

事業戦略ビジョン

実施プロジェクト名：CO₂回収型セメント製造プロセスの開発

実施者名：太平洋セメント株式会社（幹事企業）、代表名：代表取締役社長 不死原 正文

（コンソーシアム内実施者（再委託先除く）：住友大阪セメント株式会社）

目次

0. コンソーシアム内における各主体の役割分担

1. 事業戦略・事業計画

- (1) 産業構造変化に対する認識
- (2) 市場のセグメント・ターゲット
- (3) 提供価値・ビジネスモデル
- (4) 経営資源・ポジショニング
- (5) 事業計画の全体像
- (6) 研究開発・設備投資・マーケティング計画
- (7) 資金計画

2. 研究開発計画

- (1) 研究開発目標
- (2) 研究開発内容
- (3) 実施スケジュール
- (4) 研究開発体制
- (5) 技術的優位性

3. イノベーション推進体制（経営のコミットメントを示すマネジメントシート）

- (1) 組織内の事業推進体制
- (2) マネジメントチェック項目① 経営者等の事業への関与
- (3) マネジメントチェック項目② 経営戦略における事業の位置づけ
- (4) マネジメントチェック項目③ 事業推進体制の確保

4. その他

- (1) 想定されるリスク要因と対処方針

0. コンソーシアム内における各主体の役割分担

太平洋セメント社（幹事会社）

太平洋セメント社が実施する研究開発の内容

研究開発項目 3：製造プロセスにおける
CO₂回収技術の設計・実証

- 革新的な新型仮焼炉の設計
- 最適な仮焼炉運転条件の確立
- プレヒーターにおける原料予熱
- 支燃性ガスの予熱
- エネルギー由来のCO₂の熱エネルギー化
（メタネーション技術）
等を担当

太平洋セメント社の社会実装に向けた取組内容

- 自社工場への設備導入
- 他社（海外含む）への設備・技術販売
等を担当

住友大阪セメント社

住友大阪セメント社が実施する研究開発の内容

研究開発項目 4：多様なカルシウム源を
用いた炭酸塩化技術の確立

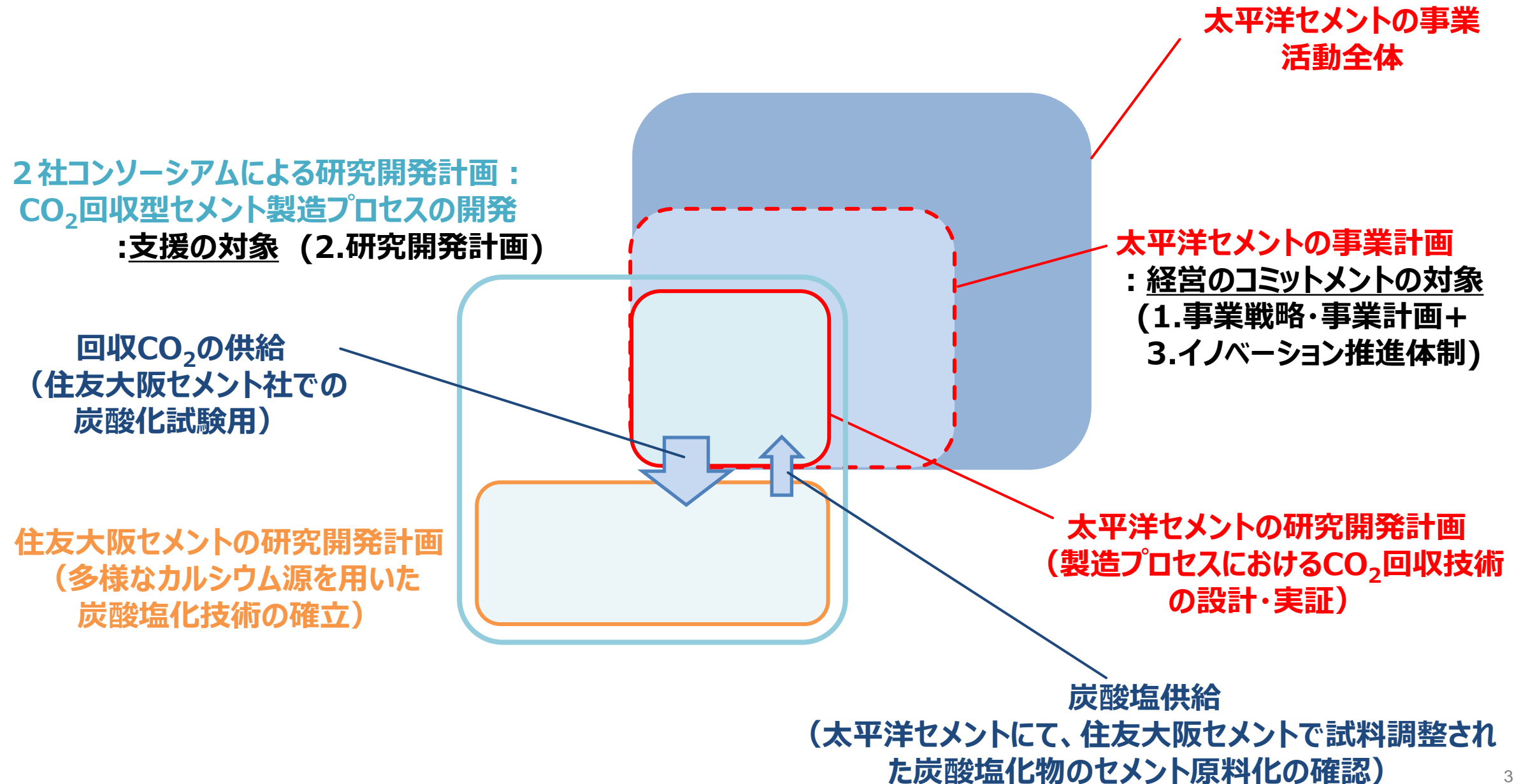
- インダイレクトカーボネーション方式／ダイレクト
カーボネーション方式による炭酸塩化技術開発
- 炭酸塩利用技術開発（カーボンリサイクルセメン
トの製造および材料開発、施工ガイドラインなど
規準化）
等を担当

住友大阪セメント社の社会実装に向けた取組内容

- 自社工場への設備導入
- 他社（海外含む）への設備・技術販売
- カーボンリサイクルセメントの普及拡大
等を担当

（提案プロジェクトの目的：CO₂回収型セメント製造プロセスの開発）

事業計画・研究開発計画の関係性（2社コンソーシアムにおける太平洋セメントの提案）



1. 事業戦略・事業計画

1. 事業戦略・事業計画／（1）産業構造変化に対する認識

世界規模の脱炭素の潮流で、セメント・コンクリート業界もCCUS等による脱炭素が求められる

2050年に向けてセメント・コンクリートにおけるカーボンニュートラル化が求められる。また、国内外でカーボンニュートラル達成に向けた政策が進展。それらに対応するために、CCUS技術がカギであり国内外で研究開発・実証が進むが、コスト低減と用途拡大に向けて更なる技術開発が必要。

（社会面）

- **2050年までにセメント・コンクリート業界の脱炭素化が進む見通し。**
 - 日本のセメント協会は最終到達点としての「脱炭素社会」の実現に貢献する長期ビジョンを発表(参考1)。
 - GCCA (*1)は2050年までにカーボンニュートラル達成の声明を発表(参考2)。
- **ESG投資等の脱炭素化の流れの中で、セメント・コンクリートの消費者である建設業界も脱炭素化が進む見通し。**
 - 日本建設業連合会では、施工段階におけるCO₂排出量の原単位で2030年～2040年度のできる限り早い段階で2013年度比40%削減、2050年までにScope1・2の排出量を実質ゼロの達成を掲げる(参考3)。
 - SBTコミットしている国内建設事業者は13企業(2021年3月現在、中小企業除く)

（政策面）

- **日本では2030年に46%削減、2050年にカーボンニュートラルという目標**が掲げられている。
 - グリーン成長戦略(参考5)の重点14分野にカーボンリサイクル産業が含まれており、その中の1つにセメント・コンクリートにおけるカーボンリサイクル技術の開発・普及が期待されている。
- **世界ではカーボンニュートラルを表明している国は125カ国・1地域(2021年4月時点)、炭素税や排出権取引をはじめとするカーボンプライシングやCCUS含む革新的な環境技術への助成政策**など、目標達成のための様々な政策がとられている。

（技術面）

- セメントやコンクリート製造プロセスのうち、製造時のエネルギーは再エネ利用や省エネ化が可能なものの、**石灰石(CaCO₃)などの焼成工程で排出する原料由来のCO₂は削減が困難**であり、**CO₂を回収して利用もしくは貯留する技術(CCUS)が必要**。
 - CCUSは、CO₂排出削減・固定量の最大化、用途拡大・コスト低減（材料開発、製造性、施工性）、製造過程におけるCO₂排出削減が課題。
- セメントやコンクリートのCCUS技術は国内外で、研究開発・実証が本格化し始めているが、**コスト低減と用途拡大が課題**。
 - 競争力のある効率的なCO₂回収技術を確認し、回収CO₂をカルシウム等のアルカリ源に固定する炭酸塩化技術やそのシステムを確認していく必要がある。

（経済面）

- セメント・コンクリート業界における**脱炭素技術の導入・普及にはコスト低減(既存製品と同程度まで)**が必要。そのためには、CO₂からセメント・コンクリートを製造するコストや**CO₂回収コストの低減が重要な要素**となる。
 - カーボンリサイクル技術ロードマップ(参考4)やグリーン成長戦略(参考5)では、2030年にCCU技術で製造した道路ブロック製品を、2040年にCCU技術で製造した汎用コンクリート製品を既存製品まで低減することが目標。
 - 回収技術のコストは様々な排ガスからの回収の低コスト化が求められ、低圧ガスで2,000円/トンまでのコスト低減を目標としている。
 - 海外のシンクタンク(Energy Transition Commission (*2))は、セメント製造の排ガスはCO₂濃度が低いため回収コストが高く、脱炭素セメントは通常のセメントの2倍以上の価格になると報告している。

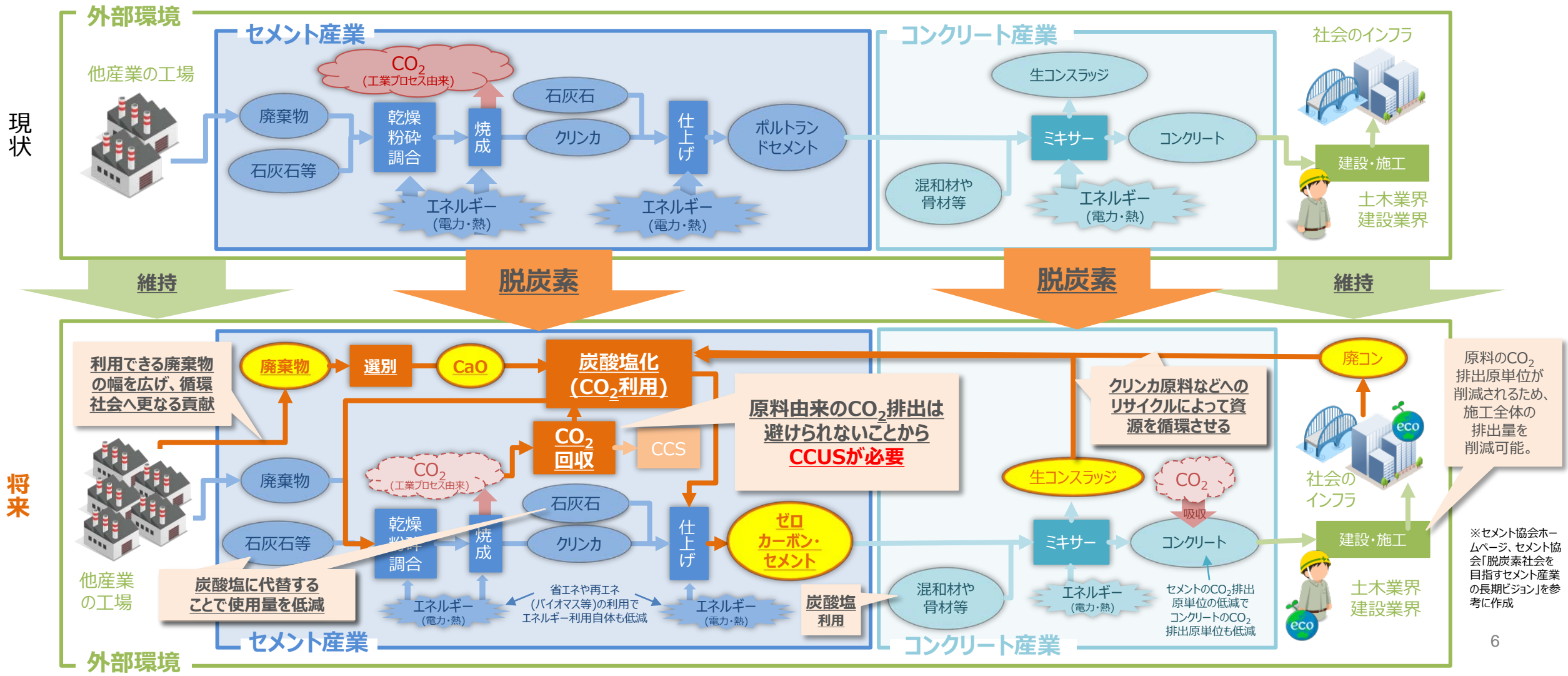
(*1)GCCA(グローバルセメント・コンクリート協会)は世界のセメント・コンクリート産業の大手40社からなる組織で、2018年に発足した。建設業界の課題を解決するべく技術革新を行い、持続可能な建設に貢献することを目的としている。

(*2)Energy Transition Commissionは、経済成長と気候変動の緩和に焦点を当てた国際的なシンクタンク。

1. 事業戦略・事業計画／（1）産業構造変化に対する認識

セメント・コンクリート業界では、産業構造の骨格は維持しながら脱炭素が必要

本業界は社会インフラを支えつつ、産業廃棄物等の利用で循環型社会の形成を担っているため、産業構造の骨格自体は維持しながら脱炭素が必要。



1. 事業戦略・事業計画／（1）産業構造変化に対する認識

セメント・コンクリート業界の脱炭素のためセメント製造におけるCCUSが必須に

特にセメント製造における脱炭酸のCO₂排出(つまり原料由来のCO₂排出)は不可避なため、CO₂を回収し、利用(一部は貯留)するCCUSが必須。

● 市場機会：

- 原料の脱炭素化は難しいことや、焼成過程のエネルギーは全て再エネで賄うことは現実的に難しいこと、コンクリートにとってセメントは不可欠な材料であることから、セメント・コンクリート産業全体での脱炭素化を目指すためには、**セメント製造工程においてCCUSでCO₂を削減することが必須**になる。
- **原料由来のCO₂排出量は約60%**を占めており、早急に脱炭素化を図るにはセメント産業におけるCCUSの技術開発と社会実装を早急に進めていく必要がある。

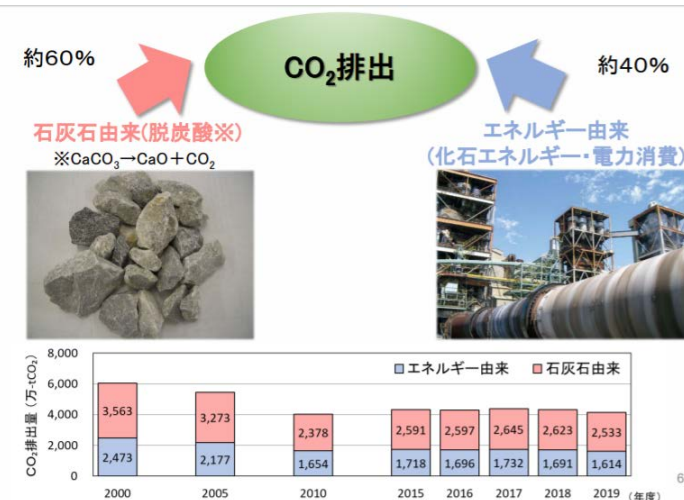
● 市場規模：

- 2030年代
国内へCO₂回収可能なキルンを販売導入することで、設備導入費用が数千億円と想定
- 2050年（「グリーンイノベーション基金事業 研究開発・社会実装計画」における想定を基に試算）
キルンの設備導入費用は、世界(約50億トン)で約数十兆円。
セメント市場獲得によるものは、世界で約数十兆円。
(現状のセメント生産量(参考⁶)から23%増加し、当該技術による生産に置き換わると想定)

● 産業・社会へのインパクト：

- セメント企業
・**脱炭素技術開発・普及によって脱炭素社会における競争力を獲得**（Scope 1 のCO₂排出量を削減可能）。
- 土木・建設企業
・**ESGやSDGs対応、SBT達成への貢献**（Scope 3のCO₂排出量を削減可能）。
・利用できる廃棄物の幅を広げ、**循環社会へ更なる貢献**。
- 社会・日本全体
・**気候変動への対応や廃棄物処理によるサーキュラーエコノミーに貢献**が可能。
・また、セメント・コンクリート業界や関連する業界(廃棄物処理、建設業界など)の**雇用維持や雇用創出**に繋がる。

