

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6191000号
(P6191000)

(45) 発行日 平成29年9月6日(2017.9.6)

(24) 登録日 平成29年8月18日(2017.8.18)

(51) Int. Cl. F I
G O 1 P 5/26 (2006.01) G O 1 P 5/26 A

請求項の数 6 (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2013-194241 (P2013-194241)
 (22) 出願日 平成25年9月19日(2013.9.19)
 (65) 公開番号 特開2015-59856 (P2015-59856A)
 (43) 公開日 平成27年3月30日(2015.3.30)
 審査請求日 平成28年9月14日(2016.9.14)

特許法第30条第2項適用 八賀正司、寺西恒宣、石田弘樹、秋口俊輔、安東嗣修、高田洋吾、等が、日本伝熱学会北陸信越支部2013年春季セミナー講演論文集にて、レーザドップラー流速測定方法及び装置について公開した。

(出願人による申告)平成24年度、独立行政法人科学技術振興機構 研究成果展開事業 研究成果最速展開支援プログラム 産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願

(73) 特許権者 504237050
 独立行政法人国立高等専門学校機構
 東京都八王子市東浅川町701番2

(73) 特許権者 305060567
 国立大学法人富山大学
 富山県富山市五福3190

(74) 代理人 100095430
 弁理士 廣澤 勲

(72) 発明者 八賀 正司
 富山県射水市海老江練合1-2 独立行政法人国立高等専門学校機構富山高等専門学校校内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】レーザドップラー流速測定方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

レーザ光源からのレーザ光を分岐して、分岐された各レーザ光を面状の薄いシート光にして、その面同士が重なるように同一面上で互いに交差させ、

前記シート光が交差した交差領域での流体内の粒子による散乱光を面状の受光部に結像させて、その結像位置で2次元的に配置された複数の受光素子に入射させ、

前記受光素子に入射した前記各散乱光であって、ドップラー周波数シフトした散乱光を、光電変換素子により電気信号に変換し、

前記レーザ光のドップラー周波数シフトした前記散乱光により、前記流体の流速を前記光電変換素子毎に演算することを特徴とするレーザドップラー流速測定方法。

【請求項2】

前記シート状のレーザ光の前記交差領域を、前記交差領域と交差する方向に走査して、前記交差領域の流速を3次元的に求める請求項1記載のレーザドップラー流速測定方法。

【請求項3】

レーザ光源と、前記レーザ光源からのレーザ光を分岐するビーム分割素子と、前記ビーム分割素子により分岐されたレーザ光を面状の薄いシート光にするシート光形成光学系と、分岐した前記各シート光をその面同士が重なるように同一面上で互いに交差させる集光光学系と、前記シート光が交差した交差領域での流体内の粒子による散乱光を2次元的に結像させる結像光学系と、前記結像光学系の結像位置に配置された複数の受光素子と、前記受光素子に入射した前記散乱光を電気信号に変換する光電変換素子と、前記レーザ光が

10

20

ドップラー周波数シフトした前記交差領域での前記流体の流速を、前記電気信号を基にして前記光電変換素子毎に演算する演算手段とを備えたことを特徴とするレーザドップラー流速測定装置。

【請求項 4】

前記結像光学系は、前記シート光の前記交差領域の面に対して直交する方向に光軸を有して配置された請求項 3 記載のレーザドップラー流速測定装置。

【請求項 5】

前記受光素子は、平面上に光電変換素子が一体的に配置された固体撮像素子から成る請求項 4 記載のレーザドップラー流速測定装置。

10

【請求項 6】

前記ビーム分割素子と前記シート光形成光学系から成る光学系の中に、音響光学素子を設けた請求項 3 記載のレーザドップラー流速測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、多点同時に流速を測定可能なレーザドップラー方式により流速を測定するレーザドップラー流速測定方法及び装置に関する。

