

# コンクリート・セメントのカーボンニュートラルに 向けた国内外の動向等について

令和4年11月2日

経済産業省

製造産業局

資源エネルギー庁

## コンクリート・セメントに関する全体概況

# コンクリート・セメント産業のカーボンニュートラルに向けた動向（ポイント）

- 我が国のコンクリート・セメント業界は、建築物や橋梁など社会・防災インフラに必須となる基礎素材。また、セメントは下水汚泥などの廃棄物や災害廃棄物等を受入れ、サーキュラーエコノミーにも大きく貢献。自然災害等が頻発する我が国では、耐震性・強度等を確保しつつ、CO<sub>2</sub>排出削減にも貢献するコンクリート・セメントを開発していくことが重要。
- 製造業は我が国CO<sub>2</sub>排出量の35%を占め、製造業のうち、窯業・土石製品製造業が17.4%。セメント製造プロセスでCO<sub>2</sub>が必然的に排出されており、セメント産業からの排出が大宗を占める。セメントの主要用途はコンクリートであり、コンクリート・セメントを一体として、対策を講じることが有効。
- 諸外国でも世界の主要メーカーが2050年までにコンクリート由来のCO<sub>2</sub>排出をネット・ゼロにするコミットメントを発表。また、一部民間企業は、グリーン調達基準の策定を検討する動きもあり、海外でもコンクリート・セメント分野の脱炭素化技術の開発が進められている。
- コンクリート・セメント産業の安定稼働を維持しつつ、カーボンニュートラルを実現させるため、原料であるセメントと製品であるコンクリート両面からのアプローチを実施。
  - i コンクリート：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
  - ii セメント：セメント製造プロセスからのCO<sub>2</sub>直接回収及び利用による排出削減
- 長期的なイノベーションを推進するとともに、公共調達での採用などを通じた国内での技術確立を進める。さらに、評価手法やそれ以外の標準化による国際ルール形成、海外でのグリーン市場の獲得を目指し、官民一体になって進める。

# カーボンリサイクルを拡大していく絵姿（技術ロードマップ）

CO<sub>2</sub>利用量

## フェーズ1

- カーボンリサイクルに資する**研究・技術開発・実証**に着手。
- 特に2030年頃から普及が期待できる、**水素が不要な技術や高付加価値製品を製造する技術**に重点。

## フェーズ2

- 2030年に普及する技術を**低コスト化**。
- 安価な水素供給を前提とした2040年以降に普及する技術のうち、**需要の多い汎用品**の製造技術に重点。

## フェーズ3

- **更なる低コスト化**。

### 2030年頃からの消費が拡大

- 化学品；ポリカーボネート等
- 燃料；バイオジェット燃料等
- 鋳物・コンクリート；道路ブロック等

### 2030年頃から普及

- 化学品  
ポリカーボネート等
- 燃料  
バイオジェット燃料等
- 鋳物  
コンクリート製品（道路ブロック等）  
セメント

※水素が不要な技術や高付加価値な製品から導入

### 2040年頃から普及開始

- 化学品  
汎用品（オレフィン、BTX等）
- 燃料  
ガス・液体（メタン、合成燃料等）
- 鋳物  
コンクリート製品（汎用品）

※需要が多い汎用品に拡大

※ 2050年時の目標

化学品（ポリカーボネート等）

CO<sub>2</sub>排出量の更なる削減

燃料（バイオジェット燃料等）

現状価格から1/8～1/16程度に低コスト化

鋳物・コンクリート（道路ブロック等）

現状の価格から1/3～1/5程度に低コスト化

CO<sub>2</sub>分離回収技術

低コスト化

現状の1/4 以下

水素

20円/Nm<sup>3</sup>（プラント引き渡しコスト）※

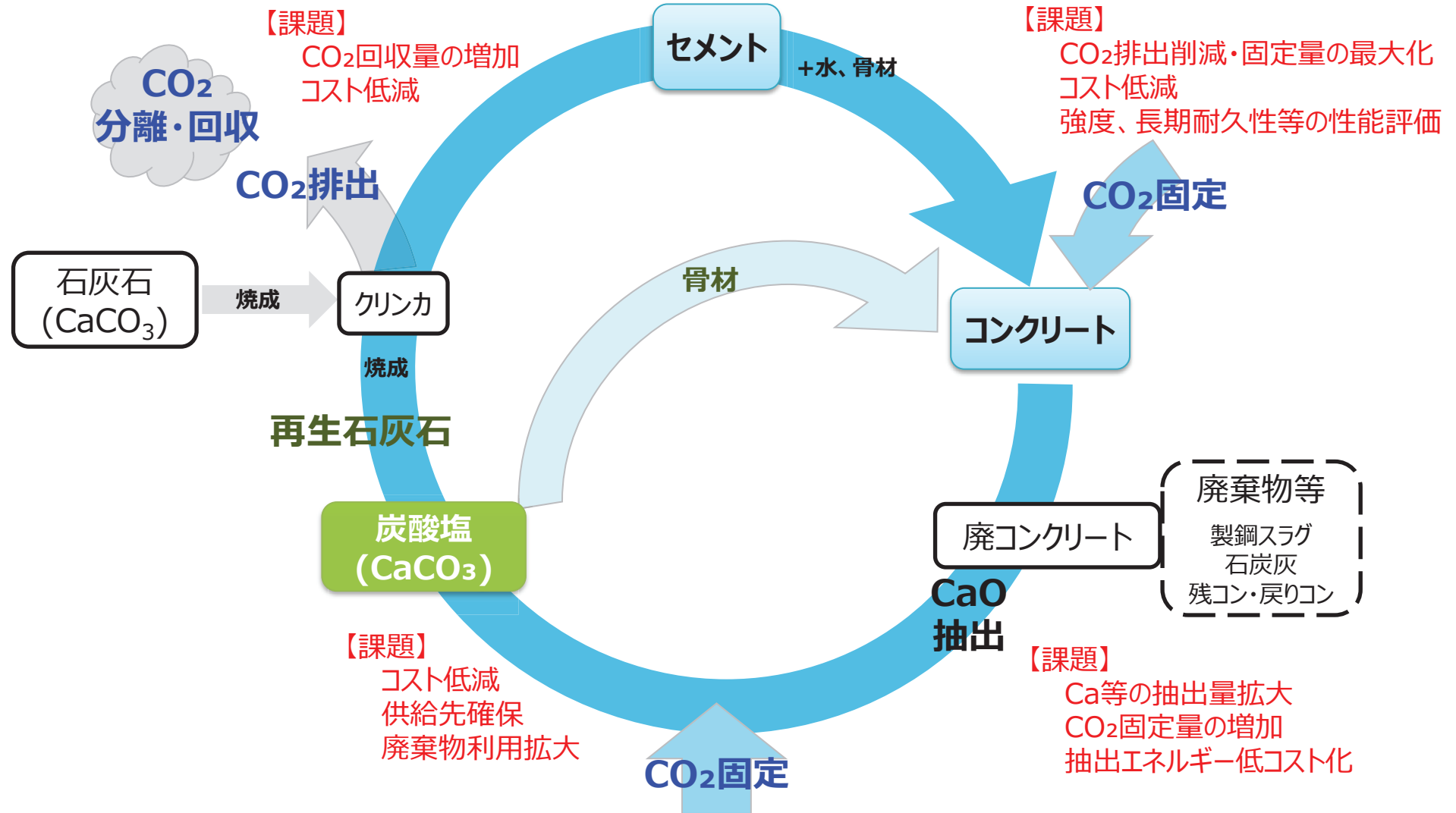
現状

2030年

2040年以降

# コンクリート・セメント分野におけるカーボンリサイクルの特徴

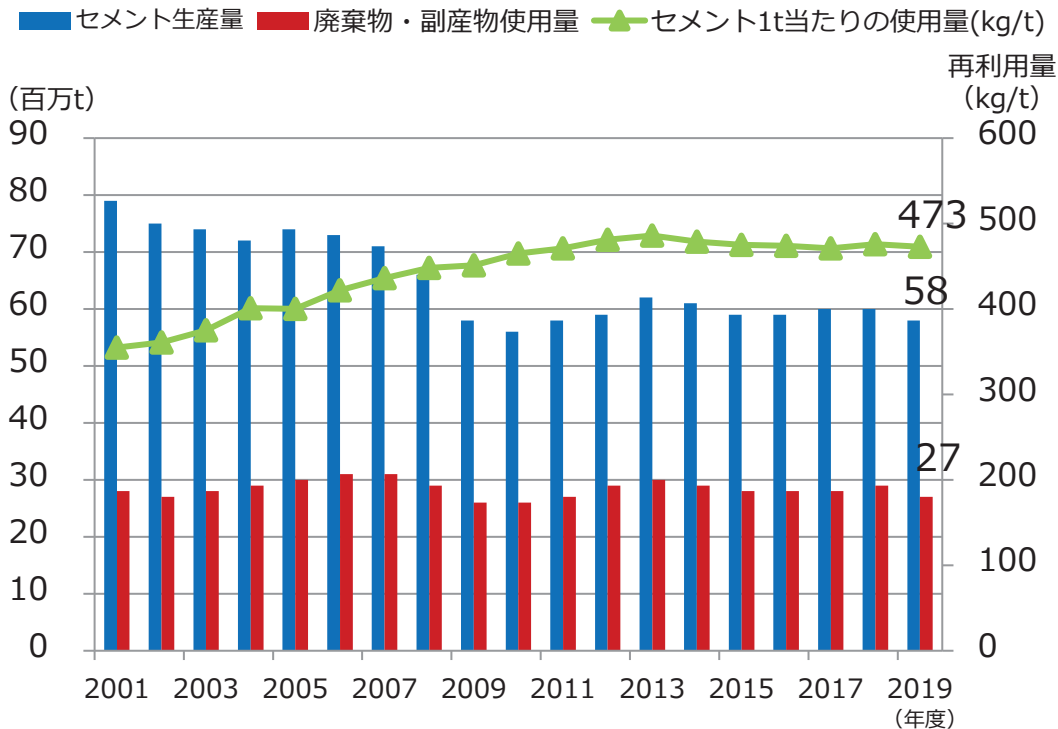
セメント製造時に発生するCO<sub>2</sub>を回収するとともに、多様な廃棄物等から、効果的にカルシウム等を抽出し、CO<sub>2</sub>を固定することで、コンクリート・セメント材料に活用。強度、長期耐久性などコンクリートの性能を評価しつつ、CO<sub>2</sub>排出削減・固定量の最大化、コスト低減等を実現し、持続的な資源循環システムを確立することが重要。



