

(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
2014年10月2日(02.10.2014)



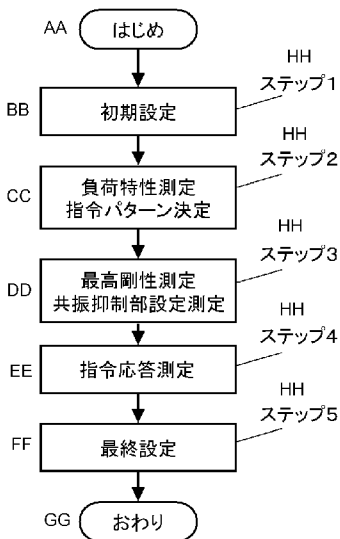
(10) 国際公開番号
WO 2014/156164 A1

- (51) 国際特許分類:
H02P 29/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/001769
- (22) 国際出願日: 2014年3月27日(27.03.2014)
- (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 2013-071715 2013年3月29日(29.03.2013) JP
- (71) 出願人: パナソニック株式会社 (PANASONIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒5718501 大阪府門真市大字門真1006番地 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 鈴木 健一 (SUZUKI, Kenichi). 西園 勝 (NISHIZONO, Masaru). 藤原 弘 (FUJIWARA, Hiroshi).
- (74) 代理人: 徳田 佳昭, 外 (TOKUDA, Yoshiaki et al.); 〒5718501 大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内 Osaka (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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, 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).

[続葉有]

(54) Title: SERVO ADJUSTMENT METHOD FOR MOTOR DRIVE DEVICE

(54) 発明の名称: モータ駆動装置のサーボ調整方法



(57) Abstract: The motor drive device according to the present invention is provided with a basic servo-control function and an automatic-adjustment function. The servo-adjustment method according to the present invention is for such a motor drive device and is configured so as to have an initial-setting step (1), a step (2) for performing load-characteristic measurement and command-pattern determination, a step (3) for determining a maximum stiffness parameter and storing the settings of a resonance suppression unit corresponding to stiffness parameters, a step (4) for combining the stiffness parameters and command response parameters and storing evaluation parameters for when a specified behavior occurs, and a step (5) for obtaining a final adjustment result from the evaluation parameters in accordance with search conditions.

(57) 要約: 本発明のモータ駆動装置は、サーボ制御を行うための基本機能とともに、自動調整機能を備えている。そして、このようなモータ駆動装置における本発明のサーボ調整方法は、初期設定を行うステップ1と、負荷特性測定と指令パターン決定とを行うステップ2と、剛性指標最大値を決定し、剛性指標に対応した共振抑制部の設定を記憶するステップ3と、剛性指標および指令応答指標を組み合わせ、指定動作時の評価指標を記憶するステップ4と、評価指標から探索条件に従い最終調整結果を得るステップ5との、5つのステップのいずれかを持つ構成である。

- AA Start
- BB Initial settings
- CC Load-characteristic measurement and command-pattern determination
- DD Maximum-stiffness measurement and resonance-suppression-unit setting measurement
- EE Command-response measurement
- FF Final settings
- GG End
- HH Step

WO 2014/156164 A1

添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： モータ駆動装置のサーボ調整方法

技術分野

[0001] 本発明は、サーボモータを制御するモータ駆動装置におけるサーボ調整方法に関する。

背景技術

[0002] 昨今のRISCマイコンやDSPなど組込マイコンの高性能化や、FPGAやSoCといった従来のASICにカスタマイズ可能な要素を組合せた集積回路の発展により、現在のモータ駆動装置には、サーボモータを外部指令通りに駆動制御する位置・速度・電流制御等の基本機能に加え、さまざまな自動調整機能が搭載されている。

[0003] 図33は、従来のモータ駆動装置のブロック図である。

[0004] モータを駆動制御する基本機能は、図33上では実線で接続された一重線のブロックから構成される。

[0005] 上位のコントローラである上位装置1が出力する外部位置指令は、モータ駆動装置92の指令選択部21に入力される。指令選択部21は、後述の試運転機能211が出力する内部位置指令と外部位置指令のどちらかを選択し、選択後の位置指令を指令応答設定部22に出力する。

[0006] 指令応答設定部22では、選択後の位置指令にフィルタ演算処理を行った後、フィルタ後の位置指令を位置速度制御部23へ出力する。

[0007] 位置速度制御部23は、このフィルタ後の位置指令とエンコーダ4からのモータ位置情報とから、PID（比例、積分、微分）制御に代表されるフィードバック制御演算を行い、位置偏差が0となるようなトルク指令を出力する。

[0008] 負荷特性補償部24は、位置速度制御部23が出力するトルク指令に対し、モータ3および負荷5の総イナーシャに応じて、イナーシャの影響を吸収するためのスケーリング処理を行うことで、負荷イナーシャの差異を吸収す

る。またエンコーダ4からのモータ位置情報からモータ3および負荷5の摩擦トルクを推定しあらかじめ加算する補償を行うことで、補償後のトルク指令を生成する。

[0009] 共振抑制部25は、モータ3と負荷5の共振特性が引き起こす振動を励起しないよう、補償後のトルク指令から特定の周波数成分を除去するノッチフィルタあるいはローパスフィルタ処理を通した結果を、フィルタ後のトルク指令として出力する。

[0010] モータ3は、このフィルタ後のトルク指令を入力とする、図示しない電流制御やパワー回路を通じて、フィルタ後のトルク指令どおりのトルクを出力するように制御される。モータ3の動きは、接続された負荷5やエンコーダ4に伝わり、エンコーダ4を通じてモータ位置情報としてモータ駆動装置92にフィードバックされる。

[0011] 次に、図33上では、点線で接続された二重線のブロックから構成される、自動調整機能について概要を説明する。

[0012] 試運転機能211は、例えば特許文献1にあるように、モータ駆動装置92の内部において、ある傾きの加減速度を持った三角波で一定量、正負の往復運転パターンを生成する。また、より一般には、モータ駆動装置92に、外部から移動量、最高速度、加速時間、減速時間、停止時間などのパラメータを設定する。そして、試運転機能211は、モータ駆動装置92内蔵のNC（数値制御）演算処理で指令パターンをリアルタイムに自動計算し、一定周期毎の内部位置指令を生成する機能である。なお、指令選択部21に内部位置指令の選択を要求する付加情報を、内部位置指令とともに伝達することで、試運転機能211から指令選択部21の動作を指定することもできる。

[0013] 指令応答設定機能221は、例えば特許文献2にあるように、モータ駆動装置92の外部から剛性値という1つの指標を与え、モータ駆動装置92に内蔵するテーブルから、位置指令の応答性を決める指令前置フィルタの遮断周波数を決定する。また、より一般には、モータ駆動装置92に、一次遅れや二次遅れのフィルタ時定数や減衰比でより細かい周波数特性を指示する形

、あるいは立ち上がり時間や遅延時間、オーバーシュート量など時間応答の過渡特性を指示する形など、1つあるいは複数の指令応答指標が入力される。そして、指令応答設定機能221は、指令応答設定部22の入出力関係が指令応答指標にできるだけ一致するよう、指令応答設定部22の1つまたは複数のパラメータを自動設定する。

[0014] 剛性設定機能231は、例えば特許文献3にあるように、サーボ剛性を代表する1パラメータを指標とし、これに一定の比率を掛けて速度比例ゲインや速度積分ゲイン、位置比例ゲインを連動して設定する。また、前述の特許文献2にあるように、剛性値に対応したテーブルから位置速度制御部のゲイン設定を決定してもよい。一般には、剛性設定機能231は、1つあるいは複数の剛性指標を入力し、位置速度制御部23の外乱応答が剛性指標にできるだけ一致するよう、位置速度制御部23の1つまたは複数のパラメータを自動設定する。

[0015] 負荷特性測定機能241は、例えば特許文献5にあるように、モータ3へのフィルタ後のトルク指令およびエンコーダ4からのモータ位置情報とその高次差分である速度・加速度から、最小二乗推定を用いて、負荷に関する特性を自動推定する。負荷に関する特性としては、例えば、モータ3および負荷5を合わせた総イナーシャや、常に一定で働く偏荷重トルク、動作方向に依存する動摩擦トルク、動作速度に比例する粘性摩擦トルクなどの摩擦特性がある。また、推定結果を負荷特性補償部24にリアルタイムに反映させることで、どのような負荷5が接続されても、指令応答指標や剛性指標で指定した同じ応答性が得られる、適応ロバスト性を持たせることができる。

[0016] 適応フィルタ機能251は、例えば特許文献4にあるように、再帰型のノッチフィルタを用いた適応アルゴリズムにより、モータ速度から抽出した高周波成分をできるだけ0に近づけるよう、共振抑制部25のパラメータを自動調整する。また、適応フィルタ機能251には、トルク指令から振動成分を抽出したり、モデル応答との差から振動成分を抽出したり、さらには、適応フィルタを複数持ったり、ノッチ周波数だけでなく幅や深さやQ値を自動

調整したりする、などのバリエーションが存在する。一般には、何らかの方法でモータ3と負荷5の共振特性に起因する振動成分を抽出し、規範入力との差を最小にする適応アルゴリズムにより、共振抑制部25のフィルタパラメータを自動調整する機能といえる。

[0017] 発振検知機能26は、例えば特許文献6にあるように、エンコーダ4からのモータ位置情報から変動分を抽出し、しきい値との比較、継続時間の判定などにより、モータ3および負荷5の発振状態を検出する。発振を検知した場合は、前述の剛性設定機能231に発振検知情報を伝達して、フィードバックループの周波数帯域幅が狭くなるような剛性値を選択して発振を自動的に抑制する。

[0018] 最後に、評価指標測定機能27は、例えば特許文献7にあるように、指令選択部21の位置指令出力、エンコーダ4のモータ位置出力、負荷特性補償部24のトルク指令出力などの入出力データを周期的に測定・記憶する。そして、整定時間やオーバーシュート、トルク変動などの評価指標に対応した入出力データから評価値を算出、表示、蓄積する機能である。いずれもリアルタイムに取得できる膨大なモータ制御情報から、より意味のある少数の評価指標にデータ圧縮することが本機能の重要な側面である。

[0019] しかし、上述のような従来技術では、各種自動調整機能が個別に最適化されており、サーボ調整の一連の流れに対して、統合が十分にはとれていないという課題があった。

[0020] 例えば、試運転機能211は、サーボ調整に限らず、機構組み立て時の原点出しや、動作確認のエージング用、保守作業での待避動作など、さまざまな目的で使用されうる。このため、試運転機能211では、移動量や速度、加速度をカスタマイズ可能となっている。しかし、サーボ調整に必要な動作は、そのステップごとに異なり、これを選択するにはサーボ調整および各種自動調整機能に関する知識が必要となる。

[0021] また、指令応答設定機能221は、指令応答指標を高くするほど、位置決め制御（PTP制御）では整定時間を短く、さらに、軌跡制御（CP制御）

では追従誤差を小さくできるが、外部位置指令の離散化や指令分解能設定により制約を受ける。また、モータ3と負荷5が固定されている装置自体の剛性による機台振動を考慮して、指令応答指標を低くする場合もあり、この判断には上位装置の理解や実機運用の経験が必要となる。

[0022] また、剛性設定機能231も、剛性指標を高くするほど外乱抑圧特性が改善するため、PTP制御ではオーバーシュート量を小さくでき、CP制御での追従誤差も小さくできる。ただ、剛性指標をどこまで高くできるかは、位置速度制御部23のフィードバック制御の安定性に大きく依存する。このため、最適な調整には制御理論に関する知識が必須となる。また、位置速度制御部23と、負荷特性補償部24の総イナーシャ、共振抑制部25の設定は、正しい順番で設定しないと、フィードバック安定性が損なわれ、剛性指標で指定した応答性が得られない。さらには、最悪の場合、不安定化して発振する場合もある。ここでは、制御理論だけでなく、サーボ調整手順に対するノウハウが重要になってくる。

[0023] また、負荷特性測定機能241は、負荷特性補償部24の総イナーシャや摩擦補償を自動調整する便利な機能だが、負荷特性が急峻に変化する用途には向いていない。多関節ロボットや、ダイレクトドライブ化などで負荷変動の影響が大きいピック&プレイス系の装置、カム駆動で周期的に総イナーシャが変動する装置などに対して、最小二乗推定を常時有効にするのは適切とはいえない。また、摩擦補償も、多関節ロボットでは重力方向が変化するため、モータ単体での偏荷重トルク推定は役に立たない。さらに、補償の前提となる最小二乗法ベースの負荷特性推定も、動作パターンや非線形特性による誤差の影響を受けるため、最適な推定値を得るにはシステム同定の知識と経験が必要である。

[0024] また、適応フィルタ機能251も同様に、上記共振抑制部25のフィルタ設定を自動調整するが、通常は共振特性が急峻に変化しないことを前提としている。前述の垂直多関節ロボットにおける、固定側に近い関節を駆動するモータは、共振特性が姿勢によって変化するため、適応フィルタ機能251

を使用するのは適切ではない。また、バックラッシュや飽和などの非線形性が強い負荷や用途では、適応フィルタが誤動作する場合もあり、なかなか現在の技術でも常時有効とするのはリスクが大きい。その意味で、現場・現物に対するケース・バイ・ケースの対応が必要である。

[0025] また、発振検知機能26は、頻繁に設定を変えて動作を試すサーボ調整時には便利な機能だが、実運用時に動作すると、以降負荷の挙動が変わってしまう。そのため、サーボ調整中など、発振することがある程度予想される状況下で限定的に有効とする、運用上の注意が必要である。

[0026] また、評価指標測定機能27は、モータを制御する基本機能には影響を与えない。しかし、評価指標によっては、正しい測定結果を得るために、指令パターンや基本機能の設定に一定の制約がかかる場合がある。一例を挙げれば、PTP制御における位置決め整定時間は、外部位置指令が停止した時点から、モータ位置が位置決め完了範囲内に入った時点までと定義される。ところが、指標や剛性指標が低く、モータ位置が位置決め完了範囲に入る前に、次の外部位置指令変化が始まってしまう場合などは、当然ながら位置決め整定時間を測定できない。評価指標の意味や、評価指標測定機能の測定方法を理解していないと、サーボ調整の結果を正しく判定することはできない。

[0027] これら個々の自動調整機能の有効・無効やモード設定などの操作は、通常個別に外部から行う必要があり、すべての自動調整機能をサーボ調整のために、正しい順番で操作することは非常に困難であった。

先行技術文献

特許文献

- [0028] 特許文献1：特開平5-346359号公報
特許文献2：特開2007-336792号公報
特許文献3：特開平6-319284号公報
特許文献4：特開2004-274976号公報
特許文献5：特開2005-168166号公報
特許文献6：国際公開第2008/087893号

特許文献7：国際公開第2009/096169号

発明の概要

- [0029] 本発明のモータ駆動装置は、次の5つのモータ制御の基本機能のいずれかを備える。第1の基本機能は、上位装置から入力される外部位置指令と内部位置指令を入力し、どちらかを選択後位置指令として出力する指令選択部である。第2の基本機能は、選択後位置指令を入力し、特定の周波数帯域を除去するフィルタ処理を行い、フィルタ後位置指令を出力する指令応答設定部である。第3の基本機能は、フィルタ後位置指令とエンコーダからのモータ位置情報を入力とし、両者の偏差が0となるようなトルク指令を生成する位置速度制御部である。第4の基本機能は、トルク指令を入力とし、モータと負荷のイナーシャ推定値を乗じたのち、負荷の摩擦トルク推定値を加算して、補償後トルク指令を生成する負荷特性補正部である。第5の基本機能は、補償後トルク指令から特定の周波数帯域を除去するフィルタ処理を行い、フィルタ後トルク指令を出力する共振抑制部である。
- [0030] さらに、本発明のモータ駆動装置は、次の7つの自動調整機能のいずれかを備える。第1の自動調整機能は、サーボ調整部より指定された動作パターンに従い、内部位置指令を自動生成する試運転機能である。第2の自動調整機能は、サーボ調整部より指定される指令応答指標に従い、指令応答設定部のフィルタ特性を自動設定する指令応答設定機能である。第3の自動調整機能は、サーボ調整部より指定される剛性指標や、発振検知機能から通知される発振検知信号に従い、位置速度制御部のパラメータを自動設定する剛性設定機能である。第4の自動調整機能は、サーボ調整部より負荷特性測定の有効・無効や、負荷特性推定結果の反映の有効・無効を個別に設定でき、共振制御部のフィルタ後トルク指令とエンコーダからのモータ位置情報から、負荷特性を自動測定し、負荷特性補償部を測定結果に応じて自動設定する負荷特性測定機能である。第5の自動調整機能は、サーボ調整部より適応動作の有効・無効や適応フィルタモードを設定でき、有効な場合は適応フィルタモードに従い、共振抑制部のフィルタ特性を自動設定する適応フィルタ機能で

ある。第6の自動調整機能は、サーボ調整部より発振検知の有効・無効や、発振検知レベルを設定でき、エンコーダからの位置情報から発振状態を自動測定し、剛性設定機能と連動して発振を自動抑制する発振検知機能である。第7の自動調整機能は、サーボ調整部から位置決め完了範囲を設定でき、フィルタ後位置指令・モータ位置情報・フィルタ後トルク指令などから各種評価指標を自動測定する評価指標測定機能である。

[0031] そして、上述したモータ駆動装置における本発明のサーボ調整方法は、初期設定を行うステップ1と、負荷特性測定と指令パターン決定を行うステップ2と、剛性指標最大値を決定し、剛性指標に対応した共振抑制部の設定を記憶するステップ3と、剛性指標および指令応答指標を組み合わせて、指定動作時の評価指標を記憶するステップ4と、評価指標から探索条件に従い最終調整結果を得るステップ5との、5つのステップのいずれかを持つ構成である。

[0032] このような構成によれば、サーボ調整に詳細な知識を持たない作業者でも、5つのステップを順番に実行するだけで、適切な調整結果を得ることができる。また、5つのステップのいずれかの組み合わせを順番に実行しても同様の効果がある。

図面の簡単な説明

[0033] [図1]図1は、本発明の実施の形態1におけるモータ駆動装置のサーボ調整方法の各ステップを示すフローチャートである。

[図2]図2は、実施の形態1におけるモータ駆動装置のブロック図である。

[図3]図3は、実施の形態1における指令選択部の詳細な構成を示す図である。

[図4]図4は、実施の形態1における指令応答設定部の詳細な構成を示す図である。

[図5]図5は、実施の形態1における位置速度制御部の詳細な構成を示す図である。

[図6]図6は、実施の形態1における位置速度制御部のもう一つの実施例の詳細

細な構成を示す図である。

[図7]図7は、実施の形態1における負荷特性補償部の詳細な構成を示す図である。

[図8]図8は、実施の形態1における共振抑制部の詳細な構成を示す図である。

[図9A]図9Aは、実施の形態1における試運転機能の詳細な構成を示す図である。

[図9B]図9Bは、実施の形態1における試運転機能の指令生成部の指令パターン生成例を示す図である。

[図10]図10は、実施の形態1における指令応答設定機能の詳細な構成を示す図である。

[図11A]図11Aは、実施の形態1における剛性設定機能の詳細な構成を示す図である。

[図11B]図11Bは、実施の形態1における剛性設定機能の剛性テーブルの一例を示す図である。

[図12A]図12Aは、実施の形態1における負荷特性測定機能の詳細な構成を示す図である。

[図12B]図12Bは、実施の形態1における最小二乗推定処理により推定値を導き出す手法を説明するための図である。

[図13]図13は、実施の形態1における適応フィルタ機能の詳細な構成を示す図である。

[図14]図14は、実施の形態1における発振検知機能の詳細な構成を示す図である。

[図15]図15は、実施の形態1における評価指標測定機能の詳細な構成を示す図である。

[図16]図16は、本発明の実施の形態2におけるサーボ調整のステップ1の操作画面の図である。

[図17]図17は、実施の形態2におけるサーボ調整のステップ1の手順を示

すフローチャートである。

[図18]図18は、実施の形態2におけるステップ1-3の初期条件決定表を示す図である。

[図19]図19は、本発明の実施の形態3におけるサーボ調整のステップ2の操作画面の図である。

[図20]図20は、実施の形態3におけるサーボ調整のステップ2の手順を示すフローチャートである。

[図21A]図21Aは、実施の形態3におけるサーボ調整のステップ2での動作パターン図である。

[図21B]図21Bは、実施の形態3におけるサーボ調整のステップ2での他の動作パターン図である。

[図22]図22は、本発明の実施の形態4におけるサーボ調整のステップ3の操作画面の図である。

[図23]図23は、実施の形態4におけるサーボ調整のステップ3の手順を示すフローチャートである。

[図24A]図24Aは、実施の形態4におけるサーボ調整のステップ3での動作パターン図である。

[図24B]図24Bは、実施の形態4におけるサーボ調整のステップ3での他の例としての動作パターン図である。

[図24C]図24Cは、実施の形態4におけるサーボ調整のステップ3でのさらに他の例としての動作パターン図である。

[図25]図25は、本発明の実施の形態5におけるサーボ調整のステップ4の操作画面の図である。

[図26]図26は、実施の形態5におけるサーボ調整のステップ4の手順を示すフローチャートである。

[図27A]図27Aは、実施の形態5におけるステップ4-1のサーチパターン表を示す図である。

[図27B]図27Bは、実施の形態5におけるサーチパターンの組み合わせを示

す図である。

[図27C]図 2 7 Cは、実施の形態 5 におけるサーチパターンの他の組み合わせを示す図である。

[図28A]図 2 8 Aは、実施の形態 5 における指令応答測定時の動作図である。

[図28B]図 2 8 Bは、実施の形態 5 における指令応答測定時の動作図である。

[図28C]図 2 8 Cは、実施の形態 5 における指令応答測定時の動作図である。

[図29]図 2 9 は、本発明の実施の形態 6 におけるサーボ調整のステップ 5 の操作画面の図である。

[図30]図 3 0 は、実施の形態 6 におけるサーボ調整のステップ 5 の手順を示すフローチャートである。

[図31]図 3 1 は、実施の形態 6 におけるステップ 5 - 1 の推奨条件表を示す図である。

[図32]図 3 2 は、実施の形態 6 におけるステップ 5 - 3 の微調整画面の図である。

[図33]図 3 3 は、従来のモータ駆動装置のブロック図である。

発明を実施するための形態

[0034] 以下、本発明の実施の形態について、図面を参照しながら説明する。

[0035] (実施の形態 1)

図 1 は、本発明の実施の形態 1 におけるモータ駆動装置のサーボ調整方法の各ステップを示すフローチャートである。また、図 2 は、本発明の実施の形態 1 におけるモータ駆動装置のブロック図である。さらに、図 3 から図 15 までは、本モータ駆動装置の各ブロックにおける詳細な構成を示す図である。

[0036] まず、図 3 ~ 図 15 を参照しながら、図 2 を用いて本実施の形態におけるモータ駆動装置 2 の構成について説明する。

[0037] 図 2 に示すモータ駆動装置 2 は、個々のブロックが図 3 3 と概要は同じであるが、自動調整機能の外部との入出力をサーボ調整部 6 に接続し、サーボ調整部 6 からの制御を可能とした点が、図 3 3 に示したモータ駆動装置 9 2

と異なる。すなわち、本実施の形態では、モータ駆動装置 2 の自動調整機能をサーボ調整部 6 により一括して制御できるような構成となっている。

[0038] 図 2 で示す構成において、実線で接続された一重線のブロックから構成される、モータを駆動制御する基本機能について、まず説明する。

[0039] 上位のコントローラである上位装置 1 が出力する外部位置指令は、モータ駆動装置 2 の指令選択部 2 1 に入力される。

[0040] 指令選択部 2 1 は、図 3 に示すように、後述の試運転機能 2 1 1 が出力する内部位置指令と指令選択信号を受ける。そして、指令選択部 2 1 は、指令選択器 2 1 a で、外部位置指令と内部位置指令とのどちらかを指令選択信号に基づき選択し、指令応答設定部 2 2 に対して、選択後の位置指令である選択後位置指令を出力する。

[0041] 指令応答設定部 2 2 は、図 4 に示すように、指令選択部 2 1 から出力される選択後の位置指令を入力し、この位置指令に対して各種のフィルタ処理を行い、その結果であるフィルタ後の位置指令として、フィルタ後位置指令を出力する。指令応答設定部 2 2 は、フィルタ処理として、移動平均フィルタ 2 2 a、一次遅れフィルタ 2 2 b、2 次フィルタ 2 2 c、および制振フィルタ 2 2 d を備えている。移動平均フィルタ 2 2 a は、後述の指令応答設定機能 2 2 1 から指定する移動平均回数の移動平均処理を行う。一次遅れフィルタ 2 2 b は、指令応答時定数のステップ応答特性を持つ。2 次フィルタ 2 2 c は、2 次フィルタ周波数と減衰比で規定される周波数特性を持つ。制振フィルタ 2 2 d は、制振周波数と深さで定義される周波数特性を持つ。図 4 では、これらフィルタのステップ応答、周波数特性の一例も示している。

[0042] 位置速度制御部 2 3 は、図 5 に示すように、フィルタ後の位置指令とともに、駆動対象であるモータ 3 に接続されたエンコーダ 4 よりモータ位置情報を入力し、これらの偏差が 0 となるトルク指令を出力する。

[0043] 具体的には、図 5 に示す位置速度制御部 2 3 は、位置比例処理 2 3 a、速度検出処理 2 3 e、速度比例処理 2 3 b、速度積分処理 2 3 c、トルクフィルタ処理 2 3 d、および速度フィードフォワード処理 2 3 f を備えている。

[0044] 図5に示す位置速度制御部23において、位置比例処理23aは、位置偏差に対して、後述の剛性設定機能231から指定する位置ループゲインを乗じ、その結果を出力する。速度検出処理23eは、例えばモータ位置情報に対する差分や微分演算などに基づき、実速度に対応したモータ速度を検出する。速度比例処理23bは、速度偏差に対して、剛性設定機能231から指定する速度ループゲインを乗じ、その結果を出力する。速度積分処理23cは、剛性設定機能231から指定する速度ループ積分時定数による速度積分を行い、その結果を出力する。トルクフィルタ処理23dは、内部トルク指令に対して、剛性設定機能231から指定するトルクフィルタ時定数を持つ一次遅れフィルタのフィルタを施し、その結果を出力する。速度フィードフォワード処理23fは、フィルタ後の位置指令に対しての差分などの処理を行い、その結果を出力する。

[0045] 図5に示す位置速度制御部23は、まず、フィルタ後位置指令とモータ位置情報との差である位置偏差を計算し、この位置偏差に対して、位置比例処理23aを行い、速度指令を得る。また、速度検出処理23eは、モータの実速度に対応するモータ速度を得る。次に、速度指令とモータ速度との差である速度偏差を計算し、この速度偏差に対して、速度比例処理23bと速度積分処理23cとによる処理を行い、これらの出力を加算し、内部トルク指令を得る。この内部トルク指令に対して、トルクフィルタ処理23dによるフィルタ処理を施し、出力であるトルク指令を得る。なお、応答性改善のため、上記速度指令には、速度フィードフォワード処理23fを通した結果を加算してもよい。

[0046] 図6は、位置速度制御部23の他の実施例を示すブロック図であり、図6の構成では、各指令情報をフィードフォワード的に生成するような処理を含む。このような処理を行うため、図6に示す位置速度制御部23は、図5で示した処理に加えて、フィードフォワード指令生成処理23hとトルクフィードフォワード処理23gとを備えている。フィードフォワード指令生成処理23hは、フィルタ後位置指令に対しての一階差分や二階差分とフィルタ

処理とを組み合わせた処理を行う。そして、このフィードフォワード指令生成処理 23 h の処理結果を用いて、フィードフォワード位置指令、速度フィードフォワード処理 23 f への入力であるフィードフォワード速度指令、トルクフィードフォワード処理 23 g への入力であるフィードフォワードトルク指令の 3 つの指令を同時に生成する。

[0047] 具体的には、図 6 に示す位置速度制御部 23 は、上記の各フィードフォワードの処理に加えて、図 5 と同様の、位置比例処理 23 a、速度検出処理 23 e、速度比例処理 23 b、速度積分処理 23 c、およびトルクフィルタ処理 23 d を備えている。

[0048] 図 6 に示す位置速度制御部 23 は、まず、駆動対象であるモータ 3 に接続されたエンコーダ 4 よりモータ位置情報を入力し、フィードフォワード位置指令との差である位置偏差を計算する。この位置偏差に対して、位置比例処理 23 a を行い、速度指令を得る。さらに、速度フィードフォワード処理 23 f の出力が、速度指令に加算される。そして、速度検出処理 23 e でモータ速度を得る。次に、速度指令とモータ速度との差である速度偏差を計算し、この速度偏差に対して、速度比例処理 23 b と速度積分処理 23 c とによる処理を行い、これらの出力を加算し、内部トルク指令を得る。さらに、トルクフィードフォワード処理 23 g の出力が、内部トルク指令に加算される。この内部トルク指令に対して、トルクフィルタ処理 23 d によるフィルタ処理を施し、出力であるトルク指令を得る。

[0049] この構成では、フィルタ後の位置指令が十分滑らかであれば、外乱トルクの影響を考慮しない理想的な状態で、フィルタ後の位置指令に対するモータ位置の完全追従が実現可能である。そして、後述の指令応答設定機能 221 による指令応答指標が指令応答を、後述の剛性設定機能 231 の剛性指標が外乱応答を、それぞれ独立に設定する 2 自由度の制御構成が得られる。

[0050] 負荷特性補償部 24 は、図 7 に示すように、トルク指令に対し、各種の処理を施すことで、想定できる摩擦補償を行っている。負荷特性補償部 24 は、このような処理として、イナーシャ補正処理 24 a、偏荷重補償処理 24

b、動摩擦補償処理 24 c、粘性摩擦補償処理 24 d を備えている。

[0051] イナーシャ補正処理 24 は、トルク指令に対して、後述の負荷特性測定機能 24 1 が指定するイナーシャ推定値を乗じるような処理を施す。このようにして、イナーシャ補正処理 24 は、モータ 3 および負荷 5 の総イナーシャに応じたスケーリング処理を行っている。これにより、さまざまな負荷 5 によって異なる、モータ等価イナーシャの差異を吸収している。

