

# 「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／ ①石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業」

## CO2分離・回収負荷変動対応ガスタービン要素技術開発

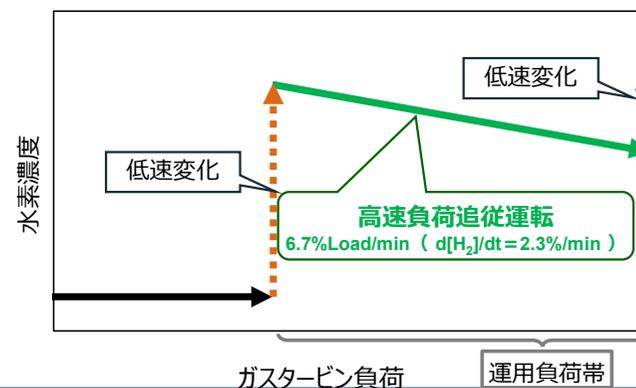
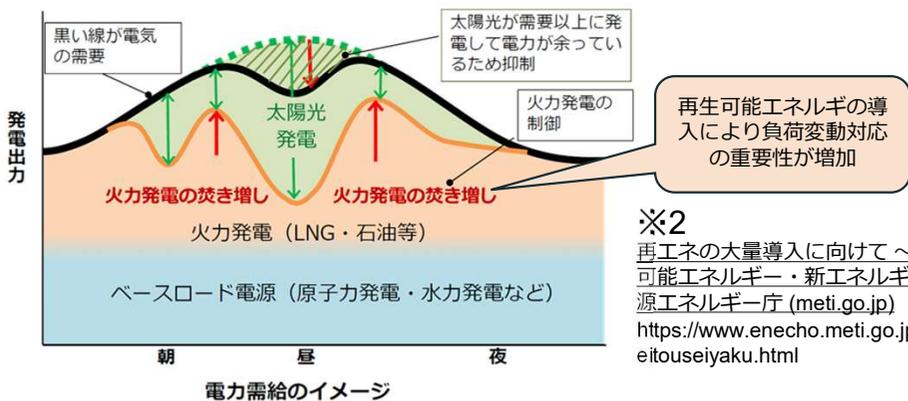
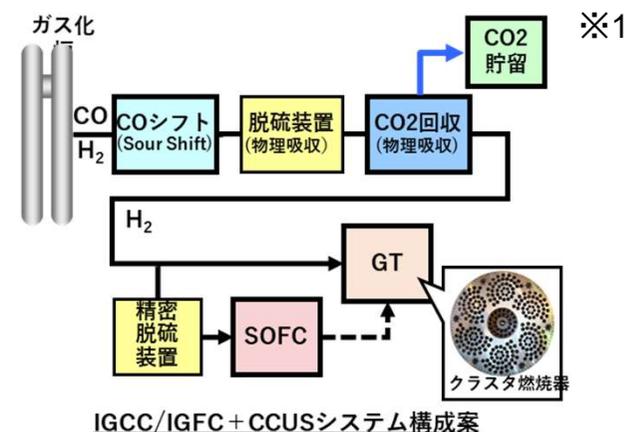
2021年度～2025年度  
プロジェクトの詳細（公開版）

