

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月13日現在

機関番号：57101
 研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22560842
 研究課題名（和文） マイクロバブル燃料によるディーゼル機関の燃費と有害排気ガスの低減に関する研究
 研究課題名（英文） Study on Reduction of Fuel Consumption Rate and Harmful Exhaust Gas for Diesel Engines with Micro-Bubble Mixed into 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

研究成果の概要（和文）：

マイクロ・ナノバブルを混入した軽油が、ディーゼル機関の燃費と有害排気ガスの低減のために使用された。マイクロ・ナノバブルは超小型エジェクタ式混入器（直径 20 mm、長さ 30 mm 程度）で生成され、燃料供給ラインで連続的に燃料へ混入された。機関のエア噛みを起こすほどの比較的大きなマイクロサイズの気泡は、ミキシングタンクでナノバブルと分離され、コモンレール式燃料噴射装置を有するディーゼル機関で、性能実験が行われた。結果は、ナノバブルを燃料に混入することによって、燃料消費率が負荷平均で 3%、充填効率が 1%、すす濃度に僅かながらの減少が認められた。この原因はマイクロ・ナノバブルが燃料に混入する作用によって、物理・化学的作用によって、ディーゼル燃焼が改善されたものである。

研究成果の概要（英文）：

The maicro-nano air-bubble mixed into the gas oil is used for the energy saving and environmental load reduction of diesel engine. The maicro-nano air-bubble was mixed into the fuel line continually by super miniature ejector-type micro and nano air-bubble generator(outer diameter is 20mm, length is 30mm). After the micro air-bubble was separated with a nano air-bubble in a mixing tank, diesel engine performance test with a common-rail injection type was experimented. The results showed that 3% improvement on load average of specific fuel consumption, the 1% improvement of the charging efficiency and a slight decrease in the density of the exhaust smoke, etc. were admitted by mixing the nano air-bubble into the gas oil. It is confirmed that combustion was promoted and improved by a physical and chemical action in mixing the maicro-nano air-bubble into the gas oil.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・エネルギー学

キーワード：エネルギー節約・効率利用 C、低炭素社会、マイクロバブル燃料

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、欧米ではガソリン機関と比較して経済的で、しかも耐久性も良いことから、環境に優しい高級なエンジンとして需要が高い。しかし、日本ではディーゼル機関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、さほど民間レベルでの需要は高くない。特に、首都圏においてディーゼル機関から排出される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、燃料にマイクロバブルを混入させる方法は、さらに厳しくなる環境基準や排気ガス規制の一助になる可能性が極めて高いものと考えられる。

2. 研究の目的

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、近年主流となりつつある超高压燃料噴射法（コモンレール式）が研究開発・適用されている。本研究は、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。

具体的方法としては、空気をマイクロ・ナノバブル（超微細気泡）として燃料に混入させることで、物理的效果として、粘度、表面張力を低下させディーゼル噴霧の微粒化を促進し、さらに化学的效果として溶存酸素量・イオン量・セタン価を上昇させ、燃焼促進を図る方法である。本方式はマイクロバブル混入装置の大きさが超小型であるため、十分に実車搭載（オンボード）可能である。

本研究は、マイクロバブル燃料のディーゼ

ル燃焼特性、および燃料の改質特性を、これまでに行ってきた定性的な検討から、その効果について定量的に評価・研究することを目的とする。

3. 研究の方法

これまでのマイクロバブル燃料によるディーゼル機関性能向上に対する定性的な結果・研究を発展させ、マイクロバブルが混入した燃料の物性値・微粒化特性の定量性、及び実機関を用いた燃費と有害排気ガス低減のメカニズムを解明するため、研究を遂行する。

(1) 機関性能実験および燃焼解析

ディーゼル機関にエジェクタ式混入装置を設置して燃料消費率、充填効率、騒音、トルク特性、シリンダライナ・排気ガス温度、排気エミッション、吸気側・排気側空燃比およびシリンダ内圧などを比較測定した燃料消費量および排気エミッションの低減評価を行う。

(2) コモンレール式超高压燃料噴射の影響

コモンレール式超高压噴射システムへの影響調査として、マイクロバブル燃料は、現用のコモンレール式ディーゼル機関に不適合であることが課題となっているため、コモンレール式超高压燃料噴射装置により噴射された燃料液滴の粒度分布を油浸法により測定を行い、超高压噴射の影響について考察する。燃焼実験に使用する供試機関は、単気筒機関のシリンダヘッドを改造して行う。

