

# カーボンニュートラル社会の実現に寄与する環境配慮型コンクリート技術

Environmentally Friendly Concrete Technology that Contributes to the Realization of a Carbon-neutral Society

坂井 吾郎 閑田 徹志 百瀬 晴基 取違 剛 関 健吾 坂井絵梨子 平田真佑子 杉本 裕紀  
Goro Sakai, Tetsushi Kanda, Haruki Momose, Takeshi Torichigai, Kengo Seki, Eriko Sakai, Mayuko Hirata and Hiroki Sugimoto

## I. はじめに

グリーン、ブルーに続く第3のGX領域としてホワイトカーボン<sup>1)</sup>、すなわちコンクリートによる二酸化炭素CO<sub>2</sub>の吸収・固定が注目されている。元々コンクリートは、主要材料であるセメントが製造工程での脱炭酸<sup>※</sup>や燃料に由来するCO<sub>2</sub>排出量の多い材料であることに起因して、低炭素社会の実現に対しては負の存在であった。しかし、2020年10月の菅首相(当時)による「2050年カーボンニュートラル」の宣言を経て、同年12月に経済産業省より「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略<sup>2)</sup>」が示され、CO<sub>2</sub>を資源として分離・回収し、再利用する「カーボンリサイクル技術<sup>3)</sup>」が提唱されると状況が大きく変わった。廃棄物等に含まれるカルシウムCaやマグネシウムMgに回収したCO<sub>2</sub>を化合させて炭酸カルシウムCaCO<sub>3</sub>や炭酸マグネシウムMgCO<sub>3</sub>等の炭酸塩を生成する「鉱物化」がカーボンリサイクル技術の1つに数えられ、これを活かすことができる産業としてセメント・コンクリート分野に対して大きな期待が寄せられている(Fig.1)。

当社は、こうした社会的ニーズが明らかとなる以前から、コンクリートの低炭素化と脱炭素社会への貢献に資する「環境配慮型コンクリート」技術の研究開発を行ってきており、既に社会実装したものも多くある。本報では、環境配慮型コンクリート技術全般について概説するとともに、個々の技術の特徴や実績、今後の展開等について述べる。

## II. 環境配慮型コンクリートの種類と最新の動向

### 1. 環境配慮型コンクリートの種類

脱炭素社会に貢献する環境配慮型コンクリートについて、現時点で学会等による明確な定義は行われていないが、久田ら<sup>4)</sup>はコンクリートの使用材料及び製造方法の観点から技術を3つに分類して説明している(Fig.2)。

分類①のセメントを置換する材料技術は、製造時におけるCO<sub>2</sub>排出量の多いポルトランドセメントの使用量を減らすことで、コンクリートのCO<sub>2</sub>排出量を低減しようとする技術である。セメントの代わりにコンクリートの強度発現に寄与する粉体材料として高炉スラグ微粉末やフライアッシュ等が用いられる。これらは産業副産物であり、生産に伴って排出されるCO<sub>2</sub>は主産物である鉄鋼や電力にカウントされるため、CO<sub>2</sub>排出量の極めて少ない材料として扱われる。置き換えられた分、セメントの生産量が減少することが前提である。

分類②の骨材や粉体にCO<sub>2</sub>を固定化する技術は、廃棄物由来のCaとCO<sub>2</sub>を反応させてCaCO<sub>3</sub>の粒状体や粉体を製造し、それらをコンクリートの骨材(砂や砂利)や混和材としてコンクリートに練り混ぜる技術である。これらの材料はCCU(Carbon dioxide Capture and Utilization)材料と呼ばれ、セメントを置換する材料技術と異なり、回収したCO<sub>2</sub>を実際にコンクリートに閉じ込めることができる。

分類③のコンクリートにCO<sub>2</sub>を吸収させる技術は、CO<sub>2</sub>を

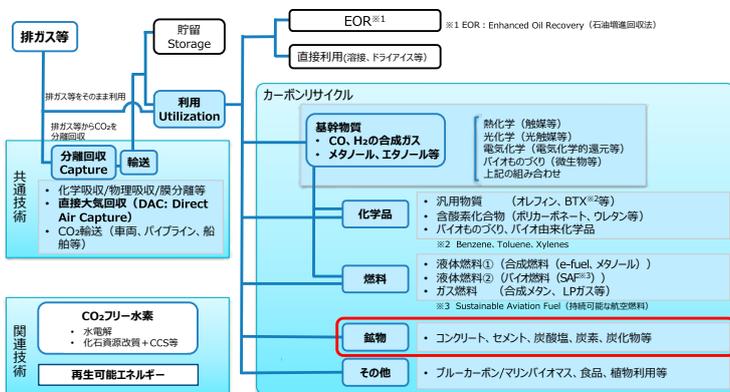


Fig.1 カーボンリサイクル技術<sup>3)</sup>を改変  
(Carbon Recycling Technology)

