

補助事業番号 2022M-197
補助事業名 2022年度サブゼロNOxを実現する水素専焼ガスタービン用燃焼方式の研究補助事業
補助事業者名 東京都立大学 システムデザイン学部 航空宇宙システム工学科
燃焼推進研究室 准教授 櫻井毅司

1 研究の概要

地球温暖化抑制に向けて水素を使用した発電用ガスタービンや航空機用エンジンの実現が求められている。しかし、水素燃焼においてはNOx排出が課題となっている。本研究の目的は、水素100%で燃焼するガスタービンに適用可能な燃焼技術を確認することである。具体的には、安定な燃焼と0.1ppm以下の超低NOx排出を実現することを目指している。これを達成するため、水素の特性に基づいた3つの燃焼方式を検証した。本研究は、カーボンニュートラルの実現に向けた取り組みであり、大気汚染物質と温室効果ガスの削減に貢献すると期待される。

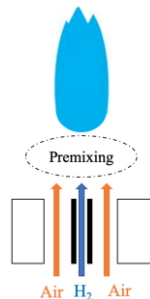
2 研究の目的と背景

本研究の目的は水素専焼ガスタービンに適用可能な燃焼技術を確認することである。具体的には、ガスタービンにおける燃焼条件（代表空気流速10~50m/s、当量比0.2~0.5）に対して火炎の逆火や吹き飛びを生じない安定な燃焼と、0.1ppmレベルの極めて低いNOx（サブゼロNOx）排出を実証することである。これに向けて水素と空気の急速かつ均一な混合および燃料希薄燃焼によるNOx生成抑制の考えに基づき、3つの燃焼方式（浮き上がり火炎、横風火炎、マイクロ拡散火炎）でその実現性を検証する。

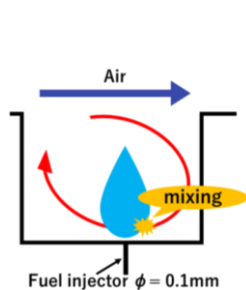
3 研究内容

(<https://www.comp.sd.tmu.ac.jp/comb/research.html>)

浮き上がり火炎



マイクロ拡散火炎



横風火炎

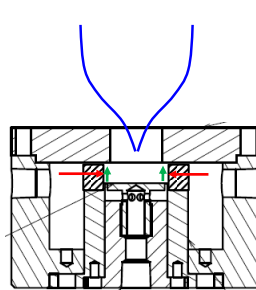


図1 本研究で取り組んだ3つの燃焼方式

本研究では図1に示した3つの燃焼方式のそれぞれについて以下の3項目について調べた。

a) 火炎安定性：空気流速10~50m/s、当量比0.2~0.5の燃焼条件に対して逆火や吹き飛びを生じないこと

b) 燃焼効率99.99%以上, NOx排出値0.1ppmレベルの実現

c) 燃焼特性に対する圧力・温度の影響として, 圧力比2相当(圧力0.2MPa, 温度200°C)における安定な燃焼と0.1ppmレベルの超低NOxを両立すること

(1) 浮き上がり火炎方式に関する研究

水素噴射孔径0.6mm以上では空気流速30m/sまで浮き上がり火炎を安定に形成できた。一方, 浮き上がり火炎の形成範囲は噴射孔径が小さくなるほどに空気流速に対して狭くなった。噴射孔径0.4mmと0.2mmの場合に1ppmを下回る顕著な低NOx状態を得たが, 孔径0.6mmや0.8mmでも燃焼ガスの滞在時間がNOx生成に影響し, 空気流速20m/s以上では0.4mmと同等なNOx濃度が得られる見込みを得た。

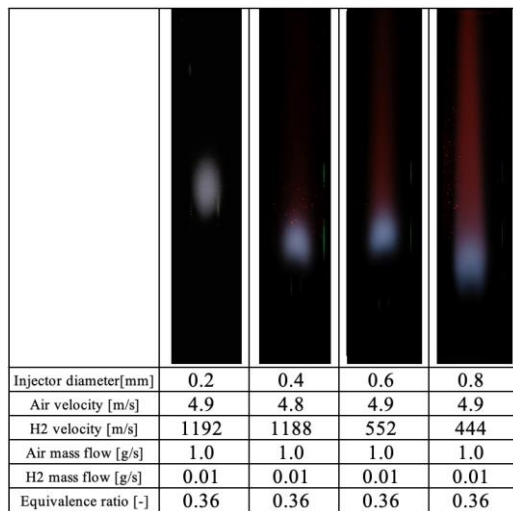
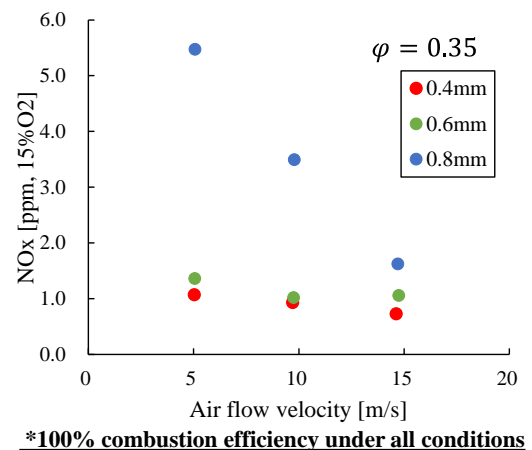


