

セメント・ コンクリート

CEMENT&CONCRETE

一般社団法人セメント協会
JAPAN CEMENT ASSOCIATION

カーボンニュートラルとセメントのこれから 創刊900号記念特集



ハイブリッド混和剤

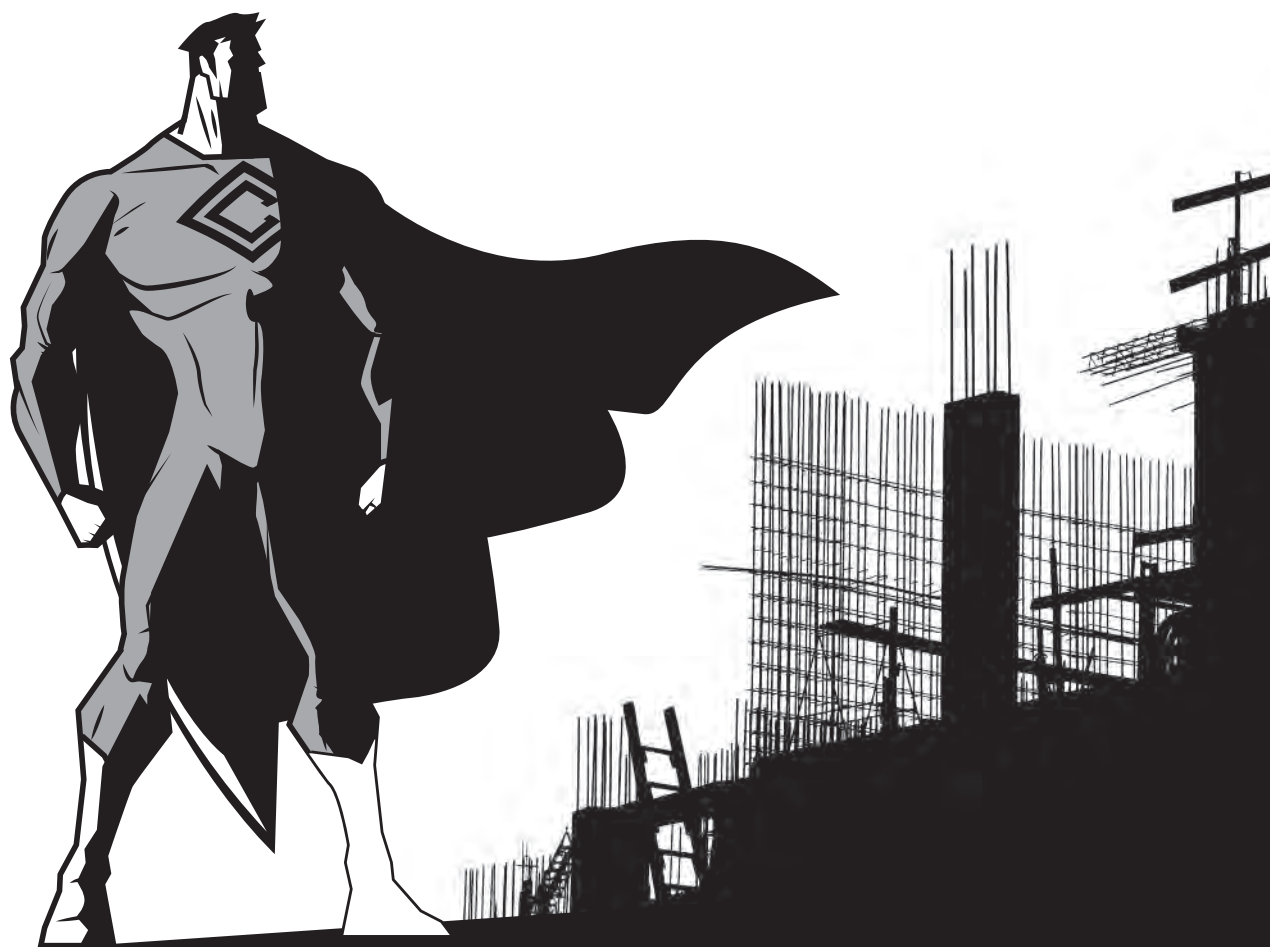
目指したのは「丈夫で長持ち」。

乾燥収縮の低減でひび割れを抑制、耐久性を向上。

過度なブリーディングを抑え、より緻密な組織へ。

高い減水性能で扱いやすく、施工不良のリスクも低減。

高品質なコンクリートは建設廃材を減少させ、環境にも貢献。

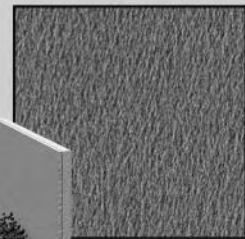


ゴア® ロー・ドラッグ フィルターバッグで 生産性を改善

従来フィルターメンブレン



ゴア® ロー・ドラッグ
フィルターメンブレン



パルスエアー



- エミッションの低減
- フィルターバッグの寿命延長
- 処理風量の増加と送風機のエネルギーコスト低減



ゴア ロー・ドラッグ



<https://www.gore.co.jp/LD-filterbag>

お問い合わせ ☐ filterbags_JP@wlgore.com





White Carbon



RRCS

Ready-mixed & Returned
Concrete Solution Association

一般社団法人 生コン・残コンソリューション技術研究会



明日はどんな

景色を作ろう

 **青木あすなろ建設**
AsunaroAoki
<https://www.aaconst.co.jp/>

株式会社 **浅沼組**

 **ReQuality**
つくるのは、よりよい循環です。



はこ
誇れる歴史がある
つく
創りたい未来がある

 **Asanuma**

本社・大阪本店 〒556-0017 大阪市浪速区湊町1丁目2番3号 TEL.06-6585-5500(代表)
東京本店 〒108-0023 東京都港区芝浦2丁目1番6号 TEL.03-5232-5888(代表)

お客様の満足と信頼を得られる製品を提供します。



確かな品質の製品の安定供給、拠点網の拡充、プロの育成…

我が社は、どんなに時代が変化しようとも、それに負けない
技術力と行動で、お客様のニーズにこたえ続けてきました。

これからも、私たちはアドバンス(ADVANCE=前進)の
名のもとに、無限の可能性を迫及してまいります。



株式会社 内山 アドバンス

千葉県市川市新井三丁目6番10号 TEL047(398)8801(代)

代表取締役社長 柳 内 光 子



100年企業を目指し 新たなステージへ



株式会社佐藤渡辺

<http://www.watanabesato.co.jp/>

〒106-8567 東京都港区南麻布1-18-4 TEL03(3453)7351 FAX03(3798)1348



OSAKA
HYOGO
CIA



大阪兵庫生コンクリート工業組合

OSAKA-HYOGO READY-MIXED CONCRETE INDUSTRIAL ASSOCIATION



理事長 **木村 貴洋**

【事務局】 〒530-0001 大阪市北区梅田 1-1-3 大阪駅前第3ビル4階5号

TEL 06-6344-5231 FAX 06-6344-7705

【技術センター】 〒658-0024 神戸市東灘区魚崎浜町 1-20

TEL 078-451-5030 FAX 078-451-5031

<https://www.osakahyogokousou.or.jp>



SUSTAINABLE
DEVELOPMENT
GOALS

私たちは持続可能な開発目標（SDGs）を支援しています。



まちの、こどもの、あしたの、ために。

大阪広域生コンクリート協同組合

品質保証・安定供給・安定価格・社会貢献

理事長 **木村 貴洋**

〒541-0048 大阪市中央区瓦町2丁目4番7号 新瓦町ビル5階

TEL 06-6222-5661 FAX 06-6222-5662

<https://www.osaka-kouiki.or.jp>



道からはじまる街づくり

～道路舗装業界を代表する企業として～
「道づくり」とおして社会に貢献し続けます



日本道路株式会社

〒105-0004 東京都港区新橋 1 - 6 - 5

TEL 03-3571-4893 FAX 03-3289-1655

URL/<http://www.nipponroad.co.jp/>



未来へ。信頼を築く。

100 years of quality.
communication, teamwork, technology



自然に触れる
人の笑顔を大切に！
環境に優しい
コンクリート



灰孝小野田レミコン株式会社

滋賀県大津市本宮一丁目4番26号 TEL.077-522-9166(代表)

URL:<https://haikou.co.jp>

AE剤 **ヴィンソル**

AE減水剤 **ヤマソー 09NL**
(高機能タイプ)

収縮低減剤 **ヤマソー DS100**

AE減水剤(高機能タイプ・ブリーディング低減型) **ヤマソー 16NB**

高性能AE減水剤 **ヤマソー V1S**

高性能AE減水剤(収縮低減タイプ) **ヤマソー V1-DS**

スランプ保持剤 **ヤマソー 2020**

AE減水剤 **ヤマソー 90SE**

高流動コンクリート用分離低減剤 **ヤマソー ビスコン**

AE減水剤 **ヤマソー 02NL**
(高機能タイプ)

あした
明日へ繋げる

コンクリートという無機質の中から
人々が理想とする安心・安全・快適さを実感できる、
より良い街づくりのお手伝いをします。



 **山宗化学株式会社**
YAMASO CHEMICAL CO., LTD.

本社 ●〒104-0032 東京都中央区八丁堀2-25-5 ☎03-3552-1341 (代)
東京営業部 ●☎03-3552-1261
支店 ●大阪/☎06-6353-6051 福岡/☎092-483-8567 札幌/☎011-662-5552
営業所 ●広島/☎082-237-3083 仙台/☎022-224-0321 北陸/☎0776-28-2566
出張所 ●静岡/☎054-202-5111 高松/☎087-863-7565
事務所 ●平塚/☎0463-23-5536

<https://www.yamaso-chem.co.jp/>



大きく育てたい
未来がある

SHIMZ Beyond Zero 2050

ゼロの先にある豊かさをつくる、 シミズの環境ビジョン

私たちが築きたいのは、ゼロの先にあるプラスの世界。
今を生きる人々のために、未来を生きる子どもたちのために。
自社の活動による負の影響をゼロにするだけでなく、
顧客や社会にプラスの環境価値を提供したい。
シミズグループは目指すべき持続可能な社会を
「脱炭素」「資源循環」「自然共生」の3つの視点で捉え、
イノベーションによる豊かな環境価値の創造に
取り組んでまいります。

SHIMZ
Beyond Zero 2050
特設サイト



子どもたちに誇れるしごとを。

SHIMIZU CORPORATION

清水建設

コンクリートリサイクルを通じて カーボンニュートラル社会の実現へ



増尾リサイクル

東京都荒川区西日暮里2丁目18番1号 増尾ビル8階
<http://www.masuo-group.com/>

パワフル減水剤

kao 
自然と調和する
こころ豊かな毎日をめざして



常に時代をリードする、
オールマイティプレーヤー。
それが**マイティ**です。

時代はマイティ

より高性能、さらに高品質。

花王は、時代のニーズに合わせて、高性能減水剤
そして高性能AE減水剤を世に送り出してきました。

これまでも、これからも、
花王のマイティは時代を先取りしていきます。
"高性能"それはマイティの代名詞です。

高性能減水剤

マイティ21シリーズ

高性能AE減水剤

マイティ3000シリーズ

花王株式会社

東京 :: 〒131-8501 東京都墨田区文花2-1-3 TEL.03-5630-7654
大阪 :: 〒550-0012 大阪市西区立売堀1-4-1 TEL.06-6533-7434

セメント・ コンクリート

創刊900号記念

特集／カーボンニュートラルとセメントのこれから

2022
No.900

2

CEMENT&CONCRETE

目次

03	900号発刊にあたり	…岸 和博
04	巻頭論説 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	…野口 貴文
10	セメント産業のカーボンニュートラルに向けた取り組み をめぐる国の動向	
12	セメント各社の動き 2050年カーボンニュートラルに向けた取り組み／ 太平洋セメント	…星野 清一ほか
18	カーボンニュートラルに向けた取り組みと技術開発の 展開／宇部興産	…迫立 修士ほか
24	低炭素型セメントの技術動向／三菱マテリアル	…松島 正明ほか
30	2050年カーボンニュートラル達成への取り組み“SO- CN2050”／住友大阪セメントグループ	…飯島 智彦
38	ずいそう カラオケが夢の中でも追いかけてくる	…関根 福一
40	セメントユーザーの取り組み NEDOムーンショット型研究開発「C ⁴ S研究開発 プロジェクト」の現状と展望	…野口 貴文
46	CPコンクリートによるCO ₂ 吸収に対するRRCSの 取り組み	…野口 貴文
51	生コン業界のカーボンニュートラルに向けた課題	…全国生コンクリート工業組合連合会
54	コンクリート分野におけるカーボンリサイクル関連 スタートアップ企業の動向	…滝川 晃史ほか
58	エコタンカル(軽質炭酸カルシウム)とその可能性	…佐々木 猛ほか
64	CO ₂ 固定型カーボンネガティブコンクリート CO ₂ -SUICOMの開発と今後の展開	…取達 剛ほか
70	カーボンリサイクル材料を用いてカーボンネガティブを 実現したT-eConcrete®/Carbon-Recycleの開発	…大脇 英司ほか
76	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	…小島 正朗ほか
82	浮遊選鉱法による改質フライアッシュを使用したジオ ポリマーコンクリート二次製品の開発	…高巢 幸二ほか
90	シリーズ ● セメント産業 脱炭素・低炭素社会を目指すキーワード プロローグ: 脱炭素化社会を目指す新技術	…下坂 建一
37	EVENT GUIDE	
89	今月の推薦図書	
93	セメント・データファイル	
94	主要建設工事・資材統計	
96	3月号予告	
	今月の表紙 太平洋セメント(株)大分工場(左上), 三菱マテリアル(株)九州工場 (右上), 住友大阪セメント(株)赤穂工場(左下), 宇部興産(株)宇 部伊佐鉱山(右下)	

一般社団法人 セメント協会加盟会社

八戸セメント(株)

本 社 〒031-0813 青森県八戸市大字新井田字下鷹待場7-1 ☎0178-33-0111

日鉄高炉セメント(株)

本 社 〒803-0801 福岡県北九州市小倉北区西港町16番 ☎093-563-5100

日鉄セメント(株)

本 社 〒050-8510 北海道室蘭市仲町64 ☎0143-44-1693
東京事務所 〒103-0022 東京都中央区日本橋室町4-3-12(パンセイ室町ビル5階) ☎03-3279-0581

東ソー(株)

東京本社 〒105-8623 東京都港区芝3-8-2(芝公園ファーストビル) ☎03-5427-5100
南陽事業所 〒746-8051 山口県周南市開成町4560 ☎0834-63-9800

(株)トクヤマ

東京本部 〒101-8618 東京都千代田区外神田1-7-5(フロントプレイス秋葉原) ☎03-5207-2500

琉球セメント(株)

本 社 〒901-2123 沖縄県浦添市西洲2-2-2 ☎098-870-1080

荻田セメント(株)

本 社 〒820-0018 福岡県飯塚市芳雄町7-18 ☎0948-22-3604

太平洋セメント(株)

本 社 〒112-8503 東京都文京区小石川1-1-1(文京ガーデン ゲートタワー) ☎03-5801-0333

敦賀セメント(株)

本 社 〒914-8686 福井県敦賀市泉2-6-1 ☎0770-22-1100

宇部興産(株)

東京本社 〒105-8449 東京都港区芝浦1-2-1(シーバンスN館) ☎03-5419-6110
宇部本社 〒755-8633 山口県宇部市大字小串1978-96 ☎0836-31-2111

(株)デイ・シイ

本 社 〒210-0005 神奈川県川崎市川崎区東田町8(パレール三井ビルディング17階) ☎044-223-4751

デンカ(株)

本 社 〒103-8338 東京都中央区日本橋室町2-1-1(日本橋三井タワー) ☎03-5290-5055

麻生セメント(株)

本 社 〒814-0001 福岡県福岡市早良区百道浜2-4-27(AIビル11階) ☎092-833-5100

明星セメント(株)

本 社 〒941-0064 新潟県糸魚川市上刈7-1-1 ☎025-552-2011

三菱マテリアル(株)

本 社 〒100-8117 東京都千代田区丸の内3-2-3(丸の内二重橋ビル) ☎03-5252-5201

日立セメント(株)

本 社 〒317-0062 茨城県日立市平和町2-1-1 ☎0294-22-2111
東京事務所 〒171-0033 東京都豊島区高田3-31-5(マルカプビル) ☎03-3984-4158

住友大阪セメント(株)

本 社 〒102-8465 東京都千代田区六番町6番地28 ☎03-5211-4500

900号発刊にあたり



本誌編集委員長
岸 和博

セメント・コンクリート誌はこの2月号をもって発刊900号を迎えました。900号発刊に当たって、編集委員長として、ご挨拶を申し上げます。

まずは、これまでの間、本誌を支えて下さった読者の皆さん、編集関係の皆さんに感謝申し上げます。

本誌は1947年に当時の日本セメント技術協会から創刊・発行され、わが国のセメント・コンクリートに関する技術、その利用技術に関する情報を皆様にご提供することでセメント・セメント系固化材あるいはコンクリートの技術力の向上、これらの普及拡大に貢献してまいりました。

セメントが本格的に生産されてから約140年。この間、人の命と社会を守るインフラ整備の基礎材料という使命を果たし続け、同時に社会情勢への迅速な対応やニーズを先取りした様々な技術革新が行われてきました。本誌にもその時代の情勢が反映されています。700号、800号を振り返ってみますと700号(2005年6月)では「セメント・コンクリート技術－その展開と挑戦」として、製品の性能、耐久性、施工技術等の技術向上、循環型社会を支えるリサイクル技術向上へ取り組むという、需要減少の中で取り組む方向性について特集されています。800号(2013年10月)は「国土強靱化に挑む－セメント・コンクリートが貢献できること」という特集です。2011年3月の東日本大震災で再認識されたセメント・コンクリートの価値をさらに向上させる取り組み記事です。また、土木建設業界で活躍する女性技術者のインタビュー記事や寄稿が掲載されています。建設会社の女性を主人公とした「ドボジョ！」というタイトルの漫画が話題になった時でもあります。

今回の900号は「カーボンニュートラルとセメントのこれから」というテーマで特集を組みました。「2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、2050年カーボンニュートラルの実現を目指す」、「2030年度の温室効果ガスの削減目標を2013年度比で46%減を目指す」ことが宣言されました。セメント産業は省エネルギーを通じてエネルギー由来のCO₂削減を強力に進めてきましたが、セメント製造におけるCO₂排出量の約60%を占める主原料の石灰石からのCO₂をも含めた削減に取り組む必要があります。約140年間にわたって担ってきた役割に加え、持続可能な産業・材料とすべくカーボンニュートラルへの取り組みを加速・実現しなければなりません。セメントメーカーに限らず、セメント・コンクリートに携わるすべての人々が一体となって英知を結集して解決すべき課題と思います。既に着手している様々な取り組みを見ると、新たな排出を抑えるだけでなく過去の排出分を回収できる、すなわちニュートラルを越えたマイナスへの可能性も含んでいると感じます。

今回は、セメント業界、セメント各社に加え、ゼネコン、材料メーカー等のユーザーサイドのカーボンニュートラルへの取り組みをご紹介しますとともに連載記事として継続掲載することとしました。従来の読者の皆様に加え、将来の脱炭素社会構築を担う若手技術者・学生の皆さんにも興味を持っていただける誌面を目指してまいります。1000号は今回の900号からの取り組みの総括と2050年度の最終目標に向けた明るく力強い記事で埋まっていることと思います。本号がそのスタートラインとなることを祈念しています。

[三菱マテリアル(株) 上級顧問]

巻頭論説

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

Toward the carbon-neutral era - Expectations for cement

野口 貴文

by NOGUCHI Takafumi

1. セメント・コンクリートに関わるCO₂

コンクリートの主要材料であるポルトランドセメントが1824年に開発されて以来、人類社会の近代化・経済成長に伴って、コンクリートは土木構造物や建築物を構築するのに必要不可欠な建設材料として、図1に示すように、膨大な量のセメントが生産され利用されてきた。20世紀以降におけるセメントの累計生産量は、世界全体で約1,100億t(日本：約40億t)であり²⁾、コンクリート構造物の蓄積量は、世界全体で8,400億t(日本：約300億t)を超えるものと推計される。一方、セメントの生産によって、大量の二酸化炭素が大気中に放出されてきており、その累積量は世界全体で約850億t(日本：約30億t)を上回ると考えられ、地球に存在する二酸化炭素28,000億t³⁾の約3%を占めている。また、最近のセメント生産による年間の二酸化炭素排出量は、世界全体で約28億tであり、世界全体の総排出量の約8%を占めており⁴⁾、セメント産業を一国と考えれば、図2に示すように、中国、米国に次ぐ世界第3位の排出国となる。さらに今後も、発展途上国を中心に社会資本整備が継続するとすれば、図3に示すように、2050年における世界全体でのセメントの生産量

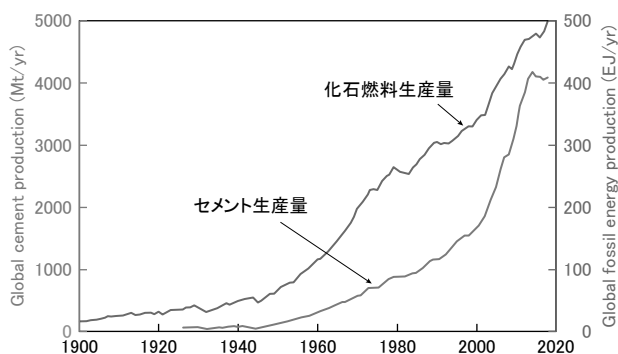


図1 世界全体でのセメント生産量の履歴¹⁾

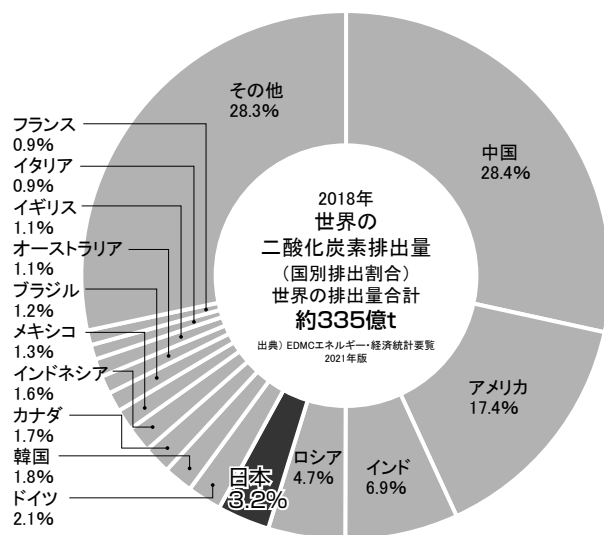


図2 各国の二酸化炭素排出量⁵⁾

は、現在の1.2倍程度に増加することが予想されている⁶⁾。なお、2021年8月に公表されたIPCC第6次評価報告書・第1作業部会報告書において、セメント生産時に排出される脱炭酸起源のCO₂の半分以上がコンクリートの炭酸化によって吸収されることが初めて



のぐち たかふみ
東京大学 大学院工学系研究科 教授 博士(工学)

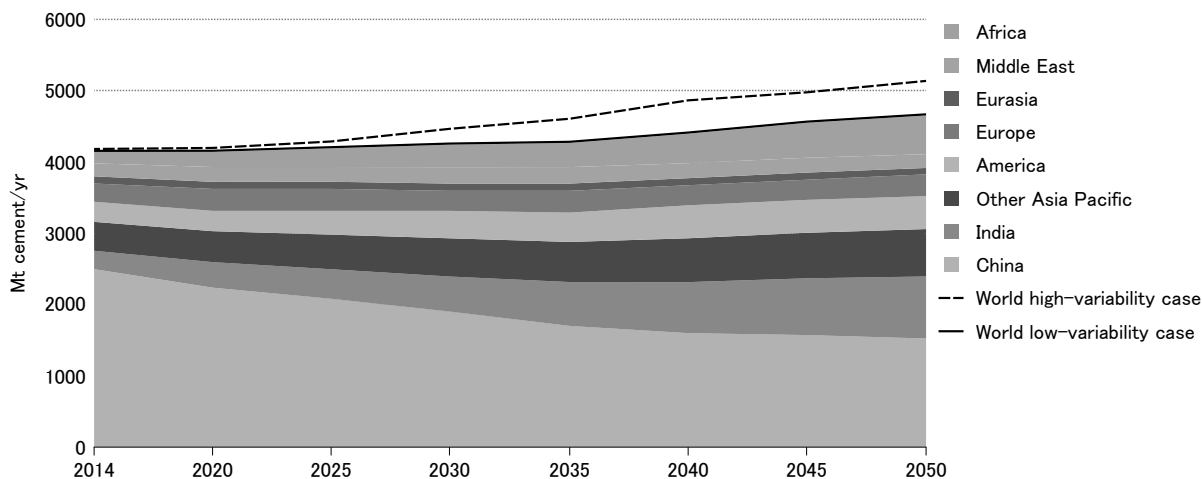


図3 世界全体でのセメント生産量の将来予測⁶⁾

示された⁷⁾。

2. CO₂に関わる世界の目標

国連環境開発会議(地球サミット)がリオデジャネイロで開催され「気候変動枠組条約」が締結されたのは1992年6月、今から約30年前のことである。その後、「気候変動枠組条約」に基づき、1997年12月には、COP3(第3回気候変動枠組条約締約国会議)において、2020年までの地球温暖化対策の目標と具体的なルール(先進国に課された義務)を定めた「京都議定書」が採択され、2015年12月には、COP21において、全参加国に2020年以降の温室効果ガスの排出削減目標の提出が義務付けられた「パリ協定」が採択された。パリ協定には、工業化以前からの気温上昇量を2℃より十分低く抑えること(1.5℃以下に抑える努力をすること)、そのために21世紀後半に温室効果ガスの排出量と吸収量のバランスをとること(実質的排出量をゼロとすること)が長期目標として掲げられた。そして、2021年11月、COP26における公式合意文書「グラスゴー気候合意」には1.5℃目標が明記された。図4に示すように、毎年、海洋・森林・土壌などの自然による吸収量の2倍を超える335億t⁸⁾以上のCO₂が人為的活動によって排出されており、カーボンニュートラルを実現するためには、人為的活動によるCO₂排出量を自然による実質的な吸収量(「自然による吸収量」-「自然からの排出量」)以下にしなければならない。すなわち、

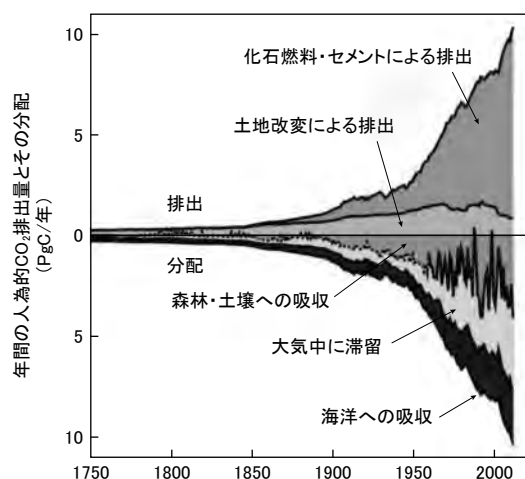


図4 世界全体のCO₂排出量・吸収量の推移
[文献⁸⁾を修正, PgC: 炭素換算で10¹⁵g]

大気中に滞留するCO₂量(1年間に161.6億t⁹⁾)をゼロにしなければならない。

3. CO₂に関わる日本の目標

2020年10月における菅義偉首相(当時)の所信表明演説において、2050年カーボンニュートラル化が宣言された後、2021年4月、気候変動サミット直前の地球温暖化対策推進本部の会合で、2030年までに2013年度比46%減とする温室効果ガスの削減目標が示された。それらに対応して、2021年6月に閣議決定された「成長戦略実行計画」で、2兆円基金により10年間、カーボンニュートラルに向けた革新的イノベーションを継続すること、カーボンリサイクル技術の国内実装・グローバル展開を目指すこと、カーボンプライシング・ESG金融を促進することなどが

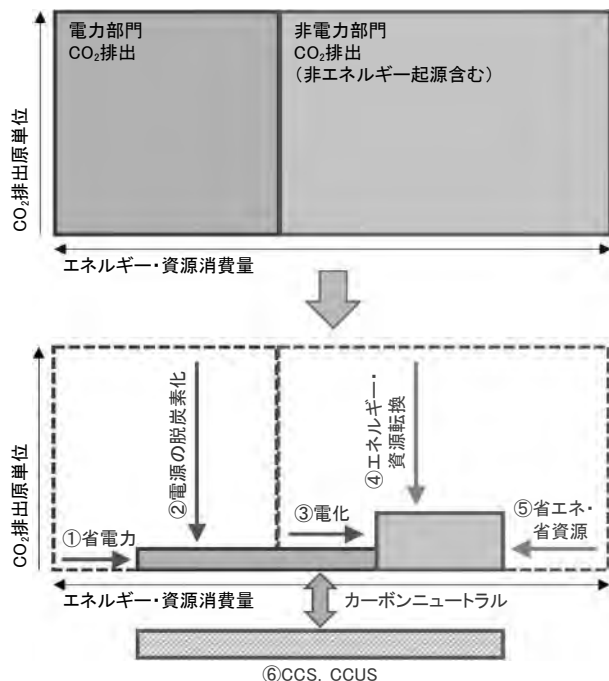


図5 社会全体でのカーボンニュートラル化の方策
[文献¹⁰⁾を基に作成]

謳われた。また、2021年10月に閣議決定された「地球温暖化対策計画」では、脱炭素に必要な循環経済（サーキュラーエコノミー）へと戦略的に移行すること、経済的に利用可能な最善の技術（BAT：Best Available Technology）を最大限導入すること、セメント製造プロセスの省エネルギー化、混合セメントの利用拡大、およびCO₂吸収型コンクリートの公共調達による販路拡大を図ることなどが謳われた。カーボンニュートラル宣言からすでに1.25年が過ぎ去り、2030年までの10年間の1/8が経過したことになるが、果たして目標は達成できるであろうか。

4. CO₂に関わるセメント分野への期待

以上のような気候変動・地球温暖化・CO₂排出に関する国内外における過去の履歴、現在の動向、未来の方向性を踏まえると、2050年カーボンニュートラルに向けて、セメント・コンクリート分野に対しては、不安と期待が入り混じった微妙な感覚を覚えるのではないと思う。なぜならば、石灰石を原料として1450℃という高温焼成で大量に生産されてきたポルトランドセメントを主製品とするセメント業界では、カーボンニュートラル化そのものが、従来

表1 セメント分野におけるカーボンニュートラル化の方策

①	省電力	■セメント製造における効率的な粉碎・分級・冷却設備の導入 ■セメント製造時の排ガスの廃熱を利用した発電の実施
②	電源の脱炭素化	■セメント製造における再生可能エネルギー（太陽光発電・風力発電・地熱発電・水力発電・バイオマス発電など）の利用
③	電化	■該当技術なし
④	エネルギー・資源転換	■セメント製造における廃棄物・副産物の代替エネルギー源・石灰石代替原料としての利用 ■クリンカーの太陽光焼成技術の開発
⑤	省エネ・省資源	■低温焼成クリンカーの開発 ■混合セメントの製造
⑥	CCS・CCUS (炭素回収・貯留、炭素回収・有効利用・貯留)	■セメント製造時の排ガスからのCO₂回収技術の開発および回収CO₂の利用・固定化 ■コンクリート廃棄物等から製造した人造炭酸カルシウムの石灰石代替原料としての利用 ■CO₂と反応して硬化するセメントの開発

の生産体系を破壊しかねない挑戦的過ぎる目標であるからであり、一方で、世界で最も大量に生産されている人工物（コンクリート）の主要材料であるセメントがカーボンニュートラルになれば、セメント業界には持続的発展が約束されるからである。

さて、社会全体でカーボンニュートラル化を実現するためには、図5に示す6つの方策全てが実行されなければならないが、セメント分野に6つの方策を当てはめてみると、表1のようになる。このうち、①省電力については、これまでだけでなく現在もセメント製造における原料工程・焼成工程・仕上工程それぞれにおいてさまざまな省電力技術の導入が進められており¹¹⁾、また、廃熱発電もすでに各工場で実施されているため、よりいっそうの大幅な省電力化は困難であると考えられる。②電源の脱炭素化については、セメント各社で導入が進められているが、むしろ社会全体(特に、電力各社)での取組みに負うところが大きい。④エネルギー・資源転換のうちのセメント製造における廃棄物・副産物の代替エネルギー源・石灰石代替原料としての利用については、すでにさまざまな可燃性の廃棄物・副産物が代替エネルギー源として大量に利用されている¹²⁾。一方、クリンカーの太陽光焼成は、海外で実験的に試

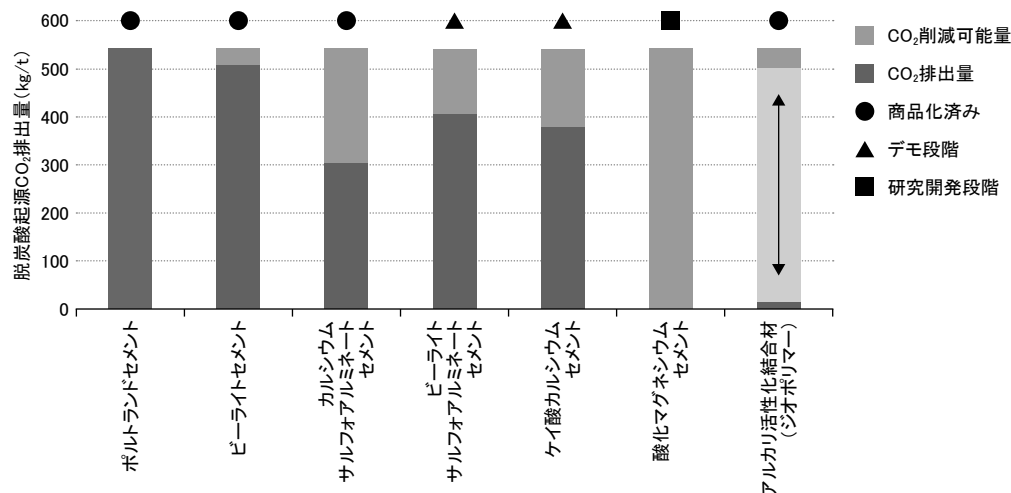


図6 低温焼成クリンカーの例
〔文献⁶⁾を修正〕

みられているが、大量生産という課題が残されている¹³⁾。⑤省エネ・省資源のうちの混合セメントの製造については、ポルトランドセメントの半分以上を高炉スラグ微粉末・フライアッシュ等の副産物や焼成粘土、石灰石微粉末などに置換したセメントがすでに開発・実用化されており^{14~16)}、ポルトランドセメントを全く含まない結合材(ジオポリマーなど)を用いたコンクリートもすでに開発・実用化されている^{17, 18)}。一方、低温焼成クリンカーは、図6に示すように、カルシウムサルフォアルミネートセメントやケイ酸カルシウムセメントなどのセメントが開発され、一部実用化されている⁶⁾。

しかしながら、セメント分野でも、社会全体および他分野と同様に、①～⑤の方策だけではカーボンニュートラルの達成が困難であることは明らかであり、CCS(炭素回収・貯留)技術およびCCUS(炭素回収・有効利用・貯留)技術が必要となる。CCS技術としては、セメント製造時の排ガスからのCO₂回収があるが、回収したCO₂量をインベントリから公式に控除するためには、回収したCO₂が有効に利用され、かつ長期的に安定して固定化された状態を継続できる必要があり、有効利用・固定化技術と合体させた取組みが求められる。一方、CCUS技術としては、セメント製造時の排ガスから回収したCO₂とコンクリート廃棄物等に含まれるCaを基に製造した人造炭酸カルシウムをセメント製造における石灰

石代替原料として利用する技術が考えられ、現在、NEDO事業の一環としてセメント各社で研究開発が実施されており¹⁹⁾、その実用化が期待される。

同様の技術として、人造炭酸カルシウムを混和材または骨材として用いる技術が国内外で開発・実用化されているが^{20~24)}、これらは、コンクリートとしては、セメントの製造で発生するCO₂を別のCO₂を吸収する材料を用いて相殺する形となるため、内的カーボンオフセットとも言えるものである。いずれにしても、CO₂をCaまたはMgと接触させて、化学的に安定なCaCO₃やMgCO₃に変換するといった炭酸塩化技術は、必要エネルギーも少なく、利用されたCO₂は固定化されて外部に漏れ出す恐れもないため、セメント分野における最も有効なCCUS技術であると言える。オフセット的な技術ではなく、セメント自体による直接的なCO₂有効利用技術としては、炭酸化養生²⁵⁾、およびCO₂と反応して硬化するセメント^{26, 27)}がある。炭酸化養生では、養生条件・工程の最適化、および中性化による鉄筋腐食への影響について、検討の余地が残されている。一方、CO₂と反応して硬化するセメントの鉱物は、 γ 相ビーライト(γ -C₂S)、ウォラストナイト(CS)またはランキナイト(C₃S₂)であるが、これらの利用は現在のところ工場製品に限られており、生コンクリート用材料としての利用に向けた技術開発が期待されている。

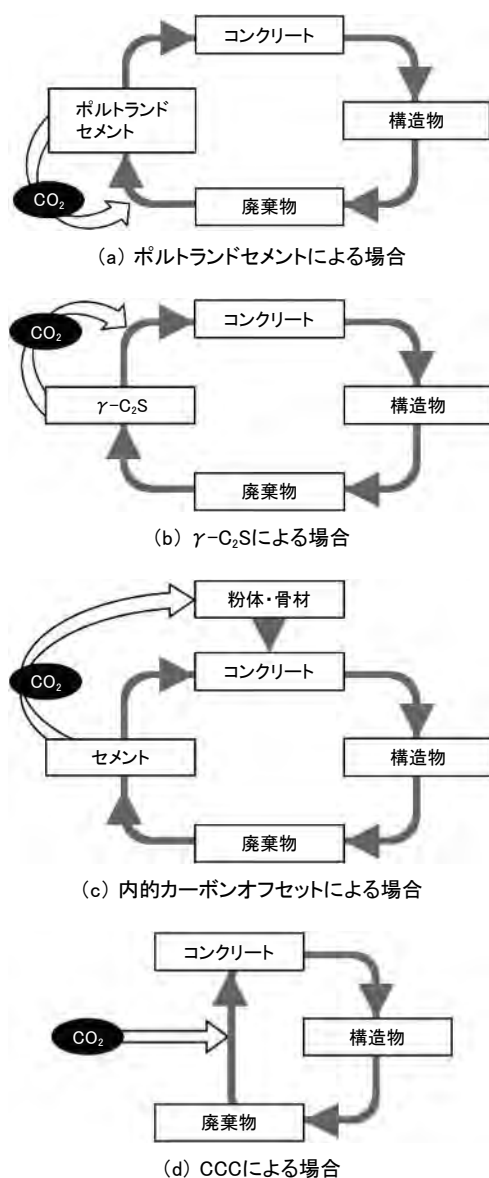


図7 セメント分野のCCUSにおける資源循環

また、Caを含む再生骨材とCO₂のみを原料とし、炭酸カルシウムを再生骨材間に析出させて結合・硬化させる炭酸カルシウムコンクリート(CCC)の研究開発が、ムーンショット型研究開発「C⁴S研究開発プロジェクト」として進められている²⁸⁾。

さて、地球の形成と人類社会の発展とを時間的に比較すると、石灰石は、永久に存在する資源とは言えず、いつか枯渇する日が訪れる。セメントを生産し続ける限り、CO₂の排出は宿命であり、その有効利用・貯留はセメント分野に課された使命である。つまり、我々がコンクリートを必要とする限り、CaとCO₂はともにバランスした状態で循環させる必要がある。すなわち、図7に示すように、(a) ポル

トランドセメントを製造しCO₂をセメント生産段階で利用、(b) CO₂と反応して硬化するセメントを製造、(c) CO₂から製造した炭酸塩をコンクリート用材料として利用、(d) CO₂の炭酸塩化による結合を利用、という4つの方策がカーボンニュートラルの鍵となる。いずれにしても、セメント分野は、CO₂排出者のままであるのか、それとも回収・利用者側にまわるのかが今問われている。グリーンカーボン、ブルーカーボンに次ぐ、第3のCO₂吸収源「ホワイトカーボン」として社会に認知されるよう、一丸となった取り組みが必要である。

【参考文献】

- 1) Robbie M. Andrew / Global CO₂ emissions from cement production, 1928-2018, Earth System Science Data, Discussions, <https://doi.org/10.5194/essd-2019-152>, 2019
- 2) Robbie M. Andrew / Global CO₂ emissions from cement production, Robbie, Earth System Science Data, Vol.10, Issue 1, pp.195~217, 2018
- 3) 自然科学研究機構国立天文台 / 理科年表オフィシャルサイト、二酸化炭素—地球に与える影響—, https://www.rikenenpyo.jp/kaisetsu/kankyou/kan_004.html (2022年1月4日)
- 4) Leah D. Ellis, Andres F. Badel, Miki L. Chiang, Richard J.-Y. Park and Yet-Ming Chiang / Toward electrochemical synthesis of cement - An electrolyzer- based process for decarbonating CaCO₃ while producing useful gas streams, PNAS, Vol.117, No.23, pp.12584~12591, 2020
- 5) 全国地球温暖化防止活動推進センター / 世界の二酸化炭素排出量(2018年), <https://www.jccca.org/global-warming/knowledge04> (2022年1月4日)
- 6) International Energy Agency and Cement Sustainability Initiative / Technology Roadmap, Low-Carbon Transition in the Cement Industry, 2018
- 7) IPCC AR6 WGI / Climate Change 2021 - The Physical Science Basis, <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/> (2022年1月4日)
- 8) IPCC / Climate Change 2013, The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Chapter 6 Carbon and Other Biogeochemical Cycles, 2013
- 9) NTT宇宙環境エネルギー研究所 / Beyond Our Planet, ブルーカーボンとは？吸収の仕組みや量、温室効果ガス対策との関係, <https://www.rd.ntt/se/media/article/0003.html> (2022年1月5日)
- 10) 秋元圭吾, 佐野史典 / 脱炭素社会に向けた対策の考え方, https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/green_innovation/pdf/gi_003_03_04.pdf (2022年1月5日)
- 11) セメント協会・生産技術専門委員会 / 生産技術専門委員会報告 T-22, 省エネルギー・省資源技術に関する報告書, 2002
- 12) セメント協会 / 循環型社会構築に向けた取り組み, 廃棄物・副産物の有効利用, <https://www.jcassoc.or.jp/seisankankyo/seisan01/seisan01a.html> (2022年1月5日)
- 13) SOLPART / D7.1 - Technical report on scaling up the solar process for cement, lime, dolomite and phosphate production (DLR), <https://www.solpart-project.eu/wp-content/uploads/2020/04/Deliverable-7.1-Summary.pdf> (2022年1月6日)
- 14) Karen Scrivener, Fernando Martirena, Shashank Bishnoi, Soumen Maity / Calcined clay limestone cements (LC3),

- Cement and Concrete Research, Vol.114, pp.49~56, 2018
- 15) 小林利充／脱炭素社会に向けた低炭素型のコンクリートに関する取組み, コンクリート工学, Vol.59, No.9, pp.770~775, 2021
- 16) 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
- 17) 松田拓／超低収縮・低炭素・低発熱・高強度・高流動を副産物で実現した高性能コンクリート, コンクリート工学, Vol.59, No.9, pp.788~793, 2021
- 18) 一宮一夫, 池田攻, 上原元樹／低炭素材料としてのジオポリマーの普及・活用, コンクリート工学, Vol.59, No.9, pp.794~800, 2021
- 19) 野口貴文／ムーンショット目標4の実現に向けたコンクリートの開発, セメント・コンクリート, No.888, pp.2~5, 2021
- 20) 大脇英司／高炉スラグ微粉末を利用した環境配慮コンクリートの炭酸ガス排出抑制から炭素の有効利用へ, コンクリート工学, Vol.59, No.9, pp.819~826, 2021
- 21) PAdeCS研究会／軽質炭酸カルシウム エコタンカル,