※脱炭酸: CaCO<sub>3</sub>→CaO+CO<sub>2</sub>

- ① セメントを置換する材料技術  
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やフライアッシュに置き換えることで、CO<sub>2</sub>排出量を低減したコンクリート
- ② 骨材や粉体にCO<sub>2</sub>を固定化する技術  
廃コンクリート等の廃棄物由来のCaにCO<sub>2</sub>を反応・吸収させて、炭酸カルシウム(CaCO<sub>3</sub>)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CO<sub>2</sub>を固定化したコンクリート
- ③ コンクリートにCO<sub>2</sub>を吸収させる技術  
CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>を吸収し、炭酸カルシウム(CaCO<sub>3</sub>)として固定化するコンクリート

Fig.2 環境配慮型コンクリート技術の分類<sup>4)</sup>を改変  
(Classification of Environmentally Friendly Concrete Technologies)

吸収することで硬化する特殊な材料を混和してコンクリートを練り混ぜ、脱型した後に人為的に高濃度 CO<sub>2</sub> 環境下に曝すことで CO<sub>2</sub> を吸収・固定化させる技術である。コンクリート中に CO<sub>2</sub> が CaCO<sub>3</sub> の形で固定化される点で、骨材や粉体に CO<sub>2</sub> を固定化する技術と同様である。

## 2. 環境配慮型コンクリートに関する最新の動向

環境配慮型コンクリートの社会実装に向けた動きが、各所で活発に行われている。2023年10月には、(公社)土木学会よりコンクリートライブラリー165「コンクリート技術を活用したカーボンニュートラルの実現に向けて」が発刊され、カーボンニュートラルに資するコンクリート材料技術に関する最新情報が取りまとめられるとともに、中長期的な将来展望として構造形式や設計まで踏み込んだ検討の重要性が示唆された。

また、2023年5月には、国土交通省関東地方整備局より「港湾工事等における低炭素材料の活用マニュアル (Ver.1.0)」<sup>5)</sup> が、2023年11月には、中日本高速道路株式会社より「環境配慮型コンクリート設計・施工管理要領 (低炭素型コンクリート編)」<sup>6)</sup> が策定されるなど、発注者による環境配慮型コンクリート活用のための環境整備も急速に進みつつある。なお、低炭素型コンクリートとは、前述のセメントを置換する材料技術を指している。

建築分野では、2010年半ば頃から民間プロジェクトに CO<sub>2</sub> 排出削減と高品質を両立する低炭素型コンクリートが適用され始め、今日まで着実に適用実績が増えてきている<sup>7)</sup>。さらに、(一社)日本建築学会から発刊されている建築工事標準仕様書・同解説 鉄筋コンクリート工事標準仕様書 (JASS 5) の大改訂において構造体の要求性能として環境性が追加され、低炭素等級と資源循環等級を導入して環境配慮型コンクリートの利用拡大を強く後押しすることとなった。

さらに、2024年4月には、3類型(4種類)の環境配慮型コンクリートの CO<sub>2</sub> 固定量が日本政府によって新規に算定され、総量約17tが世界で初めて国連に報告された<sup>8)</sup>。コンクリートが CO<sub>2</sub> の固定源になり得ることを数値をもって世界に示したものであり、国際的な市場の形成や CO<sub>2</sub> 排出量のクレジット化等、今後の展開が期待される。

## Ⅲ. 鹿島の環境配慮型コンクリート

当社は、環境配慮型コンクリートについて先駆的に研究開発に取り組んできており、前述した3種類の技術全てを保有している。ここでは、個々の技術の概要を示す。

### 1. 高炉スラグ系コンクリート (BLS・KKC・ECM)

高炉スラグ系コンクリートは、分類①のセメントを置換する材料技術である。高炉スラグ微粉末は、フライアッシュなど、他の産業副産物と比較して、普通ポルトランドセメントに対する置換率の範囲が広く、置換率を高く設定することで

CO<sub>2</sub>削減効果を高めることができる。このことから、Table 1 に示す高炉スラグ微粉末の置換率が異なる3種類の高炉スラグ系コンクリートを開発している。置換率はそれぞれ「JIS R 5211 高炉セメント」の高炉セメントA種、同B種、同C種に相当する。これらは置換率でみれば従来の高炉セメントと同じであるが、温度や収縮によるひび割れ抵抗性、フレッシュコンクリートの流動性、スランプの経時保持性、材料分離抵抗性、さらに強度発現性など用途別のニーズに合わせて品質の向上を図っている。

高炉スラグ微粉末を高含有した ECM は、CO<sub>2</sub>削減効果が高く、環境負荷低減に大きく寄与することから、特に普及拡大を進めている。高炉スラグ微粉末を65%程度(高炉セメントC種相当)含む結合材を用いたものであり、セメント使用量を30%程度に抑えることで、CO<sub>2</sub>排出量を普通コンクリートよりも65%程度低減することができる。コンクリート品質については、第三者評価機関である(一財)日本建築総合試験所の建設材料技術性能証明(GBRC第13-11号改2)を取得しており、通常のコンクリートと同様に使用することが可能である。また、断熱温度上昇量が低く、温度ひび割れ抵抗性に優れたコンクリートとなる<sup>9)</sup>(Fig.3)。このような利点がある一方で、中性化抵抗性や環境温度が高い場合の収縮ひび割れ抵抗性が普通コンクリートに劣る懸念があり、これまでは地下躯体への適用に限られていた。そこで、地上躯体への適用に向けて拘束ひび割れ試験を実施し収縮ひび割れ抵

