

干渉計を用いたマイクロ波中における対向流拡散火炎の挙動観察

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気ガスの環境適合性の実現である. 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りうる可能性がある. 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する. マイクロ波が火炎に及ぼす影響については一部の知見[1]があるものの, 特に非平衡な放電場においては十分な知見が得られているとは言い難い. 本報では観測を通じて得られた知見を以下に報告する. また放電場における火炎の観察手法として本研究では干渉計に着目し, 放電場における燃焼での電子密度の計測を試みる. 電子密度の計測では屈折率が数密度だけでなくガス種(すなわちガス組成)や光の波長の関数であるため, 様々な仮定を導入しなければならない. このような背景から二波長干渉計の構築及び干渉画像による観察方法の確立も同時に行った.

2 実験方法および測定方法

本研究で用いた対向流拡散を生じるバーナー部分の概要を図1に示す. バーナーはマイクロ波導波管の短辺を貫くように設計されており, この設計によ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, 当量比が 1.0~1.4 の間にて変化するように空気の流量を調整した. 図2には実験装置の全体図を示している. 図2の中央に図1に示したバーナーが挿入された導波管が確認できる. バーナー内の現象を干渉フィルターを介しての直接撮影(カラーCCDカメラ, SK-N63SCJ-c, シグマ光機を

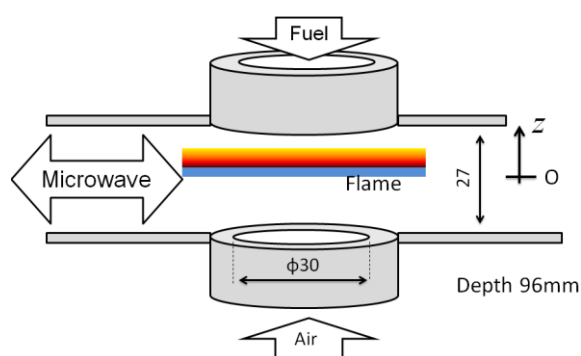


Fig.1 Schematic of counterflow burner

Observation of the Counterflow Diffusion Flame in the Microwave Using the Interferometer

Kento KOIZUMI, Osamu IMAMURA, Hiroshi YAMASAKI

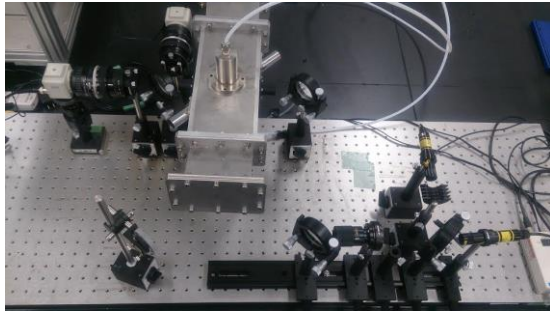


Fig.2 Experimental Apparatus

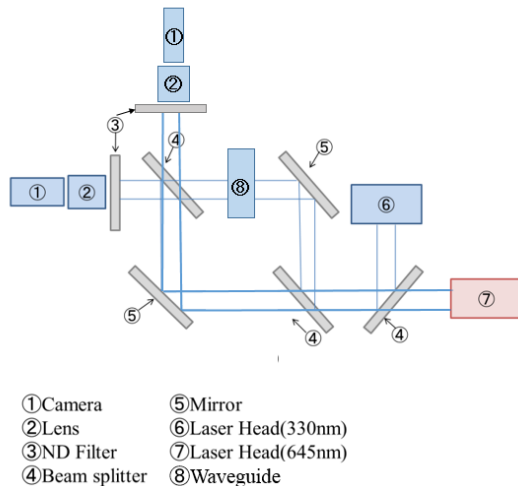


Fig.3 Schematic of Interferometer

利用), マッハツェンダー干渉計による観察, 分光器による観察(Steller net 社製, EPP2000-UVN-SR-25 を利用)などできるようになっている。導波管の片端はマイクロ波の印加装置に接続されおり, 導波管内で定在波を生じ, バーナー付近にてマイクロ波の印加強度が最大となるように調整されている。マイクロ波の周波数は 2.45GHz であり, 出力は最大で 150W 程度である。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活性コークスを挿入しマイクロ波放電を発生させた。

図 3 に観察系である干渉計の概要図を示す。上記で述べたように導波管内の観察を行うため導波管に観測窓を設けレーザーを通過させることで干渉画像の取得を行った。本報では 415nm のレーザーを用いた単色干渉計による観察を行ったが, これに加えて 415nm 及

