

論文の内容の要旨

論文題目：「多気筒ディーゼル機関への部分予混合燃焼方式の適用による
排出ガス改善に関する研究」

学位申請者 石川 直也

キーワード：ディーゼル機関，部分予混合燃焼，排出ガス，PCI燃焼，高EGR率

ディーゼル機関は、「うるさい，汚い，臭い」というイメージがあったが，近年はCO₂排出の少ないクリーンな内燃機関として，ディーゼル乗用車の販売台数が増加している．これは，かつてディーゼル機関からの燃焼騒音や排出ガスはガソリン機関に比べて劣っていたが，燃料噴射を自由にコントロールできるコモンレール噴射系の出現や電子制御技術の発展により，燃焼騒音の低減や排出ガスの改善が行われたためである．しかしながら，大気環境保全の観点から更なる排出ガスの改善が求められている．

ディーゼル機関の燃焼方式は，シリンダに空気のみを吸入してピストンで断熱圧縮した圧縮空气中に燃料噴射を行い，高温高压雰囲気下で燃料と空気が混合して可燃混合気が形成されたところから燃焼を行う燃焼方式である．ガソリン機関と比べて，吸気絞りが無いためにポンピングによる損失が無く，空気のみを圧縮するためにノッキングの心配がなく高圧縮比が可能な高効率な機関である．その一方でディーゼル燃焼は，燃料混合気を形成しながら燃焼を行うので，燃料が過濃な領域からはスモークが生成され，燃焼温度が高い領域からはNO_xが生成されてしまう．

この様なディーゼル燃焼方式に対して，圧縮行程後半の燃料噴射と高EGR（Exhaust gas recirculation，排気ガス再循環）率によって燃焼反応速度を低減してNO_x排出を低減し，同時に燃料と空気の混合時間を稼ぐことで過濃な混合気を低減してスモーク排出を低減する部分予混合燃焼方式が提案されている．部分予混合燃焼方式の研究は，主に研究用の単気筒機関を用いて行われており，実用化に向けて多くの課題が残されている．その中で一番の課題は，部分予混合燃焼方式の運転可能領域は低負荷領域に限られてしまう事である．

本論文は，ディーゼル機関からの排出ガスを改善するために主に単気筒機関を用いて研究が行われてきた低排出ガス燃焼法である部分予混合燃焼方式を多気筒機関への適用を行い，低負荷に限られている燃焼領域の拡大を行うとともに更なる排出ガスの改善方法について述べる．部分予混合燃焼方式を多気筒ディーゼル機関に適用することによって，排出ガス改善を実現することを目的とした．

本論文は，全6章で構成されており，以下に各章の概略を示す．

第1章では、本研究の背景を述べた後に先行研究で行われた予混合燃焼方式について述べる。多気筒機関への搭載や実用化への課題について述べた上で本研究の目的を述べた。

第2章では、先行研究に対して低排出ガスを実現する部分予混合燃焼（PCI燃焼）を提案した。まず、先行研究で提案されている部分予混合燃焼方式と本研究のPCI燃焼方式についての違いについて述べた。PCI燃焼方式と先行研究であるナローアングルコンセプトとの違いを実験的に明らかにして、その要因について数値計算の結果を用いて考察を実施した。その結果、燃焼室内での混合気の均一化による過濃領域の低減と熱損失による筒内温度の上昇抑制効果がPCI燃焼を特徴づけていることがわかった。

第3章では、第2章で提案したPCI燃焼を多気筒機関に適用した場合の基本特性についての調査を行った。多気筒機関においても単気筒機関と同様に高EGR率と圧縮行程後半の燃料噴射により、大幅にNO_xとスモークが低減できることを実験的に確認して、EGR率と空燃比（A/F）、燃料噴射タイミングや燃料噴射圧力の影響を明らかにした。さらに通常ディーゼル燃焼とPCI燃焼の燃焼切り替え制御を開発し、両燃焼モード間でスムーズな燃焼方式の移行を実現した。

第4章では、多気筒機関のEGRクーラの冷却能力を試験的に変化させて、PCI燃焼特性やPCI燃焼運転可能領域に対してEGRガス温度が与える影響を調査した。EGRクーラの冷却性能を向上させることによって吸気温度が低減して、A/Fが大きくなりスモーク排出量を低減することができた。EGRクーラの冷却性能を向上させることによって、PCI燃焼可能領域が拡大することがわかった。しかしながら、低負荷運転時にはTHC排出量が増えるためにNO_xを低減することができなくなることがわかった。PCI燃焼を多くの運転領域で実現するためには、EGRガスの冷却制御が必要であることを見出した。

第5章では、PCI燃焼を適用した多気筒ディーゼル機関において、シリーズシーケンシャル2段ターボチャージャ（2段ターボ）を組み合わせることにより更なる排出ガス改善を行った。2段ターボ化することで、A/FとEGR率をより高くすることが可能となり、従来ディーゼル燃焼において大幅な排出ガス改善効果が得られた。本研究のまとめとして、2段ターボとEGRクーラ冷却水温制御を適用して実車を用いた排出ガス試験を実施した。その結果、燃費性能を犠牲にすることなく排出ガスを大幅に改善できることを示した。これまで実験室レベルで研究されていたPCI燃焼に対して、車両を用いて排出ガスの改善効果を実証した。

第6章では、本研究の総括として内容のまとめを行った。

以上のように、多気筒ディーゼル機関へ部分予混合燃焼方式を適用することにより、燃費性能を犠牲にすることなく車両からの排出ガスを大幅に改善することができた。本論文は、ディーゼル機関の排出ガス改善に対して多くの技術的な知見を提供しており、今後のディーゼル機関の発展に大いに貢献すると考えられる。