

NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類 :

- 国際調査報告 (条約第21条(3))

on a fluid to be measured, and a second frequency spectrum based on a fluid in an already-known flow state, using the generation unit, and then compares the characteristic component of the first frequency spectrum and the characteristic component of the second frequency spectrum using the estimation unit, thereby making it possible to estimate the flow state of the fluid to be measured.

(57) 要約 : 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、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、及び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生成部で生成した後、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。

明 細 書

発明の名称：流体測定装置、流体測定方法、及びプログラム

関連出願の相互参照

[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。

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、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、及び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生成部で生成した後、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。

[0006] 一実施形態に係る流体測定方法は、流体及び流体が流れる流路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。

[0007] 一実施形態に係るプログラムは、コンピュータに、流体及び流体が流れる流路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。

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。

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。

[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] 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。

[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る。

[0016] センサ部 60 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 60 は、発光部 62 と、受光部 64 とを備えている。

[0017] 発光部 62 は、流路 B に向けて光を照射することができる。発光部 62 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 62 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 62 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。

[0018] 発光部 62 は、制御部 10 の駆動部 50 によって駆動されればよい。駆動部 50 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 50 は、流体測定装置 1 の外部に設けてもよいし、センサ部 60 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。

[0019] 受光部 64 は、発光部 62 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 64 は、発光部 62 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 64 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64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。

[0020] 受光部64によって受光された光に関する信号（光信号）は、制御部10の生成部12に送信される。生成部12については後述する。受光部64によって受光された光信号を生成部12に送信して処理する際は、各種の増幅器及び／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。

[0021] なお、センサ部60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60は、発光部62及び受光部64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62と受光部64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。

[0022] 次に、流体測定装置1の制御部10について説明する。

[0023] 流体測定装置1の制御部10は、生成部12と、取得部14と、推定部16とを備えている。また、制御部10は、記憶部20と、通信部30と、表示部40と、駆動部50との少なくともいずれかを、適宜含んで構成してもよい。

[0024] 制御部10は、生成部12、取得部14、及び推定部16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10は、生成部12、取得部14、及び推定部16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12、取得部14、及び推定部16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。

- [0025] 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。
- [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。
- [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効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。

[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。

[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。

[0034] 発光部62から流路Bに向けて照射される光には、入射光 L_e1 及び入射光 L_e2 が含まれる。入射光 L_e1 及び入射光 L_e2 は、発光部62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_e1 を、 $L_e1(f_0)$ と示し、周波数 f_0 の入射光 L_e2 を、 $L_e2(f_0)$ と示

す。

[0035] 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。

[0036] 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 Δf だけ変化した散乱光 $L_r 2$ を、 $L_r 2 (f_0 + \Delta f)$ と示す。

[0037] 受光部64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64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。

[0038] 図3は、一実施形態に係る流体測定装置1の制御部10が実行する流動状態推定のフローチャートの例である。

[0039] まず、生成部12は、受光部64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S1）。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。

[0040] 図4は、図3のステップS1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64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。

[0041] 次に、生成部12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）S1を生成する（ステップS2）。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12は、ステップS1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。

[0042] 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2mm/s、4mm/s、6mm/s、8mm/s、10mm/s、及び14mm/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。

[0043] 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。

[0044] 推定部16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]

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

推定部16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16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16は、レーザ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（1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））。

[数3]

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

[0045] 推定部16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。

[0046] 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。

[0047] 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。

[0048] 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。

[0049] 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った。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。

[0050] 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。

[0051] 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。

[0052] 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。

[0053] 流体測定装置1の取得部14は、ステップS2において取得した第1周波数スペクトルS1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）S2を記憶部20から取得することができる（ステップS3）。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12で生成した第2周波数スペクトルS2との関係を記憶部20に記憶させておけばよい。また、ステップS3において、流体測定装置1は、第2周波数スペクトルS2を、通信部30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14は、通信部30を介して、第2周波数スペクトルS2を取得すればよい。流体測定装置1は、予め記憶部20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。

