

「コンクリートのカーボンニュートラルに関する技術紹介」

1. はじめに

地球温暖化に影響を及ぼす温室効果ガス、特に、二酸化炭素（以下 CO₂）排出量の低減は、世界規模での共通認識である。日本政府は2020年10月の臨時国会で、成長戦略の柱に経済と環境の好循環を掲げ、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」に挑戦し、脱炭素社会の実現を目指すことを宣言した。カーボンニュートラルをわかりやすくまとめると「温室効果ガス排出量をできるだけ削減し、削減できなかった温室効果ガスを吸収または除去することで実質ゼロにすること」になる。温室効果ガス排出量を削減することが難しい分野もあるため、できるだけ削減努力をした上で、どうしても排出される温室効果ガスを何らかの手段によって実質ゼロにするというのが、カーボンニュートラルの基本的な考え方である。

建設業界においては、CO₂の排出量が多く、コンクリート関連産業では、セメント製造時に由来するCO₂排出量は大量で国全体の約5%に達している。構造材料としても使用料が多いコンクリート分野においては、CO₂排出量の低減といった取り組みは重要となる。カーボンニュートラルを実現するためにコンクリート業界が担うCO₂排出量の削減は、混和材等の副産物の利用だけでは不十分であり、セメント製造時のCO₂の分離・回収、そして回収したCO₂の再利用、さらにコンクリートへCO₂を吸収・固定化することにより、CO₂排出量を抑える等、新たな技術開発が始まっている¹⁾。

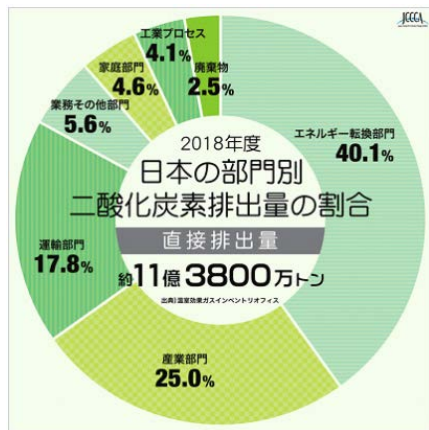


図1 CO₂ 排出割合²⁾

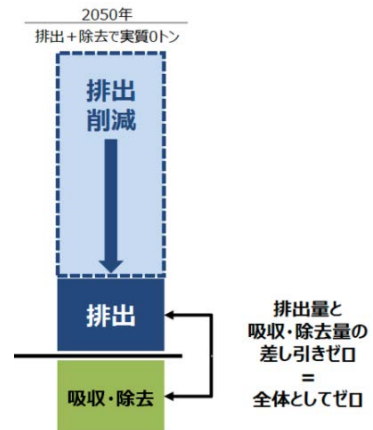


図2 温室効果ガス排出データ³⁾

1) コンクリート工学, Vol.59, No.9, pp.729-732, 2021.9

2) <https://www.jcassoc.or.jp/seisankankyo/seisan02/index.html> (検索日:2022年2月11日)

3) https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/carbon_neutral_01.html (検索日:2022年2月11日)

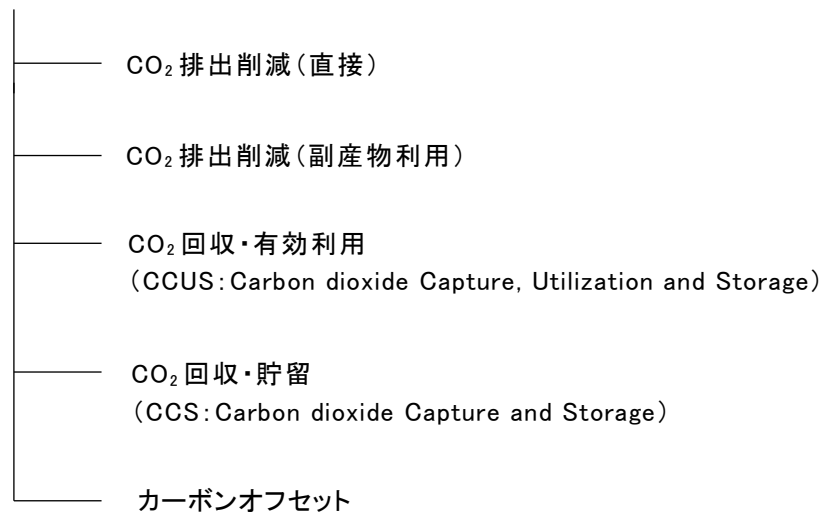
2. CO₂ 排出削減の方法⁴⁾CO₂ 排出削減の方法

図 3 カーボンニュートラル化の方策

CO₂ 排出削減の方法を大別すると下記の 5 つの方法がある。

(1) CO₂ 排出削減(直接)

元より使用している燃料・原料を転換により燃料・原料そのものの使用料を低減する方法である。

(2) CO₂ 排出削減(副産物利用)

産業副産物などを混和材に置換し、コンクリート中のセメントクリンカー量を削減して、CO₂ 排出削減する方法である。

(3) CO₂ 回収・有効利用(CCUS: Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage)

火力発電所や工場などからの排気ガスに含まれる CO₂ を分離・回収し、資源物として作物生産や化学製品の製造に有効活用する方法である。

(4) CO₂ 回収・貯留(CCS: Carbon dioxide Capture and Storage)

化石燃料の燃焼排ガスなどに含まれる CO₂ を分離・回収して地中に貯留する技術であり、化石燃料の使用を継続しつつ CO₂ 排出削減を行う方法である。

(5) カーボンオフセット

企業活動や商品製造時によって排出してしまう温室効果ガス排出量のうち、どうしても削減できない量の全部または一部を、他の場所で排出削減・吸収量でオフセット(埋め合わせ)する方法である。

