

Team LIF レーザ誘起蛍光法およびレーザ散乱光法による微粒子粒径の定量計測法の開発

研究担当者

永野 恵行(M1) 藤野 友基(B4)

2002 研究概要

1. 研究背景および目的

ディーゼル機関や筒内直接噴射式ガソリン機関では、燃料噴霧の混合気形成過程と燃焼過程には極めて密接な関係があり、それらの排気特性は燃料の微粒化や噴霧内部への空気導入などの噴霧特性に強く依存している。中でも、蒸発や形成される混合気の当量比分布を直接的に左右する因子である噴霧粒子の粒径は、微粒化を評価する上で最も重要な要素である。そのため、噴霧粒子の粒径分布の定量的な情報を得ることが、排気改善を図る上で必要不可欠となる。

現在、レーザの発達によりレーザを用いた光学計測が噴霧計測に応用され、位相ドップラー式レーザ粒子解析法(PDPA)やフランフォー八回折法などの噴霧解析法が実用化されている。特に、PDPAは球形粒子の液滴径、速度の同時計測が可能であるという従来の噴霧解析法とは異なる手法を確立した。しかしPDPAは点計測であるため、噴霧全体の解析にはトラバースなどの移動装置が必要であり、噴霧パターン全体の計測には膨大な時間を費やさなければならない。さらに、実際の噴霧特性は非定常現象であり空間情報の再現性を考慮すると、噴霧の2次元断面の瞬間情報を得る事が重要となる。

このような背景から近年、噴霧内のある断面内における液滴群のザウダー平均粒径分布を瞬時計測できる光学式パタネータに関して様々な開発がなされている。光学式パタネータという計測手法は、蛍光剤を添加した燃料噴霧に対してレーザシート光を照射し、液滴群からの蛍光と散乱光の同時撮影を行なう。そして、撮影した2枚の画像を解析し、噴霧断面内部の相対的なザウダー平均粒径(SMD)の測定を行なう計測原理に基づいている。しかし様々な課題が残されており、定量性を確立するにはさらなる研究が必要とされている。

本研究では、光学系のキャリブレーション方法に対する検討を主眼に置き、光学式パタネータによる噴霧液滴粒径の定量的計測法の開発を目的とする。

2. 光学式パタネータ原理

非蒸発噴霧を測定対象とし、蛍光物質を溶解した燃料噴霧に対して、レーザシート光を直行または平行に照射し、粒子からの蛍光と散乱光の画像を撮影する。微小部分からの蛍光と散乱光は撮像装置の1画素に対応して撮影される。

レーザシート照射面の単位面積あたりの蛍光強度を $i_f(r,z)$ 、散乱光強度を $i_s(r,z)$ とする。蛍光強度 $i_f(r,z)$ は粒子径が $80\mu\text{m}$ 以下の場合、粒径の3乗に比例するため、(1)式のように表される。

$$i_f(r,z) = I_0 \cdot e^{-kx} \cdot C_1 \cdot \int_0^{\infty} D^3 \frac{dn}{dD} dD \quad (1)$$

ただし、 I_0 は入射光強度、 x はレーザシートが入射光側から噴霧内部を進む距離、 k は減衰を表す係数、 D は粒径、 dn は $D \sim D+dD$ の範囲の粒子数密度である。 C_1 は蛍光の吸収係数や量子収率、検出光学系などによって決まる定数である。一方、散乱光強度 $i_s(r,z)$ は粒子の断面積と散乱係数を用いて(2)式のように表される。

$$i_s(r,z) = I_0 \cdot e^{-kx} \cdot C_2 \cdot \int_0^{\infty} Q_{sca}(\alpha, \theta, \Delta\theta) \cdot D^2 \frac{dn}{dD} dD \quad (2)$$

C_2 は検出光学系の特性によって決まる定数であり、散乱係数 Q_{sca} は粒径パラメータ $\alpha = D/\lambda$ 、入射光方向と検出方向との角度 θ 、検出角 $\Delta\theta$ の関数である。

局所粒子群に対して粒径分布を仮定すると、平均散乱係数 $\bar{Q}_{sca} = (\bar{\alpha}_{32}, \theta, \Delta\theta)$ は局所粒径 $D_{32}(r,z)$ に対する $\bar{\alpha}_{32} = \pi D_{32}(r,z) / \lambda$ を用いて次のように定義される。

$$\begin{aligned} \bar{Q}_{sca} &= (\bar{\alpha}_{32}, \theta, \Delta\theta) \\ &= \frac{\int_0^{\infty} Q_{sca}(\alpha, \theta, \Delta\theta) D^2 \frac{dn}{dD} dD}{\int_0^{\infty} D^2 \frac{dn}{dD} dD} \quad (3) \end{aligned}$$