セメント製造工程からのCO₂排出



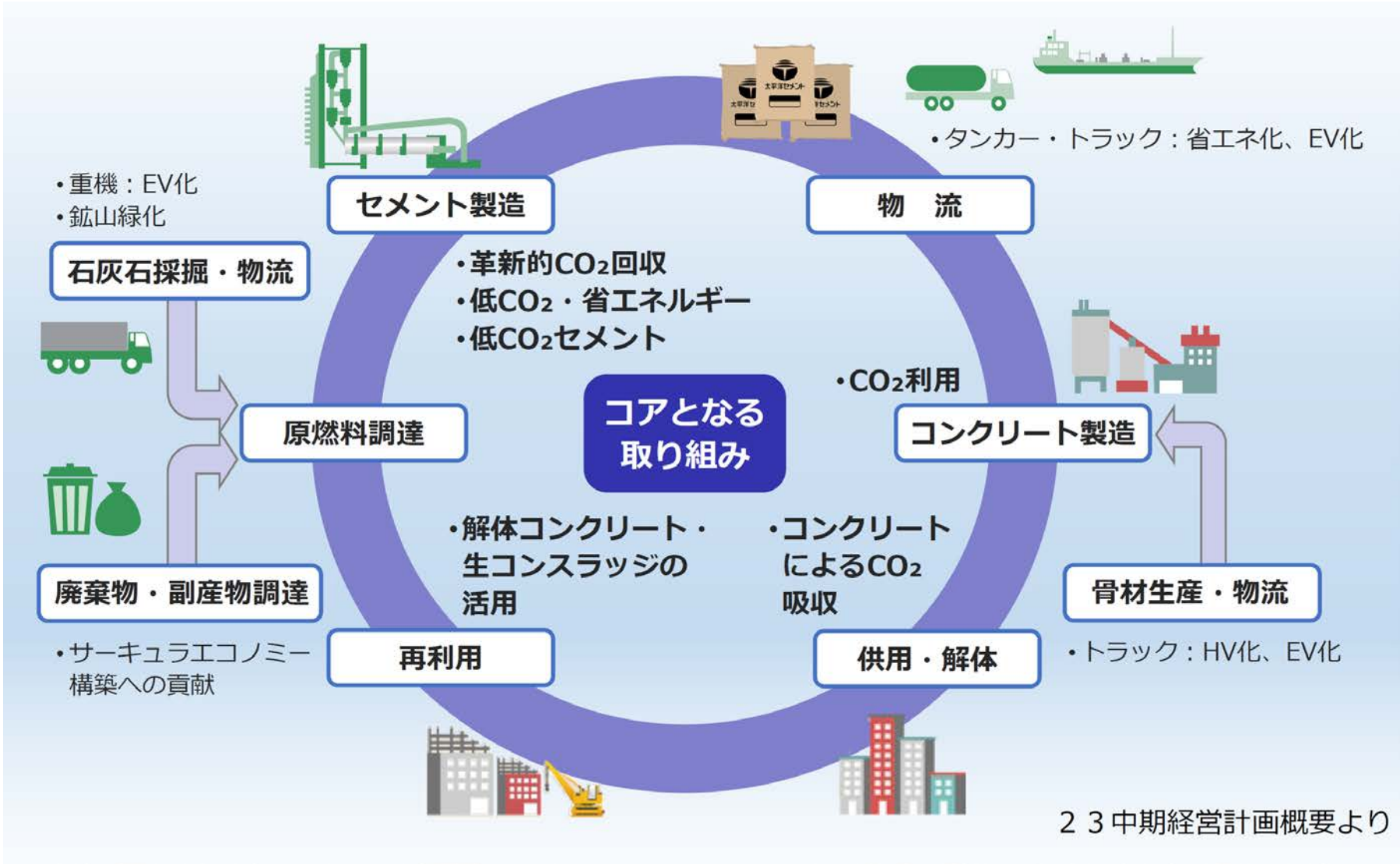
(引用)セメント協会
「セメント業界におけるこれまでの省エネの取組み並びに長期的展望について」

関連するSDGs



1. 事業戦略・事業計画／（1）産業構造変化に対する認識

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り組み



2 3 中期経営計画概要より

（2022.3月公表 『太平洋セメントグループカーボンニュートラル戦略2050～技術開発ロードマップおよび2030中間目標』より）

1. 事業戦略・事業計画／（1）産業構造変化に対する認識

2030年および2050年の向けた取り組み

2030年に向けた取り組み

国内・海外グループ(2000年比)

2030中間目標*：サプライチェーン※¹全体でのCO₂排出原単位を20%以上削減

*CO₂排出量削減割合(国内)：40%以上(2000年比)

1.カーボンニュートラルに向けた技術開発・導入

- ・既存技術(省エネ、低CO₂エネルギー/セメント※²)の最大活用
- ・革新技术開発(CO₂回収・利用)の完成

2.カーボンニュートラルに向けた投資1,000億円

2050年カーボンニュートラルに向けた取り組み

1. 革新技术の順次展開

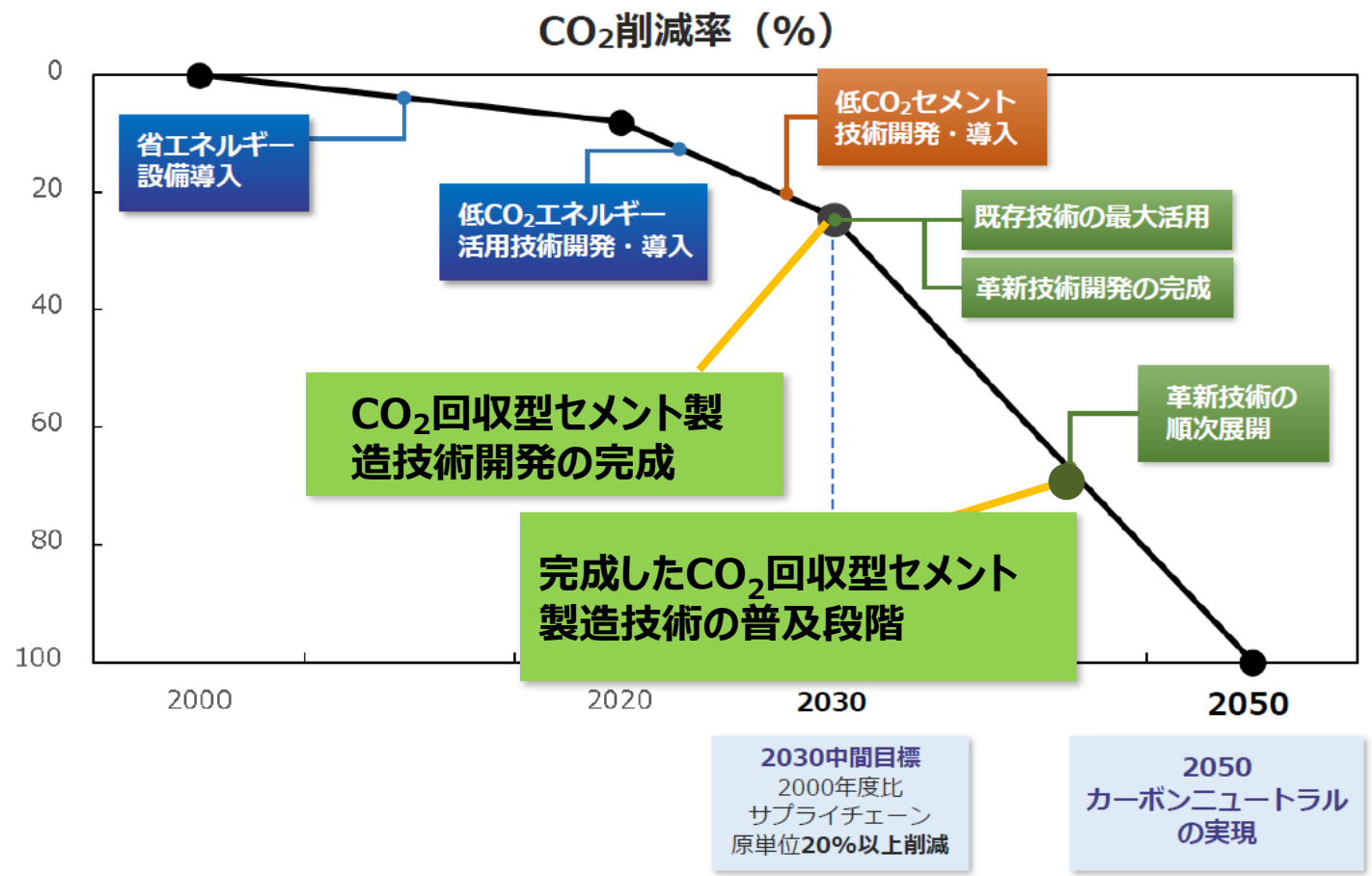
2. サプライチェーン全体としてカーボンニュートラルを実現

※¹ サプライチェーン：セメント原料調達、製造、物流、コンクリート利用、再資源化などのセメントが商品として関わる一連のながれ(p.3)であり、SCOPE1、2、3を含みます(範囲拡張等により対象は変化する場合があります)

※² 低CO₂セメント：低CO₂排出クリンカを使用したセメント、混合セメント、炭酸塩化プロセスを利用するセメントなどを指します

1. 事業戦略・事業計画／（1）産業構造変化に対する認識

「カーボンニュートラル戦略 2050」の技術開発ロードマップおよび 2030 中間目標を盛り込んだ具体的方策を策定

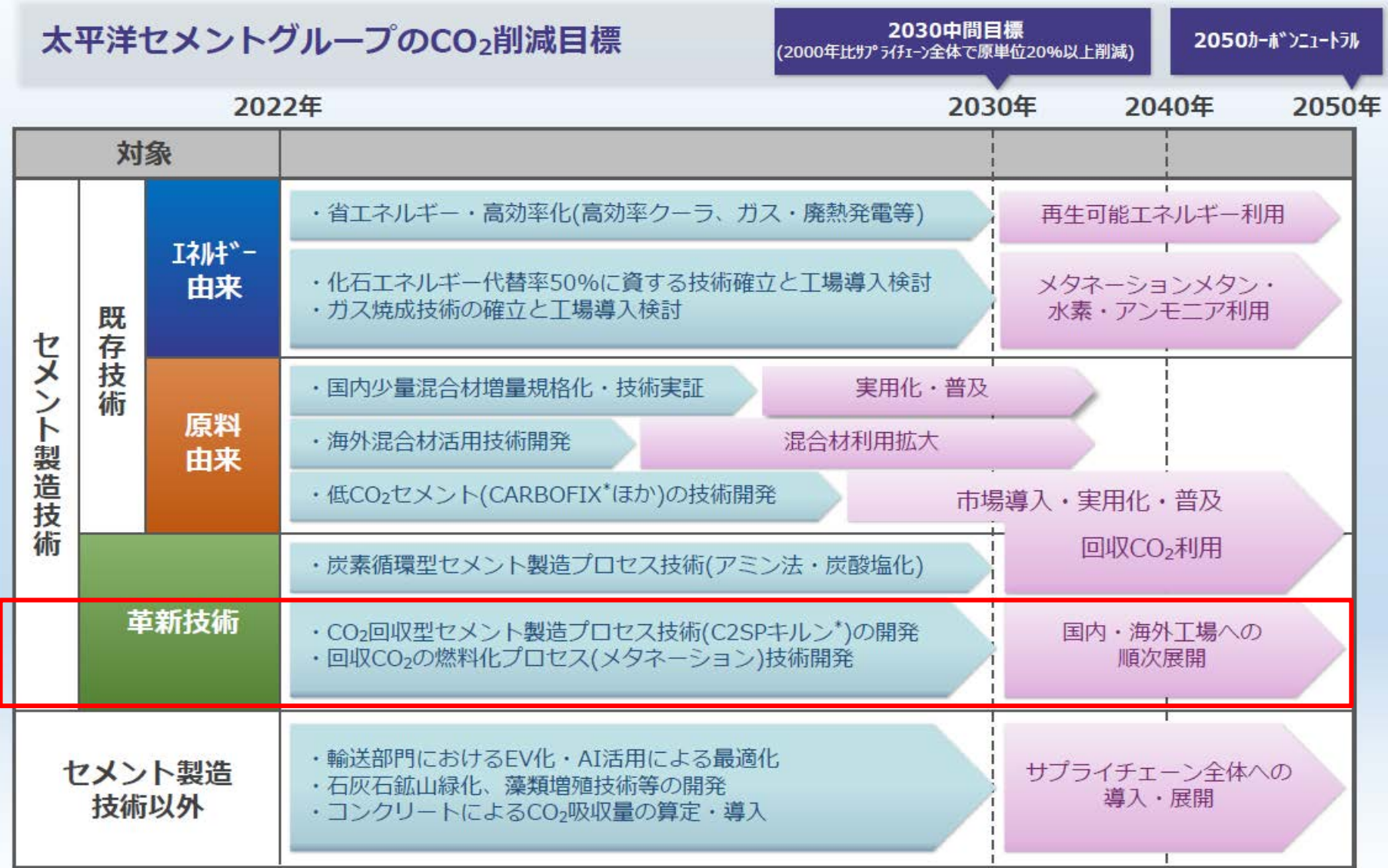


（2022.3月公表 『太平洋セメントグループカーボンニュートラル戦略2050～技術開発ロードマップおよび2030中間目標』より）

2022年3月には「カーボンニュートラル戦略2050」を更新。「革新的CO₂回収技術」を含む「革新技術」は2030年までに完成させ、その後、順次展開することを表明

1. 事業戦略・事業計画／（1）産業構造変化に対する認識

「カーボンニュートラル戦略 2050」の技術開発ロードマップおよび 2030 中間目標を盛り込んだ 具体的方策を策定



(2022.3月公表 『太平洋セメントグループカーボンニュートラル戦略2050～技術開発ロードマップおよび2030中間目標』より)

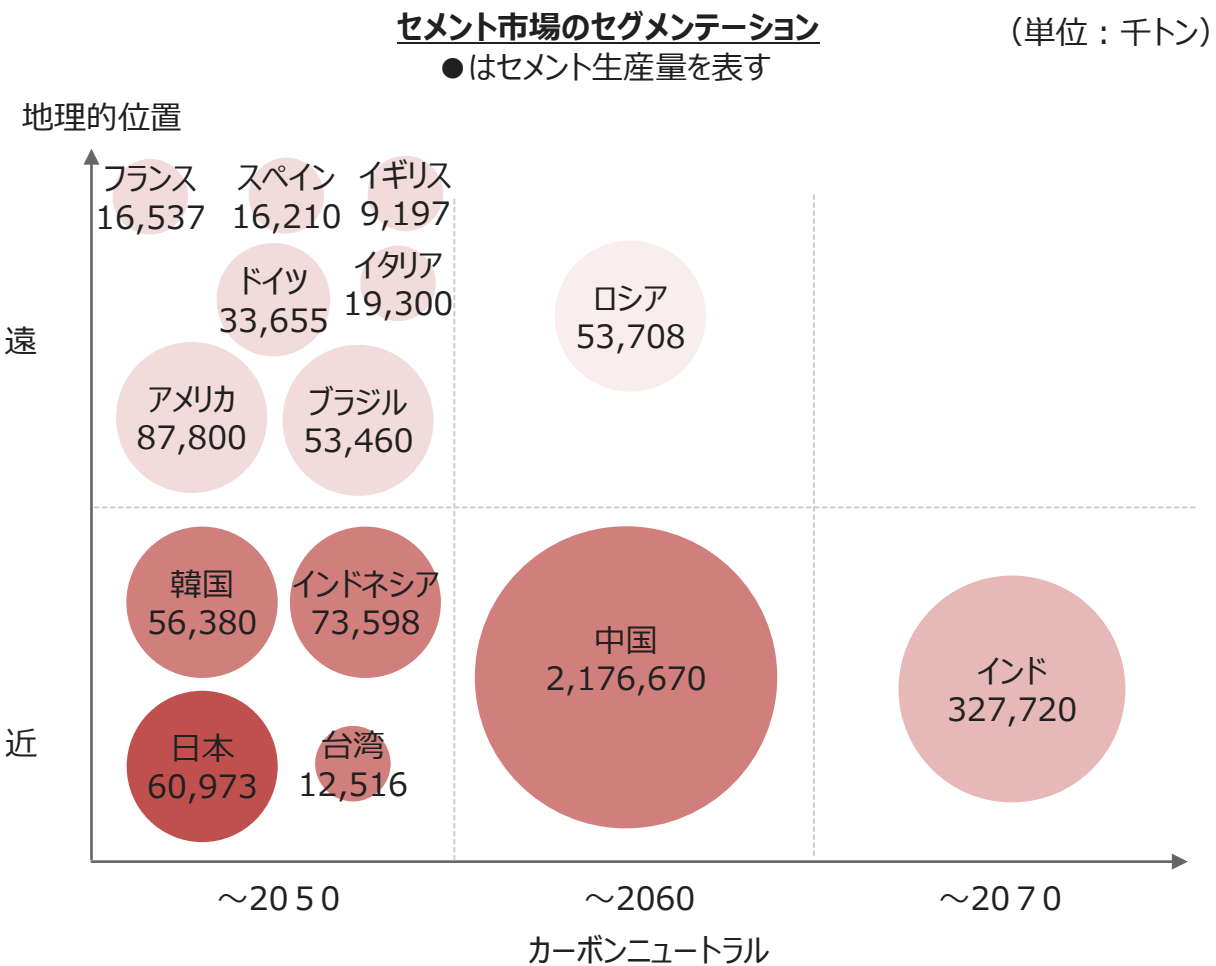


1. 事業戦略・事業計画／（2）市場のセグメント・ターゲット

国内における実装と、実績を構築しつつ、アジアを中心に世界への導入・普及を進める

セメント製造におけるCO₂回収装置の普及を目指す海外各国

国内で蓄積した導入実績をもとに、アジアを中心に世界への導入を目指す。



ターゲットの概要

市場概要と目標とするシェア・時期

- ～2030年 技術開発を進め、国内外での実装計画を作成
- 2030～2040年 国内での実装を進めながら、アジアを中心に実装
特にカーボンニュートラルを宣言済の国がターゲット
- 2040年～ 世界全体における実装を目指す

セメント需要主要国		生産量	想定ニーズ	導入課題
アジア	中国	21億7,667万トン	セメント産業の脱炭素化	セメントのコストの増加
	インドネシア	7,360万トン		
	韓国	5,638万トン		
	台湾	1,252万トン		
	インド	3億2,772万トン		
欧米他	アメリカ	8,780万トン	セメント産業の脱炭素化	セメントのコストの増加 欧米はセメントにおけるCO2利用技術の開発が進んでおり、競合が多い。
	ドイツ	3,366万トン		
	イタリア	1,930万トン		
	フランス	1,654万トン		
	スペイン	1,621万トン		
	イギリス	920万トン		
	ロシア	5,371万トン		
	ブラジル	5,346万トン		

