

Team LIEF エキサイプレックス蛍光法を用いた非定常ガソリン噴霧の解析

担当者

松浦匡洋(M2) 矢野紘嵩(M1) 吉田靖也(B4) 大石哲生(B4)

2017 年度班紹介資料

1. 緒言

近年、高熱効率および高出力をともに実現できる筒内直接噴射方式 (DI 方式) が注目されている。しかしながら、DI 方式はポート噴射方式 (PFI 方式) と比較して短時間で混合気形成しなければならない。そのため、噴霧が燃焼特性および燃焼生成物に与える影響は特に大きい。したがって、筒内直接噴射式ガソリンエンジンの混合気形成過程における噴霧挙動、特に噴霧蒸気相の挙動を理解する必要がある。

噴霧挙動を解明するために、噴霧の液相および蒸気相を分離して同時撮影できるエキサイプレックス蛍光⁽¹⁾ (Laser Induced Exciplex Fluorescence=LIEF) 法は用いられている。従来、エキサイプレックス蛍光法は主に短時間での混合気形成が要求されるディーゼル噴霧の挙動を解明するために用いられてきた。一方、エキサイプレックス蛍光法を用いてガソリン噴霧挙動の定量的解析を行なっている研究は少ない。そこで本研究では、ガソリン噴霧におけるエキサイプレックス蛍光法を用いた撮影手法の構築および噴霧蒸気相濃度の定量的評価を行なう。

図 1 に本研究の 4 つの研究段階を示す。第一段階では、単孔ホールノズルを用いたエキサイプレックス蛍光法の基礎研究を行なう。第二段階では、蒸気濃度の定量化に向けた消光作用の検定実験を実施する。第三段階では、パラメータを噴孔形状 (ストレート, 正テーパおよび逆テーパ) および雰囲気条件とし、それぞれが噴霧特性に及ぼす影響を調査する。最終段階では、多噴孔ノズルを用いて、噴霧干渉を含む複雑な現象の解明を目的とする。

2. エキサイプレックス蛍光法

基底状態にある蛍光分子 M が光エネルギーを吸収することにより励起し(M*), それが他分子 N と衝突することにより分子 M*および N の間でエキサイプレックス($(M \cdot N)^*$, Excited Complex=Exciplex)を形成して蛍光を発することがある。分子同士の衝突確率が極めて高い液相中では、N の濃度を調節することによりエキサイプレックスである(M・N)*を主放射種とすることができ、分子が離散的に存在する蒸気相中ではモノマー(Monomer)と称される M*を主放射種とすることができる。したがって、M*および(M・N)*のピーク波長が光学的に分光可能であるかつ燃料および蛍光剤が同様の蒸発特性を示すならば、これらの蛍光は燃料の液相および蒸気相のマーカーとして利用できる。また、それぞれの蛍光強度は、噴霧の液相および蒸気相の準定量的な濃度情報を与える。この噴霧の可視化手法をエキサイプレックス蛍光法という。

3. Step1. エキサイプレックス蛍光法の基礎的研究

3.1. 実験条件および実験装置

第一段階の研究では、単孔ノズルを用いた。また、供試燃料に iso-octane を用いた。図 2 に本実験で用いた蛍光剤である FB (Fluorobenzene) 1 vol%, および TEA (Triethylamine) 9 vol%の蛍光特性および蒸発特性を示す。図 2 よりエキサイプレックス蛍光およびモノマー蛍光のピーク波長は光学的に分光可能であるかつ燃料および蛍光剤が同様の蒸発特性を示すことが確認できる。表 1 に実験条件を、図 3 に本実験

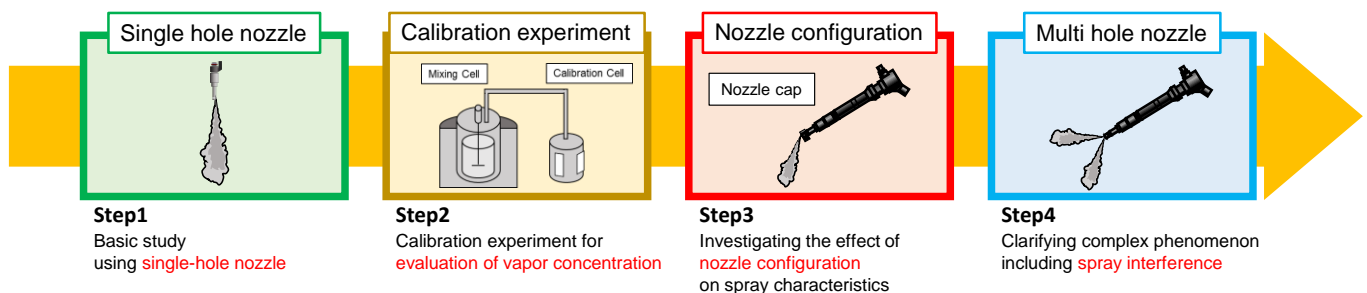


Fig.1 Research plan

で用いた実験装置の光学系概略図を示す。蛍光剤の励起光源には Nd : YAG レーザ(Spectra Physics : PIV400)の第 4 高調波(波長: $\lambda=266$ nm)を用いた。酸素による消光を防ぐために雰囲気ガスは窒素とした。