# セメントの廃棄物の原料利用の状況

- セメントは廃棄物を熱源や原料として無駄なく利用し、循環型社会構築の役割を担う。セメント1トンに対して、約500kgの廃棄物・副産物を利用。産業全体で約3,000万トン（国内で発生する廃棄物全体の約5%）を受け入れ。（セメント製造業からの副産物や廃棄物はほぼゼロ）
- 東日本大震災以降は、災害廃棄物の受入れ処理するなど、セメント工場の稼働により自治体の災害復旧にも貢献。

## 廃棄物の受入量の推移



出典：セメント協会

## 災害廃棄物の受入処理例

発生年	自然災害
2011年	東日本大震災
2014年	広島県土砂災害
2015年	関東・東北豪雨
	D.Waste-Netに加入
2016年	熊本地震
2017年	九州北部豪雨
2018年	西日本豪雨
2019年	台風19号

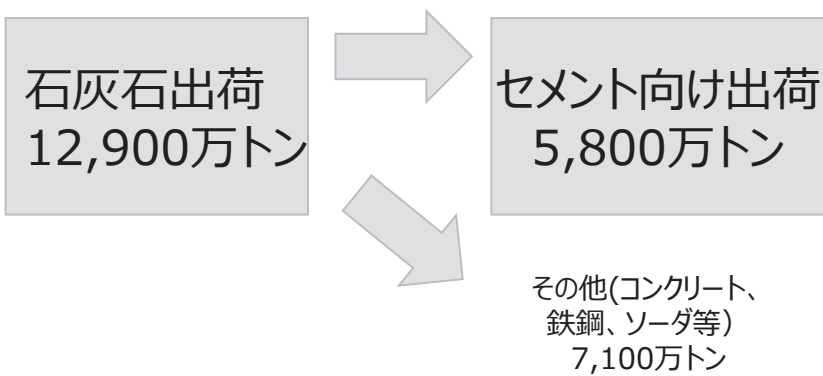


(参考) 災害廃棄物受入量について  
 - 東日本大震災 110万トン  
 - 熊本地震 22万トン

# (参考) セメント製造プロセスにおけるCO<sub>2</sub>排出量について

- 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、原料において石灰石を代替することとなり、原料石灰石に含まれるCO<sub>2</sub>の削減が可能となる。

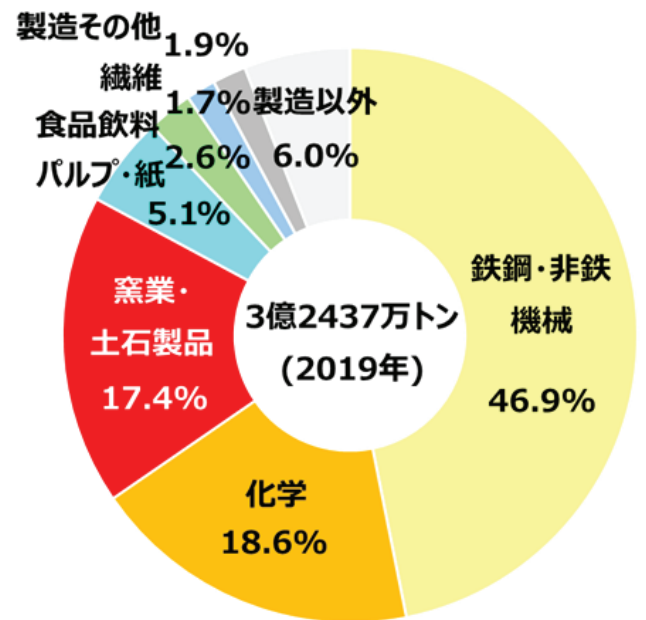
※酸化カルシウム(CaO) は自然に水分を吸収し、水和反応 (コンクリートとしての硬化) が生じ、利用が困難。保管や運搬等を考慮した場合、炭酸塩 (CaCO<sub>3</sub>) としての再利用が想定される。



石灰石成分  
CO<sub>2</sub>  
約2,550万トン  
CaO  
約3,250万トン



## 業界別のCO<sub>2</sub>排出割合 (2019年度)



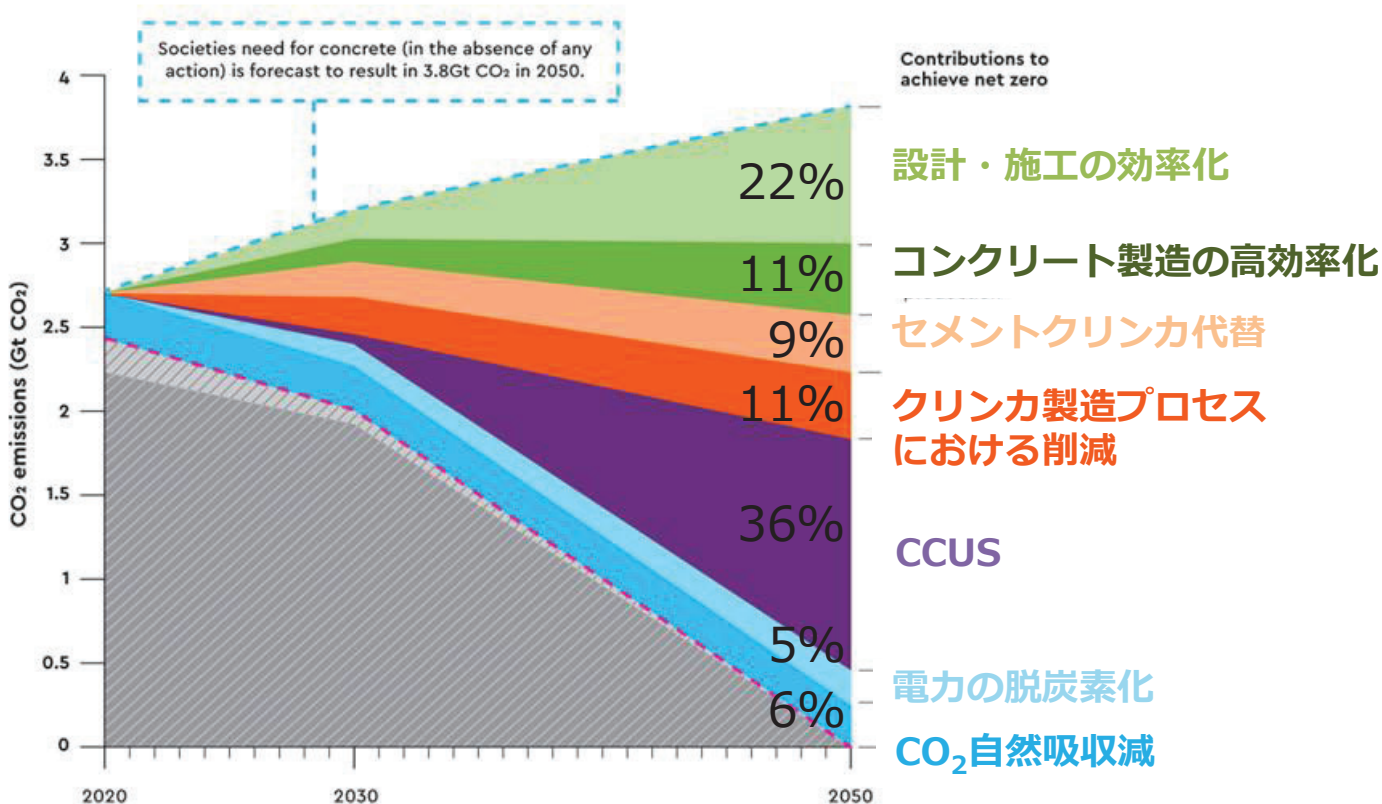
セメント製造時のCO<sub>2</sub>排出  
国内4,147万トン(2019年度)

- ・石灰石 (原料) 由来 60% 2,533万トン/CO<sub>2</sub>
- ・化石燃料(エネルギー)由来 40% 1,614万トン/CO<sub>2</sub>

# セメント・コンクリート分野における2050年CNに向けた世界の動き

- グローバルセメント・コンクリート協会（GCCA） は、2021年10月にロードマップを発表。2050年までにコンクリートにおけるCO<sub>2</sub>排出実質ゼロを目指し、さらに2030年までに25%削減（5億トン）する野心的な中間目標を設定。
- ロードマップでは、具体的な削減分野が示されており、本プロジェクト等でも主要な取組は実施。本プロジェクトの成果や事業者の自主的な取組等により、2050年までに、国内のセメント製造プロセスで排出されたCO<sub>2</sub>の全量近くを削減する。