図2 水素噴射孔径と浮き上がり火炎の様子



*100% combustion efficiency under all conditions

図3浮き上がり火炎バーナのNOx濃度

(2) 横風火炎方式に関する研究

水素噴射孔径0.3mmおよび0.7mmについて詳細な火炎形成条件を調べ, 空気流速20m/s以上において研究目標に近い火炎(吹き飛ばし火炎)が得られることを確認した。吹き飛ばし火炎ではNOx濃度が大きく減少し1ppm未満が実現できることを確認した。

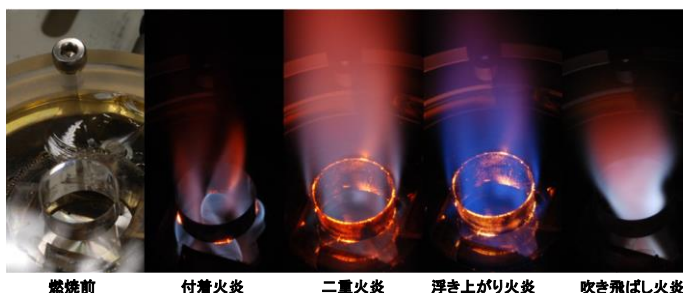


図4 横風火炎方式で形成される火炎

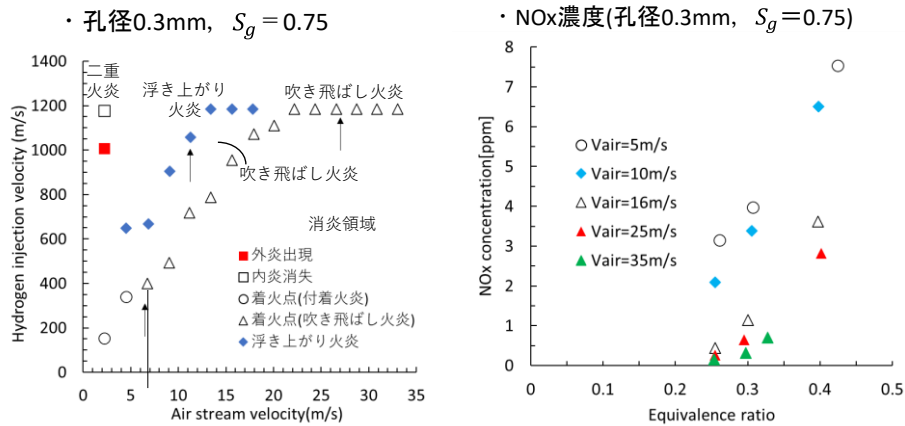


図5 横風火炎バーナの火炎形成条件とNOx濃度

(3) マイクロ拡散火炎方式に関する研究

マイクロ拡散火炎燃焼器を搭載したガスタービンは自立運転を達成し、燃焼も安定に持続した。圧力152kPa、温度80°Cの条件下で燃焼したときのNOx濃度は1.6ppmとなった。NOx濃度は水素噴射速度に依存し、発熱量を維持したまま噴射速度を100m/s程度まで下げることができればよりNOx濃度を下げることが可能である。

