

グリーンイノベーション基金事業

「CO<sub>2</sub>を用いたコンクリート等製造技術開発」プロジェクト  
に関する研究開発・社会実装計画

令和3年10月15日

経済産業省

資源エネルギー庁

製造産業局

## 目次

1. 背景・目的.....	3
2. 目標.....	11
3. 研究開発項目と社会実装に向けた支援.....	17
4. 実施スケジュール.....	23
5. 予算.....	28

## 1. 背景・目的

- コンクリート・セメント分野におけるカーボンサイクルの重要性と課題解決の方向性
  - カーボンサイクルは、CO<sub>2</sub>を資源として有効活用する技術でカーボンニュートラル社会を実現するためのキーテクノロジーであり、CO<sub>2</sub>分離回収分野や、一部の化学品分野（例：ポリカーボネート）をはじめとして日本に競争力がある。
  - 特に、コンクリート、セメント、炭酸塩等（以下、「コンクリート・セメント分野」）への CO<sub>2</sub>の利用については、CO<sub>2</sub>固定化ポテンシャルが高いこと、生成物が安定していることなどから、早期の社会実装による大規模な CO<sub>2</sub>削減<sup>1</sup>が期待され、日本をはじめ米国や欧州において研究開発・実証が本格化している。
  - コンクリート・セメント分野におけるカーボンサイクル技術は、廃棄物・副産物等に含まれるカルシウム（Ca）、マグネシウム（Mg）等のアルカリ源を抽出・再利用し、CO<sub>2</sub>を生成物に取り込む技術（例： $\text{CaO} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3$ ）である。また、生成物は、主にコンクリート、セメント、その他素材・化学品等で利用される。
  - 同分野において脱炭素化を実現するためには、世界各地で利用されているコンクリートの CO<sub>2</sub>排出削減・固定量を増大させるとともに、コスト削減等によりその利用を促していく必要がある。また、コンクリートの材料であるセメントについても、その原料である石灰石の脱炭酸反応で CO<sub>2</sub>が排出されるという課題がある。
  - 同分野におけるカーボンサイクル技術の社会実装に向け、上述した技術的課題の解決を図るとともに、国内外への普及を戦略的に進めることで、同分野における脱炭素化の実現、もってカーボンニュートラル社会実現に貢献することを目指す。
- 本プロジェクトを取りまく現状と課題解決の具体的方策
  - コンクリート・セメントの需要は、国内では 2050 年に向けて漸減が見込まれる一方で、世界ではアジアを中心に 2050 年時点で 12～23%の増加（2014 年度比）が見込まれる<sup>2</sup>。
  - コンクリートの市場規模は、アジア、次いで北米がいずれも 100 億ドル規模であるが、価格水準ではアジアは日米欧の半分程度となっている。このため、日本企業の海外展開を想定した場合、アジアでは価格競争力が課題となる可能性があり、当面は、国内及び北米が有力な市場と想定される。セメントについては、世界の生産量の 55%が中国で生産されている。近年、中国国内では国家施策により生産性の高い設備（NSP キルン）への移行が進んでおり、2050 年頃のカーボンニュートラルに向け、セメント産業における中国などでの新規投資が期待される。
  - こうした状況の中、コンクリート・セメント市場ではこれまでのコスト重視の特徴に加え、「CO<sub>2</sub>排出削減・有効利用」が新たな付加価値となりつつある。すでに欧米スタートアップを中心とした

<sup>1</sup> 2050 年における世界全体の CO<sub>2</sub>削減量約 43 億トン/年（革新的環境イノベーション戦略（2020 年 1 月））

<sup>2</sup> IEA レポート 2018.4. Technology Roadmap -Low-Carbon Transition in the Cement Industry.

海外企業が CO<sub>2</sub>排出削減・固定技術を切り口として、国際的にライセンス・ビジネスを展開し始めている。日本企業も同分野の技術開発に取り組んでいる中（一部商品化）、世界的にも開発・実証が加速しており、今後競争が本格化することが想定される。

- こうした中、グローバル市場での展開を見据えた開発・実証及び社会実装モデルの構築が不可欠な状況である。集中的な技術開発の実施、技術開発を通じた実績データの蓄積、これらデータを基にした国内／国際標準化、標準化を活用した競争力強化・関係指針への反映等の取り組みを通じて国内外への普及拡大を戦略的に進めることで、社会全体で資源循環システムを確立することが社会実装モデルとして想定される。
- こうした社会実装モデルの構築に際して重要となるのは、課題解決に向けた技術開発、つまりコンクリート分野における CO<sub>2</sub>排出削減・固定量の増大とコスト低減の両立に向けた技術開発と、セメント製造過程における効率的な CO<sub>2</sub>分離・回収技術の確立及び回収した CO<sub>2</sub>のセメント原料化に向けた技術開発を一体的に推進することであり、それぞれ取り組む意義と現状、課題等について以下に整理する。

#### 【コンクリート分野： CO<sub>2</sub>排出削減・固定量の増大及びコスト低減】

- 日本企業が現時点で一部実用化に成功している技術はネガティブエミッションを実現可能であり、他国で開発中の類似技術を凌駕する高い CO<sub>2</sub>削減効果を発揮し得るものである<sup>3</sup>。
- CO<sub>2</sub>を再利用したコンクリート製品の市場規模は、2030年までに世界全体で約 15～40 兆円<sup>4</sup>に急拡大すると予想されている。すでに、米国企業が関連する技術を実用化したり、英国企業が骨材に CO<sub>2</sub>を吸収させる技術を実用化している例があり、今後、国際的な技術競争が本格化していくと想定される。
- 一方、今後現場施工（生コンクリートの利用）を含む幅広い建設工事に適用し、世界市場におけるシェアを獲得し、カーボンニュートラル社会の実現を目指すためには、それぞれの製品特性を踏まえつつ、経済性と CO<sub>2</sub>排出削減・固定量の増大、製品の有意性を示すための世界共通の評価手法の確立（標準化等）、こうした技術開発等を通じた競争力強化、さらに、技術が実際の工事で適用されるよう関係ガイドライン等への反映や必要に応じて規制緩和等を進めていくことが課題である。
- これまで、コンクリートへの CO<sub>2</sub>吸収・固定は骨材・混和材といったコンクリート材料のうち単一の材料への利用例しかなく、コストは一般的なコンクリート製品の 2～3 倍となっているのが現状である。また、コンクリートとして本来有すべき性能（強度、長期耐久性、安全性、その他基礎物性（例：熱膨張係数）等）を確保しつつ、CO<sub>2</sub>固定材料を複合する技術は、性能への影響評価等が明らかになっておらず実現していない。また、世界共通の評価手法の確立（標準化）やガイドライン等への反映についても既存技術での実用化の実績・データ数が少

<sup>3</sup> 既存技術におけるコンクリート二次製品（インターロッキングブロックや境界ブロック、コンクリート製プレキャストパネル）の CO<sub>2</sub>固定量は 80～100kg/ m<sup>3</sup>である。この場合の既存製品と比較した削減効果は約 300kg/ m<sup>3</sup>である。

<sup>4</sup> CARBON DIOXIDE UTILIZATION (CO<sub>2</sub>U) ICEF ROADMAP 1.0

ないことから実現していない。

- こうした状況を踏まえ、喫緊の対応としては、CO<sub>2</sub>を固定する材料を開発・複合し、CO<sub>2</sub>排出削減・固定量を最大化する製造・施工手法等の確立に向けた技術開発（TRL3～4 相当）とともに、CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリートの品質管理手法及び横断的な CO<sub>2</sub>固定量の定量的評価手法の開発に取り組む必要がある。
- これらの取組は、要素技術の開発から大規模な実証まで行いその性能を確認しなければ普及する技術として成立し得ず、長期の研究期間を要するため、民間企業単独で技術開発を開始することが困難である。
- このため、基礎的な技術開発段階では国として積極的な支援を講じることで、企業等のコミットメントを引き出していく。また、企業等による社会実装の取組を加速化するため、国内・国際標準整備（品質管理手法、固定量評価手法等）や関係ガイドライン等への反映等についても、官民の適切な役割分担の下、連携して確実に取り組んでいく。