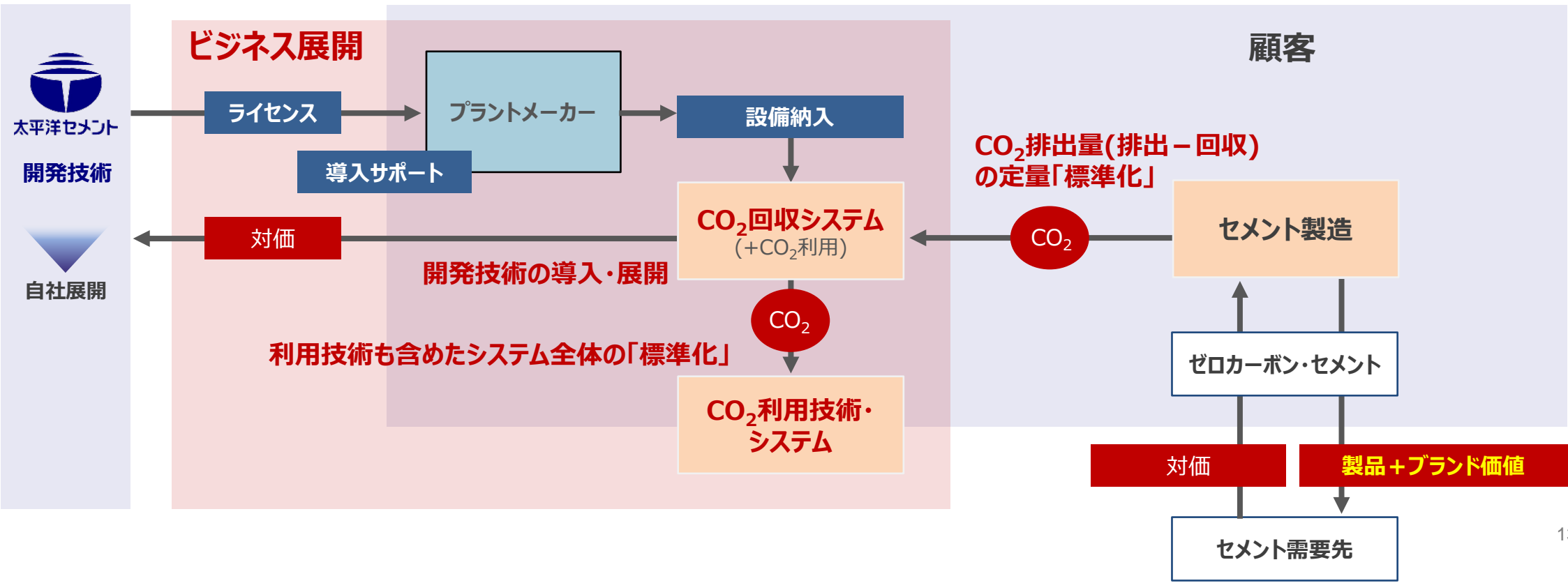
(出典) セメント協会「セメントハンドブック2021」「世界需要国のセメント需給」より作成

1. 事業戦略・事業計画／（3）提供価値・ビジネスモデル

セメント製造に適用できうるCO₂削減技術によって「ゼロ・カーボンセメント」の普及を後押しする

セメント産業においてもカーボンニュートラルが必須となるこれからの事業環境下、当社のCO₂削減技術を国内外の多くのセメント工場に、より早い時期に導入するため、プラントメーカーとライセンス契約を締結。他のセメント事業者へのCO₂回収システムの提供を協力して行うビジネスにより、セメント業界全体でのCO₂削減につなげる。特に、当社セメント製造事業者であり、自らの運転実績といゆ強みを生かした顧客サポートを行う。また、当初は国内での普及を優先させるが、その後の海外展開の初期段階においては、現地工場の運営、あるいはトレーディングビジネス等、様々な事業の実績のある東アジア、東南アジアを中心として技術導出、設備販売を行っていく。

ビジネスモデルの概要



1. 事業戦略・事業計画／（3）提供価値・ビジネスモデル（標準化の取組等）

開発段階からのJIS/ISO化を念頭においた標準化戦略を推進

海外の標準化や規制の動向

（海外の標準化動向）

- ・ 欧米を中心に技術開発は種々行われているが、標準化の動きは認められない

（規制動向）

- ・ 米国では、州政府による低炭素コンクリート及び鋳物化コンクリートの調達に係る規制・インセンティブが導入されている

標準化の取組方針（標準化以外の場合、その手段あるいは方法を記載）

各要素技術については、キルン排ガスからのCO₂回収・利用という新市場の形成と、競合技術（LEILAC等）に勝ち抜くという国際競争力確保の観点から開発段階からJIS/ISO化などを念頭においた標準化戦略を推進する。

標準化の取組内容（全事業期間通じて）

現段階では、当該技術開発内容に感があり以下の観点より技術の「標準化」を検討していく

（１）セメントキルンからのCO₂排出量の定量方法(発生量－回収量＝排出量) 開発技術のようなセメントキルン排ガスのプロセス途中からのCO₂回収では、「CO₂回収量」も含めた排出量が競合技術との重要な優位性評価基準（現状、「発生量」の評価自体も標準化されていない）。この「標準化」を推進することは、本技術の優位化につながる。JIS策定（新規提案）と同時にISO提案を念頭に取り組む。

（２）CO₂有効利用に向けたルール作りを推進
回収CO₂は、メタネーション化、炭酸塩化などの利用やCCS（貯留）などの様々な可能性を持つ。用途の拡大や展開を可能とするためのルールメイキングを推進。

i.e. CCSの貯留CO₂ガスのルール（現状、アミン法のみ対象）、合成メタンの利用に関わる制約（都市ガス導管注入等）、炭酸塩化の測定評価方法の標準化、建設資材での利用に関わる規格類（土木・建築関連法規）の制約 など

知財、その他規制等に関する取組方針・内容

- ・ 開発成果については、競合技術を性能・コストで上回る技術を完成させるとともに自社グループ工場への設置推進と実績の対外アピール
- ・ 上記標準化戦略と並行して、将来のライセンスビジネス拡充の観点より、特許マップの作成等の手法を活用し、特許網構築
- ・ 海外普及に向けては、これまでの当社グループにおいて実績のある東南アジア地区のエンジニアリングビジネスの成果を精査し、現地特有の課題等を顕在化。

1. 事業戦略・事業計画／（4）経営資源・ポジショニング

自らがセメント製造事業者である強みを活かし、セメント産業に寄り添ったCO₂削減ソリューションという価値を提供

自社の強み、弱み（経営資源）

セメント事業者自らが開発することで、セメント製造と親和性の高いCO₂回収システムを提供することができる。

ターゲットに対する提供価値

- 既存キルン(焼成系)の特性を最大限に生かし、セメント製造からの回収に適した、**コンパクトなCO₂回収システム**
 - 特に、日本国内のセメントメーカーのように敷地面積の制約の大きい顧客には、導入に際して現実的なソリューションとなりうる
- 一部回収CO₂はメタネーションによりエネルギーとして循環させることにより、**化石エネルギー使用量を低減したキルン**となる。

自社の強み

- セメント事業者自らが持つ技術開発力**
 - 既存焼成系の改造であり、既存システムとの親和性にも配慮したプロセス提案が可能

自社の弱み及び対応

- 総合プラントメーカー特有の経営資源の欠如
 - 総合的なプラントメーカーではないため、機器調達力に弱点はあるが、**上述の強みを活用して最適なシステム・ソリューションを提案することでコストダウン等顧客満足度を確保**していく。

他社に対する比較優位性

本事業を通して当社のCO₂回収の技術力を強化し、国内セメント業界内のネットワークやセメント産業における知見などを利用しながら、システム導入の顧客基盤、サプライチェーンを構築。「セメント産業に特化したCO₂回収システム」を提供できる点において他社との優位性を持つ。

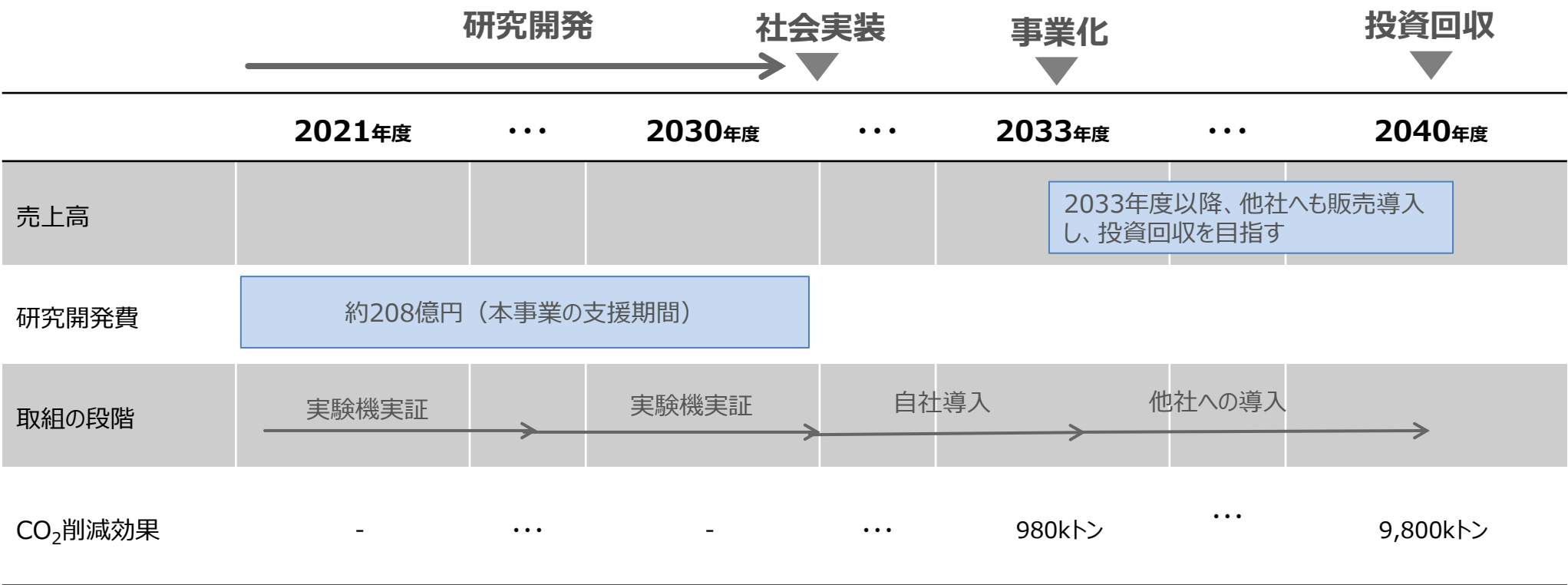
	技術	顧客基盤(導入先)	サプライチェーン	その他経営資源
自社(現在)	・ 従来型NSPキルンへのCO₂回収システム導入 に関する基礎的な検討が完了	・ セメント業界中心(当社及び国内同業他社)	・ プラントエンジニアリング部門 を持つ当社子会社が保有する調達・製造ラインや外注先等を活用可能	・ 国内及び海外(特に環太平洋地区)での セメント産業での実績や設備、知見
(将来)	・ 実験機での確認 を行いながらスケールアップ ・ セメント産業に特化したCO₂回収技術開発	・ アジアをきっかけとして欧米のセメントメーカーへの普及展開	・ 当社子会社には当社指導により セメント産業に特化したCO₂回収システムの提案力 を付与 ・ アジア欧州を中心としたプラントメーカーと連携	・ セメント産業及び同業界のCCUSの 技術力や人材 ・ 大企業 ならではの資本力
国内競合プラントメーカー	・ アミン法による一般的なCO ₂ 回収技術(実用レベル)	・ 特定の産業に依拠しない	・ 国内外の様々な産業向けにプラント製造・供給のサプライチェーン	・ 他産業プラント製造の知見や人材 ・ 資本力
海外競合Calix(豪州)	・ 間接加熱技術(LEILAC: 実証実験レベル)	・ 石灰業界中心	・ 国内外(豪州、欧米、東南アジア)にプラント製造・供給のサプライチェーン	・ スタートアップ企業ならではの柔軟性

1. 事業戦略・事業計画／（5）事業計画の全体像

10年間の研究開発の後、2033年頃の事業化、2040年頃の投資回収を想定

投資計画

- ✓ 2030年までに技術を確立し、2030年から自社工場に順次設備を設置する。
- ✓ 2033年度以降他社へも販売し、2040年の投資回収を目指す。



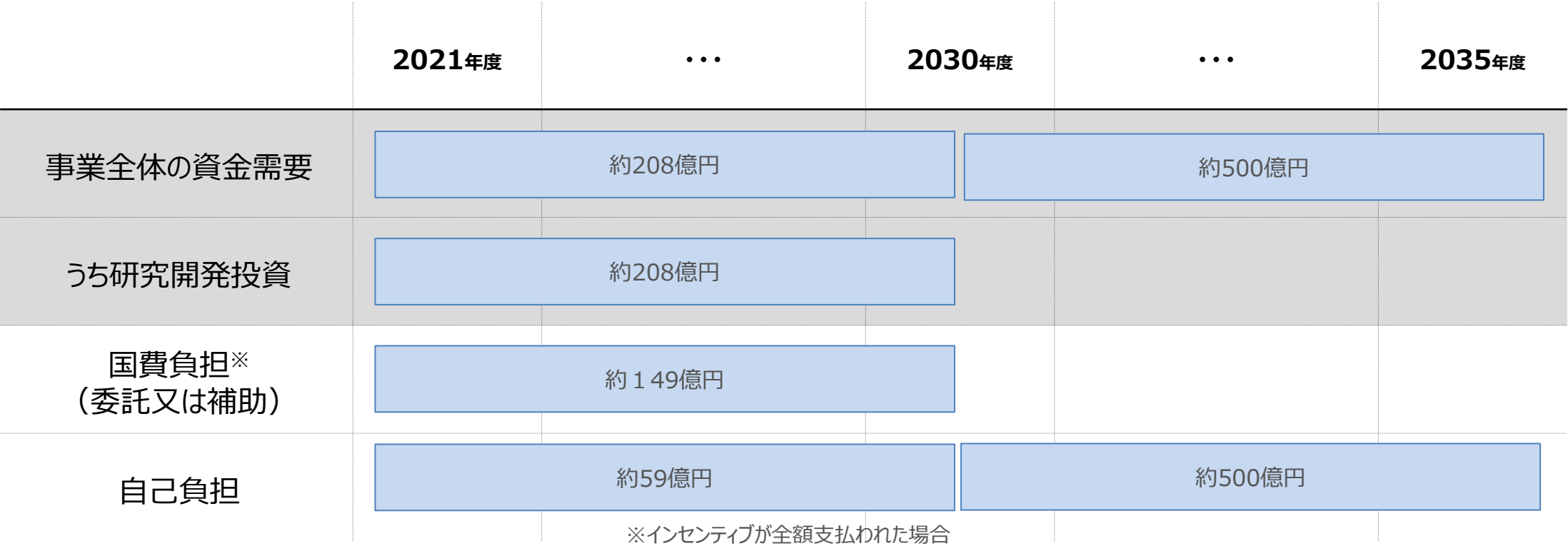
1. 事業戦略・事業計画／（6）研究開発・設備投資・マーケティング計画
当社工場での技術開発・実証による知見・データを基に、国内外のセメントメーカー向けに総合的なソリューションを提案

実証機への段階的なスケールアップと、自らの工場での操業経験を積むことで、セメント製造のCO₂回収技術に特化した知見・データを蓄積し、当社グループが持つネットワークを利用しながら、国内外のセメントメーカーに実際に導入されるキルンの特性や予算等、総合的に考慮したソリューションの提案・販売を予定

	研究開発・実証	設備投資	マーケティング
取組方針	<ul style="list-style-type: none">基礎研究段階の知見を活かし、実験機から実証機へと段階的にスケールアップ自らの実生産工場の操業経験、適用性に常に配慮した技術開発を推進し、セメント製造に特化した革新的ながら現実性のあるシステムを構築販売機能を担う当社エンジニアリング系子会社（太平洋エンジニアリング）も参画した形でのプロジェクト推進欧米を中心とした競合技術（電気焼成のような「革新的技術」も含めて）の開発状況等については、本プロジェクトの中で並行して、調査活動を実施する。	<ul style="list-style-type: none">システム提案段階においては、自らのセメント会社としての経験、ならびにエンジニアリング系子会社の設備調達機能等を最大限に活用し、コスト競争力のある最適なソリューションを提案していく。	<ul style="list-style-type: none">当該システムは、セメントメーカー向け技術であることから、導入されるキルン(焼成炉)との最適化を含めたシステム提案が必要となる。実際に導入されるキルンの特性ならびに個別顧客の予算等、総合的に考慮したソリューション型の提案、システム販売を予定している。
進捗状況	<ul style="list-style-type: none">実験機設置工事に先立ち、ラボ試験機設置完了（2022/8より稼働）	<ul style="list-style-type: none">実機を視野に入れた実証試験装置設置に向けた勉強会開始	<ul style="list-style-type: none">実機を視野に入れた実証試験装置設置に向けた勉強会開始（左記記載のとおり）欧米における競合技術調査開始（2022/10に現地調査）
国際競争上の優位性	<ul style="list-style-type: none">当該分野で先行する欧州では、プラントメーカーの独自技術による開発が多く、システムが導入されるセメント製造工程との親和性の確保が課題。当社ではセメントメーカー主導でのシステム開発を行っており、プロセスの簡素化、セメント工程への負荷低減等、ユーザー視点でのプロセス開発の推進が期待される。	<ul style="list-style-type: none">当社グループは、日本国内のみならず、アジア地区においては、中国、フィリピン、ベトナムに、また、米国西海岸においても一貫工場を操業。かつて事業参入していた韓国、あるいは最近になって資本参加したインドネシア、その他、OEMでのセメント生産を行っているタイのように、環太平洋地区におけるビジネス関係を通じて、セメント製造機器供給上の絶対的な優位性を保持しているものと確信している。	<ul style="list-style-type: none">当社グループのエンジニアリング系子会社は、東南アジア地区を中心に、これまでに数多くのセメントプラントの性能診断、工程改善を実施しており、これらキルン操業上の膨大なデータを蓄積している。これらの経験は、東南アジア地区へのシステム導入への大きな潜在力であり、他の追随を許すものではない。

