

(財)電力中央研究所 正員 片野尚明
日本大学生産工学部 正員 落合 実*

1. はじめに 近年 多くの分野の流体計測において、レーザドップラ流速計(Laser Doppler Velocimeter)が用いられてきた。このLDVは、流れを乱さずに瞬時に流速を測定することが可能な計測器であり、まだ従来 流体の乱れ計測に用いられてきた熱線流速計とは異なるが、取扱い方などで適用面で検討する問題も多い。そこで 本文は、LDV計測の原理と特徴について簡単に述べ、ついで水流を用いた鉛直一向き噴流に適用して得られた結果を報告する。

2. LDV計測の基本原理 LDVは、光のドップラ効果を利用して流体中に存在する散乱粒子にレーザ光を入射させ、その散乱光のドップラ周波数変化を測定し、流速測定ある方法である。散乱光のドップラシフト周波数 f_D は、一般に次のようく表わされる。

$$f_D = f_S - f_I = U \cdot (e_S - e_I) / \lambda = 2 \cdot U_x \cdot \sin \theta / \lambda \quad \text{--- (1)}$$

ここで、 f_S, f_I : それそれぞれ散乱光、入射光の周波数、 e_S, e_I : それそれぞれ散乱光、入射光の単位ベクトル、 U : 速度ベクトル (U_x, U_y, U_z : x, y, z 方向の速度)、 λ : 入射光の波長、 θ : ビーム交差角である。そこでは単色コヒーレントはレーザ光を用いると、孔と入射角決定でき、流速と和は、直線関係となる。2本のレーザ光が交差すると図-1のようくフリンジが生じ、レーザ光強度は、オーヴィ分布を成して、2つのレーザ光の直徑を w_0 (光の相対強度が $1/e^2 = 0.135$ 以上における寸法) とする。焦点でのビーム径 w は、 $w = w_0 \cdot \sqrt{\lambda \cdot d \cdot \cos \theta} / \pi \cdot d \cdot \cos \theta$ となる。ここで、 d : フロントレンズ・焦点距離、プローブ体積寸法は、 $\Delta x = w$, $\Delta y = w / \cos \theta$, $\Delta z = w / \sin \theta$ となる。

3. LDV計測の特徴 一般にLDVの特徴として、1) 無接触測定が可能、2) 出力が流速と直線関係である以外の流体の性質に無関係、3) 精度が良く、瞬間値が連続的に測定可能、4) 空間分解能が良い(約 1mm)、5) 流速測定範囲が広い(約 1mm/s ~ 1000mm/s)という流速計としては優れた長所を持つ。一方短所としては、1) 光の入射、観測のための透光必要性、かつ光路長が時間的に変動しないこと、2) 散乱粒子が必要であり、またその多少により信号出力が大きく影響されること、3) 光学系の調整が面倒であるなどである。

4. LDVによる噴流計測 1) 噴流実験装置

本実験に用いた装置の概要を、図-2に示す。試験水槽は $0.9\text{m} \times 0.9\text{m} \times 1.1\text{m}$ の規模を有する四面ガラス張りの三次元水槽である。そのほか定常して流量を供給するために高置水槽と低置水槽が設けられている。LDVの信号は、流体中に含まれる散乱粒子の影響を大きく受けるので、本装置では、汎用装置($10\mu\text{m}, 1\mu\text{m}$)を用いて粒子を制御した。噴流は、試験水槽の中心部に取付けられた内径 20mm の單一円管により鉛直上

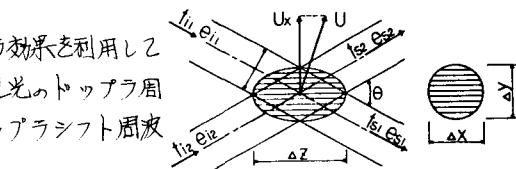


図-1 ビーム交差部(フリンジモデル)

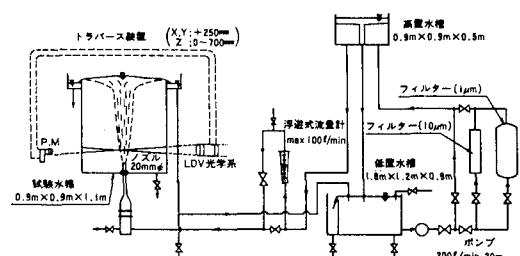


図-2 実験装置概略図

向こう側に放出される。2) LDV装置 本実験に用いたLDV装置は、DISA製、前方散乱型、差動型法LDVである。レーザ光源は、Arレーザ(最大出力2W)であり、光学系を介して、 $\lambda = 4880\text{nm}$ と 514.5nm の2カラー、2ビームにて、2方向流速成分が同時計測できるシステムである。また信号処理装置は、シグナルおよびトラッカにより構成される。図-3に、用いたLDVシステムを示す。レーザ光源、光学系、光の検出器は、トラバース装置(X: ±250mm, Y: ±700mm移動可能)に設置され、一体で動くようになっている。このLDVは、 $f = 600\text{mm}$, $\theta = 5.5^\circ$, $\Delta x = \Delta y = 0.17\text{mm}$, $\Delta z = 3.7\text{mm}$ のプローブ体積寸法である。

