HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	気筒内燃料改質プロセスを用いたディーゼル混焼機関に関する研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	朝井, 豪
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第13646号
Issue Date	2019-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/74142
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Go_Asai_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学　位　論　文　内　容　の　要　旨

博士の専攻分野の名称　　博士（工学）　　氏名　朝井 豪

学　位　論　文　題　名

気筒内燃料改質プロセスを用いたディーゼル混焼機関に関する研究
(A study on gas-diesel dual fuel combustion engine with fuel reformation process by piston compression)

熱効率の高いディーゼル機関は, 現在自動車や各種産業用機械の動力源として幅広く用いられているが, 筒内の局所高温域で窒素酸化物 (NOx) が, また, 燃料過濃領域で粒子状物質 (PM) が同時に生成されるためこれらの環境汚染物質の低減が難しく, 排気規制対応技術の確立が喫緊の課題となっている. これまで燃料と空気を予混合化し希薄均質燃焼させることによる低エミッション化の取り組みが数多くなされてきたが, 予混合気の着火制御が難しく幅広い運転条件での実用化には至っていない. 一方, 自着火性の低い天然ガスを予混合吸気し, 微量に筒内に噴射した軽油により着火制御するデュアルフューエル燃焼方式は中大型舶用機関を中心に採用されている. この燃焼方式は広い運転領域で希薄予混合燃焼が実現可能であるが,2 種類の燃料に対応した燃料供給システムが必要であり, 搭載性とコストの両面で課題が残る.

本研究では軽油の過濃混合気を改質気筒のピストン圧縮によって水素, 一酸化炭素, 低級炭化水素などの軽質ガスに改質し, 生成した改質ガスを新気と混合した後に出力気筒に導入し, 微量軽油の筒内噴射により希薄予混合燃焼させることで従来のデュアルフューエル機関と同等の燃焼性能を軽油のみで実現するコンセプトを立案した. 本論文はこの燃焼コンセプトの実用化に向けた基礎技術の構築を目的としている. なお, 本研究では実験結果を化学的に解析し理解することを目的に, 軽油と着火性が同等で反応経路が既知のノルマルヘプタンを用いた化学動力学計算を実施しており, その結果との整合性を図るために実験においてもノルマルヘプタンを燃料に使用した.

本論文は 7 つの章で構成されている.

第 1 章では, これまでの内燃機関研究における排出ガス低減および高効率化への取り組みを振り返り, 低排出ガスと高効率を同時に実現しうる新燃焼コンセプトのあり方を検討した。その上で, 本研究で検討する, 気筒内燃料改質と改質ガスを用いた新しい燃焼コンセプトの概要および研究目的を述べ, 実用化にむけて解明するべき課題を設定した.

第 2 章では, 化学動力学計算ソフト (CHEMKIN Pro) を用い, 改質気筒におけるピストン圧縮による燃料改質プロセスと, 得られた改質ガスを出力気筒で希薄予混合燃焼させるプロセスのコンセプトスタディを実施した. 改質プロセスでは, 当量比や吸気温度といった運転条件を与え, 生成される各改質ガス成分濃度は筒内最高ガス温度で整理できることを示した. また, 出力気筒側では, 代表的な改質ガスである水素, 一酸化炭素, メタン, エチレンの幅広い空燃比における着火性と燃焼速度を演算し, 過早着火を抑制し等容度を最大にする改質ガス組成について詳細に解析した.

第 3 章では改質プロセスに注目し, 前章で得られた改質反応計算結果を単気筒エンジンによる燃料改質実験により検証し, 解析結果と実験結果が定性的に一致することを確認した. また, 改質プロセスを評価する指標として, 炭素バランス率, 発熱量バランス改質効率, ヒートバランスなどを定義し, 各改質気筒運転条件におけるそれらの計算結果から, 発生熱の仕事変換効率や吸熱反応による熱

回収効果, 改質ガス熱量への転換効率などを考察し, 気筒内改質の有効性および実用化に向けた課題をまとめた.

第 4 章では CHEMKIN Pro を用いた化学動力学計算によって, 改質気筒運転条件最適化による各改質ガス生成量の能動的制御の可能性を検討した. 主要改質生成物である水素, 一酸化炭素, 二酸化炭素, 水, メタン, エチレンの生成および消費に関わる素反応機構とその寄与度を詳細に分析し, 改質反応プロセスの反応経路を把握するとともに, 当量比やガス温度が素反応機構に与える影響を明らかにした. 計算の結果, 主要改質ガス成分の生成は改質反応後期における平衡反応が支配的であり, 改質反応場の温度を高めることで当量比が同一でも改質ガス収率の改善が可能であることを示した.

第 5 章では改質ガスを希薄予混合燃焼させる出力気筒に焦点を当て, 高効率と低エミッションを実現するための改質ガス要件を探索した. 代表的改質ガス成分である水素, 一酸化炭素, メタンをボンベよりそれぞれ任意の比率で調整した模擬改質ガスをエンジンに供給し実験をおこなった. はじめにそれぞれ単一ガスで供給した際の運転可能範囲を把握し, 次にガス組成, ガス混焼率, ディーゼル燃料噴射時期, ガス予混合気の空気過剰率, および EGR 率を変化させた際の熱効率や排気特性を調査した. その結果, 改質ガスの希薄予混合燃焼は極端に多くの水素を含む場合を除けば幅広い運転領域で過早着火を起こさずに運転することができ,NOx と Soot はともに大幅に低減できること, また, 負荷の高い条件ではディーゼル燃焼に比べ燃焼期間が短縮し, 熱効率改善も可能であることを示した. さらに, 出力気筒の運転条件 (負荷条件) によって求められるガス組成が異なることを明らかにし, 着火性, 燃焼速度, 燃焼効率の観点から各負荷条件に対する最適改質ガス要件をまとめた.

第 6 章では第 2 章から第 5 章までの研究結果で得られた各知見より改質気筒と出力気筒の最適化を図るためのモデル計算をおこない, エンジンシステムとしての実用性とシステム効率の評価をおこなった. その結果, 極端に負荷率が低い場合を除き幅広い運転条件でマスバランスが成立し, 高いシステム総合効率を維持し出力気筒に最適な改質ガス成分が供給できることを確認した.

第 7 章ではここまで得られた知見を総括した.

本研究を通じて, 今回提案した気筒内燃料改質機構を有する改質ガス, ディーゼル混焼機関は現在の内燃機関が抱える, 高効率と低エミッション化の両立という課題を同時に解決しうる可能性を有していることが明らかとなった.