

事業名：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／水素焚きボイラ・発電設備の技術開発  
 発表者名：三菱パワーインダストリー株式会社、帝京大学

**背景/研究内容・目的**

製鉄所、ソーダ工場、化学プラント等では副生ガスとして低濃度から100%濃度までの水素が発生しており、60～100%の高濃度の水素燃料の燃焼ニーズが高まっている。  
 本事業は、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立し、新規並びに既設ボイラ排ガス中のCO<sub>2</sub>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、SDGsの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できる。

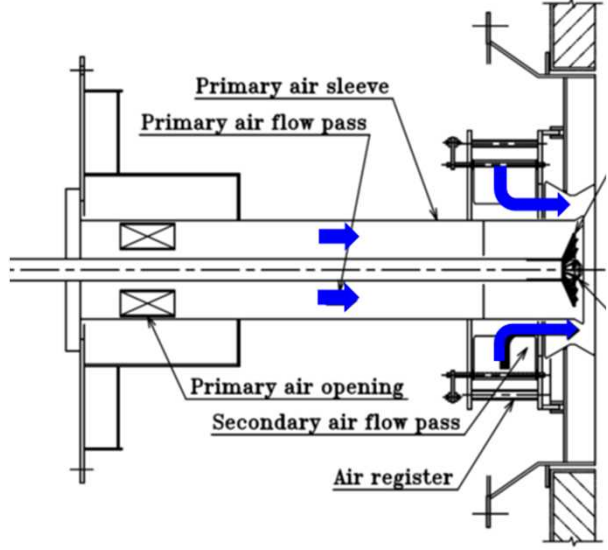
**開発目標**

実施項目	目標
水素供給圧力の高圧化	供給圧力:100～990kPa
燃焼振動現象の抑制	I1(*1)≤50Pa
NOx低減	NOx≤60～100ppm(*2)
逆火現象の防止	逆火・焼損回避条件の明確化

\*1:共鳴周波数成分の振幅、\*2:5%O<sub>2</sub>換算値

**開発コンセプト**

水素は、体積当たりの発熱量がLNG,LPGと比べて低いため、低圧にて使用する場合、設備が大型化し、コスト高となる。  
 一方で、単位発熱量当たりの体積量が大きい水素を高圧条件で供給可能となれば、水素を小径配管・小径機器で搬送可能となり、バーナ近傍もコンパクト化が可能となるため、システムコスト面及びメンテナンス面での成果の意義は大きい。  
 現有の低NOxガスバーナ(右図)及び低振動型ガスノズルはLPGにおいてバーナ入口供給圧力500kPaにて、燃焼振動なくバーナ根本から安定した火炎を形成することが可能である。  
 これらのバーナ及びガスノズルを高圧水素に適用する。



**顕著な成果**

- 高圧（900kPa）で燃焼振動、逆火現象無く水素の安定燃焼を実証
- 高圧化によりNOxが低減することを確認
- 二段燃焼等による水素のNOx低減率はLPGと比較して大きいことを確認
- 紫外線式火炎検出器で水素火炎を安定して検出可能であることを確認

＜連絡先＞

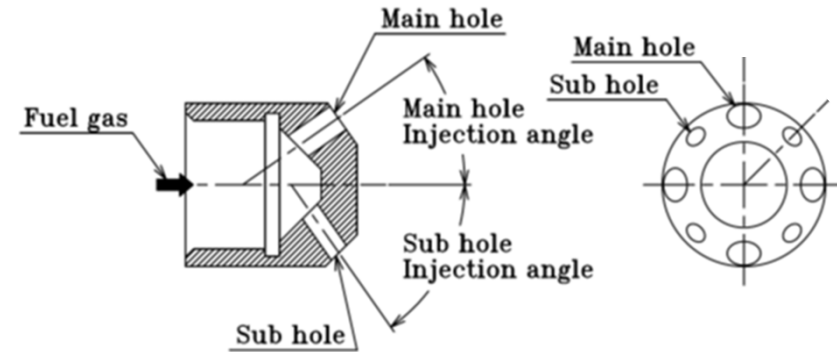
三菱パワーインダストリー株式会社  
 プロジェクト事業部 津村 俊一  
 E-mail: toshikazu.tsumura.pe@mhi.com

## 試験設備概要

バーナ型式	センターファイリング型(低NOxガスバーナ)
バーナ容量	水素：95m <sup>3</sup> N/h、LPG：10.9m <sup>3</sup> N/h (水素とLPGは同一入熱)
燃料噴射圧力	水素：80, 300, 500, 900kPa (4種) LPG：80kPa
火炎検出器	紫外線式火炎検出器
二段燃焼設備	アフターエアポート(AAP)対向配置
水噴霧設備	圧力噴霧式ノズル (4本設置)
排ガス混合設備	排ガス混合ファン (GMF) 設置

