

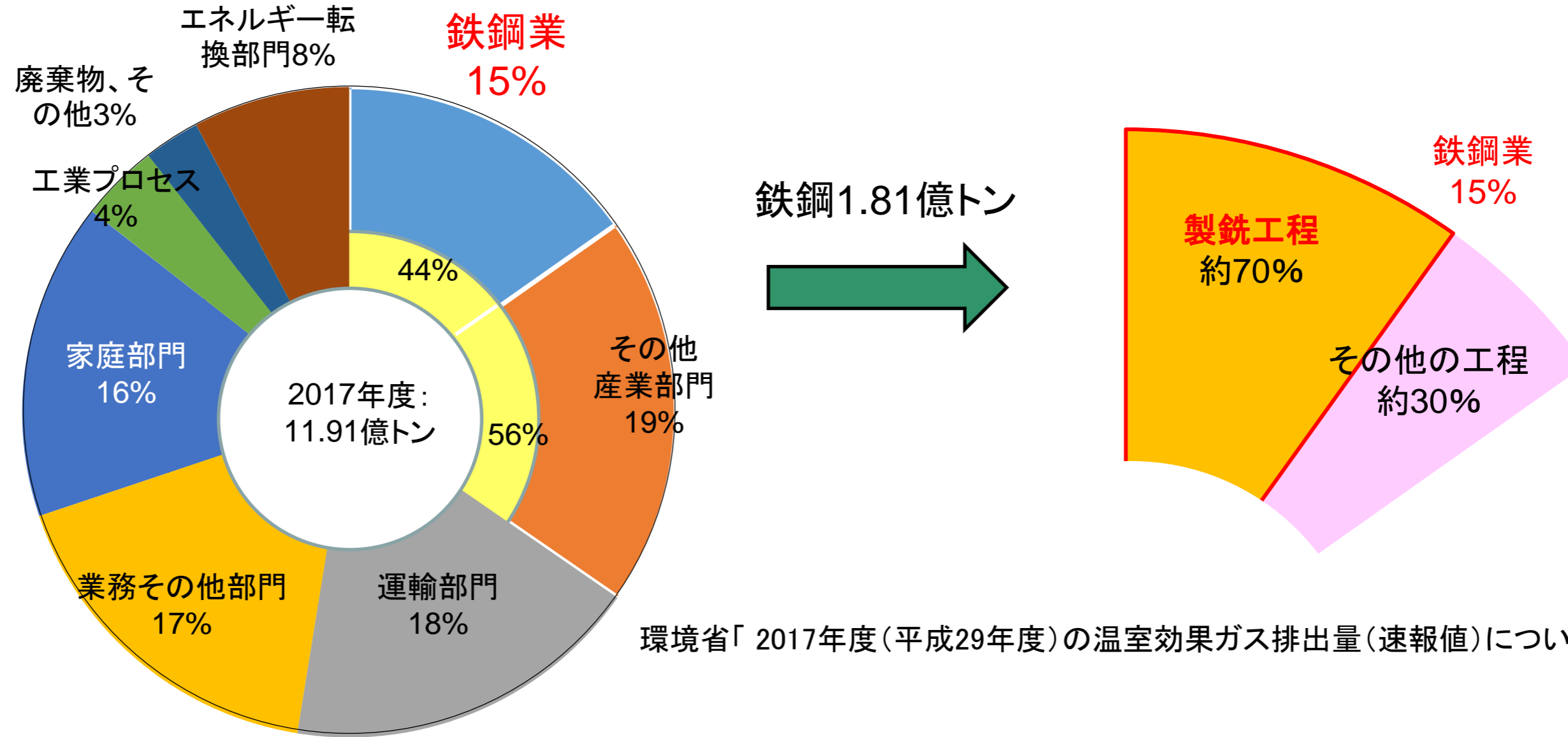
プロジェクト名： 環境調和型プロセス技術の開発／
フェロコークス技術の開発

プロジェクト実施者： JFEスチール株式会社
株式会社神戸製鋼所
日本製鉄株式会社

プロジェクト実施期間： 2017年6月～2023年3月



● 国内製造業における産業別のCO₂排出量割合

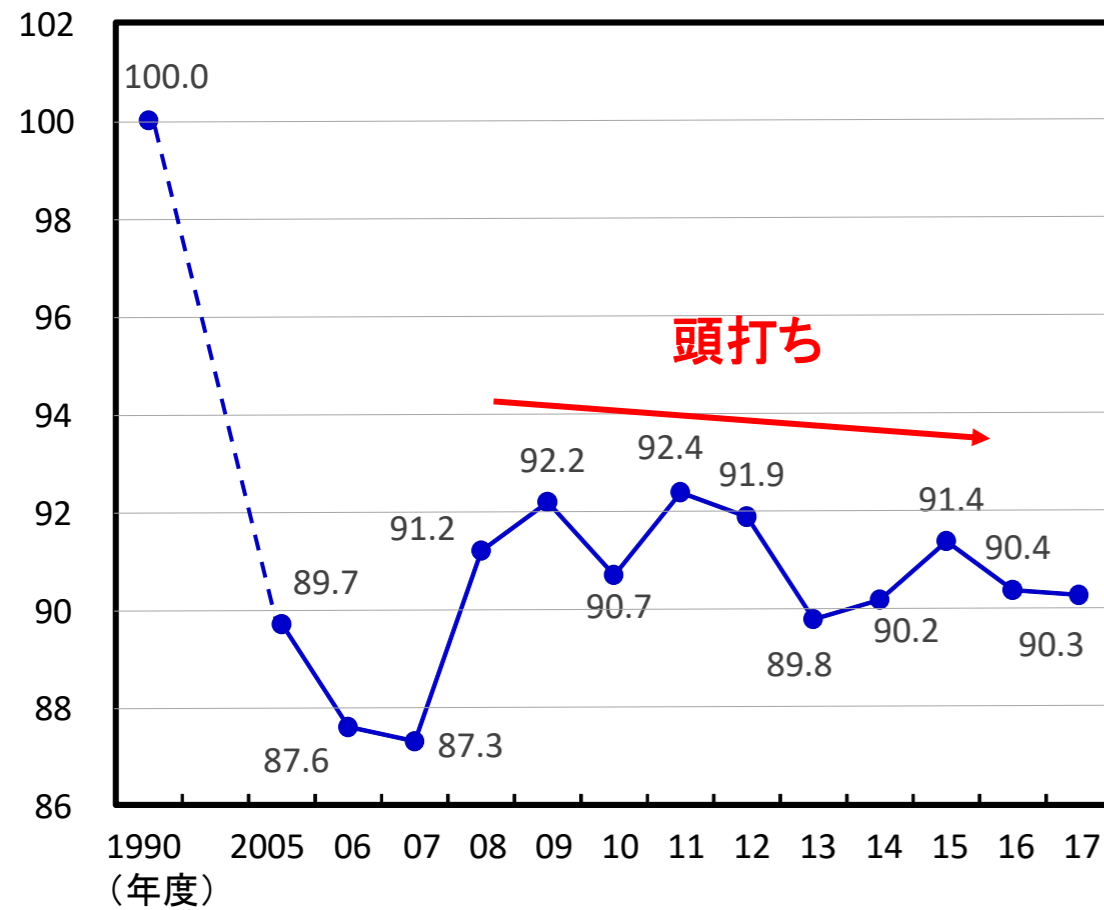


環境省「2017年度(平成29年度)の温室効果ガス排出量(速報値)について」より作成

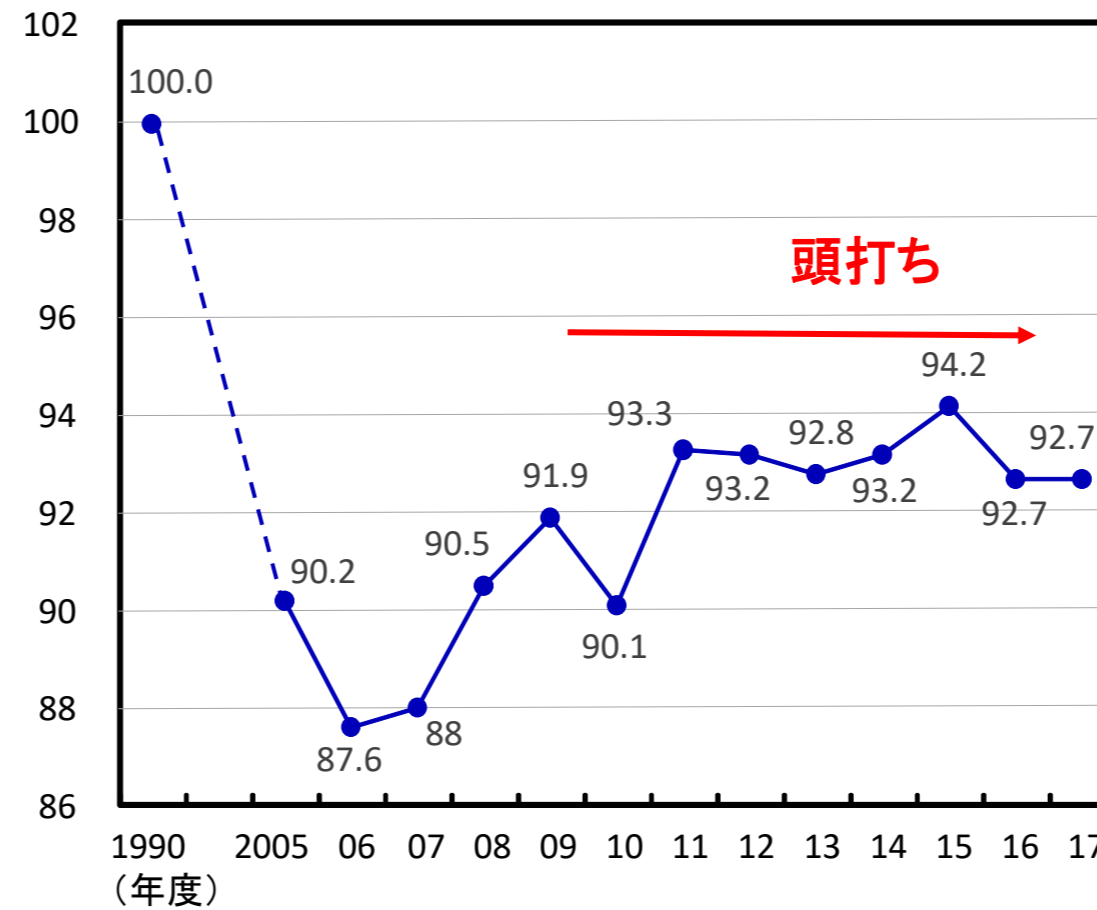
高炉法による製鉄プロセス(製鉄工程)で発生するCO₂排出量の削減は喫緊の課題

- 鉄鋼業におけるエネルギー消費・CO₂発生の推移

エネルギー原単位(1990年度基準)



エネルギー起源CO₂原単位(1990年度基準)
(毎年度のクレジット反映後の電力係数を反映)



日本鉄鋼連盟: 低炭素社会実行計画実績報告
2019年1月16日 一般社団法人 日本鉄鋼連盟

我が国鉄鋼業の省エネルギーは極限→革新的製鉄プロセス技術開発が必要

技術概要

我が国鉄鋼業は産業部門全体のエネルギー消費の25%を占めるエネルギー多消費型産業であるものの、既に排熱回収利用等の省エネ設備の導入により、製鉄プロセスにおいて世界最高水準の原単位を達成している。エネルギー削減ポテンシャルは世界で最も低い、世界の近代製鉄を支えた高炉法の革新を促し、更なる高炉効率の向上を図ることで省エネを着実に推進する。**具体的には、高炉内還元反応の高速化・低温化機能を発揮するフェロコックス（低品位炭と低品位鉄鉱石の混合成型・乾留により生成されるコークス代替還元剤）及びその操業プロセスの開発**と、従前燃料として使用されていた副生コークスガスを還元に適する仕様に改質し、高炉にて還元剤として使用することと二酸化炭素濃度が高い高炉ガスから二酸化炭素を分離するため、製鉄所内の未利用低温排熱を利用した新たな二酸化炭素分離・回収技術の開発を進める。

資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発については、2020年代初頭までに研究開発を行い、その後実機高炉への実証的導入を経て、2025年以降の本格的な導入普及を目指す。

