

グリーンイノベーション基金事業による CO₂ を最速・最大で固定させるコンクリートの開発

白 岩 誠 史

セメント焼成工程などで発生する CO₂ 相当量を、戻りコンクリートから製造する粒状化再生骨材、構造物解体時のコンクリート塊から製造する再生骨材、生コンクリート工場の濁水処理設備から排出されるスラッジケーキやスラッジ水に固定させてコンクリート用材料として利用するとともに、施工後のコンクリートにも固定させる技術を開発中である。コンクリート 1 m³ あたりに CO₂ を 120 kg 以上固定させ、低炭素型セメント等を併用することでコンクリートをカーボンニュートラルさらにはネガティブな材料にすることを目指している。現在は、CO₂ を再生骨材等に固定させる技術、再生骨材を使用した舗装用コンクリートの配合設計、実機プラントによる製造技術および舗装試験施工に向けた設備等を検討中である。

キーワード：CO₂、カーボンニュートラル、粒状化再生骨材、再生骨材、スラッジ、コンクリート舗装

1. はじめに

2020年10月、日本は「2050年カーボンニュートラル」を宣言し、2050年までに温室効果ガスの排出を実質ゼロにする目標を掲げた。その目標達成のために、民間企業が挑戦しやすい環境を作ることを目的として、経済産業省が2020年10月に「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」を発表した。さらに、経済産業省は、2021年3月に「基本方針」を策定し、2050年カーボンニュートラルの目標に向けて、2020年度第3次補正予算において2兆円の「グリーンイノベーション基金」を（国研）新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、NEDO）に、官民で野心的かつ具体的な目標を共有した上で、これに経営課題として取り組む企業等に対して、10年間、研究開発・実証から社会実装までを継続して支援していく事業として創設した。

これらの事業の1つとして、2021年10月に公募されたNEDO・グリーンイノベーション基金事業「CO₂を用いたコンクリート等製造技術開発プロジェクト」のコンクリート分野（予算額350億円）において、鹿島建設を幹事会社とする、デンカ、竹中工務店らで構成するコンソーシアムのテーマ「革新的カーボンネガティブコンクリートの材料・施工技術及び品質評価技術の開発」とともに、2020年9月に設立された（一社）生コン・残コンソリューション技術研究会（以下、RRCS：Ready-mixed and Returned Concrete

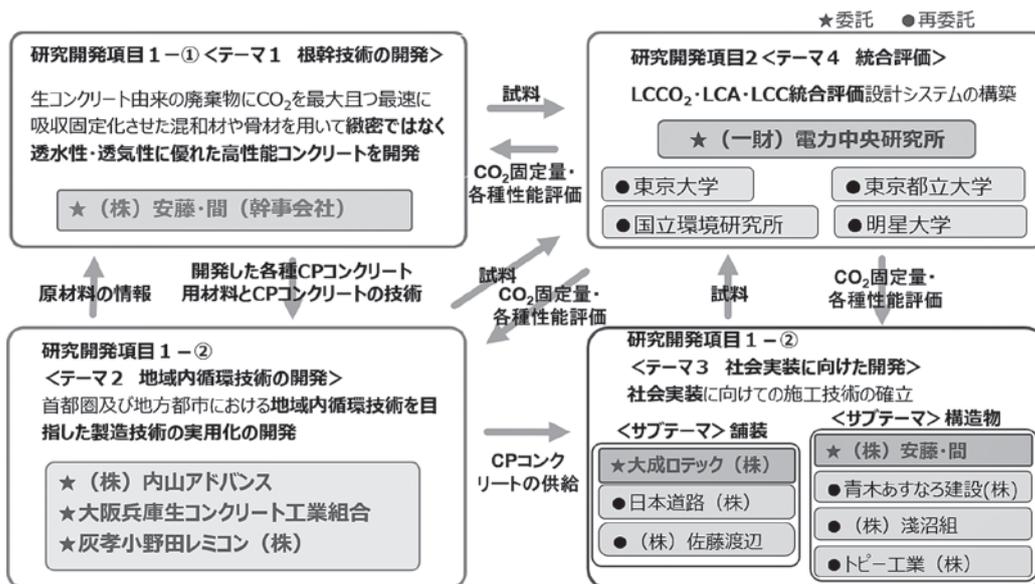
Solution Association）^{1), 2)} の100を超える会員団体のうち15団体で構成された安藤ハザマを幹事会社とするコンソーシアムのテーマ「CO₂を高度利用したCARBON POOLコンクリートの開発と舗装および構造物への実装」（“CARBON POOLコンクリート”は、以下“CPコンクリート”と表記）が採択されたと2022年1月28日にNEDOホームページに発表された³⁾。

