

グリーンイノベーション基金事業における カーボンネガティブコンクリートの開発

坂井 吾郎・取違 剛・山野 泰明

喫緊の社会課題となっている二酸化炭素（CO₂）の削減に対して、コンクリートの製造段階において、安定した形でCO₂をコンクリートの中に取り込む技術が開発され、大きな関心と期待が寄せられている。筆者らは、55の企業や大学、研究機関と共にコンソーシアムを組成して、国のグリーンイノベーション基金事業に「革新的カーボンネガティブ（CN）コンクリートの材料・施工技術及び品質評価技術の開発」を提案し、CO₂固定量のさらなる拡大と、新しいコンクリート技術の社会実装を目指して研究開発を行っている。本稿では、グリーンイノベーション基金事業と開発内容の概要、コンソーシアムの体制、および最初の開発成果の適用事例について紹介する。

キーワード：グリーンイノベーション基金事業、CO₂、環境配慮型コンクリート、カーボンネガティブコンクリート、CUCO

1. はじめに

コンクリートは、優れた強度特性を有し、耐久的で自由な形に成型でき、しかも他と比較して安価な材料であるが、近年、これらにさらに新しい機能が加わろうとしている。地球温暖化の原因とされる二酸化炭素（CO₂）の吸収・固定である。コンクリートの製造段階において、安定した形でCO₂をコンクリートの中に取り込む技術が開発され、それに対して社会的に大きな関心と期待が寄せられている。

元々、コンクリートは、鋼材と並んでCO₂排出量が非常に多い建設資材である。それは、コンクリートの原材料であるセメントを製造する際に大量のCO₂が発生することに起因している¹⁾。筆者らは、建設に携わる者としてこの事実を座視することはできないとの思いを強くし、一般に環境配慮型コンクリートと呼称される、CO₂の削減に寄与するコンクリートの技術開発を10数年前から行ってきた^{2), 3)}。

2022年1月、筆者らの所属会社は、デンカ社、竹中工務店社とともにコンソーシアムを組成し、国のグリーンイノベーション基金事業に対して『革新的カーボンネガティブ（CN）コンクリートの材料・施工技術及び品質評価技術の開発』を提案し、採択された。本稿では、グリーンイノベーション基金事業と開発内容の概要、コンソーシアムの体制、および最初の開発成果の適用事例について紹介する。

2. グリーンイノベーション基金事業

経済産業省が2019年6月に発表したカーボンリサイクル技術ロードマップ⁴⁾（2021年7月に改定）では、CO₂を燃料や原料として有効利用するCCU〔Carbon dioxide Capture and Utilization〕の考え方が打ち出され、その1つとして様々な産業から排出される物質に含まれるカルシウム（Ca）やマグネシウム（Mg）をCO₂と反応させて炭酸カルシウム（CaCO₃）や炭酸マグネシウム（MgCO₃）等の炭酸塩を生成し、これを鉱物原料として再利用することが示された。この炭酸塩の主な利用先の1つがコンクリートの製造プロセスである。

また、2020年10月に宣言された「2050年カーボンニュートラル」社会の実現に向けて策定された「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」⁵⁾では、産業政策・エネルギー政策の両面から、成長が期待される14の分野が示された。これを受けて、（国研）新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、NEDO）に2兆円規模の「グリーンイノベーション基金」が造成され、前述の14分野について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することが実行に移されている。

グリーンイノベーション基金事業における、コンク

リート分野の開発概要を図-1に示す⁶⁾。コンクリートへのCO₂固定技術およびCO₂排出量削減技術の普及拡大を目指すとともに、コンクリートにおけるCO₂削減・固定量を定量的に評価する手法と、同手法を標準化するための技術開発が必要とされた。コンクリート・セメント分野において採択された事業者とテーマの一覧を表-1に示す。

CO₂を用いたコンクリート等製造技術の開発（コンクリート分野）（国費負担額：上限359.4億円）

- カーボンサイクル技術によるコンクリート等へのCO₂利用については、大規模・長期利用によるCO₂固定化が可能なことから、社会実装への期待大。
- 社会実装に向け、安全性を前提としつつ、CO₂排出削減・固定量の最大化、用途拡大・コスト低減（材料開発、製造性、施工性）、製造過程におけるCO₂排出削減等の課題解決が重要。
- このため、CO₂を固定する材料（特殊混和材、骨材等）の開発・複合利用、コストを最小化する製造・施工技術、CO₂固定量の評価を含めた品質管理手法の確立・標準化等に取り組む。