- <https://www.ncic.co.jp/products/environment/pdf/ecocaco3/concrete.pdf> (2022年1月6日)
- 22) Jonathan Rowland／Artificial Aggregates, ROCK PRODUCTS, Vol.123, Issue 7, pp.95~98, 2020
- 23) Carbon8 Systems／<https://c8s.co.uk/wp-content/uploads/2020/07/C8S-%E2%80%93Information-Sheets.pdf> (2022年1月6日)
- 24) O.C.O Technology／https://oco.co.uk/wp-content/themes/crush-theme/assets/pdf/OCO_Brochure.pdf (2022年1月6日)
- 25) Duo Zhang, Zaid Ghoulah, Yixin Shao／Review on carbonation curing of cement-based materials, Journal of CO₂ Utilization, Vol.21, pp.119~131, 2017
- 26) 取達剛, 関健吾, 渡邊賢三, 坂井吾郎／炭酸化養生によるCO₂吸収型カーボンネガティブコンクリートの開発と今後の展開, コンクリート工学, Vol.59, No.9, pp.813~818, 2021
- 27) SOLIDIA／SOLUTIONS, <https://www.solidiatech.com/solutions.html> (2022年1月6日)
- 28) 野口貴文／ムーンショット目標4の実現に向けたコンクリートの開発, セメント・コンクリート, No.888, pp.2~5, 2021

2022年度 第1回 鉄筋コンクリート構造物の非破壊試験部門

「極限劣化構造物の保存とアーカイブス化のための非破壊検査技術とは？」ミニシンポジウム

表題の極限劣化構造物は端島(軍艦島)構造物群を意味します。右写真のように、1916年に竣工された30号棟は崩落の進行が著しい状況にあります。このような極限劣化構造物は保存できるのか、撤去せざるを得ないのか、または他の手法があるのか、そこにはこの分野の技術の貢献できる解は未だに無いかも知れません。

この度、端島にて、オンラインにて、この島の構造物群の保存に向けた現状と今後の課題に対する情報共有のためのシンポジウムを企画させていただくこととなりました。最先端の研究の紹介とともに、島内の実況中継を兼ねた内容となっています。

非破壊検査協会の主催ということで、この壮大なテーマの窓口は非破壊試験を通したものとなりますが、今後多角的な視点で「極限劣化構造物の保存とアーカイブス化」を議論する起点になれば幸いと存じます。奮ってのご参加をお待ちしています。

注) このミニシンポジウムでの受信映像や発表資料の保存(画面キャプチャを含む)、録音、再配布は原則禁止です。必要の場合は、事前に発表者、ならびに主催者に許可を得てください。



日 時： 2022年4月25日(月) 13時00分~16時20分

開催方法： Zoomを利用したオンライン講演会(Zoom的使用方法等については参加申込を頂いた方にご案内いたします)

参加費： (一社)日本非破壊検査協会 鉄筋コンクリート構造物の非破壊試験部門登録団体会員および個人会員
学生 無 料
上記以外の方 1,000円

定 員： 120名「オンライン開催(運営のため、幹事数名のみ現地から参加)」

参加申込締切日： 2022年4月11日(月)

申込方法： 協会ホームページ(<https://sciences.jsndi.jp/rebar>)からお申し込み下さい。

問い合わせ先： (一社)日本非破壊検査協会 学術課 蒲生
TEL (03)5609-4015, FAX (03)5609-4061, E-mail : gamou@jsndi.or.jp

プログラム案： 開会挨拶 東京理科大学 今本啓一

講演1：長崎市役所 濱本和彦「国史跡端島炭坑跡の整備基本計画」

講演2：芝浦工業大学 濱崎仁「歴史的構造物のための非破壊試験」

講演3：建築研究所構造研究グループ 向井智久

「30号棟を対象としたGNSSによる長期計測と損壊後の3Dスキャンから見てきたこと」

島内実況中継視察

閉会挨拶 日本大学 湯浅昇

セメント産業のカーボンニュートラルに向けた取り組みをめぐる国の動向

はじめに

セメント産業のカーボンニュートラルの実現に向け、会員会社では各種の技術開発が進められている。本稿では、当業界のカーボンニュートラルに向けた取り組みに関し、パリ協定以降の国の政策動向との関連性について紹介する。

1. パリ協定を受けての脱炭素社会に向けた動向

2015年12月に第21回国連気候変動枠組条約締約国会議(COP21)で採択されたパリ協定では、「産業革命以降の全世界の平均気温上昇を2℃未満、可能であれば1.5℃に抑えることを目標として掲げ、各国に削減目標の提出・更新」を義務づけた。さらに、長期的な気温目標を達成するためには、「今世紀後半に温室効果ガスの人為的な発生源による排出量と吸収源による除去量との間の均衡を達成すること(以下、カーボンニュートラルと称す)を目指すこと等」を言及した。

2016年5月に閣議決定された地球温暖化対策計画では、「長期的目標として2050年までに80%の温室効果ガスの排出削減を目指す」こととされ、また、

パリ協定に基づき各国政府は2050年を目標とした長期行動計画の策定を求められた。こうした動きを受けて、経団連から「長期ビジョン」策定についての提言があり、セメント協会は「脱炭素社会を目指すセメント産業の長期ビジョン」を策定した(図1)。

一方、2019年6月に閣議決定された「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」ではパリ協定の長期目標の実現に向け大胆に施策に取り組むとし、わが国が強みを有するエネルギー・環境分野において革新的なイノベーションを創出し、社会実装可能なコストを実現、これを世界に広めていくために、「革新的環境イノベーション戦略」(<https://www8.cao.go.jp/cstp/siryo/haihui048/siryo6-2.pdf>)を策定し、温室効果ガスの国内での大幅削減とともに、世界全体での排出削減に最大限貢献することを目指した。

その戦略のイノベーション・アクションプランの一つとして、「CO₂を原料とするセメント製造プロセスの確立／CO₂吸収型コンクリートの開発 他」が取り上げられ、脱炭素社会の実現に向けた当業界の貢献すべき分野が明確にされ、会員会社でも積極

1. 本ビジョン策定経緯および狙い

セメント産業は、これまで、主として省エネルギーを通じて、エネルギー由来の二酸化炭素排出削減に努めてきた。わが国の「長期戦略」は、2050年までに80%の温室効果ガスを削減する長期目標を設定するとともに、最終到達点として「脱炭素社会※」の実現を目指している。本ビジョンは、セメント産業が、この長期戦略の実現に貢献するため、2050年、更には、その先という不確実な将来を展望し、現時点において、目指すべき方向性を示すビジョンである。

※今世紀後半に温室効果ガスの人為的な発生源による排出量と吸収源による除去量との間の均衡(世界全体でのカーボンニュートラル)を達成すること

2. 広義の国内需要量

2050年における広義の国内需要量(セメントの官需、民需、セメント系固材)は3,400万t～4,200万t程度と予測されるが、生産量は、輸出と輸入が加わるため、更に幅をもって捉えるべきである。

3. セメント産業の果たすべき役割

広義の国内需要量の減少が予測されているが、セメント産業は将来的にも次のような役割を果たしていく。
[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

目指すべき対策の多くは、克服すべき困難な課題を抱えており、その実現には「非連続なイノベーション」が不可欠であるとともに、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が必要である。

- ・ クリンカー比率の低減
- ・ 投入原料の低炭素化
- ・ 省エネルギーの推進
- ・ 鉱化剤使用等による焼成温度低減
- ・ 使用エネルギーの低炭素化
- ・ 低炭素型新材料の開発
- ・ 二酸化炭素回収・利用・貯留(CCUS)への取り組み
- ・ 供用中の構造物及び解体コンクリートによる二酸化炭素の固定(吸収)
- ・ コンクリート舗装の推進による重量車の燃費向上に伴う二酸化炭素低減

図1 脱炭素社会を目指すセメント産業の長期ビジョン(概要版)／2020年3月26日

的に技術開発がすすめられている。表1に会員会社の取り組み事例を示す。

2. カーボンニュートラル宣言と2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略

「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」(2019年6月閣議決定)を受けて、わが国は2030年の削減目標の見直しと2050年を目標とした長期行動計画の策定に着手していく中、2020年10月、菅総理大臣(当時)は所信表明演説において、わが国が2050年にカーボンニュートラルを目指すことを宣言し、同年12月には「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」(以下、グリーン成長戦略と略)が閣議決定された。その後、同戦略は目標や対策の更なる深掘りが行われ、2021年6月に改訂版として閣議決定されている。

グリーン成長戦略では、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の重要分野について

表1 会員会社のカーボンニュートラルに向けた技術開発の取り組み事例

開発技術	実施企業、大学等
炭素循環型セメント製造プロセス技術開発	太平洋セメント(株)
カルシウム含有廃棄物からCa抽出及びCO ₂ 鉱物固定化技術	住友大阪セメント(株)、山口大学、九州大学
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	宇部興産(株)、出光興産(株)、日揮ホールディングス(株)、日揮(株)、成蹊大学、東北大学
セメント排ガスからのCO ₂ 分離・回収とメタネーションによるカーボンニュートラル熱エネルギー活用システムの開発	三菱マテリアル(株)
微細ミスト技術によるCO ₂ 回収技術及び炭酸塩生成技術	(株)トクヤマ、双日(株)、ナノミストテクノロジー(株)

出典：セメント協会 HP、発表資料「重工業研究会及び業界紙との定例懇談会を開催」https://www.jcassoc.or.jp/cement/4pdf/211028_01.pdf p.12, 2021.10.28 をもとに作成

実行計画が策定されている。また、実行計画の目標の実現を目指すため、過去に例のない2兆円のグリーンイノベーション基金を造成し、企業の前向きな挑戦を後押しするなど、あらゆる政策が動員されている。

セメント分野はカーボンリサイクル・マテリアル産業の一つとして取組みが策定されており、2050年カーボンニュートラルに向けた工程表には「セメント製造工場でのCO₂回収技術の開発」、「回収CO₂の炭酸塩化による原料・燃料化プロセスの開発」が示されている(図2)。本戦略を受け、グリーンイノベーション基金事業において、CO₂回収型セメント製造プロセスの確立として、「製造プロセスにおけるCO₂回収技術の設計・実証」および回収したCO₂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「多様なカルシウム源を用いた炭酸塩化技術の確立」を研究開発項目としたプロジェクトが公募された(https://www.nedo.go.jp/koubo/EV2_100241.html)。

このように国の目指す方向性に沿いながら、会員各社では、本号で紹介されている技術をはじめとして各種技術開発を推進し、セメント協会では、公表した長期ビジョンのフォローアップとして、カーボンニュートラル行動計画に示す「省エネ型セメント」について、実機による試験製造をするなど、セメント産業はカーボンニュートラルの実現に向け、ステークホルダーの理解と協力を得ながら、貢献して行きます。

⑪カーボンリサイクル・マテリアル産業
(カーボンリサイクル)の成長戦略「工程表」

●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
●具体化すべき政策手法： ①目標、②法制度(規制改革等)、③標準、④税、⑤予算、⑥金融、⑦公共調達等

※代表事例を記載	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	～2030年	～2040年	～2050年
●セメント 国内キルン全機導入	セメント製造工場でのCO ₂ 回収技術の開発 回収CO ₂ の炭酸塩化による原料・燃料化プロセスの開発					大規模設備でのCO ₂ 回収と炭酸塩化技術実証	設備導入コスト低減・補助金等による導入支援 国内メーカー、アジアメーカーへの技術展開 海外企業へのライセンスビジネスの展開	
●コンクリート コスト目標 2020年 30円台/m ³ (=既製品と同等)	2025年日本国際博覧会における導入を検討 新技術に関する国交省データベースにCO ₂ 吸収型コンクリートを登録し、地方自治体による公共調達を拡大さらに、道路、建物等への導入による販路拡大、コスト低減					防錆性能を持つコンクリートの実証	大規模な国際展示会でのPR等を行い、途上国等へも販路拡大 知財戦略を通じたライセンス事業形態の活用によるシェア獲得・拡大	
	防錆性能を持つコンクリートの技術開発							
	CO ₂ 吸収量の増大と低コスト化を両立させた新技術・製品の開発					新技術を活用した製品の実証		
	日米の産学官の関係者がCO ₂ 炭酸塩化(コンクリート化)に関する共同プロジェクトを実施 関係国とのカーボンリサイクル協力MOCを締結し、共同研究・実証を推進							

出典：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同概略資料、p.78
https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/pdf/green_gaiyou.pdf をもとに一部修正して作成

図2 グリーン成長戦略におけるカーボンリサイクル・マテリアル産業としての取り組み(工程表)におけるセメント・コンクリート分野の記述

2050年カーボンニュートラル に向けた取り組み／ 太平洋セメント

星野 清一 平尾 宙 林 康太郎 野村 幸治 上野 直樹

1. はじめに

2020年10月の菅義偉首相(当時)によるカーボンニュートラル宣言以降、わが国ではCO₂排出削減に向けた動きが一層本格化している。また昨今では、2021年10月に地球温暖化対策計画が改訂され、その中では2030年度の温室効果ガス排出削減目標がこれまでの26%から46%(2013年度比)へと引き上げられるとともに、部門別の削減計画においても産業部門では7%から38%へと大幅に引き上げられるなど、各産業や企業規模での取り組みも強く求められるよ

Efforts of Taiheiyo Cement towards Carbon Neutral in 2050 (by HOSHINO Seichi et al.)



ほしの せいいち
太平洋セメント(株)
カーボンニュートラル技術開発プロジェクトチーム
企画管理グループ



ひらお ひろし
同 上
中央研究所 第1研究部 部長 博士(工学)



はやし こうたろう
同 上
生産部 環境管理グループ リーダー



のむら こうじ
同 上
カーボンニュートラル技術開発プロジェクトチーム
企画管理グループ リーダー 博士(理学)



うえの なおき
同 上
カーボンニュートラル技術開発プロジェクトチーム
リーダー

うになっている。

このような中、当社ではより長期的な視点でCO₂排出削減を捉え、当社グループの目指すべき方向性や戦略を示すことが必要との認識のもと、2020年3月に、具体的な施策も含めた「2050年を展望したCO₂排出削減に係る長期ビジョン」(以下、長期ビジョン)¹⁾を公表した。また、その後カーボンニュートラル宣言などの社会動向の変化も踏まえた中で、この長期ビジョンを整理した「太平洋セメント カーボンニュートラル戦略2050」を、「23中期経営計画」および太平洋セメントレポート(統合報告書)2021の中で公表している。

本報では、当社の「太平洋セメント カーボンニュートラル戦略2050」や「長期ビジョン」に基づくカーボンニュートラルに向けた取り組みについて、現在取り組んでいる技術開発の事例などを取り上げながら紹介する。

2. カーボンニュートラルに向けた 取り組みの構成と概略

2050年カーボンニュートラルに向けたCO₂排出削減のイメージを図1に示す。当社ではこれまで「CSR目標2025」の中で、海外も含めた当社グループ全体におけるネットCO₂排出原単位を2025年度までに2000年度比で10%以上削減することを目標に掲げ、CO₂の排出削減に努めてきた。その結果、2020

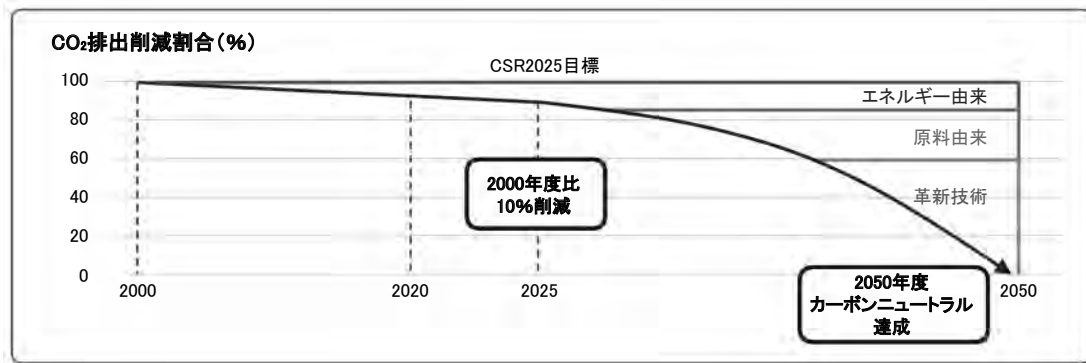


図1 2050年カーボンニュートラルに向けたCO₂排出削減のイメージ

表1 カーボンニュートラルに向けた技術施策
(長期ビジョン¹⁾をもとに整理)

対象	主な施策
エネルギー由来	● 省エネルギー設備の導入 ● 化石エネルギー代替の推進 ● 低CO₂エネルギー（天然ガス等）の活用 ● 回収CO₂から製造したエネルギー活用
原料由来	● 低CO₂セメント（クリンカ改良，混合材利用等）の設計
革新技術	● セメントキルンに適したCO₂回収 ● カーボンリサイクル・貯留
サプライチェーン	● CO₂削減に貢献するコンクリート技術開発 ● セメント製品によるCO₂吸収量評価 ● バイオマス発電，廃熱発電の利用 ● 原燃料・製品輸送部門における省エネ設備・技術導入の推奨継続 ● 生物多様性の保全・藻類増殖技術等のCO₂吸収施策・商材の展開

年度までに8.3%の削減を達成してきている。太平洋セメントカーボンニュートラル戦略2050は、さらにその先の2050年を見据えたものとなっており、エネルギー由来や原料由来のCO₂排出削減に加えて、従来にはない革新技術を創出し、それらを適切に組み合わせることで、その達成を目指そうとするものとなっている。

カーボンニュートラルに向けた技術施策を表1に示す。技術施策によって削減するCO₂の対象は、①エネルギー由来、②原料由来、③革新技術、④サプライチェーンを想定している。

以降では、この4つの対象領域について、現在実施している技術開発の例も織り交ぜながら、想定されるそれぞれの主な施策やその内容について紹介する。

3. カーボンニュートラルに向けた施策の内容と技術的取り組み

3-1. エネルギー由来のCO₂削減

エネルギー由来のCO₂排出削減の主な施策としては、省エネルギー設備の導入、化石エネルギー代替の推進、低CO₂エネルギーの活用および回収CO₂から製造したエネルギーの活用などを想定している。

省エネルギー設備の導入については、当社では2019年度に、大分工場5号キルンに従来型より熱回収効率が大幅に向上する高効率クリンカークーラーの導入を図っている。今後はこの高効率クリンカークーラーを全キルンに導入していくことで一層のCO₂削減を図っていく計画としている。化石エネルギー代替の推進は、CO₂排出削減のみならず、循環型社会形成の観点からも非常に重要なものであり他産業では処理が困難な廃棄物も含めて利用率の拡大を図っていく予定である。当社では、すでに廃プラスチックや廃タイヤなどの可燃性廃棄物の熱エネルギー源としての利用を行っているが、今後はさらにその拡大を図っていくことを想定している。この取り組みの一環として当社では、東京都、(公財)東京都環境公社、(一社)東京都産業資源循環協会との4者の間で、「廃プラスチックの国内有効利用に向けた実証事業」の協定を2020年に締結した。熱エネルギー代替率の目標は50%を想定しているが、代替率上昇に伴い増加する塩素の対策として、前処理による塩素除去技術や塩素バイパス設備の能力向上のための技術開発にも取り組んでいく予定である。

低CO₂エネルギーの活用は、現在の熱エネルギー源を、より単位発熱量当たりのCO₂排出量が少ない熱エネルギー源へと置き換えていくことなどが挙げられる。また、回収CO₂から製造したエネルギーの活用は、現在CCU(Carbon dioxide Capture and Utilization)技術の一つとして挙げられているメタネーションによって生成されたメタンの活用などが挙げられる。当社では、後述する**3-3.**での取り組みにおいて、セメント排ガス中のCO₂を分離・回収する設備を設置している。メタネーションによって製造したメタンの活用には安価なカーボンフリー水素の普及が前提にはなるが、CO₂分離・回収などによって得られたCO₂をメタン化し、それを焼成用のエネルギー源として利用していくことなどが想定される。これら新たな熱エネルギー源を利用していくさいには、セメント焼成技術だけでなく、安定したセメント品質を確保することも重要な技術開発項目となってくる。

3-2. 原料由来のCO₂削減

原料由来のCO₂削減の主な施策には、クリンカーの改良や混合材の利用などによる低CO₂セメントの設計、活用を想定している。

セメント製造工程で発生するCO₂の大部分は、クリンカーの製造過程で発生することから、このクリンカーを混合材で置き換え、クリンカー比率を低減することはCO₂排出量の低減につながる。現行のセメント規格内で対応できる方策としては、混合セメントで混合材の置換率を増加させることや、また混合材量が多い規格の製品を普及させることなどが考えられる。また、規格の改正や新設が必要な方策としては、現行よりも混合材量を増加させることが可能な規格への改正や、新規の混合材の採用などが考えられる。

現行のセメント規格内での対応を想定した取り組みの例としては、フライアッシュセメントに普通セメントと同等以上の強度発現性や物性を付与することにより、普通セメントと代替可能な特性を持つ混

合セメントを開発している。本技術では、従来の普通セメントと比べて製造時のCO₂排出量を20%削減できると同時に、廃棄物・副産物の使用量の増大も図れることが示されている²⁾。

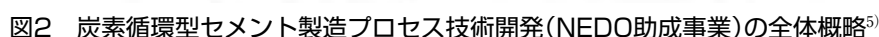
また、生コン工場から発生するコンクリートスラッジや、廃コンクリートの中間処理工程で発生する微粉分には、脱炭酸したCaO成分が多く含まれている。今後の技術開発によって、セメント原料におけるこれらの石灰石代替としての利用拡大が進めば、原料由来のCO₂削減が期待できる。

規格改正を前提としたクリンカー比率の低減の一例としては、普通セメントの少量混合材の上限量を現行の5%から10%に増加させることを想定した技術開発を行っている。本検討は、2010年頃より開始し³⁾、これまでの研究開発の中で、少量混合材の増量とクリンカー組成の最適化を適切に組み合わせることにより、現行の普通セメントの品質を維持できる可能性を示している。本技術は、単位セメント量当たりのCO₂削減量としては必ずしも大きくはないものの、最も生産量が多く、汎用的なセメントである普通セメントを対象としたものであることから、CO₂削減量としては大きな効果が期待できる。実用化に際しては、セメント規格の改正のほか、使用時におけるコンクリート関係の規格類や基準類の整備が必要となる。また、セメントの製造条件の確立やコンクリートとしての物性検証、供給体制の整備、ユーザーの理解を得ることなども今後の課題として挙げられる。

3-3. 革新技術によるCO₂削減

革新技術によるCO₂削減の主な施策では、セメントキルンに適したCO₂回収や、回収したCO₂のリサイクルを想定している。また、CO₂の削減を可能とする従来にはない全く新たなセメント製造プロセスの創出などが考えられる。

これまで、当社も含めた日本のセメント産業では、長い歴史の中で製造設備の高効率化や省エネルギー化を継続的に行ってきており、セメント製造でのエ



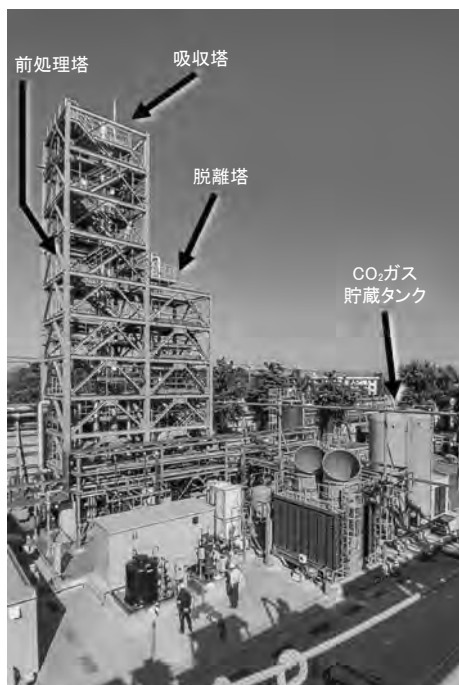


図3 CO₂分離・回収実証試験設備(熊谷工場)

ている。本技術において想定されるプロセスの概略を図4に示す。セメント原料はプレヒーターの上段から投入され、徐々に加熱されながら下段に位置する仮焼炉まで到達する。この仮焼炉で約850～950℃の温度で加熱されることにより石灰石の脱炭酸の大部分が行われる。原料由来のCO₂のほとんどはこの仮焼炉で発生することに加え、エネルギー由来のCO₂の一部もこの仮焼炉から発生する。そのため、この仮焼炉に対してCO₂回収型仮焼炉を導入することで、原料由来のCO₂に加えて、焼成時のエネルギー由来のCO₂を高濃度で効率よく回収できると考えられる。また、高濃度のCO₂を直接回収することから、従来の化学法などによるCO₂分離・回収技術と比較して、設備の小規模化が可能になるものと考えられる。本製造プロセスは、従来からのサスペンションプレヒーターの優れた熱効率を損なうことなく、かつ従来と同等以上の廃棄物処理能力を兼ね備えており、既存のNSPキルンの利点を継承することが想定される。

本技術では、将来的な実機セメント製造設備への展開を視野に、実証試験設備などによって基本的な研究開発に取り組んでいくことなどが必要になる。

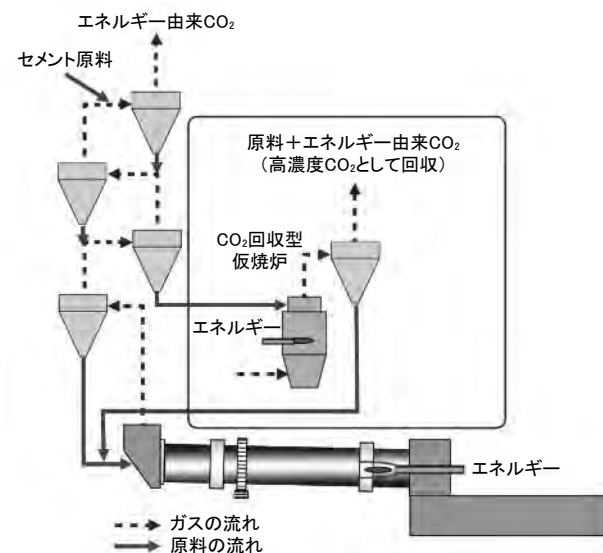


図4 CO₂回収型セメント製造プロセスの概略

3-4. カーボンニュートラルに向けたサプライチェーンにおける取組み

将来のカーボンニュートラル社会を目指していくに当たっては、セメントを社会に提供する立場としてそのサプライチェーン全体のカーボンニュートラルに貢献していくことも重要な責務である。サプライチェーンにおけるCO₂削減の主な施策としては、CO₂削減に貢献するコンクリートの技術開発や、セメント製品によるCO₂吸収量評価、バイオマス発電・廃熱発電の利用、原燃料・製品輸送部門における省エネ装備・技術導入の推奨継続、生物多様性の保全や藻類増殖等に貢献する商材の展開などを想定している。

セメント製品によるCO₂吸収量評価は、2019年に外部審査機関による第3社レビューを経て「セメント及びセメント関連製品のバリューチェーンを通じた温室効果ガス削減貢献量算定・報告プロトコル」⁶⁾を策定しており、各バリューチェーン段階でのCO₂削減量を評価する手法を整備している。また、当社では世界の主要なセメント・コンクリートメーカーが参画しているGlobal Cement and Concrete Association (GCCA)に所属し、その作業部会での活動を通じてセメント・コンクリートのライフサイクルの中で吸収される大気中のCO₂量を組み込んだカーボンニュートラルロードマップ策定にも取り組んだ(2021年10月公開)。コンクリートが使用時にCO₂を吸収することは、

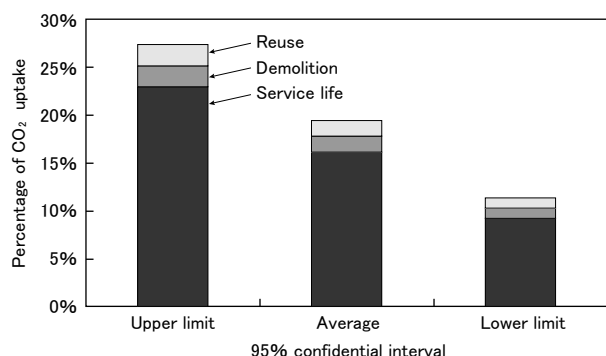


図5 セメント・コンクリートのライフサイクルを通じたCO₂吸収量⁷⁾

[Upper limit, Lower limitは、計算で設定した値の不確かさを考慮した上限と下限]

中性化の耐久性問題と関係して古くから知られているが、コンクリートの社会的なストックは膨大であることからこのCO₂吸収による貢献は大きなものである。当社で評価したコンクリートのライフサイクルを通じたCO₂吸収量の評価結果を図5に示す。本結果では、セメントはコンクリートのライフサイクルを通じて、その生産過程で排出した脱炭酸由来のCO₂排出量の約20%に相当する量を吸収、固定化するとの結果を示している。また、日本全体におけるコンクリートの供用期間中のCO₂吸収量は年間約300万tになるとの評価結果を示している⁷⁾。

バイオマス発電・廃熱発電の利用には、廃熱を活用した発電設備を国内全工場に設置することなどが挙げられる。また、CO₂の削減といった観点からはバイオマスの活用は効果的である。当社では、当社出資のもと大船渡工場内においてバイオマス発電事業をすでに開始しており(図6)、このような取り組みにより外部から電力を購入した場合に比べてCO₂排出の削減が見込まれる。

4. おわりに

将来のカーボンニュートラルの実現に向けては、本稿でも述べた通り従来技術の延長線上だけではなく、いわゆる革新的な新たな視点からの製造技術やセメントのあり方、エネルギー活用の方法、CO₂有効利用のための他材料の活用やそのシステムの構築などが必要となる。時にはセメント産業全体として取り組まなければならない課題も出てく



図6 大船渡市におけるバイオマス発電事業

るであろう。

一方で現在のセメントは、他の産業から発生した廃棄物・副産物を原料や熱エネルギー源として多量に受け入れることで、我が国の資源循環に貢献しているといった大きな役割も担っている。新たなセメントや技術の創出に当たっては、これらCO₂の排出削減と廃棄物の活用は時としてトレードオフの関係になるケースもある。これらの両立は必ずしも簡単な道のりではないかもしれないが、従来の長所である資源循環への貢献を維持、拡大しつつも、カーボンニュートラル社会に向けた新たな技術開発を推進していくことで、セメント産業が将来この両輪を担っていけるよう発展できるとよいと考えている。

【参考文献】

- 1) 太平洋セメント(株)／(資料)2050年を展望した温室効果ガス排出削減に係る長期ビジョン、太平洋セメント ニュースリリース、2020。
- 2) 久我龍一郎、平尾宙、二戸信和、坂井悦郎／高エネルギーリサイクルとそれを利用した混合セメントの開発、セラミック工、Vol. 55, No. 8, pp. 608～609, 2020。
- 3) 経済産業省／革新的セメント製造プロセス基盤技術開発 評価用資料、第1回革新的セメント製造プロセス基盤技術開発事後評価検討会、資料6、2015。
- 4) 一坪幸輝、平尾宙、野村幸治、上野直樹／炭素循環型セメント製造プロセス技術開発(セメント工場を中心としたカーボンリサイクル社会の実現に向けた取り組み)、コンクリート工学、Vol. 59, No. 9, pp. 827～829, 2021。
- 5) 太平洋セメント(株)／二酸化炭素の炭酸塩固定技術に関する取り組みについて、太平洋セメント ニュースリリース、2020。
- 6) 太平洋セメント(株)／セメント及びセメント関連製品のバリューチェーンを通じた温室効果ガス削減貢献量算定・報告プロトコル Ver.1.0, 2019
- 7) 兵頭彦次、星野清一、平尾宙、野村幸治／ライフサイクルを通じたコンクリートのCO₂吸収量の算定に関する研究、セメント・コンクリート論文集、Vol. 74, pp. 333～340, 2020。

カーボンニュートラルに向けた 取り組みと技術開発の展開／ 宇部興産

追立 修士 宮下 裕之 末益 猛
林 茂也 伊藤 貴康 伊藤 智章

1. はじめに

当社は、2030年の温室効果ガス排出量削減目標として、2013年度比17%削減(UBEグループ)、セメント事業を核とする建設資材カンパニーでは2013年度比15%削減を掲げている(2020年5月公表)。

2021年4月には「UBEグループ2050年カーボンニュートラルへの挑戦」を宣言し、建設資材カンパニーではカンパニー内の横断組織として地球温暖化対策プロジェクトを立ち上げ、各種削減施策の調査・検討を加速させている。

本稿では、当社独自のカーボンニュートラルに向けた取組みの一例を「エネルギー転換」「低炭素セメント・コンクリート」「CO₂利活用技術」という内容に沿ってご紹介したい。

2. カーボンニュートラルに向けた 取り組み

2-1. エネルギー転換

(1) 熱エネルギー代替廃棄物の使用促進

当社は山口県(宇部、伊佐)および福岡県(苅田)に3つのセメント工場を有し、廃棄物再資源化の最大化に取り組んでいる。特に廃プラスチックを始めとする熱エネルギー代替廃棄物の処理拡大を進めており、3工場全体の熱エネルギー代替率はカロリー比20%程度に至る。2030年度までに熱エネルギー代替率40%を目標に今後も処理拡大を図るとともに自家発電所でも積極的なバイオマスの増量を計画している。新しい取り組みとして、従来、保有水分が多く熱エネルギー源としての活用や処理拡大が困難であった下水汚泥の有効利用を進めている。具体的には微生物の力により下水汚泥を効率よく乾燥させる「下

The UBE's approach towards Carbon neutrality (by OITATE Shuji et al.)



おいたて しゅうじ
宇部興産(株) 建設資材カンパニー
監理部 地球温暖化対策グループ 主席部員



みやした ひろゆき
同 上
資源リサイクル事業部 企画管理部 主席部員



すえます たけし
同 上
生産・技術本部 生産管理部 グループリーダー



はやし しげや
宇部興産(株) 建設資材カンパニー
エネルギー事業部 プロジェクト部
プロジェクトリーダー



いとう たかやす
同 上
技術開発研究所 セメント開発部 グループリーダー



いとう ともあき
同 上
技術開発研究所 コンクリート開発部 グループリーダー



写真1 下水汚泥発酵乾燥設備の外観

「水汚泥発酵乾燥」の実用化に着手している(写真1)。同技術により下水汚泥の乾燥熱源が不要となることはもちろんのこと、熱エネルギー代替率の向上も期待できる。加えて、処理困難な下水汚泥の使用促進が図れ、循環型社会への更なる貢献も果たせる。現在、異分野・異業種の企業と協働・連携して、国内下水処理場への社会実装を目指している。

(2) アンモニア混合燃焼の技術開発

熱エネルギー代替廃棄物の最大化について前述したものの、それでも石炭に依存する部分は大きい。一方で、カーボンニュートラルの実現には再生可能エネルギーの大規模利用や水素エネルギーの普及が必要とされる。このような状況下、製造・輸送・貯蔵まで一貫した技術が十分に整備されており、かつ水素エネルギーキャリアとして直接利用することでCO₂フリーのエネルギー源として活用が期待されるアンモニアに着目し、SIP(戦略的イノベーションプログラム)を通じて、セメント製造プロセスへのアンモニア適用による影響評価を行ってきた。本評価では小型炉を用いて重油とアンモニアの混焼試験を行い、その特性を検討するとともにセメント原料であるクリンカーを焼成し、その物性を評価した。加えて、実操業キルンでのアンモニア混焼影響を予測するため、熱流体解析ソフト「FLUENT」とロータリーキルン専用シミュレーター「KilnSimu」を連成させた統合シミュレーター¹⁾による評価も行った。

小型炉における重油－アンモニア混焼試験では、アンモニア混焼による炉内温度の低下が見られ、

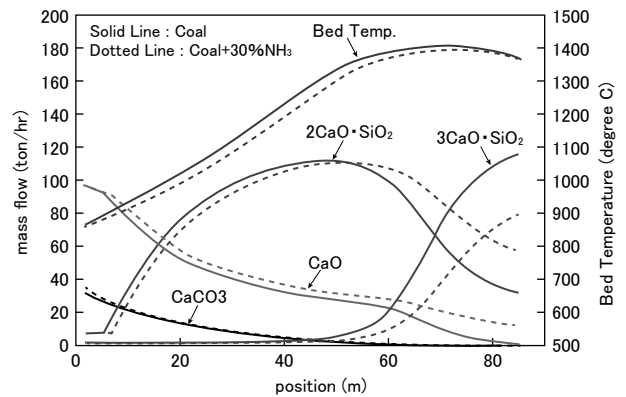


図1 キルン内鉱物組成変化のKilnSimu検討結果

30%の混焼率でピーク温度は約30℃低下した。また、アンモニア混焼率の増加とともに熱流束が低下することも明らかとなった。これはアンモニアの断熱火炎温度の低さ(1,750℃)や燃焼ガスの組成変化が要因と考えられ、セメント焼成プロセスでは、アンモニア混焼によって被加熱物の温度が上がりにくくなる可能性が示唆された。

シミュレーターを用いた実操業キルンでのアンモニア混焼影響予測では、微粉炭専焼およびアンモニアを30%混焼させた場合の熱・物質収支を評価している。図1に検討結果を記すが、アンモニア混焼によりガス温度が低下することから被加熱原料の温度低下が予測された。

本予測では、f-CaOも大幅に増加し、主要鉱物である3CaO·SiO₂の生成量も低下することが確認された。実機キルンでアンモニア混焼を行うためには、ロード低下や融点降下剤の添加などの措置が必要であることが示唆された。今後は本データを参考に実機での実証等に取り組んでいきたい。

(3) バイオマスの使用促進

当社は売電専用のIPP発電所(発電端出力216MW)を有しており、ここでバイオマス専焼化を目指した取り組みを行っている。既存のバイオマス(建設廃材や木質チップ等)に加えて、2019年よりバイオマスを半炭化させたトレファイドペレットの製造および石炭との混焼を開始している。

一般的に、石炭との混焼に用いられるバイオマスは木質ペレット(以下、WPと称す)が多い。ボイラーの型式によっては同燃料を微粉碎する工程が必要と



写真2 PBT®の外観

表1 WPとPBT®の物性比較

半炭化温度 (℃)	固体収率 (%-dry)	揮発分 (wt%-AD)	高位発熱量 (kcal/kg-dry)	BMI	自己発熱性
WP	100.0	75.8	4,794	13	無
250	90.0	74.5	5,140	71	無
280	75.1	69.2	5,565	93	有

なるが、石炭とWPでは粉碎性が大きく異なるため、石炭ミルで石炭と同時に粉碎するWPの量は熱量比で3%程度が限界とされている²⁾。また、WPは雨水と接触すると膨潤して崩壊してしまうことからハンドリング設備での対策・コストが課題となる。

当社はトレファクション技術に注目して開発を進めてきた。トレファクション(半炭化)とはバイオマス固体を低酸素雰囲気中で約250～320℃で加熱したものと定義されている³⁾。当社は従来のトレファクションプロセスに独自の改良を施すことで、実用面で課題のあったWPの耐水性をクリアすることができた。このようにして製造したトレファイドペレットの外観(写真2)および針葉樹のWPとそれを原料として製造した商品名:PBT®の物性比較(表1)をそれぞれ示す。

表1中のBMI^{※1}は粉碎性を示す指標であり、数値が大きいくほど粉碎性が良好であることを示すが、半炭化温度の上昇とともに石炭(BMI=95前後)と同等の粉碎性に近づくことが分かる。ただし、半炭化温度を上昇させ過ぎると自己発熱性を生じ、海上輸送や陸上保管でのハンドリングに課題が出てくるため、樹種に応じた最適な半炭化温度の選定が重要である。



写真3 PBT®製造設備の外観

2019年、山口県宇部地区の当社沖の山コールセンター隣接エリアにPBT®製造設備(年間6万t)を建設し(写真3)、PBT®の製造を行っている。製造したPBT®は全て当社IPP発電所で石炭と混焼しており、年間に約10万tのCO₂を削減している。今後は当社IPPでのPBT®専焼化を目指すとともに国内の石炭火力発電事業者への供給を見据えて、事業展開していくことで脱炭素化に向けて貢献していきたい。

2-2. 低炭素セメント・コンクリート

(1) 低炭素型セメントに関わる研究開発状況

セメントの低炭素化にはクリンカー比率の低減が有効であるが、その一方でクリンカー製造では多様な廃棄物をセメント業界全体で2,800万t/年も利用しており、循環型社会構築への貢献も極めて大きい。そのため、セメント製造はこの役割を担いながらのCO₂削減を目指すことが重要となる。当社は、2000年頃より間隙相(C₃A・C₄AF)を増やして廃棄物使用量を高めた高間隙相型ポルトランドクリンカーを開発し⁴⁾、これをベースに廃棄物使用量の増大とCO₂排出量削減を両立するセメントの材料設計に取り組んできた^{5, 6)}。なお、経産省補助事業「革新的

【脚注】

※1 Ball Mill Indexの略であり、当社独自の粉碎性指標。JIS M4002に示されている粉砕仕事指数評価用のボールミル(内径305mm、長さ305mm)にペレット形状の試料700ccを事前粉砕することなく投入し、回転数700rpmで20分間粉砕した後、粉砕試料を150μmの篩にかけ、篩下の粒子の重量割合をBMIとした。

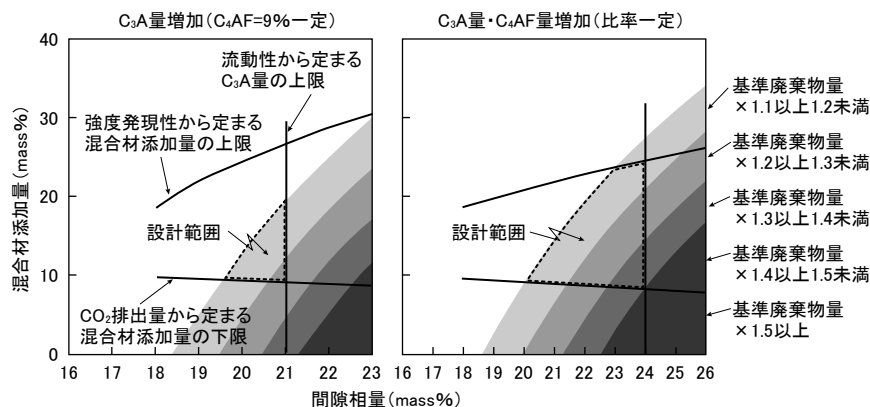


図2 廃棄物利用とCO₂発生量からみた混合材添加量と間隙相量の適正範囲⁶⁾

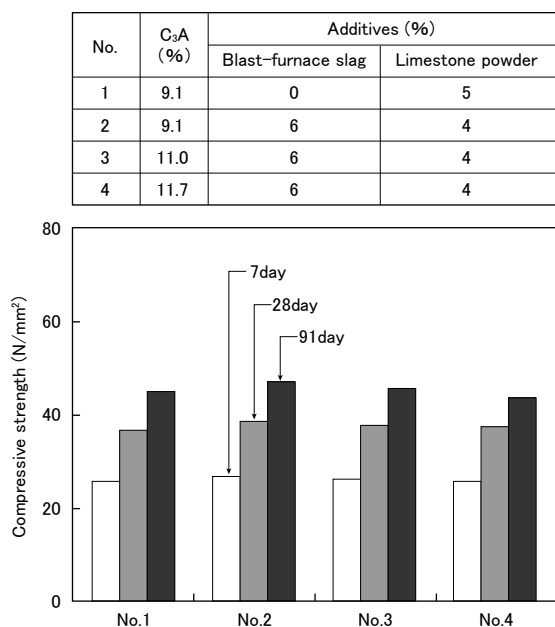


図3 混合材増量セメントのコンクリート強度⁷⁾

セメント製造プロセス基盤技術開発⁷⁾の中では、このような高間隙相型クリンカー（例えばC₃Aを2%増）は、焼成時の熱エネルギーを2%程度低減できる可能性が当社開発のプロセスシミュレータで示している。

低炭素セメントの品質設計は、廃棄物処理量、CO₂排出量およびセメント性能（強度・流動性）の3つの視点から考えている。図2にこれらの性能からみた混合材添加量とクリンカーの間隙相量の適正範囲を示す。例えば、間隙相量を2～3%増やし、混合材料を10%とすることで、現状の普通ポルトランドセメント（現状N）に対して廃棄物利用量を10%増大、CO₂排出量を5%削減できる。また、開発した混合材増量セメント（10%化N）のコンクリート物性は現状Nと同等であることを確認し⁸⁾、（図3は圧縮

