

# 「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～2023年度 3年間  
(2024年度～2025年度 継続予定)

### プロジェクトの詳細（公開版）

2023年12月 13日

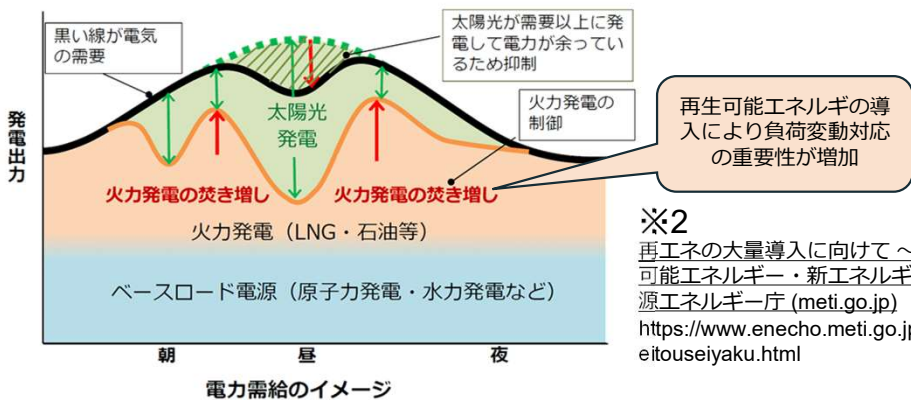
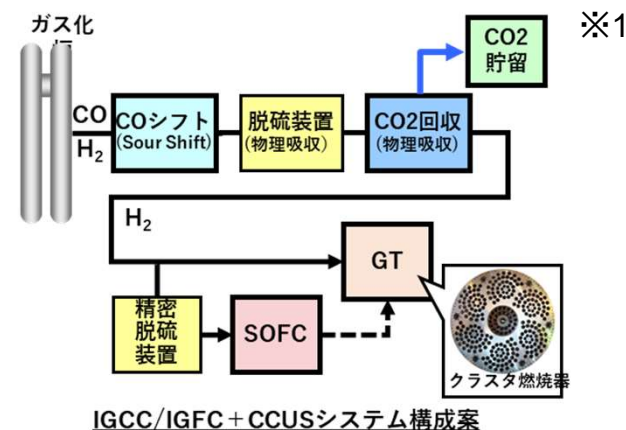
三菱重工業株式会社

# 概要

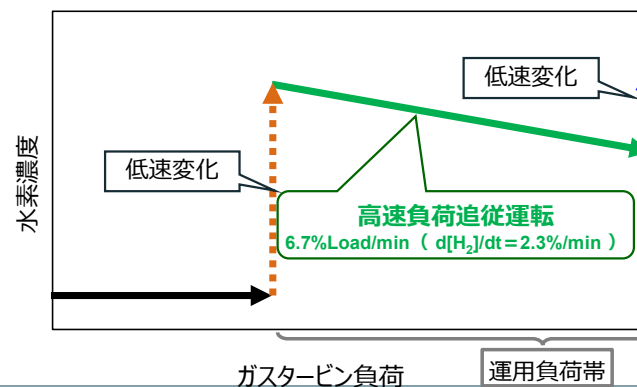
- 火力発電の高効率化、カーボンニュートラル化を目指し、IGCC、IGFCとCO<sub>2</sub>分離・回収技術を組み合わせたCO<sub>2</sub>分離・回収型IGCC/IGFC実証事業を実施しています。
- 負荷変動対応の重要性が増したためフォローアップ技術開発として、**CO<sub>2</sub>分離・回収型IGFCのCO<sub>2</sub>分離・回収負荷変動に対応するガスタービン燃焼器に係る要素技術開発を実施中**。本日は本件の開発状況を説明します。



