

第 7 2 期日本機械学会全国大会

建設・機械系 (機械システム工学科) 高橋敏則

1. 研修日時・場所

日時 平成6年8月17日～19日

場所 北海道大学・工学部

2. 研修目的 評記の講演会に出席して、(1)レーザドップラ流速計(LDV)と(2)レーザ2焦点流速計(L2F)の基礎知識と応用技術を取得した。

3. 研修内容

3. 1 レーザドップラ流速計(LDV)について

[1] LDVの成り立ちについて

LDVは1964年にYehとCumminsによって原理が発表されて以来、30年経ち流動計測の道具として定着した。特に最近では可搬性に優れた光ファイバーLDVが利用できるようになり、測定が容易になった。

[2] LDVの長所と短所について

長所としては (1)非接触測定なので流れを乱さない。(2)流速とドップラ周波数との間には直線的な関係があり、理論通りの値が得られるので風洞などで流速計を校正する必要がない。(3)応答が早く流速の瞬時値を連続的に測定できる。このため乱流の乱れの測定などにも適している。(4)速度測定体積は直径数ミクロンと小さく、空間分解能が良い。このため壁面の極く近くでも流速の測定ができる。(5)流速測定範囲が極めて広く、 $1\mu/s\sim 1000m/s$ であるといわれる。

短所としては (1)流体中の粒子速度の測定なので、流体速度との差に注意が必要である。(2)適当な大きさの量の散乱用粒子を供給しなければならない。(3)速度が間欠的に測定されるので、変動速度の評価や乱流の測定精度に注意する必要がある。(4)流体は透明で流体容器には測定用の観測窓が必要である。(5)光学系及び信号処理の電気系の取扱い、調整が容易でない、などである。

[3] LDVの原理

同一の光源のビームを分割してそれを再び交差させるとその交差部に散乱物体があるとき空間に複数の干渉縞が観察され、そこに複数のビームがあるのと同じになる。粒子が動くと縞の数だけのサイクル数の信号が得られる。この信号をドップラ信号といいこの方式をレーザドップラ法という。

LDVは光学系、光検出器およびドップラ信号を電氣的に処理する信号処理系で構成されている。

[4] 光学系の種類

周波数シフト量の求め方により次の3つの方式がある。

(1) 差動光方式

図1 (b)に示すように2つの入射光による2つの散乱光を重ねる方法で、ドップラ周波数が散乱方向に無関係なため、広い受光角で受光でき、他の方法に比べて信号強度が強く、ほとんどの計測がこの方法で行われている。受光系が光源の反対側にある(図1 (b))ものを前方散乱型と呼び、散乱光強度が後方散乱型より100倍強く、SNRが良い。受光系がレーザー側にあるものを後方散乱型と呼び、光学的調整や測定点の移動が容易であり、容器内流れの測定に際し、測定窓が1つで良い。

(2) 参照光方式

図1 (a)に示すように上の入射光を参照光として下の入射光による散乱光と重ねる方式。

(3) 単一ビーム法

図1 (c)に示すように1つの入射光による2方向の散乱光を重ねる方法で、検出方向を複数にして多次元流速の測定も可能である。

[5] 信号処理

(1) 周波数トラッカ

ドップラ周波数の変化を電圧に変えて電圧制御発信器で追跡するもので、トラッキングフィルタ方式、PLL方式、オートダイン方式などがある。

(2) カウンタ

ドップラ信号を波形整形してパルス化し、このパルス列のN個の時間間隔(N周期)をクロックパルスで測定して周波数を求める。粒子数が多すぎず、SNRが良い場合に用いられ、気体流の測定に適している。クロック周波数が高いほど時間分解能がよい。

(3) 他に、スペクトルアナライザ、光子相関計、FFT、デジタル相関器などがある。

3. 2 レーザ2焦点流速計(L2F)について

Shodl(1974)が開発し、Eckardt(1976)は遠心羽根車内の流れ計測に成功している。

(測定原理)

図2に示すように、2つの小さな焦点(2定点)を平行に結ばせ、それらを光ゲートとして流体中に含まれている粒子、または添加した粒子が、そのゲート間(流体中の2定点間)を流れとともに移動するのに要する飛行時間tを測定して流速V(=s/t)を求める。散乱粒子はLDVと同様な粒子を用いる。測定点の大きさは、焦点間隔s=0.1~0.2mm, 焦点直径d=0.01mm, 焦点深度b=0.8m

