

発表No.B2-9

水素社会構築技術開発事業
／大規模水素エネルギー利用技術研究開発
／低炭素社会実現に向けた水素専焼対応型
Dry Low NOx高温ガスタービン発電設備の研究開発

発表者名

齊藤圭司郎

団体名

三菱重工業株式会社

発表日

2022年7月14日

連絡先

三菱重工業株式会社

<https://www.mhi.com/>

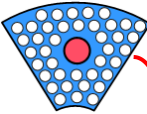
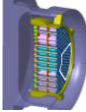

事業概要

1. 期間

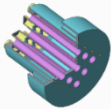
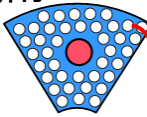
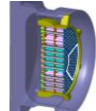

開始 : 2020年7月

終了 : 2023年3月

2. 最終目標

開発項目	最終目標
A-1 モデルバーナの設計技術 	・高温高圧下のモデルバーナ燃焼試験にて、逆火の発生なく、燃焼器出口NOx50ppm以下
A-2 シングルセグメントの設計技術 	・高温高圧下のセグメントバーナ燃焼試験にて、逆火の発生なく、燃焼器出口NOx50ppm以下
A-3 大型ガスタービン燃焼器設計技術 	・クラスタバーナ計画図の完成および燃焼器全体計画図の完成
B-1 大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術 	・土工工事・水素蓄圧器設置・電気工事・保温工事の完成
B-2 高温高圧下での燃焼器燃焼試験 	・実圧燃焼試験にて、計画運転条件において逆火の発生なく、燃焼器出口でNOx 50ppm以下

3. 成果・進捗概要

開発項目	成果内容	達成度
A-1 モデルバーナの設計技術 	・燃焼試験により、高圧条件で、フラッシュバックの発生無くターゲット計画条件にてNOx 50ppm (15%O2換算)以下を達成した	○
A-2 シングルセグメントの設計技術 	・燃焼試験により、高圧条件で、フラッシュバックの発生無くターゲット計画条件にてNOx 50ppm (15%O2換算)以下を達成した	○
A-3 大型ガスタービン燃焼器設計技術 	・燃焼器の詳細設計完了	○
B-1 大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術	・土工工事・水素蓄圧器設置・電気工事・保温工事、全て完了し、法定検査合格 ・燃焼試験を実施し、設備の検証まで完了。	○
B-2 高温高圧下での燃焼器燃焼試験 	・高温高圧下の燃焼試験で水素専焼を達成。 ・目標のNOx 50ppm以下は達成できず。	△

◎：大幅達成、○：達成、△：一部達成、×：未達

1. 事業の位置付け・必要性

◆背景・目的・概要

●背景

- ・水素社会の実現には、水素インフラの充実と普及拡大が必要
- ・国内では、水素基本戦略、グリーン成長戦略が策定され、**水素導入量目標を設定**
(2030年：最大300万t/年、2040年：1,200万t/年、2050年：2,000万t/年)
- ・国内の天然ガス焚き発電所の水焚き専焼転換により、目標の達成に大きく寄与

国内外の情勢変化、戦略策定の状況



グリーン成長戦略における量及びコストの目標

□ 年間導入量*：発電・産業・運輸などの分野で幅広く利用

現在 (約200万t) → 2030年 (最大300万t) → 2050年 (2000万t程度)

※水素以外にも直接燃焼を行うアンモニア等の導入量 (水素換算) も含む数字。

□ コスト：長期的には化石燃料と同等程度の実現

現在 (100円/Nm³) → 2030年 (30円/Nm³) → 2050年 (20円/Nm³以下)

出典：METI 第26回水素・燃料電池戦略会議 (2021年6月)

大型GT水素消費量	
水素率 (vol%)	100%
ton/h	27.2
ton/年	19万*

×31台**

ton/年	590万
-------	------

*365日×24h×稼働率80%

**MP 国内納入GTCC (G/J/F形, 効率60%級) 31台試算

1. 事業の位置付け・必要性

◆背景・目的・概要

●事業目的

・水素専焼ドライ低NO_x燃焼方式(クラスタバーナ採用)を用いたガスタービン発電設備の設計に必要な研究開発を実施し、安定運用と低NO_x性の両立に必要な課題の抽出とその解決に向けた設計技術を構築

水素発電技術（混焼、専焼）の実機実証

事業の目的・概要

- 大規模需要を創出する水素ガスタービン発電技術（混焼（体積混焼比率:30%）、専焼）を2030年までに商用化するべく、複数事業者が既存事業*等で開発された燃焼器等を実際の発電所に実装し、異なる実証運転を行うことで、燃焼安定性等を検証する。その際、各種国際サプライチェーン実証事業と緊密に連携する。 *未利用エネルギーを活用した水素サプライチェーン構築実証事業

実施体制（実証内容）

※太字: 幹事企業

- ① **株式会社JERA**（大型ガスタービンによる水素混焼）
- ② **関西電力株式会社**（中型ガスタービンによる水素混焼・専焼）
- ③ **ENEOS株式会社**（大型ガスタービンによる水素専焼）

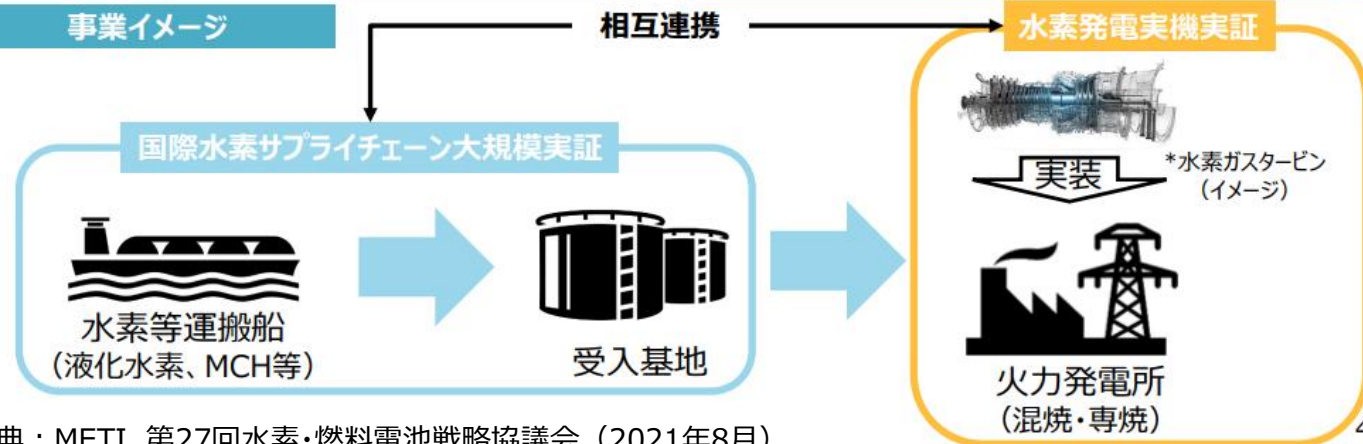
事業期間

- ① 2021年度～25年度（5年間）、② 2021年度～26年度（6年間）、③ 2021年度～30年度（10年間）

事業規模等

- 事業規模
①：約110億円、②：約160億円、③：約240億円
- 支援規模*
①：約70億円、②：約100億円、③：約140億円
*インセンティブ額を含む。今後ステージゲート等で事業進捗等に合わせ合理化見込み
- 補助率等
①～③：1/2（インセンティブ率は10%）

