

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6971332号  
(P6971332)

(45) 発行日 令和3年11月24日(2021.11.24)

(24) 登録日 令和3年11月4日(2021.11.4)

(51) Int.Cl.		F I	
<b>G 0 1 F</b>	<b>1/66 (2006.01)</b>	G O 1 F	1/66 1 O 3
<b>G 0 1 F</b>	<b>1/00 (2006.01)</b>	G O 1 F	1/00 J
<b>A 6 1 B</b>	<b>5/026 (2006.01)</b>	A 6 1 B	5/026 1 2 O
<b>A 6 1 B</b>	<b>5/0285 (2006.01)</b>	A 6 1 B	5/0285 H

請求項の数 14 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2019-567126 (P2019-567126)	(73) 特許権者	000006633 京セラ株式会社 京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町6番地
(86) (22) 出願日	平成31年1月23日 (2019.1.23)	(74) 代理人	100147485 弁理士 杉村 憲司
(86) 国際出願番号	PCT/JP2019/002148	(74) 代理人	230118913 弁護士 杉村 光嗣
(87) 国際公開番号	W02019/146663	(74) 代理人	100132045 弁理士 坪内 伸
(87) 国際公開日	令和1年8月1日 (2019.8.1)	(72) 発明者	長坂 優志 京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町6番地 京セラ株式会社内
審査請求日	令和2年7月7日 (2020.7.7)	審査官	岡田 卓弥
(31) 優先権主張番号	特願2018-8501 (P2018-8501)		
(32) 優先日	平成30年1月23日 (2018.1.23)		
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国 (JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 流体測定装置、流体測定方法、及びプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

流体を含む被照射物に向けて光を照射可能な発光部と、  
前記流体で散乱した散乱光を受光可能な受光部と、  
前記散乱光に基づいて周波数スペクトルを生成する生成部、及び前記周波数スペクトルの特徴成分に基づいて前記流体の流動状態を推定する推定部、を有する制御部と、  
既知の流動状態の前記流体に基づく第2周波数スペクトルを取得する取得部と、を備え

、  
前記制御部は、測定対象の前記流体に基づく第1周波数スペクトルを前記生成部で生成し、前記第2周波数スペクトルを前記取得部により取得した後、前記第1周波数スペクトルの特徴成分と前記第2周波数スペクトルの特徴成分を前記推定部で対比することで、測定対象の前記流体の流動状態を推定する、流体測定装置。

【請求項2】

請求項1に記載の流体測定装置であって、  
前記被照射物は、流体が流れる流路、をさらに含み、  
前記生成部は、前記流体で散乱した散乱光と、前記流路によって散乱した散乱光とが干渉して生じた干渉光に基づいて、前記周波数スペクトルを生成する、流体測定装置。

【請求項3】

請求項1または2に記載の流体測定装置であって、  
前記周波数スペクトルは、前記散乱光のドップラーシフトに基づく信号から生成される

、流体測定装置。

【請求項 4】

請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の流体測定装置であって、

前記推定部は、前記周波数スペクトルにおける特定周波数の強度に基づく値及び特定区間の周波数の強度に基づく値の少なくとも一方を前記特徴成分として、前記流体の流動状態を推定する、流体測定装置。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の流体測定装置であって、

前記推定部は、少なくとも一つの前記特定周波数に対応する強度と、前記特定周波数以外の少なくとも一つの周波数に対応する強度との比を前記特徴成分として、前記流体の流動状態を推定する、流体測定装置。

10

【請求項 6】

請求項 4 または 5 に記載の流体測定装置であって、

前記推定部は、前記周波数スペクトルにおける前記特定区間の強度の平均及び分散の少なくとも一方を前記特徴成分として、前記流体の流動状態を推定する、流体測定装置。

【請求項 7】

請求項 4 ~ 6 のいずれかに記載の流体測定装置であって、

前記推定部は、前記周波数スペクトルの前記特定区間の形状を前記特徴成分として、前記流体の流動状態を推定する、流体測定装置。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の流体測定装置であって、

前記推定部は、2 直線近似または指数関数近似によって、前記第 1 周波数スペクトルの形状と第 2 周波数スペクトルの形状の類否を判断する、流体測定装置。

20

【請求項 9】

請求項 1 ~ 8 のいずれかに記載の流体測定装置であって、

前記推定部は、前記既知の流動状態と前記第 2 周波数スペクトルの前記特徴成分との関係を、学習技術に学習させた後、前記第 1 周波数スペクトルの特徴成分と前記関係に基づいて、測定対象の前記流体の流動状態を推定する、測定装置。

【請求項 10】

請求項 1 ~ 9 のいずれかに記載の流体測定装置であって、

前記推定部は、前記流体の流動状態として、前記流体の流速及び流量の少なくとも一方を推定する、流体測定装置。

30

【請求項 11】

請求項 1 ~ 10 のいずれかに記載の流体測定装置であって、

前記発光部は、レーザ光を照射する、流体測定装置。

【請求項 12】

流体を含む被照射物に向けて光を照射するステップと、

前記流体で散乱した散乱光を受光するステップと、

前記散乱光に基づいて第 1 周波数スペクトルを生成するステップと、

既知の流動状態の前記流体に基づく第 2 周波数スペクトルを取得するステップと、

前記第 1 周波数スペクトルの特徴成分に基づいて前記流体の流動状態を推定するステップと、を備え、

40

前記第 1 周波数スペクトルの特徴成分と前記第 2 周波数スペクトルの特徴成分を対比することで、測定対象の前記流体の流動状態を推定する、流体測定方法。

【請求項 13】

コンピュータに、

流体を含む被照射物に向けて光を照射させるステップと、

前記流体で散乱した散乱光を受光させるステップと、

前記散乱光に基づいて第 1 周波数スペクトルを生成させるステップと、

既知の流動状態の前記流体に基づく第 2 周波数スペクトルを取得するステップと、

50

前記第1周波数スペクトルの特徴成分に基づいて前記流体の流動状態を推定させるステップと、を備え、

前記第1周波数スペクトルの特徴成分と前記第2周波数スペクトルの特徴成分を対比させることで、測定対象の前記流体の流動状態を推定させる、プログラム。

【請求項14】

請求項4に記載の流体測定装置であって、

前記推定部は、前記周波数スペクトルの前記特定区間において積分した強度の値を前記特徴成分として、前記流体の流動状態を推定する、流体測定装置。

【発明の詳細な説明】

【関連出願の相互参照】

10

【0001】

本出願は、2018年1月23日に日本国に特許出願された特願2018-8501の優先権を主張するものであり、この先の出願の開示全体を、ここに参照のために取り込む。

【技術分野】

【0002】

本開示は、流体測定装置、流体測定方法、及びプログラムに関する。

【背景技術】

【0003】

従来、流れる物体の流量または流速を計測する装置が知られている。例えば、特許文献1には、光学的に流量を計測する装置が記載されている。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2017-113320号公報

