

(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

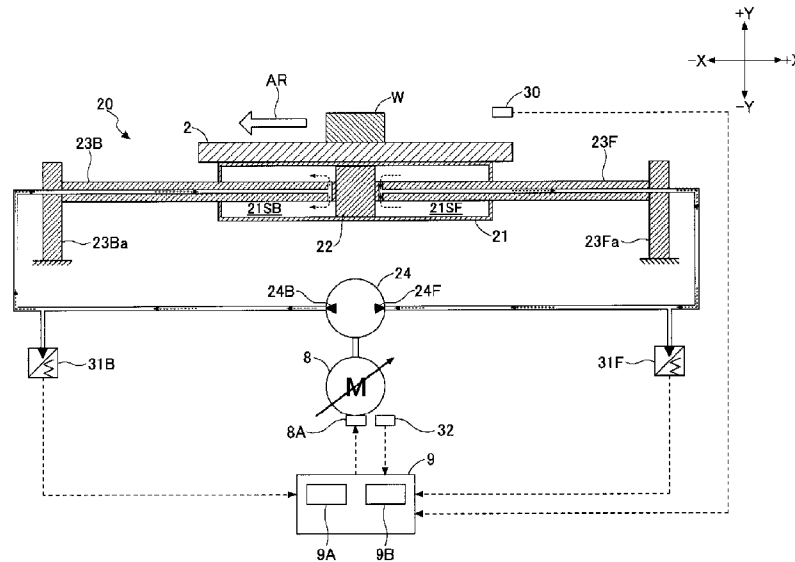
(43) 国際公開日  
2013年10月17日(17.10.2013)



(10) 国際公開番号  
WO 2013/153836 A1

- (51) 国際特許分類:  
B24B 47/06 (2006.01) B24B 7/02 (2006.01)
  - (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/051933
  - (22) 国際出願日: 2013年1月29日(29.01.2013)
  - (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 2012-091326 2012年4月12日(12.04.2012) JP
  - (71) 出願人: 住友重機械工業株式会社 (SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒1416025 東京都品川区大崎二丁目1番1号 Tokyo (JP).
  - (72) 発明者: 小木曾 太郎 (OGISO, Taro); 〒2378555 神奈川県横須賀市夏島町19番地 住友重機械工業株式会社 横須賀製造所内 Kanagawa (JP).
  - (74) 代理人: 伊東 忠重, 外 (ITOH, Tadashige et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目1番1号丸の内 M Y P L A Z A (明治安田生命ビル) 16階 Tokyo (JP).
  - (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, 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, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:  
— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: SURFACE GRINDER  
(54) 発明の名称: 平面研削盤



(57) Abstract: A surface grinder (100) causes an x-axis table (2) to move by using a table moving mechanism (20) that includes a bi-directional hydraulic pump (24), and the surface grinder is provided with the following: a control device (9) for controlling the movement of the x-axis table (2) where the position or speed of the x-axis table (2) serves as the control target; a main controller (9A) for controlling the bi-directional hydraulic pump (24) in accordance with a table position instruction or a table speed instruction from the control device (9); and a thrust compensator (9B) for controlling the bi-directional hydraulic pump (24) so as to cancel force that prevents the movement of the x-axis table (2).

(57) 要約: 双方向油圧ポンプ24を含むテーブル移動機構20を用いてX軸テーブル2を移動させる平面研削盤100は、X軸テーブル2の位置又は速度を制御目標としてX軸テーブル2の移動を制御する制御装置9と、制御装置9からのテーブル位置指令又はテーブル速度指令に応じて、双方向油圧ポンプ24を制御する主制御器9Aと、X軸テーブル2の移動を妨げる力を打ち消すように双方向油圧ポンプ24を制御する推力補償器9Bとを備える。

WO 2013/153836 A1

## 明 細 書

**発明の名称：平面研削盤**

### 技術分野

[0001] 本発明は、平面研削盤に関し、より詳細には、被研削物を載せる可動テーブルを備えた平面研削盤に関する。

### 背景技術

[0002] 従来、双方向油圧ポンプ及び油圧シリンダを含む閉回路油圧システムを用いて可動テーブルを往復移動させる電気－油圧変換式駆動装置が知られている（例えば、特許文献1参照。）。

[0003] この装置は、可動テーブルの送り速度を検出するタコジェネレータの出力に基づいて、双方向油圧ポンプを駆動する電気サーボモータの回転速度を制御する。この構成により、開回路油圧システムのように作動油の流れを制御するバルブを配置する必要なく可動テーブルの送り速度を制御でき、エネルギー効率を向上させることができる。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0004] 特許文献1：特開昭62-184206号公報

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、特許文献1の電気－油圧変換式駆動装置は、可動テーブルの指令速度に基づいて電気サーボモータの回転速度を制御するのみである。そのため、油圧シリンダ内でピストンを摺動させる際に、油圧パッキン等のピストンシールと油圧シリンダの内壁との間に発生する摩擦力による制御性の悪化を防止できない。その結果、可動テーブルの移動を開始させる際の可動テーブルの動きを不安定にしてしまう。

[0006] 上述の点に鑑み、本発明は、可動テーブルの移動を開始させる際の可動テーブルの動きを安定化させることができる平面研削盤を提供することを目的

とする。

### 課題を解決するための手段

[0007] 上述の目的を達成するために、本発明の実施例に係る平面研削盤は、双方向液圧ポンプを含む閉回路液圧システムを用いて可動テーブルを移動させる平面研削盤であって、前記可動テーブルの位置又は速度を制御目標として前記可動テーブルの移動を制御する制御装置と、前記制御装置からのテーブル位置指令又はテーブル速度指令に応じて、前記双方向液圧ポンプの回転数を制御する主制御器と、前記可動テーブルの移動を妨げる力を打ち消すように前記双方向液圧ポンプを制御する副制御器と、を備える。

### 発明の効果

[0008] 上述の手段により、本発明は、可動テーブルの移動を開始させる際の可動テーブルの動きを安定化させることができる平面研削盤を提供することができる。

### 図面の簡単な説明

- [0009] [図1]本発明の実施例に係る平面研削盤の側面図である。  
[図2]図1の平面研削盤の上面図である。  
[図3]テーブル移動機構の正断面図である。  
[図4]テーブル移動機構の側断面図である。  
[図5]テーブル移動機構の構成例を示す概略図である。  
[図6]補償指令の値と摩擦力との間の関係を示す図である。  
[図7]平面研削盤がX軸テーブルを移動させる際の制御の流れを示す図（その1）である。  
[図8]主制御器の構成例を示す図（その1）である。  
[図9]主制御器の構成例を示す図（その2）である。  
[図10]主制御器の構成例を示す図（その3）である。  
[図11]主制御器の構成例を示す図（その4）である。  
[図12]X軸テーブルのテーブル位置、テーブル速度、及びテーブル加速度の時間推移を示す図である。

[図13]推力補償器の構成例を示す図（その1）である。

[図14]推力補償器の構成例を示す図（その2）である。

[図15]平面研削盤がX軸テーブルを移動させる際の制御の流れを示す図（その2）である。

[図16]双方向油圧ポンプによる推力の時間推移、及び、X軸テーブルのテーブル速度の時間推移を示す図である。

### 発明を実施するための形態

[0010] 以下、図面を参照しつつ、本発明を実施するための最良の形態の説明を行う。

[0011] 図1は、本発明の実施例に係る平面研削盤100の側面図であり、図2は、その上面図である。平面研削盤100は、主に、本体ベッド1、X軸テーブル2、横軸砥石用コラム3、横軸砥石ヘッド4、砥石ヘッド回転用モータ5、砥石ヘッド上下送り用モータ6、砥石ヘッド左右送り用モータ7、テーブル駆動用モータ8、及び制御装置9を含む。

[0012] 本体ベッド1は、可動テーブルとしてのX軸テーブル2をX軸方向に往復移動可能に支持する台座である。具体的には、本体ベッド1は、X軸テーブル2の下面から突出するガイドレールを受け入れるレール溝1AL、1ARをその上面に有する。

[0013] X軸テーブル2は、本体ベッド1上をX軸方向に摺動可能な可動テーブルであり、その上面で被研削物（ワーク）Wを支持する。

[0014] 横軸砥石用コラム3は、横軸砥石ヘッド4を上下方向（Z軸方向）及び左右方向（Y軸方向）に移動可能に支持する装置である。

[0015] 横軸砥石ヘッド4は、砥石軸40を有する砥石ヘッドである。本実施例では、砥石軸40の先端には、砥石車41が取り付けられる。

[0016] 砥石ヘッド回転用モータ5は、横軸砥石ヘッド4の砥石軸40を回転させるモータであり、例えば、サーボモータが用いられる。

[0017] 砥石ヘッド上下送り用モータ6は、横軸砥石ヘッド4を上下方向（Z軸方向）に移動させるための砥石ヘッド上下移動機構を駆動するモータである。

本実施例では、砥石ヘッド上下送り用モータ6は、横軸砥石ヘッド4をZ軸方向に移動させるボールねじ機構におけるボールねじ軸又はボールねじナットを回転させるためのサーボモータである。

[0018] 砥石ヘッド左右送り用モータ7は、横軸砥石ヘッド4を左右方向（Y軸方向）に移動させるための砥石ヘッド左右移動機構を駆動するモータである。本実施例では、砥石ヘッド左右送り用モータ7は、横軸砥石ヘッド4をY軸方向に移動させるボールねじ機構におけるボールねじ軸又はボールねじナットを回転させるためのサーボモータである。

[0019] なお、上下移動機構及び左右移動機構は、ラックアンドピニオン機構等の他の機構であってもよい。

[0020] テーブル駆動用モータ8は、X軸テーブル2をX軸方向に移動させるためのテーブル移動機構を駆動するモータである。本実施例では、テーブル駆動用モータ8は、閉回路油圧システムであるテーブル移動機構を構成する双方向油圧ポンプを回転させるためのサーボモータである。

[0021] 制御装置9は、平面研削盤100の動きを制御する装置であり、例えば、CPU、RAM、ROM等を備えたコンピュータである。

[0022] 具体的には、制御装置9は、テーブル駆動用モータ8を制御してX軸テーブル2上のワークWを所定位置に移動させる。また、制御装置9は、砥石ヘッド上下送り用モータ6及び砥石ヘッド左右送り用モータ7を制御して横軸砥石ヘッド4を所定位置に移動させる。

[0023] その後、制御装置9は、砥石ヘッド回転用モータ5を制御して横軸砥石ヘッド4の回転を開始させ、且つ、テーブル駆動用モータ8を制御してX軸テーブル2を+X方向に移動させ、砥石車41をワークWに接触させて1回目の研削加工を開始する。

[0024] テーブル駆動用モータ8によりX軸テーブル2を+X方向の所定位置まで移動させると、すなわち砥石車41によるワークWに対する1回目の研削加工が終了すると、制御装置9は、X軸テーブル2を-X方向に移動させて元の位置に戻す。その際、制御装置9は、砥石ヘッド上下送り用モータ6によ

り横軸砥石ヘッド4を上昇させてもよい。X軸テーブル2を元に戻すときに横軸砥石ヘッド4がワークWと接触しないようにするためである。このとき、制御装置9は、砥石ヘッド回転用モータ5を一旦停止させてもよい。

[0025] その後、制御装置9は、砥石ヘッド回転用モータ5により横軸砥石ヘッド4を回転させ、砥石ヘッド上下送り用モータ6により横軸砥石ヘッド4を下降させる。そして、制御装置9は、テーブル駆動用モータ8を制御してX軸テーブル2を+X方向に移動させ、砥石車41をワークWに接触させて2回目の研削加工を開始する。

[0026] 上述の動きを繰り返すことによって、制御装置9は、ワークWの研削を実行する。なお、制御装置9は、X軸テーブルを-X方向に移動させる際に砥石車41をワークWに接触させて研削加工を行ってもよい。

[0027] 次に、図3～図5を参照しながら、テーブル移動機構20について説明する。なお、図3は、図1及び図2のそれぞれにおける一点鎖線を含む鉛直面を矢印ⅠⅠで示す方向から見た正断面図であり、図4は、図2及び図3のそれぞれにおける二点鎖線を含む鉛直面を矢印ⅠⅤで示す方向から見た側断面図である。図5は、テーブル移動機構20の構成例を示す概略図である。なお、図5では、明瞭化のため、本体ベッド1の図示を省略している。

[0028] 図5に示すように、テーブル移動機構20は、X軸テーブル2をX軸方向に往復移動させる機構であり、主に、シリンダ21、ピストン22、第1軸23F、第2軸23B、及び双方向油圧ポンプ24を含む閉回路油圧システムで構成される。

[0029] シリンダ21は、X軸テーブル2の下面に固定され、X軸テーブル2と共に本体ベッド1上をX軸方向に移動する。また、シリンダ21は、内部に圧力室21S（図4参照。）を備え、ピストン22が圧力室21Sの内壁に対して相対的にスライドできるようにピストン22を圧力室21S内に受け入れる。なお、圧力室21Sは、図4に示すように、ピストン22によって、第1圧力室21SFと第2圧力室21SBに分離される。

[0030] 第1軸23Fは、一端がピストン22の+X側の面に固定され、他端が外

部の静止物 23Fa に固定される円筒部材である。同様に、第 2 軸 23B は、一端がピストン 22 の -X 側の面に固定され、他端が外部の静止物 23Ba に固定される円筒部材である。なお、静止物 23Fa、23Ba は、X 軸テーブル 2 を移動させる場合にシリンダ 21、第 1 軸 23F、及び第 2 軸 23B を静止したまま保持できる物体であればよく、例えば、本体ベッド 1 であってもよい。

[0031] ピストン 22 は、シリンダ 21 の圧力室 21S 内で、圧力室 21S の内壁に対して相対移動できるように圧力室 21S 内に收容される円板部材である。また、ピストン 22 は、+X 側の面が第 1 軸 23F に接続され、-X 側の面が第 1 軸 23F に接続される。

[0032] このような構成により、シリンダ 21 は、X 軸テーブル 2 と共に、本体ベッド 1 に対して往復移動可能であるのに対し、第 1 軸 23F、第 2 軸 23B、及びピストン 22 は、本体ベッド 1 に対して静止するように配置される。

[0033] X 軸テーブル 2 は、図 3 に示すように、その下面から -Z 方向に突出する 2 つの V 字型のガイドレール 2BL、2BR を備える。また、X 軸テーブル 2 は、静圧軸受機構、動圧軸受機構、若しくはそれらの組み合わせ又はその他の軸受機構を用い、本体ベッド 1 上を X 軸方向に往復移動できるように、本体ベッド 1 によって支持される。なお、ガイドレール形状は必ずしも V 字型である必要はない。

[0034] また、X 軸テーブル 2 の X 軸方向の往復移動は、テーブル駆動用モータ 8 によって駆動される双方向油圧ポンプ 24 によって制御される。具体的には、図 4 及び図 5 に示すように、X 軸テーブル 2 を矢印 AR で示す方向 (-X 方向) に移動させる場合、双方向油圧ポンプ 24 の第 2 ポート 24B が吐出する作動油は、点線で示すように、第 2 軸 23B を通ってシリンダ 21 の第 2 圧力室 21SB に流入する。一方で、シリンダ 21 の第 1 圧力室 21SF 内の作動油は、第 1 軸 23F を通って双方向油圧ポンプ 24 の第 1 ポート 24F に至る。その結果、第 2 圧力室 21SB の体積が増大し、第 1 圧力室 21SF の体積が減少して、X 軸テーブル 2 は、-X 方向に移動させられる。

