COURSE 50

公開

資料5-2

「環境調和型製鉄プロセス技術の開発/水素還元活用製鉄プロセス技術開発(STEP2)」(前倒し事後評価)

（平成25年度～平成29年度　5年間）

事業全体の成果

平成29年9月13日

発表内容

Ⅰ. 事業の位置づけ・必要性
- (1)事業の目的の妥当性
- (2)NEDOの事業としての妥当性

Ⅱ. 研究開発マネジメント
- (1)研究開発目標の妥当性
- (2)研究開発計画の妥当性
- (3)研究開発の実施体制の妥当性
- (4)研究開発の進捗管理の妥当性
- (5)知的財産等に関する戦略の妥当性

NEDO

Ⅲ. 研究開発成果
- (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義
- (2)成果の普及
- (3)知的財産権の確保に向けた取り組み

Ⅳ. 成果の実用化に向けた取り組み及び見通し
- (1)成果の実用化に向けた戦略
- (2)成果の実用化に向けた具体的取り組み
- (3)成果の実用化の見通し

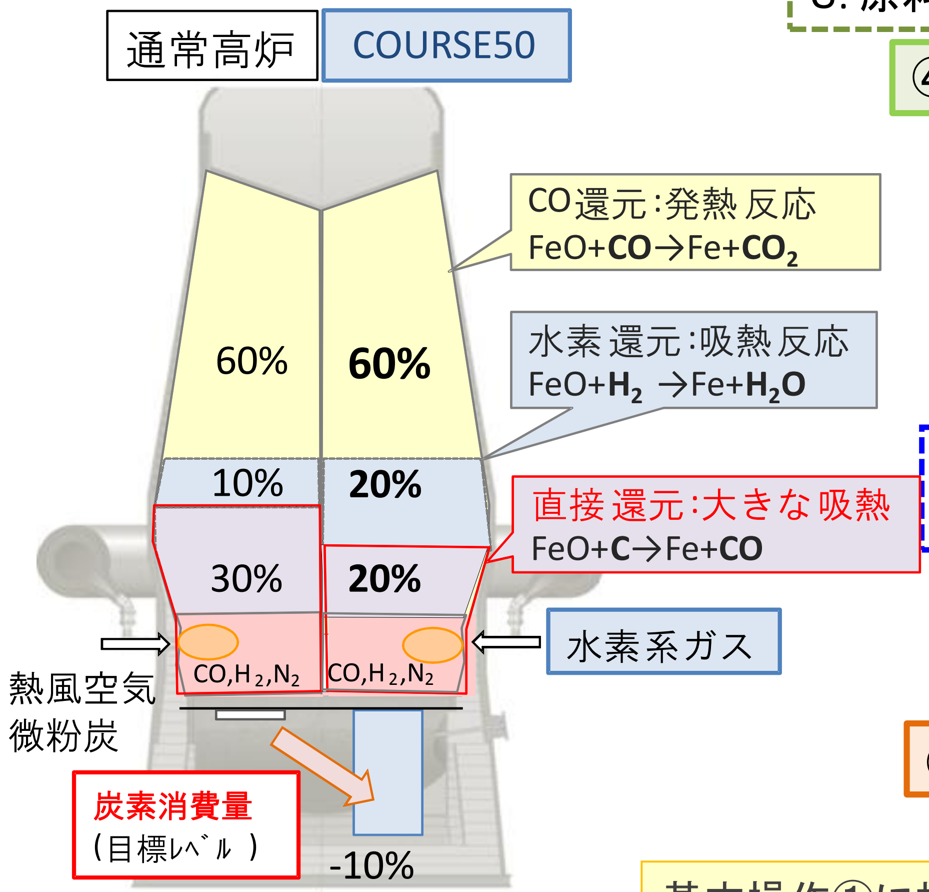
プロジェクトリーダー

◆事業全体の研究目標達成状況

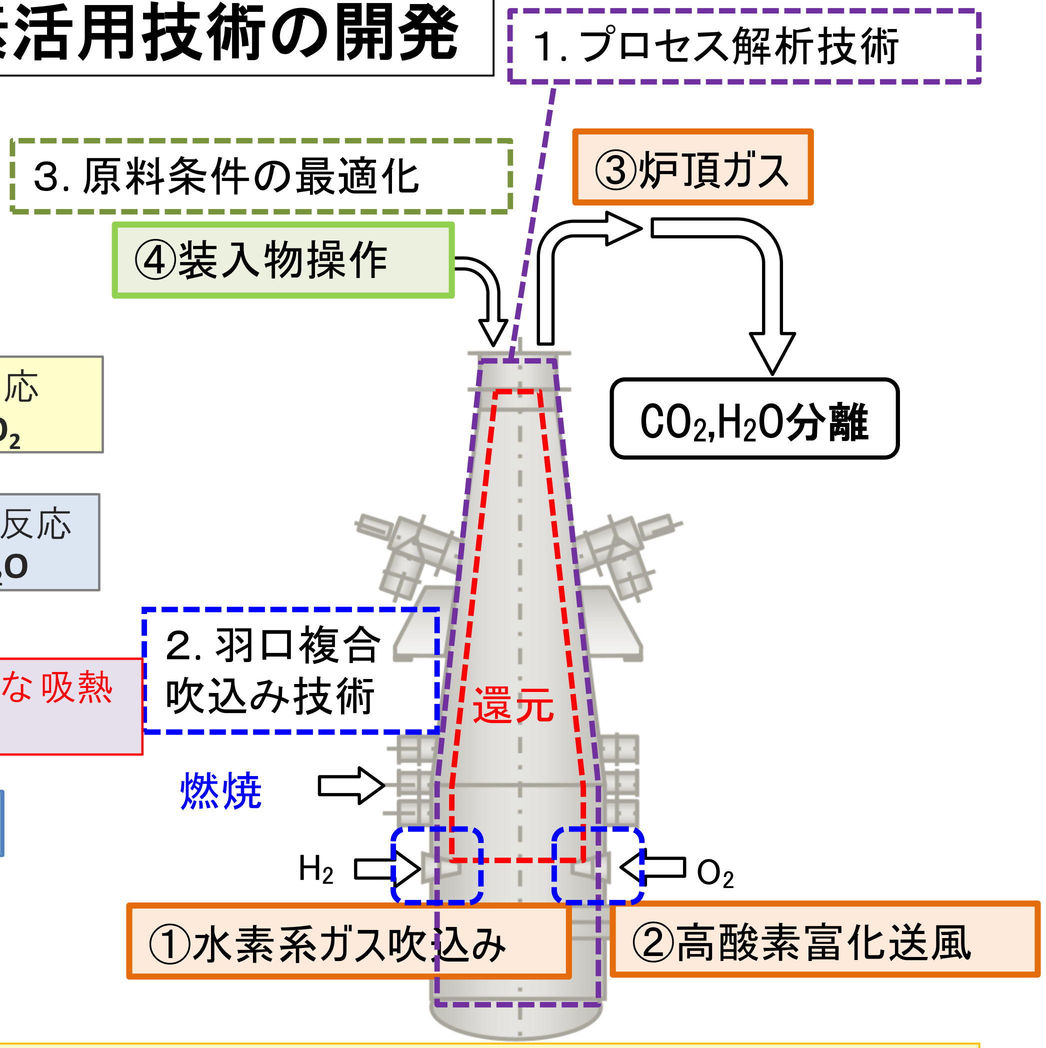
研究開発項目	最終目標 （平成29年度末）	達成度	主な成果
研究開発項目(a) 高炉からのCO2排出削減技術開発	10m^{3}規模試験高炉により高炉からのCO_2排出量を削減する技術を確立する。	○	試験高炉に対応した高炉数学モデルを開発し、送風操作等の効果を定量的に予測した。羽口燃焼に関するシミュレーションおよび燃焼試験により、複合ランスの設計を行った。これらの知見をもとに、12m3の試験高炉を設計・建設した。 試験高炉における実験操業を3回実施した。試験高炉の操業結果の解析を通して、送風操作、低反応性コークス、高被還元性鉄原料の使用による、高炉inputC 削減10%の効果検証と努力目標の12%達成のための技術課題を整理した。
研究開発項目(b) 高炉ガス（BFG）からのCO2分離回収技術開発	高炉ガス（BFG）からのCO2分離回収コスト2,000円/t-CO2 （「分離回収法開発ロードマップ（CCS2020）」に示された目標)を可能とする技術を確立する。	○	CO2分離回収技術における排熱の利用については、製鋼スラグ顕熱回収技術に加えて高効率熱交換器技術の開発を実施した。高性能化学吸収液の開発、物理吸着技術の更なる効率化を進めた。この結果、CO2分離回収コスト2,000円/t-CO2の目途を得た。

