

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2024年10月10日(10.10.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/209686 A1

(51) 国際特許分類:
G05B 19/4069 (2006.01) B23Q 15/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2023/014420

(22) 国際出願日: 2023年4月7日(07.04.2023)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人: ファナック株式会社 (FANUC CORPORATION) [JP/JP]; 〒4010597 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場 3 5 8 0 番地 Yamanashi (JP).

(72) 発明者: 小木曾 太郎 (OGISO Tarou); 〒4010597 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場 3 5 8 0 番地 ファナック株式会社内 Yamanashi (JP). 鈴木 智信 (SUZUKI Tomonobu); 〒4010597 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場 3 5 8 0 番地 フ

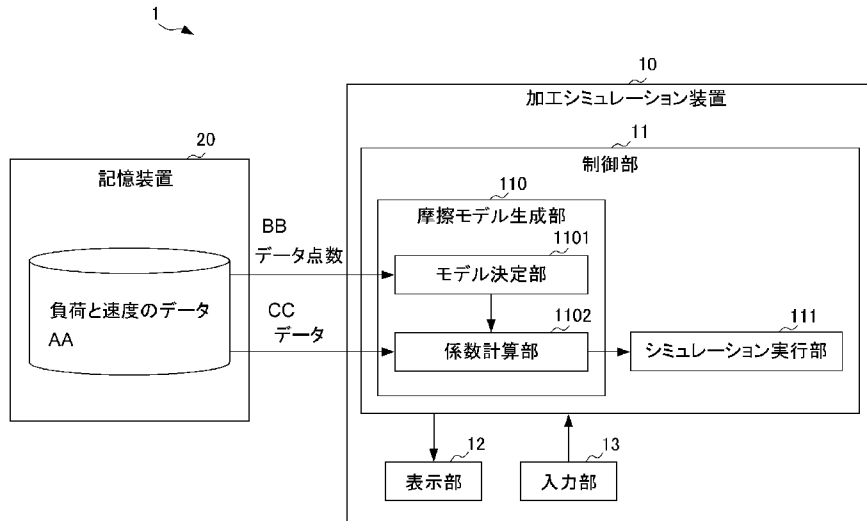
ァナック株式会社内 Yamanashi (JP). 有松 小次郎 (ARIMATSU Kojiro); 〒4010597 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場 3 5 8 0 番地 ファナック株式会社内 Yamanashi (JP).

(74) 代理人: 正林 真之, 外 (SHOBAYASHI Masayuki et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内 1 - 7 - 1 2 サピアタワー Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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,

(54) Title: MACHINING SIMULATION DEVICE AND MACHINING SIMULATION METHOD

(54) 発明の名称: 加工シミュレーション装置及び加工シミュレーション方法



10 ... Machining simulation device
11 ... Control unit
12 ... Display unit
13 ... Input unit
20 ... Storage device
110 ... Friction model generation unit
111 ... Simulation execution unit
1101 ... Model determination unit
1102 ... Coefficient calculation unit
AA ... Load and speed data
BB ... Number of pieces of data
CC ... Data

(57) Abstract: The present invention easily generates a friction model of a machine tool without requiring a trial operation of the machine tool and without requiring expertise. Provided is a machining simulation device comprising a friction model generation unit that generates a friction model of a machine tool and a simulation execution unit that uses the friction model to simulate and reproduce a behavior of the machine tool, wherein the friction model generation unit includes: a model determination unit that determines the type of the friction model according to the number pieces of data relating to a torque and a speed; and a coefficient calculation unit that calculates a coefficient in the friction model on the basis of the determined type of the friction model and the number of pieces of data relating to the torque and the speed and wherein the friction model generation unit reflects the generated friction model to the simulation execution unit.

[続葉有]

SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: 工作機械を試運転することなく、専門知識がなくても工作機械の摩擦モデルを容易に生成すること。加工シミュレーション装置は、工作機械の摩擦モデルを生成する摩擦モデル生成部と、前記摩擦モデルを使用して前記工作機械の挙動を模擬再現するシミュレーション実行部と、を備え、前記摩擦モデル生成部は、トルクと速度のデータ点数に応じて前記摩擦モデルの種類を決定するモデル決定部と、決定した前記摩擦モデルの種類、及び前記データ点数のトルクと速度のデータに基づいて、前記摩擦モデルにおける係数を計算する係数計算部と、を含み、前記摩擦モデル生成部は、生成した前記摩擦モデルを前記シミュレーション実行部に反映させる。

明 細 書

発明の名称：

加工シミュレーション装置及び加工シミュレーション方法

技術分野

[0001] 本開示は、加工シミュレーションを用いる工作機械の摩擦モデルを生成する加工シミュレーション装置及び加工シミュレーション方法に関する。

背景技術

[0002] 例えば、機械シミュレーション部が工作機械の伝達特性を決定し、加工プログラムの位置指令と工作機械の伝達特性とに基づいて、工具の位置情報を推定することができる加工シミュレーション装置の技術が知られている。例えば、特許文献 1 参照。

また、機械の 1 以上の軸について、少なくとも位置指令及び位置フィードバックを取得し、取得した位置指令と位置フィードバックの差分である位置偏差に基づいて、位置制御を行う際の摩擦モデルの係数を推定し、摩擦を考慮した位置制御を行う制御装置の技術が知られている。例えば、特許文献 2 参照。

また、XY テーブルや産業用ロボット等の実機を制御して取得される摩擦力和モータ速度とに対して最小二乗法等を用いて直線近似して摩擦モデルを生成し、摩擦モデルから求まる摩擦力を補償値として、実機を精度良く制御する技術が知られている。例えば、特許文献 3 参照。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開 2019-152936 号公報

特許文献2：特開 2019-185742 号公報

特許文献3：特開 2006-146572 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、特許文献 1 に記載の技術では、機械シミュレーション部を構成する、工作機械の伝達特性として摩擦を考慮しようとする、工作機械の運転データを分析して摩擦モデルを生成する必要がある。

また、特許文献 1－3 に記載の技術では、摩擦モデルの生成には専門知識が必要で、場合によって摩擦モデルを生成するためだけの目的でもって工作機械を試運転する必要がある。

[0005] そこで、工作機械を試運転することなく、専門知識がなくても工作機械の摩擦モデルを容易に生成することが望まれている。

課題を解決するための手段

[0006] 本開示の加工シミュレーション装置の一態様は、工作機械の摩擦モデルを生成する摩擦モデル生成部と、前記摩擦モデルを使用して前記工作機械の挙動を模擬再現するシミュレーション実行部と、を備え、前記摩擦モデル生成部は、トルクと速度のデータ点数に応じて前記摩擦モデルの種類を決定するモデル決定部と、決定した前記摩擦モデルの種類、及び前記データ点数のトルクと速度のデータに基づいて、前記摩擦モデルにおける係数を計算する係数計算部と、を含み、前記摩擦モデル生成部は、生成した前記摩擦モデルを前記シミュレーション実行部に反映させる。

[0007] 本開示の加工シミュレーション方法の一態様は、コンピュータを加工シミュレーション装置として機能させるための加工シミュレーション方法であって、工作機械の摩擦モデルを生成する摩擦モデル生成ステップと、前記摩擦モデルを使用して前記工作機械の挙動を模擬再現するシミュレーション実行ステップと、を備え、前記摩擦モデル生成ステップは、トルクと速度のデータ点数に応じて前記摩擦モデルの種類を決定するモデル決定ステップと、決定した前記摩擦モデルの種類、及び前記データ点数のトルクと速度のデータに基づいて、前記摩擦モデルにおける係数を計算する係数計算ステップと、を含み、前記摩擦モデル生成ステップは、生成した前記摩擦モデルを前記シミュレーション実行ステップに反映させる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]一実施形態に係る加工シミュレーションシステムの機能ブロック構成の一例を示す図である。

[図2A]データ点数と摩擦モデルの種類との関係の一例を示す図である。

[図2B]図2Aの関係をグラフで表した一例を示す図である。

[図3A]データ点数が1点の場合の画面の一例を示す図である。

[図3B]データ点数が2点（同一）の場合の画面の一例を示す図である。

[図3C]データ点数が2点（逆）の場合の画面の一例を示す図である。

[図3D]データ点数が4点の場合の画面の一例を示す図である。

[図3E]データ点数が5点の場合の画面の一例を示す図である。

[図4]加工シミュレーション装置のシミュレーション処理について説明するフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0009] 以下、一実施形態に係る加工シミュレーションシステムについて、図を参照しながら詳細に説明する。

