

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

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

attribute information display data relating to the feed shaft and the main spindle, and that also generates coupling control data for coupling the movement trajectory in the measured time series data and the NC program.

(57) 要約: 主軸又は送り軸のサーボデータ波形とプログラムの指令との対応関係、及び主軸又は送り軸の属性情報を表示する。波形表示装置が、位置指令値又は速度指令値に、送り軸又は主軸を駆動する電動機の回転を追従させるフィードバック制御を行うフィードバック制御部と、実際の産業機械から取得した実測の時系列データ、及びフィードバック制御により得られたトルク指令の時系列データの内の少なくとも1つを用いて算出した、送り軸及び主軸の属性情報を保持する機械構成情報部と、実測の時系列データと、フィードバック制御部から出力された時系列データとのマッチングを行う対応関係解析部と、実測の時系列データの移動軌跡の表示データと、NCプログラムの表示データと、送り軸及び主軸に関する属性情報の表示データと、を生成するとともに、実測の時系列データの移動軌跡とNCプログラムとの連動制御データの生成を行う表示制御部と、を備える。

明 細 書

発明の名称： 波形表示装置及び波形表示方法

技術分野

[0001] 本発明は、波形表示装置及び波形表示方法に関し、特に実際の産業機械から取得された主軸及び／又は送り軸のサーボデータ等の波形と加工プログラムの指令とを表示する波形表示装置及び波形表示方法に関する。

背景技術

[0002] 製造機械から取得された物理量の時系列的変化と制御用プログラムの指令との関係を容易に解析することが可能な波形表示装置が、特許文献１に記載されている。

具体的には、特許文献１には、波形表示装置が、制御指令と、該制御指令により製造機械を制御した際に測定された時系列データの波形パターンとを関連付けて記憶する波形パターン記憶部と、時系列データから特徴的な波形を抽出し、波形パターン記憶部を参照して、特徴的な波形に対応する制御指令を特定する波形解析部と、特徴的な波形に対応する制御指令と制御用プログラムとに基づいて、特徴的な波形と制御用プログラムに含まれる指令との対応関係を特定する対応関係解析部と、特徴的な波形と前記制御用プログラムに含まれる指令との対応関係が把握できるように表示する表示部と、を備えることが記載されている。

[0003] NC自動プログラム作成装置のプログラムより工作機械の特性を把握した実測状態に近いシミュレーションを行うNCサーボシミュレータが、特許文献２に記載されている。

具体的には、特許文献２には、自動プログラム作成装置等によって作成されたNC装置の加工プログラムを入力するNCデータ入力部と、NC装置が搭載された工作機械の機械的かつ電氣的定数及び伝達関数等やNC装置のサーボ定数を記憶する記憶部と、この記憶部で記憶されたデータをもとに上記NCデータ入力部が入力したプログラムから工作機械の工具の軌跡をシミュ

レーションするシミュレーション部と、このシミュレーション部のシミュレーション結果を表示する表示部とを具備することを特徴とするNCサーボシミュレータが記載されている。

[0004] NC加工プログラムの誤り検証の負荷を軽減し、あるいは検証を自動化することにより、高い品質と精度のNC加工を効率よく行うことができるNC加工装置が、特許文献3に記載されている。

具体的には、特許文献3には、NC加工装置が、NC加工プログラムから工具軌跡の画像データを生成し、工具軌跡の画像データと予め入力したワークの仕上がり形状の画像データとを比較し、工具が所定のしきい値を超えてワークの仕上がり形状内に入り込む部分を切り込み過ぎ部分、工具が所定のしきい値より小さい距離範囲内でワークの仕上がり形状の表面に沿って通過する部分を正常切削部分、ワークの仕上がり形状に沿って通過する工具軌跡のうちの欠損部分を削り残し部分とそれぞれ判定し、強調表示することが記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2019-184512号公報

特許文献2：特開昭63-313206号公報

特許文献3：特開平09-062326号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 主軸又は送り軸のサーボデータ波形とプログラムの指令との対応関係を把握しようとする場合、サーボビュー又はサーボガイドと呼ばれるアプリケーションを用いると、実加工のサーボデータを表示でき、波形、軌跡、工具向きを知ることができる。しかし、サーボビュー又はサーボガイドは、加工プログラムと紐づけする情報がないので、加工プログラムとの対応付けができない。

CAM (Computer-aided manufacturing) 及びCNCガイド (Computer Numerical Control Guide) を用いると、加工プログラムと軌跡を関連付けることができ、CAE (Computer Aided Engineering) を用いると、加工プログラムから主軸の時系列データを作成することができる。しかし、CAM及びCNCガイド及びCAEは、設計時に利用するもののため、そもそも実加工のサーボデータを読み込むことを考えておらず、実加工の分析に使うものではない。

主軸又は送り軸のサーボデータ波形とプログラムの指令との対応関係を表示しようとする場合に、複雑な加工プログラムにも対応できる波形表示装置及び波形表示方法が望まれる。また、主軸又は送り軸の属性情報も併せて表示する波形表示装置及び波形表示方法が望まれる。

課題を解決するための手段

- [0007] (1) 本開示の代表的な第1の態様は、送り軸の位置決め及び主軸の速度制御の動作を規定するNCプログラムを解釈するNCプログラム解釈部と、
前記NCプログラム解釈部が解釈した前記NCプログラムから指令点の補間を行い、位置指令値又は速度指令値を生成する指令生成部と、
前記指令生成部が生成する前記位置指令値又は前記速度指令値に前記送り軸又は前記主軸を駆動する電動機の回転を追従させるフィードバック制御を行うフィードバック制御部と、
実際の産業機械から取得した実測の時系列データ、及び前記フィードバック部から出力されたトルク指令の時系列データの内の少なくとも1つを用いることで算出した、前記送り軸及び前記主軸の属性情報を保持する機械構成情報部と、
前記実測の時系列データと、前記フィードバック制御部から出力された時系列データと、のマッチングを行う対応関係解析部と、
前記実測の時系列データの移動軌跡の表示データと、前記NCプログラムの表示データと、前記送り軸及び前記主軸に関する属性情報の表示データとを生成するとともに、前記実測の時系列データの移動軌跡と前記NCプログ

ラムとの連動制御データの生成を行う表示制御部と、
を備えた波形表示装置である。

[0008] (2) 本開示の代表的な第2の態様は、波形表示装置としてのコンピュータが、

送り軸の位置決め及び主軸の速度制御の動作を規定するNCプログラムを
解釈する処理と、

解釈した前記NCプログラムから指令点の補間を行い、位置指令値又は速度
指令値を生成する処理と、

生成した前記位置指令値又は前記速度指令値に前記送り軸又は前記主軸を
駆動する電動機の回転を追従させるフィードバック制御を行う処理と、

実際の産業機械から取得した実測の時系列データ、及びフィードバック制
御より得られたトルク指令の時系列データの内の少なくとも1つを用いるこ
とで算出した、前記送り軸及び前記主軸の属性情報を保持する処理と、

前記実測の時系列データと、フィードバック制御より得られた前記時系列
データと、のマッチングを行う処理と、

前記実測の時系列データの移動軌跡の表示データと、前記NCプログラムの
表示データと、前記送り軸及び前記主軸に関する属性情報の表示データと
を生成するとともに、前記実測の時系列データの移動軌跡と前記NCプログラ
ムとの連動制御データの生成を行う処理と、

を実行する波形表示方法である。

発明の効果

[0009] 本開示の各態様によれば、主軸又は送り軸のサーボデータ波形とプログラ
ムの指令との対応関係を表示しようとする場合に、複雑な加工プログラムに
対応して表示ができる。また、主軸又は送り軸の属性情報も併せて表示する
ことができる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]本開示の一実施形態の波形表示装置を含む波形表示システムの構成を示
すブロック図である。

[図2]主軸のトルク指令と速度、並びに送り軸となるX軸、Y軸及びZ軸の位置指令を示す波形図である。

[図3]送り軸となるZ軸のトルク指令と速度、並びに送り軸となるX軸、Y軸及びZ軸の位置指令を示す波形図である。

[図4]2慣性系モデルを示す図である。

[図5]曲率の変化が大きく変わる点を端点として黒丸で示した図である。

[図6]端点として、属性情報の最大値の点を黒丸で示し、最小値の点を太線の黒円で示した図である。

[図7]旋盤において、X軸方向にワークを削る様子を示す説明図である。

[図8]属性情報となる主軸トルクと速度が最小に達する様子を示すサーボ波形データを示す図である。

[図9]工具使用区間ごとのシミュレーションデータ（上段）と実機測定データ（下段）との切削送り区間のマッチング例を示す図である。

[図10]最適化により、切削係数パラメータを同定した時のシミュレーション結果と実測データの例を示す図である。

[図11]稼働情報の一例を示す図である。

[図12]加工プログラム単位での、カウント情報、稼働情報、実波形及びシミュレーション波形を示す図である。

[図13]加工プログラム内の一部欠損を、シミュレーションのサーボデータで補完する例を示す図である。

[図14]加工プログラム単位の欠損を、シミュレーションのサーボデータで補完する例を示す図である。

[図15]欠損補完部の欠損補完処理を示すフローチャートである。

[図16]対象となるサーボ波形データから3つの区間を切り出して異常を算出する様子を示す説明図である。

[図17]3つの区間での異常度の遷移グラフである。

[図18]移動軌跡と加工プログラムとを表示する表示画面を示す図である。

[図19]X-Y面、X-Z面、Z-Y面の移動軌跡を表示した領域を示す図で

ある。

[図20]加工プログラムを表示した領域を示す図である。

[図21]X－Z面の移動軌跡を表示した領域を示す図である。

[図22]加工プログラムを表示した領域を示す図である。

[図23]波形表示装置の動作を示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0011] 以下、本開示の実施形態について図面を用いて詳細に説明する。

[0012] 図1は本開示の一実施形態の波形表示装置を含む波形表示システムの構成を示すブロック図である。

波形表示システム10は、波形表示装置100、記憶部200及び表示部300を備えている。

波形表示装置100は、NCプログラム解釈部101、指令生成部102、フィードバック制御部103、機械モデル104、機械構成情報部105、切削力推定部106、表示制御部107、対応関係解析部108、パラメータ最適化部109、欠損補完部110及び異常度算出部111を備えている。切削力推定部106、パラメータ最適化部109、欠損補完部110及び異常度算出部111の一つ又は複数は必要に応じて設けられる。

以下、波形表示装置100を構成する各部について説明する。

[0013] (NCプログラム解釈部101)

NCプログラム解釈部101は、記憶部200から出力される、NC (Numerical Control) プログラム (加工プログラムとなる)、CNC (Computerized Numerical Control) パラメータ等の入力情報をもとに、移動距離、移動経路及び指令速度を求める。NCプログラム解釈部101は、送り軸の位置決め及び主軸の速度制御の動作を規定するNCプログラムを解釈し、NCプログラムを各コードと値に分解し、移動距離、移動経路及び指令速度を求める。

NCプログラム解釈部101は、例えば、以下の解釈 (A)、(B)、(C)、(D) を行う。

(A) コードM03、M04、M05によって、主軸の時計方向回転、主軸の反時計方向回転、主軸の回転停止に変換する。

(B) G00、G01、G02、G03によって、主軸を指定した座標へ早送りで移動、主軸を指定した座標に切削送りで移動、時計回りの円弧補間、反時計回りの円弧補間に場合分けし、各サーボ軸の経路と移動距離に変換する。

(C) 固定サイクル、工具交換の動作について、Gコード、Mコードに等価な変換をする。

(D) 工具オフセット値を移動距離に加算する。

[0014] (指令生成部102)

指令生成部102は、NCプログラム解釈部101により得られた移動距離、直線又は円弧などの移動経路、指令速度をもとに、移動経路上の点を補間周期で補間計算した補間データを生成し、補間データに基づいて加減速プロフィールを生成し、さらに各制御軸への分配を行うことで、送り軸の電動機となるサーボモータ及び主軸の電動機となる主軸モータの制御周期ごとの位置指令値又は速度指令値を与える。

指令生成部102は、以下の動作(E)、(F)、(G)、(H)、(I)を行う。

(E) 移動距離を算出する。

(F) 移動距離と指令速度、そして機械設定による加減速パラメータを満たすようにツール先端での速度・位置のプロファイルを作成する。

(G) 制御周期毎でプロファイルを離散化する。

(H) 離散化したプロファイルを各軸での指令へと分配する。

(I) 分配後の各軸指令値に対してフィルタを行う。

[0015] (フィードバック制御部103)

フィードバック制御部103は、指令生成部102が生成する位置指令値又は速度指令値に、送り軸及び主軸を駆動する電動機の駆動を追従させるフィードバック制御を行う。

フィードバック制御部103の構成は、産業機械の実機のフィードバック制御部の構成と同じであり、実機のフィードバック制御部の構成は既に知られているので詳細な説明を省略する。例えば、フィードバック制御部103として、特開2019-128830号公報に記載された、位置指令値と位置フィードバックされた位置検出値との差を求める減算器と、減算器と接続され、速度フィードバックと電流フィードバックとが行われる制御部とを用いることができる。本実施形態では、速度検出値、位置検出値、電流検出値の少なくとも1つをフィードバックすればよい。

フィードバック制御部103は、フィードバック制御部103内で作成されるサーボデータとなるトルク指令等を機械構成情報部105に出力する。フィードバック制御部103から出力されるサーボデータは、シミュレーションデータとなる。

[0016] 穴あけ加工を行う場合の、実測の時系列データである、実機のサーボ波形データ（実波形）は、例えば、図2及び図3に示される。図2は、主軸のトルク指令と速度、並びに送り軸となるX軸、Y軸及びZ軸の位置指令を示す波形図である。図3は、送り軸となるZ軸のトルク指令と速度、並びに送り軸となるX軸、Y軸及びZ軸の位置指令を示す波形図である。

図2において、主軸速度の縦軸の目盛りa1～a9は、270、320、370、420、470、520、570、620、670（1/mm）である。主軸トルクの縦軸の目盛りa1～a9は、-60、-50、-40、-30、-20、-10、0、10、20（%）である。X軸位置指令の縦軸の目盛りa1～a9は、0、100、200、300、400、500、600、700、800（mm）である。Y軸位置指令の縦軸の目盛りa1～a9は、-300、-250、-200、-150、-100、-50、0、50、100（mm）である。Z軸位置指令の縦軸の目盛りa1～a9は、-330、-325、-320、-315、-310、-305、-300、-295、-290（mm）である。

