

カーボンリサイクル関連プロジェクト (コンクリート・セメント分野) の研究開発・社会実装の方向性

2021年9月13日

資源エネルギー庁

製造産業局

前回の委員御指摘等を踏まえた対応

- ✓ 7月15日の第4回エネルギー構造転換分野WGにおける各委員及びオブザーバの御指摘や、コンクリート・セメント分野の関連学会（日本建築学会（環境配慮運営委員会、SDGs対応推進特別調査委員会）、土木学会（コンクリート委員会、カーボンリサイクル分科会）、日本コンクリート工学会（ISO/TC71対応国内委員会））等からの御意見を踏まえ、**先日御提示した研究開発・社会実装計画（案）を修正**するとともに、**同計画案に基づく予算規模を追記**。

前回WGにおける委員等からの御指摘事項

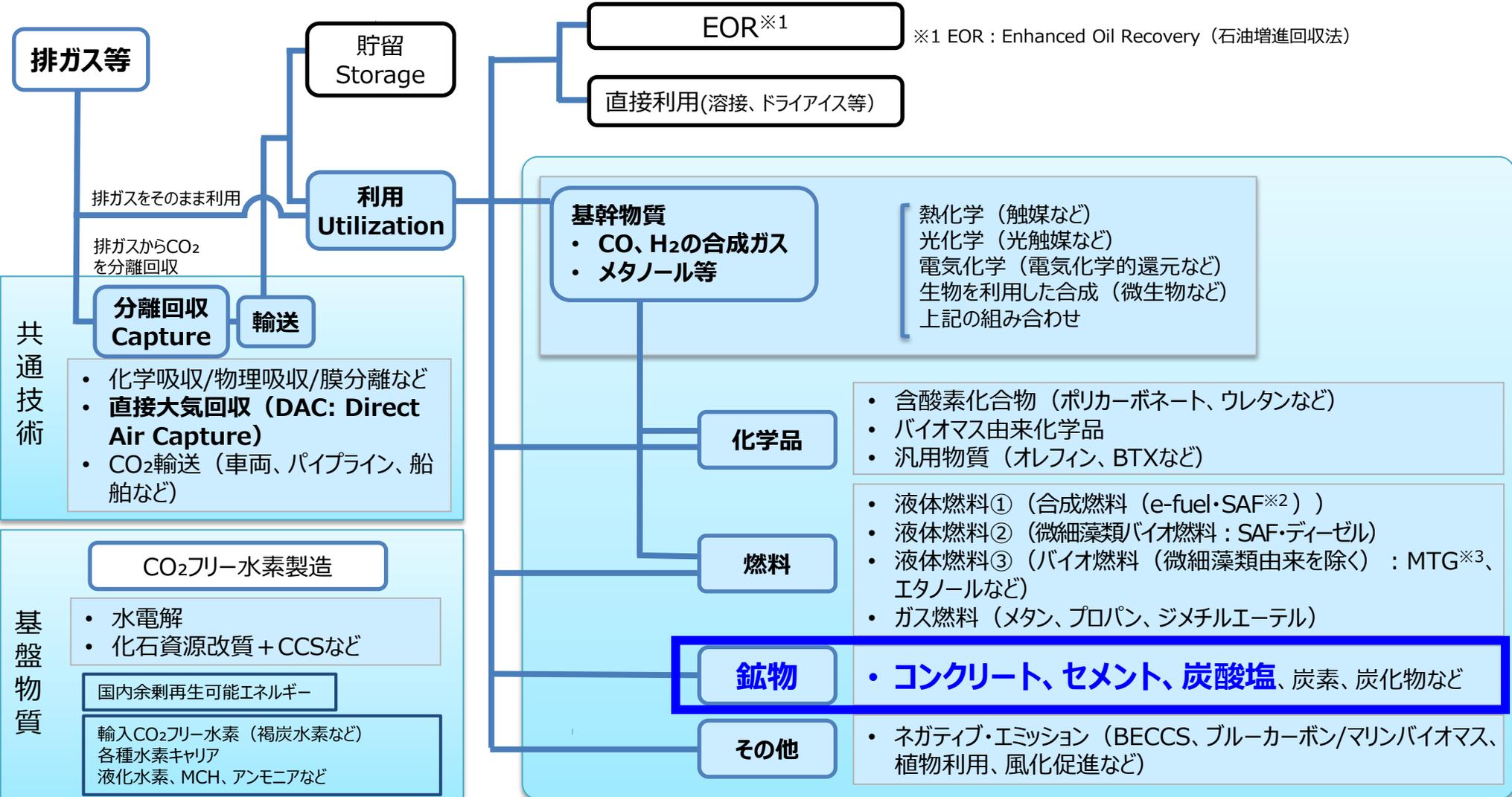
1. 需要家側のインセンティブも検討すべき。関係して、カーボンリーケージをどう抑えるかが重要。（伊井委員、関根委員）
2. 公共調達を通じた普及に向け、省庁間連携が必要。（伊井委員、馬田委員、佐々木委員、高島委員）
3. カーボンクレジットにCO₂固定化の話を絡めるべきではないか。（伊井委員）
4. 海外展開に関して、ライセンスや知財戦略、国との連携も考えていくことが必要。（馬田委員、林委員、林田オブザーバ）
5. CO₂固定量の測定や標準化が重要。また、標準化に際して、どの国と連携するのか戦略が必要。（伊井委員、高島委員、西口委員、林委員）
6. 大学や公的研究機関と連携し、熱膨張係数や長期耐久性など基礎基盤の物性の課題について取り組むべき。（佐々木委員、関根委員）
7. セメントについて、燃料転換の取組の他、プロセスに対してレトロフィットでの対応が想定されており、国際競争力を高める観点での取組が重要。（高島委員）
8. 海外のスタートアップを巻き込みつつ、日本のスタートアップを支援することが必要。（西口委員、林田オブザーバ）
9. カルシウムの抽出エネルギーの削減や、技術の横展開などにも取り組むべき。（林委員、田村オブザーバ、山本オブザーバ）

目次

- **カーボンリサイクル技術（コンクリート・セメント分野）の開発・社会実装の必要性**
- ①コンクリート分野：CO₂排出削減・固定量最大化コンクリート製造技術の開発
- ②セメント分野：CO₂回収型セメント製造プロセスの開発

カーボンニュートラルの鍵となるカーボンリサイクルとは

- **カーボンリサイクル** : CO₂を資源として捉え、これを分離・回収し、**鉱物化によりコンクリート等**、人工光合成等により化学品、メタネーション等により燃料へ再利用し、大気中へのCO₂排出を抑制。

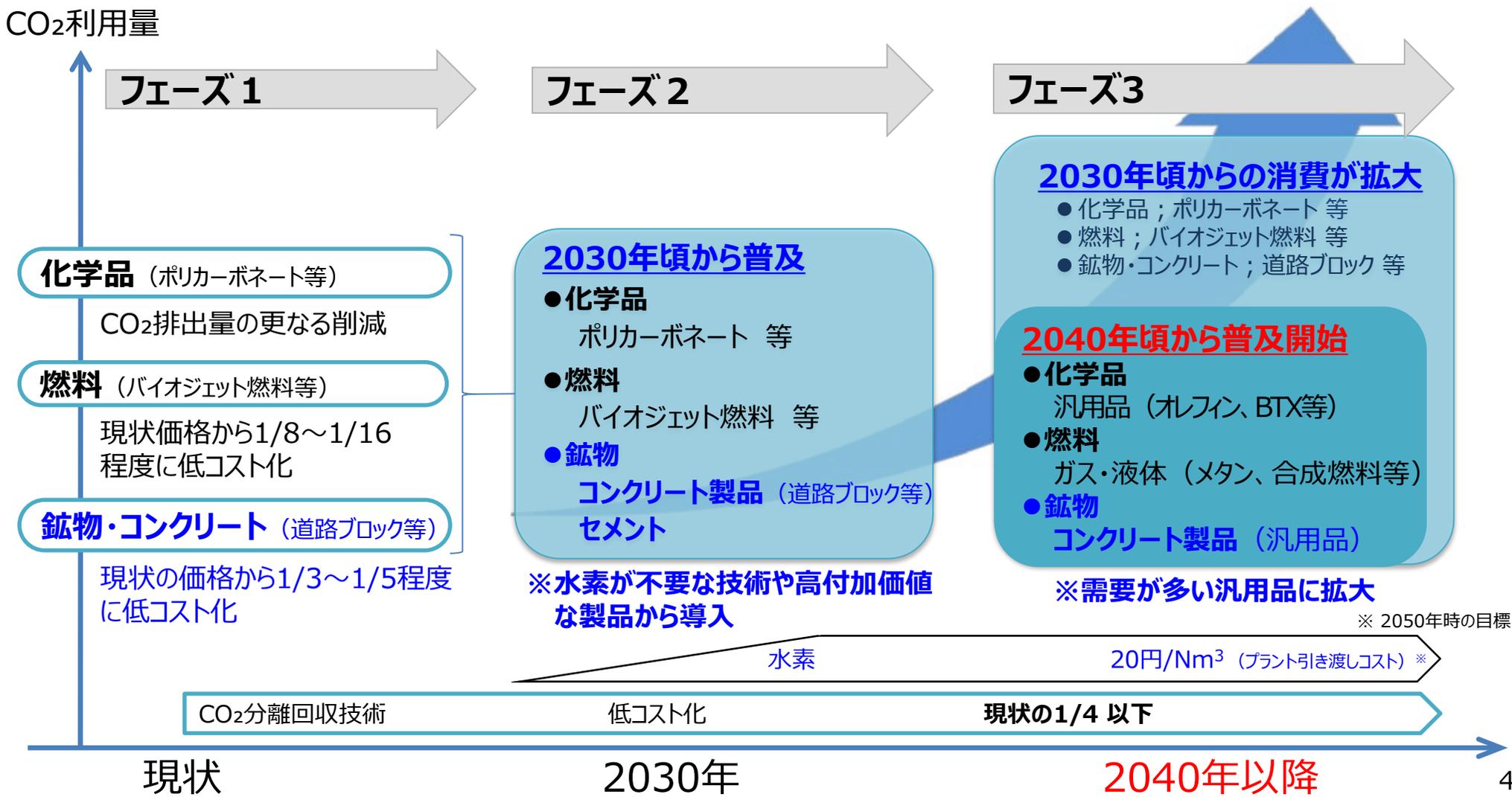


※2 SAF:Sustainable aviation fuel
※3 MTG:Methanol to Gasoline

カーボンリサイクルを拡大していく絵姿（「カーボンリサイクル技術ロードマップ」より抜粋）

修正

● 菅総理は**所信表明演説**（2020年10月）において、「我が国は、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、すなわち**2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す**ことを、ここに宣言。＜中略＞**鍵となるのは、次世代型太陽電池、カーボンリサイクルをはじめとした、革新的なイノベーション**です。実用化を見据えた研究開発を加速度的に促進。」旨表明。



● **鉱物** (コンクリート・セメント) ;

研究開発・実証が本格化し始めた段階にあり、重要な局面。

- ・多様な製品・技術の開発・実証が**活発化**。**コスト低減と用途拡大**が課題。
- ・国内では、化学、セメント、エネルギー、エンジニアリング等多様な産業分野の事業者・研究者が参画。
- ・**欧米**でも、**国家プロジェクト**や（既存事業者と連携した）**スタートアップ**による開発・実証が加速。

NEDOプロジェクト (国内)

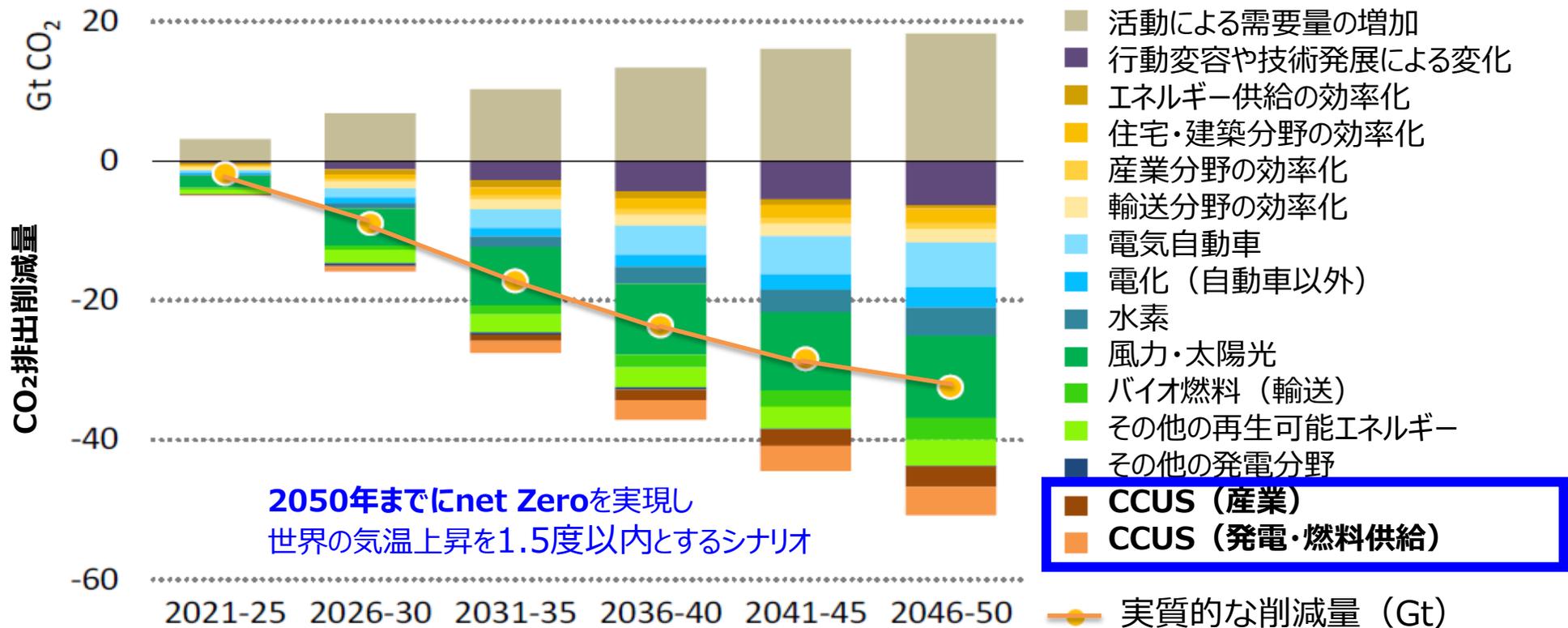
企業・組織名	製品・生成物	開発段階
中国電力、鹿島建設 等	CO ₂ 吸収コンクリート	商用化
宇部興産、日揮、出光興産、東北大学	セメント原料 等	実証 (NEDO)
竹中工務店	地盤改良材 等	基礎～実証 (NEDO)
早稲田大、サクラ、日揮	セメント原料 等	基礎～実証 (NEDO)
太平洋セメント、東京大学、早稲田大学	セメント原料	基礎～実証 (NEDO)
東京大学、北海道大学	セメント原料	基礎 (NEDO)
住友大阪セメント、山口大学、九州大学	カルシウム含有廃棄物からのカルシウム抽出、CO ₂ 鉱物固定化	基礎 (NEDO)
MHPS、電力中央研究所、東洋建設、JCOAL	石炭灰及びバイオマス灰によるCO ₂ 固定・活用	基礎 (NEDO)

