(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第6039088号
(P6039088)

(45)発行日　平成28年12月7日(2016.12.7)　(24)登録日　平成28年11月11日(2016.11.11)

| (51)Int.Cl. | | | F I | | |
|---|---|---|---|---|---|
| G01P | 5/26 | (2006.01) | G01P | 5/26 | A |
| G01F | 1/66 | (2006.01) | G01F | 1/66 | 103 |

請求項の数 12　(全 21 頁)

(21)出願番号　特願2015-535262(P2015-535262)
(86)(22)出願日　平成25年9月9日(2013.9.9)
(86)国際出願番号　PCT/JP2013/074244
(87)国際公開番号　WO2015/033469
(87)国際公開日　平成27年3月12日(2015.3.12)
審査請求日　平成28年2月26日(2016.2.26)

(73)特許権者　000005016
パイオニア株式会社
東京都文京区本駒込二丁目２８番８号
(74)代理人　100104765
弁理士　江上　達夫
(74)代理人　100107331
弁理士　中村　聡延
(72)発明者　立石　潔
神奈川県川崎市幸区新小倉１番１号　パイオニア株式会社内

審査官　山下　雅人

最終頁に続く

(54)【発明の名称】流速検出装置及び流速検出方法

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
流路及び該流路を流れる流体に計測光を照射する照射手段と、
前記流路によって散乱された前記計測光と、前記流体によって散乱された前記計測光との干渉光を受光する受光手段と、
前記流体の速度に関する情報の指定値を取得する取得手段と、
前記指定値に基づいて決定された利用周波数範囲における前記干渉光を示す信号を演算して、前記流体の速度に関する情報を出力する出力手段と
を備えることを特徴とする流速検出装置。
【請求項２】
前記流路に前記流体を流す動作を、前記指定値に応じて実行する駆動手段を更に備えることを特徴とする請求項１に記載の流速検出装置。
【請求項３】
前記取得手段は、前記駆動手段の駆動量から前記指定値を演算して取得することを特徴とする請求項２に記載の流速検出装置。
【請求項４】
前記駆動手段は、回転ポンプ及び該回転ポンプの回転数を検出する回転数検出手段を有し、
前記取得手段は、前記回転数検出手段が検出した回転数に基づいて、前記指定値を演算する

ことを特徴とする請求項３に記載の流速検出装置。
【請求項５】
流路及び該流路を流れる流体に計測光を照射する照射手段と、
前記流路によって散乱された前記計測光と、前記流体によって散乱された前記計測光との干渉光を受光する受光手段と、
前記干渉光を示す信号のスペクトルの周波数に対する傾きが、所定の閾値となる周波数までを、前記干渉光を示す信号の利用周波数範囲として決定する決定手段と、
前記干渉光を示す信号の前記利用周波数範囲を演算して、前記流体の速度に関する情報を出力する出力手段と
を備えることを特徴とする流速検出装置。
【請求項６】
前記出力手段は、前記干渉光を示す信号に対して高速フーリエ変換を行うＦＦＴ手段を有することを特徴とする請求項１又は５に記載の流速検出装置。
【請求項７】
前記出力手段は、前記干渉光を示す信号の前記利用周波数範囲のみを通過させるフィルタ手段を有することを特徴とする請求項１又は５に記載の流速検出装置。
【請求項８】
前記出力手段は、前記干渉光を示す信号をＡ／Ｄ変換するＡ／Ｄ変換手段、及び該Ａ／Ｄ変換手段のサンプリングクロックを発生させるクロック生成手段を有し、
前記クロック生成手段は、前記利用周波数範囲に応じて、前記サンプリグクロックの周波数を変更する
ことを特徴とする請求項１又は５に記載の流速検出装置。
【請求項９】
前記受光手段は、複数の受光素子を含んで構成されており、該複数の受光素子の各々の検出電流を減算して前記干渉光を示す信号として出力することを特徴とする請求項１又は５に記載の流速検出装置。
【請求項１０】
前記流路は、交換可能な透明チューブであることを特徴とする請求項１又は５に記載の流速検出装置。
【請求項１１】
流路及び該流路を流れる流体に計測光を照射する照射工程と、
前記流路によって散乱された前記計測光と、前記流体によって散乱された前記計測光との干渉光を受光する受光工程と、
前記流体の速度に関する情報の指定値を取得する取得工程と、
前記指定値に基づいて決定された利用周波数範囲における前記干渉光を示す信号を演算して、前記流体の速度に関する情報を出力する出力工程と
を含むことを特徴とする流速検出方法。
【請求項１２】
流路及び該流路を流れる流体に計測光を照射する照射工程と、
前記流路によって散乱された前記計測光と、前記流体によって散乱された前記計測光との干渉光を受光する受光工程と、
前記干渉光を示す信号のスペクトルの傾きが、所定の閾値となる周波数までを、前記干渉光を示す信号の利用周波数範囲として決定する決定工程と、
前記干渉光を示す信号の前記利用周波数範囲を演算して、前記流体の速度に関する情報を出力する出力工程と
を含むことを特徴とする流速検出方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、光を照射することで流路内の流体の速度を検出する流速検出装置及び流速検

出方法の技術分野に関する。

【背景技術】

【０００２】

この種の装置として、例えばドップラシフトを利用して流体の速度を検出する装置が知られている。例えば特許文献１では、流体からのドップラシフト光をレーザ共振器の中で共振させるという技術が提案されている。また特許文献２では、水中の超音波ドップラ計測器において、重心計算区間の周波数範囲を繰り返し補正するという技術が提案されている。更に特許文献３では、ドップラ周波数スペクトルから、最大周波数と最小周波数とを計算する技術が提案されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００３】

【特許文献１】特表２０１２－５２０７２０号公報

【特許文献２】特開２００７－２９２６６８号公報

【特許文献３】特表２０１０－５２２５８１号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００４】

上述したドップラシフトを利用した流速検出においては、例えばドップラシフトが生じた光の干渉光に関する光強度信号が用いられる。具体的には、干渉光の光強度信号のパワースペクトルを利用した演算を行うことで、流体の速度が検出される。

【０００５】

ここで特に、本願発明者の研究するところによれば、光強度信号のパワースペクトルは、流体の速度によって集中する周波数帯域が異なることが判明している。具体的には、低流速時の光強度信号のパワースペクトルは低い周波数に集中し、高流速時の光強度信号のパワースペクトルは高い周波数に集中する。

【０００６】

一方で、光強度信号のパワースペクトルは、流速に依存しないノイズの影響を少なからず受ける。このため、検出しようとする流速が異なる場合、各周波数のパワースペクトルに対するノイズの影響に違いが発生する。よって、流速によらず常に同一の演算方法を利用しようとすると、正確な流速を検出できないという技術的問題点が発生する。

【０００７】

本発明が解決しようとする課題には、上記のようなものが一例として挙げられる。本発明は、検出しようとする流速に応じた周波数帯域の演算により、流体の速度に関する情報を好適に検出可能な流速検出装置及び流速検出方法を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【０００８】

上記課題を解決するための第１の流速検出装置は、流路及び該流路を流れる流体に計測光を照射する照射手段と、前記流路によって散乱された前記計測光と、前記流体によって散乱された前記計測光との干渉光を受光する受光手段と、前記流体の速度に関する情報の指定値を取得する取得手段と、前記指定値に基づいて決定された利用周波数範囲における前記干渉光を示す信号を演算して、前記流体の速度に関する情報を出力する出力手段とを備える。

【０００９】

上記課題を解決するための第２の流速検出装置は、流路及び該流路を流れる流体に計測光を照射する照射手段と、前記流路によって散乱された前記計測光と、前記流体によって散乱された前記計測光との干渉光を受光する受光手段と、前記干渉光を示す信号のスペクトルの周波数に対する傾きが、所定の閾値となる周波数までを、前記干渉光を示す信号の利用周波数範囲として決定する決定手段と、前記干渉光を示す信号の前記利用周波数範囲を演算して、前記流体の速度に関する情報を出力する出力手段とを備える。

【００１０】

上記課題を解決するための第１の流速検出方法は、流路及び該流路を流れる流体に計測光を照射する照射工程と、前記流路によって散乱された前記計測光と、前記流体によって散乱された前記計測光との干渉光を受光する受光工程と、前記流体の速度に関する情報の指定値を取得する取得工程と、前記指定値に基づいて決定された利用周波数範囲における前記干渉光を示す信号を演算して、前記流体の速度に関する情報を出力する出力工程とを含む。

【００１１】

上記課題を解決するための第２の流速検出方法は、流路及び該流路を流れる流体に計測光を照射する照射工程と、前記流路によって散乱された前記計測光と、前記流体によって散乱された前記計測光との干渉光を受光する受光工程と、前記干渉光を示す信号のスペクトルの傾きが、所定の閾値となる周波数までを、前記干渉光を示す信号の利用周波数範囲として決定する決定工程と、前記干渉光を示す信号の前記利用周波数範囲を演算して、前記流体の速度に関する情報を出力する出力工程とを含む。

