

**「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／
⑤CO₂回収型次世代IGCC技術開発」
(前倒し事後評価)**

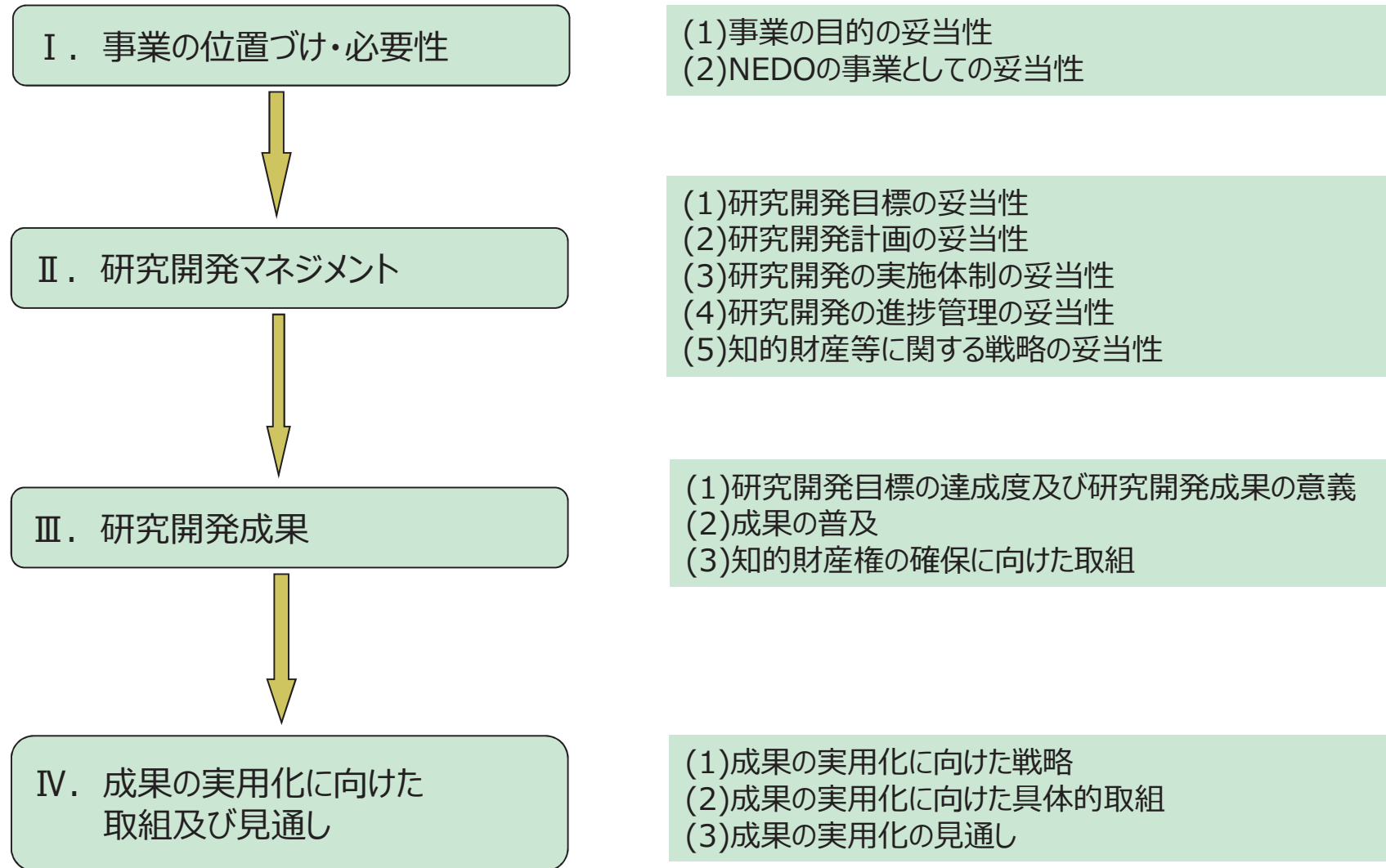
**(2015年度～2020年度 6年間)
プロジェクトの概要 (公開)**

NEDO

環境部

2020年10月2日

発表内容



【参考】「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発」事業一覧*

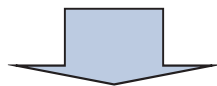
年度(西暦)	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	
研究開発項目① 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業 1) 酸素吹IGCC実証(1/3助成) 2) CO ₂ 分離・回収型酸素吹IGCC実証(2/3、1/3助成) 3) CO ₂ 分離・回収型IGFC実証(1/2助成)					※1					◇									
研究開発項目② 高効率ガスタービン技術実証事業 1) 1700℃級ガスタービン(1/2助成) 2) 高温分空気利用ガスタービン(AHAT)(2/3助成)					※1														
研究開発項目③ 先進超々臨界圧実用化要素火力発電技術開発(2/3助成)					※1														
研究開発項目④ 次世代火力発電基盤技術開発																			
1) 次世代ガス化システム技術開発(委託)										◇									
2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンアップ技術要素研究(委託)										◇									
3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発(委託)																			
4) 燃料電池石炭ガス適用性研究(委託)																			
5) CO ₂ 分離型化学燃焼石炭利用技術開発(委託)										◇									
6) 石炭火力の負荷変動対応技術開発(委託)																			
7) CO ₂ 有効利用技術開発(委託)																			
8) CO ₂ 分離・回収型ポージェネレーションシステム技術開発(委託)																			
9) 機動性に優れる広負荷帯高効率ガスタービン複合発電の要素研究(委託)																			
研究開発項目⑤ CO ₂ 回収型次世代IGCC技術開発(委託)																			

*一部抜粋
 ◇中間評価、◆事後評価

◆事業実施の背景と事業の目的

社会的背景

温暖化対策は世界的課題

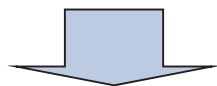


高効率発電技術と効率的なCO₂回収システムによる

CO₂排出量削減の必要性

事業の目的

石炭火力発電の効率向上、効率的なCO₂回収システム
によるCO₂排出量の抑制



CO₂を約100%回収しつつ高効率を達成する

CO₂回収型次世代IGCC技術を開発

◆政策的位置付け (その1)

■次世代火力発電に係るロードマップ

5. 2030年度に向けた取組の中心となる石炭、LNG火力に関する方針

- ・2030年度に向け、石炭火力、LNG火力それぞれで設備の新陳代謝による高効率化が必要
エネルギーミックスでは、石炭火力、LNG火力について、**高効率化を進めつつ環境負荷の低減と両立**しながら活用する方針を提示している。

6. 2030年度以降を見据えた取組に係る技術に関する方針

- ・CCUS技術及び水素発電技術は、火力発電からのCO₂排出量をゼロに近づける切り札となり得るものであり長期的視点を持ちつつ戦略的に推進

・CCUS技術の開発方針

CO₂分離回収技術は、2020年代後半から2030年頃に経済的な回収技術を確立

CCUSが実際に実用化されるためには、前提として**経済的なCO₂分離回収技術の確立が不可欠**である。従来技術では、CO₂回収設備の設置・稼働が発電コストを相当押し上げ、また、設備の稼働による電力消費が全体の発電効率を低下させることから、貯留の点を除いても経済性の面で相当の課題がある。

そのため、当面は、複数の技術開発を並行して継続し、**2020年代後半から2030年頃にかけて、経済的な回収技術を確立**させることを目指す。

8. 個別技術の開発方針 -2030年度以降を見据えた取組に係る技術

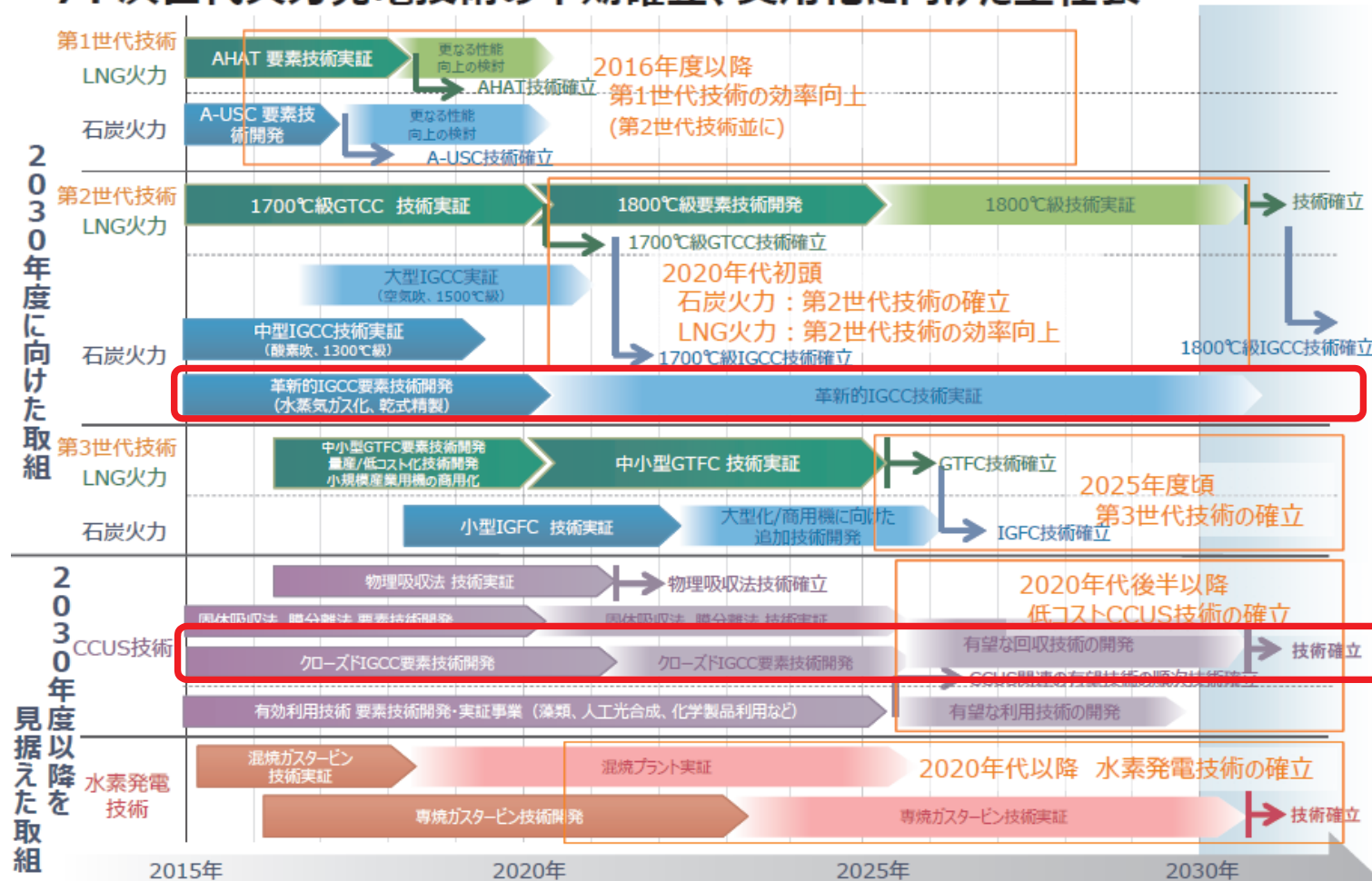
クローズドIGCC

CO₂分離回収に最適化した発電方式 (IGCC)。当面、要素技術の開発を継続する。／今後、他の競合技術との優位性を精査しつつ、さらなる開発を進める。

◆政策的位置付け (その2)

■ 次世代火力発電に係るロードマップ

7. 次世代火力発電技術の早期確立、実用化に向けた工程表



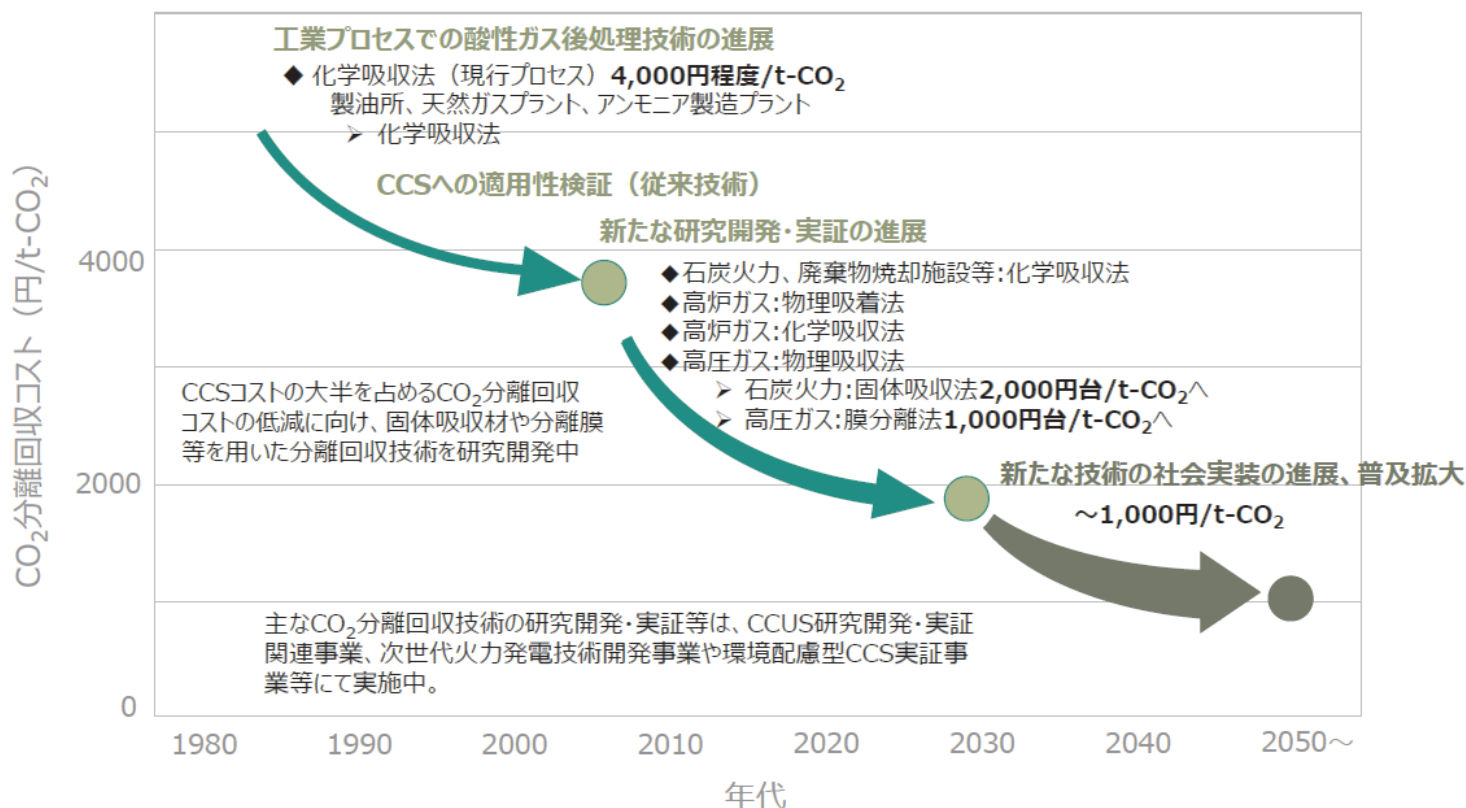
出典: 経済産業省 次世代火力発電の早期実現に向けた協議会、「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」(2016年6月)