#### 【セメント分野：CO<sub>2</sub>回収型セメント製造プロセスの開発】

- 焼成炉であるセメントキルン 1 基から 1 日当たり数千トン規模の CO<sub>2</sub>が排出される。セメント工場では国内廃棄物の 5 %程度の廃棄物・副産物を原燃料に受け入れており、我が国廃棄物処理への貢献の側面も強く、継続的な稼働が求められる。
- 世界のセメント産業について、例えば EU では、「Horizon 2020」による資金供給を受け、セメント製造過程で発生する CO<sub>2</sub>回収技術の開発（LEILAC プロジェクト）により、石灰石から排出される CO<sub>2</sub>の回収に取り組んでいる。
- 我が国では、化学吸収法等の CO<sub>2</sub>回収技術の開発が進められており、CO<sub>2</sub>を取り込み活用するためのアルカリ源についても海水や焼却灰など多様な可能性が考えられる。
- これらの可能性を踏まえ、現在、セメント工場等の排ガスから CO<sub>2</sub>を化学吸収法等によって回収し、廃コンクリート等から抽出・回収したカルシウムに CO<sub>2</sub>を固定して炭酸塩化する研究開発を実施している。ただし、以下のような課題がある。
  - 石灰石から発生する CO<sub>2</sub>を大量に回収するためには既存セメント製造設備での利用を前提とする場合、現実的には難しい規模の大規模な設備の導入等が必要<sup>5</sup>
  - 炭酸塩化に当たっては、大量の CO<sub>2</sub>を効率的に固定させる技術が未確立、CO<sub>2</sub>を固定化するための大量のアルカリ源の確保<sup>6</sup>が必要。
- 石灰石から必然的に大量発生する原料由来の CO<sub>2</sub>を効率的に回収し、カーボンリサイクルを進めるためには、セメント製造時における CO<sub>2</sub>を回収し、回収した CO<sub>2</sub>をリサイクルする一連の

---

<sup>5</sup> これまでの事業（NEDO 交付金）での化学吸収法によるセメント工場に付設する CO<sub>2</sub>回収設備は、1 日 10 トン程度の回収能力。セメント工場から CO<sub>2</sub>が 1 日数千トン発生する中、抜本的な取組が求められている（海外には 4,500 トン/日級の CO<sub>2</sub>回収設備が存在するが、巨大な装置で高コストなもの）。

<sup>6</sup> セメント生産に当たり、年間約 5,800 万トンの石灰石（CaCO<sub>3</sub>）を使用。本プロジェクトの成果が実用化されると、石灰石代替原料（CaCO<sub>3</sub>）の提供の実現が図られ、多様な産業からの廃棄物を受け入れが可能となる。

循環システムを国内に確立し、原料から CO<sub>2</sub>が必然的に発生するといった、セメント産業の構造的な課題に取り組むことが必要。このため、現在の製造プロセスにおける生産能力等も踏まえ、CO<sub>2</sub>回収型セメント製造プロセスの設計から実証機での実証とともに、回収した CO<sub>2</sub>の有効利用技術まで一貫した研究開発が必要（TRL3～4 相当）。具体的には以下の①、②を行う。

① 既存プラントへの適用が可能なセメント原料の石灰石から排出される CO<sub>2</sub>を回収可能な製造プロセスの設計・開発、実証事業の実施

② 回収 CO<sub>2</sub>を多様なアルカリ源（カルシウム等）に固定し、炭酸塩として再利用可能とする技術の開発

- これらの取組は要素技術の開発から大規模な実証まで行ってその性能を確認しなければ普及する技術として成立し得ず、民間企業単独では 10 年以上の長期に渡っての研究期間を要すると考えられるため、2030 年までの 10 年で民間企業が実装できるようなチャレンジを促すため、国としても支援を講じる必要がある。
- 一方で、既にセメント産業では、エネルギー由来 CO<sub>2</sub>削減対策のため、省エネ設備導入やエネルギー代替廃棄物利用などによる化石燃料削減、また自家発電設備をバイオマス等の再エネルギーへの転換などによる CO<sub>2</sub>削減の取組も着実に進めているが、将来的なエネルギー由来 CO<sub>2</sub>への対応における、本プロジェクト以外の取組として、工場稼働（熱源等）に用いる化石燃料等を低炭素なもの（バイオマスや水素等の活用、電化など）に転換する取組も引き続き求められる。
- 民間企業は、国の支援を呼び水として研究開発を初めとした投資を加速させ、本プロジェクト内外のカーボンニュートラル関連技術を確立・社会実装し、国内生産体制を維持しつつ、海外需要を取り込むような業態転換を図ることが求められる。また、これらの成果を踏まえた実際の標準化、海外での技術協力、関係ガイドライン等の策定など、官民の適切な役割分担の下、連携して着実に取り組んでいく。

## ● 関連基金プロジェクトと既存事業

### ➤ 関連基金プロジェクト

- 他の基金プロジェクトでインフラ整備等の内容が含まれる場合には、本プロジェクトの成果の活用先となり得る。また、「CO<sub>2</sub>の分離・回収等技術開発」プロジェクトの成果の活用も検討する。

### ➤ 既存事業

#### ① コンクリート分野

- 以下の予算事業を通じて、CO<sub>2</sub>を再利用したコンクリート製品への性能追加（例：防錆性能。中性化による鉄筋の錆びを防ぐ）の技術開発や、CO<sub>2</sub>を再利用した素材等（例：コンクリート材料）の開発を実施。

- 本基金プロジェクトでは、これらの既存事業の成果も活用しつつ、CO<sub>2</sub>を再利用した素材等を複合的に混合することで CO<sub>2</sub>排出削減・固定量を最大限に高めた CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリートの製造技術の開発や実証等を行う。

#### 【予算事業】

- カーボンサイクル・次世代火力発電等技術開発／CO<sub>2</sub>有効利用拠点における技術開発（2021 年度予算額 161.5 億円の内数）  
[https://www.nedo.go.jp/koubo/EV3\\_100212.html](https://www.nedo.go.jp/koubo/EV3_100212.html)
    - ・CO<sub>2</sub>有効利用コンクリートの研究開発事業（2020～22 年度（予定））＜性能追加＞
  - カーボンサイクル・次世代火力発電等技術開発／CO<sub>2</sub>排出削減・有効利用実用化技術開発／炭酸塩、コンクリート製品・コンクリート構造物への CO<sub>2</sub>利用技術開発（2021 年度予算額 161.5 億円の内数）  
[https://www.nedo.go.jp/koubo/EV3\\_100205.html](https://www.nedo.go.jp/koubo/EV3_100205.html)
    - ・海水および廃かん水を用いた有価物併産 CO<sub>2</sub>固定化技術の研究開発（2020～21 年度（予定））＜素材等開発＞
    - ・廃コンクリートなど産業廃棄物中のカルシウム等を用いた加速炭酸塩化プロセスの研究開発（2020～22 年度（予定））＜素材等開発＞
    - ・セメント系廃材を活用した CO<sub>2</sub>固定プロセス及び副産物の建設分野への利用技術の研究（2020～22 年度（予定））＜素材等開発＞
  - カーボンサイクル・次世代火力発電等技術開発／CCUS 研究開発・実証関連事業／CO<sub>2</sub>分離回収技術の研究開発（2021 年度予算額 161.5 億円の内数）  
[https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP\\_100141.html](https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100141.html)
    - ・先進的二酸化炭素固体吸収材の石炭燃焼排ガス適用性研究（2020～24 年度（予定））
    - ・二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発（2018～21 年度）
- ② セメント分野
- 革新的環境イノベーション戦略加速プログラム（炭素循環型セメント製造プロセス技術開発）等において、セメント工場の排ガス中の CO<sub>2</sub>を化学吸収法により回収し、廃コンクリート等の廃棄物に固定する等の炭酸塩化事業を実施。
  - 当該研究では、純度の高い CO<sub>2</sub>回収の実現とともに、廃コンクリート等の廃棄物からカルシウム成分を抽出して CO<sub>2</sub>固定による炭酸塩化を行い、路盤材等への利用などカーボンサイクルプロセスの可能性を実証している。