Table 1 エコクリート BLS・KKC・ECM の概要  
(Overview of BLS・KKC・ECM Concrete)

高炉セメント	セメント含有量	CO <sub>2</sub> 削減量	備考
エコクリート BLS A種	普通セメント 70~95% 高炉スラグ 5~30%	20%	収縮ひび割れ抵抗性に優れ、主に地上躯体に適用
エコクリート KKC B種	普通セメント 40~70% 高炉スラグ 30~60%	40%	ポンプ圧送性に優れ、鋼管充填コンクリートに適用
エコクリート ECM C種	普通セメント 30~40% 高炉スラグ 60~70%	65%	温度ひび割れ抵抗性に優れ主にマスコン部材に適用

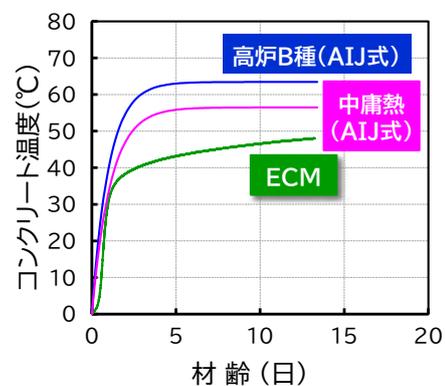


Fig.3 断熱温度上昇量  
(Adiabatic Temperature Rise)

抗性を検討した。Fig.4 に示すように、ECM は、普通コンクリートや一般的に使用されている高炉セメント B 種と比較して、同等以上の収縮ひび割れ抵抗性を有しており、更に初期湿潤養生を行うことにより更なる向上を期待できることが確認されている<sup>10)</sup>。

3 種類の高炉スラグ系コンクリートの当社の適用実績の一覧を Table 2 に示す。特に ECM の適用件数は 20 件、84,000m<sup>3</sup> を超える実績がある。従来は基礎梁や耐圧盤など地下躯体への適用に限定していたが、更なる適用拡大として、十分な事前検討を行った上で、地上躯体 (Photo 1) 及びプレキャスト部材への適用を進めている。今後は CO<sub>2</sub> 削減率の大きい ECM の地上躯体適用を推進することで、建物全体の CO<sub>2</sub> 削減に大きく貢献していくことが期待される。

2. エコクリート R<sup>3</sup>

エコクリート R<sup>3</sup> は、分類①のセメントを置換する材料技術であり、コンクリートに使用されるセメントの一部を再生セメント「CemR<sup>3</sup>」に置き換えた環境配慮型コンクリートである。この CemR<sup>3</sup> は、受入れ検査に合格しなかった等、様々な理由によって建設現場で使用されずに工場に戻ってきたコンクリート (以下、戻りコンと称する) を原料とした再生セメントであり、戻りコンの再利用及びセメント使用量の削減が可能である。

CemR<sup>3</sup> の原料である戻りコンは、レディーミクストコンクリート (以下、生コンと称する) の発注量の 1~3%、およそ年間 400 万トン発生しており、廃棄物量削減と再利用が課題となっている。特に、戻りコンを水で洗浄して骨材の回収を行った後に発生するセメント分を大量に含んだ水は、脱水して固形物 (以下、スラッジケーキと称する) として処理されるが、このスラッジケーキは再利用が難しく、これまでは廃棄物として処分せざるを得ない状況にあった。CemR<sup>3</sup> は、戻りコンから得られたスラッジケーキを乾燥・破碎し適切な品質管理を行うことで、コンクリートに再利用することができる (Fig.5)。さらに CemR<sup>3</sup> の CO<sub>2</sub> 排出原単位は 95.8kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup><sup>11)</sup> であり、セメントの 800kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup><sup>12)</sup> と比較しておよそ 10 分の 1 程度の CO<sub>2</sub> 排出量である。これらのことから、CemR<sup>3</sup> 及びエコクリート R<sup>3</sup> は、廃棄物量削減によるサーキュラーエコノミーの実現と、CO<sub>2</sub> 排出量削減の 2 つの観点から優れたコンクリートであると言える。

エコクリート R<sup>3</sup> は、Fig.6 に示すように普通ポルトランドセメントと CemR<sup>3</sup> を使用する低含有タイプと、普通ポルトランドセメントと CemR<sup>3</sup> に加え、高炉スラグ微粉末やフライアッシュなどのコンクリート用混和材も使用した高含有タイプに分けられる。また、低含有タイプと高含有タイプの CO<sub>2</sub> 削減量は、それぞれ約 20% と約 80% である (Fig.7)。エコクリート R<sup>3</sup> は、低含有タイプと高含有タイプを合わせて 1 万 m<sup>3</sup> 以上の適用実績があり、エコクリート R<sup>3</sup> 低含有タイプは神奈川県を中心に主に生コンとしての使用実績が多く、共同住宅や公共施設など多様な建築物において様々な