- [0054] 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。
- [0055] 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、ADC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62の強度分散、発光部62が照射する光の周波数、流路Bとセンサ部60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。
- [0056] また、記憶した第2周波数スペクトルS2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30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。
- [0057] 推定部16は、第1周波数スペクトルS1の特徴成分S1cと、第2周波数スペクトルS2の特徴成分S2cとを対比する（ステップS4）。取得部14は、第1周波数スペクトルS1の特徴成分S1c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S2を選定して取得することができる。
- [0058] 推定部16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S2を採用して、第1周波数スペクトルS1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]

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

[0059] また、推定部16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]

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

[0060] 推定部16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16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]

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

[0061] 流体測定装置1の制御部10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20は、抽出した特徴成分をさらに記憶してもよい。

[0062] 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。

(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10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16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、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。

(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。

(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] 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] 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S4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S4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S5）、図3に示す動作を終了する。ステップS5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S1の特徴成分S1cと同値または近似する第2周波数スペクトルS2の特徴成分S2c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S1cと特徴成分S2cが近似していると判断する範囲は、ユーザの任意で定めればよい。

[0067] 推定部16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。

[0068] 推定部16は、第1周波数スペクトルS1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16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16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16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。

- [0069] 次に、推定部16は、第2周波数スペクトルS2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S1と同様であればよく、推定部16は、第2周波数スペクトルS2において特定周波数Fを算出することができる。
- [0070] そして、推定部16は、特定周波数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。
- [0071] 推定部16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16は、第1周波数スペクトルS1及び第2周波数スペクトルS2における特定の周波数区間（例えば2kHz～20kHz）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16は、第1周波数スペクトルS1を近似して指数関数E1を取得し、第2周波数スペクトルS2を近似して指数関数E2を取得する。
- [0072] そして、推定部16は、指数関数E1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E2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。
- [0073] 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。
- [0074] 具体的には、推定部16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16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16は、第1周波数スペクトルS1と第2周波数スペクトルS2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。
- [0075] 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してもよい。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してもよい。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としてもよい。

[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。

[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。

[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。

[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。

符号の説明

- [0083] 1 流体測定装置
- 1 0 制御部
 - 1 2 生成部
 - 1 4 取得部
 - 1 6 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

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、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、及び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前記生成部で生成した後、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。

[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。

[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。

[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周波数スペクトルを生成するステップと、
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ステップと、を備え、
測定対象の前記流体に基づいて第1周波数スペクトル、及び既知の

