

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560969

研究課題名(和文) 船用重質燃料油のジメチルエーテルによる改質

研究課題名(英文) Characteristics Improvement of Ship Engine Fuel by Dimethyl Ether Mixing

研究代表者

段 智久(Dan, Tomohisa)

神戸大学・海事科学研究科(研究院)・教授

研究者番号：80314516

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円、(間接経費) 1,140,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題は、現在船舶のエンジン燃料として主に使用されている重油に、液化したジメチルエーテル(DME)を混合することで特性改善をし、排ガスの低公害化を図るものである。初年度は揮発性を有する混合燃料の動粘度計測手法を確立し、液化DME混合重油の動粘度を計測した。その結果、混合燃料の動粘度はDMEを混合すると指数関数的に低下するという知見を得た。2年目および最終年度は、液化DMEを重質な燃料に溶解させる手法を確立し、実エンジンにおける性能試験を行った。その結果、DMEを混合することで不完全燃焼成分(CO、HC、PM)は大幅に低減でき、条件によっては機関熱効率が向上することを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：This project aims to improve the characteristics of residual fuel, which is mainly used for ship engines, as well as the exhaust emissions by mixing a liquefied Dimethyl Ether (DME). During the first research year, a measurement system of kinematic viscosity was established to measure the volatile mixed fuels which contained the liquefied DME. From the experiments, it was obtained that the kinematic viscosity of mixing fuels drastically decreased with mixing DME in an exponential function. In the last research years, the mixing system of DME to residual fuel was made to adopt engine running tests. From the tests, it was concluded that the imperfect burning fractions, such as CO, HC, and PM, could be reduced by mixing DME. And within a certain condition, the thermal efficiency of the engines could be improved by the DME mixing.

研究分野：総合工学

科研費の分科・細目：船舶海洋工学

キーワード：船用機関 ディーゼルエンジン 船舶燃料 ジメチルエーテル 燃焼性改善 環境保全 動粘度

1. 研究開始当初の背景

近年、海洋環境保護の観点から、船用ディーゼル機関の窒素酸化物(NOx)排出量は国際条約によって規制されており、ススなどの微粒子状物質についても規制化が検討されている。船用ディーゼル機関の燃料である重油は、動粘度によりA重油・B重油及びC重油の3種類に分類されるが、船舶用燃料としては、全体の65%(大型船の80%)が最も粘度の高いC重油を用いている。C重油を燃焼させた場合にはススを大量に発生することが知られており、その燃焼ガスの清浄化が望まれている。

船舶の重質な燃料であるC重油の燃焼改善のために、本研究ではジメチルエーテル(DME)を用いる。DMEは、酸素原子にメチル基が2つ結合したエーテルであり、フロンに代替となるスプレー剤として多用されている。このDMEは燃焼特性がよいためエンジンの代替燃料としても注目されており、Sorensonら、梶谷ら、JFE・ダイハツディーゼル・岩谷産業共同プロジェクトなどの研究例がある。また陸上トラック用のディーゼル機関では実用化に向けた試験も実施されている。それらの研究では、DME単体を燃料として使用しており、燃料噴射系統を改造(噴孔直径の増大化など)しているものが多い。本研究は、従来燃料の燃焼改善を促進する媒体としてDMEを使用することに特徴がある。

2. 研究の目的

研究代表者は、これまでにDMEをA重油や植物性油に混合することで、ディーゼル機関の性能を維持しつつ、排出量規制の対象となるNOxやススの排出量を低減できることを明らかにしている。それらの研究では、DMEを液化状態でA重油や植物性油と混合するために、窒素ガスで加圧する耐圧燃料タンクを設計し、燃料配管を耐圧チューブに交換して液化状態を保ったままエンジン本体に供給できるシステムを構築した。このシステムにより、ディーゼル機関を揮発性のある混合燃料で運転することが可能となり、排ガス中のススの濃度を80%程度削減できる知見を得ている。

本研究は、それらの研究を発展させて、船舶主機関の燃料として多用されるC重油の改質を行うことを目的にしている。すなわち、C重油にDMEを混合して粘性の低い混合燃料へと改質し、ディーゼル機関から排出される有害成分の低減を行うことを目指すものである。

3. 研究の方法

(1) 混合燃料の動粘度計測方法

本研究ではC重油・DME混合燃料の特性評価として燃料の粘性係数を測定する。DMEの液体状態での粘性係数を測定する方法としては、Sivebaekらが提案している揮発性燃料粘度計がある。これは毛細管式粘度計測器を

圧力容器内に設置し、不活性ガスで加圧して燃料の揮発成分を液化し、その粘性計測を測定するものである。類似する手法で中里らはバイオディーゼル燃料とDMEの混合燃料の粘性係数を測定している。本研究では、この方法を応用して、C重油とDMEの混合燃料の粘性係数の測定方法を確立した。詳細は次章に記載する。