- 本基金プロジェクトでは、炭酸塩をセメント原料（CaCO<sub>3</sub>）化する一貫したリサイクルプロセスの実現に向けた更なる取組として、製鉄所やコンクリート工場等から生じた廃棄物である鉄鋼スラグやスラッジ等といった多様なカルシウム源を用いた炭酸塩化の確立を図るため、回収した CO<sub>2</sub>を多様なアルカリ源（カルシウム等）に固定し、炭酸塩として再利用可能とする技術の開発に取り組む。

#### 【予算事業】

- 革新的環境イノベーション戦略加速プログラム（経済産業省）  
（2019 年度補正予算額 37.0 億円（うち 16.5 億円）  
[https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP\\_100180.html](https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100180.html)  
<https://www.taiheiyo-cement.co.jp/news/news/pdf/200618.pdf>  
・炭素循環型セメント製造プロセス技術開発（2020～2021 年度）
- カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／次世代火力発電技術推進事業／  
カーボンリサイクル技術の共通基盤技術開発  
（2021 年度予算額 161.5 億円の内数）  
[https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5\\_101340.html](https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101340.html)  
<https://www.soc.co.jp/news/57971/>  
・カルシウム含有廃棄物からの Ca 抽出および CO<sub>2</sub>鉱物固定化技術の研究開発
- CCS によるカーボンマイナス社会推進事業（一部経済産業省連携事業）（環境省）  
※2020 年度事業名は CCUS の早期社会実装のための環境調和の確保及び脱炭素・循環型社会モデル構築事業（一部経済産業省連携事業）  
（2016～2020 年度 300 億円の内数）  
<https://www.taiheiyo-cement.co.jp/news/news/pdf/181225.pdf>  
・環境配慮型 CCS 実証事業（2018～2020 年度）
- グリーン成長戦略（令和 3 年 6 月）の実行計画における記載（抜粋）
  - （1 1）カーボンリサイクル・マテリアル産業
    - i) カーボンリサイクル
 

カーボンリサイクルは、CO<sub>2</sub>を資源として有効活用する技術でカーボンニュートラル社会を実現するためのキーテクノロジーであり、日本に競争力がある。

カーボンリサイクル産業は、カーボンリサイクル技術ロードマップに示されたとおり、鉱物（コンクリート製品、コンクリート構造物、炭酸塩、セメント等）、燃料（藻類ジェット燃料、藻類ディーゼル燃料、合成燃料、バイオ燃料、メタネーションによるガス燃料等）、化学品（ポリカーボネートやウレタン等の含酸素化合物、バイオマス由来化学品、オレフィンやパラキシレン等の汎用物質）等の主要分

野含め、多岐にわたる。これら主要な製品を中心に、コスト低減や用途開発のための技術開発、社会実装を進め、カーボンサイクル産学官国際会議の活用等も通じてグローバル展開を目指す。

#### ① コンクリート・セメント

##### <現状と課題>

コンクリートについては、日本には、CO<sub>2</sub>吸収型コンクリート（CO<sub>2</sub>-SUICOM）を実用化することに成功している企業がある。化学工場等から排出される消石灰から CO<sub>2</sub>を吸収して固まる材料を製造し、これをコンクリート製造に使用することで、①製造プロセスで CO<sub>2</sub>を吸収、②セメント使用量を削減し、コンクリートの CO<sub>2</sub>排出を削減することが可能である。さらに CO<sub>2</sub>吸収量を増大させることでネガティブエミッション（炭素除去）の達成も可能となる。

国際的には、米国企業が同様の技術を開発、実用化していることに加え、英国企業は骨材に CO<sub>2</sub>を吸収させるタイプの技術を実用化しており、各国が横並びの競争状態にある。CO<sub>2</sub>吸収型コンクリートの市場規模については、2030 年時点で約 15～40 兆円にまで達すると予想されている中、こうした市場拡大を見据え、早期に価格低減を達成し、市場シェアを獲得する必要がある。

他方、現状の CO<sub>2</sub>吸収型コンクリートはコストが高く（＝既製品の約 3 倍の 100 円/kg）、低コスト化と CO<sub>2</sub>吸収量増大との両立が主な課題である。また、コンクリート構造物中の鉄骨が錆びやすいため（CO<sub>2</sub>吸収により酸化しやすくなるため）用途が限定的といった課題も存在する。さらに、コンクリートが地産地消型の特性があることも踏まえ、開発された CO<sub>2</sub>吸収型コンクリートの普及拡大には、地域における調達状況といった地域性に対応できる製造技術を確立する必要がある。

セメントについては、その原料である石灰石の燃焼時に生じる脱炭酸反応により大量の CO<sub>2</sub>が排出される。これに対処すべく、「革新的環境イノベーション戦略」等を踏まえ、工場等の排ガスから化学吸収法等により CO<sub>2</sub>を回収し、その CO<sub>2</sub>を廃コンクリートや鉄鋼スラグ等から回収したカルシウムに固定して炭酸塩化する研究開発等に着手し、セメント製造由来の CO<sub>2</sub>有効利用の取組を進めている。

国際的には、EU による資金提供を受け、セメント製造設備を改良し、燃焼過程で発生する CO<sub>2</sub>を回収する製造技術の開発が実施されているなど、各国のセメント産業界ではカーボンニュートラルの実現につながる技術開発を進めており、将来のセメント市場の確保のため、2030 年時点で国内 5,000 億円規模の維持を目指す。

現在、セメントキルン 1 基から 1 日当たり数千トン規模の CO<sub>2</sub>が排出されており、化学吸収法で大量の CO<sub>2</sub>を回収するためには設備の大規模化が避けられず、既存のセメント工場への適応が難しく、また、セメントの原料として災害廃棄物等も利用するため、CO<sub>2</sub>の効率的な回収と多様な原料の再生利用に適応した革新的技術の開発が課題である。

##### <今後の取組>

コンクリートについては、公共調達による販路拡大により、コスト目標として 2030 年には、既存コンクリートと同価格（＝30 円/kg）を目指す。そのため、新技術に関する国交省データベース

(NETIS) に CO<sub>2</sub>吸収型コンクリートを登録済みであり、これを地方自治体に広く周知する。また、2025 年日本国際博覧会等でも導入することで、国・地方自治体による公共調達を拡大することを目指す。グローバル市場においても、15～40 兆円（2030 年）にまで達すると考えられる中、特に経済成長著しいアジアでコンクリート需要が拡大することが見込まれるため、国際標準化や大規模な国際展示会で PR 等を行い、アジアへ販路を拡大する。

さらに、2050 年までに、グリーンイノベーション基金等の活用も検討しつつ、CO<sub>2</sub>吸収範囲の制御技術の開発や鉄筋代替材の活用等により防錆性能を持つ新製品を開発・実証し、建築物やコンクリートブロックに用途拡大を図るとともに、標準化等にも取り組みつつ社会実装を進める。また、CO<sub>2</sub>吸収量の増大と低コスト化を両立させた新技術・製品を開発するとともに、地域性に対応可能な CO<sub>2</sub>吸収型コンクリートの製造技術を確立し、これらに係る特許取得等の知財戦略を通じたライセンス事業形態も活用することで、国内外でのシェア獲得・拡大を目指す。

セメントについては、短期的（～2030 年）には、国内セメント工場で大量の CO<sub>2</sub>回収を実現する技術の確立を目標とする。そのため、既存製造工程を基に、石灰石からの排出 CO<sub>2</sub>を 100% 近く回収するプラントの開発を行う。具体的には、まず小型プラントでの実証後、商用ベースに近い製造能力を持つ大型実証機の建設と実証を進めるとともに、廃棄物等の多様なカルシウム源を用いて、回収した CO<sub>2</sub>と反応させ炭酸塩として有効利用する技術の開発や商用化に向けた実証等を進め、当該技術の確立を図る。

