

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2023年4月6日(06.04.2023)



(10) 国際公開番号

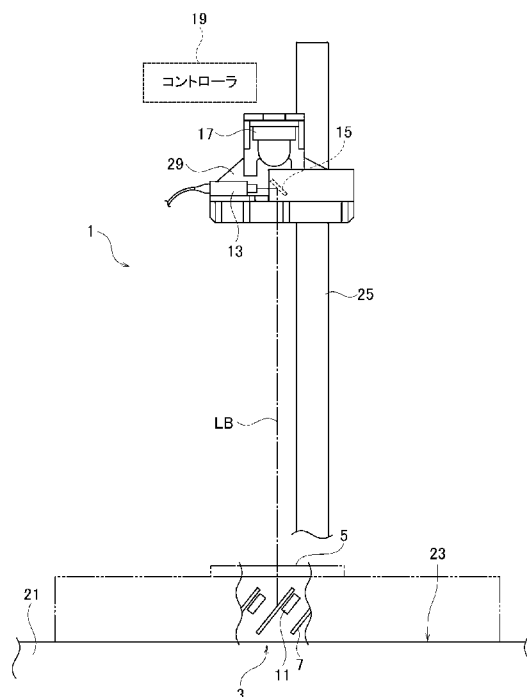
WO 2023/054257 A1

- (51) 国際特許分類:
G01M 7/02 (2006.01) *G01H 9/00* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2022/035707
- (22) 国際出願日: 2022年9月26日(26.09.2022)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2021-157576 2021年9月28日(28.09.2021) JP
- (71) 出願人: 株式会社 I H I (IHI CORPORATION)
[JP/JP]; 〒1358710 東京都江東区豊洲三丁目1番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 江 畑 維 一 (EBATA Shigekazu);
〒1358710 東京都江東区豊洲三丁目1番1号 株式会社 I H I 内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 三好 秀和, 外 (MIYOSHI Hidekazu et al.); 〒1050001 東京都港区虎ノ門一丁目2番8号 虎ノ門琴平タワー Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW,

(54) Title: BLISK VIBRATION DETECTION APPARATUS

(54) 発明の名称: ブリスクの振動検出装置

【図1】



19 Controller

(57) Abstract: In a vibration detection apparatus (1), a plurality of blades (7) formed integrally with the outer periphery of a disk (5) of a blisk (3) are respectively excited by a plurality of excitation signals from progressive waves or regressive waves, the phases of which are sequentially offset in an advancing direction or a delay direction, a laser beam for detecting vibration of the plurality of blades is output, a reflected beam from an object irradiated by the laser beam is received, the optical paths of the output laser beam (LB) and the reflected beam are changed in accordance with a vibration detection

[続葉有]

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

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

position of a blade (7) designated as the irradiation object of the laser beam (LB), and a vibration response to excitation of each blade (7) is detected from the reflected beam and the laser beam (LB) corresponding to each excited blade (7).

(57) 要約: 振動検出装置 (1) は、ブリスク (3) のディスク (5) の外周に一体に形成された複数の翼 (7) を進み方向又は遅れ方向に位相を順次ずらした進行波又は後退波による複数の加振信号によりそれぞれ加振し、前記複数の翼の振動検出用のレーザビームを出力して前記レーザビームが照射された対象物からの反射ビームを受光し、出力された前記レーザビーム (LB) の照射対象に指定された翼 (7) の振動検出位置に合わせて前記レーザビーム (LB) 及び前記反射ビームの光路を変更し、加振中の前記各翼 (7) にそれぞれ対応する前記レーザビーム (LB) 及び前記反射ビームから前記各翼 (7) の加振に対する振動応答を検出する。

明 細 書

発明の名称： ブリスクの振動検出装置

技術分野

[0001] 本開示は、ブリスクの振動検出装置に関する。

背景技術

[0002] 例えば、ジェットエンジンの低圧圧縮機及び高圧圧縮機には動翼が設けられる。動翼は、ディスクと、ディスクの外周に取り付けられた複数の翼とを有する。動翼の各翼間に質量、剛性又は固有振動数のばらつきがあると、回転中の動翼が共振により予想外のモードで振動し、動翼の寿命が縮まることがある。

[0003] 特許文献 1 は、ディスクの外周に翼のダブテールを嵌合して構成した動翼について、回転中の動翼が質量、剛性又は固有振動数のミスチューンに起因するモードの振動を起こすのを抑制することを目的とした技術を開示している。特許文献 1 の技術では、質量、剛性又は固有振動数が異なる翼を意図的なパターンで配置することを提案している。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開 2 0 1 5 - 1 2 2 2 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] ところで、動翼はブリスクで構成されることがある。ブリスクは、統合回転翼（IBR：integrally bladed rotors）とも呼ばれる。ブリスクでは、翼がディスクと一体に形成される。このため、ブリスクでは、特許文献 1 の技術のように各翼を意図的に配置することができない。したがって、動翼をブリスクで構成する場合は、ブリスクが回転中に予想外のモードの振動を起こさないかどうかを、実物のブリスクの各翼に生じる回転中の振動応答の測定結果に基づいて解析する必要がある。

[0006] 本開示は、実物のブリスクの各翼に生じる回転中の振動応答を精度良く検出できるブリスクの振動検出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

[0007] 本開示に係るブリスクの振動検出装置は、ブリスクのディスクの外周に一体に形成された複数の翼を、進み方向又は遅れ方向に位相を順次ずらした進行波又は後退波による複数の加振信号によりそれぞれ加振する複数の加振部と、前記複数の翼の振動検出用のレーザビームを出力し、前記レーザビームが照射された対象物からの反射ビームを受光するレーザ振動計と、前記レーザビームの光路上に配置され、前記複数の翼のうち前記レーザビームの照射対象に指定された翼の振動検出位置に合わせて前記レーザビーム及び前記反射ビームの光路を変更する光路変更部と、前記各加振部による加振中の前記各翼にそれぞれ対応する前記レーザビーム及び前記反射ビームから、前記各翼の加振に対する振動応答を検出するコントローラと、を備える。

[0008] 本開示に係るブリスクの振動検出装置において、前記各加振部は、前記加振信号の周波数を変更して対応する前記各翼をそれぞれ加振し、前記コントローラは、前記加振信号の周波数毎に前記振動応答をそれぞれ検出してもよい。

[0009] 本開示に係るブリスクの振動検出装置において、前記各加振部は、前記ブリスクの回転によって前記ブリスクの周囲の流体に生じる圧力変動を模擬する励振次数で、対応する前記各翼をそれぞれ加振してもよい。

[0010] 本開示に係るブリスクの振動検出装置において、前記コントローラは、前記振動応答の振幅及び位相を検出し、検出した前記各翼の前記振幅及び前記位相の分布を解析して、前記振動応答により前記ブリスクに発生した振動の節直径数を検出してもよい。

発明の効果

[0011] 本開示によれば、実物のブリスクの各翼に生じる回転中の振動応答を精度良く検出できる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]図 1 は、一実施形態に係るブリスクの振動検出装置を示す斜視図である。

[図2]図 2 は、図 1 のブリスク設置部の上方に配置されたレーザヘッド、光路変更ユニット及び撮影ユニットの拡大斜視図である。

[図3]図 3 は、図 2 の光路変更ユニットを構成するガルバノミラー及びモータの説明図である。

[図4]図 4 は、図 3 のモータに対する電圧印加を線形に変化させた場合の目標平面におけるレーザビームの計算上の照射箇所と実際の照射箇所とのずれを示す説明図である。

[図5A]図 5 A は、図 4 に示すレーザビームの計算上の照射箇所に対する実際の照射箇所のずれ量の特性を X 軸方向について示す説明図である。

[図5B]図 5 B は、図 4 に示すレーザビームの計算上の照射箇所に対する実際の照射箇所のずれ量の特性を Y 軸方向について示す説明図である。

[図6]図 6 は、図 1 の振動検出装置においてブリスクの各翼の振動応答を検出するのに先立って行うレーザビームの照射箇所の調整処理の手順の一例を示すフローチャートである。

[図7]図 7 は、図 1 のコントローラの制御により振動検出装置において実行されるブリスクの回転中に生じる振動の検出手順の一例を示すフローチャートである。

[図8]図 8 は、図 1 のブリスクの振動特性図に Z Z E N F 図を重ねて示す図である。

[図9]図 9 は、図 1 のコントローラの振動検出ユニットがブリスクの各翼毎にそれぞれ検出する翼の振動応答を加振信号の周波数毎の分布として示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0013] 以下、いくつかの例示的な実施形態について、図面を参照しながら説明する。図 1 は一実施形態に係るブリスク 3 の振動検出装置 1 を示す説明図である。