◆SG1：鉄鉱石還元への水素活用技術の開発

SG1の研究開発の狙いと概要



COURSE50高炉の狙い

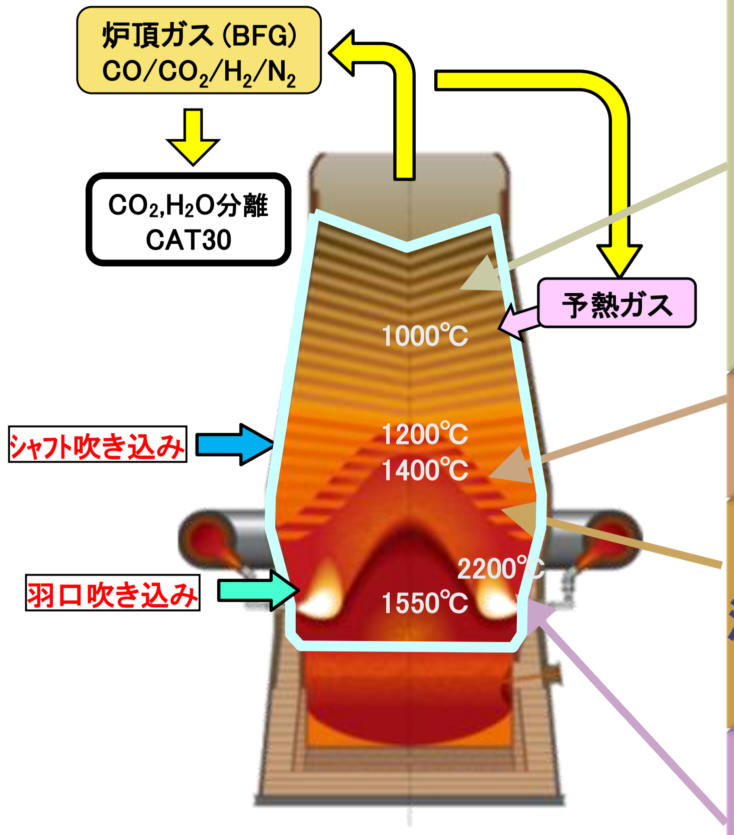


基本操作①に加え、＋②～④の総合操作により、
H_2とCO間接還元速度=k(H_2−H_2^e)とk(CO−CO^e) を向上させ、
直接還元の低下＝炭素消費量削減 =CO_2低減を目指す。

公開

◆SG1：鉄鉱石還元への水素活用技術の開発（高炉数学モデル開発）

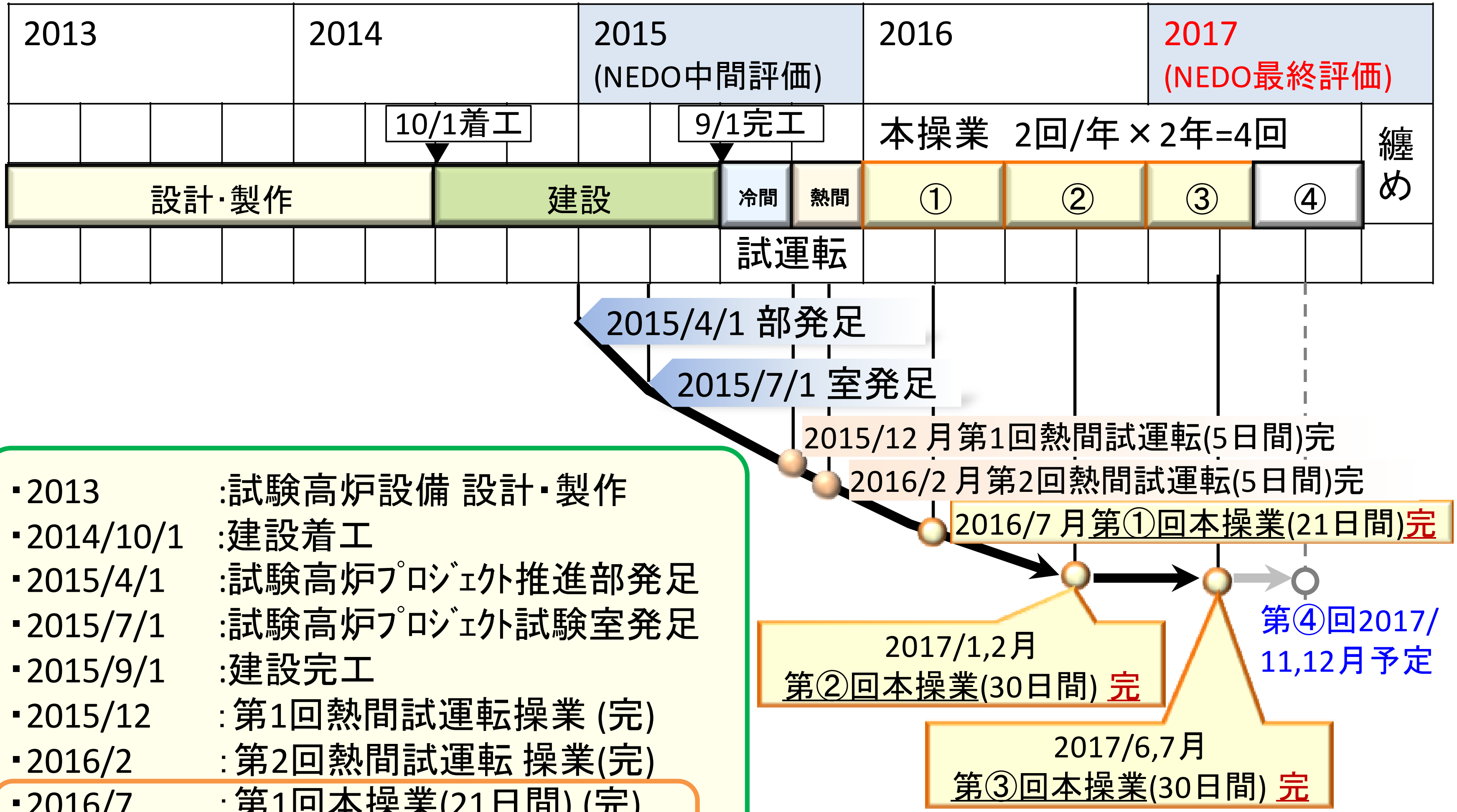
・目的：試験高炉の装入条件・送風条件最適化
・機能：予熱ガス、COG、改質COG、調整BFGの吹込み、炉頂ガスの影響評価
・用途：試験高炉の操業条件設計・操業解析、実証試験高炉へのスケールアップ検討