日本発のセメントキルン方式が世界のデファクトとなっている現状を踏まえると、この技術は、日本だけでなく世界各国において採用が見込まれる。このため、2030 年以降、国内セメント工場（キルン 51 基）への導入を進めるとともに、2050 年までに、世界各国のキルン改修・新設等における導入を進め、15 兆円を超えると推計される市場でのシェア獲得・拡大を図る。

また、CO<sub>2</sub>吸収型コンクリートは、CO<sub>2</sub>削減効果に加えて、CO<sub>2</sub>吸収によってコンクリートの耐水性・耐久性が増すという特徴も有する。このため、特に河川構造物等、水と接する構造物等の更新や取換頻度の低減につながり、公共投資の合理化が可能となる。

これらの取組により、カーボンリサイクルコンクリート・セメントを用いた製品・建築物を利用可能な市場環境の創出により、需要側が環境配慮や長寿命といったニーズに合わせた製品・建築物を選択できるようになる。

## 2. 目標

- アウトプット

- 研究開発の目標

- ① コンクリート分野<sup>7</sup>

1. 2030年までに、材料製造～運搬～施工に係るCO<sub>2</sub>排出量の削減及びCO<sub>2</sub>固定量の増大を図るとともに、コスト低減を実現するCO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリートの製造システムの確立（目標値：CO<sub>2</sub>削減量310～350kg/m<sup>3</sup>（一般的なコンクリート製造時との比較。うち、CO<sub>2</sub>固定量は、120～200kg/m<sup>3</sup>）、既存製品と同等以下のコスト）
2. 2030年までに、CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリートの品質管理手法（CO<sub>2</sub>固定量の計測・評価方法）を確立するとともに国際標準化を実現

（目標設定の考え方）

1. CO<sub>2</sub>削減量については、一般的なコンクリート製造時のセメント由来のCO<sub>2</sub>排出量が約300kg/m<sup>3</sup>、骨材製造時のCO<sub>2</sub>排出量がセメントの3%程度（=10kg/m<sup>3</sup>）であると仮定して、計310kg/m<sup>3</sup>を下限值に設定。上限値は技術動向を踏まえ設定。また、CO<sub>2</sub>固定量については、既存技術におけるコンクリート二次製品（インターロッキングブロックや境界ブロック、コンクリート製プレキャストパネル）が80～100kg/m<sup>3</sup>であることを踏まえ、この1.5～2倍となる120～200kg/m<sup>3</sup>を設定。ただし、材料製造～運搬～施工に係るコスト低減も考慮した最適化が必要であり、「既存製品と同等以下のコスト」の目標とあわせて、企業等による提案（ターゲットとする製品等）に応じて下限値以上の目標を設定。
2. シミュレーションや破壊分析等を通じてコンクリートへのCO<sub>2</sub>固定量を分析・評価する。ただし、コンクリートの材料調達～運搬～施工は地域性や材料の種類が大きく影響するため、様々な材料特性に適用可能な汎用性のある評価システムを確立し、国際標準化の完了までを目指す。

（目標達成の評価方法）

提案者の柔軟性を確保する観点から、各目標の個別の評価方法については、現時点で特定せず、その方法についての考え方のみを示すに留め、今後案件の採択時により具体的に決定することとする。

1. コンクリートに固定されているCO<sub>2</sub>量をシミュレーションや破壊分析等によって評価し、既存製品に比べてCO<sub>2</sub>削減量310～350kg/m<sup>3</sup>（うち、CO<sub>2</sub>固定量は120～

---

<sup>7</sup> 特殊コンクリートやプレキャストコンクリート、モルタル、セメント系固化材（地盤改良材）等の製造技術も含む。

200kg/m<sup>3</sup>)であることを確認する。また、コスト試算を行い、既存製品と同等以下のコストになることを確認する。

2. CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリートの品質管理手法及びCO<sub>2</sub>固定量の計測・評価方法に関する国際標準化への取組状況を確認する。

(目標の困難性)

- CO<sub>2</sub>固定量を増大させるためには、混和材や骨材といったCO<sub>2</sub>を固定する材料を複合して利用する必要がある。これら材料は、副産物由来や廃棄物由来であることが多く、地域によって入手可能な種類が異なり、また状態・組成が異なることに加え、これら材料を複合した場合の個々の材料の挙動・相互作用が明らかになっていない。そのため、基本物性を検証し、コンクリートとして本来有すべき性能を確保することから技術開発を始めなければならない。加えて、現場施工に用いる場合については、これまで行われてこなかった施工現場でのCO<sub>2</sub>固定方法の開発が必要となるため、実用化に向けた挑戦的な目標である。さらに、これらの技術を開発するとともに、既存製品と同等以下のコストを実現することは、極めて野心的な目標と言える。

② セメント分野

3. 2030年までに、石灰石由来のCO<sub>2</sub>を全量近く回収でき、既存のCO<sub>2</sub>回収手法と同等以上のコスト低減を実現する以下の水準を満たすCO<sub>2</sub>回収型セメント製造プロセスを確立

- プレヒーター内で発生するCO<sub>2</sub>を80%以上回収
- 現在標準的に行われている化学吸収法（アミン法）より低コスト化  
※アミン法によるCO<sub>2</sub>を1トン回収するための標準的なエネルギーは原単位で2.6GJ/t-CO<sub>2</sub>

4. 2030年までに、回収したCO<sub>2</sub>から炭酸塩を製造し、炭酸塩をセメント原料等に利用するための以下の水準を満たす技術を確立

- 炭酸塩化の基盤技術として、廃棄物から10%以上の酸化カルシウム（CaO）を抽出し、炭酸塩1トンあたりに固定化するCO<sub>2</sub>固定量が400kg以上
- 回収したCO<sub>2</sub>から製造した炭酸塩の生成コストが、従来の石灰石の市価の5倍程度の価格
- 炭酸塩の利用の拡大のため、利用技術のガイドラインを策定

(目標設定の考え方)

3. セメントはプレヒーターからロータリーキルン<sup>8</sup>に至るまで徐々に原料の石灰石を加熱し、その過程において脱炭酸 (CO<sub>2</sub>) 反応が行われ、CO<sub>2</sub> が煙突から外気に排出されている。プレヒーターによる加熱過程で石灰石からの CO<sub>2</sub> が 70% から 90% (平均的には 80% 程度) 排出されるため、同程度の CO<sub>2</sub> を回収することが適当と整理し、CO<sub>2</sub> 回収量を 80% に設定。また、本プロジェクトによって CO<sub>2</sub> 回収エネルギーを現行の技術水準より省エネルギーで実現させ、実用化に向けての省エネ・コスト低減と CO<sub>2</sub> 削減効果を両立させる。
4. 現在我が国のセメント製造 (年間 5,800 万トン) に当たり、石灰石由来の CO<sub>2</sub> が年間 2,550 万トン程度発生する。上記 CO<sub>2</sub> を活用した炭酸塩化に必要な酸化カルシウムは、3,250 万トンであり、既存技術ベース (廃コンクリート 1 トンから回収できる酸化カルシウムは 85kg 程度) では廃コンクリート 3.8 億トン程度必要と見込まれる。現在の 1 年間の廃コンクリート回収量は約 3,700 万トン程度であるため、多様な廃棄物からの回収を可能とするとともに、単位廃コンクリートあたりの回収量増加を実現 (例 : 85 kg → 100kg) する技術開発が必要。また、単位カルシウムあたり固定できる CO<sub>2</sub> の量を拡大する。現在の技術レベルは 70kg だが、CO<sub>2</sub> 固定量が炭酸塩 1 トン当たりの理論値 (440kg-CO<sub>2</sub>/トン) に可能な限り近づける。生成コストや CaO 抽出に要するエネルギーや廃棄物処理を考慮しつつ、炭酸塩の生成コストを既存石灰石の販売単価 (2000 円/トン) に近づけることが必要。カーボンサイクルセメント (CO<sub>2</sub> を固定した炭酸塩を石灰石代替としたセメント) の利用拡大を含む、CO<sub>2</sub> を固定した炭酸塩の用途拡大には、制度面での環境整備も重要であり、ガイドラインの策定や回収システムの拡大が必要となる。

(目標達成の評価方法)

