

(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  
2021年2月18日(18.02.2021)



(10) 国際公開番号

WO 2021/029366 A1

(51) 国際特許分類:  
G01M 13/022 (2019.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2020/030395

(22) 国際出願日: 2020年8月7日(07.08.2020)

(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 2019-147561 2019年8月9日(09.08.2019) JP  
特願 2020-110679 2020年6月26日(26.06.2020) JP

(71) 出願人: 三木プーリ株式会社(MIKI PULLEY CO., LTD.) [JP/JP]; 〒2118577 神奈川県川崎市中原区今井南町10番41号 Kanagawa (JP). 国立大学法人神戸大

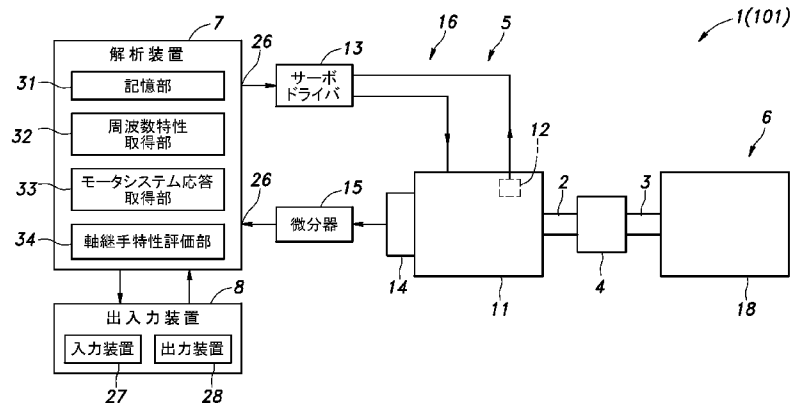
学(NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION KOBE UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒6578501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1 Hyogo (JP).

(72) 発明者: 佐藤 隆太(SATO Ryuta); 〒6578501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1 国立大学法人神戸大学内 Hyogo (JP). 谷山 誠(TANIYAMA Makoto); 〒6578501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1 国立大学法人神戸大学内 Hyogo (JP). 廣澤 雅晴(HIROSAWA Masaharu); 〒2118577 神奈川県川崎市中区今井南町10番41号 三木プーリ株式会社内 Kanagawa (JP). 里見 孝行(SATOMI Takayuki); 〒2118577 神奈川県川崎市中区今井南町10番41号 三木プーリ株式会社内 Kanagawa (JP). 佐々木 太一(SASAKI Taichi); 〒2118577 神奈川県

(54) Title: SHAFT COUPLING CHARACTERIZATION DEVICE AND CHARACTERIZATION METHOD

(54) 発明の名称: 軸継手の特性評価装置及び特性評価方法

【図1】



- 7 Analysis device
- 8 Input/output device
- 13 Servo driver
- 15 Differentiator
- 27 Input device
- 28 Output device
- 31 Storage unit
- 32 Frequency response acquisition unit
- 33 Motor system response acquisition unit
- 34 Shaft coupling characterization unit

(57) Abstract: This shaft coupling characterization device relates to characterization of a shaft coupling (4) that allows for adequate evaluation of characteristics of the shaft coupling by taking into account a delay in motor response. The shaft coupling characterization device comprises: a motor system (5) including a drive motor (11), a rotation angle sensor (14) for obtaining the rotation angle of a drive shaft, and a motor control unit (13) for controlling the drive motor on the basis of a given torque command Tref; a rotational load unit (18) connected to a driven shaft; and a processor capable

川崎市中原区今井南町 1 0 番 4 1 号 三木  
プーリ株式会社内 Kanagawa (JP).

(74) 代理人:特許業務法人 大島特許事務所(OSHIMA  
& PARTNERS); 〒1010051 東京都千代田区神  
田神保町 2 - 2 0 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, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,  
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,  
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, KE, KG, KH,  
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,  
MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, 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))

of outputting, to the motor control unit, the torque command to output a predetermined drive torque and calculating, on the basis of the rotation angle detected by the rotation angle sensor (14), frequency response of a gain in amplitude of an angular velocity  $\omega$  at a rotation angle for a torque amplitude corresponding to the torque command, wherein the processor calculates the characteristics of the shaft coupling (4) on the basis of the responsive characteristics of the motor system and the frequency response calculated with the shaft coupling connecting shafts.

(57) 要約: モータの応答の遅れを考慮した上で、軸継手の特性を適切に評価することのできる軸継手 (4) の特性評価に関するものであり、駆動用モータ (11)、駆動軸の回転角を取得する回転角センサ (14)、及び、与えられたトルク指令  $T_{ref}$  に基づいて、駆動用モータを制御するモータ制御部 (13) を含むモータシステム (5) と、従動軸に接続された回転負荷部 (18) と、所定の駆動トルクを出力するようにトルク指令をモータ制御部に出力するとともに、回転角センサ (14) によって検出される回転角に基づいて、トルク指令に対応するトルクの振幅に対する回転角の角速度  $\omega$  の振幅の利得の周波数特性を算出可能なプロセッサとを有し、プロセッサは、モータシステムの応答特性と、軸継手が両軸を接続する状態において算出された周波数特性とに基づいて、軸継手 (4) の特性を算出する。

## 明 細 書

**発明の名称：**軸継手の特性評価装置及び特性評価方法

### 技術分野

[0001] 本発明は、機械要素の特性評価を行うための特性評価装置及び特性評価方法であって、特に、2つの軸を連結する軸継手の特性評価装置及び特性評価方法に関する。

### 背景技術

[0002] 回転運動を直線運動に変換することによって搬送物体を直動方向に移動させる送り駆動機構（直動機構）を含み、搬送物体の位置決めを行う位置決め装置において、送り機構を特徴づける物理パラメータ同定法が公知である（例えば、特許文献1）。特許文献1では、位置決め装置の周波数特性を周波数特性分析器、サーボアナライザを使って計測し、計測結果から共振値と共振周波数を取得する。その後、取得した共振値と共振周波数とに基づいて、送り機構の固有角周波数、ダンピング係数、バネ定数、及び粘性摩擦抵抗が算出される（例えば、特許文献1）。

[0003] 送り駆動機構はモータの回転軸とボールねじの螺子軸とを連結する軸継手を含むものが多い。送り駆動機構に設けられる軸継手は二つの軸の心ずれや振れ回りを許容しつつ、モータのトルクをボールねじに伝達する機械要素であり、送り駆動機構の特性に大きな影響を及ぼすことが知られている（例えば、非特許文献1）。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0004] 特許文献1：特開平3－282717号公報

#### 非特許文献

[0005] 非特許文献1：長尾淳志、佐藤隆太、白瀬敬一、橋本武志、佐々木太一：軸継手及びボールねじが送り駆動系のねじり振動モードに及ぼす影響、2017年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集、（2017）、pp. 42

5-426.

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

[0006] 送り駆動機構の性能を向上させるためには、軸継手の特性をより精度よく評価することが重要である。そこで、特許文献1に基づいて、モータと負荷とを軸継手によって接続し、モータの駆動トルクを入力とし、モータの角速度を出力とする利得（ゲイン）の周波数特性を計測することが考えられる。得られた周波数特性を用いれば、共振値及び共振周波数を取得することができ、これにより、軸継手を特徴づける物理パラメータであるねじり剛性、及びねじり弾性係数を同定することができる。

[0007] しかし、発明者らはモータに駆動トルクを発生させるべくトルク指令を行った後、駆動トルクが発生するまでのモータシステムの応答特性によって、同定される物理パラメータの精度が低下するおそれがあることを見出した。

[0008] そこで、本発明は、このような従来技術の課題を鑑みて案出されたものであり、モータシステムの応答特性を考慮した上で、軸継手の特性を適切に評価することのできる軸継手の特性評価装置及び特性評価方法を提供することを主目的とする。

### 課題を解決するための手段

[0009] 本発明の第1の側面では、駆動軸（2）から従動軸（3）にトルクを伝達するべく、前記両軸を接続する軸継手（4）の特性評価を行う特性評価装置（1、101）であって、前記駆動軸に駆動トルクを付与する駆動用モータ（11）、前記駆動軸の回転角を取得する回転角センサ（14）、及び、与えられたトルク指令（ $T_{ref}$ ）に基づいて、前記トルク指令に応じたトルクを出力させるべく、前記駆動用モータを制御するモータ制御部（13）を含むモータシステム（5）と、前記従動軸に接続された回転負荷部（18）と、所定の前記駆動トルクを出力するように前記トルク指令を前記モータ制御部に出力するとともに、前記回転角センサによって検出される前記回転角に基づいて、前記トルク指令に対応するトルクの振幅に対する前記回転角の角速

度 ( $\omega$ ) の振幅の利得の周波数特性を算出可能なプロセッサ (21) とを有し、前記プロセッサは、前記モータシステムの応答特性と、前記軸継手が前記両軸を接続する状態において算出された前記周波数特性とに基づいて、前記軸継手の特性を算出することを特徴とする。

[0010] これによると、軸継手の特性の算出にモータシステムの応答特性が考慮されるため、軸継手の特性をより適切に評価することができる。

[0011] 本発明の第2の側面では、前記プロセッサは、前記モータシステムの応答特性として、前記トルク指令によって前記駆動用モータが駆動し、前記駆動用モータから対応するトルクが発生するまでの伝達関数 ( $G^*(s)$ ) を用い、前記軸継手を接続した状態で前記周波数特性を取得し、前記周波数特性から前記軸継手の共振周波数 ( $f_0$ )、及び、前記共振周波数における前記利得を取得し、前記共振周波数を用いて、前記軸継手のねじり剛性 ( $K_0$ ) を算出し、前記伝達関数、前記ねじり剛性、及び前記共振周波数における前記利得を用いて、前記軸継手の粘性係数 ( $c_0$ ) を算出することを特徴とする。

[0012] これによると、周波数特性を用いて、軸継手のねじり剛性を簡便に算出することができる。また、モータにトルク指令が与えられてから駆動軸にトルクが発生するまでの伝達関数を考慮した上で、軸継手の粘性係数を算出することができる。これにより、モータシステムの応答特性を考慮した上で粘性係数が算出されるため、算出される粘性係数の精度が向上する。

[0013] 本発明の第3の側面では、前記プロセッサは、前記共振周波数における前記利得を、前記伝達関数を用いて、前記伝達関数が1の場合の前記共振周波数における前記利得に対応する換算値に換算し、前記ねじり剛性と、前記換算値とを用いて、前記軸継手の粘性係数を算出することを特徴とする。

[0014] これによると、伝達関数を用いて共振周波数における利得を換算することによって、モータシステムの伝達関数が1の場合の利得に換算することができる。これにより、モータシステムの伝達関数が1の場合のモデルを用いて、軸継手の粘性係数を算出することができる。

[0015] 本発明の第4の側面では、前記プロセッサは、前記モータシステムの応答

特性を、前記両軸に前記軸継手が接続されていない状態で前記駆動用モータが駆動されたときの前記周波数特性によって取得することを特徴とする。

[0016] これによると、モータシステムの周波数特性を取得することによって、モータにトルク指令が与えられてから駆動軸にトルクが発生するまでの伝達関数を算出することができる。

[0017] 本発明の第5の側面では、駆動軸（2）から従動軸（3）にトルクを伝達するべく、前記両軸を接続する軸継手（4）の特性評価を行う軸継手の特性評価方法であって、前記駆動軸に駆動トルクを付与する駆動用モータ（11）、前記駆動軸の回転角を取得する回転角センサ（14）、及び、与えられたトルク指令（ $T_{ref}$ ）に基づいて、前記トルク指令に応じたトルクを出力させるべく、前記駆動用モータを制御するモータ制御部（13）を含むモータシステム（5）と、前記従動軸に接続された回転負荷部（18）と、所定の前記駆動トルクを出力するように前記トルク指令を前記モータ制御部に出力するとともに、前記回転角センサによって検出される前記回転角に基づいて、前記トルク指令に対応するトルクの振幅に対する前記回転角の角速度の振幅の利得の周波数特性を算出可能な特性評価装置（1）を用いて、前記軸継手が前記両軸を接続する状態において前記周波数特性を取得するステップ（ST5）と、取得された前記周波数特性、及び、前記モータシステムの応答特性に基づいて、前記軸継手の特性を算出するステップ（ST7、ST10）とを実行することを特徴とする。

[0018] これによると、軸継手の特性の算出にモータシステムの応答特性が考慮されるため、軸継手の特性をより適切に評価することができる。

[0019] 本発明の第6の側面では、前記軸継手を接続した状態で前記周波数特性を取得するステップ（ST5）と、前記周波数特性から前記軸継手の共振周波数（ $f_0$ ）、及び、前記共振周波数における前記利得を取得するステップ（ST6）と、前記共振周波数を用いて、前記軸継手のねじり剛性（ $K_0$ ）を算出するステップ（ST7）と、前記モータシステムの応答特性としての前記トルク指令によって前記駆動用モータが駆動し、前記駆動用モータから対応す

るトルクが発生するまでの伝達関数、前記ねじり剛性、及び前記共振周波数における前記利得を用いて、前記軸継手の粘性係数（ $c_c$ ）を算出するステップ（ST9、ST10）とを含むことを特徴とする。

[0020] これによると、周波数特性を用いて、軸継手のねじり剛性を簡便に算出することができる。また、モータにトルク指令が与えられてから駆動軸にトルクが発生するまでの伝達関数を考慮した上で、軸継手の粘性係数を算出することができる。これにより、モータシステムの応答特性を考慮した上で粘性係数が算出されるため、算出される粘性係数の精度が向上する。

[0021] 本発明の第7の側面では、前記軸継手の粘性係数を算出する前記ステップは、前記共振周波数における前記利得を、前記伝達関数（ $G^*(s)$ ）を用いて、前記伝達関数が1の場合の前記共振周波数における前記利得に対応する換算値（ $M_{f0}$ ）に換算するステップ（ST9）と、前記ねじり剛性と、前記換算値とを用いて、前記軸継手の粘性係数を算出するステップ（ST10）とを含むことを特徴とする。

[0022] これによると、伝達関数を用いて共振周波数における利得を換算することによって、モータシステムの伝達関数が1の場合の利得に換算することができる。これにより、モータシステムの伝達関数が1の場合のモデルを用いて、軸継手の粘性係数を算出することができる。

[0023] 本発明の第8の側面では、前記モータシステムの応答特性を、前記両軸に前記軸継手が接続されていない状態で前記駆動用モータが駆動されたときの前記周波数特性によって取得するステップを含むとよい。

[0024] これによると、モータシステムの周波数特性を取得することによって、モータにトルク指令が与えられてから駆動軸にトルクが発生するまでの伝達関数を算出することができる。

[0025] 本発明の第9の側面では、軸継手の特性評価装置（101）であって、前記プロセッサは、前記軸継手が前記両軸を接続する状態において2つ以上の振幅の前記駆動トルクを出力するように前記トルク指令を前記モータ制御部に出力して、それぞれの前記振幅に対応する前記周波数特性を算出し、前記

