

NEDO脱炭素技術分野成果報告会2025 プログラムNo.15

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/ 製造プロセスにおけるCO₂回収技術の設計・実証

発表： 2025年7月15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 米田 圭介

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

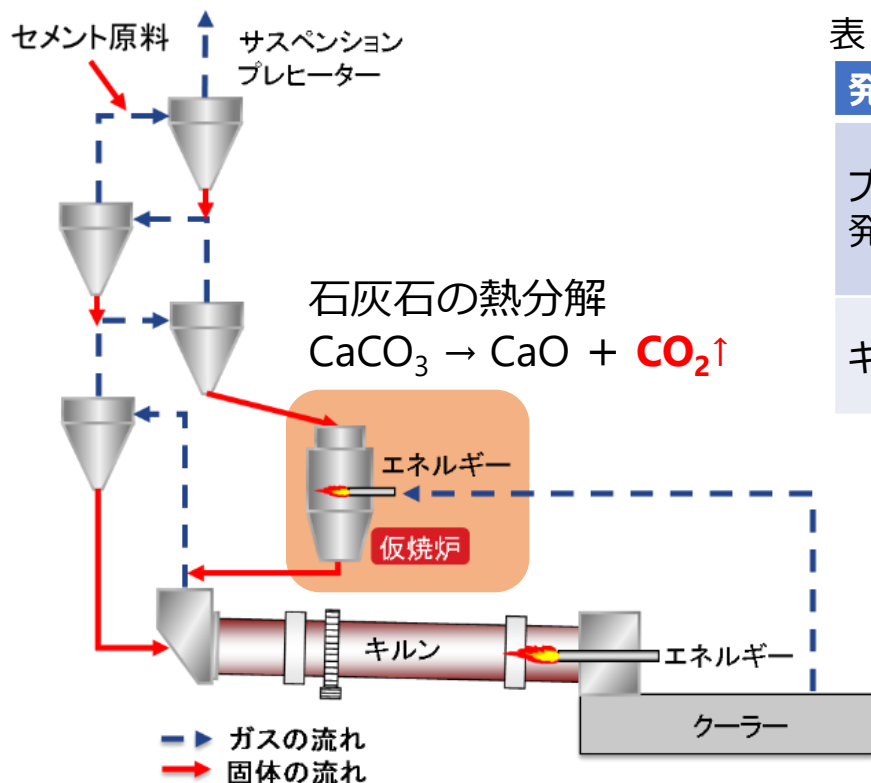


- ・プレヒーター：高さ 約80m
- ・キルン：Φ5～6m×長さ約100m



- ・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：既存のセメント製造フロー



セメント製造フロー（NSPキルン）

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

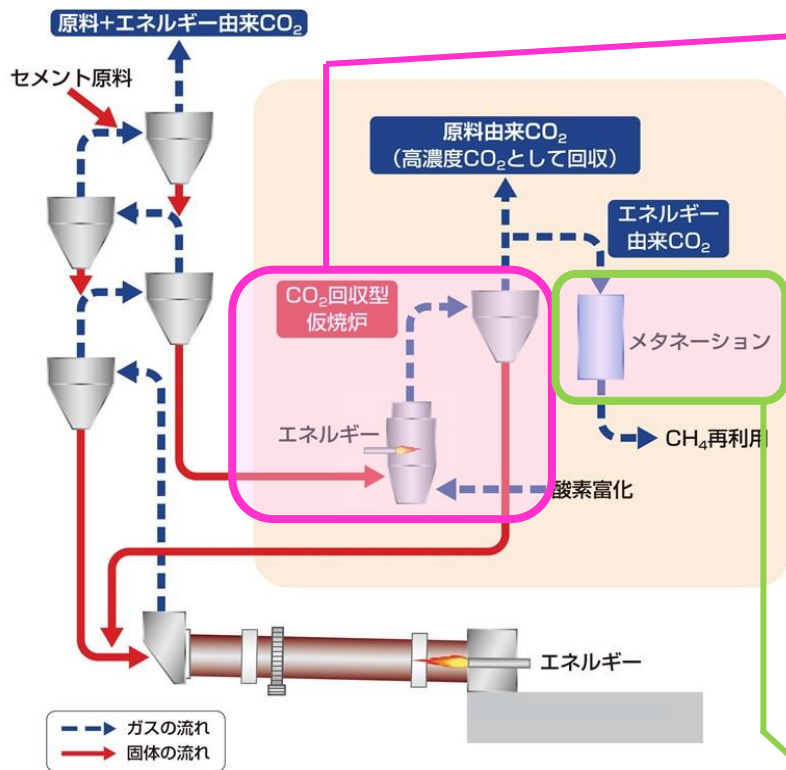
セメント製造工程で排出されるCO₂の大部分が**仮焼炉**から発生する



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、効率的でコスト低減を図った原料由来の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（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
- 合成メタンの都市ガス導管導入に必要な改質工程の検討