<一実施形態>

まず、本実施形態の概略を説明する。本実施形態では、トルクと速度のデータ点数に応じて摩擦モデルの種類を決定し、決定した摩擦モデルの種類、及びデータ点数のトルクと速度のデータに基づいて、摩擦モデルにおける係数を計算し、生成した前記摩擦モデルを前記シミュレーション実行部に反映させる。

これにより、本実施形態によれば、工作機械を試運転することなく、専門知識がなくても工作機械の摩擦モデルを容易に生成することができる。

以上が本実施形態の概略である。

[0010] 図1は、一実施形態に係る加工シミュレーションシステムの機能ブロック構成の一例を示す図である。

図1に示すように、加工シミュレーションシステム1は、加工シミュレーション装置10、及び記憶装置20を有する。

加工シミュレーション装置10、及び記憶装置20は、LAN（Local

l Area Network) やインターネット等の図示しないネットワークを介して相互に接続されて通信を行っている。この場合、加工シミュレーション装置 10、及び記憶装置 20 は、かかる接続によって相互に通信を行うための図示しない通信部を備えている。なお、加工シミュレーション装置 10、及び記憶装置 20 は、図示しない接続インタフェースを介して互いに直接接続されてもよい。

また、加工シミュレーション装置 10 と、記憶装置 20 とは、互いに異なる装置としたが、後述するように、記憶装置 20 は、加工シミュレーション装置 10 に含まれてもよい。

[0011] 記憶装置 20 は、データサーバ等であり、シミュレーション対象の工作機械（図示しない）に含まれるモータの負荷と速度のデータが記憶される。なお、図示しない工作機械が複数のモータを有する場合、記憶装置 20 は、モータ毎に負荷と速度のデータを記憶するようにしてもよい。

また、負荷と速度のデータとは、例えば、制御対象（シミュレーション対象）の工作機械（図示しない）の送り軸が一定の速度にあるときのモータ印加トルクあるいはトルクセンサで計測した負荷トルクと、当該送り軸の移動速度とのデータである。ただし、モータがリニアモータの場合にはトルクは力と読み替える。

[0012] <加工シミュレーション装置 10>

加工シミュレーション装置 10 は、当業者にとって周知のコンピュータ等であり、制御部 11、表示部 12、及び入力部 13 を有する。また、制御部 11 は、摩擦モデル生成部 110、及びシミュレーション実行部 111 を有する。また、摩擦モデル生成部 110 は、モデル決定部 1101、及び係数計算部 1102 を有する。

[0013] 表示部 12 は、例えば、液晶ディスプレイ等である。表示部 12 は、後述するように、摩擦モデル生成部 110 により生成された摩擦モデルの画面等を表示する。

[0014] 入力部 13 は、例えば、キーボードや、表示部 12 に配置されたタッチパ

ネル等であり、ユーザからの入力を受け付ける。

[0015] <制御部 11>

制御部 11 は、CPU (Central Processing Unit)、ROM (Read Only Memory)、RAM (Random Access Memory)、CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) メモリ等を有し、これらはバスを介して相互に通信可能に構成される、当業者にとって公知のものである。

CPU は加工シミュレーション装置 10 を全体的に制御するプロセッサである。CPU は、ROM に格納されたシステムプログラム及びアプリケーションプログラムを、バスを介して読み出し、システムプログラム及びアプリケーションプログラムに従って加工シミュレーション装置 10 全体を制御する。これにより、図 1 に示すように、制御部 11 が、摩擦モデル生成部 110、及びシミュレーション実行部 111 の機能を実現するように構成される。また、摩擦モデル生成部 110 は、モデル決定部 1101、及び係数計算部 1102 の機能を実現するように構成される。RAM には一時的な計算データや表示データ等の各種データが格納される。また、CMOS メモリは図示しないバッテリーでバックアップされ、加工シミュレーション装置 10 の電源がオフされても記憶状態が保持される不揮発性メモリとして構成される。

[0016] 摩擦モデル生成部 110 は、例えば、記憶装置 20 から工作機械（図示しない）の送り軸の速度が一定時の負荷（トルク）の値である負荷と速度のデータを記憶装置 20 から取得する。摩擦モデル生成部 110 は、取得した負荷と速度のデータとデータ点数とに応じたモデル決定部 1101、及び係数計算部 1102 の処理に基づいて工作機械（図示しない）の摩擦モデルを生成し、生成した摩擦モデルをシミュレーション実行部 111 に反映させる。

[0017] モデル決定部 1101 は、例えば、記憶装置 20 から取得する工作機械（図示しない）における負荷と速度のデータのデータ点数に応じて摩擦モデルの種類を決定する。

なお、モデル決定部 101 の処理について説明するにあたり、データ点数と摩擦モデルの種類との関係について最初に説明する。

図 2 A は、データ点数と摩擦モデルの種類との関係の一例を示す図である。図 2 B は、図 2 A の関係をグラフで表した一例を示す図である。

図 2 A に示すように、摩擦モデルは、速度 v を入力変数として負荷 f を出力する関数であり、データ点数が増えるに従い複雑な関数となり、摩擦の再現精度が高まる。すなわち、図 2 B に示すように、記憶装置 20 から取得した負荷と速度のデータのデータ点数が 1 点（例えば、負荷と速度のデータ E1 等）の場合、摩擦モデルは、破線で示す係数 a の一次関数、すなわち粘性摩擦のみの種類となる。なお、摩擦モデルが出力する負荷 f は、直動系では「摩擦力」、回転系では「摩擦トルク」となる。

また、記憶装置 20 から取得した負荷と速度のデータのデータ点数が、例えば工作機械（図示しない）の送り軸の移動方向が同じ負荷と速度のデータ E1、E2 等の 2 点（同一）の場合、摩擦モデルは、点線で示す当該 2 点のデータを通る係数 a 、切片 $b \cdot \text{sgn}(v)$ の一次関数、すなわち粘性摩擦と静止摩擦とを合わせた種類となる。なお、 $\text{sgn}(v)$ は、速度 v が正ならば「1」、負ならば「-1」の符号関数である。すなわち、静止摩擦は移動方向に応じて符号が決まり、大きさが速度に依存しない摩擦である。また、データ点数が 2 点（同一）の場合の摩擦モデルは、計算を安定化させるために速度 $v = 0$ 近傍において連続性をもたせるようにしてもよい。

また、記憶装置 20 から取得した負荷と速度のデータのデータ点数が、例えば工作機械（図示しない）の送り軸の移動方向が逆の関係の負荷と速度のデータ E1、E3 等の 2 点（逆）の場合、摩擦モデルは、一点鎖線で示す当該 2 点のデータを通る係数 a 、切片 g の一次関数、すなわち粘性摩擦と定常的な作用とを合わせた種類となる。なお、切片 g は、特定方向への定常的な作用、すなわち重力である。

また、記憶装置 20 から取得した負荷と速度のデータが、工作機械（図示しない）の送り軸の移動方向がプラス側及びマイナス側それぞれで 2 点以上

、すなわち合計4点以上（例えば、負荷と速度のデータE1～E4等）の場合、摩擦モデルは、実線で示す速度 v がプラス側で負荷 $f = a_1 \cdot v + b_1$ 、マイナス側で負荷 $f = a_2 \cdot v + b_2$ 、速度 v が「0」のとき負荷 $f = (b_1 + b_2) / 2$ となる、粘性摩擦と静止摩擦と定常的な作用とを合わせた種類となる。

以上のことから、モデル決定部1101は、記憶装置20から取得する負荷と速度のデータのデータ点数（及びデータ点数が2点の場合、当該2点のデータ間における工作機械（図示しない）の送り軸の移動方向の関係）に基づいて、摩擦モデルの種類を決定する。

[0018] 係数計算部1102は、記憶装置20から取得された負荷と速度のデータと、決定した摩擦モデルの種類とに基づいて、摩擦モデルにおける係数 a や切片 $b \cdot \text{sgn}(v)$ や切片 g を計算する。

具体的には、係数計算部1102は、例えば、モデル決定部1101によりデータ点数が1点の摩擦モデルの種類が決定されると、記憶装置20から取得された1点の負荷と速度のデータから f/v を計算し、係数 a を計算する。摩擦モデル生成部110は、生成された摩擦モデルに関する結果を、図3Aに示す画面200で表示部12に表示する。