環境調和型製鉄プロセス（水素還元技術および未利用排熱活用高炉ガスCO2分離回収技術等）については、2020年台後半までに研究開発を行い、その後実用化研究を経て、2030年頃の1号機実機化を目指す。その後は、高炉改修のタイミングを踏まえつつ導入普及を図る。

技術開発動向

国家プロジェクトとしては、「資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発」が終了し、革新的な高炉原料であるフェロコックスの製造プロセスについて、パイロット規模での基盤技術が確立され、引き続き実用化に向けた検討が進められている。また、「環境調和型製鉄プロセス技術開発」は継続中であり、水素還元技術については、スウェーデンの試験高炉を使用する事で、鉄鉱石水素還元の可能性を確認した。更に水素還元技術確立の為、新日鐵住金・君津製鉄所において、試験高炉を建設準備中である。又、未利用排熱活用高炉ガスCO2分離回収技術等では、CO2濃度が高い高炉ガスからのCO2を分離するため、新たな化学吸収法や物理吸着法の開発等が進められているが、効率良く未利用排熱を活用するための要素技術（ケミカルヒートポンプ技術及び、相変化物質による蓄熱・熱輸送技術等）の開発が課題となっている。これまで、モデル製鉄所排熱状況の整理と排熱回収技術シーズ調査を完了し、CO2分離回収可能量・コストの検討を実施したほか、実機の製鋼スラグから顕熱を回収するベンチ設備を製作し、製鋼スラグ顕熱回収の可能性を確認した。また、カーナ発電システムの熱効率改善と低コスト化の可能性を明確化した。

波及効果

資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発も環境調和型製鉄プロセス（水素還元技術および未利用排熱活用高炉ガスCO2分離回収技術等）のいずれの技術も、省エネルギーと同時にCO2削減に寄与する。長期的にはCCS技術を組み合わせることによりCO2排出量抑制を図ることができる。

また、還元剤としてのコークス使用量が減少するため、エネルギー安定供給の確保にも寄与する。早期実用化のために、これらの技術開発を加速的に実施することで、国際競争力の維持・強化にも寄与する。

