

(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
2024年9月19日(19.09.2024)



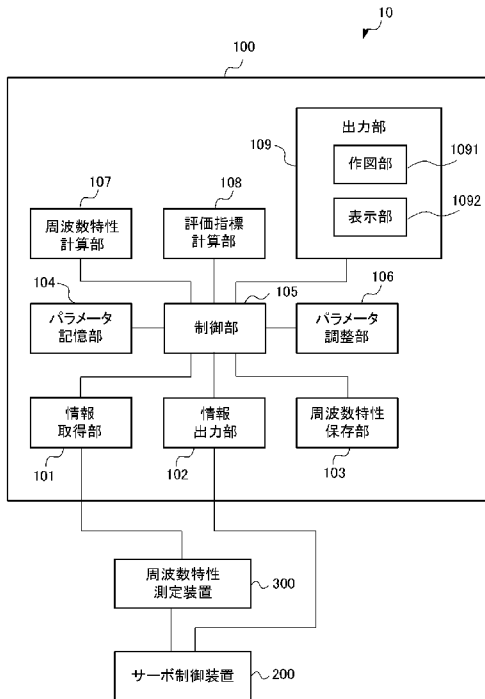
(10) 国際公開番号
WO 2024/189786 A1

- (51) 国際特許分類:
H02P 29/00 (2016.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/009906
- (22) 国際出願日: 2023年3月14日(14.03.2023)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: ファナック株式会社 (**FANUC CORPORATION**) [JP/JP]; 〒4010597 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場 3 5 8 0 番地 Yamanashi (JP).
- (72) 発明者: 梁 瑶(**LIANG Yao**); 〒4010597 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場 3 5 8 0 番地 ファナック株式会社内 Yamanashi (JP).
- (74) 代理人: 正林 真之, 外(**SHOBAYASHI Masayuki et al.**); 〒1000005 東京都千代田区丸の内 1 - 7 - 1 2 サピアタワー Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY,

(54) **Title:** OUTPUT DEVICE, OUTPUT SYSTEM, AND OUTPUT METHOD

(54) 発明の名称: 出力装置、出力システム、及び出力方法

[図1]



- 101... INFORMATION ACQUISITION UNIT
102... INFORMATION OUTPUT UNIT
103... FREQUENCY CHARACTERISTIC RESERVATION UNIT
104... PARAMETER STORAGE UNIT
105... CONTROL UNIT
106... PARAMETER ADJUSTMENT UNIT
107... FREQUENCY CHARACTERISTIC CALCULATION UNIT
108... EVALUATION INDEX CALCULATION UNIT
109... OUTPUT UNIT
200... SERVO CONTROL DEVICE
300... FREQUENCY CHARACTERISTIC MEASUREMENT DEVICE
1091... DRAWING UNIT
1092... DISPLAY UNIT

(57) **Abstract:** In the present invention, forms of changes in a characteristic and an evaluation index of an entire system of a servo control device as a result of adjustment of the gain of the servo control device or a parameter of a filter or the like are obtained through simulation. The present invention provides an output device provided to a servo control device that controls a motor for driving a shaft of a machine tool, a robot, or an industrial machine, the output device comprising: a parameter adjustment unit that uses a frequency characteristic of an entire system of the servo control device before

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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, 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))

adjustment and a control parameter of the servo control device during the adjustment to update the control parameter; a frequency characteristic calculation unit that uses the updated control parameter to calculate the frequency characteristic of the entire system of the servo control device during the adjustment; an evaluation index calculation unit that calculates an index for evaluating the frequency characteristic of the entire system of the servo control device during the adjustment; and an output unit that outputs the frequency characteristic and the evaluation index during the adjustment.

(57) 要約: サーボ制御装置のゲイン又はフィルタ等のパラメータの調整によって、サーボ制御装置の系全体の特性及び評価指標がどのように変化するかをシミュレーションで求める。 工作機械、ロボット又は産業機械の軸を駆動するモータを制御するサーボ制御装置に対して設けられる出力装置が、調整前のサーボ制御装置の系全体の周波数特性と、調整中のサーボ制御装置の制御パラメータとを用いて、制御パラメータを更新するパラメータ調整部と、更新した制御パラメータを用いて、調整中のサーボ制御装置の系全体の周波数特性を計算する周波数特性計算部と、調整中のサーボ制御装置の系全体の周波数特性を評価する指標を計算する評価指標計算部と、調整中の周波数特性と評価指標を出力する出力部と、を備える。

明 細 書

発明の名称：出力装置、出力システム、及び出力方法

技術分野

[0001] 本開示は、工作機械、ロボット又は産業機械の軸を駆動するモータを制御するサーボ制御装置に対して設けられる出力装置、出力装置を含む出力システム、及び出力方法に関する。

背景技術

[0002] 機械学習により、工作機械、ロボット又は産業機械のモータを制御するサーボ制御装置のゲイン又はフィルタのパラメータ等を調整する場合に、機械学習中又は機械学習後のゲイン又はフィルタ等のパラメータ調整過程をユーザに提供する技術が特許文献1に記載されている。

[0003] 特許文献1には、機械学習中又は機械学習後のパラメータを取得して、このパラメータをユーザが分かりやすい情報に変えて出力する出力装置が記載されている。

具体的には、特許文献1には、工作機械、ロボット又は産業機械の軸を駆動するサーボモータを制御するサーボ制御装置に対して機械学習を行う機械学習装置から、学習中又は学習された、サーボ制御装置の構成要素のパラメータ又は第1の物理量を取得する情報取得部と、取得した第1の物理量と取得したパラメータから求めた第2の物理量とのいずれか1つの物理量、サーボ制御装置の構成要素の時間応答特性、及びサーボ制御装置の構成要素の周波数応答特性のうちの少なくとも1つを出力する出力部と、を備え、時間応答特性及び周波数応答特性は、パラメータ、第1の物理量又は第2の物理量を用いて求める出力装置が記載されている。物理量は、例えば、フィルタの中心周波数、帯域幅、及び減衰係数である。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2020-67874号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] ユーザは、サーボ制御装置のゲイン又はフィルタ等の制御パラメータの調整によって、サーボ制御装置の系全体の周波数特性と評価指標がどのように変化するかを知りたい場合がある。

しかし、ゲイン、フィルタ等の制御パラメータを調整して実際に周波数特性を求めるプロセスを繰り返すことは、多大な時間がかかる。

よって、ゲイン、フィルタ等の制御パラメータを調整する場合に、サーボ制御装置の系全体の周波数特性と評価指標がどのように変化するかをシミュレーションで求めることが望まれている。

課題を解決するための手段

[0006] 本開示の代表的な第1の態様は、工作機械、ロボット又は産業機械の軸を駆動するモータを制御するサーボ制御装置に対して設けられる出力装置であって、

調整前の前記サーボ制御装置の系全体の周波数特性を保存する周波数特性保存部と、

調整前の制御パラメータを記憶するパラメータ記憶部と、

調整前の前記サーボ制御装置の系全体の周波数特性と、調整前の前記制御パラメータとを用いて、前記制御パラメータを調整するパラメータ調整部と、

調整した前記制御パラメータを用いて、調整中の前記サーボ制御装置の系全体の周波数特性を計算する周波数特性計算部と、

前記調整中の前記サーボ制御装置の系全体の周波数特性を評価する指標を計算する評価指標計算部と、

前記調整中の、前記サーボ制御装置の系全体の周波数特性と前記評価指標を出力する出力部と、

を備えた出力装置である。

[0007] 本開示の代表的な第2の態様は、上記の第1の態様の出力装置と、

工作機械、ロボット又は産業機械の軸を駆動するモータを制御するサーボ制御装置と、

調整前の前記サーボ制御装置の系全体の周波数特性を測定する周波数特性測定装置と、

を備えた出力システムである。

[0008] 本開示の代表的な第3の態様は、工作機械、ロボット又は産業機械の軸を駆動するモータを制御するサーボ制御装置に対して設けられる出力装置としてのコンピュータが、

調整前の前記サーボ制御装置の系全体の周波数特性を保存する処理と、

調整前の前記サーボ制御装置の系全体の周波数特性と、調整前の前記前記サーボ制御装置の制御パラメータとを用いて、前記制御パラメータを調整する処理と、

調整した前記制御パラメータを用いて、調整中の前記サーボ制御装置の系全体の周波数特性を計算する処理と、

前記調整中の前記サーボ制御装置の系全体の周波数特性を評価する指標を計算する処理と、

前記調整中の、前記サーボ制御装置の系全体の周波数特性と前記評価指標を出力する処理と、

を実行する、出力方法である。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]本開示の一実施形態の出力装置を含む出力システムの構成を示すブロック図である。

[図2]サーボ制御装置の構成を示すブロック図である。

[図3]複数のノッチフィルタの直列接続で構成されたフィルタを示すブロック図である。

[図4]周波数特性、制御パラメータ、及び評価指標を表示する、液晶表示装置の表示画面を示す図である。

[図5]表示画面の表示領域に表示される、判定が「NG」である調整中の周波

数特性の表示例を示す図である。

[図6]表示画面の表示領域内に表示される、図5の表示例に対応する、調整前と調整中の制御パラメータと評価指標の表示例を示す図である。

[図7]表示画面の表示領域に表示される、判定が「OK」である調整中の周波数特性を示す図である。

[図8]表示画面の表示領域内に表示される、図7の表示例に対応する、調整前と調整中の制御パラメータと評価指標の表示例を示す図である。

[図9]2慣性系の機械モデルを示す構成図である。

[図10]機械学習装置の構成を示すブロック図である。

[図11]共振のない理想的な特性を有するサーボ制御装置の規範モデルを示す図である。

[図12]規範モデルのサーボ制御装置と、学習前及び学習後のサーボ制御装置との入出力ゲインの周波数特性を示す特性図である。

[図13]周波数特性の一例を示すボーデ線図である。

[図14]出力装置の動作を示すフローチャートである。

[図15]図4に示す表示画面にフィルタの周波数特性を加えて表示する、液晶表示装置の表示画面を示す図である。

[図16]フィルタの係数の調整前の、フィルタの周波数特性を示す図である。

[図17]フィルタの係数の調整前の、サーボ制御装置の周波数特性を示す図である。

[図18]1段目のフィルタの係数の調整中の、フィルタの周波数特性を示す図である。

[図19]1段目のフィルタの係数の調整中の、サーボ制御装置の周波数特性を示す図である。

[図20]2段目のフィルタの係数の調整中の、フィルタの周波数特性を示す図である。

[図21]2段目のフィルタの係数の調整中の、サーボ制御装置の周波数特性を示す図である。

[図22] 1 段目及び 2 段目のフィルタの係数の調整中の、フィルタの周波数特性を示す図である。

[図23] 1 段目及び 2 段目のフィルタの係数の調整中の、サーボ制御装置の周波数特性を示す図である。

発明を実施するための形態

[0010] 以下、本開示の実施形態について図面を用いて詳細に説明する。

図 1 は本開示の一実施形態の出力装置を含む出力システムの構成を示すブロック図である。

図 1 に示すように、出力システム 10 は、サーボ制御装置 200 の系全体の周波数特性及び評価指標を出力する出力装置 100、サーボ制御装置 200、及びサーボ制御装置 200 の入出力信号に基づいて、サーボ制御装置 200 の系全体の周波数特性を測定する周波数特性測定装置 300 を備えている。周波数特性測定装置 300 は、出力装置 10 に含まれていてもよい。出力装置 100 は、サーボ制御装置 200 に含まれていてもよい。

出力装置 100 は、周波数特性測定装置 300 から出力される系全体の周波数特性に用いて、サーボ制御装置 200 の構成要素の制御パラメータ、例えば、ゲインのパラメータと、フィルタのパラメータとの少なくとも 1 つを調整し、調整中のサーボ制御装置 200 の系全体の周波数特性及び評価指標を出力する。

出力装置 100 の説明に先立って、サーボ制御装置 200 及び周波数特性測定装置について説明する。

[0011] (サーボ制御装置 200)

図 2 はサーボ制御装置の構成を示すブロック図である。

図 2 に示すように、サーボ制御装置 200 は、減算器 201、制御器 202、フィルタ 203 及び制御対象 204 を備えている。

[0012] 減算器 201 は、入力された制御指令と制御対象 204 からのフィードバック値との差を求め、その差を偏差として制御器 202 に出力する。例えば、制御指令は速度指令であり、フィードバック値は制御対象 204 に含まれ

るモータからの速度フィードバック値であり、偏差は速度偏差である。

[0013] 減算器 201 には、周波数を変化させた正弦波信号が制御指令として入力される。周波数を変化させた正弦波信号は、上位装置から入力されるが、サーボ制御装置 200 が周波数を変化させた正弦波信号を生成する周波数生成部を備えていてもよい。制御指令及びフィードバック値は、周波数特性測定部 300 に入力される。

制御器 202 は、偏差に積分ゲイン k_i を乗じて積分した値と、偏差に比例ゲイン k_p を乗じた値とを加算し、更にゲイン k を掛けた値を、トルク指令としてフィルタ 203 に出力する。制御器 202 は、例えば速度制御器である。

[0014] フィルタ 203 は、例えば複数のノッチフィルタが用いられる。モータで駆動される工作機械、ロボット又は産業機械では複数の共振点が存在し、サーボ制御装置 200 で共振が増大する場合がある。複数のノッチフィルタを用いることで複数の共振を低減することができる。フィルタ 203 からトルク指令が制御対象 204 に出力される。

[0015] 図 3 は、複数のノッチフィルタの直列接続で構成されたフィルタを示すブロック図である。

図 3 において、 k 個（ k は 2 以上の自然数）の共振点がある場合に、フィルタ 203 は、 m 個のフィルタ 203-1 ~ 203- m （ m は 2 以上の自然数で $m < k$ となる）を直列接続して構成する。 m 個のフィルタ 203-1 ~ 203- m は、それぞれ異なる周波数帯域に対応している。以下、フィルタ 203 は、直列接続された 3 つのフィルタ 203-1、203-2 及び 203-3 により構成されるとき説明を行う。

[0016] 制御対象 204 は、モータ、及び工作機械、ロボット又は産業機械の機構部である。モータは、トルク指令に基づいて駆動される。

制御対象 204 からのフィードバック値が、モータからの速度フィードバックである場合は、フィードバック値は、モータに設けられたロータリーエンコーダ（図示せず）によって検出される回転角速度位置を積分した速度検

出値を速度フィードバック値とすることができる。

[0017] (周波数特性測定装置)

周波数特性測定装置 300 は、入力信号となる制御指令（正弦波）と、出力信号となるフィードバック（正弦波）とを用いて、制御指令により規定される周波数ごとに、入力信号と出力信号との振幅比（入出力ゲイン）と位相遅れとの周波数特性を求めて出力装置 100 に出力する。求めた周波数特性は、閉ループの周波数特性 P_c である。

