

タカシマ ヨシタネ

氏 名 高島 良胤

学位の種類 博士 (工学)

学位記番号 博第1065号

学位授与の日付 平成29年3月23日

学位授与の条件 学位規則第4条第1項該当 課程博士

学位論文題目 小型天然ガス火花点火機関の高効率化に関する考察
(Study on high efficiency small natural gas spark ignition engine)

論文審査委員 主査 准教授 古谷 正広
教授 田川 正人
教授 石野 洋二郎

論文内容の要旨

環境負荷の低い燃料である天然ガスの利用促進が謳われている一方で、小型ガスエンジンの発電効率は低く普及の妨げになっている。コージェネレーションの付加価値を向上させエネルギーの有効利用を目的とした天然ガスの利用促進のために小型ガスエンジンの効率改善は喫緊の課題である。小型ガスエンジンの主流である火花点火ガスエンジンの熱効率改善およびNO_x排出量低減に比出力の向上が有効な手段の一つである。

本論文では天然ガス火花点火機関を用いて高効率と低エミッションの両立に資する技術についての研究成果をまとめたものであり、以下の各章から構成される。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的について述べた。

第2章では多気筒小型ガスエンジンに過給機を搭載し、出力および熱効率の向上を確認した。過給条件での量論燃焼と希薄燃焼の両燃焼方式で比較し、希薄燃焼は熱効率が高いがNO_x排出量の低減対策が必要であることが分かった。量論燃焼の熱効率改として大量EGRによる低温燃焼を検討し、D-EGRの過濃気筒で水素および一酸化炭素の燃焼促進物質を大量に生成できることが分かり、希積領域での点火・着火改善手段が必要であることが考察された。

第3章では小型ガスエンジンの高出力高効率を図るためには大量EGRを適用した低温燃

焼が有効であり、希薄・希積な混合気の燃焼改善や燃焼不安定性改善を検討した。シリンダライナー周囲に点火栓を配置した多点点火と燃料供給機構の無い副室を備えた点火栓であるプレチャンバ式点火プラグについて検討した。多点点火およびプレチャンバ式点火プラグで希薄限界の拡大を確認した。ストイキ燃焼に EGR を適用した条件でプレチャンバ式点火プラグを用いる方が EGR 限界付近の燃焼変動を抑制できることが考察された。

第 4 章では定容容器を用いて副室から噴出する火炎形態を把握した。副室内の点火位置を連絡口付近にすると火炎伝播燃焼する。副室内の点火位置を奥部にすると副室噴流と主室混合気の乱流混合燃焼する。副室内の点火位置を中央部にすると伝播火炎燃焼と乱流混合燃焼の双方が合わさる。副室内の点火位置を奥部にすることで初期に未燃ガスが噴出し、それに続く高温ガス噴出によって主室が燃焼する。副室の噴口を丸形からスリット形にすることで火炎形態を大きく変えることができる。噴流の貫徹力を弱め主室の燃焼開始を噴口から遠ざけることができる。主室と副室の雰囲気圧力を下げることで主室内の燃焼開始時期が遅くなり、開始位置が主室中央になることが確認できる。主室内で着火遅れを生じながら燃焼に至っており、副室からの噴流の高温のガスが主室の中央付近に滞留し着火に至る条件が成立した後に燃焼が開始したと考察された。

第 5 章では単気筒試験機を用いて、副室内の着火に着目し点火位置・副室材料を評価した。副室内の残留ガスの影響で噴口付近に点火位置を設けることで副室内の失火を抑制する。副室材料を熱伝導率の低い物質に変更することで副室内の温度が上昇し希薄限界が拡大することについて考察された。

第 6 章では副室の各種緒元が燃焼および機関性能に及ぼす影響を評価した。代表的な緒元パラメータである噴口径および噴口数を変更し及ぼす影響を評価した。熱発生履歴の立ちあがりを制御するためには、噴口数を変えるよりも噴口径を変える効果の方が大きい。噴口数の増減による熱発生履歴への影響が小さい。噴口径を変更する際に噴口総面積を合わせて噴口数を変更することで熱発生履歴の変化が小さいことについて考察された。

第 7 章ではプレチャンバ式点火を用いて主室の燃焼改善を目的に筒内流動が燃焼に及ぼす影響ならびに機関性能に及ぼす影響を調べた。スワール比を上げることで熱発生が急峻にできることが分かった。特に燃焼後期の燃焼改善ができることが分かった。スワール比を上げることで燃焼期間が短縮でき、希薄領域での燃焼変動を抑制できるが、図示熱効率の改善につながらなかった。スワールを上げることで冷却損失と未燃が増加し熱効率の改善につながらなかったことが考察された。スキッシュ流を強化することで熱発生が急峻になり希薄領域で燃焼期間が短縮し、図示熱効率が改善した。適度なスキッシュ流に強化することで同等 NO_x 排出量の熱効率改善が可能であり、低 NO_x 高効率の両立が可能であると分かった。

第 8 章では、本研究を総括し、結論および今後の課題を述べる。