



2023年度電気事業者向け火力発電技術成果報告

**大崎クールジェンプロジェクトの成果概要
(CO₂分離・回収型酸素吹きIGCC/IGFC)**

2023年12月13日

大崎クールジェン株式会社

歌野 雅一

大崎クールジェン株式会社 (Osaki CoolGen Corporation)

- | | |
|--------|--|
| ➤ 設立 | 2009年7月29日 |
| ➤ 所在地 | 広島県豊田郡大崎上島町中野6208-1 |
| ➤ 出資比率 | 中国電力株式会社 50%
電源開発株式会社 50% |
| ➤ 事業内容 | 究極の高効率石炭火力発電である石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）の基盤技術である酸素吹石炭ガス化複合発電（酸素吹IGCC）、および二酸化炭素分離回収技術に関する大型実証設備の建設および試験の実施。 |

※IGCC（Integrated Coal Gasification Combined Cycle）：石炭ガス化複合発電

※IGFC（Integrated Coal Gasification Fuel Cell Combined Cycle）：石炭ガス化燃料電池複合発電

※CCS（Carbon Dioxide Capture and Storage）：二酸化炭素回収・貯留

□ 大崎クールジェンプロジェクト概要

◇ 第1段階の設備構成と成果概要

◇ 第2段階の設備構成と成果概要

◇ 第3段階の設備構成と成果概要

□ CO₂分離回収型酸素吹きIGCC実用化へむけて

□ 大崎クールジェンプロジェクト概要

◇ 第1段階の設備構成と成果概要

◇ 第2段階の設備構成と成果概要

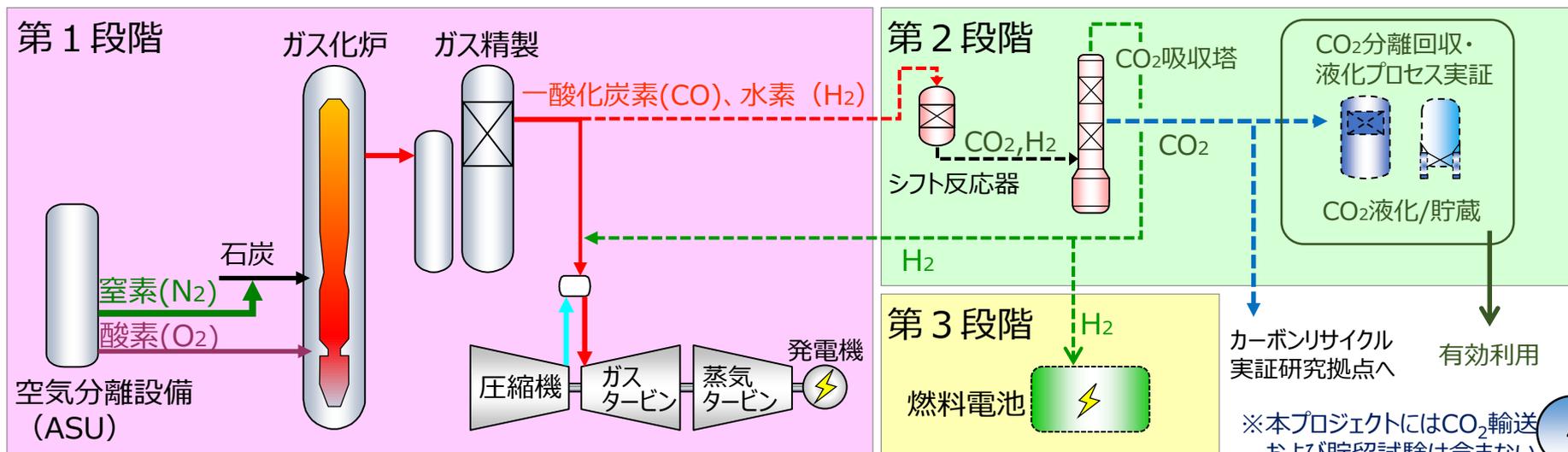
◇ 第3段階の設備構成と成果概要

□ CO₂分離回収型酸素吹きIGCC実用化へむけて

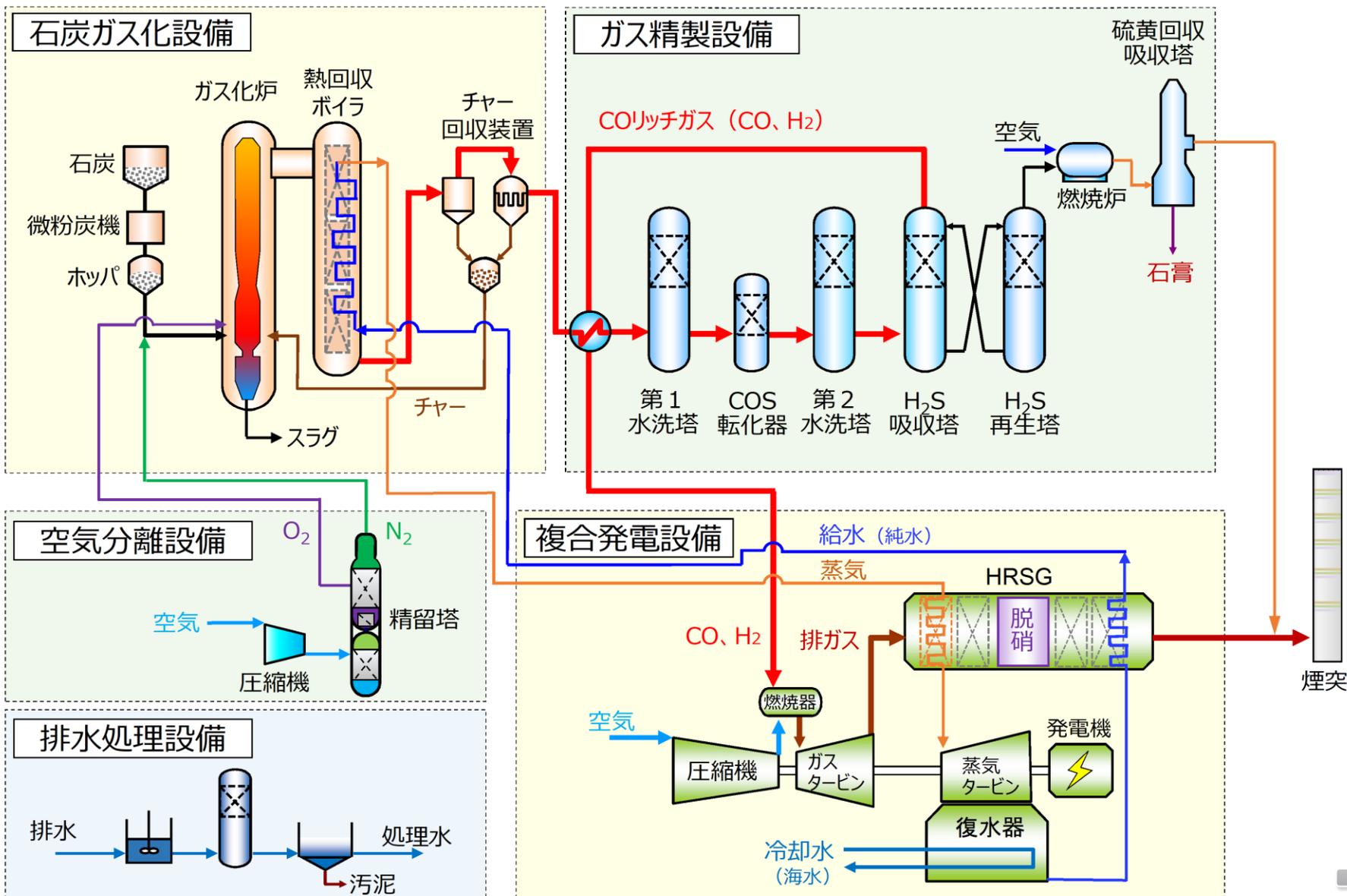
大崎クールジェンプロジェクト概要

- 石炭火力発電から排出されるCO₂を大幅に削減させるべく、「酸素吹きIGCC」と「CO₂分離・回収」を組み合わせ「革新的低炭素石炭火力発電」の実現、究極の高効率発電技術である「IGFC」実現を目指すプロジェクト
- プロジェクトは3段階で構成され、2012年度から経済産業省補助事業として第1段階事業を開始し、2016年度からNEDO助成事業として事業を進め、2022年度をもってプロジェクト完了