主な海外プレーヤー

国	企業・組織名	製品・生成物	開発段階
英	O.C.O Technology (スタートアップ)	軽量骨材	商用化
米	Solidia Technology (スタートアップ)	CO ₂ 吸収コンクリート	商用化
米	Blue Planet (スタートアップ)	軽量骨材	商用化
加	Carbon Cure (スタートアップ)	セメント原料	商用化
仏	LafargeHolcim 等 (セメントメーカー)	セメント原料	基礎～実証 (FastCarb PJ)

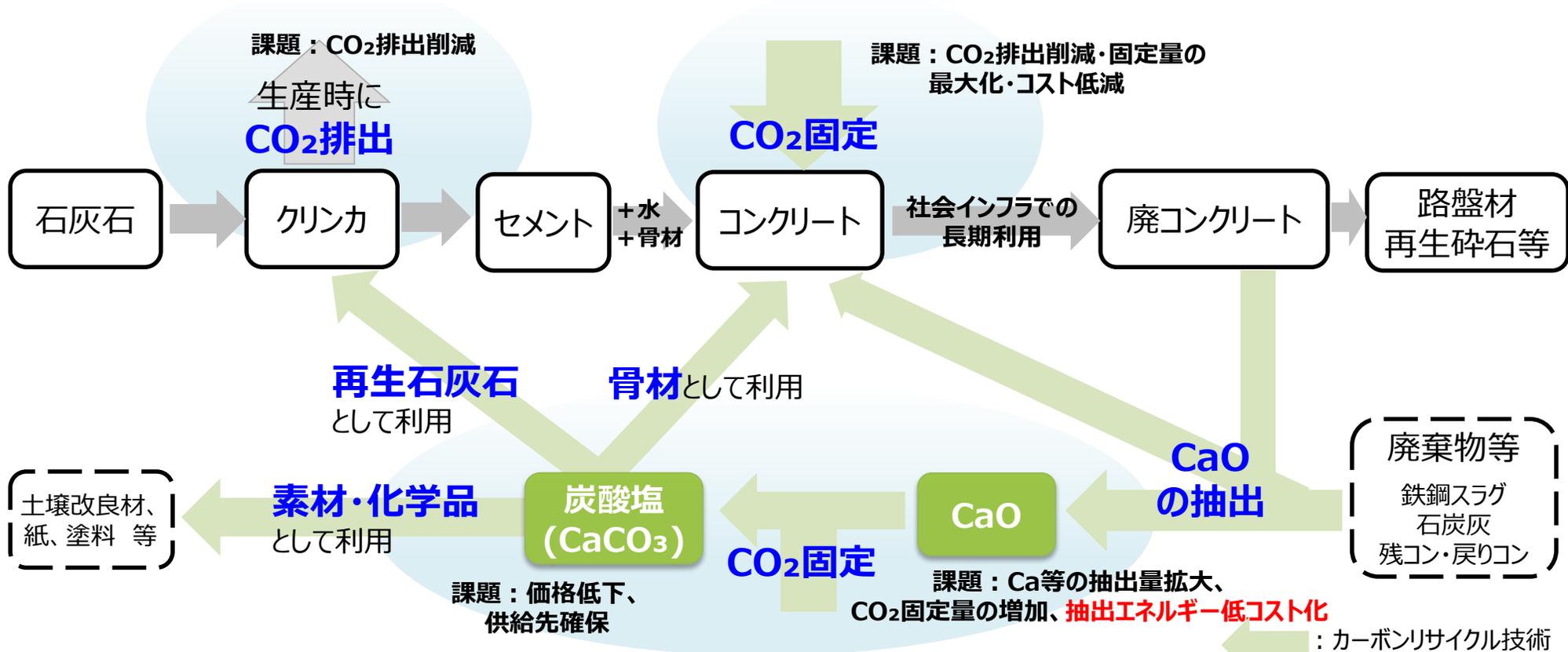
- 2030年までは、**CCUSによるCO₂削減量**は年間約1.6 Gt（16億トン）、2050年における削減量は年間約**7.6 Gt（76億トン）**まで増加が見込まれる。
- その50%は化石燃料由来。20%は産業セクター由来。残りはバイオエネルギー及びDACによるもの。

2020年を基準としたCO₂削減量（年平均）の内訳



- コンクリート・セメント分野は、**日米欧**を中心に、**スタートアップ**を含めて**研究開発・実証が本格化**。
- 技術領域としては、**多様なカルシウム等含有廃棄物**から、**効果的にカルシウム等を抽出・再利用し、CO₂をコンクリート・セメント生成物等に取り込み活用**する技術をはじめ、**多岐に亘る**。
- **CO₂排出削減・固定量の最大化、コスト低減**、セメント生産工程における**CO₂排出削減等**を実現し、**多様な技術を組み合わせ**て**持続的な資源循環システムを確立することが必要**。

コンクリート・セメントの全体像



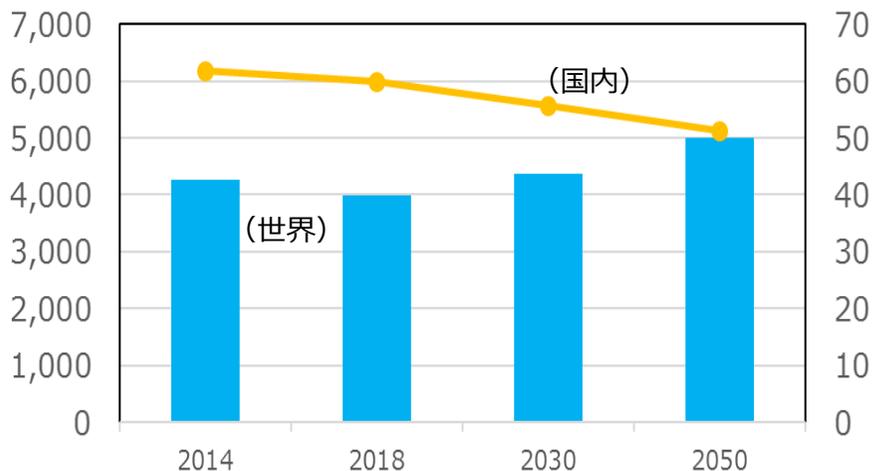
国内外のコンクリート・セメントの市場規模推移

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

セメント生産量

(単位：百万トン)

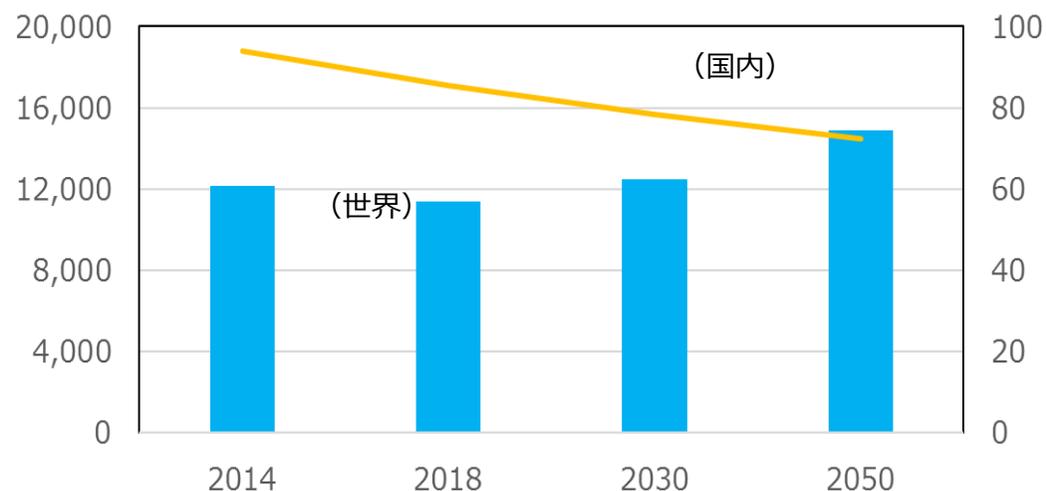
■ 世界セメント生産量 ● 国内セメント生産量



コンクリート出荷量

(単位：百万m³)

■ 世界コンクリート出荷量 ● 国内コンクリート出荷量



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

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

コンクリート・セメントの国際市場動向

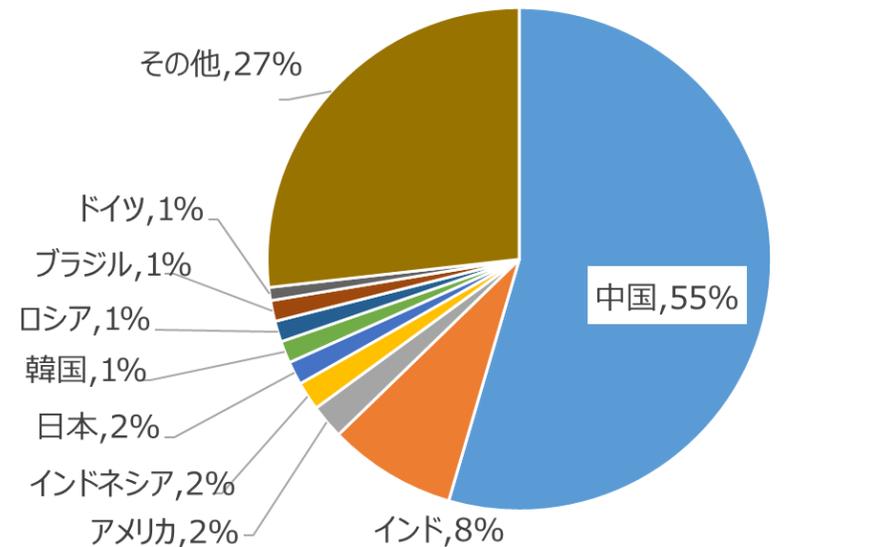
- **コンクリート** ; ① **市場規模**では、**北米及びアジア**が有望。他方、② **価格水準**では、**アジアは日米欧の半分程度**であり、CO₂を再利用したコンクリートの価格競争力に課題。
→ 当面の想定市場としては、**国内及び北米**が有力視。
- **セメント** ; 世界セメント**生産量の半分以上（55%）が中国で生産**。中国では2005年頃から国家施策により**生産性の高い設備（NSPキルン等）への移行過程**。
→ 2050年頃のカーボンニュートラルに向け、セメント産業における中国などでの新規投資が期待される。

コンクリート市場（市場規模及び価格水準）

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

※事務局調べ

セメント市場（生産量、2018年）



出典；一般社団法人セメント協会「セメントハンドブック」

- 2020年3月、一般社団法人セメント協会は、温室効果ガス80%削減に向けた「**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。
- この中で、2050年までに目指すべき対策として、**投入原料や使用エネルギーの低炭素化、CO₂回収・利用・貯蔵（CCUS/カーボンリサイクル）**などを列挙。

脱炭素社会を目指すセメント産業の長期ビジョン（抜粋）

1. 本ビジョン策定経緯及び狙い

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、セメント系固化材）は3,400万t～4,200万t程度と予想。

3. セメント産業の果たすべき役割

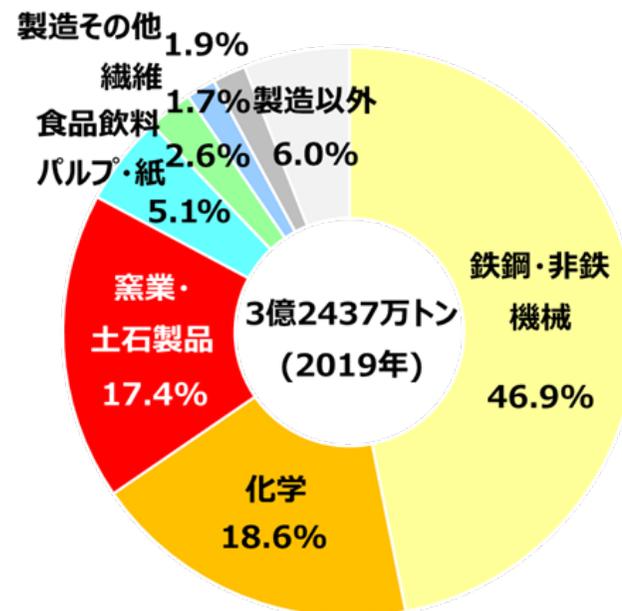
（略）セメント産業は将来的にも次のような役割を果たしていく
 [基礎素材の供給者]、[循環型社会形成への貢献]、[地域経済への貢献]、
 [災害廃棄物処理への貢献]