【発明の概要】

【0005】

一実施形態に係る流体測定装置は、流体を含む被照射物に向けて光を照射可能な発光部と、流体で散乱した散乱光を受光可能な受光部と、散乱光に基づいて周波数スペクトルを生成する生成部、及び周波数スペクトルの特徴成分に基づいて流体の流動状態を推定する推定部、を有する制御部と、既知の流動状態の流体に基づく第2周波数スペクトルを取得する取得部と、を備える。そして、制御部は、測定対象の流体に基づく第1周波数スペクトルを生成部で生成し、第2周波数スペクトルを取得部により取得した後、第1周波数スペクトルの特徴成分と第2周波数スペクトルの特徴成分を推定部で対比することで、測定対象の流体の流動状態を推定することができる。

30

【0006】

一実施形態に係る流体測定方法は、流体を含む被照射物に向けて光を照射するステップと、流体で散乱した散乱光を受光するステップと、散乱光に基づいて第1周波数スペクトルを生成するステップと、既知の流動状態の流体に基づく第2周波数スペクトルを取得するステップと、第1周波数スペクトルの特徴成分に基づいて流体の流動状態を推定するステップと、を備える。そして、一実施形態に係る流体測定方法は、第1周波数スペクトルの特徴成分と第2周波数スペクトルの特徴成分を対比することで、測定対象の流体の流動状態を推定することができる。

40

【0007】

一実施形態に係るプログラムは、コンピュータに、流体を含む被照射物に向けて光を照射させるステップと、流体で散乱した散乱光を受光させるステップと、散乱光に基づいて第1周波数スペクトルを生成させるステップと、既知の流動状態の流体に基づく第2周波数スペクトルを取得するステップと、第1周波数スペクトルの特徴成分に基づいて流体の流動状態を推定させるステップと、を備える。そして、一実施形態に係るプログラムは、コンピュータに、第1周波数スペクトルの特徴成分と第2周波数スペクトルの特徴成分を

50

対比させることで、測定対象の流体の流動状態を推定させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】一実施形態に係る流体測定装置の概略構成の一例を示すブロック図である。

【図2】一実施形態に係る流体測定装置による干渉光の検出を説明する図である。

【図3】一実施形態に係る流体測定装置が実行するフローチャートの例である。

【図4】一実施形態に係る流体測定の原理を説明するための図である。

【図5】一実施形態に係る流体測定の原理を説明するための図である。

【図6】一実施形態に係る流体測定の原理を説明するための図である。

【図7】一実施形態に係る流体測定の原理を説明するための図である。

【図8】一実施形態に係る流体測定の原理を説明するための図である。

10

【発明を実施するための形態】

【0009】

種々の条件下で流体の流動状態を測定することができれば、流体測定装置の利便性を高めることができる。本開示は、利便性の高い流体測定装置、流体測定方法、及びプログラムの提供に関する。一実施形態によれば、利便性の高い流体測定装置、流体測定方法、及びプログラムを提供することができる。以下、本開示の一実施形態を、図面を参照して説明する。まず、一実施形態に係る流体測定装置の構成について説明する。

【0010】

図1は、一実施形態に係る流体測定装置の概略構成例を示すブロック図である。

20

【0011】

図1は、一実施形態に係る流体測定装置が有する機能部を示すブロック図である。なお、図1は、流路Bを流れる流体Aを模式的に示している。また、各機能部に電力を供給する電源、及び電源から各機能部に電力を供給する構成などは省略して示している。

【0012】

一実施形態に係る流体測定装置は、流れる物体（流体）の流れの状態（流動状態）を算出することができる。具体的には、流体測定装置は、流体の流量または流速を流体の流動状態として算出することができる。なお、流量は、単位時間あたりに流れる流体の体積または質量であり、流速は、単位時間あたりに流体が進む距離である。

【0013】

30

流体測定装置は、光のドップラー効果を利用して流体の流動状態を算出することができる。被照射物（流体及び流体が流れる流路など）に照射される光は、流体によって散乱し、周波数が流体の流動状態に応じてドップラー効果によってシフト（ドップラーシフト）する。そのため、ドップラー効果を利用すれば、流動状態を算出することができる。具体的には、流体測定装置は、測定対象の流体を含む被照射物に向けて発光部から光を照射し、当該被照射物で散乱された光を含む干渉光を受光部で受光することができる。そして、流体測定装置は、受光部の出力に基づいて、流体の流動状態を算出することができる。

【0014】

測定対象の流体は、光のドップラー効果を利用して流動状態を算出可能なものであればよい。具体的には、流体は、それ自体が光を散乱するもの、または光を散乱する物質（散乱物質）を流動させるものであればよい。流体は、例えば、水、血液、プリンター用のインク、または粉体を含む気体などであればよい。なお、散乱物質または粉体などが流体に追従して流動する場合、流体測定装置は、散乱物質または粉体などの流量または流速を、流体の流量または速度とみなすこともできる。すなわち、「流体の流量または流速」とは、「散乱物質または粉体などの流量または流速」と解釈することもできる。

40

【0015】

一実施形態に係る流体測定装置1は、流体測定装置1の制御を行う制御部10を備える。一実施形態に係る流体測定装置1において、センサ部60は、流路Bを流れる流体Aに関する検出を行う。そして、流体測定装置1において、制御部10は、センサ部60によって検出された結果に基づいて、流路Bを流れる流体Aの流動状態を推定することができ

50

る。

【 0 0 1 6 】

センサ部 6 0 の位置は、流路 B を流れる流体 A の流動状態を推定できるように、流路 B に対して位置決めされればよい。センサ部 6 0 は、発光部 6 2 と、受光部 6 4 とを備えている。

【 0 0 1 7 】

発光部 6 2 は、流路 B に向けて光を照射することができる。発光部 6 2 は、例えばレーザー光などを照射することができる。発光部 6 2 は、例えば、流体 A 又は流体 A に含まれる固体など、特定成分を検出可能な波長のレーザー光を、測定光として照射してよい。発光部 6 2 は、例えば、任意の数の LD (レーザーダイオード : Laser Diode) により構成される