図3Aに示す画面200は、記憶装置20から取得された負荷と速度のデータを表示するデータ表示領域210、係数計算部1102により計算された係数 a を表示する係数表示領域220、及び生成された摩擦モデルを表示するモデル表示領域230を有する。すなわち、データ表示領域210では、1点の負荷と速度のデータとして、例えば、送り速度の値 50 mm/s 、負荷（TCMD）の値 9.799% それぞれが表示されている。なお、データ表示領域210には、負荷と速度のデータを追加する「行を追加する」ボタンが配置されてもよい。また、係数表示領域220では、係数 a である負荷／送り速度の値 $0.196\% / (\text{mm/s})$ が表示されている。なお、データ点数が1点の場合、静止摩擦（切片 $b \cdot \text{sgn}(v)$ ）及び定常の外力（切片 g ）がないことから「0」に表示されている。また、モデル表示領域

230では、生成された摩擦モデルが表示されている。

[0019] また、係数計算部1102は、モデル決定部1101によりデータ点数が2点（同一）の摩擦モデルの種類が決定されると、記憶装置20からの2点の負荷と速度のデータから係数 a と切片 $b \cdot \text{sgn}(v)$ を計算する。摩擦モデル生成部110は、生成された摩擦モデルに関する結果を、図3Bに示す画面200で表示部12に表示する。

図3Bに示す画面200は、データ表示領域210において、例えば、図示しない工作機械の送り軸の移動方向が同じ2点の負荷と速度のデータとして、送り速度の値 50 mm/s と 20 mm/s 、及び負荷の値 9.799% と 9.467% それぞれを表示している。画面200は、係数表示領域220において、係数 a である負荷／送り速度の値 $0.011\% / (\text{mm/s})$ 、及び静止摩擦（切片 $b \cdot \text{sgn}(v)$ ）の値 9.246% を表示している。なお、データ点数が2点（同一）の場合、定常の外力（切片 g ）がないことから「0」に表示されている。また、画面200は、モデル表示領域230で、生成された摩擦モデルを表示している。

[0020] また、係数計算部1102は、モデル決定部1101によりデータ点数が2点（逆）の摩擦モデルの種類が決定されると、記憶装置20からの2点の負荷と速度のデータから係数 a と切片 g を計算する。摩擦モデル生成部110は、生成された摩擦モデルに関する結果を、図3Cに示す画面200で表示部12に表示する。

図3Cに示す画面200は、データ表示領域210において、例えば、図示しない工作機械の送り軸の移動方向が逆の2点の負荷と速度のデータとして、送り速度の値 50 mm/s と -50 mm/s 、及び負荷の値 9.799% と 5.905% それぞれを表示している。画面200は、係数表示領域220において、係数 a である負荷／送り速度の値 $0.039\% / (\text{mm/s})$ 、及び定常の外力（切片 g ）の値 7.852% を表示している。なお、データ点数が2点（逆）の場合、静止摩擦（切片 $b \cdot \text{sgn}(v)$ ）がないことから「0」に表示されている。また、画面200は、モデル表示領域230

0で、生成された摩擦モデルを表示している。

[0021] また、係数計算部1102は、モデル決定部1101によりデータ点数が4点の摩擦モデルの種類が決定されると、記憶装置20からの4点の負荷と速度のデータから係数 a_1 、 a_2 と切片 b_1 、 b_2 とを計算する。摩擦モデル生成部110は、生成された摩擦モデルに関する結果を、図3Dに示す画面200で表示部12に表示する。

図3Dに示す画面200は、データ表示領域210において、例えば、図示しない工作機械の送り軸の移動方向が逆の2点の負荷と速度のデータとして、送り速度の値 50 mm/s 、 20 mm/s 、 -20 mm/s 、 -50 mm/s 、及び負荷の値 9.799% 、 9.467% 、 6.331% 、 5.905% それぞれを表示している。画面200は、係数表示領域220において、係数 $a = (a_1 + a_2) / 2$ である負荷/送り速度の値 $0.013\% / (\text{mm/s})$ 、静止摩擦(切片 $b \cdot \text{sgn}(v)$)の値 1.315% 、及び定常の外力(負荷 $f = (b_1 + b_2) / 2$)の値 7.930% を表示している。また、画面200は、モデル表示領域230で、生成された摩擦モデルを表示している。

[0022] なお、係数計算部1102は、モデル決定部1101によりデータ点数が4点以上の摩擦モデルが決定された場合、4点の負荷と速度のデータから係数 a_1 、 a_2 と切片 b_1 、 b_2 とを以下のように計算する。最初に、係数計算部1102は、図3Dの画面200におけるデータA(v_A , f_A)、データB(v_B , f_B)を用いて係数 $a_1 = (f_A - f_B) / (v_A - v_B)$ と切片 $b_1 = f_A - a_1 \cdot v_A$ を計算する。また、係数計算部1102は、データC(v_C , f_C)、データD(v_D , f_D)を用いて間の係数 $a_2 = (f_C - f_D) / (v_C - v_D)$ と切片 $b_2 = f_C - a_2 \cdot v_C$ を計算する。そして、係数計算部1102は、計算した切片 b_1 と切片 b_2 とを用いて、速度 v が「0」のときの負荷 $f = (b_1 + b_2) / 2$ を定常の外力として計算する。

[0023] また、係数計算部1102は、例えば、負荷と速度のデータのデータ点数が5点の場合、モデル決定部1101によりデータ点数が4点以上の摩擦モ

デルの種類が決定されると、記憶装置 20 から取得した 5 点の負荷と速度のデータから係数 a_1 、 a_2 と切片 b_1 、 b_2 とを計算する。

具体的には、図 3 E に示すように、例えば、負荷と速度のデータのデータ点数が 5 点、すなわち速度 v のプラス側にデータが 3 点ある場合、係数計算部 1102 は、速度 v のプラス側の 3 点の負荷と速度のデータに対して、例えば最小二乗法等を適用して係数 a_1 と切片 b_1 とを計算する。すなわち、係数計算部 1102 は、係数 $a_1 = \sum_{i=1, N} (v_i - \langle v \rangle) \cdot (f_i - \langle f \rangle) / \sum_{i=1, N} (v_i - \langle v \rangle)^2$ 、及び切片 $b_1 = \langle f \rangle - a_1 \cdot \langle v \rangle$ を計算する。ここで、 N は、速度 v のプラス側のデータ点数を示す。また、 $\langle v \rangle$ 、 $\langle f \rangle$ は、プラス側の N 個の速度 v 、及び負荷 f の平均値を示す。

なお、係数計算部 1102 は、速度 v のマイナス側に 2 点の負荷と速度のデータに対して、図 3 D の場合と同様に、係数 a_2 と切片 b_2 とを計算する。

摩擦モデル生成部 110 は、生成された摩擦モデルに関する結果を、図 3 E に示す画面 200 で表示部 12 に表示する。なお、図 3 E では、速度 v のプラス側に 3 点の負荷と速度のデータがあったが、速度 v のマイナス側に 3 点以上の負荷と速度のデータがある場合も、係数計算部 1102 は、同様に係数 a_2 及び切片 b_2 を計算する。

図 3 E に示す画面 200 は、データ表示領域 210 において、例えば、図示しない工作機械の送り軸の 5 点の負荷と速度のデータとして、送り速度の値 50 mm/s 、 35 mm/s 、 20 mm/s 、 -20 mm/s 、 -50 mm/s 、及び負荷の値 9.799% 、 9.807% 、 9.467% 、 6.331% 、 5.905% それぞれを表示している。画面 200 は、係数表示領域 220 において、正方向（プラス側）の係数 a_1 である負荷／送り速度の値 $0.011\% / (\text{mm/s})$ 、静止摩擦（切片 b_1 ）の値 9.304% と、負方向（マイナス側）の係数 a_2 である負荷／送り速度の値 $0.014\% / (\text{mm/s})$ 、静止摩擦（切片 b_2 ）の値 6.615% とを表示している。また、画面 200 は、モデル表示領域 230 で、生成された摩擦モデルを表示している。

[0024] シミュレーション実行部 111 は、摩擦モデル生成部 110 により生成された摩擦モデルを使用して図示しない工作機械の挙動を模擬再現する。

具体的には、シミュレーション実行部 111 は、例えば、摩擦モデル生成部 110 により生成された摩擦モデルと、公知のシミュレーションの手法とを用いて、加工プログラムに基づいて生成された軸の指令位置を入力として、図示しない工作機械の各軸の位置・挙動をシミュレーションする。

これにより、加工シミュレーション装置 10 は、種類と係数が決定された摩擦モデルを用いることで、速度入力に対して負荷を出力して、図示しない工作機械の各軸の位置・挙動における摩擦を模擬再現することが可能となる。

