(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
2020年9月24日(24.09.2020)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2020/189406 A1

(51) 国際特許分類:
G05B 13/04 (2006.01)　　*H02P 29/00* (2016.01)

(21) 国際出願番号：　PCT/JP2020/010263

(22) 国際出願日：　2020年3月10日(10.03.2020)

(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 2019-049025　2019年3月15日(15.03.2019)　JP

(71) 出願人: オムロン株式会社 (**OMRON CORPORATION**) [JP/JP]; 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町８０１番地 Kyoto (JP).

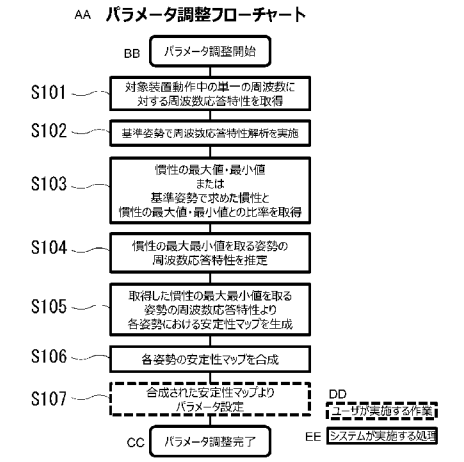
(72) 発明者: 松浦　尭信 (**MATSUURA, Takanobu**); 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町８０１番地 オムロン株式会社内 Kyoto (JP). 恵木 守(**EGI, Mamoru**); 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町８０１番地 オムロン株式会社内 Kyoto (JP). 大野 悌(**ONO, Yasushi**); 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町８０１番地 オムロン株式会社内 Kyoto (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人秀和特許事務所 (**IP FIRM SHUWA**); 〒1030004 東京都中央区東日本橋三丁目４番１０号 アクロポリス２１ビル８階 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, 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,

(54) **Title:** PARAMETER SETTING ASSISTANCE DEVICE, PARAMETER SETTING ASSISTANCE METHOD, AND PARAMETER SETTING ASSISTANCE PROGRAM

(54) 発明の名称： パラメータ設定支援装置、パラメータ設定支援方法及びパラメータ設定支援プログラム



S101 Acquire frequency response characteristics with respect to single frequency during operation of target device
S102 Implement frequency response characteristics analysis in reference attitude
S103 Acquire maximum and minimum values of inertia, or ratio of inertia determined in reference attitude and maximum and minimum values of inertia
S104 Estimate frequency response characteristics of attitudes producing maximum and minimum values of inertia
S105 Generate stability map in each attitude from acquired frequency response characteristics in attitude producing maximum and minimum values of inertia
S106 Combine stability maps of each attitude
S107 Set parameters from composed stability map
AA Parameter adjustment flowchart
BB Start parameter adjustment
CC Complete parameter adjustment
DD Work done by user
EE Process implemented by system

(57) **Abstract:** Provided is a technique which makes it possible to set, more easily and beforehand, control parameters for controlling an object to be controlled including a load device of which mechanical parameters, such as inertia, vary due to attitude or the like. A parameter setting assistance device (10) for assisting the setting of control parameters in a control device (30) is provided with: a first identifying means (14) which, on the basis of frequency response characteristics of an object (40) to be controlled in an attitude maximizing the inertia of a load device (42) and an attitude minimizing the inertia of the load device, identifies an evaluation index value indicating the stability of control by the control device (30) or control performance thereof; and a second identifying means (14) which, on the basis of the evaluation index value identified by the first identifying means (14) with respect to the attitude maximizing the inertia of the load device (42) and to the attitude minimizing the inertia of the load device (42), identifies a composite evaluation index value representing the evaluation index values regarding the attitude of the load device (42) in operation.

WO 2020/189406 A1

[続葉有]

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))

(57) 要約:姿勢等により慣性などの機械パラメータが変化する負荷装置を含む制御対象を制御するための制御パラメータを、事前に、より容易に設定できる技術を提供する。制御装置(３０)における、制御パラメータの設定を支援するパラメータ設定支援装置(１０)であって、負荷装置(４２)の慣性が最大となる姿勢と負荷装置の慣性が最小となる姿勢における、制御対象(４０)の周波数応答特性に基づいて、制御装置(３０)による制御の安定性又は制御性能を示す評価指標値を特定する第１特定手段(１４)と、第１特定手段(１４)により特定された、負荷装置(４２)の慣性が最大となる姿勢及び前記負荷装置(４２)の慣性が最小となる姿勢についての評価指標値に基づき、負荷装置(４２)の作動中の姿勢に関する評価指標値を代表する合成評価指標値を特定する第２特定手段(１４)と、を備える。

明　細　書

発明の名称 ：

パラメータ設定支援装置、パラメータ設定支援方法及びパラメータ設定支援プログラム

技術分野

[0001] 本発明は、負荷装置とモータを含む制御対象を制御する制御装置に対する、パラメータ値設定を支援するためのパラメータ設定支援装置、パラメータ設定支援方法及びパラメータ設定支援プログラムに関する。

背景技術

[0002] シリアルリンクロボットのようなシステムでは、モータによって駆動される負荷装置の機械パラメータ（慣性等）が負荷装置の姿勢によって変化する。従って、そのようなシステムにおける制御対象（負荷装置とモータを含む）の制御装置の各種制御パラメータは、負荷装置の姿勢によらず良好に制御対象を制御できる値でなければならない。しかしながら、制御装置の制御パラメータ設定に関する既存の技術（例えば、特許文献１参照）は、いずれも、負荷装置の機械パラメータが一定であることを前提としたものとなっている。そのため、姿勢により機械パラメータが変化する負荷装置を含む制御対象を制御する制御装置の各種制御パラメータの設定／調整時には、『制御パラメータ値の設定／調整→評価→負荷装置の姿勢を変更→評価』といったような作業を何度も繰り返さなければならなかった。

[0003] これに対し、負荷装置の複数の姿勢における調整指標を合成し、合成した調整指標をマップ化して表示することにより、負荷装置の姿勢に関わらず安定した制御が可能な制御パラメータを設定するという手法が考えられる。このような手法については、慣性変動する負荷装置における代表となる姿勢、例えば装置の慣性が最大および最小となる姿勢を考慮して調整指標を取得する必要がある。しかしながら、負荷装置の慣性が最大および最小となる姿勢を探索するためには、負荷装置の構造から推定するか、若しくは試行錯誤的

に全姿勢に対して慣性を推定・評価を行う必要がある。従って、負荷装置の慣性が最大および最小となる姿勢を探索すること自体が非常に困難であった。また先行技術では複数の姿勢に対して調整指標マップをそれぞれ作成するため時間がかかるという課題があった。

[0004] これに関連して、予め慣性の変動範囲に対してゲインを設定しておき、総慣性をリアルタイムで取得し、推定した総慣性の範囲より位置ループ比例ゲイン、速度ループ比例ゲイン、速度ループ積分ゲインを設定する発明が公知である（例えば、特許文献２参照）。より具体的には、特許文献２に記載の先行技術は、事前に設定する速度応答最大値と、リアルタイムで推定している慣性の最大最小値より、速度ループ比例ゲインを決定し、この速度ループ比例ゲインに一定の比率を用いて他のゲインを決定するというものである。しかしながら、この技術では、リアルタイムに慣性を推定しているため、制御内容が複雑になり、演算負荷が増加する場合があった。

[0005] 上記のような事情より、姿勢又は状況により慣性などの機械パラメータが変化する負荷装置を含む制御対象を制御するためのパラメータを、事前に、より容易に設定することができる技術が望まれている。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開２０１７－１６７６０７号公報

特許文献2：特許第５２００６４８号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 本発明は、上記問題に鑑みてなされたものであり、その目的は、姿勢又は状況により慣性などの機械パラメータが変化する負荷装置を含む制御対象を制御するためのパラメータ値を、事前に、より容易に設定できる技術を提供することである。

課題を解決するための手段

[0008] 上記目的を達成するための本発明は、作動中の姿勢により慣性が変化する負荷装置と該負荷装置を駆動するモータと、を含む制御対象を制御する制御装置における、制御パラメータの設定を支援するパラメータ設定支援装置であって、

前記負荷装置の慣性が最大となる姿勢と前記負荷装置の慣性が最小となる姿勢と、における、前記制御対象の周波数応答特性に基づいて、前記制御装置による制御の安定性又は制御性能を示す評価指標値を特定する第１特定手段と、

前記第１特定手段により特定された、前記負荷装置の慣性が最大となる姿勢及び前記負荷装置の慣性が最小となる姿勢についての前記評価指標値に基づき、前記負荷装置の前記作動中の姿勢に関する前記評価指標値を代表する合成評価指標値を特定する第２特定手段と、

を備えることを特徴とするパラメータ設定支援装置である。

[0009] すなわち、本発明においては、第１特定手段が、負荷装置の慣性が最大となる姿勢と、負荷装置の慣性が最小となる姿勢とにおける、制御対象の周波数応答特性に基づいて、制御装置による制御の安定性又は制御性能を示す評価指標値を特定する。そして、この評価指標値に基づき、第２特定手段が、負荷装置の作動中の姿勢に関する評価指標値を代表する合成評価指標値を特定する。

[0010] よって、本発明においては、負荷装置の作動中の慣性の変化を考慮した上で、評価指標値を特定することが可能であり、この評価指標値に基づいて、各制御パラメータを設定することが可能となる。ここで、制御対象とは負荷装置と、この負荷装置を駆動させるモータを含むシステムである。また、評価指標値とは、制御対象の制御の安定性又は制御性能を示す指標値であって、例えば位置ループおよび／または速度ループのゲインピーク値であってもよい。

[0011] また、本発明においては、前記第１特定手段は、

前記負荷装置の作動中の所定の基準姿勢における周波数応答特性と、

前記負荷装置の慣性が最大となる姿勢における該慣性に対する前記基準姿勢における前記負荷装置の慣性の比率及び、前記負荷装置の慣性が最小となる姿勢における該慣性に対する前記基準姿勢における前記負荷装置の慣性の比率と、

に基づいて、

前記負荷装置の慣性が最大となる姿勢と前記負荷装置の慣性が最小となる姿勢と、における、前記制御対象の周波数応答特性を取得するようにしてもよい。

[0012] これによれば、第１特定手段は、前記負荷装置の慣性が最大となる姿勢と、前記負荷装置の慣性が最小となる姿勢における、前記制御対象の周波数応答特性を各々取得する必要がない。負荷装置の基準姿勢における、前記制御対象の周波数応答特性を取得し、さらに、負荷装置の慣性が最大となる姿勢における該慣性に対する基準姿勢における負荷装置の慣性の比率及び、負荷装置の慣性が最小となる姿勢における該慣性に対する基準姿勢における負荷装置の慣性の比率から、負荷装置の慣性が最大となる姿勢と、負荷装置の慣性が最小となる姿勢における、制御対象の周波数応答特性を取得することができる。

[0013] そうすると、より容易に、負荷装置の慣性が最大となる姿勢と、負荷装置の慣性が最小となる姿勢における、制御対象の周波数応答特性を取得することが可能となる。その結果、より容易に、作動中に慣性が変化する負荷装置を含む制御対象を制御するためのパラメータを設定することが可能となる。

[0014] また、本発明においては、前記第１特定手段は、前記基準姿勢を、前記負荷装置の慣性が最小となる姿勢としてもよい。これにより、基準姿勢と、負荷装置の慣性が最小となる姿勢における周波数応答特性が一度に取得できるとともに、周波数応答特性をより安定した状態で取得できる可能性が高くなり、より円滑に制御対象を制御するためのパラメータを設定することが可能となる。

[0015] また、本発明においては、前記第１特定手段は、前記負荷装置の慣性が最

大となる姿勢と、前記負荷装置の慣性が最小となる姿勢のそれぞれについての前記評価指標値を、前記制御装置の少なくとも１つの制御パラメータの値が互いに異なる複数の制御装置状態のそれぞれについて特定し、

前記第２特定手段は、前記制御装置状態別に、前記合成評価指標値を特定するようにしてもよい。

[0016] すなわち、この場合には、第１特定手段は、複数の制御装置状態について評価指標値を特定し、第２特定手段は、制御装置状態別に合成評価指標値を特定する。これによれば、最も良い合成評価指標値が得られる制御装置状態を選択し易くなり、より容易に最適な制御パラメータを設定することが可能となる。

[0017] また、本発明においては、前記第２特定手段により特定された各合成評価指標値を、各合成評価指標値が特定された前記制御装置状態を示す情報に対応づけた形で表示する表示手段を、さらに備えるようにしてもよい。

[0018] この場合には、表示手段は、例えば、制御装置状態を示す各パラメータを、横軸と縦軸にして、合成評価指標値を色分けして表示する安定性マップを表示してもよい。このように、各合成評価指標値を、各合成評価指標値が特定された前記制御装置状態を示す情報に対応づけた形で表示することで、より容易に、最適なパラメータを設定することが可能となる。

[0019] また、本発明においては、前記第１特定手段は、前記負荷装置の作動中における、所定の単一周波数についての周波数応答特性を取得することにより、前記負荷装置の所定の姿勢における慣性の値を取得するようにしてもよい。

[0020] この場合には、負荷装置の動作中に単一の周波数の入力に対する周波数応答特性を繰り返し確認し、各姿勢における慣性に対する基準姿勢における慣性の比率を算出してもよい。これによれば、一つの連続動作によって、より容易に、負荷装置の作動中の慣性の変動範囲を取得することができる。

[0021] また、この場合には、前記第１特定手段は、前記負荷装置の作動中における、所定の単一周波数についてのゲイン特性と、事前に設定した所定のパラ

メータにより、前記負荷装置の所定の姿勢における慣性の値を算出するようにしてもよい。ここでいう所定のパラメータは、速度ループ比例ゲインＫｖｐ及び、慣性設定値Ｊ$_0$であってもよい。これによれば、ゲイン特性と、速度ループ比例ゲインＫｖｐと、慣性設定値Ｊ$_0$とから、例えば、以下の数式（１）を用いて容易に、負荷装置の各姿勢における慣性の値を算出することが可能となる。

$$慣性J＝（Kvp・J_0）／（ω・|G（jω）|）・・・・・（1）$$

[0022] また、本発明においては、前記負荷装置の作動中に、該負荷装置への動作指令信号に正弦波状信号を重畳するようにしてもよい。

[0023] ここで、上記のように負荷装置の作動中における、所定の単一周波数についての周波数応答特性を取得する際には、何らかの周波数信号が必要となる。しかしながら、負荷装置が例えば等速運動指令等により作動する場合には、動作指令に周波数信号が含まれておらず単一の周波数に対する周波数応答特性を取得することが困難となる場合がある。あるいは、負荷装置への動作指令に複数の周波数成分が含まれている場合には、その周波数成分の影響を受けることで、単一の周波数に対する周波数応答特性を正しく取得できない場合がある。

[0024] これに対し、本発明では、負荷装置の作動中に、負荷装置への動作指令信号に意図的に正弦波状信号を重畳することとした。これによれば、動作指令の種類によらず、より確実に、当該単一周波数の入力に対する周波数応答を取得することが可能となる。なお、この場合に重畳する正弦波信号は、上述の単一の周波数に係る正弦波状信号であってもよいし、複数の異なる周波数の正弦波の和であってもよい。

[0025] また、本発明においては、重畳する前記正弦波状信号の周波数は、前記負荷装置の共振周波数及び反共振周波数より低い周波数としてもよい。ここで、重畳する正弦波状信号の周波数が共振及び反共振周波数と同等若しくは高

い周波数である場合には、慣性を取得する為に用いた制御対象モデルと実際の制御対象に大きな乖離が発生し、慣性が正しく取得できない場合がある。これに対して、重畳する前記正弦波状信号の周波数を、前記負荷装置の共振周波数及び反共振周波数より低い周波数とすることで、より確実または正確に、負荷装置の慣性を取得することが可能となる。

[0026] なお、この場合において、重畳する正弦波状信号の周波数は、基準位置で取得した周波数応答特性に基づいて、負荷装置の共振周波数及び反共振周波数より低い周波数を判断してもよい。これによれば、負荷装置の共振周波数及び反共振周波数を容易に取得することができるので、より容易に、負荷装置の共振周波数及び反共振周波数より低い周波数としての正弦波状信号の周波数を決定することができる。

[0027] また、上記において重畳する正弦波状信号の周波数は、基準位置における開ループの周波数応答特性において、－２０[ｄＢ／ｄｅｃ]と近似できる帯域の周波数としてもよい。ここで、重畳する正弦波状信号の周波数が、負荷装置の共振周波数及び反共振周波数より低い周波数であっても、負荷装置の共振周波数及び反共振周波数に近い周波数である場合には、共振または反共振の影響により、単一の周波数に対する正しい周波数応答特性が取得できない場合がある。これに対し、重畳する正弦波状信号の周波数を、基準位置における開ループの周波数応答特性において、－２０[ｄＢ／ｄｅｃ]と近似できる帯域の周波数とすることで、より確実に、共振または反共振の影響を排除することができ、単一の周波数に対する正しい周波数応答特性を取得することが可能となる。

[0028] また、本発明においては、前記負荷装置の作動中において、前記正弦波状信号を重畳する区間は、前記負荷装置を一定速度で動作させる動作指令の区間としてもよい。

[0029] ここで、負荷装置を加減速動作させる指令には、周波数応答特性を確認するために重畳する周波数の信号が含まれている可能性がある。そうすると、実際に重畳した正弦波状信号に対する周波数応答特性が正しく取得できない

虞がある。これに対して、本発明においては、負荷装置の作動中において、正弦波状信号を重畳する区間を、負荷装置を一定速度で動作させる動作指令の区間とした。これにより、余分な周波数信号が動作指令信号に含まれている可能性を低減させることができ、より正確に、重畳した周波数の正弦波状信号に対する周波数応答特性を取得することが可能となる。

[0030] また、本発明においては、正弦波状信号を重畳する動作指令は、位置指令、速度指令または、トルク指令のいずれかとしてもよい。これによれば、周波数応答特性を取得するために正弦波状信号を重畳する信号を適宜選択することができ、測定の自由度を向上させることが可能となる。

[0031] また、本発明においては、前記制御対象は、結合する複数の負荷装置を含んでおり、前記第１特定手段は、前記制御対象に含まれるそれぞれの負荷装置について、前記評価指標値を特定し、前記第２特定手段は、前記制御対象に含まれるそれぞれの負荷装置について、前記合成評価指標値を特定し、各負荷装置のそれぞれについての合成評価指標値に基づき、制御対象全体としての合成評価指標値を特定するようにしてもよい。

[0032] ここで、負荷装置としては、ガントリ装置のように、複数の軸の出力を同時に制御することを要するものがある。これは、制御対象が複数の負荷装置の組合せにより構成されていると捉えられる。そして、このような場合に、特定の軸に対して設定したパラメータを別の軸にそのまま適応すると、その軸における動作が不安定になる恐れがある。

[0033] これに対し、本発明では、第１特定手段は、制御対象に含まれるそれぞれの負荷装置について、評価指標値を特定し、第２特定手段は、制御対象に含まれるそれぞれの負荷装置について、合成評価指標値を特定し、各負荷装置のそれぞれについての合成評価指標値に基づき、制御対象全体としての合成評価指標値を特定するようにした。

[0034] より具体的には、第２特定手段は、例えば、制御対象に含まれるそれぞれの負荷装置について、合成評価指標値を特定し、各負荷装置のそれぞれについての合成評価指標値の悪い方の合成評価指標値を、制御対象全体としての

合成評価指標値としてもよい。これによれば、各負荷装置を組み合わせた制御対象が安定して作動する、制御対象全体としての合成評価指標値を得ることができ、結合する複数の負荷装置（軸）を含む制御対象を、より安定して動作させる制御パラメータを設定することができる。

[0035] また、本発明においては、前記第２特定手段により特定された、制御対象全体としての合成評価指標値を、各合成評価指標値が特定された前記制御装置状態を示す情報に対応づけた形で表示する第２表示手段を、さらに備えるようにしてもよい。

[0036] この場合には、第２表示手段は、複数の負荷装置を含む制御対象全体としての合成評価指標値に基づいて安定性マップを表示する。より具体的には、各々の負荷装置についての安定性マップにおける合成評価指標値のうちの、より悪い方の合成評価指標値を、制御対象全体としての合成評価指標値とした安定性マップを表示するようにしてもよい。これによれば、一つの安定性マップによって複数の負荷装置（軸）が安定となる制御パラメータを確認することができ、複数の負荷装置（軸）で安定かつ同一の出力となる制御パラメータを設定することが可能となる。

[0037] また、本発明においては、前記第２特定手段により特定された合成評価指標値を、各合成評価指標値が特定された前記制御装置状態を示す情報に対応づけた形で表示する際に、所定条件を満たす前記合成評価指標値を示す制御装置状態に対しては、所定の最適値マークとともに前記合成評価指標値を表示するようにしてもよい。

[0038] この場合には、安定性マップを表示する際には、合成評価指標値を表示するとともに、その合成評価指標値が所定の条件を満たすマークを表示する。そうすることで、安定性マップの中で所定の条件を満たす制御パラメータの組合せをより明瞭またはより容易に把握することが可能となる。

[0039] そして、前記所定条件は、第２表示手段による表示における原点（前記合成評価指標値に対応づけられた前記制御装置状態の全てが表示中の最小値である点）からのノルムが最大となることであってもよい。また、前記所定条

