

氏 名	こ 小 池 まこと 誠
学位(専攻分野)	博 士 (エネルギー科学)
学 位 記 番 号	論エネ博第 46 号
学位授与の日付	平成 18 年 9 月 25 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 題 目	直接噴射式ガソリンエンジンの未燃排出物低減に関する研究

論文調査委員	(主 査) 教 授 塩 路 昌 宏	教 授 石 山 拓 二	教 授 中 部 主 敬
--------	----------------------	-------------	-------------

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、自動車の燃費改善および CO₂ 排出抑制のための実用システムとして期待される直接噴射式ガソリンエンジンを対象とし、その成層燃焼において問題となっている未燃排出物の生成要因の解明とともに、燃料噴射から混合気形成、点火・燃焼に至る一連の過程における技術的対応策とその有用性に関する研究成果をまとめたもので、6 章から構成されている。

第 1 章の緒論では、自動車の世界的普及によって顕在化している環境・エネルギーに関する社会的問題と、これらに深く関係する現在のガソリンエンジンの燃焼技術について概論するとともに、CO₂ 排出低減とエネルギーセキュリティ確保のためには原理的に高い熱効率が得られる直接噴射式ガソリンエンジンの普及が必要であることを明らかにし、そのための全体的な課題を整理するとともに、それらを踏まえて本研究において解明すべき事項と論文の目的を示している。

第 2 章では、燃料の高圧噴射および高応答化に向けて、積層型圧電素子をアクチュエータとする新たなピエゾインジェクタについて検討し、荷重と電圧変化が大きくなる用途では圧電変位のヒステリシスや弾性変形、電気的特性変化の考慮が重要となり、最適化にはそれらを総合する解析が必要であることを示すとともに、圧電方程式から導出したアクチュエータの電気-機械結合モデルと、電気系、流体・機械系のモデルを組み合わせた手法を構築している。さらに、二次噴射要因の解明と対策、消費エネルギー低減の指針を示すとともに、この解析手法を用いた最適化により、従来のソレノイド方式に比べて約 70% の噴射圧力増加と、2.5 倍のダイナミックレンジ拡大が可能であることを明らかにしている。

第 3 章では、従来の成層燃焼方式による燃焼特性を単筒エンジン実験によって調べ、スワールノズルによる円錐噴霧と気流を用いた混合気形成法では、混合気濃度が広範囲に分布するため、低負荷で過度に混合した燃料が未燃のまま排出し、負荷が高くなるとすす、CO など不完全燃焼成分が増加するために燃焼効率を高くできないことを示している。その結果に基づき、スリットノズルによって形成した偏平扇状噴霧（ファンスプレー）を用いた混合気形成法を提案するとともに、噴霧断面における燃料分布の撮像、数値流体力学による混合気形成過程の計算、レーザ誘起蛍光による燃料濃度計測、など種々の手法によりその効果を解析している。さらに、単筒エンジン実験の結果より、この方法によると負荷によらず未燃排出物が低減すること、第 2 章で開発したピエゾインジェクタを用いて燃料噴射圧力を高めれば、より未燃排出物が低減し、同時に燃焼安定性および熱効率が向上することを明らかにしている。

第 4 章では、成層燃焼の後半が緩慢になって消炎する問題に対して、排ガス再循環（EGR）の作用について検討している。とくに、未燃混合気の高温化による燃焼速度の向上を試み、外部から加熱せずに高温化する方法として、前サイクルの燃焼ガスを次のサイクルに直接再吸入（内部 EGR）してガス温度を高める可変動弁システムを構築し、排気の一部を吸気混合する方法（外部 EGR）と比較している。試作した単筒エンジンにより熱発生率と未燃排出物、窒素酸化物への影響を調べた結果、内部 EGR で窒素酸化物を抑制するためには従来法より大きい EGR 率を要する反面、未燃ガス温度を高くできるため火炎伝播速度の低下を抑え、後半の希薄混合気の燃焼を促進して未燃排出物生成と燃焼変動を抑制し、同時に燃費改善および窒素酸化物低減が実現できることを明らかにしている。