10

【 0 0 1 8 】

発光部 6 2 は、制御部 1 0 の駆動部 5 0 によって駆動されればよい。駆動部 5 0 は、任意のレーザー駆動回路などにより構成されればよい。なお、駆動部 5 0 は、流体測定装置 1 の外部に設けてもよいし、センサ部 6 0 に内蔵されてもよい。その結果、流体測定装置 1 は、設計の自由度を向上させることができる。

【 0 0 1 9 】

受光部 6 4 は、発光部 6 2 から照射された光のうち、流体 A で散乱した光を受光することができる。また、受光部 6 4 は、発光部 6 2 から照射された光のうち、流路 B で散乱した光を受光することができる。すなわち、受光部 6 4 は、流体 A で散乱した光と流路 B で散乱した光を含む干渉光を受光することができる。受光部 6 4 は、例えば、任意の数の PD (フォトダイオード : Photo Diode) により構成される。

20

【 0 0 2 0 】

受光部 6 4 によって受光された光に関する信号 (光信号) は、制御部 1 0 の生成部 1 2 に送信される。生成部 1 2 については後述する。受光部 6 4 によって受光された光信号を生成部 1 2 に送信して処理する際は、各種の増幅器及びノ又はフィルタなどを用いてもよいが、これらは図示を省略してある。

【 0 0 2 1 】

なお、センサ部 6 0 は、図 1 に示すような構成に限定されない。例えば、センサ部 6 0 は、発光部 6 2 及び受光部 6 4 の双方をワンパッケージにして含むものではなく、発光部 6 2 と受光部 6 4 とをそれぞれ別体として構成してもよい。その結果、流体測定装置 1 は、設計の自由度を向上させることができるため、利便性を向上させることができる。

30

【 0 0 2 2 】

次に、流体測定装置 1 の制御部 1 0 について説明する。

【 0 0 2 3 】

流体測定装置 1 の制御部 1 0 は、生成部 1 2 と、取得部 1 4 と、推定部 1 6 とを備えている。また、制御部 1 0 は、記憶部 2 0 と、通信部 3 0 と、表示部 4 0 と、駆動部 5 0 との少なくともいずれかを、適宜含んで構成してもよい。

【 0 0 2 4 】

制御部 1 0 は、生成部 1 2、取得部 1 4、及び推定部 1 6 などの種々の機能を実行するための制御及び処理能力を提供するために、例えば CPU (Central Processing Unit) のような、少なくとも 1 つのプロセッサを含む。制御部 1 0 は、生成部 1 2、取得部 1 4、及び推定部 1 6 などの機能を、まとめて 1 つのプロセッサで実現してもよいし、いくつかのプロセッサで実現してもよいし、それぞれ個別のプロセッサで実現してもよい。また、プロセッサは、集積回路 (IC : Integrated Circuit) またはディスクリート回路として実現されればよい。なお、プロセッサは、他の種々の既知の技術に基づいて実現されればよい。一実施形態において、制御部が実行する生成部 1 2、取得部 1 4、及び推定部 1 6 などの機能は、例えば CPU 及び当該 CPU で実行されるプログラムとして構成されてもよい。

40

【 0 0 2 5 】

50

生成部 12 は、センサ部 60 の受光部 64 の出力に基づいて周波数スペクトルを生成し、推定部 16 へ出力することができる。取得部 14 は、記憶部 20 に記憶した周波数スペクトルを取得し、推定部 16 へ出力することができる。推定部 16 は、生成部 12 で生成した周波数スペクトルと、取得部 14 で取得した周波数スペクトルに基づいて、流体 A の流動状態を推定することができる。

【0026】

記憶部 20 は、半導体メモリ又は磁気メモリ等で構成されてよい。記憶部 20 は、各種情報及び実行されるプログラム等を記憶することができる。記憶部 20 は、取得部 14 及び/又は推定部 16 のワークメモリとして機能してもよい。また、記憶部 20 は、周波数スペクトルを記憶することができる。記憶部 20 は、生成部 12 が生成した周波数スペクトルを予め記憶しておいてもよいし、外部から通信などにより取得した周波数スペクトルを記憶してもよい。なお、記憶部 20 は、各種のメモリカードなどであってもよい。

10

【0027】

通信部 30 は、無線通信をはじめとする各種の通信機能を実現することができる。通信部 30 は、例えば LTE (Long Term Evolution) 等の種々の通信方式による通信を実現してよい。通信部 30 は、例えば ITU-T (International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector) において通信方式が標準化されたモデムを含んでよい。通信部 30 は、例えばアンテナを介して、例えば外部サーバ又はクラウドサーバのような外部機器と、ネットワークを介して無線通信してよい。一実施形態において、通信部 30 は、例えば外部サーバ又はクラウドサーバなどの外部のデータベースから、第 2 周波数スペクトル S2 を受信してよい。また、このようにして通信部 30 が受信した第 2 周波数スペクトル S2 は、記憶部 20 に記憶してもよい。

20

【0028】

表示部 40 は、流体 A の流動状態の測定結果などの種々の情報を各種の表示デバイスに表示させ、ユーザに通知することができる。表示デバイスは、液晶ディスプレイ (LCD)、有機 EL ディスプレイ、又は無機 EL ディスプレイ等であればよい。表示部 40 は、文字、図形、記号、又はグラフ等の画像を表示させてよい。また、表示部 40 は、操作オブジェクト等の画像を表示させてもよい。

【0029】

また、表示部 40 がユーザに通知する情報は、必ずしもユーザに視覚的效果を与えるものに限定されない。例えば、表示部 40 は、情報をユーザに伝えることができれば、各種の情報を音としてスピーカから出力させてもよい。

30

【0030】

制御部 10 の記憶部 20、通信部 30、及び表示部 40 は、それぞれ流体測定装置 1 に内蔵されてもよいし、流体測定装置 1 の外部に設けられてもよい。また、例えば表示部 40 は、センサ部 60 に内蔵されてもよい。その結果、流体測定装置は、設計の自由度を向上させることができる。

【0031】

なお、流体 A が流れる流路 B は、各種の素材で構成されたチューブ状の部材であればよい。具体的には、流路 B は、発光部 62 が照射する光の少なくとも一部を透過させる素材で構成されればよい。流路 B の素材は、例えば、プラスチック、塩化ビニール、またはガラスなどであればよい。また、流路 B は、例えば、血管などの人または動物の体液が流れる体組織であってもよい。なお、流路 B は、流体 A の流動状態が適切に測定されるように、流体 A が漏れ出したりしないように構成されればよい。

40

【0032】

次に、一実施形態に係る流体測定における散乱光の検出について説明する。図 2 は、一実施形態に係る流体測定における散乱光の検出を説明する図である。

【0033】

図 2 は、一実施形態に係る流体測定装置による干渉光の検出を説明する図である。なお、図 2 において、流体 A は、散乱物質を含んでおり、説明の便宜のためいくつかを白の楕