[0025] <加工シミュレーション装置のシミュレーション処理>

次に、図 4 を参照しながら、加工シミュレーション装置 10 のシミュレーション処理の流れを説明する。

図 4 は、加工シミュレーション装置 10 のシミュレーション処理について説明するフローチャートである。

[0026] ステップ S 11 において、モデル決定部 1101 は、記憶装置 20 から取得する工作機械（図示しない）における負荷と速度のデータのデータ点数に応じて摩擦モデルを決定する。

[0027] ステップ S 12 において、記憶装置 20 から取得した負荷と速度のデータと、ステップ S 11 で決定された摩擦モデルとに基づいて、摩擦モデルの係数 a （又は係数 a_1 、 a_2 、切片 b_1 、 b_2 、切片 $b \cdot \text{sgn}(v)$ 、切片 g ）を計算する。

[0028] ステップ S 13 において、シミュレーション実行部 111 は、ステップ S 12 で生成された摩擦モデルを用いて加工プログラムに基づいて図示しない工作機械の各軸の位置・挙動をシミュレーションする。

[0029] 以上により、一実施形態に係る加工シミュレーション装置 10 は、工作機械を試運転することなく、専門知識がなくても工作機械の摩擦モデルを容易に生成することができる。換言すれば、ユーザは、専門知識がなくとも工作

機械の伝達特性として摩擦を考慮することができる。

また、加工シミュレーション装置 10 は、最低でも 1 点のデータがあれば摩擦モデルを生成することが可能であるため、摩擦モデルを生成するための目的でもって工作機械（図示しない）を試運転する必要がない。

[0030] <変形例 1>

一実施形態では、加工シミュレーション装置 10 と、記憶装置 20 とは、互いに異なる装置としたが、これに限定されない。例えば、記憶装置 20 は、加工シミュレーション装置 10 に含まれる構成としてもよい。

[0031] <変形例 2>

また例えば、上述の実施形態では、4 点以上の場合の摩擦モデルとして、図 2 A に示すものを定義したが、これに限定されない。例えば、4 点以上の場合の摩擦モデルとして、 $f = a \cdot v + b \cdot \text{sgn}(v) + g$ の粘性摩擦と静止摩擦と定常的な作用とからなる一次関数でもよい。この場合、係数 a 、切片 $b \cdot \text{sgn}(v)$ 、及び切片 g は、図 2 A に示す摩擦モデルの係数 a_1 、 a_2 、及び切片 b_1 、 b_2 を用いて、 $a = (a_1 + a_2) / 2$ 、 $b = (b_1 - b_2) / 2$ 、及び $g = (b_1 + b_2) / 2$ と求めることができる。

[0032] なお、一実施形態における、加工シミュレーション装置 10 に含まれる各機能は、ハードウェア、ソフトウェア又はこれらの組み合わせによりそれぞれ実現することができる。ここで、ソフトウェアによって実現されるとは、コンピュータがプログラムを読み込んで実行することにより実現されることを意味する。

[0033] プログラムは、様々なタイプの非一時的なコンピュータ可読媒体（Non-transitory computer readable medium）を用いて格納され、コンピュータに供給することができる。非一時的なコンピュータ可読媒体は、様々なタイプの実体のある記録媒体（Tangible storage medium）を含む。非一時的なコンピュータ可読媒体の例は、磁気記録媒体（例えば、フレキシブルディスク、磁気テープ、ハードディスクドライブ）、光磁気記録媒体（例えば、光磁気ディス

ク)、CD-ROM (Read Only Memory)、CD-R、CD-R/W、半導体メモリ (例えば、マスクROM、PROM (Programmable ROM)、EPROM (Erasable PROM)、フラッシュROM、RAM) を含む。また、プログラムは、様々なタイプの一時的なコンピュータ可読媒体 (Transitory computer readable medium) によってコンピュータに供給されてもよい。一時的なコンピュータ可読媒体の例は、電気信号、光信号、及び電磁波を含む。一時的なコンピュータ可読媒体は、電線及び光ファイバ等の有線通信路、又は、無線通信路を介して、プログラムをコンピュータに供給できる。

[0034] なお、記録媒体に記録されるプログラムを記述するステップは、その順序に沿って時系列的に行われる処理はもちろん、必ずしも時系列的に処理されなくとも、並列的あるいは個別に実行される処理をも含むものである。また、前記プログラムを記述するステップはクラウドコンピューティングで実施してもよい。

[0035] 本開示について詳述したが、本開示は上述した個々の実施形態に限定されるものではない。これらの実施形態は、本開示の要旨を逸脱しない範囲で、又は、特許請求の範囲に記載された内容とその均等物から導き出される本開示の趣旨を逸脱しない範囲で、種々の追加、置き換え、変更、部分的削除等が可能である。また、これらの実施形態は、組み合わせて実施することもできる。例えば、上述した実施形態において、各動作の順序や各処理の順序は、一例として示したものであり、これらに限定されるものではない。また、上述した実施形態の説明に数値又は数式が用いられている場合も同様である。

[0036] 上記実施形態及び変形例に関し、さらに以下の付記を開示する。

(付記1)

加工シミュレーション装置(10)は、工作機械の摩擦モデルを生成する摩擦モデル生成部(110)と、摩擦モデルを使用して工作機械の挙動を模

擬再現するシミュレーション実行部（１１１）と、を備え、摩擦モデル生成部（１１０）は、トルクと速度のデータ点数に応じて摩擦モデルの種類を決定するモデル決定部（１１０１）と、決定した摩擦モデルの種類、及びデータ点数のトルクと速度のデータに基づいて、摩擦モデルにおける係数を計算する係数計算部（１１０２）と、を含み、摩擦モデル生成部（１１０）は、生成した摩擦モデルをシミュレーション実行部（１１１）に反映させる。

（付記２）

付記１の加工シミュレーション装置（１０）において、摩擦モデルは、特定方向への定常的な作用を含む。

（付記３）

付記２の加工シミュレーション装置（１０）において、モデル決定部（１１０１）は、データ点数が１点の場合、粘性摩擦の摩擦モデルの種類を決定し、データ点数が２点で、２点の速度が同じ移動方向の場合、粘性摩擦と静止摩擦との摩擦モデルの種類を決定し、データ点数が２点で、２点の速度が互いに逆の移動方向の場合、粘性摩擦と定常的な作用との摩擦モデルの種類を決定し、データ点数が４点の場合、粘性摩擦と静止摩擦と定常的な作用との摩擦モデルの種類を決定する。

（付記４）

加工シミュレーション方法は、コンピュータを加工シミュレーション装置（１０）として機能させるための加工シミュレーション方法であって、工作機械の摩擦モデルを生成する摩擦モデル生成ステップと、摩擦モデルを使用して工作機械の挙動を模擬再現するシミュレーション実行ステップと、を備え、摩擦モデル生成ステップは、トルクと速度のデータ点数に応じて摩擦モデルの種類を決定するモデル決定ステップと、決定した摩擦モデルの種類、及びデータ点数のトルクと速度のデータに基づいて、摩擦モデルにおける係数を計算する係数計算ステップと、を含み、摩擦モデル生成ステップは、生成した摩擦モデルをシミュレーション実行ステップに反映させる。

（付記５）

付記4の加工シミュレーション方法において、摩擦モデルは、特定方向への定常的な作用を含む。

(付記6)

付記5の加工シミュレーション方法において、モデル決定ステップは、データ点数が1点の場合、粘性摩擦の摩擦モデルの種類を決定し、データ点数が2点で、2点の速度が同じ移動方向の場合、粘性摩擦と静止摩擦との摩擦モデルの種類を決定し、データ点数が2点で、2点の速度が互いに逆の移動方向の場合、粘性摩擦と定常的な作用との摩擦モデルの種類を決定し、データ点数が4点の場合、粘性摩擦と前記静止摩擦と前記定常的な作用との摩擦モデルの種類を決定する。

符号の説明

- [0037] 1 加工シミュレーションシステム
 1 0 加工シミュレーション装置
 1 1 制御部
 1 1 0 摩擦モデル生成部
 1 1 0 1 モデル決定部
 1 1 0 2 係数計算部
 1 1 1 シミュレーション実行部
 1 2 表示部
 1 3 入力部
 2 0 記憶装置

