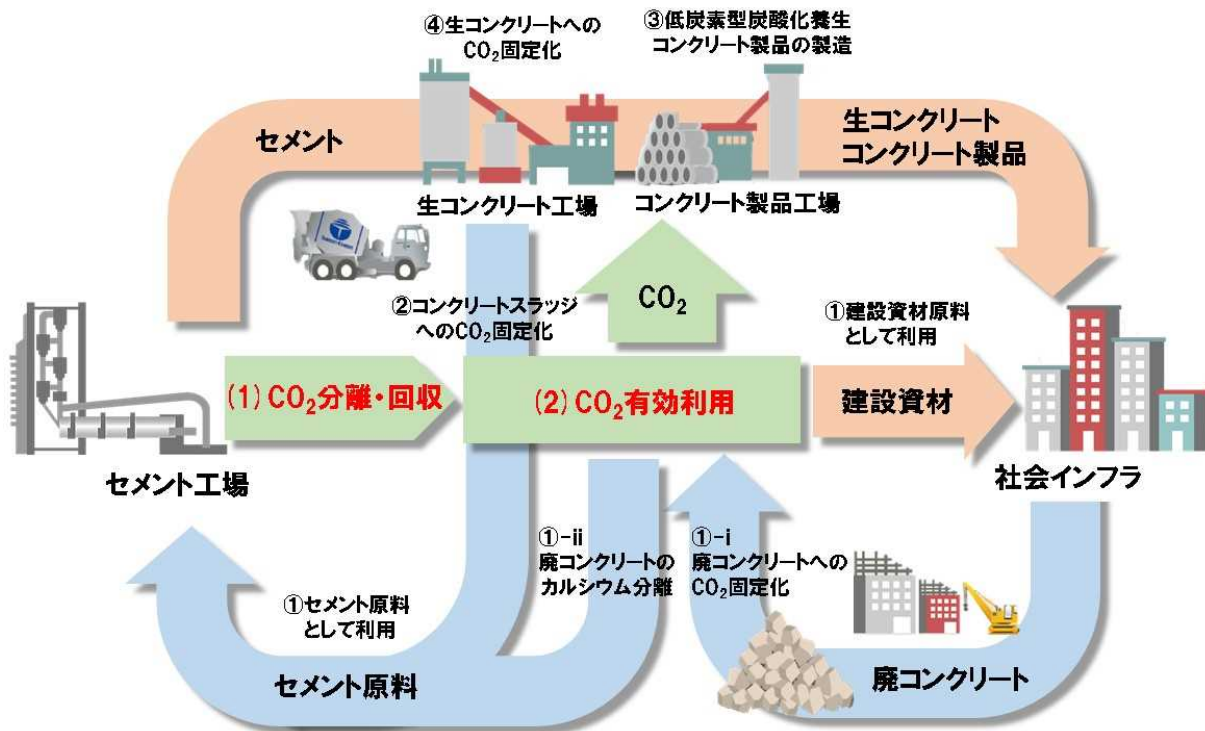


図-1 炭素循環型セメント製造プロセスの概念図

(1) 事業の背景

セメント産業は、世界の温室効果ガス総排出量の約8%に相当する二酸化炭素を排出している。このうちの約6割を占める非エネルギー起源二酸化炭素については、セメントの中間製品であるクリンカを製造するプロセスで原料（石灰石）から化学反応によって必然的に発生するものである。そのため、クリンカを製造する限り、その排出削減は困難であり、セメント産業における脱炭素技術の革新的なイノベーションが求められている。

(2) 「革新的環境イノベーション戦略」(2020年1月閣議決定)が目指すもの

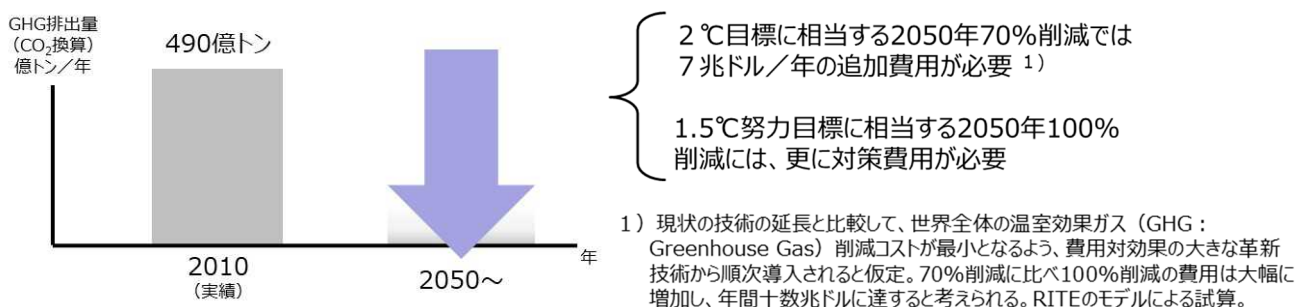
○「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」(令和元年6月閣議決定。以下、「長期戦略」という。)において、我が国は、最終到達点として「脱炭素社会」を掲げ、それを野心的に今世紀後半のできるだけ早期に実現することを目指し、2050年までに80%の温室効果ガスの排出削減の実現に向けて、大胆に取り組むことを宣言した。これに加え、我が国の考え方・取組を世界に共有し、1.5℃の努力目標を含むパリ協定の長期目標の実現にも貢献する旨を明記した。

○ただし、パリ協定の2℃目標の実現ですら世界で年間7兆ドルの追加費用が必要との試算があり、1.5℃努力目標実現には更なる追加費用が必要となることを見込まれる。したがって、非連続なイノベーションにより社会実装可能なコストを可能な限り早期に実現することが、世界全体での温室効果ガスの排出削減には決定的に重要である。(我が国は、これまでも太陽電池のコストを250分の1にするなどのイノベーションで世界に貢献してきた。)

○今般、長期戦略に基づき策定する「革新的環境イノベーション戦略」は、

- ①16の技術課題について、具体的なコスト目標等を明記した「イノベーション・アクションプラン」、
- ②これらを実現するための、研究体制や投資促進策を示した「アクセラレーションプラン」、
- ③社会実装に向けて、グローバルリーダーとともに発信し共創していく「ゼロエミッション・イニシアティブズ」、から構成されている。

世界のカーボンニュートラル、更には、過去のストックベースでのCO₂削減(ビヨンド・ゼロ)を可能とする革新的技術を2050年までに確立することを目指し、長期戦略に掲げた目標に向けて社会実装を目指していく。



カーボンリサイクル技術によるCO₂の原燃料化など

② CO₂を原料とするセメント製造プロセスの確立 / CO₂吸収型コンクリートの開発 他

【目標】

- 2030年以降、既存セメントと同等価格以下かつ同等性能以上とすることを目標に、製造工程で発生するCO₂を回収し、炭酸塩として固定化後、原料や土木資材として再資源化するセメント製造プロセス構築を目指す。同様に、既存コンクリートと同等価格以下かつ同等性能以上とすることを目標に製造時にCO₂を吸収するコンクリートについて、用途拡大等に向けた新しい製造プロセス構築を目指す。また、技術確立後、速やかな公共調達での優先適用等を通じた、政府としての積極的な普及推進策についても検討する。2050年における世界全体のCO₂削減量は約43億トン。¹⁾
- その他、紙資源の再利用・製造工程における省エネルギー、バイオマス燃料を利用した燃料転換の推進等により、紙・パルプ分野におけるCO₂削減を目指す。

【技術開発】

- セメント製造プロセスにおいて、2030年頃の実用化を目指し、製造工程で発生するCO₂を分離回収し、廃コンクリートや生コンを用いて炭酸塩として固定化し、石灰石の代替として原料利用する技術や、その他の炭酸塩に固定化し路盤材等の土木資材として再資源化する技術等の要素技術開発、実用化・実証開発等を実施する。2020年には、削減量10トン-CO₂/日（既存技術の500倍規模）までスケールアップする実証事業に着手する。
- CO₂吸収型コンクリートの材料となるCO₂と反応して硬化する特殊混和材を、鉄筋を使用するコンクリート製品や大型コンクリート構造物等の新たな用途で利用するための要素技術開発、実証開発及び実用化に向け普及拡大時の技術課題の調査等を実施する。

【実施体制】

- 将来のビジネス展開まで見据えた上で、セメント製造事業者を中心に、CO₂分離回収技術を有する大学や研究機関等と連携し、ナショナルプロジェクトとして技術開発を進める。
- CO₂吸収型コンクリートについても、将来のビジネス展開まで見据えた上で、ゼネコン等を中心に、ナショナルプロジェクトとして技術開発等を進める。



1) NEDO TSCで試算。

(3) 国内外の技術開発の動向と比較

欧米で CO₂ 回収及び有効利用に関する技術開発が実施されている。

分類	プロジェクト	動向・進捗など	本事業の特徴・優位性
CO ₂ 回収	Norcem Project 化学吸収法	<ul style="list-style-type: none"> 2014年5月～2015年10月 Brevik工場（ノルウェー）でパイロット試験実施(CO₂回収量3.6t/日 運転時間4500時間以上) (出典：J.N. Knudsen et al, Pilot Plant demonstration of CO₂ Capture from Cement Plant with Advanced Amine Technology, Energy Procedia 63, pp.6464-6475 (2014)) 2024年よりCO₂回収量400,000t/年の事業開始予定。 (出典：CCS at Norcem Brevik, https://www.norcem.no/en/CCS%20at%20Brevik) 	CO ₂ の回収⇒炭酸塩化、有効利用の資源循環過程として技術開発 ・既存のセメント製造プロセスに影響を与えない分離・回収方式を採用。 ・CO ₂ 分離回収設備に、従来と比較して高効率、コンパクト、熱安定性の高いアミン系吸収液を用いた設備を導入。 (CO ₂ 分離回収量：10t/日)
	ECRA Project 酸素燃焼法	<ul style="list-style-type: none"> 2018年にパイロット設備の建設が公表。まだ実現していない。 (出典：Cement industry launches an industrial-scale carbon capture project, https://ecra-online.org/fileadmin/ecra/press_releases/Cement_Industry_Launches_Industrial-Scale_Carbon_Capture_Project.pdf) 	
	LEILAC-1 LEILAC-2 間接加熱	<ul style="list-style-type: none"> 2019年3月～2020年末 Lixhe工場（ベルギー）でパイロット試験実施。原料供給量公称10 t/h、72時間の連続運転。 LEILAC- 2 の実施公表（2020年4月～2025年3月）原料供給量40t/h（4倍）、セメントクリンカの製造。 (出典：D.Raniel, LIFE IN LEILAC, WorldCement2021年8月号) 	
CO ₂ 有効利用	FastCarb 廃コン炭酸化促進技術	<ul style="list-style-type: none"> 解体コンクリートから得た骨材(再生砕石)を加速炭酸化。 試験室レベルとセメント工場に設置した設備での試験を実施。 生成したCO₂吸収後の骨材はコンクリートへの利用想定。 (出典：The FastCarb National Project, https://www.cpi-worldwide.com/uploads/journals/pdf/2020/01/en/en_01_2020_30_36.pdf) 	モデル工場として組み合わせ可能な有効利用技術メニューを技術開発 ・《廃コンCO ₂ 吸収・セメント原料化》 骨材に加え、セメント原料としての利用も可能なプロセスを開発。 ・《生コンCO ₂ 固定化》 類似技術のCO ₂ 固定量を上回る固定化技術を開発(対セメント質量1.5～2%)。
	Carbon Cure 生コンへのCO ₂ 注入	<ul style="list-style-type: none"> 生コンクリートに、0.5%前後(対セメント質量)のCO₂を注入し、固定化させる技術を確立、実用化。 北米の生コン製造業者を中心に300以上の工場で利用実績。(国内でも資本参加や、技術のライセンス契約を行った企業あり) (出典：山岸弘大, 総合社社のカーボンリサイクルへの取組みと海外技術紹介, コンクリート工学 Vo.59 ,No.9, pp764-769 (2021)) 	

2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

2.1 NEDO が関与することの意義

本事業により確立する技術は、前述のとおり、我が国において温室効果ガス多排出産業でセメント業界の中において排出割合の高い製造プロセス由来の CO₂ を削減に大きく貢献することが期待できるとともに、本技術を我が国が保持することにより、世界において同一性の高いセメント製造プロセスにおいても多大なる貢献をすることが見込まれ、2020年1月に策定された「革新的環境イノベーション戦略」に合致するものである。

他方、本技術を研究開発から実証まで継続して実施するためには、多くの資金的・人的リソースが必要であること、また、事業化には長期間を要することが想定されることなどにより、民間の自発的な投資が進みにくい環境にあることから、開発が進まない環境にある。

そのため「革新的環境イノベーション戦略」のテーマと位置づけ、補助金の活用により企業の取組を促すことで、我が国が進める非連続的イノベーションの実現を目指す。

主任研究者は外部有識者で構成する「事業推進委員会」を組織し、事業の進捗状況等について、国際的視点、研究開発期間中の情勢の変化や目標の達成状況等を踏まえた評価を行うとともに、必要に応じて計画の変更等を実施します。

また、NEDO の主担当は実施体制の構築、プロジェクトの進捗管理、予算配分等のプロジェクト運営に係る業務を総括します。

2.2 実施の効果（費用対効果）

本事業で開発された技術の導入による、我が国セメント産業における CO₂ 削減量を試算すると 35 万 t/年となる。欧州の二酸化炭素排出量取引市場（EU-ETS）における CO₂ の 1 トンあたりの排出枠の価格は、80€（2021 年末）である。

プロジェクト費用の総額 15.4 億円
本プロセス開発で想定される CO₂ 削減効果 35 万 t -CO₂/年
CO₂ 削減量に相当する排出枠価格
 (欧州 ETS 価格換算の参考値) 36 億円程度/年
→ CO₂ の価値によるものの、費用対効果の妥当性は認められる

【経済効果算定式】

- a. 廃コンクリート発生量 = 3,690 万 t（国交省, H30 年度建設副産物実態調査結果）
- b. 廃コンクリートのセメント含有量 = 13.6 wt%（神田, コンクリート工学, 2011）
- c. 廃コンクリート中のセメントに固定する CO₂ 量 = 70 kg-CO₂/t-cem.（アウトプット目標）
- d. CO₂ 削減量 = a×b×c ≒ 35 万 t-CO₂/年
- e. CO₂ 排出枠価格 = 80€/t-CO₂（2021 年末）
- f. 為替レート = 130 円/€（2022 年平均値）
- g. 経済効果 = d×e×f ≒ 36 億円/年

2 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

最終目標（2021 年度）

- ・ セメント工場に最適な CO₂ 分離・回収システムの構築：セメントキルン排ガスに適した経済的で効率的な CO₂ 吸収液・回収プロセスの選定
- ・ CO₂ をセメント廃棄物等に固定する技術の確立：廃コンクリート中のセメントに固定する CO₂ 量 70 kg-CO₂/t-cem.以上
- ・ CO₂ 排出削減効果・固定効果の評価

2. 事業の計画内容

2.1 研究開発の内容

本事業における各技術の主な目的・目標

技術領域	対象	主な目的・目標
CO ₂ 分離・回収	セメントキルン排ガス	<ul style="list-style-type: none"> ・セメント工場における最適な CO₂ 分離・回収システムの構築 ・10t/日規模の CO₂ 分離・回収の実証(運転時間：連続 100 時間以上、のべ 500 時間以上、回収 CO₂ 濃度：99%以上)
CO ₂ 有効利用・炭酸塩化	廃コンクリート	<ul style="list-style-type: none"> ・廃コンクリートへの CO₂ 固定化およびセメント原料・再生骨材・路盤材等への再資源化技術の開発 ・加熱炭酸化処理による廃コンクリートへの CO₂ 固定化(目標：70kg-CO₂/t-cem.以上の固定化) ・廃コンクリートからのセメント原料回収(目標：微粒分中のセメントペースト含有量 70%以上)
	生コンスラッジ	<ul style="list-style-type: none"> ・生コンスラッジを用いた CO₂ 固定化およびセメント原料の一部として利用する技術開発 ・生コンスラッジを用いた CO₂ 固定化(目標：125kg-CO₂/t-cem.以上の固定化)
	コンクリート製品	<ul style="list-style-type: none"> ・新規セメント系材料を用いた炭酸化養生低炭素型コンクリート製品の開発 ・新規セメント系材料および炭酸化養生による CO₂ 削減・固定(目標 CO₂ 削減量*1：320 kg-CO₂/t-cem.)
	生コン	<ul style="list-style-type: none"> ・生コンクリートへの CO₂ 固定・封入技術の開発 ・生コンへの CO₂ 固定化(目標：流動性を確保した上で 10kg-CO₂/t-cem.以上の注入)

*1 普通ポルトランドセメントクリンカ製造時の CO₂ 排出原単位(789kg-CO₂/t-クリンカ)を基準とする

研究開発スケジュール

	2020年度	2021年度
1.化学吸収法によるセメントキルン排ガスからのCO₂分離・回収 アミン系吸収液の調査・選定・評価 CO ₂ 分離・回収パイロットプラントの設計・建設 パイロットプラントを用いた運転条件の最適化		
2-① 廃コンクリートによるCO₂吸収及び建設資材・セメント原料としての利用技術開発 ラボ試験によるCO ₂ 固定化条件の最適化 外熱キルンによるCO ₂ 固定化条件の確認と課題抽出 加熱炭酸化処理実証設備の設計・製作、実証設備の設置、実証設備によるCO ₂ 固定化条件の最適化 ラボ試験による設備選定、運転条件の最適化、ラボ試験による回収物、再生骨材、路盤材の品質・性能評価 破碎・選別回収実証設備の設計・製作 実証設備の設置 実証設備による運転条件の最適化 実証設備による回収物の品質評価		
2-② 生コンスラッジを用いたCO₂固定化技術の開発 ラボ試験によるCO ₂ 固定化条件の最適化 ラボ試験によるセメント・コンクリートの品質確認 生コンスラッジ炭酸化実証設備の設計・設置 実証設備によるCO ₂ 固定化条件の最適化 実証設備で製造されたセメント・コンクリートの品質評価		
2-③ 低炭素型炭酸化養生コンクリート製品の開発 ラボ試験による新規セメント系材料の開発 コンクリート製品の配合選定・炭酸化養生条件の最適化 テストキルンを用いた新規セメント系材料の製造 コンクリート製品の炭酸化養生実証設備の設計・設置及びコンクリート製品の製造と性能確認		
2-④ 生コンへのCO₂固定化技術の開発 ラボ試験によるCO ₂ 注入条件の最適化、ラボ試験によるコンクリートの基本性能評価 超微細気泡発生装置の選定と設置方法の検討 実規模プラントでのCO ₂ 固定技術の実証、実証で製造されたコンクリートの性能評価		
3. CO₂排出削減効果・固定効果の評価 評価方法／評価条件の設定、評価に必要なデータ収集項目の設定 技術開発データを用いた一次評価の実施と分析 開発状況による評価条件、収集データの見直し 技術開発データを用いた一次評価の見直し 普及期等の条件を考慮した評価の実施と解釈		

2-1-1 化学吸収法によるセメントキルン排ガスからの CO₂ 分離・回収

(担当：太平洋セメント株式会社)

a) 目的

セメント工場内に設置した CO₂ 分離・回収設備を用いて、セメントキルン排ガスから 10t/日の CO₂ を回収し、設備の運転性・効率的な回収条件・経済性等の評価を行うことにより、セメント工場における最適な CO₂ 分離・回収システムを構築することを目的とする。

図-1 に、これまで得られた CO₂ 分離・回収実証試験の結果の一例を、図-2 に想定している CO₂ 分離・回収設備のスケールアップの概念図と現状を示す。

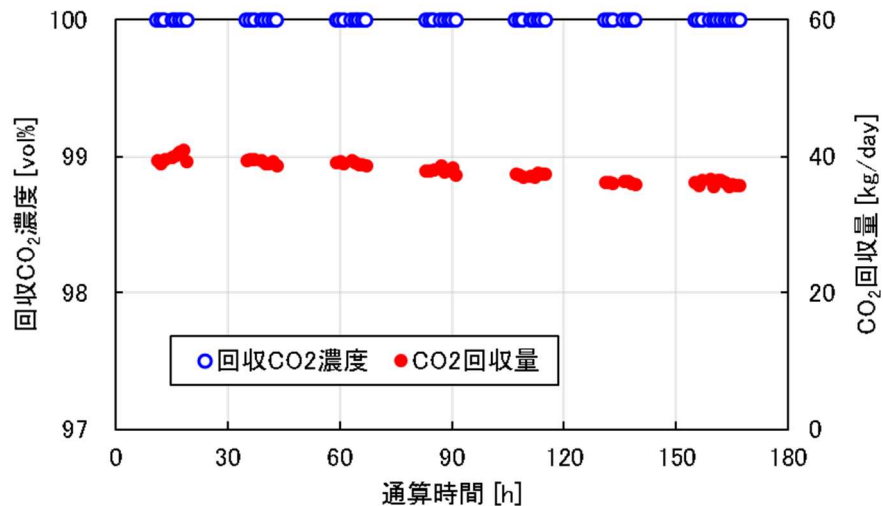


図-1 CO₂分離・回収実証試験により得られた運転時間と回収CO₂濃度・CO₂回収量の関係
(環境省委託事業:環境配慮型CCS事業)