[0014] 図1に示す実施形態のブリスク3の振動検出装置1は、ブリスク3のディスク5の外周に一体に形成された複数の翼7の振動応答を検出する。そして、振動検出装置1は、検出した各翼7の振動応答から、回転中のブリスク3に生じる振動の評価指標として、ブリスク3の振動に対する各翼7の応答の翼7間における比を検出する。なお、図1に示すブリスク3は説明用に簡略化したものであり、ディスク5に形成する翼7の数は、図1に示す数に限定されない。

[0015] 振動検出装置1は、例えば、加振用スピーカ11、レーザヘッド13、光路変更ユニット15、撮影ユニット17及びコントローラ19を含む。回転中の振動を検出する対象のブリスク3は、図1に示す例のように、試験用テーブル21のブリスク設置部23に固定されて水平に設置される。

[0016] 加振用スピーカ11は、例えば、ブリスク3の各翼7に1対1に対応して複数設けられている。各加振用スピーカ11は、例えば、ブリスク設置部23に設置されたブリスク3と試験用テーブル21との間に配置され、対応する各翼7の試験用テーブル21に臨む腹側の面にそれぞれ対向させている。

[0017] 各加振用スピーカ11は、同一の周波数及び振幅の進行波又は後退波による加振信号によりそれぞれ鳴動される。各加振信号の位相は、進み方向又は遅れ方向に順次ずれている。各加振信号は、ブリスク3の回転によってブリスク3の周囲の流体に生じる圧力変動を模擬する進行速度の進行波又は後退速度の後退波である。

[0018] 加振信号により鳴動された加振用スピーカ11は、加振信号の波形に応じた音波をスピーカの振動面（図示せず）から出力する。この音波により、各加振用スピーカ11に対向するブリスク3の翼7が加振される。各翼7が加振用スピーカ11により加振されることで、各翼7に、ブリスク3の回転中を模擬する振動応答を発生させることができる。即ち、各加振用スピーカ11は、各加振用スピーカ11に対向する各翼7をそれぞれ加振する加振部として機能する。

[0019] 試験用テーブル21には、支柱25が立設されている。支柱25は、図2

に示すアーム 27 を上下及び前後方向に位置調整可能に支持している。アーム 27 の先端側は、支柱 25 から前方に延出している。アーム 27 の先端には、支持台 29 が取り付けられている。支持台 29 は、ブリスク設置部 23 の上方に配置されている。支持台 29 には、レーザヘッド 13、光路変更ユニット 15 及び撮影ユニット 17 が取り付けられている。

[0020] レーザヘッド 13 は、対象物に照射する振動検出用のレーザビーム L B を出力し、対象物からの反射ビーム（図示せず）を受光する。レーザヘッド 13 が出力するレーザビーム L B の焦点距離は、対象物までのレーザビーム L B の光路の長さに応じて調整することができる。レーザヘッド 13 は、レーザ光源、光学系及び受光器を有している。光学系は、レーザ光源が出力するレーザ光を検出光及び参照光に分離し、対象物で反射された検出光を振動方向検出用に変調した参照光と結合させて、受光器に受光させる。レーザヘッド 13 は、コントローラ 19 の後述する振動検出ユニット（図示せず）に接続されている。

[0021] 光路変更ユニット 15 は、レーザヘッド 13 が出力するレーザビーム L B の光路上に配置されている。光路変更ユニット 15 は、レーザヘッド 13 のレーザビーム L B の光路を、振動を検出する照射対象の翼 7 に向けて変更する。即ち、光路変更ユニット 15 は、照射対象に指定した翼 7 の振動検出位置に合わせてレーザビーム L B 及び不図示の反射ビームの光路を変更する光路変更部として機能する。光路変更ユニット 15 は、例えば、図 3 に示すように、X 軸用のガルバノミラー 31、X 軸用のモータ 35、Y 軸用のガルバノミラー 33、Y 軸用のモータ 37 を含む。

[0022] X 軸用のガルバノミラー 31 は、レーザヘッド 13 のレーザビーム L B を反射する。モータ 35 は、ガルバノミラー 31 を回転させて、ガルバノミラー 31 による反射後のレーザビーム L B の光路を X 軸方向に沿って変化させる。Y 軸用のガルバノミラー 33 は、X 軸用のガルバノミラー 31 による反射後のレーザビーム L B を反射する。モータ 37 は、ガルバノミラー 33 を回転させて、ガルバノミラー 33 による反射後のレーザビーム L B の光路を

Y軸方向に沿って変化させる。

[0023] ガルバノミラー31, 33のどちらか一方のミラーを回転させると、他方のミラーに対するレーザビームLBの入射角及び出射角が、他方のミラーを回転させていなくても変化する。この入射角及び出射角の変化は、他方のミラーを回転させたときに反射後のレーザビームが辿る光路の軌跡に、歪を生じさせる要因となる。

[0024] 例えば、図4に示すように、目標平面39上で、等間隔に引いたX軸及びY軸の各罫線が交わる計算上の照射箇所TにレーザビームLBが照射されるように、ガルバノミラー31, 33のモータ35, 37を駆動させる。すると、レーザビームLBの実際の照射箇所Sは、図4に示す例の場合、特に、X軸方向において、計算上の照射箇所Tからずれる。

[0025] 図4の例では、計算上の照射箇所Tに対する実際の照射箇所SのX軸方向におけるずれが、X軸の座標値が大きいほど増え、Y軸方向の原点から遠ざかるほど増えている。なお、実際の照射箇所Sのずれは、Y軸方向においても生じている。実際の照射箇所Sのずれは、X軸及びY軸のいずれの方向でも非線形の特性を有している。

[0026] 上述したずれの特性は、X軸及びY軸の各方向別に、例えば、Bースプライン (Basis spline) 曲面によってそれぞれ表すことができる。図5A、図5Bにそれぞれ示すBースプライン曲面41, 43は、レーザビームLBの計算上の照射箇所T毎にプロットした実際の照射箇所Sのずれ量を示す点を全て含む曲面である。

[0027] 上述したずれを補正し、レーザビームLBの実際の照射箇所Sを計算上の照射箇所Tに一致させるための補正関数は、X軸及びY軸の各方向別に、Bースプライン曲面の逆関数によって定義することができる。つまり、計算上の照射箇所Tに対応するガルバノミラー31, 33の回転角度を、上述した補正関数によって補正することで、計算上の照射箇所Tに実際のレーザビームLBを照射することができる。

[0028] 図1に示すように、撮影ユニット17は、光路変更ユニット15の上方に

配置されている。撮影ユニット１７には、例えば、ＰＴＺ（Pan Tilt Zoom）カメラを用いることができる。ＰＴＺカメラは、Ｘ軸方向及びＹ軸方向の首振り機能を有する雲台とズーム機能を有するネットワークカメラとを一体化した３６０度カメラユニットである。撮影ユニット１７は、ブリスク設置部２３に設置されたブリスク３におけるレーザビームの照射箇所を確認するための画像を、光路変更ユニット１５の上方から撮影する。

[0029] コントローラ１９は、例えば、レーザヘッド１３を制御する振動検出ユニットと、加振用スピーカ１１、パーソナルコンピュータとを含む。パーソナルコンピュータは、光路変更ユニット１５及び撮影ユニット１７の動作を制御する。

[0030] 振動検出ユニットは、レーザヘッド１３と協働して、従来公知のドップラ効果を利用した非接触式のレーザ振動計を構成する。振動検出ユニットは、レーザヘッド１３によるレーザビームＬＢの出力を制御する。振動検出ユニットには、振動する対象物によって反射されたレーザビームＬＢの反射ビーム（図示せず）を受光したレーザヘッド１３の受光器から、反射ビームの受光光量に応じた電気信号が入力される。この反射ビームは、対象物の振動速度に応じたドップラシフトを起こしている。このため、振動検出ユニットは、レーザヘッド１３から入力される電気信号を復調して対象物の振動速度を計測する。そして、振動検出ユニットは、計測した振動速度から、対象物に生じた振動の振幅を検出し、検出結果をパーソナルコンピュータに出力する。

[0031] パーソナルコンピュータは、例えば、ＣＰＵ、ＲＯＭ及びＲＡＭを有する本体と、本体に接続された入力部及び出力部とを含む。パーソナルコンピュータにおいてＣＰＵがＲＯＭに格納されたプログラムを実行することで、コントローラ１９は、加振用スピーカ１１、光路変更ユニット１５及び撮影ユニット１７の動作を制御する。また、コントローラ１９は、振動検出ユニットを介してレーザヘッド１３の動作を制御する。

