

東北大学大学院 学生員○武藤 弘
 東北大学工学部 正 員 岩崎 敏夫
 東北大学工学部 正 員 佐藤 栄司

1. はじめに

レーザ・ドップラ流速計(LDA)は、非接触測定が可能であることや、光の応答特性により高周波の流速変動を捉えることが可能であるなどの特徴を生かし、これまで他の計測器では困難であった火炎流、混相流、内燃機関流、血流などの測定にも用いられるようになってきている。しかし、本実験に用いた後方散乱型では、散乱光の強度が小さく、SNRの低下が避けられないなどの難点が存在する。今回、散乱粒子としてアルミナ粒子を用いて乱れを測定し、Hot-Film流速計による結果と比較を行なったので報告する。

2. 実験方法

実験は、 $4.7 \times 5 \times 0.5$ mの実験水槽と $1 \times 5 \times 0.5$ mの貯水槽、及び $0.8 \times 1 \times 0.8$ mの高水槽からなる循環式の平面水槽を用い、実験水槽の天端に設置された 5×5 cmの放出口より生じる表層自由噴流を対象として行なった。散乱粒子は放出口前の高水槽内に懸濁させた。測定はHot-Film流速計にても行ない結果を比較した。データのサンプリングタイムは0.01 sec、データ総数2000、最大ラグ数は100である。座標系は、放出口中心を原点として流下方向にX軸、水深方向にZ軸、両者に直角にY軸である。以下、XY面上での計測結果を示す。計測に用いたLDAは差動型、処理系はトラックタイプである。処理過程を簡単に説明する。入カドップラ周波数 f_D は混合器(Mixer)において、電圧制御発振器(VCO)からの周波数 f_M と混合される。次に両周波数の差 $f_M - f_D$ が中心周波数 f_C のBPF(Band Pass Filter)の帯域内に入ると、周波数弁別器(Frequency Discriminator)から、 $f_M - f_D$ と f_C との差に比例した周波数成分が直流電圧に線型変換される。この電圧は増幅されたのちVCOに加えられる。この過程を繰り返すことにより、 f_D の変化に f_M が追従することになる。この状態がトラッキング状態である。BPFのバンド幅は狭めるとSNRはよくなるが、信号への追従性が悪くなり、また揺ると、追従性は良くなるが、SNRの低下は避けられない。

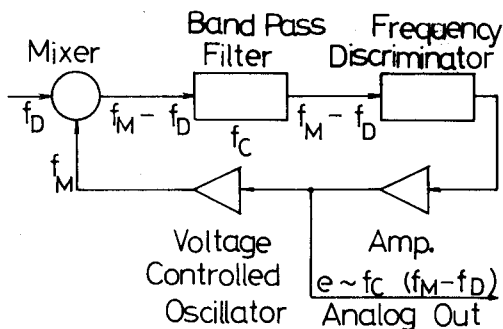


Fig. 1 トラックの動作原理

3. 実験結果

散乱粒子としては、粒径のmode値が、 $8.6 \mu\text{m}$ 、超過確率5%の粒径が $20 \mu\text{m}$ のアルミナ粒子を用いた。mode値が、これ以下のサンプルにおいては、トラッキングに十分な振中をもつドップラ信号が得られなかった。散乱粒子に求められる条件として最も基本的なものは、流れに対する追従性がよいことが挙げられる。トレーサによって観測される流体速度はLagrange的速度であるとみなし、速度誤差1%以下という条件を設けた場合にLumleyは次の条件式を与えている。ここで、 ε は、Hot-Film流速計による計測結果から等方性を仮定し

$$(d^2 / 36\nu) \cdot (2\rho_p / \rho_f + 1) \cdot (\varepsilon / \nu)^{1/2} \leq 1/4$$

d ; 散乱粒子粒径 ρ_p, ρ_f ; 散乱粒子, 流体密度

ν ; 動粘性係数 ε ; 逸散率

で求めた値を用いた。この結果、粒径 d は、 $30 \mu\text{m}$ 程度まで許容されることがわかった。実際に用いた粒子は、

この条件を満たしている。また、光散乱特性がよいことも要求されるが、アルミナの屈折率 m は1.76であり、これは、ホリスケレンの1.59、水の1.33などより大きく有利である。また、アルミナは濃度のコントロールがしやすいことも特色の一つである。