また、周波数特性測定装置 300 は、この周波数特性 P_c から開ループ周波数特性 P_o を計算して、閉ループの周波数特性 P_c 及び開ループ周波数特性 P_o を出力装置 100 に出力する。開ループ周波数特性 P_o は、閉ループの周波数特性 P_c を用いて、 $P_o = P_c / (1 - P_c)$ で求めることができる。

[0018] 以上、サーボ制御装置 200 及び周波数特性測定装置 300 について説明した。次に、出力装置 100 について説明する。

[0019] (出力装置 100)

図 1 に示すように、出力装置 100 は、情報取得部 101、情報出力部 102、周波数特性保存部 103、パラメータ記憶部 104、制御部 105、パラメータ調整部 106、周波数特性計算部 107、評価指標計算部 108、及び出力部 109 を備えている。サーボ制御装置 200 の制御パラメータを変更しない場合には、情報出力部 102 は設けなくともよい。

[0020] 情報取得部 101 は、周波数特性測定装置 300 から、閉ループの周波数特性 P_c 及び開ループ周波数特性 P_o を取得する。制御部 105 は、取得した閉ループの周波数特性 P_c 及び開ループ周波数特性 P_o を周波数特性保存部 103 に記憶する。

[0021] 情報出力部 102 は、パラメータ調整部 106 による調整により得られた最適な制御パラメータサーボ制御装置 200 に設定する。制御パラメータは、制御器 202 の積分ゲイン k_i 、比例ゲイン k_p 、ゲイン k 、及びフィルタ 203 の伝達関数の減衰帯域幅 d 、中心周波数 ω_n 、減衰ダンピング率 ζ の少

なくとも一つである。

[0022] 周波数特性保存部 103 は、閉ループの周波数特性 P_c 及び開ループ周波数特性 P_o を記憶する。

パラメータ記憶部 104 は、調整前のサーボ制御装置 200 の制御パラメータ、即ち、制御器 202 の積分ゲイン k_i 、比例ゲイン k_p 、ゲイン k 、及びフィルタ 203 の伝達関数の減衰帯域幅 d 、中心周波数 ω_n 、減衰ダンピング率 ζ の少なくとも一つを記憶する。

[0023] 制御部 105 は、情報取得部 101、情報出力部 102、周波数特性保存部 103、パラメータ記憶部 104、パラメータ調整部 106、周波数特性計算部 107、評価指標計算部 108、及び出力部 109 の各部を制御する。

[0024] パラメータ調整部 106 は、制御部 105 を介して周波数特性保存部 103 から開ループ周波数特性 P_o を読み出す。また、パラメータ調整部 106 は、制御部 105 を介してパラメータ記憶部 104 から調整前の制御パラメータを読み出す。そして、パラメータ調整部 106 は、読み出した開ループの周波数特性 P_o と、読み出した制御パラメータとに基づいて、制御パラメータを調整し、調整中の制御パラメータを周波数特性計算部 107 に出力する。

また、パラメータ調整部 106 は、周波数特性計算部 107 によって計算された周波数特性に基づいて、制御パラメータを再度調整して、再度調整された制御パラメータを周波数特性計算部 107 に出力する。

[0025] パラメータ調整部 106 は、例えば、制御パラメータを再度調整するかどうかを、周波数特性計算部 107 で計算された周波数特性の共振が抑制されているかどうかにより判断することができる。

[0026] 周波数特性計算部 107 は、パラメータ調整部 106 によって調整された制御パラメータと、制御部 105 を介してパラメータ記憶部 104 から読み出した調整前の制御パラメータと、制御部 105 を介して周波数特性保存部 103 から読み出した開ループ周波数特性 P_o を用いて、サーボ制御装置 2

〇〇の開ループ及び閉ループの周波数特性をシミュレーションで求めて、求めた開ループの周波数特性、又は求めた開ループと閉ループの周波数特性をパラメータ調整部１０６に出力する。

周波数特性計算部１０７は、制御パラメータが再度調整された場合も同様な動作を行う。周波数特性計算部１０７は、調整前の制御パラメータと開ループ周波数特性 P_o とを記憶しておけば、制御部１０５を介して調整前の制御パラメータと開ループ周波数特性 P_o を読み出す必要はない。調整された制御パラメータを用いたサーボ制御装置２００の周波数特性をシミュレーションで求める方法については後述する。

[0027] パラメータ調整部１０６と周波数特性計算部１０７との間で、制御パラメータの調整と周波数特性の計算とを繰り返すことによって、制御パラメータを最適化する。パラメータ調整部１０６は最適化された制御パラメータを情報出力部１０２に出力する。

[0028] 評価指標計算部１０８は、周波数特性計算部１０７により算出された開ループ及び閉ループの周波数特性に基づいて評価指標を計算する。評価指標は、例えば、開ループの周波数特性に基づいて計算される、ゲイン余裕、位相余裕及び高周波最大ゲイン、閉ループの周波数特性に基づいて計算される、閉ループ最大ゲインの少なくとも一つである。

[0029] ゲイン余裕は、ループゲインの位相遅れが１８０度になった時に、ゲインが１倍（０ｄＢ）までどの程度余裕があるかを表す。位相余裕は、ゲインが０ｄＢの周波数において位相差が０度（位相量で１８０度）よりどれだけ上にあるかを示す（つまり、位相差を示す）。

[0030] 閉ループ最大ゲインは、閉ループの周波数特性のゲイン特性の最大値を示す。高周波領域最大ゲインは、周波数１０００Ｈｚ以上で、閉ループの周波数特性のゲイン特性の最大値を示す。制御帯域（応答帯域）は、閉ループ特性で位相遅れが９０°になる周波数を示す。

[0031] 出力部１０９は、液晶表示装置等の表示部、又はプリンター等を含んでいる。出力部１０９は、周波数特性計算部１０７により算出された周波数特性

、調整中の制御パラメータ、評価指標計算部 108 で算出された評価指標を出力する。

[0032] 出力部 109 は、周波数特性等を液晶表示装置等の表示部に図示する場合、図 1 に示すように、作図部 1091 及び表示部 1092 を含む。作図部 1091 は、周波数特性のゲイン線図及び位相線図を作成して、表示部 1092 の後述する図 4 の表示画面の表示領域 110A に表示する。また、作図部 1091 は、制御パラメータ及び評価指標の表を作図し、表示部 1092 の後述する図 4 の表示画面の表示領域 110B に表示する。

[0033] 出力部 109 は、調整前及び調整中の、周波数特性、制御パラメータ及び評価指標を複数保存しておき、複数の周波数特性、制御パラメータ及び評価指標を出力してもよい。作図部 1091 は、複数の周波数特性、制御パラメータ及び評価指標を一つの表示画面に並べて表示部 1092 に表示することができる。また、作図部 1091 は、複数の周波数特性を表示する場合、変化する周波数特性を、色、実線、点線、鎖線等の線の種類、線の太さ等の表示方法を変えて重ねて表示部 1092 に表示することができる。また、作図部 1091 は、複数の周波数特性を表示する場合、変化する周波数特性を表示部 1092 に動画表示することができる。作図部 1091 は調整中の複数の周波数特性の推移を、表示画面に重ねた図又は動画を作成し、表示部 1092 に表示することができる。

[0034] 図 4 は、周波数特性、制御パラメータ、及び評価指標を表示する、液晶表示装置の表示画面を示す図である。

表示画面 110 は、周波数特性を表示する表示領域 110A、及び表示領域 110B を含んでいる。

[0035] 図 5 は表示領域 110A 内に表示される、判定が「NG」である調整中の周波数特性を示す図である。図 5 のゲイン線図及び位相線図の実線の曲線は開ループの周波数特性を示し、点線の曲線は閉ループの周波数特性を示す。図 5 の一点鎖線は閉ループ周波数特性のゲインの最大値を示す。図 5 の二点鎖線で示す、 f_1 、 f_2 、及び f_3 は、フィルタ 203-1、203-2 及

び203-3の中心周波数 ω_n の位置を示す。

[0036] 図6は表示領域110B内に表示される、調整前と調整中の制御パラメータと評価指標を示す図である。

図6の「調整前」の制御パラメータ及び評価指標は、パラメータ記憶部104に記憶された制御パラメータ、及び周波数特性測定装置300で計算された開ループの周波数特性 P_o を用いて求められた評価指標である。

図6の「調整中」の制御パラメータ及び評価指標は、パラメータ調整部106によって調整された制御パラメータ、及び調整された制御パラメータを用いて計算された開ループ及び閉ループの周波数特性を用いて、評価指標計算部108によって求められた評価指標である。図6の評価指標の計算に用いられる開ループ及び閉ループの周波数特性は、図5の実線及び点線で示される開ループ及び閉ループの周波数特性に対応している。

図6の調整前の評価指標の欄に記載された[]内の数値は、調整前に予め設定した要求安定性指標である。図5の周波数特性が「NG」とされているのは、図6の調整中の安定性指標である、ゲイン余裕、位相余裕、閉ループ最大ゲイン、及び高周波領域最大ゲインの値がそれぞれ「-3」、「-30」、「6」と「-16」であり、要求安定性指標である、ゲイン余裕、位相余裕、閉ループ最大ゲイン、及び高周波領域最大ゲインの値のそれぞれの値「6」、「30」、「5」、「-20」を満たしていないからである。

図6において、制御帯域は不安定であるため、図示されていない。

[0037] 図7は表示領域110A内に表示される、判定が「OK」である調整中の周波数特性を示す図である。図8は表示領域110B内に表示される、調整前と調整中の制御パラメータと評価指標を示す図である。図7の周波数特性及び図8の調整前と調整中の制御パラメータと評価指標に関する説明は、図5の周波数特性及び図6の調整前と調整中の制御パラメータと評価指標に関する説明と重複する部分については省略する。

[0038] 図7の周波数特性が「OK」とされているのは、図8の調整中の安定性指標である、ゲイン余裕、位相余裕、閉ループ最大ゲイン、及び高周波領域最

大ゲインの値がそれぞれ「8」、と「50」、「3」、「-18」であり、ゲイン余裕、位相余裕、閉ループ最大ゲイン、及び高周波領域最大ゲイン、ゲイン余裕と位相余裕の値のそれぞれの値「6」、「30」、「5」、「-20」を満たしているからである。

[0039] (サーボ制御装置の周波数特性をシミュレーションで求める方法)

最初の調整時には、パラメータ調整部106は、制御部105を介して周波数特性保存部103から開ループ周波数特性 P_o を読み出す。また、パラメータ調整部106は、制御部105を介してパラメータ記憶部104から調整前の制御パラメータを読み出す。そして、パラメータ調整部106は、読み出した開ループの周波数特性 P_o と、読み出した制御パラメータとに基づいて、制御パラメータを調整し、調整中の制御パラメータを周波数特性計算部107に出力する。

2回目以降の調整時には、パラメータ調整部106は、周波数特性計算部107から出力される周波数特性に基づいて、制御パラメータを再調整し、再調整中の制御パラメータを周波数特性計算部107に出力する。

[0040] 周波数特性計算部107は、最初の調整時には、調整前の制御パラメータを用いた、サーボ制御装置200の伝達関数を用いて、サーボ制御装置200の制御器202からフィルタ203までの開ループの周波数特性 CF_1 を計算する。また、周波数特性計算部107は、パラメータ調整部106から出力される調整された制御パラメータを用いた、サーボ制御装置200の制御器202からフィルタ203までの伝達関数を用いて、サーボ制御装置200の制御器202からフィルタ203までの開ループの周波数特性 CF_2 を計算する。

周波数特性計算部107は、2回目以降の調整時には、周波数特性 CF_1 は既に計算されているので、パラメータ調整部106から出力される調整された制御パラメータを用いた、サーボ制御装置200の制御器202からフィルタ203までの伝達関数を用いて、サーボ制御装置200の制御器202からフィルタ203まで開ループの周波数特性 CF_2 のみを計算する。

[0041] 周波数特性計算部 107 は、周波数特性 CF_1 、周波数特性 CF_2 及び周波数特性保存部 103 から取得した開ループ周波数特性 P_o に基づいて、以下の数式 1（数 1 として示す）を用いて、モータ制御部 100 の入出力ゲインと位相遅れとの開ループ周波数特性 E_o を求める。

[数1]

$$E_o = CF_2 - CF_1 + P_o$$

また、周波数特性計算部 107 は、閉ループ周波数特性 E_c を、開ループ周波数特性 E_o を用いて、 $E_c = E_o / (1 + E_o)$ によって計算する。

なお、モータ制御部 100 の入出力ゲインと位相遅れとの周波数特性 E_o は、上記数式 5、すなわち、 $E_o = CF_2 - CF_1 + P_o$ を用いて算出できるが、周波数特性予測部 403 が行う計算は、 $E_o = (CF_2 - CF_1) + P_o$ 、 $E_o = (P_o - CF_1) + CF_2$ 、 $E = (P_o + CF_2) - CF_1$ のいずれでもよい。

[0042] サーボ制御装置 200 の一般的な開ループの周波数特性 C のゲイン特性及び位相特性は、以下の数式 2（以下の数 2）で示される。サーボ制御装置 200 の開ループの伝達関数は $G_o(s)$ で示す。数 2 において、 $L_o(\omega)$ は開ループの周波数特性のゲイン特性、 $\Phi_o(\omega)$ は開ループの周波数特性の位相特性を示す。

[数2]

$$L_o(\omega) = 20 \log_{10} |G_o(j\omega)|$$

$$\Phi_o(\omega) = \angle G_o(j\omega)$$

[0043] サーボ制御装置 200 の開ループの伝達関数 $G_o(s)$ は、制御器の伝達関数を $C(s)$ 、フィルタの伝達関数を $F(s)$ 、制御対象の伝達関数を P

(s) で示すと、 $G_o(s) = C(s) F(s) P(s)$ の式で求められる。
サーボ制御装置 200 の閉ループの伝達関数 $G_c(s)$ は、 $G_o(s) / (1 + G_o(s))$ の式で求められる。

閉ループの周波数特性のゲイン特性 $L_c(\omega)$ 、閉ループの周波数特性の位相特性 $\Phi_c(\omega)$ は、数式 2 の $L_o(\omega)$ と $G_o(j\omega)$ を $L_c(\omega)$ と $G_c(j\omega)$ に置き替え、 $\Phi_o(\omega)$ と $G_o(j\omega)$ を $\Phi_c(\omega)$ と $G_c(j\omega)$ に置き替えることで求めることができる。

[0044] サーボ制御装置 200 の制御器 202 からフィルタ 203 までの開ループの周波数特性 CF_1 は、制御器の伝達関数 $C(s)$ とフィルタの伝達関数 $F(s)$ との少なくとも 1 つの制御パラメータが調整前の制御パラメータであるときの周波数特性である。サーボ制御装置 200 の制御器 202 からフィルタ 203 までの開ループの周波数特性 CF_2 は、制御器の伝達関数を $C(s)$ とフィルタの伝達関数を $F(s)$ との少なくとも 1 つの制御パラメータが調整中の制御パラメータであるときの周波数特性である。周波数特性 CF_1 と周波数特性 CF_2 との違いは、後述する、伝達関数 $C(s)$ の積分ゲイン k_i 、比例ゲイン k_p 及びゲイン k 、並びに伝達関数 $F(s)$ の減衰帯域幅 d 、中心周波数 ω_n 及び減衰ダンピング率のうちの少なくとも 1 つが異なることである。