請求の範囲

- [請求項1] 工作機械の摩擦モデルを生成する摩擦モデル生成部と、
前記摩擦モデルを使用して前記工作機械の挙動を模擬再現するシミュレーション実行部と、を備え、
前記摩擦モデル生成部は、
トルクと速度のデータ点数に応じて前記摩擦モデルの種類を決定するモデル決定部と、
決定した前記摩擦モデルの種類、及び前記データ点数のトルクと速度のデータに基づいて、前記摩擦モデルにおける係数を計算する係数計算部と、を含み、
前記摩擦モデル生成部は、生成した前記摩擦モデルを前記シミュレーション実行部に反映させる、
加工シミュレーション装置。
- [請求項2] 前記摩擦モデルは、特定方向への定常的な作用を含む、請求項1に記載の加工シミュレーション装置。
- [請求項3] 前記モデル決定部は、前記データ点数が1点の場合、粘性摩擦の摩擦モデルの種類を決定し、前記データ点数が2点で、前記2点の速度が同じ移動方向の場合、前記粘性摩擦と静止摩擦との摩擦モデルの種類を決定し、前記データ点数が2点で、前記2点の速度が互いに逆の移動方向の場合、前記粘性摩擦と前記定常的な作用との摩擦モデルの種類を決定し、前記データ点数が4点の場合、前記粘性摩擦と前記静止摩擦と前記定常的な作用との摩擦モデルの種類を決定する、請求項2に記載の加工シミュレーション装置。
- [請求項4] コンピュータを加工シミュレーション装置として機能させるための加工シミュレーション方法であって、
工作機械の摩擦モデルを生成する摩擦モデル生成ステップと、
前記摩擦モデルを使用して前記工作機械の挙動を模擬再現するシミュレーション実行ステップと、を備え、

前記摩擦モデル生成ステップは、

トルクと速度のデータ点数に応じて前記摩擦モデルの種類を決定するモデル決定ステップと、

決定した前記摩擦モデルの種類、及び前記データ点数のトルクと速度のデータに基づいて、前記摩擦モデルにおける係数を計算する係数計算ステップと、を含み、

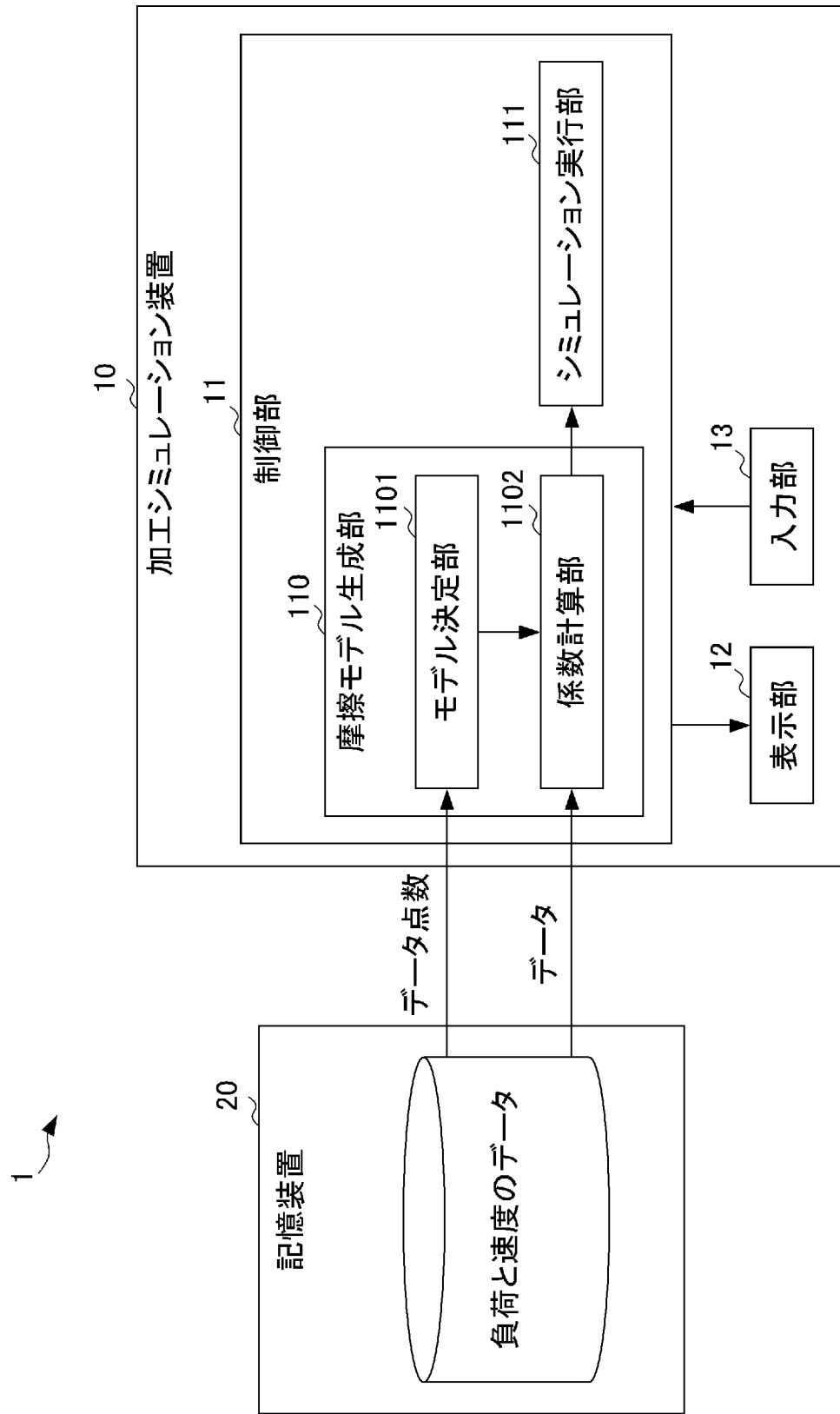
前記摩擦モデル生成ステップは、生成した前記摩擦モデルを前記シミュレーション実行ステップに反映させる、

加工シミュレーション方法。

[請求項5] 前記摩擦モデルは、特定方向への定常的な作用を含む、請求項4に記載の加工シミュレーション方法。

[請求項6] 前記モデル決定ステップは、前記データ点数が1点の場合、粘性摩擦の摩擦モデルの種類を決定し、前記データ点数が2点で、前記2点の速度が同じ移動方向の場合、前記粘性摩擦と静止摩擦との摩擦モデルの種類を決定し、前記データ点数が2点で、前記2点の速度が互いに逆の移動方向の場合、前記粘性摩擦と前記定常的な作用との摩擦モデルの種類を決定し、前記データ点数が4点の場合、前記粘性摩擦と前記静止摩擦と前記定常的な作用との摩擦モデルの種類を決定する、請求項5に記載の加工シミュレーション方法。

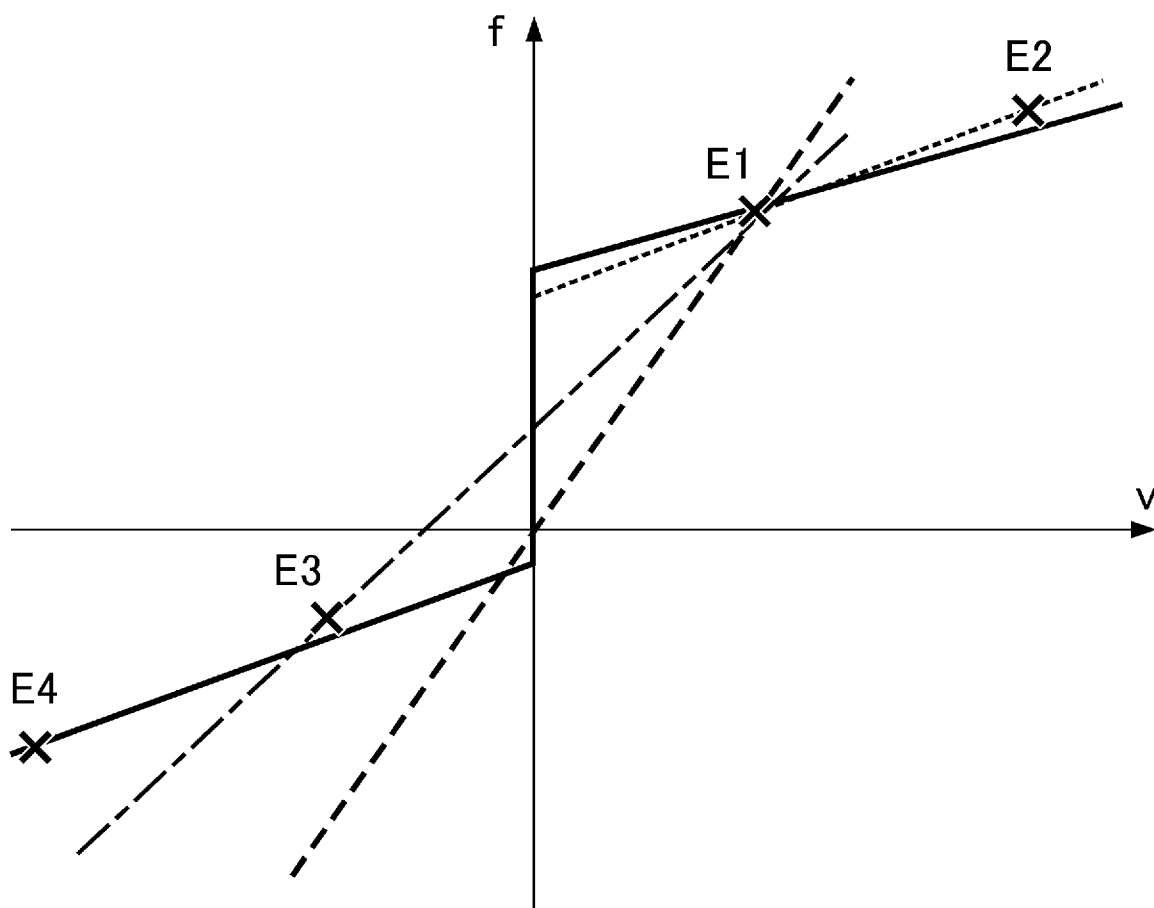
[図1]



