

(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
2023年11月23日(23.11.2023)



(10) 国際公開番号

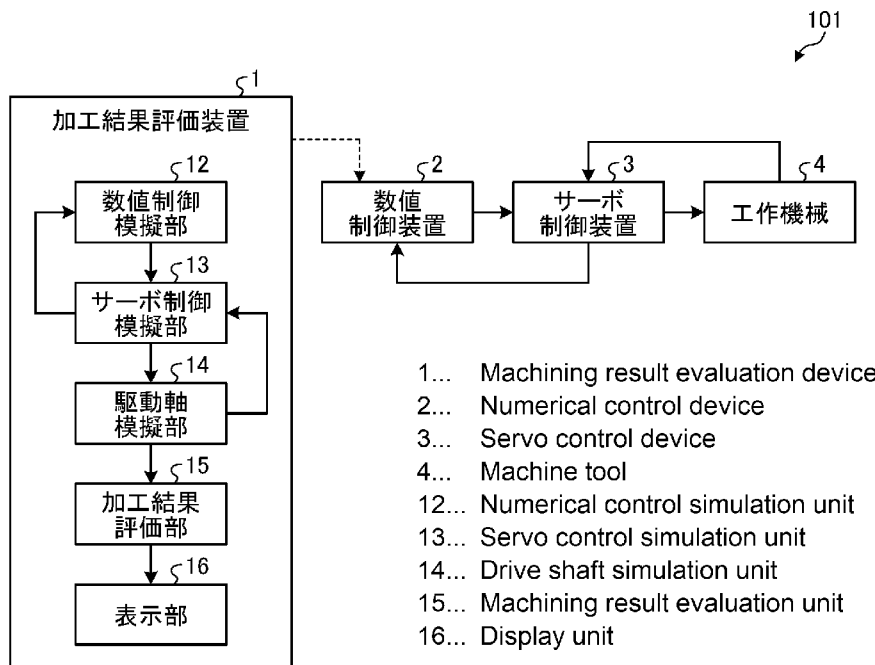
WO 2023/223471 A1

- (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/JP2022/020704
- (22) 国際出願日: 2022年5月18日(18.05.2022)
- (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: 三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: ▲ 濱 ▼ 田 健太 (HAMADA, Kenta); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 高村 順(TAKAMURA, Jun); 〒1000013 東京都千代田区霞が関3丁目8番1号 虎の門三井ビルディング 弁理士法人酒井国際特許事務所 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, 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,

(54) Title: MACHINING RESULT EVALUATION DEVICE, MACHINING RESULT EVALUATION METHOD, MACHINING CONDITION DETERMINATION DEVICE, AND MACHINING CONDITION DETERMINATION METHOD

(54) 発明の名称: 加工結果評価装置、加工結果評価方法、加工条件決定装置、および加工条件決定方法

[図1]



(57) Abstract: A machining result evaluation device (1) that evaluates a machining result of machining performed by a machine tool (4) comprises: a numerical control simulation unit (12) that simulates an operation of a numerical control device (2) for controlling a servo control device (3) and outputs a position command to a drive shaft of the machine tool; a servo control simulation unit (13) that simulates an operation of the servo control device on the basis of the position

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))

command and outputs a torque command to the drive shaft; a drive shaft simulation unit (14) that simulates an operation of the drive shaft on the basis of the torque command; and a machining result evaluation unit (15) that evaluates the machining result on the basis of information corresponding to the operation of the drive shaft. The drive shaft simulation unit outputs position information indicating the position of the drive shaft to the servo control simulation unit. The servo control simulation unit uses the position information to simulate feedback control applied to the drive shaft simulation unit. The machining result evaluation unit evaluates the machining result obtained when the feedback control applied to the drive shaft simulation unit is simulated.

(57) 要約：工作機械（４）による加工の加工結果を評価する加工結果評価装置（１）が、サーボ制御装置（３）を制御する数値制御装置（２）の動作を模擬して工作機械が有する駆動軸への位置指令を出力する数値制御模擬部（１２）と、位置指令に基づいてサーボ制御装置の動作を模擬して駆動軸へのトルク指令を出力するサーボ制御模擬部（１３）と、トルク指令に基づいて駆動軸の動作を模擬する駆動軸模擬部（１４）と、駆動軸の動作に対応する情報に基づいて加工結果を評価する加工結果評価部（１５）と、を備え、駆動軸模擬部は、駆動軸の位置を示す位置情報をサーボ制御模擬部へ出力し、サーボ制御模擬部は、位置情報を用いて駆動軸模擬部へのフィードバック制御を模擬し、加工結果評価部は、駆動軸模擬部へのフィードバック制御が模擬された場合の加工結果を評価する。