[0045] 制御器の伝達関数 $C(s)$ 、フィルタの伝達関数 $F(s)$ 、制御対象の伝達関数 $P(s)$ はそれぞれ次のように示される。

制御器 202 の伝達関数 $C(s)$ は、以下の数式 3 (以下の数 3) で示される。数式 3 において、 k_i は積分ゲイン、 k_p は比例ゲイン、 k はゲインを示す。

[数3]

$$C(s) = k \left(\frac{k_i}{s} + k_p \right)$$

[0046] フィルタを 3 つのフィルタで構成した場合、フィルタの伝達関数 $F(s)$

は、 $F(s) = F_1(s) F_2(s) F_3(s)$ で求められる。

$F_1(s)$ 、 $F_2(s)$ 及び $F_3(s)$ は、3つのフィルタ 203-1～203-3 の伝達関数を示す。フィルタ 203-1 としてのノッチフィルタの伝達関数 $F_1(s)$ は以下の数式 4（以下の数 4）で示される。フィルタ 203-2、203-3 の伝達関数も同様に、数式 4 で示される。

ここで、数式 4 の係数 d は減衰帯域幅、係数 ω_n は中心角周波数、係数 ζ は減衰ダンピング率を示す。

[数4]

$$F_1(s) = \frac{s^2 + 2d\zeta\omega_n s + \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

[0047] 制御対象 204 の伝達関数 $P(s)$ は、図 9 に示すような 2 慣性系の機械モデルを用いると、モータ位置から負荷位置までの伝達関数として、数式 5（以下に数 6 として示す）で示される。数式 5 において、 J_L は負荷イナーシャ、 K_m はバネ定数、 C_m はダンパ定数を示す。

[数5]

$$\frac{C_m s + K_m}{J_L s^2 + C_m s + K_m}$$

図 9 に示す 2 慣性系の機械モデルは、例えば、“NC 工作機械の送り軸のための 2 慣性系モデルによる低周波振動抑制制御の研究” 2016 年 82 巻 8 号 p. 745-750, 精密工学会誌に記載されている。

[0048] （パラメータ調整部を機械学習装置で構成した変形例）

パラメータ調整部 106 は、機械学習装置で構成し、周波数特性計算部 107 によって計算された周波数特性に基づいて、制御パラメータを調整する場合、機械学習（以下、学習という）を用いることができる。機械学習装置による学習は出荷前に行われるが、出荷後に再学習を行ってもよい。機械学

習装置は、制御パラメータの調整を繰り返して制御パラメータの最適値を求める。

[0049] 以下、機械学習装置の構成及び動作の詳細について更に説明する。

機械学習装置に含まれる各機能ブロックの説明に先立って、まず強化学習の基本的な仕組みについて説明する。エージェント（本実施形態における機械学習装置に相当）は、環境の状態を観測し、ある行動を選択し、当該行動に基づいて環境が変化する。環境の変化に伴って、何らかの報酬が与えられ、エージェントはより良い行動の選択（意思決定）を学習する。

教師あり学習が、完全な正解を示すのに対して、強化学習における報酬は、環境の一部の変化に基づく断片的な値であることが多い。このため、エージェントは、将来にわたっての報酬の合計を最大にするよう行動を選択するように学習する。

[0050] このように、強化学習では、行動を学習することにより、環境に行動が与える相互作用を踏まえて適切な行動を学習、すなわち将来的に得られる報酬を最大にするための学習する方法を学ぶ。これは、本実施形態において、例えば、機械端の振動を抑制するための行動情報を選択するという、未来に影響をおよぼすような行動を獲得できることを表している。

[0051] ここで、強化学習としては、任意の学習方法を用いることができるが、以下の説明では、或る環境の状態 S の下で、行動 A を選択する価値 $Q(S, A)$ を学習する方法である Q 学習 (Q -learning) を用いる場合を例にとって説明をする。

Q 学習では、或る状態 S のとき、取り得る行動 A のなかから、価値 $Q(S, A)$ の最も高い行動 A を最適な行動として選択することを目的とする。

[0052] しかしながら、 Q 学習を最初に開始する時点では、状態 S と行動 A との組合せについて、価値 $Q(S, A)$ の正しい値は全く分かっていない。そこで、エージェントは、或る状態 S の下で様々な行動 A を選択し、その時の行動 A に対して、与えられる報酬に基づいて、より良い行動の選択をすることにより、正しい価値 $Q(S, A)$ を学習していく。

[0053] また、将来にわたって得られる報酬の合計を最大化したいので、最終的に $Q(S, A) = E[\sum(\gamma^t) r_t]$ となるようにすることを目指す。ここで $E[\]$ は期待値を表し、 t は時刻、 γ は後述する割引率と呼ばれるパラメータ、 r_t は時刻 t における報酬、 $\sum$ は時刻 t による合計である。この式における期待値は、最適な行動に従って状態変化した場合の期待値である。しかし Q 学習の過程において最適な行動が何であるのかは不明であるので、様々な行動を行うことにより、探索しながら強化学習をする。このような価値 $Q(S, A)$ の更新式は、例えば、次の数式 6（以下に数 6 として示す）により表すことができる。

[0054] [数6]

$$Q(S_{t+1}, A_{t+1}) \leftarrow Q(S_t, A_t) + \alpha(r_{t+1} + \gamma \max_A Q(S_{t+1}, A) - Q(S_t, A_t))$$

[0055] 上記の数式 6 において、 S_t は、時刻 t における環境の状態を表し、 A_t は、時刻 t における行動を表す。行動 A_t により、状態は S_{t+1} に変化する。 r_{t+1} は、その状態の変化により得られる報酬を表している。また、 $\max$ の付いた項は、状態 S_{t+1} の下で、その時に分かっている最も Q 値の高い行動 A を選択した場合の Q 値に γ を乗じたものになる。ここで、 γ は、 $0 < \gamma \leq 1$ のパラメータで、割引率と呼ばれる。また、 α は、学習係数で、 $0 < \alpha \leq 1$ の範囲とする。

[0056] 上述した数式 6 は、試行 A_t の結果、返ってきた報酬 r_{t+1} を元に、状態 S_t における行動 A_t の価値 $Q(S_t, A_t)$ を更新する方法を表している。

この更新式は、状態 S_t における行動 A_t の価値 $Q(S_t, A_t)$ よりも、行動 A_t による次の状態 S_{t+1} における最良の行動の価値 $\max_A Q(S_{t+1}, A)$ の方が大きければ、 $Q(S_t, A_t)$ を大きくし、逆に小

さければ、 $Q(S_t, A_t)$ を小さくすることを示している。つまり、或る状態における或る行動の価値を、それによる次の状態における最良の行動の価値に近づける。ただし、その差は、割引率 γ と報酬 r_{t+1} のあり方により変わってくるが、基本的には、ある状態における最良の行動の価値が、それに至る一つ前の状態における行動の価値に伝播していく仕組みになっている。

[0057] ここで、Q学習では、すべての状態行動ペア (S, A) についての $Q(S, A)$ のテーブルを作成して、学習を行う方法がある。しかし、すべての状態行動ペアの $Q(S, A)$ の値を求めるには状態数が多すぎて、Q学習が収束するのに多くの時間を要してしまう場合がある。

[0058] そこで、公知のDQN (Deep Q-Network) と呼ばれる技術を利用するようにしてもよい。具体的には、価値関数 Q を適当なニューラルネットワークを用いて構成し、ニューラルネットワークのパラメータを調整することにより、価値関数 Q を適当なニューラルネットワークで近似することにより価値 $Q(S, A)$ の値を算出するようにしてもよい。DQNを利用することにより、Q学習が収束するのに要する時間を短くすることが可能となる。なお、DQNについては、例えば、以下の非特許文献に詳細な記載がある。

[0059] <非特許文献>

「Human-level control through deep reinforcement learning」、Volodymyr Mnih著 [online]、[平成29年1月17日検索]、インターネット <URL: <http://files.davidquiu.com/research/nature14236.pdf>>

[0060] 以上説明をしたQ学習を機械学習装置が行う。具体的には、機械学習装置は、サーボ制御装置200の制御パラメータ、周波数特性計算部107から出力された周波数特性を状態 S として、当該状態 S に係るサーボ制御装置200の制御パラメータの調整を行動 A として選択する価値 Q を学習する。サーボ制御装置200の制御パラメータは、制御器202の伝達関数の係数 k_i 、係数 k_p 、及び係数 k 、並びにフィルタ203の伝達関数の各係数 d 、係数 ω_n 、係数 ζ の少なくとも1つの値である。

[0061] 機械学習装置は、サーボ制御装置200の制御パラメータに基づいて、数式1を用いて計算される周波数特性E_oを含む状態情報Sを観測して、行動Aを決定する。機械学習装置は、行動Aをするたびに報酬が返ってくる。機械学習装置は、例えば、将来にわたっての報酬の合計が最大になるように最適な行動Aを試行錯誤的に探索する。そうすることで、機械学習装置は、サーボ制御装置200の制御パラメータに基づいて計算された、周波数特性E_oを含む状態Sに対して、最適な行動A（すなわち、サーボ制御装置200の制御パラメータ）を選択することが可能となる。

[0062] すなわち、機械学習装置により学習された価値関数Qに基づいて、或る状態Sに係るサーボ制御装置200の制御パラメータに対して適用される行動Aのうち、Qの値が最大となるような行動Aを選択することで、加工プログラムを実行することで生ずる機械端の振動が最小になるような行動A（すなわち、サーボ制御装置200の制御パラメータ）を選択することが可能となる。

[0063] 図10は機械学習装置の構成を示すブロック図である。

上述した強化学習を行うために、図10に示すように、機械学習装置400は、状態情報取得部401、学習部402、行動情報出力部403、価値関数記憶部404、及び最適化行動情報出力部405を備える。学習部402は報酬出力部4021、価値関数更新部4022、及び行動情報生成部4023を備える。

[0064] 状態情報取得部401は、サーボ制御装置200の制御パラメータに基づいて、周波数特性を含む状態Sを周波数特性計算部107から取得する。この状態情報Sは、Q学習における、環境状態Sに相当する。

状態情報取得部401は、取得した状態情報Sを学習部402に対して出力する。

[0065] なお、最初にQ学習を開始する時点でのサーボ制御装置200の制御パラメータは、予めユーザが生成し、パラメータ記憶部104に記憶する。本実施形態では、ユーザが作成したサーボ制御装置200の制御パラメータを、

強化学習により最適なものに調整する。

なお、サーボ制御装置 200 の制御パラメータは予め操作者が工作機械等を調整している場合には、調整済の値を初期値として機械学習してもよい。

[0066] 学習部 402 は、或る環境状態 S の下で、ある行動 A を選択する場合の価値 $Q(S, A)$ を学習する部分である。

[0067] 報酬出力部 4021 は、或る状態 S の下で、行動 A を選択した場合の報酬を算出する部分である。

報酬出力部 4021 は、サーボ制御装置 200 の制御パラメータを調整した場合において、測定した又は計算された入出力ゲイン G_s を、予め設定した規範モデルの各周波数ごとの入出力ゲイン G_b と比較する。報酬出力部 4021 は、測定した又は計算された入出力ゲイン G_s が規範モデルの入出力ゲイン G_b よりも大きい場合には、負の報酬を与える。一方、報酬出力部 4021 は、測定した又は計算された入出力ゲイン G_s が規範モデルの入出力ゲイン G_b 以下である場合には、位相遅れが小さくなるときは正の報酬を与え、位相遅れが大きくなるときは負の報酬を与え、位相遅れが変わらないときはゼロの報酬を与える。

[0068] まず、報酬出力部 4021 が、測定した又は計算された入出力ゲイン G_s が規範モデルの入出力ゲイン G_b よりも大きい場合に、負の報酬を与える動作について図 11 及び図 12 を用いて説明する。

報酬出力部 4021 は、入出力ゲインの規範モデルを保存している。規範モデルは、共振のない理想的な特性を有するサーボ制御装置のモデルである。規範モデルは、例えば、図 11 に示すモデルのイナーシャ J_a 、トルク定数 K_t 、比例ゲイン K_p 、積分ゲイン K_I 、微分ゲイン K_D から計算で求めることができる。イナーシャ J_a はモータイナーシャと機械イナーシャとの加算値である。

[0069] 図 12 は、規範モデルのサーボ制御装置と、学習前及び学習後のサーボ制御装置 200 との入出力ゲインの周波数特性を示す特性図である。図 12 の特性図に示すように、規範モデルは、一定の入出力ゲイン以上、例えば、一

20 dB以上での理想的な入出力ゲインとなる周波数領域である領域Aと、一定の入出力ゲイン未満となる周波数領域である領域Bとを備えている。図12の領域Aにおいて、規範モデルの理想的な入出力ゲインを曲線MC1（太線）で示す。図12の領域Bにおいて、規範モデルの理想的な仮想入出力ゲインを曲線MC11（破線の太線）で示し、規範モデルの入出力ゲインを一定値として直線MC12（太線）で示す。図12の領域A及びBにおいて、学習前及び学習後のサーボ制御部との入出力ゲインの曲線をそれぞれ曲線RC1、RC2で示す。

[0070] 報酬出力部4021は、領域Aでは、測定した入出力ゲインの学習前の曲線RC1が規範モデルの理想的な入出力ゲインの曲線MC1を超えた場合は第1の負の報酬を与える。

入出力ゲインが十分小さくなる周波数を超える領域Bでは、学習前の入出力ゲインの曲線RC1が規範モデルの理想的な仮想入出力ゲインの曲線MC11を超えたとしても安定性への影響が小さくなる。そのため領域Bでは、上述したように、規範モデルの入出力ゲインは理想的なゲイン特性の曲線MC11ではなく、一定値の入出力ゲイン（例えば、-20 dB）の直線MC12を用いる。しかし、学習前の測定した入出力ゲインの曲線RC1が一定値の入出力ゲインの直線MC12を超えた場合には不安定になる可能性があるため、報酬として第1の負の値を与える。

[0071] 次に、報酬出力部4021が、測定した又は計算された入出力ゲイン G_s が規範モデルの入出力ゲイン G_b 以下である場合に、位相遅れの情報に基づいて報酬を決める動作について説明する。

以下の説明において、状態情報Sに係る状態変数である位相遅れを $D(S)$ 、行動情報A（サーボ制御装置200の制御パラメータの調整）により状態Sから変化した状態 S' に係る状態変数である位相遅れを $D(S')$ で示す。