2024年12月 17日

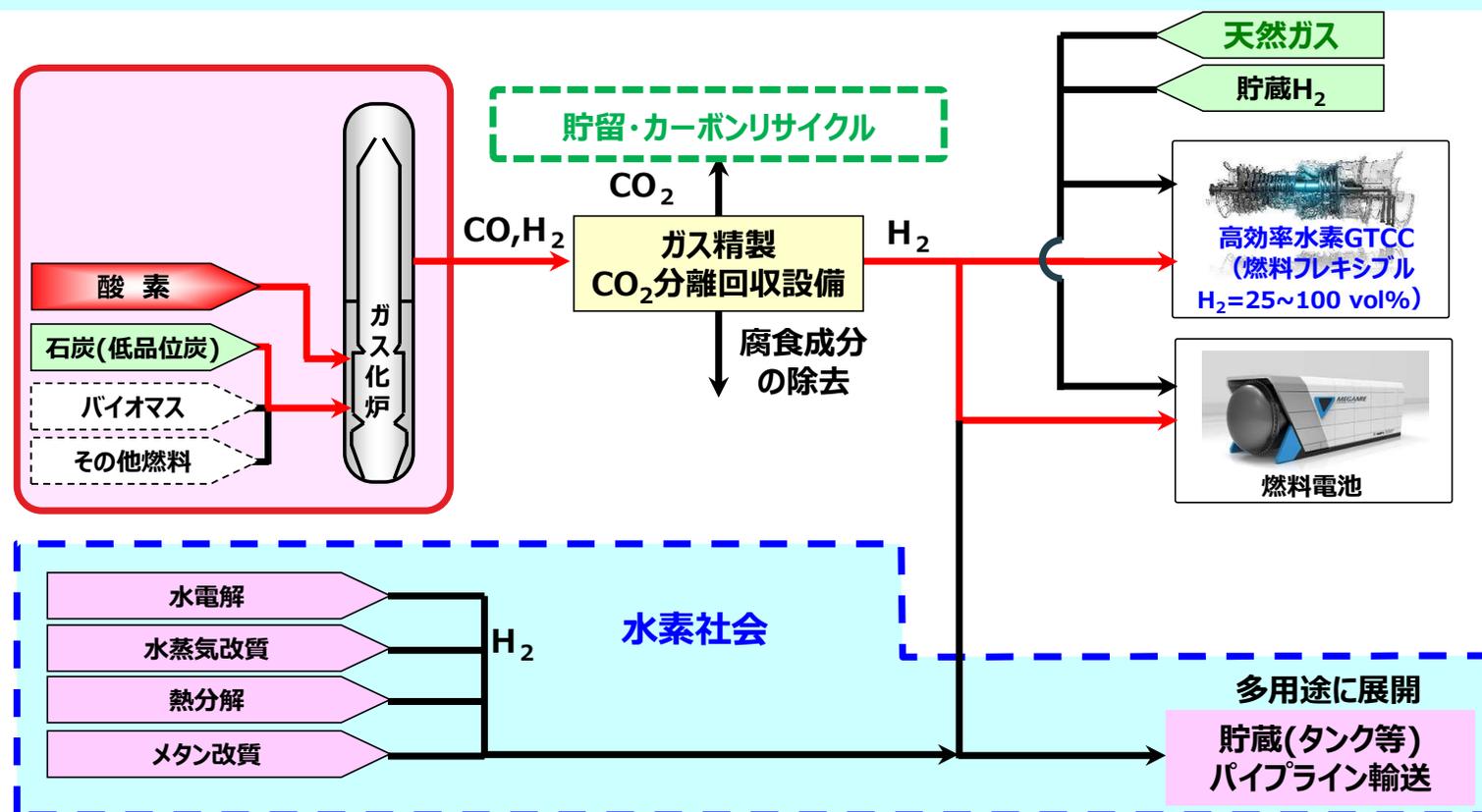
三菱重工業株式会社

# 概要

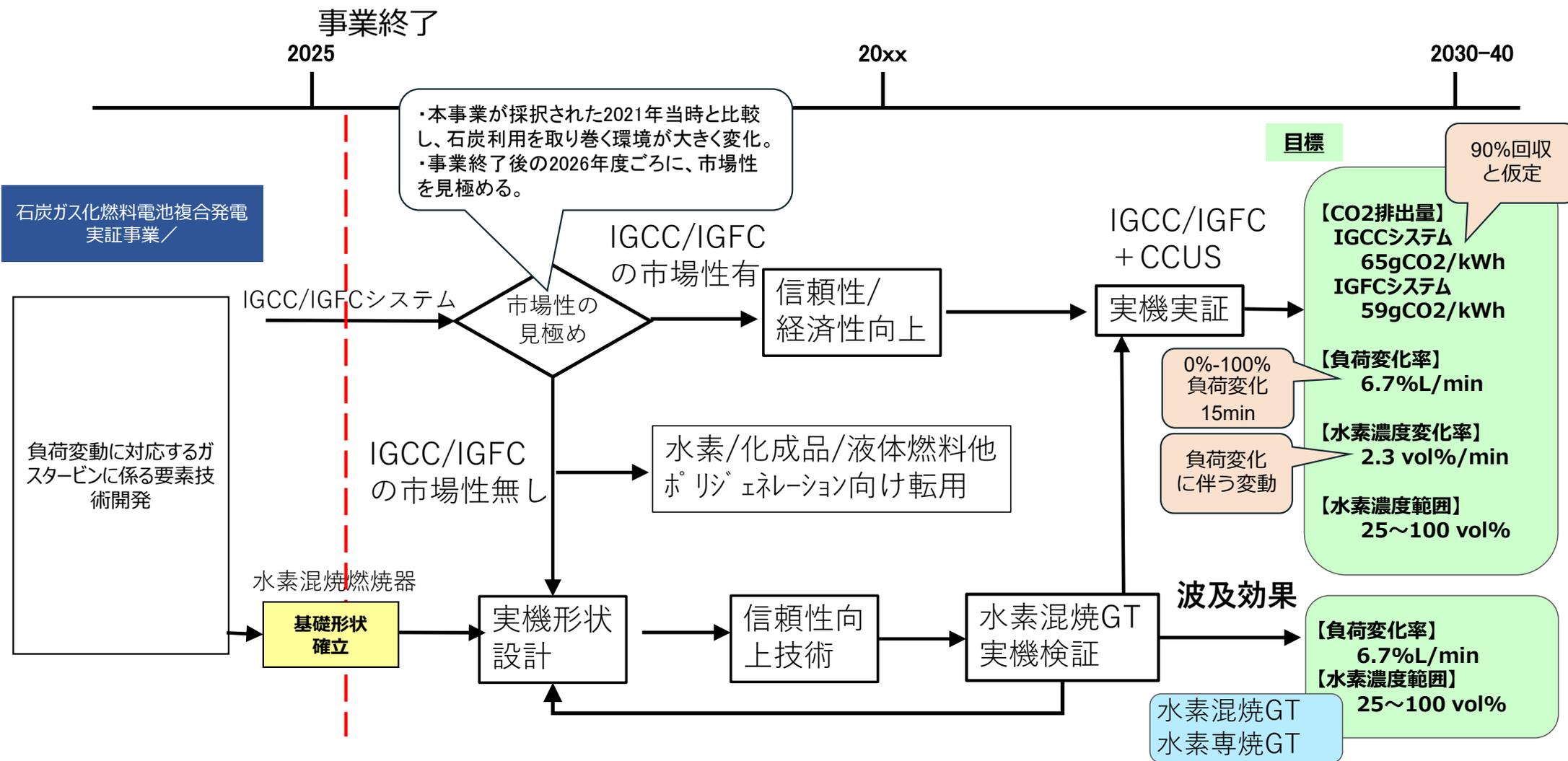
- 火力発電の高効率化、カーボンニュートラル化を目指し、IGCC、IGFCとCO<sub>2</sub>分離・回収技術を組み合わせたCO<sub>2</sub>分離・回収型IGCC/IGFC実証事業を実施しています。
- 負荷変動対応の重要性が増加したためフォローアップ技術開発として、**CO<sub>2</sub>分離・回収型IGFCのCO<sub>2</sub>分離・回収負荷変動に対応するガスタービン燃焼器に係る要素技術開発を実施中**。本日は本件の開発状況を説明します。