1. 事業戦略・事業計画／（7）資金計画

国の支援に加えて、560億円規模の自己負担を予定



2030年度以降自社工場に順次設備を設置

(参考1) 国内におけるセメント業界の脱炭素化動向

- セメント協会は2020年3月に「脱炭素社会を目指すセメント産業の長期ビジョン」を発表。
「セメント産業が2050年、さら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2050年の長期目標や最終到達点としての「脱炭素社会」の実現に向け、目指すべき方向性を示すビジョンである。」としている。

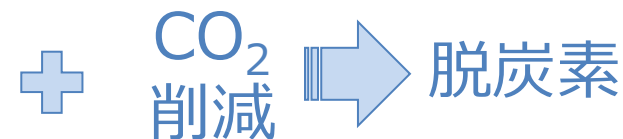
セメント産業の果たす役割

基礎素材の供給者

循環型社会形成への貢献

地域経済への貢献

災害廃棄物処理への貢献



目指すべき対策の方向と克服すべき課題

これらの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

CO₂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CO₂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
CO₂低減

- 脱炭酸されたカルシウム源を含む廃棄物・副産物の利用拡大
原料代替として用いられる高炉スラグや都市ごみ焼却灰などはセメント製造や品質に影響を及ぼす成分が含まれていることから使用量が限定されることが課題。
- コンクリートのリサイクル
生コン工場で発生するスラッジや微粉等もクリンカ原料としての利用が期待できるが、集約システムの必要性、セメントの製造や品質に影響を及ぼす成分が濃縮されることが課題。

- CO₂を吸収して硬化したり、製造時のCO₂排出を抑える技術の開発が行われるが、課題も多く大量にセメントに置き替え得る結合材にはなっていない。

- セメント産業の脱炭素には相当部分をCCUSに依存せざるを得ないが、回収技術は特に材料や条件など、セメント工場の排ガスに合わせたものを確立することが必要である。また、CO₂分離回収には現状ではエネルギーが多量に必要でコスト低減も課題。加えて回収CO₂の貯留や利用方法も課題となる。

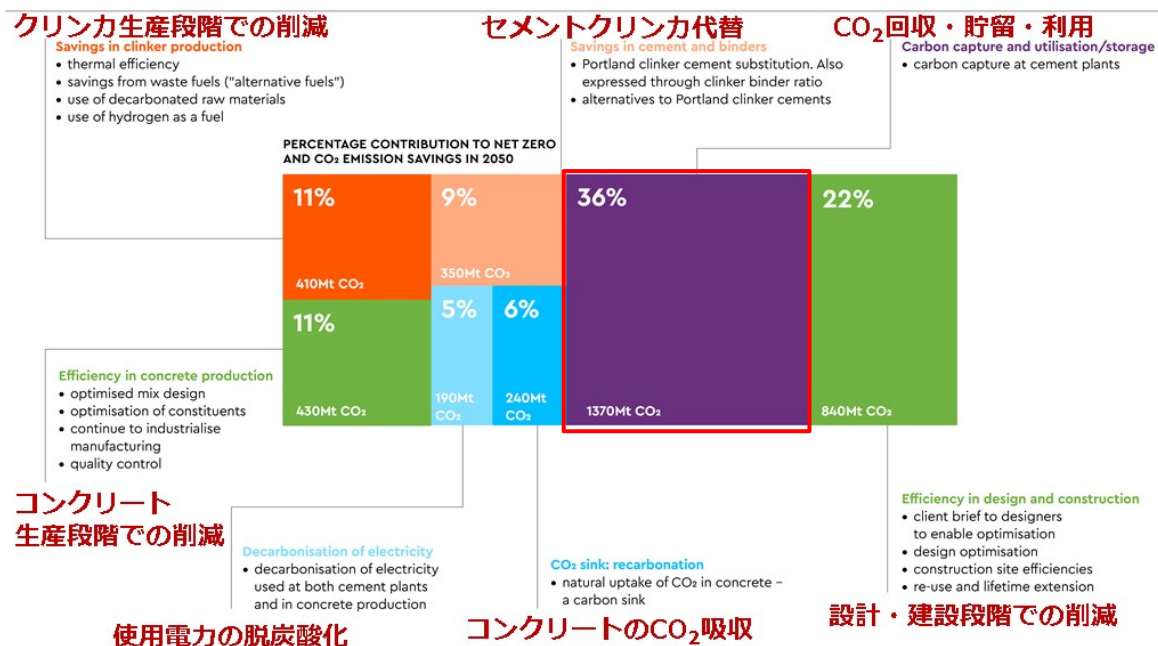
1. 事業戦略・事業計画／参考資料

(参考2) 海外におけるセメント業界の脱炭素化動向

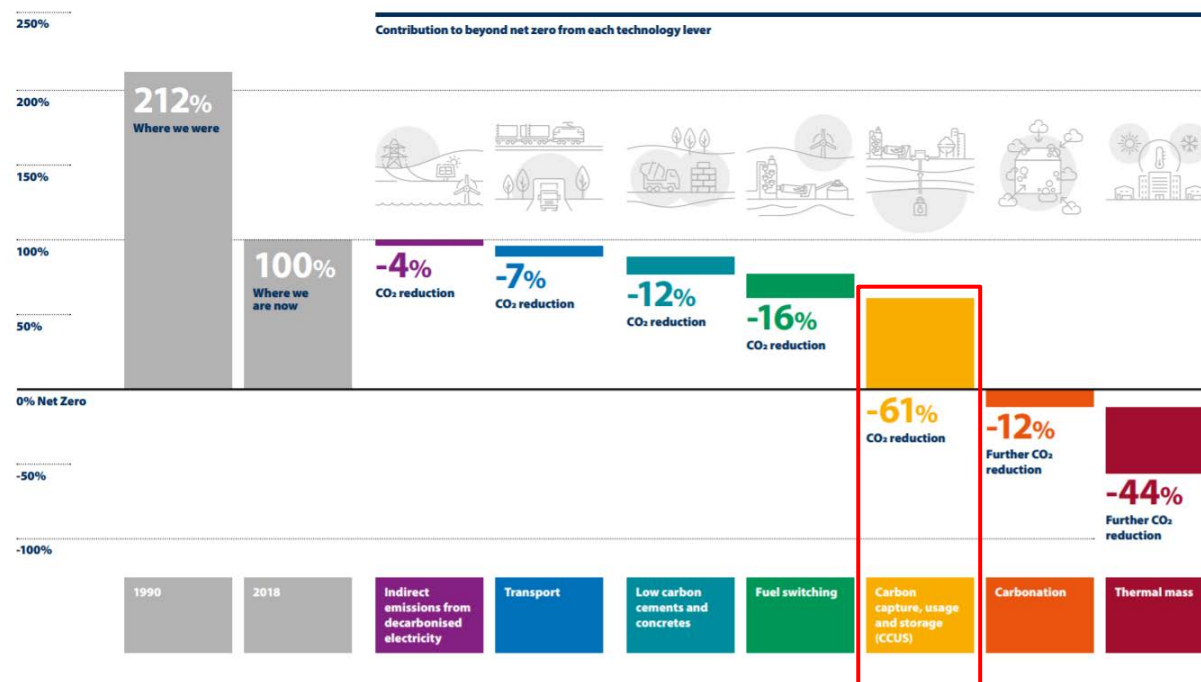
- GCCA(グローバルセメント・コンクリート協会)は2020年9月、2050年までにカーボンニュートラル達成を目標とする声明「2050 Climate Ambition」を発表。コンクリートの長期的なサステナビリティに関する世界的見地が示され、建設業界の大きなマイルストーンとなる。また、そのロードマップを2021年10月に公開している。
- その他、フランスや英国など、セメント・コンクリート業界が脱炭素ロードマップを示すなど、同業界の脱炭素の潮流は強まっている。
 - 同業界の脱炭素には、CCUSへの期待が高いこともわかる。

GCCAが示すカーボンニュートラル達成に向けた方策

ACTIONS TO A NET ZERO FUTURE



英国のセメント・コンクリート業界における脱炭素ロードマップ



(参考3) セメント需要家(建設業界など)の脱炭素化動向

- 建設業界における脱炭素化動向

- 日本建設業連合会は、資材の調達から施設の設計・施工、さらには運用・改修・解体にわたる各段階でCO₂の排出抑制に取り組むことを推進。特に施工段階におけるCO₂排出量抑制目標を下記のように設定している。
- SBTコミットしている国内建設事業者は13企業(2021年3月現在、中小企業除く)
 - ✓ 安藤・間／熊谷組／ジェネックス／清水建設／住友林業／積水ハウス／大東建託／大成建設／大和ハウス工業／高砂熱学工業／東急建設／戸田建設／前田建設工業／LIXILグループ

□ 施工段階におけるCO₂の排出量抑制目標

○ 施工段階におけるCO₂排出量*

2030～40年度のできるだけ早い段階で 2013年度比 40% 削減	▶	スコープ1,2 排出量を 2050年までに実質ゼロ
---	---	---------------------------------

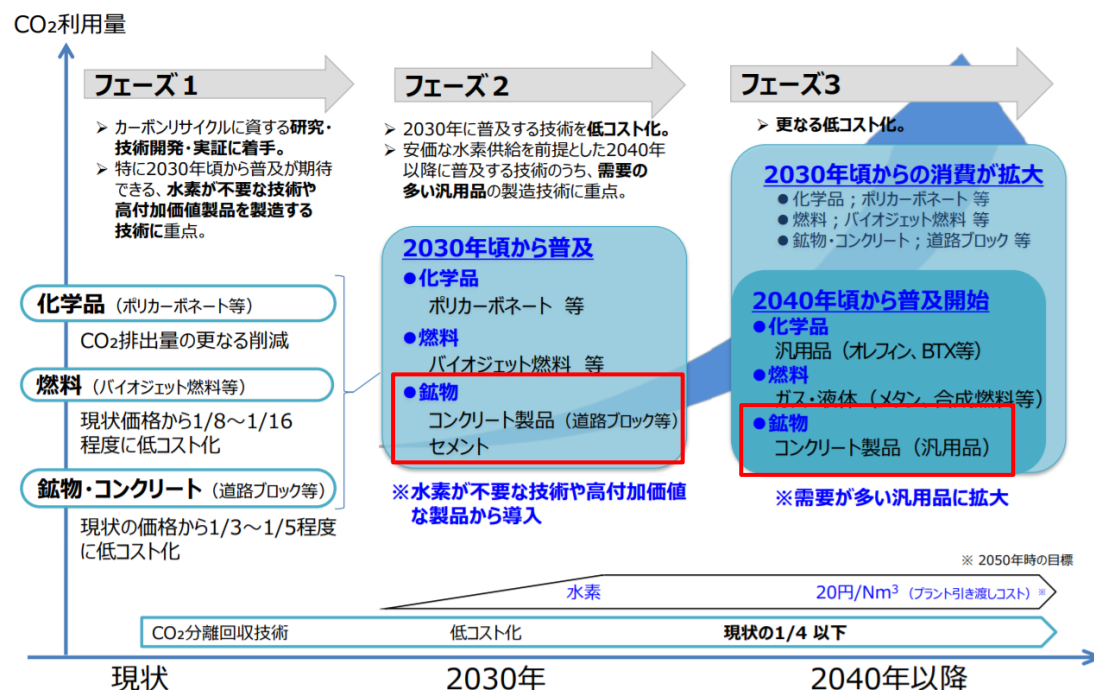
※CO₂排出総量は生産活動の規模（施工高）に大きな影響を受け実態が把握しにくいいため、施工高当たりの原単位（t-co₂/億円）を目標値としています。

1. 事業戦略・事業計画／参考資料

(参考4) セメント・コンクリートのカーボンリサイクル技術のマイルストーン(カーボンリサイクル技術ロードマップ)

- 「カーボンリサイクル技術ロードマップ」では、カーボンリサイクル技術で製造されたセメント・コンクリートの普及は、道路ブロック等のコンクリート製品やセメントは2030年頃から、汎用品は2040年頃からの普及を目指している。

カーボンリサイクルが拡大していく絵姿



セメント・コンクリートのカーボンリサイクル技術の課題と、2030年・2040年のターゲット

● コンクリート、セメント、炭酸塩、炭素、炭化物などの製造技術

<技術課題>

- 鉄鋼スラグ、廃コンクリート、石炭灰等の産業副産物、廃鉱物、海水（かん水）等からの有効成分（CaやMgの化合物）の分離（分離後の副生物の処理を含む）
- CO₂との反応性を高めるための有効成分の微粉化および分離等の前処理の省エネ化（乾式プロセス）
- 湿式プロセスでの省エネ化（重金属類等の安価な排水処理等）
- 安価な骨材、混和材等の開発、配合の最適化及びこれら材料による複合製造技術
- 炭素・炭化物の生成エネルギー削減、分離、精製
- スケールアップ

<1トンのCO₂を固定化するために必要なエネルギー>

- 500 kWh/t-CO₂（高炉スラグ利用、乾式プロセス）

<その他課題>

- CO₂発生源から製造・供給までの連携したシステム構築・プロセスの最適化（CO₂固定化量や経済性の最適化）
- 用途拡大と経済性の検証（炭酸塩の利用技術の開発と実証 - コンクリート製品・コンクリート構造物への適用への検証、蛍光材料等の高付加価値品の開発等）
- 土木・建築資材としての長期間の性能評価、規格・ガイドラインの整備

<具体的な取組>

- 廃コンクリート等の産業副産物、廃かん水等に含まれるCa・Mgを活用した炭酸塩化技術開発
- コンクリート用骨材、土壌改良材、ガラス原料等への用途拡大のための技術開発
- CO₂還元、炭素化要素技術開発

※鉄鋼スラグや石炭灰等は、現在でも多くがコンクリート材料として利用されているが、炭酸塩の形では使われていない。

2030年のターゲット

<コスト見込み>

- 道路ブロック：既存のエネルギー・製品と同等のコスト

<1トンのCO₂を固定化するために必要なエネルギー>

- 200 kWh/t-CO₂（原材料と反応プロセス問わず）

<CO₂利用>

- 鉄鋼スラグや石炭灰の10%程度を炭酸塩化

<その他>

- 大規模実証
- コストダウン追求
- 国内外の適地調査
- なんらかのインセンティブを付けることによる需要の促進（公共事業等における調達など）

<具体的な取組>

- 原料の拡大（石炭灰、バイオマス混焼灰、廃コンクリート等）→鉄鋼スラグ、廃鉱物、海水（かん水）利用等

<技術目標>

- CO₂反応量、反応速度を高める効果的な炭酸塩化手法の開発
- CO₂有効利用コンクリート製品の適用範囲拡大
- 高付加価値化（炭素繊維、ナノカーボン等）
- カーボンリサイクルセメントの開発

2040年以降のターゲット

<コスト見込み>

- 道路ブロック以外：既存のエネルギー・製品と同等のコスト
- 汎用品（電極、活性炭）と同等コスト

<CO₂利用>

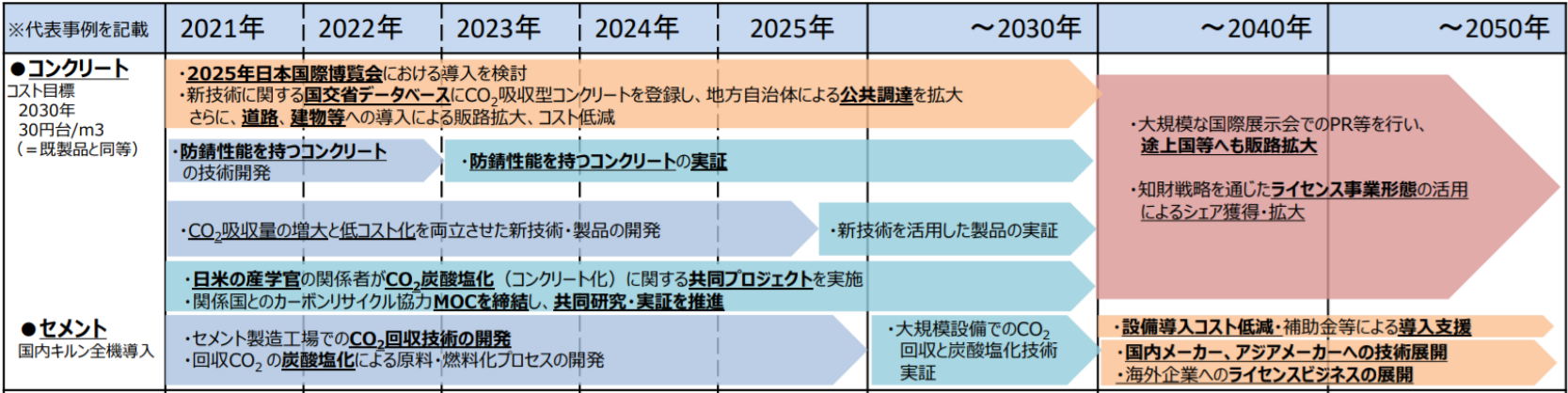
- 鉄鋼スラグや石炭灰の50%程度



1. 事業戦略・事業計画／参考資料

(参考5) セメント・コンクリートのカーボンリサイクル技術のマイルストーン(グリーン成長戦略)