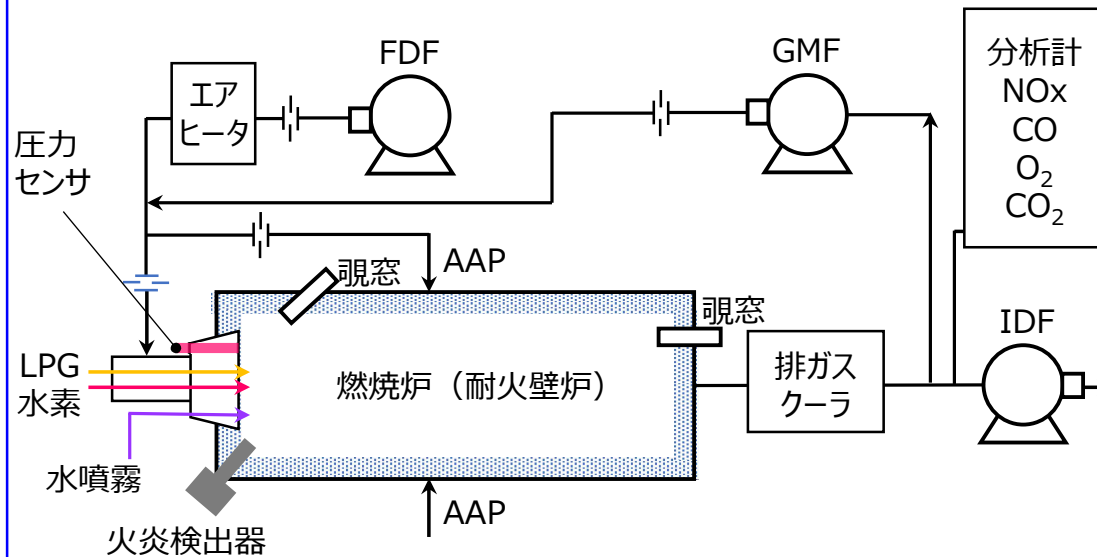
## 低振動型ガスノズル

2/4

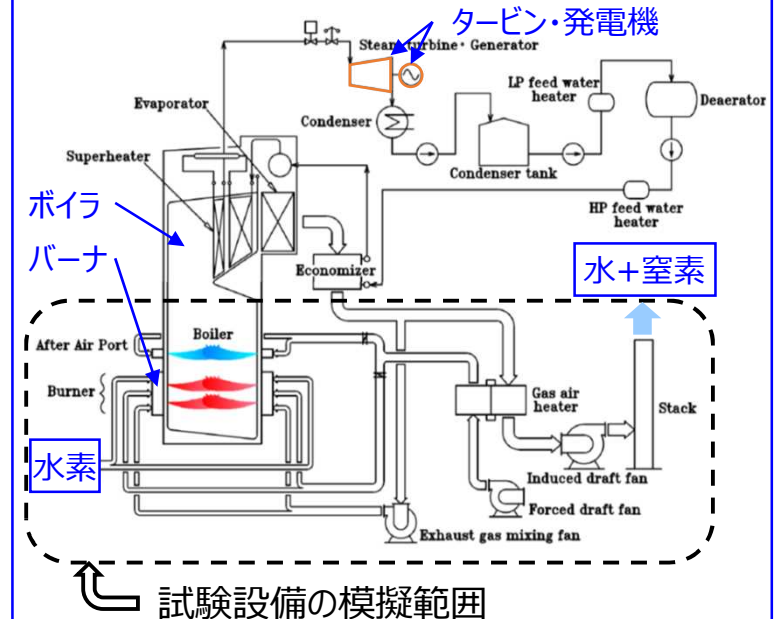


- 直径の大きい主孔と、直径の小さい副孔を4個ずつ異なる噴射角度で交互に配置
- 主孔でガス燃焼の緩慢化を図る
- 副孔でバーナ基部の火炎の揺らぎを抑制

## 試験設備構成



## ボイラ・発電プラント構成例



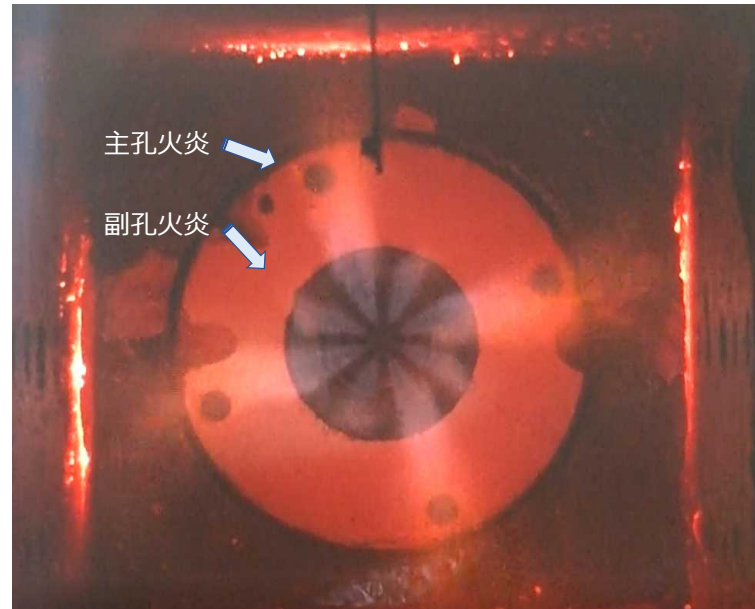
## 【試験結果】火炎可視化

### 【運転条件】

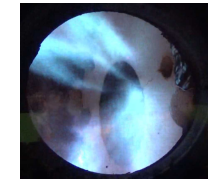
- 水素供給圧力：900kPa
- 空気比：1.1
- 空気温度：常温

### 【評価】

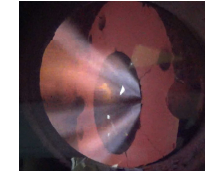
- 火炎の色は薄いが生火炉(耐火壁)が冷えているときは目視及び各カメラにおいて火炎を視認可能
- 火炉(耐火壁)が温まり赤熱すると目視及び各カメラにおいて火炎を視認不可
- 一方で、火炉(耐火壁)赤熱状態においても紫外線式火炎検出器にて安定検出可能



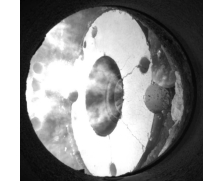
水素専焼 (ビデオカメラにて撮影、視窓よりバーナ正面を見る)