- [0035] 図示は省略するが、X軸テーブル2を+X方向に移動させる場合には、双方向油圧ポンプ24の第1ポート24Fが吐出する作動油は、第1軸23Fを通過してシリンダ21の第1圧力室21SFに流入する。一方で、シリンダ21の第2圧力室21SB内の作動油は、第2軸23Bを通過して双方向油圧ポンプ24の第2ポート24Bに至る。その結果、第1圧力室21SFの体積が増大し、第2圧力室21SBの体積が減少して、X軸テーブル2は、+X方向に移動させられる。
- [0036] 双方向油圧ポンプ24は、図5に示すように、テーブル駆動用モータ8によって回転駆動され、テーブル駆動用モータ8の回転方向及び回転数に応じた流量の作動油を第1ポート24F又は第2ポート24Bから吐出する。
- [0037] テーブル駆動用モータ8は、モータドライバ8Aが供給する電流に応じて駆動される。モータドライバ8Aは、制御装置9の主制御器9Aからのモータ回転数指令又はトルク指令と副制御器としての推力補償器9Bからのモータ回転数指令又はトルク指令とに応じてテーブル駆動用モータ8に電流を供給する。例えば、モータドライバ8Aは、主制御器9Aからのモータ回転数指令と推力補償器9Bからのモータ回転数指令とに応じてテーブル駆動用モータ8に電流を供給してもよく、主制御器9Aからのトルク指令と推力補償器9Bからのトルク指令とに応じてテーブル駆動用モータ8に電流を供給してもよい。或いは、モータドライバ8Aは、主制御器9Aからのモータ回転数指令と推力補償器9Bからのトルク指令とに応じてテーブル駆動用モータ8に電流を供給してもよく、主制御器9Aからのトルク指令と推力補償器9Bからのモータ回転数指令とに応じてテーブル駆動用モータ8に電流を供給してもよい。
- [0038] 主制御器9Aは、X軸テーブル2を移動させるための力をシリンダ21が得るようにモータドライバ8Aに対してモータ回転数指令又はトルク指令を出力する。具体的には、主制御器9Aは、例えば、X軸テーブル2の慣性力と同じ大きさを持つ所望の移動方向を向く力をシリンダ21が得るようにモータドライバ8Aに対してモータ回転数指令又はトルク指令を出力する。な

お、X軸テーブル2の慣性力と同じ大きさを持つ所望の移動方向を向く力は、X軸テーブル2（ワークWを含む。）の質量にX軸テーブル2の加速度を乗算して得られる力である。

[0039] また、主制御器9Aは、双方向油圧ポンプ24の回転数を制御する。例えば、主制御器9Aは、制御装置9からの各種指令値と各種センサからの各種センサ出力とに基づいてモータ回転数指令又はトルク指令を生成する。具体的には、各種指令値は、操作者の入力等に応じて制御装置9が生成する指令値であり、テーブル位置指令、テーブル速度指令、テーブル加速度指令、テーブル駆動用モータ回転数指令（モータ速度指令）等の値を含む。また、各種センサ出力は、変位センサ30、第1シリンダ圧センサ31F、第2シリンダ圧センサ31B、回転数センサ32等の出力を含む。

[0040] 変位センサ30は、X軸テーブル2の変位を検出する変位センサであり、例えば、X軸テーブル2の所定の基準位置に対する直線変位を検出し、検出結果を制御装置9に対して出力する。本実施例では、変位センサ30として例えばリニアスケールが用いられる。

[0041] 第1シリンダ圧センサ31Fは、シリンダ21における第1圧力室21SFの圧力を検出するセンサであり、例えば、第1軸23Fと双方向油圧ポンプ24の第1ポート24Fとを接続する管路内の作動油の圧力を検出し、検出結果を制御装置9に対して出力する。

[0042] 同様に、第2シリンダ圧センサ31Bは、シリンダ21における第2圧力室21SBの圧力を検出するセンサであり、例えば、第2軸23Bと双方向油圧ポンプ24の第2ポート24Bとを接続する管路内の作動油の圧力を検出し、検出結果を制御装置9に対して出力する。

[0043] なお、第1シリンダ圧センサ31F、第2シリンダ圧センサ31Bは、第1圧力室21SF、第2圧力室21SBに取り付けられてもよく、第1軸23F、第2軸23Bに取り付けられてもよい。

[0044] 回転数センサ32は、テーブル駆動用モータ8の回転を検出するセンサであり、例えば、テーブル駆動用モータ8の回転方向及び回転角度を検出し、

検出結果を制御装置 9 に対して出力する。本実施例では、回転角センサ 3 2 として例えばレゾルバが用いられる。

[0045] 推力補償器 9 B は、X 軸テーブル 2 を移動させるための推力のうち、X 軸テーブル 2 の移動を妨げる力によって相殺される力を補償する機能要素である。

[0046] 具体的には、推力補償器 9 B は、X 軸テーブル 2 の移動を妨げる力のうち X 軸テーブル 2 の慣性力を除く力である移動抗力を打ち消すための力（以下、「予荷重力」とする。）をシリンダ 2 1 が得るようにモータドライバ 8 A に対してモータ回転数指令又はトルク指令を出力する。より具体的には、推力補償器 9 B は、例えば、X 軸テーブル 2 の最大静止摩擦力の大きさを持つ、所望の移動方向を向く予荷重力をシリンダ 2 1 が得るようにモータドライバ 8 A に対してモータ回転数指令又はトルク指令を出力する。なお、移動抗力は、例えば、摩擦力の他に、平面研削盤 1 0 0 による研削反力等を含む。

[0047] また、推力補償器 9 B は、制御装置 9 からの各種指令値と各種センサからの各種センサ出力とに基づいてモータ回転数指令又はトルク指令を生成する。具体的には、各種指令値は、操作者の入力等に応じて制御装置 9 が生成する指令値であり、少なくとも補償指令の値を含む。また、各種センサ出力は、変位センサ 3 0、第 1 シリンダ圧センサ 3 1 F、第 2 シリンダ圧センサ 3 1 B、回転数センサ 3 2、トルク検出器（図示せず。）等の出力を含む。

[0048] 補償指令の値は、補償値決定部としての制御装置 9 が決定する値であり、例えば、予荷重力を表す値である。

[0049] 具体的には、制御装置 9 は、移動抗力である摩擦力を計測するセンサを備える場合には、そのセンサの出力に基づいて補償指令の値を決定する。また、制御装置 9 は、X 軸テーブル 2 の位置、速度、シリンダ 2 1 の圧力室間の差圧等と、摩擦力に対する補償指令の値とを関連付ける参照テーブルや関数を予め用意しておいてもよい。この場合、制御装置 9 は、テーブル速度指令、又は、各種センサ出力に基づいて取得するテーブル位置若しくはテーブル速度等から、参照テーブルや関数を用いて補償指令の値を決定する。その結

果、制御装置 9 は、より早期に予荷重力を発生させることができ、X 軸テーブル 2 の動き出しを滑らかにすることができる。

[0050] また、制御装置 9 は、移動抗力である研削反力を計測するセンサを備える場合には、そのセンサの出力に基づいて補償指令の値を決定してもよい。また、制御装置 9 は、研削深さ、砥石軸 40 の回転速度等の研削条件と、研削反力に対する補償指令の値とを関連付ける参照テーブルや関数を予め用意しておいてもよい。この場合、制御装置 9 は、現在の研削条件から、参照テーブルや関数を用いて補償指令の値を決定する。その結果、制御装置 9 は、より早期に予荷重力を発生させることができ、X 軸テーブル 2 の動き出しを滑らかにすることができる。

[0051] 図 6 は、補償指令の値と摩擦力との間の関係を示す図である。図 6 は、横軸に X 軸テーブル 2 の移動速度（テーブル速度）を配し、縦軸に摩擦力を配する。

[0052] 図 6 に示すように、X 軸テーブル 2 の摩擦力は、テーブル速度が 0 の場合に最大静止摩擦力にあり、テーブル速度が所定速度  $V_{TH}$  以下の場合、テーブル速度が増加するにつれて減少し、テーブル速度が所定速度  $V_{TH}$  を上回ると、テーブル速度が増加するにつれて増加する。

[0053] 制御装置 9 は、例えば、この摩擦力の推移に沿うように、テーブル速度の増加に応じて補償指令の値を変化させる。また、制御装置 9 は、テーブル速度の変化にかかわらず、最大静止摩擦力以下の一定値（例えば、最大静止摩擦力の 90%）を補償指令の値として採用してもよい。

[0054] また、制御装置 9 は、テーブル速度が所定速度  $V_{TH}$  を上回る場合には、補償指令の値をゼロにしてもよい。テーブル速度が比較的 low、主制御器 9A による制御が比較的安定しない場合に限り、推力補償器 9B による追加的な制御を実行するためである。また、テーブル速度が比較的高く、主制御器 9A による制御が安定する場合の制御内容を単純化するためである。

[0055] 図 7 は、平面研削盤 100 が X 軸テーブル 2 を移動させる際の制御の流れを示す図である。図 7 に示すように、主制御器 9A は、テーブル位置指令、

テーブル速度指令、テーブル加速度指令、モータ速度指令の少なくとも1つを含む各種指令値を制御装置9から取得する。また、推力補償器9Bは、少なくとも補償指令を含む各種指令値を制御装置9から取得する。

[0056] そして、主制御器9A及び推力補償器9Bは、必要に応じて各種センサ出力を取得する。主制御器9Aが取得する各種センサ出力は、変位センサ30が出力するテーブル位置信号、シリンダ圧センサ31F、31Bが出力するシリンダ圧信号、回転角センサ32が出力するモータ回転角度信号の少なくとも1つを含む。例えば、主制御器9Aは、テーブル位置指令に基づいてX軸テーブル2の移動を制御する場合には、変位センサ30が出力するテーブル位置信号を取得する。また、主制御器9Aは、モータ速度指令に基づいてX軸テーブル2の移動を制御する場合には、回転数センサ32が出力するモータ回転角度信号を取得する。また、推力補償器9Bは、例えば、予荷重力のフィードバック制御を行う場合には、第1シリンダ圧センサ31Fが出力する第1シリンダ圧信号、及び、第2シリンダ圧センサ31Bが出力する第2シリンダ圧信号を取得する。この場合、推力補償器9Bは、シリンダ21の圧力室間の差圧に基づいてテーブル移動機構20が現に発生させている推力を監視しながら、モータドライバ8Aに対して出力するモータ回転数指令又はトルク指令の値を決定する。なお、推力補償器9Bは、センサ出力を取得しない場合もある。

[0057] その後、主制御器9A及び推力補償器9Bは、それぞれ、取得した各種指令値及び各種センサ出力に基づいてモータ回転数指令又はトルク指令を生成し、生成したモータ回転数指令又はトルク指令をモータドライバ8Aに対して出力する。

[0058] その後、モータドライバ8Aは、主制御器9A及び推力補償器9Bからのモータ回転数指令又はトルク指令に応じてテーブル駆動用モータ8に対して電流を供給する。

[0059] ここで、テーブル移動機構20を構成する閉回路油圧システムにおける、双方向油圧ポンプ24が吐出する作動油の流量QからX軸テーブル2のテー

ブル速度  $v$  までの伝達関数  $v/Q$  について説明する。

[0060] X軸テーブル2の中心とピストン22の中心とが同じ鉛直線上にある場合、伝達関数  $v/Q$  は、以下の式(1)で表される。

[0061] [数1]

$$\frac{v}{Q} = \frac{\frac{1}{A_{cyl}} \cdot \frac{2A_{cyl}^2 K_{oil}}{V_{cyl}}}{Ms^2 + Bs + \frac{2A_{cyl}^2 K_{oil}}{V_{cyl}}} \dots (1)$$

ここで、 $s$  はラプラス演算子を表し、 $A_{cyl}$  はピストン22の受圧面積を表し、 $V_{cyl}$  は圧力室21Sの容積を表し、 $M$  はX軸テーブル2の質量を表し、 $B$  はX軸テーブル2の粘性摩擦係数を表し、 $K_{oil}$  は作動油の体積弾性係数を表す。

[0062] 流量  $Q$  は、テーブル駆動用モータ8のモータ回転数  $\omega_m$  に比例するので、単位回転数当たりの押し退け容積を  $W_p$  とおけば、モータ回転数  $\omega_m$  からテーブル速度  $v$  までの伝達関数は、以下の式(2)で表される。

[0063] [数2]

$$\frac{v}{\omega_m} = \frac{\frac{W_p}{A_{cyl}} \cdot \frac{2A_{cyl}^2 K_{oil}}{V_{cyl}}}{Ms^2 + Bs + \frac{2A_{cyl}^2 K_{oil}}{V_{cyl}}} = \frac{K_{HST} \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta_n \omega_n s + \omega_n^2} \dots (2)$$

ここで、 $\omega_n$ 、 $\zeta_n$  は、それぞれ、X軸テーブル2の固有振動数、減衰係数であり、以下の式(3)、(4)で表される。

[0064] [数3]

$$\omega_n = \sqrt{\frac{2A_{cyl}^2 K_{oil}}{MV_{cyl}}} \dots (3)$$

[0065] [数4]

$$\zeta_n = \sqrt{\frac{B^2 V_{cyl}}{8MA_{cyl}^2 K_{oil}}} \dots (4)$$

また、 $K_{HST}$ は、閉回路油圧システムによるゲインであり、以下の式（5）で表される。

[0066] [数5]

$$K_{HST} = \frac{W_P}{A_{cyl}} \dots (5)$$

なお、固有振動数 $\omega_n$ は、 $\zeta_n = 0$ の場合に、X軸テーブル2の加減速時に生じるX軸テーブル2の固有振動数を意味する。また、減衰係数 $\zeta_n$ は、X軸テーブル2の振動の減衰性を表す係数であり、 $\zeta_n < 1$ の場合にあっては、値が1に近いほど振動が短時間で減衰することを表す。

[0067] また、X軸テーブル2の速度及び加速度のフィードバックを行う場合、速度指令 $v_{dir}$ からテーブル速度 $v$ までの伝達関数は、上述の式（2）に基づき、以下の式（6）で表される。

[0068]

[数6]

$$\frac{v}{v_{dir}} = \frac{K_{HST}\omega_n^2}{s^2 + (2\zeta_n + K_a K_{HST}\omega_n)\omega_n s + (1 + K_v K_{HST})\omega_n^2} = \frac{K_{HST}\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta_c \omega_c s + \omega_c^2} \dots (6)$$

ここで、 $\omega_c$ 、 $\zeta_c$ は、それぞれ、X軸テーブル2の速度及び加速度のフィードバックが行われる場合のX軸テーブル2の制御固有振動数、制御減衰係数であり、以下の式(7)、(8)で表される。