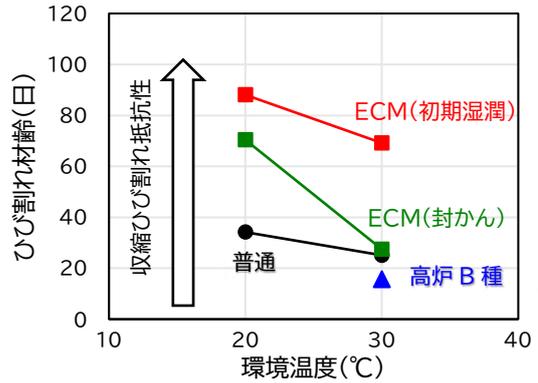


Fig.4 拘束ひび割れ試験結果 (Result of Restrained Cracking Test)

Table 2 適用実績の一覧 (List of Actual Building Applications)

種類	主な適用部位	適用件数	適用数量(m <sup>3</sup> )
BLS	地上躯体	4	4,982
KKC	CFT	8	2,549
ECM	基礎梁, 耐圧盤 デッキスラブ等	20	84,477



Photo 1 デッキスラブ床の打設 (Casting of Deck Slab Floor)



Fig.5 CemR<sup>3</sup> の製造工程 (Production Process of CemR<sup>3</sup>)

部位に使用されている。一方で、Photo 2 に示すように、高含有タイプは外構の目隠し壁やバルコニーにプレキャストコンクリート（以下、PCa と称する）部材として使用実績があるが、建築構造部材としては一般的な強度が求められる建物の床などへの適用に限られている。そのため、高含有タイプにおいても、柱・梁など高い強度が求められる箇所への適用や生コン用途に使用できるように研究開発を継続している。

### 3. 環境負荷低減型の高流動コンクリート

本技術は、分類②の骨材や粉体に CO<sub>2</sub> を固定化する技術であり、現時点で市販化されている数少ない CCU 材料の 1 つである軽質炭酸カルシウムを用いるものである。この軽質炭酸カルシウム（製品名：エコタンカル）は、PCa 工場で使用するボイラーの排ガスから回収した CO<sub>2</sub> と、コンクリート製品を遠心成型により製造する際に発生した残渣（スラッジ）から製造される微粉末である<sup>13)</sup> (Photo 3)。炭酸カルシウムとしての純度は 95% 以上であり、製造時の CO<sub>2</sub> 排出量が少ないことから、実質的な CO<sub>2</sub> 固定量は約 390kg-CO<sub>2</sub>/t という CCU 材料として優れた性能を有している。

一方、高流動コンクリートは、1980 年代後半に開発された、打込みの際に振動締固めを必要としない自己充填性を有するコンクリートである。高流動コンクリートでは、型枠に流し込むだけでコンクリートを打ち込めるように流動性を高める必要があるが、それだけでは材料の分離が生じるので、材料分離に対する抵抗性を付与するために微粉末を増量する材料設計が行われてきた。その微粉末として、天然の石灰石を粉砕して製造した石灰石微粉末を使用する技術が開発されていた<sup>14)</sup>が、Fig.8 に示すように、この天然由来の石灰石微粉末に替えて、軽質炭酸カルシウムを使用できるようにしたものが CCU 材料を用いた環境負荷低減型の高流動コンクリートである。この例では、200kg/m<sup>3</sup> を超える軽質炭酸カルシウムを用いることから、CO<sub>2</sub> 固定量は 80kg/m<sup>3</sup> に達する。また、前述の高炉スラグ微粉末や CemR<sup>3</sup> を併用すれば、実質的な CO<sub>2</sub> 排出量がゼロ以下となるカーボンネガティブコンクリートとすることも可能である。

高流動コンクリートは通常のコンクリートに比べて高価であるため、高密度配筋部などの特殊な部位にしか使用されていないのが実状である。しかし、国土交通省が建設作業の省人化や生産性向上を目的に推進する i-Construction の施策の 1 つとして高流動コンクリートの利用が挙げられている。これに CO<sub>2</sub> 削減、吸収・固定化という価値が加われば、一石二鳥でコスト面の課題を解決して普及展開に至る道筋が見えてくる可能性がある。現状では軽質炭酸カルシウムの製造量がごく限られたものであることから、環境負荷低減型の高流動コンクリートを直ちに建設現場に適用することは難しいが、今後の供給体制の確立等により、建設業の抱える諸課題の解決に有効な手段になることが期待される。

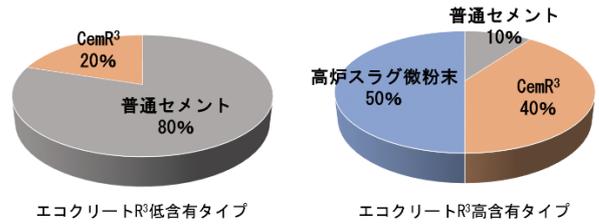


Fig.6 エコクリート R<sup>3</sup> の結合材割合  
(Binder Ratio of Eco-Crete R<sup>3</sup>)