開発は、2022年4月から開始され、現在は、CO₂を再生骨材等に固定させる技術の開発、再生骨材を使用した舗装用コンクリートの配合検討、および実機プラントによる製造試験を行うとともに、舗装試験施工に向けた設備設置等を計画中である。

2. コンソーシアムの構成

本コンソーシアムの特徴は、大きく2つある。1つ目は、世界全体で毎年11億トン程度（約4.5億m³）、日本国内で毎年800万トン程度（約350万m³）排出されるこれまで有効な削減方法がない残コンクリート・戻りコンクリート²⁾（以下、残コン・戻りコン）の低減を目的の1つとして創設されたRRCSを母体としているため、生コンクリート工場（以下、生コン工場）が主役となる特徴を持つ。2つ目は、コンクリート舗装に着目し、舗装会社が委託先となっていることである。

本コンソーシアムの構成団体およびプロジェクトイ



図一 1 コンソーシアム構成図および役割

メージ図を図一1に示す。根幹技術の開発として再生骨材や残コン・戻りコンから直接粒状化した骨材にCO₂を固定させる等のCPコンクリートの基礎技術の開発は、安藤ハザマがNEDOからの委託先として実施する。次に、地域内循環技術の開発として、CPコンクリートの生コン工場での生産技術開発およびシステム構築には、内山アドバンス（東京都、千葉県、埼玉県、神奈川県）、大阪兵庫生コンクリート工業組合（大阪府、兵庫県）、灰孝小野田レミコン（滋賀県）の生コン工場3団体が、委託先となり、開発を進める。開発完了後には、各地域の拠点となって、地域の生コン工場と協力して、CPコンクリートを社会実装していく狙いである。

社会実装へ向けた開発として、CPコンクリートの舗装分野への適用技術の開発は、大成ロテックを委託先とし、再委託先として日本道路および佐藤渡辺が開発を支援する。構造物分野では、安藤ハザマを委託先とし、再委託先として浅沼組、青木あすなる建設、トピー工業が開発を支援する。

さらに、開発するCPコンクリートの総合評価手法は、電力中央研究所が委託先となり、再委託先として、総合評価システムの開発を東京大学、品質評価および管理手法の開発を東京都立大学、LCA・LCCO₂手法の開発を国立環境研究所、LCC評価手法の開発を明星大学が担当する。

このように、総合建設業（以下、ゼネコン）、道路会社、生コン工場が協力してCPコンクリートを開発し、大学や国立の研究機関がその評価を担当し、総合的に社会実装へと結びつけるコンソーシアム構成となっている。