[0069] [数7]

$$\omega_c = \omega_n \sqrt{1 + K_v K_{HST}} \dots (7)$$

[0070] [数8]

$$\zeta_c = \frac{(2\zeta_n + K_a K_{HST}\omega_n)\omega_n}{2\omega_c} = \frac{2\zeta_n + K_a K_{HST}\omega_n}{2\sqrt{1 + K_v K_{HST}}} \dots (8)$$

なお、 $K_v$ 、 $K_a$ は、それぞれ、速度フィードバックゲイン、加速度フィードバックゲインであり、以下の式(9)、(10)で表される。

[0071]

[数9]

$$K_v = \frac{\frac{\omega_c^2}{\omega_n^2} - 1}{K_{HST}} \dots (9)$$

[0072] [数10]

$$K_a = \frac{2(\zeta_c \sqrt{1 + K_v K_{HST}} - \zeta_n)}{K_{HST} \omega_n} \dots (10)$$

上述の関係は、所望の制御減衰係数 $\zeta_c$ の値に応じて加速度フィードバックゲイン $K_a$ を決定できること、すなわち、加速度フィードバックゲイン $K_a$ を調節することによって所望の制御減衰係数 $\zeta_c$ の値を実現できることを意味する。なお、制御減衰係数 $\zeta_c$ の値は、例えば、 $0.7 (= 1/\sqrt{2}) \sim 1.0$ の間の値が選択されることが望ましい。

[0073] 次に、図8を参照しながら、主制御器9Aの構成例について説明する。

[0074] 図8の構成例では、主制御器9Aは、テーブル位置指令及びテーブル速度指令とテーブル位置信号とを取得し、モータドライバ8Aに対してモータ回転数指令又はトルク指令を出力する。

[0075] 具体的には、主制御器9Aは、先ず、比例制御則により、制御装置9からのテーブル位置指令が表す値から、変位センサ30からのテーブル位置信号が表す値 $PL$ を減算し、所定のゲイン $K_p$ を乗算して第1制御値 $V1$ を導き出す。なお、主制御器9Aは、比例制御則の代わりに比例積分制御則を用いてもよい。具体的には、主制御器9Aは、テーブル位置指令が表す値から値 $PL$ を減算した値と、その減算した値の積分値を所定の時定数で除算した値と

を加算した上で、所定のゲイン $K_p$ を乗算して第1制御値 $V_1$ を導き出してもよい。

[0076] その後、主制御器9Aは、制御装置9からのテーブル速度指令が表す値に速度フィードフォワードゲイン $K_{vff}$ を乗算した速度フィードフォワード値 $VFF$ と第1制御値 $V_1$ とを加算する。そして、主制御器9Aは、加算後の値( $V_1 + VFF$ )から、テーブル位置信号を疑似微分して得られるテーブル速度信号が表す値に速度フィードバックゲイン $K_v$ を乗算した速度フィードバック値 $VFB$ を減算して、第2制御値 $V_2$ を導き出す。

[0077] さらにその後、主制御器9Aは、第2制御値 $V_2$ から、テーブル速度信号を疑似微分して得られる、すなわち、テーブル位置信号を二階疑似微分して得られるテーブル加速度信号が表す値に加速度フィードバックゲイン $K_a$ を乗算した加速度フィードバック値 $AFB$ を減算して、モータ回転数指令又はトルク指令を導き出す。

[0078] なお、主制御器9Aは、制御装置9からのテーブル加速度指令が表す値に加速度フィードフォワードゲイン $K_{aff}$ を乗算した加速度フィードフォワード値 $AFF$ (図示せず。)と第2制御値 $V_2$ とを加算した上で加速度フィードバック値 $AFB$ を減算してモータ回転数指令又はトルク指令を導き出してもよい。また、主制御器9Aは、速度フィードバック値 $VFB$ の算出、及び、第1制御値 $V_1$ と速度フィードフォワード値 $VFF$ の合計値からの速度フィードバック値 $VFB$ の減算を省略してもよい。

[0079] このように、図8に示す主制御器9Aは、式(6)で表される伝達関数を有する制御モデルの下で、加速度フィードバックゲイン $K_a$ を調節することによって、所望の制御減衰係数 $\zeta$ を実現することができる。その結果、図8に示す主制御器9Aを備える平面研削盤100は、X軸テーブル2の加速又は減速の際に生じるX軸テーブル2の振動を早期に減衰させることができる。

[0080] 次に、図9を参照しながら、主制御器9Aの別の構成例について説明する。

[0081] 図9の構成例では、主制御器9Aは、テーブル位置信号の代わりに、第1

シリンダ圧センサ 3 1 F 及び第 2 シリンダ圧センサ 3 1 B から第 1 シリンダ圧信号及び第 2 シリンダ圧信号を取得する点で、図 8 の場合と相違する。すなわち、圧力室間の差圧から導き出されるテーブル加速度信号をフィードバックする点で、テーブル位置信号を二階微分して得られるテーブル加速度信号をフィードバックする図 8 の制御と相違する。

[0082] また、主制御器 9 A は、テーブル位置指令に基づいて第 1 制御値  $V_1$  を導き出すことなく、速度フィードフォワード値  $V_{ff}$  に基づいてモータ回転数指令又はトルク指令を導き出す点で図 8 の制御と相違する。

[0083] 具体的には、主制御器 9 A は、先ず、制御装置 9 からのテーブル速度指令が表す値に速度フィードフォワードゲイン  $K_{vff}$  を乗算した速度フィードフォワード値  $V_{ff}$  から加速度フィードバック値  $A_{fb}$  を減算して、モータ回転数指令又はトルク指令を導き出す。

[0084] なお、図 9 に示す制御では、主制御器 9 A は、第 1 シリンダ圧信号と第 2 シリンダ圧信号とに基づいて加速度フィードバック値  $A_{fb}$  を導き出す。

[0085] 具体的には、主制御器 9 A は、第 1 シリンダ圧信号と第 2 シリンダ圧信号との差を導き出し、導き出した値にローパスフィルタ及びハイパスフィルタを適用する。ローパスフィルタは、その差に含まれるノイズを除去するための機能要素であり、ハイパスフィルタは、その差に含まれる摩擦力の影響を除去するための機能要素である。なお、ローパスフィルタ及びハイパスフィルタを適用した後の信号は、例えば、X 軸テーブル 2 の固有振動数の 3 分の 1 ~ 5 倍程度の周波数を有する。

[0086] その後、主制御器 9 A は、差圧信号に  $A_{cy1}/M$  を乗算してテーブル加速度信号を得る。すなわち、主制御器 9 A は、運動方程式に基づいて、差圧信号が表す値にピストン 2 2 の受圧面積  $A_{cy1}$  を乗算して双方向油圧ポンプ 2 4 による駆動力を導き出し、その駆動力を X 軸テーブル 2 の質量  $M$  で除算して X 軸テーブル 2 の加速度を導き出す。なお、式 (9) による速度フィードバックゲインの決定、式 (10) による加速度フィードバックゲインの決定、並びに、差圧信号からの X 軸テーブル 2 の加速度の導出の際に用いる質量  $M$  は

、ワークWの質量に応じて変化する場合がある。この場合、実際の質量ではなく、ノミナルの質量を質量Mの値として用いてもよい。ノミナルの質量には、X軸テーブル2に搭載可能なワークWの最大質量を用いることが望ましい。

[0087] さらにその後、主制御器9Aは、テーブル加速度信号が表す値に加速度フィードバックゲイン $K_a$ を乗算して加速度フィードバック値AFBを導き出す。

[0088] なお、図9に示す制御においても、主制御器9Aは、制御装置9からのテーブル加速度指令が表す値に加速度フィードフォワードゲイン $K_{aff}$ を乗算した加速度フィードフォワード値AFF（図示せず。）と速度フィードフォワード値VFFとを加算した上で加速度フィードバック値AFBを減算してモータ回転数指令又はトルク指令を導き出してもよい。

[0089] また、図9に示す主制御器9Aは、第1シリンダ圧センサ31F及び第2シリンダ圧センサ31Bのそれぞれからシリンダ圧信号を取得する代わりに、第1圧力室21SFと第2圧力室21SBとの間の差圧を検出する差圧センサ（図示せず。）から差圧信号を取得してもよい。

[0090] このように、図9に示す主制御器9Aは、図8に示す場合と同様、式(6)で表される伝達関数を有する制御モデルの下で、加速度フィードバックゲイン $K_a$ を調節することによって、所望の制御減衰係数 $\zeta$ を実現することができる。その結果、図9に示す主制御器9Aを備える平面研削盤100は、X軸テーブル2の加速又は減速の際に生じるX軸テーブル2の振動を早期に減衰させることができる。

[0091] 次に、図10を参照しながら、主制御器9Aのさらに別の構成例について説明する。

[0092] 図10の構成例では、主制御器9Aは、テーブル位置信号の代わりに、タコジェネレータ等のテーブル速度センサ（図示せず。）からテーブル速度信号を取得する点で、図8の場合と相違する。すなわち、テーブル速度信号を一階微分して得られるテーブル加速度信号をフィードバックする点で、テー

ブル位置信号を二階微分して得られるテーブル加速度信号をフィードバックする図 8 の制御と相違する。

[0093] また、主制御器 9 A は、テーブル位置指令に基づいて第 1 制御値  $V_1$  を導き出すことなく、速度フィードフォワード値  $V_{FF}$  に基づいてモータ回転数指令又はトルク指令を導き出す点で図 8 の制御と相違する。

[0094] 具体的には、主制御器 9 A は、先ず、制御装置 9 からのテーブル速度指令が表す値に速度フィードフォワードゲイン  $K_{vff}$  を乗算した速度フィードフォワード値  $V_{FF}$  を導き出す。

[0095] その後、主制御器 9 A は、速度フィードフォワード値  $V_{FF}$  から、テーブル速度信号が表す値に速度フィードバックゲイン  $K_v$  を乗算した速度フィードバック値  $V_{FB}$  を減算して、第 2 制御値  $V_2$  を導き出す。

[0096] さらにその後、主制御器 9 A は、第 2 制御値  $V_2$  から、テーブル速度信号を一階疑似微分して得られるテーブル加速度信号が表す値に加速度フィードバックゲイン  $K_a$  を乗算した加速度フィードバック値  $A_{FB}$  を減算して、モータ回転数指令又はトルク指令を導き出す。

[0097] なお、図 10 に示す制御においても、主制御器 9 A は、制御装置 9 からのテーブル加速度指令が表す値に加速度フィードフォワードゲイン  $K_{aff}$  を乗算した値  $A_{FF}$  (図示せず。) と第 2 制御値  $V_2$  とを加算した上で加速度フィードバック値  $A_{FB}$  を減算してモータ回転数指令又はトルク指令を導き出してもよい。また、主制御器 9 A は、速度フィードバック値  $V_{FB}$  の算出、及び、速度フィードフォワード値  $V_{FF}$  からの速度フィードバック値  $V_{FB}$  の減算を省略してもよい。

[0098] このように、図 10 に示す主制御器 9 A は、図 8 に示す場合と同様、式 (6) で表される伝達関数を有する制御モデルの下で、加速度フィードバックゲイン  $K_a$  を調節することによって、所望の制御減衰係数  $\zeta_c$  を実現することができる。その結果、図 10 に示す主制御器 9 A を備える平面研削盤 100 は、X 軸テーブル 2 の加速又は減速の際に生じる X 軸テーブル 2 の振動を早期に減衰させることができる。

[0099] 次に、図 11 を参照しながら、主制御器 9 A のさらに別の構成例について説明する。

[0100] 図 11 の構成例では、主制御器 9 A は、テーブル位置信号の代わりに、テーブル加速度センサ（図示せず。）からテーブル加速度信号を取得する点で、図 8 の場合と相違する。すなわち、テーブル加速度センサから直接的に得られるテーブル加速度信号をフィードバックする点で、テーブル位置信号を二階微分して得られるテーブル加速度信号をフィードバックする図 8 の制御と相違する。

[0101] また、主制御器 9 A は、テーブル位置指令に基づいて第 1 制御値  $V_1$  を導き出すことなく、速度フィードフォワード値  $V_{FF}$  に基づいてモータ回転数指令又はトルク指令を導き出す点で図 8 の制御と相違する。

[0102] 具体的には、主制御器 9 A は、先ず、制御装置 9 からのテーブル速度指令が表す値に速度フィードフォワードゲイン  $K_{vff}$  を乗算した速度フィードフォワード値  $V_{FF}$  を導き出す。

[0103] その後、主制御器 9 A は、速度フィードフォワード値  $V_{FF}$  から加速度フィードバック値  $A_{FB}$  を減算して、モータ回転数指令又はトルク指令を導き出す。

[0104] なお、図 11 に示す制御においても、主制御器 9 A は、制御装置 9 からのテーブル加速度指令が表す値に加速度フィードフォワードゲイン  $K_{aff}$  を乗算した加速度フィードフォワード値  $A_{FF}$ （図示せず。）と速度フィードフォワード値  $V_{FF}$  とを加算した上で加速度フィードバック値  $A_{FB}$  を減算してモータ回転数指令又はトルク指令を導き出してもよい。

[0105] このように、図 11 に示す主制御器 9 A は、図 8 に示す場合と同様、式（6）で表される伝達関数を有する制御モデルの下で、加速度フィードバックゲイン  $K_a$  を調節することによって、所望の制御減衰係数  $\zeta_c$  を実現することができる。その結果、図 11 の主制御器 9 A を備える平面研削盤 100 は、X 軸テーブル 2 の加速又は減速の際に生じる X 軸テーブル 2 の振動を早期に減衰させることができる。

- [0106] なお、図8において、主制御器9Aは、テーブル位置指令及びテーブル速度指令の何れか一方の取得を省略してもよい。また、主制御器9Aは、テーブル位置、テーブル速度、及びテーブル加速度の一部又は全部に基づくフィードバック制御を省略してもよく、テーブル位置、テーブル速度、及びテーブル加速度の一部又は全部に基づくフィードフォワード制御を省略してもよい。
- [0107] また、図9～図11に示す主制御器9Aは、実際のテーブル位置の値とテーブル位置指令が表す値との差を打ち消すように、或いは、実際のテーブル速度の値とテーブル速度指令が表す値との差を打ち消すように、モータ回転数指令又はトルク指令を導出してもよい。例えば、図9～図11に示す主制御器9Aは、図8の場合と同様に、テーブル位置指令が表す値とテーブル位置信号が表す値PLとに基づいて算出する第1制御信号V1を速度フィードフォワード値VFFに加算するようにしてもよい。
- [0108] 次に、図12を参照しながら、主制御器9Aによって制御されるX軸テーブル2の振動減衰特性について説明する。なお、図12は、X軸テーブル2のテーブル位置、テーブル速度、及びテーブル加速度の時間推移を示す図であり、図12上図が加速度フィードバック値AFBを用いない場合の推移を示し、図12下図が加速度フィードバック値AFBを用いた場合の推移を示す。また、テーブル位置の時間推移は、図12上図及び図12下図で共通する。
- [0109] また、図12中のハッチング領域は、テーブル加速度の値が所定値未満となりテーブル速度が整定してから再びテーブル加速度の値が所定値以上となりテーブル速度が変動するまでの時間を表す。反対に、図12中の非ハッチング領域（白領域）は、テーブル加速度の値が所定値以上となりテーブル速度の変動が開始してからテーブル加速度の値が所定値未満となりテーブル速度が整定するまでの時間を表す。以下では、ハッチング領域をテーブル速度安定期と称し、非ハッチング領域（白領域）をテーブル速度変動期と称する。