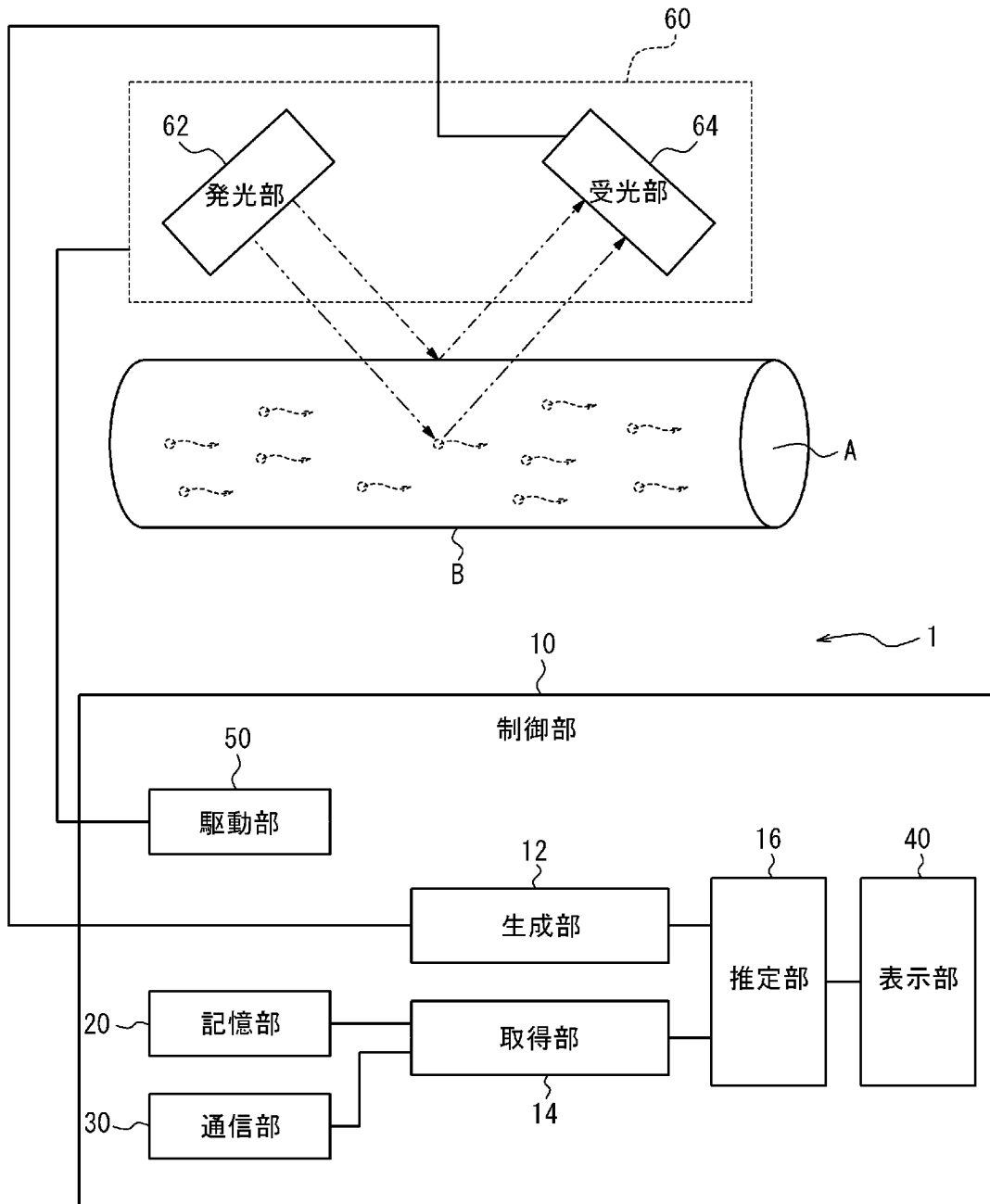
流動状態の前記流体に基づいて第2周波数スペクトルを生成した後、前記第1周波数スペクトルの特徴成分と前記第2周波数スペクトルの特徴成分を対比することで、測定対象の前記流体の流動状態を推定する、流体測定方法。

[請求項13]

