

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 10 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560195

研究課題名（和文） 安全な水素炉内燃焼技術の開発とその燃焼特性の解明

研究課題名（英文） Development of safe hydrogen combustion technology and investigation of its combustion characteristics

研究代表者

野田 進 (NODA SUSUMU)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：60124054

研究成果の概要（和文）：安全な水素燃焼器の開発を目的に、旋回パイロット火炎を副室型とする旋回噴流燃焼器の開発を行い、以下の結論を得た。噴流火炎のみでは吹き消えに至る噴流空気流速においても本燃焼器では安定な火炎が形成される。さらに火炎の安定範囲を広げるために、噴流火炎と旋回パイロット火炎の間に存在する温度極小値を解消するマルチ噴流空気ノズルに変更した。この結果、噴流火炎と中間火炎の間の温度極小値は解消され、大幅に火炎安定範囲が増大した。

研究成果の概要（英文）：In this study, we had developed a new safe small hydrogen combustor, called the cyclone jet combustor, which consists of a jet diffusion flame stabilized by a swirl pilot flame. Hydrogen flames are safely stabilized by the cyclone jet combustor over the blowout condition of jet flame. There exists the minimum temperature region between the jet flame and the middle flame, which affects the flame stabilization. The removal of the minimum temperature region is essential for the expansion of the stable condition. Thus, the annular air jet nozzle was replaced with a multi-port air nozzle. Thereby, the minimum temperature region was completely removed to expand the stable condition extremely.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2011 年度	600,000	180,000	780,000
2012 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・熱工学

キーワード：燃焼

1. 研究開始当初の背景
燃焼技術に関連するエネルギー問題および環境問題が大きな社会問題となっている。化

石燃料は将来必ず枯渇する。また地球温暖化を代表とする環境問題は人類の生存さえも脅かす大きな問題である。豊かで、持続可能

な社会を構築するためには化石燃料に代わる新燃料の開発は緊急の課題である。新エネルギーの一つとして水素が考えられる。化石燃料を使用する炭素循環エネルギーシステムに比べ、水循環エネルギーシステムは量的にも、その速さにおいても格段に優れている。

水素利用技術の観点から、水素燃料から動力を得る場合には水素の化学エネルギーを直接電気エネルギーに変換する燃料電池が熱効率の点で優れている。しかしながら、水素を直接熱源として利用する水素燃焼の役割も大きい。ただし、水素は炭化水素燃料と比べ、爆発性の高い燃料であり、安全な燃焼法の確立が求められる。

2. 研究の目的

本研究の目的は(1)安全な小型水素炉内燃焼技術の確立と(2)その燃焼特性の解明である。

3. 研究の方法

申請者はこれまでに水素燃料を利用する燃焼技術について二種類の研究を行った。炉内燃焼の実験的研究から、既燃ガスの炉内循環が存在し、この既燃ガスによる火炎希釈を通じて燃焼特性が大きく変化することを明らかにした。また、この既燃ガス再循環は燃焼器と燃焼炉の組合せに大きく影響を受けることを明らかにした。この点に注目し、炉内燃焼におけるNOx排出特性が炉レイノルズ数と火炎伸長率で評価できることを明らかにした。一方、旋回パイロット火炎を使用する噴流火炎(旋回流噴流火炎)の実験では、同軸流パイロット火炎に比べ、約30倍以上の保炎力が存在することを明らかにした。

つぎに、燃焼モデリングの研究では、水素拡散火炎を対象にフレームレットモデル、条件付モーメント完結法、確率密度関数(PDF)法、多変数仮定PDF法の開発改良およびその手法の高度化を行った。多変数仮定PDF法は申請者が独自に着想に至り、開発を行った。基本的な考えは化学反応式が温度と濃度のみの関数で定義されるため、何らかの方法で温度と濃度の1点1時刻PDFを求めることができる。そこで、温度、濃度の平均値と分散値を解析し、多変数PDFを β 関数で仮定する手法を確立した。

水素燃料の高い爆発性により水素燃料を炉内燃焼に直接利用しようとした研究は申請者の知る限りない。本研究では申請者のこれまでの研究成果を基に、旋回噴流燃焼器の応用として、狭い空間で水素燃焼を完結する安全な炉内燃焼技術を開発するとともに、その燃焼特性を解明するものである。

