

酸素水素燃焼直接加熱ボイラの研究開発

団体名：国立研究開発法人産業技術総合研究所、三浦工業株式会社、国立大学法人東京科学大学、国立大学法人大阪大学、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構

発表日：2026年7月23日

■事業の目的・目標

酸素水素燃焼直接加熱ボイラ

酸素と水素を燃焼させて高圧の過熱水蒸気を発生させ、水を添加することで所定圧の飽和蒸気を生成させる蒸気発生器の研究開発を行う。

- 酸素水素燃焼により、CO₂排出ゼロだけでなく、NO_x排出もゼロとなる。
- 窒素分の排気熱損失がないため熱効率の向上が期待できる。
- 熱交換器が不要となるコンパクトなボイラを提供できる可能性がある。

研究開発項目

■ 酸素水素燃焼直接加熱ボイラの研究

ボイラ試作品における性能予測を数値シミュレーションにて行うとともに、燃焼試験にて炉内温度・圧力の測定および燃焼生成物の分析に基づく燃焼完結性および蒸気化レベルを評価し、性能向上に向けた炉の構造及び制御方法の検討を行う。

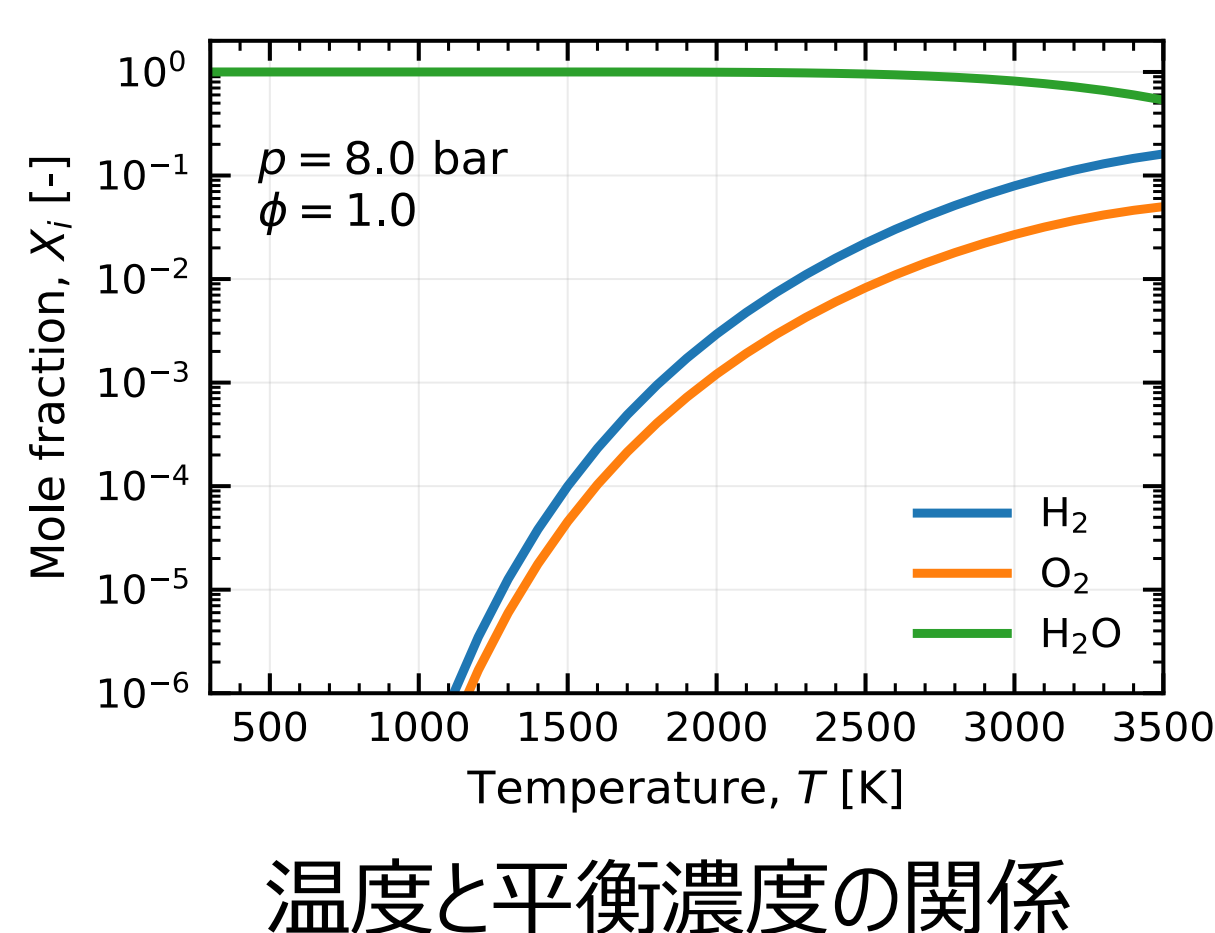
■ 製品時課題の研究

周辺技術課題、市場課題、適用法規と安全基準における課題の抽出を行い、課題解決案を検討する。

■2025年の主な成果

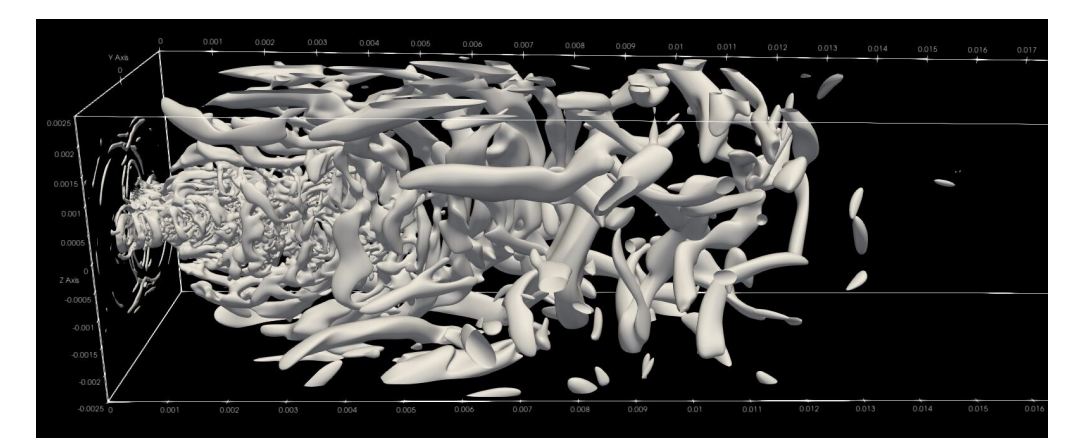
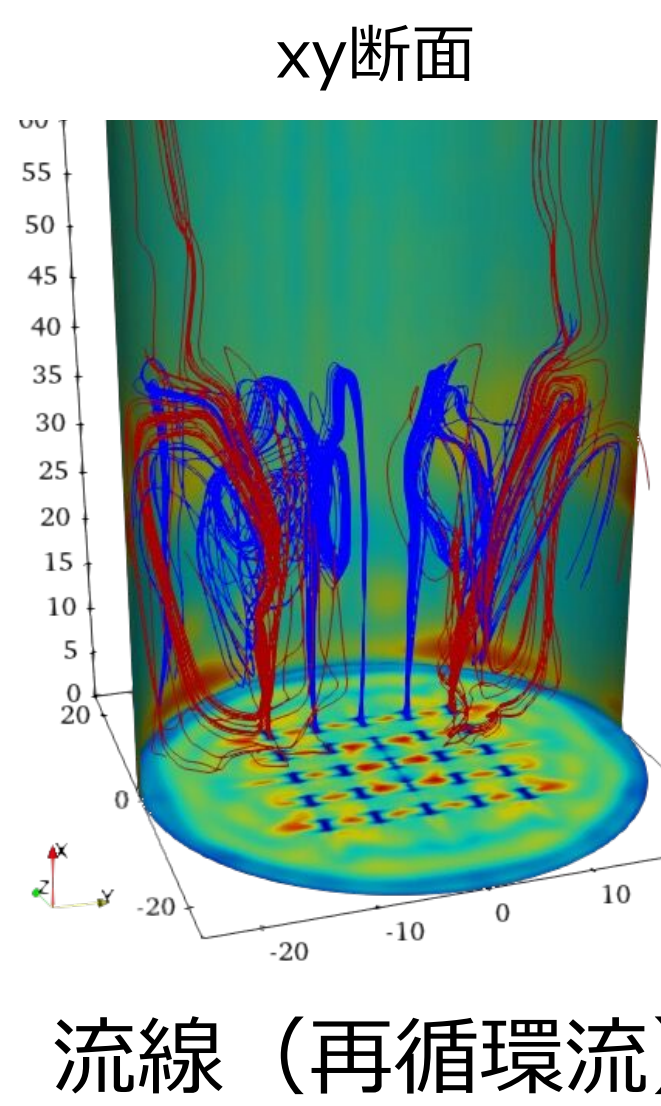
平衡計算による残留水素、酸素濃度の予測