事業イメージ



1. 事業の位置付け・必要性

◆背景・目的・概要

- 水素ガスタービンには、複数の環境的・経済的メリットがある

投資コストの抑制



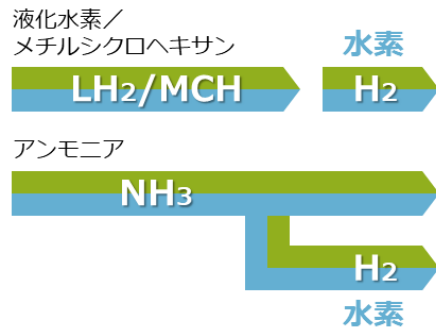
最小限の改造で、既設発電所の低・脱炭素化が可能。

水素需要の喚起



大規模な水素需要を創出し、水素コスト削減を促進。

キャリアへの柔軟性



低純度な水素の利用が可能であり、多様な水素キャリアに対応可能。水素クラッキングコストも低減可能。

再エネとの親和性

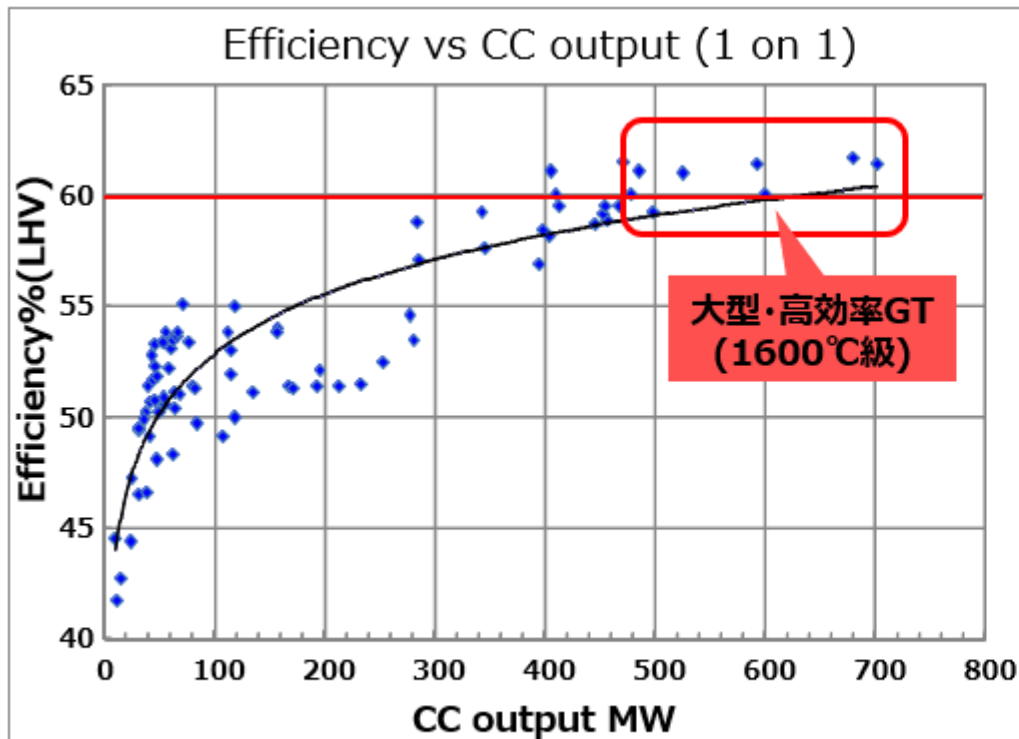


ガスタービンの高い起動・負荷変化特性を生かして、再エネの供給力変動（気象・季節）を補うことが可能。

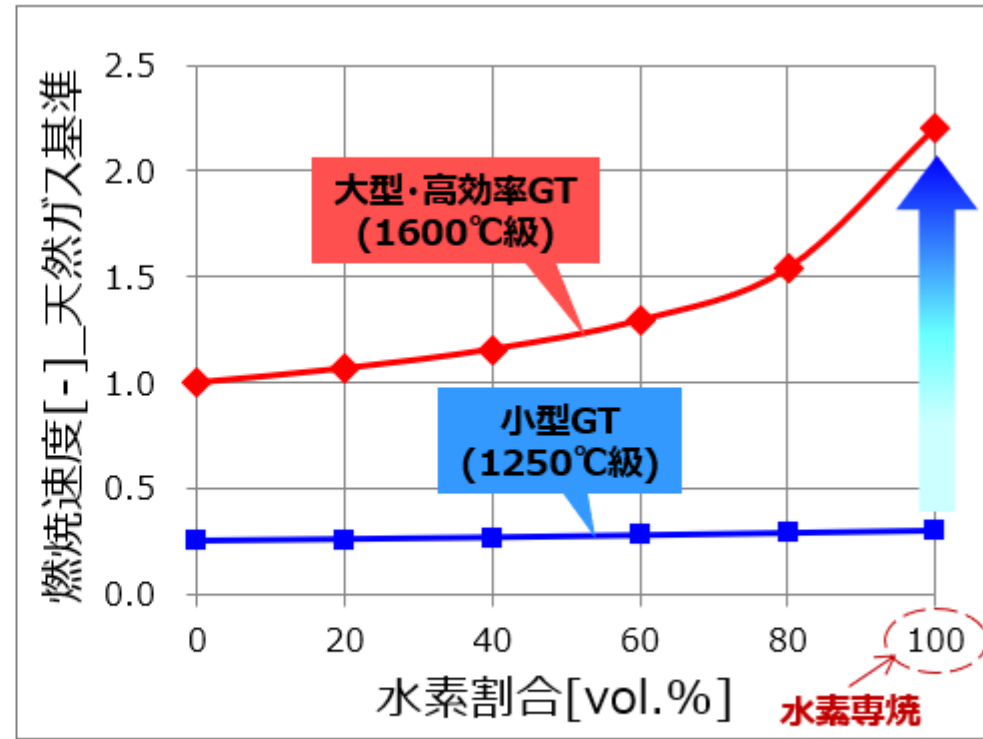
1. 事業の位置付け・必要性

◆背景・目的・概要

- 大型GTに水素焚きを適用し、高効率・低環境負荷発電を実現
- 小型GTに比べて、大型GTは火炎温度が高いため、燃焼速度が増加し、フラッシュバックの発生リスクが増加
 - ➔ 大型・高効率GTの水素専焼では、低NOxとフラッシュバック防止の両立が技術的課題
- 最終目標：実圧燃焼試験にて、逆火の発生なく、燃焼器出口でNOx 50ppm※以下を達成
 - ※脱硝効率90%の脱硝設備を有するプラントにて、煙突出口5ppm以下を満足