- ・本事業は、将来のグリーン/ブルー水素による発電やCO<sub>2</sub>フリー燃料製造、水素・化成品製造などの石炭ガス化技術の多用途展開、およびカーボンリサイクル、水素社会との協調、連携に貢献



# 社会実装までの道筋

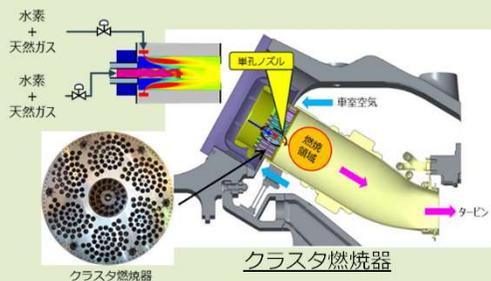


# 目標達成に必要な要素技術

## A. 広範な水素濃度変化に対応可能なGT燃焼技術開発

水素濃度25~100 vol%に対応可能な**GT燃焼技術の開発**

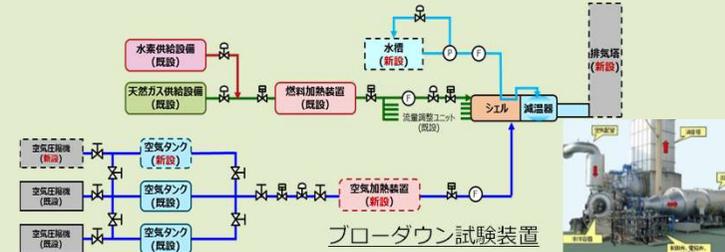
- ・水素濃度25~100 vol%に対して、逆火耐性と保炎性を両立し、低NOxを実現する燃焼技術を開発
- ・高速負荷変化運転を実現する水素濃度変化率2.3 vol%/min 以上を満たす燃焼技術の開発