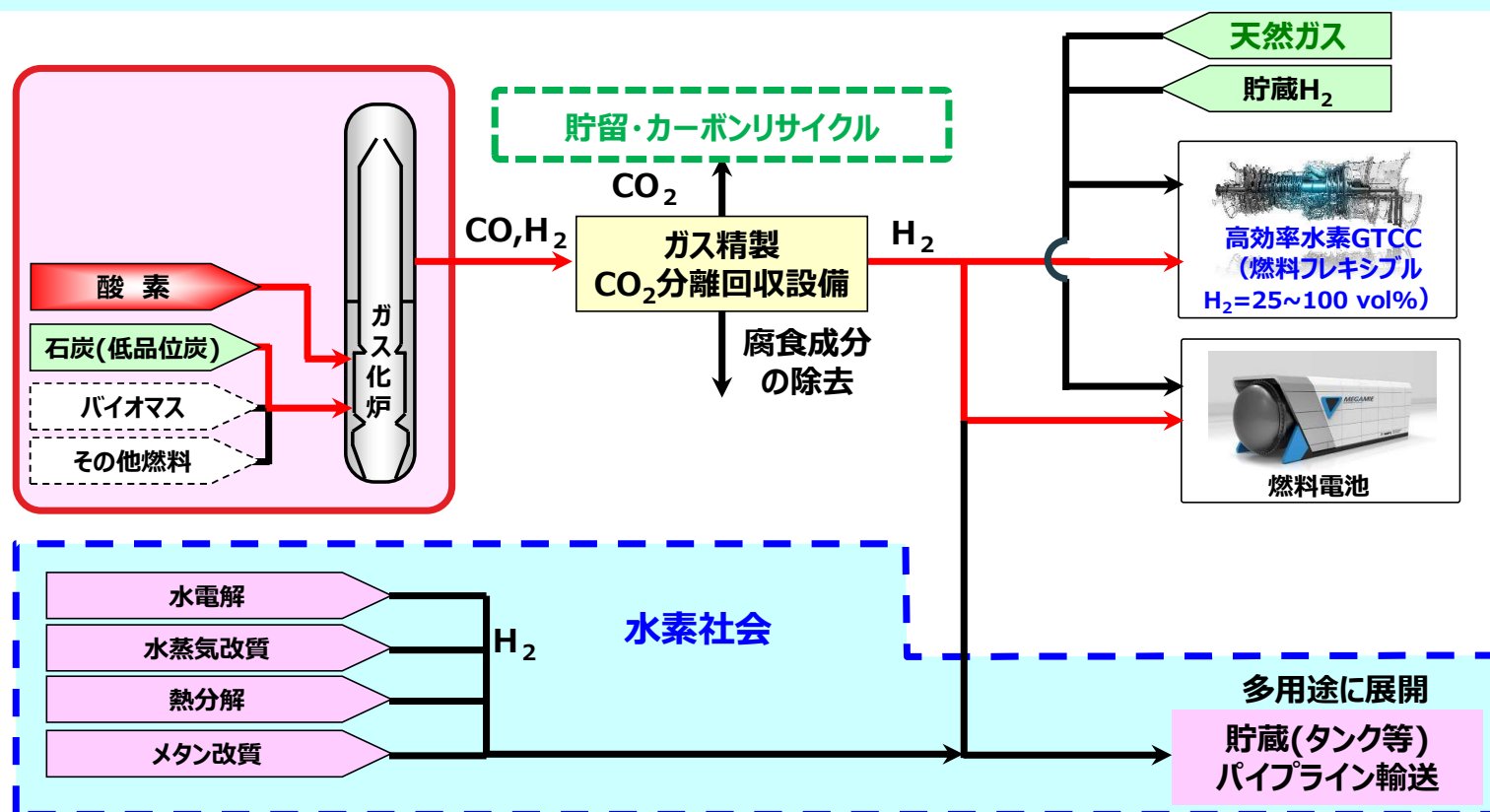
※1  
 研究評価委員会「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発 / [1] 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業」(中間評価) 分科会  
[https://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/ZZBF\\_100691.html](https://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/ZZBF_100691.html)



※2  
 再生エネの大量導入に向けて～「系統制約」問題と対策 | 再生可能エネルギー・新エネルギー | スペシャルコンテンツ | 資源エネルギー庁 (meti.go.jp)  
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/tokushu/saiene/keitouseiyaku.html>