- 「グリーン成長戦略」では、2050年カーボンニュートラルに向けた重点分野の1つにカーボンリサイクル産業を掲げており、セメント・コンクリートのカーボンリサイクル技術について以下のマイルストーンを提示している。



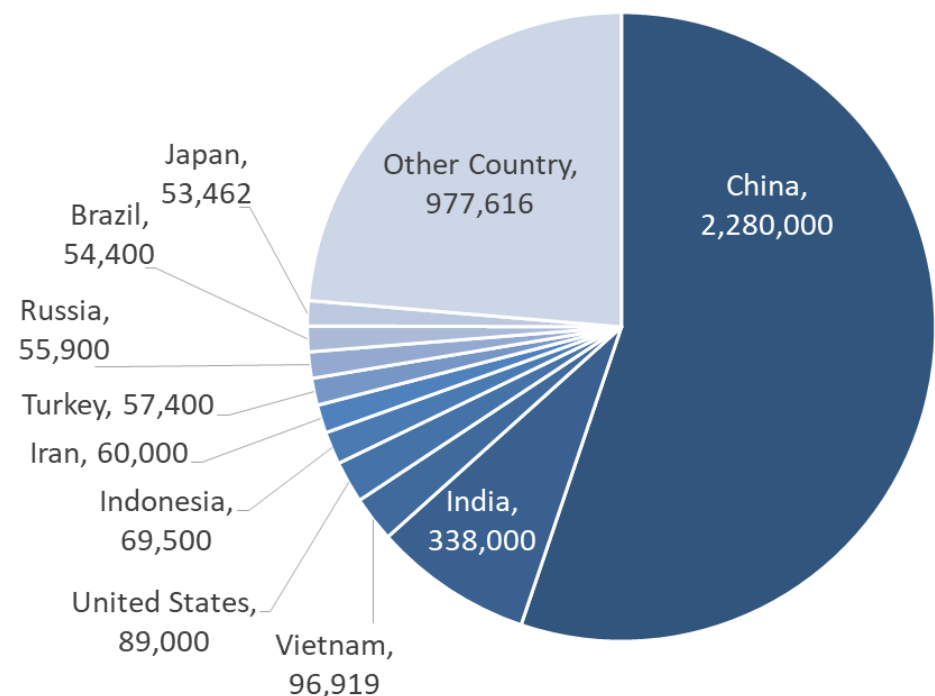
コン ク リ ー ト ・ セ メ ン ト	現状と課題	今後の取組
	CO₂を吸収して造るコンクリートは実用化済だが、市場が限定的 <ul style="list-style-type: none">CO₂-SUICOMはコスト高。CO₂吸収量が限定的、コンクリートの中の鉄骨がさびやすいため(CO₂吸収により酸化しやすくなるため)、用途限定。	公共調達を活用し、販路拡大・コスト低減 <ul style="list-style-type: none">コスト目標として、2030年に既存コンクリートと同価格、2030年に防錆性能を持つ新製品を県k地区用途にも使用可能に。市場規模は2030年で世界で約15～40兆円を見込む。<ul style="list-style-type: none">① 公共調達による販路拡大<ul style="list-style-type: none">✓ 新技術に関する国交省のデータベースにCO₂吸収型コンクリートを登録。国・地方自治体による公共調達を拡大。2025年日本国際博覧会でも導入を検討。さらに国際標準化を通じ、アジアへの販路を拡大。② 更なる販路拡大<ul style="list-style-type: none">✓ 防錆性能を持つ新製品を開発。建築物やコンクリートブロックに用途拡大。標準化導入に向けた支援による民間部門での需要拡大を検討。✓ CO₂吸収量の増大と低コスト化を両立させた新技術・製品の開発と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
	石灰石の燃焼時にCO₂が発生、しかし大量のCO₂回収技術が未確立 <ul style="list-style-type: none">キルンから1日当たり数千トンのCO₂が発生。現行技術(化学吸収法)では大規模化。炭酸塩化技術もCO₂利用量が少なく、またカルシウム源も限定的。	新たな製造プロセスの確立・炭酸塩の利用拡大 <ul style="list-style-type: none">2030年までに石灰石からの排出CO₂を100%近く回収する技術の確立を目指す。廃棄物等を用いた炭酸塩やゼロカーボン・セメント技術の確立し、炭酸塩の利用拡大を図る。2050年までに国内工場への導入や東南アジア等のプラントとの技術協力、ゼロカーボン・セメントの普及拡大をめざす。

(出典) 経済産業省「グリーン成長戦略」

(参考6) 世界各国のセメント生産量の現状と見通し

- 世界の現在のセメント生産量と、IEAによる2050年までのセメント生産量の見通しは以下のとおり。
- 日本を除くアジア(中国、韓国、台湾、インド、ASEAN)は、世界の生産量の約71%を占める。

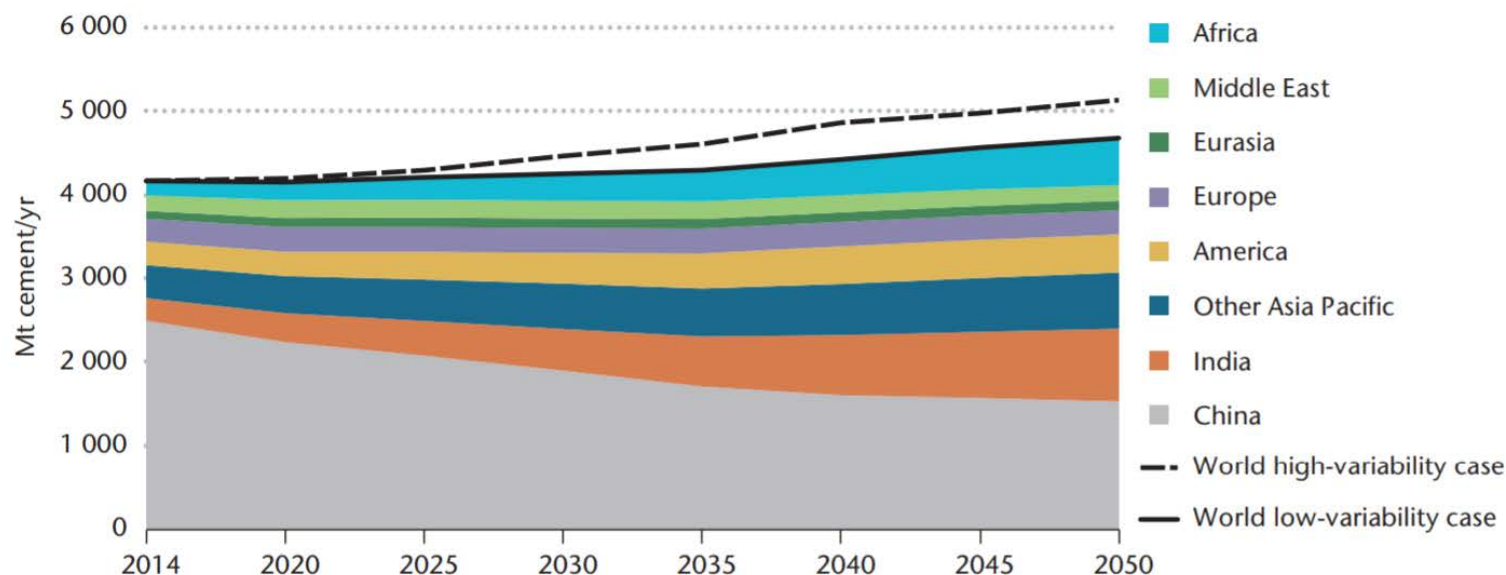
世界のセメント生産量(2019年、単位：千トン)



(出典) National Minerals Information Center
「Cement Statistics and Information」より作成

世界のセメント生産量の見通し

Figure 4: Cement production by region



Note: See Annex for regional definitions.

Sources: Base year cement production data from van Oss, H. G. (2016), *2014 Minerals Yearbook: Cement*, United States Geological Survey data release, <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/cement/myb1-2014-cemen.pdf>.

(出典) IEA「Technology Roadmap Low-Carbon Transition in the Cement Industry」(2018年4月更新版)

2. 研究開発計画

2. 研究開発計画／（1）研究開発目標

アウトプット目標を達成するために必要な複数のKPIを設定

研究開発項目 3

製造プロセスにおけるCO₂回収技術の設計・実証

研究開発内容

- 1 革新的な新型仮焼炉の設計
- 2 最適な仮焼炉運転条件の確立
- 3 プレヒーターにおける原料の予熱
- 4 支燃性ガスの予熱
- 5 エネルギー由来CO₂の熱エネルギー化（メタネーション技術）

アウトプット目標

2030年までに、プレヒーターで発生するCO₂のうち**85%以上**を回収し、また広く適用されている化学吸収法（アミン法）におけるCO₂を1トン回収するための標準的なエネルギー（原単位：2.6GJ/t-CO₂）よりも**20%以上の省エネ**とし、エネルギー由来相当分のCO₂を**セメント製造用熱エネルギー源に転換する**技術の確立。

KPI

- 仮焼炉排ガス中（乾ベース）のCO₂濃度
- 仮焼炉出口での炭酸カルシウム成分の脱炭酸率
- 仮焼炉入口のセメント原料温度
- 仮焼炉入口の支燃性ガスの温度
- 初期メタン転換率
8000hr運転後の転換率

KPI設定の考え方

- 仮焼炉排ガス中のCO₂濃度を高め**直接回収**することにより、**省エネ**・設備のコンパクト化。さらに回収したCO₂はそのまま有効利用。
- 仮焼炉出口での炭酸カルシウム成分の脱炭酸率を現行よりも高く設定することにより、プレヒーターで発生する**CO₂回収率を向上**。
- 現行のNSPキルン並みの熱交換性能を維持することによる**省エネ**、かつ仮焼炉入口原料の脱炭酸率を低くすることにより仮焼炉での**CO₂回収率を向上**。
- 現行のNSPキルンと同等の温度を確保することによる**省エネ**。
- セメント製造用熱エネルギー源として利活用可能となるメタン転換率。

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

各KPIの目標達成に必要な解決方法を提案

研究開発内容	KPI	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 (成功確率)
1 革新的な新型仮焼炉の設計	仮焼炉排ガス中（乾ベース）のCO ₂ 濃度	応用研究（TRL3）	実証（TRL6）	<ul style="list-style-type: none">新型仮焼炉による酸素焼成<ul style="list-style-type: none">酸素焼成に適したバーナー設計仮焼炉排ガスの一部を循環し、支燃性ガスと混合する設備の設置空気リーク箇所のシーリング	実証機導入前に実験機で検証できる（70%）
2 最適な仮焼炉運転条件の確立	仮焼炉出口での炭酸カルシウム成分の脱炭酸率	応用研究（TRL3）	実機実証（TRL6）	<ul style="list-style-type: none">新型仮焼炉による酸素焼成<ul style="list-style-type: none">仮焼炉排ガスの循環率の設定による支燃性ガス中のO₂濃度の調整炉内温度、原料滞留時間等の制御	実証機導入前に実験機で検証できる（70%）
3 プレヒーターにおける原料の予熱	仮焼炉入口のセメント原料温度	応用研究（TRL3）	実機実証（TRL6）	<ul style="list-style-type: none">キルン排ガスを用いた加熱<ul style="list-style-type: none">プレヒーター通風量の確保のためのクーラー排ガス等の使用多段サイクロンの小改造（風速増加）	生産量に応じて改造した実績を有する（80%）
4 支燃性ガスの予熱	仮焼炉入口の支燃性ガスの温度	応用研究（TRL3）	実機実証（TRL6）	<ul style="list-style-type: none">高温の仮焼炉出口ガスによる間接加熱<ul style="list-style-type: none">熱交換器（ガス-ガスヒータ）の開発	キルン排ガスの廃熱発電に関する知見を有する（80%）
5 エネルギー由来CO ₂ の熱エネルギー化（メタネーション技術）	初期メタン転換率 8000hr運転後の転換率	応用研究（TRL3）	模擬実証（TRL5）	<ul style="list-style-type: none">耐熱性、耐被毒性に優れた触媒の使用前処理装置を用いた原料ガス中の酸素除去、微被毒物質除去	実証機導入前に実験機で検証できる（70%）

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容（これまでの取組）

各KPIの目標達成に向けた個別の研究開発の進捗度

研究開発内容	直近のマイルストーン	これまでの（前回からの）開発進捗	進捗度
1 革新的な新型 仮焼炉の設計	実験機の稼働確認	<ul style="list-style-type: none">ラボ試験機の設計・製作・据付工事を完了。実験機の設置場所を決定し、配置図、立面図、工事スケジュール等を作成現在実機設備に設置されている仮焼炉の形状を参考に、実機レベルの実証機の設計開始	○ 2023年度の実験機稼働に向け予定通りに進んでいる
2 最適な仮焼炉運 転条件の確立	実験機の稼働確認	<ul style="list-style-type: none">管状電気炉を用いて、CO₂分圧、温度が脱炭酸温度に及ぼす影響を評価。CO₂分圧の増加に伴い脱炭酸温度が50～100℃増加することを確認SO₃揮発率は酸素濃度の影響を受けることを確認	○ 2023年度の実験機稼働に向け予定通りに進んでいる
3 プレヒーターにおける 原料の予熱	仮焼炉入口のセメント原料温度	<ul style="list-style-type: none">サスペンションプレヒーター改造の先行事例調査開始	○ 調査開始段階
4 支燃性ガスの予熱	仮焼炉入口の支燃性ガスの温度	<ul style="list-style-type: none">国内で熱交換器を開発しているメーカーの調査、各種熱交換器の形状ごとの長所・欠点を整理	○ 調査開始段階
5 エネルギー由来 CO ₂ の熱エネルギー 化（メタネーション 技術）	初期メタン転換率、 8000hr運転後の転換率	<ul style="list-style-type: none">ラボ試験の計画を立案し、ラボ試験を開始。脱酸素触媒の評価などを実施。	○ 2023年度の実験機稼働に向け予定通りに進んでいる

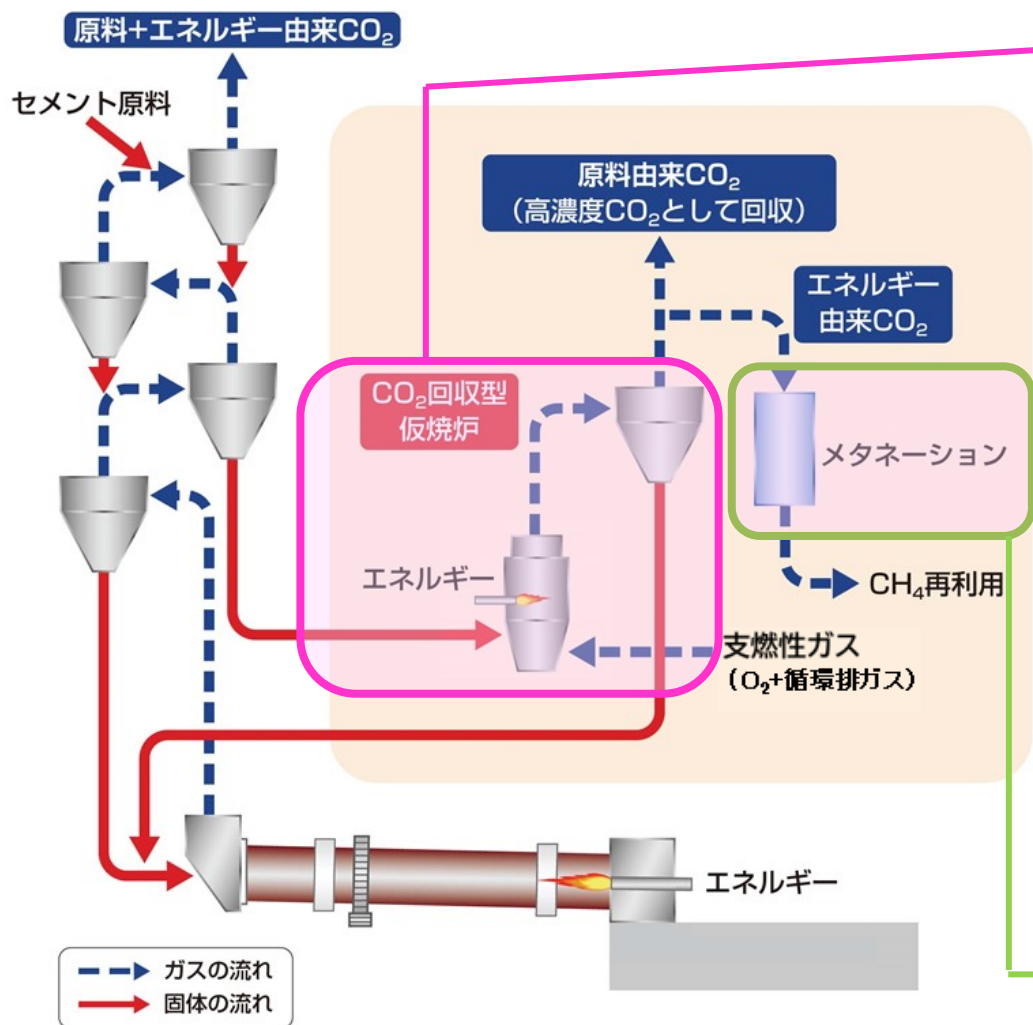
2. 研究開発計画／（2）研究開発内容（今後の取組）

個別の研究開発における技術課題と解決の見通し

研究開発内容	直近のマイルストーン	残された技術課題	解決の見通し
1 革新的な新型 仮焼炉の設計	実験機の稼働確認	<ul style="list-style-type: none">酸素焼成に適したバーナー設計仮焼炉排ガスの一部を循環し支燃性ガスと混合する設備の設置空気リーク箇所のシーリング付着したコーチングの除去・排出方法検討	実験機実証試験により評価・検討 →設備改造→再評価を繰り返す ことにより技術を確立
2 最適な仮焼炉運 転条件の確立	実験機の稼働確認	<ul style="list-style-type: none">排ガスの循環率の設定による支燃性ガス中のO₂濃度の調整炉内温度、原料滞留時間等の制御	実験機実証試験により評価・検討 →設備改造→再評価を繰り返す ことにより技術を確立
3 プレヒーターにおける 原料の予熱	仮焼炉入口のセメント原 料温度	<ul style="list-style-type: none">仮焼炉排ガス分のガス量の減少に応じたプレヒータの改造	過去の事例を調査を基に設計
4 支燃性ガスの予熱	仮焼炉入口の支燃性ガ スの温度	<ul style="list-style-type: none">排ガス中のダスト濃度が高く（100g/Nm³）、SO_xなどの酸性ガ スを含み、大量の排ガス量（数万Nm³/h）に対応したガスガス ヒータの開発	国内で熱交換器を開発している メーカーの調査に加えて、大手エ ンジニアリング会社との共同開発 も検討
5 エネルギー由来 CO ₂ の熱エネルギー 化（メタネーション 技術）	初期メタン転換率、 8000hr運転後の転換 率	<ul style="list-style-type: none">仮焼炉排ガスの特性およびセメント製造設備に適用されるエネル ギー源の必要スペックに適した必要最小限の前処理設備の開発	実験機実証試験により評価・検 討

