

# 「火力発電所由来CO<sub>2</sub>の利用に関する 技術動向と土木分野における課題」

## (概要)

2024年3月

土木学会エネルギー委員会 新技術・エネルギー小委員会  
火力発電所由来CO<sub>2</sub>の利用に関する土木技術の調査・研究分科会

火力発電所由来CO<sub>2</sub>の利用に関する土木技術の調査・研究分科会（略称：カーボンリサイクル分科会、以下「CR分科会」）は、土木学会エネルギー委員会の新技術・エネルギー小委員会のもとに立ち上げられた。

CR分科会の活動目的は、以下の3点である。

- (1) CRの普及・促進に貢献できる土木技術の調査
- (2) 将来的な社会システム、ビジネスモデル、バリューチェーンの検討
- (3) 技術的課題および制度・法令面などの課題抽出・整理

CR分科会は、2021年7月より2023年9月まで活動し、2024年3月に報告書『火力発電所由来CO<sub>2</sub>の利用に関する技術動向と土木分野における課題』（日本語）を公表した。

<https://committees.jsce.or.jp/enedobo0302/node/7>

本資料は、CR分科会の成果を国外に広げるため、上記報告書の内容のうち、CR分科会の委員構成、報告書の目次、及び、報告書の中核的な内容（上記（1）に関連する、国内のコンクリート・セメント分野のCO<sub>2</sub>対策技術、及び、それらの個票（巻末資料））を英語訳したものである。

なお、本資料中、図表の番号は報告書における番号を使用するとともに、メカニズムの図については、報告書の該当ページを適宜付してある。

本資料の著作権は（報告書とともに）土木学会に帰属するが、個別の技術の内容についての問い合わせは、各々の企業等に連絡されたい。

区分	氏名	所属・役職	備考
主査	坂西 欣也	(国研) 産業技術総合研究所 イノベーション人材部 シニアマネージャ	
委員兼幹事	松本 匡司	電源開発(株) 経営企画部 経営企画室 国内CCS事業化タスク 総括マネージャー	
委員	大城 朝陽	沖縄電力(株) 発電本部 発電部 発電運用グループ マネージャー	～2022年6月
	石川 要	沖縄電力(株) 発電本部 発電部 発電運用グループ マネージャー	2022年7月～
	大西 徳治	西松建設(株) 土木事業本部 土木営業第二部 担当部長	
	大山 寛夫	鹿島建設(株) 土木管理本部 プロジェクト推進部 部長	
	加藤 誠司	中部電力(株) 技術開発本部 電力技術研究所 土木グループ 研究主査	
	北垣 亮馬	北海道大学大学院 工学研究院 建築都市部門先端空間性能分野 建築材料研究室 准教授	
	参納 千夏男	北陸電力(株) 土木建築部 土木技術チーム統括 課長	
	澁谷 武弘	(株) JERA O&M・エンジニアリング運営統括部 土木・建築部 土木・建築総括ユニット ユニット長	
	清水 規昭	清水建設(株) 土木営業本部 営業部長	～2022年3月
	高木 真	清水建設(株) 土木営業本部 営業部長	2022年4月～
	下田 昭郎	(一財) 電力中央研究所 サステナブルシステム研究本部 気象・流体科学研究部門 研究参事	
	高木 猛志	東北電力(株) 土木建築部 (土木建築業務) 副長	
	坪田 裕至	中国電力(株) 電源事業本部 再生可能エネルギー・土木総括グループ 副長	
	松本 由之	(株) 安藤・間 営業本部 エネルギー事業営業部長	
オブザーバ	土屋 博史	経済産業省 資源エネルギー庁 長官官房 カーボンリサイクル室 室長	～2022年6月
	羽田 由美子	経済産業省 資源エネルギー庁 資源・燃料部 燃料環境適合利用推進課 課長	2022年7月～
オブザーバ (新技術・エネルギー 小委員会委員長)	山田 安秀	清水建設(株) 執行役員 コーポレート企画室 環境・エネルギー担当	
オブザーバ (新技術・エネルギー 小委員会幹事)	澄川 洋平	東京電力ホールディングス(株) 技術戦略ユニット 土木・建築統括室 企画グループ チームリーダー	～2022年8月
	増田 雅之	東京電力ホールディングス(株) 経営技術戦略研究所 技術開発部 環境・エネルギーエリア スペシャリスト	2022年6月～

