

NEDOエネルギー・地球環境分野成果報告会2026 プログラムNo. B2-2-08

製造プロセスにおける CO₂回収技術の設計・実証

グリーンイノベーション基金事業
/CO₂を用いたコンクリート等製造技術開発
/CO₂回収型セメント製造プロセスの開発

発表：2026年7月22日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

発表者名 木村 貴之

太平洋セメント(株)、(株)IHI、(株)IHIプラント、東京瓦斯(株)

問い合わせ先 GX推進部 本間 E-mail:kenichi_honma@taiheiyo-cement.co.jp TEL: 043-498-3883

背景：セメント製造工程からのCO₂排出

プレヒーターとキルン

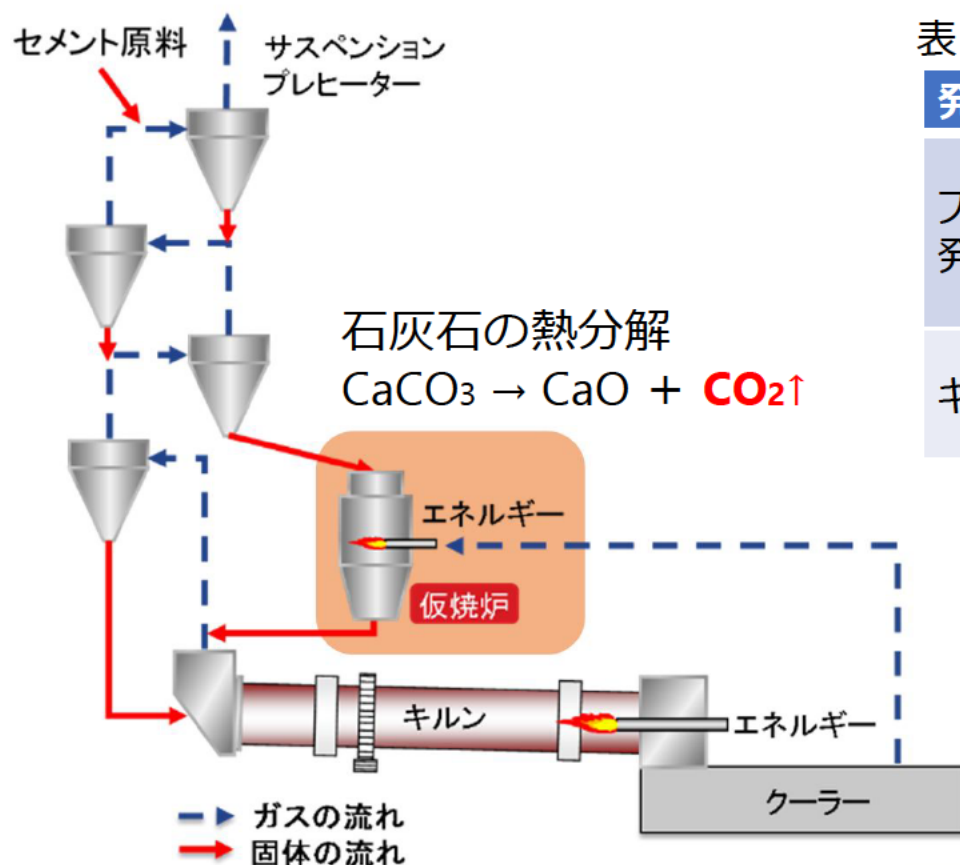


- ・プレヒーター：高さ 約80m
- ・キルン：Φ5～6m×長さ約100m



- セメントキルンからのCO₂排出量(平均)：2,500～3,000 t/基・日
- CO₂排出は、原料由来：約60%、エネルギー由来：約40%
⇒ 原料由来CO₂は削減が困難であり、CCUS技術が必要

背景：従来のセメント製造フロー



セメント製造フロー（NSPキルン）

※ キルンでセメントの中間製品であるクリンカを焼成

表 CO₂発生場所、発生由来及び発生割合（全体を100とした場合）

発生場所		発生由来	発生割合	
プレヒーターで発生するCO ₂	サイクロン	原料由来	6	74
	仮焼炉	原料由来	48	
		エネルギー由来	20	
キルンで発生するCO ₂		原料由来	6	26
		エネルギー由来	20	

計算条件

- ・CO₂発生由来 原料由来：エネルギー由来 = 60：40
- ・脱炭酸率 仮焼炉入原料10%、出原料90%
- ・エネルギー使用割合 仮焼炉：キルン = 50：50

