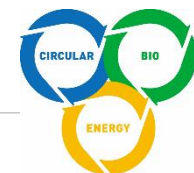


# 石炭ガス化燃料電池複合発電 実証事業

**NEDO環境部 次世代火力・CCUSグループ**  
**戸島 正剛**

2020年度成果報告会

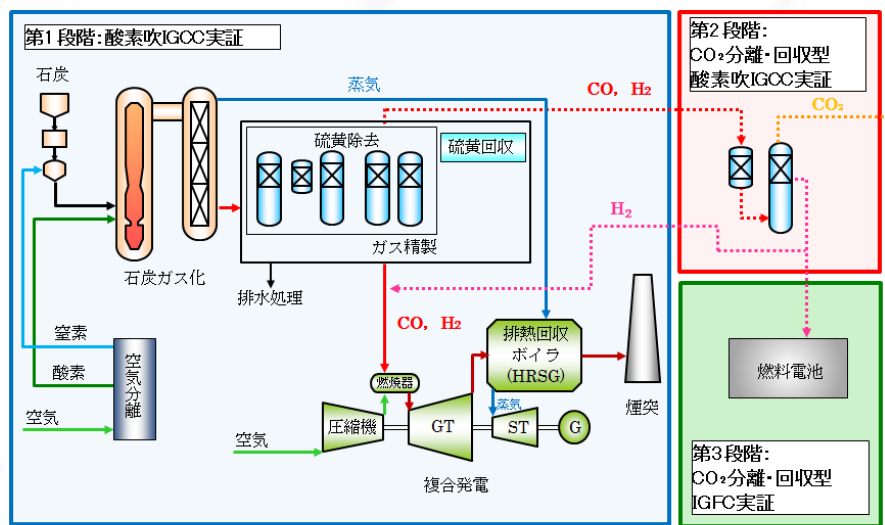
# 次世代火力発電技術ロードマップの概要



# 石炭ガス化燃料電池複合発電 (IGFC) 実証事業

- 石炭ガス化複合発電 (IGCC) に燃料電池を組み合わせたIGFCは、究極の高効率石炭火力発電技術と位置づけられている。
- NEDOは、**世界初の試み**となる商用規模の燃料電池とCO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCCを組み合わせたIGFC実証事業を**大崎クールジェン株式会社**(\*)と実施している。
- 酸素吹IGCC実証試験を2018年度に終了。CO<sub>2</sub>分離・回収を組み合わせたCO<sub>2</sub>分離・回収型IGCC実証事業を実施中。IGFC実証試験は2022年度に実施予定。

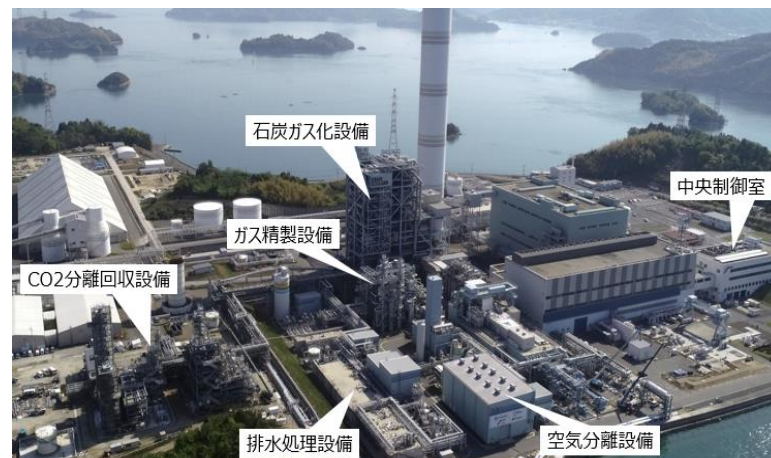
\* 中国電力(株)と電源開発(株)の共同出資会社



※石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業にはCO<sub>2</sub>輸送及び貯留試験は含まれていない。

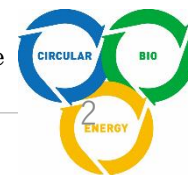
年度	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
第1段階 酸素吹IGCC実証	▶											
第2段階 CO <sub>2</sub> 分離・回収型 酸素吹IGCC実証					▶							
第3段階 CO <sub>2</sub> 分離・回収型 IGFC実証								▶				

技術確立時期：2025年度頃  
CO<sub>2</sub>排出原単位：590g-CO<sub>2</sub>/kWh程度  
送電端効率：55%程度

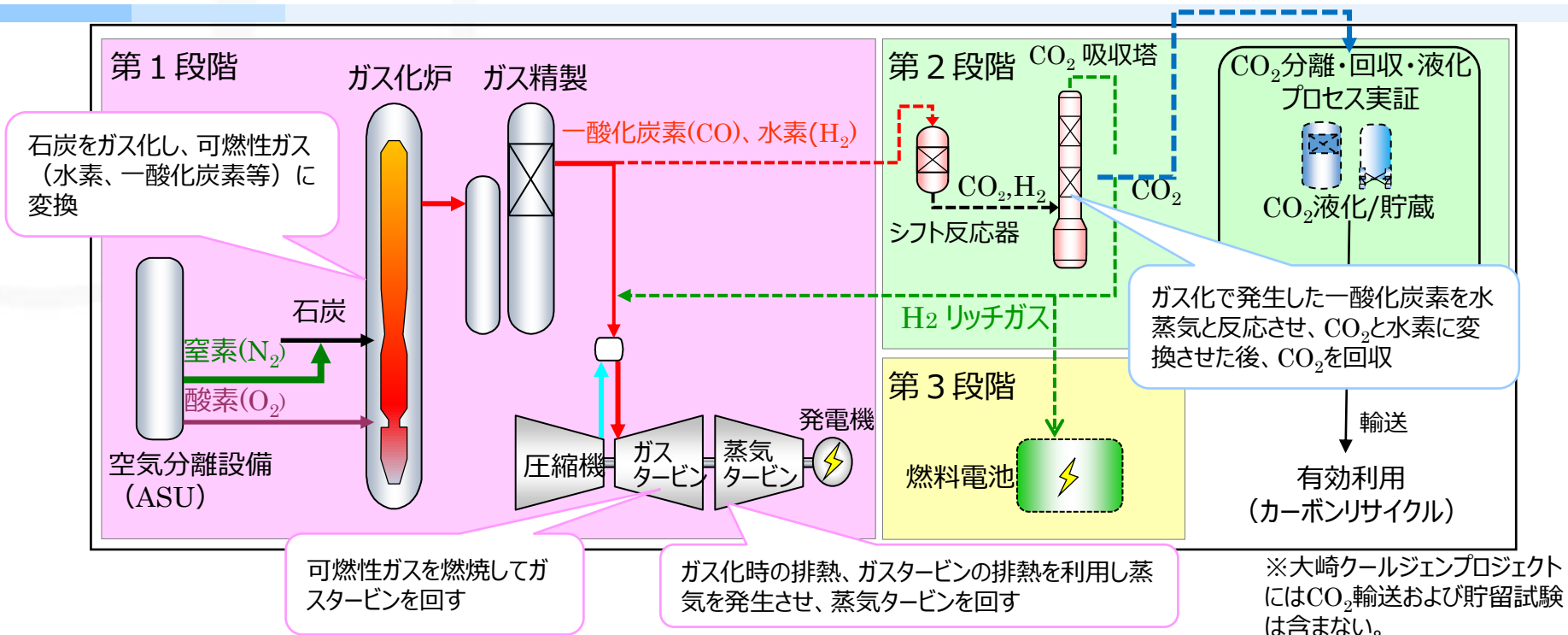


出典：大崎クールジェン株式会社

IGCC : Integrated Coal Gasification Combined Cycle  
IGFC : Integrated Coal Gasification Fuel Cell  
Combined Cycle