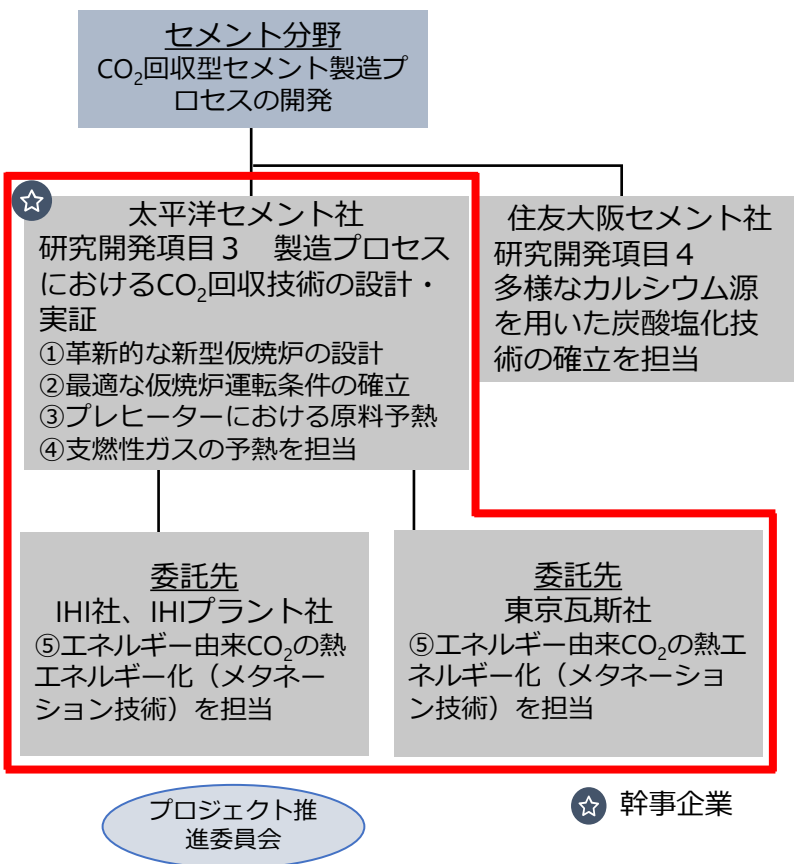
開発目標

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/tCO₂）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
- 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検討を委託