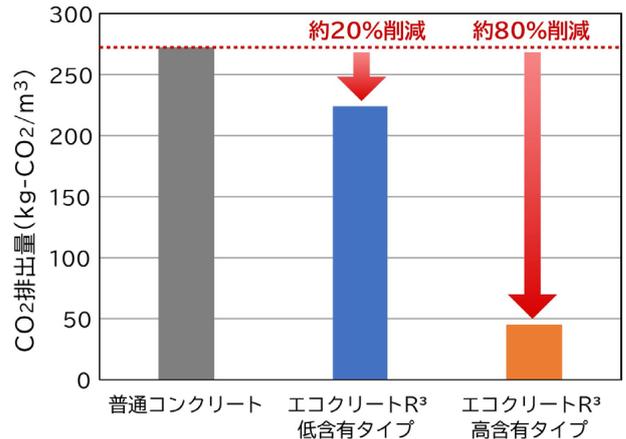


Fig.7 エコクリート R<sup>3</sup> の CO<sub>2</sub> 削減量  
(CO<sub>2</sub> Reduction of Eco-Crete R<sup>3</sup>)



Photo 2 エコクリート R<sup>3</sup> 高含有タイプ PCa部材の使用例  
(Application of High-Content Type Eco-Crete R<sup>3</sup>)



Photo 3 軽質炭酸カルシウム微粉末  
(Calcium Carbonate Fine Powder)



Fig.8 環境負荷低減型高流動コンクリートの配合設計の一例  
(An Example of Mix Design for Environmentally Friendly Self-compacting Concrete)

4. CO<sub>2</sub>-SUICOM

CO<sub>2</sub>-SUICOM は、分類③のコンクリートに CO<sub>2</sub> を吸収させる技術である。コンクリートの分野では、コンクリートに含まれるカルシウム Ca と大気中の 0.04% 程度の CO<sub>2</sub> が長期にわたって反応して CaCO<sub>3</sub> を析出する反応が古くから知られている。これは「炭酸化」と呼ばれる現象であるが、コンクリートを製造段階で強制的に CO<sub>2</sub> と反応させて炭酸化した場合には、コンクリートとしての組織が緻密化する。当社では、この現象を利用してコンクリートの耐久性を飛躍的に高めた「EIEN (エイエン)」を開発した<sup>15)</sup>。さらに、この技術を発展させてコンクリートに大量の CO<sub>2</sub> を吸収・固定させる研究を行い、2008 年にコンクリート製造時の CO<sub>2</sub> 削減量が CO<sub>2</sub> 排出量を上回るカーボンネガティブコンクリート CO<sub>2</sub>-SUICOM (Storage and Utilization for Infrastructure by COConcrete Materials)を開発した<sup>16)</sup>。

CO<sub>2</sub>-SUICOM では、高炉スラグ微粉末等の産業副産物を用いてセメントの使用量を低減しつつ(分類①の技術)、CO<sub>2</sub> と反応して硬化する性質を有する  $\gamma$ -2CaO · SiO<sub>2</sub> (以下、 $\gamma$ -C<sub>2</sub>S と称する)を主成分とする特殊混和材をセメントの一部に置換して用いている。CO<sub>2</sub>-SUICOM で用いる  $\gamma$ -C<sub>2</sub>S は、アセチレンを製造するプロセスで副生する消石灰 Ca(OH)<sub>2</sub> を原料としている。このため、原料起因の CO<sub>2</sub> 排出量はほぼゼロとみなすことができる。また、 $\gamma$ -C<sub>2</sub>S の製造時の CO<sub>2</sub> 排出量は 124.5kg-CO<sub>2</sub>/t と試算される一方で、1 トンの  $\gamma$ -C<sub>2</sub>S が理論上で約 500kg の CO<sub>2</sub> と反応することができることから、 $\gamma$ -C<sub>2</sub>S は製造時よりも多くの CO<sub>2</sub> を固定できる優れた材料である。

この  $\gamma$ -C<sub>2</sub>S を混和して練り混ぜたコンクリートに、人為的(強制的)に大量の CO<sub>2</sub> を固定させる「炭酸化養生」を施して CO<sub>2</sub>-SUICOM を製造する。この際、コンクリートにおける材料起因の CO<sub>2</sub> 排出量と、炭酸化反応によって固定された CO<sub>2</sub> 量を実測した結果が Fig.9 であり、CO<sub>2</sub>-SUICOM の CO<sub>2</sub>

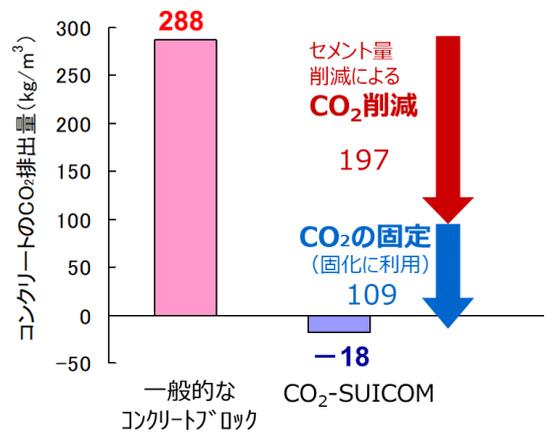


Fig.9 コンクリートとしての CO<sub>2</sub> 排出量の試算例  
(Example of Calculation of CO<sub>2</sub> Emissions from Concrete)