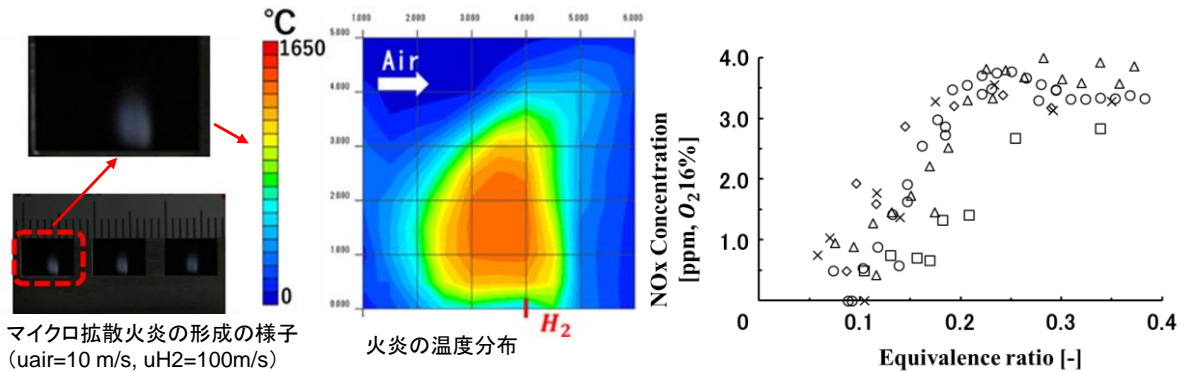


図6 マイクロ拡散火炎方式バーナの火炎とNOx濃度

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究は水素を燃料とする発電用ガスタービンや航空機用エンジンに適用され、CO₂無排出かつ大気汚染物質であるNOxも0.1ppmレベルと非常に低い排出値を実現できるものになると考えられる。また、本事業で行ったマイクロガスタービンは電動化航空機 (Urban Air Mobility) のバッテリーを補助する電源としての利用も期待される。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

補助事業者はこれまで主に水素を燃料とする燃焼現象やガスタービン燃焼に関する研究を行ってきた。本研究は時流に即した内容であり、水素燃焼において残された大きな課題であるNOx排出に向けて3つのアプローチで取り組んだものである。

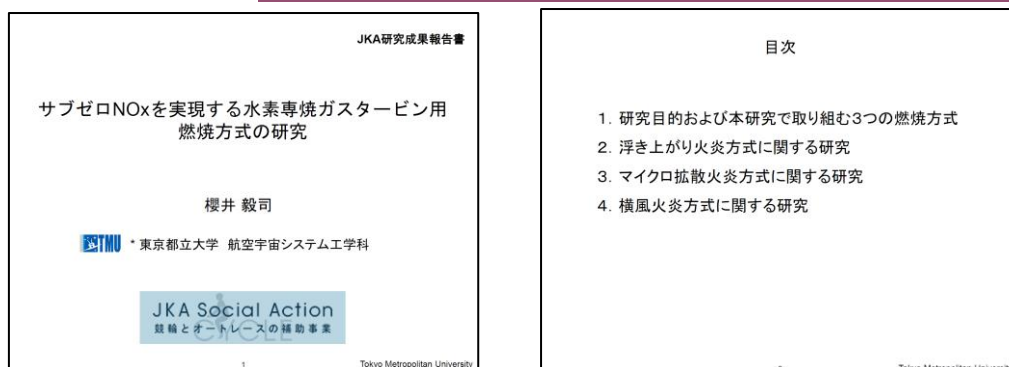
6 本研究にかかわる知財・発表論文等

- (1) 白石和也, 櫻井毅司, 湯浅三郎: 水素マイクロ拡散燃焼器を用いるガスタービンのNO_x評価, 第50回日本ガスタービン学会定期講演会, B-18, 2022.
- (2) Ichieda, K., Sakurai, T.: Combustion conditions of hydrogen lifted flame formed on the injector diameter less than 1mm, The 11th Asian Joint Conference on Propulsion and Power, AJCPP2023-083, 2023.
- (3) Sakurai, T., Ichieda, K., Hanya, K., Yuasa, S. : Effect of hydrogen injection hole diameter on burning condition of lifted flame in a hydrogen burner, International Journal of Gas Turbine, Propulsion and Power Systems (査読中)

7 補助事業に係る成果物

- (1) 補助事業により作成したもの

JKA研究成果報告書 (<https://tmpuc.box.com/s/w2nlmlliuuyptafnhab7jwahuq85ubez1>)



- (2) (1) 以外で当事業において作成したもの
該当なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 東京都立大学システムデザイン学部航空宇宙システム工学科(トウキョウトリツダイガク システムデザインガクブ コウクウウチュウシステムコウガクカ)

住所: 〒191-0065

東京都日野市旭が丘6-6

担当者: 准教授 櫻井 毅司 (サクライ タカシ)

担当部署: 燃焼推進研究室 (ネンショウスイシンケンキュウシツ)

E-mail: tsakurai@tmu.ac.jp

URL: <https://www.comp.sd.tmu.ac.jp/comb/index.htm>