

ビーム・スキャン型レーザー・ドップラー法による流速場の多点同時連続計測システムの開発について

Discussions on the Development of Multipoint-Simultaneous Velocity Measurement Device—Beam-Scan type LDV—

日本科学工業（株） 広 永 勝 治
東京工業大学 日 野 幹 雄
by K. Hironaga & M. Hino

要旨：ピトー管、熱線計などプローブ型流速計あるいは非接触型の流速計であるLDVなどのオイラー型流速計は、流速場の一点の計測を精度良く行える特性をもっている。反面、これらのオイラー型流速計の欠点は空間的同時性の計測が難しいという点である。このような欠点を克服するために、ここ数年の間、ビームスキャン型LDVの開発設計を行って来た。本論文では、われわれの種々の検討結果について報告し、今後の開発計画の資料を提供しようとするものである。

1. 開発の必要性

ここ10年ほどの間に、流体計測の主座の一角を占めるようになったLDV（レーザー・ドップラー型流速計）は、

- ① プローブ非接触型である。
 - ② 空間的・時間的分解能が高い。
- といった秀れた特徴を有するものの、なお、
- ③ 計測点の移動（トラバース）が面倒である。
 - ④ 混相流・密度流の流速測定には、長い光学パスが邪魔である。

等の欠点があった。そこで、上記①の長所を多少犠牲にはするが、光ファイバ型のLDV（＝FLV）の開発が行われた。その結果、FLVは

- ⑤ 可搬性がある（ポータブル）。
- ⑥ 力学的耐久性が高い（デュラブル）。
- ⑦ 実験室における計測のみならず、現場での計測にも使用可能性をもつに至った。

しかし、現在は流体計測に対する要求は次々と高まり、特に乱流研究における「coherent structure」の認識以来流れの場を空間的に全体として捉え、現象を理解しようとする空気が強まっている。この点、LDVのみならずプローブ型の従来の流速計（ピトー管、熱線計など）は、等しく不利である。これに対して、菰田は多数（約16個）の熱線計を上下あるいは横断方向に並べた同時計測を行っている。しかし、これなどはいわゆる名人芸というべきで一般への普及は難しいであろう。

一方、可視化法の最近の発達が目覚しく、種々の技法が開発された。可視化法は一般にLagrange 的計測法であり、streak line や path line 法ではある程度の長い時間での流体粒子運動の累積結果を見るのであって、画像の解釈に注意を要することはしばしば指摘される通りである。

可視化法によるEuler 的計測のためには、微小時間間隔で撮られたあるいは微小時間シャッター開放で撮れたトレーサーの移動から流線を求めれば良い。この方法には、

- ① 一枚の画像の解析に膨大な時間と人手を要するか、もしくは高価な装置を必要とする。
- ② 時間的に連続な長時間の解析が難しい。

という欠点がある。

概して言えば、プローブ型流速計は一点ないし数点でのEuler 的計測に、可視化法は主として空間的な

Lagrange 的計測に適した方法であると言える。

われわれは、ここ 2 年ほど LDV による面的測定法の可能性について検討を重ねてきた。これは空間的には一直線上の、時間的にはほぼ連続した記録を採ることを意味する。レーザー光でこれを行うには、2 本に分光したレーザー光の焦点を高速度で一直線上を移動させるスキャン方式の計測となる。

2. ビーム・スキャン型 LDV に要求される一般的特性

(a) 設計方針

このようなスキャン方式による測定の試みとしては、2 枚の相対するミラーを用いた内山・箱守 (1980) の研究がある。この場合には、焦点の移動距離は高々 ±5 mm であり、実験室の開水路流を対象とするわれわれの研究目的からはもう少し大きい移動距離が欲しい。

焦点の移動方向としては、Fig. 1 に示す 3 方向があるが、このうち流下方向の移動は、Taylor 仮説 (乱れの場合が凍結されて平均流速で流下するという考え) に従えば、普通特に要求されることはないであろう。