## B. ブローダウン燃焼試験設備開発

燃焼器開発を加速する**燃焼試験設備の開発**

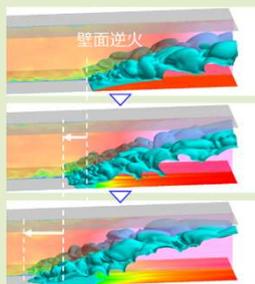
- ・実機相当の温度・圧力条件にて、水素/天然ガス混合ガスの水素濃度、水素濃度変化率の試験が可能な燃焼試験設備開発
- ・任意の燃焼振動周波数を再現できる燃焼試験設備開発
- ・ブローダウン式燃焼試験の運転制御・試験手法の開発



## C. 水素燃焼解析技術の開発 (京都大)

水素燃焼の逆火・燃焼振動を再現する**燃焼解析技術開発**

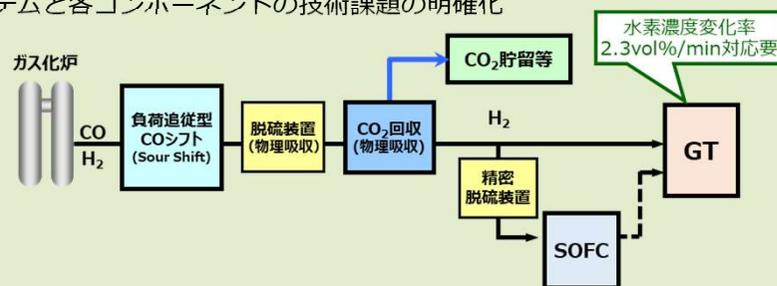
- ・燃焼解析による壁面逆火発生メカニズムの評価
- ・燃焼解析による燃焼振動発生メカニズムの評価



## D. IGCC+CCUS/IGFC+CCUSシステム検討

高速負荷速度に追従させる**システム基本構成検討**

- ・IGCC/IGFC+CCUSシステムの基本構成/機器仕様検討
- ・システムの運転シーケンスの検討
- ・システムと各コンポーネントの技術課題の明確化



[1] Yunoki, K, Murota, T, Asai, T, & Okazaki, T., "Large Eddy Simulation of a Multiple-Injection Dry Low NOx Combustor for Hydrogen-Rich Syngas Fuel at High Pressure," Proceedings of the ASME Turbo Expo 2016, GT2016-58119.

# アウトプット(終了時)目標の設定及びこれまでの実績

研究開発項目	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2030-40
A. 広範な水素濃度変化に対応可能なガスタービン燃焼技術の開発	→			→	→	→
B. ブローダウン燃焼試験設備の開発	→			→	→	→
C. 水素燃焼解析技術の開発	→			→	→	→
D. IGCC+CCUS/IGFC+CCUSシステム検討	→			→	→	→