CC出力と効率の関係



燃焼速度の比較

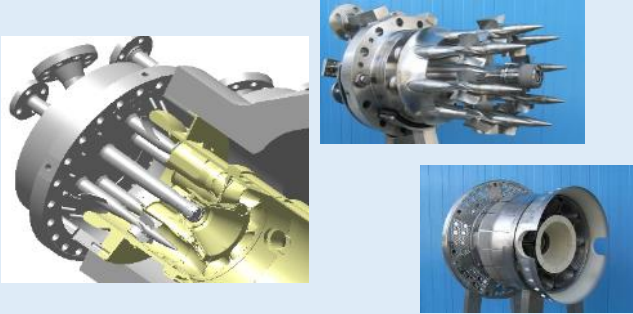
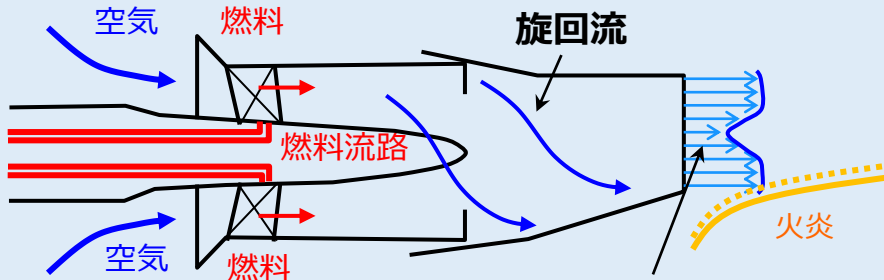
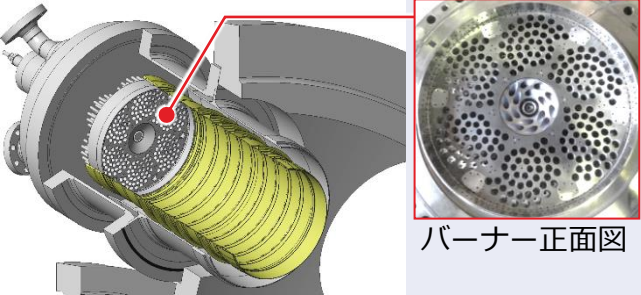
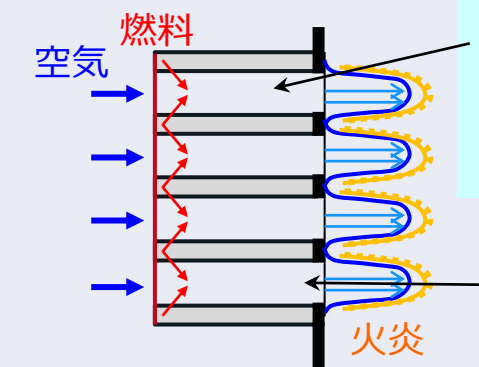
2. 研究開発マネジメントについて

◆水素焚きガスタービン燃焼器

● 逆火リスクの高い水素に対し、高い逆火耐性をもち、かつ低NO_x化が可能な多孔噴流燃焼方式（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NO_x化**

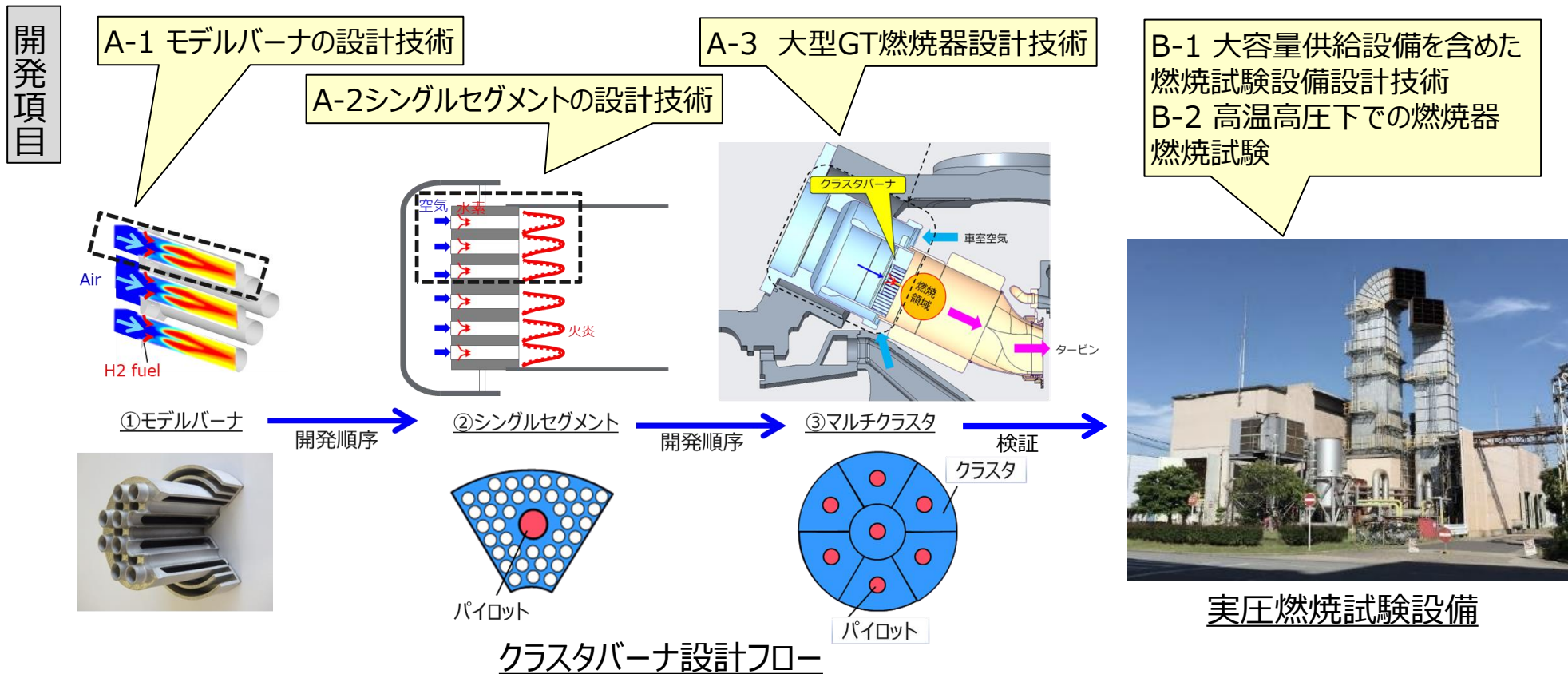
燃焼方式	燃焼器	説明
天然ガス用 予混合燃焼器		 <p>低速域&長い予混合距離 → 逆火リスク高</p>
マルチクラスタ 燃焼器	 <p>バーナー正面図</p>	 <p>旋回流無く、高速流 & 混合スケールが小さく、 混合距離短縮可能 → 逆火リスク低</p> <p>燃料分散化による 空気有効利用 → 低NO_x化</p>

2. 研究開発マネジメントについて

◆ 研究概要

● 研究概要

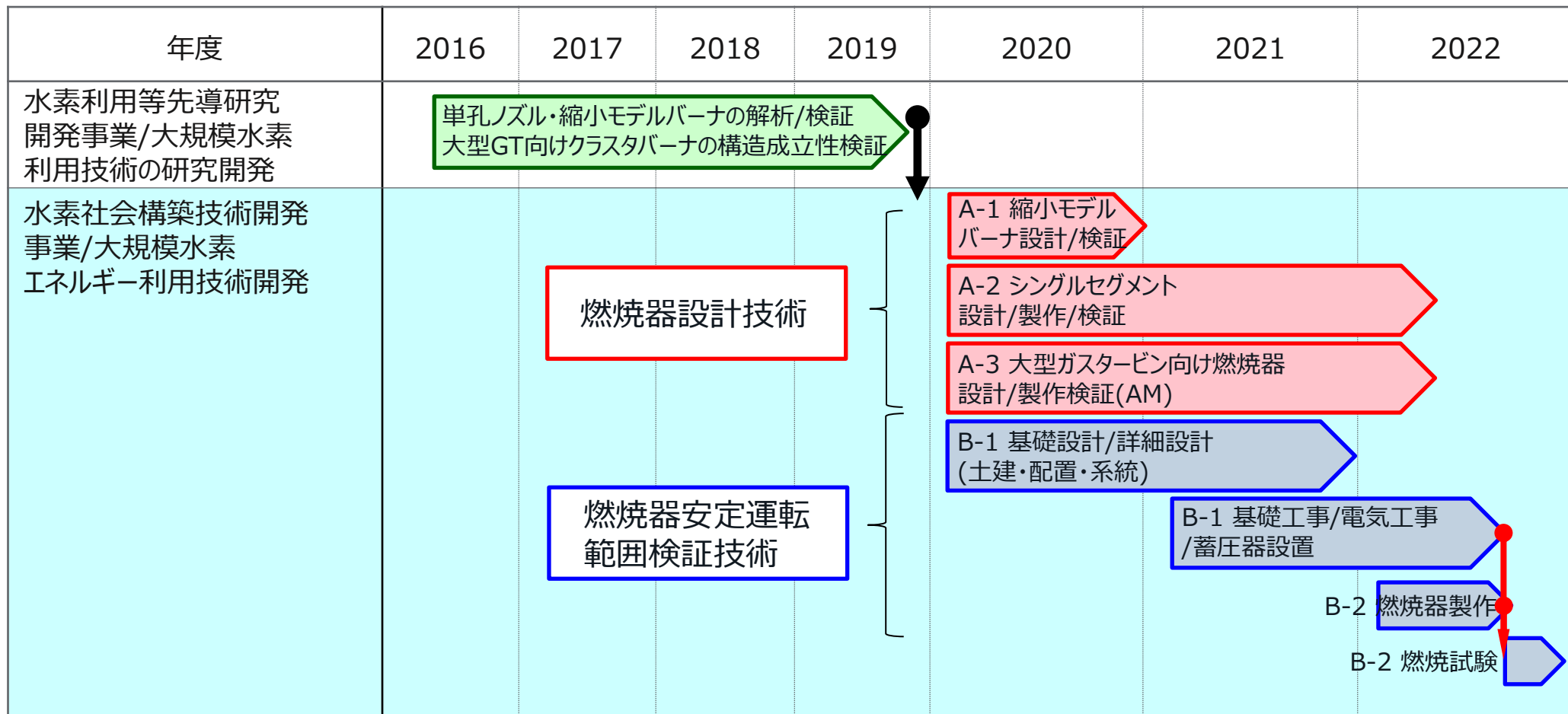
- 高い逆火耐性をもち、かつ 低NOx化が可能なクラスタ燃焼器を、モデルバーナ/シングルセグメント/燃焼器のステップで開発
- 大容量水素供給装置を含む燃焼試験設備を構築し、高温高圧下の燃焼器燃焼試験で性能を検証