◆政策的位置付け (その3)

■ 革新的環境イノベーション戦略

2050年までにCO₂分離回収コスト1,000円/t-CO₂を目指し技術開発を行う。
 様々なCO₂排出源に対応する分離回収能力を獲得することを目指す。

(参考5) イノベーションによるコスト削減 CO₂分離回収の例



出典: 統合イノベーション戦略推進会議決定、「革新的環境イノベーション戦略」(2020年1月)

◆技術戦略上の位置付け (その1)

■ CO₂回収関連技術の開発の見通し

CO₂分離・回収コスト

高

化学吸収法

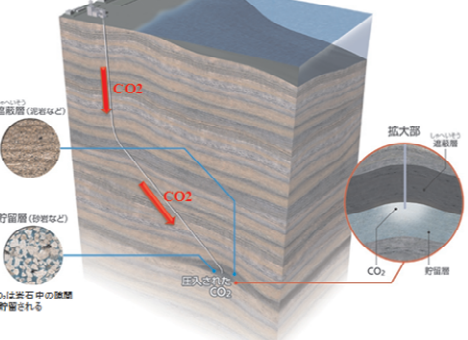


CO₂と液体との化学反応を利用して分離・回収する方法
4200円/t-CO₂

CO₂貯留技術

CCS概念図

工場等



分離・回収したCO₂を地中に貯留する技術
陸域から海底下にCO₂を圧入するCCS大規模実証試験を実施

低

物理吸収法



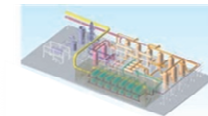
CO₂を液体中に溶解させて分離・回収する方法
2000円台/t-CO₂

固体吸収法



CO₂の固体吸収材を利用して分離・回収する方法
2000円台/t-CO₂

膜分離法

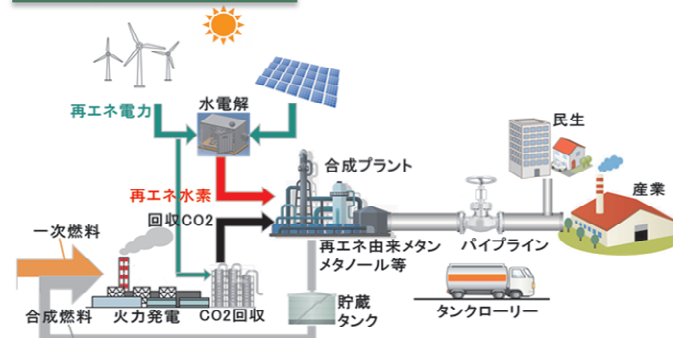


CO₂分離機能を持つ膜を利用して分離・回収する方法
1000円台/t-CO₂

クローズドIGCC

酸素-CO₂ガス化炉とクローズドガスタービンを組み合わせた発電システム
CO₂を分離・回収する工程が不要

CO₂有効利用技術



分離・回収したCO₂を燃料や化学原料等の有価物に変換する技術
再生可能エネルギーの電力を利用して製造される水素と反応させてメタンを製造することでCO₂を資源化

現在

2020年度頃

2030年度頃

※ 図中のコストは様々な仮定に基づき試算したもの。
(経済産業省「次世代火力発電に係る技術ロードマップ/技術参考資料集」を基にNEDO作成)

◆ 技術戦略上の位置付け (その2)

■ カーボンリサイクル技術ロードマップ

- CO₂を資源として捉え、これを分離・回収し、鉱物化や人工光合成、メタネーションによる素材や燃料への再利用等とともに、大気中へのCO₂排出を抑制していく。
- CO₂回収を容易にするためのプロセス技術として、クローズドIGCCの開発を進める。

共通技術

● CO₂分離回収技術

<技術課題>

- 設備・運転コスト及び所要エネルギーの削減
新しい基材（吸収材、吸着材、分離膜）の開発
（選択性、容量、耐久性の向上）
基材の製造コストの低減
プロセスの最適化（熱、物質、動力等） など
- CO₂排出源、用途に応じた分離回収法の選定
- CO₂発生源と需要・供給先を連携させたカーボンリサイクルに適合するCO₂分離回収システムの構築（コプロダクション）
- 輸送、貯蔵

<個別技術>

- 化学吸収法（温度差（現行プロセス））
4,000円程度/t-CO₂
所要エネルギー2.5GJ程度/t-CO₂
- 物理吸収法（圧力差（実証段階））
- 固体吸収法（温度差）（研究開発段階）
- 物理吸着法（圧力差・温度差、大型化の利点少、
選択率、容量、耐久性の向上）
- 膜分離法（圧力差）
- その他、深冷分離法、Direct Air Capture など

<CO₂回収を容易にするためのプロセス技術>

- 酸素富化燃焼・クローズドIGCC
低コスト酸素供給技術の開発
- ケミカルルーピング
低コスト、長寿命の酸素キャリアの開発

2030年のターゲット

- 低圧ガス用（燃焼排ガス、高炉ガスなどからのCO₂分離）
2,000円台/t-CO₂
所要エネルギー1.5GJ/t-CO₂
化学吸収法、固体吸収法など
- 高圧ガス用（化学プロセス、燃料ガスなどからのCO₂分離）
1,000円台/t-CO₂
所要エネルギー0.5GJ/t-CO₂
物理吸収法、膜分離法など
- その他プロセス全体の見直し
クローズドIGCC・ケミカルルーピングなど
1,000円台/t-CO₂
所要エネルギー0.5GJ/t-CO₂

<CO₂分離回収システムの構築>

- CO₂排出源および用途に適合した省エネルギー、
低コストとなるCO₂分離回収のシステム化
- 10,000時間連続運転の実現（耐久性、信頼性の実証）

2050年以降のターゲット

<分離回収実用化>

- 1,000円以下/t-CO₂の達成
- CO₂分離回収システムの耐久性、信頼性の向上
- CO₂発生源と用途先の運用に応じたCO₂分離回収システムの最適化
- CO₂分離回収システムの本格普及

◆本プロジェクトの概要と経緯

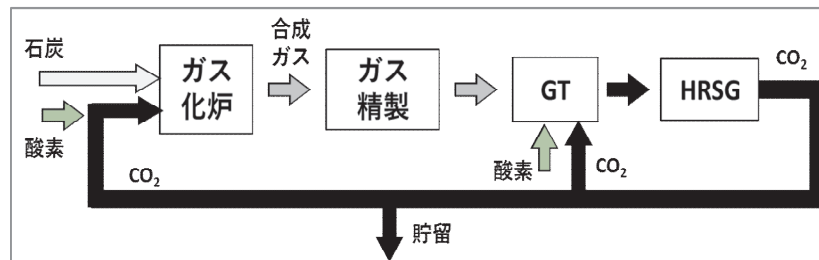
■CO₂回収型クローズドIGCC技術開発 (2015～2019年度) フェイズ1:2008～2014年度

<概要>

IGCCの排ガスを再循環しガス化剤やGT燃焼器の希釈剤などに用いれば、CO₂回収後も高い効率を維持できる。

<2019年度目標(最終目標)>

送電端効率42%_{HHV}を見通すための要素技術を確立する(した)。



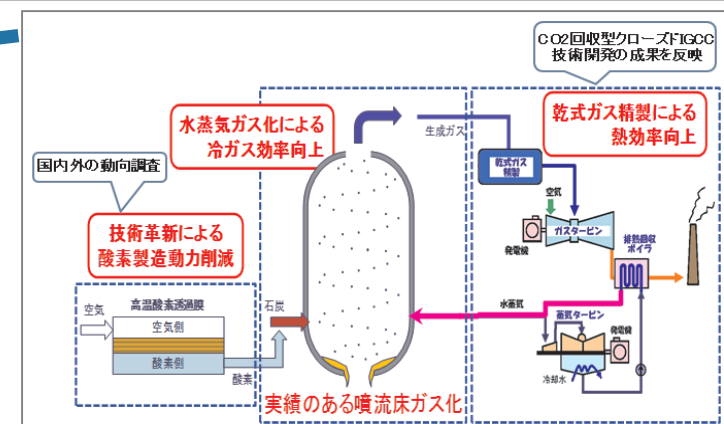
■次世代ガス化技術開発 (2015～2018年度)

<概要>

GT排熱で作った水蒸気で石炭の一部をガス化すれば、酸素供給量が低減され、送電端効率が向上する可能性がある。

<2018年度目標(最終目標)>

水蒸気添加ガス化により既存IGCCを凌ぐ高効率石炭ガス化発電システムの見通しを得る(得た)。



統合・延長

中間評価結果を踏まえ、2018年度から統合

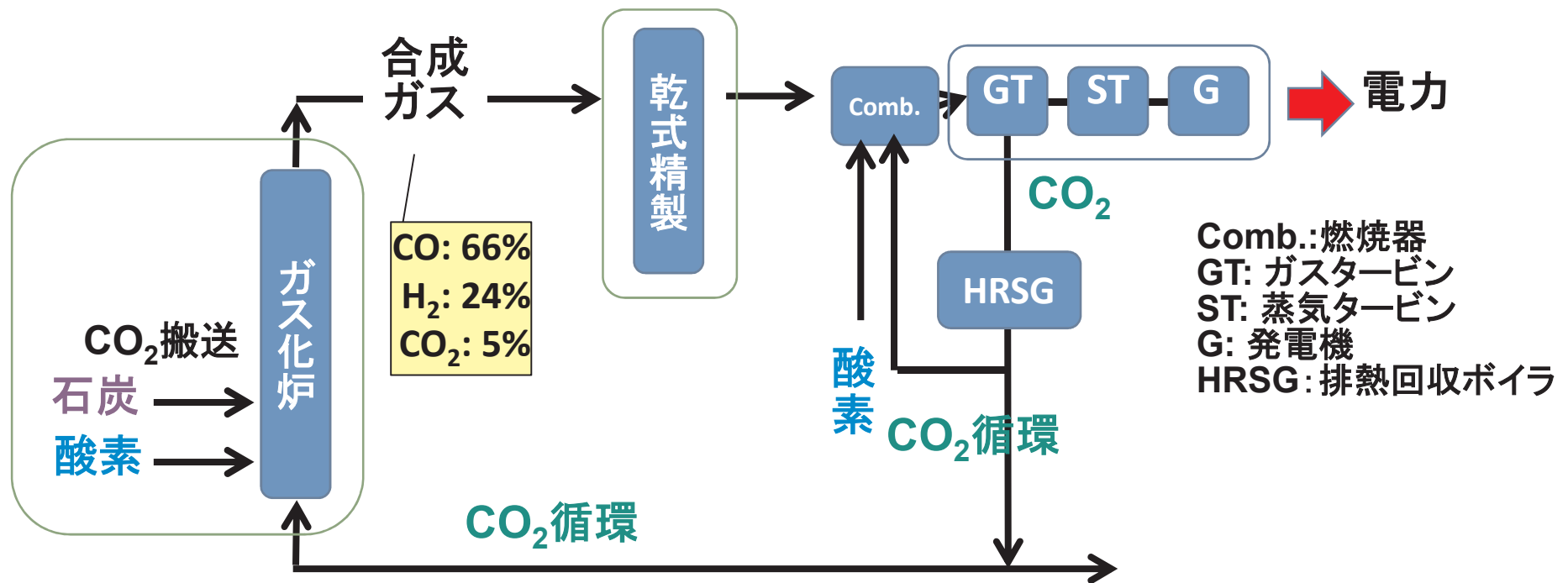
■CO₂回収型次世代IGCC技術開発 (2015～2020年度)