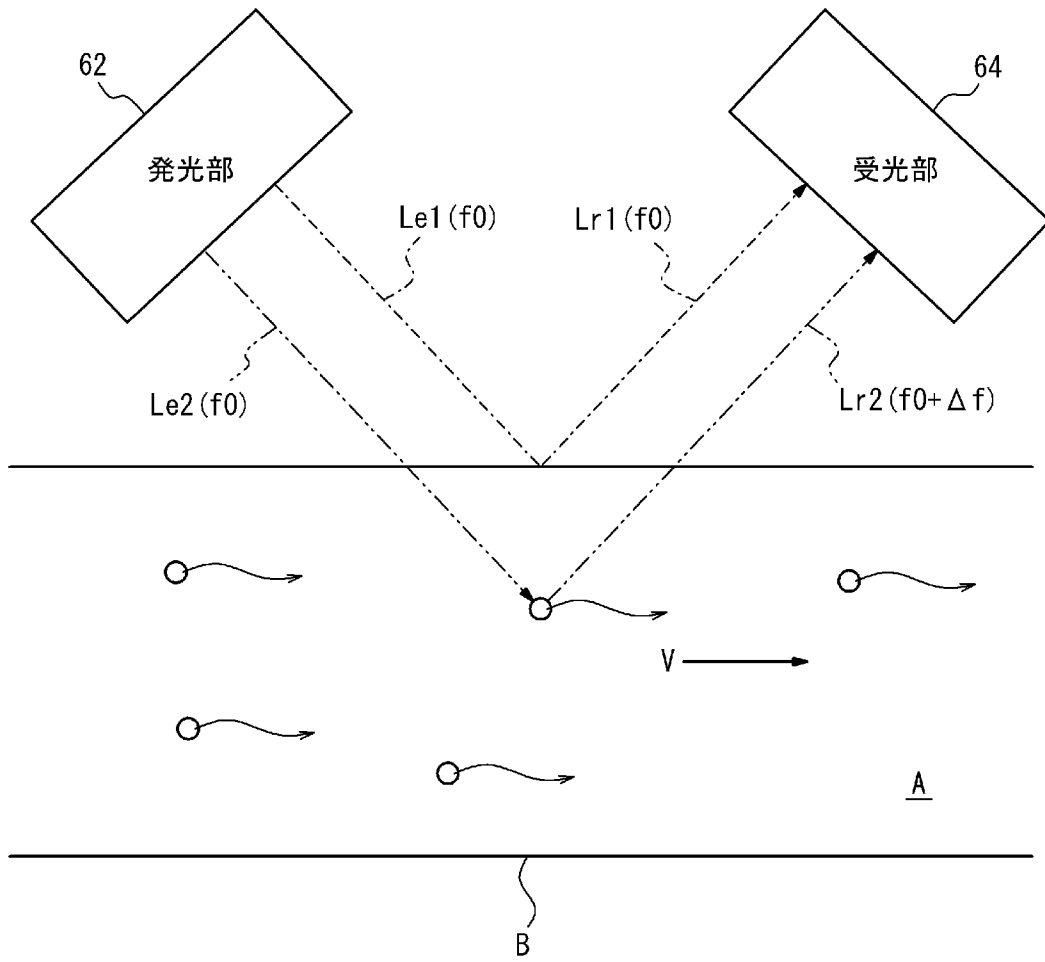
コンピュータに、
流体を含む被照射物に向けて光を照射させるステップと、
前記流体で散乱した散乱光を受光させるステップと、
前記散乱光に基づいて周波数スペクトルを生成させるステップと、
前記周波数スペクトルの特徴成分に基づいて前記流体の流動状態を推定させるステップと、を備え、

測定対象の前記流体に基づいて第1周波数スペクトル、及び既知の流動状態の前記流体に基づいて第2周波数スペクトルを生成させた後、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。

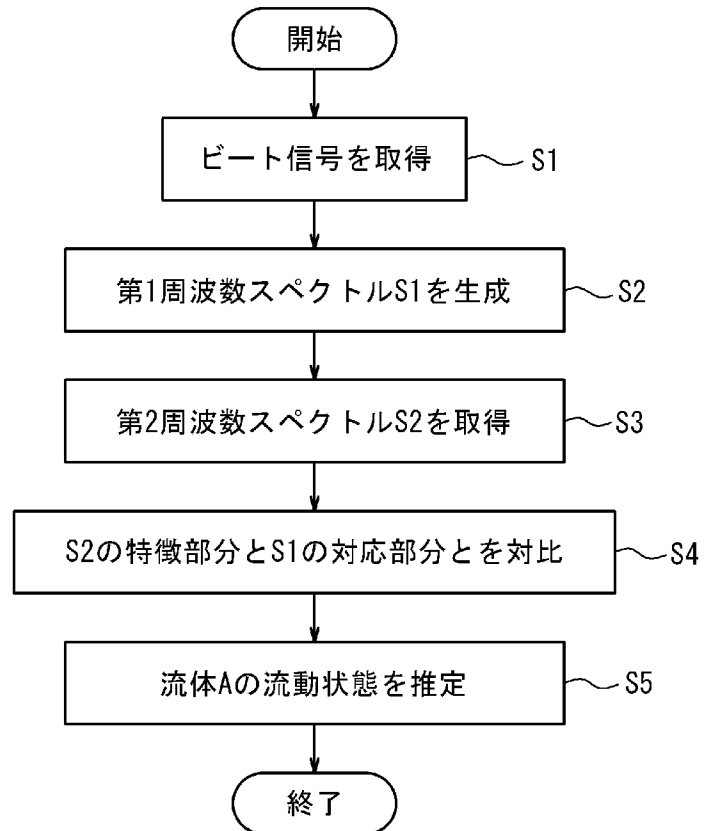
[図1]