2. 研究開発マネジメントについて

◆大型ガスタービン水素専焼の開発スケジュール

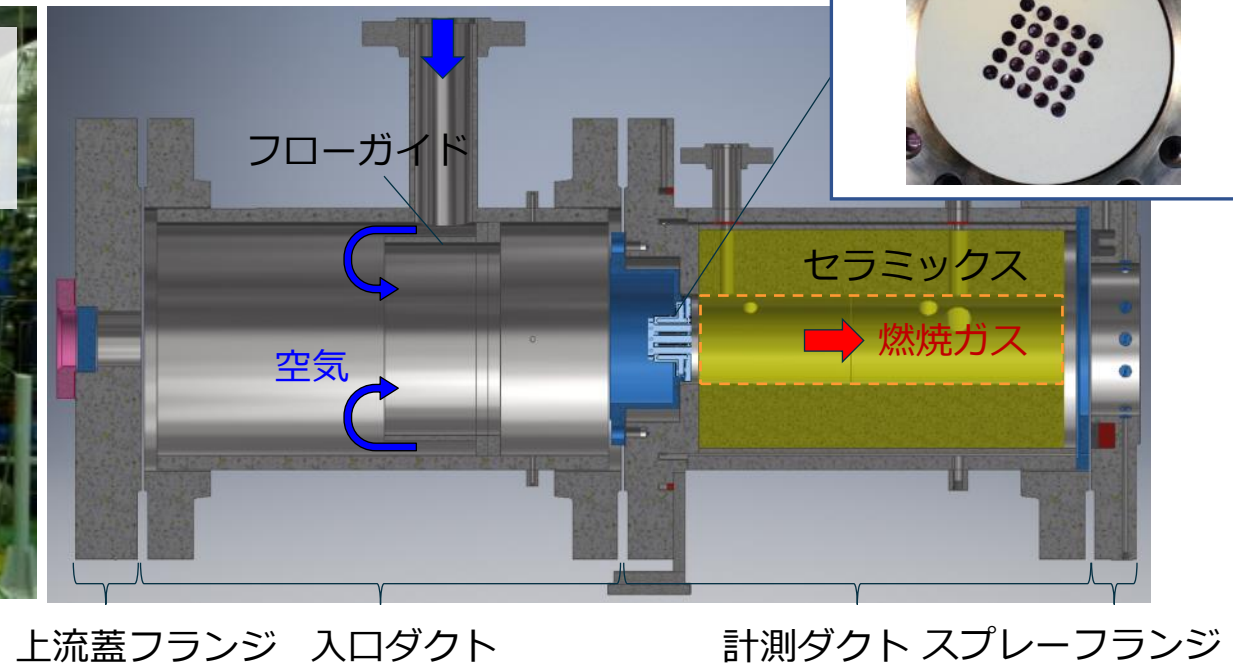
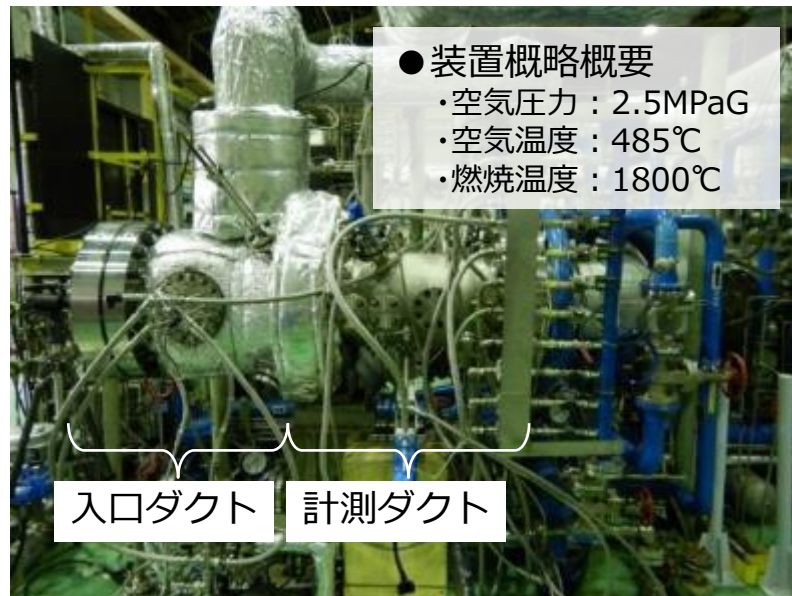
- 2016～2019年度：水素専焼大型ガスタービン向けクラスタバーナの開発・検証
- 2020～2022年度：実用化に向けた設計技術開発、大容量水素供給装置を含む燃焼器検証設備の構築と燃焼器燃焼試験による性能検証



