



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	高含酸素燃料のディーゼル燃焼特性に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	河辺, 隆夫
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第15677号
Issue Date	2023-12-25
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/91175">https://hdl.handle.net/2115/91175</a>
Rights(URL)	<a href="https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</a>
Type	doctoral thesis
File Information	Takao_Kawabe_review.pdf, 審査の要旨



## 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 河辺 隆夫

審査担当者 主査 准教授 柴田 元  
副査 教授 藤田 修  
副査 教授 田部 豊  
副査 特任教授 小川 英之

### 学位論文題名

高含酸素燃料のディーゼル燃焼特性に関する研究  
(Study on diesel combustion characteristics of highly oxygenated fuels)

含酸素燃料はディーゼルエンジンの超低エミッション・高効率化に対する高いポテンシャルを有しており、最近では e-fuel としてカーボンニュートラルの観点からも有望視されている。これまで、含酸素燃料はスートの排出を低減できるが、その一因として理論空燃比の減少に伴う噴霧内当量比の低下が考えられること、燃焼期間短縮が熱効率改善をもたらすことなどの研究報告はあるが、これらを燃料の酸素含有率に着目して火炎噴霧構造面から体系的に示した事例はなかった。それに対し本研究では、燃料の酸素含有率がディーゼル噴霧火炎構造に与える影響を解析し、ディーゼルエンジンにおける燃焼特性に与える影響を体系的に示すことを目的としている。

まず、著者は軽油より着火性が高いジグライムと軽油より着火性が低いジメチルカーボネートを混合して軽油と同等の着火性を有するベース含酸素燃料を調合し、さらにそのベース含酸素燃料と軽油を混合することで、軽油と同等の着火性を維持したまま酸素含有率を 0 から 43 mass% の範囲で変更した燃料を用いて、燃焼特性を左右する燃料の着火性の影響を排除して酸素含有率の影響を調査している。

はじめに、定容燃焼容器を用いて燃料の酸素含有率を変更した際のディーゼル噴霧燃焼の熱発生特性および噴霧火炎構造に与える影響について検討を行っている。燃料の酸素含有率が増加しても、OH ラジカルの紫外光画像から求められるセットオフ長と火炎到達距離、およびシャドウグラフで観察される混合気噴霧と噴霧火炎の拡がりに大きな差異はないのに対し、酸素含有率の増加に伴って噴霧中心軸付近の燃焼が活発化することを明らかにしている。これは、酸素含有率の増加に伴う理論空燃比の減少に起因して噴霧中心軸付近の過濃混合気の当量比が低下して燃焼が活発となる量論比近傍になったためであり、これらの特性は三次元 CFD 解析の結果と一致する。さらに、量論比近傍の燃焼が活発な領域が噴霧中心軸方向へ移動することにより、噴霧の乱流運動エネルギーが最も強くなる領域と主要燃焼領域が接近して燃焼をさらに促進していることを述べている。以上の結果から、燃料の酸素含有率が高いほど燃料噴射中の噴霧中心軸付近の燃焼が活発になり定容燃焼容器壁面に到達する未燃燃料が減少することから、噴射終了後に燃焼する容器壁面近傍の緩慢な燃焼を主体とする後燃えが大幅に低減することを明らかにしている。

次に、ディーゼルエンジン実機を用いて燃料の酸素含有率を変更した際の熱発生特性、熱効率、および排気性能に与える影響について述べている。エンジン実験においても定容燃焼容器と同様の特性を示し、燃料の酸素含有率が高いほど低位発熱量の低下に伴う噴射期間の増大により拡散噴霧燃

焼期間が長期化するものの後燃えが大幅に低減するために燃焼期間は短縮し、その結果、発熱の等容度が向上することを示している。一方、図示平均有効圧力が 1070 kPa の高負荷では、燃料の酸素含有率が 36 mass% で発熱の等容度がピークを示し、それ以上では減少に転ずる結果を得ている。これは後燃えによる発熱の等容度の向上効果を噴射期間長期化に伴う拡散噴霧燃焼期間の増加による影響が上回ったことによるが、ノズルの噴孔径を拡大することによって発熱の等容度を改善できることを示している。

熱効率は、燃料の酸素含有率を増加させると、発熱の等容度の向上に伴って向上する傾向を示すが、酸素含有率が 27 mass% 付近でピークを呈し、それ以上では減少に転じている。これは冷却損失が増大して発熱の等容度向上による熱効率向上の効果を上回った結果であり、三次元 CFD の解析結果から、高含酸素燃料では軽油に比較して量論比近傍の火炎噴霧領域が拡大したことにより高温の火炎噴霧が広範囲に拡がり、長期間にわたって燃焼室壁面に衝突し熱流束が増大した結果であることを示唆している。噴孔径の拡大は冷却損失の増大を招き熱効率の改善には至らなかったが、噴孔数増加など他の手段による熱効率改善を提案している。さらに、高含酸素燃料ほど高 EGR 下においても無煙運転が可能であり、本研究の条件では酸素含有率が 27 mass% 以上で超低 NO<sub>x</sub>・無煙運転が可能であることを示している。

これを要するに、本研究においてディーゼル噴霧火炎構造に与える燃料の酸素含有率による影響が解明されるとともに、実際のエンジンにおける後燃え低減のメカニズムおよびエンジンの燃焼特性に与える影響要因が体系的に示されており、ディーゼルエンジンのさらなる高効率・低エミッション化、ひいてはエンジンシステム工学の発展とカーボンニュートラル社会の実現に貢献するところ大なるものがある。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。