塊状帯	• CO, H_2による鉱石の間接還元反応 $Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4 \rightarrow FeO \rightarrow Fe$ • コークスのガス化反応 $C+CO_2 \rightarrow 2CO$ $C+H_2O \rightarrow CO+H_2$ • シフト反応 $CO+H_2O=CO_2+H_2$
鉱石融着帯	• 鉱石の溶解 FeO,Fe(固体)→FeO,Fe(液体)
滴下帯(溶銑滓)	• 溶融還元反応 FeO (液体)+C→Fe(液体)+CO • C, Si の液相への移行反応 $C \rightarrow \underline{C}$, $SiO+C \rightarrow \underline{Si}+CO$
羽口前燃焼帯	• コークス, 微粉炭の燃焼反応 $C+O_2 \rightarrow 2CO$ $C+H_2O \rightarrow CO+H_2$

成分数：24（気体：7, 固体：11, 液体：6） 反応式の数：17（主要なもの）

◆試験高炉開発の実績推移



- ･2013　:試験高炉設備 設計･製作
- ･2014/10/1　:建設着工
- ･2015/4/1　:試験高炉ﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄ推進部発足
- ･2015/7/1　:試験高炉ﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄ試験室発足
- ･2015/9/1　:建設完工
- ･2015/12　: 第1回熱間試運転操業 (完)
- ･2016/2　: 第2回熱間試運転 操業(完)
- ･2016/7　: 第1回本操業(21日間) (完)
- ･2017/1,2　: 第2回本操業(30日間) (完)
- ･2017/6,7　: 第3回本操業(30日間) (完)
- ･2017/11,12　: 第4回本操業(30日間) (予定)

公開

◆工事完了時状況(2015年9月1日)

当初の計画通り、建設工事完了.

公開

◆第2回本操業結果 出銑状況(Case4操業時)

第317TAP目　溶銑温度:1473℃

第317TAP目　スラグ:温度≧1500℃

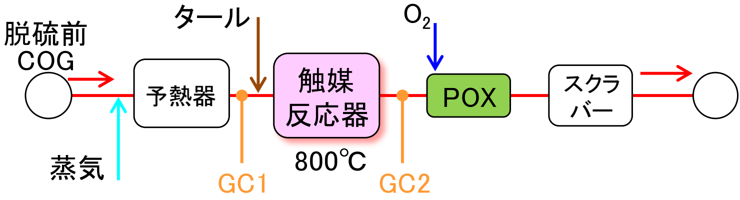
- ・出銑頻度:1 tap/2 hr
- ・出銑滓時間:6～8分
- ・出銑滓量:3021kg/tap(溶銑:2367kg,ｽﾗｸﾞ654kg)
- ・出銑温度:1473℃(2色温度計)
- ・銑中 [C]:4.49 % [Si] : 1.82% [S] : 0.011%
- ・ｽﾗｸﾞ C/S: 1.17 [Al_2O_3] 13.7%