Photo 4 CO<sub>2</sub>-SUICOM の適用例  
(Application Examples of CO<sub>2</sub>-SUICOM)

排出量はマイナス 18kg/m<sup>3</sup> と試算される。こうしたカーボンネガティブコンクリートは、舗装ブロックや歩車道境界ブロック等の PCa 小型無筋ブロックとして製品化、市販化しており、既に 20 を超える案件の建設において適用されている (Photo 4)。

また、最近では、CO<sub>2</sub>-SUICOM の更なる普及展開を図るために、大型の PCa 製品の開発を進めている。コンクリートが CO<sub>2</sub> を吸収する範囲(炭酸化深さ)は、CO<sub>2</sub> に接触させ

る時間の増加とともに大きくなるが、CO<sub>2</sub>を吸収する速度は初期が速く、その後は徐々に遅くなる。そのため、断面の大きい大型 PCa 製品は炭酸化に時間を要し、製品の製造サイクルが低下してコストが増大する。カーボンネガティブには至らないが、CO<sub>2</sub>の吸収・固定を実現して低炭素化に貢献するカーボン低減型のグレードを設定し、CO<sub>2</sub>吸収の最も効率の良い時間で炭酸化を行うことで、CO<sub>2</sub>吸収量と生産コストのバランスの取れた大型 PCa 製品を実現することができる。

現在、大型 PCa 製品の検討モデルとした大型ブロック擁壁 (Photo 5) では、製品 1 個当たり通常の製品に比べて約 72kg の CO<sub>2</sub>削減を実現しており、価格も従来のカーボンネガティブ型に比較して 33%抑えられる試算結果を得ている。今後、実工事への適用を予定しており、CO<sub>2</sub>-SUICOM の普及が加速することが期待される。

#### IV. グリーンイノベーション基金事業での取り組み

##### 1. 取り組みの概要

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) に造成されたグリーンイノベーション基金事業 (以下、GI 基金事業と称する) において、当社はデンカ社、竹中工務店社の 3 社で幹事社を務め、44 企業・10 大学・1 研究機関で構成されるコンソーシアム「CUCO (Carbon Utilized COncrete, クーコ)」を組織し<sup>17)</sup>、「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」を受託した。

CUCO では、コンクリートにおける CO<sub>2</sub>削減・固定量最大化を目指して研究開発を進めている (Fig.10)。CUCO には、前述した 3 つの分類の技術を保有している多くの企業が集まっている。GI 基金事業では、それらの技術をそれぞれに高度化させながら、地産地消やコスト成立性を踏まえつつ有機的に組み合わせて、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ための技術開発の実施を目的としている。

##### 2. 大阪・関西万博 CUCO-SUICOM ドーム

GI 基金事業では、成果の早期の社会実装を実現すべく、研究・開発中の技術を試適用してブラッシュアップを図っている。既に、実規模の試験施工や実構造物への試適用を実現した例がいくつかあるが、2025 年に開催が予定されている大阪・関西万国博覧会の建築物においても適用を試みている。ここでは、その 1 つである CUCO-SUICOM ドーム (愛称: サステナドーム) の事例を報告する。

CUCO-SUICOM ドームは、コンクリートの吹付けにより躯体を構築する KT ドーム工法<sup>18)</sup>をもとに、CO<sub>2</sub>吸収コンクリートとドーム本体を用いて現場で炭酸化を行った建築物であり、大阪・関西万博の会場内に建設された。CUCO-SUICOM ドームの写真を Photo 6 に、諸元と躯体構成を



Photo 5 カーボン低減型 CO<sub>2</sub>-SUICOM を適用した大型ブロック擁壁

(Large Concrete Block Retaining Wall using Carbon-reducing Type CO<sub>2</sub>-SUICOM)

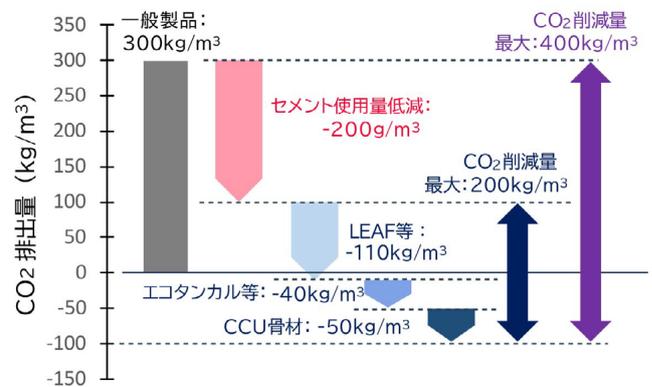


Fig.10 GI 基金事業で目指す CO<sub>2</sub>削減・固定量 (CO<sub>2</sub> Reduction and Fixation Target under the GI Fund Project)



Photo 6 CUCO-SUICOMドーム (CUCO-SUICOM Dome)

Table 3 CUCO-SUICOMドームの諸元 (Specifications of CUCO-SUICOM Dome)