## ■ CO<sub>2</sub>排出実質ゼロに向けたロードマップ・削減内訳



### 【NEDO交付金事業】

コンクリートの防錆性能を追加する技術

### 【研究開発項目 1】【研究開発項目 2】

・コンクリートの使用材料及び製造・施工技術  
・コンクリートの評価・品質管理手法開発

### 【研究開発項目 4】【NEDO交付金事業】

・海水、廃コンクリート等に含まれるマグネシウムやカルシウム等の抽出及び利用技術

### 【研究開発項目 3】

セメント製造工程における革新的CO<sub>2</sub>回収技術の設計・開発

### 【研究開発項目 3】【NEDO交付金事業】

セメント製造工程における革新的CO<sub>2</sub>回収技術の設計・開発や回収したCO<sub>2</sub>のセメント原料化



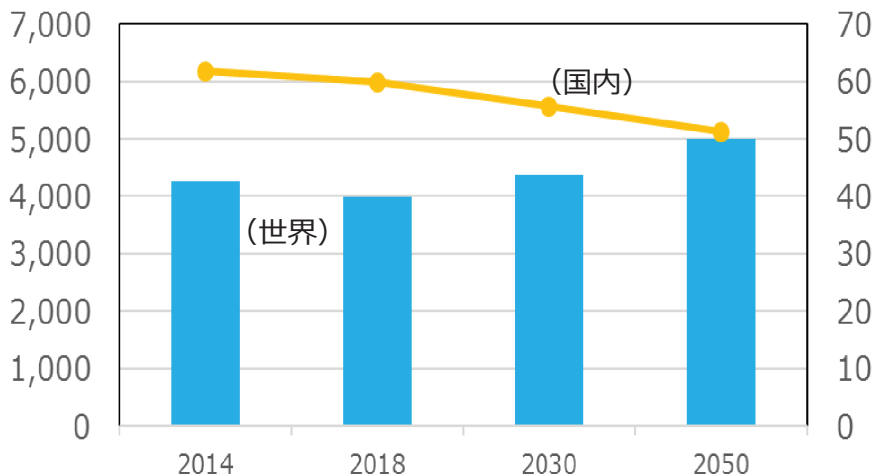
# 国内外のコンクリート・セメントの市場規模推移

コンクリート・セメントの需要は、国内では減少する一方で、世界では2050年時点で（2014年比で）12～23%程度増加する見込み。

## セメント生産量

(単位：百万トン)

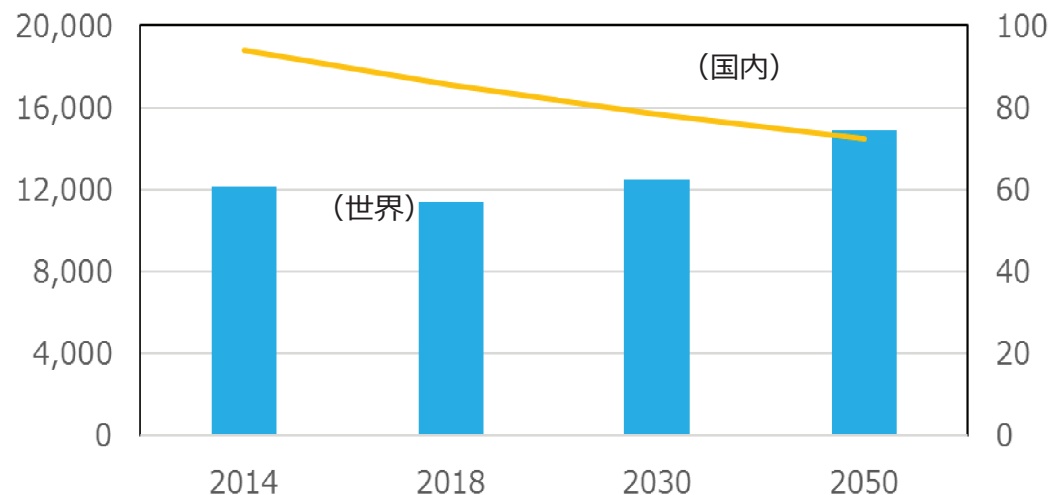
■ 世界セメント生産量 ● 国内セメント生産量



## コンクリート出荷量

(単位：百万m<sup>3</sup>)

■ 世界コンクリート出荷量 ● 国内コンクリート出荷量



※ 1 セメント生産量は、IEAレポート（Technology Roadmap Low-Carbon Transition in the Cement Industry）、セメントハンドブック（一般社団法人セメント協会）、脱炭素社会を目指すセメント産業の長期ビジョン（セメント協会）等を利用して作成。

※ 2 コンクリート出荷量は上記の2030年、2050年国内・世界セメント生産量推計値に、2019年度セメントの生コンクリート向け出荷量（セメントハンドブック）と、生コンクリートの出荷数量（全国生コンクリート工業組合連合会・全国生コンクリート協同組合連合会）の比率を乗じて経済産業省が試算。

# コンクリート・セメントの国際市場の確保

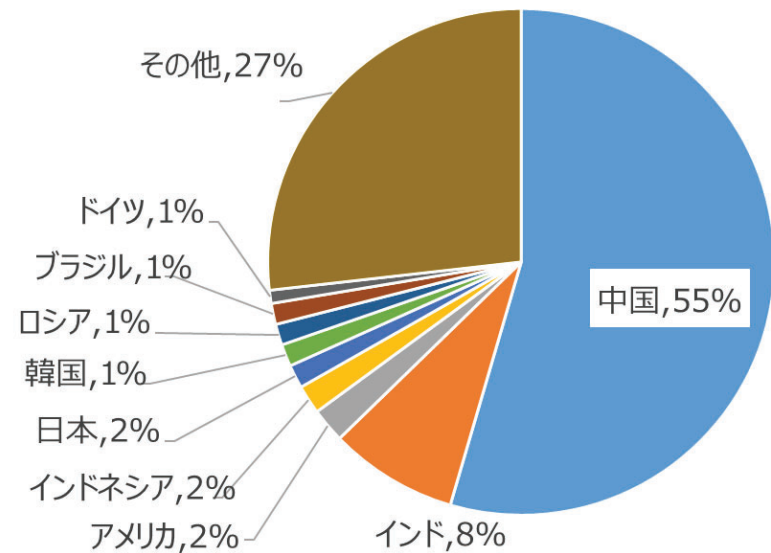
- **コンクリート**；①**市場規模**では、**北米及びアジア**が有望。他方、②**価格水準**では、**アジアは日米欧の半分程度**であり、CO<sub>2</sub>を再利用したコンクリートの価格競争力に課題。  
→ まずは**国内及び北米において実績を積み**つつ、価格競争力の課題を乗り越え**アジアにも展開**。
- **セメント**；世界セメント**生産量の半分以上（55%）が中国で生産**。中国では2005年頃から国家施策により**生産性の高い設備（NSPキルン等）への移行過程**。  
→ 2050年頃のカーボンニュートラルに向け、セメント産業における中国などでの新規投資が期待。

コンクリート市場（市場規模及び価格水準）

	市場規模 (2020年)	生コンクリート価格 (参考：国内1.5万円/m <sup>3</sup> )
北米	98億ドル	約150～160ドル/m <sup>3</sup>
アジア (中・印・尼)	132億ドル	約50～90ドル/m <sup>3</sup>
欧州 (独・英)	41億ドル	約150～180ドル/m <sup>3</sup>
豪州	8億ドル	約150～160ドル/m <sup>3</sup>

※事務局2020年調べ

セメント市場（生産量、2018年）



出典；一般社団法人セメント協会「セメントハンドブック」

➡ 低炭素などの価値が組み込まれた新たな市場を創出・獲得する、という考え方の下、標準化戦略や知財戦略を検討し、技術の社会実装を図る必要がある。

# 米First Movers Coalition (FMC)

- COP26において、米国は、産業部門の脱炭素化及びその市場創出に向けたFMCイニシアチブを提案。ケリー特使とWEFが、2050年までにネット・ゼロを達成するために必要な重要技術の早期市場創出に向け、世界の主要グローバル企業が購入をコミットするためプラットフォームとして立ち上げ。
- ブレイクスルー・エナジーともパートナーシップを締結。市場創出とファイナンスを有機的に連携。

## ファースト・ムーバーズ・コーリション (FMC)

- COP26において、ケリー特使とWEFが、2050年までにネット・ゼロを達成するために必要な重要技術の早期市場創出に向け、世界の主要グローバル企業が購入をコミットするためプラットフォームとして立ち上げ。アップル、アマゾンなどが初期メンバー。
- 鉄鋼、セメント・コンクリート、アルミニウム、化学品、海運、航空、トラック輸送、CDR (二酸化炭素除去)が対象。
- ビル・ゲイツが創始者となり、ジェフ・ベゾスやマイケル・ブルームバーグなどが出資するブレイクスルー・エナジーが、削減が困難な分野におけるインパクトのあるプロジェクトに資金を提供。



立ち上げには、バイデン大統領、フォンデアライエン欧州委員長、ビルゲイツなどが参加

### 【主要参加メンバー】

#### IT

Amazon  
Apple  
Western Digital  
Nokia  
Trane Technologies

#### エネルギー

ENGIE  
Invenergy  
Ørsted  
Vattenfall

#### 輸送

Deutsche Post DHL  
Group  
Scania

#### 建築

Cemex  
Johnson Controls  
Dalmia Cement  
(Bharat)Ltd  
Holcim

#### 鉄鋼・金属

SSAB Swedish Steel  
Fortescue Metals Group

#### 自動車

Mahindra Group  
Volvo Group  
ZF Friedrichshafen AG

#### 製造

Trafigura Group  
Yara International(アノモニア)  
Agility

#### 海運

A.P. Møller-Mærsk  
Aker ASA

#### 航空

Airbus  
Boeing  
Delta Air Lines  
United Airlines

#### その他

Breakthrough Energy  
Bain & Company  
Bank of America  
Boston Consulting

# (参考)「カーボンリサイクル産学官国際会議」の開催

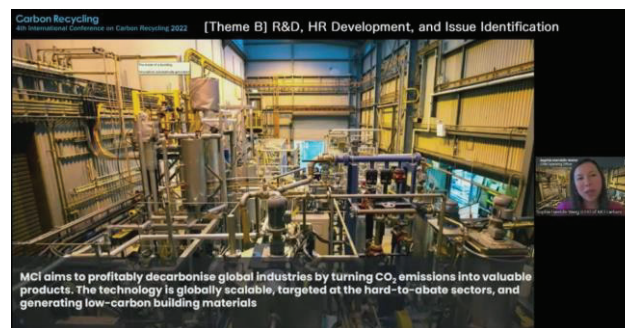
- カーボンニュートラル実現のキーテクノロジーであるカーボンリサイクルについて、各国が将来的な社会実装に向けた技術開発・実証に取り組むことを確認するとともに、各国間の協力関係を強化することを目指す。
- 北米、東南アジア・大洋州、中東等との協力覚書（MOC）に基づく各国との協力分野の深掘り等を進めるとともに、グリーンイノベーション基金事業や広島県・大崎上島のカーボンリサイクル実証研究拠点の進捗等を発信し、世界の実効的な脱炭素化に向けて日本が技術開発・実証をリードしていく姿勢を示す。