[0017] 図3において、主軸速度の縦軸の目盛りa1～a9は、-7000、-6

000、-5000、-4000、-3000、-2000、-1000、0、1000 (1/mm) である。主軸トルクの縦軸の目盛り $a_1 \sim a_9$ は、-120、-100、-80、-60、-40、-20、0、20、40 (%) である。X軸位置指令の縦軸の目盛り $a_1 \sim a_9$ は、0、100、200、300、400、500、600、700、800 (mm) である。Y軸位置指令の縦軸の目盛り $a_1 \sim a_9$ は、-350、-300、-250、-200、-150、-100、-50、0、50 (mm) である。Z軸位置指令の縦軸の目盛り $a_1 \sim a_9$ は、-271、-266、-261、-256、-251、-246、-241、-236、-231 (mm) である。

[0018] (機械モデル104)

機械モデル104は、産業機械の機械モデルであり、例えば、工作機械又は切削加工ロボットの機械モデルである。

機械モデル104は、例えば、2慣性系により作成される。このような機械モデルは、例えば、“NC工作機械の送り軸のための2慣性系モデルによる低周波振動抑制制御の研究”2016年82巻8号p. 745-750, 精密工学会誌、特開2019-009858号公報等に記載されている。図4は2慣性系モデルを示す図である。図4で示される機械モデル104は、送り軸の機械モデルである。図4に示すように、2慣性系モデルは、電動機となるサーボモータ1041から機械1042までの間に、ボールねじに相当するバネ1043A及びダンパ1043Bで連結されたモデルである。

[0019] サーボモータ1041の質量及び機械1042の質量をそれぞれ J_m 、 J_L 、バネ1043Aのバネ定数を K 、ダンパ1043Bのダンパ定数を C 、サーボモータ1041の駆動トルク(トルク指令)を u 、バネ1043Aとダンパ1043Bの合成力を T 、モータ速度を V_m 、機械速度を V_L とすると、 V_m 、 V_L の運動方程式、及び、バネ1043Aとダンパ1043Bの合成力 T は、数式1(以下の数1)のように表される。

[数1]

$$V_m = \frac{1}{J_m s} (u - T)$$

$$V_L = \frac{1}{J_L s} T$$

$$T = \left(\frac{K}{s} + C \right) (V_m - V_L)$$

なお、工作機械等の産業機械の送り系では、びびり振動を論じる場合にはばね定数を含めて2慣性系を扱うことが合理的だが、単純に加減速に伴う慣性力だけを再現する場合には1慣性系で十分である。

[0020] 主軸は工具を回転させるためのモータ軸である。モータを駆動して機械端を制御するところは送り軸と共通であるが、送り軸と違って機械端では並進ではなく回転運動をそのまま伝達させることになる。したがって、主軸の機械モデルでは、ボールねじによる変換機構が主軸では存在しない。

[0021] (機械構成情報部105)

機械構成情報部105は、実際の産業機械から取得した実測の時系列データ、及びフィードバック制御部103から出力された、サーボデータに含まれるトルク指令(時系列データ)の少なくとも1つを用いることで算出した、主軸及び送り軸の属性情報を保持する。機械構成情報部105は、実測の時系列データに欠損が無い場合は、対応関係解析部108から欠損のない実測の時系列データを取得し、実測の時系列データに欠損が有る場合は、欠損補完部110から、欠損がシミュレーションデータで補完された実測の時系列データを取得する。

機械構成情報部105は、特性値として数値化したワークの形状又は接触長を保持する。

属性情報は、サーボデータが保持している値、サーボデータから算出された値、又は端点が保持している値である。端点は、サーボデータから、ある

条件により絞り込んで、点数を減らした時系列データのことである。属性情報を求めるためのサーボデータは、実測の時系列データ又はフィードバック制御部 103 から出力されたトルク指令の時系列データである。

[0022] 主軸の属性情報について、サーボデータが保持している値の例は、トルク負荷（トルク指令）及び／又は速度であり、サーボデータから算出された値の例は、異常度及び／又は統計量である。

送り軸の属性情報について、サーボデータが保持している値の例は、工具の軌跡、トルク負荷、及び速度（速度指令又は速度フィードバック値）のうちのいずれか又は複数であり、サーボデータから算出された値の例は、工具の向き、移動種類、移動向き、曲率、異常度及び統計量のうちのいずれか又は複数である。

主軸及び送り軸の属性情報について、端点が保持している値は、上述した、主軸及び送り軸の属性情報のサーボデータが保持している値及びサーボデータから算出された値の全ての値を取り得る。

[0023] 機械構成情報部 105 は、主軸及び送り軸の属性情報以外の付随情報を保持してもよい。

付随情報について、サーボデータが保持している値の例は、順番（移動順で、時間順の並びを示す）、プログラム番号、各種機械信号（PMC）の内のいずれか又は複数であり、サーボデータから算出された値の例は時刻である。

付随情報について、端点が保持している値は、上述した、付随情報のサーボデータが保持している値及びサーボデータから算出された値の全ての値を取り得る。

[0024] 上述した、端点、工具の向き、移動種類、移動向き、曲率、時刻、及び統計量について以下に説明する。異常度については、後述する異常度算出部 111 の説明において説明する。

[0025] 端点は次のようにして絞り込まれる。

（１）位置情報（軌跡XYZ）を基にした曲率の変化が大きく変わる点を

端点とする。図5は、曲率の変化が大きく変わる点を端点として、黒丸で示した図である。図5において黒丸で示した点を端点とする。

(2) 属性情報の最大値、最小値、又は平均値の点(速度、トルク負荷、曲率、統計量、異常度など)を端点とする。図6は、端点として、属性情報の最大値の点を黒丸で示し、最小値の点を太線の黒円で示した図である。図6において、黒丸で示した最大値の点及び太線の黒円で示した点を端点とする。

属性情報が最小値を取る例について、図7及び図8を用いて説明する。図7は、旋盤において、X軸方向にワークを削る様子を示す説明図、図8は、属性情報となる主軸トルクと速度が最小に達する様子を示すサーボ波形データを示す図である。

[0026] 工具の向きは工具の始点と終点で示すことができる。MC、旋盤、4軸加工機は、角度は機械で決まっているので、軌跡が工具の終点だとすると、例えばMCの場合、工具の始点は、工具長さLをZ軸方向に足した距離の点となる。

移動種類は、機械信号(PMC)により、切削中、送り移動中などの場合分けする。

移動向きは、順番により、端点ごとにどちらに移動するかを決める情報である。

曲率は、ある点の前後数点を用いて、円弧と見なした時の円の半径を曲率半径であり、曲がりぐらいを示す指標になる。

時刻は、ファイルが保持する開始時刻に、順番を足したものである。

[0027] 統計量は、平均、分散、歪度、尖度、RMS(二乗平均平方根)などであり、例えば、平均は、一定区間のデータを用いて、すべての点の値を足して、データ数で割った数である。

[0028] (切削力推定部106)

切削力推定部106は、機械構成情報部105から出力される属性情報及び特性値に基づき、切削工具における切削力を推定する。ここで、機械構成

情報部 105 が保存する属性情報は、トルクであり、特性値は数値化したワークの形状又は接触長である。切削力推定部 106 は、推定された切削力を機械構成情報部 105 に出力する。

なお、切削力は、切削工具の侵入に対する素材の抵抗であり、切削の継続に必要な力を意味する。トルク $[N \cdot m]$ は切削力の（主分力 $[N]$ ） $\times$ （半径 $[m]$ ）から求まるので、切削力をほぼトルクと同じ意味として使うことができる。

[0029] 推定切削力は、以下に説明する瞬間切削力モデルを用いて計算することができる。

切削工具の刃先を垂直方向について微小な部分に切り分ける。微小刃の垂直方向の大きさを dz とする。ここで、切削工具がワークを切削する際にこの微小刃に掛かる切削力について、工具接線方向の力を dF_t 、半径方向の力を dF_r 、軸方向の力を dF_a とおく。また、 h を微小刃が 1 回転でワークを削る長さ（切り取り厚さと呼ばれる）とする。なお、切り取り厚さ h は、微小刃の位置 z と回転角 θ に依存する。

このとき、数式 2（以下の数 2）の関係が成り立つとするのが瞬間切削モデルである。ここで、切削係数 K_{te} 、 K_{tc} 、 K_{re} 、 K_{rc} 、 K_{ae} 、 K_{ac} は工具とワークの物質的な関係で決まる係数である。特に、切削係数 K_{tc} 、 K_{rc} 、 K_{ac} は比切削抵抗に相当する係数である。

[数2]

$$dF_t = K_{te}dz + K_{tc}hdz$$

$$dF_r = K_{re}dz + K_{rc}hdz$$

$$dF_a = K_{ae}dz + K_{ac}hdz$$

[0030] ワークの形状が事前にわかっている場合には、ワークの形状を計算機上に何らかの形で数値的に表し、切削過程を離散時間ごとにシミュレーションすることで切削力を計算することができる。

例えば、Z-M a pと呼ばれる方式では、X、Y方向に分割したグリッド空間を考え、それぞれのセルにおけるワークの高さを記録することでワーク形状を数値的に表現する。切削工具は高さ方向に区切られた微小板で表現する。微小時間ごとに切削工具とワークの位置を更新し、工具が接触したワークのセルについて高さを減少させ、またその部分に生じる切り取り厚さに応じて切削力を発生させることでシミュレーションを行う。

[0031] ワークの形状は事前には分かっている場合には、Z-M a pによるシミュレーションは使えない。

しかし、加工時に測定されるトルクのデータを用いれば、工具がどの位置にいるときにトルクが発生するのかを見ることができる。すなわち測定データを用いれば、どの位置にワークが存在するか見積もることができる。さらに、ワークの比切削抵抗値についても見積もることができる。

[0032] ここでは比切削抵抗が分かっているとした上で、ワーク形状が分かっている場合に切削シミュレーションする方法（接触長によるシミュレーション）を述べる。

トルクは接線方向に掛かる力に工具半径を掛けたものであるとみなせるので、切削工具の微小板にかかる切削トルク dT は以下の数式3（以下の数3）で示される。

[数3]

$$dT(z, \theta) = r[K_{te}dz + K_{tc}h(z, \theta)dz]$$

切削トルク dT は、工具微小板の位置 z と回転角 θ に依存しているが、この依存性を解消するために切り取り厚さ h の平均値 h' を以下の数式4（以

下の数４）とおく。

[数４]

$$h'(z) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} h(z, \theta) d\theta$$

数式３の切り取り厚さ h を数式４の平均値 h' に置き換え、数式３を微小板ごとに総和を取ると、数式５（以下の数５）となる。ここで、ワークに接している工具の高さ方向の総和を C_z とおいた。以下、 C_z を接触長と呼ぶ。

[数５]

$$T = \int dT = rC_z(K_{te} + K_{tc}h')$$

[0033] 接触長 C_z によるシミュレーションでは、平均的切り取り厚さ h' は加工条件である送り速度と回転数から求める。比切削抵抗が求まっているとすれば、各位置での接触長 C_z を求めることで切削トルクをシミュレーションすることができる。実際には、測定データがあれば各位置での接触長（切削基礎データとなる）を数式５から求めることができる。接線方向以外の切削力についても同様である。

[0034] （表示制御部１０７）

表示制御部１０７は、実測の時系列データ、プログラム、主軸及び送り軸に関する属性情報を機械構成情報部１０５から取得する。

表示制御部１０７は、実測の時系列データの移動軌跡の表示データと、加工プログラムの表示データと、主軸及び送り軸に関する属性情報の表示データとを生成するとともに、実測の時系列データの移動軌跡と加工プログラム

の連動制御の生成を行い、表示部３００に送る。なお、実測の時系列データは、補完の必要のない実測の時系列データ又は補完された実測の時系列データであり、欠損のない実測の時系列データである。

また、表示制御部１０７は、送り軸の時系列データの位置情報を基にした曲率の変化の大きい端点の新たな軌跡の時系列データを生成し、送り軸の時系列データの位置情報及び速度情報に基づいて、各端点の第１の属性情報（例えば、異常度又は統計量）を生成し、主軸の時系列データにトルク指令及び速度情報に基づいて、各端点の第２の属性情報（例えば、異常度又は統計量）の新たな軌跡の時系列データを生成し、第１の属性情報又は前記第２の属性情報の最大値及び最小値を持つ複数の端点の新たな軌跡の時系列データを生成して、表示部３００に送る。

このように、端点のデータを抽出することで、データ量を減らし、表示速度を改善することができる。

表示制御部１０７は、切削力推定部１０６が推定する切削力を機械構成情報部１０５から取得して、切削力の表示データを生成して、表示部３００に送ってもよい。

[0035] 表示制御部１０７は、分析報告書を作成してもよい。表示制御部１０７は、分析報告書の表示データを生成して、表示部３００に送ってもよい。

分析報告書の内容は、例えば、対象加工プログラム名、依存サブプログラム名（依存サブプログラムがない場合は「なし」）を記載）、分析対象開示時期、分析対象終了時期、分析期間の加工プログラム書き換え回数、ユーザからの要望事項とコメント、工具番号、種別、交換回数等の工具別情報、及び加工プログラムの分析である。

[0036] （対応関係解析部１０８）

実機での挙動とシミュレーションでの挙動を比較する際、時系列信号としての実機測定データ（実測の時系列データ）とシミュレーションデータと対応（マッチング）を取ることが求められる。時系列信号としての実機測定データとシミュレーションデータと対応を取ることができれば、シミュレーシ

ョンデータと加工プログラムとの対応関係により、時系列信号としての実機測定データと加工プログラムとの対応関係も作ることができる。

シミュレーションデータ及び実機測定データは、機械構成情報部 105 及び記憶部 200 からそれぞれ出力され、マッチングがとれたシミュレーションデータ及び実機測定データが、機械構成情報部 105、パラメータ最適化部 109 及び欠損補完部 110 に出力される。対応関係解析部 108 は、マッチングの結果、実機測定データに欠損が無い場合は、補完の必要がないため、実機測定データをそのまま機械構成情報部 105 に出力する。対応関係解析部 108 は、マッチングの結果、実機測定データに欠損が有る場合は、補完の必要があるため、実機測定データとシミュレーションデータを欠損補完部 110 に出力する。