LPG専焼、ビデオカメラ



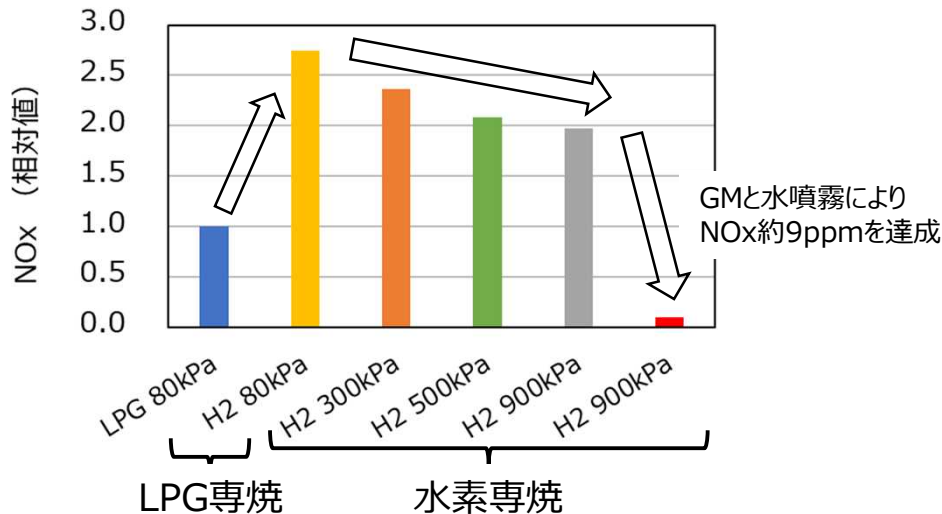
水素専焼、ビデオカメラ



水素専焼、近赤外線カメラ

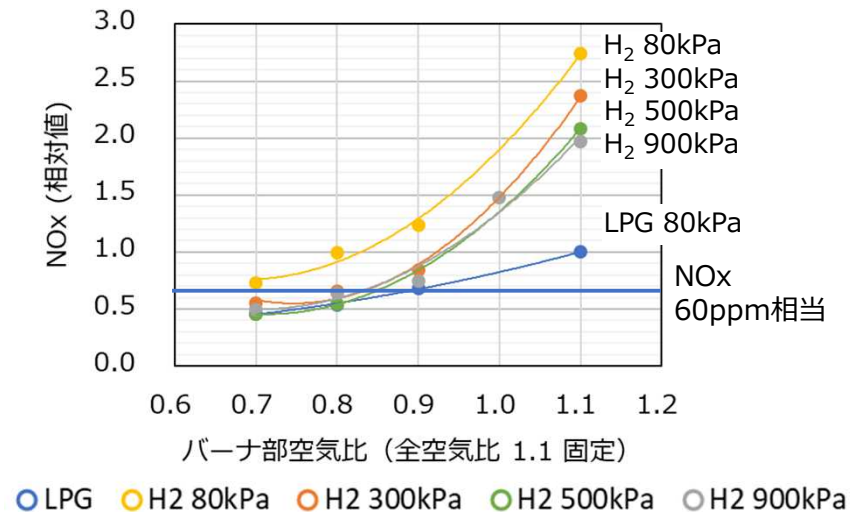
## 【NOx特性】水素ガス高圧化

LPG燃焼時に比べ、水素専焼時はNOxが約2.5倍  
水素ガス圧を高圧にすることでNOx低減傾向



## 【NOx特性】二段燃焼

水素専焼においてもLPG専焼と同程度のNOxレベルまで低減  
水素専焼の方がLPGよりも二段燃焼に対するNOx低減効果大

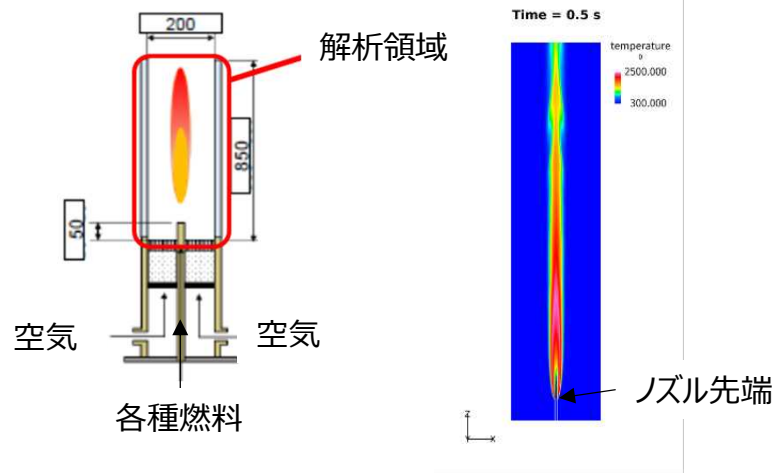


## 解析モデル（帝京大学）

実機モデルでの高精度の燃焼数値シミュレーションを実現するため、噴流拡散火炎を対象に計算方法について検討を加えた。

対象燃料：水素、メタン、プロパン、メタン水素混合燃料、プロパン水素混合燃料

流体モデル	圧縮性
乱流モデル	Smagorinsky LES
燃焼モデル	Flamelet Progress Variable
時間積分	Euler陰解法
状態方程式	理想気体
粘性	Sutherland
移流項スキーム	連続の式：二次中心(100%) 運動方程式：二次中心(95%) エネルギー方程式：二次中心(50%) FPV混合分率：二次中心:(50%) FPVその他スカラー量：二次風上