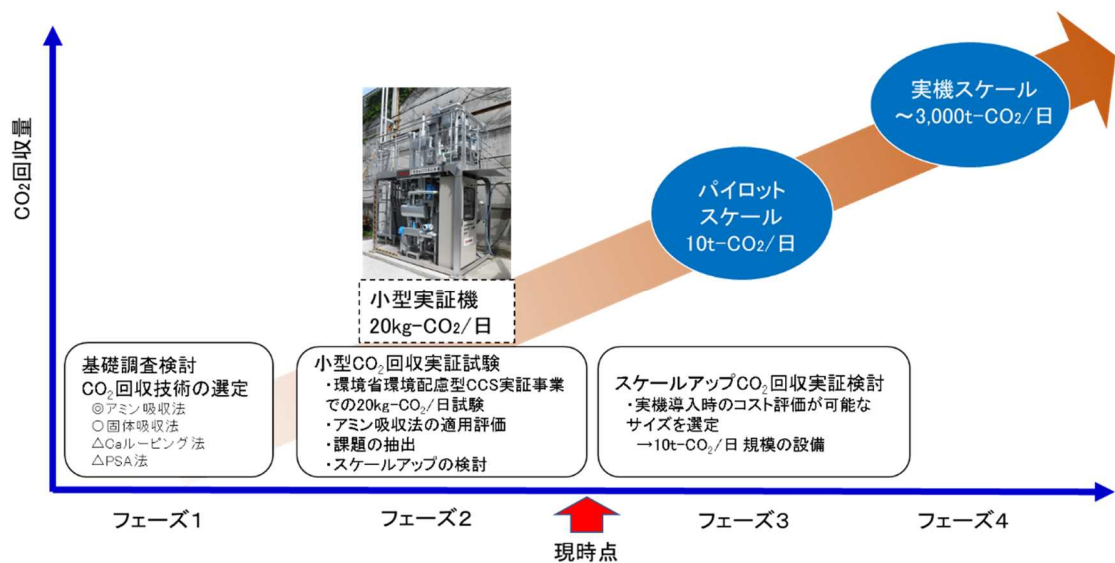


図-2 CO₂分離・回収設備のスケールアップの概念図

b)目標

2020年度

- ・ セメントキルン排ガスの分離・回収に適したアミン系吸収液の調査・選定
- ・ 10t/日規模のCO₂分離・回収パイロットプラントの設計・建設

2021年度

- ・ セメントキルン排ガスの分離・回収に適したアミン系吸収液の調査・選定
- ・ 10t/日規模のCO₂分離・回収パイロットプラントを用いた運転条件の最適化
(運転時間:連続100時間以上、のべ500時間以上、回収CO₂濃度:99%以上)
- ・ 実機スケール設備に向けた課題抽出・経済性評価

2-1-2①廃コンクリートによる CO₂ 吸収及び建設資材・セメント原料としての利用技術開発

(担当：太平洋セメント株式会社、東京大学、早稲田大学)

a)目的

本検討は、セメントキルン排ガスから分離・回収した CO₂ を、建設副産物である廃コンクリートに含まれるセメントペーストに吸収させ炭酸塩として固定化するとともに、それらの処理物をセメント原料や再生骨材・路盤材等の建設資材に再資源化できる技術を開発することを目的とする。

本検討は、廃コンクリートを用いた i)加熱炭酸化処理による CO₂ の炭酸塩化技術、ii)セメントペースト・骨材の分離回収技術の二つで構成され、各々を並行して検討を進める。

b)目標

i) CO₂ 固定化技術

・加熱炭酸化処理実証設備による CO₂ 固定化条件の最適化

(目標：70kg-CO₂/t-cem.以上の固定化、自主目標：100kg-CO₂/t-cem.以上の固定化)

ii) セメントペースト・骨材分離回収技術

・回収物の品質評価

(目標：微粒分中のセメントペースト含有量 70%以上、再生骨材・路盤材の物理特性、溶出特性等の規格・基準値を満足)

2-1-2②生コンスラッジを用いた CO₂ 固定化技術の開発

a)目的

本検討は、セメントキルン排ガスから分離・回収した CO₂ を、生コン工場から発生するスラッジを用いて炭酸塩化するとともに、生成した炭酸塩鉱物をセメント原料の一部として利用する技術を開発することを目的とする。

本技術は、生コンスラッジをセメント製造工程に組み込むことにより、より大きなスラッジの受け入れ能力を有することが従来技術との相違点である。CO₂ の固定化は、スラリー化した生コンスラッジに CO₂ を吹き込み、炭酸塩鉱物を生成することによる。生成した炭酸塩鉱物のスラリーをセメントの製品仕上げ(粉碎)工程に組み込み、最終製品であるセメントの一部として利用することにより、産業廃棄物の再資源化とセメント製造時の CO₂ 排出削減の両者を実現できる新しいセメント製造プロセスの構築につなげることを目指す。

b)目標

・実証設備による生コンスラッジを用いた CO₂ 固定化条件(CO₂ 量、固液比など)の最適化

(目標：125kg-CO₂/t-cem.以上の固定化)

・セメント原料に使用した際のセメント・コンクリートの品質評価(目標：現行品同等の品質の確保、～60t-cem./hのセメント生産スケール)

2-1-2③低炭素型炭酸化養生コンクリート製品の開発

a)目的

本検討は、製造時の CO₂ 排出量が少ない新規セメント系材料を用い、セメントキルン排ガスから分離・回収した CO₂ と反応させることにより硬化する低炭素型コンクリート製品を開発することを目的とする。

開発する新規セメント系材料は、通常のポルトランドセメントと比べてカルシウム含有量が少なく低温で焼成できることが特長であり、製造時の脱炭酸およびエネルギー消費にともなう CO₂ 排出量を大幅に削減でき、これまで蓄積してきたクリンカ焼成技術を応用した材料である。また、同材料は、CO₂ と反応して硬化する性質を有していることから、密閉槽内でセメントキルン排ガスから分離・回収した CO₂ で炭酸化養生するコンクリート製品に適用することにより、セメント製造時に発生する CO₂ を固定化することができる。図-3 に、新規セメント系材料の CO₂ 削減の概念図を示す。

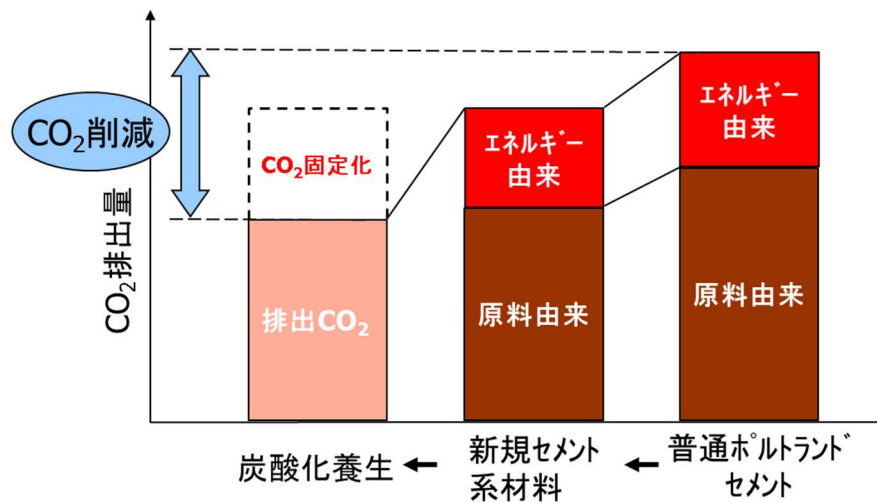


図-3 本技術による CO₂ 削減のイメージ

2-1-2④生コンへの CO₂ 固定化技術の開発(担当：太平洋セメント株式会社)

a)目的

セメントキルン排ガスから分離・回収した CO₂ を、生コンクリート(以下、生コン)に注入しコンクリート中に固定・封入する技術を開発することを目的とする。

生コンはセメントの主たる用途であり、国内セメント販売数量およそ 40,000 千 t のうち、その約 7 割が生コンの製造に用いられている。そのため、バリューチェーンの中で最も CO₂ 固定化ポテンシャルを有した分野として期待される。これまで、生コンに直接 CO₂ を注入することにより、炭酸塩としての固定化および強度発現性の向上を図り、単位セメント量を減じる技術が提案されている 1)。これは、コンクリートの練混ぜ水に溶解したセメントのカルシウムイオンと、注入された CO₂ が反応し微細な炭酸カルシウムを生成することにより、その後のセメントの水和反応を促進するというメカニズムである。ただし、実際の CO₂ の注入量は最大でも単位セメント量の 0.5%程度に限られる 2)。これは、炭酸カルシウムの生成が発熱反応であることから、CO₂ 注入量が増加するとコンクリート温度が上昇し、流動性が低下するためである。また、注入したものの溶解しなかった CO₂ は、固定化されずに大気中に逸散していく。

本技術は、これらの課題に対し超微細気泡(数十 nm～1μm)の CO₂ を注入することにより解決しようとするものである。超微細気泡は、通常のサイズの気泡と比べ、長時間液体中に残存できる特徴を有している。そのため、練混ぜ時の CO₂ の固定化を促進できる可能性がある。また、超微細気泡を導入された生コンは、流動性が向上する効果が確認されており、許容される注入 CO₂ 量の増加につながる可能性がある。さらに、製造後の生コンに、数百μm サイズの CO₂ を混合・封入し、軽量盛土等に適用される気泡コンクリート(年間 20～36 万 m³ の国内実績)への適用性についても検討する。

b)目標

- ・実規模プラントで製造した生コンへの CO₂ 固定技術の実証
(目標：流動性を確保した上で 10kg-CO₂/t-cem.相当以上の注入量)
- ・コンクリートの硬化性能の評価
(目標：基準とするコンクリートと同等以上の強度特性)

2-1-3CO₂ 排出削減効果・固定効果の評価（担当：太平洋セメント株式会社）

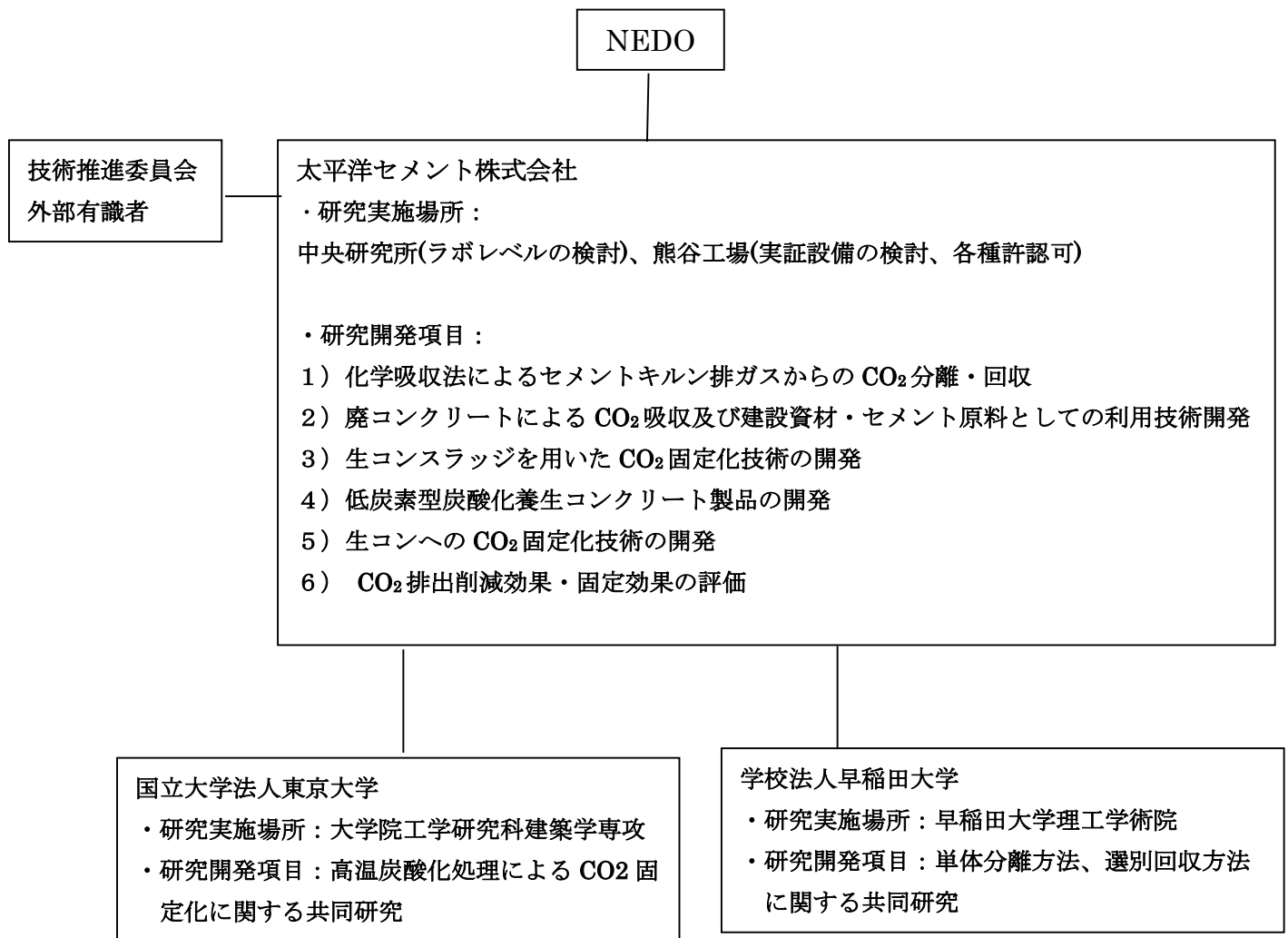
a)目的

上述の①～⑤の CO₂ 分離・回収および有効利用・炭酸塩化技術を統合し、本事業で開発した炭素循環型セメント製造プロセスの CO₂ 削減効果について、実証試験結果をベースにモデル工場を設定し、CO₂ 収支の試算や課題抽出等を行うことにより、社会実装の実現性について示すことを目的とする。

b)目標

- ・実証試験データに基づく CO₂ 排出削減効果・固定効果の評価
- ・本技術の導入による普及期の CO₂ 削減ポテンシャルの推定

2-2 研究開発の実施体制



2-3 研究開発の運営管理

2-3-1 研究開発の進捗管理

N E D O は、研究開発全体の管理及び執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適切に把握し、必要な措置を講じるものとする。運営管理は、効率的かつ効果的な方法を取り入れることとし、次に掲げる事項を実施する。

主担当、主任研究者による進捗把握・管理

研究開発実施者との連携による、研究開発の進捗状況の把握。具体的には、従事日誌、月間工程表、執行管理表及び現地調査等による実施状況の確認を通じ、目標達成に対して適切に進捗しているか確認し、CO₂ 排出の評価・キルン排ガスに対するディスカッションなど、事業の効率的な実施に対する指導を行った。

また、下記の通り、事業者による技術推進委員会の設置を促すとともに、その開催にあたっては、外部有識者の意見が適切に事業へ反映されているか NEDO の立場で確認することを通じ、技術面での必要な検討を促した。

技術推進委員会の開催

第 1 回技術推進委員会の開催概要

日時	2020 年 10 月 24 日 13:00～16:10 (15:10～16:10 見学)
場所	太平洋セメント(株) 熊谷工場
出席者	技術推進委員 (3 名)、経済産業省 (2 名)、NEDO (4 名)、共同研究者 (2 名)、助成事業支援業務外注会社 (2 名)、太平洋セメント (17 名)
内容	- 技術推進委員会委員長の選出。 - 助成事業の進捗と今後の計画に関する報告、議論。 (助成事業の全体概要と計画、ラボ試験の進捗など。報告：3 件)
併せて実施した 見学	熊谷工場セメント製造プラントおよび実証試験設備導入予定地の見学

第 2 回技術推進委員会の開催概要

日時	2021 年 4 月 12 日 14:00～17:10 (14:00～15:20 見学)
場所	太平洋セメント(株) 中央研究所
出席者	技術推進委員 (4 名)、経済産業省 (2 名)、NEDO (3 名)、共同研究者 (3 名)、助成事業支援業務外注会社 (3 名)、太平洋セメント (15 名) 《Web 会場》太平洋セメント(株) 本社、熊谷工場、中央研究所
内容	助成事業の進捗と今後の計画に関する報告、議論。 (実証試験設備の導入・工事等の進捗状況、ラボ試験の結果と進捗など。報告：4 件)
併せて実施した 見学	開発技術のラボ試験設備見学および試験のデモンストレーション

第 3 回技術推進委員会の開催概要

日時	2021 年 9 月 17 日 13:30～16:30
場所	太平洋セメント(株) 本社
出席者	技術推進委員 (3 名)、経済産業省 (2 名)、NEDO (2 名)、共同研究者 (2 名)、助成事業支援業務外注会社 (3 名)、太平洋セメント (14 名) 《Web 会場》太平洋セメント(株) 本社、熊谷工場、中央研究所
内容	助成事業の進捗と今後の計画に関する報告、議論。 (実証試験設備の現地設置状況、ラボ試験および実証試験の結果と進捗など。報告：4 件)

第4回技術推進委員会の開催概要

日時	2022年2月7日 13:00～16:30（13:00～14:00 見学）
場所	太平洋セメント(株) 熊谷工場
出席者	技術推進委員（3名）、経済産業省（2名）、NEDO（3名）、共同研究者（2名）、助成事業支援業務外注会社（2名）、太平洋セメント（9名） 《Web会場》太平洋セメント(株) 本社、熊谷工場、中央研究所
内容	助成事業の進捗と成果に関する報告、議論。 （事業全体計画に対する進捗状況、実証試験の結果と助成事業の成果など。報告：4件）
併せて実施した見学	実証試験設備の見学

2-4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性

2-4-1 知的財産権等に関する戦略の妥当性

【基本戦略】

- ◆ 知財として確保する方が有利な技術については積極的に特許として出願する。
- ◆ ノウハウとして保有する方が有利な技術は出願しない。
- ◆ 競合技術の出願状況を定期的に調査し、対策を検討する。
- ◆ 「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条（委託の成果に係る知的財産権の帰属）の規程等に基づき、原則として、事業成果に関わる知的財産権は全て委託先に帰属
- ◆ 新規に開発、取得した知財は基本的にオープンとする

	非競争域	競争域
公開	システム要件 モデル構築手法 など	機械装置類の開発 システム開発 など
非公開	事業者の独自技術に基づいたものであり、かつ その事業者が当該技術をクローズ（秘匿）しているもの	

【戦略的な特許取得活動】

NEDO 知財マニュアルを基礎としつつ、事業者において、以下のような具体的な活動・検討も実施

1. 類似技術の特許調査と整理

調査を通じ、本事業の知財について、特許とする優先順位、出願内容・範囲の選定を行った。また、2. に示す作業も行い、周辺特許の出願をするなど、俯瞰的な対応を実施。

2. 特許マップの作成

製造フロー、組成物、用途、システム等に分類し、関連特許のマッピングを実施。これを踏まえて、1. の出願リストを作成。

3. 公開・非公開の基準の摺り合わせ

原則出願としたが、生コンへのCO₂固定、低炭素型炭酸化養生コンクリート関連など、ノウハウとして保有すべく非公開とした。

4. 海外出願

技術の重要性、海外での実施実現性を考慮し、必要に応じて、海外出願も行った。

	2020年度	2021年度	計
特許出願（うち外国出願）	5 (0)	7 (1)	12 (1)件

3. 情勢変化への対応

情勢	対応
2020年10月に、日本政府は「2050年カーボンニュートラル」を宣言し、12月にMETIは「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」を策定し、「グリーンイノベーション基金」が創設された。	グリーンイノベーション基金事業の基本方針に基づき「CO ₂ を用いたコンクリート等製造技術開発プロジェクト」を立上げた。そのなかで本事業の成果を踏まえてセメント製造過程で発生するCO ₂ を全量近く回収でき、既存と同等以上のコスト低減を目指す技術開発を開始した。

3 研究開発成果について

3-1. 事業全体の成果

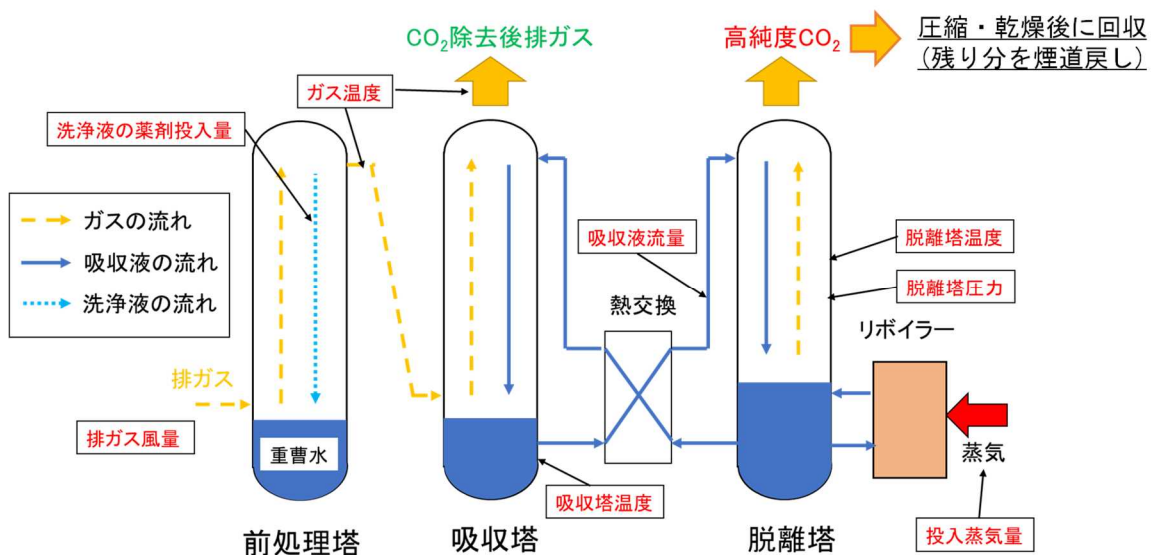
本プロジェクトにおいて掲げた研究テーマについては、以下に個別成果の趣旨記載のとおり、それぞれの研究開発項目の目標値を達成した。