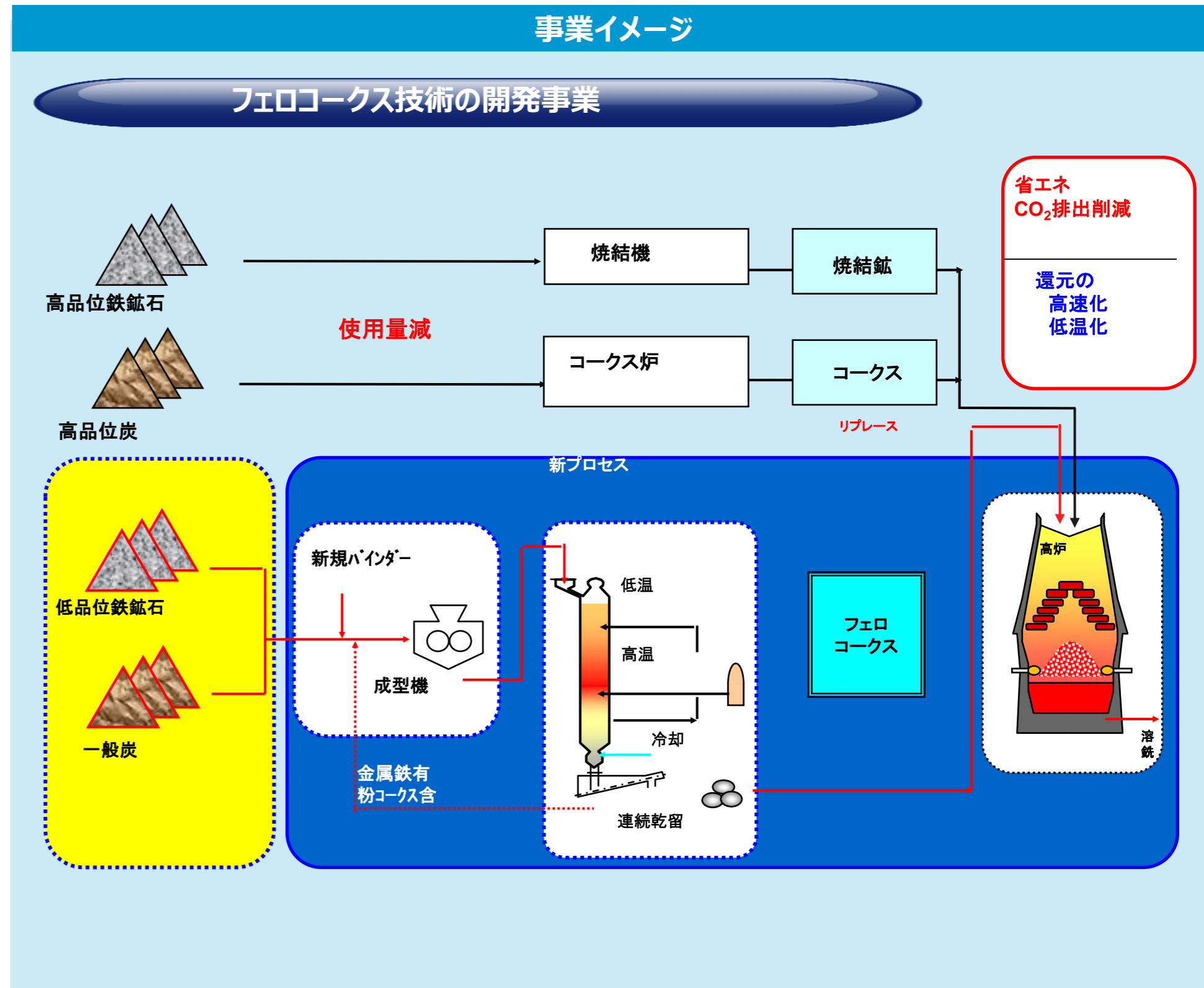
○革新的製鉄プロセス技術開発

- ✓ 通常のコークスの一部を「フェロコークス(一般炭と低品位鉄鉱石の混合成型・乾留により生成されるコークス代替還元材)」に置き換えて使用することで、フェロコークス中の金属鉄が還元反応の触媒となり、還元材比の大幅な削減が期待でき、CO₂ 排出削減、省エネに寄与する。(高炉1基当たりの省エネ効果量は原油換算で約3.9万kL/年)。
- ✓ 2030年頃までに最大で5基導入を目指す。(但し、導入が想定される製鉄所において、LNG等供給インフラの整備と経済合理性の成立が前提)

鉄鋼連盟「低炭素社会実行計画」

基本計画

- ✓ アウトプット目標: (2022年度)
省エネルギー効果 10%
- ✓ アウトカム目標: (2030年頃)
省エネルギー効果量(原油換算量): 19.4万kL/年
CO₂削減量: 82万トン/年
約280億円/年の経済効果
※1,500t/d規模の実機5機の導入を想定(2030年頃)



	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24~30
														2030年までに5基導入予定				
技術戦略分類	革新的製鉄先導研究		革新的製鉄プロセス開発			評価事前検討					(今回)中規模試験評価					自社追加評価	展開	実証普及