- ・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

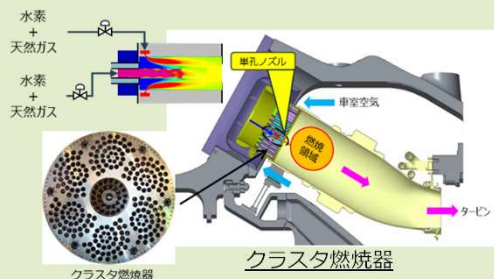


# 目標達成に必要な要素技術

## 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**

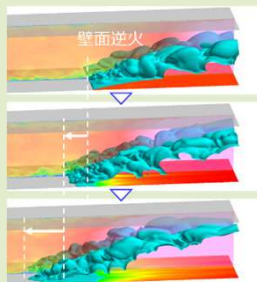
- ・水素濃度25~100 vol%に対して、逆火耐性と保炎性を両立し、低NOxを実現する燃焼技術を開発
- ・高速負荷変化運転を実現する水素濃度変化率2.3 vol%/min 以上を満たす燃焼技術の開発



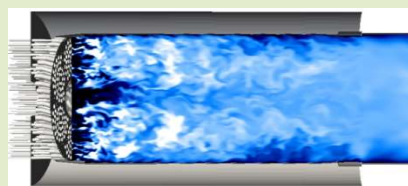
## C. 水素燃焼解析技術の開発 (京都大)

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



壁面逆火現象

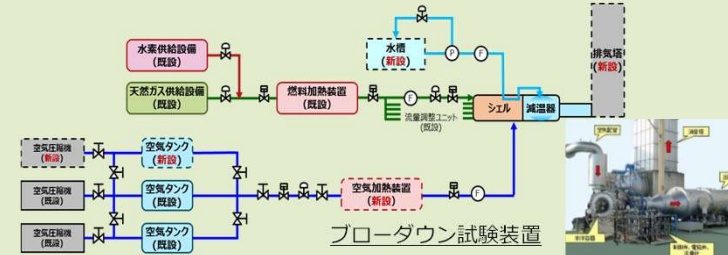


実機燃焼器の解析例[1]

## 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**

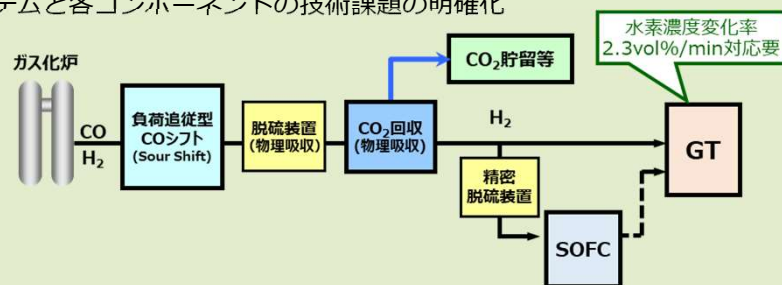
- ・実機相当の温度・圧力条件にて、水素/天然ガス混合ガスの水素濃度、水素濃度変化率の試験が可能な燃焼試験設備開発
- ・任意の燃焼振動周波数を再現できる燃焼試験設備開発
- ・ブローダウン式燃焼試験の運転制御・試験手法の開発



## 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)目標の設定及び根拠

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	→		中間評価	→		終了時評価
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	→			→		
						最終目標

研究開発項目	中間目標(2024年3月)	終了評価時目標(2026年03月)	中間成果(実績) (2023年11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	・H <sub>2</sub> =25~100 vol%対応燃焼器の設計完了	・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	・水素混焼率0~100%で安定燃焼可能なバーナコンセプトを設計しモデルバーナ燃焼試験で確認。 ・H <sub>2</sub> =25~100%対応に向けた大型燃焼器における課題を抽出
B. ブローダウン燃焼試験設備の開発	・高温・高圧条件での水素/天然ガス混合ガスの試験が可能なブローダウン燃焼試験設備設置工事の完了、および装置試運転完了	・開発した装置を燃焼器開発に活用	・機器の詳細仕様を決定し、製作を開始した。 ・主要機器を設置する部分の基礎工事を完了した。 ・画通り工事を進捗しており計画通り完成見込
C. 水素燃焼解析技術の開発	・要素バーナで燃焼モデルの改良完了	・実燃焼器での燃焼振動発生メカニズムの評価	・要素バーナの解析結果から逆火発生メカニズムを明らかにした。 ・簡単な場で改良燃焼モデルの動作を確認済み。
D. IGCC+CCUS/IGFC+CCUSシステム検討	・IGCC/IGFC+CCUSシステムにおいてGT負荷変化速度(6.7%/min)に追従する全体システムの構築	・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システムにおける高速負荷変化において律速となると予想されるCOシフト触媒の負荷変化特性について、OCG実績の最大温度上昇レート20℃/minを制約条件として検討し、昨年度検討したシステム構成においてGT負荷変化速度(6.7%/min)に追従可能な見通しを得た。