モータシステムの応答特性と、算出された前記周波数特性とに基づいて、前記振幅のそれぞれに対応する前記軸継手の特性を算出し、前記トルク指令の前記振幅、前記軸継手の共振周波数における前記駆動トルクの振幅、前記共振周波数における前記回転角の振幅、前記共振周波数における前記角速度の振幅の少なくともいずれか一つと前記軸継手の特性との関係を生じ出力するとよい。

[0026] これによると、軸継手の特性の、軸継手に加えられる駆動トルクの振幅依存性が出力される。これにより、利用者が軸継手の入力依存特性を適切に評価できるため、様々な運転状況下における振動特性の予測や適切な制御系の設計が可能になる。

[0027] 本発明の第10の側面では、前記プロセッサは、取得した前記周波数特性それぞれに対して、前記軸継手のねじり剛性を求め、前記トルク指令の前記振幅、前記共振周波数における前記駆動トルクの振幅、前記共振周波数における前記回転角の振幅、前記共振周波数における前記角速度の振幅の少なくともいずれか一つと、前記軸継手のねじり剛性との関係を生じ出力するとよい。

[0028] これによると、軸継手のねじり剛性の駆動トルクの振幅依存性が出力される。これにより、軸継手の入力依存性を適切に評価できる。また、ねじり剛性の振幅依存性が出力されるため、その内容が利用者にとって理解され易くなり、軸継手の特性評価装置の利便性が高められる。

[0029] 本発明の第11の側面では、前記プロセッサは、2つ以上の振幅の前記駆動トルクを生じ出力するように前記トルク指令を前記モータ制御部に出力して、それぞれの前記振幅に対応する前記周波数特性を取得し、取得した前記周波数特性それぞれに対して、前記軸継手の粘性係数を求め、前記トルク指令の前記振幅、前記共振周波数における前記駆動トルクの振幅、前記共振周波数における前記回転角の振幅、前記共振周波数における前記角速度の振幅の少なくともいずれか一つと、前記軸継手の粘性係数との関係を生じ出力するとよい。

[0030] これによると、軸継手の粘性係数の駆動トルクの振幅依存性が出力される



。これにより、軸継手の入力依存特性を適切に評価できる。また、粘性係数の振幅依存性が出力されるため、その内容が利用者にとって理解され易くなり、軸継手の特性評価装置の利便性が高められる。

[0031] 本発明の第12の側面では、軸継手の評価方法であって、前記軸継手が前記両軸を接続する状態で、2つ以上の振幅の前記駆動トルクを前記モータシステムに出力させて、それぞれの前記振幅に対応する前記周波数特性を取得するステップと、取得された前記周波数特性、及び、前記モータシステムの応答特性に基づいて、それぞれの前記振幅に対応する前記軸継手の特性を算出するステップとを実行するとよい。

[0032] これによると、軸継手の特性の、軸継手に加えられる駆動トルクの振幅依存性を評価することができる。これにより、様々な運転状況下における振動特性の予測や適切な制御系の設計が可能になる。

[0033] 本発明の第13の側面では、前記軸継手を接続した状態で、2つ以上の振幅の前記周波数特性を取得するステップと、それぞれの前記周波数特性から前記軸継手の共振周波数、及び、前記共振周波数における前記利得を取得するステップと、前記共振周波数を用いて、それぞれの前記振幅に対応する前記軸継手のねじり剛性を算出するステップと、前記トルク指令の前記振幅、前記共振周波数における前記駆動トルクの振幅、前記共振周波数における前記回転角の振幅、前記共振周波数における前記角速度の振幅の少なくともいずれか一つと、前記軸継手の前記ねじり剛性との関係を出力するステップとを含むとよい。

[0034] これによると、軸継手のねじり剛性の駆動トルクの振幅依存性が評価できる。これにより、様々な運転状況下における振動特性の予測や適切な制御系の設計が可能になり、利用者がその内容を理解し易くなる。

[0035] 本発明の第14の側面では、それぞれの前記振幅において、前記モータシステムの応答特性としての前記トルク指令によって前記駆動用モータが駆動し、前記駆動用モータから対応するトルクが発生するまでの伝達関数、前記ねじり剛性、及び前記共振周波数における前記利得を用いて、前記軸継手の

粘性係数を算出するステップと、前記トルク指令の前記振幅、前記共振周波数における前記駆動トルクの振幅、前記共振周波数における前記回転角の振幅、前記共振周波数における前記角速度の振幅の少なくともいずれか一つと、前記軸継手の粘性係数との関係を入力するステップとを含むとよい。

[0036] これによると、軸継手の粘性係数の駆動トルクの振幅依存性が評価できる。これにより、様々な運転状況下における振動特性の予測や適切な制御系の設計が可能になり、利用者がその内容を理解し易くなる。

### 発明の効果

[0037] このように本発明によれば、モータシステムの応答特性を考慮した上で、軸継手の特性を適切に評価することのできる軸継手の特性評価装置及び特性評価方法を提供することが可能となる。

### 図面の簡単な説明

[0038] [図1]評価装置の機能ブロック、及び、軸継手によって駆動軸及び従動軸を接続したときの評価装置の状態を説明するための説明図

[図2]評価装置のハードウェア構成図

[図3]軸継手を外したときの評価装置の状態を説明するための説明図

[図4]軸継手を外した状態において取得される周波数特性を示す図

[図5]軸継手を外した状態を示すブロック線図

[図6]軸継手によって駆動軸及び従動軸を接続した状態で取得される周波数特性の例

[図7]2慣性系の振動モデルを示す図

[図8]軸継手によって駆動軸及び従動軸を接続した状態を示すブロック線図

[図9]第1実施形態に係る評価処理のフローチャート

[図10] (A) 軸継手Aによって駆動軸及び従動軸を接続した状態における周波数特性の測定結果（実線）、及び、モータシステムの応答特性を考慮した場合の計算結果（破線）とを示す図、(B) 軸継手Bによって駆動軸及び従動軸を接続した状態における周波数特性の測定結果（実線）、及び、モータシステムの応答特性を考慮した場合の計算結果（破線）とを示す図

[図11]軸継手 A によって駆動軸及び従動軸を接続した状態における周波数特性の測定結果（実線）と、モータシステムによる遅れを無視した場合の計算結果（破線）とを示す図

[図12]第2実施形態に係る評価処理のフローチャート

[図13]軸継手 A によって駆動軸及び従動軸を接続した状態において、トルク指令の振幅を（A）1.0 Nmにした場合、及び、（B）3.0 Nmにした場合の周波数特性を示すグラフ

[図14]軸継手 A によって駆動軸及び従動軸を接続した状態において、トルク指令の振幅を10通りに変えた場合の周波数特性から求めたトルク指令の振幅と（A）ねじり剛性、及び、（B）粘性係数との関係を表すグラフ

### 発明を実施するための形態

[0039] 以下、本発明の実施形態について図面を参照しながら説明する。

[0040] <<第1実施形態>>

本発明に係る評価装置1は、回転駆動する駆動軸2のトルクを従動軸3に伝達すべく、両軸を接続する軸継手4（カップリング）の特性を評価するための装置である。より具体的には、本発明に係る特性評価装置1によって、軸継手4の特性であるねじり剛性 $K$ 。[Nm/rad]、及び粘性係数 $c$ 。[Nm/(rad/s)]をそれぞれ定量的に評価することができる。

[0041] 図1に示すように、特性評価装置1は駆動軸2を備えたモータシステム5と、従動軸3を備えた従動装置6と、解析装置7と、出入力装置8とを有している。軸継手4の特性評価を行うときには、評価対象となる軸継手4は駆動軸2及び従動軸3を接続するように配置される。

[0042] モータシステム5は駆動用モータ11、電流センサ12、サーボドライバ13（モータ制御部）、及び回転角センサ14、及び微分器15を含む。

[0043] 駆動用モータ11は汎用のサーボモータであって、駆動軸2となる出力軸が略水平をなすように配置され、駆動軸2に駆動トルク $T_m$ を付与する。電流センサ12は駆動用モータ11に流れる電流（以下、駆動電流）の電流値を測定するセンサである。サーボドライバ13は駆動用モータ11に駆動電流

を供給し、解析装置 7 から入力されたトルク指令  $T_{ref}$  に対応するトルク（以下、指令トルク値）を駆動用モータ 11 に出力させるべく、駆動電流の電流値を制御して、駆動用モータ 11 を制御する。より詳細には、サーボドライバ 13 は、電流センサ 12 によって取得された電流値と、指令トルク値に対応する電流値との偏差が零となるように、駆動電流をフィードバック（帰還）制御する。すなわち、サーボドライバ 13、電流センサ 12、及び駆動用モータ 11 は電流ループ（フィードバックループ）を形成し、サーボドライバ 13、電流センサ 12、及び駆動用モータ 11 が協働することによって、トルクを制御量として、駆動軸 2 に制御量に対応する駆動トルク  $T_m$  を出力させるべく自動で駆動するサーボシステム 16（サーボ機構）として機能する。

- [0044] 回転角センサ 14 は駆動軸 2 の回転角を測定するためのいわゆるロータリーエンコーダであって、光学式、磁気式、及び静電容量式のいずれの検出素子を含むものであってもよい。
- [0045] 微分器 15 は、回転角センサ 14 と解析装置 7 とに接続されている。微分器 15 は回転角センサ 14 から駆動軸 2 の回転角を取得して、回転角を時間微分して角速度  $\omega$  を算出し、解析装置 7 に出力する。
- [0046] 従動装置 6 は従動軸 3 に加えて、従動軸 3 に接続され、従動軸 3 の回転運動に負荷を与える回転負荷部 18 を含む。回転負荷部 18 は所定の慣性モーメントを有する円盤等によって構成されていてもよい。また、回転負荷部 18 は駆動用モータ 11 と略同形、又は、大きさの異なるモータによって構成されていてもよい。このとき、モータの出力軸を従動軸 3 に固定するとよい。従動装置 6 自体を駆動用モータ 11 と略同形、又は、大きさの異なるモータによって構成してもよい。モータを従動装置 6 して用いるときには、出力軸を従動軸 3 として用いるとよい。モータを回転負荷部 18 として用いる、又は、モータを従動装置 6 として用いると、モータにトルク、従動軸 3 の回転角、又は従動軸 3 の角速度等の指令を与えることによって、従動軸 3 に加わる負荷を変えることができる。これにより、負荷状態を変えた軸継手 4 の

特性試験を行うことができる。

- [0047] 解析装置 7 はサーボドライバ 13 にトルク指令  $T_{ref}$  を出力するとともに、駆動軸 2 の回転角、より具体的には微分器 15 によって算出される回転角の時間微分である角速度  $\omega$  に基づいて、軸継手 4 の特性を算出する装置である。図 2 に示すように、解析装置 7 は公知のハードウェアを備えたコンピュータによって構成され、所定のプログラムに基づく処理を実行する 1 以上のプロセッサ 21 と、処理に必要なデータ等を保持するメモリ 22 とを備える。メモリ 22 は、プロセッサ 21 のワークエリア等として機能する RAM 23 (Random Access Memory) と、プロセッサ 21 が実行するプログラムやデータ等を格納する ROM 24 (Read Only Memory) とを含む。本実施形態では、解析装置 7 は更に、HDD や SSD 等の記憶装置 25 と、周辺機器等を接続するための複数の出入力ポート 26 (図 1 参照) とを備えている。
- [0048] 出入力装置 8 はユーザから入力を受け付けるとともに、取得された軸継手 4 の特性をユーザに表示するための装置であって、出入力ポート 26 を介して解析装置 7 に接続されている。出入力装置 8 はユーザが解析装置 7 における各種設定に利用するキーボード及びマウス等の入力装置 27、及び解析結果を表示するための液晶モニタ等からなる出力装置 28 を含む。出入力装置 8 はモニタ及びキーボードを備えたコンピュータによって構成されていてもよい。
- [0049] サーボドライバ 13 もまた、出入力ポート 26 を介して解析装置 7 に接続されている。これにより、解析装置 7 及びサーボドライバ 13 は互いに通信可能となっており、例えば、解析装置 7 は出入力ポート 26 を介してサーボドライバ 13 にトルク指令  $T_{ref}$  を出力することができる。微分器 15 もまた、出入力ポート 26 を介して解析装置 7 に接続されている。これにより、解析装置 7 は微分器 15 に通信可能となっており、例えば、解析装置 7 は微分器 15 から駆動軸 2 の角速度  $\omega$  を取得することができる。
- [0050] 解析装置 7 は記憶部 31 と、周波数特性取得部 32 と、モータシステム応答取得部 33 と、軸継手特性評価部 34 とを備えている。周波数特性取得部

32と、モータシステム応答取得部33と、軸継手特性評価部34とはそれぞれ、軸継手4の特性を取得する評価プログラムをプロセッサ21が実行することによって実現されている。

[0051] 記憶部31はメモリ22によって実現され、適宜、周波数特性取得部32、モータシステム応答取得部33及び軸継手特性評価部34の処理に必要な情報を記憶する。更に、記憶部31は、駆動用モータ11のロータの慣性モーメント $J_m$ と、回転負荷部18の慣性モーメント $J_l$ を記憶している。但し、駆動用モータ11のロータの慣性モーメント $J_m$ 及び、回転負荷部18の慣性モーメント $J_l$ は、それらの設計仕様に基づいて正確な値が既知であるとする。

[0052] 周波数特性取得部32はサーボドライバ13に対して、周波数を変えながら所定振幅で振動するトルクを出力するようにトルク指令 $T_{ref}$ を出力する。同時に、周波数特性取得部32は微分器15から角速度 $\omega$ を取得する。次に、周波数特性取得部32はトルク指令 $T_{ref}$ によって指示したトルク、すなわち指令トルク値の振幅に対する角速度 $\omega$ の振幅比（以下、速度応答パラメータ $M$ ）を算出する。その後、式（1）を用いて速度応答パラメータ $M$ を利得（以下、ゲイン $G$ ）に換算する。

[0053] [数1]

$$G = 20 \log_{10} M \quad (1)$$

[0054] 周波数特性取得部32は周波数を所定範囲内で変化させてトルク指令 $T_{ref}$ を出力することによって、周波数とトルク指令 $T_{ref}$ に対応するトルクの振幅に対する回転角の角速度 $\omega$ の利得との関係を示す周波数特性（例えば、図4、図6を参照）を取得する。

[0055] 但し、周波数特性取得部32が出力するトルク指令 $T_{ref}$ は、例えば、駆動用モータ11にランダムに振幅が変化するトルクを駆動トルク $T_m$ として出力させるM系列信号であってもよく、また、パルス状に振幅が変化するトルクを駆動トルク $T_m$ として出力させるインパルス信号であってもよい。このとき、周波数特性取得部32はゲインの時間変化を取得した後、トルク指令 $T_{ref}$