【図面の簡単な説明】

【００１２】

【図１】第１実施例に係る流速検出装置の全体構成を示すブロック図である。

【図２】第１実施例に係る受光素子及び増幅器の構成を示すブロック図である。

【図３】第１実施例に係る信号処理部の構成を示すブロック図である。

【図４】低流速時及び高流速時における光強度信号のパワーと周波数との関係を示すグラフ（その１）である。

【図５】第１実施例に係る信号処理部の動作を示すフローチャートである。

【図６】第２実施例に係る信号処理部の構成を示すブロック図である。

【図７】低流速時及び高流速時における光強度信号のパワーと周波数との関係を示すグラフ（その２）である。

【図８】第１ＢＰＦ及び第２ＢＰＦのゲインと周波数との関係を示すグラフである。

【図９】第３実施例に係る流速検出装置の全体構成を示すブロック図である

【図１０】第４実施例に係る信号処理部の動作を示すフローチャートである。

【図１１】低流速時及び高流速時における光強度信号のパワーと周波数との関係を示すグラフ（その３）である。

【発明を実施するための形態】

【００１３】

本実施形態に係る第１の流速検出装置は、流路及び該流路を流れる流体に計測光を照射する照射手段と、前記流路によって散乱された前記計測光と、前記流体によって散乱された前記計測光との干渉光を受光する受光手段と、前記流体の速度に関する情報の指定値を取得する取得手段と、前記指定値に基づいて、前記干渉光を示す信号の利用周波数範囲を決定する決定手段と、前記干渉光を示す信号の前記利用周波数範囲を演算して、前記流体の速度に関する情報を出力する出力手段とを備える。

【００１４】

本実施形態に係る第１の流速検出装置によれば、その動作時には、例えば透明チューブ等として構成される流路を流れる流体に対して、照射手段から計測光が照射される。照射手段は、例えば発光ダイオードを含んで構成されており、その使用時には、流路及び流体に効率的に計測光を照射できる位置に配置される。

【００１５】

照射手段から照射された計測光は流路及び流体において夫々散乱される。そして受光手段では、流路において散乱された計測光と、流体において散乱された計測光との干渉光が受光される。受光手段は、例えばフォトダイオード等を含んで構成され、その使用時には、例えば流路及び流体から見て照射手段とは反対側の位置に配置される。

【００１６】

受光手段で干渉光が受光される一方で、取得手段では、流体の速度に関する情報の指定

値が取得される。なお、ここでの「流体の速度に関する情報」とは、流体の速度の値そのものに加えて、流体の速度を利用して求められる各種情報（例えば、流量等）を含む広い概念である。また、「指定値」とは、流体の速度の基準として設定される値であり、例えば外部から入力される流速指令等に対応する値である。

【００１７】

指定値が取得されると、決定手段では、取得された指定値に基づいて、干渉光を示す信号の利用周波数範囲が決定される。なお、「利用周波数範囲」とは、後述する出力手段の演算に利用される周波数の範囲を定めるものであり、取得される指定値の大小に応じて決定される。例えば、利用周波数範囲は指定値が大きいほど広い範囲として決定される。

【００１８】

利用周波数範囲が決定されると、出力手段では、干渉光を示す信号の利用周波数範囲が演算され、流体の速度に関する情報が出力される。即ち、出力手段は、受光手段から得られた干渉光を示す信号について、利用周波数範囲内の情報のみを用いて流体の速度に関する情報を演算する。言い換えれば、利用周波数範囲外の情報については、除外された状態で流体の速度に関する情報が演算される。

【００１９】

ここで特に、本願発明者の研究するところによれば、干渉光を示す信号のパワースペクトルは、流体の速度によって集中する周波数帯域が異なることが判明している。具体的には、低流速時の干渉光を示す信号のパワースペクトルは低い周波数に集中し、高流速時の干渉光を示す信号のパワースペクトルは高い周波数に集中する。

【００２０】

一方で、干渉光を示す信号のパワースペクトルは、流速に依存しないノイズの影響を少なからず受ける。このため、検出しようとする流速が異なる場合、各周波数のパワースペクトルに対するノイズの影響に違いが発生する。よって仮に、流速によらず常に同一の演算方法を利用しようとすると、正確な流速を検出できないおそれがある。

【００２１】

しかるに本実施形態では、上述したように、流体の速度に関する情報の指定値（言い換えれば、検出しようとしている流体の速度に関する情報のおおよその推定値）に基づいて、干渉光を示す信号の利用周波数範囲が決定される。このため、ノイズの影響を考慮した適切な周波数範囲を利用して、流体の速度に関する情報を演算できる。

【００２２】

以上説明したように、本実施形態に係る第１の流速検出装置によれば、高い精度で流体の速度に関する情報を検出することが可能である。

【００２３】

本実施形態に係る第１の流速検出装置の一態様では、前記流路に前記流体を流す動作を、前記指定値に応じて実行する駆動手段を更に備える。

【００２４】

この態様によれば、例えば回転ポンプ等として構成される駆動手段が指定値に応じて動作し、その結果として流路に流体が流れる。このため、取得された指定値に基づいて利用周波数範囲を決定すれば、適切な周波数範囲で流体の速度に関する情報を演算できる。

【００２５】

上述した駆動手段を備える態様では、前記取得手段は、前記駆動手段の駆動量から前記指定値を演算して取得してもよい。

【００２６】

この場合、指定値が駆動手段の駆動量から演算されるため、指定値を直接取得する場合と比べて、より適切な指定値を取得できる。即ち、実際に駆動手段において実現されている駆動量に応じて指定値が演算されるため、利用周波数範囲を決定するのに適切な指定値を取得できる。これにより、指定値から推定される駆動量と、実際の駆動量に差が生じている場合であっても、好適に利用周波数範囲を決定できる。

【００２７】

上述した駆動手段の駆動量から指定値を取得する態様では、前記駆動手段は、回転ポンプ及び該回転ポンプの回転数を検出する回転数検出手段を有し、前記取得手段は、前記回転数検出手段が検出した回転数に基づいて、前記指定値を演算してもよい。

【００２８】

この場合、回転ポンプの回転数が、指定値を演算するために用いられる駆動手段の駆動量として検出される。このように構成すれば、駆動手段の駆動量を、比較的容易な構成で、且つ高い精度で検出できる。従って、より好適に指定値を演算することができ、適切な利用周波数範囲を決定できる。

【００２９】

本実施形態に係る第２の流速検出装置は、流路及び該流路を流れる流体に計測光を照射する照射手段と、前記流路によって散乱された前記計測光と、前記流体によって散乱された前記計測光との干渉光を受光する受光手段と、前記干渉光を示す信号のスペクトルの周波数に対する傾きが、所定の閾値となる周波数までを、前記干渉光を示す信号の利用周波数範囲として決定する第２の決定手段と、前記干渉光を示す信号の前記利用周波数範囲を演算して、前記流体の速度に関する情報を出力する出力手段とを備える。

【００３０】

本実施形態に係る第２の流速検出装置によれば、その動作時には、例えば透明チューブ等として構成される流路を流れる流体に対して、照射手段から計測光が照射される。照射手段は、例えば発光ダイオードを含んで構成されており、その使用時には、流路及び流体に効率的に計測光を照射できる位置に配置される。

【００３１】

照射手段から照射された計測光は流路及び流体において夫々散乱される。そして受光手段では、流路において散乱された計測光と、流体において散乱された計測光との干渉光が受光される。受光手段は、例えばフォトダイオード等を含んで構成され、その使用時には、例えば流路及び流体から見て照射手段とは反対側の位置に配置される。

【００３２】

受光手段で干渉光が受光されると、第２の決定手段において、干渉光を示す信号のスペクトルの周波数に対する傾きが求められ、所定の閾値と比較される。なお、ここでの「所定の閾値」とは、利用周波数範囲を決定するための閾値であり、干渉光を示す信号のスペクトルに対するノイズの割合に基づいて予め理論的、実験的、或いは経験的に求められ設定されている。例えば、所定の閾値は、干渉光を示す信号に対するノイズの影響が、流体の速度に関する情報を高精度で演算できる程度に小さい、或いは流体の速度に関する情報を正確に演算できない程度に大きいかを判別できるような値として設定される。

【００３３】

そして第２の決定手段では、干渉光を示す信号のスペクトルの傾きが所定値となる周波数までの範囲が、干渉光を示す信号の利用周波数範囲として決定される。即ち、干渉光を示す信号のスペクトルの傾きが所定値と等しくなった周波数が利用周波数の上限値として決定される。

【００３４】

利用周波数範囲が決定されると、出力手段では、干渉光を示す信号の利用周波数範囲が演算され、流体の速度に関する情報が出力される。即ち、出力手段は、受光手段から得られた干渉光を示す信号について、利用周波数範囲内の情報のみを用いて流体の速度に関する情報を演算する。言い換えれば、利用周波数範囲外の情報については、除外された状態で流体の速度に関する情報が演算される。

【００３５】

以上説明したように、本実施形態に係る第２の流速検出装置によれば、干渉光を示す信号から利用周波数範囲が決定され、流体の速度に関する情報が演算される。よって、例えば流速指令のような指定値を取得できない場合であっても、ノイズの影響を考慮した適切な周波数範囲を利用して、流体の速度に関する情報を演算できる。従って、高い精度で流体の速度に関する情報を検出することが可能である。