ここでは、シミュレーションデータ、実機測定データについて、以下のルールを設けて、工具使用区間と切削送り区間の二段階の手順で、NC プログラム、シミュレーションデータ、及び実機測定データの対応付けを行う。

(1) 工具交換を区切りとして各工具を用いている区間で時系列データを分割する。

(2) 各工具を用いる区間同士の対応付けを行う。

(3) 各工具を用いている中で切削送りモードであることを示す信号が立っている区間を抽出する。

(4) 切削送り信号の区間同士を対応付ける。

図 9 は、工具使用区間ごとのシミュレーションデータ（上段）と実機測定データ（下段）との切削送り区間のマッチング例を示す図である。

同じ模様のハッチングの部分が対応の取れている区間であり、すべての場合において切削送り区間同士の対応が取れている。

[0037] (パラメータ最適化部 109)

これまで述べたシミュレーションを行うには、シミュレーションを実行するためのパラメータが、実切削力に合っている必要がある。

パラメータ最適化部 109 は、例えば、切削力のパラメータである切削係

数のパラメータを事前に同定しておく。

切削係数のパラメータの同定は、いくつかの位置では接触長が分かっているものと仮定して行われる。例えば、ドリル加工の場合は切削が定常応答になるような箇所では接触長は刃の高さに一致していると考えられるため、そのような箇所を抜き出して、そこでのトルクの大きさ（フィードバック制御部 103 から出力されるトルク指令）を元に切削係数 K_{te} 、 K_{tc} （切削基礎データとなる）を求めればよい。

図 10 は、最適化により、切削係数パラメータを同定した時のシミュレーション結果と実測データの例を示す図である。

[0038] 定常応答箇所を抜き出す方法としては、シミュレータの利用者が手動で指定するか、あるいはルールベースで応答が安定している箇所を見つけ出すといった方法がありうる。接線方向以外の比切削抵抗については傾斜切削理論によって求められると考えられる。

なお、切削係数のパラメータは、機械構成情報部 105 が保存した特性値と実切削力を使用して、対応関係解析部 108 でマッチングした同定箇所を比較することで算出する。工作機械、加工ごとに合わせることでパラメータが最適化できる。

パラメータ最適化部 109 は、対応関係解析部 108 から出力された、マッチングがとれたシミュレーションデータ及び実機測定データをもとに算出された、最適化されたパラメータを記憶部 200 に記憶する。

[0039]（欠損補完部 110）

欠損補完部 110 は、実測の時系列データの欠損が生じた場合に、シミュレーション時系列データから補完を行い、機械構成情報部 105 に出力する。対応関係解析部 108 で、実測の時系列データとシミュレーションデータと対応を取ることができた場合に、正確に実測の時系列データの欠損をシミュレーション時系列データで補完することができる。データの欠損は、ネットワーク又はデータ収集処理の遅延などの要因により起こるものと考えられる。

欠損補完部 110 により実測の時系列データの欠損が生じた場合には、欠損箇所のサーボデータの切削力は、切削力推定部 106 で推定された推定切削力で補うことができる。

カウント情報の有無、稼働情報の有無、及び実波形の有無によって、欠損が生じているかどうかの調査が可能になる。稼働情報及びカウント情報の説明は後述する。欠損補完部 110 は、カウント情報、稼働情報及び欠損のない実波形を記憶部 200 から取得し、欠損のある実波形及びシミュレーションデータを対応関係解析部 108 から取得する。

[0040] 稼働情報は、加工プログラムが稼働した実績データである。

稼働情報によって、加工プログラム名、開始時刻、実行期間（終了時刻）が分かる。

稼働情報は、サーボデータと比較して周期が長く、別のポートから取得するため、データ欠損は、サーボ波形データより起きにくい。

ネットの不通、データ収集機器の停止などにより、データが取れない期間の稼働は、記憶部 200 より、カウント情報を取得し、実行されているプログラムを推測する。

図 11 は稼働情報の一例を示す図である。

カウント情報は、加工プログラムが実行された数であり、記憶部 200 から取得する。カウントの取得方法は、CNC にプログラムカウントがあれば取得可能である。工具使用回数では、必ずしも、プログラムカウントと一致しないため、加工プログラム上でのカウントでも良い。

[0041] 欠損が生ずる場合は、カウント情報、稼働情報、実波形及びシミュレーション波形は図 12 のようになる。図 12 は加工プログラム単位での、カウント情報、稼働情報、実波形及びシミュレーション波形を示す図である。図 12 に示すように、CNC にあるカウント情報はすべてデータが取れているとすると、欠損が発生するのは、実波形の一部が欠けている場合、実波形が全部ない場合、及び稼働情報がない場合である。

欠損補完部 110 は、機械の稼働情報と実測の時系列データを比較して、

加工プログラム内の一部で実測の波形に欠損があった場合、シミュレーション時系列データによって、実測の波形の一部の欠損の補完を行う。加工プログラム単位で実測の波形に欠損（全欠損）があった場合、シミュレーション時系列データによって、加工プログラム単位で実測の波形の欠損の補完を行う。稼働情報がない場合、シミュレーション時系列データによって、加工プログラム単位で実測の波形の欠損の補完を行う。

欠損補完部 110 は、加工プログラム単位の欠損を、稼働情報又はカウンタ情報に基づいて、加工プログラム毎に補完する。欠損補完部 110 は、加工プログラム内の一部欠損を、対応関係解析部 108 によるマッチングを利用することでマッチングしたシミュレーションのサーボデータで補完する。

[0042] 図 13 は、加工プログラム内の一部欠損を、シミュレーションのサーボデータで補完する例を示す図である。図 14 は、加工プログラム単位の欠損を、シミュレーションのサーボデータで補完する例を示す図である。

[0043] 図 15 は、欠損補完部の欠損補完処理を示すフローチャートである。

ステップ S11 において、欠損補完部 110 は、稼働情報が有るかどうかを判断する。稼働情報が有る場合はステップ S12 に移り、稼働情報が無い場合はステップ S13 に移る。

ステップ S12 において、欠損補完部 110 は、サーボデータのシミュレーションデータが有るかどうかを判断し、シミュレーションデータが有る場合はステップ S14 に移り、シミュレーションデータが無い場合はステップ S13 に移る。

ステップ S13 において、シミュレーションを実施し、ステップ S14 に移る。

[0044] ステップ S14 において、欠損補完部 110 は、実波形に欠損が有るかどうかを判断し、有る場合は加工プログラム内の一部の欠損か、加工プログラム単位での欠損かどうかを判断する。

欠損補完部 110 は、実波形に加工プログラム内の一部の欠損が有る場合はステップ S15 に移り、実波形に加工プログラム単位の欠損が有る場合は

ステップS 1 6に移り、実波形に欠損が無い場合はステップS 1 7に移る。

ステップS 1 5において、欠損補完部 1 1 0は、実波形の一部の欠損をシミュレーション波形で補完する。

ステップS 1 6において、欠損補完部 1 1 0は、実波形の加工プログラム単位の欠損をシミュレーション波形で補完する。

ステップS 1 7において、欠損補完部 1 1 0は、実波形をそのまま利用する。

ステップS 1 5－S 1 7のいずれかが終了すると、欠損補完部の欠損補完処理が終了する。

[0045] 欠損を補完することで、欠損が補完された実波形を、故障検出モデルの作成のための教師用データ（正常値モデル）として用いることができる。この場合、実際に取得できた教師データ数が欠損により少なくなっても、欠損の補完によりデータ数を増やすことができる。

また、欠損が補完された実波形を用いることで、データの取得箇所を最小限にできる。そのため、必要な箇所だけデータを取得すればよく、ネットワーク負荷を小さくできる。

（異常度算出部 1 1 1）

異常度算出部 1 1 1は、対応関係解析部 1 0 8から出力されるサーボ波形データ（実測の時系列データ）から切り出す区間を決め、切り出した区間の異常度を算出する。異常度は正常データからどの程度離れているかを数値化した乖離度を計算して、異常度とする。

複数回、加工を実行し、区間ごとに異常度を集めたものが、異常度の遷移グラフとなる。

図 1 6は、対象となるサーボ波形データから3つの区間を切り出して異常を算出する様子を示す説明図である。図 1 7は、3つの区間での異常度の遷移グラフである。図 1 7において、閾値Th 1は、警戒が必要で、近く対応が必要となる値であり、閾値Th 2は、緊急な対応が必要となる値である。図 1 6は、図 2の波形図と同様の主軸のトルク指令と速度、並びに送り軸となる

X軸、Y軸及びZ軸の位置指令を示す波形図について3つの区間のサーボ波形データを切り出す様子を示し、図16は、主軸のトルク指令と速度、並びに送り軸となるX軸、Y軸及びZ軸の位置指令のうちの一つの異常度を示している。

[0046] 以上説明した、本実施形態の波形表示装置によれば、対応関係解析部108によって、時系列信号としての実機測定データとシミュレーションデータと対応を取ることで、シミュレーションデータと加工プログラムとの対応関係により、時系列信号としての実機測定データと加工プログラムとの対応関係も作ることができる。よって、複雑な加工プログラムであっても、時系列信号としての実機測定データと加工プログラムとの対応関係を取得して、表示制御部107により表示データを生成することができる。その結果、例えば、実機測定データのどの箇所で不具合が発生しやすいかを表示することによって、加工プログラムを改善（加工の最適化）を行うことができ、経年変化の予測又は予防保全に応用することができる。

[0047] 本実施形態の波形表示装置によれば、対応関係解析部108で、実測の時系列データとシミュレーションデータと対応を取ることができた場合、欠損補完部110によって、実測の時系列データの欠損をシミュレーション時系列データで補完することができる。

さらに、本実施形態の波形表示装置によれば、機械構成情報部105によって、主軸又は送り軸の属性情報を算出し、主軸及び送り軸の属性情報を保持し、表示制御部により表示データを生成することができる。

[0048] 以上、波形表示装置100について説明した。

次に、記憶部200、及び表示部300について説明する。

[0049] （記憶部200）

記憶部200は、例えば、NC（Numerical Control）プログラム（加工プログラムとなる）、CNC（Computerized Numerical Control）パラメータ、実際の産業機械から取得した実測の時系列データ（実波形データ）、稼働情報等を記憶している。また、記憶部200は、パラメータ最適化部109

で最適化されたパラメータを記憶する。

[0050] (表示部300)

表示部300は、例えば、表示制御部107が生成した、移動軌跡の表示データと、プログラムの表示データとに基づいて、移動軌跡と加工プログラムとを関連付けて表示する。

図18は、移動軌跡と加工プログラムとを表示する表示画面を示す図である。

図18に示すように、表示部300の表示画面301は、移動軌跡を示す領域301aと、加工プログラムを表示する領域301bとを含んでいる。

MC（マシニングセンタ）では、X-Y面の動作（軌跡）を見るのと同時に、穴あけなどの場合に、Z軸方向も見たい場合がある。

[0051] 図19はX-Y面、X-Z面、Z-Y面の移動軌跡を表示した領域301aを示す図、図20は加工プログラムを表示した領域301bを示す図である。

図19において、矢印は工具の移動の向きを示し、点線は早送りの移動軌跡、実線は切削送りの移動軌跡を示す。

このような表示により、トルクが上昇する（負荷が高くなる）、異常度が高くなる、曲率が大きくなる、などの箇所を可視化できるようになる。

図19に示す移動軌跡の円内の矢印は、図20の加工プログラムの四角枠内のプログラムの一行に対応している。図20の加工プログラムの一行をクリックすると、図19の円内の移動軌跡の矢印が太線になる。図19の移動軌跡の矢印をクリックすると、移動軌跡の矢印が太線になり、図20の四角枠内の加工プログラムの一行が選択状態となる。このような表示は、表示部300が、表示制御部107により生成された、前記実測の時系列データの移動軌跡と前記NCプログラムとの連動制御データに基づいて行う。

図19は領域301aにX-Y面、X-Z面、Z-Y面の移動軌跡を表示し、図20は対応する加工プログラムを示しているが、図21に示すように、領域301aにX-Z面の移動軌跡を表示し、図22に示すように、対応

する加工プログラムを表示してもよい。

[0052] 表示部300は、実測の時系列データの移動軌跡と加工プログラムの他に、主軸及び送り軸に関する属性情報を表示してもよい。

また、表示部300は、送り軸の時系列データの位置情報を基にした曲率の変化の大きい端点の新たな移動軌跡の時系列データを表示してもよく、各端点の第1の属性情報（例えば、異常度又は統計量）、又は各端点の第2の属性情報（例えば、異常度又は統計量）最大値及び最小値を持つ複数の端点の新たな軌跡の時系列データを表示してもよい。

さらに、表示部300は、切削力推定部106が推定する切削力を表示してもよい。

[0053] 以上、波形表示システム10の構成について説明した。次に波形表示システム10の波形表示装置100の動作についてフローチャートを用いて説明する。

図23は、波形表示装置100の動作を示すフローチャートである。

[0054] ステップS11において、NCプログラム解釈部101、指令生成部102及びフィードバック制御部103と同様な構成により、実際に産業機械を駆動して実波形を取得する。実波形を取得するステップS11はステップS12の後に行われてもよい。

ステップS12において、NCプログラム解釈部101、指令生成部102、フィードバック制御部103及び機械モデル104により、シミュレーション波形を取得する。

[0055] ステップS13において、実波形（実測の時系列データ）又はトルク指令のシミュレーション波形（時系列データ）の少なくとも1組を用いることで、主軸及び送り軸の属性情報を算出する。

[0056] ステップS14において、実波形とシミュレーション波形とをマッチングする。

[0057] ステップS15において、表示データ及び連動制御データを生成する。

なお、ステップS11の処理は、ステップS12の処理の後に行われても

よい。

[0058] 以上、本実施形態における、波形表示装置に含まれる機能ブロックを実現するために、推定装置は、ハードウェア、ソフトウェア又はこれらの組み合わせにより実現することができる。ここで、ソフトウェアによって実現されるとは、コンピュータがプログラムを読み込んで実行することにより実現されることを意味する。

[0059] 本実施形態における、波形表示装置に含まれる機能ブロックをソフトウェア又はこれらの組み合わせにより実現する実現するために、具体的には、波形表示装置はそれぞれ、CPU (Central Processing Unit) 等の演算処理装置を備える。また、波形表示装置は、アプリケーションソフトウェア又はOS (Operating System) 等の各種の制御用プログラムを格納したHDD (Hard Disk Drive) 等の補助記憶装置、及び演算処理装置がプログラムを実行する上で一時的に必要とされるデータを格納するためのRAM (Random Access Memory) といった主記憶装置も備える。