- (1) セメントキルン排ガスから 10t-CO₂/日 を分離・回収するパイロットプラントを設置導入。連続運転による適用検証を実施
- (2) 回収した CO₂ を廃コンクリートに短時間で固定、ならびに CO₂ を固定した廃コンクリートのセメント原料化あるいは、骨材化等の要素技術を確立
- (3) 生コンスラッジ、コンクリート製品、生コンを活用した CO₂ 有効利用・炭酸塩化技術の開発を行い、上記成果も含めて総合的なカーボンサイクルの実現に資する要素技術を確立

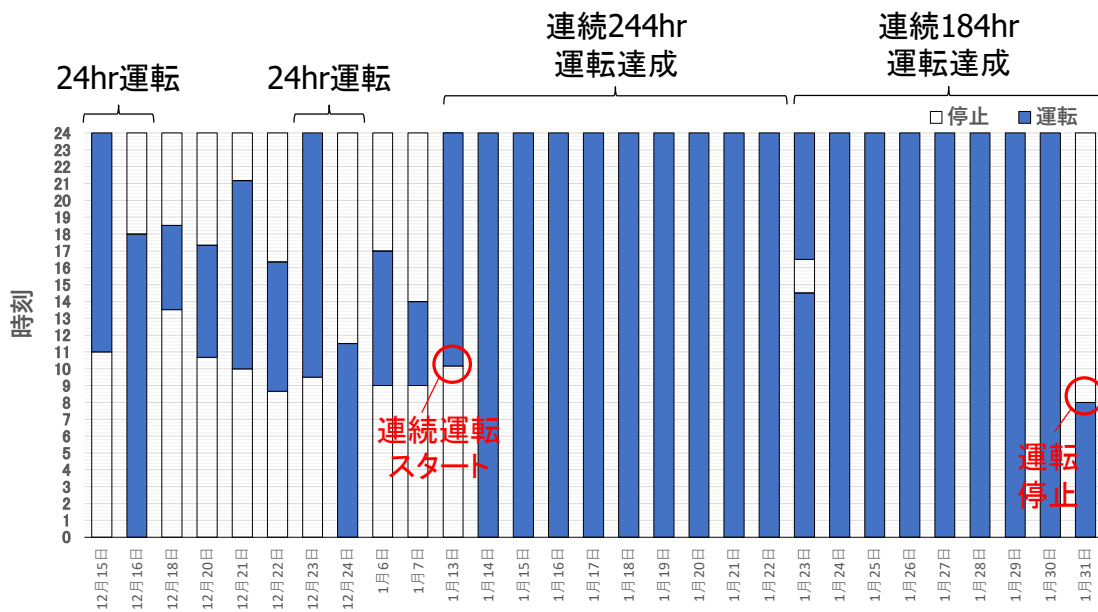
3-2. 研究開発項目毎の成果

3-2-1 化学吸収法によるセメントキルン排ガスからの CO₂ 分離・回収

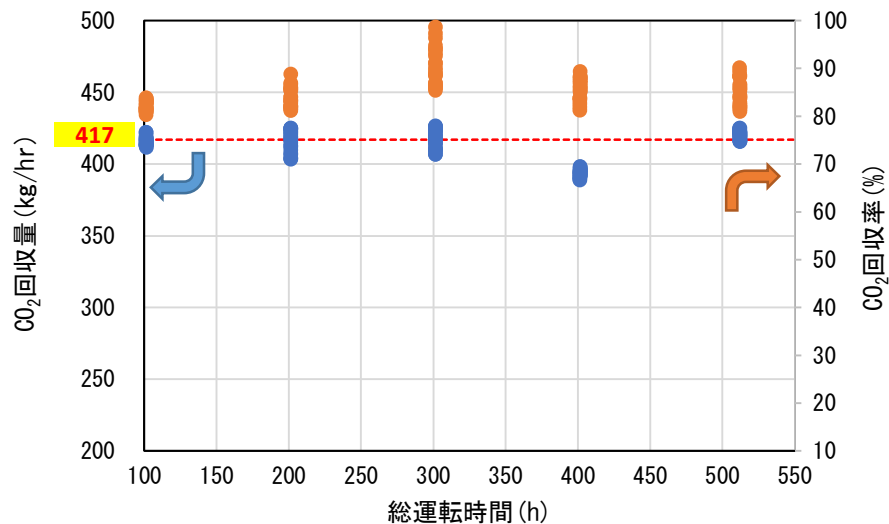
ラボ試験においてセメントキルン排ガスに酸性ガスとして多く含まれる NO_x の影響について検証し、NO₂ 単独ではアミン系吸収液の CO₂ 吸収および脱離に与える影響が殆ど無いことを確認した。10t-CO₂/day 規模のパイロットプラント(英国 CCL 社製)による実証試験では、CO₂ 回収量および回収 CO₂ 濃度の目標性能(417kg/hr 以上、99%以上)および運転目標(運転時間：連続 100 時間以上、延べ 500 時間以上、回収 CO₂ 濃度：99%以上)を達成し、本助成事業で導入したパイロットプラントと CO₂ 吸収液がセメントキルン排ガスにも適用できることを実証した。



CO₂ 分離・回収プロセスのフロー概要



CO₂分離・回収パイロットプラントの運転時間



CO₂回収率・回収量

長時間運転におけるCO₂回収率、回収量および回収CO₂濃度の経時変化を示す。概ね安定した高純度CO₂回収 (CO₂回収量：平均412.8kg/hr、CO₂回収率：平均85.6%、回収CO₂濃度：平均99.90%)が確認されたことから、当実証試験において運転時間が及ぼすCO₂分離・回収性能への影響は顕在しなかったと考えられる。しかし、より長期間に亘る吸収液の耐久性・CO₂回収性能の評価を行うと共に、CO₂回収率の更なる向上・CO₂回収エネルギー低減に向けた運転最適化の検討は今後の課題である。

3-2-2①廃コンクリートによる CO₂ 吸収及び建設資材・セメント原料としての利用技術開発

CO₂ 固定化技術では、廃コンクリートに含まれるセメントペースト硬化体に CO₂ を吸収させ、炭酸塩として固定化する技術の開発を目的として、加熱炭酸化処理の検討を行った。ラボ試験では段階的にスケールアップの検討を行い、各段階で CO₂ 固定化量の NEDO 目標を全て達成した。実証試験においても処理条件の最適化によって CO₂ 固定化量の NEDO 目標 (70kg/t-cem) を達成し、排ガスから分離回収した CO₂ の有効利用方法として廃コンクリートの活用が有効であることを示した。

セメントペースト・骨材分離回収技術では、廃コンクリートからセメントペースト分が濃縮したセメント原料を回収する技術の研究開発を行い、従来の再生骨材製造時の副産微粉に比べ、高品位 (セメントペースト含有率 70% 以上) のセメント原料回収を実現した。

下表に加熱炭酸化処理による CO₂ 固定量を示す。処理温度 120℃において、NEDO 目標である 70kg-CO₂/t-cem を達成した。CO₂ 固定量は 75kg -CO₂/t-cem であった。これは、一般大気中に 33 年間曝されたコンクリートの CO₂ 固定量の約 50% に相当する。90℃の固定量が小さかった理由は、加熱温度が低いため CO₂ の拡散速度が小さいこと、水蒸気が露点に達し、発生した水滴が廃コンクリート内部への CO₂ の拡散を阻害したためと考えられる。一方、140℃は吹込み水蒸気量が 90、120℃と同量であるため相対湿度が小さくなり、コンクリート内部が乾燥しやすく、炭酸化に必要となる水分が不足したためと考えられる。CO₂ と共に水蒸気の吹込みをしない条件の CO₂ 固定量は、63.7kg -CO₂/t-cem であった。水蒸気吹込み有りとは比べ若干減少したが、水蒸気の有無よりも処理温度の影響が大きい結果となった。以上から、CO₂ 固定化条件の最適化により NEDO 目標である 70kg-CO₂/t-cem を達成した。

CO₂ 固定量

試験条件		CO ₂ 固定化量※ (kg-CO ₂ /t-cem)
処理温度	水蒸気の有無	
90℃	あり	31.3
120℃	あり	75.9
	なし	63.7
140℃	あり	34.9

また、炭酸化の進行を視覚的に確認するために試料断面にフェノールフタレイン溶液を噴霧した。図 3-1 にフェノールフタレイン溶液噴霧後の試料断面を示す。処理前は断面全体が赤色に呈色しているのに対し、処理後は表層から炭酸化が進行していることが確認された。

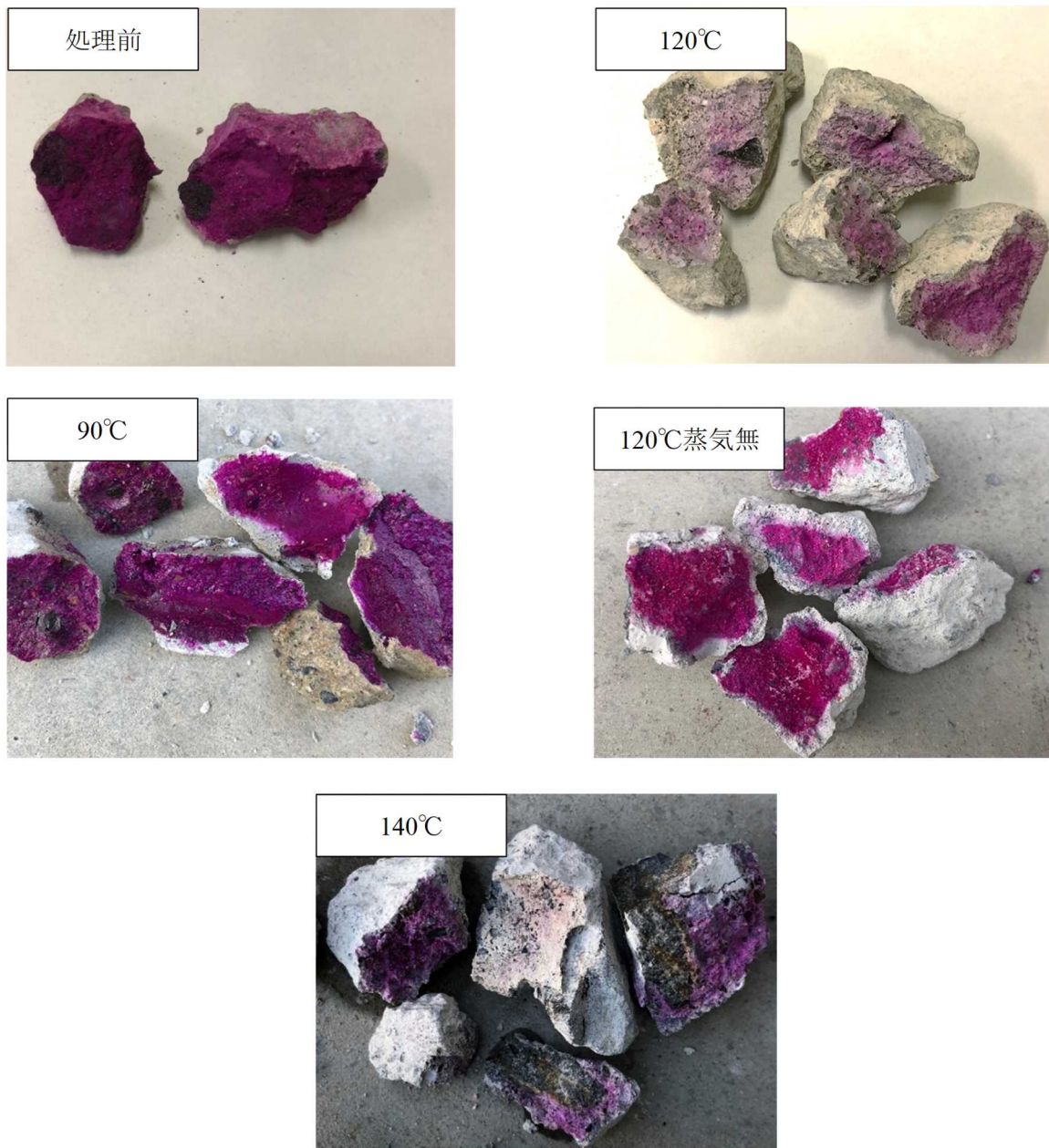


図 3-1 フェノールフタレイン溶液噴霧後の試料断面

セメントペースト・骨材分離回収技術において設定した数値目標に対して、研究開発で得られた目標達成値を表に示す。本研究開発ではラボ試験、実証試験において、条件最適化を行う事で設定目標数値を達成することができた。

目標達成値

実施項目	目標値	目標達成値
ラボ試験	微粒分中のセメントペースト含有量 70%以上	テーブル選別 84% 遠心力選別 83%

実証試験	微粒分中のセメントペースト含有量 70%以上	テーブル選別 82% 遠心力選別 74%
------	------------------------	-------------------------

残渣の有効利用方法の検討においても、物理的特性の評価を実施した結果、再生粗骨材 M～H、再生細骨材 M 相当の吸水率、絶乾密度を示し、再生骨材としての適用可能性を確認した。再生骨材以外の用途として、再生砂としての可能性を見出し、六価クロム溶出が環境基準以下であることを確認した。以上より、本研究で設定した目標をすべて達成することができた。

3-2-2②生コンスラッジを用いた CO₂ 固定化技術の開発

生コン工場から発生するスラッジに CO₂ 固定化するとともに、生成した炭酸塩鉱物をセメント混合材として利用する技術の開発を行った。得られた主な成果は以下の通りである。

- ・ラボスケールの CO₂ 固定化試験にて、重要因子の抽出を行うとともに、最適条件を決定した。最適である CO₂ 吹込み速度が低い条件では、CO₂ 固定量と CO₂ 固定効率が両立でき、CO₂ 固定量は 371 kg/t-cem. が得られた (目標 : 250 kg-CO₂/t-cem. 以上)。
- ・ラボスケールの炭酸塩化スラリー混合粉砕試験を行い、炭酸塩化スラリーの添加がセメント粉砕工程に大きな影響を及ぼさないことを確認した。
- ・ラボスケールで試製した炭酸塩化スラリー添加セメントの品質評価を行い、炭酸塩化スラリーの添加率が 2% 以下であれば、セメント品質に及ぼす影響を抑制できることが判明した。
- ・実証設備の CO₂ 固定化試験にて、最適条件の決定を行った。ラボスケールと同様に、CO₂ 吹込み速度が低い条件では、CO₂ 固定量と CO₂ 固定効率が両立でき、CO₂ 固定量は 333 kg/t-cem. が得られた (目標 : 125 kg-CO₂/t-cem. 以上)。
- ・太平洋セメント(株)熊谷工場の実機セメント粉砕ミルを用いて混合粉砕試験を行い、炭酸塩化スラリーの添加がセメント粉砕工程に大きな影響を及ぼさないことを確認した。
- ・実証設備で試製した炭酸塩化スラリー添加セメントの品質評価を行い、炭酸塩化スラリーの添加率が 0.5% であれば、現行品同等の品質が確保できることを確認した。

3-2-2③低炭素型炭酸化養生コンクリート製品の開発

製造時の CO₂ 排出量が少ない新規セメント系材料を用い、CO₂ と反応させることにより硬化する低炭素型コンクリート製品を開発することを目的とし、ラボ試験および実証試験を実施した。コンクリート製品は普通配合と透水配合の 2 種類のインターロッキングブロックを対象とし、新規セメント系材料の設計、テストキルンによる製造、コンクリート製品の配合選定、養生条件の最適化、炭酸化養生装置の設計・設置、コンクリート製品の実証製造および敷設試験を実施した。その結果、JIS 規格を満足し、供用後の路面性状についても市販品と同等の性能を有する製品を製造することができた。また、CO₂ 削減量については、目標の 320 kg-CO₂/t-cem. を達成しており、規格を満足する品質かつ CO₂ を大幅に削減できる低炭素型コンクリート製品が実規模で製造できることが実証された。なお、本実証における新規セメント系材料の製造には、実際の産業廃棄物を使用していないが、原料からの脱炭酸を生じない廃棄系 Ca 原料を用いた場合、CO₂ 排出量がゼロとなる見込みを得ている。また、同項で既述した通り、実証製造の対象にインターロッキングブロックを選定した理由のひとつに炭酸化養生にともなうセメント硬化体の pH 低下により内部の鋼材が

腐食することを避けることがあげられ、本技術は無筋コンクリート製品にのみ適用できるものである。したがって、今後は鉄筋コンクリート製品への適用が課題となる。

3-2-2④生コンへのCO₂固定化技術の開発

生コンおよび軽量盛土へのCO₂注入・固定化技術の開発を行った。生コンへのCO₂注入・固定化技術の開発では、生コンへのCO₂注入方法として、①練混ぜ水へCO₂注入、②ドライアイスによるCO₂注入、③セメントスラリーへのCO₂注入（CO₂溶解スラリー）による手法を検討した。CO₂固定量およびCO₂固定率の評価を行い、実証試験ではCO₂溶解スラリーによるコンクリート製造技術を採用した。生コン工場の実機プラントでコンクリートの製造を行った結果、一般的なコンクリートと同等の流動性を確保した上で、CO₂は最大22.3kg-CO₂/t-cemを固定できることが確認された。

軽量盛土へのCO₂注入・固定化技術の開発では、生コンと同様にCO₂溶解スラリーを活用した方法に加え、軽量盛土が多孔質な組織であることに着目し、硬化体に直接的にCO₂を吹き込むことを検討した。その結果、構造体の内部にまでCO₂を浸透させることができ、固定量は189kg-CO₂/t-cemとなった。

3-2-3CO₂排出削減効果・固定効果の評価

CO₂有効利用のための各個別技術につきCO₂削減効果の評価を行った。また、各個別技術を組み合わせたモデル工場を設定し、本助成事業の技術が実用化された場合の将来的なCO₂削減効果（ポテンシャル）を見積もった。モデル工場による評価では、技術の適用によるCO₂削減率は、モデル工場のCO₂排出量に対し、現状（現在の電力や輸送のCO₂排出係数）では1.3%の増加となり、現時点ですぐにすべての技術を導入した場合には必ずしもCO₂排出量の削減には繋がらない可能性が示唆された。一方、電力や輸送のカーボンフリー化が進展した場合にはCO₂削減効果が得られるようになり、電力・輸送のCO₂排出係数が2030年目標値相当となった場合には1.3%、カーボンフリー化した場合（2050年）には13.1%の削減効果が得られるものと見込まれた。また、実証試験後の検討において、プロセスの改善などによってさらにCO₂削減の余地がある技術も認められていることから、本助成事業にて開発した技術は、将来的には高い効果が得られる技術であることが示された。

表-1 各個別技術の番号と名称

技術番号	技術の名称
技術①	CO ₂ 分離・回収
技術②-1	廃コンクリートへのCO ₂ 固定化
技術②-2	廃コンクリートのカルシウム分離・セメント原料化
技術②-3	コンクリートスラッジへのCO ₂ 固定化
技術②-4	低炭素型炭酸化養生コンクリート製品
技術②-5	生コンクリートへのCO ₂ 固定化

表-2 CO₂排出量の評価において適用プロセスとリファレンスプロセスで量を統一した項目
(機能単位)

技術番号	技術の名称
技術②-1	受け入れる廃コンクリートの量 (=廃コンクリート最終製品量(体積として同一))
技術②-2	受け入れる廃コンクリートの量
技術②-3	受け入れるコンクリートスラッジの量

技術②-4	コンクリート製品に使用するセメントの量 (=コンクリート製品量)
技術②-5	生コンクリートにへの CO ₂ 固定化 (=生コンクリート量)

表3 モデル工場の CO₂ 固定量と削減量
(本助成事業で開発した技術の導入による CO₂ 削減ポテンシャル)

	CO ₂ 固定量(利用量) (t-CO ₂ /日)	CO ₂ 削減量 (t-CO ₂ /日) (※)		
		現状	2030 年	2050 年
技術②-1	91.0	+70.1	+51.3	-91.0
技術②-2	91.0	+183.0	+134.5	-116.6
技術②-3	11.8	-3.0	-4.7	-13.6
技術②-4	168.0	-227.5	-228.5	-267.7
技術②-5	87.7	+4.6	-9.9	-82.0
合計	449.6	+27.1	-57.4	-571.0

表4 モデル工場の CO₂ 削減率
(本助成事業で開発した技術の導入による CO₂ 削減ポテンシャル)