【００３６】
本実施形態に係る流速検出装置の他の態様では、前記出力手段は、前記干渉光を示す信号に対して高速フーリエ変換を行うＦＦＴ手段を有する。
【００３７】
この態様によれば、干渉光を示す信号に対して高速フーリエ変換（ＦＦＴ：Fast Fourier Transform）を実行することができるため、干渉光を示す信号を用いて、好適に流体の速度に関する情報を演算できる。なおＦＦＴ手段は、受光手段から出力される干渉光を示す信号に対してＡ／Ｄ変換を実行するＡ／Ｄ変換手段を有していてもよい。
【００３８】
本実施形態に係る流速検出装置の他の態様では、前記出力手段は、前記干渉光を示す信号の前記利用周波数範囲のみを通過させるフィルタ手段を有する。
【００３９】
この態様によれば、フィルタ手段により、干渉光を示す信号のうち利用周波数範囲外のものがカットされる。従って、干渉光を示す信号の利用周波数範囲での演算を好適に実行できる。
【００４０】
なお、フィルタ手段は、利用周波数範囲に応じてフィルタのゲインが可変とされている。或いは、異なるゲインの複数のフィルタ手段が用意され、その中から利用周波数範囲に応じたフィルタが選択されるようにしてもよい。
【００４１】
本実施形態に係る流速検出装置の他の態様では、前記出力手段は、前記干渉光を示す信号をＡ／Ｄ変換するＡ／Ｄ変換手段、及び該Ａ／Ｄ変換手段のサンプリングクロックを発生させるクロック生成手段を有し、前記クロック生成手段は、前記利用周波数範囲に応じて、前記サンプリグクロックの周波数を変更する。
【００４２】
この態様によれば、干渉光を示す信号は、Ａ／Ｄ変換手段によりＡ／Ｄ変換される。そして、Ａ／Ｄ変換手段のサンプリングクロックは、クロック生成手段によって発生されている。
【００４３】
ここで特に、クロック生成手段は、サンプリングクロックの周波数を変更可能に構成されている。具体的には、クロック生成手段は、決定される利用周波数範囲に応じてサンプリングクロックの周波数を変更する。例えば、流体が低流速である場合には、利用周波数範囲が比較的狭いものとして決定され、それに応じてサンプリングクロックの周波数は低く設定される。逆に、流体が高流速である場合には、利用周波数範囲が比較的広いものとして決定され、それに応じてサンプリングクロックの周波数は高く設定される。
【００４４】
上述したようにサンプリングクロックの周波数を適宜変更すれば、例えば低流速時において、ＦＦＴのポイント数を増加させることなく周波数分解能を高くできる。また、高流速時において、好適に演算可能な周波数帯域を広げることができる。なお、低流速時に、ＦＦＴポイント数を増加させて周波数分解能を高くし、高流速時は、ＦＦＴポイント数を減少させて、処理時間の飽和を避けることも可能である。
【００４５】
本実施形態に係る流速検出装置の他の態様では、前記受光手段は、複数の受光素子を含んで構成されており、該複数の受光素子の各々の検出電流を減算して前記干渉光を示す信号として出力する。
【００４６】
この態様によれば、干渉光は受光手段における複数の受光素子の各々で受光される。そして、複数の受光素子の各々における検出電流は、互いに減算処理されて干渉光を示す信号（具体的には、干渉光の強度を示す信号）として出力される。このように複数の受光素子による差動検出を用いれば、干渉光を示す信号のＳ／Ｎ比を向上させることができる。

【００４７】
本実施形態に係る流速検出装置の他の態様では、前記流路は、交換可能な透明チューブである。
【００４８】
この態様によれば、流路が交換可能な透明チューブとして構成されており、適宜他の透明チューブと交換しながら利用される。なお、ここでの「透明」とは、照射される光を完全に透過させるようなものでなくともよく、内部を流れる流体での散乱光を検出できる程度の透明度が実現されていればよい。
【００４９】
透明チューブを交換して計測を行う場合、透明チューブの製品バラツキ等に起因して計測条件が変化するため、例えば光学系の焦点位置に高い精度が求められる計測方法を利用する場合には、計測の安定性確保が困難となる。また、このような場合に安定性を確保するには、例えば専用の光学設計がなされた容器をチューブでつなぐ等の工夫が必要であり、装置コストが増大してしまう。
【００５０】
しかしながら本態様では、流路での散乱光と流体での散乱光との干渉光を利用する計測方法（即ち、ＬＤＦ法:Laser Doppler Flowmetry）を採用しているため、上述した計測方法と比べると光学的なバラツキの許容度が高い。従って、計測安定性の確保に高価な部材を使用せずともよく、結果としてコストの増大を抑制することができる。
【００５１】
本実施形態に係る第１の流速検出方法は、流路及び該流路を流れる流体に計測光を照射する照射工程と、前記流路によって散乱された前記計測光と、前記流体によって散乱された前記計測光との干渉光を受光する受光工程と、前記流体の速度に関する情報の指定値を取得する取得工程と、前記指定値に基づいて、前記干渉光を示す信号の利用周波数範囲を決定する決定工程と、前記干渉光を示す信号の前記利用周波数範囲を演算して、前記流体の速度に関する情報を出力する出力工程とを含む。
【００５２】
本実施形態に係る第１の流速検出方法によれば、上述した本実施形態に係る第１の流速検出装置と同様に、ノイズの影響を考慮した適切な周波数範囲を利用して、流体の速度に関する情報を演算できる。従って、高い精度で流体の速度に関する情報を検出することが可能である。
【００５３】
なお、本実施形態に係る第１の流速検出方法においても、上述した本実施形態に係る第１の流速検出装置における各種態様と同様の各種態様を採ることが可能である。
【００５４】
本実施形態に係る第２の流速検出方法は、流路及び該流路を流れる流体に計測光を照射する照射工程と、前記流路によって散乱された前記計測光と、前記流体によって散乱された前記計測光との干渉光を受光する受光工程と、前記干渉光を示す信号のスペクトルの傾きが、所定の閾値となる周波数までを、前記干渉光を示す信号の利用周波数範囲として決定する第２の決定工程と、前記干渉光を示す信号の前記利用周波数範囲を演算して、前記流体の速度に関する情報を出力する出力工程とを含む
本実施形態に係る第２の流速検出方法によれば、上述した本実施形態に係る第２の流速検出装置と同様に、ノイズの影響を考慮した適切な周波数範囲を利用して、流体の速度に関する情報を演算できる。従って、高い精度で流体の速度に関する情報を検出することが可能である。
【００５５】
なお、本実施形態に係る第２の流速検出方法においても、上述した本実施形態に係る第２の流速検出装置における各種態様と同様の各種態様を採ることが可能である。
【００５６】
本実施形態に係る流速検出装置及び流速検出方法の作用及び他の利得については、以下

に示す実施例において、より詳細に説明する。
【実施例】
【００５７】
　以下では、図面を参照して流速検出装置及び流速検出方法の実施例について詳細に説明する。
【００５８】
　＜第１実施例＞
　第１実施例に係る流速検出装置について、図１から図５を参照して説明する。
【００５９】
　＜全体構成＞
　先ず、第１実施例に係る流速検出装置の全体構成について、図１を参照して説明する。ここに図１は、第１実施例に係る流速検出装置の全体構成を示すブロック図である。
【００６０】
　図１において、本実施例に係る流速検出装置は、レーザ駆動部１１０と、半導体レーザ１２０と、受光素子１３０と、増幅器１４０と、信号処理部１５０と、ＣＰＵ１６０と、表示部１７０と、ポンプ１８０とを備えて構成されている。
【００６１】
　レーザ駆動部１１０は、半導体レーザ１２０を駆動するための電流を発生する。
【００６２】
　半導体レーザ１２０は、「照射手段」の一具体例であり、レーザ駆動部１１０において発生された駆動電流に応じたレーザ光を、計測対象である流体２００が流れる透明チューブ２５０に対して照射する。
【００６３】
　受光素子１３０は、「受光手段」の一具体例であり、例えば半導体レーザ１２０に対して透明チューブ２５０を挟み込んだ位置に配置されている。受光素子１３０は、半導体レーザ１２０から照射されたレーザ光のうち、流体２００で散乱された光及び透明チューブ２５０で散乱された光の干渉光を受光する。
【００６４】
　増幅器１４０は、受光素子１３０で検出された検出電流を電圧に変換して、光強度信号として出力する。
【００６５】
　信号処理部１５０は、「出力手段」の一具体例であり、光強度信号から流体２００の流速を演算して出力する。信号処理部１５０の具体的な構成及び動作は、後に詳述する。
【００６６】
　ＣＰＵ（Central Processing Unit）１６０は、装置全体の制御を統括するコントローラとして構成されており、装置を構成する各部位に対して各種指令を出力可能とされている。なお、本実施例に係るＣＰＵ１６０には特に、流体２００の速度を指定するための流速指令が外部から入力される。即ち、ＣＰＵ１６０は、「取得手段」の一具体例として機能する。流速指令を取得したＣＰＵ１６０は、ポンプ１８０に対して流速指令に応じた回転指令を出力する。この流速指令は、ポンプ１８０への回転指令だけでなく、後述する流速の演算にも利用される。
【００６７】
　表示部１７０は、例えば液晶モニタ等のディスプレイとして構成されており、ＣＰＵ１６０からの指令に応じて、演算された流速を表示する。
【００６８】
　ポンプ１８０は、例えば、透明チューブ２５０の弾力性を利用し、モータとギアから構成される回転軸に付随したポンプヘッドのローラ回転作用により連続定期に流体を定量移送するチュービングポンプとして構成される。
【００６９】
　＜受光素子の構成＞