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

<参考資料> 提案するCO₂回収型設備のコンセプト



【研究開発内容①、②】

原料由来CO₂をコンパクトで低コストな設備で直接回収

- 仮焼炉で発生するCO₂を直接、高濃度で回収するコンパクトな設備
- 生産能力に応じた設計が可能、スケールアップも容易
- 耐熱性の高い特殊鋼材（汎用的な部材）を必要としない低コストなシステム。
- 施設設置に必要な敷地面積も比較的少ない。

【研究開発内容③、④】

従来型NSPキルンの利点は継承したプロセス

- NSPキルンの高い熱交換性能は維持、廃棄物焼成も可能

【研究開発内容⑤】

セメントプロセスのエネルギー源としてのメタネーション活用

- 回収CO₂（エネルギー由来）をメタンに転換し（メタネーション化）、キルン・仮焼炉で再利用

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

<参考資料> 研究開発内容①②

原料由来CO₂をコンパクトな設備で直接回収

革新的な**新型仮焼炉**を用いて、**酸素焼成**（O₂またはO₂とCO₂の混合ガスを用いて焼成）により、排ガス中の**CO₂濃度を高め**、直接回収

KPI：排ガス中のCO₂濃度、仮焼炉出口の炭酸カルシウム成分の脱炭酸率

課題

● **高温度下・高O₂濃度下での仮焼炉の安定運転**

仮焼炉での爆発的燃焼、不均一燃焼の防止

脱炭酸温度の上昇に伴うコーチングの付着、原料の流動性悪化への対応

出口ガス中にO₂を残存させず、かつ不完全燃焼（≡CO濃度の増加）を防止

設備上の閉塞トラブルの原因となるS、Cl等低融点物質の揮発を極力防止

● **空気のリークによる排ガス中のCO₂濃度の低下**

解決方法

設計面

- 酸素焼成に適したバーナー設計
- 仮焼炉排ガスの一部を循環し支燃性ガスと混合する設備の設置
- 空気リーク箇所のシーリング

運転面

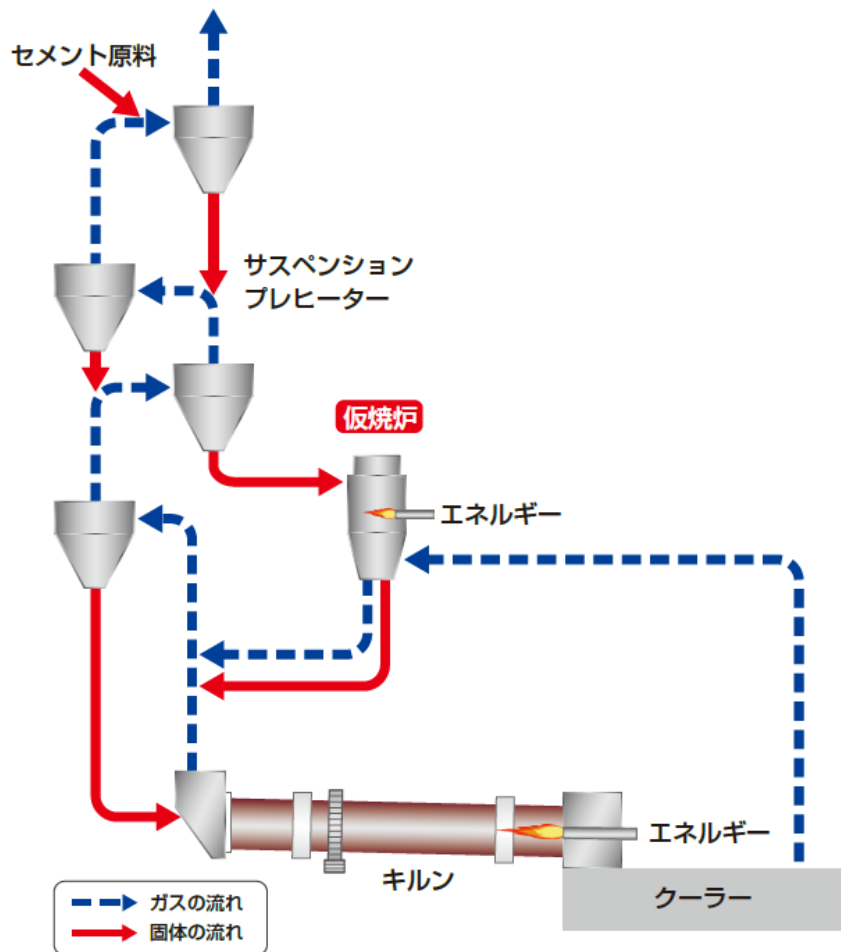
- 排ガスの循環率の設定による支燃性ガス中のO₂濃度の調整
- 炉内温度、原料滞留時間等の制御

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

<参考資料> 研究開発内容③④

従来型NSPキルンの各設備とその役割

*NSPキルン（New Suspension Preheater Kiln） 仮焼炉付きサスペンション・プレヒーター・キルン



- ・サスペンションプレヒーター：
高温のキルン排ガスを用いて原料を予熱
- ・仮焼炉：
エネルギーを投入して原料中の石灰石を脱炭酸
- ・キルン：
エネルギーを投入して脱炭酸した原料を約1450℃で焼成し、クリンカ製造
- ・クーラー：
空気を用いてクリンカを常温まで冷却。
熱交換後の高温空気の一部を支燃性ガスとして
キルン及び仮焼炉に投入

CO₂回収型設備でも同じ方法で原料を予熱。ただしプレヒーターの改造が必要となる。

CO₂回収型設備では別の熱源で支燃性ガスを予熱。

CO₂回収型セメント製造設備においても、NSPキルンの利点である高い熱効率^③は維持。

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

<参考資料> 研究開発内容⑤

本提案プロセスに適したメタネーション技術

- メタネーション技術はすでに実証試験も実施されており、実用化に向けた大型化の検討も行われている。
ただし、高純度のCO₂を用いた検討であり、メタンの販売を考慮して高い転換率を設定。
- セメント製造に使用されるエネルギー源
主なエネルギー源として石炭を使用しているが、天然ガスを用いた製造も実用化（技術面よりもインフラ整備が課題）。
複数の廃棄物由来エネルギー源を組み合わせ使用。純度の低いメタンも使用できる。
- CO₂有効利用のため、本提案プロセスに適したメタネーション技術が必要となる。

本提案プロセスで排出される仮焼炉排ガス

CO₂
N₂（リーク由来）
O₂ + CO（熱エネルギー由来）
酸性ガス（原料・熱エネルギー由来）

劣化成分
温度上昇による触媒の焼結
触媒被毒

KPI：初期メタン転換率、8000h運転後の転換率の目標値を設定

エネルギー由来相当のCO₂の熱エネルギー化（メタネーション技術）
IHIが開発した耐熱性、耐被毒性に優れたメタネーション触媒の使用
前処理装置を用いた原料ガス中の酸素除去、微被毒物質除去

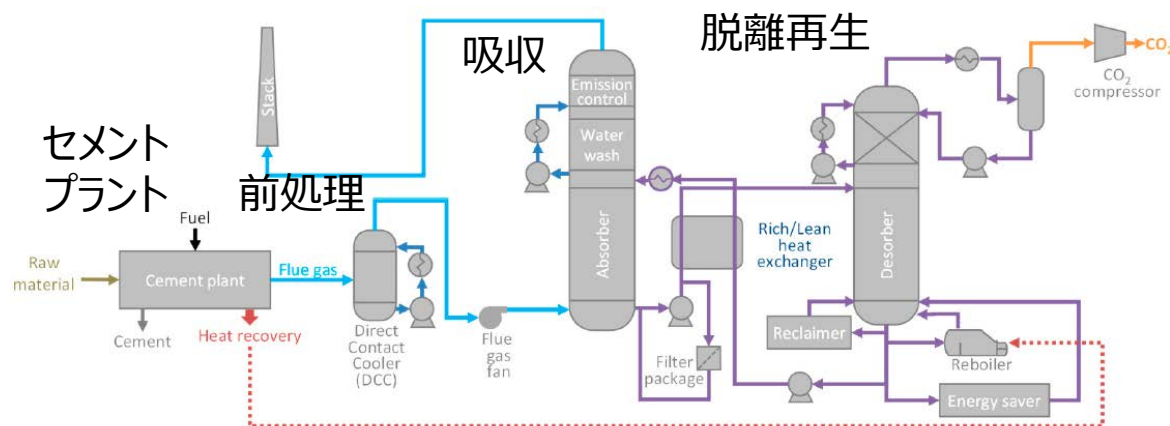
2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

<参考資料> 他社のCO₂回収技術との比較①

★アミン法

参考文献 Marta G.Plaza, et al:CO₂ Capture, Use, and Storage in the Cement Industry: State of the Art and Expectation, Energies 13, 5692 (2020)

- ①ガスの前処理：DCC（Direct Contact Cooler), SO₂, NO_x, ダスト除去
- ②吸収：前処理後の排ガスをアミン水溶液と接触させCO₂吸収（40-60℃）
- ③脱離再生：100-120℃、1.5-2atmの水蒸気等で処理することにより、CO₂を脱離、脱離後の液は吸収液として循環利用。



利点 既存プロセスへの影響を抑えて導入が可能。
高濃度CO₂（99vol% <）を回収可能。

課題 CO₂濃度20vol%の大量の排ガスを処理するため、設備が大型化し、多量のエネルギーを必要とする。
必要なエネルギーのうち 50～80%が脱離再生、セメントプラントには低圧蒸気の供給源もない。

本提案技術の優位点： 高濃度のCO₂を直接回収
→設備のコンパクト化が可能、必要なエネルギーが少ない。

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

<参考資料> 他社のCO₂回収技術との比較②

★LEILAC（間接加熱を用いた石灰石の脱炭酸）

ホームページ <https://www.project-leilac.eu/>

技術概要

- Calix社(オーストラリア、2005年設立)が、炭酸マグネシウム用に開発した技術(約750℃)を。石灰石の脱炭酸にも応用する形でプロジェクト化
- 特殊な鋼製容器を介して、間接的に石灰石を加熱することにより、高純度のCO₂ガスを得る。

プロジェクト概要

LEILAC1 2016年～2020年

設置場所： HeidelbergCement Lixhe工場（ベルギー）

パイロットプラント外寸 L10m×B8m×H50m

CO₂回収量：25,000 t CO₂/y（石灰石由来のCO₂の5%）

LEILAC2 2020年～2024年

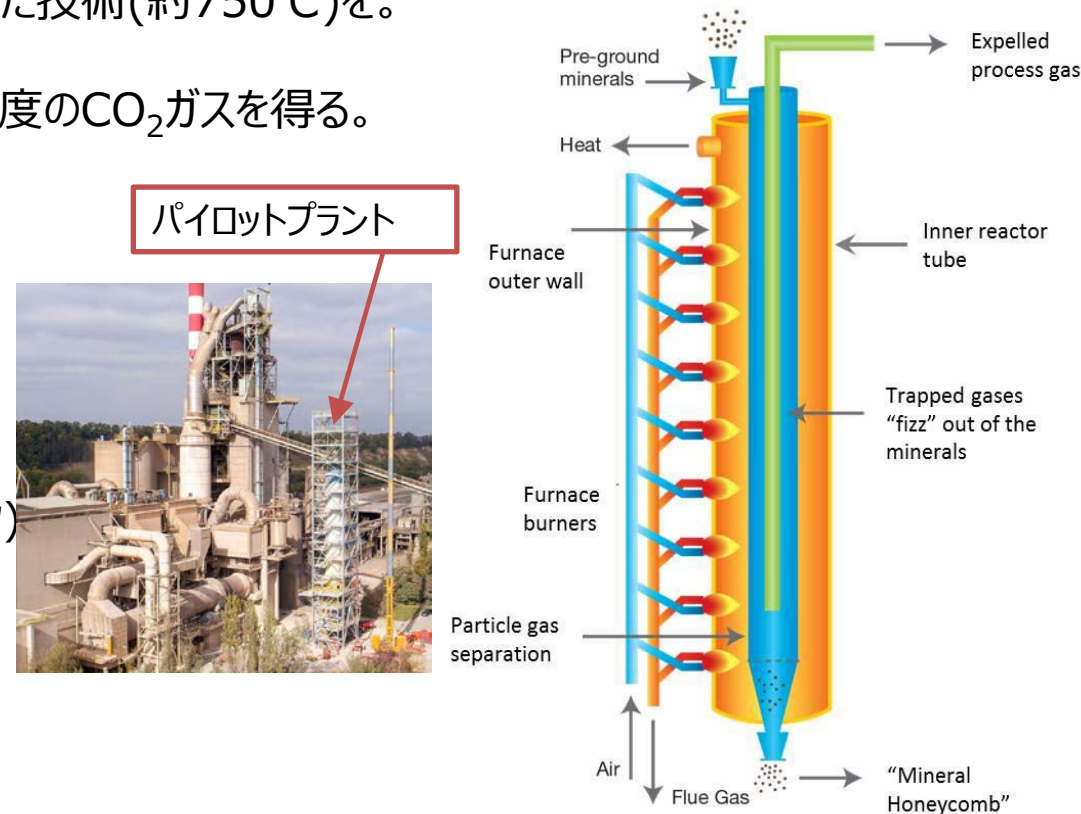
実証設備設置場所： HeidelbergCement Hannover工場（ドイツ）

CO₂回収量：100,000tCO₂/y（石灰石由来のCO₂の20%）

課題

- **大型化**（間接加熱炉は伝熱面が限られるので、大型化が難しい）
- **設置コスト大**
- **廃棄物焼成が困難（セメントキルンと分離）**

本提案技術の優位点： 低コスト(通常の部材を使用可能)、かつ既存のNSPをそのまま活用することでコンパクトなシステム導入が可能

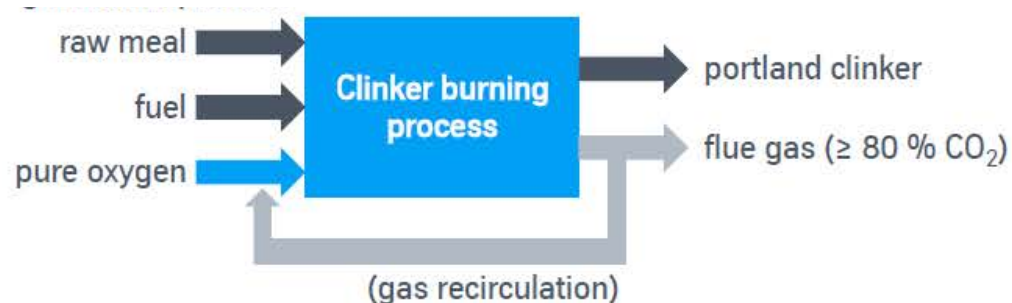


2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

<参考資料> 他社のCO₂回収技術との比較③

★Oxyfuel（酸素焼成）

参考文献 European Cement Research Academy(ECRA) Technical Report（2007） 等



原料の脱炭酸（仮焼炉）及びクリンカの焼成（キルン）に O₂またはO₂とCO₂の混合ガスを用いることにより、高純度の CO₂ガスを得る。

プロジェクト

ECRAプロジェクト（2007～）

CEMCAPプロジェクト（2015～2017）

AC2OCЕМプロジェクト（2019～2022）



- ・ヨーロッパで早い段階で開発に着手したが、実用化にいたっていない
- ・2018年にECRAプロジェクトでパイロット設備の建設が公表されたが、実現していない。

課題

- ・**設備の大幅な改造**（設備の大部分を改造する必要があり、ほぼ新設となる）
- ・**リーク空気の増加**（キルンやサイクロンからのリークにより、ガス中のCO₂濃度が低下する可能性）
- ・クリンカ・セメント品質の変化（キルンにおける焼成雰囲気ガスがセメント品質に影響を与える可能性）

本提案技術の優位点： 既存のNSPを活用可能、リーク空気が少ない

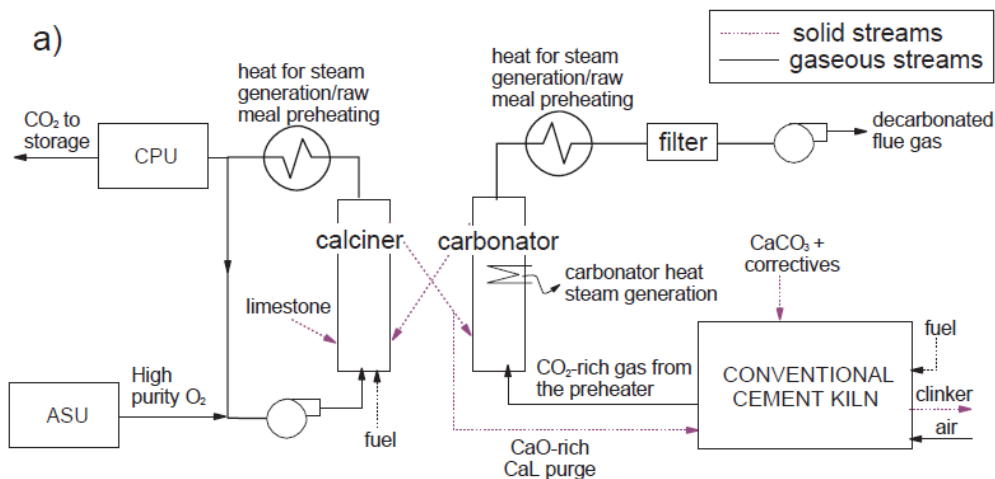
2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

