

予混合燃焼現象の実時間赤外分光分析

Real-Time Infrared Spectrometry of Premixed Gas Combustion

小坂 恵 古賀隆治 和田修己 佐野博也*
 Megumi Kosaka, Ryuji Koga, Osami Wada and Hiroya Sano*
 岡山大学工学部 Faculty of Engineering, Okayama Univ.,
 * 福山大学工学部 Faculty of Engineering, Fukuyama Univ.

SYNOPSIS: A new, real-time and non-contacting measurement for the spectrometry of premixed gas combustion was conducted. A technique to drive a PbSnTe tunable diode laser by a pulsed current controlling its chirping characteristics has been developed there. Temporal evolution of the flame radius in a spherical vessel was measured during a single combustion. Experimental results were compared with those calculated only from the pressure with using the traditional method of Lewis-von Elbe.

1. まえがき 赤外域で発振する鉛塩半導体レーザーのチャープ特性を利用すれば、10 μs間に約2 cm⁻¹程度の高速波数掃引が行え、短時間内のスペクトルの変化を実時間的に測定することができる。筆者らは、これを内燃機関での燃焼現象観測に応用し、燃焼進行の様子をレーザー光に対する未燃焼メタンの吸収スペクトルの変化に置き換え、実時間観測する研究を行った。内燃機関のモデルとして球状定積容器を用いた。これは層流燃焼現象を観測するのに最も適したものとされている。

本報は、この研究のまとめとして、これまで報告した結果に加え吸収線強度の温度補正及び精密なデータ処理により、燃焼観測結果の信頼性が高まったことを報告する。

2. 実験装置 Fig. 1の様に球状密閉容器に理論混合比のメタン-空気予混合気を圧力Pで注入し、容器の中心で点火すると、火炎面は同心球状に外側へ伝播する。この間、容器内の圧力は平衡状態に保たれている。また、火炎面

の厚みはきわめて薄く予熱帯の厚みを含めても0.1 mm程度でこれを無視できる。火炎面の内側にはメタンガスは残存せず、また燃焼生成物はメタンの吸収スペクトルに干渉しないものとする。

実験装置の構成をFig. 2に示す。波長7 μm帯の鉛塩半導体レーザーから射出した光はコリメートされ、球状容器へ導かれる。球状容器の内径は、2a = 100 mmで、容器内には中心で点火するための一対の針状電極が取り付けられている。中心の電極間を通り抜けた光は、赤外線検出器に集光される。これは、雑音特性を特に犠牲にして帯域幅をBW = 10 MHzに広げている。1掃引は10 μsで行われ、これが200 μsごとに繰り返される。検出された信号は、100 ns毎に8 bitのデジタル信号に変換され、容量32 Kワードのメモリバンクに記憶される。1枚のスペクトルを12.8 μsで掃引し、これを100 nsおきの128個の8ビットデータとして記憶し、50 msの間に256枚のスペクトルを取ることができる。

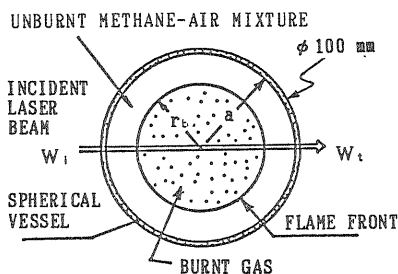


Fig. 1 Geometry of the flame.

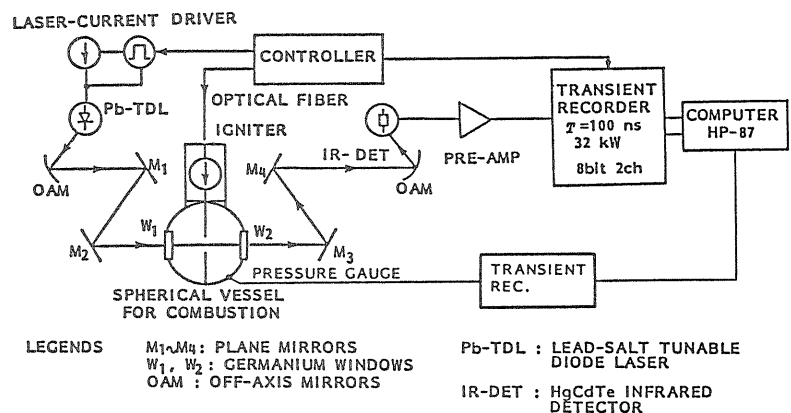


Fig. 2 Schematic diagram of the experimental setup.