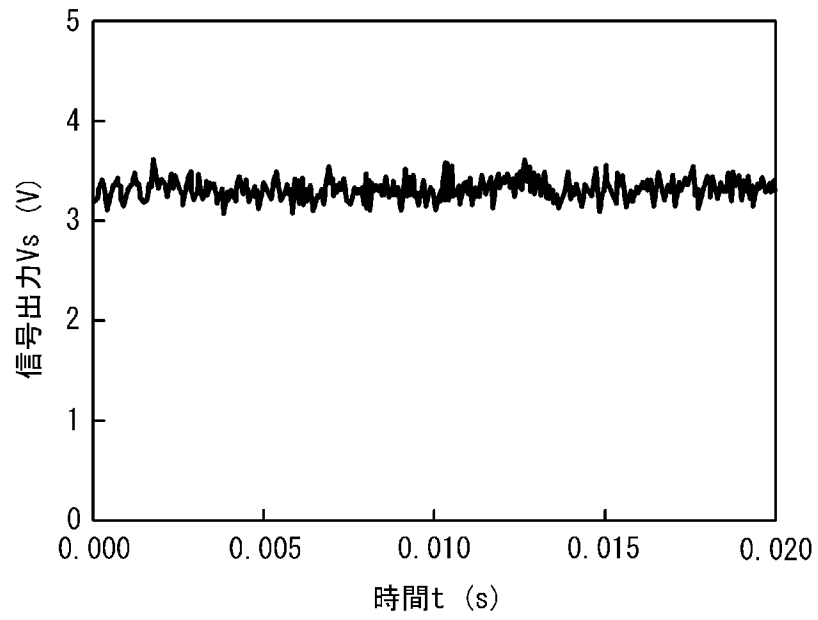
[図2]



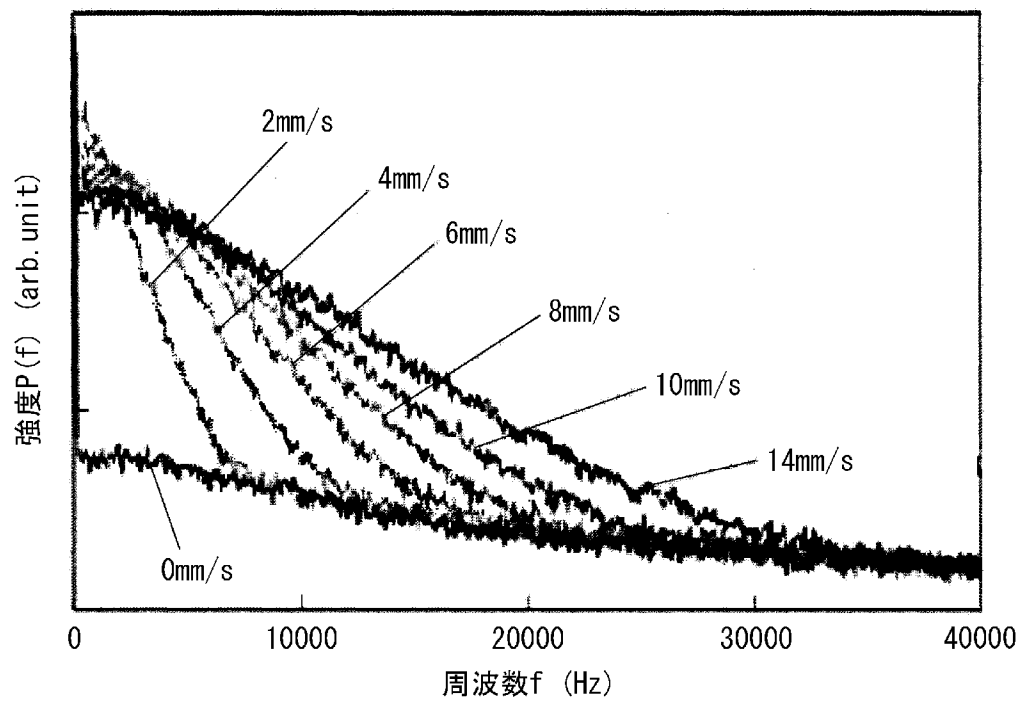
[図3]