このように速い移動を行う計測器を製作する際には、次の点に注意しなくてはならないであろう。

- (1) 運動部分をできるだけ少なくする。
- (2) 運動部分をできるだけ軽くする。
- (3) 往復並進運動の部分はできるだけ避ける。

いって、運動部分が全くなくては焦点移動は不可能とは言わないまでも難しいから、上の (1) (2) の条件にかなった回転運動部品によることになるであろう。

(b) 自動焦点化方式—イメージ・センサーの使用

標準型の LDV においても言えることであるが、LDV のレーザー光の干渉稿に LDV の受光部の焦点を合わせ

る際に慣れるまでは多少の難儀をする。

したがって、スキャン方式に伴う焦点移動に正確に受光部を合わせることは一層難しくなる。そこで、イメージセンサーによりこの作業の自動化を量る必要がある。この装置は標準型の LDV にもそのまま利用でき、LDV の使い易さを高めるものである。

イメージ・センサーは光信号の電気への変換素子であり、最近ではビデオカメラにも応用されている。本機では、380 点からなる素子を 490 本並べ、これによる電気信号の判別から制御用コンピューターにより結像位置を計算し、その位置に移動させる。

(c) 一点瞬間静止性

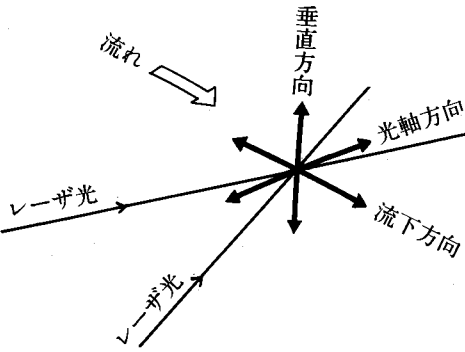


Fig. 1 交差点の移動方向

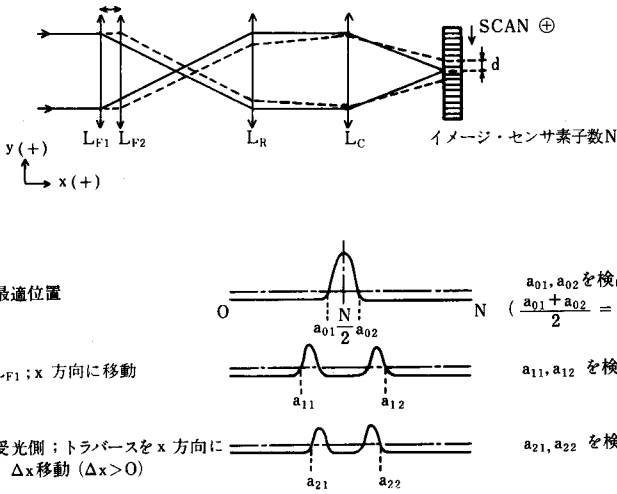


Fig. 2 イメージ・センサーによる自動焦点方式

レーザー光の交叉点は直線上をトラバースするが、線上のある間隔点ごとに瞬間的にその点の流速計測中は静止することが望ましい。これを実現するための機構について一つの考えをもっているが、今回は製作費用その他の点から考慮しないことにした。

3. 種々の型のビーム・スキャン方式の検討

(a) 並進往復運動型

一番安易なスキャン方式は、LDVの光学系全体を走査方向に並進往復運動させることである。この場合は、上に挙げた望ましい条件のほとんどを満たすことができない。高速度の並進往復運動はレンズ系を駆動させるのに大パワーの装置を必要とするのみでなく、並進往復運動に伴う加速度のためレンズ系がたちまち破損するに至るであろう。これを少しでも避けるために射光部のうちの運動部分を光ファイバーで作成し、軽量化を量る必要がある。

レンズ系を移動させることにより光軸上をスキャンする方式もある(Fig. 3)が、上述の加速度にともなう慣性力の問題点は同じく残る。

(b) 外部装着式回転ポリゴン・プリズム方式

2本に分割されたレーザー光はレンズ系を通ったのち測定部に焦点を結ぶ。そこで、射光レンズ系を通ったレーザー光の光路を回転ポリゴン・プリズムにより曲げて交叉点を移動させる方式が考えられる。この方式は並進運動部がない反面、レーザー光の交角が刻々変化すること、レーザー光の交叉点が焦点ではなくなり、したがって干渉縞が不明確になるという欠点がある。前者については電子処理系で補償することは可能であるが、後者については解決しえない。

(c) 内部装着式回転ポリゴン・プリズム方式

つぎに分光・集光のためのレンズ系の内部で、ポリゴン・プリズムを回転させ、結像レンズの前でこのレンズへの入射角を変える方式が考えられる(Fig. 4)。この方式では、焦点の直線上の移動も滑らかで、2本のレーザーの交叉点がすなわち焦点であって、レーザー光の交叉角が変化する点だけが問題として残る。しかし、これは電子処理系により補償が可能である。

