

令和 4 年 6 月 8 日現在

機関番号：82627

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04866

研究課題名(和文) NH₃分解ガスによる過濃燃焼ガス噴流トーチを用いたNH₃予混合燃焼に関する研究研究課題名(英文) Study on NH₃ premixed combustion method by a fuel-rich prechamber gas jet using NH₃ decomposition gas

研究代表者

市川 泰久 (Ichikawa, Yasuhisa)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：20586680

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：往復動内燃機関にカーボンフリー燃料であるNH₃を用いることは、温室効果ガス削減において魅力的な手段である。しかし、NH₃は点火が難しく燃焼速度が遅いため、燃焼不安定化や未燃NH₃排出が課題となる。そこで本研究では、NH₃分解ガスを副室燃料として燃焼させ、主室に過濃燃焼ガス噴流トーチ火炎を形成することによって、主室内のNH₃/Air予混合気の点火性を向上し安定燃焼させる燃焼手法に着目する。本研究では、副室・主室の燃焼を模擬する装置を製作して実験的に燃焼基礎特性を解明した。実験の結果、火炎の形成時期は副室内当量比が高いほど早く有利であることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、NH₃分解ガスを副室燃料として燃焼させ、主室に過濃燃焼ガス噴流トーチ火炎を形成することによって、主室内の燃焼困難なNH₃/Air予混合気の、点火性を向上し安定燃焼を実現する燃焼手法に着目している。本研究において構築した副室・主室の燃焼を模擬できる実験システムを用いて、高速度カメラによる火炎の観察し燃焼基礎特性を調査した。実験の結果、火炎の形成時期は副室内当量比が高いほど早く有利であることが明らかになった。本成果は、実際のエンジンの検討・開発において有用な知見になると考える。

研究成果の概要(英文)：The use of NH₃ as a carbon-free fuel in reciprocating internal combustion engines is an attractive method in reducing greenhouse gases. NH₃ is difficult to ignite and has a slow combustion speed. Therefore, the technological problems of NH₃-fueled reciprocating internal combustion engines are combustion instability and unburnt NH₃ emissions. We focus on NH₃ premixed combustion method by a prechamber gas jet at fuel-rich condition using NH₃ decomposition gas. In this study, an experimental system that can simulate the combustion phenomena in the prechamber and the main-chamber was made to investigate the basic combustion characteristics. The experimental results show that the higher the equivalence ratio in prechamber mixture, the flame was formed early.

研究分野：内燃機関

キーワード：往復動内燃機関 アンモニア 副室 予混合燃焼

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、温室効果ガス(GHG: greenhouse gas)削減の観点から、カーボンフリー燃料であるアンモニア(NH₃)が注目されている。一方、内燃機関の主燃料として NH₃ を利用する場合、NH₃ は点火が難しく燃焼速度が遅いため、内燃機関の燃焼不安定化や未燃 NH₃ 排出が課題となる。このため、内燃機関では、現在、NH₃ は他の燃料との混焼利用が検討されている。そこで、申請者らは、内燃機関における NH₃ の点火性および燃焼速度を向上し、NH₃ のみで運転可能な副室点火式の NH₃ 予混合燃焼機関システムを提案している。提案する機関システムは、副室内で NH₃ 分解ガス (NH₃ を分解し生成した水素 (H₂) / 窒素 (N₂) / NH₃ 混合気) を過濃な条件で燃焼させ主室へ噴射することにより、主室内の NH₃ / 空気 (Air) 予混合気の着火性および燃焼速度を向上させ、主室内燃焼の安定化および未燃 NH₃ の排出を抑制することを特徴とする「NH₃ 分解ガスを用いた副室点火式 NH₃ 予混合燃焼システム」を有する。

2. 研究の目的

本研究課題では、上記燃焼システムの実用化を目指し、NH₃ 分解ガスを副室燃料として燃焼させ、主室に過濃燃焼ガス噴流トーチ火炎(以下、トーチ火炎と呼ぶ)を形成することによって、主室内の NH₃ / Air 予混合気の着火性を向上し安定燃焼させる NH₃ 基礎燃焼技術を確立することを目的とする。副室点火式 NH₃ 予混合燃焼機関システムの主室燃焼を模擬できる装置を製作し、これに形成した火炎を対象に燃焼計測を実施し、火炎形成条件、消炎機構、火炎構造の特徴等の基本燃焼特性を明らかにする。