50

円で示してある。また、図 2 において、散乱物質は速度  $V$  で右方向に流動している。

【 0 0 3 4 】

発光部 6 2 から流路 B に向けて照射される光には、入射光  $L e 1$  及び入射光  $L e 2$  が含まれる。入射光  $L e 1$  及び入射光  $L e 2$  は、発光部 6 2 から照射される際、周波数  $f 0$  の光とする。なお、周波数  $f 0$  の入射光  $L e 1$  を、 $L e 1 ( f 0 )$  と示し、周波数  $f 0$  の入射光  $L e 2$  を、 $L e 2 ( f 0 )$  と示す。

【 0 0 3 5 】

入射光  $L e 1$  は、静止した流路 B の表面において界面反射する。すなわち、入射光  $L e 1$  は、流体 A によって散乱されず、流路 B の表面によって散乱される。入射光  $L e 1$  は、流路 B の表面によって散乱されて、散乱光  $L r 1$  になる。散乱光  $L r 1$  は、入射光  $L e 1$  が静止している流路 B の表面によって散乱されたものである。この時、流路 B は静止しており、ドップラー効果が生じないため、入射光  $L e 1$  の周波数  $f 0$  は変化しない。なお、周波数  $f 0$  の散乱光  $L r 1$  を、 $L r 1 ( f 0 )$  と示す。

10

【 0 0 3 6 】

入射光  $L e 2$  は、流路 B の表面において界面反射せずに、流路 B の表面を透過する。すなわち、入射光  $L e 2$  は、流路 B の表面によって散乱されずに、流体 A によって散乱される。入射光  $L e 2$  は、流体 A によって散乱されて散乱光  $L r 2$  になる。この時、入射光  $L e 2$  は、流体 A によって散乱されているため、周波数  $f 0$  はドップラーシフトする。なお、周波数  $f 0$  が周波数  $f$  だけ変化した散乱光  $L r 2$  を、 $L r 2 ( f 0 + f )$  と示す。

【 0 0 3 7 】

受光部 6 4 は、上述した散乱光  $L r 1$  及び散乱光  $L r 2$  を受光する。したがって、流体測定装置 1 は、受光部 6 4 の出力を一要素として、流体 A の流動状態を推定することができる。

20

【 0 0 3 8 】

図 3 は、一実施形態に係る流体測定装置 1 の制御部 1 0 が実行する流動状態推定のフローチャートの例である。

【 0 0 3 9 】

まず、生成部 1 2 は、受光部 6 4 からの出力に基づいて、静止している流路 B からの散乱光  $L r 1$  と、測定対象の流体 A からの乱光  $L r 2$  との干渉によって生じる干渉光のうなりの信号（ビート信号）を取得する（ステップ S 1）。ビート信号は、うなりの強度と時間の関係を示すものである。

30

【 0 0 4 0 】

図 4 は、図 3 のステップ S 1 において取得されるビート信号の一例を示す図である。図 4 の縦軸は信号出力の強度を表し、横軸は時間を表している。図 4 に示す例において、受光部 6 4 からの信号出力は電圧値であり、信号出力  $V s$  として電圧の単位（V）で示してある。なお、ビート信号は、信号出力の強度の時間変化を示すものであれば、電圧に限定されない。信号出力は、例えば、電流値または抵抗値などであってもよい。

【 0 0 4 1 】

次に、生成部 1 2 は、取得したビート信号に基づいて、測定対象の流体に基づく周波数スペクトル（第 1 周波数スペクトル）S 1 を生成する（ステップ S 2）。周波数スペクトルは、ビート信号に含まれる周波数  $f$  と周波数ごとの強度  $P ( f )$  との関係を示したスペクトルである。生成部 1 2 は、ステップ S 1 で取得したビート信号を高速フーリエ変換（FFT : Fast Fourier Transform）することで、周波数スペクトルを生成することができる。

40

【 0 0 4 2 】

図 5 は、周波数スペクトルの例を示す図である。図 5 の縦軸は任意単位（arbitrary unit）の強度  $P ( f )$  を表し、横軸は周波数  $f$  を表している。なお、図 5 では、流体 A の流速が  $2 \text{ mm / s}$ 、 $4 \text{ mm / s}$ 、 $6 \text{ mm / s}$ 、 $8 \text{ mm / s}$ 、 $10 \text{ mm / s}$ 、及び  $14 \text{ mm / s}$  の場合における周波数スペクトルを例として示している。

【 0 0 4 3 】

50

周波数スペクトルにおいて、流体 A の流速が速くなるほど、高周波数側の周波数の強度が増加する。流体測定装置 1 は、このような周波数スペクトルの変化に基づいて、流体の流動状態を推定することができる。

【 0 0 4 4 】

推定部 1 6 は、周波数スペクトル  $P(f)$  に対し、周波数の重み付けを行うことができる(式(1))。すなわち、各周波数  $f$  とその強度  $P(f)$  の積を算出することができる。

【数 1】

$$f \cdot P(f) \quad (1)$$

10

推定部 1 6 は、上記式(1)を適当な周波数範囲で積分することにより、以下の積分値を算出することができる(式(2))。

【数 2】

$$\int f \cdot P(f) df \quad (2)$$

推定部 1 6 は、上記式(2)のようにして得られた積分値に比例定数  $K$  を乗じる。そして、推定部 1 6 は、レーザー光のような光の受光強度に依存しなくなるように、受光信号の全パワー(  $I$  の 2 乗)、すなわち DC 成分でこれを除することで規格化することにより、以下のような値を算出することができる(式(3))。

20

【数 3】

$$\frac{K \int f \cdot P(f) df}{I^2} \quad (3)$$

【 0 0 4 5 】

推定部 1 6 は、算出した測定対象の流体の式(3)の値と、予め既知の流動状態の流体を測定して算出した式(3)の値を比較することで、測定対象の流体の流動状態を推定することができる。

【 0 0 4 6 】

30

図 6 は、一実施形態に係る流体測定装置 1 が推定した流体の流量の例を示す図である。なお、図 6 は、例として、血管内の血液の流量、すなわち血流量の時間変化を示している。縦軸に示している血流量は、任意単位(arbitrary unit)である。