従って、ザウダー平均粒径の定義から、局所ザウダー平均粒径 $D_{32}(r,z)$ は式(1)、(2)、(3)から次式によって表される。

$$\frac{i_f(r,z)}{i_s(r,z)} = \frac{C_1}{C_2 \bar{Q}_{sca}(\bar{\alpha}_{32}, \theta, \Delta\theta)} \cdot \frac{\int_0^{\infty} D^3 \frac{dn}{dD} dD}{\int_0^{\infty} D^2 \frac{dn}{dD} dD} \propto SMD \quad (4)$$

ここで、

$$K = C_1 / (C_2 \cdot \bar{Q}_{sca})$$

とすると、 $D_{32}(r,z)$ は以下のように定義できる。

$$D_{32}(r,z) = \frac{1}{K} \left(\frac{i_f(r,z)}{i_s(r,z)} \right) \quad (5)$$

したがって、2次元断面での蛍光強度と弾性散乱強度を測定し、校正係数 K を用いることにより、直接 D_{32} が計測可能となる。

3. 光学式パタネータシステム構成

図 1 に光学式パタネータの主要なシステムレイアウト図を示す。主要な構成部品として、発光系ではレーザ(Ar イオンレーザ, Nd:YAG レーザ等), レーザシート光学系, キャリブレーション用ダイオードである。受光系は、16 ビットの CCD カメラ, 画像転送用フレームグラバ、シンクロナイザーそして PC, また、噴霧全体をカバーするためにはトラパース装置が必要となる。なお、画像の空間分解能を上げるために、最低でも 12 ビット以上仕様のカメラを用いる必要がある。

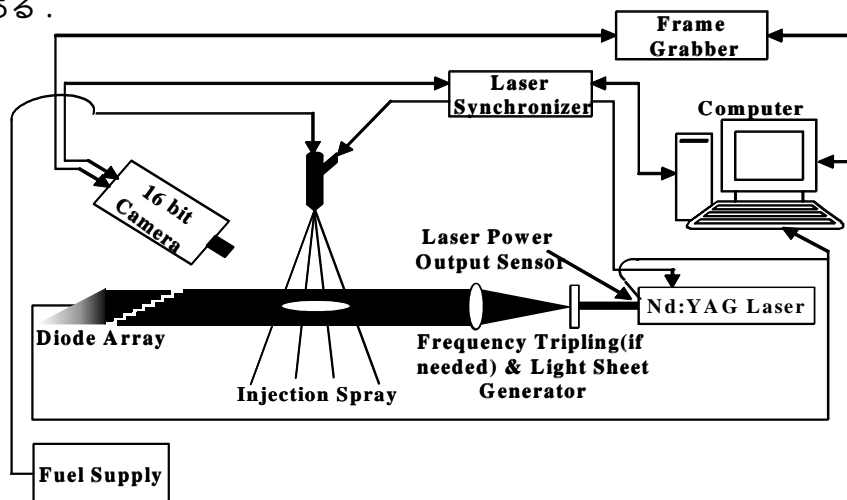


Fig.1 Schematic diagram of Optical Patternator system

4. 光学式パタネータの現状における問題点

4.1 平均化画像

上記システムでは、蛍光強度と散乱強度を同時に撮影する事は不可能であり、2枚の画像を同条件下で別々に撮影し、それらを平均化した画像に対する解析しか行なうことが出来ない。しかし、非定常現象を対象とするため、Real Time な断面情報が必要とされている。

4.2 燃料・蛍光剤の選択

現在、光学式パタネータに関する研究として、燃料噴霧の液滴粒径分布の計測を行なった報告は数少ないのが現状である。本システムを内燃機関の噴霧計測に適用するには、様々な燃料を用いた噴霧計測が必要である。また、燃料と蛍光剤の物理的・化学的特性を考慮し、それらの最適な組み合わせを選択することも重要である。

4.3 定量性の確立

光学式パタネータを用いて噴霧液滴粒径分布を計測する上で、そのデータの妥当性を評価する必要がある。そこで、既存の粒径測定法などと定量的な比較を行なう必要がある。別の手法として、SMD が既知である装置を用いる方法もある。

今後の予定

光学式パタネータを用いた噴霧計測技術の定量性を確立する上で重要となるのが、校正係数 K を決定することである。そこで新しいキャリブレーション方法を提案し、ガソリン系およびディーゼル系の単一成分燃料を対象とした噴霧計測を行なう。

本年度の主な予定を以下に示す。

- (1) 単一液滴列発生装置を用いて均一液滴の計測を行ない、各燃料ごとの校正係数 K を算出する。

(2) 室温大気圧場における噴霧計測実験 .