【背景技術】

20

【0002】

非接触で、圧力損失の無い計測方法である点計測 L D V (Laser Doppler Velocimeter) 法は、密度・粘土の影響を受けることなく、高応答、高精度、高分解能にて、KHzオーダーの非定常流れにおける速度分布の計測が可能であり、従来広く用いられている流速測定方法である。

【0003】

この点計測 L D V 法は、1本のレーザ光をビームスプリッタ及びミラーにより二本の強度の等しい平行なビームに分け、アクロマティックレンズによって集光させ、集光させた二つのビームの交差点を測定点として、この点を通過するシーディング粒子の速度を測定する方法である。

30

【0004】

しかしながら、この点計測 L D V 法は、流れ場を点で測定するため、情報量が非常に少なく、高精度に測定することが難しいという問題があった。そこで、本願発明者は、非特許文献 1、2 に示すような、流れ場を多点同時に計測可能とした線計測 L D V 法を開発した。

【0005】

線計測 L D V 法は、1本のレーザ光をキューブビームスプリッタおよびミラーにより二本の強度の等しい平行なビームに分け、アクロマティックレンズによって集光させ、集光させる途中でロッドレンズを用い 2 枚の平行光の平面光にした後、各平面光を交差させるものである。各平面光は、進行方向と直交する方向であって、各平面の幅方向が平行になるようにして各平面光を交差させる。これにより、各平面光の面が交差した交差線が、測定点列となり、この交差線で干渉縞が生成され交差線上に粒子が通過することによりドップラー信号を持った散乱光が得られる。その散乱光をアバランシェフォトダイオード (A P D : Avalanche Photo Diode) に導き、A P D により光信号から電気信号に変換し、F F T (Fast Fourier Transform) 処理を行うことにより、粒子の流速を算出するものである。本願発明者は、この計測方法の利用例として、特許文献 1 に開示された、レーザドップラー血流測定方法及びその測定を開発し、特許された。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

50

【特許文献1】特許第5234470号公報

【非特許文献】

【0007】

【非特許文献1】Development of a Multi-point LDV by using Semiconductor laser with FFT-based multi-channel Signal Processing; Experiments in Fluids 24 Springer-Verlag pp.70-76

【非特許文献2】多点同時測定LDVとCCDエリアイメージセンサを併用した2成分流速分布同時測定法の開発; 計測自動制御学会論文集Vol.39, No.3(2003)218-224

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0008】

上述の線計測LDV法は、流れ場を点から多点同時へと計測することが可能となり測定精度も高くなったが、測定領域が1次元状の線計測であるため、情報量はまだ十分であるとは言えず、より高精度な測定技術の開発が求められていた。特に、測定範囲を二次元とした面測定技術は、未だ確立はなされていない。

【0009】

この発明は、上記従来の背景技術に鑑みて成されたもので、レーザドップラー方式により、簡単な光学系及び装置により、測定精度が高く、2次元的に広い範囲を効率的に測定可能なレーザドップラー流速測定方法及び装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

20

【0010】

この発明は、レーザ光源からのレーザ光を分岐して、分岐された各レーザ光を面状の薄いシート光にして、その面同士が重なるように同一面上で互いに交差させ、前記シート光が交差した交差領域での流体内の粒子による散乱光を面状の受光部に結像させて、その結像位置で2次元的に配置された複数の受光素子に入射させ、前記受光素子に入射した前記各散乱光であって、ドップラー周波数シフトした散乱光を、光電変換素子により電気信号に変換し、前記レーザ光のドップラー周波数シフトした前記散乱光により、前記流体の流速を前記光電変換素子毎に演算するレーザドップラー流速測定方法である。

