

[別紙2]

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 崔 南 一

工学修士 崔 南一が提出した論文は、「Application of Laser Spectroscopic Technique to Reaction Mechanism Analysis in a Compression Ignition System (レーザ分光法の応用による着火の反応機構解析に関する研究)」と題し、全5章で構成されている。

本論文は、解明すべき燃焼現象の中でも特に、「炭化水素の低温酸化過程」をその化学反応機構の点で理解を深めることを目的とし、特にその実験的手段としてレーザ分光法を応用することで上記目的を果たしている。ここで低温酸化過程とは、概ね 1000 K 以下で進行する、高温側とは現象面でもそのメカニズムも異なる過程で、エンジンノック、ディーゼル着火、そして近年新型の低公害高効率機関として注目されている予混合圧縮自着火(HCCI)エンジンの燃焼に深く関わる反応過程である。本論文の内容は、1. 燃焼機構に関わる素反応の速度・生成物の決定、2. 稼動するエンジンシリンダ内の燃焼診断による現象把握・自着火過程の特性抽出、3. 観測事実を説明する反応機構解析、の三点に要約されている。

第1章は序論である。研究の背景としてまず、炭化水素の酸化過程に関する従来の知見について解説している。特に高温過程と対比して低温酸化過程の特異性、反応メカニズムの複雑さ、さらに解明を進めるべき点を示している。次いでレーザ分光計測法について、それが素反応レベルの化学反応解析と精緻な燃焼診断のそれぞれにいかに応用され、役立ってきたかを紹介している。それらを通じて、素反応レベルと実機内着火現象の診断との両面から対象過程の解析を進める本研究の目的と意義を明確にしている。

第2章では燃焼機構に関わる素反応の速度・生成物の決定に対するレーザ分光法の応用を述べている。対象とした反応は、低温酸化過程で主要な役割を持つアルキル過酸化ラジカル(RO_2)の一酸化窒素(NO)存在下でのアルコキシラジカル(RO)への転化およびその後続反応である。燃焼反応モデル計算に必要なデータベースを整備するこの分野の発展は、計測手法の開発・改良による対象分子の拡大によって行われてきている。この観点から本研究ではまず、分光検出のための可変波長レーザ光源に関して独自の工夫を行った。これは近年普及してきた光パラメトリック発振(OPO)レーザの可視光出力を、和周波混合法を用いて、300 nm 台の出力へと波長変換するものである。OPO レーザとして取り扱いの容易なマルチモードタイプを選択し、波長変換の特性によって狭帯域化したことを技術的な特徴としている。本システムは OPO システムの適用波長範囲を拡げ、速やかに広範囲連続の波長掃引を可能にしたことにより、今後も未知のスペクトルの探索などで有用性が高いと期待される。このシステムを用いて本研究では、アルコキシ系のラジカル(C_2H_5O , および $i-C_3H_7O$)をレーザ誘起蛍光法(LIF)を用いて検出することにより、 $RO_2 + NO$ および $RO + NO$ の反応速度定数を求めた。

得られた定数は、異なる計測手法で得られた既報の値と誤差範囲で一致し、それらを追認するデータとなった。

第3章はレーザ分光法によるエンジン内の燃焼診断について述べている。分光計測用に改良した実験エンジンを用意し、Dimethyl Ether (DME) を燃料とした圧縮自着火過程における低温酸化反応の検討を、着火過程の重要な中間生成物であるホルムアルデヒドの LIF 法の検出によって行った。濃度変化をクランク角の関数として求め、二段階着火の一段目(冷炎過程)でホルムアルデヒドが生成し、二段目(熱炎過程)で急速に消滅するプロファイルを確認することができた。このプロファイルを得るにあたって、特に注意を払ってクエンチングによる感度変化の補正を行った。これは圧力・組成変化のある場への蛍光法につきまとう問題であるが、本研究では励起分子の蛍光寿命を実測することにより正当な補正係数を得ている。さらに質量分析器を用いた排気組成の定量分析のデータを合わせた解析の結果、冷炎段階では当量比および予熱温度によらず燃料消費率が約 30% と一定で、また消費 DME とほぼ等量でアルデヒドが生成する傾向を見出した。この特性は従来の研究では指摘されておらず、本研究での発見である。

第4章では、冷炎段階の反応停止の観測事実を説明するモデル化を、低温酸化反応の考察から行っている。低温酸化過程の特性としてよく言われる負温度係数からは、停止点の燃料消費割合が一定となる観測結果を説明できない。そこで反応シミュレーションに用いた 300 余りの素反応からなる詳細反応機構から、低温酸化反応の特性である縮退連鎖過程を構成する 8 つの素反応を選び出し、連鎖の成長と停止を決定するパラメータの抽出を行った。その結果、連鎖停止点を決定するのは生成するホルムアルデヒドの、連鎖担体 OH の消費による連鎖分岐率の低下であり、反応速度と生成物分岐比に関する四つのパラメータだけで構成する単純な方程式によって実験結果を概ね再現することができることが解った。このことは適当な添加物の採用などによる着火時期の制御の可能性を示唆するものである。

第5章は結論であり、この研究から得られた結果と成果をまとめている。

以上を要約すると、本論文は従来のエンジン研究の、圧力変化と出力パワー特性の計測を主体とし、様々な運転条件から経験的に特性を求める手法とは異なり、中間生成物の生成減衰のプロファイルを正しく求め、新たな観測事実から反応メカニズムの物理的本質を導いたことを特徴とする。特に冷炎反応過程の特性および簡略モデルによる説明は、本研究で初めて見出したものであり、エンジン燃焼の制御に有用な指針を与えるものとして、機械工学、特に内燃機関工学、燃焼工学に寄与するところが大きい。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。