次に、第１実施例に係る受光素子１３０の構成について、図２を参照して説明する。ここに図２は、第１実施例に係る受光素子及び増幅器の構成を示すブロック図である。
【００７０】
図２において、本実施例に係る受光素子１３０は、第１受光素子１３１及び第２受光素子１３２の２つの受光素子を備えて構成されている。そして特に、第１受光素子１３１及び第２受光素子１３２は、増幅器１４０における電流電圧変換器１４１に対して逆極性で接続されている。電流電圧変換器１４１からの出力は、減算部１４２において減算処理され、光強度信号として出力される。
【００７１】
上述した構成によれば、各受光素子が受光した各光信号のうち、互いに相関が低いもの（例えば、振幅や位相が異なっている信号成分）については、検出電流が増幅されて出力される。一方で、互いに相関が強いもの（例えば、振幅や位相が一致している信号成分）については、それぞれの検出電流が相殺され、各受光素子からの検出電流が抑圧される。その結果、増幅器１４０から出力される光強度信号は、各受光素子が受光した各光信号のうち無相関成分を増幅した信号であって、相互相関の強い信号成分（例えば、ＤＣ光等）を抑圧した信号となる。即ち、本実施例に係る受光素子１３０及び増幅器１４０は、無相関信号検出器を構成していると言える。
【００７２】
第１受光素子１３１及び第２受光素子１３２に入射された光の経路は、第１受光素子１３１及び第２受光素子１３２が異なる位置に配置されているので、光波長のオーダーでは、同一経路の光は存在しないと言える。一方、移動体（即ち、流体２００）からのドップラシフト光、及び固定物（例えば、透明チューブ２５０）からの反射光の干渉により生じる光ビート信号は、光の干渉を利用しているので、第１受光素子１３１及び第２受光素子１３２が検出した光信号成分である光ビート信号は、互いに無相関な信号と言える。その理由は、ビート信号を生じさせる光の経路が、光波長のオーダーで一致する確率が極めて低いことによる。この結果、第１受光素子１３１及び第２受光素子１３２の逆極性接続による減算により、ＤＣ成分は抑圧され、信号成分であるビート信号は√２倍になる。
【００７３】
図２において、第１受光素子１３１及び第２受光素子１３２の受光面積を等しくし、ＤＣ光成分が互いに均等に照射される構成とすると、ＤＣ光成分は互いに相殺され出力されない。従って、ＤＣ成分による増幅器１４０の飽和を回避できると共に、信号成分であるＡＣ成分を効率よく増幅できる。具体的には、電流電圧変換抵抗Ｒｆ１とＲｆ２の抵抗値を大きく設計できるので、変換感度向上による高Ｓ/Ｎ化が可能となる。更に、第１受光素子１３１及び第２受光素子１３２を同一シリコン上に構成する所謂分割ディテクタの場合、温度変化による特性変化、例えば増幅器１４０の入力オフセット電圧の増加による暗電流の変化は同相性ノイズとなり、ＤＣ光成分と同様に互いに相殺され出力されない。
【００７４】
また、入力光量の源となる光源、例えばレーザ光に含まれるノイズ成分は、ＤＣ光と同様に同相成分である。例えば、半導体レーザのモードホップノイズによる入力光量のゆらぎは、第１受光素子１３１及び第２受光素子１３２に対して同一時刻で発生し、同相性のノイズである。そして、それぞれの検出電流Ｉｄ１とＩｄ２におけるモードホップノイズに起因する検出電流のゆらぎ成分は互いに強い相関を持つ。従って、同相成分は互いに相殺されるので、光源のゆらぎに起因するノイズは抑圧され、信号検出におけるＳ/Ｎ比が向上するので好ましい。
【００７５】
以上のように、本実施例は光学的感度の低い特別な光学系を使用しないＬＤＦ法であっても、ビート信号をＳ/Ｎ良く検出することが可能となる。
【００７６】
＜信号処理部の構成＞
次に、第１実施例に係る信号処理部１５０の具体的な構成について、図３を参照して説

明する。ここに図３は、第１実施例に係る信号処理部の構成を示すブロック図である。
【００７７】
図３において、第１実施例に係る信号処理部１５０は、可変増幅器３１０と、ＢＰＦ（Band-pass filter）３２０と、Ａ／Ｄ変換器３３０と、ＦＦＴ部３４０と、演算器３５０とを備えて構成されている。
【００７８】
可変増幅器３１０は、増幅器１４０から入力された光強度信号を、ＣＰＵ１６０が指令したゲイン調整値に従い増幅し増幅信号として出力する。増幅信号は、ＢＰＦ３２０に出力される。
【００７９】
ＢＰＦ３２０は、「フィルタ手段」の一具体例であり、入力された増幅信号におけるノイズ成分である高域成分や低域成分を除去し、ＢＰＦ信号として出力する。ＢＰＦ信号は、Ａ／Ｄ変換器３３０に夫々出力される。
【００８０】
Ａ／Ｄ変換器３３０は、「Ａ／Ｄ変換手段」の一具体例であり、アナログ信号であるＢＰＦ信号をデジタル化し、Ａ／ＤデータとしてＦＦＴ部３４０に出力する。
【００８１】
ＦＦＴ部３４０は、「ＦＦＴ手段」の一具体例であり、高速フーリエ変換によりＡ／Ｄデータを周波数解析し、解析結果をスペクトルデータとして演算器３５０に出力する。
【００８２】
演算器３５０は、ＣＰＵから入力される計測帯域指令に応じてスペクトルデータの演算範囲を定め、演算範囲に従い流体２００の速度を演算する。演算器３５０による演算結果は、流速検出値としてＣＰＵ１６０に出力される。
【００８３】
＜適正計測帯域＞
ここで、流速演算の際に考慮される計測帯域について、既出の図１に加え図４を参照して説明する。ここに図４は、低流速時及び高流速時における光強度信号のパワーと周波数との関係を示すグラフ（その１）である。
【００８４】
図１において、透明チューブ２５０の外壁は固定され移動しない。一方、透明チューブ２５０内を流れる流体２００中の散乱体は、ポンプ作用により移動しており流速を有している。そして、半導体レーザ１２０から出射されたレーザ光の一部は、移動する散乱体により散乱され、ドップラシフトを生じた散乱光となり受光素子１３０に入射する（実線）。一方、半導体レーザ１２０から出射されたレーザ光の他の一部は、固定部である透明チューブ２５０の外壁部で反射し、受光素子１３０に入射する（点線）。これら両光線は、互いに干渉し、光ビート信号となり受光素子１３０に入射する。光ビート信号のパワースペクトルは、散乱体の移動速度に応じて変化する。
【００８５】
具体的には、図４に示すように、移動速度の遅い低流速時の光強度信号のパワースペクトルＰ１（ｆ）（実線）は、より低い周波数に集中する。一方、移動速度の速い高流速時の光強度信号のパワースペクトルＰ２（ｆ）（点線）は、より高い周波数に集中する。そして図４では更に、レーザ照射を停止した場合の光強度信号のパワースペクトルを、ノイズスペクトルＮ（ｆ）として一点鎖線で示している。ノイズの主原因は、電流電圧変換器１４１（図２参照）が発生するノイズであり、周波数ｆが高くなると増加する。その理由は、受光素子１３０の端子間静電容量や、電流電圧変換器１４１の入力静電容量により、電流電圧変換器１４１で発生したノイズが微分されることによる。
【００８６】
ここで、光強度信号のパワースペクトルは、図４を見ても分かるように、低周波領域では、Ｐ１（ｆ）＞Ｐ２（ｆ）となり、高周波領域では、Ｐ２（ｆ）＞Ｐ１（ｆ）となる。そして、Ｐ１（ｆ）は、低流速時、周波数ｆ１以上の領域において、ノイズ成分Ｎ（ｆ）

の影響を強く受ける。具体的には、低流速時のパワースペクトルＰ１（ｆ）は、低周波領域にパワーが集中しており、本来ならば、ｆ１以上の高周波領域では、そのパワーは次第に減少するはずである。一方、ノイズＮ（ｆ）はｆ１以上の高周波領域でそのパワーが大きい。この結果、ｆ１以上の高周波領域では、本来の特性ではなく、ノイズＮ（ｆ）の特性がＰ１（ｆ）の特性を支配することになる。

【００８７】

ノイズＮ（ｆ）が特性を支配している周波数領域を流速演算に用いると、計測誤差が増大する。その理由は、本来の信号特性と異なり、主にノイズスペクトルを計測に用いてしまうことによる。

【００８８】

他方、Ｐ２（ｆ）は、高流速時、周波数ｆ２以上の領域において、ノイズ成分Ｎ（ｆ）の影響を強く受けるが、周波数ｆ１では、低流速時と異なりノイズＮ（ｆ）の影響は小さい。その理由は、高流速時光強度信号のパワーが、低流速時に比較すると高い周波数に集中しているためである。よって、周波数ｆ１（＜ｆ２）では、Ｐ２（ｆ）の信号パワーはノイズＮ（ｆ）のパワーに比較して十分にレベルがあり、ノイズＮ（ｆ）に支配されることはない。