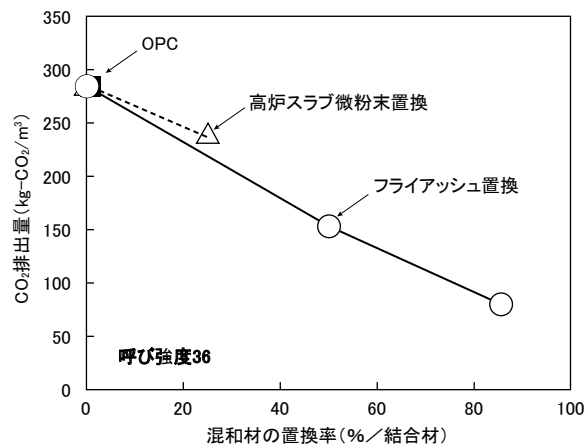


図4 低炭素型コンクリートの混和材置換率とCO₂排出量の一例

強度の一例) 実機設備での実証試験に着手したところである。

一方、クリンカー代替原料として、高炉水砕スラグ(以下、BFSと称す)の利用が期待され、高炉B種の範囲(30%超60%以下)を超えて配合した低炭素型コンクリートも実用化されている(次項参照)。しかし、BFSを多量に配合したセメントは、初期強度が低く、BFS品質の影響を強く受ける課題があり、セメントの製造・供給側ではその品質管理・制御技術が重要となる。当社は、BFS活性度指数の評価指標の開発^{9, 10)}など、高炉セメントの品質安定化に向けた品質管理技術の向上に継続的に取り組んできた。さらに最近では、スラグ高含有セメントの初期強度改善や低塩基度スラグの有効利用を目指して、BFSに対して促進剤の作用機構を解明し、スラグ高含有セメントの品質設計技術の向上にも取り組んでいる^{11, 12)}。

引き続き、低炭素型セメントの研究開発に力を入れ、循環型社会構築およびCO₂排出量の削減を両立

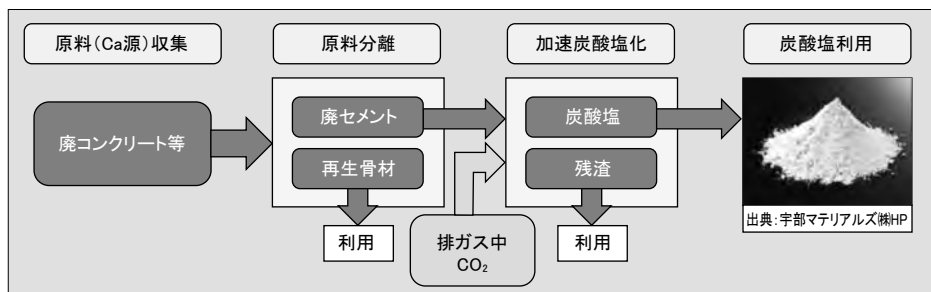


図5 本事業におけるCO₂固定と利用のイメージ¹⁷⁾

しつつ、安定した品質のセメントを継続的に供給していくことを目指して取り組んでいく。

(2) 低炭素型コンクリートの製造と研究開発

当社は、2010年から大手施工会社の低炭素型コンクリートの開発・普及に協力し¹³⁾、その配合設計・品質管理技術を蓄積してきた。低炭素型コンクリートは高炉スラグ微粉末(以下、BFSPと称す)やフライアッシュ(以下、FAと称す)を結合材としてポルトランドセメントに最大85%程度用いており、CO₂排出量を最大で70%強程度削減できる(図4)。このようなコンクリートはBFSPを多く用いるため、生コン工場で実際に製造・出荷するにはセメントに加えてBFSP用の貯蔵サイロや計量器が必要となる。当社の直系生コン会社の主力工場では、その都度調整は必要であるが、専用貯蔵サイロを含めた製造・供給体制を確立している。また、一部の工場ではポルトランドセメント-BFSP-FAの3成分系混合セメントを用いた建築用低炭素型コンクリートについて建築基準法第37条の大臣認定を国内で初めて取得している。関東、関西および中国地区の直系生コン工場を中心に建築・土木の分野問わず、これまでの実績で約4万m³の低炭素型コンクリートを製造・出荷し、約8千tのCO₂排出削減に貢献してきた。一方で、これらの取り組みを通して、低炭素型コンクリートの製造および出荷に関する技術的な課題も見えてきた。例えば、時間の経過に伴うスランプの著しい低下や粘性が高くなることが確認されており、使用材料や配合面での工夫が必要となることが分かっている。当社ではこれらの問題を解消し、最適な性状・品質のコンクリートが得られるようにBFSPなど混和材の置換率に応じた生コンの配合修正法の検

討や耐久性を含めた各種物性評価などもすでに実施している¹⁴⁾。これらのノウハウを直系生コン工場へ技術資料として共有し、低炭素型コンクリートの安定製造やその普及に役立てるような取り組みも併せて行っている。

2-3. CO₂利活用技術／炭酸塩化技術

CO₂固定化ポテンシャルが高く、生成物が化学的に安定している鉱物(炭酸塩、コンクリート製品・コンクリート構造物へのCO₂利用技術)に着目し、2019年3月に出光興産(株)、日揮(株)等と「CCSU^{※2}研究会」を設立した¹⁵⁾。ここで、カルシウム等を多く含む産業廃棄物をCO₂と反応させることで高付加価値な炭酸塩および建築・土木材料、各種工業材料等の資源として活用可能な残渣を得るというコンセプトの下、低炭素社会の実現へ向けた新技術の開発を進めている。2020年度より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)の「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／CO₂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CO₂利用技術開発」プロジェクトに採択され¹⁶⁾、以下1)～5)の開発・検討を加速させている¹⁷⁾。本事業のイメージを図5に示す。

- 1) 廃棄物からのカルシウム(Ca)源の確保に関する検討
- 2) CO₂加速炭酸塩化技術の開発
- 3) 炭酸塩および副産物の用途開発
(コンクリートの混合材、工業製品のフィラー等)

【脚注】

※2 Carbon dioxide Capture and Storage with Utilizationの略

- 4) 炭酸塩化プロセスの構築とコスト評価
- 5) CO₂固定量の評価

3. おわりに

本稿でご紹介した取組みは一例に過ぎないが、石灰石を主原料とするセメント産業において、カーボンニュートラルの実現は容易なことではない。加えて、セメント産業は多様な廃棄物を再資源化し、循環型社会の構築に貢献できる産業でもある。当社はカーボンニュートラルの実現とさらなる循環型社会への貢献を両立させた使命を果たすべく、今後も積極的に取り組んでいく。

【参考文献】

- 1) 末益猛他／クリンカ焼成プロセスのシミュレーション解析(第2報), 第69回セメント技術大会, 2015
- 2) 科学技術振興機構, <https://www.jst.go.jp/sip/dl/k04/end/team3-21.pdf> (Last access:2021.10.11)
- 3) SECTOR, <https://sector-project.eu/about-SECTOR.3.0.html> (Last access:2021.11.26)
- 4) 大崎雅史／廃棄物処理量の増大を目的としたセメントの材料設計, 東京工業大学博士論文, 2003
- 5) 丸屋英二他／廃棄物使用量の増大とCO₂排出量削減に向けたセメントの材料設計, 廃棄物資源循環学会論文誌, Vol.20, No.1, pp.1~11, 2009
- 6) 丸屋英二, 大崎雅史／環境負荷低減を目指すセメントの材料設計, Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan, Vol.20, pp.153~158, 2013
- 7) 経済産業省製造産業局住宅産業窯業建材課他／革新的セメント製造プロセス基盤技術開発の概要, 2015
- 8) 三隅英俊他／高C₃A型混合セメントのコンクリート物性, セメント・コンクリート論文集, Vol.66, pp.353~358, 2012
- 9) 當房博幸他／高炉スラグ微粉末の活性度に及ぼすMnOの影響, JFE技報, No.40m pp.75~59, 2017
- 10) 伊藤貴康他／CaO-Al₂O₃-SiO₂-MgO系スラグの活性度指数に及ぼす化学成分の影響, セメント・コンクリート論文集, Vol.70, pp.222~229, 2016
- 11) 伊藤貴康他／塩基度とAl₂O₃量の異なるスラグの水和に及ぼす亜硝酸カルシウム添加の影響, セメント・コンクリート論文集, Vol.74, pp.30~37, 2020
- 12) 伊藤貴康他／せっこう-亜硝酸カルシウム併用による低塩基度スラグの反応促進効果, セメント・コンクリート論文集, Vol.75, 2021投稿中
- 13) 小林他／低炭素型のコンクリート「クリーンクリートTM」の開発, 大林組技術研究所報, No.75, pp.1~8, 2011
- 14) 幡生栄治他／高炉スラグ微粉末及びフライアッシュを使用したコンクリートの配合修正法と硬化コンクリートの基礎物性について, 第18回生コン技術大会研究発表論文集, 研10, pp.59~64, 2015
- 15) 宇部興産(株)／二酸化炭素の固定化と利用に関する新技術開発を目的とする研究会の設立について, 2019.6
- 16) 宇部興産(株)／「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」がNEDOの研究開発委託事業として採択, 2020.7
- 17) 長尾有記／産業廃棄物中カルシウム等を用いた加速炭酸塩化プロセス開発, コンクリート工学, Vol.59, pp.830~831, 2021

①「東日本大震災におけるセメント系固化材を用いた地盤改良に関する調査報告書」 ②「大規模災害に対してセメント系固化材による地盤改良が果たす役割」 配布について

本書をご希望の方は、別紙の申込書*にご記入の上FAXまたはE-mailにて下記までご連絡下さい。報告書の送付は、それぞれお一人様一部までとさせていただきます。また送付方法は着払いとし、送料は各自で負担願います。

一般社団法人セメント協会普及部門

FAX 03-5200-5062

E-mail fukyu@jcassoc.or.jp

※申込書はウェブサイトから

①<https://www.jcassoc.or.jp/cement/1jpn/jf8.html>

②<https://www.jcassoc.or.jp/cement/1jpn/150710.html>

*①「東日本大震災調査報告書」に関しましては、弊社ウェブサイト(<https://www.jcassoc.or.jp/cement/1jpn/jf8.html>)から、ダウンロードすることもできます。是非ご利用下さい。



①(クリーム色)



②(うす紫色)

低炭素型セメントの技術動向／ 三菱マテリアル

松島 正明 門田 浩史 吉田 友香 山下 牧生

1. はじめに

セメント産業は、自然災害などから生命・財産を守り、快適な生活を実現するための社会インフラとなる建設材料を安定供給するとともに、他産業から大量の廃棄物・副産物を原料・熱エネルギー源として受入れ、安全に活用する役割も果たしている。その一方で、年間約4300万tの二酸化炭素(CO₂)を排出し、国内CO₂排出量の約4%を占めており¹⁾、CO₂排出量削減に向けた取組みが喫緊の課題である。

セメント産業が大量のCO₂を排出する理由は、ポルトランドセメントの中間製品であるクリンカーを製造する工程で、石灰石を脱炭酸し、1450℃の高温

Technological trends for the low carbon cement
(by MATSUSHIMA Masaaki et al.)



まつしま まさあき
三菱マテリアル(株)
セメント研究所



かどた ひろし
同 上
九州工場



よしだ ゆか
同 上
セメント研究所



やました まきお
同 上
セメント研究所

焼成を行っているためである²⁾。

政府は「2050年カーボンニュートラル」を宣言しており、これを実現するためにもさまざまな角度からCO₂排出量削減を目指した取組みが行われている。当社においても高効率設備の導入等による更なる省エネルギーの推進、熱エネルギーの低炭素化、CO₂の分離回収と資源化技術の開発、低炭素型セメントの開発について着手している。

本稿では、この中で低炭素型セメントについて国内外の技術動向を概説する。

2. ポルトランドセメントの低炭素化

2-1. クリンカーの低温焼成

焼成工程の省エネルギー化について、クリンカーの鉱物組成の調整や鉱化剤として作用する少量成分の添加による焼成温度の低減が検討されている。C₄AFを増やしてC₂Sを減らすように鉱物組成を調整することで、強度発現性を維持しながら焼成温度を低減できる³⁾。また、CaF₂およびCaSO₄を鉱化剤として適量添加することで、セメントの品質を維持しつつクリンカーの低温焼成を可能にしている(図1)⁴⁾。これらの組成あるいは成分の調整により、焼成温度を1450℃から約100℃低下させることが可能である。クリンカーの鉱物組成調整による場合では、熱量原単位を約5%削減できると報告されている³⁾。

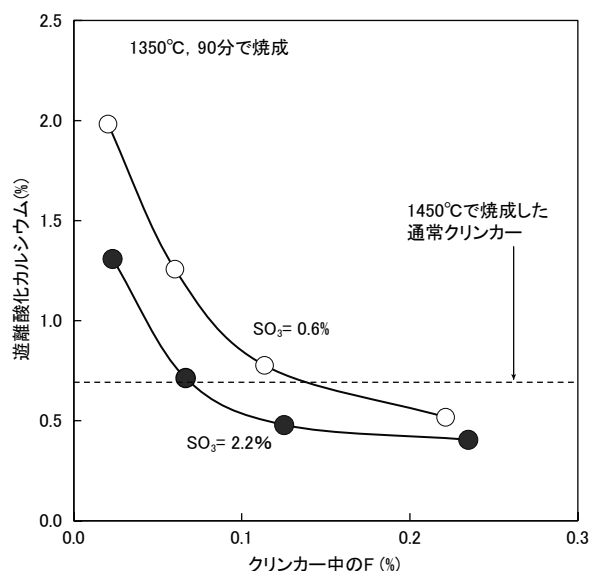


図1 鉱化剤を使用した低温焼成における焼成反応性の変化⁴⁾
 [焼成が十分に進行した場合、遊離酸化カルシウムは減少する]

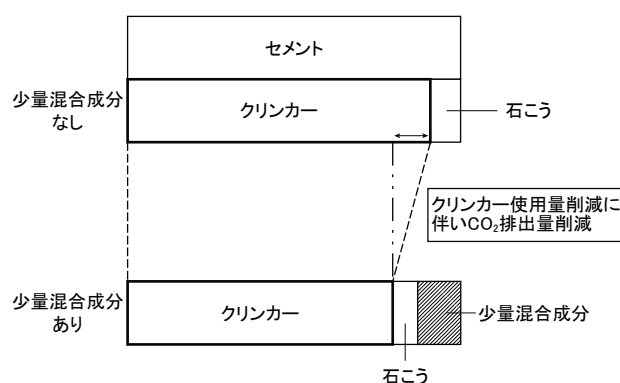


図2 少量混合成分増量によるCO₂排出量削減

2-2. セメントの少量混合成分の増量

日本産業規格では、普通ポルトランドセメント等に対して石灰石や高炉スラグ微粉末などの少量混合成分の添加が5%以下の範囲で認められている。将来的に10%まで少量混合成分の添加が認められれば、主なCO₂排出源であるクリンカーを現状よりさらに5%削減でき、これに相当するCO₂排出量も削減できる(図2)。少量混合成分を10%まで添加した場合、クリンカー使用量の削減に伴いセメントの強さが低下する。これを補うため、C₃Sおよびブレン比表面積を増加する方法が検討されている⁵⁾。また、クリンカー使用量の削減による、廃棄物処理量の減少を解消するため、クリンカー中のC₃Aの増量が検討されている⁶⁾。その際、水和熱の上昇が懸念されるが、少量混合成分を複数併用添加することで、水和熱は

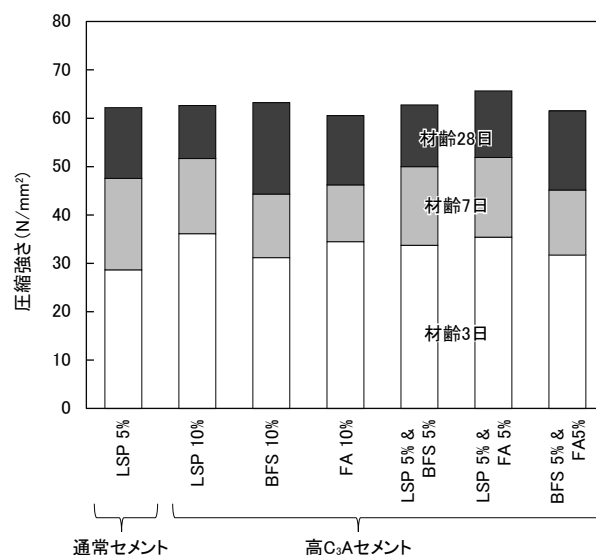


図3 C₃Aを増量し、少量混合成分を増量したセメントの圧縮強さ⁶⁾

表1 通常セメントとアルミネート(C₃A)を高めたセメントの鉱物組成⁶⁾

セメント	C ₃ S (%)	C ₂ S (%)	C ₃ A (%)	C ₄ AF (%)	ブレン (cm ² /g)
通常セメント	60.4	15.8	9.0	9.0	3340
高C ₃ Aセメント	60.4	14.0	11.0	8.2	3360

普通ポルトランドセメントと同等となり、さらに強さも維持できるとされている(表1, 図3)⁶⁾。

3. 混合材の活用

高炉スラグ微粉末、フライアッシュなどを混合した混合セメントは、クリンカー使用量が少ないためCO₂排出量を抑制できる。一方で、混合材の品質変動による混合セメントの品質管理、および、クリンカー使用量減少による強さの低下が課題となっている。

3-1. 高炉スラグ微粉末

高炉セメントの強さは、高炉スラグ微粉末の活性度指数(=混合材を混合したセメントの強さ/未混合のセメントの強さ)の影響を受ける。高炉スラグ微粉末の活性度指数は、塩基度($b = (\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO}) / \text{SiO}_2$)に比例するとされているが、必ずしも一致するとは言えない。その他の化学成分としてMnOやTiO₂の考慮、また、各化学成分に掛かる係数を見直すことで、活性度指数を精度よく予測

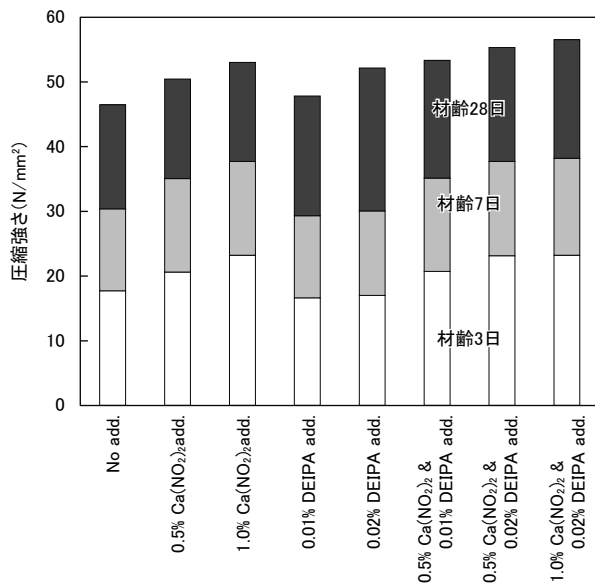


図4 増進剤を用いた高炉スラグ高含有セメントの圧縮強度¹²⁾

する検討がなされている⁷⁾。これにより、高炉セメントの品質を安定させ、高炉セメントの使用量増加につながれば、CO₂排出量は、さらに削減すると考えられる。

セメント中の高炉スラグ微粉末の増量に伴い、初期強さの低下が懸念される。ベースセメント中のC₃Sおよびフリーライムを増やすことで、高炉スラグ微粉末添加量40%の高炉セメントの初期強さを普通ポルトランドセメントと同等にできるとされている⁸⁾。また、高炉スラグ微粉末添加量を60～70%まで高めた場合では、無水せっこうを添加することで、強さの低下や乾燥収縮の増大を抑制する検討がされており⁹⁾、さらに、初期強さ発現性を高める増進剤の使用についても検討されている^{10, 11)}。増進剤としては、亜硝酸カルシウムや硫酸ナトリウムなどの無機化合物や、ジエタノールイソプロパノールアミン(DEIPA)が使用され、これがベースセメントや高炉スラグ微粉末の反応率を高め、初期強さの低下を補うことができる(表2)^{10, 11)}。また、これらの増進剤によって、異なる水和物が生成し^{10, 11)}、強さ発現性に寄与する可能性も示唆されている。さらに、亜硝酸カルシウムとDEIPAを併用すると、特に高炉スラグ微粉末の反応が促進され、強さが増加すると報告されている(図4)¹²⁾。

表2 高炉セメントに対する増進剤の影響

増進剤	ベースセメント	高炉スラグ微粉末	反応生成物
亜硝酸カルシウム ^{1,2)}	○	○	水酸化カルシウム 亜硝酸型モノサルフェート
硫酸ナトリウム ²⁾	—	○	エトリンガイト
塩化カルシウム ²⁾	—	○	水酸化カルシウム フリーデル氏塩
硫酸カルシウム ²⁾	—	×	エトリンガイト
DEIPA ¹⁾	○	○	エトリンガイト

○：効果あり ×：効果なし —：未確認

*1 文献11)より引用 *2 文献12)より引用

3-2. フライアッシュ

石炭火力発電所から発生するフライアッシュは、炭種や焼成条件によって品質が不安定になることや、残存する未燃炭素がコンクリートの空気量や流動性に影響を及ぼすこと¹³⁾が懸念されており、混和材としての普及は限定的である。フライアッシュは、セメントの水和で生成するCa(OH)₂とポゾラン反応して硬化体を緻密化する。ポゾラン反応の主な支配要因は、比表面積やガラス相の量などとされているが、さらに、ガラス相中の修飾酸化物量を考慮する評価方法も報告されている¹⁴⁾。また、フライアッシュの粒子をいくつかのクラスに分類して、反応後のフライアッシュ粒子が縮小した際にできる外縁部の空間の厚みでフライアッシュの反応性を評価する研究も行われている(図5)¹⁵⁾。さらに、加熱燃焼、浮遊選別および静電分離によって未燃炭素を除去する研究も行われている¹³⁾。これらにより、フライアッシュの品質評価方法の確立や未燃炭素の除去が可能となれば、品質安定化につながり、フライアッシュの使用量増加が可能となると考えられる。

また、フライアッシュ添加量20%のフライアッシュセメントにおいても、ベースセメント中のC₃Sおよびフリーライムを増加させることで、普通ポルトランドセメントと同程度の初期強さを得られることが示唆されている¹⁶⁾。フライアッシュセメントは、初期強さの発現性が低い傾向にあるが、増進剤としてアルカノールアミンを添加しても、フライアッシュ自身の反応を促進する効果は低いようである¹⁷⁾。

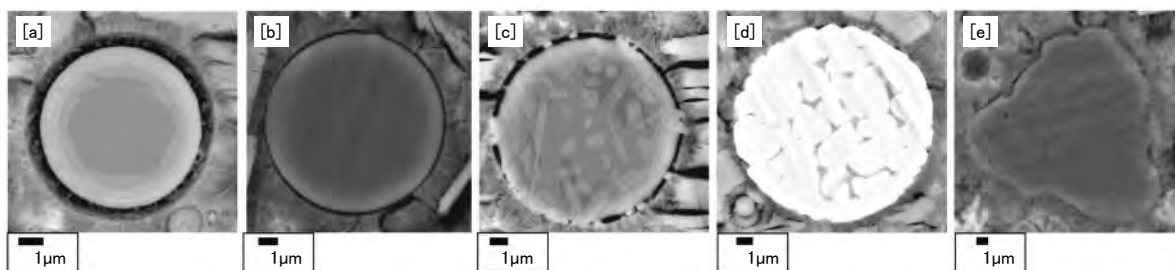


図5 フライアッシュセメントペースト硬化体中におけるフライアッシュ粒子の反応状態の走査型電子顕微鏡像
[[a] 高CaO含有 Al_2O_3 - SiO_2 系ガラス粒子, [b] Al_2O_3 - SiO_2 系ガラス粒子, [c] ムライトとガラス相の混在粒子,
[d] ヘマタイトとガラス相の混在粒子, [e] 石英粒子]¹⁵⁾

3-3. 人工ポズラン

近年注目されている混和材としてメタカオリンを含む人工ポズランが挙げられる。メタカオリンは焼成カオリンとも呼ばれ、非晶質のポズラン材料の一種である。粘土鉱物であるカオリナイト、イライトなどを原料として700～800℃で加熱焼成することで活性化される。ポズラン反応により水和物を生成して緻密化することで硬化体性能を向上できる。ASTM C618にも規定されている混和材で、海外では石灰石と組み合わせてクリンカーの使用量を50%程度まで低めたセメント(Lime Calcined Clay Cement: LC³)が知られている¹⁸⁾。ただし、メタカオリンの品質は原料として使用される粘土や、焼成温度の影響を強く受け、期待される効果が得られない場合がある。また、比表面積の増加による流動性の低下から、要求される流動性を確保するのに必要となる混和剤が増加することや中性化に対する抵抗性の低下が懸念される¹⁹⁾。

4. 新材料

4-1. ジオポリマー

ジオポリマーは、非晶質のケイ酸アルミニウムを主成分とした原料(活性フィラー)とアルカリ溶液の縮合重合により硬化したものである(図6)。ポルトランドセメントと同等レベルの強度を示す材料として注目されている。また、クリンカーを全く使用しないためCO₂削減効果が極めて高い。一般的に活性フィラーには、フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末を、アルカリ溶液には、水ガラスおよび水酸化ナトリウムを用いる。ジオポリマーの施工例として

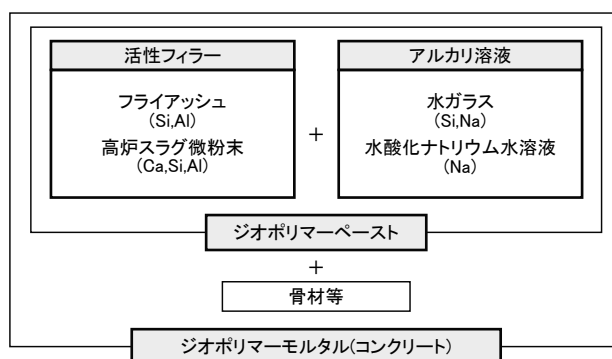


図6 ジオポリマーの配合例

は、国内では擁壁や道路の舗装ブロックが、海外では空港の滑走路などが挙げられる²⁰⁾。一方で、反応機構が十分に解明されていないこと、安定した品質の得るための製造技術が確立されていないこと、施工性や耐久性に関する検証データが不十分であることなどに課題があり、国内での普及は進んでいない。

ジオポリマーの反応機構および硬化物の性状は高炉スラグ微粉末の有無により異なると言われている^{20, 21)}。高炉スラグ微粉末を含まず、フライアッシュなどケイ酸アルミニウム系の材料を原料とする場合、反応生成物がアルミノケイ酸塩縮重合体となる。ポルトランドセメントと比較して耐火性や化学抵抗性に優れるが、高温養生によって反応を促進させる必要がある。一方、高炉スラグ微粉末を用いる場合の反応生成物は、一般的に、セメントの水和で生成するC-S-Hと類似した構造となる。このため、初期の強さが増加し常温養生にて硬化が可能となるが、耐酸性や高温抵抗性が低下する場合もある。

4-2. 高硫酸塩スラグセメント

高硫酸塩スラグセメントは、主原料に高炉スラグ

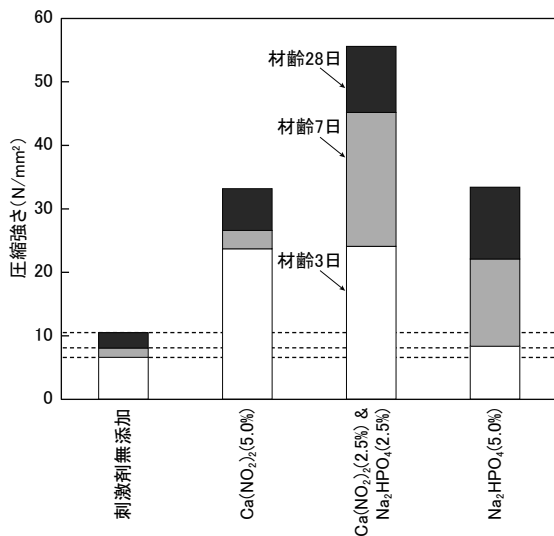


図7 刺激剤を添加した高硫酸塩スラグセメントの圧縮強さ¹⁹⁾

表3 高硫酸塩スラグセメントの配合(単位: %)

	高炉スラグ	無水せっこう	Nセメント	刺激剤 ¹⁾
高硫酸塩スラグセメント ²⁾	67	30	3	(5)

*1 刺激剤を含む場合、外割となるように添加

*2 文献 19) より引用

微粉末およびせっこうを用い、少量のポルトランドセメントなどアルカリ性を与える物質を含む結合材である。高炉スラグ微粉末を大量に活用でき、クリンカーの使用量が少ないため、CO₂排出量が少ない結合材である。ポルトランドセメントが1~3%、高炉スラグ微粉末が60~90%の配合では、高い強さが得られるが、ポルトランドセメントが10%前後に増えると逆に強さが減少する²²⁾。硬化時に生じる水和熱が低く、硫酸塩や海水に対する化学抵抗性をもつが、その一方で、初期強さ、中性化抵抗性、表面劣化などに課題がある^{21, 22)}。近年の研究では、初期強さの低下を解消するため、比表面積が10000cm²/g前後の高炉スラグ微粉末の使用²³⁾、または、強さを増進させる刺激剤について検討されている。刺激剤として、亜硝酸カルシウムとリン酸水素二ナトリウムを組み合わせることで、初期強さが大幅に増進すると報告されている(表3, 図7)²⁴⁾。

4-3. γ相ビーライト系結合材

γ相ビーライトは、水硬性を持たないが、CO₂と反応し緻密化する化合物である²⁵⁾。硬化体を緻密化

する際、CO₂を材料内に吸収し固定するため、CO₂収支を評価すると実質マイナスになるという報告もある^{26, 27)}。セメントにγ相ビーライトを置換した場合でも、炭酸養生を行うことで、硬化体の圧縮強さは増大することが確認されている²⁸⁾。さらに、CO₂排出量を削減し廃棄物リサイクル量を増加する方法として、セメントにγ相ビーライト、フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末を置換した結合材の研究も行われている²⁶⁾。

5. おわりに

本稿では、近年脱炭素社会を背景として関心が高まっている低炭素型セメントの技術動向を紹介した。ポルトランドセメントの低炭素化や混合セメントの活用は、比較的技術的障壁が低いと考えられ、これらの技術の実用化は近いかもしれない。しかし、これらの技術だけでは、2050年カーボンニュートラルを実現することは難しいと予想される。そのため、混合材の大幅な増加や新材料の利用など技術的障壁が高い技術についても、今後も研究を推進していくべきであろう。

【参考文献】

- 1) 細谷俊夫／セメント産業におけるCO₂排出削減の取組み, コンクリート工学, Vol.48, No.9, pp.51~53, 2010
- 2) (一社)セメント協会／セメントのLCIデータ概要2021
- 3) 茶林敬司他／低温焼成型クリンカーの実機キルン焼成試験結果および試製セメントの物性, セメント・コンクリート論文集, Vol. 69, pp. 124~130, 2015
- 4) M. Yamashita, H. Tanaka／Low-temperature burnt Portland cement clinker using mineralizer, Cement Science and Concrete Technology, Vol. 65, pp. 82~87, 2011
- 5) 中口歩香他／少量混合成分を増量したセメントの品質評価, セメント・コンクリート論文集, Vol. 72, pp. 389~395, 2018
- 6) 中口歩香他／少量混合成分とアルミネート相を増量したセメントの設計開発~その1 セメントの品質評価~, セメント・コンクリート論文集, Vol. 73, pp. 429~435, 2019
- 7) 伊藤貴康他／CaO-Al₂O₃-SiO₂-MgO系スラグの活性度指数に及ぼす化学成分の影響, セメント・コンクリート論文集, Vol. 70, pp. 222~229, 2016
- 8) 新杉匡史他／混合セメントにおける高エーライトクリンカーの利用, セメント・コンクリート論文集, Vol. 68, pp. 212~217, 2014
- 9) 坂井悦郎他／初期水和性状を考慮した高炉スラグ高含有セメントの材料設計, セメント・コンクリート論文集, Vol. 65, pp. 20~26, 2011
- 10) 坂井悦郎他／亜硝酸カルシウムを添加した高炉スラグ高含有セメントの水和, セメント・コンクリート論文集, Vol. 71, pp. 62~67, 2017
- 11) 胡桃澤清文／高炉スラグ固化体の反応に及ぼすいくつかの

- 無機塩の影響, セメント・コンクリート論文集, Vol. 74, pp. 105~110, 2020
- 12) 坂井悦郎他/高炉スラグ高含有セメントの水和に及ぼす亜硝酸カルシウムとアルカノールアミンの影響, セメント・コンクリート論文集, Vol. 73, pp. 52~58, 2019
- 13) 門田浩史他/フライアッシュの未燃炭素除去技術, セメント・コンクリート, No. 891, pp. 9~14, 2021
- 14) 大塚拓他/フライアッシュの鉱物組成とボゾラン反応性, セメント・コンクリート論文集, Vol. 63, pp. 16~21, 2009
- 15) 中居直人他/フライアッシュの反応性に及ぼす粒子特性の影響, セメント・コンクリート論文集, Vol. 72, pp. 70~76, 2018
- 16) N. Siribudhaiwan, et al./Hydration of blended cement with high alite content, Journal of the Ceramic Society of Japan, Vol. 122, pp. 1004~1009, 2014
- 17) 宋玄真他/フライアッシュセメントの初期水和反応に及ぼすアルカノールアミンの影響, セメント・コンクリート論文集, Vol. 73, pp. 59~64, 2019
- 18) K. Scrivener, et al./Impacting factors and properties of limestone calcined clay cements (LC³), Green Materials, Vol. 7, No. 1, pp. 3~14, 2019
- 19) 江口康平/メタカオリン含有人工ボゾランを利用したコンクリートの品質改善に関する基礎的研究, 鹿児島大学学位論文, 2014
- 20) 一宮一夫他/建設分野へのジオポリマー技術の適用に関する研究委員会, コンクリート工学年次論文集, Vol. 39, No.1, pp. 39~48, 2017
- 21) 李柱国/ジオポリマーおよびその建材分野における実用化に向けて その1 硬化機構および反応生成物, 建材試験情報, Vol. 52, No. 9, pp. 2~7, 2016
- 22) 魚本健人, 小林一輔/高炉水砕スラグ・排煙脱硫石こう系セメントを用いたコンクリートの圧縮強度, 土木学会論文報告集, No. 302, pp. 125~138, 1980
- 23) 宮澤祐介他/高硫酸塩スラグセメントコンクリートの長期性状について, コンクリート工学年次論文集, Vol. 36, No. 1, pp. 46~51, 2014
- 24) 門田浩史他/高硫酸塩スラグセメントの強さ発現性に対する無機系刺激剤の効果, セメント・コンクリート論文集, Vol.75, 2021 (印刷中)
- 25) 後藤誠史他/カルシウムシリケート化合物の炭酸化による硬化, 無機マテリアル, Vol. 5, pp. 22~27, 1998
- 26) 木村彩永佳他/炭酸化養生を行った環境負荷低減型コンクリートの環境影響評価, コンクリート工学年次論文集, Vol. 36, No. 1, pp. 2254~2259, 2014
- 27) 取達剛他/炭酸化養生を行ったコンクリートのCO₂収支並びに品質評価, コンクリート工学年次論文集, Vol. 34, No. 1, pp. 1450~1455, 2012
- 28) 取達剛他/ γ -2CaO・SiO₂を混入して強制炭酸化したセメント系材料による環境負荷の低減, セメント・コンクリート論文集, Vol. 63, pp. 161~167, 2009

第76回セメント技術大会講演募集のお知らせ

第76回(2022年度)セメント技術大会の一般研究発表の講演を下記要領により募集いたします。

本大会がセメント・コンクリート技術に関する活発な討論の場となりますよう、ふるってご応募ください。

名 称 : 第76回セメント技術大会

期 日 : 2022年5月18日(水), 19日(木), 20日(金)の3日間

開催形式 : 会場とオンライン(ハイブリッド)

会場 : 赤坂インターシティコンファレンス

オンライン : Cisco Webex

参加費 : 無料(講演や聴講など, 参加費は不要です)

講演形式 : 会場発表・オンライン発表から選択

講演申込の受付期間 : **2022年1月11日(火)~2月25日(金)**

※聴講の参加申込みは2022年4月1日(金)より開始予定

講演申込方法 : 受付期間内に第76回セメント技術大会ホームページ(下記URL)の「講演申込み」から講演申込みの申込みフォームにご記入の上、講演要旨原稿とともにお申込みください。

U R L : <https://confit.atlas.jp/jcalab22>

セメント協会ホームページ[<https://www.jcassoc.or.jp>]からもアクセスできます。

第76回セメント技術大会の会場は、赤坂インターシティコンファレンスとなります。

2050年カーボンニュートラル達成 への取り組み“SO-CN2050”／ 住友大阪セメントグループ

飯島 智彦

1. はじめに

2015年COP21(国連気候変動枠組条約第21回締約国会議)にて、2020年以降の温室効果ガス(GHG)排出削減など新たな国際枠組みとしてパリ協定が採択され、これを背景に世界各国で具体的な取り組みの議論が活発化した。

さらに2021年のCOP26では、一層の対策の必要性が謳われ、CO₂排出削減対策が講じられていない石炭火力発電は段階的削減するとされた。またパリ協定では「2℃未満、できれば1.5℃に抑える」とされていた気温上昇は、今回「1.5℃」を目指すことが強調され、2022年末までに再度2030年目標の見直しを求める等、実質削減目標の上積み要請もあった。

一方、国内に目を向けると、わが国は2015年に国連に提出した「日本の約束草案」の中で2030年に2013年度比26%削減とし、2016年5月に閣議決定された「地球温暖化対策計画」では2050年には80%削減を目指すことと示された。その後、2020年10月には菅総理大臣(当時)が所信表明演説において、わが国が2050年にカーボンニュートラルを目指すことを宣言

した。これは従来の政府方針を大幅に前倒す形で示されたもので、この実現のためにはエネルギー・産業部門の構造転換、大胆な投資によるイノベーションの創出が必要であるといったことから、経済産業省は関係省庁と連携して「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」を策定した。2050年カーボンニュートラルという目標に向けNEDOに2兆円のグリーンイノベーション基金が造成され、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コミットメントを示す企業等に対して、10年間、研究開発・実証から社会実装まで継続した支援策を打ち出した。その後、2021年4月の気候サミットにおいて菅総理大臣(当時)が2030年に2013年度比46%削減を宣言。10月に閣議決定された「地球温暖化対策計画」では、46%削減達成に向け産業部門には38%の削減が割り当てられCO₂多排出産業であるセメント産業を取り巻く環境には、ますますCO₂削減への取り組みが必要不可欠な課題となった。

2. 住友大阪セメントグループの取り組み

2-1. 事業構成

当社グループは大きく分けて、「セメント関連事業」と「高機能品事業」の2つのセグメントから構成されている。セメント関連事業には、主力であるセメント事業、鉱産品事業、建材事業が含まれ、高

Our Approaches for Achieving Carbon Neutrality by 2050
(by IJIMA Tomohiko)



いいじま ともひこ
住友大阪セメント(株) サステナビリティ推進室 副室長



写真1 赤穂工場

表1 住友大阪セメントグループの温室効果ガス排出量
(単位: 千t-CO₂)

	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度
エネルギー起源 CO ₂	3,833	3,956	3,869	3,743	3,660
非エネルギー起源 CO ₂ (プロセス由来)	4,500	4,700	4,590	4,470	4,260
非エネルギー起源 CO ₂ (廃棄物由来)	791	760	812	819	762
その他 温室効果ガス	241	237	231	225	214
温室効果ガス 排出量	9,365	9,653	9,502	9,257	8,896

* 集計範囲: 住友大阪セメント(株)および主要関係会社48社

機能品事業には、光電子事業、新材料事業、電池材料事業がある。

CO₂の排出量に目を向けたとき、その排出の多くはセメント事業による。当社は国内4工場、関係会社2工場(八戸セメント、和歌山高炉セメント)にてセメントの生産を行っている(写真1)。

2-2. GHG排出量

2020年度の当社グループ(主要関係会社48社を含む)のCO₂排出量は8,682千tであり、そのうち、エネルギー起源^{*1}によるものが3,660千t、非エネルギー起源^{*2}によるものが5,022千tとなっており、その他のGHGを加えるとGHG排出量としては8,896千tになる(表1)¹⁾。またグループ全体のGHG排出量のうち、セメント事業での排出量の割合は97%になる。

【脚注】

※1 エネルギー起源は、燃料の燃焼、他社から供給された電気の使用に伴う排出。

※2 非エネルギー起源は、プロセス由来、廃棄物由来の排出。

表2 災害廃棄物の処理に関する協定提携先

2019年 9月	兵庫県赤穂市	「災害廃棄物の仮置場設置協力に関する協定書」
2019年10月	高知県および高知県須崎市	「災害廃棄物の処理の協力に関する協定書」
2020年 3月	千葉県船橋市	「災害廃棄物等の処理に関する基本協定書」
2020年10月	宮城県	「包括連携協定」
2020年12月	栃木県	「包括連携協定」
2021年 7月	兵庫県赤穂市	「包括連携協定」
2021年 8月	千葉県柏市	「災害廃棄物等の処理に関する協定書」
2021年11月	兵庫県	「包括連携協定」

2-3. これまでの取り組み

当社は、地球環境と事業活動の調和を図るため、環境負荷の少ない生産・発電・物流を希求するとともに、リサイクルビジネスの担い手として循環型社会構築にも貢献している。

各種産業、地方自治体から発生する廃棄物・副産物をセメント原料、熱エネルギーとして利用することで化石燃料の使用量削減、廃棄物焼却炉や廃棄物最終処分場の延命にも寄与している。また、昨今急激に発生が増加した大規模災害では、木くず、土砂混入廃棄物、畳、瓦などの災害廃棄物を受入れてきた。また、大規模災害の早期復旧・早期復興への支援や、さまざまな課題の解決に向けた地方自治体との協力体制の構築のため、各種協定の締結を推進している。大規模災害発生時に協定を締結した自治体で大量の災害廃棄物が発生した場合、当社および当社グループ会社のセメント工場において災害廃棄物をセメント製造の原料や熱エネルギーとして再利用することに加え、廃棄物のセメント資源化による環境負荷低減、環境教育の推進、地域社会の活性化および県民サービスの向上など様々な課題について相互に連携し協力することも取り決めている(表2)²⁾。

このような取り組みを通じ、特に当社岐阜、栃木、赤穂の3工場は高い石炭代替率を誇り、2020年度の当社グループの廃棄物・副産物原単位519kg/t-セメントは業界トップクラスといえる(表3)²⁾。

一方、R&D面では、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)研究委託事業にも取り組んでいる。

表3 廃棄物・副産物使用状況

		2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度
原料系産業廃棄物 ¹ (千 t)		2,858	3,056	2,883	2,911	2,739
熱エネルギー系産業廃棄物 ² (千 t)		412	399	367	378	394
副産物 ³ (千 t)		2,164	2,189	2,289	2,190	2,077
計 (千 t)		5,434	5,644	5,538	5,479	5,210
セメント生産量 (千 t)		10,519	10,915	10,758	10,550	10,041
原単位(kg/t-セメント)	原料系	272	280	268	276	273
	熱エネルギー系	39	37	34	36	39
	副産物	206	201	213	208	207
計 (kg/t-セメント)		517	517	515	519	519