4) コンクリート工学, Vol.59, No.9, pp.732, 2021.9

3. 事例

3.1 CO₂ 排出削減(直接)

(1)スラグ固化体⁵⁾

奥村組土木興業などが開発した「スラグ固化体」では、産業副産物である鉄鋼スラグを使って製造時の二酸化炭素をほぼゼロにできる点が特徴である。

奥村組土木興業が重力式擁壁のコンクリートを、自社の工場内に打設した。見た目は通常のコンクリートだが、配合した材料は特殊で、セメントを全く使用しておらず、骨材や結合材はすべて産業副産物である鉄鋼スラグを使用している。加えてこれらを練るのに真水ではなく、海水を使っている。

図4に構成材料を示す。原材料の製造過程で発生する二酸化炭素を一般的なコンクリートと比べて、最大で99%削減できる。水和反応を促すセメントを使わないため、強度の確保が課題だった。当初、水酸化ナトリウムの刺激材を混ぜる必要があると考えていたが、実験過程で、強度の発現に若干の遅れはあるものの、海水だけでも十分だと分かった。海水中の塩化物イオンが早強性に、硫酸イオンが強度増進に効いているとみられている。

スラグ固化体はコンクリートの代替品としてだけでなく、長所を生かせば、既存のコンクリートとすみ分けできると考えている。スラグ固化体といえば、原料の製造時に排出するCO₂をほぼゼロにできる点に注目が集まりがちだが、実はほかにも大きな特徴がある。高い流動性を持ち、練り混ぜ時から120分間、スランプロスがなない点である。



図4 構成材料⁵⁾

5) 日経コンストラクション pp.36-37 2021.7.21

3.2 CO₂ 排出削減(副産物利用)

(1)ECM コンクリート⁶⁾

ECM コンクリートは、セメントの 60～70%を鉄鋼製造の際の産業副産物である高炉スラグ微粉末に置き換えることで、コンクリートの CO₂ 排出量を 6～7 割削減できるコンクリートである。エネルギー・産業技術総合開発機構(以下、NEDO)の研究開発プロジェクトとして、1 大学 7 企業の ECM 研究開発チームで行ってきた。

ECM コンクリートに用いる結合材の材料構成を図 5 に示す。図 6 に CO₂ 排出量の比較、図 7 に収縮ひずみの結果、図 8 に断熱温度上昇量測定結果を示す。高炉スラグ微粉末の置換率を高めると、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など、コンクリートの品質上の問題が生じる。そこで、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、少量混合成分(主として石膏)の種類と量の最適化を行うと共に、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材を開発することで、これらの課題を解決している。従来のコンクリートに比べ、材料由来の CO₂ 排出量を約 60%削減できる、独自のセメント成分の最適化により、ひび割れの原因となる収縮を 3～4 割低減できる、コンクリート打設時の発熱量が少ないため、温度ひび割れのリスクが低減できる、地中に含まれる塩分や酸に対しても高い耐久性を有しているといった特徴がある。

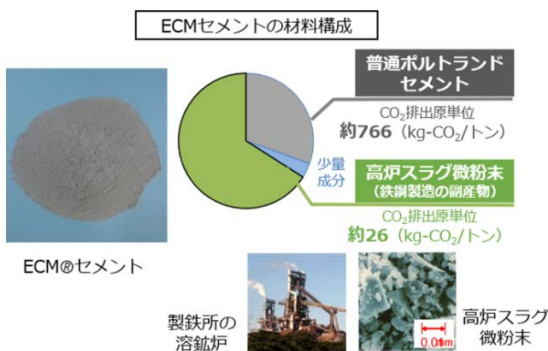


図 5 ECM セメントの構成材料⁶⁾

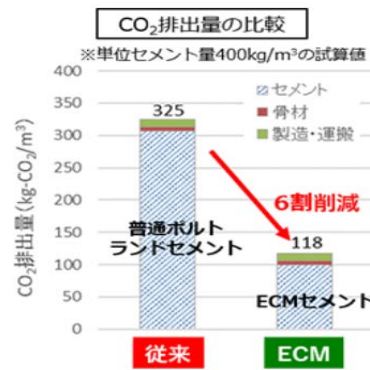


図 6 CO₂ 排出量の比較⁷⁾

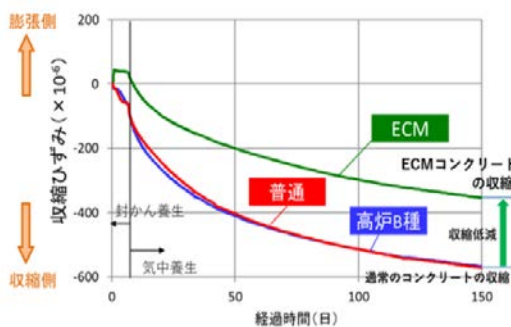


図 7 収縮ひずみ結果⁷⁾

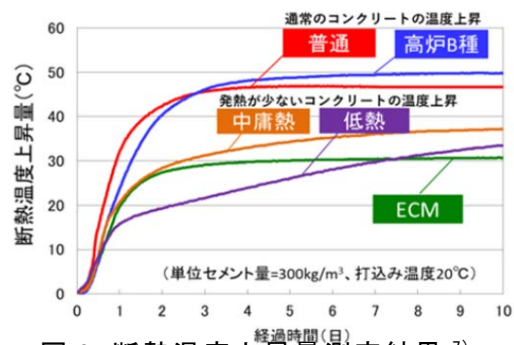


図 8 断熱温度上昇量測定結果⁷⁾

6) コンクリート工学, Vol.59, No.9, pp.776-781, 2021.9

7) <https://www.takenaka.co.jp/solutio/environment/ecm/> (検索日:2022年2月11日)