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。

- ・グリーン化比率の低減
- ・**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

業界別のCO₂排出割合（2019年度）

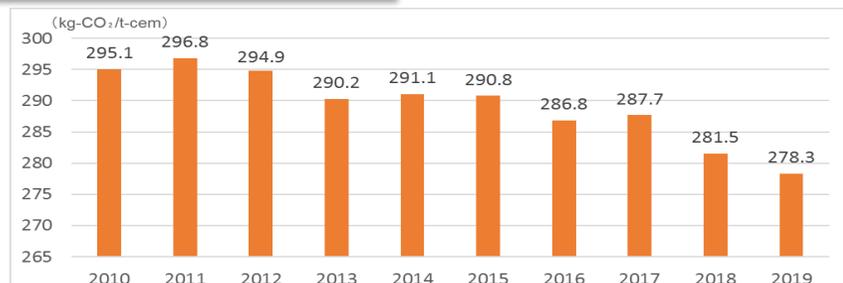


セメント製造時のCO₂排出 国内4,147万トン(2019年度)

- ・石灰石（原料）由来 60% 2,533万トン/CO₂
- ・化石燃料(エネルギー)由来 40% 1,614万トン/CO₂

- セメント産業では地球温暖化対策計画を踏まえ、省エネ設備導入、エネルギー代替廃棄物利用等による化石燃料削減を通じたCO₂削減対策を実施。
- セメント工場の自家発電設備も、化石燃料からバイオマス等への再生可能エネルギーへの転換が進められているなど、エネルギー由来CO₂削減の取組が行われている。

CO₂排出原単位の推移



※CO₂排出原単位は、セメント生産1tあたりのCO₂排出量 (kg)

エネルギー代替廃棄物使用量の推移



省エネ設備投資額の推移

(単位：百万円)

投資年度	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	累計
投資額	5,144	749	1,807	2,356	3,634	8,744	3,469	889	2,975	11,256	41,023

燃料転換への取組



大船渡バイオマス発電所 (大平洋セメント社出資)



バイオマス混焼自家発電 (住友大阪セメント株式会社)

- ◆ 廃熱発電をキルン50基中31基導入
※19万kW/70万kW(出力ベース)
- ◆ 自家発における再エネ(混焼含む)が約4割
※28万kW/70万kW(出力ベース)

- コンクリート・セメント製品は、コスト重視や地産地消（地域によって調達可能な材料の特性が異なる）の特徴を有しているところ、「CO₂排出削減・有効利用」が新たな付加価値となりつつある。
- こうした中、既存事業者に加え、欧米スタートアップを中心とした海外企業が、CO₂排出削減・固定技術を切り口として、国内市場に止まらず、国際的にライセンス事業を志向。

■コンクリート・セメント業界における脱炭素の取組み

- 仏セメント・コンクリート業界は2021年5月、「脱炭素化ロードマップ」を策定・公表。
- 2015年比で2030年までに24%、2050年までに80%の削減目標を設定。
- クリンカ比率の低減、代替燃料の使用、CO₂の回収・利用・貯蔵等により目標達成を図る。

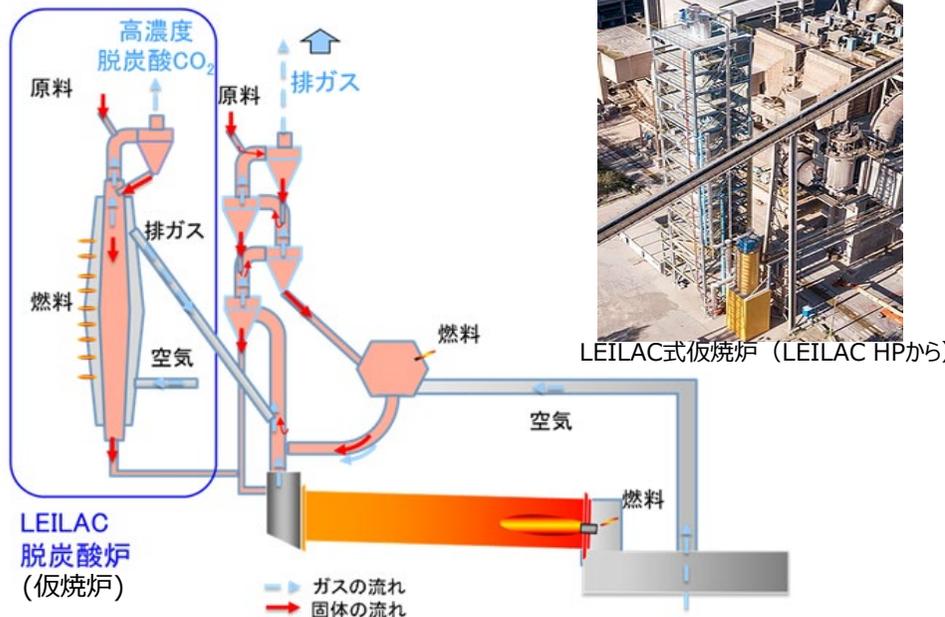
■カーボンリサイクルを活用した事業者の取組み

- CO₂を再利用したコンクリートや、骨材などコンクリート材料として利用する技術など様々なタイプがあり、それぞれ官民資金を活用しつつ、開発・実証が加速。
- 「CO₂排出削減効果」、「技術の適用先（生コンクリート、プレキャストコンクリート、骨材等）」、「廃コンクリートを含めて原料の調達しやすさ」等を競争力要素としている。
- 欧米スタートアップが、エネルギー、商社、コンクリート・セメント等の既存事業者と提携し、国内外に展開。
 - ✓ **コンクリート**：米Solidia Technology、加CarbonCure
 - ✓ **骨材**：米Blue Planet、英O.C.O.Technology

海外セメント産業におけるCO₂回収技術

- 国際技術動向として、**LEILACプロジェクト**では仮焼炉で石灰石を間接的に加熱し（間接加熱方式）、石灰石から排出されるCO₂を回収する技術実証に着手中。
 - 石灰石の間接加熱方式は、**仮焼炉外周側から鋼板を介して、間接的に石灰石を加熱。**
 - 高濃度のCO₂回収が可能だが、**大量の石灰石燃焼に必須な設備の大規模化が課題。**
- **HeidelbergCement** は2030年を目標にスウェーデンの工場での脱炭素化を発表。石灰石由来CO₂は化学吸収法で回収し、回収CO₂を圧縮冷却して海底貯蔵(CCS)する計画。同社は**CO₂回収エネルギーがセメント生産の5倍**と推計。海底貯蔵コストの考慮も必要。

LEILACによる燃焼方法



■ LEILACプロジェクト

○EU Horizon2020の資金支援を受け、HeidelbergCement (独)、CEMEX(墨)、CALIX(米)等の世界主要メーカーが参画。

- LEILAC I 2019～ 30,000トン -CO₂/年
- LEILAC II 2025～ 100,000トン -CO₂/年

○石灰石由来CO₂の20%相当を回収。

(LEILAC HPから)

■ HeidelbergCementデータ

- CO₂回収エネルギー 3.0GJ/t ※1
- セメント生産 0.6GJ/t ※2

※1「CO₂ Capture, Use, and Storage in the Cement Industry: State of the Art and Expectations」
(著者Marta G. Plaza, Sergio Martínez, and Fernando Rubiera)

※2「セメントハンドブック」(セメント協会)の電力量を基に算定

1. 課題解決

- 【①コンクリート分野】 CO₂排出削減・固定量最大化コンクリート製造技術の開発；
※特殊コンクリートやプレキャストコンクリート、モルタル、セメント系固化材（地盤改良材）等の製造技術も含む
CO₂を固定する**材料の複合利用技術の確立**、**コストを最小化する製造・施工技術の確立**、**CO₂固定量の評価技術を含めた品質管理手法の確立**。
- 【②セメント分野】 CO₂回収型セメント製造プロセスの開発；
コンクリートの原料である**セメントの製造プロセスで石灰石から排出されるCO₂を効率的に分離回収・再利用する技術の確立**。

2. 社会実装、需要創出に向けた取組

- **知財取得等**を開発と並行して進めるとともに、「**CO₂排出削減・有効利用**」を付加価値としてライセンス事業を通じた国内外への普及を戦略的に進める。
- 大阪万博等を通じ、**CO₂固定量等のデータ取得を進めるとともに、需要家への情報発信・調達促進を図る**。（環境意識の高い発注元による先行活用や簡易用途から実績拡充）
- **将来的な公共調達等**を目指し、開発初期段階から**国土交通省、地方自治体、関連学会等と連携**。
- **国内/国際標準を通じて**、製品特性を踏まえつつ付加価値を明確化するとともに（CO₂排出削減・固定量の評価、認証等）、**関連学会のガイドラインや指針類への反映**を目指す。
- 需要側の導入インセンティブを高めるため、**温室効果ガス排出インベントリへの登録や、カーボンドリフト制度での活用**を検討する。

- コンクリート・セメント分野の技術の社会実装には、**国際／国内標準化**が重要な手段。現在、ISOの関連ワーキングについて、**日本が幹事・議長を担っている**状況。**議決権を有する主要国に働きかけながら、国際標準化を追求する。**
- **標準を活用した競争力強化**や、関連学会等の**指針・ガイドラインへの反映等**を通じ、市場への普及を促す。

■コンクリート

- 日本コンクリート工学会に、**コンクリートのCO₂固定量の計測・評価方法の標準化**に向けた**調査委員会**を設置（委員長：東京大学 野口教授）。2021年6月第1回**調査委員会**開催。
- 日本は、**ISO/TC71（コンクリート等）の幹事・議長**。加えて、同**SC8（コンクリート・コンクリート構造物の環境マネジメント）の幹事・議長**（国内審議団体：日本コンクリート工学会、国内委員会委員長：野口教授）も務めている状況。
- ターゲット市場の国家規格/フォーラム規格（**北米ASTM規格等**）へのアプローチも追求。

■セメント

- **カーボンリサイクルセメントの国際標準化**（ISO/TC74（セメント等））を進めるとともに、国内標準化（JIS制定・改定）へのアプローチ、**運用ガイドラインの策定等**に取り組む。
- 先進国含めた世界デファクトスタンダードである**NSPキルンをベースとしたCO₂回収型セメント製造プロセスをライセンス化**。既存設備をベースとした技術で環境規制が厳しい欧州や既に資本提携が進むアジアに、重工系メーカーと連携したアプローチで普及を図る。

ISO/TC71 (コンクリート、鉄筋コンクリート、プレストレストコンクリート) :

コンクリート構造物に関する材料、設計、施工、維持補修に係るISO標準を作成する専門委員会。
現在、TC71の下に8つの分科会 (SC) 等が設置。

TC71

コンクリート、
鉄筋コンクリート、
プレストレストコンク
リート

SC 1 コンクリートの試験方法

SC 2 コンクリート構造物の設計通則 (廃止)

SC 3 コンクリート構造物の製造及び施工

SC 4 構造コンクリートの要求性能

SC 5 コンクリート構造物の簡易設計標準

SC 6 コンクリート構造物の新しい補強材

SC 7 コンクリート構造物の維持と補修

SC 8 コンクリート及びコンクリート構造物の環境マネジメント

- ISO/TC71（コンクリート等）において議決権を有する国のうち、特に環境分野を取り扱うSC8（コンクリート・コンクリート構造物の環境マネジメント）の議決権を有する国を中心に、連携を進める。
- 各国の調達基準・国内標準やグローバルな調達基準への反映を追求する。

(アルファベット順)

ISO/TC71
議決権を有する国
31カ国

ISO/TC71/SC8
議決権を有する国
14カ国

アルジェリア、アルメニア、オーストラリア、バルバドス、ブラジル、ブルネイ、**中国**、**フランス**、**インド**、ドイツ、インドネシア、イラン、**イスラエル**、**日本**、カザフスタン、**韓国**、クウェート、マレーシア、モンゴル、ナイジェリア、ノルウェー、**ロシア**、**サウジアラビア**、セルビア、スリランカ、スイス、トルコ、ウガンダ、**イギリス**、アメリカ、ウルグアイ

オーストラリア、ブラジル、**中国**、エジプト、**フランス**、**インド**、**イスラエル**、**日本**、**韓国**、ノルウェー、**ロシア**、**サウジアラビア**、**イギリス**、アメリカ

太字の国は、TC71とSC8の両方で議決権を有する国

下線の国は、日本とカーボンリサイクルに関わるMOCを締結した国

● CO₂排出削減・固定量最大化コンクリート

- ・想定市場において、ライセンス等を通じ、セメント製造を主とする事業者やスタートアップとの業務提携を追求（国内外への情報発信強化と合わせて、産学官多様なルートを通じてスタートアップのコミュニティにも継続的に働きかけ）。こうした取組を通じ、スタートアップの活性化にも貢献。
- ・付加価値要素としては、①CO₂削減効果、②技術の適用範囲（生コンクリート、プレキャストコンクリート、骨材等）、③コスト（既存品と同等）。

● 石灰石からの CO₂回収型セメント製造プロセス、回収CO₂によるカーボンリサイクルセメント

- ・デファクトのNSPキルンに適用可能な、CO₂回収型の製造技術をセメントメーカーに技術展開。脱炭酸への取組が進む欧州セメント産業でも、有効な技術が確立されていない。
- ・競合他社との差別化要因は、①設備費用の低減、②省エネ、③CO₂回収・利用能力。
- ・世界初の技術を、環境意識の高い欧州、セメント製造量の多いアジア、米国等にアプローチ。また回収CO₂の有効利用技術としてカーボンリサイクルセメントを欧州等への売り込むことを想定。
- ・セメントメーカー、プラントメーカー等による協力体制、さらには、官民連携を図り、製造技術とセメント技術のトータルパッケージで市場獲得を図る。

● 「カーボンリサイクルセメント」+「CO₂排出削減・固定量最大化コンクリート」

- ・基本的な道筋は「CO₂排出削減・固定量最大化コンクリート」と同じ。想定市場は、「カーボンリサイクルセメント」技術の普及先市場も候補。普及先企業との業務提携を足がかりに市場獲得を図る。

