

## 博士學位論文

(内容の要旨及び論文審査の結果の要旨)

氏名	Toshio Fujimura 藤村 俊夫
学位の種類	博士 (工学)
学位記番号	博 乙 第 25 号
学位授与	平成23年11月24日
学位授与条件	学位規定第3条第4項該当
論文題目	自動車用ディーゼルエンジンの高出力化とクリーン化および低燃費化に関する研究開発 (Research and Development of Higher Power, Cleaner Emission and Lower Fuel Consumption Technology for Passenger Car Diesel Engines)
論文審査委員	(主査) 教授 渡辺 修 <sup>1</sup> (審査委員) 特任教授 安田仁彦 <sup>1</sup> 教授 内田誠之 <sup>1</sup> 教授 小林雄一 <sup>2</sup>

## 論文内容の要旨

ディーゼルエンジンには二つの種類があり、一つは主燃焼室とは別に渦流室を持つ予燃焼室式 (IDI) で、もう一つは主室のみで燃焼室が構成される直接噴射式 (DI) である。予燃焼室式は燃費性能、低CO<sub>2</sub>排出量という観点では直接噴射式に劣るものの、直接噴射式に比べ、低振動・騒音及び排ガスも比較的クリーンということから主に乗用車に使われ、直接噴射式はトラックを初めとする商用系に使われていた。しかしエネルギーセキュリティ、地球温暖化、大気汚染という観点など、自動車を取り巻く環境が大きく変化する中で、予燃焼室式によって排気規制強化に対応し、低燃費化と高出力化を図っていくには限界があり、低燃費化 (低CO<sub>2</sub>化)、高出力化においても将来性のある直接噴射式をベースに研究開発が進められるようになっていく。

本論文はこのような背景のもと、低燃費でクリーンかつ高出力化が可能な直接噴射式ディーゼルエンジンの実現に向けた研究開発結果についてまとめたものである。すなわち燃焼システム、噴射システム、触媒システムそれぞれの性能向上にかかわる研究を進めるとともに、これら新技術の融合を図ることにより、新世代ディーゼルエンジンといえるエンジンの基本を確立したものである。以下本論文の概要を述べる。

第1章は序論であり、ガソリンエンジンに比べ燃費的に有利なディーゼルエンジンで最大の課題である排気のクリーン化の実現のみならず高出力化に向けて進めてきた多くの新

技術の研究開発結果についての概要を述べた。

第2章では、コモンレール式直噴ディーゼルエンジンの研究開発について述べた。直噴ディーゼルエンジンは燃費性能に優れるが、排気規制が強化される中で、燃費改善とトレードオフ関係にあるPM、NO<sub>x</sub>を下げ、さらには振動・騒音特性を改善し乗用車への適応を図る事は技術的に非常に難しいと考えられていた。そのような中、コモンレール式噴射システムの研究開発を行い、乗用車にも適用可能な直噴ディーゼルエンジンを開発し、従来の予燃焼室ディーゼルエンジンに対比して、低燃費化はもちろんのこと、静粛性、クリーン化、高出力化を実現した。コモンレール式噴射システムは、電子制御式であり、噴射圧力、噴射の制御性が非常に高いため排気及び燃費改善効果が大きい。又従来の分配型噴射ポンプに比べ低速回転域でも高圧化が可能ということから、低速トルク向上への効果も大きく、さらには小型ディーゼル運人にも搭載が容易な小型・コンパクトということが最大の利点である。高機能とコンパクトを追求する中で、インジェクタ構成、ポンプの構成に関しては様々なケーススタディーを行い、又130MPaという超高压条件下の作動においても耐久性、信頼性を確保するために多くの基礎的な研究にもとづく対応手法を検討し、システム設計に織り込んだことについて述べた。

第3章では、ディーゼルエンジンが最も苦手とする排気の画期的低減に向け、以降 DPNR (Diesel Particulate NO<sub>x</sub> Reduction System) と称するようになった新触媒システムの研究開発結果について述べた。新触媒は DPF (Diesel Particulate Filter) に触媒および NO<sub>x</sub> 吸蔵材を追加したもので、この新触媒によって PM のみならず NO<sub>x</sub> を同時かつ連続的に低減することが可能であることを見出し、直噴ディーゼルエン

1 愛知工業大学 工学部 機械学科 (豊田市)

2 愛知工業大学 工学部 応用化学科 (豊田市)