(2) ジオポリマーコンクリート⁸⁾

ジオポリマーは、石灰火力発電所で排出されるフライアッシュや、銑鉄の際に発生する高炉スラグ微粉末などの産業副産物を活性フィラーとして大量に使用でき、かつセメントクリンカーを一切使用しないため、一般的なコンクリートと比較して、80%の二酸化炭素排出の削減が可能な、環境負荷の低減に対して優れた材料である。そのため、低炭素社会の推進や資源循環型の実現など社会貢献度が高い技術として期待されている。

また、ジオポリマーは、養生条件をコントロールすることにより、短時間で高い強度を得ることができ、かつ性能を効果的に引き出すことができる材料である。セメント系材料にはない高いイオン交換性能や耐薬品性を有することから、昨今、これらジオポリマーの持つ特性を活かして、鉄道まくら木や酸性土壌における歩道境界ブロックなど、プレキャスト製品を中心とした活性が進められている。

ジオポリマーの構成材料は、活性フィラーとアルカリ溶液に大別される。ここに細骨材を加えたものをジオポリマーモルタル、さらに粗骨材を加えたものをジオポリマーコンクリートとし、一般的なコンクリートと同様に強制二軸式ミキサーなどを用いて練り混ぜることで製造が可能である。

活性フィラーの代表的な構成材料としては、前述したフライアッシュや高炉スラグ微粉末がある。一方、アルカリ溶液の代表的な構成材料としては、水酸化ナトリウム(NaOH)や水酸化カリウム(KOH)、珪酸ソーダ($\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$)が挙げられる。アルカリ溶液はこれらの構成材料を種々混合することで得られるため、配合は極めて複雑なものになる。そのため、図9に示す通り、アルカリ溶液に含まれるアルカリ成分であるNaおよびKの和とH₂Oのモルタル比をアルカリ/水比とし、同じくアルカリ溶液に含まれるケイ素とアルカリのモル比であるケイ素/アルカリ比を評価軸にすることで、ジオポリマー硬化体の統計的な整理が試みられている。

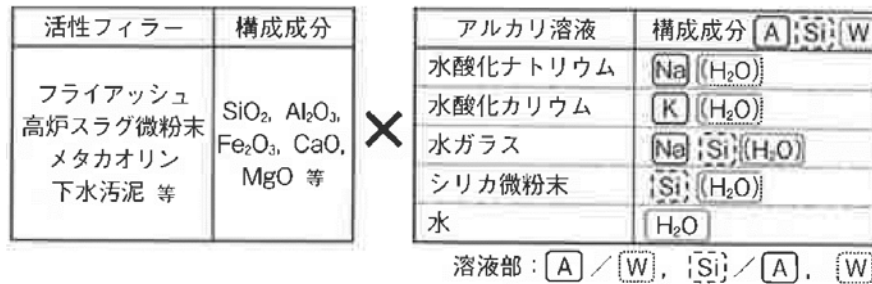


図9 ジオポリマーの構成材料と配合の考え方⁸⁾

8) コンクリート工学, Vol.57, No.1, pp.91-93, 2019.1

(3)低炭素型のコンクリート⁹⁾

前田建設工業(株)が二酸化炭素排出量を更に削減したコンクリートの開発することを目的に、結合材中のポルトランドセメントの質量割合をJISに規定されている混合セメントよりも削減して25%または10%とし、呼び強度24(管理材齢28日)としたコンクリートについてこれらの結果を報告している。

このコンクリートの特徴として、初期強度の発現は遅れるが長期強度が増加すること、中性化抵抗は劣るが、塩化物イオンの浸透抵抗性は向上すること、温度ひび割れ抵抗性に優れることなどがあげられる。

検討した配合の結合材の構成を表1に使用材料を表2に示す。二酸化炭素排出量を削減したコンクリートは、H25BF、H10BS、H25BFSおよびH25BFAの4配合とした(これらのコンクリートを「低炭素型コンクリート」と呼ぶ)。ベースとなるセメントには初期強度発現の改善を目的に早強ポルトランドセメント(H)を使用した。本検討の基本配合であるH25BFは、早強ポルトランドセメントと高炉スラグ微粉末(B)の割合を高炉セメントC種相当の36:64とし、さらにフライアッシュ(F)を30%使用した。高炉スラグ微粉末とフライアッシュをJIS R5211やJIS R5213に規定されているC種相当の割合で使用することで、二酸化炭素の排出抑制を目指した配合である。H25BFに対して、H10BSはHの質量割合を10%まで減じて二酸化炭素排出量を大幅に削減した配合、H25BFSはシリカフェーム(S)によって長期強度と耐久性の向上を図った配合、H25BFSはせっこう(A)によって初期強度と収縮低減を図った配合である。水結合材比は、配合試験の結果をもとに管理材齢28日おける呼び強度が24(配合強度28.8N/mm²)となるように設定した。

低炭素型のコンクリートを表1に示す。これは、使用材料の製造時に発生する二酸化炭素排出量(表2参照)を、コンクリート1m³あたりの使用料に応じて積み上げる方法により算出したものである。N100に対する二酸化炭素排出量の削減結果は、H25BFで61%、H10BSで81%となった。

表1 結合材の構成と二酸化炭素排出量⁹⁾

配合名	結合材の質量割合(%)*1						水結合材比(%)	コンクリートの二酸化炭素排出量*2(kg/m ³)
	N	H	B	F	S	A		
H25BF	—	25	45	30	—	—	40.5	90.7 (38.6)
H10BS	—	10	85	—	5	—	43.4	44.4 (18.9)
H25BFS	—	25	45	25	5	—	42.5	87.4 (37.2)
H25BFA	—	25	45	25	—	5	42.1	84.9 (36.1)
N100	100	—	—	—	—	—	55.0	235 (100)