3. プロジェクト最終年度において、本プロジェクトで整備したセメント製造装置内に CO<sub>2</sub> 測定器を設置して計測する。計測に当たり、一般社団法人セメント協会<sup>9</sup>によるセメント 1 トン製造当たりの CO<sub>2</sub> 排出量 (763kg/t-cem; 石灰石起源 479kg、化石エネルギー起源 284kg) を原単位として、排出 CO<sub>2</sub> を算出して確認する。また、併せて、革新的環境イノベーション加速戦略プログラム (炭素循環型セメント製造プロセス技術開発) による CO<sub>2</sub> 回収のためのエネルギー原単位 (2.6GJ/t-CO<sub>2</sub>) と、基金事業による原単位を比較して、基金事業が低コストであることを確認する。
4. プロジェクト最終年度において、炭酸塩の CO<sub>2</sub> 固定量、CaO 含有量、抽出エネルギー

---

<sup>8</sup> 原料焼成による高温 (1450 度) の排ガスを有効活用し、石灰石の温度を効率的に上昇させるための一連の設備。プレヒーターはロータリーキルン (回転炉) で本焼成する前に行う加熱装置となり、ロータリーキルンから放出される廃熱エネルギーを石灰石に与える。仮焼炉で 1000 度程度の熱で仮焼する工程を付加することで省エネ性能が高まる。

<sup>9</sup> [https://www.jcassoc.or.jp/cement/4pdf/jg1i\\_01.pdf](https://www.jcassoc.or.jp/cement/4pdf/jg1i_01.pdf)

や廃棄物処理などの製造コストからの想定販売額等を評価して目標値を上回ることを確認する。また当該利用技術は複数のカルシウム源ごと最適な技術を開発・検証していくため、プロジェクト期間中にステージゲートによる評価を行い、省エネ効率や調達ポテンシャル等を含めたコスト比較を行う。当該コスト比較においては、CO<sub>2</sub>固定量の目的を達成するため、低廉で最適なコスト設定であることが求められ、CaO 抽出技術は複数の廃棄物にも応用できることを確認する。

(目標の困難性)

3. 国内外のセメント産業では原料（石灰石）を仮焼炉で約 1000 度の熱で余熱した後、ロータリーキルンで 1450 度の熱で燃焼する NSP キルン<sup>10</sup>を導入し、またプロセス改善の積み重ねにより高い省エネ効果と安定した品質を満たす技術が確立されている。当該研究開発期間のみで、熱利用が重要となるセメント製造プロセスにおいて、CO<sub>2</sub>を熱と一緒に回収することで熱効率を下げおそれがある。熱利用と CO<sub>2</sub>回収を両立しつつ、既存ラインに組み込むため、多様なバランスを取る困難性がある。
4. 廃棄物から酸化カルシウムの回収に当たり、回収可能な廃棄物中の酸化カルシウムの量に係る技術レベルは、理論含有量に比して低いレベルに留まる。そのため、酸化カルシウムの生成コストを考慮しつつ、更に CO<sub>2</sub> 固定量を理論値に近づけることは困難性を有する。

- アウトカム

コンクリート分野については、CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリートの普及促進を受け、期待される世界の CO<sub>2</sub>削減効果、及び予想される世界の市場規模について、以下の前提に基づき機械的に算出した。日本企業の国際競争力、民間投資誘発額の状況も随時モニタリングしつつ、世界市場の付加価値の相当程度の割合を我が国に還流させ、世界及び日本の脱炭素化に貢献することを目指す。また、セメント分野については、2030 年代においては国内セメント工場への導入効果を想定。実機導入される場合であっても、テスト稼働等が多くなることが想定され、CO<sub>2</sub>排出削減量の算定は困難だが、設備整備が促進されることが想定される。2050 年においては世界の CO<sub>2</sub>削減効果を想定する。まずはアジアでの技術展開を図り、実質的な技術のスタンダード化（世界標準）を目指す。なお、CO<sub>2</sub>削減効果においては、コンクリート・セメントを併せて計上した。

- CO<sub>2</sub>削減効果（ポテンシャル推計）

- 約 6～14 億トン/年（2030 年）

【算定の考え方】

---

<sup>10</sup> NSP キルンは国内セメントメーカーでの標準的な設備であり、予熱装置を持つ省エネ効果の高い設備。原料焼成に当たりプレヒーターのみ設置されるものが SP キルン、プレヒーターと仮焼炉が設置されているものが NSP キルンとなる。

CARBON DIOXIDE UTILIZATION (CO<sub>2</sub>U) ICEF ROADMAP 1.0 の「Potential increase in market size due to implementation of strategic actions」の図に記載の 2030 年の Concrete のグラフの数値から試算した。

○ 約 30 億トン/年 (2050 年)

【算定の考え方】

IEA - Technology Roadmap - Low-Carbon Transition in the Cement Industry の「Figure 4: Cement production by region」の 2050 年の数値をもとに CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリートの普及率 4%、CO<sub>2</sub>回収可能なセメント製造プロセスが十分に導入されるとして試算。

➤ 経済波及効果

○ 約 3,800 億円 (2030 年)

【算定の考え方】

以下の合計値

・ 約 2,600 億円

IEA-Technology Roadmap - Low-Carbon Transition in the Cement Industry の「Figure 4: Cement production by region」の 2030 年の数値をもとに CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリートの普及率 0.1%として試算。

・ 約 1,000 億円

国内のセメント工場 (30 工場、51 キルン) の約 1 割のキルン (5 キルン) に当該技術を導入。なお、キルン 1 基当たりの設備導入費用を 200 億円程度と想定。

・ 約 200 億円

国内混合セメント想定の 10%相当分シェアの確保を想定。

○ 約 156 兆円 (2050 年)

【算定の考え方】

以下の合算値

・ 約 12 兆円/年

IEA - Technology Roadmap - Low-Carbon Transition in the Cement Industry の「Figure 4: Cement production by region」の 2050 年の数値をもとに CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリートの普及率 4%として試算した。

・ 約 144 兆円

キルン 1 基当たりの設備導入費用を 200 億円程度と想定。2050 年時点で世界のセメントを当該研究開発による CO<sub>2</sub>混合セメントに置き換え、また 2050 年セメント生産

(約 50 億トン<sup>11</sup>と推計) に必要なセメント製造設備を当該設備に置き換えることでの経済効果を 144 兆円 (キルン導入 : 約 89 兆円、セメント市場獲得 : 約 55 兆円) と見込む。

---

<sup>11</sup> IEA 報告書 (Technology Roadmap Low-Carbon Transition in the Cement Industry) に基づき、2050 年セメント生産量を 2014 年度生産量から 23%増加したものと算定。

### 3. 研究開発項目と社会実装に向けた支援

#### ① コンクリート分野

##### ● 【研究開発項目 1】CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリートの開発

- 目標：2030年までに材料製造～運搬～施工に係るCO<sub>2</sub>排出量の削減及びCO<sub>2</sub>固定量の増大を図るとともに、コスト低減を実現するCO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリートの製造システム的确立（目標値：CO<sub>2</sub>削減量 310～350kg/m<sup>3</sup>（一般的なコンクリート製造時との比較。うち、CO<sub>2</sub>固定量は、120～200kg/m<sup>3</sup>）、既存製品と同等以下のコスト（プレキャストコンクリート：30円/kg程度、生コンクリート：8円/kg程度））

##### ➤ 研究開発内容：

###### ① CO<sub>2</sub>排出削減・固定量を最大化できる使用材料の選定に関する研究開発

【（9/10委託→2/3補助→1/2補助）+1/10インセンティブ】

CO<sub>2</sub>を固定する材料は混和材や骨材として利用されることが想定される。これら材料の原料はその状態や組成が調達先ごとに異なるため、画一的な製造手法が確立できない。また、輸送に係るコストも考慮すると、LCCO<sub>2</sub>の観点から合理的に調達可能な材料は地域ごとに異なる。さらに、こうした材料の状態や組成の違いが、コンクリート基本物性に与える影響も判明していないといった課題がある。