	CO ₂ 削減率 [対モデル工場排出量] (%) (※)		
	現状	2030 年	2050 年
技術②-1	+1.6	+1.2	-2.1
技術②-2	+4.2	+3.1	-2.7
技術②-3	-0.1	-0.1	-0.3
技術②-4	-5.2	-5.3	-6.2
技術②-5	+0.1	-0.2	-1.9
合計	+0.6%	-1.3%	-13.1%

※ CO₂ 排出量が増加したものを"+", 減少したものを"-”として表記。

- (1) 技術②-3、②-4 では、現状から CO₂ 削減効果があり、また将来的に電力や輸送のカーボンフリー化が進むにしたがって CO₂ 削減効果はより大きくなるものと見積もられた。
- (2) 技術②-1、②-2、②-5 では、開発した技術の適用によって現状では CO₂ 排出量が増加またはほとんど変わらない結果となり、現時点ですぐに技術を導入しても効果は得られにくい可能性があると考えられた。一方で、将来的に電力や輸送の CO₂ 排出係数が低下（カーボンフリー化が進展）した際には、CO₂ 削減効果が大きくなり、十分な効果が得られることが見込まれた。
- また、モデル工場による評価では、以下の結果が得られた。
- (1) モデル工場の想定 CO₂ 排出量 4,348 t/日に対し、技術の適用による CO₂ 削減量は、現状では 27.1 t/日の増加となり、現時点ですべての技術を導入した場合には必ずしも CO₂ 排出量の削減には繋がらない可能性が示唆された。一方、電力や輸送のカーボンフリー化が進展した場合には CO₂ 削減効果が得られるようになり、2030 年では 57.4 t/日（年間 300 日の稼働を想定した場合、約 17,000 t/年）、2050 年では 571 t/日（約 170,000 t/年）の削減量となるものと見込まれた。

(2) モデル工場の CO₂ 排出量に対する削減割合としてみた場合には、現状では 0.6 %増加するものの、2030 年では 1.3 %、2050 年では 13.1 %の削減効果が得られるものと見込まれた。

4 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

4-1. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて





本事業は、セメント生産プロセスそのものの脱炭素化を目標とした事業であることから、実用化を以下のように定義する。

「セメントキルン排ガスから発生する CO₂ を分離・回収設備によって回収するとともに、その回収した CO₂ を活用し、廃コンクリートを用いて炭酸塩を製造して、原料化や再資源化すること」

事業化を以下のように定義する。

「商用設備において本事業で開発した技術を用いて、円滑な生産・事業活動を行うこと」

2022～2023 年度： 実証試験の継続
 2024～2026 年度： 改善した設備での実用化を想定した試験（必要に応じ大型化など）
 2027～2029 年度： 実設備導入の投資判断、事業環境判断。判断結果により工事着工
 2030 年度～ ： 事業開始（1 工場に有効利用設備を設置し、販売等開始）

年度	2022～2023	2024～2026	2027～2029	2030～
実証試験など	 今回助成金設備による 実証試験継続 (運転技術の確立)	 改善した設備等での実用化 を想定した試験 (必要に応じ大型化など)		
設備投資・着工			 設備投資判断(注)・ 工事着工	
事業開始				 事業開始(1工場に有効 利用設備を設置し、生産 開始)

現状、キルンから発生する CO₂ 分離回収と CO₂ の固定化で技術的知見を得られているが、行程表に示すとおり、実用化に向けて以下のような部分で検討を継続する必要がある。

・2022～2023 年度： 実証試験の継続

- ① CO₂ 回収技術 連続運転の継続検証、熱収支評価、各種アミンの評価
- ② CO₂ 利用技術 廃コンクリート炭酸化の更なる向上策検討

・2024～2026 年度： 改造した設備での実用化を想定した試験 上記期間の試験結果を踏まえての設備改造、ならびに各課題についての更なる検証ならびに必要な応じた大型化

添付資料

●プロジェクト実施方針：

P 2 0 0 1 3

2021 年度実施方針

環境部

1. 件名：炭素循環型セメント製造プロセス技術開発
2. 根拠法

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第十五条第三号、第九号

3. 背景及び目的・目標及び内容

地球規模の課題である気候変動問題を解決するためには、クリーンエネルギー技術の開発と実用化に向けた抜本的なコストダウンが必要である。日本としても、世界の脱炭素化を牽引すべく、「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」（2019年6月閣議決定）において、2050年までに80%の温室効果ガス削減目標を掲げるとともに、非連続なイノベーションの推進を表明した。また、2019年10月の「グリーンイノベーション・サミット」での議論を踏まえ、2020年1月に「革新的環境イノベーション戦略」が策定された。同戦略において、温室効果ガス削減量が大きく、日本の技術力による大きな貢献が可能な39テーマのひとつとして、「CO₂を原料とするセメント製造プロセスの確立」が設定された。

我が国のセメント産業は、日本の温室効果ガス総排出量の約4%に相当する二酸化炭素を排出している産業であり、その排出削減対策は重要な課題となっている。このうちの約6割を占める非エネルギー起源二酸化炭素については、セメントの中間製品であるクリンカを製造するプロセスで原料（石灰石）から化学反応によって必然的に発生するものである。そのため、クリンカを製造する限り、その排出削減は困難であり、セメント産業における脱炭素技術の革新的なイノベーションが求められている。

本事業では、セメント産業における脱炭素技術の革新的なイノベーションを創出するため、セメント工場及び近隣地域において、セメント製造工程のCO₂を再資源化し、セメント原料や土木資材として再利用する技術を開発する。

[助成事業]

最終目標（2021年度）

- ・ セメント工場に最適なCO₂分離・回収システムの構築：セメントキルン排ガスに適した経済的で効率的なCO₂吸収液・回収プロセスの選定
- ・ CO₂をセメント廃棄物等に固定する技術の確立：廃コンクリート中のセメントに固定するCO₂量70 kg-CO₂/t-cem.以上

アウトカム目標（2030年度）

- ・ 社会実装の初期段階として、2030年度までに、国内のセメント工場30ヶ所（2019年4月現在）の1割に相当する3工場に開発技術の導入を目指す。

4. 実施内容および進捗状況

4.1 2020 年度（助成）事業内容

セメントキルン排ガス中 CO₂ を分離・回収し、セメント工場及び近隣地域において廃コンクリートや生コンスラッジを用いて炭酸塩として固定化後、セメント原料（石灰石代替）や路盤材等の土木資材として再資源化する技術等の要素技術開発、実用化・実証開発等に着手した。

2020 年度は、以下に例示するような一連のセメント製造・使用プロセスにおける、CO₂ の分離・回収、再資源化、固定化のための技術開発を実施した。

- 1) セメントキルン排ガスからの CO₂ 分離・回収パイロット実証
10 t-CO₂/日規模のパイロットプラント設計・製造、吸収液調査・ラボ試験等
- 2) 再資源化による CO₂ 排出削減・CO₂ 固定化研究開発
以下の研究開発に関わる試験設備の設計・製造、炭酸化条件の最適化ラボ試験等
 - 2-1) セメント廃棄物（生コンスラッジ、廃コンクリート等）の再資源化（セメント原料化、土木資材化）による CO₂ 排出削減
 - 2-2) セメント製品（生コン、コンクリート製品等）への CO₂ 固定

5. 事業内容

5.1 2021 年度（助成）事業内容

2020 年度に引き続き、以下の技術開発を実施する。

- 1) セメントキルン排ガスからの CO₂ 分離・回収パイロット実証
10 t-CO₂/日規模のパイロットプラント設計・製造、吸収液調査・ラボ試験等
- 2) 再資源化による CO₂ 排出削減・CO₂ 固定化研究開発
以下の研究開発に関わる試験設備の設計・製造、炭酸化条件の最適化ラボ試験等
 - 2-1) セメント廃棄物（生コンスラッジ、廃コンクリート等）の再資源化（セメント原料化、土木資材化）による CO₂ 排出削減
 - 2-2) セメント製品（生コン、コンクリート製品等）への CO₂ 固定

6. その他重要事項

(1) 評価の方法

NEDO は、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、技術評価実施規程に基づき、プロジェクト評価を実施する。

事後評価を 2022 年度に実施する。

(2) 運営・管理

必要に応じて技術検討委員会を実施し、外部有識者の意見を適切に反映し、着実な運営を図る。

(3) 継続事業に係る取扱いについて

助成先は前年度と変更はない。

2020 年度助成先：太平洋セメント株式会社

(4) 標準化施策等との連携

得られた研究開発成果については、知的基盤整備事業との連携を図ることとし、データベースへのデータの提供を必要に応じて行う。

(5) その他

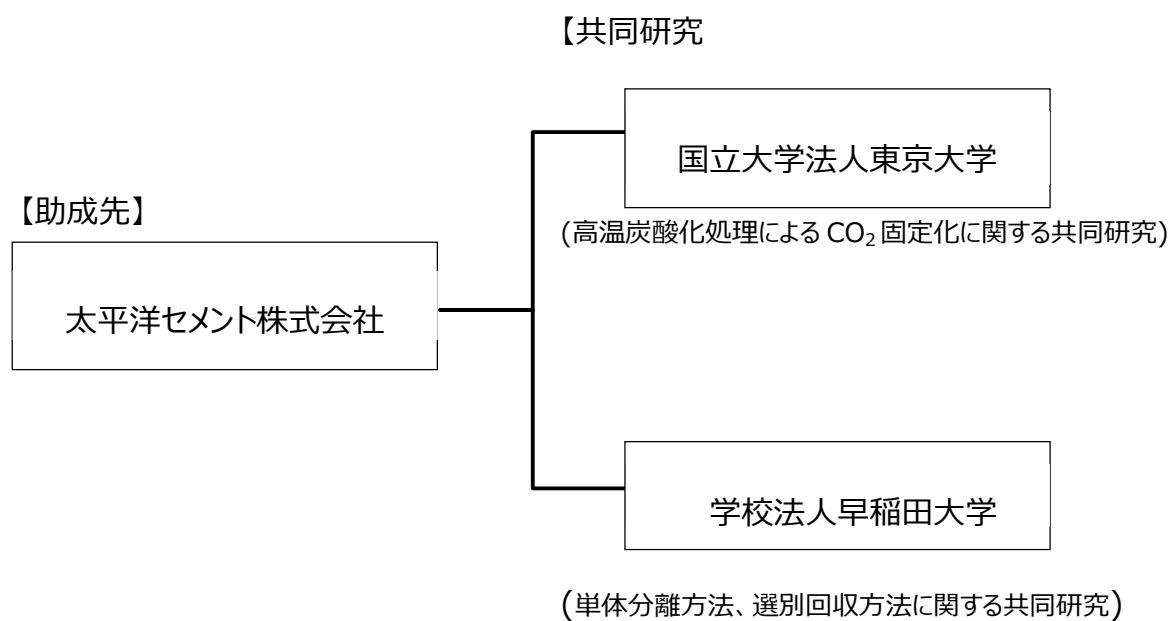
本事業の実施を通じて、イノベーションの担い手として重要な若手研究員及び女性研究員の育成や中堅・中小・ベンチャー企業等を支援することとする。

7. 改訂履歴

(1) 2021年2月 制定

以上

(別紙) 研究実施体制図



●プロジェクト開始時関連資料：

本事業を開始するに際し、経済産業省製造産業局素材産業課にて事前評価を実施し、研究開発項目に反映した。

研究開発事業に係る技術評価書（事前評価）

事業名	革新的環境イノベーション戦略加速プログラム 【新規テーマ：炭素循環型セメント製造プロセス技術開発事業】	
担当課室	製造産業局素材産業課	
事業期間	令和2年度～令和3年度	
補正予算額	令和2年度 1,700（百万円）	
会計区分	エネルギー対策特別会計	
実施形態	国（交付金）→ NEDO（1/2 補助） → 民間事業者	
PJ / 制度	研究開発課題（プロジェクト）	
事業目的	<p>地球規模の課題である気候変動問題を解決するためには、クリーンエネルギー技術の開発と実用化に向けた抜本的コストダウンが必要。</p> <p>日本としても、世界の脱炭素化を牽引すべく、「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」（令和元年6月閣議決定）において、『2050年までに80%の温室効果ガス削減を目標とすること』、『非連続的なイノベーションを創出するために革新的環境イノベーション戦略を策定すること』等を表明。</p> <p>また、2020年1月に「革新的環境イノベーション戦略」が策定された。</p> <p>本事業では、革新的環境イノベーション戦略を加速化させるため、CO₂排出量の多いセメント産業において、当該戦略の中に位置づけられているカーボンリサイクル技術の開発による原料化や再資源化するセメント製造プロセスの開発を実施する（当該戦略のCO₂吸収型コンクリートの開発他は当該事業の対象ではない。）。</p>	
事業概要 (アキティビティ)	<p>上記の事業目的を達成するため、製造工程で発生するCO₂を回収し、炭酸塩として固定化後、原料や土木資材として再資源化するセメント製造プロセス開発を実施する。</p> <p>開発を検討する主な技術は、以下のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・セメント製造時に原料となる石灰石が脱酸することにより排出されるCO₂の分離・回収システム構築の研究 ・生コンクリートスラッジの炭酸化によるCO₂回収・再利用技術の研究 ・コンクリートCO₂固定化技術の研究 ・廃コンクリートCO₂回収技術を用いた最適な再資源化製品開発の研究 など 	
アウトプット指標		アウトプット目標
研究開発に係る活動の成果物。目的達成に向けた活動の水準。		
(指標 1)	パイロットプラント規模においてセメント工場に最適なCO ₂ 分離・回収システムの構築	(2021年度(終了時評価時)) セメントキルン排ガスに適した経済的で効率的なCO ₂ 吸収液・回収システムの選定
(アウトプットの受け手)	セメント会社、建設会社等	
(指標 2)		(2021年度(終了時評価時))

<p>実験室規模において CO₂ をセメント廃棄物等に固定する技術の確立</p> <p>(アウトプットの受け手) セメント会社、建設会社等</p>	<p>廃コンクリート中のセメントに固定する CO₂ 量 70 kg-CO₂/t-cem.以上</p>
<p>(指標 3) 特許出願数および論文等発表数</p> <p>(アウトプットの受け手) セメント会社、建設会社等</p>	<p>(2021 年度(終了時評価時)) 5 件</p>
<p style="text-align: center;">アウトカム指標</p> <p>研究開発に係る活動自体やそのアウトプットによって、その受け手に、研究開発を実施または推進する主体が意図する範囲でもたらされる効果・効用。</p>	<p style="text-align: center;">アウトカム目標</p>
<p>(指標 1) 本事業の開発技術の導入を目指すセメント工場数</p>	<p>(2030 年度) 3 工場以上</p>
<p>外部有識者（産構審評価 WG 又は NEDO 研究評価委員会）の所見【技術評価】</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ 固定化の量と速度、コストなど本事業の導入効果を今後定量的に示す必要がある。 • CO₂ を加速吸収させるだけではライフサイクル全体で CO₂ 削減とはならない。LCA の観点からの総合評価とすることが望ましい。 • 二酸化炭素排出削減の政策実現へのインセンティブの確保、知財を含む最適な技術の利用促進など、国の関与についても検討願いたい。また、成果の実用化に関して業界全体に波及することを期待する。 <p>〔第 5 1 回産業構造審議会評価ワーキンググループ〕</p>	
<p>上記所見を踏まえた対処方針</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • 「再資源化による CO₂ 排出削減・CO₂ 固定化研究開発」において、事業者が CO₂ の排出削減量と CO₂ 固定化量・固定化速度およびコスト試算を実施し、技術検討委員会等でそれを定量的に評価することとしたい。 • 本事業における CO₂ 削減効果は、廃コンクリートをセメント原料として再利用することにより、天然石灰石の使用量が削減することによるものである。本事業では、炭素循環型セメント製造プロセスを社会実装した場合のシステム全体の CO₂ 削減効果を総合評価するため、実装モデル工場と対照モデル工場を設定し、それぞれの CO₂ 排出量を比較することとしたい。 • 国の関与については、当該事業の成果も踏まえ、業界と一体となって検討して参りたい。 	

●特許等リスト

【特許】

	種別	番号	名称	出願人	年月
1	特許	特願 2020-175863	廃コンクリートからのセメント原料回収方法	太平洋セメント(株)、 早稲田大学	2020.10
2	特許	特願 2021-024221	廃コンクリートからのセメントペースト回収方法	太平洋セメント(株)、 早稲田大学	2021.2
3	特許	特願 2021-024222	廃コンクリートからのセメントペースト回収方法	太平洋セメント(株)、 早稲田大学	2021.2
4	特許	特願 2021-060238	二酸化炭素の固定化方法	太平洋セメント(株)	2021.3
5	特許	特願 2021-060251	二酸化炭素の固定化方法	太平洋セメント(株)	2021.3
6	特許	特願 2021-160598	クリンカ粉末及びその製造方法	太平洋セメント(株)	2021.9
7	特許	特願 2021-160849	クリンカ粉末及びその製造方法	太平洋セメント(株)	2021.9
8	特許	特願 2022-056202	アミン系吸収液の管理方法	太平洋セメント(株)	2022.3
9	特許	(予定)	二酸化炭素の固定化方法	太平洋セメント(株)	2022.3
10	特許	特願 2022-042341	セメント組成物の製造方法	太平洋セメント(株)	2022.3
11	特許	特願 2022-058987	軽量気泡セメント質硬化体の製造方法	太平洋セメント(株)	2022.3
12	特許	特願 2022-056278	炭酸化軽量気泡セメント質硬化体の形成方法	太平洋セメント(株)	2022.3

【外部発表】、【論文】

	種別	タイトル	学会名・書誌名等	発表者	所属	年月
1	発表	高度粉碎による炭酸化廃コンクリートからの骨材・セメントペーストの相互分離	資源・素材学会 2021 年春季大会	大西真理子*,伊藤輝*,大和田秀二*,瀧澤洸**,一坪幸輝**,吉川知久**,石田泰之**	*)早稲田大学, **)太平洋セメント(株)	2021.3
2	発表 (ポスター)	電気パルス粉碎および攪拌型粉碎による炭酸化廃コンクリートの粉碎挙動解明の検討	資源・素材学会 関東支部 第 18 回「資源・素材・環境」技術と研究の交流会	伊藤輝*,大西真理子*,大和田秀二*,瀧澤洸**,一坪幸輝**,吉川知久**,石田泰之**	*)早稲田大学, **)太平洋セメント(株)	2021.8
3	記事	炭素循環型セメント製造プロセス技術開発 (セメント工場を中心としたカーボンリサイクル社会の実現に向けた取り組み)	コンクリート工学 Vol. 63、No. 9	一坪幸輝*、平尾宙*、野村幸治*、上野直樹*	*)太平洋セメント(株)	2021.9
4	発表	低炭素型セメントを用いた炭酸化養生コンクリートの硬化性状とCO2 低減効果	第 143 回無機マテリアル学会 学術講演会	小林和揮*,馬場智矢*,橋本真幸*,細川佳史*,一坪幸輝*	*)太平洋セメント(株)	2021.11
5	記事 (記事の一部として記載)	2050 年カーボンニュートラルに向けた取り組み / 太平洋セメント	セメント・コンクリート No.900	星野清一*、平尾宙*、林康太郎*、野村幸治*、上野直樹*	*)太平洋セメント(株)	2022.2
6	記事	Carbonation-cured concrete	International Cement Review March 2022	小林和揮*,馬場智矢*,橋本真幸*,細川佳史*,一坪幸輝*	*)太平洋セメント(株)	2022.3
7	記事 (記事の一部として記載)	2050 年カーボンニュートラルに向けた太平洋セメントの取り組み	エネルギー・資源 Vol. 43, No.3 (2022 年 3 月号)	星野清一*、平尾宙*、林康太郎*、野村幸治*、上野直樹*	*)太平洋セメント(株)	2022.3

【プレスリリース】

	発表機関	名称	年月
1	太平洋セメント(株)	NEDO 課題設定型助成事業「炭素循環型セメント製造プロセス技術開発」に採択 ―温室効果ガス排出削減に向けた革新的技術の実用化への取り組み―	2020.6
2	太平洋セメント(株)	(関連リリース) カーボンニュートラルの実現に向けて「カーボンニュートラル技術開発プロジェクトチーム」を新設	2021.3
3	太平洋セメント(株)	セメントキルン排ガスからの CO ₂ 分離・回収実証試験のための設備設置について	2021.4
4	太平洋セメント(株)	NEDO 助成事業「炭素循環型セメント製造プロセス技術開発」 セメントキルン排ガスからの CO ₂ 分離・回収、有効利用実証試験設備完成 ―カーボンニュートラル実現に向けた革新的技術の開発を加速―	2022.2

2. 分科会公開資料

次ページより、プロジェクト推進部署・実施者が、分科会においてプロジェクトを説明する際に使用した資料を示す。

「炭素循環型セメント製造プロセス 技術開発」

(事後評価)

(2020年度～2021年度 2年間)