4. 研究成果

(1) 旋回噴流燃焼器を応用した安全な小型水素燃焼器(図1)を作成した。この燃焼器は中心に同軸型噴射器が設置されており、そ

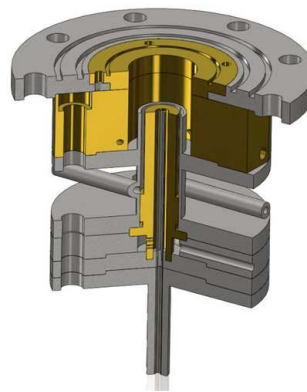


図1 水素燃焼器

の中心ノズルが燃料ノズルである。また環状ノズルが空気ノズルである。さらに同軸ノズルの外側に旋回燃料ノズルが、またその外側に空気旋回ノズルが設置されている。中心の同軸ノズルは主噴流火炎を形成する。また、その外側の旋回燃料及び旋回空気は主噴流火炎の旋回パイロット火炎としての役割を持つ。この旋回パイロット火炎が主噴流火炎の保炎に大きな役割を持つ。また、空気旋回流は炉壁の熱負荷を低減する効果を持たせており、炉壁の損傷を防いでいる。

(2) 図2に水素噴流燃焼器の火炎安定範囲を示す。横軸は燃料噴流速度 V_{J,H_2} 、縦軸は空気噴流速度 $V_{J,air}$ である。空気旋回速度 $V_{S,air}$ は30.5m/sである。図中の V_{S,H_2} は燃料旋回流速度である。旋回パイロット火炎がない単純噴流火炎では $V_{J,air}$ を増加させていくと火炎は吹き消えるが、旋回パイロット火炎を利用すると火炎は火炎基部がわずかに浮き上がるが火炎が吹き消えることはない。

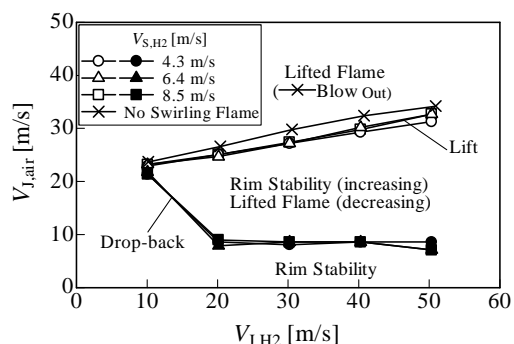


図2 火炎の安定領域

(3) 火炎の安定化機構を明らかにするために実験と解析を行った。図3が燃料器内温度分布であり、図4が解析結果である。反応領域に対応する三つの高温領域が存在する。中心から噴流火炎、中間火炎、旋回火炎である。図4より、中間火炎と旋回火炎の火種が噴流火炎に供給されることで保炎性能が向上し

ていることが分かる。このことは図3から明らかな噴流火炎と中間火炎の間に存在する低温領域を取り除くことが火炎の保炎性能をさらに向上させることが可能であることが判明した。

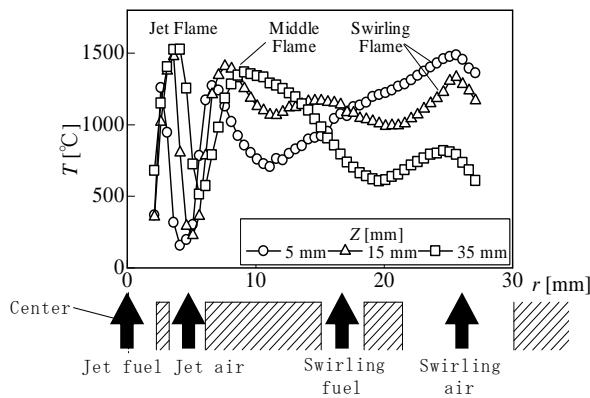


図3 旋回噴流火炎の温度分布 (実験)

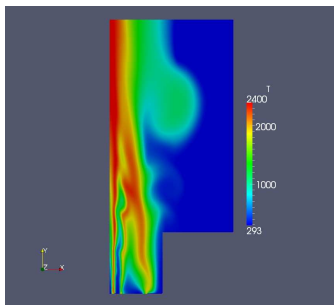


図4 旋回噴流火炎の温度分布 (解析)

(4) (3) の結果から、噴流火炎と中間火炎の間に存在する低温領域を解消するために、多孔空気噴流ノズルを設置した。その結果、図5に示すようにその低温領域がなくなり、火炎は浮き上がることなく、火炎の安定性が増した。

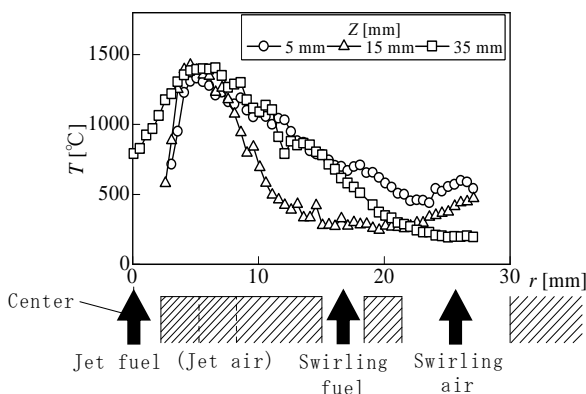


図5 温度分布 (多孔空気噴流ノズル)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に

は下線)

