

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) 桑原悠(M2) 宮田哲次(M1)
巽健(B4) 川中隆史(B4)

2014年度班紹介資料

1. 研究背景および目的

近年、化石資源の枯渇問題に向けた対策として、熱効率の高いディーゼル機関が注目されている。しかしながら、ディーゼル機関から排出される NO_x および PM の生成条件はトレードオフの関係であるため、同時低減は困難である。したがって、DPF および尿素 SCR 等の後処理装置を使用することにより、排気ガスの清浄化が行われている。しかし、今後さらなる排気ガス規制の強化が予想されるため、外部装置の改良だけでなく燃焼面の改善による低エミッション化が必要である。また、エミッションの総量を抑制するために、熱効率の向上が有効な手段であると考えられる。

現在、エミッションを低減する手法として、混合気の予混合化を促進した燃焼が研究されている。その中で、混合気形成から燃焼に至るまでの過程において、重要な因子である噴霧の制御は必須である。そこで本研究では燃料の物理的・化学的性質を利用し、噴霧制御を可能とする燃料設計手法を提案している。過去の研究では本手法を用いることにより、蒸気相長さ等の噴霧形状を人為的に制御できる可能性を示唆した。また、ディーゼル機関において、さらなる高効率化を実現するためには壁面への熱損失を低減することが必要不可欠である。そこで燃焼室壁面との干渉を回避し得る火炎形状の制御が望まれる。これらを踏まえ、燃料設計手法を用いて混合気形成、着火および燃焼までを制御することにより高熱効率かつ低エミッションを実現する燃焼手法の構築を図る。

本報では二成分混合燃料を用いた火炎構造における制御の可能性を検証した。そこで、着火特性および火炎構造を把握するため、定容燃焼容器を用いて化学種自発光計測および輝炎の撮影を行なった。

2. 実験方法および条件

本実験では、高温・高圧のディーゼル雰囲気場を模擬できる定容燃焼容器を用いた。図1に実験装置の概

略図を示す。本実験における実験装置は定容燃焼容器、可燃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により構成される。まず、混合容器内においてアセチレン、酸素および窒素を組成とする混合気を作成し、この混合気を定容燃焼容器内に充填した。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・高圧にし、雰囲気温度が所望する温度まで低下した際に燃料を噴射した。また、燃料噴射装置にはコモンレール式燃料噴射装置(DENSO: ECD-U2システム)を用いて、燃料を噴孔径0.15mmの単噴孔ホールノズルにより噴射した。ここで、定容燃焼容器壁面の温度はヒータにより373K一定とし、燃料温度は293Kとした。また、定容燃焼容器内の圧力測定には圧力センサ(KISTLER: 6125C)を用い、チャージアンプ(KISTLER: type 6011)を介してPCに取り込んだ。

表1に実験条件を示す。供試燃料は高沸点成分としてノルマルトリデカン($n\text{C}_{13}$)および低沸点成分としてノルマルペンタン($n\text{C}_5$)を用いた。各実験における基準条件は低沸点成分の混合割合(M_L)を質量分率として0.5とし、雰囲気圧力(P_b)および雰囲気温度(T_{amb})は

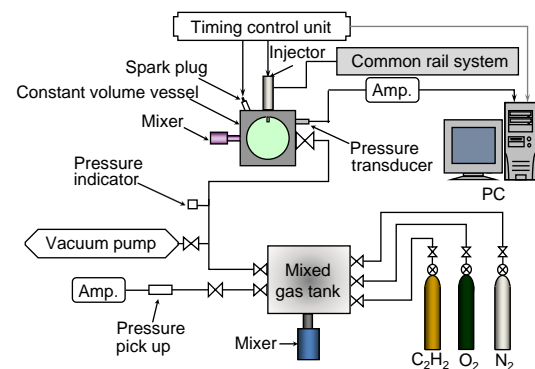


Fig.1 Experimental apparatus

Table1 Experimental condition

Mass fraction of low boiling point fuel	M_L [-]	0.0, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0
Back pressure	P_b [MPa]	1.90, 2.47, 3.18, 3.96
Ambient temperature at injection	T_{amb} [K]	787
O_2 concentration	X_{O_2} [mol.%]	21
Injection heat quantity	[J/cycle]	445
Fuel temperature	T_{fuel} [K]	293
Injection pressure drop	ΔP [MPa]	80
Injection nozzle configuration		$d_n = 0.15$ [mm], $l_n/d_n = 4.7$
Injection equipment		Common-rail type

圧縮比18における-20deg.CA ATDCの筒内圧力および筒内温度とした。本研究では低沸点成分の混合割合、雰囲気圧力、雰囲気温度、雰囲気酸素濃度、燃料温度を変化させて実験を行う。そこで、本報では低沸点成分の混合割合を変化させた際について実験を行い、火炎性状に及ぼす影響を把握した。

