

NEDO水素・燃料電池成果報告会2023

発表No.B2-10

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開発 高濃度水素混焼／水素専焼焚きボイラ・発電設備の技術開発

発表者名	高嶋 洋平
団体名	三菱重工パワーインダストリー株式会社 帝京大学（委託先）
発表日	2023年7月14日

連絡先：三菱重工パワーインダストリー株式会社
高嶋 (yohei.takashima.2y@mhi.com)
<https://power.mhi.com/jp/group/ids/>

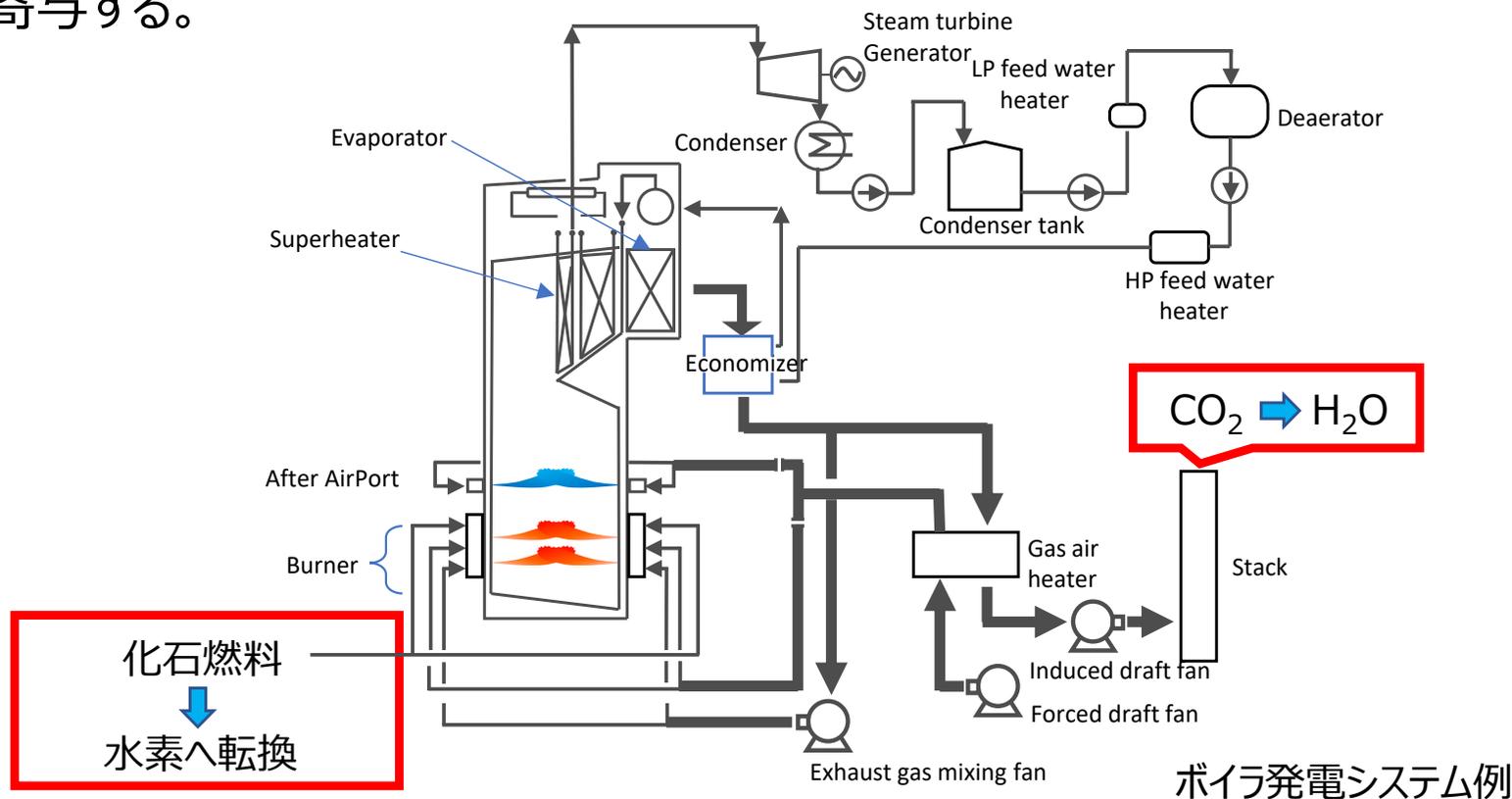
1. 事業概要

(1) 期間

2020年7月 ～ 2023年3月

(2) 最終目標

- **安全、低NOx、低コスト**で水素を混焼または専焼する技術を確認し、新規並びに既設ボイラ排ガス中のCO₂排出量の低減またはゼロエミッション化を図ることを目的とする。
- これにより、持続可能な循環社会の構築に向けて、低炭素化さらには脱炭素化に寄与する。