件は、前記合成評価指標値が最大となることであってもよい。さらに、前記所定条件は、前記制御パラメータのいずれかが最大となることであってもよい。

[0040] また、本発明においては、前記負荷装置の慣性が最小となる姿勢における、前記制御対象の周波応答特性から速度制御器のゲインを決定するとともに、前記負荷装置の慣性が最大となる姿勢における、前記制御対象の周波応答特性から位置制御器のゲインを決定するようにしてもよい。

[0041] この場合には、負荷装置の慣性が最小となる姿勢における、制御対象の周波応答特性から、制御パラメータとして速度制御器のゲインを決定し、負荷装置の慣性が最大となる姿勢における、制御対象の周波応答特性から、制御パラメータとして位置制御器のゲインを決定する。この場合には、負荷装置の慣性が最小となる姿勢における、制御対象の周波応答特性から、速度制御器のゲイン(ＫｖｐおよびＫｉ)を決定し、負荷装置の慣性が最大となる姿勢における、制御対象の周波応答特性から、制御パラメータとして位置制御器のゲイン(Ｋｐｐ)を決定することができる。その結果、速度制御器のゲイン(ＫｖｐおよびＫｉ)及び位置制御器のゲイン(Ｋｐｐ)の各々の制御パラメータについての最適値をより精度よく求めることができる。

[0042] また、本発明は、作動中の姿勢により慣性が変化する負荷装置と該負荷装置を駆動するモータと、を含む制御対象を制御する制御装置における、制御パラメータの設定を支援し、ツールソフトがインストールされたコンピュータとして構成されるパラメータ設定支援装置であって、

前記負荷装置の運動及び姿勢についての指示を前記制御装置に提供する指示部と、

前記負荷装置について測定された、前記負荷装置の現在位置、現在速度、現在トルクの少なくともいずれかに相当する信号を前記制御装置から取得する取得部と、

前記負荷装置を制御するための位置指令、速度指令、トルク指令の少なくともいずれかに単一の周波数を持つ正弦波状信号を重畳した一連の指令信号

を作成し、前記指示部により前記指示信号を前記制御装置に提供し、それに応じて測定され前記取得部に取得された信号から前記周波数におけるゲインまたは位相シフト量を取得する、単一周波数成分取得部と、

前記指示部により作動時の前記負荷装置の運動過程において現れる一連の姿勢を実現するように前記制御装置に指示するとともに、前記単一周波数成分取得部により前記各姿勢における前記周波数におけるゲインまたは位相シフト量を取得し、前記各姿勢におけるゲインから慣性が最大および最小となる姿勢を推定する特定慣性姿勢推定部と、

前記指示部により、前記一連の姿勢の中から選ばれた基準姿勢において所定の周波数範囲で振動するように前記制御装置に指示するとともに、前記取得部により取得された信号から前記基準姿勢における周波数応答特性を取得する周波数応答取得部と、

前記周波数応答取得部により取得された前記基準姿勢における周波数応答特性と、前記単一周波数成分取得部により取得された前記各姿勢における前記周波数におけるゲインまたは位相シフト量とから、慣性が最大および最小となる前記推定された姿勢におけるゲインの周波数応答特性を推定する周波数応答推定部と、

前記周波数応答推定部により推定された前記周波数応答特性から、慣性が最大となる姿勢における最大慣性安定性マップ及び慣性が最小となる姿勢における最小慣性安定性マップとを作成するマップ作成部と、

前記最大慣性安定性マップ及び前記最小慣性安定性マップを合成することにより合成安定性マップを作成する合成マップ作成部と、

前記合成安定性マップを表示し、前記合成安定性マップ上の位置についての指定を受付け、指定された前記位置の縦軸値および横軸値に基づいて制御パラメータを設定するパラメータ設定部と、

を備えることを特徴とする、パラメータ設定支援装置であってもよい。

[0043] また、本発明は、作動中の姿勢により慣性が変化する負荷装置と該負荷装置を駆動するモータと、を含む制御対象を制御する制御装置における、制御

パラメータの設定を支援するパラメータ設定支援方法であって、

前記負荷装置の動作中の一連の姿勢における単一の周波数の入力信号に対する周波数応答特性を取得する単一周波数応答取得ステップと、

前記負荷装置の動作中における前記一連の姿勢の中から選ばれた基準姿勢において所定の周波数範囲に対する周波数応答特性を取得する基準周波数応答取得ステップと、

慣性の最大値と最小値または、基準姿勢で求めた慣性と慣性の最大値及び最小値との比率を取得する特定慣性値取得ステップと、

前記慣性が最大値となる姿勢及び、前記慣性が最小値となる姿勢における周波数応答特性を推定する周波数応答推定ステップと、

前記周波数応答推定ステップにおいて取得した、前記慣性が最大値となる姿勢及び、前記慣性が最小値となる姿勢における周波数応答特性から、前記慣性が最大値となる姿勢及び、前記慣性が最小値となる姿勢における安定性マップを作成する安定性マップ作成ステップと、

前記慣性が最大値となる姿勢における安定性マップと、前記慣性が最小値となる姿勢における安定性マップとを合成する合成安定性マップ作成ステップと、

前記合成安定性マップ作成ステップに基づいて、前記制御パラメータを設定するパラメータ設定ステップと、

を有することを特徴とする、パラメータ設定支援方法であってもよい。

[0044] また、本発明は、コンピュータに上記の単一周波数応答取得ステップと、基準周波数応答取得ステップと、特定慣性値取得ステップと、周波数応答推定ステップと、安定性マップ作成ステップと、合成安定性マップ作成ステップと、パラメータ設定ステップとの少なくともいずれかを実行させる、パラメータ設定支援プログラムであってもよい。

[0045] なお、上記した課題を解決するための手段は、可能な限り組合せて実施可能である。

発明の効果

[0046] 本発明によれば、姿勢又は状況により慣性などの機械パラメータが変化する負荷装置を含む制御対象を制御するための制御パラメータを、事前に、より容易に設定することができる。

図面の簡単な説明

[0047] [図1]本発明の実施例におけるパラメータ設定支援装置、モータ制御装置、制御対象を含むシステムの概略構成を示すブロック図である。

[図2]本発明の実施例におけるモータ制御装置の制御パラメータを説明するためのブロック図である。

[図3]本発明の実施例におけるパラメータ設定支援装置の機能ブロック図である。

[図4]本発明の実施例における位置閉ループ特性Ｇp_closed及び位置開ループ特性Ｇp_openの説明図である。

[図5]本発明の実施例における速度閉ループ特性Ｇv_closed及び速度開ループ特性Ｇv_openの説明図である。

[図6]本発明の実施例におけるパラメータ設定処理の処理内容を示すフローチャートである。

[図7]本発明の実施例における負荷装置の位置及び特定周波数の入力に対する周波数応答特性（ゲイン特性）と、時間との関係を示すグラフである。

[図8]本発明の実施例における基準姿勢における周波数応答特性のグラフの例である。

[図9]本発明の実施例における負荷装置の位置及び負荷装置の慣性の値と、時間との関係を示すグラフである。

[図10]本発明の実施例において推定された、基準位置、慣性最小位置、慣性最大位置における周波数応答特性を示すグラフである。

[図11]本発明の実施例１における、慣性最大姿勢と慣性最小姿勢における安定性マップである。

[図12]本発明の実施例１における、合成安定性マップである。

[図13]本発明の実施例１において推定された、基準位置、慣性最小位置、慣

性最大位置における周波数応答特性を示すグラフである。

[図14]本発明の実施例１において、基準姿勢において取得された周波数応答特性を、慣性値最小比率で除算することで推定した、慣性値最小の姿勢における周波数応答特性を示すグラフである。

[図15]本発明の実施例１において、基準姿勢を慣性値最小の姿勢とした場合に、基準姿勢において取得された周波数応答特性を、慣性値最大比率で除算することで推定した、慣性値最大の姿勢における周波数応答特性を示すグラフである。

[図16]本発明の実施例１における、慣性値最小姿勢及び慣性値最大姿勢についての周波数応答特性の推定値と実測値を示すグラフである。

[図17]本発明の実施例２における、負荷装置の動作指令信号を示すグラフである。

[図18]本発明の実施例２における、負荷装置の周波数応答特性と重畳する正弦波状信号の周波数との関係を示す図である。

[図19]本発明の実施例２における、正弦波状信号を重畳する指令信号の入力場所を示すブロック図である。

[図20]本発明の実施例３における、各負荷装置に対する合成安定性マップである。

[図21]本発明の実施例３における、軸合成安定性マップである。

[図22]本発明の実施例４における、最適な制御パラメータの組合せについてマーキングを施した安定性マップである。

[図23]本発明の実施例５における、慣性最小姿勢における周波数応答特性から、速度制御器のゲインを決定するための安定性マップと、慣性最大姿勢における周波数特性から、位置制御器のゲインを決定するための安定性グラフである。

発明を実施するための形態

[0048] ＜適用例＞

以下、本発明の適用例について説明する。本発明に係るパラメータ設定支

援装置１０（以下、単に「設定支援装置１０」ともいう。）は、図１に示すような、負荷装置４２と、負荷装置４２を駆動するモータ４１を含む制御対象４０を制御するモータ制御装置３０に適用される。より詳細には、設定支援装置１０は、モータ制御装置３０において制御対象４０を制御するための制御パラメータを設定するための装置である。図２には、制御対象４０のフィードバック制御についてのブロック図を示す。ここで制御パラメータとしては例えば、位置ループ比例ゲインＫｐｐ、速度ループ比例ゲインＫｖｐ、速度ループ積分ゲインＫｉ等が挙げられる。

[0049] ここで、モータ制御装置３０の制御パラメータ設定に関する既存の技術は、いずれも、負荷装置４２の機械パラメータが一定であることを前提としたものであった。そのため、姿勢により機械パラメータが変化する負荷装置４２を含む制御対象４０を制御するモータ制御装置３０の各種制御パラメータの設定時には、『制御パラメータ値の設定→評価→負荷装置の姿勢を変更→評価』といったような作業を何度も繰り返さなければならなかった。

[0050] これに対し、本発明においては、図６のパラメータ設定処理に示すように、負荷装置４２の動作中の単一の周波数に対する周波数応答特性を取得し（Ｓ１０１）、負荷装置４２の作動中の基準姿勢において周波数応答特性を取得する（Ｓ１０２）。そして、負荷装置４２を作動させる際の慣性の最大値・最小値を取得し、あるいは、基準姿勢で求めた慣性と、負荷装置４２を作動させる際の慣性の最大値・最小値との比率を取得することで（Ｓ１０３）、負荷装置４２の作動中における慣性最大の姿勢と、慣性最小の姿勢における周波数応答特性を推定する（Ｓ１０４）。

[0051] そして、慣性最大の姿勢と、慣性最小の姿勢における周波数応答特性から、各姿勢における安定性マップを作成する（Ｓ１０５）し、各姿勢についての安定性マップを合成することで合成安定性マップを作成する（Ｓ１０６）。図１１には、慣性最大の姿勢と、慣性最小の姿勢における安定性マップの例を示し、図１２には、合成安定性マップの例を示す。この合成安定性マップを用いて、負荷装置４２の制御における制御パラメータを設定する（Ｓ１

０７）ことで、負荷装置４２の作動中の慣性の変化により制御が不安定化することを抑制し、負荷装置４２のより安定した作動が可能となる。

[0052] また、本適用例に示す発明によれば、負荷装置４２の動作中の単一の周波数に対する周波数応答特性と、負荷装置４２の基準姿勢における周波数応答特性とから、負荷装置４２の作動中の慣性の変化を考慮した制御パラメータを、より簡単に設定することが可能となる。

[0053] なお、本適用例に示す発明において、安定性マップは、互いに異なる２種類のパラメータが縦軸および横軸に割り当てられ、縦軸値および横軸値の組み合わせに対応する評価指標値を表した図であって、縦軸および横軸に割り当てられるパラメータは、速度ループ比例ゲイン、速度ループ積分ゲインおよび位置ループ比例ゲインから選ばれた２種類のパラメータである。そして、評価指標値を表す方法としては、色や模様で表す方法の他、安定性マップを３Ｄグラフにして、評価指標値をＺ軸方向のバー長さ（高さ）で表す方法を選択してもよい。

[0054] 安定性マップの縦軸および横軸に割り当てられるパラメータの組合せとしては、より詳細には、速度ループ比例ゲインと位置ループ比例ゲイン、速度ループ比例ゲインと速度ループ積分ゲイン、速度ループ積分ゲインと位置ループ比例ゲインの３通りが考えられる。

[0055] 縦軸および横軸に割り当てられる制御パラメータの組合せは、調整したいまたは、安定化させたい制御パラメータは何かによって、ユーザが選択する。例えば、速度ループと安定性を考慮して制御パラメータを調整したい場合には、速度ループ比例ゲインと位置ループ比例ゲインの組合せを選択すればよい。また、速度制御器のパラメータを調整したい場合には、速度ループ比例ゲインと速度ループ積分ゲインの組合せを選択すればよい。ここで、縦軸および横軸に割り当てられる制御パラメータの組合せで特定される状態は、本発明における制御装置状態に相当する。

[0056] なお、縦軸および横軸に割り当てられるパラメータの組合せとして、速度ループ比例ゲインと位置ループ比例ゲイン、または速度ループ比例ゲインと

速度ループ積分ゲインを選択する場合には、速度ループ比例ゲインを横軸に取るとよい。それは、速度ループ積分ゲイン、位置ループ比例ゲインは、速度ループ比例ゲインに応じた限界を有するからである。

[0057] 以下、図面に基づいて、本発明の実施例について詳細に説明する。

[0058] ＜実施例１＞

図１に、本実施例における設定支援装置１０のブロック図を示す。本実施例における設定支援装置１０は、姿勢又は状況により慣性等の機械パラメータが変化する負荷装置４２を駆動するモータ４１を制御するモータ制御装置３０における制御パラメータの設定を支援するための装置である。

[0059] モータ制御装置３０は、モータ４１を、ＰＬＣ（Programmable Logic Controller）等の上位装置（図示略）から入力される指令（位置指令、トルク指令又は速度指令）に従って制御する。以下、モータ４１と負荷装置４２とからなる部分のことを、制御対象４０と表記し、モータ制御装置３０と制御対象４０とからなる部分のことをサーボシステムと表記する。

[0060] モータ制御装置３０は、上位装置から位置指令が入力される場合、図２に示したように、位置制御器３１、速度制御器３２、電流制御器３４、速度検出器３５等として動作する。速度検出器３５は、モータ４１又は負荷装置４２に取り付けられたエンコーダ（図示略）により検出される制御対象４０の位置（以下、検出位置ともいう）を微分することで、制御対象４０の速度（以下、検出速度）を出力するユニットである。

[0061] 位置制御器３１は、制御パラメータとして位置ループ比例ゲインＫｐｐを有するユニットである。図示してあるように、この位置制御器３１には、位置指令と検出位置との偏差である位置偏差が入力される。そして、位置制御器３１は、当該位置偏差に位置ループ比例ゲインＫｐｐを乗じた値である速度指令を算出して出力する。速度制御器３２は、速度指令と検出速度との偏差である速度偏差を操作量とし、トルク指令を制御量としたＰＩ制御を行うユニットである。この速度制御器３２は、制御パラメータとして、速度ループ比例ゲインＫｖｐと速度ループ積分ゲインＫｉとを有している。

[0062] また、速度制御器３２は、ＯＮ／ＯＦＦ（機能させるか否か）を設定可能なトルクフィルタ（ローパスフィルタ）及びノッチフィルタを含んでいる。速度制御器３２内のトルクフィルタは、制御パラメータ（以下、フィルタパラメータとも表記する）としてカットオフ周波数を有しており、速度制御器３２内のノッチフィルタは、制御パラメータ（以下、フィルタパラメータとも表記する）として、中心周波数、ノッチ深さ及びＱ値（＝中心周波数／ノッチ幅）を有している。電流制御器３４は、速度制御器３２からのトルク指令に応じた駆動電流を生成してモータ４１に供給するユニットである。

[0063] 以上のことを前提に、以下、設定支援装置１０の構成及び動作を具体的に説明する。

[0064] 図３に、設定支援装置１０の機能ブロック図を示す。本実施形態に係る設定支援装置１０は、ＰＣ（パーソナルコンピュータ）に設定支援プログラムをインストールした装置である。図３に示してあるように、ＰＣにインストールされた設定支援プログラムは、ＰＣの本体部分（ＣＰＵとその周辺デバイスからなる部分）１３を、演算処理部１４、ＵＩ部１５及び表示制御部１６として動作させる。

[0065] 表示制御部１６は、表示装置１２の画面上に、演算処理部１４又はＵＩ部１５から指示された内容の画像を表示する機能ブロックである。ＵＩ部１５は、マウス、キーボード等の入力装置１１を操作させることにより、ユーザに演算処理部１４に実行させる処理の種類、処理条件を指定させて、ユーザにより指定された種類の処理を、ユーザにより指定された処理条件で演算処理部１４に実行させる機能ブロックである。演算処理部１４は、パラメータ設定処理（後述）等を実行可能な機能ブロックであり、内部に、指示部１４ａ、取得部１４ｂ、単一周波数成分取得部１４ｃ、特定慣性姿勢推定部１４ｄ、周波数応答取得部１４ｅ、周波数応答推定部１４ｆ、マップ作成部１４ｇ、合成マップ作成部１４ｈ、パラメータ設定部１４ｉを含む。

[0066] 上記の演算処理部１４において、指示部１４ａは、負荷装置４２の運動及び姿勢についての指示をモータ制御装置３０に提供する。取得部１４ｂは、

負荷装置４２について測定された、負荷装置４２の現在位置に相当する信号をモータ制御装置３０から取得する。なお、取得部１４ｂで取得する信号は、現在位置に相当する信号に限定されず、現在速度や現在トルクに相当する信号であってもよい。

[0067] 単一周波数成分取得部１４ｃは、負荷装置４２を制御するための位置指令に関わる指令信号を作成し、指示部１４ａにより指示信号をモータ制御装置３０に提供し、それに応じて測定され取得部１４ｂに取得された信号から所定の単一の周波数におけるゲインまたは位相シフト量を取得する。なお、上記の指令信号は、位置指令に限られず、速度指令やトルク指令であってもよい。

[0068] 特定慣性姿勢推定部１４ｄは、指示部１４ａにより作動時の負荷装置４２の運動過程において現れる一連の姿勢を実現するようにモータ制御装置３０に指示するとともに、単一周波数成分取得部１４ｃにより上述の各姿勢における上述の所定の単一の周波数におけるゲインまたは位相シフト量を取得し、各姿勢におけるゲインから慣性が最大および最小となる姿勢を推定する。

[0069] 周波数応答取得部１４ｅは、指示部１４ａにより、一連の姿勢の中から選ばれた基準姿勢において所定の周波数範囲で振動するようにモータ制御装置３０に指示するとともに、取得部１４ｂにより取得された信号から基準姿勢における周波数応答特性を取得する。周波数応答推定部１４ｆは、周波数応答取得部１４ｅにより取得された、基準姿勢における周波数応答特性と、単一周波数成分取得部１４ｃにより取得された各姿勢における上述の単一周波数におけるゲインまたは位相シフト量とから、慣性が最大および最小となると推定された姿勢におけるゲインの周波数応答特性を推定する。

[0070] マップ作成部１４ｇは、周波数応答推定部１４ｆにより推定された周波数応答特性から、慣性が最大となる姿勢における最大慣性安定性マップ及び慣性が最小となる姿勢における最小慣性安定性マップとを作成する。合成マップ作成部１４ｈは、最大慣性安定性マップ及び最小慣性安定性マップを合成することにより合成安定性マップを作成する。パラメータ設定部１４ｉは、

合成安定性マップを表示し、合成安定性マップ上の位置についての指定を受付け、指定された位置の縦軸値および横軸値に基づいて制御パラメータを設定する。

[0071] 以下、各処理について順に説明する。なお、以下の各処理の説明では、負荷装置４２の姿勢又は状況のことを、単に、負荷装置４２の姿勢と表記する。また、以下の説明において、位置閉ループ特性Ｇp_closed、位置開ループ特性Ｇp_openとは、それぞれ、サーボシステムの、図４の点線枠５１、５２内に示してある部分の周波数伝達関数のことである。また、速度閉ループ特性Ｇv_closed、速度開ループ特性Ｇv_openとは、それぞれ、サーボシステムの、図５の点線枠５３、５４内に示してある部分の周波数伝達関数のことである。

[0072] ＜パラメータ設定処理＞

次に、図６に、本実施例におけるパラメータ設定処理の処理内容を示すフローチャートを示す。本処理は、ＰＣの本体部分１３に備えられたメモリー（不図示）に記憶されたプログラムであり、ユーザにより入力装置１１から処理開始の指令が入力された際に、演算処理部１４によって実行される。

[0073] 本処理が開始されると、先ず、ステップＳ１０１において、単一周波数成分取得部１４ｃによって、制御対象４０の動作中の単一の周波数に対する周波数応答特性を取得する。より具体的には、指示部１４ａからの指示により、モータ４１により負荷装置４２を作動させながら、特定周波数の入力に対する周波数応答特性（ゲイン特性）を取得部１４ｂで取得することでリアルタイムに繰り返し測定する。