# 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

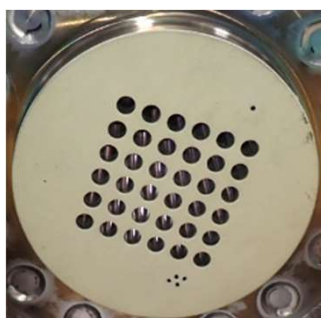
● 逆火リスクの高い高水素燃料に対し、高い逆火耐性をもち、かつ低NOx化が可能な多孔噴流燃烧方式（クラスタバーナ）が有効。  
**クラスタバーナコンセプト**

- 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>

# A.広範な水素濃度変化に対応可能なGT燃烧技術開発

- 要素バーナ試験により、バーナ形状、水素混焼率に対する燃烧特性を評価した。
- ノズル間隔を広げることで水素濃度によらず安定に火炎を保持できることを確認した。



要素モデルバーナ



要素モデルバーナ用高圧試験装置

# A. 広範な水素濃度変化に対応可能なGT燃烧技術開発

- ◆ 中小型燃烧器は、燃烧振動対策により高水素濃度条件の安定燃烧を実現し、高温条件での安定運転に向けて対応中。
- ◆ 燃烧器単缶試験を実施し、水素25~100%対応に向けた大型燃烧器における課題を抽出した。
  - ・ 大型燃烧器でも水素25-100%で運転できることを確認した。今後、より高温条件での運転特性確認と、燃料比率調整によるNOx低減や、燃烧振動低減に向けた対策を実施する。

