

学位論文題名

A STUDY ON DIESEL COMBUSTION  
AND EXHAUST GAS EMISSIONS  
WITH OXYGENATED FUELS

(含酸素燃料におけるディーゼル燃焼と排気エミッションに関する研究)

学位論文内容の要旨

ディーゼル機関はその優れた動力特性のため、動力源として広く利用されているが、大気汚染等の環境問題に対する社会的関心が高まる中で、特にその排気エミッションおよび熱効率の改善が強く求められて来た。

それに対して、主に燃焼系を軸にした機関本体、燃料、排気の後処理、そして機関のシステム化等の点から多様な対応がなされているが、まだ十分とは言えず、中でも燃料サイドからの対応については、単に現状の石油系燃料における性状モデフィケーションにとどまらず、将来燃料を見据えた展望が求められている。

本研究では、ディーゼル機関において自着火が可能で、かつ常温常圧で液体の含酸素物質に注目し、その燃焼および排気エミッションの特性解明を行うと同時に、その特性を積極的に利用することによって、排気エミッションおよび熱効率を大幅に改善するための手法を提示することを目的とした。

本論文は、全8章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究の目的および得られた結果の概要について述べると共に、ディーゼル機関の燃焼ならびに燃料に関する研究動向について記述した。

第2章では、本研究における供試機関、実験装置および実験方法について述べると同時に、熱発生率ならびに火炎温度等を算出するためのデータ処理法について記述した。

第3章では、各種含酸素燃料の燃焼に関連する基本的な特性値ならびにそれらをエンジンで利用する際の熱効率等について系統的な検討を行った。その結果、含酸素燃料の酸素含有割合と大部分の特性値との間には、燃料の種類に関係することなくほぼ一義的な関係が存在すること、エンジンにおける含酸素燃料での熱効率は、燃料の酸素含有割合が 30 wt-%以下では殆ど変化しないが、30 wt-%以上において徐々に低下し、その低下は、主に比熱の増加によるガス温度の低下に起因すること等を明らかにした。

第4章では、ディーゼル機関における含酸素燃料の最も現実的な利用形態として、軽油に対する含酸素物質の低濃度混合を念頭に置き、各種の含酸素物質を軽油に低濃度で混合した場合におけるディーゼル機関の出力性能、燃焼ならびに排気特

性について系統的な解明を行なった。軽油への含酸素物質混合による排気エミッションの低減効果は、吐煙とTPMにおいて著しく、THC、COでは比較的小さいが、各種の含酸素化燃料における吐煙とTPMは、含酸素物質の種類に関係することなく、燃料中の酸素含有割合の増加に伴い直線的に減少することが分かった。また、燃料消費率は含酸素物質混合によって若干悪化の傾向を示すが、これは主として混合燃料の発熱量低下に起因するものであり、熱効率の低下を意味しないことを明らかにした。

第5章においては、単体での圧縮着火が可能な4種類の含酸素物質に着目し、それらを軽油に高濃度で混合あるいは単体で利用した場合におけるディーゼル燃焼および排気の実態について解明した。軽油に対して含酸素物質を高濃度混合することによって、黒煙の大幅な低減に加えて、THC、COおよびNO<sub>x</sub>の各エミッションと熱消費率が著しく改善されることを明らかにした。この熱消費率の改善は、燃焼の等容度の向上と、特に高負荷での燃焼効率の改善とに起因することを見出した。また高濃度含酸素燃料では、燃料噴射時期の遅延あるいはEGRを行った場合であっても、黒煙排出が回避し易いため、顕著なNO<sub>x</sub>抑制が可能であることも明らかにした。

第6章では、量論比において完全無煙のディーゼル燃焼を行うための燃料中の酸素含有割合を明らかにすると同時に、その条件下でディーゼル機関に対して三元触媒とEGRを適用することにより、超低エミッション・高性能ディーゼル燃焼を実現し得ることを実証した。吐煙については、燃料の酸素含有割合の増加にとともに直線的に減少し、量論比の条件下においても、酸素含有割合38wt-%以上で完全無煙になる。酸素含有割合が38 wt-%以上の燃料を用いることによって、三元触媒でのNO<sub>x</sub>浄化が困難な部分負荷域では高EGRを行ない、またそれより高負荷域ではEGR率の制御による量論比の維持と三元触媒を利用することにより、負荷全域で超低エミッションかつ高性能なディーゼル燃焼を確保し得ることを明らかにした。その際、吐煙限界の制約を受けないことから、軽油による通常のディーゼル燃焼に比べて最大平均有効圧が大幅に改善された。また、高含酸素燃料での部分負荷高EGR・高負含量論燃焼では、高EGR率でかつ量論比となる負荷帯域を除く大半の負荷域において、熱消費率を通常のディーゼル燃焼に比較して改善することができた。