(2) エンジン性能試験方法

図1にエンジンを含めた実験装置および計測系統の概略図を示す。供試機関は水冷の小型直接噴射式4ストロークディーゼルエンジン(単気筒、シリンダー容積638cm³、圧縮比17.7、定格出力8.1kW@2400rpm)である。通常船舶で使用されているディーゼルエンジンに比較して、サイズははるかに小さいものであるが、定性的な機関性能の傾向は評価できると考えている。

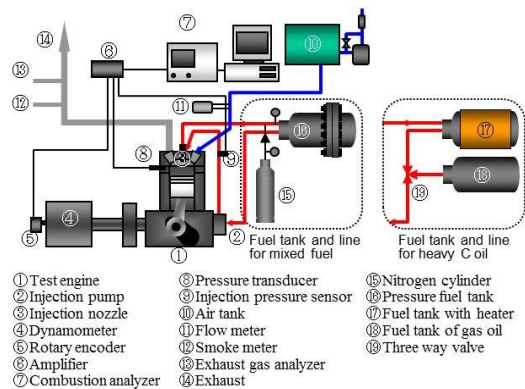


図1 機関計測系統図

このエンジンは、機関性能を解析するために燃焼室内部の圧力履歴および燃料噴射管の燃料圧力履歴を測定できるように改造している。燃焼室の圧力は、シリンダーとシリンダーヘッドの間に円環のスペーサーを挿入し、ピエゾ式の圧力変換器をスペーサー上を開けたねじ部に取り付けている。この際、ピストンヘッドに円盤上の燃焼室を取り付け、圧縮比が低下しないようにしている。また燃料噴射圧力は、ノズルホルダ入り口部直前で測定しており、同時に燃料温度をモニタリングすることが可能である。

排出ガス成分の濃度はエンジンの排気管から一部の排出ガスを分析器に取り込み、酸素(O₂)は磁気圧力式酸素分析計、NOxは化学発光法分析計、二酸化硫黄(SO₂)は定電位電解分析計を使用して測定した。また、以下に示すフィルター重量法により、排ガスに含まれる微粒子(Particulate Matter: PM)を計測し、有機溶媒(ジクロロメタン)に可溶性成分SOF(Soluble Organic Fraction)と不可溶性成分ISF(Insoluble Organic Fraction)の分離測定を行った。

PMの計測系統概略図を図2に示す。吸引した排ガスを表面がフッ素樹脂加工された粉塵濃度測定用の複合繊維濾紙(ADVANTEC,

PG-60, φ47mm)上に微粒子を捕集する。この時、フィルター直前での排ガス温度が 45～50 の範囲になるようにした。排ガスの吸引は、腐食性成分を除去するためのアブソーバ(オクトサイエンス, D-83AD)下流に設置したガスサンプラー(オクトサイエンス, D-25UP)によって行った。

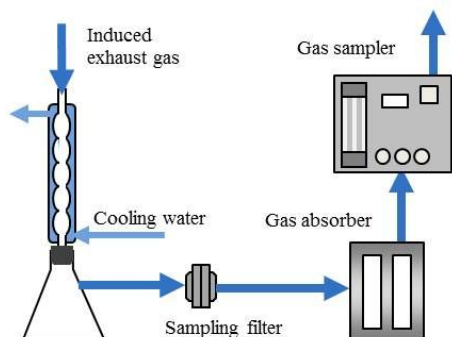


図2 微粒子計測系統図

捕集・計量の手順は次の通りである。乾燥機で 100 ・1 時間乾燥させて精密デジタル天秤(島津製作所, AUW120D)で質量測定をしたフィルターに、分流した排ガスを 10 liter を通過させて PM の採取を行った。PM 採取後のフィルターは、50 ・1 時間乾燥させた後に質量測定を行い、PM 全質量を計測した。その後、フィルターをジクロロメタン 30ml に 12 時間浸して SOF 分の抽出を行い、再度フィルターを 100 ・1 時間乾燥させて質量測定を行い、各質量計測の結果から ISF, SOF の質量を得た。この測定方法で測定される微粒子は、JIS Z 8808 で定義されるダスト(微粒子状物質)に相当し、厳密な意味では ISO 8178-1 の希釈サンプリング法で採取される PM とは一致しない。

4. 研究成果

(1) 動粘度計測方法の確立

毛細管式粘度計を可視化容器内に保持し、容器内を DME の飽和蒸気圧力以上に加圧することで揮発を防ぎながら粘度を測定する装置を作製した。粘度計には不透明液体の粘度計測に適したキャノン社製の Zeitfuchus 粘度計を使用した。この粘度計を透明円筒セル