- [0110] 図12に示すように、加速度フィードバック値AFBを用いた場合のテーブル速度変動期（図12下図の白領域）は、加速度フィードバック値AFBを用いない場合のテーブル速度変動期（図12上図の白領域）に比べて短い。また、加速度フィードバック値AFBを用いた場合のテーブル速度安定期（図12下図のハッチング領域）は、加速度フィードバック値AFBを用いない場合のテーブル速度安定期（図12上図のハッチング領域）に比べて長い。これは、X軸テーブル2の1回のストロークのうち、ワークWの研削に利用できる部分が長くなることを意味する。また、X軸テーブル2に載せられるワークWのX軸方向の許容最大長さをより大きくできることを意味する。すなわち、研削効率、エネルギー効率、及び適用性の何れもが改善されることを意味する。
- [0111] 以上の構成により、主制御器9Aを備えた平面研削盤100は、X軸テーブル2の加減速に伴って引き起こされるX軸テーブル2の振動を早期に減衰させ、研削効率、エネルギー効率、及び適用性を向上させることができる。
- [0112] また、主制御器9Aを備えた平面研削盤100の操作者は、加速度フィードバックゲイン $K_a$ を適切に調節することによって、X軸テーブル2のテーブル速度の整定時間を短縮することができる。
- [0113] また、操作者は、制御減衰係数 $\zeta$ の値を1に近づけるように加速度フィードバックゲイン $K_a$ を調節することによって、X軸テーブル2のテーブル速度が速度指令の値をオーバーシュートするのを低減或いは防止することができる。
- [0114] 次に、図13を参照しながら、推力補償器9Bの構成例について説明する。
- [0115] 図13の構成例では、推力補償器9Bは、制御装置9から補償指令を取得し、モータドライバ8Aに対してモータ回転数指令又はトルク指令を出力する。
- [0116] 具体的には、推力補償器9Bは、制御装置9からの補償指令が表す値 $F_0$ に、 $W_p / A_{cyl}$ を乗算してトルク指令の値を得る。なお、 $W_p$ は、双方向油圧ポ

ンプ24の単位回転当たりの押し退け容積であり、 $A_{cy1}$ は、ピストン22の受圧面積である。そのため、 $F_0/A_{cy1}$ は、シリンダ21の圧力室間の差圧 $DP_0$ を表し、 $DP_0 \times W_p$ は双方向油圧ポンプ24によるトルクを表す。

[0117] このように、推力補償器9Bは、予荷重力を発生させるために必要な差圧 $DP_0$ を決定した上で、その差圧 $DP_0$ を発生させるために必要なトルクの値を導き出し、導き出した値をトルク指令の値としてモータドライバ8Aに出力する。

[0118] 次に、図14を参照しながら、推力補償器9Bの別の構成例について説明する。

[0119] 図14の構成例では、推力補償器9Bは、制御装置9からテーブル加速度指令を取得し、且つ、第1シリンダ圧センサ31F及び第2シリンダ圧センサ31Bから第1シリンダ圧信号及び第2シリンダ圧信号を取得する点で、図13の場合と相違する。

[0120] 具体的には、推力補償器9Bは、テーブル加速度指令の値にX軸テーブル2の質量 $M$ を乗算してX軸テーブル2の慣性力を導き出す。

[0121] また、推力補償器9Bは、第1シリンダ圧信号と第2シリンダ圧信号との差にピストン22の受圧面積 $A_{cy1}$ を乗算して双方向油圧ポンプ24による推力を導き出す。

[0122] その後、推力補償器9Bは、補償指令の値が表す予荷重力とX軸テーブル2の慣性力とを加算する。なお、予荷重力は、X軸テーブル2を加速させる場合には、X軸テーブル2の慣性力と同じ符号を有するものとして加算される。すなわち、慣性力が正值の場合に予荷重力が正值となり、慣性力が負値の場合に予荷重力が負値となるようにして加算される。一方、予荷重力は、X軸テーブル2を減速させる場合には、X軸テーブル2の慣性力とは逆の符号を有するものとして加算される。すなわち、慣性力が負値の場合に予荷重力が正值となり、慣性力が正值の場合に予荷重力が負値となるようにして加算される。このようにして算出される値は、X軸テーブル2の移動を妨げる力を意味する。予荷重力は、X軸テーブル2の移動を妨げる力からX軸テ-

ブル2の慣性力を除いた力である移動抗力と同じ大きさの逆向きの力だからである。このようにして、推力補償器9Bは、移動抗力の影響を排除することができ、主制御器9Aは、X軸テーブル2が各種指令値にしたがって加減速するよう、双方向油圧ポンプ24を制御することができる。

[0123] その後、推力補償器9Bは、上述のようにして算出したX軸テーブル2の移動を妨げる力から、双方向油圧ポンプ24による推力を減算して、制御値V3を導き出す。

[0124] その後、推力補償器9Bは、制御値V3に所定の補償ゲイン $K_{comp}$ を乗算し、移動抗力によって相殺される推力を補償するためのモータ回転数指令又トルク指令を導き出す。

[0125] 例えば、操作者がX軸テーブル2の移動指令を未だ入力しておらず、テーブル加速度指令の値がゼロの場合、推力補償器9Bは、次にX軸テーブル2を移動させようとする方向を予荷重力の正方向とし、この予荷重力から双方向油圧ポンプ24による推力を減算して、制御値V3を導き出す。なお、次にX軸テーブル2を移動させようとする方向が未定の場合には、前回X軸テーブル2を移動させた方向を予荷重力の正方向としてもよい。X軸に垂直な面を研削加工する際には、所望の研削深さを実現すべく、1回当たりの所定の研削深さによる研削加工を複数回繰り返すために、X軸テーブル2が所定の研削深さに応じて一方向に断続的に移動させられる場合があるためである。

[0126] その上で、推力補償器9Bは、制御値V3に所定の補償ゲイン $K_{comp}$ を乗算し、移動抗力によって相殺される推力を補償するためのモータ回転数指令又トルク指令を導き出す。すなわち、双方向油圧ポンプ24による推力が予荷重力となるようにする。

[0127] このように、推力補償器9Bは、シリンダ21の圧力室間の差圧が所望の予荷重力を発生させるために必要な差圧となるようにモータ回転数指令又はトルク指令の値を決定し、決定した値をモータドライバ8Aに対して出力する。すなわち、推力補償器9Bは、シリンダ21の圧力室間の差圧のフィー

ドバック制御に基づいて決定したモータ回転数指令又はトルク指令の値をモータドライバ8 Aに対して出力する。

[0128] なお、推力補償器9 Bは、制御装置9からテーブル加速度指令を取得する代わりに、変位センサ30が出力するテーブル位置信号を二階微分してテーブル加速度信号を取得してもよい。また、タコジェネレータ等のテーブル速度センサ（図示せず。）が出力するテーブル速度信号を一階微分してテーブル加速度信号を取得してもよく、加速度センサ（図示せず。）からテーブル加速度信号を直接取得してもよい。

[0129] また、推力補償器9 Bは、補償ゲイン $K_{comp}$ を乗算する乗算器の代わりに、PI制御器を用いてもよい。

[0130] また、上述の実施例では、モータドライバ8 Aは、主制御器9 Aと推力補償器9 Bとがそれぞれ別々に出力するモータ回転数指令又トルク指令を受けるとは限らない。しかしながら、本発明はこれに限定されるものではない。例えば、モータドライバ8 Aは、図15に示すように、主制御器9 Aが出力するモータ回転数指令の値と推力補償器9 Bが出力するモータ回転数指令の値との合計値を受けるとしてもよい。或いは、モータドライバ8 Aは、図15に示すように、主制御器9 Aが出力するトルク指令の値と推力補償器9 Bが出力するトルク指令の値との合計値を受けるとしてもよい。

[0131] 次に、図16を参照しながら、推力補償器9 Bによる効果について説明する。なお、図16は、双方向油圧ポンプ24による推力の時間推移、及び、X軸テーブル2のテーブル速度の時間推移を示す図である。具体的には、F16A1は、推力補償器9 Bを用いない場合の推力の時間推移を示し、F16B1は、推力補償器9 Bを用いない場合のテーブル速度の時間推移を示す。また、F16A2は、推力補償器9 Bを用いた場合の推力の時間推移を示し、F16B2は、推力補償器9 Bを用いた場合のテーブル速度の時間推移を示す。

[0132] 推力補償器9 Bを用いない場合、F16A1に示すように、双方向油圧ポンプ24による推力は、時刻 $t_1$ において上昇を開始する。これは、例えば

、操作者がX軸テーブル2の移動指令を制御装置9に対して入力し、主制御器9Aによるテーブル駆動用モータ8の制御が開始されたことによる。なお、X軸テーブル2のテーブル速度はゼロのまま推移する。推力が最大静止摩擦力以下のためである。

[0133] その後、時刻t2において、推力が最大静止摩擦力を上回ると、X軸テーブル2は移動を開始する。X軸テーブル2のテーブル速度は上昇し、テーブル速度指令の値を超えてオーバーシュートする。時刻t1と時刻t2との間の時間が比較的長く、主制御器9Aによるモータ回転数指令又はトルク指令の値の増加率が過度に大きくなったためである。すなわち、主制御器9Aがモータ回転数指令又はトルク指令の値を増大させているにもかかわらずテーブル速度がゼロのままとなる時間が比較的長かったためである。なお、この傾向は、時刻t1と時刻t2との間の時間が長いほど顕著になる。

[0134] その後、推力は急激に減少し、さらには逆方向に増大する。オーバーシュートを打ち消すために、主制御器9Aがモータ回転数指令又はトルク指令の値を急激に減少させるためである。その結果、テーブル速度は、テーブル速度指令の値を下回ってアンダーシュートする。

[0135] その後、推力は急激に増大する。アンダーシュートを打ち消すために、主制御器9Aがモータ回転数指令又はトルク指令を急激に増大させるためである。

[0136] テーブル速度は、このようなオーバーシュートとアンダーシュートを繰り返しながら、時刻t3において、テーブル速度指令の値に収束する。なお、F16B1は、図の明瞭化のため、オーバーシュートとアンダーシュートがそれぞれ1回ずつ発生した状態を示す。

[0137] 一方、推力補償器9Bを用いた場合、F16A2に示すように、双方向油圧ポンプ24による推力は、時刻t0において、すなわち、操作者によるX軸テーブル2の移動指令が制御装置9に入力される前に、上昇を開始する。そして、双方向油圧ポンプ24による推力は補償指令の値まで上昇する。推力補償器9Bによる予荷重力を発生させるためのテーブル駆動用モータ8の

制御が開始されたことによる。なお、補償指令の値は最大静止摩擦力以下となるように決定される。最大静止摩擦力よりも大きいと、操作者による移動指令が制御装置 9 に入力される前に X 軸テーブル 2 が移動してしまうためである。そのため、X 軸テーブル 2 のテーブル速度はゼロのまま推移するが、X 軸テーブル 2 は、僅かな推力を加えることによって移動可能な状態となる。

[0138] なお、推力補償器 9 B は、X 軸テーブル 2 の現在位置や、研削に関する各種情報等に基づいてその後の X 軸テーブル 2 の移動方向を推定する。これにより、推力補償器 9 B は、操作者が X 軸テーブル 2 の移動指令を制御装置 9 に対して入力する前に、推定した方向を向く予荷重力を発生させることができる。

[0139] その後、双方向油圧ポンプ 2 4 による推力は、F 1 6 A 1 の場合と同様、時刻  $t_1$  において、上昇を開始する。操作者が X 軸テーブル 2 の移動指令を制御装置 9 に入力したためである。

[0140] その後、双方向油圧ポンプ 2 4 による推力は、時刻  $t_2 a$  において最大静止摩擦力を上回り、X 軸テーブル 2 は移動を開始する。X 軸テーブル 2 のテーブル速度は、F 1 6 A 1 の場合に比べて比較的緩やかに上昇し、オーバーシュート及びアンダーシュートを発生させることなく、時刻  $t_3 a$  において、テーブル速度指令の値に収束する。

[0141] F 1 6 A 1 における時刻  $t_1$  と時刻  $t_2$  との間の時間に比べ、時刻  $t_1$  と時刻  $t_2 a$  との間の時間が時間  $D_1$  だけ短く、主制御器 9 A によるモータ回転数指令又はトルク指令の値の増加率が過度に大きくなるためである。すなわち、主制御器 9 A がモータ回転数指令又はトルク指令の値を増大させているにもかかわらずテーブル速度がゼロのままとなる時間が短いためである。

[0142] その結果、推力補償器 9 B を用いた場合、テーブル速度が整定するまでの時間は、推力補償器 9 B を用いない場合に比べ、時間  $D_2$  だけ短縮される。

[0143] このように、推力補償器 9 B は、テーブル速度の絶対値が所定速度  $V_{TH}$  未

満であれば、移動抗力によって相殺される力を補償する。その結果、推力補償器 9 B を備える平面研削盤 1 0 0 は、X 軸テーブル 2 の移動を早期に且つ滑らかに開始させることができる。また、X 軸テーブル 2 の移動を開始させた直後に生じるテーブル速度のオーバーシュート及びアンダーシュートを抑制或いは防止することができる。

[0144] 以上、本発明の好ましい実施例について詳説したが、本発明は、上述した実施例に制限されることはなく、本発明の範囲を逸脱することなしに上述した実施例に種々の変形及び置換を加えることができる。

[0145] 例えば、上述の実施例において、平面研削盤 1 0 0 は、横軸砥石ヘッド 4 を採用するが、立軸砥石ヘッドを採用してもよい。また、砥石ヘッドは、傾斜可能な軸を備えていてもよい。

[0146] また、上述の実施例において、主制御器 9 A 及び推力補償器 9 B は、平面研削盤 1 0 0 のテーブル移動機構を構成する双方向油圧ポンプを駆動するテーブル駆動用モータ 8 を制御する。しかしながら、本発明はこれに限定されるものではない。例えば、主制御器 9 A 及び推力補償器 9 B は、建設機械、射出成形機、工作機械等に搭載される、重量物を移動させる閉回路油圧システムを構成する双方向油圧ポンプを駆動するモータを制御するものであってもよい。この場合、推力補償器 9 B は、モータが発生させる力のうち、建設機械における掘削反力、工作機械における切削反力等によって相殺される力を補償する。

[0147] また、上述の実施例では、閉回路油圧システムは、作動油の圧力（油圧）を用いる。しかしながら、本発明はこれに限定されるものではない。閉回路油圧システムは、例えば、油圧の代わりに水等の圧縮性の低い液体の圧力（液圧）を用いてもよい。