## 1. 会議概要（直近は第4回）

- 日時：2022年9月26日 13:00～16:45
- 場所：WEB形式
- 参加者数：約1,200名（23か国・地域）
- プログラム
  - 閣僚講演、専門家パネルディスカッション
    - 投資・スタートアップ
    - 研究開発・人材育成・課題発掘
    - カーボンリサイクル実証研究拠点

## 2. 主要な参加者

- インドネシア アリフィン エネルギー・鉱物資源大臣
- 米国 エネルギー省 クラブツリー次官補
- カナダ 天然資源省 ロジエ次官補
- サウジ エネルギー省 ザイドCCEプログラムヘッド
- IEA ギュル エネルギー技術政策課長
- ERIA 西村事務総長
- 湯崎広島県知事、CRF福田会長
- その他各国の産学官のカーボンリサイクル関係者



## 3. 成果

- カーボンリサイクルの社会的な普及のため、継続的な技術開発への投資、スケールアップ、インセンティブの付与、人材育成やカーボンリサイクルへの理解促進等、多くの課題に対し、各国の産学官がつながりを広め、かつ深めることで、課題に対応していくことを確認。
- コンクリート分野では、MCI Carbon(豪州)や我が国のカーボンリサイクル実証研究拠点（広島県大崎上島）における取組を紹介。また、同拠点の魅力と可能性を発信。今後、各国の研究拠点間での国際協力・連携の加速化を目指す。
- また、カーボンリサイクルの社会実装に向けた日本の直近1年間の取組として、「カーボンリサイクル実証研究拠点の開所」や「グリーンイノベーション基金の公募・採択が進展」などの進捗を「プロGRESSレポート」として取りまとめ、発信。



## コンクリートの進捗説明

- 海外動向（技術・製品）
- 国内動向（技術・製品）
- 標準化の動向

# 国内外での環境配慮型コンクリートの開発状況

国内外問わず、コンクリート・セメント分野での研究開発・実証が本格しつつあり、**材料開発**（セメント、骨材、混和材・セメント代替材）、**製造プロセスの両面から**取組が行われている。

技術分類	企業名	技術概要	材料製造			コンクリート製造		その他
			セメント	骨材	混和材・セメント代替材等	練り混ぜ	養生	
セメント低減型	Carbon Upcycling (加)	フライアッシュを改質して反応性を高めセメント代替材料として用いる技術						
	LC3 (スイス)	石灰石・焼成粘土を使用することでクリンカの使用量を削減する技術						
	CarbiCrete (加)	鉄鋼スラグでセメントを代替しつつCO2を吹きかけ固定化する技術					CO2吸収	
	JFEスチール (日)	鉄鋼スラグでセメントを代替しつつCO2を吹きかけ固定化する技術					CO2吸収	
CO2固定型	Solidia (米)	原料組成を変えたセメントを製造し水の代わりにCO2で硬化させる技術					CO2吸収	
	Carbon Cure (加)	生コンへ液化CO2を吹きかけ固定化する技術				CO2吸収		
	太平洋セメント (日)	CO2で硬化させる低炭素セメントならびに生コンへの直接のCO2注入し固定化する技術					CO2吸収	
	鹿島建設・デンカ・中国電力等 (日)	特殊混和材をコンクリートに練り混ぜCO2を吸着させる技術					CO2吸収	
CCU材料活用型	Blue Planet (米)	CO2溶液を炭酸塩原料に接触させ表面が炭酸塩化した骨材を製造する技術		CO2吸収				
	MCi Carbon (豪)	製鉄スラグや石炭灰などに含まれるカルシウム、マグネシウム等にCO2を固定させた炭酸塩をコンクリートに練り込む技術		CO2吸収				
	竹中工務店 (日)	セメント代替として高炉スラグ粉末を利用しつつ、CaOにCO2を吸着させ、骨材として再利用する技術		CO2吸収				
	出光興産・宇部興産・日揮 (日)	CaOにCO2を吸着させ 骨材として再利用する技術		CO2吸収				
	住友大阪セメント等 (日)【GI基金】	CRセメントを活用するとともに廃コンや焼却灰等のCaOにCO2を吸着させ混和材としてコンクリートに混ぜる技術	CO2吸収		CO2吸収			
技術融合	安藤・間、内山アドバンス、灰考小野田レミコン、大阪兵庫生コンクリート工業組合、大成口テック等 (日)【GI基金】	CO2固定化技術、CCU材料の活用を組み合わせ、CO2排出削減・固定量最大化		CO2吸収	CO2吸収		CO2吸収	
	鹿島建設・デンカ・竹中工務店等 (日)【GI基金】	セメント低減技術、CO2固定化技術、CCU材料の活用を組み合わせ、CO2排出削減・固定量最大化		CO2吸収	CO2吸収		CO2吸収	
その他	CO2回収	FORTERA (米)	焼成過程から回収したCO2をセメントに吹き込み再炭酸塩化する技術					
		Calix (豪)	石灰製造時に発生するCO2を効率よく回収する技術					
		太平洋セメント等 (日)【GI基金】	石灰石焼成時に発生するCO2を直接回収する技術					
	新プロセス	BIOMASON (米)	砂にカルシウムとCO2を注入し微生物によりコンクリート化させる技術					CO2吸収

# 環境配慮型コンクリートの市場導入の動き

- 鹿島建設らはセメント使用量の削減と硬化過程でのCO<sub>2</sub>の吸収により、製品化にあたってのCO<sub>2</sub>排出量を実質ゼロ以下とした環境配慮型コンクリート「CO<sub>2</sub>-SUICOM」を実用化。
- 海外では、Solidia（米国）、CarbonCure（カナダ）、MCI Carbon（豪州）等のスタートアップ企業等でも取り組みが活発化。
- ただし、製造時のCO<sub>2</sub>削減・固定量については、日本の技術が先行。

## CO<sub>2</sub>-SUICOM（鹿島建設，デンカ，中国電力）

- 特殊混和材の使用によりコンクリート製造時のCO<sub>2</sub>排出量を実質マイナス



[https://www.kajima.co.jp/news/digest/jun\\_2012/searching/index-j.html](https://www.kajima.co.jp/news/digest/jun_2012/searching/index-j.html)

## Solidia Technologies（米国）

- セメント原料中の石灰石中の一部を他の鉱物に置換したCO<sub>2</sub>排出量の少ないセメントを用いて、水の代わりにCO<sub>2</sub>を吸収



<https://www.solidiatech.com/media.html>

## Carbon Cure Technologies（カナダ）

- 液化CO<sub>2</sub>を生コンクリートへ噴霧し、ナノ鉱物を生成させ、セメント使用量を削減しつつ、強度を維持。
- 三菱商事が出資。會澤高圧コンクリートがライセンス契約を締結

コンクリート製造時のCO<sub>2</sub>削減量およびCO<sub>2</sub>固定量  
(kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>)

	CO <sub>2</sub> 削減量	CO <sub>2</sub> 固定量
CO <sub>2</sub> -SUICOM	306	109
CarbonCure	23.4	1.38

(出典) 各社HP

(注) 『CO<sub>2</sub>削減量』は、CO<sub>2</sub>固定量に加え、セメント代替等も含めた量

## MCI Carbon（豪州）

- 製鉄スラグや石炭灰等にCO<sub>2</sub>を固定させた炭酸塩をコンクリートに練り込み、コンクリート内部にCO<sub>2</sub>を固定化させる技術。
- 大成建設は、伊藤忠商事とともに技術供与を受け、生産実証を実施。



<https://www.mineralcarbonation.com/>

# カーボンリサイクル技術（コンクリート・セメント分野）の開発・社会実装の方向性

## 1. 技術課題

- 【①コンクリート分野】 **CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリート製造技術の開発**；

※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

CO<sub>2</sub>を固定する材料の複合利用技術や、コストを最小化する製造・施工技術の確立、CO<sub>2</sub>固定量の評価技術やコンクリートの性能評価（強度、長期耐久性等）を含めた品質管理手法の確立。

- 【②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**；

コンクリートの原料であるセメントの製造プロセスで石灰石から排出されるCO<sub>2</sub>を効率的に分離回収・再利用する技術とともに、CO<sub>2</sub>を固定して製造したセメント製品のコスト低減、性能評価等を行うことでの技術の確立。