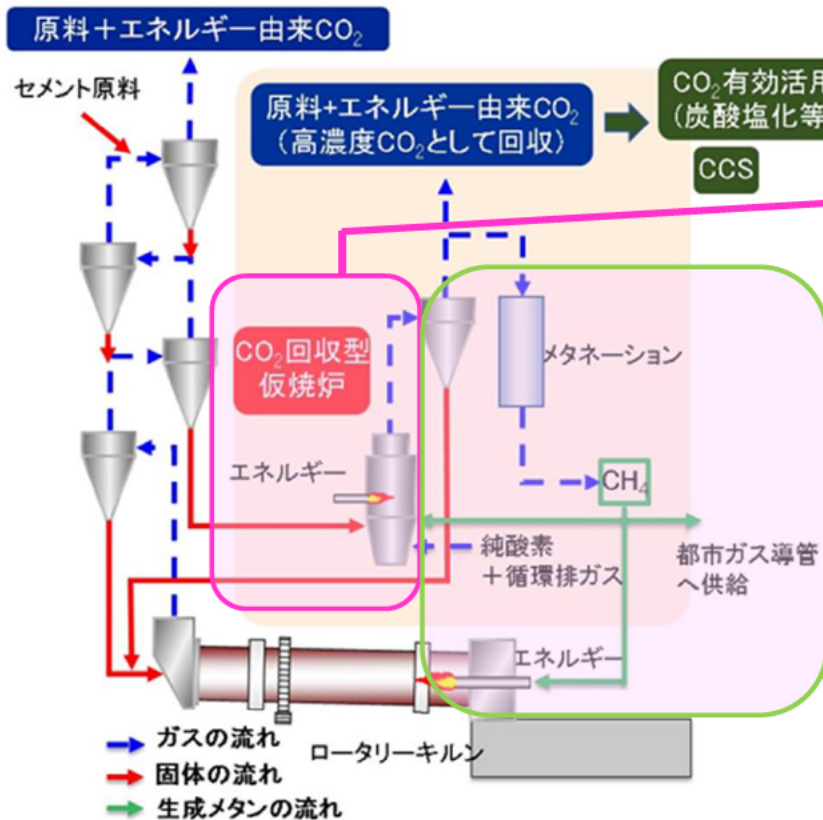
原料の乾燥・予熱・脱炭酸を担う
 プレヒーターの仮焼炉でCO₂の大部分が発生



仮焼炉から排出されるCO₂を直接回収可能な
CO₂回収型セメント製造プロセスの開発に着手

開発目的・コンセプト

目的：セメント製造に適したコンパクトな設備で原料由来のCO₂を直接回収可能なプロセスおよび回収したCO₂の熱エネルギー源への転換技術の開発



【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を必要としない低コストなシステム

【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
- 合成メタンの都市ガス導管導入に必要な改質工程の構築