ジンにおいても排気ガスの画期的な低減が可能であることを示した。本触媒システム(DPNR)はコモンレール式直噴ディーゼルエンジンをベースとするもので、この制御自由度の高いコモンレール式噴射システムの開発により実現可能になったものである。燃費を犠牲にすること無くNO<sub>x</sub>、PMの低減を行うための各種技術開発のうち、コモンレール式噴射システムでは更なる高圧化等の機能向上を図るとともに、又新燃焼法としての低温燃焼方式やリッチスパイク制御を行うための排気燃料添加システム等をあわせて開発し、最終的に世界初の新触媒システム(DPNR)の技術を確立したことを述べた。

第4章では、DPNRの量産化にむけ、ヨーロッパ諸国、および国内で実施した大規模な市場実験によって得られた多くの知見および解析結果について述べた。欧州の様々な走行状態、条件にて、エンジン構成部品、触媒および触媒制御に関する適合性の確認実験を行ない、実験室の評価では実現できない様々な運転モードにおいても触媒を適切に機能させる制御方法を確立するとともに、1年間にわたる大規模実験の結果をふまえ新触媒システムDPNRの量産化に向けての技術確立について述べた。

第5章では、噴射最高圧力180MPaの第2世代コモンレール式噴射システムおよび、世界初のPM、NO<sub>x</sub>同時低減システムDPNRを装着した先進直噴ディーゼルエンジンの量産開発について述べ、第4章の実験車で得られた多くの知見を織り込むことで、システムの完成度を高め、市場に投入することを可能としたことを述べた。

第6章では、第5章までに述べた研究成果をふまえ、更に高出力化したディーゼルエンジンの研究開発結果について述べた。これまでの研究成果を織り込むとともに、コモンレール噴射系に関してはピエゾ駆動方式のインジェクタを新たに開発することで、燃料噴霧の微粒化による混合促進等をはじめ、さらなる高機能化を図った。また、技術的に非常に難易度が高い低圧縮比化においても、ピエゾインジェクタと浅皿式燃焼室との組み合わせにより15.8という低圧縮比を実現し、低排気・低燃費(低CO<sub>2</sub>)・高出力を実現する技術を確立した。触媒システムの改良については、4章および5章で述べた研究結果を触媒性能の劣化改善や制御方法の改善に反映させた。これらの研究開発の結果により、高出力、低燃費、低CO<sub>2</sub>、低騒音、低振動、クリーン化のすべてを高次元で達成する世界最高水準のディーゼルエンジンの量産化を実現したことを述べた。

第7章では本研究開発で得られた結論および今後の展望について述べた。

#### 論文審査結果の要旨

自動車用ディーゼルエンジンには二つの種類があり、一つは主燃焼室とは別に渦流室を持つ予燃焼室式(IDI)で、もう一つは主室のみで燃焼室が構成される直接噴射式(DI)である。予燃焼室式は燃費性能、低CO<sub>2</sub>排出量という観点では直接噴射式に劣るものの、低振動・騒音および排ガスも比較的クリーンということから主に乗用車に使われ、直接噴射式はトラックを初めとする商用系に使われていた。しかしエネルギーセキュリティ、地球温暖化、大気汚染など、自動車を取り巻く環境が大きく変化する中、低燃費化(低CO<sub>2</sub>化)、高出力化においても将来性のある、直接噴射式を乗用車用エンジンに採用すべく、新技術の開発が進められてきた。

本論文はこのような背景のもと、各種要素技術の新規開発とこれらの融合を図ることにより、新世代のディーゼルエンジン技術を確立した研究開発結果をまとめたものである。本論文は以下の7章からなっている。

第1章は序論であり、ガソリンエンジンに比べ燃費的に有利なディーゼルエンジンで最大の課題である排気のクリーン化のみならず、高出力化に向けて進めてきた多くの新技術についての概要を述べ、本研究の位置づけを行っている。

第2章では、コモンレール式直噴ディーゼルエンジンの研究開発について述べている。排気規制が強化される中、直噴ディーゼルエンジンでは、燃費改善とトレードオフ関係にあるPM、NO<sub>x</sub>を下げ、さらには振動・騒音特性を改善し乗用車への適応を図ることは技術的に非常に難しいと考えられていた。そのような中、コモンレール式噴射システムの研究開発を行い、乗用車にも適用可能な直噴ディーゼルエンジンを開発し、低燃費化はもちろんのこと、静粛性、クリーン化、高出力化を実現したことを示している。本電子制御式コモンレール式噴射システムは、噴射圧力、噴射の制御性が非常に高く、また低回転域でも高圧化が可能であること、さらには小型ディーゼルエンジンにも搭載が容易な小型・コンパクトである点に特徴がある。本システムを構成するインジェクタ構成、ポンプの構成に関する様々なケーススタディーを行い、130MPaの超高压条件下でも耐久性、信頼性を確保すべく、多くの基礎的研究にもとづく対応手法を検討し、システム設計に織り込んだことを述べている。