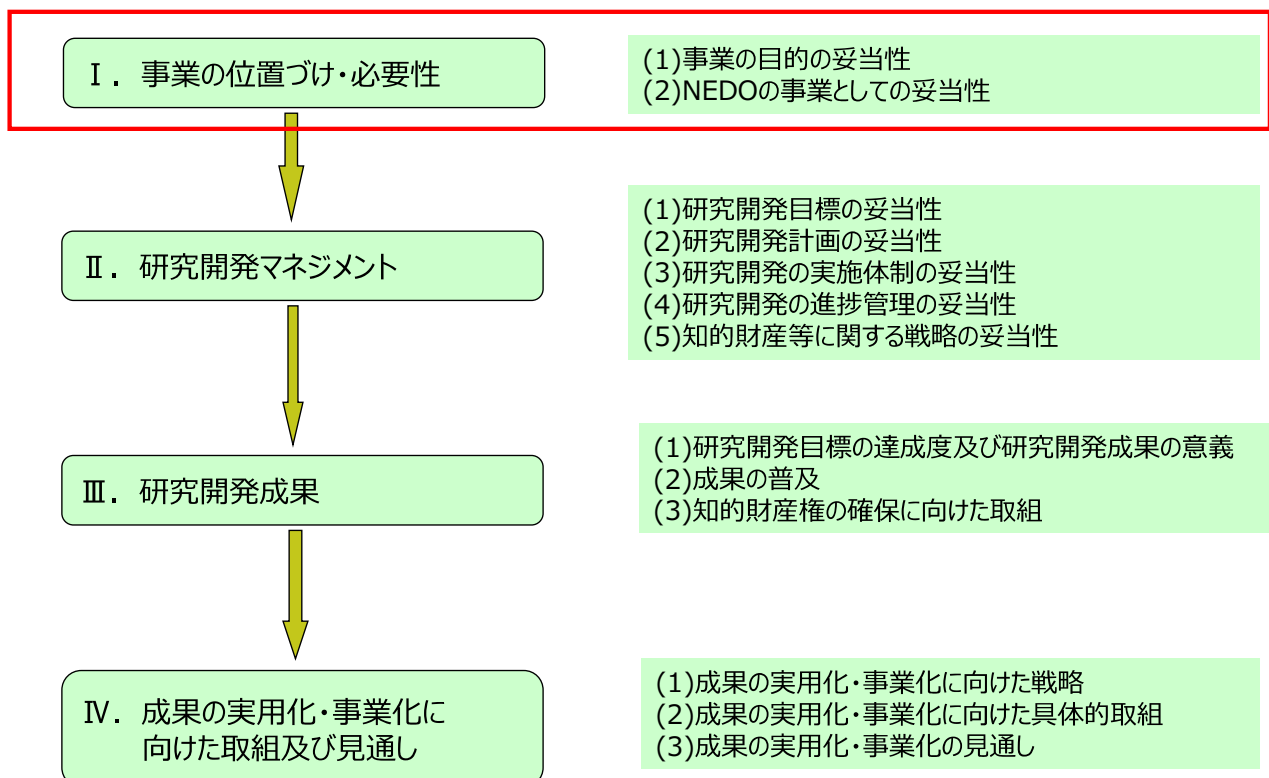
プロジェクトの概要 (公開)

NEDO
環境部

2022年6月23日

0

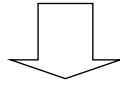
発表内容



◆事業実施の背景と事業の目的

社会的背景

- ・セメント産業からの温室効果ガス排出は、世界全体の約8%を占める
- ・エネルギー消費に加えて原料(石灰石)からCO₂が発生するため削減が困難



世界全体でセメント産業における脱炭素に向けた革新的なイノベーションに向けた技術開発が進められている

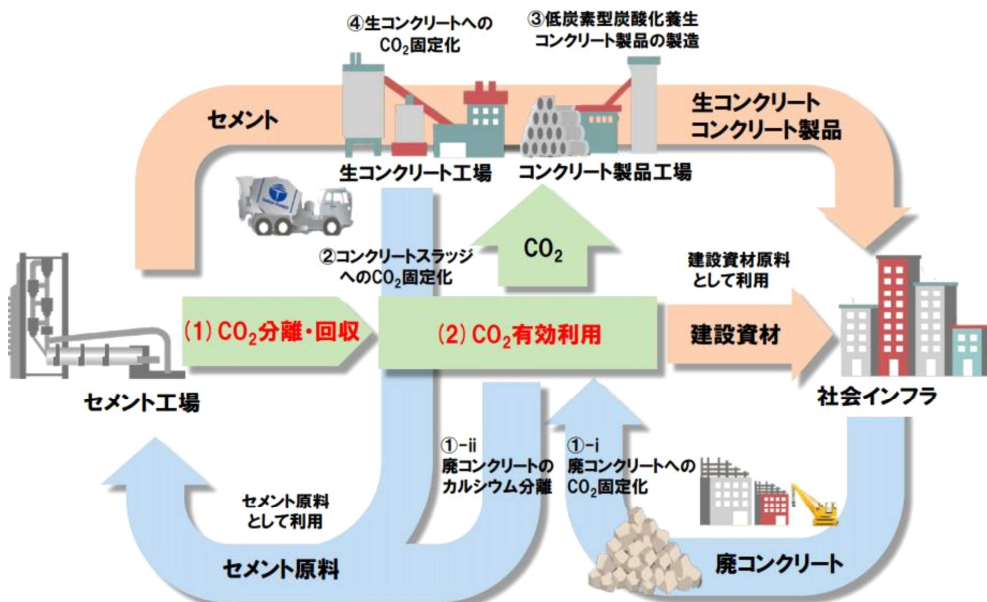
事業の目的

2030年以降、既存セメントと同等価格以下及び同等性能以上とすることを目標に、製造工程で発生するCO₂を回収し、炭酸塩として固定化後、原料や土木原料として再資源化する、セメント製造プロセス構築を目指す。

◆事業実施の背景と事業の目的

事業概要

セメントキルン排ガス中のCO₂を分離・回収し、セメント工場及び近隣地域において廃コンクリートや生コンスラッジを用いて炭酸塩として固定化後、セメント原料(石灰石代替)や路盤材等の土木資材として再資源化する技術等の要素技術開発、実用化・実証開発等を実施する



◆政策的位置付け

■「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」(2019年6月閣議決定)

『2050年までに80%の温室効果ガス削減を目標とすること』、『非連続なイノベーションを創出するために革新的環境イノベーション戦略を策定すること』等を表明。

■「革新的環境イノベーション戦略」(2020年1月閣議決定)

本事業では、革新的環境イノベーション戦略を加速化させるため、CO₂排出量の多いセメント産業において、当該戦略の中に位置づけられているカーボンリサイクル技術の開発による原料化や再資源化するセメント製造プロセスの開発を実施する。

◆政策的位置付け

「革新的環境イノベーション戦略」(2020年1月閣議決定)

Ⅲ 産業

CC

カーボンリサイクル技術によるCO₂の原燃料化など

② CO₂を原料とするセメント製造プロセスの確立 / CO₂吸収型コンクリートの開発 他

【目標】

- 2030年以降、既存セメントと同等価格以下かつ同等性能以上とすることを目標に、製造工程で発生するCO₂を回収し、炭酸塩として固定化後、原料や土木資材として再資源化するセメント製造プロセス構築を目指す。同様に、既存コンクリートと同等価格以下かつ同等性能以上とすることを目標に製造時にCO₂を吸収するコンクリートについて、用途拡大等に向けた新しい製造プロセス構築を目指す。また、技術確立後、速やかな公共調達での優先適用等を通じた、政府としての積極的な普及推進策についても検討する。2050年における世界全体のCO₂削減量は約43億トン。¹⁾
- その他、紙資源の再利用・製造工程における省エネルギー、バイオマス燃料を利用した燃料転換の推進等により、紙・パルプ分野におけるCO₂削減を目指す。

【技術開発】

- セメント製造プロセスにおいて、2030年頃の実用化を目指し、製造工程で発生するCO₂を分離回収し、廃コンクリートや生コンを用いて炭酸塩として固定化し、石灰石の代替として原料利用する技術や、その他の炭酸塩に固定化し路盤材等の土木資材として再資源化する技術等の要素技術開発、実用化・実証開発等を実施する。2020年には、削減量10トン-CO₂/日(既存技術の500倍規模)までスケールアップする実証事業に着手する。
- CO₂吸収型コンクリートの材料となるCO₂と反応して硬化する特殊混和材を、鉄筋を使用するコンクリート製品や大型コンクリート構造物等の新たな用途で利用するための要素技術開発、実証開発及び実用化に向け普及拡大時の技術課題の調査等を実施する。

【実施体制】

- 将来のビジネス展開まで見据えた上で、セメント製造事業者を中心に、CO₂分離回収技術を有する大学や研究機関等と連携し、ナショナルプロジェクトとして技術開発を進める。
- CO₂吸収型コンクリートについても、将来のビジネス展開まで見据えた上で、ゼネコン等を中心に、ナショナルプロジェクトとして技術開発等を進める。



1) NEDO TSCで試算。

◆国内外の研究開発の動向と比較

分類	プロジェクト	動向・進捗など	本事業の特徴・優位性
CO ₂ 回収	Norcem Project 化学吸収法	<ul style="list-style-type: none"> 2014年5月～2015年10月 Brevik工場（ノルウェー）でパイロット試験実施(CO₂回収量3.6t/日 運転時間4500時間以上) (出典：J.N. Knudsen et al. Pilot Plant demonstration of CO₂ Capture from Cement Plant with Advanced Amino Technology, Energy Procedia 63, pp.6464–6476 (2014)) 2024年よりCO₂回収量400,000t/年の事業開始予定。 (出典：CCS at Norcem Brevik, https://www.norcem.no/en/CCS%20at%20Brevik) 	<p>CO₂の回収⇒炭酸塩化、有効利用の資源循環過程として技術開発</p> <ul style="list-style-type: none"> 既存のセメント製造プロセスに影響を与えない分離・回収方式を採用。 CO₂分離回収設備に、従来と比較して高効率、コンパクト、熱安定性の高いアミン系吸収液を用いた設備を導入。 <p>(CO₂分離回収量：10t/日)</p>
	ECRA Project 酸素燃焼法	<ul style="list-style-type: none"> 2018年にパイロット設備の建設が公表。まだ実現していない。 (出典：Cement industry launches an industrial-scale carbon capture project, https://ecra-online.org/fileadmin/ecra/press_releases/Cement_Industry_Launches_Industrial-Scale_Carbon_Capture_Project.pdf) 	
	LEILAC-1 LEILAC-2 間接加熱	<ul style="list-style-type: none"> 2019年3月～2020年末 Lixhe工場（ベルギー）でパイロット試験実施。原料供給量公称10 t /h、72時間の連続運転。 LEILAC- 2 の実施公表（2020年4月～2025年3月）原料供給量40t/h（4倍）、セメントクリンカの製造。 (出典：D.Raniel, LIFE IN LEILAC, WorldCement2021年8月号) 	
CO ₂ 有効利用	FastCarb 廃コン炭酸化促進技術	<ul style="list-style-type: none"> 解体コンクリートから得た骨材(再生砕石)を加速炭酸化。 試験室レベルとセメント工場に設置した設備での試験を実施。 生成したCO₂吸収後の骨材はコンクリートへの利用想定。 (出典：The FastCarb National Project, https://www.cpi-worldwide.com/uploads/journals/pdf/2020/01/en/en_01_2020_30_36.pdf) 	<p>モデル工場として組み合わせ可能な有効利用技術メニューを技術開発</p> <ul style="list-style-type: none"> 《廃コンCO₂吸収・セメント原料化》 骨材に加え、セメント原料としての利用も可能なプロセスを開発。 《生コンCO₂固定化》 <p>類似技術のCO₂固定量を上回る固定化技術を開発(対セメント質量1.5～2%)。</p>
	Carbon Cure 生コンへのCO ₂ 注入	<ul style="list-style-type: none"> 生コンクリートに、0.5%前後(対セメント質量)のCO₂を注入し、固定化させる技術を確認、実用化。 北米の生コン製造業者を中心に300以上の工場での利用実績。(国内でも資本参加や、技術のライセンス契約を行った企業あり) (出典：山岸弘大, 総合商社のカーボンサイクルへの取組みと海外技術紹介,コンクリート工学 Vo.59 ,No.9,pp764-769 (2021)) 	

6

◆他事業との関係

事業名	事業実施期間
<p>【環境省事業】</p> <p>CO₂分離回収技術に関する研究 ～セメントキルン排ガスからのCO₂回収小規模実証試験～ (20kg-CO₂/日規模の実証)</p>	2018～2020
<p>【本事業】</p> <p>炭素循環型セメント製造プロセス技術開発 (10t-CO₂/日規模のパイロット実証及びその再資源化)</p>	2020～2021
<p>【GI基金】</p> <p>セメント製造プロセスにおけるCO₂回収システムの開発 (石灰石からの排出CO₂を100%近く回収する技術確立を目指す)</p>	2021～2030

7

◆実施の効果 (費用対効果)

プロジェクト費用の総額 15.4億円 (助成金額(補助率1/2))

本プロセス開発で想定されるCO₂削減効果 35万 t -CO₂/年

CO₂削減量に相当する排出枠価格

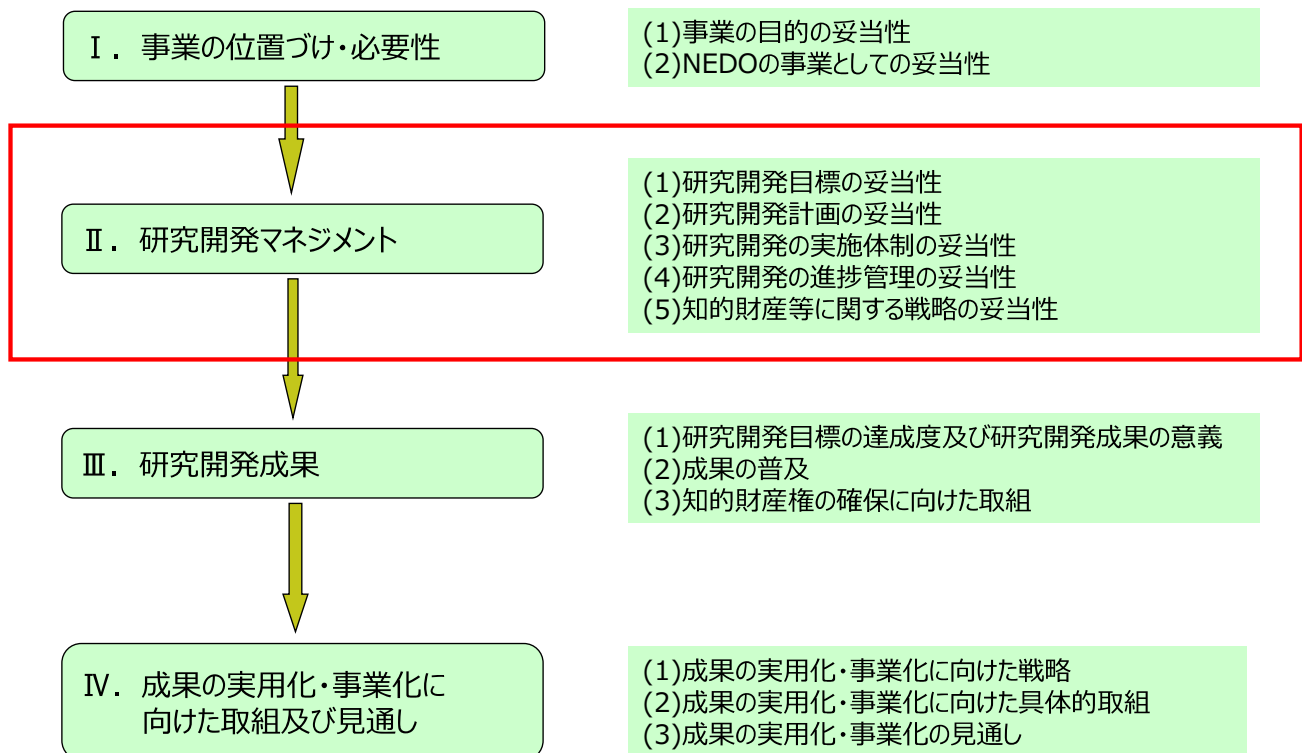
(欧州ETS価格換算の参考値) 36億円程度/年

→ CO₂の価値によるものの、費用対効果の妥当性は認められる

【経済効果算定】

- a. 廃コンクリート発生量= 3,690万t (国交省, H30年度建設副産物実態調査結果)
- b. 廃コンクリートのセメント含有量= 13.6 wt% (神田, コンクリート工学, 2011)
- c. 廃コンクリート中のセメントに固定するCO₂量= 70 kg-CO₂/t-cem. (アウトプット目標)
- d. CO₂削減量= a×b×c ≒35万t-CO₂/年
- e. CO₂排出枠価格= 約80€/t-CO₂ (2021年末)
- f. 為替レート= 約130円/€ (2022年平均値)
- g. 経済効果= d×e×f ≒36億円/年

発表内容構成



◆事業の目標

1. セメント工場に最適なCO₂分離・回収システムを構築
2. CO₂をセメント廃棄物等に固定する技術の確立
3. CO₂排出削減効果・固定効果の評価

(詳細は次ページ以降)

◆研究開発目標と根拠		個別の有効利用技術では、従来の類似技術と比較して大きなCO ₂ 削減を実現
研究開発項目	研究開発目標	根拠
1. 化学吸収法によるセメントキルン排ガスからのCO ₂ 分離・回収	<ul style="list-style-type: none"> ・セメントキルン排ガスの分離・回収に適したアミン系吸収液の調査・選定 ・10t/日規模のCO₂分離・回収パイロットプラントを用いた運転条件の最適化 (運転時間：連続100時間以上、のべ500時間以上、回収CO₂濃度：99%以上) ・実機スケール設備に向けた課題抽出・経済性評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・セメント製造工程への影響が小さく、工場への導入障壁が低いことからアミン系吸収液を用いた化学吸収法を採用し、各種アミン系吸収液の選定を実施した。 ・小型の実証試験(20kg-CO₂/日規模)では運転時間100時間で性能低下の傾向が認められており、100時間以上での評価によりスケールアップ時の課題等が明確になる。
2-①廃コンクリートによるCO ₂ 吸収及び建設資材・セメント原料としての利用技術開発	<ul style="list-style-type: none"> i) CO₂固定化技術 加熱炭酸化処理実証設備によるCO₂固定化条件の最適化 (目標：70kg-CO₂/t-cem.以上の固定化、自主目標：100kg-CO₂/t-cem.以上) ii) セメントペースト・骨材分離回収技術 目標：微粒分中のセメントペースト含有量70%以上、再生骨材・路盤材の物理特性、溶出特性等の規格・基準値を満足 	<ul style="list-style-type: none"> ・一般大気中に33年間暴露した廃コンクリートのCO₂固定量は138kg-CO₂/t-cem.であり、実証試験(暴露時間1～2時間)では反応場が大型化することで反応効率が低下するため、固定化量を半分の70kg-CO₂/t-cem.を下限目標とし、自主目標として100kg-CO₂/t-cem.を設定した。 ・通常の再生骨材工場で製造される微粒分中のセメントペースト含有量は22%程度、加熱すりもみ法では最大67%であることを踏まえ、本技術では目標値を70%とした。
2-②生コンスラッジを用いたCO ₂ 固定化技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 実証設備による生コンスラッジを用いたCO₂固定化条件の最適化 (目標：125kg-CO₂/t-cem.以上の固定化) セメント原料に使用した際のセメント・コンクリートの品質評価(目標：現行品同等の品質の確保、～60t-cem./hのセメント生産スケール) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ラボ試験で長時間CO₂吹込みを行った場合に250kg-CO₂/t-cem.を固定できる結果が得られており、実証試験では吹込み時間が短くなること等を考慮し、その50%を目標値とした。

2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

◆研究開発目標と根拠		個別の有効利用技術では、従来の類似技術と比較して大きなCO2削減を実現
研究開発項目	研究開発目標	根拠
2-③低炭素型炭酸化養生コンクリート製品の開発	実規模プラントおよび炭酸化養生実証設備で製造されたコンクリート製品の性能確認(目標: CO ₂ 削減量: 320 kg-CO ₂ /t-cem., JIS規格相当性能)	・普通ポルトランドセメントクリンカ製造時のCO ₂ 排出原単位は789kg-CO ₂ /t-クリンカであるが、新規セメント系材料のCO ₂ 排出原単位はその約80%程度(20%減)にできると想定し、さらに、炭酸化養生により排出したCO ₂ の20%に相当する量を固定化できると考えて、40%削減にあたる320 kg-CO ₂ /t-cem.を目標とした。
2-④生コンへのCO ₂ 固定化技術の開発	・実規模プラントで製造した生コンへのCO ₂ 固定技術の実証(目標: 流動性を確保した上で10kg-CO ₂ /t-cem.相当以上の注入量) ・コンクリートの硬化性能の評価(目標: 基準とするコンクリートと同等以上の強度特性)	・従来技術の固定量が5kg-CO ₂ /t-cem.程度に限られ、過剰にCO ₂ を固定しようとするコンクリートの流動性が低下するため、実証試験では10kg-CO ₂ /t-cem.の固定をコンクリート品質(流動性や強度発現性)を損なうことなく達成することを目標とした。
3. CO ₂ 排出削減効果・固定効果の評価	・実証試験データに基づくCO ₂ 排出削減効果・固定効果の評価 ・本技術の導入による普及期のCO ₂ 削減ポテンシャルの推定	・開発技術の導入によるCO ₂ 排出削減効果・固定効果はこれまでに評価された実績がないことから、技術開発データなどを反映したうえで、その評価を行う。 ・また個別技術を組み合わせ適用したモデル工場のCO ₂ 削減効果も未知である。評価を行うことにより、本技術の導入によるCO ₂ 削減ポテンシャルを推定し、本事業技術の有効性を確認する。