[0032] 本実施形態では、振動検出ユニットを、パーソナルコンピュータとは物理

的に異なるハードウェアによって構成している。しかし、振動検出ユニットは、パーソナルコンピュータのCPUがプログラムを実行してパーソナルコンピュータ上に仮想的に構築するものであってもよい。その場合、コントローラ19は、振動検出ユニットを兼ねる単体のパーソナルコンピュータで構成することができる。

[0033] 以上の構成を有する振動検出装置1では、ブリスク3の回転中に生じる翼7の振動応答を検出し、各翼7の応答の翼間比を検出することができる。振動検出装置1で行われる動作の手順は後述する。

[0034] なお、振動検出装置1において、各翼7の振動応答を検出する際には、それに先立って、レーザヘッド13のレーザビームLBが実際に照射される各翼7の照射箇所Sの調整処理を行うことができる。

[0035] この調整処理は、各翼7についてそれぞれ個別に行うことができる。各翼7の調整処理は、例えば、図6に示すように、ガルバノミラー31, 33の回転角度の補正ステップ（ステップS1）と、振動検出ポイントの微調整ステップ（ステップS3）とを含む。

[0036] ステップS1では、ブリスク設置部23に設置されたブリスク3の各翼7における特定の位置を、レーザビームLBの計算上の照射箇所Tとする。各翼7の計算上の照射箇所Tは、例えば、ブリスク3をブリスク設置部23に設置すると撮影ユニット17側に露出する翼7の背側の面の先端側における、ブリスク3の回転方向の上流側隅部にすることができる。ブリスク設置部23に設置されたブリスク3の各翼7の照射箇所Tの位置は、予め既知としておく。

[0037] そして、各翼7の計算上の照射箇所Tに対応するガルバノミラー31, 33の回転角度を、上述した補正関数によって補正し、補正した回転角度にガルバノミラー31, 33を回転させる。

[0038] ステップS1では、ガルバノミラー31, 33の回転角度の補正と前後して、あるいは、並行して、各翼7の計算上の照射箇所Tに焦点距離を合わせたレーザビームLBをレーザヘッド13から出力させる。

[0039] 次に、ステップS 3では、補正した回転角度のガルバノミラー31, 33による反射後のレーザビームLBが照射された翼7を撮影ユニット17のPTZカメラで撮影する。そして、コントローラ19により、PTZカメラの撮影画像を画像処理して、レーザビームLBの計算上の照射箇所Tに最も近い翼7の先端側のエッジと、翼7上のレーザビームLBのビームスポット、つまり、実際の照射箇所Sとを、撮影画像から抽出する。

[0040] さらに、コントローラ19により、抽出した翼7のエッジと実際の照射箇所Sとの位置関係から、補正後の回転角度のガルバノミラー31, 33によって、レーザビームLBが翼7の計算上の照射箇所Tに照射されているか否かを判定する。そして、レーザビームLBの実際の照射箇所Sが計算上の照射箇所Tからずれている場合は、コントローラ19により翼7の振動検出ポイントを微調整する。具体的には、レーザビームLBが翼7の計算上の照射箇所Tに照射されるように、コントローラ19によりガルバノミラー31, 33の回転角度を微調整する。

[0041] 以上の手順によって、照射箇所Sの調整処理が完了すると、振動検出装置1が、ブリスク3の回転中に生じる翼7の振動応答を検出できる状態となる。

[0042] 振動検出装置1において実行される回転中のブリスク3の節直径モードを検出する手順の一例について、図7を参照して説明する。

[0043] まず、ブリスク3の回転中に各翼7に加わる振動を模擬するために、コントローラ19は、各加振用スピーカ11を加振信号によりそれぞれ鳴動させる（ステップS11）。各加振用スピーカ11の加振信号は、周波数及び振幅が同一の進行波又は後退波である。コントローラ19は、進み方向に位相を順次ずらした進行波又は遅れ方向に位相を順次ずらした後退波の加振信号により、各加振用スピーカ11をそれぞれ鳴動させる。

[0044] 各加振用スピーカ11が鳴動されると、ブリスク設置部23に設置したブリスク3の対応する各翼7が、加振信号の波形に応じた音波によってそれぞれ加振される。この加振により、各翼7には、ブリスク3の回転中を模擬し

た振動応答が生じる。各翼 7 の振動応答は、対応する各加振用スピーカ 1 1 の鳴動にコントローラ 1 9 が用いた加振信号と同じ周波数成分を含んでいる。

[0045] 次に、コントローラ 1 9 は、振動検出ユニットを制御して、レーザヘッド 1 3 にレーザビーム L B を出力させる。また、コントローラ 1 9 は、光路変更ユニット 1 5 のガルバノミラー 3 1, 3 3 をモータ 3 5, 3 7 により、振動応答を検出する対象の翼 7 における計算上の照射箇所 T に対応する回転角度に回転させる（ステップ S 1 3）。

[0046] これにより、レーザヘッド 1 3 からのレーザビーム L B が光路変更ユニット 1 5 により翼 7 の照射箇所 T に照射される。また、照射箇所 T からの反射ビームが光路変更ユニット 1 5 によりレーザヘッド 1 3 で受光される。

[0047] 続いて、コントローラ 1 9 は、振動検出ユニットに、レーザヘッド 1 3 が出力したレーザビーム L B と受光した反射ビームとに基づいて、対象の翼 7 に生じた振動の速度を振動応答として検出させる（ステップ S 1 5）。

[0048] そして、コントローラ 1 9 は、振動検出ユニットがブリスク 3 の全ての翼 7 について振動応答を検出するまで、ステップ S 1 3 及びステップ S 1 5 の手順を繰り返す（ステップ S 1 7 で NO）。この繰り返しの際、ステップ S 1 3 及びステップ S 1 5 の手順の対象とする翼 7 の順番は、ブリスク 3 の回転方向における並び順であってもよく、それ以外のランダムを含む順番でもよい。

[0049] また、コントローラ 1 9 は、必要に応じて、ステップ S 1 3 及びステップ S 1 5 の手順を同じ翼 7 について複数回実行してもよい。複数回実行する場合、コントローラ 1 9 は、各回のステップ S 1 3 及びステップ S 1 5 の手順を連続して行ってもよく、他の翼 7 についてステップ S 1 3 及びステップ S 1 5 の手順を実行した後に行ってもよい。

[0050] ところで、ブリスク 3 の各翼 7 は、固有振動数で加振すると、共振を起こして大きな振幅で共振する。したがって、コントローラ 1 9 は、各翼 7 を固有振動数で加振したときの振動応答を検出する必要がある。しかし、各翼 7

の固有振動数は、通常は未知である。そこで、コントローラ 19 は、加振信号の周波数を順次変えつつ、図 7 の全ての手順を繰り返し実行する。

[0051] 振動検出ユニットが全ての翼 7 について振動応答を検出したら（ステップ S 17 で YES）、コントローラ 19 は、加振信号の周波数を選択範囲の上限から下限までの全ての周波数に設定して翼 7 の振動応答を検出したか否かを判定する（ステップ S 19）。設定していない周波数が残っている場合は（ステップ S 19 で NO）、コントローラ 19 は、加振信号の周波数を設定し直した後（ステップ S 21）、ステップ S 11 にリターンする。コントローラ 19 は、ステップ S 13 及びステップ S 15 の手順を、例えば、次のようにして繰り返し実行する。

[0052] 図 8 のグラフは、ブリスク 3 の振動特性図に Z Z E N F 図（Zig-Zag shaped Excitation line in the Nodal diameters versus Frequency diagram）を重ねて示す図である。ブリスク 3 の振動特性図は、ブリスク 3 の振動周波数とディスク 5 及び各翼 7 に発生する振動の節直径数との関係を示している。図中の 1 F ～ 3 F のグラフは、各翼 7 の 1 ～ 3 次曲げ（1 F ～ 3 F）モードによる振動時の振動周波数と節直径数とを示している。図中の 1 T のグラフは、各翼 7 の 1 次ねじり振動（1 T）モードによる振動時の振動周波数と節直径数とを示している。Z Z E N F 図のジグザグのラインは、ある回転数での励振周波数を示している。

[0053] 図 8 のグラフでは、振動特性図のグラフと交差する Z Z E N F 図のジグザグのラインの傾きによって、各モードにおける振動が進行波によるものか後退波によるものかを確認することができる。

[0054] 縦軸に周波数、横軸に回転速度、斜軸に回転次数をとって、共振回転域を表すキャンベル線図と、図 8 のグラフとを併用することで、試験にて調査すべきモードを設計上で特定することができる。

[0055] なお、図 8 のブリスク 3 の振動特性図においてプロットしている固有振動数は、遠心力補正及び実機状態に応じた温度補正を行った後の値であるので、常温の静止状態において行う試験においては、対応するモードの周波数を

