

令和 2 年 6 月 17 日現在

機関番号：82627

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06976

研究課題名（和文）超希薄予混合気ガスにおけるプラズマ支援着火・燃焼技術に関する研究

研究課題名（英文）Study on plasma-assisted ignition and combustion technology in ultra-lean premixed gas

研究代表者

関口 秀紀（Sekiguchi, Hidenori）

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：80415843

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、天然ガスを燃料とする予混合式リーンバーンガス機関の高性能化（高効率化および低NOx（窒素酸化物）化）に寄与するため、超希薄予混合気ガスの安定着火と燃焼速度向上を実現する基礎技術として、超希薄予混合気ガス中に燃焼促進物質を生成し、着火エネルギーを供給するプラズマ支援着火・燃焼技術について学術的検討を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題では、予混合式リーンバーンガス機関の高性能化に寄与する超希薄予混合気ガスに対する安定着火と燃焼速度向上を実現するため、熱平衡マイクロ波プラズマ生成装置を開発すると共に、メタンと空気を用いた希薄予混合気ガスに対するプラズマ支援着火・燃焼実験を実施し、超希薄予混合気ガスに対して熱平衡マイクロ波プラズマ支援着火・燃焼が可能であることを確認した。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to contribute to high performance (high efficiency and low nitrogen oxide (NOx)) of a premixed lean burn gas engine that uses natural gas as fuel. For this purpose, as a basic technology to realize the stable ignition and the improvement of burning velocity in ultra-lean premixed gas, we conducted an academic study on plasma-assisted ignition/combustion technology for generating the combustion enhancement substances and supplying the ignition energy in the ultra-lean premixed gas.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：プラズマ支援着火・燃焼技術

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

温室効果ガス (GHG: greenhouse gas) の排出量増加に伴う地球温暖化問題や一次エネルギーの安定供給に伴う原油代替燃料の使用量増加の観点から、近年、メタン (CH₄) を主成分とする天然ガスを燃料とするガス機関が市場に投入され始めており、既存のガス機関の主流は、天然ガスと空気 (酸素) を予め均一に混合し燃焼させる予混合式希薄燃焼 (リーンバーン) 方式を採用している。この予混合気ガスの超希薄化は、予混合式リーンバーンガス機関の更なる高効率化 (燃料消費量削減) および GHG の 1 つである窒素酸化物 (Nox) の削減等の高性能化を実現することが可能であるが、超希薄予混合気ガスの着火性および燃焼性 (火炎伝播等) を不安定化させることから、現在、その適用上限は制限されている。そこで、予混合式リーンバーンガス機関の更なる高性能化に寄与する超希薄予混合気ガスの安定着火・燃焼技術の開発が重要な研究要素となっている。

2. 研究の目的

本研究課題では、予混合式リーンバーンガス機関の高性能化に寄与する超希薄予混合気ガスにおける安定着火・燃焼速度維持・向上を実現する技術として、超希薄予混合気ガス中にラジカルやオゾン等の燃焼促進物質を生成し、強力な着火エネルギーの供給が可能なプラズマ支援着火・燃焼技術に着目し、その有効性を実験的に検証することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究課題では、以下の(1) 非熱平衡プラズマによる燃焼促進物質の生成、および(2) 熱平衡プラズマによる燃焼促進物質の生成および着火エネルギーの供給の 2 つのプラズマ支援着火・燃焼技術の有効性について実験的な検討を行った。

(1) 非熱平衡プラズマによる燃焼促進物質の生成

大気圧・室温程度で生成可能な非熱平衡プラズマを用いてガス中に燃焼促進物質を生成するため、誘電体バリア放電を生成することが可能な高周波・高電圧スイッチング電源 (～数百 kHz・～数十 kV) を製作すると共に、円筒石英ガラス管および円筒型並列電極を用いて円筒石英ガラス管内のガスをプラズマ化することにより、円筒石英ガラス管から排出されるガス中に生成される燃焼促進物質の調査を行った。図 1(a)は、製作した高周波・高電圧スイッチング電源の回路図、図 1(b)は、誘電体バリア放電を用いた非熱平衡プラズマ生成装置のシステム構成図を示す。なお、本実験において、円筒型電極の長さ・配置、その電極へ印加する電圧・周波数、注入ガス種・流量を調整することにより、円筒石英ガラス管から排出されるガス中に生成される燃焼促進物質について調査を行った。

