

## Team FD 燃料設計コンセプトによる高効率・低エミッション燃焼法の開発

担当者

小橋好充(SA) 味岡将士(M2) 桑原悠(M1)  
宮田哲次(B4) 向山智之(B4)

2013年度班紹介資料

## 1. 研究背景および目的

近年、ディーゼル機関における燃焼改善を目的とした研究は数多くなされており、化石燃料の枯渇化および環境汚染などの諸問題を解決し得る次世代燃焼方式が模索されている。ディーゼル機関から排出される粒子状物質(PM)および窒素酸化物( $\text{NO}_x$ )は生成要因の面から相反する関係にあり、大幅なそれらの同時低減は困難を極める。この解決策として、燃料噴射における早期化の導入により、混合気の前混合を促進したディーゼル燃焼の低エミッション化が試みられてきた。しかしながら、前混合を促進したディーゼル燃焼は高負荷領域において多点同時着火を発生して急激な圧力上昇が起こる。これらの対策として、高負荷領域では従来のディーゼル燃焼を適用する提案がされてきた。

これに対し、本研究では燃料の物理的・化学的性質を人為的に操作し燃焼制御を行う燃料設計手法を提案している。沸点の異なる燃料を混合した際、それぞれの飽和蒸気圧曲線は両成分の分子間相互作用によって互いに引き寄せあうような性状を示す。これにより、両成分の飽和蒸気圧曲線の間にも両成分の気液両相が混在する二相領域が形成される。図1に二成分混合燃料圧力-温度(P-T)線図を示す。二相領域の形成により、高蒸発性を有する混合燃料の生成が可能となる。図2に直鎖系炭化水素燃料およびノルマルペンタン/ノルマルトリデカンの混合燃料における着火遅れ期間を示す。図2より、直鎖系炭化水素では炭素数の増加に伴い着火性が高くなる。一方、混

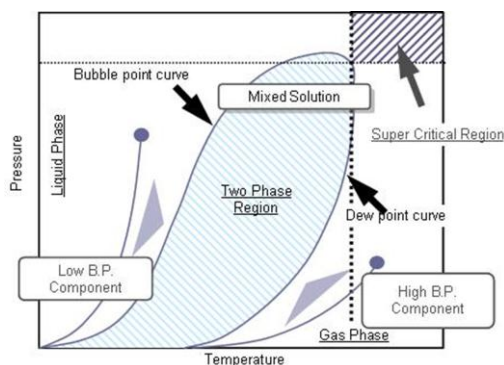


Fig.1 Pressure-Temperature diagram of mixed fuel

合燃料における着火性は高沸点燃料に依存する。つまり、混合燃料では各成分の混合割合および組成により、従来にない高蒸発性および高自着火性を併せ持つ燃料の作成が可能になる。この高蒸発性・高自着火性を利用し、筒内における噴霧の蒸発から混合気形成、着火、燃焼までを制御することで、高熱効率かつ低エミッションを実現し得る燃焼手法の確立を図る。過去の研究では、二成分混合燃料を二段燃料噴射に適用することにより、混合気濃度分布の制御を図った。

本報では、混合燃料自体による着火・燃焼制御の可能性を検討するため、単一噴霧に着目し二成分混合燃料噴霧の蒸発特性を検証した。なお、計測には定容燃焼容器を用い、シャドウグラフ・Mie 散乱光の撮影および化学種自発光計測を行った。

## 2. 実験装置および実験条件

供試機関には、高温高压のディーゼル雰囲気場を模擬できる定容燃焼容器、可燃予混合気を作成する混合容器、燃料噴射装置および制御装置を使用した。まず、混合器内にアセチレン、酸素および窒素を組成する可燃混合気を作成し燃焼室内に充填した。その後、スパークプラグを用いて可燃混合気を点火・燃焼させ雰囲気場を高温・高压にし、雰囲気温度が800Kまで低下した際に燃料を噴射した。

本実験では、低沸点燃料の蒸発性が二成分混合燃

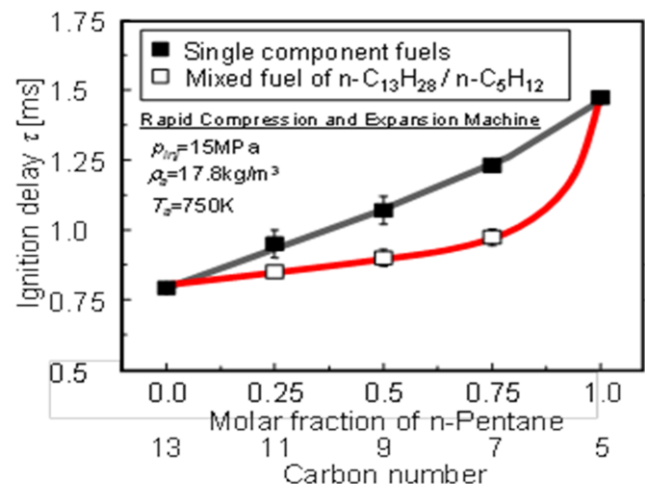


Fig.2 P-T diagram by changing boiling point of low boiling point fuel

料噴霧の蒸発特性および着火特性に与える影響を把握するため、低沸点燃料にオクタン価・セタン価がほぼ同等であり沸点が異なるイソペンタン(iC5), シクロペンタン(cyclo-C5), イソオクタン(iC8)およびイソドデカン(iC12)を用いた。なお、高沸点燃料はノルマルトリデカン(nC13)に固定し、各混合燃料における $M_L$ は0.75とした。燃料噴射量, 噴射差圧, 雰囲気温度および雰囲気密度それぞれ10mg, 100MPa, 800K, 16.2kg/m<sup>3</sup>とした。