- セメント製造技術の海外展開に当たり、プラントメーカーによる設備販売に併せ、ライセンサーであるセメントメーカーの全面的バックアップにより、関係者が連携してのビジネス展開を想定。
- 国内発技術であるNSPキルンや塩素バイパスシステムにおいてプラントメーカー・セメントメーカーが一体となったの売り込み・サポートや、ライセンスビジネスを展開。その結果として、きめ細かい情報発信が可能になるとともに、技術的なサポート体制も充実を図ることができ、実質的なデファクトの獲得に成功。
- 基金事業の成果普及に当たっても、CO₂回収能力、運用データ等の情報提供など、プラントメーカーとの連携を図りつつ、需要が見込まれる地域に展開。
- 併せて、セメントメーカーでは、ニュースリリース、学会等での発表、見学会などによる情報発信を積極的に実施。

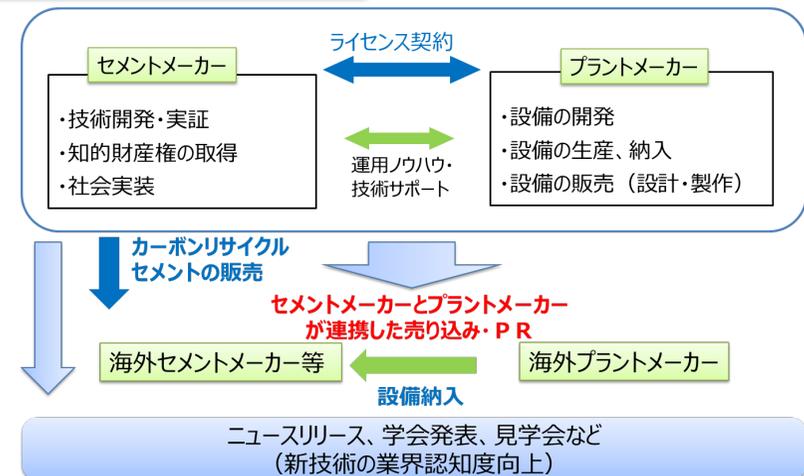
NSPキルンの普及にかかる成功要因

(各社ヒアリングベース)

- エネルギー供給力不足下での、セメント需要増に対する 生産力増強とエネルギー効率を兼ねる設備ニーズの高まり
- SPキルンの 改造でも適用可能
- セメントメーカーが運用データ、環境対策効果等を証明
- 国内プラントメーカーの海外販売と、欧州メーカーへのライセンス契約との連携によるビジネスの広がり

→CO₂回収ニーズの高まり、レトロフィット、セメント・プラント連携によるビジネス展開が鍵

海外展開イメージ



目次

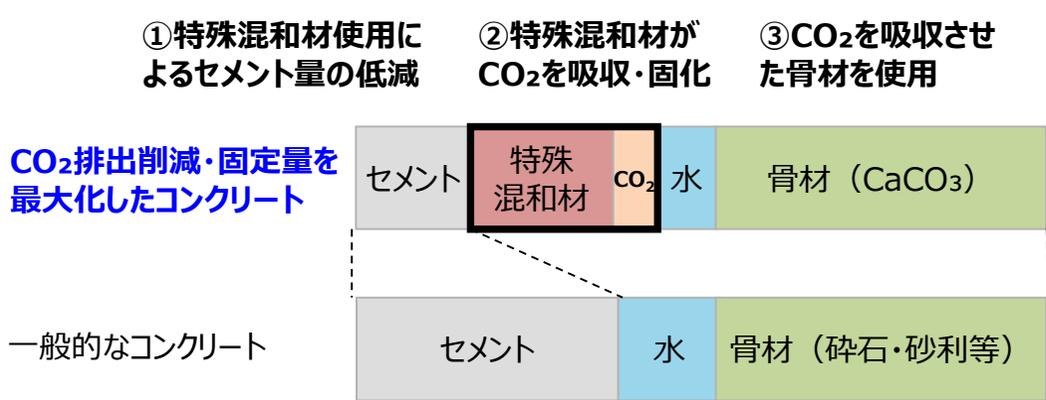
- カーボンリサイクル技術（コンクリート・セメント分野）の開発・社会実装の必要性
- ①コンクリート分野：CO₂排出削減・固定量最大化コンクリート製造技術の開発
- ②セメント分野：CO₂回収型セメント製造プロセスの開発

● 社会実装に向けて、**製品の経済性の確保**、**CO₂排出削減効果の向上**、製品の優位性を示すための**評価手法の確立**、技術適用に向けた**関係ガイドラインへの反映**等が必要。

上記に当たり、**実績・データ数の確保**が課題。これら課題を解決すべく、以下に取り組む。

1. **CO₂を固定する材料を開発・複合**し、**CO₂固定量を最大にする製造・施工**手法を開発
 - ・CO₂固定材料及び試験養生**装置**・手法の開発を実施。材料の複合使用や現場施工への適用手法が課題。
 - ・LCCO₂とコストの観点から、**材料特性**を踏まえる。
2. **CO₂排出削減・固定量最大化コンクリートの品質管理**手法及び**CO₂固定量の評価**手法を開発
 - ・コンクリートとしての性能（強度、**長期耐久性**、熱膨張係数等）の確保、固定量評価手法の確立に向けたフィールド検証（万博等）。
 - ・標準化やインベントリ登録、**クレジット化の検討**に向け、CO₂固定量の実績データを確保。

<CO₂排出削減・固定量最大化コンクリートの例>



<技術的な革新性>

- CO₂排出削減・固定量を最大化するためには、混和材や骨材といった**CO₂を固定する材料を複合して利用**する必要。
- これら材料は、副産物由来や廃棄物由来であることが多く、**地域によって入手可能な種類が異なり**、また**状態・組成が異なる**。
- これら材料を複合した場合、**個々の材料の挙動・相互作用が明らかになっていない**。
- これら材料を複合しCO₂固定量を最大化しつつ、**既存製品と同等のコストを実現**する点が革新的。

- コンクリートは、セメント、混和材、水、骨材を練り混ぜ、十分な固さになるまで保護する（養生）ことで作られる。養生するタイミングの違いにより、①現場で養生する生コンクリートと、②工場で養生し現場で組み立てるプレキャストコンクリートに大別。
- 国内では、生コンクリートとしての利用が8割を占める（8,200万m³/年）。



【研究開発目標（アウトプット）及び設定の考え方】

1. 2030年までに材料製造～運搬～施工に係るCO₂排出量の削減及びCO₂固定量の増大を図るとともにコスト低減を実現するCO₂排出削減・固定量最大化コンクリート生産システムの確立

予算上限
303.7億円
(※現在のTRL:3)

- CO₂削減量310～350kg/m³（一般的なコンクリート製造時との比較）

（うち、CO₂固定量は、120～200kg/m³）

- 既存製品と同等以下のコスト

（参考値；プレキャストコンクリート：30円/kg程度、生コンクリート：8円/kg程度）

（考え方）

CO₂固定量については、既存技術におけるコンクリート二次製品のCO₂固定量が80～100kg/m³であることを踏まえ、**1.5～2倍のCO₂固定量**を目指す。

CO₂削減量については、一般的なコンクリート製造時のセメント由来のCO₂排出量が約300kg/m³であり、骨材のCO₂排出量がセメント分の3%程度であると仮定して、合計310kg/m³をカーボンニュートラルにするとして削減量の下限値を設定。上限値は民間企業へのヒアリングを基に目安として記載。

ただし、**材料製造～運搬～施工に係るコスト低減**も考慮した最適化が必要であり、「既存製品と同等以下のコスト」の目標とあわせて、企業等による提案に応じて下限値以上の目標を設定。

2. 2030年までにCO₂排出削減・固定量最大化コンクリートの品質管理手法（CO₂固定量の計測・評価方法）を確立するとともに国際標準化を実現

55.7億円

（考え方）

シミュレーションや**破壊分析**等を通じて**一般的なコンクリート及び今回開発するコンクリート**への各CO₂固定量を分析・評価。

ただし、コンクリートの材料調達～運搬～施工は**地域性**や**材料の種類が影響**するため、様々な**材料特性**に適用可能な汎用性のある評価システムを確立し、国際標準化の完了までを目指す。

【想定される研究開発内容】

1-①. CO₂排出削減・固定量を最大化できる**使用材料の選定**に関する研究開発 **【委託→2/3補助→1/2補助】**

材料の**持続的な調達可能性も考慮しつつ、材料特性が混和材や骨材等に与える影響**を評価し、**CO₂吸収効果が高い材料**の製造技術や複合技術の開発（実験室規模）を行う。

なお、地域によって入手可能な材料の**特性が異なるため、これらの材料評価は複数に亘ることが**想定される。

1-②. CO₂排出削減・固定量最大化**コンクリートの革新的固定試験**及び**製造システム**に関する技術開発 **【委託→2/3補助→1/2補助】**

CO₂排出削減・固定量最大化コンクリートの**試験養生装置・手法の開発**（現場施工によるコンクリート製造への**適用手法も含む**）を行い、試験を通じてその性能を検証する。また、既存設備も含めた**製造システムによる製造性・施工性の実証試験**を行う。

CO₂排出削減・固定量最大化コンクリートには**前例のない材料を使用**することから、**熱膨張係数といったコンクリート性能値への影響**に加え、**CO₂固定の不均一化、CO₂固定時間の長期化**といった課題が想定。

また、実証試験においてはエネルギーバランスを踏まえた**製造システム全体のコスト最小化**といった課題が想定。

2. CO₂**排出削減・固定量最大化コンクリートの品質管理・固定量評価手法**に関する技術開発 **【委託】**

CO₂**排出削減・固定量最大化**コンクリートの適切な**品質管理手法**及び**CO₂固定量評価技術の確立**のための技術開発を行うことによって、海外市場への進出を促す。

CO₂**排出削減・固定量最大化**コンクリート中のCO₂固定量に関する国際標準が存在しないため、**フィールド検証等を通じたCO₂固定量のデータ取得・蓄積等**が課題となる。また、関連学会や公的研究機関等と連携し、**熱膨張係数や長期耐久性などの基礎物性の分析・評価等、基礎・基盤的な研究開発**に取り組む。

※ 上記1-①、②及び2. は同一の企業又はコンソーシアムが実施者となることを想定。ただし、最終的な目標達成に向けて、採択後の相互協力が見込まれる場合、各開発内容に対して異なる事業者が別々に申請することも可能。

【委託・補助の考え方】

CO₂排出削減・固定量最大化コンクリートの普及展開により収益性を確保するには、**生産コストを抑えつつ、様々な材料特性に対応した形でCO₂固定量を最大化**する生産プロセスの確立が必要となる。

当該コンクリートは、**CO₂固定材料の複合使用**や、コンクリート全体の8割を占める**現場施工（生コンクリート）に適用する技術が未確立**であり、ハードルの高い取組となる。

これを踏まえ、**最適な材料選定（1-①）、試験養生装置・手法開発（1-②）、CO₂固定量の評価手法等の確立（2）**については、実施者以外も幅広く裨益する**共通基盤的・革新的な技術開発**であるため、**委託事業**として実施する。

ただし、**製造システムの実証段階**では、民間企業の投資を引き出し、社会実装を確実にする観点から、**委託から補助へ移行**することを想定（1-①及び1-②）。

【社会実装に向けた取組】

国内市場においては、**2025年の大阪万博等**における導入や**関連学会のガイドライン・指針類**に反映することで、**国・地方自治体による公共調達**を拡大することを目指す。

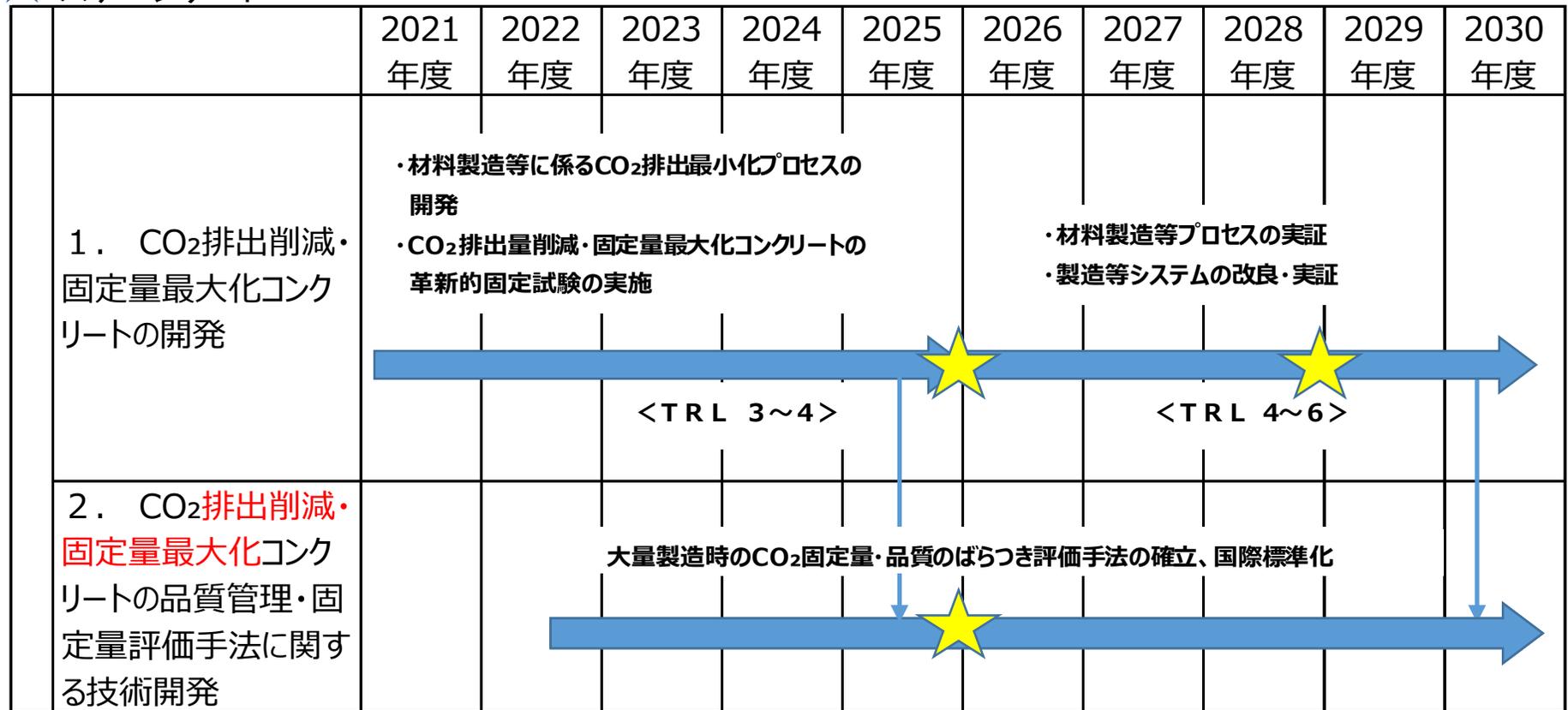
また、温室効果ガスインベントリへの登録や**カーボンクレジット制度での活用**を通じて、更なる導入拡大を目指す。