# 実証事業の概要 (第1段階, 第2段階, 第3段階)



## 第1段階：酸素吹IGCC実証

(2012年度～2018年度)  
IGFCの基幹技術である酸素吹石炭ガス化複合発電（酸素吹IGCC）の実証試験

## 第2段階：CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCC実証

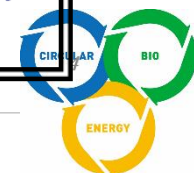
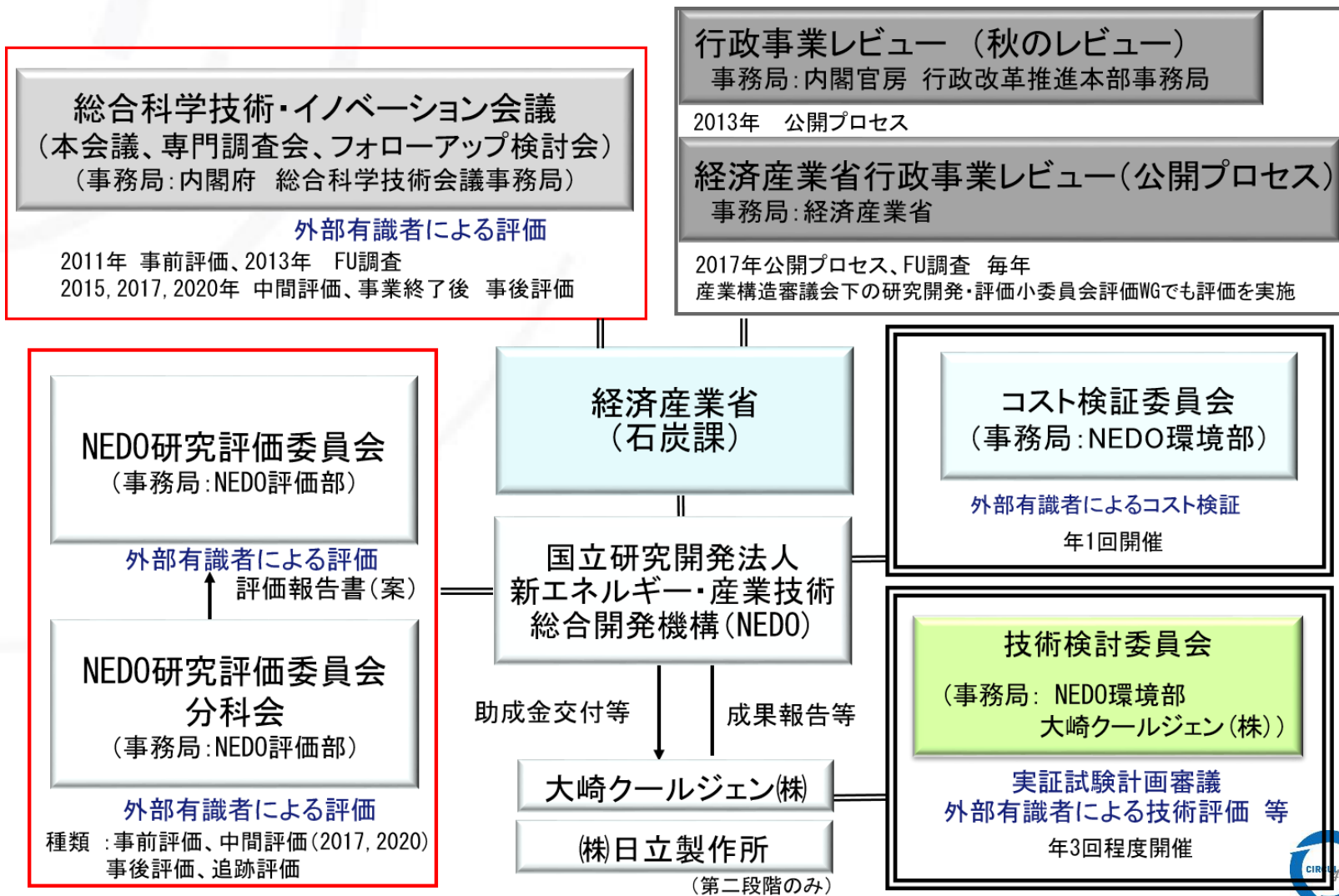
(2016年度～2022年度)

- ・酸素吹IGCC実証試験設備とCO<sub>2</sub>分離・回収設備を組み合わせた実証試験
- ・CO<sub>2</sub>分離・回収設備を追加した場合のIGCC運用性の実証
- ・CO<sub>2</sub>分離・回収と組み合わせたCO<sub>2</sub>液化プロセスの構築
- ・CO<sub>2</sub>分離・回収負荷変動応答性評価、運用性向上

## 第3段階：CO<sub>2</sub>分離・回収型IGFC実証

(2018年度～2022年度)  
石炭ガス化ガスの燃料電池への利用可能性を踏まえた最適な石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）システムの実証試験

# 事業の運営体制





- ・現段階での成果達成状況を見る限りでは、今後の**最終目標の達成が十分に期待される**レベルにある。
- ・最終的な商用機の構成のプロセス概念設計を行って想定される効率を試算し、そこから遡って現在の実証機の目標を定めるという手法が使われており、**目標設定方法は妥当**と思われる。
- ・実用化に向けては、再生可能エネルギーの大量導入に向けた負荷追従性、起動・停止を繰り返す能力、耐久性も求められるが、こういった運用方法についても実証の対象とされており、**実用化・事業化に向けた取組みがなされている**と判断される。
- ・定格運転時の目標値を達成するだけでなく、実証試験を通して**実運用における性能向上**を図るとともに、**運用上のノウハウ**を少しでも多く積み上げていくことが期待される。
- ・今後の目標値設定に当たっては、**情勢の変化に合わせて弾力的に対応**し、客観的かつ定量的な評価を受けることができるよう意識して情報発信を行ってほしい。
- ・本プロセスが社会実装されるためには、発電事業として成立するだけでなく、ここで回収されたCO<sub>2</sub>に関し、実行可能で合理的な取り扱いができることが求められるため、**他事業で取り組んでいるCCUSとの連携を加速**していくことも重要である。