[0148] また、上述の実施例では、主制御器 9 A は、モータドライバ 8 A 及びテーブル駆動用モータ 8 を介して双方向油圧ポンプ 2 4 の回転数を制御する。しかしながら、本発明はこれに限定されるものではない。主制御器 9 A は、例えば、テーブル駆動用モータ 8 によって双方向油圧ポンプ 2 4 の回転数を制

御する代わりに、内燃機関によって双方向油圧ポンプ24の回転数を制御してもよい。

[0149] また、本願は、2012年4月12日に出願した日本国特許出願2012-091326号に基づく優先権を主張するものでありその日本国特許出願の全内容を本願に参照により援用する。

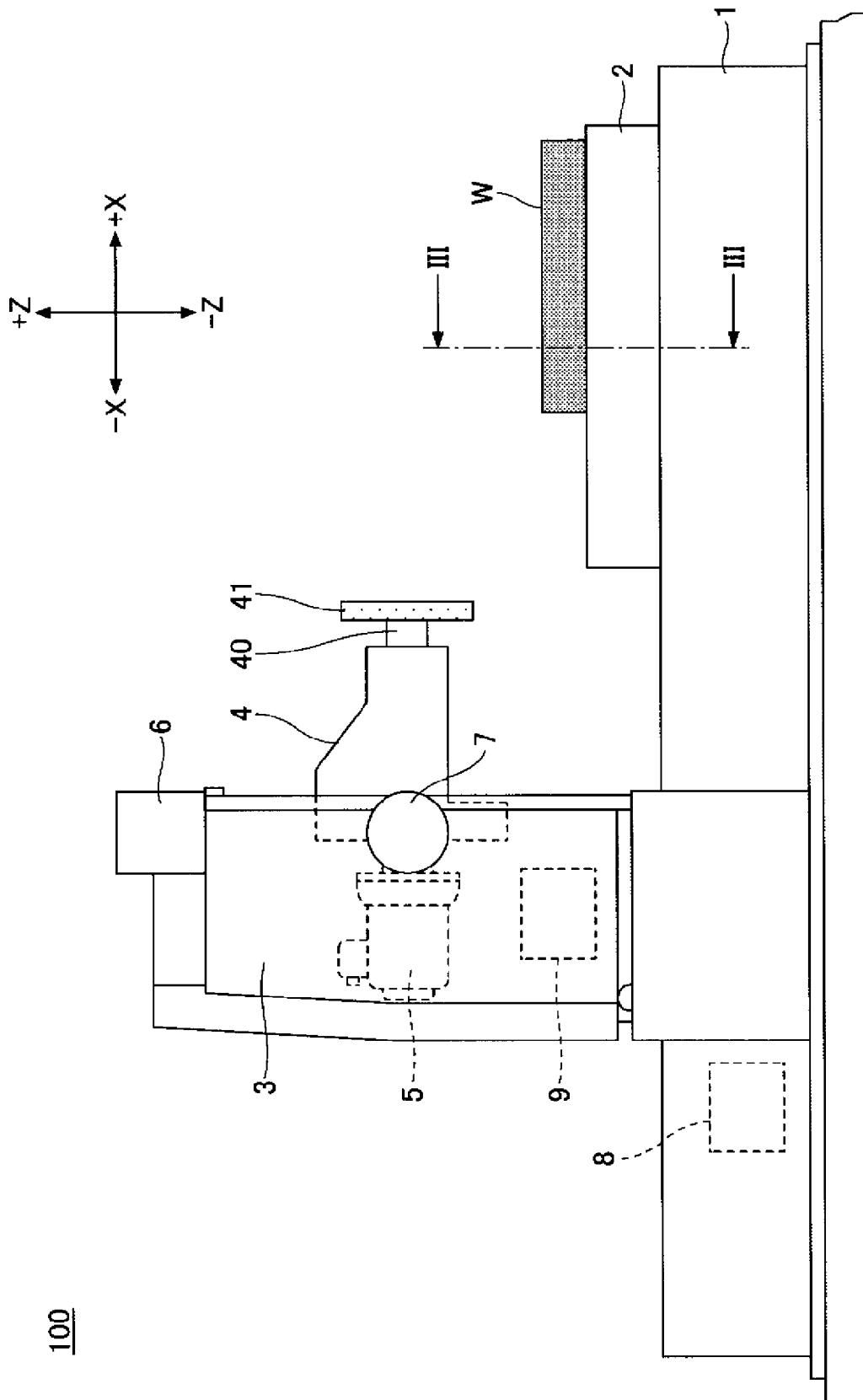
### 符号の説明

[0150] 1・・・本体ベッド 1AL、1AR・・・レール溝 2・・・X軸テーブル 2BL、2BR・・・ガイドレール 3・・・横軸砥石用コラム 4・・・横軸砥石ヘッド 5・・・砥石ヘッド回転用モータ 6・・・砥石ヘッド上下送り用モータ 7・・・砥石ヘッド左右送り用モータ 8・・・テーブル駆動用モータ 8A・・・モータドライバ 9・・・制御装置 9A・・・主制御器 20・・・テーブル移動機構 21・・・シリンダ 21S・・・圧力室 21SF・・・第1圧力室 21SB・・・第2圧力室 22・・・ピストン 23F・・・第1軸 23B・・・第2軸 23Fa、23Ba・・・静止物 24・・・双方向油圧ポンプ 24F・・・第1ポート 24B・・・第2ポート 30・・・変位センサ 31F、31B・・・シリンダ圧センサ 32・・・回転数センサ 40・・・砥石軸 41・・・砥石車 100・・・平面研削盤 W・・・ワーク

## 請求の範囲

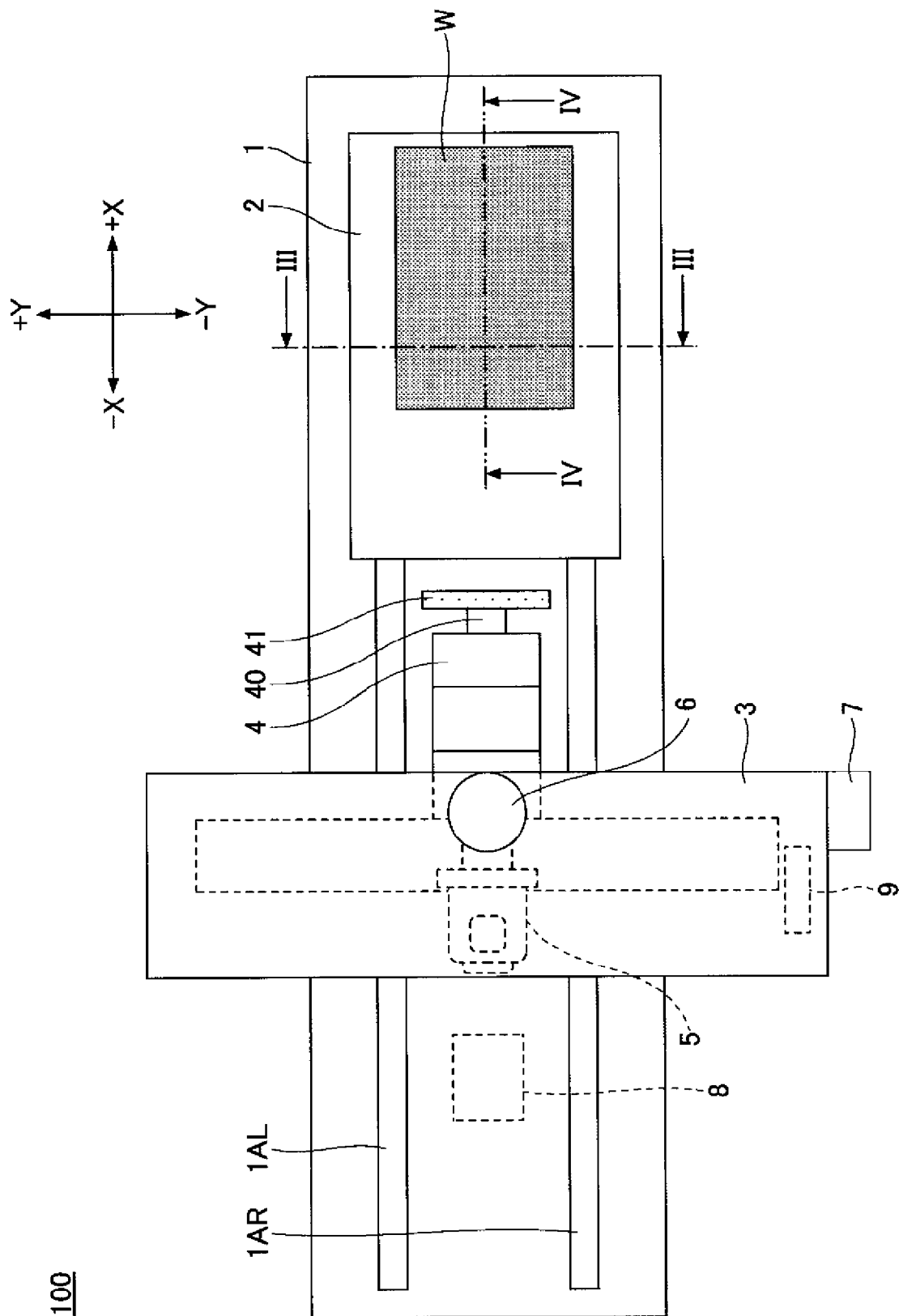
- [請求項1] 双方向液圧ポンプを含む閉回路液圧システムを用いて可動テーブルを移動させる平面研削盤であって、  
前記可動テーブルの位置又は速度を制御目標として前記可動テーブルの移動を制御する制御装置と、  
前記制御装置からのテーブル位置指令又はテーブル速度指令に応じて、前記双方向液圧ポンプを制御する主制御器と、  
前記可動テーブルの移動を妨げる力を打ち消すように前記双方向液圧ポンプを制御する副制御器と、を備える、  
平面研削盤。
- [請求項2] 前記副制御器は、前記可動テーブルの移動を妨げる力を打ち消すための力を表す前記制御装置からの指令値に前記可動テーブルの慣性力を加算した上で、前記双方向液圧ポンプを制御するための指令値を決定する、  
請求項1に記載の平面研削盤。
- [請求項3] 前記副制御器は、前記可動テーブルの移動速度が所定値以下の場合に、前記可動テーブルの移動を妨げる力を打ち消すように前記双方向液圧ポンプを制御する、  
請求項1に記載の平面研削盤。
- [請求項4] 前記副制御器は、前記双方向液圧ポンプを駆動する電動モータの回転数又はトルクを制御して、前記可動テーブルの移動を妨げる力を打ち消すように前記双方向液圧ポンプを制御する、  
請求項1に記載の平面研削盤。
- [請求項5] 前記副制御器は、前記主制御器による前記双方向液圧ポンプの回転数の制御とは別に、前記可動テーブルの移動を妨げる力を打ち消すように前記双方向液圧ポンプを制御する、  
請求項1に記載の平面研削盤。

[図1]



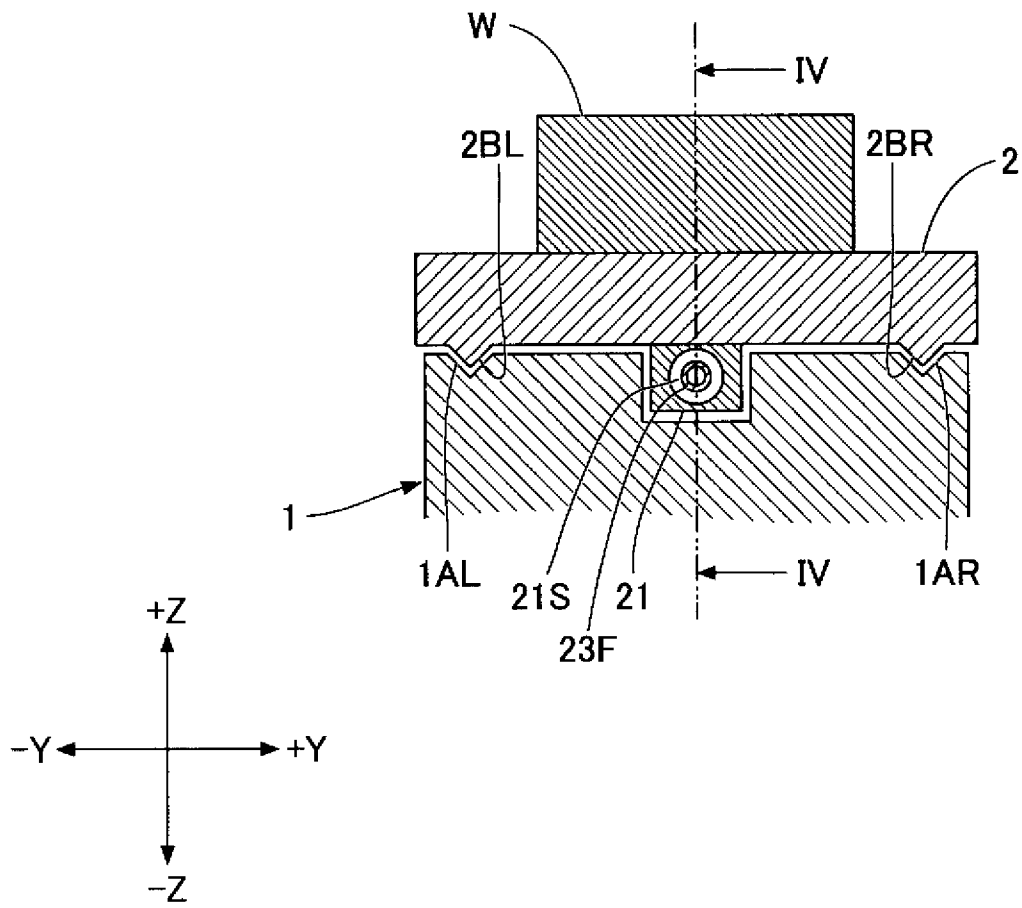
100

[図2]

