

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 27 日現在

機関番号：57101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420889

研究課題名(和文)炭酸ガス吸入燃料によるディーゼル機関の燃焼改善に関する研究

研究課題名(英文) Study on Combustion Improvement of Diesel Engine with Carbon Dioxide Gas Mixed Fuel

研究代表者

中武 靖仁 (Nakatake, Yasuhito)

久留米工業高等専門学校・機械工学科・教授

研究者番号：30280481

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：炭酸ガス吸入燃料を製造する装置・操作・気象条件の差異による燃料の物理・化学的特性の変化を調査した。次に、ディーゼル機関性能実験、筒内燃焼圧解析および排気ガスカーボンバランス法を、燃料の物性をいくつかの条件に変化させた場合について行った。ナノサイズ炭酸ガス気泡による燃焼改善効果の向上策として、加圧溶解式とナノバブル発生ノズルを組み合わせた超微細気泡混入法について検討した。

結果として、炭酸ガス吸入燃料は燃費低減に有効であることがわかった。理由としては、空気より燃料への溶解効果が高い炭酸ガスの方が、燃料中のボイド率と溶存量向上により燃料噴霧時の微粒化が促進し、燃焼速度が短縮したものと推察された。

研究成果の概要(英文)：A physical and chemical characteristic change of the fuel was investigated by using several devices and changing the operational and climatic conditions for preparing carbon dioxide gas mixed fuel. Experiments of performance of diesel engine, analysis of combustion pressure in cylinder and exhaust gas carbon balance method were performed under several conditions by changing characteristics of fuel. Mixture method of ultra fine carbon dioxide bubbles to fuel which was accomplished by combining a nano-bubble nozzle and pressurized dissolution was investigated to improve combustion conditions with nano-size carbon dioxide bubbles.

As a result, it was found that carbon dioxide gas mixed fuel was effective for mileage reduction.

The reason is as follows: atomization of fuel at injection was accelerated by improving void ratio and dissolution amount of carbon dioxide gas in fuel, and this shortened combustion speed, since carbon dioxide gas has higher dissolution effect than air.

研究分野：環境エネルギー工学

キーワード：エネルギー節約・効率利用 低炭素化社会 超微細気泡 ディーゼル機関

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化に対する環境への関心が高まる中で、近年の原油価格の高騰、ならびに二酸化炭素の排出量問題から、一段と内燃機関の低燃費化へのニーズが高まってきている。なかでも、ディーゼル機関は、高トルク性、耐久性、ならびに使用燃料の多様性などから船舶や発電用などに利用されている。また、日本ではディーゼル自動車の排気ガスによる環境や健康被害が大きな社会問題となっており、特に、首都圏においてディーゼル自動車から排出される NO_x、黒煙および PM (浮遊微粒子) の低減が主題になっているが、これら有害排出物には、トレードオフの関係が避けられないのが現状である。

ディーゼル機関の燃費と有害排気ガス低減可能な方法には、近年主流となっている超高压電子制御式燃料噴射法 (コモンレール式) が研究開発され、すでに適用されている。コモンレール式燃料噴射法はディーゼル燃焼のメインとなる燃焼自体をコントロール・処理するものであり、また、燃焼後処理装置としては、触媒や DPF (ディーゼル微粒子除去フィルター) が主流となっている。しかしながら、これまで、燃焼前処理装置の研究がほとんど行われていない。

そこで、著者らはこれまでに、燃料に空気の超微細気泡を混入させディーゼル機関の環境負荷低減について実験的に研究を行ってきた。様々な形式のディーゼル機関において、最大で 14% ~ 3% 程度の燃費低減効果は認められた。さらに空気より 40 倍程高い溶解性を有する炭酸ガス (二酸化炭素) を使用することで、より高効率な燃焼改善が期待される。

本研究で開発された装置は、既存のディーゼル機関への後付け (レトロフィット) が可能、また、燃料を超高压化するリスクや費用の軽減、さらに高粘度でしかも高温腐食劣化などで超高压噴射法の使用が困難とされるバイオディーゼル燃料への応用など、次世代スーパークリーンディーゼル技術に不可欠な燃焼前処理用の燃料改質装置として、位置づけられる研究である。