（3）成果・進捗概要

- 設備コンパクト化に必要な高圧水素燃焼時の特性を確認。高圧水素燃焼の目途を得た。
- 水素燃焼に関する燃焼性を確認。逆火や燃焼振動の発生抑制が可能となった。
- 水素燃焼時の低NO_x技術効果を確認。各低NO_x技術の特性を確認し、水素専焼時の目標NO_x60ppm以下達成の目途を得た。
- 水素および石炭混焼、GTCCプラントで用いられるダクトバーナでの水素燃焼時の特性を確認。水素燃焼利用の目途を得た。

ボイラにおける水素利用の課題と解決

水素の大規模利用拡大のために、以下の課題解決が急務

水素の特徴	課題	解決方針・開発事項
①単位体積当たり発熱量 小 【LHV】 水素：約10 MJ/Nm ³ LNG：約40 MJ/Nm ³	同一入熱確保の際 供給、燃焼設備サイズ大となる	水素供給圧力の高圧化
②燃焼温度 高 【断熱火炎温度】 水素：約2300 K メタン：約2150 K プロパン：約2200 K	サーマルNO _x の発生により 排出NO _x 高となる	低NO _x 燃焼
③燃焼速度 大 水素：約3.5 m/s メタン：約0.5 m/s プロパン：約0.5 m/s	逆火、焼損、燃焼振動発生の ポテンシャル大	逆火現象の防止 燃焼振動現象の抑制
④不輝炎	火炎検出方法の妥当性評価要	火炎検出性の検証

開発事項と目標設定

課題解決に向けて以下を目標に開発に取り組んだ

開発事項	目標
水素供給圧力の高圧化	最大900kPaGでの安定燃焼 ※既存技術≒およそ100kPaG @バーナ入口
低NOx燃焼	NOx≒60ppm @5%O ₂ (大防法≒100ppm)
逆火現象の防止 燃焼振動現象の抑制	逆火、焼損回避条件の明確化 I ₁ ≒50Pa (※I ₁ : 共鳴周波数成分の振幅) 拡散燃焼方式の採用
火炎検出性の検証	確実な検出性能確保

2. 研究開発マネジメントについて

B2-10

高濃度水素混焼／水素専焼焚きボイラ・発電設備の技術開発
三菱重工パワーインダストリー、帝京大学（委託先）

事業項目と実施スケジュール

事業項目	N1年度 (2020年度)	N2年度 (2021年度)	N3年度 (2022年度)
(1) 実証試験			
①燃料ガス供給高圧化評価	}		マルチスパッド型 (MS型) バーナ
②燃焼振動現象抑制評価			角型 (K型) バーナ
③NOx低減評価		センターファイアリング型 (CF型) バーナ	
④石炭・水素混焼特性評価			石炭・水素混焼
⑤水素焚ダクトバーナ評価			
⑥実証試験炉整備 試験用バーナ製作	単孔ノズル解析		ダクトバーナ
(2) 燃焼解析			
(3) 総合評価			
(4) 検討委員会開催			

事業実施体制

[助成先]