年度	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
第1段階：酸素吹IGCC実証	設計・製作・据付				実証試験						
第2段階：CO ₂ 分離・回収型酸素吹IGCC実証 (CO ₂ 分離回収・液化プロセス実証含む)					設計・製作・据付			実証試験	製作・据付	実証試験	
第3段階：CO ₂ 分離・回収型IGFC実証							設計・製作・据付				実証試験

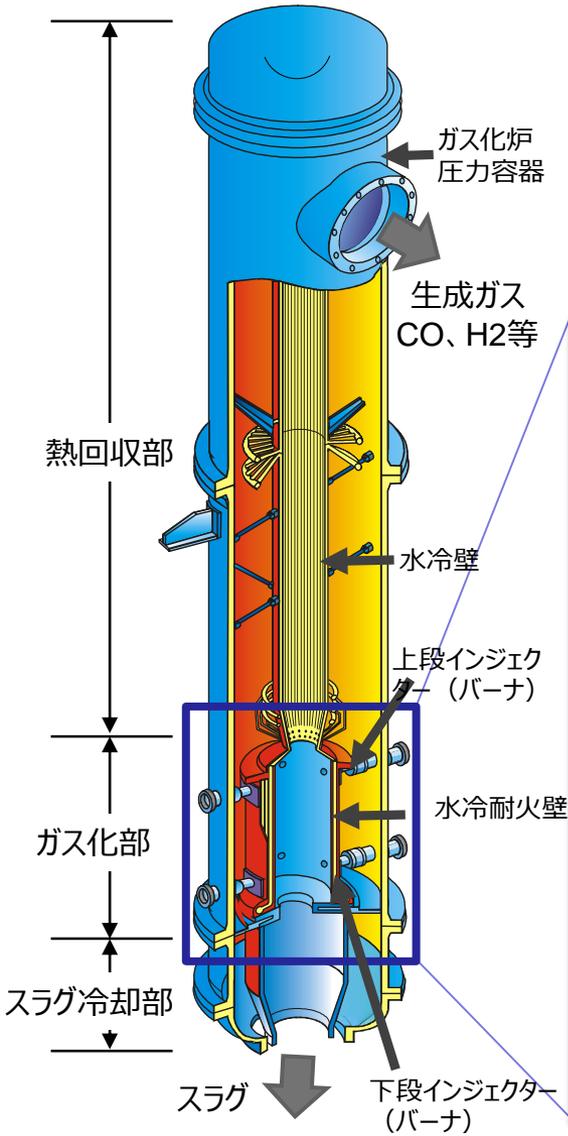


第1段階：酸素吹IGCC実証試験の設備構成



酸素吹き石炭ガス化炉の特徴

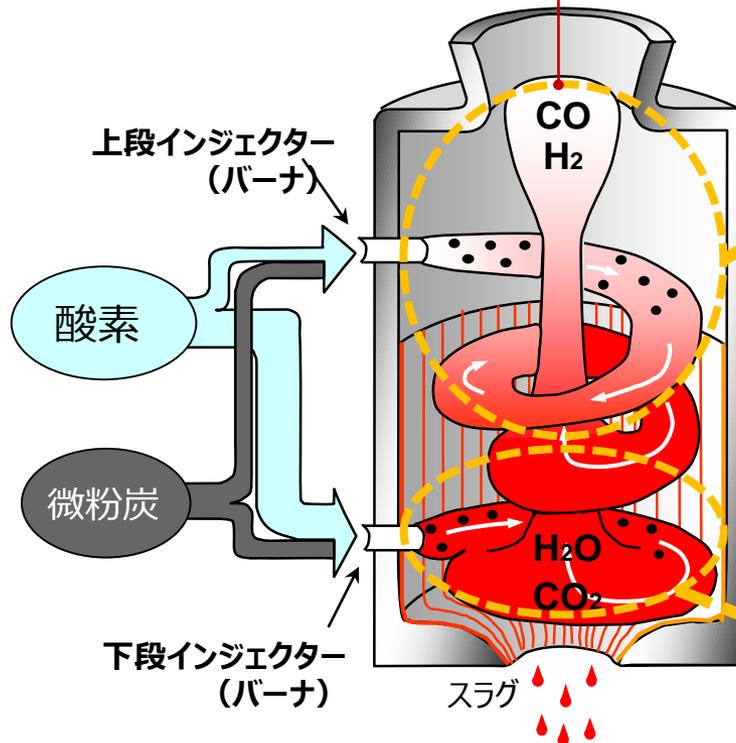
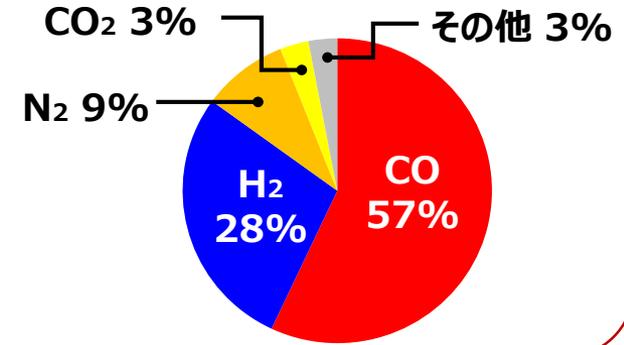
ガス化炉の構造



ガス化部に上下 2 段の石炭インジェクター- (バーナ) を配置した

1室2段旋回流型噴流床
ガス化炉を採用
(EAGLE炉)

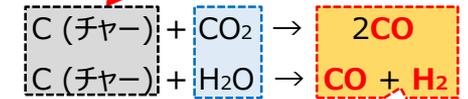
石炭ガス化ガス組成



上段：酸素供給量 **少**

➤ 石炭の熱分解
石炭 → C (チャー) + 揮発分 (H₂ など)

➤ **ガス化反応**



石炭ガス化ガスの主成分

下段：酸素供給量 **多**

➤ **燃焼反応**
石炭 + O₂ → CO₂ + H₂O

第1段階：実証試験の目標と成果

項目	目標	成果
基本性能 (プラント性能)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 送電端効率 40.5% (HHV) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 送電端効率 40.8% (HHV) ⇒第2段階で更新：41.4% (HHV) <p>目標達成</p>
基本性能 (環境性能)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ SOx : 8ppm ➤ NOx : 5ppm ➤ ばいじん : 3mg/m³N (O₂:16%換算) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ SOx : 8ppm未満 ➤ NOx : 5ppm未満 ➤ ばいじん : 3mg/m³N未満 (O₂:16%換算) <p>目標達成</p>
多炭種適合性	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 炭種性状適合範囲の把握 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 4炭種を試験し、良好な適合性を確認 ➤ 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 <p>目標達成</p>
設備信頼性	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 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) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 長時間耐久試験 5,119時間 ➤ 連続運転 2,168時間 (2022年度末時点) 2,885時間 <p>目標達成</p>
プラント制御性 ・運用性	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 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) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 非常停止試験において安全停止を確認 ➤ 負荷変化率 : ~16%/分を確認 ➤ 送電端出力0MWで安定運転を確認 ➤ 送電端出力制御で良好な運用性を確認 ➤ 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 <p>目標達成</p>
経済性	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 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 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 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 <p>目標達成</p>