[0072] 報酬出力部4021が、位相遅れの情報に基づいて報酬を決める方法は、例えば、以下方法がある。なお、位相遅れの情報に基づいて報酬を決める方

法は以下に説明する方法に特に限定されるものではない。

状態Sから状態S'となった場合に、位相遅れが180度となる周波数が大きくなるか、小さくなるか、又は同じになるかで報酬を決める。ここでは、位相遅れが180度の場合を取り上げたが、特に180度に限定されず他の値であってもよい。

例えば、位相遅れが図13に示したボーデ線図の位相線図で示されたときに、状態Sから状態S'となった場合に、位相遅れが180度となる周波数が小さくなるように（図13のX2方向に）曲線が変わると、位相遅れは大きくなる。一方、状態Sから状態S'となった場合に、位相遅れが180度となる周波数が大きくなるように（図13のX1方向に）曲線が変わると、位相遅れが小さくなる。

[0073] よって、状態Sから状態S'となった場合に、位相遅れが180度となる周波数が小さくなったとき、位相遅れ $D(S) < \text{位相遅れ}D(S')$ と定義して、報酬出力部4021は、報酬の値を第2の負の値とする。なお第2の負の値の絶対値は第1の負の値よりも小さくする。

一方で、状態Sから状態S'となった場合に、位相遅れが180度となる周波数が大きくなったとき、位相遅れ $D(S) > \text{位相遅れ}D(S')$ と定義して、報酬出力部4021は、報酬の値を正の値とする。

また、状態Sから状態S'となった場合に、位相遅れが180度となる周波数が変わらないとき、位相遅れ $D(S) = \text{位相遅れ}D(S')$ と定義して、報酬出力部4021は、報酬の値をゼロの値とする。

[0074] なお、行動Aを実行後の状態S'の位相遅れ $D(S')$ が、前の状態Sにおける位相遅れ $D(S)$ より大きくなったと定義した場合の負の値としては、比率に応じて負の値を大きくするようにしてもよい。例えば、上述した方法において、周波数が小さくなった度合いに応じて負の値が大きくなるようにするとよい。逆に、行動Aを実行後の状態S'の位相遅れ $D(S')$ が、前の状態Sにおける位相遅れ $D(S)$ より小さくなったと定義した場合の正の値としては、比率に応じて正の値を大きくするようにしてもよい。例えば

、上述した第1の方法において、周波数が大きくなった度合いに応じて正の値が大きくなるようにするとよい。

[0075] 価値関数更新部4022は、状態Sと、行動Aと、行動Aを状態Sに適用した場合の状態S'と、上記のようにして算出された報酬の値と、に基づいてQ学習を行うことにより、価値関数記憶部404が記憶する価値関数Qを更新する。

価値関数Qの更新は、オンライン学習で行ってもよく、バッチ学習で行ってもよく、ミニバッチ学習で行ってもよい。

オンライン学習は、或る行動Aを現在の状態Sに適用することにより、状態Sが新たな状態S'に遷移する都度、即座に価値関数Qの更新を行う学習方法である。また、バッチ学習は、或る行動Aを現在の状態Sに適用することにより、状態Sが新たな状態S'に遷移することを繰り返すことにより、学習用のデータを収集し、収集した全ての学習用データを用いて、価値関数Qの更新を行う学習方法である。更に、ミニバッチ学習は、オンライン学習と、バッチ学習の中間的な、ある程度学習用データが溜まるたびに価値関数Qの更新を行う学習方法である。

[0076] 行動情報生成部4023は、現在の状態Sに対して、Q学習の過程における行動Aを選択する。行動情報生成部4023は、Q学習の過程において、サーボ制御装置200の制御パラメータを変更する動作（Q学習における行動Aに相当）を行わせるために、行動情報Aを生成して、生成した行動情報Aを行動情報出力部403に対して出力する。

より具体的には、行動情報生成部4023は、例えば、状態Sに含まれるサーボ制御装置200の制御パラメータに対して行動Aに含まれる、サーボ制御装置200の制御パラメータをインクリメンタルに加算又は減算させる。

[0077] そして、行動情報生成部4023は、サーボ制御装置200の制御パラメータの増加又は減少を適用して、状態S'に遷移して、プラスの報酬（正の値の報酬）が返った場合、次の行動A'としては、サーボ制御装置200の

制御パラメータに対して、前回のアクションと同様にインクレメンタルに加算又は減算させる等、測定した位相遅れが前回の位相遅れよりも小さくなるように行動A'を選択する方策を取るようにしてもよい。

[0078] また、逆に、マイナスの報酬（負の値の報酬）が返った場合、行動情報生成部4023は、次の行動A'としては、例えば、サーボ制御装置200の制御パラメータに対して、前回のアクションとは逆にインクレメンタルに減算又は加算させる等、測定した又は計算された入出力ゲインが規範モデルの入出力ゲインよりも大きい場合には前回よりも入力ゲインの差がより小さくなるように、又は測定した位相遅れが前回の位相遅れよりも小さくなるように行動A'を選択する方策を取るようにしてもよい。

[0079] 行動情報出力部403は、学習部402から出力される行動情報Aを周波数特性計算部107に対して送信する部分である。周波数特性計算部107は上述したように、この行動情報に基づいて、現在の状態S、すなわち現在設定されているサーボ制御装置200の制御パラメータを変更することで、次の状態S'（すなわち変更された、サーボ制御装置200の制御パラメータ）に遷移する。

[0080] 価値関数記憶部404は、価値関数Qを記憶する記憶装置である。価値関数Qは、例えば状態S、行動A毎にテーブル（以下、行動価値テーブルと呼ぶ）として格納してもよい。価値関数記憶部404に記憶された価値関数Qは、価値関数更新部4022により更新される。また、価値関数記憶部404に記憶された価値関数Qは、他の機械学習装置400との間で共有されるようにしてもよい。価値関数Qを複数の機械学習装置400で共有するようになれば、各機械学習装置400にて分散して強化学習を行うことが可能となるので、強化学習の効率を向上させることが可能となる。

[0081] 最適化行動情報出力部405は、価値関数更新部4022がQ学習を行うことにより更新した価値関数Qに基づいて、価値Q(S, A)が最大となる動作をサーボ制御装置200に行わせるための行動情報A（以下、「最適化行動情報」と呼ぶ）を生成する。

より具体的には、最適化行動情報出力部405は、価値関数記憶部404が記憶している価値関数Qを取得する。この価値関数Qは、上述したように価値関数更新部4022がQ学習を行うことにより更新したものである。そして、最適化行動情報出力部405は、価値関数Qに基づいて、行動情報を生成し、生成した行動情報をサーボ制御装置200に対して出力する。この最適化行動情報には、行動情報出力部403がQ学習の過程において出力する行動情報と同様に、サーボ制御装置200の制御パラメータを修正する情報が含まれる。

[0082] サーボ制御装置200では、この行動情報に基づいて制御パラメータが修正される。

機械学習装置400は、以上の動作で、サーボ制御装置200の制御パラメータの最適化を行い、機械端の振動を抑制するように動作することができる。

[0083] 以上のように、機械学習装置400を利用することで、サーボ制御装置200の制御パラメータの調整を簡易化することができる。

フィルタ203を3つのフィルタ203-1～203-3で構成する場合、機械学習装置400は、複数のフィルタのそれぞれの制御パラメータ（係数 ξ 、係数 ω_n 、係数 d の少なくとも1つ）について、順次、共振点を減衰させる最適値を機械学習により求めていく。

[0084] 次に、図14のフローチャートを参照して本実施形態における出力装置100の動作について説明をする。

図14は、出力装置の動作を示すフローチャートである。

[0085] ステップS11において、制御部105は、周波数特性保存部103に、周波数特性測定装置300から出力される、入出力ゲインと位相遅れとの、閉ループ周波数特性及び開ループ周波数特性を保存する。

[0086] ステップS12において、制御部105は、周波数特性保存部103から開ループ周波数特性を読み出し、パラメータ記憶部104から調整前の制御パラメータを読み出す。

[0087] ステップS 1 3において、パラメータ調整部 1 0 6は、制御パラメータを調整し、調整された制御パラメータを周波数特性計算部 1 0 7に出力する。

[0088] ステップS 1 4において、周波数特性計算部 1 0 7は、調整された制御パラメータを用いたサーボ制御装置 2 0 0の開ループの周波数特性をシミュレーションで求め、閉ループの周波数特性も求める。

[0089] ステップS 1 5において、評価指標計算部 1 0 8は、開ループの周波数特性と、閉ループの周波数特性とも基づいて、評価指標を計算する。

[0090] ステップS 1 6において、出力部 1 0 9は、周波数特性及び評価指標を表示する。

ステップS 1 7において、パラメータ調整部 1 0 6は、再調整するかどうかを判断する。再調整する場合はステップS 1 3に戻る。再調整しない場合は処理を終了する。

[0091] 以上説明した本実施形態によれば、サーボ制御装置の制御パラメータの調整を行う場合、1回の周波数特性の測定を行えばよく、制御パラメータを調整した場合の周波数特性はシミュレーションで求めることができる。本実施形態によれば、複数の周波数特性及び／又は複数の周波数特性の評価指標を確認することで、調整中の周波数特性及び／又は周波数特性の評価指標を簡単に比較し、適用したい制御パラメータを求めることが可能となる。

[0092] (第1変形例)

出力部 1 0 9は、図4に示す表示画面 1 1 0にフィルタの周波数特性を加えて表示してもよい。周波数特性計算部 1 0 7は、調整した制御パラメータを用いてフィルタの周波数特性を計算して出力部 1 0 9に出力する。3つのノッチフィルタで構成されるフィルタの周波数特性は、数式7（以下の数7）で示される。 $L_F(\omega)$ はフィルタの周波数特性のゲイン特性、 $\Phi_F(\omega)$ はフィルタの周波数特性の位相特性を示す。

[数7]

$$L_F(\omega) = 20\log_{10}|F_1(j\omega)F_2(j\omega)F_3(j\omega)|$$

$$\Phi_O(\omega) = \angle F_1(j\omega)F_2(j\omega)F_3(j\omega)$$

図15は、周波数特性、制御パラメータ、及び評価指標に、フィルタの周波数特性を加えて表示する、液晶表示装置の表示画面を示す図である。

表示画面110は、周波数特性を表示する表示領域110A、及び表示領域110Bに加えて、表示領域110Cを含んでいる。図15の表示領域110Bの位置は、図4に示す表示領域110Bの位置と異なる。

表示領域110Cは、フィルタの周波数特性を表示する。

[0093] フィルタの係数の調整前及び調整中の、サーボ制御装置の周波数特性、及びフィルタの周波数特性の例を図16～図23に示す。サーボ制御装置の周波数特性は表示領域110Aに表示され、及びフィルタの周波数特性は表示領域110Cに表示される。

[0094] 図16及び図17は、フィルタの係数の調整前の、フィルタの周波数特性及びサーボ制御装置の周波数特性を示す図である。

図18及び図19は、1段目のフィルタ203-1の係数の調整中の、フィルタの周波数特性及びサーボ制御装置の周波数特性を示す図である。

図20及び図21は、2段目のフィルタ203-2の係数の調整中の、フィルタの周波数特性及びサーボ制御装置の周波数特性を示す図である。

図22及び図23は、1段目及び2段目のフィルタ203-1、13-2の係数の調整中の、フィルタの周波数特性及びサーボ制御装置の周波数特性を示す図である。

[0095] (第2変形例)

図2に示すフィルタ203は、複数のノッチフィルタで構成される場合に限定されず、例えば、1つのノッチフィルタで構成されてもよく、一次ローパスフィルタ、二次ローパスフィルタ及びノッチフィルタの3つのフィルタで構成されてもよい。

フィルタ 203 が、一次ローパスフィルタ、二次ローパスフィルタ及びノッチフィルタの 3 つのフィルタで構成される場合、フィルタ 203 の伝達関数 $F(s)$ は、 $F(s) = F_{1LPF}(s) F_{2LPF}(s) F_n(s)$ で求められる。伝達関数 $F_{1LPF}(s)$ 、 $F_{2LPF}(s)$ 及び $F_n(s)$ は、それぞれ一次ローパスフィルタ、二次ローパスフィルタ及びノッチフィルタの伝達関数を示す。

[0096] 出力装置 100 は、3 つのフィルタ 203-1 ~ 203-3 を、3 つのノッチフィルタから、一次ローパスフィルタ、二次ローパスフィルタ及びノッチフィルタに置き替えること以外は、既に説明した本実施形態と同様に構成することができる。

[0097] 伝達関数 $F_{1LPF}(s)$ 、 $F_{2LPF}(s)$ 及び $F_n(s)$ は、以下の数式 8 (以下の数 8) で示される。数式 8 において、係数 d は減衰帯域幅、係数 ω_n は角中心周波数、係数 ζ は減衰ダンピング率、 T は時定数を示す。

[数 8]

$$F_{1LPF}(s) = \frac{1}{Ts + 1}$$

$$F_{2LPF}(s) = \frac{\omega_n}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

$$F_n(s) = \frac{s^2 + 2d\zeta\omega_n s + \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

[0098] 一次ローパスフィルタ、二次ローパスフィルタ及びノッチフィルタで構成されるフィルタの周波数特性（ゲイン特性及び位相特性）は、数式 7 (以下の数 7) の $F_1(j\omega)$ 、 $F_2(j\omega)$ 及び $F_3(j\omega)$ を $F_{1LPF}(j\omega)$ 、 $F_{2LPF}(j\omega)$ 及び $F_n(j\omega)$ に置き替えることで求められる。

図 15 に示す表示画面の表示領域 110C にフィルタの周波数特性が表示

される。

[0099] 以上説明した各実施形態の出力装置 100 に含まれる構成部は、ハードウェア、ソフトウェア又はこれらの組み合わせにより実現することができる。ここで、ソフトウェアによって実現されるとは、コンピュータがプログラムを読み込んで実行することにより実現されることを意味する。

出力装置 100 に含まれる構成部をソフトウェア又はこれらの組み合わせにより実現する実現するために、出力装置 100 は、CPU (Central Processing Unit) 等の演算処理装置を備える。演算処理装置は実行部として機能する。また、出力装置 100 は、アプリケーションソフトウェア又は OS (Operating System) 等の各種の制御用プログラムを格納した HDD (Hard Disk Drive) 等の補助記憶装置、及び演算処理装置がプログラムを実行する上で一時的に必要とされるデータを格納するための RAM (Random Access Memory) といった主記憶装置も備える。

[0100] そして、出力装置 100 は、演算処理装置が補助記憶装置からアプリケーションソフトウェア又は OS を読み込み、読み込んだアプリケーションソフトウェア又は OS を主記憶装置に展開させながら、これらのアプリケーションソフトウェア又は OS に基づいた演算処理を行なう。また、この演算結果に基づいて、出力装置 100 が備える各種のハードウェアを制御する。これにより、本実施形態の機能ブロックは実現される。

