

(続紙 1)

京都大学	博士（エネルギー科学）	氏名	堀部 直人
論文題目	PCCI燃焼および二段噴射を用いたディーゼル機関の燃焼改善に関する研究		
(論文内容の要旨)			
本論文は、自動車用ディーゼル機関から排出される、窒素酸化物（NO_x）および粒子状物質（PM）の同時低減に有効な手段として実用化が期待されている予混合圧縮自着火（PCCI）燃焼と、二段燃料噴射を活用した燃焼改善の方針について論じた結果をまとめたもので、7つの章から構成されている。 第1章は緒論であり、本研究の背景と目的について述べている。まず、ディーゼル機関に対する環境負荷低減の厳しい要求と、これに対応して従来から実施されてきた燃焼改善の技術、排気後処理技術、ならびに新規燃料の活用技術とその問題点について述べ、燃焼改善技術をさらに高度化することの重要性を指摘している。そのうえで、特に機関の低負荷における排気改善能力が高いとされるPCCI燃焼の欠点を克服し、低負荷に限られている運転範囲を中負荷域にまで広げるための燃焼制御の方針を検討すること、ならびに電子制御燃料噴射装置を活用したエタノール・軽油混合燃料の燃焼改善を論文の目的として提示している。 第2章では、比較的遅い燃料噴射時期と高い排気再循環（EGR）率を用いる直接噴射PCCI燃焼の問題点の一つである、一酸化炭素（CO）や未燃炭化水素（HC）など未燃物質の排出を抑えるため、燃焼室内の混合気分布の適正化が有効と考え、そのために必要な燃焼室形状の選択方針について検討している。単気筒試験機関による実験研究の結果、COとNO_xの排出量にはトレードオフの関係があることを明らかにし、燃料噴射量の少ない低負荷では、燃焼室くぼみ内での燃焼が主体となる小口径のリエントラント型燃焼室を使えば、この関係を改善できることを示した。しかし、噴射量の多い中負荷では、COや黒煙の増加が避けられず、くぼみ外の空気を使える中程度の口径を持つトロイダル燃焼室が有利なことを明らかにした。 第3章では、前章で指摘した、燃料噴射量を増加させたときのCOや黒煙の増加を緩和し、低NO_x・PM排出のポテンシャルをさらに活かすことを目的に、燃料噴射時期とEGR率の組み合わせを最適化するための方針について検討している。燃料噴射量、噴射時期、EGR率の広い範囲に渡って実験データを収集し、その結果を解析することにより、負荷によって、COとNO_xのトレードオフ関係に変化が生じることを明らかにし、これを利用して、負荷の上昇とともにEGR率を下げ、その際に問題となるNO_xの増加を、噴射時期の遅延で補う燃焼制御方法を提案した。これにより、在来ディーゼル燃焼に比べてごく			

低いNO_x排出量としながら中程度の負荷まで運転が可能となった。しかし、同時に、未燃物質の排出がなお多いこと、燃焼騒音の増大が問題となることも指摘している。

第4章では、燃料・空気混合気の希薄化が不十分となりがちな直接噴射PCCI燃焼において、燃料と空気の混合速度をさらに高めることで、低NO_xのみならず、燃焼騒音の低減をも実現する可能性について検討を行っている。確率過程論にもとづく混合モデルを含む着火・燃焼予測コードを改良し、実験データの傾向を再現できることを確認した後、燃料噴射圧力、ノズル噴孔径、ならびにEGR率の広い範囲で計算を行い、NO_x排出量、圧力上昇率（燃焼騒音の指標）、熱効率などを予測した。非常に高い噴射圧力と小さな噴孔を使用すれば、混合気の希薄・均一化によりNO_x生成を抑え得るが、現実的な条件の範囲内では、圧力上昇率を低下させるのに必要な希薄混合気の生成は困難であることを示した。