## 2. 社会実装、需要創出に向けた取組

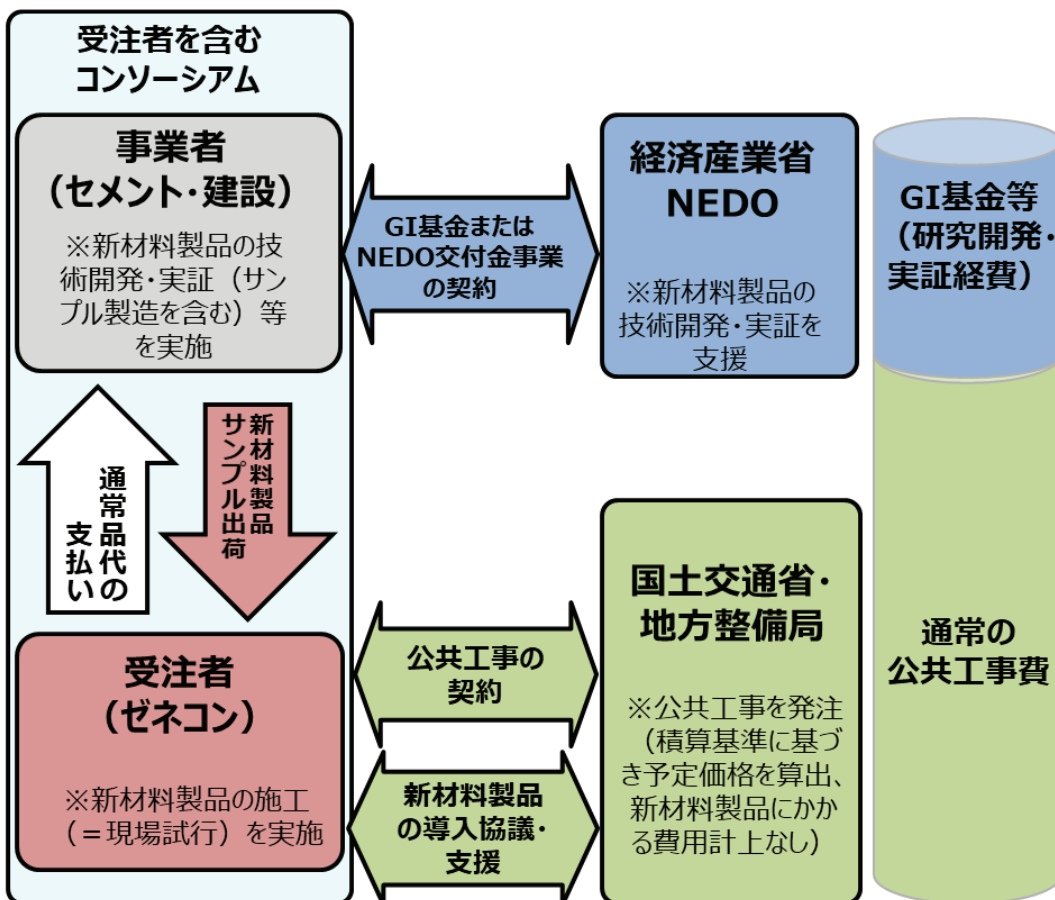
- 将来的な公共調達等を目指し、開発初期段階から**国土交通省、地方自治体、関連学会等と連携**。
- 大阪万博等を通じ、CO<sub>2</sub>固定量等のデータ取得を進めるとともに、需要家への情報発信・調達促進を図る。（環境意識の高い発注元による先行活用や簡易用途から実績拡充）
- CO<sub>2</sub>排出削減・固定量の評価、CO<sub>2</sub>固定・利用に係る認証等の**国内/国際標準を通じて**、製品特性を踏まえつつ付加価値を明確化するとともに、関連学会のガイドラインや指針類への反映を目指す。
- 需要側の導入インセンティブを高めるため、温室効果ガス排出インベントリへの登録や、カーボנקレジット制度での活用を検討する。
- 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」を付加価値としてライセンス事業を通じた国内外への普及を戦略的に進める。



# 国内における導入実績（グリーンイノベーション基金プロジェクトの成果）

グリーンイノベーション基金で製作したコンクリート製品の施工性等を確認するため、国土交通省と連携し、同省直轄工事の一部に導入・実証しており、これまでに2件、導入済み。試行結果を研究開発にフィードバックすることで、CO<sub>2</sub>を固定化したコンクリートの更なる研究開発を促す。

## 国土交通省と連携した現場試行スキーム



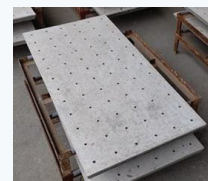
## グリーンイノベーション基金で開発したコンクリートの実証事例

### 【導入事例 1】

日下川新規放水路管理道路整備工事(高知県)におけるCRコンクリートの現場試行【鹿島建設】

(概要)

日下川新規放水路の管理用通路を整備する工事において、CO<sub>2</sub>を固定化し、収支をマイナスにするコンクリートによる埋設型枠の一部（高さ3.6m×長さ約12m×2面）で使用する。

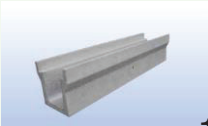


### 【導入事例 2】

成瀬ダム原石山採取工事(秋田県)におけるCO<sub>2</sub>を固定化した炭酸塩を用いたコンクリートの現場施工【大成建設・住友大阪セメント】

(概要)

国道脇の盛土部における水処理のため、排水側溝の整備に必要なU字側溝製品に使用するコンクリートにCO<sub>2</sub>を固定化した炭酸塩を活用し、合計13本設置する。



# 2025年大阪・関西万博に関する動向

- 2022年4月に改訂された『EXPO2025 グリーンビジョン』では、2025年日本国際博覧会の準備、運営において、持続可能性の実現に向けて、重要視している脱炭素・資源循環に関して、CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリートについても位置づけている。

## 4. 核となる対策の候補

### エネルギー

#### 【エネルギーマネジメント・水素エネルギー等】

- ・ エネルギーマネジメントシステム
- ・ 電力貯蔵
- ・ 水素発電/アンモニア発電
- ・ 海外からの水素/アンモニア輸送
- ・ 燃料電池(純水素型燃料電池等)
- ・ 再生可能エネルギー電力からの水素製造
- ・ 水素等を燃料とする次世代モビリティ(FC・EVバス、FC・EV船等)やSAF (Sustainable Aviation Fuel)等の次世代燃料

#### 【CO<sub>2</sub>回収・利用】

- ・ DAC+CCS
- ・ メタネーション
- ・ カーボンリサイクル技術

#### 【再生可能エネルギー】

- ・ 再生可能エネルギー(次世代型太陽電池発電、風力発電、バイオマス発電、廃棄物発電、帯水層蓄熱、海水冷熱利用 等)

### 運営

- ・ ごみゼロに資する技術・仕組み(ごみ回収×ナッジの仕組みの導入、食品提供に使用したプラスチックのリサイクル(プラ資源循環見える化)、生分解性容器のリサイクル及びバイオエタノール製造、マイボトル・マイ容器の推進 等)
- ・ 食品廃棄ゼロに資する技術・仕組み(食品の需給予測、食品残渣や下水汚泥等の活用(バイオガス製造、堆肥化等) 等)
- ・ ファッションロスゼロに資する技術・仕組み(ユニフォームのアップサイクル、サステイナブルファッションの推進 等)

### 会場整備

- ・ 低炭素建材(CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリート、木材等)
- ・ 低炭素工法
- ・ リユース・リサイクルの促進

### 来場者

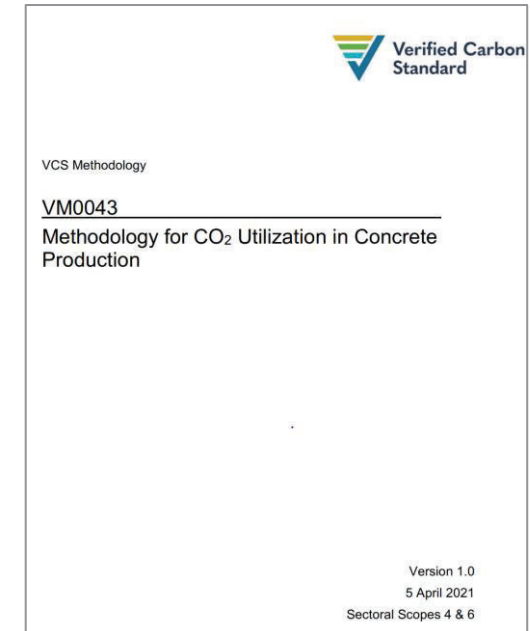
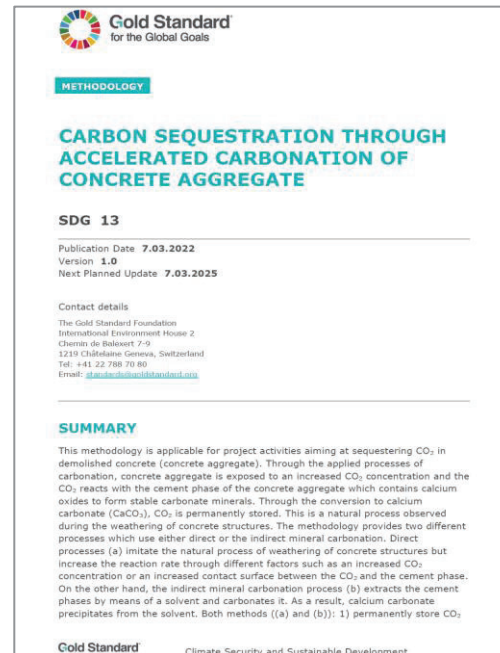
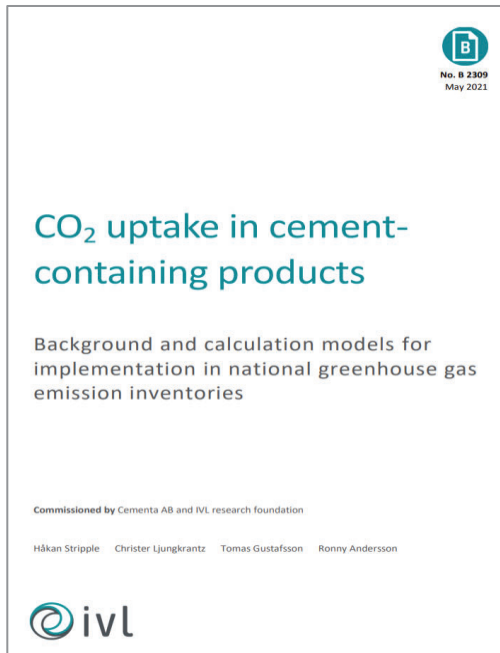
- ・ 行動変容を促すナッジの仕組み(会期前から来場者等の脱炭素・環境配慮行動に対して、積極的な動機付けを与えること等により行動変容を促し、CO<sub>2</sub>削減効果を図る)
- ・ 選択可能なオフセットメニューの提示
- ・ カーボンニュートラルに資する技術・仕組みの理解促進を促す展示方法等

