

## 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 25 年 3 月 31 日現在

機関番号: 32613

研究種目: 基盤研究(C)

研究期間: 2010~2012

課題番号: 22560206

研究課題名(和文) 超臨界ジメチルエーテル噴霧の活用によるディーゼルエンジンの高性能化研究

研究課題名(英文) High Performance Diesel Engines Operated on Super-critical  
Dimethyl Ether (DME)

研究代表者

是松 孝治 (KOREMATSU KOJI)

工学院大学・工学部・教授

研究者番号: 50124962

研究成果の概要(和文): DME は燃焼時に硫黄酸化物や粒子状物質を全く発生しない等、環境負荷が極めて小さい燃料である。また、DME は石炭や再生可能なエネルギーであるバイオ燃料から製造できることも期待される点である。この研究は、ジメチルエーテルを、超臨界状態にしてディーゼルエンジンで噴射・燃焼させることで高性能化を目指すものである。与えられた研究期間においては、燃料に超臨界状態ジメチルエーテルを用いると、エンジン性能に強く影響する噴射特性がどのようになるかについて明らかにしている。

研究成果の概要(英文): Dimethyl Ether (DME) is a clean fuel that never generates sulfur oxide and particulate when burned and can reduce environmental adverse effects. DME can be produced by the synthetic gas made from coal, renewable biomass and so on. The goal of this study is to develop the high performance diesel engines operated on super critical Dimethyl Ether. This study forces on the spray characteristics of super-critical dimethyl ether which are strongly related the key technologies of the diesel engines.

交付決定額

(金額単位: 円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野: 工学

科研費の分科・細目: 機械工学・熱工学

キーワード: 燃焼

## 1. 研究開始当初の背景

動力を生み出す機械のうち熱を動力に変換するものを熱機関と呼ぶ。熱を生み出すものを燃料と呼ぶ。燃料には化石燃料や核燃料があり、いずれも環境に配慮しつつ枯渇しないよう効率的に使用していくことが求められている。

そこで、新しい動力装置を考え、必要なら

新燃料を開発する研究者に期待が膨らんできた。研究・開発には、スピード感が重要なファクターとして議論されるようになっていた。

## 2. 研究の目的

ジメチルエーテル(以下、DME)は、燃焼によって粒子状物質(PM)や硫黄酸化物をほと

んど排出しないクリーンな燃料である。また、圧縮着火性に優れている。すなわち DME は、性能と環境保全からみるディーゼルエンジン燃料への適合性は軽油や重油に比べ高いのである。すなわち、石油代替燃料の域を超えて、DME 新世代動力システムの確立の可能性がある。

DME の臨界点が 5.37MPa、400K とである。エンジンの周辺の温度の値は冷却水、潤滑油などでも 400K を超えることはよくある。また圧力の 5.37MPa も、燃焼室や噴射系などでこの値を超える。すなわち、DME 燃料ディーゼルエンジンにおいて、超臨界状態の実現はそれほど無理なものではなく、部分的にはすでに超臨界状態になっている。

### 3. 研究の方法

ディーゼルエンジンの噴射系について研究する。燃料の DME が超臨界状態になった時だけあらわれる特殊な現象が発生するかどうかが焦点になる。各研究項目をできるだけ多く明らかにする。また、実験を解釈するために、超臨界の現象を取り込んだ計算モデルを作成した。

### 4. 研究成果

#### (1) ハンドテスターによる噴射試験

**第1実験：**DME が超臨界状態になっている噴射装置内の流動解明 (①窒素で加圧した DME をさらにポンプで加圧しオイルバスで加熱して、超臨界圧力・温度にする。②開弁圧がコントロールできるハンドテスターにインジェクターを取り付けて、これを通じて大気に噴射する。③このときの噴射系内の圧力の時間的変化を測定する)

**第2実験：**超臨界 DME が燃焼室内に噴射されて形成される噴霧特性 (分散性、貫徹性、微粒化性) の解明 (噴霧の形状を高速度ビデオで観察するとともに、外部に設けた点火装置で DME-空気混合気の着火範囲を測定する) の2つの実験を中心に研究を進めた。