公開

◆SG2:コークス炉ガス(COG)改質技術の開発

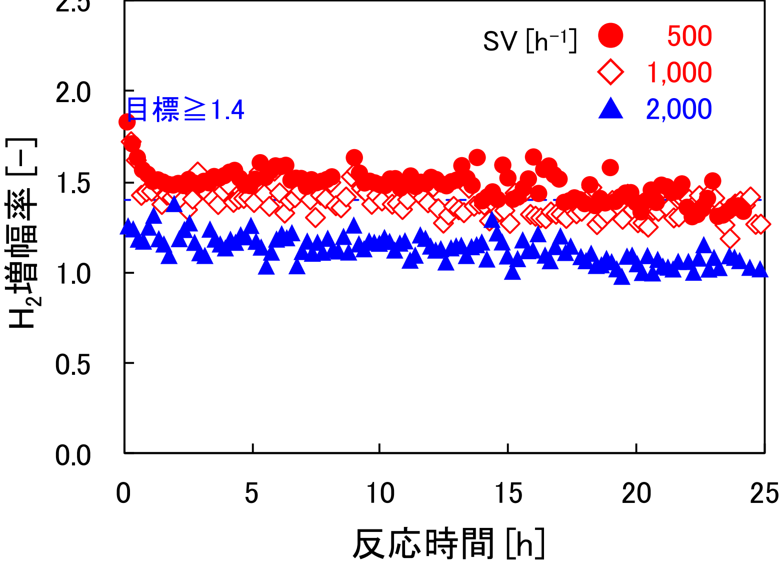
【触媒改質評価(BP2試験結果(1) SVの影響)】

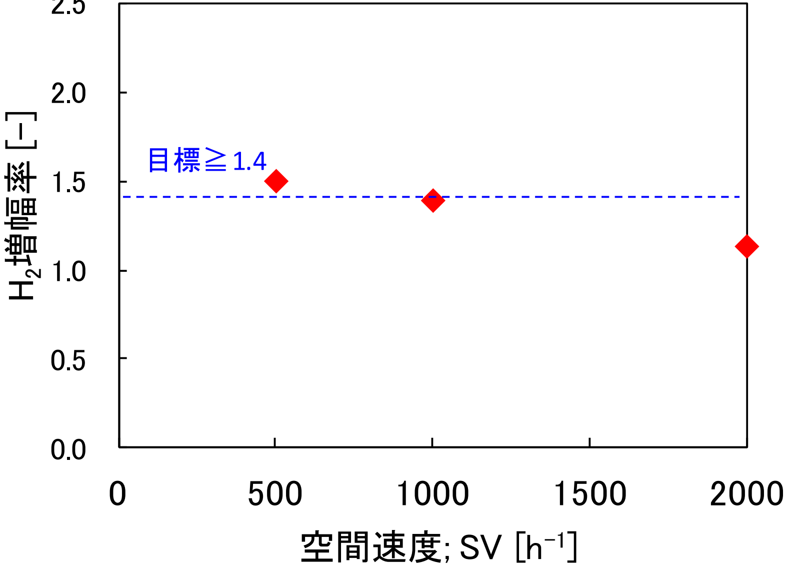
脱硫前COGに蒸気、タールを添加した生COG相当の模擬COGを触媒反応器に導入。



【試験条件】

Steam/Carbon=0.8、800℃、SV=500, 1,000, 2,000 h^{-1}、24h





(1) いずれのSV条件でも24h連続の改質は、可能。

(2) H_2増幅率は、SV増大に伴って低下。仮の目標値(H_2増幅率≧1.4)を満足する条件は、SV=500h^{-1}。(但し流量のみを変更した試験条件範囲内での結果)

公開

◆試験高炉用コークスの製造と評価

乾留試験立会い

図. コークス実機試験試験立会い時の写真（日本コークス工業）

表. 実機コークス試験時の押出電力への影響

試験	速度切替	押出電流[A]			備考
		押出日前後2日平均	HPC配合コークス押出時	HPC－通常差	
事前乾留（11月）	2ノッチ	286	193	-93	問題なし
	4ノッチ	225	214	-11	
本乾留（2月）	2ノッチ	262	271	9	殆ど差が無く、問題なし
	4ノッチ	238	264	26	翌日以降も高い為、別問題

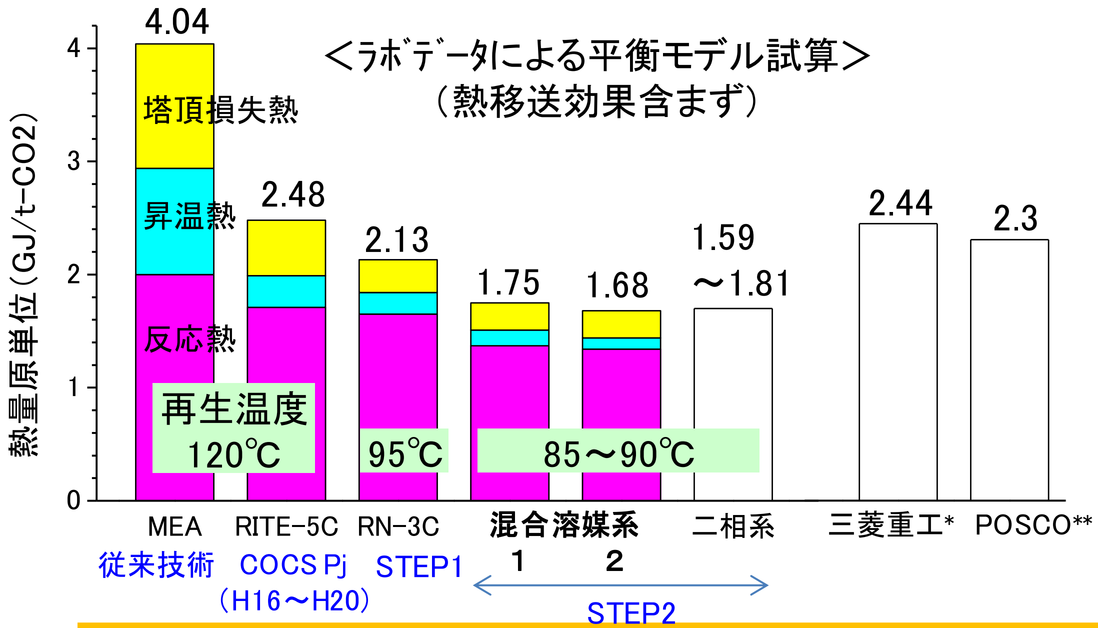
2ノッチ ：コークスの動きだし時の電流値
4ノッチ ：コークスがガイド車の格子端迄到達した際の電流値

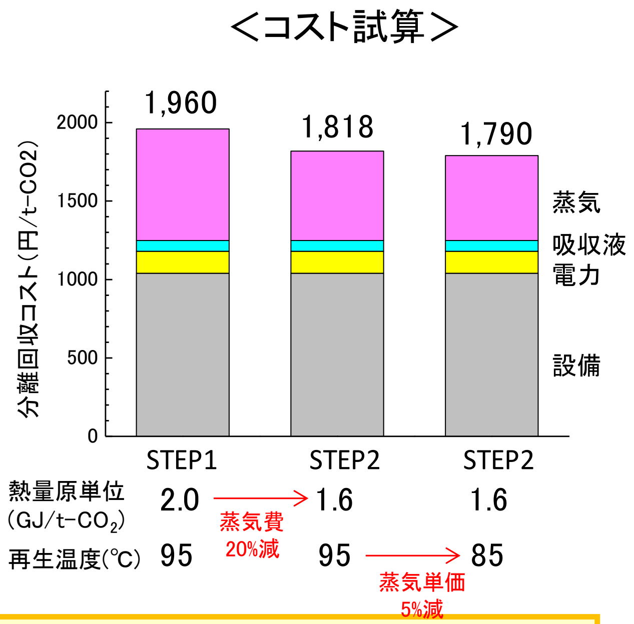
コークス押出時の押出電力への顕著な影響は見られなかった

◆SG4:CO2分離・回収技術開発

高性能吸収液の開発

◆熱量原単位の更なる低減、吸収液再生温度の更なる低温化を目指し、非水(混合溶媒)系や二相系吸収液を検討。





◎ STEP1吸収液との比較で、反応熱の大幅(0.3～0.5 GJ/t-CO_2)削減と再生温度の低温化が可能な新吸収液を開発し、努力目標達成に目処を得た。

◎開発した吸収液の性能は、世界トップレベルである。

◎コスト目標(STEP2最終目標)は、十分に達成できる見込みである。

*三菱重工技報 48, 24 (2011).