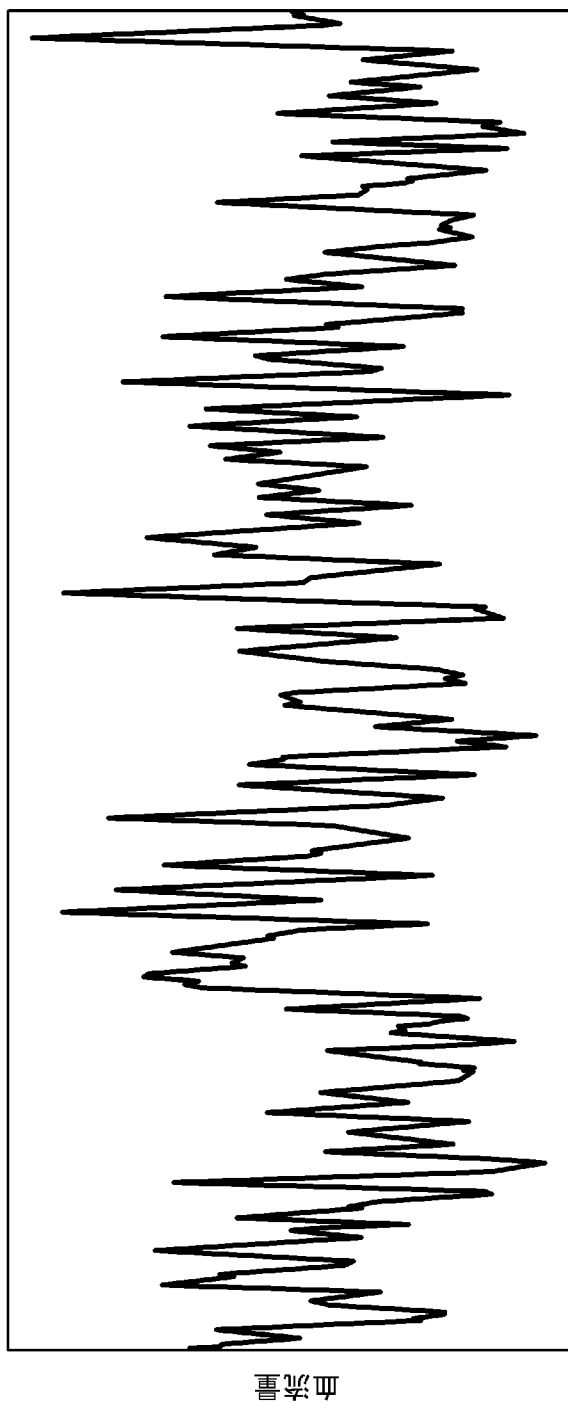
[図4]