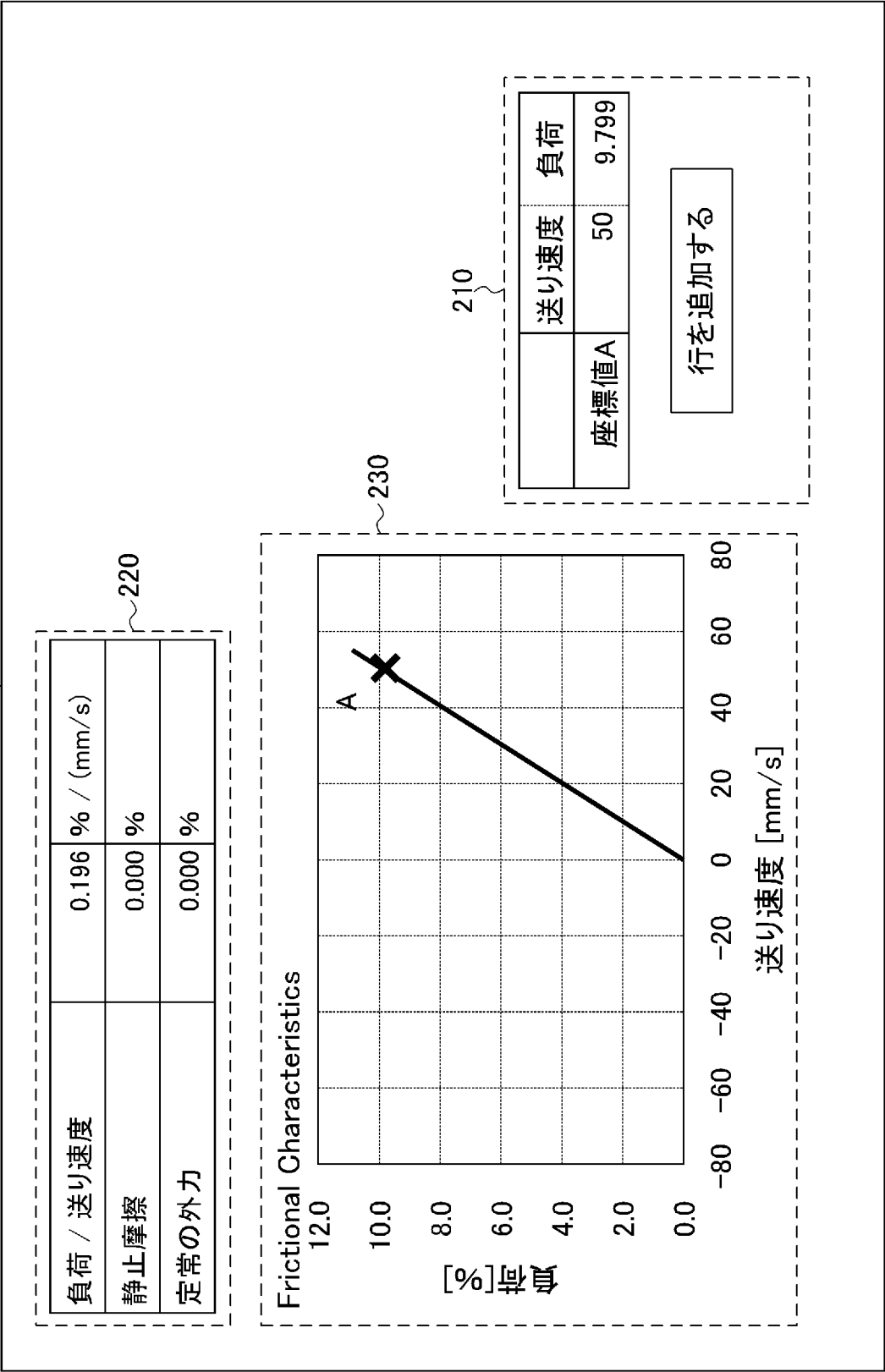
[図2A]

データ点数	摩擦モデル
1点	$f = a \cdot v$
2点(同一)	$f = a \cdot v + b \cdot \text{sgn}(v)$
2点(逆)	$f = a \cdot v + g$
4点以上	$f = a_1 \cdot v + b_1 \ (v > 0)$ $f = a_2 \cdot v + b_2 \ (v < 0)$ $f = (b_1 + b_2) / 2 \ (v = 0)$

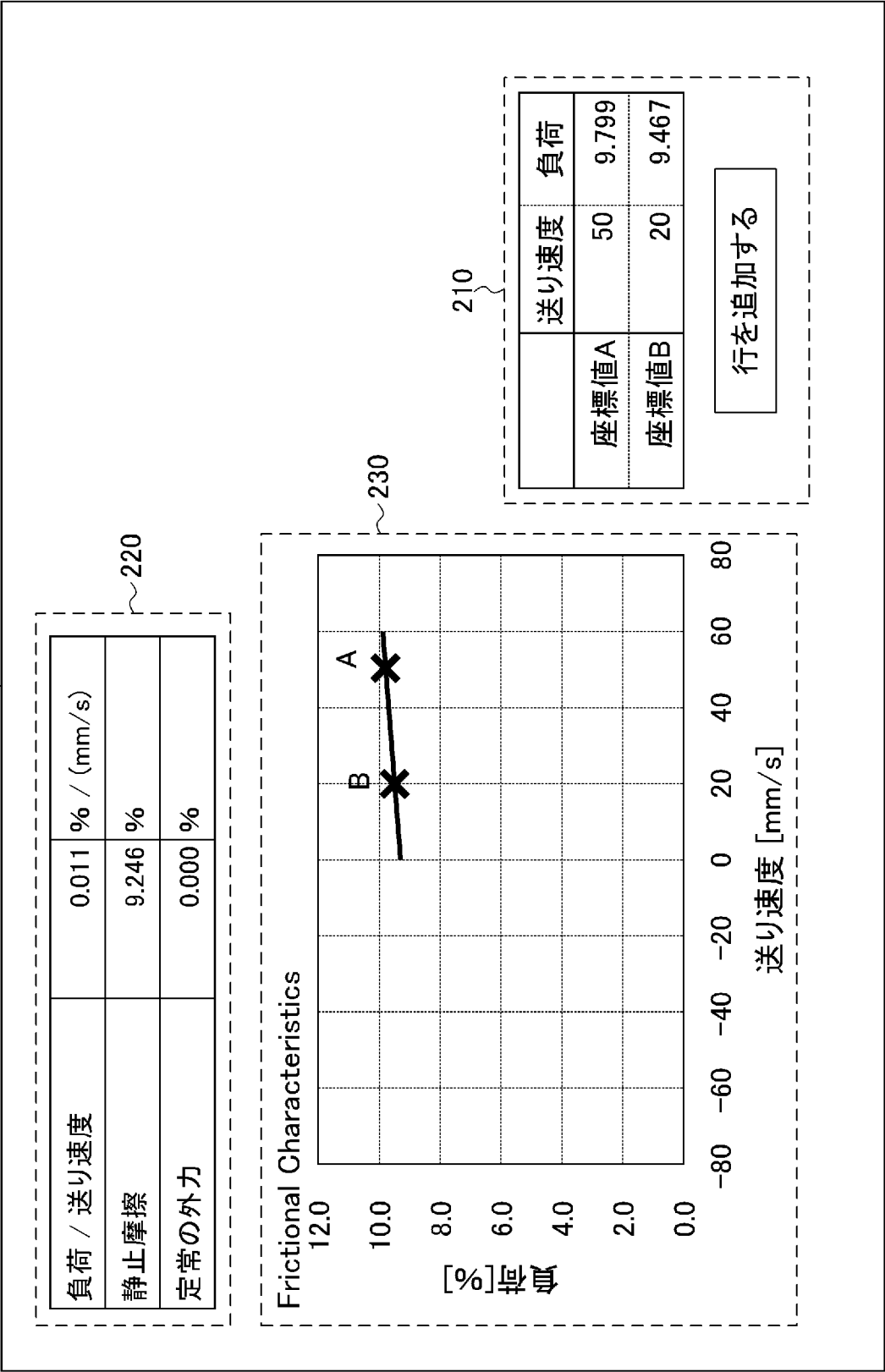
[図2B]