[0074] 図７には、この場合の、負荷装置４２の位置及び、周波数応答特性（ゲイン特性）と時間との関係の例を示す。図７において、横軸は時間、縦軸は負荷装置４２の位置（ｒａｄ）及び、周波数応答特性（ゲイン特性）である。図７より、負荷装置４２の位置によって周波数応答特性（ゲイン特性）が変化することが分かる。なお、ステップＳ１０１の処理は、本発明における単一周波数応答取得ステップに相当する。ステップＳ１０１が終了するとステ

ップＳ１０２に進む。

[0075] ステップＳ１０２においては、予め定義された、周波数応答取得部１４ｅによって、負荷装置４２の基準姿勢において周波数応答解析を実施する。図８には、基準姿勢における周波数応答特性の例を示す。より具体的には、基準姿勢において、周波数を変化させながら応答特性を測定する。なお、ステップＳ１０２の処理は、本発明における基準周波数応答取得ステップに相当する。ステップＳ１０２が終了するとステップＳ１０３に進む。

[0076] ステップＳ１０３においては、負荷装置４２を作動させる際の慣性の最大値・最小値を取得する。あるいは、基準姿勢で求めた慣性と、負荷装置４２を作動させる際の慣性の最大値・最小値との比率を取得する。

[0077] ここで、先ずは、慣性の最大値と最小値を直接に取得する手順について説明する。この場合には、Ｓ１０１において測定された単一周波数に対する周波数応答特性（図７に示したグラフに相当）と、以下に示す周波数応答特性（ゲイン特性）と慣性の値との関係式（１）より、慣性Ｊを算出する。

$$慣性J＝（Kvp・J_0）／（\omega・|G(j\omega)|）・・・・・（1）$$

ここで、Ｋｖｐは速度ループ比例ゲイン、$Ｊ_0$は予め設定された慣性設定値である。図９には、上記によって算出された慣性の値と時間の関係のグラフを示す。そして、図９に示すグラフより、基準姿勢における慣性の値である基準姿勢慣性値Ｊｂａｓｅと、慣性最大値Ｊｍａｘ、慣性最小値Ｊｍｉｎを以下のように求めることができる。

基準姿勢慣性値　Ｊｂａｓｅ＝０．７０×１０$^{-4}$（ｋｇ／ｍ^2）

慣性最大値　　Ｊｍａｘ＝０．８７×１０$^{-4}$（ｋｇ／ｍ^2）

慣性最小値　　Ｊｍｉｎ＝０．４３×１０$^{-4}$（ｋｇ／ｍ^2）

なお、図９において慣性最大の姿勢と慣性最小の姿勢が推定されているが、この推定は特定慣性姿勢推定部１４ｄによる。

[0078] 次に、基準姿勢で求めた慣性と、慣性の最大値・最小値との比率を取得す

る場合について説明する。図７に示した、負荷装置４２の位置及び、周波数応答特性（ゲイン特性）と時間との関係より、慣性最大姿勢ゲイン特性値Ｇｍａｘと、慣性最小姿勢ゲイン特性値Ｇｍｉｎと、基準姿勢ゲイン特性値Ｇｂａｓｅは以下のように求められる。

慣性最大姿勢ゲイン特性値Ｇｍａｘ＝０．６０

慣性最小姿勢ゲイン特性値Ｇｍｉｎ＝１．２２

基準姿勢ゲイン特性値　　Ｇｂａｓｅ＝０．７５

[0079] ここで、基準姿勢における慣性の値（上述）は以下のように取得される。（基準姿勢は予め、基準姿勢慣性値Ｊｂａｓｅが定められた位置としている。）

基準姿勢慣性値Ｊｂａｓｅ＝０．７０×１０$^{-4}$(ｋｇ／ｍ^{2})

また、基準姿勢で求めた慣性の値と、慣性の値の最大値と最小値との比率を、前述の各ゲイン特性の比率を用いて、以下のように算出する。

慣性最大比率Ｊｍａｘ＿ｒａｔｉｏ＝Ｇｂａｓｅ／Ｇｍａｘ≒１．２５

慣性最小比率Ｊｍｉｎ＿ｒａｔｉｏ＝Ｇｂａｓｅ／Ｇｍｉｎ≒０．６１

さらに、得られた慣性最大比率Ｊｍａｘ＿ｒａｔｉｏおよび慣性最小比率Ｊｍｉｎ＿ｒａｔｉｏを用いて、慣性の最大値および最小値と、慣性最大姿勢における周波数応答特性および慣性最少姿勢における周波数応答特性を推定する。

[0080] ここで、慣性最大値と慣性最小値は以下のように求められる。

慣性最大値Ｊｍａｘ＝Ｊｂａｓｅ×Ｊｍａｘ＿ｒａｔｉｏ

＝０．８７×１０$^{-4}$(ｋｇ／ｍ^{2})

慣性最小値Ｊｍｉｎ＝Ｊｂａｓｅ×Ｊｍｉｎ＿ｒａｔｉｏ

＝０．４３×１０$^{-4}$(ｋｇ／ｍ^{2})

このようにステップＳ１０３の処理が終了すると、ステップＳ１０４に進む。なお、ステップＳ１０３の処理は、本発明における特定慣性値取得ステップに相当する。

[0081] 次に、ステップＳ１０４においては、ステップＳ１０２で取得した、基準

姿勢における周波数応答特性の各ゲインの値を、慣性最大比率Ｊｍａｘ＿ｒａｔｉｏ、慣性値最小比率Ｊｍｉｎ＿ｒａｔｉｏで除算することで、図１０に示すように、周波数応答推定部１４ｆによって、基準位置、慣性最小位置、慣性最大位置における周波数応答特性を推定する。このステップＳ１０４の処理は、本発明における周波数応答推定ステップに相当する。ステップＳ１０４の処理が終了すると、ステップＳ１０５に進む。

[0082] ステップＳ１０５においては、ステップＳ１０４で取得した、慣性の最大値、最小値をとる姿勢における周波数応答特性より、マップ作成部１４ｇによって各姿勢における安定性マップを生成する。この安定性マップは、横軸を速度ループ比例ゲインＫｖｐ、縦軸を位置ループ比例ゲインＫｐｐとした場合の、システムの安定性を示す評価指標値を色分けして表示したものである。

[0083] ここで、評価指標値の算出の方法について詳細に説明する。演算処理部１４は、モータ制御装置３０を制御することにより、位置閉ループ特性Gp_closed（複素数の配列）を計測する。この処理は、『多数の周波数成分を含むように時間変化する位置指令をモータ制御装置３０に入力しながら検出位置を周期的に収集し、入力した位置指令と収集した検出位置とをフーリエ変換して比をとることにより位置閉ループ特性Gp_closedを算出する処理』であっても、『モータ制御装置３０に位置閉ループ特性Gp_closedの計測を依頼し、計測結果をモータ制御装置３０から取得する処理』であっても良い。

[0084] そして、演算処理部１４は、計測結果を用いて、制御対象特性Ｐ（制御対象４０の周波数伝達関数Ｐ）を算出する。より具体的には、演算処理部１４は、まず、その時点（Gv_closedの計測時点）における各種パラメータ（Ｋｐｐ、Ｋｖｐ、Ｋｉ、フィルタパラメータ）の設定値から、位置制御器３１の特性（周波数伝達関数；以下同様）Ｃｐ及び速度制御器３２の特性Ｃｖを特定する。そして、演算処理部１４は、特定した特性Ｃｐ及びＣｖと速度検出器３５の特性ＣｄとＧｖ_closedとから、制御対象特性Ｐを算出する（図５参照）。

[0085] 次に、演算処理部１４は、制御対象特性Ｐを用いて、複数の装置設定状態のそれぞれについての評価指標値を算出する。より具体的には、演算処理部１４は、装置設定状態毎に、『装置設定状態における各部の特性（位置制御器３１の特性Ｃｐと速度制御器３２の特性Ｃｖ）を特定し、特定した各部の特性と特性Ｃｄと制御対象特性ＰとからGp_closedを算出し、算出したGp_closedから評価指標値を算出する処理』を繰り返す。

[0086] なお、複数の制御装置状態とは、位置ループ比例ゲインＫｐｐと速度ループ比例ゲインＫｖｐの組み合わせが互いに異なり、速度ループ積分ゲインＫｉが、速度ループ比例ゲインＫｖｐに１／４を乗じた値であり、トルクフィルタのカットオフ周波数が、速度ループ比例ゲインＫｖｐに６．８を乗じた値であり、ノッチフィルタのフィルタパラメータ値が、第１設定支援処理の開始時点の値である状態のことである。また、評価指標値としては、本実施例においては位置閉ループのゲインピーク値を採用している。しかしながら、本発明における評価指標値はこれに限られない。例えば、速度閉ループのゲインピーク値、位置開ループのゲイン余裕、位置開ループの位相余裕、速度開ループのゲイン余裕、速度開ループの位相余裕、またはこれらの値のうちの１または複数の値を用いて算出される値であってもよい。

[0087] 本実施例においては、評価指標値を上述のように、位置閉ループのゲインピーク値とした。図１１には、本実施例における安定性マップの例を示す。図１１（ａ）には慣性最大姿勢における安定性マップの例を示す。また、図１１（ｂ）には、慣性最小姿勢における安定性マップの例を示す。なお、ステップＳ１０５の処理を行う演算処理部１４は、本発明における第１特定手段に相当する。また、ステップＳ１０５の処理は本発明における安定性マップ作成ステップに相当する。ステップＳ１０５の処理が終了するとＳ１０６に進む。

[0088] ステップＳ１０６においては、合成マップ作成部１４ｈによって、慣性最大姿勢における安定性マップと、慣性最小姿勢における安定性マップを合成することで、慣性変動する制御対象の安定性を示す、合成安定性マップを作

成する。より具体的には、横軸を速度ループ比例ゲインＫｖｐ、縦軸を位置ループ比例ゲインＫｐｐとし、慣性最大姿勢における安定性マップにおける評価指標と、慣性最小姿勢における評価指標のうち、悪い方の評価指標値を色分けして表示したものである。

[0089] この悪い方の評価指標値は、本発明における合成評価指標値に相当する。図１２には、本実施例における合成安定性マップを示す。なお、各安定性マップにおいて白丸が付された部分は、ＫｐｐとＫｖｐの推奨値（後述）である。ステップＳ１０６を実行する演算処理部１４は本発明における第２特定手段に相当する。また、ステップＳ１０６の処理は、本発明における合成安定性マップ作成ステップに相当する。

[0090] ステップＳ１０６が終了するとステップＳ１０７に進む。ステップＳ１０７においては、パラメータ設定部１４ｉによって、合成安定性マップを用いて、位置ループ比例ゲインＫｐｐと速度ループ比例ゲインＫｖｐの値を決定する。より具体的には、今回の場合には合成安定性マップに表示された位置ループ比例ゲインＫｐｐと速度ループ比例ゲインＫｖｐの推奨値を採用することにしている。ステップＳ１０７の処理は本発明におけるパラメータ設定ステップに相当する。ステップＳ１０７の処理が終了すると本ルーチンを終了する。

[0091] 以上、説明したとおり、本実施例においては、作動中に慣性が変動する負荷装置４２の姿勢を変化させて、その際の慣性値最大の姿勢および、慣性値最小の姿勢における安定性マップを作成した。そして、これらの安定性マップを合成した合成安定性マップによって、制御パラメータ（位置ループ比例ゲインＫｐｐと速度ループ比例ゲインＫｖｐ）を決定した。これによれば、制御対象が有する負荷装置が作動中において慣性が変動する場合にも、より確実に、安定した作動を行える制御パラメータの値を選択することが可能となる。

[0092] ＜変形例１＞

なお、上記の実施例においては、基準姿勢を、慣性値最大の姿勢及び慣性

値最小の姿勢とは異なる姿勢として設定していたが、上記の実施例において、慣性値最小の姿勢を基準姿勢として設定しても構わない。

[0093] ここで、図１３に示すように、慣性値最小の姿勢における周波数応答特性は、（例えば、実施例１におけるように）基準姿勢における周波数応答特性の各ゲインの値を、慣性値最小比率Ｊｍｉｎ＿ｒａｔｉｏで除算するので、基準姿勢、慣性値最大の姿勢、慣性値最小の姿勢の中で、最も高い周波数応答特性になると考えられる。従って、基準姿勢を慣性値最大の姿勢や慣性値最小の姿勢とは異なる姿勢として設定し、基準姿勢において取得された周波数応答特性を、慣性値最小比率ｍｉｎ＿ｒａｔｉｏで除算することで、慣性値最小の姿勢における周波数応答特性を推定した場合には、図１４に示すように、慣性値最小の姿勢における厳密な周波数応答特性が取得できず、場合により、制御の安定性が低下することが考えられる。

[0094] よって、本変形例においては、慣性値最小の姿勢を基準姿勢に設定することで、図１５に示すように、慣性値最小の姿勢についての周波数応答特性を実測することとした。このことにより、慣性値最小の姿勢について得られる周波数応答特性の精度を向上させることができ、慣性値最小の姿勢おける制御の安定性を向上させることが可能である。なお、慣性値最大の姿勢における周波数応答特性は、図１５に示すように、基準姿勢における周波数応答特性を慣性値最大比率ｍａｘ＿ｒａｔｉｏで除算することにより、よりゲインが低い方向にシフトすることで得られるので、慣性値最大の姿勢における周波数応答特性は、より安定したものとして取得することが可能である。

[0095] ＜変形例２＞

次に、本発明の変形例２について説明する。上記の実施例１においては、基準姿勢において周波数応答特性を取得し、これを慣性値最小比率ｍｉｎ＿ｒａｔｉｏで除算することで慣性値最小姿勢における周波数応答特性を取得した。また、基準姿勢における周波数応答特性を慣性値最大比率ｍａｘ＿ｒａｔｉｏで除算することにより慣性値最大姿勢における周波数応答特性を取得した。これに対し、基準姿勢に加えて、慣性値最小姿勢及び慣性値最大姿勢に

ついても、それぞれの周波数応答特性を実測するようにしても構わない。

[0096] 図１６には、本変形例２における、基準姿勢、慣性値最小姿勢及び、慣性値最大姿勢の周波数応答特性について示す。慣性値最小姿勢及び慣性値最大姿勢については推定値と実測値について記載している。図１６に示すように、慣性値最小姿勢における周波数応答特性を、基準姿勢における周波数応答特性を慣性値最小比率ｍｉｎ＿ｒａｔｉｏで除算することで推定した場合には、ゲインピークが０（ｄＢ）を超えているように推定され、実測ではゲインピークが０（ｄＢ）を超えていないにも拘わらずゲインを下げる必要が生じる場合がある。

[0097] また、慣性値最大姿勢における周波数応答特性を、基準姿勢における周波数応答特性を慣性値最大比率ｍａｘ＿ｒａｔｉｏで除算することにより推定した場合にも、ゲインピークが実測よりも高い値に推定されてしまい、実際にはもっと、ゲインを上げられるにも拘らずゲインを高く設定できないなどの不都合が生じ得る。

[0098] これに対して、本変形例に示すように、慣性値最大姿勢及び慣性値最小姿勢においても、それぞれの周波数応答特性を実測することで、双方においてより正確な周波数応答特性を得ることが可能となり、より最適な制御パラメータを選択することが可能となる。

[0099] ＜実施例２＞

次に、本発明の実施例２について説明する。上述の実施例１においては、負荷装置の作動中に単一の周波数に対する周波数応答特性を算出し、その値から慣性値を算出する例について説明したが、本実施例では、負荷装置への動作指令に正弦波状の信号を重畳する例について説明する。

[0100] ここで、上述のように、実施例１では、負荷装置４２の作動中に単一の周波数に対する周波数応答特性を算出し、その値から慣性値を算出することとした。より具体的には、例えば、負荷装置４２を一方向に動作させ、単一の周波数に対する周波数応答特性（ゲイン特性）をリアルタイムに繰り返し確認することで、負荷装置４２の慣性値を算出する。

[0101] ここで、単一の周波数に対する周波数応答特性を取得する際、何らかの周波数信号が必要となるが、負荷装置４２に対する動作指令が等速運動指令等である場合には、動作指令に周波数信号が含まれておらず単一の周波数に対する周波数応答特性を取得することが困難となる場合がある。あるいは、動作指令に複数の周波数成分が含まれている場合、その周波数成分の影響を受けることで単一の周波数に対する周波数応答特性を正しく取得できない場合がある。

[0102] それに対し、本実施例では、図１７に示すように、負荷装置４２の動作指令信号に正弦波状の信号を重畳することとした。これによれば、負荷装置４２への動作指令の種類に拘わらず、必ず動作指令信号に単一の周波数を含ませることができ、単一の周波数に対する周波数応答特性を精度よく測定することが可能となる。なお、重畳する正弦波状信号の周波数は、単一の周波数であってもよいし、複数の異なる周波数の正弦波の和であっても構わない。

[0103] 図１８には、負荷装置４２の周波数応答特性と重畳する正弦波状信号の周波数の関係を示す。実線で示す曲線は、負荷装置４２の周波数応答特性を示す。破線で示す直線は、重畳する正弦波状信号の周波数を示す。ここで、負荷装置４２の動作中に繰返し取得する、単一の周波数に対する周波数応答特性は、図１８中に黒丸で表されている周波数の正弦波状信号に対する応答特性ということになる。

[0104] 図１８から分かるように、本実施例においては、負荷装置４２の動作指令信号に重畳する正弦波信号の周波数は、負荷装置４２の共振周波数及び反共振周波数より低い周波数としている。これにより、負荷装置４２の共振または反共振の影響を受けることなく、単一周波数の入力に対する応答特性を精度よく測定することが可能である。なお、この際の負荷装置４２の共振周波数及び反共振周波数は、基準姿勢にて取得した負荷装置４２の周波数応答特性より求めてもよい。

[0105] また、負荷装置４２の動作指令信号に重畳する正弦波状信号の周波数は、基準姿勢における開ループの周波数応答特性において、－２０[ｄＢ/ｄｅｃ]

と近似できる帯域の周波数としてもよい。これによれば、負荷装置４２の動作指令信号に重畳する正弦波状信号の周波数として、共振周波数・反共振周波数から充分に離れた帯域における周波数を選択することができ、より確実に、共振または反共振の影響を排除し、より精度のよい応答特性を測定することが可能である。なお、負荷装置４２の動作指令信号に重畳する正弦波信号の周波数を、負荷装置４２の共振周波数及び反共振周波数より低い周波数とする場合には、予め共振周波数と反共振周波数が分かっていることが条件となる。この共振周波数と反共振周波数は基準姿勢における周波数応答特性から取得することとなる。

[0106] また、本実施例においては、動作指令に対して正弦波状信号を重畳する区間は、負荷装置４２を一定速度で動作させる動作指令の区間とする。ここで、負荷装置４２の加減速動作の指令には、もともと単一の周波数に対する周波数応答特性を確認する周波数の信号が含まれている可能性があり、重畳する正弦波信号と重なることで周波数応答特性の測定精度が低下してしまう虞がある。これに対し、負荷装置４２の動作指令に対して正弦波状信号を重畳する区間は、負荷装置４２を一定速度の動作させる動作指令の区間とすることで、重畳する正弦波状信号と同一周波数の信号が混入することを抑制し、負荷装置４２の単一の周波数に対する周波数応答特性をより精度よく取得することが可能となる。

[0107] ここで、本実施例において正弦波状信号を重畳する指令信号は、図１９に示すように、位置指令信号、速度指令信号およびトルク指令信号のいずれかとする。これによれば、モータ制御装置３０の制御ブロック図を図１９のように構成し、正弦波状信号を位置指令信号、速度指令信号、トルク指令信号の何れかに重畳し、それに対する制御対象４０の出力を取得することで、単一の周波数に対する周波数応答特性を確認することが出来る。

[0108] ＜実施例３＞

次に、本発明の実施例３について説明する。本実施例においては、制御対象４０が複数の負荷装置４２の組合せに係る（複数軸を有する）場合に、各

負荷装置４２に対して求められた合成安定性マップをさらに重ね合わせて軸合成安定性マップを作成する例について説明する。

[0109] 本実施例においては、例えば、Ｘ軸方向とＹ軸方向の２軸の移動を行うガントリ装置など、結合された複数の負荷装置４２（以下、単純に「軸」ともいう。）における制御を同時に行う必要がある場合を想定している。そして、このような場合には、一つの軸の制御に対して調整した制御パラメータを他の軸にも適用すると、制御対象４０全体としての動作が不安定になる場合がある。これに対し、本実施例においては、各軸に対して合成安定性マップを作成し、各軸の合成安定性マップをさらに合成した軸合成安定性マップを作成することとした。

[0110] より具体的には、図２０（ａ）、図２０（ｂ）に示すように、制御対象４０を構成する各負荷装置４２（軸）に対して、慣性値最大姿勢における安定性マップと慣性値最小姿勢における安定性マップを合成した合成安定性マップを作成する。この合成安定性マップは、慣性値最大姿勢における安定性マップと慣性値最小姿勢における安定性マップにおける悪い方の評価指標値をマップ化したものである。

[0111] そして、図２１に示すように、各々の負荷装置４２（軸）についての合成安定性マップをさらに合成して軸合成安定マップを作成する。この軸合成安定性マップは、各負荷装置４２（軸）の合成安定性マップにおける悪い方の評価指標値をマップ化したものである。これによれば、複数の負荷装置４２（軸）が結合して構成される制御対象４０の動作安定性を一つの安全性マップで確認することが可能となる。