2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

◆研究開発のスケジュール		計画通り事業期間内に目標を達成	
		2020年度	2021年度
1. 化学吸収法によるセメントキルン排ガスからのCO ₂ 分離・回収 アミン系吸収液の調査・選定・評価 CO ₂ 分離・回収パイロットプラントの設計・建設 パイロットプラントを用いた運転条件の最適化		● ●	● ●
2-①廃コンクリートによるCO ₂ 吸収及び建設資材・セメント原料としての利用技術開発 ラボ試験によるCO ₂ 固定化条件の最適化 外熱キルンによるCO ₂ 固定化条件の確認と課題抽出 加熱炭酸化処理実証設備の設計・製作、実証設備の設置、実証設備によるCO ₂ 固定化条件の最適化 ラボ試験による設備選定、運転条件の最適化、ラボ試験による回収物、再生骨材、路盤材の品質・性能評価 破碎・選別回収実証設備の設計・製作 実証設備の設置 実証設備による運転条件の最適化 実証設備による回収物の品質評価		● ● ● ●	● ● ●
2-②生コンスラッジを用いたCO ₂ 固定化技術の開発 ラボ試験によるCO ₂ 固定化条件の最適化 ラボ試験によるセメント・コンクリートの品質確認 生コンスラッジ炭酸化実証設備の設計・設置 実証設備によるCO ₂ 固定化条件の最適化 実証設備で製造されたセメント・コンクリートの品質評価		● ●	● ●
2-③低炭素型炭酸化養生コンクリート製品の開発 ラボ試験による新規セメント系材料の開発 コンクリート製品の配合選定・炭酸化養生条件の最適化 テストキルンを用いた新規セメント系材料の製造 コンクリート製品の炭酸化養生実証設備の設計・設置及びコンクリート製品の製造と性能確認		● ● ●	●
2-④生コンへのCO ₂ 固定化技術の開発 ラボ試験によるCO ₂ 注入条件の最適化、ラボ試験によるコンクリートの基本性能評価 超微細気泡発生装置の選定と設置方法の検討 実規模プラントでのCO ₂ 固定技術の実証、実証で製造されたコンクリートの性能評価		● ●	● ●
3. CO ₂ 排出削減効果・固定効果の評価 評価方法/評価条件の設定、評価に必要なデータ収集項目の設定 技術開発データを用いた一次評価の実施と分析 開発状況による評価条件、収集データの見直し 技術開発データを用いた一次評価の見直し 普及期等の条件を考慮した評価の実施と解釈		● ● ● ●	● ● ●

◆プロジェクト費用

◆費用

(単位：百万円)

研究開発テーマ	2020年度	2021年度	合計
炭素循環型セメント製造プロセス技術開発	224	1,315	1,539

助成金額(補助率1/2)



CO₂分離・回収設備



CO₂有効利用設備

導入された実証試験設備

費用の内容から妥当性を確認して決定

◆研究開発の実施体制



・研究開発実施項目と役割を確認
・技術推進委員会を実施

◆研究開発の進捗管理

NEDOは、研究開発全体の管理及び執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適切に把握し、必要な措置を講じた。

主担当、主任研究者による進捗把握・管理

研究開発実施者との連携による、研究開発の進捗状況の把握。具体的には、従事日誌、月間工程表、執行管理表及び現地調査等による実施状況の確認を通じ、目標達成に対して適切に進捗しているか確認し、CO₂排出の評価・キルン排ガスに対するディスカッションなど、事業の効率的な実施に対する指導を行った。

また、下記の通り、事業者による技術推進委員会の設置を促すとともに、その開催にあたっては、外部有識者の意見が適切に事業へ反映されているかNEDOの立場で確認することを通じ、技術面での必要な検討を促した。

【参考】技術推進委員会の開催実績

- 第1回 2020年10月23日 熊谷工場
- 第2回 2021年4月12日 中央研究所
- 第3回 2021年9月17日 本社
- 第4回 2022年2月7日 熊谷工場

◆動向・情勢の把握と対応

情勢	対応
<p>2020年10月に、日本政府は「2050年カーボンニュートラル」を宣言し、12月にMETIは「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」を策定し、「グリーンイノベーション基金」が創設された。</p>	<p>グリーンイノベーション基金事業の基本方針に基づき「CO₂を用いたコンクリート等製造技術開発プロジェクト」を立上げた。そのなかで本事業の成果を踏まえてセメント製造過程で発生するCO₂を全量近く回収でき、既存と同等以上のコスト低減を目指す技術開発を開始した。</p>

◆知的財産権等に関する戦略 (1)

NEDOの知財マニュアルに基づき、事業者において知財戦略の検討を実施。

【基本戦略】

- ◆ 知財として確保する方が有利な技術については積極的に特許として出願する。
- ◆ ノウハウとして保有する方が有利な技術は出願しない。
- ◆ 競合技術の出願状況を定期的に調査し、対策を検討する。
- ◆ 「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条（委託の成果に係る知的 財産権の帰属）の規程等に基づき、原則として、事業成果に関わる知的財産権は全て委託先に帰属

新規に開発、取得した知財は基本的にオープンとする

	非競争域	競争域
公開	システム要件 モデル構築手法 など	機械装置類の開発 システム開発 など
非公開	事業者の独自技術に基づいたものであり、かつ その事業者が当該技術をクローズ（秘匿）しているもの	

必要に応じて
権利化

◆知的財産権等に関する戦略 (2)

NEDOの知財マニュアルに基づき、事業者において知財管理を実施。

- ✓ 知的財産権の帰属及び取扱い方法について文書化して管理

知的財産権の帰属

産業技術力強化法第19条第1項に規定する4項目及びNEDOが実施する知的財産権の状況調査（バイ・ドール調査）に対する回答を条件として、知的財産権は全て発明等をなした機関に帰属。

知財マネジメント基本方針（「NEDO知財方針」）に関する事項

NEDO知財方針に記載された「全実施機関で構成する知財運営委員会（又は同機能）」を整備し、「知財の取扱いに関する合意書」を作成済み。

データマネジメントに係る基本方針（NEDOデータ方針）に関する事項

NEDOデータ方針に記載された「全実施機関で構成する知財運営委員会（または同機能）」を整備し、「データの取扱いに関する合意書」を作成済み。

- ✓ 本事業で得られた知財については、関係各機関の知財管理部門と連携し、特許管理、知財管理を推進

◆知的財産権等に関する戦略 (3)

NEDO知財マニュアルを基礎としつつ、事業者において、以下のような具体的な活動・検討も実施

1. 類似技術の特許調査と整理

調査を通じ、本事業の知財について、特許とする優先順位、出願内容・範囲の選定を行った。また、2. に示す作業も行い、周辺特許の出願をするなど、俯瞰的な対応を実施。

2. 特許マップの作成

製造フロー、組成物、用途、システム等に分類し、関連特許のマッピングを実施。これを踏まえて、1. の出願リストを作成。

3. 公開・非公開の基準の摺り合わせ

原則出願としたが、生コンへのCO₂固定、低炭素型炭酸化養生コンクリート関連など、ノウハウとして保有すべく非公開とした。

4. 海外出願

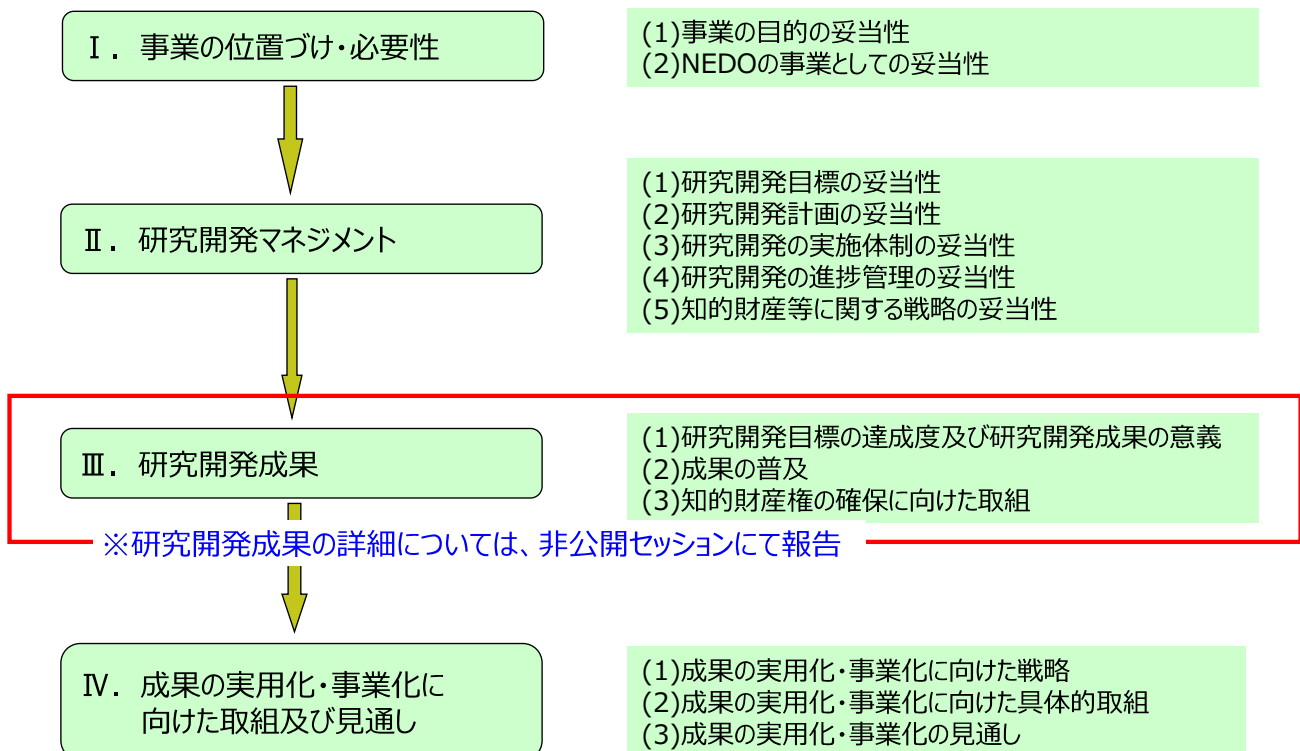
技術の重要性、海外での実施実現性などを考慮し、必要に応じて、海外出願も行った。

	2020年度	2021年度	計
特許出願 (うち外国出願)	5 (0)	7 (1)	12 (1)件




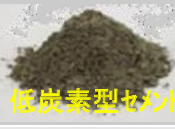








※2022年3月31日現在

20

発表内容構成



◆研究開発項目毎の目標と達成状況

	セメントキルン排ガスからのCO ₂ 分離・回収	廃コンへのCO ₂ 固定化技術	セメントペースト骨材分離回収技術	生コンスラッジへのCO ₂ 固定化技術	低炭素型炭酸化養生コンクリート製品製造技術	生コン(軽量盛土)へのCO ₂ 固定化技術
材料						
産物		  				
目標	連続100hr運転のべ500hr運転 CO ₂ 濃度99%以上	70kg以上 CO ₂ /t-cem	微粒分のセメントペースト量 70%以上	125kg以上 CO ₂ /t-cem	320kg以上 CO ₂ 削減/t-cem	10kg以上 CO ₂ /t-cem
成果	連続244hr運転のべ528hr運転 CO ₂ 濃度99.6%	76kg	70%超	250kg超	405kg-CO ₂ 削減	22kg

◆研究開発項目毎の目標と達成状況 (1)

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み(中間) / 一部達成(事後)、×未達

研究開発項目	目標	成果	達成度
1. 化学吸収法によるセメントキルン排ガスからのCO ₂ 分離・回収	・セメントキルン排ガスの分離・回収に適したアミン系吸収液の調査・選定 ・10t/日規模のCO ₂ 分離・回収パイロットプラントを用いた運転条件の最適化 ・実機スケール設備に向けた課題抽出・経済性評価	・CCL社のアミン系吸収液が最もCO ₂ 吸収・脱離ポテンシャルが高いことを確認 ・パイロットプラントで10t-CO ₂ /日を満たす基本運転条件を達成(連続100時間以上、回収CO ₂ 濃度:99%以上) ・LCAにより現状を把握	○
2-① 廃コンクリートによるCO ₂ 吸収及び建設資材・セメント原料としての利用技術開発	i) CO ₂ 固定化技術 加熱炭酸化処理実証設備によるCO ₂ 固定化条件の最適化 ii) セメントペースト・骨材分離回収技術	・実証設備の安定運転に成功し目標のCO ₂ 固定量を達成(70kg-CO ₂ /t-cem.以上) ・廃コンクリートに適した破碎方式を把握、粒度毎の選別機の運転条件を確立し回収物の目標品位を達成(微粒分中のセメント含有率70%以上)	○
2-② 生コンスラッジを用いたCO ₂ 固定化技術の開発	・実証設備による生コンスラッジを用いたCO ₂ 固定化条件の最適化 ・セメント原料に使用した際のセメント・コンクリートの品質評価	・実証設備のCO ₂ 固定化条件を最適化しCO ₂ 固定量を達成(125kg-CO ₂ /t-cem.以上) ・セメント工場での実機設備で生コンスラッジ(CO ₂ 固定後)を添加したセメントを製造し品質に問題ないことを確認	○

◆研究開発項目毎の目標と達成状況(2)

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、△ 達成見込み(中間) / 一部達成(事後)、× 未達

研究開発項目	目標	成果	達成度
2-③ 低炭素型炭酸化養生コンクリート製品の開発	実規模プラントおよび炭酸化養生実証設備で製造されたコンクリート製品の性能確認	<ul style="list-style-type: none"> ・低炭素型の新規セメント系材料の開発と製造に成功 ・新規セメント系材料を用いた炭酸化養生ILブロックを実製品工場で製造し、駐車場舗装として供用性に問題ないことを確認 ・製造したILブロックは目標のCO₂削減・固定量を達成(320kgCO₂/t-cem.以上) 	○
2-④ 生コンへのCO ₂ 固定化技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・実規模プラントで製造した生コンへのCO₂固定技術の実証 ・コンクリートの硬化性能の評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・効率的なCO₂注入方式としてセメントスラリー方式を新たに開発 ・生コンや軽量土の品質を損なわず目標のCO₂固定量を達成(10kg-CO₂/t-cem.以上) 	○
3. CO ₂ 排出削減効果・固定効果の評価	<ul style="list-style-type: none"> ・実証試験データに基づくCO₂排出削減効果・固定効果の評価 ・本技術の導入による普及期のCO₂削減ポテンシャルの推定 	モデル工場を設定した評価により、本技術の導入による普及期のCO ₂ 削減ポテンシャルおよび開発した技術の有効性を示した。	○

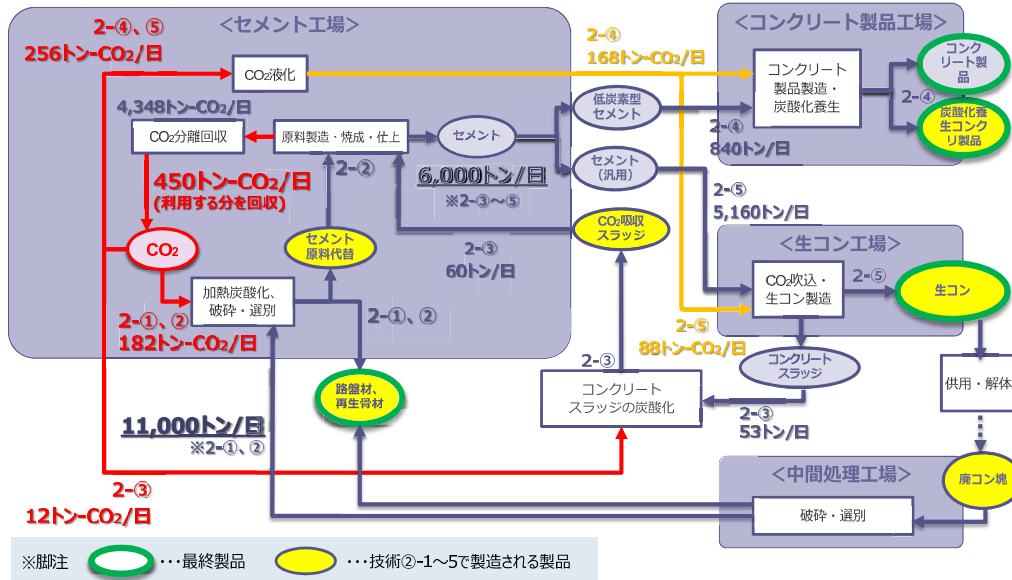
【参考】 研究開発項目低炭素型炭酸化養生コンクリート製品の開発の成果



敷設したインターロッキングブロック
(手前から普通ブロック市販品、普通ブロック実証製造品、
透水ブロック実証製造品、透水ブロック市販品)

【参考】 研究開発項目3の成果

- 本事業の成果の有用性を示す観点で検討したモデル工場。
- セメント生産量が6,000 t/日の、国内の中規模なセメント工場を念頭に、技術開発で得られた結果ベースにモデルを構築した場合、1日あたり約450トンのCO₂を回収することが可能。



◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

1. プロジェクトの達成状況

本プロジェクトにおいて掲げた研究テーマについては、研究開発項目の目標値を達成

- ① セメントキルン排ガスから10t-CO₂/日を分離・回収するパイロットプラントを設置。連続運転による適用を検証した
- ② 回収したCO₂を廃コンクリートに短時間で固定化、CO₂を固定した廃コンクリートのセメント原料化あるいは、骨材化等の要素技術を確立
- ③ 生コンスラッジ、コンクリート製品、生コンを活用したCO₂有効利用・炭酸塩化技術を開発

2. プロジェクトの成果の意義

キルンから発生するCO₂分離回収とCO₂の固定化で技術的知見を得た。

◆ 成果の普及

	2020 年度	2021 年度	計
論文	0	0	0
研究発表・講演	0	3	3
受賞実績	0	0	0
新聞・雑誌等への掲載	0	8	8
展示会への出展	0	0	0

※2022年3月31日現在

◆ 成果の普及 (PRの例)



2022年2月4日

**NEDO 助成事業「炭素循環型セメント製造プロセス技術開発」
セメントキルン排ガスからのCO₂分離・回収、有効利用実証試験設備完成
—カーボンニュートラル実現に向けた革新的技術の開発を加速—**

太平洋セメント株式会社（本社：東京都文京区、代表取締役社長：不死原文正 以下、当社）は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）に採択された「炭素循環型セメント製造プロセス技術開発」の実証設備が完成し、セメントキルン排ガスからのCO₂分離・回収と有効利用の実証試験を開始します。



写真 実証試験設備 左：CO₂分離・回収設備、右：炭酸化反応装置（外熱式ロータリーキルン）

◆知的財産権の確保に向けた取組

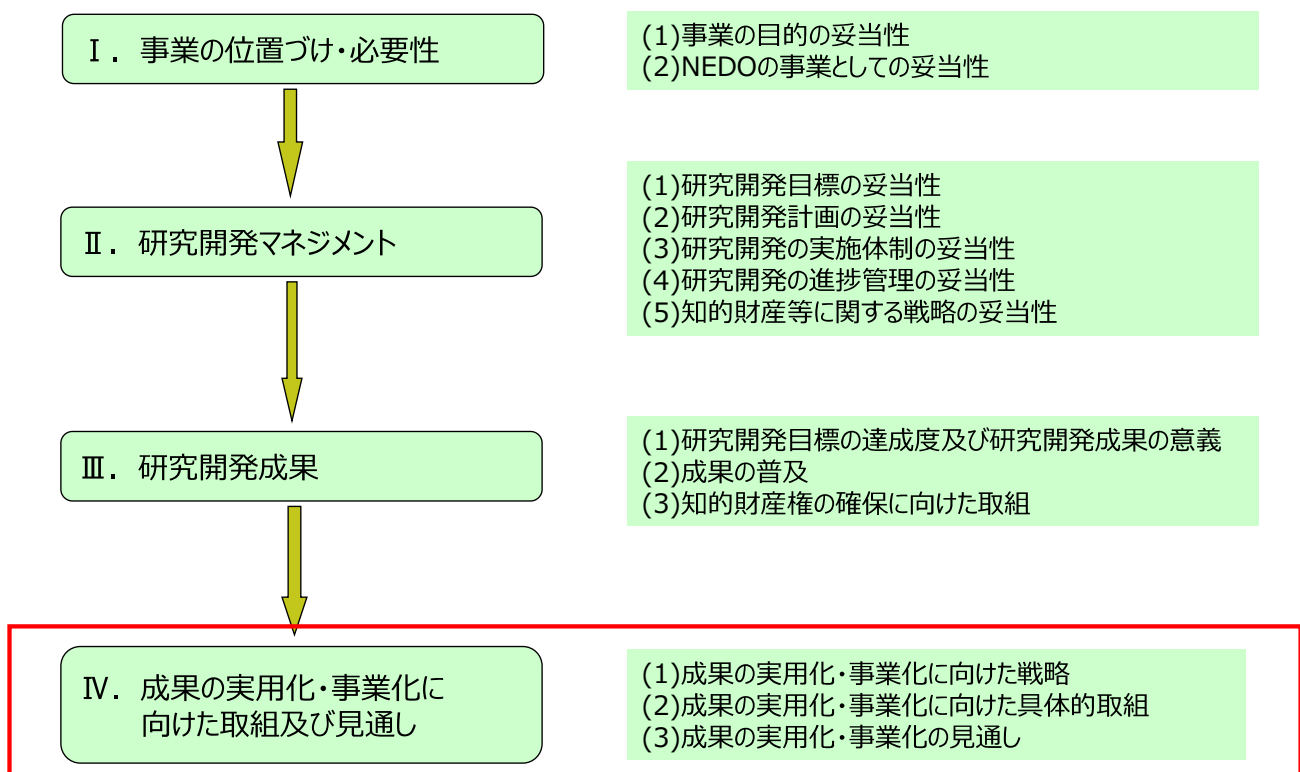
「2. 知的財産権等に関する戦略」を踏まえ、具体的な取組を実施

- 報告会を定期的に行い、業界動向や他社特許について協議/共有することを通じて、他社特許や論文等を調査分析を実施した。
- パテントクリアランスチェックを実施しつつ、二酸化炭素の固定化方法/廃コンクリートからのセメント原料回収方法/クリンカ粉末及びその製造方法について基本特許を出願。
- 周辺特許についても、オープン/クローズ戦略を意識して出願要否を判断し、必要な場合特許出願済み。