(3) マイクロバブル燃料の物理・化学的特性の解明

マイクロバブル燃料の作成条件（燃料・空気の圧力・流量）による気泡径分布、数密度（ボイド率）、粘度、噴射後の粒径分布の測定と検証および溶存酸素量、pH、セタン価の測定と検証を行う。

物理的および化学的特性の検証と燃費、有害排出ガス低減、筒内燃焼圧による燃焼解析の総合的解析を行う。

(4) ナノバブル（超微細気泡）燃料の生成、特性および効果の実証

これまでの研究により、水中の場合であるが、マイクロバブル混入の効果は、飽和溶存酸素量より、多くの溶存酸素量を混入することが可能である。さらに、ナノバブルは溶存酸素量をより多く含ませることが可能である。したがって、マイクロバブルよりさらに小さなナノバブルを燃料に混入させることにより、さらなる燃費と有害排出ガスの低減効果が期待されるため、機関性能実験および排気ガス成分分析を比較・実験しながら検討する。

(5) バイオディーゼル燃料による燃料性状の影響

バイオディーゼル燃料（BDF）は廃食油を含め、ココナッツ油、パーム油、菜種油、ヒマワリ油、大豆油や廃食油など多岐にわたり、含酸素植物燃料として今後利用率が高まることが予想されるが、最大の課題は燃費と黒煙を除くエミッションの増加である。特にNO_xについては軽油と同等か僅かに少ないが、含酸素量が多くなるほどNO_x発生の減少があり、ココナッツ油については最も少ない傾向である。これは混合気の局所空気過剰率の増大と燃焼短縮に起因するものと予想される。したがって、本研究においてマイクロ・ナノバブルをバイオ燃料に混入することにより、燃料中の溶存酸素量を増やし燃焼の活性化により燃料低減を招き、さらに有害排出ガスの低減にもつながるものと期待される。

また、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懸念されている。そこで、燃料性状の差異によるマイクロ・ナノバブルの影響・有効性について、燃料の特性、機関性能および排気ガス分析にて評価する。

(6) 実車搭載型微細気泡混入システムの構築

これまでの機関性能実験は、実験室内でのベンチ機関にて行われ、マイクロバブルの燃料への混入は燃料タンク内で行われてきた。しかしながら、実車への搭載を考慮すると、燃料の酸化防止上、必要な量のみマイクロバブルを燃料へ混入させることが望ましいため、燃料ライン中での混入が最適である。そこで、燃料経路中での圧力と流量を計測し、マイクロバブル混入装置の設置位置を検討する。

混入装置前後の圧力差確保のため、必要に応じて、インライン型燃料ポンプの装着も視野に入れている。また、エア噛みや気泡の圧縮仕事損失のつながるようなマイクロサイズの気泡は燃料中から分離・除去するサブタンクの装着がある。

機関搭載を考慮したエジェクタ式混入装置の電子制御システム回路を完成させる。

4. 研究成果

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、近年主流となりつつある超高压燃料噴射法（コモンレール式）が研究開発・適用されている。本研究は、既存のディーゼル機関への後付けが可能、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。

具体的方法としては、空気をマイクロ・ナノバブル（超微細気泡）として燃料に混入さ

せることで、物理的効果として、粘度、表面張力を低下させディーゼル噴霧の微粒化を促進し、さらに化学的効果として溶存酸素量・イオン量・セタン価を上昇させ、燃焼促進を図る方法である。

まず始めに、機関性能実験および燃焼解析として、ディーゼル機関にエジェクタ式混入装置を設置して燃料消費率、充填効率、騒音、トルク特性、油温・排気ガス温度、吸気側・排気側空燃比およびシリンダ内圧などを比較測定した燃料消費量の低減評価を行った。結果としては、負荷平均に対して、3%程度の燃費低減効果は認められたが、シリンダ内圧・熱発生率に変化はなかった。理由としては、供試機関が小型空冷機関であることが挙げられた。そこで、これまでの空冷式（排気量 265cc）から、より実験精度の高い、水冷式（排気量 760cc）へ変更した。