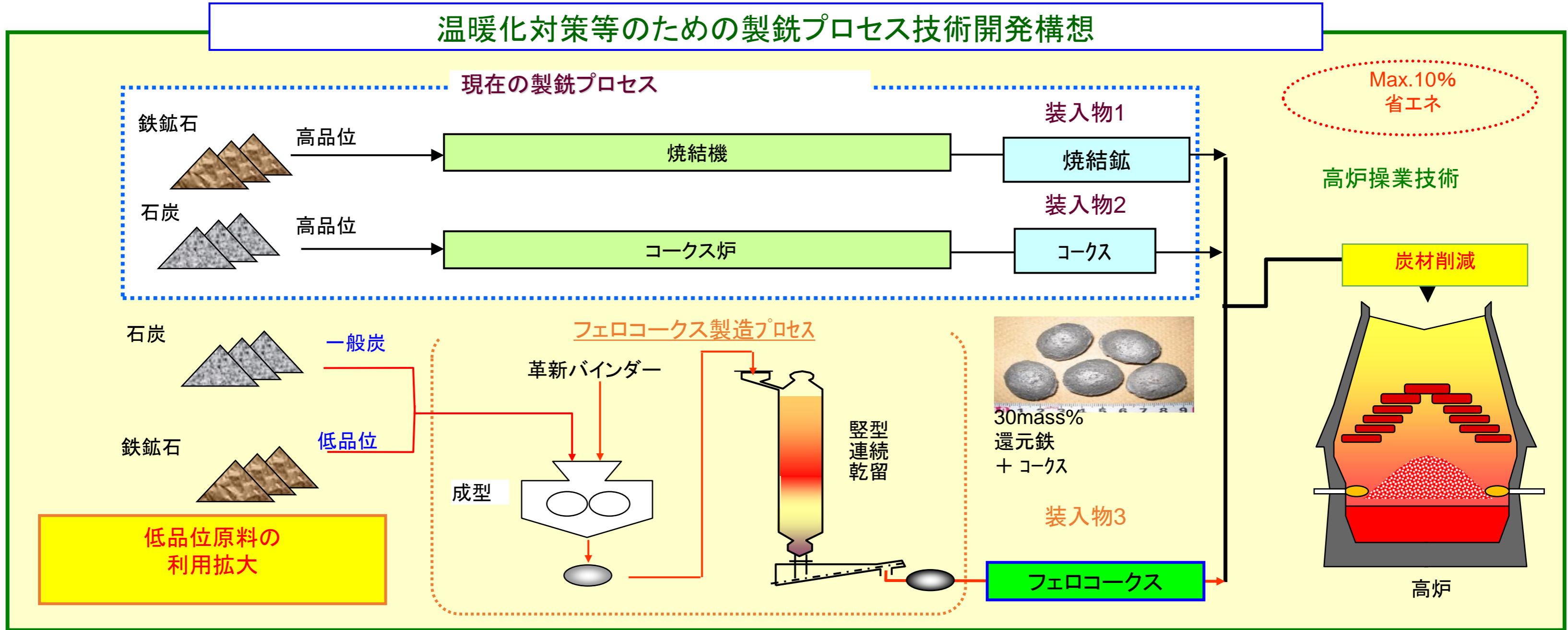
● 実機化までのシナリオ

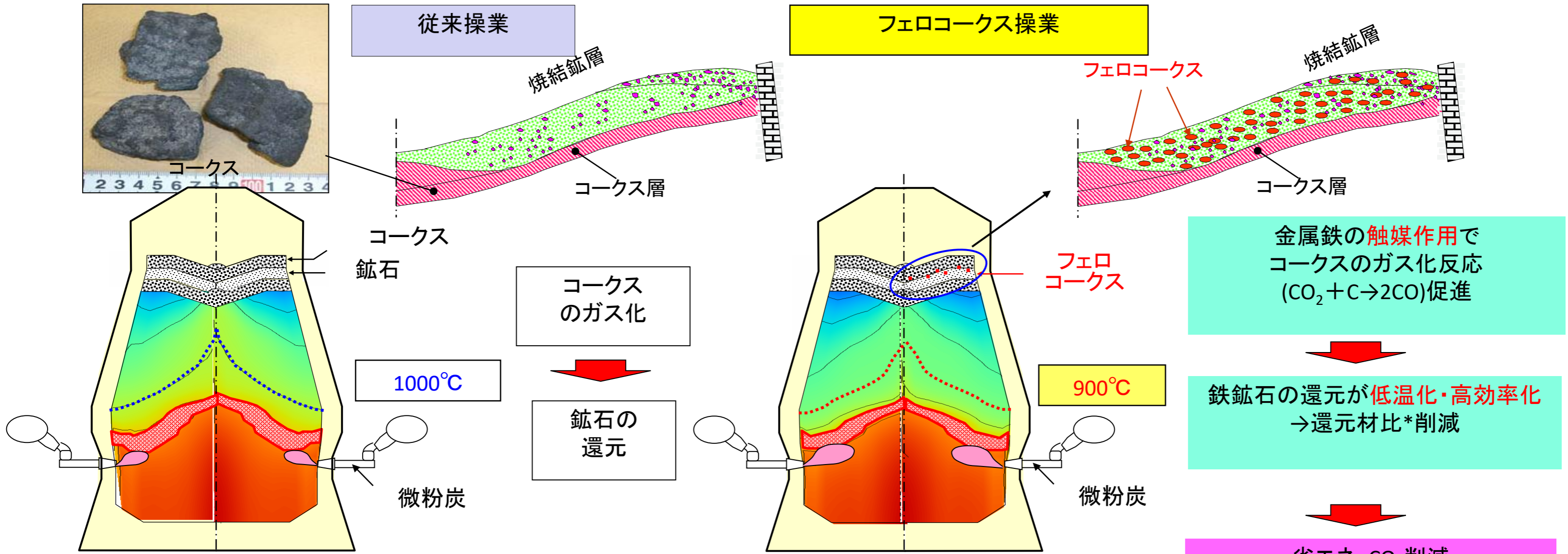
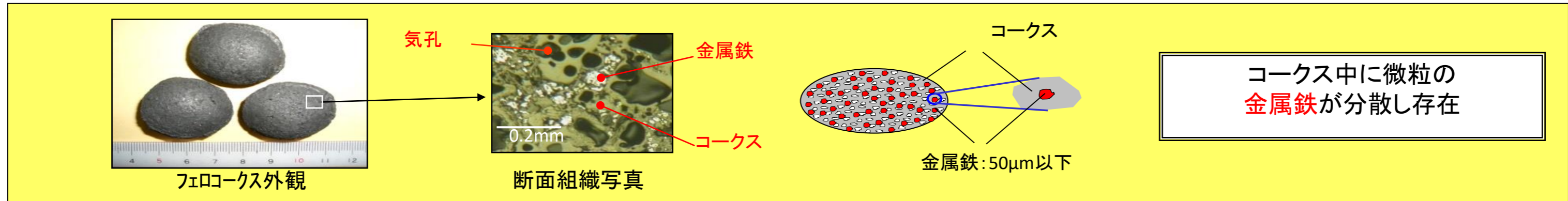
- 1)パイロット試験炉(30トン/日規模)による要素技術の確立(完了)
- 2)中規模設備(300トン/日規模)による工業化課題の克服(本事業)
 - ・設備の安定操業技術・設備の耐久性実証
 - ・5000m³クラスの高炉(1基)でのフェロコークスの長期使用、省エネ効果の検証(10%) (シミュレーション含)
 - ・実用性が認められれば、研究開発補助金制度に則り、そのまま工程化(2023年以降)
- 3)実機設備(900~1500トン/日規模)で設備・操業、高炉使用技術の最適化検討、設備・操業コスト及び使用エネルギーの評価

※付帯インフラ(LNG供給等)の整備を前提に、2030年には最大で5基程度の導入を目指す。



革新的塊成物による省エネ＋資源対応力強化（低品位製鉄原料の利用拡大）





*還元材比: コークス比 + 微粉炭比 (kg/t-pig)

金属鉄の触媒作用で
コークスのガス化反応
($\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2\text{CO}$) 促進

鉄鉱石の還元が低温化・高効率化
→ 還元材比*削減

省エネ・CO₂削減

研究開発項目① フェロコークス製造 中規模設備(300t/d)での製造技術実証

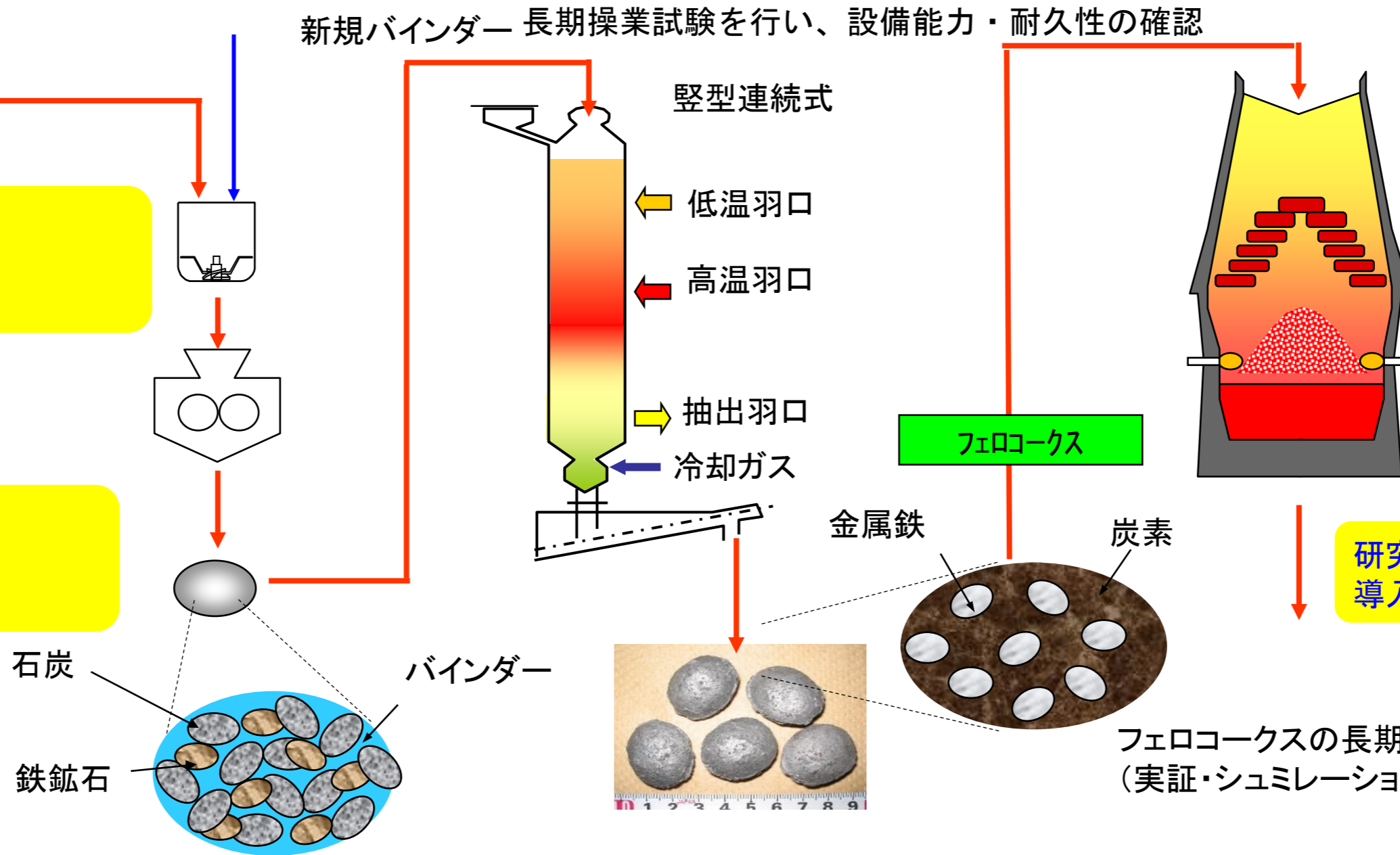
研究開発項目③ 実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証