# 大崎クールジェンプロジェクトの進捗状況



# 酸素吹石炭ガス化技術開発経緯

大崎クールジェンではEAGLEプロジェクト※  
で蓄積してきた技術知見を活用する。



商用機へ

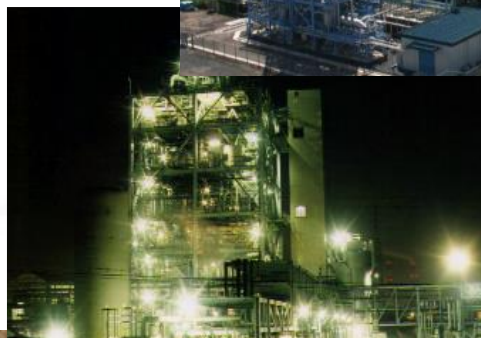


大崎実証試験 166MW  
(1,180t/d/FY 2016～ @大崎上島)

×8

EAGLEパイロット試験

(150t/d/FY 2002～2013 @北九州)



×3

HYCOL試験

(50t/d/FY 1991～1993 @袖ヶ浦)

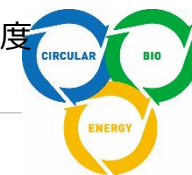
PDU試験

(1t/d/FY 1981～1985 @勝田)

第一産業技術総合開発機構

※「多目的石炭ガス製造技術開発」1998～2009年度  
(NEDO/電源開発共同研究)

「革新的CO<sub>2</sub>回収型石炭ガス化技術」2010～2013年度  
(NEDO/電源開発/日立共同研究)



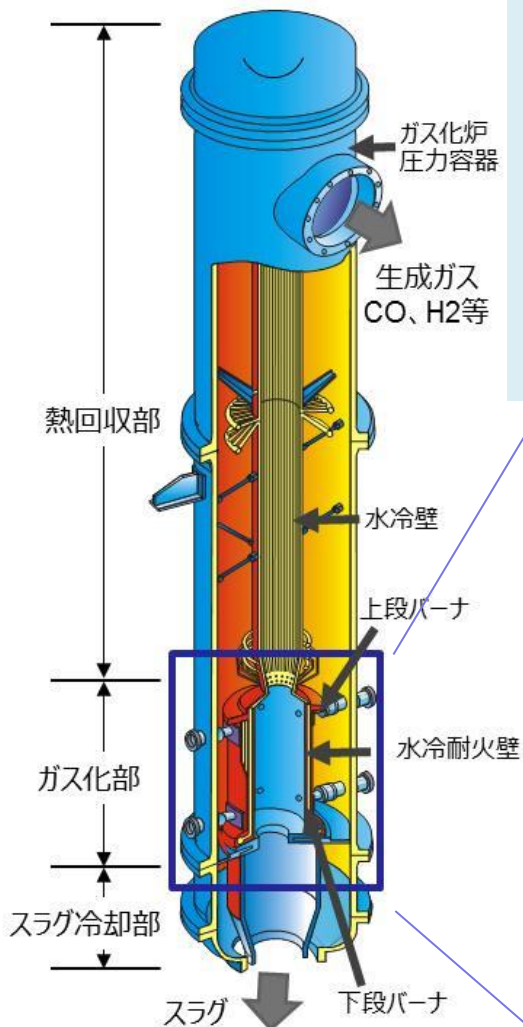


# 世界の酸素吹IGCCとの比較

プロジェクト名称	Buggenum	Wabash River	Puertollano	Tampa	Edwardsport	Tianjin (GreenGen)	Taeon	大崎 クールジェン
プロジェクト国	オランダ	アメリカ	スペイン	アメリカ	アメリカ	中国	韓国	日本
ステータス	閉鎖	中止	閉鎖	停止中	商用運転中	停止中	実証運転中	実証運転中
運転開始時期	1994年1月	1995年10月	1997年12月	1996年9月	2013年6月	2012年12月	2016年8月	2017年3月
ガス化炉	Shell炉	Dow (E-Gas)炉	PRENFLO 炉	GE (Texaco)炉	GE炉	TPRI炉 (HCERI炉)	Shell炉	EAGLE炉
	1室1段	2室2段	1室1段	1室1段	1室1段	2段2室	1室1段	1室2段
石炭処理量 (t/日)	2,000	2,600	2,600	2,300	4,100	2,000	2,670	1,180
連続運転時間	3,291時間	1,848時間	954時間程度	2,500時間程度	1,700時間程度	3,917時間	1,995時間	<b>2,168時間</b>

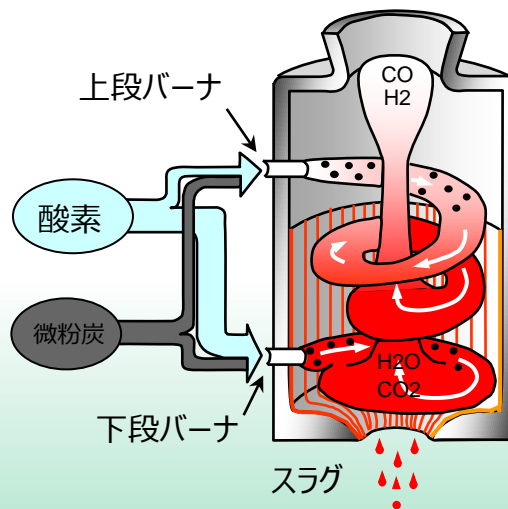
# 大崎クールジェンガス化炉の特徴

ガス化炉の構造

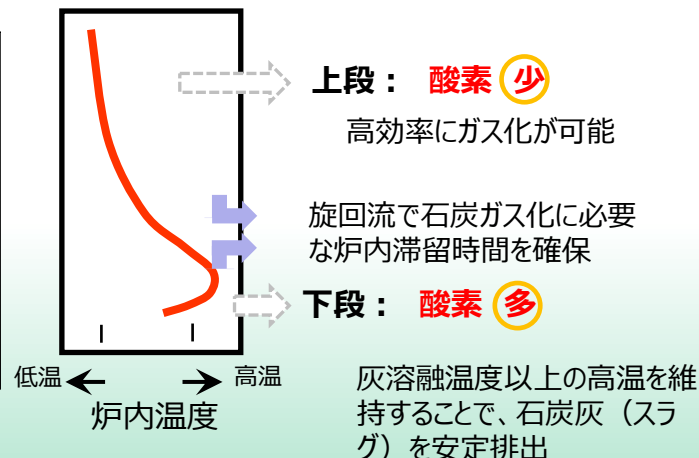


- ガス化部に上下2段の石炭バーナを配置した“1室2段旋回流方式”を採用
- 上段部と下段部の酸素供給量を適切に制御することで、「高いガス化効率（＝高い発電効率）」と「スラグの安定排出」の双方が実現でき、低灰融点炭に限らず高灰融点炭でも高効率にガス化することが可能
- 酸素吹ガス化炉であるため、生成ガス中に $N_2$ が少なく空気吹に比べて燃料成分（ $CO$ 、 $H_2$ ）の割合が高い（発熱量が高い）