水噴霧添加後の温度を1100K以下まで低下させることで、熱解離による水素および酸素の生成が抑えられ、水噴霧による残存水素、残存酸素の除去効果を示した。

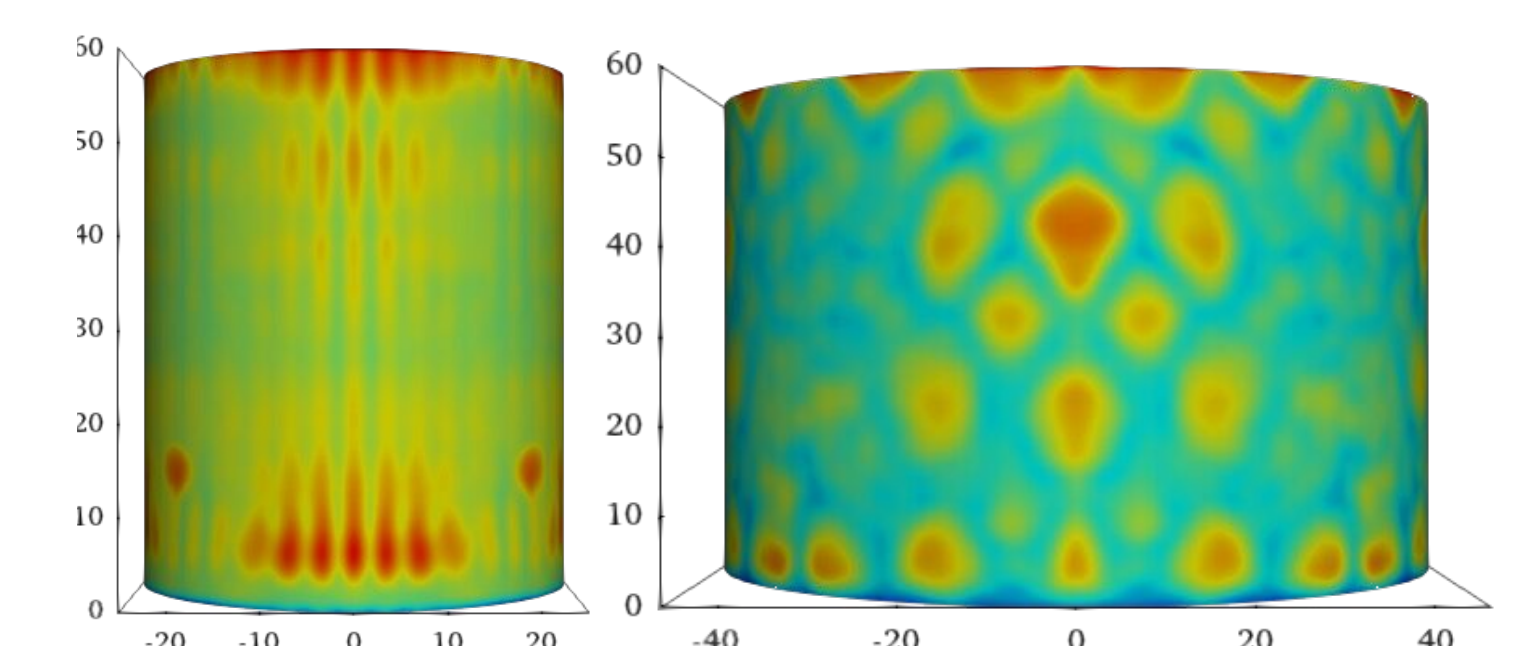


バーナ火炎のDNSおよびLES解析

DNS解析により、火炎の乱流構造に対する圧力の影響を評価し、LES解析の高精度化を進めた。そして、LES解析を実施し、ライナー長さ及びアスペクト比が火炎特性に与える影響を評価した。再循環領域の形成により局所的に残存水素が壁面近傍へ輸送されることにより、局所な高壁面熱流束領域の形成は避けられないことを明らかにした。