研究開発項目・実施内容

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

KPI設定の考え方

仮焼炉排ガス中（乾ベース）のCO₂濃度

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

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**。

仮焼炉入口のセメント原料温度

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**。

仮焼炉入口の支燃性ガスの温度

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**。

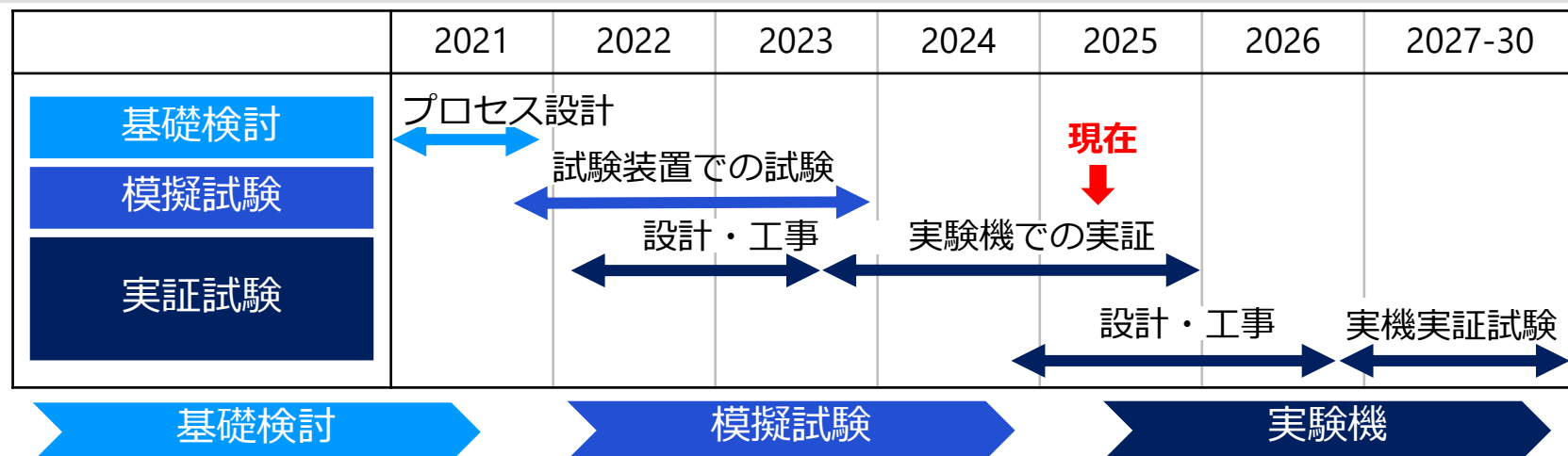
初期メタン転換率
8000hr運転後の転換率

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。

25年度末ステージゲート目標

- 実験機において、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80%以上**を達成すること
- メタネーション試験において、初期メタン転換率および長期運転を可能にする目標値をクリアする。

開発ステップ



静置式バッチ試験



ラボ試験装置
原料～1kg/h規模



原料～300kg/h規模

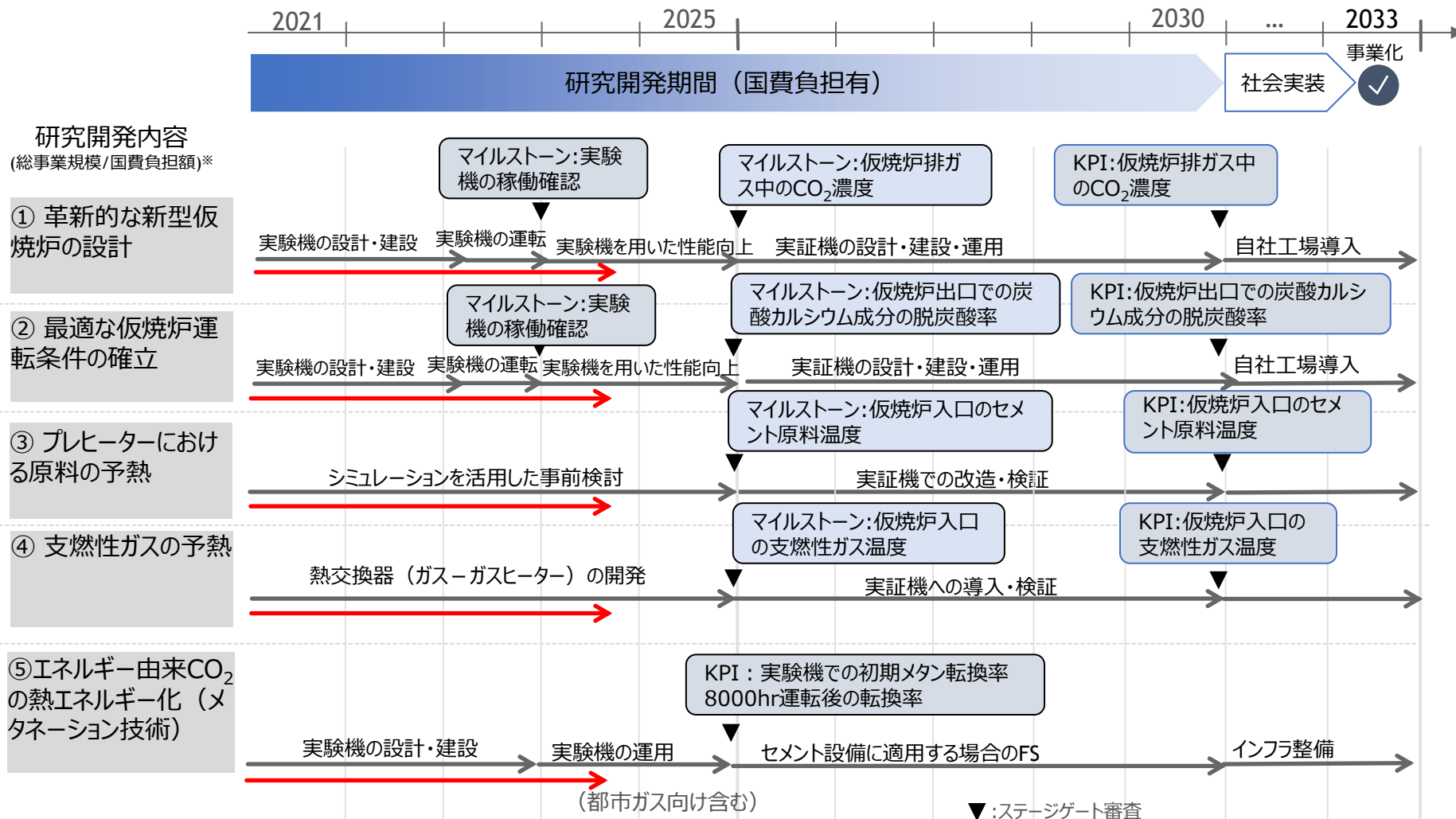
【試験内容】

- 高CO₂分圧下で仮焼炉運転条件（温度、滞留時間等）の検討
- 上記条件での揮発成分の挙動・原料の性状（≒コーティングに影響する因子）の確認
- O₂ + 循環排ガスを支燃性ガスとした場合の運転方法の確立
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