*1 原料系産業廃棄物：石炭灰、建設発生日、汚泥(浄水、下水、建設など)、燃殻、ばいじん、スラッジ、瓦礫、廃酸、廃アルカリ、鉍さい、その他

*2 熱エネルギー系産業廃棄物：廃プラスチック類、廃白土、廃油、廃タイヤ、木くず、その他

*3 副産物：高炉スラグ、副産石膏、木質チップ(売電向け含む)、その他

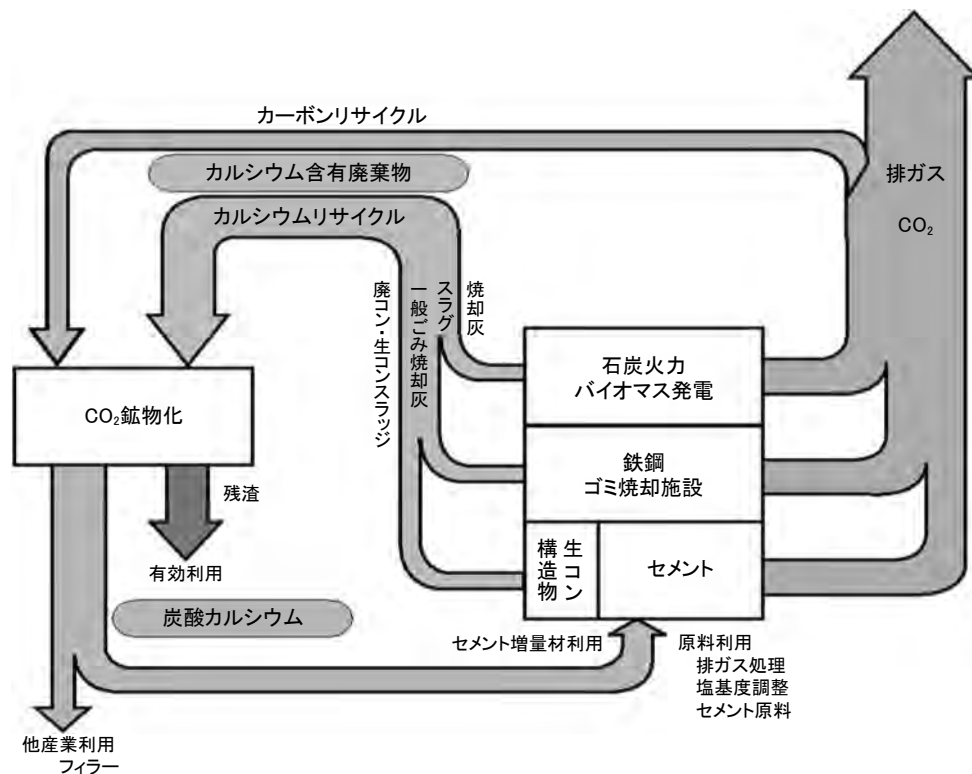


図1 カルシウム含有物の資源化スキーム

当社はNEDO研究委託事業である「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術推進事業/カーボンリサイクル技術の共通基盤技術開発」において、「カルシウム含有廃棄物からのCa抽出およびCO₂鉍物固定化技術の研究開発」として、解体現場から発生するコンクリートから、建設現場からの戻りコンや残コン、生コン工場等で生じるスラッジ等、多様なカルシウム含有廃棄物からCaを抽出し、CO₂を鉍物固定する革新的カーボンリサイクルプロセス構築の基盤技術開発を進めている。この技術により鉍物化された炭酸塩は、セメント原料への再利用に止まらず、

高品質なフィラー等への利用が考えられる(図1)³⁾。

2-4. 2050年カーボンニュートラル(CN)に向けた取り組み

(1) CNに向けた体制づくり

当社グループはまず、2019年に「5つのマテリアリティ」を特定した(図2)⁴⁾。この中に掲げる「地球環境への配慮」、「循環型社会への貢献」の実行として、省エネルギー設備の導入やセメント製造を通じたリサイクル事業、バイオマス発電事業によるカーボンニュートラルの取り組みを重要な経営課題と



図2 5つのマテリアリティ

【委員会】

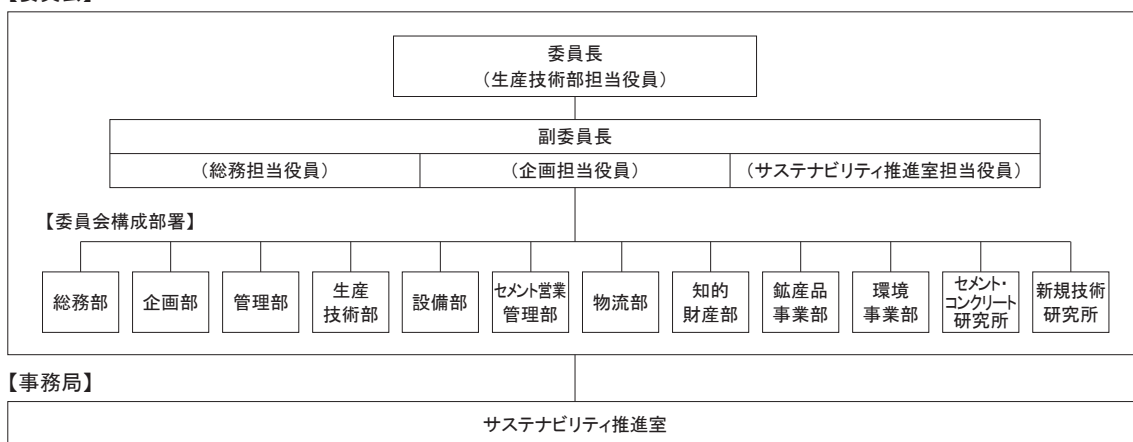


図3 サステナブル対策委員会の構成

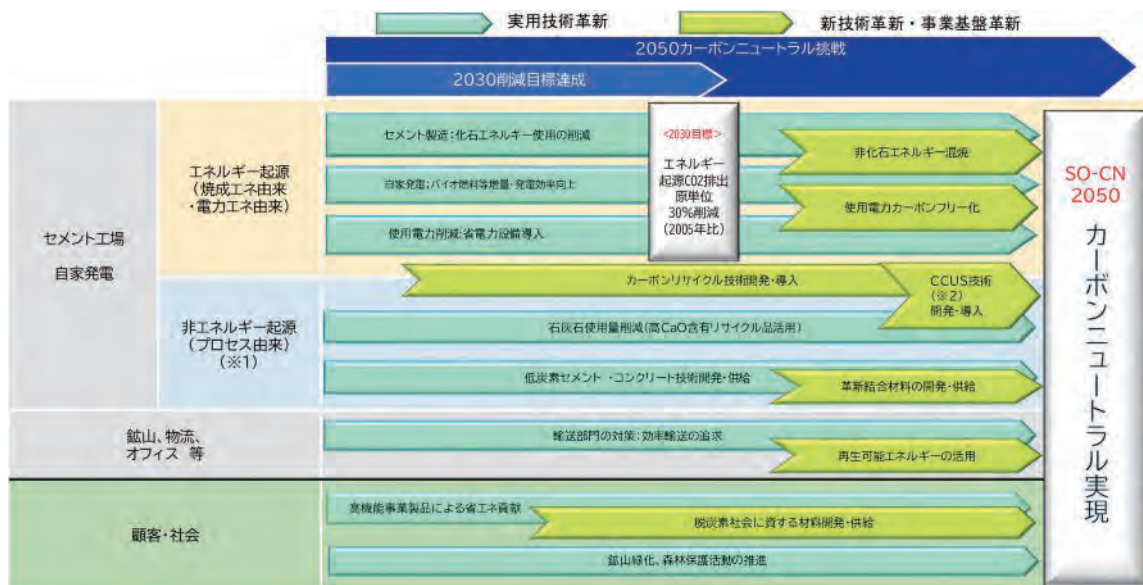
認識し、2020－2022年度中期経営計画には環境対策として「CO₂排出削減への取組み」を明記した。またこれを受け、2020年4月に社長直属の機関としてサステナブル対策委員会を発足させた(図3)。

同委員会の成果として、同年12月に2050年カーボンニュートラルに向けた取り組みである『2050年“カーボンニュートラル”ビジョン「SO-CN2050」』の公表に至った⁵⁾(図4)。その結果、SO-CN2050の公表やこれまでの取組みが高く評価され、翌年1月

に日本政策投資銀行(DBJ)の環境格付けで最高ランクの格付けを取得した⁶⁾。

(2) SO-CN2050の取組み

本ビジョンは中期目標である「2030年のエネルギー起源CO₂排出原単位を30%削減(2005年比)」と、長期目標である「2050年カーボンニュートラルに向けた、セメント製造におけるエネルギー起源CO₂およびプロセス由来CO₂排出量“実質ゼロ”への挑戦、およびサプライチェーンを通じたCO₂排出



※1 セメントの主原料である石灰石の CaCO_3 (炭酸カルシウム) を高温焼成する際に排出される CO_2
 ※2 CO_2 の回収 (Capture) ・利用 (Utilization) ・貯留 (Storage)

図4 SO-CN2050 全体ロードマップ

削減・社会全体の脱炭素化への貢献」の2本立てで構成されている。2050年のカーボンニュートラルを見据え、2030年までの目標達成のため300億円の投資を実施する。

この目標達成を具体的に進める専属組織として、2021年4月1日にサステナビリティ推進室を設置した⁷⁾。前項で示した各部門でのこれまでの取組みに加え、この組織ではカーボンニュートラルの諸施策、気候変動問題を中心としたサステナビリティ課題に全社横断的に取り組む役割を担う。また、2050年カーボンニュートラルの実現は、当社グループ単体だけの取組みのみで達成することは困難と考えられるため、他社・関係機関との協働、他社技術の導入等、幅広いネットワークに基づく取り組みを進めて行く必要があると考えている。

(3) SO-CN2050セミナーの開催、ロゴの制定

当社グループのCNに向けた取り組みのキックオフとして、社長、担当役員、サステナビリティ推進室長が登壇するセミナーを開催し、国内外のグループ全事業所での視聴する形式とし、各事業所、グループ各社の重要課題であることの理解とともに、グループ員それぞれが当事者として考え実行する取り組みであることの認識を一致させた。今後もこのようなセミナーは継続して実施し、社員の意識維持・向上



図5 SO-CN2050ビジョン ロゴマーク

〔SOCグループが2050年に向けカーボンニュートラルの取組み・技術を深めることで、地球がクリーンになるイメージを表しています。〕

を図っていく。そのシンボルとしてロゴマークも制定し、社内外の広報・啓蒙活動に活用している(図5)。

(4) TCFD提言への賛同

2015年に「金融安定理事会(FSB; Financial Stability Board)」により、気候変動に関する企業の対応を情報開示するよう促す「気候関連財務情報開示タスクフォース(TCFD; Task Force on Climate-related Financial Disclosures)」が設置された。TCFDは2017年6月に報告書を公表し、企業等に対し気候変動リスクと機会に関するガバナンス、戦略、リスク

管理、指標と目標について開示することを推奨した。

そのような中、経済産業省が「TCFDガイダンス」を策定したことで、一気に国内の賛同機関が増えた。この動きは、CO₂を多く排出する当社グループにとって、気候変動問題への対応は大変重要な経営課題であり、TCFD提言への賛同と開示のフレームワークは、当社の戦略立案にも合致するとし、賛同表明に向けて社内各部門から代表者が集まるワーキングを開催。気温上昇が今世紀末までに2℃以下または4℃上昇するシナリオを想定した上で、その気候変動が当社グループのセメント関連事業、高機能品事業に対してどのような影響を及ぼすかについて分析を実施した。

セメント生産におけるCO₂排出は、エネルギー起源とプロセス由来があり、特にプロセス由来はセメント原料に石灰石を使用しているため、ほぼ不可避な排出源となっており、まずは廃プラスチック等の代替エネルギー比率を高める等、静脈産業としての役割を果たしながらCO₂低減を進め、かつCO₂を分離・回収、有効利用する技術開発を推進・加速する必要があることを改めて認識した。

さらに、セメント関連事業は、気候関連という広い視点で考えれば、近年頻発する大規模災害に対する国土強靱化策の推進、またCO₂吸収や回収技術が進めば多くの新しい事業機会があるといえる。また、高機能品事業でも、半導体製造装置用部品や光通信部材、リチウムイオン電池正極材料等、当社グループが培った技術が脱炭素化社会のもたらす新しい生活様式に大きく貢献できる分野であり、CO₂多排出企業ではあるが、当社グループの取組みは新しい生活様式に必要な事業構成になっていると考えられた。

以上の分析結果と併せ、2021年8月にTCFD提言に賛同するとともにTCFDコンソーシアムへの参加を表明した⁸⁾。

(5) トラッキング付き非化石電力の導入

オフィスにおける電力のカーボンフリー化の一環で、2021年4月より住友大阪セメント本社ビル(東京都千代田区)で使用する電力量の全てを自社のバイ



写真2 栃木工場バイオマス発電設備

オマス発電所(栃木県佐野市)が作るグリーン電力で供給する契約を結ぶことで、本社ビル使用電力の完全カーボンフリー化を実現した。

これは、石炭などの化石エネルギーを使用しないで発電された電気に環境価値(トラッキング付き非化石証書)を付与させ、その電気と価値を購入し使用するものである(写真2)⁹⁾。

当社は栃木、赤穂、高知(2基)の各工場に自家発電所を保有している。栃木はバイオマス発電所であるが、残りは石炭火力発電所であり、バイオマス(非石炭)比率を高めることで非効率石炭火力フェードアウトの基準である事業者発電効率43%以上を達成してゆく方針である。

(6) その他

経団連が政府と連携して進めている「チャレンジゼロ」へは、前述の「カルシウム含有廃棄物からのCa抽出およびCO₂鉱物固定化技術の研究開発」に加え、「光触媒によるグリーン水素の製造」の2テーマで参加した。特に後者の取組みは、当社の高機能品事業で培われた独自の水熱合成技術により高性能化された触媒と太陽エネルギーを使った水分解により、水素(グリーン水素)の製造を可能にする材料の開発に取り組むものである。

3. おわりに

カーボンニュートラルは高く険しい目標であるが、日々変化し、千変万化する多様な知識・情報を広く求め、多面的な取り組みを行う必要があると考

える。単独社での問題解決にこだわることなく、来るべき未来も成長し輝ける業界、企業グループであるよう、グループ一丸となって2050年カーボンニュートラルに取り組んで参ります。

【参考文献】

- 1) 住友大阪セメント／統合報告書2021, p.31
- 2) 住友大阪セメント／統合報告書2021, p.38
- 3) 住友大阪セメント／NEDOの研究開発委託事業として採択「カルシウム含有廃棄物からのCa抽出およびCO₂鉱物固定化技術の研究開発」住友大阪セメントニュースリリース, 2020.07.30
<https://www.soc.co.jp/news/57971/>
- 4) 住友大阪セメント／マテリアリティ(重要課題)及び重点的に取り組むSDGsの特定に関するお知らせ 住友大阪セメント

ニュースリリース, 2019.08.30

<https://www.soc.co.jp/sys/wp-content/uploads/2020/01/8faba57fd49974c42187bd35072d0a5e.pdf>

- 5) 住友大阪セメント／2050年カーボンニュートラルに向けた取り組み, 住友大阪セメントニュースリリース, 2020.12.01
<https://www.soc.co.jp/news/59997/>
- 6) 住友大阪セメント／「DBJ環境格付け」において最高ランクの評価を取得 住友大阪セメントニュースリリース, 2021.01.29
<https://www.soc.co.jp/news/60466/>
- 7) 住友大阪セメント／「2050年カーボンニュートラル」に向け新組織を設置 住友大阪セメントニュースリリース, 2021.03.31
<https://www.soc.co.jp/news/60999/>
- 8) 住友大阪セメント／TCFDへの賛同, TCFDコンソーシアム参加, 及び情報開示について, 住友大阪セメントニュースリリース, 2021.08.05
<https://www.soc.co.jp/news/62201/>
- 9) 住友大阪セメント／本社ビルの使用電力を完全カーボンフリー化 住友大阪セメントニュースリリース, 2021.04.27
<https://www.soc.co.jp/news/61195/>

無料でお届けします

英文パンフレット “CEMENT IN JAPAN 2021”をお届けします



セメント協会は海外向けにわが国セメント産業をダイジェストしたパンフレットを発行しました(A4版・16ページ)。需要と供給・分野別販売先・輸出と輸入・物流関連・建設投資状況・エネルギー・世界のセメント情報などを図表で紹介。海外の方に日本のセメント産業を理解いただくためのツールとしてご活用下さい。

ご希望の方には送料で負担(着払い)でお届けいたします。申し込みは部数と送付先を明記の上、下記までファクスをお願いします。

(一社)セメント協会 広報部門 ☎03-5200-5062

【おもな内容】 1.JCA MEMBER COMPANIES 2.DEMAND AND SUPPLY 3.CEMENT SALES BY CUSTOMER 4.IMPORT AND EXPORT 5.CEMENT DELIVERY FLOW 6.CONSTRUCTION INVESTMENT 7.ENERGY CONSUMPTION, RAW MATERIALS 8.CEMENT PLANTS LOCATION



一般向け環境パンフレット セメントは暮らしを支えるサポーター

セメント協会はとくに難しくなりがちな社会資本整備への取り組みや循環型社会への貢献を楽しいイラストや写真・グラフを多用してわかりやすく解説したパンフレットを作成しています。

大人から子供たちまで、あらゆる世代の方々にご理解いただける内容です。ご希望の方には無料でお届けいたします。申し込みは部数と送付先を明記の上、下記までファクスでお申込み下さい。

(一社)セメント協会 広報部門 ☎03-5200-5062

【おもな内容】 1. みんなの安全な暮らしを守るコンクリート 2. セメントってどんなもの? 3. 世界トップクラスの省エネ技術 4. 廃棄物をセメントの原料に 5. セメント工場がなかったら日本はゴミの山? 6. 未来を守るセメント工場



カラオケが夢の中でも追いかけてくる

関根 福一

入社5年目を迎えようとしている3月、上司の赤穂工場長から人事異動の内示を受けた。「君には、仙崎(山口県長門市仙崎)に異動してもらう。当社秋芳鉱山の出荷設備のある所で、仕事の主体は、`5時から男、らしい。色々あって、色々ある所らしい。」という話だった。

通常なら、東への異動なのに西かと思ったことを鮮明に覚えている。そして、同期入社の方から送られてきた本が「左遷の哲学」であり、えらく心をえぐる配慮に感心した次第である。

発令日に赴任して、前任者から引継ぎを受けたが、どうも雰囲気が違う。えらく事務的だと思ったら、午前中で私は早期退職しますので後はよろしくだった。考えてみれば、書類のある場所を教えてもらっただけである。

仙崎では、今考えても目頭が熱くなる洗礼を受けた。それは何とカラオケである。

昭和54年、当時はまだ地方都市にカラオケが普及しだしたところであり、画面には単に歌詞が写るだけで映像はまだなかった。そして、当地のルールとして引受け(幹事会社)が先陣を切って一曲歌わなければならないのである。これが礼儀で、そうしないと客先が歌えないのである。

私は、小学校1年の時の家庭訪問で、担任の先生から私の母親に対して「この子はとて

も音痴です。ラジオの歌番組をよく聞かせてください。」と言われ、母がえらく顔を真っ赤にして小さくなっていたのを覚えている。当時は、一般家庭にはまだテレビはなかったのである。

そして、私が結婚する時、母が妻に言ったことは「この子はとても音痴ですので、決して人前で歌わせるようなことだけはしないで欲しい」だった。

それが、こともあろうか宴会のたびに歌わなければならない。あまりにも曲と合わないで自分でも悲しくなる。只々、皆のひんしゅくと同情を買うばかりだった。

仕方なくカセットデッキとテープを買ってきて、擦り切れるほど聞いて練習したが、ちっともうまく歌えない。見かねたスナックのママが「お昼休みに来なさい。いつも店を開けて掃除をしているので、ただでカラオケを使っていいから練習しなさい。」と言ってくれ、行ってみたら、女性の従業員をコーチとしてつけてくれていた。

彼女は高校時代コーラス部だったらしく、とても歌が上手な人だった。

「一曲だけでいいから、マスターしましょう」と言われ、当時流行っていた`北国の春、を徹底的に練習させられた。彼女の熱心な特訓を約2週間にわたって受けることができたのであ

る。今もこの曲が流れてくると、当時を思い出して込み上げてくるものがある。

かくして、32年後に社長になった。今思うに仙崎での勤務を終えて、社長になるまでの間、全くカラオケをすることはなかった。

ところが毎月実施される社長会に出席し、会議が終わると懇親会そしてカラオケとなる会合があることを初めて知ったのである。

一人2曲、歌わなければならない。もう二度と歌わなくてもいいと思っていたカラオケを社長になって歌うとは考えてもいなかった。

それでも、練習しないと歌えない。社長が一人スナック通いもできないのでスマホのYouTubeで練習した。とはいえ、今はいやいやではなく、むしろ、自分がその世界に浸りきって楽しむことになったから不思議である。

五木ひろしさんの“長良川艶歌、とゝ細雪、の歌詞を覚え、ディナーショーでもしている気分歩きながら、周囲を盛り上げようとする。そして、皆さんに喜んでもらっていると自分で勝手に思っている。この天と地ほどの変わりように自分でも驚き、あきれている。

仙崎での4年間を振り返ると、ほぼ毎晩一人で民家訪問をしていたような気がする。民家を訪ねて当社の船積操業の実態を聴取することで、地元住民とのコミュニケーションを深めていったのである。

地元のママさんバレーボールのお手伝いや地元青年団の活動にもできるだけ参加した。バレー・野球・ソフトボールの控え選手、祭



りの神輿担ぎ等である。よくお酒も飲んだ。

当時一緒に活動した人が、今はお互い年を取り、部落の長(おさ)となっている。私のよき理解者でいてくれることは、非常に有難く、心強い限りだ。

手探りの漁師町勤務であったが、今振り返ると、カラオケに始まりカラオケに泣かされ続けた思いが強い。

〴〵あせらず、おこらず、やすまず、あきらめず、を信条としてもがき苦しんだことが私の会社員としての出発点であったような気がしている。

[せきね ふくいち／住友大阪セメント(株)
取締役会長]

NEDOムーンショット型研究開発「C⁴S研究開発プロジェクト」の現状と展望

野口 貴文

1. ムーンショット事業の背景

2018年6月、内閣府に設置された総合科学技術・イノベーション会議(CSTI)において、日本発の破壊的イノベーションの創出を目指して、ムーンショット型研究(従来技術の延長ではなく、より大胆な発想に基づく挑戦的な研究)の必要性が提言された。その後、ムーンショット型研究開発制度に係るビジョナリー会議などの検討を経て、

- 1) 未来社会を展望し、困難であるが実現すれば大きなインパクトが期待される社会課題を対象として、人々を魅了する野心的な目標および構想を掲げて、その実現を目指すこと
- 2) 今日、さまざまな分野において破壊的なイノベーションが生み出されつつある状況に鑑み、わが国の基礎研究力を最大限に引き出す挑戦的研究開発を積極的に推進し、失敗も許容しながら革新的な研究成果を発掘・育成に導くことを旨とするムーンショット型研究開発事業がスタートした。「人々の幸福(Human Well-being)」の実現を目指し、将来の社会課題を解決するために、人々

表1 ムーンショット目標の領域

1	社会	急進的イノベーションで少子高齢化時代を切り拓く。 [課題：少子高齢化、労働人口減少等]
2	環境	地球環境を回復させながら都市文明を発展させる。 [課題：地球温暖化、海洋プラスチック、資源の枯渇、環境保全と食料生産の両立等]
3	経済	サイエンスとテクノロジーでフロンティアを開拓する。 [課題：Society5.0 実現のための計算需要増大、人類の活動領域拡大等]

表2 9つのムーンショット目標と研究推進法人

	ムーンショット目標	研究推進法人
1	2050年までに、人が身体、脳、空間、時間の制約から解放された社会を実現	JST
2	2050年までに、超早期に疾患の予測・予防をすることができる社会を実現	JST
3	2050年までに、AIとロボットの共進化により、自ら学習・行動し人と共生するロボットを実現	JST
4	2050年までに、地球環境再生に向けた持続可能な資源循環を実現	NEDO
5	2050年までに、未利用の生物機能等のフル活用により、地球規模でムリ・ムダのない持続的な食料供給産業を創出	BRAIN
6	2050年までに、経済・産業・安全保障を飛躍的に発展させる誤り耐性型汎用量子コンピュータを実現	JST
7	2040年までに、主要な疾患を予防・克服し100歳まで健康不安なく人生を楽しむためのサステイナブルな医療・介護システムを実現	AMED
8	2050年までに、激甚化しつつある台風や豪雨を制御し極端風水害の脅威から解放された安全安心な社会を実現	JST
9	2050年までに、こころの安らぎや活力を増大することで、精神的に豊かで躍動的な社会を実現	JST

の幸福で豊かな暮らしの基盤となる表1に示す3つの領域から、現在、表2に示す具体的な9つの目標が定められ、4つの国立研究開発法人、すなわちJST(科学技術振興機構)、NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)、BRAIN(農業・食品産業

Current Status and Prospects of NEDO Moonshot R&D "C⁴S Research and Development Project" (by NOGUCHI Takafumi)



のぐち たかふみ
東京大学 大学院工学系研究科 教授 博士(工学)

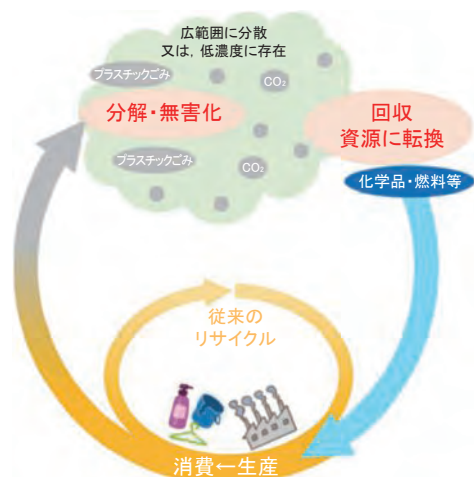


図1 実現すべき持続可能な資源循環²⁾

技術総合研究機構・生物系特定産業技術研究支援センター)、AMED(日本医療研究開発機構)において、ムーンショット型研究開発事業が進められつつある¹⁾。

これら9つの目標のうち、目標4は、図1に示すように、地球環境再生のために、持続可能な資源循環の実現による地球温暖化問題の解決(Cool Earth)と環境汚染問題の解決(Clean Earth)を目指すものであり、Cool Earthは、温室効果ガスであるCO₂を大量に排出し、石灰石資源・骨材資源を大量に消費してきたセメント・コンクリート分野が目指す方向性と深く関係している。Cool Earthでは、2030年までに、温室効果ガスに係る循環技術を開発し、ライフサイクルアセスメント(LCA)の観点からも有効であることをパイロット規模で確認すること、そして、2050年までに、資源循環技術を用いた商業規模のプラントや製品を世界的に普及させることが求められている。すなわち、CO₂を環境負荷物質ではなく資源として捉え、排ガスや大気中から回収したCO₂を原料として燃料・化学品・建設資材などを生産し利用していくことで、CO₂の資源循環を実現しなければならない。

2. C⁴S研究開発プロジェクトの目的

2020年、ムーンショット目標4に対する研究開発公募がNEDOからなされ、DAC(Direct Air Capture、大気中からのCO₂の直接回収)に関わる研究開発に混じって、筆者をPMとする「C⁴S研究開発プロジェクト」

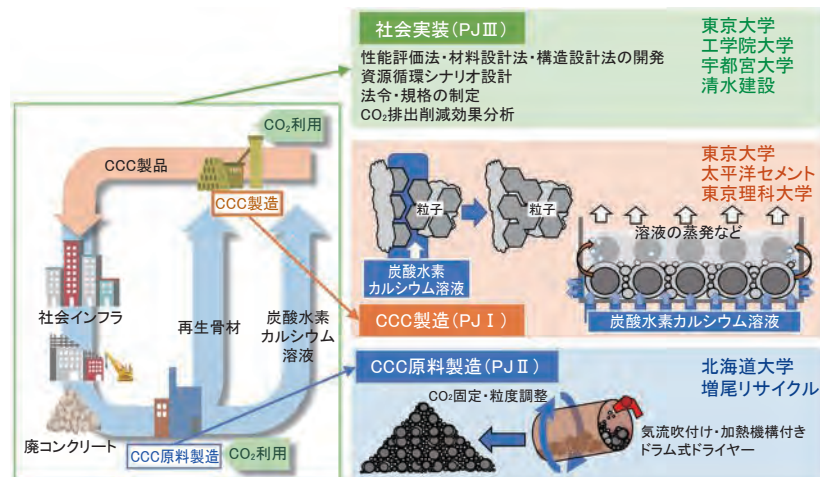


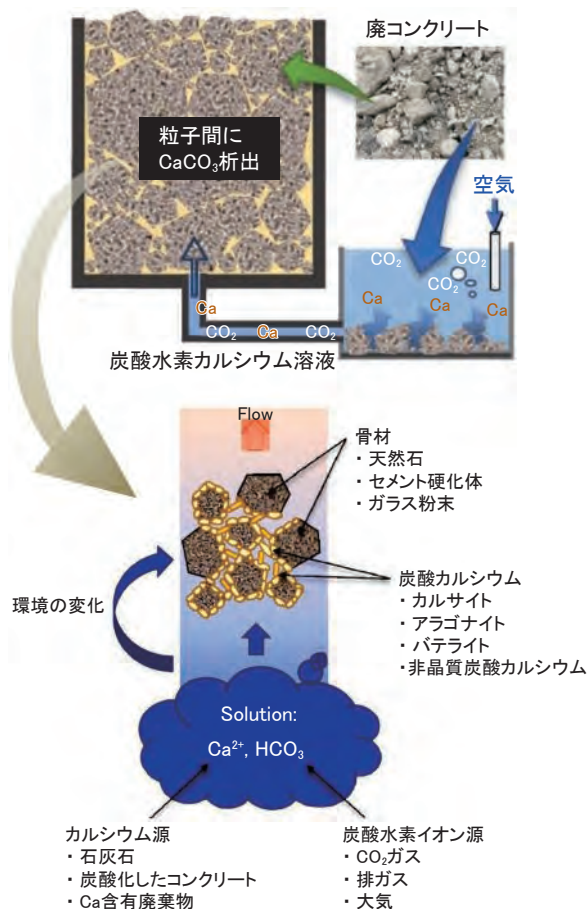
図2 C⁴SにおけるCO₂とCaの循環

ト」(C⁴S: Calcium Carbonate Circulation System for Construction、建設分野の炭酸カルシウム循環システム)が唯一建設分野に関わるものとして採択され²⁾、研究開発を開始した³⁾。C⁴S研究開発プロジェクトでは、コンクリート構造物中のカルシウム(Ca)をCO₂吸収源とみなし、構造物の解体によって発生するコンクリート廃棄物中のCaと大気中のCO₂(工場排ガス中の高濃度CO₂でも可)とを結合させて、炭酸カルシウムコンクリート(CCC: Calcium Carbonate Concrete)として再生する技術を開発し、CCCを従来のセメント・コンクリートに替わる主要な建設材料として利用することで、図2に示すようなCO₂とCaの循環を実現することを目標とし、3つの個別研究開発プロジェクト(PJⅠ、PJⅡ、PJⅢ)を立ち上げ、5大学および3社で連携して取り組んでいる。

C⁴Sの実現により、世界全体でセメントの製造時における石灰石の脱炭酸によって大気中に放出された累計550億t超⁴⁾のCO₂は、石灰石の脱炭酸でコンクリート中に残されているCaによって吸収・固定されることとなる。これは、コンクリートが現在大気中に存在するCO₂総量(28,000億t⁵⁾)の約2%を回収できることを意味している。

3. C⁴S研究開発プロジェクトの現状

CCCの製造手法の概要と原理を図3に示す。まず、コンクリート廃棄物を破碎して再生骨材と微粉



末(主成分：セメント硬化体)とに分別し、どちらも完全に炭酸化(化学反応式： $\text{CaO} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3$)させる。次に、炭酸化させた微粉末を水中に投入した後に、水中に CO_2 を吹き込んで炭酸水素カルシウム($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$)水溶液とする(化学反応式： $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$)。そして、容器に詰めた再生骨材の粒子間に炭酸水素カルシウム水溶液を通水し、水分蒸発、温度変化、pH変化など、炭酸カルシウムの溶解度を低下させる操作を施すことで、**図4**および**図5**に示すように、再生骨材の粒子間に炭酸カルシウムの微細な結晶(アラゴナイトの針状結晶とカルサイトの塊状結晶)を生成させる。この時、炭酸水素カルシウム水溶液からの炭酸カルシウムの析出と、CSH等から溶脱したカルシウムと炭酸水素カルシウムから生じた CO_2 との反応による炭酸カルシウムの生成とが同時に生じると考えられる⁶⁾(化学反応式： $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ および $\text{CaO} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3$)。これらの反応で生じた炭酸カルシウ

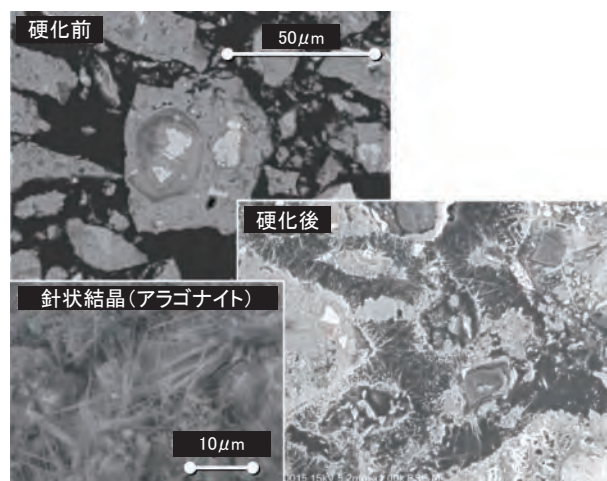


図4 骨材間に析出した針状結晶のアラゴナイト

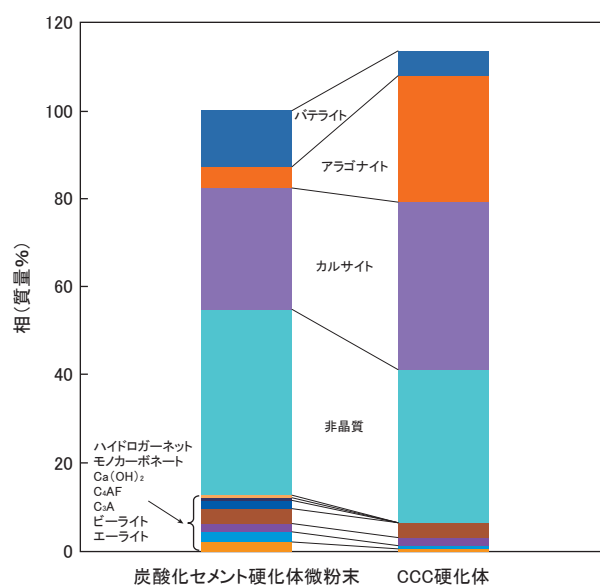


図6 CCC硬化体(左：直径50mm)

ムにより再生骨材が繋ぎ合わされて**図6**に示すような硬化体となる。現時点で得られているCCC硬化体の圧縮強度は、直径10mmの円柱体で15MPa、直径50mmの円柱体で4MPaであり、2022年末までには建築基準法で求められる12MPaを直径100mmの

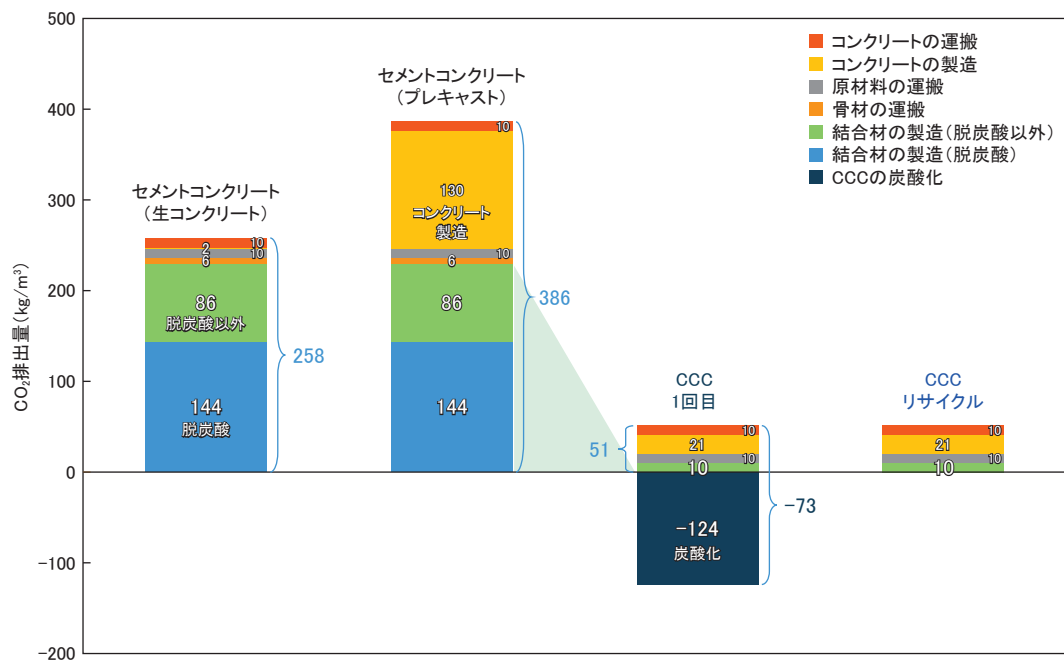


図7 CCCによるCO₂吸収・固定量・削減効果

円柱体で実現すべく、現在、骨材粒子の充填率、炭酸水素カルシウム水溶液の通水速度、炭酸カルシウムの析出温度の設定など、製造プロセスの改善・最適化を試みている。

4. CCCによるCO₂吸収・固定化と資源循環

従来のセメント・コンクリートをCCCに置き換えることによるCO₂削減量に関しては、図7に示すように、CCCを1m³製造すると、コンクリート廃棄物中のCaの炭酸化反応によって124kgのCO₂が吸収・固定され、CCCの原料(コンクリート廃棄物)およびCCC製品の製造・運搬に伴うCO₂排出量を加算しても、トータルで▲73kg/m³のカーボンマイナスになる。すなわち、従来のセメント・コンクリートをCCCに置き換えることで、▲331kg/m³のCO₂削減効果が見込める。また、CCC構造物を解体してCCCをリサイクルする場合にも、排出されるCO₂量は51kg/m³と非常に少量であると想定される。しかしながら、現状、実験室レベルでのCCCの製造においては、吸収・固定されるCO₂量よりもCCCの製造で消費される電気エネルギーから計算されるCO₂排出量の方が大きく⁶⁾、今後、製造装置のスケール

アップを図っていく際にCO₂排出量の削減手法を講じていく必要がある。

日本におけるセメント・コンクリートに関する資源循環(CO₂を含む)の現状(取得可能な統計値の関係で2016年度の値)を図8に示す。コンクリートの年間生産量は3.25億tであり、セメントの生産に伴って毎年4,300万tものCO₂が排出されている。将来、従来のコンクリートが順次CCCに置き換わっていくとすると、資源循環は図9のようになると予想される。すなわち、構造物の解体に伴って毎年発生するコンクリート廃棄物がCO₂の吸収・固定源となり、その全量を原料として用いてCCCを生産することにより、国内で毎年2,040万tのCO₂が吸収・固定されることとなる。そして、現在までにセメント生産時の石灰石の脱炭酸によって大気に放出されたCO₂の全量(日本全体で約20億t、世界全体で550億t超)が回収され、CCCとして固定される。その後、CCCは低エネルギーで何回でも繰り返し再生利用される。すなわち、コンクリートは木材と同様のカーボンニュートラルな建設材料へと転換することとなる。

5. 今後の課題と展望

CCCの製造・施工は、従来のコンクリートと同じ

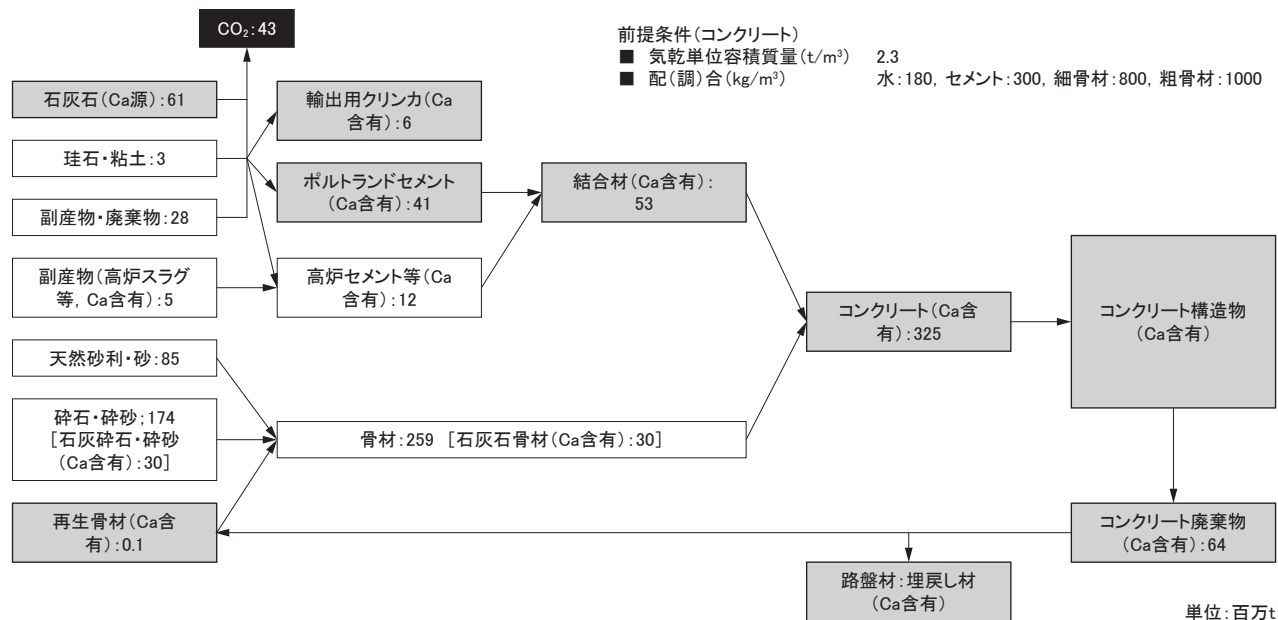


図8 コンクリートに関する日本の資源循環の現状(2016年度)文献^{7)~11)}を基に作成

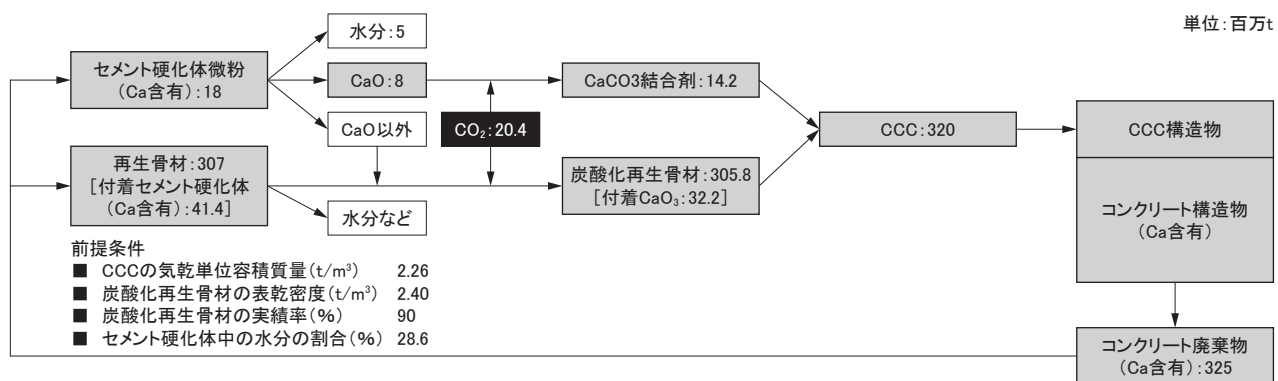


図9 全コンクリート構造物がCCC構造物に置き換わっていく場合の日本の資源循環

ように、工事現場で型枠を組んで施工する方法も想定されなくもないが、前述の製造手法から想像できるように、CCCは、工場製品として製造された後に工事現場に運搬され、組み立てられて構造物となる可能性が高い。したがって、CCCの普及に向けては、従来のコンクリートと同等レベルの圧縮強度(たとえば30MPa)を有し、構造部材として機能する寸法(たとえば直径60cmの円柱)を有するCCC部材を短時間(たとえば1日)で製造できる手法の確立が必要となるであろう。

CCC構造物の構造形式は、従来の鉄筋コンクリート構造よりも、プレストレスト構造やコンクリート充填鋼管(CFT)構造などの方が、柱と梁の接合方法などに鑑みると、適しているかもしれない。または、CCCに適した全く新しい構造形式が必要となるかも

しれない。また、CCCはアルカリ性ではないため、鋼材の腐食が懸念されることから、補強材やプレストレスト構造で用いる緊張材には、繊維強化プラスチック(FRP)製のロッドなどが有効となるであろう。

CCCは、従来のコンクリートとは全く異なる構造物材料であることから、CCCを広く国内外で普及させるには、CCCの製造方法、およびCCC構造物の設計方法・施工方法・維持管理方法に対する指針・標準仕様書などの制定が必要となる。さらに、CCCを建築物の主要構造部に適用する場合には、建築基準法に対して、解釈(CCCはコンクリートか否か)を含めた適法化の検討が必須となる。たとえば、建築物の主要構造部に用いられる構造物材料としてCCCを普及させるために必要となるさまざまな制度の制定・改正プロセスは以下のようにになると想定される。