【 0 0 4 7 】

ここで、測定環境等によっては、周波数スペクトルに意図しないノイズが含まれる場合があった。したがって、ノイズの影響を排除せずに測定を行った場合、測定精度が低減していた。これに対し、一実施形態に係る流体測定装置 1 は、周波数スペクトル  $P(f)$  に含まれる流体の流動状態ごとに特徴的な成分(特徴成分)に基づいて、流体の流動状態を推定することができる。その結果、流体測定装置 1 は、種々のノイズの影響を低減することができるため、推定精度を向上させることができる。すなわち、流体測定装置 1 は、利便性を高めることができる。

40

【 0 0 4 8 】

また、ドップラーシフトの原理を利用した流量計は、レーザー光の発光量のぶれがノイズとして検出されることがあった。したがって、周波数スペクトルで示される強度は、遅い流体の散乱光成分とレーザーのぶれの成分との総和となる。すなわち、測定精度が軽減していた。これに対し、一実施形態に係る流体測定装置 1 は、ノイズの影響を低減させることができるため、推定精度を向上させることができる。

【 0 0 4 9 】

また、FFT 解析を行う際の周波数軸の上限は、サンプリングレートに依存する。このため、FFT 解析の周波数の上限を超える周波数のドップラーシフト量は観測されなかつ

50

た。すなわち、流体の流量または流速が大きくなるにつれて、測定精度が低減していた。これに対し、流体測定装置 1 は、種々の特徴成分に基づいて流体の流動状態を推定することができるため、推定精度を向上させることができる。

【 0 0 5 0 】

また、流体の流量の大きさは、流路の断面積にも依存する。すなわち、同じ流量の流体でも、細い流路であれば速く流れ、太い流路であれば遅く流れることになる。このため、流量を測定する際、流路の断面積が不明であれば流量を測定することが困難であった。これに対し、一実施形態に係る流体測定装置 1 は、必ずしも流路の断面積の情報を用いることなく、流量を推定することができる。すなわち、流体測定装置 1 は、利便性を高めることができる。

10

【 0 0 5 1 】

また、一実施形態に係る流体測定装置 1 は、非侵襲に測定することができ、利便性を向上させることができる。

【 0 0 5 2 】

以下、一実施形態に係る流体測定装置 1 による流体測定について、さらに説明する。

【 0 0 5 3 】

流体測定装置 1 の取得部 1 4 は、ステップ S 2 において取得した第 1 周波数スペクトル S 1 との対比の対象となる、既知の流動状態の流体に基づく周波数スペクトル ( 第 2 周波数スペクトル ) S 2 を記憶部 2 0 から取得することができる ( ステップ S 3 ) 。この場合、流体測定装置 1 は、予め既知の流動状態の流体の測定を行い、既知の流動状態と生成部 1 2 で生成した第 2 周波数スペクトル S 2 との関係を記憶部 2 0 に記憶させておけばよい。また、ステップ S 3 において、流体測定装置 1 は、第 2 周波数スペクトル S 2 を、通信部 3 0 を介して例えば外部サーバ若しくはクラウドサーバのような外部機器に記憶させてもよい。この場合、取得部 1 4 は、通信部 3 0 を介して、第 2 周波数スペクトル S 2 を取得すればよい。流体測定装置 1 は、予め記憶部 2 0 等に第 2 周波数スペクトルを記憶しておくことで、実測時間を短縮することができる。すなわち、流体測定装置 1 は、利便性を高めることができる。

20

【 0 0 5 4 】

なお、既知の流動状態は、任意の手法によって把握すればよい。既知の流動状態は、例えば、熱式又は渦電流式などの他の流量計、または設定された流量で流体を流動させることができるポンプなどを用いて把握すればよい。

30

【 0 0 5 5 】

また、流体測定装置 1 は、周波数スペクトルとともに、周波数スペクトルを実現する各種の測定条件も含めて記憶しておいてもよい。測定条件とは、例えば、サンプリングレート、A/D変換レートなどのアルゴリズムの条件、または気温、気圧などの測定環境の条件等であればよい。また、流体測定装置 1 は、LDなどで構成される発光部 6 2 の強度分散、発光部 6 2 が照射する光の周波数、流路 B とセンサ部 6 0 との位置関係、流路 B の断面積、流路 B を構成する素材・材質、想定される実験環境のノイズなども適宜記録してよい。また、流体測定装置 1 は、流体の種類、物理・化学特性なども記録してよい。その結果、流体測定装置 1 は、測定条件の差異に起因する測定誤差の影響を低減することができるため、推定精度を向上させることができる。

40

【 0 0 5 6 】

また、記憶した第 2 周波数スペクトル S 2 及び当該スペクトルを実現する各種の変数等は、定期的又は不定期に、通信部 3 0 等を介して外部サーバなどから情報の取得を行うことで適宜更新されてもよい。その結果、測定に適した条件を適宜選択することができるため、流体測定装置 1 は、利便性を向上させることができる。

【 0 0 5 7 】

推定部 1 6 は、第 1 周波数スペクトル S 1 の特徴成分 S 1 c と、第 2 周波数スペクトル S 2 の特徴成分 S 2 c とを対比する ( ステップ S 4 ) 。取得部 1 4 は、第 1 周波数スペクトル S 1 の特徴成分 S 1 c と対比するのに好適な特徴成分を有する第 2 周波数スペクトル

50

S 2 を選定して取得することができる。

【 0 0 5 8 】

推定部 1 6 は、以下の式 ( 4 ) の値が最小になるときの第 2 周波数スペクトル S 2 を採用して、第 1 周波数スペクトル S 1 と対比することで、流体 A の流動状態を推定してよい。その結果、流体測定装置 1 は推定精度を向上させることができる。なお、以下の式 ( 4 ) において、F 及び f の一方は第 1 周波数スペクトル S 1 に基づく値であり、他方は第 2 周波数スペクトル S 2 に基づく値としてよい。

【数 4】

$$\sum_i^N \left( \frac{F_i}{F_{i+1}} - \frac{f_i}{f_{i+1}} \right)^2 \quad (4)$$

10

【 0 0 5 9 】

また、推定部 1 6 は、上記式 ( 4 ) に周波数スペクトルの平均周波数の強度を変数として加えてもよい。平均周波数の強度は、以下の式 ( 5 ) で算出すればよい。

【数 5】

$$\frac{\int f \cdot P(f) df}{\int f df} \quad (5)$$

20

【 0 0 6 0 】

推定部 1 6 は、上記式 ( 5 ) に基づいて、第 1 周波数スペクトル S 1 における平均周波数の強度 f と、第 2 周波数スペクトル S 2 における平均周波数の強度 F を算出することができる。そして、推定部 1 6 は、以下の式 ( 6 ) のように、平均周波数の強度 f と平均周波数の強度 F の平均二乗誤差を比較式に加えて、最も値が小さくなる第 2 周波数スペクトル S 2 対応する流動状態を、測定対象の流動状態として推定してもよい。その結果、流体測定装置 1 は推定精度を向上させることができる。