輻射	無し
重力項	$\rho g$
プラントル数	0.7
乱流プラントル数	0.4



解析モデルイメージ及び解析結果(水素専焼時温度分布)

## 成果

4/4

課題	成果
水素ガス供給圧の高圧化	ガス供給圧力：80～900kPaで水素の安定燃焼を確認
逆火現象の防止	逆火によるノズル先端の赤熱及び焼損がないことを確認
燃焼振動抑制	いずれの条件においても燃焼振動が発生しないことを確認 ( $I1 \leq 5Pa$ )
NOx低減	NOx特性データを取得、目標NOx60ppm以下を達成 ①低NOxバーナ、②二段燃焼、③排ガス混合、④水噴霧
火炎監視方法	紫外線式火炎検出器にて安定検出可 炉冷缶時はビデオカメラ、紫外線及び近赤外カメラにて火炎監視可
解析モデル	水素他各種燃料(混焼含む)での噴流拡散火炎に対して解析を実施し、モデルの妥当性を確認

## 今後の取り組みと実用化の見通し

- 今年度、噴流燃焼向けにマルチスパッド型バーナ、旋回燃焼向けに角型バーナにて燃焼試験を実施予定
- 噴流燃焼及び旋回燃焼向けバーナの燃焼数値シミュレーションを実施予定
- 本事業の成果は、噴流燃焼及び旋回燃焼方式の小型・中型・大型ボイラへ順次展開し、全ボイラタイプへの適用を目指す