ガス化部の概念図



温度分布図

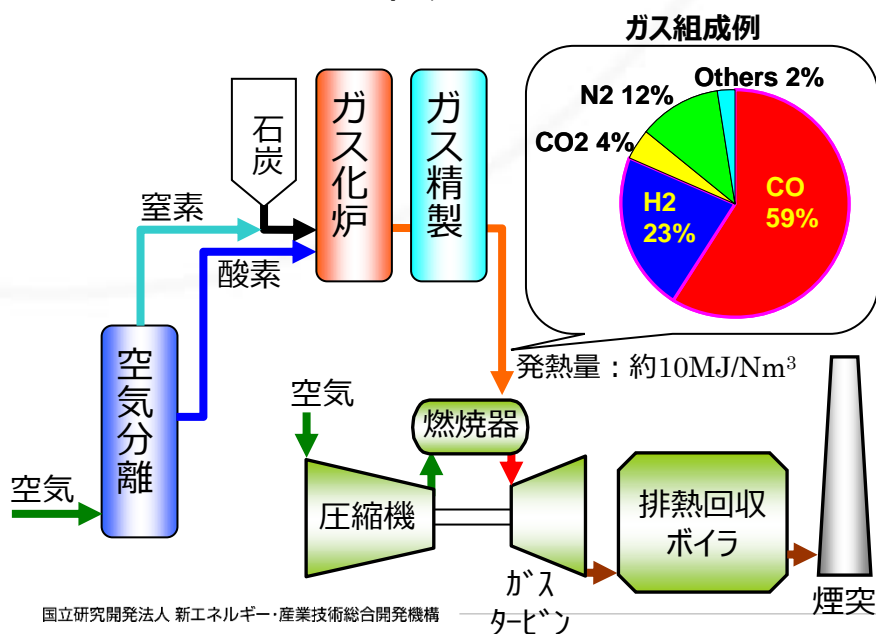


# 酸素吹と空気吹について

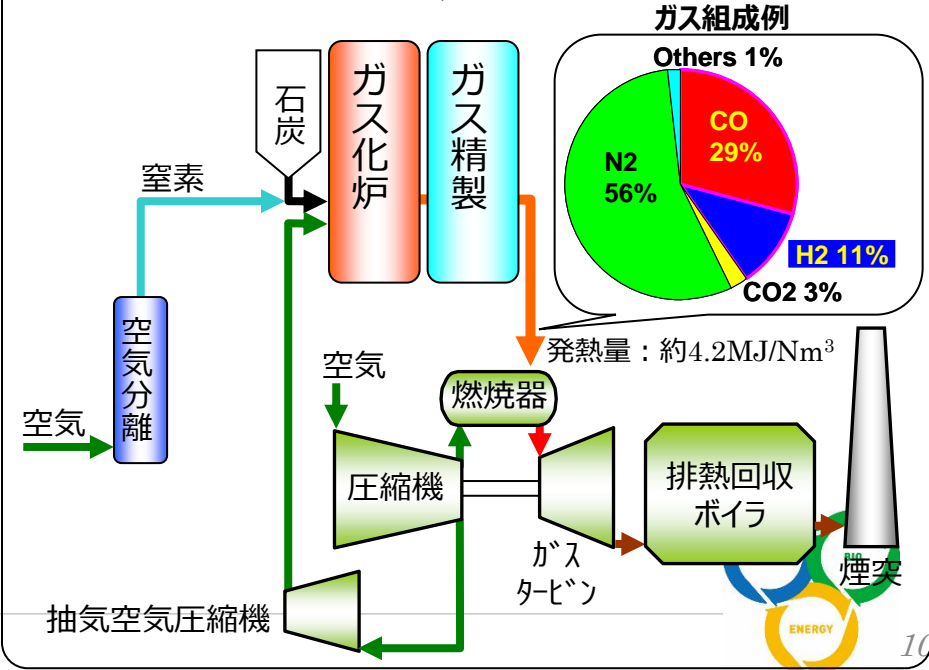
- 噴流床石炭ガス化方式には「酸素吹」と「空気吹」の2つの方式がある。
- 「酸素吹」は「空気吹」と比較して、空気分離設備が大きくなるものの、ガス化炉設備やガス精製設備が小さくできる。
- また、以下の特徴があり、**IGCC/IGFCに加え化学用途などの多目的に適用可能**である。
  - 石炭をガスに転換する効率(冷ガス効率※)が高い。
  - 生成ガスの主成分は有用成分であるCO, H<sub>2</sub>