第3章では、ディーゼルエンジンが最も苦手とする排気の画期的低減に向け、以降DPNR(Diesel Particulate NO<sub>x</sub> Reduction System)と称するようになった新触媒システムの研究開発結果について述べている。新触媒はDPF(Diesel Particulate Filter)に触媒およびNO<sub>x</sub>吸蔵材を追加したもので、この新触媒によってPMのみならずNO<sub>x</sub>を同時かつ連続的に低減することが可能であることを見出し、直噴ディーゼルエンジンにおいても排気ガスの画期的な低減が可能であることを示した。本触媒システム(DPNR)はコモンレール式直

## 自動車用ディーゼルエンジンの高出力化とクリーン化および低燃費化に関する研究開発

噴ディーゼルエンジンをベースとするもので、これとの組み合わせで実現可能となったことを述べている。燃費を犠牲にすること無く NOx、PM の低減を行うための各種技術開発のうち、コモンレール式噴射システムでは更なる高圧化等の機能向上を図るとともに、新燃焼法としての低温燃焼方式やリッチスパイク制御を行うための排気燃料添加システム等をあわせて開発し、最終的に世界初の新触媒システム技術を確認したことを述べている。

第4章では、DPNR の量産化にむけ、ヨーロッパ諸国および国内において各種走行条件下でエンジン構成部品、触媒および触媒制御に関する確認実験を行ない、様々な運転モードにおいても触媒を適切に機能させる制御方法を確立するとともに、1年間にわたる大規模実験の結果をふまえ、新触媒システム DPNR の量産化に向けた技術確立について述べている。

第5章では、噴射最高圧力 180MPa の第2世代コモンレール式噴射システムおよび DPNR を装着した先進直噴ディーゼルエンジンに、第4章の実験車で得られた知見を織り込むことでシステムの完成度を高め、市場に投入することを可能としたことを述べている。

第6章では、第5章までに述べた研究成果をふまえ、更に高出力化したディーゼルエンジンの研究開発結果について述べている。これまでの研究成果を織り込むとともに、コモンレール噴射系に関してはピエゾ駆動方式のインジェクタを新たに開発することで、燃料噴霧の微粒化による混合促進等をはじめ、さらなる高機能化を図った。また、技術的に非常に難易度が高い低圧縮比化においても、ピエゾインジェクタと浅皿式燃焼室との組み合わせにより 15.8 という低圧縮比を実現し、低排気・低燃費(低 CO2)・高出力を実現する技術を確認した。触媒システムの改良については、4章および5章で述べた研究結果を触媒性能の劣化改善や制御方法の改善に反映させた。これらの研究開発の結果、高出力、低燃費、低 CO2、低騒音、低振動、クリーン化のすべてを高次元で達成する世界最高水準のディーゼルエンジンの量産化を実現したことを述べている。

第7章では本研究開発で得られた結論および今後の展望について述べている。

本論文は、コモンレール式噴射システムや PM と NOx の同時低減を可能とした DPNR システムなど各種先進技術を開発するとともに、トレードオフ関係にある要素技術を適切に融合することにより、低燃費、クリーン化の要求を満たすディーゼルエンジンの開発とその量産化にむけた研究過程をあますところなく述べている。さらにこれに加え、低圧縮比ディーゼルエンジンを実現し、触媒システムの改良とあわせて、排気に関するユーロ5規制値を5年先駆けて達成するなど、クリーンかつ低燃費でありながら高出力を発生する次世代ディーゼルエンジ

ンの研究開発成果は、今後のディーゼルエンジンに関する研究の進展に大きく貢献するものと考えられる。

以上、本論文は学術的にも、工学的にも高い価値を有し、自動車用ディーゼルエンジンの有用性を高めるとともに、さらなる発展に寄与するところ大であり、博士(工学)の学位論文として十分価値があるものと認められる。

(受理 平成23年11月24日)