3. 研究の方法

往復動内燃機関における副室 / 主室の間欠燃焼を模擬することができる実験装置を構築した。図1は、実験システムの概要を示す。実験装置は、副室と主室およびそれぞれへの予混合気供給装置、制御装置から構成される。副室には、H₂ / Air 予混合気供給装置が接続されている。H₂ および Air のマスフローコントローラによって副室に充填する予混合気の当量比を調整することが可能である。図2は副室の断面図を示す。副室は円筒形状であり、燃焼空間下面に1つの噴射孔を、燃焼空間上面に2つの点火プラグを配置した。中心軸には空気シリンダによって駆動するニードルが設置されており、予混合気はニードルの軸と孔の隙間を介して副室燃焼空間内に供給される。点火後に、燃焼ガスが H₂ / Air 予混合気供給配管に逆流しないように、点火・燃焼時はニードルを引き上げて予混合気供給口を密閉する。次に、主室は NH₃ / H₂ / Air 予混合気供給装置が接続されている。NH₃ と H₂、Air のマスフローコントローラによって主室に供給する燃料の NH₃ / H₂ の体積混合率や充填する予混合気の当量比を調整することが可能である。NH₃ / H₂ / Air 予混合気は、加熱導管で昇温された後に主室に供給する。主室の燃焼空間は、90 mm X 90 mm X 400 mm の箱型である。壁面の一面には石英ガラスを設置しており、主室内部の火炎を高速度カメラ(フォトロン製、FASTCAM SA-Z)で撮影した。撮影速度は20000 fpsとした。また、NH₃ / H₂ / Air をエンジン内の温度条件に近づけるために、主室の外壁面にヒータを設置して主室壁面の温度を高めた。

本研究では、副室 / 主室ともに大気圧において実験を実施した。副室噴孔径は2 mm、3 mm、4 mm、副室温度は91℃、副室に供給する H₂ / Air 予混合気の当量比 (ϕ_{pre}) は0.5、1.0、2.0とした。主室温度は163℃、主室に供給する NH₃ / H₂ / Air 予混合気の当量比 (ϕ_{main}) は1.0、燃料 (NH₃ / H₂) 中の水素体積混合率は、25%、30%、35%、40%とした。

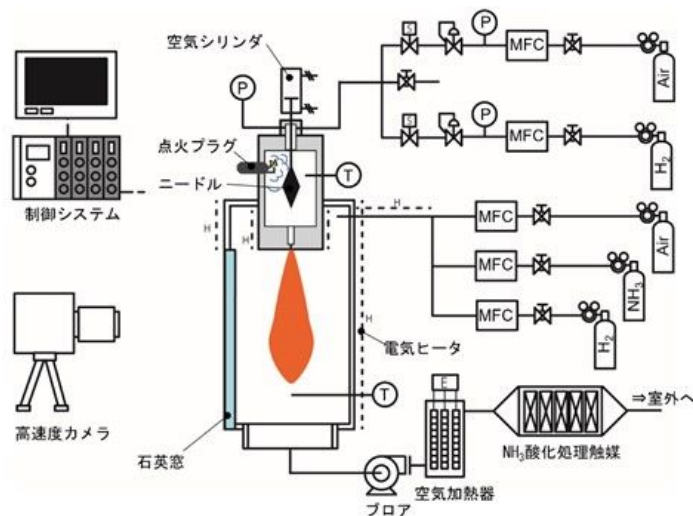


図1 実験システムの概要

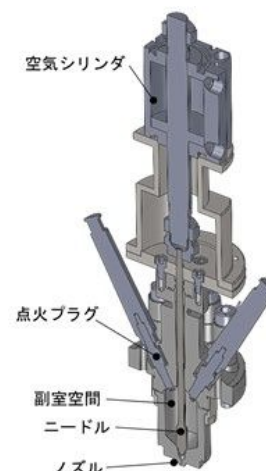


図2 副室の断面図

4. 研究成果

副室噴孔径 2 mm、3 mm、4 mm で実験した結果、4 mm のみ安定して火炎を確認することができた。これは、副室噴孔径が小さい場合は噴流の速度が高いため、噴流が発達する過程で燃焼ガスが急速に希釈され、着火に至らなかったと考える。

図 3 に、副室内当量比 0.5、1.0、2.0、主室供給燃料 (NH_3 / H_2) の水素体積混合率 40%、副室噴孔径 4 mm における $\text{NH}_3 / \text{H}_2 / \text{Air}$ 予混合気の副室ジェット点火による燃焼の高速度カメラ撮影画像を示す。副室内当量比 1.0 では、点火後 12 ms にノズル近傍で発光が現れ、その後発光領域が拡大する。火炎は NH_3 火炎特有のオレンジ色の発光を呈する。同図点火後 15 ms からノズル付近はなめらかな火炎面だが、先端付近は複雑な形状をしていることがわかる。これは、ノズル付近では初期火炎核が火炎伝播した火炎面であるためなめらかであり、先端付近は副室からの燃焼ガス噴流が火炎に干渉するため複雑に乱れたと考える。次に、副室内当量比 0.5 では、点火後 15 ms にノズルから離れた領域で発光が現れ、火炎がノズル近傍と下流に拡大する。このような特徴はディーゼル噴霧の着火遅れに似ている。初期の火炎形成がノズル近傍から離れた理由は、副室内の燃焼ガス温度が低かったことなどが考えられるが、これらの要因の解明には、副室内圧力測定やシャドウグラフ撮影などの追加実験が必要である。次に副室内当量比 0.5 は、1.0 に比べて火炎が確認される時期が遅いが、火炎の発達率は早く、点火後 18 ms には観察領域の下端にまで到達している。これは、火炎が確認される前に形成された燃焼ガス噴流の領域内には速やかに火炎が伝播・拡大できたためと考える。また点火後 16-18 ms の火炎は、ノズル近傍から先端付近に至る全域が複雑な形状をしている。このように、ノズル付近のなめらかな火炎面が確認されなかったことは、火炎が形成される最初にノズル近傍に火炎核が生じなかったことで、ノズル付近に火炎伝播が起こらなかったためである。次に、副室内当量比 2.0 は、0.5 と同様の形態で火炎が発生・発達していることがわかる。副室内当量比 2.0 は、0.5 より早い時期に火炎が確認され、その後の発達速度は同程度である。この初期火炎の形成時期の相違は、副室内の燃焼状態に起因すると考える。副室内当量比 2.0 は、0.5 に比べて酸素が不足していることから燃焼する熱量が低く、噴流流速が低下して燃焼ガスが希釈されにくくなり、さらに燃焼ガス噴流に燃焼速度の高い H_2 が多く含まれることから火炎が形成されやすくなったこと考える。以上のことから、火炎の形成時期は、副室内当量比が高いほど早く有利であることがわかった。一方で火炎発達速度は、副室からの燃焼ガス噴流に強い影響を受けることが明らかになった。