<CO₂排出削減・固定量最大化コンクリートの用途例>



【目標】CO₂削減量310~350kg/m³（うちCO₂固定量は120~200kg/m³）
既存製品と同等以下のコスト（参考値；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）

図-1 グリーンイノベーション基金事業にて組成されたCO₂を用いたコンクリート等製造技術開発の概要⁶⁾

3. 革新的CNコンクリートの開発の概要

(1) 脱炭素に貢献する環境配慮型コンクリート

環境配慮型コンクリート技術には様々な種類があるが、久田ら^{7), 8)}は、CO₂を削減する方法の違いによって、①セメントを産業副産物などで置換する技術、②骨材や粉体にCO₂を固定化した材料（CCU材料）技術、③コンクリートにCO₂を吸収させる技術の3つに分類している（図-2）。

(2) 本開発が目指す方向性

本技術開発における最終的な目標は、革新的CNコンクリートの社会実装であるが、それを考えるための前提条件として3つの事項が挙げられる。1つ目は、この種のコンクリートでは、CO₂の削減、もしくは吸収・固定のために、特定の材料が必要になるということである。CO₂削減の効果を拡大するには、開発したコンクリートをできるだけ多くの構造物に適用する必要があるが、特定の材料を大量に調達することは容易ではない。例えば、コンクリート1m³あたり100kg

表-1 グリーンイノベーション基金事業採択テーマ一覧

採択テーマ	実施先
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	鹿島建設(株), デンカ(株), (株)竹中工務店
CO ₂ 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	(株)安藤・間, (株)内山アドバンス, 灰孝小野田レミコン(株), 大阪兵庫生コンクリート工業組合, 大成ロテック(株), (一財)電力中央研究所
コンクリートにおけるCO ₂ 固定量評価の標準化に関する研究開発	(大)東京大学
CO ₂ 回収型セメント製造プロセスの開発	太平洋セメント(株) 住友大阪セメント(株)

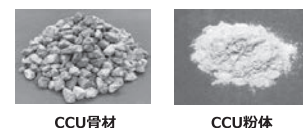
① セメントを産業副産物などで置換する技術

セメントの一部または全部を産業副産物である高炉スラグ微粉末、フライアッシュおよび再生セメントなどに置き換えることで、計算上のCO₂排出量を低減したコンクリート



② 骨材や粉体にCO₂を固定化した材料(CCU材料)技術

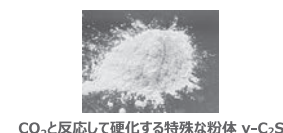
廃コンクリート等の廃棄物由来のCaにCO₂を反応・吸収させて、炭酸カルシウム(CaCO₃)の微粉末や骨材を製造し、それらを材料として練り混ぜることでCO₂を固定化したコンクリート



CCU : Carbon Capture and Utilization

③ コンクリートにCO₂を吸収させる技術

CO₂と反応する材料を配合して炭酸化養生を行うことで、実際にコンクリート中にCO₂を吸収し、炭酸カルシウム(CaCO₃)として固定化することができるコンクリート



CO₂と反応して硬化する特殊な粉体 γ-C₂S

図-2 環境配慮型コンクリートの全体像⁸⁾

使用する材料の場合、年間生産量が約7,600万³とされるレディーミクストコンクリート⁹⁾(生コン)の10%を開発したコンクリートにするためには、76万tの材料が必要である。2つ目の理由として、特定の使用材料を製造するための原材料の入手にも地域性があることが挙げられる。高炉スラグは製鉄所、フライアッシュは石炭火力発電所でしか得られず、炭酸カルシウムの原材料となる廃コンクリートも発生量は地域によってかなり偏りがある。3つ目の理由は、これら特定の使用材料や原材料、あるいは製造された生コンやプレキャストコンクリート製品(PCa製品)を遠くまでデリバリーすると、CO₂削減の観点から逆効果になることである。運搬のためにはエネルギーが必要であり、必ずCO₂が排出される。特に、コンクリートの材料や製品は質量が大きく、嵩もあるため、遠方まで運搬するとコンクリート製造で削減したCO₂が帳消しになる。