<2020年度目標(最終目標)>

両技術の相乗効果として、CO₂回収型クローズドIGCCの目標効率から更に0.5ポイント程度の向上の見通しを得る。

■ CO₂回収型クローズドIGCCの概要

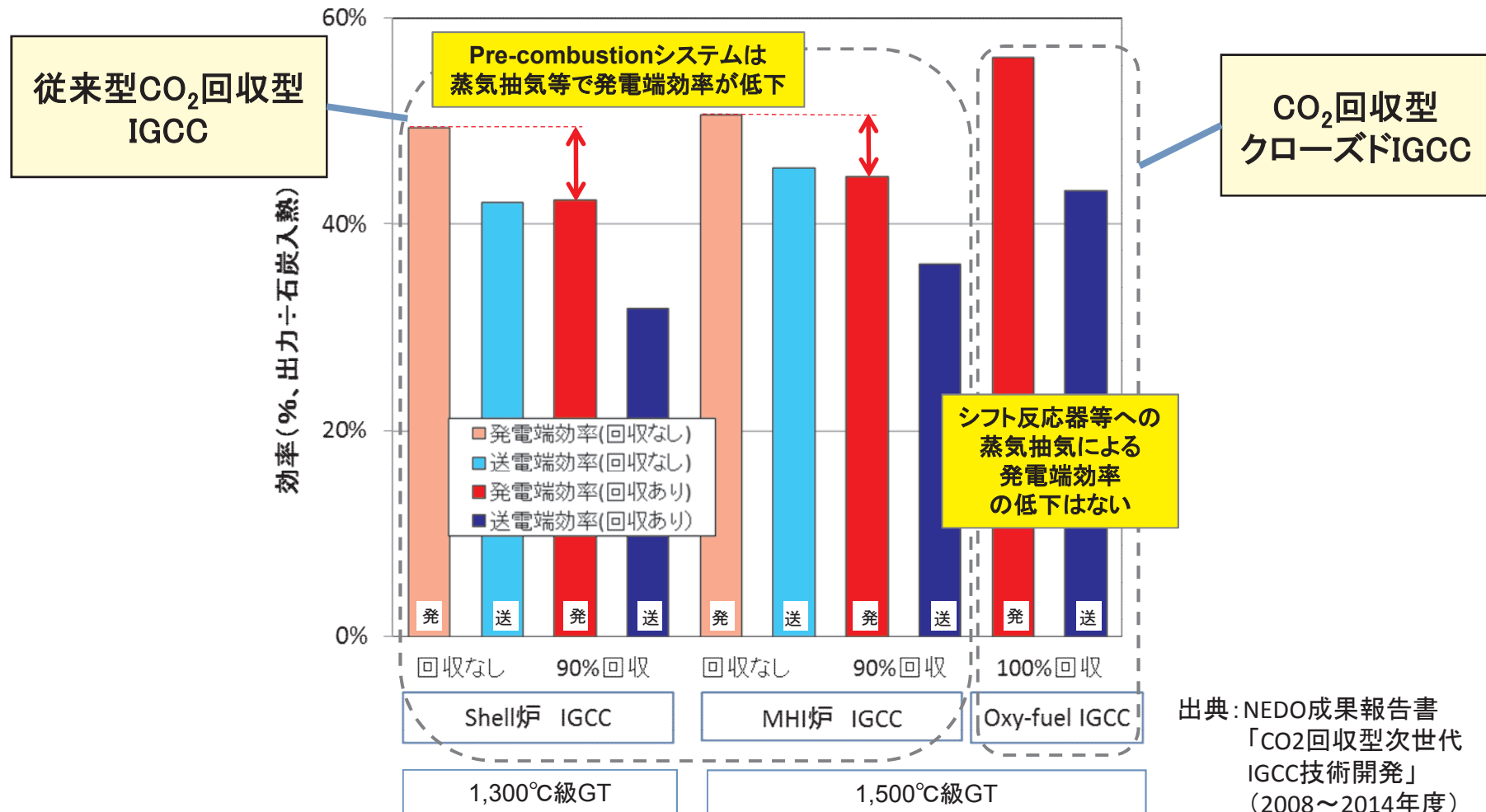
O₂/CO₂ガス化、乾式ガス精製、セミクローズドGTの採用により、CO₂を約100%回収後も送電端効率42%の高い効率が期待できる



■ 従来システムとの発電効率の比較

CO₂回収型クローズドIGCCは、CO₂を約100%回収しつつ、送電端効率42%の高い効率が期待できる。

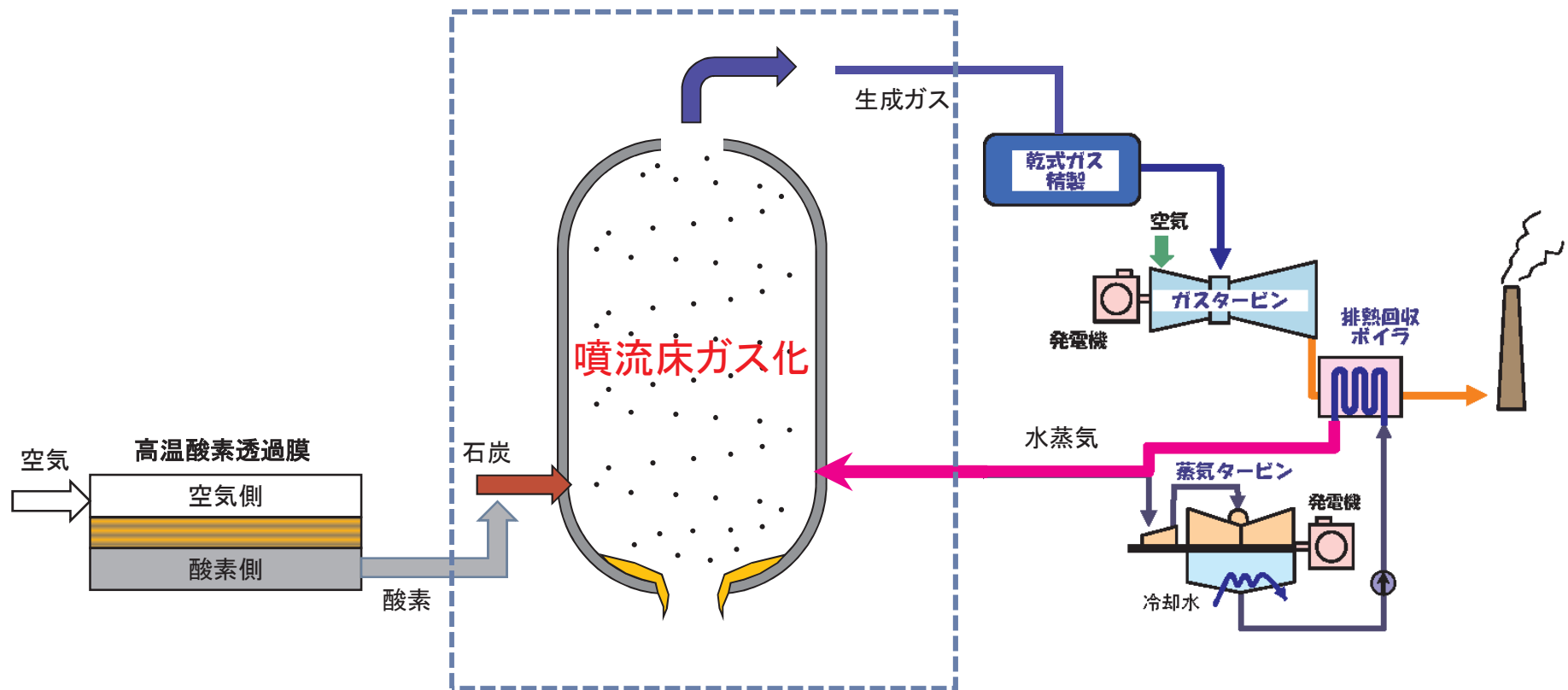
ゼロエミッション型の石炭火力発電の実現に向けた有望なシステム。



出典: NEDO 成果報告書
「CO₂回収型次世代
IGCC 技術開発」
(2008~2014年度)

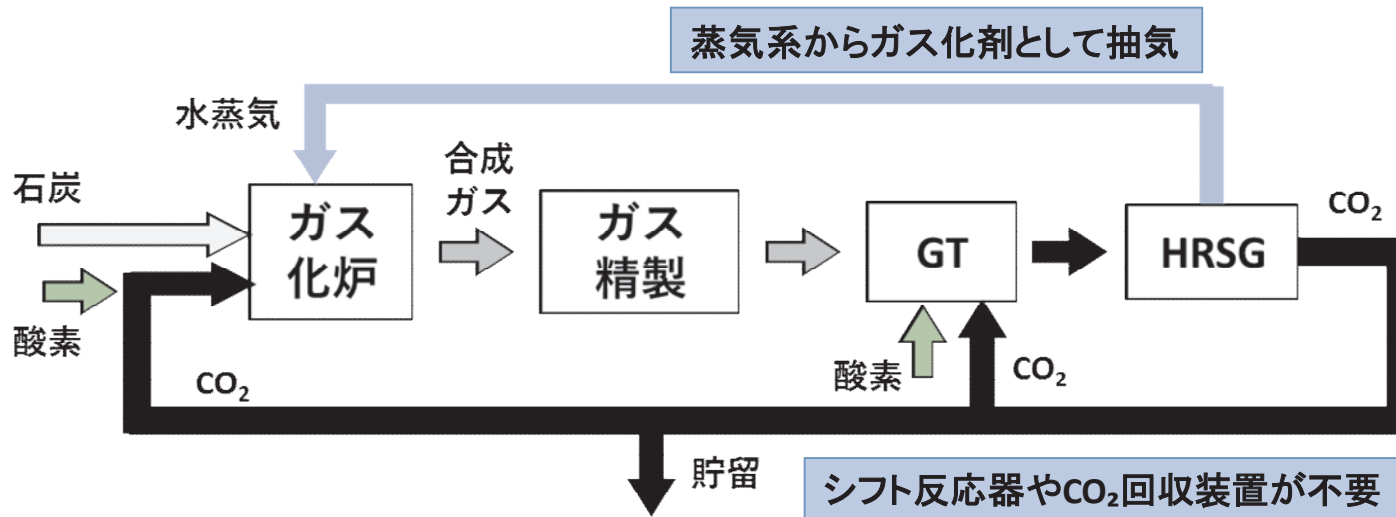
■ 次世代ガス化(水蒸気添加ガス化)の概要

水蒸気添加ガス化による冷ガス効率向上、送電端効率向上

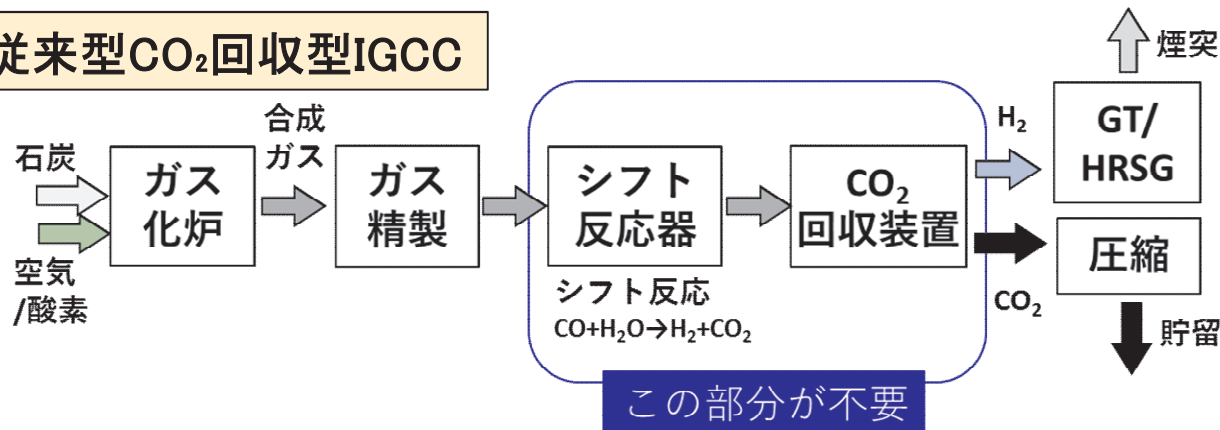


■ CO₂回収型次世代IGCCの概要

CO₂回収型クローズドIGCCに水蒸気添加ガス化を適用することにより、送電端効率の更なる向上が期待できる

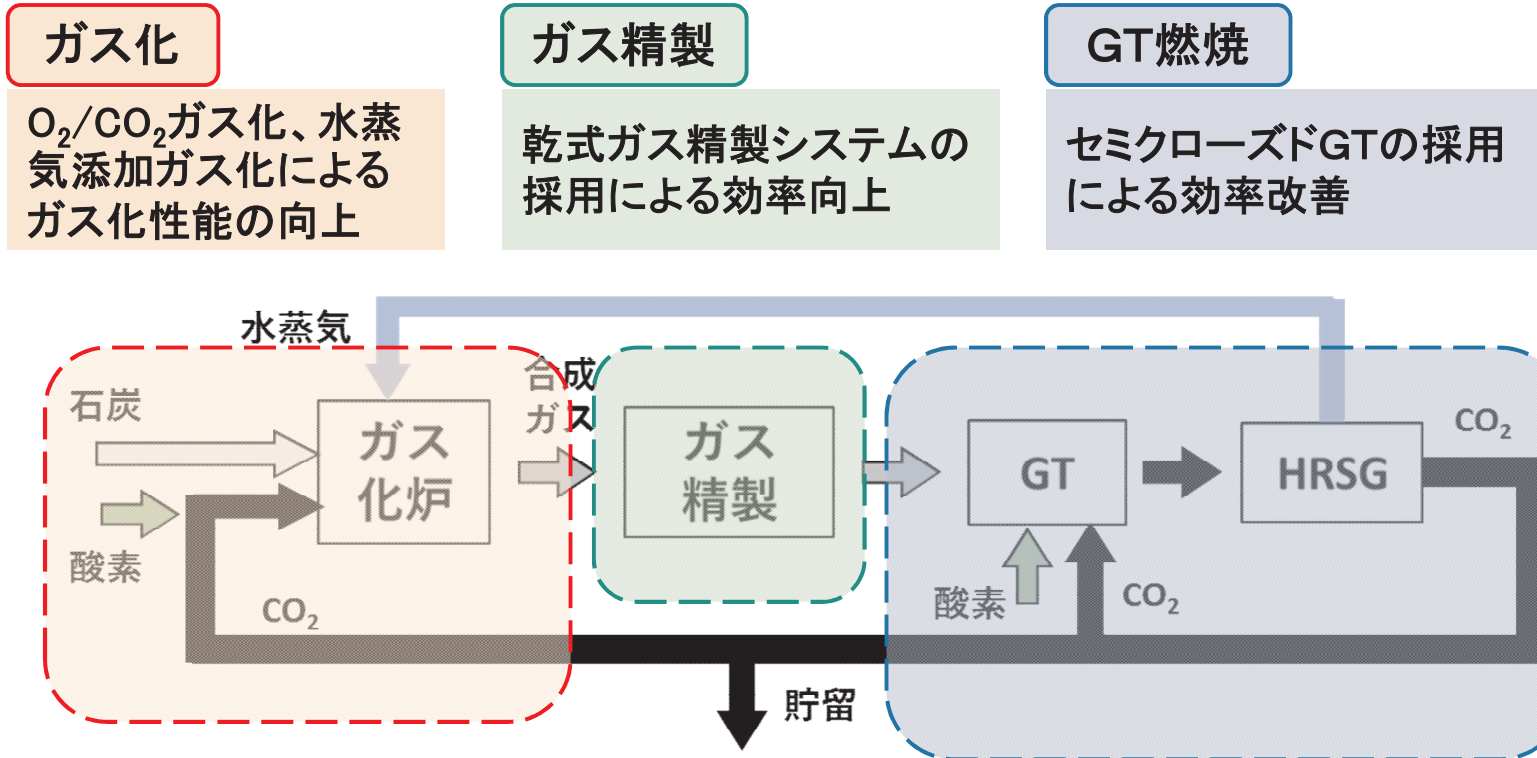


(参考)従来型CO₂回収型IGCC



■ CO₂回収型次世代IGCCの概要

シフト反応器やCO₂回収装置が不要になることに加え



◆ 国内外の研究開発の動向と比較 (その1)