3. CPコンクリートの概要

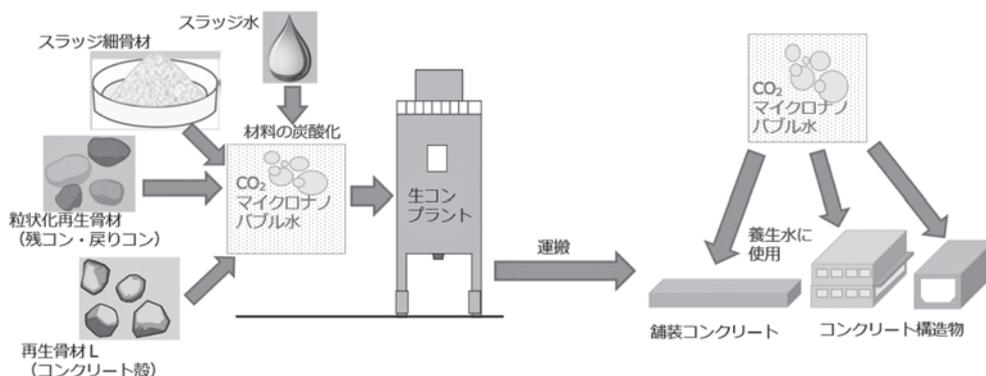
CPコンクリートの概要を図一2に示す。CPコンクリートとは、コンクリート施工完了までのCO₂排出量を削減したうえで、CO₂バブルを含んだ炭酸水を利用して、これまで生コン工場等から排出されてきた産業廃棄物にCO₂を最速かつ最大で固定し、コンクリート用材料として利用する。通常環境下では、十数年以上かかるコンクリートへのCO₂固定を数日間可能とする。また、コンクリートの養生時にもセメント水和物等を積極的に炭酸化し、コンクリートに固定される炭素量を最大化することを目指す。ここで、CO₂バブル水とは、CO₂濃度100%のマイクロおよびナノサイズの超微細気泡が大量に長期的に安定して存在している水であり、炭酸化による低品質再生骨材およびコンクリートの品質改善に用いられた実績がある^{4), 5)}。

CO₂を固定させる材料は、以下を想定している。

- ① 既設コンクリート構造物を解体した時に発生したコンクリート塊から製造した再生骨材。
- ② 建設現場で型枠内に打ち込まれずに生コン工場に戻ってきた残コン・戻りコンから、粒状化材料等を使用して、直接骨材状にした粒状化再生骨材。
- ③ 生コン工場の濁水処理設備から排出されるスラッジケーキおよびスラッジ水。

CPコンクリートの製造には、上記①～③にCO₂を固定させた材料を使用するが、使用する材料によって、表一1に示すように、3種類を設定する予定である。

簡易型は粒状化再生骨材および再生骨材のみをCO₂固定材料として使用する。使用する材料種類が少ない



図一 2 CP コンクリート概要図

表一 1 CP コンクリートの種別

No	種別	想定するCO ₂ 固定量 (kg/m ³)	使用材料	設備費用	低減できる産業廃棄物
1	簡易型	124	再生骨材 粒状化再生骨材	低	残・戻りコン
2	中間型	141	再生骨材 粒状化再生骨材 スラッジ細骨材	中	残・戻りコン スラッジ
3	最大型	168	再生骨材 粒状化再生骨材 スラッジ細骨材 スラッジ水 CO ₂ 反応型セメント	高	残・戻りコン スラッジ

ため、生コン工場の手間が低減され、普及が進みやすいと考えている。ただし、スラッジケーキを利用しないため、スラッジケーキは産業廃棄物として処理する必要がある。最大型は、コンクリートへのCO₂ 固定量を最大化させるために、CO₂ 固定材料として、さらにスラッジ細骨材やスラッジ水を利用し、CO₂ 反応型セメントの適用も検討する。生コン工場の手間は増えるが、CO₂ 固定量を最大化でき、スラッジケーキもCO₂ 固定源として有効利用できる。中間型は、CO₂ 反応型セメントの適用は考えないが、その他は最大型と同じCO₂ 固定源を用いる。

また、打込み後のCP コンクリートは、どの種類も

養生水にCO₂ バブル水を使用して、積極的な炭酸化を図り、コンクリートへのCO₂ 固定量を増加させる。対象構造物としては、第一に道路構造物を想定しており、施工後に内部までCO₂ を透過させ、固定できるCP ポーラスコンクリートを基本とし、プレキャスト舗装版や路盤材への適用も検討する。また、一般的な建築物や土木構造物へのCP コンクリートの適用も検討しており、コンクリートが炭酸化(中性化)しても発錆しない鉄筋の開発も同時に実施している。