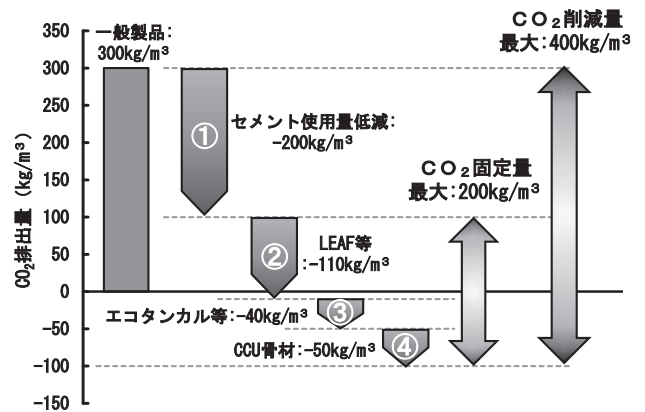
したがって、コンクリートでCO₂削減に貢献しようとするならば、CO₂削減、吸収・固定を実現する多種多様な材料・配合技術を開発し、構造物の種類や建設しようとする場所に適合した技術を選べるようにすることが重要である。地産地消を基本として材料の移動に伴うエネルギー消費を抑えつつ、複数の技術を組み合わせて場所ごとにCO₂削減量の最大化を図る工夫も重要になってくる。また、その場合、構造物単位や工事単位、地域単位では、カーボンニュートラルどころかカーボンニュートラルにも届かない場合も生じるものと思われるが、それらに対しては、技術開発と普及・展開が日本国として全体最適となるように、大局的な視点で考える必要があるものと考えられる。

(3) 本開発の検討概要

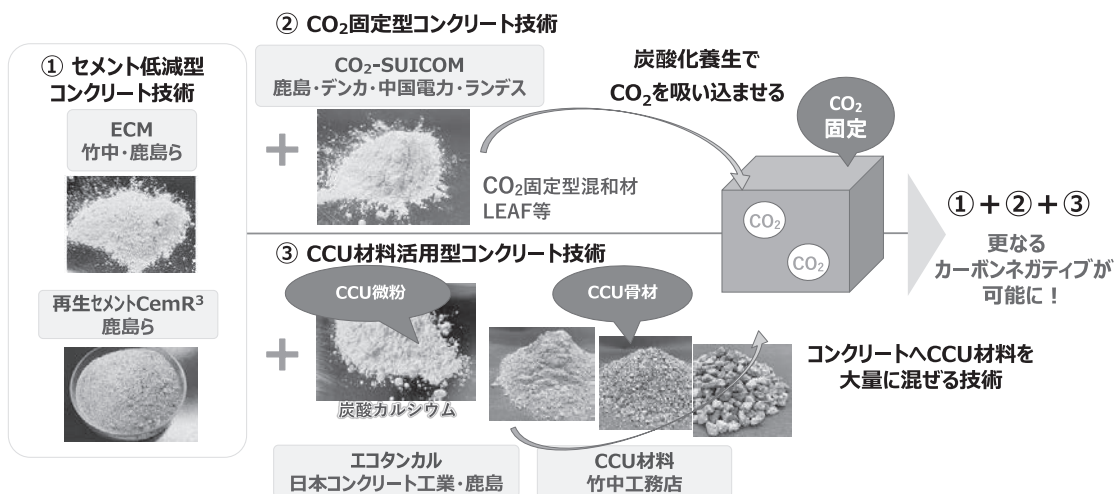
こうした前提条件を踏まえた上で、本開発では、図一3に示すように、前述の3つに分類される環境配慮型コンクリート技術をそれぞれに高度化させながら組み合わせて、カーボンニュートラルではなく、CO₂排出量ゼロ以下、すなわちカーボンネガティブなコンクリートを全国的に社会実装することを目指している¹⁰⁾。そのために、材料技術、製造・施工技術、およびCO₂固定量評価の3つの技術開発を進めることとしている。