【００８９】

以上の結果、低流速時の適正計測帯域はｆ１までの帯域であり、ｆ１以上の周波数領域は、流速演算に用いないほうがよいことが分かる。同様に、高流速時の適正計測帯域はｆ２までの帯域であり、ｆ２以上の周波数領域は、流速演算に用いないほうがよい。ただし、低流速時とは異なり、ｆ１～ｆ２の周波数領域は流速演算に用いるほうがよい。仮に、高流速時に、低流速時と同様にｆ１以上の周波数領域を流速演算に用いない場合、本来の信号成分までも部分的に削除することになり、計測誤差が増大してしまうからである。

【００９０】

以上のように、低流速時及び高流速時は、適正計測帯域が互いに異なる帯域になる。具体的には、低流速時の適正計測帯域上限ｆ１は、高流速時の適正計測帯域上限ｆ２と比較して低い周波数となる。

【００９１】

なお、本実施例では適正計測帯域を高流速時及び低流速時の２段階で設定しているが、２段階に限定される訳ではない。具体的には、高流速時、中流速時、低流速時の３段階で適正計測帯域を設定してもよいし、それ以上の段階に分けて適正計測帯域を設定してもよい。

【００９２】

＜流速演算処理＞　次に、第１実施例に係る流速検出装置による流速演算処理について、図５を参照して説明する。ここに図５は、第１実施例に係る信号処理部の動作を示すフローチャートである。

【００９３】

図５において、流速演算処理を実行する信号処理部１５０では、先ずＡ／Ｄ変換器３３０においてＡ／Ｄデータが更新されたか否かが判定される（ステップＳ１０１）。そして、Ａ／Ｄデータが更新されたと判定された場合（ステップＳ１０１：ＹＥＳ）、Ａ／Ｄデータの取り込みが実行される（ステップＳ１０２）。

【００９４】

Ａ／Ｄデータが取得されると、ＦＦＴ部３４０では、ｎポイントのＡ／Ｄデータを用いてＦＦＴが行われ、ｎ／２ポイントのパワースペクトルＰ（ｎ／２）が得られる（ステップＳ１０３）。スペクトルデータが得られると、ＣＰＵ１６０からの計測帯域指令値が確認される。具体的には、計測帯域が広帯域であるか否かが判定される（ステップＳ１０４）。

【００９５】

なお、計測帯域は、図４を用いて説明したように、低流速時には周波数ｆ１までの帯域、高流速時には周波数ｆ２までの帯域として設定される。なお、本実施例に係るＣＰＵ１

６０は特に、入力される流速指令に応じて計測帯域を決定する。
【００９６】
　ここで、計測帯域が広帯域でない（即ち、狭帯域である）と判定されると（ステップＳ１０４：ＮＯ）、ｎ１が演算範囲上限を示すｎｋとして設定される（ステップＳ１０５）。一方、計測帯域が広帯域であると判定されると（ステップＳ１０４：ＹＥＳ）、ｎ２がｎｋとして設定される（ステップＳ１０６）。なお、ここでの“ｎ１”及び“ｎ２”は、それぞれ“ｆ１”及び“ｆ２”に対応する値であり、ｎ１＜ｎ２≦ｎ／２の関係がある。また、ｆ１及びｆ２についても、ｆ１＜ｆ２≦ｆｓ／２の関係が成立している。ｎ１及びｎ２は、具体的には、以下に示す数式（１）及び（２）を満たす数として選択される。
【００９７】
　　ｎ１＝ｎ・ｆ１／ｆｓ　・・・（１）
　　ｎ２＝ｎ・ｆ２／ｆｓ　・・・（２）
　ちなみに、ここでの“ｆｓ”は、Ａ／Ｄ変換器３３０のサンプリング周波数である。
【００９８】
　ｎｋが設定されると、ｋ＝１～ｎｋの範囲で、パワースペクトルＰ（ｎ／２）の重心位置を示す平均周波数ｆｍが演算される（ステップＳ１０７）。平均周波数ｆｍは、以下の数式（３）により求めることができる。
【００９９】
　　ｆｍ＝Σｋ・Ｐ（ｋ）／ΣＰ（ｋ）　・・・（３）
　続いて、平均周波数ｆｍに流速換算係数が乗算され、流速が求められる（ステップＳ１０８）。流速が求められると、流速値が表示部１７０に対応した信号に変換され出力される（ステップＳ１０９）。これにより、流速検出装置における一連の処理が終了する。
【０１００】
　以上説明したように、本実施例に係る流速検出装置によれば、流速指令に基づいて適正計測帯域が決定され、適正計測帯域に応じた演算範囲での演算により流速が演算される。これにより、ノイズの影響を考慮した適切な周波数範囲で流体の速度が演算されるため、高い精度で流速を検出することができる。
【０１０１】
　なお、本実施例に係る流速検出装置は、流速だけでなく流速から求められる他のパラメータ（例えば、流量等）を検出可能に構成されてもよい。
【０１０２】
　＜第２実施例＞
　次に、第２実施例に係る流速検出装置について、図６から図８を参照して説明する。なお、第２実施例は、上述した第１実施例と比べて一部の構成及び動作が異なるのみで、多くの部分は第１実施例と同様である。このため、以下では第１実施例と異なる部分について詳細に説明し、重複する部分については適宜説明を省略するものとする。
【０１０３】
　＜信号処理部の構成＞
　先ず、第２実施例に係る信号処理部の構成について、図６を参照して説明する。ここに図６は、第２実施例に係る信号処理部の構成を示すブロック図である。
【０１０４】
　図６において、第２実施例に係る信号処理部１５０は、可変増幅器３１０と、第１ＢＰＦ３２１と、第２ＢＰＦ３２２と、選択部３２３と、Ａ／Ｄ変換器３３０と、ＦＦＴ部３４０と、演算器３５０と、クロック生成部３６０とを備えて構成されている。即ち、第２実施例に係る信号処理部１５０は、第１実施例に係る信号処理部１５０（図３参照）のＢＰＦ３２０に代えて、第１ＢＰＦ３２１、第２ＢＰＦ３２２、及び選択部３２３を備えている。加えて、クロック生成部３６０を備えている。
【０１０５】
　第１ＢＰＦ３２１及び第２ＢＰＦ３２２は、可変増幅器３１０から入力された増幅信号におけるノイズ成分である高域成分や低域成分を除去し、ＢＰＦ信号として出力する。た

だし、第１ＢＰＦ３２１及び第２ＢＰＦ３２２は、互いに異なる通過帯域を有するものとして設定されている。

【０１０６】

選択部３２３は、第１ＢＰＦ３２１及び第２ＢＰＦ３２２から入力された２つのＢＰＦ信号のうち、いずれか一方を選択的に出力する。なお、いずれのＢＰＦ信号を出力するかは、ＣＰＵ１６０から入力される計測帯域指令によって決定される。言い換えれば、いずれのＢＰＦ信号が出力されるかは、流速指令に基づいて決定される。

【０１０７】

クロック生成部３６０は、「クロック生成手段」の一例であり、Ａ／Ｄ変換器３３０のサンプリングクロックを、ＣＰＵ１６０から入力される計測帯域指令に応じて変更する。即ち、クロック生成部３６０は、流速指令に応じたサンプリングクロックを生成可能に構成されている。

【０１０８】

＜流速演算時の動作＞

次に、第２実施例に係る流速検出装置の流速演算時の動作について、図７及び図８を参照して説明する。ここに、図７は、低流速時及び高流速時における光強度信号のパワーと周波数との関係を示すグラフ（その２）である。また図８は、第１ＢＰＦ及び第２ＢＰＦのゲインと周波数との関係を示すグラフである。

【０１０９】

図７において、低流速時の光強度信号のパワースペクトルは、流速の増加により、Ｐ１Ｌ（ｆ）からＰ１Ｈ（ｆ）へと変化する。このため、図からも導き出せるように、低流速時の適正計測帯域の上限はｆ１となる。同様に、高流速時の光強度信号のパワースペクトルは、流速の増加により、Ｐ２Ｌ（ｆ）からＰ２Ｈ（ｆ）へと変化する。よって、高流速時の適正計測帯域の上限はｆ２となる。

【０１１０】

図８において、第１ＢＰＦ３２１のゲイン特性は、周波数ｆ１までの帯域において大きくなるように設定されている。即ち、周波数ｆ１を上限とする通過帯域が設定されている。このため、適正計測帯域の上限がｆ１となる低流速時には、選択部３２３は、第１ＢＰＦ３２１から出力されるＢＰＦ信号を選択すればよい。

【０１１１】

一方で、第２ＢＰＦ３２２のゲイン特性は、周波数ｆ２までの帯域において大きくなるように設定されている。即ち、周波数ｆ２を上限とする通過帯域が設定されている。このため、適正計測帯域の上限がｆ２となる高流速時には、選択部３２３は、第２ＢＰＦ３２２から出力されるＢＰＦ信号を選択すればよい。

【０１１２】

上述した構成によれば、Ａ/Ｄ変換前のＢＰＦ特性が、ＣＰＵ１６０からの計測帯域指令に対して変更されるため、Ａ/Ｄ変換前の信号帯域が計測すべき流速に対応して最適化される。従って、Ｓ/Ｎ比が向上し、流速の計測精度が向上する。