に対応するトルクの時間変化、及びゲインの時間変化をフーリエ変換し、両者を用いて周波数と利得との関係を示す周波数特性を取得するとよい。

[0056] モータシステム応答取得部33は、図3に示すように軸継手4が接続されていない状態で周波数特性取得部32が駆動用モータ11を駆動させて周波数特性（図4参照）を取得し、取得した周波数特性からモータシステム5の応答特性を同定する。

[0057] より具体的には、モータシステム応答取得部33は、軸継手4が接続されていない状態で取得された周波数特性と、軸継手4が接続されていない状態に対応するブロック線図（例えば、図5）に基づいて計算される周波数特性とが一致するように、応答帯域 $w$ を同定する。軸継手4が接続されていない状態で取得された周波数特性とブロック線図により計算される周波数特性とを一致させる方法として、最小二乗法や数値的な解の探索など公知の様々な方法を用いることができる。

[0058] ここでいう応答帯域 $w$ とはいわゆる遮断周波数を角速度 $\omega$ に換算したのに対応し、モータの応答特性に係るパラメータの一つである。本実施形態では、応答帯域 $w$ はモータシステム5の応答特性を一次遅れ系の伝達関数 $G^*(s)$ として表現した場合のパラメータに対応する。サーボドライバ13にトルク指令 $T_{ref}$ が入った後、駆動軸2に駆動トルク $T_m$ が発生するまでには所定の遅れが生じる。そのため、例えば、サーボドライバ13に周波数（すなわち角速度 $\omega$ ）を上昇させながら正弦波状に振動するトルクを発生させるべくトルク指令 $T_{ref}$ が入力されると、モータが概ね遮断周波数以上でトルク指令 $T_{ref}$ に追従し難くなり、駆動軸2に実際に出力される駆動トルク $T_m$ の大きさがトルク指令 $T_{ref}$ によって駆動軸2に出力されるべきトルクよりも小さくなる。但し、応答帯域 $w$ はモータシステム5の応答特性を高次の伝達関数として表現した場合のパラメータであってもよい。

[0059] より詳細には、駆動用モータ11に角速度 $\omega$ で振動するトルク指令 $T_{ref}$ を与えたときに、駆動軸2に出力されるべきトルク（指令トルク値）の振幅の大きさに対する駆動軸2に実際に出力される駆動トルク $T_m$ の振幅の大きさの

比をデシベル単位で表したときに、その値が $-3\text{ dB}$ となる角速度 $\omega$ が応答帯域 $w$ である。応答帯域 $w$ の $2\pi$ 倍は遮断周波数に対応し、遮断周波数はトルク指令 $T_{ref}$ が与えられてから駆動軸2に駆動トルク $T_m$ が発生するまでの時間（以下、遅れ時間）の逆数に対応する。遮断周波数より小さい周波数帯域では、駆動トルク $T_m$ の振幅はトルク指令 $T_{ref}$ の振幅に概ね等しく、遮断周波数より大きい周波数帯域では、周波数が高くなるにつれて駆動トルク $T_m$ の振幅はトルク指令 $T_{ref}$ の振幅に比べてより小さくなる。換言すれば、応答帯域 $w$ は、モータシステム5がトルク指令 $T_{ref}$ に十分追従する角速度領域から、角速度 $\omega$ （すなわち、周波数）を上昇させていったときに、駆動トルク $T_m$ の振幅がトルク指令 $T_{ref}$ の振幅に比べて小さくなり、両者が乖離し始める角速度 $\omega$ に対応する。周波数特性取得部32は応答帯域 $w$ の同定が完了すると、応答帯域 $w$ を軸継手特性評価部34に出力する。

[0060] 軸継手特性評価部34は、モータシステム5の応答特性と、軸継手4が駆動軸2及び従動軸3を接続する状態において取得された周波数特性とに基づいて、軸継手4の特性を算出する。

[0061] 具体的には、軸継手特性評価部34は、まず、軸継手4が駆動軸2及び従動軸3を接続する状態において取得された周波数特性から、図6に示すように、ゲイン $G$ のピークに対応する周波数を取得し、共振周波数 $f_0$ とする。更に、軸継手特性評価部34は、軸継手4が駆動軸2及び従動軸3を接続する状態において取得された周波数特性から共振周波数 $f_0$ におけるゲイン $G$ を取得し、共振周波数 $f_0$ におけるゲイン $\times G_{f_0}$ とする。

[0062] 次に、軸継手特性評価部34は共振周波数 $f_0$ を式（2）に代入することによって、ねじり剛性 $K_c$ を算出する。

[0063] [数2]

$$K_c = \frac{(2\pi f_0)^2 J_1 J_2}{(J_1 + J_2)} \quad (2)$$

[0064] 但し、式（2）における $J_1$ と $J_2$ はそれぞれ駆動用モータ11側と回転負荷部18側の慣性モーメント $[\text{kg m}^2]$ であり、 $J_1$ は駆動用モータ11の



ロータの慣性モーメント  $J_m$  と評価対象の軸継手 4 の慣性モーメントの半分  $J_c/2$  の和、 $J_2$  は回転負荷部 18 の慣性モーメント  $J_1$  と評価対象の軸継手 4 の慣性モーメントの半分  $J_c/2$  の和である。評価対象の軸継手 4 の慣性モーメント  $J_c$  は軸継手 4 の特性評価が行われる際に、ユーザから入力される。

[0065] 式 (2) は、以下に示す軸継手 4 で接続された駆動用モータ 11 と回転負荷部 18 とを図 7 に示す 2 慣性系の振動モデルとして考えた場合の共振周波数  $f_0$  を示す式 (3) を  $K_c$  について解いたものに対応する。

[0066] [数3]

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_c(J_1 + J_2)}{J_1 J_2}} \quad (3)$$

[0067] 次に、軸継手特性評価部 34 は、周波数特性に基づいて求められた共振周波数  $f_0$  におけるゲイン  $\exp G_{f_0}$  を式 (1) の左辺 (G) に代入し、速度応答パラメータ  $\exp M_{f_0}$  に変換する。

[0068] その後、軸継手特性評価部 34 は、共振周波数  $f_0$  における速度応答パラメータ  $\exp M_{f_0}$  を、算出されたねじり剛性  $K_c$ 、応答帯域  $w$ 、及び、慣性モーメント  $J_1$ 、 $J_2$  を用いて、以下の式 (4) に基づいて、換算速度応答パラメータ  $M_f$ 。(換算値) に換算する。換算速度応答パラメータ  $M_f$  は、共振周波数  $f_0$  における応答帯域  $w$  が無限大の極限 (遅れ時間が零の場合)、すなわちトルク指令  $T_{ref}$  から駆動トルク  $T_m$  までの伝達関数が 1 である場合の速度応答パラメータに相当する。

[0069] [数4]

$$M_{f_0} = \frac{\exp M_{f_0}}{M_{f_0w}} \quad (4)$$

[0070] 但し、式 (4) の  $M_{f_0w}$  は、共振周波数  $f_0$  において、トルク指令値の振幅の大きさに対する、モータシステム 5 を一次遅れ系として近似した場合に駆動軸 2 に発生すると予測されるトルクの振幅の大きさの比であり、以下の式 (5) を用いて算出される。

[0071]

[数5]

$$M_{f0w} = \frac{w}{\sqrt{(2\pi f_0)^2 + w^2}} = \frac{w}{\sqrt{\frac{K_c(J_1 + J_2)}{J_1 J_2} + w^2}} \quad (5)$$

[0072] 但し、 $M_{f0w}$ は式（４）には限定されず、モータシステム５をより高次な系として考慮することによって算出されたものであってもよい。

[0073] 次に、軸継手特性評価部３４は、ねじり剛性 $K_c$ 、換算速度応答パラメータ $M_{f0}$ 、及び、慣性モーメント $J_1$ 、 $J_2$ を用いて、以下の式（６）に基づいて、粘性係数 $c_c$ を算出する。

[0074] [数6]

$$c_c = \sqrt{\frac{K_c J_2^4}{K_c (J_1 + J_2)^4 M_{f0}^2 - J_1 J_2 (J_1 + J_2)}} \quad (6)$$

[0075] なお、式（６）は、軸継手４によって駆動軸２及び従動軸３を接続した状態を図７の振動モデルによってモデル化してブロック線図（図８）として表現し、駆動用モータ１１が発生する駆動トルク $T_m$ から角速度 $\omega$ までの伝達関数 $G(s)$ を計算することによって求められる。但し、伝達関数 $G(s)$ は以下の式（７）で与えられる。

[0076] [数7]

$$G(s) = \frac{J_2 s^2 + C_c s + K_c}{J_1 J_2 s^3 + (J_1 + J_2) C_c s^2 + (J_1 + J_2) K_c s} \quad (7)$$

[0077] さらに、式（７）を用いて、共振周波数 $f_0$ における速度応答パラメータ $M_{f0}$ は式（８）のように表される。

[0078] [数8]

$$M_{f0} = \sqrt{\frac{\frac{(J_1 + J_2)^4}{J_1^4} K_c^4 c_c^2 + \frac{(J_1 + J_2)^5}{J_1^3 J_2^3} K_c^3 c_c^4}{\frac{(J_1 + J_2)^4}{J_1^2 J_2^2} K_c^2 c_c^2}} \quad (8)$$

[0079] 式（８）を粘性係数 $c_c$ について解くことによって、上述の式（６）が得られる。

[0080] 式（８）に示す速度応答パラメータ $M_{f0}$ は駆動用モータ１１が発生する駆動トルク $T_m$ から角速度 $\omega$ までの伝達関数 $G(s)$ の共振周波数 $f_0$ における速度応答パラメータである。しかし、図１及び図８に示すように、測定ではトルク指令 $T_{ref}$ を出力して角速度 $\omega$ を測定することによって周波数特性を取得しているから、トルク指令 $T_{ref}$ を出力してから、駆動用モータ１１から駆動トルク $T_m$ が発生するまでの遅れ、すなわちモータシステム５の遅れを考慮する必要がある。

[0081] モータシステム５を一次遅れ系として近似した場合の速度応答パラメータ $M_{f0all}$ は、式（９）で表すことができる。

[0082] [数9]

$$M_{f0all} = \frac{w}{\sqrt{\frac{K_c(J_1 + J_2)}{J_1 J_2} + w^2}} M_{f0} \equiv M_{f0w} M_{f0} \quad (9)$$

[0083] 但し、 $M_{f0w}$ は、トルク指令 $T_{ref}$ によって駆動用モータ１１が駆動し、駆動用モータ１１から対応する駆動トルク $T_m$ が発生するまでの伝達関数 $G^*(s)$ を導くことによって算出される。モータシステム５を一次遅れ系として近似した場合には、伝達関数 $G^*(s)$ は以下の式（１０）で与えられる。式（１０）に示すように、伝達関数 $G^*(s)$ は応答帯域 $w$ をパラメータとして含む。

[0084] [数10]

$$G^*(s) = \frac{s}{s + w} \quad (10)$$

[0085] モータシステム５が一次遅れ系として近似できる場合には、測定される速度応答パラメータ $^{exp}M_{f0}$ が $M_{f0all}$ に等しくなる（式（１１））。

[0086] [数11]

$$^{exp}M_{f0} = M_{f0all} \quad (11)$$

[0087] モータシステム５が一次遅れ系として近似できる場合には、式（１１）を式（９）に代入することで、測定された速度応答パラメータ $^{exp}M_{f0}$ を応答帯域 $w$ が無限大の極限（遅れ時間が零の場合）、すなわちトルク指令 $T_{ref}$ から

駆動トルク  $T_m$  までの伝達関数が 1 である場合の速度応答パラメータ  $M_{f0}$  に換算することができる。式 (9) 及び式 (11) から理解できるように、式 (4) はその換算式に対応する。

[0088] 軸継手特性評価部 34 は、粘性係数  $c_o$  の算出が完了すると、軸継手特性評価部 34 はねじり剛性  $K_o$ 、及び粘性係数  $c_o$  を出力装置 28 に表示させる。

[0089] 軸継手 4 のねじり剛性  $K_o$  と粘性係数  $c_o$  とを取得するべく、出入力装置 8 にユーザが所定の入力を行うと、解析装置 7 のプロセッサ 21 は、軸継手 4 の評価方法を実施すべく評価プログラムを実行して、図 9 のフローチャートに示す評価処理を行う。以下では、図 9 を参照して、評価処理の詳細について説明する。但し、評価処理が開始されるときには、駆動軸 2 及び従動軸 3 のいずれにも軸継手 4 が接続されていないものとする。

[0090] 評価処理が開始されると、まず、周波数特性取得部 32 が周波数特性を取得する (ST1)。これにより、駆動軸 2 及び従動軸 3 に軸継手 4 が接続されていない状態で駆動用モータ 11 が駆動されて周波数特性が取得される。その後、モータシステム応答取得部 33 は駆動軸 2 及び従動軸 3 に軸継手 4 が接続されていない状態で取得された周波数特性を用いて、モータシステム 5 の応答特性を取得する (ST2)。より詳細には、モータシステム応答取得部 33 は、軸継手 4 が接続されていない状態で周波数特性から伝達関数  $G^*(s)$  に含まれるパラメータである応答帯域  $w$  を取得する。

[0091] 応答帯域  $w$  の取得が完了すると、プロセッサ 21 は出力装置 28 に軸継手 4 によって駆動軸 2 及び従動軸 3 を繋ぐように促す画面を表示させ、対応する軸継手 4 の評価対象の軸継手 4 の慣性モーメント  $J_o$  の入力の受付とを行う (ST3)。その後、プロセッサ 21 は、ユーザから入力装置 27 に軸継手 4 の慣性モーメント  $J_o$  の入力が行われたかを判定する (ST4)。入力が有った場合には、周波数特性取得部 32 は周波数特性を取得する (ST5)。これにより、軸継手 4 を接続した状態での周波数特性が取得される。入力が無い場合には、ユーザから入力装置 27 に軸継手 4 の接続が完了したことを示す入力があるまで待機する。

[0092] 軸継手4を接続した状態での周波数特性が取得されると、軸継手特性評価部34は、軸継手4を接続した状態での周波数特性から軸継手4の共振周波数 $f_0$ 、及び共振周波数 $f_0$ におけるゲイン（利得） $G_{f_0}$ を取得する（ST6）。

[0093] 次に、軸継手特性評価部34は共振周波数 $f_0$ を用いて、式（1）を用いて、軸継手4のねじり剛性 $K_0$ を算出する（ST7）。その後、軸継手特性評価部34は式（3）に基づいて、共振周波数 $f_0$ におけるゲイン $\times G_{f_0}$ から速度応答パラメータ $\times M_{f_0}$ を算出する（ST8）。更に、軸継手特性評価部34は応答帯域 $w$ を用いて、算出された速度応答パラメータ $\times M_{f_0}$ を速度応答パラメータに相当する換算速度応答パラメータ $M_f$ に換算する（ST9）。その後、軸継手特性評価部34は、ねじり剛性 $K_0$ 、及び換算速度応答パラメータ $M_f$ から、式（5）を用いて、軸継手4の粘性係数 $c_0$ を算出する。軸継手特性評価部34は、軸継手4の粘性係数 $c_0$ の算出が完了すると、算出されたねじり剛性 $K_0$ 及び粘性係数 $c_0$ を出力装置28に表示させる（ST10）。