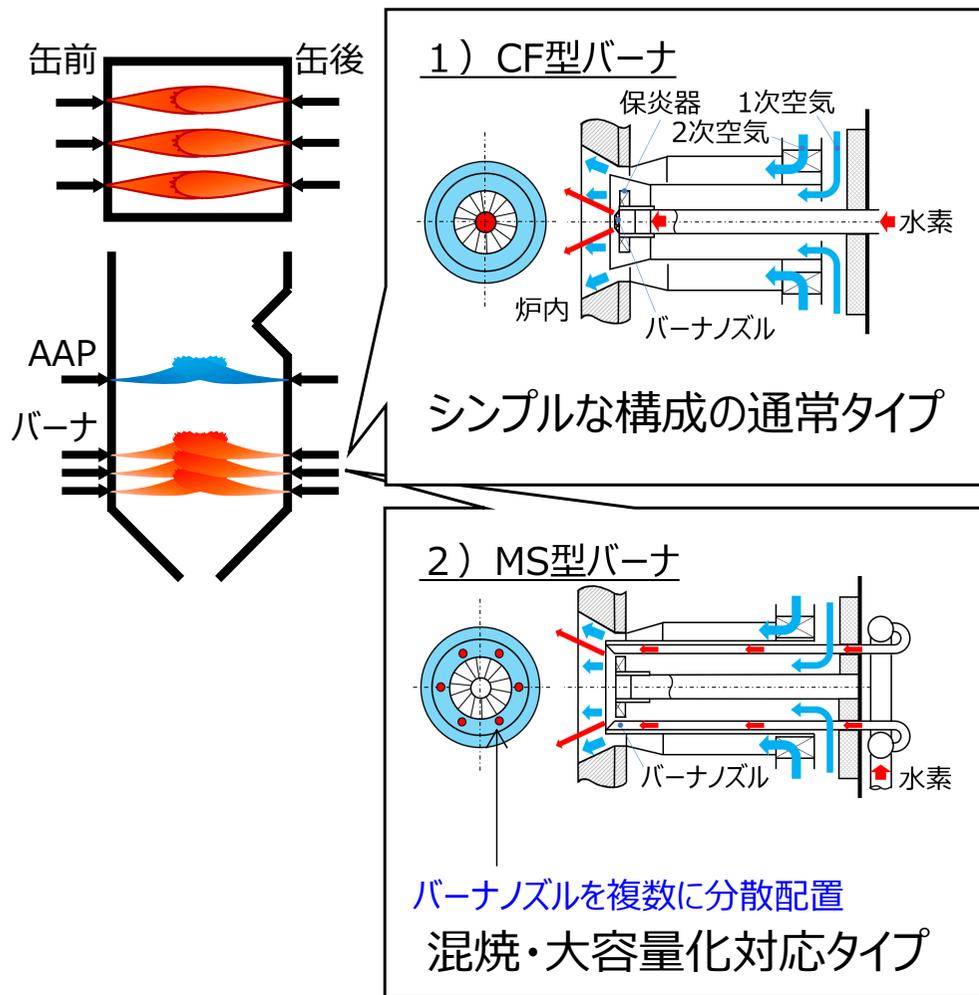


3. 研究開発成果について

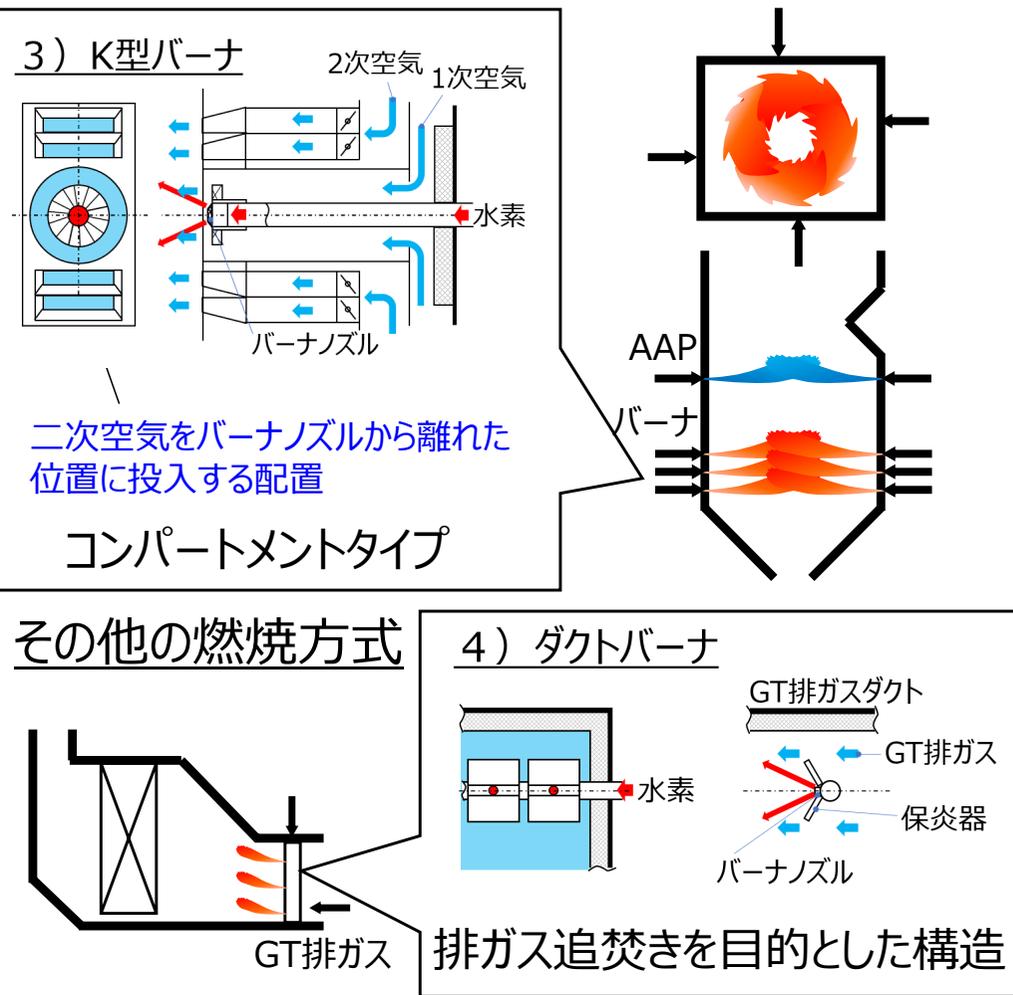
実証試験設備

ボイラの燃焼方式に対応したバーナを用いて実証試験を行った

壁面燃焼方式



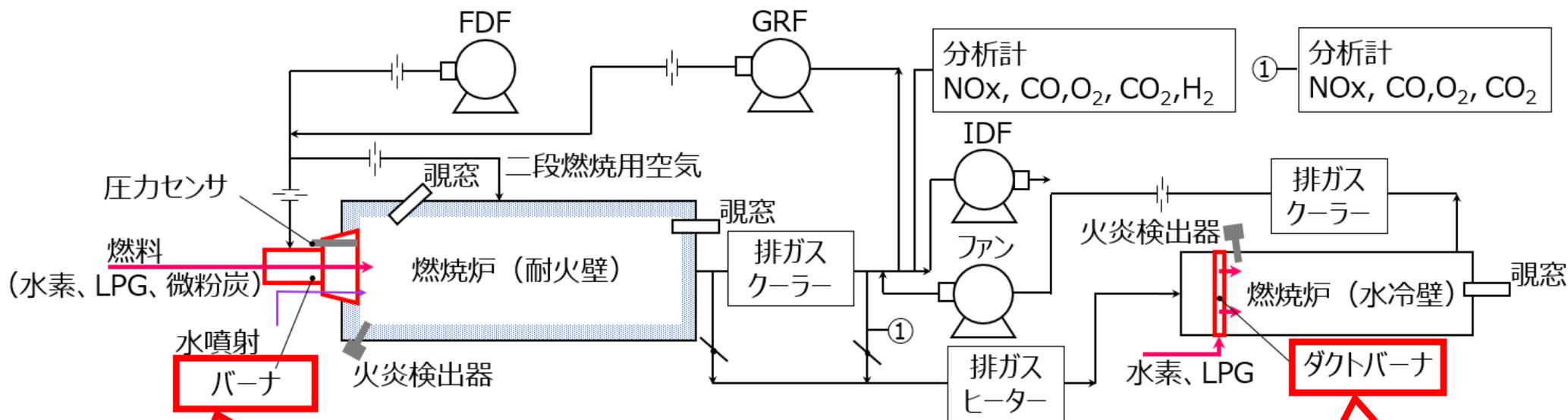
旋回燃焼方式



3. 研究開発成果について

実証試験設備

水素燃焼の挙動把握のため、燃焼炉において実証試験を行った



水素燃焼、LPG燃焼 : CF型・MS型・K型バーナ

水素／LPG混焼試験 : CF型バーナ