び 635nm の二色による干渉画像の同時取得が可能となっている。

3. 実験結果および考察

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。図 4 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認められるようになった。図 5 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図 6 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の結果について示す。図 7 には典型的な火炎写真を示す。当量比は 1.0 でフィルターを用いずに観測している。図において上側が燃料側, 下側が酸化剤側であり, 燃料側に輝炎, 酸化剤側に青炎の平面火炎が確認される。マイクロ波の印加によらず, 火炎はほぼ軸対称であることがわかる。図 7 では放電は生じていない。本報では, 放電を生じさせるために活性炭を導波管内に導入することで, マイクロ波放電を生じさせている。放電が生じると, 明るい放電の発光とともにバチバチという音を確認することができた。まずは図 7 に示されるような放電を生じていない場合について議論することとする。図 8 には図 7 と同様な火炎を 632.8nm および 420-460nm を透過波長とする干渉フィルターを介して観察した結果を示している。図 7 に示すように火炎は軸対称であったことから, 図 7 中における対向流の中心軸付近の 2mm 程度の幅の内側を対象として, 対向流の中心軸に垂直な面において火炎輝度を平均化した。このようにして求めた火炎輝度を, 上方のバーナー端からの距離の関数として記述したものが図 8 である。なお火炎輝度はマイクロ波

を無印加時の最大輝度で無次元化している。まず 632nm の場合であるが、図 8 からマイクロ波の印加によって、火炎輝度の上昇が見受けられること、火炎位置は大きく変化していないことがわかる。火炎輝度の上昇は、本報にて示したマイクロ波強度においては、最大で 10% 程度であり、その増分はマイクロ波の強度に大きく依存しなかった。透過波長が 420nm から 460nm のバンドパスフィルターを用いた場合については、マイクロ波印加の影響が、図 8 の場合に比べて小さいことがわかる。特に図 8 にて火炎輝度がほとんど観察されていない領域は図 7 における青炎に相当し、図 8 にて火炎輝度が大きな値をとっている領域は、図 7 における輝炎に相当している。これらの結果から、火炎輝度の上昇はすすからの放射に起因すると予測できる。すなわちマイクロ波の印加により、すす温度が上昇していることが示唆される。

次に放電した場合について議論を行う。図 9 には、活性炭をいれた場合と入れない場合に関する干渉計の写真を示す。常温においては縞は鉛直方向に並んでおり、温度上昇に伴う密度変化によって縞が水平方向に偏向している様子が確認される。偏向の度合いによって密度分布を見積もることが可能である。図 9 の上側の画は活性炭を導入していない場合で放電しておらず、下側の画では活性炭を導入しているため、マイクロ波の印加によって放電が生じている。干渉計で観察を行うためこの画像からはどこで放電が生じているのかは明瞭ではない。放電していない場合であるが、マイクロ波の導入によってやや干渉縞に乱れが生じ時間的に変動するものの、明瞭な縞の数の差は見受けられなかった。図 8 に示す結果と合わせて考えると、すす自体の温度は上昇しているものの火炎温度には大きな変化がないものと推測される。他方で放電した場合であるが、この場合にはより温度分布が拡張しているように見受けられる。すなわち放電によって火炎以外の広い部分にエネルギーが供給され、その結果として温度分布が緩慢になったものと想定される。

図 10 には放電時のスペクトルを示している。435nm 付近に CH のバンドが確認される他、550nm に強いピークが観察されている。導波管

内部に中に金属を導入すると、777nm 付近の O 原子の強いスペクトルが観察されることから、これは O_2 分子のスペクトルに起因しているのではないかと考えている。すなわちマイクロ波で火炎以外のところで放電することによって酸素がイオン化し、その導入されたエネルギーによって予熱体の温度が上昇し、温度分布が緩慢になったものと推測している。マイクロ波のエネルギーが実際にどのようなパスで温度上昇分布の変化につながっているかについては、継続的な調査が必要と考えている。