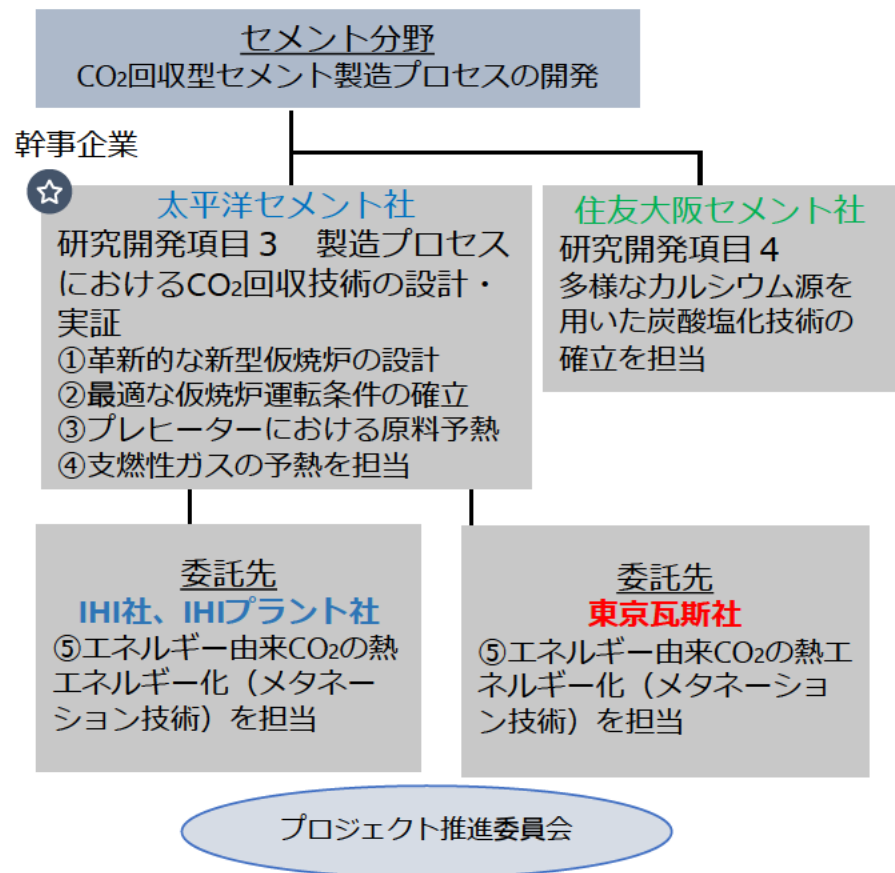
開発目標

期間： 2021～2030年度（10年間）

- 目標：
1. 石灰石由来のCO₂を全量近く回収でき、かつ既存のCO₂回収手法と同等以上のコスト低減をを実現するため、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**の省エネとなる技術を確立する。
 2. エネルギー由来相当のCO₂をセメント製造プロセスに再利用できるエネルギーに変換するため、本プロセスに適したメタネーションシステム（前処理工程 含む）を開発する。

事業体制

実施体制図



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）全体のとりまとめは、太平洋セメント社
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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）のうち、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、東京瓦斯社に都市ガス導管に利用するためのシステム構築を委託

研究開発項目・実施内容

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

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80vol%以上

仮焼炉出口での炭酸カルシウム成分の脱炭酸率90%以上

CO₂回収型セメント製造プロセスによるCO₂回収エネルギー（酸素製造エネルギーを除く）が1.05GJ/t-CO₂以下

初期メタン転換率90%以上
8000hr運転後の転換率80%以上を見通す

KPI設定の考え方

仮焼炉排ガス中のCO₂濃度を80vol%以上にして**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（平均80%程度）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**。

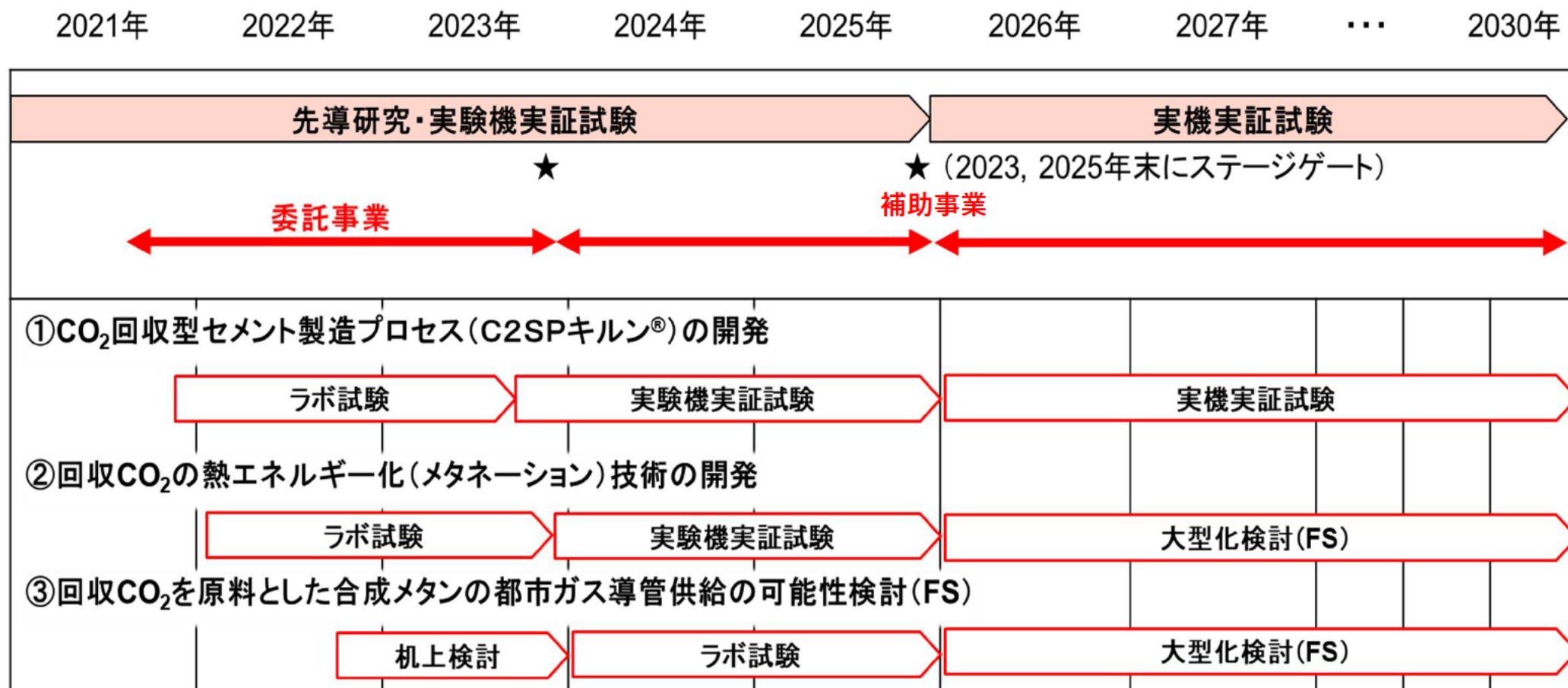
CO₂回収率が向上し、早期に実用化可能なプロセスフローへの修正が可能となり、アウトプット目標との関係が明確となるKPIに変更。