研究開発項目	終了評価時目標 (2026年03月)	2024年度目標(2025年03月)	中間成果 (実績) (2024年12月)
A. 広範な水素濃度変化に対応可能なガスタービン燃焼技術の開発	・燃焼器試験にて、H <sub>2</sub> =25~100 vol%に対して、NOx 50 ppm以下、H <sub>2</sub> 変化率 2.3 vol%/min以上の達成	・燃焼器試験にて、H <sub>2</sub> =50~100 vol%に対して、NOx 50 ppm以下、H <sub>2</sub> 変化率 2.3 vol%/min以上の達成	・H <sub>2</sub> =50~100%対応検証のため大型燃焼器を制作中。 ・さらなる低NOx化に向けた打ち手を検証。
B. ブローダウン燃焼試験設備の開発	・開発した装置を燃焼器開発に活用	・ブローダウン燃焼試験設備完成、装置試運転完了	・ブローダウン燃焼試験設備設置が完了。 ・試運転完了により動作を確認済み
C. 水素燃焼解析技術の開発	・実燃焼器での燃焼振動発生メカニズムの評価	・実燃焼器での水素専焼および水素混焼の壁面逆火発生メカニズムの評価	・実燃焼器を対象とした、逆火評価計算を実施中。
D. IGCC+CCUS/IGFC+CCUSシステム検討	・IGCC/IGFC+CCUSの全体システムと各コンポーネントの技術課題の明確化	・IGCC/IGFC+CCUSシステムの緊急時対応の検討	・IGCC/IGFC+CCUSシステムの高負荷変化で律速となりうるCOシフト触媒の負荷変化特性について検討しGT負荷変化速度(6.7%/min)に追従可能な見通しを得た。 ・当該システムの起動、停止手順を検討した。 ・現在、インターロック等について検討中。

# A. 広範な水素濃度変化に対応可能なGT燃烧技術開発

- **目標** : 水素濃度25~100 vol%に対応可能なバーナコンセプトを設計し、燃烧器試験にて、水素濃度25~100vol%に対して、NOx 50ppm (15%O<sub>2</sub>換算) 以下を達成。
- **内容** : 水素濃度25~100 vol%に対応可能な①要素バーナ、②燃烧器単缶の燃烧技術の開発

● 逆火リスクの高い高水素燃料に対し、高い逆火耐性をもち、かつ低NOx化が可能な多孔噴流燃烧方式（クラスタバーナ）が有効。  
**クラスタバーナコンセプト**

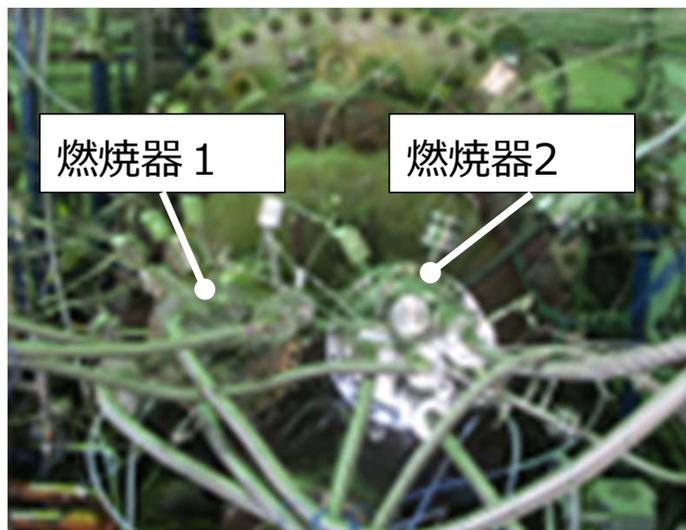
- 1) 旋回流なく、高速流を形成。燃料混合スケールが小さく、混合距離の短縮が可能 → **逆火リスク 低**
- 2) 燃料分散化による空気有効利用 → **低NOx化**

燃烧方式	燃烧器	説明
天然ガス用予混合燃烧器		<p>低速域&amp;長い予混合距離 → 逆火リスク高</p>
マルチクラスタ燃烧器		<p>旋回流無く、高速流 &amp; 混合スケールが小さく、混合距離短縮可能 → 逆火リスク低</p> <p>燃料分散化による空気有効利用 → 低NOx化</p>

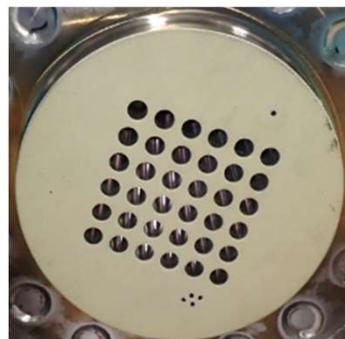
図A-1 燃烧器方式

## A.広範な水素濃度変化に対応可能なGT燃烧技術開発

- 旋回のないクラスタ燃烧器について、ガスタービンの起動時における点火特性やガスタービンの回転数の昇速時における燃烧安定性を中小型クラスタ燃烧器を用いて検証。それを受けて、大型ガスタービン向けクラスタ燃烧器を制作中。
- 要素バーナ試験により、低NO<sub>x</sub>化に向けた打ち手を評価。