開発スケジュール

研究開発項目

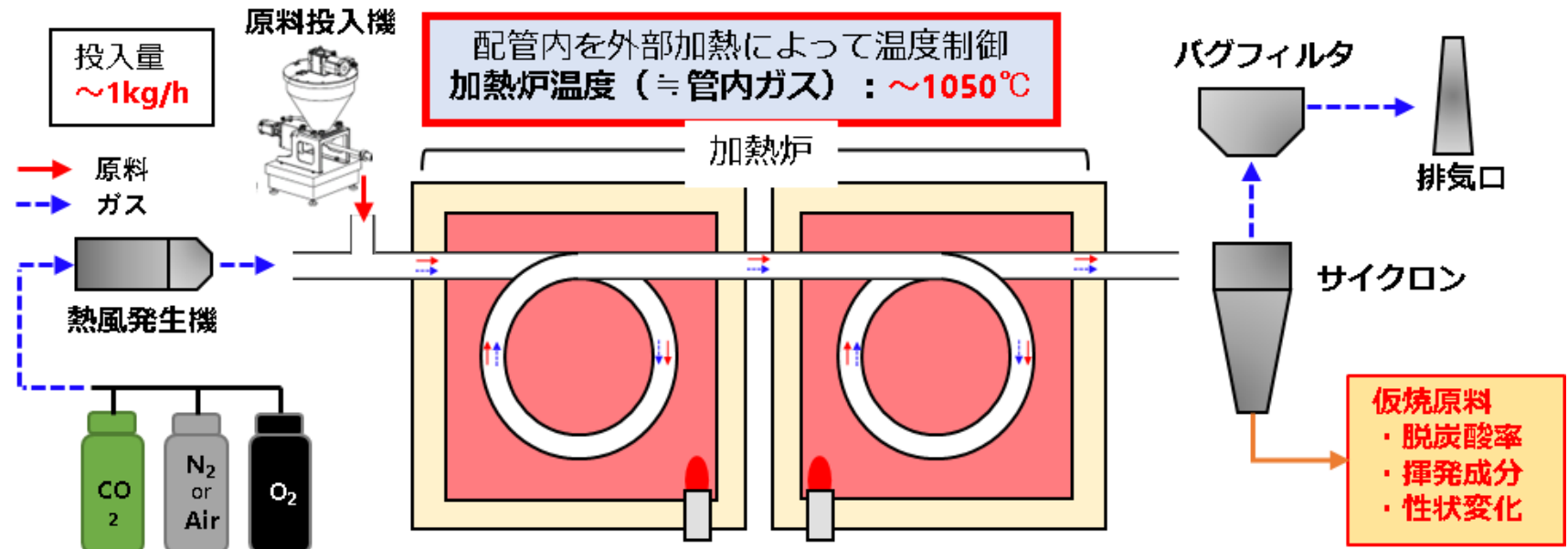
実施スケジュール



*総事業規模は、実施者の自己負担も含めた総投資額、
国費負担額はNEDOからの委託費・補助金の額

研究成果 ～革新的な新型仮焼炉の設計・運転条件の確立～

ラボ試験機による検討



加熱炉



炉内配管

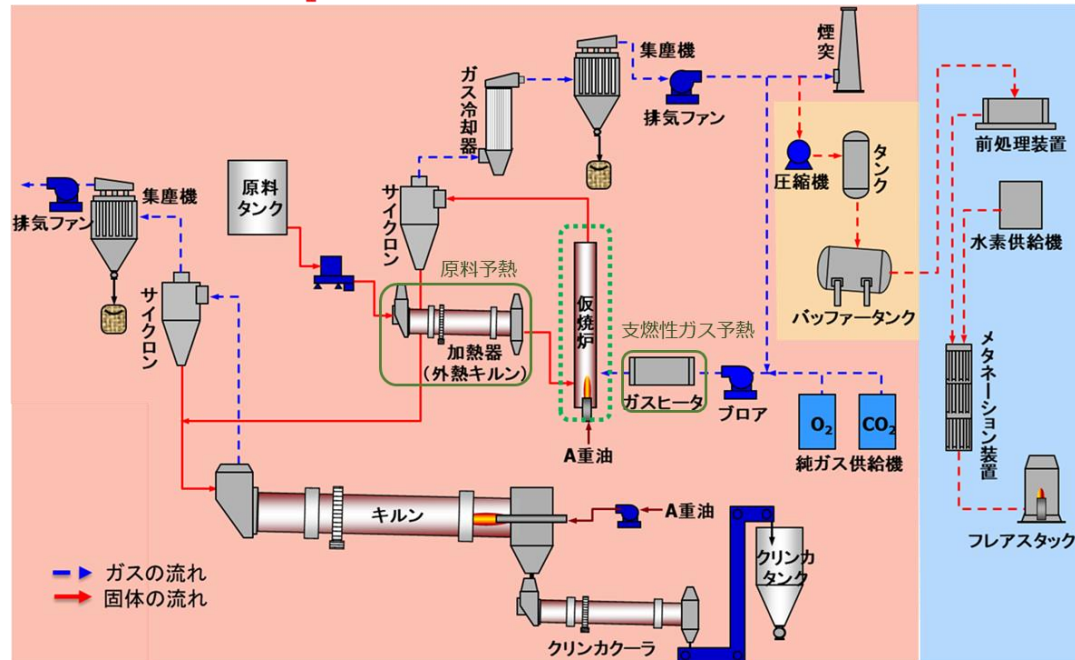
- ✓ 高CO₂分圧下におけるセメント原料の熱処理条件の評価
- ✓ 熱処理後のセメント原料中揮発成分の挙動および原料性状を確認

研究成果 ～革新的な新型仮焼炉の設計・運転条件の確立～

実験機による検討

CO₂回収型セメント製造プロセス

メタネーションプロセス



実験機概観
(2023年11月設置)