このように、CO₂ をコンクリートに固定し、CO₂ 排出量を削減することで、コンクリートをカーボンニュートラルあるいはネガティブな材料にすることが第一の目標である。また、これまで産業廃棄物として処理されてきた材料にCO₂ を固定させることで、コンクリート用材料としてコンクリートへ循環させることが、CP コンクリートの第二の目標である

4. CP コンクリートの開発状況

(1) 根幹技術の開発状況

CP コンクリートを開発するにあたり、まずは、コンクリートに固定されたCO₂ を測定する方法の選定から開始した。コンクリートに固定されたCO₂ を測定する方法は、表一 2 に示すような方法があるが、CO₂ 固定量を正確に分析評価するために東京大学、東

表一 2 コンクリートのCO₂ 固定量測定方法

No	測定方法	測定概要
1	湿式分析	試料を塩酸で分解し、生成したCO ₂ を水酸化ナトリウム・塩化バリウム溶液中に導入して吸収させ、塩酸標準溶液で滴定する分析方法。
2	熱重量示唆熱分析 (TG-DTA)	試料を加熱した際に起こる質量変化 (TG) と発熱や吸熱などの熱的挙動 (DTA) を同時に連続的に測定する方法であり、約 700℃ 付近で生じる炭酸カルシウムの脱炭酸反応による質量変化量からCO ₂ 含有量を測定できる。
3	TC/TOC 分析	試料を燃焼酸化または酸性化し、生成する二酸化炭素を検出することで試料中に含まれる炭素量を定量する分析方法。全炭素量 (TC) 測定と無機体炭素量 (IC) 測定のどちらも可能で、その差から有機体炭素量 (TOC) を求めることができる。

京都立大学、電力中央研究所と検討し、安定した分析結果を得ることのできる湿式分析を基本に測定を実施している。

また、コンクリート打込み後の養生時に躯体内部まで炭酸化できることを目指した透水・透気性を高めたコンクリート配合、粒状化再生骨材や再生骨材へCO₂を固定させるための効果的な方法や最適なCO₂バブル水、高いCO₂固定量が期待できるスラッジの利用方法の開発を急ピッチで進めている。

(2) 地域内循環技術（CP コンクリート製造技術）の開発状況

内山アドバンス、大阪兵庫生コンクリート工業組合、灰孝小野田レミコンにおいては、粒状化再生骨材や再生骨材の製造を実機レベルで複数回、実施し、品質管理のノウハウを蓄積している。また、実機の生コンプラントにおいて、粒状化再生骨材や再生骨材を使用した生コンを製造し、プラントの改良点を検討している。

灰孝小野田レミコンにおいては、生コン工場が市街地にあるため、工場の騒音、大型車両の増加、戻りコンから製造した粒状化再生骨材のストックヤード不足等の課題解決のために、約20 km離れた栗東市の遊休地（約9,000 m²）をCPコンクリートの材料製造のための専用工場とする計画を進めている。

(3) 社会実装へ向けた技術（CP コンクリート施工技术）の開発状況

舗装用のCPコンクリートについては、2022年8月にCO₂を固定させた粒状化再生骨材を使用した試験施工を東京都中目黒で実施した（写真-1参照）⁶⁾。また、2024年4月～10月頃を予定している大阪関西万博および津市での簡易型および中間型のCPコンクリートの試験施工に向けて、開発を加速している。CO₂固定量の評価および品質管理については、今後の



写真-1 CPコンクリート試験施工状況（2022年8月）

研究で手法を確立する必要があるものの、CO₂固定方法等については、製造工程を確立し、CPコンクリートを製造できる体制が整う予定である。

現在は、写真-2に示すように、通常使用する骨材によるポーラスコンクリートの配合設計及び試験施工を第一段階として実施している。今後、粒状化再生骨材・再生骨材を使用した配合設計および試験施工、さらには2023年12月頃には、CO₂を固定させた粒状化再生骨材・再生骨材を使用した配合設計および試験施工を実施し、2024年4月にはプロト版を完成させるべく開発を進めていく。