[0094] ねじり剛性 $K_0$ 及び粘性係数 $c_0$ の表示が完了すると、プロセッサ21は評価処理を終える。

[0095] 次に、所定の軸継手Aを評価する場合を例に挙げて、本発明に係る特性評価装置1の動作について説明する。ユーザが評価処理を開始すると、まず、駆動軸2及び従動軸3に軸継手4が接続されていない状態での周波数特性が取得される（ST1）。図4には、このとき取得された周波数特性が実線で示されている。その後、モータシステム応答取得部33は取得された周波数特性に対して、軸継手4が接続されていない状態に対応するブロック線図に対応する伝達関数を最小二乗法によりフィティングして応答帯域 $w$ を算出し、伝達関数 $G^*(s)$ を取得する（ST2）。図4に示す周波数特性に対して、図5に示すブロック線図に基づいて算出される周波数特性に対応する伝達関数をフィティングすると、応答帯域 $w$ は $1200 \text{ rad/s}$ （遮断周波数で $\sim 191 \text{ Hz}$ ）と算出される。図4には、算出された応答帯域 $w$ を用いて

計算された周波数特性が破線で示されている。図4の破線で示されるように、軸継手4が接続されていない状態での周波数特性が理論的に算出された応答帯域 $w$ によって再現できていることから、モータシステム5が一次遅れ系として十分近似でき、且つ応答帯域 $w$ が精度よく算出されていると考えられる。また、図4では、測定されたゲイン $G$ が応答帯域 $w$ に対応する遮断周波数 $(w/2\pi)$ 近傍において緩やかに屈曲していることが確認できる。

[0096] その後、出力装置28に軸継手4を繋ぐように促す表示が行われ、軸継手4の慣性モーメント $J_c$ の入力受付が行われる(ST2)。ユーザが評価対象となる軸継手4を接続して、軸継手4の慣性モーメント $J_c$ を入力すると(ST4)、軸継手4が駆動軸2及び従動軸3を接続する状態において周波数特性が取得される(ST5)。図10(A)には軸継手Aが両軸を接続する状態での周波数特性の測定結果が示されている。

[0097] 次に、軸継手特性評価部34は、軸継手4が駆動軸2及び従動軸3を接続する状態において取得された周波数特性から共振周波数 $f_0$ 、及び共振周波数 $f_0$ におけるゲイン ${}^{exp}G_{f_0}$ を取得する(ST6)。その後、軸継手特性評価部34は共振周波数 $f_0$ を用いて軸継手4のねじり剛性 $K_c$ を算出し(ST7)、共振周波数 $f_0$ におけるゲイン ${}^{exp}G_{f_0}$ から速度応答パラメータ ${}^{exp}M_{f_0}$ を算出する(ST8)。更に、軸継手特性評価部34は、速度応答パラメータ ${}^{exp}M_{f_0}$ を応答帯域 $w$ を用いて、換算速度応答パラメータ $M_f$ に換算し(ST9)、その後、粘性係数 $c_c$ を算出する(ST10)。

[0098] 軸継手Aについては、図10(A)に示す周波数特性に基づいて、ねじり剛性 $K_c$ が $5026\text{ Nm/rad}$ 、粘性係数 $c_c$ が $0.0142\text{ Nm/(rad/s)}$ と算出される。算出が終わり、ねじり剛性 $K_c$ 及び粘性係数 $c_c$ が表示されると、評価処理が完了する。

[0099] 図10(B)には、軸継手Aとは異なる軸継手Bの特性を同様にして評価したときの周波数特性の測定結果が示されている。軸継手Bについては、図10(B)に示す周波数特性に基づいて、ねじり剛性 $K_c$ が $5026\text{ Nm/rad}$ 、粘性係数 $c_c$ が $0.0142\text{ Nm/(rad/s)}$ と算出される。

[0100] 応答帯域 $w$ は回転負荷や評価用の軸継手4によって影響を受けるものではないため、軸継手Aの特性を評価した後、軸継手Bの特性を評価するときには、評価処理のステップST3から実行してもよい。このように、一度決定された応答帯域 $w$ の値はそのまま他の軸継手4の試験に用いることができる。

[0101] 図10(A)及び(B)には、それぞれ算出されたねじり剛性 $K_c$ 及び粘性係数 $c_c$ を用いて計算された周波数特性が破線によって示されている。図10(A)及び(B)に示されるように、ねじり剛性 $K_c$ 及び粘性係数 $c_c$ を用いて計算される周波数特性と、測定によって得られた周波数特性(ステップST1において取得された周波数特性)とは、よい合致を示すことが理解できる。

[0102] 次に、本発明に係る特性評価装置1の効果について説明する。一般にモータシステム5には所定の応答特性があり、トルク指令 $T_{ref}$ が入力された場合に、瞬時にはトルク指令 $T_{ref}$ と一致する駆動トルク $T_m$ が駆動軸2に発生しない。一例として、トルク指令 $T_{ref}$ が入力された後、駆動トルク $T_m$ が発生するまでに所定の遅れがあり、駆動軸2に発生する駆動トルク $T_m$ がトルク指令 $T_{ref}$ に一致するまでに所定の時間(すなわち、遅れ時間)を要する場合は挙げられる。このような場合には、駆動軸2に発生する駆動トルク $T_m$ は特に遮断周波数以上の周波数において、トルク指令 $T_{ref}$ に対応するトルク(すなわち、仮にトルク指令 $T_{ref}$ から駆動トルク $T_m$ までの伝達関数が1であると想定した場合のトルク)に比べて小さくなる。すなわち、モータシステム5を用いて測定することによって取得されるゲインは、特に遮断周波数よりも高い周波数帯域において、モータシステム5の応答特性を考慮しないモデル、すなわち、トルク指令 $T_{ref}$ から駆動トルク $T_m$ までの伝達関数が1であり、トルク指令 $T_{ref}$ が入力された後、瞬時にトルク指令 $T_{ref}$ に一致する駆動トルク $T_m$ が発生するとするモデルに基づいて期待されるゲインよりも小さくなる。従って、軸継手4を繋いだ状態で測定された周波数特性に基づき、モータシステム5の応答特性を考慮しないモデルを用いて物理パラメータを算

出すると、算出された物理パラメータは軸継手4の本来の物理パラメータの値、すなわち真値とは異なるおそれがある。特に、図10(A)及び(B)に示されるように、共振周波数 $f_0$ が応答帯域 $w$ (191Hz)よりも大きい場合には、モータシステム5の応答特性を考慮しないモデルを用いて物理パラメータを算出すると、算出される物理パラメータと真値との乖離は大きくなると予測される。

[0103] モータシステム5の応答特性による物理パラメータの評価への影響を考察するため、軸継手Aを繋いだ状態で取得される周波数特性(図10(A)参照)に対して、モータシステム5の応答特性を無視して、ねじり剛性 $K_c$ 、及び粘性係数 $c_c$ を算出した。より具体的には、測定される速度応答パラメータ $e \times p M_{f0}$ を $M_{f0}$ と見做して、式(5)に代入することによって、ねじり剛性 $K_c$ 、及び粘性係数 $c_c$ を取得した。取得されたねじり剛性 $K_c$ 、及び粘性係数 $c_c$ はそれぞれ5026Nm/rad、0.0380Nm/(rad/s)となった。

[0104] 図11には、軸継手Aを繋いだ状態で取得される周波数特性を実線で、モータシステム5の応答特性を無視して取得されたねじり剛性 $K_c$ 、及び粘性係数 $c_c$ を用いて計算された周波数特性を二点鎖線でそれぞれ示した。図10(A)に示すように、測定された周波数特性(実線)と、計算された周波数特性(破線)とが、図10(A)の場合に比べて乖離していることが理解できる。すなわち、本発明に係る特性評価装置1では、図10(A)に示すように、計算(シミュレーション)によってより精度よく測定された周波数特性を再現できることから、同定される軸継手4の物理パラメータが真値により近いものであることが理解できる。すなわち、特性評価装置1を用いることによって、軸継手4の特性の算出にモータにトルク指令 $T_{ref}$ を行った後、駆動用モータ11によって駆動トルク $T_m$ が発生するまでの応答特性を考慮することが可能となり、軸継手4の特性をより適切に評価することができる。

[0105] このように、本発明による特性評価装置1(特性評価方法)を用いることで、軸継手4のねじり剛性 $K_c$ 及び粘性係数 $c_c$ を取得することができ、軸継



手4の特性の検査が可能となる。さらに、入力するトルク指令 $T_{ref}$ を変更し、駆動用モータ11から出力されるトルクの振幅を変えて評価を行うことで、軸継手4の特性が使用状態によってどのように変化するかを明らかにすることができる。また、特性評価装置1によって取得された軸継手4のねじり剛性 $K_c$ 及び粘性係数 $c_c$ を用いて、その軸継手4が組み込まれる機械装置の特性をより正確にシミュレーションすることができる。

[0106] また、一度決定された応答帯域 $w$ の値はそのまま他の軸継手4の試験に用いることができるため、軸継手4を交換するごとに応答帯域 $w$ を取得する必要がなく、複数の軸継手4の特性の評価をより迅速に行うことができる。

[0107] <<第2実施形態>>

第2実施形態に係る特性評価装置101は軸継手4のねじり剛性 $K_c$ のトルク指令 $T_{ref}$ の振幅に対する依存性と、軸継手4の粘性係数 $c_c$ のトルク指令 $T_{ref}$ の振幅に対する依存性とを取得する。振幅依存性を取得するため、第2実施形態に係る特性評価装置101のプロセッサ21は、第1実施形態に係る評価装置1とは異なる評価プログラムを実行し、第1実施形態とは異なる評価処理を行う。以下、図12を参照して、評価処理の詳細について説明する。但し、第1実施形態と同様に、評価処理が開始されるときには、駆動軸2及び従動軸3のいずれにも軸継手4が接続されていないものとする。

[0108] 評価処理が開始されると、プロセッサ21は、サーボドライバ13に出力指示を行うための複数のトルクの振幅の値の受付を行う(ST11)。このとき、出入力装置8に振幅の上限値及び下限値と、設定すべき振幅の値の数とが入力された場合には、プロセッサ21は上限値及び下限値の間をその値の数に基づいて分割することによって、出力指示を行うためのトルクの振幅の値を受け付けてもよい。

[0109] 次に、周波数特性取得部32は周波数を変えながら、サーボドライバ13に受け付けた振幅で振動するトルクを出力するようにトルク指令 $T_{ref}$ を出力し、それぞれの振幅における周波数特性を取得する(ST12)。これにより、駆動軸2及び従動軸3に軸継手4が接続されていない状態で駆動用モ-

タ 1 1 が駆動されて、それぞれの振幅における周波数特性が取得される。その後、モータシステム応答取得部 3 3 は駆動軸 2 及び従動軸 3 に軸継手 4 が接続されていない状態で取得された周波数特性を用いて、それぞれの振幅におけるモータシステム 5 の応答特性を取得する (S T 1 3)。より詳細には、モータシステム応答取得部 3 3 は、軸継手 4 が接続されていない状態で、それぞれの振幅の周波数特性から伝達関数  $G^*(s)$  に含まれるパラメータである応答帯域  $w$  を取得する。

[0110] 応答帯域  $w$  の取得が完了すると、プロセッサ 2 1 は出力装置 2 8 に軸継手 4 によって駆動軸 2 及び従動軸 3 を繋ぐように促す画面を表示させ、対応する軸継手 4 の評価対象の軸継手 4 の慣性モーメント  $J_c$  の入力を受付を行う (S T 1 4)。その後、プロセッサ 2 1 は、ユーザから入力装置 2 7 に軸継手 4 の慣性モーメント  $J_c$  の入力が行われたかを判定する (S T 1 5)。

[0111] 慣性モーメント  $J_c$  の入力があった場合には、周波数特性取得部 3 2 は周波数を変えながら、入力された振幅でそれぞれ振動するトルクを出力するようにトルク指令  $T_{ref}$  を出力し、それぞれの振幅における周波数特性を取得する (S T 1 6)。これにより、各振幅における軸継手 4 を接続した状態での周波数特性が取得される。入力が無い場合には、ユーザから入力装置 2 7 に軸継手 4 の接続が完了したことを示す入力があるまで待機する。

[0112] 軸継手 4 を接続した状態での入力された振幅の値それぞれの周波数特性が取得されると、軸継手特性評価部 3 4 は、軸継手 4 を接続した状態でのそれぞれの周波数特性から、それぞれの振幅に対する軸継手 4 の共振周波数  $f_0$ 、及び共振周波数  $f_0$  におけるゲイン (利得)  $G_{f_0}$  を取得する (S T 1 7)。

[0113] 次に、軸継手特性評価部 3 4 はそれぞれの振幅における共振周波数  $f_0$  と、式 (1) とを用いて、それぞれの振幅に対する軸継手 4 のねじり剛性  $K_c$  を算出する (S T 1 8)。その後、軸継手特性評価部 3 4 は式 (3) に基づいて、共振周波数  $f_0$  におけるゲイン  $^{exp}G_{f_0}$  から、それぞれの振幅に対する速度応答パラメータ  $^{exp}M_{f_0}$  を算出する (S T 1 9)。

[0114] 更に、軸継手特性評価部 3 4 は応答帯域  $w$  を用いて、それぞれの振幅にお

いて算出された速度応答パラメータ $\exp M_{f0}$ をそれぞれ、換算速度応答パラメータ $M_{f0}$ に換算する（ST20）。その後、軸継手特性評価部34は、それぞれの振幅におけるねじり剛性 $K_0$ 、及び換算速度応答パラメータ $M_{f0}$ から、式（5）を用いて、それぞれの振幅における軸継手4の粘性係数 $c_0$ を算出する（ST21）。軸継手特性評価部34は、軸継手4の粘性係数 $c_0$ の算出が完了すると、トルク指令 $T_{ref}$ の振幅とねじり剛性 $K_0$ との関係、及び、トルク指令 $T_{ref}$ の振幅と粘性係数 $c_0$ との関係と出力装置28に表示させる（ST22）。このとき、軸継手特性評価部34は、出入力装置8に、図13（A）及び（B）に示すように、ねじり剛性 $K_0$ 及び粘性係数 $c_0$ の、トルク指令 $T_{ref}$ の振幅に対する依存性をグラフによって図示するとよい。