■ 超臨界CO₂サイクル発電システム (Allam Cycle)

➤ 米国では超臨界CO₂サイクル発電システムである**Allam Cycle**の開発に取り組んでいる。

<主な特徴>

- ✓ CO₂回収設備が不要であり、シンプルなサイクル
- ✓ ほぼ100%のCO₂を回収し、直接地中貯留が可能
- ✓ NO_x、SO_xの同時除去技術を採用



- ベースとなる基本コンセプトの研究開発が**天然ガス**を用いて進められており、動向を注視する必要がある。
- **CO₂回収型クローズドIGCC**では石炭を燃料としており、**ガス化、ガス精製技術に注力**。
- Allam Cycleのガスタービン技術が活用できれば以降の開発の効率化が図れる。

<開発動向>

- ✓ 2009年～: 8 RiversにてAllam Cycleの開発に着手
- ✓ 2010年: 実証機向けの設計に着手
- ✓ 2013年1月: 5MWth燃焼器の運転を開始
- ✓ 2016年3月: テキサス州で25MWe実証機(天然ガス焚き)の建設開始(試運転まで含めて\$140mil.のプログラム)
- ✓ 2016年11月1日: 東芝からタービン・燃焼器を出荷
- ✓ 2017年5月24日: タービン・燃焼器含む機器の建設工程を90%完了。フル負荷運転前の予備試験を実施。
- ✓ 2018年5月: 25MWe実証機(天然ガス焚き)の燃焼試験開始(First-fire)
- ✓ 2022年: 300MW級商用機(天然ガス焚き)のPre-FEEDを終え、2022年の初並列を目指し、調整中。

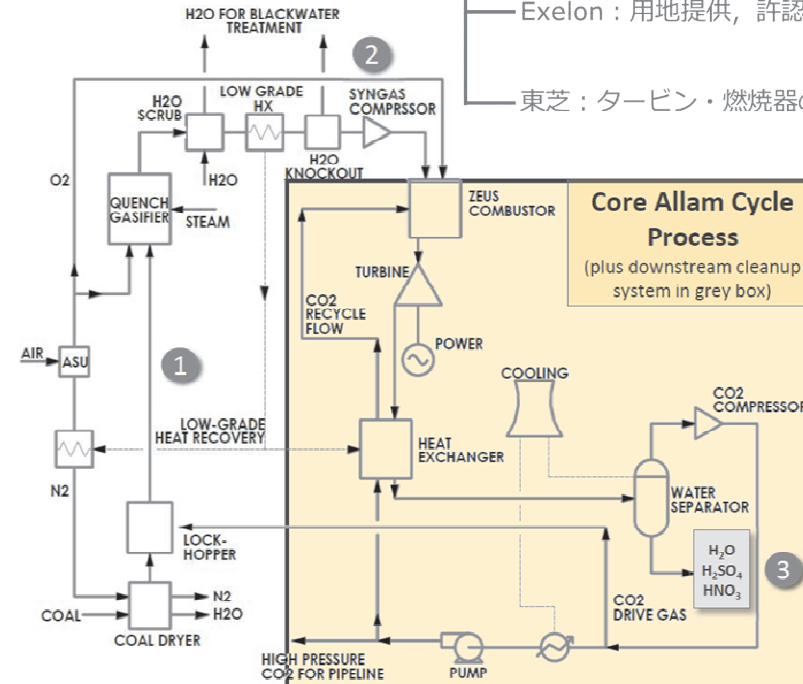
<プロジェクト体制>

Net Power: 全体取纏め, 基本技術所有, システムエンジニアリング

CB&I: EPCサービス提供

Exelon: 用地提供, 許認可取得

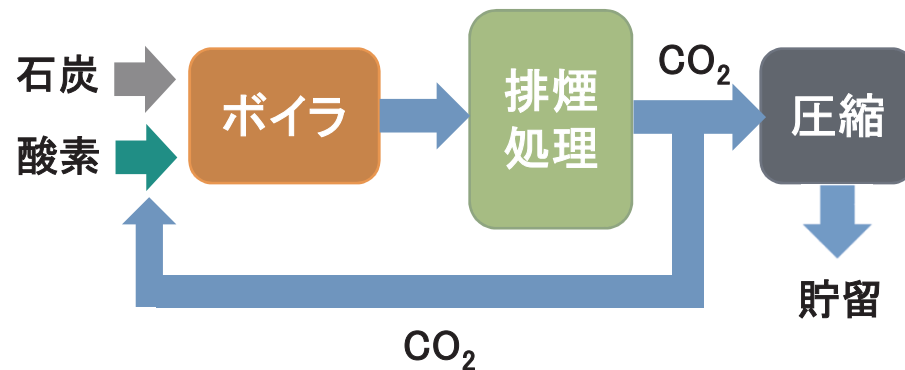
東芝: タービン・燃焼器の開発



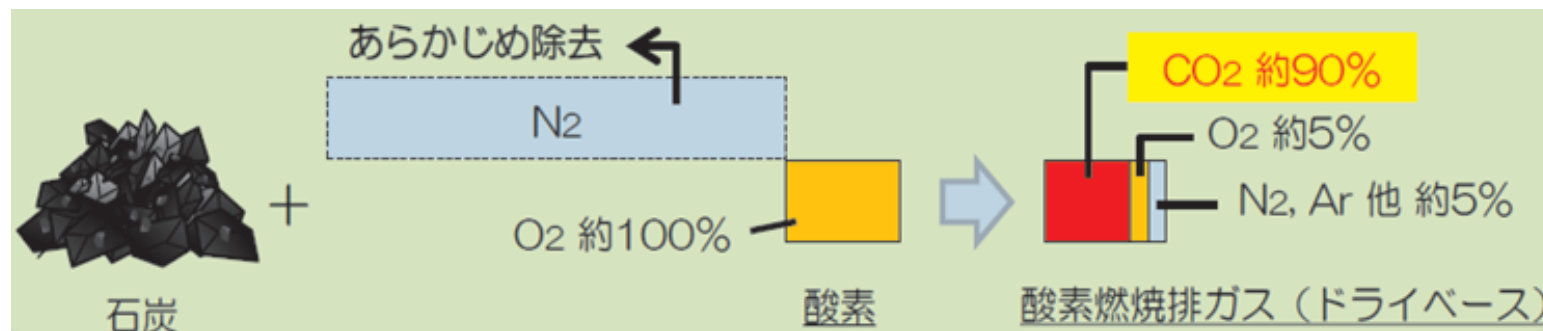
◆ 国内外の研究開発の動向と比較 (その2)

■ 酸素燃焼CO₂回収技術(微粉炭石炭火力発電)

- 酸素とCO₂で石炭を燃焼し、ボイラ排ガスの主成分をCO₂として、CO₂を回収する技術。
- 排ガス中のCO₂濃度は約90%以上となり、また、ガス量が約1/5に削減される。
- 排ガスはそのままCO₂圧縮・回収ができる(CO₂分離回収装置が不要)。

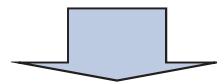


酸素燃焼例 カライドA発電所4号機(豪州)
(出典:カライド酸素燃焼プロジェクトホームページより)



◆NEDOが関与する意義

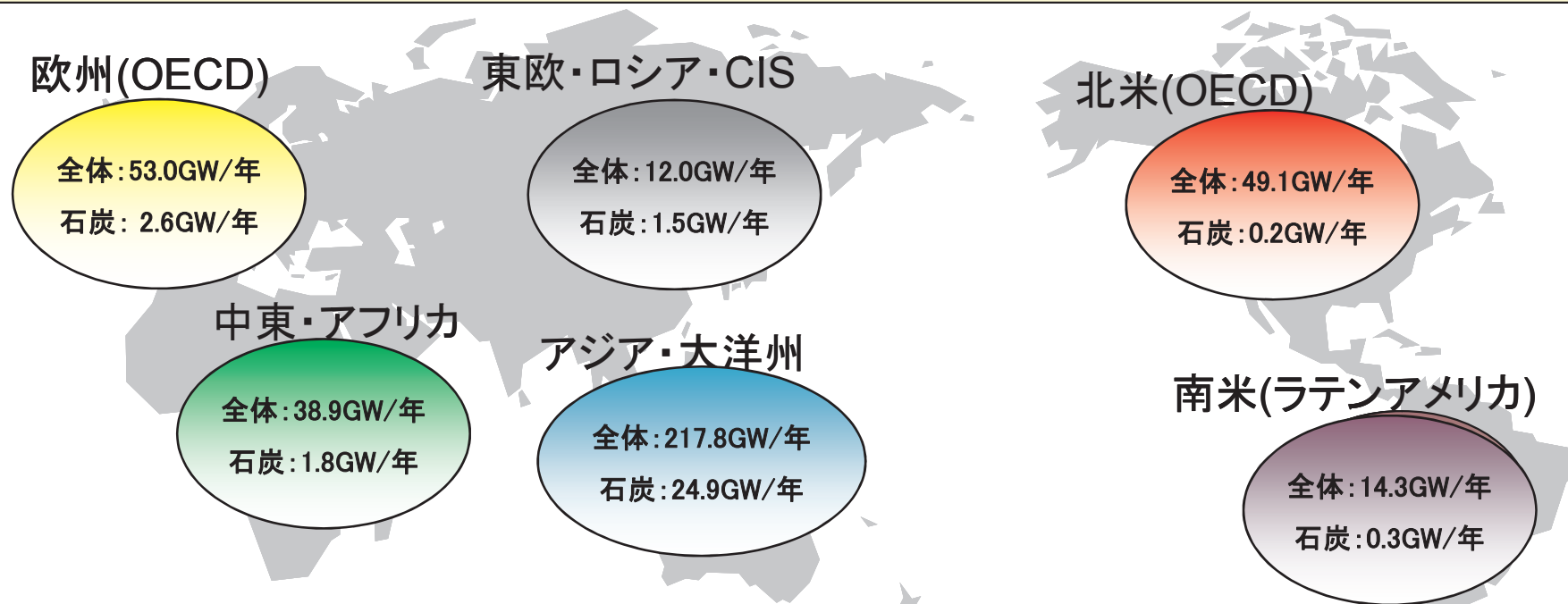
- 「CO₂回収型次世代IGCC」は、O₂/CO₂ガス化、水蒸気添加、及び乾式ガス精製などを適用することにより、CO₂を約100%回収しても高い発電効率が期待できる。⇒社会的必要性が高い。
- 火力発電設備メーカーの海外競争力強化に貢献できる。
- 研究開発の難易度が高く、実用化までのリードタイムが長いことから、民間企業だけではリスクが高い。
- NEDOは、大崎クールジェンプロジェクトなどのIGCC技術開発に関する知見・実績が豊富であり、マネジメント力を活かした産学連携により、事業を推進できる。



NEDOがもつこれまでの知識、実績を活かして推進すべき事業

◆実施の効果（費用対効果）（その1）

石炭火力は2019～2040年にかけて世界全体で約687GW新設（リプレイス含む）され（31.2GW/年）、うちアジア・大洋州が約547GW増加（24.9GW/年）と新設容量の約80%を占める見込み。



上段: 発電設備全体の 신설容量 (GW/年)

下段: 石炭火力の増加 신설容量 (GW/年)

※「World Energy Outlook 2019」に記載の2019年～2040年の 신설容量を基に1年あたりの 신설容量を想定した。

◆実施の効果（費用対効果）（その2）

■ プロジェクト費用の総額(6年間): 約44億円

✓ 国内ターゲット市場

- ・2040年以降の本格導入を想定し、リプレイス需要(1.5GW/年)の内、1/6についてCO₂回収型次世代IGCCが導入されると試算すると、経済効果は**約700億円/年**となる。

※コスト等検証委員会で提示された2030年の石炭火力建設単価28.75万円/kWをベースに試算

(1.5GW/年 × 1/6 × 28.75万円/kW = 約700億円/年)

- ・従来型CO₂回収型IGCC(送電端効率40%)と比較し、CO₂回収型次世代IGCC(送電端効率42.5%)は発電効率が約2.5ポイント向上するため、1基(540MW級、3,400t/日)あたりの**燃料費を約6%(約4億円/年)削減**できる。

※一般炭CIF価格 8,450円/t (2020年6月)をベースに試算

(3,400t/日 × 365日/年 × 0.7(稼働率) × 8,450円/t × 0.06 = 約4億円/年)

✓ 海外ターゲット市場

- ・2019年～2040年にかけて世界全体で687GWが新設(リプレイス含む)され、その内、産炭国の多いアジア・大洋州では24.9GW/年の見込み。
- ・海外への展開時期は2050年代以降となるものの、上記の24.9GW/年をベースに、その内1/6についてCO₂回収型次世代IGCCが導入されると試算すると、経済効果は**約1.2兆円/年**となる。

※「World Energy Outlook2019」に記載の2019～2040年の新設容量を基に試算

◆実施の効果（費用対効果）（その3）

CO₂削減効果の試算(国内想定)

現行USCとの発電効率(送電端効率, HHV以下同)およびCO₂排出量の比較

	発電効率	kWhあたりのCO ₂ 排出量	CO ₂ 排出量 ^{※2}	CO ₂ 削減量	CO ₂ 削減割合
現行USC	40%	0.82kg/kWh	250万t/年	ベース	ベース
IGCC(1,500°C級)	46%	0.71kg/kWh	218万t/年	32万t/年	約13%
IGCC(水蒸気添加ガス化)	48% ^{※1}	0.68kg/kWh	208万t/年	42万t/年	約17%
	発電効率	kWhあたりのCO ₂ 排出量	CO ₂ 排出量 ^{※2}	CO ₂ 回収量	CO ₂ 削減割合
従来型CO ₂ 回収型IGCC	40%	0.08kg/kWh	25万t/年	225万t/年	約90%
CO ₂ 回収型次世代IGCC	42.5%	0 kg/kWh	0万t/年	240万t/年	約100%