試験前に確認する必要がある。

[0056] まず、図8に示す例では、コントローラ19は、各翼7の1Fモードの振動において節直径数が第1の特定数となるときに周波数を、常温及び静止状態の周波数に換算し、共振曲線を取得可能な周波数範囲の進行波によって、各翼7を掃引加振する。このとき、各翼7の加振信号の位相差は、第1の特定数の節直径数に応じた位相差とする。つまり、節直径数は固定とする。

[0057] 次に、コントローラ19は、各翼7の1Tモードの振動において節直径数が第2の特定数となるときに周波数を、常温及び静止状態の周波数に換算し、共振曲線を取得可能な周波数範囲の後退波によって、各翼7を掃引加振する。

[0058] なお、各翼7の加振信号の位相差は、節直径数に応じた位相差とする。

[0059] このような、励振される可能性がある節直径数のモードで進行波及び後退波による掃引加振を繰り返すことで、コントローラ19は、加振信号の周波数を順次変えつつ、図7のステップS13及びステップS15の手順を繰り返し実行する。

[0060] 加振信号の周波数を全ての周波数に設定し終えた場合は（ステップS19でYES）、コントローラ19は、検出した各翼7の振動応答の振幅のピークを抽出する（ステップS23）。そして、コントローラ19は、抽出した各翼7の振幅のピークから、回転中のブリスク3に生じる振動に対する各翼7の応答の翼間比を検出する（ステップS25）。

[0061] ここで、コントローラ19の振動検出ユニットが検出するブリスク3の各翼7の振動応答について、図9を参照して説明する。図9のグラフでは、振動検出ユニットが各翼7毎にそれぞれ検出する翼7の振動応答を、加振信号の周波数毎の分布として示している。

[0062] 図9のグラフにおいて、幅方向軸は翼7の振動周波数、奥行き方向軸はブリスク3の回転方向における各翼7の配置番号、高さ方向軸は翼7の振幅のピークを示している。図9では、各翼7の振幅の分布を一部の振動周波数帯についてのみ示している。

[0063] 図9に示すように、各翼7について検出される振動応答の振幅は、翼7毎に個別の振動周波数においてピークを迎えている。振幅がピークを迎える振動周波数は、各翼7の共振周波数であると考えられる。即ち、各翼7の固有振動数にはばらつきが存在する。各翼7の振幅のピークにもばらつきが存在する。

[0064] 各翼7の振動応答は、ブリスク3の回転中を模擬してブリスク3の停止中に各翼7をそれぞれ振動させる加振用スピーカ11の加振信号と同じく、進み方向又は遅れ方向に順次位相をずらした進行波又は後退波である。このとき、各翼7に発生する振動のモードは、静止系のブリスク3に加える励振次数に応じた節直径数のモードとなる。

[0065] なお、各翼7の振動応答における振幅のピークは、振動周波数が同じであっても翼7毎にばらついている。コントローラ19は、振動検出ユニットが検出する翼7の振動応答をブリスク3の全周に亘って解析し、各振動周波数に対する各翼7の振動のピークを翼7間で比較する。各翼7の振動及び位相は、例えば、ロックインアンプを用いて計測することができる。

[0066] 以上で、コントローラ19は、ブリスク3の加振に対する各翼7の応答の翼間比を検出する一連の手順を終了する。以上の説明からも明らかなように、コントローラ19は、各加振用スピーカ11による加振中の各翼7にそれぞれ対応するレーザビームLB及び不図示の反射ビームから、各翼7の加振に対する振動応答を検出する応答検出部として機能する。また、コントローラ19は、各翼7の加振に対する応答によりブリスク3に発生した振動の節直径数を検出する節直径数検出部として機能する。

[0067] 以上に説明したように、本実施形態の振動検出装置1では、進み方向又は遅れ方向に位相を順次ずらした同一周波数及び振幅の進行波又は後退波による加振信号で、複数の加振用スピーカ11を鳴動させる。そして、各加振用スピーカ11に対向するブリスク3の各翼7に、ブリスク3の回転中を模擬した振動応答を発生させる。

[0068] 光路変更ユニット15による光路の変更で、レーザヘッド13からのレー

ザビームLBを各翼7に順次照射し、各翼7からの反射ビームをレーザヘッド13で受光する。そして、各翼7に照射したレーザビームLBに対する反射ビームのドップラシフト量から、コントローラ19により各翼7の振動速度及び振幅を検出し、さらに、各翼7の応答の翼間比を検出する。

[0069] このため、回転中のブリスク3を模擬した振動応答を各翼7に発生させて、レーザビームLBの照射によりその振動応答を検出し、回転中のブリスク3に生じる振動に対する各翼7の応答の翼間比を検出して、ブリスク3の振動を評価することができる。

[0070] 本実施形態では、各翼7の固有振動数が未知であることを前提として、加振用スピーカ11を鳴動させる際の加振信号の周波数を順次変えるものとした。しかし、各翼7の固有振動数が既知である場合は、各翼7の振動応答をそれぞれ検出する際に、各翼7の固有振動数に対応する共振周波数の加振信号で、各翼7に対応する加振用スピーカ11をそれぞれ鳴動させてもよい。その場合は、加振信号の周波数を変更する構成を省略することができる。

[0071] 本開示は、ブリスクが使用されるものであれば、低圧又は高圧圧縮機に限らず種々の物品において利用することができる。

[0072] 以上にいくつかの実施形態を説明したが、上記開示内容に基づいて実施形態の修正または変形をすることが可能である。上記実施形態のすべての構成要素、及び請求の範囲に記載されたすべての特徴は、それらが互いに矛盾しない限り、個々に抜き出して組み合わせてもよい。