[0052] また、負荷特性補償部 24 は、負荷特性測定機能 24 1 が指定する偏荷重推定値をトルク指令に加算することで、偏荷重に対する補償を行なっている。動摩擦補償処理 24 c は、エンコーダ 4 からのモータ位置情報からモータ速度を算出し、動摩擦推定値をモータ速度方向に応じてトルク指令に加減算する。動摩擦補償処理 24 c は、このような処理を行うことで、動摩擦に対する補償を行なっている。粘性摩擦補償処理 24 d は、上記モータ速度に粘性摩擦係数推定値を乗じて、トルク指令に加算する。粘性摩擦補償処理 24 d は、このような処理を行うことで、粘性摩擦に対する補償を行なっている。

[0053] 負荷特性補償部 24 がこれらの処理によって想定できる摩擦補償を行うことで、即応性の改善や、動作方向・速度による応答の差を軽減することができる。

[0054] 以上のようにさまざまな負荷特性補償を行った結果を、負荷特性補償部 24 は、補償後のトルク指令として出力する。なお、動摩擦補償、粘性摩擦補償に用いるモータ速度情報は、位置速度制御部 23 が動作する限り速度指令に追従する。このため、モータ速度の代わりに、位置指令の差分などから計算できる速度指令を用いると、負荷変動の影響を受けないため、補償値が安定する場合がある。

[0055] 共振抑制部 25 は、図 8 に示すように、モータ 3 に接続される負荷 5 との共振特性が引き起こす振動を励起しないよう、特定の周波数成分を除去するフィルタ処理を施す。

[0056] 共振抑制部 25 は、2 次フィルタ 25 a と、複数のノッチフィルタ処理と

しての第1ノッチフィルタ25c、第2ノッチフィルタ25d、第3ノッチフィルタ25eおよび第4ノッチフィルタ25fとを備えている。2次フィルタ25aは、後述の適応フィルタ機能251が指定する、2次フィルタ周波数や減衰比で規定されるフィルタ処理を行う。同じく、各ノッチフィルタは、適応フィルタ機能251が指定する、ノッチフィルタ周波数・幅・深さで、特定の周波数帯域を減衰させるノッチフィルタ処理を行う。共振抑制部25は、これらフィルタ後の出力を、フィルタ後のトルク指令であるフィルタ後トルク指令として出力する。図8では、これらフィルタのステップ応答、周波数特性の一例も示している。

[0057] 最後に、このフィルタ後トルク指令に従い、モータ3の出力トルクが変化するように、図示されない電流制御やパワー回路でモータ3への電圧・電流が制御され、モータ3に接続された負荷5が動作することになる。

[0058] 次に、図2では、点線で接続された二重線のブロックから構成される、自動調整機能について説明する。

[0059] 試運転機能211は、図9Aに示すように、サーボ調整部6から、移動量・最高速度・加減速時間などの動作パターンに関する情報、およびサーボオン信号や試運転動作開始信号などの制御信号を入力し、内部位置指令および指令選択信号を指令選択部21へ出力する。

[0060] 試運転機能211は、指令生成部211aと指令選択信号生成部211bとを備えている。指令生成部211aは、サーボ調整部6から入力した動作パターンに関する情報を利用して運転パターンを自動生成し、この運転パターンに基づく内部位置指令を出力する。指令選択信号生成部211bは、サーボ調整部6から入力した制御信号に基づいて、図示されないモータ通電状態の制御や、試運転動作開始信号がオンした時点で指令選択部21へ内部位置指令を選択するよう指示する指令選択信号を出力する。

[0061] また、図9Bは、指令生成部211aの指令パターン生成例を示す図である。図9Bでは、移動量Xと加減速時間taccとから、図9Bの上段に示す速度三角波パターンあるいは下段に示す速度台形波パターンを生成する方

法を示している。移動量 X が小さいときは速度三角波パターンを選択されるが、移動量 X が大きくなるほど、速度の最大値が大きくなり、最高速度 V_{max} に達すると、以降は速度台形波パターンが生成される。

[0062] なお、指令生成部211aで生成した内部位置指令は、モニタ情報としてサーボ調整部6にも出力される。

[0063] 指令応答設定機能221は、図10に示すように、サーボ調整部6から、指令応答指標として移動平均時間と時定数、および指令応答指標の指令応答設定部22への反映を開始する指令応答指標反映開始信号を入力する。指令応答設定機能221は、入力したこれら情報や信号に基づいて、指令応答設定部22のフィルタ処理の条件を指定するなどの処理を行う。

[0064] 指令応答設定機能221は、移動平均時間設定処理221a、指令応答時定数設定処理221b、2次フィルタ設定処理221c、および制振フィルタ設定処理221dを備えている。

[0065] 移動平均時間設定処理221aは、この指令応答指標反映開始信号がオンの場合に、指令応答設定部22内の移動平均フィルタ22aの演算周期で、移動平均時間を割ることで、移動平均回数を出力する。また、2次フィルタ設定処理221cは、例えば2次フィルタの減衰比を1に固定し、2次フィルタの周波数は指令応答指標の時定数の逆数を 2π で割った値とする。指令応答時定数設定処理221bは、指令応答時定数のステップ応答特性を持つ一次遅れフィルタ22bの指令応答時定数を設定する。制振フィルタ設定処理221dは、制振周波数と深さで定義される制振フィルタ22dの制振周波数の深さを設定する。なお、これらすべてを指令応答設定機能221内で計算しなくてもよく、図示しない手動設定パラメータである、一次遅れスムージング時定数や、制振周波数・深さ設定から設定してもよい。

[0066] また、指令応答指標としては、例えば単に指令応答カットオフ周波数といった単一の値や、一次遅れや二次遅れのフィルタ時定数や減衰比といった周波数特性全体を指示する形、あるいは立ち上がり時間や遅延時間、オーバーシュート量など過渡特性を指示する形などがある。これらのさまざまな組み

合わせて指令応答指標を設定し、指令応答設定部 2 2 全体の入出力関係が、指令応答指標にできるだけ一致するよう、指令応答設定部 2 2 のフィルタ特性を自動設定してもよい。

[0067] 剛性設定機能 2 3 1 は、図 1 1 A に示すように、サーボ調整部 6 から剛性指標を入力し、剛性テーブルを参照して位置速度制御部 2 3 へのパラメータセットを出力する。

[0068] 剛性設定機能 2 3 1 は、発振自動抑制処理 2 3 1 a と剛性テーブル処理 2 3 1 b とを備えている。発振自動抑制処理 2 3 1 a は、通常はサーボ調整部 6 からの剛性指標をそのまま、剛性テーブル処理 2 3 1 b に出力する。剛性テーブル処理 2 3 1 b は、サーボ調整部 6 からの剛性指標反映開始信号がオンの場合に、剛性テーブルを参照し、位置速度制御部 2 3 へのパラメータセットを出力する。ここでの剛性テーブルは、剛性指標は 0 から 3 1 までの 3 2 段階の値をとり、剛性指標の値が大きいほど、位置速度制御部 2 3 の外乱抑圧特性が高くなる。図 1 1 B にそのような剛性テーブルの一例を示す。剛性テーブル処理 2 3 1 b は、このような、位置ループゲイン・速度ループゲイン・速度積分時定数・トルクフィルタ時定数のパラメータセットを出力する。

[0069] また、後述する発振検知機能 2 6 から入力される発振検知信号がオンしたときには、発振自動抑制処理 2 3 1 a は、サーボ調整部 6 からの剛性指標の代わりに、発振が停止するまで、安定性の高い剛性指標を自動的に選択する。位置速度制御部 2 3 の外乱抑圧特性の分母は、そのままフィードバック制御の安定性に直結するため、この例では剛性指標をより低い値に設定すると、全体のゲインが下がり、安定性を増すことができる。なお、発振検知時は剛性指標の低下に合わせて、指令応答指標を下げるのもよい。

[0070] 剛性指標が下がると、同時に位置速度制御部 2 3 のパラメータセットが変更されるため、一定時間の後には発振は収まり、発振検知信号はオフになる。ところが、そのまま剛性指標を元に戻すと再び発振する可能性がある。このため、発振自動抑制処理 2 3 1 a は、サーボ調整部 6 に現在の剛性指標を

出力し、サーボ調整部 6 側で発振検知後の復帰のために、剛性指標を下げられるようにしている。

[0071] なお、剛性指標としては、外乱トルクからモータ速度までの周波数応答全体に関する指標や、速度変動率・ジッタなどの定常特性に関する指標などがある。これら指標のように、一般に外乱抑圧特性に係る剛性指標を入力し、位置速度制御部 2 3 の入出力関係が剛性指標にできるだけ一致するよう、位置速度制御部 2 3 のパラメータセットを自動設定してもよい。

[0072] また、本実施の形態では、図 1 1 A の構成のように、剛性指標から一意に内部パラメータが決まる剛性テーブルを用いるような構成例を挙げて説明した。しかし、剛性指標から位置速度制御部 2 3 のパラメータセットへの展開には、ある一つの内部パラメータと剛性指標との関係だけが定義されており、その他は内部パラメータ間の比率から計算されるものが考えられる。さらには、剛性指標だけでなく負荷特性補償部 2 4 の設定や、共振抑制部 2 5 の設定をも入力として、複数のパラメータを含む計算式から内部パラメータを決めるものなど、さまざまな自動設定方法が考えられる。

[0073] 負荷特性測定機能 2 4 1 は、図 1 2 A に示すように、大きくは、負荷特性測定処理そのものである最小二乗推定処理 2 4 1 a と、測定結果に応じて負荷特性補償部 2 4 を自動設定するそれ以外の処理とに分かれる。

[0074] 最小二乗推定処理 2 4 1 a は、共振抑制部 2 5 からのフィルタ後のトルク指令と、エンコーダ 4 からのモータ位置情報とから、前処理を行い平滑化されたトルク指令、モータ位置情報の差分よりモータ速度、さらにその差分を元にモータ加速度を算出する。最小二乗推定処理 2 4 1 a は、これら実動作の情報と負荷モデルの出力との差が最小となるよう、最小二乗推定処理を行い、イナーシャ推定値、偏荷重推定値、動摩擦推定値、粘性摩擦係数推定値を出力する。

[0075] 最小二乗推定処理 2 4 1 a は、定性的には図 1 2 B のように、モータ加速度とトルク指令、あるいはモータ速度とトルク指令の散布図から、各点からの距離の 2 乗の総和が最小となる近似直線を引き、その傾きと切片から推定

値を導き出す。例えば、イナーシャ比は、図12の上図に示すように、モータ加速度とトルク指令の近似直線の傾きとなる。同様に粘性摩擦係数推定値は、図12の下図に示すように、モータ速度とトルク指令の近似直線の傾きより得られる。偏荷重推定値と動摩擦推定値は、モータ速度とトルク指令の近似直線を、モータ速度が正の場合と負の場合でそれぞれ計算し、各々の切片a、bより、偏荷重推定値は切片a、bの平均値、動摩擦推定値は切片a、bの差の1/2より算出できる。

[0076] 最小二乗推定処理241aの出力である推定値の負荷特性補償部24への反映は、推定値毎に個別の推定値反映許可信号がサーボ調整部6から与えられる。例えばイナーシャ推定値のみを更新したい場合は、イナーシャ推定値反映処理241bへの反映許可信号のみをオンとし、他をオフとする。摩擦推定値を更新したい場合は、逆にイナーシャ推定以外の3つの推定値に対応した、偏荷重推定値反映処理241c、動摩擦推定値反映処理241d、粘性摩擦係数推定値反映処理241eへの反映許可信号をオンとする。

[0077] 推定値反映許可信号がオンの場合は、通常推定値がそのまま負荷特性補償部24に出力されるが、一定の比率やオフセット値で補正する場合もある。推定値反映許可信号がオフの場合は、現在の負荷特性補償部24の設定を保持する、あるいは0クリアや、出荷設定値、既定値でプリセットする、などが考えられる。この負荷特性測定処理と推定値の反映をリアルタイムに行うことで、どのような負荷5が接続されているか分からない初期調整時や、経年変化によるゆるやかな変化が生じる場合でも、負荷5に応じた補正が常に更新される。これはどんな装置に取り付けても、常に指令応答指標や剛性指標で指定した同じ応答性が得られる、適応ロバスト性を向上させる効果がある。

[0078] 適応フィルタ機能251は、図13に示すように、サーボ調整部6からの適応処理開始信号が入力され、共振振動を抑制するように、共振抑制部25の各フィルタを設定する。

[0079] 適応フィルタ機能251は、適応フィルタ処理251a、2次フィルタ設

定処理 251 b、および第 1 から第 4 までのノッチフィルタ設定処理 251 c、251 d、251 e、251 f を備えている。

[0080] 適応フィルタ処理 251 a は、サーボ調整部 6 からの適応処理開始信号がオンとなった場合に、エンコーダ 4 よりモータ位置情報を入力する。これに速度変換のための差分処理や、変動成分を抽出するためのバンドパスフィルタ処理などの前処理を施し、可変フィルタと係数更新アルゴリズムとに出力する。可変フィルタは、共振抑制部 25 のノッチフィルタと同様の特性を有しており、その出力は特定の周波数帯域を減衰したものとなる。これと規範入力の差が 0 となるよう、サーボ調整部 6 より指定する適応フィルタモードに応じた係数更新アルゴリズムで、可変フィルタの周波数特性を自動調整する。また、第 3 ノッチフィルタ設定処理 251 e、および第 4 ノッチフィルタ設定処理 251 f は、この可変フィルタの周波数特性を、それぞれ第 3 ノッチフィルタ、および第 4 ノッチフィルタの周波数・幅・深さに適用させる。さらに、サーボ調整部 6 より指定する適応フィルタモードは、第 3 ノッチフィルタ設定処理 251 e や第 4 ノッチフィルタ設定処理 251 f のタイミングや変換方法も指定することができる。

[0081] この実施例では 2 つのノッチフィルタの自動調整を行っているが、第 1 ノッチフィルタ設定処理 251 c や第 2 ノッチフィルタ設定処理 251 d を制御して、4 つすべてに対して自動調整を行ってもよい。また、可変フィルタの周波数特性を変更して、2 次フィルタ設定処理 251 b を制御すれば、2 次フィルタの特性も自動調整できることはいうまでもない。実施例では図示しない手動設定パラメータで、自動調整しない 3 つのフィルタ特性を変更できる。

[0082] さらに、適応フィルタ処理 251 a は、可変フィルタの周波数・幅・深さといった適応結果をサーボ調整部 6 に出力する。これにより、現在の剛性指標で検知した、モータ 3 と負荷 5 の共振特性を知ることができる。

[0083] 発振検知機能 26 は、図 14 に示すように、サーボ調整部 6 からの発振検知開始信号がオンとなった場合に、エンコーダ 4 からのモータ位置情報を発

振検知処理 26 a に入力し、発振を検知する処理を開始する。

[0084] 発振検知機能 26 は、適応フィルタと同様にモータ変動分を抽出し振動レベルを計算、サーボ調整部 6 より指定する発振検知レベルとの比較に基づき、モータ 3 および負荷 5 の発振状態を検出する。発振を検知した場合、前述の剛性設定機能 23 1 に発振検知信号をオンにして伝達し、発振が収まる方向の剛性指標を選択させる。なお、発振検知は、振動に関する指標であれば、どのような情報を用いてもよい。例えば、トルク指令、位置指令、外乱トルク推定値、負荷位置情報、マイクロフォンなどによる音情報、加速度センサによるモータ 3 あるいは負荷 5 の加速度情報、ロードセルなどによるトルク・圧力情報などで発振を検知してもよい。

[0085] 最後に、評価指標測定機能 27 は、図 15 に示すように、エンコーダ 4 からモータ位置情報、指令選択部 21 から選択後位置指令、共振抑制部 25 からフィルタ後トルク指令を入力する。そして、評価指標測定機能 27 は、サーボ調整部 6 からの位置決め完了範囲や最大トルク制限、振動検知レベルなどの測定閾値を入力し、測定開始信号や測定回数、最大停止時間などの制御信号に応じて、サーボ調整部 6 に各種評価指標を出力する。

[0086] 評価指標そのものおよびその計算方法は多岐にわたるが、例えば位置決め整定時間のような評価指標となる項目例の一覧を図 15 に挙げている。図 15 に示すように、評価指標としては、位置決め整定時間、指令時間などがある。また、これら評価指標の計算方法について、図 15 も参照しながら以下に説明する。

[0087] 位置決め整定時間の計算方法としては、指令選択部 21 からの選択後位置指令が停止したあと、選択後位置指令とエンコーダ 4 からモータ位置情報との偏差（位置偏差）が、サーボ調整部 6 からの位置決め完了範囲以内となるまでの時間で測定できる。

[0088] 指令時間は、指令選択部 21 からの選択後の位置指令が変化している時間、タクトは、選択後位置指令が最初に変化して、停止したのち、次に変化するまでの期間と定義できる。また、タクトについては選択後位置指令が停止

した後、サーボ調整部 6 からの最大停止時間経過までで制限してもよい。

- [0089] オーバershoot量は、タクト間での上記位置偏差の最大・最小のうち、選択後の位置指令の方向と逆向きのものと定義できる。
- [0090] 振動レベルは、いくつかの計算方法があるが、上記適応フィルタ機能 2 5 1 の適応フィルタ機能や発振検知機能 2 6 のように、エンコーダ 4 からのモータ位置情報をベースに振動成分を抽出する方法や、共振抑制部 2 5 からのフィルタ後のトルク指令から特定周波数帯域の振動成分を抽出する方法が考えられる。サーボ調整部 6 からの振動検知レベルとの比較で、ステップ 3 における振動検出が可能である。
- [0091] 位置決め完了出力信号 (I N P) は上記位置偏差が位置決め完了範囲内に入るとオンし、範囲外ではオフする信号として一般的だが、タクト間の I N P 信号変化回数を位置決め整定の指標とできる。 I N P 変化回数は、位置指令停止後に限定するのもよい。
- [0092] 指令速度やモータ速度は、指令選択部 2 1 からの選択後位置指令やエンコーダ 4 からのモータ位置情報の差分から計算できる。トルク指令は、共振抑制部 2 5 からのフィルタ後トルク指令、位置偏差は、上記の選択後位置指令とエンコーダ 4 からのモータ位置情報との偏差となる。これらのタクト間の最大・最小値を評価指標とすれば、タクト間動作のかなりの部分を把握できる。トルク指令については、タクト間の 2 乗積算平方根より実効値が求められ、これはモータやモータ駆動装置の容量選定などで非常に有用な評価指標である。トルクに関する指標については、サーボ調整部 6 からの最大トルク制限との比較で、ステップ 2 における最高加速度パターン決定に役立てることができる。
- [0093] いずれもリアルタイムに取得できる膨大なモータ制御情報を、一定のアルゴリズムで、より意味のある、少ない数の評価指標にデータ圧縮することが評価指標測定機能 2 7 の重要な側面である。
- [0094] 以上説明した図 2 に記載のモータを駆動制御する基本機能、および自動調整機能に対して、本実施の形態のサーボ調整ステップのフローチャートを図

1に示す。この実施例では、以下のサーボ調整ステップを、図2のサーボ調整部6内に実装することを前提としている。

- [0095] 本実施の形態のサーボ調整ステップは次の5つのステップのいずれかを含む構成である。
- [0096] ステップ1は、初期設定であり、ステップ2からステップ5の前に実行する。ステップ1は、制御対象に関する情報を入力し、ステップ2以降の調整ステップに対する初期条件や機能の有効・無効選択を行う。
- [0097] ステップ2は、負荷特性測定を行う。ステップ2は、ステップ3からステップ5の前に実行し、各種機能を設定した上で、負荷特性測定の最小二乗推定が適切に働く動作パターンで試運転機能を動作させ、最適な推定結果を得る。また、ステップ3以降の調整ステップに対し、試運転機能の動作パターンを与える。
- [0098] ステップ3は、剛性設定機能を調整するステップで、ステップ4とステップ5の前に実行する。ステップ3は、適応フィルタ機能を活用しながら、剛性指標を上げていき、剛性指標の上限である最高剛性を探る。また、ステップ4以降での剛性指標変更に対応する共振抑制部設定を提供する。
- [0099] ステップ4は、指令応答を測定するステップとなる。ステップ4は、ステップ5の前に実行し、ステップ3の最高剛性を元に、剛性指標と指令応答指標を組み合わせたサーチパターンを生成し、評価指標測定機能で評価指標を測定、記憶する。
- [0100] ステップ5は、最後に実行し、ステップ4の評価指標から、ユーザが求める特性を代表するいくつかの推奨条件により、剛性指標と指令応答指標の組み合わせを抽出し、提示する。また、選択後、微調整と試運転を繰り返したあと、最終調整結果としてモータ駆動装置に保存するステップを有する。
- [0101] 特に、本実施の形態では、ステップ2からステップ4を通じて、まず、最初のステップ2で負荷特性測定機能を動作させ、その測定結果に基づいて負荷特性補償部を設定している。このように、最初に負荷特性を補償しているため、使用条件によって大きく変わる負荷の影響を抑制した状態で、ステッ

プ2以降の測定において必要な試運転動作パターンを自動的に決定しており、これによって、正確な各特性の測定結果を得ることができる。

[0102] さらに、次のステップ3において、剛性指標の最大値を決定するのに必要な初期設定を行うとともに、ステップ2と連携した試運転動作を行う。これによって、剛性指標最大値の決定と、剛性指標に対応した共振抑制部の設定を記憶することができる。そして、次のステップ4において、ステップ3で指定した最高剛性から、複数の剛性指標と複数の指令応答指標を組み合わせたサーチパターンを決定し、サーチパターンのすべての組み合わせに対して評価指標を測定し記憶する構成である。本実施の形態は、このようなステップ2からステップ4の順にサーボ調整を行うため、各ステップが連携した流れとして調整でき、これによって、サーボ調整に詳細な知識を持たない作業員でも、各ステップを順番に実行するだけで、適切な調整結果を得ることができる。

[0103] また、ステップ2からステップ4を通じて、試運転動作が有効な期間では、発振検知機能26を有効とし、不測の事態による発振検知に対し剛性指標を下げて、サーボ調整の継続を可能としている。また、同じく評価指標測定機能27は、すべての動作に対する評価指標を測定、記録する機能を持つ。

[0104] サーボ調整ステップが正常に動作する場合は、同じサーボ調整ステップによる調整結果を、同じ評価指標で示すことができる。このため、属人性の強いサーボ調整を排し、サーボ調整の知識のない作業員でも精度の高い調整結果を得ることができる。また、同じフォーマットによるレポート出力が可能となるため、調整結果の報告や保守時の微調整が非常に簡単になる。また、評価指標の測定記録は、サーボ調整ステップで異常が発生した場合の解析にも利用できる。さらに、定期的に評価指標記録を行い、指標の変化から経年変化や寿命予測などの解析に用いることも有効と考える。

[0105] 以上のように、本実施の形態のモータ駆動装置は、指令選択部21と、指令応答設定部22と、位置速度制御部23と、負荷特性補償部24と、共振抑制部25との5つのモータ制御の基本機能のいずれかを備えている。さら

に、本モータ駆動装置は、試運転機能 2 1 1 と、指令応答設定機能 2 2 1 と、剛性設定機能 2 3 1 と、負荷特性測定機能 2 4 1 と、適応フィルタ機能 2 5 1 と、発振検知機能 2 6 と、評価指標測定機能 2 7 との 7 つの自動調整機能のいずれかを備えている。そして、本実施の形態のサーボ調整方法は、初期設定を行うステップ 1 と、負荷特性測定と指令パターン決定とを行うステップ 2 と、剛性指標最大値を決定し、剛性指標に対応した共振抑制部の設定を記憶するステップ 3 と、剛性指標および指令応答指標を組み合わせて、指定動作時の評価指標を記憶するステップ 4 と、評価指標から探索条件に従い最終調整結果を得るステップ 5 との 5 つのステップのいずれかを備えている。

[0106] 本実施の形態 1 ではこのように構成しているため、サーボ調整の各ステップにて、サーボ調整に詳細な知識を持たない作業員でも、5 つのステップを順番に実行するだけで、適切な調整結果を得ることができる。

[0107] (実施の形態 2)

図 1 6 は、実施の形態 2 におけるサーボ調整ステップ 1 の操作画面を示す図である。

[0108] 図 1 6 に示すように、ステップ 1 の操作画面は、左半分の調整指針設定ブロックと、右半分の測定条件設定ブロックに分かれている。調整指針選択としては、探索方法、制御目的、負荷変動の有無、対象の装置が応答性を重視するか安定性を重視するか、対象の装置がどのような機構を持つか、などに関する情報をコンボボックスで選択できるようにしている。また、測定条件としては、位置決め完了幅、発振検知レベル、最大トルク制限をエディットボックスで数値入力可能としている。

[0109] 一連の初期設定を完了したら、右下の「次へ」ボタンを押すことで、ステップ 2 へ進むことができる。現在のステップは上部に表示されており、サーボ調整ステップの進捗を確認することができる。

[0110] 図 1 7 は、本実施の形態におけるサーボ調整のステップ 1 の手順を示すフローチャートである。

- [0111] ステップ1-1は、ステップ1-3の前に実行し、上記操作画面の調整指針設定ブロックを用いて、各種の調整指針を選択する。コンボボックスの項目の例は後述の決定表に挙げる。なお複数の調整指針から、内部で別の調整指針を生成してもよい。
- [0112] ステップ1-2は、ステップ1-3の前に実行し、上記操作画面の測定条件設定ブロックを用いて、各種の測定閾値を設定する。画面上の測定条件と測定閾値の間には、一定の単位変換や符号反転などのスケーリングや、既定値の加算などのオフセット処理を行ってもよい。またステップ1-1とステップ1-2は、操作画面と合わせて順不同で設定を行ってもよい。
- [0113] ステップ1-3は、上記操作画面からの設定に基づき、以降のステップで必要となる初期条件を決定する。ここで設定される初期条件としては、次のような項目があげられる。すなわち、ステップ2から4で使用される試運転機能の試行回数、ステップ2で使用される指令応答設定機能の初期指令応答や剛性設定機能の初期剛性、ステップ2で使用される負荷特性測定機能の最小二乗推定機能の有効・無効、ステップ4でも使用される負荷特性測定結果の負荷特性補償部への反映の有無がある。また、ステップ3で使用される、適応フィルタ機能の有効・無効や、動作モードの設定、ステップ2から5で使用される発振検知機能の有効・無効や発振検知レベル、ステップ2、4、5で使用される評価指標測定機能の位置決め完了範囲と最大トルク制限、などが設定される。これらは次ステップであるステップ2への遷移を示す、「次へ」ボタンを押すタイミングで、後述の初期条件決定表に基づき設定される。
- [0114] 図18は実施の形態2におけるステップ1-3の初期条件決定表を示す。
- [0115] 探索方法には高速サーチとフルサーチの2つの項目があり、高速サーチを選択すると、試運転機能211の試行回数がフルサーチの場合より少なくなり、より高速な探索が可能となる。
- [0116] 制御目的には、PTP制御とCP制御との2つの項目がある。PTP制御の場合は、一般に位置決め整定時間が目標となるため、評価指標測定機能2

7の位置決め完了範囲に、測定閾値をそのまま設定する。CP制御の場合は、位置決め整定時間の指標は必要ないため、位置決め完了範囲は固定値でよい。

[0117] 負荷変動は、なし～緩やかと急峻との2つの項目がある。負荷変動が急峻な場合には、負荷特性測定機能241と適応フィルタ機能251とを無効化する。これらの機能は、負荷変動や共振特性が変化しないか、その変化が緩やかであることを前提としている。このため、この項目を設けることで、測定結果や適応結果が安定しなくなる現象を回避できる。

[0118] 応答性・安定性の項目には、応答性重視・バランス型・安定性重視の3つがある。これらは、適応フィルタ機能251の有効・無効と、評価指標測定機能27の最大トルク制限とを決定する。適応フィルタ機能251により共振抑制部25が適切に設定されると、剛性指標の最大値である最高剛性を高くでき、外乱抑圧特性は向上する。しかし、その分、ロバスト性の意味合いで安定性は低下するため、これらはトレードオフの関係にある。また、応答性重視の場合、一般にモータの特性ぎりぎりの動作パターンで動作させる場合が多い。そのため、ゲイン調整ステップにおける動作パターンも高加減速としたほうが、実動作時の結果とマッチングが良くなる。なお、適応フィルタの有効・無効は、負荷変動と応答性・安定性の両方の調整指針で指定されるが、これらが矛盾する場合は、例えば無効側を優先するようルールを決めておく。

[0119] 機構（剛性）の項目には、高剛性（カップリング直結など）、中剛性（ボールねじなど）、低剛性（ベルト駆動など）の3段階がある。これらは、指令応答設定機能221の初期指令応答指標や剛性設定機能231の初期剛性指標を決定する。機構から想定される剛性が高いほど、高い指令応答指標や剛性指標を初期設定することで、測定時間を短縮できる。また、機構から想定される剛性が低いほど、低い指令応答指標や剛性指標を初期設定することで、ステップ2における試運転動作での発振検知を回避できる。同様に、最高剛性制限を機構で変更することで、ステップ3の剛性測定での発振検知を

低減できる。また、機構（剛性）に応じて、適応フィルタ機能251の動作モード設定を変更することで、事前情報による適応フィルタ機能251の動作安定化を図る。すなわち、例えば、高剛性ではノッチ幅が狭くてかつノッチ深さが深い高剛性モードで、低剛性ではノッチ幅が広くてかつノッチ深さの浅い低剛性モード、中剛性では両者の中間の特性を持つ中剛性モードとするなどで、適応フィルタ機能251の動作安定化を図る。さらに、機構（剛性）に応じて、発振検知機能26の発振検知レベルを決定する。測定条件での設定に対し、機構（剛性）に応じた乗数を掛ける、あるいはテーブルで持つ測定閾値を設定することで、発振検知精度を向上させることができる。ステップ3で使用する振動検知レベルは、通常発振検知前に剛性探索を終了させるものであり、発振検知レベルより低い値となるよう設定する。この例では1未満の定数を発振検知レベルに掛けて算出している。