※1: 水蒸気添加による効果のみを考慮。乾式ガス精製および酸素製造の高効率化による効果は含まず。

※2: 500MWに適用された場合の排出量を試算

500MW × 8,760時間 × 0.7(稼働率) = 3,066,000 MWh/年

現行USC: 3,066,000,000 kWh/年 × 0.82kg/kWh = 2,514,120 t-CO₂/年 ÷ 250万t/年

◆事業の目標

最終目標（2020年度）

- CO₂回収型クローズドIGCCについては、2019年度までに送電端効率42%（高位発熱量基準）を見通すための要素技術を確立する。
- 次世代ガス化システムについては、2018年度までに既存のIGCC（1500℃級GTで送電端効率46～48%）を凌駕する高効率石炭ガス化発電システムの見通しを得る。
- 両技術の相乗効果として、2020年度までにCO₂回収型クローズドIGCCの目標効率から更に0.5ポイント程度の向上の見通しを得る。

【目標設定根拠】

- 現時点の主力石炭火力USCの送電端効率42%を目標効率として設定し、CO₂回収後も維持できることを目標として定めた。
- IGCCでは、ガス化炉への水蒸気注入により送電端効率が向上する可能性があるため、既存IGCCの送電端効率46～48%を凌駕できることを目標として定めた。

2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

◆ 研究開発のスケジュールと費用

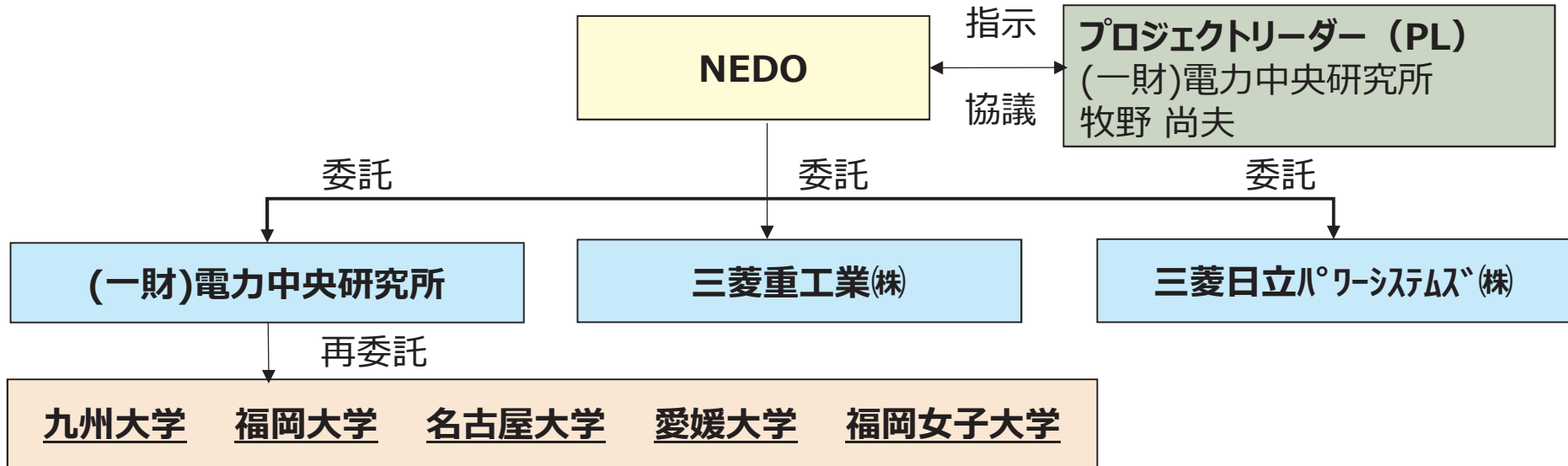
研究開発項目		2015	2016	2017	2018	2019	2020
				◇ 中間評価			◆ 事後評価
クローズドIGCC	①O ₂ /CO ₂ ガス化実証と設計指針の確立	50TPD炉 設備改造 3TPD炉 設備改造			ガス化試験 ガス化試験	設計指針とりまとめ	相乗効果評価
	③炭種適合性評価ツールの構築	スラッグ排出性評価ツール改良		スト生成モデル組込みと3TPD解析による検証	炭種拡大 高精度化		相乗効果評価
	④乾式ガス精製システムの構築	50TPD炉用試験設備の製作 3TPD炉用試験設備の製作			性能評価試験 高圧脱硫試験評価	装置解体調査 水蒸気添加影響評価	
	⑤システム全体検討	試験装置製作	GT燃焼器基礎燃焼試験	実スケール燃焼器性能解析	設計指針とりまとめ		
次世代ガス化	②水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証	3TPD炉 設備改造 リダクタ炉 設計・製作		3TPD炉 試験(水蒸気添加) リダクタ炉 試験(タール挙動把握、相乗効果把握)	商用規模ガス化炉 数値解析		

(単位：百万円)

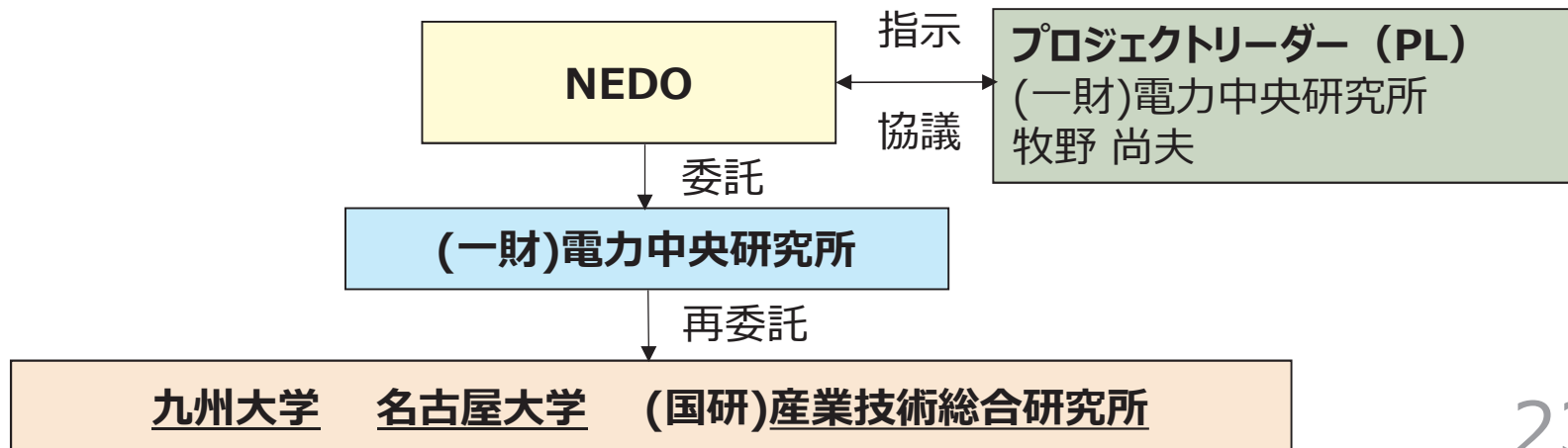
総額	2015	2016	2017	2018	2019	2020
4,434	382	1,627	952	504	684	285

◆ 研究開発の実施体制 (その1)

● CO₂回収型クローズドIGCC技術開発 (2015～2017年度)

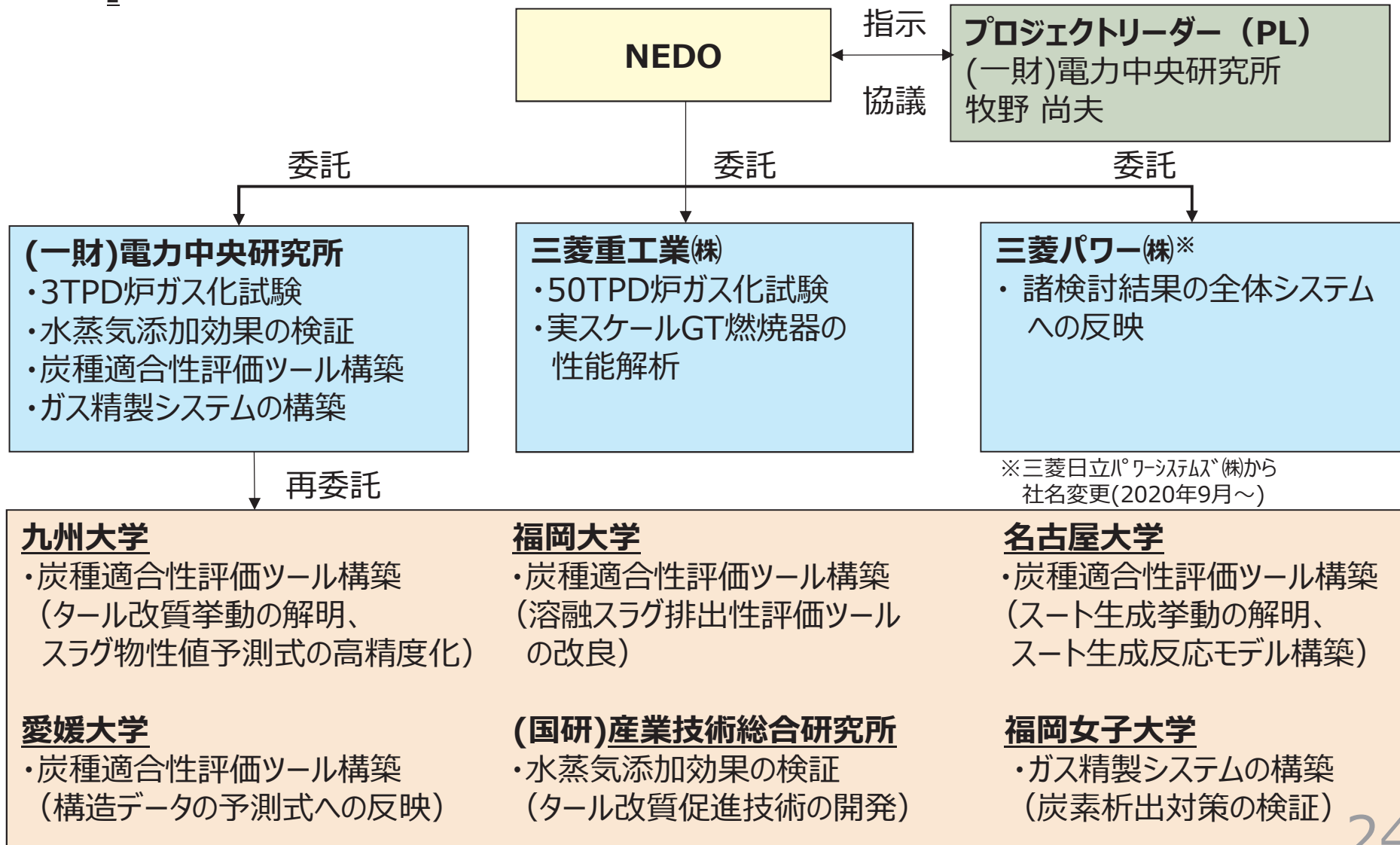


● 次世代ガス化システム技術開発 (2015～2017年度)



◆ 研究開発の実施体制 (その2)

● CO₂回収型次世代IGCC技術開発 (2018年度～2020年度)



◆研究開発の進捗管理

PMによる進捗管理

- PLや実施者と密接に連携し、研究開発の進捗状況を把握した。また、従事日誌、月間工程表、執行管理表および適宜ヒアリング等により実施状況を確認し、目標達成の見通しを常に把握することに努めた。

PLによる進捗管理

- 共同実施者間での打合せや再委託先との打合せを頻繁に行うとともに、それに基づいた情報連絡会および再委託連絡会を定期的に実施し、各研究開発項目の進捗状況、成果および課題を把握し、プロジェクト計画や工程に反映させた。

PM及びPLによる開発技術の活用検討

- 本事業におけるO₂/CO₂吹きガス化技術等の成果を踏まえ、産業用ガス化炉への新たな展開(ポリジェネレーションシステム)を検討した。

◆ 動向・情勢の把握と対応

事業開始(2015年度)以降、下記のような情勢変化があり、本事業の早期実用化が引き続き重要な状況にある。

情勢の変化

- 2018年7月に閣議決定された「エネルギー基本計画」の中で、石炭は安定供給性や経済性に優れた重要なベースロード電源の燃料として再評価されている。
- 2019年6月に閣議決定された「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」の中で、2050年までの温室効果ガスの80%排出削減の実現に向けて、石炭火力発電については商用化を前提に2030年までにCCSを導入することを検討することとしている。
- 2019年6月に経済産業省によって策定された「カーボンリサイクル技術ロードマップ」の中で、CO₂分離回収技術の低コスト化として、1,000円台/t-CO₂を2030年のターゲットとしている。
- 2020年7月3日、梶山経済産業大臣は、非効率な石炭火力のフェードアウトや再エネの主力電源化を目指していく上で、より実効性のある新たな仕組み導入の検討を指示した。
- 2020年7月9日、第47回経協インフラ戦略会議においては、相手国から要請があった場合は、USC以上であって我が国の最先端技術を活用した環境性能がトップクラスの石炭火力発電の導入を支援することとしている。

⇒本事業の早期実用化が引き続き重要である。

◆ 中間評価結果への対応 (その1)

下記は、主な指摘事項に対する対応。

指摘	対応
<p>1 現在主な目標が送電端効率となっているが、ある程度の目途が立った後は、連続運転等の信頼性、設備コスト、炭種適合性などを目標に加味することが望ましい。</p>	<p>設備コスト、炭種適合性についてはこれまでの試験にて検証中である。複数炭種で試験を行い、検証結果を設計指針等に反映させている。 連続運転の信頼性については、フルスペックの実証試験段階において検証を行う予定。</p>
<p>2 全体的に主要目的の実証試験を実施するための設備改造計画が中心となっており、定量的な目標はあまり設定されていない。本格的な実証試験が開始されれば、種々のトラブルも想定されるので、速やかに試運転から本格運転が実施できる準備とモデル解析に必要な条件設定や基礎的なラボ試験による課題抽出に努力して頂きたい。</p>	<p>定量的な目標値は送電端効率として設定しており、達成するための技術開発要素を明確に設定している。クローズドIGCCは2017年度下期より50TPD炉を用いた試験を開始。これまで、シミュレーションやラボ試験の成果を踏まえ、次年度の試験条件等の検討を進めてきた。 事前に種々の予備検討を重ねた結果、試運転から本格運転に速やかに移行し、所期の実証試験を実施することができた。並行して基礎検討によるサポートの準備も進めてはいたが、特にトラブルなく試験が遂行された。</p>

