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_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (工学)　氏名　朝井 豪

審査担当者　主　査　准教授　柴田 元
副　査　教　授　小川 英之
副　査　教　授　藤田 修
副　査　教　授　村井 祐一

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)

ガソリンエンジンやディーゼルエンジンは市販のガソリンや軽油の着火性が変えられないため, エンジンの高熱効率と低排気性能を同時に両立できる制御範囲が狭い. そこで, 燃料を改質して各運転条件に適した着火性を持つ改質ガスを生成させることができれば, 実用運転領域を広げることができる.

本研究では, 高 EGR を想定した燃料過濃混合気を改質気筒のピストン圧縮により水素, 一酸化炭素, 低級炭化水素からなる改質ガスを生成し, これ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単一燃料で実現する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, 実験結果を化学的に解析し理解することを目的に, ディーゼル燃料の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 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, 当量比や吸気温度などの運転条件を与え, 生成される各改質ガス成分の濃度が筒内最高ガス温度で整理できることを示した. また, 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の定性的な一致を確認した. 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, ヒートバランスを定義し, 各改質気筒運転条件における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および改質ガス熱量への転換効率を考察し, 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. 主要改質ガス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調べた. 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. 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) により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を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.

これを要するに著者は, 今回提案した気筒内燃料改質機構を有するディーゼル混焼機関が内燃機関の課題である高効率と低エミッション化を同時に解決しうる可能性を実験と計算の両面から明らかにし, その成果はエンジン工学の発展に大きく寄与するものである. 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.