

## 論文の内容の要旨

論文題目 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  
氏名 鈴木 裕一

本論文ではガソリン直噴エンジンの熱効率向上を目的とした実用化研究について述べる。その視点は以下の4点である。

- ① 混合気形成の基礎検討 (第2章)
- ② 成層リーン燃焼による熱効率向上 (第3章)
- ③ 混合気濃度とノッキング抑制の関係と吸気ポート噴射と直噴の組み合わせによる圧縮比向上による熱効率向上 (第4章)
- ④ 多点点火と直噴による燃費向上のさらなる可能性検討 (第5章)

第2章では、直噴ガソリンエンジンの実用化の基礎として、ガソリン液滴の筒内蒸発と混合気形成の考察、混合促進上必要となる筒内流動の開発手法、噴霧特性の計測手法としての可視化、PDPA (Phase Doppler Particle Analyzer)、噴霧シミュレーションについて述べる。本論文の実験あるいはシミュレーション計算などの開発手法に対するスタンスは、一貫して現象解明というよりは、エンジンの商品開発ツールとしての利用に主眼を置いている。筒内流動開発では、筒内流動の起因となる吸気バルブ出口の流速分布に着目し、古典的であるがピトー管計測手法の有用性を示す。比較的簡便な手法でありながら、その有効性について論じた論文は見当たらないので、本章では吸気ポートの低レイノルズ数  $k-\epsilon$  モデルによる乱流シミュレーション結果と対比させて論じる。

第3章では、直噴ガソリンエンジン成層リーン燃焼による燃費向上の開発について述べる。圧縮行程後半における短時間での混合気形成と、プラグを高濃度の混合気とする成層状態の実現手法については、図1に示す3つのコンセプトに分類されて論じられることが多い。この中で、実用化されたのは、Wall guideと言われる噴霧をピストン頂面に衝突させて点火プラグに混合気を移送する場合と、燃焼室上部の点火プラグ近傍に高圧の燃料を噴射するピエゾ素子駆動のインジェクタを配置した Spray guideと言われる場合がほとんどである。Air guideはWall guideでも筒内流動を利用する観点から判別は難しいと考えられる。

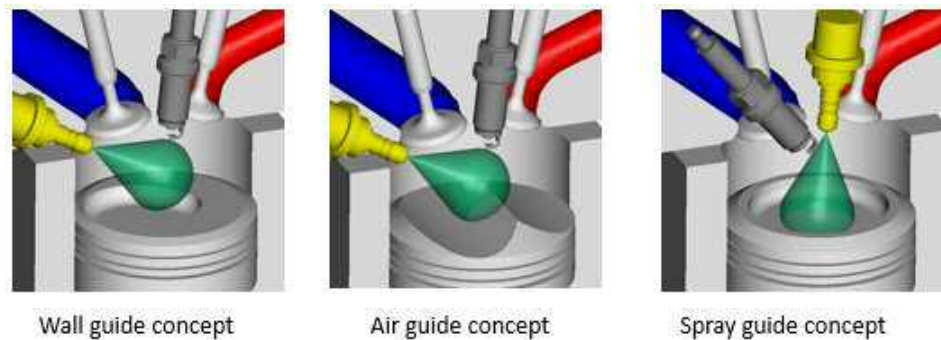


図1 直噴成層燃焼コンセプトの分類

本章では、Wall guide による成層リーン燃焼の開発の取り組みについて述べる。単気筒エンジン実験による成層燃焼コンセプト開発、筒内混合気のレーザー誘起蛍光法 (LIF) による可視化による混合気形成の把握について詳細に論じた後、成層リーンエンジンの燃費向上の寄与について現状を総括する。本論文における LIF 計測は、燃焼室をボトムビューで計測する方法とは異なり、レーザー光を燃焼室の斜め下方向から照射して燃焼室内部の混合気を可視化する手法を採用しており、筒内混合気濃度分布の簡易的定量化手法と合わせて、燃料噴霧の形状、噴射方向と点火プラグ近傍の混合気形成の関連性について論じる。

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る。

高圧縮比化に欠かせないノッキング抑制については数多くの研究があるが、近年では、燃焼室壁面の温度低下によるノック抑制の研究、壁近傍での熱流束を詳細に検討してノックに起因する因子を対象とした研究、冷却水流れに帰着させる研究、直噴3段噴射によりホットスポットを蒸発潜熱で冷却する研究などが報告されている。その中で、混合気分布に着目した研究では、不均一な温度場を前提に、高温度場の混合気を希薄化して部分的に火炎伝播速度を遅くしつつ、燃焼室全体の火炎伝播速度を均一化することに主眼を置いている研究や、均一混合気形成を基礎として、筒内冷却効果による高圧縮比化を目的とする研究があるが、本論は、筒内混合気の局所的な冷却効果に着目して、噴霧特性の変更による筒内混合気の不均一化によるノッキング抑制手法について論じる。

ノッキングの発生は、時間、場所的にランダムな現象であるが、本論では 4valve DOHC エンジンを基本として、燃焼室での吸気、排気バルブの配置から点火プラグが排気よりになることから、吸気側でのエンドガスによる自着火を抑制する観点で検討を試みる。

ノッキング予測については Livengood-Wu 積分と CHEMIKIN II による化学反応論を組み合わせた研究が近年実施され、新たな予測手法が提案されているが、本論文では不均一性の混合気場の効果を SHELL model を用いた燃焼シミュレーションと

単気筒エンジン実験結果を対比して検討する。

実働エンジンでの火炎伝播とノッキング発生については、ファイバー方式、圧力検出法、ガスケット型イオンプローブ法と言った従来の手法が構築されているが、本論では燃焼室全体の、特に点火プラグからバルブ面を通過する火炎伝播を捉える目的で、上下稼動する吸気バルブ、排気バルブの燃焼室面にもイオンプローブを配する（合計 92 点）計測手法を構築し、シリンダ壁に向かう詳細な火炎伝播とノッキングとの関係について論じる。

高圧縮比化に向けて、燃焼変動要因を排除することが肝要であるとの見方から 2 点考察を加える。1 点目はポート噴射エンジンと直噴エンジンの燃焼最大圧力変動の違いによる圧縮比向上への余裕度について論じる。2 点目として、筒内流動に影響する吸気バルブ開閉タイミングの実測から、量産エンジンのばらつきを抑制することによる圧縮比向上への余地について論じる。

最終的には、高圧縮比直噴ガソリンエンジンの実用化として、ポート噴射と直噴の組み合わせについて述べる。この技術は、近年の排ガス規制、冷機始動時のスス、PM 排出低減効果に関する研究が報告されている他、ポート噴射と直噴の組み合わせは日本のみならず欧米でも市販エンジンに採用されており、将来の展開が期待されている。

第 5 章では、将来の熱効率に向けた試みについて論じる。

さらなる高圧縮比化の可能性については、マルチホールインジェクタを用いて混合気の温度場への影響とノックを論じ、点火プラグ数まで言及している山川らの論文、津田らによる 40Mpa の超高压のガソリン噴射による筒内流動と混合気形成を圧縮行程噴射と組み合わせで論じる研究などが報告されている。本章は将来への展望として、直噴エンジンのさらなる改良として、**Top Feed Injection** による 2 点点火成層燃焼と多点点火と直噴の可能性について論じる。

第 6 章では、本論文のまとめとして結論を述べる。