	2020年度	2021年度	計
特許出願（うち外国出願）	5(0)	7(1)	12(1)件

※2022年3月31日現在

発表内容構成



◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

本事業は、セメント生産プロセスそのものの脱炭素化を目標とした事業であることから、実用化を以下のように定義する。





「セメントキルン排ガスから発生するCO₂を分離・回収設備によって回収するとともに、その回収したCO₂を活用し、廃コンクリートを用いて炭酸塩を製造して、原料化や再資源化すること」

事業化を以下のように定義する。

「商用設備において本事業で開発した技術を用いて、円滑な生産・事業活動を行うこと」

◆実用化・事業化に向けたスケジュール

- ・ 2022～2023年度： 実証試験の継続
- ・ 2024～2026年度： 改善した設備での実用化を想定した試験（必要に応じ大型化など）
- ・ 2027～2029年度： 実設備導入の投資判断、事業環境判断。判断結果により工事着工
- ・ 2030年度～： 事業開始（1工場に有効利用設備を設置）

年度	2022～2023	2024～2026	2027～2029	2030～
実証試験など	 今回助成金設備による 実証試験継続 (運転技術の確立)	 改善した設備等での実用化 を想定した試験 (必要に応じ大型化など)		
設備投資・着工			 設備投資判断(注)・ 工事着工	
事業開始				 事業開始(1工場に有効 利用設備を設置し、生産 開始)

(注) この段階での技術的完成度、ならびに当該時期の事業環境状況（炭素税、製品価値等）により投資判断。

◆成果の実用化・事業化の見通し

現状、キルンから発生するCO₂分離回収とCO₂の固定化で技術的知見を得られているが、前ページの行程表に示すとおり、実用化に向けて以下のような部分で検討を継続する必要がある。

- ・2022～2023年度：実証試験の継続
 - ① CO₂回収技術 連続運転の継続検証、熱収支評価、各種アミンの評価
 - ② CO₂利用技術 廃コンクリート炭酸化の更なる向上策検討
- ・2024～2026年度：改造した設備での実用化を想定した試験
上記期間の試験結果を踏まえての設備改造、ならびに各課題についての更なる検証ならびに必要な応じた大型化

◆波及効果

セメント工場は国内に30工場あり、その工場に適用されれば、大幅なCO₂削減に繋がる。

参考資料 1 分科会議事録及び書面による質疑応答

研究評価委員会
「炭素循環型セメント製造プロセス技術開発事業」(事後評価)分科会
議事録及び書面による質疑応答

日 時：2022年6月23日(木) 15:15～17:00

場 所：NEDO 川崎本部 2301～2303 会議室(オンラインあり)

出席者(敬称略、順不同)

<分科会委員>

分科会長	清水 忠明	新潟大学 工学部 化学システム工学プログラム 教授
分科会長代理	吉田 朋子	大阪公立大学 人工光合成研究センター 教授
委員	桑畑 みなみ	株式会社エヌ・ティ・ティ・データ経営研究所 社会・環境戦略コンサルティングユニット マネージャー
委員	柴田 善朗	一般財団法人日本エネルギー経済研究所 電力・新エネルギーユニット 新エネルギーグループ マネージャー
委員	武脇 隆彦	三菱ケミカル株式会社 Science & Innovation Center フェロー
委員	水野 英二	株式会社TBM 開発・生産本部 本部長
委員	山下 洋	電源開発株式会社 技術開発部 研究推進室 研究計画タスク 総括マネージャー

<推進部署>

上原 英司	NEDO 環境部 部長
木下 茂	NEDO 環境部 主査
在間 信之	NEDO 環境部 統括調査員
布川 信	NEDO 環境部 主任研究員
阿部 正道	NEDO 環境部 主任研究員
谷村 寧昭	NEDO 環境部 主査
西里 友志	NEDO 環境部 主任

<実施者>

岡村 隆吉	太平洋セメント株式会社 常務執行役員
上野 直樹	太平洋セメント株式会社 カarbonニュートラル技術開発プロジェクトチーム チームリーダー
吉川 知久	太平洋セメント株式会社 カarbonニュートラル技術開発プロジェクトチーム 技術グループ グループリーダー
野村 幸治	太平洋セメント株式会社 カarbonニュートラル技術開発プロジェクトチーム 企画管理グループ グループリーダー
一坪 幸輝	太平洋セメント株式会社 カarbonニュートラル技術開発プロジェクトチーム 技術グループ 炭酸塩利用技術チーム チームリーダー
星野 清一	太平洋セメント株式会社 カarbonニュートラル技術開発プロジェクトチーム 企画グループ

<評価事務局>

森嶋 誠治 NEDO 評価部 部長

村上 康二 NEDO 評価部 専門調査員

佐倉 浩平 NEDO 評価部 専門調査員

木村 秀樹 NEDO 評価部 専門調査員

議事次第

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明
 - 5.1a) 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント
 - b) 研究開発成果、成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し
 - 5.2 質疑応答

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明
 - 6.1 炭素循環型セメント製造プロセス技術開発

(公開セッション)

7. まとめ・講評
8. 今後の予定
9. 閉会

議事内容

(公開セッション)

1. 開会、分資料の確認
 - ・開会宣言 (評価事務局)
 - ・配布資料確認 (評価事務局)
2. 分科会の設置について
 - ・研究評価委員会分科会の設置について、資料1に基づき事務局より説明。
 - ・出席者の紹介 (評価事務局、推進部署)
3. 分科会の公開について

評価事務局より行われた事前説明及び質問票のとおりとし、議事録に関する公開・非公開部分について説明を行った。
4. 評価の実施方法について

評価の手順を評価事務局より行われた事前説明のとおりとした。
5. プロジェクトの概要説明
 - 5.1a) 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント

推進部署より資料5に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

 - b) 研究開発成果、成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

引き続き推進部署より資料5に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

5.2 質疑応答

【清水分科会長】 ありがとうございます。ここから質疑応答に入ります。技術の詳細については議題6で扱うため、ここでは主に事業の位置づけ、必要性、マネジメントについての議論を行います。それでは、事前にやり取りした質疑応答も踏まえまして、ご意見、ご質問等はございますか。

武協委員お願いします。

【武協委員】 三菱ケミカルの武協です。ご説明どうもありがとうございました。資料6ページ、国内外の動向について伺います。既に実用化されているものもあるとのことですが、今回のCO₂を吹き込んでセメントを造るというところで、その1つの課題としては、どうしても中性化してしまい建築用には規則があるため使えないということで理解いたしました。そこについて、外国ではどうなのでしょう。建築用にも使われて実用化が進んでいるといった状況なのですか。

【NEDO 環境部_木下】 すみません、海外の実用については私のほうで把握し切れておりません。太平洋セメント様からは何か補足いただけるのでしょうか。

【太平洋セメント_上野】 それでは私のほうから回答いたします。6ページですと、上の4つは検討中であるとか、まだ事業化には至っていないものと思われ。一番下にある「Carbon Cure 生コンへのCO₂注入」というのは実用化になっている例だと思います。ここに書いてあるように0.5%前後の添加であるため、中性化に至るような注入量ではないですし、私どもが今回行った類似の技術についても同様の形であり、中性化に至るような量は入れておりません。

【武協委員】 ですが、今日本では建築用には使用できないということなのですよ。日本では、そういった規格があるので、CO₂を吹き込んだものは鉄筋用には使えないと。

【太平洋セメント_上野】 それは、規格がCO₂を注入することを想定していないということにして、CO₂を注入することによって品質が劣るといった理由から入れてはいけないとされているものではないという認識です。

【武協委員】 今の規則では、CO₂を入れたものは使用できない。それが日本の現状だと理解してよろしいですか。

【太平洋セメント_上野】 生コンに関してはJIS規格上入れられません。

【武協委員】 それについて、海外ではそういった規則はないのですか。

【太平洋セメント_岡村】 太平洋セメントの岡村から補足いたします。鉄筋コンクリートは、鉄筋の腐食を防止するために中性化はできるだけさせず、コンクリートのアルカリ性を保つというのが従来からのコンセプトです。これはCO₂を与えて中性化させると鉄筋がさびやすくなるといったところから中性化を嫌うのですが、現状の規格や法体系の中で、CO₂だから使っちゃいけないということを決めているわけではございません。いかにコンクリートを健全に保つかという部分が大事になります。ですので、CO₂を使いつつコンクリートを健全に保つような技術をつくり上げていけば、それが実用化につながっていくものと理解している次第です。一方で建築物というのは重要なものですから、きちんと実績を積んでいき、その普及につながる規格であるとか学会標準であるといったことがきちんと整備されていくこと、それが普及へ向けたこれからの重要な課題であるということは確かだと認識しています。

【武協委員】 ありがとうございます。では、日本も海外も皆同じ状況だと理解してよろしいでしょうか。

【太平洋セメント_岡村】 はい。

【武協委員】 分かりました。ありがとうございます。

【清水分科会長】 ほかにございますか。吉田分科会長代理お願いします。

【吉田分科会長代理】 大阪公立大学の吉田です。ご説明ありがとうございました。外国特許のところでも少し伺います。1件取っておられるようですが、差し支えないものでしたら、どういった内容で取られているのかを教えてください。また、今後もこの技術に関して外国特許を取得される計画があるのかどうか、この1件で十分であるなど、そういったところについても伺います。

【太平洋セメント_一坪】 太平洋セメントの一坪からお答えいたします。海外出願した特許は、「廃コンクリートへのCO₂固定」に関する特許でございます。これを最優先で出願したことには、やはりこれまで人類は非常に多量のセメントを使っているわけで、ストックがたくさん世の中に存在するという状況があり、これを技術として押さえるのが一番有効であろうとのことから廃コンクリートを最優先とした出願に至りました。その他の技術については、まだ海外出願できておりませんが、現状技術のスキルアップをしている状況ですから、その進捗も踏まえた上で優先的にどれを出すかといった計画を練っていくこととなります。

【吉田分科会長代理】 ありがとうございます。

【清水分科会長】 ほかにございますか。それでは、柴田委員をお願いします。

【柴田委員】 ご説明ありがとうございました。他事業との関係で、本事業での経験を踏まえてGI基金のほうでやられるというお話がありました。GI基金のほうでは、石灰石からの排出CO₂、キルンのほうから100%の回収を目指すとのことでしたが、これは本事業では何パーセントぐらい達成できたのでしょうか。聞き漏らしてしまっていた場合には申し訳ございませんが、そこを教えてくださいたい点があります。また、100%の回収について、CO₂は回収できたとしても、先ほどのお話しですと全てをセメントのほうに溶け込ませることはできないものと認識しております。ですので、「100%近く」という定義の意味が少し不明瞭に感じました。この部分についても併せて伺います。

【NEDO環境部_木下】 まず1つ目の質問についてですが、1日数千トン当たりのCO₂が出て、そのうちの10t/dayですので、かなり割合は低いと思います。

【太平洋セメント_上野】 続いて太平洋セメントの上野からお答えいたします。今回の事業では、CO₂の吸収を化学吸収法のアミン法という方法でやっておりますが、GI基金に関してはこの化学吸収法ではない別の方法での取組になっているため、単純にCO₂回収量で比較するというのは難しいです。また、CO₂の利用に関してはご指摘のとおり、セメント、コンクリートに固定することで全量を使えるというのはなかなか難しいといった思いもございます。ですので、GI基金のほうでは、セメントプロセスに適したメタネーションというものを検討しようと思っている次第です。将来的にはセメント、コンクリートへの固定と燃料化、それでも使えない場合には、政府が進めるであろうCCS等々を含めて総合的に回収したCO₂を使おうと考えています。

【柴田委員】 分かりました。ありがとうございます。

【清水分科会長】 ほかにございますか。水野委員をお願いします。

【水野委員】 TBMの水野です。少し資源循環の観点で質問いたします。廃コンクリートにCO₂を固定するというのは本当にすごいことです。実際にサンプルも見せていただきましたが、感動いたしました。そうやって廃コンクリートにCO₂を固定したものを、また今度は循環していく。それがまた廃コンクリートになると。そうしますと、例えば路盤材でCO₂を吸収したものが、今度またそれが廃コンクリートになるという循環型のビジネスモデルを考えたときに、一旦固定化された、よりCO₂の量が多い廃コンクリートにまたCO₂を固定化させていくということは実際として可能なのでしょうか。また、そこで循環させていく際にはどのぐらいのロスがあるのか。MAXとしてどのぐらいまでできるのか。想像してみると、今普及しているものに固定化することは一定量できているものの、循環が進んでいったらもう入らなくなる技術になってしまうのではないかと考えます。ですので、そういったあたりについての考えも併せて教えてください。

【太平洋セメント_上野】 固定については、廃コン中のカルシウムに固定するという形になります。ですので、1回カルシウムがCO₂を固定して炭酸カルシウムになれば、それ以上の固定はできません。ただ、今世の中に廃になっていないコンクリート構造物というのが300億トンあります。現在、そのセメント生産量のうち廃コンとなって排出されているのが大体1割ぐらいであり、9割は蓄積されているという状況です。そういう意味であれば、十分にカルシウム源はあるのではないかと考えています。

【水野委員】 一方で、資料の根拠の部分で書かれていますが、「大気中に33年間暴露した廃コンクリートのCO₂の固定量」というのは、正直今回のこの実証実験で行うよりも多い量が、33年という長い時間がかかるわけ

ですが、138kg という倍近い量を固定できるということもあるわけです。そうすると、今使われているもので30年ぐらい経っているものは結構CO₂を吸収した状況になっているということになりますよね。そうであれば、いわゆるカルシウム分が、もう既にCO₂を固定した状態で吹き込んでも、まだ残っているカルシウム分があるという想定での実証だったということになるのでしょうか。

【太平洋セメント_上野】 おっしゃるとおりでございます。

【清水分科会長】 ほかにございますか。山下委員お願いします。

【山下委員】 電源開発の山下です。33ページの「実用化・事業化に向けたスケジュール」の部分で、今年度以降も実証試験を継続されるということでした。これはNEDOさんの助成で導入された設備の活用ということで、NEDOさんの成果でもあると思いますが、逆に言えば、ここをフォローするシステムが何かないの难道うかと少々思いました。太平洋セメントさんが自主的にやることは非常によいことだと思うのですが、自主性にしか頼れないというのはちょっと残念なように感じます。せっかく良い設備を入れられて多少なりとも継続してやれることが、自主性にしか頼れないというのではなく、NEDOさんとして今後、事業の継続に対しフォローアップができるようなシステムというのを考えていただけたらと思った次第です。これはコメントとなります。

【NEDO環境部_木下】 承知いたしました。ありがとうございます。

【清水分科会長】 それでは、議題5は以上で終了といたします。

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明

省略

(公開セッション)

7. まとめ・講評

【清水分科会長】 ここから議題7に入ります。講評いただく際の発言については、最初に山下委員から始まりまして、最後に私となります。それでは、山下様お願いします。

【山下委員】 本日はご説明いただきありがとうございました。非公開の部分は40分ということで少し短かったのですが、先日の現地説明会では2時間半以上における議論をさせていただきました。それもあわせて、非常に分かりやすく、事業の内容においても手触り感を持って理解できた次第です。この事業の実用化に向けて、太平洋セメントさんが実際に実証設備を動かされていくとのことで、実現性を持った形で事業がうまくいっているものと思います。非常に良い事業になっておりますから、ぜひ今後ともよろしく願いいたします。以上です。

【清水分科会長】 ありがとうございます。それでは、水野委員お願いします。

【水野委員】 水野です。前回の熊谷工場の見学も含めまして本当に理解が深まりました。本日の発表においても正しく捉えることができ、そういう意味でもNEDOさんのマネジメントがきちんとなされているものだと思いますし、非常に感謝いたします。成果のほうも、達成度の部分に関しては全て「O」がついているということもあって、本当にすばらしい結果であるという印象です。その中で1点、LCAの観点でいうところのサプライチェーンを特に重視されながら、もっと高効率な回し方を可能とする工夫、そういったことがここに

乗ってきたのなら、より良いものになるのではないのでしょうか。ですので、今後ともさらなるご尽力をよろしくお願いいたします。本日はどうもありがとうございました。以上です。

【清水分科会長】 ありがとうございます。それでは、武協委員をお願いします。

【武協委員】 三菱ケミカルの武協です。本日はどうもありがとうございました。私も現地調査会にて見学をさせていただいたため非常によく理解いたしました。目標においても全て達成されており、セメント工場にCO₂の回収設備を入れるところも始められているということですので、本当に素晴らしい成果なのではないでしょうか。また、今後GI基金などでさらにやられていくということですが、最初のほうで少しお話しさせていただいたように、建設用のコンクリートにも使えるようなところも含めて、ぜひ回収したCO₂の利用として、より用途拡大に結びつくような研究開発を引き続きお願いできればと思います。以上です。

【清水分科会長】 ありがとうございます。それでは、柴田委員をお願いします。

【柴田委員】 本日はありがとうございました。まず1点、本事業の全体に係る話でNEDOの関与というところについてです。公開版の事業原簿にもありますが、文章の立てつけとして「石炭火力が重要である」と。その次に、いきなり「本事業においてセメントでCO₂回収が大事である」と言っておられます。これは両方とも大事なことであるとは分かるのですが、2つの関係性があまり見えないところがあるため、ここは書き方を少し整理されたほうがよいように感じました。また、このセメントに関して、既に話に出ていたようにサプライチェーンの部分、いわゆるCO₂はそこで分離回収ができると思いますが、廃コンクリートをどこから持ってくるかという話が入ってきます。これは、業界全体に及ぶ話ですから、業界全体でどのように取り組むかという話になるかと思います。そうなってくれば、ひょっとすると国交省等とも関係してくることもあるのかもしれませんが。ですので、そういったことも踏まえて、どういった連携体制を取っていくかというのが非常に大切になります。ここで得られた結果を今後発展させるために、その基盤となるような考え方等にも留意していただきながら、NEDOさんにおいて今後ともご尽力いただけたらと思います。以上です。

【清水分科会長】 ありがとうございます。それでは、桑畑委員をお願いします。

【桑畑委員】 エヌ・ティ・ティ・データ経営研究所の桑畑です。事前に現場見学もさせていただいたため、本当に事業の理解が進みました。そういった場を設けていただきましたことに御礼申し上げます。今回の事業については、特に模擬ガスではなく、実際に出てきたCO₂を使って製品生成まで至ったということが大いに評価できる部分です。また、先ほども話に出ておりましたが、実用化に向けた規格化の検討、そしてエネルギー収支のさらなる向上というところには今後また期待していきたいと思っております。本日はありがとうございました。以上です。

【清水分科会長】 ありがとうございます。それでは、吉田分科会長代理をお願いします。

【吉田分科会長代理】 大阪公立大学の吉田です。本日は丁寧にご説明いただきましてありがとうございました。大変理解が深まった次第です。今回CO₂スラリーを用いた独自手法の構築や目標を全て達成されていることなど、2年間というとても短い期間でこのような成果を上げられているのが非常に素晴らしいと思います。それに対するNEDOさんの運営も非常によかったのではないかと感じます。今後は、やはりGI基金なども利用されながら、ぜひこのシステムのコンパクト性や熱安定性に対する技術開発を進められ、ゆくゆくはコン

クリートの建築物への応用開発やその長期的な利用などを目指して、ますますこの技術を発展させていただきたいと思っております。以上です。

【清水分科会長】 ありがとうございます。それでは、最後に清水のほうから講評いたします。非常に短い時間であり、そしてコロナ禍においてこれだけの成果を上げたことは大変すばらしいことです。先ほどサプライチェーンのお話しも出ましたが、以前、東大元総長の小宮山先生が言っておられたことで、「人工物は飽和する」というものがございます。コンクリートみたいなものは、もうどんどん社会に蓄積していくわけですが、最後は建て替え需要等でその分だけが今度生産されて消費されるといった社会を想定されておられました。まさに、今回の廃コンクリートの利用というのはそういう今後の社会の将来像にも一致するものではないでしょうか。ですので、長期的に非常に期待の持てる方向性だと思います。これからも独自で研究開発が続けられると思いますが、ぜひともよい成果を出していただきたいです。本日はありがとうございました。