次に、副室内当量比 0.5、1.0、2.0、副室噴孔径 4 mm において主室供給燃料 (NH_3 / H_2) の水素体積混合率を 25%、30%、35%、40% と変更する実験を実施した。この結果、火炎が観測された水素体積混合率の下限は、副室内当量比 0.5 では 30%、1.0 では 25%、2.0 では 40% であった。以上の結果から、副室内当量比 1.0 が最も低い水素体積混合率で火炎形成が可能であることが明らかになった。このように、図 3 における着火時期の火炎の発達速度と火炎が形成される水素体積混合率下限と異なる特徴があることがわかった。

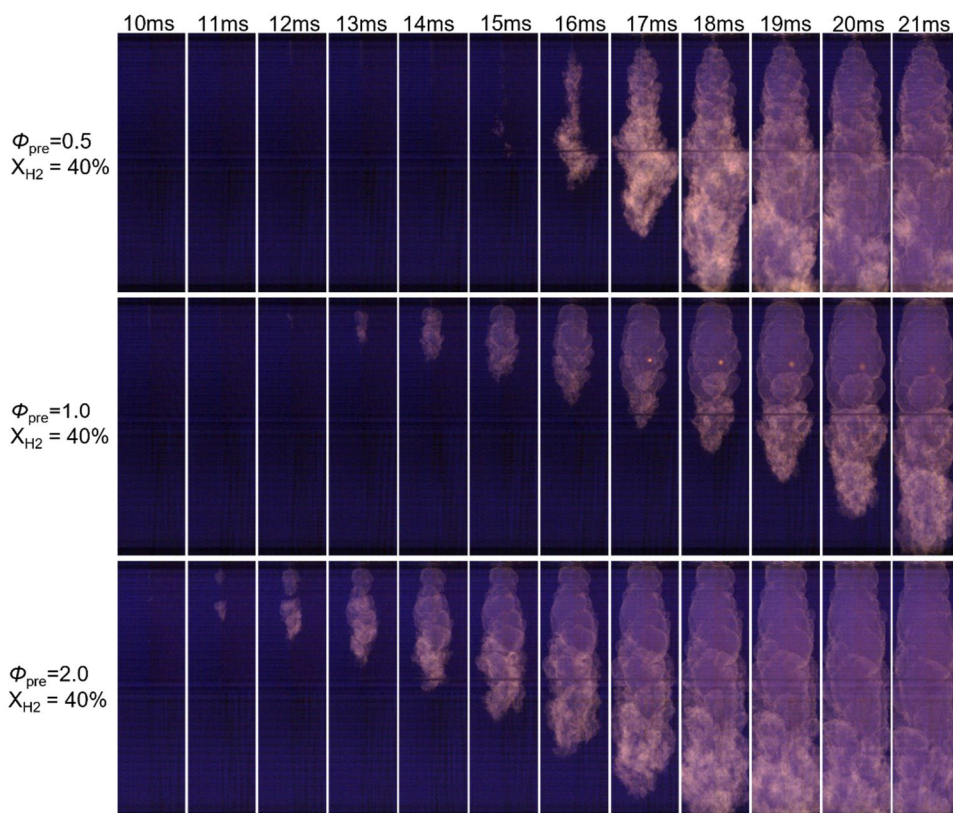


図 3 $\text{NH}_3 / \text{H}_2 / \text{Air}$ 予混合気の副室ジェット点火による燃焼の高速度カメラ撮影画像

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

| | | |
|---|--------------|----------------------|
| 産業財産権の名称 アンモニア燃焼方法、アンモニア燃焼エンジン、及びアンモニア燃焼エンジン | 発明者 市川泰久 | 権利者 海上・港湾・航空技術研究所 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、8351005700 | 出願年 2020年 | 国内・外国の別 国内 |

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

| 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|---------------------------|-----------------------|----|
|---------------------------|-----------------------|----|

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|