【0011】

前記シート状のレーザ光の前記交差領域を、前記交差領域と交差する方向に走査して、前記交差領域の流速を3次元的に求めるようにしても良い。

30

【0012】

またこの発明は、レーザ光源と、前記レーザ光源からのレーザ光を分岐するビーム分割素子と、前記ビーム分割素子により分岐されたレーザ光を面状の薄いシート光にするシート光形成光学系と、分岐した前記各シート光をその面同士が重なるように同一面上で互いに交差させる集光光学系と、前記シート光が交差した交差領域での流体内の粒子による散乱光を2次元的に結像させる結像光学系と、前記結像光学系の結像位置に配置された複数の受光素子と、前記受光素子に入射した前記散乱光を電気信号に変換する光電変換素子と、前記レーザ光がドップラー周波数シフトした前記交差領域での前記流体の流速を、前記電気信号を基にして前記光電変換素子毎に演算する演算手段とを備えたレーザドップラー流速測定装置である。

40

【0013】

前記結像光学系は、前記シート光の前記交差領域の面に対して直交する方向に光軸を有して配置されたものである。

【0014】

前記受光素子は、平面上に光電変換素子が一体的に配置された固体撮像素子から成るものでも良い。

【0015】

前記ビーム分割素子と前記シート光形成光学系から成る光学系の中に、音響光学素子を設けたものでも良い。

50

【発明の効果】

【0016】

この発明のレーザドップラー流速測定方法及び装置によれば、流体の流速を測定するにあたり、2次元的な交差領域において流速の測定を行うことができ、同時に多くの流速情報を得ることができ、測定効率が高く、流量の多い流体や広い範囲での測定を効果的に行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】この発明の一実施形態のレーザドップラー流速測定装置光学系を示す概略図である。

10

【図2】この発明の一実施形態のレーザドップラー流速測定装置によるシート光の交差領域である測定面を示す模式図である。

【図3】この発明の一実施形態のレーザドップラー流速測定装置の光ファイバの配置を示す全体図(a)と、ファイバアレイの受光部を示す正面図(b)である。

【図4】この発明の一実施形態のレーザドップラー流速測定装置の光電変換素子からコンピュータまでの機能を示すブロック図である。

【図5】この発明のレーザドップラー流速測定方法により測定される流速測定領域の測定点の1点での流速の5秒間の変化を示すグラフである。

【図6】この発明のレーザドップラー流速測定方法により測定される流速測定領域での各測定点で流速の5秒間の変化を示すグラフである。

20

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、この発明の一実施形態について、図1～図6を基にして説明する。この実施形態のレーザドップラー流速測定装置10は、図1に示すように、レーザダイオード等のレーザ光源12と、このレーザ光源12からのレーザ光Lを2方向に分岐するビーム分割素子であるビームスプリッター14と、ビームスプリッター14により2本に分岐されたレーザ光L1, L2のうちの一方を他方と平行な方向に向ける反射鏡16と、レーザ光L1, L2を所定の位置に集光させるアクリロマティックレンズ等の集光光学系である集光レンズ18を備えている。

【0019】

30

さらに、集光レンズ18の出射光側には、レーザ光L1, L2の通過位置に一致して互いに平行に配置されシート光形成光学系であるロッドレンズ21, 22が設けられている。ロッドレンズ21, 22は、レーザ光L1, L2を平面状に拡散させるもので、拡散したレーザ光L1, L2は、同一平面上に位置している。各ロッドレンズ21, 22の光出射側近傍には、入射した平面状のレーザ光L1, L2を、平面状の平行光であるシート光Ls1, Ls2に形成するシート光形成光学系のシリンドリカルレンズ23, 24が位置している。シリンドリカルレンズ23, 24も互いに平行に位置し、その平面部23a, 24aが、各ロッドレンズ21, 22側に面している。シート光Ls1, Ls2は、互いに同一面上にシート面が位置して、所定角度 θ で交差する。ここで、 θ は、集光レンズ18の光軸に対する各レーザ光L1, L2が屈折して出射する角度である。

40

【0020】

シート光Ls1, Ls2の交差領域Dは、図1, 図2に示すように、平行光であるシート光Ls1, Ls2の面同士が互いに一致して重なるように、同一面上で交差するので、菱形に形成され、この交差領域Dの範囲内に後述する光ファイバアレイ30による2次元的な流速測定領域を設定する。