□ 大崎クールジェンプロジェクト概要

◇ 第1段階の設備構成と成果概要

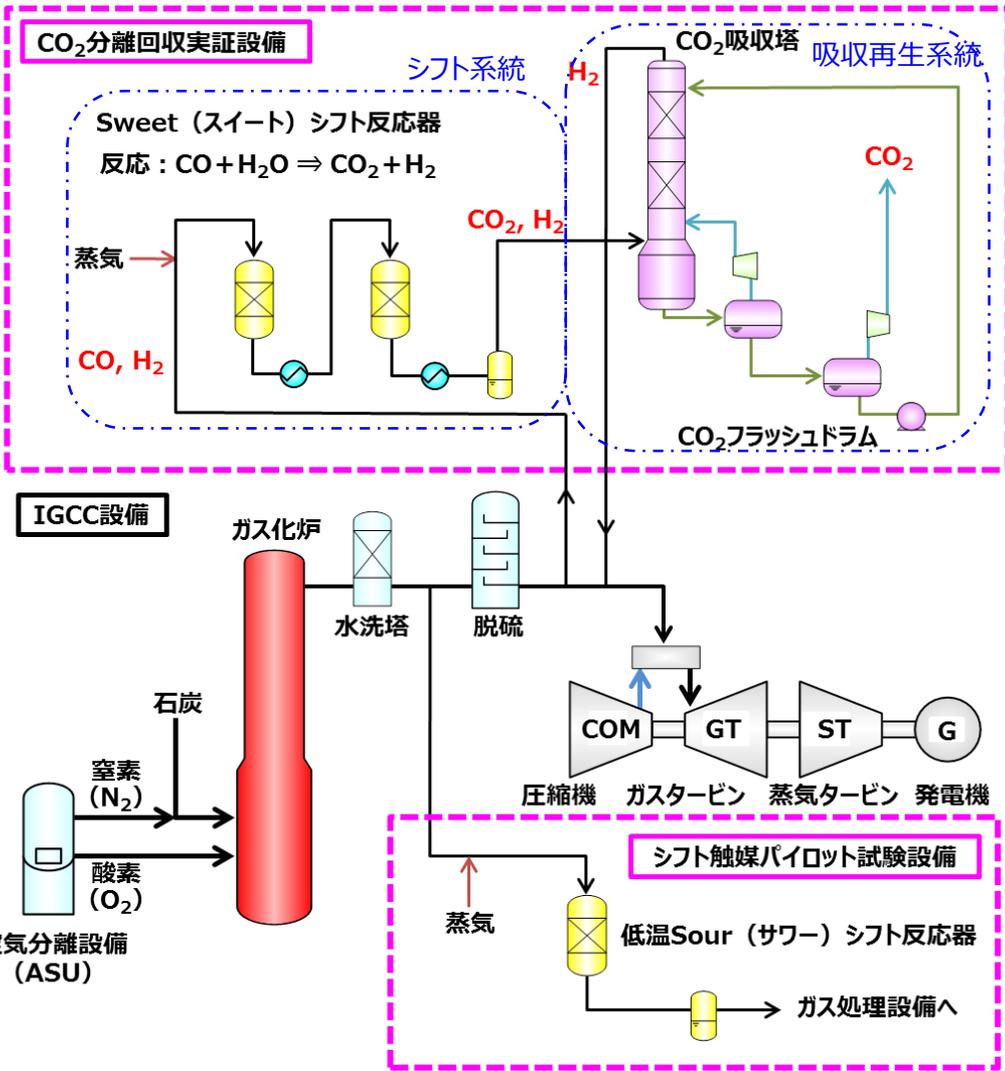
◇ **第2段階の設備構成と成果概要**

◇ 第3段階の設備構成と成果概要

□ CO₂分離回収型IGCC実用化へむけて

第2段階：CO₂分離・回収型酸素吹IGCC実証試験の設備構成

酸素吹IGCC設備にCO₂分離回収設備を追設し、燃焼前の石炭ガス化ガスからCO₂を安定的に効率良く分離回収するための技術検証



CO ₂ 分離・回収実証設備概要	
実証規模	IGCCガスからのCO ₂ 回収率 15%相当
CO ₂ 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 ₂ 回収効率：90%以上、 回収CO ₂ 純度：99%以上

CO₂回収効率〔分離回収装置単体のCO₂回収割合〕：
 (分離回収されたCO₂ガスのC量 / CO₂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)