- ① 建築基準法第20条に基づく大臣認定取得
- ② 日本建築学会設計規準・工事標準仕様書制定
- ③ 建設省告示1446号(技術的基準)別表第二(品質基準及びその測定方法等)改正
- ④ 建築基準法第37条2項に基づく大臣認定取得
- ⑤ 日本産業規格(JIS)制定
- ⑥ 建設省告示1446号(技術的基準)別表第一(法第三十七条第一号の日本産業規格又は日本農林規格)改正
- ⑦ 建築基準法第37条1項への適合

以上のように、解決しなければならない課題は山積しているが、C⁴S研究開発プロジェクトには、「数億年前の太古にCO₂が固定されてヒマラヤ山脈やアルプス山脈が盛り上がり、生物が生きていけるCool Earthになった。『C⁴S研究開発プロジェクト』は、これを現代文明社会で再現して再び地球を救おうという壮大なプロジェクトである。」という大きな期待が寄せられている。2021年の建築分野における最もエキサイティングな新技術の一つにCCCが選ばれた¹²⁾。CCCによって構築されるC⁴Sが「ホワイトカーボン」の主役となるべく、多くの期待に何とし

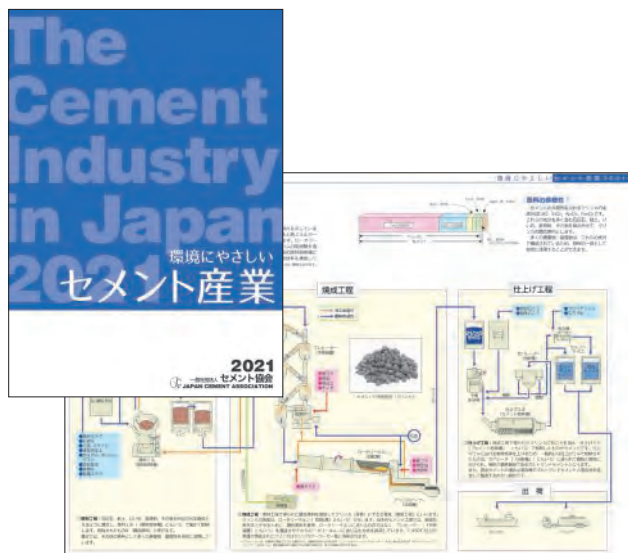
ても応える必要がある。

【参考文献】

- 1) 内閣府／ムーンショット型研究開発制度，研究開発プロジェクト，<https://www8.cao.go.jp/cstp/moonshot/project.html>，2022年1月10日
- 2) NEDO／ムーンショット型研究開発事業，https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100161.html，2022年1月10日
- 3) ムーンショットC⁴S 研究開発プロジェクト，<https://moonshot-c4s.jp/>，2022年1月10日
- 4) 野口貴文他／ムーンショット目標4に貢献する「C⁴S研究開発プロジェクト」の概要，日本建築学会大会学術講演梗概集，材料施工，pp.381～382，2021
- 5) 自然科学研究機構 国立天文台／理科年表，https://www.rikanenpyo.jp/kaisetsu/kankyuu/kan_004.html，2022年1月10日
- 6) Ippei Maruyama et al.／A New Concept of Calcium Carbonate Concrete using Demolished Concrete and CO₂，Journal of Advanced Concrete Technology，Vol.19，pp.1052～1060，2021
- 7) セメント協会／セメントのLCIデータの概要，2021
- 8) 石灰石鉱業協会調査部／石灰石の生産・出荷推移，2021
- 9) 経済産業省製造産業局素材産業課／平成29年度総合骨材需給表(試算)，2020
- 10) セメント協会／2016年会計年度 都道府県別需要部門別販売高，https://www.jcassoc.or.jp/cement/3pdf/jh3_1600_d.pdf，2022年1月10日
- 11) セメント協会／生産高(会計年)，https://www.jcassoc.or.jp/cement/3pdf/jh2_1100.pdf，2022年1月10日
- 12) Archinect: The most exciting emerging technologies in architecture in 2021，<https://archinect.com/news/article/150292430/the-most-exciting-emerging-technologies-in-architecture-in-2021>，2022年1月10日

環境にやさしいセメント産業 2021

A4判・8ページ



セメント協会では、わが国セメント産業のダイジェストを紹介したパンフレットを発行しています。このほど最新の2021年版を発行、図表を多用した分かりやすい内容です。ご希望の方には無料にてお頒けしております。申込みは部数と送付先を明記の上、下記までファクスにてお申し込みください。

(一社)セメント協会 広報部門 ☎03-5200-5062

【主な内容】セメント産業の現状、セメントの製造、脱炭素社会を目指すセメント産業の長期ビジョン、カーボンニュートラル行動計画

CPコンクリートによる CO₂吸収に対するRRCSの取り組み

野口 貴文

1. RRCSの設立経緯・活動趣旨

レディーミクストコンクリート工場で練り混ぜられ建設工事現場に運搬されたコンクリートの4%程度、すなわち世界全体で毎年11億t程度(約4.5億m³)、日本国内で毎年800万t程度(約350万m³)は、残コンクリート・戻りコンクリートとなって利用されずに廃棄されている。その量は、世界全体で年間東京ドーム360杯分、日本国内だけでも年間東京ドーム3杯分にもなると予想される。このような状況に鑑み、建設工事で使用されず現場に残ってしまった「残コンクリート(残コン)」, および工場に戻ってきた「戻りコンクリート(戻りコン)」の削減を図ること、ならびにコンクリートの生産によって排出されているCO₂の削減と有効利用を図ることを目的として、2020年9月、一般社団法人生コン・残コンソリューション技術研究会(RRCS: Ready-mixed and Returned Concrete Solution Association)が設立された。設立に先立つ同年8月19日にはキックオフ大会が開催されている。ちなみに、2021年末時点でRRCSに加盟している団体・個人は99者となっている。

RRCS Initiatives for CO₂ Absorption by CP Concrete
(by NOGUUCHI Takafumi)



のぐち たかふみ
東京大学 大学院工学系研究科 教授 博士(工学)



図1 RRCSが主に関わるSDGsの3つのゴール

RRCSの活動趣旨は、残コン・戻りコンおよびCO₂排出量の削減に向けて、新素材・新技術の研究開発、および規格・制度の構築に向けた活動を支援することによって、資源循環型社会・脱炭素社会の構築に貢献することである。そして、国連の掲げる持続可能な開発目標(SDGs: Sustainable Development Goals)に関して、図1に示すように、9番目の目標「産業と技術革新の基盤をつくろう」(強靱なインフラ構築, 包摂的かつ持続可能な産業化の促進およびイノベーションの推進を図る)や12番目の目標「つくる責任 つかう責任」(持続可能な消費生産形態を確保する)の達成に向けて、学識経験者、政府関係者、建設業者、コンクリート生産者、資材・設備生産者などが協力し合い、SDGsの17番目の目標「パートナーシップで目標を達成しよう」(持続可能な開発のための実施手段を強化し、グローバル・パートナーシップを活性化する)を実践する組織として、RRCSは残コン・生コンに関わるさまざまな問題の解決に取り組んでいる。



図2 的確なデリバリーによるリデュース



図4 簡易なプロセスで再生するリサイクル



図3 現場内利用によるリユース



図5 別の場所に運び別用途で利用するリロケート

2. RRCSの活動内容

RRCSの設立目的である残コン・戻りコンの削減を促すには、残コン・戻りコンの発生そのものを抑制するとともに、残コン・戻りコンとなってしまったコンクリートが廃棄物とならないようにするための方策が必要である。RRCSでは、資源循環の基本である3R、すなわち「リデュース(Reduce)」、「リユース(Reuse)」、「リサイクル(Recycle)」だけでなく、これらに「リロケート(Relocate)」と「リカバー(Recover)」を加えた5Rの実行が肝要であるとの認識のもと、活動を行っている。

リデュースでは、残コン・戻りコン自体の発生抑制に向けて、不合格品を生じさせない品質管理の徹底はもちろんのこと、BIM(Building Information Modeling) または CIM(Construction Information Modeling)、およびセンシング技術を駆使しての必要なコンクリート量の正確な把握や、図2に示すように、時々刻々と変化する交通事情の的確な捕

捉を基にしたGPS搭載車との連携によるジャストインタイムなデリバリーネットワークの構築が必要となる。

リユースでは、図3に示すように、万が一、残コンが発生した場合でも、工事現場内での別用途(埋戻しなど)を予め想定・計画しておくなどの措置により、戻りコンの大幅な削減が可能となる。

リサイクルでは、図4に示すように、残コン・戻りコンを簡易なプロセスで粒状化してコンクリート用再生骨材または再生路盤材として利用することが可能であるが、これら再生材の規格化・標準化を進め、需要先を確保する必要がある。

一方、リロケートでは、図5に示すように、別の場所に残コン・戻りコンを運搬し、流動性・強度・耐久性などにそれほど高い性能を必要としない用途(たとえば、土間、駐車場舗装、ブロックなど)で利用することが考えられるが、需要と供給のマッチングをタイムリーに行うシステムの開発が必要となる。また、ブロックは、規格が存在する場合には規定内容への適合化、規格が存在しない場合には規格



図6 元の品質・性能に回復させるリカバー

表1 分科会の構成

分科会	リーダー・サブリーダー	目的・ゴール
リロケート	リーダー：北海道大学・北垣亮馬准教授 サブリーダー：青木あすなろ建設・藤田一哉氏	目的：戻りコンを用いたブロック等の規格・標準化 ゴール：JIS制定，またはRRCS独自の規格制定
リサイクル	リーダー：明治大学・小山明男教授 サブリーダー：安藤・間・白岩誠史氏	目的：戻りコンと残コンの粒状化方法およびその成果物の規格・標準化 ゴール：JIS制定
オンサイト（リデュース、リユース、リカバー）	リーダー：金沢工業大学・宮里心一教授 サブリーダー：浅沼組・山崎順二氏	目的：建設現場における残コンの抑制方法および発生した残コンの処理方法の標準化 ゴール：標準示方書およびJASS 5への記載

の開発が必要となる。

リカバーでは、図6に示すように、スランプ・空気量などが不合格になったコンクリートであっても、化学混和剤を加えて練り返すことで所定の品質・性能に回復させて利用することが可能となる。ただし、法律上・規格上・契約上の正当化が必要となる。

以上の課題を解決するために、RRCSでは表1に示す3つの分科会を設け、残コン・戻りコンの削減・利用に有効と考えられる技術・システムの社会実装・普及に向けて、標準化などの検討を行っている。

また、RRCSでは、表2に示すように、毎月、コンクリートのさまざまな課題をテーマとして、業界内外の各分野で活躍されている方々との対談・座談会を行い、YouTubeで配信して社会全体での取組みを促している。

3. CPコンクリートによるCO₂吸収・固定化

残コン・戻りコンの削減以外のRRCSのもう一つの取組みが、コンクリートに関わるCO₂排出量の削

表2 これまでに催した対談・座談会

回	年月	内容
1	2020.11	東西トップアカデミアが語る「縦割り」「既得権益」「悪しき前例」
2	2020.12	現場とアカデミア、施工者と納品業者の認識は一致しているか!? 「残コン・戻りコンの定義とは？」
3	2021.1	新春対談・金融界の巨人が語る「日本生命はESG重視にシフトすることで、何を指すのか？」
4	2021.2	えっ、生コン業界ってまだFAXなんですか!? 移动通信の変遷を体現してきた男が語る「コミュニケーションの温故知新」
5	2021.3	残コンで残業!? 生コンプラントも建設業界の一員です！ 「建設業の働き方改革を考える」
6	2021.4	こんなにあるぞ、生コンクリート関連CO ₂ 削減手段「カーボンニュートラル社会を実現するための実装」
7	2021.5	カーボンニュートラルに向けて、コンクリートが貢献出来ること「環境金融の現在と未来」
8	2021.6	リサイクルなのに、JISもあるのに、なぜ流通量が少ない？ 「再生骨材市場を活性化させるために必要なこと」
9	2021.7	＝分科会を立ち上げます！＝ 残コンを実のところ「どうやって処理していますか？どうやって減らそうとしていますか？」
10	2021.8	CO ₂ 排出量は、”竣工前：竣工後＝3：7”である!? 「カーボンニュートラル社会に向けた建設設計のありかた」
11	2021.9	－日経コンストラクション共同企画－ グリーンインフラの一丁目一番地に挑む地方銀行「環境×建設×金融で始まる新しい地方創生」
12	2021.10	建設業界の雄とトップアカデミアが語る「コンクリートの将来はこうあるべきだ！」
13	2021.11	野口先生に訊く！「コンクリートの世界－今までとこれから－」
14	2021.12	道路業界もコンクリートに注目!? 「なぜ、道路会社がRRCS加入を決めたのか？」
15	2022.1	建築界の巨匠・隈研吾氏を2022年新春企画にお招きして「2050年そして2100年の建築はどうなっているか？」

減である。RRCSでは、CO₂を吸収・固定するコンクリートをCPコンクリート（CP：Carbon Pool）と銘打って、図7に示す技術開発・社会実装プロジェクトをさまざまな企業・研究機関と連携して実施し始めたところである。すなわち、

- ① 生コンスラッジ粉末を対象としてCO₂を吸収・固定させた混和材を製造する技術
- ② 残コン・戻りコンを対象としてCO₂を吸収・固定させた粒状化骨材を製造する技術
- ③ 解体コンクリート塊を対象としてCO₂を吸収・

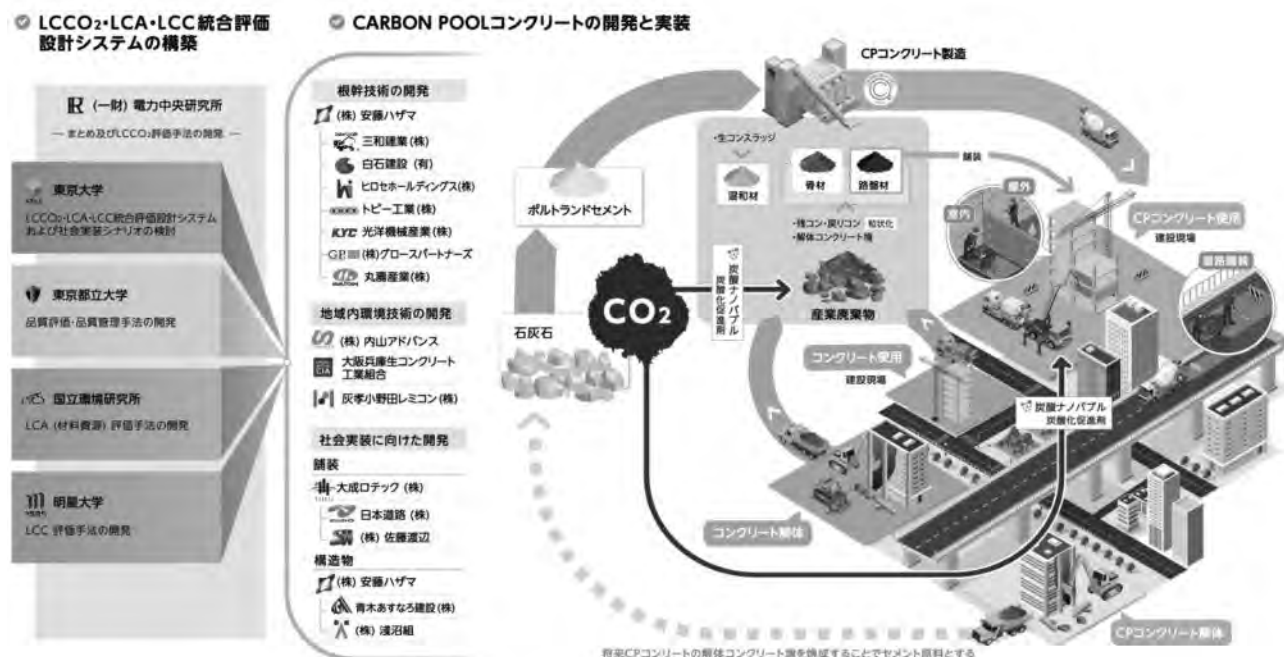


図7 CPコンクリートによるCO₂排出削減・固定化プロジェクトの全体像

固定させた再生骨材・路盤材を製造する技術

④ CO₂を吸収・固定させた材料を用いて舗装用透水性CPコンクリートを製造する技術

⑤ 舗装用透水性CPコンクリートを施工して更にCO₂を吸収・固定(炭酸化養生)する技術

⑥ CO₂を吸収・固定させた材料を用いて一般構造物用CPコンクリートを製造する技術

⑦ 一般構造物用CPコンクリートを施工して更にCO₂を吸収・固定(炭酸化養生)する技術

などの開発を行うとともに、順次、実構造物への適用を図っていく。

これらの技術開発の目標は、

- 1) 副産物・廃棄物由来のコンクリート材料およびそれらを用いたCPコンクリートにCO₂を速く大量に吸収・固定する技術を確立すること
- 2) CPコンクリート・CPコンクリート構造物に従来のコンクリート・鉄筋コンクリート構造物と同等以上の品質・性能を付与する技術を確立すること
- 3) 都市部の駐車場・歩道・車道を保水性に優れた粒状化骨材または再生骨材を用いた透水性CPコンクリートで舗装することによってヒートアイランド現象の抑制を図ること

表3 舗装用透水性CPコンクリートのCO₂吸収・固定量

対象	CO ₂ 吸収・固定量
炭酸化スラッジ混和材	377kg-CO ₂ /t
炭酸化粒状化骨材	37.8kg-CO ₂ /t
炭酸化再生骨材	37.8kg-CO ₂ /t
炭酸化コンクリート 配(調)合 水：165kg/m ³ 、セメント：240kg/m ³ 混和材：60kg/m ³ 、骨材：1400kg/m ³	163kg-CO ₂ /m ³

である。一例として、舗装用透水性CPコンクリートについて、CO₂吸収・固定化の対象ごとに想定されるCO₂吸収・固定量を示すと表3のようになる。

これらの目標を実現するためのキーテクノロジーとしては、

- a) 粒状化剤を用いての残コン・戻りコンの高速粒状化
- b) 炭酸ナノバブル水および炭酸化促進剤を用いてのコンクリート材料およびコンクリートの促進炭酸化
- c) 透水・透気性に優れるものの強度・耐久性に支障を来さない細孔構造を有するコンクリート
- d) 水分が作用する中性状態のコンクリート中においても腐食の生じにくい補強材

が挙げられる。炭酸ナノバブル水とは、CO₂濃度100%の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、気相CO₂の水への溶解量よりもかなり多いCO₂を水中に保持しており、低品質再生骨材およびコンクリートの炭酸化による品質改善に用いられたことがある^{1) 2)}。また、炭酸化促進剤とは、水中へのCO₂の溶解を促進させる機能、コンクリートからのCaの溶脱を促進させる機能、CaとCO₂との反応を促進させる機能のいずれかを有する混和剤である。

また、CPコンクリートの社会実装・普及を図るために、強度・耐久性など各種物性の評価は当然必要なことであるが、加えて、ライフサイクルの各段

階および全体でのCO₂吸収・固定量の評価、資源循環性の評価、ライフサイクルコストの評価を行い、それらを統合評価したうえでCPコンクリートの最適な設計・製造・施工条件を見出すことができるシステムの構築も行う予定である。

【参考文献】

- 1) 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
- 2) 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

・無料でお届けします

パンフレット・セメントの底力 新版 セメントはわが国の防災インフラ整備を支えています



セメント協会は未曾有の被害をもたらした東日本大震災をはじめ、頻発するゲリラ豪雨や竜巻などの自然災害の脅威から、国民の命や生活を守るために必要な措置を施すことが何よりも重要な課題と捉え、防災インフラ整備の重要性を訴えるパンフレット(A4判・16ページ)を作成しました。

様々な自然災害時に対し、強固な躯体を持つコンクリート構造物やセメント系固化材が果たした役割や有用性を、①豪雨・濁水に備えるセメント、②津波・高潮に備えるセメント、③土砂災害に備えるセメント、④災害復旧・復興を支えるセメントの項目にわけ、各種の事例を写真と図版でわかりやすく解説しています。

このパンフレットにより人々の命や暮らしを守るセメント・コンクリートの力、これから必要となる公共事業についてご理解いただき、より一層安全への意識を高めるための一助としていただきたく作成しました。ご希望の方には無料でお届けいたします。申込みは部数と送付先を明記の上、下記までファクスでお申込み下さい。

セメント協会 広報部門

☎03-5200-5062



生コン業界の カーボンニュートラルに向けた課題

全国生コンクリート工業組合連合会

1. はじめに

「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が進展することによって、生コンクリート産業は品質が確保された生コンクリートを製造し安定供給するという従来の役割に加えて、カーボンリサイクル産業としてカーボンニュートラルに貢献するという新しい役割を担うことが期待されている。

全国生コンクリート工業組合連合会(以下、連合会と略)では、カーボンニュートラル対応検討特別委員会を設置し、今後の対応に向けた課題の抽出を開始しており、今後、中長期的に活動し、対応を検討して行くこととなる。

本稿では、生コンクリートの低炭素化に向けた課題について紹介する。

2. 生コンクリートの製造とCO₂排出量

レディーミクストコンクリート(以下、生コンと称す)は、JIS A 5308に基づき約90%がJIS 製品として供給されており、工場で原材料を練り混ぜて荷卸し地点まで運搬し、顧客に提供するのが基本である。

他方、コンクリートに係る環境負荷を算定するさ

表1 コンクリート製造段階のCO₂排出量の試算結果

CO ₂ 排出量	原材料の運搬		生コン生産時		廃棄物処理時の運搬	
	セメント	骨材	製造	運搬	中間	最終
年間1工場(t)	140	857	123	289	13.0	3.4
1m ³ (kg)	3.7	22.6	3.2	7.6	0.3	0.1

※原材料および廃棄物は、平均輸送距離と年間の平均使用または廃棄量、生コンの生産時は消費電力、燃料の消費量から算出した。

いのシステム境界とインベントリデータに関する共通ルールであるJIS Q 13315-2では、輸送については原則費用を負担する側が持つことにしている。そのため、生コンの特徴である製造した製品を顧客に輸送する工程は、生産者の環境システム境界には含まれていない。

連合会では、2010年に環境負荷低減に向けたアンケート調査を実施している。この調査は、各工業組合10工場程度、計512工場を対象としたものである¹⁾。この調査結果から試算したCO₂の排出量は表1に示すとおりであり、生コン1 m³あたりに換算すると、生コンの原材料が30 kg、生コン製造時が3.2 kg、廃棄物の運搬時が0.4 kgの計33.4 kgとなる。

この調査は、生コン業界の実態を把握することを目的としてアンケート形式で行ったが、工場間で輸送距離および稼働状況が異なるため、精度に問題があることが指摘されている²⁾。そのため今後は、各工場が個別に情報を収集していくことが必要である。

Efforts toward carbon neutrality in the Ready-Mixed Concrete industry (by National Federation of Ready-Mixed Concrete Industrial Associations)

3. 今後の対応と課題

3-1. 実態の把握

生コン工場におけるCO₂排出の状況は、前回の調査から10年以上が経過したため、再度アンケート調査を実施しており、その結果は今年度中に報告書として発刊する予定である。また、自工場が排出するCO₂を容易に把握できるようにするため、使用材料やエネルギーの使用量を入力することで簡単に計算できるエクセルシートの配付を検討している。このシートは、現在、既出の委員会メンバーがプロトタイプを試用し、精度と使いやすさの確認を経て会員に配付する予定である。

さらに、エネルギー費用の削減と、カーボンニュートラルに向けた対応を目的として、(一財)省エネルギーセンターによる省エネ最適化診断を代表工場が受診し、その効果を会員に発信していくことを検討している。

3-2. スラッジ水および回収骨材の有効活用

図1に示すように、残コン・戻りコンの平均発生量は、直近の調査でも減っておらず³⁾、残コン処理の有償化を実施している地区もある。

一方、残コン、戻りコンが主な発生源となるスラッジおよび回収骨材は、JIS A 5308にてスラッジ水が1978年、回収骨材が2014年にそれぞれ使用が認められている。

しかし、図2に示すように、スラッジ水の活用は13.2%、回収骨材の標準化は図3に示すように「今後検討する」を含めても6%弱と、これらの採用は少ないのが実態である³⁾。

その一因には、購入者がコンクリートの品質への影響を懸念していることが上げられる。そのため今後のJIS A 5308の改正では、スラッジ水安定剤の添加量管理を適切に行う技術⁴⁾の採用や回収骨材の利用推進に向けた検討を行い、生コン工場における廃棄物の処理および運搬によるエネルギー投入量の削減を運用しやすい規定とする必要がある。

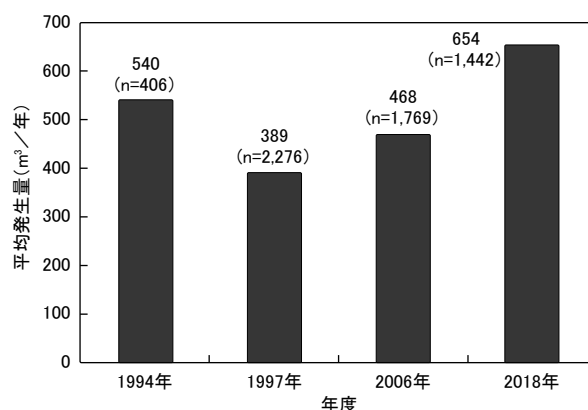


図1 残コン・戻りコンの発生量の推移

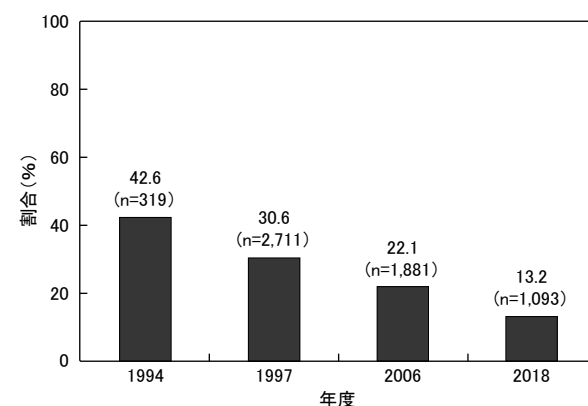


図2 スラッジ水を練混ぜ水として使用している工場の割合

3-3. 低炭素型コンクリートへの対応

2030年度の温室効果ガス削減目標に対応した温暖化対策として、「非エネルギー起源二酸化炭素」を削減する施策へ「混合セメントの利用拡大」が織り込まれている⁵⁾。

近年、低炭素型コンクリートとして、高炉スラグ微粉末、フライアッシュなどの混和材料を積極的に使用したものが開発され、普通ポルトランドセメントと混合セメントを併用したコンクリートも開発されている。

現状の生コン工場では、表2に示すように、混和材料専用の貯蔵設備がある工場は、セメントとの併用を含めても20%と少なく、セメントの貯蔵設備を転用した実績がある工場もわずかである⁶⁾。

前述のように生コンの9割はJIS製品であるが、現状のJISではセメントと混和材料との累加計量を認めていない。さらに、同一バッチに異なる種類のセメントの混合も認めていないため、JIS A 5308およびJIS Q 1011の改正に当たっては、慎重な検討が必要となる。

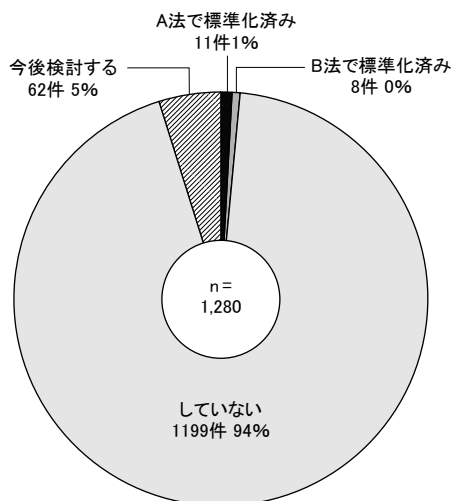


図3 回収骨材の社内標準化について

表2 生コン工場における粉体貯蔵設備の実態

粉体の貯蔵設備	回答工場数※	割合 (%)
混和材専用サイロあり	326	17.0
セメントと混和材の併用サイロあり	51	2.7
未使用のサイロあり	181	9.4

※1923工場中の回答数

3-4. 製造、輸送における削減

生コン産業におけるCO₂排出源は主に、製造と輸送に絞られる。今後、各工場では、従来と同様に生コンを安定供給し、CO₂の排出の削減努力を行うことが必要である。そのため、協同組合における新しい共同販売事業の運営方法の検討や輸送の効率化を促進させる方策について検討していくことが必要である。

また製造では、生コン工場における省電力化の方策の一つとして、再生可能エネルギーをプラントの稼働に必要な電力の全量または一部を賄うことも考えられる。また、輸送ではコンクリートアジテーター車のEV(電気自動車)・FCV(燃料電池自動車)化も想定され、これらの開発に当っては積載量や安全面

などの課題も合わせて解決することが望まれる。

脱炭素社会の実現の手段として、炭素税や排出量取引などの「カーボンプライシング」の導入に向けた検討もなされている。生コン業界では、製造および輸送におけるCO₂の排出量削減に努力する一方で、カーボンプライシングへの対応についても検討していく必要がある。

3-5. カーボンリサイクル材料の活用

関係各所において、カーボンリサイクル技術の開発が実施されている。連合会では、これらの活用にあたっては、品質の安定はもとより、全国の生コン工場で導入できるものを念頭に評価する必要があると考えている。

4. おわりに

生コン業界における低炭素化に向けた対応について、比較的短期間に着手可能なものを中心に紹介した。

連合会では、各組合に所属する会員工場がカーボンニュートラル技術を採用するため、今後も支援を継続していく方針である。

【参考文献】

- 1) 全国生コンクリート工業組合連合会技術委員会／環境負荷低減に関する実態調査報告書、2010年3月
- 2) 藤本郷史他／コンクリート関連産業のJIS Q 13315-2に基づく環境負荷インベントリデータの算定 ③骨材製造・コンクリート製造・施工・維持管理、コンクリート工学 Vol. 56, No.12, 2018年12月
- 3) 全国生コンクリート工業組合連合会技術委員会／生コンクリートスラッグの実態に関する調査報告書Ⅲ、2020年3月
- 4) 勝部英一他／循環型社会の形成に向けたスラッグ水高度利用システムの開発、コンクリートテクノVol39, No.5, 2020年5月
- 5) 鉄鋼スラグ協会ウェブサイト
- 6) 全国生コンクリート工業組合連合会技術委員会／生コンクリート配合の実態調査報告書、2016年8月

お知らせ

J-STAGEで、 セメント・コンクリート論文集を無償公開しています

セメント・コンクリート論文集は、セメント技術大会での発表論文に限定することなく、広く公募した論文の中からセメント・コンクリート論文集編集委員会が厳選した論文を掲載しています。

これまで印刷版を刊行してまいりましたが、Vol.68(2014)より、国立研究開発法人 科学技術振興機構(JST)のJ-STAGE [https://www.jstage.jst.go.jp/browse/cement/-char/ja/] でご覧いただけるようになりました。

お仕事・ご研究にどうぞ活用ください。

コンクリート分野における カーボンリサイクル関連 スタートアップ企業の動向

滝川 晃史 山岸 弘大

1. はじめに

カーボンリサイクルとは、海外ではCCU(Carbon dioxide Capture and Utilizationの略)として知られているが、CO₂を炭素資源として、これを回収し、さまざまな炭素化合物として再利用するという技術の総称である。日本のみならず、国家としてネットゼロを宣言することが世界のスタンダードとなりつつあるが、これはCO₂を地中に埋めるCCS(Carbon dioxide Capture and Storageの略)と呼ばれる技術や前述のカーボンリサイクルなどを通じて、止むを得ず排出されてしまうCO₂を大気に出さないように対処している状況をさす。言い換えれば、省エネや再エネの普及によるCO₂排出を減らすという取り組みに加えて、CO₂を活用するという取り組みも必要ということである。

本稿では、カーボンリサイクル技術(以下、CR技術と称する)の中でも図1に示されている通り、TRL(Technical Readiness Level=技術成熟度)が

Trends of carbon capture and utilization technologies in the concrete sector (by Akifumi (Chris) TAKIGAWA et al.)



たきがわ あきふみ
三菱商事(株)
金属資源グループ CCUS事業ユニット



やまぎし こうだい
同上
天然ガスグループ カーボンリサイクルユニット

比較的高いとされているMineralizationのCR技術に関して焦点を当て、CR技術周辺の投資家の動きや、海外スタートアップ企業の一例としてCarbonCure Technology Inc.のご紹介をさせて頂く。

2. CR技術に対する海外コンクリート業界の動向

コンクリート業界はCO₂削減が困難なhard to abate産業として、他産業に比べCR技術への関心が高く、特にセメントメジャーは自社のCO₂排出削減のためあらゆる技術への投資・協業を推進している。例えば、Lafarge社(フランス)はPCコンクリートの炭酸化養生技術を持つSolidia社(米国)に出資、CEMEX社(メキシコ)は廃棄物にCO₂を固着させ骨材を製造するCarbon 8社(英国)と協業、Heidelberg社(ドイツ)はCO₂からセメント代替材を製造するFortera社(米国)と協業を発表している等、各セメントメジャーは自社のセメントキルンから排出されるCO₂のCR技術による削減を模索している。また、世界最大のセメント・コンクリート団体GCCAも同業界の2050年Net Zero目標に向けたロードマップとしてCR技術の実証および団体企業の情報交換に注力することを発表しており、CR技術に対する業界の関心が高いことがわかる。

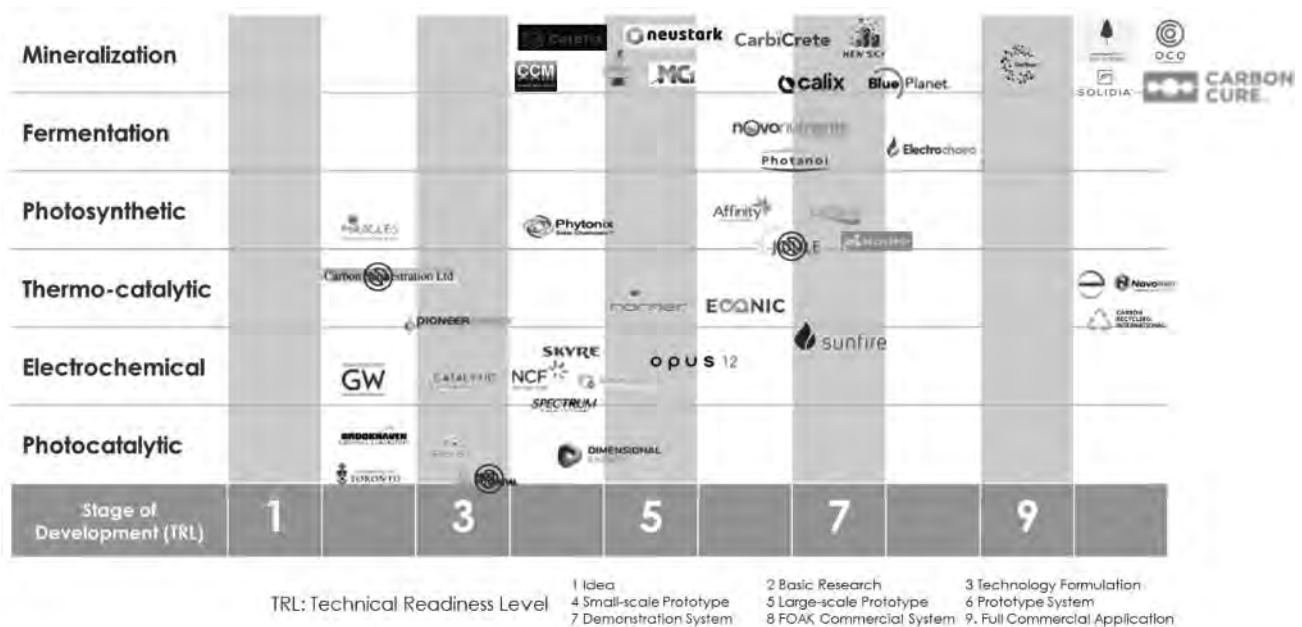


図1 カーボンリサイクル技術のTRL¹⁾ [原図に一部加筆・加工]

3. CR技術に対する投資家の動向

CR技術はまだ発展途上の技術が多く、産業界ではこの技術の後押しをするためにさまざまなコンペティションが開催されている。有名なコンペティションの例としては、Xprize財団が主催するCarbon Xprizeがある。2021年に終了したばかりの同コンペのテーマは「CR技術開発」でCarbonCure Technologies Inc.(カナダ)およびCarbon Built社(米国)が優勝しそれぞれ約8億円の賞金を獲得した。なお、2021年からは同コンペの第二弾として、Tesla社のCEOであるイーロン・マスク氏が約100億円の私財を投じて「CO₂回収・固定に関する技術開発」をテーマとしたコンペを開催されることもあり、業界の注目度は非常に高い。また、VC(Venture Capital)による投資も活発に行われ、ビル・ゲイツ氏が率いるBreakthrough Energy Venturesは将来5億t単位での削減が可能と見込まれるCR技術に対して積極的に投資を実行するなど、CR技術への関心が高い。また、Microsoft社、Stripe社(ともに米国)、Swiss Re社(スイス)等ITや金融業界の比較的自社排出の少ない産業を中心として、CR技術によるCO₂削減価値をカーボンクレジットとして購入する企業も現れている。各社の目的は自社排出のオフ

セットに加え、カーボンクレジットによるインセンティブによって先進的なCR技術の普及拡大を後押しし将来のオフセットコストを低減させることや、環境先進的な取組をすることで環境意識の高い若く優秀な人材を獲得すること等さまざまである。

4. CarbonCure Technologies Inc. (カナダ)の技術概要

4-1. 会社概要

CarbonCure Technologies Inc.(以下、CC社と略)は、2007年にカナダ・ノバスコシア州で創業したスタートアップ企業である。すでに北米を中心に500工場以上にCC社技術を正式導入しており、世界初のカーボンリサイクルによるCO₂削減効果の収益化に成功しており、カーボンリサイクル業界に於ける先駆者的存在である。CC社のビジネスフロー概要は図2に示す。大まかなプロセスは以下の通り。

- 1) 液化CO₂をコンクリート原料のMixing時に投入(CO₂スノーと呼ばれる微細なドライアイス状になってミキサーに投入される)
- 2) Mixing中にコンクリート原料中のカルシウムイオンと注入したCO₂由来の炭酸イオンが結合し、ナノスケールの炭酸カルシウムを生成

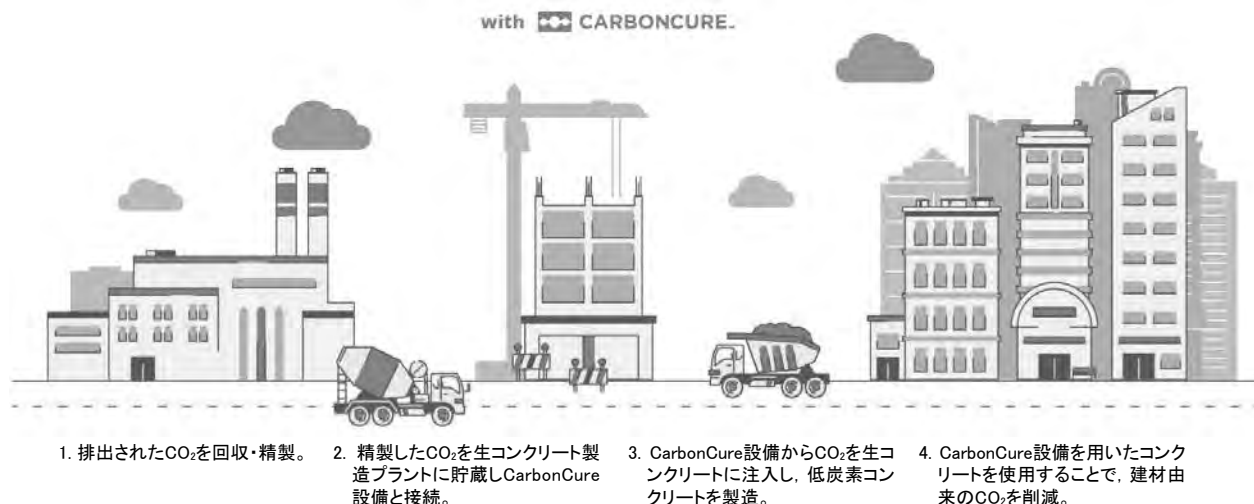


図2 CC社ビジネスフロー概念図²⁾

4-2. 技術的特徴

炭酸カルシウムの生成により、コンクリート硬化後の強度が上昇し、結果としてセメント量を通常品よりも削減することが可能となる。セメント削減量は配合にも左右されるが、おおむね5%程度の削減量になることが確認されている。なお、CO₂を注入することによる配合の大きな変更は無いとされている。セメント使用量の削減によるCO₂削減効果を得つつも、セメント代替材料を用いた大幅な削減量では無く、むしろセメントと共存するための技術という点が利用者の導入に向けたハードルを下げ、多くの工場が導入するに至っている。

また、CO₂を注入させることで炭酸化を促進する反応を引き起こすが、注入するCO₂が極めて微量であることから、pHへの影響はほとんど無く、鉄筋コンクリートへの適用も可能とされている。

4-3. CO₂削減効果

コンクリート1m³あたりのCO₂削減効果は約18kgと少ないものの、コンクリートの中でもボリュームの大きい生コンクリートにアドレスすることでCO₂削減効果の最大化を狙っている。なお、CC社の技術におけるCO₂削減効果には①CO₂の注入によるCO₂削減量、②セメント使用量削減によるCO₂削減量の2種類が存在する。表1にCC技術を用いた場合のコンクリート1m³あたりのCO₂の収支を計算し

表1 CC社技術におけるコンクリート1m³あたりのCO₂フットプリント³⁾

Factor	g CO ₂ /m ³ concrete
Emissions - CO ₂ from gas processing	49.4
Emissions - CO ₂ from gas transport	6.1
Emissions - CO ₂ from equipment production	0.1
Emissions - CO ₂ from equipment transport	0.0
Emissions - CO ₂ from equipment operation	9.2
Emissions - Avoided CO ₂ from materials transport	- 123.6
CO2AB: CO ₂ absorbed	- 289.1
CO2AV: Avoided CO ₂ emissions from cement	- 17584.8
Total CO ₂ avoided and absorbed	- 17997.4
CO2EM: Total CO ₂ produced	64.7
Net CO ₂ reduction	- 17932.7

たものを示す。CO₂削減効果のほとんどはセメント使用量の削減に起因するものであり、実際のCO₂吸着量はコンクリート1m³当たり約290gと微々たるものとなっている。なお、CC社は既存の技術に加え、新たにスラッジ水(北米で一部商業化済み)および再生骨材の炭酸化技術も開発しており、計3つの技術でCO₂削減量の最大化を目指している。

4-4. 導入実績など

生コン工場にCC社の技術を導入するためには、CO₂注入装置と液化CO₂タンクの導入が必要であるが、CO₂注入装置はCC社からのリース、CO₂タンクはCO₂供給業者からのリースとすることで、大きな初期投資なしで短期間にレトロフィットでCC社の技術が導入可能である。また、すでにCC社技術を



写真1 CC社ロゴをプリントしたアジテーター車とCC社関連装置⁴⁾

導入した工場の中には、セメント量が削減されることにより、原料費が抑えられ、CC社導入に伴う各種コスト増加を加味しても通常の生コンよりも安価に生コンを製造する事に成功しているケースもみられる。導入の手軽さに加えて、コストメリットも見込める可能性があるという点を強みに、北米を中心に導入数を伸ばしており、北米以外での展開も着々と進んでいる。

米国では公共事業においてCO₂を吸収したコンクリートを優先的に使用するという法案が審議中であり、バイデン大統領がCO₂排出量の少ない建設資材の調達を優先する内容も含む大統領令に署名する等、これらが実現すればCC社のコンクリートの需要がさらに高まることを見込める。また、海外の導入工場ではアジテーター車にCC社のロゴを大きくプリントし、自社工場のブランディングに活用しているという例もみられる。実際にMicrosoft社のSNS関連子会社のLinkedIn社やAmazon社(米国)の新社屋にはCC社のコンクリートが指名で使用され、

グローバル企業のブランディングの一翼を担っている。

5. 今後の展望

前述の通り、ネットゼロを達成するためには、CR技術は必須であり、その取組みを加速させるためにもクレジットなどの方法を用いたCO₂削減効果の正しい計測方法と取扱いの方法に関して国際間で合意することが必要となる。2021年11月に英国のグラスゴーで開催されたCOP26では、パリ協定における政府公認の国際間のコンプライアンスカーボンのクレジット取引によるCO₂削減効果の国家間調整ルールの方向性が示唆され、またCR技術がCO₂削減の重要な役割を担うことも改めて認識された。

今後はクレジットの活用も加速され、足元で技術的に導入が可能(=クレジットの創出が可能)であり、身近な建材にCO₂を減らす・貯める機能を付加できるMineralizationの分野に注目が集まることは明白であり、今後も引き続き世界の動向にアンテナを張りながら、ネットゼロの世界を達成するための方法論を探っていく。

【参考文献】

- 1) CO₂ Utilization Roadmap (https://www.icef-forum.org/platform/upload/20161116_presentation_CU_sandalow_dairanieh.pdf)
- 2) 三菱商事プレスリリース (https://www.mitsubishicorp.com/jp/ja/pr/archive/2021/files/0000046577_file1.pdf)
- 3) Sean Monkman, Mark MacDonald/On carbon dioxide utilization as a means to improve the sustainability of ready-mixed concrete, Journal of Cleaner Production, Volume 167, pp.365~375, 20 November 2017
- 4) CarbonCure社ホームページ (<https://www.carboncure.com/>)

お知らせ

セメント協会の公式Instagramが開設されました

私たちの安全・安心・快適な生活の営みを支えているコンクリート構造物。そんな「コンクリートの底力」を紹介しております。ぜひご覧ください。

セメント協会公式Instagram
(アカウント名 _jca_ssoc_)
https://www.instagram.com/_jca_ssoc_/



エコタンカル[®](軽質炭酸カルシウム)とその可能性

佐々木 猛 八木 利之

1. はじめに

炭酸カルシウムは、自然界には卵や貝殻、サンゴ礁や鍾乳洞などの主成分として存在しており、目にする機会が比較的多い。工業的な用途も非常に多岐にわたっており、ゴムや紙といった日用品、食品添加物、化粧品や医薬品までにも使用されており、汎用的な材料であると言える。

建設業界での炭酸カルシウムは、石灰石微粉末として高流動コンクリートの混和材として使用されることが多く¹⁾、流動性、不分離性の向上や強度の向上が期待される。

一方、最近、炭酸カルシウムの原料としてボイラー等の排気ガスに含まれるCO₂を使用した場合、その炭酸カルシウムの価値はCO₂削減の観点から大きく変わろうとしている。

2050年に日本のCO₂排出量を実質ゼロ(カーボンニュートラル)に向けて、各業界が国家的に動き始めている。コンクリート業界では、CO₂排出量をマ

Possibility of precipitated calcium carbonate (Eco-Tankal) (by SASAKI Takeshi et al.)