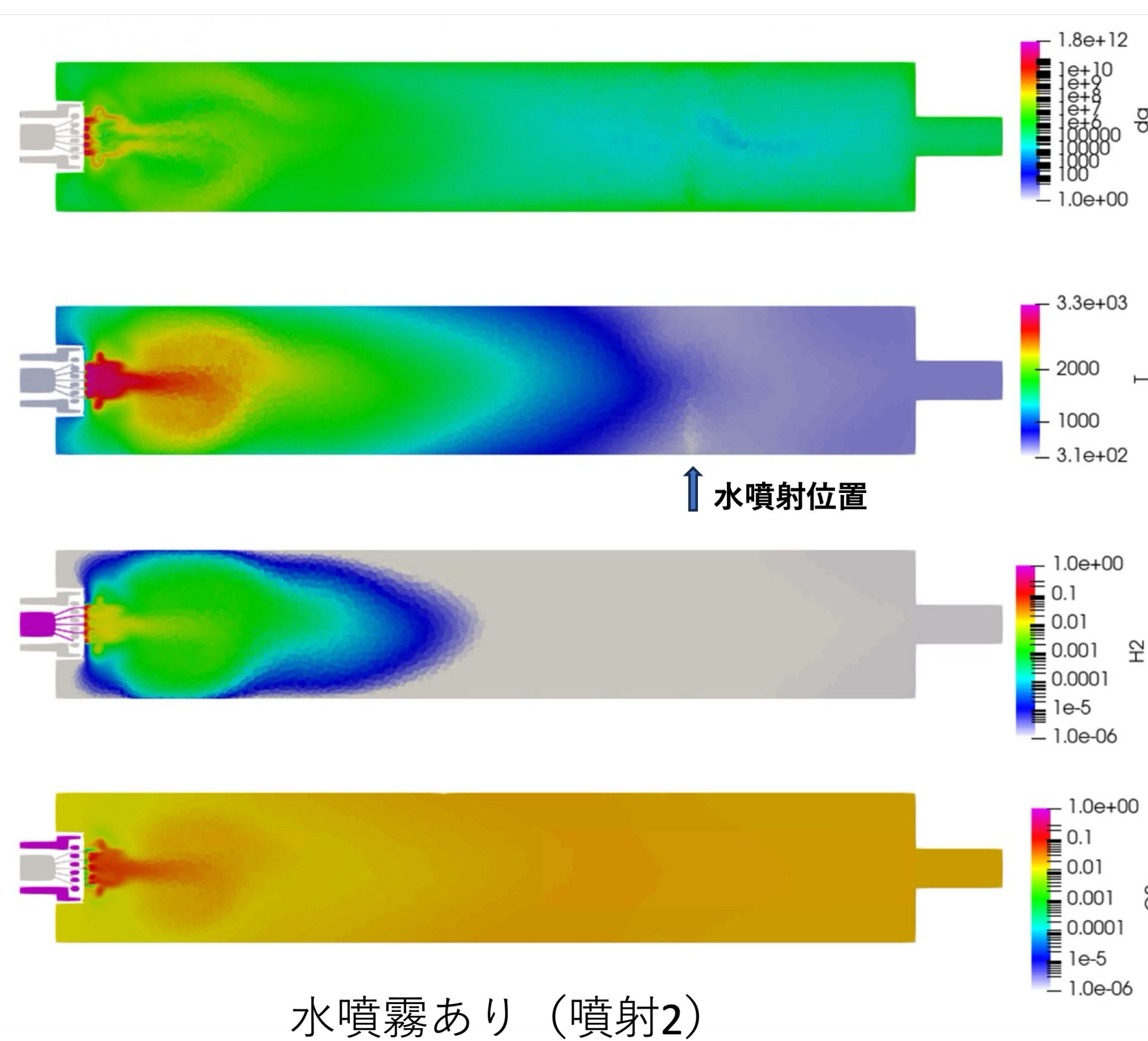
火炎構造のDNS解析



壁面熱流束分布（アスペクト比の影響）

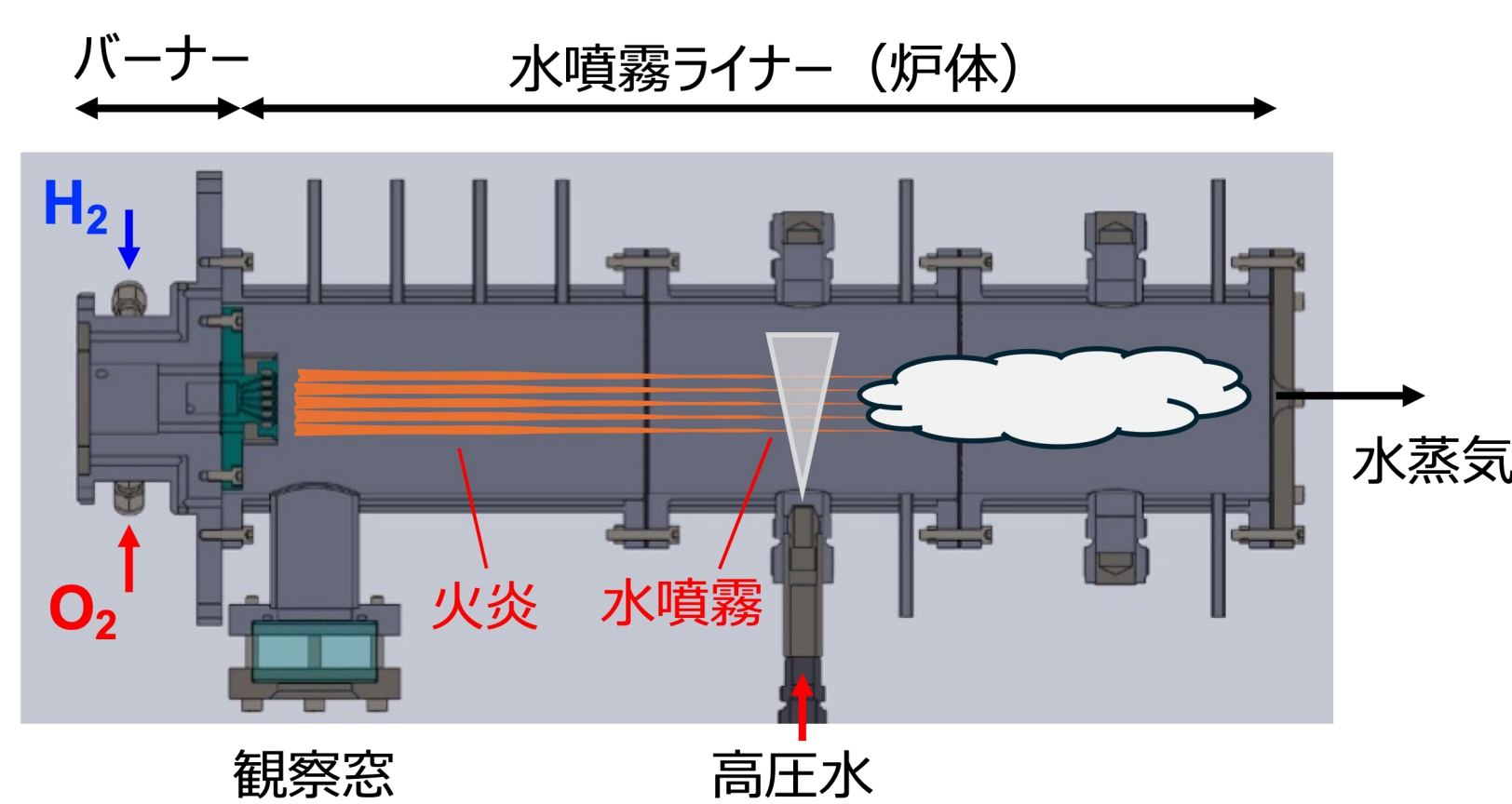
ボイラのRANS解析

ボイラを対象としたRANS解析により、炉体の空冷・水冷、炉長、水噴霧の有無、および水噴霧投入位置について検討を行った。その結果、炉体を水冷し、水噴霧を下流の適切な位置に投入とすることで、温度を抑えることにより残存酸素濃度を低減しつつ、0.8MPaの飽和水蒸気を得られる可能性を示した。