(※) 低温作動型ソーシフト試験は日立製作所殿との共同研究

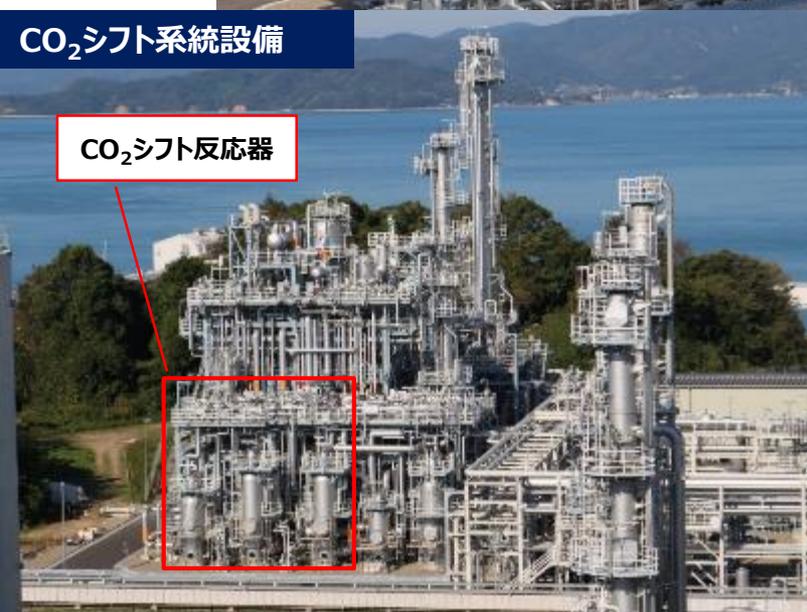
第2段階 実証システム概要図

CO₂分離回収設備外観

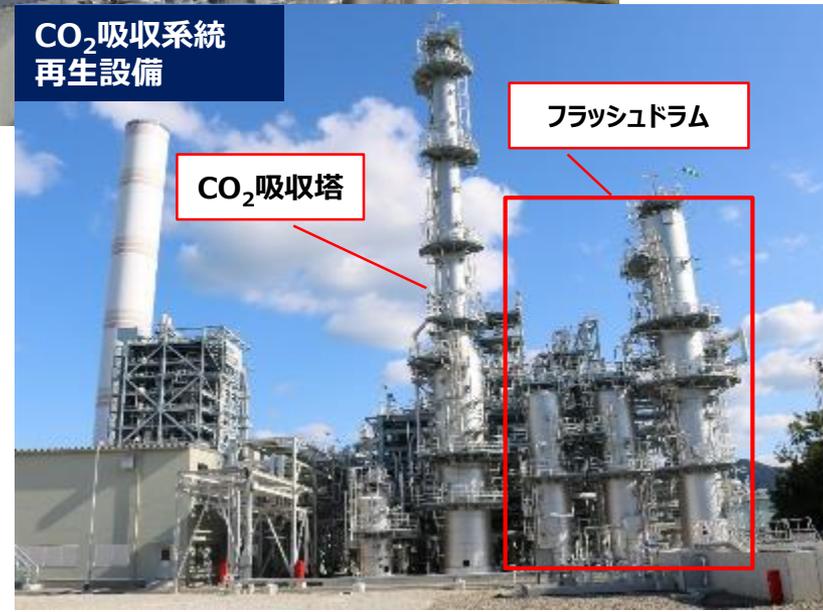
CO₂分離回収設備



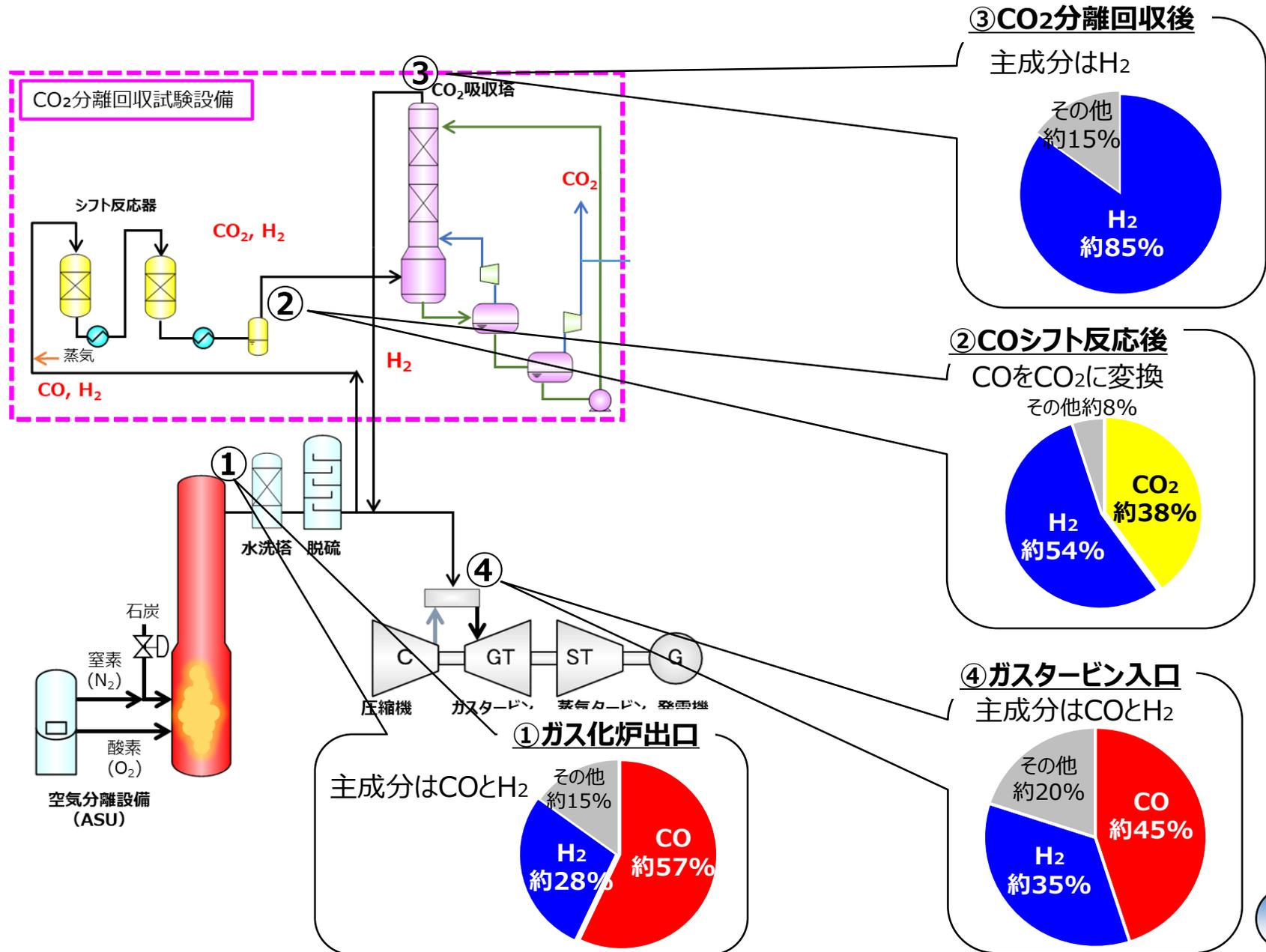
CO₂シフト系統設備



CO₂吸収系統再生設備



第2段階：CO₂分離・回収型酸素吹IGCC 主要ガス組成



第2段階：実証試験の目標と成果

項目	目標	成果	達成状況
基本性能 (回収効率・純度)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ CO₂回収効率：90%以上 ➤ 回収CO₂純度：99%以上 	<ul style="list-style-type: none"> ・CO₂回収効率：90%以上 ・回収CO₂純度：99%以上 	目標達成
基本性能 (発電効率)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 新設商用機（1,500℃級IGCC）において、CO₂を90%回収しつつ、送電端効率40%※¹（HHV※²）程度の見通しを得る。 	<ul style="list-style-type: none"> ・送電端効率 40.3%（HHV） 	目標達成
プラント運用性・ 信頼性	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 発電所特有の負荷変動等に追従すべく、CO₂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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・CO₂分離回収型IGCC設備の運用性を確立 ・性状の異なる炭種の基本特性を確認 	目標達成
経済性	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 商用機におけるCO₂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をベンチマークとして評価する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・CO₂回収コスト：2,000円台後半/t-CO₂ 	目標達成
液化CO ₂ プロセスの 最適化	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 液化プロセスのエネルギー原単位最小化等のプロセス最適化検討をおこなう。 	<ul style="list-style-type: none"> ・物理吸収法と組み合わせたオフガス循環が有効であることを確認。 	目標達成