国際市場においても、**北米市場**に加え、経済成長著しい**アジアでコンクリート需要が拡大**することが見込まれるため、**国際標準化に向けたデータ取得**や大規模な国際展示会でPR等を行い、販路を拡大する。

【実施スケジュール】

具体的なスケジュールは提案者の創意工夫に委ねることを原則とするが、想定される一例は以下のとおり。
また、**ステージゲートを設定**し、事業進捗を踏まえて、継続可否を判断。

★ ステージゲート

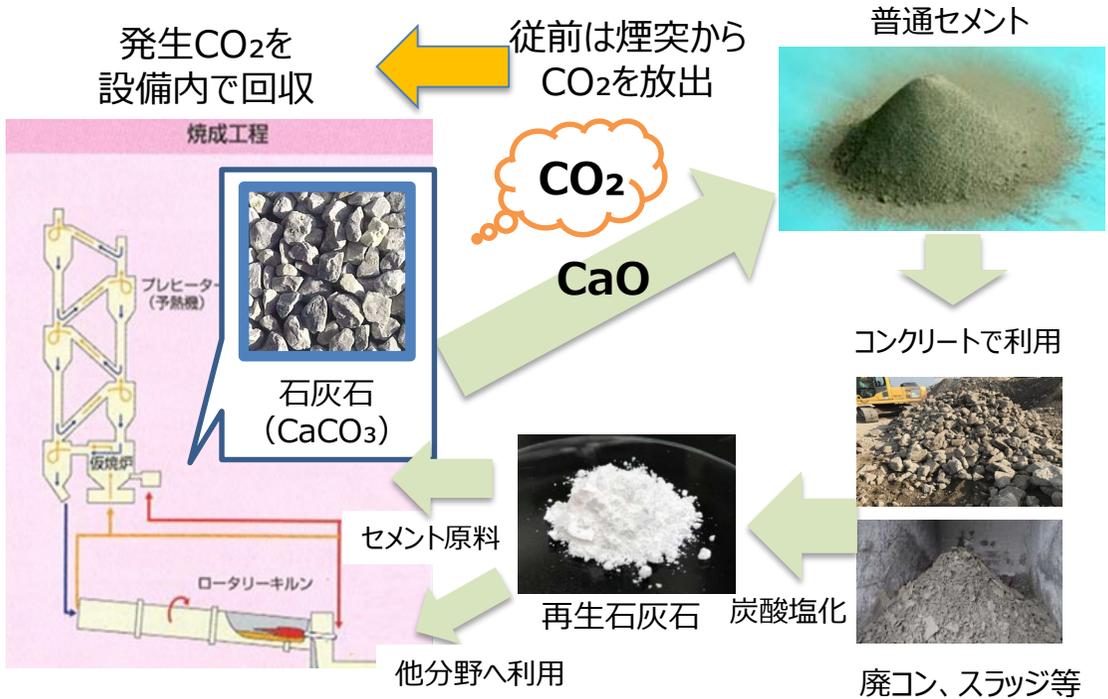


目次

- カーボンリサイクル技術（コンクリート・セメント分野）の開発・社会実装の必要性
- ①コンクリート分野：CO₂排出削減・固定量最大化コンクリート製造技術の開発
- ②セメント分野：CO₂回収型セメント製造プロセスの開発

- セメントの原料は石灰石や粘土など。主な原料である石灰石 (CaCO₃) は、脱炭酸反応により、CO₂が必然的に発生。既存技術では大量のCO₂の処理に大規模設備が必要となり、対応困難。
- 競争力のある効率的なCO₂回収技術を確立するとともに、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利用促進技術により国内でCO₂を循環・利用するシステムを確立していく必要がある。
- 具体的には、以下の取組が必要。
 - ① CO₂回収可能なセメント製造プロセスの開発、実証機の設置・実証
 - ② 多様なカルシウム源を用いた炭酸塩化、利用技術の確立

<CO₂回収型セメント製造プロセス>

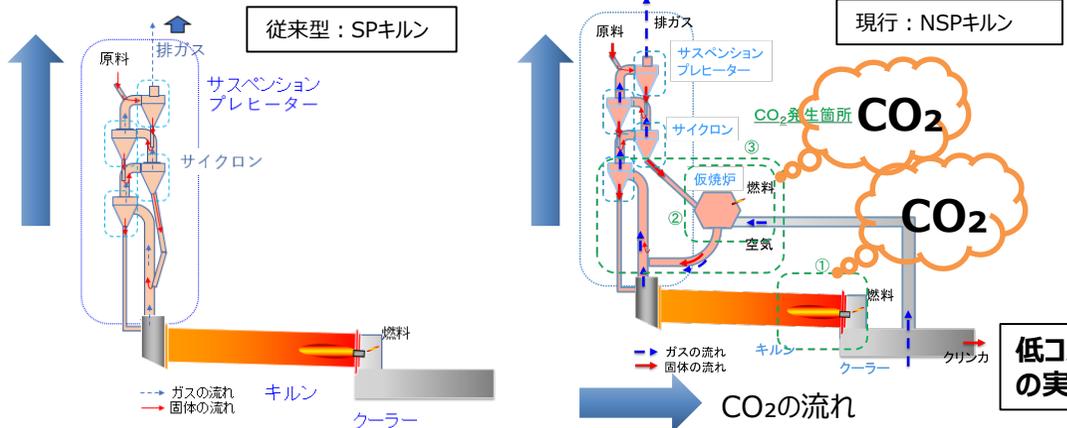


(検討のポイント)

- 主原料である石灰石 (CaCO₃) の使用が必須である中で、脱炭酸反応で生じるCO₂の回収技術・設備開発が必要。
- これまでの事業 (NEDO交付金) での化学吸収法によるセメント工場に付設したCO₂回収設備は、1日10トン程度の回収能力。セメント工場からCO₂が1日数千トン発生する中、抜本的な取組が求められている。
※海外には4,500トン/日級のCO₂回収設備が存在するが、巨大な装置で高コストなもの。
- 回収CO₂を廃棄物等から抽出したカルシウム成分等に固定して炭酸塩化を図るため、コスト面を考慮しつつ、カルシウム抽出量、CO₂固定量の拡大が必要。

- セメント製造工程では、排熱の有効利用を図るため、石灰石予熱のためキルン（セメント焼成炉）の高温ガスをプレヒーターに送る仕組み（SPキルン）が確立。さらに、プレヒーターにおいて追加的な燃焼設備（仮焼炉）を設置し、トータルの燃焼効率を上げることで更なる省エネを実現する（日本発の）仕組みが、NSPキルンとして世界のデファクトになっている。
- いずれのキルンも、その排ガスには、**焼成に用いたエネルギー由来のCO₂と、プレヒーターで石灰石から発生した原料由来のCO₂が含まれており、効率的な回収技術**が求められている。
- 中でも、**原料由来のCO₂は、プレヒーターの内部でそのほとんどが発生するため、効率的に回収することが可能**であり、欧州でも回収技術の開発が進む。
- しかし、その**CO₂を全量近く回収するには、コストが課題**となり、**プレヒーターの設計を一から見直す必要**。本プロジェクトでは、**既存のNSPキルンのレトロフィットにより、コストを抑えた上で、プレヒーター内の原料由来のCO₂を80%以上回収できるCO₂回収型セメント製造プロセスを開発し、後述の炭酸塩化技術と組み合わせることで、構造的な課題の解決に貢献可能な回収したCO₂をセメント製造にリサイクルするプロセスを実証**する。

<プレヒーターによる熱利用>



<2018年度における方式別のキルン比>

	NSPキルン	SPキルン	その他
世界	70%	16%	14%
日本	86%	14%	0%

Global Cement and Concrete Association GNRデータ Reporting CO₂、一般社団法人セメント協会セメントハンドブックデータから経済産業省作成

低コストで大量のCO₂回収の実現が課題

- セメント原料の石灰石は国内で採取可能な資源だが、**脱炭酸反応によるCO₂対策が必要**。
- これまでセメント製造から排出されるCO₂の有効利用のため、CO₂をカルシウムに固定した炭酸塩 (CaCO₃) 化の技術開発にも着手。しかし、**CO₂の固定量等に限界があり、実用化に至らず**。
- セメント産業のカーボンニュートラルに向け、**石灰石の代替となる炭酸塩化技術の確立は急務**であり、セメント製造プロセスにおける**CO₂リサイクルモデルの確立**に向けた抜本的な取組が必要。
- セメント産業でのCO₂リサイクルモデルの構築のため、前述のCO₂回収型セメント製造プロセス技術と組み合わせて、**CO₂を利用した炭酸塩化技術の開発・実証**とともに、**セメント製造プロセスにおけるCO₂リサイクルモデルの実証**も行う。