[0112] ＜実施例４＞

次に、本発明の実施例４について説明する。本実施例においては、安定性マップから、最適な制御パラメータを自動的に選択、表示する例について説明する。

[0113] 例えば、図１２に示したように、本発明では、安定性マップにおいて、最適な制御パラメータの組合せについてマーキングを施すことが考えられる。

しかしながら、ユーザが安定性マップを用いて任意で制御パラメータを設定した場合には、観点が明確でなく、必ずしも最適な制御パラメータが設定されない場合がある。これに対し、本実施例では、図２２に示すように、安定性マップの縦軸である位置ループ比例ゲインＫｐｐと、横軸である速度ループ比例ゲインＫｖｐの組合せのうち、特定の観点で判断された、最適な組み合わせにマーキングを施して表示することとした。

[0114] 例えば、図２２（ａ）の例では、いくつかの候補点のうち、原点からのノルム（例えば、$（Ｋｐｐ^{2}＋Ｋｖｐ^{2}）^{（1／2）}$）が最大となる点を最適点としている。また、図２２（ｂ）に示すように、調整指標（この例ではＫｖｐ）が最大となる点であってもよい。本実施例によれば、予め決めた特定の観点により、位置ループ比例ゲインＫｐｐと、横軸である速度ループ比例ゲインＫｖｐの組合せのうち、最適な組み合わせを、自動的に分かりやすく表示することができ、制御パラメータをより容易に決定することが可能となる。

[0115] ＜実施例５＞

次に、本発明の実施例５について説明する。本実施例においては、慣性最小姿勢における周波数応答特性から、速度制御器のゲインを決定するとともに、慣性最大姿勢における周波数応答特性から位置制御器のゲインを決定する例について説明する。

[0116] 本発明における先述の実施例においては、慣性最小姿勢における周波数応答特性から、速度ループ比例ゲインＫｖｐと位置ループ比例ゲインＫｐｐの最適な組み合わせについて決定した。その場合、実際には、決定された速度ループ比例ゲインＫｖｐに一定の比率を乗じることで速度ループ積分ゲインＫｉを決定していた。そのため、速度ループ積分ゲインＫｉの変化に対する安定性を保証することが困難であった。

[0117] これに対し、本実施例においては、慣性最小姿勢における周波数応答特性から速度制御器のゲイン（Ｋｖｐ及びＫｉ）を決定するとともに、慣性最大姿勢における周波数応答特性から位置制御器のゲイン（Ｋｐｐ）を決定することとした。

[0118] 図２３には、本実施例において作成される安定性マップについて示す。図２３（ａ）には、慣性最小姿勢における周波数応答特性から、速度制御器のゲイン（Ｋｖｐ及びＫｉ）を決定するための安定性マップを示す。このマップの横軸は速度ループ比例ゲインＫｖｐであり、縦軸は速度ループ積分ゲインＫｉである。そして、この安定性マップを用いて、速度制御器のゲイン（Ｋｖｐ及びＫｉ）の組合せを決定する。

[0119] 次に、慣性最大姿勢における周波数特性から、位置制御器のゲインである位置ループ比例ゲインＫｐｐを、速度ループ比例ゲインＫｖｐを決定した値に固定した、図２３（ｂ）に示す安定性グラフを用いて決定する。これによれば、位置ループ比例ゲインＫｐｐ、速度ループ積分ゲインＫｉ及び速度ループ比例ゲインＫｖｐの各々をより精度よく求めることが可能となる。

[0120] なお、以下には本発明の構成要件と実施例の構成とを対比可能とするために、本発明の構成要件を図面の符号付きで記載しておく。

＜発明１＞

作動中の姿勢により慣性が変化する負荷装置（４２）と該負荷装置を駆動するモータ（４１）と、を含む制御対象（４０）を制御する制御装置（３０）における、制御パラメータの設定を支援するパラメータ設定支援装置（１０）であって、

前記負荷装置（４２）の慣性が最大となる姿勢と前記負荷装置の慣性が最小となる姿勢と、における、前記制御対象（４０）の周波数応答特性に基づいて、前記制御装置（３０）による制御の安定性又は制御性能を示す評価指標値を特定する第１特定手段（１４）と、

前記第１特定手段（１４）により特定された、前記負荷装置（４２）の慣性が最大となる姿勢及び前記負荷装置（４２）の慣性が最小となる姿勢についての前記評価指標値に基づき、前記負荷装置（４２）の前記作動中の姿勢に関する前記評価指標値を代表する合成評価指標値を特定する第２特定手段（１４）と、

を備えることを特徴とするパラメータ設定支援装置（１０）。

＜発明１９＞

作動中の姿勢により慣性が変化する負荷装置（４２）と該負荷装置を駆動するモータ（４１）と、を含む制御対象（４０）を制御する制御装置（３０）における、制御パラメータの設定を支援し、ツールソフトがインストールされたコンピュータとして構成されるパラメータ設定支援装置（１０）であって、

前記負荷装置（４２）の運動及び姿勢についての指示を前記制御装置（３０）に提供する指示部（１４ａ）と、

前記負荷装置（４２）について測定された、前記負荷装置（４２）の現在位置、現在速度、現在トルクの少なくともいずれかに相当する信号を前記制御装置（３０）から取得する取得部（１４ｂ）と、

前記負荷装置（４２）を制御するための位置指令、速度指令、トルク指令の少なくともいずれかに単一の周波数を持つ正弦波状信号を重畳した一連の指令信号を作成し、前記指示部（１４ａ）により前記指示信号を前記制御装置（３０）に提供し、それに応じて測定され前記取得部に取得された信号から前記周波数におけるゲインまたは位相シフト量を取得する、単一周波数成分取得部（１４ｃ）と、

前記指示部により作動時の前記負荷装置（４２）の運動過程において現れる一連の姿勢を実現するように前記制御装置（３０）に指示するとともに、前記単一周波数成分取得部（１４ｃ）により前記各姿勢における前記周波数におけるゲインまたは位相シフト量を取得し、前記各姿勢におけるゲインから慣性が最大および最小となる姿勢を推定する特定慣性姿勢推定部（１４ｄ）と、

前記指示部（１４ａ）により、前記一連の姿勢の中から選ばれた基準姿勢において所定の周波数範囲で振動するように前記制御装置（３０）に指示するとともに、前記取得部（１４ｂ）により取得された信号から前記基準姿勢における周波数応答特性を取得する周波数応答取得部（１４ｅ）と、

前記周波数応答取得部（１４ｅ）により取得された前記基準姿勢における

周波数応答特性と、前記単一周波数成分取得部（１４ｃ）により取得された前記各姿勢における前記周波数におけるゲインまたは位相シフト量とから、慣性が最大および最小となる前記推定された姿勢におけるゲインの周波数応答特性を推定する周波数応答推定部（１４ｆ）と、

前記周波数応答推定部（１４ｆ）により推定された前記周波数応答特性から、慣性が最大となる姿勢における最大慣性安定性マップ及び慣性が最小となる姿勢における最小慣性安定性マップとを作成するマップ作成部（１４ｇ）と、

前記最大慣性安定性マップ及び前記最小慣性安定性マップを合成することにより合成安定性マップを作成する合成マップ作成部（１４ｈ）と、

前記合成安定性マップを表示し、前記合成安定性マップ上の位置についての指定を受付け、指定された前記位置の縦軸値および横軸値に基づいて制御パラメータを設定するパラメータ設定部（１４ｉ）と、

を備えることを特徴とする、パラメータ設定支援装置。

＜発明２０＞

作動中の姿勢により慣性が変化する負荷装置（４２）と該負荷装置（４２）を駆動するモータと、を含む制御対象（４０）を制御する制御装置（３０）における、制御パラメータの設定を支援するパラメータ設定支援方法であって、

前記負荷装置（４２）の動作中の一連の姿勢における単一の周波数の入力信号に対する周波数応答特性を取得する単一周波数応答取得ステップ（Ｓ１０１）と、

前記負荷装置（４２）の動作中における前記一連の姿勢の中から選ばれた基準姿勢において所定の周波数範囲に対する周波数応答特性を取得する基準周波数応答取得ステップ（Ｓ１０２）と、

慣性の最大値と最小値または、基準姿勢で求めた慣性と慣性の最大値及び最小値との比率を取得する特定慣性値取得ステップ（Ｓ１０３）と、

前記慣性が最大値となる姿勢及び、前記慣性が最小値となる姿勢における

周波数応答特性を推定する周波数応答推定ステップ（Ｓ１０４）と、

前記周波数応答推定ステップにおいて取得した、前記慣性が最大値となる姿勢及び、前記慣性が最小値となる姿勢における周波数応答特性から、前記慣性が最大値となる姿勢及び、前記慣性が最小値となる姿勢における安定性マップを作成する安定性マップ作成ステップ（Ｓ１０５）と、

前記慣性が最大値となる姿勢における安定性マップと、前記慣性が最小値となる姿勢における安定性マップとを合成する合成安定性マップ作成ステップ（Ｓ１０６）と、

前記合成安定性マップ作成ステップに基づいて、前記制御パラメータを設定するパラメータ設定ステップ（Ｓ１０７）と、

を有することを特徴とする、パラメータ設定支援方法。

符号の説明

[0121] １０　パラメータ設定支援装置

１１　入力装置

１２　表示装置

１３　本体部分

１４　演算処理部

１５　ＵＩ部

１６　表示制御部

３０　モータ制御装置

３１　位置制御器

３２　速度制御器

３４　電流制御器

３５　位置検出器

４０　制御対象

４１　モータ

４２　負荷装置

請求の範囲

[請求項1] 作動中の姿勢により慣性が変化する負荷装置と該負荷装置を駆動するモータと、を含む制御対象を制御する制御装置における、制御パラメータの設定を支援するパラメータ設定支援装置であって、

前記負荷装置の慣性が最大となる姿勢と前記負荷装置の慣性が最小となる姿勢と、における、前記制御対象の周波数応答特性に基づいて、前記制御装置による制御の安定性又は制御性能を示す評価指標値を特定する第１特定手段と、

前記第１特定手段により特定された、前記負荷装置の慣性が最大となる姿勢及び前記負荷装置の慣性が最小となる姿勢についての前記評価指標値に基づき、前記負荷装置の前記作動中の姿勢に関する前記評価指標値を代表する合成評価指標値を特定する第２特定手段と、

を備えることを特徴とするパラメータ設定支援装置。

[請求項2] 前記第１特定手段は、

前記負荷装置の作動中の所定の基準姿勢における周波数応答特性と、

前記負荷装置の慣性が最大となる姿勢における該慣性に対する前記基準姿勢における前記負荷装置の慣性の比率及び、前記負荷装置の慣性が最小となる姿勢における該慣性に対する前記基準姿勢における前記負荷装置の慣性の比率と、

に基づいて、

前記負荷装置の慣性が最大となる姿勢と前記負荷装置の慣性が最小となる姿勢と、における、前記制御対象の周波数応答特性を取得することを特徴とする、請求項１に記載のパラメータ設定支援装置。

[請求項3] 前記第１特定手段は、

前記基準姿勢を、前記負荷装置の慣性が最小となる姿勢とすることを特徴とする、請求項２に記載のパラメータ設定支援装置。

[請求項4] 前記第１特定手段は、前記負荷装置の慣性が最大となる姿勢と、前

記負荷装置の慣性が最小となる姿勢のそれぞれについての前記評価指標値を、前記制御装置の少なくとも１つの制御パラメータの値が互いに異なる複数の制御装置状態のそれぞれについて特定し、

前記第２特定手段は、前記制御装置状態別に、前記合成評価指標値を特定する、

ことを特徴とする請求項１から３のいずれか一項に記載のパラメータ設定支援装置。

[請求項5] 前記第２特定手段により特定された各合成評価指標値を、各合成評価指標値が特定された前記制御装置状態を示す情報に対応づけた形で表示する表示手段を、さらに備えることを特徴とする、請求項４に記載のパラメータ設定支援装置。

[請求項6] 前記第１特定手段は、

前記負荷装置の作動中における、所定の単一周波数についての周波数応答特性を取得することにより、

前記負荷装置の所定の姿勢における慣性の値を取得することを特徴とする、請求項１から５のいずれか一項に記載のパラメータ設定支援装置。

[請求項7] 前記第１特定手段は、

前記負荷装置の作動中における、所定の単一周波数についてのゲイン特性と、事前に設定した所定のパラメータにより、前記負荷装置の所定の姿勢における慣性の値を算出することを特徴とする、請求項６に記載のパラメータ設定支援装置。

[請求項8] 前記負荷装置の作動中に、該負荷装置への動作指令信号に正弦波状信号を重畳することを特徴とする、請求項６または７に記載のパラメータ設定支援装置。

[請求項9] 前記正弦波状信号の周波数は、前記負荷装置の共振周波数及び反共振周波数より低い周波数であることを特徴とする、請求項８に記載のパラメータ設定支援装置。

[請求項10] 前記負荷装置の作動中において、前記正弦波状信号を重畳する区間は、前記負荷装置を一定速度で動作させる動作指令の区間とすることを特徴とする、請求項８または９に記載のパラメータ設定支援装置。

[請求項11] 前記正弦波状信号を重畳する動作指令は、位置指令、速度指令または、トルク指令のいずれかであることを特徴とする、請求項８から１０のいずれか一項に記載のパラメータ設定支援装置。

[請求項12] 前記制御対象は、結合する複数の負荷装置を含んでおり、

前記第１特定手段は、前記制御対象に含まれるそれぞれの負荷装置について、前記評価指標値を特定し、

前記第２特定手段は、前記制御対象に含まれるそれぞれの負荷装置について、前記合成評価指標値を特定し、各負荷装置のそれぞれについての合成評価指標値に基づき、制御対象全体としての合成評価指標値を特定することを特徴とする、請求項４に記載のパラメータ設定支援装置。

[請求項13] 前記第２特定手段により特定された、制御対象全体としての合成評価指標値を、各合成評価指標値が特定された前記制御装置状態を示す情報に対応づけた形で表示する第２表示手段を、さらに備えることを特徴とする、請求項１２に記載のパラメータ設定支援装置。

[請求項14] 前記第２特定手段により特定された合成評価指標値を、各合成評価指標値が特定された前記制御装置状態を示す情報に対応づけた形で表示する際に、所定条件を満たす前記合成評価指標値を示す制御装置状態に対しては、所定の最適値マークとともに前記合成評価指標値を表示することを特徴とする、請求項５または１３に記載のパラメータ設定支援装置。

[請求項15] 前記所定条件は、前記第２表示手段による表示における原点からのノルムが最大となることである、請求項１４に記載のパラメータ設定支援装置。

[請求項16] 前記所定条件は、前記合成評価指標値が最大となることである、請

求項１４に記載のパラメータ設定支援装置。

[請求項17] 前記所定条件は、前記制御パラメータのいずれかが最大となることである、請求項１４に記載のパラメータ設定支援装置。

[請求項18] 前記負荷装置の慣性が最小となる姿勢における、前記制御対象の周波応答特性から速度制御器のゲインを決定するとともに、前記負荷装置の慣性が最大となる姿勢における、前記制御対象の周波応答特性から位置制御器のゲインを決定すること、を特徴とする請求項１に記載のパラメータ設定支援装置。

[請求項19] 作動中の姿勢により慣性が変化する負荷装置と該負荷装置を駆動するモータと、を含む制御対象を制御する制御装置における、制御パラメータの設定を支援し、ツールソフトがインストールされたコンピュータとして構成されるパラメータ設定支援装置であって、

前記負荷装置の運動及び姿勢についての指示を前記制御装置に提供する指示部と、

前記負荷装置について測定された、前記負荷装置の現在位置、現在速度、現在トルクの少なくともいずれかに相当する信号を前記制御装置から取得する取得部と、

前記負荷装置を制御するための位置指令、速度指令、トルク指令の少なくともいずれかに単一の周波数を持つ正弦波状信号を重畳した一連の指令信号を作成し、前記指示部により前記指示信号を前記制御装置に提供し、それに応じて測定され前記取得部に取得された信号から前記周波数におけるゲインまたは位相シフト量を取得する、単一周波数成分取得部と、

前記指示部により作動時の前記負荷装置の運動過程において現れる一連の姿勢を実現するように前記制御装置に指示するとともに、前記単一周波数成分取得部により前記各姿勢における前記周波数におけるゲインまたは位相シフト量を取得し、前記各姿勢におけるゲインから慣性が最大および最小となる姿勢を推定する特定慣性姿勢推定部と、

前記指示部により、前記一連の姿勢の中から選ばれた基準姿勢において所定の周波数範囲で振動するように前記制御装置に指示するとともに、前記取得部により取得された信号から前記基準姿勢における周波数応答特性を取得する周波数応答取得部と、

前記周波数応答取得部により取得された前記基準姿勢における周波数応答特性と、前記単一周波数成分取得部により取得された前記各姿勢における前記周波数におけるゲインまたは位相シフト量とから、慣性が最大および最小となる前記推定された姿勢におけるゲインの周波数応答特性を推定する周波数応答推定部と、

前記周波数応答推定部により推定された前記周波数応答特性から、慣性が最大となる姿勢における最大慣性安定性マップ及び慣性が最小となる姿勢における最小慣性安定性マップとを作成するマップ作成部と、

前記最大慣性安定性マップ及び前記最小慣性安定性マップを合成することにより合成安定性マップを作成する合成マップ作成部と、

前記合成安定性マップを表示し、前記合成安定性マップ上の位置についての指定を受付け、指定された前記位置の縦軸値および横軸値に基づいて制御パラメータを設定するパラメータ設定部と、

を備えることを特徴とする、パラメータ設定支援装置。

[請求項20] 作動中の姿勢により慣性が変化する負荷装置と該負荷装置を駆動するモータと、を含む制御対象を制御する制御装置における、制御パラメータの設定を支援するパラメータ設定支援方法であって、

前記負荷装置の動作中の一連の姿勢における単一の周波数の入力信号に対する周波数応答特性を取得する単一周波数応答取得ステップと、

前記負荷装置の動作中における前記一連の姿勢の中から選ばれた基準姿勢において所定の周波数範囲に対する周波数応答特性を取得する基準周波数応答取得ステップと、

慣性の最大値と最小値または、基準姿勢で求めた慣性と慣性の最大値及び最小値との比率を取得する特定慣性値取得ステップと、

前記慣性が最大値となる姿勢及び、前記慣性が最小値となる姿勢における周波数応答特性を推定する周波数応答推定ステップと、

前記周波数応答推定ステップにおいて取得した、前記慣性が最大値となる姿勢及び、前記慣性が最小値となる姿勢における周波数応答特性から、前記慣性が最大値となる姿勢及び、前記慣性が最小値となる姿勢における安定性マップを作成する安定性マップ作成ステップと、

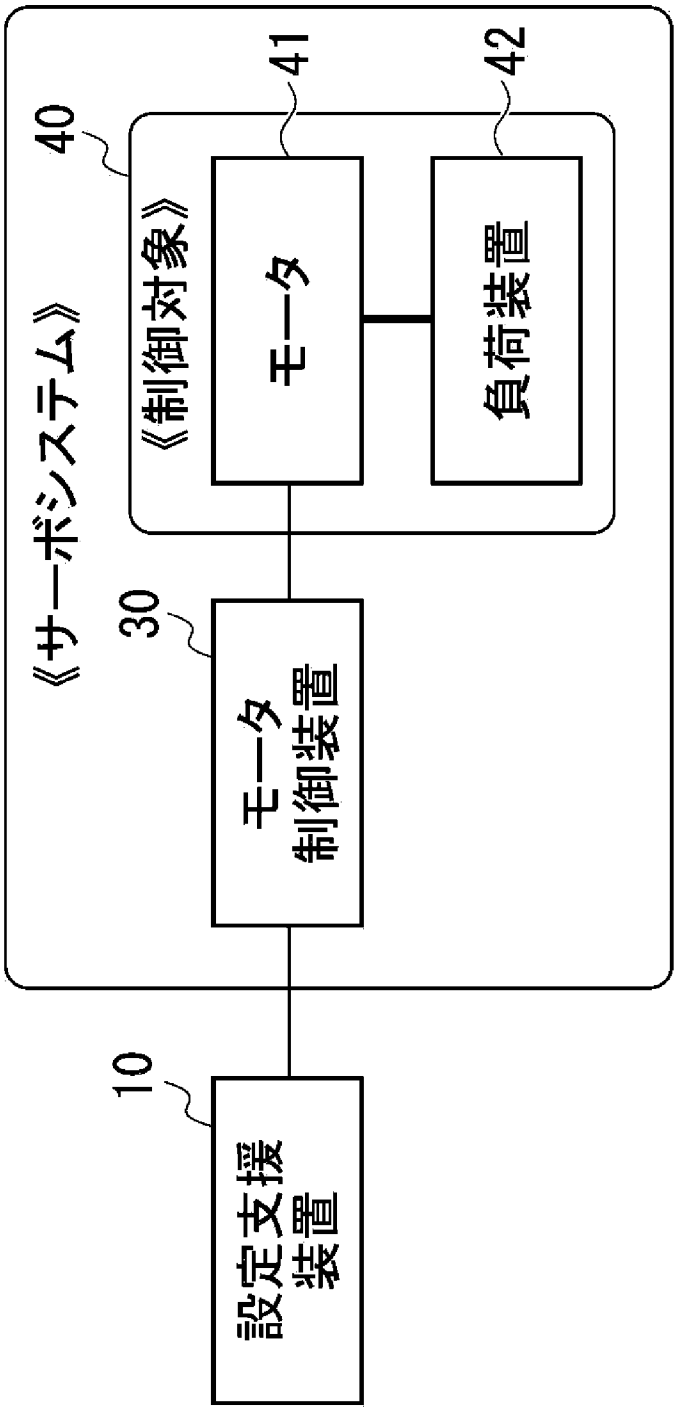
前記慣性が最大値となる姿勢における安定性マップと、前記慣性が最小値となる姿勢における安定性マップとを合成する合成安定性マップ作成ステップと、