[0120] なお、ステップ1-1、ステップ1-2、およびステップ1-3は、特に順番を指定されたもの以外は、順番を入れ替えても良い。例えば、ステップ1-1とステップ1-2はどちらを先に実施してもよい。

[0121] 以上のように、本実施の形態のサーボ調整方法のステップ1は、試運転機能の試行回数、指令応答設定機能の初期指令応答指標、剛性設定機能の初期剛性指標と最高剛性制限、負荷特性測定機能の最小二乗推定有効・無効と負荷特性補償部反映の有効・無効、適応フィルタ機能の有効・無効と動作モード設定、発振検知機能の有効・無効と発振検知レベル、評価指標測定機能の位置決め完了範囲と最大トルク制限と振動検知レベル、のいずれかの初期条件を設定する構成である。

[0122] さらに、本実施の形態のステップ1は、探索方法、制御目的、負荷変動、応答性・安定性の指標、制御対象となる負荷の機構・剛性などの定性的な調整指針と、位置決め完了範囲、発振検知レベル、最大トルク制限などの定量的な測定閾値を入力して、これらの組み合わせから上記初期条件を出力する構成である。

[0123] 以上、本実施の形態によれば、サーボ調整のステップ1にて、サーボ調整

に使用する各自動調整機能の初期設定や有効・無効を、ユーザに分かりやすい条件設定で行うことができる。

[0124] (実施の形態3)

図19は、実施の形態3におけるサーボ調整のステップ2の操作画面を示す図である。

[0125] 図19において、左半分は、試運転機能による動作の範囲を設定するための動作範囲設定ブロックである。ServoON/ServoOFFボタンでモータ通電の制御を行い、+/-のマークのある正方向/負方向動作ボタンでモータを正負方向に移動させ、ステップ2以降のサーボ調整ステップで動作可能な範囲を設定する。また、現在位置を指令単位で示すモニタ部などを有している。

[0126] また、右半分は、負荷の特性を測定するための負荷特性測定ブロックである。移動方向/移動量を設定するコンボボックスと、負荷特性の測定を開始/停止するSTART/STOPボタンを有している。なお、負荷特性の測定結果は、イナーシャ比・偏荷重・動摩擦・粘性摩擦係数といった形で、図の右下のように一覧表示すると、リアルタイムに負荷特性測定結果が分かり有用である。

[0127] 負荷特性測定が完了し測定結果に満足したら、右下の「次へ」ボタンを押すことで、ステップ3へ進むことができる。もし、この時点で結果に満足できないなら、再度開始ボタンを押して再測定するか、左下の「戻る」ボタンを押すことで、測定結果を破棄してステップ1に戻ることもできる。

[0128] 図20は、本実施の形態におけるサーボ調整のステップ2の手順を示すフローチャートである。

[0129] ステップ2-1は、ステップ2-4の試運転動作前に実行し、ステップ1で設定した初期指令応答指標を指令応答設定機能221に、初期剛性指標を剛性設定機能231に設定することで、剛性指標と指令応答指標を初期化する。このステップにより、測定時間の短縮や試運転動作時の発振を回避する効果が得られる。

- [0130] ステップ2-2は、ステップ2-4の試運転動作前に実行し、適応フィルタ機能251を無効化するため、適応処理開始信号をオフとし、また共振抑制部のノッチフィルタをすべて無効（入力信号をスルー）となる設定に初期化する。このステップにより、ノッチフィルタ無しで駆動可能な低い剛性指標で、負荷特性測定を行うことを保証できる。このため、負荷特性測定結果が、モータ3と負荷5の共振特性や、適応フィルタ機能251の適応結果に影響されにくくする効果が得られる。
- [0131] ステップ2-3は、ステップ2-4の試運転動作前に実行し、ステップ1で設定した発振検知レベルを発振検知機能26に設定するとともに、発振検知開始信号をオンとして発振検知処理を有効にする。例えば、ステップ1で機構（剛性）の設定を間違えて、実際の負荷5で想定されるよりも高い初期指令応答指標や初期剛性指標で試運転動作が始まったとする。このような事態が起こったとしても、剛性設定機能231と連携した発振自動抑制処理により、剛性設定が自動的に下がり、サーボ調整ステップを継続することができる。なお、剛性設定が下がった場合は、サーボ調整部6側で初期剛性設定を自動的に下げ、発振停止後の復帰をスムーズに行うのも効果的である。
- [0132] ステップ2-4は、ステップ2-7の試運転動作前に実行し、操作画面の動作範囲設定ブロックのServoON/ServoOFFボタンで試運転機能211への制御信号を通じてモータ通電を開始し、正方向/負方向動作ボタンでモータを実際に動かすことで、サーボ調整にて動作可能な範囲を設定する。動作範囲の設定後、モータを動作開始位置に移動させたら、動作範囲内で動作できるような移動方向と移動量を選択する。この動作可能範囲設定は、ステップ4で指令再選択を行うときにも有効となる点で、できるだけ広く設定するほうがよい。また、動作範囲が十分広ければ、同じ移動量と同じ移動方向で動作開始位置を変えながら、試運転動作を繰り返し起動するのも良い。
- [0133] ステップ2-5は、ステップ2-7の試運転動作前に実行し、STARTボタンが押されたタイミングで、負荷特性測定機能241を有効とするため

に負荷特性測定開始信号をオンにする。ステップ1にて、調整方針の負荷変動が急峻を選択した場合など、負荷特性測定を無効にする理由がある場合は、負荷特性測定開始信号はオフのままでもよい。その場合、ステップ2は最高加速度パターンを設定するためだけに実施することとなる。

[0134] ステップ2-6は、ステップ2-7の試運転動作前に実行し、負荷特性測定機能241が最低限動作できる制約条件（速度・加速度・動作時間など）のうち、最小加速度を満たす試運転動作パターンに、試運転機能211を初期化する。ステップ2-6およびステップ2-7で、動作加速度と移動量から、試運転機能211の動作パターンを設定する例は図21Aおよび図21Bで詳述する。最小加速度から開始することで、最初から正しい負荷特性測定結果を得ることができ、また測定時間を最小限とすることができる。

[0135] ステップ2-7では、現在の動作パターン（移動量・最高速度・加減速時間）で、ステップ1で設定した試行回数だけ、試運転機能211に試運転動作開始信号を送出し、試行回数の試運転動作を行う。ステップ2-5で負荷特性測定機能241が有効となっていれば、この動作で負荷特性測定結果が得られる。加速度設定毎に負荷特性測定結果が得られるため、これらをすべて記憶しておくのもよい。

[0136] ステップ2-8では、ステップ2-7の試運転動作が終了するごとに、評価指標測定機能27による評価指標測定を行う。ステップ2-10での最大トルク判定のために、トルク指令最大・最小値やトルク指令実効値など、トルク指令に関する評価指標を少なくとも一つは測定する必要がある。

[0137] ステップ2-9では、ステップ2-7の試運転動作中に、ステップ2-3で起動した発振検知機能26が発振検知していないかを確認する。発振検知した場合には剛性設定機能231に発振検知信号が送出されるため、ステップ2-9-1の剛性指標を下げる動作は自動的に行われ、発振状態は回避される。ただこの場合には、ステップ2-7での負荷特性測定結果や、ステップ2-8のトルク指令に関する評価指標が、発振状態で異常な値となっている可能性がある。このため、ステップ2-6へ移行し、より低く安定な初期

剛性指標で、負荷特性測定の最小加速度から再測定しなおすことになる。

[0138] ステップ2-10は、ステップ2-8の結果、測定したトルク指令に関する評価指標が、ステップ1で指定した最大トルク制限を越えていないかを判定する。基本的に負荷特性測定機能241は、動作加速度が高いほど精度のよい結果が得られる。このため、このステップ2-10で最大トルク制限以下の場合には、ステップ2-10-1で試運転動作の加速度を上げて試運転機能211の動作パターンを設定し直し、ステップ2-7から試行回数の試運転動作を再び行う。これにより、複数の加速度設定で、精度のよい負荷特性測定結果が得られるようになる。

[0139] ステップ2-11は、ステップ2-10でトルク指令に関する指標が最大トルク制限を越えた場合に、現在の移動量、最高速度、加減速時間を、ステップ3以降で使用する試運転機能211の最高加速度パターンとして記憶する。これにより、負荷5の負荷特性に応じて、最大トルク制限以内で駆動できる動作パターンを得ることができる。

[0140] ステップ2-12は、ステップ2-10でトルク指令に関する指標が最大トルク制限を越えた場合に、ステップ1で指定した負荷特性測定結果の負荷特性補償部への反映の有無に従い、推定値反映許可信号を操作して、負荷特性測定結果の一部または全てを、負荷特性補償部24に設定する。イナーシャ推定値は制御系の安定性に大きく影響するため、このステップ2で最後に測定した結果に設定するほうがよい。偏荷重推定値、動摩擦推定値、粘性摩擦推定値は、指令パターンや指令応答測定条件にも影響されるため、ステップ4で再設定する。したがってここでの設定は必須ではない。

[0141] 最後に、ステップ2-13は、ステップ2-12を終えたあと、ステップ2-5で負荷特性測定機能241が有効となっていれば、負荷特性測定開始信号をオフして無効化しておく。ステップ3による指令応答指標や剛性指標が高い条件では、共振特性などによる振動が発生する場合がある。また、ステップ4における指令再選択では、負荷特性測定に適さない動作パターンが選択される可能性があり、いずれも負荷特性測定結果が安定せず、精度も悪

化する傾向がある。このため、ステップ2-13で負荷特性測定機能241を無効化しておくのは重要である。

[0142] なお、ステップ2における各ステップは、特に順番を指定されたもの以外は、順番を入れ替えても良い。例えばステップ2-1からステップ2-3までは、試運転動作を開始する前であれば、どれを先に実施してもよい。また、ステップ2-11とステップ2-12の順番は入れ替えても問題はない。

[0143] 図21Aおよび図21Bは、本実施の形態におけるサーボ調整のステップ2での動作パターン図である。

[0144] ここでは、負荷特性測定機能241の測定に必要な最小加速度を1000 [r/min/s]とし、図21Aのように移動量は2回転で移動方向は正方向→負方向の往復動作パターンと、図21Bのように移動量は4回転で正方向→正方向の一方向動作パターンの2つの例を挙げている。

[0145] 速度三角波パターンでの駆動の場合、パラメータの設定自由度は2つしかない。このため、現在の加速度とステップ2-4で指定した移動量とから、加減速時間 $=\sqrt{\text{移動量}/\text{加速度}}$ 、最高速度 $=\text{加速度}\times\text{加減速時間}$ で算出でき、試運転機能211の動作パターンは一意に決まる。

[0146] 図21Aの往復動作パターンの場合、最小加速度1000 [r/min/s]と移動量2 [回転]から、加減速時間 $=0.346$ [s]、最高速度 $=346$ [r/min]が決まる。正方向→負方向の順番なので、最高速度も正負の順番に変化させることで往復動作となる。ステップ2-10-1での加速度UPを2倍とすると、2サイクル目は加速度 $=2000$ [r/min/s]より、加減速時間 0.245 [s]、最高速度 490 [r/min]となる。3サイクル目は、加速度 $=4000$ [r/min/s]より、加減速時間 0.173 [s]、最高速度 693 [r/min]となる。加速度が高くなるに従い、最高速度は高くなる代わりに、加減速時間が短くなる。最高速度がモータ3や負荷5で許容できる最高測定を超える場合は、測定を終了するのもよい。また、負荷特性測定機能241での測定に必要な動作時間が確保できなくなる場合も、同様に測定を終了したほうがよい。

- [0147] 図21Bの一方向動作パターンの場合、移動量が4〔回転〕となるため、同じ加速度設定でも加減速時間や最高速度は異なる。また、指令方向が正方向→正方向と一方向なので、最高速度は常に正方向となる。このように、一方向へ動き続ける動作パターンを選択する場合、一方向に無限に送り続けることができる機構であることが多いため、動作範囲設定を無視できるようにするのもよい。
- [0148] 以上のように、本実施の形態のサーボ調整方法のステップ2は、ステップ1で指定した負荷特性測定機能の有効・無効設定に従い負荷特性測定機能を動作させ、設定した動作範囲内で、試運転機能にて、モータをステップ1で指定した試行回数動作させる。そして、本ステップ2は、動作加速度を変えながら測定した負荷特性測定結果から、負荷特性補償部を設定し、最後に負荷特性測定機能を無効化する構成である。
- [0149] また、本ステップ2は、試運転機能を有効化する前に、ステップ1で指定した初期剛性指標を剛性設定機能に、初期指令応答指標を指令応答設定機能に設定する構成を含む。
- [0150] また、本ステップ2は、試運転機能を有効化する前に、適応フィルタ機能と共振抑制部のノッチフィルタを無条件に無効とする構成を含む。
- [0151] また、本ステップ2は、試運転機能を有効化する前に、ステップ1で指定した発振検知レベルで発振検知機能を有効とし、試運転動作中に発振検知した場合は、これを剛性設定機能に通知する。そして、本ステップ2は、剛性指標を下げ発振を抑制した上で、もう一度最初から負荷特性測定をやり直す構成を含む。
- [0152] また、本ステップ2は、負荷特性測定機能が適用可能な最小加速度から試運転動作を開始し、加速度を上げながら評価指標を測定する。そして、本ステップ2は、トルク指令に関する評価指標がステップ1で指定した最大トルク制限に達した時点の負荷特性測定結果を、ステップ3以降の負荷特性補償部に設定する構成を含む。
- [0153] さらに、本ステップ2は、負荷特性測定機能が適用可能な最小加速度から

試運転動作を開始し、加速度を上げながら評価指標を測定する。そして、本ステップ2は、トルク指令に関する評価指標が、ステップ1で指定した最大トルク制限に達した時点の最高加速度パターンを、ステップ3の試運転機能の動作パターンとする構成を含む。

[0154] このように、本実施の形態3で、サーボ調整のステップ2にて、ステップ1と連携して負荷特性測定に必要な初期設定を行い、以降のステップで必要な試運転機能の最高加速度パターンを自動的に決定し、正確な負荷特性測定結果を得ることができる。

[0155] (実施の形態4)

図22は、実施の形態4におけるサーボ調整ステップ3の操作画面を示す図である。

[0156] 図22に示すように、この画面には剛性測定ブロックしかなく、画面から操作可能なものは、最高剛性を探索する動作の開始・一時停止(START)ボタンと、非常停止(STOP)ボタン、ステップ3における剛性指標ごとの試行回数だけである。他は、サーボ調整部6が剛性設定機能231より得る現在の剛性指標表示やその棒グラフ表現、適応フィルタ機能251の適応結果、試運転機能211が返す現在の内部指令位置を動作範囲に対して表示したもの、でありモータ動作に影響を与えるものではない。

[0157] 剛性測定が完了し測定結果に満足したら、右下の「次へ」ボタンを押すことで、ステップ4へ進むことができる。もし、この時点で結果に満足できないなら、再度開始ボタンを押して測定を行うか、左下の「戻る」ボタンを押すことで、測定結果を破棄してステップ2に戻ることができる。

[0158] 図23は、本実施の形態におけるサーボ調整のステップ3の手順を示すフローチャートである。

[0159] ステップ3-1は、ステップ3-2で最高剛性の探索を開始する前に、ステップ1の指定で適応フィルタ機能251を有効とする場合には、サーボ調整部6より、適応フィルタモードを設定し、適応処理開始信号をオンにする。モータ3と負荷5の共振特性が安定した装置の場合には、この適応フィル

タ機能251を有効とすることで、最高剛性を上げることができ、よりよい調整結果が得られる可能性が増す。また、共振特性が安定しない場合には、適応フィルタ機能251を無効のまま使用することで、共振特性の変動による影響を最小限に抑えることができる。

[0160] ステップ3-2は、現在の剛性指標で、ステップ2で決定した最高加速度パターンによる試運転動作を、ステップ1で指定した試行回数行う。このとき、ステップ3-1で適応フィルタ機能251が有効になっていれば、適応フィルタ処理が働き、適応フィルタモードに従って、動作中に共振抑制部25のノッチフィルタ設定が変更される場合がある。その場合、ステップ3-3の振動に関する評価指標が変化するので、ステップ3-2の試運転動作を最初からやりなおすのもよい。

[0161] ステップ3-3は、ステップ3-2の試運転動作が終了するごとに、評価指標測定機能27で振動に関する評価指標を測定する。ここでは、ステップ3-5の判定のため、振動に関する評価指標を少なくとも一つは測定する必要がある。図15の評価指標測定機能27で説明した振動レベルは、この目的に使用できる。また、測定条件によっては、INP変化回数を振動に関する評価指標とすることもできる。

[0162] ステップ3-4では、ステップ3-2の試運転動作中に、ステップ2以降起動している発振検知機能26が発振検知していないかを確認する。発振検知した場合には、剛性設定機能231に発振検知信号が送出されるため、剛性指標を下げる動作は自動的に行われ、発振状態は回避される。この場合、ただちにステップ3-4-1へと移行し、発振検知時の剛性指標から、一定のマージンをとった低い剛性指標を最高剛性として探索を終了し、ステップ3-8へ移行する。

[0163] ステップ3-5は、ステップ3-3の結果、測定した振動に関する評価指標が、ステップ1で指定した振動検出レベルを越えていないかを判定する。発振検知機能26が働くのは、通常かなり大きな振動が生じた場合のため、これより低い振動レベルで剛性探索を打ち切るほうが、安心してサーボ調整

を継続できる。そのため、ステップ3-5で振動に関する評価指標が振動検出レベルを超えた場合には、ただちにステップ3-5-1へ移行し、現在の剛性指標の直前の値を最高剛性として探索を終了し、ステップ3-8へ移行する。

[0164] ステップ3-6は、ステップ3-2の試運転動作が、ステップ3-3の発振検知もステップ3-4の振動検出もなく終了した場合に、ステップ1で指定した最高剛性制限に、現在の剛性指標が達しているかを判定する。この最高剛性制限値は、実施の形態2では調整方針の機構（剛性）のみに依存しているが、使用しているモータ3の容量や、モータ駆動装置2の容量、これまでのステップ2の負荷特性測定機能241の測定結果や、適応フィルタ機能251の適応結果に基づくものであってもよい。

[0165] ステップ3-6で最高剛性制限に達していない場合は、ステップ3-6-1で現在の剛性指標に対応づけて、共振抑制部25の現在の設定を図示しない記憶領域に保存する。ステップ3-1で適応フィルタ機能251を起動していれば、共振抑制部25の設定は剛性毎に異なる場合がある。この記録は後述のステップ4で活用される。

[0166] ステップ3-6-2は、ステップ3-6-1の後に実行し、剛性設定機能231に1段階上の剛性指標を設定して、再びステップ3-2で試運転動作を実行する。剛性指標を順次上げていくことで、ステップ3-2からステップ3-6までのループは、有限回数でステップ3-4からステップ3-6のどれかの判定で終了する。

[0167] ステップ3-7は、ステップ3-6で最高剛性制限に達した場合に実行され、現在の剛性指標、すなわち最高剛性制限を最高剛性に設定して探索を終了、ステップ3-8へ移行する。

[0168] 最後に、ステップ3-8は、ステップ3終了時に実行し、ステップ3-1で適応フィルタ機能251を有効としていた場合に、サーボ調整部6より適応処理開始信号をオフにすることで、適応フィルタ機能251を無効化する。このときの共振抑制部25の設定は、通常最後の適応結果となる。しかし

、ステップ3-4で発振検知した場合や、ステップ3-5で振動検出した場合、またステップ4の実行に備えて剛性指標を下げた場合など、剛性指標が最高剛性とは異なる場合は、ステップ3-6-1で記憶した剛性指標に対応する共振抑制部設定に、共振抑制部25を設定しておく必要がある。

[0169] なお、ステップ3における各ステップは、特に順番を指定されたもの以外は、順番を入れ替えても良い。例えばステップ3-4とステップ3-5は入れ替えが可能である。

[0170] 図24A、図24Bおよび図24Cは、本実施の形態におけるサーボ調整のステップ3での動作パターン図である。

[0171] ここでは、ステップ3-6で最高剛性制限に達した場合を図24Aのcase1、ステップ3-4で発振検知した場合を図24Bのcase2、ステップ3-5で振動検出レベルを越えた場合を図24Cのcase3として、動作パターン図に示している。

[0172] 図24Aのcase1の場合は、ステップ2における剛性指標11から、ステップ2で決まる最高加速度パターンの試運転動作がステップ3-2で始まる。試行回数2回ごとに、ステップ3-4の発振検知、ステップ3-5の振動検出レベル超過も検出しないため、ステップ3-6で最高剛性制限に達するまで、ステップ3-6-2で剛性指標が1ずつあがっていく。この間、適応フィルタ機能251が有効となっており、共振抑制部25の第3ノッチフィルタや第4ノッチフィルタ設定が、剛性指標が上がるたびに变化する。この共振抑制部25の設定は、ステップ3-6-1で現在の剛性指標とセットで記憶されていく。最高剛性制限15で試行回数の試運転動作が完了したとき、ステップ3-6の判定がYESとなり、ステップ3-7で最高剛性を15に設定し、ステップ3が終了する。

[0173] 図24Bのcase2の場合は、case1の共振抑制部25設定の变化は記載していないが、同様に動作しているものとする。この場合は、ステップ3-6で最高剛性制限に達する前に、剛性指標14で2回目の動作を開始した時点で、ステップ3-4にて発振検知機能26が発振検知し発振検知信

号がオンしている。これを受けた剛性設定機能 2 3 1 との連携により、剛性指標は 8 に低下して発振を停止させたことを示している。この場合は、発振停止後にステップ 3 - 4 - 1 に移行し、最高剛性を発振検知時の剛性指標 1 4 から 2 段階マージンをとった剛性 1 2 に設定して、ステップ 3 が終了している。このとき、同時に剛性 1 2 に対応した共振抑制部 2 5 への設定として、第 3 ノッチフィルタに周波数 1 2 0 0 H z、幅 2、深さ 0 の設定を行うのもよい。

[0174] 図 2 4 C の c a s e 3 の場合も同様に、共振抑制部 2 5 設定の変化は記録している。この場合は、評価指標測定機能 2 7 で振動に関する評価指標を測定しており、ステップ 3 - 6 で最高剛性制限に達する前の剛性指標 1 4 の試運転動作が完了した時点で、ステップ 3 - 5 の振動に関する指標が振動検出レベルを越えたため、ステップ 3 - 5 - 1 で最高剛性を直前の剛性指標 1 3 に設定して、ステップ 3 を終了している。c a s e 2 と同様に、剛性指標 1 3 に対応した共振抑制部 2 5 設定も同時に行ってよい。

[0175] 以上のように、本実施の形態のサーボ調整方法のステップ 3 は、ステップ 2 の最高加速度パターンにて、ステップ 1 で指定した試行回数の試運転動作を行う。そして、本ステップ 3 は、ステップ 1 で指定した最高剛性制限に到達するまで剛性指標を上げ、剛性指標がステップ 1 で指定した最高剛性制限に達したときは、これを基準に最高剛性を決定する構成である。

[0176] また、本ステップ 3 は、試運転動作を開始する前に、ステップ 1 で指定した適応フィルタ機能の有効・無効設定を行い、最高剛性決定後に適応フィルタ機能を無効化する構成を含む。

[0177] また、本ステップ 3 は、剛性指標を上げる直前の共振抑制部の設定値を、現在の剛性設定と対応づけて記憶する構成を含む。

[0178] また、本ステップ 3 は、試運転動作中に発振検知した場合に、発振検知時の剛性指標を基準に最高剛性を決定する構成を含む。

[0179] また、本ステップ 3 は、試運転動作中に振動に関する評価指標が、ステップ 1 で指定した振動検出レベルを越えた場合に、直前の剛性指標を基準に最

高剛性を決定する構成を含む。

[0180] このように、本実施の形態4で、サーボ調整のステップ3にて、ステップ1と連携して最高剛性決定に必要な初期設定を行い、ステップ2と連携した試運転動作を行い、最高剛性の決定と、剛性指標に対応した共振抑制部の設定を記憶することができる。

[0181] (実施の形態5)

図25は実施の形態5におけるサーボ調整ステップ4の操作画面を示す図である。

[0182] 図25において、左半分は、指令選択ブロックで、ステップ3までと同じ試運転機能211による内部位置指令での動作と、外部位置指令に従った動作を選択するラジオボタンを備えている。

[0183] ここで、外部位置指令を選択した場合は、試運転機能211を無効化して、指令選択部21への指令選択信号を外部位置指令側に切替する。また内部位置指令を選択した場合は、現在の試運転機能を継続する。デフォルトで、ステップ2にて決定した最高加速度パターンの設定が、画面の移動量、最高速度、加減速時間に表示されるが、ステップ4ではユーザが装置に求める動作パターンにあわせて、試運転設定を変更することが可能である。

[0184] また、ステップ2で設定した動作範囲内での起動位置を指定するため、正負方向の移動ボタンでモータを動かすこともできる。

[0185] 右半分は、指令応答測定ブロックであり、選択した位置指令で指令応答測定を制御する。移動方向とステップ4のサーチパターン毎の試行回数を指定後、測定・一時停止ボタン（START）を押すことで、指令応答測定を開始する。試運転動作が終わるごとに、評価指標測定機能27で測定した評価指標である、位置決め整定時間、オーバーシュート量、振動レベル、INP変化回数が画面上にリアルタイムに表示される。

[0186] 指令応答測定が完了し測定結果に満足したら、右下の「次へ」ボタンを押すことで、ステップ5へ進むことができる。もしこの時点で結果に満足できないなら、再度開始ボタンを押して測定を行うか、左下の「戻る」ボタンを

押すことで、測定結果を破棄してステップ3に戻ることができる。

- [0187] 図26は、本実施の形態におけるサーボ調整のステップ4の手順を示すフローチャートである。
- [0188] ステップ4-1では、ステップ4-4で指令応答測定を開始する前に、ステップ3で指定した最高剛性を元に、複数の剛性指標と指令応答指標を組み合わせたサーチパターンを決定する。このサーチパターンについては図27A、図27Bおよび図27Cで詳述する。
- [0189] ステップ4-2では、ステップ4-4で指令応答測定を開始する前に、ステップ1で設定した負荷特性測定結果の負荷特性補償部24への反映の有無に従い、ステップ2にて負荷特性測定機能241で測定した負荷特性推定値を、負荷特性補償部24に適用する。特に、摩擦補償の設定については、ステップ2の最高加速度パターンで推定した結果を適用してもよいし、測定結果の平均や最大・最小値から計算、あるいはステップ4で選択した動作パターンに応じて決定してもよい。
- [0190] ステップ4-3では、ステップ4-4で指令応答測定を開始する前に、操作画面の指令選択ブロックを操作して指令再選択を行う。
- [0191] ステップ4-4で、操作画面の指令応答測定ブロックの測定・一時停止ボタン（START）を押すことで、指令応答測定を開始する。
- [0192] ステップ4-5では、ステップ4-7で実際に動作を行う前に、ステップ4-1で決定したサーチパターンに従って剛性指標と指令応答指標の組み合わせを変更する。そして、指令応答設定機能221で上記指令応答指標に従い指令応答設定部22を設定し、剛性設定機能231で上記剛性指標に従い位置速度制御部23を設定する。
- [0193] ステップ4-6では、ステップ4-7で実際に動作を行う前に、ステップ4-5で設定した剛性指標に対応する、ステップ3で記憶した共振抑制部25の反映を行う。なお、ステップ4-5の剛性指標設定と、本ステップの共振抑制部25設定とは、できるだけ同時に変更するのが望ましい。本フローチャート上は別のステップに分かれているが、モータ駆動装置2側で図示し

ない同期機能で、実際の制御への反映タイミングをそろえてもよい。

- [0194] ステップ4-7では、ステップ4-3で選択した指令に従い、モータを試行回数だけ動作させる。
- [0195] ステップ4-8では、ステップ4-7のモータ動作から、評価指標測定機能27により、各動作での評価指標を測定する。ここでの評価指標は、位置決め精度に関する整定時間、オーバーシュート量、INP変化回数、振動レベルなどである。記憶容量に制限がなければ、できるだけ多くの評価指標を収集するのがよい。この測定結果は、サーチパターンと対応づけて、図示しない記憶領域に記憶される。
- [0196] ステップ4-9では、全てのサーチパターンによる全探索が完了したかを判定する。まだ全探索が完了していなければ、ステップ4-5に戻り、再び剛性指標・指令応答指標の組み合わせを変更する。全探索が完了したならステップ4を終了する。
- [0197] なお、ステップ4における各ステップは、特に順番を指定されたもの以外は、順番を入れ替えても良い。例えばステップ4-1からステップ4-3は、ステップ4-4の指令応答測定開始前ならどの順番でもよい。
- [0198] 図27Aは、本実施の形態におけるステップ4-1のサーチパターン表を示す図である。
- [0199] ステップ3にて最高剛性が決定された場合に、ステップ4-1ではサーチパターン表を参照して6パターンの指令応答指標No. 1からNo. 6を選びだす。また、剛性指標については、最高剛性を含み、最高剛性から5段階下の剛性指標までの6通りを選択する。これらを組み合わせた36通りをサーチパターンとして、ステップ4-5で順番に変更しながら指令応答測定を行っていく。当然、このサーチパターンの組み合わせ数は、測定精度と測定時間との兼ね合いにより、必要に応じて増減してもよい。
- [0200] この組み合わせは、図27Bおよび図27Cのように、剛性指標を縦軸、指令応答指標を横軸にとった場合、碁盤目に並ぶように配置される。剛性指標と指令応答指標の組み合わせ方はこの例にとどまらず、剛性ごとにサーチ

パターン表を参照して、対応する指令応答指標 No. 1 から No. 6 を選択することもできる。この場合、基盤目は平行四辺形に歪んだ形になる。

[0201] 図 28 A、図 28 B および図 28 C は、本実施の形態における指令応答測定時の動作図である。

[0202] ステップ 4-1 で図 27 A の通りにサーチパターンを決定した場合、まずステップ 4-5 にて、剛性指標を一番低い値（最高剛性 15 の 5 段下）の 10 に設定し、指令応答指標 No. 1 の 22 を選択する。このとき、ステップ 4-6 で同時に剛性指標 10 に対応した共振抑制部 25 設定を反映する。（この例では第 3 ノッチ・第 4 ノッチ共に無効）。

