

審査の結果の要旨

氏名 鈴木 裕一

工学士 鈴木裕一提出の論文は、「直噴ガソリンエンジンの熱効率向上と実用化に関する研究」と題し、6章と補遺から成っている。

地球温室効果ガスの排出量は現在も年々増加傾向にあり、運輸セクターによる二酸化炭素排出量割合は全体の23%で、その中で道路交通セクターの占める割合は72%に達している。このため、地球平均地上温度上昇の抑制には、自動車から排出される二酸化炭素低減が緊急の社会的課題となっている。将来的には自然エネルギーや再生可能エネルギーからの電力供給による電動車の増加が望まれるが、電池の軽量化、蓄電容量の増加、充電インフラ整備、リチウムイオン電池のリサイクル整備などの課題が山積しており、電動車の普及には社会全体の構造改革が必要である。したがって長期的な社会的要請として、自動車用内燃機関にはより一層の熱効率向上を目指した技術開発が求められており、その一つとして燃料を筒内に直接噴射する、いわゆる直噴エンジンが注目されてきた。

本論文は、直噴エンジンに特徴的な混合気形成の自由度を活用することで、熱効率向上に向けた燃焼コンセプトを確立させ、直噴ガソリンエンジンの実用化を目的としたものである。

第1章は緒論で、直噴ガソリンエンジンの熱効率向上の可能性と課題について提起するとともに、本論文で取り上げた成層希薄燃焼エンジン開発、高圧縮比エンジン開発、および多点点火への応用について先行研究との対比により、本研究の位置付けを明確にしている。

第2章では、直噴ガソリンエンジン実用化の基礎的知見を得るため、燃料液滴の蒸発特性と混合気形成の考察を行うとともに、燃料噴霧の可視化手法、フェイズドップラー計測手法による噴霧中の液滴粒径分布計測手法、噴霧シミュレーション手法について詳細な検討を行っている。燃料の蒸発および混合促進のため必要となる筒内流動強化では、吸気バルブ出口の流速分布を測定するためのピトー管計測手法を取り上げており、その手法の有効性を低レイノルズ数 $k-\epsilon$ モデルによる乱流シミュレーション結果と対比させて明らかにしている。

第3章では、直噴ガソリンエンジンの成層希薄燃焼による燃費向上について述べている。特に試作エンジンの性能計測結果に基づくピストンキャビティ形状の選択と、レーザー誘起蛍光法による筒内混合気濃度分布の可視化による混合気形成過程について詳細に論じている。成層希薄燃焼エンジンの燃費向上の寄与について、ポート噴射エンジンとの比較から、低負荷域での燃費向上効果は12%と有効性が認められるものの、負荷が高くなるとそ

の効果は 6.5%程度に留まり、当初の設定目標を達成することが困難であると結論付けている。

第 4 章では、均一混合気直噴エンジンによる高圧縮比化技術と実用化について述べている。噴霧形状の選択と混合気濃度の不均一性が及ぼすノッキングへの影響について、SHELL モデルによるノッキング強度計算と燃焼室全面へのイオンプローブ装着による火炎伝播計測を用いて、詳細な検討を実施している。その結果、安定な火炎伝播の実現とノッキング抑制の観点から、筒内全体としては均一濃度の混合気を形成させながら、エンドガス部には若干燃料過濃な混合気を形成させることが最適であることを示し、その実現手段としてポート噴射と筒内直接噴射を組み合わせた噴射方式を提案している。筒内に直接噴射する噴霧形状の選択では、縦 2 液膜噴霧が燃焼室壁と同心円状の火炎形状を維持しやすいことが示され、この噴霧を用いた筒内直噴とポート噴射を最適に組み合わせることで最大の燃焼効率が実現できることが確認されている。これらの実験結果に基づき、縦 2 液膜噴霧の筒内直接噴射とポート噴射を併用した燃料噴射システムを開発することで、V 型 6 気筒 3.5L エンジンとしては高い圧縮比である 11.8 を持つ直噴エンジンを実用化することに成功している。

第 5 章では、直噴ガソリンエンジンの将来に向けた拡張性について論じている。2 点点火と 2 方向噴霧による成層燃焼の可能性、多点点火による燃焼変動の抑制効果、多点点火と直噴によるノッキング抑制について多様な実験結果を示している。高圧縮比化については、4 点点火と 2 液膜噴霧の噴射方向を吸気弁と排気弁方向にする組み合わせが、急速燃焼実現には有効であることが示された一方、上記の噴射方式では成層希薄燃焼時における燃焼安定性が悪化するという結果となり、成層希薄燃焼と高圧縮比燃焼の両立には課題が残ることを明らかにしている。

第 6 章は結論であり、本論文で得られた知見を要約している。

以上要するに、本論文は自動車の燃費向上を目的として、成層燃焼方式および均一燃焼方式を用いた直噴ガソリンエンジンの基礎的実験を行うとともに、実験結果に基づいた燃焼コンセプト実現のための実用化研究を行い、ポート噴射と筒内直接噴射を組み合わせた燃料噴射方式を適用した高効率直噴ガソリンエンジンの実用化に成功したものであり、内燃機関工学および燃焼工学上貢献するところが大きい。

よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。