【0021】

シート光Ls1, Ls2の交差領域Dの表面と直交する方向で所定距離離れた位置には、一对のアクリロマティックレンズ等による結像光学系である結像レンズ26が配置され、結像レンズ26の出射光側に対面して、結像レンズ26の結像位置に、2次元的に配列された受光素子である光ファイバアレイ30の受光部30aが位置している。結像光学系の

50

結像レンズ26は、シート光Ls1, Ls2の交差領域Dの面に対して、直交する方向に光軸を有して配置されている。

【0022】

なお、この実施形態に用いたレンズ等の光学系部品の表面には、用いたレーザ光の波長の減衰を抑えるために、この波長に対する反射防止膜がコーティングされている。

【0023】

光ファイバレイ30は、図3に示すように、各光ファイバ32が束ねられたライトガイド束34を備え、各光ファイバ32の端面が、縦横に整列されて光ファイバレイ30の受光部30aを形成している。各光ファイバ32の他方の端部は、光ファイバ32毎に光プラグ36に接続されている。光プラグ36は、各々光レセプタクル38に接続可能に設けられている。各光レセプタクル38には、光電変換素子であるアパランシェフォトダイオード(以下、APDと称す。)40が各々設けられている。

10

【0024】

APD40は、図4に示すように、光ファイバ32の数だけ設けられ、光ファイバ32の受光部30aの配置と同様に配列されて設けられている。APD40は、光ファイバ32により導かれた光を各々電気信号に変換し、各APD40の出力は、光ファイバ32の本数だけ設けられた各アンプ42を介して各々周波数フィルタ44に入力する。周波数フィルタ44でフィルタリングされた各信号は、データレコーダ46でA/D変換されて各々記録される。各データレコーダ46に記録されたデジタル信号は、USBコネクタ等を介してコンピュータ48に入力され、後述する流速測定のための所定の演算解析処理がコンピュータ48により行われる。

20

【0025】

次に、この実施形態のレーザドップラー流速測定方法について以下に説明する。このレーザドップラー流速測定方法は、レーザ光源12から出射されたレーザ光を、ビームスプリッタ14により分割し、図1、図2に示すように、各ロッドレンズ21, 22とシリンドリカルレンズ23, 24により、シート光Ls1, Ls2に形成し、所定の平面上の測定位置で交差させる。この測定位置である交差領域Dでは、交差領域Dを通過する流体の流速を、光ファイバ32を単位として、結像光学系である結像レンズ26の倍率により決まる空間分解能で求めることができる。例えば250 μ mの径の光ファイバ32を用いて光学系の倍率を1とすると、空間分解能は250 μ mとなる。

30

【0026】

シート光Ls1, Ls2の交差領域Dは、シート状の平行光が互いの面を重ねるようにして交差した領域であるので、菱形の形状になり、シート光Ls1, Ls2の位相差によって干渉縞ができる。そして、交差領域Dにおける流体中で、微小な粒子pが流体とともにその流速で通過すると、シート光Ls1, Ls2が流体中の粒子pにより反射し、散乱光が生じる。この散乱光は、粒子pの速度によるドップラー効果により、ドップラー周波数が変化する。そして、交差領域Dでの粒子pによる各散乱光は、それぞれ結像レンズ26により光ファイバレイ30の受光部30a上のそれぞれに対応する点に結像される。

【0027】

流体の流速により周波数変化した散乱光は、光ファイバレイ30の受光部30aで受光され、各光ファイバ32を介して各APD40に入力し、電気的なビート信号として検出される。ここで検出した信号の周波数変化と強度は、流体中の粒子pの速度及び個数に対応した値である。これを受光部30aでの光ファイバ32毎に求めて、交差領域Dの対応する点での流速を算出する。各APD40により得られた入力信号は、A/D変換されてコンピュータ48入力され、そのデジタル信号を高速フーリエ変換し、さらにノイズ除去処理等を施して、ドップラー周波数を算出する。ドップラー周波数は、検出した信号の周波数スペクトルにおいて、ドップラー周波数でのピークが表れることにより求まる。ドップラー周波数が求まると、その周波数から公知の算出方向により流体中の粒子pの速度が算出され、その速度が流体の流速と等しいので、流速が算出される。