[0203] この状態で、ステップ 4-7 において試行回数（ここでは 2 回）分のモータ動作を行う。一動作ごとに、ステップ 4-8 で評価指標測定機能 27 が評価指標を出力するため、最初のデータは剛性指標 = 10 / 指令応答指標 = 22 のサーチパターンと組み合わせて記憶する。次に、指令応答指標 No. 2 の 9 を選択し、モータ動作を行い、評価指標測定結果を記憶する。以下、指令応答指標 No. 6 まで同様となる。次に、剛性指標を 11 に設定し、指令応答指標は No. 1 の 22 にリセットする。再び、共振抑制部 25 設定の反映を行い、指令応答測定を進めていく。最高剛性 15 と指令応答指標 No. 6 の 4 との組み合わせに対する評価指標測定結果が得られたら、ステップ 4 の全探索が完了したことになる。

[0204] 以上のように、本実施の形態のサーボ調整方法のステップ 4 は、ステップ 3 で指定した最高剛性から、複数の剛性指標と複数の指令応答指標を組み合わせたサーチパターンを決定する。さらに、本ステップ 4 は、指令応答設定機能と剛性設定機能を用いて、指令応答指標と剛性指標を順番に変えながら、ステップ 2 の最高加速度パターンでステップ 1 設定による試行回数の試運転機能でモータを動作させる。そして、本ステップ 4 は、サーチパターンのすべての組み合わせに対して評価指標を測定し記憶する構成である。

[0205] また、本ステップ 4 は、剛性指標を変更するとき、ステップ 3 で記憶した剛性指標毎の共振抑制部設定を共振抑制部に反映させる構成を含む。

[0206] また、本ステップ4は、ステップ2の最高加速度パターンでステップ1設定による試行回数の試運転機能でモータを動作させる代わりに、指令再選択ステップを持つ構成を含む。ここで、この指令再選択ステップは、試運転機能の動作パターンを変更する、あるいは外部位置指令による動作を選択する構成である。

[0207] また、本ステップ4は、評価指標として少なくとも整定時間、オーバーシュート量、振動レベル、位置決め完了出力信号変化回数を測定する構成を含む。

[0208] また、本ステップ4は、ステップ1で摩擦補償ありを選択したときに、負荷特性補償機能の摩擦補償を有効とする構成を含む。

[0209] このように、本実施の形態5で、サーボ調整のステップ4にて、ステップ1やステップ2と連携して指令応答測定に必要な初期設定を行い、ステップ3の結果よりサーチパターンを決定、選択した指令動作での評価指標測定結果を得ることができる。

[0210] (実施の形態6)

図29は、実施の形態6におけるサーボ調整のステップ5の操作画面を示す図である。

[0211] 図29において、左半分は、推奨設定選択ブロックで、推奨条件をコンボボックスで選択できる。これは「整定時間優先」「オーバーシュート無し」など特定の評価指標を最適とするものや、「オーバーシュート指定」「整定時間指定」のように目標値を指定して最も近い指標を選ぶもの、「高剛性設定」のように剛性指標に一定の制限を加えた条件などがある。

[0212] 推奨条件を選択すると、ステップ4で測定した評価指標測定結果から、推奨条件に対応した制約条件や並び替え条件のもとで、最も優先順位の高い剛性指標と指令応答指標の組み合わせが選択され、同時にステップ4での評価指標測定結果も表示される。

[0213] 微調整ボタンを押すと、図32で詳述する別画面が開き、推奨結果からさらに微調整を行うことが可能となる。

- [0214] 右半分は、テスト運転ブロックで、テスト開始（START）ボタンを押すことで、ステップ4で選択した指令に従い、モータが試行回数だけ動作する。外部位置指令による動作の場合は、評価指標測定機能27のみが起動し、試行回数分だけ測定を行う。測定結果はリアルタイムに右下のテスト結果に表示され、左下のステップ4での測定結果との比較や、微調整による評価指標の変化を確認することができる。
- [0215] 最終設定が完了しテスト結果に満足したら、右下の「次へ」ボタンを押すことで、サーボ調整ステップを終了することができる。このとき、最終調整結果や、これまでのすべてのステップにおける測定結果を、モータ駆動装置2あるいはサーボ調整部6に保存するのもよい。もしこの時点で結果に満足できないなら、再度推奨条件を選択して別の最終結果を得るか、左下の「戻る」ボタンを押すことで、推奨結果を破棄してステップ4に戻ることができる。
- [0216] 図30は、本実施の形態におけるサーボ調整のステップ5の手順を示すフローチャートである。
- [0217] ステップ5-1では、まず、操作画面の推奨設定選択ブロックより推奨条件を選択する。推奨条件の詳細については図31で詳述する。推奨条件は上記のようにコンボボックスから選択するのもよいが、評価指標をグラフ表示して図的に選択するのもよい。また、サーチパターンの指令応答指標と剛性指標との組み合わせを直接指定してもよい。要はサーチパターンのなかから1つ以上の候補を選出する方法であれば、どのような方法も許容できる。
- [0218] ステップ5-2では、ステップ4の評価指標測定結果より、ステップ5-1で選択した推奨条件に従い、最も優先順位の高いサーチパターンの指令応答指標と剛性指標とを、最終調整結果として選出する。推奨条件が並べ替え条件を含むなら、優先順位の2番目以降の候補について表示するのもよい。
- [0219] ステップ5-3では、ステップ5-2で選出した最終調整結果に対して、モータ制御の基本機能のパラメータ微調整を行う。操作画面の微調整ボタンを押すことで、図32に詳述する微調整画面が起動する。

- [0220] ステップ5-4では、操作画面のテスト運転ブロックで、テスト開始（START）ボタンを押すことで、ステップ4で選択した指令でのモータ動作を試行回数行う。
- [0221] ステップ5-5では、ステップ5-4のモータ動作1回ごとに、評価指標測定機能27で再測定した評価指標を表示する。ステップ4と同じ、整定時間、オーバーシュート量、振動レベル、INP割れ回数を表示すると変化が分かりやすくてよい。
- [0222] ステップ5-6で、以上の最終調整結果で制御目標が達成されたかを判定し、目標が達成できていないならステップ5-1の推奨条件の選択に戻り、最終調整結果の選定とテスト動作を繰り返す。
- [0223] ステップ5-7は、ステップ5-6で制御目標が達成できた場合に、モータ駆動装置2のすべての自動調整機能を無効化して、ステップ5を終了する。特に、常駐型の機能である負荷特性測定機能241、適応フィルタ機能251、発振検知機能26を無効化しておくことは、サーボ調整後の異常動作を回避するために非常に重要である。起動型の機能である試運転機能211は、無効化のうえ外部位置指令を受け付ける状態に設定しておく。指令応答設定機能221や剛性設定機能231は、指令応答指標や剛性指標が、実際の指令応答設定部22や位置速度制御部23に反映されないよう反映開始信号をオフにしておく。
- [0224] なお、ステップ5における各ステップは、特に順番を指定されたもの以外は、順番を入れ替えても良い。例えばステップ5-1からステップ5-3は、ステップ5-4でモータ駆動する前であればどのような順番で何回繰り返してもよい。
- [0225] 図31は、本実施の形態におけるステップ5-1の推奨条件表を示す図である。
- [0226] 推奨条件は、最左列に記されている「整定時間優先」「オーバーシュート指定」「整定時間指定」「高剛性設定」がある。各推奨条件について、この例では2つの制約条件または並び替え条件が定義されている。

[0227] 例えば、推奨条件の「整定時間優先」は、サーチパターン毎の試行回数分の複数の評価指標のなかから、指標 1 列に記された試行回数分の「I N P 割れ回数」から、処理 1 に記された「最大」の値を算出、条件 1 に記された「最小」の値を持つ、サーチパターンの指令応答指標と剛性指標との組み合わせを選出する。このように、制約値や制約条件の列に記載の無い条件を、ここでは並べ替え条件と呼び、値の大小で優先順位付けを行う。指標 1 の優先順位付けを行った結果、同順のものが複数表れた場合は、それらに限定して指標 2 の判定を行う。この場合は、指標 2 列に記された試行回数分の「整定時間」から、処理 2 に記された「平均」の値を算出、条件 2 に記された「最小」の値を持つ、サーチパターンの指令応答指標と剛性指標の組み合わせを選出する。以降、指標 3、指標 4、・・・と定義ある限り選出は続く。定義済みの条件で優先順位が決まらない場合に備えて、例えば「指令応答指標が最小」および「剛性指標が最小」の組み合わせなどで、必ず一意に優先順位が決まる条件を定義しておくのもよい。

[0228] また、推奨条件の「オーバーシュート指定」については、サーチパターン毎の試行回数分の複数の評価指標の中から、指標 1 列に記された試行回数分の「オーバーシュート量」から、処理 1 に記された「最大」の値を算出する。ところが、条件 1 に記載がないため、制約値 1 と制約条件 1 に記された「目標値」「以下」の値を持つサーチパターンを選出する。制約値や制約条件の列に記載がある条件は、ここでは制約条件と呼び、条件を満たさないサーチパターンの指令応答指標と剛性指標の組み合わせは、最終候補から除外される。

[0229] 制約値の「目標値」は、ステップ 5 の操作画面上で設定変更可能としておくと、カスタマイズ可能で自由度が増す。また、デフォルトで選択される推奨条件に、制約条件を含まないようにすることで、最低でも 1 つは最終調整結果が選出されることを保証できる。

[0230] 図 3 2 は、本実施の形態におけるステップ 5 - 3 の微調整画面を示す図である。

- [0231] モータ基本機能に関するパラメータが、微調整画面上に列挙されているが、整定時間の短縮やオーバーシュート量の低減といった、パラメータ変更により期待される効果と、調整方向についてのガイダンスを矢印で加えている。また、初期値として、ステップ5-1で選択した推奨条件による最終調整結果の値を表示している。先端振動の抑制といった効果を求める場合には、指令応答設定部22の制振制御に関するパラメータとともに、振動周波数の推測値を別途表示するのもよい。
- [0232] なお、微調整画面は、最初から表示されていてもよいし、タブで切り替えたりして、テスト運転と交互に切り替えできるようにするのもよい。パラメータ名称ではなく、整定時間短縮やオーバーシュート量低減など、調整目的に応じた名称で調整するのもよい。
- [0233] 以上のように、本実施の形態のサーボ調整方法のステップ5は、推奨条件を選択し、ステップ4の評価指標測定結果から、推奨条件が指定する優先順位が最も高い評価指標を持つ剛性指標と指令応答指標の組み合わせを、最終調整結果として選出する構成である。
- [0234] また、本ステップ5は、推奨条件が、必ず満たす必要のある制約条件と、値の大小で並び替えができる並び替え条件からなる構成を含む。
- [0235] また、本ステップ5は、推奨条件を選択後、最終調整結果の指令応答指標と剛性指標を、指令応答設定機能と剛性設定機能を用いて設定する。そして、本ステップ5は、ステップ4と同じ方法および動作パターンでモータを動作させて、評価指標を再測定できる構成を含む。
- [0236] また、本ステップ5は、再測定した評価指標が制御目標を達成するまで、推奨条件の選択から評価指標の再測定までを、繰り返し行う構成を含む。
- [0237] また、本ステップ5は、推奨条件から最終調整結果を選出後、基本機能のパラメータを微調整する機能を備える構成を含む。
- [0238] また、本ステップ5は、最終調整結果を出力後、すべての自動調整機能を無効とする構成を含む。
- [0239] このように、本実施の形態6で、サーボ調整のステップ5にて、ステップ

4の測定結果から推奨条件に従い最終調整結果を得ることができる。また推奨条件を変更し、基本機能のパラメータ微調整を行って、再びステップ4と同じ指令動作で駆動することで、さらに最適な調整結果を得ることができる。

[0240] 以上、本発明のモータ駆動装置のサーボ調整方法は、上述した5つのステップのいずれかを持つ構成である。本発明は、このような構成により、サーボ調整に詳細な知識を持たない作業員でも、適切な調整結果を得ることができる手段を提供するものである。

[0241] なお、本発明で述べたサーボ調整方法は、サーボ調整部6での実装として説明したが、これはモータ駆動装置2の備える図示しない通信インターフェースを通じて、対応した通信手段を備えたパソコンやコンソールなど、別の装置に搭載されていてもよい。ここで、通信インターフェースとしては、RS232、RS485、USB通信、Ethernet（登録商標）接続、Bluetooth（登録商標）通信や無線LANなどの無線接続手段などがある。また、サーボ調整部6のすべての機能をモータ駆動装置2に内蔵しても、なんら発明の効果を妨げるものではない。

産業上の利用可能性

[0242] 本発明のモータ駆動装置のサーボ調整方法は、サーボ調整に詳細な知識を持たない作業員でも、5つのステップを順番に実行するだけで、適切な調整結果を得ることができる。このため、モータを含む制御対象と、この制御対象を制御する制御器とを含むサーボモータ制御系を調整する方法として有用である。

符号の説明

[0243] 1 上位装置
2, 92 モータ駆動装置
3 モータ
4 エンコーダ
5 負荷

- 6 サーボ調整部
 - 2 1 指令選択部
 - 2 2 指令応答設定部
 - 2 3 位置速度制御部
 - 2 4 負荷特性補償部
 - 2 5 共振抑制部
 - 2 6 発振検知機能
 - 2 7 評価指標測定機能
 - 2 1 1 試運転機能
 - 2 2 1 指令応答設定機能
 - 2 3 1 剛性設定機能
 - 2 4 1 負荷特性測定機能
 - 2 5 1 適応フィルタ機能

請求の範囲

[請求項1]

上位装置から入力される外部位置指令と内部位置指令とを入力し、どちらかを選択後位置指令として出力する指令選択部と、
前記選択後位置指令を入力し、特定の周波数帯域を除去するフィルタ処理を行い、フィルタ後位置指令を出力する指令応答設定部と、
前記フィルタ後位置指令とエンコーダからのモータ位置情報とを入力とし、両者の偏差が0となるようなトルク指令を生成する位置速度制御部と、
前記トルク指令を入力とし、モータと負荷とのイナーシャ推定値を乗じたのち、前記負荷の摩擦トルク推定値を加算して、補償後トルク指令を生成する負荷特性補償部と、
前記補償後トルク指令から特定の周波数帯域を除去するフィルタ処理を行い、フィルタ後トルク指令を出力する共振抑制部との、5つのモータ制御の基本機能のいずれかを備えたモータ駆動装置において、
サーボ調整部より指定された動作パターンに従い、前記内部位置指令を自動生成する試運転機能と、
前記サーボ調整部より指定される指令応答指標に従い、前記指令応答設定部のフィルタ特性を自動設定する指令応答設定機能と、
前記サーボ調整部より指定される剛性指標や、発振検知機能から通知される発振検知信号に従い、前記位置速度制御部のパラメータを自動設定する剛性設定機能と、
前記サーボ調整部より負荷特性測定の有効・無効や、負荷特性推定結果の反映の有効・無効を個別に設定でき、前記共振抑制部のフィルタ後トルク指令と前記エンコーダからのモータ位置情報とから、負荷特性を自動測定し、前記負荷特性補償部を測定結果に応じて自動設定する負荷特性測定機能と、
前記サーボ調整部より適応動作の有効・無効や適応フィルタモードを設定でき、有効な場合は適応フィルタモードに従い、前記共振抑制部

のフィルタ特性を自動設定する適応フィルタ機能と、
前記サーボ調整部より発振検知の有効・無効や、発振検知レベルを設定でき、エンコーダからの位置情報から発振状態を自動測定し、前記剛性設定機能と連動して発振を自動抑制する発振検知機能と、
前記サーボ調整部から位置決め完了範囲を設定でき、前記フィルタ後位置指令、前記モータ位置情報、および前記フィルタ後トルク指令の少なくともいずれかから各種評価指標を自動測定する評価指標測定機能との、7つの自動調整機能のいずれかを備え、
初期設定を行うステップ1と、
前記負荷特性測定と指令パターン決定とを行うステップ2と、
剛性指標最大値を決定し、剛性指標に対応した前記共振抑制部の設定を記憶するステップ3と、
前記剛性指標および指令応答指標を組み合わせ、指定動作時の評価指標を記憶するステップ4と、
前記評価指標から探索条件に従い最終調整結果を得るステップ5との、5つのステップのいずれかを持つことを特徴とする、モータ駆動装置のサーボ調整方法。

[請求項2]

前記ステップ1が、
前記試運転機能の試行回数と、
前記指令応答設定機能の初期指令応答指標と、
前記剛性設定機能の初期剛性指標と最高剛性制限と、
前記負荷特性測定機能の最小二乗推定有効・無効と負荷特性補償部反映の有効・無効と、
前記適応フィルタ機能の有効・無効と動作モード設定と、
前記発振検知機能の有効・無効と発振検知レベルと、
前記評価指標測定機能の位置決め完了範囲、最大トルク制限、および振動検知レベルと、のいずれかの初期条件を設定することを特徴とする、請求項1に記載のモータ駆動装置のサーボ調整方法。

- [請求項3] 前記ステップ1が、
探索方法、制御目的、負荷変動、応答性・安定性の指標、および制御対象となる負荷の機構・剛性の少なくともいずれかの定性的な調整指針と、位置決め完了範囲、発振検知レベル、最大トルク制限の少なくともいずれかの定量的な測定閾値と、を入力して、
これらの組み合わせから前記初期条件を出力することを特徴とする、請求項2に記載のモータ駆動装置のサーボ調整方法。
- [請求項4] 前記ステップ2が、
前記ステップ1で指定した前記負荷特性測定機能の有効・無効設定に従い前記負荷特性測定機能を動作させ、
設定した動作範囲内で前記試運転機能にて前記モータを前記ステップ1で指定した試行回数動作させ、
動作加速度を変えながら測定した負荷特性測定結果から、前記負荷特性補償部を設定し、
最後に、前記負荷特性測定機能を無効化することを特徴とする、請求項1に記載のモータ駆動装置のサーボ調整方法。
- [請求項5] 前記ステップ2が、前記試運転機能を有効化する前に、前記ステップ1で指定した初期剛性指標を前記剛性設定機能に、初期指令応答指標を前記指令応答設定機能に設定することを特徴とする、請求項4に記載のモータ駆動装置のサーボ調整方法。
- [請求項6] 前記ステップ2が、前記試運転機能を有効化する前に、前記適応フィルタ機能と前記共振抑制部のノッチフィルタとを無条件に無効とすることを特徴とする、請求項4に記載のモータ駆動装置のサーボ調整方法。
- [請求項7] 前記ステップ2が、
前記試運転機能を有効化する前に、前記ステップ1で指定した発振検知レベルで前記発振検知機能を有効とし、
試運転動作中に発振検知した場合は、これを前記剛性設定機能に通知

し、剛性指標を下げ発振を抑制した上で、もう一度最初から負荷特性測定をやり直すことを特徴とする、請求項4に記載のモータ駆動装置のサーボ調整方法。

[請求項8]

前記ステップ2が、

前記負荷特性測定機能が適用可能な最小加速度から試運転動作を開始し、

加速度を上げながら評価指標を測定し、

トルク指令に関する評価指標が前記ステップ1で指定した最大トルク制限に達した時点の負荷特性測定結果を、前記ステップ3以降の前記負荷特性補償部に設定することを特徴とする、請求項4に記載のモータ駆動装置のサーボ調整方法。

[請求項9]

前記ステップ2が、

前記負荷特性測定機能が適用可能な最小加速度から試運転動作を開始し、

加速度を上げながら評価指標を測定し、

トルク指令に関する評価指標が前記ステップ1で指定した最大トルク制限に達した時点の最高加速度パターンを、前記ステップ3の試運転機能の動作パターンとすることを特徴とする、請求項4に記載のモータ駆動装置のサーボ調整方法。

[請求項10]

前記ステップ3が、

前記ステップ2の最高加速度パターンにて、前記ステップ1で指定した試行回数の試運転動作を行い、

前記ステップ1で指定した最高剛性制限に到達するまで剛性指標を上げ、

前記剛性指標が前記ステップ1で指定した最高剛性制限に達したときは、これを基準に最高剛性を決定することを特徴とする、請求項1に記載のモータ駆動装置のサーボ調整方法。

[請求項11]

前記ステップ3が、

前記試運転動作を開始する前に、前記ステップ1で指定した前記適応フィルタ機能の有効・無効設定を行い、

最高剛性決定後に前記適応フィルタ機能は無効化することを特徴とする、請求項10に記載のモータ駆動装置のサーボ調整方法。

[請求項12] 前記ステップ3が、剛性指標を上げる直前の前記共振抑制部の設定値を、現在の剛性設定と対応づけて記憶することを特徴とする、請求項10に記載のモータ駆動装置のサーボ調整方法。

[請求項13] 前記ステップ3が、試運転動作中に発振検知した場合に、発振検知時の剛性指標を基準に最高剛性を決定することを特徴とする、請求項10に記載のモータ駆動装置のサーボ調整方法。

[請求項14] 前記ステップ3が、試運転動作中に振動に関する評価指標が前記ステップ1で指定した振動検知レベルを越えた場合に、直前の剛性指標を基準に最高剛性を決定することを特徴とする、請求項10に記載のモータ駆動装置のサーボ調整方法。

[請求項15] 前記ステップ4が、
前記ステップ3で指定した最高剛性から、複数の剛性指標と複数の指令応答指標を組み合わせたサーチパターンを決定し、
前記指令応答設定機能と前記剛性設定機能とを用いて、前記指令応答指標と前記剛性指標とを順番に変えながら、前記ステップ2の最高加速度パターンで前記ステップ1設定による試行回数の前記試運転機能で前記モータを動作させ、
サーチパターンのすべての組み合わせに対して評価指標を測定し記憶することを特徴とする、請求項1に記載のモータ駆動装置のサーボ調整方法。

[請求項16] 前記ステップ4が、前記剛性指標を変更するとき、前記ステップ3で記憶した剛性指標毎の共振抑制部設定を前記共振抑制部に反映させることを特徴とする、請求項15に記載のモータ駆動装置のサーボ調整方法。

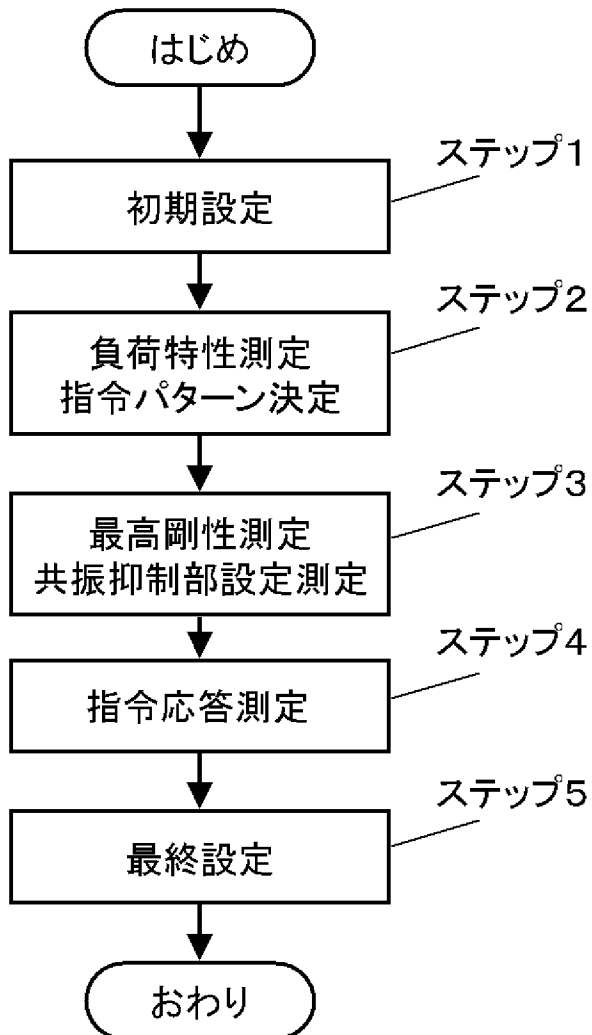
- [請求項17] 前記ステップ4が、前記ステップ2の最高加速度パターンで前記ステップ1設定による試行回数の前記試運転機能で前記モータを動作させる代わりに、前記試運転機能の動作パターンを変更する、あるいは外部位置指令による動作を選択する、指令再選択ステップを持つことを特徴とする、請求項15に記載のモータ駆動装置のサーボ調整方法。
- [請求項18] 前記ステップ4が、前記評価指標として少なくとも整定時間、オーバーシュート量、振動レベル、位置決め完了出力信号変化回数を測定することを特徴とする、請求項15に記載のモータ駆動装置のサーボ調整方法。
- [請求項19] 前記ステップ4が、前記ステップ1で摩擦補償ありを選択したときに、前記負荷特性補償機能の摩擦補償を有効とすることを特徴とする、請求項15に記載のモータ駆動装置のサーボ調整方法。
- [請求項20] 前記ステップ5が、推奨条件を選択し、前記ステップ4の評価指標測定結果から、推奨条件が指定する優先順位が最も高い評価指標を持つ剛性指標と指令応答指標との組み合わせを、最終調整結果として選出することを特徴とする、請求項1に記載のモータ駆動装置のサーボ調整方法。
- [請求項21] 前記ステップ5が、前記推奨条件として、必ず満たす必要のある制約条件と、値の大小で並び替えができる並び替え条件とからなることを特徴とする、請求項20に記載のモータ駆動装置のサーボ調整方法。
- [請求項22] 前記ステップ5が、
前記推奨条件を選択後、最終調整結果の指令応答指標と剛性指標を、前記指令応答設定機能と前記剛性設定機能とを用いて設定し、
前記ステップ4と同じ方法および動作パターンで前記モータを動作させて、評価指標を再測定できることを特徴とする、請求項20に記載のモータ駆動装置のサーボ調整方法。
- [請求項23] 前記ステップ5が、再測定した評価指標が制御目標を達成するまで、前記推奨条件の選択から評価指標の再測定までを、繰り返し行うこと

を特徴とする、請求項20に記載のモータ駆動装置のサーボ調整方法。
。

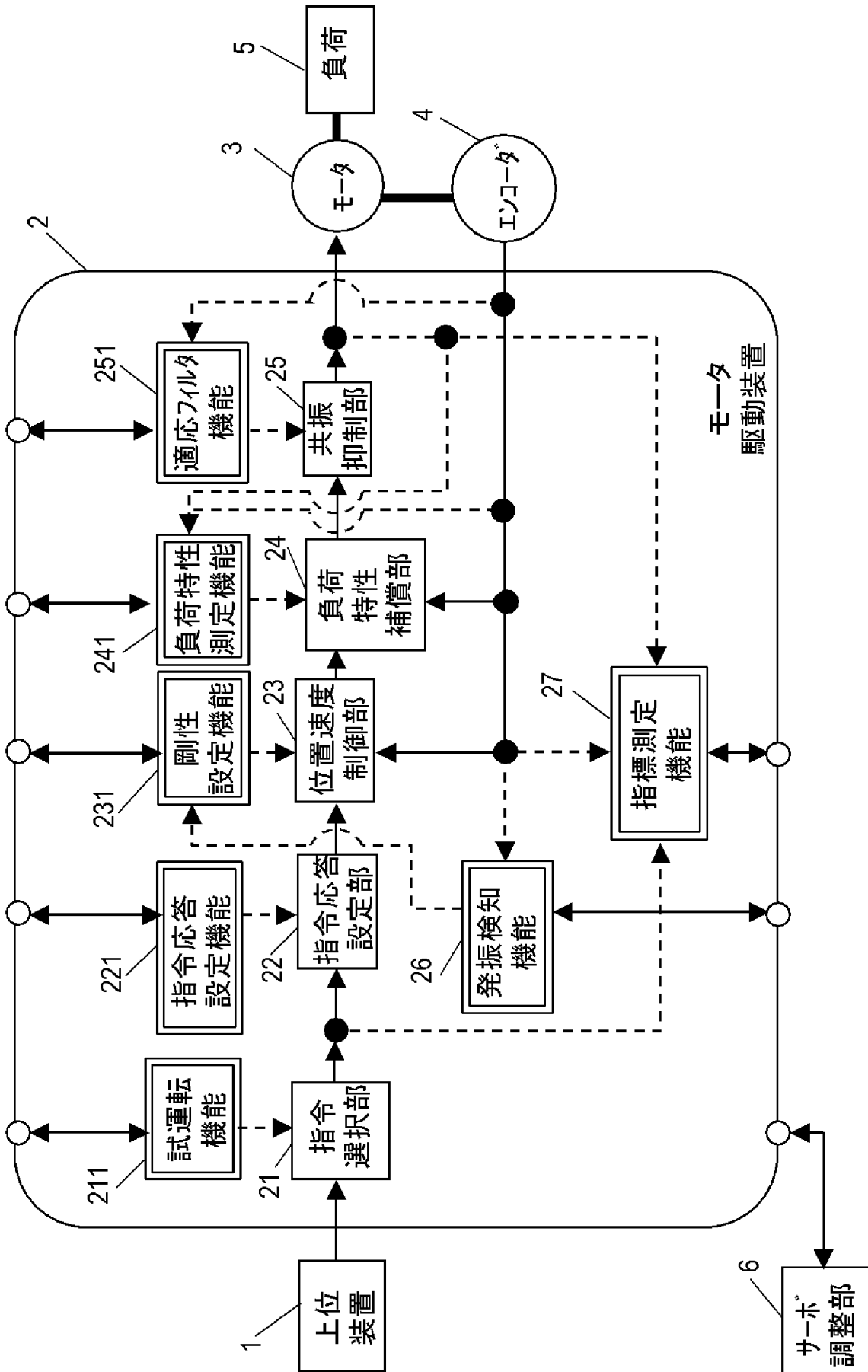
[請求項24] 前記ステップ5が、前記推奨条件から最終調整結果を選出後、基本機能のパラメータを微調整する機能を備えることを特徴とする、請求項20に記載のモータ駆動装置のサーボ調整方法。