原料送入力～300kg/h、セメントクリンカ製造量～200kg/h
CO₂回収量～100kg/h
メタネーション～12.5Nm³-メタン/h

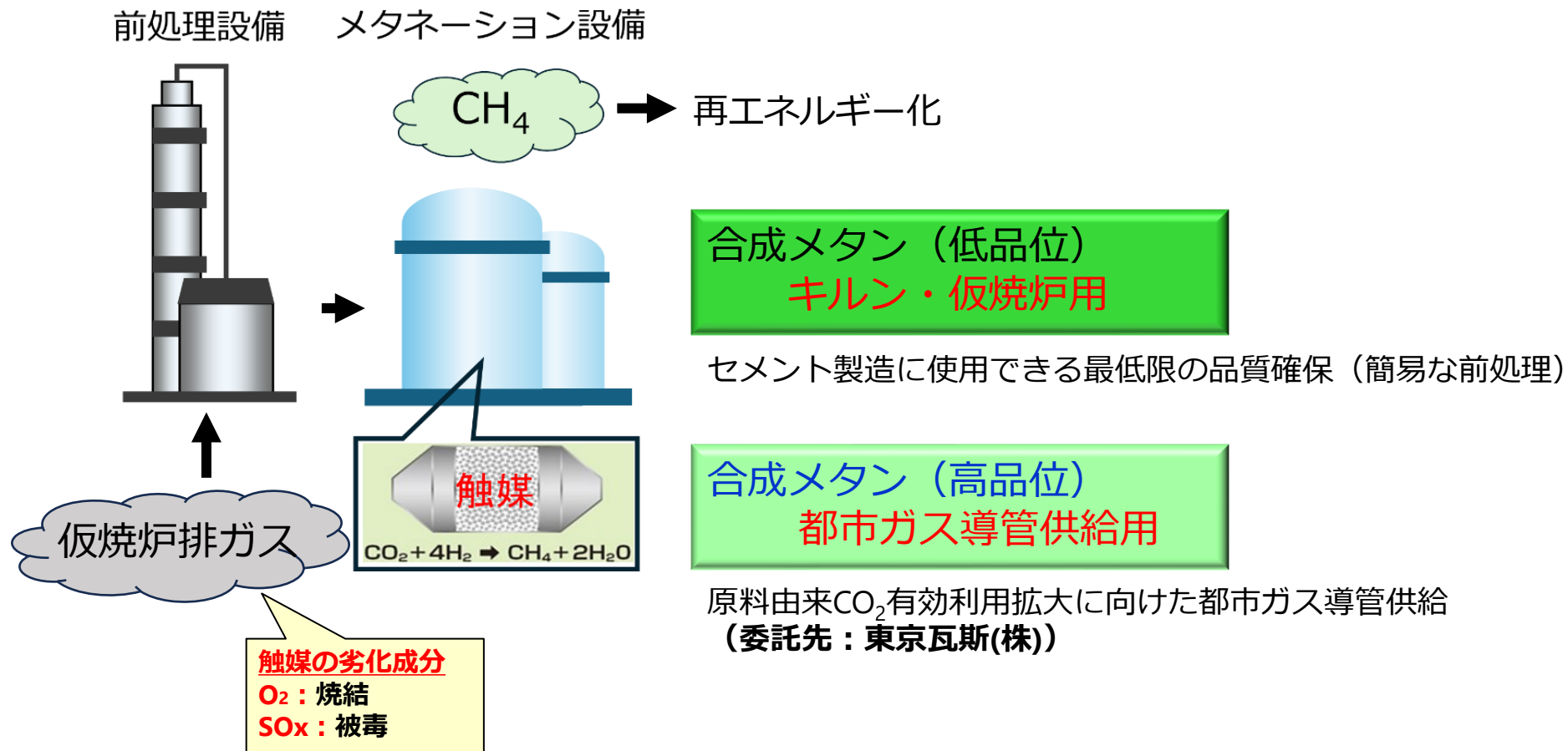
2025年度ステージゲート目標達成状況

- ✓ 仮焼炉排ガスのCO₂濃度80%以上