40

【0028】

50

このようにして得られた光ファイバ32による測定結果を図5のグラフに示す。ここでは、5秒間での流体中の粒子pの速度を所定のサンプリング周期でプロットしたものである。受光部30a全体での各光ファイバ32による測定結果は、図6に示すように、交差領域Dの各光ファイバ32毎の対応箇所での流速の変化が正確に検出されている。

【0029】

さらに、この交差領域Dをその面と直交する方向に位置を移動させて同様に流速を測定し、これを繰り返す走査を行うことにより、3次的に交差領域Dの流速測定が可能となる。

【0030】

この実施形態のレーザドップラー流速測定方法及び装置によれば、流体の流速を測定するにあたり、2次元的な交差領域Dにおいて流量の測定を行うことができ、同時に多くの流速情報を得ることができる。しかもこの場合の空間分解能は、光学系により適宜設定可能である。

【0031】

尚、この発明のレーザドップラー流速測定方法及び装置は、上記実施形態に限定されるものではなく、レーザ光源と集光レンズとの間の光学系を、音響光学素子と反射鏡等に置き換えて構成しても良く、音響光学素子を用いることにより、以下のような効果を有する。流速の正、負方向の判別が付き、ペDESTALとドップラー信号を分離でき、平均流速が低い場合の乱流測定が可能となる。さらに、平均流速が低く、変動周波数が高い場合などでも、非定常流の測定に有効である。1台の信号処理装置で、広帯域の測定が可能となり、フィルタなどの周波数特性が決められていても、信号の周波数を変化させることができるので、広帯域の信号でも、既存の測定系で測定が可能になる。その他、測定体積部に、既知の信号を与えるので、光学系の調整がやりやすく、流速ゼロでも周波数偏移分の信号が得られるので、この点でも光学系の調整がやりやすい。通常は水蒸気などのミストを測定体積に流し、信号が取れることを確認するが、透明な定規などを測定体積部に置くだけで、周波数偏移分の信号を取ることができる。

【0032】

また、受光部や光電変換素子は、CCDやC-MOS等のイメージセンサの固体撮像素子でも良い。光ファイバも、ガラスファイバやプラスチックファイバ等、適宜選択可能である。

【符号の説明】

【0033】

- 10 レーザドップラー流速測定装置
- 12 レーザ光源
- 14 ビームスプリッタ
- 16 反射鏡
- 18 集光レンズ
- 21, 22 ロッドレンズ
- 23, 24 シリンドリカルレンズ
- 26 結像レンズ
- 30 ファイバアレイ
- 30a 受光部
- 32 光ファイバ
- 40 アバランシェフォトダイオード (APD)
- D 交差領域
- Ls1, Ls2 シート光
- p 粒子