※ 委員の氏名及び所属・役職は、第10回分科会（2023年9月28日）時点のものを表記

※ 委員の交代があった場合、交代前の委員の所属・役職は交代時点のものを表記、交代後の委員の所属・役職は上記の通り

## 火力発電所由来CO<sub>2</sub>の利用に関する技術動向と土木分野における課題

1. はじめに
  2. 2050年カーボンニュートラルに向けたCR動向
    - 2.1 気候変動問題
    - 2.2 気候変動枠組条約に係る動向
    - 2.3 国内におけるCR関連政策
      - 2.3.1 日本の気候変動対策
      - 2.3.2 地球温暖化対策としてのCR関連政策
      - 2.3.3 日本のCR推進事業
      - 2.3.4 CR分野の国際連携
      - 2.3.5 今後の政策的課題
    - 2.4 海外におけるCR関連政策及び国際的枠組の動向
  3. CRに係る土木技術等
    - 3.1 CRの技術領域
      - 3.1.1 CR技術の分類
      - 3.1.2 土木技術の位置づけ
    - 3.2 コンクリート・セメント分野の技術
      - 3.2.1 国内・海外の技術紹介
      - 3.2.2 CO<sub>2</sub>吸収・利用に係る技術
      - 3.2.3 CO<sub>2</sub>低減に係る技術
      - 3.2.4 CO<sub>2</sub>吸収・利用及び低減技術のまとめ
    - 3.3 CO<sub>2</sub>低減に関連する土木技術
      - 3.3.1 フライアッシュ有効利用
      - 3.3.2 CCS
      - 3.3.3 ブルーカーボン
    - 3.4 CRに係る関連技術等
      - 3.4.1 CO<sub>2</sub>直接回収技術（DAC）
      - 3.4.2 CRにおけるエネルギー供給
  4. CR技術の社会実装に向けて
    - 4.1 技術開発の促進
      - 4.1.1 CR技術の概略と主要な技術開発事項
      - 4.1.2 各国の技術開発への資金支援事例
    - 4.2 ビジネスモデル、バリューチェーンの構築
    - 4.3 CR事業の立地、輸送施設の整備
    - 4.4 法制度及びインセンティブ設計
      - 4.4.1 標準化・LCA評価
      - 4.4.2 インセンティブ施策
  5. おわりに
- 巻末資料  
コンクリート・セメント分野のCO<sub>2</sub>対策技術紹介

## 第3章 CRに係る土木技術等

### 3.1 CR 技術領域

#### 3.1.1 CR 技術の分類

(1) 想定されるCO<sub>2</sub>の捕捉方法

**a)希薄な大気中のCO<sub>2</sub>:DAC(Direct Air Capture)**

**b)濃厚な排ガスのCO<sub>2</sub>:CC(Carbon Capture)**

(2) CO<sub>2</sub>貯留・活用の方法

a)単なる貯留:Storage (S)

貯留装置としてCO<sub>2</sub>の出し入れ管理を続けるだけの存在

**b)貯留を兼ねた活用:US(Utilization and Storage)**

構造体や部材として別サービスを提供できる機能を有している存在

(3) CO<sub>2</sub>貯留・活用されたCO<sub>2</sub>のその後の行方

a)再びCO<sub>2</sub>になって、あらためて回収されることが期待される

(CO<sub>2</sub>からの合成樹脂やバイオエタノールなど)

**b)長く貯留以外の機能として使われながらCO<sub>2</sub>はそこに固定されつづける**

(セメント、コンクリートなど人工鉱物、土壌など天然鉱物、植物(木材、藻類))

**建設系の領域:DAC+CC+US⇒DACCUS⇒CCUS**

## 3.1.2 土木技術の位置づけ

### ① DACCUSとCCUS

DACCUS	CCUS
DACコート、CCC (C <sup>4</sup> S)	その他25技術

### ② DACとCCの比較

	DAC	CC
CO <sub>2</sub> 濃度	希薄	濃厚
対象	大気	火力発電所など
CO <sub>2</sub> の固定	低い	高い

## ③ 評価方法

現状（本報告書）	LCA
「製品の出荷輸送をのぞく従来同一機能品のCO <sub>2</sub> 排出量と比較したネットCO <sub>2</sub> 削減量」	「その製品の製造や処理にかかるCO <sub>2</sub> 排出量と、固定されたCO <sub>2</sub> 量を比較した『同一製品内でのネットCO <sub>2</sub> 固定量』」

- 製品陸送時のCO<sub>2</sub>排出量によるCO<sub>2</sub>が目減りし削減量が減少（陸送距離影響）
- セメント・コンクリート分野では、CO<sub>2</sub>固定が強度や耐久性を担うカルシウムシリケートやカルシウムアルミネートが大量にCO<sub>2</sub>を消費（技術的革新）
- 少しでも削減できるCCUS製品を世に出していく

当面の努力を鼓舞しつつける意味で、

「製品の出荷輸送をのぞく従来同一機能品からのネットCO<sub>2</sub>削減量」にて評価

## 3. 2 コンクリート・セメント分野の技術

### 3.2.1 国内・海外の技術紹介

#### (1) CR に関する海外の動向

表3.2-1\_有望な炭酸塩製造技術候補の選定

評価項目	1. 発電所の排ガスがそのまま活用できる	2. 開発ステージ(技術の確立度)	3. 商用規模プラント設計の実現可能性	4. CO <sub>2</sub> の削減量	5. 経済性	6. 市場性	評点
1. GreenOre	◎	○	◎	○	○	◎	12
2. O.C.O. Technology	○	◎	◎	○	○	◎	12
3. Blue Planet	◎	◎	○	△	△	△	7
4. Solidia	○	◎	◎	○	△	○	9
5. CarbonCure	○	◎	◎	△	○	○	9
6. Carbon Capture Machine	◎	△	○	△	△	△	4
7. Carbon Upcycling UCLA	◎	△	○	○	△	○	6
8. Mineral Carbonation	○	◎	○	△	△	○	6