[0073] 特願2021-157576号（出願日：2021年9月28日）の全内容は、ここに援用される。

符号の説明

- [0074]
- 1 振動検出装置
 - 3 ブリスク
 - 5 ディスク
 - 7 翼
 - 11 加振用スピーカ（加振部）

1 5 光路変更ユニット（光路変更部）

1 9 コントローラ（応答検出部、節直径数検出部）

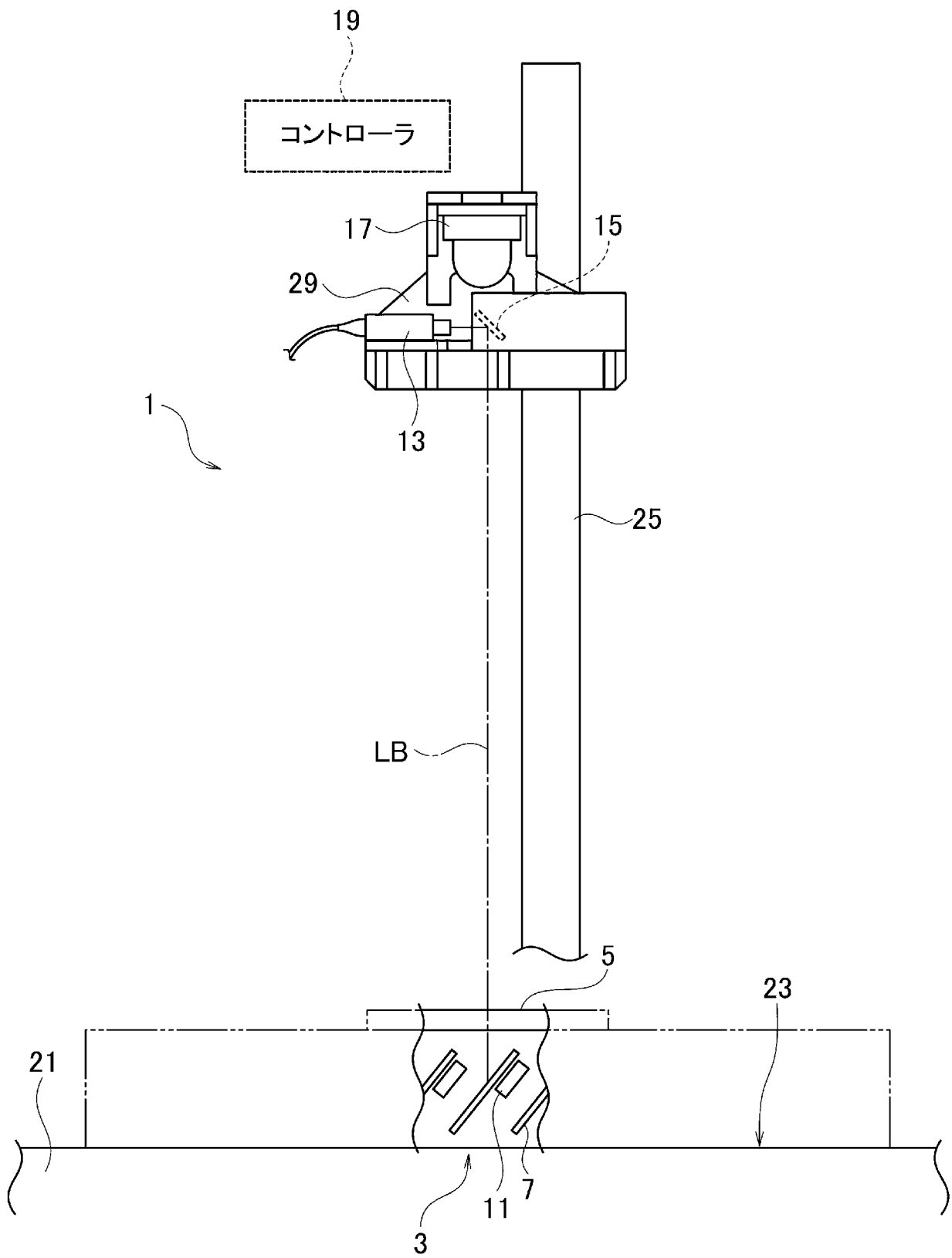
L B レーザビーム

請求の範囲

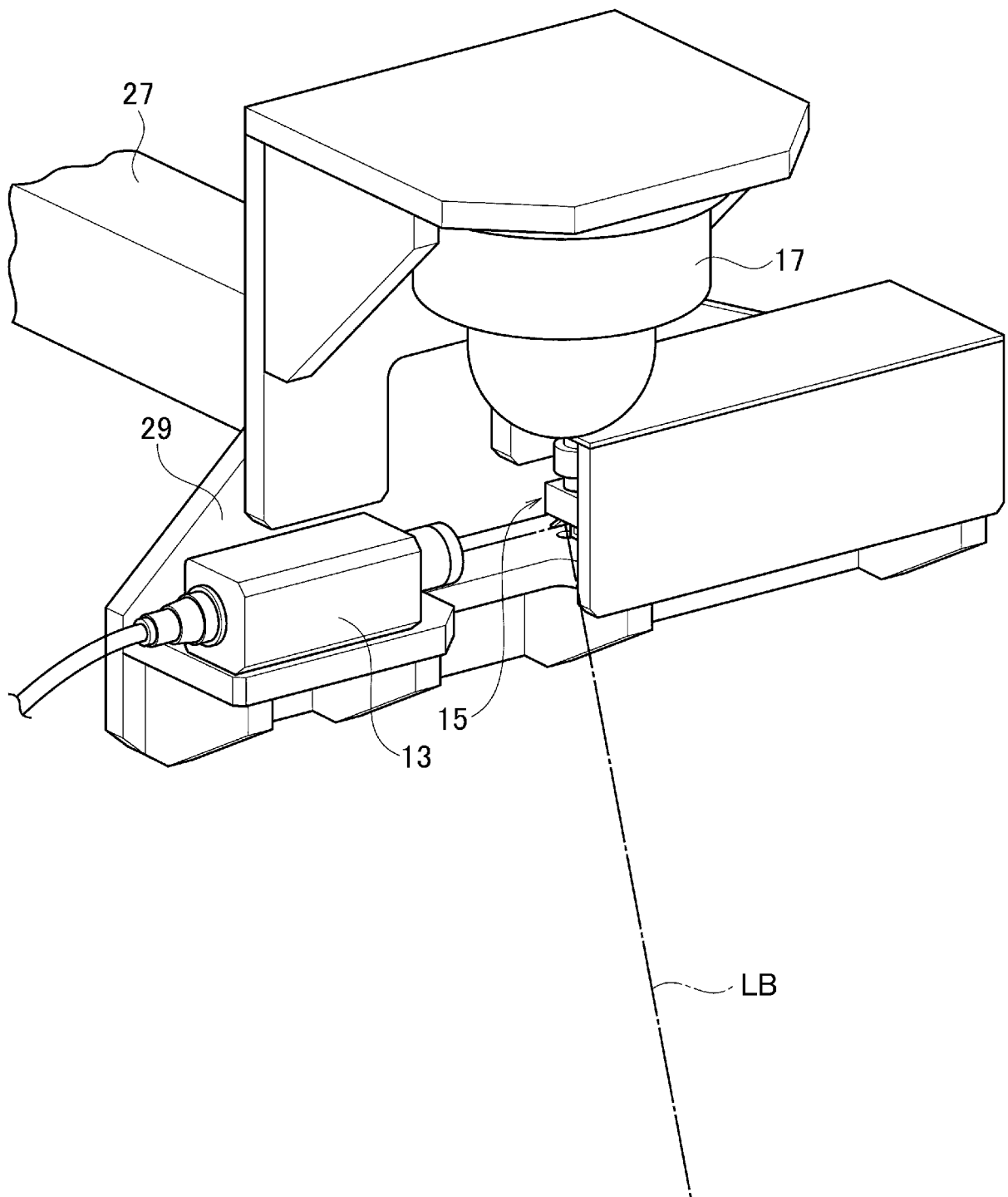
- [請求項1] ブリスクのディスクの外周に一体に形成された複数の翼を、進み方向又は遅れ方向に位相を順次ずらした進行波又は後退波による複数の加振信号によりそれぞれ加振する複数の加振部と、
- 前記複数の翼の振動検出用のレーザビームを出力し、前記レーザビームが照射された対象物からの反射ビームを受光するレーザ振動計と、
- 、
- 前記レーザビームの光路上に配置され、前記複数の翼のうち前記レーザビームの照射対象に指定された翼の振動検出位置に合わせて前記レーザビーム及び前記反射ビームの光路を変更する光路変更部と、
- 前記各加振部による加振中の前記各翼にそれぞれ対応する前記レーザビーム及び前記反射ビームから、前記各翼の加振に対する振動応答を検出するコントローラと、
- を備えたブリスクの振動検出装置。
- [請求項2] 前記各加振部は、前記加振信号の周波数を変更して対応する前記各翼をそれぞれ加振し、
- 前記コントローラは、前記加振信号の周波数毎に前記振動応答をそれぞれ検出する
- 請求項1に記載のブリスクの振動検出装置。
- [請求項3] 前記各加振部は、前記ブリスクの回転によって前記ブリスクの周囲の流体に生じる圧力変動を模擬する励振次数で、対応する前記各翼をそれぞれ加振する
- 請求項1に記載のブリスクの振動検出装置。
- [請求項4] 前記各加振部は、前記ブリスクの回転によって前記ブリスクの周囲の流体に生じる圧力変動を模擬する励振次数で、対応する前記各翼をそれぞれ加振する
- 請求項2に記載のブリスクの振動検出装置。
- [請求項5] 前記コントローラは、前記振動応答の振幅及び位相を検出し、検出

した前記各翼の前記振幅及び前記位相の分布を解析して、前記振動応答により前記ブリスクに発生した振動の節直径数を検出する
請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載のブリスクの振動検出装置。