【数 6】

$$\sum_i^N \left( \frac{F_i}{F_{i+1}} - \frac{f_i}{f_{i+1}} \right)^2 + (\bar{F} - \bar{f})^2 \quad (6)$$

30

【 0 0 6 1 】

流体測定装置 1 の制御部 1 0 は、上述のように記憶した周波数スペクトルから、特徴成分を抽出することができる。その結果、流体測定装置 1 は、測定したい流体ごとに特徴成分を取得することができるため、利便性を高めることができる。なお、記憶部 2 0 は、抽出した特徴成分をさらに記憶してもよい。

【 0 0 6 2 】

周波数スペクトルの特徴成分は、例えば次のようなものであればよい。

40

( 1 ) 周波数スペクトルにおける特定周波数の強度の値

制御部 1 0 は、測定する流体ごとに、ノイズが少ない周波数の強度を特徴成分として抽出することができる。これによれば、流体測定装置 1 は、測定結果のノイズを低減させることができるため、好適な測定が可能となる。ノイズが少ない周波数の強度とは、例えば、周波数 f とその強度 P ( f ) の積が最大となる周波数の強度等であればよい。

( 2 ) 周波数スペクトルにおける特定周波数の強度と、他の特定周波数の強度との比

これによれば、各周波数の強度に共通するノイズを低減することができる。すなわち、推定部 1 6 は、推定精度を向上させることができるため、好適な測定が可能となる。

( 3 ) 周波数スペクトルの強度の平均

これによれば、推定部 1 6 は、測定データを平滑化・規格化することができるため、流

50

動状態ごとの強度の特徴を把握しやすくなる。したがって、推定部 16 は、第 1 周波数スペクトル S 1 と第 2 周波数スペクトル S 2 との対比が容易となる。また、角周波数の強度に共通するノイズを低減することができるため、推定部 16 は、推定精度を向上させることができる。

(4) 周波数スペクトルの特定周波数区間において積分した強度の値

推定部 16 は、ノイズの少ない周波数区間を選択して演算することができる。これによれば、流体測定装置 1 は、測定結果のノイズを低減させることができるため、好適な測定が可能となる。また、流動状態に応じて周波数スペクトルの強度は変化するため、これらを積分した値は、流動状態に応じて変化しやすく、流動状態ごとの特徴を反映しやすくなる。すなわち、推定部 16 は、推定精度を向上させることができる。

10

(5) 周波数スペクトルの特定周波数区間における強度の平均

これによれば、推定部 16 は、測定データを平滑化・規格化することができるため、流動状態ごとの強度の特徴を把握しやすくなる。したがって、推定部 16 は、第 1 周波数スペクトル S 1 と第 2 周波数スペクトル S 2 との対比が容易となる。また、推定部 16 は、ノイズの少ない周波数区間を選択して演算することができるため、ノイズの影響を低減して演算することができる。すなわち、推定部 16 は、推定精度を向上させることができる。

(6) 周波数スペクトルの特定周波数区間における強度の分散

これによれば、推定部 16 は、ノイズの影響を低減して演算することができるため、好適な測定が可能となる。

20

(7) 特定時刻 t 1 から他の特定時刻 t 2 までの区間の周波数スペクトルにおける (2) の値の変化

これによれば、推定部 16 は、さらに時間方向の変化に基づく推定が可能となる。すなわち、推定部 16 は、流動状態の推定に用いる情報が増えるため、推定精度を向上させることができる。

【0063】

以上のような特徴成分は、第 1 周波数スペクトル S 1 と第 2 周波数スペクトル S 2 とが対比可能なパラメータであればよく、上記の数値に限られない。例えば、特徴成分は、パワースペクトルにおける特定区間の形状としてもよい。

【0064】

30

また、生成部 12 は、ビート信号を細かい所定時間で区切り、それぞれの所定時間における周波数スペクトルを生成することができるため、さらに時間の経過を示した三次元の周波数スペクトルを用意してもよい。流体測定装置 1 は、このような三次元の周波数スペクトルから、特徴成分を抽出してもよい。これによれば、流動状態の変化に伴う特徴成分の推移の傾向から、流動状態の推定が可能となる。すなわち、パワースペクトルの特徴成分ごとの推移の傾向が必ずしも一致する必要はなく、パワースペクトルの全体の推移の傾向が同一又は類似と判断されれば、流動状態の推定が可能となる。したがって、流体測定装置 1 の有用性を向上可能である。また、推定に用いることができる情報量が多くなるため、流体測定装置 1 は推定精度を向上させることができる。

【0065】

40

上述のような特徴成分の抽出は、それぞれ個別に用いるのみならず、それらの 2 つ以上を適宜組み合わせ用いてもよい。また、例えば、特徴成分は、後述のステップ S 4 において用いることができる。

【0066】

次に、推定部 16 は、ステップ S 4 の対比結果に基づいて、流体 A の流動状態を推定し (ステップ S 5)、図 3 に示す動作を終了する。ステップ S 5 において推定される流体 A の流動状態は、例えば、流体 A の流速及び流量の少なくとも一方としてよい。推定部 16 は、第 1 周波数スペクトル S 1 の特徴成分 S 1 c と同値または近似する第 2 周波数スペクトル S 2 の特徴成分 S 2 c に対応する流動状態を、測定対象の流動状態と推定することができる。なお、推定部 16 が、特徴成分 S 1 c と特徴成分 S 2 c が近似していると判断す

50

る範囲は、ユーザの任意で定めればよい。

【 0 0 6 7 】

推定部 1 6 は、周波数スペクトルの特定周波数区間の曲線の形状に基づいて、流動状態を推定してもよい。図 7 及び図 8 は、係る推定方法を説明するための図である。なお、周波数スペクトルの曲線は、直線も含む概念とする。以下、このような手法について説明する。なお、スペクトルの形状とは、例えば各周波数の強度の最大値同士を結んだ曲線、または強度の中間値同士を結んだ曲線などである。言い換えれば、各周波数の強度の最大値の集合、または中間値の集合などである。

