

平成21年 5月19日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2008

課題番号：18560211

研究課題名（和文）ジメチルエーテル燃料ディーゼルエンジンにおける異常噴射の研究

研究課題名（英文） Fundamental Study on Abnormal Injection in DME Fueled Diesel Engines

研究代表者

是松 孝治（KOREMATSU KOJI）

工学院大学 工学部 機械工学科・教授

研究者番号：50124962

研究成果の概要：

噴射系内の圧力が低下すると異常噴射により運転が不調になることが、DME エンジンの大きな課題である。そのために燃料ラインの圧力を高める必要があったが、その値については経験的な判断によっていた。本研究の実機実験でその限界値が明らかになるとともに1次元非定常理論で、運転条件やエンジン仕様を与えることでその値が事前に求まることが示された。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,800,000	0	1,800,000
2007年度	700,000	210,000	910,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	450,000	3,750,000

研究分野：

科研費の分科・細目：熱工学

キーワード：

1. 研究開始当初の背景

原油価格の高騰は、中国を中心とするアジア諸国の経済発展などによるエネルギー需要の急増が関係しており、一時的なものとはいえない。しかも、石油資源の埋蔵量には限界が存在するのは明らかであり、長期的視点からも原油価格の高騰は、避けられない。そこで、石油に代わる燃料の追求が継続的かつ真剣に行なわれている。この中において、DME(ジメチルエーテル)は、無色透明でわずかな芳香性を持ち、常温、常圧では気体であり、ディーゼルエンジン燃料として、すなわち軽油や重油に代わる燃料として期待されている。

2. 研究の目的

DME ディーゼルエンジンの研究課題の中で、基礎的現象の解明によって革新的な技術進歩が期待できるものとして異常噴射現象の回避による高性能に維持がある。そもそもディーゼル噴射は、エンジン回転に応じて、断続的に行なわれるので極めて強い「周期的非定常性」を持っており、噴射系内には強い圧力波の伝播を生ずる。この伝播過程において生ずる負圧波によりDMEの一部が蒸発し気泡を発生する。この気泡が、噴射系内を通りインジェクタからエンジンシリンダ内に噴射されると、通常とは異なる燃焼現象を誘発し、エンジンは運転不調を起こす。この一連の現象を異常噴射現象と呼んでいる。このような現象が発生する原因を、総合的に解明し安定

的高性能化を図るのが本研究の狙いである。
3. 研究の方法

(1) 実機による異常噴射の回避実験・・・この異常噴射現象は、DME の沸点が軽油等にくらべて低いことがその原因であり、噴射系の DME の圧力を高めれば回避可能である。ほとんどの他の研究者は、この方法で DME ディーゼルエンジンを運転している。しかし、異常噴射をおこさない限界の圧力などを合理的に決定することは重要な研究課題として残っている。

(2) 異常噴射時の噴霧形状とエンジン性能・・・異常噴射が噴射系内での DME 蒸発に伴う気泡発生であるとするならば、シリンダ内に噴射された DME の噴霧形状が気泡の発生により大きく異なっているはずである。また、この噴霧形状とエンジン性能は密接な関係があり、この関係を明らかにするのも大切な研究課題である。

(3) 計算モデルによる気泡の発生機構の解明・・・燃料室、プランジャー室、吐出弁室、噴射管、インジェクションノズルから成り立つ流路内の非定常流れを解析し、気泡発生の条件を明らかにする。この研究課題は、申請者らの研究の中心的位置にある。

(4) 噴射系のモデル実験による計算モデルの検証・・・噴射系を模擬した流路を製作し気泡の発生状況を観察する。計算モデルの確認を行なう。

4. 研究成果

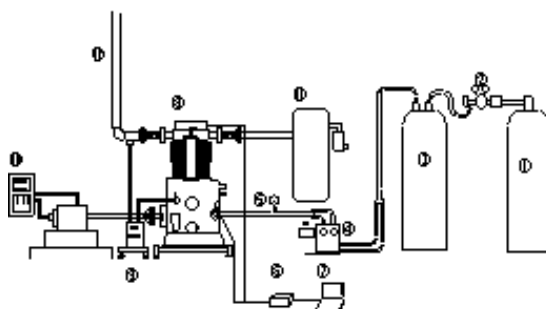
研究期間 3 年において、はじめにかかげた目標に沿って実施した成果をのべる。

(1) および (3) 実機による異常噴射の回避実験と計算モデルによる気泡の発生機構の解明

表 1 に実験に用いたエンジンの仕様をしめす。図 2 は実験装置の系統図である。

表 1 実験エンジン

Type	Air-Cooling 4 Stroke-Cycle Single cylinder DI Diesel engine
Bore × Stroke	82mm × 78mm
Displacement Volume	412mL
Compression Ratio	21.0
Output	5. 1kW/3000rpm