[0115] ねじり剛性 $K_0$ 及び粘性係数 $c_0$ の振幅依存性の表示が完了すると、プロセッサ21は評価処理を終える。

[0116] 次に、このように構成した特性評価装置101の効果について説明する。本実施形態に係る軸継手4の特性評価装置101のプロセッサ21は、軸継手4が両軸を接続する状態において2つ以上の振幅の駆動トルク $T_m$ を出力するようにトルク指令 $T_{ref}$ をサーボドライバ13（モータ制御部）に出力して、それぞれの振幅に対応する周波数特性を算出する。モータシステム5の応答特性と、算出された周波数特性とに基づいて、振幅のそれぞれに対応する軸継手4の特性を算出する。より具体的には、プロセッサ21は、取得した周波数特性それぞれに対して、軸継手4のねじり剛性 $K_0$ と粘性係数 $c_0$ とを求め、振幅及び軸継手4のねじり剛性 $K_0$ の関係と、振幅及び軸継手4の粘性係数 $c_0$ の関係をグラフによって出力する。

[0117] 図13（A）ではトルク指令 $T_{ref}$ の振幅を1.0Nmにした場合と図13（B）では、3.0Nmにした場合とにおける、軸継手Aのゲインの周波数特性が示されている。図13（A）及び（B）では、トルク指令 $T_{ref}$ の振幅によって、周波数特性の測定結果には若干の差異が生じていることが理解できる。より具体的には、図13（A）及び（B）の三角形によって示されるように、トルク指令 $T_{ref}$ の振幅を3.0Nmとした場合のほうが、800H

z 付近の共振周波数  $f_0$  におけるゲインが小さくなっていることがわかる。トルク指令  $T_{ref}$  の振幅の設定を変えて周波数特性を測定し、その結果からトルク指令  $T_{ref}$  の振幅のそれぞれにおける軸継手 A のねじり剛性  $K_0$  と粘性係数  $c_0$  とを求めることで、トルク指令  $T_{ref}$  の振幅とねじり剛性  $K_0$  および粘性係数  $c_0$  との関係を評価することができる。

[0118] 図 14 (A) に、トルク指令  $T_{ref}$  の振幅を 10 通りに変えて軸継手 A のゲインの周波数特性を測定し、そこから各トルク振幅における軸継手 A のねじり剛性  $K_0$  と粘性係数  $c_0$  とを求め、横軸をトルク指令  $T_{ref}$  の振幅、縦軸をねじり剛性  $K_0$  とした場合と、図 14 (B) に、横軸をトルク指令  $T_{ref}$  の振幅、縦軸を粘性係数  $c_0$  とした場合とのグラフをそれぞれ示した。図 14 (A) 及び (B) では、より正確な値を取得するため、トルク指令  $T_{ref}$  で設定した振幅それぞれにおいて同じ測定を 5 回ずつ行っている。図 14 (A) 及び (B) 中の実線は、変化の傾向を表す近似曲線である。

[0119] 図 14 (A) 及び (B) から、軸継手 A においては、トルク指令  $T_{ref}$  の振幅が大きくなるとともに、ねじり剛性  $K_0$  は小さくなり、粘性係数  $c_0$  は大きくなる傾向があることがわかる。このように、トルク指令  $T_{ref}$  の振幅に対する変化の傾向を理解することによって、軸継手 4 の入力依存特性を適切に評価することができ、様々な運転状況下における振動特性の予測や、適切な制御系の設計が可能になる。

[0120] 本実施形態では、軸継手 4 のねじり剛性  $K_0$  のトルク指令  $T_{ref}$  の振幅依存性、及び、粘性係数  $c_0$  のトルク指令  $T_{ref}$  の振幅依存性が出力される。これにより、軸継手 4 の入力依存特性を適切に評価できる。また、軸継手 4 の特性のトルク指令  $T_{ref}$  の振幅依存性がねじり剛性  $K_0$  及び粘性係数  $c_0$  の振幅依存性として出力されるため、その内容が利用者にとって理解され易くなり、軸継手 4 の特性評価装置 101 の利便性が高められる。

[0121] 以上、本発明を特定の実施形態に基づいて説明したが、これらの実施形態はあくまでも例示であって、本発明はこれらの実施形態によって限定されるものではない。評価方法、及び評価プログラムの各構成要素は、必ずしも全

てが必須ではなく、少なくとも本発明の範囲を逸脱しない限りにおいて適宜取捨選択することが可能である。

[0122] 第2実施形態において、グラフの横軸はトルク指令 $T_{ref}$ の振幅であったが、この態様には、限定されない。グラフの横軸は、トルク指令 $T_{ref}$ の振幅、共振周波数 $f_0$ における駆動トルク $T_m$ の振幅、共振周波数 $f_0$ におけるモータ軸（駆動軸2）の回転角の振幅、共振周波数 $f_0$ におけるモータ軸（駆動軸2）の角速度 $\omega$ の振幅の少なくともいずれか一つであればよい。

[0123] 共振周波数 $f_0$ におけるモータ軸（駆動軸2）の回転角の振幅、又は、共振周波数 $f_0$ におけるモータ軸（駆動軸2）の角速度 $\omega$ の振幅を横軸とするときには、共振周波数 $f_0$ は測定対象となる軸継手について測定や設計等によって予め取得されたものであってもよく、また、所定のトルク指令 $T_{ref}$ の下で取得された周波数特性に基づいて取得されたものであってもよい。また、トルク指令 $T_{ref}$ それぞれにおいて取得された周波数特性を用いて、共振周波数 $f_0$ を求めて、その共振周波数 $f_0$ に対応する回転角の振幅や角速度 $\omega$ の振幅を横軸としてもよい。

[0124] トルク指令 $T_{ref}$ の振幅のそれぞれにおける周波数特性の測定は複数回行ってもよく、1回のみの測定でもよい。周波数特性の測定を複数回行った場合には、結果の繰返し性についてもあわせて評価することができる。

[0125] 上記第2実施形態では、ステップST12において、駆動軸2及び従動軸3に軸継手4が接続されていない状態において、入力されたトルク指令 $T_{ref}$ の振幅に対応する周波数特性が取得されていたが、この態様には限定されない。より具体的には、駆動軸2及び従動軸3に軸継手4が接続されていない状態における周波数特性のトルク指令 $T_{ref}$ の振幅による変化が小さい場合には、入力されたトルク指令 $T_{ref}$ の振幅に対応する周波数特性をそれぞれ、所定の一つの振幅において取得された周波数特性によって代用し、ステップST12以降の処理を行ってもよい。

[0126] 上記第2実施形態では、軸継手特性評価部34は、出入力装置8に、ねじり剛性 $K_0$ 及び粘性係数 $c_0$ の、トルク指令 $T_{ref}$ の振幅に対する依存性をグラ

フによって図示していたが、この態様には限定されない。軸継手特性評価部 34 は、出入力装置 8 に、トルク指令  $T_{ref}$  の振幅とねじり剛性  $K_c$  との関係、又は、トルク指令  $T_{ref}$  の振幅と粘性係数  $c_c$  との関係を、表や、関数等によって出力するものであってもよい。

### 符号の説明

|        |    |                     |
|--------|----|---------------------|
| [0127] | 1  | : 第 1 実施形態に係る特性評価装置 |
|        | 2  | : 駆動軸               |
|        | 3  | : 従動軸               |
|        | 4  | : 軸継手               |
|        | 5  | : モータシステム           |
|        | 6  | : 従動装置              |
|        | 7  | : 解析装置              |
|        | 8  | : 出入力装置             |
|        | 11 | : 駆動用モータ            |
|        | 12 | : 電流センサ             |
|        | 13 | : サーボドライバ（モータ制御部）   |
|        | 14 | : 回転角センサ            |
|        | 15 | : 微分器               |
|        | 16 | : サーボシステム           |
|        | 18 | : 回転負荷部             |
|        | 21 | : プロセッサ             |
|        | 22 | : メモリ               |
|        | 23 | : RAM               |
|        | 24 | : ROM               |
|        | 25 | : 記憶装置              |
|        | 26 | : 入力ポート             |
|        | 27 | : 入力装置              |
|        | 28 | : 出力装置              |

|           |                     |
|-----------|---------------------|
| 3 1       | : 記憶部               |
| 3 2       | : 周波数特性取得部          |
| 3 3       | : モータシステム応答取得部      |
| 3 4       | : 軸継手特性評価部          |
| 1 0 1     | : 第2実施形態に係る特性評価装置   |
| $G^* (s)$ | : 伝達関数              |
| $K_c$     | : ねじり剛性             |
| $M_{fo}$  | : 換算速度応答パラメータ (換算値) |
| $T_m$     | : 駆動トルク             |
| $c_c$     | : 粘性係数              |
| $f_o$     | : 共振周波数             |
| $w$       | : 応答帯域              |
| $\omega$  | : 角速度               |

## 請求の範囲

[請求項1] 駆動軸から従動軸にトルクを伝達するべく、前記両軸を接続する軸継手の特性評価を行う特性評価装置であって、

前記駆動軸に駆動トルクを付与する駆動用モータ、前記駆動軸の回転角を取得する回転角センサ、及び、与えられたトルク指令に基づいて、前記トルク指令に応じたトルクを出力させるべく、前記駆動用モータを制御するモータ制御部を含むモータシステムと、

前記従動軸に接続された回転負荷部と、

所定の前記駆動トルクを出力するように前記トルク指令を前記モータ制御部に出力するとともに、前記回転角センサによって検出される前記回転角に基づいて、前記トルク指令に対応するトルクの振幅に対する前記回転角の角速度の振幅の利得の周波数特性を算出可能なプロセッサとを有し、

前記プロセッサは、前記モータシステムの応答特性と、前記軸継手が前記両軸を接続する状態において算出された前記周波数特性とに基づいて、前記軸継手の特性を算出することを特徴とする軸継手の特性評価装置。

[請求項2] 前記プロセッサは、

前記モータシステムの応答特性として、前記トルク指令によって前記駆動用モータが駆動し、前記駆動用モータから対応するトルクが発生するまでの伝達関数を用い、

前記軸継手を接続した状態で前記周波数特性を取得し、

前記周波数特性から前記軸継手の共振周波数、及び、前記共振周波数における前記利得を取得し、

前記共振周波数を用いて、前記軸継手のねじり剛性を算出し、

前記伝達関数、前記ねじり剛性、及び前記共振周波数における前記利得を用いて、前記軸継手の粘性係数を算出することを特徴とする請求項1に記載の軸継手の特性評価装置。



[請求項3] 前記プロセッサは、

前記共振周波数における前記利得を、前記伝達関数を用いて、前記伝達関数が1の場合の前記共振周波数における前記利得に対応する換算値に換算し、

前記ねじり剛性と、前記換算値とを用いて、前記軸継手の粘性係数を算出することを特徴とする請求項2に記載の軸継手の特性評価装置。

[請求項4] 前記プロセッサは、前記モータシステムの応答特性を、前記両軸に前記軸継手が接続されていない状態で前記駆動用モータが駆動されたときの前記周波数特性によって取得することを特徴とする請求項1～請求項3のいずれか1つの項に記載の軸継手の特性評価装置。

[請求項5] 駆動軸から従動軸にトルクを伝達するべく、前記両軸を接続する軸継手の特性評価を行う軸継手の特性評価方法であって、

前記駆動軸に駆動トルクを付与する駆動用モータ、前記駆動軸の回転角を取得する回転角センサ、及び、与えられたトルク指令に基づいて、前記トルク指令に応じたトルクを出力させるべく、前記駆動用モータを制御するモータ制御部を含むモータシステムと、

前記従動軸に接続された回転負荷部と、

所定の前記駆動トルクを出力するように前記トルク指令を前記モータ制御部に出力するとともに、前記回転角センサによって検出される前記回転角に基づいて、前記トルク指令に対応するトルクの振幅に対する前記回転角の角速度の振幅の利得の周波数特性を算出可能な特性評価装置を用いて、

前記軸継手が前記両軸を接続する状態において前記周波数特性を取得するステップと、

取得された前記周波数特性、及び、前記モータシステムの応答特性に基づいて、前記軸継手の特性を算出するステップとを実行することを特徴とする軸継手の特性評価方法。

- [請求項6]           前記軸継手を接続した状態で前記周波数特性を取得するステップと、
- 、
- 前記周波数特性から前記軸継手の共振周波数、及び、前記共振周波数における前記利得を取得するステップと、
- 前記共振周波数を用いて、前記軸継手のねじり剛性を算出するステップと、
- 前記モータシステムの応答特性としての前記トルク指令によって前記駆動用モータが駆動し、前記駆動用モータから対応するトルクが発生するまでの伝達関数、前記ねじり剛性、及び前記共振周波数における前記利得を用いて、前記軸継手の粘性係数を算出するステップとを含むことを特徴とする請求項5に記載の軸継手の特性評価方法。
- [請求項7]           前記軸継手の粘性係数を算出する前記ステップは、
- 前記共振周波数における前記利得を、前記伝達関数を用いて、前記伝達関数が1の場合の前記共振周波数における前記利得に対応する換算値に換算するステップと、
- 前記ねじり剛性と、前記換算値とを用いて、前記軸継手の粘性係数を算出するステップとを含むことを特徴とする請求項6に記載の軸継手の特性評価方法。
- [請求項8]           前記モータシステムの応答特性を、前記両軸に前記軸継手が接続されていない状態で前記駆動用モータが駆動されたときの前記周波数特性によって取得するステップを含むことを特徴とする請求項5～請求項7のいずれか1つの項に記載の軸継手の特性評価方法。
- [請求項9]           前記プロセッサは、前記軸継手が前記両軸を接続する状態において2つ以上の振幅の前記駆動トルクを出力するように前記トルク指令を前記モータ制御部に出力して、それぞれの前記振幅に対応する前記周波数特性を算出し、前記モータシステムの応答特性と、算出された前記周波数特性とに基づいて、前記振幅のそれぞれに対応する前記軸継手の特性を算出し、前記トルク指令の前記振幅、前記軸継手の共振周

波数における前記駆動トルクの振幅、前記共振周波数における前記回転角の振幅、前記共振周波数における前記角速度の振幅の少なくともいずれか一つと前記軸継手の特性との関係を生出力することを特徴とする請求項 1 に記載の軸継手の特性評価装置。

[請求項10] 前記プロセッサは、取得した前記周波数特性それぞれに対して、前記軸継手のねじり剛性を求め、前記トルク指令の前記振幅、前記共振周波数における前記駆動トルクの振幅、前記共振周波数における前記回転角の振幅、前記共振周波数における前記角速度の振幅の少なくともいずれか一つと、前記軸継手のねじり剛性との関係を生出力することを特徴とする請求項 9 に記載の軸継手の特性評価装置。

[請求項11] 前記プロセッサは、2つ以上の振幅の前記駆動トルクを生出力するように前記トルク指令を前記モータ制御部に出力して、それぞれの前記振幅に対応する前記周波数特性を取得し、取得した前記周波数特性それぞれに対して、前記軸継手の粘性係数を求め、前記トルク指令の前記振幅、前記共振周波数における前記駆動トルクの振幅、前記共振周波数における前記回転角の振幅、前記共振周波数における前記角速度の振幅の少なくともいずれか一つと、前記軸継手の粘性係数との関係を生出力することを特徴とする請求項 9 及び請求項 10 に記載の軸継手の特性評価装置。

