

低エミッション・高効率のための燃料設計コンセプト

研究者

和田 好充(M2) 橋田 佳明(M1) 藤縄 大介(B4) 長谷川 典昭(B4)

2003年ゼミ紹介資料

1. 研究目的

ディーゼル機関の燃焼形態である噴霧拡散燃焼は、燃料の拡散、蒸発、燃焼が同時に進行する極めて複雑な現象である。これらの現象、すなわち、噴霧・燃焼過程の制御技術は排気性能、熱効率向上のための重要な要素であり、現在多くの手法が研究されている。これまで行われてきた噴霧・燃焼制御は、燃料噴射装置の改良や、燃料噴射時期の変更など、機関側から最適化を図るものであった。それに対し本研究は、燃料設計コンセプトに基づき沸点の大幅に異なる2種類の燃料を混合し、燃料による噴霧・燃焼制御を目的としている。

2. 燃料設計コンセプト

本研究の提案する燃料設計コンセプトを以下に要約する。

2.1 燃料性状による制御

輸送物性値や着火特性の異なる燃料を混合し、その混合割合を変化させることにより、燃料の物理的特性の制御が可能となる。

2.2 減圧沸騰による噴霧の微粒化

図1に低沸点、高沸点各燃料の飽和蒸気圧曲線を示す。これらを混合すると、互いの飽和蒸気圧曲線が引き寄せ合い、両曲線間に気液の混在する二相領域が形成される。このことから、高沸点燃料が低沸点化し、蒸発特性が向上する。また、燃料が噴射時の減圧によりこの二相領域を通過すると、減圧沸騰を生じ、噴霧の微粒化、蒸気化が促進される。

2.3 燃焼過程の最適化

2.1, 2.2 で述べたように、燃料の混合組成や混合割合により輸送物性値、蒸発特性などの噴霧特性および、着火特性に関する重要なパラメータを変化させることができる。このことにより、噴霧形状、着火過程を任意に制御することで、燃焼領域の時空間的制御が可能となる。したがって、多様な燃焼室形状に対する一連の燃焼過程は燃料組成により最適化できる。

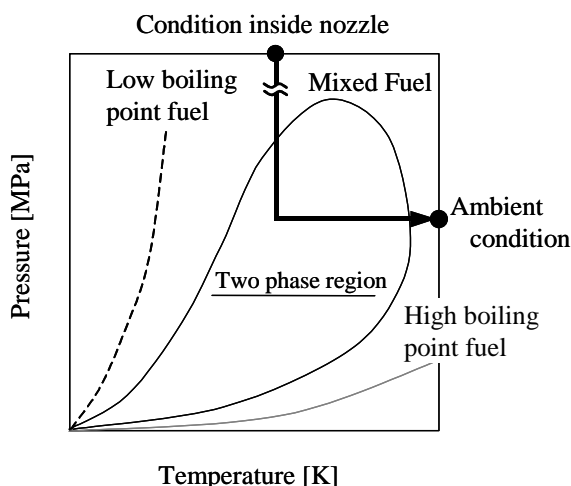


Fig.1 Two-phase region of mixed fuel

3. 過去の研究結果

3.1.1 低沸点・高沸点混合燃料の噴霧特性

図2にn-トリデカン・n-ペンタン混合燃料(以下 C13/C5)を用いたLIF撮影画像およびMie散乱光撮影画像を示す。LIF法はn-トリデカン(以下 C13)に対してテトラリン, n-ペンタン(以下 C5)に対してアセトンをトレーサとして用い、各燃料成分の噴霧挙動を観察した。また、C13/C5におけるC5の混合割合(以下 X_{C5H12})はモル分率で0.75とした。C13/C5の噴霧では、アセトンの広範囲な分布が確認できるが、テトラリンは噴霧軸付近に狭い範囲で存在していることがわかる。テトラリンの存在領域は時間の経過と共に噴霧下流側へ移動し、その先端到達距離はC13単成分の噴霧とほぼ一致する。以上のことから、C13/C5では揮発性の高いC5が早期に蒸発するため、噴霧下流部において高沸点化した燃料が多く確認される。このため、噴霧先端到達距離は主に高沸点燃料に支配され、C13単体と同等の長さになったと考えられる。

3.1.2 減圧沸騰を生じる混合燃料の噴霧特性

図3に定容容器を用いて、C13/C5の初期燃料温度(以下 T_f)を変化させた際の噴霧画像を示す。なお、 $T_f=340K$ 以上が減圧沸騰を生じる条件である。 T_f の上昇に従い、噴霧軸方向への成長速度が低下していることが分かる。また、減圧沸騰を生じる条件を境に、噴霧の半径方向への分散が顕著となる。これは、減圧沸騰による噴霧の微粒化により、噴霧が貫徹力を失ったためと考えられる。