◆ 中間評価結果への対応 (その2)

下記は、主な指摘事項に対する対応。

指摘	対応
<p>3 次世代ガス化については情報発信が少ないように思われる。本技術の先進性・有効性について社会的認知を得るとともに、市場開拓に向けて積極的な情報発信をすべきである。</p>	<p>・情報発信については、国内外の関連する技術会議を活用し対外発表及び情報発信を積極的に行った。2019年度には、日本機械学会 動力エネルギーシステム部門 優秀講演表彰を受賞（電力中央研究所 梅津宏紀）。また、日本エネルギー学会 進捗賞（技術部門）を受賞（電力中央研究所）した。</p> <p>・本技術の先進性・有効性については、今後ユーザである電力に情報提供していきたい。現在、メーカーや電力中央研究所と研究を進めているが、将来的には電力を取り込んで実用化を進めたいと考えている。</p>
<p>4 CO₂回収型クローズドIGCC技術開発と次世代ガス化技術開発について、技術開発成果の相乗効果及び効率化の観点から両プロジェクトを統合するようコメントを受けた。</p>	<p>2018年度から両プロジェクトを統合し、「CO₂回収型次世代IGCC技術開発」を実施。</p> <p>両技術の相乗効果として、CO₂回収型クローズドIGCCの目標効率から更に0.5ポイント程度の向上の見通しを得ることを目標に設定。</p>

◆ 知的財産権等に関する戦略

【基本戦略】

- ◆ ノウハウとして保有する方が有利な技術は出願しない。
- ◆ 知財として確保する方が有利な技術については積極的に特許として出願する。

■ CO₂回収型クローズドIGCC

ガス化システムおよびガス化システムの運転方法、ガスタービン燃焼器および発電システムならびに不純物除去剤の再生システム等のコア技術について権利化に積極的に取り組む。

■ 次世代ガス化システム

冷ガス効率向上のための設計手法や条件設定手法はノウハウとして保有する。ガス化炉構造の改良など設計に関わる技術については権利化に積極的に取り組む。

◆知的財産管理

本プロジェクトにおいて発生する知的財産に関しては、以下の通り。

- 本プロジェクトで得られた知財については、**関係各機関の知財管理部門と連携**し、特許管理、知財管理を進める。
- 「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条(委託の成果に係る知的財産権の帰属)の規定等に基づき、原則として、事業成果に関わる**知的財産権は全て委託先に帰属させる**。

3. 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

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況 (その1)

研究開発項目	最終目標	成果	達成度
①O₂/CO₂ガス化実証と設計指針の確立 a) 50TPD炉ガス化試験による検討	<ul style="list-style-type: none"> ・50TPD炉を用いた炭種変化試験を実施する。また、水蒸気添加によるデータを取得する。 ・取得データを解析してO₂/CO₂吹きガス化炉設計指針をとりまとめる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・O₂/CO₂ガス化試験を行い、石炭性状に応じてガス化炉酸素比等を調整することで、複数の炭種に対しガス化特性(ガス組成、発熱量、スラグ排出性)を評価した。また、水蒸気添加時のデータを取得した。 ・50TPD炉にて取得したデータを基に、従来にないO₂/CO₂吹きガス化炉設計指針をとりまとめる予定。 	△ (2021年2月達成予定)
b) 3TPD炉ガス化試験による検討	<ul style="list-style-type: none"> ・3TPD炉を用いたCO₂濃度変化試験を行う。 ・水蒸気ガス化反応促進技術を加えた相乗効果を確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・3TPD炉でO₂/CO₂ガス化試験を行い、CO₂濃度増加によりガス化反応が促進されることを明らかにした。 ・3TPD炉のO₂/CO₂ガス化試験で水蒸気を添加することにより、ガス化反応が一層促進することを確認する予定。 	△ (2020年12月達成予定)
②水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証 a) 3TPD炉およびリダクタ炉による水蒸気添加効果の検証	<ul style="list-style-type: none"> ・3TPD炉による水蒸気添加ガス化試験を行い、ガス化性能やスラグ排出性を評価する。 ・0.1TPD規模のリダクタ炉を用いた試験により、水蒸気添加ガス化時のタール生成挙動を評価する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・3TPD炉で複数炭種に対して水蒸気添加ガス化試験を行い、スラグの安定排出性を確保しながら、冷ガス効率を向上できる条件を明らかにした。 ・リダクタ炉を用いて水蒸気添加ガス化を想定した試験を行い、生成ガス中タール濃度のガス化条件による違いを明らかとする予定。 	△ (2021年2月達成予定)
b) 数値解析による水蒸気添加方法の適正化	<ul style="list-style-type: none"> ・商用規模ガス化炉内数値解析技術を整備し、商用機ガス化炉における水蒸気添加方法の最適化を検討し、実現可能な冷ガス効率を見積もる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・3TPD炉の三次元数値解析結果を前述②a)の水蒸気添加ガス化試験結果と比較することにより、これまでに改良を進めてきたガス化炉内三次元解析技術の妥当性を確認した。 ・商用規模ガス化炉を対象とした三次元数値解析により、水蒸気混合状況や生成ガス組成などを把握し、適切な水蒸気投入条件の設定により、高い冷ガス効率が見積もれることを確認した。 	○
c) 水蒸気添加噴流床ガス化炉におけるタール改質促進技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・残留タールの低減を図るため、接触改質反応が効果的に進む反応条件を基礎的な実験により明らかにする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・水蒸気やCO₂によるガス化条件、および複数の温度・圧力条件の反応実験を行い、チャー(未燃炭素粒子)の存在により、重質タールと軽質タールがともに低減することを明らかにし、この接触改質効果を予測することが可能となった。 	○

○達成、△達成見込み、×未達

3. 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

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況 (その2)

研究開発項目	最終目標	成果	達成度
③炭種適合性評価ツールの構築 a) 数値解析によるガス化炉内現象の解析精度向上	<ul style="list-style-type: none"> ・O₂/CO₂吹きガス化炉内数値解析について、評価可能な炭種を拡大する。 ・O₂/CO₂ガス化と水蒸気添加の組合せによる相乗効果を検討可能な数値解析コードを構築する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・O₂/CO₂吹きガス化炉を想定した高温高压下に適用可能なチャーガス化反応速度データを拡充し、数値解析コードに組み込み、瀝青炭から褐炭におよぶ9炭種について、ガス化炉内現象(組成、流速、温度の炉内分布等)を踏まえた炭種適合性評価を可能とした。 ・O₂/CO₂ガス化と水蒸気添加の組合せによる相乗効果をガス化炉内数値解析により確認する予定。 	△ (2021年2月達成予定)
b) 炭種によるスラグ排出性評価ツールの構築	<ul style="list-style-type: none"> ・スラグ排出性評価ツールの解析精度向上を図るとともに、物性予測式の予測精度向上と適用炭種拡大を図る。 	<ul style="list-style-type: none"> ・組成調整した模擬スラグを含む高温熔融スラグの物性実測値を蓄積することにより、適用炭種拡大と予測精度向上を図った。一方で、灰の主要元素組成から物性を予測する経験式を構築し、評価ツールに組込んだ。 ・排出性が比較的近い複数スラグの評価を想定し、両者の違いを明示できる手法を提案し、スラグ排出性評価ツールの解析精度向上を図った。 	○
④乾式ガス精製システムの構築 a) 50TPD炉ガス化ガスによる検討	<ul style="list-style-type: none"> ・50TPD炉に乾式酸性ガス除去装置を設置し、性能評価試験を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> ・50TPD炉に併設した乾式酸性ガス除去装置の長時間運転(最長67.5時間)を実施し、実石炭ガス化ガスを用いた乾式ハロゲン化物除去プロセスおよび乾式脱硫プロセスの性能を把握した。 ・乾式脱硫プロセスのサイクル運転時の炭素析出に関し、ハニカム脱硫剤の改良ならびにプラントでの対策として模擬燃焼排ガスを添加した場合の効果を評価した。 ・乾式酸性ガス除去装置を解体し、付着物等を調べて生成ガス中不純物に関する知見を得る予定。 	△ (2021年2月達成予定)
b) 3TPD炉ガス化ガスおよび基礎試験装置による検討	<ul style="list-style-type: none"> ・3TPD炉において高圧脱硫試験設備を用いた性能評価試験を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> ・高CO濃度条件乾式ガス精製評価装置による石炭ガス化模擬ガス試験や3TPD炉抽気ガス試験から、乾式ハロゲン化物除去および乾式脱硫の両プロセスの基本性能を把握した。 ・プロセスの信頼性の視点から、サイクル数が増加した場合の硫黄収支や、高い圧力条件での炭素析出抑制効果などを評価した。 ・脱硫サイクル運転時の再生条件変化に伴う硫黄収支などを調べ、乾式酸性ガス除去プロセスの性能データを拡充する予定。 	△ (2021年2月達成予定)
c) 炭素析出対策の検証	<ul style="list-style-type: none"> ・構築した炭素析出対策について、速度論的な視点からの効果検証を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> ・速度論的な観点から、炭素の析出機構について考察し、鉄の還元によって促進される炭素析出に対して、本システムに組込んだ対策が有効に機能する要因を明らかにした。 	○

○達成、△達成見込み、×未達

3. 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

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況 (その3)

研究開発項目	最終目標	成果	達成度
⑤システム全体検討 a) 単一バーナ基礎燃焼試験による課題の抽出	・炭種やガス化条件の変化を想定した排気循環燃焼試験データを取得し、本システムの課題抽出に資する。	・実機ガス化炉の炭種変化などを想定して燃料ガス組成を変えた排気循環燃焼試験を行い、燃料中NH ₃ から生成するNO _x の濃度の排気循環による影響を予測可能とした。さらに、既存脱硝装置の適用によって回収CO ₂ の一般的な仕様基準を満たすことを明らかとした。 ・燃料ガス組成を変える燃焼試験を行い、循環ガス中CO濃度が回収CO ₂ の仕様基準を満たす当量比を把握し、実機で仕様を満たせることを明らかとした。 ・水蒸気投入を想定した試験データを拡充し、課題抽出に資する予定。	△ (2021年2月達成予定)
b) 実スケールGT燃焼器の性能解析	・1/3スケールモデルでの基礎燃焼試験結果とCFD解析により実機スケール燃焼器の性能を評価する。	・CFD解析技術を200MW規模の実スケール燃焼器へのスケールアップ性能解析へと展開し、炭種を変化させた際の燃焼器出口のガス温度分布、ガス組成、燃焼器メタル温度を予測し、燃料の噴射角度やスワラの旋回角度、耐熱コーティング(TBC)などの対策により開発目標を満足することを確認した。 ・炭種変化において、燃焼器出口CO濃度の低減が可能な最適形状を決定し、設計指針に反映する予定。	△ (2021年2月達成予定)
c) 諸検討結果の全体システムへの反映	・送電端効率42%HHVを達成可能なシステムを構築する。 ・システムにおける不純物低減対策技術の検討を実施する。	・各要素機器の設定条件の妥当性を確認して「現状技術で実現可能なシステム」を構築した。さらに、後述⑤d)において、詳細に送電端効率を検討する「開発要素を含むシステム」の成り立ちについての評価を行った。 ・システムにおける不純物低減対策技術に関する情報を収集し、本システムの構成検討に反映する予定。	△ (2021年2月達成予定)
d) クローズドIGCCの性能および発電コスト試算	・クローズドIGCCシステムに水蒸気添加ガス化促進技術を適用した際の効率向上効果(0.5%程度)を確認する。	・前述③a)によるガス化炉内三次元数値解析結果や前述⑤c)などの成果を反映し、2030年代の商用化を想定した「開発要素を含むシステム」を対象に、送電端効率が目標の42%HHVを上回ることを確認し、その発電コストを評価した。 ・水蒸気添加ガス化技術を適用した際の効率向上効果を確認する予定。	△ (2021年2月達成予定)
e) 次世代ガス化システムのシステム検討	・商用規模水蒸気添加IGCCシステムの送電端効率を試算するとともに、発電コストを評価する。	・水蒸気添加ガス化IGCCを対象に、前述②b)のガス化炉内三次元数値解析結果などを反映した効率解析を行い、水蒸気添加により効率が向上する見通しを得た。また、熱効率の向上が発電コストに及ぼす影響を評価した。	○

○達成、△達成見込み、×未達

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

目標の達成状況（2020年度）

- **CO₂回収型クローズドIGCC**については、O₂/CO₂ガス化実証と設計指針の確立、乾式ガス精製システムの構築等を実施し、諸検討結果による全体システムの最適化を行い、**送電端効率42%**を達成する見通しを得た。
- **次世代ガス化システム**については、水蒸気添加ガス化試験及び各種検討結果により、既存のIGCC（1500℃級GTで**送電端効率46～48%**）を凌駕する高効率石炭ガス化発電システムの見通しを得た。
- クローズドIGCCに水蒸気添加ガス化を組合せた際の**相乗効果**を明らかにするため、その送電端効率の評価を進めている。

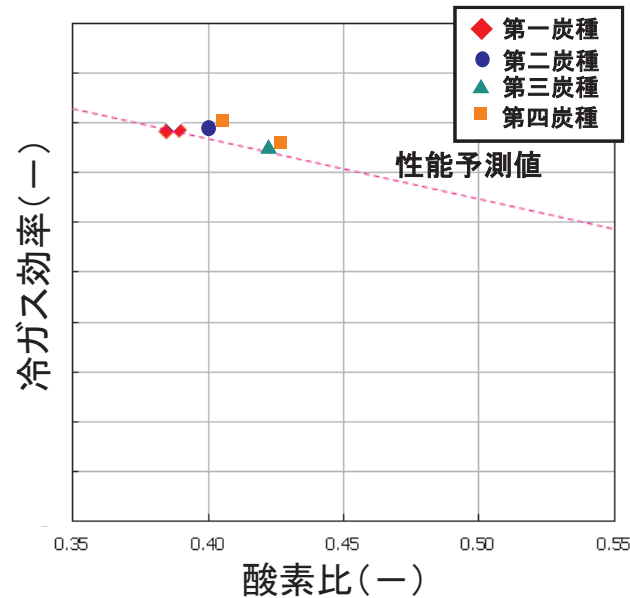
◆各個別テーマの成果と意義 (その1)