<CO₂や廃棄物等をリサイクルしたセメント製造等技術>



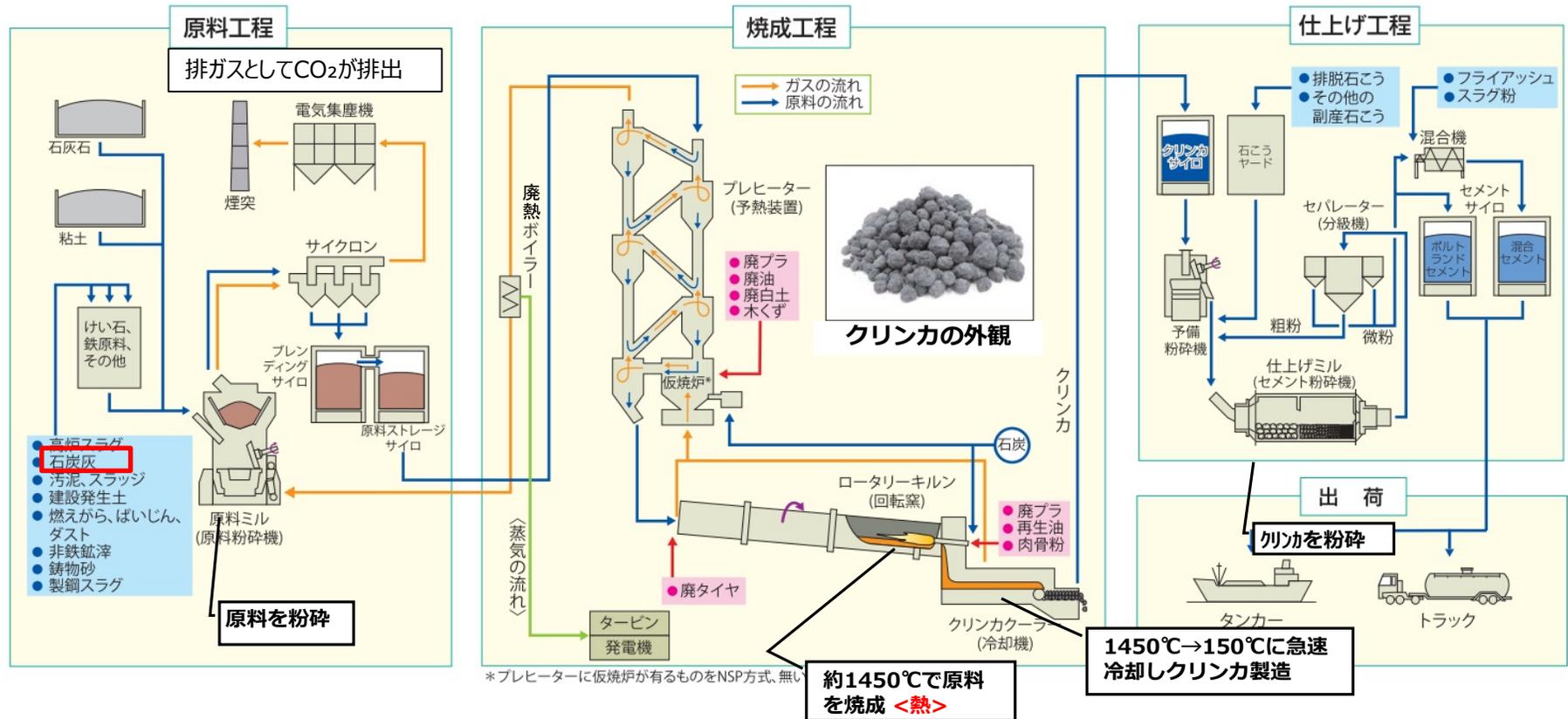
(参考) 現在のセメントの製造プロセスについて

- セメントは下記の3つの工程からなる。NSPキルンという余熱を最大限に活用した構造により、燃焼効率の向上させながら均一な品質を確保。

<原料工程> 原料を乾燥・粉砕・調合する。

<焼成工程> 原料を1450℃で焼成、急速冷却し中間製品のクリンカを製造。

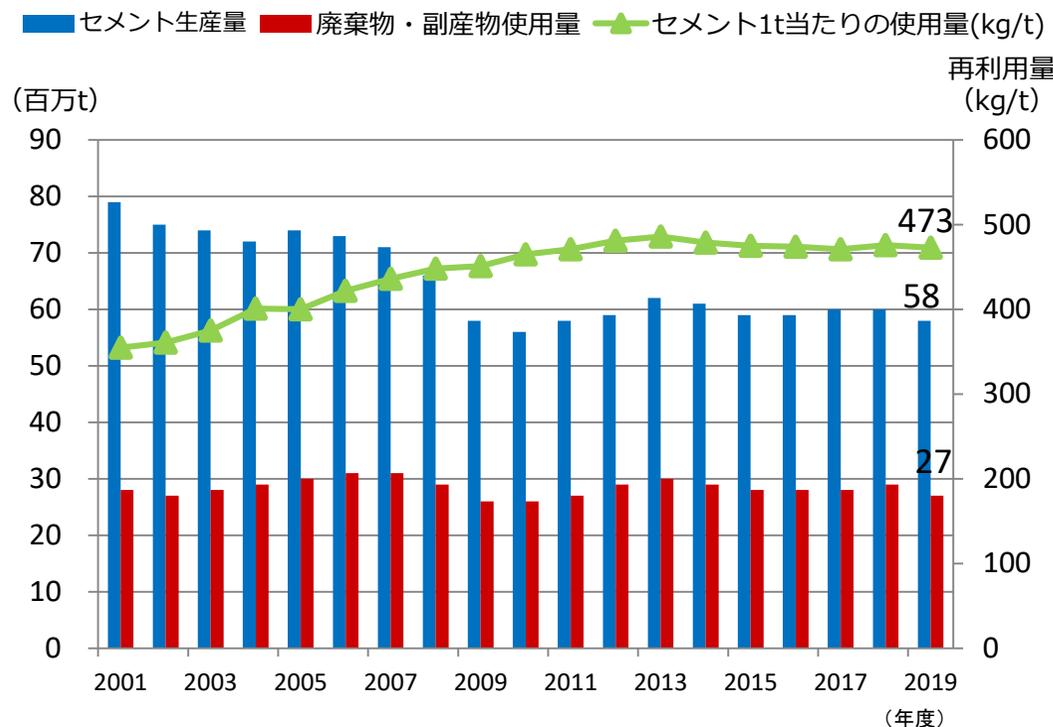
<仕上げ工程> クリンカに石こうを加え、粉砕してセメントに仕上げる。



セメント焼成炉（ロータリーキルン）は、1450℃の高温で焼成しダイオキシン類を分解、重金属類を固定化できるため、あらゆる産業廃棄物、震災／災害廃棄物の処理が可能というメリットがある。

- セメント1トンに対して、約500kgの廃棄物・副産物を利用。産業全体で約3,000万トン（国内で発生する廃棄物全体の約5%）を受け入れ。（セメント製造業からの副産物や廃棄物はほぼゼロ）
- 東日本大震災以降は、災害廃棄物の受入れ処理するなど、セメント工場の稼働により自治体の災害復旧にも貢献。

廃棄物の受入量の推移



出典:セメント協会

災害廃棄物の受入処理例

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



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

【研究開発目標（アウトプット）及び設定の考え方】

3. 2030年までに石灰石由来のCO₂を全量近く回収でき、既存のCO₂回収手法と同等以上のコスト低減を実現するCO₂回収型セメント製造プロセスを確立

- 主な排出元であるプレヒーターで発生するCO₂を80%以上回収
- セメント分野における既存CO₂回収コストより低コスト化

(考え方)

既存のNEDO事業では、1日10トンのCO₂を回収可能な技術を開発中であるが、本プロジェクトでは、その技術の大幅な向上、大型化を目指すこととし、**プレヒーターで発生するCO₂を大部分（80%以上）回収し、**既存NEDO事業（2.6GJ/t-CO₂）より低コスト化することを社会実装に必要な目標値として設定。

4. 2030年までに回収した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技術を確立

- 廃棄物から酸化カルシウムを10%以上抽出、炭酸塩1トン当たりのCO₂固定量を400kg以上
- 炭酸塩生成コストの引き下げ（市場価格(2,000円/t)の5倍程度）、利用技術のガイドライン策定等

(考え方)

廃コンクリートなどの廃棄物から効率的に酸化カルシウム(CaO)を抽出することを目標に設定。廃棄物ごとCaOを抽出できる量が異なるが、効率性のみを追求した最新の研究開発成果（廃コンクリートからCaOを8.5%程度抽出）を踏まえつつ、それを上回る目標として10%以上とした。CO₂固定量は炭酸塩1トン当たりのCO₂含有量の理論値に近い値を設定した。現状の炭酸塩生成コストは石灰石市価の10倍程度と試算され、セメント原料の石灰石価格にできるだけ近づけるよう、**CaO抽出に要するエネルギーや廃棄物処理も考慮しつつ、炭酸塩の生成コストを市価の5倍程度として設定し、併せて利用拡大を図るためのガイドライン策定を**目標とした。

予算上限

157億円
(※現在の
TRL:3)

51.4億円
(※現在の
TRL:4)

【研究開発項目・内容】

3. 製造プロセスにおけるCO₂回収技術の設計・実証【委託→2/3補助→1/2補助】

セメント製造用の原料である石灰石から発生するCO₂を大量に回収するため、既存設備（NSPキルン）でプレヒーター内の熱を利用するプロセスを活用しつつCO₂回収する機能を付与するため、既存プラント内に設置するための課題（コンパクト化、コスト低減等）に対応するプロセスの見直しが必要。

このため、NSPキルンにおいて、CO₂回収が可能な製造プロセスの設計を理論的に可能となるよう設計を行うとともに、CO₂回収が可能なセメント製造プロセスの開発、実証を行う。

4. 多様なカルシウム源を用いた炭酸塩化技術の確立【委託→1/2補助】

廃コンクリート等や回収CO₂を活用した炭酸塩化技術の開発を行うとともに、当該炭酸塩を用いたカーボンリサイクルセメント製造プロセスの開発、利用技術の開発を行うこととし、技術実用化に向けて、関連学会や公的研究機関等と連携し、安全性・耐久性などの分析・評価に取り組む。本成果は、研究開発項目3. と連動させて、実用化に向けた実証を行う。

炭酸塩化に当たり、廃棄物からの抽出CaO量の増加や、CO₂の固定化量を増加させつつ、炭酸塩化に有望なカルシウム等のアルカリ源の選定を行う。さらに、炭酸塩の低コスト化等に向けて、炭酸塩のセメントやフィラーなどでの利用技術の実証や、利用時の性能確保等の内容を含んだ技術利用ガイドラインの策定を行う。

【委託・補助の考え方】

3. については、セメント産業でのカーボンニュートラル実現のためのCO₂回収技術の開発は未だ世界でも実現した例や論文等がなく、ハードルの高い抜本的な取組である。単に製造ラインにプロセスを追加するのみに留まらない既存設備の活用も可能とする非常に難易度が高い※技術開発である。国内セメントメーカー共通で利用可能な基盤技術を実験機で開発し、それを共通技術として社会実装を国がバックアップしつつ進めるためにも委託事業で始めることを想定。また、実験機での稼働が確認できた後、事業者が設備のカスタマイズなど、将来的な商用化に向けた取り組みに移行する段階で、民間企業独自の取り組みを促進する観点から補助金に切り替えることを想定。また、実験機から実証機へと移行の段階においても、商用化に向けた領域に必要な補助として、補助率の低減を行いつつ、必要な支援を図る。

※セメントの製造工程は設備内の熱利用を徹底的に行うことが特長。NSPキルンではキルンから放出される熱も原料の燃焼エネルギーとして利用。その過程でCO₂回収を行う場合、CO₂のみでなく熱まで回収することとなる。そのため、熱利用とCO₂回収を両立しつつ、既存ラインに組み込む（コンパクト、省エネ）という多様な要素のバランスを取る困難さが存在。

4. については、廃コンクリートなど一部のカルシウム源から炭酸塩化の要素技術開発を進めているが、まだ技術確立段階に至っていない。また、本事業では未着手のカルシウム源からのCaO抽出にチャレンジしつつ、セメント工場から排出されるCO₂を用いて炭酸塩を生成し、石灰石代替原料としてセメント原料化する一連の工程を実現させる本邦発の技術であるため、まずは基盤技術として確立すべく委託事業として開始する。ただし、実証フェーズへの移行段階では、商用化を念頭においた品質の安定確保のための研究・実証となるため、民間企業の独自の取組を促進する観点で補助金への移行に切り替えることを想定。

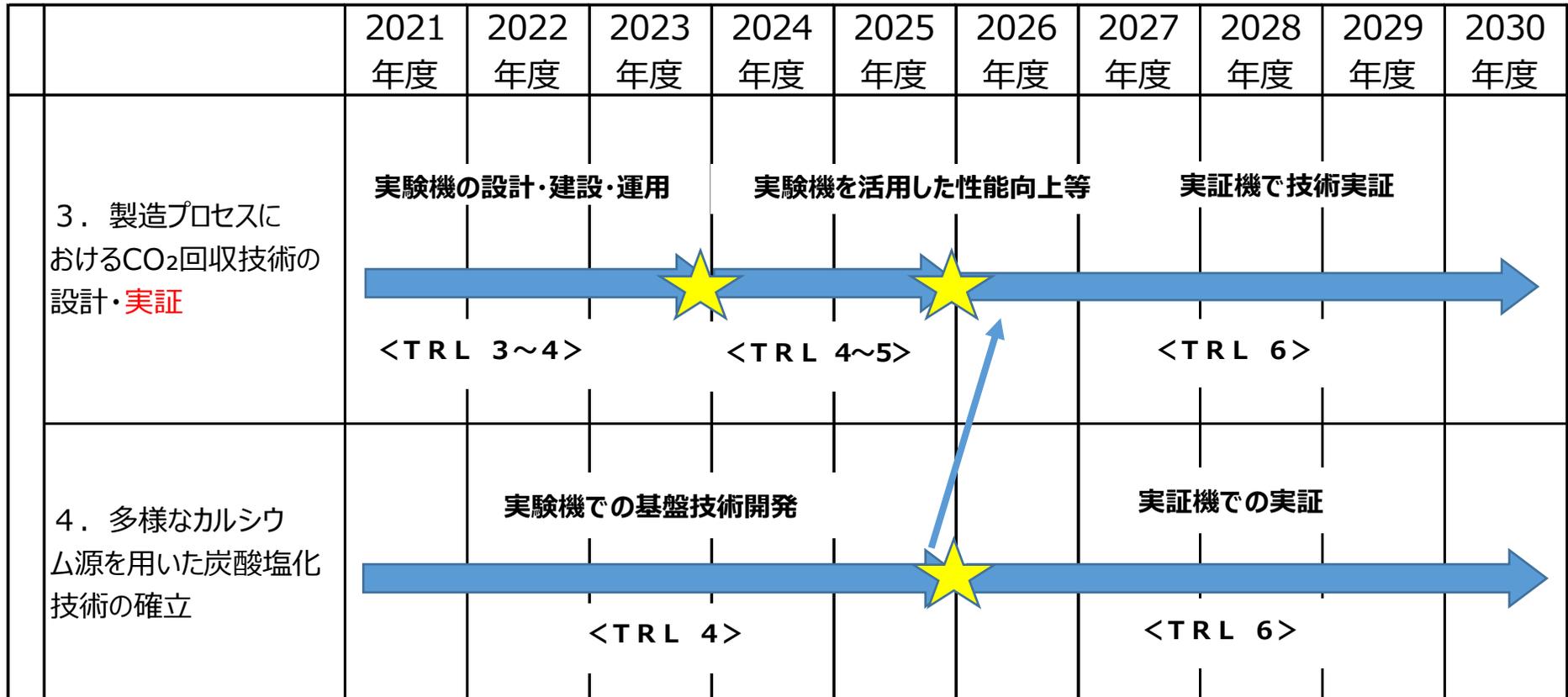
【社会実装に向けた支援】

国内外市場への拡大を視野にいれ、セメント・プラントメーカーが連携し、セメントメーカーの全面バックアップの下での活動を行いつつ、成果PRなどを実施。炭酸塩確保のためカルシウム等のアルカリ源確保のため、関係者間（政府、セメント事業者、大学、ゼネコン、廃棄物事業者、生コン事業者等）での協議会等を行う。