明 細 書

発明の名称：

加工結果評価装置、加工結果評価方法、加工条件決定装置、および加工条件決定方法

技術分野

[0001] 本開示は、工作機械の加工結果を評価する加工結果評価装置、加工結果評価方法、加工条件決定装置、および加工条件決定方法に関する。

背景技術

[0002] 近年、工作機械が実際に加工を行う前に、加工シミュレーション装置が、加工後のワークの形状を評価する加工シミュレーション技術の開発が進められている。この加工シミュレーション装置は、仮想空間上で加工プログラムの通りに工具を動かし、被加工物であるワークから工具が通過する領域を除去することで、加工後のワークの形状を評価している。工作機械による実際の加工では、加工プログラムの通りには加工できないことが多く、加工プログラムに基づいた加工シミュレーションでは、加工後のワークの形状を正確に評価することが難しい。

[0003] 特許文献1に記載の加工シミュレーション装置は、数値制御装置が出力する位置指令と工作機械の伝達特性とに基づいて、工作機械の動作をシミュレーションすることで、加工後のワークの形状を評価している。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2019-152936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、上記特許文献1の技術では、数値制御装置より後段の装置であるサーボ制御装置または工作機械から数値制御装置への応答を考慮せず

に加工をシミュレーションしている。このため、上記特許文献１の技術では、サーボ制御装置または工作機械から数値制御装置への応答の返り値に基づいた機能に対応する処理をシミュレーションすることができず、加工結果を正確に評価することができないという問題があった。

[0006] 本開示は、上記に鑑みてなされたものであって、加工結果を正確に評価することができる加工結果評価装置を得ることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本開示の加工結果評価装置は、サーボ制御装置によって駆動される工作機械による加工の加工結果を評価する加工結果評価装置であって、サーボ制御装置を制御する数値制御装置の動作を模擬して工作機械が有する駆動軸への位置指令を出力する数値制御模擬部と、位置指令に基づいてサーボ制御装置の動作を模擬して駆動軸へのトルク指令を出力するサーボ制御模擬部と、トルク指令に基づいて駆動軸の動作を模擬する駆動軸模擬部と、駆動軸の動作に対応する情報に基づいて加工結果を評価する加工結果評価部と、を備え、駆動軸模擬部は、駆動軸の位置を示す位置情報をサーボ制御模擬部に出力し、サーボ制御模擬部は、位置情報を用いて駆動軸模擬部へのフィードバック制御を模擬し、加工結果評価部は、駆動軸模擬部へのフィードバック制御が模擬された場合の加工結果を評価する。

発明の効果

[0008] 本開示にかかる加工結果評価装置は、加工結果を正確に評価することができるという効果を奏する。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]実施の形態１にかかる加工結果評価装置を備えた加工結果評価システムの構成を示すブロック図

[図2]実施の形態１にかかる加工結果評価装置がシミュレーションする処理の一例を説明するための図

[図3]実施の形態１にかかる加工結果評価装置が実行する処理の処理手順を示

すフローチャート

[図4]実施の形態1にかかる加工結果評価装置が備える処理回路を演算装置およびメモリで実現する場合の処理回路の構成例を示す図

[図5]実施の形態1にかかる加工結果評価装置が備える処理回路を専用のハードウェアで構成する場合の処理回路の例を示す図

[図6]実施の形態2にかかる加工条件決定装置の構成を示すブロック図

[図7]実施の形態2にかかる加工条件決定装置が推論モデルを用いて加工結果に対応する加工条件を算出する場合の加工条件決定部の構成を示すブロック図

[図8]実施の形態2にかかる機械学習装置の構成を示すブロック図

[図9]実施の形態2にかかる機械学習装置が用いるニューラルネットワークの例を説明するための図

[図10]実施の形態2にかかる加工条件決定装置が実行する処理の処理手順を示すフローチャート

発明を実施するための形態

[0010] 以下に、本開示の実施の形態にかかる加工結果評価装置、加工結果評価方法、加工条件決定装置、および加工条件決定方法を図面に基づいて詳細に説明する。

[0011] 実施の形態1.

図1は、実施の形態1にかかる加工結果評価装置を備えた加工結果評価システムの構成を示すブロック図である。加工結果評価システム101は、加工結果評価装置1と、数値制御装置2と、サーボ制御装置3と、工作機械4とを備えている。

[0012] 加工結果評価システム101では、数値制御装置2が位置指令を出力し、サーボ制御装置3が、位置指令に追従するように工作機械4が有する駆動軸を制御することで、切削加工が実行される。

[0013] 切削加工では、工作機械4が有する駆動軸が動作することで、工作機械4が有する主軸に取り付けられた工具と工作機械4が有するテーブルまたは旋

削主軸に固定されたワーク（被加工物）とが移動する。そして、切削加工では、主軸または旋削主軸が回転することで工具またはワークが回転し、工具がワークに接触することで工具がワークの一部を削り取る。