第5章では、前章および前々章で指摘された、燃焼騒音（圧力上昇率）の増大の問題に対して、燃料噴射を二回に分割する二段噴射の有用性と、その際の噴射条件の選択方法について検討している。さまざまな噴射量、噴射量配分、噴射時期について単気筒試験機関による実験を行い、得られたデータを解析した。その結果、圧力上昇率を半減することができるが、未燃物質を抑制するために単段噴射に比べてEGR率を下げる必要があること、負荷の上昇に従って一段目噴射時期を早め、低負荷を除いて二段目噴射時期を遅らせることで黒煙の排出を防げることを示した。このようなEGR率および噴射条件の選択方針を採用すると、近接パイロット噴射を伴うディーゼル燃焼と同等の圧力上昇率としながら、単段噴射よりも未燃物質の排出を低減できることを示した。

第6章では、バイオマス由来の燃料として期待されているエタノールをディーゼル機関で利用するための燃焼技術について検討している。エタノールを利用する最も簡便な方法として、軽油との混合使用に着目し、着火性の低さに起因する燃焼騒音の増加や、低負荷における熱効率の低下といった問題の解決を図った。電子制御燃料噴射装置を活用し、最適化した二段燃料噴射を行うことによって、高負荷での圧力上昇率を下げ、低負荷における着火時期の遅れを補正して、軽油使用時と同等の熱効率としながら、エタノールの特性を活かしてEGR使用時の大幅なPM排出量低減を実現した。

第7章は結論であり、本論文で得られた結論を整理するとともに、今後の課題について述べている。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、ディーゼル機関において、窒素酸化物（NO_x）および粒子状物質（PM）の排出抑制に有効な手段として実用化が期待される予混合圧縮自着火（PCCI）燃焼と、電子制御燃料噴射システムによる二段噴射を活用した燃焼改善の方針について研究した結果をまとめたものであり、得られた主な成果は次の通りである。

1. 直接噴射PCCI燃焼の問題点である未燃物質の排出を抑える目的で、燃焼室形状の選択について検討した。単気筒試験機関による実験結果より、低負荷では噴射された燃料を燃焼室くぼみ内に留め、中負荷ではくぼみ外の空気を有効に使える中口径トロイダル燃焼室が有効なことを明らかにした。しかし、燃焼騒音の増大が問題として残った。
2. PCCI燃焼において、燃料と空気の混合速度を高めることで、NO_xならびに燃焼騒音（圧力上昇率）の低減を実現する可能性について検討した。確率過程論にもとづく混合モデルを含む着火・燃焼予測コードを用いて計算した結果、現状の技術レベルを超える超高压噴射に小噴孔ノズルを組み合わせるとNO_xを低減できるが、圧力上昇率を低減するには燃料噴霧の希薄化が不十分であることを示した。
3. 燃焼騒音増大の問題を解決するため、燃料噴射を二回に分割する二段噴射の有用性と、噴射条件の選択方法について検討した。二段噴射により圧力上昇率を半減することができたが、未燃物質と黒煙が増加する傾向にあった。これを防ぐ方法として、排気再循環（EGR）率を低下させ、負荷の上昇に従って一段目噴射時期を早め、低負荷を除いて二段目噴射時期を遅らせる運転方針を提案した。
4. バイオマス燃料として活用が期待されるエタノールを、軽油と混合して使用する際の燃焼悪化を二段燃料噴射により防ぐ方法について検討した。着火性の低さに起因する燃焼騒音の増加や、低負荷における熱効率の低下といった問題に対し、最適化した二段噴射を行うことによって、高負荷での圧力上昇率を下げ、低負荷における着火時期の遅れを補正して、軽油使用時と同等の熱効率としながら、エタノールの特性を活かしてEGR使用時の大幅なPM排出量低減を実現した。

以上、本論文は、今後のディーゼル機関の環境性能向上の重要な手段とされながら、未だ開発途上にあるPCCI燃焼について、二段燃料噴射を手段とした燃焼改善の方法を提示するとともに、新規燃料の利点を活かす燃焼法を提案したもので、得られた成果は、学術上、實際上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（エネルギー科学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成22年2月22日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。

論文内容の要旨及び審査の結果の要旨は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。特許申請、雑誌掲載等の関係により、学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降