- ✓ CO₂雰囲気におけるセメント原料の脱炭酸率90%以上
- ✓ プレヒーターでの発生CO₂の回収率85%

設定したステージゲート目標達成済、引き続き実機設計に向けた試験を継続

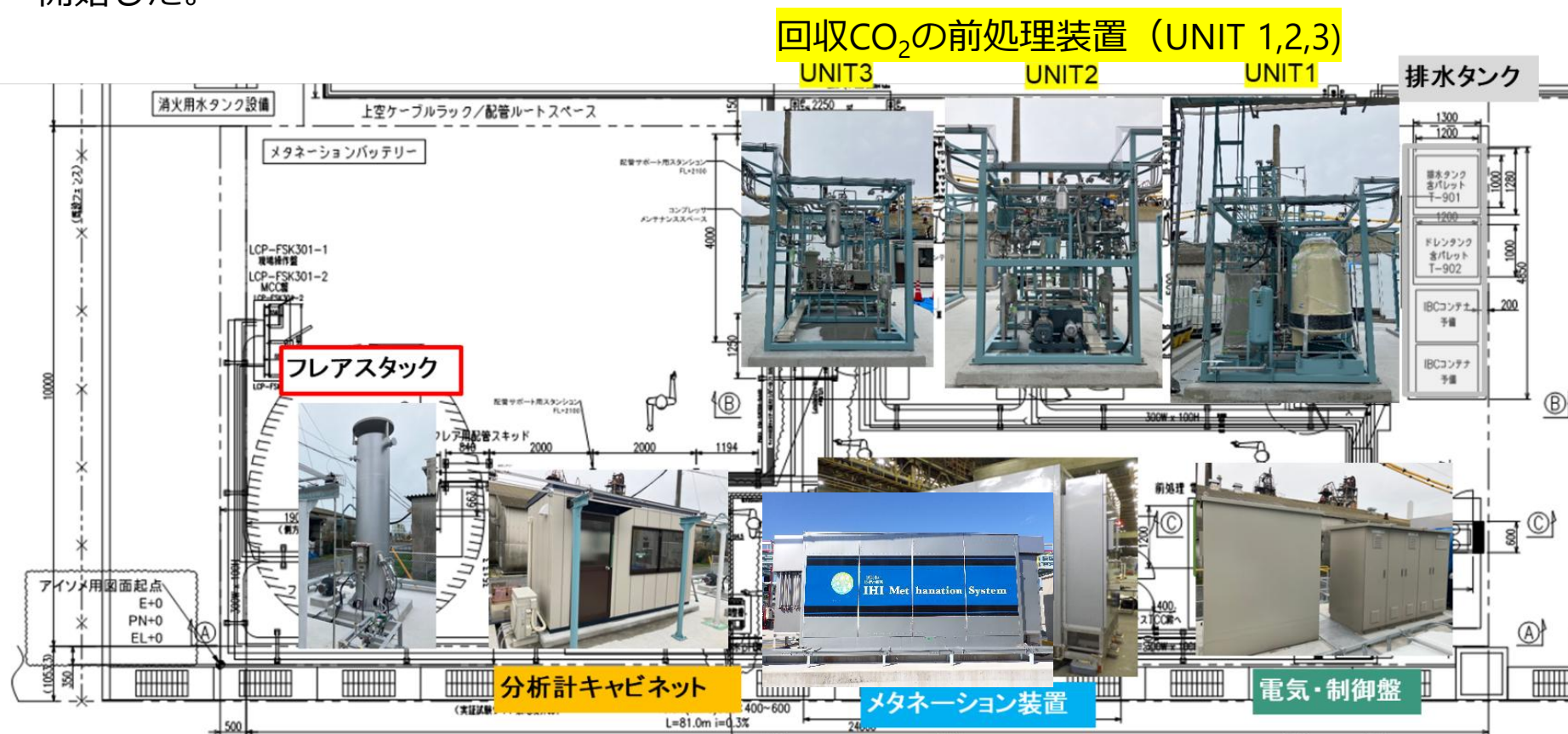
研究成果 ～エネルギー由来CO₂の熱エネルギー化～