[0014] 数値制御装置 2 は、加工プログラムに記述されている指令コードを解析し、指令コードに基づいてサーボ制御装置 3 に位置指令を出力する。

[0015] サーボ制御装置 3 は、数値制御装置 2 から受け取る位置指令に基づいて、工作機械 4 のモータを介して接続された駆動軸を制御する。また、サーボ制御装置 3 は、フィードバック制御を行う。具体的には、サーボ制御装置 3 は、検出器（図示せず）が駆動軸から検出した検出位置と、数値制御装置 2 から受け取る位置指令との誤差が小さくなるようにフィードバック制御を行い、モータへ電流を流し、駆動軸を制御する。

[0016] 加工結果評価装置 1 は、工作機械 4 による加工の加工結果を評価するコンピュータである。工作機械 4 によって実行される加工の例は、切削加工である。加工結果評価装置 1 は、数値制御模擬部 1 2 と、サーボ制御模擬部 1 3 と、駆動軸模擬部 1 4 と、加工結果評価部 1 5 と、表示部 1 6 とを備える。

[0017] 数値制御模擬部 1 2 は、数値制御装置 2 が実行する処理を模擬する。具体的には、数値制御模擬部 1 2 は、加工プログラムに記述されている指令コードを解析し、サーボ制御模擬部 1 3 に位置指令を出力する。

[0018] サーボ制御模擬部 1 3 は、サーボ制御装置 3 が実行する処理を模擬する。具体的には、サーボ制御模擬部 1 3 は、数値制御模擬部 1 2 から受け取る位置指令と、駆動軸模擬部 1 4 から受け取る検出位置との誤差が小さくなるようにフィードバック制御を行い、駆動軸模擬部 1 4 にトルク指令を出力する。

[0019] 駆動軸模擬部 1 4 は、工作機械 4 が有する駆動軸の動作をモデル化した駆動軸モデルに基づいて、駆動軸の動作を模擬する。具体的には、駆動軸模擬部 1 4 は、サーボ制御模擬部 1 3 から受け取るトルク指令と、トルク指令に対する応答特性（例えば、伝達関数）とに基づいて、工作機械 4 が有する駆動軸の動きをシミュレーションする。また、駆動軸模擬部 1 4 は、サーボ制

御模擬部 1 3 に駆動軸の検出位置を示す位置情報を算出して出力する。工具は駆動軸によって駆動されるので、駆動軸の位置は、工具の位置に対応している。

[0020] このように、数値制御模擬部 1 2 は、サーボ制御装置 3 を制御する数値制御装置 2 の動作を模擬して工作機械 4 が有する駆動軸への位置指令を算出し出力する。また、サーボ制御模擬部 1 3 は、位置指令に基づいてサーボ制御装置 3 の動作を模擬して駆動軸へのトルク指令を算出し出力する。また、駆動軸模擬部 1 4 は、トルク指令に基づいて駆動軸の動作を模擬し、駆動軸の動作に対応する駆動軸の位置情報を算出する。駆動軸模擬部 1 4 は、算出した位置情報を、サーボ制御模擬部 1 3 および加工結果評価部 1 5 に出力する。

[0021] 駆動軸の位置を検出する検出器がスケールである場合、駆動軸模擬部 1 4 は、駆動軸の位置情報をそのままサーボ制御模擬部 1 3 および加工結果評価部 1 5 に出力する。また、検出器がモータの回転角度を検出するエンコーダである場合、駆動軸模擬部 1 4 は、駆動軸の位置を回転角度に変換した位置情報をサーボ制御模擬部 1 3 および加工結果評価部 1 5 に出力する。例えば、駆動軸が送りねじ機構である場合、駆動軸模擬部 1 4 は、駆動軸の位置を送りねじのピッチで除算することで回転角度を得ることができる。

[0022] サーボ制御模擬部 1 3 は、駆動軸模擬部 1 4 からの位置情報を用いて駆動軸模擬部 1 4 に対するフィードバック制御を模擬する。サーボ制御模擬部 1 3 は、駆動軸模擬部 1 4 から受け取る位置情報をフィードバック制御の模擬に用いるとともに、数値制御模擬部 1 2 にフィードバック位置として位置情報を出力する。

[0023] 数値制御模擬部 1 2 は、サーボ制御模擬部 1 3 からの位置情報を用いて、サーボ制御模擬部 1 3 に対するフィードバック制御を模擬する。すなわち、数値制御模擬部 1 2 は、サーボ制御模擬部 1 3 から受け取るフィードバック位置（位置情報）に基づいて機能する処理をシミュレーションする。

[0024] 図 2 は、実施の形態 1 にかかる加工結果評価装置がシミュレーションする

処理の一例を説明するための図である。ここでは、工作機械４が、ブロック n (n は自然数) の直線 6 2 に沿って工具を移動させた後、工具を次のブロックであるブロック ($n+1$) の直線 6 3 に沿って移動させる場合について説明する。２つの直線 6 2, 6 3 は、直交している。