[請求項25] 前記ステップ5が、制御目標を達成する最終調整結果を出力後、すべての前記自動調整機能を無効とすることを特徴とする、請求項20に記載のモータ駆動装置のサーボ調整方法。

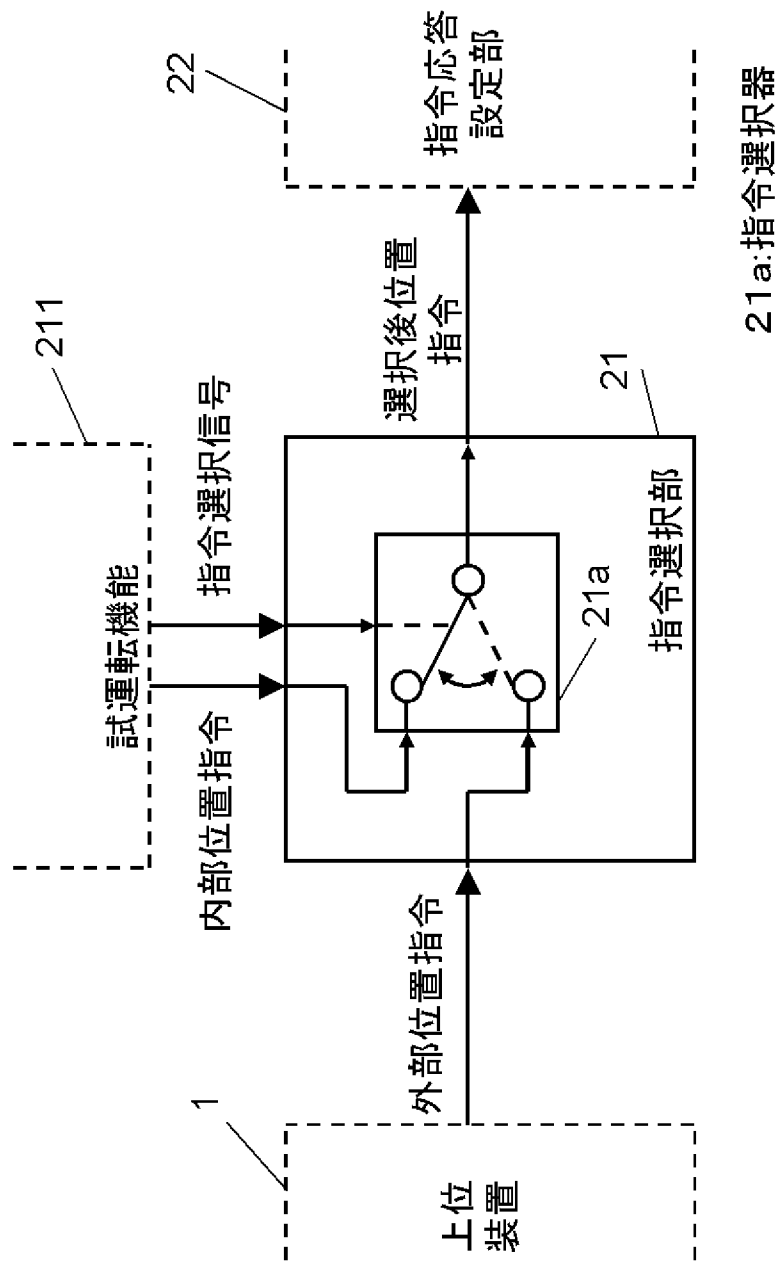
[図1]



[図2]

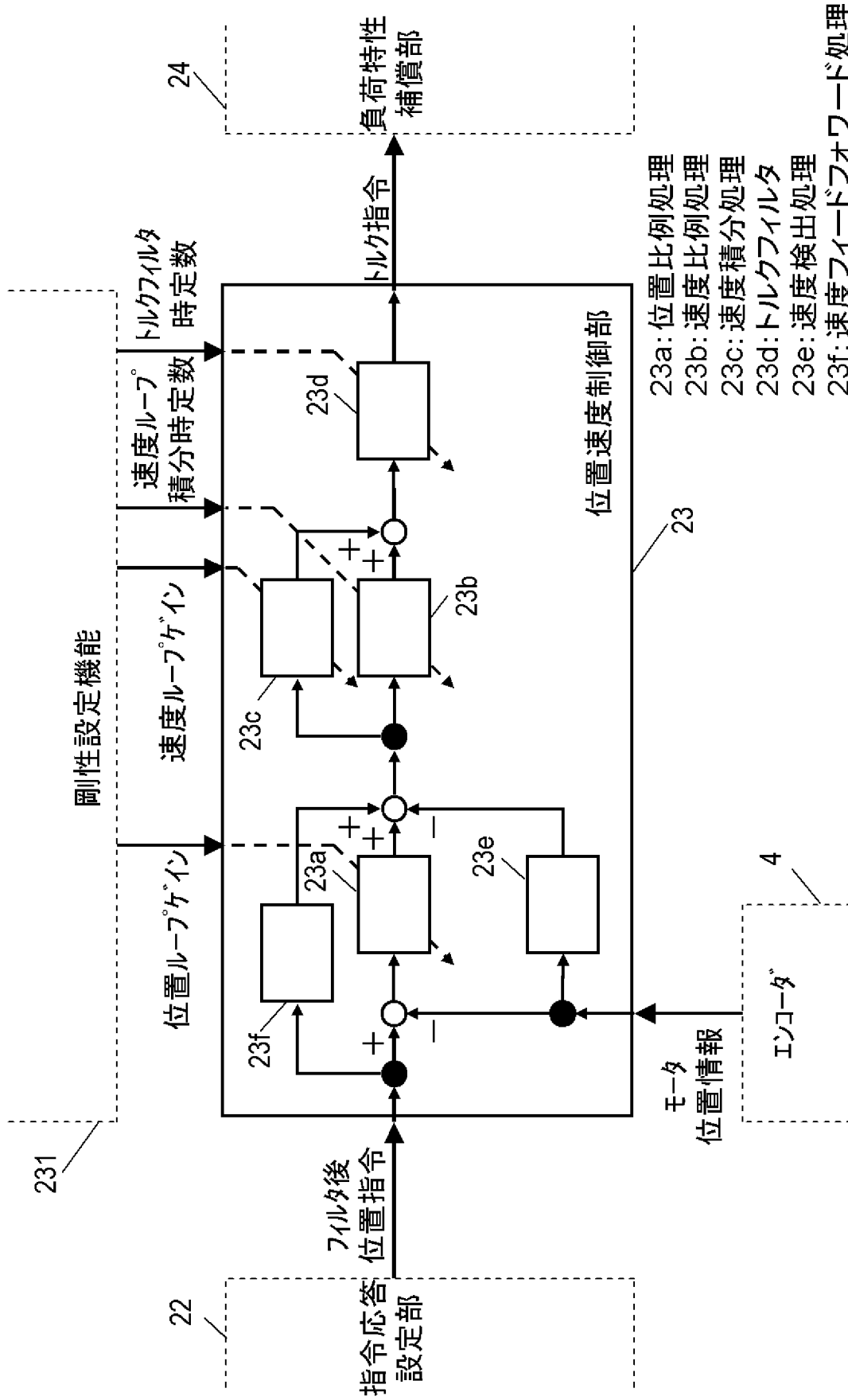


[図3]

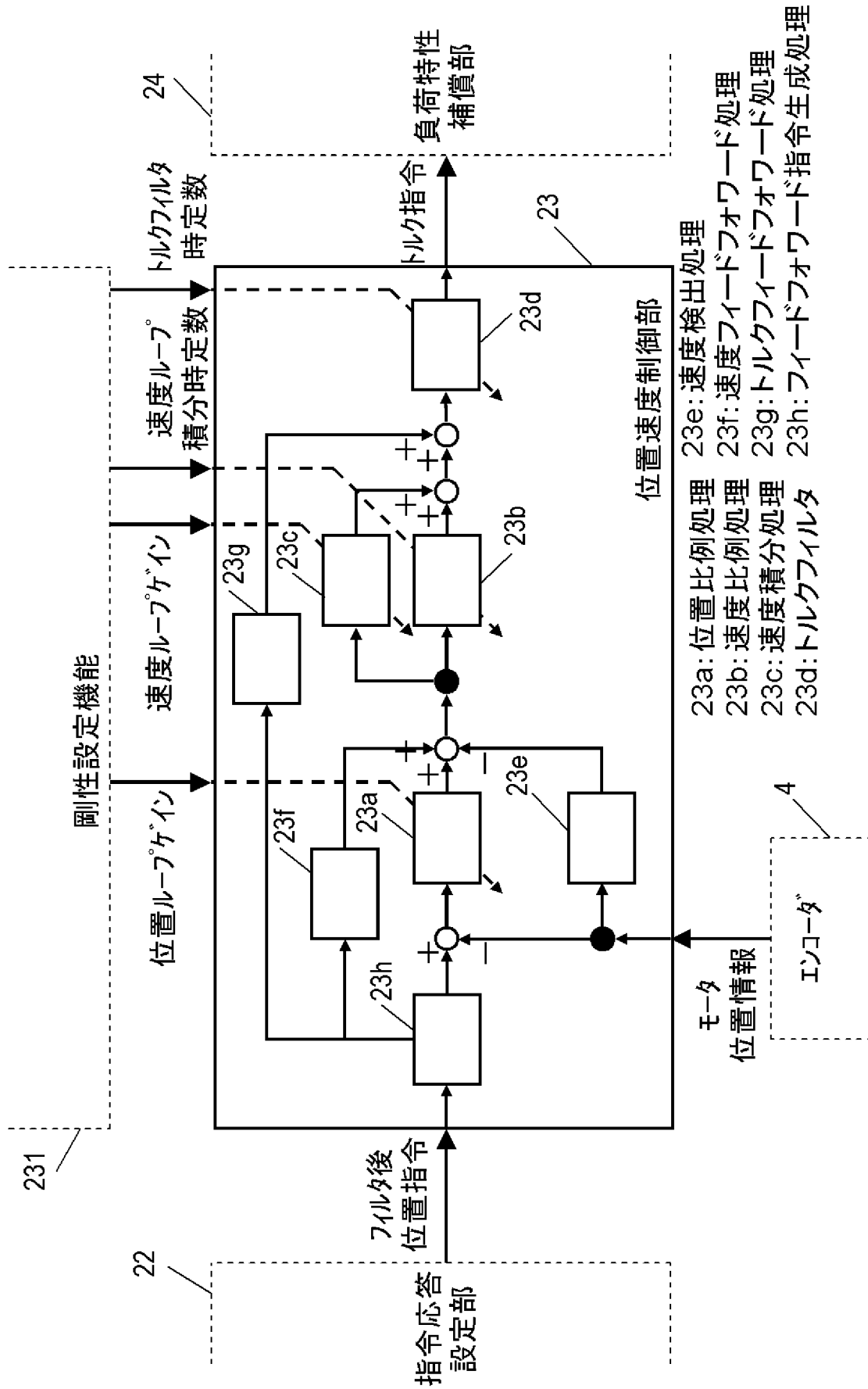


21a: 指令選択器

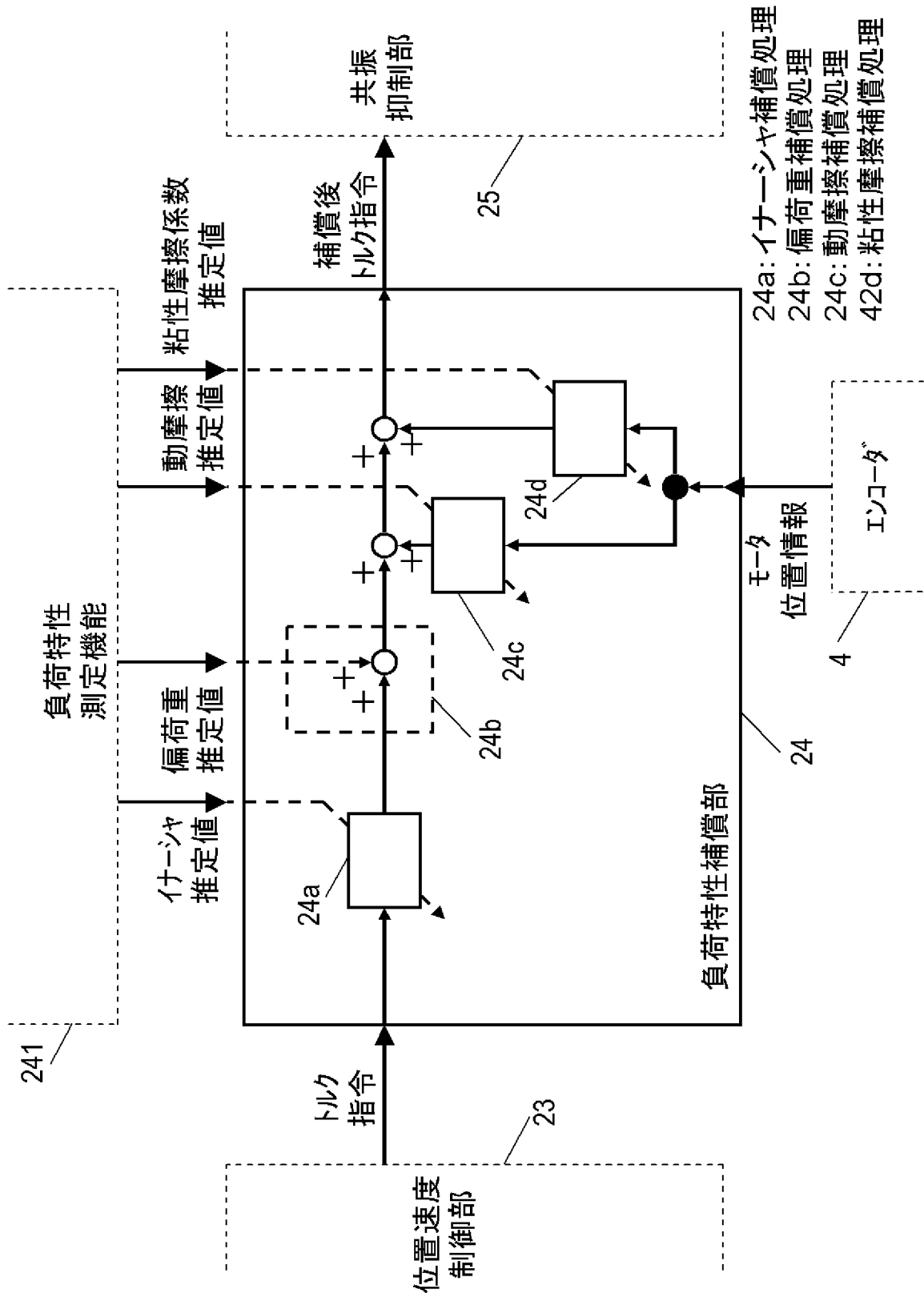
[図5]



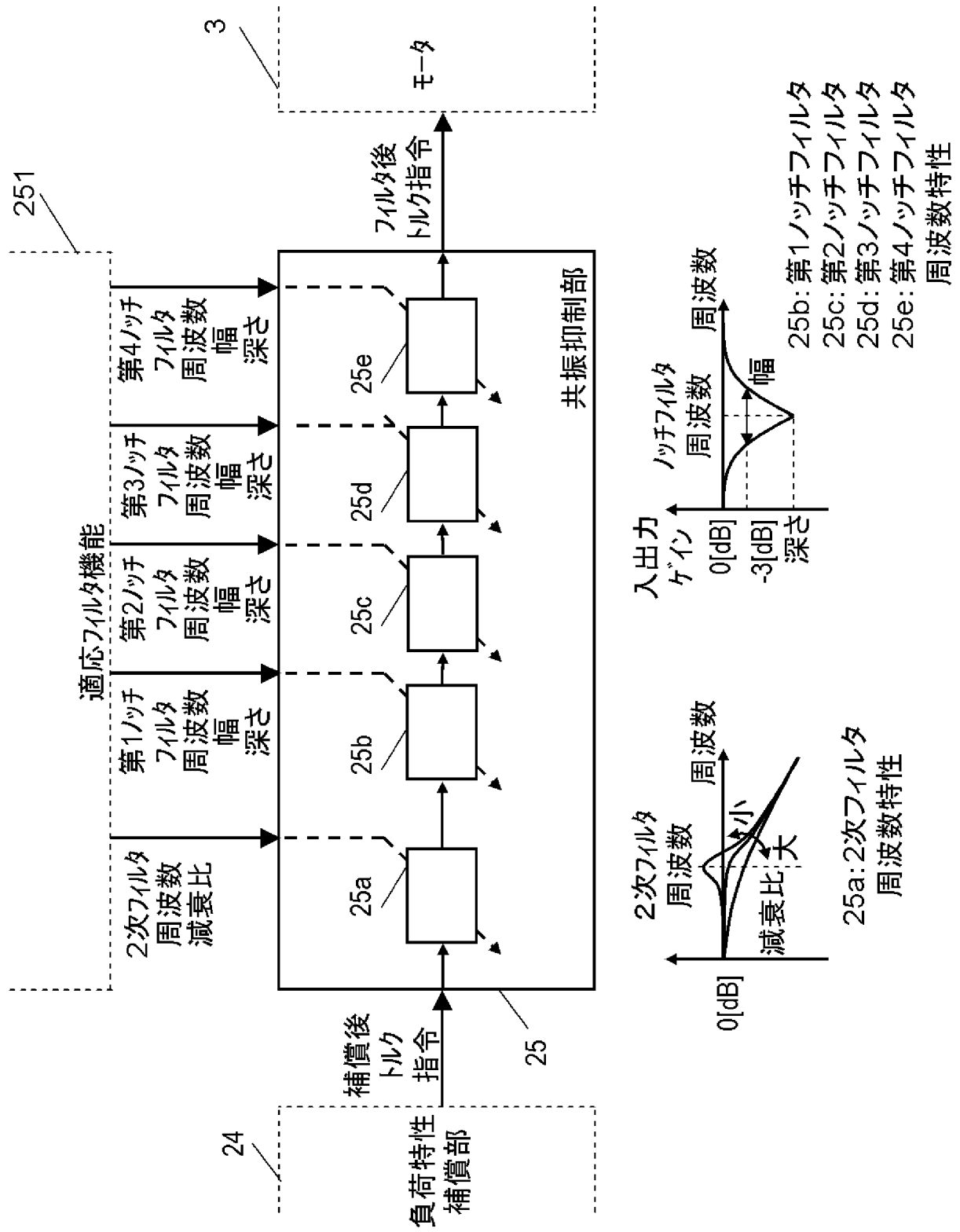
[図6]



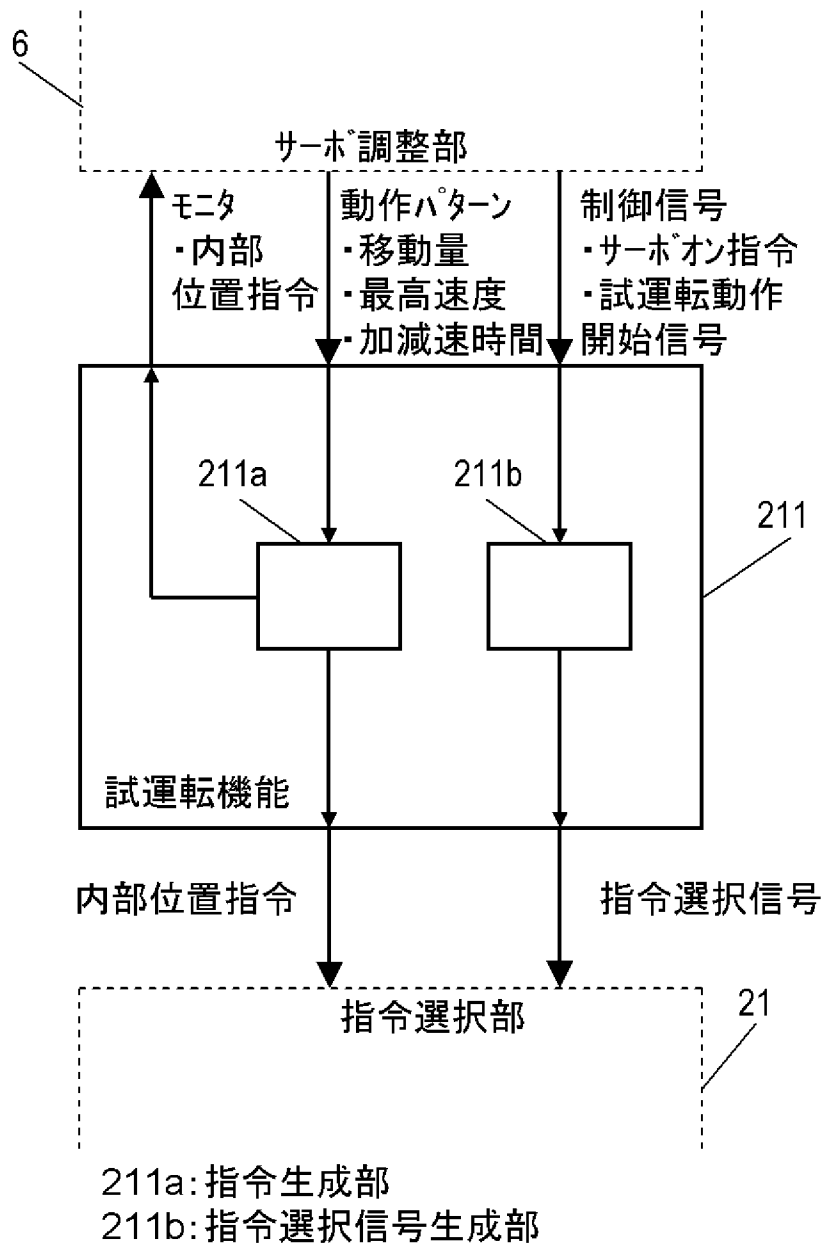
[図7]



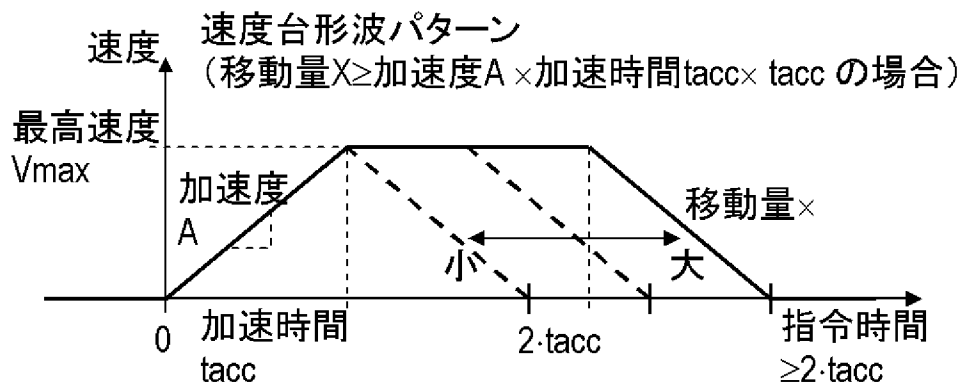
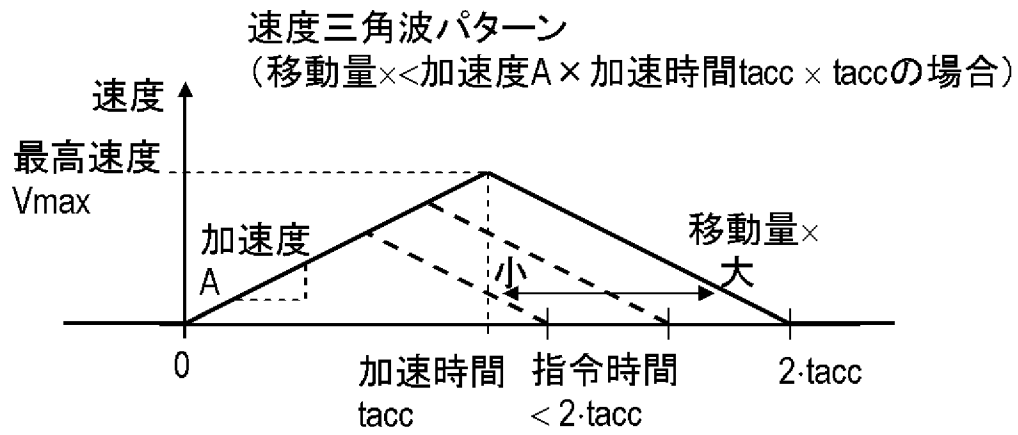
[図8]



[図9A]

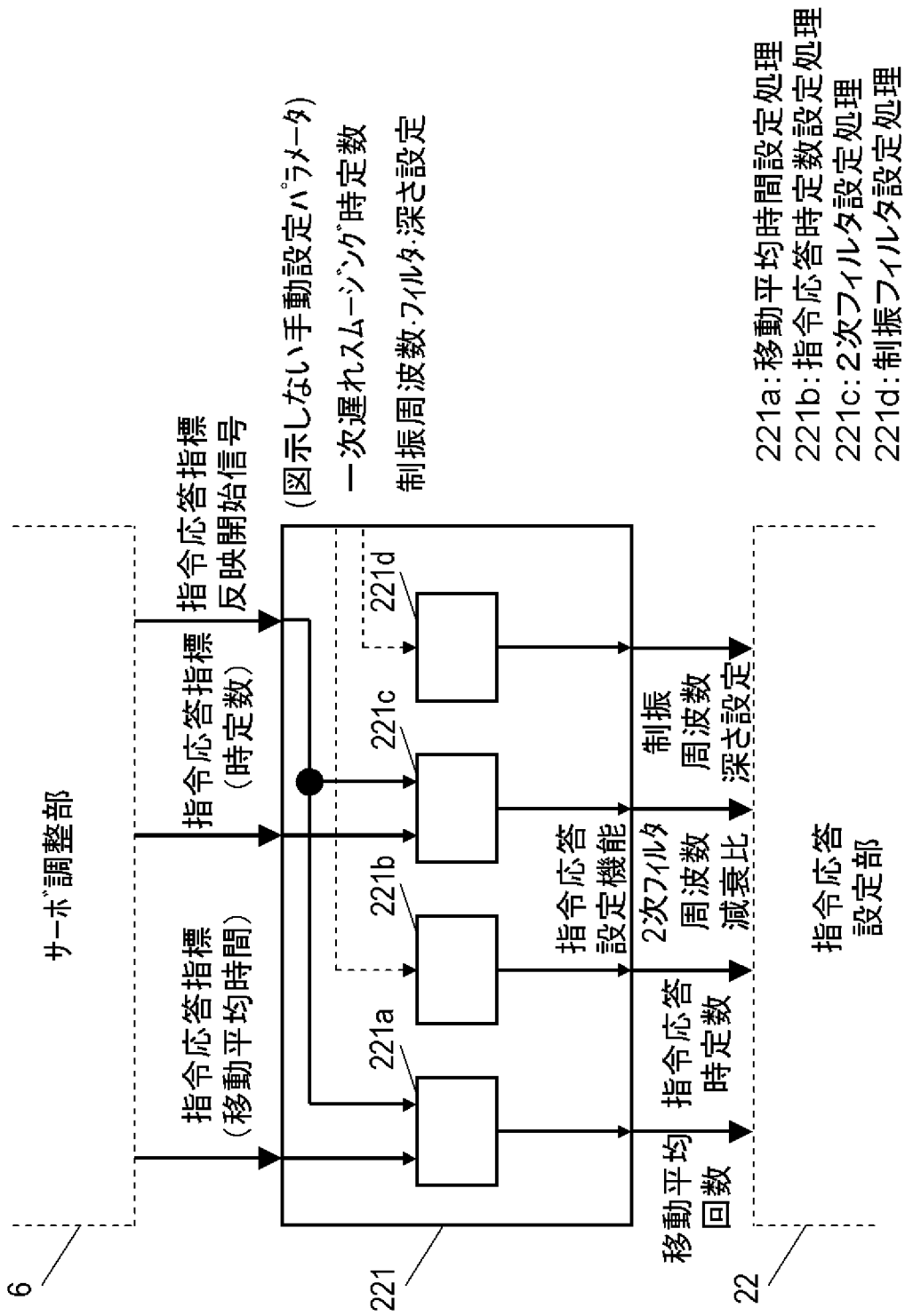


[図9B]

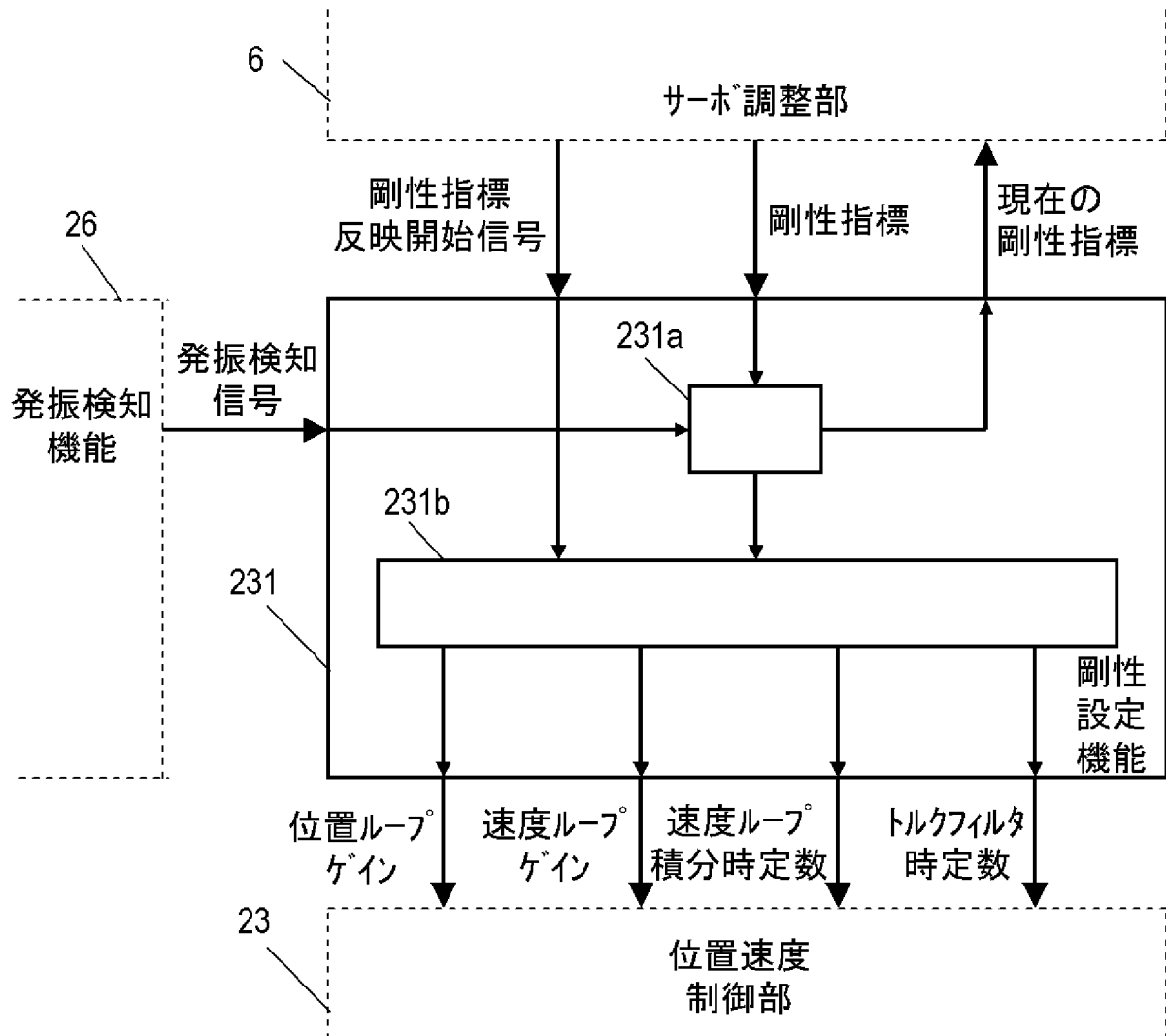


211a: 指令生成部の
指令パターン生成例

[図10]