研究開発項目② 一般炭、低品位原料使用時の製造技術

ラボ・中規模設備での一般炭を使用した成型技術の確立

研究開発項目④ 新バインダー強度発現実証

液体バインダー：
数kg製造と評価
固形バインダー：
数tオーダー製造と評価



新規バインダー 長期操業試験を行い、設備能力・耐久性の確認

縦型連続式

低温羽口

高温羽口

抽出羽口

冷却ガス

フェロコークス

金属鉄

炭素

研究開発⑤ フェロコークス 導入効果の検証

フェロコークスの長期使用効果検証
(実証・シュミレーション試算)

製鉄工程における省エネ効果10%の検証

本事業では、下記5項目の開発を行う。

①中規模設備での製造技術実証

- ①-1 ラボ・中規模設備での比重・粒度が異なる原料の均一混合技術の確立
(固体3種類、液体1種類の混合)
- ①-2 複数本羽口を有する中規模設備での乾留技術の確立

②一般炭、低品位原料使用時の製造技術

- ・ ラボ・中規模設備での一般炭を使用した成型技術の確立

③大型高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証

- ・ 長期操業試験を行い、設備能力・耐久性の確認

④新バインダー強度発現実証

- ・ 新バインダーの開発 (液体バインダー：数kg製造と評価、固形バインダー：数tバインダー製造と評価)

⑤フェロコークス導入効果の検証

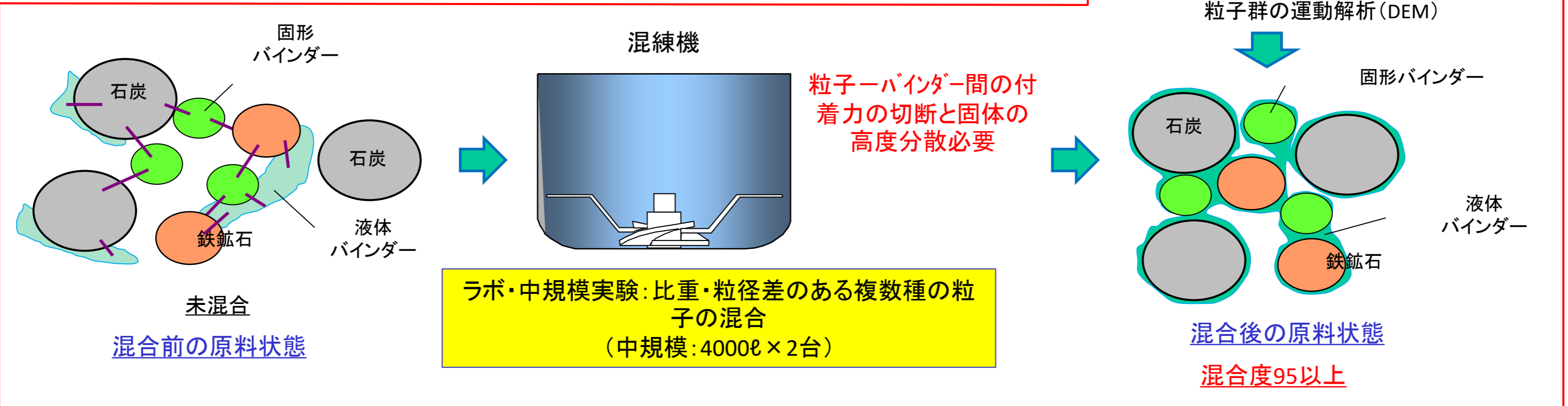
- ・ 製鉄工程における省エネ効果10%の検証

研究開発項目

①中規模設備での製造技術実証

- ①-1 ラボ・中規模設備での比重・粒度が異なる原料の均一混合技術の確立
(固体3種類、液体1種類の混合)