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。

2025年度末ステージゲート目標

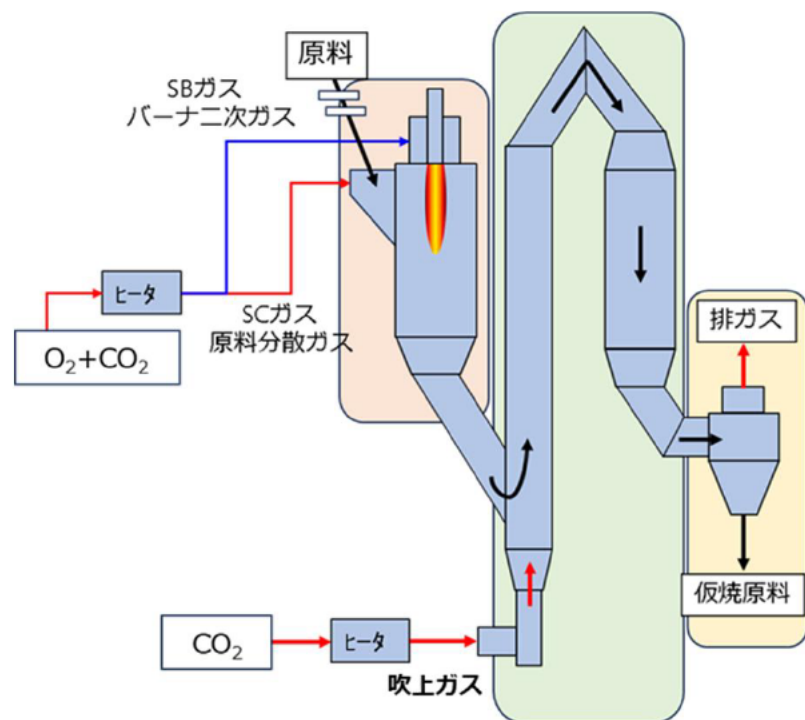
- 実験機試験において、仮焼炉排ガス中の**CO₂濃度80vol%以上**、仮焼炉出口での炭酸カルシウム成分の**脱炭酸率90%以上**、プレヒーターでの発生**CO₂の回収率85%以上**を達成すること
- メタネーション試験において、初期メタン転換率90%以上、**8,000時間運転後の転換率80%以上を見通す**こと

開発スケジュール



研究成果～革新的な新型仮焼炉の設計・運転条件の確立～

実験機による検証 実機におけるエネルギーインプット、温度条件、原料の滞留時間などを模擬・再現可能な実験機により検証



燃烧炉

- 燃烧炉上部にバーナを設置し、重油燃烧
- 燃烧炉上部から予熱された原料を投入
- O_2/CO_2 混合ガスをバーナ二次ガスと原料分散ガスに分離して投入

吹上部・ダクト部

- 仮焼炉下部からの高温の吹上ガスにより、原料を上昇
- 逆V字型のダクト部で原料の滞留時間を確保

サイクロン

- 固気分離し、仮焼原料はキルン、排ガスは冷却器に投入

【目的】

- 高 CO_2 雰囲気下で原料脱炭酸率90%以上を達成する運転方法の確立
- 仮焼炉排ガスの CO_2 濃度80vol%以上を達成するための設備・運転方法の確立
- 実機実証機設計に必要なデータ（温度・滞留時間等）の取得

研究成果～革新的な新型仮焼炉の設計・運転条件の確立～

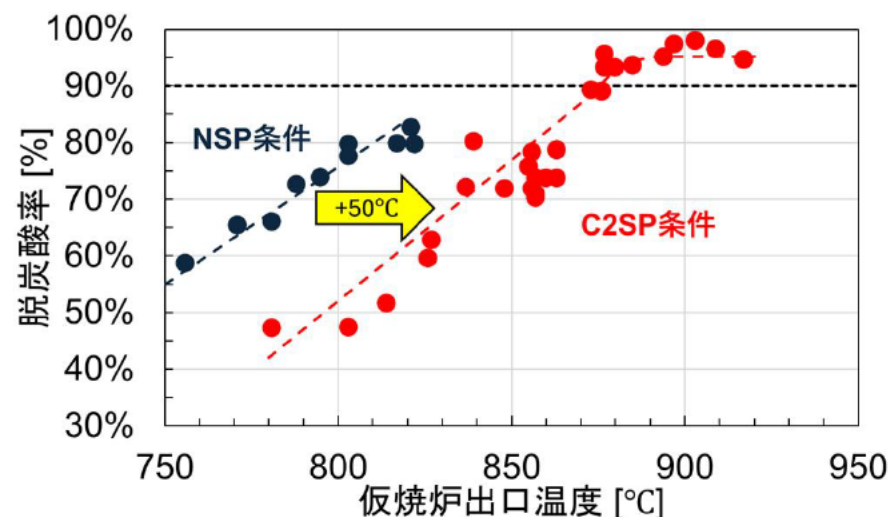
- ステージゲート目標を達成
 - 仮焼炉排ガスのCO₂濃度80vol%以上
 - 高CO₂雰囲気におけるセメント原料の脱炭酸率90%以上
 - プレヒーターで発生するCO₂の回収率85%
- 実機実証機の設計に必要なデータ（温度・滞留時間等）の取得