[図11A]



231a: 発振自動抑制処理

231b: 剛性テーブル処理

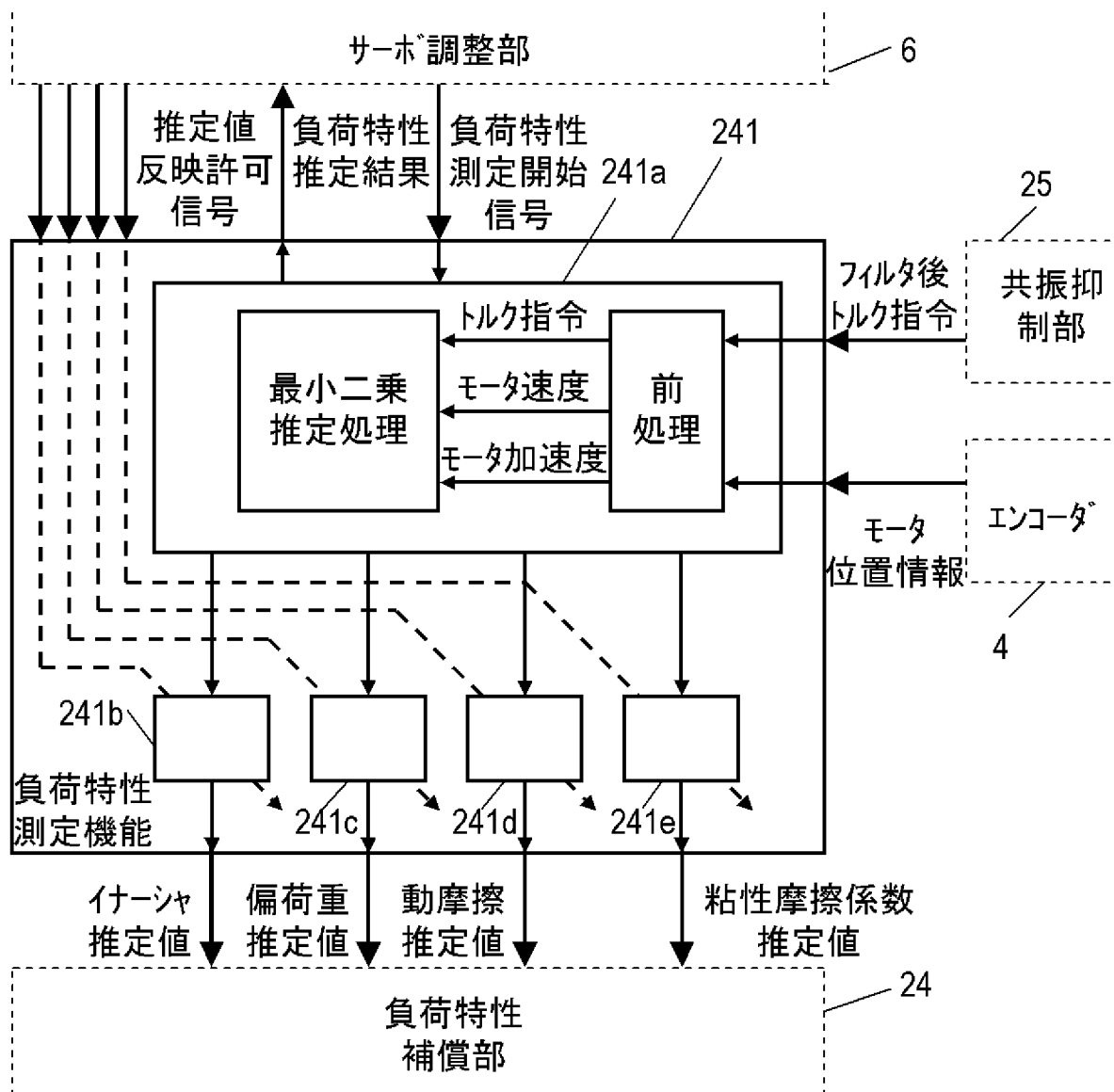
[図11B]

剛性 指標	Kp[1/s]	Kvp [Hz]	Ti [ms]	TF[ms]
0	2	1.5	370	15
1	2.5	2	280	11
2	3	2.5	220	9
3	4	3	190	8
4	4.5	3.5	160	6
5	5.5	4.5	120	5
6	7.5	6	90	4
7	9.5	7.5	70	3
8	11.5	9	60	3
9	14	11	50	2
10	17.5	14	40	2
11	32	18	31	1.26
12	39	22	25	1.03
13	48	27	21	0.84
14	63	35	16	0.65
15	72	40	14	0.57
16	90	50	12	0.45
17	108	60	11	0.38
18	135	75	9	0.3
19	162	90	8	0.25
20	206	115	7	0.2
21	251	140	6	0.16
22	305	170	5	0.13
23	377	210	4	0.11
24	449	250	4	0.09
25	500	280	3.5	0.08
26	560	310	3	0.07
27	610	340	3	0.07
28	660	370	2.5	0.06
29	720	400	2.5	0.06
30	810	450	2	0.05
31	900	500	2	0.05

Kp: 位置ループゲイン
Kvp: 速度ループゲイン
Ti: 速度ループ積分時定数
TF: トルクフィルタ時定数

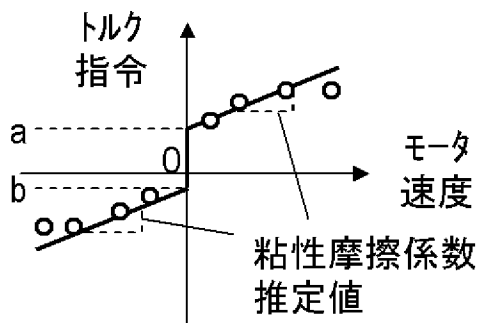
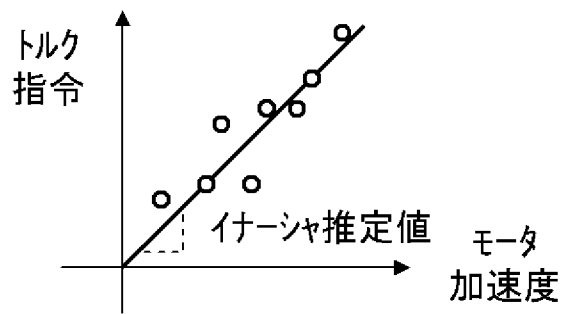
剛性テーブルの例

[図12A]



- 241a: 最小二乗推定処理
- 241b: イナーシャ推定値反映処理
- 241c: 偏荷重推定値反映処理
- 241d: 動摩擦推定値反映処理
- 241e: 粘性摩擦係数推定値反映処理

[図12B]

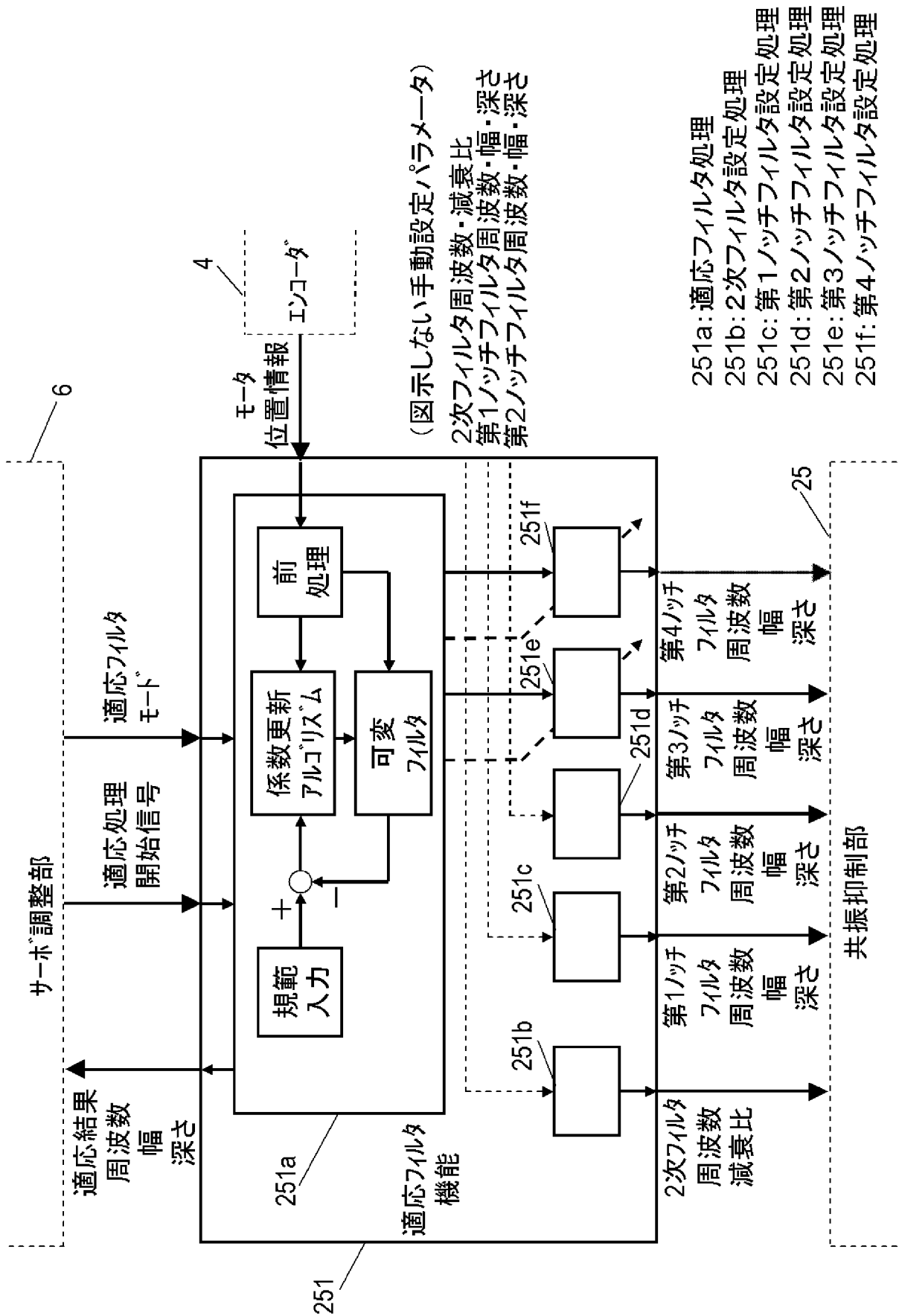


$$\text{偏荷重推定値} = (a+b) / 2$$

$$\text{動摩擦推定値} = (a-b) / 2$$

241a : 最小二乗推定処理の例

[図13]

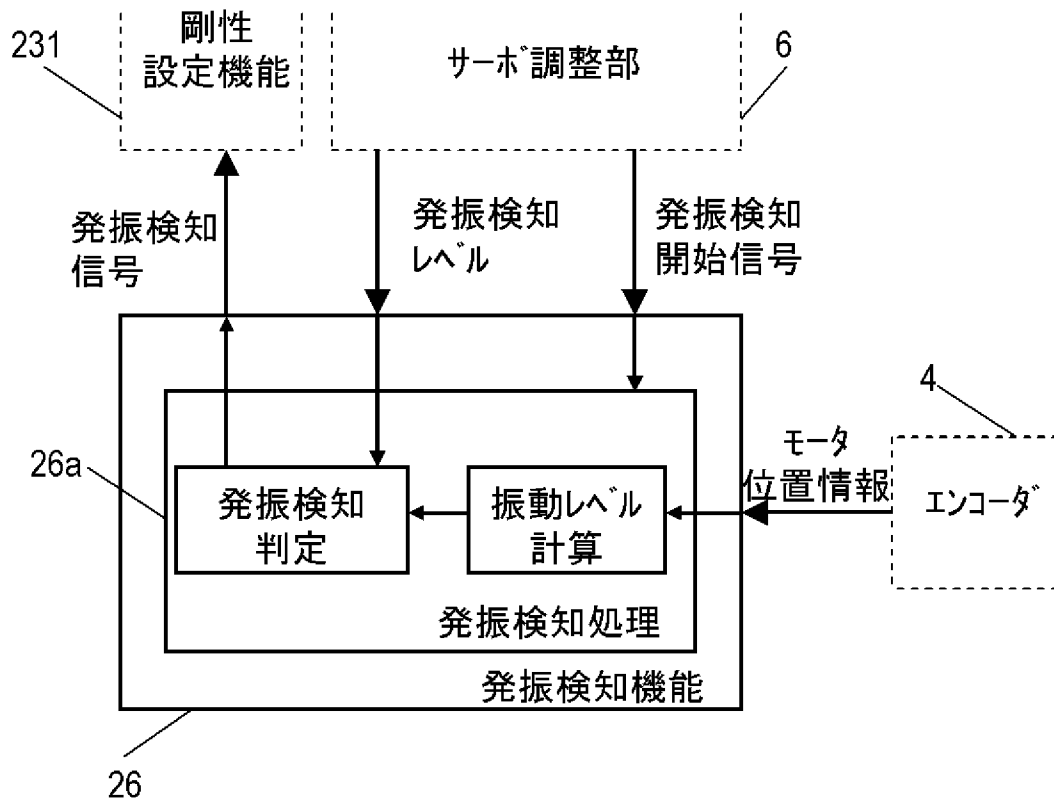


(図示しない手動設定パラメータ)

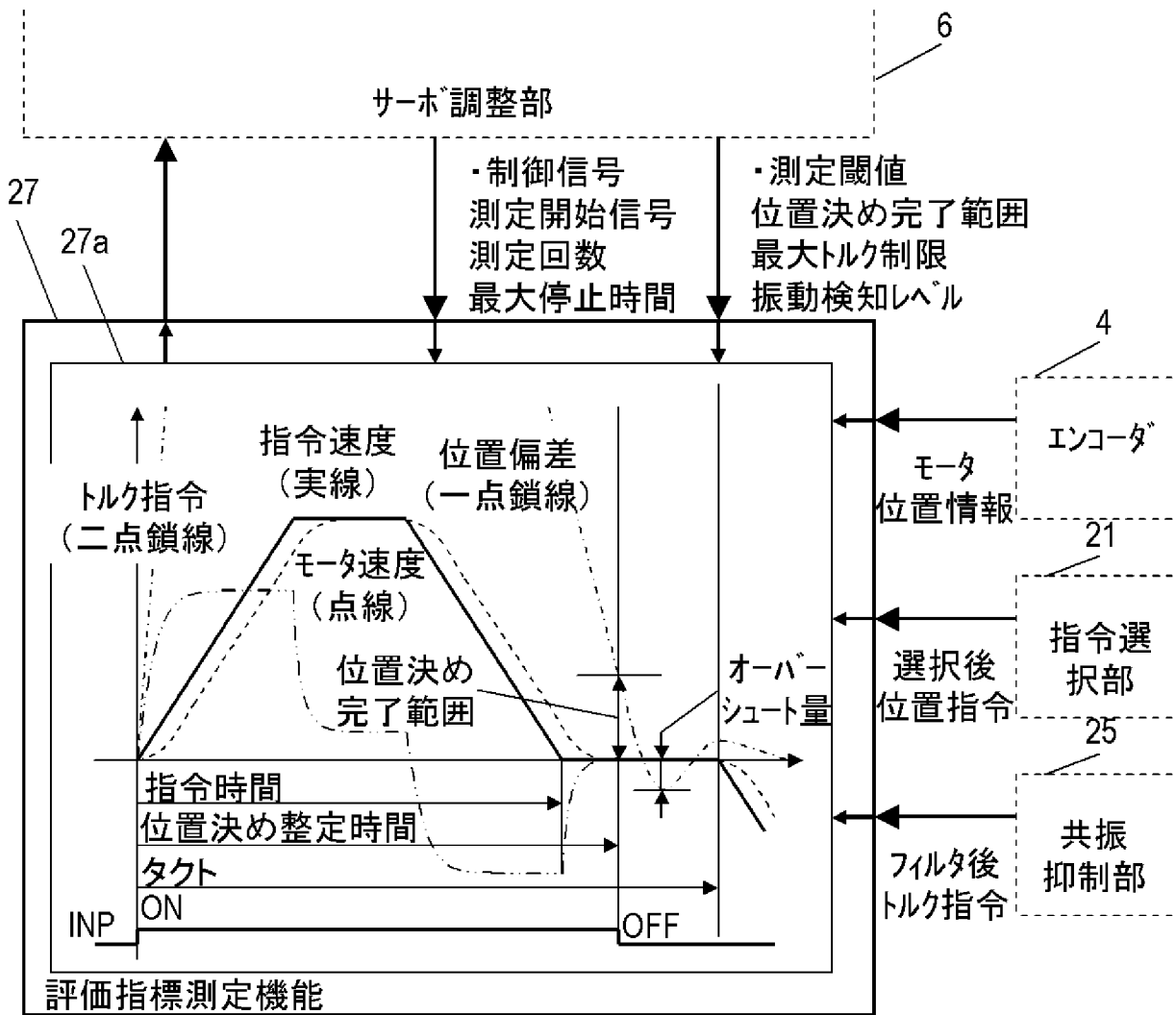
2次フィルタ周波数・減衰比
 第1ノッチフィルタ周波数・幅・深さ
 第2ノッチフィルタ周波数・幅・深さ

251a: 適応フィルタ処理
 251b: 2次フィルタ設定処理
 251c: 第1ノッチフィルタ設定処理
 251d: 第2ノッチフィルタ設定処理
 251e: 第3ノッチフィルタ設定処理
 251f: 第4ノッチフィルタ設定処理

[図14]



[図15]



- | | | |
|------------|--------------|-------------------|
| 評価指標 | ・指令速度最大・最小値 | *INP (InPosition) |
| ・位置決め整定時間 | ・モータ速度最大・最小値 | 位置決め完了 |
| ・指令時間 | ・トルク指令最大・最小値 | 出力信号 |
| ・タクト | ・位置偏差最大・最小値 | |
| ・オーバーシュート量 | ・トルク指令実効値 | 27a 評価指標測定処理 |
| ・振動レベル | etc. | |
| ・INP変化回数 | | |

[図16]

×
□
—

ステップ1

↑

ステップ2

↑

ステップ3

↑

ステップ4

↑

ステップ5

ステップ1: 初期設定

調整指針選択

探索方法

フルサーチ ▼

制御目的

PTP制御 ▼

負荷変動

なし~緩やか ▼

応答性・安定性

応答性重視 ▼

機構(剛性)

中剛性 ▼

測定条件

位置決め完了幅[指令単位]

10 ▲▼

発振検知レベル[%]

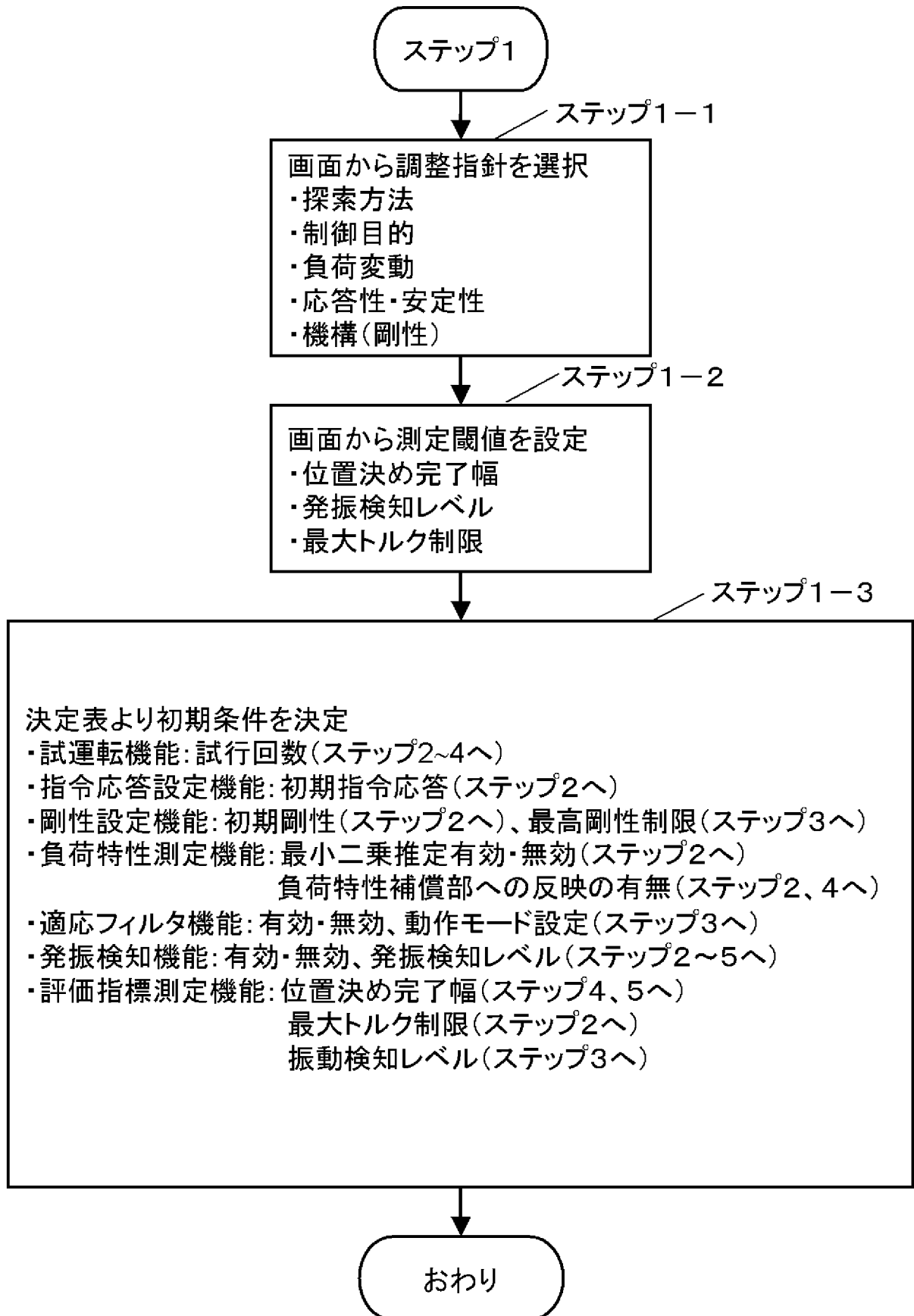
10 ▲▼

最大トルク制限[%]

100 ▲▼

次へ

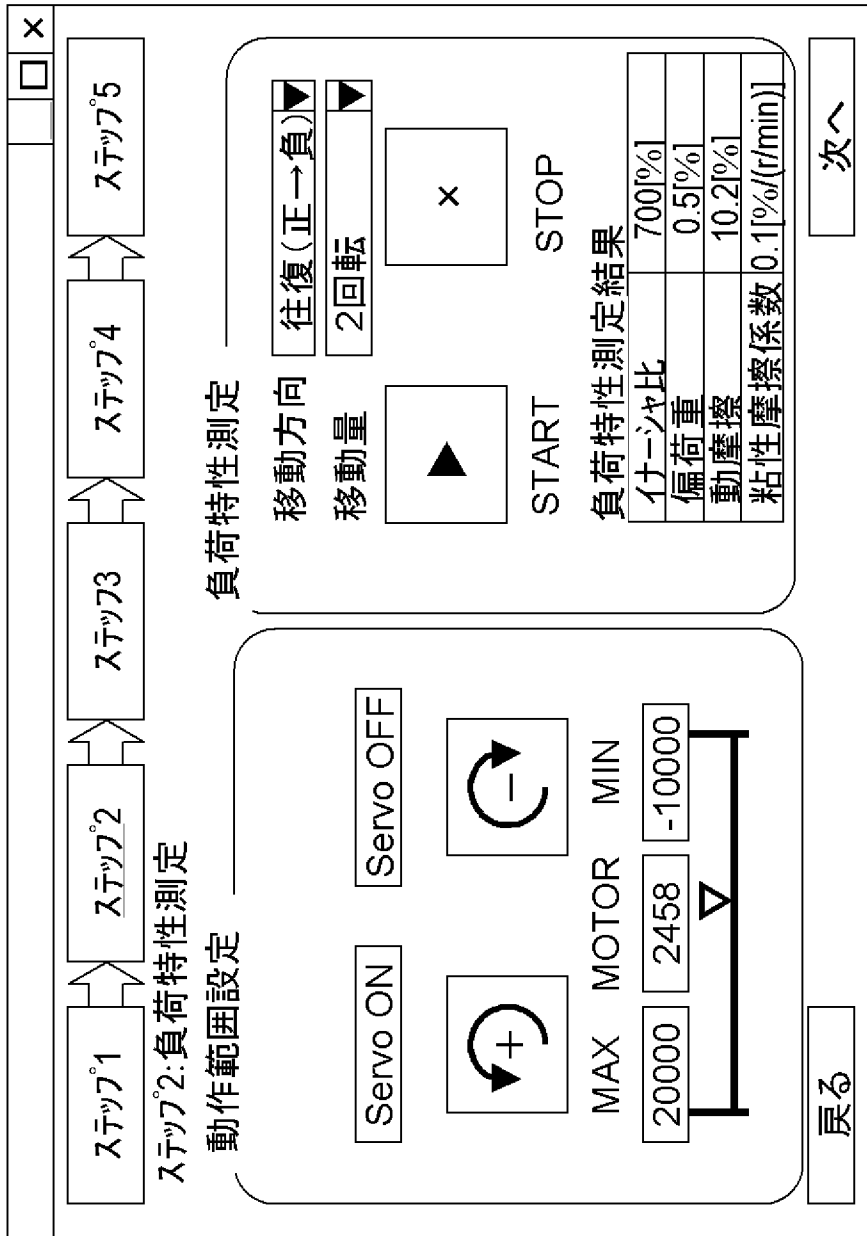
[図17]



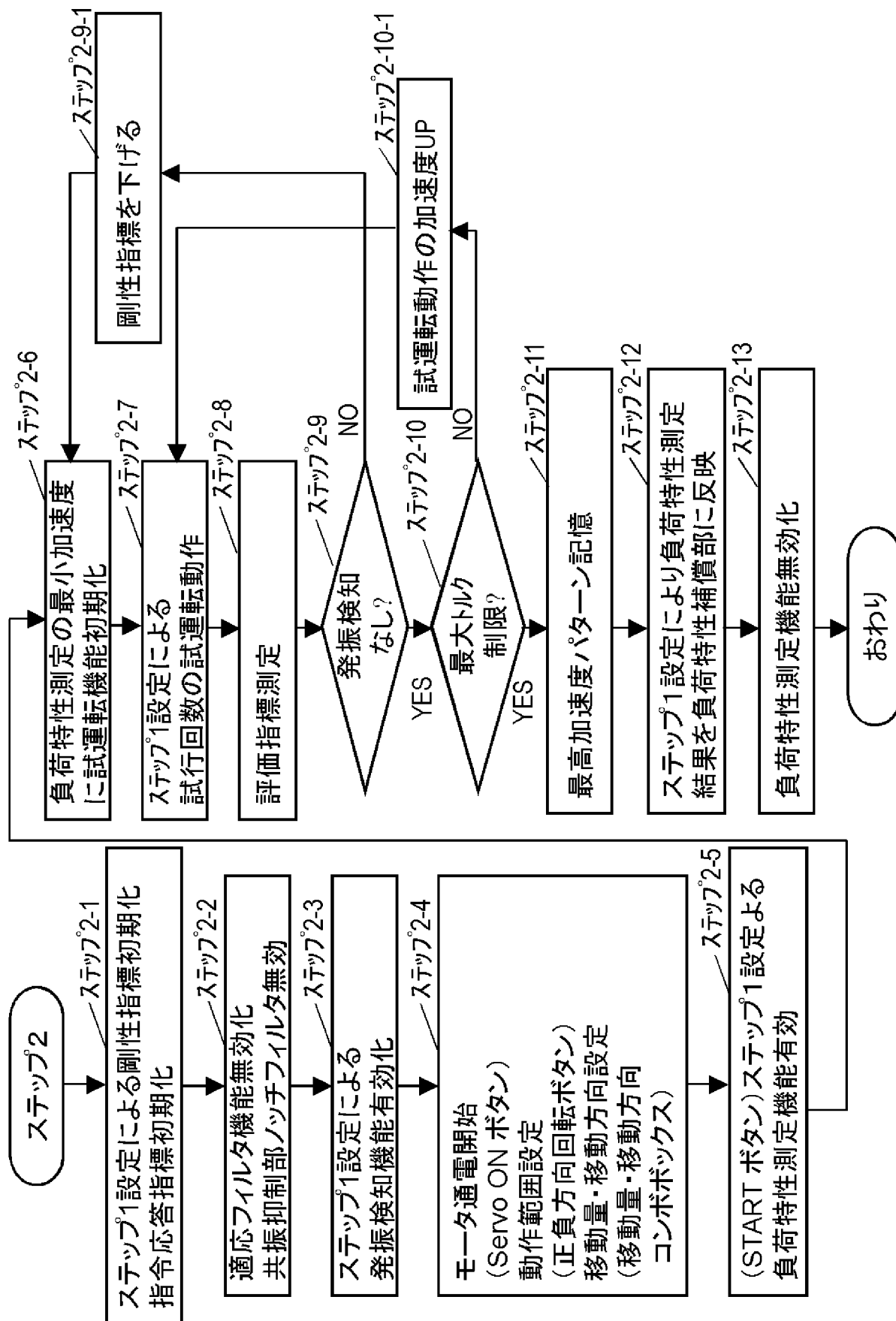
[図18]