指標: バインダーの分散性: 目標 混合度95%以上



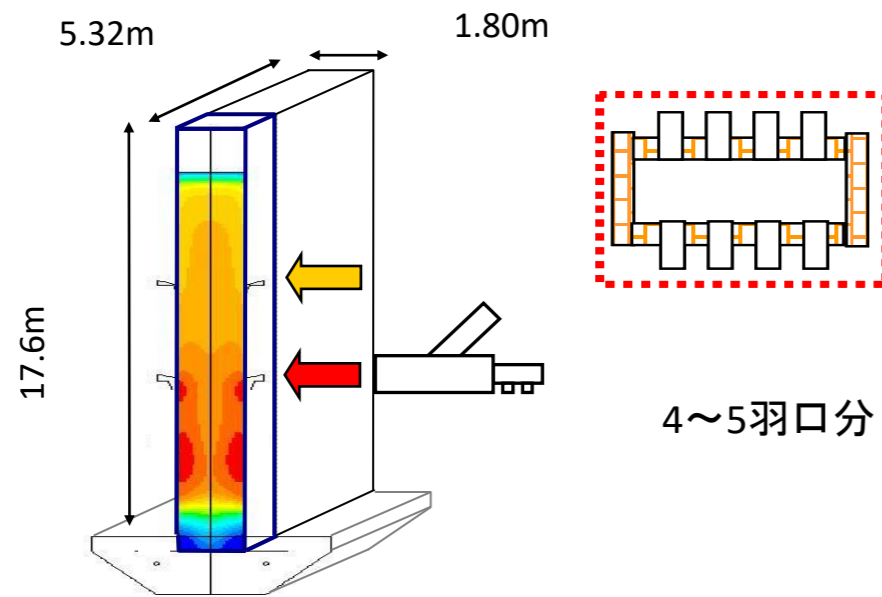
研究開発項目

①中規模設備での製造技術実証

①-2 複数本羽口を有する中規模設備での乾留技術の確立

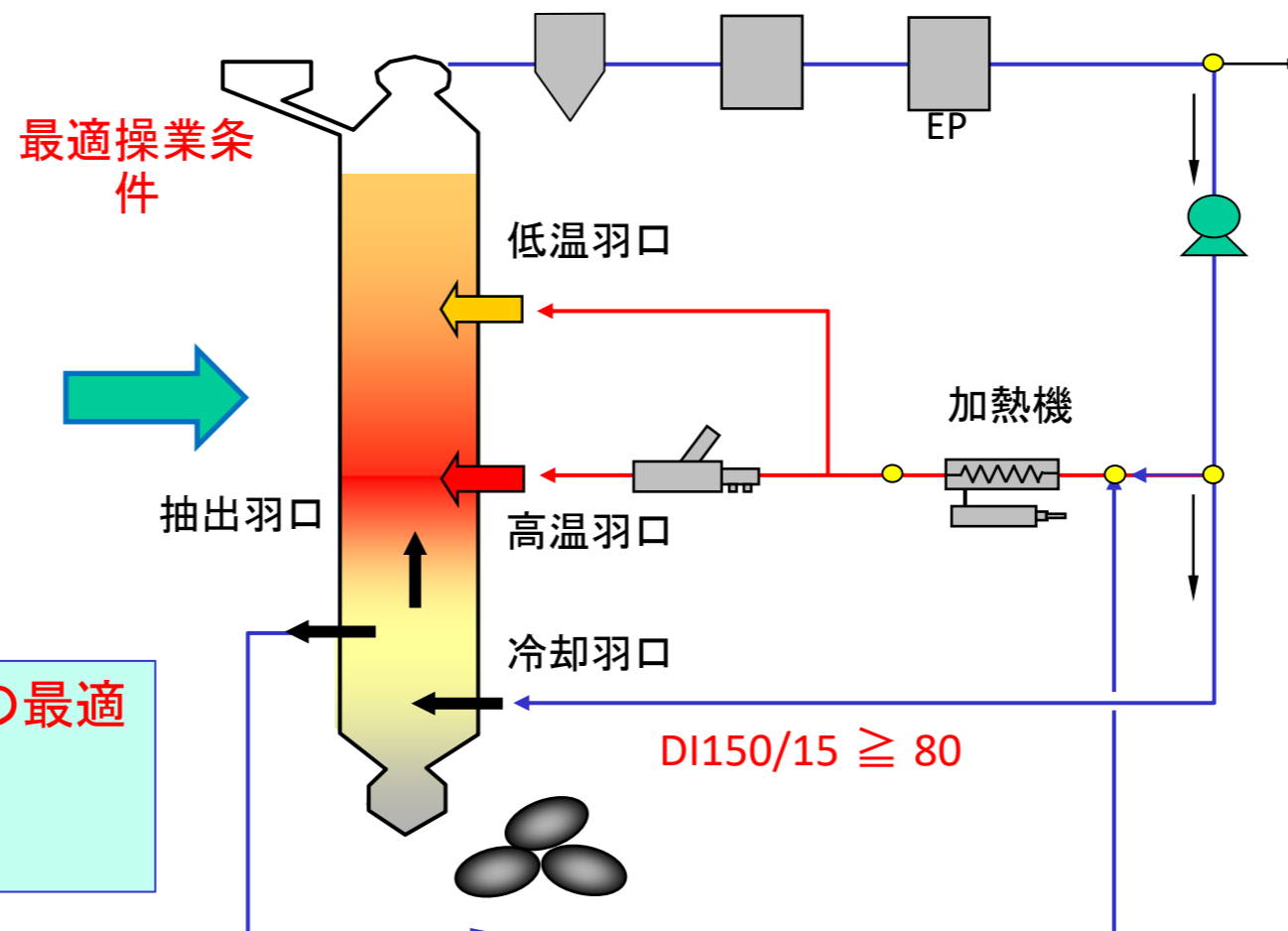
指標:ドラム強度: 目標 ドラム強度 $DI_{150/15} \geq 80$

2次元シミュレーション



・炉の長手方向、高さ方向(2次元)温度分布の最適制御方法(风量風温制御の確立)

中規模乾留炉試験(300t/d)



乾留炉制御用の3次元モデル構築

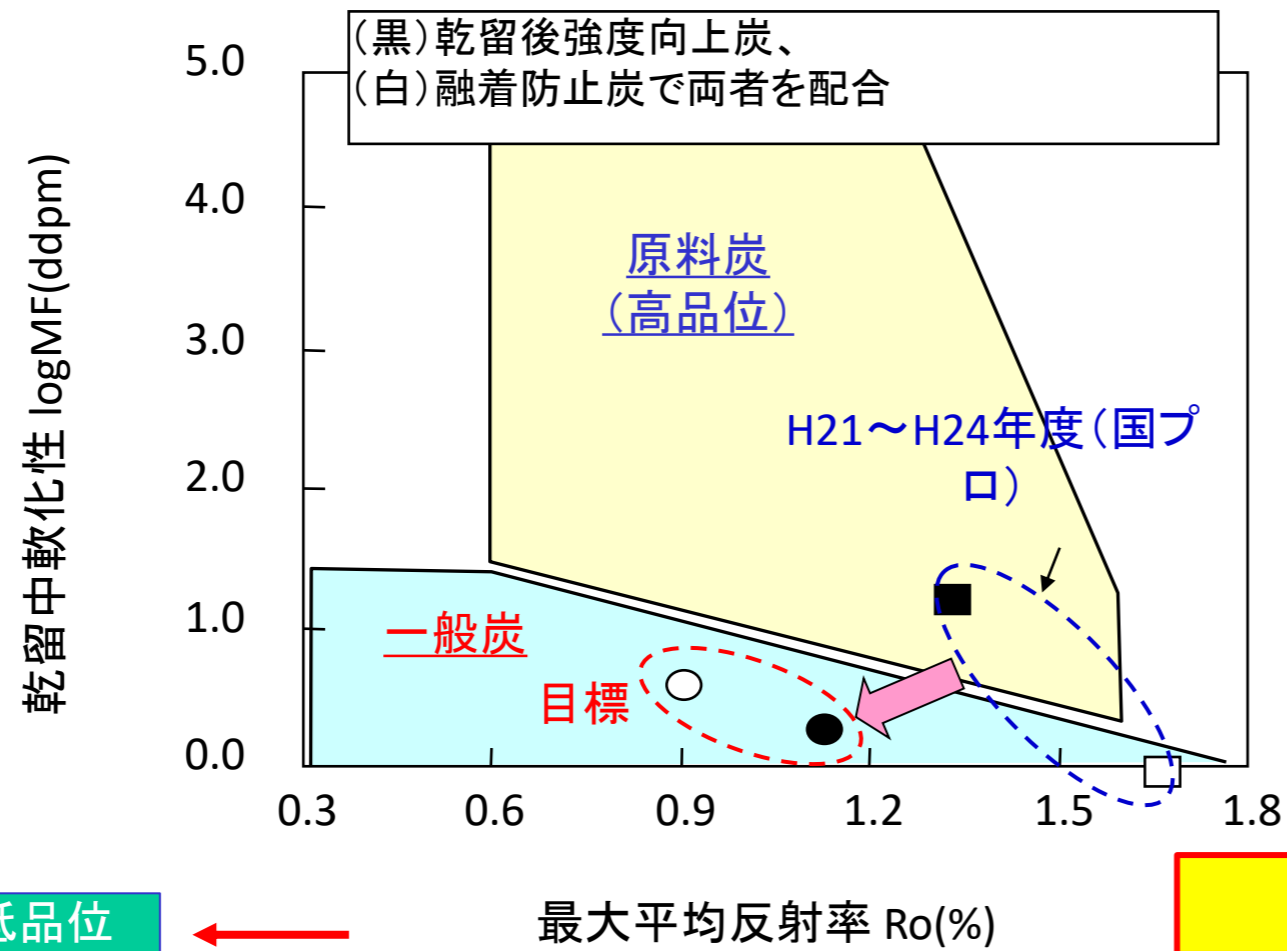
- ・連続運転による実証と強度評価(目標 $DI_{150/15} \geq 80$)
- ・設備耐久性評価

研究開発項目

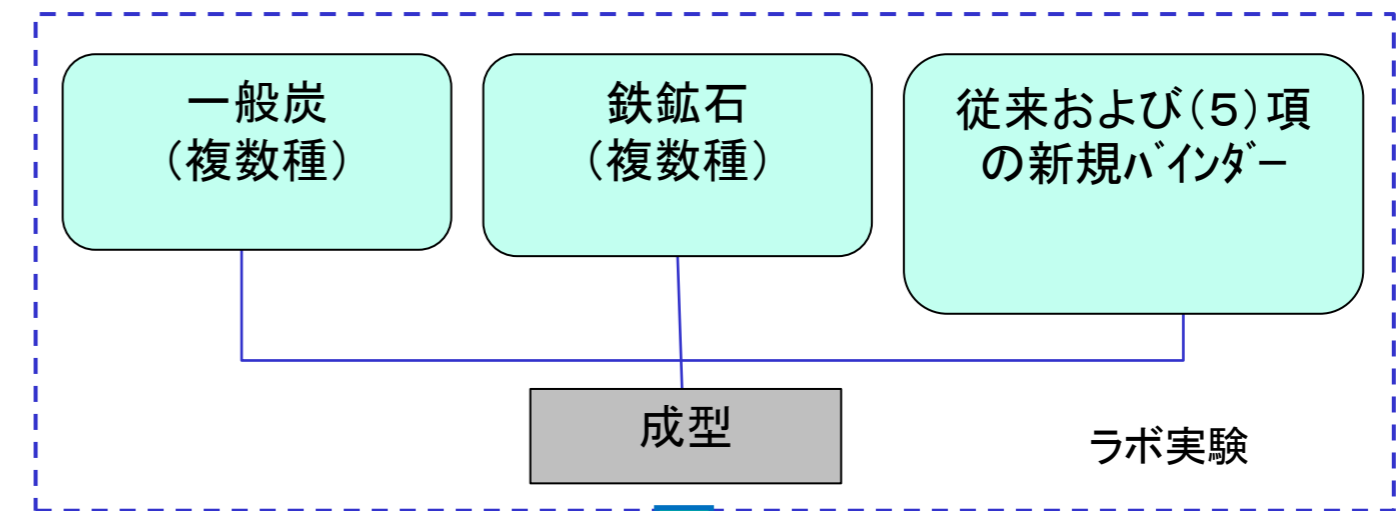
②一般炭、低品位原料使用時の製造技術

指標：I型ドラム強度：目標 $ID30/15 \geq 85$

30t/dハイト試験で使用した石炭品位と本事業における目標範囲



低品位



ID強度を確保 ($ID30/15 \geq 85$) し得る原料 (鉄鉱石、石炭) 絞込み (2種類以上)