図A-2 点火試験状況



図A-3 要素モデルバーナ



図A-4 要素モデルバーナ用高圧試験装置

# 研究開発項目「B.ブローダウン燃焼試験設備開発」の成果と意義

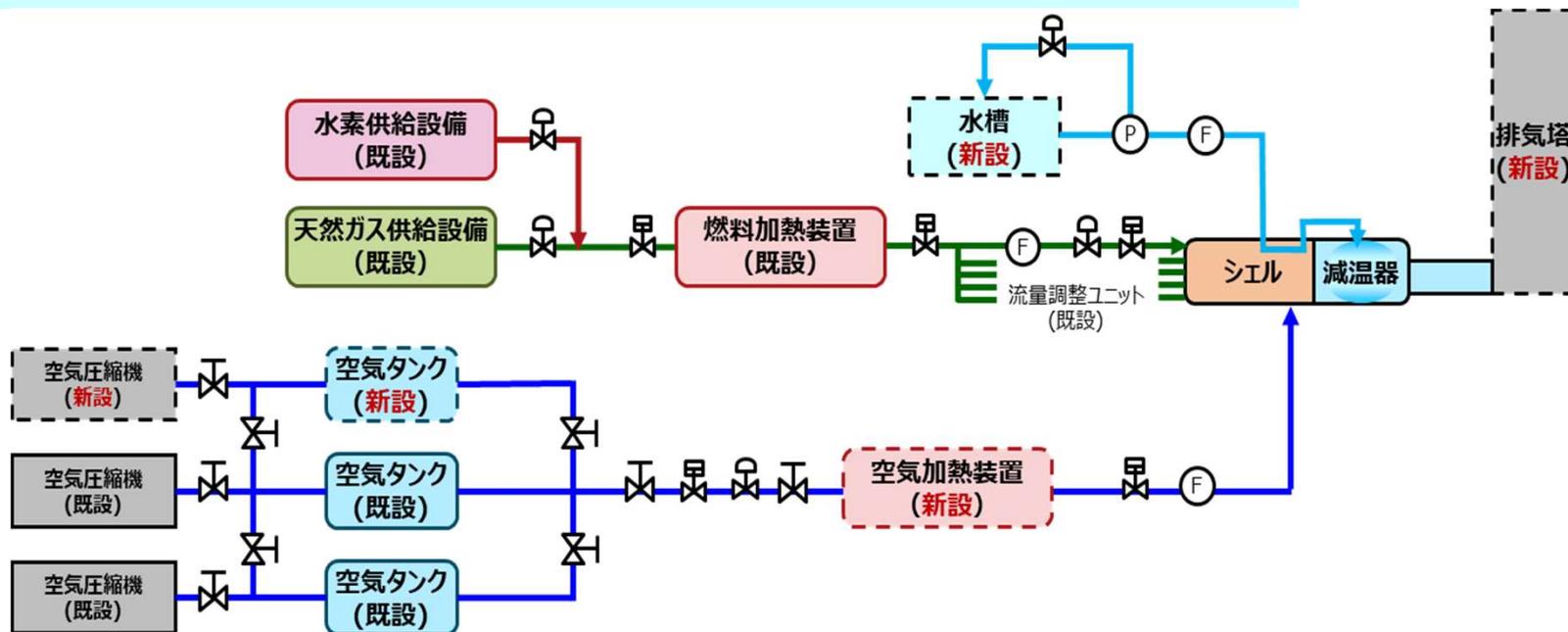
## ■ 目標

燃焼器開発スピードの向上を図るために、多数の供試体のスクリーニングが可能な燃焼試験設備を開発する。  
水素濃度変化率2.3vol%/min以上で変化可能かつ、大型GT相当の温度・圧力条件で試験可能。

## ■ 実施内容：方式検討

- ・空気供給源に高圧の大型貯気槽（空気タンク）を用いたブローダウン方式とする。
- ・燃料供給源はボンベカードルで、任意の水素濃度に設定可能な既存の燃料系統を移設する。