3. 研究開発成果について

A-1、2 モデルバーナ、シングルセグメントの設計技術

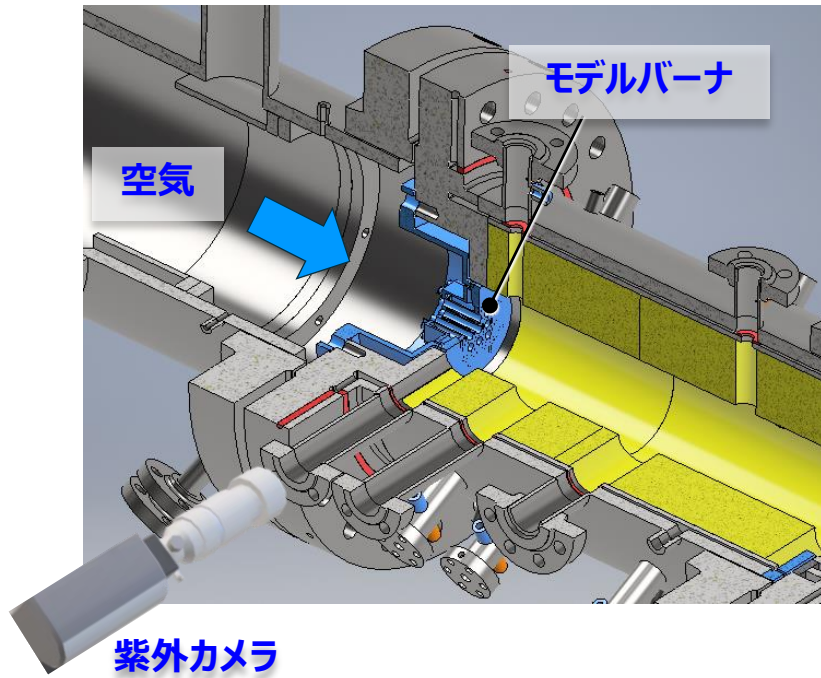
- 目標：逆火なく安定燃焼し、NOx 50ppm(15%O2換算)以下の確認
- 燃焼器の一部を切り出した要素バーナを対象に、高温高压下の燃焼試験を実施し、NOx、逆火耐性、燃焼振動特性などの燃焼性能を検証



3. 研究開発成果について

A-1、2 モデルバーナ、シングルセグメントの設計技術

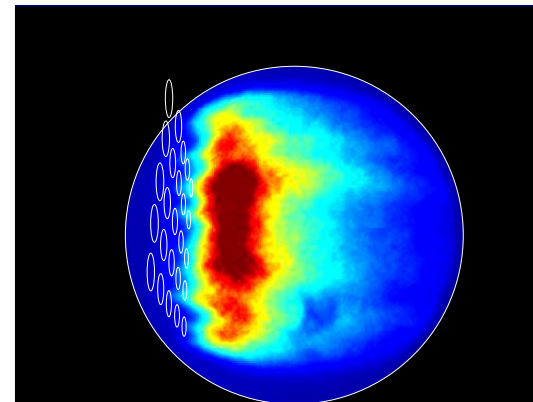
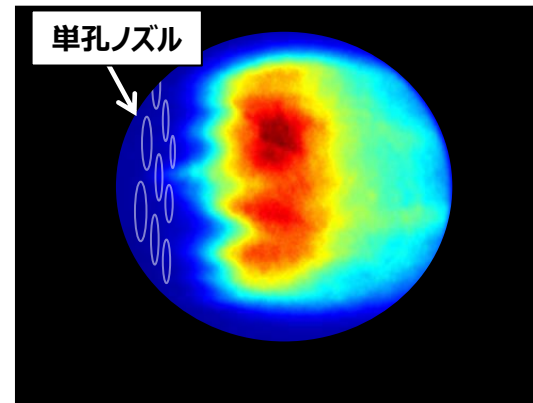
- 実機相当圧力の燃焼試験により、ターゲット計画条件にて逆火の発生無く安定燃焼を確認した



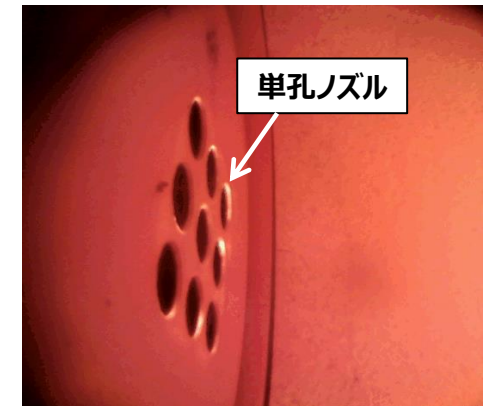
モデルバーナ
(ノズル径 大)

モデルバーナ
(ノズル径 小)

紫外光計測



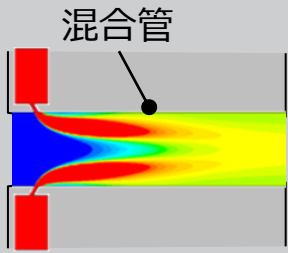
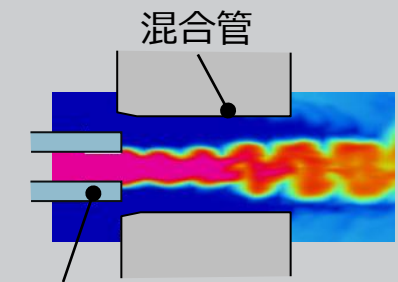
(参考) 可視光計測

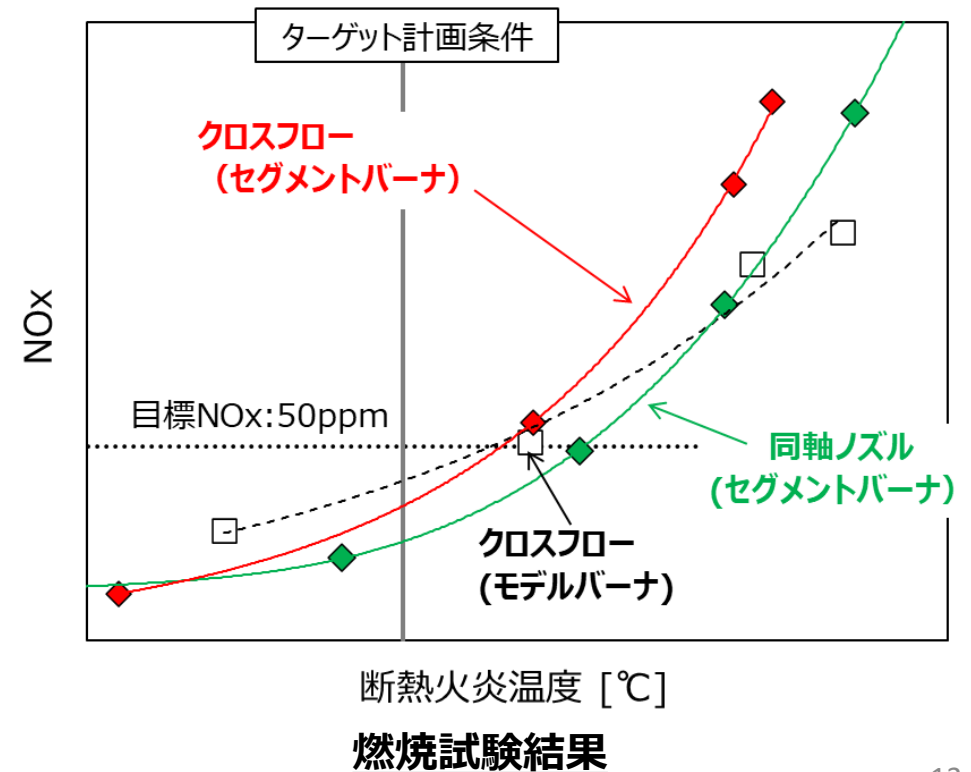


3. 研究開発成果について

A-1、2 モデルバーナ、シングルセグメントの設計技術

- 目標：逆火なく安定燃焼し、NOx 50ppm(15%O2換算)以下
- 成果：クロスフロー方式、同軸ノズル方式の二案を検討。
フラッシュバックの発生なく、ターゲット計画条件においてNOx 50ppm以下を達成。
- 成果の意義：水素専焼燃焼器のバーナ設計のベースとなる。