3. 実験結果および考察

図2および図3に M_L を変化させた際の輝炎およびOHラジカルの撮影画像を示す。図2および図3より、輝炎領域外におけるOHラジカルの発光より、不輝炎が生じていることが確認できる。また、図4および図5に、図2および図3より算出した輝炎およびOHラジカルの噴霧軸方向の最大長さ(X)および半径方向の最大長さ(Y)の比であるアスペクト比(X/Y)の時間履歴を示す。アスペクト比は輝炎およびOHラジカルが長く細いほど大きく、短く太い程小さな値を示す。図4および図5より、輝炎の生成領域に関して、輝炎発生から噴射開始後1.5ms付近において輝炎領域が噴射軸方向へと広がる自由噴霧火炎領域(図4中の領域①)であり、輝炎領域のアスペクト比は急激に増大している。噴射開始後1.5から2.5ms付近で輝炎が定容燃焼容器の観察窓直径である80mmに達し、輝炎下流部が観察できなくなる壁面付着領域

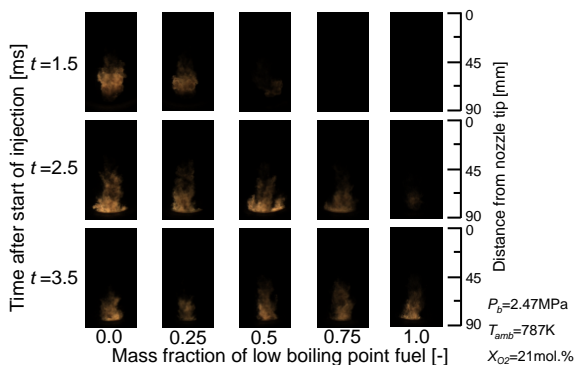


Fig.2 Luminous flame images for various M_L

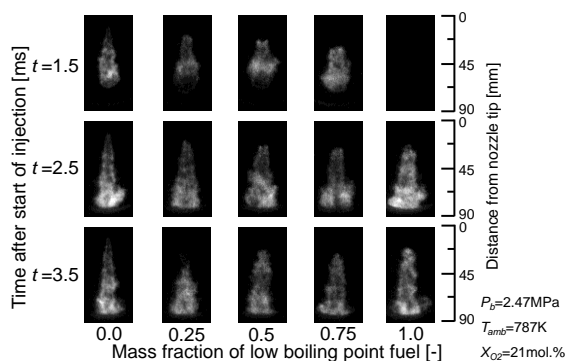


Fig.3 OH radical images for various M_L

(図4中の領域②)となり、アスペクト比は増加しなくなる。また、噴射開始後2.5から3.0ms付近では定容燃焼容器下流に滞留していた輝炎がなくなる壁面火炎縮退領域(図4中の領域③)としてアスペクト比が増加している。そして噴射開始から3.0ms以降では燃料噴射の終了により輝炎が生成されない消炎領域(図4中の領域④)となり、アスペクト比は急激に減少する傾向にある。図4および5より M_L の増大に伴い、輝炎およびOHラジカルのアスペクト比は共に減少しており、扁平的な火炎の性状を示している。また特に $M_L=1.0$ の条件では顕著に表れている。これは、 τ の非線形効果により、予混合化が進行したためと考えられる。またOHラジカルの時間変化における重心位置は輝炎と比較して燃焼前半に移行していることがわかる。これは M_L の増大に伴う着火性の低下により τ すなわち予混合時間が長期化し、拡散的燃焼による輝炎の発生が抑制されたと考えられる。

4. 結言

低沸点成分の混合割合が増大するに伴い、扁平火炎が形成され、燃焼室壁面との干渉による熱損失の低減に伴う熱効率の向上が期待できる。

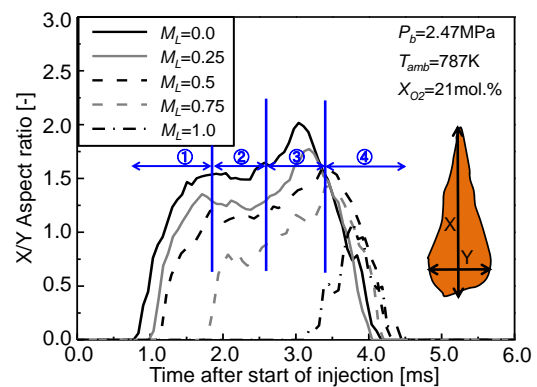


Fig.4 Aspect ratio of luminous flame for various M_L

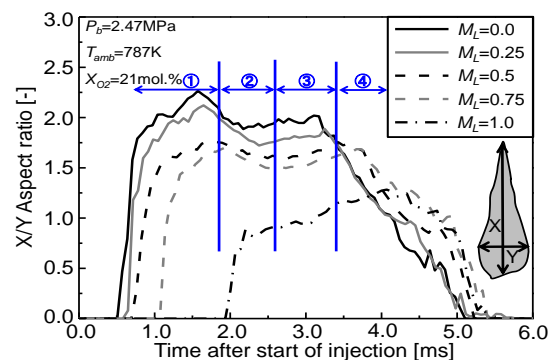


Fig.5 Aspect ratio of OH radical for various M_L