HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	部分予混合化ディーゼル燃焼の特性改善に関する研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	稲葉, 一輝
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第13789号
Issue Date	2019-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/75910
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Kazuki_Inaba_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　稲葉　一輝

学　位　論　文　題　名

部分予混合化ディーゼル燃焼の特性改善に関する研究
(A Study on Improvements of Characteristics in Partially Premixed Diesel Combustion)

二酸化炭素を含む温室効果ガスの抜本的かつ持続的な削減対策の確立が急務であり, 我が国では 2030 年度に運輸部門における二酸化炭素を 27.5% 削減する目標を定めている. それに対し, ディーゼルエンジンのさらなる高熱効率・低エミッション化と普及拡大を図ることは, 二酸化炭素削減に資するものと考えられる. このような背景のもと, 予混合化ディーゼル燃焼の後にディーゼル噴霧燃焼を行う部分予混合化ディーゼル燃焼は, 高熱効率・低排出ガスを実現する燃焼コンセプトとなり得ることが示されているが, 広範な運転負荷範囲においてその燃焼特性を検討した例は少なく, 高熱効率・低エミッション・低騒音運転の実現要件を明確化することが求められている. そこで本研究では, 部分予混合化ディーゼル燃焼の熱効率向上および排出ガス低減技術の構築を最終目的として, 広範な運転負荷範囲において吸気および燃料噴射の各条件などの制御因子が燃焼特性に与える影響を実機試験および CFD 解析により詳細に検討するとともに, 混合気の空間的な制御により燃焼改善を試みる新燃焼室を考案して実証試験を行った. 本論文は 7 章から構成されており, その概要は以下のとおりである.

第 1 章は序論であり, 本研究で対象とする多段部分予混合化ディーゼル燃焼の背景および関連する研究動向, 本研究の目的, および本論文の構成を記している.

第 2 章では, 本研究に用いた実験装置および機関特性の測定・解析手法,CFD 解析方法について説明している.

第 3 章では, 吸気圧力, 吸気酸素濃度, および吸気温度といった吸気条件と燃焼室形状に由来する筒内ガス流動が部分予混合化ディーゼル燃焼の燃焼特性に与える影響を実機試験により検討した結果について述べている. 実験の結果, 低・中負荷条件において燃焼効率が悪化しない範囲で吸気酸素濃度を減少させると, 冷却損失が低減して図示熱効率が向上することが示され, 低負荷条件では吸気酸素濃度によらず NOx および黒煙は非常に低レベルに保たれることが明らかとなった. 一方, 中・高負荷条件では吸気酸素濃度の低下にともなって NOx が低減し黒煙が増加する典型的なトレードオフを呈したが, いずれの負荷条件でも吸気圧力の増加にともなって冷却損失が減少するとともに図示熱効率が直線的に向上し, 中負荷条件では吸気圧力の増加によって NOx を悪化させることなく黒煙の大幅な低減が可能であった. 吸気温度の影響を検討した結果, 低負荷条件では吸気温度を上昇させることで CO および THC の排出が抑制され, 燃焼効率の改善による図示熱効率の向上が可能である一方, 中負荷以上では低吸気温度でも燃焼効率が十分高くなるため, 冷却損失が少ない低吸気温度の方が高い図示熱効率が得られることが明らかとなった. さらに, 燃焼室形状の変更により筒内ガス流動が図示熱効率に与える影響を検討した結果, 低負荷条件では筒内ガス流動の弱い Toroidal 型燃焼室の方がガス流動の強い Re-entrant 型燃焼室よりも図示熱効率は高く, 中負荷条件では同等で, 高負荷条件では Re-entrant 型の方が高くなった. 本章で得られた実験結果を総括したところ, 広範な吸気酸素濃度および吸気圧力, 燃焼室形状において空気過剰率と黒煙の排出量の間には強い相関があり, 吸気酸素濃度を低下させた場合でも過給によって空気過剰率が 1.5 を下回らないようにすることで黒煙の排出を抑制できることが示された.