ささき たけし
日本コンクリート工業(株)
環境・エネルギー事業部 修士(理工学)



やぎ としゆき
同上
環境・エネルギー事業部長 一級建築士



写真1 エコタンカル[®](軽質炭酸カルシウム)

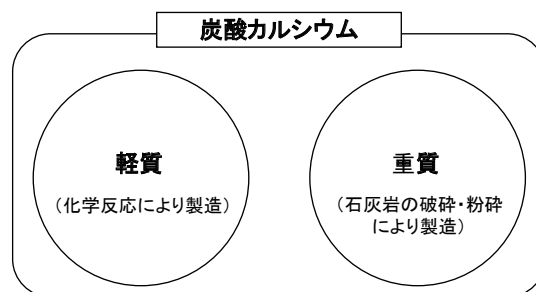


図1 炭酸カルシウムの種類について

イナスにするコンクリート(カーボンネガティブコンクリート)の開発が盛んに行われており、その材料の候補として当社のエコタンカル[®](軽質炭酸カルシウム、写真1)が注目されている。エコタンカルは、プレキャストコンクリート製品工場等で発生する未利用資源であるコンクリートスラッジとCO₂を原料として製造される。

本稿ではエコタンカルを製造する技術の紹介やその用途について紹介していく。



写真2 生コン工場で発生する残コン・戻りコン



写真3 プレキャストコンクリート製品工場で発生するコンクリートスラッジ

2. 炭酸カルシウムの種類²⁾

炭酸カルシウムはその製造方法で重質と軽質の2種類(図1)に分類される。重質炭酸カルシウムは、石灰岩を掘削し、破碎や粉碎をすることで製造される。プレキャストコンクリートメーカー等では、一般的にコンクリート製品の製造時に重質炭酸カルシウムを使用することが多い。その一方で、軽質炭酸カルシウムは飽和水酸化カルシウム水溶液にCO₂を吹き込むことで、化学反応により製造される。かつて理科の授業で、石灰水にストローで息を吹きかけると水が白く濁るという実験をしたことはないだろうか。軽質炭酸カルシウムが生成される原理は、正しくその実験と同じである。人の吐息に含まれるCO₂(二酸化炭素)が、水に溶けているCa(カルシウム)成分と反応し、白色であるCaCO₃(炭酸カルシウム)が生成される。軽質炭酸カルシウムは完成品の粒子径や品質にもよるが、重質炭酸カルシウムよりも高価であり、薬品や食品添加物等で使用されることが多い。

当社ではプレキャストコンクリート製品の製造時に発生するコンクリートスラッジ(未利用資源)とボイラー等から排出されるCO₂を、軽質炭酸カルシウム製造の原料として注目した。

3. エコタンカルの原料

エコタンカルの原料であるコンクリートスラッジ



写真4 コンクリートアジテータ車、ミキサ等の洗い水とCO₂の発生源であるボイラー排ガスのそれぞれについて述べる。

3-1. コンクリートスラッジ

一般的にコンクリートスラッジとは、生コン工場やプレキャストコンクリート製品工場等で発生する余剰なフレッシュコンクリートに由来する。コンクリートスラッジは総称であり、その主な発生源と種類は以下の3つに分類される。

- (1) 生コン工場にて発生する残コン・戻りコン(写真2)
- (2) プレキャストコンクリート製品工場で発生する残コン(写真3)
- (3) コンクリートアジテータ車、ミキサ等の洗い水(写真4)

ここで、残コンとは工事現場で余った生コンを指し、戻りコンとは発注したもののアジテータ車から全く荷卸ろしせず返品(契約取消し)する生コンを指

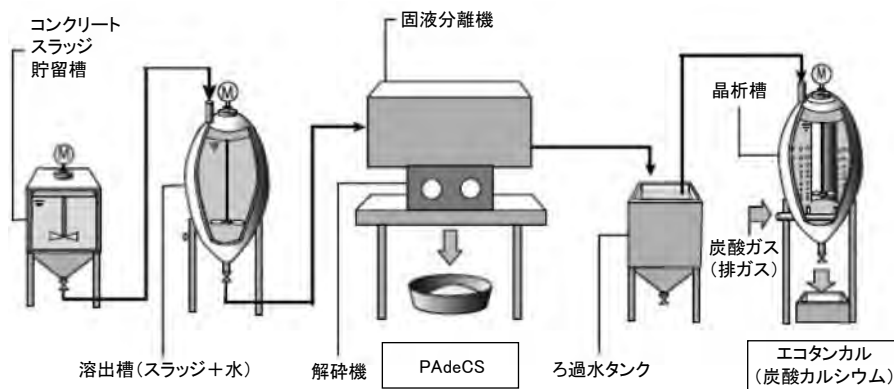


図2 コンクリートスラッジの炭酸塩鉱物化技術のフロー

す。(1)の残コン・戻りコンの発生量は、地域差はあるが、生コン使用量の約3~5%³⁾とされており、日本国内で約300万t程度のコンクリートスラッジが毎年発生しているものと推察される。なお一般的なコンクリートスラッジの処理方法は、以下の工程で処理されており、その多くは資源とならずに廃棄されている。

- ① フィルタープレスにて固液分離
- ② 固形分は産業廃棄物として処分
- ③ 液体分は硫酸等の中和処理工程を経て、河川等に放流

コンクリート業界では、コンクリートスラッジの処理がコスト面、環境側面から大きな問題になっている。

3-2. CO₂の発生源

エコタンカルの製造には、ボイラーの排ガスに含まれるCO₂を利用している。当社を含むプレキャストコンクリートメーカーでは、早期にコンクリートの強度を発現させ、製造サイクルを効率化するために、一般的にボイラーを用いた蒸気養生を実施している(写真5)。また、エコタンカルの製造に利用可能なCO₂発生源として、清掃工場の排ガスやセメント工場の排ガス等も考えられる。

当社はコンクリートスラッジをCO₂固定化の材料「未利用資源」と位置付け、この素材からエコタンカルを製造する技術を開発し、「炭酸塩鉱物化及びその利活用」と呼称している。その英字名称は、Mineral Carbon Capture and Utilization であり、



写真5 ボイラーの燃焼排ガスを排出する煙突

略称してMCC&Uと名付けている。当技術では排ガス中のCO₂を、炭酸塩の鉱物として、軽質炭酸カルシウムとして固定しており、エコタンカルと呼称している。

4. コンクリートスラッジを用いた炭酸塩鉱物化技術⁴⁾

エコタンカルの製造フローを図2に示す。

- ① コンクリートスラッジを一度貯留槽で受けた後に、溶出槽にて水希釈する。
- ② 水希釈されたコンクリートスラッジをフィルタープレスにて固液分離処理する。
- ③ 固液分離処理後の液体分に、工場におけるボイラーの排気ガス中のCO₂を分離・回収することなく、“生”排ガスをそのまま吹き込み、CO₂を軽質炭酸カルシウム(=エコタンカル)として生成させる。
- ④ 固液分離処理後の固形分は破碎等の加工処理

に回す。

本技術の大きな特徴は、工場内で余った材料(未利用資源)と排ガスを組み合わせることで、資源を有効活用し、有価物を生み出していることにある。

5. エコタンカルの諸物性

5-1. CO₂固定量について

エコタンカル1tを製造した際のCO₂固定量は、エコタンカルに取り込まれたCO₂量からエコタンカル1tの製造時に発生するCO₂量を差し引くことで求められる。まず、エコタンカルに取り込まれたCO₂量は組成式と分子量から求めることができる。エコタンカル(炭酸カルシウム)の組成式はCaCO₃であり、その分子量は100 g/molであり、そのうちCO₂の分子量は44 g/molである。そのためCaCO₃の中でCO₂が占める割合は、44%と計算できる。すなわち、エコタンカル1tを製造するだけで、440kgのCO₂固定が可能である。

その一方で、エコタンカル1t製造に発生するCO₂量は約50 kgと試算される⁵⁾。これはエコタンカルを製造する装置の消費電力しか含まれていない。そのためエコタンカル1t製造した際の正味のCO₂固定量は440kg - 50kg = 390kgである。

5-2. エコタンカルの物性と品質

現在製造しているエコタンカルの粒子径は約30～40μmであり、そのブレーン値は約3,000～4,000 cm²/gである(表1)。CaCO₃含有率は95%以上で、白色度も約95%であり、純度の高い炭酸カルシウムであることが大きな特徴として挙げられる。

市販の軽質炭酸カルシウムの粒子径は、粒度調整を行っているため、0.1μm前後の品物も存在する。しかしながら、その粒度調整および品質管理の実施は乾燥や粉砕機の消費電力に応じた追加のCO₂の排出が懸念される。そのためエコタンカルはできるだけ製造したままの状態“出来成り”の形で利用することが好ましいと言える。

表1 エコタンカルの物性

試料名	常温硬化型	基準上限値
項目	数値	測定方法
粒度 (平均体積粒子径 MV)	約 30 ～ 40 μ m	レーザ回折・散乱法粒子径分布測定
白色度	約 95%	ハンター白色度 (JISP8123 : 1961)
容積重量	約 0.5kg/L	—
BET 比表面積	約 5.0m ² /g	窒素吸着法による
ブレーン値	約 3,000 ～ 4,000cm ² /g	JISR5201 : 1997
全アルカリ	0.05% 以下	JISR5202 : 2015
塩化物イオン	0.005% 以下	JISR5202 : 2015
CaCO ₃ 含有率	95% 以上	JISK8617

6. エコタンカルの用途

6-1. エコタンカルを用いたプレキャストコンクリート製品の事例

エコタンカルおよび高炉スラグ微粉末を自社製品の既製コンクリート(PHC)杭に適用し、環境負荷を低減した杭「G-ONAパイル」を製造し、当該杭がJIS規格の曲げ耐力を満たしていることを確認した。また、G-ONAパイルは同型の杭と比べて、1本分当りの材料に起因するCO₂を、約40%削減できると試算される。

6-2. アルミリサイクル工場の事例

エコタンカルは、アルミリサイクル工場にて、排煙脱硫剤およびアルミ用の型枠の離型材の一部として使用されている。従来はどちらも重質炭酸カルシウムが使用されていたが、環境配慮の側面を含めた総合的判断によってエコタンカルで代替されている。

6-3. 土木分野への適用拡大

エコタンカルの特徴を活かし、土木分野への適用の可能性は極めて大きいと考える。エコタンカルと同じくCaCO₃の微粉である石灰石微粉末は、高流動コンクリートの混和材として一般的に使用されている。そのため、上述したようにプレキャスト製品および生コン工場に地産地消の混和材料として活用することはもちろん、エコタンカルはトンネル用吹付けコンクリートやダム用コンクリートに細骨材の微粒分として



写真6 フィルタープレスで固液分離した固形分

フレッシュ性状の改善に効果的と推測される。また、現在、アスファルト舗装用に用いられる石灰石微粉末は、天然の鉱山から採掘、粉碎したものが使用され、その量は年間170万tを超える⁶⁾と報告されており、それに伴い多量のCO₂が排出されていると考えられる。この代替材料としての利用が期待される。さらに、今後、当社の他のプレキャストコンクリート製品に対しても、同様にエコタンカルを適用し、環境負荷を低減した製品のラインナップを増やしていく。

7. PAdeCS[®]

図2に示したコンクリートスラッジを固液分離した後に、副産される固形分(写真6)は自然乾燥等の加工を施し、環境浄化材PAdeCS[®](写真7)として利用することが可能である。その年間製造量は、コンクリートスラッジの発生状況にも依存するが、エコタンカルに比べて100~200倍程多い。そのため炭酸塩鉱物化技術では、エコタンカルと並行して、PAdeCS[®]の用途開発や適用拡大を進めることがCO₂削減に大きく貢献できるものと考えられる。

PAdeCS[®]はセメント由来の高アルカリ性な材料であることから、その成分による多用途機能が存在し、またその利活用が資源循環効果として評価されている。主な多用途機能としてリン吸着・除去⁷⁾、調湿・脱臭・消毒が挙げられる。

8. まとめ

エコタンカルは大気中に放出されていた排ガス中



写真7 PAdeCS[®]

のCO₂を“目に見える”炭酸塩として固定した材料である。プレキャストコンクリート製品工場内で発生する未利用資源から製造したエコタンカルは、炭酸カルシウムとして高品質であり、さまざまな工業的な用途での使用が期待される画期的な材料である。エコタンカルおよびPAdeCS[®]を製造する炭酸塩鉱物化とその利活用(MCC&U)技術は、CO₂削減もさることながら、産業廃棄物の処理費および中和に使用する薬剤のコスト削減にも寄与するとともに、産業廃棄物量の抑制が可能になる。また、エコタンカル等の利活用は地産地消を基本とするコンクリート業界のモットーとも合致している。本技術を広く普及させ、地球環境を護る技術として社会貢献につなげていく。

【参考文献】

- 1) コンクリート工学会／コンクリート技術の要点 '21 p.42
- 2) 長谷川博／軽質および極微細炭酸カルシウム工業の現状, Gypsum & Lime, No.122, pp.33~41, 1973
- 3) (一社)生コン・残コンソリューション技術研究会(RRCS) ホームページ, <http://glivey.moon.bindcloud.jp/>
- 4) 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.
- 5) 佐々木猛, 八木利之／エコタンカル CO₂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, pp.87~90, 2021
- 6) (社)日本材料学会編／コンクリート混和材料ハンドブック, p.390, 2004
- 7) Atsushi Iizuka, Takeshi Sasaki, Teruhisa Hongo, Masato Honma, Yasuyuki Hayakawa, Akihiro Yamasaki, and Yukio Yanagisawa／Phosphorus Adsorbent Derived from Concrete Sludge (PAdeCS) and Its Phosphorus Recovery Performance, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 51(34), 11266-11273, 2012

CO₂を4割削減 — 環境負荷低減型パイル —



グリーン

NEW

G-ONA パイル

特徴

- ◎ 自社製品であるエコタンカル他を用いた環境負荷低減型パイル
- ◎ 材料に由来の CO₂排出量を ONA パイルに対して、約 40% を削減
- ◎ JIS A 5373 に準拠した PHC パイルの耐力をクリアし、従来の PHC と同等の性能を有する



2022年春 リリース予定 !!



※写真はイメージです。



日本コンクリート工業株式会社
NIPPON CONCRETE INDUSTRIES CO., LTD.

www.ncic.co.jp

〒108-8560 東京都港区芝浦4-6-14 (NC芝浦ビル)

製品に関する
お問い合わせ

エコタンカルに関する
お問い合わせ

東日本基礎事業 基礎営業部

☎ 03-3452-1081/1082

環境・エネルギー事業部 環境事業グループ

☎ 03-3452-1116

CO₂固定型カーボンネガティブコンクリート CO₂-SUICOMの開発と今後の展開

取違 剛 森 泰一郎 河内 友一 藤木 昭宏

1. はじめに

2019年のダボス会議における安倍元首相の発言に始まったわが国のCO₂削減に向けた施策は、現在、着実に進められつつある。2020年10月には、菅前首相による「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」が示された。さらに、2021年4月22日には、地球温暖化対策推進会議にて、菅前首相が「2050年目標と整合的で、野心的な目標として、2030年度に、温室効果ガスを2013年度から46%削減することを目指します」と、2015年のパリ協定で提示した目標を大きく上回る削減目標を表明した。2021年11月にイギリスで開かれ

Development and Future of Carbon Negative Concrete CO₂-SUICOM (by TORICHIGAI Takeshi et al.)



とりちがい たけし
鹿島建設(株) 技術研究所 土木材料グループ
上席研究員 博士(工学)



もり たいいちろう
デンカ(株) 青海工場 セメント・特混研究部
グループリーダー 技術士(化学)



こうち ゆういち
中国電力(株) エネルギー総合研究所 土木グループ
マネージャー 博士(環境学)



ふじき あきひろ
ランデス(株) 品質保証部 部長 博士(工学)

たCOP26でも、世界の平均気温の上昇を1.5度に抑えるために努力を追求することに決意するという主旨の成果文書が示されるなど、CO₂削減に向けた動きは急激に加速している。

一方で、現時点では、カーボンニュートラルを実現できる確かなコンクリート技術がほとんどない中で、筆者らは2011年頃に、コンクリートがCO₂を吸いこむというカーボンネガティブとなる環境配慮型コンクリートCO₂-SUICOM¹⁾を開発し、世界で初めて実用化に至っており、現在、その適用範囲を拡大しつつある。この技術は、上述したグリーン成長戦略においても唯一取り上げられ、内閣府の経済財政諮問会議(令和2年11月9日)においてもその推進が議論されるなど、期待感を持って非常に高い注目を集めている。

本稿では、このCO₂-SUICOMについて、同技術の着眼点を整理したうえで、技術の概要を紹介するとともに、同技術を活用した今後の展開について述べる。

2. コンクリートの炭酸化反応

セメントの主成分は石灰石CaCO₃を原料とする酸化カルシウムCaOであり、セメントの60%以上を占める。セメントに含まれるCaOは、水との反応によって水酸化カルシウムCa(OH)₂や、ケイ酸カルシウム水和物(C-S-H)を形成し、pH=12程度の高アルカリ



写真1 中国大地湾遺跡³⁾

性を呈する。これらのCaを含む水和物とCO₂が反応してCaCO₃としてCO₂をコンクリート中に固定する現象は、コンクリートの分野では「炭酸化」と呼ばれ、古くから知られている。この炭酸化がコンクリートの品質に及ぼす影響については、非常に多くの研究が行われており、一般的には、高濃度のCO₂環境下で炭酸化反応が促進された場合、細孔構造が緻密化し、強度や耐久性は向上すると考えられている²⁾。

ここで、炭酸化によって、コンクリートの長寿命化が実現されたと考えられている例を紹介する。5,000年前に構築されたと推測されている中国の住居跡のコンクリートの外観を写真1に示す³⁾。

この遺跡は、1980年代に中国甘粛省泰安県の大地湾遺跡で発見された住居跡である。この遺跡には、炭酸カルシウムと二酸化ケイ素分を主成分とする料彊石(りょうきょうせき)を焼成した古代セメントが使われていた。この料彊石は現在の低熱ポルトランドセメントの組成と酷似しており、粉碎しやすく、焼いて砕くだけでセメントと同じような働きをする。大地湾遺跡の調査結果より、古代セメントは炭酸化がほぼ100%進んでおり、炭酸化によって化学的に安定した石灰石のような組織になったことで、5,000年の長期にわたってコンクリートが健全な状態を保っていたと考えられている。このように、コンクリートの炭酸化は、コンクリート自体を長持ちさせられる技術になり得る。筆者らも、同思想に基づき、コンクリートの強制炭酸化によって長寿命化コンクリートを開発し⁴⁾、そのメカニズムと性能を評価してきた⁵⁾。



写真2 γ -C₂Sの外観

なお、コンクリートとCO₂の反応によってコンクリート中のアルカリ性が失われる現象は、『中性化』という劣化現象として扱われる。これは、コンクリートにおけるアルカリ性の消失によってコンクリート内部に存在する鉄筋の保護膜(不動態被膜)が破壊され、錆びやすくなることに起因している。しかしながら、上述したとおり、コンクリート自身はCO₂との反応によってその組織は緻密化することから、鉄筋への防錆機能の付与等を行えば、鉄筋を含むコンクリートの炭酸化も適用可能となる。

3. CO₂と反応して硬化する特殊な混和材

セメントの主要鉱物であるビーライト(2CaO・SiO₂, C₂Sと略記)の一種に、通常、セメントには含まれないガンマ相のC₂S(以下、 γ -C₂Sと称す)という材料がある。この材料は、通常の温度範囲では水硬性を持たないものの、炭酸化によって硬化する特殊な材料である。 γ -C₂Sの外観を写真2に示す。この材料は焼成後、室温まで徐冷される過程で比表面積1,500~2,000cm²/g程度までダスティング(粉化)するため、粉碎工程を経ずに混和材として使うことができる。

ここで、基本的には水硬性を持たず、炭酸化反応によって硬化する性質を有するいくつかのフィラーを対象に、セメントペーストによって γ -C₂Sの高い炭酸化活性を検証した例を紹介する。盛岡ら⁶⁾は、 γ -C₂S、 α -CaO・SiO₂(以下、 α -CS)、メルヴィナイト3CaO・MgO・2SiO₂(以下、C₃MS₂)、高炉徐冷スラグ微粉末(以下、CFS)、および石灰石微粉末(LSP)

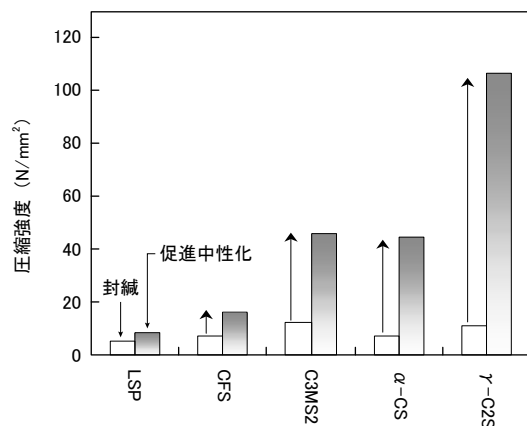


図1 γ-C₂Sの優れた炭酸化活性⁶⁾

の各フィラーを90%，早強ポルトランドセメントを10%の割合で混合した水粉体比30%のセメントペーストを対象として，温度 30℃，相対湿度60%RH，CO₂濃度5%の条件で56日間炭酸化養生を行って圧縮強度を計測している。同研究では，比較のために，封緘養生を30℃で56日間行ったときの圧縮強度も測定されている。各フィラーを用いたセメントペーストの圧縮強度を図1に示す。無機粉体であるLSPに比べて，いずれの材料も炭酸化した場合に強度増加しており，検討に用いられた各種フィラーは炭酸化活性を有することが分かる。また，同図に示すように，γ-C₂Sの炭酸化活性は，他に比べて群を抜いて大きい。すなわち，γ-C₂Sは，CO₂固定によるカーボンリサイクルに加えて，コンクリートの性能向上を期待できる材料である。

4. 2つの技術が融合して生まれたCO₂-SUICOM

CO₂-SUICOM⁷⁾の開発コンセプトを図2に示す。同図に示すように，CO₂-SUICOMは大きく2つの技術からなっている。一つは，前節で紹介したγ-C₂S，ならびに一般的に混和材として用いられている高炉スラグ微粉末，石炭灰などを併用してセメント代替として用いることで，製造時に大量のCO₂を排出するセメントの使用量を大幅に低減すること，もう一つは，強制的な炭酸化によってコンクリートに大量のCO₂を固定することである。

CO₂-SUICOMで用いるγ-C₂Sは，カルシウムカー

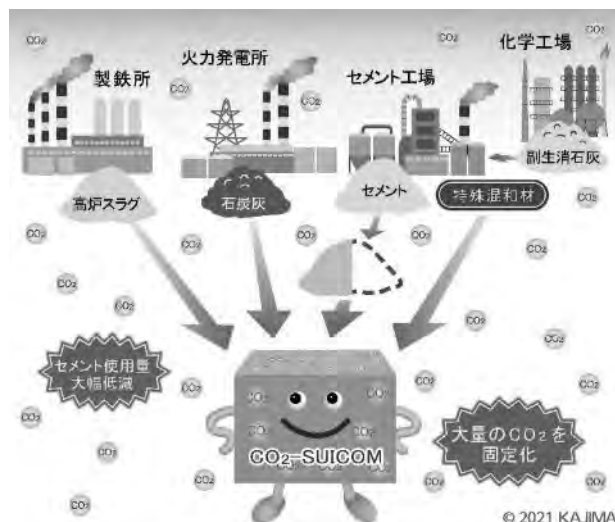


図2 CO₂-SUICOMのコンセプト

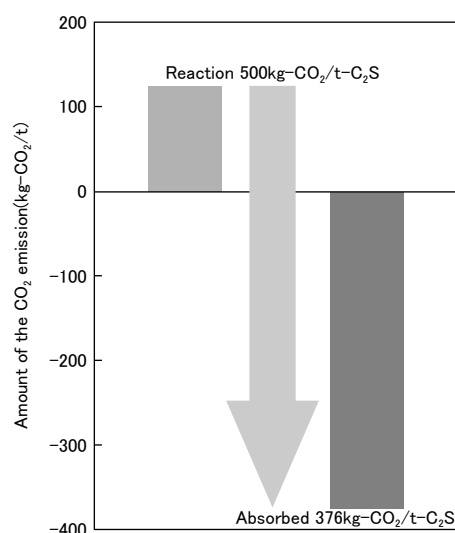


図3 γ-C₂SのCO₂排出量と炭酸化によるCO₂固定量⁸⁾

バイドCaC₂からアセチレンC₂H₂を発生するプロセスで副生する消石灰Ca(OH)₂を原料として製造しており，この副生消石灰(注：CO₂排出量を0kg-CO₂/tとする)を原料として焼成したγ-C₂Sの製造時におけるCO₂排出量は，図3に示すとおり，124.5kg-CO₂/tと試算されている⁸⁾。一方で，γ-C₂Sは理論上1tで約500kgのCO₂と反応して固定することができる。

CO₂-SUICOMにおけるCO₂排出量の試算例を図4に示す。原料に副生消石灰を使用したγ-C₂Sや高炉スラグ微粉末，石炭灰の利用によるセメント使用量の低減に伴う材料起因のCO₂排出削減(図4の↓矢印)に加えて，コンクリートの硬化過程で高濃度のCO₂を大量に固定させる炭酸化養生を行い，材料起



写真3 ゼロエミッションタイプの炭酸化養生設備の概要

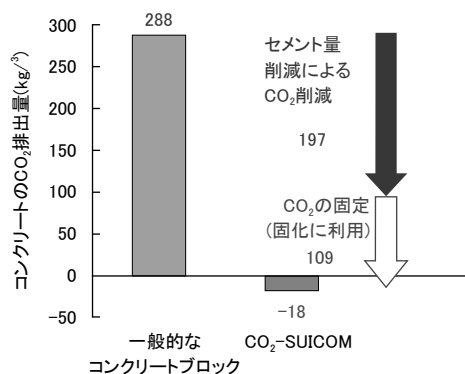


図4 コンクリートとしてのCO₂排出量¹⁾

因のCO₂排出量を相殺する以上のCO₂をコンクリートに固定することができる(図4の▽矢印)。これらの技術の組合せによって、CO₂-SUICOMはカーボンネガティブコンクリートを実現している。なお、CO₂-SUICOMのコンクリートとしての強度や耐久性は、基本的に一般的なコンクリートとほぼ同等である。その他の品質として、すり減り抵抗性が高まること⁹⁾、製品としての乾燥収縮が大幅に抑制できること、コンクリートのpHが低アルカリ化することで植物生育性能が向上する¹⁰⁾、といった特長を有する。

また、CO₂-SUICOMは、製造時のCO₂排出削減にも取り組んでいる。CO₂-SUICOMの炭酸化養生で、コンクリート中に迅速にCO₂を固定させるためには、温度や湿度を適切に制御する必要がある。過去の検討では、温度調節や除湿性能を有する装置を用いて炭酸化養生を行っていたが、養生時にエネルギー

ギーを用いることで大量のCO₂を排出していると試算された。そこで、ゼロエミッションタイプの炭酸化養生設備を考案して導入した。設備の概要を写真3に示す。発電所構内で発生する排熱と、構内で活用されている工業用水を用いた熱交換システムを開発した。火力発電所の排気ガスを炭酸化養生槽に封入する際に、同システム内に排気ガスを通過させることによって、エネルギーを使用することなく、排気ガスをCO₂固定に適した温度・湿度に制御して炭酸化養生を行うことに成功している。コンクリートの練混ぜや締固め時に用いるエネルギー起因のCO₂排出量は非常に小さい¹¹⁾ことから、この養生設備を導入することによって、材料起因だけでなく、プレキャストコンクリート製品製造時のトータルとしてのカーボンネガティブを達成した。

5. CO₂-SUICOMの適用実績

CO₂-SUICOMは2011年に製品としてはじめて実際の現場に適用し、これまで、小型の無筋コンクリートブロックを中心に実績を重ねている。各種コンクリートブロックへのCO₂-SUICOMの適用例を写真4に示す。CO₂-SUICOMはこれまで外構工事に用いられるインターロッキングブロックを中心に、14件の現場で適用しており、厚さ30cmの太陽光基礎ブロックを製造した事例もある。また、供用から約10年が経過したCO₂-SUICOMのブロックからコアを



写真4 CO₂-SUICOMを各種コンクリートブロック製品に適用した例



写真5 CO₂-SUICOMのプレキャストパネルをバルコニー天井部に適用した例



写真6 CO₂-SUICOMの埋設型枠への適用例

採取し、コンクリートとしての品質やCO₂固定量が変化していないことを確認している¹²⁾。

また、建築分野にCO₂-SUICOMを適用した実績もある。**写真5**に示すように、住宅棟のバルコニー天井部分に厚さ40mm、大きさ4.0m×1.3mの薄型プレキャストパネルを適用した。4.0mという長尺で薄型のパネルを製作する場合、乾燥収縮の影響でパネルに反りが発生したり、製品寸法がばらついたりする場合があるが、CO₂-SUICOMは乾燥収縮が小さいことから、寸法安定性を確保しながら、高い意匠性を有する長尺で薄型のプレキャストパネルを製造可能とした。なお、この大きさの規模のプレキャスト

トパネルには補強材が必要となり、CO₂-SUICOMの特性上、防錆性能を付与した補強材としてステンレスメッシュを使用した。

最近では、CO₂-SUICOMの特長であるコンクリートの低アルカリ性を活かした、ガラス繊維補強埋設型枠への展開について検討を進めている。ガラス繊維は有機繊維に比べて引張強度が高く、コンクリート用の繊維補強材として用いることでコンクリートの曲げ性能向上が期待できる。しかしながら、ガラスという性質上、コンクリートのアルカリによってアルカリシリカ反応を起こし、溶解してしまうという懸念があった。CO₂-SUICOMは、炭酸化によってコンクリートのpHが中性に近くなることで、安価なガラス繊維を補強材として適用可能となり、これを用いたガラス繊維補強埋設型枠を開発した。大型ボックスカルバートのうち、高さ2mの底版における棲型枠として、この埋設型枠を適用した例を**写真6**に示す。建設工事における生産性向上に活用できる技術として、今後、展開が期待される。

6. おわりに

CO₂-SUICOMは、それまでの一般的なCO₂削減技

術とは異なる独自の炭酸化養生によるアプローチでCO₂固定技術として開発を進め、約10年前に実用化し、さまざまな適用実績を有するカーボンネガティブコンクリートである。これまでは、CO₂-SUICOMを比較的小さな無筋プレキャストコンクリート製品を対象に展開してきた。これは、炭酸化反応によって中性化したコンクリートに補強材として鉄筋を用いると、早期に腐食する懸念があるというのが一般的な考え方であったからである。無筋プレキャストコンクリート市場を対象に考えると、同技術の導入によるCO₂削減効果は年間で数10万t程度にとどまる。そこで、これまでに15年以上、コンクリートの炭酸化養生に関する検討を進めてきたノウハウを活かして、現在、CO₂固定型コンクリートの適用領域を拡大するための検討を、NEDOからの委託によって推進している¹³⁾。年間数1,000万tのCO₂を排出している場所打ちコンクリートや鉄筋コンクリートにCO₂を固定させることができれば、日本のカーボンニュートラル社会の実現に向けた大きな力になると確信している。また最近では、副産物からカルシウムを抽出し、CO₂と接触させて炭酸塩鉱物としてカーボンリサイクル骨材、CCU骨材としてコンクリートに用いるための検討例が国内外で増加しており¹⁴⁾、カーボンリサイクルの観点で非常に有望な技術になると考えられ、これらの技術との融合が望まれる。そのような中、鹿島建設(株)、デンカ(株)、(株)竹中工務店は、3社の技術を融合して、カーボンネガティブコンクリートを実現する技術に関する共同

研究を開始した¹⁵⁾。カーボンネガティブを実現できる技術を世界に先駆けて開発した者として、国内外の様々な技術と連携を図りながら、広く普及し、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る。

【参考文献】

- 1) 取達剛, 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
- 2) 兵頭彦次, 星野清一, 平尾宙, 野村幸治/炭酸化によるセメント系材料のCO₂吸収固定, 太平洋セメント研究法報告, No.179, pp.15~30, 2020
- 3) 李最雄/世界最古のコンクリート, 日経サイエンス, 7月号, pp.74~84, 1987
- 4) 渡邊賢三, 横関康祐, 取達剛, 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, pp.31~37, 2007
- 5) 渡邊賢三, 横関康祐, 坂田昇, 坂井悦郎/ γ -2CaO・SiO₂および各種ポゾランを添加した硬化体の炭酸化反応による空隙充てん機構, 土木学会論文集E2, Vol.68, No.1, pp.83~92, 2012
- 6) 盛岡実, 奥山康二/中性化に対する自己防衛機能を持つセメント系材料に関する研究, 土木学会コンクリート技術シリーズ, No.74, pp.Ⅱ.89~Ⅱ.96, 2007
- 7) 関健吾, 横関康祐, 取達剛, 小林聖, 高柳達徳, 木村彩永佳/CO₂排出量ゼロ以下の環境配慮型コンクリート「CO₂-SUICOM®」の開発, 鹿島技術研究所年報, Vol.61, pp.91~96, 2013
- 8) 庄司慎, 樋口隆行, 山本賢司, 盛岡実/副生の水酸化カルシウムを用いたC₂Sの製造とCO₂排出量原単位, セメント・コンクリート論文集, Vol.67, pp.553~558, 2013
- 9) 取達剛, 横関康祐, 吉岡一郎, 盛岡実/炭酸化養生を行ったコンクリートのCO₂収支ならびに品質評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, pp.1450~1455, 2012
- 10) 横関康祐, 取達剛, 高山晴夫, 樋口隆行/ポーラスコンクリートの植物生育能力向上に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.1405~1410, 2013
- 11) 土木学会/コンクリート構造物の環境性能照査指針(試案), コンクリートライブラリー125, 2005
- 12) 取達他/供用から9年経過した炭酸化コンクリートのCO₂固定量評価に関する一考察, 第75回土木学年次学術講演会, V-72, 2020
- 13) https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101342.html
- 14) https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101332.html
- 15) <https://www.kajima.co.jp/news/press/202110/8c1-j.php>

セメント規格がわかる本



2015年3月20日にJIS R 5201およびJIS R 5203が改正されたことに伴い、これら試験方法規格に関する「セメント規格がわかる本」を改訂しました。今回の規格改正において変更や追加された点について詳しく解説するとともに、試験を行う上で不可欠な知識やノウハウを理解しやすい内容となっています。

JIS R 5201 : 2015「セメントの物理試験方法」編

A4版・135ページ・5500円(税込)・送料実費

JIS R 5203 : 2015「セメントの水和熱測定方法(溶解熱方法)」編

A4版・60ページ・3740円(税込)・送料実費

お求め・お問合せは
直接当会か最寄りの書店へ

セメント協会

〒103-0023 東京都中央区日本橋本町1-9-4
☎03-5200-5053 FAX03-5200-5062

カーボンリサイクル材料を用いて カーボンネガティブを実現した T-eConcrete® / Carbon-Recycleの開発

大脇 英司 荻野 正貴

1. はじめに

わが国は「2050年カーボンニュートラル」を宣言し、2030年度の温室効果ガスの排出を2013年度比で46%削減することを目標とする^{1, 2)}。日本政府は温暖化への対応を「経済と環境の好循環」による成長の機会と捉えてグリーン成長戦略を打ち出した³⁾。その一環として温室効果ガスの主要成分であるCO₂を炭素資源として回収・利用するカーボンリサイクル技術の開発を進めている⁴⁾。

著者らのグループは、CO₂の排出を抑制する環境配慮コンクリート：T-eConcrete®シリーズ⁵⁾を開発し、さらに、カーボンリサイクル技術で製造される炭酸カルシウムを用いるカーボンリサイクル・コンクリート：T-eConcrete/Carbon-Recycleの開発を進めている⁶⁾。「カーボンネガティブ」を達成したコンクリートとして「2050年カーボンニュートラル」への貢献を期待している。

Realization of Carbon-Negative Concrete with Carbon-Recycled Materials: T-eConcrete® / Carbon-Recycle
(by OWAKI Eiji et al.)