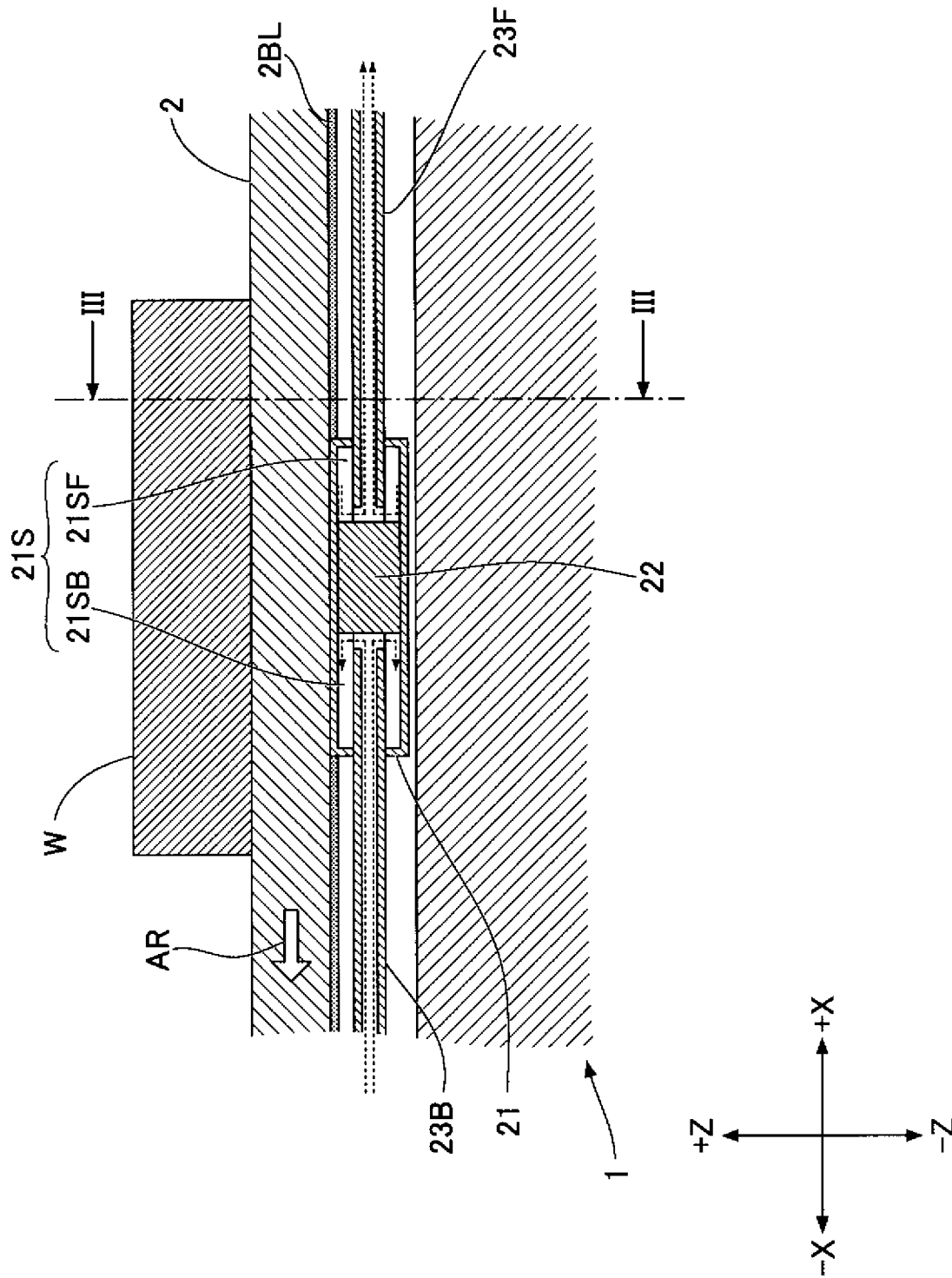


100

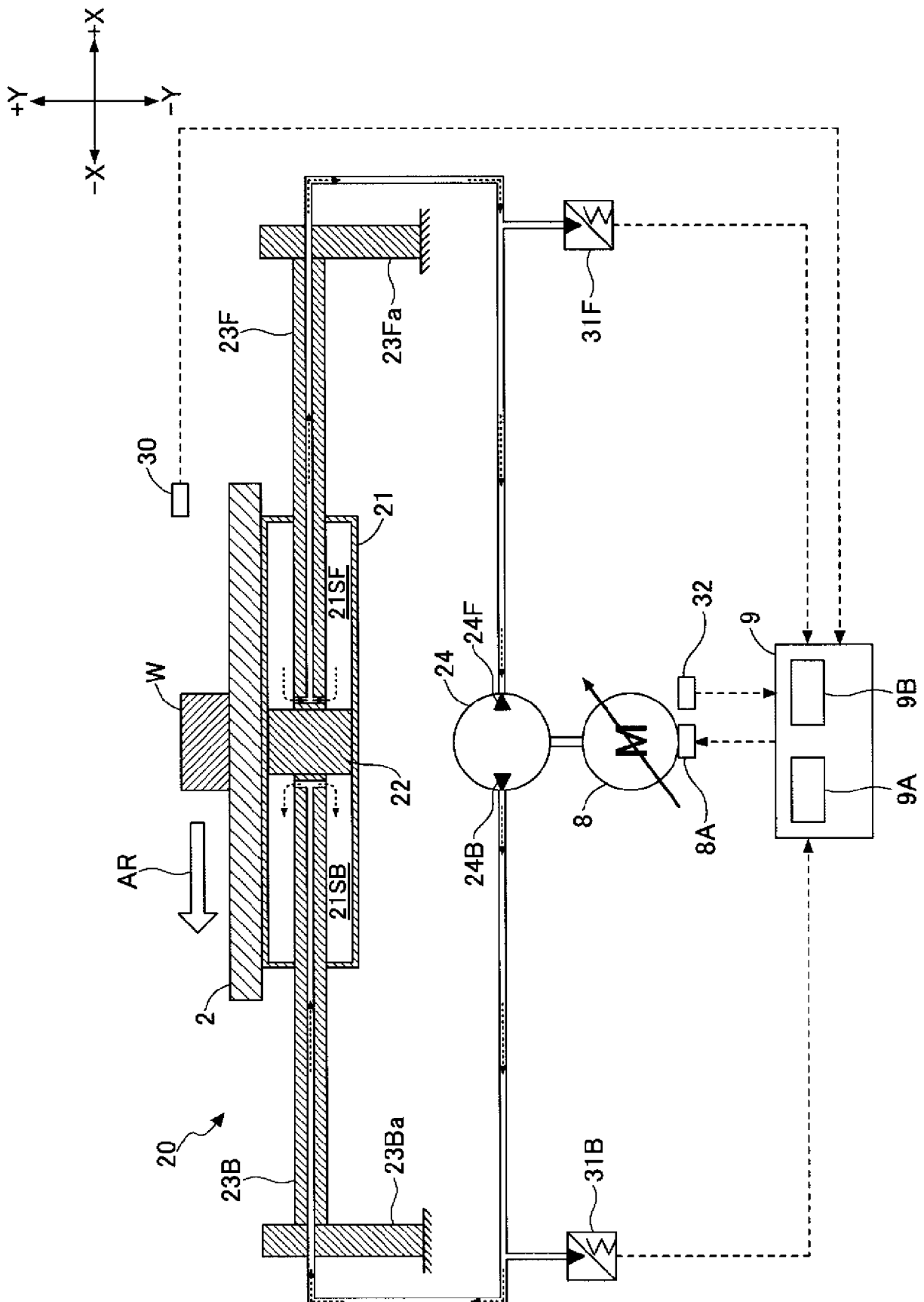
[図3]



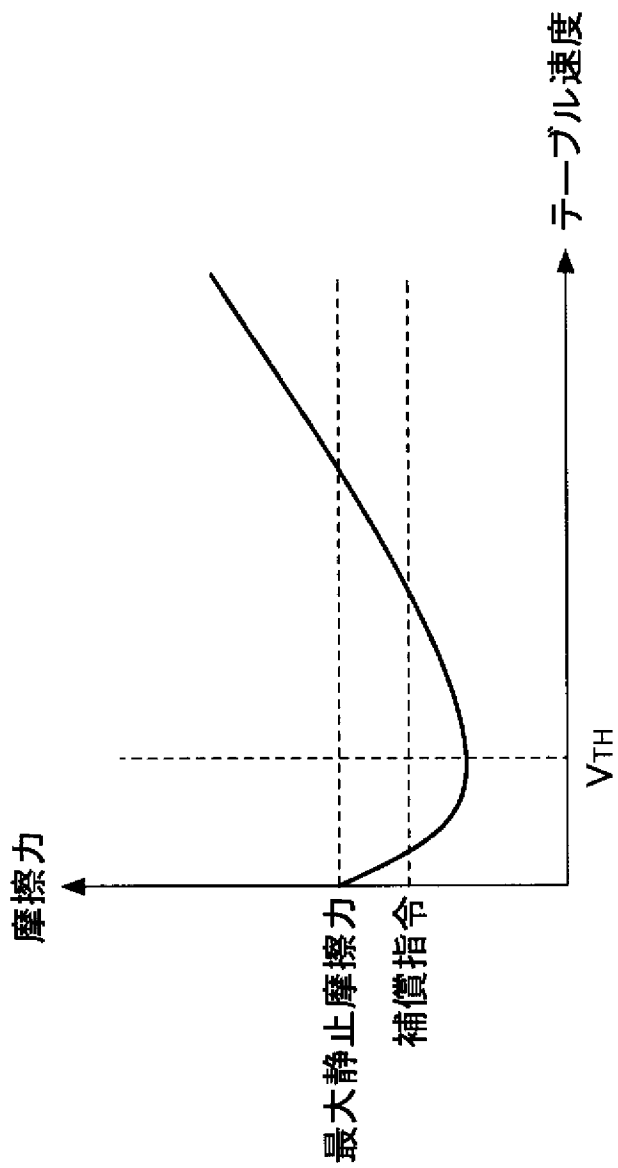
[図4]



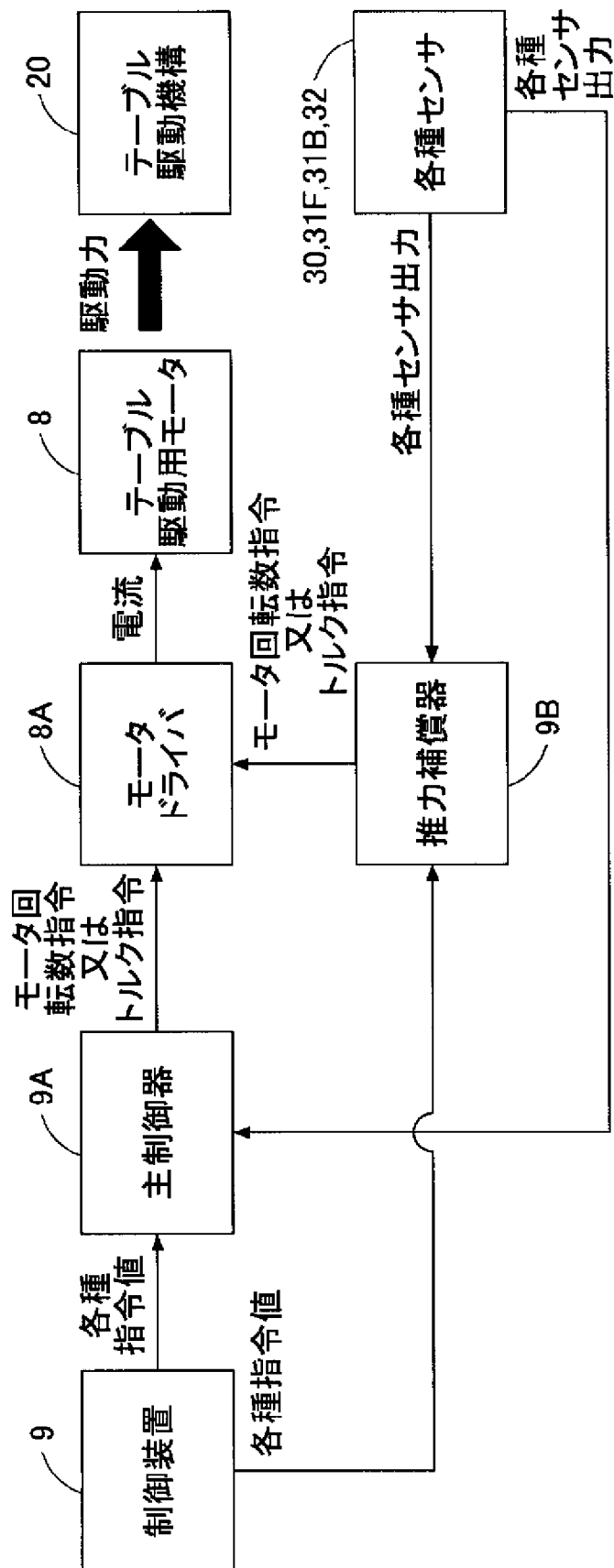
[図5]



[図6]

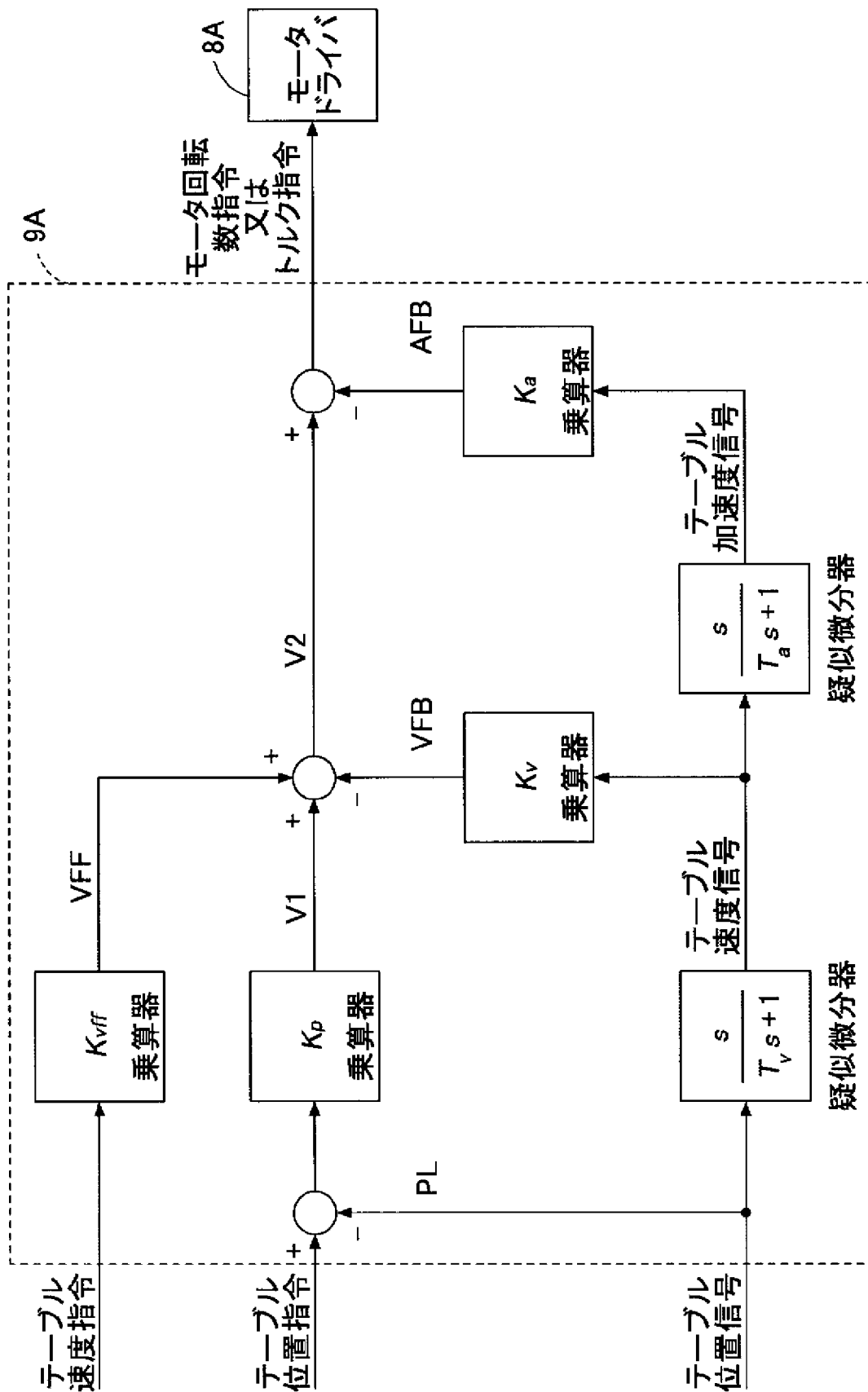


[図7]