表 2 使用材料と二酸化炭素排出原単位⁹⁾

材料	記号	仕様	二酸化炭素 排出原単位 (kg-CO ₂ /t)
普通ポルトランドセメント	N	密度3.16g/cm ³ , 比表面積3,300cm ² /g	764.3 ⁵⁾
早強ポルトランドセメント	H	密度3.14g/cm ³ , 比表面積4,490cm ² /g	764.3 ⁵⁾
高炉スラグ微粉末4000	B	密度2.90g/cm ³ , 比表面積4,440cm ² /g, せつこう無添加	26.5 ⁶⁾
フライアッシュII種	F	密度2.30g/cm ³ , 比表面積4,280cm ² /g	19.6 ⁶⁾
シリカフューム	S	密度2.25g/cm ³ , 比表面積16.5m ² /g	19.6 ⁴⁾
せつこう	A	密度2.90g/cm ³ , 比表面積3,630cm ² /g	16.1 ⁴⁾
細骨材	S1	静岡県掛川産陸砂, 表乾密度2.56g/m ³ , 吸水率2.23%, 粗粒率2.80	2.9 ⁶⁾
粗骨材① ^{*)2}	G1	茨城県笠間産5号砕石, 表乾密度2.67g/m ³ , 吸水率0.43%, 粗粒率7.12	3.7 ⁶⁾
粗骨材② ^{*)2}	G2	茨城県笠間産6号砕石, 表乾密度2.67g/m ³ , 吸水率0.46%, 粗粒率6.16	3.7 ⁶⁾
水	W	横浜市水道水	0.2 ⁷⁾
AE減水剤	-	リグニンスルホン酸化合物とポリオール複合体	-
空気量調整剤①	-	変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤 (フライアッシュを混和しない配合に使用)	-
空気量調整剤②	-	高アルキルカルボン酸系陰イオン界面活性剤と非イオン界面活性剤の複合体 (フライアッシュを混和した配合に使用)	-

9) コンクリート工学, Vol.38, No.1, pp.153-158, 2016.1

(4) クリーンクリート¹⁰⁾

クリーンクリートは、大林組が開発した低炭素型のコンクリートとして、二酸化炭素排出原単位の大きいセメントを、産業副産物である高炉スラグ微粉末など混和材に、大量に置換することで、コンクリートの低炭素化を実現している。

具体的には、一般コンクリートは、結合材をポルトランドセメントで構成している。図 10 に材料構成のイメージを示す。一方のクリーンクリートは、結合材に対してポルトランドセメントの混合割合を30%以下とし、70%以上を副産物である混和材で構成している。したがって、材料を起源とするコンクリートの二酸化炭素量を60~80%低減することが可能になる。また、副産物の有効利用になるという観点からも環境に配慮したコンクリートと言える。コンクリート品質として、セメントの使用料が少ないため、水和熱の抑制にもつながるといふ利点を有している。



図 10 材料構成のイメージ¹⁰⁾

10) https://www.obayashi.co.jp/technology/shoho/079/2015_079_22.pdf (検索日: 2022年2月11日)

3.3 CO₂回収・有効利用(CCUS Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage)

(1)カーボンリサイクル・コンクリート¹¹⁾

大成建設は二酸化炭素から製造した炭酸カルシウムの粉を混和材として使う「カーボンリサイクル・コンクリート」を開発した。

CO₂は水に溶かすと酸性を示す。しかし、炭酸カルシウムにすれば弱アルカリ性となる。カーボンリサイクル・コンクリートは、この炭酸カルシウムの粉末を混和材として使い、弱アルカリ性を持つ高炉スラグ主体の結合材で固化させるため、アルカリ性を維持したまま打設できる。打設中に炭酸カルシウムの粉末を混ぜるだけなので、生コン工場にある通常の設備で製造できる点も特徴である。図11にカーボンリサイクルの工程を示す。

コンクリート1m³当たりのCO₂の固定量は70～170kgにおよび、CO₂を地中に貯留する技術での固定量が20～100kgといわれており、それに匹敵する量である。結合材としてセメントの代わりに高炉スラグなどを使うので、セメントが製造時に出していたCO₂は減る。そのため、コンクリート1m³当たり5～55kgのCO₂を大気中から削減可能。



図11 カーボンリサイクルの工程¹¹⁾

11) 日経コンストラクション pp.48-49, 2016.6.14

(2)カーボンキュアコンクリート¹²⁾

CarbonCure Technologies Inc は、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。大まかなプロセスは以下の通りである(図12参照)。

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)。次にMixing中にコンクリート原料中に水酸化カルシウムとCO₂が結合し、ナノスケールの炭酸カルシウムを生成する。技術的特徴として、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商品よりも削減することが可能であ

る。セメント削減量は配合にも左右されるが、概ね 5%程度の削減量になることが確認されている。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効果ではなく、寧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。セメント量を削減できるため、使用する条件や部位によっては材料コストの削減につながる。加えて、カーボンキュアの技術では、強度増進に寄与する CO₂の投入が微量なので、反応するカルシウムの量を抑えられ、コンクリートの強アルカリ性が低下しないという。鉄筋コンクリートの構造をはじめ、全てのセメント・コンクリート分野で利用できる見通しである。