結果一例 仮焼炉内のガス雰囲気、温度が脱炭酸率に及ぼす影響

【運転条件】

	C2SP (新型仮焼炉)	NSP
原料投入量 (kg/h)	200	
燃烧用ガス組成 (vol%)	O ₂ : 30 N ₂ : - CO ₂ : 70	O ₂ : 30 N ₂ : 67 CO ₂ : 3
仮焼炉出口CO ₂ 濃度 (vol%)	80	25

【結果】



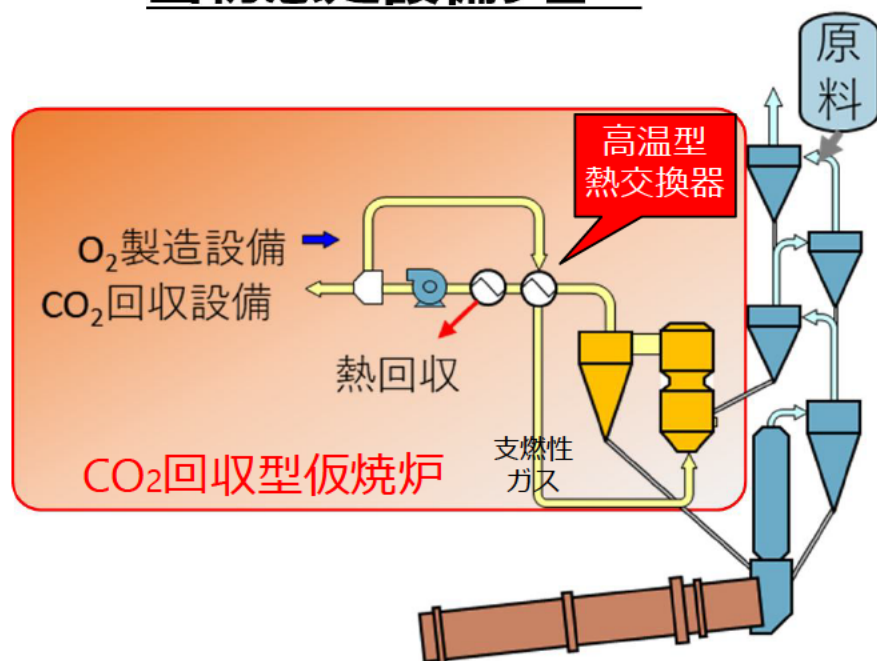
仮焼炉内の温度条件とガス雰囲気から脱炭酸率の関係を把握

→CO₂濃度が高い雰囲気が必要な脱炭酸率を得るには温度を上げる必要がある

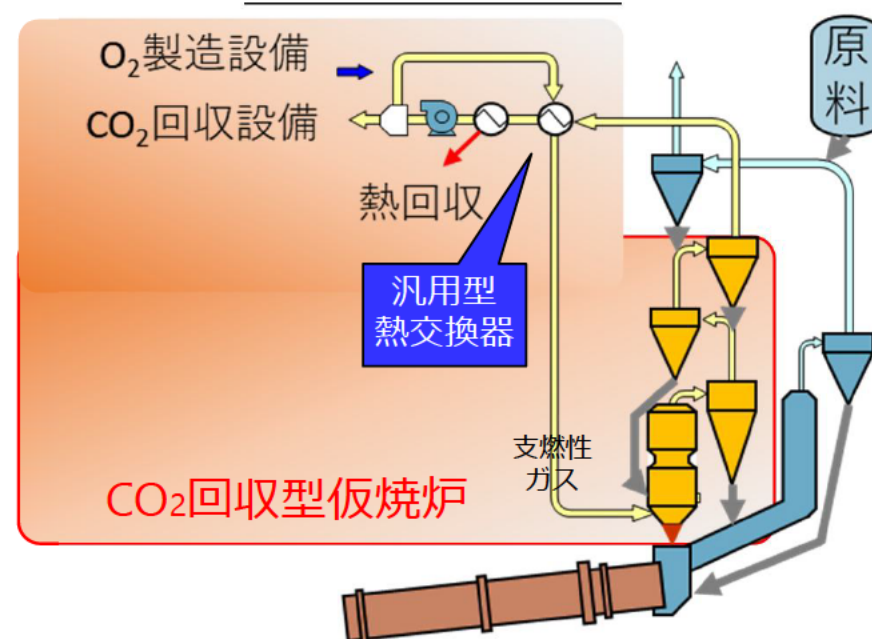
研究成果～プロセスフローの改良～

当初想定されたフローに対し、設備構成の変更から、CO₂回収率が高く
早期に実用化が可能なフローを作成

当初想定設備フロー



改良設備フロー



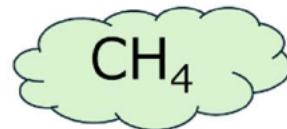
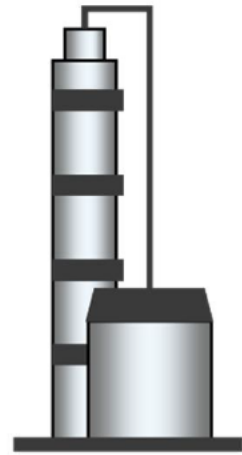
- キルン系統のサイクロンを仮焼炉系統のプレヒーターに組み込み、仮焼炉系統の排ガスでも原料を予熱し、サイクロンで発生するCO₂を回収 (CO₂回収率向上)
- 原料予熱後の排ガスを用いて、支燃性ガスを予熱
高温型熱交換器の開発→汎用の熱交換器使用へ (早期に実用化可能なフロー)