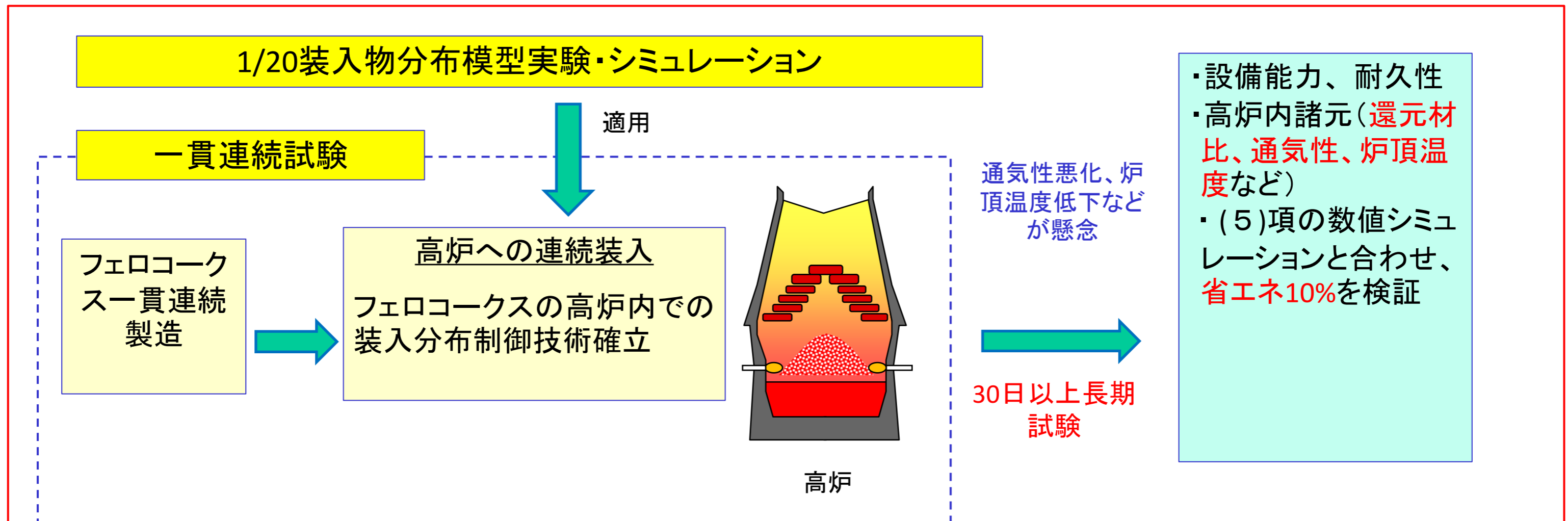
フェロコークス製造単価の低減、原料銘柄拡大

研究開発項目

③大型高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証
長期操業試験を行い、設備能力・耐久性の確認

指標：連続操業試験：30日以上

高炉の還元材比、通気性の変化を確認



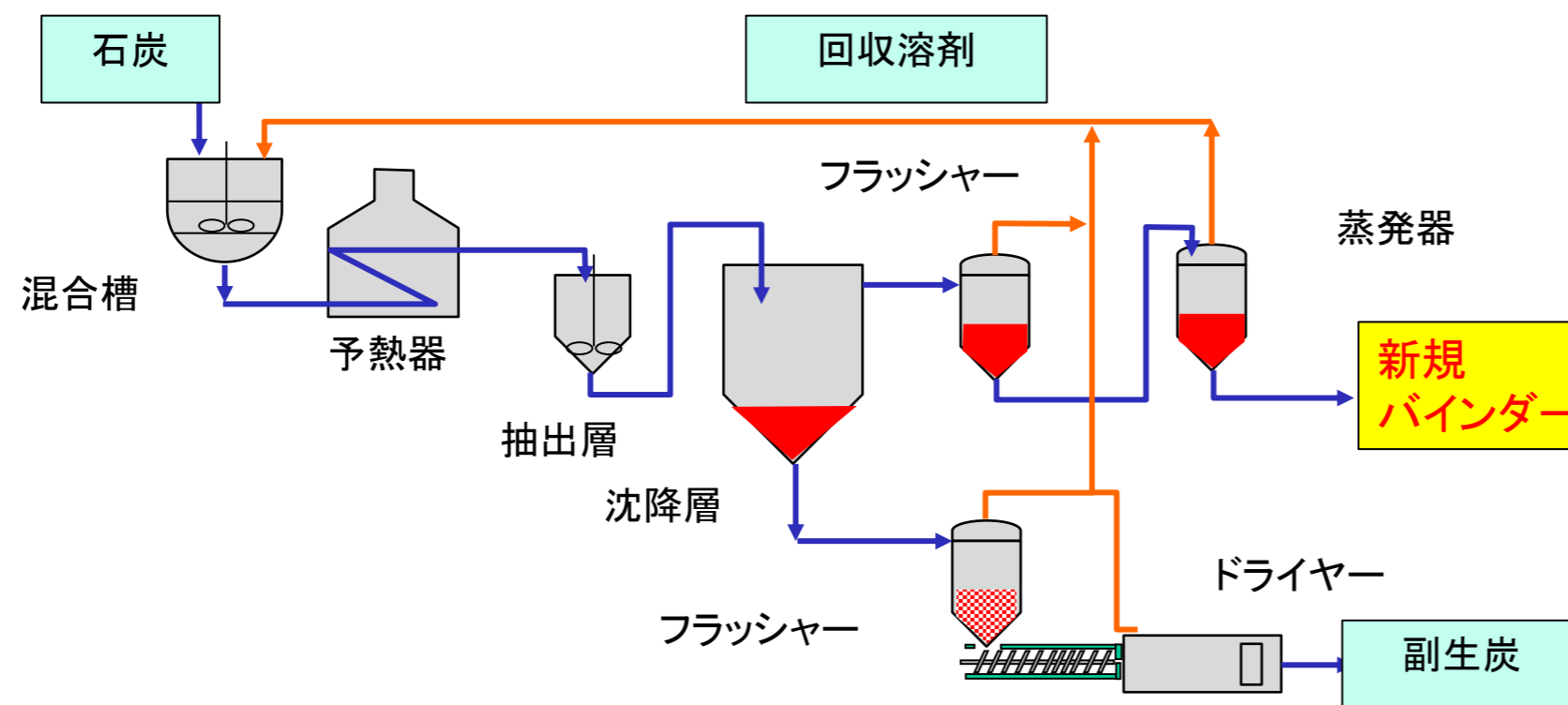
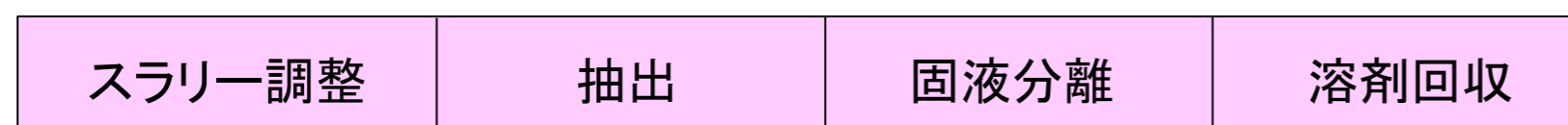
研究開発項目