CO₂削減効果としてコンクリート 1m³当たりの 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。

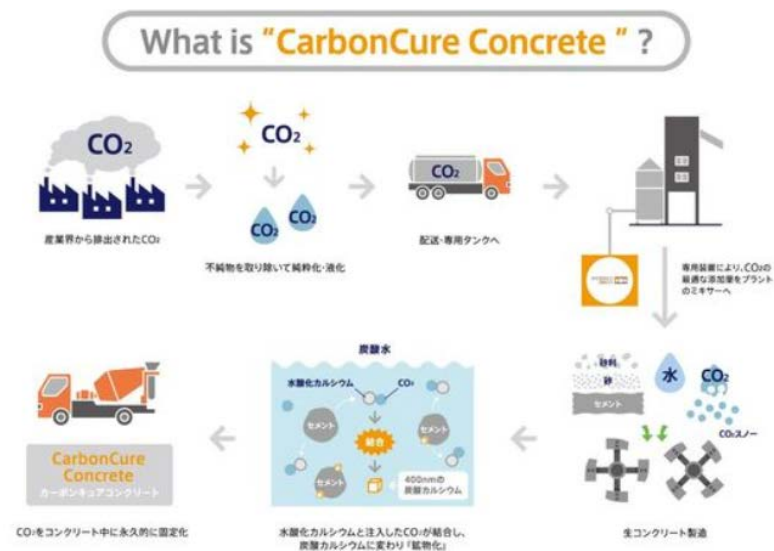


図 12 カーボンキュアコンクリート¹³⁾

12) コンクリート工学, Vol.59, No.9, pp.767-768, 2021.9

13) <https://www.atpress.ne.jp/news/250082> (検索日: 2022年2月11日)

(3) ブループラネット^{14), 15)}

戻りコンクリート・廃コンクリートを原料として、再生骨材ならびに CO₂を吸収させた軽量骨材を製造する技術を持つ Blue Planet Systems Corporation(米)である。

CO₂を骨材に固定するまでの流れは、まず、建設現場で打設されず生コン工場に返送される「戻りコン」や廃棄コンクリートを、骨材とカルシウムに分離。次に、カルシウムと CO₂を反応させて炭酸カルシウムを生成する。この際、反応条件を制御することで、炭酸カルシウムの結晶構造を小石程度の大きさまで成長させる(図 13 参照)。細骨材だけでなく粒径にも対応している。CO₂を低濃度で利

用できる点も特徴である。廃棄コンクリート対策と骨材枯渇の課題を解決しながら CO₂ 固定の役割も果たすことができる。

技術的特徴として、炭酸カルシウムの成型において、反応条件を制御することで通常は粉末状になる炭酸カルシウムを軽量骨材として使用可能なサイズと強度にできることが挙げられる。また、溶媒を用いた化学吸着法を介して CO₂ 回収することにより、一般的な発電所からの排気ガスを最低限の処理で使用可能であり、CO₂ 濃縮プロセスも不要なため、大きなコスト優位性が期待されることも特徴である。

Blue Planet 社の技術による CO₂ 削減効果は細骨材や軽石のようなものを中心にその周囲を炭酸カルシウムでコーティングしていくことで軽量骨材の製造により達成される。最大で軽量骨材 1 トンあたり 440kg の CO₂ を吸収することが可能となっている。

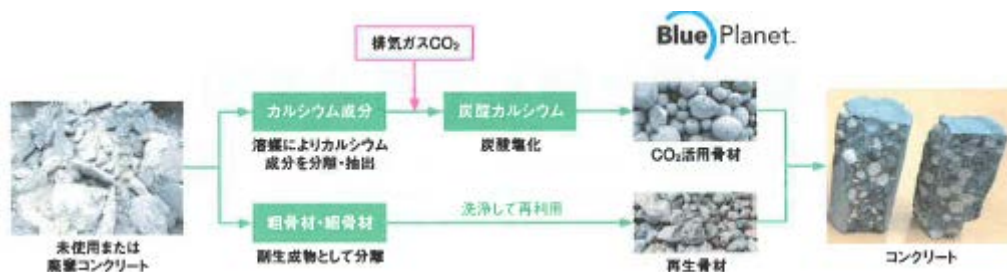


図 13 概念図¹⁴⁾

14) 日経コンストラクション pp.46-47, 2016.6.14

15) コンクリート工学, Vol.59, No.9, pp.766-767, 2021.9

(4) γ -C₂S¹⁶⁾

セメントの主要鉱物であるビーライト(C₂S)の一種に γ 型の C₂S (以下、 γ -C₂S) という材料がある。この材料は、通常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。セメントの代替として γ -C₂S、並びに産業副産物である石灰石を用いたコンクリートを火力発電所の排気ガスを利用して養生することで、環境負荷を大幅に低減できるコンクリートが開発された。

養生設備(写真 1 参照)に境界ブロックを搬入し、養生を開始してからの、排気ガス封入口、および排気ガス排出口付近の CO₂ 濃度の経時変化を図 14 に示す。これによると、封入口の CO₂ 濃度に比べて排出口の CO₂ 濃度が低下していることがわかる。封入口の CO₂ 濃度の平均は 17.7% であり、排出口の CO₂ 濃度の平均は 10.1% であった。また、養生初期の段階では封入口と排出口の CO₂ 濃度の差が大きいことがわかる。これらの結果は、境界ブロックが排気ガスに含まれる CO₂ を固

定したことを示している。

無機炭素分析装置にて硬化体中の無機炭素量を定量し CO₂ 量に換算することで、コンクリートの CO₂ 固定量を求めた。なお、CO₂ 固定量の測定には、深さ 20mm までをサンプリングして用いた。排気ガスを用いた養生を行った境界ブロックの CO₂ 固定量を図 15 に示す。また、図 15 には、一般的な境界ブロックに用いられている、スランプ 18cm, W/C=47%, 普通セメントを使用したコンクリートを 6 カ月自然環境に暴露したものの CO₂ 固定量も併記した。一般境界ブロックの CO₂ 固定量は 20kg/m³ となっており、これは大気中の CO₂ を固定したものと考えられる。また、一般境界ブロックに比べ、炭酸化境界ブロックの CO₂ 固定量が非常に多い結果となった。図 14 および図 15 の結果より、火力発電所の排気ガスを用いて養生を行うことによって、排気ガス中の CO₂ をコンクリート中に大量に固定できると考えられる。