試験装置/燃烧器	
中小型	<p>実圧燃烧試験設備@勝田</p>  
大型	<p>実圧燃烧試験設備@高砂</p>  



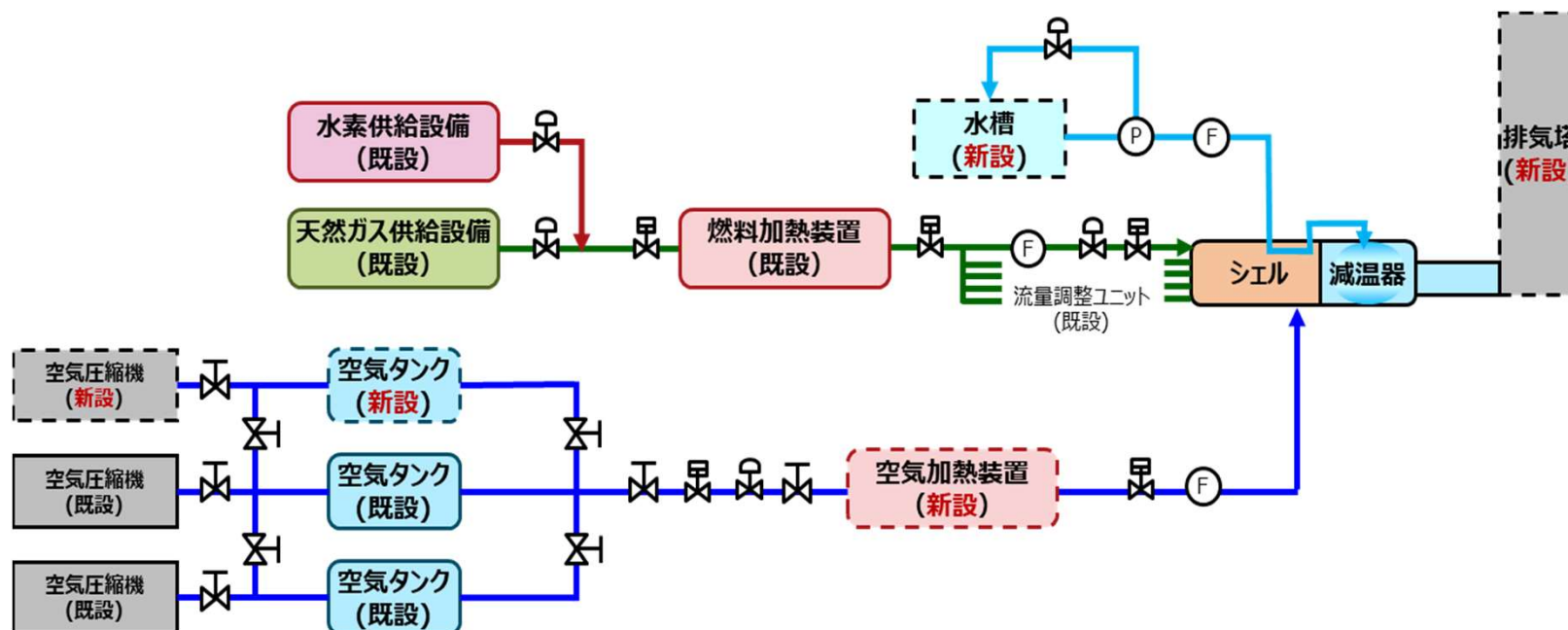
# 研究開発項目「B.ブローダウン燃焼試験設備開発」の成果と意義

## ■ 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。

## ■ 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。



# 研究開発項目「C.水素燃焼解析技術の開発」の成果と意義

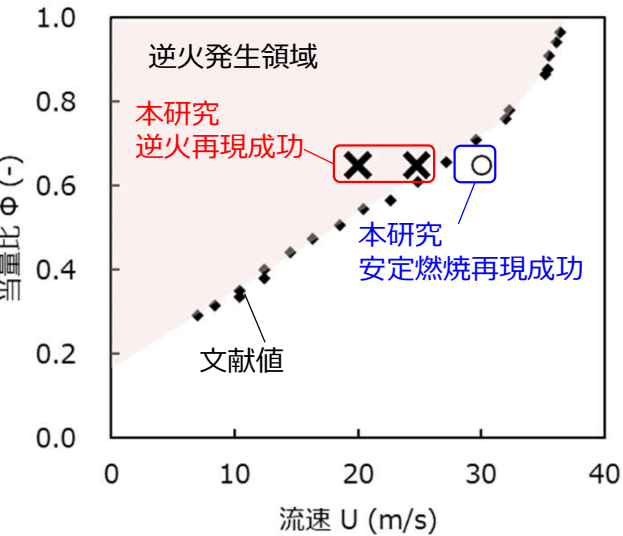
## ■ 目標

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。

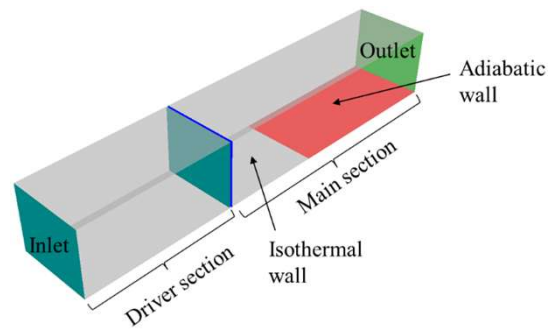
## ■ 実施内容と成果

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。熱損失の影響を考慮可能な燃焼モデルを構築し、平行平板逆火を精度良く再現した。

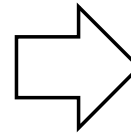
平行平板逆火の発生/非発生を精度よく再現した



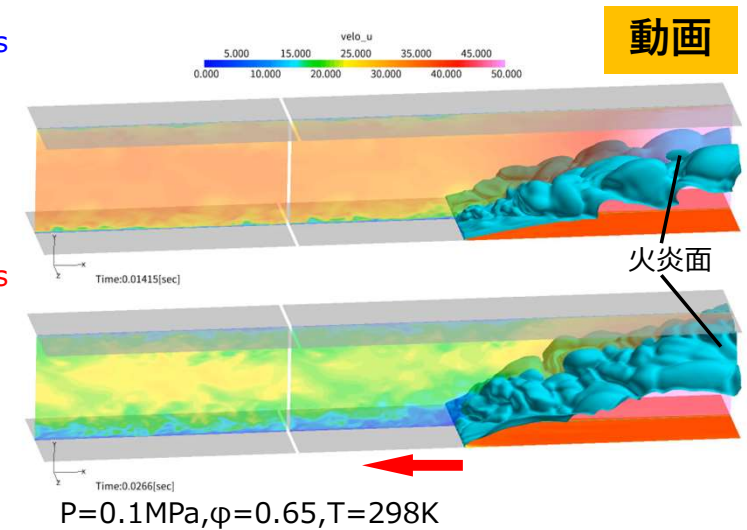
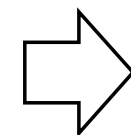
平行平板 逆火解析モデル