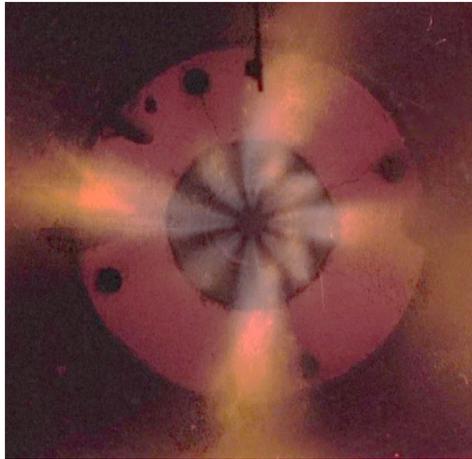
水素／石炭混焼試験 : 混焼用バーナ

水素燃焼、LPG燃焼 : ダクトバーナ

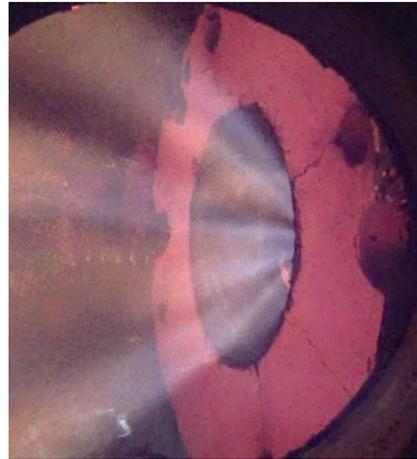
3. 研究開発成果について

実証試験結果

- 1) 各バーナで高圧水素の安定燃焼、低NO_x燃焼を確認
→ 様々なボイラタイプに適応可能



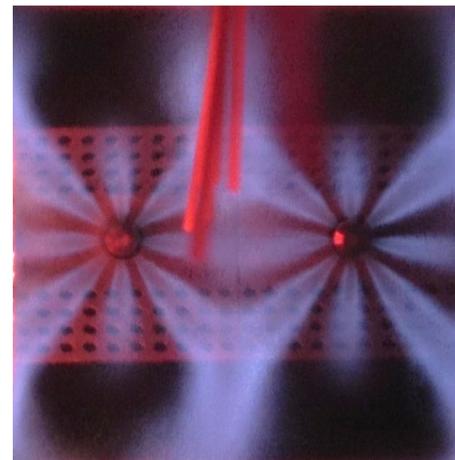
CF型



MS型



K型



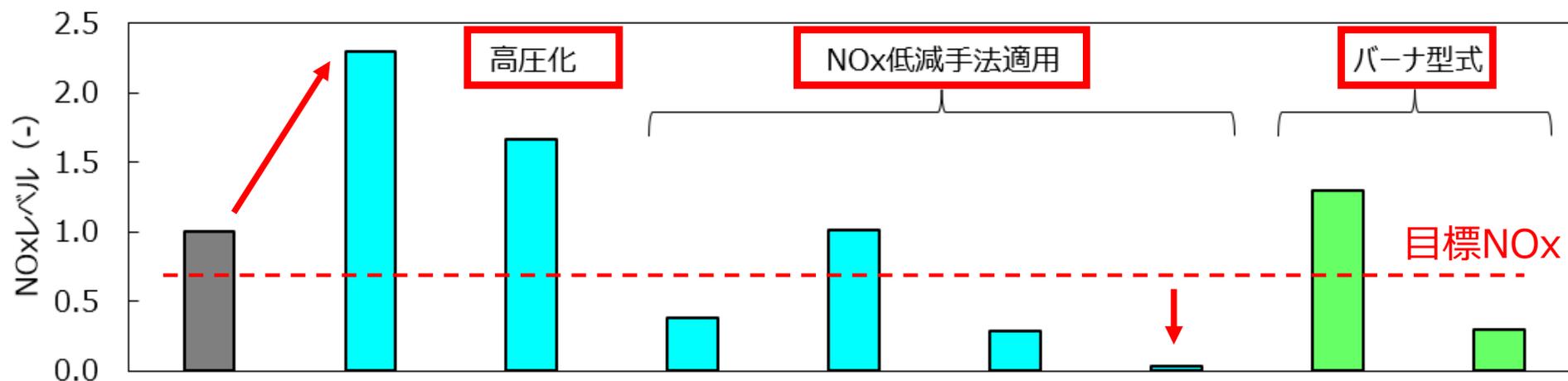
ダクトバーナ

各バーナ 水素燃焼状況（水素供給圧力900kPaG）

3. 研究開発成果について

実証試験結果

2) 各条件でのNOx挙動を確認 → 最適なNOx低減手法の計画が可能



燃料	LPG	水素	水素	水素	水素	水素	水素	水素	水素
燃料供給 圧力 (kPaG)	80	80	900	900	900	900	900	900	900
バーナ型式	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	MS	K
NOx低減 手法	-	-	-	二段燃焼	水噴射	排ガス 再循環	極低NOx (組合せ)	-	-