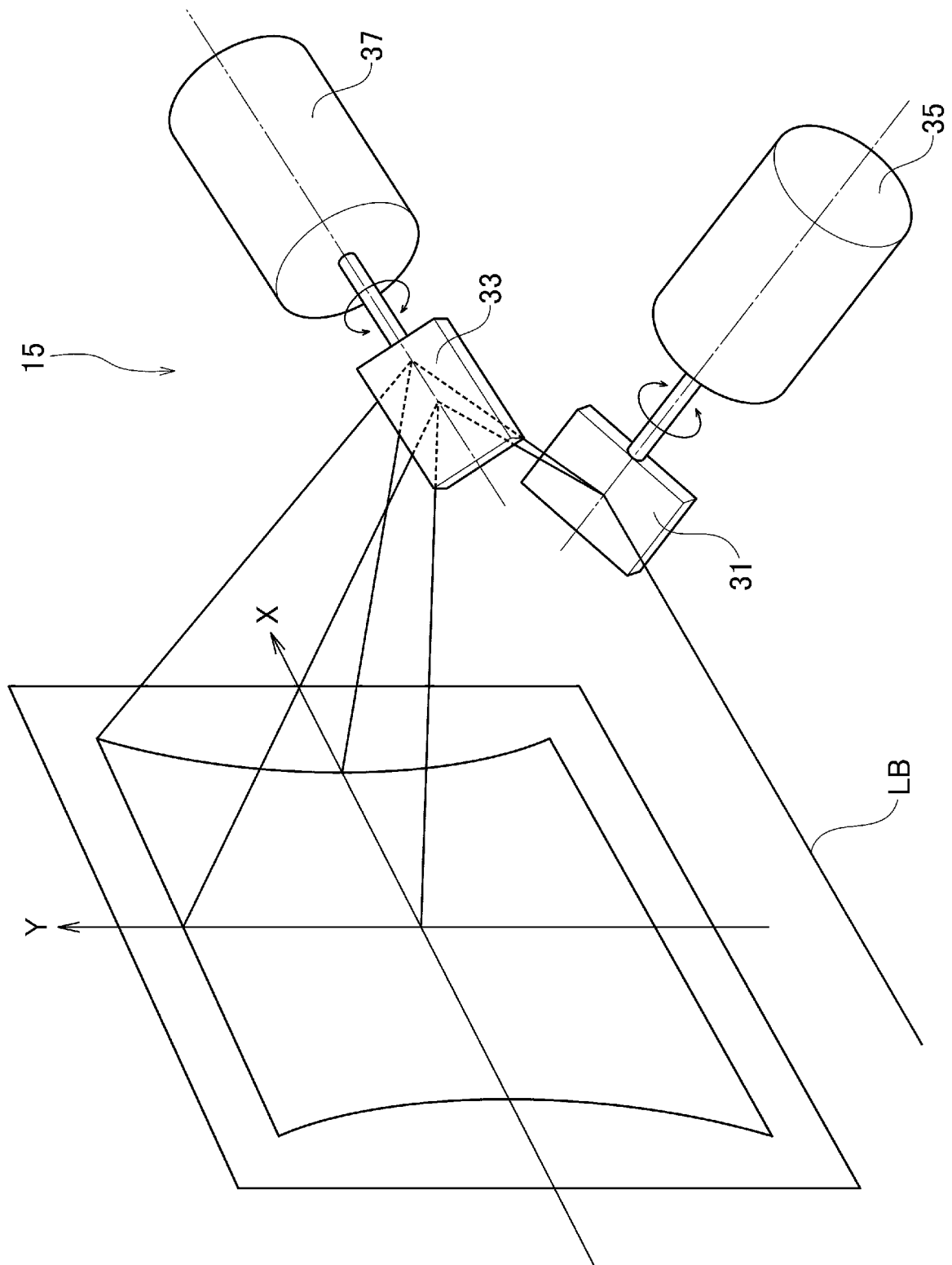
[図1]



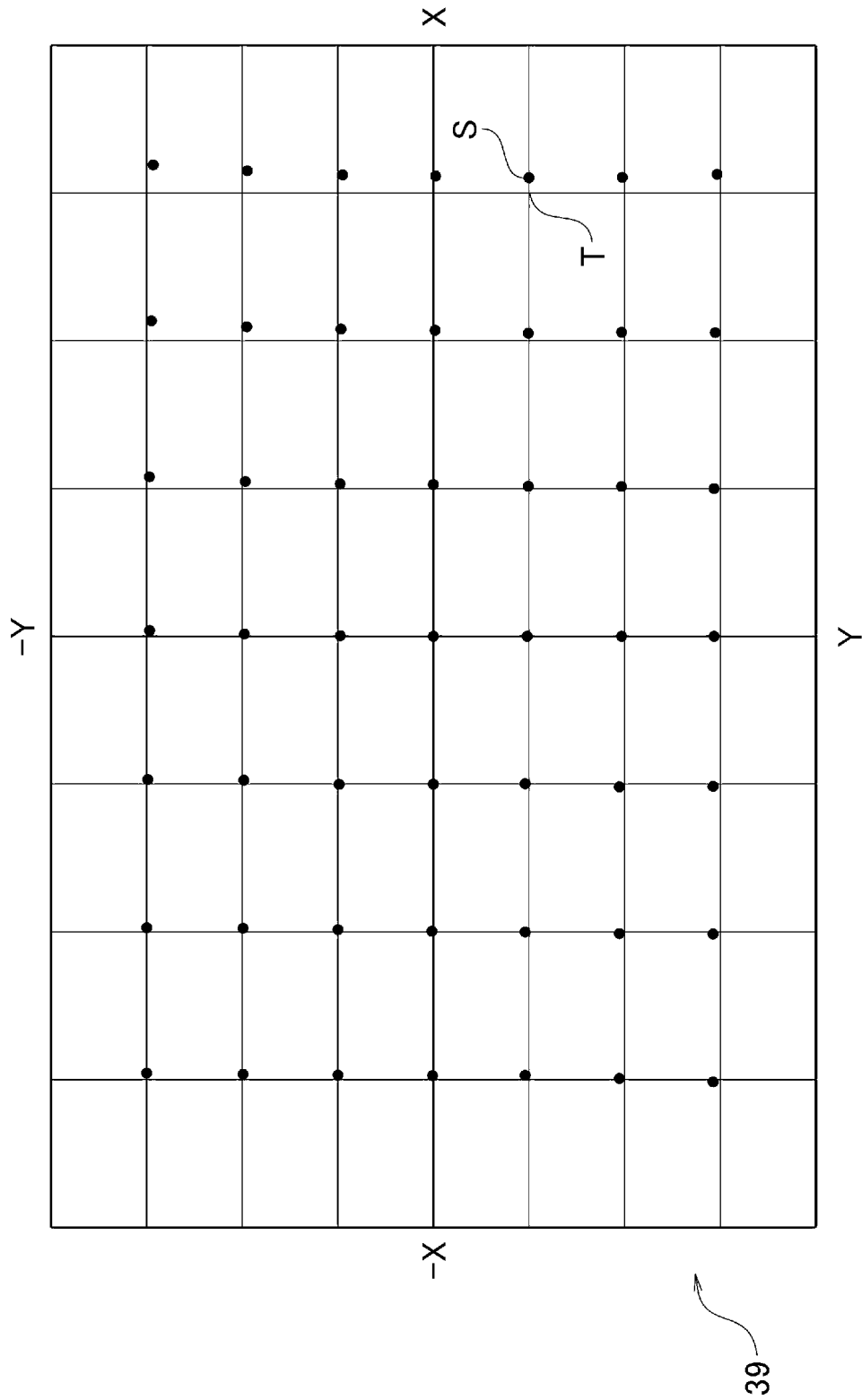
[図2]



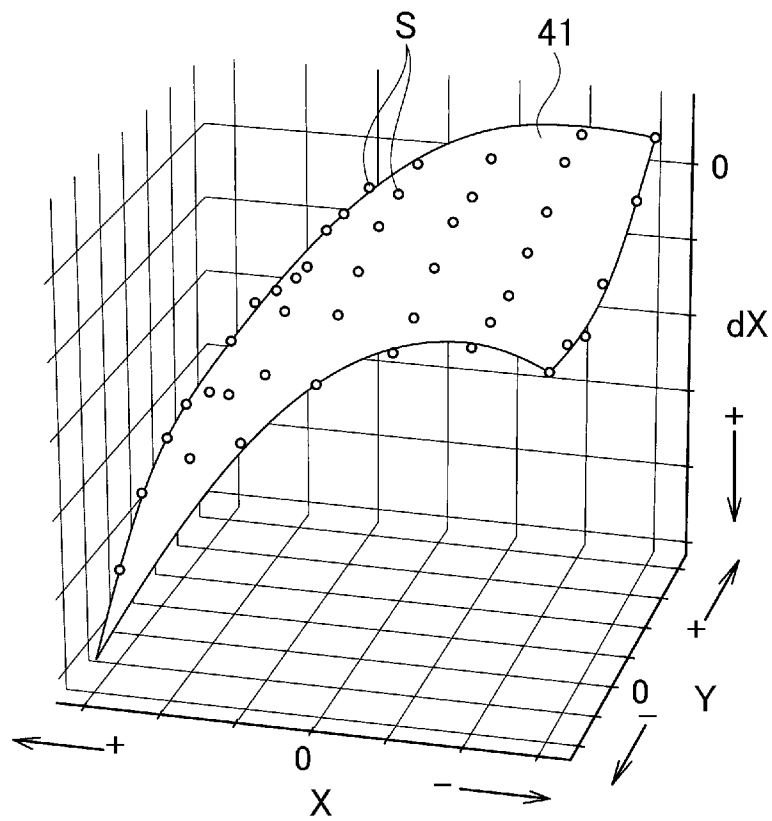
[図3]