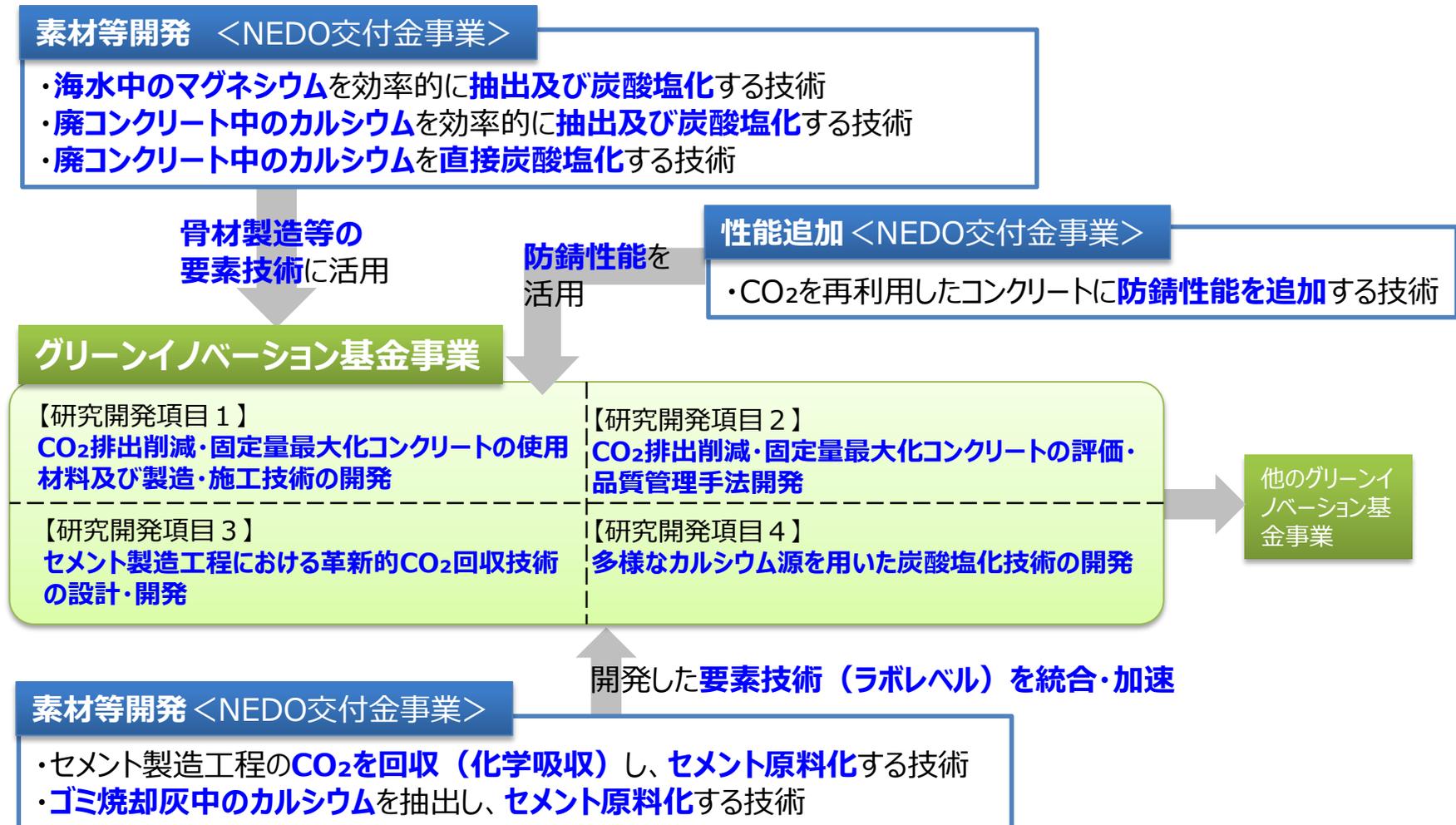
【実施スケジュール】

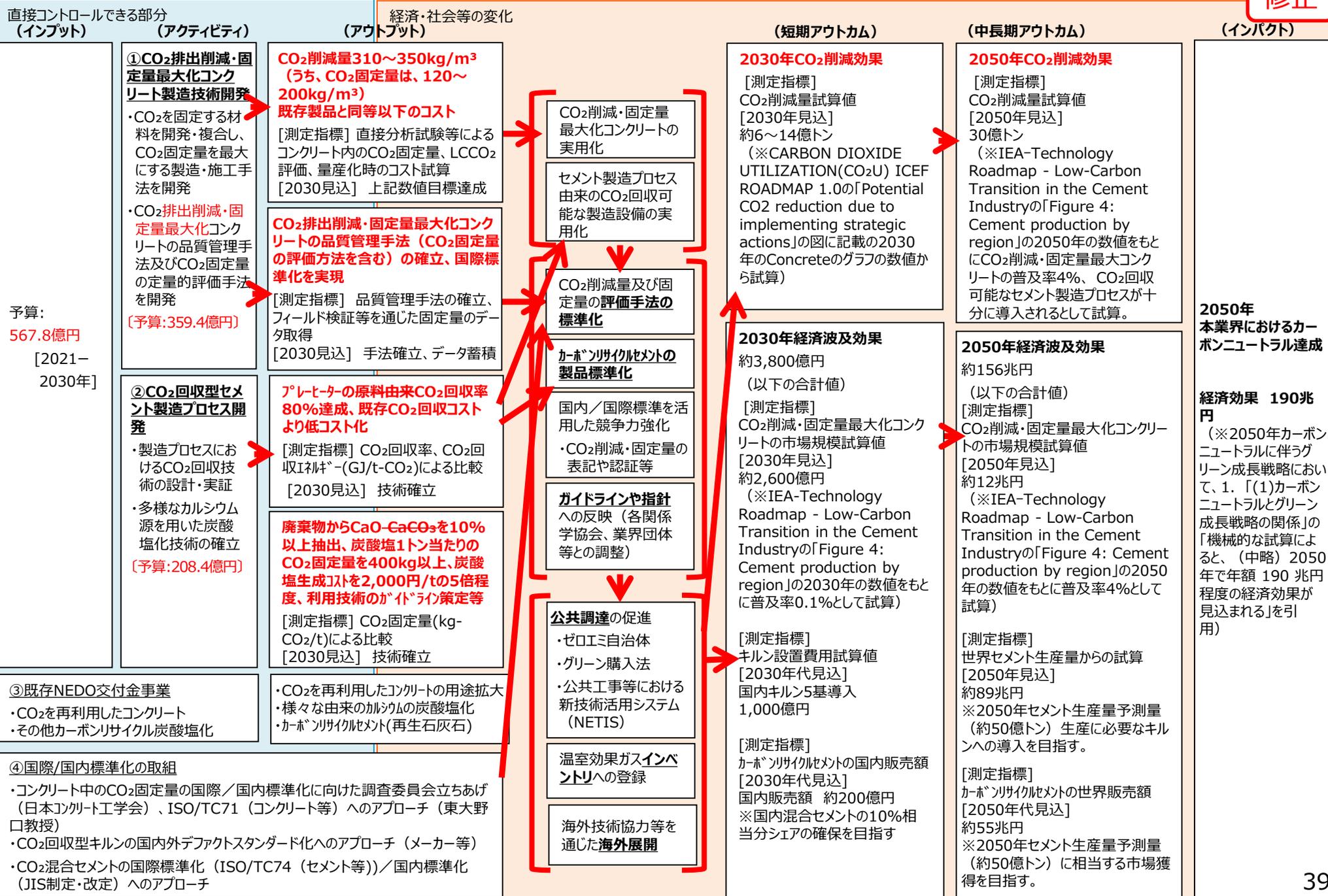
具体的なスケジュールは提案者の創意工夫に委ねることを原則とするが、想定される一例は以下のとおり。

★ ステージゲート



- 開発・実証を効率的に遂行すべく、**NEDO交付金事業等の成果を最大限活用**する。
- CO₂分離・回収分野等、関係するグリーンイノベーション基金事業の進捗を注視し、必要に応じて連携・成果の取り込み等を実施。**関連学会等と連携し、取組の全体像を随時発信していく。**





- 非連続なイノベーションを通じた「**経済と環境の好循環の実現**」に向け、CO₂を資源として活用する**カーボンリサイクル**について、その意義と取組進捗を発信。
- **日米間の新たな覚書締結**をはじめ、国際連携を強化しつつ、**社会実装**に向けた**開発・実証**に取り組むことを確認。

日時：2020年10月13日 (WEB)

主催：経済産業省、NEDO

登録者数：22カ国・地域、約1,700名 (※第1回450名)

- ✓ カーボンリサイクルの社会実装に向けた**イノベーション**、**資金調達**や**制度設計**等の必要性を議論。
- ✓ **第3回は、2021年10月4日開催予定**
- ✓ <https://carbon-recycling2021.go.jp/#home>

【登壇者】

- 梶山経済産業大臣、江島経済産業副大臣
- テイラー 豪州エネルギー・排出削減担当大臣、
- ブルー ノルウェー石油エネルギー大臣、
- ウインバーグ米エネルギー省次官補、湯崎広島県知事等
- パネルでは、KAPSARC (サウジ国研)、OGCI (石油メジャー)、三井住友銀行、INPEX、LanzaTech (米ベンチャー)、BASF (ドイツ化学メーカー)、中国電力等

- 米国と、**カーボンリサイクルに係る協力覚書**を締結。技術情報の共有、専門家の相互派遣、テストサンプルの交換等を盛り込み。両国の強み (技術、事業化) を組合せ、**開発・実用化の加速**。
- 江島副大臣が、「**カーボンリサイクル3Cイニシアティブ**」に基づいた**取組の進捗**を発信。日本の技術開発や大崎上島拠点等を紹介。国際連携を推進。



(参考) 日米気候パートナーシップ (2021年4月16日)

- **日米両国は、本年4月16日の首脳会談**において、気候野心、脱炭素化及びクリーンエネルギーに関する協力の強化にコミットし、国際社会の気候行動を主導していくことで合意。
- **カーボンリサイクル**を含む優先分野における**二国間協力を強化**。

日米気候パートナーシップ (抜粋)

<気候・クリーンエネルギーの技術及びイノベーション>

日米両国は、気候変動対策に取り組み、再生可能エネルギー、エネルギー貯蔵（蓄電池や長期エネルギー貯蔵技術等）、スマートグリッド、省エネルギー、水素、**二酸化炭素回収・利用・貯留／カーボンリサイクル**、産業における脱炭素化、革新原子力等の分野を含む**イノベーションに関する協力の強化により、グリーン成長の実現に向けて協働することにコミット**する。

また、この協力は、再生可能エネルギー、電力系統最適化、デマンドレスポンス及び省エネルギーを含む分野における連携を通じて、気候変動に配慮・適応したインフラの開発、普及及び活用を促進する。

- カーボンリサイクルの取組を加速化**するため、一般社団法人**カーボンリサイクルファンド**が民間主導で2019年8月に設立。**会員84社10個人**（2021年8月2日時点）。化学、エネルギー、建設、電機、機械、金融、商社など多様な業界が参画。
- カーボンリサイクルに関して、①**研究に対する助成**、②**広報・普及**、③**政策提言、実態調査**等。**異業種連携によるOpen Innovationを促進**。

会長：小林 喜光（三菱ケミカルホールディングス 取締役）、副会長：北村 雅良（電源開発 特別顧問）

【会員企業】五十音順

IHI、會澤高圧コンクリート、愛三工業、アサヒクオリティードイノベーションズ、出光興産、伊藤忠商事、INPEX、ウシオ電機、宇部興産、AGC、荏原製作所、エヌ・ティ・ティ・データ経営研究所、大森建設、川崎重工業、環境システムズ、神戸製鋼所、コスモス商事、熊谷組、山陰酸素工業、サン・フレア、JSR、JFE商事、島津製作所、清水建設、CO₂資源化研究所、新日本空調、住友大阪セメント、住友重機械工業、住友商事、西華産業、石炭フロンティア機構、石油資源開発、大成建設、大日本印刷、太平電業、太平洋セメント、大和証券グループ本社、地熱技術開発、千代田化工建設、DIC、デンカ、電源開発、電力中央研究所、東亜建設工業、東京エコサービス、東京ガス、東京産業、東京理科大学、東芝エネルギーシステムズ、Dome Gold Mines Ltd、東洋エンジニアリング、東レ、戸田工業、凸版印刷、日揮ホールディングス、日産自動車、日鉄エンジニアリング、日本ガイシ、日本コークス工業、日本製鉄、日本エネルギー経済研究所、BASFジャパン、日立造船、日立パワーソリューションズ、日立プラントサービス、ヒューリック、福岡建設合材、福祉開発研究所、フソウ、フューチャーエステート、古河電気工業、丸紅、みずほフィナンシャルグループ、みずほリサーチ&テクノロジーズ、三井住友銀行、三井物産、三菱ガス化学、三菱ケミカル、三菱重工業、三菱商事、三菱マテリアル、三菱UFJ銀行、ユーグレナ、若築建設

◆ カーボンリサイクルは、CO₂を資源として有効活用する技術でカーボンニュートラル社会実現に重要。日本に競争力があり、コスト低減、社会実装を進め、グローバル展開を目指す。(IEAは、2070年のCCUSによるCO₂削減量は世界で約69億トン/年と予測。)

	現状と課題	今後の取組
<p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">コンクリート・セメント</p>	<p>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</p> <ul style="list-style-type: none"> 現状のCO₂-SUICOMは<u>コスト高</u>。 (=既存コンクリートの約3倍の100円/kg) CO₂吸収量が限定的、コンクリートの中の鉄骨が錆やすいため(CO₂吸収により酸化しやすくなるため)、<u>用途限定</u>。 	<p>公共調達を活用し販路拡大・コスト低減</p> <ul style="list-style-type: none"> コスト目標として、2030年に、<u>需要拡大を通じて既存コンクリートと同価格(=30円/kg)</u>を目指す。2050年に、防錆性能を持つ新製品を建築用途にも使用可能とする。 市場規模は、<u>2030年時点で、世界で約15~40兆円</u>を見込む。 <p>①公共調達による販路拡大</p> <ul style="list-style-type: none"> 新技術に関する<u>国交省データベース(NETIS)</u>にCO₂吸収型コンクリートを登録。国・地方自治体による<u>公共調達を拡大</u>。<u>2025年日本国際博覧会でも導入を検討</u>。さらに、<u>国際標準化</u>を通じ、<u>アジアへの販路も拡大</u>。 <p>②更なる販路拡大</p> <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<u>用途拡大</u>。<u>標準化等導入に向けた支援</u>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。
	<p>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</p> <ul style="list-style-type: none"> キルンから1日当たり<u>数千トンのCO₂が発生</u>。現行技術(化学吸収法)では<u>大規模化</u>。 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。 	<p>新たな製造プロセスの確立・炭酸塩の利用拡大</p> <ul style="list-style-type: none"> 2030年までに、石灰石からの排出CO₂を<u>100%近く回収する技術の確立</u>を目指す。廃棄物等を用いた<u>炭酸塩やカーボンリサイクルセメント技術</u>を確立し、炭酸塩の利用拡大を図る。 2050年までに、<u>国内工場への導入</u>や<u>東南アジア等のプラントとの技術協力</u>、<u>カーボンリサイクルセメントの普及拡大</u>を目指す。

現状と課題

今後の取組

代替航空燃料 (SAF) (※1)