写真-2 ポーラスコンクリート試験施工状況（2023年12月）

構造物用のCPコンクリートについては、室内試験による構造物用の配合選定、錆びない鉄筋のサンプル製作、硬化後のCO₂固定方法の検討を実施している。

5. CPコンクリートの社会実装

CPコンクリートの社会実装を想定している分野は、以下の通りである。

- ① 現場施工するコンクリート舗装工事への実装。CPポーラスコンクリートによる舗装とし、駐車場および歩道、さらには車道へと展開する。
- ② 供用中道路の舗装打換え工事への実装。早期の交通開放を可能にするコンクリート舗装として、CPコンクリートを用いたプレキャスト舗装版（CPプレキャスト舗装版）へと展開する。
- ③ 舗装道路の路盤材への実装。舗装道路としてのCO₂固定量の最大化、路盤の強化等を目的としたCO₂固定型路盤材（以下、CP路盤材）へと展開する。
- ④ 建築物の室内等の部材中の鉄筋腐食の可能性が低い部材への実装。通常の鉄筋とCPコンクリート

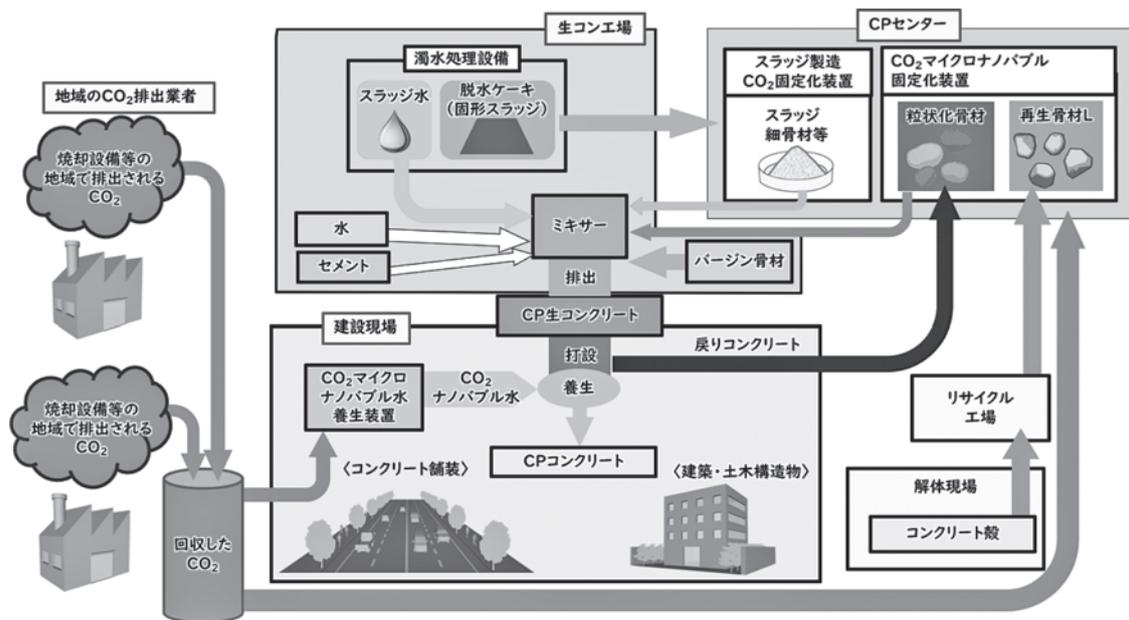


図-3 CP コンクリートの社会実装

の組み合わせによる鉄筋コンクリート部材へと展開する。

- ⑤ 一般の建築物および土木構造物への実装。新たに開発する防錆機能を持つ新しい鉄筋およびCPコンクリートの組み合わせによる鉄筋コンクリート構造物へと展開する。
- ⑥ 生コン工場のリサイクルシステムへの実装。スラッジおよび残コン・戻りコンをCPコンクリートおよびCP路盤材としてリサイクルし、生コン工場からの産業廃棄物の排出をゼロにする。