材料開発については、CO₂と反応して硬化する混和材を大量に製造する技術や、CO₂を固定した粉体や骨材の製造技術、コンクリートへのCO₂固定を促進する技術¹¹⁾などの開発を進める。また、低CO₂排出セメント²⁾やCO₂硬化型セメント¹²⁾と上述した材料の組合せにより、コンクリートのカーボンネガティブ化をさらに推し進めるための検討を行うとともに、様々な新しい材料に対応したコンクリート用混和剤の開発なども行う。

この開発における、コンクリートのCO₂削減・固定量の目標イメージを図一4に示す¹³⁾。図中の①が



図一4 本開発で目指すCO₂削減・固定量¹³⁾



図一3 本開発事業が目指す方向性

セメントの使用量を低減することによって得られるCO₂削減効果のイメージ、②、③、④が様々な形でコンクリートにCO₂を固定することによって得られる効果のイメージである。一般的なコンクリート製品が1m³あたり300kg程度のCO₂を排出するのに対し、本開発を推進することでCO₂削減量最大400kg/m³を目指す。先述した日本で用いられている年間約7,600万m³のコンクリート⁹⁾すべてに同技術が適用されれば、年間約3,000万トンのCO₂削減につながる可能性がある。

製造技術開発については、材料起因だけでなくコンクリートの製造過程においてもCO₂が排出されることに着目し、コンクリート製造設備（バッチャープラント）や、濁水処理設備の計画・設計・製作・運転管理方法に関する技術開発を行い、コンクリート製造過程でのCO₂排出削減方策やエネルギー消費低減策¹⁴⁾について検討する。

また、土木・建築分野に様々な形で用いられているプレキャストコンクリート製品・建材は工場製品であるため、炭酸化養生によるCO₂固定技術との相性は良い。一口にプレキャストコンクリート製品といっても、種類に応じて要求される性能は千差万別であることから、多数の製品メーカーとの連携のもと、プレキャストコンクリート製品・建材でのカーボンネガティブコンクリートの材料・製造技術を開発する。

さらに、図-3に示した3つの技術を融合しながら、コンクリート製造量の中で最も大きな割合を占める現場打設したコンクリートや、地盤改良体におけるCO₂削減・固定技術の開発を進める。筆者らはすでにコンクリートの現場炭酸化養生に関する検討を始めており¹⁵⁾、様々な構造物への適用性について検討を進める予定である。

コンクリートにおけるCO₂固定量評価技術開発、ならびにコンクリート自体の品質評価については、近

年、カーボンクレジットによるCO₂削減量の取引の動きが加速しており、カーボンネガティブコンクリートもその手段として取り込まれることが技術の普及に寄与すると考えられ、そのためにも公正な評価が必要である。そこで、コンクリートに固定されたCO₂量を定量的に評価する分析技術¹⁶⁾や、これまでコンクリート分野に用いられなかったものも含めた各種分析機器による正確かつ合理的なCO₂固定量の評価手法の開発、CO₂固定量を正しく評価できる分析手法に関する検討¹⁷⁾、さらに、製造されたコンクリート製品に固定されたCO₂量を管理・モニタリングする技術の開発を進める。また、革新的CNコンクリートの物質移行特性や表層品質等の耐久性、鉄筋腐食特性等を様々な角度から評価するための技術開発を行う。

4. コンソーシアムの構成

本開発を推進するために、鹿島建設、デンカ、竹中工務店が幹事企業となり、44企業、11研究機関の全55団体からなるコンソーシアム「CUCO（クーコ）」を組成した¹⁸⁾（図-5）。CUCOは、Carbon Utilized Concreteの頭文字から生まれた造語で、炭素を活用