### その他

- ・ 会場外脱炭素地域でのクレジット等の創出支援

# コンクリートにおけるCO<sub>2</sub>固定量の評価方法

- グローバルセメント・コンクリート協会（GCCA）は、スウェーデン環境研究所（IVL）が策定した算定方法を用いて2050年ネットゼロに向けたコンクリートのCO<sub>2</sub>固定量を評価。セメントのライフサイクルCO<sub>2</sub>排出性能等を建築規格に含めることの必要性について言及。
- クレジットの民間認証基準であるGold Standard、VCS等で、コンクリートへのCO<sub>2</sub>固定によるCO<sub>2</sub>削減量の算定方法論を提案。



<https://www.ivl.se/download/18.34244ba71728fcb3f3f8f9/1622457897161/B2309.pdf>

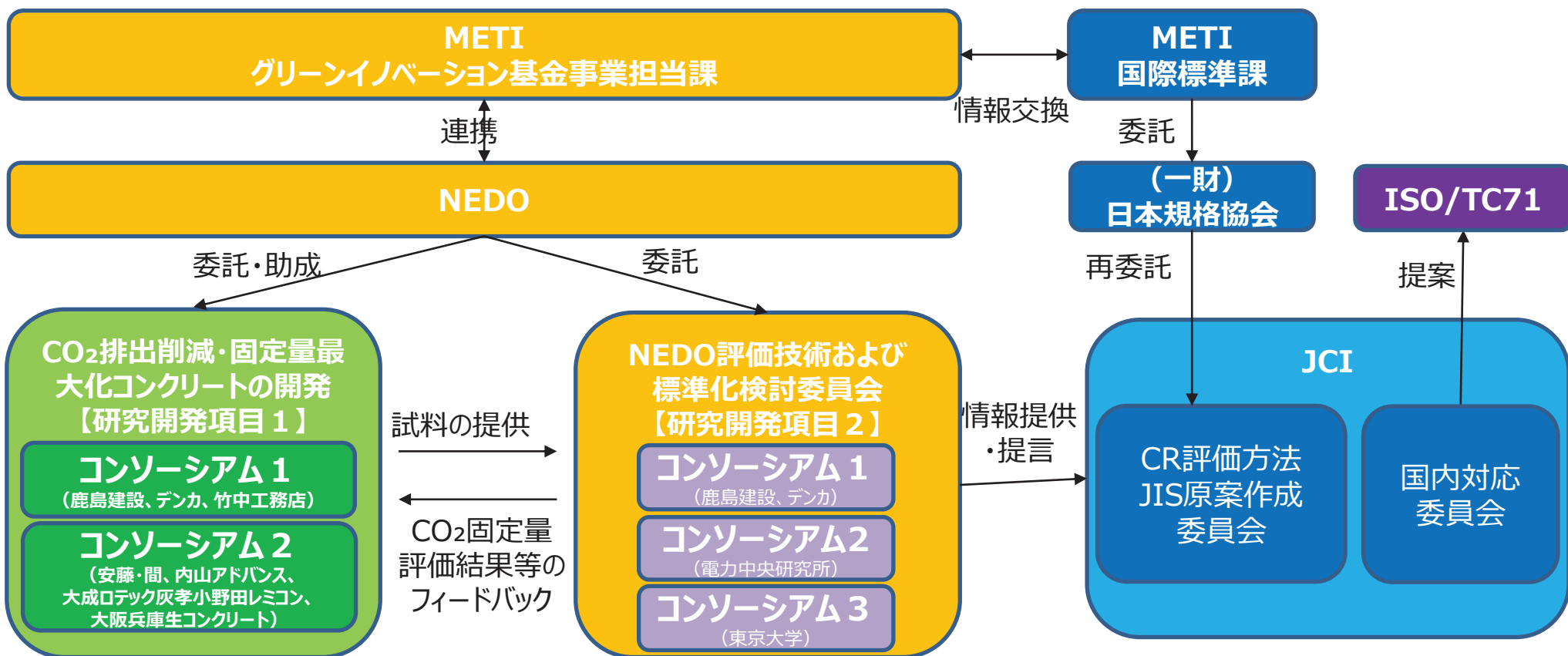
<https://www.goldstandard.org/project-developers/standard-documents>

<https://verra.org/wp-content/uploads/2021/07/Methodology-for-CO2-Utilization-in-Concrete-Production-Carbon-Cure.pdf>

- VCS（Verified Carbon Standard）は、世界で最も広く使用されている民間認証基準であり、WBCSD（World Business Council For Sustainable Development）やIETA（International Emissions Trading Association）などの民間企業が参加している米国の非営利団体Verraが運営。
- Gold Standardは、WWF（World Wide Fund for Nature）等の国際的な環境NGOが設立した認証機関で、スイスの非営利団体が運営。

# CO<sub>2</sub>固定量の評価手法の検討

- 研究開発項目 2 のうち、CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリートの固定量評価手法は、各コンソーシアムで共通する課題であり、早期の標準化に向けて、研究開発項目 2 の各コンソーシアムメンバーを中心とした「評価技術および標準化検討委員会」をNEDOに設置。
- 既存コンクリートに関するCO<sub>2</sub>固定量評価手法は、日本コンクリート工学会（JCI）で先行的に議論しており、関係学会とも連携し、早期の標準化案の提案につなげる。



※研究開発項目 1 の実施者間での連携は求めない

## セメントの進捗説明

- 海外動向（技術・製品）
- 国内動向（技術・製品）
- 標準化の動向

- 海外でもセメント製造設備について、LEILAC、NORCEMなど研究開発・実証事業プロジェクトが進行。
- 低炭素型セメントにおいては、太平洋セメントが低炭素型セメント製品の開発、holcim（スイス）では廃棄物を原料とするセメントの開発など低炭素型製品の実用化に向けた取組が進む。

## LEILAC（ドイツ）

- セメント用の仮焼炉を加熱し、間接的に石灰石を焼成する脱炭素化技術



## カーボフィクスセメント（太平洋セメント）

- CaO含有量が低く、セメント原料であるクリンカを低温で焼成したセメント製品。原料・燃焼時に生じるCO<sub>2</sub>の削減と併せて硬化時にCO<sub>2</sub>も固定化



## NORCEM（ノルウェー、スウェーデン）

- アミン法（化学吸収法）でCO<sub>2</sub>を回収し、海底貯蔵を実施する脱炭素化技術



## susteno（holcim : スイス）

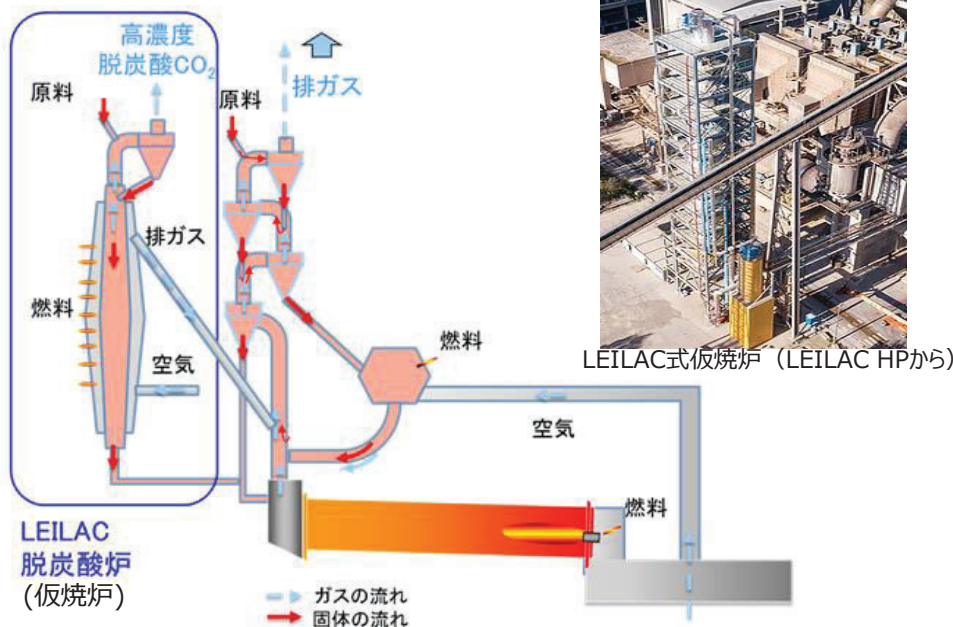
- 廃棄物を原料と燃料とするセメントを製造



# 海外セメント産業におけるCO<sub>2</sub>回収技術

- **LEILACプロジェクト**では仮焼炉で石灰石を間接的に加熱し（間接加熱方式）、石灰石から排出されるCO<sub>2</sub>を回収する技術実証であり、フェーズⅡに着手中。
  - 石灰石の間接加熱方式は、**仮焼炉外周側から鋼板を介して、間接的に石灰石を加熱。**
  - 高濃度のCO<sub>2</sub>回収が可能だが、**大量の石灰石燃焼に必須な設備の大規模化が課題。**
- **NORCEMプロジェクト**では、2024年の商用開始に向けてスウェーデンの工場での脱炭素化を発表。石灰石由来CO<sub>2</sub>は化学吸収法（アミン法）で回収し、回収CO<sub>2</sub>を圧縮冷却して海底貯蔵（CCS）する計画。同社は**CO<sub>2</sub>回収エネルギーがセメント生産の5倍**と推計しており、コスト高が課題。