※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

□ 大崎クールジェンプロジェクト概要

◇ 第1段階の設備構成と成果概要

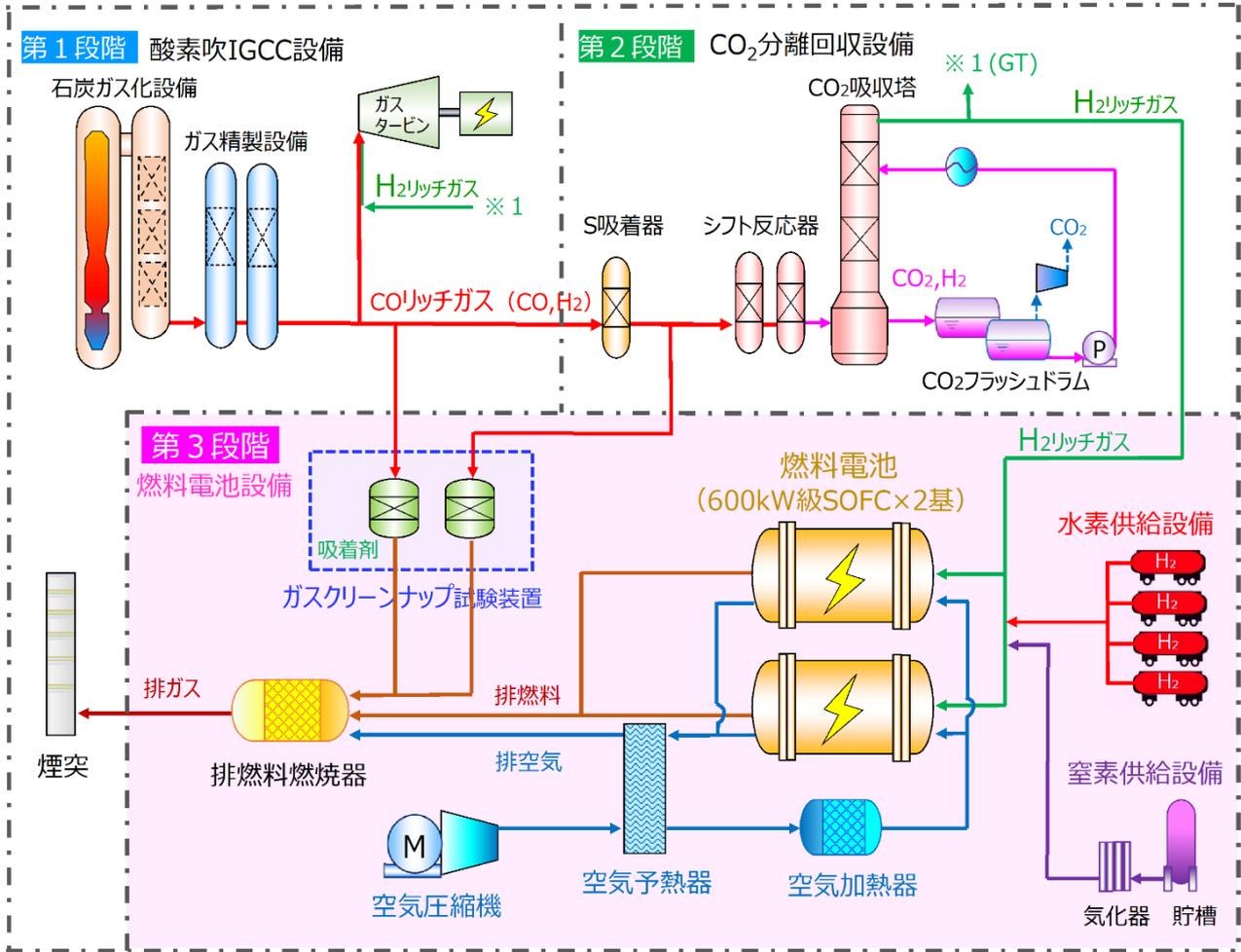
◇ 第2段階の設備構成と成果概要

◇ **第3段階の設備構成と成果概要**

□ CO₂分離回収型酸素吹きIGCC実用化へむけて

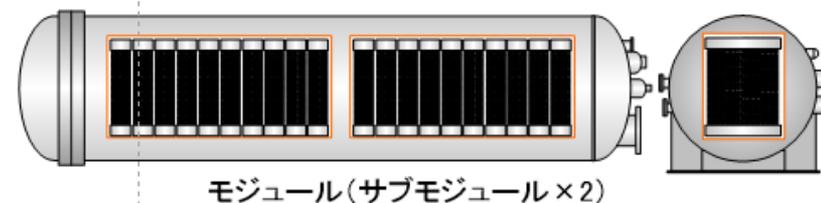
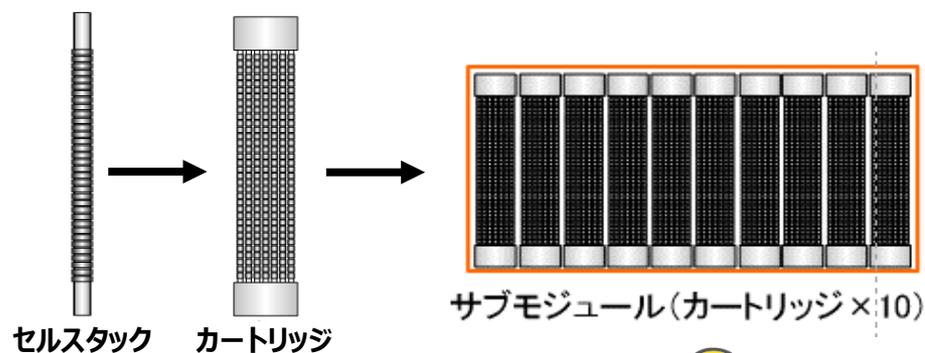
第3段階：CO₂分離・回収型酸素吹IGFC実証試験の設備構成

■ 商用規模固体酸化物形燃料電池(SOFC)の最小構成単位である燃料電池モジュールを並べ、CO₂分離・回収型IGCC設備のCO₂分離後の水素リッチガスを分岐し、SOFCに供給。

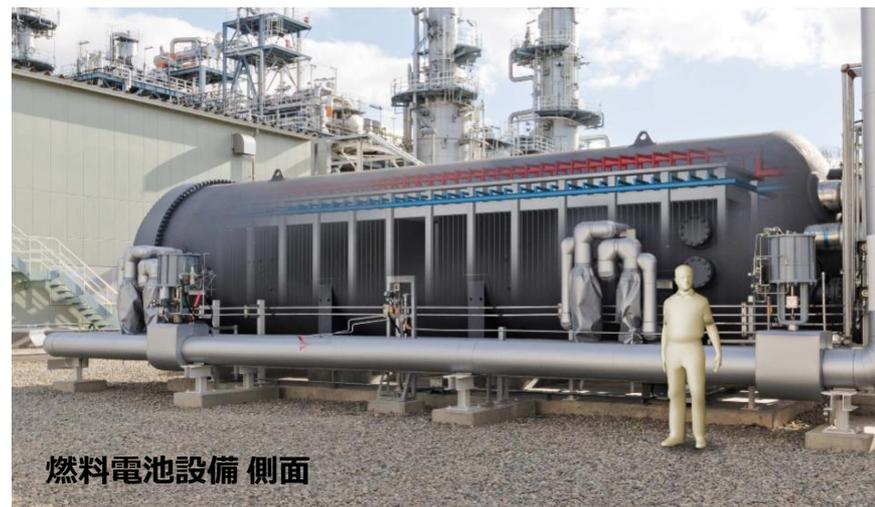
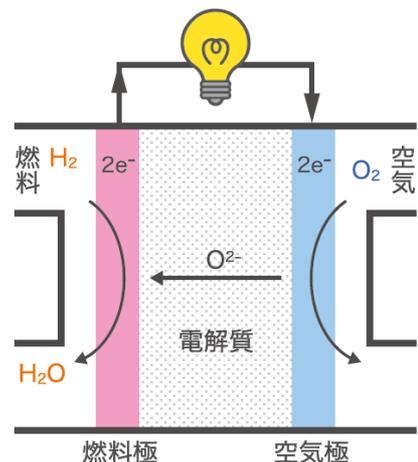


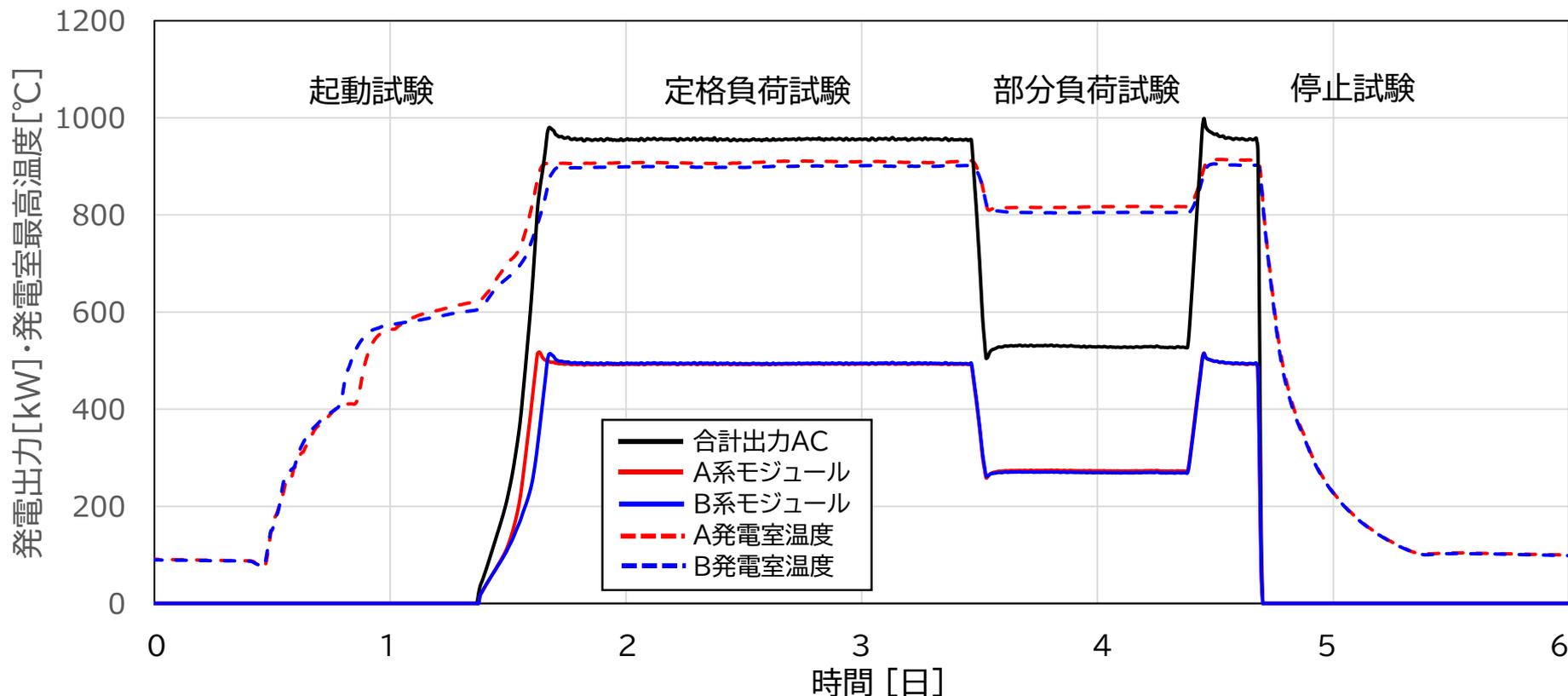
固体酸化物形燃料電池 (SOFC) 設備概要

- 燃料電池設備では、世界初となるCO₂分離・回収型IGFCシステムの実証試験。
- 石炭由来の**高濃度水素リッチガス(H₂)**を燃料電池設備に供給し発電。
- 発電出力 1.2MW級(600kW級×2基)



