

学 位 論 文 題 名

小型高速DIディーゼルエンジンの燃焼要素改善と 実用開発に関する研究

学位論文内容の要旨

本論文は、小型高速DIディーゼルエンジンの出力・熱効率・排気性能、および燃焼騒音の改善を目的として、燃焼特性の解明とそれを基盤としたエンジン要素技術の研究開発とを行った結果について取りまとめたものである。

本研究の最終目的は、ディーゼルエンジンにおける、熱効率に優れCO₂排出量の少ないという優位性をさらに向上させるとともに、その技術課題である排気性能、騒音振動、および比出力性能を、主に燃焼改善の観点から大幅にグレードアップし、乗用車用小型エンジンとして従来のガソリンエンジンを凌駕するレベルまで開発を進めることにある。そのために、ディーゼル燃焼現象、並びにこれと密接に関連する燃料噴射特性、吸気流動特性について、実験解析と数値解析を用いて系統的に検討すると共に改良指針を明らかにして、具体的なエンジンのハード技術開発を行った。

第1章では、国内外における小型高速ディーゼルエンジンの研究の動向、今後の見通し、並びに本研究の社会的背景と目的について述べる。

第2章では、特に出力・燃焼特性に対する重要なパラメータである、吸気スワール比の最適値について検証した。ここで最適スワールとは、部分負荷では燃費性能の最良点、全負荷ではスモーク排出量を一定量に制限した際の最大トルク点として定義した。

スワール比特性と出力・燃焼特性との間に介在する主要因子、つまりエンジン回転数、噴射ノズル噴孔数、燃焼室キャビティ径を系統的に実験解析した結果、これらの因子から構成されるスワールインデックスを提案し、このインデックスによって最適スワール比を概略的に決定し得ることを明らかにした。

DIディーゼルエンジンにおける全負荷での最適スワール比は、低速域では高スワールが、高速域では低スワールがそれぞれ要求されるが、そのレベルはノズル噴孔数、キャビティ径の組み合わせによって異なる。しかし、スワールインデックスを用いることによって、燃焼系の主要因子が変わった場合であっても、エンジン回転数に対応する最適スワール比を容易に特定し得ることを示した。またこのスワールインデックスの物理的な意味についても検討を行った。

第 3 章では、数値解析を用いることにより、DI ディーゼルエンジンの燃焼特性の検討と、その結果に基づいた排気性能の大幅な向上を達成するための燃焼制御法の提示とを行った。

数値解析法としては、実験式を基にした現象論モデルで DI ディーゼル燃焼を記述する噴霧パッケージモデルと、エンジンの筒内流動、噴霧形成、燃焼過程を時空間的に扱う三次元数値解析モデルを用いた。また、解析精度の向上を図るため、それぞれのモデルに対して次のような改良を行った。パッケージモデルでは新たに開発したスワールによる噴霧挙動モデル、拡散燃焼モデル、既燃ガス再循環モデルなどを組み込んだ。また三次元数値解析では噴霧形成と壁面衝突モデルの改良と、スモーク生成モデルの追加を試みた。

これらの数値解析を用いて、DI ディーゼルエンジンの出力性能と排気性能とを両立するための燃焼制御法について検討した。まず、第 2 章で明らかにした最適スワール比について、本シミュレーションモデルで解析した結果、最適スワール比は噴霧のペネトレーションによる空間分布特性と、スワールによる噴霧への空気導入促進との相互作用で決まることを明らかにした。さらに、高スワールと高 EGR とを併用することによって、部分負荷域における NO_x と PM の同時低減が可能であることを示し得た。

第 4 章では、DI エンジンの排気性能改善に対する新燃焼制御コンセプトを具現化するために必要な超高スワールと、出力向上に必要な低スワールが制御可能な、可変スワール吸気ポートの開発について述べる。対象としたのは、出力、燃費、排気性能の向上に有効な、4 弁の DI ディーゼルエンジンに用いる吸気ポートである。

まず、ポートモデル実験と吸気流動の三次元数値解析を用いて、超高スワール生成に必要なヘリカル型吸気ポートの特性、並びに可変スワール制御に最適なヘリカル型吸気ポートとタンジェンシャル型吸気ポートの配置法を検討した。その結果、従来の 4 弁ガソリンエンジンとは異なるポート配置、すなわちシリンダヘッドの直角方向に独立したヘリカル型とタンジェンシャル型の吸気ポートを配置することが、スワール生成上重要であることを明らかにした。

さらに、これらの独立した 2 ポートを組み合わせた際のスワール比、流量係数を、各ポートの単独性能から予測する方法を新たに見出し、可変スワールシステムの迅速な開発を可能とした。