[0025] 工作機械４は、図２に示すように、２つの直線 6 2, 6 3 が垂直に交わるコーナ部分 6 0 を工具に通過させる場合、このコーナ部分 6 0 では、通常は２つの直線 6 2, 6 3 の交点に到達する前に次のブロック ($n+1$) の移動が開始され、工具が内回りすることがある。図２では、工具が内回りする経路を経路 6 1 で示している。

[0026] 工具が内回りする場合、数値制御装置２は、次のブロック ($n+1$) を開始する時の１つ前のブロック n での残距離が特定の範囲内に入ったことを確認する（インポジションチェック）まで、次のブロック ($n+1$) の移動を開始しないイグザクトストップ機能を用いることで、内回りを抑制できる。

[0027] 数値制御装置２は、サーボ制御装置３から受け取る位置情報（フィードバック位置）に基づいてインポジションチェックを実行する。そこで、本実施の形態の数値制御模擬部１２は、サーボ制御模擬部１３から位置情報を受け取ることで、イグザクトストップ機能を模擬する。

[0028] 数値制御模擬部１２は、インポジションチェックを模擬することで、コーナ部分 6 0 での加工結果（加工精度）を正確に評価することができる。一方、インポジションチェックを模擬できない加工結果評価装置は、コーナ部分 6 0 の加工結果を正確に評価することができない。

[0029] また、数値制御模擬部１２は、インポジションチェックを模擬するので実際の加工と同じ経路 6 1 を模擬することができ、これにより、実際の加工と同じ加工時間を見積もることができる。一方、インポジションチェックを模擬できない加工結果評価装置は、工具が実際の加工よりも内回りするように模擬してしまうので、実際の加工よりも加工時間を短く見積もる可能性がある。

[0030] また、主軸の回転と、駆動軸の送りとを同期させてタップ加工を行う、同

期タップと呼ばれる機能は、数値制御装置 2 がサーボ制御装置 3 から主軸の回転角度および駆動軸の位置情報を受け取ることで機能する。そこで、数値制御模擬部 1 2 は、サーボ制御模擬部 1 3 から主軸の回転角度および駆動軸の位置情報を受け取り、主軸の回転角度および駆動軸の位置情報に基づいて同期タップを模擬する。これにより、数値制御模擬部 1 2 は、タップ穴が正確に加工できているか否かを正確に評価することができる。一方、主軸の回転角度および駆動軸の位置情報を受け取らない加工結果評価装置は、同期タップを模擬できないので、タップ穴が正確に加工できているか否かを正確に評価することはできない。

[0031] このように、サーボ制御模擬部 1 3 から受け取る位置情報に基づいて機能する数値制御模擬部 1 2 の処理は、加工精度、加工時間等の加工結果に影響する場合がある。したがって、加工結果を正確に評価するためには、数値制御模擬部 1 2 のように実際の加工で機能している処理を正確に模擬する必要がある。

[0032] 駆動軸模擬部 1 4 は、駆動軸の動作のシミュレーションを行い、加工結果評価部 1 5 に駆動軸の動作を示す動作情報を出力する。この動作情報は、工具の動作（移動経路）に対応している。すなわち、動作情報には、駆動軸の位置情報が含まれている。

[0033] 加工結果評価部 1 5 は、駆動軸模擬部 1 4 から送られてくる動作情報に基づいて、加工結果を評価する。駆動軸模擬部 1 4 から送られてくる動作情報は、サーボ制御模擬部 1 3 の応答、および駆動軸模擬部 1 4 の応答に応じた動作情報である。すなわち、駆動軸模擬部 1 4 から送られてくる動作情報は、サーボ制御模擬部 1 3 から数値制御模擬部 1 2 に送られる位置情報と、駆動軸模擬部 1 4 からサーボ制御模擬部 1 3 に送られる位置情報とが反映された情報である。したがって、加工結果評価部 1 5 は、サーボ制御模擬部 1 3 の応答および駆動軸模擬部 1 4 の応答に応じた加工結果を評価する。

[0034] このように、加工結果評価部 1 5 は、サーボ制御模擬部 1 3 に対するフィードバック制御および駆動軸模擬部 1 4 に対するフィードバック制御が模擬

された場合の動作情報に基づいて加工結果を評価する。なお、加工結果評価部 15 は、数値制御模擬部 12 またはサーボ制御模擬部 13 から送られてくる情報に基づいて、加工結果を評価してもよい。

[0035] なお、駆動軸模擬部 14 から送られてくる動作情報は、駆動軸模擬部 14 の応答に応じた動作情報としてもよい。すなわち、駆動軸模擬部 14 から送られてくる動作情報は、サーボ制御模擬部 13 から数値制御模擬部 12 に送られる位置情報が反映されていない情報であってもよい。この場合、加工結果評価部 15 は、駆動軸模擬部 14 の応答に応じた加工結果を評価する。