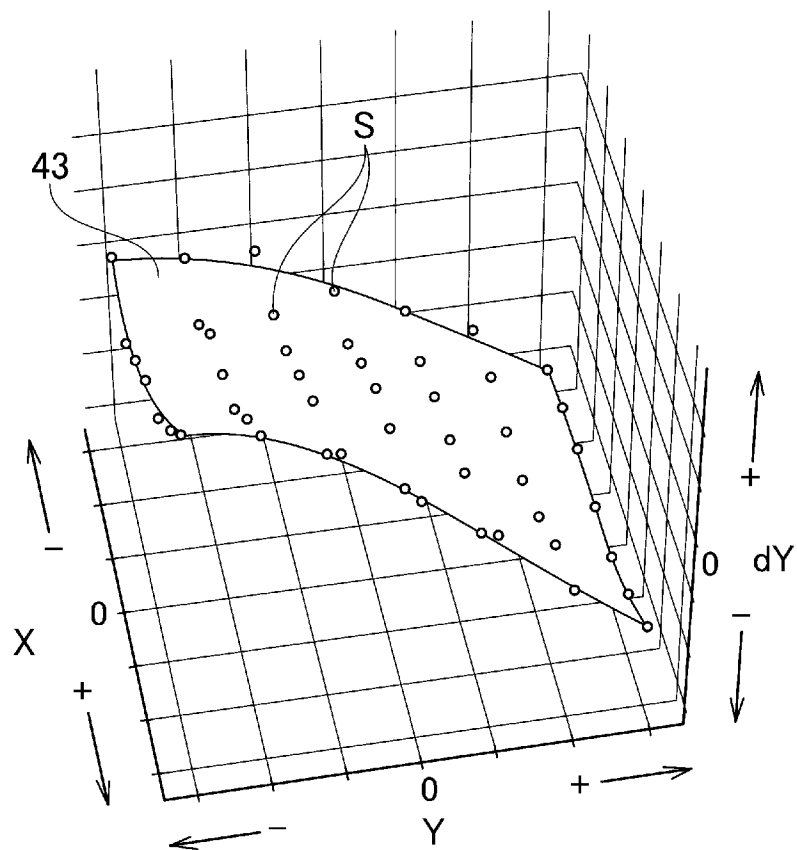
[図4]



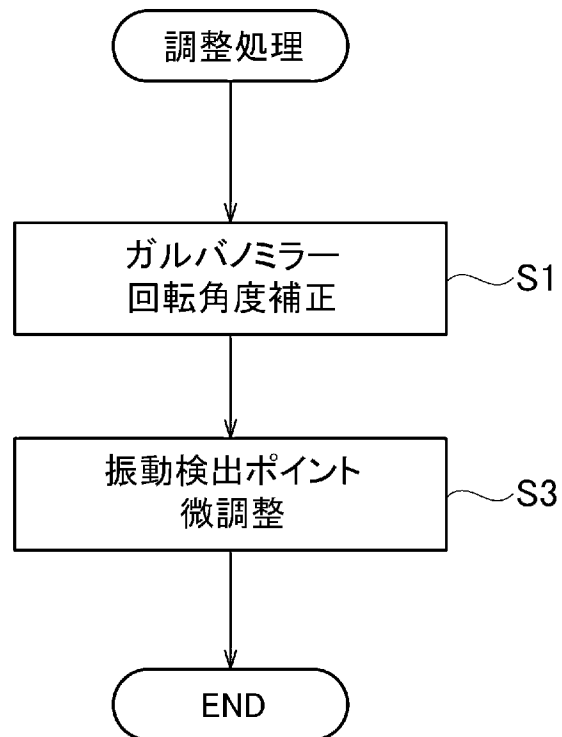
[図5A]



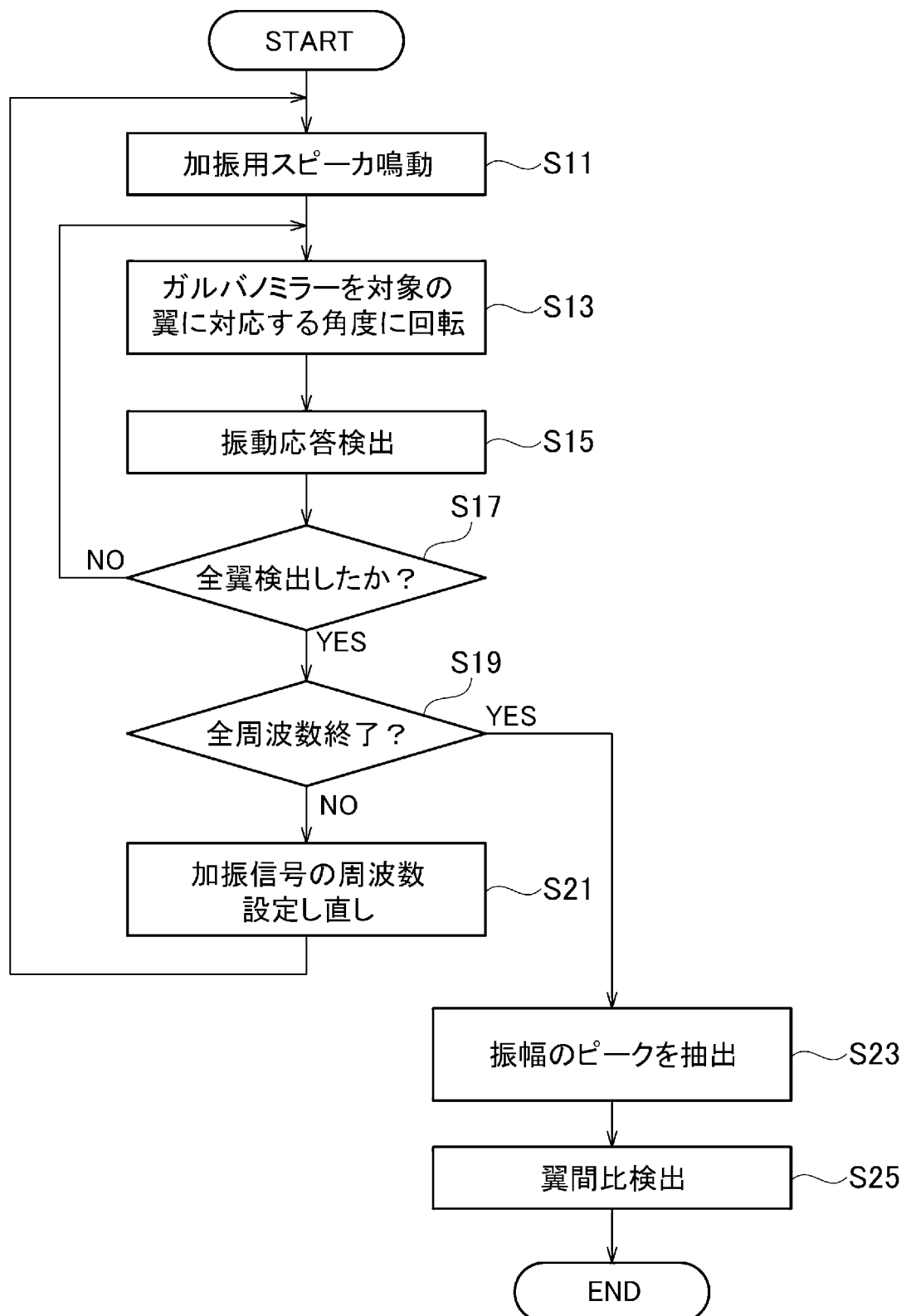
[図5B]