研究成果～回収CO₂の熱エネルギー化～

セメント製造プロセスに適したメタネーション技術（委託先：（株）IHI、（株）IHIプラント）

前処理設備

メタネーション設備



再エネルギー化

合成メタン（低品位）
キルン・仮焼炉用

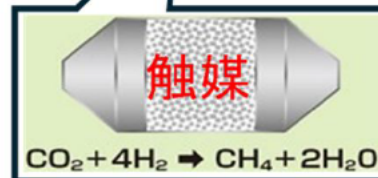
セメント製造に使用できる最低限の品質確保
（簡易な前処理）

合成メタン（高品位）
都市ガス導管供給用

回収CO₂有効利用拡大に向けた都市ガス導管供給
（委託先：東京瓦斯(株)）

仮焼炉回収排ガス（想定値）

CO ₂	92.5 (90～95) vol%
N ₂	5 (2～8) vol%
O ₂	2.5 (2～3) vol%
SO _x	数十 volppm

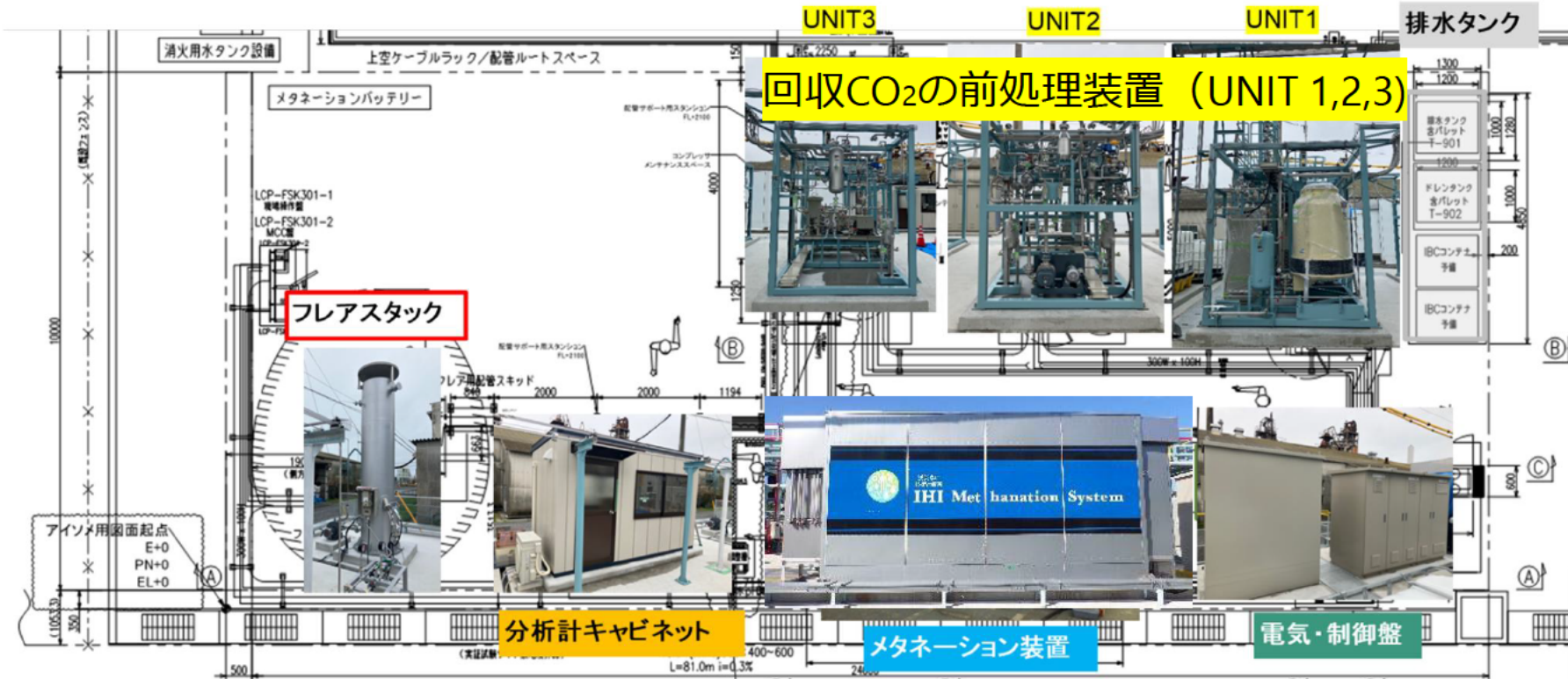


触媒の劣化成分

O₂ : 焼結
SO_x : 被毒

研究成果～回収CO₂の熱エネルギー化～

2024年から実証試験開始



【プロセスフロー】

実験機で回収したCO₂ → 前処理装置で脱硫・脱酸素 → メタネーション装置でメタン化
(SO_x、O₂除去)

研究成果～回収CO₂の熱エネルギー化～

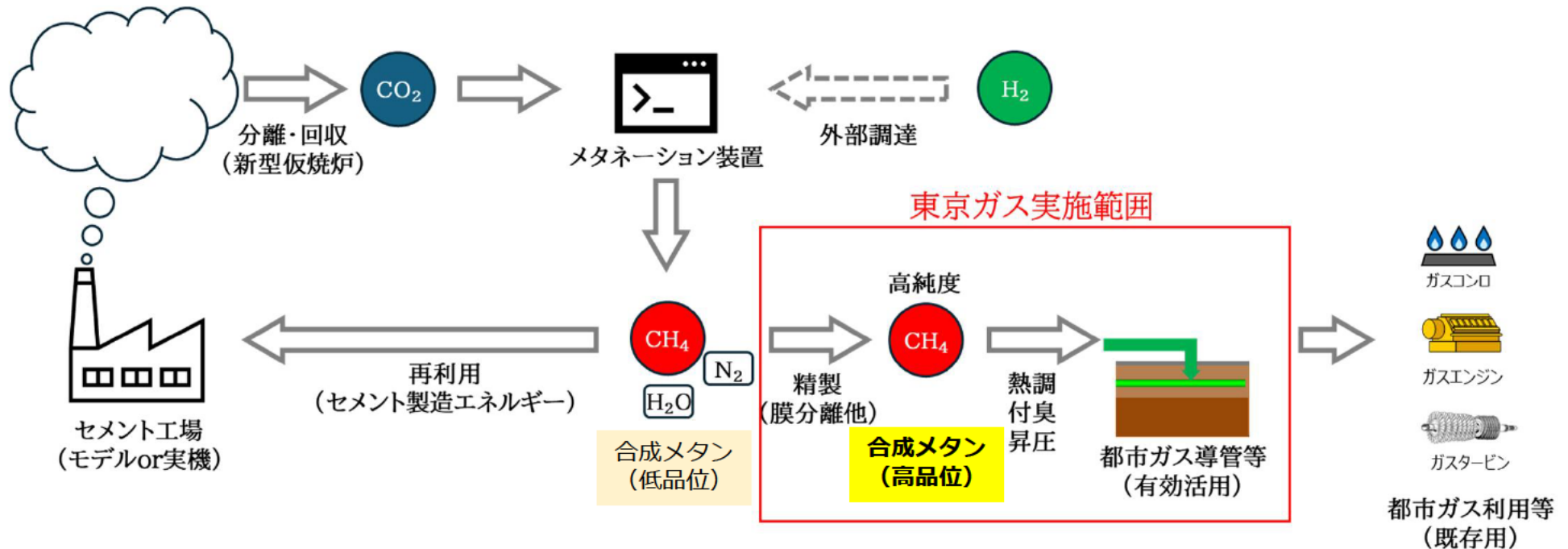
- 前処理設備によるSO₂、O₂の除去性能を確認
- 実験機にて初期メタン転換率90%以上を達成
- 8,000時間運転後のメタン転換率80%以上の見通しを得た