[0036] なお、加工結果評価部 15 は、数値制御模擬部 12 からサーボ制御模擬部 13 に出力されるデータ、およびサーボ制御模擬部 13 から駆動軸模擬部 14 に出力されるデータの少なくとも 1 つに基づいて、加工結果を評価してもよい。

[0037] 加工結果評価部 15 が評価する加工結果には、工作機械 4 による加工の、加工時間、加工精度、加工面品位、および消費電力の少なくとも 1 つが含まれている。消費電力は、工具が駆動される際に消費された電力である。

[0038] 加工結果評価部 15 は、加工時間を評価する場合、数値制御模擬部 12 から出力されるデータ（位置指令）、サーボ制御模擬部 13 の応答（検出位置）、および駆動軸模擬部 14 の応答（検出位置）のうちの少なくとも 1 つのデータ（応答結果）に基づいて、加工時間を見積もることができる。加工結果評価部 15 は、位置指令または検出位置のデータ間の周期（時間）の総和を算出することで加工時間を見積もることができる。すなわち、加工結果評価部 15 は、位置指令または検出位置で示される位置のデータ点数と、データの出力周期とを積算することで加工時間を見積もることができる。

[0039] 加工結果評価部 15 は、加工精度および加工面品位を評価する場合、数値制御模擬部 12 から出力されるデータ（位置指令）、サーボ制御模擬部 13 の応答（検出位置）、および駆動軸模擬部 14 の応答（検出位置）の少なくとも 1 つのデータ（応答結果）に沿って、仮想空間上で工具を動かす。加工結果評価部 15 は、ワークから工具が通過する領域を除去する加工シミュレ

ーションを行うことで、加工後のワークの形状を見積もることができる。すなわち、加工結果評価部 15 は、ワークが配置されている領域からワークが通過する領域を除去することで加工後のワークの形状を算出する。

[0040] 加工結果評価部 15 は、消費電力を評価する場合、数値制御模擬部 12 から出力されるデータ（位置指令）、サーボ制御模擬部 13 の応答（検出位置）、および駆動軸模擬部 14 の応答（検出位置）のうちの少なくとも 1 つのデータ（応答結果）に基づいて、駆動軸の速度を算出する。加工結果評価部 15 は、サーボ制御模擬部 13 が駆動軸模擬部 14 に出力するトルク指令と、駆動軸の速度とを積算することで、モータの消費電力を見積もることができる。

[0041] 加工結果評価部 15 は、見積もった加工結果（加工時間、加工精度、加工面品位、および消費電力の少なくとも 1 つ）を表示部 16 に送る。表示部 16 は、加工結果評価部 15 が評価した加工結果を表示する。

[0042] 図 3 は、実施の形態 1 にかかる加工結果評価装置が実行する処理の処理手順を示すフローチャートである。数値制御模擬部 12 は、加工プログラムに記述されている指令コードを解析し、指令コードに対応する位置指令を算出してサーボ制御模擬部 13 に出力する（ステップ S1）。

[0043] サーボ制御模擬部 13 は、数値制御模擬部 12 から受け取る位置指令と、駆動軸模擬部 14 から受け取る検出位置との誤差が小さくなるようにフィードバック制御をシミュレーションし、フィードバック制御に対応するトルク指令を算出して駆動軸模擬部 14 に出力する（ステップ S2）。

[0044] 駆動軸模擬部 14 は、サーボ制御模擬部 13 から受け取るトルク指令と、トルク指令に対する応答特性とに基づいて、駆動軸の動きをシミュレーションし、サーボ制御模擬部 13 に、駆動軸の動きに対応する検出位置として駆動軸の位置を示す位置情報を算出して出力する（ステップ S3）。また、駆動軸模擬部 14 は、駆動軸の位置情報に対応する動作情報を、加工結果評価部 15 に出力する。

[0045] サーボ制御模擬部 13 は、駆動軸模擬部 14 から受け取る検出位置に対応

するフィードバック位置（位置情報）を算出して数値制御模擬部 12 に出力する（ステップ S4）。

[0046] 数値制御模擬部 12 は、サーボ制御模擬部 13 から受け取るフィードバック位置に基づいて、数値制御装置 2 で実行される処理をシミュレーションする（ステップ S5）。換言すると、数値制御模擬部 12 は、サーボ制御模擬部 13 から受け取るフィードバック位置に基づいて機能する処理をシミュレーションする。

[0047] このように、加工結果評価装置 1 は、フィードバック位置に基づいたフィードバック制御をシミュレーションする。

[0048] 加工結果評価装置 1 は、加工シミュレーションにおける加工が終了したか否かを判定する（ステップ S6）。加工が終了していない場合（ステップ S6、No）、加工結果評価装置 1 は、ステップ S1 の処理に戻り、加工が終了するまでシミュレーション（ステップ S1～S6 の処理）を繰り返す。