## LEILACによる燃焼方法



## LEILACプロジェクト

- EU Horizon2020の資金支援を受け、HeidelbergCement (独)、CEMEX(墨)、CALIX(米)等の世界主要メーカーが参画。
  - LEILAC I (2016～2020年) 25,000トン-CO<sub>2</sub>/年  
※石灰石由来CO<sub>2</sub>の5%相当を回収。
  - LEILAC II (2020～2024年) 100,000トン-CO<sub>2</sub>/年  
※石灰石由来CO<sub>2</sub>の20%相当を回収。
- LEILAC IIは間接加熱方式の仮焼炉を4本並列で設置。

## NORCEMプロジェクト

- スウェーデンエネルギー庁とノルウェーCLIMITによる共同出資プロジェクト。Norcem社のセメントプラント等からCO<sub>2</sub>を回収。
  - CO<sub>2</sub>回収エネルギー 3.0GJ/t ※1
  - セメント生産 0.6GJ/t ※2
- ※1「CO<sub>2</sub> Capture, Use, and Storage in the Cement Industry: State of the Art and Expectations」  
(著者Marta G. Plaza, Sergio Martínez, and Fernando Rubiera)
- ※2「セメントハンドブック」(セメント協会)の電力量を基に算定

# 国内外の低炭素型セメント製造に係る技術動向

- 太平洋セメントでは、2050年カーボンニュートラルに向けて、低炭素型のセメント製品を開発。原料のカルシウム成分を低減させ、低温でセメント原料のクリンカ焼成が可能。コンクリートとして硬化時にCO<sub>2</sub>を吸収する性格も持つ。
- 欧州でもholcim（スイス）など、廃棄物を原料と燃料に用いたセメントの製造を実施するなど、セメント産業の低炭素化の取組が進む。
- これらは高炉セメント、フライアッシュセメントといった従来型の**低炭素型セメントよりCO<sub>2</sub>削減効果が高く、今後取組みが加速することが考えられる。**

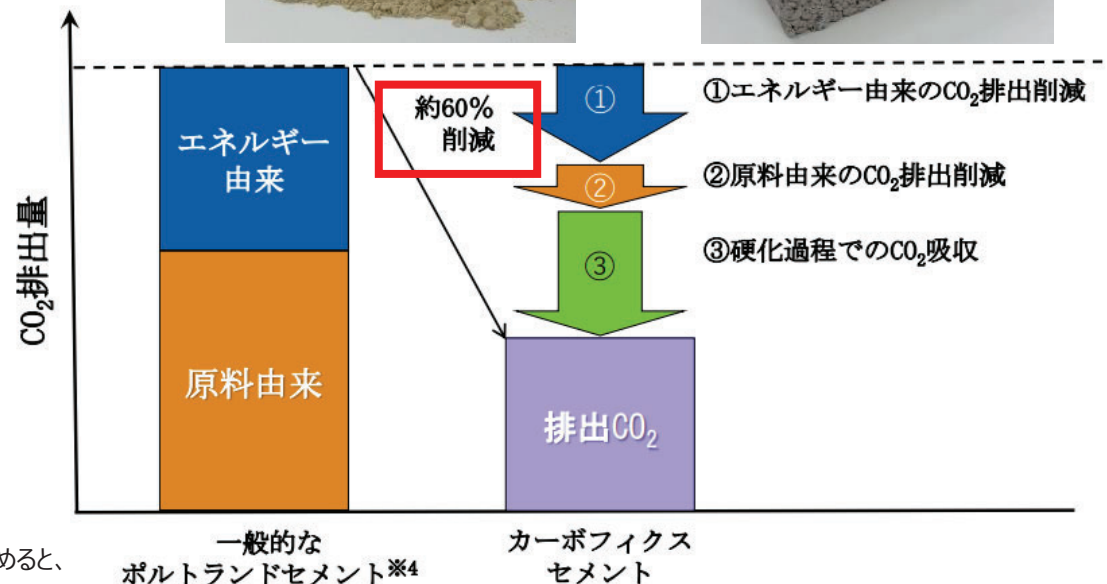
## カーボフィクスセメント(太平洋セメント)

- セメント原料中におけるカルシウム含有量を低減させ原料由来CO<sub>2</sub>を削減。
- 焼成温度を100度程度低温でセメント原料のクリンカ焼成が可能となり、燃料から排出されるエネルギー由来CO<sub>2</sub>を削減。
- また、コンクリートとして硬化させる段階でCO<sub>2</sub>吸収させることで更なるCO<sub>2</sub>削減効果を発揮。

## <セメントごとの流通量、CO<sub>2</sub>排出量>

セメント種類	国内販売量	トン当たりCO <sub>2</sub> 排出量
普通セメント	3430万トン	758.2kgCO <sub>2</sub> /t-cem
高炉セメント	1038万トン	439.6kgCO <sub>2</sub> /t-cem
フライアッシュセメント	36万トン	626.3kgCO <sub>2</sub> /t-cem

※カーボフィクスセメントは、コンクリートとして硬化する際のCO<sub>2</sub>固定化反応も含めると、普通セメントのCO<sub>2</sub>排出量の60%（456kgCO<sub>2</sub>/t-cem）程度削減。





# IEA "Achieving Net Zero Heavy Industry Sectors in G7 Members"

- 2022年5月、IEAはセメント、鉄鋼分野で2050年ネットゼロを達成するため、生産を維持しつつトランジションを実現するため、セメント産業等が取り組むべき方向性を定めた。
- 各国の事情を考慮したアプローチを前提に、セメント分野のCO<sub>2</sub>排出量やクリンカ比率の低減、CCUSの活用等の取組方針とともに、それを達成するため、国際的な協調、資金供給メカニズム、公共調達が必要などがまとめられた。

Table 3.3 Thresholds for near zero emission cement production using 100% clinker shown relative to conventional process technology

Emissions source	IEA reference values (kgCO <sub>2</sub> e/t cement)		Near zero emission production thresholds (kgCO <sub>2</sub> e/t cement)	
	Dry kiln		Direct	Direct + indirect
Fossil fuel use in clinker production	250	}	排出量6分の1	125
Fossil fuel use in alternative cement constituent production	0			
Calcination	520			
Imported electricity, heat and hydrogen	30		N/A	
Fossil fuel supply	35		N/A	
Raw material supply	15		N/A	
<b>Total</b>	<b>850</b>			<b>125</b>

Notes: All values rounded to the nearest 5 kgCO<sub>2</sub>e/t. See Box 3.3 for a description of the IEA reference values used in this document.

## ニアゼロセメントのCO<sub>2</sub>排出量について

- 現時点でのセメント製造における**排出CO<sub>2</sub>は850kgCO<sub>2</sub>/t-cem（日本は758kg）**
- 今後、化石燃料とプロセス由来CO<sub>2</sub>を**2050年には125kgCO<sub>2</sub>/t-cemに削減する目標**。
- セメントCO<sub>2</sub>排出原単位ベースで達成している国、地域は現時点で存在しない（採算性を考慮せずに化学吸収法での対策等は考えられるが現実的でない）。
- 今後、GI基金による脱炭素技術の社会実装に向けた取組やCCSなど関連施策の適用が想定。

- IEAのシナリオでは、重工業のCO<sub>2</sub>排出量は2050年までに95%以上削減される。
- セメントはクリンカ比率を0.8から0.6へ。CCUSや実証技術等の活用、クリーンエネルギー等への燃料転換を想定。

# 国内セメント産業界のカーボンニュートラルに向けた長期ビジョン

- 2022年3月、セメント協会は、2050年カーボンニュートラルへの実現の計画として、既存計画から更なる脱炭素の取組を拡充した「カーボンニュートラルを目指すセメント産業の長期ビジョン」を公表。
- セメントによるCO<sub>2</sub>固定への貢献、焼成用エネルギーの燃料転換、グリーン成長戦略に併せた、革新的な研究開発といった、今後新たに取り組むべき事項を追加するなど、取り組むべき目標を明確化。

## 脱炭素社会を目指すセメント産業の長期ビジョン（ポイント）

### 1. 本ビジョン策定経緯及び狙い

カーボンニュートラルの実現に貢献するため、2050年に向けての目指す対策と絵姿をビジョンとして示した。

### 2. 広義の国内需要量

2050年における広義の国内需要量は3,400万 t ~4,200万 t 程度と予想。

### 3. セメント産業の果たすべき役割

[基礎素材の供給者]、[循環型社会形成への貢献]、[地域経済への貢献]、[災害廃棄物処理への貢献]

### 4. 目指すべき対策の方向と克服すべき課題

目指すべき対策には「非連続なイノベーション」が不可欠。また建設業界をはじめとしたステークホルダーの理解と協力も必要。

- ・クリンカ/セメント比の低減 ・投入原料の低炭素化 ・省エネ推進 ・焼成温度を低減させる低炭素型セメントの開発
- ・使用エネルギーの低炭素化 ・低炭素型新材料の開発 ・CCUSへの取り組み
- ・セメントカーボネーション（セメント水和物による二酸化炭素の固定効果） ・コンクリート舗装の推進による二酸化炭素低減