[0060] そして、波形表示装置において、演算処理装置が補助記憶装置からアプリケーションソフトウェア又はOSを読み込み、読み込んだアプリケーションソフトウェア又はOSを主記憶装置に展開させながら、これらのアプリケーションソフトウェア又はOSに基づいた演算処理を行なう。また、この演算結果に基づいて、各装置が備える各種のハードウェアを制御する。これにより、本実施形態の機能ブロックは実現される。

[0061] 波形表示装置に含まれる各構成部は、電子回路等を含むハードウェアにより実現することができる。波形表示装置をハードウェアで構成する場合、波形表示装置に含まれる各構成部の機能の一部又は全部を、例えば、ASIC (Application Specific Integrated Circuit)、ゲートアレイ、FPGA (Field Programmable Gate Array)、CPLD (Complex Programmable Logic Device) 等の集積回路 (IC) で構成することができる。

[0062] プログラムは、様々なタイプの非一時的なコンピュータ可読媒体 (non-transitory computer readable medium) を用いて格納され、コンピュータに供給

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

[0063] 上述した実施形態は、本発明の好適な実施形態ではあるが、上記実施形態のみに本発明の範囲を限定するものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲において種々の変更を施した形態での実施が可能である。

[0064] 本開示による推定装置は、上述した実施形態を含め、次のような構成を有する各種各様の実施形態を取ることができる。

(1) 送り軸の位置決め及び主軸の速度制御の動作を規定するNCプログラムを解釈するNCプログラム解釈部（例えば、NCプログラム解釈部101）と、

前記NCプログラム解釈部が解釈した前記NCプログラムから指令点の補間を行い、位置指令値又は速度指令値を生成する指令生成部（例えば、指令生成部102）と、

前記指令生成部が生成する前記位置指令値又は前記速度指令値に前記送り軸又は前記主軸を駆動する電動機の回転を追従させるフィードバック制御を行うフィードバック制御部（例えば、フィードバック制御部103）と、

実際の産業機械から取得した実測の時系列データ、及び前記フィードバック制御部から出力されたトルク指令の時系列データの内の少なくとも1つを用いることで算出した、前記送り軸及び前記主軸の属性情報を保持する機械構成情報部（例えば、機械構成情報部105）と、

前記実測の時系列データと、前記フィードバック制御部から出力された時

系列データと、のマッチングを行う対応関係解析部（例えば、対応関係解析部１０８）と、

前記実測の時系列データの移動軌跡の表示データと、前記ＮＣプログラムの表示データと、前記送り軸及び前記主軸に関する属性情報の表示データとを生成するとともに、前記実測の時系列データの移動軌跡と前記ＮＣプログラムとの連動制御データの生成を行う表示制御部（例えば、表示制御部１０７）と、

を備えた波形表示装置（例えば、波形表示装置１００）。

この波形表示装置によれば、主軸又は送り軸のサーボデータ波形とプログラムの指令との対応関係を表示しようとする場合に、複雑な加工プログラムに対応して表示ができる。また、主軸又は送り軸の属性情報も併せて表示することができる。

[0065] （２） 前記実測の時系列データの欠損が生じた場合に、前記フィードバック制御部から出力された時系列データを用いて、前記欠損の補完を行う欠損補完部（欠損補完部１１０）をさらに備え、

前記欠損補完部は、

前記産業機械の稼働情報と前記実測の時系列データを比較し、

前記実測の時系列データに、ＮＣプログラム単位の欠損があった場合は、前記加工プログラム単位の欠損の補完を行い、前記実測の時系列データに、ＮＣプログラム内の一部の欠損があった場合は、前記ＮＣプログラムの一部の欠損の補完を行う、上記（１）に記載の波形表示装置。

この波形表示装置によれば、実測の時系列データの欠損が生じた場合に、シミュレーション時系列データから補完を行うことができ、

[0066] （３） 前記フィードバック制御部がフィードバック制御の結果として求めたトルク指令と、前記機械構成情報部がもつ属性情報と、に基づき切削力を推定する切削力推定部（例えば、切削力推定部１０６）と、

前記対応関係解析部から出力されたマッチング結果をもとに、前記切削力推定部による切削力の推定の算出に必要な最適なパラメータを算出するパラ

メータ最適化部（例えば、パラメータ最適化部 109）と、
を備えた上記（2）に記載の波形表示装置。

この波形表示装置によれば、欠損補完部により実測の時系列データの欠損が生じた場合には、欠損箇所のサーボデータの切削力は、切削力推定部で推定された推定切削力で補うことができる。

[0067] （4） 前記実測の時系列データに基づき、異常度の算出を行う異常度算出部（例えば、異常度算出部 111）をさらに備えた、上記（1）に記載の波形表示装置。

[0068] （5） 前記表示制御部は、
前記送り軸の時系列データの位置情報を基にした曲率の変化の大きい端点の新たな軌跡の時系列データを生成し、
前記送り軸の時系列データの位置情報及び速度情報に基づいて、各端点の第1の属性情報を生成し、前記主軸の時系列データにトルク指令及び速度情報に基づいて、前記各端点の第2の属性情報の新たな軌跡の時系列データを生成し、前記第1の属性情報又は前記第2の属性情報の最大値及び最小値を持つ複数の端点の新たな軌跡の時系列データを生成する、
上記（1）から（4）のいずれかに記載の波形表示装置。

[0069] （6） 波形表示装置（例えば、波形表示装置 100）としてのコンピュータが、

送り軸の位置決め及び主軸の速度制御の動作を規定するNCプログラムを解釈する処理と、

解釈した前記NCプログラムから指令点の補間を行い、位置指令値又は速度指令値を生成する処理と、

生成した前記位置指令値又は前記速度指令値に前記送り軸又は前記主軸を駆動する電動機の回転を追従させるフィードバック制御を行う処理と、

実際の産業機械から取得した実測の時系列データ、及びフィードバック制御より得られたトルク指令の時系列データの内の少なくとも1つを用いることで算出した、前記送り軸及び前記主軸の属性情報を保持する処理と、

前記実測の時系列データと、フィードバック制御より得られた前記時系列データと、のマッチングを行う処理と、

前記実測の時系列データの移動軌跡の表示データと、前記NCプログラムの表示データと、前記送り軸及び前記主軸に関する属性情報の表示データとを生成するとともに、前記実測の時系列データの移動軌跡と前記NCプログラムとの連動制御データの生成を行う処理と、

を実行する波形表示方法。

この波形表示方法によれば、主軸又は送り軸のサーボデータ波形とプログラムの指令との対応関係を表示しようとする場合に、複雑な加工プログラムに対応して表示ができる。また、主軸又は送り軸の属性情報も併せて表示することができる。

符号の説明

- [0070] 10 波形表示システム
 - 101 NCプログラム解釈部
 - 102 指令生成部
 - 103 フィードバック制御部
 - 104 機械モデル
 - 105 機械構成情報部
 - 106 切削力推定部
 - 107 表示制御部
 - 108 対応関係解析部
 - 109 パラメータ最適化部
 - 110 欠損補完部
 - 111 異常度算出部
- 200 記憶部
- 300 表示部

請求の範囲

- [請求項1] 送り軸の位置決め及び主軸の速度制御の動作を規定するNCプログラムを解釈するNCプログラム解釈部と、
- 前記NCプログラム解釈部が解釈した前記NCプログラムから指令点の補間を行い、位置指令値又は速度指令値を生成する指令生成部と、
- 、
- 前記指令生成部が生成する前記位置指令値又は前記速度指令値に前記送り軸又は前記主軸を駆動する電動機の回転を追従させるフィードバック制御を行うフィードバック制御部と、
- 実際の産業機械から取得した実測の時系列データ、及び前記フィードバック制御部から出力されたトルク指令の時系列データの内の少なくとも1つを用いることで算出した、前記送り軸及び前記主軸の属性情報を保持する機械構成情報部と、
- 前記実測の時系列データと、前記フィードバック制御部から出力された時系列データと、のマッチングを行う対応関係解析部と、
- 前記実測の時系列データの移動軌跡の表示データと、前記NCプログラムの表示データと、前記送り軸及び前記主軸に関する属性情報の表示データとを生成するとともに、前記実測の時系列データの移動軌跡と前記NCプログラムとの連動制御データの生成を行う表示制御部と、
- を備えた波形表示装置。
- [請求項2] 前記実測の時系列データの欠損が生じた場合に、前記フィードバック制御部から出力された時系列データを用いて、前記欠損の補完を行う欠損補完部をさらに備え、
- 前記欠損補完部は、
- 前記産業機械の稼働情報と前記実測の時系列データを比較し、
- 前記実測の時系列データに、NCプログラム単位の欠損があった場合は、前記NCプログラム単位の欠損の補完を行い、前記実測の時系

列データに、加工プログラム内の一部の欠損があった場合は、前記NCプログラムの一部の欠損の補完を行う、請求項1に記載の波形表示装置。

[請求項3] 前記フィードバック制御部がフィードバック制御の結果として求めたトルク指令と、前記機械構成情報部がもつ属性情報と、に基づき切削力を推定する切削力推定部と、

前記対応関係解析部から出力されたマッチング結果をもとに、前記切削力推定部による切削力の推定の算出に必要な最適なパラメータを算出するパラメータ最適化部と、

を備えた請求項2に記載の波形表示装置。

[請求項4] 前記実測の時系列データに基づき、異常度の算出を行う異常度算出部をさらに備えた、請求項1に記載の波形表示装置。

[請求項5] 前記表示制御部は、

前記送り軸の時系列データの位置情報を基にした曲率の変化の大きい端点の新たな軌跡の時系列データを生成し、

前記送り軸の時系列データの位置情報及び速度情報に基づいて、各端点の第1の属性情報を生成し、前記主軸の時系列データにトルク指令及び速度情報に基づいて、前記各端点の第2の属性情報の新たな軌跡の時系列データを生成し、前記第1の属性情報又は前記第2の属性情報の最大値及び最小値を持つ複数の端点の新たな軌跡の時系列データを生成する、

請求項1から4のいずれか1項に記載の波形表示装置。

[請求項6] 波形表示装置としてのコンピュータが、

送り軸の位置決め及び主軸の速度制御の動作を規定するNCプログラムを解釈する処理と、

解釈した前記NCプログラムから指令点の補間を行い、位置指令値又は速度指令値を生成する処理と、

生成した前記位置指令値又は前記速度指令値に前記送り軸又は前記

主軸を駆動する電動機の回転を追従させるフィードバック制御を行う処理と、

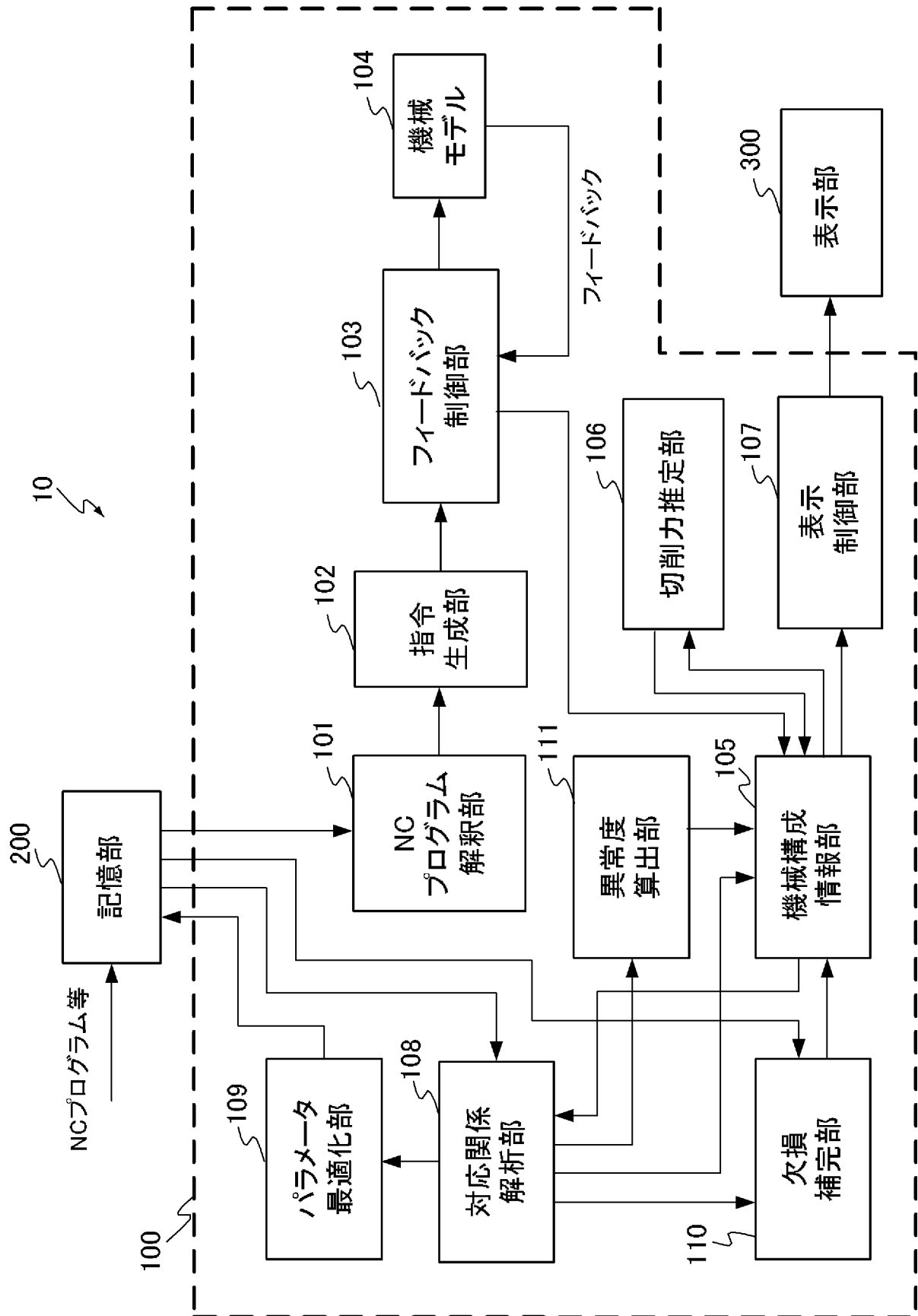
実際の産業機械から取得した実測の時系列データ、及びフィードバック制御より得られたトルク指令の時系列データの内の少なくとも1つを用いることで算出した、前記送り軸及び前記主軸の属性情報を保持する処理と、