	クロスフロー	同軸ノズル
ノズルコンセプト	空気流に交差するように複数孔から燃料噴出 	混合管と燃料ノズルを同軸に配置し、同軸流を形成 

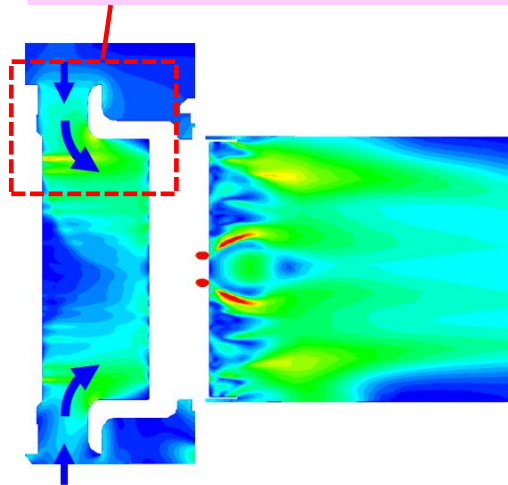


3. 研究開発成果について

A-3 大型ガスタービン燃焼器設計技術

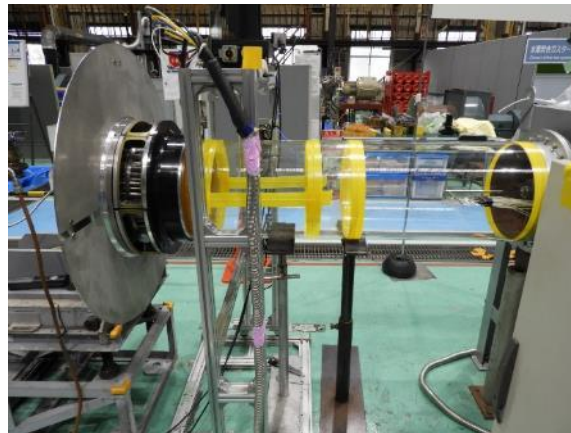
- 目標：クラスタバーナ、燃焼器の全体計画図の完成
- 成果：大型GT向け同軸ノズル型クラスタ燃焼器のリターンフロー部の流れを適正化
同軸ノズル型クラスタ燃焼器の全体構造を検討し、気流試験により同軸ノズル型燃焼器の混合管出口の濃度、流速分布を評価
- 成果の意義：同軸ノズル型燃焼器の一缶における流量偏差を抑制し、フラッシュバック耐性を向上

同軸ノズル型燃焼器の
リターンフロー部フローパス改良

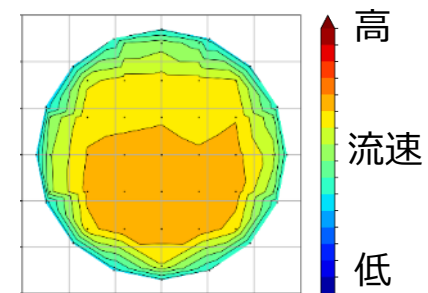


CFD結果 (速度分布)

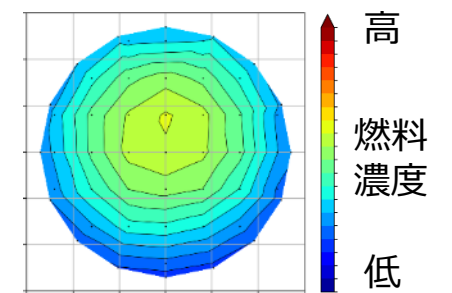
燃焼器混合管流動評価



同軸ノズル型クラスタ燃焼器
気流試験装置



速度分布

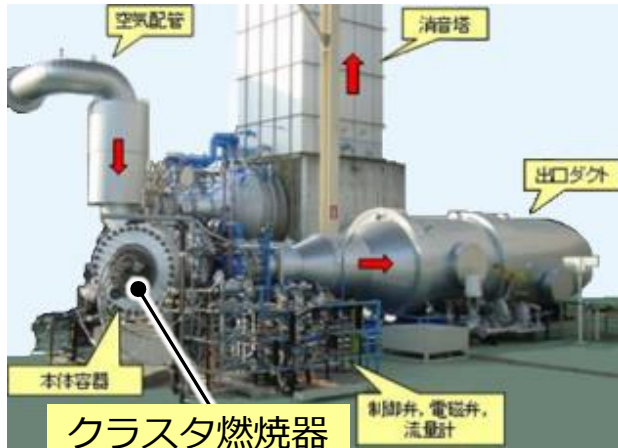


濃度分布

3. 研究開発成果について

A-3 大型ガスタービン燃焼器設計技術

- 目標：クラスタバーナ、燃焼器の全体計画図の完成
- 成果：クラスタ燃焼器を設計し、燃焼器を製作。ブローダウン燃焼試験設備※において、クラスタ燃焼器の一缶燃焼試験を実施し、水素専焼に到達できることを確認
- 成果の意義：水素専焼可能な燃焼器構造を確認。今後の水素燃焼器開発のベースとなる。

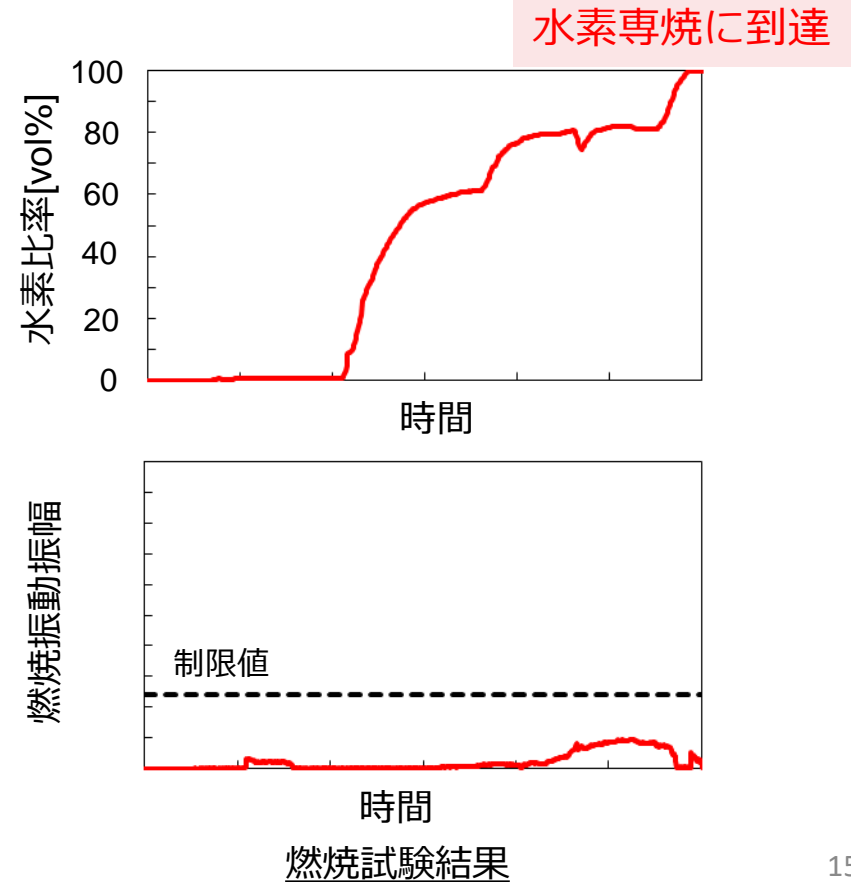


ブローダウン試験設備※



クラスタ燃焼器

※空気源として空気タンクに貯めた空気を使用。
貯留空気を燃焼器に供給することで数分間の試験が可能



3. 研究開発成果について

B-1 大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術

- 目標：土建工事・水素蓄圧器設置・電気工事・保温工事の完了
試運転による装置検証完了
- 成果：土建工事・水素蓄圧器設置・電気工事・保温工事および燃焼試験による設備検証まで完了
- 成果の意義：燃焼器検証に必要な設備のベースが完成

大容量水素供給設備



水素ボンベ



水素圧縮機

— 天然ガス 配管(既設)
— 水素ガス 配管(新設)