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）



研究成果 ～エネルギー由来CO₂の熱エネルギー化～

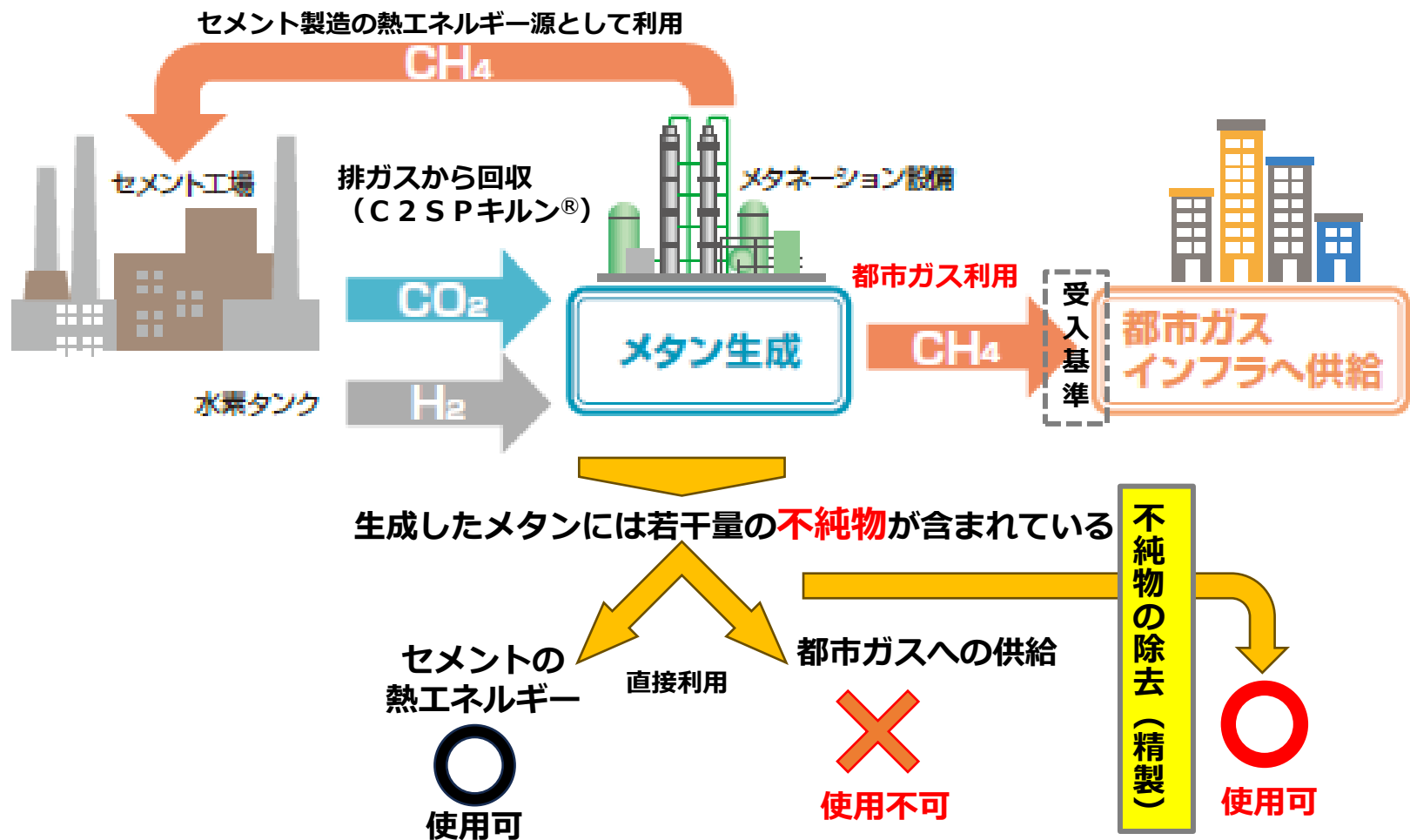
- ・2024年にメタネーション装置、前処理装置（UNIT-1,2,3）を設置し、2025年から実証試験を開始した。



