

マイクロ波放電が対向流拡散火炎の燃焼特性に及ぼす影響

日大生産工(院)○小泉 賢人 日大生産工 今村 宰
日大生産工 山崎 博司

1 まえがき

現在、我々の生活の中で内燃機関を用いた自動車等は必要不可欠なものとなっている。しかしその一方で内燃機関の動力である化石燃料は、有限性からその枯渇が問題視されている。また化石燃料の燃焼に伴い発生する排出物には CO_2 や NO_x といった排気汚染物質が多く含まれ、化石燃料の枯渇問題と同様、問題視されている。そこで重要となるのが化石燃料の燃焼における高効率化および排ガスの環境適合性の向上の実現である。他方で自動車をはじめとする内燃機関は発電機を備えているのが普通であるから、発電した電気エネルギーの一部を用いて内燃機関の燃焼の制御に使い、それによる機関の安全性や熱効率の向上、もしくは排気汚染物質の低減が可能であれば、システム全体としてより環境に適合したシステムとなる可能性がある。このような観点から本研究ではマイクロ波を用いた支援燃焼について着目し、マイクロ波と火炎との干渉効果に関する基礎的な知見を得ることを目的とした研究を行った。

2 実験方法および測定方法

実験装置の概要を Fig.1 に概略図を Fig.2 に示す。図中上部において水平方向に配置されているのがマイクロ波の導波管であり、この管内にマイクロ波を印加することができる。導波管の断面は $27\text{mm} \times 96\text{mm}$ である。この導波管の中程に鉛直方向にバーナーが挿入されており、対向流拡散火炎を導波管内に生成することが可能となっている。酸化剤、燃料バーナー端の距離は 27mm 、各バーナー出口は $\phi 30\text{mm}$ となっている。燃料および酸化剤流量についてはマスフローコントローラーにて制