前記実測の時系列データと、フィードバック制御より得られた前記時系列データと、のマッチングを行う処理と、

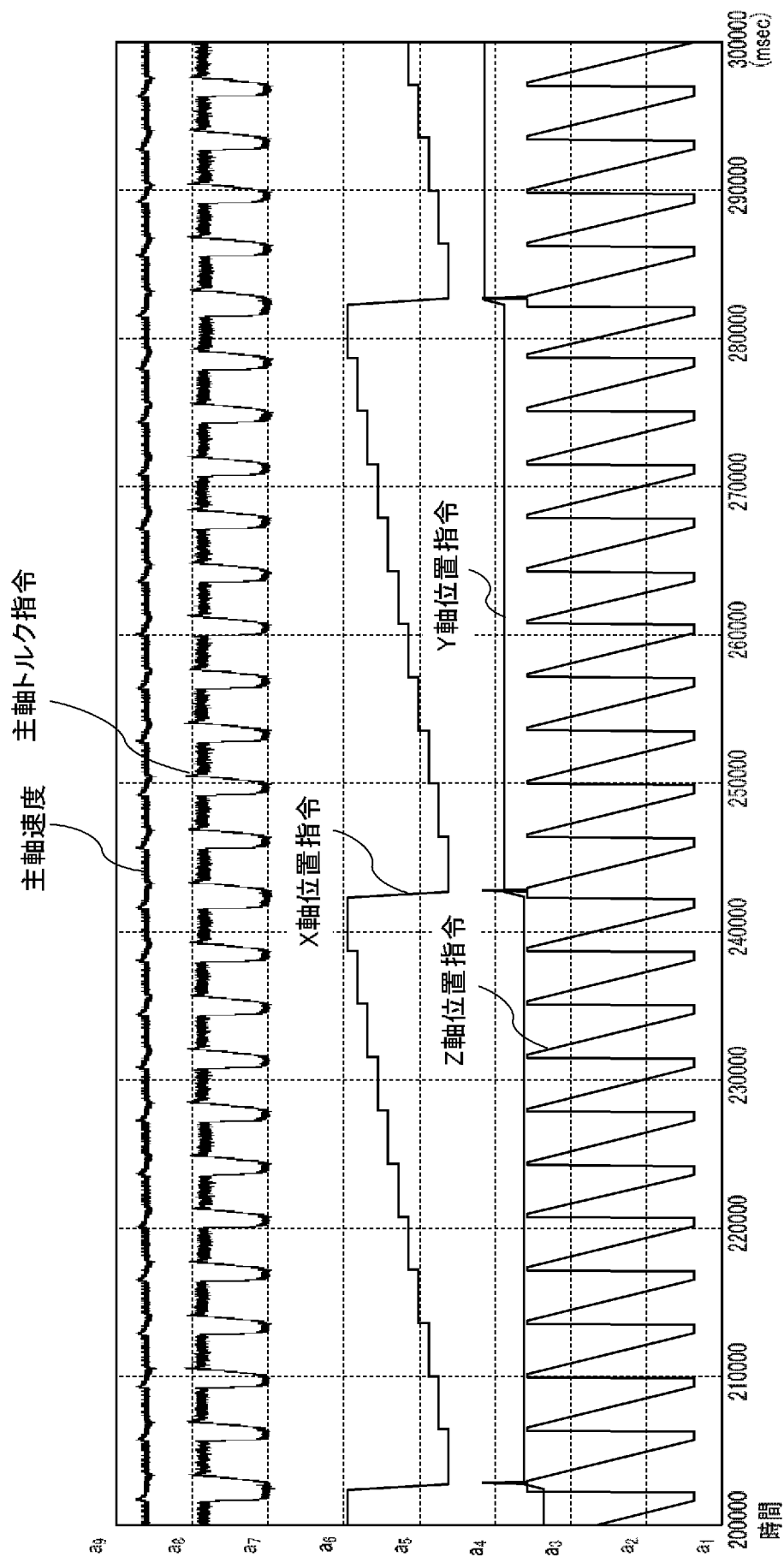
前記実測の時系列データの移動軌跡の表示データと、前記NCプログラムの表示データと、前記送り軸及び前記主軸に関する属性情報の表示データとを生成するとともに、前記実測の時系列データの移動軌跡と前記NCプログラムとの連動制御データの生成を行う処理と、

を実行する波形表示方法。

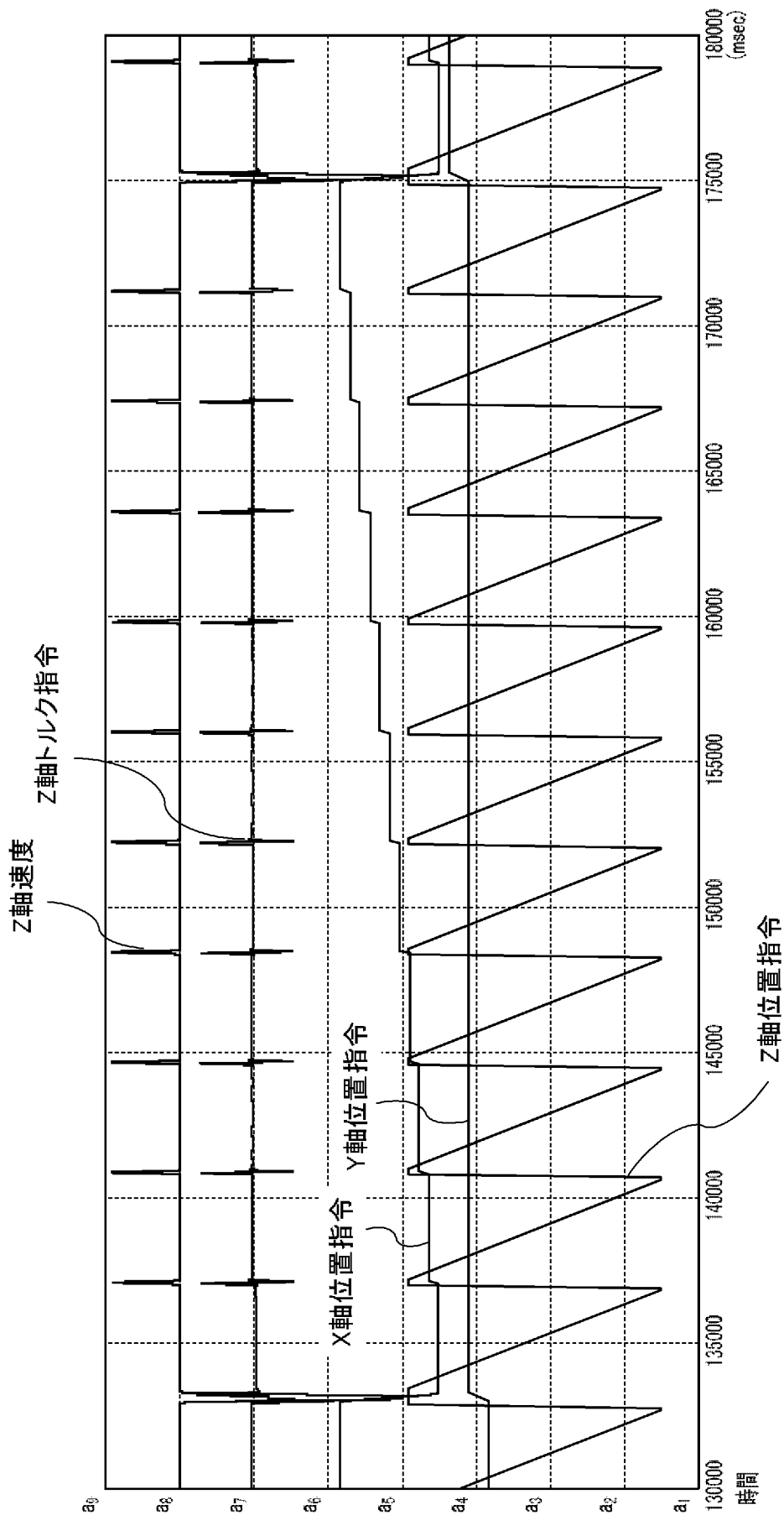
[図1]



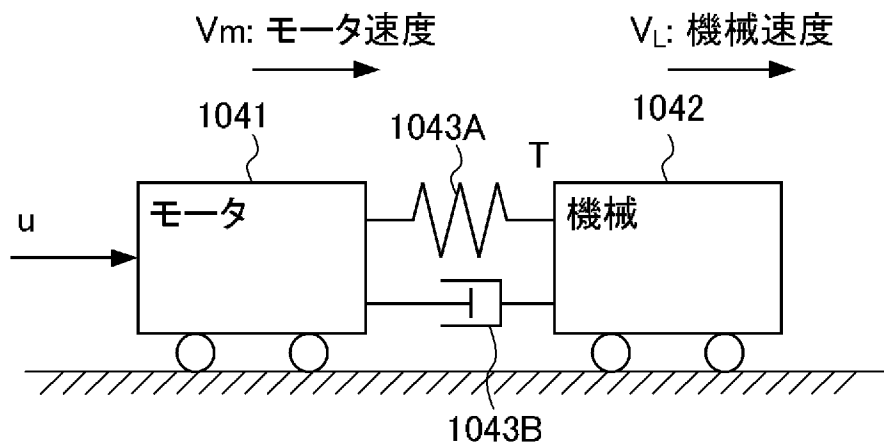
[図2]



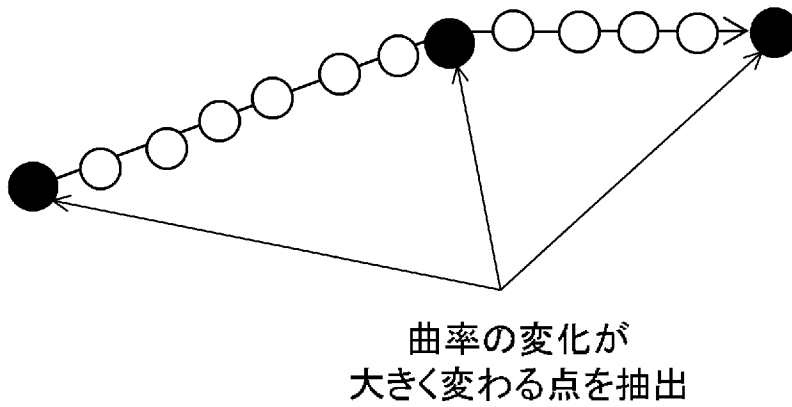
[図3]



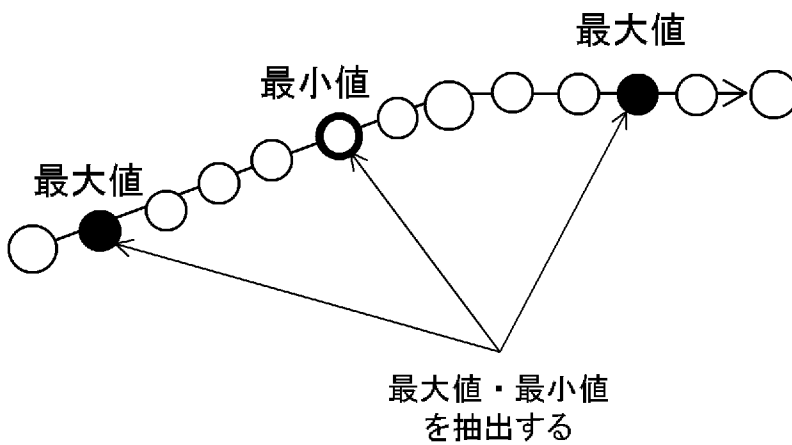
[図4]



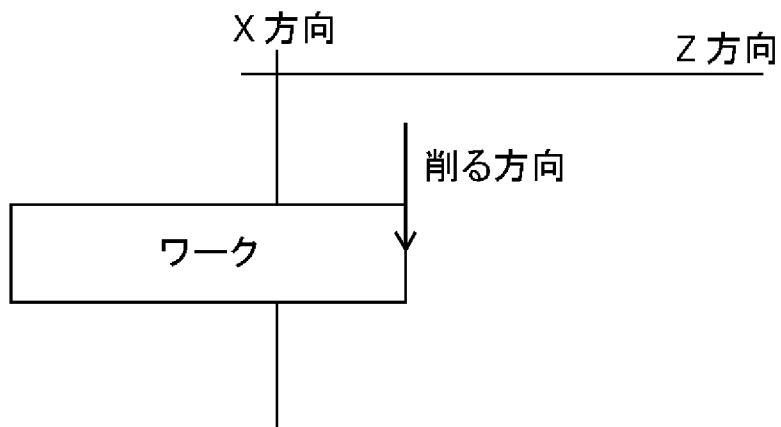
[図5]



[図6]



[図7]