<配点: ◎ (優れている) = 3点、○ (良い) = 1点、△ (普通~劣る) = 0点>

出典: 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)(2020): 令和元年度海外炭開発支援事業海外炭開発高度化等調査「海外カーボンリサイクル技術実現可能性調査」のポイント



## (2) CR に関する国内の動向（本文 P35～P54）

### 表3. 2-2\_国内のCR技術一覧表

No.	CO <sub>2</sub> 対策技術	紹介した企業・団体
①	CO <sub>2</sub> -SUICOM	鹿島建設(株)
②	CO <sub>2</sub> -TriCOM	中国電力(株)
③	DACコート	清水建設
④	強制炭酸化再生骨材を用いたコンクリート	東京電力HD(株)
⑤	カーボンキュア (CarbonCure)	三菱商事(株)
⑥	T-Carbon Mixing	大成建設(株)
⑦	O.C.O Technology Limited	(株)神鋼環境ソリューション 三菱商事(株)
⑧	Blue Planet	三菱商事(株)
⑨	CCC (C <sup>4</sup> Sプロジェクト)	東京大学・北海道大学
⑩⑮⑲⑳㉔㉖	T-eConcreteシリーズ	大成建設(株)
⑪	クリーンクリートN	(株)大林組
⑫	バイオ炭コンクリート	清水建設(株)
⑬	リグニコンクリート	(株)大林組
⑭	ECMコンクリート	鹿島建設(株)
⑯	スーパーグリーンコンクリート	前田建設工業(株)
⑰	LHC (ローカーボンハイパフォーマンスコンクリート)	(株)安藤・間
⑱	BBFA高強度コンクリート	(株)安藤・間
⑲	アッシュクリート	(株)安藤・間
⑳	ジオポリマー (ジオポリマー)	西松建設(株)
㉑	AAMコンクリート	西松建設(株)
㉒	現場打設型ジオポリマー「ポリマークリート」	(株)大林組
㉓	サスティンクリート (Sustain-Crete)	三井住友建設(株)
㉕	クリーンクリート	(株)大林組
㉖	スラグクリート	戸田建設(株)