本技術を広く展開していくためには、材料特性に応じた製造手法・指針を示すことが必要となる。これら原料の持続的な調達可能性も考慮しつつ、基本物性を検証し、状態や組成の違いが混和材や骨材に与える影響を評価し、CO<sub>2</sub>固定効果が高い材料の製造技術や複合技術の開発を行う。

具体的には、以下 i～iv等の技術開発を行う。

- CO<sub>2</sub>を固定する混和材の開発：原料の品質が混和材に与える影響を評価するとともに、より効率的なCO<sub>2</sub>固定型混和材の製造手法の開発に取り組む。
- CO<sub>2</sub>を固定する骨材の開発：原料の品質が骨材に与える影響を評価するとともに、高密度化等により、一般的なコンクリート用骨材と同等の品質を有するCO<sub>2</sub>固定型骨材の製造手法の開発に取り組む。
- 各種原料の状態や運搬等の条件を考慮したLCCO<sub>2</sub>を最小化できる材料選定手法の確立
- CO<sub>2</sub>固定型の混和材及び骨材を複合利用した場合の、コンクリートの基本物性への影響評価（テストピースでの評価）なお、具体的な取組については、上記以外の提案を妨げるものではない。

###### ② CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリートの革新的固定試験及び製造システムに関する技術開発

【（9/10 委託→2/3 補助→1/2 補助） + 1/10 インセンティブ】

現場施工によるコンクリート製造への適用も見据え、CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリートの試験養生装置・手法の開発を行い、試験を通じてその性能を検証する。また、既存設備も含めた製造システムによる製造性・施工性の実証試験を行う。

CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリートには前例のない材料を使用することから、熱膨張係数といったコンクリートの基本物性値への影響に加え、CO<sub>2</sub>固定の不均一化、CO<sub>2</sub>固定時間の長期化といった課題が想定される。また、実証試験においてはエネルギーバランスを踏まえた製造システム全体のコスト最小化といった課題が想定される。

こうした課題の解決に向け、以下 i ~ iv 等の技術開発を行う。

- i ビル、ダム、橋梁、道路、トンネルなど、多様な現場での活用に向け、現場打設コンクリートの要求性能を満たす CO<sub>2</sub>固定手法に関する要素技術開発
- ii 大型プレキャストコンクリートに適した CO<sub>2</sub>固定手法に関する要素技術開発
- iii CO<sub>2</sub>を効率的に吸収させるための設備条件や環境条件を踏まえた試験養生装置の開発及び性能検証
- iv CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリートの製造性・施工性に係る実証試験の実施及び海外への展開も見据えた製造システム全体の検証

なお、具体的な取組については、上記以外の提案を妨げるものではない。

● 【研究開発項目 2】CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリートの品質管理・固定量評価手法に関する技術開発★<sup>12</sup>

➤ 目標：2030 年までに、CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリートの品質管理手法（CO<sub>2</sub>固定量の計測・評価方法）を確立するとともに国際標準化を実現

➤ 研究開発内容：

【9/10 委託 + （1/10 インセンティブ）】

CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリートの適切な品質管理手法及び横断的な CO<sub>2</sub>固定量評価技術の確立のための技術開発を行いつつ、土木学会・日本建築学会や国内外の公的研究機関等と連携し、熱膨張係数や長期耐久性などの基礎物性の分析・評価等、標準化に必要となる基礎・基盤的なデータ取得等に取り組む。また、並行して国際標準化に向けた作業を進めることによって、海外市場への進出を促す。

CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリートは、CO<sub>2</sub>固定プロセスの材料、手法等が異なるため、一般的なコンクリートに対する品質管理手法は適用できない。また、CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリートの品質管理手法及び一般的なコンクリート及び今回開発するコンクリ

---

<sup>12</sup> ★マークがある研究開発項目については、大学・研究機関等が主たる実施者（支出が過半を占める実施者）となることが可能（★マークがない項目は、企業等の収益事業の担い手が主たる実施者となる必要）。その場合、1/10 インセンティブは適用せず、10/10 委託とする。

ートへの横断的な CO<sub>2</sub>固定量評価技術は確立しておらず、国際標準も存在しない。そのため、これら手法及び評価法の確立、標準化に向けフィールド検証等を通じた CO<sub>2</sub>固定量のデータ取得・蓄積等が課題となる。そのため、以下 i ~ iii 等の技術開発を行う。

- i CO<sub>2</sub>固定量・品質のばらつき（時間的分布・空間的分布）影響評価手法の開発
- ii CO<sub>2</sub>固定量の定量的な評価手法の開発（破壊検査、非破壊検査、CO<sub>2</sub>消費モニタリング等）
- iii フィールド検証を通じた CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリートの品質と CO<sub>2</sub>固定量に関するデータ取得等

なお、具体的な取組については、上記以外の提案を妨げるものではない。

#### （委託・補助の考え方）

- CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリートの普及展開により収益性を確保するには、製造コストを抑えつつ、地域毎に入手可能な材料の材料特性に対応した形で CO<sub>2</sub>固定量を最大化する製造プロセスの確立が必要となる。しかし、CO<sub>2</sub>固定材料の複合使用や、コンクリート全体の 8 割を占める現場施工に適用する技術が未確立であり、ハードルの高い取組となる。
- これを踏まえ、最適な材料選定（研究開発内容 1-①）、試験養生装置・手法開発（同 1-②）、CO<sub>2</sub>固定量の評価手法等の確立（研究開発項目 2）については、実施者以外にも幅広く裨益する共通基盤的・革新的な技術開発であるため、委託事業として開始する。ただし、1-①及び 1-②については、民間企業の投資を引き出し、社会実装を確実にする観点から、実証段階では、補助への切り替えを行い、更に TRL の進展に伴い、補助率を逡減させる。
- 研究開発内容 1-①、1-②、2 は、相互に強い関連性・連続性を有するため、原則、同一の実施主体（企業又はコンソーシアム）とするが、最終的な目標達成に向けて、採択後の相互協力が見込まれる場合は、各内容に対して異なる事業者が別々に申請することも可能。また、研究開発内容 2 については、CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリートの実用化に取り組む企業等が共通して利用可能な共通研究基盤の開発であることから、開発に取り組む企業等が広く活用できるよう一貫通貫で実施可能な研究機関等が主たる実施者となることも可能とする。ただし、研究開発 1 - ①及び 1 - ②の主たる実施者と連携して取り組むことを条件とする。

## ② セメント分野

### ● 【研究開発項目 3】製造プロセスにおける CO<sub>2</sub>回収技術の設計・実証

- 目標： 2030 年までに、石灰石由来の CO<sub>2</sub>を全量近く回収でき、既存の CO<sub>2</sub>回収手法と同等以上のコスト低減を実現する以下の水準を満たす CO<sub>2</sub>回収型セメント製造プロセスを確立
  - ・プレヒーター内で発生する CO<sub>2</sub>を 80%以上回収

・現在標準的に行われている化学吸収法（アミン法）より低コスト化

※アミン法による CO<sub>2</sub>を 1 トン回収するための標準的なエネルギーは原単位で 2.6GJ/t-CO<sub>2</sub>

➤ 研究開発内容：

【（9/10 委託→2/3 補助→1/2 補助） + 1/10 インセンティブ】

セメント製造用の原料である石灰石から発生する CO<sub>2</sub>を大量に回収するため、既存設備（NSP キルン）でプレヒーター内の熱を利用するプロセスを活用しつつ、CO<sub>2</sub>を回収する機能を付与するため、既存プラント内に設置するための課題（コンパクト化、コスト低減等）に対応するプロセスの見直しが必要。このため、NSP キルンにおいて、CO<sub>2</sub>回収が可能な製造プロセスの開発、実証を行う。開発に当たっては、設備内での熱利用も考慮しつつ、回収した CO<sub>2</sub>を利用（例えばメタネーション技術の導入など）しやすいプロセス設計とする。なお、セメント工場は産業廃棄物処理の一翼を担っており、既存の廃棄物処理も継続できるよう既存プロセスの活用を念頭におきつつ開発を行う。また、研究開発項目 4 と連携し、当該研究にて開発された炭酸塩を用いたセメントが当該プロセスで利用可能となることも検証する。