### 3. 実験結果および考察

図3に低沸点燃料の蒸発性を変化させた際の着火遅れ期間を示す。低沸点燃料における沸点の上昇に伴い、着火遅れ期間は単調増加している。これは、低沸点燃料における沸点の低下に伴い、二相領域は低温側へ移行し、燃料の蒸気化が促進したと考えられる。図4に低沸点燃料の沸点を変化させた際のOHラジカル, 蒸気相および液相の画像を示す。また、図4より算出した低沸点燃料の沸点を変化させた際の着火位置, 着火時期における蒸気相長さおよび蒸気相長さに対する着火位置を図5に示す。図4および図5より、着火位置は着火遅れ期間とほぼ同様の傾向を示す。ここで、 $\tau$ は燃料の噴射開始から熱発生率が正に転じるまでの期間と定義した。また、蒸気相長さに注目するcyclo-C5/ nC13を除くほかの混合燃料は、 $\tau$ は依存する傾向となる。しかしながら、cyclo-C5/ nC13の蒸気相長さは低沸点燃料の $\tau$ に依らない傾向を示す。これはcyclo-C5が他の低沸点燃料と比較して

高密度であり、燃料液滴の運動量が増大したと考えられる。そのため、cyclo-C5の蒸気相長さに対する着火位置はiC5/ nC13とほぼ同様の傾向を示すが、僅かに小さくなったと考えられる。また、iC12/nC13の蒸気相の長さに対する着火位置はiC8/nC13よりも僅かに大きくなるが、ほぼ同様の値を示している。これは、噴射終了後に着火しているため蒸気相長さは長くなり、時間経過に伴う低沸点燃料および高沸点燃料の離散化が促進することにより、着火位置は噴霧下流側へと移行したためと考えられる。以上の結果から、沸点の異なる燃料の混合は、時空間的に噴霧内における着火の制御を可能にすると示唆された。

### 4. 結言

- (1) 沸点の異なる燃料の混合は、時空間的に噴霧内における着火の制御を可能にする。
- (2) 二成分混合燃料の液相の長さは低沸点燃料の密度により影響される。

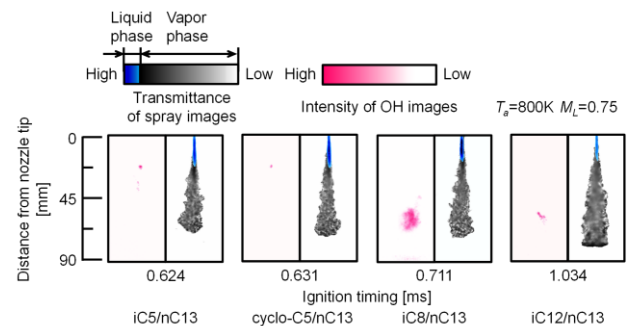


Fig.4 Relation between position of OH ration and spray structure of ignition timing for various boiling points of low boiling point fuels

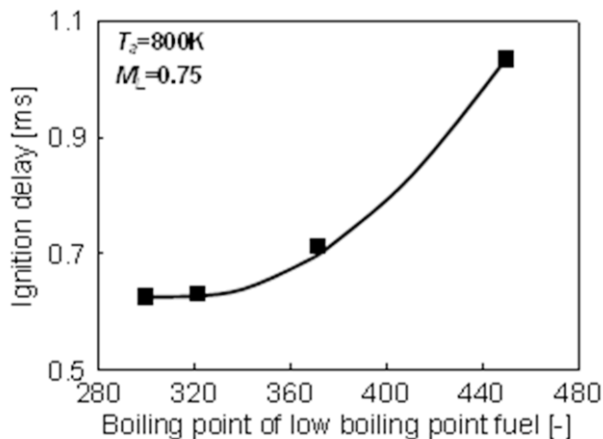


Fig.3 Inition delay for various boiling point of low boiling point fuel(iC5/ nC13, cyclo-C5/ nC13, iC8/ nC13, iC12/nC13)

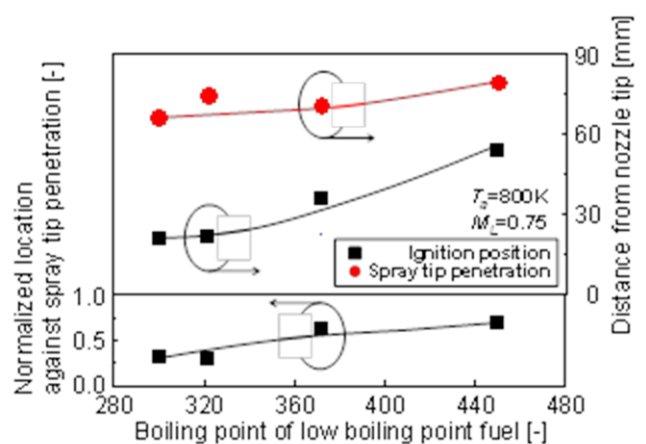


Fig.5 Ignition position and spray tip penetration at ignition timing for various boiling point of low boiling point fuel (iC5/ nC13, cyclo-C5/ nC13, iC8/ nC13, iC12/ nC13)