サイズ	底面楕円	長径23m×短径18m
面積 容積		311m <sup>2</sup>
		約770m <sup>3</sup>
コンクリート 使用量	低炭素コン	61m <sup>3</sup>
	CO <sub>2</sub> 吸収コン	12m <sup>3</sup>

Table 3 及び Fig.11 に示す。本工法により建設されたドームは、空気圧により膨張させたポリ塩化ビニル (PVC) 膜にコンクリートをドーム内部側から吹付けて躯体を構築する鉄筋コンクリートシェル構造である。躯体主要部分には前述の ECM セメントを用いた低炭素型コンクリートを、躯体の一部(内側のかぶり厚さ部分)には CO<sub>2</sub>-SUICOM の技術をベースにした CO<sub>2</sub> 吸収コンクリートを使用した。いずれのコンクリートも吹付け用に材料選定及び調合設計したコンクリートであり、施工上のばらつきを考慮し強度に余裕を持たせた調合とした。実工事において、問題なく吹付け施工を終え、所要の強度を満足する結果となった。

本工事に向けて、ドーム内で炭酸化を実施するためのシステムを構築した。ドームの内部全体に CO<sub>2</sub> ガスを充填する場合、多量の CO<sub>2</sub> ガスが必要となるため、ドーム内部に一回り小さな相似形状の内膜を設置し、ドームと内膜との隙間に CO<sub>2</sub> ガスを充填して炭酸化を行うことで充填量を削減する炭酸化養生方法を開発し (Fig.12), 28 日間の現場炭酸化を実施した。

CO<sub>2</sub> 吸収コンクリートの CO<sub>2</sub> 排出量と CO<sub>2</sub> 吸収量を比較した結果、吸収量が排出量を上回ることがわかり、カーボンネガティブを達成することを確認した。また、Fig.13 に示すように、ドームに使用したコンクリート全体の CO<sub>2</sub> 排出量は、普通コンクリートで建設した場合と比較して約 70% の削減となった。現場での炭酸化養生を行う CO<sub>2</sub> 吸収コンクリートは、未だ開発段階であるが、本技術を発展させ、今後も建設時の CO<sub>2</sub> 排出量を削減できる施工技術の拡充に取り組んでいく予定である。

V. おわりに

環境配慮型コンクリートの研究開発が進み、技術的にはできることが増えてきた。今後の技術的進展によってさらに CO<sub>2</sub> の削減量、吸収・固定量は増えていくであろうと考えられる。その一方で、技術の進展だけでは解決できない課題も見えてきている。環境配慮型コンクリートは、一般のコンクリートに比べて使用材料や製造工程が増えることから、技術的な改善だけではコストアップは避けられない。環境配慮型コンクリートの持つ環境価値を正當に評価できる社会的意識の醸成と仕組み、政策や公的な支援による強力かつ継続的な後押しが必要不可欠と考えられ、関係省庁との連携を図りながら解決を図っていく。また、現時点では吸収・固定すべき CO<sub>2</sub> もサプライチェーンが構築されておらず、入手に苦慮する状態である。当社では、CO<sub>2</sub> を必要な場所でタイムリーに調達できる DAC (Direct Air Capture, 大気中の CO<sub>2</sub> を回収する技術) に着目し、数十年にわたり DAC の開発を進めている川崎重工業社と共同研究を開始した<sup>19)</sup>。今後、PCa 製品工場に適した DAC 装置の構成を検討していく。このよ

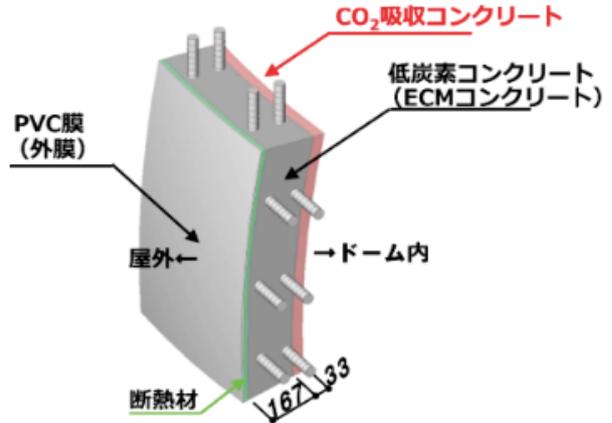


Fig.11 ドームの躯体構成 (Structure of the Dome)

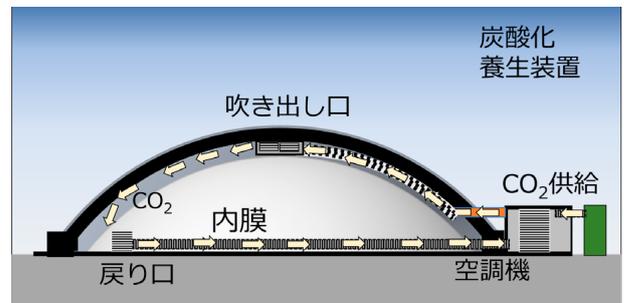


Fig.12 炭酸化養生のイメージ (Image of Carbonation Curing)