この研究のポイントは、超臨界 DME の噴霧に、超臨界特有の現象が現われるかどうかである。この観点からの代表的成果として、DME 噴流の到達距離  $L$  と時間経過  $t$  の間には、 $L=Kt^{1/2}$  の関係があり、本実験の観察から  $K$  の値を算出したところ、圧縮液ではほぼ一定値  $K=2.2$  の値をとり、超臨界状態では  $K=1.9$  となった。つまり、臨界点を境に  $K$  の値に段階的な差があることが示された (図1)。

#### (2) 直噴ガソリンエンジン用高圧インジェクタによる実験

実際の噴射システムを意識し、燃料噴射弁

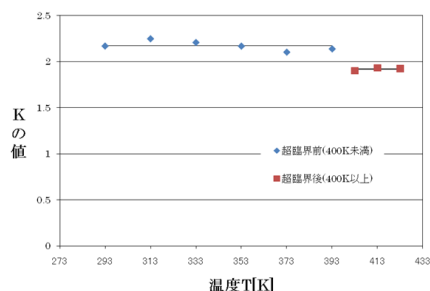


図1 臨界点とペネトレーションの係数 K の関係

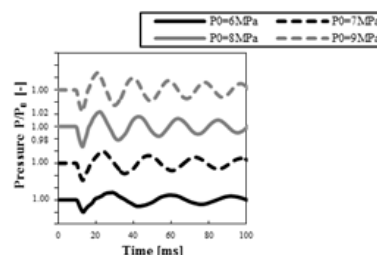


図2 臨界圧を超える噴射圧を与えた場合の噴射管内の圧力の経過

には直噴ガソリンエンジン用高圧インジェクタ (単噴孔  $\phi 0.5\text{mm}$ ) を使用した。ポンプにより管路内加圧、またヒーターにより管路内加熱を行い圧力・温度が実験条件に達したらインジェクタが駆動するシステムである。管路内にバッファタンクを設け、噴射による圧力降下を抑えることでコモンレール噴射装置を再現している。

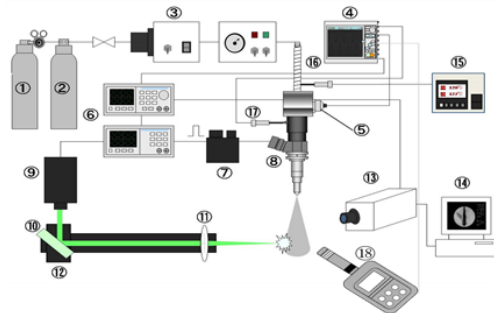
**第3実験：**噴射管接続部に設置した圧力変換器により、燃料噴射時の圧力変動計測を行った。図2はその結果を示す。測定圧力は噴射管路内の計算モデルの値とよく一致しており、超臨界 DME の物性値および状態方程式を用いれば、計算モデルが有効である。

**第4実験：**シュリーレン撮影法により DME 噴流の外形状を可視化した。光学系は水銀灯を光源として、凹面鏡で平行光束を形成し、高速度ビデオカメラにより撮影する。

**第5実験：**噴射量を求めるため、定容容器内に燃料を噴射すると、容器内の圧力が上昇する、DME の状態方程式を用いれば噴射量 (質量) が求まる。この結果から噴射ノズルの見かけの流量係数を求めた。

(3) DME 噴霧にレーザで着火させ噴霧の存在領域及び可燃領域を明らかにする  
用いた実験装置は図3である。

第6実験：着火領域と可視領域が図4に示すように着火率の高いドーナツ状の領域が存在することが分かった。



- ① 窒素 ②DMEの燃料 ③ポンプ ④記録紙 ⑤圧力素子 ⑥開数 ⑦噴射制御 ⑧噴射ノズル, ⑨Nd-YAGレーザー ⑩ミラー ⑪レンズ ⑫光学ベンチ ⑬光速速度カメラ ⑭パソコン ⑮温度制御装置 ⑯ヒータ ⑰熱電対 ⑱騒音計