[0049] 加工が終了している場合（ステップ S6、Yes）、加工結果評価部 15 は、駆動軸模擬部 14 から送られてくる動作情報に基づいて、加工結果を評価する（ステップ S7）。この場合において、加工結果評価部 15 は、数値制御模擬部 12 からサーボ制御模擬部 13 に出力されるデータ、サーボ制御模擬部 13 から駆動軸模擬部 14 に出力されるデータ、駆動軸模擬部 14 から加工結果評価部 15 に出力されるデータ（動作情報）、サーボ制御模擬部 13 の応答、および駆動軸模擬部 14 の応答の少なくとも 1 つに基づいて、加工結果を評価する。

[0050] なお、加工結果評価装置 1 は、加工結果評価部 15 によって加工結果を評価しながら加工をシミュレーションしてもよい。すなわち、加工結果評価部 15 は、数値制御模擬部 12、サーボ制御模擬部 13、または駆動軸模擬部 14 からデータが出力されるたびに加工結果を評価してもよい。加工結果評価部 15 は、評価した加工結果を表示部 16 に送る。

[0051] 表示部 16 は、加工結果評価部 15 によって評価された加工結果を表示する（ステップ S8）。これにより、オペレータは、加工結果を参照すること

が可能となる。オペレータは、加工結果に基づいて、数値制御装置 2 の設定（加工パラメータなど）を変更し、変更後の設定で数値制御装置 2 を動作させる。

[0052] 上述の通り、実施の形態 1 にかかる加工結果評価装置 1 では、駆動軸模擬部 1 4 からサーボ制御模擬部 1 3 に応答を返すことで、サーボ制御模擬部 1 3 が、実際の加工で機能している処理を正確に模擬することができる。また、加工結果評価装置 1 では、サーボ制御模擬部 1 3 から数値制御模擬部 1 2 に応答を返すことで、数値制御模擬部 1 2 が、実際の加工で機能している処理を正確に模擬することができる。したがって、実施の形態 1 にかかる加工結果評価装置 1 は、正確に加工結果を評価することができる。

[0053] つづいて、加工結果評価装置 1 のハードウェア構成について説明する。加工結果評価装置 1 において、数値制御模擬部 1 2 と、サーボ制御模擬部 1 3 と、駆動軸模擬部 1 4 と、加工結果評価部 1 5、表示部 1 6 は、処理回路により実現される。この処理回路は、メモリに格納されるプログラムを実行するプロセッサおよびメモリであってもよいし、専用のハードウェアであってもよい。処理回路は制御回路とも呼ばれる。

[0054] 図 4 は、実施の形態 1 にかかる加工結果評価装置が備える処理回路を演算装置およびメモリで実現する場合の処理回路の構成例を示す図である。図 4 では、実施の形態 1 にかかる加工結果評価装置 1 を実現するハードウェアの構成を示している。

[0055] 加工結果評価装置 1 は、演算処理を行うプロセッサである演算装置 4 1 と、演算装置 4 1 がワークエリアに用いるメモリ 4 2 と、プログラムおよびデータを記憶する記憶装置 4 3 と、外部との通信を行う通信装置 4 4 と、オペレータからの入力を受け付ける入力装置 4 5 と、表示装置 4 6 とを有する。

[0056] 演算装置 4 1 の例は、CPU (Central Processing Unit)、処理装置、マイクロプロセッサ、またはDSP (Digital Signal Processor) である。メモリ 4 2 の例は、半導体メモリである。記憶装置 4 3 は、例えば、RAM (Random Access Memory)、ROM (Read Only Memory)、フラッシュ

メモリ、E P R O M (Erasable Programmable Read Only Memory)、E E P R O M (登録商標) (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) 等の不揮発性もしくは揮発性の半導体メモリ、磁気ディスク、フレキシブルディスク、光ディスク、コンパクトディスク、ミニディスクまたはD V D (Digital Versatile Disk) 等である。

[0057] 記憶装置43に記憶される加工結果評価プログラムは、数値制御模擬部12、サーボ制御模擬部13、駆動軸模擬部14、および加工結果評価部15が実行する手順または方法を演算装置41に実行させるプログラムである。すなわち、数値制御模擬部12、サーボ制御模擬部13、駆動軸模擬部14、および加工結果評価部15の機能は、演算装置41が記憶装置43に記憶される加工結果評価プログラムを実行することにより実現される。

[0058] 表示部16の一部の機能も、記憶装置43に記憶される表示プログラムを実行する演算装置41によって実現される。記憶装置43は、表示部16の一部の機能を実現するための表示プログラムを記憶するための装置でもある。つまり、記憶装置43は、表示部16が実行する手順または方法の一部を演算装置41に実行させる表示プログラムも記憶する。