次に、コモンレール式高压燃料噴射の影響として、マイクロ・ナノバブル燃料は、現用のコモンレール式ディーゼル機関に不適合であることが課題となっているため、コモンレール式高压燃料噴射装置により高压噴射の影響について考察した。

さらに、マイクロバブル燃料の物理・化学的特性の解明として、実機関へ供給されるナノバブル軽油のナノ粒子分布計測、ならびに化学組成の変化として GC/MS（ガス・クロマトグラフ質量）分析を行なった。結果として、ナノバブルは機関に供給される燃料中に 100 から 200nm 程度の大きさで 1mL 中に 0.5×10^8 個程度分散しており、化学組成は主鎖の炭素結合を切るほどには至っていないが末端の官能基が水素に還元される置換反応など、燃料の組成も変化していることがわかった。

最後に、ナノバブル軽油の生成、特性および効果の実証として、エジェクタ式マイクロ・ナノバブル発生器を 1 台と 2 台用いた場合の溶存酸素量の測定、ならびに機関性能実験を行った。発生器を 1 台より 2 台用いた場合の溶存酸素量も増加しており、機関性能実験においては燃費の低減効果も大きく認められた。

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 3 件）

① 中武靖仁、超微細気泡軽油によるディーゼル機関の環境負荷低減、査読無、日本マリンエンジニアリング学会誌、第 46 巻、第 6 号、2011、pp. 75-80

② 木下英二、笹川裕樹、尾堂裕之、渡邊孝司、中武靖仁、セタン価向上剤添加 1-ブタノール軽油混合燃料のディーゼル燃焼、査読有、

自動車技術会論文集 Vol. 43、No. 3、20124463、
pp. 691-696、(2012、5月)

③ Yasuhito Nakatake, Takashi Watanabe
and Toshihiko Eguchi, Experimental
Investigation on Diesel Engine
Performance using Nano Air-Bubbles Mixed
into Gas Oil, 査読有, Journal of Energy and
Power Engineering(2012)

〔学会発表〕(計7件)

① 中武靖仁、超微細気泡混入軽油のディー
ゼル燃焼、(社)高温学会、環境・エネルギ
ープロセス部会、第1回環境とエネルギー
プロセスのワークショップ(2011年8月)

② 木下英二、笹川裕樹、尾堂裕之、渡邊孝
司、中武靖仁、セタン価向上剤添加1-ブタノ
ール軽油混合燃料のディーゼル燃焼、自動車
技術会 2011年秋季大会学術講演会前刷集、
No. 115-08、155-20085669、pp. 17-20、2011
年10月13日

③ Yasuhito Nakatake, Shintaro Kisu,
Kenta Shigyo and Takashi Watanabe, Energy
Saving and Environmental Load Reduction of
Diesel Engine with Nano Air-Bubbles Mixed
into Gas Oil, 査読有, COMODIA2012, CI1-4,
pp. 194-199

④ 國武亮太、執行健太、中武靖仁、超小型
バイオディーゼルエコランカー用エンジ
ンの開発、日本機械学会九州学生会、第43回
卒業研究発表講演会(2012年3月)

⑤ 執行健太、木須信太郎、中武靖仁、ナノ
バブル混入軽油によるディーゼル機関の燃
焼改善、日本機械学会九州学生会、第43回
卒業研究発表講演会(2012年3月)

⑥ 渡邊孝司、木下英二、中武靖仁、井手光
治、西村貴志、プラスチック再生油のディー
ゼル燃料・燃焼特性、日本機械学会九州支部
第65期総会・講演会(2012年3月)

⑦ 大西徹、國武亮太、執行健太、中武靖仁、
低燃費競技用小型ディーゼル機関の開発、日
本機械学会九州学生会、第44回卒業研究
発表講演会(2013年3月)

〔図書〕(計1件)

① 中武靖仁、渡邊孝司、江口俊彦、シーエ
ムシー出版、マイクロ・ナノバブルの最新技
術Ⅱ(第2章2 微細気泡軽油の特性とディー
ゼル機関の燃費低減—エジェクタ式と加
圧溶解式の比較—)、2010

〔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 (NAKATKE 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

(2) 研究分担者

渡邊 孝司 (WATANABE TAKASHI)

久留米工業大学・工学部・名誉教授

研究者番号：80131895