おおわき えいじ
大成建設(株)技術センター
社会基盤技術研究部 材工研究室 主幹研究員
博士(工学)



おぎの まさたか
同上
副主任研究員 修士(工学)

本稿では、これらの概要と特徴および実施例を紹介する。

2. 環境配慮コンクリート： T-eConcreteシリーズ

社会インフラの構築に重要なコンクリートにはポルトランドセメントが使用され、その製造には約470kg/tの副産物や廃棄物が利用される⁷⁾。貴重な“社会の静脈”である一方で、約760kg/tのCO₂を排出する⁸⁾。セメント製造者は「2050年カーボンニュートラル」を目指し、CO₂の排出抑制を進めている^{例えば9～14)}。しかし、“新しいセメント”を用いたコンクリートによる安全・安心な社会インフラの提供には、長期健全性を含む性能評価や、法体系や規準・規格類の整備が必須である。また、建設事業が計画から完成まで長期にわたることが稀でないことを考慮すると、「2030年度46%削減」、「2050年カーボンニュートラル」はセメントをコンクリートとして使うセメントユーザーには喫緊の課題である。

コンクリートのCO₂排出量は260～300kg/m³であり、多くはセメント製造に起因するためセメント使用量を低減してCO₂排出を抑制できる。「国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律」（グリーン調達）や日本建設業連合会は、産業副産物を使用してセメント使用量を抑制したコンクリートの使用を推奨している^{15, 16)}。著者らのグループも、

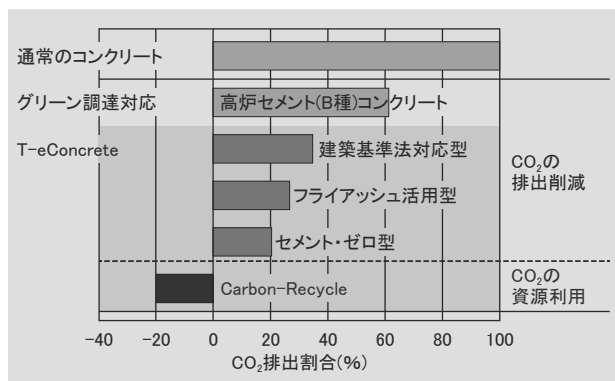


図1 T-eConcreteの構成とCO₂排出削減効果の例

セメントを副産物で置き換えた環境配慮コンクリート：T-eConcreteの開発、社会実装を進めている(図1)。

建築基準法対応型はポルトランドセメントの60～70%を高炉スラグ微粉末で置換する。従来のコンクリート(ポルトランドセメントを用いた同一強度クラスのコンクリート)に対するCO₂削減率は60～70%である(事例¹⁷⁾は60%)。高炉セメントC種(JIS R 5211)に相当し、建築基準法の指定建築材料として使用できる。フライアッシュ活用型はポルトランドセメント量を10～25%に減じ、フライアッシュと高炉スラグ微粉末で置換する。CO₂削減率は60～80%、設計基準強度は18～36N/mm²である¹⁸⁾。セメント・ゼロ型はポルトランドセメントを使用せず、高炉スラグ微粉末とカルシウム系化合物を用いる。CO₂削減率は75～80%、設計基準強度は18～60N/mm²である^{19, 20)}。Carbon-RecycleはカーボンリサイクルによりCO₂を吸収して製造した炭酸カルシウム(図2, 炭酸塩)をセメント・ゼロ型に添加する。大量のCO₂が固定でき、CO₂排出量収支(ネット)がマイナスとなる「カーボンネガティブ」を達成した。いずれも従来のレディーミクストコンクリート工場(生コン工場)で製造でき、鉄筋などの通常の補強材を用いて現場打ちコンクリートやコンクリート製品(二次製品)として社会実装できる。

3. T-eConcrete/Carbon-Recycleの特徴

建設材料であるコンクリートは使用量が多く、また、CO₂排出量の多いセメントを使用することから、

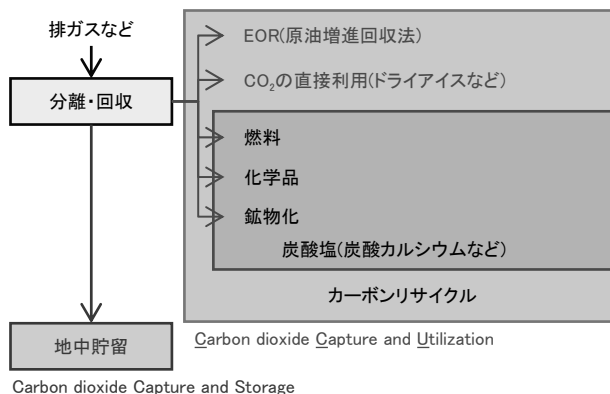


図2 カーボンリサイクルにおける炭酸塩の製造

コンクリートにCO₂を吸収させる意義は大きい。しかし、CO₂の吸収には次のような課題があった。

- ・コンクリートは強アルカリ性であるが、酸性のCO₂の吸収により中性化し、鉄筋の防錆に有効な鉄筋表面の不動態皮膜を失う。
- ・CO₂の吸収を容易にするためにコンクリートの空隙を増やすと強度が低下する。
- ・これらに対し、防錆能力や強度の低下を避けるためCO₂の吸収・固定量が小さくなる。

T-eConcrete/Carbon-RecycleではCO₂を吸収した炭酸カルシウム粉末と、副産物である高炉スラグ微粉末を主成分とする強アルカリ性の結合材と常用の骨材を練り混ぜる。カーボンリサイクル製品を活用するためカーボンリサイクル・コンクリートと呼ぶ。CO₂を炭酸塩に変換して練り混ぜることで化学的影響を小さくし、ガスを透過、吸収させる空隙を不要にした。一方、炭酸カルシウムは水和反応性が乏しく混合量を増加すると強度が低下し、強度特性の改善のために水粉体比を小さくすると粘性が増加して施工性が低下するが、炭酸カルシウムを大量に混合しても適切な施工性や強度特性が得られる配合(調合)を見出した。特徴を示す⁶⁾。

- ① CO₂を大量(70～170kg/m³)に固定する。CO₂の地中貯留(CCS: Carbon dioxide Capture and Storage)の効率(20～100kg/m³)に匹敵する。
- ② CO₂の吸収、固定により「カーボンネガティブ」(CO₂原単位: -55～-5kg/m³)を達成した。なお、CO₂を吸収、固定した炭酸カルシウムは商業化の途上にあり、1kgのCO₂の吸収、



表1 実装したT-eConcrete / Carbon-Recycleの特徴

項目		現場打ち施工		プレキャスト施工	
		配合 A	配合 B	石材調建材	壁部材
実装量		0.288m ³ × 2箇所	0.288m ³ × 2箇所	69.5m ² × 0.06m	0.216m ³ × 16枚
圧縮強度 (材齢 28 日)		43.8N/mm ²	25.5N/mm ²	31.4N/mm ²	39.9N/mm ²
補強材		鉄筋	鉄筋	なし	鉄筋, 鋼繊維
CO ₂ 固定量		115kg/m ³	171kg/m ³	98kg/m ³	119kg/m ³
CO ₂ 原単位	a : 実装例	▲ 50kg/m ³	▲ 116kg/m ³	▲ 45kg/m ³	▲ 50kg/m ³
	b : 比較用	274kg/m ³	235kg/m ³	235kg/m ³	274kg/m ³
	c : b - a	324kg/m ³	351kg/m ³	280kg/m ³	324kg/m ³

固定のために0.5kgのCO₂を排出すると仮定した。

- ③ CO₂をガスとして取り込まないことで強アルカリ性を保ち、鉄筋の防錆性能を維持する。
- ④ 生コン工場の通常設備で製造できる。また、強度特性(圧縮強度:20~45N/mm²)や、フレッシュ性状(スランプ12~21cm, スランプフロー45~60cm)も従来と同等であり、設計、施工に関する技術や経験、資産が活用できる。
- ⑤ 生コン工場や建設現場において高濃度のCO₂を扱わず、安全の確保に特別な心配がない。

4. T-eConcrete/Carbon-Recycleの実装例

現場打ちによる鉄筋コンクリート舗装と二次製品(石材調建材:T-razzo)による舗装の例を写真1と表1に示す²¹⁾。現場打ちによる舗装は4か所(それぞれ、幅2.4m, 奥行き0.8m, 厚さ0.15m)とし、φ6mmの鉄筋を100mm間隔で格子状に配置した後、移動型コンクリートプラント²²⁾で製造した強度の異

なる2種のT-eConcrete/Carbon-Recycleをバケットで打設した。通常の現場打ちコンクリート工事と同様の手順、機械で良好に施工できた。二次製品による舗装は69.5m²とし、粗骨材に稲田石(花崗岩)を用いて研磨仕上げを施した幅0.375m, 長さ0.6~1.5m, 厚さ0.06mの石材調建材を敷設した。石材調建材の製造、施工とも従来の製造手順・サイクル、機器類にて良好に実施できた。

いずれも、炭酸カルシウムは二次製品工場の排ガスのCO₂とコンクリート廃材のカルシウム成分を反応させて製造したカーボンリサイクル製品を用いた。製造時の実際の投入エネルギーから炭酸カルシウムのCO₂原単位を求めたため、T-eConcrete/Carbon-RecycleのCO₂原単位は、将来のカーボンニュートラルに貢献できる大量の生産を想定した3章②の値と異なる。CO₂原単位(表1中aの値)と実装量(計:5.33m³)から求めたCO₂排出量は-0.28tであり、大気のコ₂削減に貢献した。CO₂固定量は0.57tとなった。また、従来のコンクリート(BAU:

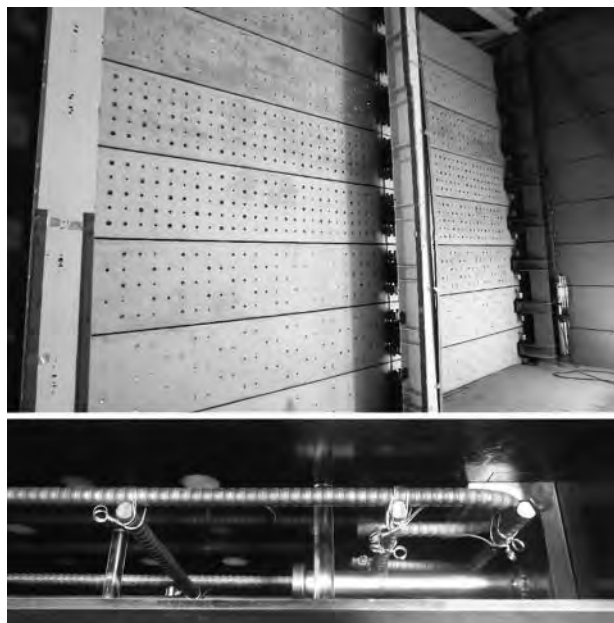


写真2 プレキャスト部材の建築物への適用
〔上〕設置状況、〔下〕配筋の状態

Business As Usual)から変更することでCO₂削減量(表1中cの値と実装量の積)は合計で1.56tとなり、大きな削減効果を確認できた。

実験施設の屋内壁への適用例を写真2および表1に示す²³⁾。幅3m、高さ0.6m、厚さ0.12mの16枚のプレキャスト部材を設置した。補強材として鉄筋：D13と鋼繊維：直径0.55mm、長さ35mmを使用した。通常の二次製品工場の設備を用いて、従来と同様の製造サイクルで製造することができた。CO₂原単位は補強材(鉄筋と鋼繊維)を含まないコンクリートとして-50kg/m³であり、当初、使用を予定したコンクリート(BAU)の274kg/m³に対して大きく減少した。舗装の場合と同様に部材のCO₂排出量を求めると-0.17tであり、大気のコ₂削減に貢献した。CO₂固定量は0.41tとなった。また、BAUとの比較から1.12tの排出削減効果が確認できた。なお、T-eConcrete/Carbon-Recycleへの鋼繊維の添加による補強効果は通常のコンクリートの場合と同じであり、添加した鋼繊維のCO₂原単位はそれぞれのコンクリートについて52kg/m³であった。

5. T-eConcreteへの期待

図1において「CO₂の排出削減」に分類される建築基準法対応型、フライアッシュ活用型、セメン

ト・ゼロ型は「カーボンニュートラル」には十分ではないが、「46%削減」には大きな貢献が期待される。環境整備や実用化技術の開発を行い、社会実装を進めている。安全・安心な社会インフラの提供や実装例の積み重ねに不可欠な規準や基準として、土木研究所とガイドライン、マニュアルを作成し、土木学会「混和材を大量に使用したコンクリート構造物の設計・施工指針(案)」を整えた^{24~26)}。また、国土交通省が「i-Construction」として推進しているコンクリートのプレキャスト化(二次製品の活用)²⁷⁾に呼応し、二次製品メーカーと提携して石材調建材：T-razzoやシールドトンネル用セグメント：T-eCon[®]/Segmentの社会実装を始めた^{28~33)}。これらの成果に対して「平成26年度土木学会賞環境賞」(土木研究所と共同)、エンジニアリング協会「2021年度第13回エンジニアリング奨励特別賞」を授かった。

「CO₂の有効利用」に分類されるCarbon-Recycleは、CO₂を資源とし、「カーボンネガティブ」となることから、炭素の活用による「経済と環境の好循環」とCO₂のオフセットによる「2050年カーボンニュートラル」への貢献が期待できる(図3)。そのためは、従来のコンクリートと円滑に置き換えられなければならない。T-eConcrete/Carbon-Recycleは前章までに示したように、従来のコンクリートと同様な性状や性能を有し、通常の生コン工場や二次製品工場の設備で製造でき、鉄筋コンクリートとしてこれまでと同様の設計法、施工法が活用できるため有望である。一方、カーボンリサイクル製品は新しく、これを用いたコンクリートに対する法体系や規準類は未整備であり、実績も多くない。規準類や法体系の整備に向けて前章のように適用を増やす努力が続けている。

他方、「2050年カーボンニュートラル」への貢献には大量の炭酸塩が必要である。わが国だけでも年間十数億トン排出されるCO₂を有意に吸収、利用するには環境効率や経済効率に優れた方法だけで製造することは難しい。投入エネルギーや資源、製造さ

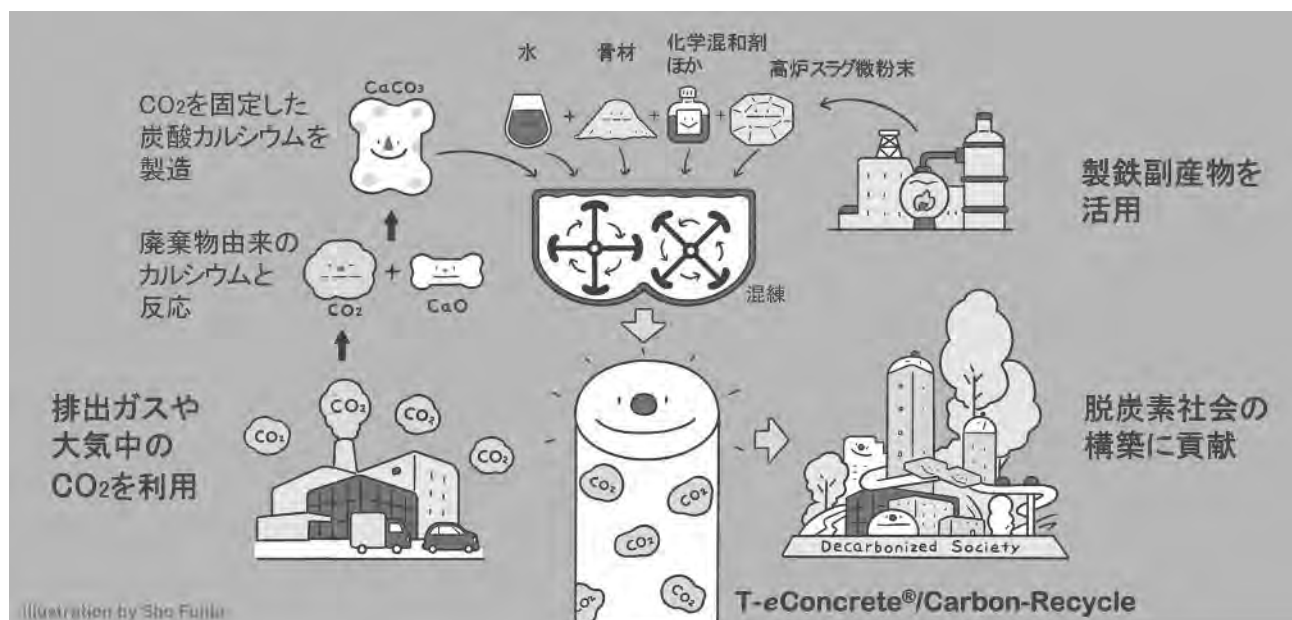


図3 T-eConcrete / Carbon-Recycleへの期待

れる炭酸塩とこれを用いたコンクリートの品質やコストなどについて、サーキュラーエコノミーの観点から“地球”における最適化が求められる。そのためにはカーボンリサイクルに係る環境影響評価やカーボンプライシングの方法の確立も急務である。現在、わが国では「炭素税」と明示されないが、地球温暖化対策税や石油石炭税、揮発油税、軽油取引税などにより4,057円/t-CO₂が課税されている。FIT賦課金(再生可能エネルギーの固定買取価格制度における賦課金)を加えると6,301円/t-CO₂になる³⁴⁾。

また、欧州連合域内排出量取引制度(EU-ETS)のクレジット(EUAs)は、2011～2017年には1tあたり数ユーロであったが、現在(2021年12月)では80ユーロを超えることがある³⁵⁾。一方、独自にカーボンプライシング(インターナル・カーボンプライシング)を行う企業が増えている。目的や根拠により970～82,735円/t-CO₂に設定した事例がある³⁶⁾。国内でも118社が導入し(2021年4月)、少なくとも134社が導入を検討している³⁷⁾。BAUに対するCO₂削減量(表1)は280～351kg/m³であった。調査した経済価値からT-eConcrete/Carbon-Recycleの付加価値は272～29,040円/m³と計算でき、環境や経済の効率を検討する目安となる。地球規模のサーキュラーエコノミーにおいて最適化された基盤材料として脱炭素社

会の構築に貢献するためにこれらを踏まえて開発を継続したい。

6. おわりに

カーボンリサイクル・コンクリートであるT-eConcrete/Carbon-Recycleは、大気や排ガス等のCO₂を用いて製造する炭酸塩を利用してCO₂を吸収、固定する。吸収、固定したCO₂量から炭酸塩の製造に係るCO₂排出量を差し引き、残りをカーボン・オフセットに活用できる。CO₂排出量の小さい環境配慮コンクリートに炭酸塩を混合するとCO₂原単位はマイナスになり、「カーボンネガティブ」を実現する。T-eConcrete/Carbon-Recycleは製造量が増えるほどCO₂の吸収、固定量が増える「ビヨンド・ゼロ」を具現化する社会基盤材料として「2050年カーボンニュートラル」および脱炭素社会の構築への貢献が期待される。

世の中は「2050年カーボンニュートラル」に向けて変化が激しい。T-eConcrete/Carbon-Recycleを含むT-eConcreteはポルトランドセメントの使用量の削減を前提とするが、セメント製造者の努力により2050年にはポルトランドセメントもカーボンニュートラルになり、使用を抑制すべき理由が解消することが期待される。また、カーボンリサイクル

技術の進捗も期待できる。脱炭素社会の構築に貢献するため、T-eConcrete/Carbon-Recycleもこれらに即して進化を続けなければならない。

【参考文献】

- 1) 首相官邸HP／第二百三回国会における菅内閣総理大臣所信表明演説, 2020.10.26. https://www.kantei.go.jp/jp/99_suga/statement/2020/1026shoshinhoyomei.html.(参照2021-12-23).
- 2) 地球温暖化対策推進本部／第45回地球温暖化対策推進本部議事要旨, 2021.4. <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/ondanka/kaisai/dai45/gijiyousi.pdf>.(参照2021-12-23).
- 3) 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, 2021.6.18. https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/pdf/green_honbun.pdf.(参照2021-12-23).
- 4) 経済産業省／カーボンリサイクル技術ロードマップ, 2019.6(2021.7改訂). <https://www.meti.go.jp/press/2021/07/20210726007/20210726007.pdf>.(参照2021-12-23).
- 5) 大脇英司, 岡本礼子, 松元淳一, 渡邊悟士／混和材を大量に使用したコンクリートと事例, コンクリート工学, Vol.57, No.1, pp.71～74, 2019.1.
- 6) 大成建設HP／カーボンリサイクル・コンクリート「T-eConcrete®/Carbon-Recycle」を開発, 2021.2. https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2021/210216_5079.html.(参照2021-12-23).
- 7) セメント協会HP／循環型社会構築に向けた取り組み, <https://www.jcassoc.or.jp/seisankankyo/seisan01/seisan01a.html>.(参照2021-12-26).
- 8) セメント協会／セメントのLCIデータの概要, 2021.4.12. https://www.jcassoc.or.jp/cement/4pdf/jgli_01.pdf.(参照2021-12-26).
- 9) 太平洋セメントHP／カーボンニュートラル実現に向けた取り組み, https://www.taiheiyo-cement.co.jp/csr/feature_fr.html.(参照2021-12-26).
- 10) 住友大阪セメントHP／「2050年カーボンニュートラル」に向けた取り組みについて, 2020.12.01. <https://www.soc.co.jp/news/59997/>.(参照2021-12-26).
- 11) 宇部興産HP／「UBEグループ2050年カーボンニュートラルへの挑戦」について, 2021.4.26. https://www.ube-ind.co.jp/ube/jp/news/2021/20210426_01.html.(参照2021-12-26).
- 12) 三菱マテリアルHP／温室効果ガス排出量削減目標の設定および気候関連リスク・機会に係るシナリオ分析に関するお知らせ, 2021.3.26. <https://www.mmc.co.jp/corporate/ja/news/press/2021/21-0326b.html>.(参照2021-12-26).
- 13) トクヤマ／TOKUYAMA REPORT 2021, p.32, 2021.7. <https://www.tokuyama.co.jp/ir/pdf/AR2021.pdf>.(参照2021-12-26).
- 14) デンカ／デンカレポート2021, pp.23-26, 2021. https://www.denka.co.jp/pdf/ir/report/DenkaReport2021_full.pdf.(参照2021-12-26).
- 15) 環境省／令和元年度国等の機関によるグリーン購入の実績及びその環境負荷低減効果等, https://www.env.go.jp/policy/hozen/green/g-law/jisseki/reduce-effect_r1.pdf.(参照2021-12-26).
- 16) 日本建設業連合会環境委員会／低炭素型コンクリートの普及促進に向けて, 日本建設業連合会, 出版物No.237, 2016.4.
- 17) 加藤優志, 渡邊悟士, 山本佳城, 黒岩秀介／マスコンクリートへの適用に向けた環境配慮コンクリートの基礎検討, 大成建設技術センター報, No.53, pp.04-1～04-8, 2020.
- 18) 舟橋政司, 白根勇二, 荻野正貴, 中村英佑／低炭素型のコンクリートの配合設計手法および硬化特性の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.1, pp.232～237, 2014.
- 19) 宮原茂禎, 荻野正貴, 岡本礼子, 丸屋 剛／高炉スラグ

- 微粉末とカルシウム系刺激材を使用した環境配慮型コンクリートの水和反応と組織形成, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.1969～1974, 2013.
- 20) 岡本礼子, 宮原茂禎, 坂本 淳, 丸屋 剛／高炉スラグ微粉末とカルシウム系刺激材を使用した環境配慮型コンクリートの物性について, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.1981～1986, 2013.
 - 21) 大成建設HP／環境配慮コンクリート「T-eConcrete®」で現場打ち舗装および舗装ブロックを施工, 2021.12.27. https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2021/211227_8635.html.(参照2021-12-27).
 - 22) 大成建設HP／高性能移動式プラント「T-ITANモバイルプラント」を開発, 2021.10.5. https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2021/211005_8507.html.(参照2021-12-26).
 - 23) 大成建設HP／「T-eConcrete®/Carbon-Recycle」を建築物に国内初適用, 2021.12.1. https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2021/211201_8528.html.(参照2021-12-20).
 - 24) 中村英佑, 古賀裕久, 渡邊博志／低炭素型セメント結合材を用いたコンクリート構造物の設計・施工ガイドライン(案), コンクリートテクノ, Vol.35, No.5, pp.9～14, 2016.5.
 - 25) 大脇英司, 宮原茂禎, 中村英佑／「環境配慮コンクリート」の設計・施工マニュアルについて, コンクリートテクノ, Vol.35, No.8, pp.49～54, 2016.8.
 - 26) 石田哲也, 渡邊博志, 小林孝一, 大脇英司／土木学会「混和材を大量に使用したコンクリート構造物の設計・施工指針(案)」の概要, コンクリート工学, Vol.57, No.7, pp.475～480, 2019.7.
 - 27) 国土交通省／土木構造物設計ガイドライン, 2019.3.
 - 28) 大成建設HP／環境配慮コンクリート「T-eConcrete®」の普及展開に向け研究会を設立, 2021.1.12. https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2021/210112_5022.html.(参照2021-12-23).
 - 29) 岡本礼子, 大脇英司, 渡邊悟士, 長嶋貴男, 高橋健吾, 真保亨一／環境配慮コンクリートを用いた発色性に優れたコンクリートの検討, 令和元年度第74回土木学会全国大会学術講演会, V-15, 2019.9.
 - 30) 岡本礼子, 大脇英司, 渡邊悟士, 真保亨一, 田中裕美／環境配慮コンクリートで作製した二次製品の促進試験による耐色性能の評価, 令和3年度第76回土木学会全国大会学術講演会, V-15, 2021.9.
 - 31) 渡邊悟士, 大脇英司, 黒岩秀介／環境配慮コンクリートを用いた建築仕上材の開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1227, pp.553～554, 2019.9.
 - 32) 堀口賢一, 松元淳一, 河村圭亮, 坂本 淳／低炭素型コンクリートを使用したコンクリート二次製品の開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, pp.213～218, 2016.
 - 33) 大成建設HP／国内初 環境配慮コンを用いたシールドセグメント「T-eCon/Segment」を現場導入, 2021.7.1. https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2021/210701_8227.html.(参照2021-12-23).
 - 34) 経済産業省／成長に資するカーボンプライシングについて③, 世界全体でのカーボンニュートラル実現のための経済的手法等のあり方に関する研究会, 第4回, 資料2, 2021.4.22. https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/carbon_neutral_jitsugen/pdf/004_02_00.pdf.(参照2021-12-23).
 - 35) 環境金融研究機構HP／「欧州排出権取引制度(EU-ETS)のカーボנקレジット(EUAs)価格, 先週末から一気に12ユーロ前後も下落. 投機筋のあおり買いが霧散. 実需は強く, 上昇基調は消えず(RIEF)」, 2021.12. <https://rief-jp.org/ct4/120816>.(参照2021-12-20).
 - 36) 環境省／インターナショナルカーボンプライシング活用ガイドライン, 2020.3. https://www.env.go.jp/press/ICP_guide_rev.pdf.(参照2021-12-23).
 - 37) 環境省／インターナショナル・カーボンプライシングについて, カーボンプライシングの活用に関する小委員会, 第14回, 資料3, 2021.4.2. <https://www.env.go.jp/council/06earth/shiryou3.pdf>.(参照2021-12-23).

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

小島 正朗 辻 大二郎 依田 和久 橋本 学

1. はじめに

世界的にCO₂排出量の削減に向けた取り組みが加速している。わが国でも2050年にカーボンニュートラルを目指し、2030年時点でのCO₂排出量の削減目標は、2013年度比で当初の26%削減から46%削減まで引き上げられた。CO₂排出量の削減に対する取り組みを加速していくことが求められており、最近、脱炭素への取り組みについて企業のテレビCMを目にする機会が多くなった。

建設各社でも、2030年、2050年のCO₂排出量の削減目標を公表しており^{例えば1, 2)}、社内ではどのように達成していくか活発な議論が行われている。

今から10年以上遡る2008年、京都議定書が発効

Development and deployment of low-carbon concrete "ECM concrete". (by KOJIMA Msaro et al.)



こじま まさろう
(株)竹中工務店
技術研究所 グループ長 博士(工学)



つじ だいじろう
同 上
技術本部 技術プロデュース部 副部長 博士(工学)



よだ かずひさ
鹿島建設(株) 技術研究所
主席研究員 博士(工学)



はしもと まなぶ
同 上
上席研究員 博士(工学)

され日本が世界に対しCO₂排出量を6%削減する約束を守る必要が生じたその年に、コンクリートのCO₂排出量の削減を狙いとしたNEDO^{脚注1}プロジェクト「Energy・CO₂ Minimum(ECM)セメント・コンクリートシステム」(以下、ECMコンクリートと称する)の研究³⁾に着手した。2011年からは、1大学7企業(セメント、化学混和剤、建設会社)からなるECM研究開発チーム^{脚注2}で実用化開発に取り組んだ。その成果を踏まえ、2014年から実工事への適用を始め、2021年12月末時点で、累計約70件のプロジェクトに適用している。

本稿では、ECMコンクリートの概要、適用例、および今後の普及に向けた活動について紹介する。

2. ECMコンクリートの概要

ECMコンクリートに用いる結合材の材料構成を図1に示す。ECMコンクリートは、普通ポルトランドセメントに対してCO₂排出原単位が小さい高炉スラグ微粉末を60~70%使用することで、図2に示すように、コンクリートのCO₂排出量を6~7割削減することができる。

さらに大量に高炉スラグ微粉末を混入すればCO₂

脚注1 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

脚注2 東京工業大学、(株)竹中工務店、鹿島建設(株)、(株)ダイ・シー、太平洋セメント(株)、日鉄高炉セメント(株)、日鉄セメント(株)、(株)竹本油脂

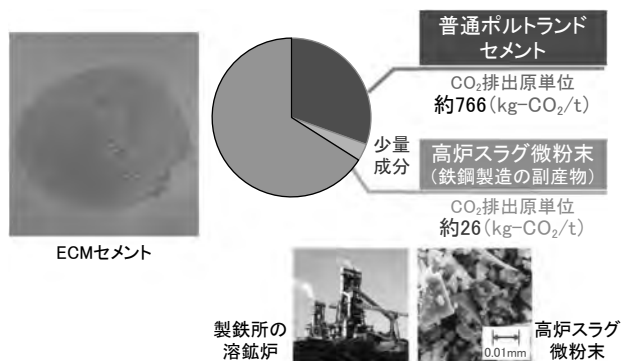


図1 ECMセメントの材料構成⁵⁾

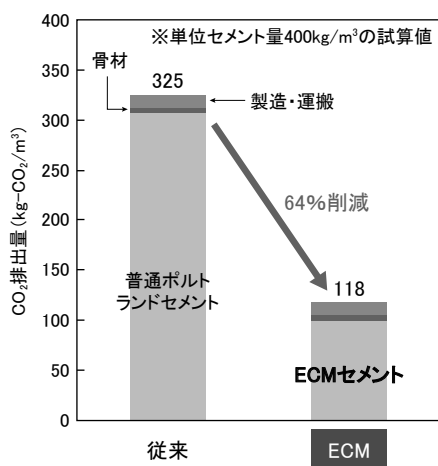


図2 ECMコンクリートのCO₂削減効果(試算)⁶⁾

排出量の削減幅を大きくすることができるが、「環境負荷低減と高品質・高耐久性の両立」がECMコンクリートの開発コンセプトであり、このことから高炉スラグ微粉末の混入率を60～70%としている。高炉スラグ微粉末の混入率を60%以上と大きくすると、経時によるスランプの低下が大きくなる、初期強度発現が低くなる、自己収縮が大きくなる、中性化の進行が早くなるといった、問題が生じる。これらの点について、ECMコンクリートでは、高炉スラグ微粉末の混入率の最適化、少量成分(主として石こう)の種類と量の最適化を行うとともに、高炉スラグ微粉末が大量に含まれた系でのスランプの経時変化を抑えることができる新規混和剤を開発することで、問題を解決している。高炉スラグ微粉末の混入率を70%以下とすることで、中性化に対しても信頼性設計を行うことにより、200年の計画供用期間(JASS 5の超長期)も設定可能⁴⁾になっている。以上のような点がECMコンクリートの特長の主要と言える。以下にECMコンクリートの特長の詳細に

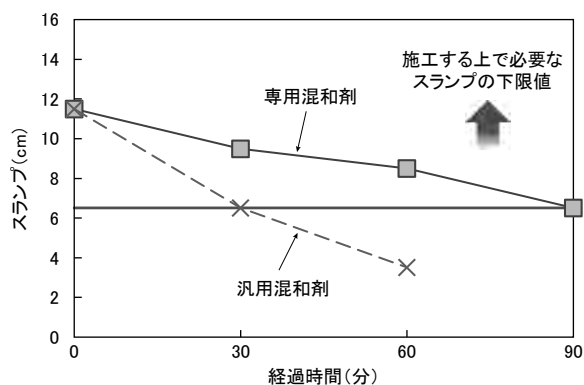


図3 スランプの経時変化の比較⁷⁾

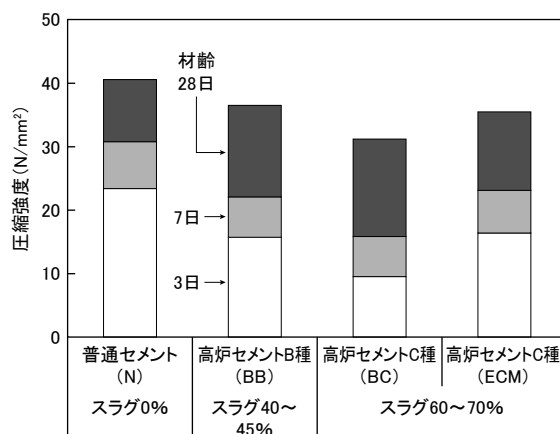


図4 ECMコンクリートの強度発現の比較⁶⁾

ついて述べる。

2-1. フレッシュコンクリートの特性

高炉スラグ微粉末を大量に使用したコンクリートは、スランプロスが大きくなる傾向にある。これに対し、図3に示すように、ECMコンクリートの流動性保持に適した新しい化学混和剤(開発品)を開発している。一般のコンクリート用化学混和剤(従来品)ではスランプの経時変化が大きいのに対し、高炉スラグ微粉末の分散に有効な成分を加えた開発品は、スランプの経時変化を抑えることができることがわかる。

2-2. 強度発現

高炉スラグ微粉末を大量に使用したコンクリートは、初期強度発現が低くなり、施工上の課題となる。ECMセメントを用いた場合、図4に示すように、高炉スラグ微粉末の置換率が多いにも関わらず、従来の高炉セメントC種(BC)よりも石こう量を増や

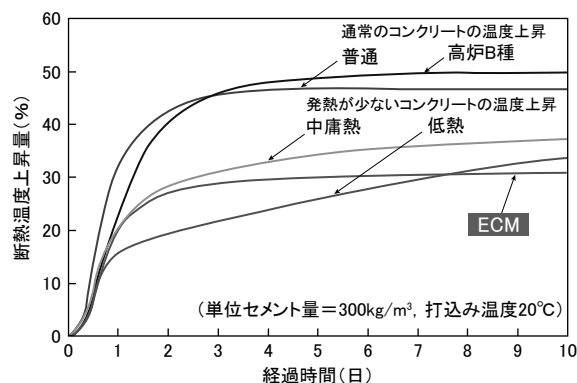


図5 断熱温度上昇曲線の比較⁵⁾

すことで初期強度発現が早く、高炉セメントB種と同程度の強度発現性が得られている。

2-3. 発熱特性

ECMコンクリートは、図5に示すように低発熱型のポルトランドセメントと同程度の断熱温度上昇量となり、水和発熱は小さい。したがって、マスコンクリートの温度応力ひび割れの抑制に有効といえる。

マスコンクリートの温度応力ひび割れは、温度変化に伴う変形量が大きい(線膨張係数が大きい)と不利になる。一般に高炉セメントB種を使用したコンクリートは、普通ポルトランドセメントを使用した場合に比べて線膨張係数が2割程度大きいと言われているが、ECMコンクリートの見かけの線膨張係数は、結合材中の少量成分を最適化することで高炉セメントB種の場合の8割程度となる⁴⁾ことから、マスコンクリートの温度応力ひび割れ対策に有効となっている。

2-4. 収縮ひび割れ抵抗性

セメントの少量混合成分を最適化したECMコンクリートは、従来のセメントに比べて収縮率を小さく抑えることができる。その結果、鋼材外フレームを用いた外部拘束試験では、いずれのセメントよりもひび割れが入る材齢が遅くなって⁸⁾おり、乾燥収縮ひび割れの抑制に対して有利となっている。

2-5. 耐久性

ECMコンクリートは、高炉スラグ微粉末を大量

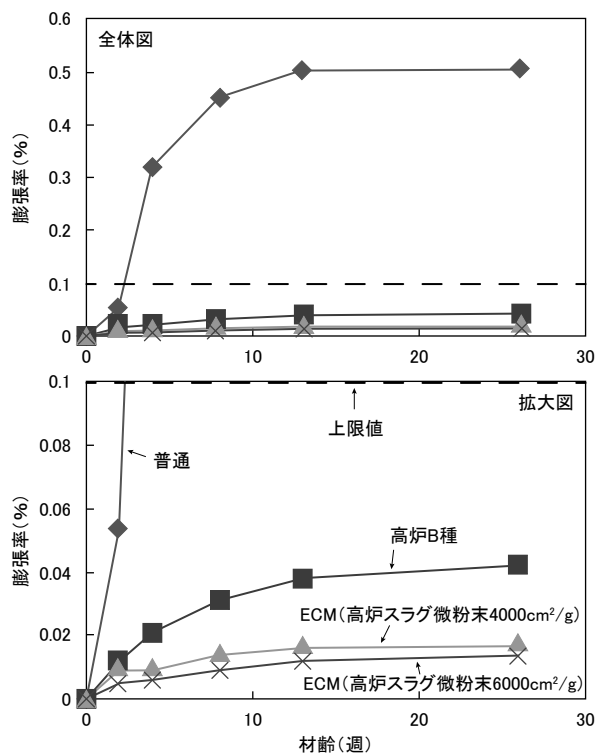


図6 アルカリシリカ反応による長さ変化⁹⁾

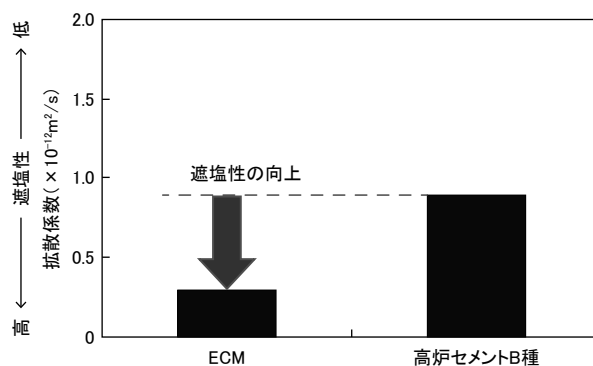


図7 塩化物イオンの拡散係数の比較¹⁰⁾

に使用しているため、高炉セメントB種よりも、さらに高いアルカリシリカ反応の抑制(図6)⁹⁾や、遮塩性(図7)^{10, 11)}、耐硫酸性・耐硫酸塩性の向上¹²⁾など特長を持っている。

一方、ポルトランドセメントの量が少ないため、促進中性化試験結果の一例(図8)に示すように、同一強度レベルで比較すると、普通ポルトランドセメントや高炉セメントB種を使用した場合に比べて中性化速度係数が大きい。これはポルトランドセメントの量が少なく、水酸化カルシウム量が少ないためであるが、ECMコンクリートでも、日本建築学会「鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針(2016)」の信頼性設計法で耐久設計を行うと、前述

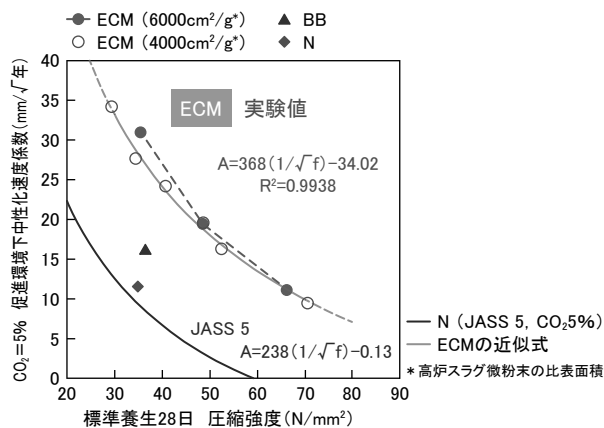


図8 促進中性化試験結果の例⁴⁾

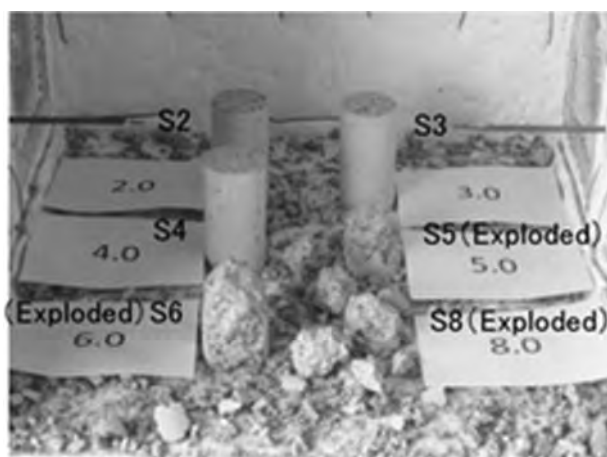


写真1 ECMコンクリートの爆裂判定試験¹³⁾

の通り供用期間200年の超長期の設定も可能である⁴⁾。

2-6. 耐火性

ECMコンクリートは、石こう量を一般的な高炉セメント(SO₃量2%程度)より増している。石こう量を増すと、初期強度発現性や収縮補償に有効である反面、耐火性に影響を及ぼす。写真1は、SO₃量(写真中の数字)を因子水準として供試体レベルで爆裂判定試験¹³⁾を実施した結果を示すものであり、SO₃量が過大になると火災時の爆裂に繋がる。本稿では誌面の都合で紹介できないが、SO₃量は凍結融解抵抗にも影響を及ぼす。したがって、収縮補償のための添加量と、その他の特性に及ぼす影響を総合的に考慮した上で、最適なSO₃量とすることが重要となる。

3. ECMコンクリートの適用

ECMコンクリートを適用したプロジェクト件数を図9に、ECMコンクリートの適用量を図10に示



写真2 基礎419m³と高強度プレキャスト柱2本に適用した例 [日鉄高炉セメント本社；B0 F3 P0]

す。2014年にECMコンクリートを超高層建築物の杭に適用したのを皮切りに、地下躯体を中心に建物に適用し、2021年12月末には、竹中工務店と鹿島建設の2社によるECMコンクリートの適用件数は約70件、適用量は約22万m³に達した。年間2～3万m³程度の適用量で推移している。

建築物の種類(用途)は、商業施設(事務所、ホテル)、スポーツ施設(劇場、展示場)、教育・文化施設(学校)、医療・福祉施設(病院)、生産・流通施設(工場)など多岐に渡っている。設計基準強度(F_c)は24～36N/mm²の範囲が多い。また適用部位は、地下躯体が多く、場所打ち杭と基礎・マッドスラブ・基礎梁で全件の9割近くを占めている。

写真2は、設計基準強度60N/mm²の高強度プレキャスト柱として適用された例である。高強度コンクリートは単位セメント量が多くCO₂排出量も多くなることから、これをECMコンクリートとすることで、CO₂排出量を大幅に削減でき、かつ発熱も抑えることができるため、今後、期待される使用方法と言える。

その他にも、ECMコンクリートの色合いが白いことを活かして、カラーコンクリートとして適用¹⁴⁾されている。CO₂排出量の大幅削減と色調制御という付加価値を持ち合わせたコンクリートとして、適用が期待されている。大理石調の色合いにしたり、さまざまな企業カラーを表現したい等、問合せを頂いている。

また、土木構造物では、バースクレーン基礎の補

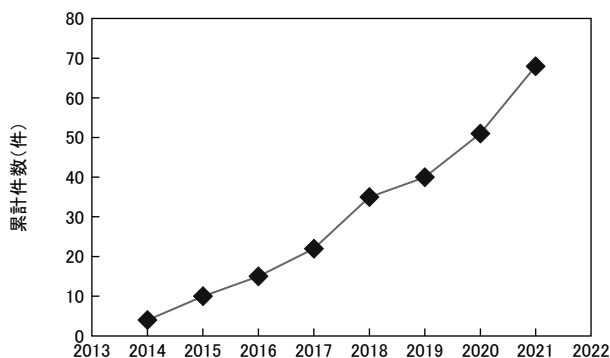


図9 ECMコンクリートの適用件数の推移

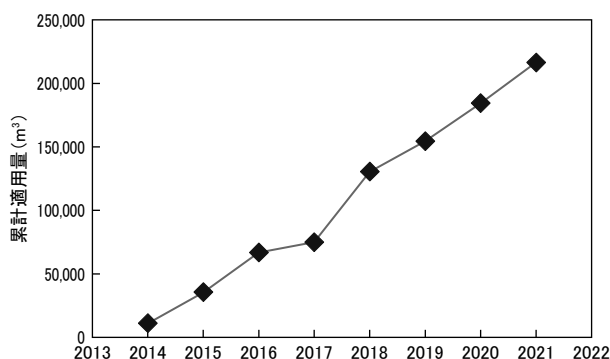


図10 ECMコンクリートの適用量の推移

強増打部に適用されている。バースクレーン現場の岸壁に位置していることから、補強増打部は高い遮塩性が求められており、前述のように遮塩性が高いメリットを活かし、かつ、環境負荷低減に有効という両方のメリットを期待してECMコンクリートが採用されている。

現時点でECMコンクリートの適用を計画しているプロジェクトが多数あることに加え、最近、発注者からの脱炭素に貢献できる技術として引き合いが増えてきている。現在の年間2~3万m³程度の適用量であるが、これまで適用できていなかった住宅や、まだ適用が少ない土木構造物への展開も含め積極的にプロジェクトに適用していく予定で、さらなる需要増加が見込まれる。これまでECMコンクリートの供給体制の整備は都市圏を中心に進めてきたが、今後、適用可能な地域を拡大していくことも必要になってきている。

4. 今後の普及展開

ECMコンクリートは国の資金によるNEDO研究の成果であることから、当初から段階的に技術を開

オープンにしていく計画であった。2014年にECM研究開発チームが中心となって、「コンクリート構造物の環境負荷低減と高品質の両立を図るために、高炉スラグ微粉末を用いたセメント・コンクリートの普及発展、研究開発、情報収集、国内外の研究機関との連携ならびに会員相互の技術交流を図る」ことを目的に、日本スラグセメント・コンクリート技術研究会を発足した。

現在は、新たな会員として高炉スラグ高含有コンクリートの施工実績が豊富な大手建設会社が加入するなど、メンバーを拡大している。今後も、建設会社を中心に会員拡大を予定している。

ECMコンクリートの普及拡大の方策として、竹中工務店、鹿島建設で取得していた第三者機関の建設材料技術性能証明⁴⁾に、日本スラグセメント・コンクリート技術研究会を加える改定を行った。これにより、同会会員の建設会社は、同証明の施工マニュアルに記載されている構造体強度補正値の標準値や、脱枠、湿潤養生など、施工方法を定めるための拠り所として活用できるようになっている。

また、同研究会では各社各様の高炉スラグ微粉末の仕様の統一化を図り、低炭素型コンクリートが普及しやすい環境を整えることも検討している。

同研究会の設立趣旨である、「環境負荷低減と高品質の両立」を掲げて普及活動を展開することで、コンクリートに係わるCO₂発生量の削減、そして良質な社会資本の整備に貢献できると考えている。

5. おわりに

ECMコンクリートは大幅なCO₂排出削減と高品質を両立でき、JIS規格に適合するコンクリートとして供給できるため、発注者、設計者に受け入れられやすい。

2030年の国が掲げていた当初のCO₂削減目標26%をコンクリートにあてはめ、ECMコンクリートの適用だけでこれを達成することを考えると、全てのコンクリートの4割をECMコンクリートにする必要がある。上方修正されたCO₂削減目標46%では7割を

ECMコンクリートにする必要があり、直観的に難しい。また、2050年のCO₂排出量ゼロを考えるとECMコンクリートだけでは対応できないのが現状である。

以上のようなことから、筆者らは、コンクリートのCO₂排出量の削減技術とCO₂固定化技術も合わせたカーボンネガティブコンクリートの研究開発に着手している¹⁵⁾。しかし、一足飛びにカーボンネガティブコンクリートを普及させるのは極めてハードルが高い。まずは低炭素型のECMコンクリートの適用を拡大し、一般化を進め、コンクリートのCO₂排出量削減マインドを醸成することが重要と考えている。そして、徐々にカーボンネガティブコンクリートの比率を高めていき、2050年CO₂排出量ゼロを達成していく道筋を考えていきたい。

CO₂排出量削減に対する取り組みの姿勢が、そのまま企業価値となり、会社業績に大きく影響する時代がすぐそこまで来ている。このことを良く認識して、建設会社(コンクリート系)、材料メーカー、コンクリート生産者が相互に協力しながら、国のCO₂排出量削減に対する高い目標の達成に向けて取り組みを進めていければ良いと考えている。

【参考文献】

- 1) 竹中工務店プレスリリース/2050年カーボンニュートラル実現に向けCO₂削減長期目標を改定、<https://www.takenaka.co.jp/news/>

- 2) 鹿島環境ビジョン／トリプルZero2050, <https://www.kajima.co.jp/sustainability/policy/vision/index-j.html>
- 3) 米澤敏男, 坂井悦郎, 鯉淵 清, 木之下光男, 釜野博臣／エネルギー・CO₂ミニマム(ECM)セメント・コンクリートシステム, コンクリート工学, Vol.48, No.9, pp.69～73, 2010.9
- 4) 竹中工務店, 鹿島建設, 日本スラグセメント・コンクリート技術研究会／建設材料技術性能証明 GBRC 材料証明 第13-11号 改2「高炉スラグ微粉末を高含有する結合材を用いた低発熱・低環境負荷コンクリート工法(改定2)」, (一社)日本建築総合試験所, 2020.4
- 5) 竹中工務店／HP>ソリューション>脱炭素社会に貢献するECMコンクリート® <https://www.takenaka.co.jp/solution/environment/ecm/>
- 6) 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, 2021.9
- 7) 小島正朗, 橋本学, 坂井悦郎／低炭素型コンクリート「ECMコンクリート」- CO₂排出量を削減し高品質・高耐久性を確保 -, 土木施工, 2021Nov., Vol.62, pp.83～86, No.11
- 8) 辻大二郎, 小島正朗, 井上和政, 野口貴文／高炉スラグ微粉末を高含有した結合材を用いたコンクリートの収縮ひび割れ抵抗性の向上に関する実験検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, pp.201～206, 2016.7
- 9) 久我龍一郎, 田中敏嗣, 辻大二郎, 小島正朗, 坂井悦郎／高炉スラグ高含有セメントのアルカリシリカ反応(ASR)抵抗性の検討, 材料施工, pp.343～344, 2016.8
- 10) 佐川康貴, 渡辺総太, 井出貴仁／高炉スラグ微粉末を高置換率で用いたコンクリートの塩化物イオン拡散係数とASR抑制効果に関する研究, 第5回九州橋梁・構造工学研究会シンポジウム論文集, 2017.12
- 11) Kamonratana Siriprapa, 佐伯竜彦, 斎藤豪, 辻大二郎／Study on chloride ion penetration characteristic of concrete containing high-volume replaced blast furnace slag, 第70回セメント技術大会講演要旨, pp.228～229, 2016
- 12) 伊藤是清, 小山智幸, 原田志津男／高炉スラグ高含有セメントを用いたモルタルの耐硫酸および耐硫酸塩性に関する研究, 材料施工, pp.279～280, 2014.9
- 13) 辻大二郎, 小島正朗, 大塚勇介, 野口貴文／高炉スラグ高含有セメントのSO₃量が火災時の爆裂抵抗性に及ぼす影響, 日本建築学会構造系論文集, 2019年, 84巻, 756号 p.119～127
- 14) 竹中工務店プレスリリース／「ECM®カラーコンクリート」を開発, 初適用—高い発色性能を持ち環境負荷低減を実現するコンクリート—, 2020.12.10
- 15) 竹中工務店プレスリリース／脱炭素から『活炭素』へ 次世代コンクリート技術の共同研究を開始, 2021.10.8, <https://www.takenaka.co.jp/news/2021/10/01/>

セメントハンドブック2021年度版 インターネットからご覧下さい



わが国セメント産業のデータ集「セメントハンドブック」は、2018年度版より電子書籍化して公開しております。企業概要・需給状況・流通・原燃料・生産性・関連製品・市況・世界のセメント需給・関連経済指標と多岐にわたり掲載。業界人必須の一冊をお手元の端末で、いつでもどこからでも閲覧可能です。

セメントハンドブック2021年度版
https://www.jcassoc.or.jp/cement/4pdf/jj3h_06.pdf



セメント協会HPはこちら
<https://www.jcassoc.or.jp/>



※本書籍の閲覧およびダウンロードのご利用は無料ですが、別途通信料が発生いたします。

セメント協会

☎103-0023 東京都中央区日本橋本町1-9-4
☎03-5200-5053 FAX03-5200-5062

浮遊選鉱法による 改質フライアッシュを使用した ジオポリマーコンクリート二次製品の開発

高巢 幸二 原田 耕司 陶山 裕樹
櫻井 雄一 合田 寛基 吉田 圭一

1. はじめに

建設業の基幹材料であるコンクリートの二酸化炭素排出量は全世界の総排出量の約8.0%を占めており、わが国では約3.8%(2018年ベース)を占めており、今後、さらなる排出量削減が求められることになる。^{1), 2)} 近年、欧州、アジアを含め世界各国においてセメントに代わる結合材としてジオポリマーが開発されている。ジオポリマーは普通コンクリートの弱点であるアルカリシリカ反応、強酸・高温耐久性に対する抵抗にも優れていることから骨材の枯渇問題への対応や特殊環境での普通コンクリートの代替としての利用も期待されている。ジオポリマーはセメントのような水和反応による硬化機構とは異なり、珪酸錯体の縮重合による硬化機構を生じる。無機高分子で縮重合を起こすには石炭燃焼灰であるフライアッシュや高炉スラグ微粉末のようなアルミナシリ

カ活性フィラーが必要である。フライアッシュを活性フィラーとして使用するには、コンクリートの流動性に悪影響を及ぼすので未燃炭素を3%以下にする必要がある。

近年、地球温暖化の原因として厳しく追及されている石炭発電設備から排出されているフライアッシュは、今後減少の一途を辿ると予想されるが、それでもなお国内で発生するフライアッシュは年間1000万tを超えている。さらに、燃焼管理の問題から未燃炭素含有量が低い高品位なフライアッシュを得ることが難しいため、その約70%がセメント原料として廃棄物処理されている³⁾。今後、フライアッシュをジオポリマーの活性フィラーとして大量に使用できれば、CO₂排出量の大幅な削減とフライアッシュの有効利用に寄与できる。

この問題を解決するために、筆者らは、独自の浮遊選鉱技術を利用してフライアッシュから効果的に

Development of Precast Geopolymer Concrete Products with Modified Fly Ash Slurry by Flotation Method (by TAKASU Koji et al.)