④新バインダー強度発現実証

- ・液体新規バインダー：数kg製造と評価
- ・固形バインダー：数tオーダー製造と評価

指標：フェロコークスのドラム強度で評価

目標：成型後 ID30/15 \geq 85、乾留後 DI150/15 \geq 80



1) 固形新規バインダーの性能実証

- 1) tオーダー試作と中規模設備での性能確認、実証技術開発計画案策定
- 2) フェロコークスブリケットの冷間強度予測モデル開発

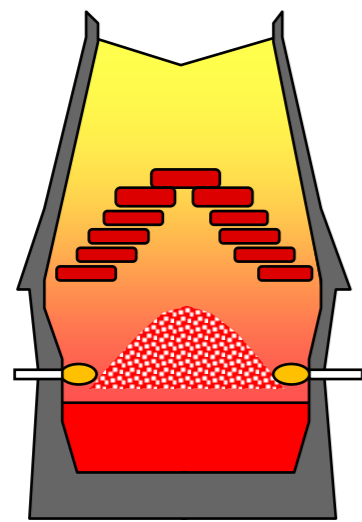
2) 液体新規バインダー開発

- 1) 高温溶剤抽出製造プロセスの提示
- 2) フェロコークス炉から発生した中低温タールの改質による製造方法の探索 (kgオーダー)

研究開発項目

⑤フェロコークス導入効果の検証（省エネ効果 10%の検証）

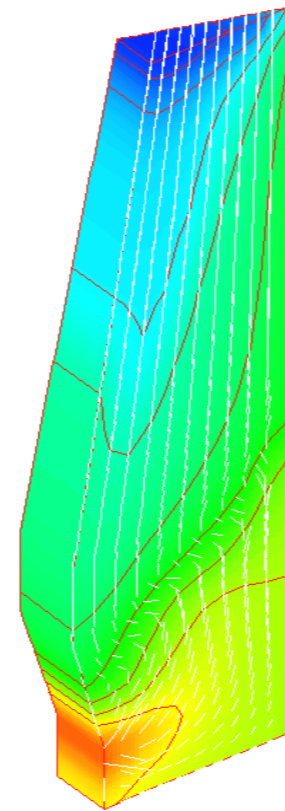
指標：省エネ効果：目標 10%



比較
精度検証

(3)項の大型高炉での評価

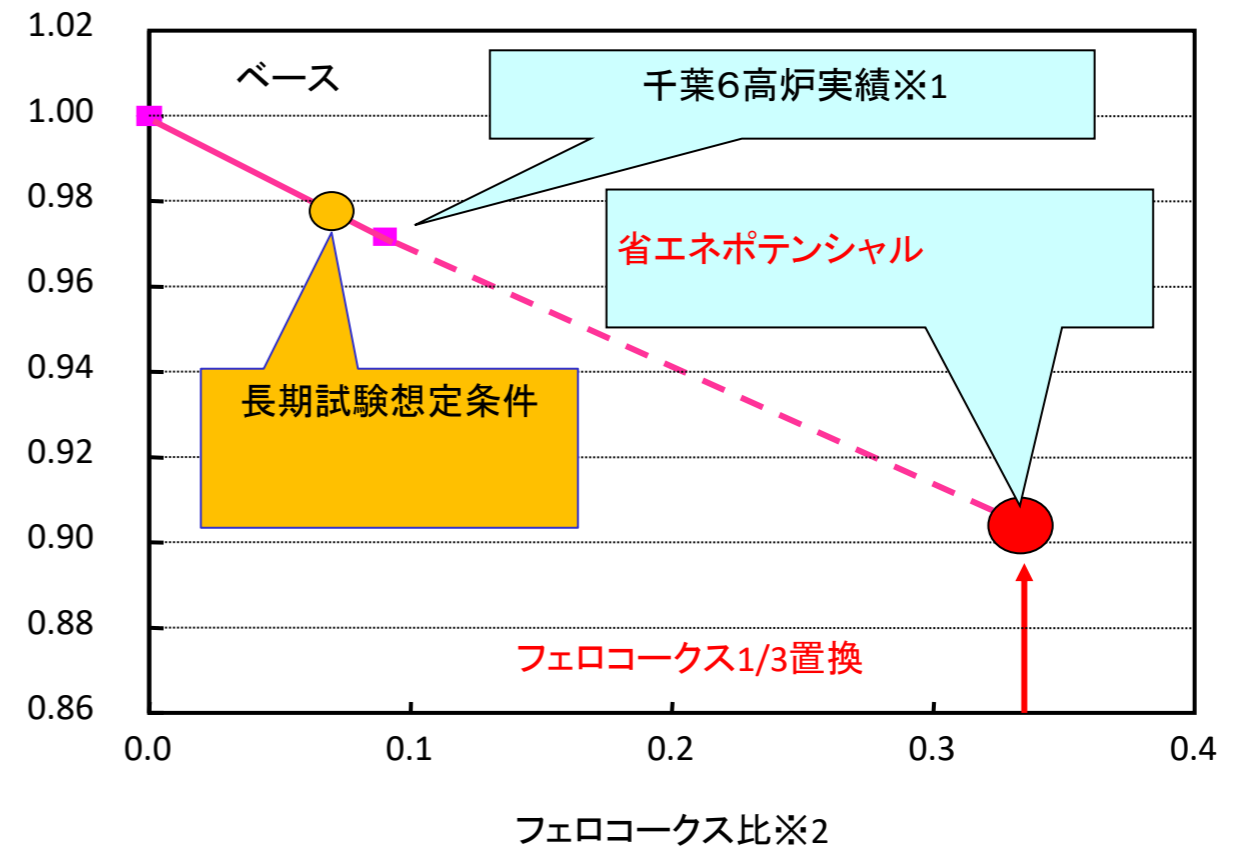
- ・高炉内諸元(還元材比、通気性、炉頂温度など)



省エネポテンシャル10%の検証

汎用高機能高炉内反応シミュレーター

製鉄系投入石炭(比率)



※1 NEDO(H21-24)プロジェクト

※2 フェロコークス中のコークス比/高炉全体のコークス比(-)

◆ フェロコークス中規模設備の外観



技術開発項目	担当	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	
①中規模設備での製造技術実証	JFE 東北大	設計、建設			100t/d	200t/d	300t/d	達成
②一般炭、低品位原料使用時の製造技術	JFE	ラボスケール成型・乾留試験				製造実証		達成
③実高炉でのフェロコークス長期使用、効果検証	JFE	冷間装入試験		高炉使用・評価				検証中
④新バインダーの強度発現実証	神鋼 東北大	<固形> ラボ検討		試作製造		評価		達成
		<液体> 性状分析・基礎調査		試作製造		実プロセス検討		
⑤フェロコークス導入効果の検証の確認	日本製鉄 九大	実験室規模 サンプル評価			中規模設備 サンプル評価			検証中

3. カーボンニュートラルへの技術の道筋 | ②技術ロードマップ



※1 国内では諸条件（品質や生産規模、コスト等）が満たされておらず導入されていない

※2 IEAでは2030年に導入想定の記事があるが、本技術ロードマップでは水素供給インフラの構築を考慮した社会実装年を記載

※3 P8 に示すような脱炭素に貢献する製品（エコプロダクト）は、鉄鋼分野の低炭素化を扱う本技術ロードマップの対象とはしていないが、トランジション・ファイナンスの対象にはなりうる。

ご清聴ありがとうございました。