- **燃料電池設備は、**水素(H₂)や一酸化炭素(CO)と酸素(O₂)を反応させて電気を発生する**発電設備**。





自動シーケンスによる起動・停止方法を確立。

起動時間（起動～定格電流）：約30時間

停止時間（定格電流～冷却完了）：約22時間

水素リッチガス運転での定格出力：991kW-DC（計画値950kW-DC）

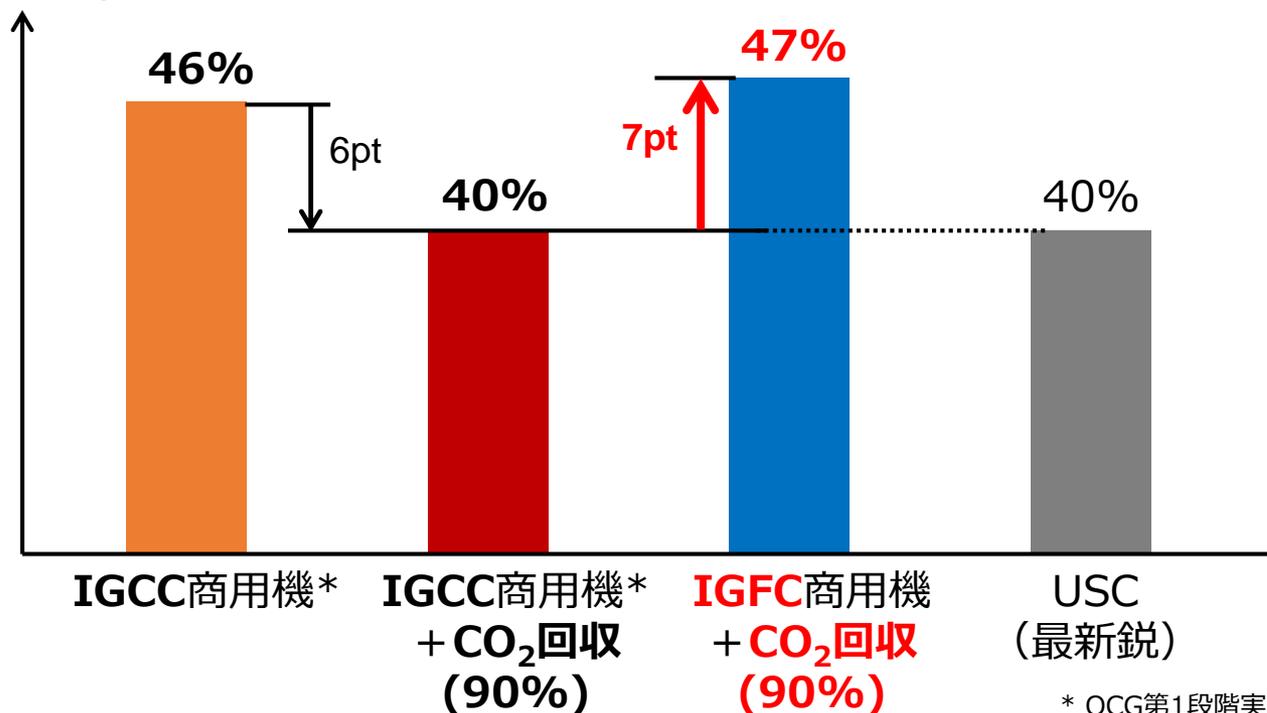
第3段階：実証試験の目標と成果

項目	目標	成果	達成状況
基本性能	<p>➤ CO₂分離・回収型IGFC商用機（500MW級）として、CO₂回収率90%の条件で、発電効率47%※¹（送電端、HHV※²）程度の見通しを得る。</p>	<p>・実証試験、シミュレーション結果から、47.0%達成の見通しを得た</p>	<div style="border: 2px solid green; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block; background-color: #008080; color: white;">目標達成</div>

※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

送電端効率 [η] [HHV]



* OCG第1段階実証試験成果をもとに試算

□ 大崎クールジェンプロジェクト概要

◇ 第1段階の設備構成と成果概要

◇ 第2段階の設備構成と成果概要

◇ 第3段階の設備構成と成果概要

□ CO₂分離回収型IGCC実用化へむけて

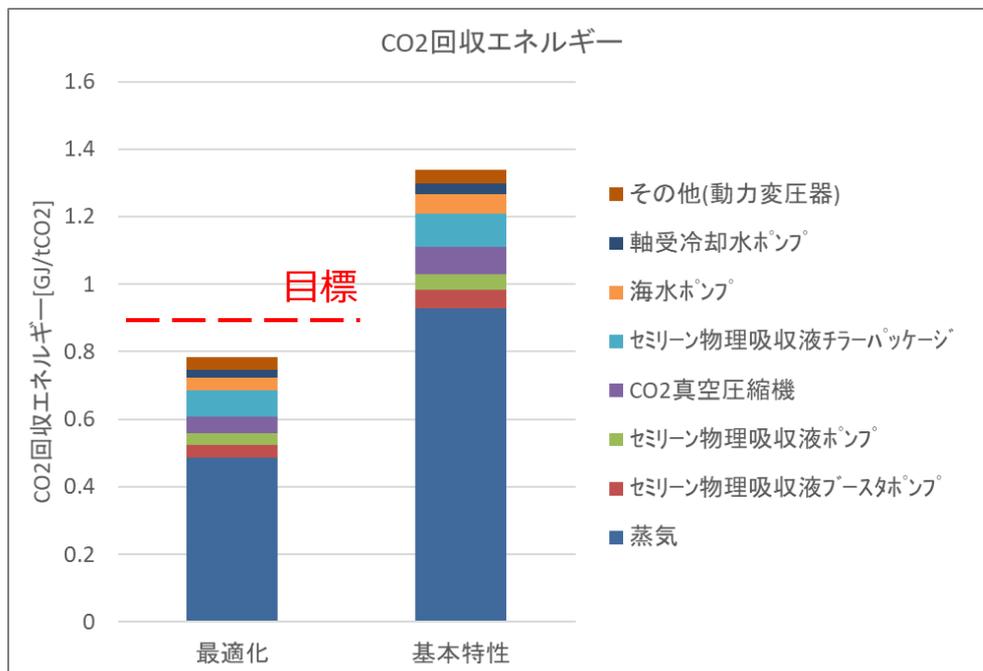
CO₂分離・回収型酸素吹きIGCC効率評価

基本特性試験では、CO₂回収率90%以上純度99%を確認、基本性能を維持した状態でパラメータ最適化試験でシフト蒸気や補機動力を削減できる条件を見極め。

結果、実証試験プラントにおける目標である約0.9GJ/ton-CO₂を下回ることを確認した。

項目	内容	試験項目
基本性能 (発電効率)	新設商用機において、CO ₂ を90%回収しつつ、発電効率40%（送電端、HHV※）程度の見通しを得る。	①基本特性確認 ②パラメータ最適化 ④プラント性能評価
	実証機プラントにおいてCO ₂ 分離回収原単位約0.9GJ/ton-CO ₂ を確認する。	確認済

項目	目標	実績
CO ₂ 回収効率	90%以上	90.0%
CO ₂ 回収量	-	16.8t/h
CO ₂ 回収エネルギー	-	13.2GJ/h
CO ₂ 回収原単位	0.9GJ/tCO ₂ 程度	0.79GJ/tCO ₂