たかす こうじ
北九州市立大学 国際環境工学部建築デザイン学科
教授 博士(工学)



はらだ こうじ
西松建設(株) 技術研究所 主席研究員 博士(工学)



すやま ひろき
北九州市立大学 国際環境工学部建築デザイン学科
准教授 博士(工学)



さくらい ゆういち
日本アイリッヒ(株)
Mixing Technology Unit, Deputy General Manager



ごうだ ひろき
九州工業大学大学院 工学研究院建設社会工学研究系
准教授 博士(工学)



よしだ けいいち
(株)クレハ いわき事業所基礎化学品製造部 部長

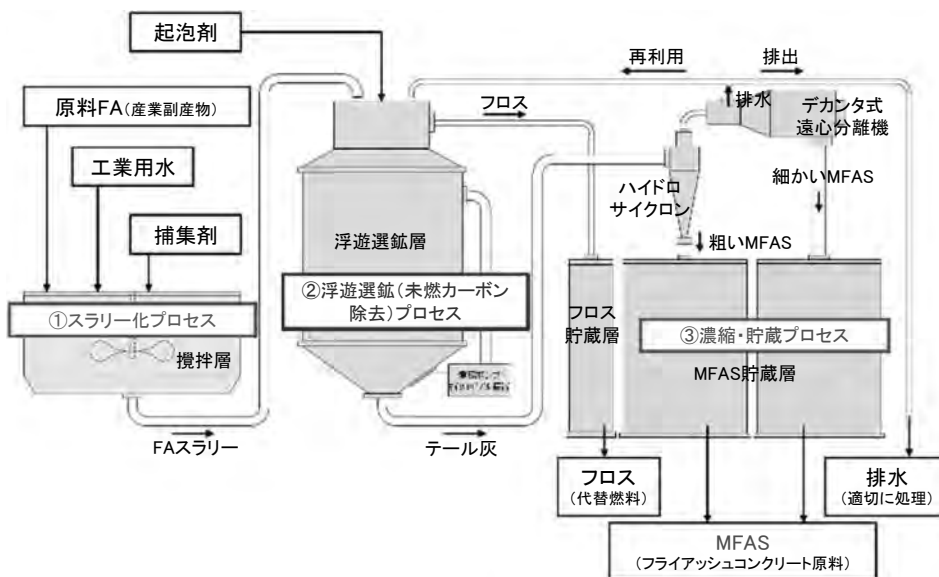


図1 フライアッシュの改質プロセス

未燃炭素を除去する改質技術および装置を研究開発⁴⁾し、テストレベルでのフライアッシュの改質に成功している。本処理プロセスは、フライアッシュに水を加えてスラリー化したのち、未燃炭素を多く含むフロスを発生させ、浮遊選鉱の原理を用いてフロスを分離して回収するという基本技術を用いるものである。本処理プロセスは湿式処理プロセスであり、使用する水はプロセス内で循環使用されるクローズドシステムである。また気化、燃焼用の熱源を使用しないことから消費エネルギーが少なく環境負荷の小さな設備となる。副産物であるフライアッシュから分離回収された未燃炭素はリサイクル燃料として再利用することも検討している。

セメントフリーを実現するジオポリマーは、オーストラリアで大規模な施工実例が見られるが、わが国では大規模な施工事例はまだなく、ジオポリマーを普及させるためには、ジオポリマーの硬化時間を制御するためのブレークスルーが必要不可欠である。

本稿では、低品位フライアッシュを対象とした浮遊選鉱法による改質技術における浮遊選鉱前処理と改質フライアッシュスラリー(MFAS: Modified Fly Ash Slurry)濃縮技術の開発およびジオポリマーコンクリートの二次製品製造の実証例について紹介する。

2. 浮遊選鉱法による改質技術の開発

2-1. 改質装置の構築

フライアッシュを浮遊選鉱法によって改質してジオポリマーコンクリートの活性フィラーとして使用するには脱水設備が必要となる。安価な脱水処理設備としてハイドロサイクロンを用いて検証したが、脱水性能としては目標の40%以下は達成したものの、回収率が極端に低く(40~60%程度)、脱水濃縮設備としては採用に至らなかった。ただしジオポリマーコンクリート製造で粒子径がある程度揃った方が性状が向上する可能性があるため、ハイドロサイクロンは分級機能に特化して使用することとした。

一方、脱水濃縮設備として、次なる候補であるデカンタ式遠心分離機について検討したところ、高い脱水性能および固形分回収率を達成したことから、本機構をプロセスに組み込むこととし、運転条件の適正化を図った。

高効率な未燃炭素の剥離が可能な攪拌装置と条件を研究開発し、攪拌時間を短縮するプロセスを構築するため、高い均一攪拌能力を持つアイリッヒインテンシブミキサーを用いて検証したところ、3分以下の短時間で十分な灯油の混合ができることを確認できた。さらに浮遊選鉱プロセス全体の中で比較的高価な添加剤である灯油の削減を目的として、2種

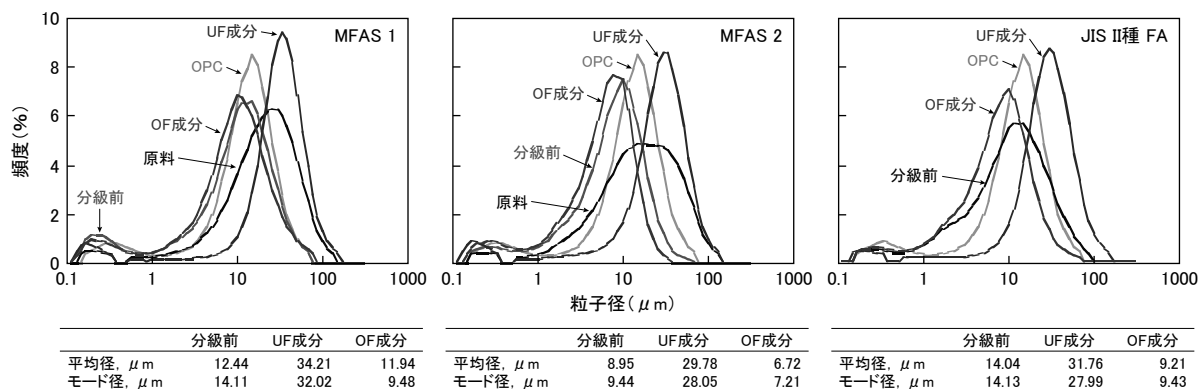


図2 分級されたMFASの粒度分布

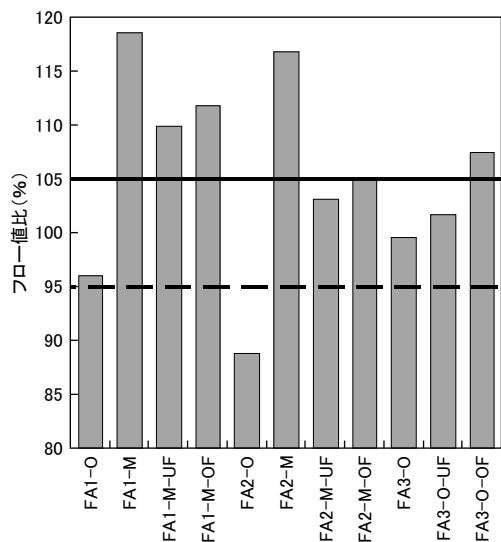


図3 分級前後のフロー値比

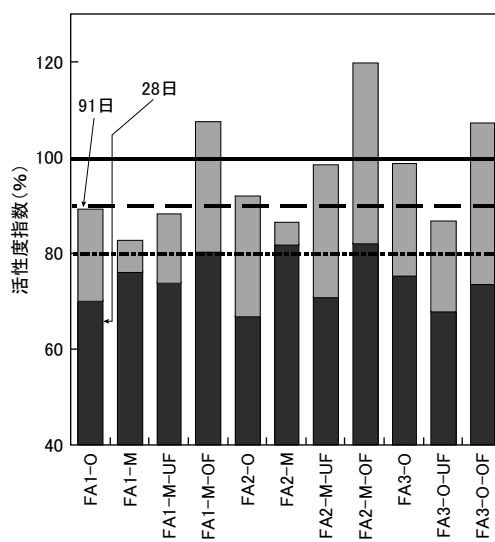


図4 分級前後の活性度指数

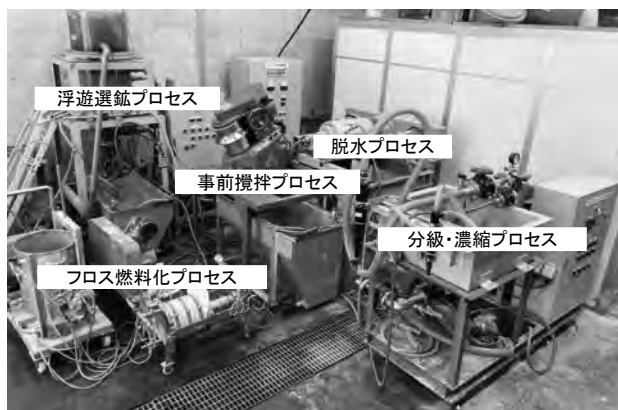


写真1 フライアッシュ改質ラボー貫装置

のフライアッシュに対して灯油添加量を最小限に抑えられるミキサ運転条件を見出した。またこれらは原料であるフライアッシュの何らかの性状に影響されることもわかった。

構築した本改質装置のラボー貫プラントを写真1、改質プロセスを図1に示す。ラボ上で構築した一貫設備は基本的に手動での操作となっているが、各プ

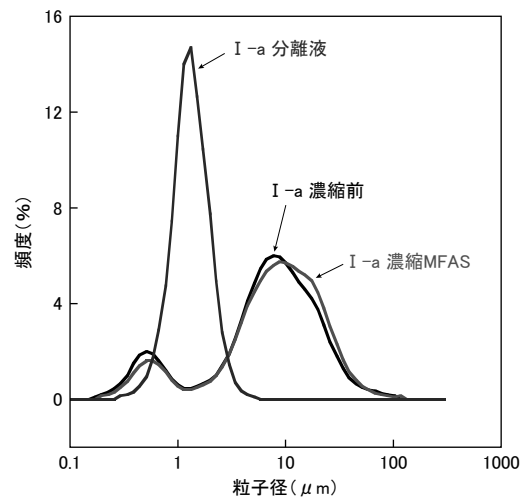


図5 濃縮処理前後のMFASの粒度分布

ロセス個別の機能やプロセス間の接続に大きな問題はなかった。また実機化を見越した自動化を視野に入れてレベル計や流量計を組み込んで検証したが、いずれも正しい数値を安定的に示しており、自動化への目処も立てることができた。

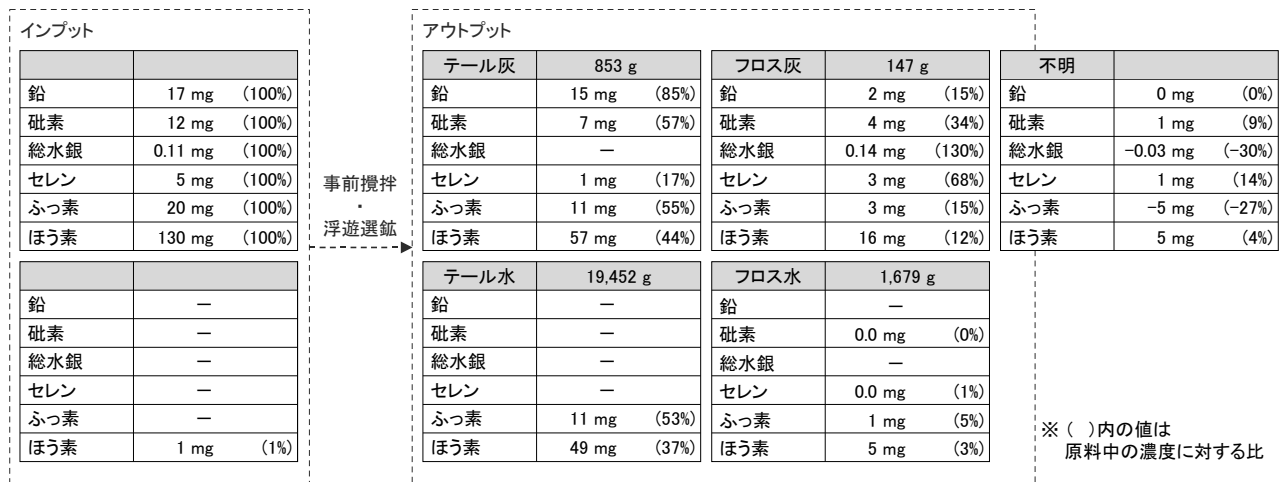


図6 浮遊選鉱処理前後の重金属成分のマテリアル

2-2. 改質フライアッシュスラリーの性状

ハイドロサイクロンで分級処理されたMFASの粒度分布を図2に示す。得られたUF成分(ハイドロサイクロン分級機のアンダー排出分で粒径の大きな粒子を回収できる傾向がある)およびOF成分(ハイドロサイクロン分級機のオーバー排出分で粒径の小さな粒子を回収できる傾向がある)の粒径は、処理前のMFASに関わらず、おおむね同等の値を示した。この結果から、ハイドロサイクロンを用いてMFASを分級することで、UF・OFごとに取り出される成分の粒度分布をおおむね均一化できることが示唆された。MFASのフロー値比は、図3の通り、原料より高く、JIS I種相当の水準まで向上する場合があることが認められた。MFASを使用することでジオポリマーコンクリートのフレッシュ性状が向上することが示唆される。一方、ハイドロサイクロンで分級処理されたMFASのフロー値比が、処理前のMFASから増加する傾向は認められなかった。しかしながら、UF成分とOF成分に分級することで、ジオポリマーコンクリートの構成材料の粒度分布が調整できるため、流動性の管理が可能になると言える。MFASの活性度指数は、図4の通り、原料より高い値を示した。そのうえで、ハイドロサイクロンで分級処理されたMFASのOF成分の活性度指数は増加傾向を示し、UF成分の活性度指数は分級処理前から減少するものの、JIS II種相当の水準を保った。

デカンタ式遠心分離機で濃縮される前後の

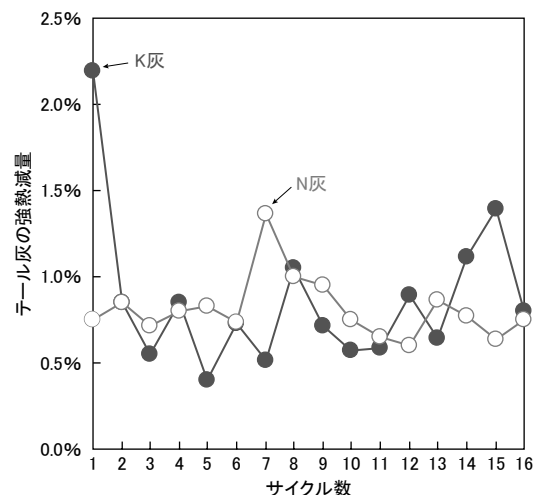


図7 テール灰の強熱減量

MFASの粒度分布の変化を図5に示す。粒径の小さい粒子が分離液に混じって排出されたことが確認された。しかしながら、分離液に含まれる粒子の量が、MFASの脱水ケーキとして分離された成分に対して顕著に少ないため、MFASの粒度分布は処理前後でほとんど変化しなかった。

浮遊選鉱処理前後の重金属成分を測定し、得られたマテリアルバランスを図6に示す。なお、カドミウム、全シアンおよび六価クロムについては、原料の濃度が定量下限未満であった。浮遊選鉱処理を通じて原料フライアッシュが約85%のテール灰と15%のフロス灰に分離された。これに対して原料中の鉛は、発生割合とほぼ同じ割合でテール灰とフロス灰に分離され、液系(テール水およびフロス水)にほとんど溶出しなかった。砒素、総水銀およびセレンについては、フロス灰の含有量が発生割合を超えて増

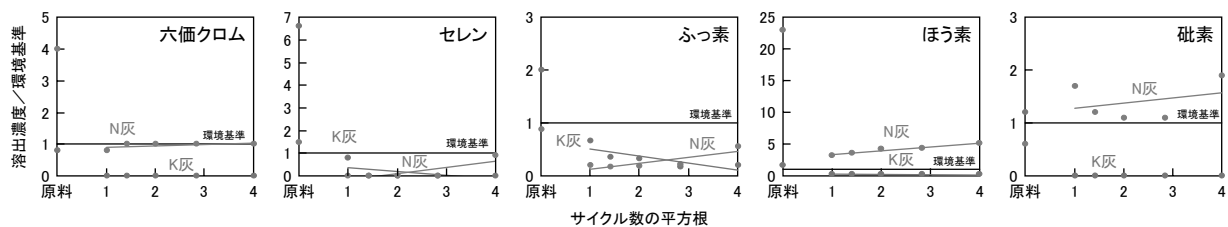


図8 テール灰の重金属成分の溶出濃度

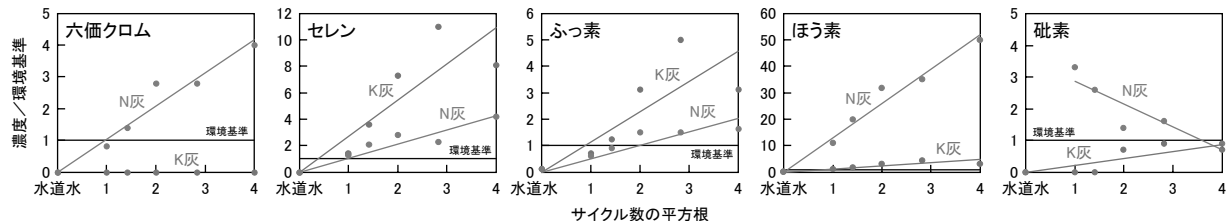


図9 処理水の重金属成分の濃度

表1 使用材料

材料種別	略号	材料説明	密度
			g/cm ³
アルカリ溶液	GPS-A	汎用品 (夏期)	1.40
FA (原灰)	FA	強熱減量 9.7%	2.09
FA (改質灰)	FA-R	強熱減量 0.9%	2.16
高炉スラグ微粉末	BFS	NS 産	2.91
細骨材	S (GP)	北部九州海砂	2.56
粗骨材	G (GP)	北部九州碎石	2.70

表2 配(調)合

Sol/P	BFS/P	W	GPW	FA-b	BFS	S	G
%		kg/m ³					
48	30	87	165	369	158	550	878

表3 フレッシュ特性

項目	空気量 (%)	フロー (mm)	可使時間 (分)
300L	1.8	607	35

加し、テール灰の含有量が減少した。これら3成分は、フロス灰に選択的に分離されることで、製品となるテール灰から減少したといえる。ふっ素およびほう素は、40%～58%が液系に移動していた。両成分は処理水に溶解することでテール灰から減少したといえる。

処理水を繰返し再利用した場合、図7、図8の通り、サイクル数が製品(テール灰)の強熱減量に与える影響が認められず、MFASからの重金属成分の溶出量は基本的に原料より抑制された。重金属成分の処理水中の濃度の推移を図9に示す。同図では横軸にサイクル数の平方根をとり、縦軸に環境基準(環告59号)に対する濃度の比をとっている。六価クロム、セレン、ふっ素およびほう素の濃度はサイクル数を重ねるごとに増加し、その増加量はサイクル数の平方根と比例関係にあった。このことから、処理水をリサイクルするとき、サイクル数を大きく設定するほど、1回の処理あたりの重金属成分の濃度の増加量を低減できるといえる。例外的に、N灰から

溶出した砒素の濃度は、1サイクル目で増加した後、減少し続ける傾向を示した。以上の実験結果から、処理水をなるべく繰返し再利用し続けることがコスト面から望ましく、システム外に処理水を排出しないことが最良の処理方法として結論づけられた。

3. MFASジオポリマーコンクリートの製造

500Lミキサで300Lの常温硬化型ジオポリマーを作製したさいの材料特性を検討した。ここで、MFASは、スラリー、ケーキ、乾粉の3状態のうち、環境性と材料特性を勘案した上で、ケーキの状態で使用することが最良であることが分かった。作製段階では、大型供試体を想定した配(調)合について、300Lのコンクリートを冬期開放屋内にて作製した。表1に使用材料を、表2に実用性を検討した大型ミキサ(500L)使用時の配(調)合を示す。練混ぜ時の気温は14℃であった。

表3に、フレッシュ性状に関わる試験結果を示す。フレッシュ性状は、空気量が1.8%、スランプフロー

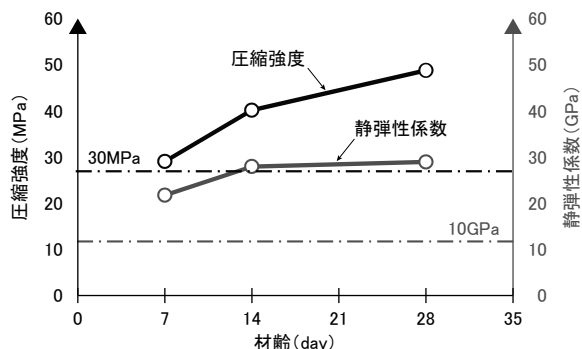


図10 圧縮強度および静弾性係数

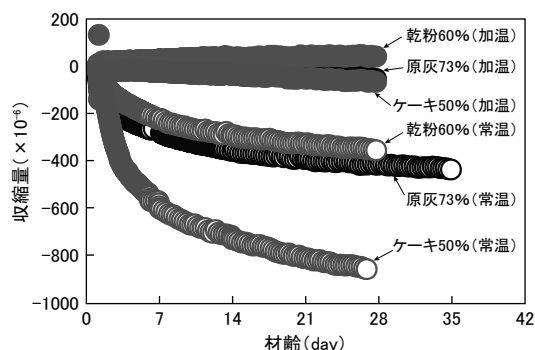


図11 自己収縮

が607mm，可使時間が35分を示し，目標性能を満足した。スランプフロー試験時に，材料分離は確認されず，空間的に均質であった。

図10に，材齢7日，14日，28日における圧縮強度と静弾性係数試験結果を示す。同図より，圧縮強度，静弾性係数ともに，7日時点で30MPa，10GPaをそれぞれ満足した。圧縮強度は，28日時点で約50MPaを示し，現場打ちセメントコンクリートの要求性能を十分に満足する成果が得られた。

図11に，自己収縮試験結果を示す。同図より，加温硬化型は，いずれも加温養生終了後の収縮はほとんど見られない。一方，常温硬化型では，材齢28日にかけて徐々に収縮していることがわかる。加温，常温硬化型ともに，いずれも目標値の0.1%未満となった。耐硫酸抵抗性では，浸漬後の質量，容積変化は2%以内，圧縮強度は浸漬前の約80%であった。中性化試験では，56日時点の中性化深さが，常温養生で45mm(90%)を示し，中性化抑制の向上のために，表面含浸材の塗布等の使用が挙げられる。

MFASジオポリマーコンクリートの重金属溶出特性について検討した。同試験では，円柱供試体を

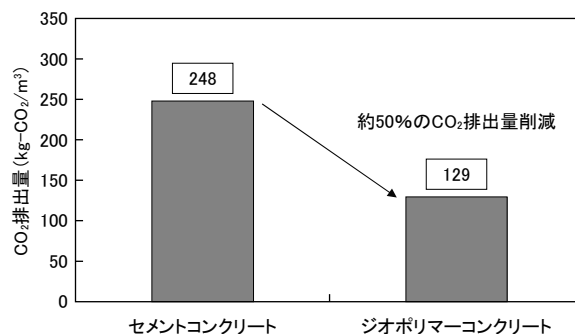


図12 CO₂排出量

表4 重金属の溶出試験結果(単位mg/L)

試料名	常温硬化型	加温硬化型	基準上限値
カドミウム	0.005 未満	0.005 未満	0.01
全シアン	0.1 未満	0.1 未満	不検出
鉛	0.005 未満	0.005 未満	0.01
六価クロム	0.02 未満	0.02 未満	0.05
砒素	0.006	0.013	0.01
総水銀	0.0005 未満	0.0005 未満	0.0005
アルキル水銀	0.0005 未満	0.0005 未満	不検出
セレン	0.005 未満	0.005 未満	0.01

円盤状に切り出した試験片を対象に浸漬期間28日のタンクリーチング試験を実施し，浸漬後の溶液を環告46号に準じて測定した。表4に重金属溶出試験結果を示す。常温硬化型では，全ての重金属で基準上限値未満であった。一方，70℃18時間の養生により作製した加温硬化型では，砒素を除いた7種の重金属で基準上限値未満であった。砒素については若干量ながら基準上限値以上となっているが，製造した部材をただちに解体することなどがあれば注意が必要になるが，実部材の供用では実質上問題はないと考えられる。

環境面および各種耐久性の検討を行った。圧縮強度30N/mm²レベルの配(調)合では，図12に示すように，ジオポリマーコンクリートのCO₂排出量は，普通コンクリートのCO₂排出量に比べ約50%削減効果があることを確認した。

次いで，実規模のミキサでのジオポリマーコンクリートの練混ぜを行い，課題等の検討を行った。図13にMFASジオポリマーコンクリートの製造システムイメージを示す。実規模のミキサを用いたMFASを材料とするジオポリマーコンクリートの



図13 MFASジオポリマーコンクリートの製造システムイメージ

二次製品である緑石を製造して原灰排出元の工場に施工し、実用化が可能であることを確認した。

4. 科学的意義と環境対策への貢献

本研究開発によって産業廃棄物として排出されたフライアッシュを改質したMFASを使用して、実大規模のミキサを用いてセメントフリーなジオポリマーコンクリート二次製品である緑石を製造して、フライアッシュ排出元発電施設周辺に施工することによって、実用化を実証した。また、フライアッシュから未燃炭素を除去・改質することによってジオポリマーコンクリートの活性フィラーとして活用できることを示し、従来のコンクリート製品よりCO₂排出量を50%削減した。道路用コンクリート製品4128万m³/年を本製品に置き換えると約15万t/年のCO₂削減が可能となる。MFASをジオポリマーコンクリートに適用し、普通コンクリートの30%を置換できれば日本の年間CO₂排出量を0.75%削減可能であり、本技術によって産業廃棄物を積極的に使用し資源循環を促進できる。さらに、コンクリートのCO₂排出量を抑制し地球温暖化の抑制に貢献できると共にパリ協定の削減目標の一部となし、気候変動対策への貢献が示唆できた。

本技術の科学的意義のひとつは、ハイドロサイクロンとデカンタ式遠心分離機を用いることで水分濃度90%前後のMFASをジオポリマーコンクリートに利用可能な水分濃度25%前後まで濃縮して高品位化



写真2 環境大臣表彰状

する技術を確認した点である。さらに、フライアッシュに含まれている重金属を改質によって砒素以外は大きく低減可能であり、処理工程で使用する水を16回再利用しても製品(MFAS)に重金属が蓄積されないことを実験により確認し、改質工程がフライアッシュ中の重金属除去の一翼を担う機能を明らかにした点も科学的意義のひとつといえる。フライアッシュを改質する技術およびジオポリマーコンクリートは今後も火力発電が見込まれるアジア地域の適用が有望であり、本技術の適用によってジオポリマーコンクリートおよびフライアッシュの改質技術を発展途上国地域に輸出可能になると考えられる。

フライアッシュが有価物として取り扱われている割合はわずか2.1%であり、その他は質的な問題から処理費を排出側が支払う産業廃棄物として処理されている。本技術によってフライアッシュのような産業副産物をセメント製造に伴う粘土代替として焼成処理せずに、低環境負荷な改質によってコンクリート材料として大量に使用できる可能性が示唆でき、新たな価値創出により地域に根ざすコンクリート産業の活性化に貢献できると考えられる。建設は天然資源を膨大に消費する産業であり、天然資源の枯渇が危惧されており、すでに西日本地区ではコンクリート用細骨材の確保が難しい状況であるが、本技術の製品対象であるMFASは、細骨材の代替として最適な材料であり天然資源の消費抑制に対しても貢献可能であると考えられる。

5. おわりに

本研究成果によって「令和2年度気候変動アクション環境大臣表彰」を受賞した(写真2)。

パリ協定の目標達成に向けてわが国も2050年までに温室効果ガスを実質ゼロにするカーボンニュートラルの実現に向けて舵を切り、フライアッシュを排出する石炭火力発電はクロージングを迎える可能性がある。しかしながら、アジア地域ではフライアッシュの発生が、今後しばらく続くことが予想されるので、本技術の完全実用化を目指すとともに、再生可能エネルギーの活用によって排出される木質バイオマス燃焼灰等に本技術を適用し、資源循環を通じ

て地域循環共生圏の創造に寄与していきたい。

なお、本研究の成果は環境再生保全機構環境研究総合推進費(JPMEERF20173003)で得られたものである。

[参考文献]

- 1) 国立環境研究所地球環境研究センター／日本国温室効果ガスインベントリ報告書2021年，2021.4
- 2) セメント協会／環境にやさしいセメント産業2020，2020.11
- 3) (一財)石炭エネルギーセンター／石炭灰全国実態報告書(平成30年度実績)，2020.3
- 4) 高巢幸二，陶山裕樹，小山田英弘／浮遊選鉱法によるフライアッシュ中の未燃炭素除去およびそのフライアッシュスラリーを使用したコンクリートの特性に関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集，第79巻，第697号，pp.331～340，2014.3

— 今月の推薦図書 —

土工構造物における性能設計の実務と展望

性能設計・土工技術検討会 編

2021年10月発行／B5版328頁

発行：丸善プラネット(東京都千代田区神田神保町2-17)

税込定価：3,300円

本書は、土工構造物の性能設計における基本的な考え方、国際的な動向、国内外での実施例の最新情報を紹介している。土工構造物に特有の多様で複雑な全体像ゆえの対応の難しさと向き合いながら、合理的で性能の高い土工構造物を自由度高く設計するためのノウハウや今後の展望までを俯瞰的にとらえることができていう実用書と言える。

現実には土工構造物の性能設計の実現は、まだまだ技術的な課題が山積しているものの、最前線で活躍する技術者でもある執筆陣が心血を注いで書き下ろしたことで、充実の内容が満載となっている。土工構造物の性能を評価し、究めるための地盤工学が今後目指すべき方向と解決方法の一端が示されている。

【内容目次】1章 はじめに一土工構造物の性能設計を実現させるために 2章 性能設計・信頼性設計の概念と土工構造物 3章 鉄道関係の土工構造物における性能設計の現状と課題 4章 AASHTOにおける補強土壁の荷重抵抗係数設計法 5章 土工構造物の地震時の性能の評価と性能設計 6章 性能設計と性能施工 7章 フランスにおける盛土の施工管理—性能施工— 8章 性能設計と維持管理 9章 軟弱地盤対策における変形照査設計の実務 10章 ジオシンセティック補強土壁の性能設計確立への取り組み 11章 今後の課題&謝辞



複写についてのお願い

セメント協会は下記協会に複写に関する権利委託をしております。本誌に掲載された著作物を複写したい方は、同協会より許諾を受けて複写して下さい。ただし(公社)日本複製権センター(同協会より権利を再委託)と包括複写許諾契約を締結されている企業の社員による社内利用目的の複写はその必要はありません(社外頒布用の複写は許諾が必要です)。なお、著作物の転載・翻訳などの複写以外の許諾は、直接セメント協会広報部門(☎03-5200-5055)へご連絡下さい。

連絡先：(一社)学術著作権協会 ☎170-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル
☎03-3475-5618 ☎03-3475-5619 E-mail：info@jaacc.jp

プロローグ： 脱炭素化社会を目指す新技術

下坂 建一

1. 気候変動と温室効果ガス

気候変動に関する政府間パネル第5次評価報告書(2013～2014年)は、「20世紀半ば以降観測されている温暖化の主な原因は、人間の影響である可能性が極めて高い」と結論づけた。人間の影響で最も大きいのは、二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)などの温室効果ガスの排出である。

2020年以降の気候変動問題に関する国際的枠組みを定めたパリ協定(2017年)では、(1)世界の平均気温上昇を産業革命以前に比べて2℃より十分低く保ち1.5℃に抑える努力をすること、および、(2)そのためにできるだけ早く世界の温室効果ガス排出量をピークアウトさせ、21世紀後半には温室効果ガス排出量と(森林などによる)吸収量のバランスをとること、の二つを世界共通の長期目標とした。これを受け、多くの各国政府が「2050年における温室効果ガス排出量実質ゼロ」の目標を掲げるに至っている。

2. これまでのセメント産業の取組み

わが国のセメント産業は、セメントの安定供給と資源循環型社会の構築に貢献する一方で年間約43百万tの二酸化炭素を排出している。ポルトランドセメントを1t製造するさいの二酸化炭素排出量は、

石灰石由来が480kg/t、エネルギー(熱および電気)由来が290kg/t、合計770kg/tであり、その大半は中間製品であるクリンカーの製造に由来している。

こうしたことから、わが国セメント産業は日本経済団体連合会の提唱する環境自主行動計画(1997年)および低炭素社会実行計画(2013年)に参画し、生産設備の省エネルギー化および消費エネルギーの低炭素化(可燃性廃棄物・バイオマス燃料の利用)などを通じたセメント製造用エネルギー原単位の低減に取り組んできた。その結果、いずれの計画においても目標を上回る成果を達成してきた。しかし、こうした努力にもかかわらず、セメント産業における「温室効果ガス排出量実質ゼロ」が将来において実現可能であるとは言えない状況にある。

3. 二酸化炭素排出削減技術

こうした状況を受け、今日、多くの研究者・技術者らがセメントおよび関連産業における二酸化炭素排出量削減に向けた積極的・野心的な研究開発に取り組んでいる(表1)。これらの技術は、課題解決手段だけでなく、想定される実現時期もさまざまである。実現時期に関しては、それぞれのお立場から賛否あると思うが、技術そのものの難度だけでなく、規格・規制の有無、商慣行、コスト、原料供給など前提条件の持続性および他の技術の進展に対する依

表1 セメント分野における二酸化炭素排出削減策

	(A)現在～中期的	(B)長期的
(1)プロセス	既存プロセスの低炭素化(省エネルギー化) ①既存生産設備高効率化 ②クリンカー低温焼成	CO ₂ 分離・回収・利用(CCU)による脱炭素化 ①分離・回収：化学吸収・物理吸収 ②利用(a)：鉱物化とその活用 ③利用(b)：コンクリートでの鉱物化 ④利用(c)：骨材化 ⑤利用(d)：メタネーションその他
(2)エネルギー	エネルギーの低炭素化 ①廃プラスチック・バイオマス活用 ②天然ガス燃焼	脱炭素エネルギーの活用 ①メタン燃焼 ②アンモニア燃焼
(3)素 材	既存素材の低炭素化 ①ポルトランドセメントの少量混合成分増量 ②混合セメント(特に高炉セメント)普及拡大 ③ECM ④γ相ビーライト	新素材による低炭素化・脱炭素化 ①ジオポリマー ②高硫酸塩スラグセメント ③β相ビーライト
(4)評価・制度	温暖化ガス排出量に関する評価・制度 ①二酸化炭素排出量 ②カーボンフットプリント ③排出権取引	セメント産業の多面的価値の評価 ①被害算定型環境影響評価

存度などを考慮した。

とはいえ、カーボンニュートラルの実現時期とされている2050年の社会・経済情勢を現時点で正確に予測することは極めて困難である。したがって、表1は現時点でのまとめ方のひとつの例に過ぎない。また、同じ理由により、脱炭素化・低炭素化に関する研究開発には、今のところはあまり予断を持たずに多様性を尊重すべきであろう。

4. 本連載の目指すもの

この連載は、本誌900号を記念し、低炭素化・脱炭素化に関する研究開発の現状を紹介するものである。今のところは表1に列記した技術が対象になると考えられるが、先ほども述べた通り、不確実な未来に向けた発展途上の技術も対象となるため、この通りの連載になるとは限らないことをあらかじめおことわりしておきたい。すなわち、当初の計画になかった技術が掲載の対象となることや、当初計画されていた技術が掲載の対象から外れてしまうこともあるかもしれない。また、多くの記事では、現在進行形の話として、技術の原理や研究開発の成果だけでなく、普及のための前提条件や今後の課題・目標にも言及されることになろう。

この連載では、こうしたことも含めて現在の研究者・技術者の取組みを活写し、同時代を生きる各分野の読者にこの分野のダイナミズムをお伝えしたい。そして、志ある若き研究者・技術者が、この分野に参入するきっかけとなれば幸いである。

各国がカーボンニュートラルの実現時期として見定めている2050年、本誌は1200号を超えているはずだ。その時代の読者が、900号の時代を振り返ったとき、この連載は彼らの目にどのように映るであろうか。今日の研究者・技術者らの取組みが彼らの時代へとつながり、セメントおよびその関連産業が人々の安全・安心を支えていると実感してもらえていることを切に祈る次第である。



しもさか けんいち
三菱マテリアル(株)セメント事業カンパニー 海外部
上席技術主幹 博士(工学)

*

*

*

第53回 セメント協会 研究所講演会 ご案内

(一社)セメント協会 研究所では、セメント・コンクリートに関する学術研究、新技術などに関する知見を普及、啓蒙させることを目的として、「セメント協会 研究所講演会」を開催しております。

今回は、セメント・コンクリートに関する最近の研究報告を3件、セメント協会 研究所の活動成果報告を2件の幅広い内容でご講演を頂きます。

関係各位お誘いのうえ、ご参加下さいますようご案内申し上げます。

日 時：2022年3月15日(火)13時00分～16時50分

開催形式：会場とオンライン(ハイブリッド)

会場場所／(一社)セメント協会 研究所(東京都北区豊島4丁目17番33号)

オンライン／お申込み後、ご登録頂いたメールアドレスに参加情報(Cisco Webex)を送信致します。

プログラム：

1.セメント・コンクリートに関する最近の研究報告

- ・セメント製造における廃棄物・副産物の資源化を表す環境指標

河合 研至 氏 (広島大学大学院 先進理工系科学研究科 教授)

- ・環境配慮型建築材料の開発と課題

小山 明男 氏 (明治大学 理工学部 教授)

- ・社会環境材料としてのセメント系材料の可能性と最近の研究

大宅 淳一 氏 (日本大学 理工学部 助教)

2.セメント協会 研究所の活動成果報告

- ・セメント系固化材による地盤改良マニュアル〔第5版〕のポイント

泉尾 英文 ((一社)セメント協会 研究所 コンクリート研究グループ サブグループリーダー)

- ・早期交通開放型コンクリート舗装1DAY PAVE製造施工マニュアル〔第2版〕のポイント

岸良 竜 氏 (太平洋セメント(株) 中央研究所 第2研究部 主任研究員)

定 員：会場50名(定員になり次第、締め切らせて頂きます。オンラインの定員はございません。)

※新型コロナウイルスの感染状況により会場の定員を変更する場合があります。

参 加 費：無 料

申込方法：下記の〔研究所講演会〕の申込方法より「申込み」をクリックし、入力フォームより必要事項をご入力ください。

入力が完了しましたらご登録頂いたメールアドレスに入力情報およびオンライン参加情報(Cisco Webex)が送信されますので内容をご確認ください。

セメント協会ホームページ

<https://www.jcassoc.or.jp/>

[トップページ] > [イベント・募集] > [研究所講演会]

問 合 せ 先：(一社)セメント協会研究所 技術情報グループ 研究所講演会係

TEL 03-3914-2692 FAX 03-3914-2690 E-mail: jca_event@jcassoc.or.jp

Blue
Carbon

Green
Carbon

White
Carbon



脱炭素社会に向けて
いま私たちが出来ること

あしたのものがたりへ



安藤ハザマ
HAZAMA ANDO CORPORATION