[0101] 出力装置 100 に含まれる構成部は、電子回路等を含むハードウェアにより実現することができる。出力装置 100 をハードウェアで構成する場合、出力装置 100 に含まれる各構成部の機能の一部又は全部を、例えば、ASIC (Application Specific Integrated Circuit)、ゲートアレイ、FPGA (Field Programmable Gate Array)、CPLD (Complex Programmable Logic Device) 等の集積回路 (IC) で構成することができる。

[0102] プログラムは、様々なタイプの非一時的なコンピュータ可読媒体 (non-transitory computer readable medium) を用いて格納され、コンピュータに供給することができる。非一時的なコンピュータ可読媒体は、様々なタイプの実

体のある記録媒体(tangible storage medium)を含む。非一時的なコンピュータ可読媒体の例は、磁気記録媒体（例えば、ハードディスクドライブ）、光磁気記録媒体（例えば、光磁気ディスク）、CD-ROM(Read Only Memory)、CD-R、CD-R/W、半導体メモリ（例えば、マスクROM、PROM(Programmable ROM)、EPROM(Erasable PROM)、フラッシュROM、RAM(random access memory))を含む。また、プログラムは、様々なタイプの一時的なコンピュータ可読媒体(transitory computer readable medium)によってコンピュータに供給されてもよい。

[0103] 以上説明した実施形態及び変形例の効果は、サーボ制御装置のゲイン又はフィルタ等のパラメータの調整によって、サーボ制御装置の系全体の特性及び評価指標がどのように変化するかをシミュレーションで求めることができることである。

[0104] 以上、本開示について説明したが、本開示は上述した個々の実施形態及び変形例に限定されるものではない。これらの実施形態及び変形例は本開示の要旨を逸脱しない範囲で、又は特許請求の範囲に記載された内容とその均等物から導き出される本開示の要旨を逸脱しない範囲で、種々の追加、置き替え、変更、部分的削除等が可能である。

また、これらの実施形態及び変形例は、組み合わせて実施することもできる。例えば、上述した実施形態において、各動作の順序や各処理の順序は、一例として示したものであり、これらに限定されるものではない。

[0105] 上記実施形態及び変形例に関し、さらに以下の付記を開示する。

（付記１）

工作機械、ロボット又は産業機械の軸を駆動するモータを制御するサーボ制御装置に対して設けられる出力装置（１００）であって、

調整前の前記サーボ制御装置の系全体の周波数特性を保存する周波数特性保存部（１０３）と、

調整前の制御パラメータを記憶するパラメータ記憶部（１０４）と、

調整前の前記サーボ制御装置の系全体の周波数特性と、調整前の前記制御

パラメータとを用いて、前記制御パラメータを調整するパラメータ調整部（１０６）と、

調整した前記制御パラメータを用いて、調整中の前記サーボ制御装置の系全体の周波数特性を計算する周波数特性計算部（１０７）と、

前記調整中の前記サーボ制御装置の系全体の周波数特性を評価する指標を計算する評価指標計算部（１０８）と、

前記調整中の、前記サーボ制御装置の系全体の周波数特性と前記評価指標を出力する出力部（１０９）と、

を備えた出力装置。

[0106] （付記２）

前記周波数特性計算部（１０７）は、調整した前記制御パラメータを用いて前記サーボ制御装置に含まれるフィルタの周波数特性を計算し、

前記出力部（１０９）は、前記フィルタの周波数特性を出力する、付記１に記載の出力装置。

[0107] （付記３）

前記出力部（１０９）は、調整中の複数の前記周波数特性と、複数の前記周波数特性をそれぞれ評価する複数の評価指標を、表示画面に、並べて若しくは重ねて表示、又は動画で表示する表示部（１０９２）を含む、付記１又は２に記載の出力装置。

[0108] （付記４）

前記出力部は、調整中の複数の前記周波数特性の推移を、前記表示画面に重ねた図又は動画を作成する作図部（１０９１）を備え、前記表示部（１０９２）は、前記作図部が作成した前記図又は動画を表示する、付記３に記載の出力装置。

[0109] （付記５）

前記パラメータ調整部（１０６）は、前記制御パラメータの調整を繰り返して前記前記制御パラメータの最適値を求める機械学習装置（４００）である、付記１から４のいずれか１項に記載の出力装置。

[0110] (付記6)

調整前の前記サーボ制御装置の系全体の周波数特性を測定する周波数特性測定装置(300)を備えた、付記1から5のいずれかに記載の出力装置。

[0111] (付記7)

付記1から6のいずれかに記載の出力装置(100)と、

工作機械、ロボット又は産業機械の軸を駆動するモータを制御するサーボ制御装置(200)と、

調整前の前記サーボ制御装置の系全体の周波数特性を測定する周波数特性測定装置(300)と、

を備えた出力システム。

[0112] (付記8)

工作機械、ロボット又は産業機械の軸を駆動するモータを制御するサーボ制御装置(200)に対して設けられる出力装置としてのコンピュータが、

調整前の前記サーボ制御装置の系全体の周波数特性を保存する処理と、

調整前の前記サーボ制御装置の系全体の周波数特性と、調整前の前記前記サーボ制御装置の制御パラメータとを用いて、前記制御パラメータを調整する処理と、

調整した前記制御パラメータを用いて、調整中の前記サーボ制御装置の系全体の周波数特性を計算する処理と、

前記調整中の前記サーボ制御装置の系全体の周波数特性を評価する指標を計算する処理と、

前記調整中の、前記サーボ制御装置の系全体の周波数特性と前記評価指標を出力する処理と、

を実行する、出力方法。

符号の説明

[0113] 10 出力システム

100 出力装置

101 情報取得部

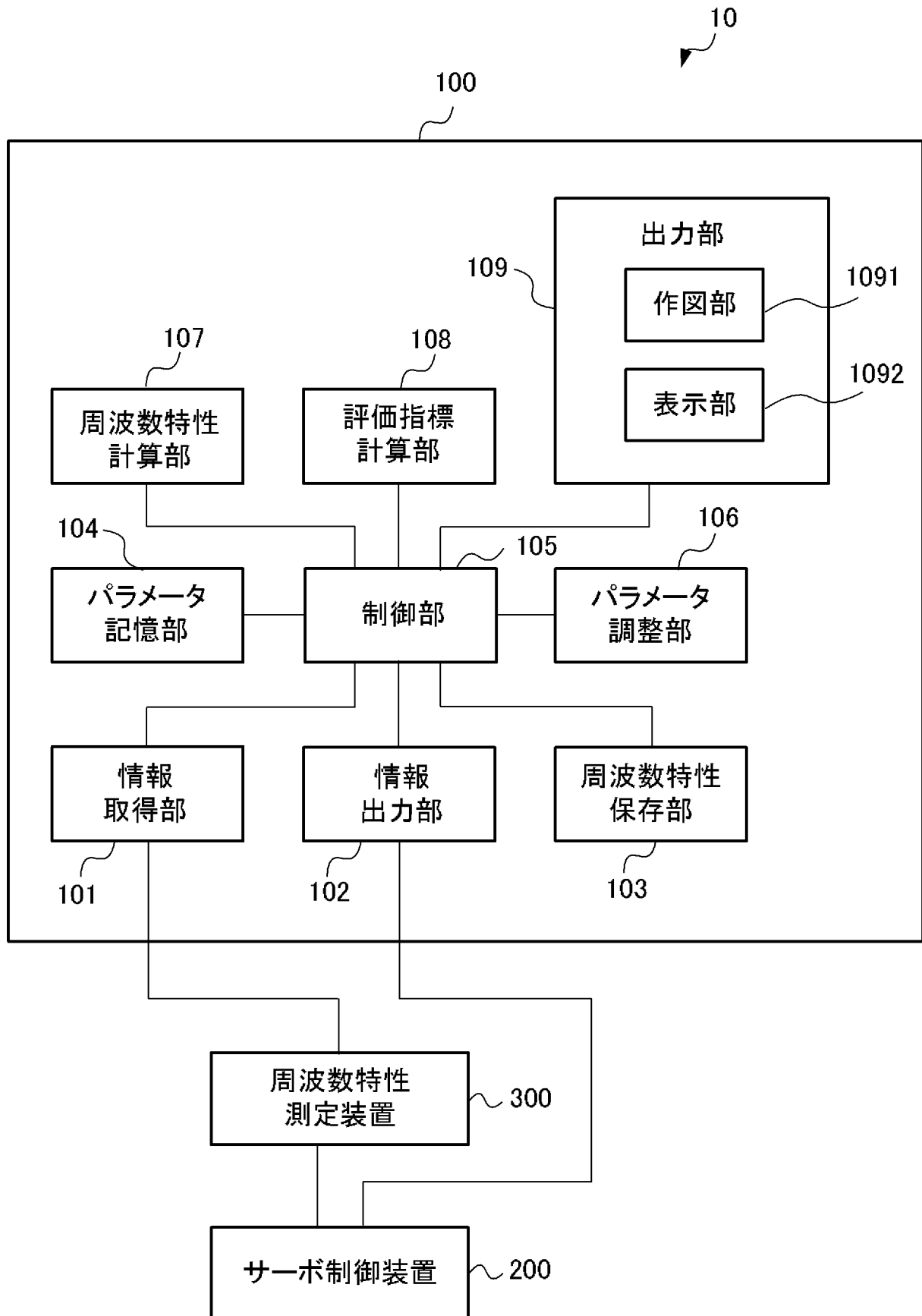
- 1 0 2 情報出力部
- 1 0 3 周波数特性保存部
- 1 0 4 パラメータ記憶部
- 1 0 5 制御部
- 1 0 6 パラメータ調整部
- 1 0 7 周波数特性計算部
- 1 0 8 評価指標計算部
- 1 0 9 出力部
- 1 1 0 表示画面
- 2 0 0 サーボ制御装置
- 2 0 1 減算器
- 2 0 2 制御器
- 2 0 3 フィルタ
- 2 0 4 制御対象
- 3 0 0 周波数特性測定装置
- 4 0 0 機械学習装置

請求の範囲

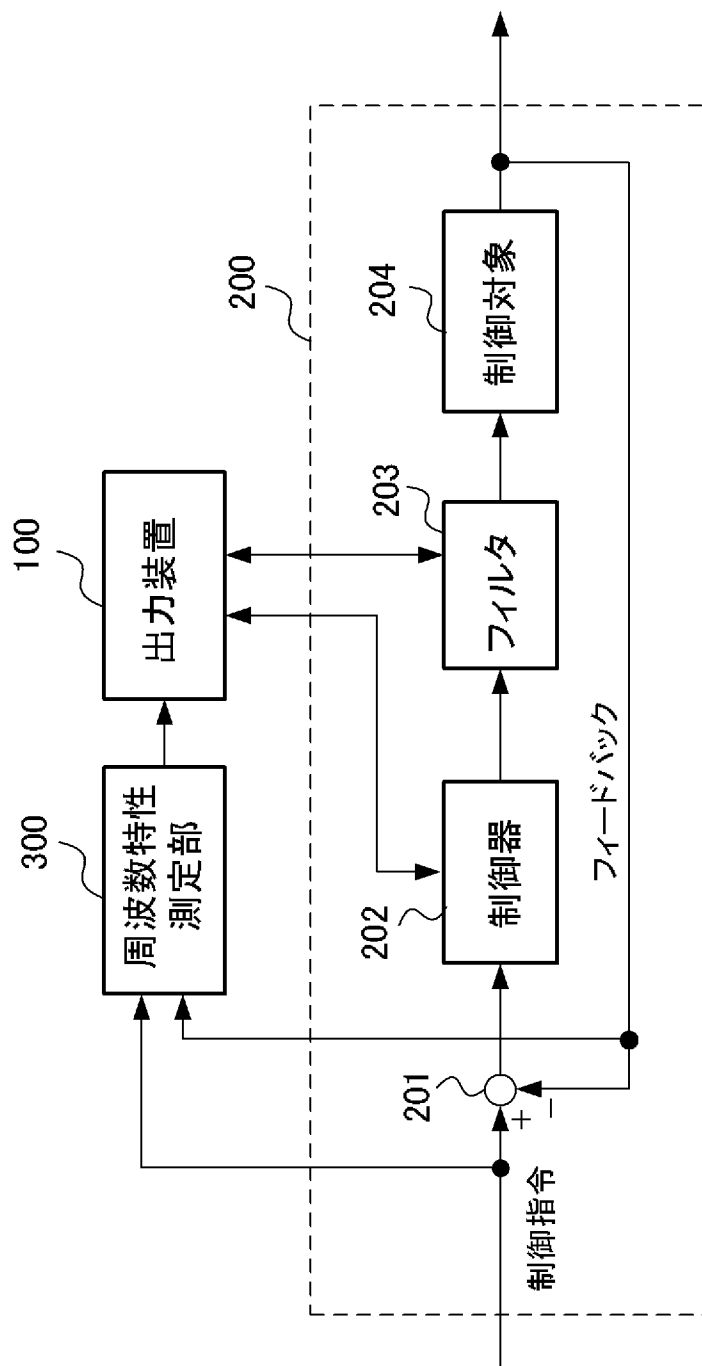
- [請求項1] 工作機械、ロボット又は産業機械の軸を駆動するモータを制御するサーボ制御装置に対して設けられる出力装置であって、
- 調整前の前記サーボ制御装置の系全体の周波数特性を保存する周波数特性保存部と、
- 調整前の制御パラメータを記憶するパラメータ記憶部と、
- 調整前の前記サーボ制御装置の系全体の周波数特性と、調整前の前記制御パラメータとを用いて、前記制御パラメータを調整するパラメータ調整部と、
- 調整した前記制御パラメータを用いて、調整中の前記サーボ制御装置の系全体の周波数特性を計算する周波数特性計算部と、
- 前記調整中の前記サーボ制御装置の系全体の周波数特性を評価する指標を計算する評価指標計算部と、
- 前記調整中の、前記サーボ制御装置の系全体の周波数特性と前記評価指標を出力する出力部と、
- を備えた出力装置。
- [請求項2] 前記周波数特性計算部は、調整した前記制御パラメータを用いて前記サーボ制御装置に含まれるフィルタの周波数特性を計算し、
- 前記出力部は、前記フィルタの周波数特性を出力する、請求項1に記載の出力装置。
- [請求項3] 前記出力部は、調整中の複数の前記周波数特性と、複数の前記周波数特性をそれぞれ評価する複数の評価指標とを、表示画面に、並べて若しくは重ねて表示、又は動画で表示する表示部を含む、請求項1又は2に記載の出力装置。
- [請求項4] 前記出力部は、調整中の複数の前記周波数特性の推移を、前記表示画面に重ねた図又は動画を作成する作図部を備え、前記表示部は、前記作図部が作成した前記図又は動画を表示する、請求項3に記載の出力装置。