3) 実験結果および考察。ここに述べる結果は、ノズル出口平均流速 $U_0 = 1.55 \text{ sec}$, レイノルズ数 $Re = 3 \times 10^6$, ノズル長さ 55mm の条件で測定したものである。記号は、 X, Y : それぞれ噴流軸およびそれに直交方向の座標, D : ノズル直径, U, V : それぞれ X 軸 Y 軸方向成分の平均流速,添字 $0, m$: それぞれ噴流出口および噴流中心軸とする。図-4は、ノズル出口 ($z/D = 0.125$) における平均流速分布を示す。 U_0/U_m は、 $-0.5 \leq Y/D \leq 0.5$ の範囲で一様分布となつてゐる。また流量計から求められる平均流速 U_l と測定値 U_{lm} は良く一致し、LDV の較正が本質的に不要であることを示してゐる。

図-5は、噴流中心軸に沿う平均流速および平均流速分布の半值幅 $b_{0.5}$ の変化を示す。図からよく弱く η 領域とコア一部の存在が認められ、 $z/D > 10$ で Self-Preserving 領域に達してゐることが認められる。図-6は、Self-Preserving 領域における平均流速の分布を示す。実験値は、ガウス分布形状と比較すると $y/b_{0.5} > 1.2$ 程度で若干上まわる傾向にある。また図-7では Wygnanski & Fiedler (1969) の実験結果と本実験結果の比較を示すもので、両者は良く一致してゐる。

5.まとめ LDV の基本原理と特徴およびそれを用いた水噴流の計測結果を述べた。以下にまとめよう。1) 噴流の平均流速は、空気噴流を対象とした既往の研究結果とほぼ良好な一致が認められ、水流を対象にしても LDV の有用性および本実験結果の妥当性が確認された。2) LDV を用いることにより噴流軸に直交する方向成分の微弱な平均流速が測定可能となった。また LDV システムの操作の観点より、3) LDV の光学系の調整およびレーザ光源発振部の調整に技術を要する。4) 計測流速に対応した最適のシフターレンジとトラッカーレンジを選定することが重要である。

以上まとめたが、今後の課題としては、噴流内の流速分布を詳細に測定することにより、乱れの発達、形成過程を明らかにすること、計測結果の条件付抽出を行わない、噴流の間欠性および周囲水混合速度を求めることがある。さらに、遷移変化を伴う流れの計測への適用に対し、検討が必要と考える。

最後に、本研究を行うにあたり御歎かいただいた東京入浴(株)首藤 啓氏に謝意を表します。なお本研究は、電中研とのタンク型 FBR フジビリティのうち三菱重工(株)との共同研究の一環として実施したものである。

参考文献

- 1) I. Wygnanski & H. Fiedler; Some measurements in the self-Preserving jet. J. Fluid Mech. (1969), vol. 38,
- 2) レーザ流速計の基本と応用、昭和53年度流体計測講習会テキスト。

* 現在(財)電力中央研究所で研修中

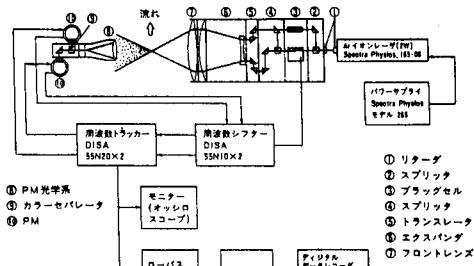


図-3. LDV システムのプロック線図

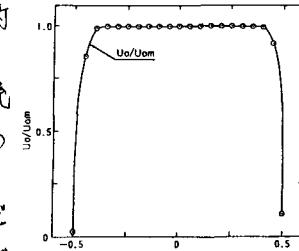


図-4. ノズル出口の平均流速

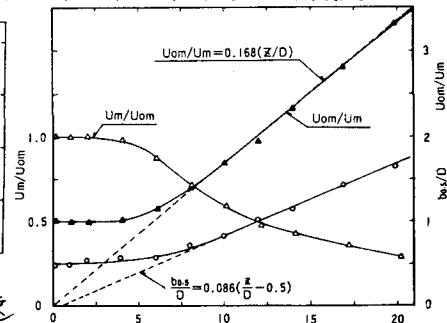


図-5. 噴流中心軸に沿う平均流速の変化

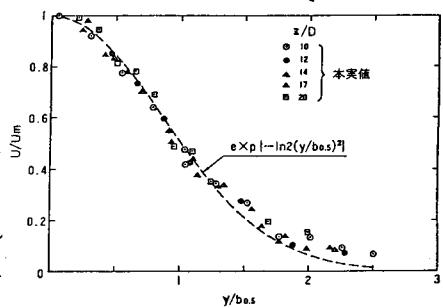


図-6 平均流速分布

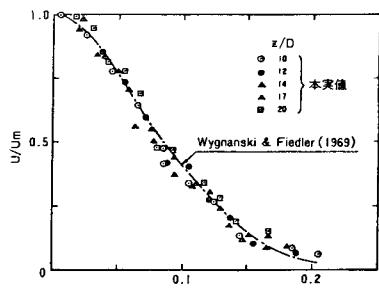


図-7 平均流速分布