※冷ガス効率(%) = 生成ガス発熱量(HHV)/石炭発熱量(HHV) \* 100

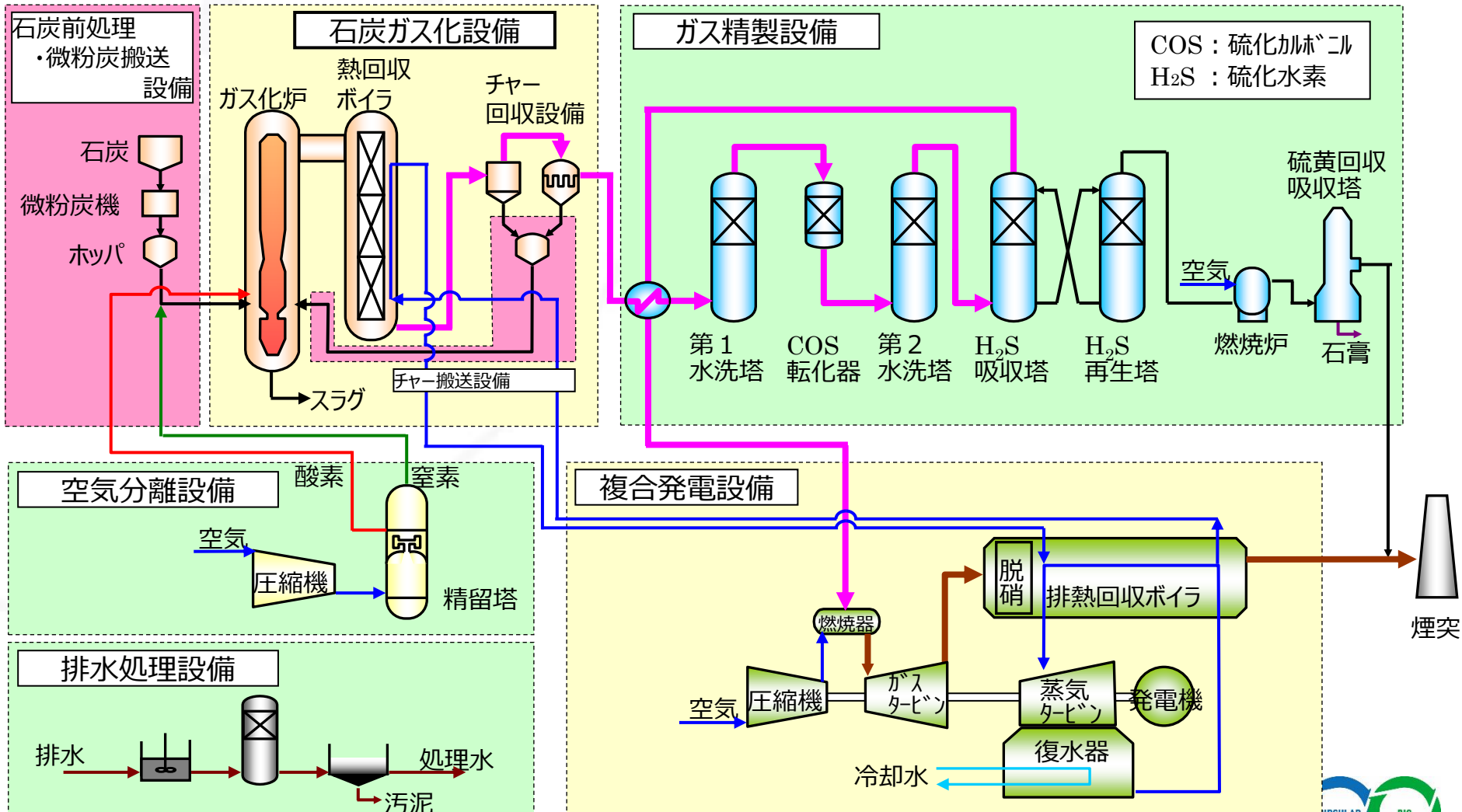
## 酸素吹IGCC



## 空気吹IGCC



# 第1段階：酸素吹IGCC実証試験の設備構成





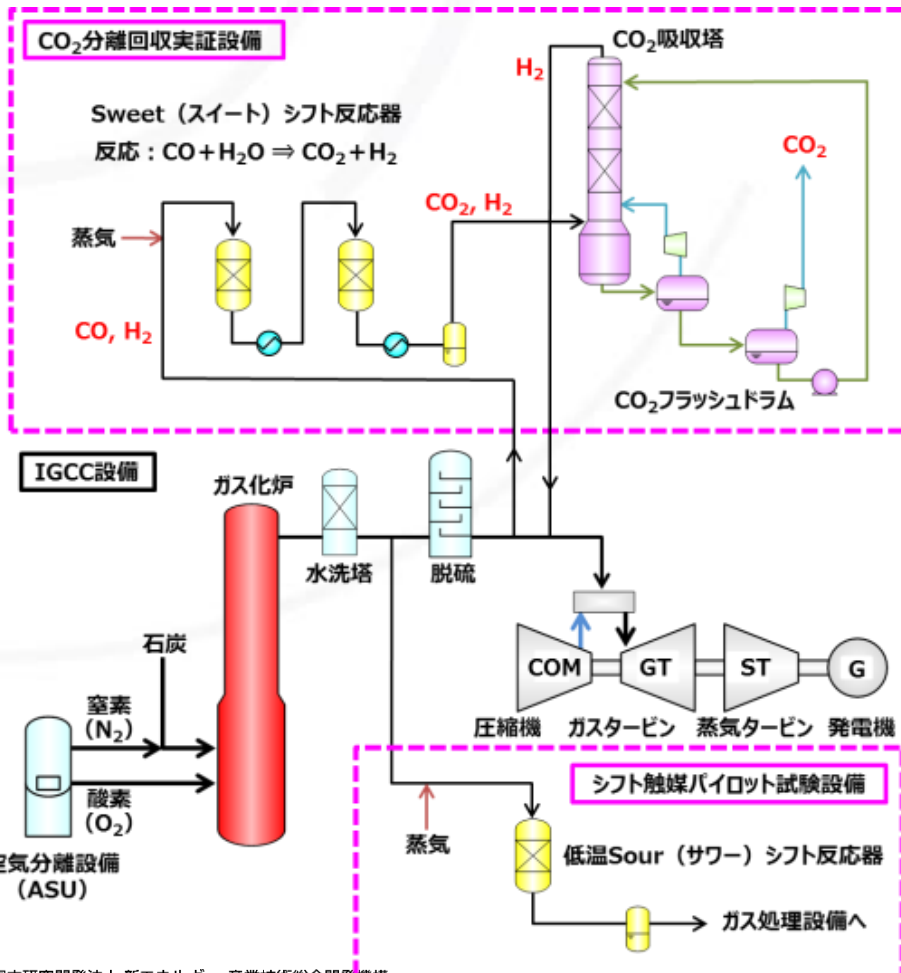
# 第1段階：酸素吹IGCC実証試験の目標と実績



項目	目標	実績
基本性能 (プラント性能)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 送電端効率 40.5% (HHV)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 送電端効率 <b>40.8%</b> (HHV)</li> </ul> <p>目標達成</p>
基本性能 (環境性能)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ SOx : 8ppm</li> <li>➤ NOx : 5ppm</li> <li>➤ ばいじん : 3mg/m<sup>3</sup>N (O<sub>2</sub>:16%換算)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ SOx : <b>8ppm未満</b></li> <li>➤ NOx : <b>5ppm未満</b></li> <li>➤ ばいじん : <b>3mg/m<sup>3</sup>N未満</b> (O<sub>2</sub>:16%換算)</li> </ul> <p>目標達成</p>
多炭種適合性	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 炭種性状適合範囲の把握</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 4炭種を試験し、良好な適合性を確認</li> <li>➤ 運転を継続しながら炭種切替を行い安定したプラント状態を確認</li> </ul> <p>目標達成</p>
設備信頼性	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 商用機レベルの年利用率70%以上の見通しを得ること (5,000時間の長時間耐久試験)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 長時間耐久試験 <b>5,119 時間</b></li> <li>➤ 連続運転 <b>2,168 時間</b></li> </ul> <p>目標達成</p>
プラント制御性 ・運用性	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 事業用火力発電所として必要な運転特性、制御性 (負荷変化率 : 1~3%/分 他)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 非常停止試験において安全停止を確認</li> <li>➤ 負荷変化率 : <b>~16%/分を確認</b></li> <li>➤ <b>送電端出力0MWで安定運転を確認</b></li> <li>➤ <b>送電端出力制御で良好な運用性を確認</b></li> <li>➤ <b>コールド起動時間 (GT起動~定格負荷) 7時間程度の見通しを得た</b></li> </ul> <p>目標達成</p>
経済性	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 商用機レベルで発電原価が微粉炭火力と同等以下になる見通しを得ること</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>商用機レベルで発電原価が微粉炭火力と同等になる見通しを確認</b></li> </ul> <p>目標達成</p>

# 第2段階：実証試験設備構成・仕様

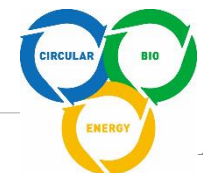
IGCCプラントにCO<sub>2</sub>分離回収実証設備が付設された場合でも、安定的に高効率発電を維持し、同時にCO<sub>2</sub>を安定的に分離できる技術を検証する。



CO <sub>2</sub> 分離・回収実証設備概要	
実証規模	IGCCガスからのCO <sub>2</sub> 回収率15%相当
CO <sub>2</sub> 吸収再生方式	物理吸収方式
COシフト方式	Sweetシフト（脱硫後ガス抜き出し）
基本性能	CO <sub>2</sub> 回収効率：90%以上、 回収CO <sub>2</sub> 純度：99%以上