【０１１３】

更に本実施例では、計測すべき帯域が狭い低流速時には、Ａ/Ｄ変換のサンプリング周波数を低く設定すべく、クロック生成部３６０は、基準クロック（図示せず）の分周比を大きく設定する。逆に、高流速時は、計測すべき帯域が広いので、Ａ/Ｄ変換のサンプリング周波数を高く設定すべく、クロック生成部は基準クロックの分周比を小さく設定する。

【０１１４】

このように、計測帯域に応じてＡ/Ｄ変換のサンプリング周波数を変更すれば、低流速時にＦＦＴのポイント数を増加させることなく、周波数分解能を高くでき、より正確な計測が可能となる。また、高流速時は、サンプリング周波数を高く設定できるので、計測帯域を広げることができ、より正確な計測が可能となる。なお、低流速時にＦＦＴポイント数を増加させて周波数分解能を高くし、高流速時にはＦＦＴポイント数を減少させて処理

時間の飽和を避けることも可能となる。
【０１１５】
以上説明したように、第２実施例に係る流速検出装置によれば、第１実施例と同様に、ノイズの影響を考慮した適切な周波数範囲で流体の速度が演算されるため、高い精度で流速を検出することができる。
【０１１６】
＜第３実施例＞
次に、第３実施例に係る流速検出装置について、図９を参照して説明する。なお、第３実施例は、上述した第１及び第２実施例と比べて一部の構成及び動作が異なるのみで、多くの部分は第１及び第２実施例と同様である。このため、以下では第１及び第２実施例と異なる部分について詳細に説明し、重複する部分については適宜説明を省略するものとする。
【０１１７】
＜全体構成＞
先ず、第３実施例に係る流速検出装置の全体構成について、図９を参照して説明する。ここに図９は、第３実施例に係る流速検出装置の全体構成を示すブロック図である。
【０１１８】
図９において、第３実施例に係る流速検出装置は、レーザ駆動部１１０と、半導体レーザ１２０と、受光素子１３０と、増幅器１４０と、信号処理部１５０と、ＣＰＵ１６０と、表示部１７０と、ポンプ１８０と、回転数検出部１９１と、回転制御部１９２とを備えて構成されている。即ち、第３実施例に係る流速検出装置は、第１実施例に係る流速検出装置（図１参照）に加えて、回転数検出部１９１及び回転制御部１９２を備えている。
【０１１９】
回転数検出部１９１は、「回転数検出手段」の一具体例であり、ポンプ１８０の回転数を検出し、回転制御部１９２及びＣＰＵ１６０に夫々出力する。
【０１２０】
回転制御部１８１は、外部からの流速指令に対応するリファレンス回転数と回転数検出部１８２が検出した回転数とを比較して、ポンプ１８０に対して駆動量を負帰還することにより、ポンプ１８０の回転数を制御する。
【０１２１】
＜流速演算時の動作＞
次に、第３実施例に係る流速検出装置の流速演算時の動作について、引き続き図９を参照して説明する。
【０１２２】
流速演算時において、第３実施例に係る流速検出装置のＣＰＵ１６０では、回転数検出部１９１が検出したポンプの回転数に応じて計測帯域が設定され、信号処理部１５０に対して計測帯域指令が送出される。具体的には、検出されたポンプ１８０の回転数から流体２００の速度が推定され、推定された流速値に基づいて計測帯域が設定される。即ち、第３実施例では、第１及び第２実施例のように流速指令に基づいて直接的に計測帯域が設定されるのではなく、ポンプ１８０の実際の駆動量から求められる流速の推定値に基づいて計測帯域が設定される。
【０１２３】
上述したように計測帯域を設定すれば、第１実施例及び第２実施例のように流速指令に基づいて計測帯域を設定する場合と比べて、より適切な計測帯域を設定できる。具体的には、実際にポンプ１８０において実現されている駆動量に応じて流速が推定されるため、例えば流速指令と実際の駆動量とに差が生じている場合であっても、好適に計測帯域を決定できる。
【０１２４】
以上説明したように、第３実施例に係る流速検出装置によれば、流体２００を流す駆動手段の駆動量に応じて計測帯域が決定されるため、より適切な周波数範囲で流速が演算さ

れる。従って、高い精度で流速を検出することができる。

【０１２５】

＜第４実施例＞

次に、第４実施例に係る流速検出装置について、図１０及び図１１を参照して説明する。なお、第４実施例は、上述した第１から３実施例と比べて一部の構成が異なるのみで、多くの部分は第１から第３実施例と同様である。このため、以下では第１から第３実施例と異なる部分について詳細に説明し、重複する部分については適宜説明を省略するものとする。

【０１２６】

＜流速演算処理＞

図１０において、第４実施例に係る流速検出装置では、ｎポイントのＦＦＴ処理により、ｎ／２ポイントのパワースペクトルＰ（ｎ／２）が求められる点までは、第１実施例における図５で示した処理（即ち、ステップＳ１０１～Ｓ１０３）と同様の処理が行われる（ステップＳ２０１）。

【０１２７】

パワースペクトルＰ（ｎ／２）が求められると、複数回のＦＦＴ処理により平均的なパワースペクトルＰａ（ｎ／２）が求められる（ステップＳ２０２）。

【０１２８】

続いて、周波数の最大値ｎ／２がポインターｍとして初期化される（ステップＳ２０３）。そして、Ｐａ（ｍ－１）－Ｐａ（ｍ）が演算され、基準値Δより大きいか否かが判断される（ステップＳ２０４）。ここで、Ｐａ（ｍ－１）－Ｐａ（ｍ）が基準値Δより大きい場合（ステップＳ２０４：ＹＥＳ）、ポインターｍがｎｋに格納される（ステップＳ２０５）。即ち、現在のポインターｍが計測帯域の上限値に対応する値として決定される。一方で、Ｐａ（ｍ－１）－Ｐａ（ｍ）が基準値Δより大きくない場合（ステップＳ２０４：ＮＯ）、ポインターｍ－１がポインターｍとして再設定され（ステップＳ２０６）、再びステップＳ２０４の処理が実行される。即ち、ステップＳ２０４の処理は、Ｐａ（ｍ－１）－Ｐａ（ｍ）が基準値Δより大きくなるまで繰り返し実行される。

【０１２９】

図１１において、Ｐａ（ｍ－１）－Ｐａ（ｍ）は、光強度信号のパワースペクトルの傾きに対応している。そして、図を見ても分かるように、パワースペクトルの傾きはノイズ影響率に対応しており、パワースペクトルの傾きが一定の値より大きければ、ノイズの影響は小さいと考えることができる。基準値Δは、このようにノイズの影響率を判断するために設定された閾値であり、パワースペクトルの傾きＰａ（ｍ－１）－Ｐａ（ｍ）と、基準値Δとを互いに比較することで、ノイズの影響が十分に小さいか否か（即ち、流速の演算に用いるべきか否か）を判別することが可能となる。

【０１３０】

図１１の例では、比較的流速が低い場合のパワースペクトルＰ１（ｆ）の傾きがΔより大きくなる周波数ｆ１ａが演算範囲の上限値として決定されている。同様に、比較的流速が速い場合のパワースペクトルＰ２（ｆ）の傾きがΔより大きくなる周波数ｆ２ａが演算範囲の上限値として決定されている。このように第４実施例では、第１実施例における流速指令或いは第３実施例におけるポンプ１８０の回転数のようなパラメータを取得しなくとも、内部処理によって計測帯域を決定することができる。

【０１３１】

図１０に戻り、ｎｋの格納が終了すると、第１実施例（即ち、図５のステップＳ１０７）と同様に平均周波数ｆｍが演算される（ステップＳ２０７）。ただし、第４実施例では、平均化されたパワースペクトルＰａ（ｋ）を演算に用いている点が他の実施例と異なっている。具体的には、平均周波数ｆｍは、以下の数式（４）により求められる。

【０１３２】

$$fm = \Sigma k \cdot Pa(k) / \Sigma Pa(k) \quad \cdots (4)$$

平均周波数ｆｍが演算されると、流速換算処理が実行される（ステップＳ２０８）。こ

の流速換算処理についても、第１実施例（即ち、図５のステップＳ１０８）と概ね同様であるが、第４実施例では、周波数範囲ｎｋの値に応じて換算係数が補正される。具体的には、周波数範囲ｎｋの値が大きい場合、流速が高いと判断し、高い流速に対応した換算係数が用いられる。同様に、周波数範囲ｎｋの値が小さい場合、流速が低いと判断し、低い流速に対応した換算係数が用いられる。より具体的には、周波数範囲ｎｋをテーブルアドレスとした換算係数テーブルが読み出され、平均周波数ｆｍから流速を得るための換算係数を得て、流速換算処理が実行される。なお、換算係数テーブルは、あらかじめ実験等により校正しておけばよい。

【０１３３】

流速が求められると、流速値が表示部１７０に対応した信号に変換され出力される（ステップＳ２０９）。これにより、流速検出装置の一連の処理が終了する。

【０１３４】

以上説明したように、第４実施例に係る流速検出装置によれば、平均パワースペクトルＰａの傾きを検出して、自動的に流速演算に用いる周波数範囲を限定できるため、広い流速範囲において安定した流速計測が実施できる。

