

令和 5 年 5 月 11 日現在

機関番号：57101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K05409

研究課題名(和文)軽油・重油へのファインバブル添加による燃費改善および排ガスクリーン化

研究課題名(英文) Fuel consumption improvement and exhaust gas cleaning by adding fine bubbles to light oil and heavy oil

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) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：燃料はA重油とC重油を用い、燃料消費量に対して、ファインバブル(FB)となる空気混入量を変化させて、燃費と排ガスに及ぼすボイド率の影響について実験的に検討を行った。結果として、C重油を用いた実験で燃費が最大で7.2%、スモークは最大52%低減された。燃料への空気混入量には最適値があり、空気混入量が多くなりすぎるとFBの径が大きくなり、FBの数は少なくなり、改善の効果が低下することがわかった。

筒内圧計測により、燃料中にFBを添加することで、燃料噴射時にFBが圧縮・溶解されるため噴射時期が遅れるが、燃焼時間が短縮することで、燃費が低減されることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発された技術は、燃焼機器の改造が不要で、装置構成が単純なため、既存の燃焼機器に容易にアドオン可能である。しかも、きわめて小動力で稼働するため費用対効果が大きいことが特徴である。

現在、運転中のディーゼル機関やガスタービン機関に搭載し、燃費改善と排ガスクリーン化を行う。また、現在運航中の船舶においては、定期点検の際に容易に装備可能な装置となる。さらに、燃焼の前処理を行う燃料改質装置となるため、他の省エネ装置や排ガス清浄装置との併用も可能であるなど、低炭素化を目指す液体燃料の燃焼機器に必要な不可欠な技術となる。

研究成果の概要(英文)： Using A heavy oil and C heavy oil as fuel, the amounts of air which was mixed into fuel as fine bubbles (FB) were varied with fuel consumption to investigate experimentally the effects of void fraction on fuel consumption and exhaust gas. As a result, fuel consumption and smoke were reduced by 7.2% and 52% respectively at maximum for C heavy oil. It was also found that there were the optimum values for the amounts of air mixed into the fuel, and the greater amounts of air would cause the larger diameters of FB as well as smaller number of FB, which causes deterioration of improvement effect by FB.

It was also found that by mixing FB into fuel, injection timing was delayed due to compression and fusion of FB during fuel injection, however, fuel consumption was decreased by shortening of combustion time.

研究分野：燃焼工学

キーワード：ファインバブル ディーゼル機関 燃料消費率 有害排気ガス 燃焼解析 燃焼促進 微粒化

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ファインバブルは、通常の気泡では見られない物理化学的特性や生理生物学的特性により、環境、農業、食品、水産業、洗浄、産業や美容などの多岐にわたる分野で応用されている。しかしこれまで、ファインバブルの添加の対象は常温・大気圧の水や海水であり、常温・大気圧の燃料のみならず、高温・高圧でしかも高粘度の燃料に関する研究が必要である。

応募者は世界に先駆けて、ファインバブルを燃料に添加させることで、内燃機関の燃費性能改善について実機関を用いて実証してきた。これまでの研究では、様々な形式のディーゼル機関において負荷平均で5%程度、小型ガスタービン機関では3%程度の燃費低減効果が認められた。ファインバブル燃料の持つ優れた性質により、内燃機関の自動車、船舶、鉄道車両、産業機械などはもとより各種燃焼機器の性能を著しく向上させ、社会的にも省エネルギーと環境負荷低減に大きく貢献することが期待される。

しかし、これまで使用してきた燃料は、常温・大気圧・低粘度で使用される軽油やA重油であり、大型船舶で使用されている高温・高圧・高粘度な過酷環境下にあるC重油燃料へのファインバブル添加による燃費改善と排ガスクリーン化について研究を行う必要がある。

ファインバブルは液体の物性や周囲液体の温度・圧力・流れなどに応じて、大きさが変化し、例えば、液体が高温になるほど気泡内部の気体が膨張・大気泡化し、燃焼機器の異常燃焼へとつながる。さらに、液体が高粘度の場合も気膜が分裂しにくい大気泡化し、逆に、高圧の場合は気泡が溶解して小気泡化・消滅するなど、高温・高圧・高粘度条件は、これまで誰も経験をしたことがない未知領域の研究である。