しかしながら、内部式であろうと外部式であろうと、ポリゴン・プリズムを用いて、焦点を光軸方向に移動させる場合には、受光系を光軸方向に並進往復運動させなければならないという問題点は残る。

(d) 回転ポリゴン・プリズムによる焦点の垂直移動

以上の検討ではすべて、光軸方向での焦点移動を考えた。しかし、光軸面と垂直方向に焦点を移動させる場合はFig. 5のように一個の回転ポリゴン・プリズムのみで、焦点移動が可能である。この方式では焦点は厳密に一直線上の移動ではなく、円弧上を移動する。しかし、焦点距離は十分長いので実際にそれが問題

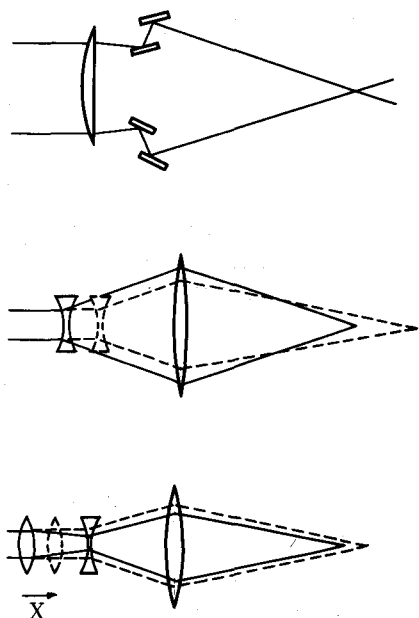


Fig. 3 ミラーまたはレンズ式

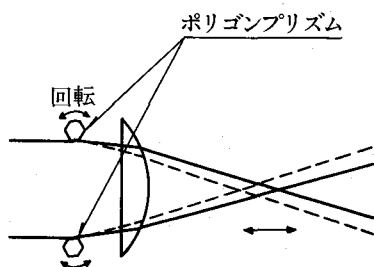


Fig. 4 内部装着式回転ポリゴン・プリズム

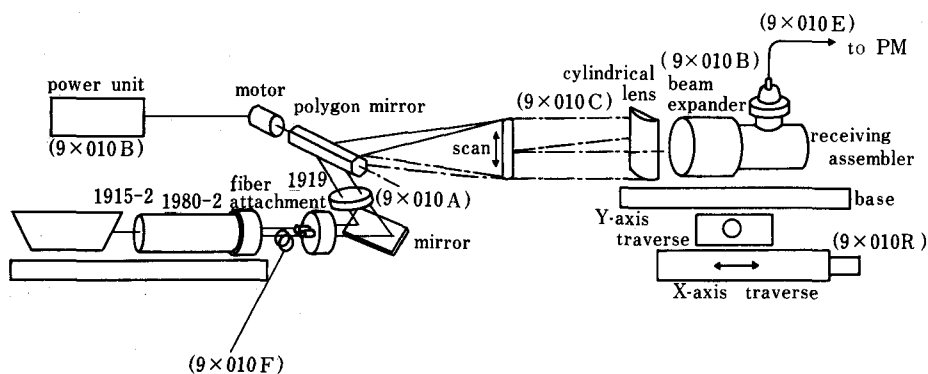


Fig. 5 システム・ブロック図

となることはないであろう。

一方、焦点の移動に伴い受光部がレーザー光焦点の干渉縞からのドップラー信号を受光できるかという点が新たな問題となるが、この場合には特に受光部を光軸に垂直な方向に運動させることなくシリンダカル・レンズを用いることにより解決できる。

結 論

以上のような検討の結果、まず確実な (d) の方式、すなわち一個の回転ポリゴン・プリズムにより光軸面に垂直な方向にスキャンを行う方式をまず採用した。同時に将来光軸方向の移動として (c) の方式を組み込むことを考えている。

謝 辞

本研究は、文部省・科学研究費・試験研究 (1) 「ビーム・スキャン型レーザー・ドップラー法による流速場の多点同時連続計測システムの開発」 (代表者・東工大・日野 幹雄) の補助によって行っているものである。ここに、厚く謝意を表したい。

参考文献

- 1) 内山 勝・箱守京次郎 (1980) : ビーム走査レーザー流速計による非定常流速分布の測定, シンポジウム, レーザー・ドップラー技術とその応用, 精機学会。