【０１３５】

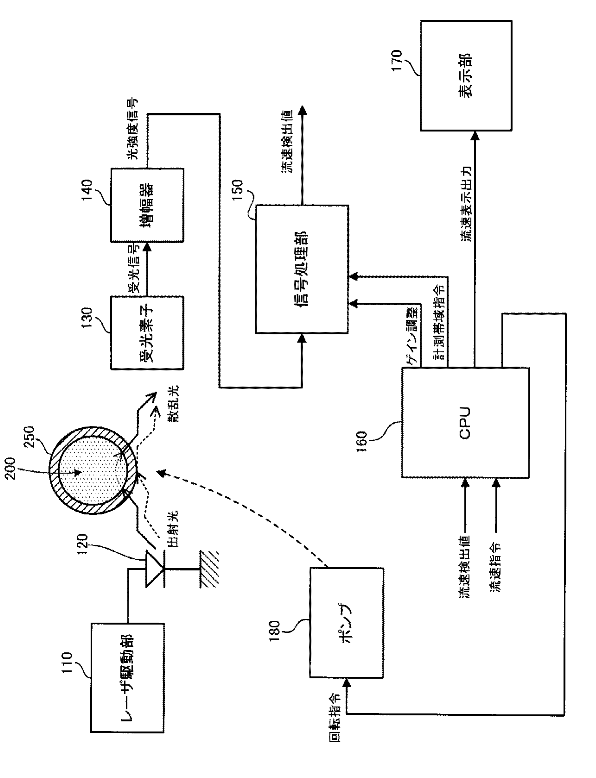
本発明は、上述した実施形態に限られるものではなく、特許請求の範囲及び明細書全体から読み取れる発明の要旨或いは思想に反しない範囲で適宜変更可能であり、そのような変更を伴う流速検出装置及び流速検出方法もまた本発明の技術的範囲に含まれるものである。

【符号の説明】

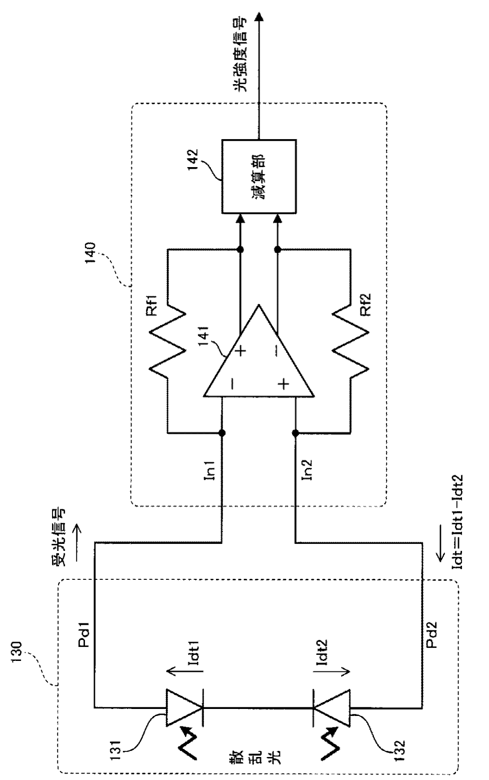
【０１３６】

１１０　レーザ駆動部
１２０　半導体レーザ
１３０　受光素子
１３１　第１受光素子
１３２　第２受光素子
１４０　増幅器
１４１　電流電圧変換器
１４２　減算部
１５０　信号処理部
１６０　ＣＰＵ
１７０　表示部
１８０　ポンプ
１９１　回転数検出部
１９２　回転制御部
２００　流体
２５０　透明チューブ
３１０　可変増幅器
３２０　ＢＰＦ
３２１　第１ＢＰＦ
３２２　第２ＢＰＦ
３２３　選択部
３３０　Ａ／Ｄ変換器
３４０　ＦＦＴ部
３５０　演算器
３６０　クロック生成部

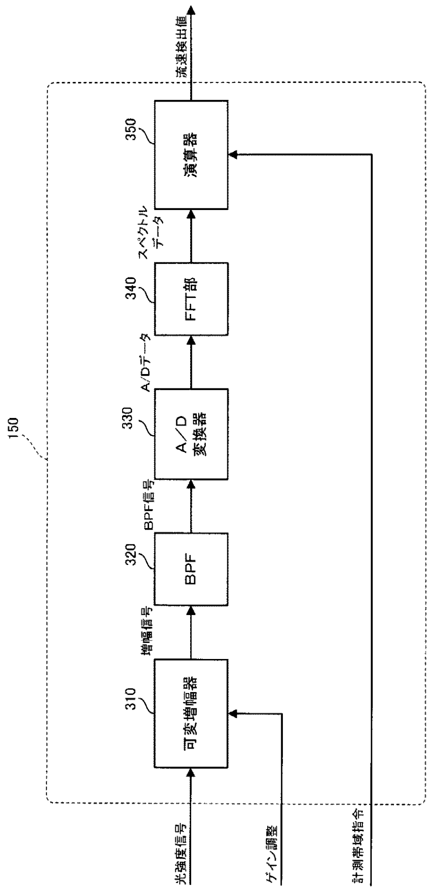
【図１】


レーザ駆動部
110
120
出射光
200
250
散乱光
130
受光素子
受光信号
140
増幅器
光強度信号
150
信号処理部
流速検出値
ゲイン調整
計測帯域指令
160
CPU
流速表示出力
170
表示部
180
ポンプ
回転指令
流速検出値
流速指令

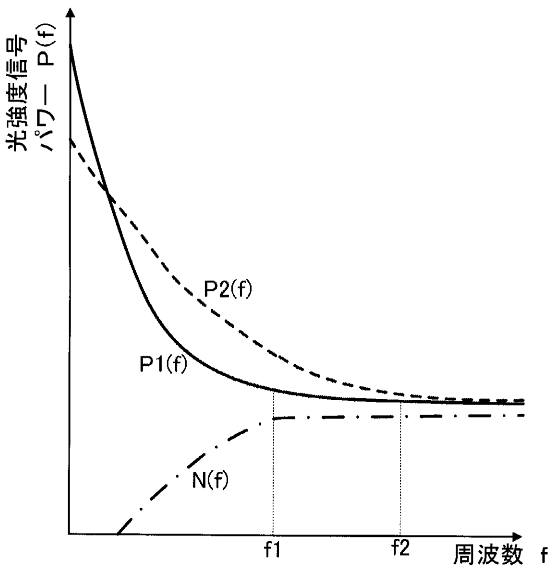
【図２】


光強度信号
142
減算部
140
Rf1
Rf2
141
In1
In2
受光信号
Idt=Idt1-Idt2
130
Pd1
Pd2
Idt1
Idt2
131
132
散乱光

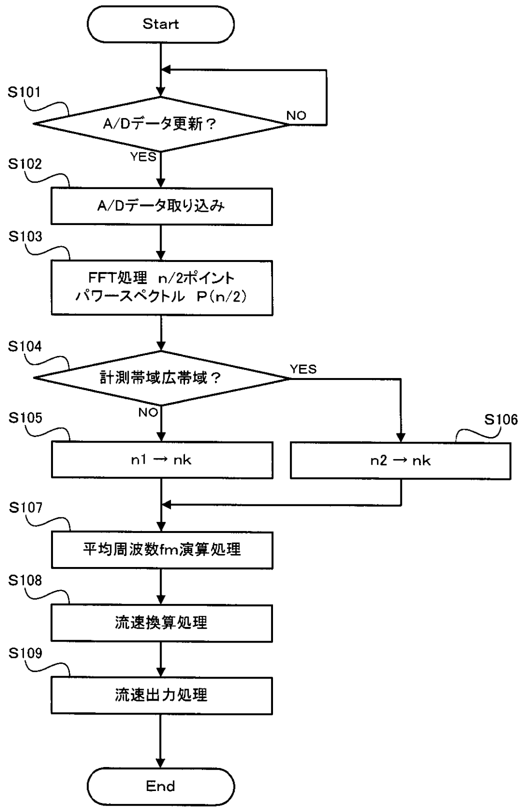
【図３】


150
光強度信号
ゲイン調整
計測帯域指令
310
可変増幅器
増幅信号
320
BPF
BPF信号
330
A／D変換器
A/Dデータ
340
FFT部
スペクトルデータ
350
演算器
流速検出値