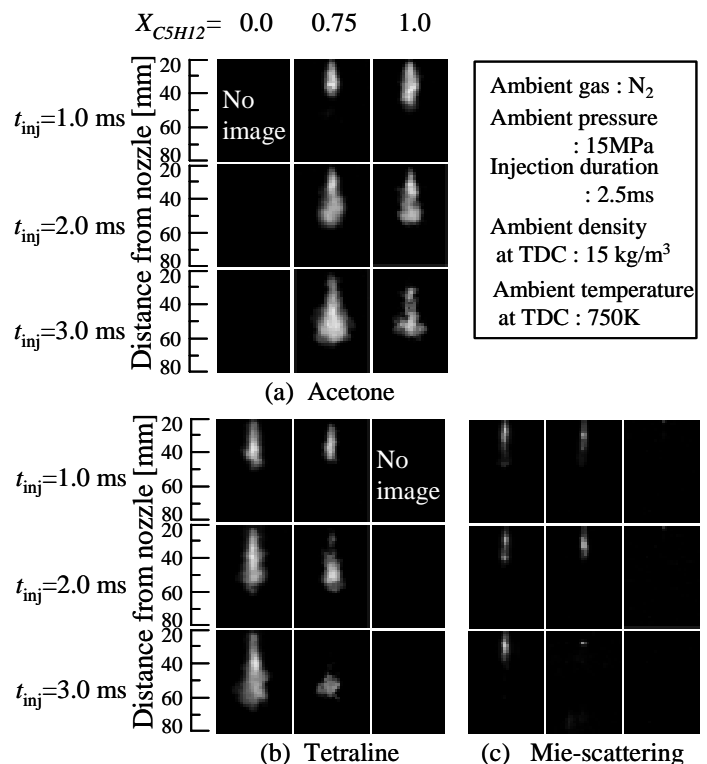


Fig.2 Mie-scattering and LIF images of each mixing fraction with rapid compression expansion machine

3.2 混合燃料における排気特性

本実験では、混合燃料を実機関に適用した際の排気特性を調べた。供試燃料はC13/C5とn-トリデカン・LPG混合燃料(以下C13/LPG)である。C13/C5のペンタン混合割合は $X_{C5H_{12}}=0.0, 0.25, 0.50, 0.75$ とし、C13/LPGはLPGをモル分率0.8で混合した。また、C13/LPGは初期燃料温度を $T_f=310, 370, 400, 440\text{K}$ と4段階変化させた。