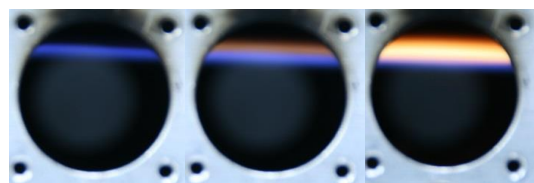


Fig.4 Counterflow diffusion flame image

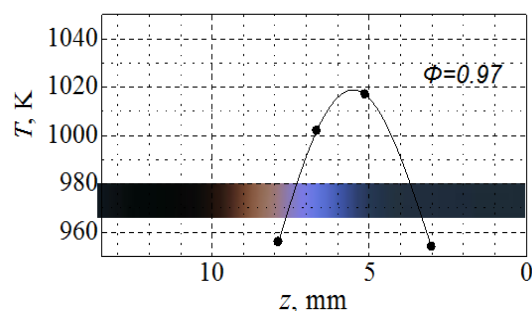


Fig.5 Temperature distribution of counterflow diffusion flame

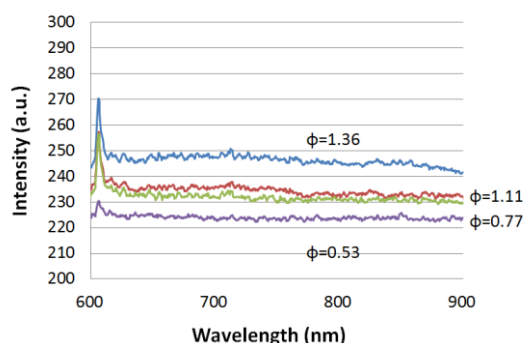


Fig.6 Equivalent ratio dependence of the spectrum from the flame

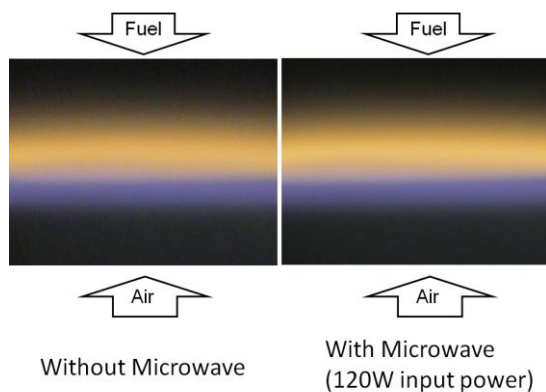


Fig. 7 Typical direct flame photographs

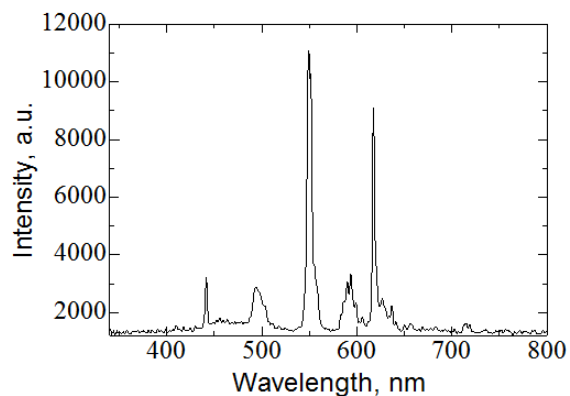


Fig. 10 Spectrum of flame with 150W microwave input

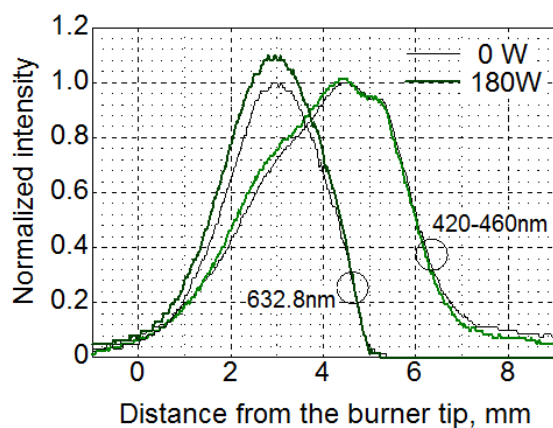


Fig. 8 Effect of microwave application on flame intensity

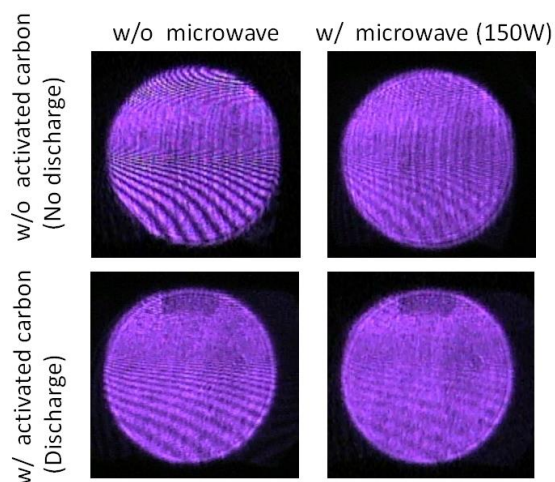


Fig. 9 Typical interferometry images

4. まとめ

マイクロ波と火炎の干渉に関する基礎的な知識を得る事を目的とし、メタン-空気の対向流拡散火炎にマイクロ波を照射し、異なる波長における火炎輝度の観察を行った。その結果、輝炎が観察されている領域では、マイクロ波の印加による火炎輝度の上昇が認められた。放電していない場合の干渉計の画像との比較から、この火炎輝度の上昇はマイクロ波の印加によりすす温度は上昇していることと思われるが、周辺の温度分布は大きな影響を受けていないことが推測された。他方で放電した場合の分光結果および干渉計画像の結果から、放電により火炎周辺の温度分布が変化していることが推測された。

謝辞

原稿本研究は、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。ここに記して謝意を表する。

参考文献

1. 後藤 大祐, 他, 第 47 回燃焼シンポジウム講演論文集, pp.610-611 (2009).