前記合成安定性マップ作成ステップに基づいて、前記制御パラメータを設定するパラメータ設定ステップと、

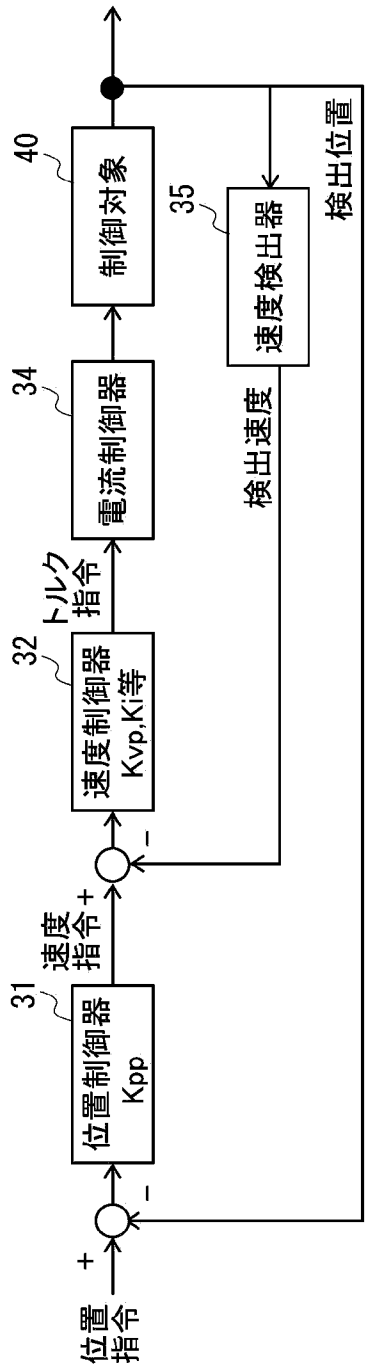
を有することを特徴とする、パラメータ設定支援方法。

[請求項21] コンピュータに請求項２０に記載の単一周波数応答取得ステップと、基準周波数応答取得ステップと、特定慣性値取得ステップと、周波数応答推定ステップと、安定性マップ作成ステップと、合成安定性マップ作成ステップと、パラメータ設定ステップとの少なくともいずれかを実行させる、パラメータ設定支援プログラム。

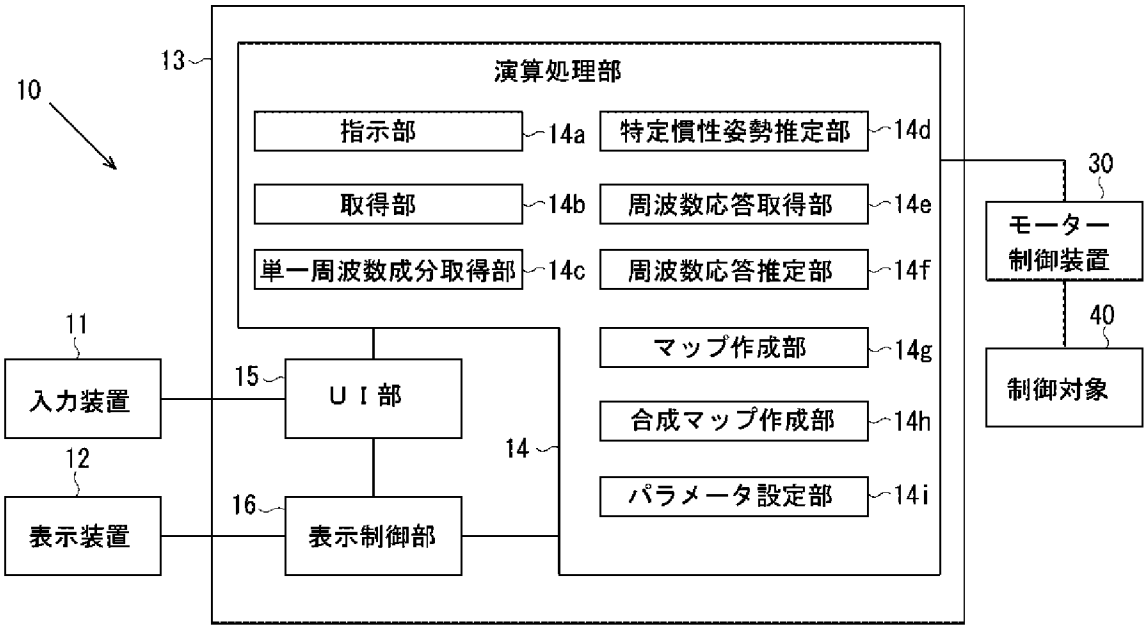
[図1]



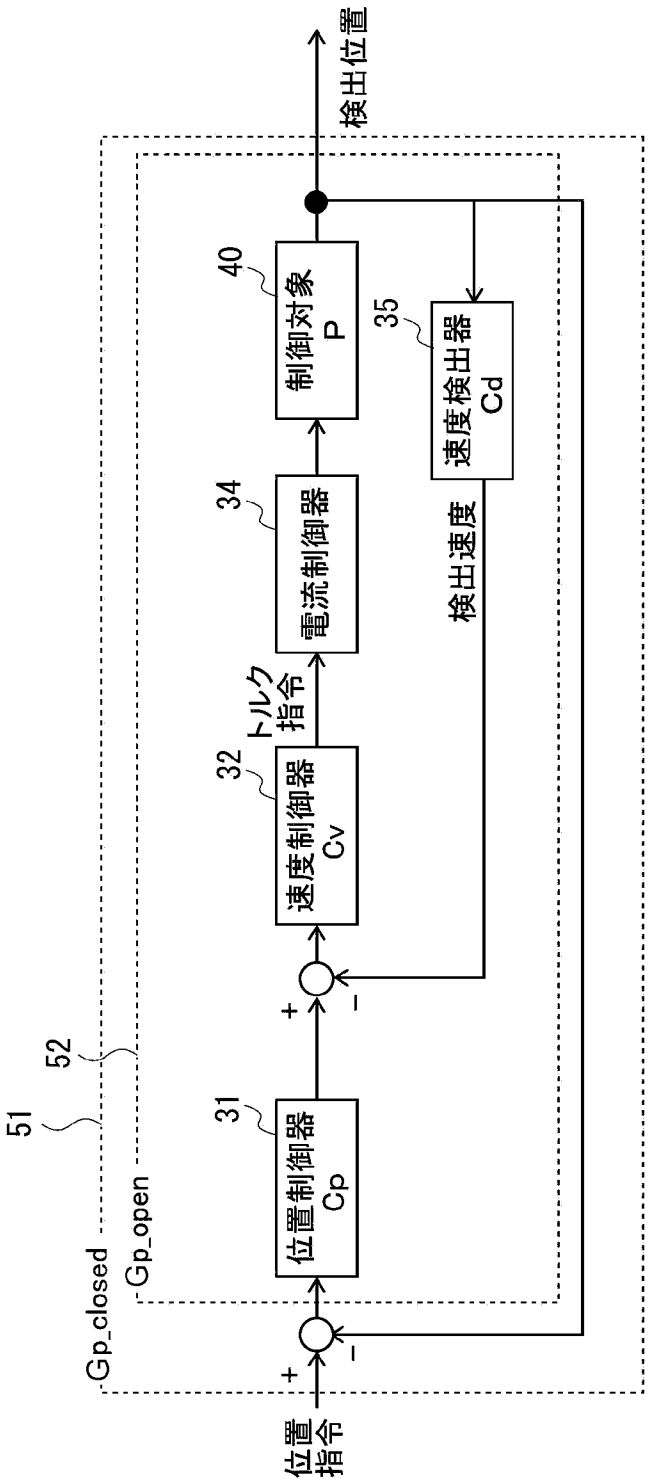
[図2]


位置指令
+
−
31
位置制御器
Kpp
速度指令
+
−
32
速度制御器
Kvp,Ki等
トルク指令
34
電流制御器
40
制御対象
検出位置
35
速度検出器
検出速度

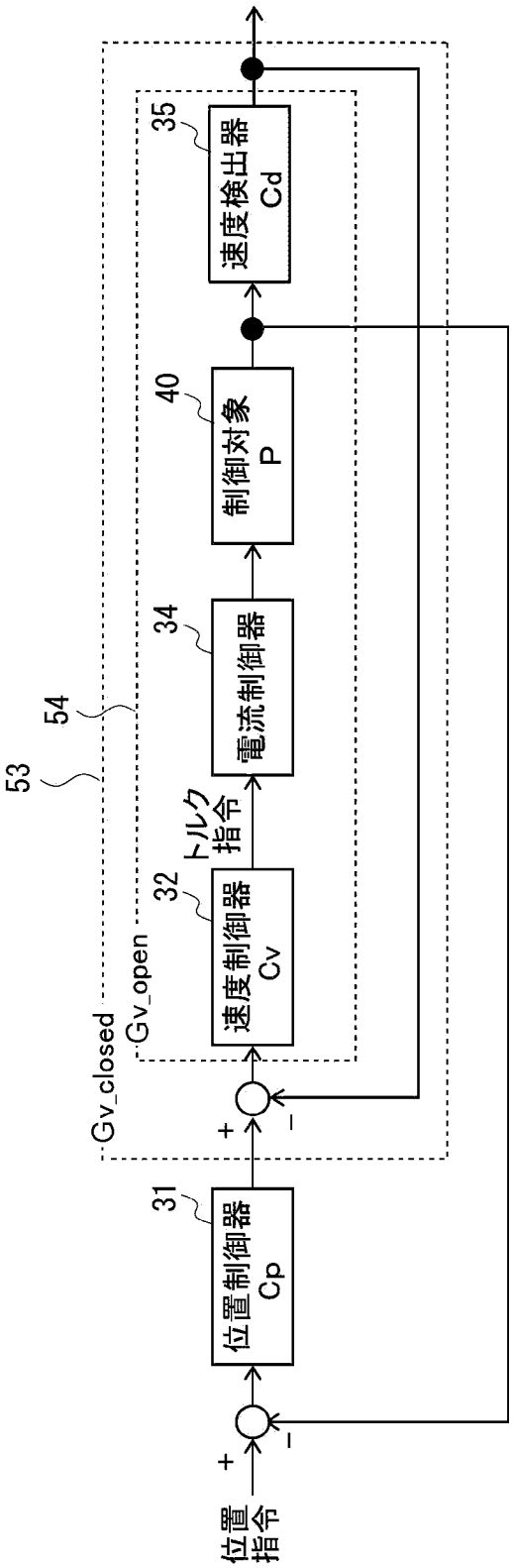
[図3]


10
13
演算処理部
指示部
14a
特定慣性姿勢推定部
14d
取得部
14b
周波数応答取得部
14e
単一周波数成分取得部
14c
周波数応答推定部
14f
マップ作成部
14g
合成マップ作成部
14h
パラメータ設定部
14i
14
30
モーター制御装置
40
制御対象
11
入力装置
15
ＵＩ部
12
表示装置
16
表示制御部

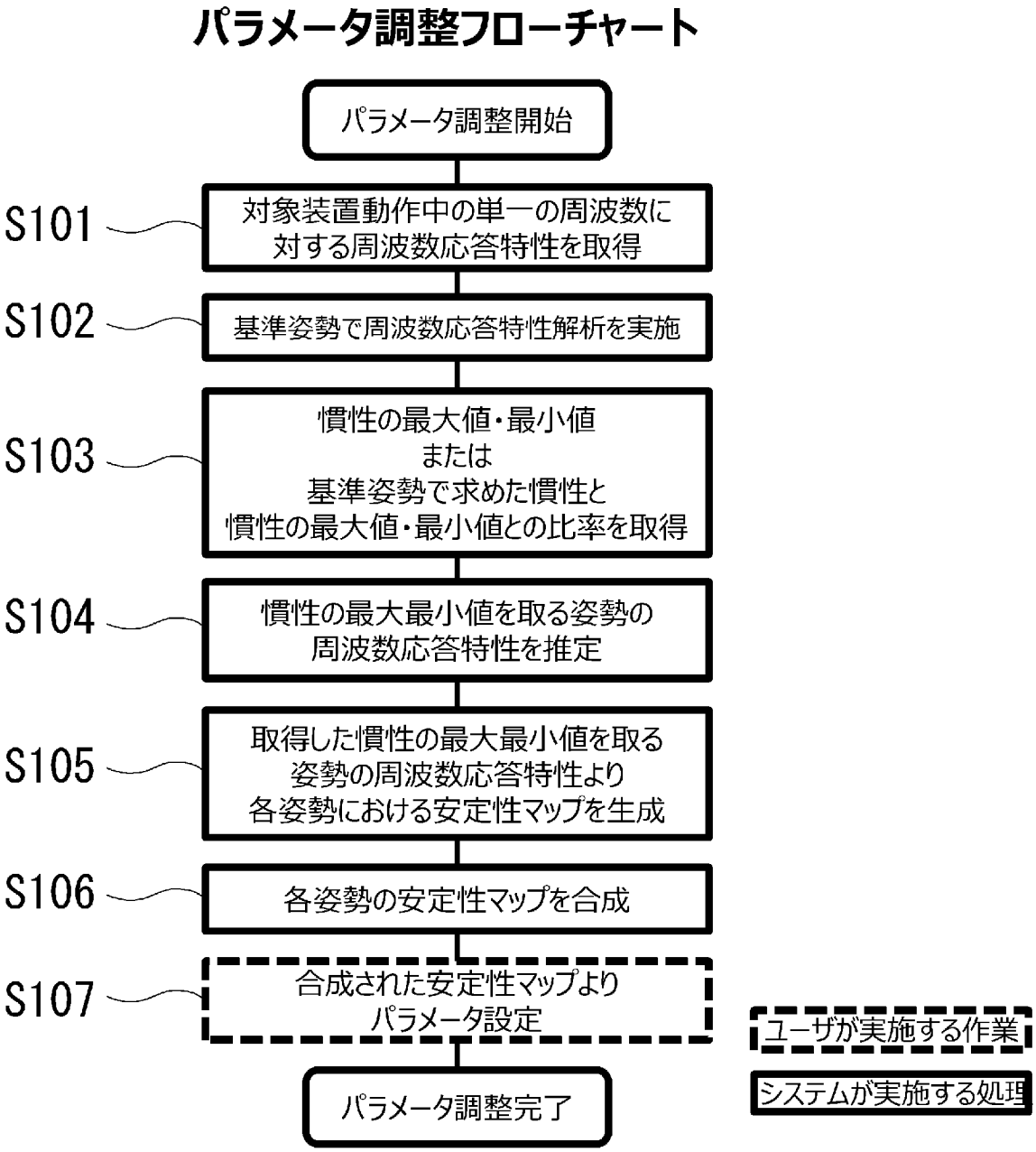
[図4]


検出位置
40
制御対象
P
35
速度検出器
Cd
34
電流制御器
検出速度
トルク
指令
32
速度制御器
Cv
52
51
31
位置制御器
Cp
Gp_open
Gp_closed
+
−
+
−
位置
指令

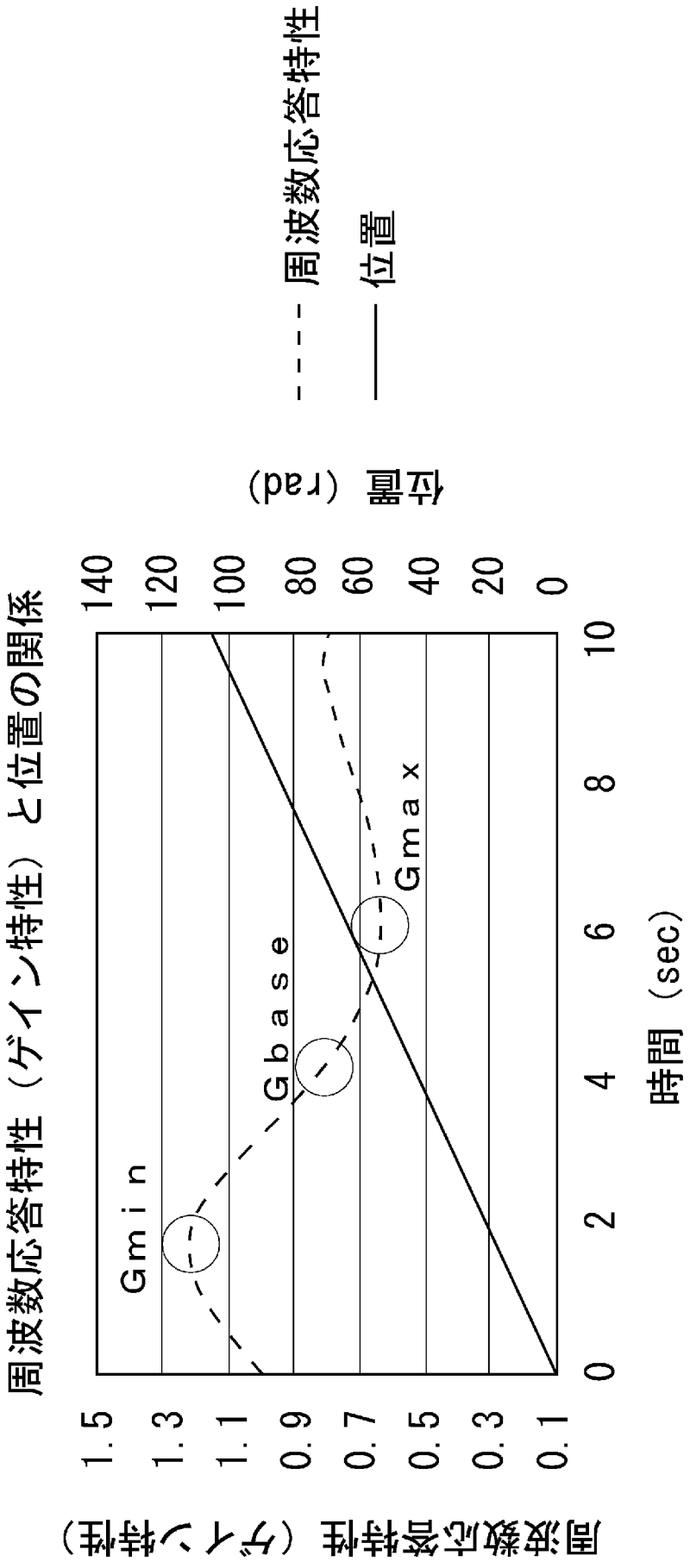
[図5]


位置指令
+
−
位置制御器
Cp
31
+
−
速度制御器
Cv
32
トルク指令
電流制御器
34
制御対象
P
40
速度検出器
Cd
35
Gv_open
Gv_closed
53
54

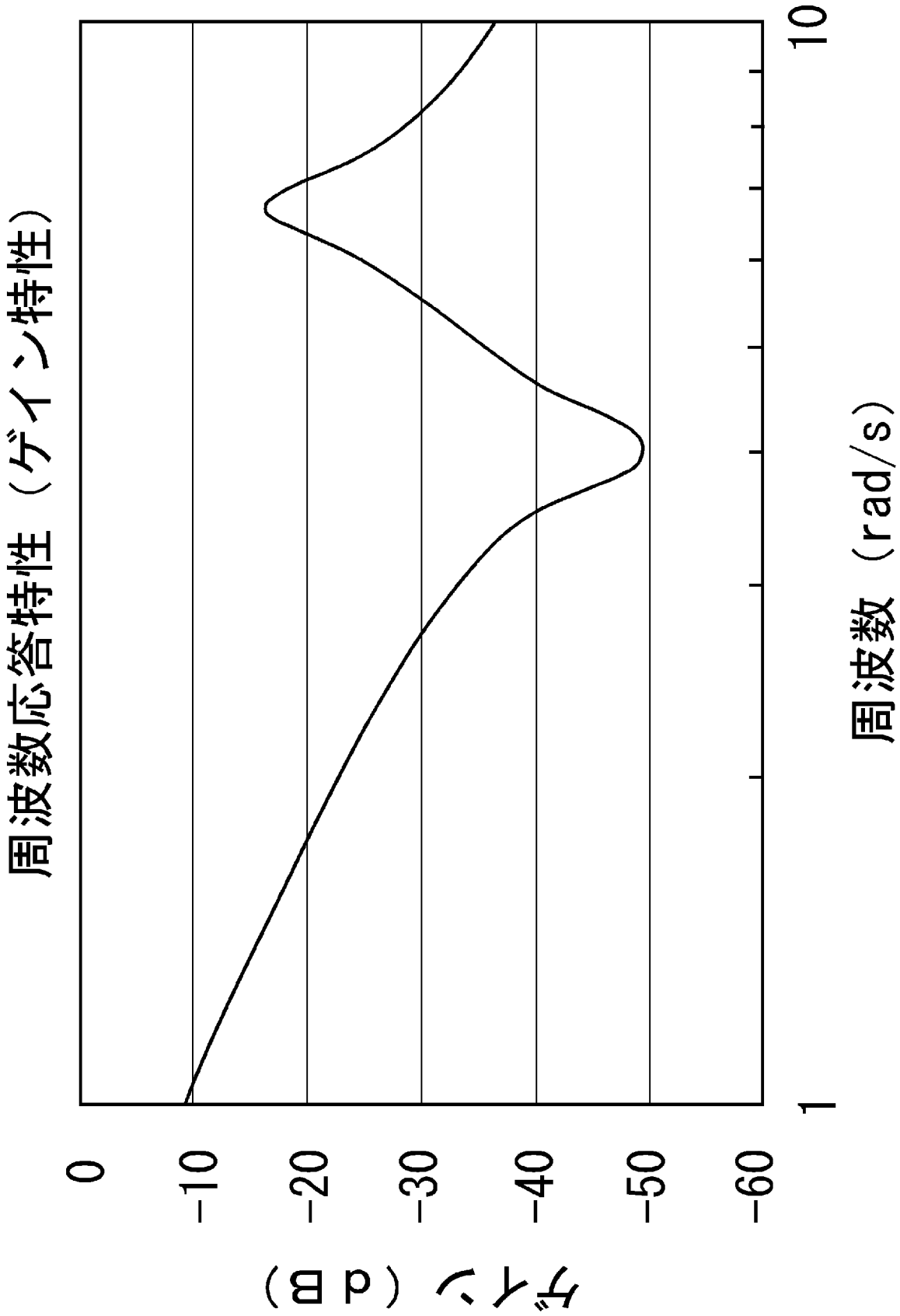
[図6]