半導体レーザ電流駆動回路は、メモリ装置からトリガ信号を受け、1掃引の間パルス電流を発生する。燃焼容器には歪ゲージ式の圧力計が取り付けられている。

3. 実験結果 前回の報告¹⁾では、燃焼末期の測定が困難としたが、これは燃焼容器内でのメタン-空気混合気の燃焼において、未燃焼ガスの温度が圧力上昇に伴い300Kから500K程度まで上昇するにもかかわらず、メタンの吸収線強度を一定としていたためであった。しかしこれは、燃焼スペクトルから求めた見かけの吸収線強度に対し、温度補正²⁾を行うことにより解決した。また、見かけの吸収線強度であるスペクトルの吸収面積を、できるだけ厳密に算出するソフトウェアを製作した。

Fig. 3に1回の燃焼過程で観測されたメタンの吸収スペクトルの例を示す。点火直後には強く見えていた吸収線が、燃焼の進行につれて浅くなってゆくと共に、圧力の上昇により幅が広がっている。これら各々のスペクトルから吸収面積を計算して、温度補正を加えた上で、各時刻の未燃焼メタンの見かけの吸収線強度が得られる。この見かけの吸収線強度の相対値と圧力 P からFig. 4の火炎半径 r とFig. 5の燃焼質量割合 x を求める。この2つの図には、熱力学的考察に基づく、圧力のみから求められるLewis-von Elbeの方法³⁾によって計算された結果が示されているが、我々のものとよく一致している。

4. あとがき 鉛塩半導体レーザを使った予混合燃焼現象の実時間分光分析において、厳密な吸収面積算出アルゴリズムによるデータ処理及び吸収線強度の温度依存性を考慮した温度補正を行うことにより、火炎半径や燃焼質量割合が従来の1つの標準であるLewis-von Elbeの方法によるものとよく一致するようになった。

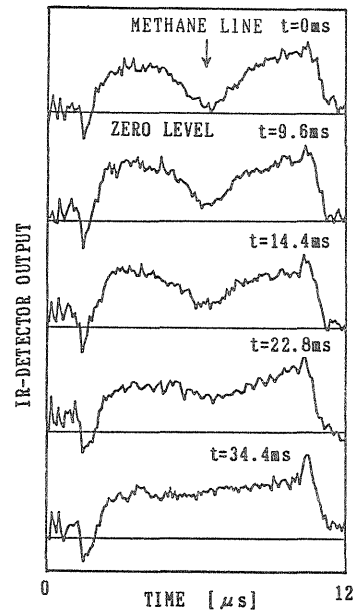


Fig.3 Example of recorded spectra during a single combustion.

この結果、燃焼の観測において、半導体レーザの高速波数掃引を利用した分光学的方法が、他の方法と同様の信頼性があると同時に、非接触でかつ実時間的な測定が可能であることを実証した。

謝辞 鉛塩半導体レーザ、及び特殊仕様の赤外線検出器については、富士通研究所、篠原宏爾博士の協力を得た。各位の御協力に深く感謝する。また、本研究は、文部省科学研究費特定研究「燃焼現象」の援助を受けて行われた。

参考文献 1)古賀ほか：第10回レーザ・レーザ・シンポジウム、No.E7(1985). 2)A.Chedin *et al.*, J. Mol.Spectrosc.,71(1978)351. 3)熊谷清一郎：“燃焼”、岩波書店、1976.

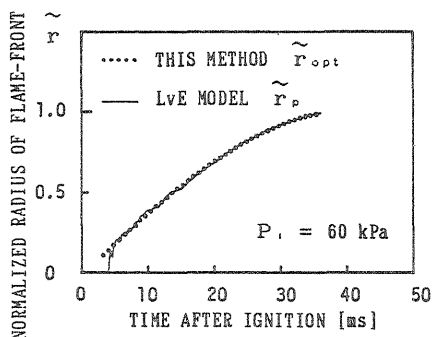


Fig.4 Evolution of flame radius.

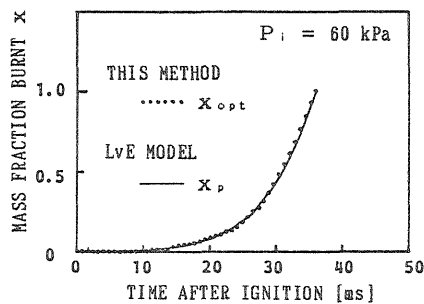


Fig.5 Evolution of mass fraction burnt.