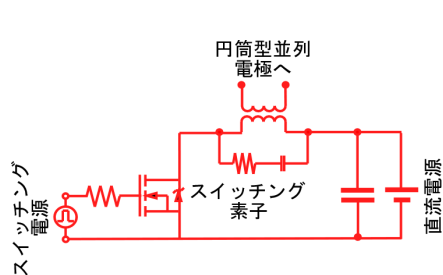


図 1(a) 高周波・高電圧スイッチング電源の回路図

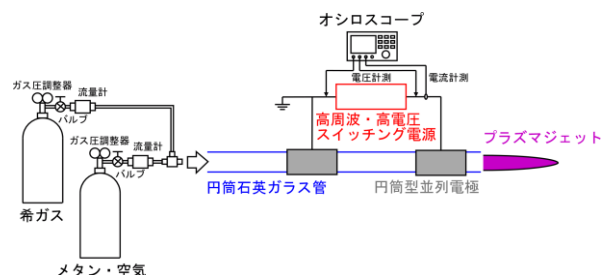


図 1(b) 非熱平衡プラズマ生成装置のシステム構成図

(2) 熱平衡プラズマによる燃焼促進物質の生成および着火エネルギーの供給

大気圧・室温程度で生成可能な熱平衡プラズマを用いてガス中に燃焼促進物質を生成し着火エネルギーを供給するため、マイクロ波 (2.45GHz) プラズマを生成することが可能なマグネトロン電源 (600W) を使い、導波管-同軸変換機を介して円筒石英ガラス管内のアンテナとなる金属棒からマイクロ波を照射し、円筒石英ガラス管内のガスをプラズマ化することにより、円筒石英ガラス管から排出されるガス中に生成される燃焼促進物質の調査とそのガスの着火・燃焼について調査を行った。図 2 は、開発した熱平衡マイクロ波プラズマ生成装置のシステム構成図を示す。なお、本実験において、アンテナ長、マグネトロン電源出力、注入ガス種・流量を調整することにより、円筒石英ガラス管内のガス中に生成される燃焼促進物質の調査とそのガスの着火・燃焼について調査を行った。

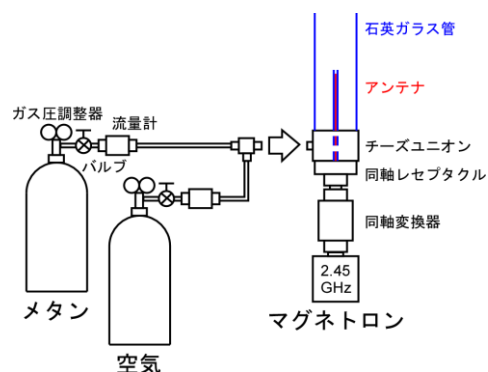


図 2 熱平衡マイクロ波プラズマ生成装置のシステム構成図

4. 研究成果

(1) 非熱平衡プラズマによる燃焼促進物質の生成

図 1(b)に示した誘電体バリア放電を用いた非熱平衡プラズマ生成装置を用いて、始めに、円筒石英ガラス管内へ希ガス（ヘリウムおよびアルゴン）を注入し、非熱平衡プラズマを生成する実験を行った。一例として、図 3 に非熱平衡プラズマによるヘリウムのプラズマ化の結果を示す。同図から、本装置を用いて希ガスをプラズマ化できたことが確認できる。なお、円筒石英ガラス管出口の空気へヘリウムプラズマを照射することにより、燃焼促進物質であるオゾンが生成することが確認された。