パラメータ調整フローチャート
パラメータ調整開始
S101
対象装置動作中の単一の周波数に
対する周波数応答特性を取得
S102
基準姿勢で周波数応答特性解析を実施
S103
慣性の最大値・最小値
または
基準姿勢で求めた慣性と
慣性の最大値・最小値との比率を取得
S104
慣性の最大最小値を取る姿勢の
周波数応答特性を推定
S105
取得した慣性の最大最小値を取る
姿勢の周波数応答特性より
各姿勢における安定性マップを生成
S106
各姿勢の安定性マップを合成
S107
合成された安定性マップより
パラメータ設定
パラメータ調整完了
ユーザが実施する作業
システムが実施する処理

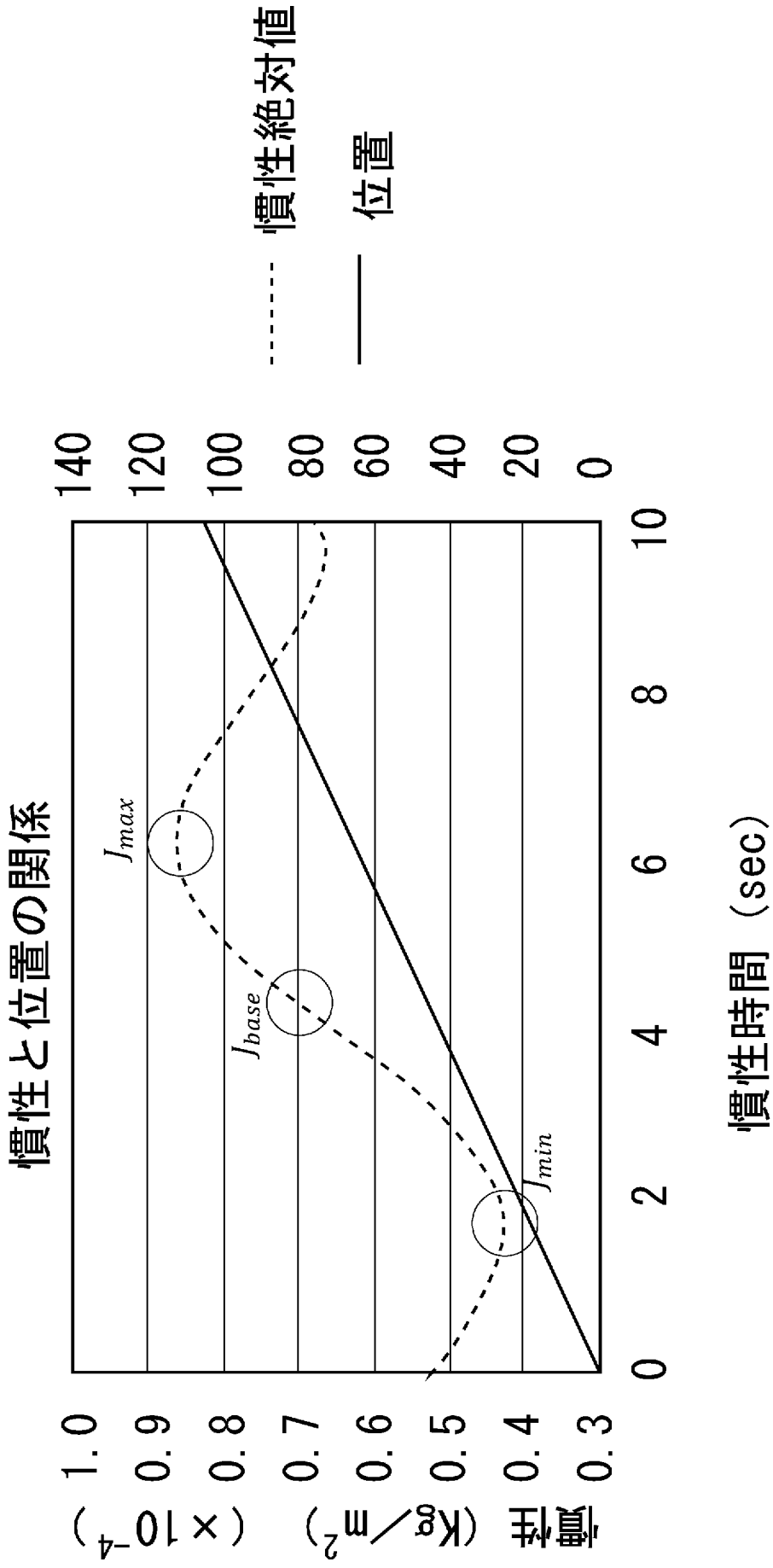
[図7]


周波数応答特性と位置の関係
周波数応答特性（ゲイン特性）
位置（rad）
時間（sec）
周波数応答特性
位置
Gmin
Gbase
Gmax
1.5
1.3
1.1
0.9
0.7
0.5
0.3
0.1
140
120
100
80
60
40
20
0
0
2
4
6
8
10

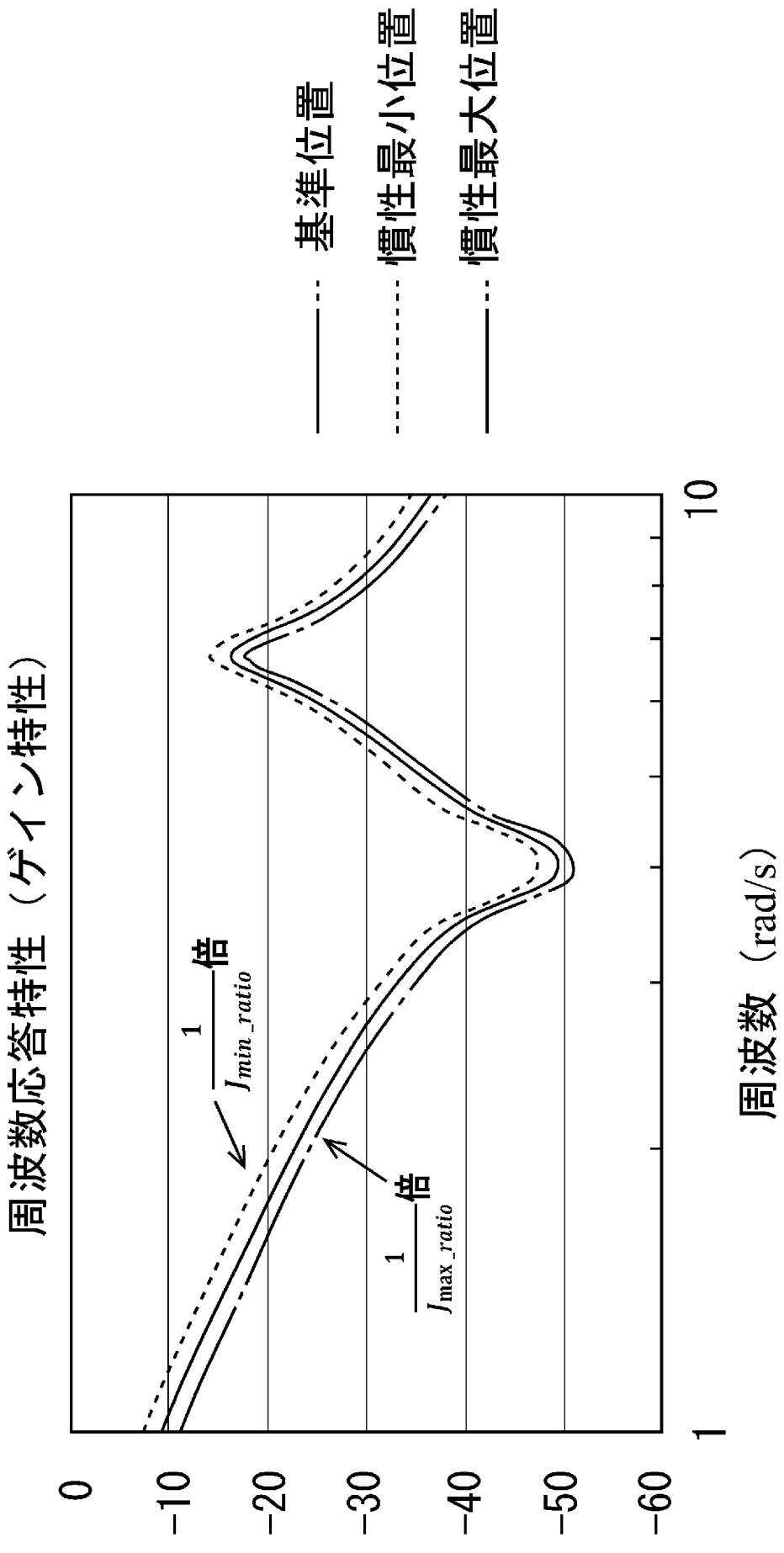
[図8]



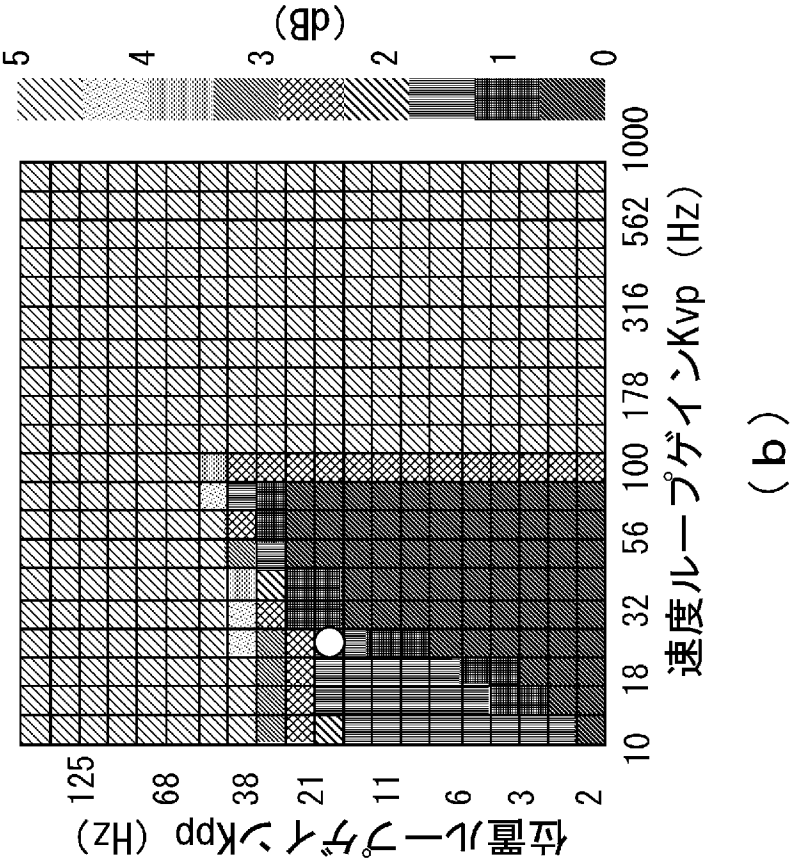
[図9]


慣性と位置の関係
慣性絶対値
位置
慣性 (Kg／m²) (×10⁻⁴)
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
140
120
100
80
60
40
20
0
0
2
4
6
8
10
慣性時間（sec）
J_{max}
J_{base}
J_{min}

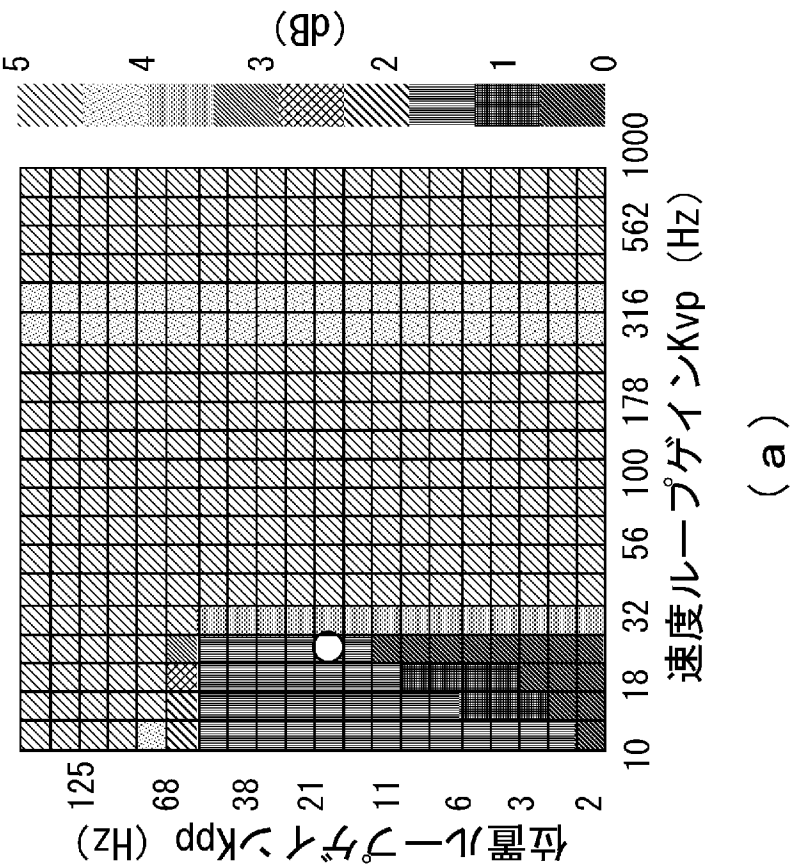
[図10]


基準位置
慣性最小位置
慣性最大位置
周波数応答特性（ゲイン特性）
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
1
10
周波数（rad/s）
1/Jmin_ratio 倍
1/Jmax_ratio 倍

[図11]

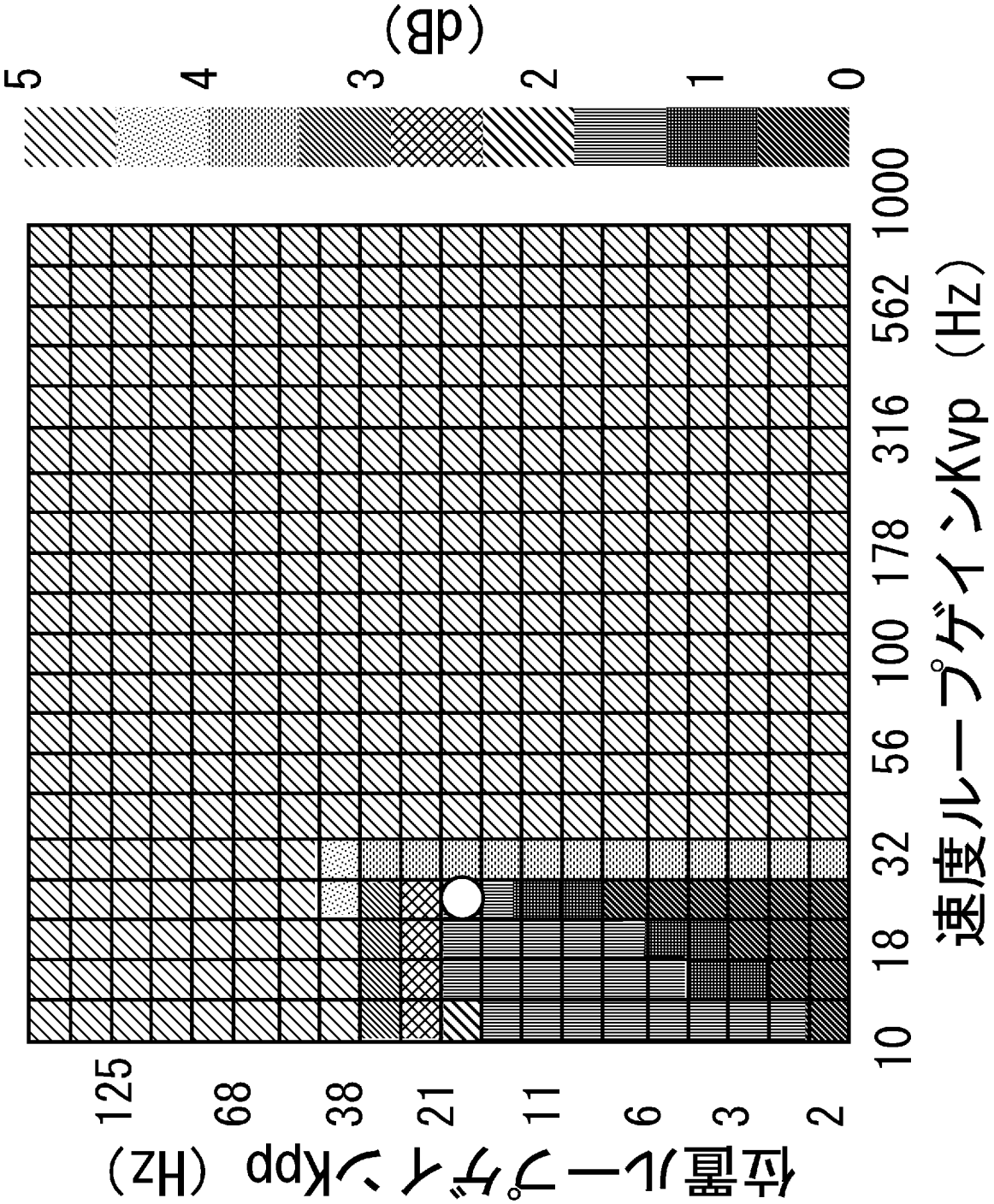

(dB)
5
4
3
2
1
0
位置ループゲインKpp (Hz)
125
68
38
21
11
6
3
2
速度ループゲインKvp (Hz)
10
18
32
56
100
178
316
562
1000

(b)

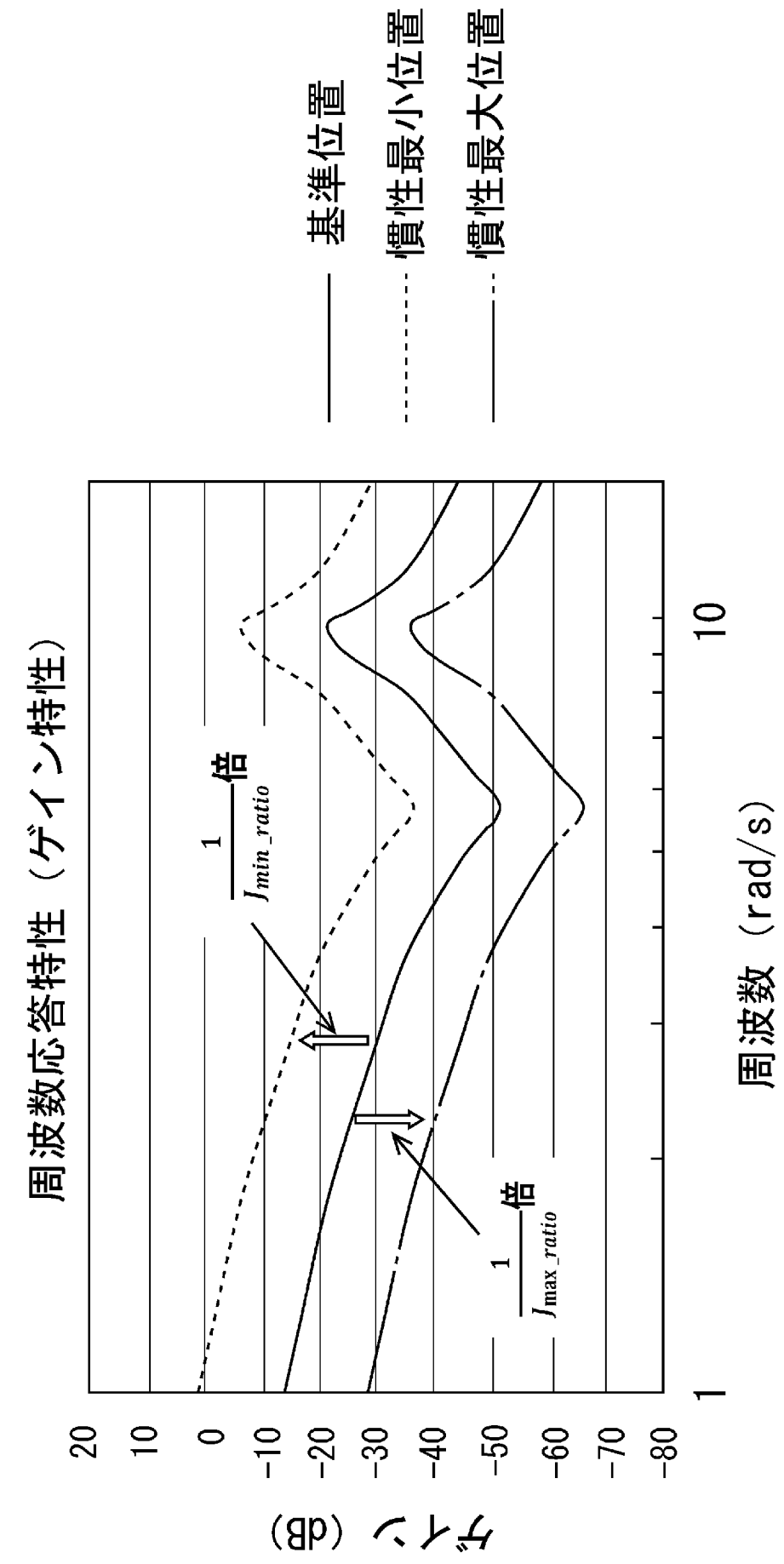

(dB)
5
4
3
2
1
0
位置ループゲインKpp (Hz)
125
68
38
21
11
6
3
2
速度ループゲインKvp (Hz)
10
18
32
56
100
178
316
562
1000

