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_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

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　袁　昊昱

審査担当者　主　査　准教授　柴田 元
副　査　教　授　藤田 修
副　査　教　授　永田 晴紀
副　査　教　授　村井 祐一

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)

自動車の脱炭素化を実現するため, 既存の内燃機関車にカーボンニュートラル液体合成燃料 (e-fuel) を用いることは現実的な選択肢の一つである.e-fuel は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人工的に製造される合成燃料であり, 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.e-fuel を市場導入する際には, 従来の軽油よりも高熱効率と低排出ガスが求められるが, その特徴を活かした燃料処方や次世代エンジンシステムの開発が課題となっている.

本研究では,FT 合成油および含酸素燃料である OME を対象燃料とし, エンジン実験で熱効率関連因子と排気エミッションを計測するとともに, 急速圧縮膨張装置を用いて可視化観察による画像解析でエンジン性能に及ぼす影響のメカニズムを解明し, さらなるディーゼルエンジンの高性能化を図る燃料処方およびエンジンシステムを提案することを目的とする.

まず, 急速圧縮膨張装置を自ら設計・製作し, 高速ビデオカメラを用いて OH ラジカルによる波長 308nm の紫外光画像を撮影し燃焼室内の噴霧燃焼特性を評価した. 直接撮影法を用いて噴霧燃焼の輝炎を撮影し, 画像二色法で噴霧燃焼過程中の火炎温度, また燃焼場におけるすすの量を評価する kL 値を解析した.

はじめに, 軽油および FT 合成法で製造された GTL (Gas-To-Liquids) を用いてエンジン性能および排気エミッション特性を比較した.GTL の熱効率関連因子および排出ガス特性は軽油の結果と顕著な差はないが,Smoke 排出は燃料中の芳香族成分有無に関与するため,GTL を用いると Smoke 排出を抑制できる.

次に,e-fuel を用いた際のディーゼルエンジン性能の向上を図るため, 含酸素燃料である OME との共用や GTL の組成面から燃料がディーゼルエンジン性能に与える影響について調べた. エンジン実験結果より,GTL への OME の混合は Smoke 排出に抑制効果があり, 高負荷・高 EGR 条件でも Smoke の排出が著しく低減する. また OME の混合により後燃えが短縮するため発熱の等容度が高い高熱効率の燃焼が期待できるが,OME は発熱量が低いため噴射時間が長期化し冷却損失増大するため, 図示熱効率が低下する. 急速圧縮膨張装置による画像解析結果から,GTL に OME を混合して用いると燃料の理論空燃比を低下させるため, 燃料噴射期間中に燃焼室壁近傍の燃料過濃領域にお

いても燃焼が進行し, 噴射終了後における未燃燃料の再酸化が抑制され後燃え期間を短縮できることが分かった.

さらに,GTL 合成燃料を沸点領域で軽質から重質までの 4 つの蒸留温度帯に分留し, その中の軽質・重質 GTL 留分を用いてエンジンおよび急速圧縮膨張装置を用いて実験を行った. その結果, 軽質 GTL 留分と比較すると重質 GTL 留分は着火が早期化するが空気との混合が不十分で燃焼が不均質であり, 蒸発特性の影響を受けて高温滞留時間が伸張するため, 冷却損失が増加し熱効率が低下することが明らかとなった.

最後に, 本研究から得られた知見と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有し, 軽油の代替として従来のディーゼルエンジン車に適用することが可能である.OME の混合は Smoke 排出に顕著な抑制効果があるが, 発熱量が低いため多量に混合すると燃焼期間が長期化し熱効率が低下する. この対策として, 噴射ノズルを多噴孔化し, 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に繋がるため, 製造時に GTL の高沸点留分を除去すれば熱効率の向上を図れる可能性がある. また,GTL および OME 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ディーゼル機関性能および噴霧燃焼特性を把握し, 将来のディーゼルエンジン性能をさらに向上させる e-fuel の燃料処方ならびにエンジンシステムを提案しており,e-fuel を用いて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.