2. 研究の目的

これまでの研究によって、ディーゼル燃料へ超微細気泡 (マイクロ・ナノバブル) を混入させることで、燃焼改善すなわち燃費や有害排出ガスの同時低減が可能となり、環境負荷の低減へとつながることを明らかにしてきた。これまで燃料へ混入させる気体として、空気を用いてきたが、常温・常圧で空気より 40 倍程高い溶解性を有する炭酸ガス (二酸化炭素) を用いることで、ディーゼル機関の更なる燃焼改善を図り、燃費と有害排出ガスの同時低減について実験的に解明することを目的とした。

3. 研究の方法

これまでの空気を用いてきた超微細気泡 (マイクロ・ナノバブル) 混入燃料によるディーゼル機関の性能向上に関する基礎的な結果・研究を進展させ、燃料への炭酸ガス抽入の影響について、超微細空気泡混入の場合と比較しながら、炭酸ガス抽入燃料の物理・化学的特性の変化について実験的検討を行う。

次に、エンジンベンチ機関による燃焼改善、すなわち燃費と有害排出ガスの同時低減について、機関性能実験、及び燃焼解析を遂行する。

最後に、炭酸ガス抽入燃料の実用的な方法として、EGR (排ガス再循環) を利用した排気ガスの一部を燃料中に超微細気泡として混入させた燃料を用いて、実験的研究を遂行する。

(1) 炭酸ガス抽入燃料の物理・化学的特性の解明

超微細炭酸ガス抽入燃料を製造する装置条件 (エジェクタ構造、ポンプサイズ)、生成条件 (操作条件: 燃料・空気の圧力・流量)、気象条件 (気温、湿度、大気圧) によるナノサイズ気泡径分布、数密度 (ポイド率)、ゼータ電位をナノ粒子分析装置にて、粘度、表面張力、噴射後の粒径分布の測定と検証、および溶存酸素量 (DO 値)、pH (イオン量)、セタン価の測定、GC/MS (ガスクロマトグラフ質量分析) 装置による化学式構造など、物理的および化学的特性の変化を超微細空気泡混入の場合と比較しながらの定量的評価を行う。

(2) 機関性能実験および燃焼解析

ディーゼル機関に超微細炭酸ガス抽入装置を設置して燃料消費率、充填効率、騒音、トルク特性、排気ガス温度、排気エミッション (すす、NO_x)、吸気側・排気側空燃比および筒内燃焼圧による燃焼解析などを比較測定し、燃料消費量および排気エミッションの低減評価を行う。筒内燃焼圧解析による熱発生率変化により、燃焼時間の短縮効果を検討する。

現在、(財) 運輸低公害車普及機構などで一般車両の燃費計測に採用されているカーボンバランス法による燃費比較実験を行う。

また、有害排出ガスの 1 つである NO_x の低減効果を検証する。

(3) ナノサイズ炭酸ガス気泡による燃焼改善効果の向上

通常、微細気泡混入法としては、機械式攪拌混入法が多用されている。研究協力者とのこれまでの研究より、水中の場合であるが、本研究で採用するエジェクタ式による超微細気泡混入の効果は、飽和溶存酸素量へより速く高効率に近づけさせることが可能である。さらに、加圧溶解式とナノバブル発生ノズルを組み合わせたナノサイズの気泡は、飽和溶存酸素量よりも多くの溶存酸素量を含ませることが可能である。

従って、超微細気泡混入法を複合利用することで、ナノサイズの気泡をより効果的に燃料に混入させることにより、さらなる燃焼改善、すなわち燃費と有害排出ガスの低減効果が期待される。

そこで、ナノサイズ気泡混入の優位性を検討すべく、燃料の特性実験、ならびにエンジンベンチを用いた機関性能実験、および排気ガス成分分析を実験的に遂行する。

(4)EGR 燃料製造システムの設計

ディーゼル機関で EGR (排ガス再循環) は主に、NOx の低減や部分負荷(エンジン回転で全負荷の出力を出さない点)時の燃費向上のために用いられている。

実用的なことを鑑みると、炭酸ガスを排気ガスより供給することが最善と考えられる。また、排気ガス中の二酸化炭素を循環して使用できるため、排出 CO₂ をさらに低減できる可能性があり、非常に有意義な研究となりえる。