実圧燃焼試験用制御弁ユニット



水素配管ルート

水素供給設備
設置場所

水素実圧燃焼試験設備

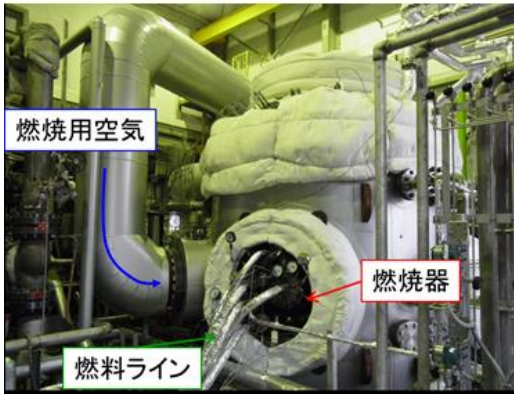


出典：Google Maps 航空写真

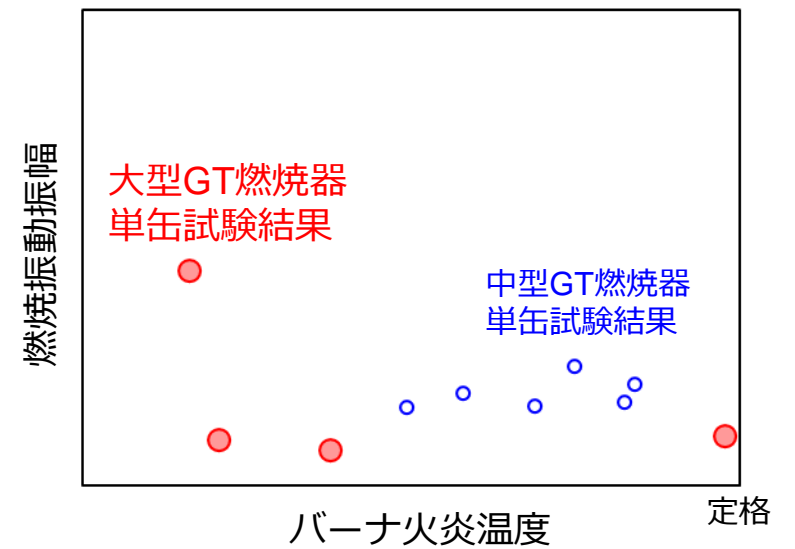
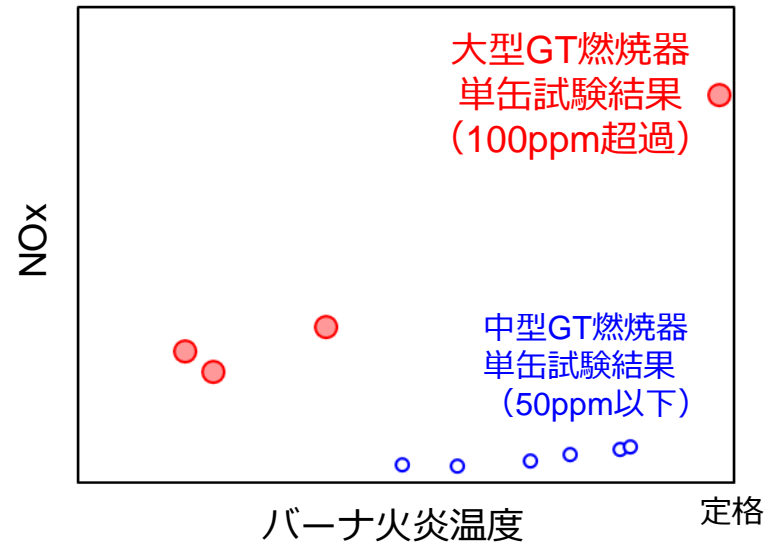
3. 研究開発成果について

B-2 高温高圧下での燃焼器燃焼試験

- 目標：高温高圧下の燃焼試験にて計画運転条件の燃焼性能を評価し、逆火なくNOx50ppm以下を達成
- 成果：大容量水素供給設備を用いた高温高圧下の水素専焼燃焼試験を実施し、大型GT燃焼器で水素専焼を達成。
燃料比率の調整が最適化できておらず、目標のNOx50ppm以下は達成できず（100ppm超過）。
- 成果の意義：大容量水素供給設備を用いた試験装置において、予混合燃焼方式の大型燃焼器で水素専焼を達成し、今後の燃焼器開発のベースを確立した。



高砂実圧燃焼試験設備



水素専焼試験結果

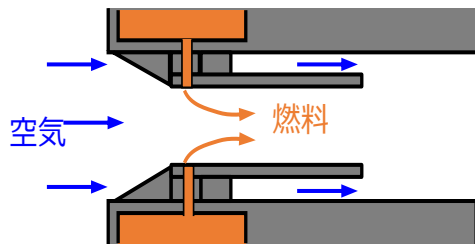
3. 研究開発成果について

◆ 知的財産権の確保に向けた取り組み、成果の普及

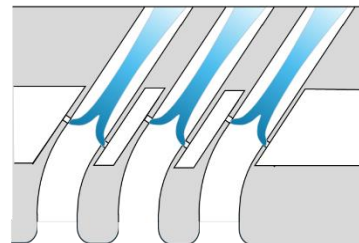
- クラスタバーナは水素専焼のキー技術であり、知的財産権確保に向けて、特許出願を継続
- 水素焚きガスタービンに関する取り組み、成果を定期的に発信

	2020年度	2021年度	2022年度
特許	6	6	2
論文	0	1	0
研究発表・講演	12	13	15
雑誌・図書等への掲載	2	7	5
展示会へ出展	2	1	1
総計	22	28	23

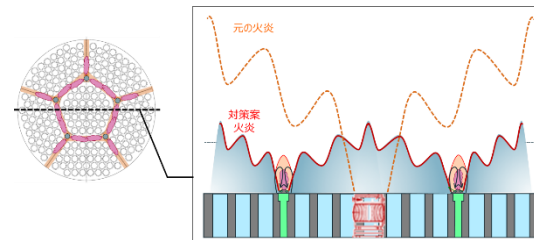
① 混合管にフィルム空気導入
(特願2021-025565)
(PCT/JP2022/043486)



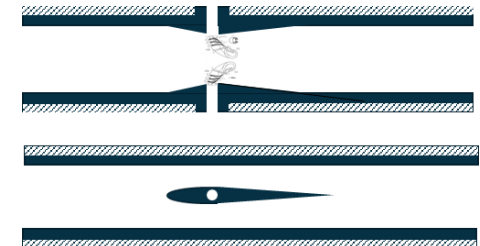
② 巡回クラスタ
(特願2021-062224)
(PCT/JP2022/012462)



③ クラスタ+パイロット
(特願2022-056000)



④ 流線形突起からの燃料噴射
(特願2022-056957)



4. 今後の見通しについて

欧州のCO2排出規制とガスタービン開発スケジュール

1. EUタクソミーを達成する50%水素混焼技術
大型ガスタービン向けの燃焼試験を成功(2022年)



GTCC発電所



JAC形GT(天然ガス/水素)