次に、計算結果を示す。LDAでは、 $\eta = 1.6$ 付近を過ぎると、トラッキングが不安定状態となり、測定ができなかった。これは、散乱粒子が存在しない周囲水の領域に測定点が位置する割合が大きくなっていることが原因である。また、測定が可能であった場合でも、バイアス効果がみられて、Hot-Film による測定よりも平均流速が大きくなるという傾向がみられた。Fig.2には、自己相関 $R(\tau)$ を $R(\tau)=0$ になるまで積分した値に、局所平均流速を乗じて求めた平均渦径 L_x の分布を示す。ここで、横軸は、 X 軸方向の流速 $\bar{u}$ の半値幅で無次元化された η 軸 η である。Hot-Film では、 η が0.8付近で最大値となり、周辺部で減少する傾向をみせている。また、流速の増加とともに、平均渦径も大きくなる。LDAでは、同様の傾向はあるものの、明確でない。Fig.3には、 η に対して軸上平均流速で無次元化された乱れ強さをプロットした。Hot-Film による測定結果では、 $\eta = 1.0$ 付近で最大値となっている。これは、流速勾配が最大となる位置に、ほぼ対応しているといえる。LDAによる測定結果をみると、一般に乱れ強さが小さくでている。本システムにおいては、BPFの帯域幅の設定が、測定精度に直接影響を与えるが、現段階では、トラッキングに必要なSNRを確保するために、狭い帯域幅の設定を余儀なくされている。これは、トラッカが、変動幅の大きな信号同位数を捉えられない可能性を示すものであり、乱れ強さが、Hot-Filmより小さくなっているのはこのためではないかと考えられる。Fig.4には X 軸方向の乱れ u' のSkewness Factor $[=\overline{u'^3}/(\overline{u'^2})^{3/2}]$ の分布を示す。LDAでは η によらずほとんど0付近に分布しており、 u' がガウス分布であることを示している。Hot-Film では、 $\eta > 0.7$ 付近よりガウス分布からのずれが生じ、 $u' > 0$ の卓越を示している。

4. おわりに

ドップラ信号のSNRが悪い場合には、ノイズをドップラ信号とみなす危険性があり、注意が必要である。本実験においては、ドップラ周波数のシンクロスコープによる読みとりからアナログ出力との比較を行ない、ホワイトノイズでないことを確認してデータを取得したが、散乱光強度が絶対的に弱いために、入射光路上からの直接反射光の混入などにより、調整が完全な状態でもトラッキングが難しいという段階である。今後、光学系の改良によりSNRを高め、データのサンプリング、処理法などに改善を加え、誤差の除去を図りたい。

<参考文献>

岩崎、武藤、坂倉 レーザー流速計を用いた乱流計測；昭和56年度工本学会東北支部技術研究発表会講演概要集 p.61～62

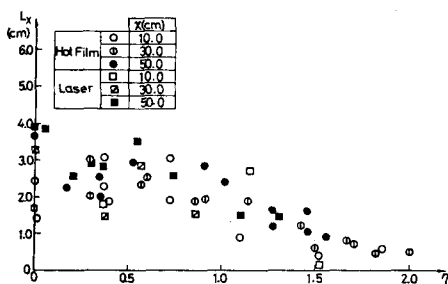


Fig.2 平均渦径

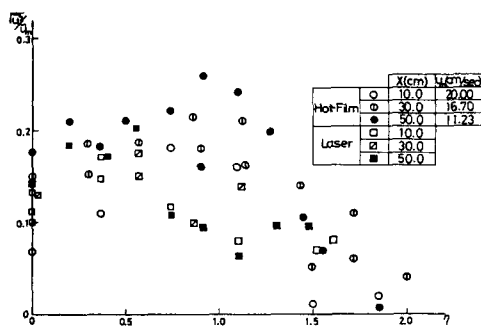


Fig.3 乱れ強さ

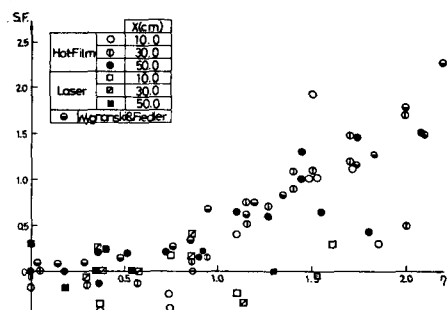


Fig.4 Skewness Factor