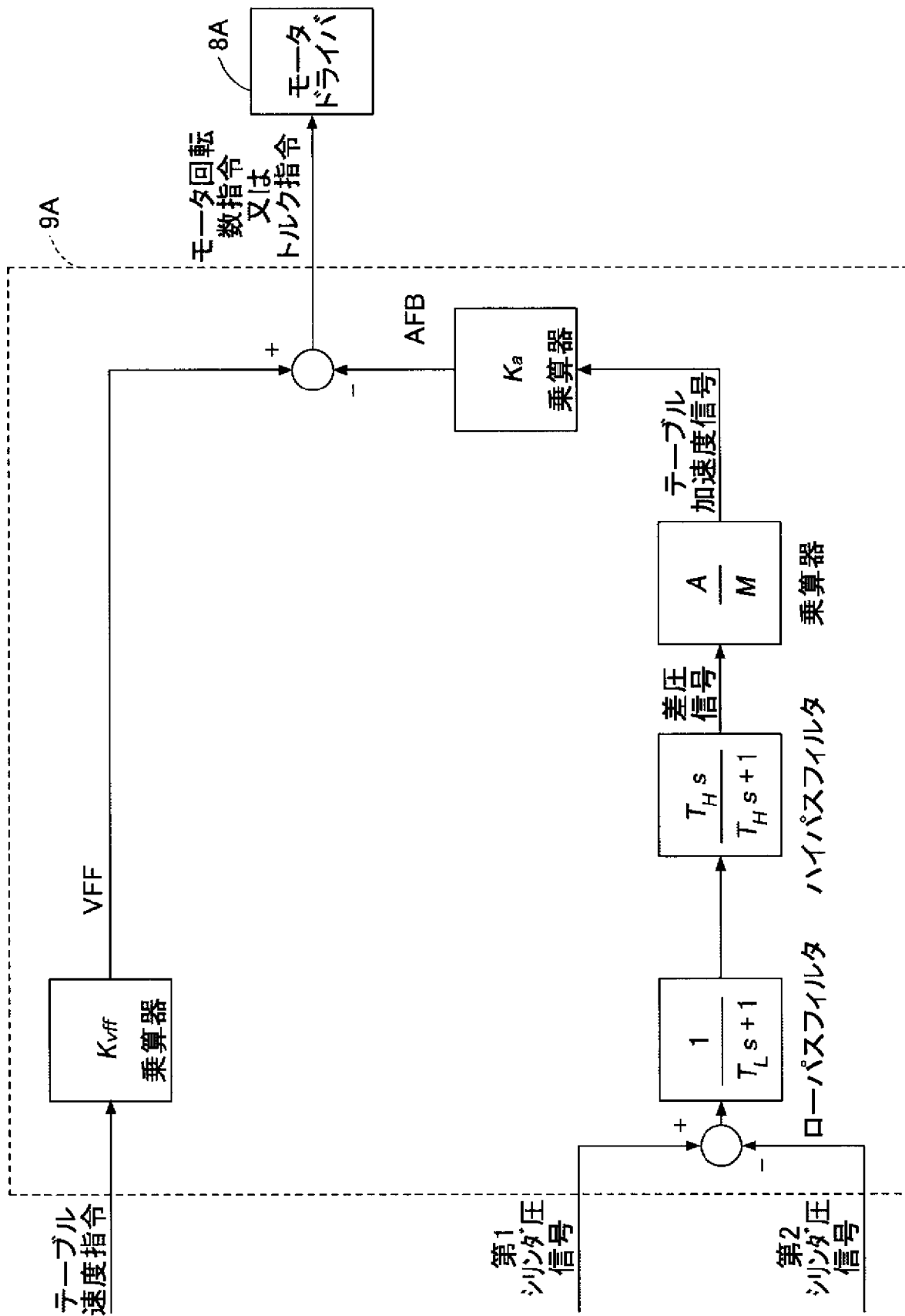


[図8]

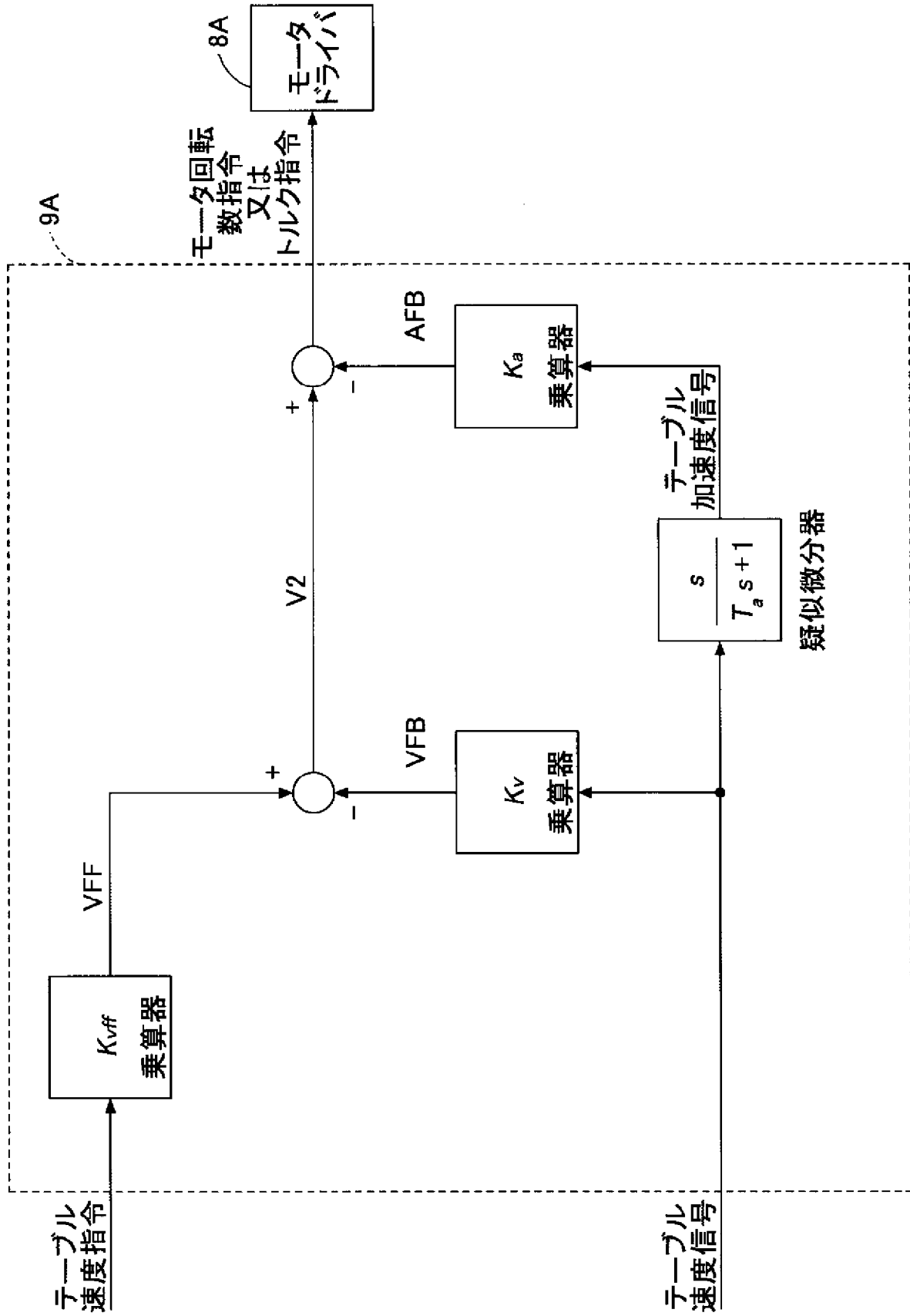
制御モデル:  $\frac{1}{s^2} \cdot \frac{K_{HST} \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta_n \omega_n s + \omega_n^2}$



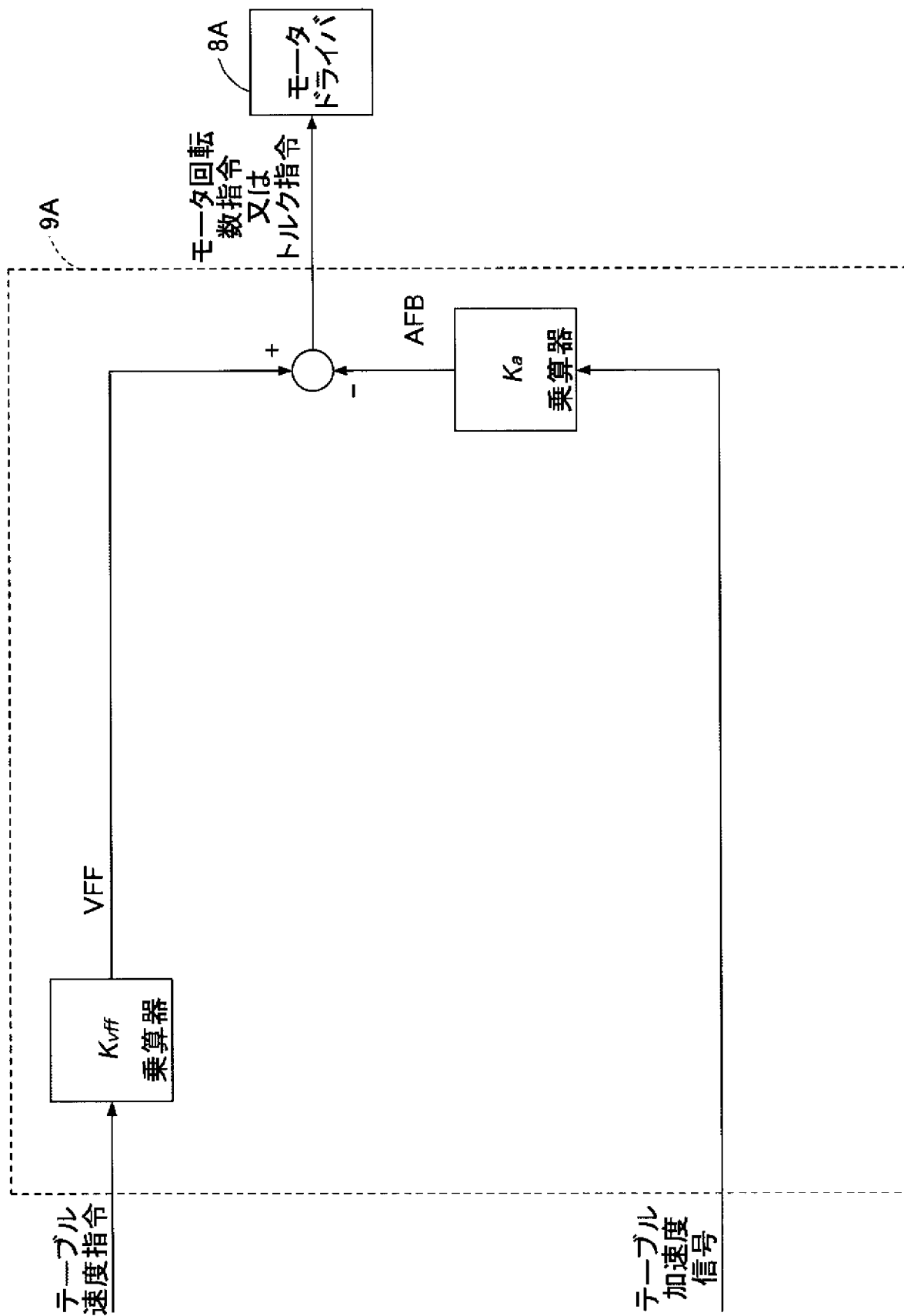
[図9]



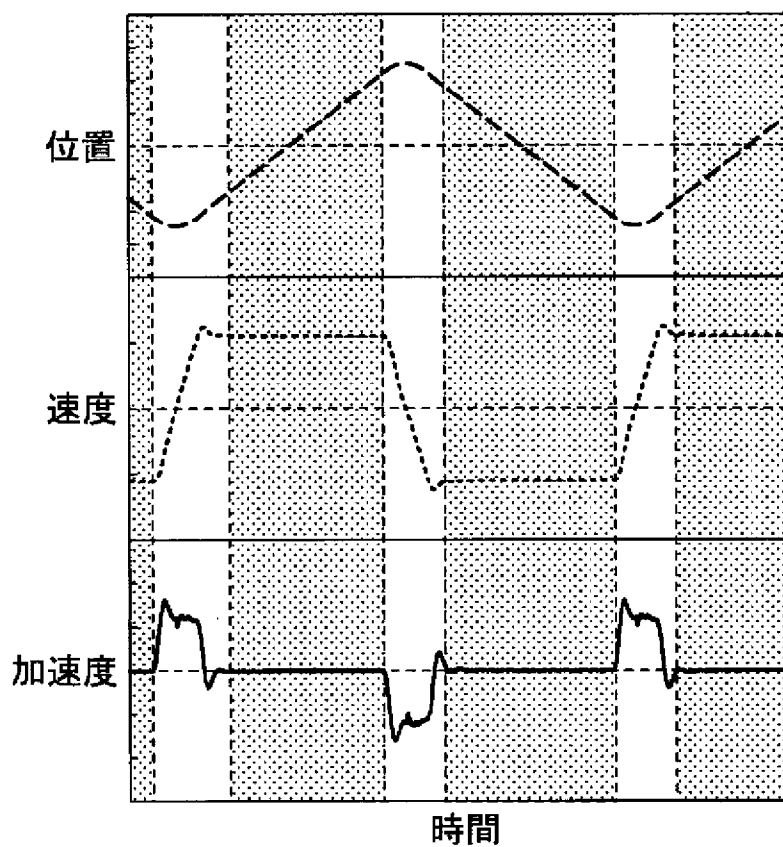
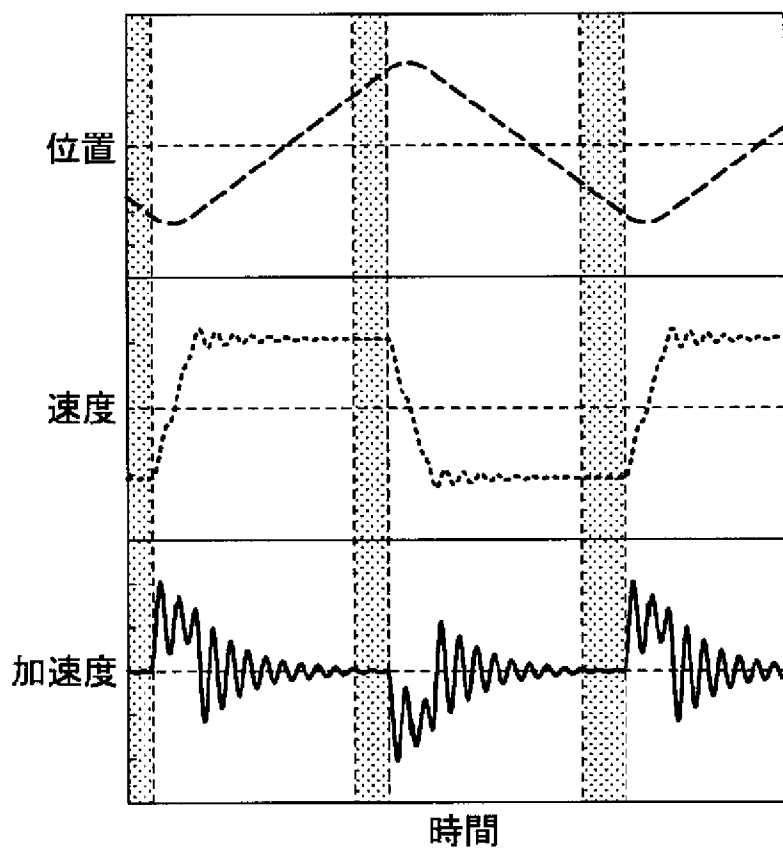
[図10]