CO<sub>2</sub>回収効率〔分離回収装置単体のCO<sub>2</sub>回収割合〕：  
 (分離回収されたCO<sub>2</sub>ガスのC量 / CO<sub>2</sub>分離回収装置導入ガスのC量) × 100

シフト触媒パイロット試験設備	
COシフト方式	低温Sourシフト（脱硫前ガス抜き出し）



## 第2段階：実証試験の開発目標

「酸素吹石炭ガス化複合発電（IGCC）」に「CO<sub>2</sub>分離回収設備」を組み合わせた大型実証設備においてシステム検証を行い、商用スケールでの実用化を目指す。

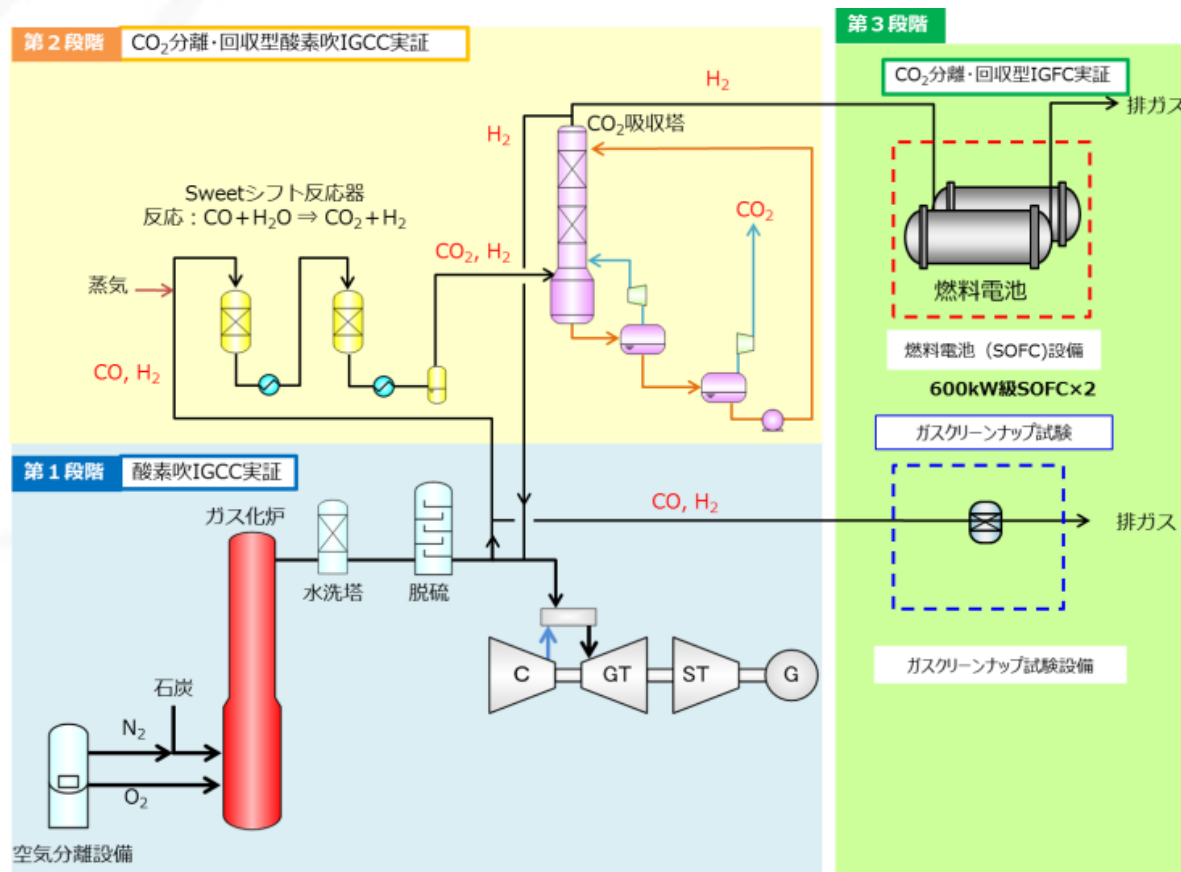
テーマ	目標
システム基本性能の検証	<p>新設商用機（1500℃級IGCC）において、CO<sub>2</sub>を90%回収しつつ、発電効率40%※<sup>1</sup>（送電端、HHV※<sup>2</sup>）程度の見通しを得る。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤CO<sub>2</sub>分離回収装置におけるCO<sub>2</sub>回収効率：90%以上</li> <li>➤回収CO<sub>2</sub>純度：99%以上</li> </ul>
プラント運用性・信頼性の検証	<p>発電所特有の負荷変動等に追従すべく、CO<sub>2</sub>分離回収設備の運用手法を確立し、信頼性について検証する。</p>
経済性の検証	<p>商用機におけるCO<sub>2</sub>分離回収の費用原単位について、技術ロードマップに示された費用原単位（回収CO<sub>2</sub>量当りの分離回収コスト）をベンチマークとして評価する。</p>

※1 発電効率には分離回収プロセスまでを含む（貯留に係る動力は含まない）

※2 高位発熱量基準

# 第3段階：実証試験計画の概要

商用規模固体酸化物形燃料電池（SOFC）の最小構成単位の燃料電池モジュールを並べ、CO<sub>2</sub>分離・回収型IGCC設備のCO<sub>2</sub>分離後の水素リッチガスを分岐し、SOFCに導入する。また、IGCCから脱硫後の石炭ガス化ガスを分岐し、ガスクリーンアップ技術の実証試験を行う。





# 第3段階：実証試験の開発目標

第2段階までで建設したCO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCC実証設備に燃料電池を組み合わせ、石炭ガス化ガスの燃料電池への適用性を確認し、最適なCO<sub>2</sub>分離・回収型IGFCシステムの実現に向けた試験を行う。