【 0 0 6 8 】

推定部 1 6 は、第 1 周波数スペクトル  $S_1$  に対して 2 直線近似を行うことで、流動状態を推定してもよい。まず、推定部 1 6 は、任意の低周波数側の周波数から、高周波数側の方向へ直線近似を行う（例えば図 7 の区間 1）。この直線近似は、近似度が劣化するまで行えばよい。ここで、近似度が劣化したか否かは、例えば、カイ 2 乗検定によって判断すればよい。具体的には、カイ 2 乗値をその自由度で除したものが、特定閾値を超えた場合、近似度が劣化したとみなすことができる。そして、推定部 1 6 は、第 1 区間の終点と異なる任意の高周波数側の周波数から、低周波方向へ直線近似を行う（例えば図 7 の区間 2）。この直線近似も、区間 1 と同様に近似度が劣化するまで行えばよい。そして、推定部 1 6 は、2 直線の交点（図 7 における点 X）を特徴周波数  $f$  として算出することができる。

【 0 0 6 9 】

次に、推定部 1 6 は、第 2 周波数スペクトル  $S_2$  に対しても 2 直線近似を行う。近似の方法は、第 1 周波数スペクトル  $S_1$  と同様であればよく、推定部 1 6 は、第 2 周波数スペクトル  $S_2$  において特定周波数  $F$  を算出することができる。

【 0 0 7 0 】

そして、推定部 1 6 は、特徴周波数  $f$  と最も近い特定周波数  $F$  に対応する流動状態を、測定対象の流動状態として推定することができる。

【 0 0 7 1 】

推定部 1 6 は、指数関数で近似することで流動状態を算出してもよい。まず、推定部 1 6 は、第 1 周波数スペクトル  $S_1$  及び第 2 周波数スペクトル  $S_2$  における特定の周波数区間（例えば  $2 \text{ kHz} \sim 20 \text{ kHz}$ ）に対して、指数関数で近似を行う（例えば図 8 における区間 3）。次に、推定部 1 6 は、第 1 周波数スペクトル  $S_1$  を近似して指数関数  $E_1$  を取得し、第 2 周波数スペクトル  $S_2$  を近似して指数関数  $E_2$  を取得する。

【 0 0 7 2 】

そして、推定部 1 6 は、指数関数  $E_1$  のパラメータと最も合致度の高いパラメータを有する指数関数  $E_2$  に対応する流動状態を、測定対象の流動状態として推定してもよい。

【 0 0 7 3 】

ここで、上記で例示したように抽出した特徴成分は、例えばマシンラーニング又はディープラーニングのような、AI (Artificial Intelligence) に基づく各種の学習技術を用いて、さらに流動状態との重み付けされてもよい。すなわち、流体測定装置 1 は、各種の学習技術を用いて、流体の流動状態を算出してもよい。

【 0 0 7 4 】

具体的には、推定部 1 6 は、既知の流動状態と第 2 周波数スペクトルの特徴成分との関係を各種の学習技術に学習させることができる。そして、推定部 1 6 は、第 1 周波数スペクトルの特徴成分と、各種の学習技術が重み付けを行なった流動状態と特徴成分の関係に基づいて、測定対象の流体の流動状態を算出することができる。これによれば、推定部 1 6 は、第 1 周波数スペクトル  $S_1$  と第 2 周波数スペクトル  $S_2$  との対比の精度を向上させることができるため、流体測定装置 1 は、有用性を向上させることができる。

【 0 0 7 5 】

なお、例えば、教師あり学習の場合において、学習データは上記に例示した特徴成分であり、教師データは周波数スペクトルに対応する流体の流動状態であればよい。また、流

10

20

30

40

50

体測定装置 1 は、周波数スペクトルを学習データ、周波数スペクトルに対応する流動状態を教師データとして、上記の特徴成分以外の特徴成分に基づいて流動状態を推定してもよい。また、学習で得られた流動状態と特徴成分の関係は、記憶部 20 などに適宜記憶されればよい。

**【0076】**

以上説明したように、特徴成分は、周波数スペクトルにおける少なくとも 1 つの特定周波数に対応する強度と、前記特定周波数以外の少なくとも 1 つの周波数に対応する強度との比をとってもよい。また、特徴成分は、周波数スペクトルにおける特定区間に対応する強度の平均及び分散の少なくとも一方をとってもよい。また、特徴成分は、周波数スペクトルにおける特定区間のスペクトルの形状をとってもよい。

10

**【0077】**

なお、ステップ 5 において推定された流体 A の流動状態に関する情報は、例えば表示部 40 を介して各種の表示デバイスに表示してもよい。これにより、一実施形態に係る流体測定装置 1 のユーザは、流体 A の流動状態に関する情報を視認することができる。

**【0078】**

以上説明したように、一実施形態に係る流体測定装置 1 によれば、流体の流動状態に係る種々の条件において、流体の流動状態を適切かつ精度よく推定することができる。また、流体測定装置 1 は、従来のレーザドップラー流量計に対して比較的広範な範囲の流動状態の測定が可能である。すなわち、一実施形態に係る流体測定装置 1 は、利便性を高めることができる。

20

**【0079】**

本開示を諸図面及び実施例に基づき説明してきたが、当業者であれば本開示に基づき種々の変形又は修正を行うことが容易であることに注意されたい。従って、これらの変形又は修正は本開示の範囲に含まれることに留意されたい。例えば、各機能部に含まれる機能などは論理的に矛盾しないように再配置可能である。複数の機能部等は、1 つに組み合わせられたり、分割されたりしてよい。上述した本開示に係る各実施形態は、それぞれ説明した各実施形態に忠実に実施することに限定されるものではなく、適宜、各特徴を組み合わせたり、一部を省略したりして実施されうる。

**【0080】**

また、上述した実施形態は、流体測定装置 1 としての実施に限定されない。例えば、上述した実施形態は、流体測定装置 1 において実行されるような流体測定方法、及び流体測定装置 1 のような装置を制御するコンピュータに実行させるプログラムとして実施してもよい。

30

**【0081】**

一実施形態に係る流体測定方法は、流体を含む被照射物に向けて光を照射するステップと、流体で散乱した散乱光を受光するステップと、散乱光に基づいて周波数スペクトルを生成するステップと、周波数スペクトルの特徴成分に基づいて流体の流動状態を推定するステップと、を備える。そして、一実施形態に係る流体測定方法は、測定対象の流体に基づいて第 1 周波数スペクトル、及び既知の流動状態の流体に基づいて第 2 周波数スペクトルを生成した後、第 1 周波数スペクトルの特徴成分と第 2 周波数スペクトルの特徴成分を対比することで、測定対象の流体の流動状態を推定することができる。