図3 動粘度測定用の圧力セル写真

(ポリカーボネイト素材もしくは石英素材, 長さ 330mm, 外径 76mm, 厚さ 5.5mm), 円型フランジおよび長ボルトからなる圧力容器の中に保持した。図3に動粘度測定用の圧力セル写真を示す。被測定液体の温度は、粘度測定装置全体を恒温水槽に没入することで変化させた。

(2) DME 混合燃料の動粘度測定

被測定液体が加圧される影響を確認するために、粘度計校正用標準液によって加圧状態の動粘度計測を行った。その結果、セル内の雰囲気加圧されることで毛細管粘度計内の被測定液体の流動性が向上し、計測される動粘度の値は真の値よりも小さくなることを得た。そこで各種の標準液を用いて、被測定液体の加圧の影響を補正する係数を求めた。その結果、圧力の関数として補正係数が求まることを得た。次に、DME 混合燃料の動粘度を測定した。C 重油の動粘度は DME を混合することで劇的に低下し、燃料温度 50 の場合、低減率は DME10%で 52%, 20%で 66%, 30%で 77%, 40%で 89%であり、DME 混合による粘度変化は混合割合の絶対量に比例するわけではなく、指数関数的に急激に変化することを得た。図4に混合燃料の動粘度計測結果を示す。

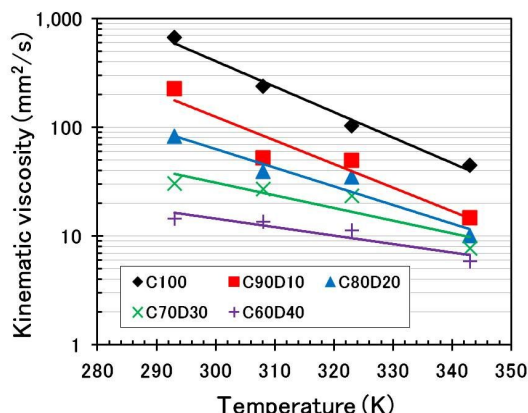


図4 混合燃料の動粘度測定結果

(3) 液化 DME の溶解法の確立

加圧型燃料タンクを縦型に分解できる形式とし、燃料溶解部分(内径 200mm)とフランジ蓋部分(外径 370mm)とした。DME は燃料溶解部分の中に挿入した円環式パイプ細管からバブリングによって混入する形式とし、この混合燃料の中で攪拌羽根を回転させながら、DME と C 重油が均一な混合状態になるように配慮した。混合燃料を抜き取って混合状態を確認した結果、良好な混合状態の形成を確認できた。これにより、液化 DME を比較的均質に重質な燃料に溶解させるシステムを構築できた。

(4) 小型エンジンにおける燃焼試験

小型直接噴射式ディーゼルエンジンにおいて DME / C 重油混合燃料の燃焼試験を行っ

た。DME の C 重油に対する混合率を重量割合で 0, 20, 40%と変化させ、混合率が燃焼状況に与える影響を解析した。その結果、不完全燃焼成分である一酸化炭素 CO (高負荷条件で 60%削減)、未燃炭化水素 HC (同条件で 60%削減)、スモーク (同条件で 35%削減) が DME 混合率に比例して低減できることを明らかにした。また、二酸化炭素 CO₂ の排出量も、高負荷条件では低減できることを明らかにした (図 5)。さらに従来の燃料微粒化に関する研究から、燃料動粘度は噴霧の微粒化特性に大きく影響を与えることが知られている。そこで C 重油 100%と C 重油 70%DME30%の動粘度がほぼ同一となる燃料温度 (前者 90 , 後者 50) でもエンジン燃焼解析を行った。その結果排気性能改善に液化 DME 混合が有効であることを得た。

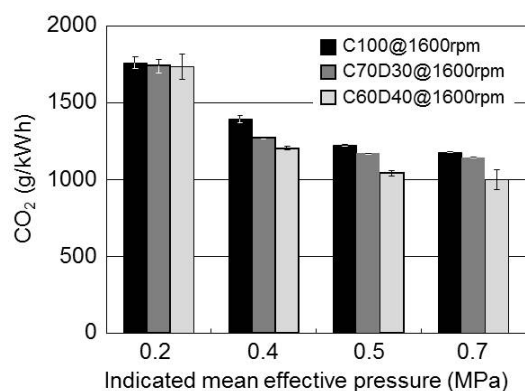


図 5 二酸化炭素排出量の変化

(5) 硫黄化合物が燃料燃焼に与える影響

これまでの研究では、液化 DME を化石燃料に混合することで燃焼改善ができることを示してきたが、船用燃料で問題となる燃料中硫黄成分の影響が明確ではなかった。そこで、燃料に模擬硫黄成分 (ジターシャリーブチルジスルフィド DBDS) を混合することで硫黄含有量を調製し、ディーゼル燃焼に与える硫黄成分の影響を検討した。その結果、燃料中の硫黄分が増加すると燃料噴射期間と燃料消費率は増加し、その一方で着火遅れ期間は減少するという結果を得た。また、燃料中の硫黄分が増加しても、DME を混合することで NO_x と PM の排出量が減少するという結果を得た。