安定供給・高コスト克服のための大規模化が課題

要素技術の開発が進展し、実証開始。ガス化FT合成(※2)は、様々な原料の品質の均一化、ATJ(※3)は、触媒反応の制御、微細藻類の培養については、CO₂の吸収効率向上等の藻を安定的に増殖させることを可能とする技術の確立が必要。

- (※1) SAF (Sustainable Aviation Fuel)。
- (※2) 木くず等の有機物を蒸し焼き(ガス化)し、触媒により液化する工程によりSAFを製造する技術 (Fischer-Tropsch process (フィッシャー・トロプシュ法))。
- (※3) Alcohol to jet の略。バイオエタノールを触媒等を用いてSAFに改質する技術。

大規模実証を通じたコスト低減、供給拡大

- ・コスト目標として、2030年に、既存のジェット燃料と同価格 (=100円台/L) を目指す。
- ・市場規模は、2030年時点で、国内空港での総需要は約2,500億円~5,600億円を見込む。
- ・国際航空に関し、ICAO (国際民間航空機関) により、「2019年比でCO₂排出量を増加させない」という制度が2021年から導入。SAFの国際市場は拡大。

- ① 大規模実証を実施し、コストを既存のジェット燃料と同等まで低減。他国に先駆けて2030年頃には実用化。
- ② SAFの国際市場の動向に応じて、国内外において、航空機へ競争力のあるSAFの供給拡大 (国際認証取得済み)。

合成燃料

商用化に向けた課題はコストと製造技術の確立

- ・CO₂と水素を合成して製造される脱炭素燃料。
- ・特徴は、化石燃料と同様に液体燃料であるため、高エネルギー密度と可搬性。
- ・商用化に向けた一貫製造プロセス未確立。

合成燃料の大規模化・技術開発支援

- ・既存技術 (逆シフト反応 + FT合成プロセス) の高効率化や製造設備の設計開発。
 - ・革新的新規技術・プロセス (共電解、Direct-FT等) の開発。
 - ・2030年までに高効率かつ大規模な製造技術を確立し、2030年代に導入拡大・コスト低減し、2040年までの自立商用化(※4)を目指す。
 - ・2050年にガソリン価格以下のコストを実現することを目指す。
- (※4) 自立商用化フェーズにおける合成燃料のコストは、その環境価値を含めたコストであると想定される

カーボンリサイクル燃料

合成メタン

実用化・低コスト化のための技術開発が課題

- ・メタネーションの基盤技術開発、より高効率な革新的技術の先導的基盤技術開発を実施。
- ・メタネーションの設備大型化や高効率化の技術開発、水素とCO₂を調達するサプライチェーンの構築、CNに資するCO₂削減量のカウントの検討が必要。

メタネーション設備大型化等の技術開発、海外サプライチェーン構築を通じたコスト低減、供給拡大

- ・2030年には既存インフラに合成メタンを1%注入、その他の手段と合わせ5%のガスのCN化、2050年には合成メタンを90%注入、その他の手段と合わせガスのCN化を目指す。
- ・メタネーションの設備大型化や高効率化の技術開発、海外サプライチェーン構築、CNに資するCO₂削減量のカウントの検討を進める。
- ・2050年までに合成メタンを2,500万トン供給、現在のLNG価格(40~50円/Nm³)と同水準を目指す。

グリーンLPG

商用化に向けた技術確立が課題

- ・LPガスは2050年においても一定量の需要が維持される見込み。
- ・世界的に見てもグリーンなLPガス合成を主目的とした技術開発は実施されておらず、世界に先立ち、当該技術の確立及び早期の社会実装を目指す。

大規模生産に向けた実証事業を実施

- ・商用化に耐え得る生産が可能な触媒等の基盤技術の開発
 - ・触媒等の基盤技術と周辺基盤技術を融合させ実証プラントに実装する技術の開発
- こうした取組に対する支援を通じて、2030年の商用化を目指す。

	現状と課題	今後の取組
(人工光合成によるプラスチック原料) カーボンリサイクル化学品	大規模化に向けた技術的課題あり ・ <u>基礎研究</u> (ラボレベル) は成功、 <u>実証予定</u> 。(※光触媒を用いて太陽光によって水から水素を分離し、水素とCO ₂ を組み合わせたプラスチック原料を製造) ・現状の光触媒では太陽光の変換効率が限定的で、 <u>生産性が低い</u> ため、 <u>コスト高</u> ・日本企業に技術力。主要な海外競合企業なし。	変換効率の高い光触媒の開発を加速、実用化 ・コスト目標として、2030年に、 <u>変換効率の高い光触媒</u> を開発、 <u>製造コスト2割減</u> を目指す。 <u>大規模実証</u> を実施し、2050年に、既存のプラスチック製品と <u>同価格</u> (=100円/kg)を目指す。 ・人工光合成の大規模実証や社会実装を実施するため、水素と酸素を分離する際の安全性確保の観点から、先見性のある新たな <u>保安・安全基準の策定</u> 、高圧ガス保安法等の <u>関連規制の対応</u> 等に取り組む。
	CO₂排出量の大幅削減が必要 ・廃プラスチックや廃ゴムは燃やすとCO ₂ が排出されるため、対策が必要。 ・機能性化学品についてもCO ₂ 排出量削減に加えて、 <u>軽量化等の高付加価値化</u> が必要。 ・ナフサ分解炉において必要とされる <u>熱源への対応</u> も今後重要。	廃プラスチック・廃ゴムやCO₂のプラスチック原料化技術の確立 ・CO ₂ を原料とする機能性化学品(ポリカーボネイト等含酸素化合物)やバイオマス・廃プラスチック由来化学品等については、2030年に <u>製造技術を確立</u> し、2050年に <u>既存製品と同価格</u> を目指す。 ・耐熱性や耐衝撃性、軽量化といった機能性の更なる向上により、 <u>同価格で現行よりも高い付加価値</u> を有する製品(自動車や電子機器等)を実現する。 ・同時に、 <u>熱源のカーボンフリー化</u> 等によるナフサ分解炉の高度化も検討する。 ・市場規模は、 <u>2050年時点</u> で、世界市場で <u>数百兆円規模</u> 、日本市場だけでも <u>10兆円規模</u> を見込む。
(バイオものづくり技術の活用)	商用化に向けた要素技術の確立が課題 ・バイオマス資源を原料とするバイオものづくりは、既存の化学品に比べて <u>コストが高い</u> こと、 <u>生産できる化学品の種類が限定</u> されていることが課題。 ・大気中のCO ₂ を原料とするバイオものづくりは、効率的な物質生産が可能な微生物の開発や培養技術など、 <u>基盤技術の確立</u> が課題。	バイオものづくり技術の確立 ・バイオマス資源を原料とするバイオものづくりについては、ゲノム編集等による産業用微生物等の開発や生産プロセスの開発・実証などにより、2035年までに <u>既存製品と対抗し得る水準の低コスト化</u> と商業ベースで <u>生産可能な化学品の種類・機能の拡大</u> を目指す。 ・大気中のCO ₂ を原料とするバイオものづくりについては、培養に適した微生物株の開発等により <u>基盤技術を確立</u> し、2040年頃からの実用化を目指す。
分離回収設備 (排気中CO ₂ の分離回収)	市場獲得に向けた分離回収技術の低コスト化が課題 ・EOR(CO ₂ 注入による石油生産増)や化学用途向けに、発電所からの <u>高濃度CO₂の分離回収設備</u> は、既に生産段階。(日本企業がCO ₂ 回収プラント実績において、トップシェア。日本の産学の特許数が多い。) ・様々な濃度や特性を持つCO ₂ 排出源から <u>低コスト</u> での回収技術が、今後の開発課題。	低コスト化を通じた需要拡大 ・市場規模として、 <u>2030年時点</u> で、世界で約6兆円/年、 <u>2050年には約10兆円/年</u> にまで拡大を見込む。 ・2030年に、分離回収技術の更なる <u>低コスト化</u> と、 <u>EOR以外の用途への拡大</u> 実現を目指す。 ・低コスト化につながる <u>高効率なCO₂分離回収技術</u> を開発。 ・分離回収の標準評価技術の確立後、国内外への展開を加速するため、国際標準化を検討。 ・実証に当たっては2025年日本国際博覧会等の場の活用も検討。 ・2050年に、世界の分離回収市場で <u>年間10兆円の3割シェア</u> 実現(約25億CO ₂ トンに相当)を目指す。

(参考) 大気中からのCO₂直接回収(Direct Air Capture)

現状と課題

- ・世界的にも要素技術開発段階。国内でも、ラボレベルでの開発を2020年に開始。
- ・エネルギー効率が低く、大気中からの回収コストが高い。

今後の取組

- ・大気中からの高効率なCO₂回収方法について技術開発を進め、低コスト化、2050年実用化を目指す。

(参考) カーボンリサイクル産業の成長戦略「工程表」①

2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略
(令和3年6月18日)

※代表事例を記載	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	～2030年	～2040年	～2050年	
<p>●コンクリート コスト目標 2030年 30円台/m3 (=既製品と同等)</p> <p>●セメント 国内キルン全機導入</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・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CO₂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 	<ul style="list-style-type: none"> ・防錆性能を持つコンクリートの技術開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・防錆性能を持つコンクリートの実証 	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・新技術を活用した製品の実証 	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・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 		
<p>●カーボンリサイクル燃料 コスト目標 2030年 100円台/L (=既製品と同等)</p> <p>(i) 代替航空燃料 (SAF)</p> <p>(ii) 合成燃料</p> <p>(iii) 合成メタン コスト目標 2050年 40～50円/Nm3 (=現在のLNG価格と同等)</p> <p>(iv) グリーンLPG</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・2030年頃の商用化に向けた大規模実証、コスト低減 ・国際航空に関し、ICAOにより、2019年比でCO₂排出量を増加させないことが制度化 (2021～2035年) (※ICAO:国際民間航空機関) 	<ul style="list-style-type: none"> 【ガス化FT合成】様々な原料の品質を均一化する破砕処理技術の開発を継続 【ATJ】高温状態の触媒反応の制御技術の開発を継続 【微細藻類】CO₂吸収効率の向上や藻の安定的な増殖による生産性向上、品質改良の技術開発を継続 等 	<ul style="list-style-type: none"> ・合成燃料の製造技術の開発 ・既存技術 (逆シフト反応+FT合成プロセス) の高効率化 ・製造設備の設計開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・合成燃料の革新的製造技術の開発 ・CO₂電解 (+水電解) +FT合成プロセスの研究開発 ・共電解+FT合成プロセスの研究開発 ・直接合成 (Direct-FT) プロセスの研究開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・2040年頃の商用化に向けた大規模実証、コスト低減 ・低コスト化に向けた新たな基礎技術の開発 (共電解等) 	<ul style="list-style-type: none"> ・海外サプライチェーン構築に向けた調査・実証 	<ul style="list-style-type: none"> ・触媒等の実証試験に必要な基礎技術の開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・2030年頃の商用化に向けた大規模実証、コスト低減 ・海外から国内への輸送開始・導入拡大 	<ul style="list-style-type: none"> ・2050年頃の商用化に向けた大規模実証、コスト低減 ・海外から国内への輸送開始・導入拡大
						<ul style="list-style-type: none"> ★目標 (2030年時) グリーンLPGの商用化 	<ul style="list-style-type: none"> ・SAFの国際市場の動向に応じて、国内外において、航空機へ競争力のあるSAFの供給拡大 	<ul style="list-style-type: none"> ・導入拡大・コスト低減 ・更なるコスト低減による導入拡大 ・実証による大規模化、低コスト化 ・更なるコスト低減による導入拡大 ・商用拡大 ・商用拡大 	
							<ul style="list-style-type: none"> ・自立商用 	<ul style="list-style-type: none"> ・商用拡大 ・商用拡大 ・コスト低減 ・グリーンLPGガス合成技術の普及拡大 	

(参考) カーボンリサイクル産業の成長戦略「工程表」②

2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略
(令和3年6月18日)

※代表事例を記載	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	～2030年	～2040年	～2050年
<p>●カーボンリサイクル 化学品 コスト目標 50年100円/kg (=既製品と同等)</p> <p>〔人工光合成によるプラスチック原料〕</p> <p>コスト目標 既製品と同等</p> <p>〔廃プラスチック・廃ゴムやCO₂直接合成等のプラスチック原料〕</p> <p>コスト目標 既製品と同等</p> <p>〔バイオ技術による化学品〕</p>								
	<p>・プラスチック原料製造の大規模実証に必要な生産性の高い光触媒を開発</p> <p>・関連規制の保安・安全基準に関する検討</p>						<p>・大規模実証</p>	<p>・コスト低減・補助金等による導入支援</p>
	<p>・廃プラスチック・廃ゴムやCO₂からより機能性を向上させた化学品の製造技術を開発</p>						<p>・コスト低減・補助金等による導入支援</p>	
		<p>・バイオマス資源を原料とするバイオものづくり技術の開発</p>				<p>・実証</p>	<p>導入拡大・コスト低減</p>	<p>商用的拡大</p>
		<p>・大気中のCO₂を原料として直接的に化学品を製造するバイオものづくり技術の開発</p>					<p>・実証</p>	<p>導入拡大・コスト低減 商用的拡大</p>
<p>●分離回収 コスト目標 (/CO₂t) 低圧ガス： 30年2千円台 高圧ガス： 30年千円台 DAC： 50年2千円台 目標規模 50年 世界で約25億CO₂t</p>	<p>○排ガス由来</p> <p>・高効率なCO₂分離回収技術を開発し、コスト低減</p>					<p>・大規模実証</p>	<p>・更なるコスト低減による導入拡大</p>	
	<p>○大気由来 (DAC)</p> <p>・ムーンショット型研究開発制度等を活用した、大気からのCO₂直接回収 (DAC) 技術の研究開発 (エネルギー効率向上、コスト低減)</p>						<p>・実証による更なる低コスト化</p>	<p>・さらなる低コスト化・補助金等による導入拡大</p>