また、石油や石炭などのエネルギー輸送は船舶に頼らざるを得ないが、2020年に船舶の環境規制が大幅に強化される。すなわち、大型船舶用のC重油に含まれる硫黄分の上限を3.5%から0.5%に引き下げることと義務付けられ、その適合燃料は一般的なC重油より2~4割高くなる。省エネ・燃費改善と排ガスクリーン化は海運業界のみならず、地球環境の観点からも化石燃料の省エネは極めて重要な課題である。

本研究の課題は劣悪な燃料中にファインバブルを高効率に添加すること、ならびに燃焼機器の燃費改善と排ガスクリーン化の効果向上である。

本研究で開発された技術は、既存の内燃機関や燃焼機器への後付け(レトロフィット)が可能であるため、例えば、現在運航中の船舶においては、定期点検の際に容易に装備可能な装置となる。さらに、燃焼の前処理を行う燃料改質装置となるため、他の省エネ装置や排ガス清浄装置との併用も可能であるなど、次世代燃焼機器に必要不可欠な世界初の装置となる。

2. 研究の目的

ファインバブルを添加した燃料の燃焼改善のメカニズムとしては、燃料の粘度・表面張力の低下、ならびに燃焼機器内部へ噴射された直後、溶存空気の再析出やファインバブルの膨張破裂により、燃料噴射液滴の微粒化の促進・混合気形成の向上を引き起こす。結果として、着火性の向上、燃焼時間の短縮、燃えきり性の向上による燃費とNO_x、黒煙およびPMの同時低減へと排ガスクリーン化につながるものと考えられる。

そこで本研究の目的は、高温・高圧・高粘度な劣悪燃料中へのファインバブル添加による燃費改善と排ガスクリーン化である。

3. 研究の方法

ファインバブルを常温(30 程度)・大気圧・低粘度(10 cSt 程度)下の燃料(軽油/A重油)に添加させ、内燃機関の燃費改善や排ガスクリーン化について実機関を用いて実証してきた。しかし、大型船舶や火力発電所等で使用されている高温(実用上は100 程度)・高圧(0.5 MPa 程度)・高粘度(100 cSt 程度)におけるC重油、あるいはパーム油に代表される高粘度なバイオ液体燃料におけるファインバブルの添加技術、ならびに各燃焼機器に最適化な気泡径や気泡量の制御方法については明らかでなかった。

そこで、ファインバブル生成器ならびに分級を含めたシステム開発として、ファインバブル生成器の種類はエジェクタ式、加圧溶解式など様々なものがある。システム構成にて、それぞれの生成器ごとの装置条件(構造、ポンプ仕様)、操作条件(燃料/空気の圧力・流量)の及ぼす、ファインバブル特性(サイズ・量)への影響について実験的に検討を行った。これまでの研究では、大気圧化でファインバブルを生成していたが、C重油への対応として、まずは、A重油を用いて燃料圧の影響について検討した。

実用上の目標となる数値は、大気圧下のA重油に対して燃費改善効果の実績(5%改善)のある算術平均気泡径40 μm、添加量としてはボイド率(流体に占める気体の体積割合)5%とした。

続いて、C重油を用いて、温度・動粘度とファインバブル特性の影響について検討を行った。

4. 研究成果

ファインバブル生成器ならびに大気泡の分級を含めた装置開発として、ループ式と加圧溶解式ファインバブル生成器について、操作条件（燃料/空気の圧力・流量）の及ぼす、ファインバブル特性（サイズ・量）への影響について、実験的に検討するために、循環式の実験装置を構築した。その結果、加圧溶解式よりループ式の方が、気泡径が小さく、気泡量が多いことがわかった。また、空気供給量が多いほど、燃料温度は低いほど気泡混入量が多くなることがわかった。

加圧・可視化燃焼性試験装置による燃費改善メカニズムの解明を目的に、試験装置の再検討を行った。結果として、加圧・可視化可能なバッチ式の試験装置では、ファインバブル燃料の供給再現性が困難であることから、現有装置の燃料配管系統、機関温度一定化などの改良を行うことで、精度の高い実験装置を設計、製作した。