第5章では、筒内に直接噴射した燃料のピストン壁面付着に起因する未燃排出物を低減することを目指し、局所遮熱ピストンにより温度を高めて付着を減らす方法を提案している。そのため、2層の遮熱構造を持つピストンを試作してエンジン試験を行い、ピストン温度を測定するとともに未燃排出物への影響を調べ、加熱壁面における液滴蒸発実験との関係から、従来ピストンを用いた成層燃焼では壁面温度は燃料の非沸騰領域にあるが、局所遮熱により壁面温度は核沸騰領域に移行し、それにより未燃排出物が20%以上低減することを明らかにしている。さらに、燃料の壁面付着がより顕著であるエンジン始動条件に対する効果を調べ、始動直後から急速に遮熱壁面温度が上昇し、これに伴って未燃排出物が大幅に低減することを示している。

第6章の結論では、本研究で得られた成果を要約し、これらの知見ならびに技術的対応策の提案が、直接噴射式ガソリンエンジンにおいて困難であった未燃排出物低減に対する貴重な指針を与え、提案の一部は既に実用化され、多くの自動車に採用されていることを述べている。さらに、残された課題をまとめ、今後の研究と技術開発の必要性・方向性を展望している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、自動車の燃費改善およびCO₂排出抑制のための実用システムとして期待される直接噴射式ガソリンエンジンを対象とし、その成層燃焼において課題となっている未燃排出物低減に関する研究内容をまとめたもので、主な成果は以下の通りである。

1) 積層型圧電素子をアクチュエータとする新たなピエゾインジェクタについて検討し、噴射の高圧化・高応答化に伴う大きな荷重変動と電圧変化に対して、圧電変位のヒステリシスや弾性変形、電気的特性変化を総合して解析する手法を構築し、二次噴射要因の解明と対策、消費エネルギー低減の指針を示すとともに、従来のソレノイド方式に比べて約70%の噴射圧力増加と、2.5倍のダイナミックレンジ拡大に成功した。

2) 従来の成層燃焼方式による燃焼特性をエンジン実験によって調べ、未燃排出物の生成は混合気濃度が広範囲に分布するためであることを示した。その結果に基づき、対応策としてスリットノズルで形成される偏平扇状噴霧（ファンスプレー）を用いた混合気形成法を提案するとともに、その効果を噴霧断面撮像、数値流体力学による計算、レーザ誘起蛍光による燃料濃度計測、など種々の手法により解析し、さらにエンジン実験によって、この方法が未燃排出物低減と熱効率向上に有用であることを明らかにした。

3) 低負荷成層燃焼時の未燃排出物をさらに低減する手段として、排ガス再循環（EGR）の作用について検討した。そのために前サイクルの燃焼ガスを直接再吸入（内部EGR）する可変動弁システムを構築し、排気の一部を吸気に混合する方法（外部EGR）と比較した。単筒エンジンによる試験の結果、未燃ガス温度を高くできる内部EGRでは火炎伝播速度の低下を抑え、後半の希薄混合気の燃焼を促進して未燃排出物生成と燃焼変動を抑制し、同時に燃費改善および窒素酸化物低減が実現できることを明らかにした。

4) 直接噴射式における未燃排出物生成の一因として重要な壁面燃料付着の問題に対して、付着位置周辺を局所的に遮熱したピストンを製作し、エンジン実働時の壁面温度測定から、遮熱により壁面温度が核沸騰条件以上に上昇することを明らかにするとともに、とくに始動暖機・低負荷時の未燃排出物を大幅に低減できることを実証した。

以上、本研究は直接噴射式ガソリンエンジンが課題とする未燃排出物低減を目指し、その生成要因の解明とともに、燃料噴射から混合気形成、点火・燃焼に至る一連の過程における技術的対応策とその有用性を示したもので、一部は実用化され多くの自動車に採用されるなど、得られた知見は学術上、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18年8月24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。