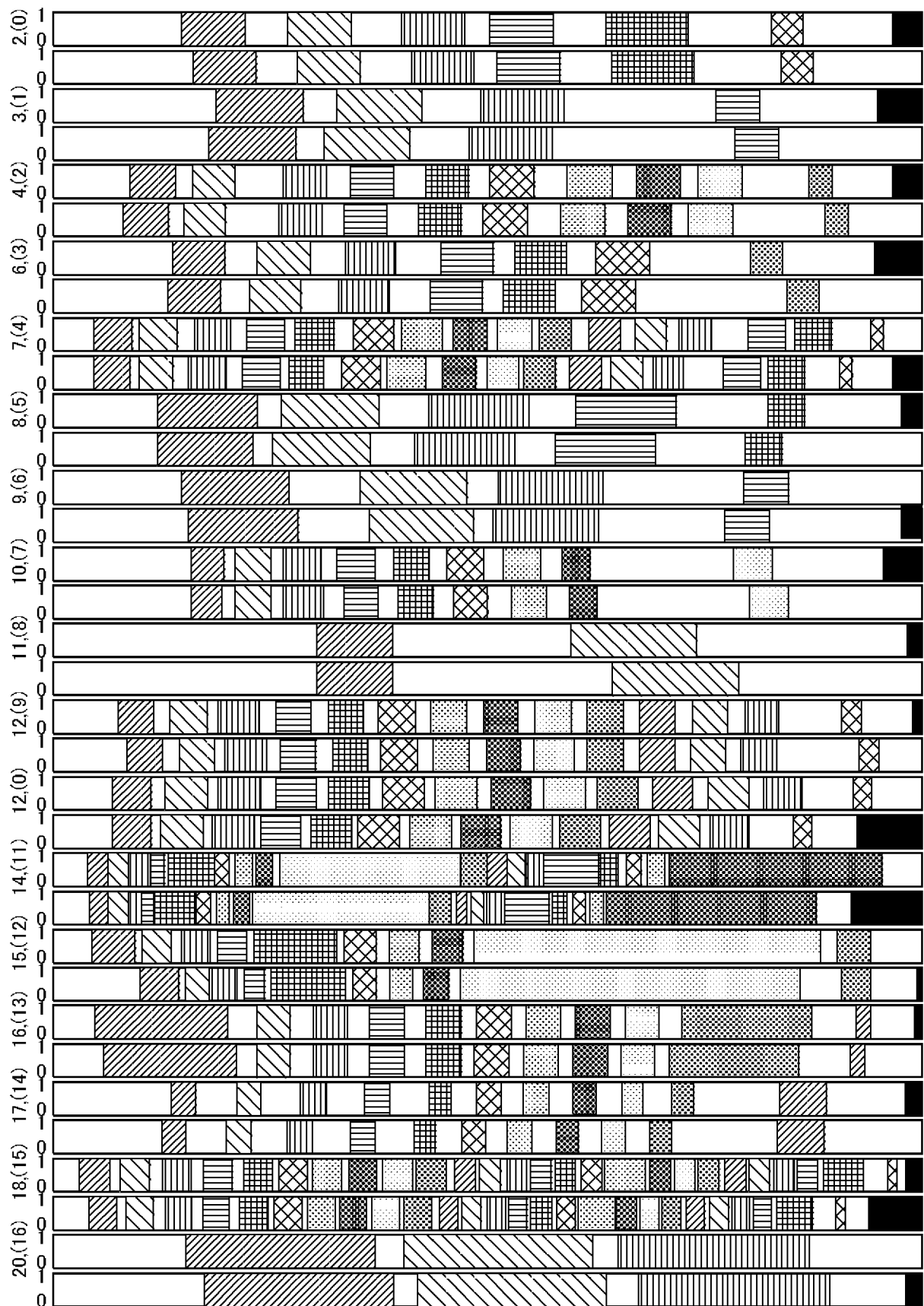


[図8]

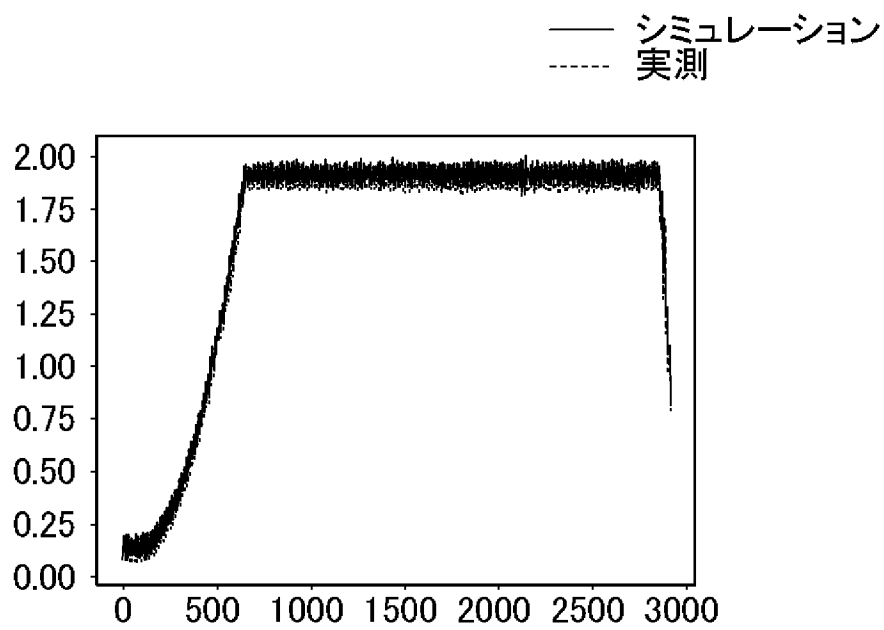


[図9]

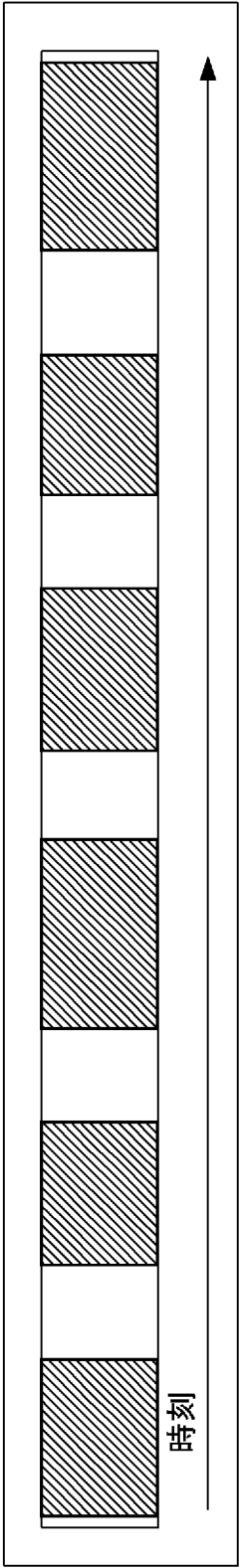
Matching result of each tool:(up:sim down:real), Y-axis: SEQ No, (span index)



[図10]

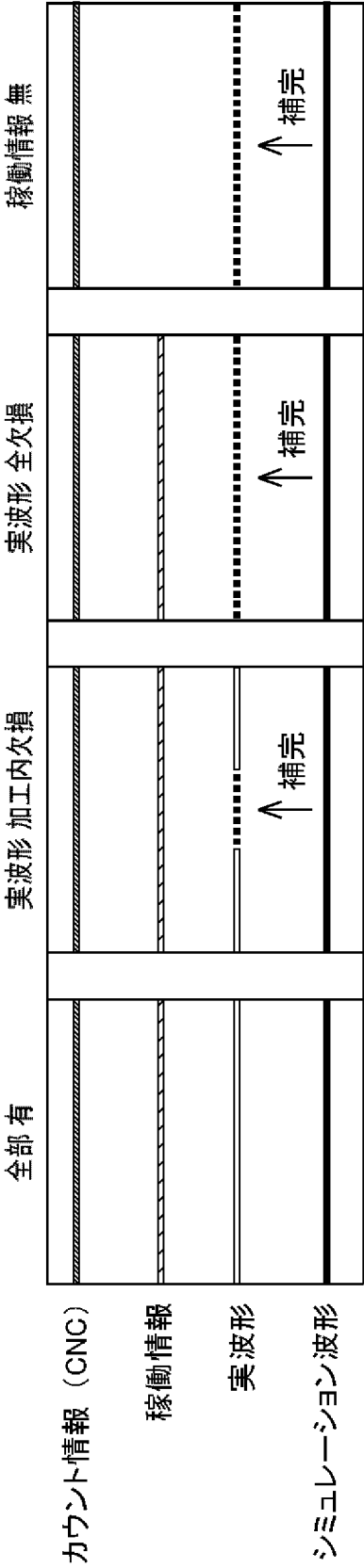


[図11]

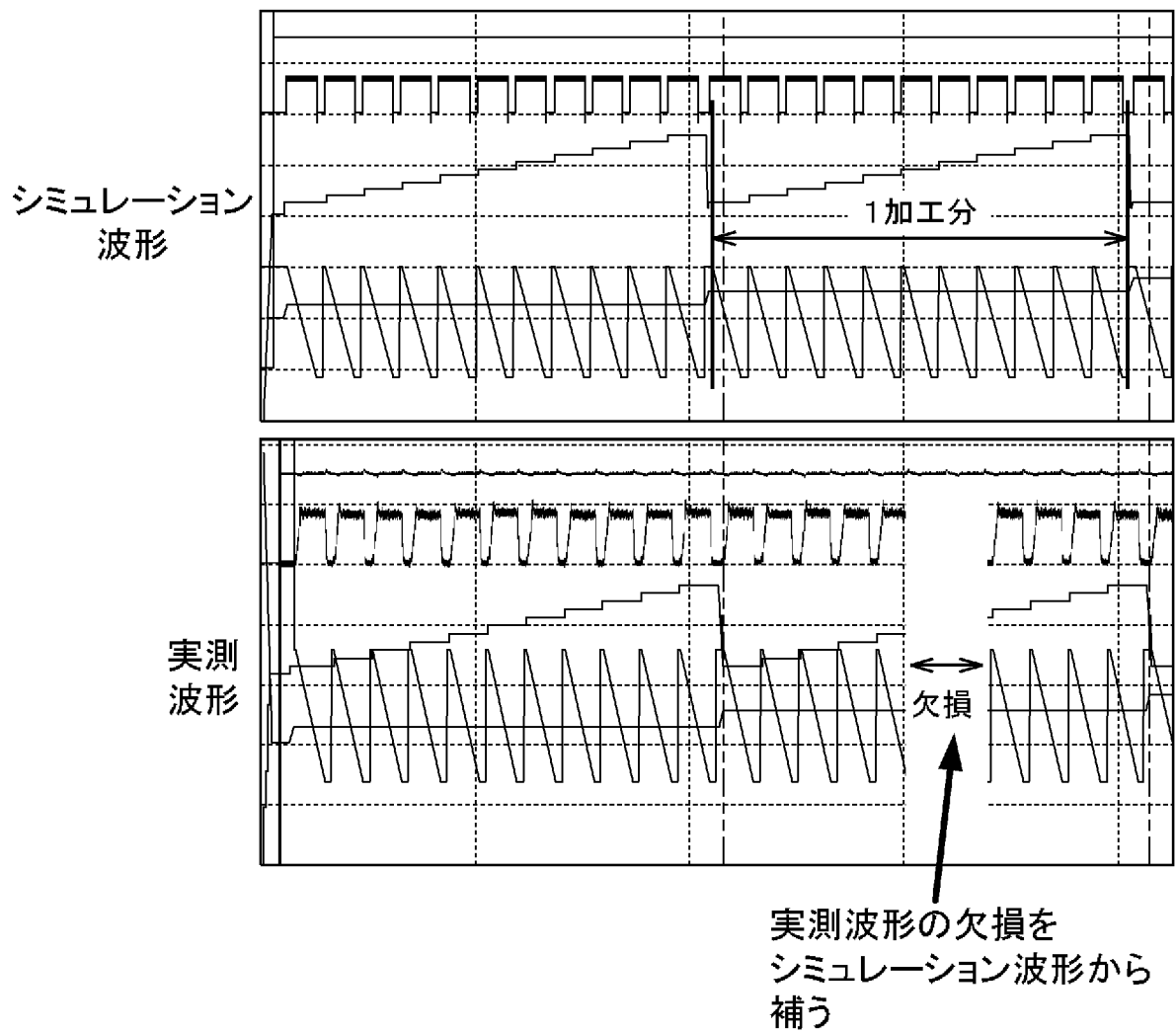


プログラム種別	機械名	プログラム名	開始時刻	終了時刻	期間 (分)
メインプログラム	機械M1	O0001	2022/06/01 12:00:00	2022/06/01 12:40:00	40.0
メインプログラム	機械M1	O0002	2022/06/01 13:00:00	2022/06/01 13:30:00	30.0
メインプログラム	機械M1	O0003	2022/06/01 13:50:00	2022/06/01 14:40:00	50.0
メインプログラム	機械M1	O0001	2022/06/01 15:00:00	2022/06/01 15:40:00	40.0
メインプログラム	機械M1	O0002	2022/06/01 16:00:00	2022/06/01 16:30:00	30.0
メインプログラム	機械M1	O0003	2022/06/01 16:50:00	2022/06/01 17:40:00	50.0

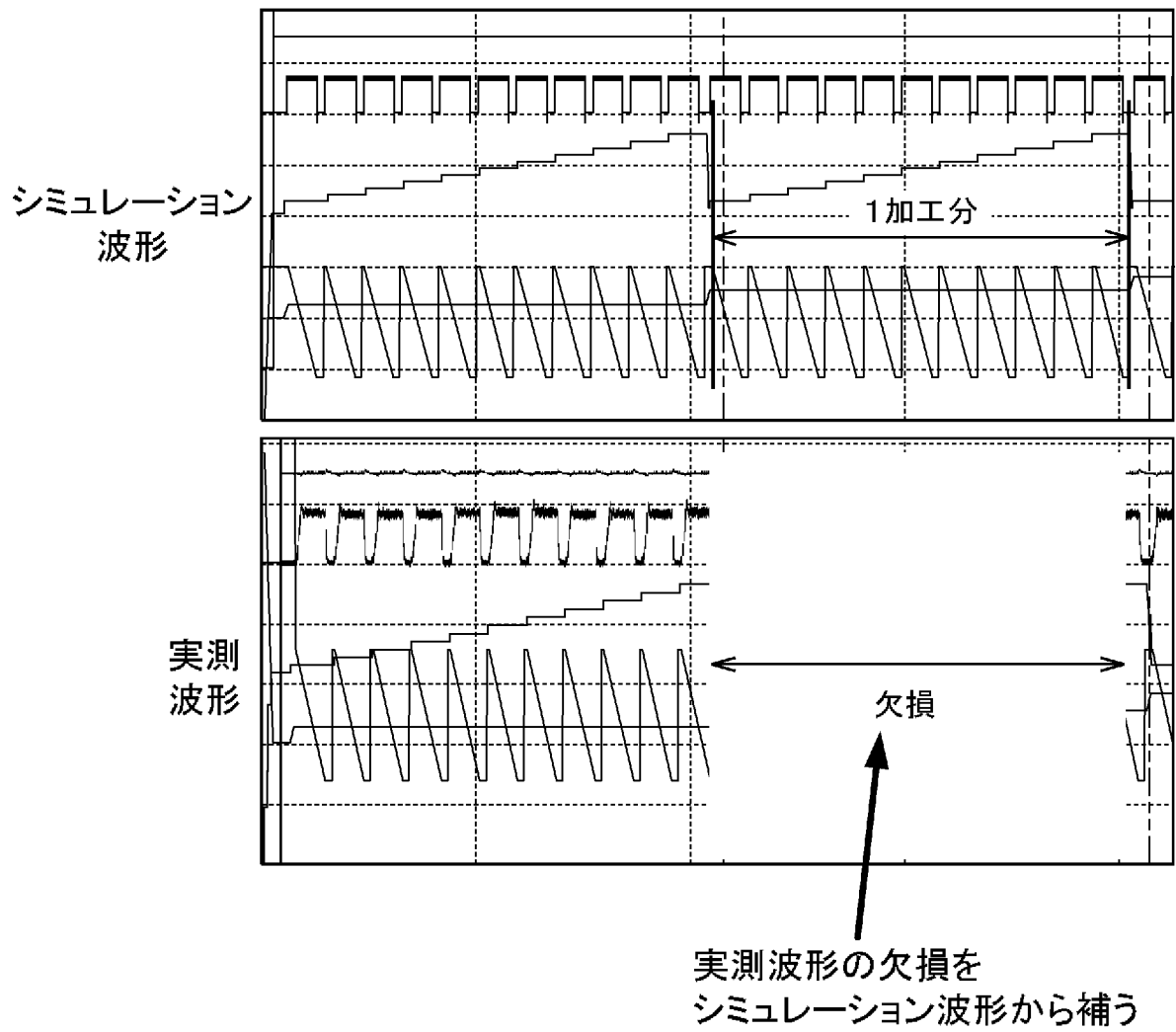
[図12]