CO₂分離・回収型酸素吹きIGCC効率評価結果

【計画】

実証機設計

- OCG実証機IGCC、15%回収、スィートシフト(**S/CO=2.37**)※1
※1 他反応系適用実績に基づく数値

パラメータ最適化見通し

- OCG実証機IGCC、15%回収、スィートシフト(**S/CO=1.60**)
- **回収原単位=0.9GJ/t-CO₂**

商用機では系統圧力が高いため、回収原単位は小さくなる。

- 1,500℃級IGCC、90%回収、スィートシフト(**S/CO=1.73**)※2
- **(回収原単位=0.42GJ/t-CO₂)**
- 送電端効率=38.2% ※2 計画時のEAGLE実証データ

スィートシフト → サワーシフト

- 1,500℃級IGCC、90%回収、**従来型サワーシフト(S/CO=1.60)**
- 送電端効率=39.1%

低温作動型サワーシフト (※)

- 1,500℃級IGCC、90%回収、**低温作動型サワーシフト(S/CO=1.20)**
- 送電端効率=40.1%

【実績】

パラメータ最適化

S/CO=1.58
原単位=0.79GJ/t-CO₂

S/CO=1.58
原単位=0.37GJ/t-CO₂
送電端効率=39.1%

S/CO=1.60
送電端効率=39.3%

S/CO=1.20
送電端効率=40.3%

実証機

商用機

(※) 低温作動型サワーシフト触媒は1年程度の信頼性ありと評価 (共同研究：日立製作所)