## ・CO<sub>2</sub>吸収・利用に係る技術の分類（本文 P38）

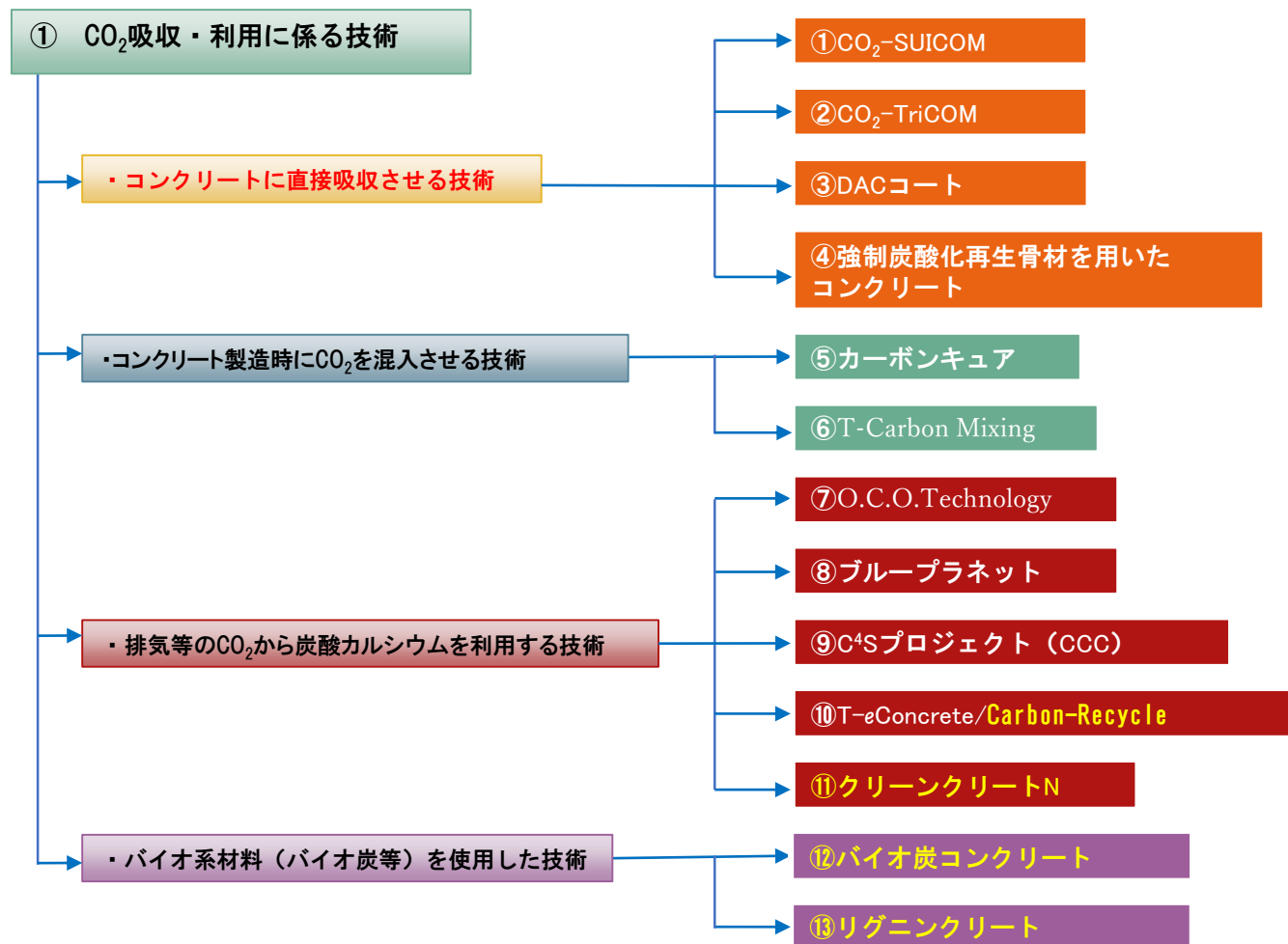


図3.2-1\_CO2吸収・利用する技術

## ・CO<sub>2</sub>低減に係る技術の分類（本文 P38）

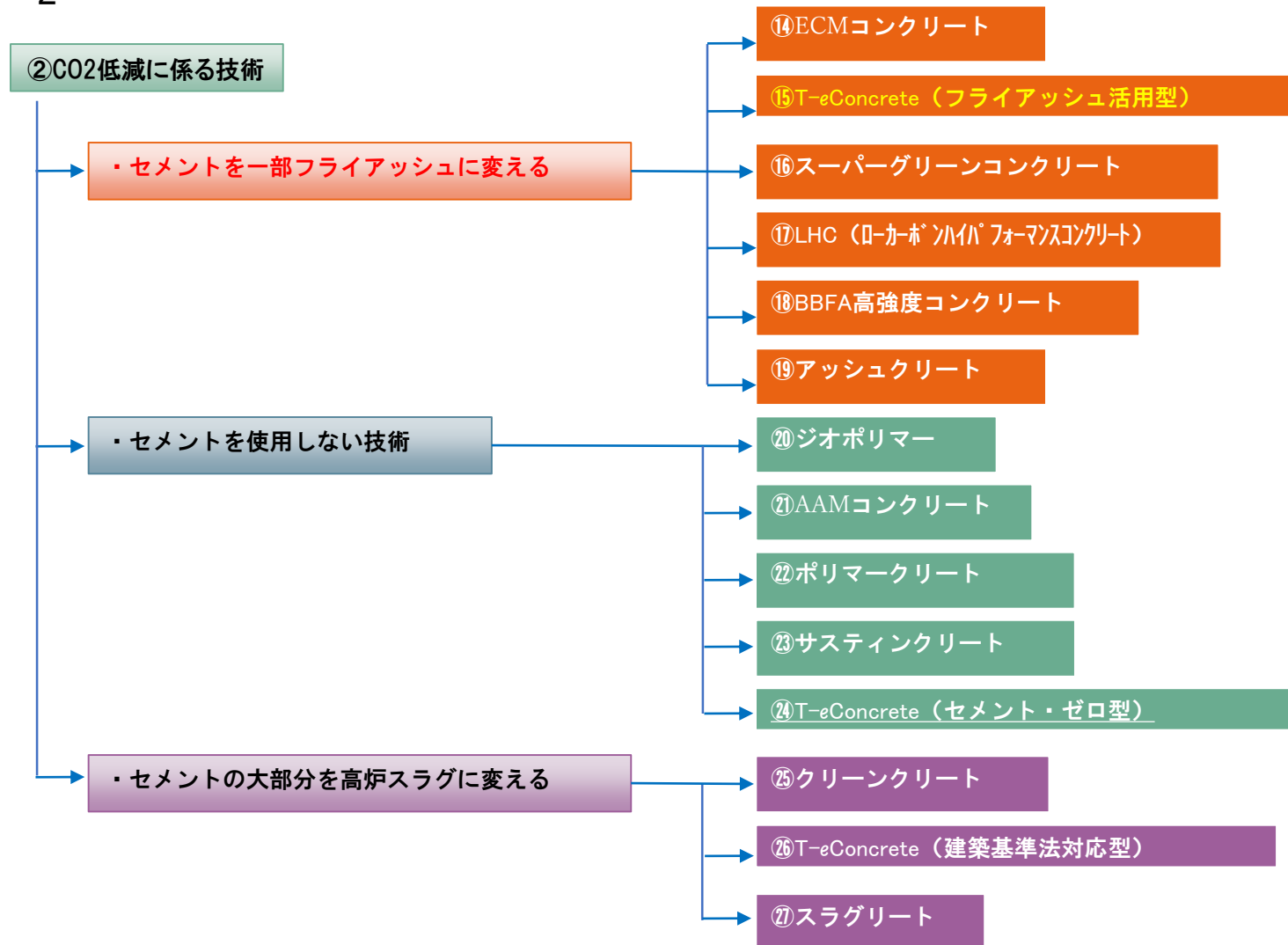


図3.2-2\_CO<sub>2</sub>低減する技術

## • 直接CO<sub>2</sub>を吸収させる技術の例-1 CO<sub>2</sub>-SUICOM (本文P40)

### (1) CO<sub>2</sub>-SUICOM

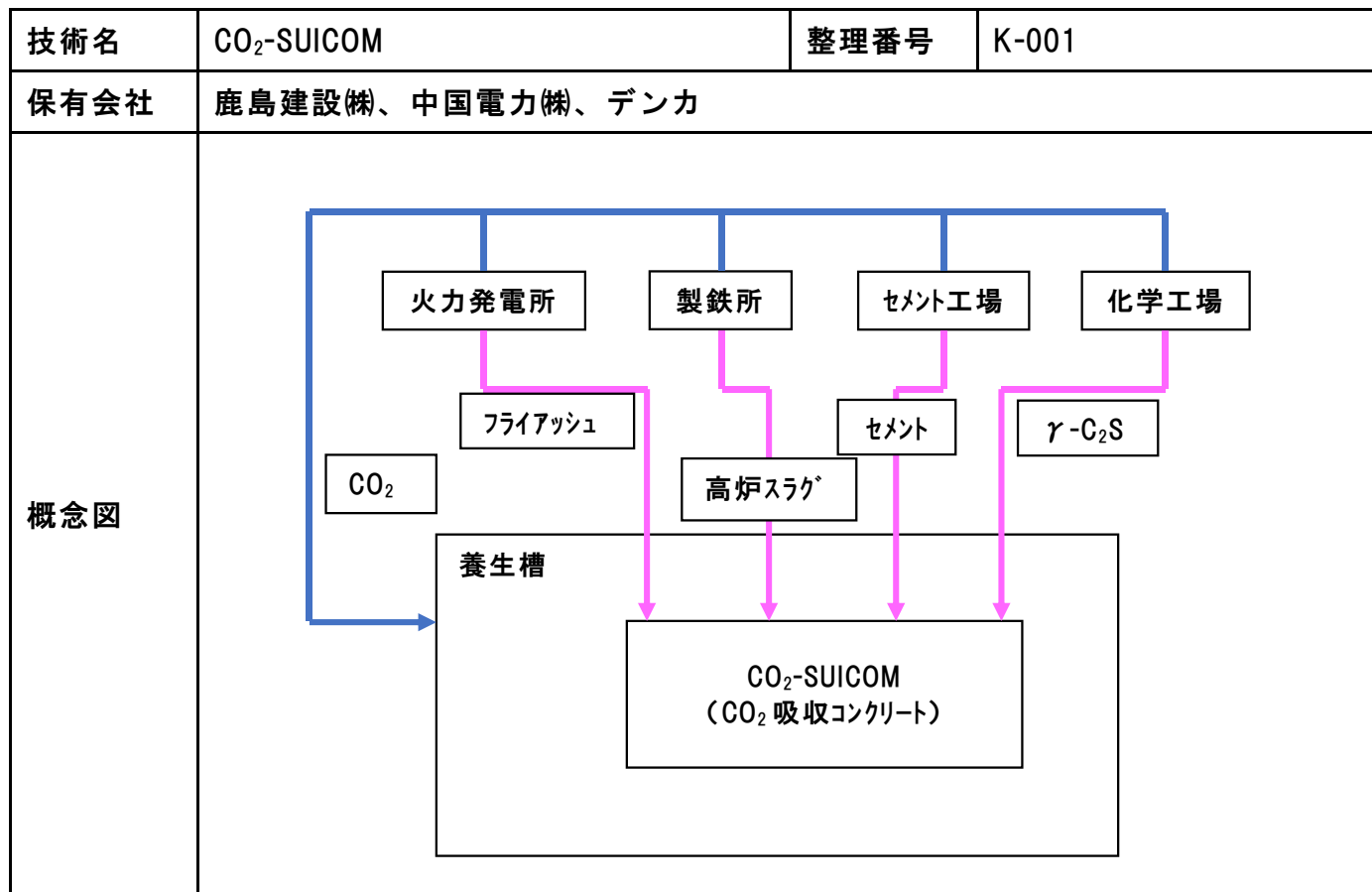


図3.2-3\_CO<sub>2</sub>-SUICOMのメカニズム

## ・ 製造時にCO<sub>2</sub>を混入させる技術の例-2 T-Carbon Mixing (本文P42)

### (6) T-Carbon Mixing

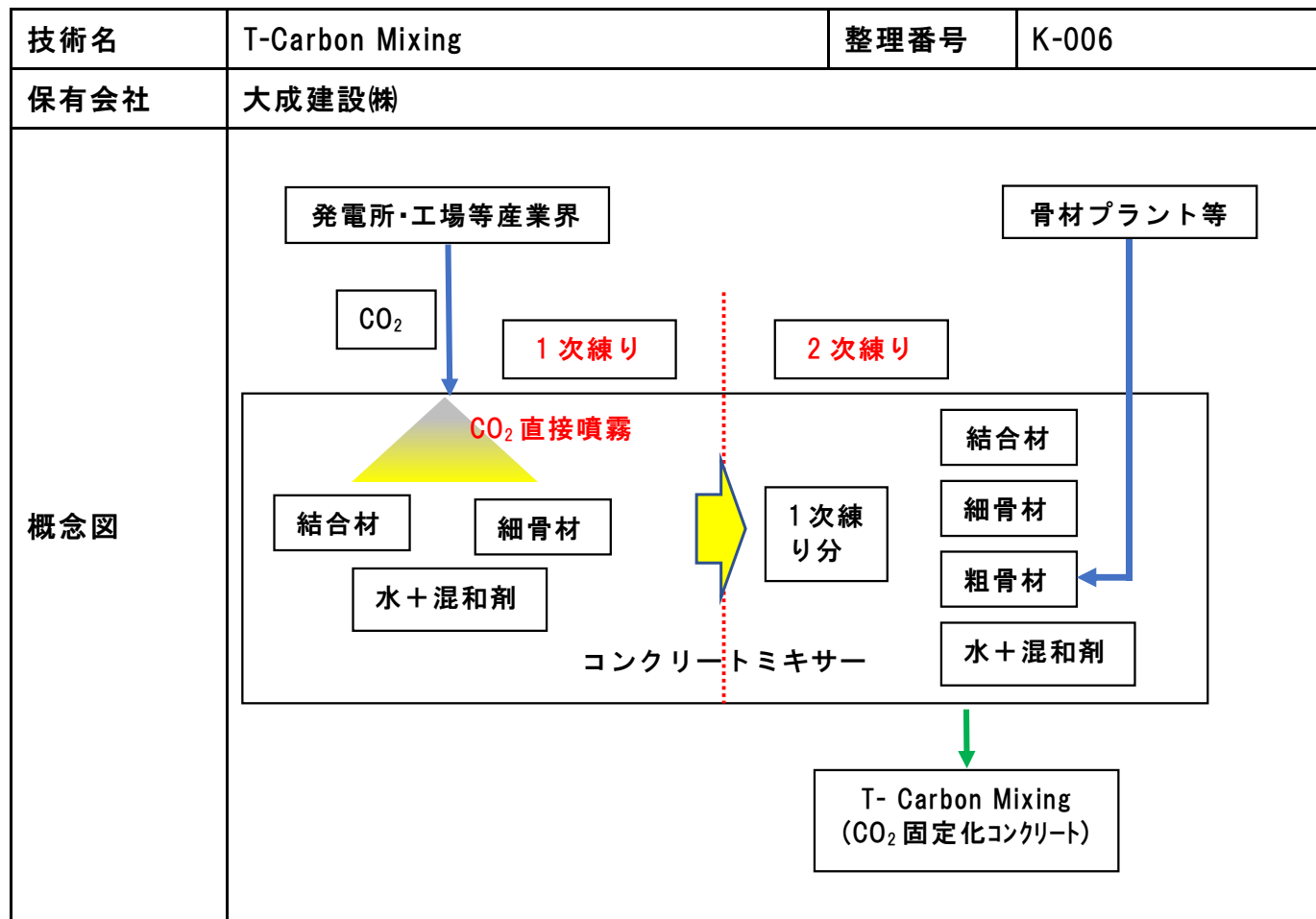