CO<sub>2</sub>を回収可能な製造プロセスの設計に基づき、実験機の開発、試運転により CO<sub>2</sub>を全量近く回収する技術の確立を図る。新たな製造プロセスによる CO<sub>2</sub>の回収が可能な実証機で検証し、データ収集や最適な稼働条件の設定などを検証する。なお、本プロジェクトでは省エネ効率や品質の確保といった商用化に向けて必要となるデータの検証のため、必要に応じて実験機によるテスト稼働を行った上で実証機による段階的な実証を行うことも可能とする。これにより、CO<sub>2</sub>回収とともに、従前までと同程度の熱効率が確保可能か実証を行う。また、CO<sub>2</sub>回収量の測定とともに、不均一な燃焼状態とならないよう燃焼温度の確保、CO<sub>2</sub>濃度の確認、支燃性ガスの適正值の設定なども適切に行う。

（委託・補助の考え方）

- セメント産業でのカーボンニュートラル実現のための CO<sub>2</sub>回収技術の開発は未だ世界でも実現した例や論文等がなく、ハードルの高い抜本的な取組である。単に製造ラインにプロセスを追加するのみに留まらない既存設備の活用も可能とする非常に難易度が高い※技術開発である。国内セメントメーカー共通で利用可能な基盤技術を実験機で開発し、それを共通技術として社会実装を国がバックアップしつつ進めるためにも、まずは委託事業として開始する。また、実験機での稼働が確認出来た後、事業者が設備のカスタマイズなど、将来的な商用化に向けた取組に移行する段階で、補助に切り替えることを想定。また、実験機から実証機への移行の段階においても、商用化に向けた領域に必要な補助として、補助率を逡減させる。
- ※セメントの製造工程は設備内の熱利用を徹底的に行うことが特長。NSP キルンではキルンから放出される熱も原料の燃焼エネルギーとして利用。その過程で CO<sub>2</sub>回収を行う場合、CO<sub>2</sub>のみでなく熱まで回収することとなる。そのため、熱利用と CO<sub>2</sub>回収を両立しつつ、既存ラインに組み込む（コンパクト、省エネ）という多様な要素のバランスを取る困難さが存在。

- 【研究開発項目 4】多様なカルシウム源を用いた炭酸塩化技術の確立

- 目標：2030年までに、回収したCO<sub>2</sub>から炭酸塩を製造し、炭酸塩をセメント原料等に利用するための以下の水準を満たす技術を確立
  - ・炭酸塩化の基盤技術として、廃棄物から10%以上の酸化カルシウム（CaO）を抽出し、炭酸塩1トンあたりに固定化するCO<sub>2</sub>固定量が400kg以上
  - ・回収したCO<sub>2</sub>から製造した炭酸塩の生成コストが、従来の石灰石の市価の5倍程度の価格
  - ・炭酸塩の利用の拡大のため、利用技術のガイドラインを策定

- 研究開発内容：

【（9/10 委託→1/2 補助） + 1/10 インセンティブ】

廃コンクリート等や回収CO<sub>2</sub>を活用した炭酸塩化技術の開発に取り組んでいるが、最新の研究開発成果（廃コンクリートから酸化カルシウムを約8.5%抽出）でも酸化カルシウムの抽出量が限定的となっており、廃コンクリート以外の酸化カルシウム抽出可能な廃棄物の検証が進んでいない。さらに、炭酸塩化に必要なCO<sub>2</sub>はイオン化の反応速度が遅いといった特性があり、効率的に酸化カルシウムに固定することが課題。このため、研究開発で大量の酸化カルシウムを抽出・回収する技術の確立、CO<sub>2</sub>を大量に固定する炭酸塩を生成する技術開発を行う。また、酸化カルシウムの抽出技術の確立に向けて、炭酸塩化に有望なカルシウム等のアルカリ源の選定も併せて行う。さらに、利用技術の確立に向けて、炭酸塩を用いたカーボンリサイクルセメント製造プロセスの開発、炭酸塩のフィラーなどでの利用技術の開発や、利用時の性能確保、また基金事業以外の関連技術や規格・基準等の内容を含んだ技術利用ガイドラインの策定を行うことで、炭酸塩生成コストの低コスト化技術の普及を図る。本成果は、研究開発項目3.と連動させて、実用化に向けた実証を行う。

（委託・補助の考え方）

- 廃コンクリートなど一部のカルシウム源から炭酸塩化の要素技術開発を進めているが、まだ技術確立段階に至っていない。また、本事業では未着手のカルシウム源からのCaO抽出にチャレンジしつつ、セメント工場から排出されるCO<sub>2</sub>を用いて炭酸塩を生成し、石灰石代替原料としてセメント原料化する一連の工程を実現させる本邦発の技術であるため、まずは基盤技術として確立すべく委託事業として開始する。ただし、実証フェーズへの移行段階では、商用化を念頭においた品質の安定確保のための研究・実証となるため、民間企業の独自の取組を促進する観点で補助へ切り替える。

- 社会実装に向けたその他の取り組み

- ① コンクリート分野

性能とコストのバランスを踏まえた早期実用化を目指し、知財取得等を開発と並行して進めるとともに、「CO<sub>2</sub>排出削減・有効利用」を付加価値としたライセンス事業、スタートアップを含めた他企業との連携等を通じ、国内外への普及を戦略的に進める。

国内市場においては、2025年の大阪万博等における導入等を通じ、CO<sub>2</sub>固定量等のデータ取得を進めるとともに、需要家への情報発信・調達促進を図る。また、将来的な公共調達での採用を視野に開発初期段階から、国土交通省、地方自治体、土木学会・日本建築学会等関連学会との連携を図る。さらに、国内・国際標準化を通じて、製品特性を踏まえつつ付加価値を明確化（CO<sub>2</sub>排出削減・固定量の評価、認証等）するとともに、関連学会のガイドライン・指針類への反映を目指す。また、需要側のインセンティブを高めるため、温室効果ガスインベントリへの登録や、カーボンプレジット制度での活用を検討する。

国際市場においても、北米市場に加え、経済成長著しいアジアでコンクリート需要が拡大することが見込まれるため、上述の技術開発と並行した知財取得、国際標準化に向けたデータ取得、大規模な国際展示会でのPR等を行い、販路を拡大する。

## ② セメント分野

セメント製造技術の海外展開に当たり、プラントメーカーによる設備販売に併せ、ライセンサーであるセメントメーカーの全面的バックアップや成果PRなどにより、関係者が連携してのビジネス展開を進める。

国内外市場への拡大を視野にいれ、新たな製造プロセスについて、セメントメーカーとライセンス契約を結んだ国内外のプラントメーカーが一体となった売り込み・サポートや、ライセンス・ビジネスを展開する。このため、海外市場動向の把握に努めつつ、プラントメーカーによる需要が見込まれる地域への売り込みとともに、セメントメーカーから顧客等に対してCO<sub>2</sub>回収能力、運用データ等の情報提供・技術的なサポートを行い、きめ細かなアプローチを図るとともに、国際展示会等を活用した販路拡大に向けた成果のPRなどを実施。また、炭酸塩確保のためカルシウム源確保に向けての関係者間（政府、セメント事業者、大学、ゼネコン、廃棄物処分事業者、生コン事業者等）での協議体を設置するなどの体制整備等を行い、廃棄物収集のあり方等を検討する。

## 4. 実施スケジュール

### ● プロジェクト期間

#### ① コンクリート分野

##### ➤ 【研究開発項目 1】 CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリートの開発

研究開発内容①、②ともに極めて困難な取組であるところ、一連の取組を確実に実施するための十分な時間を確保する観点から、2021 年度から 2030 年度までの最大 10 年間で想定。また、技術開発に十分な時間を費やしたうえで 2026 年以降に実証に移行していくスケジュールを想定。

2024 年度までに各研究開発内容に関する実験室レベルの試験等を実施し、要素技術の開発を行うとともに 2025 年の大阪万博等を通じて品質と CO<sub>2</sub>固定量に関するデータ取得を行う。2021～2025 年度で得られた成果を踏まえ、2026 年以降に製造性・施工性に係る実証試験を実施する。