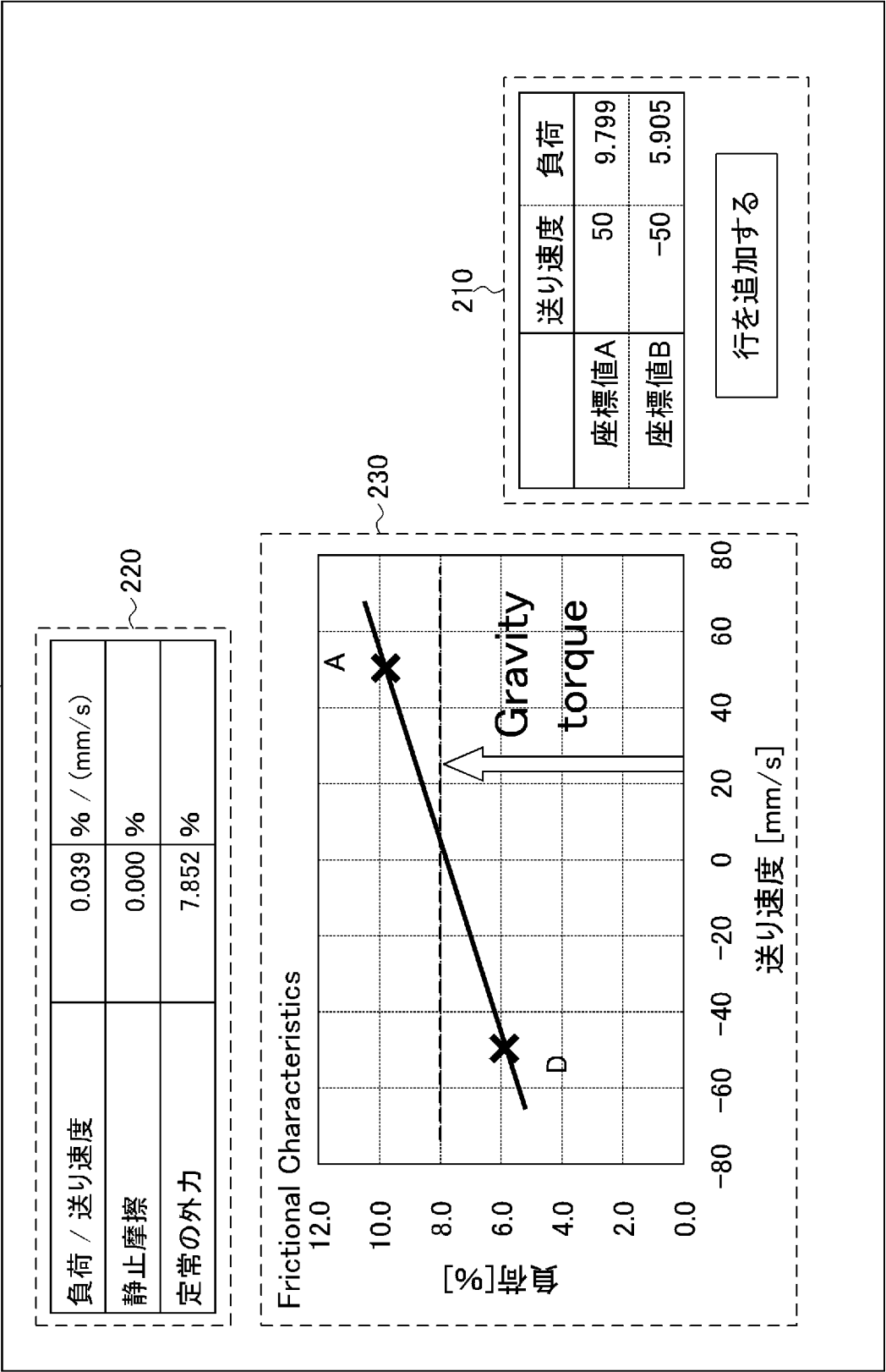
[図3A]



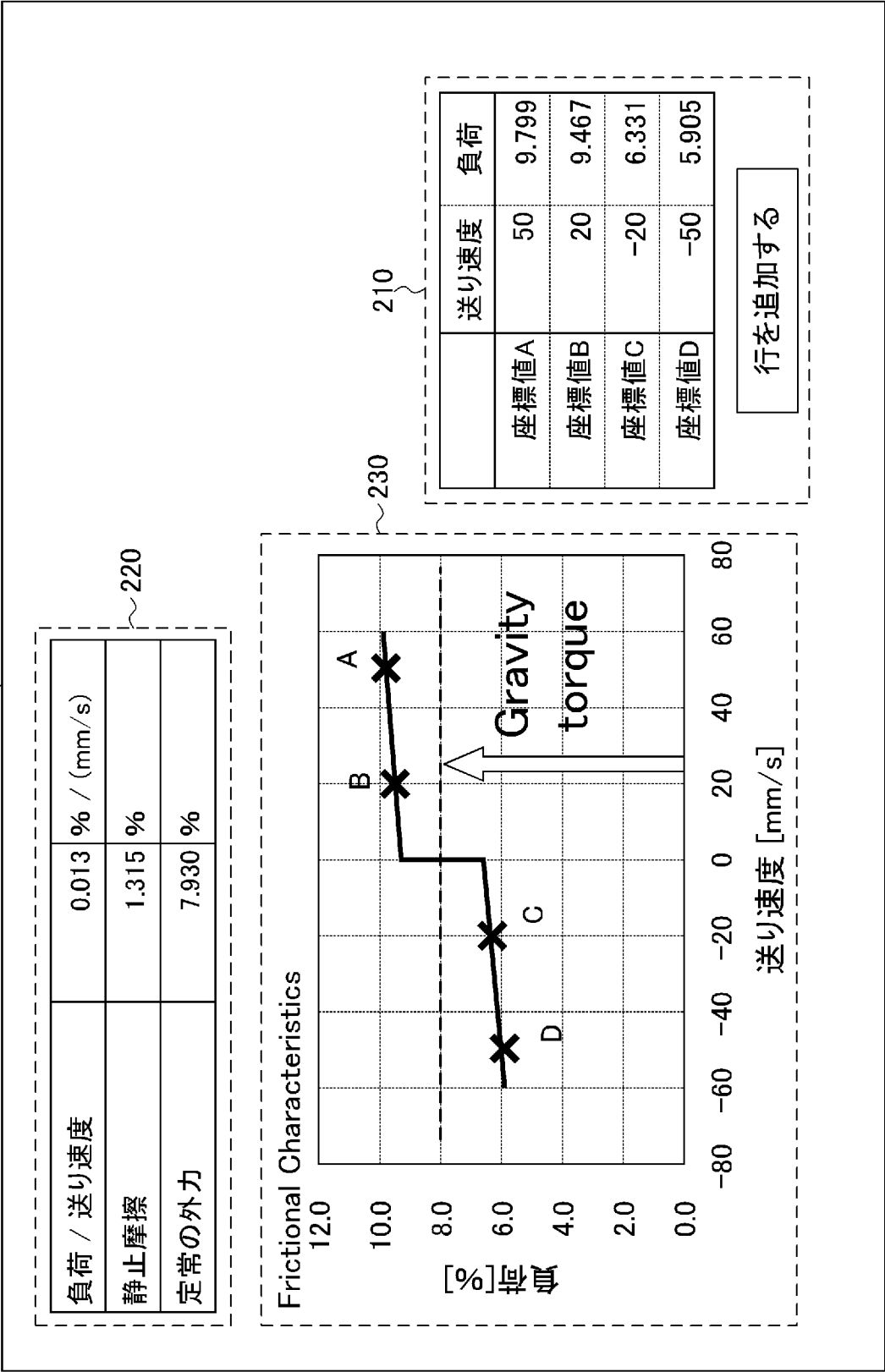
[図3B]