[0059] 入力装置45の例は、キーボード、ポインティングデバイス、およびマウスの一部または全部である。表示装置46は、表示部16を実現する手段である。表示装置46の例は、液晶表示装置である。入力装置45と表示装置46とは一体化されていてもよい。具体的には、入力装置45と表示装置46とはタッチパネルによって実現されていてもよい。

[0060] 図5は、実施の形態1にかかる加工結果評価装置が備える処理回路を専用のハードウェアで構成する場合の処理回路の例を示す図である。図5では、実施の形態1にかかる加工結果評価装置1が有する、数値制御模擬部12、サーボ制御模擬部13、駆動軸模擬部14、加工結果評価部15、および表示部16の一部または全部が処理回路により実現される場合の処理回路51を示している。

[0061] 処理回路51は、専用のハードウェアである。処理回路51は、例えば、

単一回路、複合回路、プログラム化されたプロセッサ、並列プログラム化されたプロセッサ、A S I C (Application Specific Integrated Circuit)、F P G A (Field Programmable Gate Array)、またはこれらを組み合わせたものである。

[0062] 数値制御模擬部 1 2、サーボ制御模擬部 1 3、駆動軸模擬部 1 4、加工結果評価部 1 5、および表示部 1 6 の複数の機能について、当該複数の機能の一部がソフトウェアまたはファームウェアで実現され、当該複数の機能の残部が専用のハードウェアで実現されてもよい。このように、数値制御模擬部 1 2、サーボ制御模擬部 1 3、駆動軸模擬部 1 4、加工結果評価部 1 5、および表示部 1 6 の複数の機能は、ハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、またはこれらの組み合わせによって実現することができる。なお、サーボ制御模擬部 1 3、駆動軸模擬部 1 4、加工結果評価部 1 5、および表示部 1 6 の一部は、別々の処理回路により実現されてもよい。

[0063] 加工結果評価装置 1 は、数値制御装置 2 に内蔵されてもよいし、通信ネットワークを介して数値制御装置 2 に接続されてもよい。あるいは、加工結果評価装置 1 は、サーバやクラウド上に実装されてもよい。

[0064] このように実施の形態 1 の加工結果評価装置 1 では、駆動軸模擬部 1 4 が、駆動軸の位置を示す位置情報をサーボ制御模擬部 1 3 に出力し、サーボ制御模擬部 1 3 が、位置情報を用いて駆動軸模擬部 1 4 に対するフィードバック制御を模擬している。そして、加工結果評価部 1 5 が、駆動軸模擬部 1 4 に対するフィードバック制御が模擬された場合の動作情報などに基づいて加工結果を評価している。これにより、加工結果評価装置 1 は、実際の加工で機能している処理を正確に模擬することができるので、加工精度、加工時間等の加工結果を正確に評価することができる。

[0065] また、加工結果評価装置 1 では、サーボ制御模擬部 1 3 が、位置情報を数値制御模擬部 1 2 に出力し、数値制御模擬部 1 2 が、位置情報を用いてサーボ制御模擬部 1 3 に対するフィードバック制御を模擬している。そして、加工結果評価部 1 5 が、サーボ制御模擬部 1 3 に対するフィードバック制御お

よび駆動軸模擬部 1 4 に対するフィードバック制御が模擬された場合の動作情報などに基づいて加工結果を評価している。これにより、加工結果評価装置 1 は、実際の加工で機能している処理をさらに正確に模擬することができるので、加工精度、加工時間等の加工結果をさらに正確に評価することができる。

[0066] 実施の形態 2.

つぎに、図 6 から図 9 を用いて実施の形態 2 について説明する。実施の形態 2 では、加工結果と加工条件との対応関係が予め学習され、加工結果に対応する加工条件が決定される。

[0067] 図 6 は、実施の形態 2 にかかる加工条件決定装置の構成を示すブロック図である。図 6 の各構成要素のうち図 1 に示す実施の形態 1 の加工結果評価装置 1 と同一機能を達成する構成要素については同一符号を付しており、重複する説明は省略する。加工条件決定システム 1 0 2 は、加工条件決定装置 5 と、数値制御装置 2 と、サーボ制御装置 3 と、工作機械 4 とを備えている。

[0068] 実施の形態 2 にかかる加工条件決定装置 5 は、実施の形態 1 にかかる加工結果評価装置 1 が有する、数値制御模擬部 1 2 と、サーボ制御模擬部 1 3 と、駆動軸模擬部 1 4 と、加工結果評価部 1 5 とを有する。また、実施の形態 2 にかかる加工条件決定装置 5 は、実施の形態 1 にかかる加工結果評価装置 1 が有する表示部 1 6 を有しない。実施の形態 2 にかかる加工条件決定装置 5 は、実施の形態 1 にかかる加工結果評価装置 1 が有しない、機械学習装置 2 2 および加工条件決定部 2 1 を有する。すなわち、加工条件決定装置 5 は、実施の形態 1 にかかる加工結果評価装置 1 と比較して、表示部 1 6 の代わりに機械学習装置 2 2 および加工条件決定部 2 1 を有する。なお、加工条件決定装置 5 は、表示部 1 6 を有していてもよい。