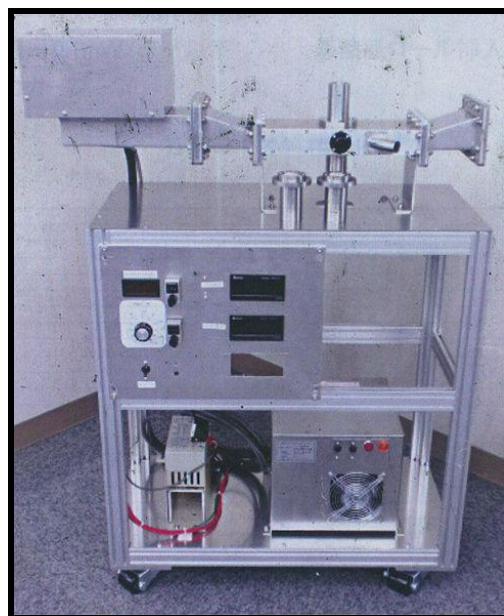


Fig.1 実験装置概要

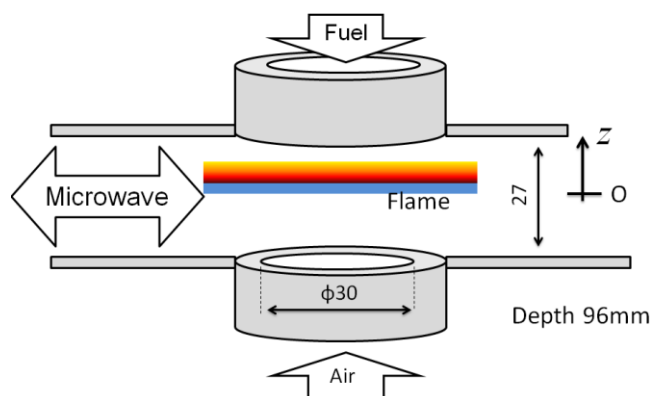


Fig.2 実験装置概略図

御可能である。本実験においては燃料としてメタン、酸化剤として空気を用いている。本報ではメタン流量は 0.50SLM で一定とし、当

Combustion Characters of Counterflow Diffusion Flame in the Microwave Discharge

Kento KOIZUMI, Osamu IMAMURA and Hiroshi YAMASAKI

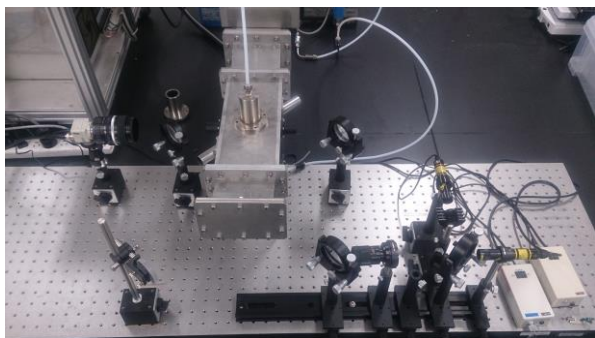


Fig.3 二波長干渉計を用いた実験装置概要

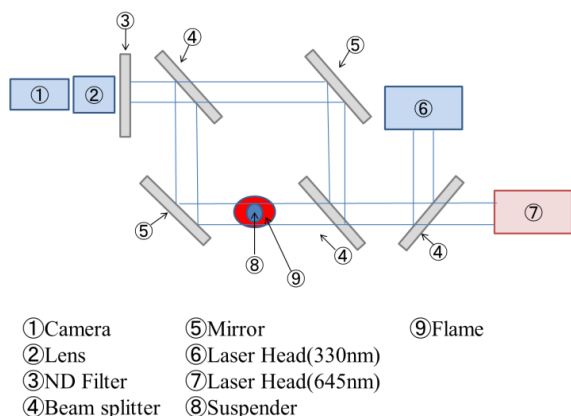


Fig.4 二波長干渉計概略図

量比が 0.5～1.4 の間にて変化するように空気の流量を調整した。

マイクロ波の印加装置であるが、マイクロ波の周波数は 2.45GHz であり、出力は最大で 250W となっている。Fig.1 において、左部がマイクロ波発振部であり、導波管の端点にて反射されることで定在波を生じ、バーナー付近にてマイクロ波強度が強められるような構造となっている。なおこの印加出力の条件下ではマイクロ波放電が生じなかったため、マイクロ波放電を生じさせる際には導波管内にアルミニウム薄膜及び活性コークスを挿入しマイクロ波放電を発生させた。計測にはカラー CCD カメラ (SK-N63SCJ-c, シグマ光機) による撮影の他、分光器(Steller net 社製, EPP2000-UVN-SR-25)による分光計測を行った。

計測方法とし、まず当量比 1 の際のマイクロ波出力の変化による火炎輝度の変化を計測した。またマイクロ波出力を 100W 及び 150W とし、当量比を 0.7～1.3 に変化させた際の火炎輝度の変化の計測を行った。次に上条件ではマイクロ波放電が生じなかったためマイク

ロ波放電方法について検討を行い、またその際の火炎について分光計測を行った。

またマイクロ波放電を用いる場合電子衝突反応を考慮しなければならないことから、電子の状態に関する知見が必要である。そこで二波長干渉計による電子分布について知見を得るための計測を検討しており実験装置の構成を行った。Fig.3 に二波長干渉計を用いた実験装置の概要、Fig.4 に二波長干渉計の概略図を示す。波長が 635nm および 415nm の 2 種類の半導体レーザーを用いて二波長のマッハツェンダー干渉計を構築した。ビームスプリッターを介して異なる波長のレーザー光が同一の経路を通過するように調整している。

4 実験結果および検討

まず対向流拡散火炎の基本特性を取得するためにマイクロ波を印加しない状態において、燃料流量と空気流量を変化させて火炎の観察を行った。Fig.5 に各当量比の火炎画像を示す。およそ当量比 1 では、輝炎と青炎が観察され、当量比の増加とともに輝炎からの発光が強くと認められるようになった。Fig.6 に熱電対による温度分布を示す。当量比が 1 付近において熱電対における中心軸上における温度分布を計測したところ、最高温度は青炎付近で 1020K 程度、輝炎付近で 960K 程度であった。次に火炎からのスペクトルを Fig.7 に示す。空気量が増大していくにつれ、すなわち当量比の減少に伴い、スペクトル強度が弱くなっていくという事がわかる。これは当量比が下がることによって輝炎からの発光が弱くなったことに起因するものであると思われる。

次にマイクロ波を印加した場合についてであるが、マイクロ波を印加することによる火炎の大きな変形は観察されなかったが、火炎の発光の様子は変化していた。Fig.8 にマイクロ波印加時の各出力の火炎画像を示す。Fig.9 には火炎輝度のマイクロ波発生器の出力依存性、Fig.10 にはカラー CCD で観察した RGB 信号のうち、R および B の信号のマイクロ波発生器の出力依存性を示している。Fig.8 に示されるようにおよそマイクロ波の印加に伴って火炎輝度は上昇している。火炎輝度の上昇は、火炎中に含まれるすす量の増加かもしくは火炎温度の上昇が主要因として考えることができる。他方で Fig. 10 からは、火炎からの発光が青みを帯びるように変化しているこ