①Nitrogen cylinder ②Regulator ③DME cylinder

④Pressurization pump ⑤Pressure gauge ⑥Bridge unit
⑦PC ⑧Engine ⑨Desk model measurement board ⑩
Thermocouples ⑪Intake damper ⑫Exhaust pipe

図 1 実験装置

図 1 の実験装置①の窒素ポンプを②の調圧器で 1.2MPa まで DME を加圧し、噴射ポンプの燃料室に送り、エンジンの運転を行った (④のポンプを使って加圧しない) 場合の結果を図 2 に示す。プランジャー室に入る前の DME 圧力が 1.2MPa と低いので噴射系内の残圧は 9.5MPa と低い値になっている。10ms, 110ms, 210ms 付近に見られる圧送作用で 18MPa 付近まで上昇すると噴射弁が開き、再び残圧付近まで低下する。TDC マークの間隔がほぼ 100ms であるので、回転数が異常噴射によって設定値 2400rpm の半分まで低下していることが分かる。グラフ下部のベルト状の領域は温度範囲 325K~350K の飽和蒸気圧である。測定値から明らかのように、このベルト領域に入る圧力の測定値が数箇所見られる。ここではキャビテーションが発生していると見て間違いない。これは、圧力波の伝播の影響によって気泡の発生・消滅が起きていると考えることができる。一方、この場所で発生した気泡及び上流側に発生した気泡が圧力測定位置を通過する際におこる流路の閉塞現象と関連しているとも考えることも出来る。この点を明確にするため、DME 燃料エンジンの噴射系の計算モデルを作成し、噴射系内の圧力と流速を求めた。

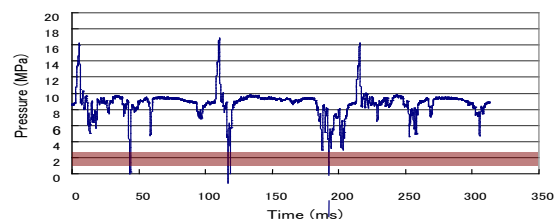


図 2 噴射管内の圧力(燃料室圧力:1.2MPa)

(2) 異常噴射時の噴霧形状とエンジン性能
よく知られるように噴流到達距離 L と時間経過 t の間には

$$L = Kt^{1/2}$$

(1)

の関係がある。DME の噴霧でもその関係は成立している。400K 未満の圧縮液はほぼ一定値 $K=2.2$ の値をとり、超臨界状態では $K=1.9$ となる。明らかに両者の間には差が見られる。さらに K の値は温度変化ではなく、臨界点前後で大きくへんかすることを意味しており超臨界 DME の拡散力の増加と強く関連していることが分かった。これが異常噴射とどのような関係があるかについては、さらに検討が必要である。

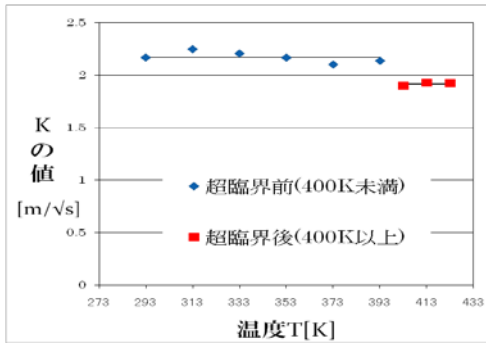


図3 DMEの噴霧到達距離の式(1)のK値

(4) 噴射系のモデル実験と計算モデルの検証

DME 燃料ディーゼル噴射装置特有のキャビテーションの原因になる「噴射に伴う負圧」の発生について、「高压容器と低压容器を電磁弁で遮断しておき、急激に開く」流路を用いて、現象の本質だけを取り上げた研究を行った。主な論点は、噴射装置の設計ツールとして使われる計算モデルをいくつかの実験で検討し、軽油と物性の異なるDMEの場合にも有効性を明らかにした。具体的には以下に要約する。