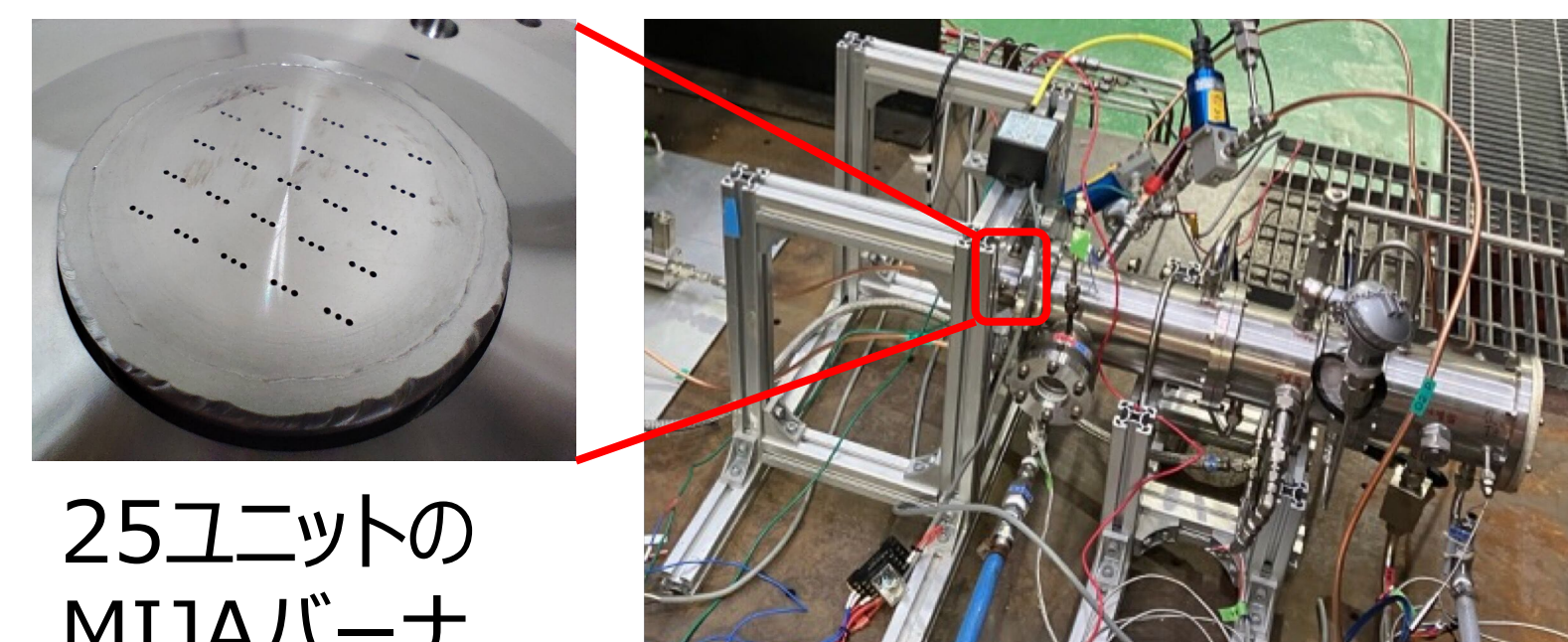
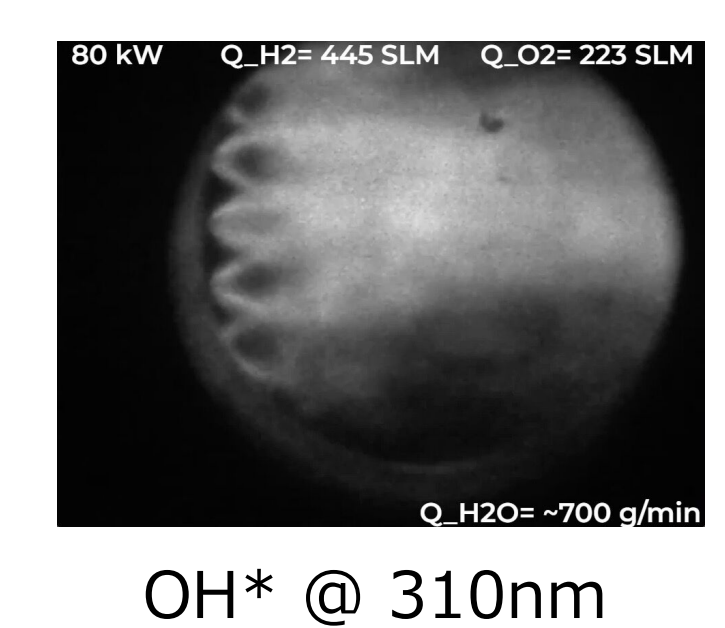