図-6 コンソーシアムのロゴ

分野	参加企業
ゼネコン(8社)	鹿島建設、竹中工務店、鹿島道路、竹中土木、鉄建建設、東急建設、ピーエス三菱、不動テトラ
セメント・混和材メーカー(6社)	デンカ、太平洋セメント、トクヤマ、日鉄高炉セメント、日鉄セメント、大和紡績
混和剤メーカー(4社)	花王、竹本油脂、フローリック、ポゾリスソリューションズ
プラント関連メーカー(3社)	北川鉄工所、セイア、日工
生コンメーカー(3社)	磯上商事、三和石産、長岡生コンクリート
プレキャスト・CCU材料関連メーカー(17社)	川岸工業、コトブキ技研工業、ジオスター、住友金属鉱山シボレックス、スパンクリートコーポレーション、タイガーマシン製作所、ダイワ、高橋カーテンウォール、タカムラ建設、鶴見コンクリート、日本コンクリート、日本コンクリート工業、日本メサライト工業、ノザワ、ホクエツ、ランダス、中国高圧コンクリート工業
商社・計測(2社)	三菱商事、島津製作所
大学・研究機関等(10大学、1機関)	金沢工業大学、九州大学、芝浦工業大学、島根大学、東京大学、東北大学、東京理科大学、東洋大学、早稲田大学、東海大学、産業技術総合研究所

※コンソーシアムには上記のほか1社の民間企業が参加

図-5 コンソーシアム構成会社（44企業、11研究機関の計55社、下線が幹事企業）

するコンクリートを意味する。CUCO のロゴ(図—6)のシンボルを形作る●は55個あり、コンソーシアムの構成企業・研究機関の数を示している。材料メーカ、コンクリートプラント、生コンクリート製造会社、プレキャストコンクリート製品メーカ、ゼネコンと、コンクリート産業の上流から下流のすべての分野の会社が連携し、これまで各社が研究開発、社会実装してきた様々な技術を融合させて事業を推進している。

5. 開発成果による施工実績

本開発は、10年間という長期に亘って実施される事業である一方、その開発成果は可能な限り早期に社会実装することが望まれている。そのため、今後開発が予定されている、様々な材料やその組合せ、構造物への適用形態(製品や施工方法)は、経済産業省および国土交通省と連携して、事業の途中段階であっても、形になったものから順次、実工事に適用していく計画である。ここでは、その第一弾として国土交通省発注の建設工事に適用した「CUCO-SUICOM 型枠」について紹介する。

(1) CUCO-SUICOM 型枠の材料構成

CUCO-SUICOM 型枠は、CO₂ 吸収コンクリート技術である「CO₂-SUICOM」と、CCU 材料技術である「エコタンカル」を複合させて製造した埋設型枠である。CO₂-SUICOM は、高炉スラグ微粉末等の材料をセメント代替として用いることでセメントの使用量を低減しつつ、CO₂ と反応して硬化する性質を持つγ型の 2CaO・SiO₂ (γ-C₂S) を主成分とする特殊な混和材を配合してコンクリートを練り混ぜ、成型後に高濃度の CO₂ ガスを与える養生(炭酸化養生)を行うことによってコンクリート中に CO₂ を固定化する技術である³⁾。炭酸化養生によって、コンクリートに 1 m³ あたり 100 kg 以上という大量の CO₂ を炭酸カルシウム CaCO₃ として固定することができ、CO₂-SUICOM はコンクリート製造時の CO₂ 排出量をゼロ以下、すなわちカーボンネガティブコンクリートを実現している。

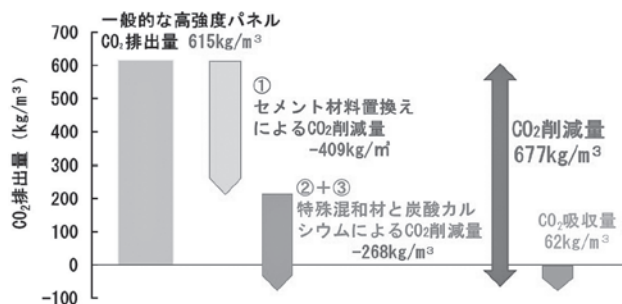
一方、エコタンカルは、戻りコンクリートや廃コンクリート等に含まれるカルシウムを抽出し、CO₂ と反応させて軽質炭酸カルシウムの粉末を生成する技術である。残コンクリート(コンクリートスラッジ)からフレッシュ段階でカルシウムを抽出、それに CO₂ を反応させて CaCO₃ の形で固定化したものである。常温・常圧、さらに薬品無添加での製造工程を実現して