(a)

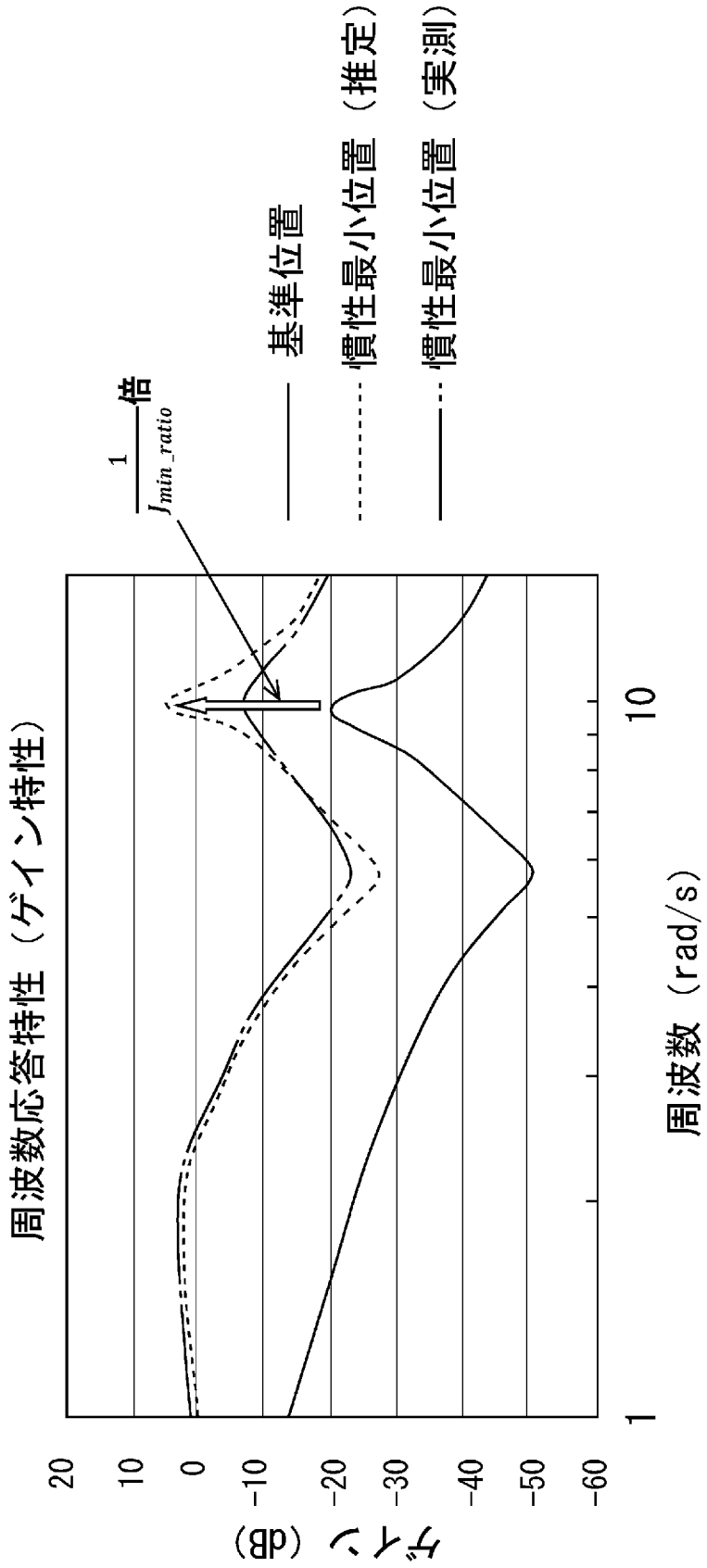
[図12]


(dB)
5
4
3
2
1
0
速度ループゲインKvp（Hz）
10
18
32
56
100
178
316
562
1000
位置ループゲインKpp（Hz）
125
68
38
21
11
6
3
2

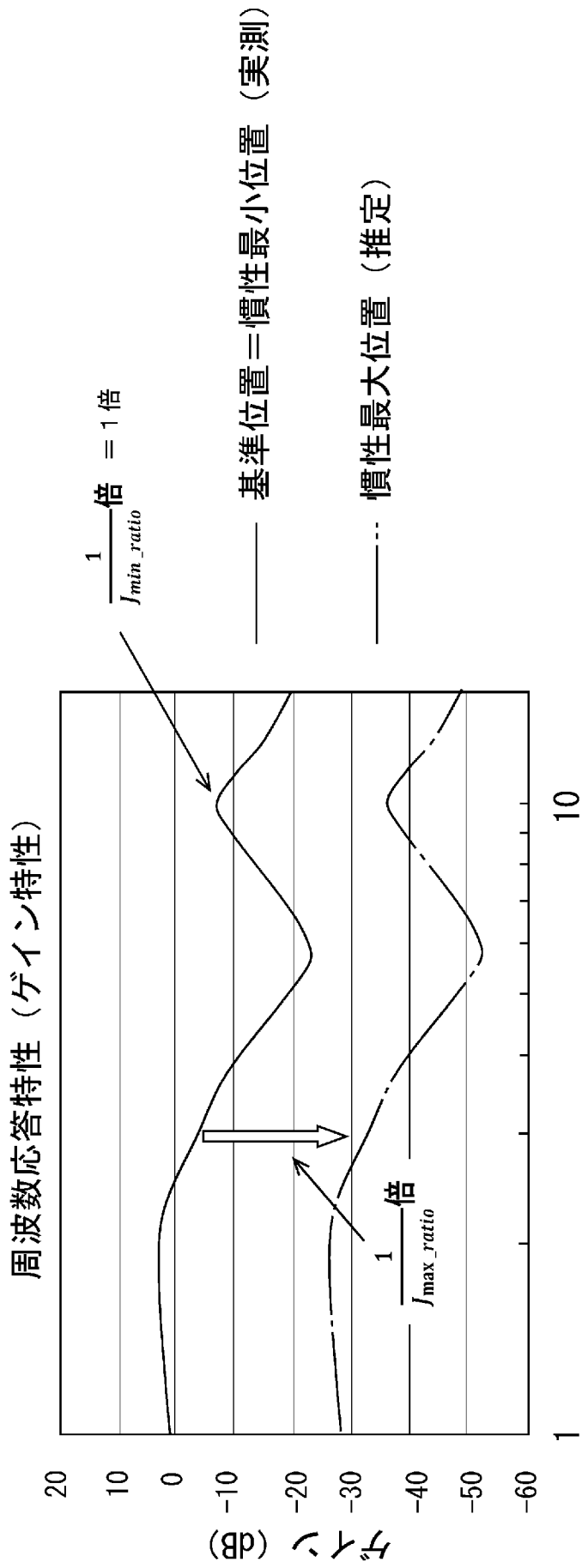
[図13]


基準位置
慣性最小位置
慣性最大位置
周波数応答特性（ゲイン特性）
ゲイン（dB）
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-80
1
10
周波数（rad/s）
1/Jmin_ratio 倍
1/Jmax_ratio 倍

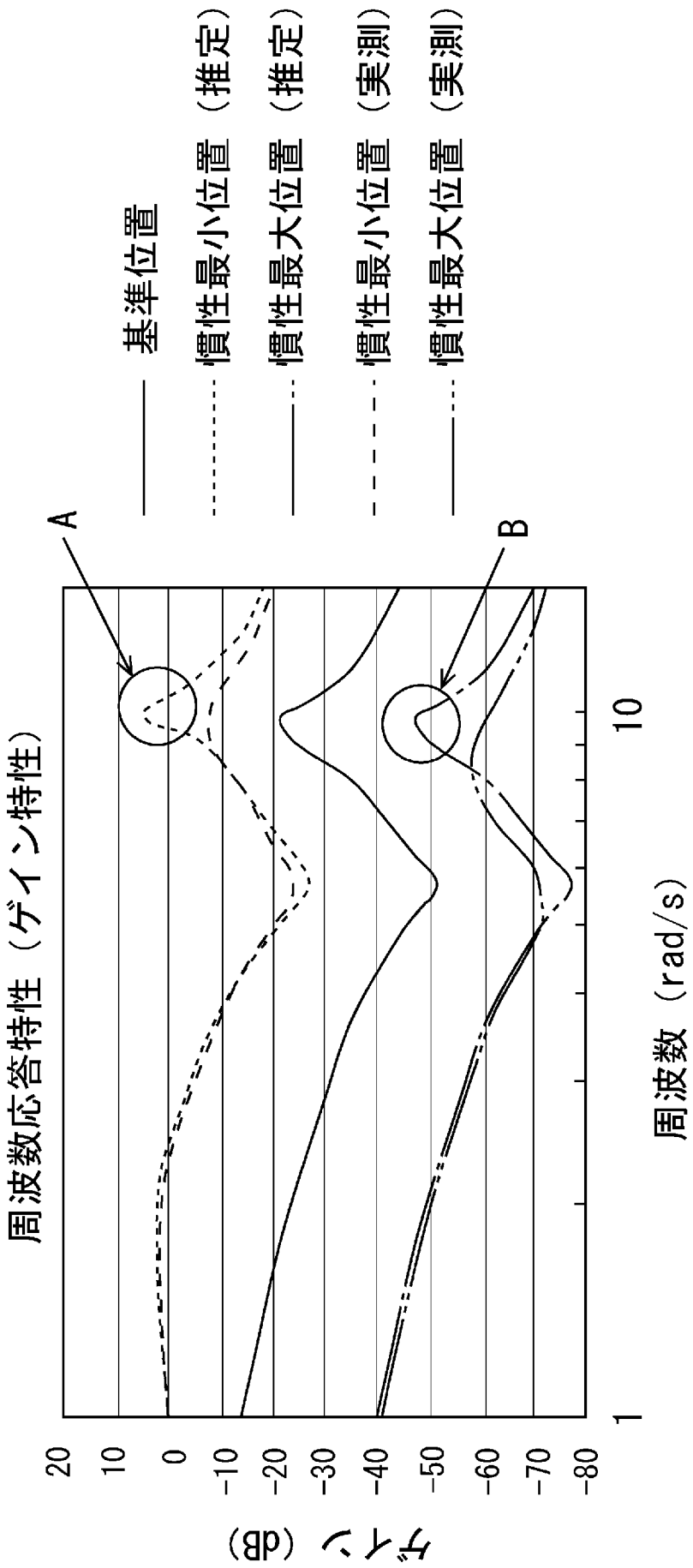
[図14]


周波数応答特性（ゲイン特性）
ゲイン（dB）
20
10
0
−10
−20
−30
−40
−50
−60
1
10
周波数（rad/s）
1
J_{min_ratio}
倍
基準位置
慣性最小位置（推定）
慣性最小位置（実測）

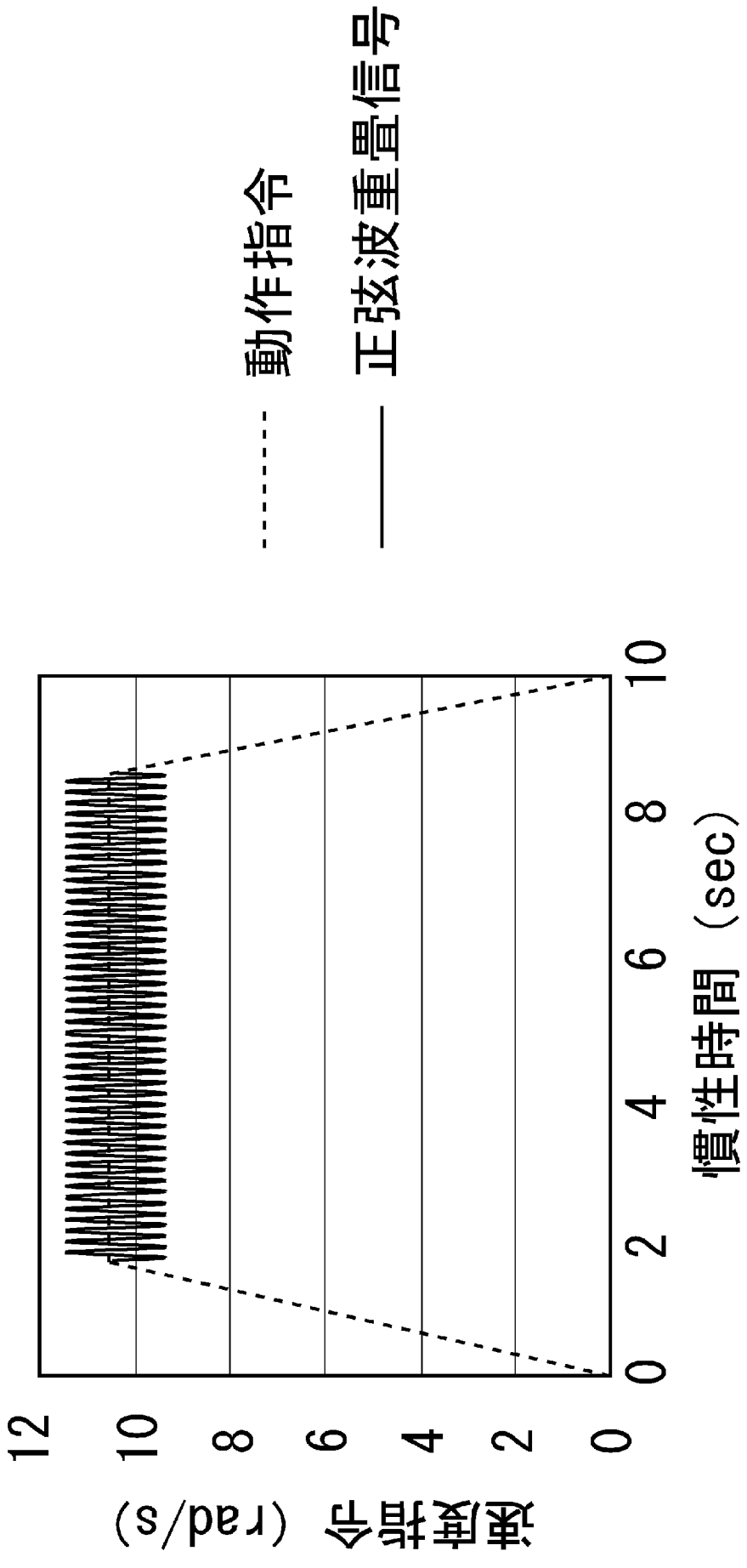
[図15]


周波数応答特性（ゲイン特性）
1/J_min_ratio 倍 ＝1倍
基準位置＝慣性最小位置（実測）
慣性最大位置（推定）
1/J_max_ratio 倍
ゲイン（dB）
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
1
10
周波数（rad/s）

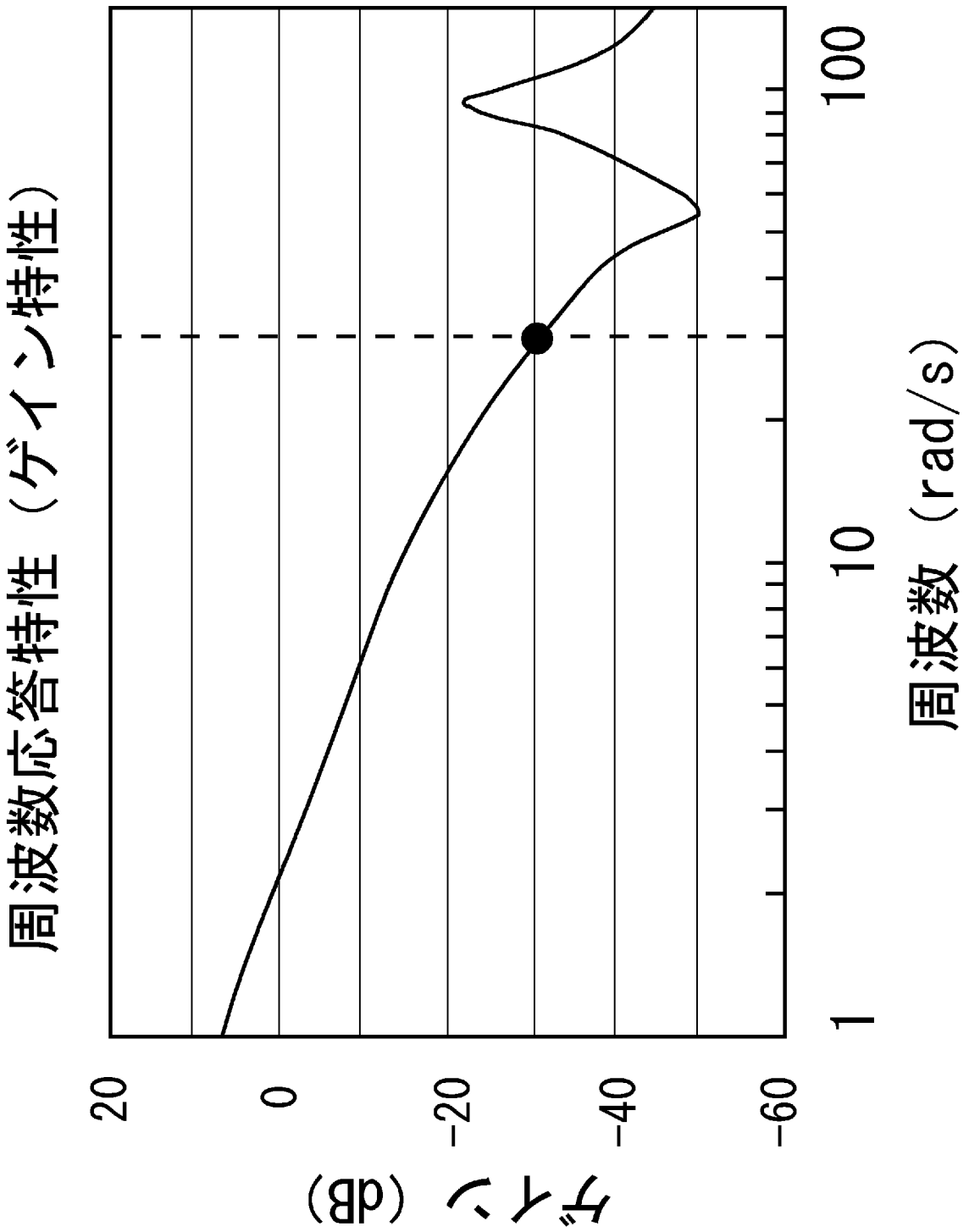
[図16]


基準位置
慣性最小位置（推定）
慣性最大位置（推定）
慣性最小位置（実測）
慣性最大位置（実測）
A
B
周波数応答特性（ゲイン特性）
ゲイン（dB）
20
10
0
−10
−20
−30
−40
−50
−60
−70
−80
1
10
周波数（rad/s）