[請求項12] 前記軸継手が前記両軸を接続する状態で、2つ以上の振幅の前記駆動トルクを前記モータシステムに出力させて、それぞれの前記振幅に対応する前記周波数特性を取得するステップと、

取得された前記周波数特性、及び、前記モータシステムの応答特性に基づいて、それぞれの前記振幅に対応する前記軸継手の特性を算出するステップとを実行することを特徴とする請求項 5 に記載の軸継手の特性評価方法。

[請求項13] 前記軸継手を接続した状態で、2つ以上の振幅の前記周波数特性を取得するステップと、

それぞれの前記周波数特性から前記軸継手の共振周波数、及び、前記共振周波数における前記利得を取得するステップと、

前記共振周波数を用いて、それぞれの前記振幅に対応する前記軸継手のねじり剛性を算出するステップと、

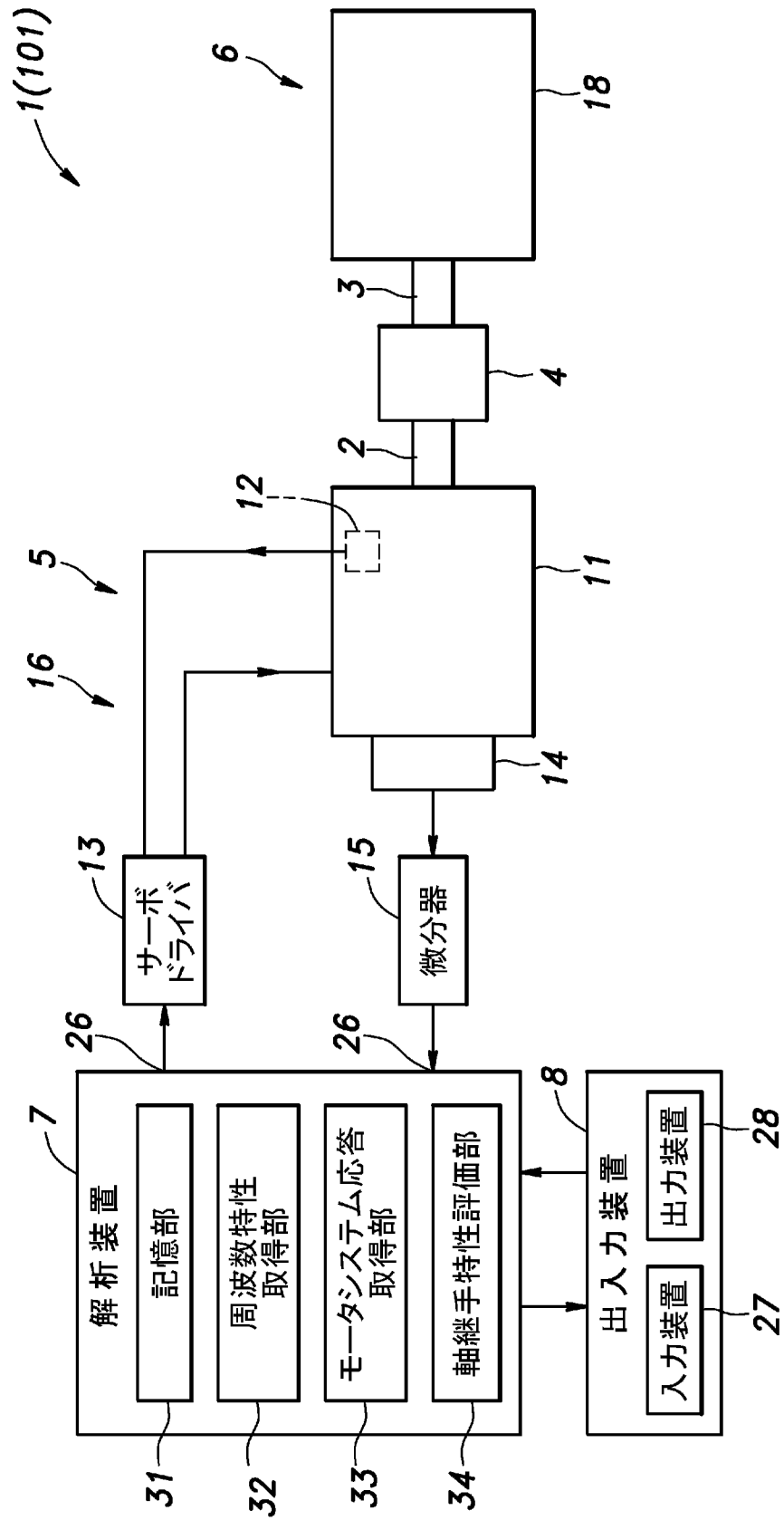
前記トルク指令の前記振幅、前記共振周波数における前記駆動トルクの振幅、前記共振周波数における前記回転角の振幅、前記共振周波数における前記角速度の振幅の少なくともいずれか一つと、前記軸継手の前記ねじり剛性との関係を出力するステップとを含むことを特徴とする請求項 1 2 に記載の軸継手の評価方法。

[請求項14]

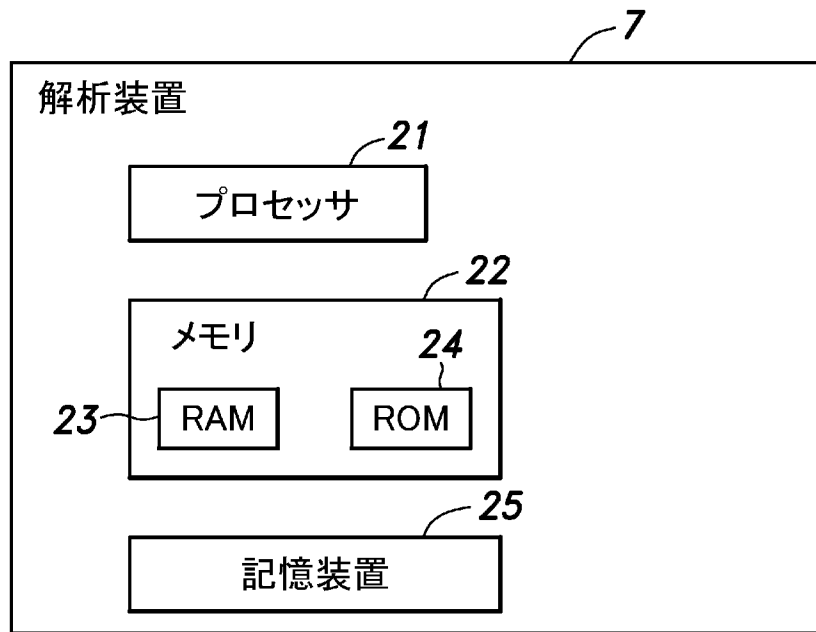
それぞれの前記振幅において、前記モータシステムの応答特性としての前記トルク指令によって前記駆動用モータが駆動し、前記駆動用モータから対応するトルクが発生するまでの伝達関数、前記ねじり剛性、及び前記共振周波数における前記利得を用いて、前記軸継手の粘性係数を算出するステップと、

前記トルク指令の前記振幅、前記共振周波数における前記駆動トルクの振幅、前記共振周波数における前記回転角の振幅、前記共振周波数における前記角速度の振幅の少なくともいずれか一つと、前記軸継手の粘性係数との関係を出力するステップとを含むことを特徴とする請求項 1 3 に記載の軸継手の特性評価方法。

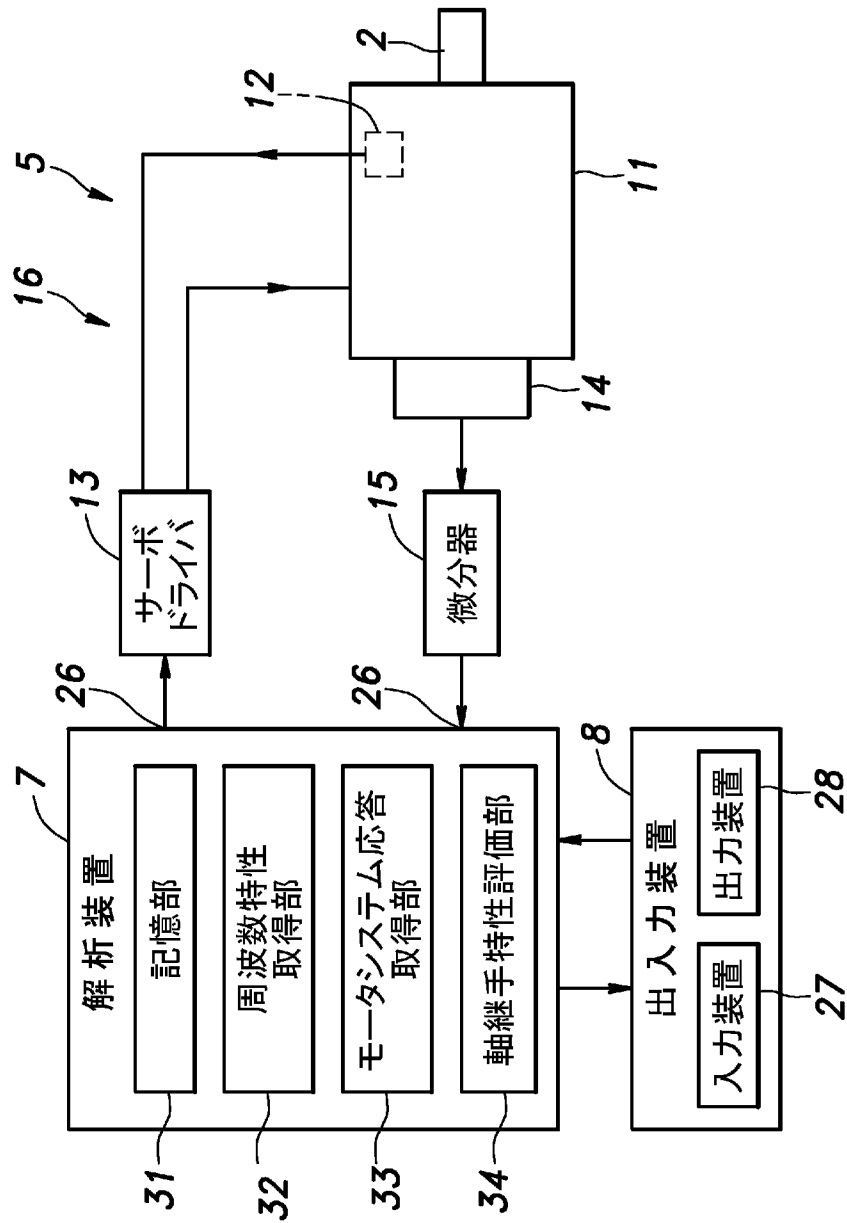
[図1]



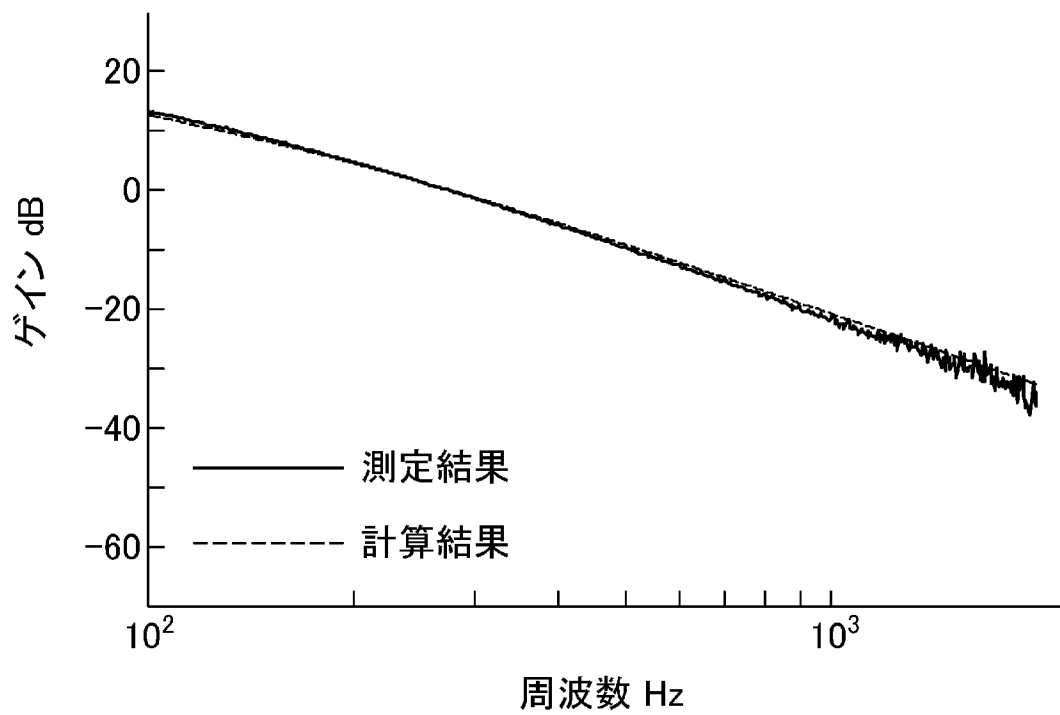
[図2]



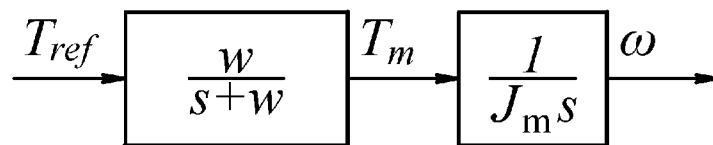
[図3]



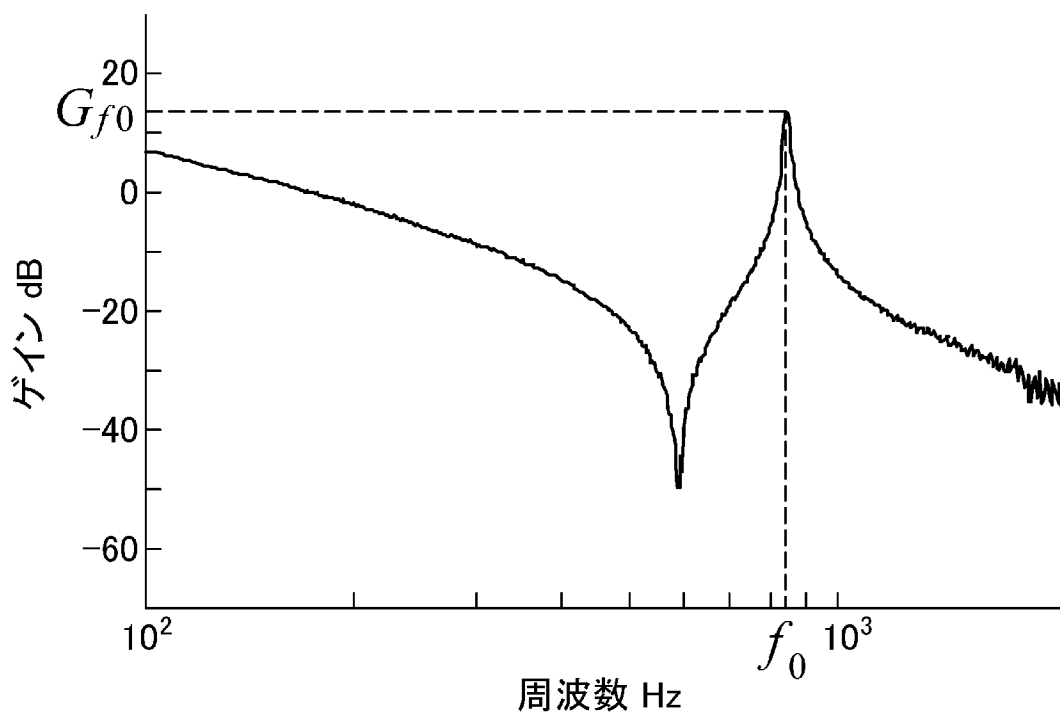
[図4]