とがわかる．輝度の上昇と火炎の変色から，マイクロ波の印加に伴う輝炎部分の温度の上昇が示唆される．

この温度上昇について考察するために火炎の輝度情報から火炎からの輻射エネルギーがどの程度上昇しているか考察を行う．CCD カメラの輝度情報は，火炎からの輻射エネルギーの対数と線形の関係にあると仮定する．この場合，火炎の輝度上昇は 10[a.u.]程度であるから，対数の前係数を較正結果から 29 と見積もると，マイクロ波印加による輻射エネルギーの増分は 1.4 倍と見積もることができる．これから温度上昇はおおよそ 10% 程度の温度上昇があったと見積もることができる．与えられた条件から出力に換算すると 10W 程度の火炎からの出力の増加に相当するが，燃焼が促進されたことによるのかマイクロ波のエネルギーが吸収されたことによるのかは明確ではない．今後はエネルギーのフローについて検討を行う必要がある．

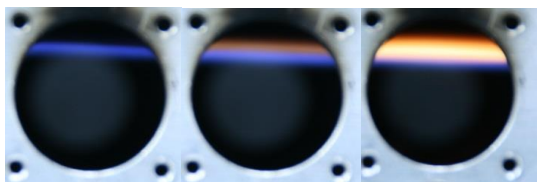


Fig.5 対向流拡散火炎画像

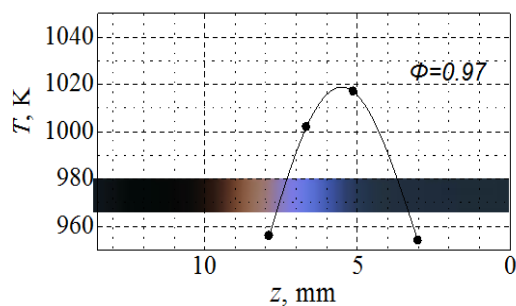


Fig.6 対向流拡散火炎の温度分布

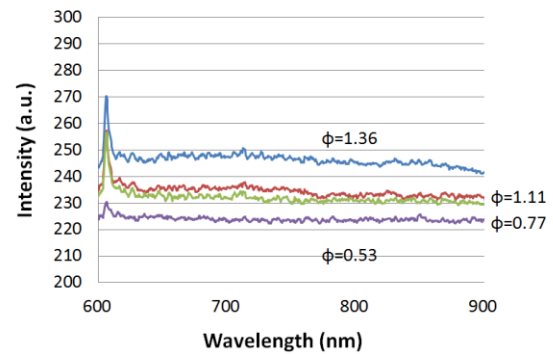


Fig.7 火炎からのスペクトルの当量比依存性

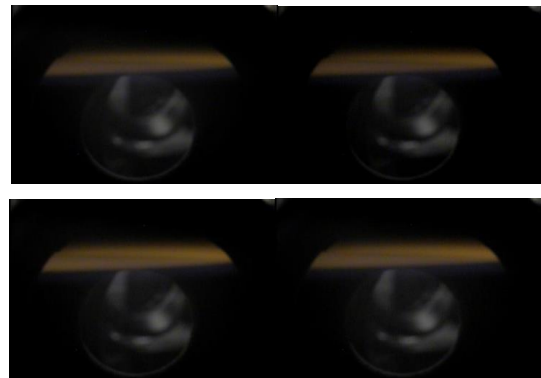


Fig.8 マイクロ波印加時の火炎画像

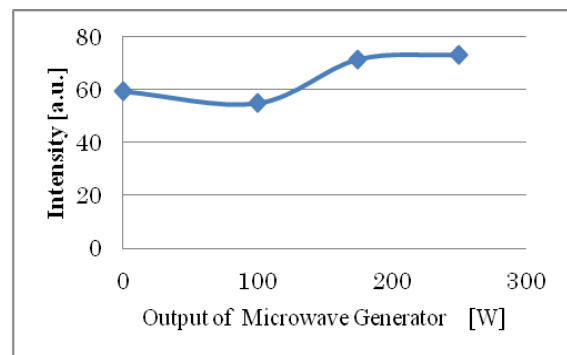


Fig.9 マイクロ波出力による火炎輝度の推移

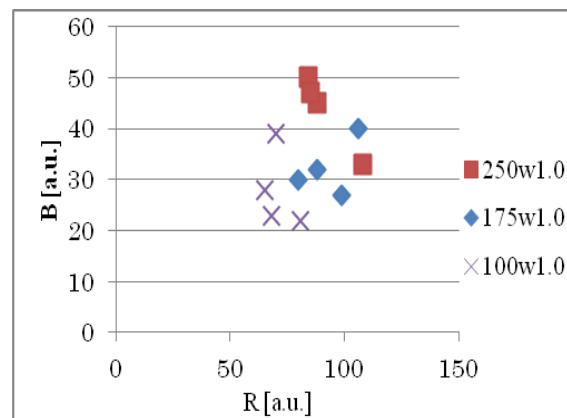


Fig.10 R 及び B 信号のマイクロ波出力依存性

次にマイクロ波放電について検討を行った。上条件ではマイクロ波放電が生じなかったため初めにアルミニウム薄膜を導波管内に挿入し放電の誘起を試みた。Fig. 11 にマイクロ波放電による火炎画像を示す。