境界ブロック製造時における材料起因の CO₂ 排出量を試算した結果を図 16 に示す。なお同図には、図 15 に示した CO₂ 固定量も併記した。なるべく CO₂ 排出量の少ない材料の組み合わせを選定したコンクリートに排気ガス中の CO₂ を固定させることによって、コンクリートとしてのトータルの CO₂ 排出量をマイナスにすることが可能になると考えられる。

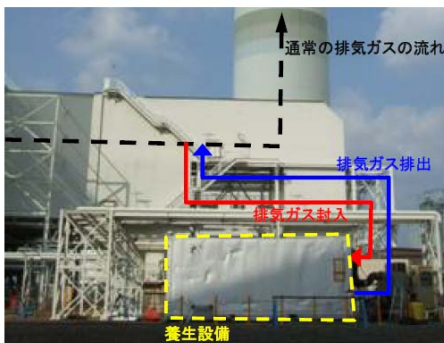


写真 1 排気ガスを利用した養生設備¹⁶⁾

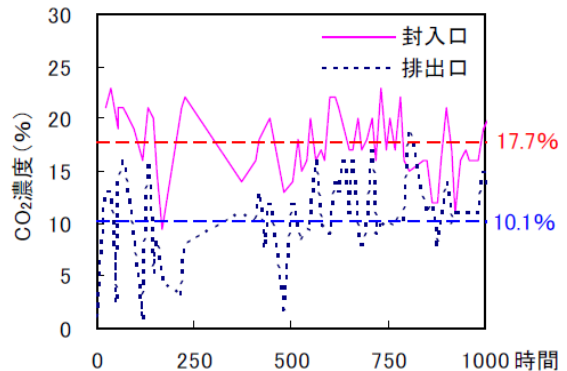


図 14 排気ガスに含まれる CO₂ 濃度測定¹⁶⁾

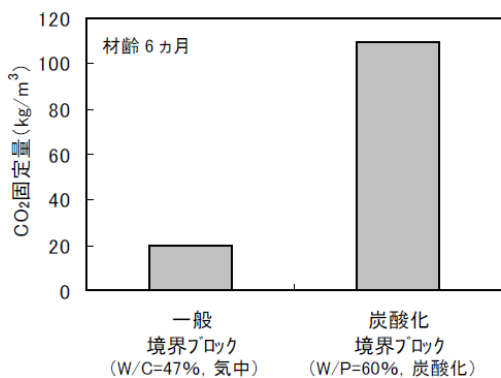


図 15 無機炭素分析による CO₂ 固定量評価結果¹⁶⁾

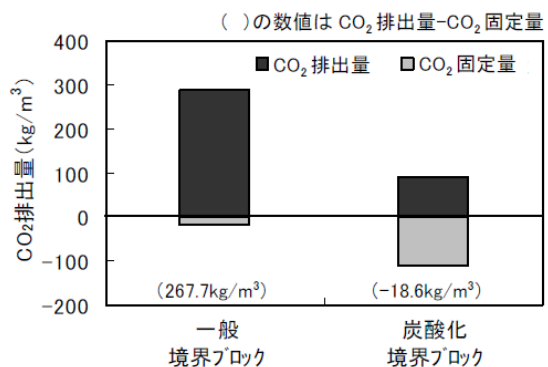
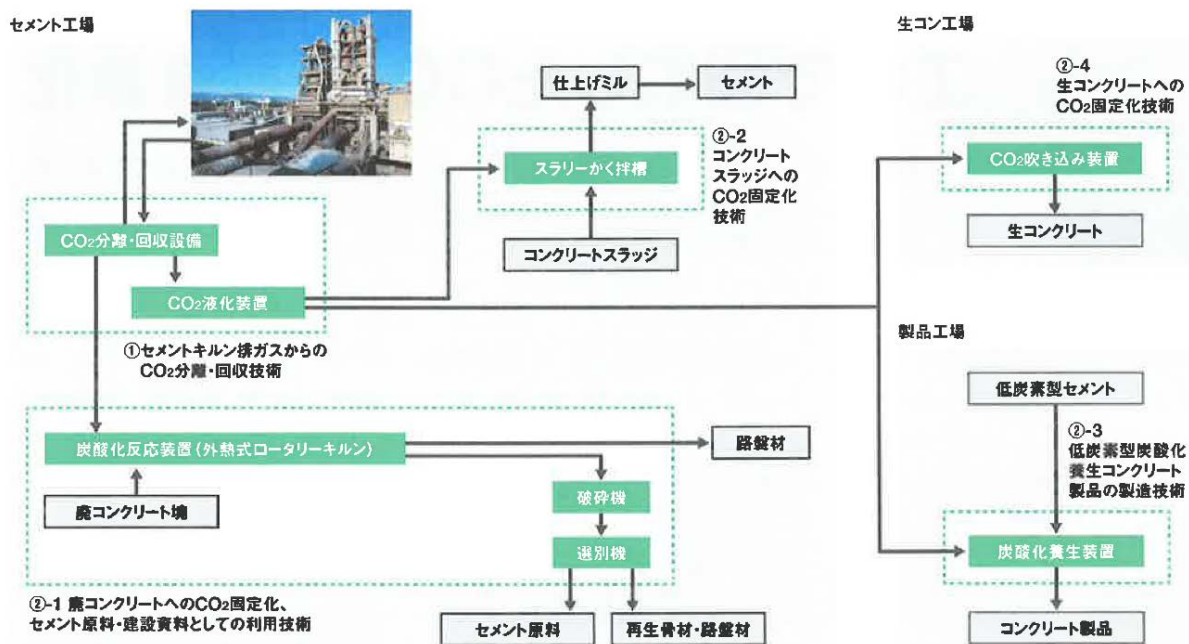