<参考資料> 他社のCO₂回収技術との比較④

★Caループ

参考文献 L.D.Lera, et al: Process integration study of tail-end Ca-Looping process for CO₂ capture in cement plants , Int. J. Greenhouse Gas Control , 67 pp.71-92 (2017)

Tail-end 方式

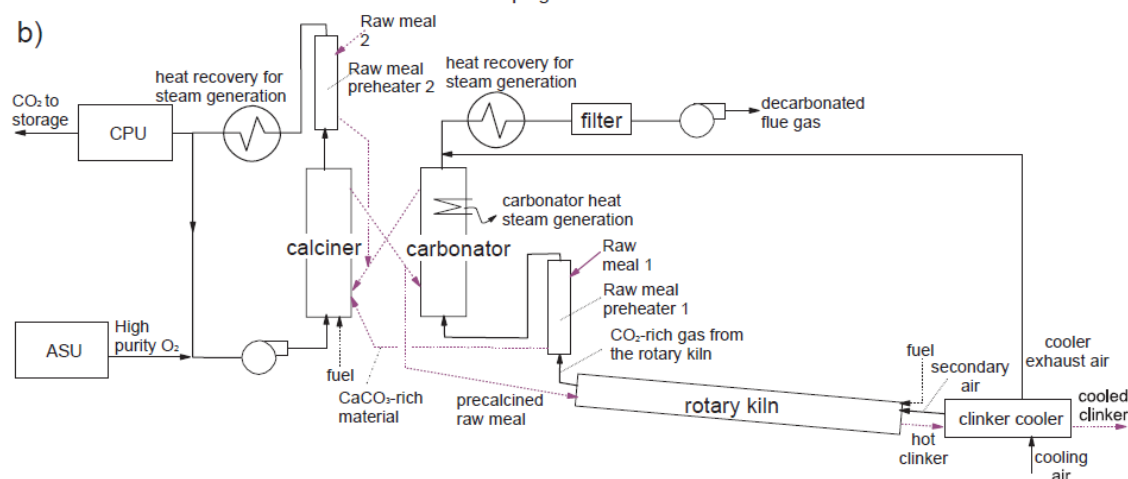


- ・**プレヒーター**通過後の排ガス中のCO₂を炭酸化炉で回収
- ・**石灰石**の一部を炭酸化炉と仮焼炉で循環
- ・**仮焼炉で酸素焼成**によりCO₂高濃度のガスを回収

課題

- ・仮焼炉で酸素焼成が必要となり、本提案技術と同じ課題
- ・脱離再生工程で**多量のエネルギーを消費**

Integrated 方式



- ・**キルン**通過後の排ガス中のCO₂を炭酸化炉で回収
- ・**クリンカ原料**の一部を炭酸化炉と仮焼炉で循環
- ・**仮焼炉で酸素焼成**によりCO₂高濃度のガスを回収

本提案技術の優位点： 新たに追加するエネルギーが少なく、設備コストが安く、コンパクト

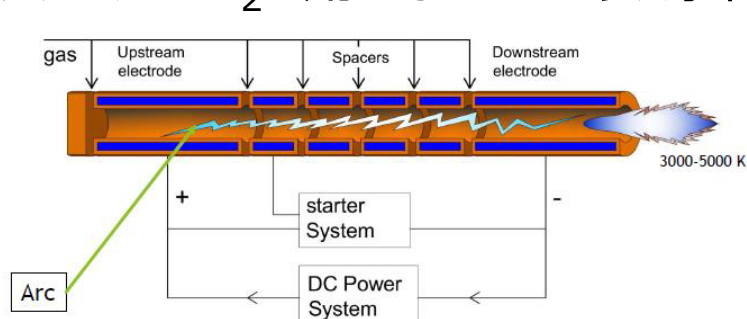
2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

<参考資料> 他社のCO₂回収技術との比較⑤

★電気焼成（プラズマを用いた電気焼成）

化石エネルギーの代わりに電気エネルギーを用いて焼成
灰溶融炉などで実績のあるプラズマ技術を中心に検討
キャリアガスにCO₂を用いることにより、原料由来のCO₂を直接回収

CemZero: A feasibility study evaluating ways to reach sustainable cement production via the use of electricity(2018)

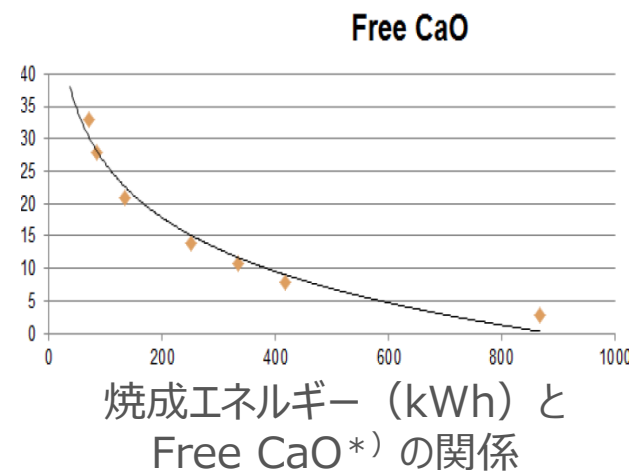


プラズマトーチ



ラボ試験状況

（300kWのプラズマを用いた試験）



プロジェクト：Cemzeroプロジェクト（2017～2018）

→ラボ試験でセメントクリンカを焼成したが、Free CaO*）は最小で2.8%（通常クリンカは0.5%程度）

* Free CaO：セメント原料を焼成した時に二酸化珪素や酸化アルミニウムと反応せずに残った遊離酸化カルシウムのこと

課題

- ・**大規模化**（キルンに適用する場合約20MWと試算されているが、現状商用プラズマは最大で7MW）
- ・高耐久化（現状の連続運転時間は500時間程度、大規模化するとさらに耐久性が悪化）
- ・**プロセスの最適化**（現状、ガス量の確保・昇温、空気のリーク防止など最適なプロセス設計はなされていない）
- ・クリンカ・セメント品質の変化（キルンにおける焼成雰囲気ガスがセメント品質に影響を与える可能性）

電気焼成は基礎研究段階（TRL 1～2に相当）

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

＜参考資料＞ 他社のCO₂回収技術との比較まとめ

	CO ₂ 回収 エネルギー	設備規模	設備コスト	設備改造	ランニング コスト
本提案技術	小	小	小	小～中	小
アミン法	大	大	中	小	中
LEILAC	小	中	中	大	小
Oxyfuel	小	小	小	大	小～中
Caループング	大	中	中	小～中	中

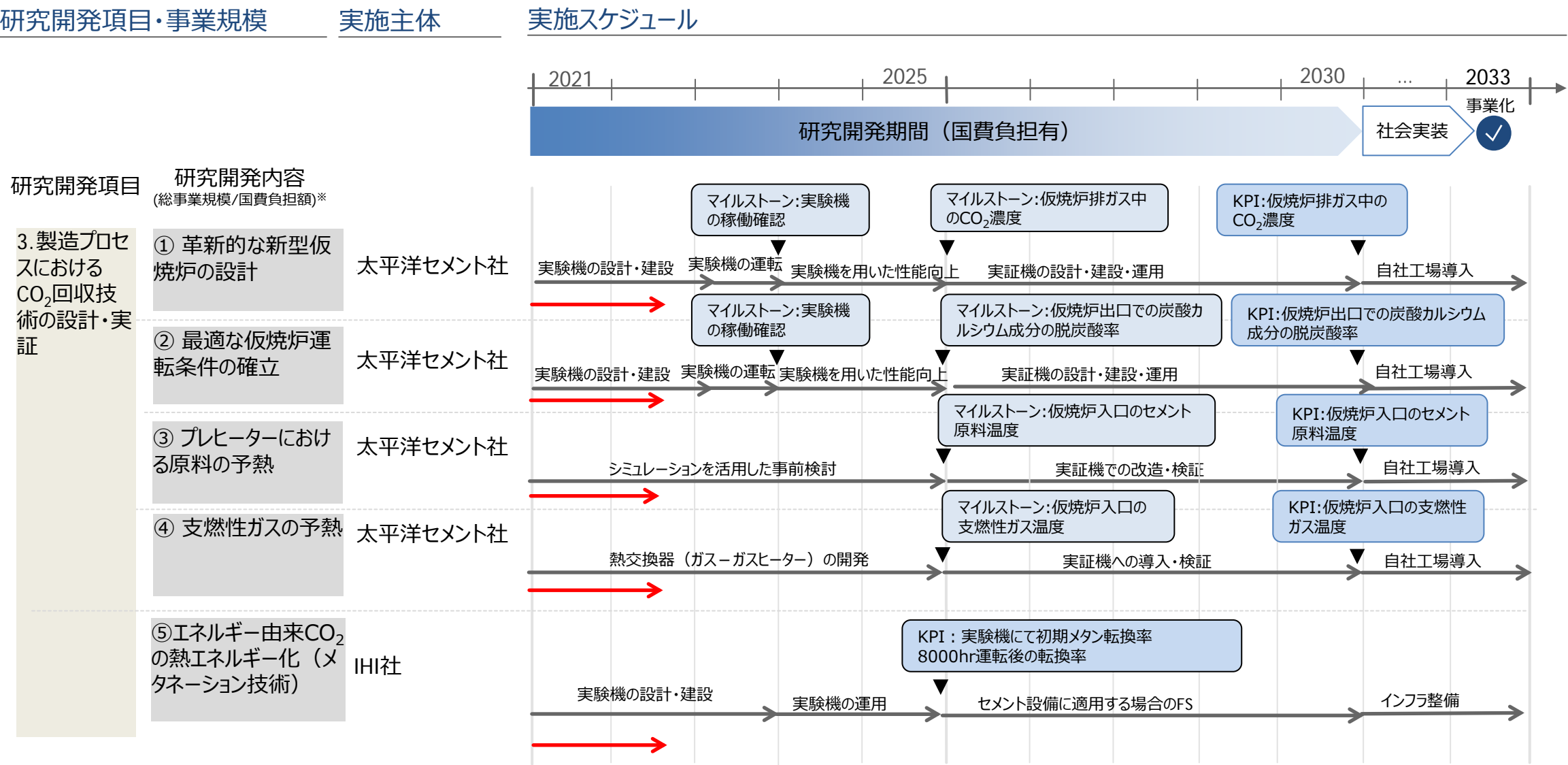
＊ 電気焼成は基礎研究段階であるため、比較対象からは外した

参考文献

Marta G.Plaza, et al:CO₂ Capture, Use, and Storage in the Cement Industry: State of the Art and Expectation, Energies 13, 5692 (2020)

2. 研究開発計画／（3）実施スケジュール

複数の研究開発を効率的に連携させるためのスケジュールを計画



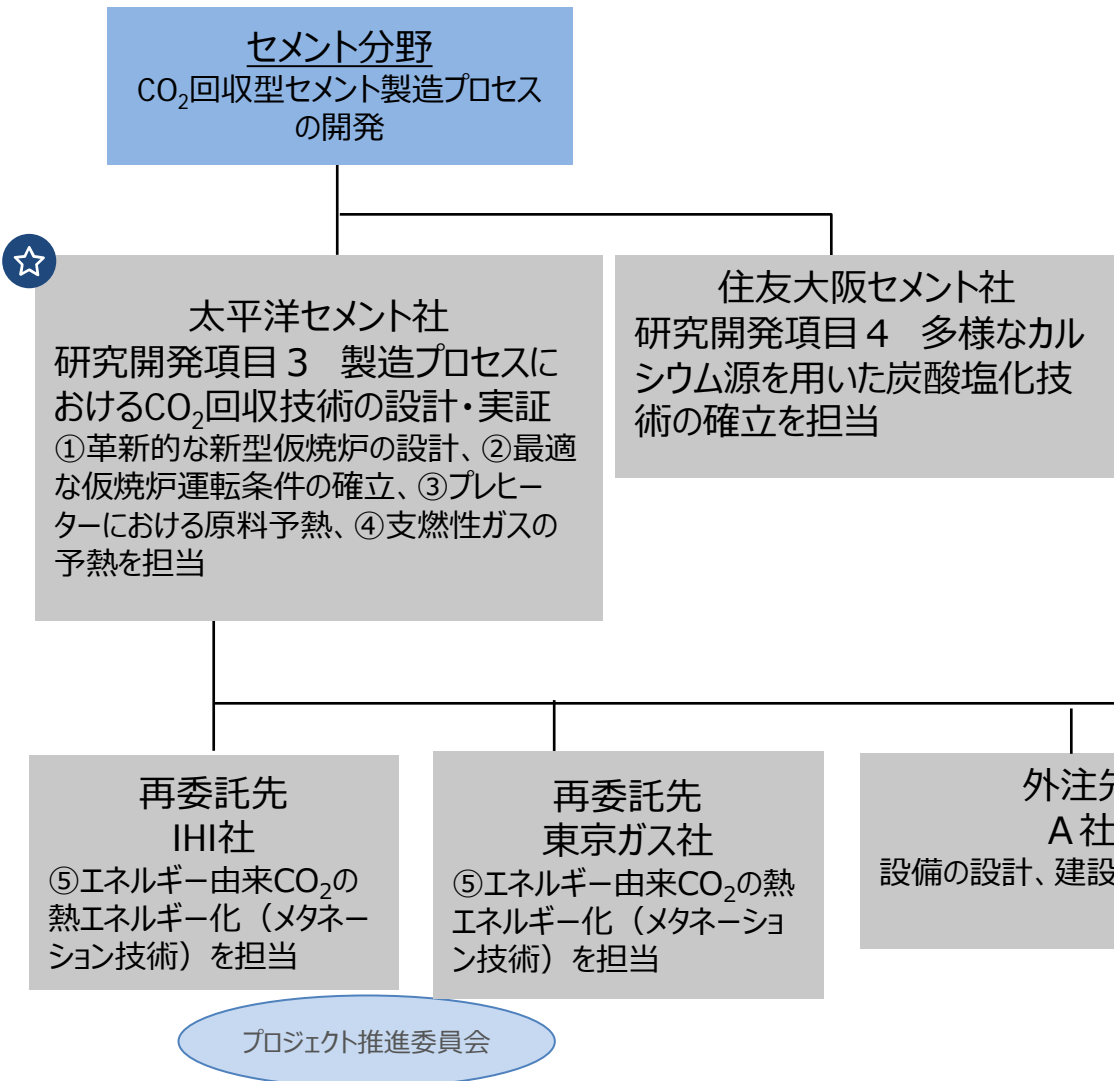
▼:ステージゲート審査

2. 研究開発計画／（4）研究開発体制

各主体の特長を生かせる研究開発実施体制と役割分担を構築

実施体制図

※金額は、総事業費/国費負担額



各主体の役割と連携方法

各主体の役割

- セメント分野（CO₂回収型セメント製造プロセスの開発）全体の取りまとめは、太平洋セメント社が行う。
- 研究開発項目3（製造プロセスにおけるCO₂回収技術の設計・実証）のとりまとめは太平洋セメント社が行う。
- 研究開発項目4（多様なカルシウム源を用いた炭酸塩化技術の確立）のとりまとめは住友大阪セメント社が行う。
- 研究開発項目3 研究開発内容①革新的な新型仮焼炉の設計、②最適な仮焼炉運転条件の確立、③プレヒーターにおける原料予熱、④支燃性ガスの予熱は太平洋セメント社が担当する。
- 研究開発項目3 研究開発内容⑤エネルギー由来CO₂の熱エネルギー化（メタネーション技術）はIHI社が担当する。セメント製造プロセス用エネルギー源以外の用途拡大のため、都市ガス導管に利用するための検討を東京ガス社が担当する。

研究開発における連携方法

- 実験機（CO₂回収型セメント製造設備、メタネーション設備）は同一敷地内に設置し、結果を共有。
- 本研究開発によって得られた成果（例メタネーションを行うための前処理設備等）は共同で特許出願。
- 専門家からなるプロジェクト推進委員会を設置し、定期的（1～2回／年）に結果を報告し、ご意見をいただく。

2. 研究開発計画／（5）技術的優位性

国際的な競争の中においても技術等における優位性を保有

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
3. 製造プロセスにおけるCO ₂ 回収技術の設計・実証	1 革新的な新型仮焼炉の設計	<ul style="list-style-type: none">NSPキルン仮焼炉塩素バイパスシステムガス焼成実験機（セメント製造設備）	<p>（優位性）</p> <ul style="list-style-type: none">既存システムの最大限活用により、設置面積・コストを最小化した設計ができる。廃棄物由来の原料・エネルギー源、バイオマス熱エネルギーの使用量を維持向上できる設備・技術を有する。実機実証の前に、実験機で検証することができる。 <p>（リスク）</p> <ul style="list-style-type: none">リーク空気の防止、コーチング付着を考慮した設計、酸素燃焼に適したバーナなど開発要素が多い。実験機から実証機へのスケールアップ時に想定外の課題が生じる可能性がある。
	2 最適な仮焼炉運転条件の確立	<ul style="list-style-type: none">実験機（セメント製造設備）廃棄物の原料・エネルギー源化技術	<p>（優位性）</p> <ul style="list-style-type: none">実機実証の前に、実験機で検証することができる。多種多様な廃棄物由来のエネルギー源を使用してセメントクリンカを製造するノウハウを有する。 <p>（リスク）</p> <ul style="list-style-type: none">排ガスにO₂・COを残存させない運転、爆発的燃焼や不均一な燃焼の防止などのため運転操作が現状より複雑になる。実験機から実証機へのスケールアップ時に想定外の課題が生じる可能性がある。