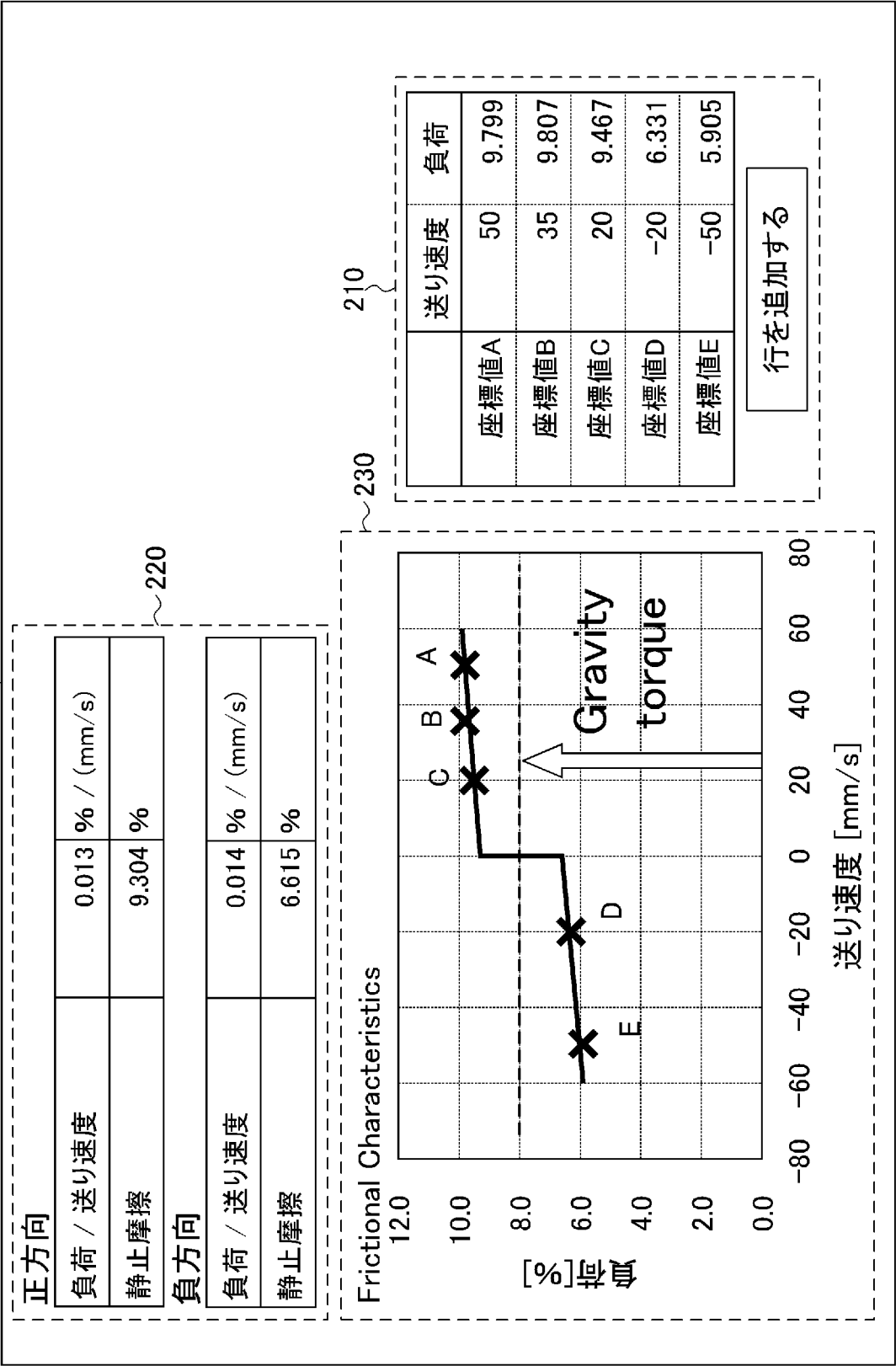
[図3C]



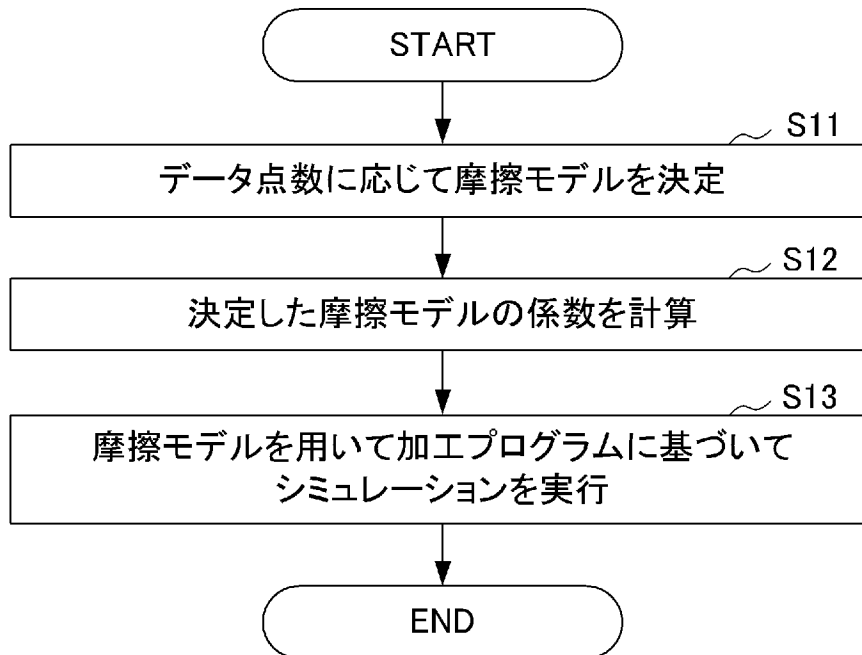
[図3D]



[図3E]



[図4]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/014420

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G05B 19/4069**(2006.01)i; **B23Q 15/00**(2006.01)i

FI: G05B19/4069; B23Q15/00 B

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)

G05B19/18-19/46; B23Q15/00; G05B17/00-17/02; G05B13/04

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2006-146572 A (YASKAWA ELECTRIC CORP.) 08 June 2006 (2006-06-08) paragraphs [0022]-[0024], fig. 9	1-6
A	JP 2022-90463 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 17 June 2022 (2022-06-17) paragraphs [0020]-[0036]	1-6
A	WO 2022/162944 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 04 August 2022 (2022-08-04) paragraphs [0041]-[0043], [0062]-[0063]	1-6
A	WO 2022/162740 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 04 August 2022 (2022-08-04) paragraphs [0047]-[0058]	1-6



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

06 June 2023

Date of mailing of the international search report

20 June 2023

Name and mailing address of the ISA/JP

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

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2023/014420

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
JP	2006-146572	A	08 June 2006	(Family: none)			
JP	2022-90463	A	17 June 2022	(Family: none)			
WO	2022/162944	A1	04 August 2022	JP	6961128	B1	
WO	2022/162740	A1	04 August 2022	JP	6949284	B1	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G05B 19/4069(2006.01)i; B23Q 15/00(2006.01)i FI: G05B19/4069; B23Q15/00 B		
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）） G05B19/18-19/46; B23Q15/00; G05B17/00-17/02; G05B13/04 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 1971-2023年 日本国実用新案登録公報 1996-2023年 日本国登録実用新案公報 1994-2023年 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	JP 2006-146572 A（株式会社安川電機）08.06.2006（2006-06-08） 段落0022-0024、図9	1-6
A	JP 2022-90463 A（三菱電機株式会社）17.06.2022（2022-06-17） 段落0020-0036	1-6
A	WO 2022/162944 A1（三菱電機株式会社）04.08.2022（2022-08-04） 段落0041-0043、0062-0063	1-6
A	WO 2022/162740 A1（三菱電機株式会社）04.08.2022（2022-08-04） 段落0047-0058	1-6
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 06.06.2023	国際調査報告の発送日 20.06.2023	
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 亀田 貴志 3C 9719 電話番号 03-3581-1101 内線 3324	

国際出願番号
PCT/JP2023/014420

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2006-146572	A	08.06.2006	(ファミリーなし)	
JP	2022-90463	A	17.06.2022	(ファミリーなし)	
WO	2022/162944	A1	04.08.2022	JP	6961128 B1
WO	2022/162740	A1	04.08.2022	JP	6949284 B1