**WSA CO2 BREAKTHROUGH TECHNOLOGY 13th Meeting of the Expert Group (15 June 2015).

公開

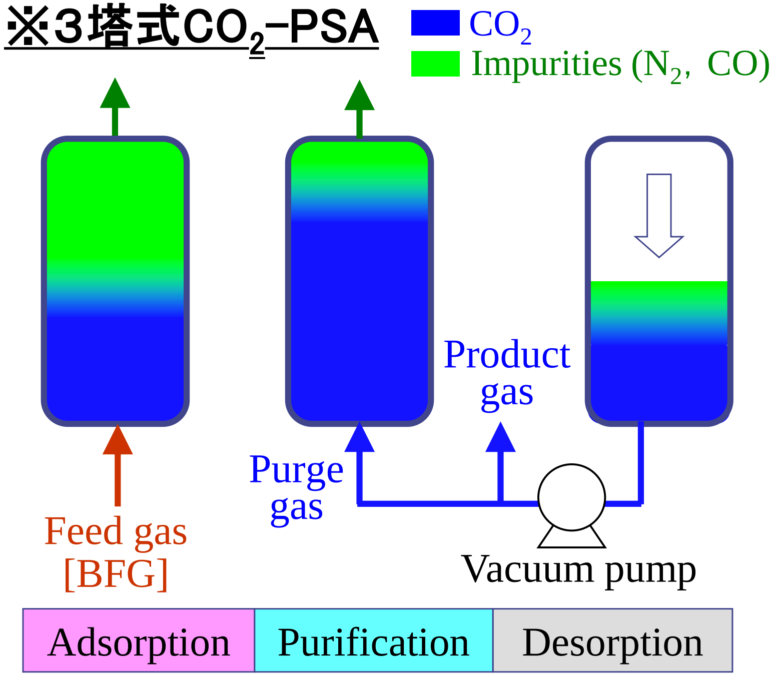
◆SG4：CO2分離・回収技術開発

SG4-2　物理吸着技術開発　目標値

PSAシステムの更なる効率化

- ・電力原単位10%削減 145→130 kWh/t-CO_2（努力目標）
- ・実機CO_2分離コスト≦2000円達成

※3塔式CO_2-PSA



CO_2-PSAベンチプラントASCOA-3

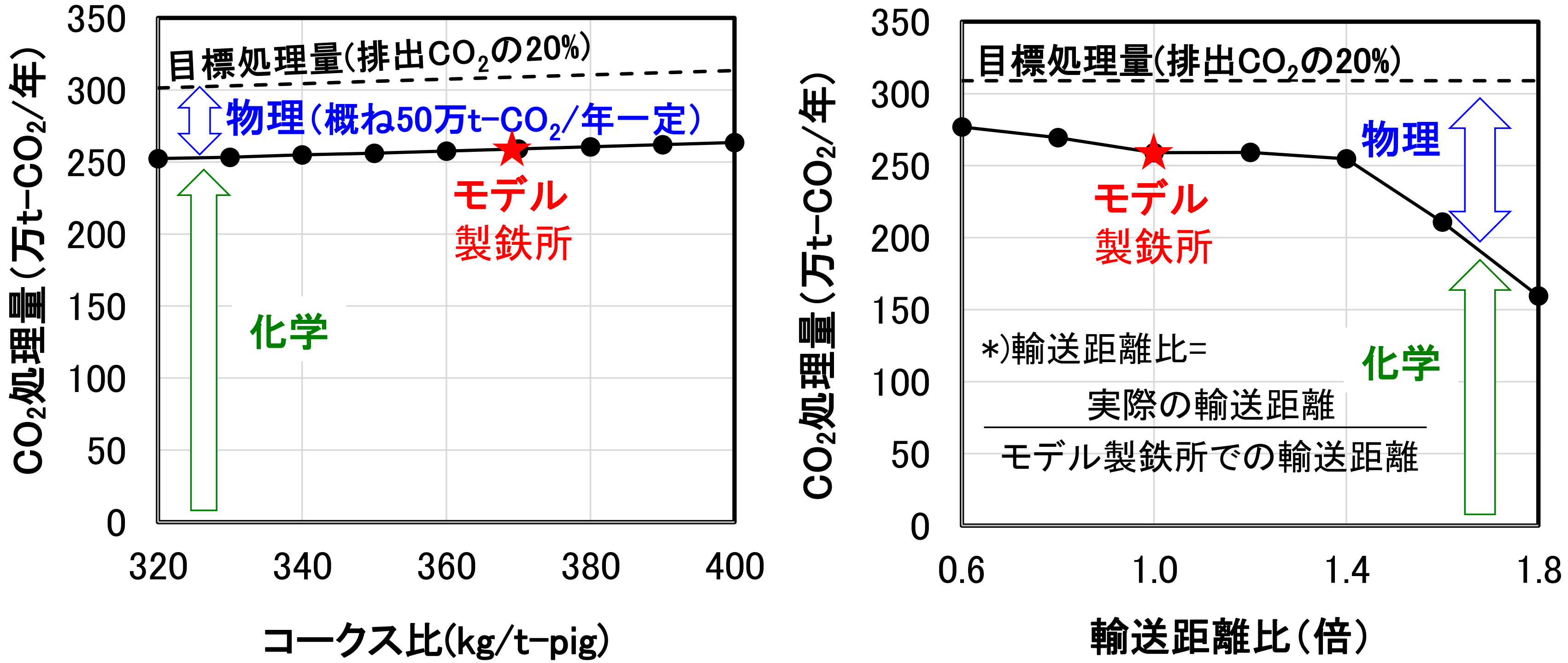
上記目標達成のため、「粒径UP吸着剤」「Zeolite13Y新規剤」の性能評価を実施