図 16 境界ブロック製造時の CO₂ 収支の評価結果¹⁶⁾

16) コンクリート工学, Vol.34, No.1, pp.1450-1455, 2012.1

(5)セメント製造工程の改良¹⁷⁾

太平洋セメントが考えるCO₂を固定して再資源化する技術は、大別して4つある。1つ目が廃コンクリートにCO₂を固定して、セメント原料や建設資材に生まれ変わらせるもの。具体的には廃コンクリートに含まれる酸化カルシウムを、CO₂を反応させる。その際、セメントを焼成するキルンほど高温ではない特殊な装置で加熱して、CO₂との反応を促し、炭酸カルシウムとして固定する。加熱後のコンクリートは破碎して、粒径で選別する。大きな粒径は再生骨材や路盤材として利用する方針である。一方、カルシウム成分が豊富な粉体はセメントの原料として再利用を図る。2つ目が、生コン工場の排水処理で発生するスラッジに加える方法である。CO₂を固定したスラッジは、セメントの添加材として利用することを視野に入れている。残る2つは、太平洋セメントのグループ企業が持つ生コン工場やコンクリートの二次製品とともに実現する方法である。二次製品工場では、養生中のコンクリートにCO₂を固定する技術を開発する。生コン工場では、生コンに超微細な気泡でCO₂を注入して固定する方法を探る。図17に固定方法を示す。

図17 CO₂の固定方法¹⁷⁾

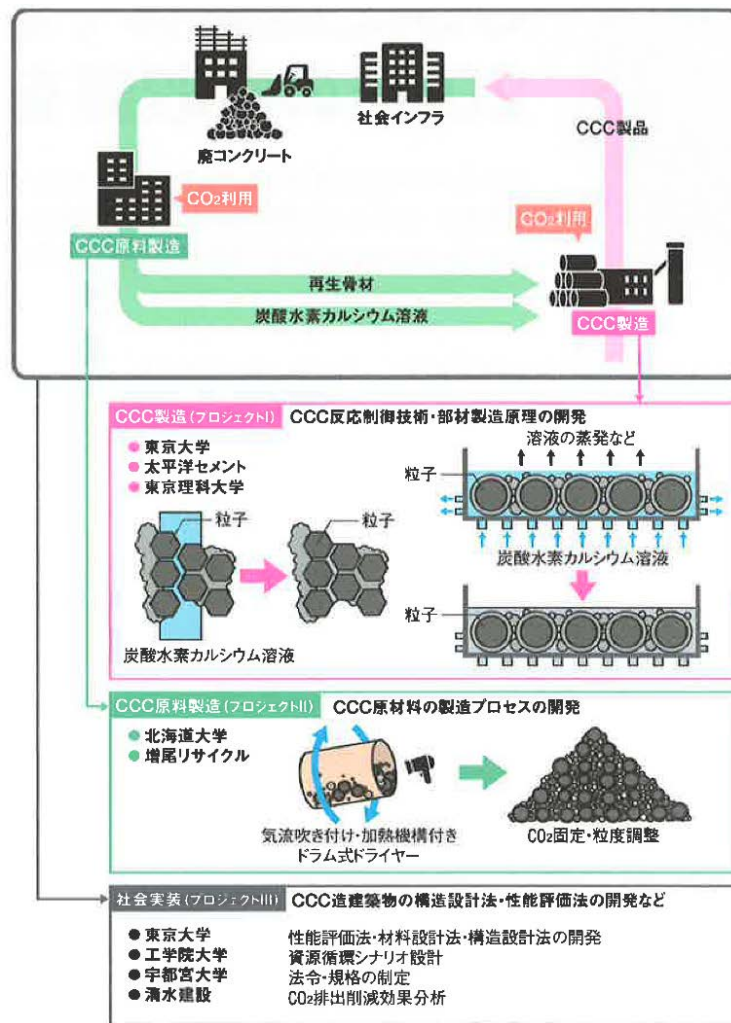
17) 日経コンストラクション pp.54-55, 2016.6.14

(6)カルシウムカーボネートコンクリート¹⁸⁾

大気中の二酸化炭素とコンクリート廃棄物と水を使ってコンクリートを作る「カルシウムカーボネートコンクリート(CCC)」が開発された。製造時に大量のCO₂を出すセメントを使わないため、造れば造

るほど CO₂ が吸収され脱炭素化に繋がる。

CCC の製造には、砕いた使用済みコンクリートの粒子間に炭酸カルシウムを強制的に析出させて一体化させることが特徴で、例えば使用済みコンクリートが過去に排出した CO₂ と最大で同等程度の CO₂ を固定化できるため、コンクリートはカーボンニュートラルとなる可能性を有しているという。また、全国どこにでも存在しているコンクリートなどに含まれているカルシウムと大気中の CO₂ と水を原材料としているため、薄く分散した資源の遠距離回収を行う必要はなく、地産地消であることにも意義があるとするほか、CCC は将来にわたって何度でもリサイクルが可能のため、資源枯渇・廃棄物発生の問題も解消されるとしている。(図 18 参照)。



CCの資源循環イメージとCCC実現に向けて実施する3つのプロジェクト(資料:東京大学)

図 18 CO₂ 利用方法¹⁸⁾

18) 日経コンストラクション pp.42-43, 2016.6.14

(7) 透水性コンクリート¹⁹⁾

透水性コンクリートを使った CCU (CO₂の回収・貯留)舗装の普及を進めている。RRCS は残コンなどを減らす環境に配慮した取り組みを進めるために 2020 年に発足。現在では CO₂を吸着する技術にも関心を持って活動している。

