HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	カーボンニュートラル液体合成燃料のディーゼル機関性能に関する研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	袁, 昊昱
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第16119号
Issue Date	2024-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/93607
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	YUAN_Haoyu_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　袁　昊昱

学　位　論　文　題　名

カーボンニュートラル液体合成燃料のディーゼル機関性能に関する研究
(Study on Diesel Engine Performance of Carbon-neutral Synthetic Fuels)

近年, 地球温暖化現象が深刻な問題となり, 温室効果ガスの削減と地球温暖化対策が急務とされている. この対策の一つとして, 大気中から回収した二酸化炭素と再生可能エネルギー由来のグリーン水素から合成される合成燃料 (e-fuels) の利用が内燃機関における脱炭素化として期待されており, ディーゼルエンジン用燃料としてフィッシャートロプッシュ (FT: Fischer-Tropsh) 合成法により製造された FT 合成軽油およびグリーンメタノールを原料として製造されたオキシメチレンジメチルエーテル (OME: Oxymethylene dimethyl ethers) が注目されている. しかし, これらの液体合成燃料の導入に際しては, 燃料噴霧、燃焼、排出ガスに与える影響について把握し, 次世代エンジン開発とセットで高効率化を図る必要がある.

本研究では,FT 合成法で製造された GTL (GTL: Gas-to-liquids) および含酸素燃料の OME を含む液体合成燃料がエンジン性能に与える影響を調べ, 開発した可視化急速圧縮膨張装置を用いて燃焼面から解析を行い, 高効率かつ低エミッションを実現する燃焼方法を提案することを目的とする.

本論文は全 6 章から構成されており, その概要は以下の通りである.

第 1 章は序論であり,2050 年のカーボンニュートラルに向けた社会的背景を述べた上で, 軽油と似た燃料特性を持つ FT 合成軽油および含酸素燃料の OME に関する研究動向について詳述し, 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,3 章から 5 章における液体合成燃料の評価に用いたエンジン実験および急速圧縮膨張装置実験で用いた実験装置, またその実験手法について詳述している.

エンジン実験では, 排気再循環 (EGR: Exhaust gas recirculation) 条件下における液体合成燃料がディーゼルエンジンの熱効率およびエミッション特性に与える影響を解明するため, クールド EGR システムを備える単気筒ディーゼルエンジンを用いて吸気酸素濃度と機関負荷を変更した実験を実施した.

さらに, シリンダ内での噴霧燃焼過程を評価するために可視化急速圧縮膨張装置を設計・作成し, 紫外発光撮影を用いた OH ラジカルの生成と画像二色法を用いたすすの生成と酸化を調べるために画像解析を実施した.

第 3 章では,GTL と軽油のエンジン実験および急速圧縮膨張装置による画像解析を実施した.
エンジン実験結果より, 軽油よりセタン価が高い GTL は拡散燃焼が主体の燃焼形態となるため冷却損失が減じ, 通常の軽油と比較して図示熱効率が向上することがわかった.GTL の排出ガス特性は THC, CO, NOx に関しては軽油と同等であるが,Smoke に関しては軽油の方が排出量が多く, 燃料中の芳香族成分の有無が Smoke 排出に影響を与えている.

急速圧縮膨張装置での画像解析により, 炭化水素系燃料では燃料噴射時の噴霧が燃焼室壁面への衝突や噴霧間干渉により燃焼室壁近傍に燃料過濃領域が形成され, その後に燃焼室中央部付近の酸素が残存する領域で再酸化される現象が, 熱発生率で計測される「後燃え」であることを明らかに

した. 後燃えは等容度を低下させるため, 後燃え期間を短縮できればディーゼルエンジンの熱効率向上が期待できる.

第 4 章では,OME による Smoke 低減効果と後燃え期間の短縮効果について調べた.GTL をベース燃料とし, 結合状態の異なる複数の OME の混合物である OMEmix を GTL 中に混合した燃料を用いてディーゼルエンジン実験および急速圧縮膨張装置実験を実施し,OMEmix の特徴を活かしたディーゼルエンジンの性能改善方法を検討した.

エンジン実験では, OMEmix の混合により排出ガス中の CO および THC の未燃成分の排出が低減し, OMEmix の混合割合に応じて Smoke の排出も減少した. また,OMEmix 混合燃料は低酸素状態でも高い燃焼効率を維持し, 高 EGR 条件でも高熱効率、低 NOx かつ低 Smoke 燃焼が可能であることがわかった.

急速圧縮膨張装置の画像解析より,OMEmix を混合すると燃焼室壁近傍の高当量比領域 (噴霧干渉領域) での噴霧燃焼が促進されてすすの生成が抑制され, 後燃え期間の短縮に寄与することが明らかとなった. OMEmix は軽油よりも発熱量が低いため同じ発熱量を与えようとすると噴射期間が伸びてしまうが, 噴射ノズルを OMEmix 混合燃料に最適化すれば, 等容度の高い燃焼による高効率化と低エミッションが期待できる.

第 5 章では, FT 合成燃料の沸点領域を軽質から重質までの 4 つの蒸留温度帯に分留し, それぞれの沸点留分の燃料でエンジンおよび急速圧縮膨張装置で実験を行った.
エンジン実験結果では, 重質 GTL では NOx の排出が高まり, 冷却損失が増加するため図示熱効率が低下した. その原因に対して急速圧縮膨張装置で解析した結果, 重質 GTL を用いると火炎の平均温度は軽質 GTL とほぼ同じだが局所的な高温領域の滞留時間が伸張し, 壁面熱伝導による冷却損失が増加するためであると考えられる.

第 6 章では 3 章から 5 章までの内容を要約し今後の研究の展望について述べた.GTL は軽油とほぼ同様な燃焼性能を持ち, 芳香族の含有量が少ないため Smoke 排出を低減する効果があり, 化石燃料である軽油の代替として用いることが可能であり, さら燃費向上と低排出エミッションが見込める.GTL に OMEmix を混合した燃料には Smoke 排出低減および後燃えの短縮効果があり, その要因は噴霧干渉領域における燃焼の促進である.OMEmix を多量に添加すると等容度の低下により熱効率が低下するが, 高圧噴射や噴射ノズルの多噴孔化, 噴孔径拡大により, 等容度の高い燃焼をさせることができれば熱効率の向上が期待できる. 重質 GTL 留分はディーゼルエンジンの熱効率悪化および NOx の排出増加に繋がるため, 製造時に GTL の高沸点留分を除去した方が良い. また, 液体合成燃料は概して軽油よりもセタン価が高いため今後これらの成果を踏まえた上で低圧縮・高膨張の高効率ミラーサイクルディーゼルエンジンへの適用が期待できる.

以上を要するに, 本研究においてエンジン実験および急速圧縮膨張装置を用いてカーボンニュートラル液体合成燃料の燃焼特性を把握し, 将来のディーゼルエンジン性能をさらに向上させる燃料処方ならびにエンジンシステムを提案した.