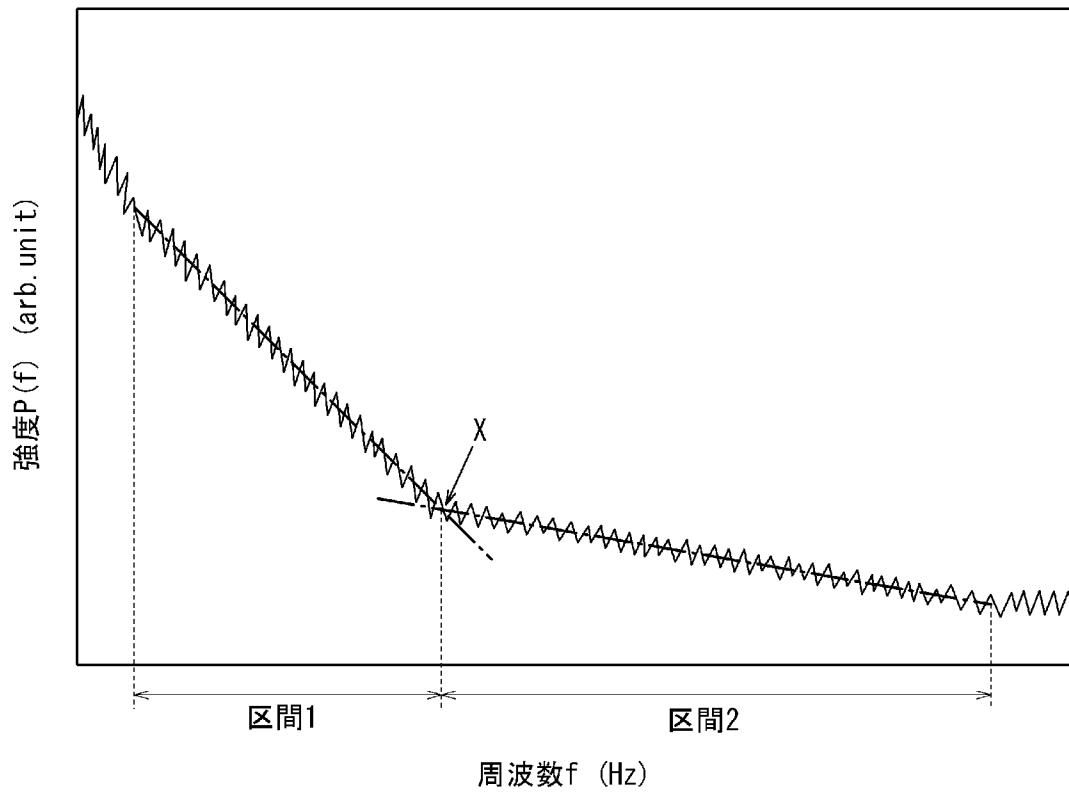
[図5]