- [請求項5] 前記パラメータ調整部は、前記制御パラメータの調整を繰り返して前記前記制御パラメータの最適値を求める機械学習装置である、請求項1から4のいずれか1項に記載の出力装置。
- [請求項6] 調整前の前記サーボ制御装置の系全体の周波数特性を測定する周波数特性測定装置を備えた、請求項1から5のいずれかに記載の出力装置。
- [請求項7] 請求項1から6のいずれかに記載の出力装置と、
工作機械、ロボット又は産業機械の軸を駆動するモータを制御するサーボ制御装置と、
調整前の前記サーボ制御装置の系全体の周波数特性を測定する周波数特性測定装置と、
を備えた出力システム。
- [請求項8] 工作機械、ロボット又は産業機械の軸を駆動するモータを制御するサーボ制御装置に対して設けられる出力装置としてのコンピュータが、
調整前の前記サーボ制御装置の系全体の周波数特性を保存する処理と、
調整前の前記サーボ制御装置の系全体の周波数特性と、調整前の前記前記サーボ制御装置の制御パラメータとを用いて、前記制御パラメータを調整する処理と、
調整した前記制御パラメータを用いて、調整中の前記サーボ制御装置の系全体の周波数特性を計算する処理と、
前記調整中の前記サーボ制御装置の系全体の周波数特性を評価する指標を計算する処理と、
前記調整中の、前記サーボ制御装置の系全体の周波数特性と前記評価指標を出力する処理と、
を実行する、出力方法。

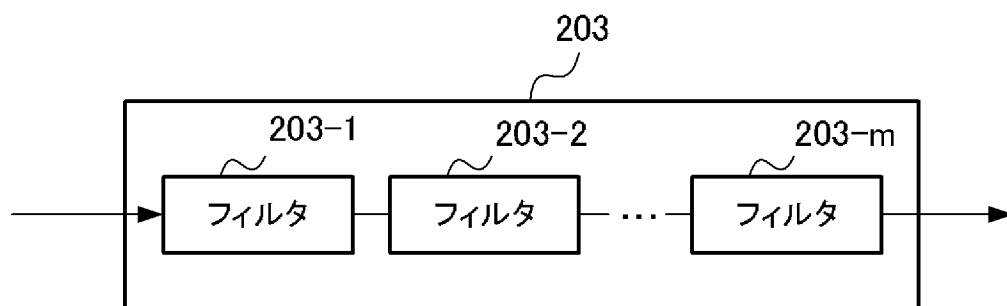
[図1]



[図2]



[図3]



[図4]

AIフィルタ(サーボ) 調整中

×

言語(L) ヘルプ(H)

調整対象

フィルタ

試行回数

85/100

ステータス

データ採取中

中断

動画

110B

パラメータ及び評価指標

110A

系の周波数特性

ゲイン [dB]

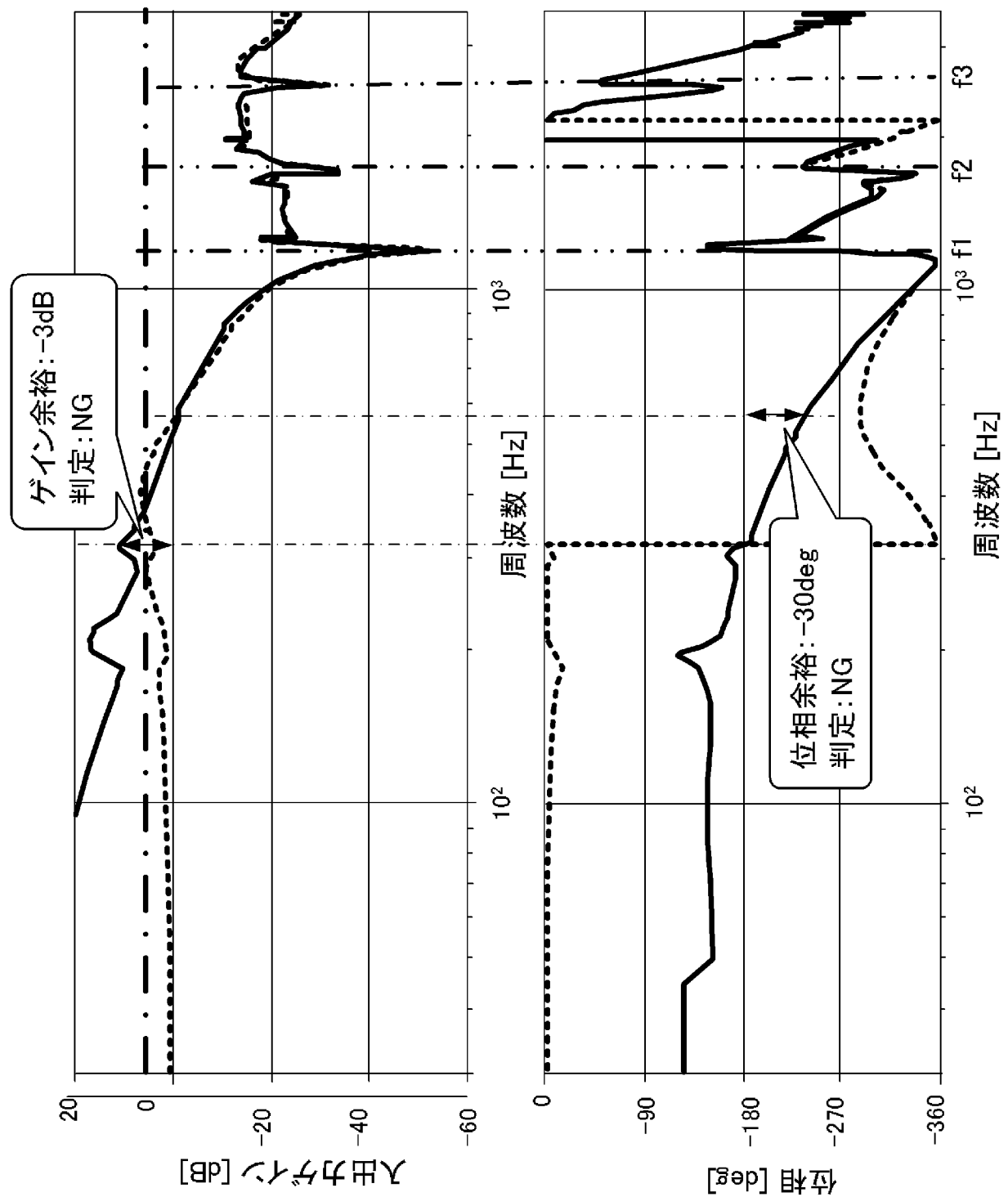
位相 [deg]

戻る

次へ

終了

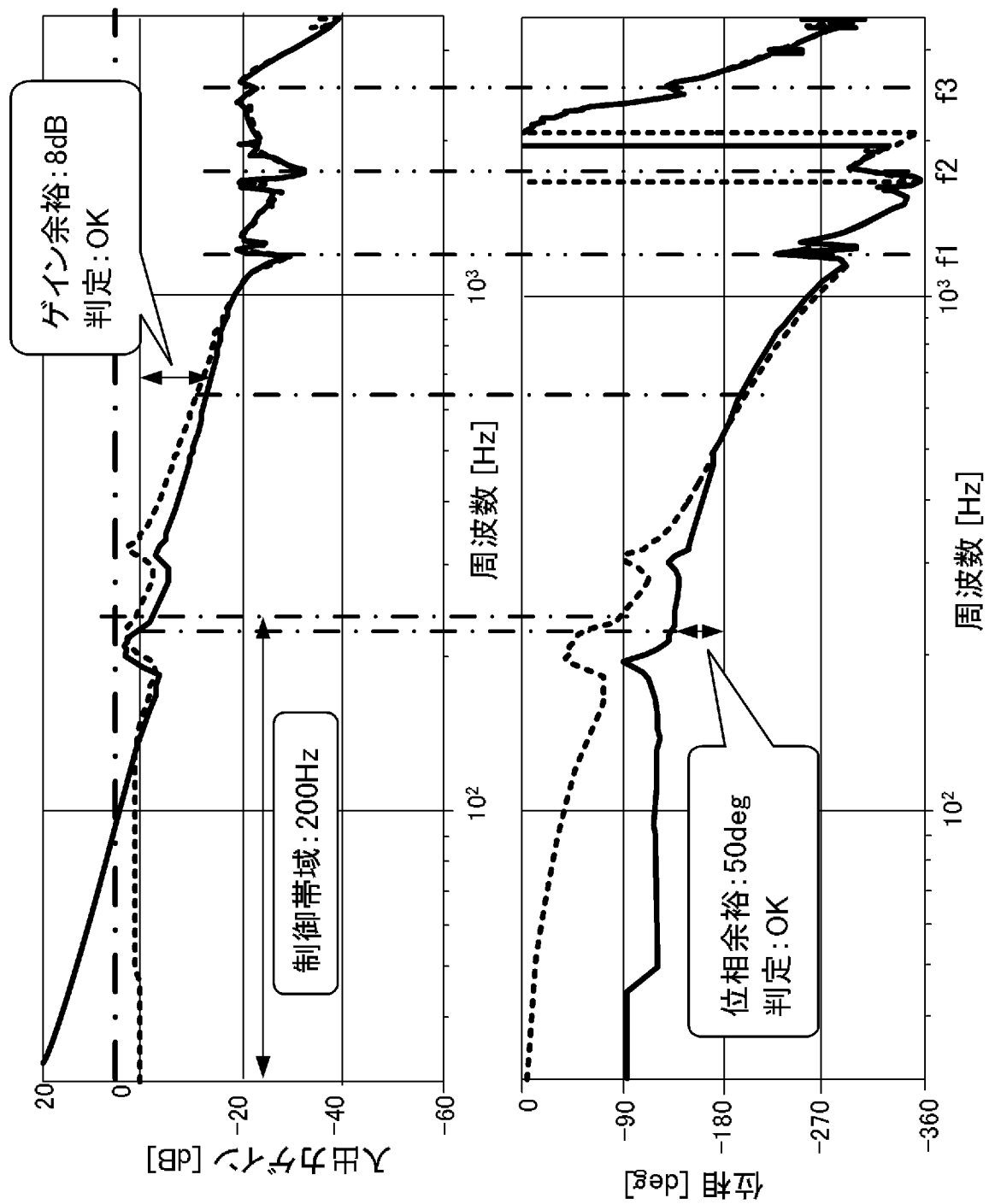
[図5]



[図6]

項目内容		調整前	調整中
制御 パラメータ	ゲイン倍率(%)	100	670
	フィルタ設定 [中心周波数(Hz)、減衰帯域幅(Hz)、 減衰ダンピング(%)]	—	[1211,1211,1] [1750,345,5] [2554,624,2]
評価指標	安定性 指標	ゲイン余裕 (dB)	10[6]
		位相余裕 (deg)	100 [30]
	[要求安定 性指標]	閉ループ最大ゲイン (dB)	1 [5]
		高周波領域最大ゲイン (dB)	-40 [-20]
	制御帯域		80
			-

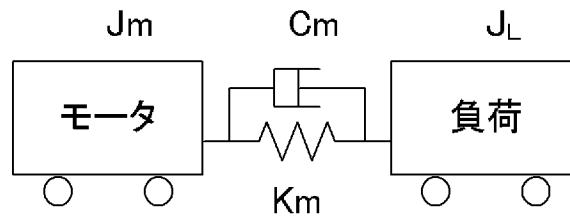
[図7]



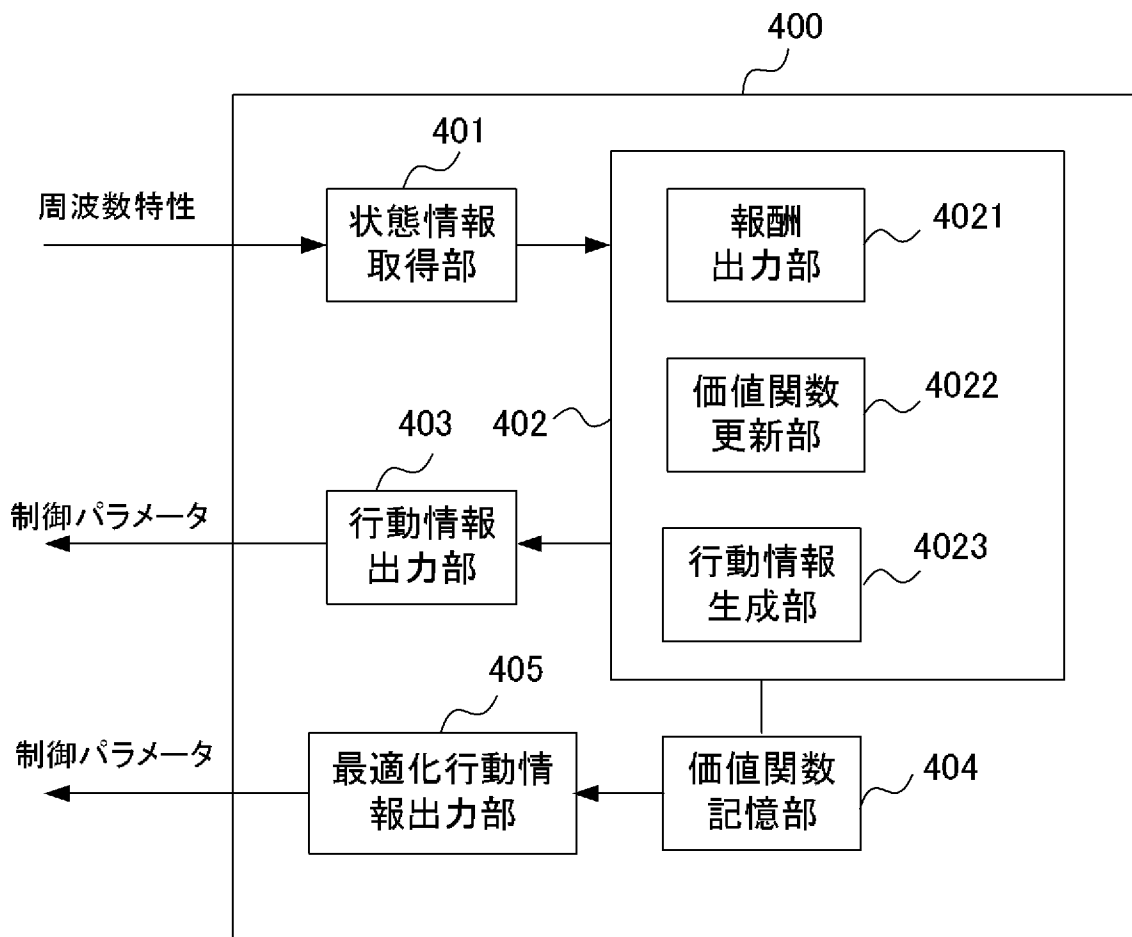
[図8]

項目内容		調整前	調整中
制御 パラメータ	ゲイン倍率(%)	100	141
	フィルタ設定 [中心周波数(Hz)、減衰帯域幅(Hz)、 減衰ダンピング(%)]	—	[1266,57,15] [1775,423,14] [2554,331,29]
評価指標	安定性 指標	ゲイン余裕 (dB)	8
		位相余裕 (deg)	50
	[要求安定 性指標]	閉ループ最大ゲイン (dB)	3
		高周波領域最大ゲイン (dB)	-18
	制御帯域		80 230