## ■ 成果：設備が完成し、試運転にて動作を検証。



図B-1 ブローダウン試験装置概略図

# 研究開発項目「C.水素燃焼解析技術の開発」の成果と意義

## ■ 目標

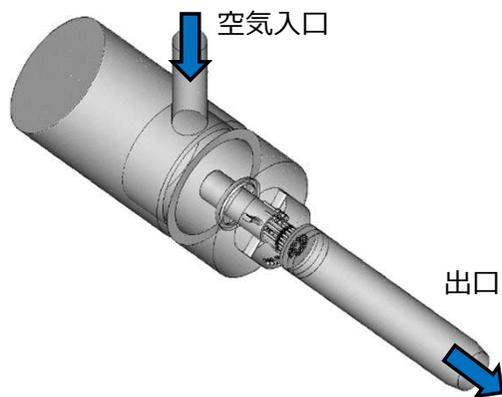
燃焼器内不安定現象(逆火)を再現し、発生メカニズムの特定に繋がる知見を得る。

## ■ 実施内容と成果

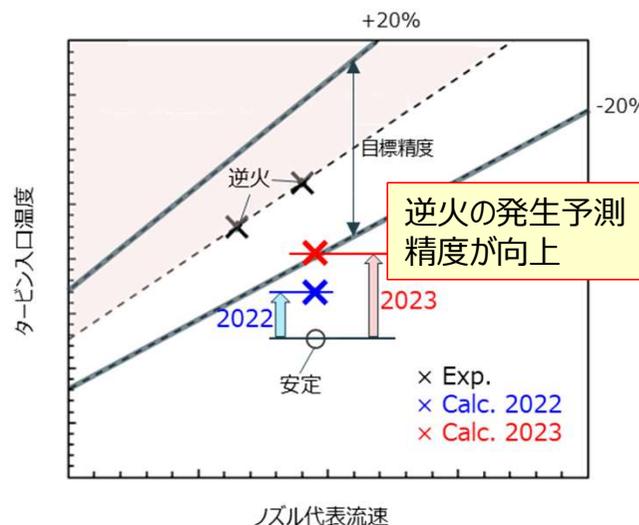
京都大学 黒瀬教授への委託研究にて低コスト/高精度で逆火を再現可能な燃焼モデルの開発に取り組み、以下の成果を得た。

- ・富岳 を活用した大規模計算によりモデルバーナ形状でGT実機条件における逆火の再現に成功、そのメカニズムの一端を明らかにした。
- ・水素の拡散性（選択拡散効果）を考慮に入れた燃焼モデル（Non-adiabatic Flamelet Generated Manifolds Preferential Diffusion: NA-FGM-PD）を開発することにより、逆火発生の予測精度の向上が図れた。
- ・2024年度は燃焼器一缶に対して解析を実施し、逆火の発生メカニズムの解明に取り組み中

モデルバーナ 逆火解析モデル



図C-1 要素燃焼試験逆火解析領域



図C-2 要素燃焼試験逆火解析結果 (モデル改良効果)

本研究の一部は、スーパーコンピュータ「富岳」の計算資源の提供を受け実施したものであり、記して謝意を表す。(課題番号：hp220051)

© MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. All Rights Reserved.

注意：本資料の第三者への再配布はご遠慮願います。ご希望の場合は三菱重工業(株)総合研究所までお問い合わせ願います。

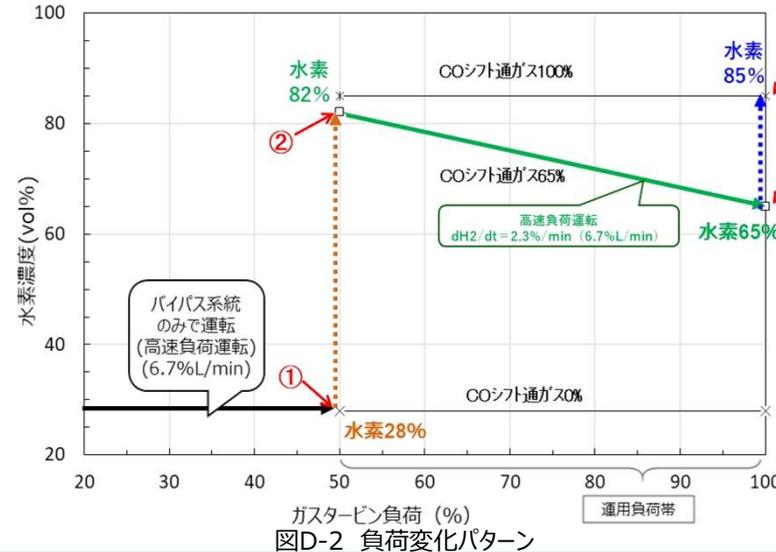
# 研究開発項目「D. IGCC+CCUS/IGFC+CCUSシステム検討」の成果と意義