排水施設が不要になるほか、ヒートアイランド抑制効果があるといった特徴を持つ。水だけでなく、空気も通す点が注目されている。骨材を皮膜状のセメントペーストで結合しており、これが CO₂を吸収する。原則として鉄筋を使わないため、CO₂吸着に伴う中性化を心配しなくていい。通常の透水性コンクリート舗装でも CO₂を一定程度吸着する効果がある。脱炭素コンクリートの技術を加えると、その効果はさらに上がるとみられる。

19) 日経コンストラクション pp.56-57, 2016.6.14

3.4 CO₂回収・貯留(CCS Carbon dioxide Capture and Storage)²⁰⁾

CCS (Carbon dioxide Capture Storage=二酸化炭素回収・貯留)である。簡単に言うと、経済活動によって排出される CO₂を集め、地下にある CO₂不浸透層より深いところに圧送して、生活圏隔離する技術である。

CCS では、火力発電所やセメント工場、鉄鋼工場などの二酸化炭素を含めたさまざまなガスを排出するセクターからガスを回収し、二酸化炭素だけを分離し、地下深くへと封じ込め(圧入)ようとしている。図 19 に二酸化炭素の排出量を示す。

二酸化炭素を地下に封じ込めることで、大気中の温室効果ガスの増加を食い止める。苫小牧のプラントでは、地下 1000~1200 メートルと地下の 2400~3000 メートルという深さの違う井戸を 1 本ずつ用意し、そこに圧縮して「超臨界状態」となった二酸化炭素を送り込んでいる。二酸化炭素を貯留する地層は、砂や火山灰などが蓄積してできた層でなければならない。こういった地層を構成する砂の粒は比較的粗く、砂粒の隙間に二酸化炭素を染み込ませることができるためである(図 20 参照)。CCS で二酸化炭素を貯留するには、貯留層よりも地上側に泥などからなる地層(遮蔽層)がなければならない。泥は粒子が細かく密な状態で地層を形成する。地下に貯留された二酸化炭素が地上へ漏れ出すことを防ぐ「フタ」に役割を果たす。

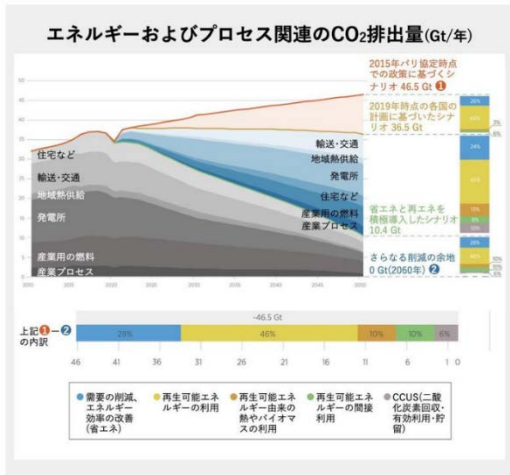


図 19 二酸化炭素の排出量²⁰⁾

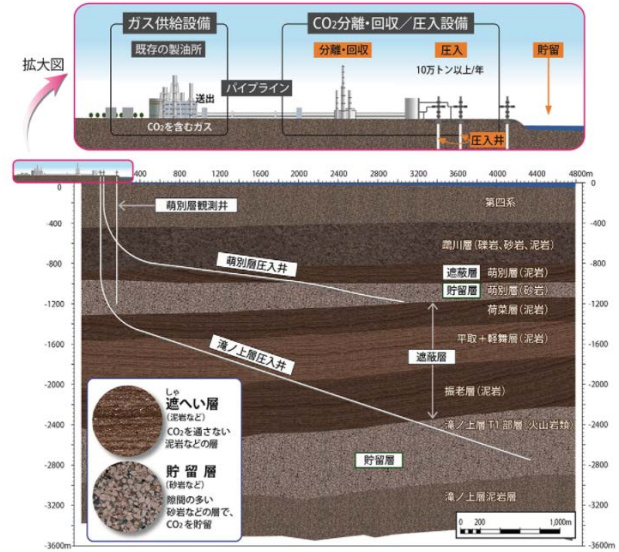


図 20 模式断面図²⁰⁾

20) <https://www.businessinsider.jp/post-234099> (検索日:2022年2月11日)

3.5 カーボンオフセット

(1)カーボンコンクリート²¹⁾

岡野コンクリート株式会社が開発した、間伐材を有効にリサイクルしてカーボンオフセットする技術である(図 21 参照)。間伐材を製品化する際に発生する端材を焼却処分することなくコンクリートに配合することで焼却時に発生する CO₂ の発生を防ぐことができる。

すなわち、1000kg カーボンコンクリートブロックを 100 個利用することで、間伐材等木材を 10m³ 有効活用し、5t の CO₂ 削減に貢献できる。

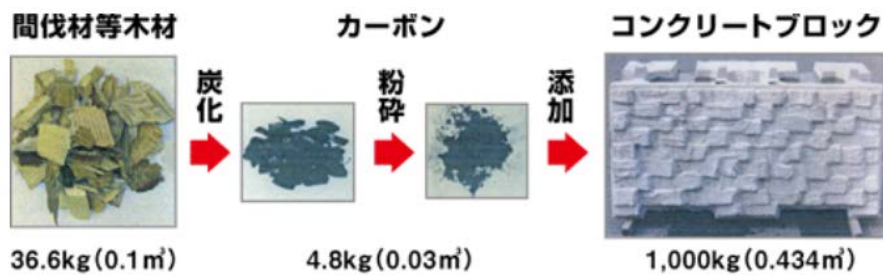


図 21 カーボンコンクリート²¹⁾

21) <https://okano-c.com/products/carbon-concrete> (検索日:2022年2月11日)