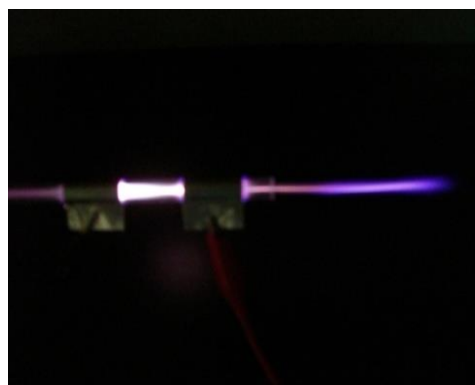


図 3 非熱平衡プラズマによる

次に、円筒石英ガラス管内へ空気、メタン、メタンと空気の予混合気ガスを注入し、同装置によるプラズマ化の実験を行ったが、これらのガスはプラズマ化されなかった。種々のパラメータを調整した実験結果から、希ガス以外の非熱平衡プラズマの生成には、同装置の高出力化が必要となると考える。

(2) 熱平衡プラズマによる燃焼促進物質の生成および着火エネルギーの供給

図 2 に示した熱平衡マイクロ波プラズマ生成装置を用いて、始めに、円筒石英ガラス管内に希ガス（ヘリウムおよびアルゴン）および空気を注入し、熱平衡プラズマを生成する実験を行った。一例として、図 4 に熱平衡プラズマによるアルゴンおよび空気のプラズマ化の結果を示す。同図から、本装置を用いて希ガスおよび空気をプラズマ化できたことが確認できる。なお、空気プラズマにおいて、円筒石英ガラス管内の発光波長をマルチチャンネル分光器を用いて確認した結果、燃焼促進物質であるオゾンや空気中の水分(H₂O)に起因するOHラジカル等が生成されていることを確認した。

次に、円筒石英ガラス管内にメタンと空気の予混合気ガスを注入し、当量比を変えて熱平衡プラズマを生成する実験を行った。図 5 は、流量 18.0 NL/min の空気と流量 0.5 NL/min のメタンを予混合（当量比約 0.26）した際、および、流量 18.0 NL/min の空気と流量 0.8 NL/min のメタンを予混合した（当量比約 0.42）際のプラズマ化の結果を示す。同図から、両当量比において、熱平衡マイクロ波プラズマ生成装置によりメタンと空気の希薄予混合気ガスがプラズマ化し着火・燃焼することが確認でき、当量比が大きい方が高輝度の火炎になることがわかる。なお、同図は希薄予混合気ガスがプラズマ化し燃焼中の結果であるが、マグネトロン電源出力を止めると火炎自体が消滅する。このため、熱平衡マイクロ波プラズマによる希薄予混合気ガスの支援着火・燃焼が可能であると考えられる。



図 4 熱平衡プラズマによるアルゴンおよび空気のプラズマ化

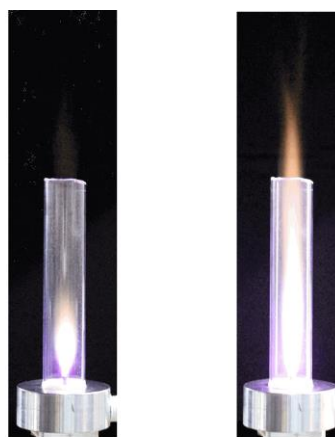


図 5 熱平衡プラズマによる希薄予混合気ガスの着火・支援燃焼

本研究では、予混合式リーンバーンガス機関の高性能化に寄与する超希薄予混合気ガスにおける安定着火・燃焼速度維持・向上を実現する技術として、プラズマ支援着火・燃焼技術の検討を行い、開発した熱平衡マイクロ波プラズマ生成装置は、メタンと空気の希薄予混合気ガスの着火・燃焼に対して有効であることを確認した。また、各種実験結果から、希薄予混合気ガスに対して、より効果的な熱平衡マイクロ波プラズマ支援着火・燃焼技術を開発するための知見が得られた。

<引用文献>

- ① 市川泰久、関口秀紀、希薄予混合ガスにおける着火・燃焼支援技術に関する研究、国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 第 18 回研究発表会講演集、pp.232-233、2018

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 市川泰久、関口秀紀 | 4. 巻 第18回 |
| 2. 論文標題 希薄予混合ガスにおける着火・燃焼支援技術に関する研究 | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 研究発表会講演集 | 6. 最初と最後の頁 232-233 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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 |
|-------------------|--|---|----|
| 研究 分 担 者 | 市川 泰久 (Ichikawa Yasuhisa) (20586680) | 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 (82627) | |