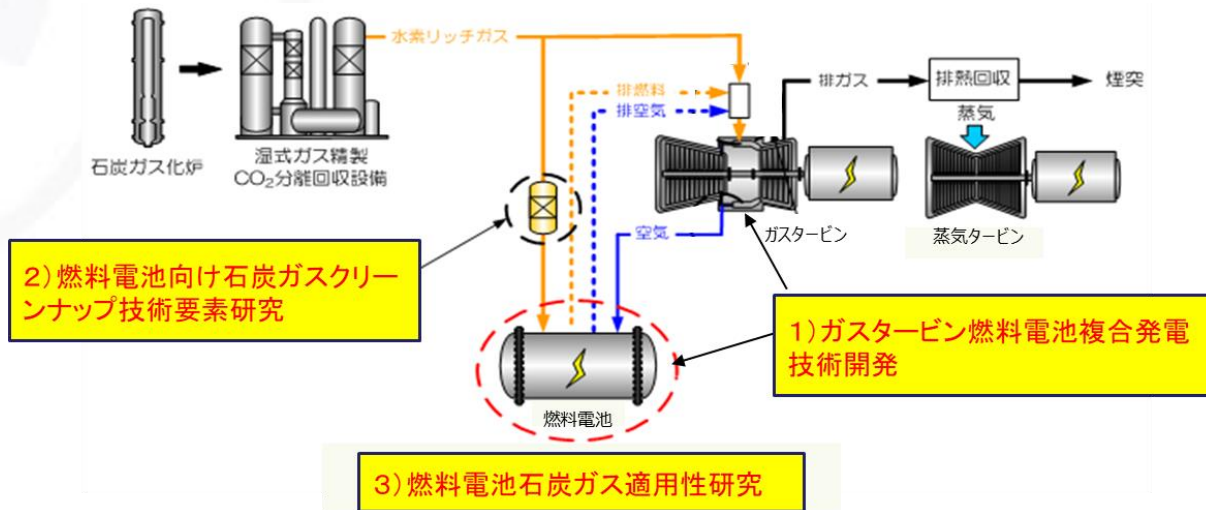
<p>目 標</p>	<p>CO<sub>2</sub>分離・回収型IGFC商用機（500MW級）として、CO<sub>2</sub>回収率90%の条件で、発電効率47%※<sup>1</sup>（送電端、HHV※<sup>2</sup>）程度の見通しを得る。</p>
<p>項 目</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGFC実証研究             <ul style="list-style-type: none"> <li>(a)燃料電池の基本性能検証</li> <li>(b)燃料電池の信頼性検証</li> <li>(c)IGFCシステムの運用性検証</li> <li>(d)CO<sub>2</sub>分離・回収型IGFC実現に向けての検討</li> </ul> </li> <li>②IGFC向け石炭ガスクリーンナップ試験             <ul style="list-style-type: none"> <li>(a)COリッチガス通ガス試験</li> <li>(b)IGFC向け燃料電池用ガス精製設備の概念設計</li> </ul> </li> </ul>

※<sup>1</sup> 発電効率には分離回収プロセスまでを含む(貯留に係る動力は含まない)

※<sup>2</sup> 高位発熱量基準

# 石炭ガス化燃料電池複合発電 (IGFC) 基盤技術開発

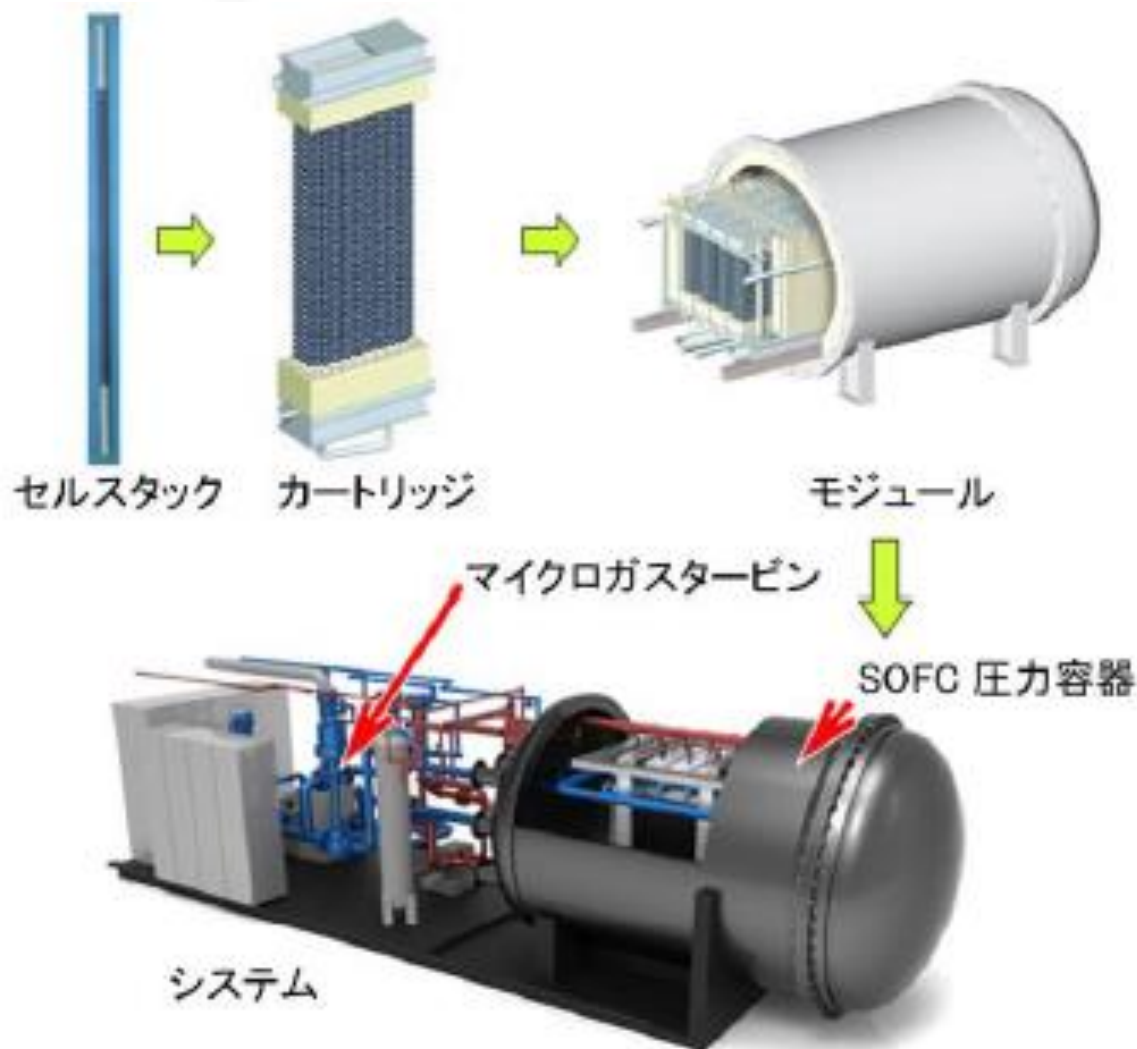
# IGFC関連 燃料電池基盤技術開発



## IGFC技術確立に向けた基盤技術開発（NEDO委託事業：環境部）

課題	委託事業名	委託先
燃料電池の大容量化, 高圧化	1)ガスタービン燃料電池複合発電技術開発	三菱パワー(株) 日本特殊陶業(株)
燃料電池への石炭ガスの適用 (微量成分の影響、燃料ガス組成の違い)	2)燃料電池向け石炭ガスクリーンナップ技術要素研究	電源開発(株)
	3)燃料電池石炭ガス適用性研究	3)-1 燃料電池モジュールの石炭ガス適用性研究 電源開発(株)
	3)-2 IGFCシステムの検討	電源開発(株) 中国電力(株)