そして、これらの結果をもとに、広範なスワール制御特性を持つ、実用的な可変スワール吸気ポートシステムを開発した。

第 5 章では、以上の研究結果をもとに開発した、小型高速 DI ディーゼルエンジンの概要について述べる。このエンジンは、DOHC4 弁ターボ過給インタークーラ付きの DI ディーゼルエンジンであり、シリンダセンタに直立に配置した燃料噴射ノズルと、前章までに述べた燃焼法、並びにスワール比を 10 から 3.5 の間で制御できる可変スワールポートを有している。また、スワール比、EGR、燃料噴射、過給特性の電

子制御を採用した。これによって、新燃焼コンセプトを実現することができ、高出力、高熱効率と、国内長期排気規制、欧州 Stage-3 排気規制に適合し得る優れた排気改善効果が得られることを実証した。

第 6 章では、本研究の成果を総括的に取りまとめた。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 宮 本 登

副 査 教 授 菱 沼 孝 夫

副 査 教 授 伊 藤 献 一

副 査 教 授 寺 尾 日出男（農学研究科）

学 位 論 文 題 名

小型高速D I ディーゼルエンジンの燃焼要素改善と 実用開発に関する研究

近年、各種の動力源として数多く利用されているディーゼルエンジンにおいては、環境適合性、出力特性等の更なる改善が世界的にも強く求められており、それに関わる研究が盛んに行われて来ている。

本論文では、小型高速 DI ディーゼルエンジンの出力、熱効率、排気等の総合的な性能改善を目的として、特に燃焼現象とそれに密接に関連する吸気流動特性等を解明すると共に、その結果を基にエンジンの実用開発を行った結果について取りまとめている。

第1章では、国内外における小型高速ディーゼルエンジンの研究の動向、今後の見通し、ならびに本研究の社会的背景と目的について述べている。

第2章では、出力・燃焼特性に関わる重要な設計パラメータである特に吸気スワール比について検討している。すなわち、スワール比とエンジン回転数、噴射ノズル噴孔数、燃焼室キャビティ径等の燃焼関連因子とから構成されるスワールインデックスを特性値として提案し、このインデックスによって燃焼系の主要設計因子ならびにエンジン運転条件が変わった場合であっても、燃焼に対する最適スワール比を容易に特定し得ることを明らかにしている。

第3章においては、数値解析によって、DI ディーゼルエンジンの燃焼特性を検討すると共に、排気性能を大幅に改善するための燃焼コンセプトを提示している。

まず、噴霧パッケージモデルあるいは三次元数値解析モデルを用いた燃焼数値解析法を構築している。その場合、パッケージモデルでは新たに開発した噴霧挙動モデル、拡散燃焼モデル、既燃ガス再循環モデルを、また三次元数値解析では噴霧壁面衝突モデルおよびスモーク生成モデルをそれぞれ組み込んでいる。

この数値解析によって、部分負荷域では超高スワールと高 EGR との併用を、また高負荷域では低スワールの使用をそれぞれ主軸とした燃焼コンセプトを提唱し、それにより負荷全域に亘って NOx と PM の同時大幅低減が可能であることを予想している。

第4章では、この燃焼コンセプトを具現化するため、超高スワールと出力向上に必要な

低スワールとが制御可能な可変スワール吸気ポートシステムの開発結果について述べている。超高スワール生成に必要なヘリカル型吸気ポートとタンジェンシャル型吸気ポートとの二つを、従来の一般的な4弁エンジンとは異なる方向に独立して配置することによって、超高スワールと低スワールとが制御可能であることを明らかにすると共に、可変スワール吸気ポートシステムの開発に成功している。

また、ここでは二つの独立した吸気ポートを組み合わせてシリンダに設置した際のスワール特性を、各吸気ポートの単独性能から予測する手法についても明らかにしている。

第5章では、著者が提唱あるいは開発した燃焼コンセプトと可変スワール吸気ポートシステムを実際のエンジンに適用することによってその有効性を実証すると共に、国内外の厳しい排気規制に対しても十分適合し得る高性能な小型高速D I ディーゼルエンジンの開発に成功している。

開発されたエンジンは、DOHC 4弁ターボ過給インタークーラ付きの小型高速DI ディーゼルエンジンであって、上述の燃焼コンセプトとスワール比が10から3.5の間で制御できる可変スワールポートシステムとを有すると共に、スワール、EGR、燃料噴射、過給に対して電子制御が施されており、高出力・高効率に加えて国内長期排気規制、欧州Stage-3排気規制にも適合し得る排気特性を呈することが実証されている。

第6章では、本研究の結果を総括している。

これを要するに、著者は、ディーゼル燃焼の改善に関わる新知見を得ると共にそれを基盤とした高性能D I ディーゼルエンジンの実用開発に成功しており、内燃機関工学、燃焼工学に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。