おり、炭酸カルシウム製造過程での CO₂ 排出量が少ないことが特徴である。1 t のエコタンカルに 440 kg の CO₂ が固定されるが、その晶析に係るエネルギー起因の CO₂ 排出量は 50 kg であり、カーボンネガティブな炭酸カルシウムが実現できている¹⁹⁾。また、炭酸カルシウムの粉末をコンクリートに用いることは、約 30 年前の高流動コンクリートの研究開発²⁰⁾ に端を発し、現在では一般的に行われている。

CUCO-SUICOM 型枠は、本開発において、上記 2 つの要素技術を埋設型枠用の構成材料として組み合わせて最適化したものであり、図—3 に示した 3 つの環境配慮型コンクリート技術をすべて取り込んだカーボンネガティブコンクリートの第 1 号の製品である。

(2) CUCO-SUICOM 型枠の CO₂ 削減量

一般的な埋設型枠用の高強度パネルの CO₂ 排出量と CUCO-SUICOM 型枠の CO₂ 収支を比較して図—7 に示す。CUCO-SUICOM 型枠では、①セメント材料置換えによる CO₂ 削減量が 409 kg/m³、さらに特殊混和材(γ-C₂S)と CCU 粉体(エコタンカル)を使用することで 268 kg/m³(無機炭素分析による実測値)の CO₂ を吸収・固定化して、合計 677 kg/m³ の CO₂ 排出量を削減した。一般的な埋設型枠用の高強度パネルの CO₂ 排出量は 615 kg/m³ であるので、CUCO-SUICOM 型枠は 62 kg-CO₂/m³ のカーボンネガティブを実現したことになる。今後、研究開発が進み、CCU 粉体の添加量の増量や CCU 骨材を使用、CO₂ 吸収量の増大などが実現できれば、更なるカーボンネガティブ化も可能である。



図—7 CUCO-SUICOM 型枠の CO₂ 削減量

(3) CUCO-SUICOM 型枠の施工

CUCO-SUICOM 型枠は、放水路トンネル工事における壁部の一部に適用した。施工状況を図—8 に示す。当埋設型枠の大きさは 1,180 mm × 580 mm × 40 mm (約 50 kg) とし、組立て時にある程度ハンドリングが良い大きさと重量にしている。現場での型枠の設置時間を短縮するために、組立ヤードにて埋設型



図一8 CUCO-SUICOM 型枠の施工状況



図一9 CUCO-SUICOM 型枠の施工後の状況

枠5～7枚を鋼材でつなぎ合わせて大判化し(幅1.18 m ×高さ約4 m), それを現場に運搬してあらかじめ設置した支保工部材に固定した。その後, 埋設型枠の背面にコンクリートを打ち込み, 完成させた²¹⁾ (図一9)。

6. おわりに

コンクリートが大規模なCO₂削減に貢献する社会の実現に向けて, コンクリートに関わる産業全体がCO₂削減・固定技術の最適な組合せを地域ごとに模索していく必要がある。地域の事情(環境, 産業, 資源)に応じた柔軟なサプライチェーンを構築しながら, 真に世の中からCO₂を減らすことにつながる革新的CNコンクリート技術を提供することが, コンクリートの未来において重要であり, 本開発の使命であると考えている。

今までCO₂を膨大に排出してきたコンクリートが, CO₂を利用してコンクリートを作る, いわゆる活性炭素の材料となるために, 多数の共同実施先とともにオールジャパンで技術開発と社会実装を進めていく所存である。コンソーシアム内外を問わず, 多くの関係各位に後押しを頂ければ幸いである。

(参考文献)