(I) 1次元非定常の計算モデルで計算を実行して得られた知見をまとめると以下のようになる。

- 1) 減衰効果を考慮しない場合、電磁弁の急激な動きによって生ずる圧力波が顕著に現れる。電磁弁を開くとそこに近い点の圧力は初期の P_H から急速に低下し P_L に近づく、これが管路内に伝わり、高压容器で正圧波となって反射し管路を逆向きに伝わる。そこでは圧力が P_H 付近まで急増する。この正圧波は低压側容器に達すると再び負圧波となる。この間、圧力経過を反映し流速は階段状に上昇するが最終的には定常速度 V_s となる。
- 2) 減衰係数 0 の場合電磁弁の開弁時間が1)に述べた圧力波の強弱に関係しない。
- 3) 実際の噴射装置に近い管路寸法下において減衰係数が大きくすると定常値の流速 V_2 は小さくなり、圧力 P_2 は大きくなることから定常に達する時間は短くなることわかる。

(II) 計算と対応する実験として、電磁弁を境にして高压容器と低压容器を管路で結び、この状態で電磁弁を開き、管路の両端および中央の圧力と温度を測定した。主な結果をまとめると次のようになる。

- 1) 低压容器に接近している点の圧力は、電磁弁が開くと急速に低下するが、高压容器に接近している点の圧力はほぼ一定値に保たれる。管路の中央位置の圧力は両者の間になっている。
- 2) 開弁後の管路内の状態は以下の3領域に分割される。すなわち、

第I領域：開弁直後の圧力波が管路内を伝ばしている領域である。

第II領域：圧力波は減衰するが慣性効果によって圧力と速度が時間的に変化している領域

第III領域：定常状態に達している領域である。ここでは、ポアズユ流れが成立している。

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4件)

- ① 梅山裕之、是松孝治、大久保幸広、田中淳弥、DME エンジン噴射系のモデル流路内流れの瞬時圧力について、自動車技術会論文集 Vol.39, No.3, 2009年、有
- ② 是松孝治、田中淳弥、大久保幸広、梅山裕之、DME 燃料ディーゼルエンジンの噴射系内流れの基礎研究、LEMA No.495、P11-17、2009年、有
- ③ 小野寺毅、是松孝治、田中淳弥、濱田健介、燃料ディーゼルエンジンの不安定作動と噴射管内のキャビテーションについて、自動車技術会論文集、V38, No4、P85-90、2007年、有
- ④ 是松孝治、田中淳弥、小野寺毅、梅山裕之、堀内智弘、DME を燃料にするディーゼルエンジンの異常噴射に関する基礎的研究、工学院大学研究報告、第103号、P1-12、2007年、無

[学会発表] (計8件)

- ① 高木一将、是松孝治、田中淳弥、超臨界 DME 燃料エンジンの噴射過程について、自動車技術会関東支部 2008年度学術研究講演会、国土舘大学、2009年3月3日
- ② 梅山裕之、是松孝治、田中淳弥、大久保幸広、DME エンジン噴射系のモデル流路内流れの瞬時圧力について、自動車技術会 2008年秋季大会、名古屋国際会議場、2008年10月23・24日
- ③ 是松孝治、田中淳弥、大久保幸広、梅山裕之、DME 燃料ディーゼルエンジンの噴射系流れの基礎研究、日本実験力学会 2008年度年次講演会、北海道大学、2008年6月30日～7月2日
- ④ 大久保幸広、梅山裕之、是松孝治、田中淳弥、DME を燃料にするディーゼルエンジンの異常噴射に関する基礎研究、自動車技術会関東支部 2007年度学術講演会、工学院大学、2008年3月8日
- ⑤ 梅山裕之、是松孝治、田中淳弥、DME 燃料ディーゼルエンジンの異常噴射に関する

る基礎的研究、日本機械学会創立
110周年記念2007年度年次大会、関
西大学、2007年9月9日～12日

- ⑥ 是松孝治、梅山裕之、小野寺毅、田中淳弥、堀内智弘、DMEを燃料にするディーゼルエンジンの異常噴射に関する基礎的研究、日本機械学会「第12回動力・エネルギー技術シンポジウム講演」東京海洋大学、2007年6月14・15日
- ⑦ 小野寺毅、是松孝治、田中淳弥、濱田健介、DME燃料ディーゼルエンジンの運転不調と噴射管内のキャビテーションについて、自動車技術会2006年秋季大会、Sapporo Convention Center、2006年9月28日
- ⑧ 濱田健介、是松孝治、田中淳弥、DME燃料エンジンの運転可能領域に関する研究(噴射系の理論解析による考察)、日本機械学会第1回埼玉ブロック大会、ラフレさいたま、2005年11月25日

〔図書〕(計 1件)

- ① 鍋島 淑郎、産業図書、環境工学入門 増補改訂版、216、2006年

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

是松孝治

(2) 研究分担者

田中淳弥 (H18～19)

(3) 連携研究者

田中淳弥 (H20)