

様式 I

博士学位論文調査報告書

論文題目

A Study for Improvement of Combustion and Exhaust Emissions
of a Diesel Engine (ディーゼル機関における燃焼および排出ガス改善
に関する研究)

申請者

Jo Hyun

最終学歴

令和 4 年 9 月
京都大学大学院エネルギー科学研究科エネルギー変換科学専攻博士後期課程
(研究指導認定見込)

学識確認

令和 年 月 日 (論文博士のみ)

調査委員
(主査) 京都大学大学院エネルギー科学研究科
教授 川那辺 洋

調査委員 京都大学大学院エネルギー科学研究科
教授 林 潤

調査委員 京都大学大学院エネルギー科学研究科
教授 澄川 貴志

(続紙 1)

京都大学	博士 (エネルギー科学)	氏名	Jo Hyun
論文題目	A Study for Improvement of Combustion and Exhaust Emissions of a Diesel Engine (ディーゼル機関における燃焼および排出ガス改善に関する研究)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文はディーゼル機関の高効率化および排出ガス低減を目指して、燃焼および排気後処理の両面から取り組んだ研究をまとめたものであり、6章からなっている。</p> <p>まず、第1章では現在の地球温暖化への取り組みとして、あらゆる産業において温室効果ガスの排出量を減らすための技術開発が求められており、自動車業界にとっても極めて重要な社会課題になっていることを示している。とくに、大型の自動車等において主力な動力源となっているディーゼル機関では、すぐに電動化パワートレイン等への置き換えが困難であることから、低エミッションを保ちつつ効率を大幅に向上することは喫緊の課題である。これに対して本研究課題では高効率化をめざして、活発な流動を活用したときのディーゼル噴霧燃焼における流動や熱移動に関する定量的な計測結果に基づき、それらのメカニズムを明らかにすることを目的とするとともに、排出される窒素酸化物を低減する選択還元触媒における最適化手法について検討する必要があることを示している。</p> <p>第2章では、高速燃焼実現に向けて、独自に設計・開発した急速圧縮膨張装置(RCEM)を用いて高温・高圧雰囲気中に形成される噴霧火炎内部の流速分布を粒子画像流束測定法により時系列で取得するとともに、OH*の分布に基づく高温領域を可視化することによって、熱発生過程に及ぼす流動の作用を検討した。とくに流速分布より得られる局所速度変動強度に基づき乱流混合が活発な領域を明らかにするとともに、高温領域の分布との比較を行うことによって、噴霧火炎の熱発生領域のやや噴霧中心側に混合領域が存在することや、このような位置関係については噴射条件を変化させてもほとんど変化しないことなどを明らかにした。</p> <p>第3章では、ディーゼル噴霧火炎において、すす発生に大きく作用する火炎基部構造に及ぼす近接噴霧火炎の影響について RCEM を用いて実験的に検討した。その結果、隣接角度が小さい場合、いわゆる「リフトオフ長」が短くなるが、液相長についてはあまり変化せず、これがすす生成量増加の要因である可能性を示した。また、雰囲気酸素濃度を低下させると液相長は変化せず「リフトオフ長」が長くなることなどを明らかにした。さらに、画像流束測定法を用いて噴霧火炎周辺の流れ速度分布を計測し、噴霧下流において生じた高温ガスが逆流して噴霧基部からエンタレインされる過程が重要であることを示した。</p> <p>第4章では、ディーゼル機関の熱効率向上を阻害している壁面への熱移動現象を明らかにするために、壁面近傍の流動と壁における熱流束を同時に計測することを試みた。ここ</p>			

では本研究用に新たに開発した多点型熱流束センサーを用いて壁面表面温度および熱流束を計測するとともに、壁面近傍に形成される流動を画像流束測定法により求めた。その結果、強い曲がり流れが生じる位置において局所的に熱流束が上昇することや、熱流束は壁面近傍に形成された流動の速度勾配テンソルの大きさに大きく影響を受けることなどを明らかにした。

第5章では、ディーゼル機関の燃焼過程により生成・排出される窒素酸化物を分解するための選択還元触媒システムを対象として、触媒において反応せずに排出されるアンモニアを低減するための尿素水噴射条件を実験的に明らかにすることを目的としている。ここでは実際のエンジンおよび排気後処理システムを用いて、システムの各段におけるアンモニア、一酸化窒素および二酸化窒素の濃度を計測することによってエンジン運転条件および排気温度による触媒動作およびアンモニアの触媒内における吸着・脱離過程の変化を明らかにした。これらの結果に基づきエンジン運転条件に対する尿素噴射に関する最適化手法の指針を示した。

最後に、第6章では、本研究の結果をまとめるとともに、今後のディーゼル機関における高効率燃焼法の可能性を示すとともに、さらに詳細に検討すべき項目を明らかにしている。

以上、本研究では、ディーゼル機関における熱効率を向上させる燃焼法の検討と同時に、壁面への熱移動を低減させる手法の指針を明らかにした。さらに、選択還元触媒による排気後処理システムにより窒素酸化物を低減する際に、未反応アンモニアの排出を低減するための尿素噴射手法の指針を明らかにしており、ディーゼル機関における高効率・低エミッション実現の重要な知見が得られた。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文はディーゼル機関の高効率化および排出ガス低減を目指して、燃焼および排気後処理の両面から取り組んだ研究をまとめたものであり、6章からなっている。

まず、ディーゼル機関の高効率化で重要となる高速燃焼の実現に向けて、噴霧火炎内部の流速分布を時系列で取得するとともに、高温領域を可視化することによって、熱発生過程に及ぼす流動の作用を検討した。その結果、噴霧火炎の熱発生領域のやや噴霧中心側に混合領域が存在することなどが明らかになった。さらに、すす生成過程に大きく影響を与える火炎基部構造に及ぼす近接噴霧火炎の影響について実験的に検討した。その結果、隣接角度が小さい場合にリフトオフ長が短くなるが、液相長についてはあまり変化しないことなどすす生成要因となる現象を明らかにした。また、燃焼により発生した熱の壁面への移動現象を明らかにするために、壁面近傍の流動と壁における熱流束を同時に計測した結果、強い曲がり流れが生じる位置において局所的に熱流束が上昇することなどが明らかになった。最後にディーゼル機関の燃焼過程により生成・排出される窒素酸化物を分解するための選択還元触媒システムを対象として、触媒において反応せずに排出されるアンモニアを低減するための尿素水噴射条件を実験的に明らかにした。この結果に基づきエンジン運転条件に対する尿素噴射に関する最適化手法の指針を示した。

以上、本研究では、ディーゼル機関における熱効率の向上に重要な、高速燃焼の実現および壁面への熱移動を低減させる手法を明らかにした。さらに、排気後処理システムにより窒素酸化物を低減する際の尿素噴射手法の最適化指針を明らかにしており、ディーゼル機関における高効率・低エミッションの実現に際して重要な知見が得られている。これら得られた結果は、今後カーボンニュートラル燃料等の様々な特性の燃料が導入されても適用可能な一般性の高い知見を含んでおり、博士(エネルギー科学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和4年8月22日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。

論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文の全文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降