公開

◆SG4:CO2分離・回収技術開発

コスト最適化計算の例

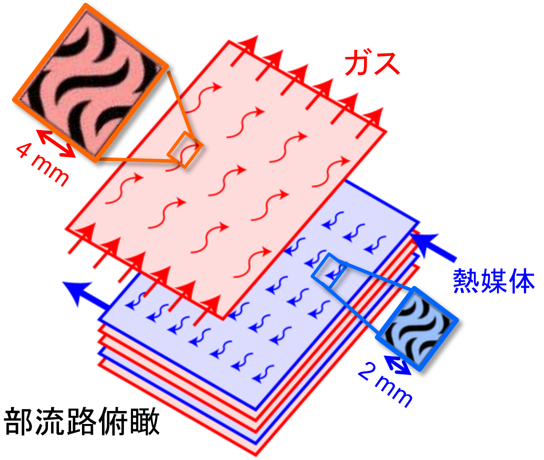
（コークス比、蒸気の輸送距離が化学吸収と物理吸着の分配に及ぼす影響）



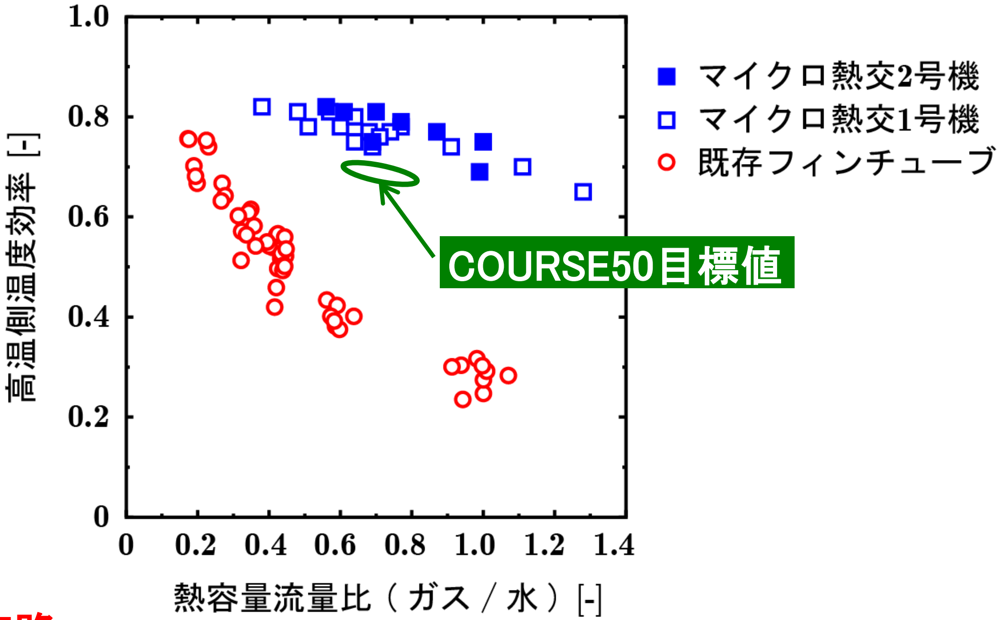
- ローカルコンディション（コークス比、蒸気の配管長）を考慮して、コスト最小条件が試算可能となった。広い範囲で化学/物理を併用することが必要
- このとき、CO_2の分離回収コストは2,000円/t-CO_2以下を達成可能

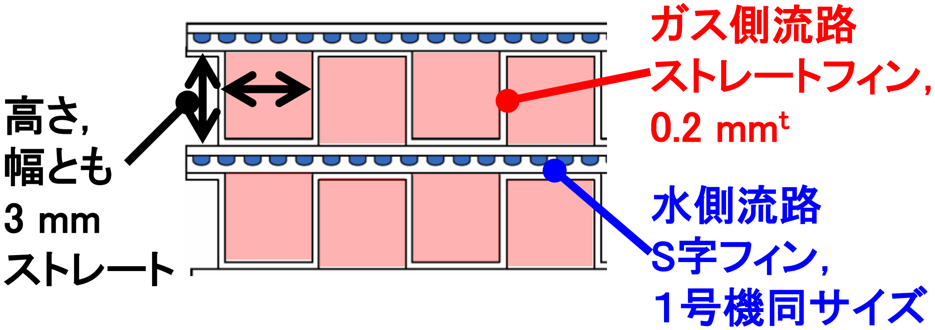
◆SG5：未利用排熱活用技術の開発

高効率低温熱交換器の開発



熱交1号機模式図





熱交2号機断面模式図

- ガス-水に対する高効率熱交換器としてマイクロ熱交換器を製作．
- 排ガスダスト対策としてガス側異物通過径を3 mm（2号機）に設定．
- 性能目標である熱容量流量比（水当量比）0.7で温度効率66 %以上を達成．