■ **目標**： GT負荷変化速度(6.7%/min)に追従可能な全体システムの基本構成、必要な機器・仕様を検討し、プラント起動～停止のシステム全体の運転要領を構築する。

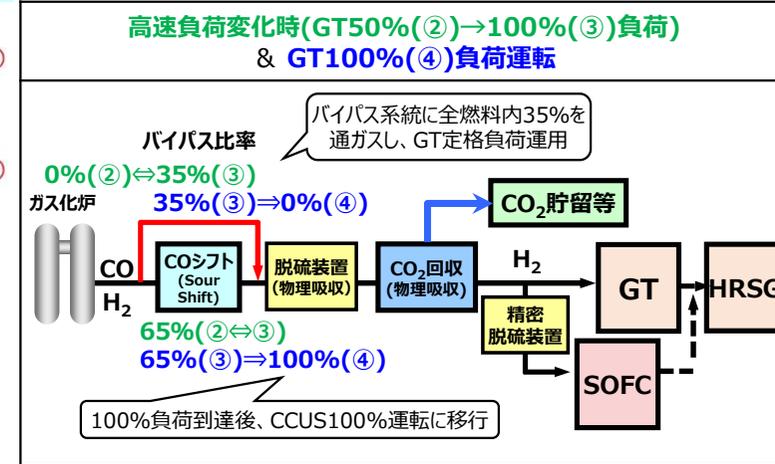
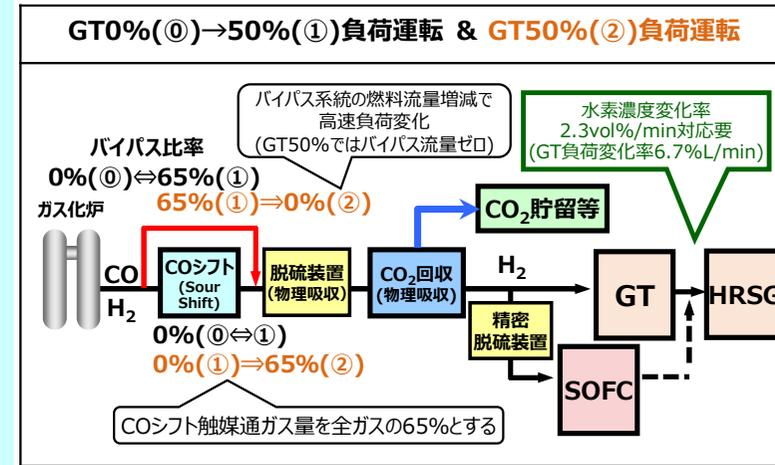
■ **検討方針**

1. IGCC+CCUS/IGFC+CCUSシステムに**負荷調整力を持たせることを最優先事項**とし、高速負荷変化時(GT負荷変化率6.7%/min)にはプラント発電効率及びCO<sub>2</sub>回収率低下を許容。
2. **CO<sub>2</sub>排出量を極力低減させるとともに高速負荷変化率を両立**し、さらにCOシフト反応触媒を保護するために、当該触媒への通ガス量を一定とし**バイパスシステムの流量を変動させるシステム**とした。(右図参照)
3. IGFC+CCUSシステムにおける高速負荷変化運用では、**SOFCへの燃料ガス供給量を一定**に保つため燃料系統を分岐し、GTへの燃料ガス供給量の増減によって高速負荷変化させる。

■ **成果** 起動・停止フローの検討完了。2024年度は不具合発生時のインターロックなどについて検討中



図D-2 負荷変化パターン



図D-1 高速負荷変化率を実現するシステム構成及び運転方法

高速負荷変動に追従可能なIGCC/IGFC + CCUSに必要な技術として、燃焼器要素技術を開発中です。

本成果は、IGCC/IGFC + CCUSへの適用だけでなく、波及効果として水素混焼GTへの展開も考えていきます。

**MOVE THE WORLD FORWARD**

**mitsubishi**  
**HEAVY**  
**INDUSTRIES**  
**GROUP**