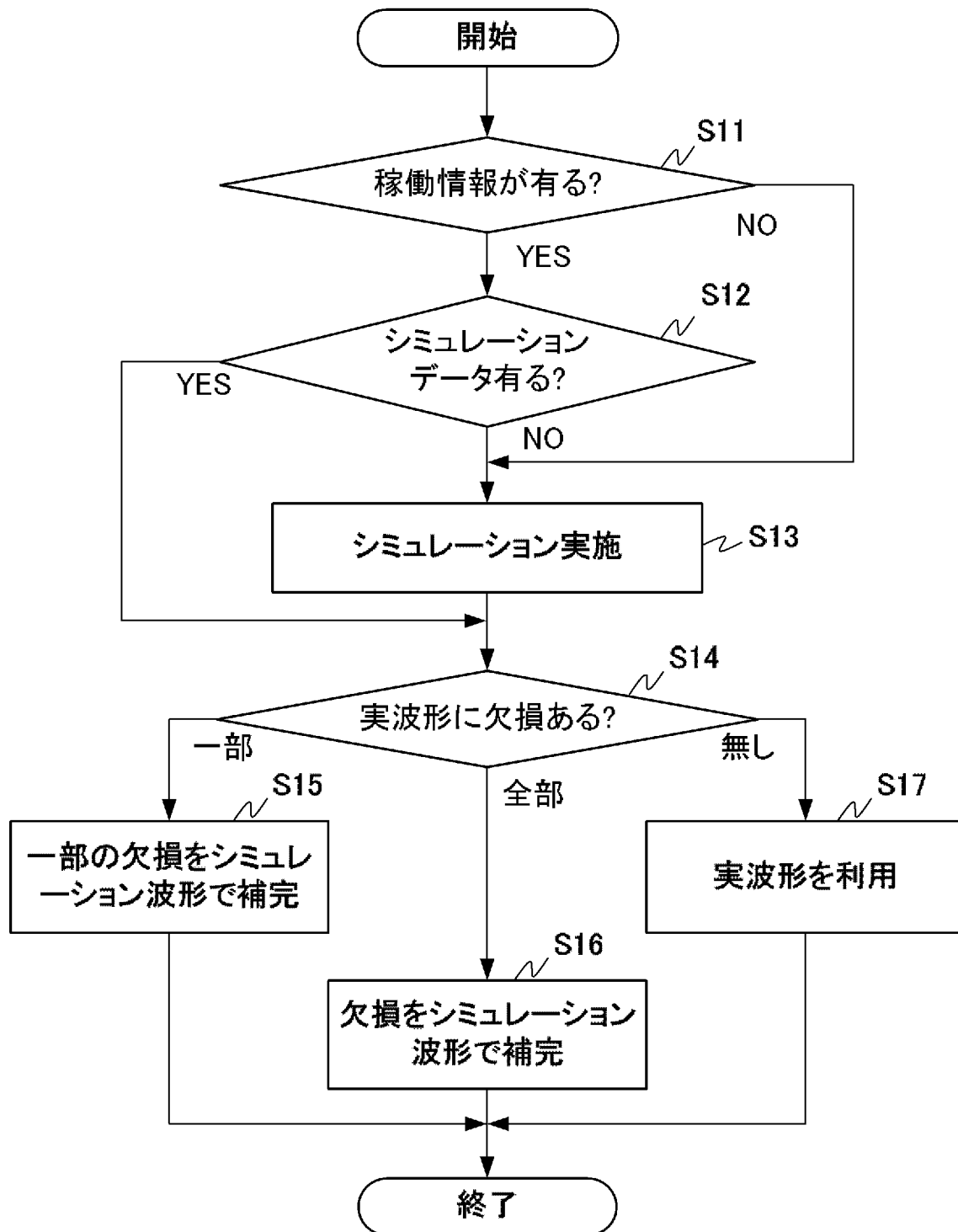
[図13]



[図14]

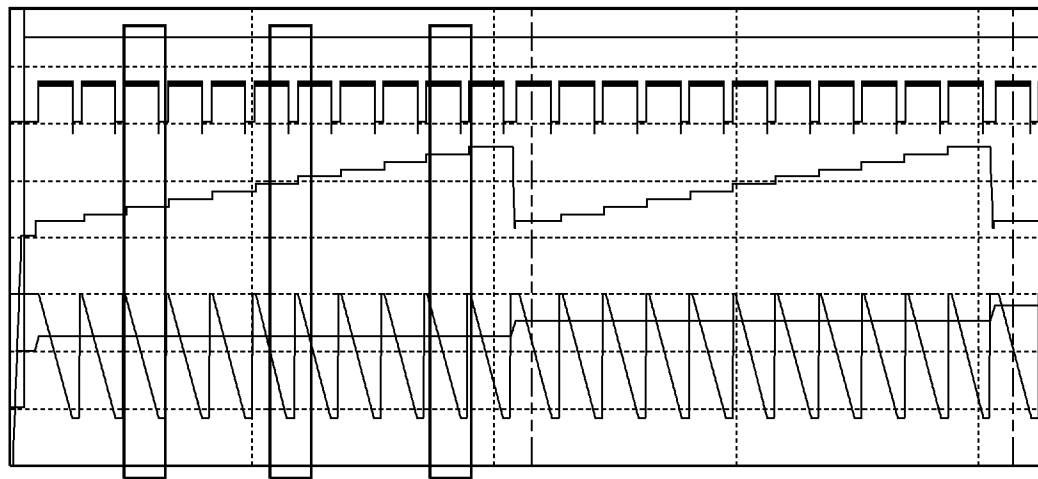


[図15]



[図16]

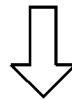
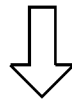
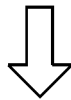
対象となるサーボ波形データ



区間 1

区間 2

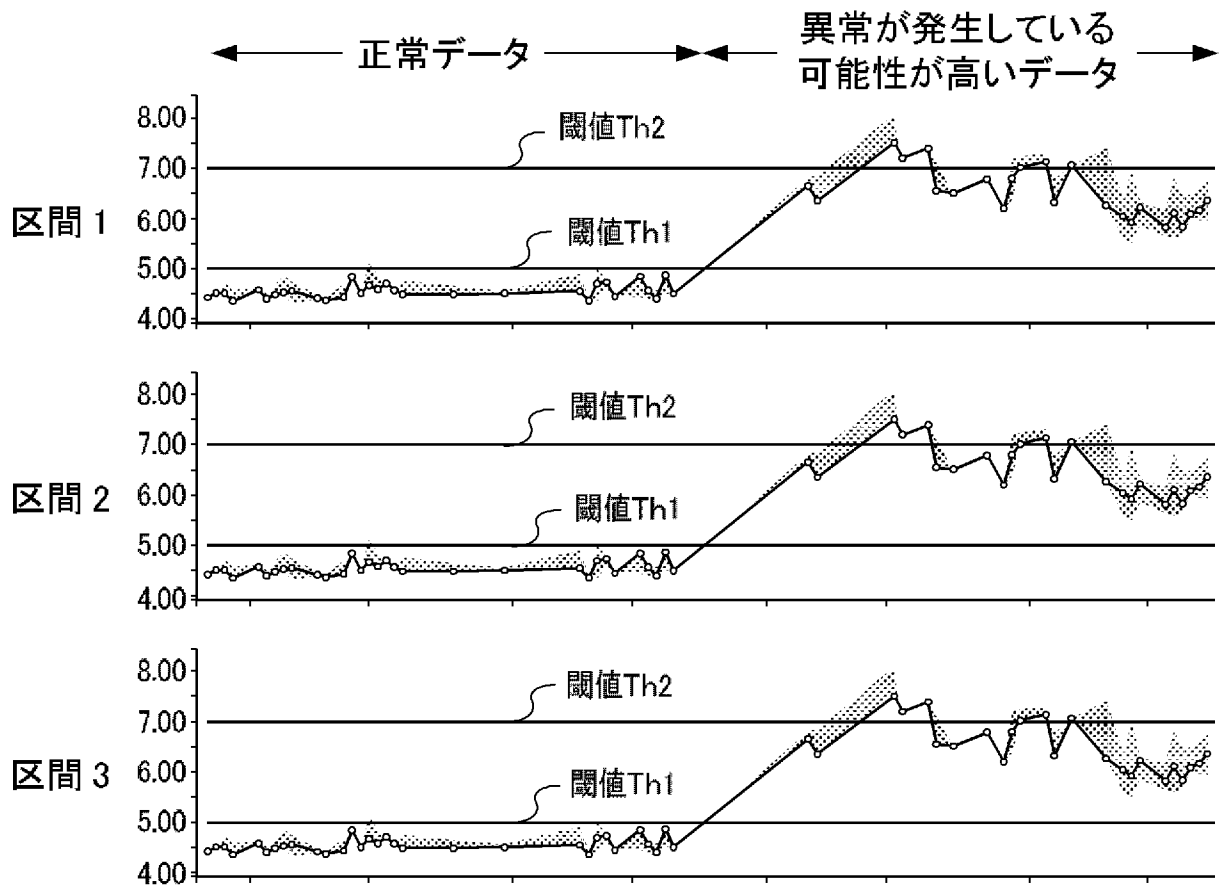
区間 3



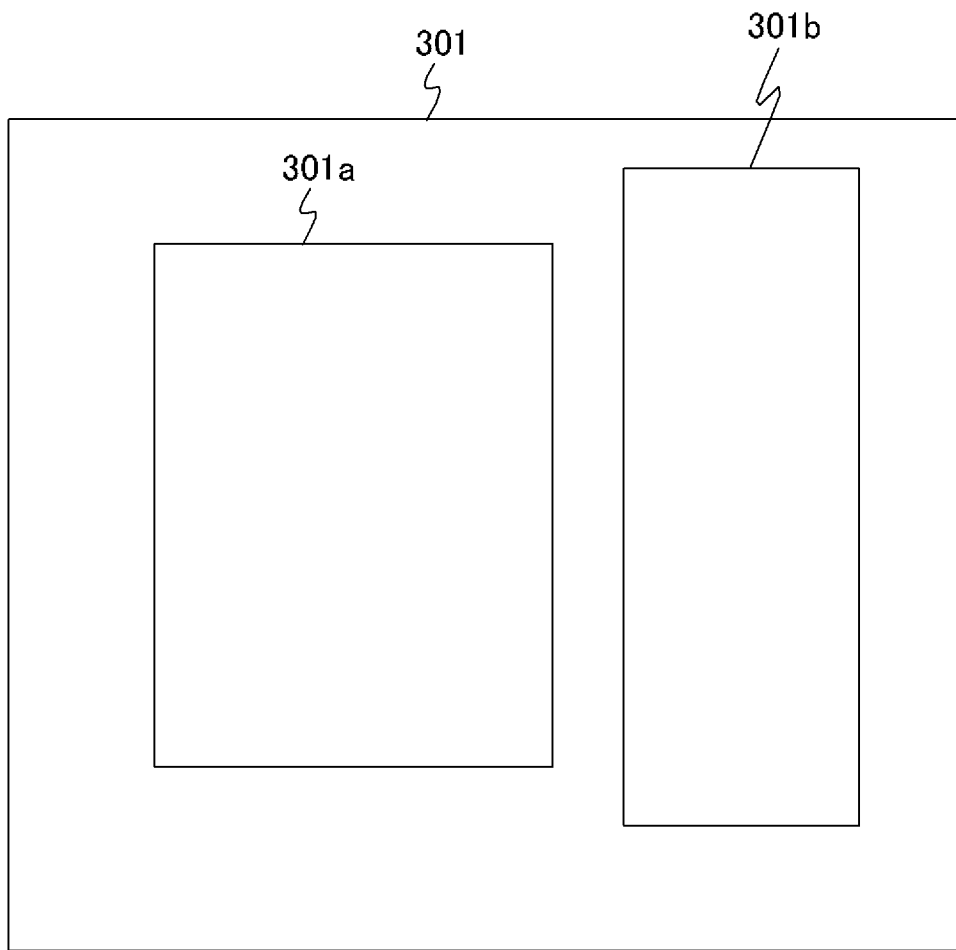
異常度を算出

1 回目	異常度 1-1	異常度 2-1	異常度 3-1
2 回目	異常度 1-2	異常度 2-2	異常度 3-2
3 回目	異常度 1-3	異常度 2-3	異常度 3-3