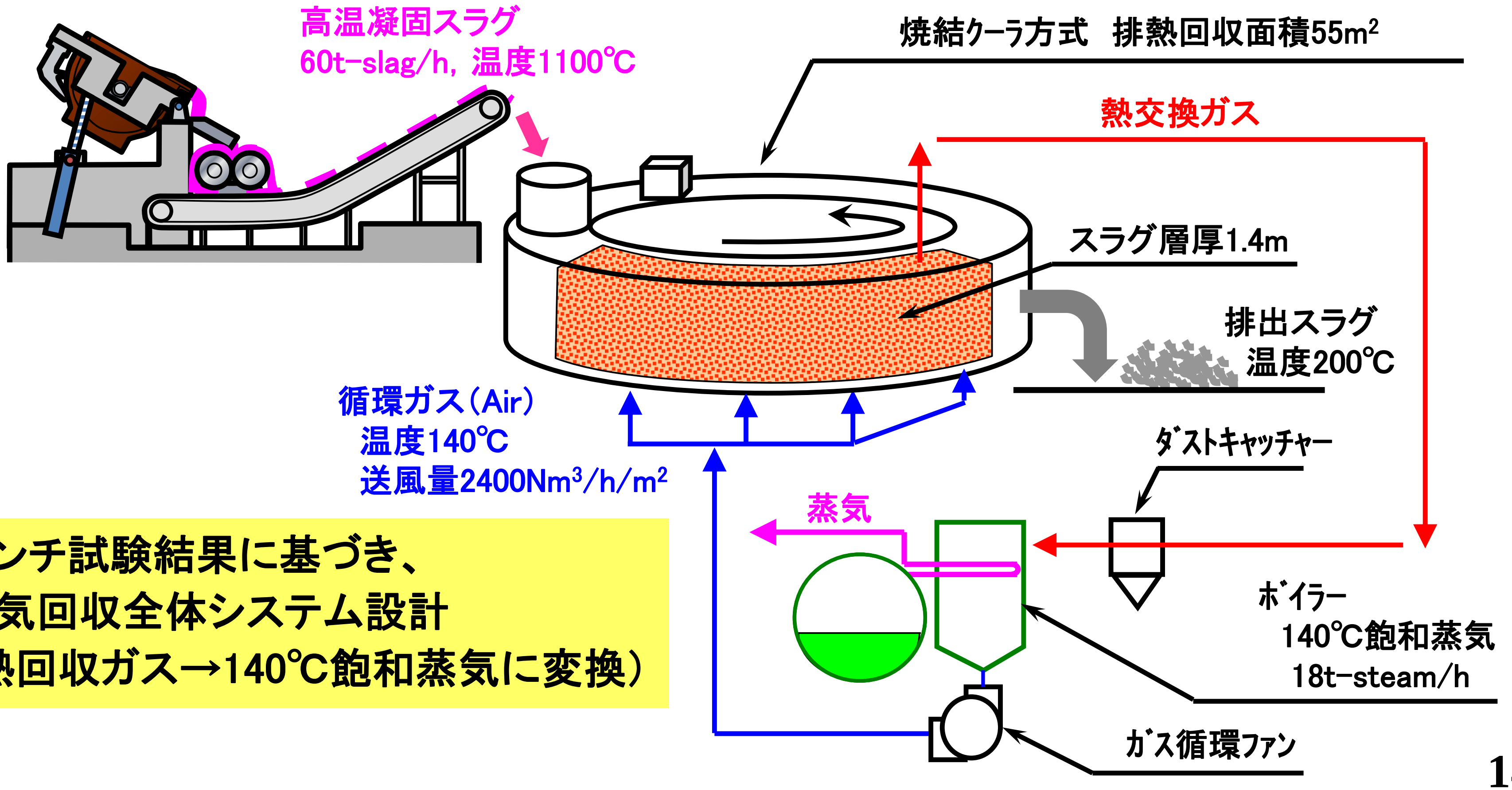
公開

◆SG5:未利用排熱活用技術の開発

製鋼スラグ顕熱回収技術

【目標】アミン法CO_2分離回収技術のCO_2吸収液再生に必要な熱エネルギーを製鋼スラグから熱回収率30%以上(対溶融スラグ)で回収する

【ベンチ試験結果】Step1:熱回収率34% ⇒ Step2:熱回収率43%(スラグ装入量UP)

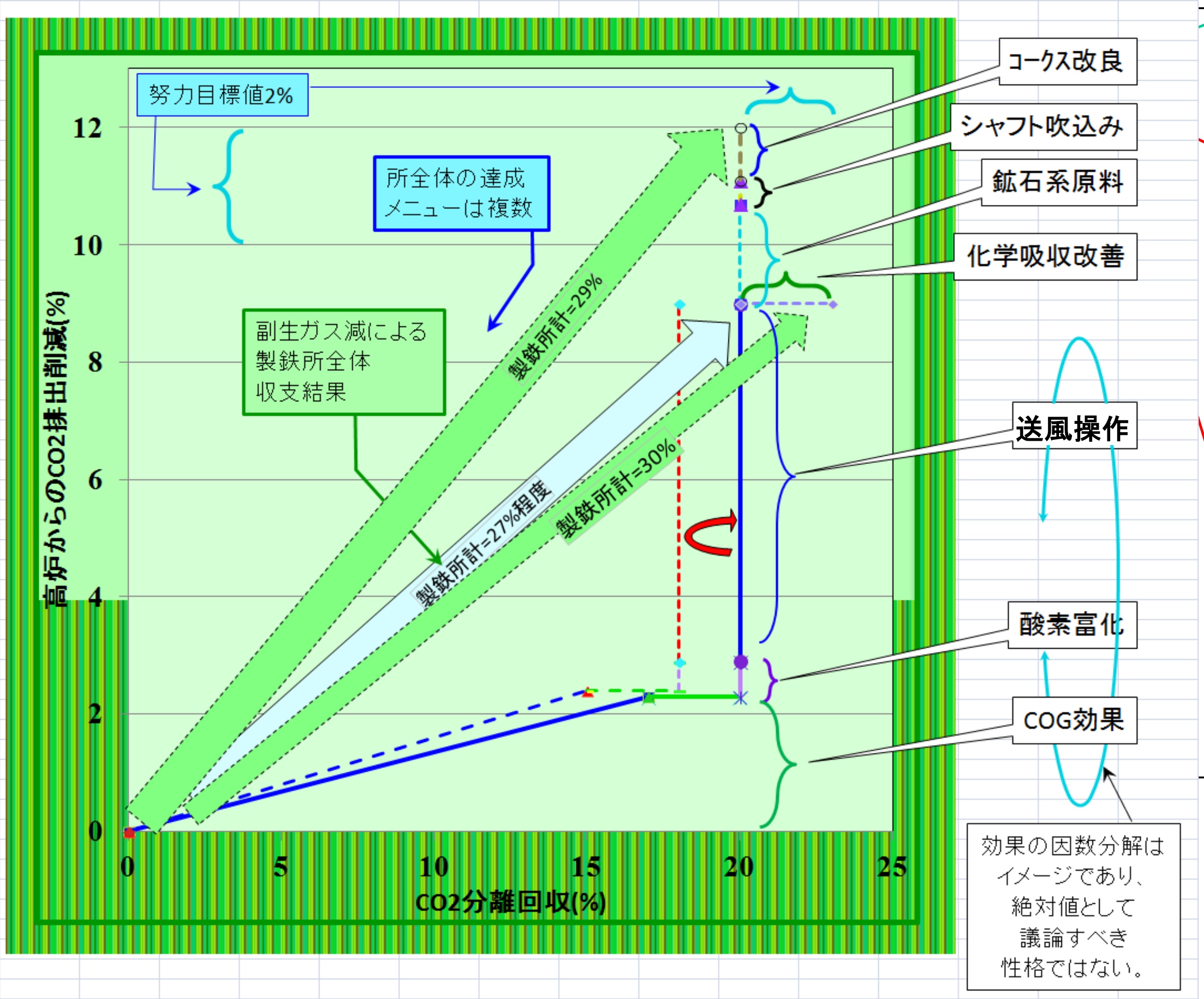


**ベンチ試験結果に基づき、
蒸気回収全体システム設計
(熱回収ガス→140℃飽和蒸気に変換)**

公開

◆SG7：全体プロセスの評価・検討

高炉の技術緒元に関しては、次ページに示す三次元熱物質収支考慮数学ﾓﾃﾞﾙにて、炉内現象を推定している。



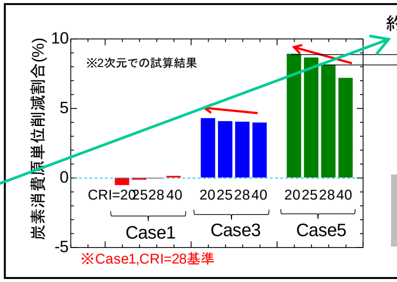


図2

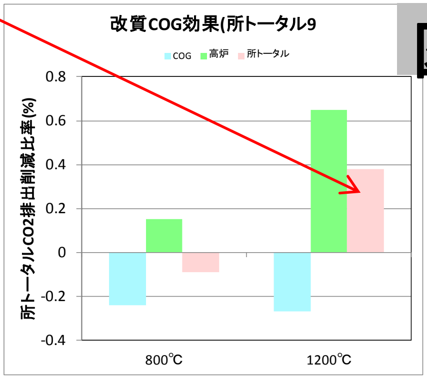


図3

RI60→68で約1.7%

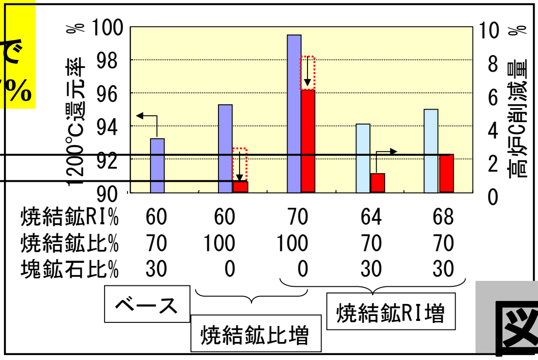


図4

（2）成果の普及

公開

◆事業全体の成果の普及

	平成25年度	平成26年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度	計
査読有り論文	12	1	12	7	2	34
査読無し論文	3	1	1	4	2	11
研究発表・講演	29	15	42	40	13	139