[図5]

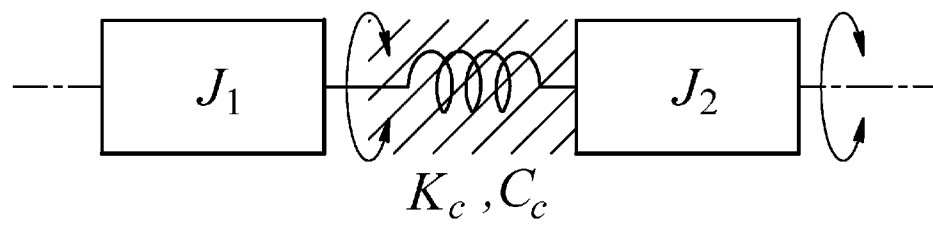


[図6]

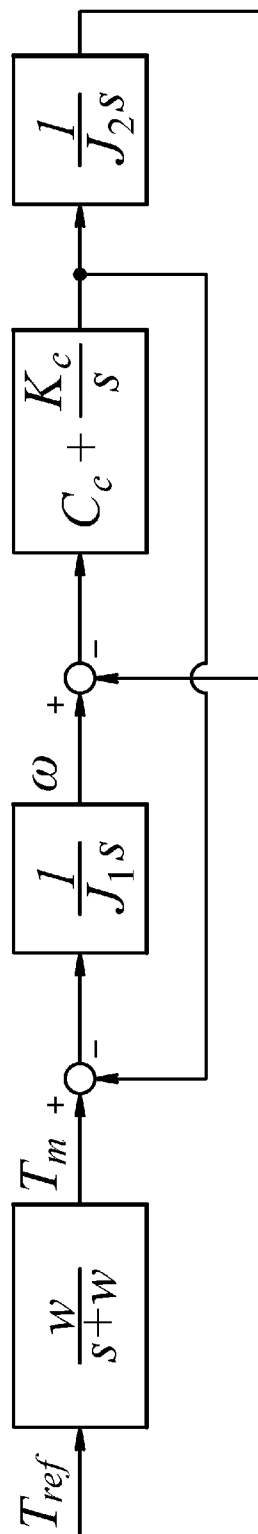




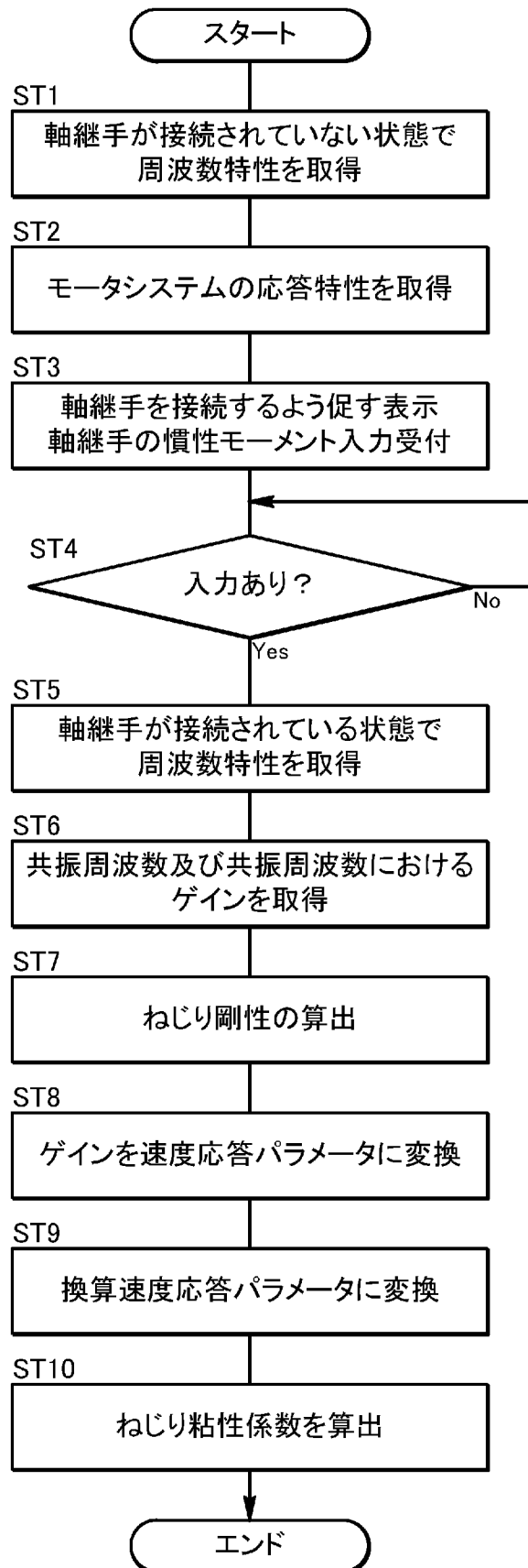
[図7]



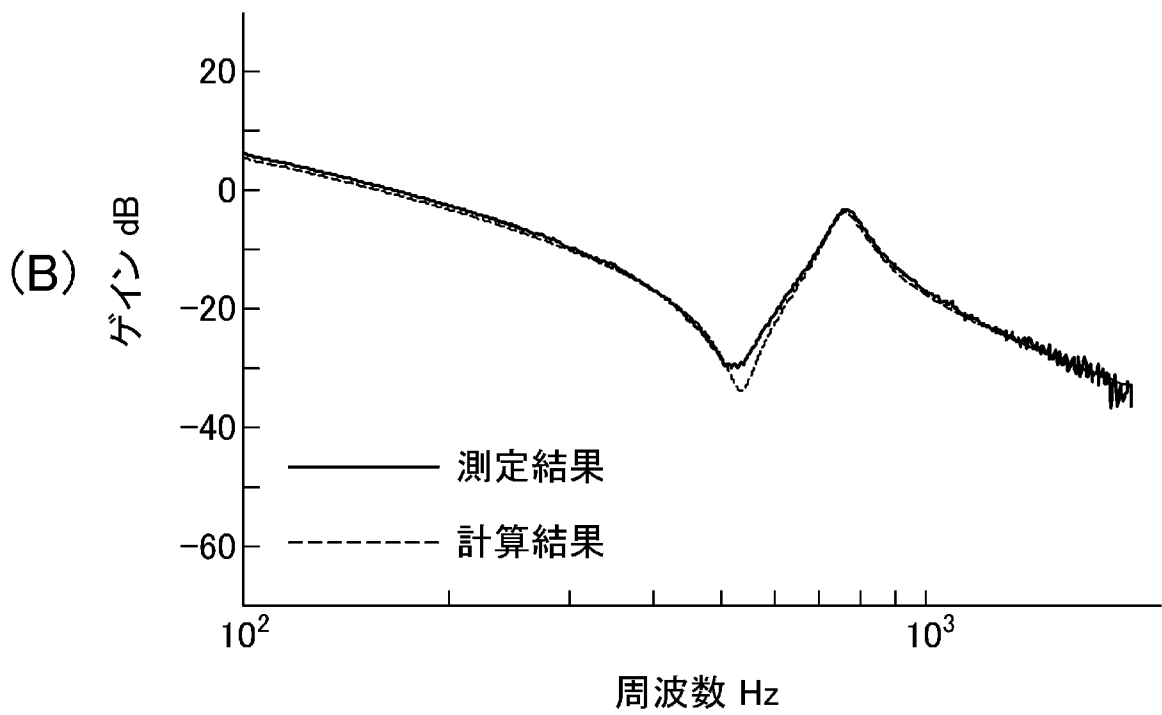
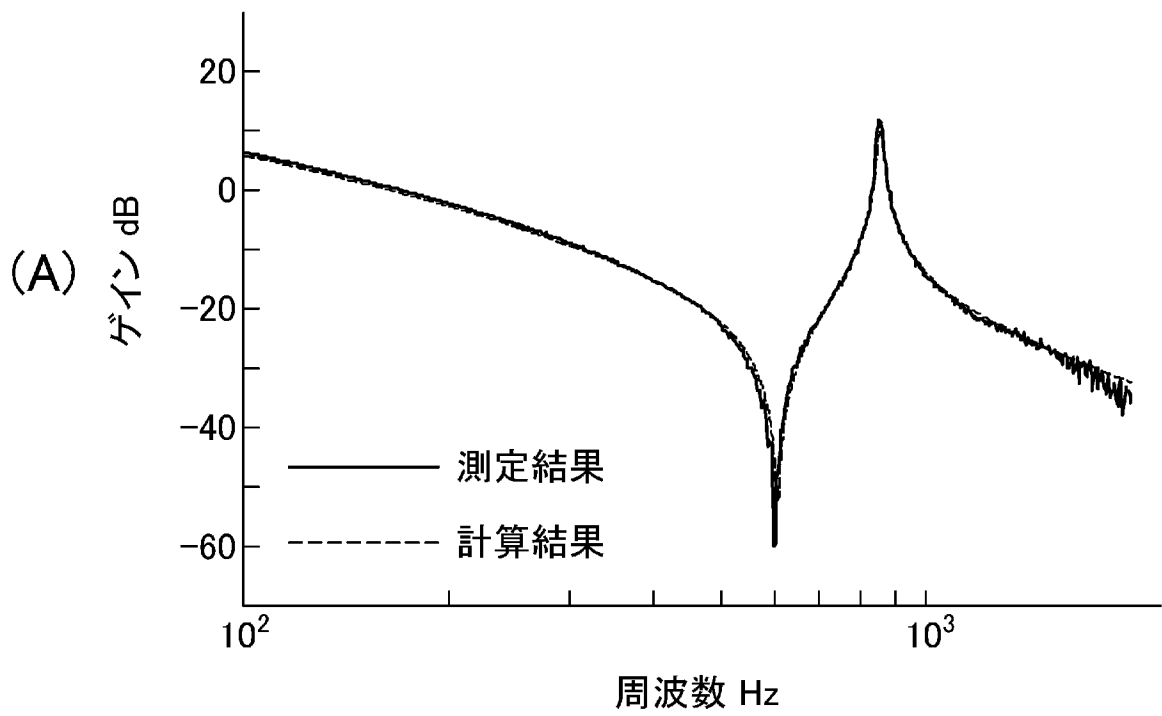
[図8]



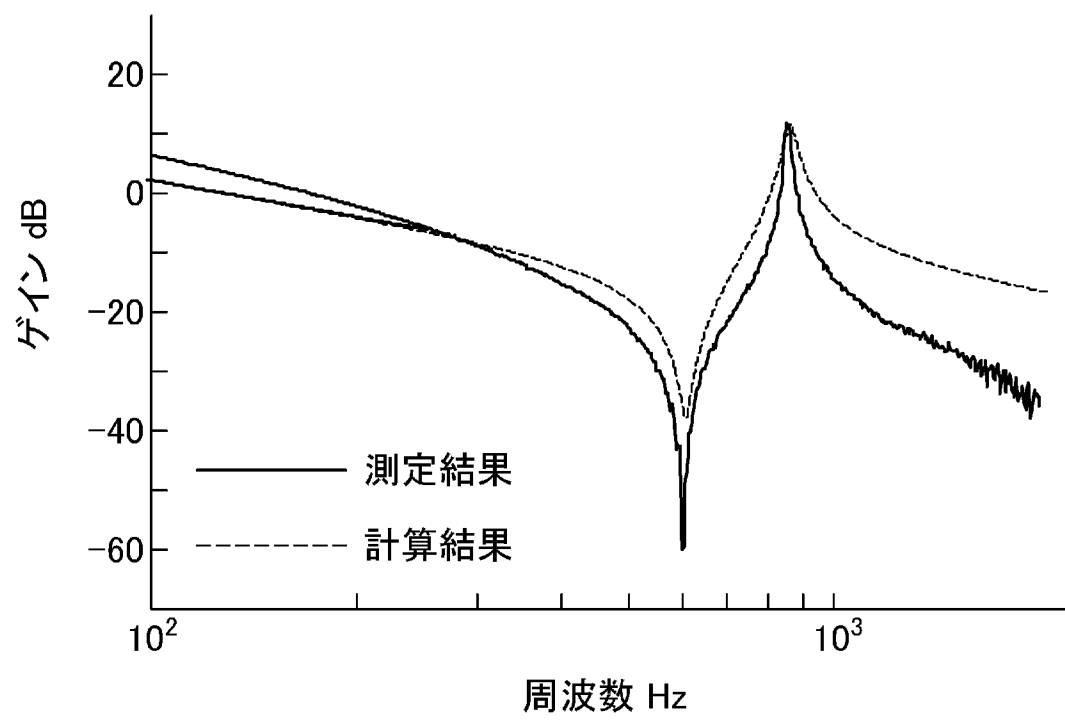
[図9]