第7章においては、含酸素物質混合軽油の液滴における高温雰囲気での蒸発自着火および燃焼の挙動について記述した。すなわち、特に低沸点含酸素物質混合の軽油液滴では、基本的には粒径Dの2乗法則に基づいた粒径減少により蒸発・燃焼が進行するが、燃焼途中での急激な粒径減少を伴うmicro-explosionと思われる火炎の乱れ、更には燃焼期間の短縮等が得られること等を明らかにした。

第8章は、本論文の結果であって、本研究で得られた結果を総括した。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 宮 本 登  
副 査 教 授 菱 沼 孝 夫  
副 査 教 授 伊 藤 獻 一  
副 査 助 教 授 小 川 英 之

学 位 論 文 題 名

## A STUDY ON DIESEL COMBUSTION AND EXHAUST GAS EMISSIONS WITH OXYGENATED FUELS

(含酸素燃料におけるディーゼル燃焼と排気エミッションに関する研究)

ディーゼル機関はその優れた動力特性のため、動力源として広く利用されているが、大気汚染等の環境問題に対する社会的関心が高まる中で、特にその排気エミッションおよび熱効率の改善が強く求められている。

それに対して多様な対応がなされてきたが、まだ十分とは言えず、中でも燃料サイドからの対応については、単に現状の石油系燃料における性状モデフィケーションにとどまらず、将来燃料を見据えた展望が求められている。

本研究では、ディーゼル機関において自着火が可能で、かつ常温常圧で液体の含酸素物質に注目し、その燃焼および排気エミッションの特性解明を行うと同時に、その特性を積極的に利用することによって、排気エミッションおよび熱効率を大幅に改善するための手法を提示している。

第1章は序論であり、本研究の目的およびディーゼル機関の燃焼ならびに燃料に関する研究動向について記述している。

第2章では、本研究における実験装置、実験方法およびデータ処理法について述べている。

第3章では、各種含酸素燃料の燃焼に関連する基本的な特性値ならびにそれらをエンジンで利用する際の熱効率等について系統的な検討を行っており、含酸素燃料の酸素含有割合と大部分の燃焼特性値との間には、燃料の種類に関係することなくほぼ一義的な関係が存在すること、含酸素燃料におけるエンジンの熱効率は、燃料の酸素含有割合が30 wt-%以上に増加すると徐々に低下し、それは主に比熱の増加によるガス温度の低下に起因すること等を明らかにしている。

第4章では、各種の含酸素物質を軽油に低濃度で混合した場合におけるディーゼル機関の出力性能、燃焼ならびに排気特性について系統的な解明を行なっている。すなわち、軽油への含酸素物質混合による排気エミッションの低減効果は、吐煙

とTPMにおいて著しく、THC、COでは比較的小さいこと、吐煙とTPMは、含酸素物質の種類に関係することなく、燃料中の酸素含有割合の増加に伴い直線的に減少すること、また含酸素物質混合による燃料消費率の若干の悪化は主として混合燃料の発熱量低下に起因するものであり、熱効率の低下を意味しないこと等を明らかにしている。

第5章においては、含酸素物質を軽油に高濃度で混合あるいは単体で利用した場合におけるディーゼル燃焼および排気の特性を解明している。軽油に含酸素物質を高濃度混合することによって、黒煙の大幅な低減に加えて、THC、COおよびNO<sub>x</sub>の各エミッションと熱消費率が著しく改善され、その場合の熱消費率改善は燃焼の等容度と燃焼効率の向上に起因することを見出している。また高濃度含酸素燃料では、燃料噴射時期の遅延あるいはEGRを行った場合であっても黒煙排出が回避し易いことも併せて明らかにしている。

第6章では、量論比において完全無煙のディーゼル燃焼を行うための燃料中の酸素含有割合を明らかにし、その種の燃料と三元触媒・高EGRとを併用することにより、超低エミッション・高性能ディーゼル燃焼を実現し得ることを実証している。吐煙については、量論比であっても酸素含有割合が38wt-%以上であれば完全無煙になることを見出し、その種の燃料を用いて、三元触媒でのNO<sub>x</sub>浄化が困難な部分負荷域では高EGRを、またそれより高負荷域ではEGR率制御による量論比の維持と三元触媒をそれぞれ利用することにより、負荷全域で超低エミッションかつ高性能なディーゼル燃焼を確保し得ることを明らかにしている。その際、吐煙限界の制約を受けないことから、軽油による通常のディーゼル燃焼に比べて最大平均有効圧が大幅に改善されることも実証している。

第7章においては、含酸素物質混合軽油の液滴における高温雰囲気での蒸発自着火および燃焼の挙動を解明しており、特に低沸点含酸素物質混合の軽油液滴では、基本的には粒径Dの2乗法則に基づいた粒径減少により蒸発・燃焼が進行するが、燃焼途中での急激な粒径減少を伴うmicro-explosionと思われる火炎の乱れ、燃焼期間の短縮および黒煙生成の減少等が得られることを明らかにしている。

第8章は、本論文の結果であって、得られた結果を総括している。

これを要するに、著者は含酸素燃料の燃焼、特にディーゼル燃焼に関する新知見を得ており、内燃機関工学、燃焼工学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。