※平成29年7月19日現在

◆事業全体の知的財産権の確保に向けた取り組み

	平成25年度	平成26年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度	計
特許出願	7(4)	14(2)	10(2)	8	2	41(8)
ノウハウ保管技術	0	－	2	0	1	3

※平成29年度7月19日現在

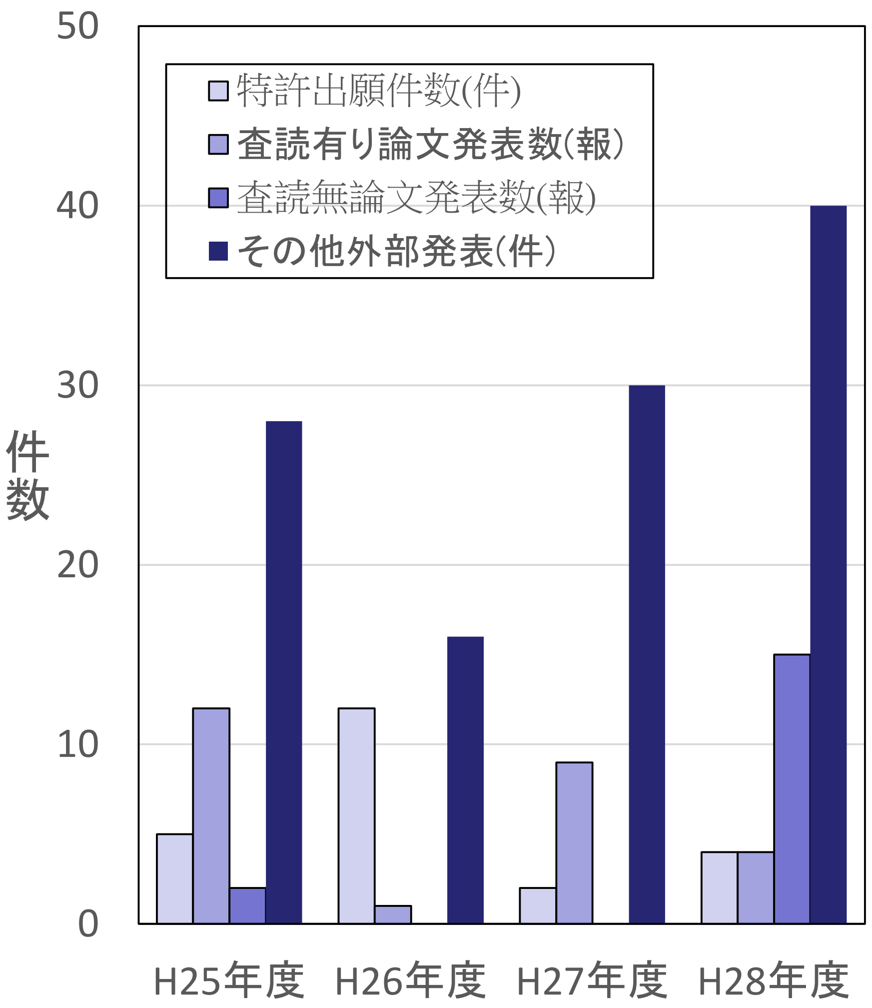
詳細に関しては各SGにて報告する
平成29年度に関しては提出予定の物を含む
()内は外国出願件数

事業原簿　Ⅲ－1－5

◆技術的・学術的成果

特許・論文・発表を積極的に進め、国内外への技術PRと人財育成に貢献

特許、論文、発表



博士号取得 1件

学会賞受賞 2件

日本吸着学会技術賞

日本エネルギー学会論文賞

技術成果の早期商用化例：ESCAP®

実用化可能な技術の早期商用化を進め、社会貢献に寄与

石炭火力発電の燃焼排ガスを二酸化炭素回収源とする、化学吸収法による炭酸ガス分離回収としては、日本で初めての省エネ型二酸化炭素回収設備

ESCAP®
- CO_2分離回収技術：COURSE50
- 化学吸収液：新日鐵住金とRITE
- 反応プロセス：新日鉄住金エンジ

→ 適用先：
エア・ウォーター炭酸株式会社*
住友共同電力株式会社　新居浜西火力発電所

（*新日鉄住金の室蘭製鉄所内）

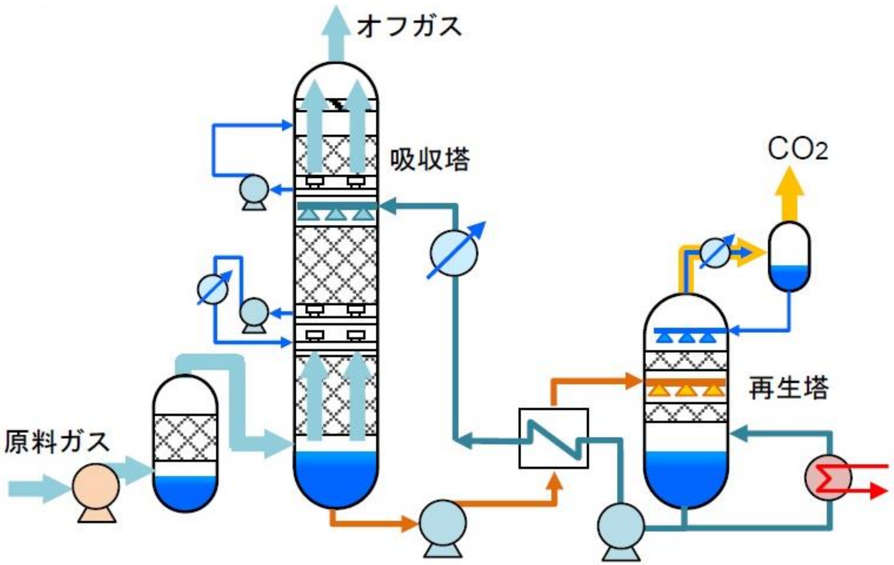


図　ESCAPプロセスフローの概要

図　ESCAP設備の外観