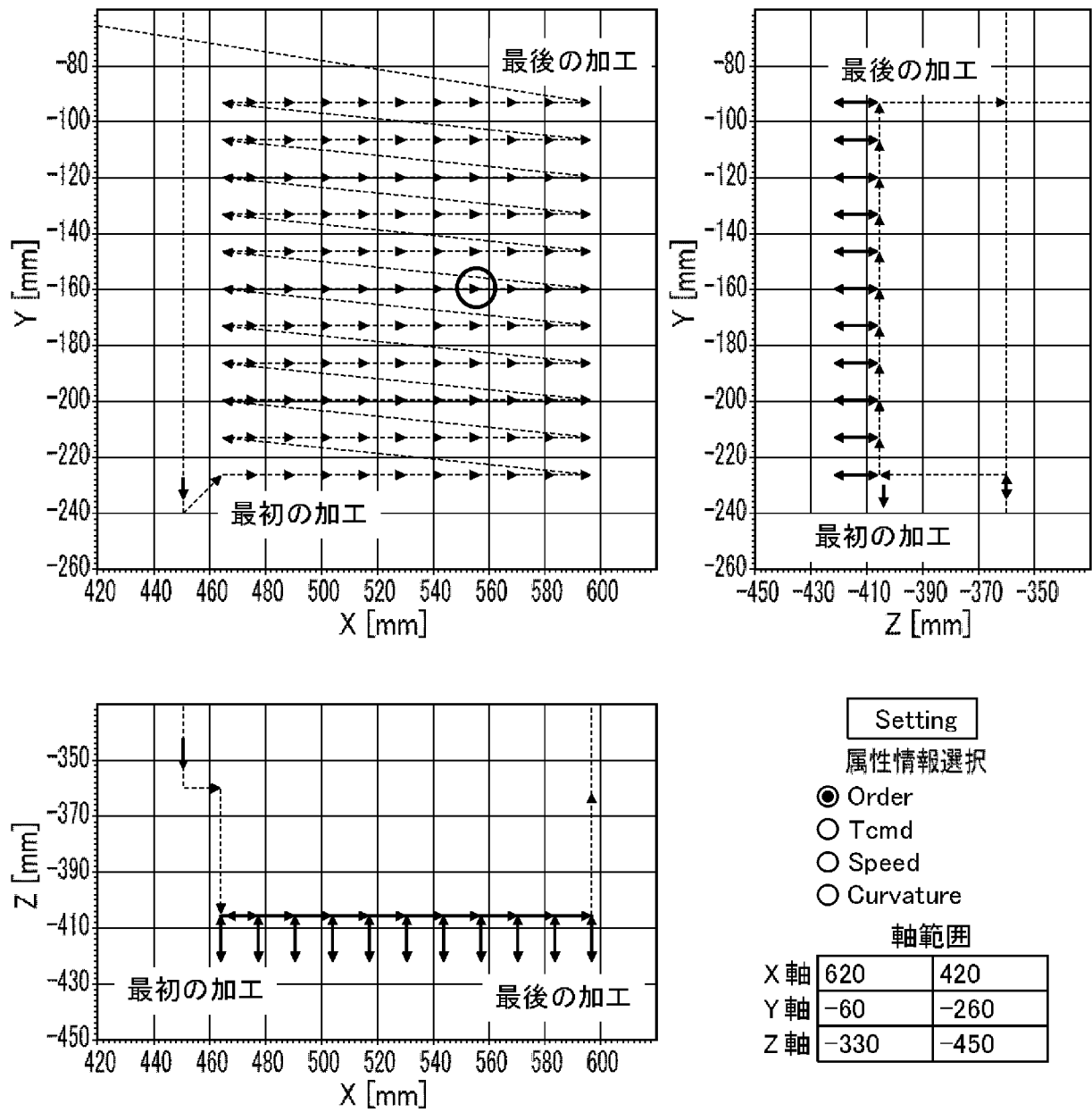
[図17]



[図18]



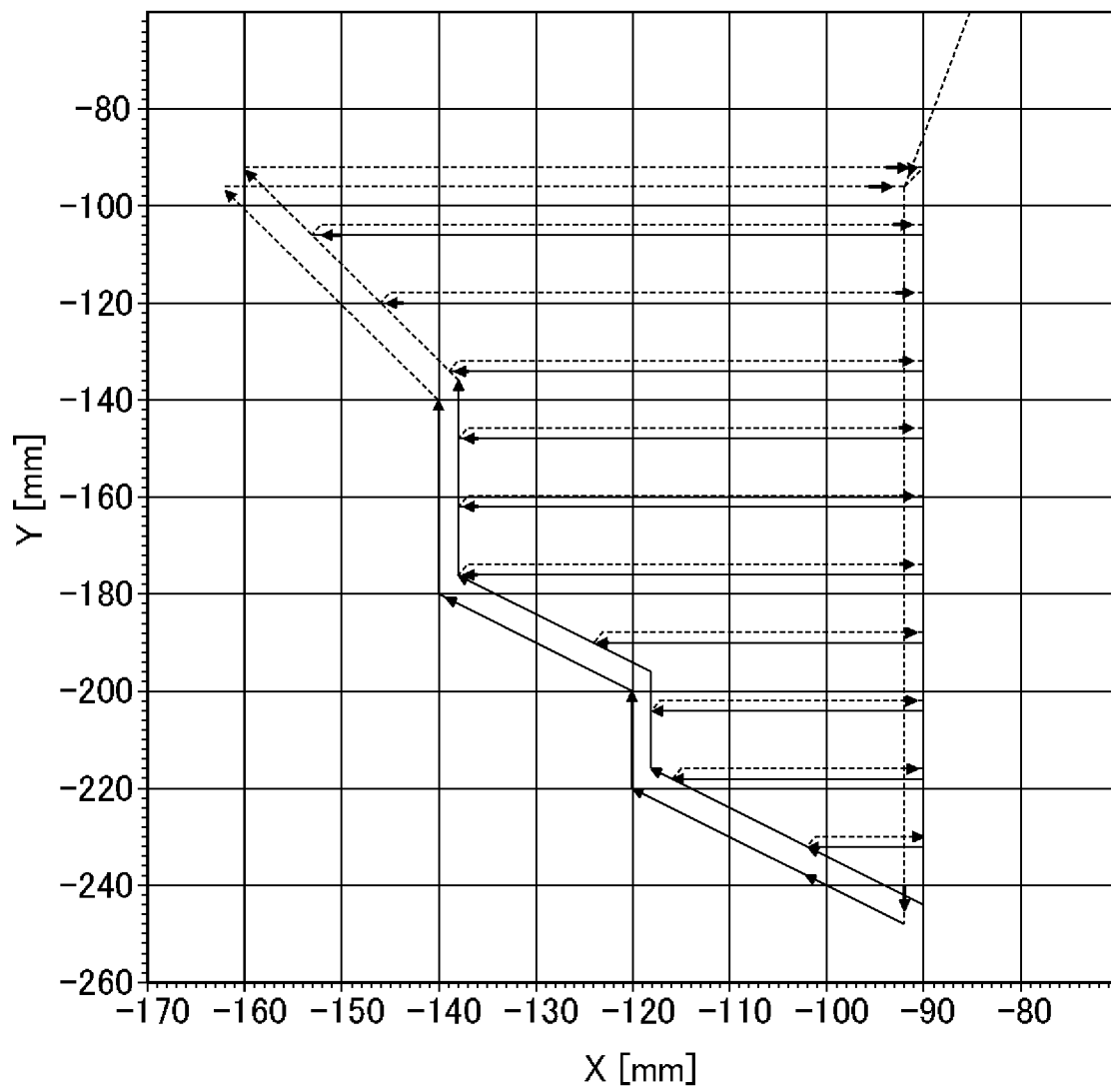
[図19]



[図20]

No	Program
1	%
2	O02000(DRILLING)
3	N99
4	#110=13.3(INTERVAL)
5	#100=0
6	#100=#100+#110
7	#101=1
8	/M6T6
9	N101
10	G00G54G90X0.
11	Z50.
12	Y0.
13	M3S650
14	M8
15	G04X1.0
16	N102
17	G00G54G90X[#110]Y[#100]
18	G82G99R5.0Z-11.F240P500
19	G91X[#110]K10
20	G80
21	#100=#100+#110
22	#101=#101+1
23	IF[#100LT150.]GOTO102
24	G00G54G90Z50.
25	M5
26	M9
27	G53G00Z0.
28	G53G00X0.Y0.
29	M02
30	%

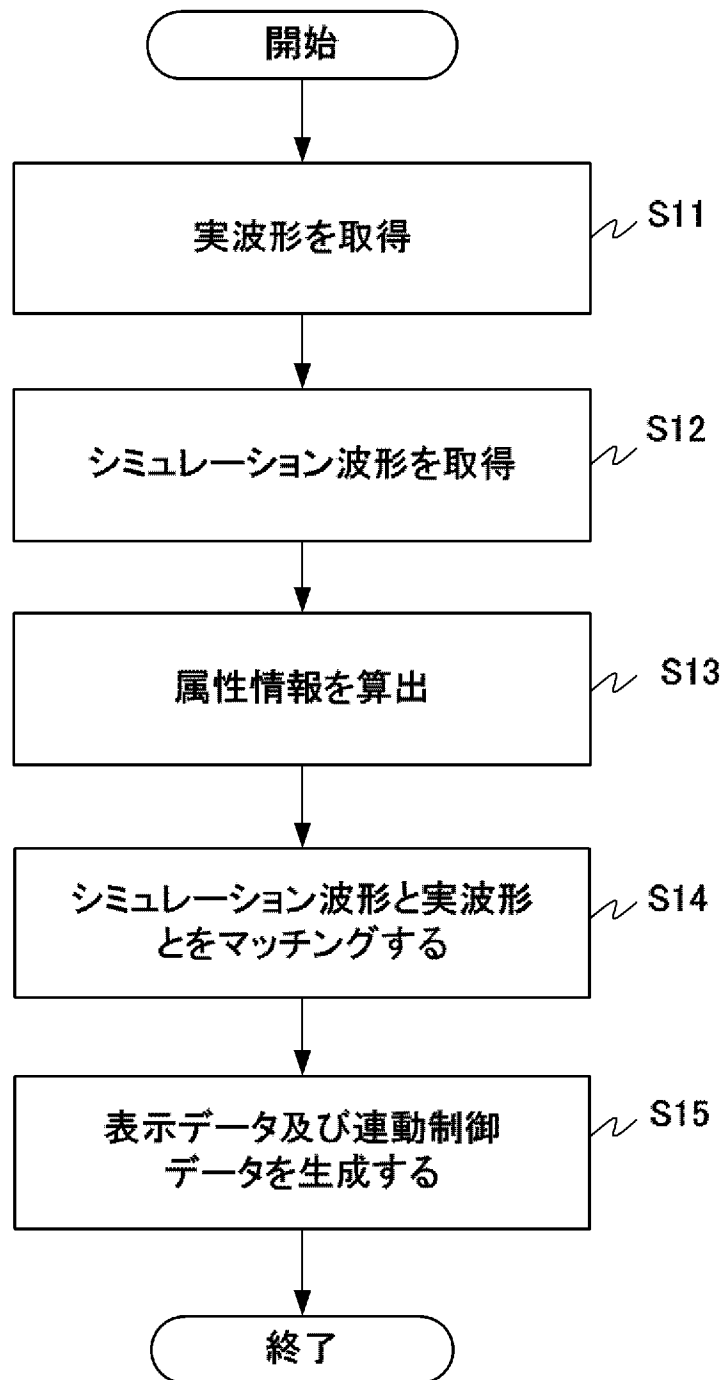
[図21]



[図22]

No	Program
1	%
2	O0230
3	
4	G50X220,0Z190,0S1500
5	M03G96S200T0900
6	N1
7	G00G41X176,0Z132,0M08
8	G72W7,0R1,0
9	G72P2Q8U4,0W2,0F0,3S120
10	N2
11	G00Z56,0(S200)
12	N3
13	G01X120,0W14,0F0,15
14	N4
15	W10,0
16	N5
17	X80,0W10,0
18	N6
19	W20,0
20	N7
21	X36,0W22,0
22	N8
23	G70P2Q8
24	N9
25	G00G40X220,0Z190,0M09
26	N10
27	G97M05T0900
28	N11
29	G28
30	M30
31	
32	%

[図23]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/028830

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G05B 19/4063**(2006.01)i; **G01R 13/02**(2006.01)i

FI: G05B19/4063 L; G01R13/02

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; B23Q17/00; G05B23/00-23/02; G01R13/02

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 1971-2022

Registered utility model specifications of Japan 1996-2022

Published registered utility model applications of Japan 1994-2022

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 6-138934 A (FANUC LTD.) 20 May 1994 (1994-05-20) paragraphs [0007]-[0012]	1-6
A	JP 2006-92241 A (TOYODA MACH. WORKS, LTD.) 06 April 2006 (2006-04-06) paragraphs [0042]-[0054]	1-6
A	JP 63-313206 A (TOSHIBA CORP.) 21 December 1988 (1988-12-21) page 2, lower left column, line 12 to page 3, upper right column, line 4	1-6
A	US 2015/0277443 A1 (HONDA MOTOR CO., LTD.) 01 October 2015 (2015-10-01) paragraphs [0046]-[0049]	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

13 September 2022

Date of mailing of the international search report

20 September 2022

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/JP2022/028830

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	6-138934	A	20 May 1994	(Family: none)	
JP	2006-92241	A	06 April 2006	(Family: none)	
JP	63-313206	A	21 December 1988	(Family: none)	
US	2015/0277443	A1	01 October 2015	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G05B 19/4063(2006.01)i; G01R 13/02(2006.01)i FI: G05B19/4063 L; G01R13/02										
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; B23Q17/00; G05B23/00-23/02; G01R13/02										
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの										
<table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2022年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2022年	日本国実用新案登録公報	1996-2022年	日本国登録実用新案公報	1994-2022年
日本国実用新案公報	1922-1996年									
日本国公開実用新案公報	1971-2022年									
日本国実用新案登録公報	1996-2022年									
日本国登録実用新案公報	1994-2022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 6-138934 A（ファナック株式会社）20.05.1994（1994-05-20） 段落0007-0012	1-6								
A	JP 2006-92241 A（豊田工機株式会社）06.04.2006（2006-04-06） 段落0042-0054	1-6								
A	JP 63-313206 A（株式会社東芝）21.12.1988（1988-12-21） 第2ページ左下欄第12行-第3ページ右上欄第4行	1-6								
A	US 2015/0277443 A1（HONDA MOTOR CO., LTD.）01.10.2015（2015-10-01） [0046]-[0049]	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。										
<table border="0"> <tr> <td> * 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的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 </td> <td> “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献 </td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的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						
* 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 13.09.2022	国際調査報告の発送日 20.09.2022									
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									

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2022/028830

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	6-138934	A	20.05.1994	(ファミリーなし)	
JP	2006-92241	A	06.04.2006	(ファミリーなし)	
JP	63-313206	A	21.12.1988	(ファミリーなし)	
US	2015/0277443	A1	01.10.2015	(ファミリーなし)	