

(論文内容の要旨)

本論文では、小型自動車および産業用機械で一般的に用いられる小形高速ディーゼル機関を対象とし、燃焼改善による排気浄化の指針を与えるとともに、そのメカニズムを実験ならびに数値シミュレーションにより検討した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、小形高速ディーゼル機関における有害物質排出量の低減が環境改善およびエネルギー有効利用に重要であることを示すとともに、代表的な形式である渦流室式と直接噴射式のそれぞれの特徴と課題を整理し、エンジン回転数および負荷の広範囲な条件においてこれまで試みられ、実用化されてきた様々な技術開発と研究動向をふまえ、本研究の目的と取り組むべき内容を提示している。

第2章では、渦流室式機関における排気中の炭化水素とスモークの低減方策を探索し、それらの低減メカニズムを渦流室と主室の可視化燃焼観察により詳しく解析している。まず、初期噴射率の抑制によって中・低負荷時にスモークが低減されること、ノズル開弁圧を高くして高噴射圧化を図ることはスモーク増加に繋がることを示し、その原因は渦流室内での噴霧の激しい壁面衝突によって多量の高濃度のすす雲が生成されるためであることを解明している。この結果に基づいて渦流室容積比の増大によるスモークの低減を試み、渦流室内の当量比低下によるすす酸化促進効果に加え、ノズル対向壁部での高濃度すす雲生成の抑制が有効に作用すること、主室においては連絡孔からの噴き出し部の深さを確保して噴流の幅を狭く保つことが、高い酸化能力を得るために重要であることを明らかにしている。

第3章では、直接噴射式機関の中・低負荷において比出力を制限する高速時のスモーク生成要因を調査し、高比出力化を実現できる燃焼室の開発を試みている。その際、一般に中・低負荷での排気浄化の目的で採用される小噴孔径ノズルでは高速時に噴霧速度が気流速度に対して相対的に不足し、十分な壁面衝突が得られないうえにピストン燃焼室内に縦渦を形成できなくなって混合作用が不十分となること、混合気は強い逆スキッシュに運ばれてスキッシュエリアへ吹きこぼれるためキャビティ内の空気を有効に利用できなくなることを見出している。そこで、小噴孔径ノズルによる弱い貫徹力の噴霧に対して、気流を弱めた浅皿形燃焼室を組み合わせることで、高速時においてもスモークを低くできることを確認するとともに、コモンレール噴射装置の特徴を活かして各負荷において噴射圧力を最適に選択することにより、排気有害物質の低減と高い比出力を両立できることを示している。

第4章では、直接噴射式における低速トルクの増加と中・低負荷での有害物質排出低減を目指し、コモンレール式燃料噴射装置の噴射回数設定自由度を活用したマルチ噴射の最適利用法と効果を性能試験によって示すとともに、その改善メカニズムを筒内燃焼観察、画像相互相関法を用いた乱れの評価、壁面付着燃料量測定、2色法温度計測お

よび 3 次元 CFD を用いて説明している。とくに，早期パイロット噴霧では噴射圧力を下げると微粒化悪化により壁面付着燃料量はかえって増し，少量ずつ分割して噴射することが有効であること，アフター噴射によるスモーク低減効果は燃焼室内の乱れ強化とスキッシュエリアにおける温度上昇のためであることを示している。

第 5 章では、直接噴射式機関の中負荷以上における排気浄化のために，高圧噴射，ノズル噴孔絞り，高過給を EGR と組み合わせる手法について検討し，噴射の高圧化と高過給化の寄与度合いはノズル噴孔径によって異なり，噴孔径が大きいほど高圧噴射化のみの効果は小さく，充填効率の増加と併用すると有効であること，噴射の高圧化は高負荷ほどその影響が大きいことを示している。これらの結果から，高過給・高 EGR・高噴射圧力を併用する燃焼法を提案し，NO_x とスモークの同時大幅低減が可能であることを，筒内燃焼観察，2 色温度計測法，3 次元 CFD， ϕ -T マップ解析，などの多くの実験的・理論的解析によって見出している。

第 6 章の結論では，本研究で得られた成果を要約し，特に一部の成果は実際の自動車用エンジンに実用化されており，エンジン性能向上へ寄与していることについて述べている。すなわち，渦流室式機関では近年のターボ過給や EGR の導入，電子制御化に伴う噴射時期や圧力設定自由度の増加に対し，筒内燃焼観察に裏づけされた比較的容易な排気低減策を提案しており，直接噴射式機関では，小噴孔径ノズル使用による高速時スモークの増加を抑えた排気低減策の要請に対し，コモンレール式噴射装置の特徴を最大限に活用して主要課題の解決に貢献している。さらに，これらの研究成果に基づいて，今後のエンジン研究開発の方向性と課題についてまとめている。

(論文審査の結果の要旨)

本研究は、小型自動車および産業用機械に広く用いられている小形高速ディーゼル機関の性能向上を目的として、渦流室式および直接噴射式における燃焼改善と排気浄化に取り組んだもので、主な成果は以下の通りである。

1) 渦流室式機関の燃焼改善による排気浄化を目指し、特に問題となる中・低負荷時におけるスモーク排出について渦流室と主室の可視化観察により解析した。その結果に基づき、初期噴射率の抑制および渦流室容積比の増大によるスモーク低減のメカニズムを明らかにするとともに、ノズル対向壁部での高濃度すす雲の生成を抑制すること、連絡孔からの噴出部の深さを確保して噴流の幅を狭く保つこと、などスモーク低減の指針を示した。

2) 直接噴射式機関の中・低負荷において比出力を制限する高速時のスモーク生成要因を調査し、通常の深皿形燃焼室で小噴孔径ノズルを用いると、噴霧の運動量が不足して混合気が強い逆スキッシュ流に運ばれてピストン燃焼室から吹きこぼれ、空気の利用率が悪化することを見出した。これに基づき、浅皿形燃焼室として適切に噴射圧力を選択することにより、排気有害物質の低減と高い比出力を両立できることを示した。

3) 直接噴射式における低速トルクの増加と中・低負荷での有害物質排出低減を目指し、マルチ噴射の最適利用法と効果を性能試験によって示すとともに、そのメカニズムを筒内燃焼観察、壁面付着燃料量測定および3次元CFDを用いて解明した。とくに、早期パイロット噴霧では噴射圧力を下げると微粒化悪化により壁面付着燃料量はかえって増し、少量ずつ分割して噴射することが有効であること、アフター噴射によるスモーク低減効果は燃焼室内の乱れ強化とスキッシュエリアにおける温度上昇の効果が大きいことを示した。

4) さらに、中負荷以上における排気浄化のために、ノズル噴孔径と高過給化をEGRと組み合わせる手法について調査し、噴孔径が大きいほど高圧噴射化のみの効果は小さく、充填効率の増加と併用すると有効であること、高負荷ほどその傾向が大きいことを示した。この結果から、高過給・高EGR・高噴射圧力を併用する燃焼法を提案し、NO_xとスモークの同時大幅低減が可能であることを多くの実験的・理論的解析によって見出した。

以上、本研究は小形高速ディーゼル機関の燃焼改善による排気浄化手法を提案するとともに、筒内燃焼観察や数値シミュレーション等によってメカニズムを解明し、今後のディーゼル機関に要求されるクリーン化に大きく貢献するもので、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21年2月2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。