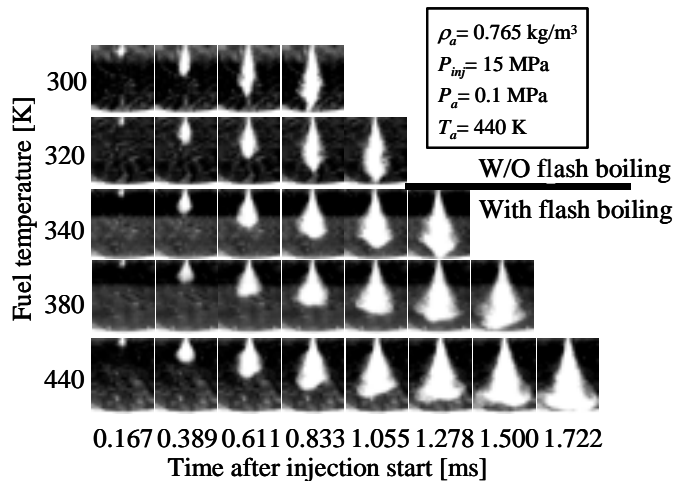


Fig.3 Shadowgraph images at each initial fuel temperature

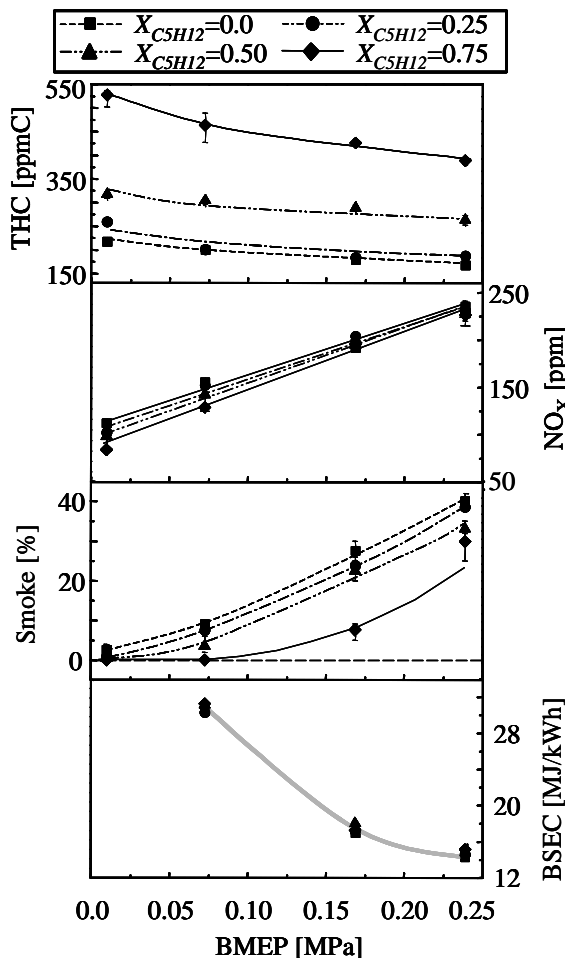


Fig.4 Exhaust emissions and BSEC of C13/C5

3.2.1 低沸点燃料成分が排気特性におよぼす影響

図4にC13/C5を用いた際の排気ガス成分濃度を示す。 $X_{C5H_{12}}$ の増加に伴い、smoke排出量は低減している。これは、C5の混合により燃料の蒸発特性が改善され、局所的な燃料過濃領域の形成が回避されたためである。また、 NO_x 排出量は $X_{C5H_{12}}$ の増加に従い減少する結果となった。これは、燃焼期間の短縮によるものと推測される。一方、 $X_{C5H_{12}}$ の増加によりTHCは増加したが、エネルギー消費率が混合割合にあまり依存しないことから、THC排出量のオーダとしては、十分低い水準であると言える。

3.2.2 減圧沸騰が排気特性におよぼす影響

図5にC13/LPGを用いた際の排気ガス成分濃度を示す。なお、本実験では、 T_f を調節することにより、減圧度を変化させた。 $T_f=370\text{K}$ 以上が減圧沸騰を生じる条件である。 T_f の増加に伴いTHCが減少している。また、このためエネルギー消費率も改善している。特に、減圧沸騰を生じる条件においては、より顕著な減少が確認できる。これは、減圧沸騰により噴霧が微細化されるため、噴霧内への空気導入量が増加し、燃料の燃え切り性が向上したためである。 NO_x は、 T_f の上昇に伴いわずかに増加した。これは、減圧沸騰による噴霧の微粒化により予混合燃焼が活発化したためである。また、smoke排出量は、これに加え、噴霧の微粒化により噴霧内への空気の導入量が増加するため、大幅な低減となった。このことから、減圧沸騰のすす抑制に対する有効性が示された。

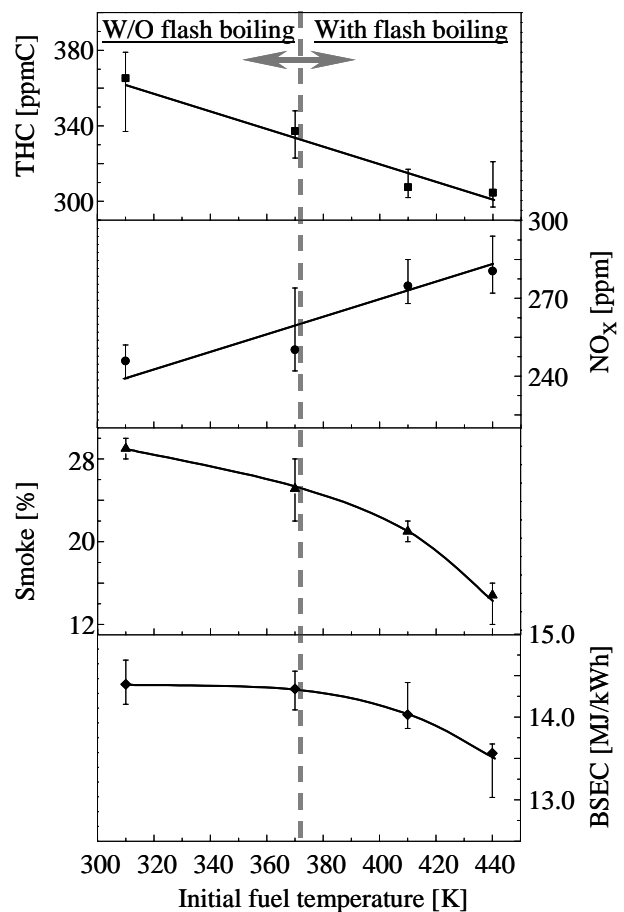


Fig.5 Exhaust emissions and BSEC of C13/LPG