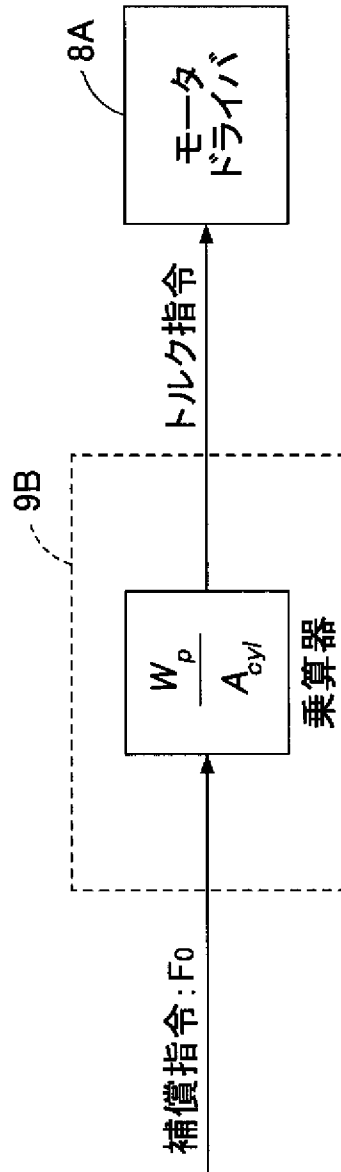
[図11]



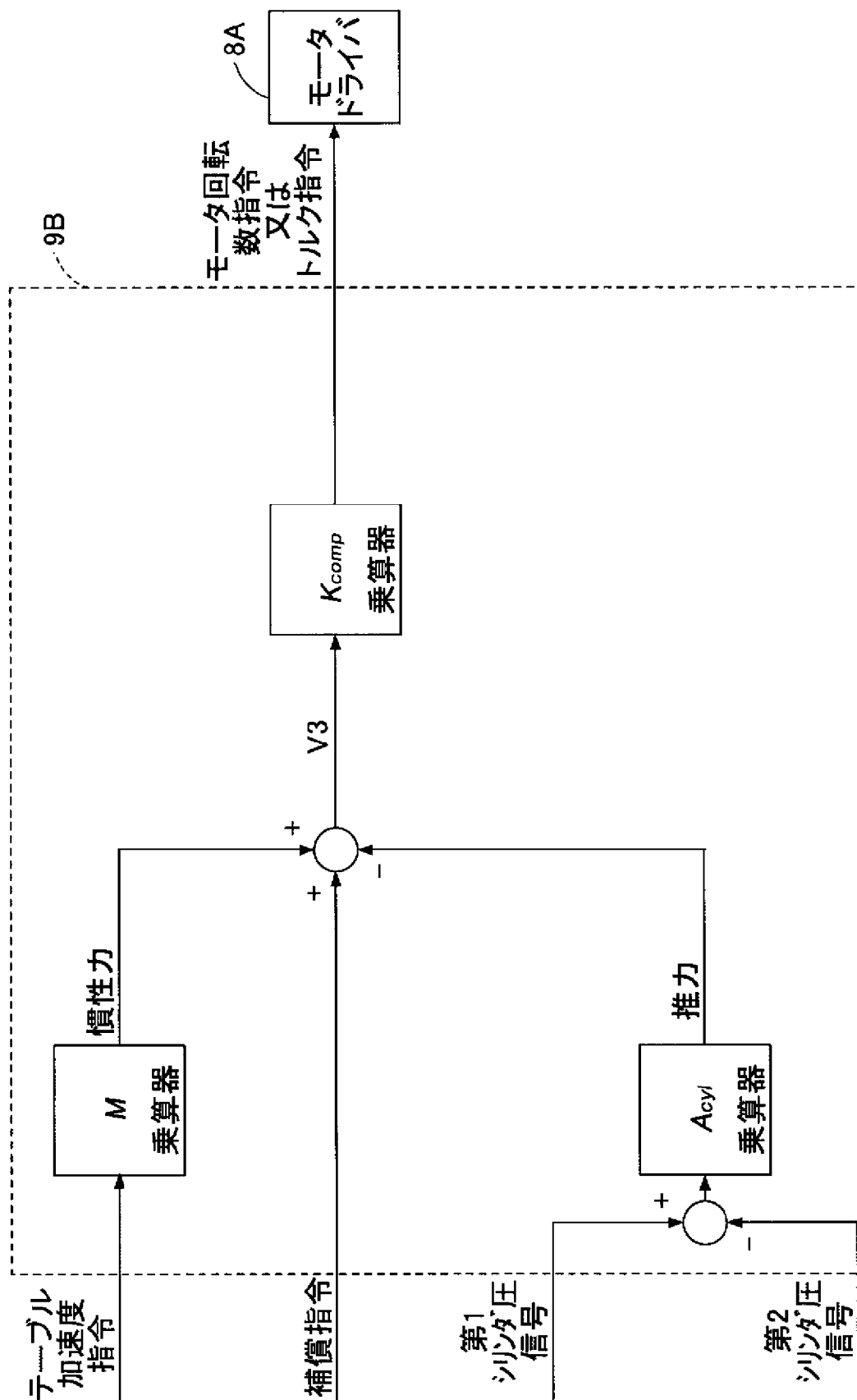
[図12]



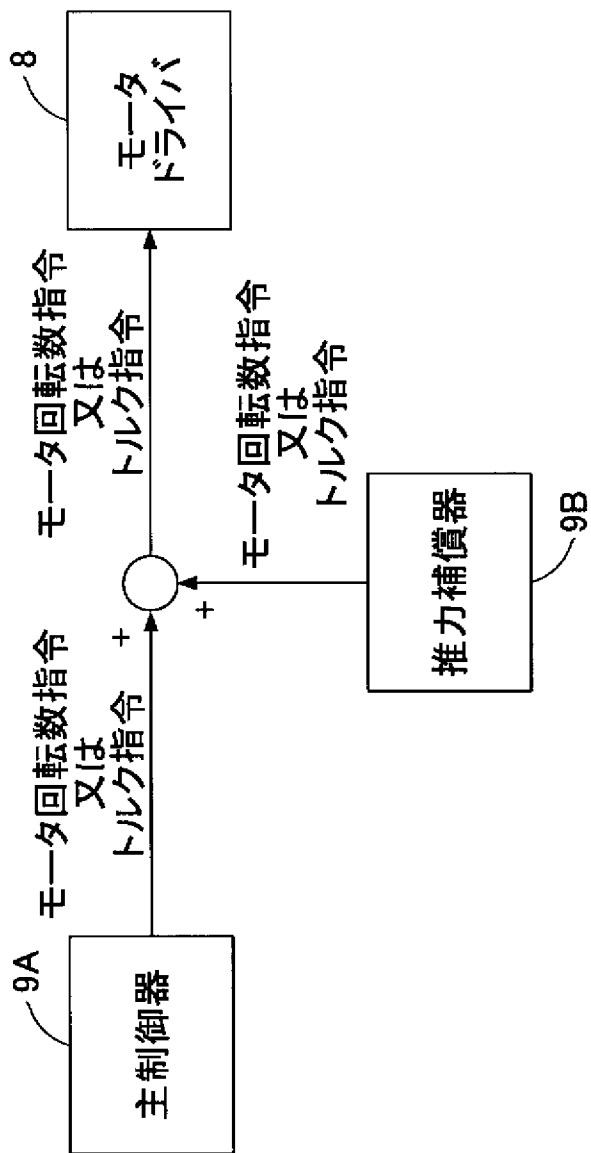
[図13]



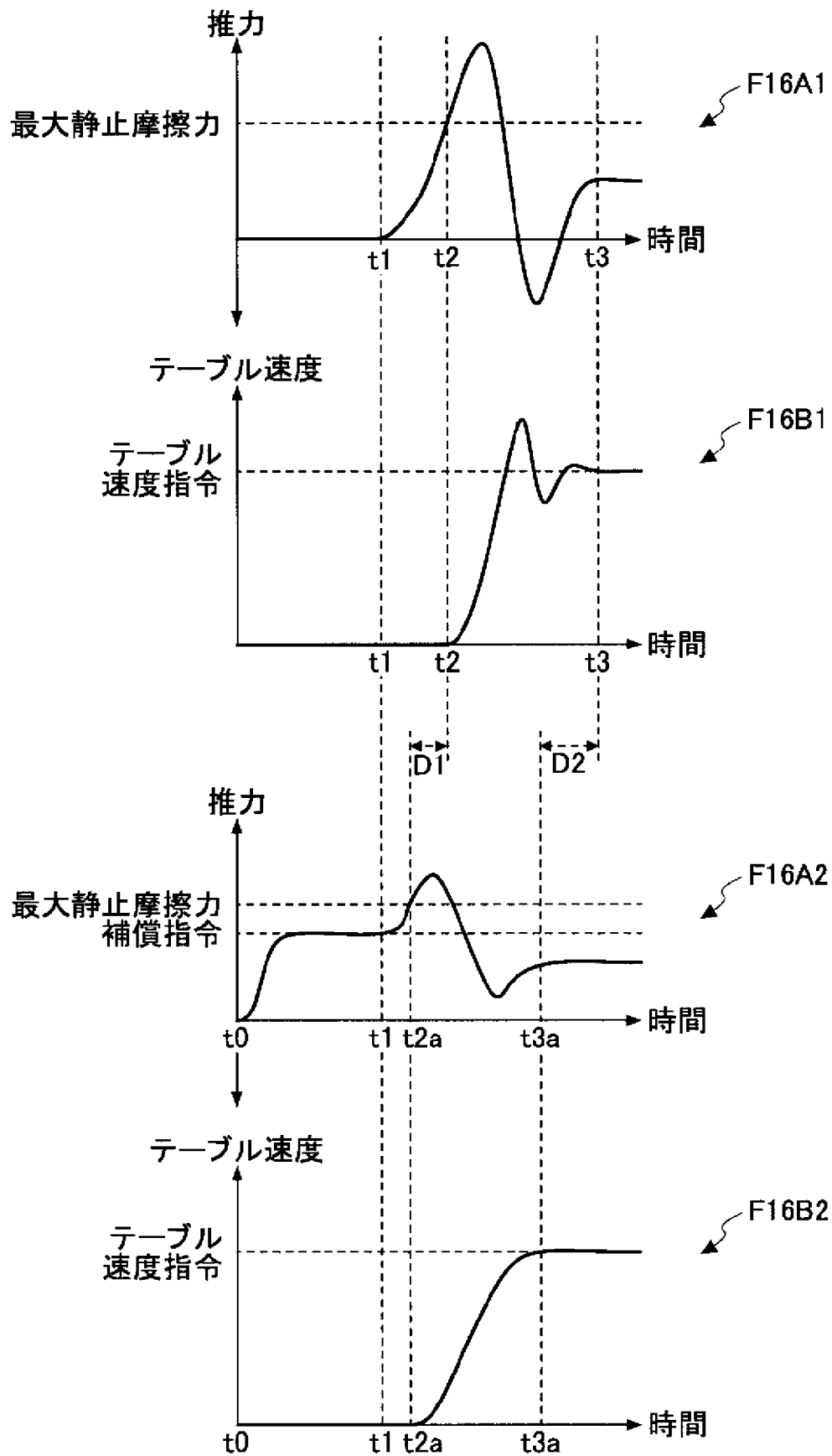
[図14]



[図15]



[図16]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2013/051933

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

B24B47/06(2006.01) i, B24B7/02(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)

B24B47/06, B24B7/02, B23Q5/033, B23Q5/26

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	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

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

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 24768/1990 (Laid-open No. 117545/1991) (Daikin Industries, Ltd.), 04 December 1991 (04.12.1991), (Family: none)	1-5
A	JP 63-72980 A (Takeshi CHIKAMOTO), 02 April 1988 (02.04.1988), (Family: none)	1-5

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

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

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

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
25 February, 2013 (25.02.13)

Date of mailing of the international search report  
05 March, 2013 (05.03.13)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/051933

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 56000/1986 (Laid-open No. 168250/1987) (Washino Machine Co., Ltd.), 26 October 1987 (26.10.1987), (Family: none)	1-5
A	JP 62-184206 A (Hitachi Seiko, Ltd.), 12 August 1987 (12.08.1987), (Family: none)	1-5
A	JP 2004-1133 A (Brother Industries, Ltd.), 08 January 2004 (08.01.2004), (Family: none)	1-5
A	JP 63-221942 A (Mitsui Seiki Kogyo Co., Ltd.), 14 September 1988 (14.09.1988), (Family: none)	1-5

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. B24B47/06(2006.01)i, B24B7/02(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. B24B47/06, B24B7/02, B23Q5/033, B23Q5/26		
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 1971-2013年 日本国実用新案登録公報 1996-2013年 日本国登録実用新案公報 1994-2013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
A	日本国実用新案登録出願 2-24768 号(日本国実用新案登録出願公開 3-117545 号)の願書に添付した明細書及び図面の内容を撮影したマイクロフィルム (ダイキン工業株式会社) 1991. 12. 04, (ファミリーなし)	1-5
A	JP 63-72980 A (近本武) 1988. 04. 02, (ファミリーなし)	1-5
<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 25. 02. 2013	国際調査報告の発送日 05. 03. 2013	
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) 金本 誠夫 電話番号 03-3581-1101 内線 3324	3C 3505

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	日本国実用新案登録出願 61-56000 号(日本国実用新案登録出願公開 62-168250 号)の願書に添付した明細書及び図面の内容を撮影したマイクロフィルム (ワシノ機械株式会社) 1987. 10. 26, (ファミリーなし)	1 - 5
A	JP 62-184206 A (日立精工株式会社) 1987. 08. 12, (ファミリーなし)	1 - 5
A	JP 2004-1133 A (ブラザー工業株式会社) 2004. 01. 08, (ファミリーなし)	1 - 5
A	JP 63-221942 A (三井精機工業株式会社) 1988. 09. 14, (ファミリーなし)	1 - 5