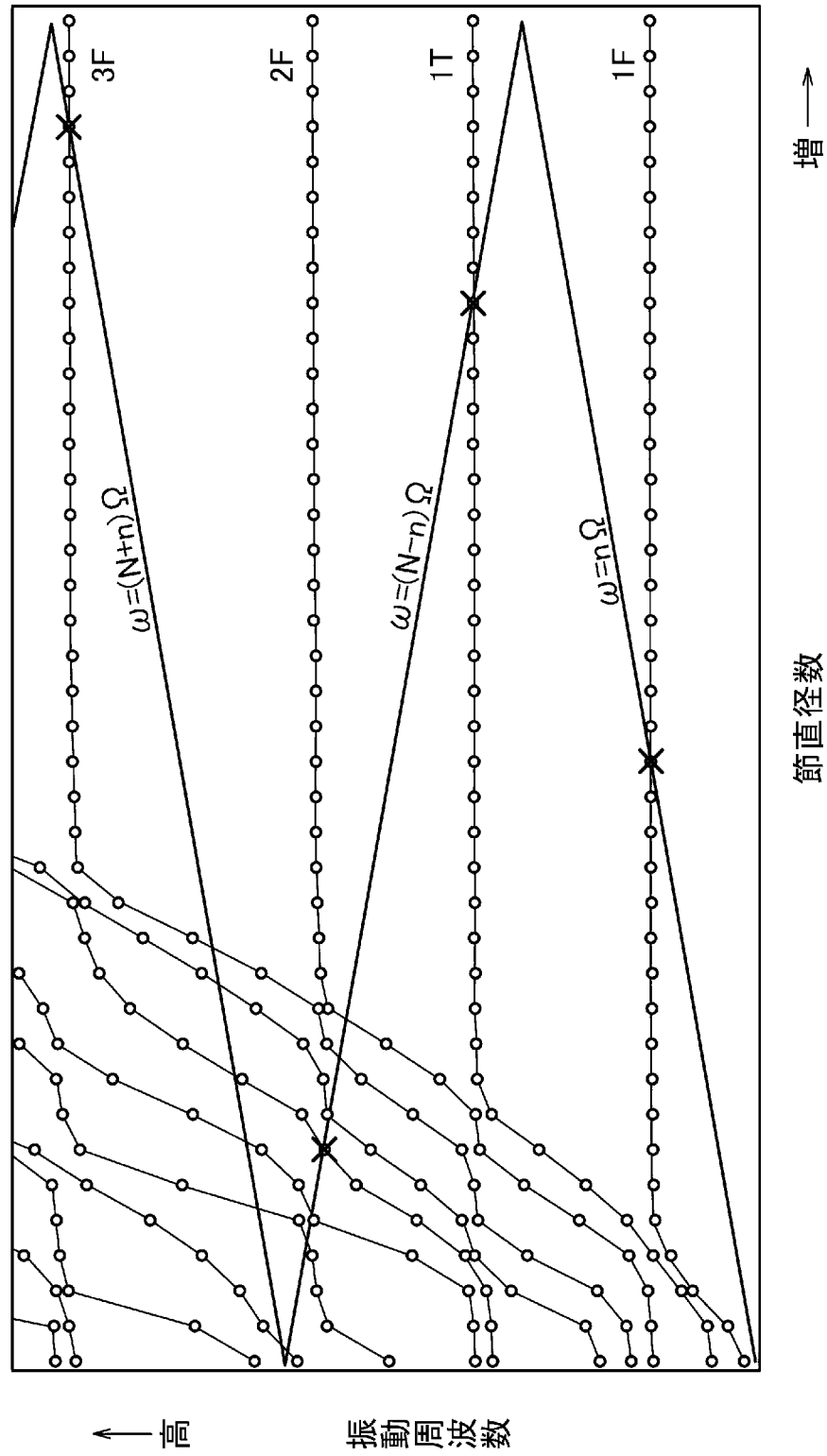
[図6]



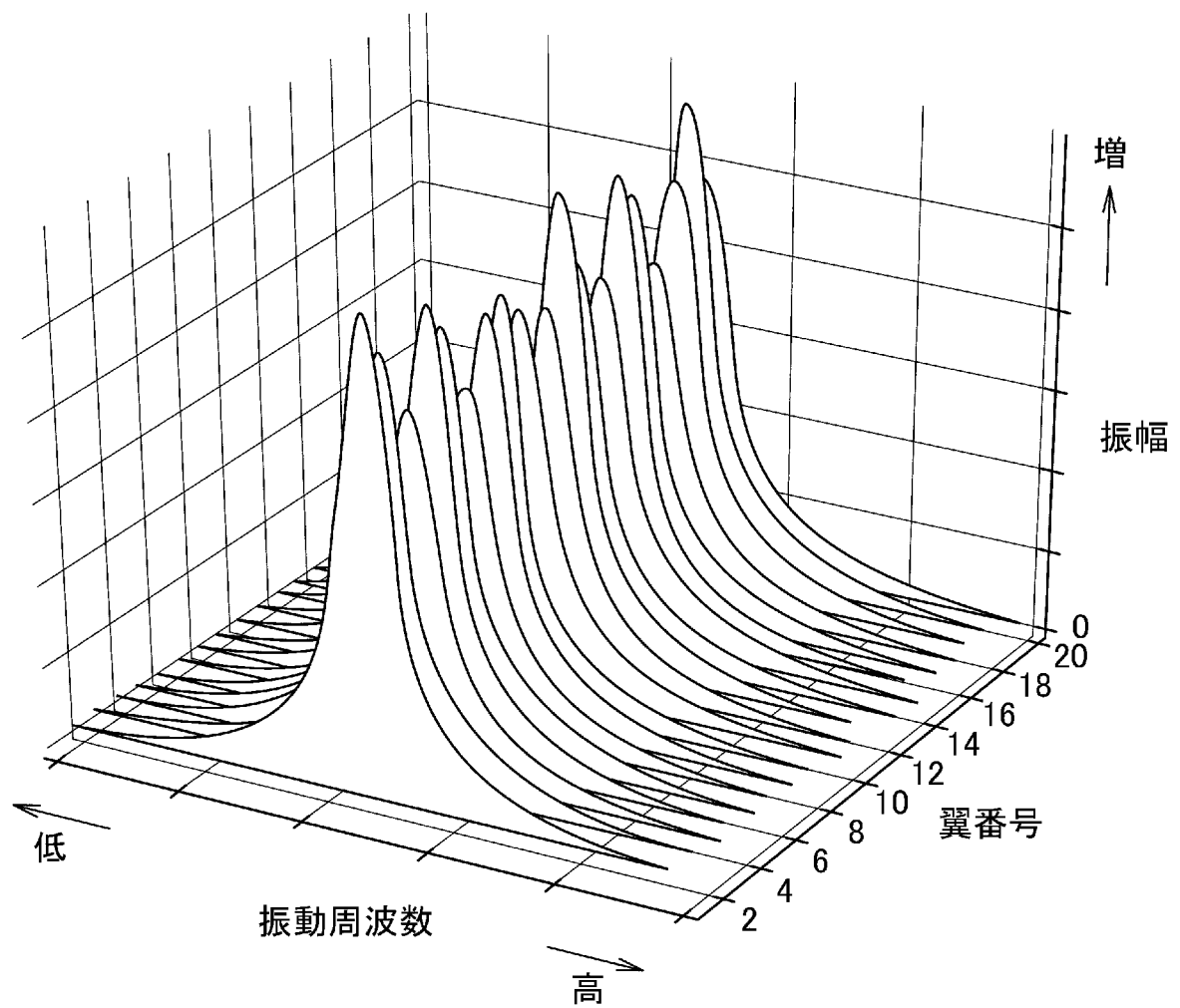
[図7]



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/035707

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G01M 7/02**(2006.01)i; **G01H 9/00**(2006.01)i

FI: G01M7/02 C; G01H9/00 B

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)

G01M7/02; G01H9/00

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 1971-2022

Registered utility model specifications of Japan 1996-2022

Published registered utility model applications of Japan 1994-2022

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.
Y	CN 111504585 A (DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 07 August 2020 (2020-08-07) paragraphs [0002]-[0004], [0014], [0051]-[0056]	1-5
Y	CN 208125268 U (NANJING CHAOS DATA TECH. CO., LTD.) 20 November 2018 (2018-11-20) paragraph [0028], fig. 2	1-5
Y	JP 2000-146772 A (HITACHI, LTD.) 26 May 2000 (2000-05-26) paragraphs [0009], [0021]-[0037]	3-5
A	JP 06-102106 A (ISHIKAWAJIMA HARIMA HEAVY IND. CO., LTD.) 15 April 1994 (1994-04-15) paragraph [0013]	1-5



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“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)

“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

“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

“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

“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

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

17 October 2022

Date of mailing of the international search report

01 November 2022

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)

3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915

Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2022/035707

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	111504585	A	07 August 2020	(Family: none)	
CN	208125268	U	20 November 2018	(Family: none)	
JP	2000-146772	A	26 May 2000	(Family: none)	
JP	06-102106	A	15 April 1994	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01M 7/02(2006.01)i; G01H 9/00(2006.01)i FI: G01M7/02 C; G01H9/00 B		
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）） G01M7/02; G01H9/00		
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 1971-2022年 日本国実用新案登録公報 1996-2022年 日本国登録実用新案公報 1994-2022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
Y	CN 111504585 A (DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 07.08.2020 (2020-08-07) [0002]-[0004];[0014];[0051]-[0056]	1-5
Y	CN 208125268 U (NANJING CHAOS DATA TECH CO LTD) 20.11.2018 (2018-11-20) [0028], [図2]	1-5
Y	JP 2000-146772 A (株式会社日立製作所) 26.05.2000 (2000-05-26) [0009];[0021]-[0037]	3-5
A	JP 06-102106 A (石川島播磨重工業株式会社) 15.04.1994 (1994-04-15) [0013]	1-5
☐ 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、一般的技术水準を示すもの “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抵触するものではなく、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 17.10.2022	国際調査報告の発送日 01.11.2022	
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 福田 裕司 2J 9109 電話番号 03-3581-1101 内線 3252	

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2022/035707

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
CN	111504585	A	07.08.2020	(ファミリーなし)	
CN	208125268	U	20.11.2018	(ファミリーなし)	
JP	2000-146772	A	26.05.2000	(ファミリーなし)	
JP	06-102106	A	15.04.1994	(ファミリーなし)	