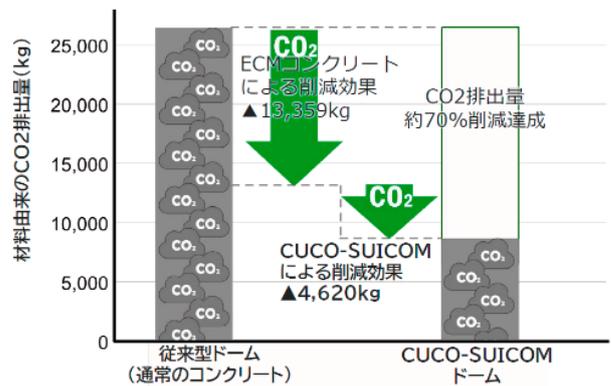


Fig.13 CUCO-SUICOMドームのCO<sub>2</sub>削減効果 (CO<sub>2</sub> Reduction Effect of CUCO-SUICOM Dome)

うに、自社の技術開発、異分野とのオープンイノベーション、国の支援を受けた建設業全体での協調的研究への参画等を通じて、日本が掲げる 2050 年カーボンニュートラル社会の実現のために少しでも貢献できればと考えており、関係各所のご協力を仰ぎながら、環境配慮型コンクリートの普及展開に引続き努力していく所存である。

参考文献

- 1) 野口貴文；カーボンニュートラルの時代に向けて／セメントへの期待，セメント・コンクリート，No.900，2022，pp.4-9.
- 2) 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，[https://www.meti.go.jp/policy/energy\\_environment/global\\_warming/ggs/index.html](https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/index.html)
- 3) 経済産業省；カーボンリサイクルロードマップ，[https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/carbon\\_recycle\\_rm/pdf/20230623\\_01.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/carbon_recycle_rm/pdf/20230623_01.pdf)
- 4) 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ーCO<sub>2</sub>の受け皿となるコンクリートを指すー，土木施工，Vol.62，No.11，2021.11，pp.22-25.
- 5) 国土交通省 関東地方整備局 港湾空港部；港湾工事等における低炭素型材料の活用マニュアル(Ver.1.0)，[https://www.pa.ktr.mlit.go.jp/kyoku/work/CNC/pdf/cnc\\_manual.pdf](https://www.pa.ktr.mlit.go.jp/kyoku/work/CNC/pdf/cnc_manual.pdf)
- 6) 中日本高速道路株式会社；環境配慮型コンクリート設計・施工管理要領（低炭素型コンクリート編），2023.11.
- 7) 小島正朗，辻大二郎，依田和久，橋本学；低炭素型コンクリート「ECM コンクリート」の開発と今後の普及展開，セメント・コンクリート，No.900，2022.2，pp.76-81.
- 8) 環境省；2022年度の我が国の温室効果ガス排出・吸収量について，[https://www.env.go.jp/press/press\\_03046.html](https://www.env.go.jp/press/press_03046.html)
- 9) 依田和久，笠井浩，百瀬晴基；混和材料を用いた環境配慮型コンクリート，コンクリート工学，Vol.50，No.4，2019，pp.75-78.
- 10) 平田真佑子，百瀬晴基，閑田徹志，今本啓一，清原千鶴；高炉スラグ微粉末を高含有したコンクリートの収縮ひび割れ抵抗性に関する研究，鹿島技術研究所年報，Vol.71，2023.12，pp.79-84.
- 11) 大川憲，青木真一，閑田徹志，笠井哲郎；レディーミクストコンクリート工場の戻りコンクリートから製造した乾燥スラッジ微粉末の諸特性とCO<sub>2</sub>排出原単位，コンクリート工学年次論文集，Vol.42，No.1，2020.
- 12) 建物のLCA指針-温暖化・資源消費・廃棄物対策のための評価ツール-，日本建築学会，2024.
- 13) 佐々木猛，八木利之；エコタンカルCO<sub>2</sub>を原料とした環境にやさしい軽質炭酸カルシウム，土木施工，Vol.62，No.11，2021.11.
- 14) 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.1，1990.
- 15) 渡邊賢三，横関康祐，取違剛，坂田昇；炭酸化養生によるコンクリートの高耐久化技術- EIEN の開発と試験施工-，コンクリート工学，Vol.45，No.7，2007，pp.31-37.
- 16) 関健吾，横関康祐，取違剛，小林聖，高柳達徳，木村彩永佳；CO<sub>2</sub>排出量ゼロ以下の環境配慮型コンクリート「CO<sub>2</sub>-SUICOM®」の開発，鹿島技術研究所年報，Vol.61，2013，pp.91-96.
- 17) CUCO；Carbon Utilized Concrete HP，<https://www.cuco-2030.jp/>
- 18) 鹿島建設（株）；プレスリリース「KT ドーム®」工法を実工事に適用，<https://www.kajima.co.jp/news/Press/202112/23a1-j.htm>
- 19) 鹿島建設（株）；プレスリリース 大気中のCO<sub>2</sub>をコンクリートに吸収・固定する共同研究を開始，<https://www.kajima.co.jp/news/press/202407/26c1-j.htm>