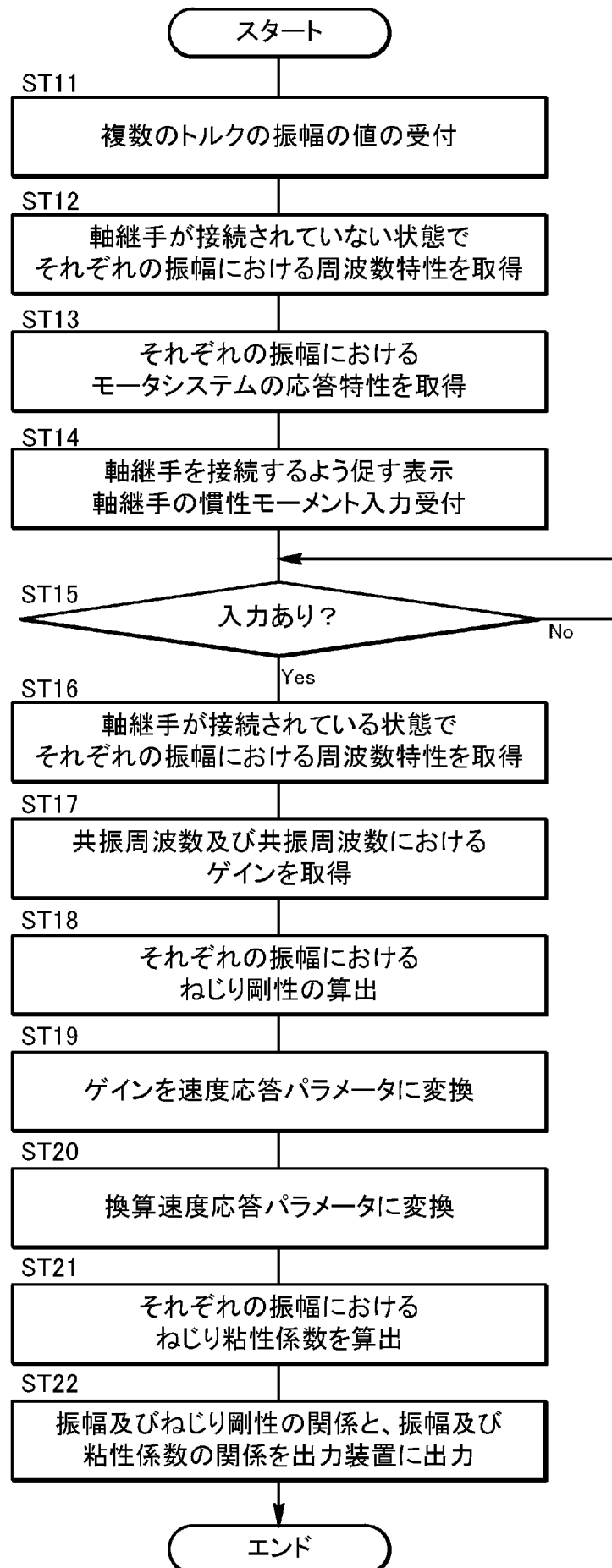
[図10]



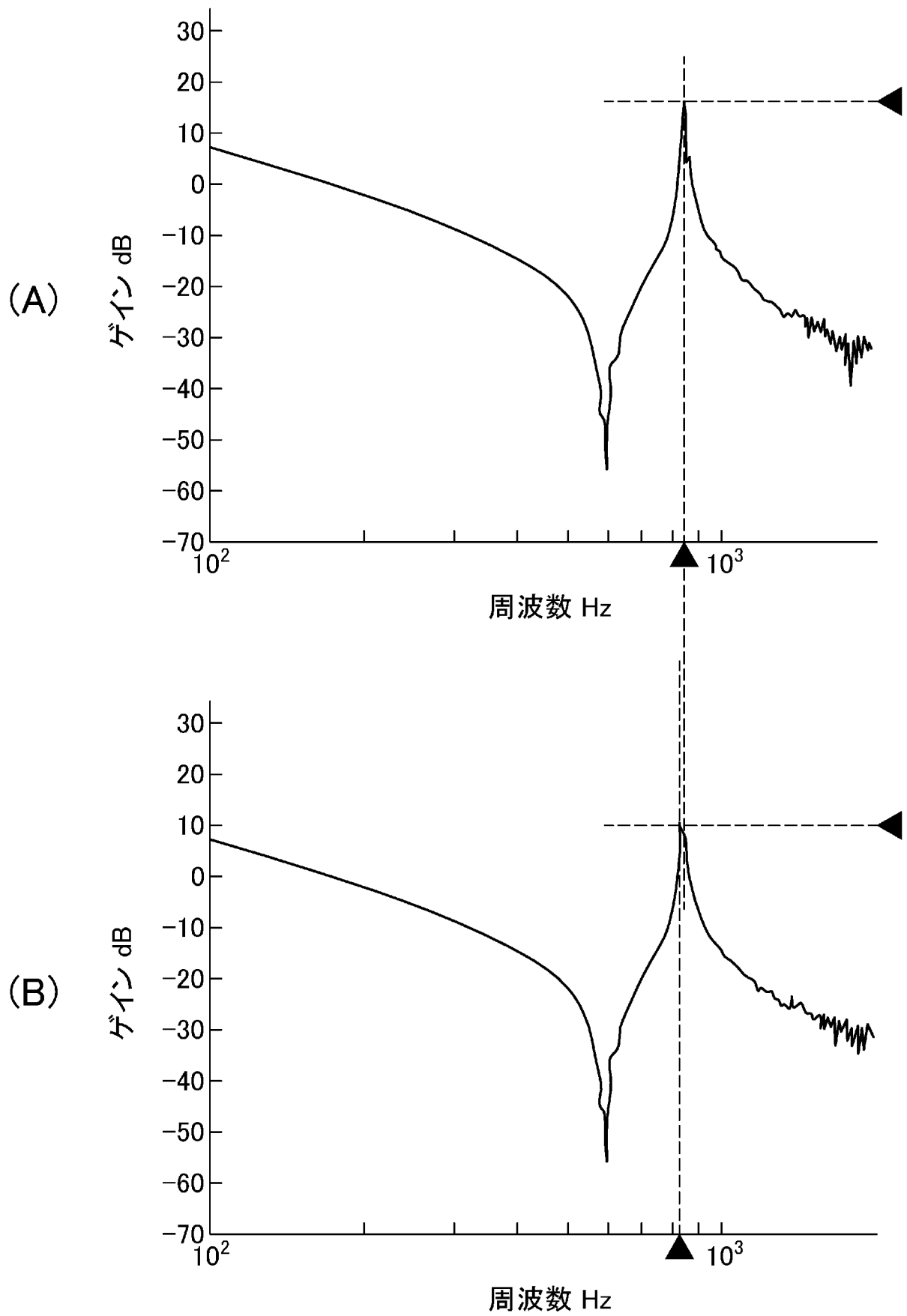
[図11]



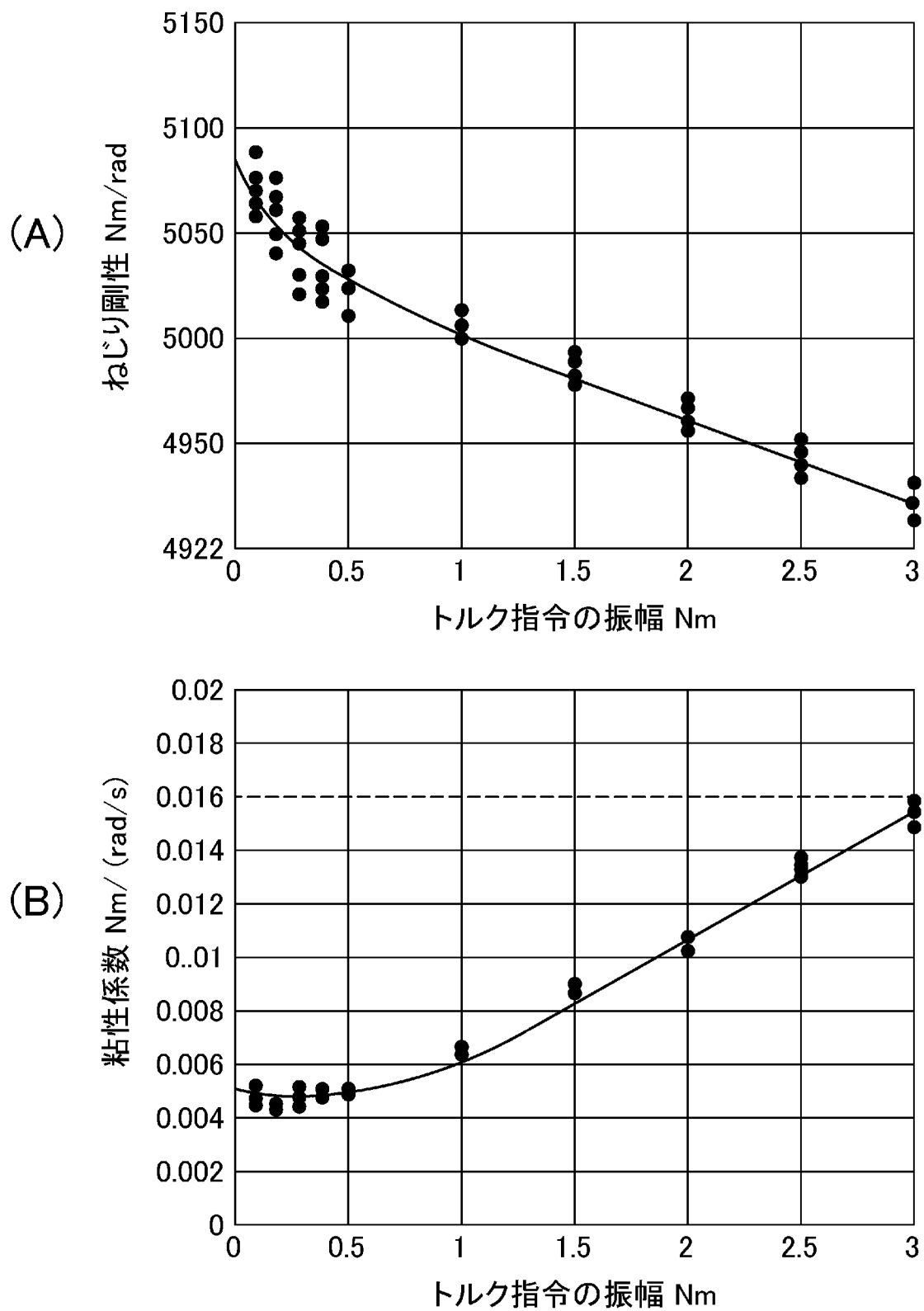
[図12]



[図13]



[図14]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/030395

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01M 13/022 (2019\_01) i

FI: G01M13/022

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)

G01M13/022

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 1971-2020

Registered utility model specifications of Japan 1996-2020

Published registered utility model applications of Japan 1994-2020

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. |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | JP 2018-173702 A (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 08.11.2018 (2018-11-08) paragraphs [0041]-[0092]       | 1-14                  |
| A         | JP 2014-122804 A (TOYOTA MOTOR CORP.) 03.07.2014 (2014-07-03) paragraphs [0013]-[0026]                      | 1-14                  |
| A         | CN 10463456g A (CHONGQING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY et al.) 20.05.2015 (2015-05-20) paragraphs [0035]-[0046] | 1-14                  |
| A         | JP 2018-007287 A (MEIDENSHA CORPORATION) 11.01.2018 (2018-01-11) paragraphs [0036]-[0049]                   | 1-14                  |
| A         | JP 08-136408 A (MEIDENSHA CORPORATION) 31.05.1996 (1996-05-31) paragraphs [0016]-[0019]                     | 1-14                  |



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

“&amp;” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
11 September 2020 (11.09.2020)Date of mailing of the international search report  
29 September 2020 (29.09.2020)Name and mailing address of the ISA/  
Japan Patent Office  
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/JP2020/030395

| Patent Documents<br>referred in the<br>Report | Publication<br>Date | Patent Family                             | Publication<br>Date |
|-----------------------------------------------|---------------------|-------------------------------------------|---------------------|
| JP 2018-173702 A                              | 08 Nov. 2018        | (Family: none)                            |                     |
| JP 2014-122804 A                              | 03 Jul. 2014        | (Family: none)                            |                     |
| CN 104634569 A                                | 20 May 2015         | (Family: none)                            |                     |
| JP 2018-007287 A                              | 11 Jan. 2018        | WO 2018/003201 A1<br>KR 10-2019-0012270 A |                     |
| JP 08-136408 A                                | 31 May 1996         | (Family: none)                            |                     |

| A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））<br>G01M 13/022(2019.01)i<br>FI: G01M13/022                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                          |                |              |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------|--|------------------------------------------|--|
| B. 調査を行った分野<br>調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））<br>G01M13/022<br>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<br><table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2020年</td> </tr> </table> 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）                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                          |                | 日本国実用新案公報    | 1922 - 1996年                                                    | 日本国公開実用新案公報                    | 1971 - 2020年                                    | 日本国実用新案登録公報                            | 1996 - 2020年                                                        | 日本国登録実用新案公報                                                   | 1994 - 2020年      |                           |  |                                          |  |
| 日本国実用新案公報                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 1922 - 1996年                                                                                             |                |              |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
| 日本国公開実用新案公報                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 1971 - 2020年                                                                                             |                |              |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
| 日本国実用新案登録公報                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 1996 - 2020年                                                                                             |                |              |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
| 日本国登録実用新案公報                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 1994 - 2020年                                                                                             |                |              |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
| C. 関連すると認められる文献                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                          |                |              |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
| 引用文献の<br>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<br>請求項の番号 |              |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | JP 2018-173702 A（三菱重工業株式会社）08.11.2018（2018 - 11 - 08）<br>[0041]-[0092]                                   | 1-14           |              |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | JP 2014-122804 A（トヨタ自動車株式会社）03.07.2014（2014 - 07 - 03）<br>[0013]-[0026]                                  | 1-14           |              |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | CN 104634569 A（CHONGQING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY et al.）20.05.2015<br>（2015 - 05 - 20）<br>[0035]-[0046] | 1-14           |              |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | JP 2018-007287 A（株式会社明電舎）11.01.2018（2018 - 01 - 11）<br>[0036]-[0049]                                     | 1-14           |              |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | JP 08-136408 A（株式会社明電舎）31.05.1996（1996 - 05 - 31）<br>[0016]-[0019]                                       | 1-14           |              |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
| <input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                          |                |              |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
| <table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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）</td> <td>“&amp;” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td></td> </tr> </table> |                                                                                                          |                | * 引用文献のカテゴリー | “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 | “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 | “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 | “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 | “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 | “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） | “&” 同一パテントファミリー文献 | “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 |  |
| * 引用文献のカテゴリー                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | “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                                          |                |              |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
| “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                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | “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                                                          |                |              |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
| “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                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | “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                                      |                |              |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
| “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）                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | “&” 同一パテントファミリー文献                                                                                        |                |              |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
| “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                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                          |                |              |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
| 国際調査を完了した日<br>11.09.2020                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 国際調査報告の発送日<br>29.09.2020                                                                                 |                |              |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
| 名称及びあて先<br>日本国特許庁(ISA/JP)<br>〒100-8915<br>日本国<br>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）<br><br>福田 裕司 2J 9109<br><br>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/JP2020/030395

| 引用文献 |             |   | 公表日        | パテントファミリー文献          | 公表日 |
|------|-------------|---|------------|----------------------|-----|
| JP   | 2018-173702 | A | 08.11.2018 | (ファミリーなし)            |     |
| JP   | 2014-122804 | A | 03.07.2014 | (ファミリーなし)            |     |
| CN   | 104634569   | A | 20.05.2015 | (ファミリーなし)            |     |
| JP   | 2018-007287 | A | 11.01.2018 | WO 2018/003201 A1    |     |
|      |             |   |            | KR 10-2019-0012270 A |     |
| JP   | 08-136408   | A | 31.05.1996 | (ファミリーなし)            |     |