2027年度から、本コンソーシアムのメンバーである内山アドバンス、大阪兵庫生コンクリート工業組合、灰孝小野田レミコンから、CPコンクリートの出荷を本格的に開始する予定である。図-3に社会実装時のイメージ図を示す。生コン工場は、日本全国に点在しているため、CPコンクリートに必要なCO₂の調達は、ごみ焼却設備等の地方にあるCO₂排出業者とつながることで運搬に関わるCO₂排出量や費用を最小化できると考えている。また、セメント工場から排出されるCO₂の固定も考えている。CPコンクリート用のCO₂を固定させた粒状化再生骨材や再生骨材、スラッジ細骨材（以下、CP材料）等を製造する拠点をCPセンターと称して全国各地に整備し、地方の生コン工場にCP材料を出荷し、日本全国でCPコンクリートを出荷できる体制を構築したい。

このような社会実装体制を構築すると、日本全国で、戻りコンの再資源化、コンクリート塊の再生コンクリートへの利用促進、CO₂の地産地消が実現すると

考えられ、CPコンクリートが脱炭素社会、資源循環型社会の構築に貢献できると考えている。

6. ブルーカーボン、グリーンカーボンそしてホワイトカーボン

2009年に国連環境計画（UNEP）によって、藻場・浅場等の海洋生態系に取り込まれた炭素がブルーカーボンとして定義され、陸上の植物に固定される炭素であるグリーンカーボンとともに、社会に認知されている。

一方、コンクリートによるCCUS（Carbon Capture Utilization and Storage）についても、社会の認知が進み、すでに建設されているコンクリート構造物、解体時のコンクリート塊も含めて、その大きな炭素固定能力が期待され、今回のNEDO・グリーンイノベーション基金事業も開始していると考えている。また、2025年度に開催される大阪関西万博では、RRCSおよび大阪兵庫生コンクリート工業組合が中心となって、会場の建設時の残コンゼロ運動、万博閉会後の設備解体時のコンクリート塊の有効利用などについて、検討がなされている。さらに、2023年度には戻りコン由来の粒状化再生骨材に関するJIS作成委員会が立ち上がる予定である。

これらの現在動き出している事業を、国のカーボンニュートラル戦略およびCPコンクリートの展開と有機的に結び付け、コンクリートに固定される炭素「ホワイトカーボン」にて、日本はもちろんのこと、世界

の CO₂ 排出量削減に貢献できると考えている。



《参考文献》

- 1) 生コン・残コンソリューション技術研究会ホームページ：<https://rrcs-association.or.jp/>
- 2) 野口貴文：CP コンクリートによる CO₂ 吸収に対する RRCS の取組み，月刊セメント・コンクリート 2 月号，No.900. pp.46-50, 2022
- 3) (国研) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) ホームページ：https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101510.html
- 4) 金翰湜，北垣亮馬，野口貴文：炭酸ナノバブル水を用いた低品質再生細骨材の再資源化に関する基礎的研究，日本建築学会関東支部研究報告集，Vol.82, pp.101-104, 2012
- 5) 金翰湜，北垣亮馬，野口貴文：コンクリート細孔溶液中における炭酸カルシウムの析出に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，

材料施工, pp.1077-1078, 2012

- 6) 日経クロステック：CP コンクリートを初めて現場打ち，炭酸水に浸すだけの CO₂ 固定化技術，2022.9.21

[筆者紹介]

白岩 誠史 (しらいわ せいし)
 (株)安藤・間
 技術研究所 脱炭素技術開発部
 GI 基金 CP コンクリートコンソーシアム
 チームリーダー