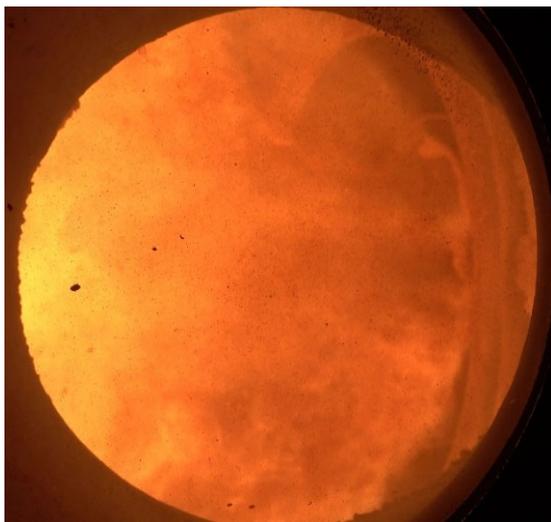
各条件におけるNOx挙動

3. 研究開発成果について

実証試験結果

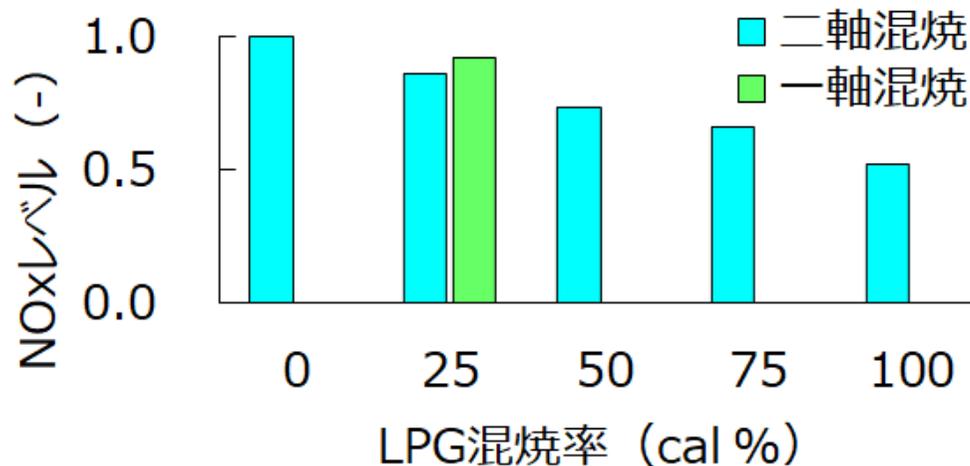
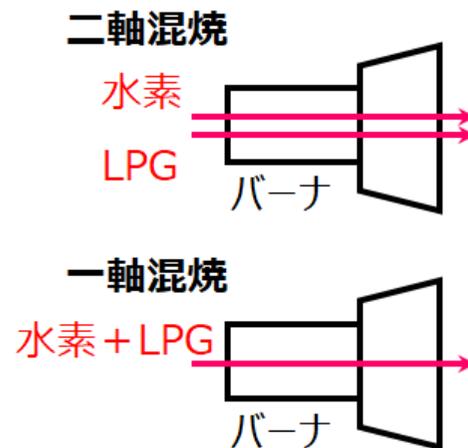
3) 混焼利用時の特性把握