図3.2-4\_T-Carbon Mixingのメカニズム

## 炭酸カルシウムとして利用する技術の例 O.C.O Technology (本文P43)

### (7) O.C.O Technology

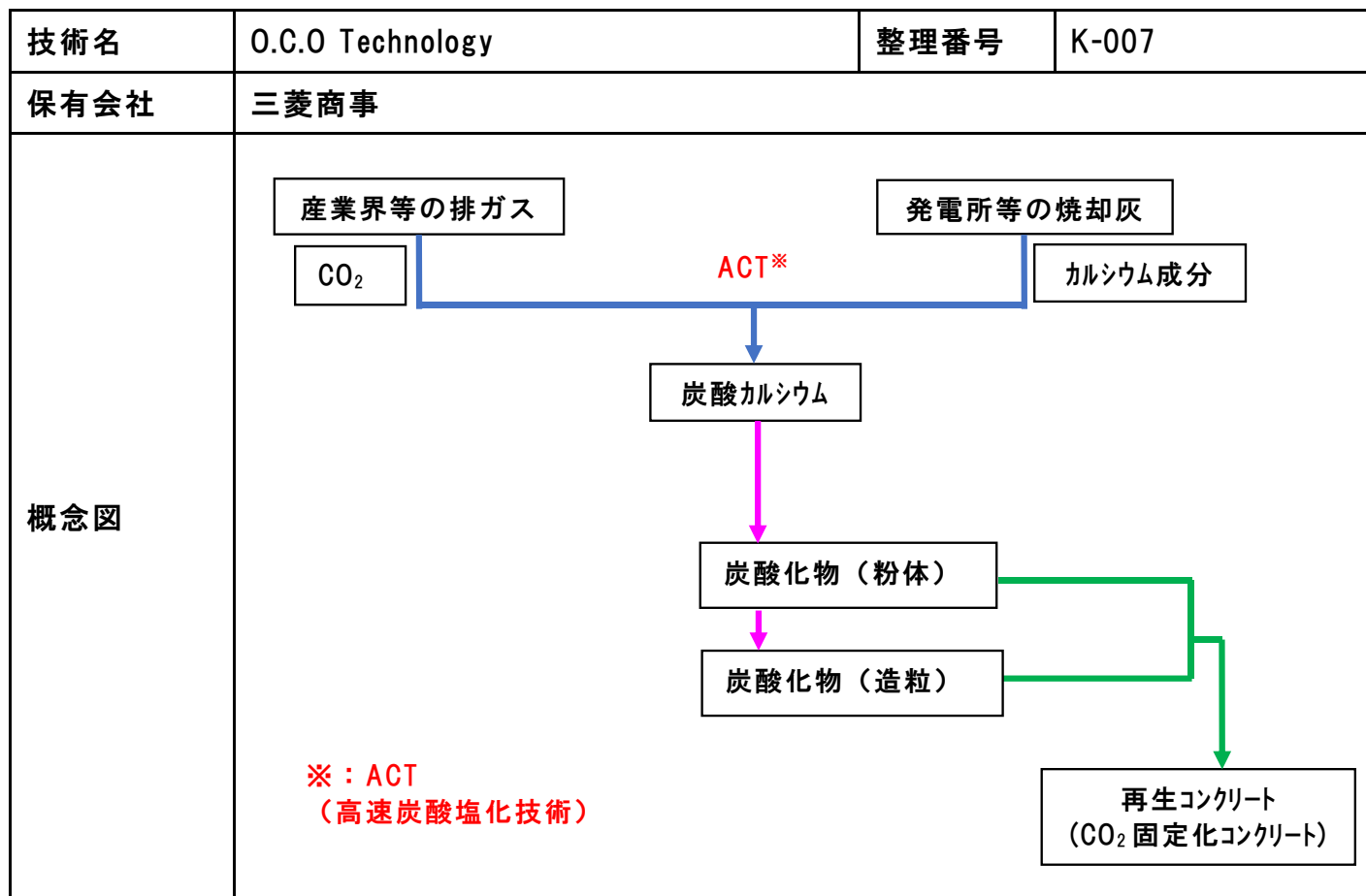


図3.2-5\_ O.C.O Technology のメカニズム

## ・バイオ系材料を利用した技術の例 バイオ炭コンクリート(本文P45)

(12) バイオ炭コンクリート

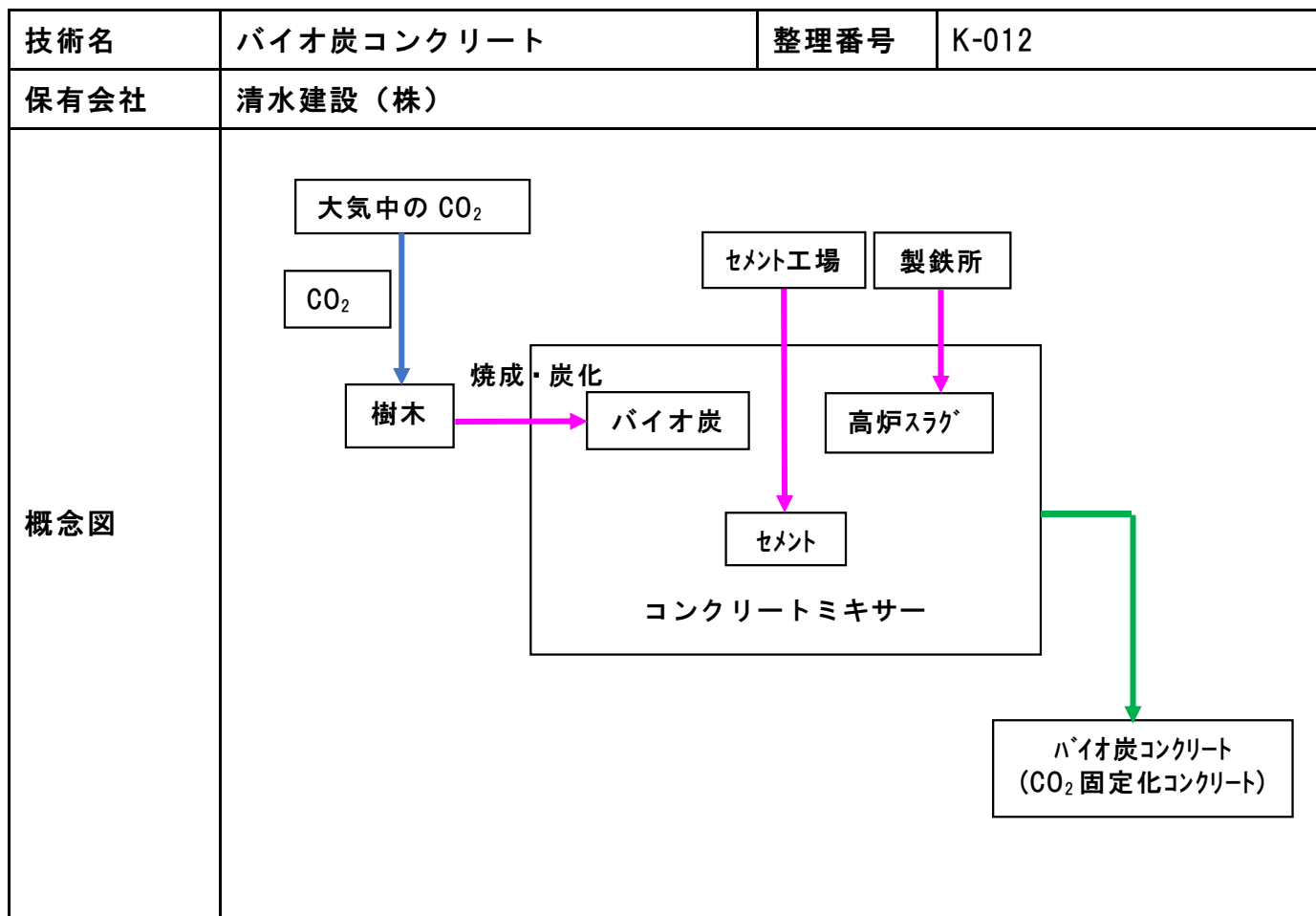


図3.2-6\_バイオ炭コンクリートのメカニズム

## ・セメントを一部フライアッシュに変えた技術例 ECMコンクリート(本文P47)

(1) ECM (エネルギーCO<sub>2</sub> ミニマム) コンクリート

技術名	ECMコンクリート		整理番号	T-001
保有会社	鹿島建設(株)、(株)竹中工務店、			
概略組成	構成材料	仕様の有無	備 考	