さらに、C重油を燃料とした、ベンチ機関（出力 257 KW）性能実験を行った。空気混入量を変化させて燃費と排ガス（NO_x、スモーク）を計測したところ、燃費は負荷平均で 5.7%、最大で 7.2% 低減され、スモークは最大 52% の低減が確認された。理由としては、シリンダー内の圧力計測から、燃料が噴射される直前にファインバブルの圧縮により噴射時期は遅れるが、その後の燃焼促進・燃焼時間の短縮が生じ、結果として熱発生率の増加により燃費が低減され、完全燃焼の促進によりスモークが低減されたことがわかった。また、空気混入量には最適値があることも分かった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 山下裕史（東北大学），工藤達司，中武靖仁，田中大，川原秀夫（大島商船高専），寺坂宏一（慶應義塾大学），河原寛，後藤英親（三井造船特機エンジニアリング）	4. 巻 第56巻，4号
2. 論文標題 空気微細気泡A重油による高速ディーゼル機関の燃費とNOx低減	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本マリンエンジニアリング学会誌	6. 最初と最後の頁 152-158
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 中武 靖仁
2. 発表標題 燃料重油へのファインバブル混入による船舶燃費向上
3. 学会等名 一般社団法人ファインバブル産業界(FBIA) 第17回ファインバブル国際シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中武 靖仁
2. 発表標題 ファインバブルの燃料への応用
3. 学会等名 最近の化学工学講習会70 進化するファインバブル技術と応用展開（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中武 靖仁
2. 発表標題 ファインバブルの内燃機関への応用とオンライン計測
3. 学会等名 とっとりマイクロバブル研究会技術セミナー（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川原 秀夫, 砂田 智裕 (大島商船高専), 山下 裕史 (東北大学), 中武 靖仁, 寺坂 宏一 (慶應義塾大学), 河原 寛, 後藤 英親 (三井造船特機エンジニアリング)
2. 発表標題 船用ディーゼル中速機関における微細気泡C重油の燃焼および排ガス特性
3. 学会等名 日本マリンエンジニアリング学会第91回学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤村 昂大, 川原 秀夫, 砂田 智裕 (大島商船高専), 山下 裕史 (東北大学), 中武 靖仁, 寺坂 宏一 (慶應義塾大学), 河原 寛, 後藤 英親 (三井造船特機エンジニアリング)
2. 発表標題 微細気泡混入燃料を用いた船用中速ディーゼル機関の燃費改善
3. 学会等名 日本マリンエンジニアリング学会第90回学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川戸 大誠, 加嶋 太樹, 中武 靖仁, 田中 大, 山下 裕史 (東北大学), 川原 秀夫 (大島商船高専), 寺坂 宏一 (慶應義塾大学), 河原 寛, 後藤 英親 (三井造船特機エンジニアリング)
2. 発表標題 高速ディーゼル機関性能へ及ぼす燃料中微細気泡ガス種の影響
3. 学会等名 日本マリンエンジニアリング学会第90回学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中武 靖仁, 山下 裕史 (東北大学), 川原 秀夫 (大島商船高専), 寺坂 宏一 (慶應義塾大学), 河原 寛, 後藤 英親 (三井造船特機エンジニアリング)
2. 発表標題 軽油・重油へのファインバブル混入とオンライン気泡計測
3. 学会等名 JIP環境技術研究会 第5回シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 前田 雅貴, 川原 秀夫 (大島商船高専), 中武 靖仁, 寺坂 宏一 (慶應義塾大学), 河原 寛, 後藤 英親 (三井造船特機エンジニアリング)
2. 発表標題 船用高粘度重質油におけるマイクロバブルの基本的特性
3. 学会等名 化学工学会 第86年会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 ファインバブル学会連合	4. 発行年 2022年
2. 出版社 化学工学会関東支部	5. 総ページ数 258
3. 書名 ファインバブルの燃料への応用, 進化するファインバブル技術と応用展開 (最近の化学工70)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------