【村上専門調査員】 委員の皆様、ご講評を賜りまして誠にありがとうございました。これを受けまして、環境部の上原部長から一言いただきたいと思っております。

【NEDO 環境部_上原部長】 環境部の上原です。本日は、ご審議いただきまして誠にありがとうございました。本事業は、比較的短期間でプラントの建設作業をはじめ、それをういたデータの取得といったところまでの実施として事業者さんにチャレンジをしていただきました。結果として、大きな事故のなく無事に事業を終了できたことに対し、まず私個人としても大変安堵している次第です。本事業の成果についてはご説明させていただいたとおりでありますが、今後の展開というところでは、事業者からも説明があったようにGI 基金事業の中で取組を発展させていくこととなります。

GI 基金事業では、CO₂を用いたコンクリート等製造技術開発では、コメントをいただいたようなCO₂をたくさん吸収したコンクリートの品質の評価であるとか、CO₂の吸収量をどのように評価するのかといった部分の評価技術の開発や標準化の検討も行っていく予定です。関係省庁の方々とも連携させていただきながら、将来、こういった新しい技術を使った製品が社会にしっかり普及していくような環境づくりも、NEDOとしてできる範囲で取り組んでいきたいと考えております。以上です。

【清水分科会長】 ありがとうございます。それでは、議題7は以上で終了といたします。

8. 今後の予定

9. 閉会

配布資料

資料1	研究評価委員会分科会の設置について
資料2	研究評価委員会分科会の公開について
資料3	研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘と非公開資料の取り扱いについて
資料4-1	NEDOにおける研究評価について
資料4-2	評価項目・評価基準
資料4-3	評点法の実施について
資料4-4	評価コメント及び評点票
資料4-5	評価報告書の構成について
資料5	プロジェクトの概要説明資料（公開）
資料6	プロジェクトの詳細説明資料（非公開）
資料7	事業原簿（公開）
資料8	評価スケジュール

以上

以下、分科会前に実施した書面による公開情報に関する質疑応答について記載する。

「炭素循環型セメント製造プロセス技術開発」
(事後評価)分科会

質問・回答票 (公開ご質問への回答 (公開分))

資料番号・ ご質問箇所	ご質問の内容	回答		委員名
		公開 可否	説明	
事業原簿 2-3/3-2	このプロジェクトで採用されたCO ₂ 分離方法では回収されたCO ₂ 純度が99%と極めて高い。一方、廃コンクリートへの吸収に用いるだけならこのような高い純度は必要としないと思われる。一方、生コンへのCO ₂ 吹込みでは吹き込んだ気体中のCO ₂ 以外の部分が固化後にも残存することも考えられるので(吹込み方法にも依存するだろうが)、その際には製品の密度に影響を及ぼすことが考えられる。CO ₂ 回収純度と動力・エネルギー消費、用途別CO ₂ の所要純度範囲の策定は検討されたか(今後予定されているでも可)。※この項は非公開セッションでの回答可。	可	ご指摘の通り、廃コンクリートへ供給するCO ₂ 純度は必ずしも99%である必要はありません。ただし、CO ₂ 純度を下げると廃コンクリートとの反応が遅くなるので、CO ₂ 純度とプロセス効率の最適化が必要と考えています。 生コンは2.3t/m ³ であり、これに吸収させたCO ₂ 量は約8kgなので、製品密度には殆ど影響しません。 CO ₂ 回収純度と動力・エネルギー消費、用途別CO ₂ の所要純度範囲の策定は今後検討予定です。	清水 会長
1-5	廃コンクリートのセメント含有量は現在も2011年の時とほぼ変わらないと考えてよいのか？	可	ほとんど変わらないものと考えて差し支えございません。	吉田 委員
資料5/資料7 p.2-4/2-1-2	研究開発項目の2-①において、廃コンクリートに含まれるセメントペーストにCO ₂ を吸収させ炭酸塩化させるとありま	可	セメントは、原料である石灰石(CaCO ₃)や粘土等を混合して焼成することによって水硬性の鉱物(セメント鉱物)を	柴田 委員

	<p>す。そもそも論で恐縮ですが、セメントペーストに CO2 を吸収させるということは、炭酸カルシウムから CO2 を分離した残りの CaO に CO2 を吸収させていることになるので、セメント製造工程で生成する CaO の量を削減し (CO2 排出も削減できる)、炭酸カルシウムを混ぜればいいのかと思うのですが、間違っていますでしょうか。</p> <p>また、廃コンクリートをそのまま再利用することと、廃コンクリートに CO2 を吸収させ炭酸塩化させることを比較して、どちらが CO2 排出削減に貢献しますでしょうか。廃コンクリートをそのまま再利用するということは新たなコンクリートの製造を削減できるのでセメント製造からの CO2 排出も削減できることかと思えます。</p>	<p>形成し、硬化する性能が得られます。セメントの“水と練って硬化する”といった性能を得るためには、一度石灰石を脱炭酸させることは必須になります。</p> <p>したがって、単純に石灰石を混合しただけでは硬化する性能は得られません。セメントを製造する過程では、どうしても CaCO3 を CaO と CO2 に分離させることが必要になってしまいます。</p> <p>廃コンクリート (一度硬化させ構造物などとして供用され終わったもの) は、そのまま新たなコンクリートとしては使用できず、多くは破碎され再生砕石として路盤材などに再利用されます。本技術は、従来、破碎してそのまま再生砕石などとして再利用されていた廃コンクリートに対し、一度 CO2 を吸収させた後、同様の再利用を図っていこうといった技術になります。</p> <p>したがって、材料的な視点で見た場合には、CO2 は吸収させた分だけ削減されることとなります。ただし、CO2 を吸収させるプロセスでは、現状では、設備的なエネルギー等がそれなりに必要になりますので、プロセス全体での CO2 削減量は、それらも含めてトータルで考える必要はあります。</p>	
--	--	--	--

<p>資料7 p. 3-6/3-2-3</p>	<p>「電力や輸送のCO2 排出係数」とありますが、ここで言う輸送とはどういう意味でしょうか。廃コンクリート等を輸送する際に必要となる輸送機器への投入燃料のことでしょうか。</p>	<p>可</p>	<p>ご理解のとおりでございます。</p>	<p>柴田 委員</p>
<p>資料7 p. 1-5/2.2</p>	<p>費用対効果のうち効果については、なぜ廃コンクリートへのCO2 固定化量のみを対象としているのでしょうか。</p>	<p>可</p>	<p>廃コンクリートは発生量そのものが非常に大きく従いまして、複数ある今回の開発技術の中でもCO2 固定化のポテンシャルが最も大きいと考えられたことから、議論や評価の簡略化のため、今回、廃コンクリートを代表例として用いてCO2 固定量を算定いたしました。</p>	<p>柴田 委員</p>
<p>事業原簿 概要 p. 2</p>	<p>「2-④」の吸収固定技術について この技術は鉄筋を含む、構造用コンクリートに適用できるものでしょうか？（技術的に中性化の問題が生じないかという趣旨の質問です） 「品質を損なわず」とありますが、使用用途に応じて品質基準を下げることで、より多くのCO2 固定量が達成可能となるのでしょうか？そうであれば、その例を教えてください。（消波ブロックや捨てコンであれば、より多くのCO2 固定量が可能でしょうか？）</p>	<p>可</p>	<p>生コンクリートに注入したCO₂量はセメント量に対して少なく、コンクリートのアルカリ性を十分保っている点で構造用にも適用できる可能性があります。但し、CO₂注入した生コンクリートはJIS規格外となるため、社会受容性の点で課題があります。 無筋コンクリートであれば品質を損なわず、より多くのCO₂固定が可能となります。本実証試験で製造したブロック製品がその例と言えます。</p>	<p>山下 委員</p>

<p>全般</p>	<p>見学させていただき、よくわかりました。10t/dのCO2回収ができてこのPJの目標は達成できたと思います。しかし、カーボンニュートラルにするためには、CO2の回収量の向上などの性能の向上とともに、CO2回収コストの低減が必要と思います。どうしても一般的なアミン吸収では低コスト化の限界があるように思います。CO2回収コスト低減については、GIのロードマップにあるように、CO2吸着材やCO2膜分離が、今後改良が進めば、有力な技術と言われています。今後、そのような技術の導入の計画は無いのでしょうか。</p>	<p>可</p>	<p>ご見学ありがとうございます。本PJの達成状況等、ご理解いただけましたようでございましたら、幸いに存じます。さて、ご質問いただいております件、弊社としましても、アミン法は重要なCO2回収技術の1つと認識しております。一方で、更なる選択枝の確保に向けて、本年1月に採択されたグリーンイノベーション基金事業にても、セメントキルンの仮焼炉を改造した形での新型のCO2回収システムにも取り組み始めたところにて、今後も、あらゆる可能性を視野に入れた技術の探索、開発を進めてまいります。</p>	<p>武協 委員</p>
-----------	--	----------	---	------------------

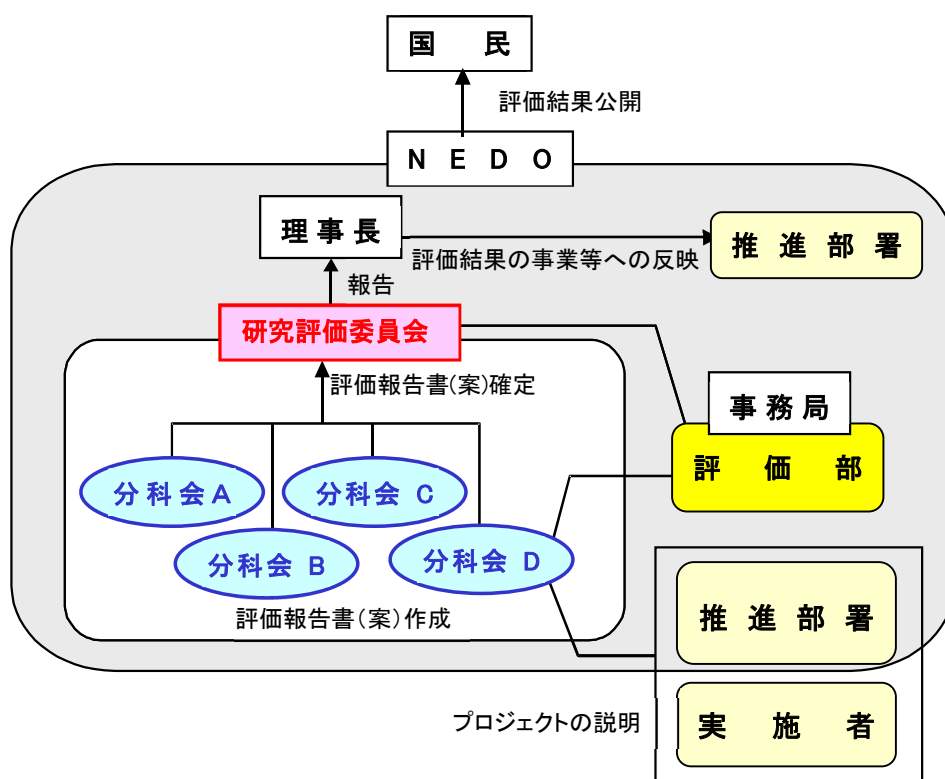
以上

参考資料 2 評価の実施方法

本評価は、「技術評価実施規程」（平成 15 年 10 月制定）に基づいて実施する。

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)における研究評価では、以下のように被評価プロジェクトごとに分科会を設置し、同分科会にて研究評価を行い、評価報告書（案）を策定の上、研究評価委員会において確定している。

- 「NEDO 技術委員・技術委員会等規程」に基づき研究評価委員会を設置
- 研究評価委員会はその下に分科会を設置



1. 評価の目的

評価の目的は「技術評価実施規程」において

- 業務の高度化等の自己改革を促進する
 - 社会に対する説明責任を履行するとともに、経済・社会ニーズを取り込む
 - 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を促進する
- としている。

本評価においては、この趣旨を踏まえ、本事業の意義、研究開発目標・計画の妥当性、計画を比較した達成度、成果の意義、成果の実用化の可能性等について検討・評価した。

2. 評価者

技術評価実施規程に基づき、事業の目的や態様に即した外部の専門家、有識者からなる委員会方式により評価を行う。分科会委員は、以下のような観点から選定する。

- 科学技術全般に知見のある専門家、有識者
- 当該研究開発の分野の知見を有する専門家
- 研究開発マネジメントの専門家、経済学、環境問題、国際標準、その他社会的ニーズ関連の専門家、有識者
- 産業界の専門家、有識者

また、評価に対する中立性確保の観点から事業の推進側関係者を選任対象から除外する。これらに基づき、委員を分科会委員名簿の通り選任した。

なお、本分科会の事務局については、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構評価部が担当した。

3. 評価対象

「炭素循環型セメント製造プロセス技術開発」を評価対象とした。

なお、分科会においては、当該事業の推進部署から提出された事業原簿、プロジェクトの内容、成果に関する資料をもって評価した。

4. 評価方法

分科会においては、当該事業の推進部署及び実施者からのヒアリング及び実施者側等との議論を行った。それを踏まえた分科会委員による評価コメント作成、評点法による評価により評価作業を進めた。

なお、評価の透明性確保の観点から、知的財産保護の上で支障が生じると認められる場合等を除き、原則として分科会は公開とし、実施者と意見を交換する形で審議を行うこととした。

5. 評価項目・評価基準

分科会においては、次に掲げる「評価項目・評価基準」で評価を行った。これは、NEDOが定める「標準的評価項目・評価基準」をもとに、当該事業の特性を踏まえ、評価事務局がカスタマイズしたものである。

評価対象プロジェクトについて、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義、実用化に向けての取組や見通し等を評価した。

「炭素循環型セメント製造プロセス技術開発」 に係る評価項目・評価基準

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業の目的の妥当性

- ・内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・上位の施策・制度の目標達成のために寄与しているか。

(2) NEDOの事業としての妥当性

- ・民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされた事業か。
- ・当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、適切な目標であったか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・開発スケジュール（実績）及び研究開発費（研究開発項目の配分を含む）は妥当であったか。
- ・目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されていたか。

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・実施者は技術力及び事業化能力を発揮したか。
- ・指揮命令系統及び責任体制は、有効に機能したか。
- ・目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携は有効に機能したか。
- ・大学または公的研究機関が企業の開発を支援する体制となっている場合、その体制は企業の取組に貢献したか。

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・研究開発の進捗に応じ、技術を評価し取捨選択や技術の融合、必要な実施体制の見直し等を柔軟に図ったか。
- ・研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応したか。
- ・社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応したか。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・ 知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 知的財産や研究開発データに関する取扱についてのルールを整備し、かつ適切に運用したか。

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・ 成果は、最終目標を達成したか。
- ・ 最終目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、最終目標達成までの課題及び課題解決の方針を明確にしている等、研究開発成果として肯定的に評価できるか。
- ・ 投入された研究開発費に見合った成果を得たか。
- ・ 成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・ 世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 成果が将来における市場の大幅な拡大又は市場の創造につながると期待できる場合、積極的に評価する。

(2) 成果の普及

- ・ 論文等の対外的な発表を、実用化・事業化の戦略に沿って適切に行ったか。
- ・ 成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及させる取組を実用化・事業化の戦略に沿って適切に行ったか。
- ・ 一般に向けて、情報を発信したか。

(3) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・ 知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化・事業化の戦略に沿って国内外で適切に行ったか。

「実用化・事業化」の考え方

本事業は、セメント生産プロセスそのものの脱炭素化を目標とした事業であることから、実用化を以下のように定義する。

「セメントキルン排ガスから発生する CO₂ を分離・回収設備によって回収するとともに、その回収した CO₂ を活用し、廃コンクリートを用いて炭酸塩を製造して、原料化や再資源化すること」

事業化を以下のように定義する。

「商用設備において本事業で開発した技術を用いて、円滑な生産・事業活動を行うこと」

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて【基礎的・基盤的研究開発の場合を除く】

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

- ・ 成果の実用化・事業化の戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 想定する市場の規模・成長性等から、経済効果等を期待できるか。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

- ・ 実用化・事業化に取り組む者が明確か。
- ・ 実用化・事業化の計画及びマイルストーンは明確か。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

- ・ 産業技術としての適用可能性は明確か。
- ・ 実用化・事業化に向けての課題とその解決方針は明確か。
- ・ 想定する製品・サービス等は、市場ニーズ・ユーザーニーズに合致しているか。
- ・ 競合する製品・サービス等と比較して性能面・コスト面等で優位を確保する見通しはあるか。
- ・ 量産化技術を確立する見通しはあるか。
- ・ 顕著な波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）を期待できる場合、積極的に評価する。

「プロジェクト」の事後評価に係る標準的評価項目・基準

※「プロジェクト」の特徴に応じて、評価基準を見直すことができる。

「実用化・事業化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

「実用化・事業化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることであり、さらに、当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動(売り上げ等)に貢献することをいう。

なお、「プロジェクト」が基礎的・基盤的研究開発に該当する場合は、以下のとおりとする。

- ・「実用化・事業化」を「実用化」に変更する。
- ・「4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて」は該当するものを選択する。
- ・「実用化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

「実用化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることをいう。

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業の目的の妥当性

- ・内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・上位の施策・制度の目標達成のために寄与しているか。

(2) NEDOの事業としての妥当性

- ・民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、適切な目標であったか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・開発スケジュール(実績)及び研究開発費(研究開発項目の配分を含む)は妥当であったか。
- ・目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されていたか。

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・実施者は技術力及び事業化能力を発揮したか。
- ・指揮命令系統及び責任体制は、有効に機能したか。

- ・ 目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携は有効に機能したか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・ 目標達成及び効率的実施のために実施者間の競争が必要な場合、競争の仕組みは有効に機能したか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・ 大学または公的研究機関が企業の開発を支援する体制となっている場合、その体制は企業の取組に貢献したか。【該当しない場合、この条項を削除】

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・ 研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応したか。
- ・ 社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応したか。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・ 知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 知的財産に関する取扱（実施者間の情報管理、秘密保持及び出願・活用ルールを含む）を整備し、かつ適切に運用したか。
- ・ 国際標準化に関する事項を計画している場合、その戦略及び計画は妥当か。【該当しない場合、この条項を削除】

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・ 成果は、最終目標を達成したか。
- ・ 最終目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、最終目標達成までの課題及び課題解決の方針を明確にしている等、研究開発成果として肯定的に評価できるか。
- ・ 投入された研究開発費に見合った成果を得たか。
- ・ 成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・ 世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 成果が将来における市場の大幅な拡大又は市場の創造につながると期待できる場合、積極的に評価する。

(2) 成果の普及

- ・ 論文等の対外的な発表を、実用化・事業化の戦略に沿って適切に行ったか。
- ・ 成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及させる取組を実用化・事業化の戦略に沿って適切に行ったか。
- ・ 一般に向けて、情報を発信したか。

(3) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・ 知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化・事業化の戦略に沿って国内外に適切に行ったか。

- ・ 国際標準化に関する事項を計画している場合、国際標準化に向けた見通しはあるか。
【該当しない場合、この条項を削除】

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

【基礎的・基盤的研究開発の場合を除く】

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

- ・ 成果の実用化・事業化の戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 想定する市場の規模・成長性等から、経済効果等を期待できるか。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

- ・ 実用化・事業化に取り組む者が明確か。
- ・ 実用化・事業化の計画及びマイルストーンは明確か。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

- ・ 産業技術として適用可能性は明確か。
- ・ 実用化・事業化に向けての課題とその解決方針は明確か。
- ・ 想定する製品・サービス等は、市場ニーズ・ユーザーニーズに合致しているか。
- ・ 競合する製品・サービス等と比較して性能面・コスト面等で優位を確保する見通しはあるか。
- ・ 量産化技術を確立する見通しはあるか。
- ・ 顕著な波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）を期待できる場合、積極的に評価する。

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて【基礎的・基盤的研究開発の場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・ 成果の実用化の戦略は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・ 実用化に向けて、引き続き、誰がどのように研究開発に取り組むのか明確にしているか。
- ・ 想定する製品・サービス等に基づき、課題及びマイルストーンを明確にしているか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・ 想定する製品・サービス等に基づき、市場・技術動向等を把握しているか。
- ・ 顕著な波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）を期待できる場合、積極的に評価する。

【基礎的・基盤的研究開発の場合のうち、知的基盤・標準整備等を目標としている場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・ 整備した知的基盤・標準の維持管理・活用推進等の計画は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・ 知的基盤・標準を供給・維持するための体制を整備しているか、又は、整備の見通しはあるか。
- ・ 実用化に向けて、引き続き研究開発が必要な場合、誰がどのように取り組むのか明確にしているか。【該当しない場合、この条項を削除】

(3) 成果の実用化の見通し

- ・ 整備した知的基盤について、利用されているか。
- ・ 顕著な波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）を期待できる場合、積極的に評価する。

本研究評価委員会報告は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）評価部が委員会の事務局として編集しています。

NEDO 評価部

部長 森嶋 誠治

担当 村上 康二

* 研究評価委員会に関する情報は NEDO のホームページに掲載しています。

(https://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu_index.html)

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地

ミューザ川崎セントラルタワー20F

TEL 044-520-5160 FAX 044-520-5162