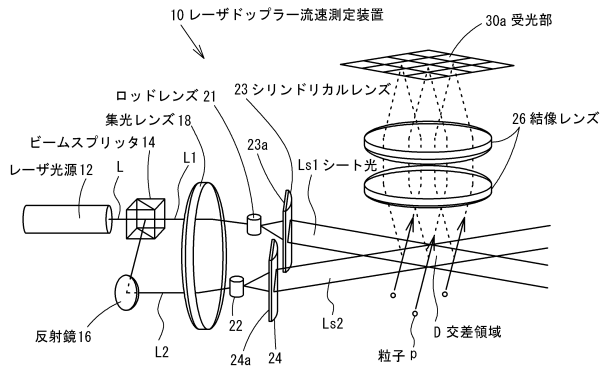
10

20

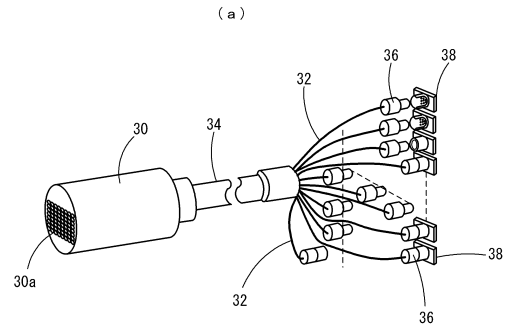
30

40

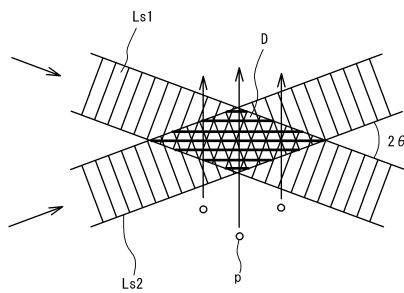
【図1】



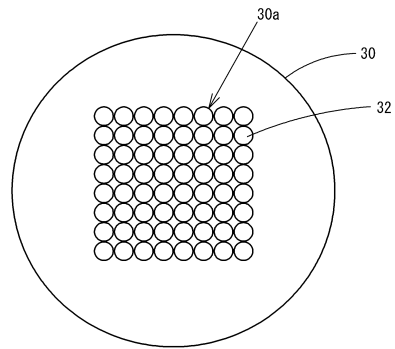
【図3】



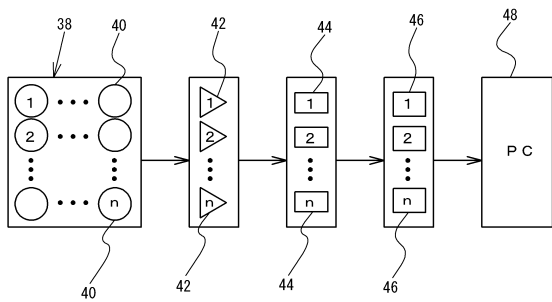
【図2】



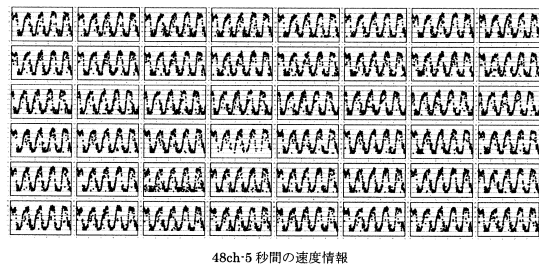
(b)



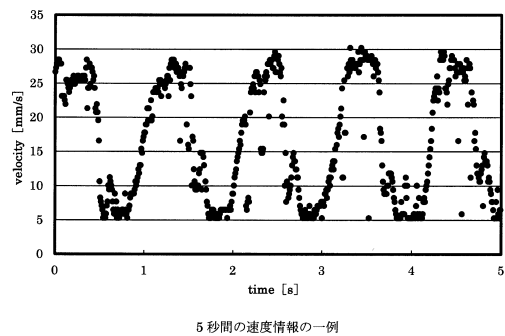
【図4】



【図6】



【図5】



フロントページの続き

- (72)発明者 寺西 恒宣
富山県富山市本郷町13番地 独立行政法人国立高等専門学校機構富山高等専門学校内
- (72)発明者 石田 弘樹
富山県射水市海老江練合1-2 独立行政法人国立高等専門学校機構富山高等専門学校内
- (72)発明者 秋口 俊輔
富山県射水市海老江練合1-2 独立行政法人国立高等専門学校機構富山高等専門学校内
- (72)発明者 安東 嗣修
富山県富山市杉谷2630 国立大学法人富山大学大学院医学薬学研究部内
- (72)発明者 高田 洋吾
大阪府大阪市住吉区杉本3丁目3番138号 公立大学法人大阪市立大学大学院工学研究科内

審査官 森 雅之

- (56)参考文献 特許第2671667(JP, B2)
特開平3-32641(JP, A)
特開2001-116763(JP, A)
特許第3492012(JP, B2)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01P5
G01F1
G01S17