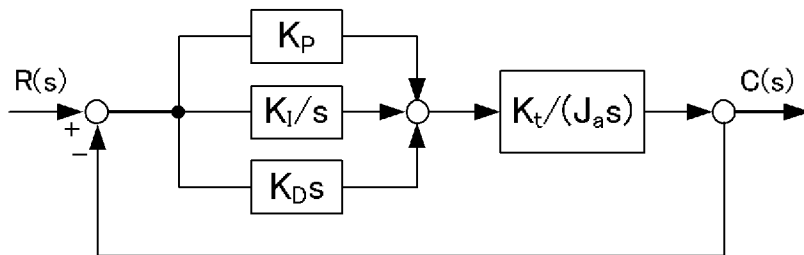
[図9]



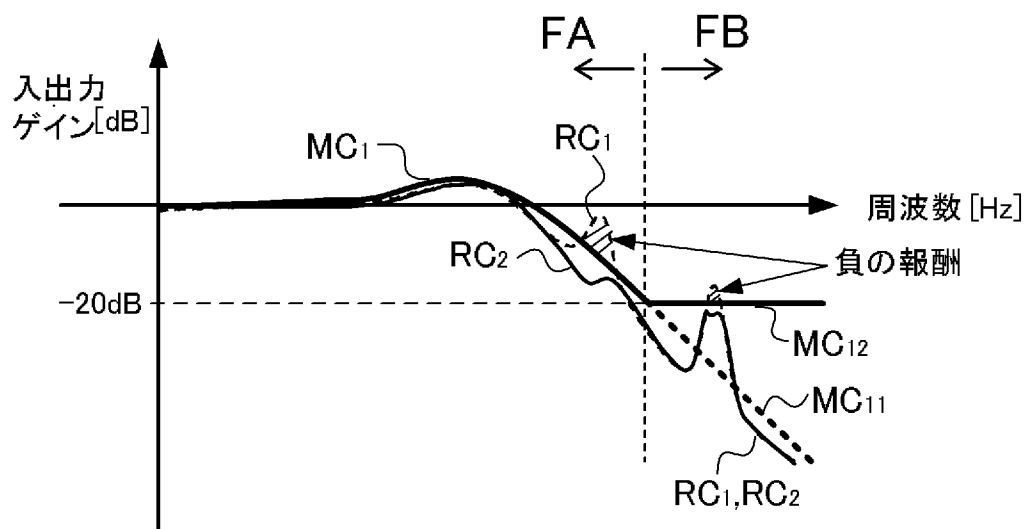
[図10]



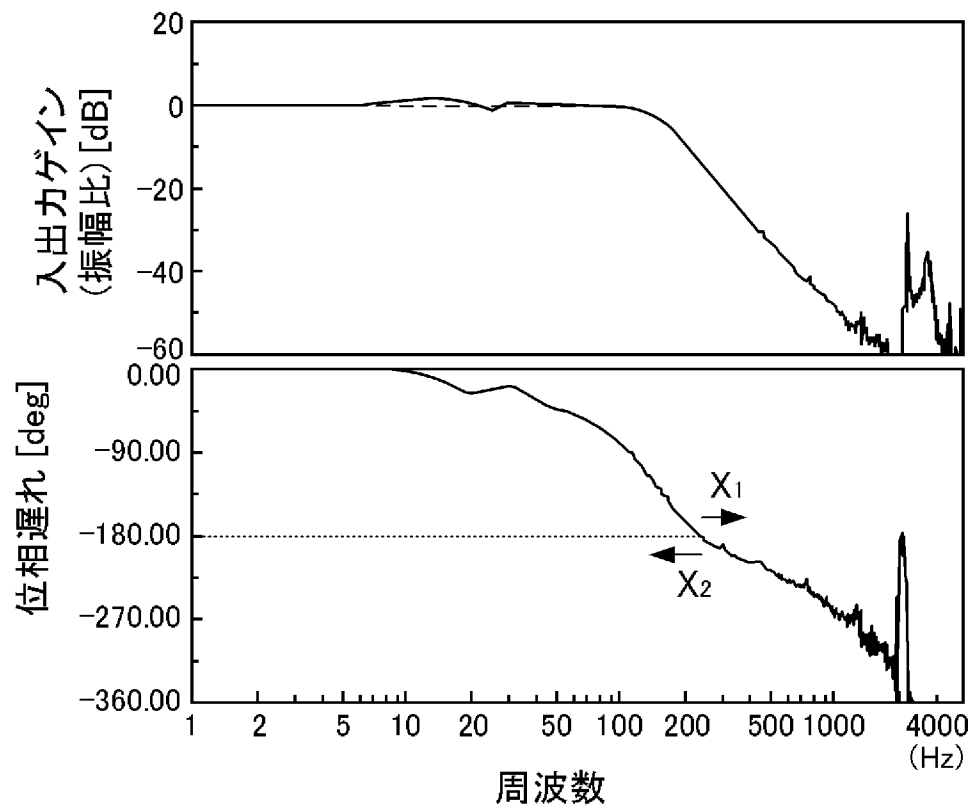
[図11]



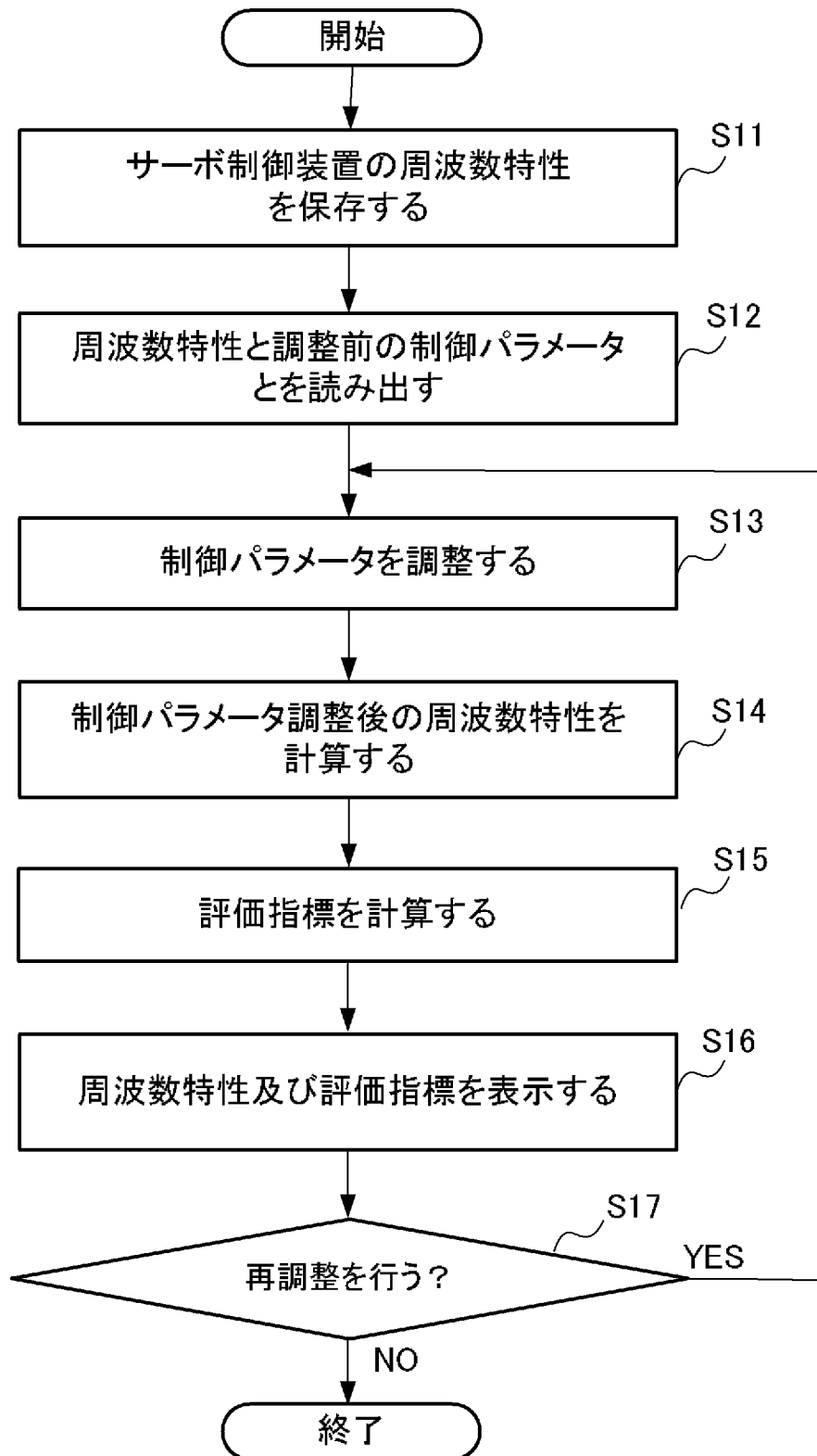
[図12]



[図13]



[図14]



[図15]

AIフィルタ(サーボ) 調整中

×

言語(L) ヘルプ(H)

110B

パラメータ及び評価指標

調整対象

フィルタ

試行回数

85/100

ステータス

データ採取中

中断

動画

110C

フィルタの周波数特性

ゲイン [dB]

位相 [deg]

系の周波数特性

ゲイン [dB]

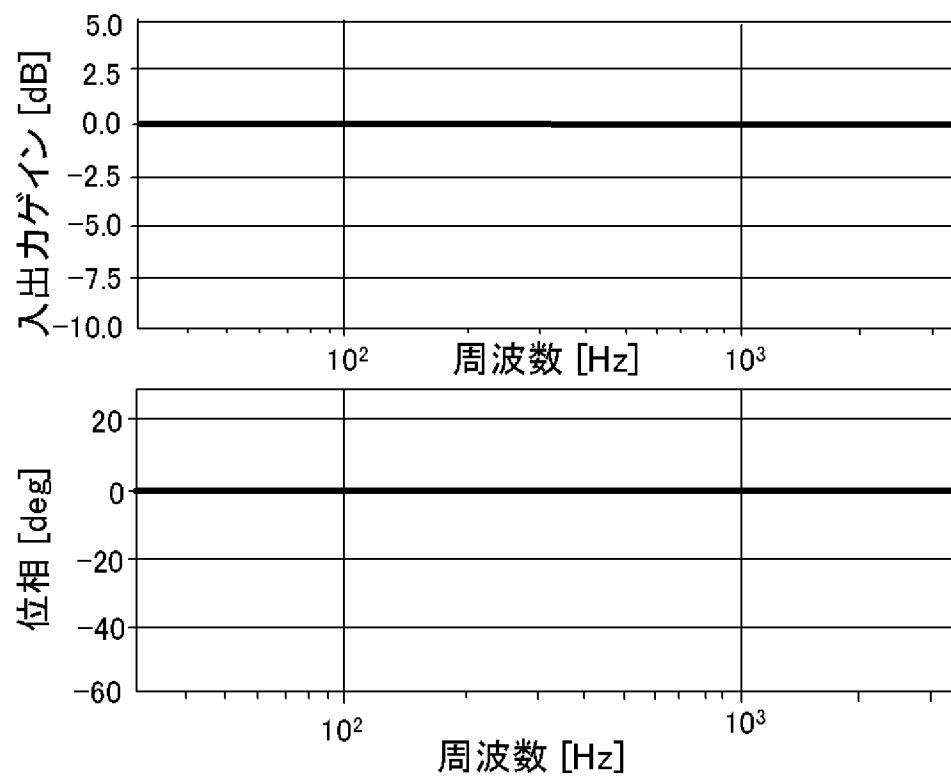
位相 [deg]

戻る

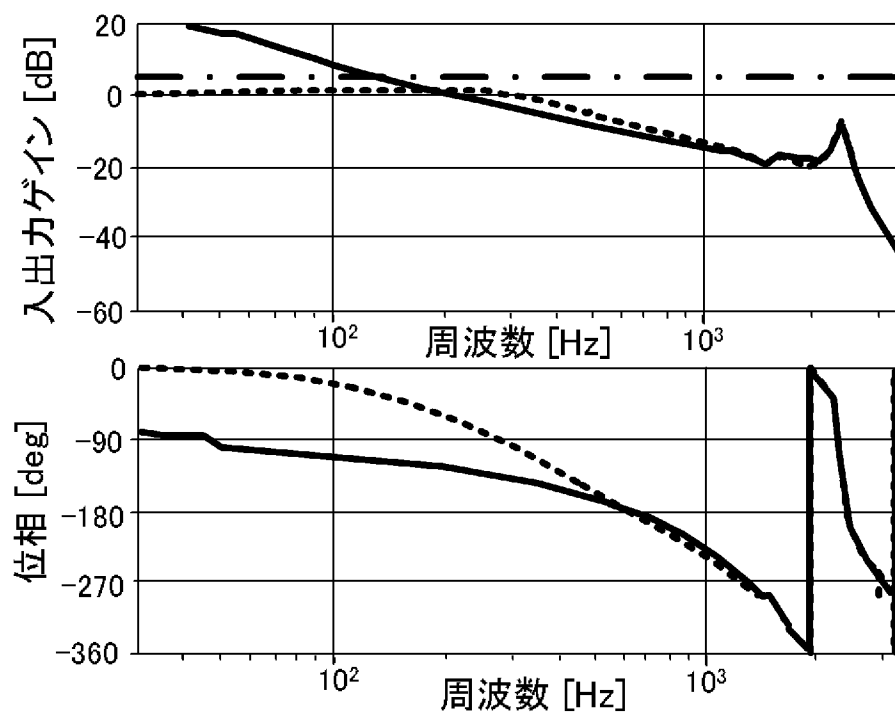
次へ

終了

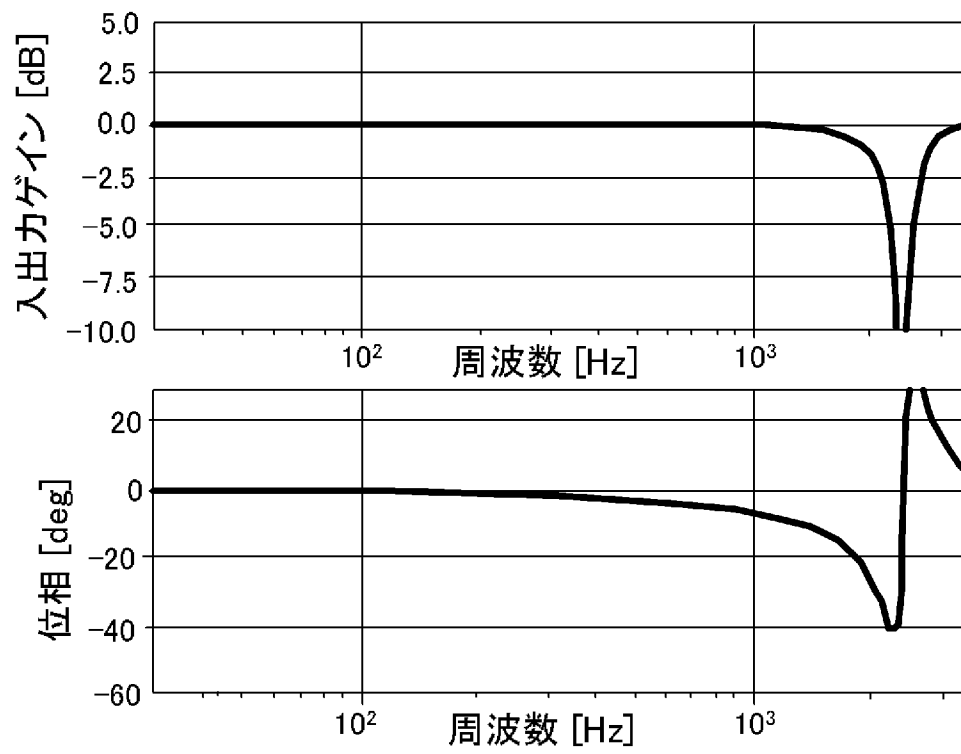
[図16]