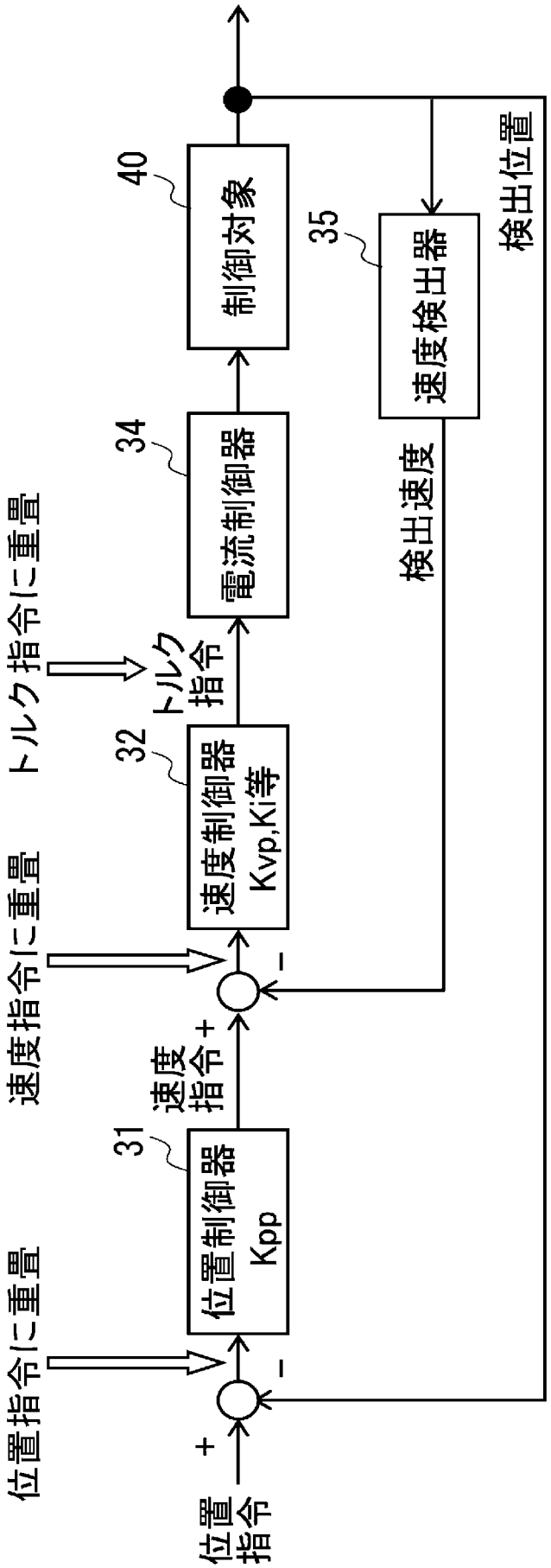
[図17]



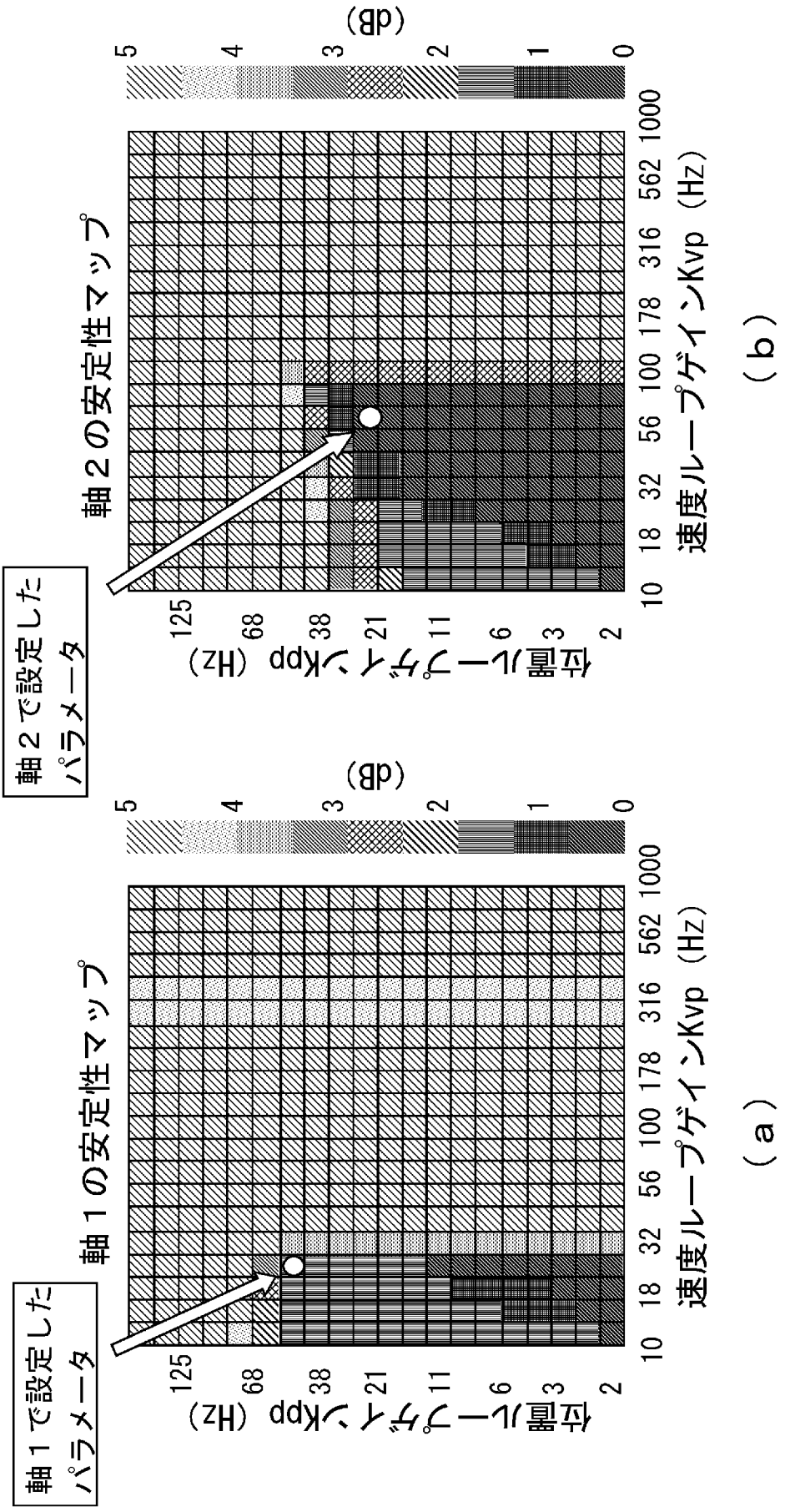
[図18]



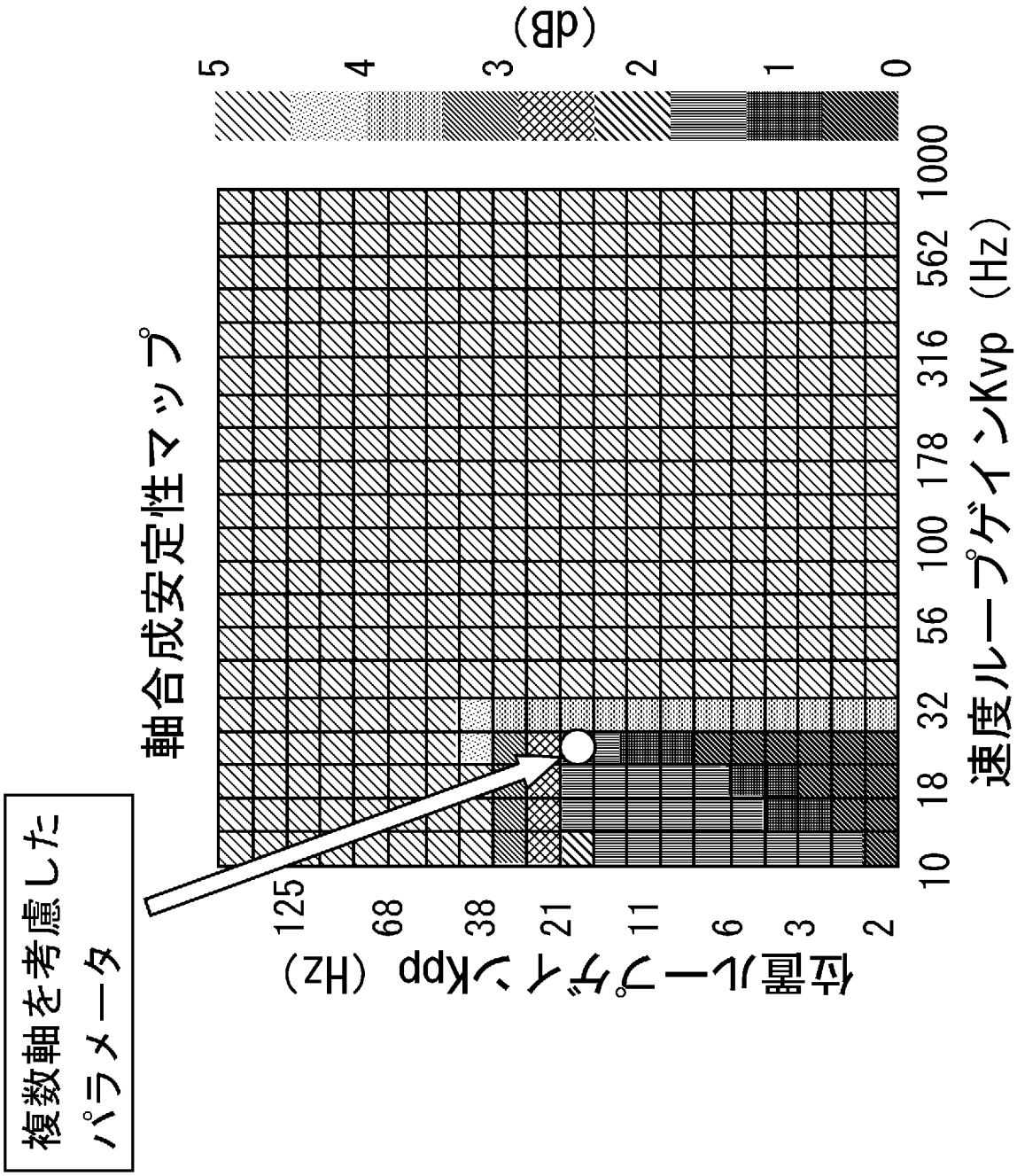
[図19]


位置指令
+
位置指令に重畳
位置制御器
Kpp
31
速度
指令
+
速度指令に重畳
速度制御器
Kvp,Ki等
32
トルク
指令
トルク指令に重畳
電流制御器
34
制御対象
40
検出速度
速度検出器
35
検出位置
-
-

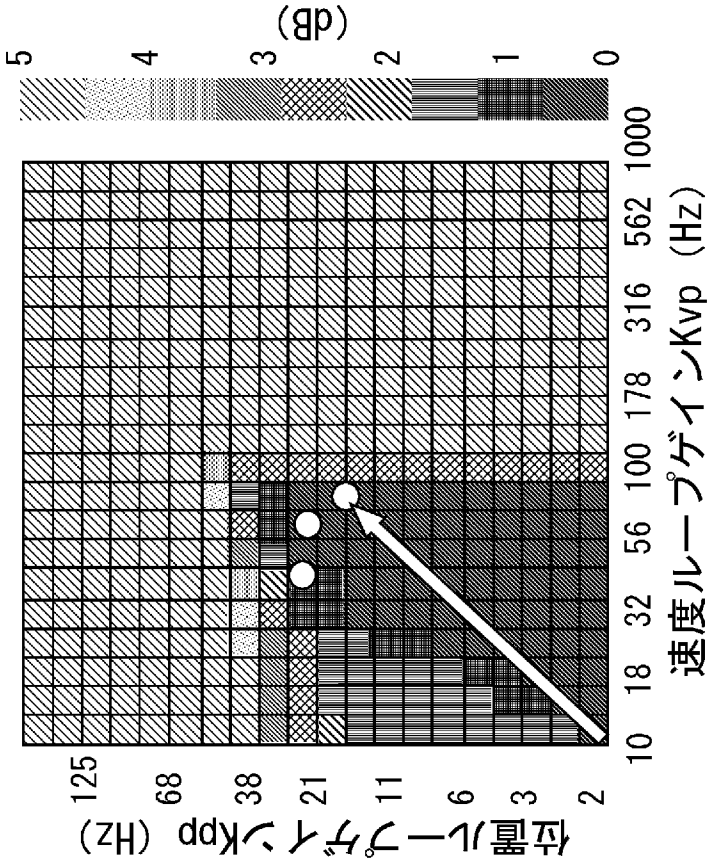
[図20]


軸１で設定したパラメータ
軸１の安定性マップ
位置ループゲインKpp（Hz）
125
68
38
21
11
6
3
2
速度ループゲインKvp（Hz）
10
18
32
56
100
178
316
562
1000
(dB)
5
4
3
2
1
0
（ａ）
軸２で設定したパラメータ
軸２の安定性マップ
位置ループゲインKpp（Hz）
速度ループゲインKvp（Hz）
（ｂ）

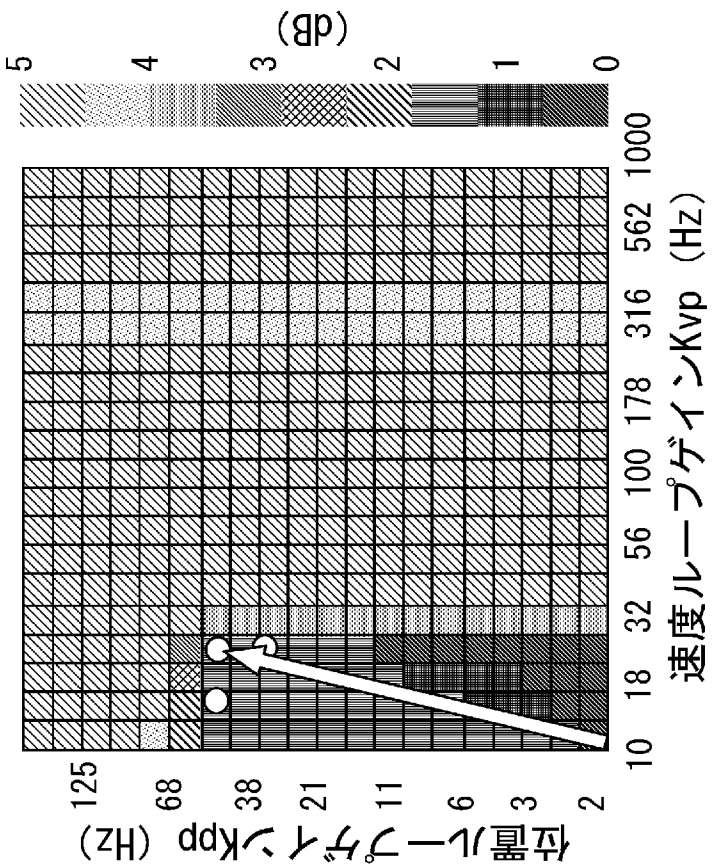
[図21]


軸合成安定性マップ
(dB)
5
4
3
2
1
0
速度ループゲインKvp（Hz）
10
18
32
56
100
178
316
562
1000
位置ループゲインKpp（Hz）
125
68
38
21
11
6
3
2
複数軸を考慮したパラメータ

[図22]

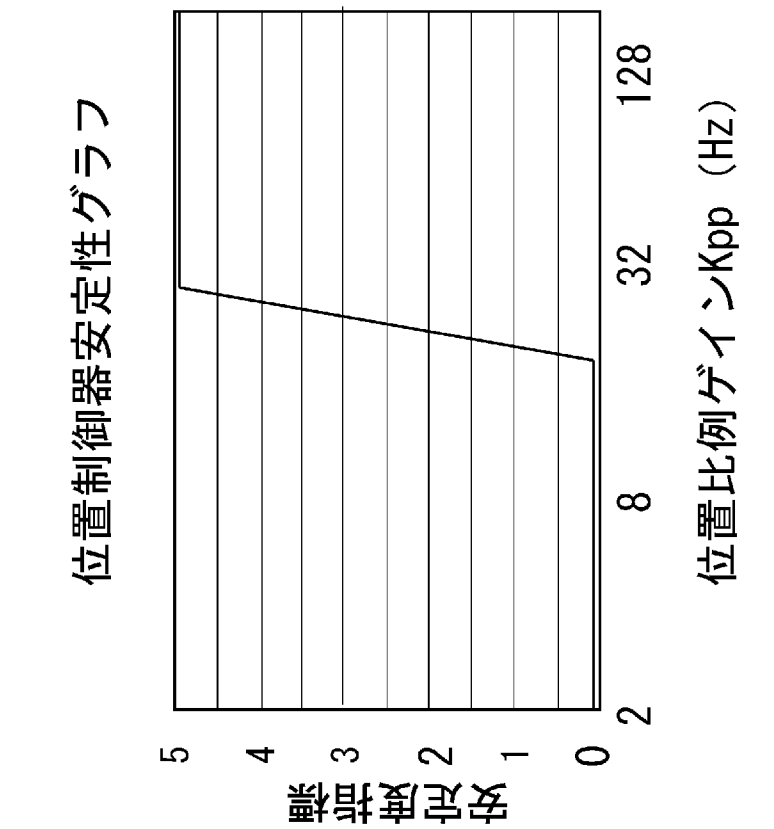

(dB)
5
4
3
2
1
0
位置ループゲインKpp (Hz)
125
68
38
21
11
6
3
2
速度ループゲインKvp (Hz)
10
18
32
56
100
178
316
562
1000

(b)

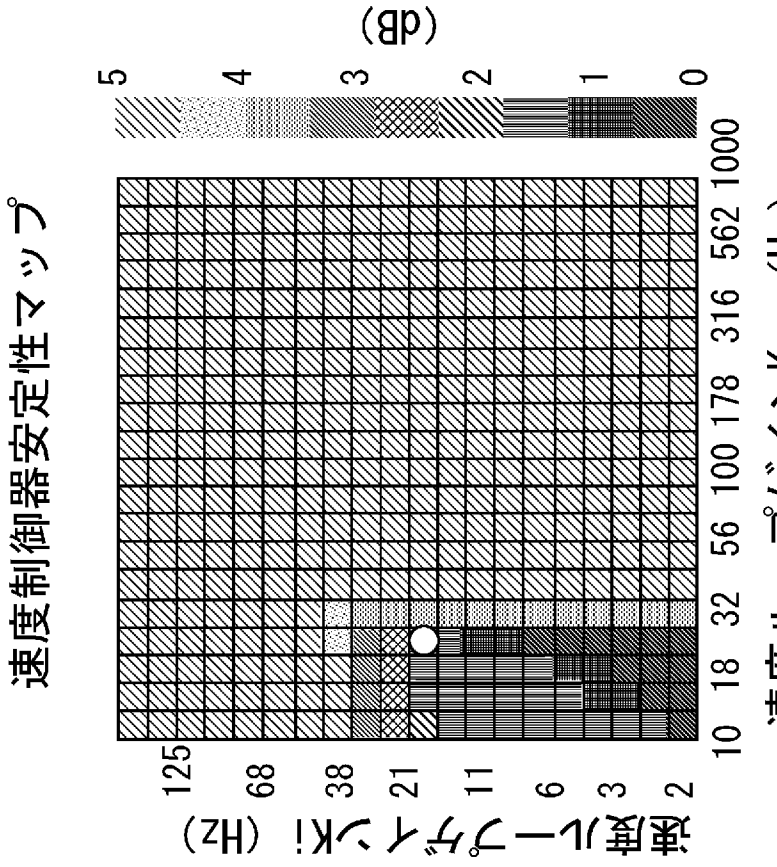

(dB)
5
4
3
2
1
0
位置ループゲインKpp (Hz)
125
68
38
21
11
6
3
2
速度ループゲインKvp (Hz)
10
18
32
56
100
178
316
562
1000

(a)

[図23]


位置制御器安定性グラフ
安定度指標
0
1
2
3
4
5
2
8
32
128
位置比例ゲインKpp（Hz）

（ｂ）


速度制御器安定性マップ
速度ループゲインフィルタ（Hz）
125
68
38
21
11
6
3
2
速度ループゲインKvp（Hz）
10
18
32
56
100
178
316
562
1000
(dB)
0
1
2
3
4
5

（ａ）

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2020/010263

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G05B 13/04(2006.01)i; H02P 29/00(2016.01)i
FI: G05B13/04; H02P29/00

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)
G05B13/04; H02P29/00

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	1971-2020
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.
X	JP 2015-95035 A (HITACHI SYSTEMS, LTD.) 18.05.2015 (2015-05-18) claim 9	21
A		1-20
A	JP 2017-167607 A (OMRON CORP.) 21.09.2017 (2017-09-21) entire text, all drawings	1-21
A	JP 2006-227793 A (YASKAWA ELECTRIC CORPORATION) 31.08.2006 (2006-08-31) entire text, all drawings	1-21

☐ 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	Date of mailing of the international search report
07 April 2020 (07.04.2020)	21 April 2020 (21.04.2020)

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

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2020/010263

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2015-95035 A	18 May 2015	(Family: none)	
JP 2017-167607 A	21 Sep. 2017	US 2017/0261950 A1 entire text, all drawings EP 3220219 A1 CN 107193217 A	
JP 2006-227793 A	31 Aug. 2006	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2020/010263

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

G05B 13/04(2006.01)i; H02P 29/00(2016.01)i
FI: G05B13/04; H02P29/00

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））

G05B13/04; H02P29/00

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	１９７１－２０２０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

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー*	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X	JP 2015-95035 A (株式会社日立システムズ) 18.05.2015 (2015-05-18) 請求項９	２１
A		１－２０
A	JP 2017-167607 A (オムロン株式会社) 21.09.2017 (2017-09-21) 全文、全図	１－２１
A	JP 2006-227793 A (株式会社安川電機) 31.08.2006 (2006-08-31) 全文，全図	１－２１

☐ Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☑ パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊ 引用文献のカテゴリー
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と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	国際調査報告の発送日
07.04.2020	21.04.2020

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）
稲垣　浩司 3U 9556
電話番号 03-3581-1101 内線 3364

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/JP2020/010263

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2015-95035 A	18.05.2015	（ファミリーなし）	
JP 2017-167607 A	21.09.2017	US 2017/0261950 A1 全文，全図 EP 3220219 A1 CN 107193217 A	
JP 2006-227793 A	31.08.2006	（ファミリーなし）	