水素／石炭混焼確認



安定燃焼を確認

水素／LPG混焼確認

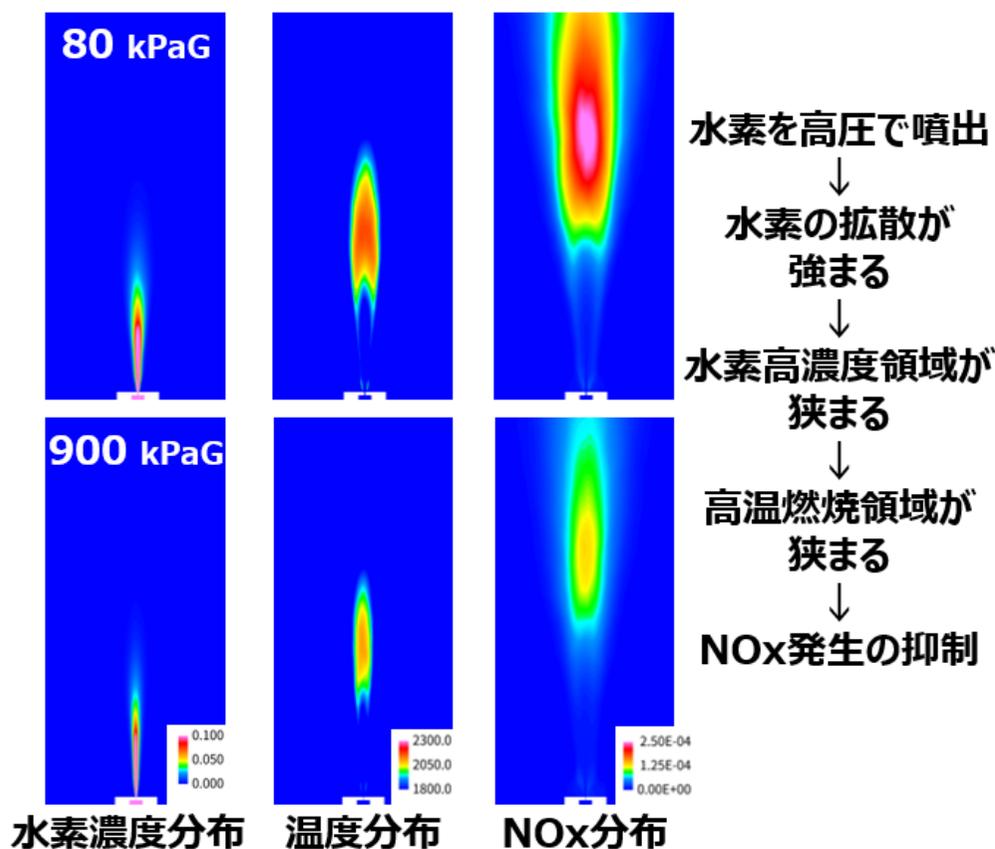


3. 研究開発成果について

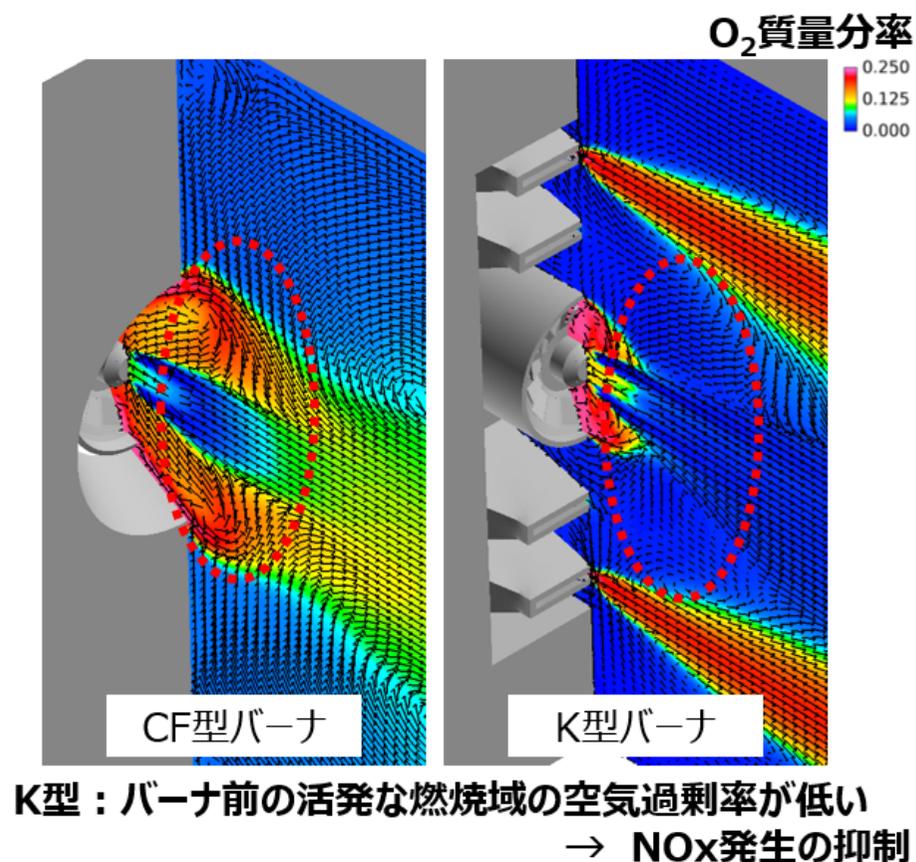
数値シミュレーション結果

4) 低NOx燃焼のメカニズムの解明

水素高圧化がNOxに及ぼす影響の解明
(単孔ノズルモデル)



バーナ型式による低NOx燃焼メカニズムの解明
(実証炉バーナモデル)



3. 研究開発成果について

まとめ

大規模水素利用に向けた課題を解決する燃焼技術を開発・実証し 挙動や特性を把握
これにより**実機適用可能な技術**を確立した

開発事項	成果
水素供給圧力の高圧化	900kPaGまでの高圧水素安定燃焼 を実証 ・各バーナ型式で 安定燃焼 ・従来以上の広い運用幅、超低O ₂ 運用の実証
低NOx燃焼	低NOx燃焼 を実証 ・水素専焼NOx≤60ppm @5%O ₂ 、NOx最小 3～6ppm達成 ・バーナ型式の違いによるNOx挙動を確認 数値シミュレーションによる水素燃焼メカニズムの解明 ・高圧化による低NOx燃焼メカニズム解明 ・二次空気投入方法による低NOx燃焼メカニズム解明
逆火現象の防止 燃焼振動現象の抑制	拡散燃焼方式での安定燃焼 を実証 ・逆火、焼損無しを実証 ・燃焼振動無し（I ₁ ≤50Pa）を実証
火炎検出性の検証	紫外式火炎検出器での安定検知を実証
実用化に向けた他燃料との混焼	他燃料との混焼 を実証 ・LPGとの混焼、安定燃焼、NOx特性把握 ・石炭との混焼、安定燃焼、NOx・未燃分特性把握