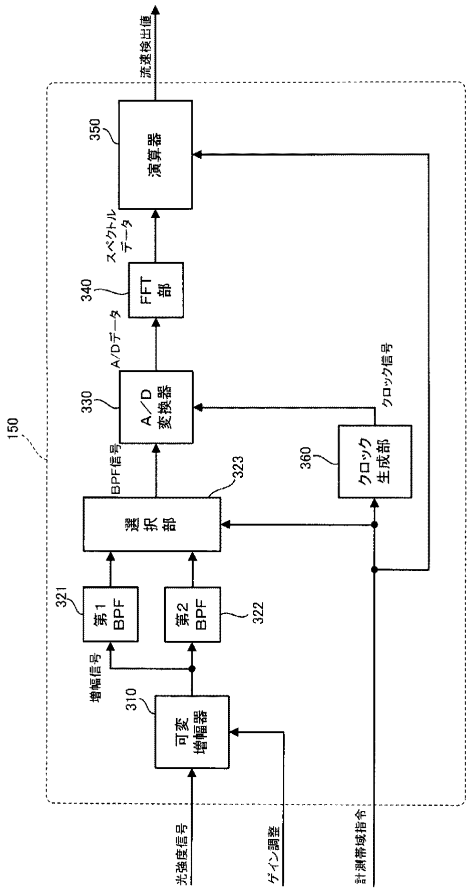
【図４】


光強度信号
パワー P(f)
P2(f)
P1(f)
N(f)
f1
f2
周波数 f

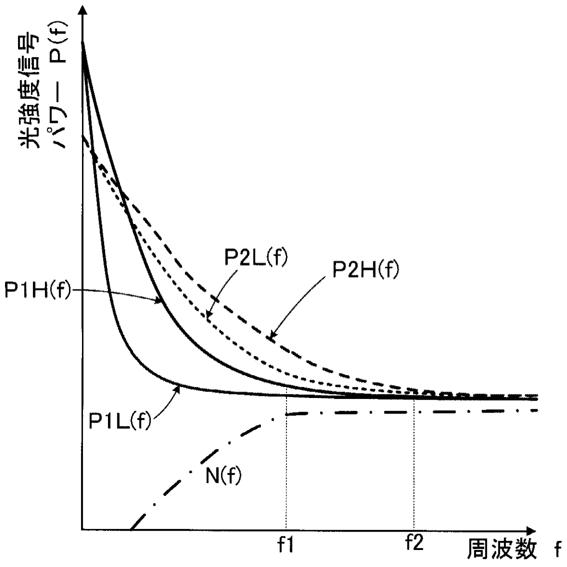
【図５】


Start
S101
A/Dデータ更新？
NO
YES
S102
A/Dデータ取り込み
S103
FFT処理 n/2ポイント
パワースペクトル P(n/2)
S104
計測帯域広帯域？
YES
NO
S105
n1 → nk
S106
n2 → nk
S107
平均周波数fm演算処理
S108
流速換算処理
S109
流速出力処理
End

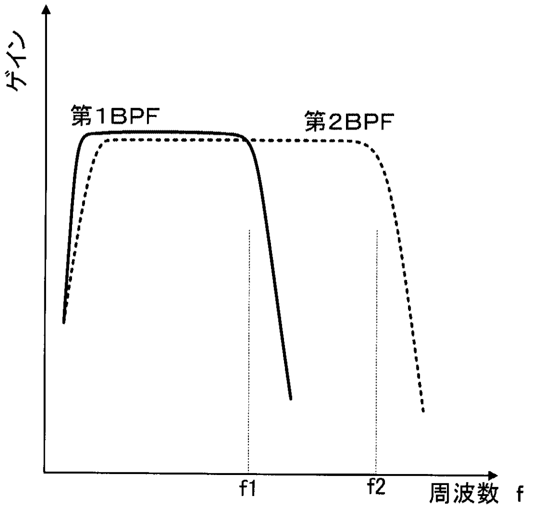
【図６】


流速検出値
350
演算器
スペクトルデータ
340
FFT部
A/Dデータ
330
A/D変換器
クロック信号
360
クロック生成部
150
BPF信号
323
選択部
321
第1BPF
第2BPF
322
増幅信号
310
可変増幅器
光強度信号
ゲイン調整
計測帯域指令

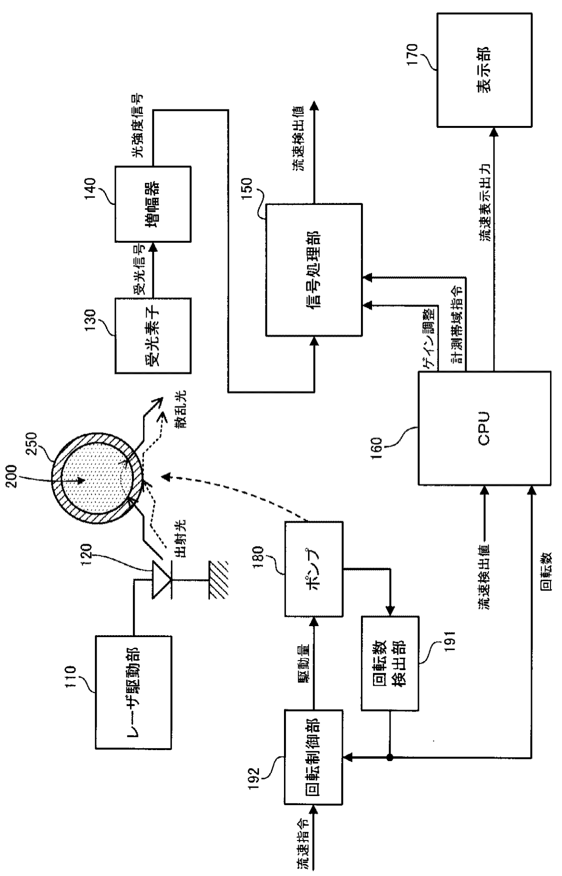
【図７】


光強度信号
パワー P(f)
P2L(f)
P2H(f)
P1H(f)
P1L(f)
N(f)
f1
f2
周波数 f

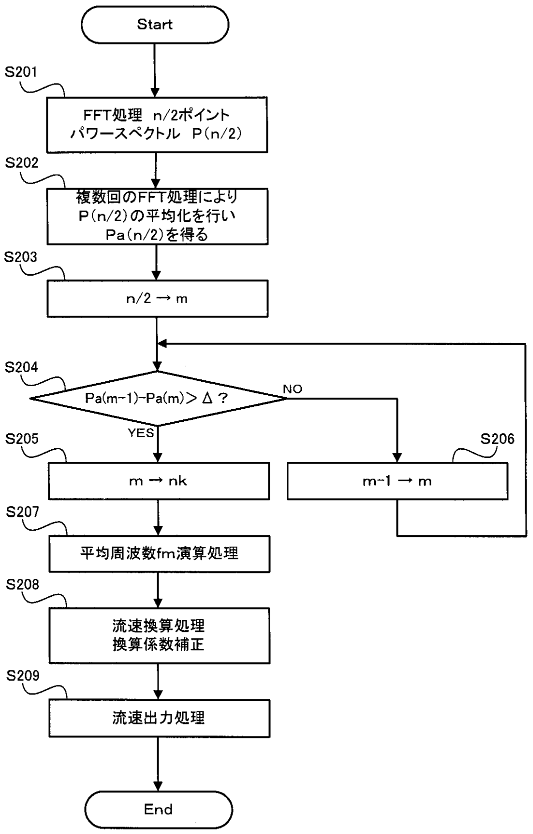
【図８】


ゲイン
第1BPF
第2BPF
f1
f2
周波数 f

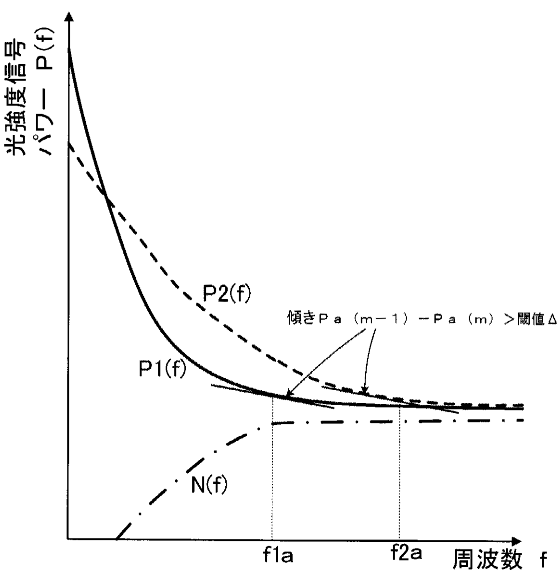
【図９】


170
表示部
光強度信号
流速検出値
流速表示出力
140
増幅器
150
信号処理部
受光信号
130
受光素子
ゲイン調整
計測帯域指令
散乱光
250
200
160
CPU
出射光
120
180
ポンプ
流速検出値
回転数
駆動量
110
レーザ駆動部
回転数
検出部
191
192
回転制御部
流速指令

【図１０】


Start
S201
FFT処理 n/2ポイント
パワースペクトル P(n/2)
S202
複数回のFFT処理により
P(n/2)の平均化を行い
Pa(n/2)を得る
S203
n/2 → m
S204
Pa(m-1)-Pa(m)> Δ ?
NO
YES
S205
m → nk
S206
m-1 → m
S207
平均周波数fm演算処理
S208
流速換算処理
換算係数補正
S209
流速出力処理
End

【図１１】


光強度信号
パワー P(f)
P2(f)
傾きＰａ（ｍ−１）−Ｐａ（ｍ）＞閾値Δ？
P1(f)
N(f)
f1a
f2a
周波数 f

フロントページの続き

(56)参考文献　特表２０１２－５２０７２０（ＪＰ，Ａ）
特開平３－２４７３２５（ＪＰ，Ａ）
特開２００９－６３５７０（ＪＰ，Ａ）
特開２００９－２０４３２１（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０１Ｆ　　　１／６６
Ｇ０１Ｐ　　　５／２６