40

**【0082】**

一実施形態に係るプログラムは、コンピュータに、流体を含む被照射物に向けて光を照射させるステップと、流体で散乱した散乱光を受光させるステップと、散乱光に基づいて周波数スペクトルを生成させるステップと、周波数スペクトルの特徴成分に基づいて流体の流動状態を推定させるステップと、を備える。そして、一実施形態に係るプログラムは、コンピュータに、測定対象の流体に基づいて第 1 周波数スペクトル、及び既知の流動状態の流体に基づいて第 2 周波数スペクトルを生成させた後、第 1 周波数スペクトルの特徴成分と第 2 周波数スペクトルの特徴成分を対比させることで、測定対象の流体の流動状態を推定させることができる。

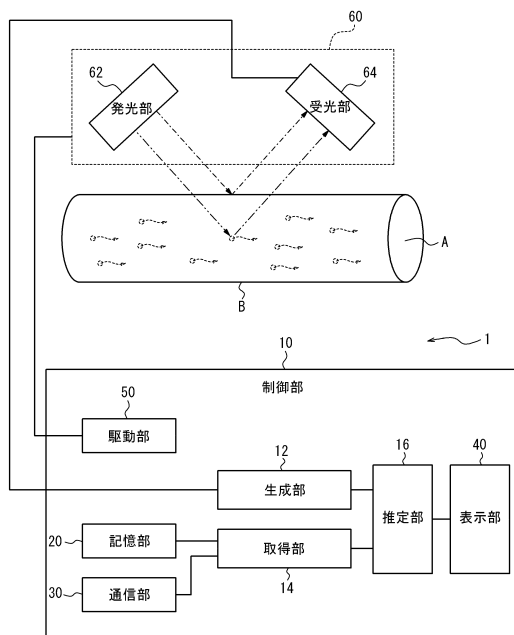
50

【符号の説明】

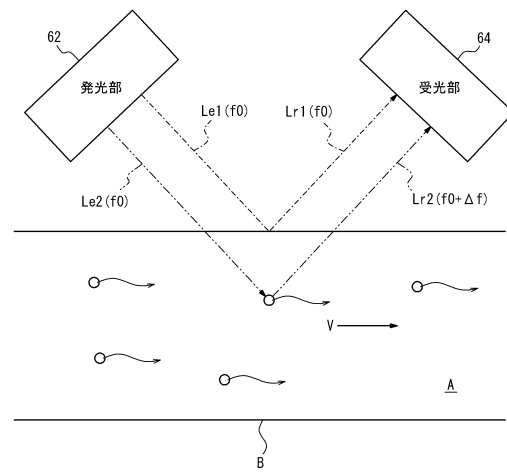
【0083】

- 1 流体測定装置
- 10 制御部
- 12 生成部
- 14 取得部
- 16 推定部
- 20 記憶部
- 30 通信部
- 40 表示部
- 50 駆動部
- 60 センサ部
- 62 発光部
- 64 受光部

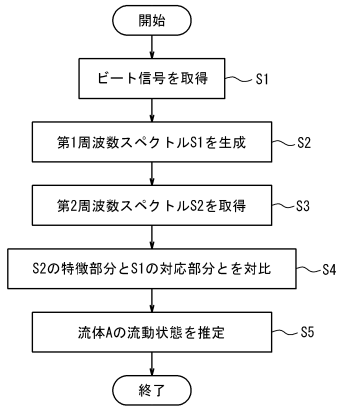
【図1】



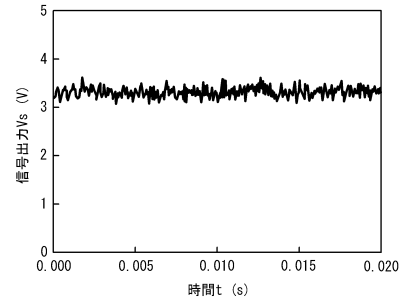
【図2】



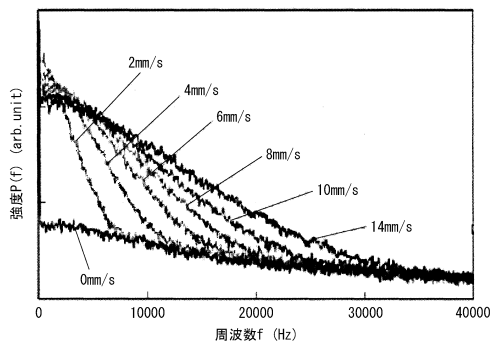
【図3】



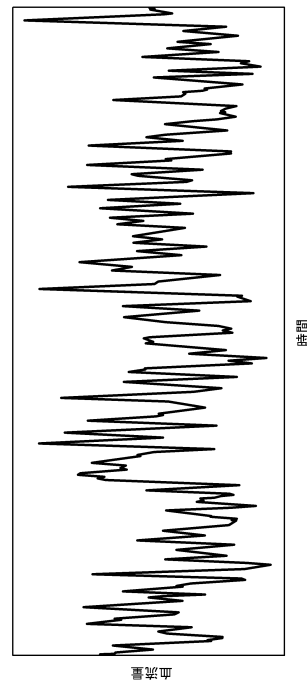
【図4】



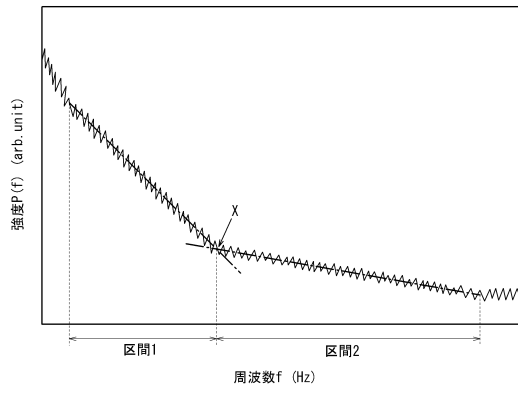
【図5】



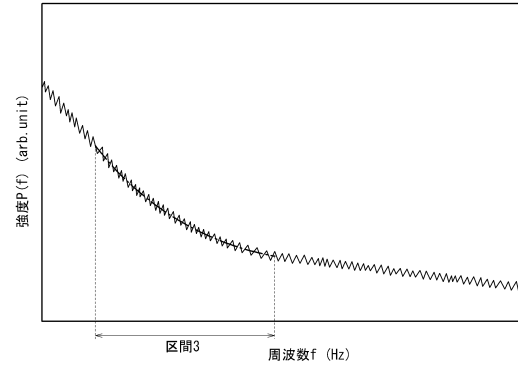
【図6】



【 図 7 】



【 図 8 】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 国際公開第2015/033469(WO, A1)  
特開2015-132580(JP, A)  
特開2018-9922(JP, A)  
米国特許第6041662(US, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01F 1/00 - 9/02  
G01P 5/00 - 5/26  
A61B 5/02 - 5/03