図3 レーザ着火法による着火率の分布の測定系

### 第7実験：燃焼面積と燃焼音の関係

高着火率の領域と低着火率の領域では燃焼面積の広がり方が異なる。燃焼面積が大きくなると燃焼音も大きくなることが分かった。

以上の7実験が研究期間に行った内容である。この実験の結果を理論的に解明するため理論モデルの改良も行った。本研究で改良したのは「噴霧のペネトレーション」の計算である。これまでは、解析的に求めるために、オーダー比較による近似的取扱いになっていたが、実験との比較を厳密化するため、数値計算法を導入した。これで、実際にペネトレーションの計算を行ったのが図5である。この計算モデルの適用範囲がこれにより飛躍的に改善された。

#### (4) 総括

液体理論と実在ガス理論を用いて、臨界点付近の流動・拡散・着火現象の説明ができにくい、現象があるかどうか、そしてその影響が超臨界DME噴射装置の設計や開発に革新的な影響をもたらすかどうか重要である。

本研究により、このためのデータはほぼ出そろった状況になった。また、この成果を形あるものにし、超臨界技術の発展に寄与することが残された課題である。

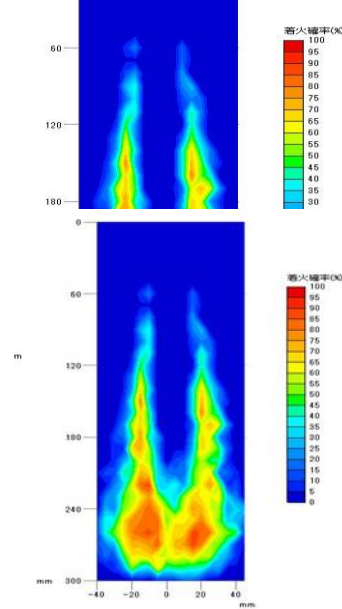


図4 超臨界DMEの着火確率分布

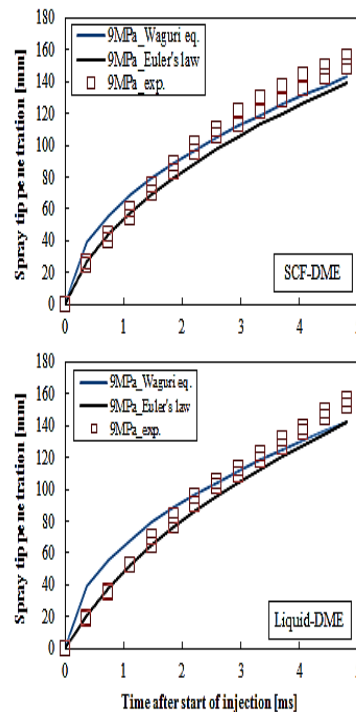


図5 ペネトレーションの計算結果（近似解析と数値積分との比較）

### 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 2 件）

(1) 嶋田泰三、是松孝治他 4 名、ディーゼルエンジンにおけるニートバイオ燃料の燃焼に関する基礎研究（軽油に対する脂肪酸の物性とエンジン燃焼の比較）、査読有、設計工学、47 巻 2 号、91-97、2012 年 2 月

(2) 徳留大樹、是松孝治、SI エンジンの未燃焼炭化水素排出に与えるリングクレビス

の効果、自動車技術会論文集、査読有、43  
巻1号, 69-74, 2012年1月

〔学会発表〕(計 22件)

(1) 脇川琢磨、是松 孝治、清水 祐太  
超臨界DMEの噴射特性に関する研究、日本  
機械学会関東支部 第19期総会講演会、  
2013年3月16日

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況(計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

是松 孝治 ( KOREMATSU KOJI )  
工学院大学・工学部・教授  
研究者番号：50124962

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：