$U=30\text{m/s}$   
安定燃焼



$U=20\text{m/s}$   
逆火



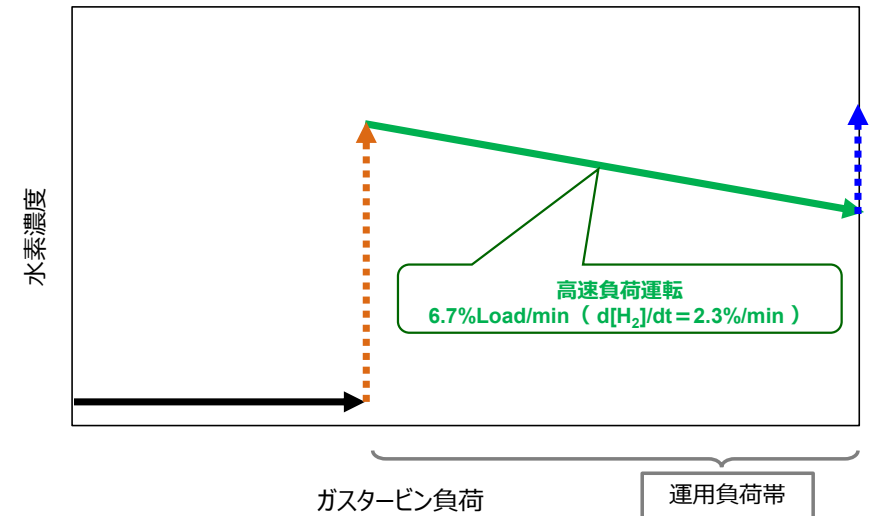
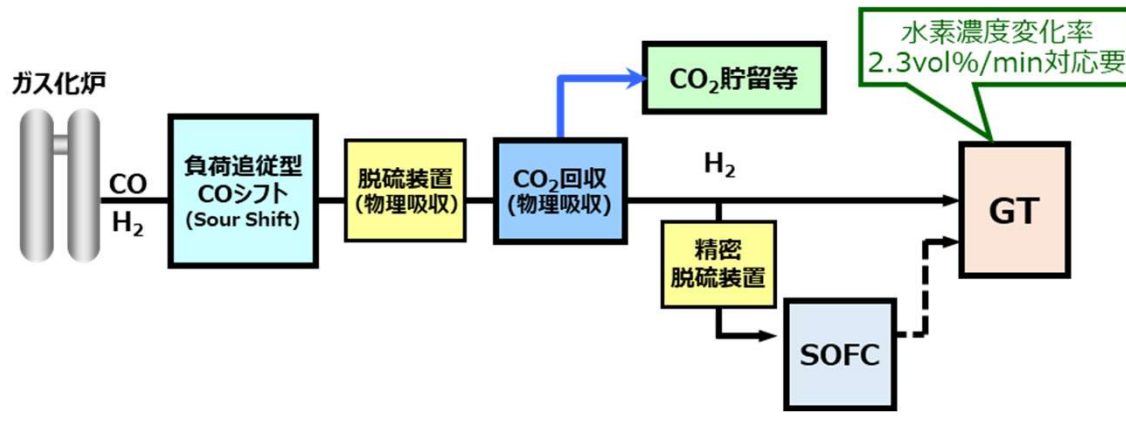
※ Eichler, C., Baumgartner, G., and Sattelmayer, T., "Experimental Investigation of Turbulent Boundary Layer Flashback Limits for Premixed Hydrogen-Air Flames Confined in Ducts," ASME. J. Eng. Gas Turbines Power, 2012, Vol. 134, No. 1, pp.011502.

## ■ 目標

GT負荷変化速度(6.7%L/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。

## ■ 実施内容と成果

1. プラント運用方針としては、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%L/min)にはプラント発電効率及びCO<sub>2</sub>回収率低下を許容する思想として検討した。
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シフト反応触媒の温度急上昇による性能劣化や損傷から触媒を保護するシステムとして検討。



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（25-100%）への展開も考えていきます。

**MOVE THE WORLD FORWARD**

**mitsubishi**  
**heavy**  
**industries**  
**group**