### 5. 2050年に向けて目指す対策

#### （1）プロセス起源二酸化炭素

- ・クリンカ/セメント比を0.825に低減。セメントカーボネーションによる二酸化炭素の固定（強制的な固定化は含めない）

#### （2）エネルギー起源二酸化炭素

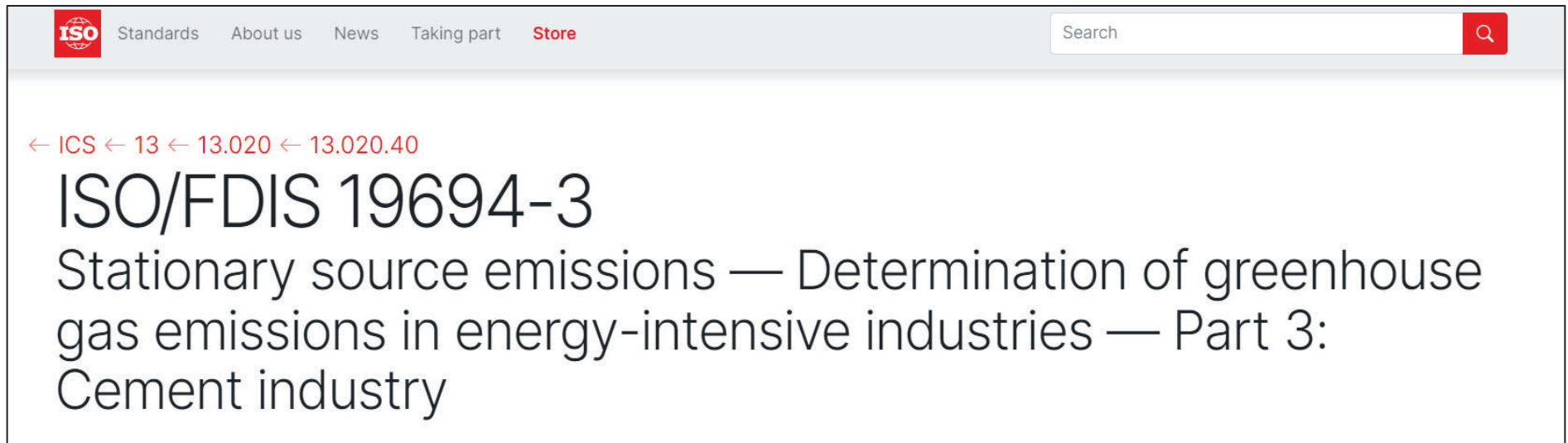
- ・省エネの推進、焼成エネルギーについて代替廃棄物の利用拡大、ゼロエミ系エネルギーの増加、自家発電設備の燃料転換

#### （3）プロセス起源、エネルギー起源両方に向けた二酸化炭素の回収・利用・貯留

- ・国のグリーン成長戦略等に沿いながら、技術開発を推進し、CCUS技術によって削減を目指す

# セメントにおける工場由来CO<sub>2</sub>排出量の評価方法の動向

- セメント工場から排出されるCO<sub>2</sub>の算定方法においてはISO FDIS 19694-3が審議中。セメント産業からのGHG排出量の算定に関する基準を策定するもの。
- セメント工場から排出源からの直接的なGHG排出（スコープ1）、購入電力の発電によるエネルギー間接GHG排出量（スコープ2）、その他の間接GHG排出量（スコープ3）をターゲット。
- 今後、セメント製造由来の排出CO<sub>2</sub>は当該規格による算出方法がスタンダードとなる見込み。



The screenshot shows the ISO website interface. At the top, there is a navigation bar with links for 'Standards', 'About us', 'News', 'Taking part', and 'Store'. A search bar is located on the right side. Below the navigation bar, the breadcrumb trail reads: '← ICS ← 13 ← 13.020 ← 13.020.40'. The main heading is 'ISO/FDIS 19694-3', followed by the title 'Stationary source emissions — Determination of greenhouse gas emissions in energy-intensive industries — Part 3: Cement industry'.

<https://www.iso.org/standard/70747.html>

## 參考資料

# グリーンイノベーション基金を活用したカーボンリサイクル技術開発等（コンクリート）

- コンクリートは大規模に長期間利用されるため、CO<sub>2</sub>を用いたコンクリートの普及はカーボンニュートラル実現に大きく貢献。他方で、CO<sub>2</sub>削減量の最大化・用途拡大・低コスト化が課題。
- このため、グリーンイノベーション基金を活用し、以下の技術開発に取り組み、社会実装を目指す。
  - ①「CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリート」の開発
    - ✓ CO<sub>2</sub>を原料とするコンクリート材料の開発
    - ✓ より低コストなコンクリート製造・現場施工技術の開発
  - ②コンクリート内CO<sub>2</sub>量の評価及び品質管理手法の確立、標準化

## ＜グリーンイノベーション基金「CO<sub>2</sub>を用いたコンクリート等製造技術の開発」事業イメージ＞

### ①CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリートの開発



### ②コンクリート内CO<sub>2</sub>量の評価及び品質管理・標準化



### （参考）グリーンイノベーション基金事業実施予定者

グループ1：鹿島建設、デンカ、竹中工務店ほか

グループ2：安藤・間、内山アドバンス、灰孝小野田レミコン、大阪兵庫コンクリート工業組合、大成ロテック、電力中央研究所ほか

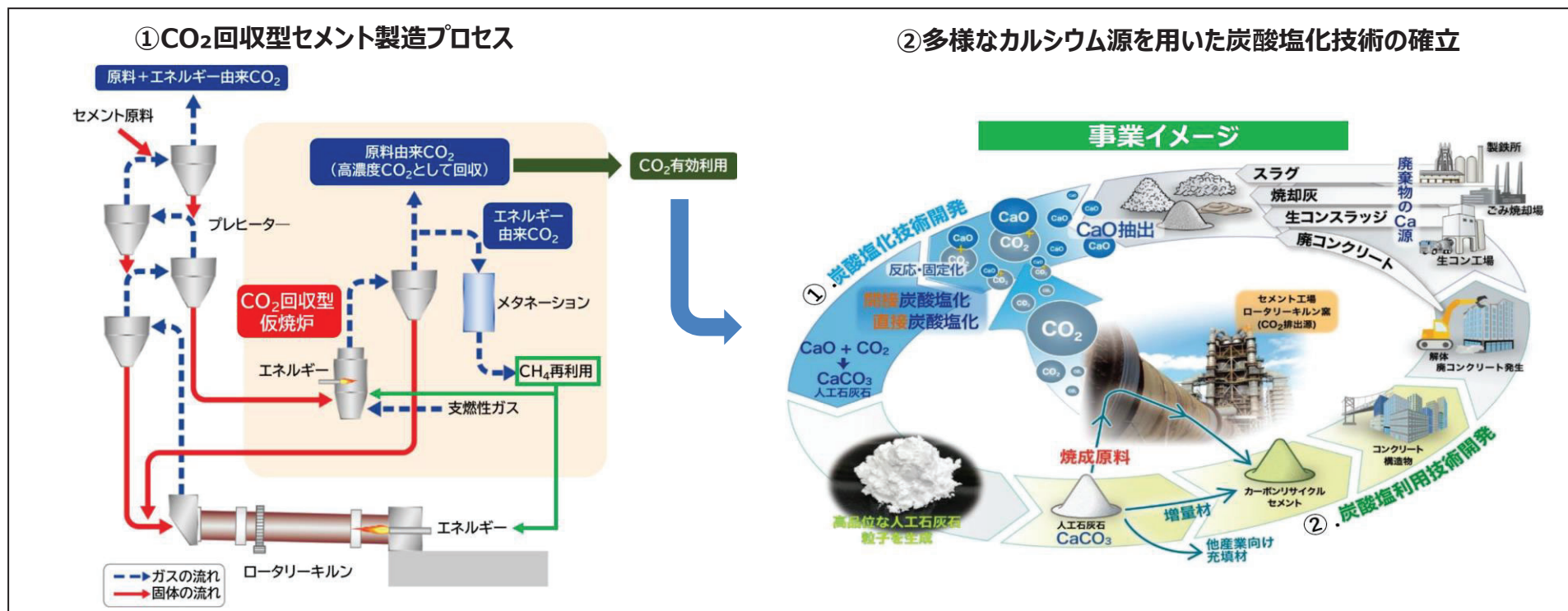
グループ3：東京大学ほか

※紫色に変色しない部分が、CO<sub>2</sub>が固定されている箇所

# グリーンイノベーション基金を活用したカーボンリサイクル技術開発等（セメント）

- セメントの原料は石灰石や粘土など。主な原料である石灰石（ $\text{CaCO}_3$ ）は、脱炭酸反応により、 $\text{CO}_2$ が必然的に発生するため、革新的なセメント製造プロセスの確立が必要。
- このため、グリーンイノベーション基金を活用し、以下の技術開発に取り組み、社会実装を目指す。
  - ①  $\text{CO}_2$ を全量近く回収する、 $\text{CO}_2$ 回収型セメント製造プロセスの開発
  - ② 回収 $\text{CO}_2$ を用いた、多様なカルシウム源を用いた炭酸塩化技術の確立

＜グリーンイノベーション基金「 $\text{CO}_2$ 回収型セメント製造プロセスの開発」事業イメージ＞



①  $\text{CO}_2$ 回収型セメント製造プロセス：太平洋セメント、IHI、東京瓦斯

② 多様なカルシウム源を用いた炭酸塩化技術：住友大阪セメント、山口大学、京都工芸繊維大学、東京工業大学、UBE三菱セメント、東京大学、大成建設

【支援規模総額】約200億円 ※2021年度から10年間の概算。提案総額であり、今後の手続き等により変更の可能性あり

# グリーンイノベーション基金プロジェクトへの既存事業等の活用

- CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリートの開発・実証を効率的に遂行すべく、**NEDO交付金事業等の成果を最大限活用**する。
- CO<sub>2</sub>分離・回収分野等、関係するグリーンイノベーション基金事業の進捗を注視し、必要に応じて連携・成果の取り込み等を実施。関連学会等と連携し、取組の全体像を随時発信していく。