- ✓ 実験機から排出されたCO₂リッチガスを用いた前処理、メタネーション試験を実施し、初期メタン転換率の目標値を達成
- ✓ 長時間運転における触媒性能への影響について評価中

研究成果 ～エネルギー由来CO₂の熱エネルギー化～

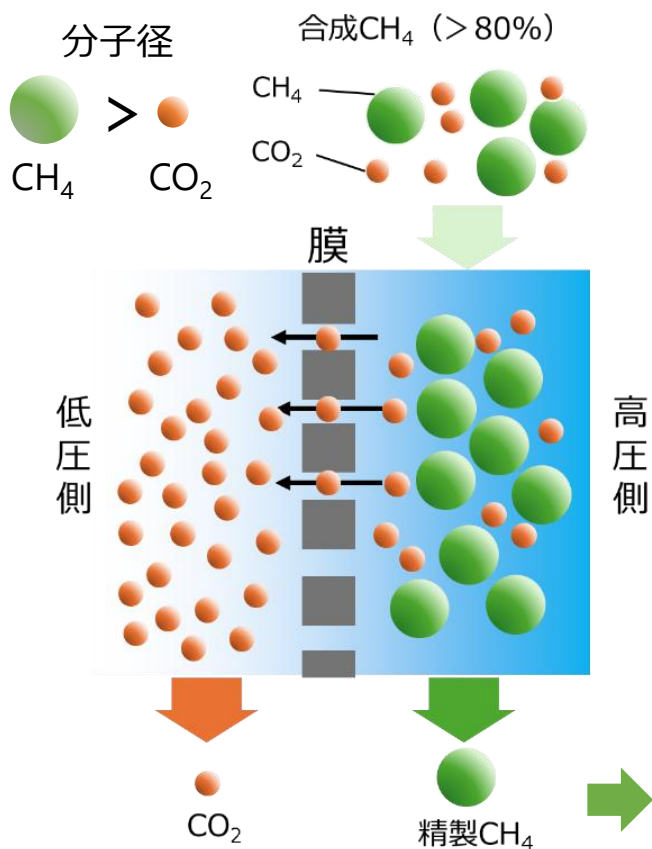
セメント工場の排ガスから回収したCO₂を原料とした合成メタンの利活用について



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討（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



メタンの高品位化

- 合成メタンの都市ガス導管供給に向けた改質方法に関するFS調査
→必要工程の洗い出し、机上検討
→選定した方法による設備設計・コスト試算と最適化
- 膜分離法による検討
→他の改質方法候補である
深冷分離やアミン回収より低コスト化できること、
本プロセスで生成する合成メタンに適用できることを確認



まとめ

21年度からCO₂回収型仮焼炉の開発および回収したCO₂の熱エネルギー化に向けて試験・調査を開始した。実験機によるCO₂濃度や脱炭酸率向上やプロセスの不具合に対する課題抽出を行い、焼成条件の最適化や設備見直しによる実証の結果、設定したステージゲート目標を達成した。（一部評価・検討を継続中）

25年度末ステージゲート目標達成状況

- 新型仮焼炉の設計・運転条件の確立
 - ・ 仮焼炉排ガスのCO₂濃度80%以上 ✓
 - ・ CO₂雰囲気におけるセメント原料の脱炭酸率90%以上 ✓
 - ・ プレヒーターでの発生CO₂の回収率85% ✓
- エネルギー由来CO₂の熱エネルギー化
 - ・ 初期メタン転換率の目標値の達成 ✓
 - ・ 長期運転を可能にする目標値の達成 実施中
 - ⇒長時間運転を実施し、触媒の性能劣化率から長期運転時のメタン転換率を精査し、判定する。

今後の課題・取組

研究開発内容	今後の課題・取組
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	● 実機設計に必要なプロセス課題の解消とデータ（温度、反応時間など）の取得に向けた試験を実施する。 ● （株）デイ・シイ川崎工場に実機規模の実証設備を導入し、技術確立を図る。
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）	● 新型仮焼炉実験機からの排ガス前処理およびメタネーション試験を継続して実施し、長時間運転における触媒への影響を評価する。 ● 合成メタンの前処理方法に関するFS調査を継続して進め、他分離技術と併せて評価する。