第 4 章では, 燃料噴射条件が部分予混合化ディーゼル燃焼の燃焼特性に与える影響を実機試験により調査した結果について記述し, 熱効率向上を可能とする燃料噴射条件を明確化するとともに,CFD 解析を用いてその熱効率向上メカニズムの解明を試みている. 実験の結果, 部分予混合化

ディーゼル燃焼において, 前期燃焼の燃料噴射を二段階に分割した三段噴射燃焼とすることで, 前期・後期噴射のみの場合と比較して主に冷却損失の低減によって図示熱効率の向上が可能であることが明らかとなった. この冷却損失の低減は, 三段噴射を行うことで, 前期燃焼の緩和効果に加えて燃焼室壁面近傍での燃焼量および噴霧によって励起されるガス流動が低減するためであることがCFD 解析により示された. 一方, 三段階以上の燃料噴射では噴霧同士の燃焼領域の干渉が顕著になり, 後期燃焼が緩慢化するとともに中負荷条件では黒煙の排出量が増加する結果となった.

第 5 章では, 部分予混合化ディーゼル燃焼と他の燃焼方式を実機試験と CFD 解析により比較検討し, 部分予混合化ディーゼル燃焼の優位性を明らかにしている. 同一負荷条件においては, 部分予混合化ディーゼル燃焼は予混合化ディーゼル燃焼と比較して, 燃料噴射の分割により燃焼室壁面近傍での燃焼量が低減するため, 冷却損失が低減して図示熱効率が高くなった. 低・中負荷条件において従来ディーゼル噴霧燃焼を比較すると, 部分予混合化燃焼は排気エミッションを悪化させることなく大幅な図示熱効率の向上が得られるが, 高負荷条件では従来燃焼と同等の機関特性となった.

第 6 章では, 部分予混合化ディーゼル燃焼で課題となる後続燃料噴霧の空気利用率低下による黒煙排出量の増加に対し, 燃焼領域の空間的な分割制御を可能とする新燃焼室である噴霧分配型燃焼室を考案し, その空気利用率向上効果による黒煙低減を試みた結果について述べている.CFD 解析から, 噴霧分配型燃焼室では前期燃料噴射時期を燃料噴霧が上段燃焼室に進入しつつスキッシュエリアへの飛散が少なくなるよう設定することで噴霧の適正な空間的分配が可能となり, 前期燃焼により形成された高温・低酸素雰囲気中への後期燃料噴霧の進入を抑制できることが示された. 一方, リエントラント型燃焼室では高温・低酸素雰囲気中への後期燃料噴霧の進入が避けられず, それが黒煙生成の要因になっていることが示唆された. 実機試験を行ったところ, 噴霧分配型燃焼室において前期燃料噴射時期を燃料噴霧が上段燃焼室内に進入するように設定することにより, 噴霧の空間的分配が可能となって黒煙を大幅に低減できた. さらに, 前期燃焼が上段燃焼室内で生じることにより CO および THC の排出が抑制されて高い燃焼効率を維持できた. 一方, リエントラント型燃焼室では前期燃料噴射を早期に行うことで黒煙は低減するが, 燃焼効率の悪化により図示熱効率が低下する結果となった. 噴霧分配型燃焼室ではリエントラント型燃焼室に比べて, 既燃焼領域と後期燃料噴霧の干渉を抑制できるため, より高い負荷領域においても低黒煙燃焼が可能であった. しかし, 本実験にいて噴霧分配型燃焼室を用いた際の図示熱効率は, 前章までの最適化した結果には及ばなかった. これは, 燃料噴霧の分配が成立する前期燃料噴射時期では, 燃焼が上死点前に生じるために冷却損失および排気損失が大きいことと, 着火遅れを確保するために圧縮比を低下させたことに起因すると考えられ, 熱効率の改善には燃焼位相の適正化が必要であることが示された.

第 7 章は結論であり, 本研究で得られた成果を総括している.

以上要するに, 本研究において部分予混合化ディーゼル燃焼は高熱効率・低エミッション化に対して高いポテンシャルを有することが示され, ディーゼルエンジンの普及拡大と二酸化炭素削減に資する成果が得られた.