またマイクロ波放電時の火炎を分光器を用いて分光計測を行った。Fig.12 に分光計測による結果を示す。この図に示されるようにマイクロ波の印加によってスペクトル強度が上昇することが確認された。また 777.4nm 付近に特徴的なピークが観察された。マイクロ波放電が生じていないときには観察されていないことから、おそらく O 原子に由来するスペクトルである。また上実験では簡易的にアルミニウム薄膜を用いマイクロ波放電を生じさせたが、マイクロ波放電を誘起させる方法についても検討を行った。既存の研究より⁽¹⁾より活性コークスによる誘起方法が確認されていることから、活性コークスを用いたマイクロ波放電を試みた。Fig.13 に活性コークスを用いたマイクロ波放電の様子を示す。Fig.12 の火炎画像よりマイクロ波放電が観察できた。しかしながら現在の実験装置では活性コークスを対向流拡散火炎中に固定できないため、活性コークスによるマイクロ波放電の火炎への影響を観察するためには実験装置の改良が必要である。

4. まとめ

対向流拡散火炎にマイクロ波を印加して、マイクロ波が火炎に及ぼす影響について観察を行った。その結果、本実験で調査した範囲においては、マイクロ波の印加に伴って火炎輝度は上昇した。また火炎色が変化したことから、マイクロ波の印加に伴う火炎温度の上昇が示唆された。

マイクロ波放電時では拡散火炎の当量比が減少するとスペクトルの強度は弱くなる。これは本報での取得した火炎スペクトルは主に輝炎からの発光に依存しているからであると思われる。

マイクロ波放電が生じている場合には、O 原子に由来すると思われるスペクトルを観察することができた。

活性コークスによってマイクロ波放電が誘起されることが確認された。



Fig.11 マイクロ波放電時の火炎画像

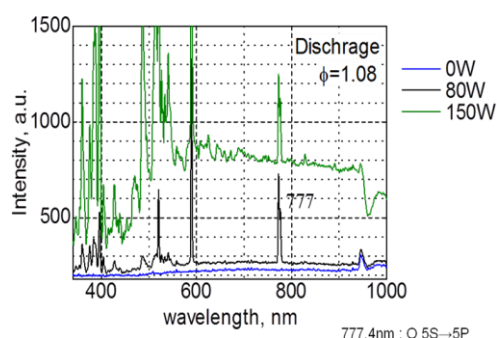


Fig.12 スペクトルのマイクロ波出力依存性

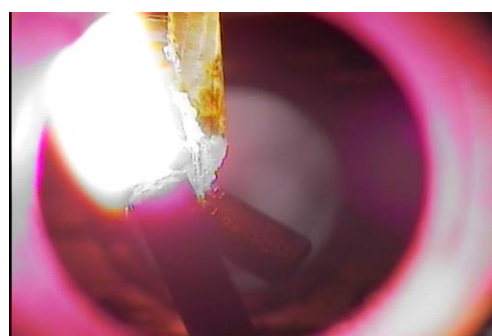


Fig.13 活性コークスによるマイクロ波放電

謝辞

本研究は、学術研究助成基金助成金(課題番号:25820069)による支援を受けて行われた。また本研究を進めるにあたり、東京大学大学院工学系研究科の津江光洋教授に多大なるご協力をいただいた。ここに記して謝意を表す。

「参考文献」

- 1)平松大輝, 小林信介, 田邊靖博, 板谷義紀, 活性コークスで誘起される大気圧マイクロ波プラズマによる無触媒脱硝特性, 日本機械学会熱工学コンファレンス (2011) p.235-236