# 燃料電池システムの構成



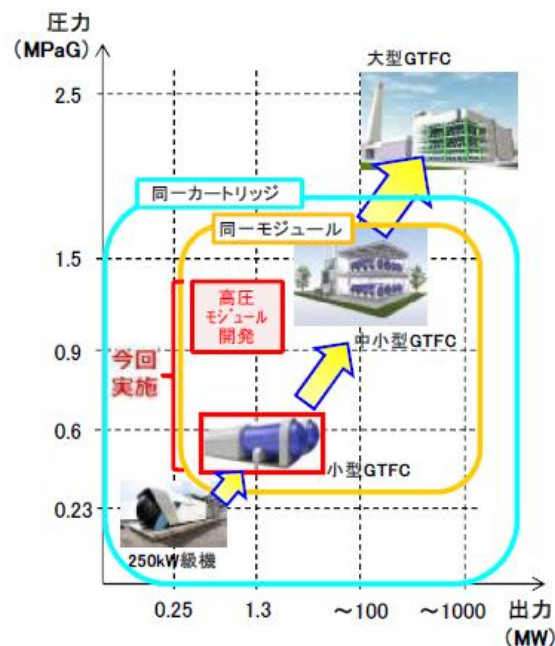
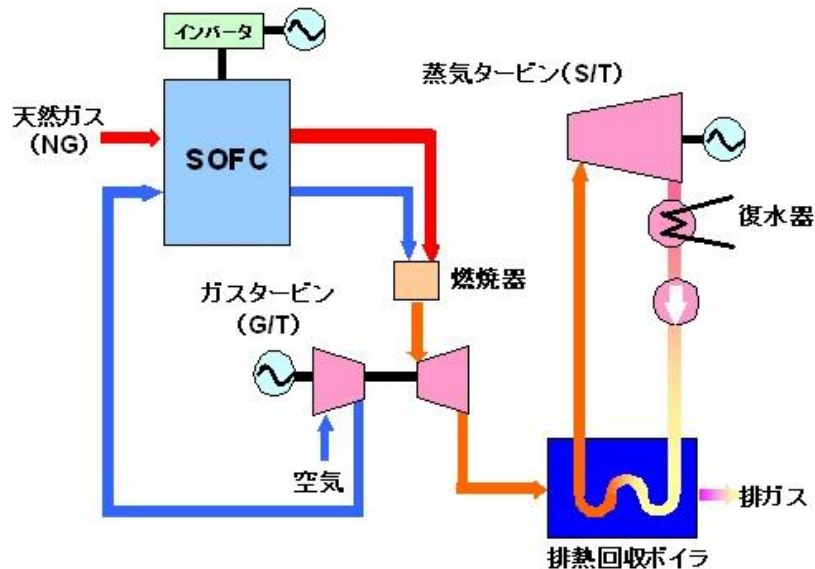
出典：三菱パワー株式会社



# ガスタービン燃料電池複合発電技術開発

- 天然ガスを改質して水素を取り出し燃料電池で発電した後に、改質残ガスをガスタービンに供給して発電し、さらに排熱を利用して蒸気タービンで発電する**トリプル複合発電技術**。ガス火力発電技術の中で最も**高効率化**が図れる。
- 小型GTFC（1,000kW級）の商用化、量産化を進めてコストを削減し、中小型GTFC(10万kW級)の実証を経て、2025年度頃に技術を確認する。

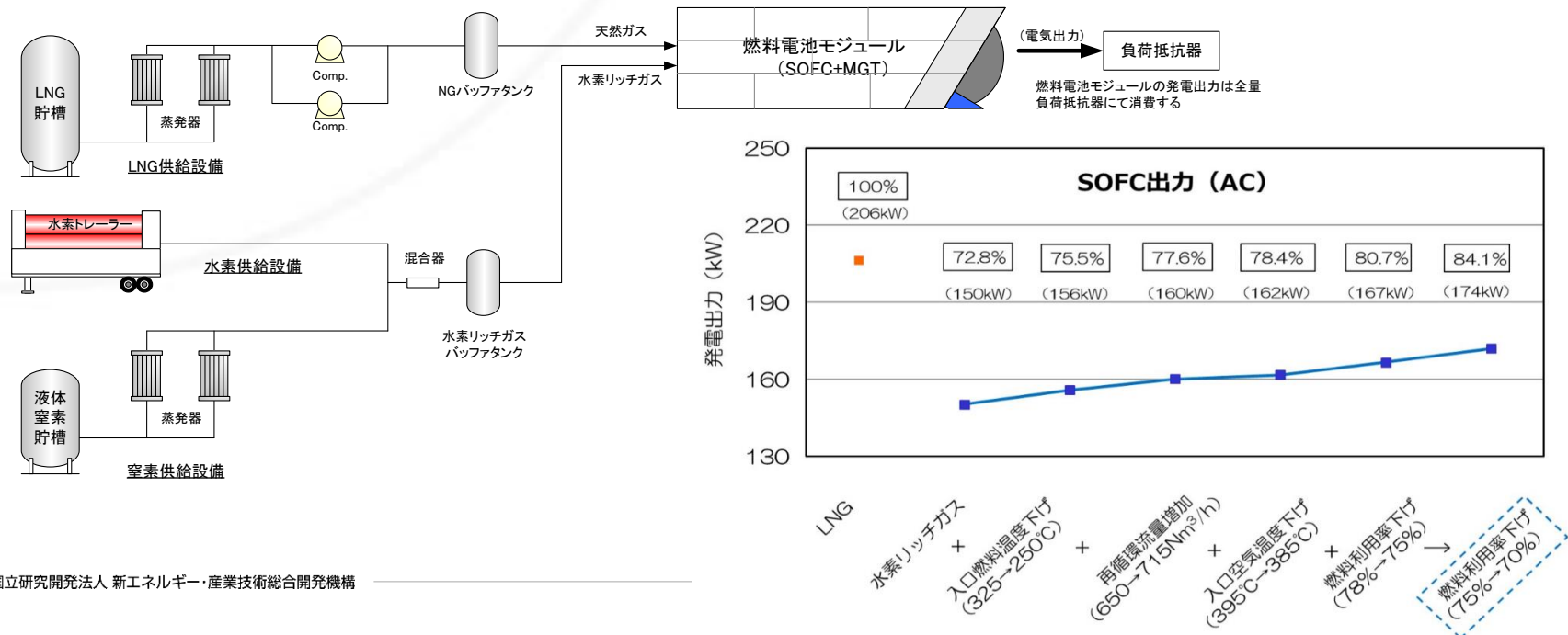
技術確立時期：2025年度頃  
 CO<sub>2</sub>排出原単位：280 g-CO<sub>2</sub>/kWh程度  
 送電端効率：63%程度



出典：三菱パワー資料

# 燃料電池石炭ガス適用性研究／ 燃料電池モジュールの石炭ガス適用性研究

- 天然ガスをベースに開発されている250kW級モジュールを用いて、CO<sub>2</sub>分離・回収型IGFCを想定した**石炭ガス化ガス（水素リッチガス）の適用性**について検証試験を行うとともに、石炭ガス化設備と燃料電池の連係運転に係る検討を行う。
- カートリッジ及び250kW級モジュールによる水素リッチガスに対応した再循環ガス冷却システム等の効果を確認し、運転条件を適正化。  
250kW級モジュールを用いて石炭ガス化ガスの実ガス試験を実施。



# IGFC関連基盤技術の開発スケジュール