そこで、排気ガスを燃料に超微細気泡として注入するシステムの設計を行う。

EGR 率と燃料への炭酸ガス吸入量の算出・評価を行うため、ミキシングタンク内燃料上部のガス成分計測を行う。

(5)EGR 燃料の影響

通常、EGR は当然ながら吸気に混ぜる技術のことであるが、本研究では燃料に排気ガスの一部を混入させることで、更なるディーゼル燃焼を改善させる研究を遂行する。

4. 研究成果

炭酸ガス吸入燃料の物理・化学的特性の解明として、微細炭酸ガス吸入燃料を製造する装置条件(エジェクタ構造、ポンプサイズ)、生成条件(操作条件:燃料・空気の圧力・流量)、気象条件(気温、湿度、大気圧)によるナノサイズ気泡径分布、数密度(ポイド率)、ゼータ電位をナノ粒子分析装置にて、粘度、表面張力、噴射後の粒径分布の測定と検証、および溶存酸素量(DO 値)、pH(イオン量)、セタン価の測定、GC/MS(ガスクロマトグラフ質量分析)装置による化学式構造など、物理的および化学的特性の変化を微細空気泡混入の場合と比較しながらの定量的評価を行った。

次に、機関性能実験および燃焼解析として、ディーゼル機関に超微細炭酸ガス吸入装置を設置して燃料消費率、充填効率、騒音、トルク特性、排気ガス温度、排気エミッション(すす、NOx)および筒内燃焼圧による燃焼解析などを比較測定し、燃料消費量および排気エミッションの低減評価を行った。機関性能実験ではカーボンバランス法による燃費比較実験の試みと有害排出ガスであるすす、NOx の低減効果を検証した。筒内燃焼圧解析による熱発生率変化により、燃焼時間の短縮効果を検証した。

さらに、ナノサイズ炭酸ガス気泡による燃焼改善効果の向上として、加圧溶解式とナノ

バブル発生ノズルを組み合わせた超微細気泡混入法について検討、および EGR 燃料製造システムの概念設計を遂行した。結果として、炭酸ガス吸入燃料は燃費低減に有効であることがわかった。理由としては、燃料中のポイド率と溶存量向上により噴霧時の微粒化が促進し、燃焼速度が向上したものと推察された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Effect of Nano Air-Bubbles Mixed into Gas Oil on Common-Rail Diesel Engine, Yasuhito Nakatake, Shintaro Kisu, Kenta Shigyo, Toshihiko Eguchi, Takashi Watanabe, Energy,査読有, 59 (2013) pp.233-239

〔図書〕(計 4 件)

ファインバブルによるディーゼル機関の環境負荷低減, マイクロバブル(ファインバブル)のメカニズム・特性制御と実際応用のポイント、情報機構、第 3 章 第 12 節 第 2 項、pp435-443 (2015)、中武靖仁

ディーゼル機関におけるマイクロバブル燃料の適用, 日本陸用内燃機関協会, No.516, pp51-60, 2014.7.31, 渡邊孝司, 中武靖仁

Characteristics of Gas Oil Containing Micro and Nano Air-Bubbles, Pan Stanford Publishing, Micro- and Nanobubbles: Fundamentals and Applications, 5.2, pp.147-155 (2014/8/11), Yasuhito Nakatake, Takashi Watanabe and Toshihiko Eguchi

超微細気泡混入燃料の特性とディーゼル機関の燃費低減, エネルギー学会誌, 第 93 巻, 11 号, pp.1025-30 (2014), 中武靖仁

〔産業財産権〕

○出願状況(計 1 件)

名称: 炭酸ガス溶解液体燃料

発明者: 中武靖仁、江口俊彦

権利者: 独立行政法人国立高等専門学校機構、株式会社オーラテック

種類: 特開 2015-160868

番号: 特願 2014-035420

出願年月日: 平成 26 年 2 月 26 日(2014.2.26)

国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://evo.me.kurume-nct.ac.jp/ME/staff/nakatake/>

6．研究組織

(1)研究代表者

中武 靖仁 (NAKATAKE YASUHITO)

久留米工業高等専門学校・機械工学科・

教授

研究者番号：30280481