3. 研究開発成果について

B2-10

高濃度水素混焼／水素専焼焚きボイラ・発電設備の技術開発
三菱重工パワーインダストリー、帝京大学（委託先）

○特許：10件特許取得

特許番号	発明名称
第7150102号	二段燃焼装置
第7248744号	ガスバーナ、及びガス焚きボイラ
第7248743号	燃焼設備
第7183343号	ガスバーナ及びボイラ
第7262521号	ガスバーナ、及び燃焼装置
第7191160号	ガスバーナ、及び燃焼装置
第7042960号	燃焼設備
第7037697号	燃焼設備
第7037698号	燃焼設備
第7161639号	ガスバーナ、及び燃焼設備

○学会発表・プレスリリース

日時	発表・学会名称
2021年1月	ICOPE2021 (JSME (日本機械学会))
2021年12月	日本技術士会
2022年2月	三菱重工プレスリリース →
2022年5月	ガスレビュー誌に寄稿
2022年7月	動力エネルギー技術シンポジウム (日本機械学会)
2022年8月	Mechanical Engineering Journal Vol.9, No.4, 2022 掲載 JSME (日本機械学会)
2022年11月	全日本ボイラー大会 (日本ボイラー協会)
2022年11月	燃焼シンポジウム (日本燃焼学会)
2023年5月	ICOPE2023 (JSME (日本機械学会))



HOME - ニュース - 産業用ボイラー向け水素焚きバーナー技術の実用化にめど水素の高圧供給 (900kPa) で安定燃焼、低NOx・低コストを実現

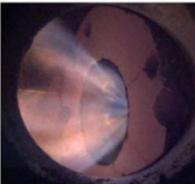
PRESS INFORMATION

**産業用ボイラー向け水素焚きバーナー技術の実用化にめど
水素の高圧供給 (900kPa) で安定燃焼、低NOx・低コストを実現**

2022-02-28

f t in

- ◆ NEDOによる「水素社会構築技術開発事業」プロジェクトに参加、産学官連携でも成果
- ◆ 製鉄所や化学工場から排出される水素ガスを電力や蒸気として有効利用し、既存の産業用ボイラー設備を炭素化

伊正面より撮影 伊側面より撮影

水素専焼時の燃焼状況 (水素供給圧力: 900kPaG、バーナー型式: センターファイアリング型)

三菱重工グループの三菱重工パワーインダストリー株式会社 (社長: 松田 浩一郎、本社: 横浜市中区) は、濃度100%の水素を低コストの設備投資で高効率に安定利用できる、産業用ボイラー向け水素焚きバーナー燃焼技術の開発・実用化にめどをつけました。本件は、2020年度に国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の助成事業「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開発)」(本事業) を通じ、成果を得たものです。

水素は、従来主流のボイラー燃料であるLNG (液化天然ガス) やLPG (液化石油ガス) に比べ、体積当たりのエネルギー密度が小さく、コンパクトな設備でボイラーに必要な熱量を供給するためには、高圧による大量供給技術が不可欠となります。

今回は、三菱重工グループ独自の低NOx (窒素酸化物) ガスバーナー技術をベースに採用し、水素の燃焼メカニズムを分析して最適化することにより、従来の最大供給圧力100kPaに対して900kPaまでの供給圧力での安定燃焼を達成。さらに、同一バーナーで0.1kPaから900kPaの広範囲 (ターンダウン比: 約1/100 (注1)) にわたる圧力範囲の水素でも、安定した火炎を形成し安全に運転できることを検証しました。水素の高圧化によるNOx発生抑制に加え、二段燃焼方式などの採用で、LPG燃料と比べて大幅なNOx低減率実現が可能となり、目標としていた東京都の規制値である60ppm (注2) 以下を達成し、さらに10ppm以下へ

4. 今後の見通しについて

- 水素燃焼技術の高度化開発完了
- 実機における既存ボイラの燃料転換、新設ボイラへの技術適用の計画を進め、水素の大規模利用技術の社会実装を図る