ただし、以下のスケジュールは、あくまで一例であり、事業者の提案において、早期の目標達成のために最適なスケジュールを組むことは妨げない。

##### ➤ 【研究開発項目 2】 CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリートの品質管理・固定量評価手法に関する技術開発

研究開発項目 1 に関する研究の進捗を踏まえつつ、一連の取組を確実に実施するための十分な時間を確保する観点から、2022 年度から 2030 年度までの最大 9 年間で想定。研究開発と同時並行的に標準化の取組を進めていく。2025 年の大阪万博等を通じて品質と CO<sub>2</sub>固定量に関するデータ取得を行い、標準化提案等を進めていく。

ただし、以下のスケジュールは、あくまで一例であり、事業者の提案において、早期の目標達成のために最適なスケジュールを組むことは妨げない。

#### ② セメント分野

##### ➤ 【研究開発項目 3】 製造プロセスにおける CO<sub>2</sub>回収技術の設計・実証

2021 年度から 2023 年度において、製造プロセスにおける CO<sub>2</sub>回収技術の設計、実験機ベースでの CO<sub>2</sub>回収設備・技術の開発や稼働確認に着手する。2024 年度～2025 年度にかけて実験機による燃焼効率やエネルギー効率などの性能向上のため開発を行い、当該実証にて生じた課題等を踏まえ、設計内容を適宜修正する。2026 年度以降において、それまでに得られた成果を踏まえ、実用化を想定した実証機での実証事業に取り組む。なお、本プロジェクトでは従前同様の品質確保や省エネ効率等を満たすことを想定しており、一連の取組を確実に実施するための十分な時間を確保する観点から 2021 年度から 2030 年度までの最大 10 年間で想定。

なお、当該スケジュールはあくまで一例であり、事業者の提案において、実験機での実証を

経ず実証機での実証を行うなど、最適なスケジュールを組むことを妨げない。

➤ 【研究開発項目 4】多様なカルシウム源を用いた炭酸塩化技術の確立

2025 年までに廃棄物などから酸化カルシウムの回収量を考慮しつつ有望なカルシウム源を複数選定するとともに、回収 CO<sub>2</sub>を固定化した炭酸塩を生成し、セメント原料化や有効利用技術の開発を進める。なお、今後のカルシウム源確保の観点からも、未着手の要素技術にも同時に取り組む。

2026 年以降、実証機を整備しての炭酸塩の生成、品質管理を進めるとともに、低コスト・省エネルギーで生成できるよう、廃棄物の性質に合わせた技術の更なる深掘りを行う。また、研究開発項目 3 により回収した CO<sub>2</sub>を用いた炭酸塩（石灰石代替原料）によるカーボンリサイクルセメントを生成し、技術実用化に向けて、関連学会や公的研究機関と連携し、安全性・耐久性などの性能や安定供給が可能か検証しつつ、商用化に向けた実証等を進め、当該技術の確立を図る。

● ステージゲート設定等

研究開発目標の達成には、様々なアプローチが考えられることから、具体的な達成方法・スケジュールは提案者の創意工夫に委ねることを原則とするが、以下のとおり、事業の切れ目において、ステージゲートを設定し、事業の進捗を見て、継続可否を判断する。追加公募については、その必要性が確認された場合に行う。

① コンクリート分野

【研究開発項目 1】CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリートの開発

【研究開発項目 2】CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリートの品質管理・固定量評価手法に関する技術開発

- 大阪万博等を通じて品質と CO<sub>2</sub>固定量に関するデータ取得及び当該データの検証結果を踏まえた実証試験の開始（下表の例では 2026 年頃に事業継続判断）
- 実証試験において技術の有望性が確認できる段階（下表の例では 2028 年頃に事業継続判断）【研究開発項目 1 のみ】

② セメント分野

【研究開発項目 3】製造プロセスにおける CO<sub>2</sub>回収技術の設計・実証

- 実験機による燃焼効率、エネルギー効率などの性能向上に関する開発の開始（下表の例では 2024 年頃に事業継続判断）
- 社会実装手前の実証試験の開始（下表の例では 2026 年頃に事業継続判断）

【研究開発項目 4】多様なカルシウム源を用いた炭酸塩化技術の確立

- カルシウム源ごとに、カルシウム抽出量、CO<sub>2</sub>固定量に関するデータ取得及び炭酸塩生成コストを踏まえた実証試験の開始（下表の例では 2025 年頃に事業継続判断）

表1：プロジェクトの想定スケジュール（例）

★ステージゲート



表 2：社会実装スケジュール

① コンクリート分野

●導入フェーズ： 1. 開発フェーズ 2. 実証フェーズ 3. 導入拡大・コスト低減フェーズ 4. 自立商用フェーズ

※代表事例を記載	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	～2030年	～2040年	～2050年
<p>●<b>コンクリート</b> コスト目標 2030年 30円台/kg (= 既製品と同等)</p>	<p>・大阪万博（2025年）における導入を検討 ・新技術に関する<b>国交省データベース</b>にCO<sub>2</sub>吸収型コンクリートを登録。地方自治体への周知拡大。 さらに、<b>公共調達の拡大等</b>による販路拡大、コスト低減</p>					<p>・CO<sub>2</sub>削減・固定量最大化コンクリートに係る材料・製造システムの研究開発、施工性最適化、品質管理手法の開発</p>	<p>・CO<sub>2</sub>削減・固定量最大化コンクリートの<b>実証</b></p>	<p>・国際標準化や大規模な国際展示会でのPR等を行い、<b>途上国等へも販路拡大</b></p>

② セメント分野

※代表事例を記載	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	～2030年	～2040年	～2050年
<p>●<b>セメント</b> 国内キルン全機導入</p>	<p>・セメント製造工場での<b>CO<sub>2</sub>回収技術の開発</b> ・回収CO<sub>2</sub>の<b>炭酸塩化</b>によるセメント原料化、利用技術の開発</p>					<p>・大規模設備でのCO<sub>2</sub>回収と炭酸塩化技術<b>実証</b></p>	<p>・設備導入コスト低減・導入支援 ・国内メーカー、アジアメーカーへの<b>技術展開</b> ・海外企業への<b>ライセンスビジネスの展開</b></p>	

## 5. 予算

- 事業総額（国費負担額のみ。インセンティブ分を含む額）：上限 567.8 億円

### ① コンクリート分野

【研究開発項目 1】 CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリートの開発

予算額：上限 303.7 億円

予算根拠：特殊混和材焼成試験設備、カーボンリサイクル骨材等製造試験設備、  
特殊混和材焼成実証試験設備、カーボンリサイクル骨材等製造実証試験設備、  
CO<sub>2</sub>吸収促進試験設備、現場炭酸化養生方法実験装置、  
炭酸化養生方法実証試験装置等の参考見積等に基づき試算。

【研究開発項目 2】 CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリートの品質管理・固定量評価手法に  
関する技術開発

予算額：上限 55.7 億円

予算根拠：CO<sub>2</sub>分析装置、シミュレーションシステム等の参考見積等に基づき試算。

### ② セメント分野

【研究開発項目 3】 製造プロセスにおける CO<sub>2</sub>回収技術の設計・実証

予算額：上限 157.0 億円

予算根拠：既存のセメント製造に要するプレヒーター、キルン、仮焼炉等の参考見積を元に、  
規模を 1/200 に小型化した場合の費用と実機への適用を想定した費用などか  
ら試算。

【研究開発項目 4】多様なカルシウム源を用いた炭酸塩化技術の確立

予算額：上限 51.4 億円

予算根拠：既存事業（カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発等）の炭酸塩  
（CaCO<sub>3</sub>）製造装置の規模を 100 倍に大型化すると仮定し、大型化した場  
合の必要コストを想定した費用などから試算。

- 取組状況が不十分な場合の国費負担額の返還率：返還が決定した時点における目標達成度を考慮し、WG において「10%、30%、50%」の 3 段階で評価

（参考）改訂履歴

・2021 年 10 月 制定