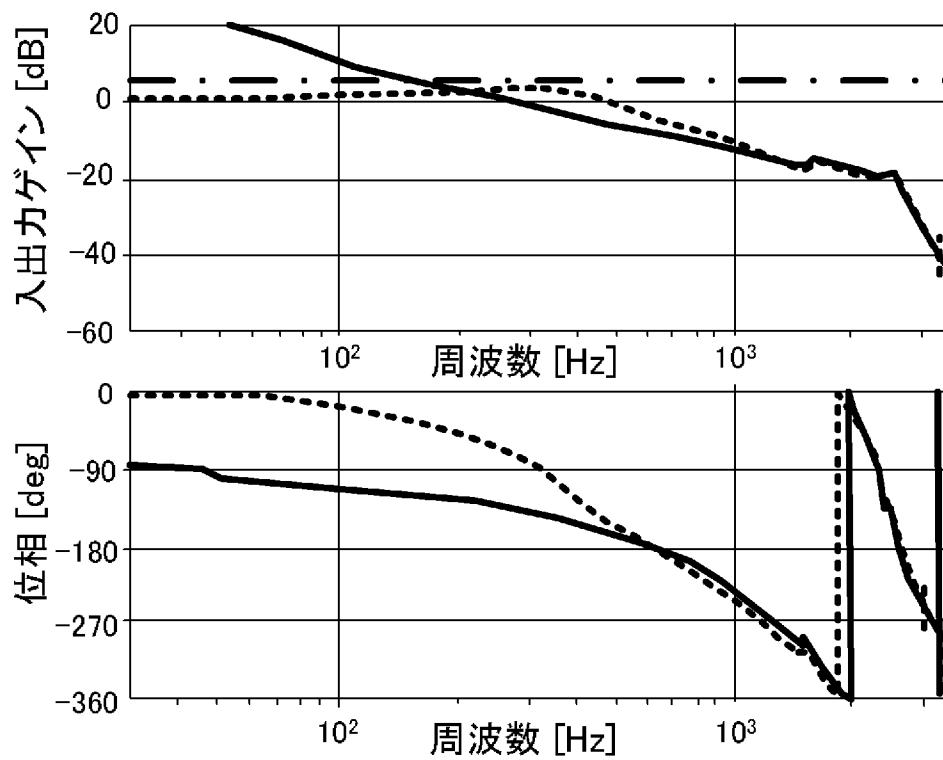
[図17]



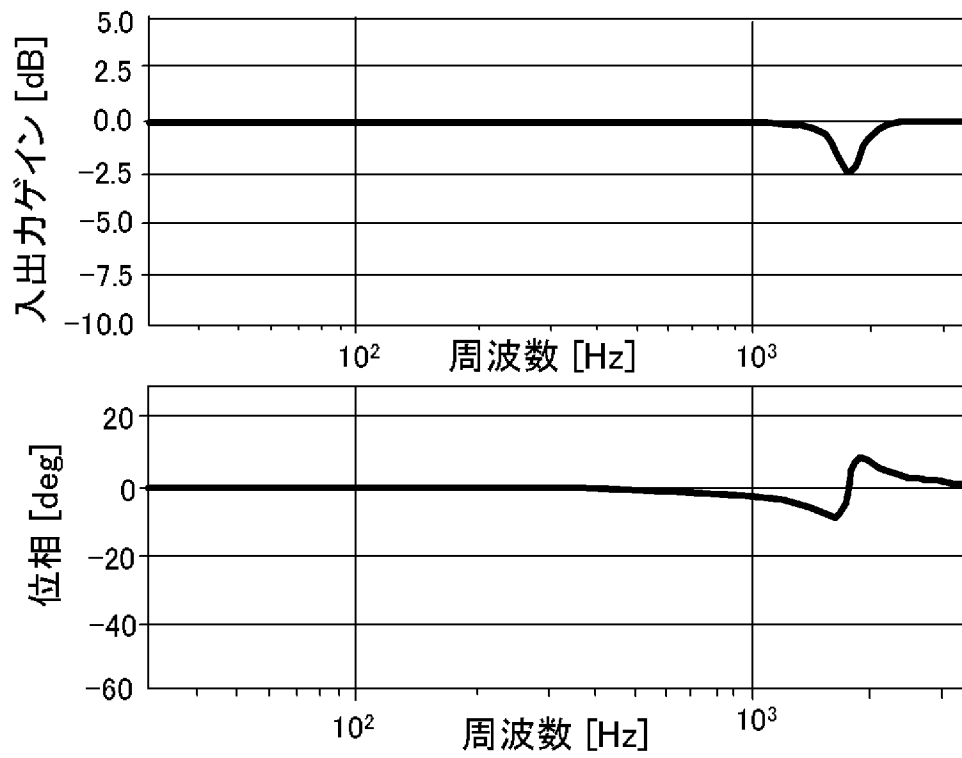
[図18]



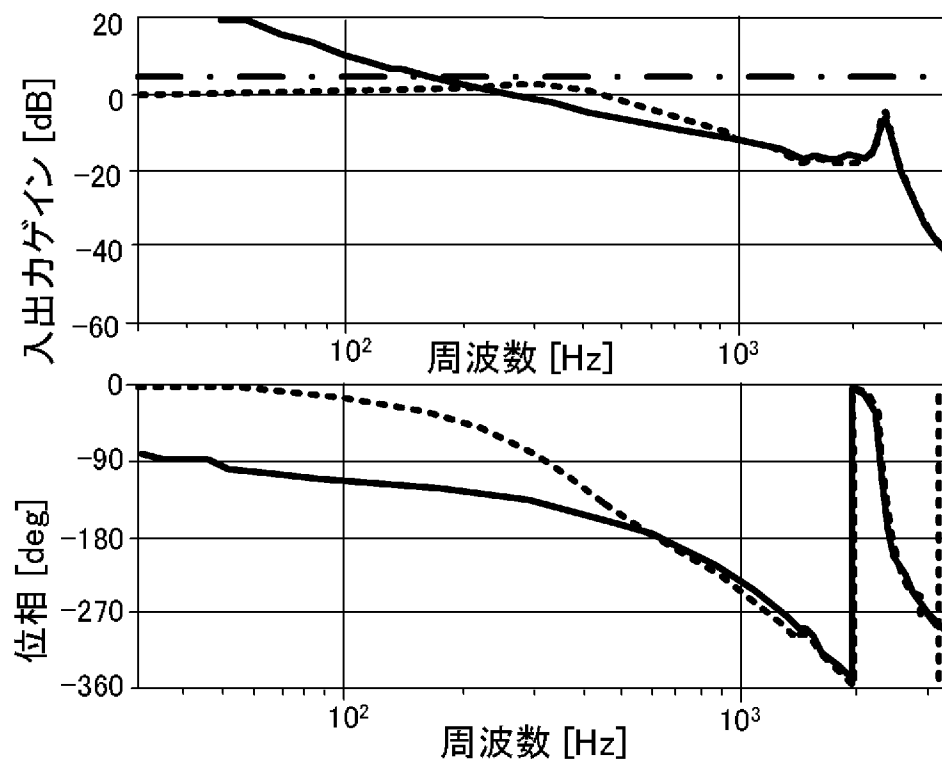
[図19]



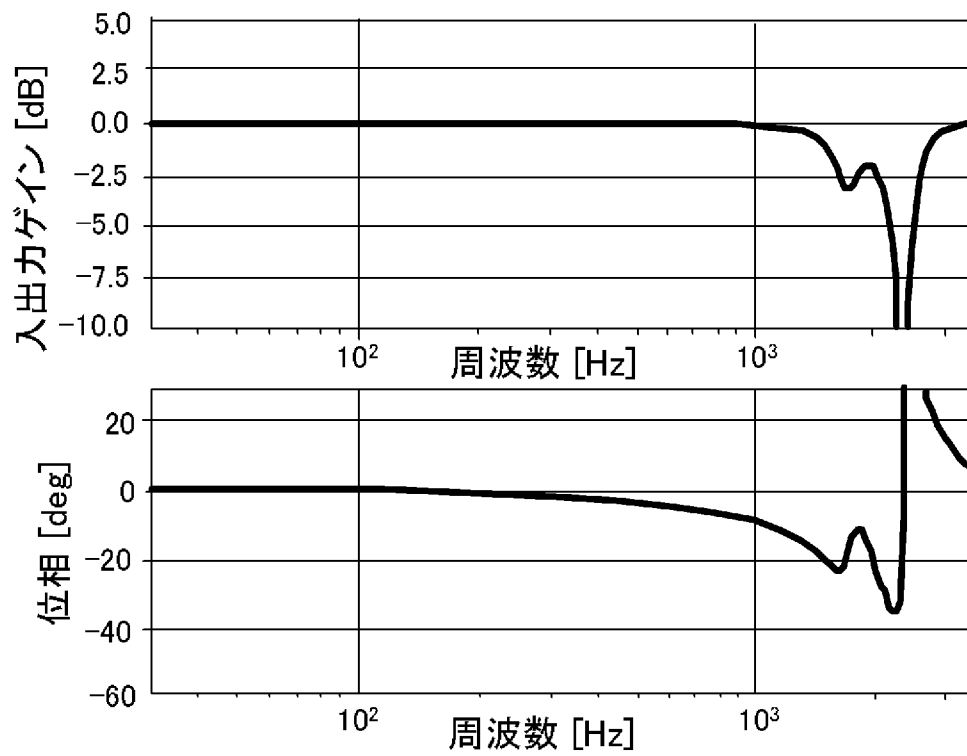
[図20]



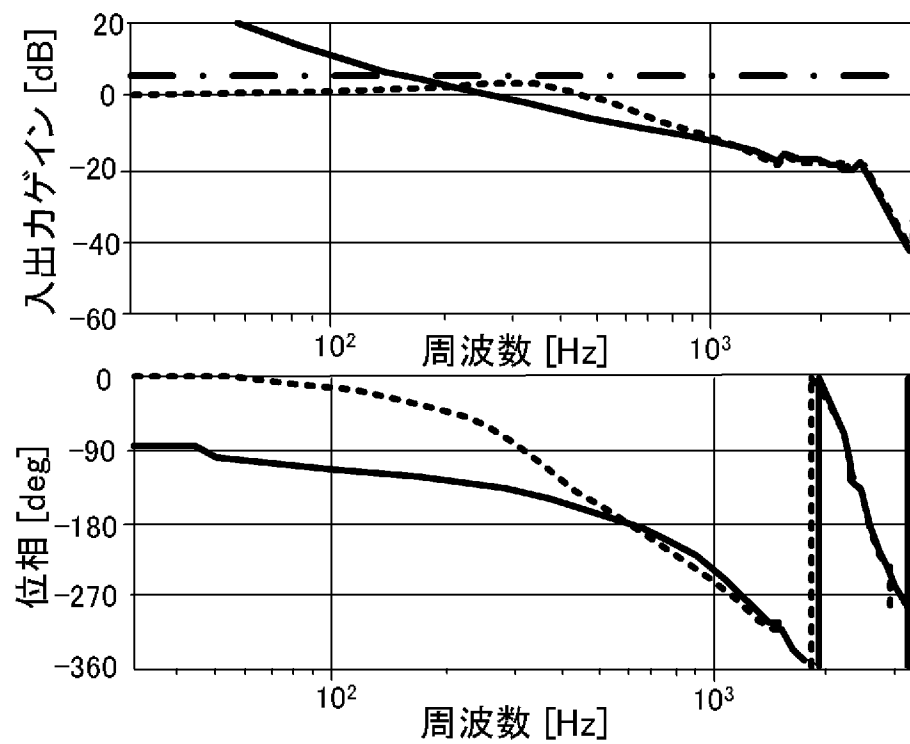
[図21]



[図22]



[図23]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/009906

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H02P 29/00**(2016.01)i

FI: 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)

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 1971-2023
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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	WO 2023/032175 A1 (FANUC CORPORATION) 09 March 2023 (2023-03-09) paragraphs [0001]-[0108], fig. 1-21	1-8
A	JP 2007-72898 A (SONY CORPORATION) 22 March 2007 (2007-03-22) paragraphs [0001]-[0081], fig. 1-13	1-8
A	JP 2006-277652 A (TOKYO UNIV. OF AGRICULTURE & TECHNOLOGY) 12 October 2006 (2006-10-12) paragraphs [0001]-[0091], fig. 1-15	1-8



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

24 April 2023

Date of mailing of the international search report

16 May 2023

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
 Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2023/009906

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO	2023/032175	A1	09 March 2023	(Family: none)	
JP	2007-72898	A	22 March 2007	(Family: none)	
JP	2006-277652	A	12 October 2006	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H02P 29/00(2016.01)i FI: 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）） 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 <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 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2023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 - 2023年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2023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 - 2023年									
日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年									
日本国登録実用新案公報	1994 - 2023年									
C. 関連すると認められる文献										
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号								
X	WO 2023/032175 A1（ファナック株式会社）09.03.2023（2023 - 03 - 09） 段落[0001]-[0108], 図1-21	1-8								
A	JP 2007-72898 A（ソニー株式会社）22.03.2007（2007 - 03 - 22） 段落[0001]-[0081], 図1-13	1-8								
A	JP 2006-277652 A（国立大学法人東京農工大学）12.10.2006（2006 - 10 - 12） 段落[0001]-[0091], 図1-15	1-8								
☐ 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。										
<table border="0"> <tr> <td> * 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な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 </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 “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 </td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な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						
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な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 24.04.2023		国際調査報告の発送日 16.05.2023								
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） 池田 貴俊 3V 9256 電話番号 03-3581-1101 内線 3357								

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/JP2023/009906

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO	2023/032175	A1	09.03.2023	(ファミリーなし)	
JP	2007-72898	A	22.03.2007	(ファミリーなし)	
JP	2006-277652	A	12.10.2006	(ファミリーなし)	