[雑誌論文] (計 9 件)

- ① 野田 進, 乱流拡散燃焼のモデリング, 日本燃焼学会誌, 52 巻, 160 号, 2010, 130-138, 査読有.
- ② Odi Akhyarsi, Mohamad Farid Bin Mohamad Sharif, Yuzuru Nada, Takahiro Ito, Susumu Noda, Characteristics of Gaseous and Liquid Fuels Combustion in Laboratory-Scale Furnaces, Journal of Environment and Engineering, 5-1, 2010, 157-167, 査読有.
- ③ 野田 進, 噴霧燃焼, 混相流, 24 巻, 3 号, 2010, 259-266, 査読有.
- ④ 名田讓, 前川浩規, 伊藤高啓, 野田進, 高温空気噴霧燃焼の安定燃焼限界の解明, 日本燃焼学会誌, 第 53 巻, 166 号, (2011), 62-70, 査読有.
- ⑤ 名田讓, 小林俊哉, 伊藤高啓, 野田進, 乱流拡散燃焼のスカラー確率密度関数法の解析精度, 日本機械学会論文集, B 編, 77 巻 784 号, 2011, 2454-2467, 査読有.
- ⑥ 名田讓, 伊藤高啓, 野田進, 平行噴流バーナーを用いた高温空気燃焼の着火遅れに対する既燃ガス希釈の影響, 日本機械学会論文集, B 編, 78 巻 789 号, 2012, 1127-1142, 査読有.
- ⑦ 名田讓, 鳥谷峯史也, 伊藤高啓, 野田進, 乱流浮き上がり火炎の浮き上がり高さに対する既燃ガス希釈の影響 (希釈による反応物濃度低下の影響), 機論, B 編, 78 巻 795 号 (2012-11), 2015-2029, 査読有.
- ⑧ K. D. Kunkuma A. Somarathne, I Gede Parwatha, Shoichiro Oguri, Yuzuru Nada, Takahiro Ito, and Susumu Noda, NOx Reduction of Non-Premixed Flames by Combustion of Burner and Furnaces, J. Environmental and Engineering, Vol. 8, No.1, 2013, 1-10, 査読有.
- ⑨ K. D. Kunkuma A. Somarathne and Susumu Noda, Numerical Evaluation of the Effect of Global Equivalence Ratio on Confined Turbulent Non-Premixed Flames, J. Environmental and Engineering, Vol. 8, No. 1, 2013, 11-26, 査読有.

[学会発表] (計 26 件)

- ① Susumu Noda, I. G., Parwatha, Yuzuru Nada, Takahiro Ito, Evaluation of dilution of confined flames, The 33rd International Symposium on Combustion, Work-In-Progress, W5P053, 2010, China.
- ② 名田讓, 平岩大宙, 伊藤高啓, 野田進,