	セメント	○		
	フライアッシュ	—		
	高炉スラグ	○	従来セメント量の 60~70% を置換	
	シリカヒューム	—		
	その他	○	石膏を使用	
	CO <sub>2</sub> 低減率		約 60%	
	建設材料技術性能証明 (一般社団法人 日本建築総合試験所, GBRC 材料証明 第 13-11 号 改 2) を取得済み			

図3.2-7 \_ ECMコンクリートの組成



## ・セメントを一切使用しない技術例 ジオポリマー（本文P50）

(7) ジオポリマー（低炭素コンクリート）

技術名	ジオポリマー（低炭素コンクリート）	整理番号	T-007
保有会社	大分高専、山口大学、鉄道総研、西松建設		
概略組成	構成材料	仕様の有無	備考
	セメント	—	使用しない
	フライアッシュ	○	アルカリシリカ粉末として
	高炉スラグ	○	アルカリシリカ粉末として
	シリカヒューム	—	
	その他	○	アルカリシリカ溶液として水ガラスと苛性ソーダを混ぜた溶液
	CO <sub>2</sub> 低減率		約 70%

図3.2-8\_ジオポリマーの組成

## ・セメントの大部分を高炉スラグに変えた技術例 クリーンクリート(本文P52)

### (12) クリーンクリート

技術名	クリーンクリート	整理番号	T-012
保有会社	大林組		
概略組成	構成材料	仕様の有無	備考
	セメント	○	従来のセメント量の一部を高炉スラグやフライアッシュに置換
	フライアッシュ	○	
	高炉スラグ	○	
	シリカヒューム	—	
	その他	○	
	CO <sub>2</sub> 低減率		約 80%

図3.2-9\_クリーンクリートの組成



## 巻末資料 コンクリート・セメント分野のCO<sub>2</sub> 対策技術紹介

No.	CO <sub>2</sub> 対策技術	紹介した企業・団体
①	CO <sub>2</sub> -SUICOM	鹿島建設(株)
②	CO <sub>2</sub> -TriCOM	中国電力(株)
③	DACコート	清水建設
④	強制炭酸化再生骨材を用いたコンクリート	東京電力HD(株)
⑤	カーボンキュア (CarbonCure)	三菱商事(株)
⑥	T-Carbon Mixing	大成建設(株)
⑦	O.C.O Technology Limited	(株)神鋼環境ソリューション 三菱商事(株)
⑧	Blue Planet	三菱商事(株)
⑨	CCC (C <sup>4</sup> Sプロジェクト)	東京大学・北海道大学
⑩⑮⑳㉔㉖	T-eConcreteシリーズ	大成建設(株)
⑪	クリーンクリートN	(株)大林組
⑫	バイオ炭コンクリート	清水建設(株)
⑬	リグニクリート	(株)大林組
⑭	ECMコンクリート	鹿島建設(株)
⑯	スーパーグリーンコンクリート	前田建設工業(株)
⑰	LHC (ローカーボンハイパフォーマンスコンクリート)	(株)安藤・間
⑱	BBFA高強度コンクリート	(株)安藤・間
⑲	アッシュクリート	(株)安藤・間
㉔	ジオポリマー (ジオポリマー)	西松建設(株)
㉕	AAMコンクリート	西松建設(株)
㉖	現場打設型ジオポリマー「ポリマークリート」	(株)大林組
㉗	サスティンクリート (Sustain-Crete)	三井住友建設(株)
㉘	クリーンクリート	(株)大林組
㉙	スラグクリート	戸田建設(株)