- 1) 坂田昇, 田淵浩記: 環境配慮型コンクリートにおける炭酸カルシウムの位置付け, セメント・コンクリート, Vol.904, pp.11-16, 2022.
- 2) 小島正朗, 辻大二郎, 依田和久, 橋本学: エネルギー・CO₂ ミニマムセメント・コンクリートの開発と適用, コンクリート工学, Vol.59, No.9, pp.776-781, 2021.9.
- 3) 取違剛, 横関康祐, 吉岡一郎, 盛岡実: CO₂ 排出量ゼロ以下の環境配慮型コンクリート CO₂-SUICOM, セメント・コンクリート, Vol.786, pp.26-31, 2012.
- 4) 経済産業省 カarbonリサイクル技術ロードマップ (参照 2023.3.20) <https://www.meti.go.jp/press/2021/07/20210726007/20210726007.pdf>
- 5) 経済産業省 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略 (参照 2023.3.20) https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/index.html
- 6) 経済産業省 グリーンイノベーション基金 CO₂を用いたコンクリート等製造技術開発 (参照 2023.3.20) https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/gifund/pdf/gif_09_summary2.pdf
- 7) 久田真, 宮里心一: カーボンネガティブコンクリートの社会実装に向けて, 土木施工, Vol.62, No.11, pp.22-25, 2021.
- 8) 久田真, 宮里心一, 坂田昇: 環境配慮型コンクリートの全体像と今後の展望, コンクリート工学, Vol.60, No.10, pp.881-887, 2022.
- 9) 全国生コンクリート工業組合連合会 生コンクリート製造業の概要 (参照 2023.3.20) <http://www.zennama.or.jp/3-toukei/gaiyou/index.html>
- 10) 坂田昇, 田淵浩記, 村上陸太: 環境配慮型コンクリートにおける炭酸カルシウムの役割, コンクリートテクノ, Vol.41, No.8, pp.72-77, 2022.
- 11) 藤田隆仁, 西岡由紀子, 小島正朗: セメント種とポリプロピレン繊維が炭酸化養生を行ったモルタルのCO₂固定量および強度に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.44, No.1, pp.1180-1185, 2022.
- 12) 橋本真幸, 小林和揮, 細川佳史, 馬場智矢: 炭酸化養生を行ったCO₂硬化セメントの硬化特性, 第76回セメント技術大会講演要旨, pp.234-235, 2022.
- 13) 取違剛, 五十嵐数馬, 小島正朗, 八木利之: 大幅なカーボンネガティブを実現する環境配慮型コンクリートとその未来, コンクリートテクノ, Vol.41, No.1, pp.80-85, 2021.
- 14) 勝部英一, 砂田栄治, 塚田雄一, 新大軌: 中国地域発スラッジ水高度利用の実用化に向けた取組み, コンクリート工学, Vol.58, No.10, pp.828-829, 2020.
- 15) 小林聖: 取違剛, 渡邊賢三, 横関康祐: コンクリートの現場炭酸化養生技術に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.42, No.1, pp.1348-1353, 2020.
- 16) 安田僚介, 島崎大樹, 七澤章, 森泰一郎: 炭酸化を受けたセメント系材料中のCO₂含有率評価に向けた分析方法の検討, セメント・コンクリート論文集, Vol.75, pp.442-447, 2021.
- 17) 取違剛, 横関康祐, 吉岡一郎, 盛岡実: 炭酸化したセメント系材料におけるCO₂固定量の評価手法及び部整変化に関する研究, 土木学会論文集E2, Vol.77, No.2, pp.37-52, 2021.
- 18) コンソーシアム「CUCO(クーコ)」プレスリリース (参照 2023.3.20) <https://www.cuco-2030.jp/pressrelease/20221116.html>
- 19) Atsushi Iizuka, Takeshi Sasaki, Masato Honma, Hiroyuki Yoshida, Yasuyuki Hayakawa, Yukio Yanagisawa, and Akihiro Yamasaki, Pilot-Scale Operation of a Concrete Sludge Recycling Plant and

Simultaneous Production of Calcium Carbonate, Chemical Engineering Communications, 204 (1), 79-85, 2017.

- 20) 坂田昇, 万木正弘, 山本博之, 古澤靖彦: 高流動コンクリートの充填性に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.12, No.1, pp.301-306, 1990.
- 21) 鹿島建設(株)プレスリリース (参照 2023.3.20)
<https://www.kajima.co.jp/news/press/202211/16c1-j.htm>

[筆者紹介]



坂井 吾郎 (さかい ごろう)
鹿島建設(株)
技術研究所 GI 基金プロジェクトチーム
サブリーダー (主席研究員)



取違 剛 (とりちがい たけし)
鹿島建設(株)
技術研究所 GI 基金プロジェクトチーム
土木研究ユニットリーダー (上席研究員)



山野 泰明 (やまの ひろあき)
鹿島建設(株)
技術研究所 GI 基金プロジェクトチーム
副主任研究員