ボイラの試作・試験

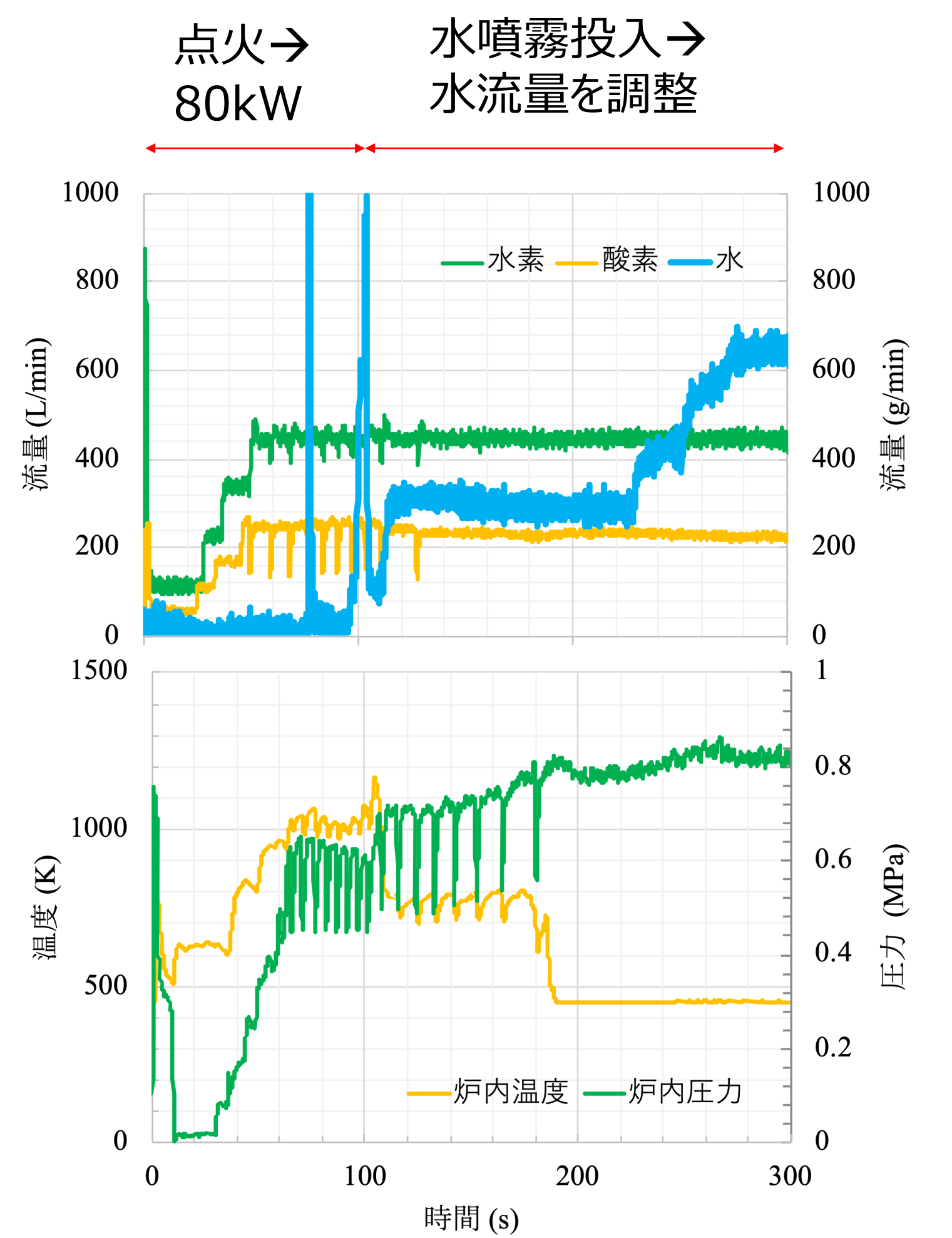
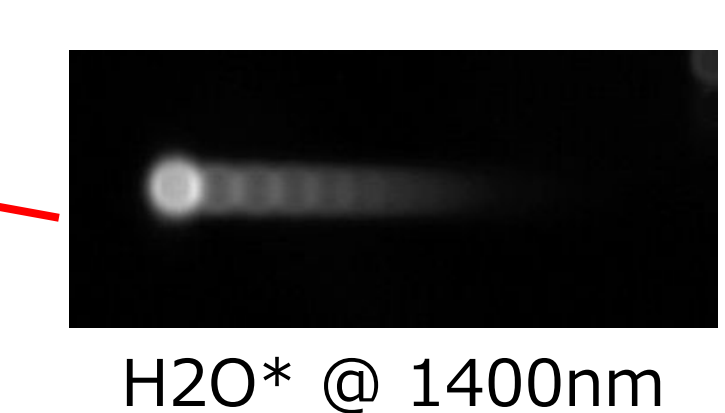
衝突噴流型の酸素水素バーナーと水噴霧を投入する燃焼器ライナーを組合せた蒸気発生器（酸素水素燃焼直接加熱ボイラ）を試作し、JAXAあきる野実験施設に設置して評価試験を実施した。燃焼量を15kWから段階的に80kWまで上げる酸素水素の燃焼試験を行い、ターンダウン1:5以上の安定燃焼を確認できた。酸素水素燃焼火炎の下流に噴霧状の水を添加し、噴霧水の流量を段階的に上げる水蒸気発生試験を行った。水噴霧の投入位置を工夫することで、炉内圧力0.8MPaGにおいて温度450Kの飽和水蒸気の発生に成功した。