調整 指針	選択 項目	試運転	指令応答 設定	剛性設定	負荷 特性 測定	適応 フィルタ	発振検知	評価指標 測定
探索 方法	高速 サーチ	試行回数 2回						
	フルサーチ	試行回数 6回						
制御 目的	PTP							位置決め完了 範囲=測定閾 値
	CP							10[pulse] 固定
負荷 変動	なし~ 緩やか				有効	有効		
	急峻				無効	無効		
応答性 安定性	応答性 重視					有効		最大トルク制限 =測定閾値 ×2倍
	バランス型					有効		最大トルク制限 =測定閾値 ×1.5倍
	安定性 重視					無効		最大トルク制限 =測定閾値
機構 (剛性)	高剛性 カップリング 直結 など		初期指令 応答指標 7.1~2.8 [ms]	初期剛性 指標11~17 最高剛性 制限26		高剛 性 モード	発振検知 レベル= 測定閾値 ×0.8倍	振動検知レベル =発振検知 レベル×0.8倍
	中剛性 ボール ねじ など		初期指令 応答指標 13.9~5.5 [ms]	初期剛性 指標8~14 最高剛性 制限22		中剛 性 モード	発振検知 レベル= 測定閾値	振動検知レベル =発振検知 レベル×0.8倍
	低剛性 ベルト 駆動 など		初期指令 応答指標 32.7~13.1 [ms]	初期剛性 指標8 最高剛性 制限18		低剛 性 モード	発振検知 レベル= 測定閾値 ×1.2倍	振動検知レベル =発振検知 レベル×0.8倍

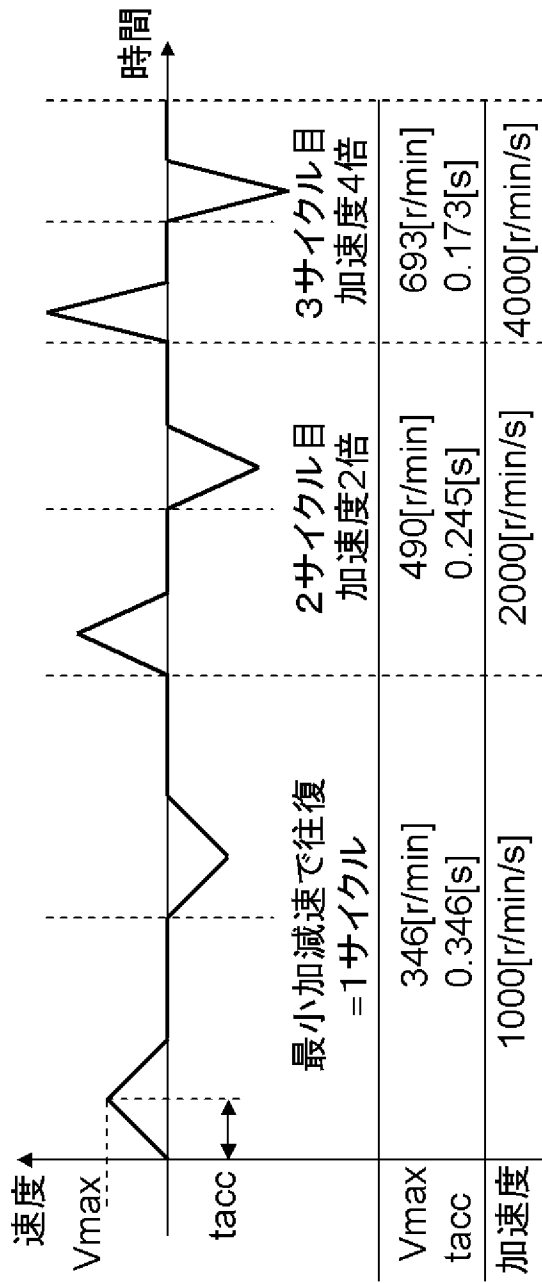
[図19]



[図20]

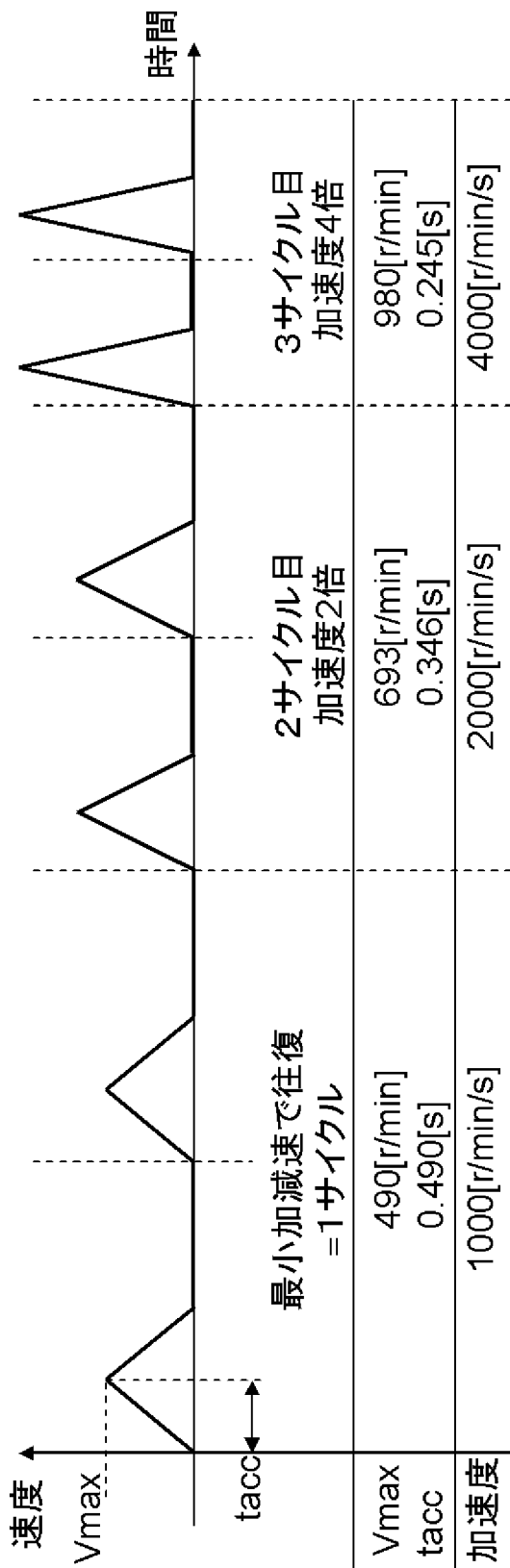


[図21A]



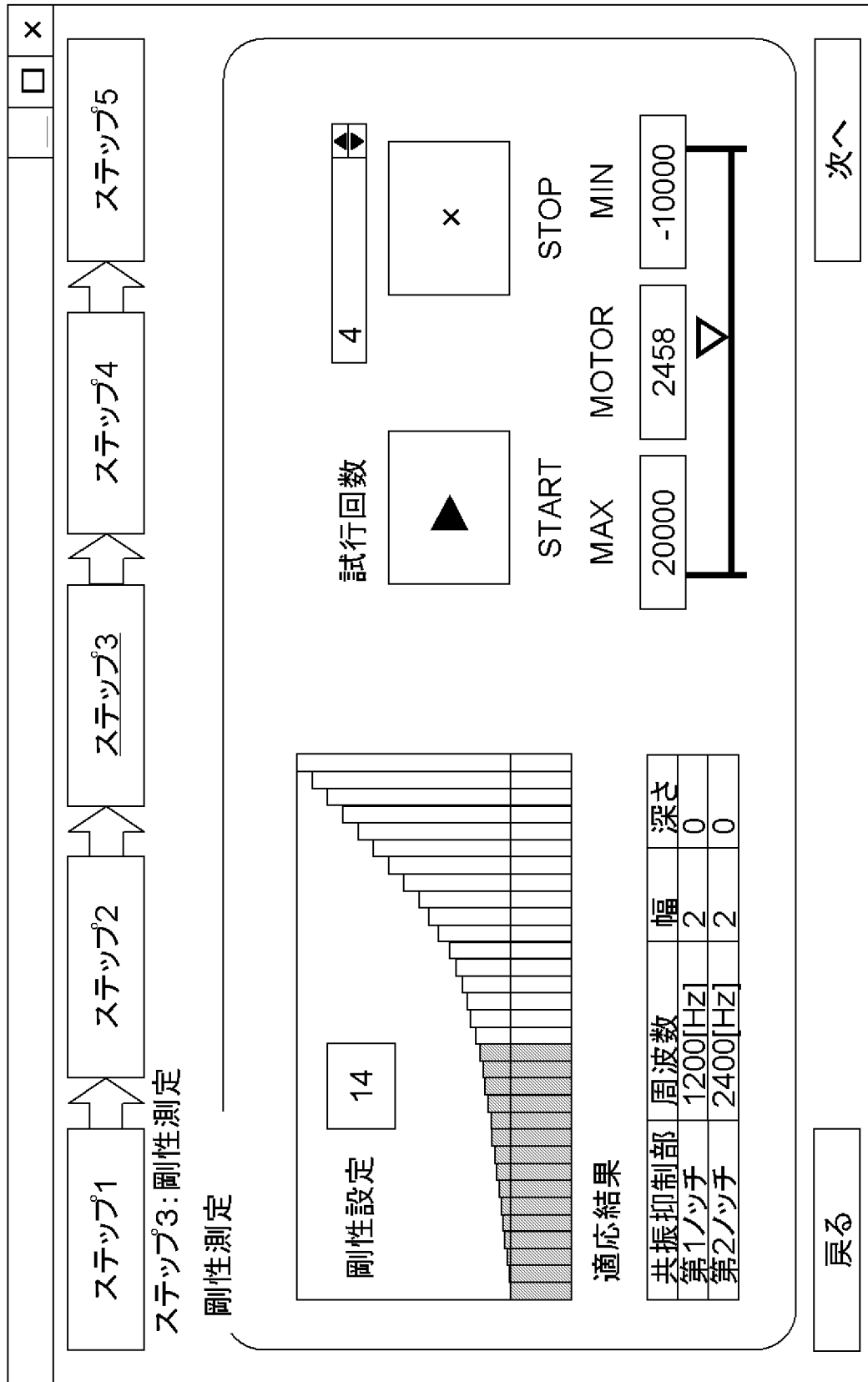
移動量 = 2回転、移動方向 = 正方向 → 負方向
(往復)

[図21B]

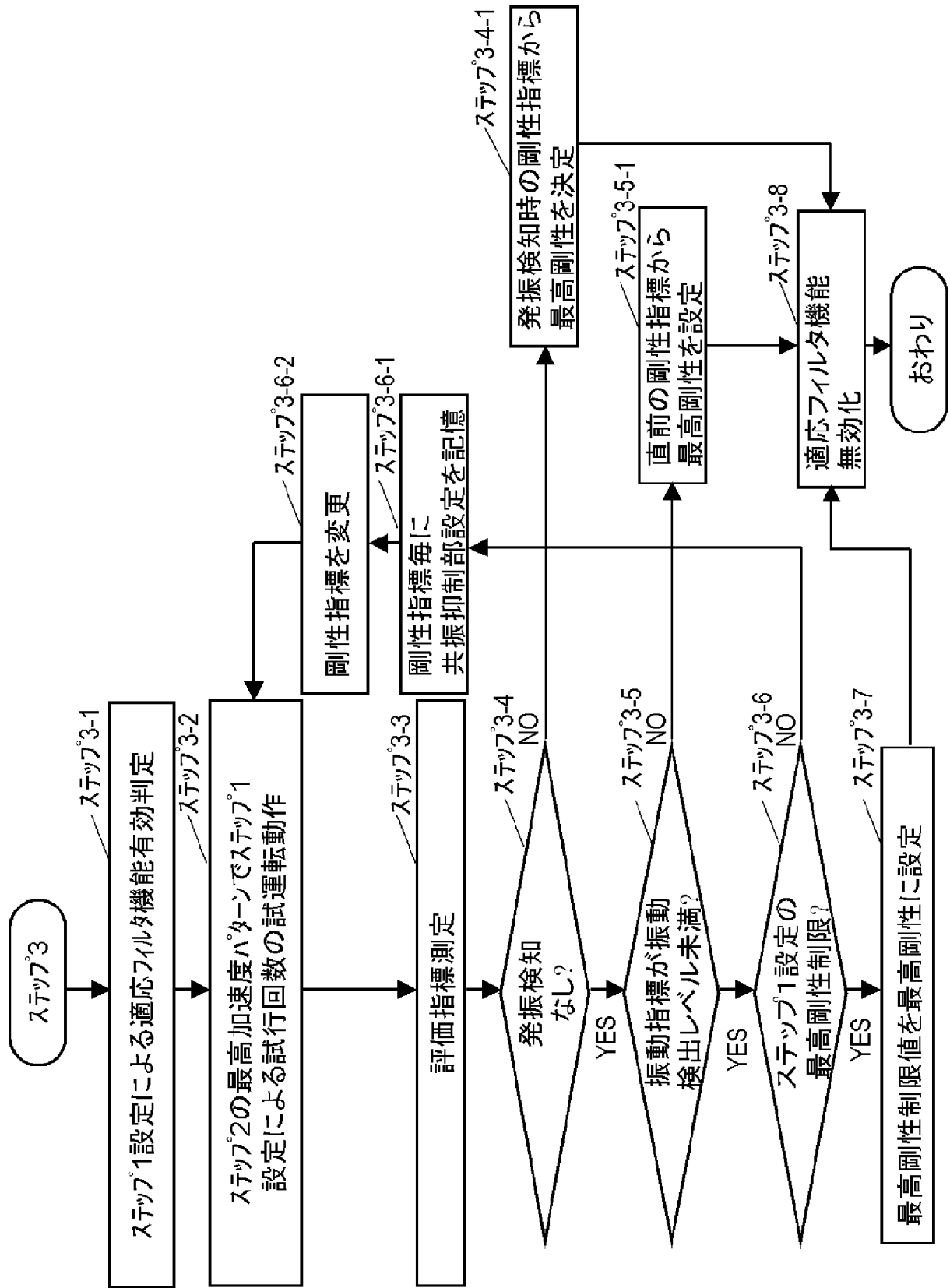


移動量=4回転、移動方向=正方向→負方向(一方向)

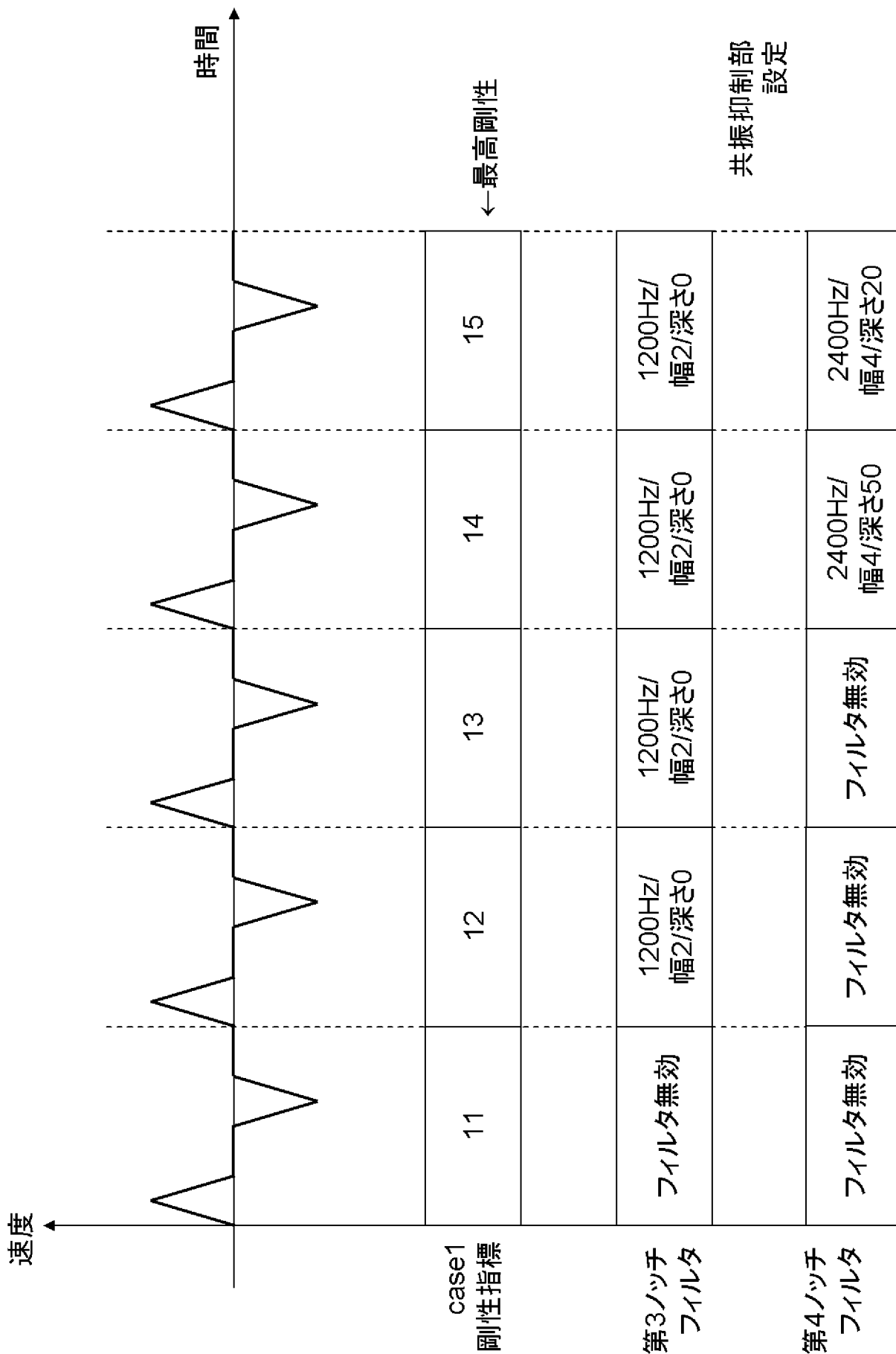
[図22]



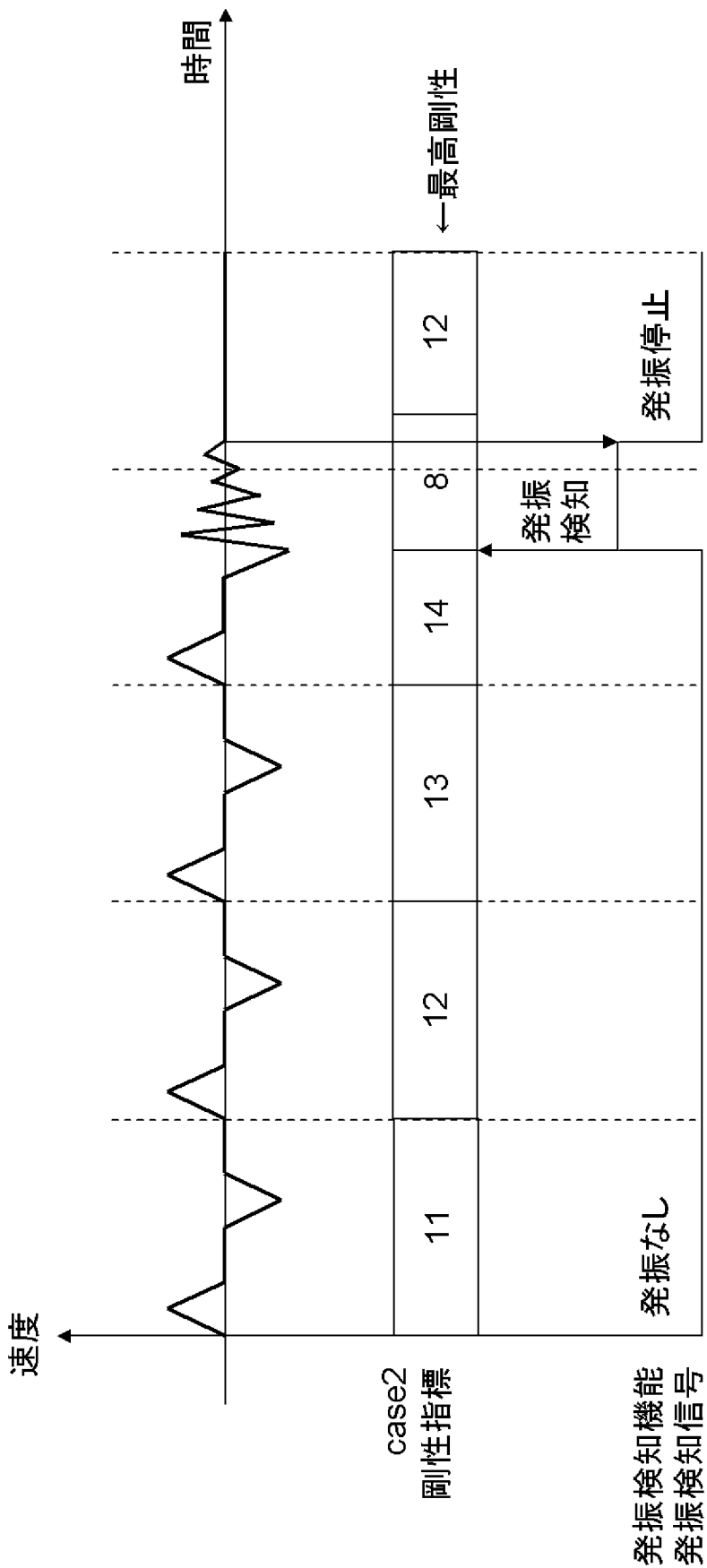
[図23]



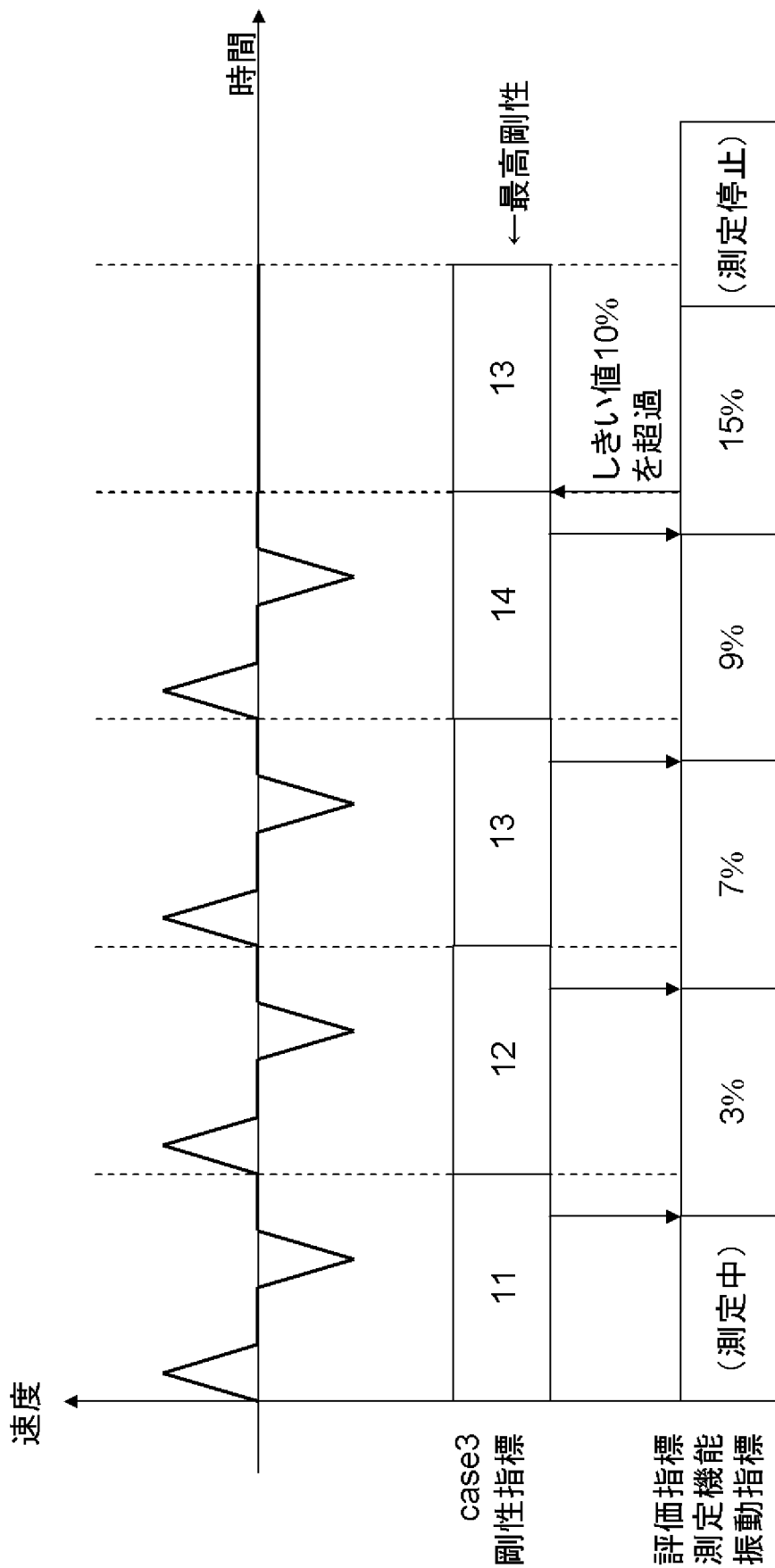
[図24A]



[図24B]



[図24C]



[図25]

ステップ1

ステップ2

ステップ3

ステップ4

ステップ5

ステップ4: 指令応答測定

指令選択

内部指令
 (試運転機能)

移動量	20000[pulse]	↕
最高速度	3000[r/min]	↕
加減速時間	35[ms]	↕

MAX	MOTOR	MIN
20000	2458	-10000

指令応答測定

移動方向: 往復(正→負) ▼

試行回数: 4

START

STOP

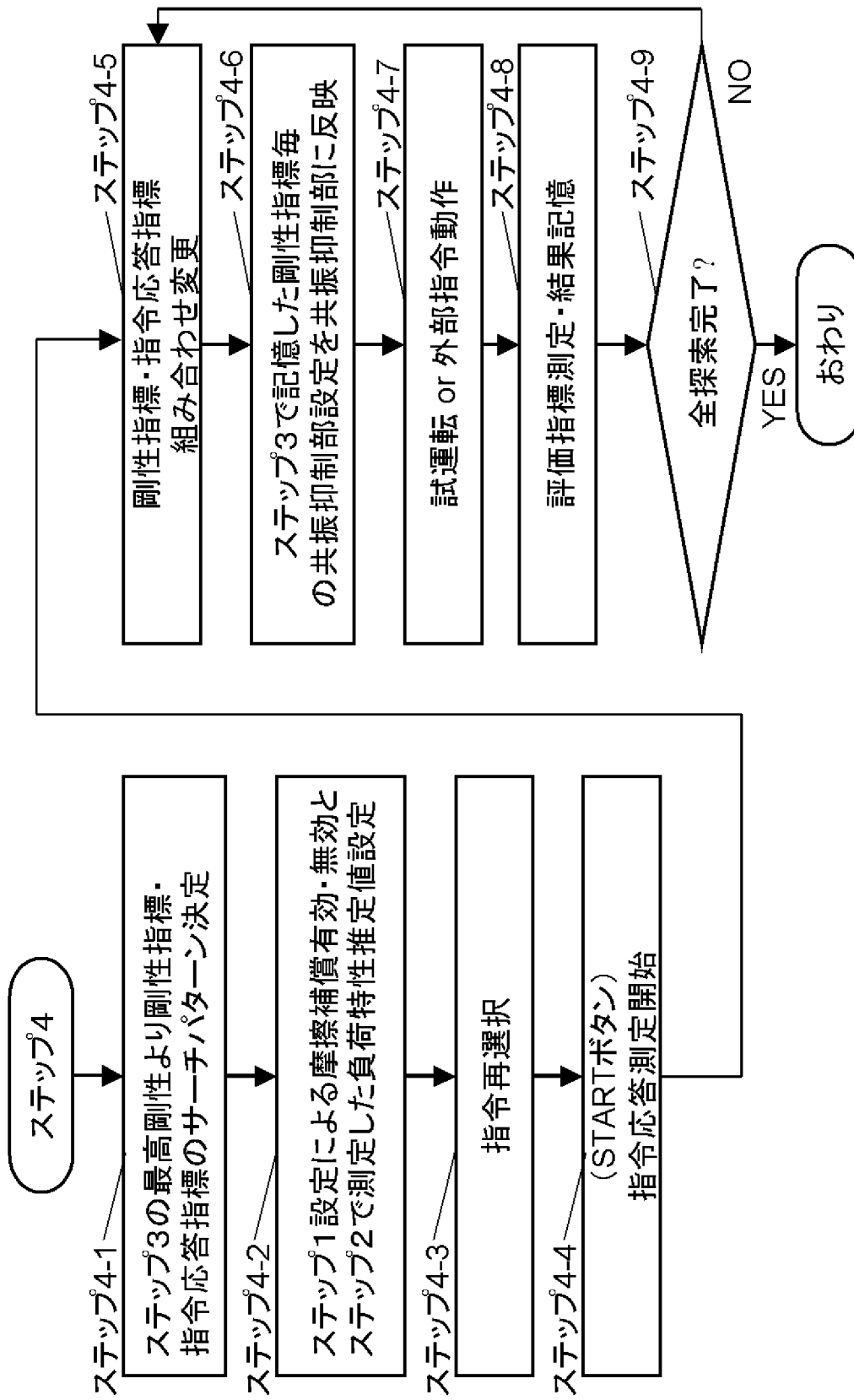
評価指標

整定時間	2[ms]	
オーバーシュート	8[pulse]	
振動レベル	3.2[%]	
INP変化回数	0[回]	