- 高温空気燃焼の吹き飛び限界の解明、日本機械学会年次大会、2010
- ③ Susumu Noda, Masato Fujisaka, Yuzuru Nada, Takahiro Ito, Modeling of Turbulent Nonpremixed Flames based on an Assumed Multivariate Beta PDF Method, The 21st Int. Sympo. Transport Phenomena, 2010, Taiwan.
 - ④ 名田讓, 前川浩規, 伊藤高啓, 野田進, 高温空気噴霧燃焼の消炎限界の解明, 第48回燃焼シンポジウム講演論文集, 2010
 - ⑤ 名田讓, 平岩大宙, 伊藤高啓, 野田進, 高温空気浮き上がり火炎の吹き飛び限界の解明, 第48回燃焼シンポジウム講演論文集, 2010
 - ⑥ Mohamad Sharif Mohamad Farid, 名田讓, 伊藤高啓, 野田進, Flame characteristics of single and multiple nozzles for confined hydrogen flames, 第48回燃焼シンポジウム講演論文集, 2010.
 - ⑦ Somarathne kunkuma, 名田讓, 伊藤高啓, 野田進, Modeling of confined turbulent non-premixed flames by an assumed PDF method, 第48回燃焼シンポジウム講演論文集, 2010.
 - ⑧ 前川浩規, 名田讓, 伊藤高啓, 野田進, 高温空気噴霧燃焼の可燃限界の解明, 日本機械学会東海支部講演会, 2011.
 - ⑨ Yuzuru Nada, Yasutomo Zenman, Takahiro Ito, Susumu Noda, The Effect of Distance Between Fuel and Oxidizer Nozzles on NO_x Emission from High Temperature Air Combustion, The 8th ASME/JSME Thermal Engineering Joint Conference, 2011, USA.
 - ⑩ 名田讓, 岡原克浩, 伊藤高啓, 野田進, 非予混合火炎の着火遅れに対するスカラー散逸率の影響, 日本機械学会 2011年次大会, 2011.
 - ⑪ 野田進, 名田讓, 小栗翔一郎, 伊藤高啓, 炉内拡散燃焼におけるNO_x排出特性へのふく射の影響, 日本機械学会熱工学コンファレンス 2011, 2011.
 - ⑫ Luis S. Cardona, Takahiro Ito, Susumu Noda, Validity of Axisymmetric Assumption on a Large Eddy Simulation of Confined Turbulent Jet Flame, 第9回日本流体力学会中部支部講演会, 2011.
 - ⑬ 名田讓, 岡原克浩, 伊藤高啓, 野田進, 高温空気燃焼の着火遅れに対する炉内ガス希釈の影響, 第49回燃焼シンポジウム, 2011.
 - ⑭ 渡辺泰都, 伊藤高啓, 名田讓, 野田進, 壁面近傍の予混合火炎に与える影響因子の実験的解明, 第49回燃焼シンポジウム, 2011.
 - ⑮ 小林豊, 名田讓, 伊藤高啓, 野田進, 乱流拡散燃焼へのノズルリセス効果に関する数値解析, 第49回燃焼シンポジウム, 2011.
 - ⑯ 鳥谷峯史也, 名田讓, 伊藤高啓, 野田進, 炉内浮き上がり火炎に対する既燃ガス希釈の解明, 日本機械学会東海支部第61期総会・講演会, 2012.
 - ⑰ Susumu Noda, K.D. Kunkuma, A. Somarathne, I. Gede Parwatha, Yuzuru Nada, Takahiro Ito, NO_x REDUCTION OF NON-PREMIXED FLAMES BY COMBINATION OF BURNER AND FURNACE, Work-In Progress Poster Colloquium at 34th International Symposium on Combustion, 2012, Poland.
 - ⑱ K.D. Kunkuma A. Somarathne, Takahiro Ito, and Susumu Noda, Numerical Simulation of Turbulent Non-Premixed Propane Flames in a Cylindrical Furnace Using the Partially Stirred Reactor (PaSR) Model, 23rd International Symposium on Transport Phenomena, 2012, New Zealand.
 - ⑲ Kunkuma, K. D., 伊藤高啓, 野田進, 部分攪拌燃焼器モデルによる炉内乱流拡散燃焼の数値解析, 日本機械学会 2012年度年次大会, 2012.
 - ⑳ Cardona S. Luis F., 伊藤高啓, 野田進, LESによる炉内プロパン噴流拡散火炎のNO_x予測, 日本機械学会 2012年度年次大会, 2012.
 - ㉑ K. D. Kunkuma A. Somarathne, 野田進, Numerical evaluation of the effect of inner diameter of furnace on NO_x emission of non-premixed turbulent confined flames, 第50回燃焼シンポジウム, 2012.
 - ㉒ 岡原 克浩, 伊藤 高啓, 野田進, 壁面衝突予混合火炎への周囲空気希釈の影響の数値的解明, 第50回燃焼シンポジウム, 2012.
 - ㉓ 名田 讓, 鳥谷峯 史也, 松本 和男, 野田進, 炉内浮き上がり火炎に対する既燃ガス希釈の影響, 第50回燃焼シンポジウム, 2012.
 - ㉔ 奥 友晃, 松岡常吉, 野田進, 旋回噴流燃焼器を用いた水素火炎の保炎に関する研究, 第62回日本機械学会東海支部総会・講演会, 2013.
 - ㉕ 三木 孝広, 松岡常吉, 野田進, 複数同軸型噴射器を用いた小型円筒燃焼室における水素環状噴流火炎の燃焼特性, 第62回日本機械学会東海支部総会・講演

- 会, 2013.
- ②⑥ 松本和男, 名田讓, 野田進, 二酸化炭素希釈下における乱流非予混合火炎の浮き上がり高さに対するモデル化の検討, 第62回日本機械学会東海支部総会・講演会, 2013.

[図書] (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野田 進 (NODA SUSUMU)
豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号 : 60124054

(2) 研究分担者 なし

()

研究者番号 :

(3) 連携研究者 なし

()

研究者番号 :