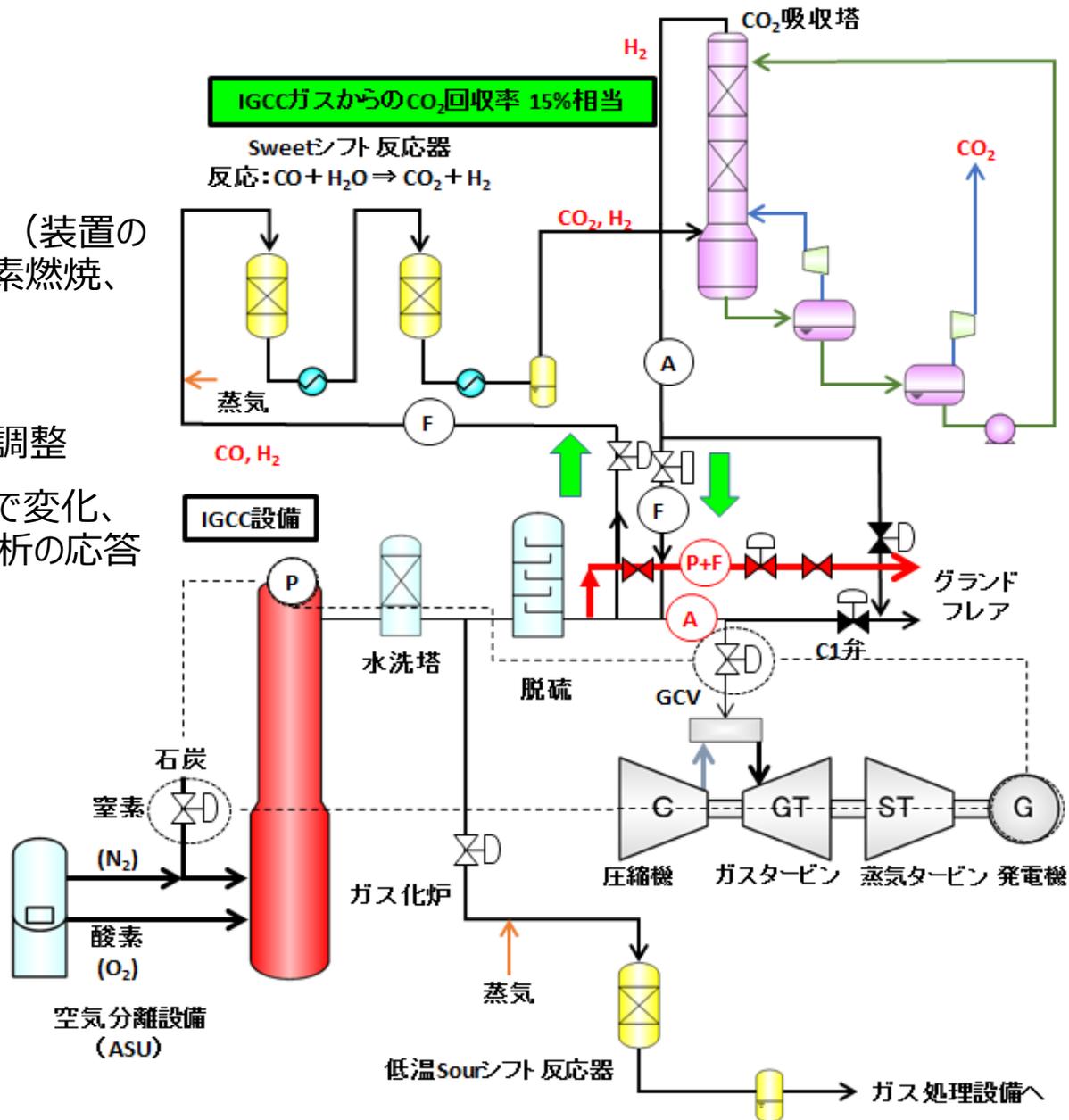
CO₂回収量の増量へむけて（高濃度水素燃焼）

【検証項目】

CO₂分離・回収量の増量要請（装置の大型化）を想定し、高濃度水素燃焼、および水素濃度変動を検証

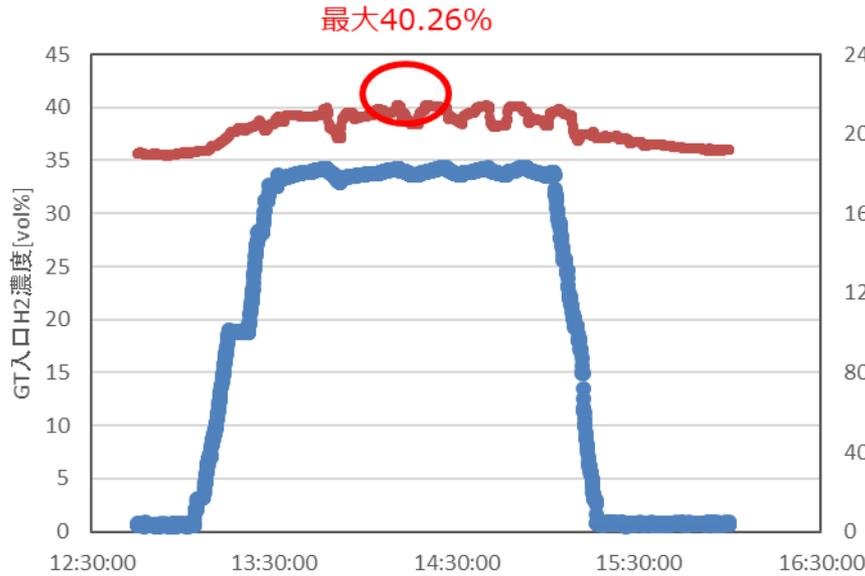
・高濃度水素のGT燃焼状態の調整

・GT入口のH₂濃度を高いレートで変化、ガス組成の変動に対するガス分析の応答性、およびGTへの影響を検証

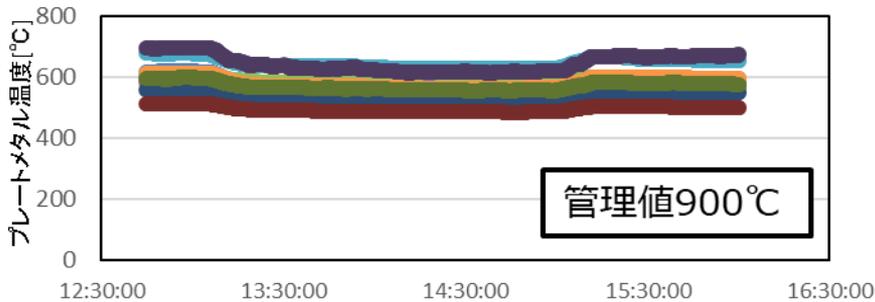


■ H₂高濃度化試験結果

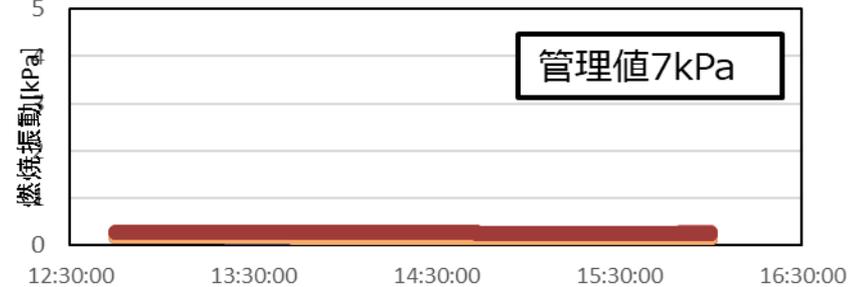
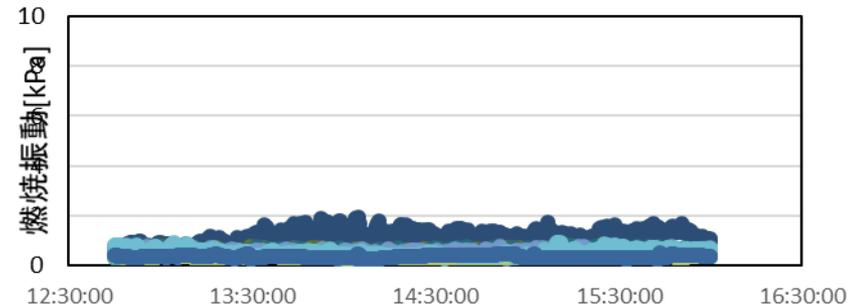
- GT入口水素濃度は最大**40.26%**を達成。
- GTメタル温度・燃焼振動ともに異常なし = 安定運転確認



GT入口H₂濃度の変化



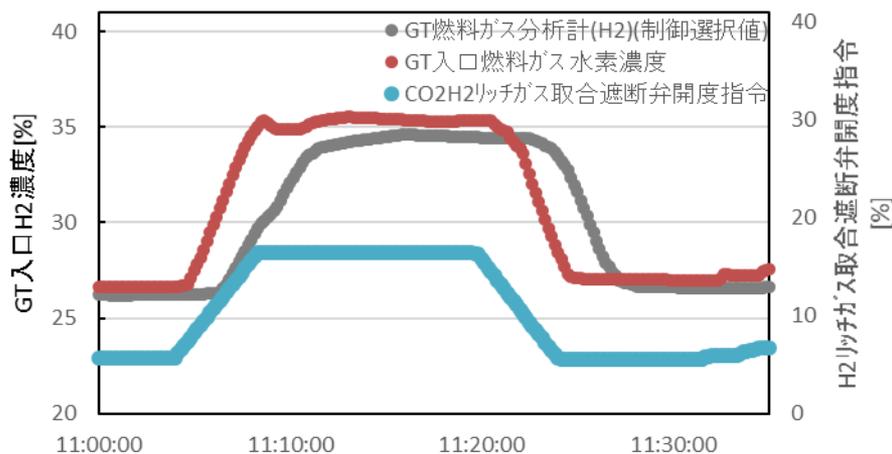
プレートメタル温度の変化



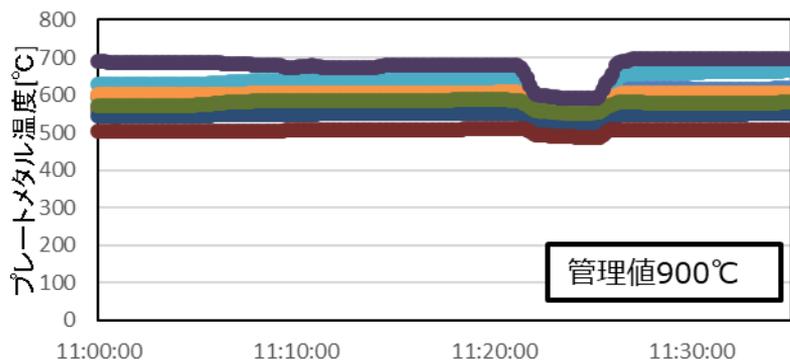
燃焼振動の変化(上:高周波、下:低周波)

■ H₂濃度高変化率試験結果

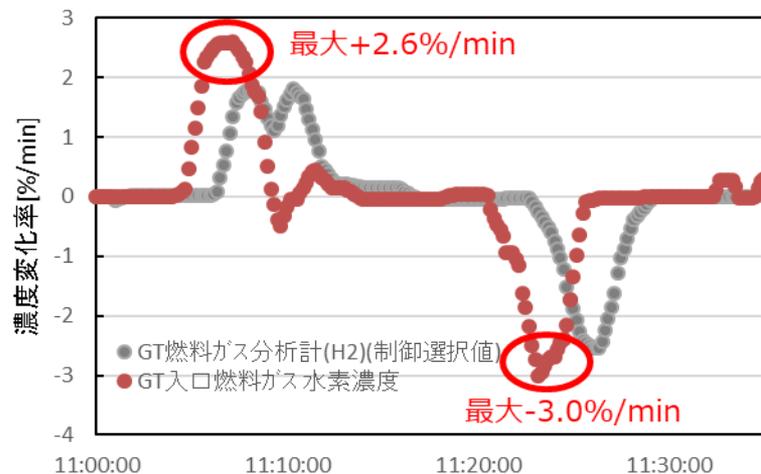
- ・新型ガス分析計は従来のもの(5分程度)より**高い応答性(30秒程度)**を確認。
- ・酸素吹きIGCCの高い負荷変化特性を発揮できるよう、高速で水素ガス濃度を変化(上げ方向最大+2.6%/分、下げ方向**最大-3.0%/分**)させた運転で、GTが追従、安定運転できることを確認し、高い負荷変化特性を有することを検証した。



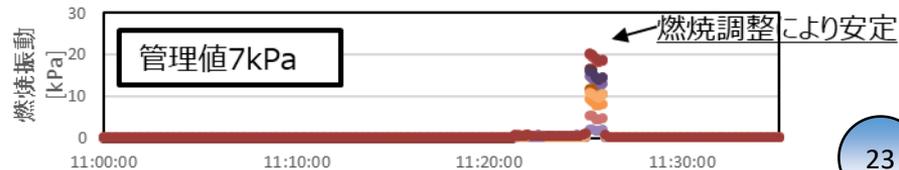
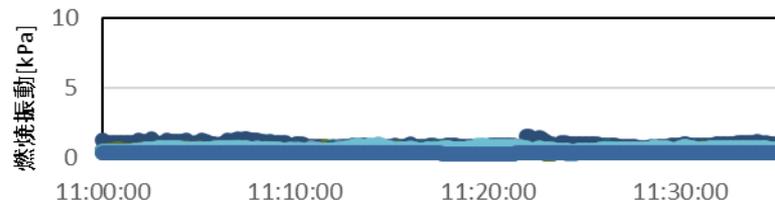
GT入口H₂濃度の変化



プレートメタル温度の変化



H₂濃度変化率の推移



燃焼振動の変化(上:高周波、下:低周波)

ご清聴、ありがとうございました。

大崎クールジェンプロジェクトは、経済産業省殿、NEDO殿から
多大なるご支援をいただき実施致しました。

関係各位のご協力、ご指導に対し深く感謝いたします。

- 資料の無断転載・転用・複製および弊社の許可なしに、研修等の資料やテキストとして使用することはご遠慮ください。
- また、録画・録音、および特別に講師が録画・録音を許可した場合でも、それを複写複製または他で使用することはご遠慮ください。