① O_2/CO_2 ガス化実証と設計指針の確立

従来にない O_2/CO_2 ガス化の成立性を実証するため、石炭ガス化試験を実施した。50TPD炉(石炭処理量50トン/日規模のガス化炉)では、 CO_2 による石炭搬送性を検証後、炭種変化がガス化反応性などに及ぼす影響を把握するため、燃料比が異なる石炭4種を供試し、石炭性状が変化してもガス化炉酸素比を調整することで安定したガス化性能が得られることを確認し、商用規模ガス化炉の設計指針を確立できる見込み。



50TPD炉試験設備



炭種変化時の O_2/CO_2 ガス化性能

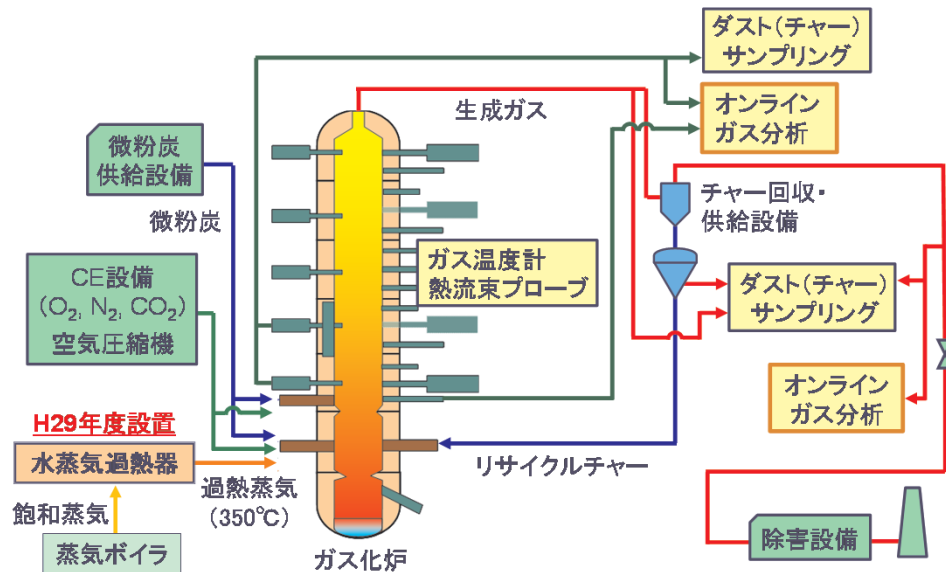


スラグ排出状況
(第一炭種)

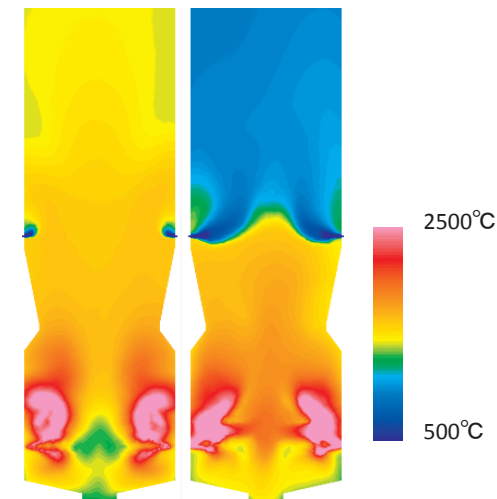
◆各個別テーマの成果と意義 (その2)

② 水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証

3TPD炉(石炭処理量3トン/日規模のガス化炉)を用いて、ガス化炉へ水蒸気を添加することによるガス化反応促進効果を検証した。さらに、この試験結果で妥当性を確認したガス化炉内三次元数値解析技術を用いて、商用規模ガス化炉の炉内現象(組成、流速、温度の炉内分布)を予測し、**水蒸気添加により高い冷ガス効率**が得られることを明らかとした。



3TPD炉の概略系統図
(過熱水蒸気の供給設備を導入)

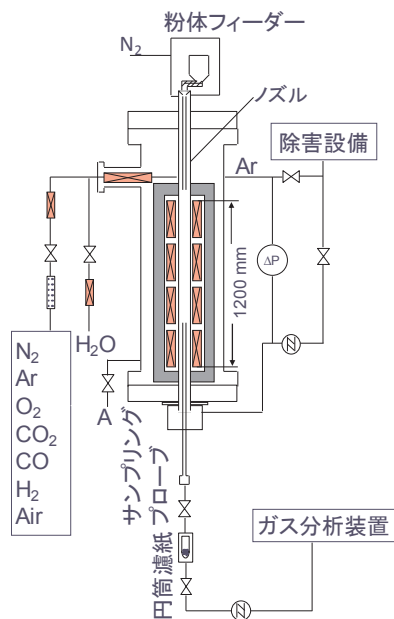


(1)S/C=0 (2)S/C=0.2
水蒸気添加によるガス化炉内温度分布変化(例)
(S/C=投入蒸気量÷投入石炭量)

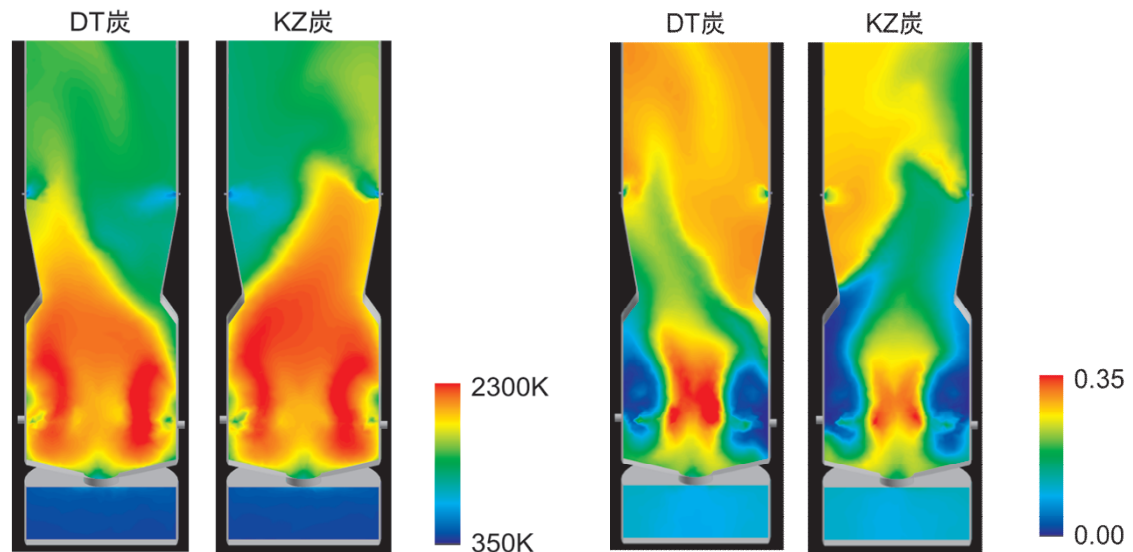
◆各個別テーマの成果と意義 (その3)

③ 炭種適合性評価ツールの構築

瀝青炭から褐炭までの幅広い性状の9炭種(前フェイズを含む)を対象に、基礎実験設備を用いて、 O_2/CO_2 吹きガス化炉を想定した高温高压下に適用可能なチャーガス化反応モデルを作成し、**ガス化炉内三次元数値解析技術による炭種適合性評価を可能とした**。様々な炭種に対し、**商用規模ガス化炉の適正な運転条件での解析を行い、その性能を明らかにした**。



基礎実験設備
(Drop Tube Furnace)



(1)ガス温度分布

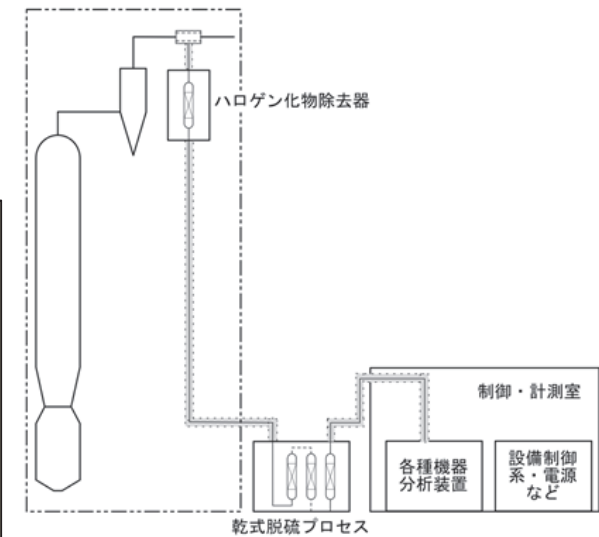
(2)CO濃度分布

炭種によるガス化炉内現象の違い(例)

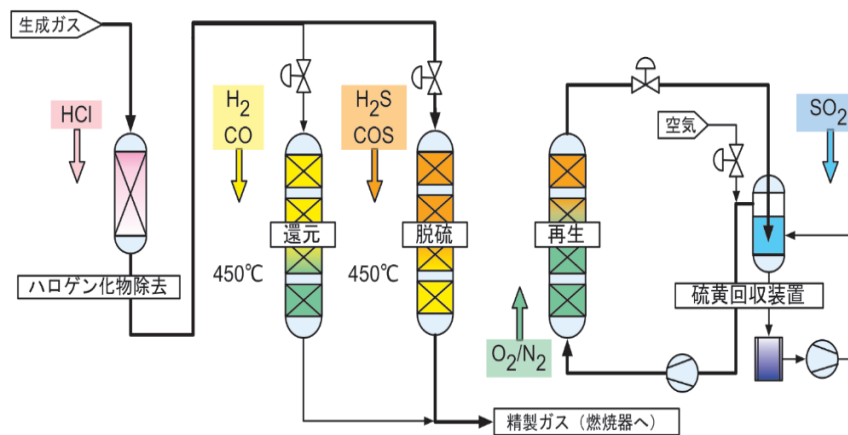
◆各個別テーマの成果と意義 (その4)

④ 乾式ガス精製システムの構築

乾式ガス精製システムは、**高温で硫黄化合物やハロゲン化物を除去**できるため、**クローズドIGCCの送電端効率向上に貢献**するものと期待される。50TPD炉に、**実機を想定した乾式ガス精製試験設備**を設置し、**脱硫・再生・還元**の工程を繰り返しながら**連続約68時間の石炭ガス化実ガス精製試験**を行い、**乾式ガス精製システムとしての性能や操作性を検証**した。これにより、**大型化に向けた設計データを取得**できた。

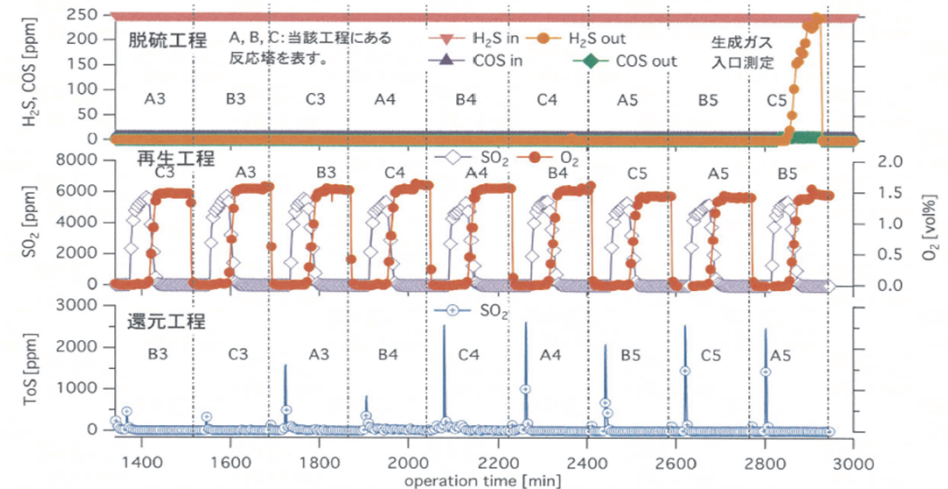


50TPD炉用の乾式ガス精製試験設備の配置図



乾式ガス精製試験設備*のコンセプト

(* : ハロゲン化物除去と固定床3塔方式乾式脱硫プロセス)



50TPD炉抽気ガスによる乾式脱硫試験結果

◆各個別テーマの成果と意義 (その5)

⑤ システム全体検討

- ✓ クローズドIGCCシステムを構成する各機器の設定条件(温度、圧力など)の妥当性を確認し、その結果を基に、各種発電所で適用実績の豊富な熱効率解析プログラム (EnergyWin®)と、本プロジェクトで改良したガス化炉内三次元数値解析技術を連携し、**クローズドIGCCの送電端効率が目標である42%(高位発熱量基準)を上回る見通しを得た。**
- ✓ 従来のIGCCに水蒸気添加ガス化を組合わせた次世代ガス化システムを対象に、ガス化炉内三次元数値解析結果を用いてプラント性能を評価し、**水蒸気添加ガス化の適用により、従来のIGCCよりも送電端効率が高位発熱量基準で2ポイント程度上昇する見通しを得た。**
- ✓ クローズドIGCCに水蒸気添加ガス化を組合せた際の**相乗効果を明らかにするため、その送電端効率の評価を進めている。**

◆ 成果の普及 (その1)

➤ 研究成果の発信

	2015 年度	2016 年度	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	計
論文	4	5	5	3	5	1	23
研究発表・講演	16	14	18	27	20	2	97
受賞実績	3	2	0	0	2	0	7

※2020年8月末現在

◆ 成果の普及 (その2)

➤ 主な受賞実績

■ 2019年度 日本エネルギー学会 進歩賞(技術部門)

「高効率・低環境負荷IGCC 用乾式ガス精製システムの開発」
電力中央研究所

■ 2019年度 日本機械学会 動力エネルギーシステム部門 優秀講演表彰

「3t/日石炭ガス化研究炉を対象とした数値解析－水蒸気添加
ガス化の特性評価－」
梅津宏紀(電中研)

◆ 知的財産権の確保に向けた取組

➤ 出願特許の状況

	2015 年度	2016 年度	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	計
特許出願 (うち外国出願)	1	1	4	4	0	0	10

※2020年8月末現在

➤ 主な出願特許

出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
一般財団法人 電力中央研究 所	特願2019-030900	国内	2019/2/22	出願	不純物除去装置、 乾式ガス精製設 備及び石炭ガス 化複合発電設備	小林 誠 中嶋 朗
三菱重工業株 式会社	特願2019-068331	国内	2019/3/29	出願	燃焼器、燃焼器 システム、及び ガスタービンシス テム	瀧口 智志 中尾 光宏