2. 研究開発計画／（5）技術的優位性

国際的な競争の中においても技術等における優位性を保有

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
3. 製造プロセスにおけるCO ₂ 回収技術の設計・実証	3 プレヒーターにおける原料の予熱	<ul style="list-style-type: none">サイクロン型プレヒーター	<p>（優位性）</p> <ul style="list-style-type: none">プレヒーターの改造、運転方法の変更により生産量を調整した実績を有し、排ガス量の減少に対応するノウハウを有する。 <p>（リスク）</p> <ul style="list-style-type: none">実験機での検証は困難であり、実証機での検証になる。
	4 支燃性ガスの予熱	<ul style="list-style-type: none">ガスーガスヒーター廃熱発電システム	<p>（優位性）</p> <ul style="list-style-type: none">既存システムとの親和性を考慮して設備を設計・開発できる。高ダスト濃度のキルン排ガスから、廃熱発電を行うシステムに関する知見がある。 <p>（リスク）</p> <ul style="list-style-type: none">高濃度のダストを含むガスに適し、かつ大型化に対応したガスーガスヒーターを開発する必要がある。実験機での検証は困難であり、実証機での検証になる。
	5 エネルギー由来CO ₂ の熱エネルギー化（メタネーション技術）	<ul style="list-style-type: none">湿式脱硫技術アミンCO₂回収前処理技術触媒反応器設計技術プロセス設計技術	<p>（優位性）</p> <ul style="list-style-type: none">12.5Nm³/h規模のメタネーション設備実績を有する。CO₂メタネーション関連試験設備を活用して試験評価を行える。様々な脱硫設備の設計・運用実績を有する。（火力向け大型脱硫設備から小型CO₂回収設備向け脱硫設備まで） <p>（リスク）</p> <ul style="list-style-type: none">触媒の被毒成分を含有する回収CO₂ガスに対して、性能及び運用面からコスト妥当性を有したシステムを開発する必要がある。

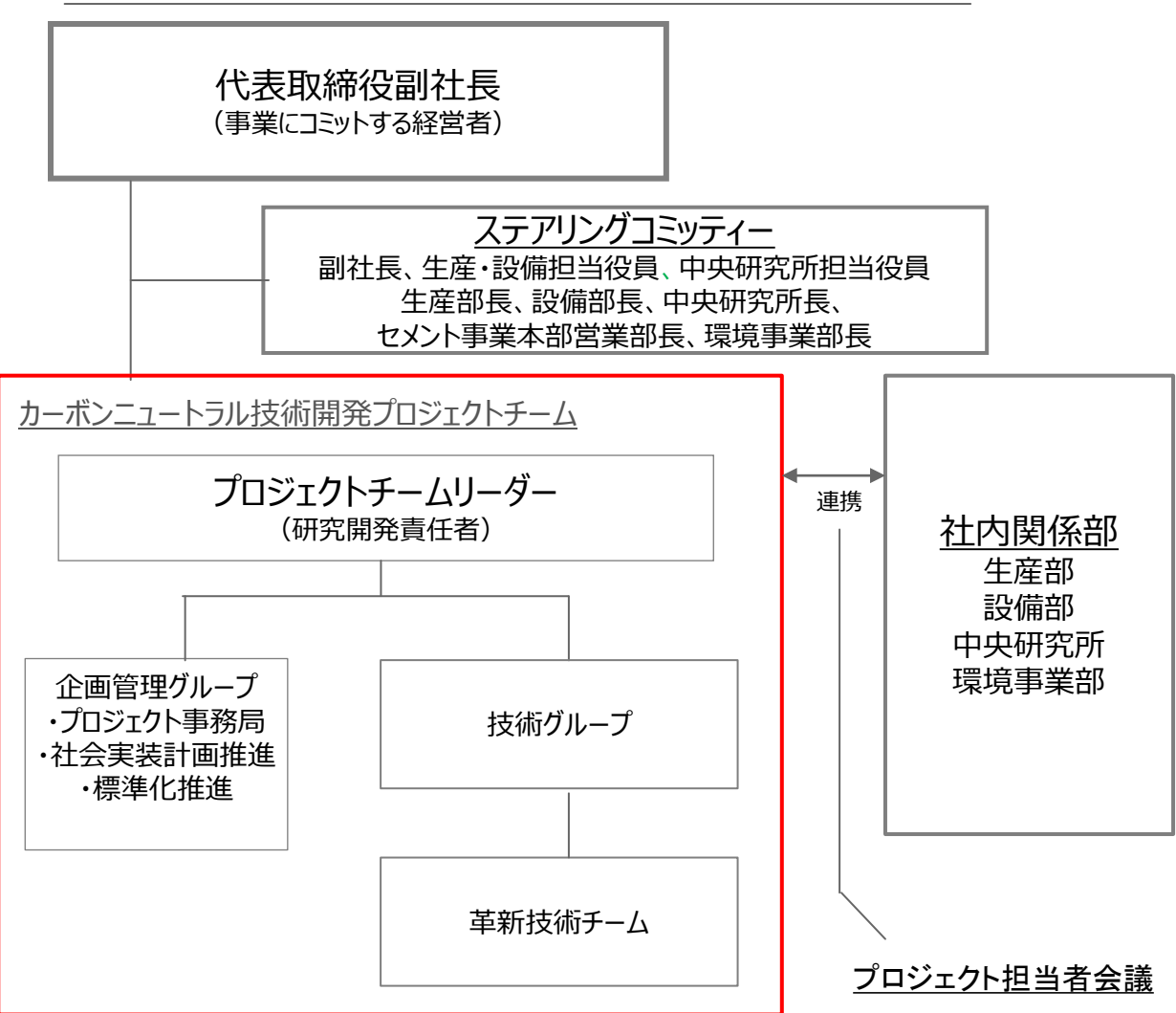
3. イノベーション推進体制

(経営のコミットメントを示すマネジメントシート)

3. イノベーション推進体制／（1）組織内の事業推進体制

経営者のコミットメントの下、専門部署に複数チームを設置

組織内体制図



組織内の役割分担

研究開発責任者と担当部署

- **研究開発責任者／標準化推進責任者**
 - **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 担当チーム**
 - **技術グループ革新技术チーム**：技術開発の実行部隊（専任6人、併任4人規模）（機械・電気等エンジニアリング系の人材も増員の予定）
 - **企画管理グループ**：プロジェクト事務局
関係部と協力した社会実装計画の推進
標準化推進担当部門（専任6人、併任1人規模）

部門間の連携方法

- 定期的に開催される**ステアリングコミッティー（担当役員・部長クラス）**の場での討議による、進捗状況確認ならびに各種議題に関する討議を通じて、プロジェクト全体の方向性管理
- 上記会議体での議論を踏まえ、新たに設置する**プロジェクト担当者会議**（カーボンニュートラル技術開発プロジェクトチーム、生産部、設備部、中央研究所、環境事業部）の場にて実務的課題の検討

3. イノベーション推進体制／（2）マネジメントチェック項目① 経営者等の事業への関与

経営者等による事業への関与の方針

経営者等による具体的な施策・活動方針

• 経営者のリーダーシップ

- 当社は、前述のとおり2050年の実質カーボンニュートラルをゴールとした長期ビジョンを策定（2020年3月）している。本ビジョンでは、セメント産業における温室効果ガスの削減を当社としての「成長戦略」として位置付けていること、さらには、セメントキルン排ガスからのCO₂回収を含め革新的な技術開発を推進することを表明。さらに、これを具体化すべく、2021年4月には、新組織であるカーボンニュートラル技術開発プロジェクトチーム設立。同2021年5月には、「23中期経営計画（2021年5月）」を公表し、カーボンニュートラルへの取り組みとしての「カーボンニュートラル戦略2050」を公表等、技術開発の大きな方向性を示している。今後は、本事業計画の趣旨に基づき、プロジェクトの進展に合わせて、海外戦略も含めた普及を検討していく予定。

• 事業のモニタリング・管理

- 本プロジェクトの進捗状況については、取締役会において主体組織であるカーボンニュートラル技術開発プロジェクトチーム担当役員（代表取締役副社長）より、業務報告として報告される。
- 同プロジェクトチームから経営層への活動状況の報告については、担当役員を含む関係部の担当役員ならびに事業所長が参画する「ステアリングコミッティー」を活用。
- 技術推進委員会の設置
社外有識者の方の専門的な知見をフィードバックすべく、採択決定後に、「技術推進委員会」を設置。第1回の委員会を9月5日に開催。

経営者等の評価・報酬への反映

- 当社の取締役等の報酬は、コーポレートガバナンス基本方針に基づき、指名報酬諮問委員会への答申を経て決定される。報酬は、固定報酬と株式報酬、ならびに業績連動報酬から構成。本事業の進捗状況は、広く公表されることから株価へ反映される情報であり、担当役員のみならず、役員全体の報酬へ反映されるものと判断している。
- 当該プロジェクトに関与する管理者等は、プロジェクトの推進の成果が社内人事評価システムを通じて、重点的な業務として適切に評価される。

事業の継続性確保の取組

• 経営層内における適切な業務引継ぎ

左記記載のとおり、カーボンニュートラルは当社の重要経営方針であり、これに基づき、本プロジェクトならびにその事業戦略を長期にわたって推進する新組織としてカーボンニュートラル技術開発プロジェクトチームを設立している。また同じく左記記載の「カーボンニュートラル戦略2050」でも、カーボンニュートラルに向けた取り組みを「今後10年における重点戦略」の1つとしても明確に位置づけており、これら一連の施策は、長期的な事業の継続性の担保となりうる根拠と考えている。

- 2022/3/24公表の当社プレスリリース（太平洋セメントカーボンニュートラル戦略2050～技術ロードマップおよび2030中間目標～）において本プロジェクトを2030年の開発目標に取り組む重要プロジェクトとして位置付けていることを示す。

3. イノベーション推進体制／（3）マネジメントチェック項目② 経営戦略における事業の位置づけ

経営戦略の中核においてカーボンニュートラル関連事業を位置づけ、広く情報発信

取締役会等での議論

・ カーボンニュートラルに向けた全社戦略

- 当社は、前述のとおり**カーボンニュートラル戦略2050**公表等を通じて、セメントキルン排ガスからのCO₂の回収を含む、「**革新的技術の開発**」を**重要な全社戦略として位置付けている**。従って、これら各種施策は、当社取締役会、経営会議等の意思決定機関でも、適宜、討議・検証されていく課題であり、当プロジェクトの進捗状況も含めて継続的にフォローされていく。
- プロジェクトの進捗については担当役員である副社長より、職務執行状況報告として2022年2月と8月の2回、取締役会に報告の機会あり。

・ 事業戦略・事業計画の決議・変更

上記当社経営戦略は、CO₂回収技術の開発にフォーカスしているが、本基金事業に採択された段階で、これを補完・発展させる形で、**開発技術の国内外セメントメーカーへの展開**を指向した本事業計画であることを、経営会議等の場での議論を経て、**全社プロジェクトとして位置付ける**予定である。

・ 決議事項と研究開発計画の関係

- 本事業計画は上記のとおり、経営会議等の意思決定機関にて全社プロジェクトとして位置づけることで、これを補完する**研究開発計画も適宜、一体の計画として当社内経営会議等の場に報告**し、判断を仰ぐ体制とする。
- 本プロジェクトの推進については、予算措置も含めて、2022/3の当社経営会議にて、N E D O 殿との委託契約締結の決裁を得る。

ステークホルダーに対する公表・説明

・ 媒体を通じた情報開示

当社は、定期的に発行している情報提供媒体が複数ある。タイミング、開示内容を考慮し、以下のような媒体を活用した情報の提供を予定。

- 「**統合報告書**」での進捗報告
- 定期発行誌「**太平洋セメント研究報告**」ならびに技術情報誌「**CEMS**」を活用した経過報告
- 定期的に**Webサイト**にて、研究開発プロジェクトの進展、トピックスに関する情報開示
- CEMS 2022/7月号にて、「太平洋セメントのカーボンニュートラルに向けた研究開発」の中で、本プロジェクトの概要を解説

・ ステークホルダーへの説明

当社は、ステークホルダーとのコミュニケーションは、経営課題の1つであると認識しており、ステークホルダーとのコミュニケーションを確かにするため、「**ステークホルダー・コミュニケーション基本方針**」を定めている。ステークホルダーの皆様には、上記情報情報媒体を活用した定期的開示も含めて、様々な形での情報開示を並行して検討していく。

3. イノベーション推進体制／（4）マネジメントチェック項目③ 事業推進体制の確保

機動的に経営資源を投入し、着実に社会実装まで繋げられる組織体制を整備

経営資源の投入方針

・ 実施体制の柔軟性の確保

- 今回の事業は、10年にわたる長期プロジェクト、かつステージも多段階であり、進展に合わせた柔軟な社内体制を構築する（関係部署の協力を得る体制）。
- 複数の要素技術を必要とすることから、一部の要素技術については社外からの調達（具体的には、メタネーション技術）を予定。
- 開発技術のが外販主体となる太平洋エンジニアリング社（当社子会社）とも協力した開発・社会実装体制でプロジェクトを推進していく予定である（同社は、開発当初は、実験機の設計、製作企業として参画予定）。
- 合成メタンの用途拡大（ガス導管注入）の検討のため東京ガス社を再委託先として追加

・ 人材・設備・資金の投入方針

- 人材
社内横断プロジェクトとして位置づけ推進。関係部門として、生産部（工場での操業条件を考慮したプロセス検討 数名）、設備部（設備検討 数名）、中央研究所（基本プロセス検討 数名）より、当プロジェクトチームとの兼務の形で、参画。具体的な人数については、プロジェクトの進展に合わせて適宜、最適な規模で実施。
- 設備
実証試験設備については、山口県内山陽小野田市内の当社敷地内に設置すべく、工事着工（2022/9）。
- 資金（自己資金）
2021-2030年までの期間で、研究開発のために国費以外に60億円（インセンティブが全額支払われた場合）の自己資金を投じる予定。

専門部署の設置

・ 専門部署の設置

- 前述のとおり、本技術課題を社内横断的に対応すべく、2021年4月に「カーボンニュートラル技術開発プロジェクトチーム」を設置（担当役員は代表取締役副社長）。
- 同プロジェクトチーム内には、技術開発の実行部隊となるチーム（革新技術チーム）の活動を統括する「技術グループ」を設置。チーム内での開発の推進の他、社内外関係部門との調整機能を果たす。
- 同じくプロジェクトチーム内「企画管理グループ」では、プロジェクト事務局の他、成果の社会実装のに向けた活動の旗振り役となる。

・ 若手人材の育成

- 本プロジェクト、複数の要素技術の開発を、相互連動しながら、並行して推進していくこと、また社外パートナーと協力したプロジェクトであること等、若手技術者の育成には絶好の機会である。当社の将来を担う若手人材を積極的かつ継続的に、研究開発活動の中に配置していく。
- 開発ステージの進展ならびに事業化の段階毎に、不足したリソースについては、これを補充できるスタートアップとも協力する方針で、プロジェクトを推進していく。

4. その他

4. その他／（１）想定されるリスク要因と対処方針

リスクに対して十分な対策を講じるが、技術課題のハードル等の事態に陥った場合には事業中止も検討

研究開発（技術）におけるリスクと対応

- **スケジュール遅延リスク**

→ 各KPI目標の達成に時間を要すること、関係許認可取得、工事遅延等、スケジュールの遅延も想定されるが、本プロジェクトは10年に及ぶ長期プロジェクトであり、開発を前倒しに進める等、関係者で協力し、大きな遅延が発生しないよう留意していく。

- **各KPI目標値未達によるリスク**

→ 目標未達となった各KPI目標の原因については、検討結果を踏まえ、プロセスの再設計と検証を継続的に実施。

- **予算オーバーリスク**

→ プロセス検証を進める中で、目標とすべきプロセスが予想以上に複雑、高度化し、予算超過のリスクあり。上記目標未達リスクと同様にプロセスの再設計と検証を継続的に実施。

社会実装（経済社会）におけるリスクと対応

- **カーボンニュートラルのシナリオによるリスク**

→ 当該プロジェクトは、炭素税等の二酸化炭素の排出規制を起因としてセメント産業でも、カーボンニュートラルが進展することを前提としている。本シナリオについては、社会動向を継続的に注視し、適宜、プロジェクトの方向性に反映させていく。

- **技術革新によるリスク**

→ 当該技術分野は、海外も含めて、開発速度が非常に速く、海外の開発動向も視野に入れ、本プロジェクトの目標値等の中へフィードバックしていく。

その他（自然災害等）のリスクと対応

- **法令変更等によるリスク**

→ 技術開発に関連する要因（環境規制等）が、KPI等の達成に影響を及ぼす可能性も予見されるが、そのハードルは、都度、プロジェクトメンバーにて、情報共有、討議し、プロセス見直し等、最適なリスク回避策を検討していく。

- **自然災害（台風、大地震等）によるリスク**

→ 発生した災害の状況ならびに実証試験への影響の程度に応じて計画を見直すなどして、早期の復旧を目指す。



- 事業中止の判断基準：

①**技術課題のハードル**：技術検討を進める中で、未想定の子、あるいは、スケールアップに伴い顕在化した技術課題への対応が困難と判断された場合。

②**経営困難**：経済状況等の大きな変化に伴い事業者全体として、本業も含めて経営困難な状況に直面した場合。

③**住民運動等**：実証試験の実施等について、試験サイト近辺の住民からの反対運動等、事業継続に大きな支障が生じた場合。

④**自然災害等**：復旧が困難な災害等が生じた場合。