3.2. 実験結果および考察

図 4 に $T_a=250$ °Cにおけるエキサイプレックス蛍光法を用いて測定した蒸気濃度分布の結果を示す。図 4 より、燃料蒸気相の広がりに関して、 $P_{inj}=4$ MPa では噴霧中心軸付近に集中し、 $P_{inj}=15$ MPa では広範囲に分布していることが確認できる。また、蒸気相の形成位置に関して、 $P_{inj}=15$ MPa は $P_{inj}=4$ MPa に比べてノズル近傍で混合気形成が行われていることが確認できる。これは高圧噴射条件では、液滴はノズル直下で雰囲気によるせん断力の影響を受け、微粒化が促進されたためであると考えられる。一方で、低圧

噴射条件では、ノズル直下での噴射速度が遅く、せん断力による微粒化が促進されない。そのため、液滴群は貫徹力を保持し、ノズルから遠い位置で微粒化が促進されたと考えられる。

4. 蒸気濃度の定量化方法

第二段階の蒸気濃度の定量化に向けた消光作用の検定方法は、図 5 に示す千田⁽²⁾らが考案した方法を用いる。これは検定セルを用いて、混合気の濃度、温度および圧力をパラメータとし、それぞれの消光作用を検定する。蒸気濃度は、ランバート・ベアー則による吸光および蛍光強度を連立して解くことで、求められる。

参考文献

- (1) Melton, L. A., "Spectrally Separated Fluorescence Emissions for Diesel Fuel Droplets and Vapor", Applied Optics, 22-14(1983), pp.2224-2226
- (2) Jiro Senda, Tomoyuki Kanada, Masaaki Kobayashi, Yasuhiko Tanabe, Hajime Fujimoto, JSME, Vol.63 No.607, (1997), pp.322-327

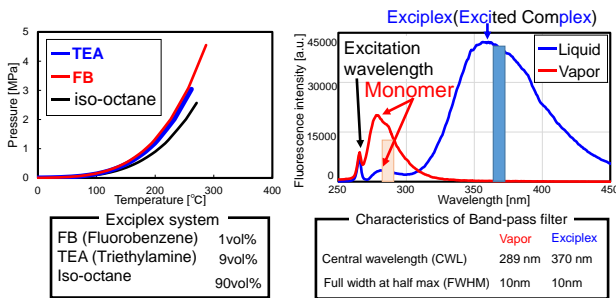


Fig.2 Saturated vapor pressure curve Relationship between fluorescence intensity and wavelength

Table1 Experimental conditions

| | |
|---|------------------------|
| Test fuel | iso-octane |
| Ambient gas | N ₂ |
| Ambient temperature T_a [°C] | 100, 200, 250 |
| Ambient pressure P_a [MPa] | 0.8, 1.0, 2.5 |
| Ambient density ρ_a [kg/m ³] | 6.0, 7.0, 9.0, 18.0 |
| Injection fuel amount Q_f [mg] | 3.79 |
| Injection pressure P_{inj} [MPa] | 4, 8, 12, 15 |
| Injection duration t_{inj} [ms] | 4.62, 3.19, 2.60, 2.21 |
| Nozzle type | Single hole nozzle |
| Nozzle diameter d_n [mm] | 0.15 |
| Nozzle hole length L_n [mm] | 0.30 |

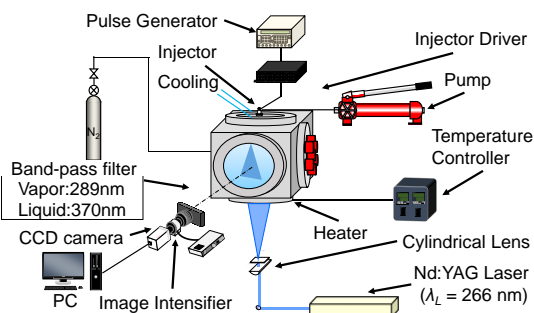


Fig.3 Schematic image of the optical setup for LIEF method

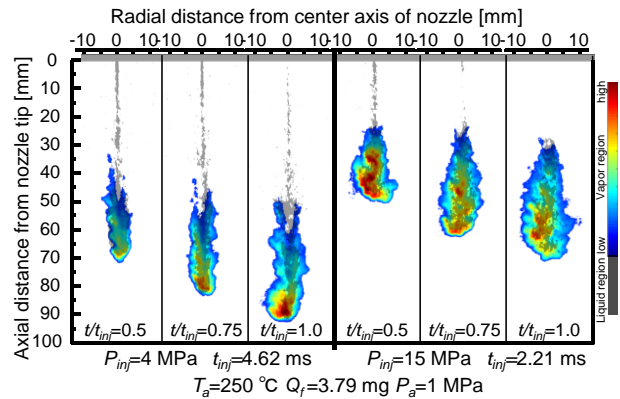


Fig.4 The result of vapor concentration and liquid by LIEF method

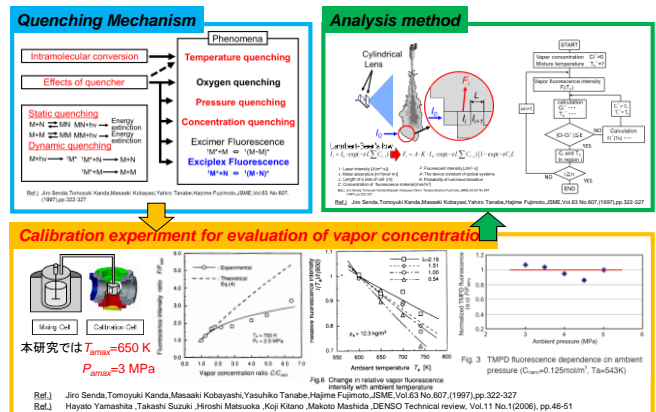


Fig.5 Quantification method of vapor concentration by LIEF method