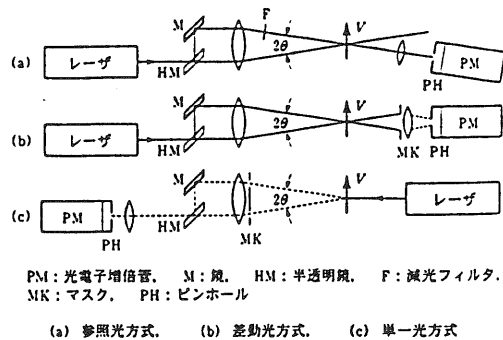


図1 LDV光学系の例

m程度であり測定可能な流速範囲は
0.1~3,000m/sである。

(特徴)

[1] 2つの焦点が流れ角に対して
一種の空間的狭帯域フィルタ（三
角ゲイン特性、帯域幅 d/s ）の
役割を果たし、指向性が強い。つ
まり、2つの焦点の向きから、流
れ角が求まる。（図3参照）

[2] 一方、焦点深度は焦点間隔に
比べて大きいので、光軸法線方向
に流れが $\pm 45^\circ$ 以上傾いても計測は
可能であるが、得られる速度は光軸
に垂直面内の成分のみである。

[3] LDVに比べて測定点の集光

度が100倍程度高くかつ後方散乱方式を採用してもSNRが高いことから、通路深
さが浅い遠心羽根車内流れ計測には威力を発揮する。後方散乱方式なので測定窓
が1つで良い。

[4] 羽根車内部の流れ計測では知りたいのは相対速度であるが、直接測定され
るのは絶対速度なので、相対速度は絶対速度ベクトルと周速度ベクトルの差より
求めなければならない（速度三角形）。

[5] 2つの焦点を異なる粒子が通過しても一对の信号となるので個々のデー
タの正誤は統計的データ処理によらなければならない。従って時系列評価は無理で
ある。実際の流れには横方向乱れがあり、流れ角は変動するので、2焦点の向き
を順次変えることによって、図4のような飛行時間と流れ角についての2次元確
立分布が得られる。この分布図には光軸に垂直な平面内の速度成分に関する全て
の情報が含まれており、この分布図から、飛行時間を重みとして荷重平均するこ
とによって、平均速度だけでなく、乱れ強さ、さらにレイノルズ応力などの時間
平均値が求まる。2次元確立分布の形状が半径位置 r ごとに異なるのは流れの複
雑さを示すものである。山のピークから平均流れ角、平均絶対速度、また、山の
すそ野の広がりや乱れの大きさを、山の形は乱れ構造を表している。

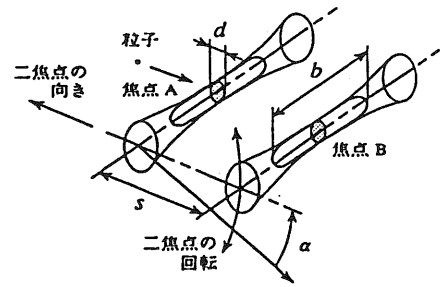
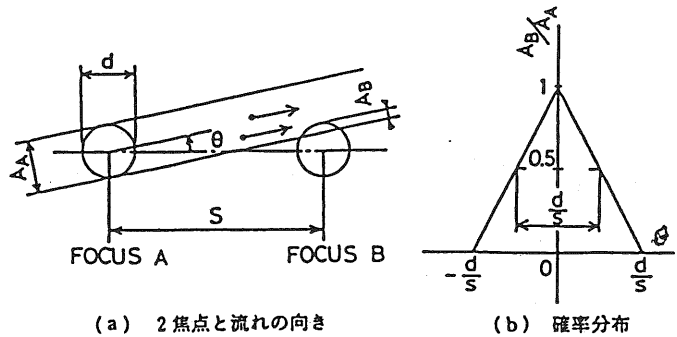


図2 測定点の構造



(a) 2焦点と流れの向き

(b) 確率分布

図3 2焦点を粒子が通過する確率

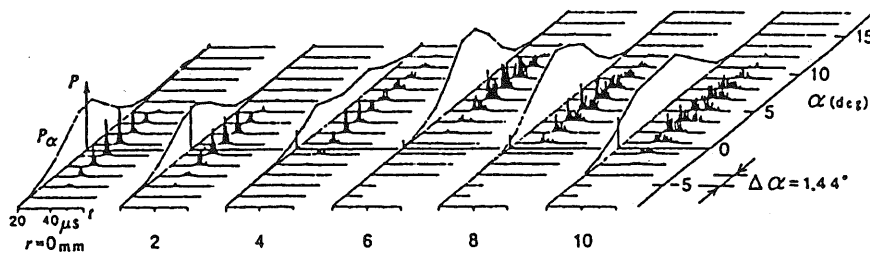


図4 飛行時間と流れ角の2次元確率分布の例