実排ガス（前処理後排ガス）を用いたメタネーション連続運転結果



研究成果～回収CO₂の熱エネルギー化～

セメント工場の排ガスから回収したCO₂を原料とした合成メタンの利活用について

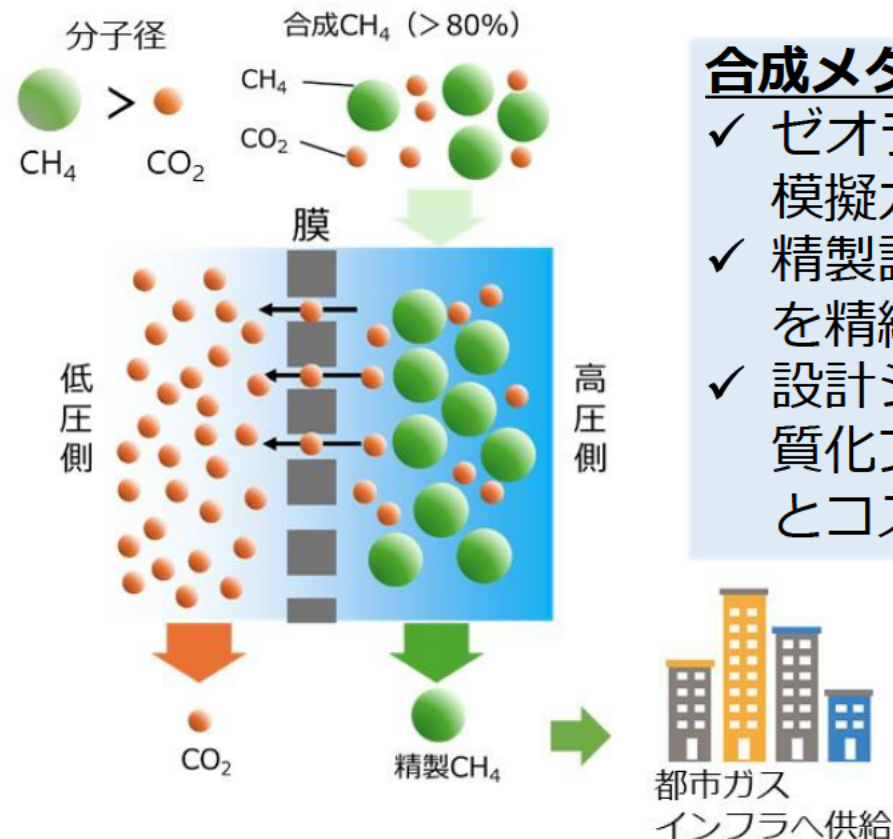


- メタネーション装置で回収される合成メタン（余剰分）の有効利用拡大を志向した都市ガス導管供給に向けたフィージビリティスタディ（FS）を実施
- 都市ガス導管へ供給が可能なレベルまで合成メタン中に含まれる不純物を除去（精製）するシステムを構築

研究成果～エネルギー由来CO₂の熱エネルギー化～

合成メタンの精製方法の検証と改質化プロセスの設計（委託先：東京瓦斯(株)）

例）メタンと二酸化炭素の分子径の差を利用した膜分離



合成メタンの都市ガス導管供給FS

- ✓ ゼオライト（ZL）分離膜を使用して、合成メタン模擬ガスの精製（不純物除去）試験を実施
- ✓ 精製試験結果を反映して、設計シミュレーションを精緻化
- ✓ 設計シミュレーションを活用し、合成メタンの改質化プロセス（精製、増熱、付臭等）の簡易設計とコスト試算を実施

まとめ

- 実験機の運転において、仮焼炉排ガス中のCO₂濃度80vol%以上、仮焼炉出口での炭酸カルシウム成分の脱炭酸率90%以上、プレヒータでの発生CO₂の回収率85%以上とステージゲート目標を達成し、実証機的设计に関するデータ（脱炭酸に必要な温度、滞留時間等）を得て基本仕様に反映した。
- 当初想定されたプロセスフローに対し、設備構成の変更から、CO₂回収率が高く早期に実用化が可能なフローを考案した。
- メタネーション実験機を用いて、C2SPキルン実験機で回収した排ガスを原料とした前処理を含むメタネーションの試験運転を実施し初期メタン転換率90%以上を達成した。また、8,000時間運転後のメタン転換率80%以上の見通しを得た。
- 余剰合成メタンの都市ガス導管供給へ向けたFSとして、合成メタン中の不純物除去（精製）システムを構築し、精製を含めた改質化システムを簡易設計し、コストを試算した。

今後の課題・取組

研究開発内容	今後の課題・取組・実用化の見通し
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	● 実機実証設備を設計・設置し、実証試験を行い技術確立を図る。 ● 技術確立以降に自社工場への実装や技術の外販に関する展開を目指す。
回収CO ₂ の熱エネルギー化（メタネーション技術）	● 大型化に向けた技術課題抽出と対策立案、実機プラントに適した運転システムを提案する。