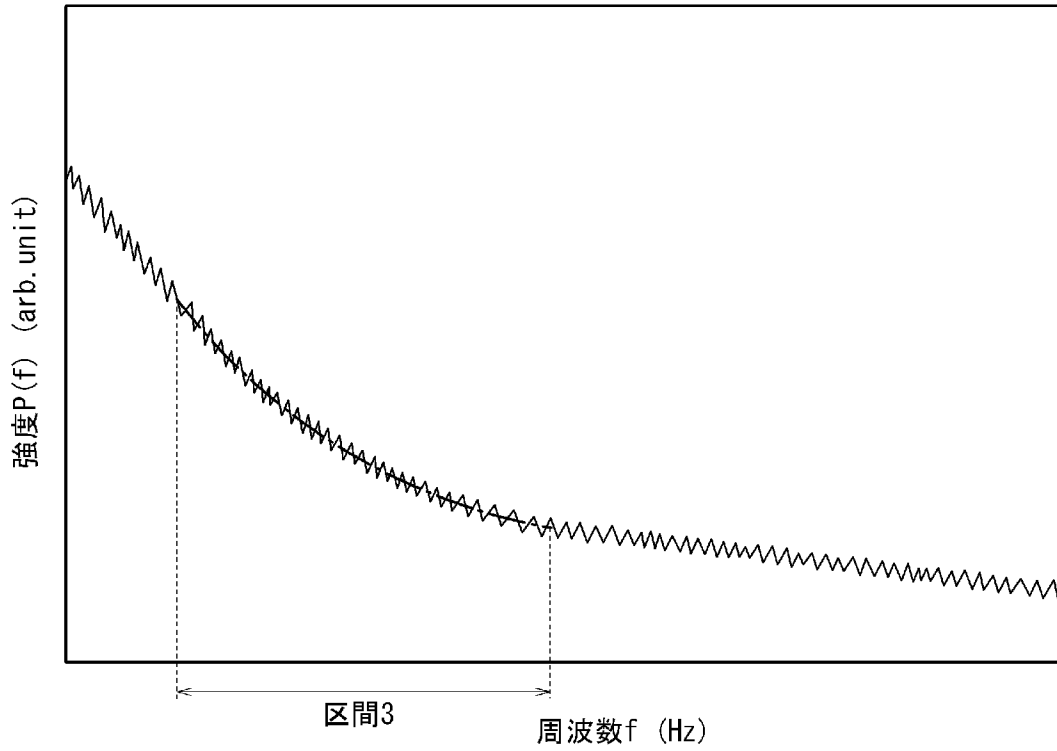
[図6]



[図7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/002148

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 Int.Cl. G01F1/66(2006.01) i, A61B5/026(2006.01) i, A61B5/0285(2006.01) i,
 G01F1/00(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 Int.Cl. G01F1/00-9/02, G01P5/00-5/26, A61B5/02-5/03

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2019
Registered utility model specifications of Japan	1996-2019
Published registered utility model applications of Japan	1994-2019

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	WO 2015/033469 A1 (PIONEER CORP.) 12 March 2015, paragraphs [0059]-[0068], [0084], [0132], fig. 1, 3 & EP 3045876 A1, paragraphs [0060]-[0069], [0077]-[0083], [0085], [0132], fig. 1, 3	1-4, 9-13 6 5, 7-8
Y	JP 2015-132580 A (WIRE DEVICE KK) 23 July 2015, paragraphs [0016]-[0017] (Family: none)	6
A	JP 2018-9922 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 18 January 2018, entire text, all drawings (Family: none)	1-13
A	US 6041662 A (ENDOSONICS CORPORATION) 28 March 2000, entire text, all drawings & AT 222372 T & EP 828164 A1	1-13

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 11 April 2019 (11.04.2019)	Date of mailing of the international search report 23 April 2019 (23.04.2019)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.
--	---

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01F1/66(2006.01)i, A61B5/026(2006.01)i, A61B5/0285(2006.01)i, G01F1/00(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01F1/00-9/02, G01P5/00-5/26, A61B5/02-5/03

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	WO 2015/033469 A1 (パイオニア株式会社)	1-4, 9-13
Y	2015.03.12, [0059]-[0068], [0084], [0132], 図 1, 3	6
A	& EP 3045876 A1, [0060]-[0069], [0077]-[0083], [0085], [0132], FIGS. 1, 3	5, 7-8
Y	JP 2015-132580 A (株式会社ワイヤーデバイス) 2015.07.23, [0016]-[0017] (ファミリーなし)	6

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

11.04.2019

国際調査報告の発送日

23.04.2019

国際調査機関の名称及びあて先
 日本国特許庁 (ISA/J P)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

岡田 卓弥

2 F

9206

電話番号 03-3581-1101 内線 3216

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2018-9922 A (日本電信電話株式会社) 2018.01.18, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-13
A	US 6041662 A (ENDOSONICS CORPORATION) 2000.03.28, 全文, 全図 & AT 222372 T & EP 828164 A1	1-13