戻る

次へ

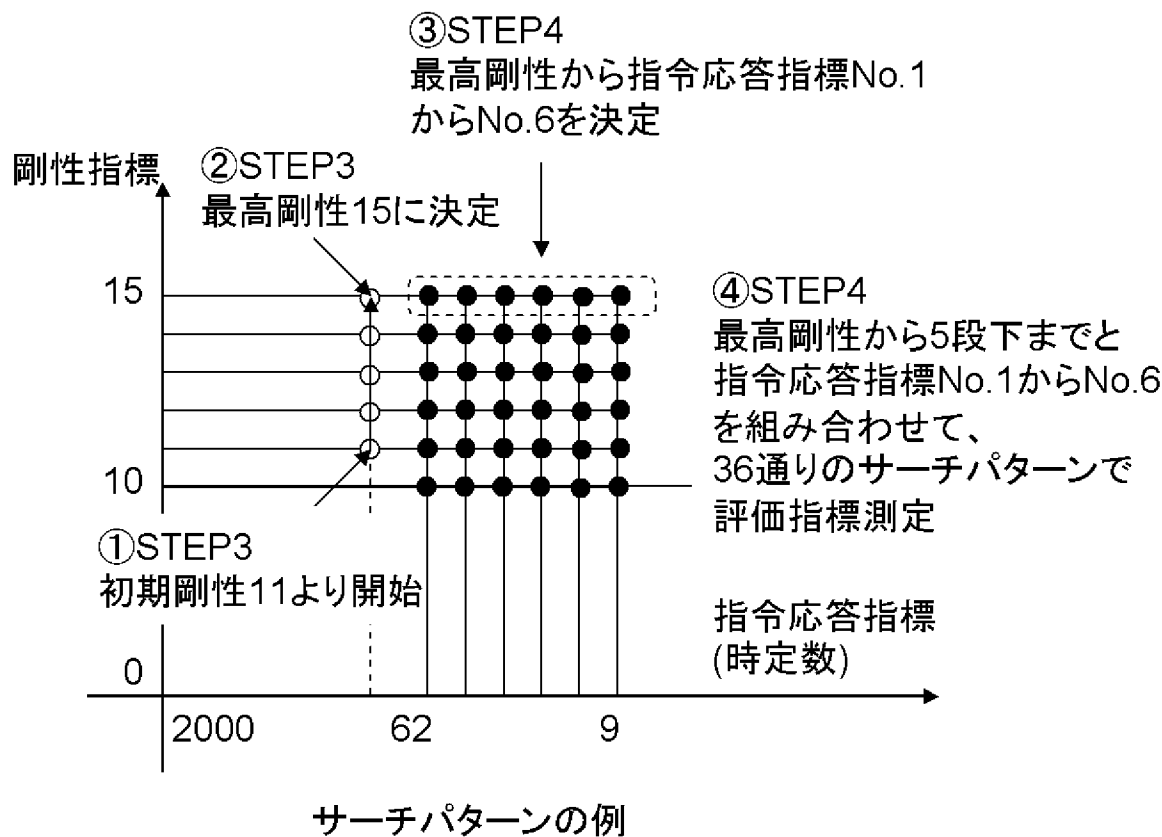
[図26]



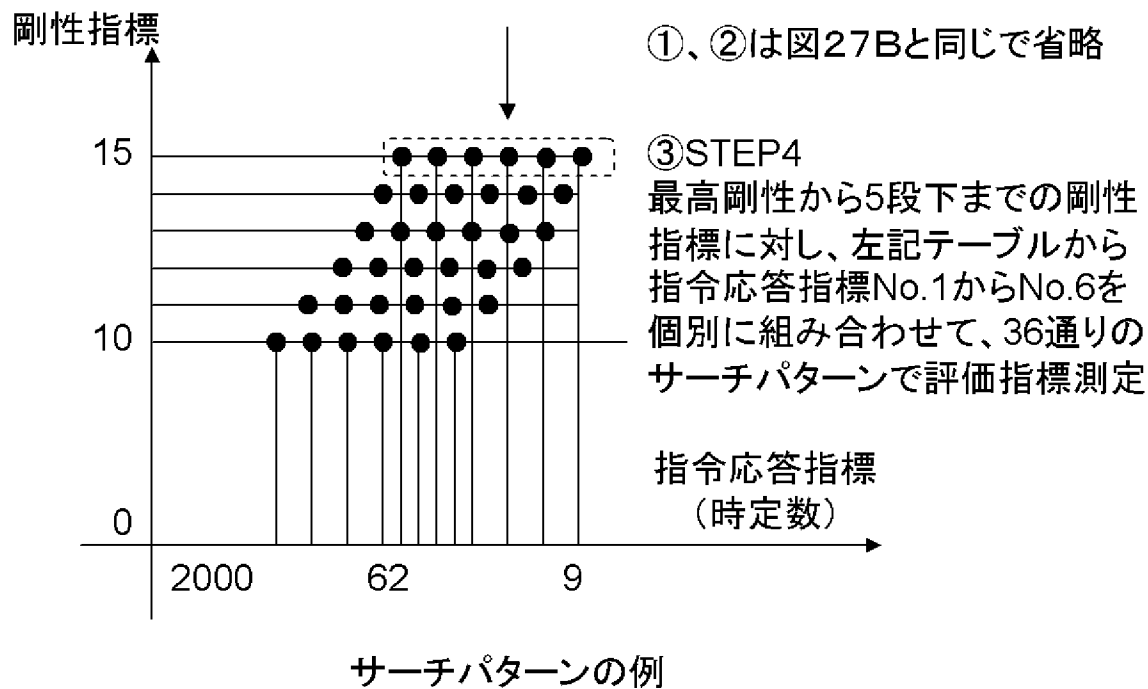
[図27A]

最高剛性	指令応答 指標No.1	指令応答 指標No.2			指令応答 指標No.6
0	1919	768			267
1	1487	595			198
2	1214	486			158
3	960	384			131
4	838	335			107
5	668	267			85
6	496	198			55
7	394	158			45
8	327	131			37
9	268	107			28
10	212	85			25
11	139	55			20
12	113	45			17
13	92	37			13
14	71	28			11
15	62	25			9
16	50	20			7
17	41	17			6
18	33	13			5
19	28	11			4
20	22	9			4
21	18	7			3
22	15	6			3
23	12	5			3
24	10	4			2
25	9	4			2
26	8	3			2
27	7	3			1
28	7	3			1
29	6	2			1
30	6	2			1
31	5	2			1

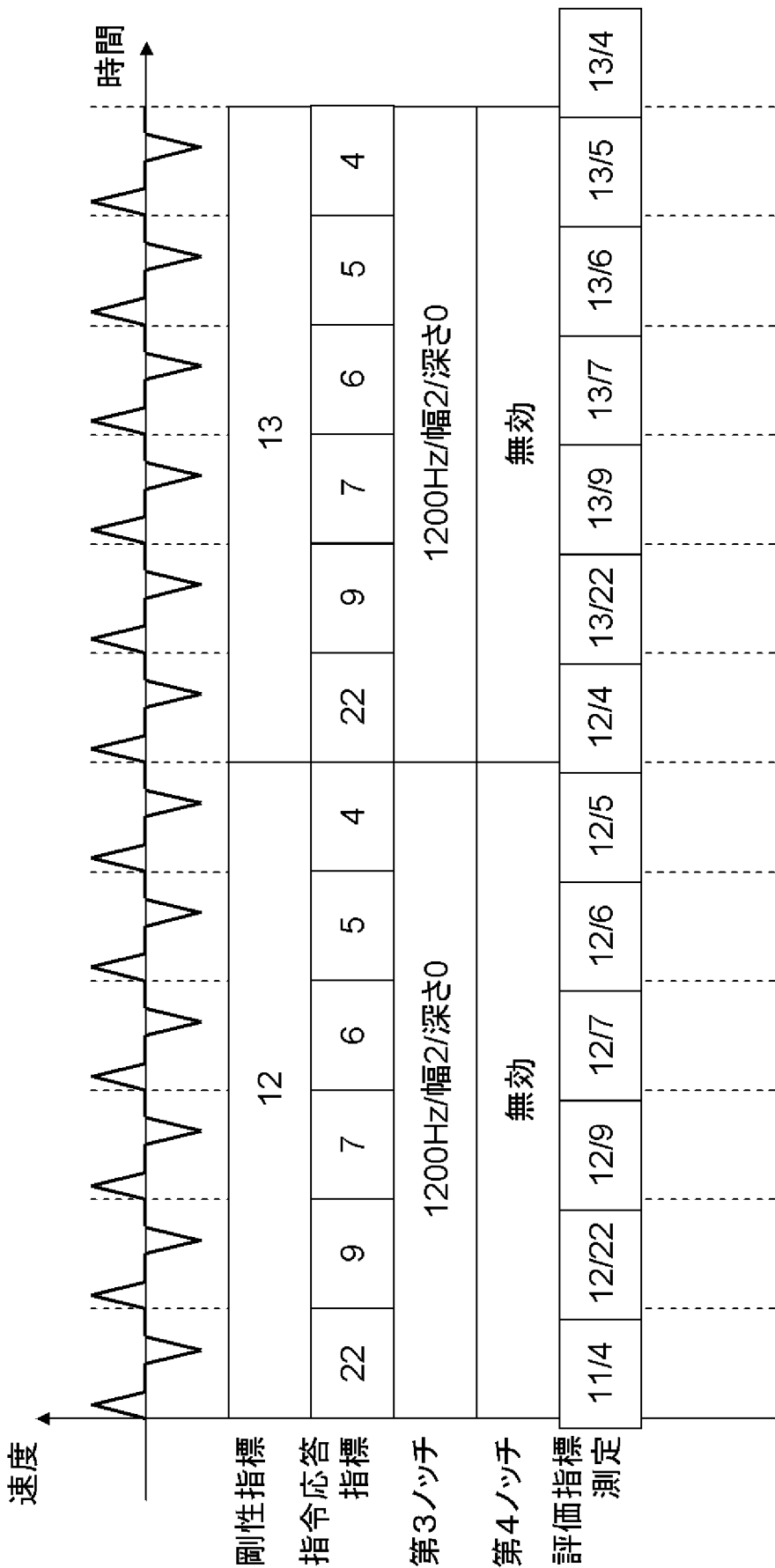
[図27B]



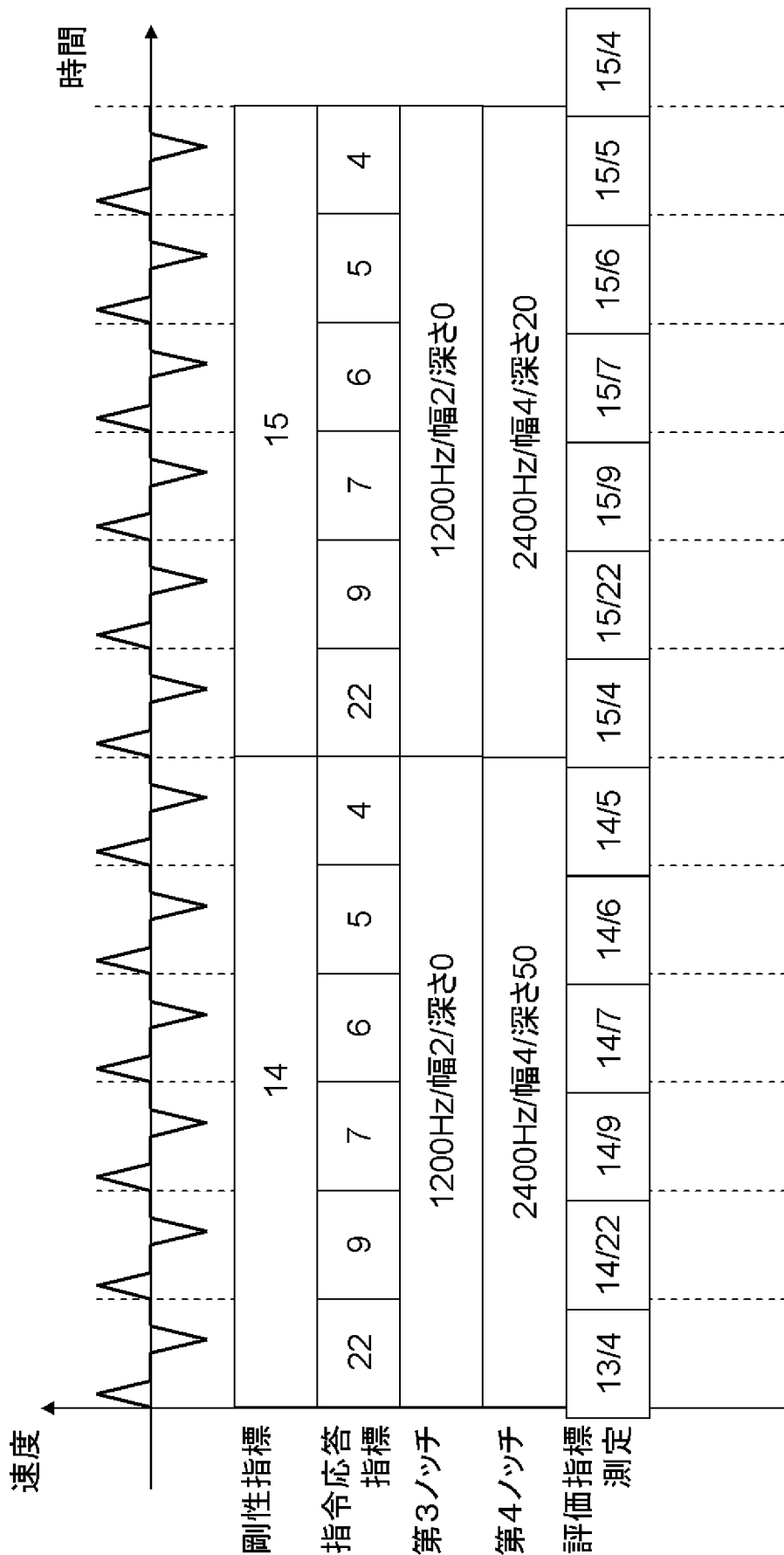
[図27C]



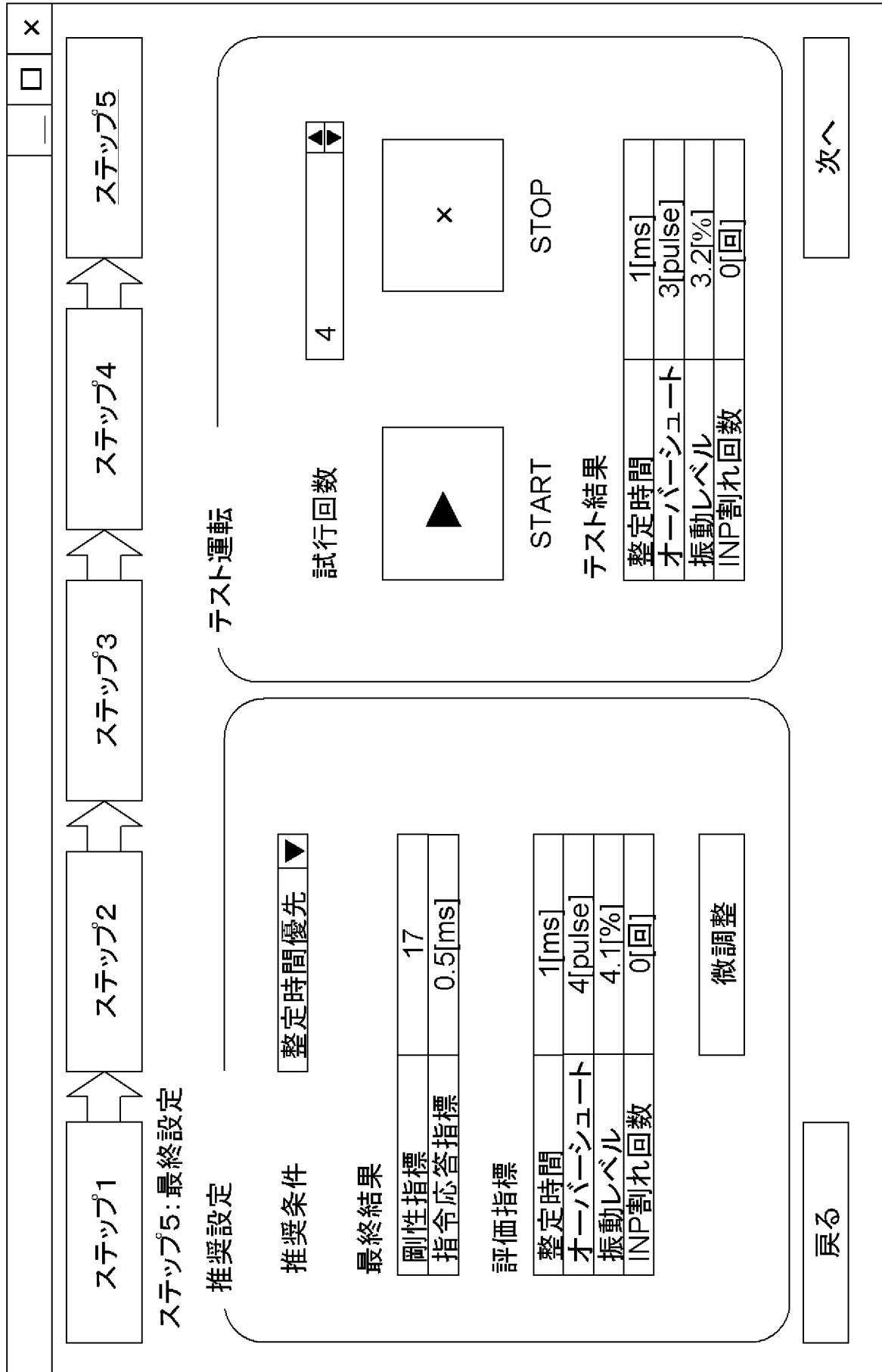
[図28B]



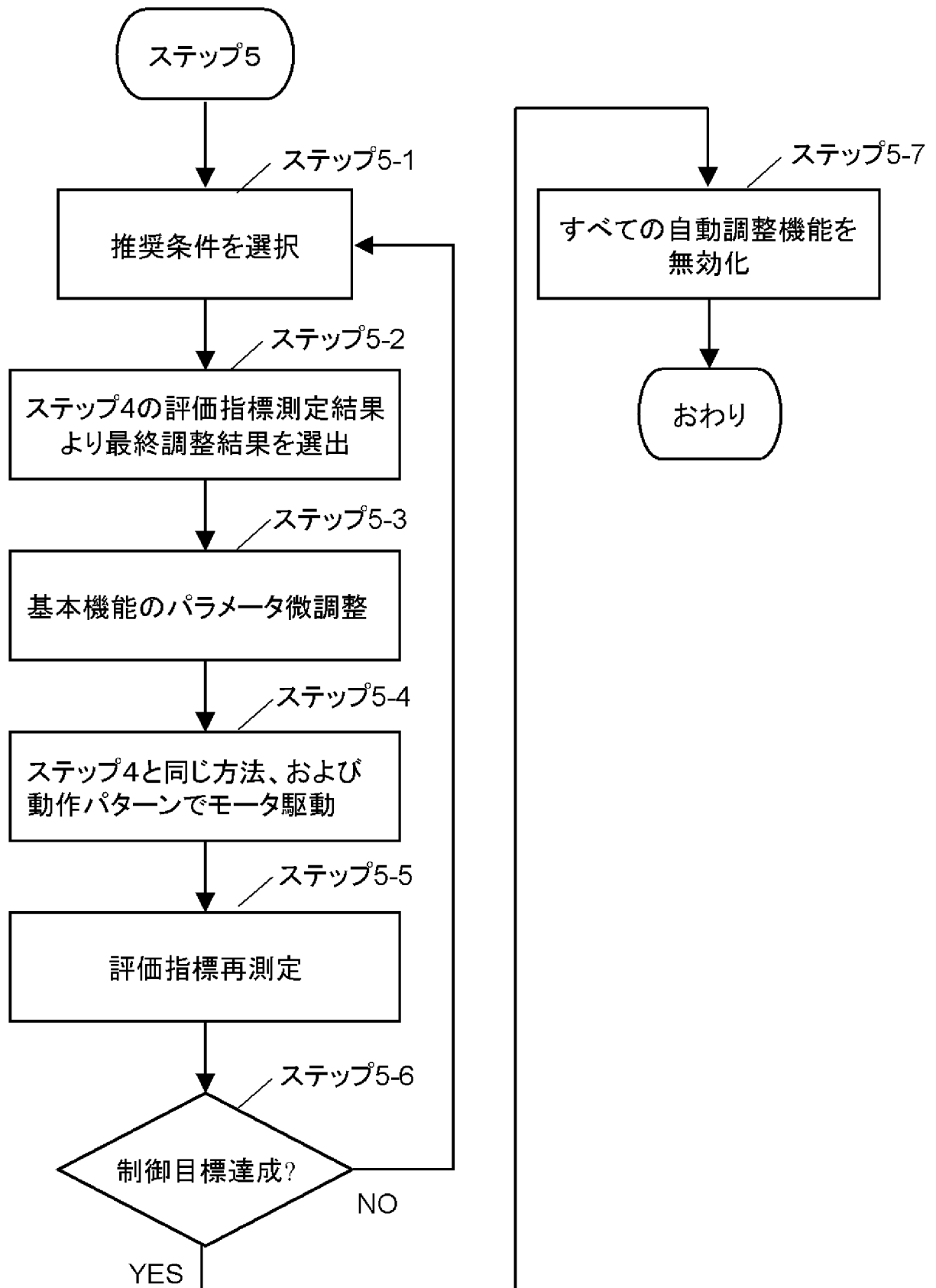
[図28C]



[図29]










[図30]



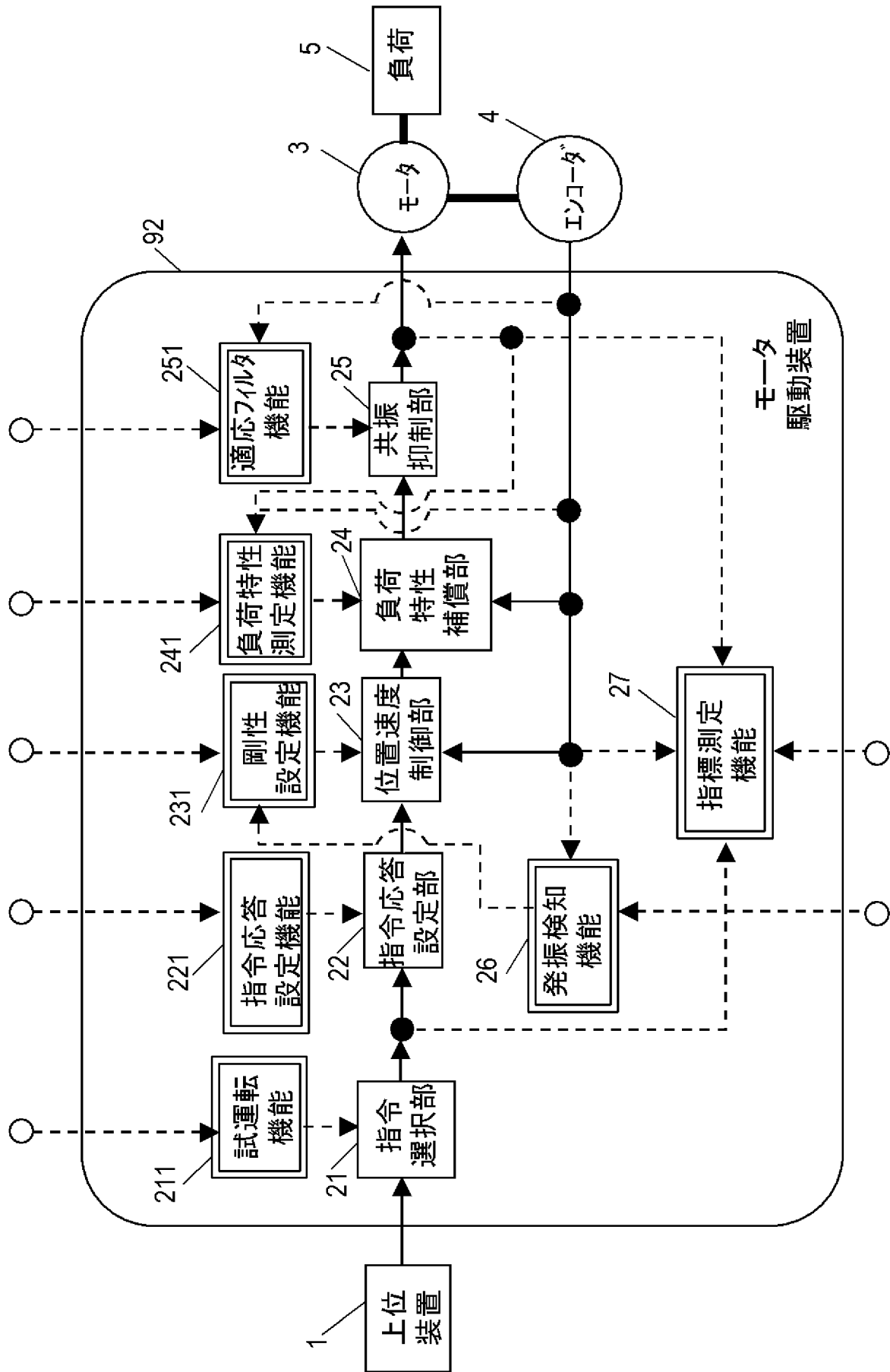
[図31]

推奨 条件	指標 1	処理 1	条件 1	制約値 1	制約 条件1	指標 2	処理 2	条件 2	制約 値2	制約 条件2	指標3,
整定時 間優先	INP 割れ 回数	最大	最小	—	—	整定時 間	平均	最小	—	—	...
オーバー シュート 指定	オーバー シュート 量	最大	—	目標値	以下	オーバー シュート 量	最大	最大	—	—	...
整定時 間指定	整定時 間	平均	—	目標値	以下	整定時 間	平均	最大	—	—	...
高剛性 設定	INP 割れ 回数	最大	最小	—	—	オーバー シュート 量	最大	最小	—	—	...

[図32]

微調整		—	□	×
<p>整定時間を短縮する。</p> <p>FIRフィルタ設定[ms]</p> <p>1.0  初期値: 3.0[ms]</p> <p>指令応答フィルタ時定数[ms]</p> <p>3.0  初期値: 4.0[ms]</p>				
<p>オーバーシュート量を小さくする。</p> <p>速度フィードフォワード[%]</p> <p>95.0  初期値: 100.0[%]</p> <p>粘性摩擦補償ゲイン[%]</p> <p>180.0  初期値: 150.0[%]</p> <p>剛性設定微調整[%]</p> <p>10  初期値: 0[%]</p>				
<p>先端振動を抑制する。</p> <p>参考) 振動周波数 [Hz]</p> <p>制振制御周波数[Hz]</p> <p>34.2  初期値: 0.0[Hz]</p> <p>制振制御深さ[-]</p> <p>50  初期値: 0</p>				
<input type="button" value="OK"/>		<input type="button" value="CANCEL"/>		

[図33]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2014/001769

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H02P29/00(2006.01) i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H02P29/00

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 3-169284 A (Hitachi, Ltd.), 22 July 1991 (22.07.1991), page 2, lower right column, line 7 to page 5, upper right column, line 1; fig. 1 to 5 & US 5200678 A & EP 0428950 A2	1, 4-25 2-3
Y	JP 2011-244668 A (Omron Corp.), 01 December 2011 (01.12.2011), paragraphs [0024] to [0091]; fig. 1 to 16 (Family: none)	2-3
A	JP 2007-34781 A (Fuji Electric FA Components & Systems Co., Ltd.), 08 February 2007 (08.02.2007), paragraphs [0014] to [0027]; fig. 1 to 4 (Family: none)	1-25

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

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

Date of the actual completion of the international search 16 June, 2014 (16.06.14)	Date of mailing of the international search report 24 June, 2014 (24.06.14)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/001769

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2007-336792 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 27 December 2007 (27.12.2007), paragraphs [0011] to [0044]; fig. 1 to 11 (Family: none)	1-25
A	JP 2005-168166 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 23 June 2005 (23.06.2005), paragraphs [0028] to [0102]; fig. 1 to 4 (Family: none)	1-25

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. H02P29/00(2006.01)i		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. 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 1971-2014年 日本国実用新案登録公報 1996-2014年 日本国登録実用新案公報 1994-2014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 Y	JP 3-169284 A（株式会社日立製作所）1991.07.22, 第2ページ右下欄第7行-第5ページ右上欄第1行、第1図-第5図 & US 5200678 A & EP 0428950 A2	1, 4-25 2-3
Y	JP 2011-244668 A（オムロン株式会社）2011.12.01, [0024] - [0091], [図1] - [図16]（ファミリーなし）	2-3
A	JP 2007-34781 A（富士電機機器制御株式会社）2007.02.08, [0014] - [0027], [図1] - [図4]（ファミリーなし）	1-25
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願		の日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献
国際調査を完了した日 16.06.2014	国際調査報告の発送日 24.06.2014	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ISA/J P） 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官（権限のある職員） 塩治 雅也 電話番号 03-3581-1101 内線 3357	3V 3630

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2007-336792 A (松下電器産業株式会社) 2007. 12. 27, [0011] - [0044], [図1] - [図11] (ファミリーなし)	1-25
A	JP 2005-168166 A (松下電器産業株式会社) 2005. 06. 23, [0028] - [0102], [図1] - [図4] (ファミリーなし)	1-25