◆本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

CO₂回収型次世代IGCCシステムに必要な、O₂/CO₂ガス化、水蒸気添加ガス化、乾式ガス精製等に関する要素技術を確立し、それらが石炭ガス化一貫システムや従来型IGCCに活用できること。

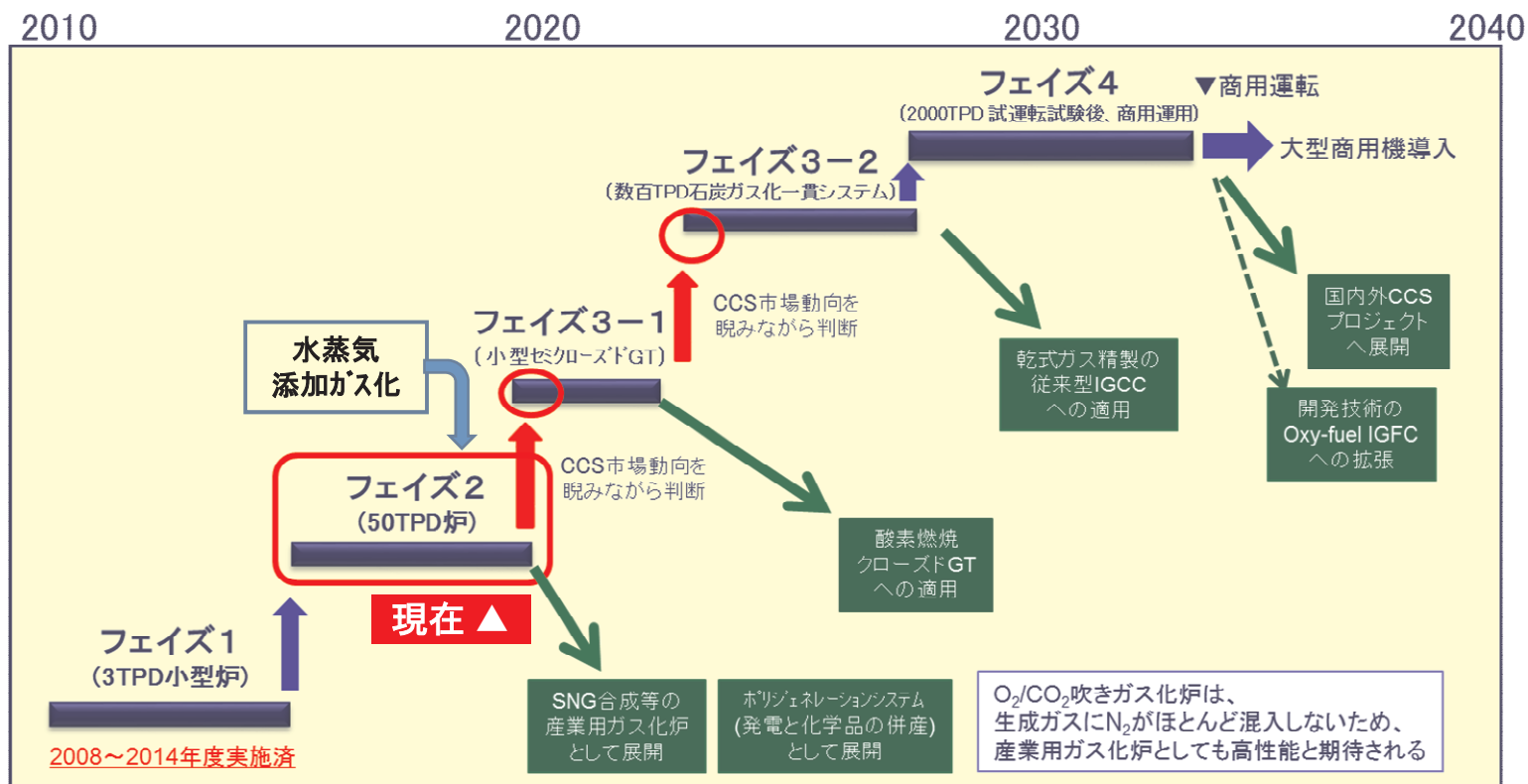
4. 成果の実用化に向けた取組及び見通し (1) 成果の実用化に向けた戦略

◆ 実用化に向けた戦略 (その1)

【フェイズ2】 O_2/CO_2 ガス化、水蒸気添加ガス化、乾式ガス精製等の成果は、**産業用ガス化炉やポリジェネレーションシステム**として展開することで、早期の実用化が期待できる。

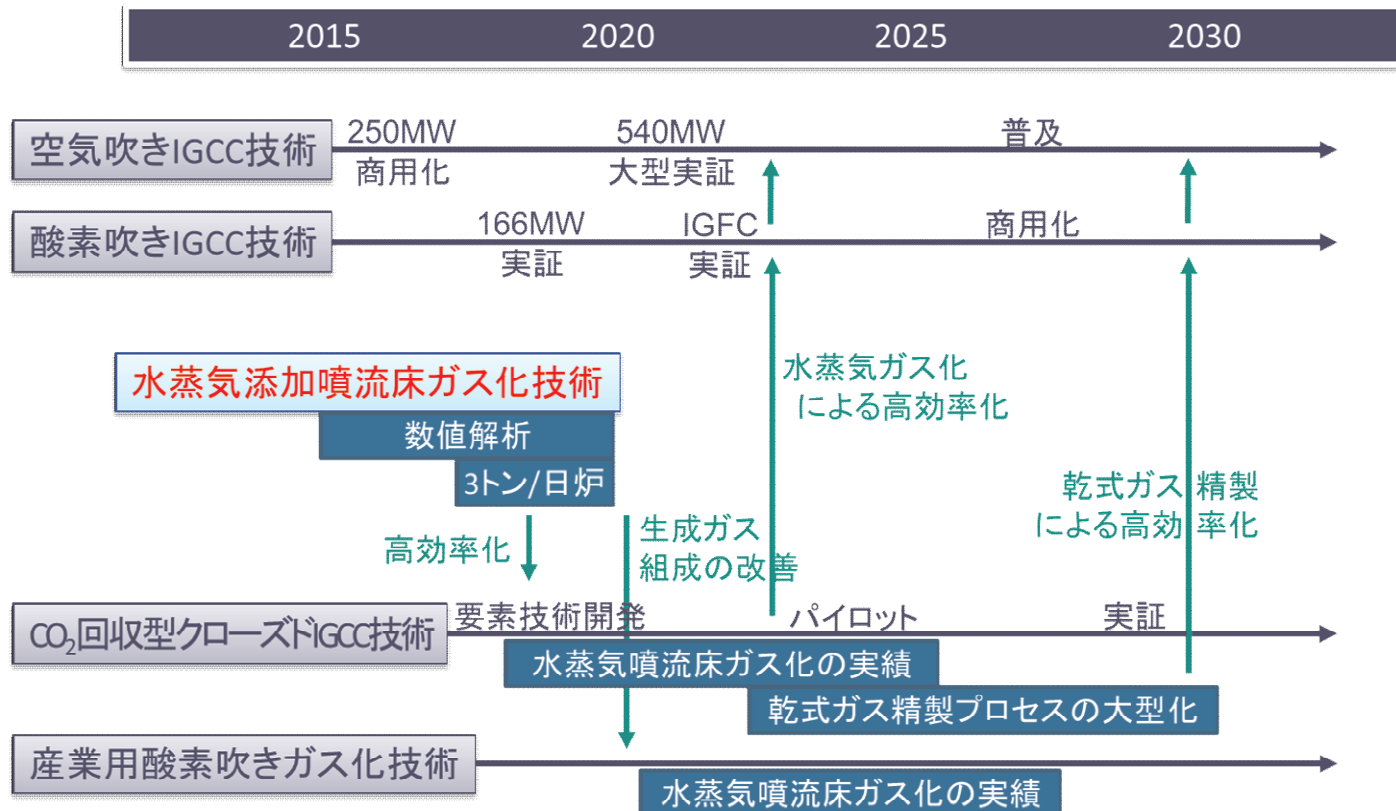
【フェイズ3】 数百TPD石炭ガス化一貫システムによる検証試験後に、**乾式ガス精製の従来型IGCC**への適用を目指す。

【フェイズ4】 2000TPD級の実証機の商用転用を機に、 **CO_2 回収型次世代IGCCの大型商用機**の導入を目指す。



◆ 実用化に向けた具体的取組

- 水蒸気添加ガス化技術については、大型炉で実績を作り、商用規模の各種IGCCへの適用を目指す。
- 乾式ガス精製技術については、大型化と実証を進めることで、2030年代の商用規模IGCCへ適用する。



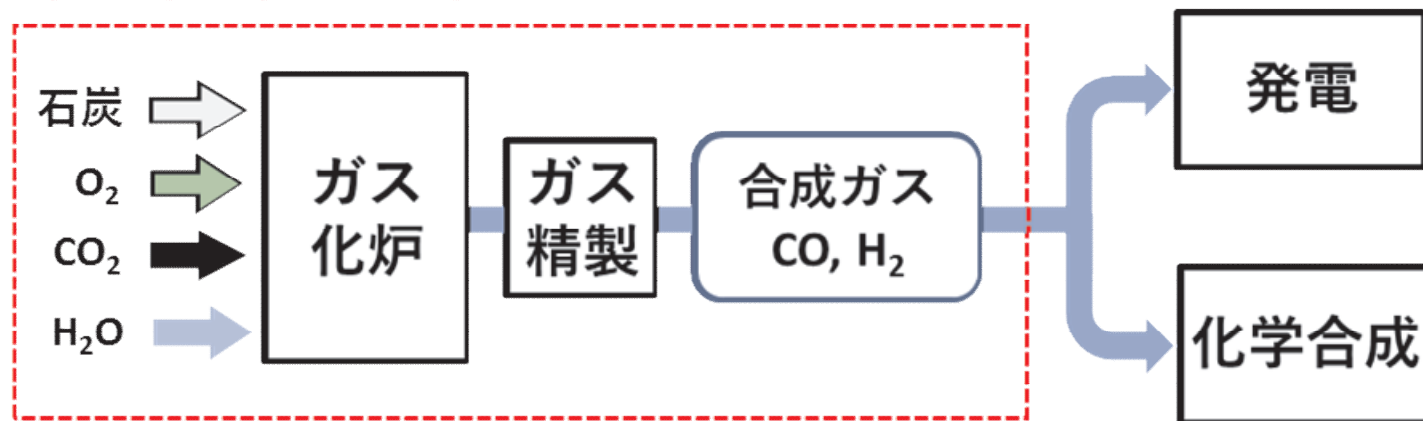
◆ 実用化に向けた具体的取組

■ 産業用ガス化炉への新たな展開

本事業で開発したガス化炉は、合成ガスにN₂がほとんど混入しないため、産業用ガス化炉としても高性能と期待される。

また、**化学合成に適したH₂/CO比率**のガスが得られるとともに、**その比率を調整できる見込み**があることから、化学合成プラントへの展開も期待できる。更に、**発電と化学品を併産**することで、**実質的なCO₂分離・回収コストを低減し**、再エネ導入等に伴う需給調整にも寄与できる、**ポリジェネレーションシステム**への展開が期待できる。

本事業の開発成果



ポリジェネレーションシステムの例

◆ 成果の実用化の見通し

➤ 市場ニーズ

- ・石炭は、新興国を中心に今後も需要が伸びるものとみられているが、その一方で、地球温暖化対策の観点から、CO₂排出量大幅削減に向けたCCUSの導入が求められつつある。
- ・開発したCO₂回収型次世代IGCC技術の採用により、CO₂回収に伴う効率低下の低減、燃料費増加の回避に期待できる。
- ・本技術の海外展開により、二国間協定を通じて、我が国のCO₂排出量削減分としてカウントできるため、環境面で貢献できる。

➤ 競合技術に対する優位性

- ・燃烧前回収技術については、CO₂回収後で40%_{HHV}を目指す技術開発が進められているが、CO₂回収後に42%_{HHV}を上回る高い効率が期待される実用的なシステムは他にみられない。
- ・米国Net Power社、8-Rivers社などがAllam Cycle(超臨界CO₂酸素燃焼IGCC)の開発を進めているが、30MPaに及ぶ高圧システムの耐久性や同時脱硫・脱硝システムの性能など、検証すべき課題がある。
- ・従来型IGCCについては、さらに効率が高い水蒸気添加ガス化技術を採用すれば、燃料費を一層低減できるとともに、CO₂排出量の削減効果も大きい。

➤ 技術確立の見通し

- ・数百TPD石炭ガス化一貫システムによる検証試験を経て、2020年代後半に2000TPD級の実証機を建設し、当該実証機の商用転用を機に大型商用機の導入が可能になると考える。
- ・これに加え、本プロジェクト終了時点で、窒素をほとんど含まない産業用ガス化技術の商用化が、また次フェイズ終了後に、従来型IGCCにも適用できる乾式ガス精製技術の商用化が可能となる。

◆波及効果

➤ 新規雇用の創出

- ・国内の老朽発電所について、2040～2060年の間に約5GW(40万kW級×12基)がCO₂回収型次世代IGCCにリプレースされると推察され、1基のリプレース工事(4年間)で約1千人の新規雇用が創出されると考えると、延べ**約1.2万人の新規雇用**が期待される。

➤ 水蒸気添加ガス化技術、乾式ガス精製技術の実用化促進

- ・水蒸気添加ガス化技術、乾式ガス精製技術は、CO₂を回収しない従来型IGCCの効率向上にも貢献できるため、**従来型IGCCの一層の効率向上**が期待される。

➤ EORへの新規海外展開

- ・海外ではEOR (Enhanced Oil Recovery: 原油増進回収法)向けに、CO₂が20ドル/t-CO₂程度で取引されている。CO₂回収型次世代IGCCのCO₂分離・回収コストは1,000円台/t-CO₂が見込めるため、**EOR向けに展開**することも期待できる。

➤ 国内科学技術の発展

- ・本プロジェクトは、一部の技術開発において、再委託による大学研究者からの支援により、開発を加速化している。こうした連携により、石炭科学関連、化学工学関連、CFD技術関連の国内基盤技術発展を通じて、**日本の研究力向上**に貢献している。