(6) 中型エンジンにおける燃焼試験

本研究室で所有する中型の予燃焼室式ディーゼルエンジンにおいて、DME / C 重油混合燃料の燃焼試験を行った。DME の C 重油に対する混合率を重量割合で 0, 10, 30%と変化させ、混合率が燃焼状況に与える影響を解析した。その結果、C 重油に DME を混合することで燃焼特性および排ガス特性が大きく変わることが確認された。DME を混合することで環境有害物質の低減効果が見られ、CO, HC, PM に関しては大幅に低減できた。さらに地球温暖化の原因となる CO₂ も低減でき、熱効率

が向上することも明らかになった。これらより、DME はエンジン性能を保ちながら排ガス中の有害成分の低減に貢献できると言える。ただし、NO_x は増加する傾向にあったため、この低減の可能性を検討することが課題である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

Younghyun Ryu, Tomohisa Dan, Investigation on the Effects of Dimethyl Ether Blending to Bunker Oil for Marine Diesel Engine, Society of Automotive Engineers (SAE) Technical Paper Series, 査読有、2013-01-2659, 2013, pp.1-10

段 智久、大上 雅貴、西村 裕大、浅野 一郎、燃料中硫黄成分が DME 混合燃料のディーゼル燃焼特性に与える影響、日本マリンエンジニアリング学会誌 マリンエンジニアリング、査読有、48 巻 5 号、2013, pp. 676-683

段 智久、柳 榮鉉、浅野 一郎、DME/C 重油混合燃料を適用したディーゼルエンジン性能、日本船舶海洋工学会 日本船舶海洋工学会論文集、査読有、2012, Vol. 16, pp197-205

Younghyun Ryu, Tomohisa Dan, Combustion and Emission Characteristics of Diesel Engine by Mixing DME and Bunker Oil, Journal of the Korea Society of Marine Engineering, 査読有、Vol.36 No.7, pp. 885-893

Younghyun Ryu, Tomohisa Dan, Ichiro Asano, Measurement of Bunker Oil/DME Blended Fuel Viscosity for Diesel Engine Application, Journal of the Japan Institute of Marine Engineering Marine Engineering, 査読有、Vol. 47 No.5, pp.729-734

〔学会発表〕(計 7 件)

西村 裕大、段 智久、浅野 一郎、燃料中硫黄成分が DME 混合燃料のディーゼル燃焼特性に与える影響、日本マリンエンジニアリング学会 第 83 回マリンエンジニアリング学術講演論文集 (静岡)、2013-9-2, pp.175-176

段 智久、液化ジメチルエーテルを利用したディーゼル燃焼 - 動粘度測定とエンジン性能、日本マリンエンジニアリング学会 第 247 回ディーゼル機関研究委員会 (招待講演)(大阪) 2013-7-11

Tomohisa Dan, Younghyun Ryu, Ichiro Asano, Impact of Dimethyl Ether to Ship Engine Fuel for Marine Environment Protection, 5th Pan Asian Association of Maritime Engineering Societies Advanced Maritime Engineering

Conference AMEC2012 (Taipei) 、
2012-12-10、SEPAS_03、pp.1-6

Tomohisa Dan、Utilization of Liquefied
Dimethyl Ether for Promoting Better
Combustion in Ship Diesel Engine、2nd
East Asia International Student
Symposium on Maritime Sciences EAISS
2012 (Kobe)、2012-11-20

段 智久、水庫 誠、柳 榮鉉、浅野 一
朗、船用重質油のジメチルエーテルによ
る特性改善に関する研究、日本マリンエ
ンジニアリング学会 第 82 回マリンエ
ンジニアリング学術講演論文集 (高松) 、
2012-9-19、pp.133-134

段 智久、柳 榮鉉、水庫 誠、浅野 一
朗、船用重質燃料油のジメチルエーテル
による改質 揮発性物質を含有する混合
燃料の粘度測定 、平成 24 年春季講演会
(神戸) 日本船舶海洋工学会講演会論文
集、2012-5-17、第 14 号 2012S-0S5-9、
pp.121-124

Tomohisa Dan、Younghyun Ryu、Makoto
Mizukura、Ichiro Asano、Kinematic
Viscosity Measurement of DME and
Bunker Oil Blended Fuel for Diesel
Engine Application、8th KSME-JSME
Thermal and Fluid Engineering
Conference (Incheon)、2012-3-19、
Forum02 FR02-004、pp.1-3

6 . 研究組織

(1)研究代表者

段 智久 (DAN, Tomohisa)

神戸大学・大学院海事科学研究科・教授

研究者番号：8 0 3 1 4 5 1 6