火炎基部の構造を紫外線カメラで窓越し撮影



ボイラ出口で水蒸気発生の様子を近赤外線カメラで撮影



試作ボイラによる水蒸気発生試験

■課題と今後の取組

酸素水素燃焼ボイラの試験評価手法の確立

- 水素火炎の温度計測
- 壁面熱流束の計測
- 水蒸気中残存酸素・水素濃度の計測

ボイラ性能および耐久性の改善

- 燃焼完結性実現に向けた流量制御の高精度化
- 完全蒸気化に向けた水噴霧の投入方法の検討
- 熱効率および耐久性の改善に向けた炉壁の冷却構造および冷却水の熱回収の検討

■製品化に向けて

仕様設定

- 小型貫流ボイラの市場調査結果に基づき、1事業所あたりの蒸気需要および標準的な設置形態を勘案し、2000 kg/h級ボイラ4台で構成されるシステムを想定するとともに、使用圧力1 MPaを基本仕様として設定した。
- 代表的な運転条件に基づき、必要となる水素および酸素の供給量について整理を行った。
- 実機設計に向けて、燃焼炉圧損、バーナ圧損、水素・酸素供給系配管圧損、蒸気配管圧損および着火時の缶内圧上昇については、ボイラ試作・試験の結果に基づき整理した。

適用法規

- 初期整理として、ボイラおよび関連設備に適用される法規体系ならびに必要な要件について確認を行い、既存の燃料焚きボイラにおける規定との比較を実施した。
- 現時点の構造および仕様の前提では、既存のボイラの定義に単純には当てはめにくい可能性があることを把握した。
- 今後、構造の具体化を踏まえて関係機関への確認を進める予定である。