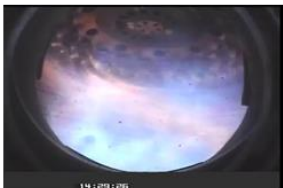
米国商用プラントで20%H₂混焼を達成

2. CO₂排出ゼロの水素専焼技術
中小型ガスタービン向けの燃焼試験を成功(2022年)

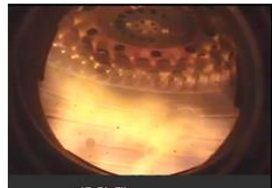


H-25 ガスタービン

3. CO₂排出ゼロのアンモニア専焼技術
中小型ガスタービン向けの燃焼試験を成功(2022年)

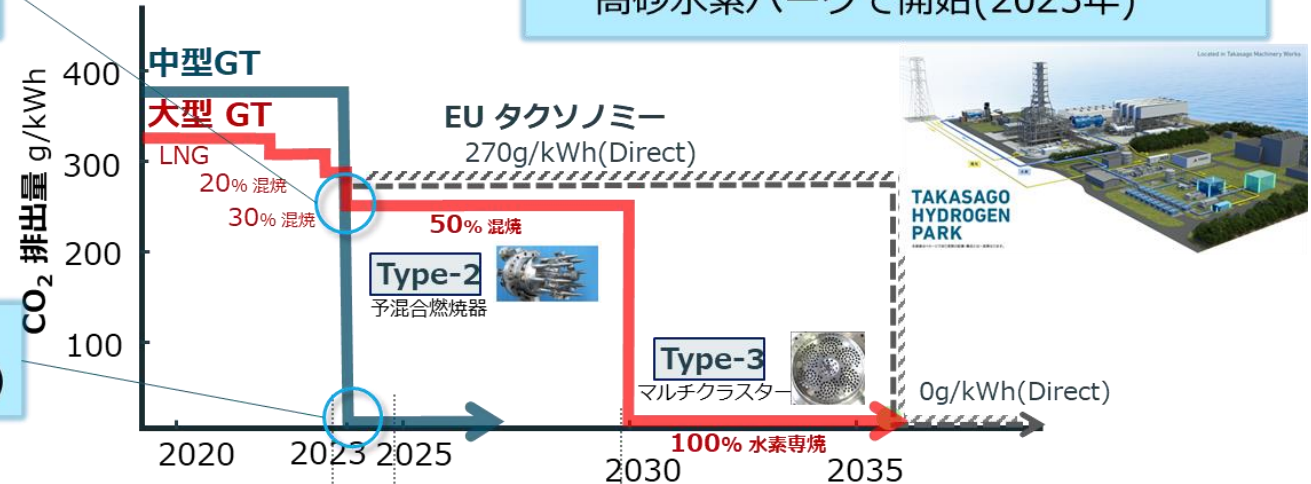


現在の炭化水素燃料

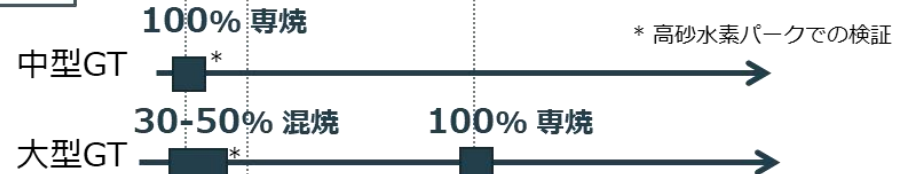


アンモニア(燃焼試験)

4. 実際の大容量発電設備にて実証
高砂水素パークで開始(2023年)



水素発電



水素貯蔵

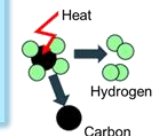
水素製造

アンモニア発電

5. 水素製造
SOECとメタン熱分解による水素製造技術検証開始(2023年~)



写真: SOFC



4. 今後の見通しについて

インターマウンテン電力向け水素焼きJAC形設備を初受注。
2025年に水素混焼率30%で運転を開始、2045年までに水素100%での運転を目指す。
今後も水素100%実現に向けて、水素専焼の技術開発を加速させる。



ガスタービン機種

M501JAC

出力 (CC)

840 MW (2 GTCC)

所在地

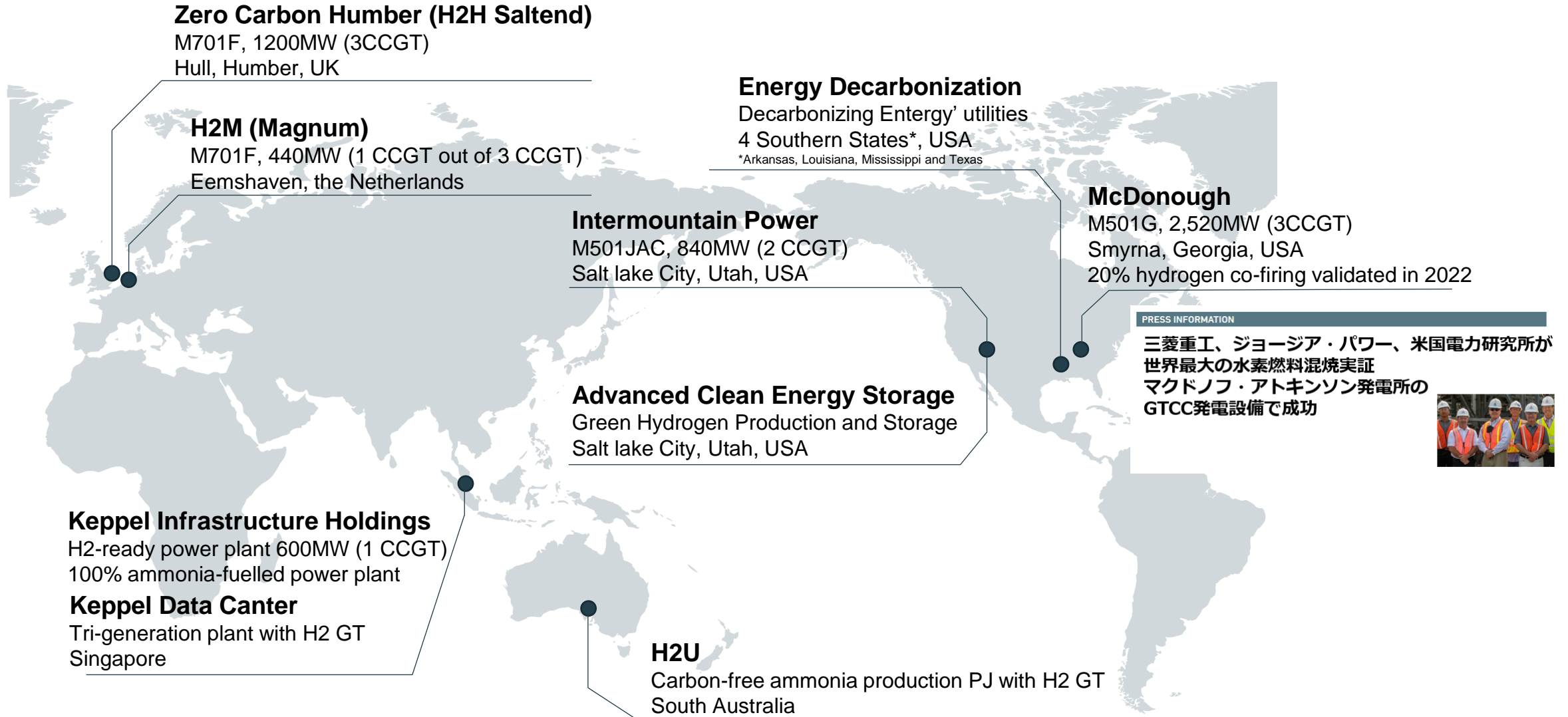
米国 (ユタ州)

当プロジェクトは、石炭火力発電所の設備更新により建設。水素混焼 (30vol.%) GTCCへの更新により、最大で年間約460万トンのCO2排出量削減に寄与します。

発電電力は、ロッキー山脈をまたいでカリフォルニア州及びユタ州に幅広く供給される運びです。

4. 今後の見通しについて

世界各地で水素ガスタービンプロジェクトを進行中



MOVE THE WORLD FORWARD

**MITSUBISHI
HEAVY
INDUSTRIES
GROUP**