[0069] 実施の形態 2 では、実施の形態 1 との相違点を主に説明する。機械学習装置 2 2 は、加工結果評価部 1 5 から出力される加工結果を受け付ける。また、機械学習装置 2 2 は、数値制御模擬部 1 2 が模擬に用いた加工条件を受け付ける。機械学習装置 2 2 は、加工条件と加工結果との対応関係を算出する

ように機械学習を行うことで推論モデル（学習済モデル）を生成する。機械学習装置 22 は、生成した推論モデルを加工条件決定部 21 に送る。

[0070] 加工条件決定部 21 は、オペレータによって入力された加工結果に対して、適切な加工条件を算出する。加工条件決定部 21 は、機械学習装置 22 が生成した推論モデルを用いて、加工結果に対応する加工条件を算出する。

[0071] 加工条件決定部 21 は、決定した加工条件に含まれる加工パラメータを数値制御装置 2 に出力する。これにより、数値制御装置 2 は、加工条件決定部 21 から送られてきた加工パラメータを用いてサーボ制御装置 3 を制御する。

[0072] 図 7 は、実施の形態 2 にかかる加工条件決定装置が推論モデルを用いて加工結果に対応する加工条件を算出する場合の加工条件決定部の構成を示すブロック図である。加工条件決定部 21 は、推論部 200 を有する。推論部 200 は、加工結果評価部 15 から加工結果が入力されることで加工条件を出力するように機械学習された学習済みの推論モデルを有する。具体的には、推論部 200 は、加工条件を出力するように予め機械学習が行われた推論モデルに加工結果が入力されることで、加工結果に対応する加工条件を出力する。

[0073] 加工結果に対応する加工条件は、所望の加工結果と、シミュレーションされた加工結果との差を減少させることができる加工条件である。すなわち、加工条件決定部 21 は、所望の加工結果を得ることができる加工条件を、シミュレーションされた加工結果に基づいて算出する。

[0074] 図 8 は、実施の形態 2 にかかる機械学習装置の構成を示すブロック図である。機械学習装置 22 は、推論モデルに対して学習を行う装置であり、加工条件と、加工結果との対応関係を学習する。機械学習装置 22 は、データ取得部 201 と、学習部 202 とを有する。

[0075] データ取得部 201 は、加工条件と、加工結果との組み合わせを取得する。具体的には、データ取得部 201 は、加工時間、加工精度、加工面品位、および消費電力の少なくとも 1 つと、加工条件との組み合わせを取得する。

- [0076] データ取得部201は、例えば、数値制御模擬部12から加工条件を取得する。なお、データ取得部201は、サーボ制御模擬部13または駆動軸模擬部14から加工条件を取得してもよい。また、データ取得部201は、例えば、加工結果評価部15から加工条件に対応する加工結果を取得する。
- [0077] なお、データ取得部201は、数値制御装置2から加工条件を取得してもよい。また、データ取得部201は、工作機械4で実際に加工されたワークの加工結果を取得してもよい。データ取得部201は、加工条件と、加工結果との組み合わせを学習部202に出力する。
- [0078] 学習部202は、加工条件と、加工結果との組み合わせに基づいて作成されるデータセットにしたがって、加工条件と加工結果との対応関係を学習する。具体的には、学習部202は、データ取得部201から出力される加工条件、加工時間、加工精度、加工面品位、および消費電力の組み合わせに基づいて作成されるデータセットを用いて、加工条件と加工結果との対応関係を学習する。データセットは、状態変数と加工条件とが互いに関連付けられたデータである。状態変数は、加工時間、加工精度、加工面品位、および消費電力の少なくとも1つである。学習部202は、状態変数を推論モデルに入力した場合に推論モデルから加工条件が出力されるよう、推論モデルを調整する。学習部202は、加工条件と加工結果との対応関係を学習することで、学習済みの推論モデルを生成する。
- [0079] 機械学習装置22は、加工条件決定装置5が用いる学習済みの推論モデルを生成する。すなわち、機械学習装置22は、加工条件決定装置5が算出した、加工時間、加工精度、加工面品位、および消費電力に対応する加工条件を学習するために使用される。機械学習装置22は、加工条件決定装置5とは別個の装置であってもよいし、加工条件決定装置5に内蔵されてもよい。機械学習装置22が、加工条件決定装置5とは別個の装置である場合、機械学習装置22は、例えば通信ネットワークを介して加工条件決定装置5に接続される。また、機械学習装置22は、サーバやクラウド上に存在してもよい。また、加工条件決定部21は、加工条件決定装置5とは別個の装置であ

ってもよいし、加工条件決定装置 5 に内蔵されてもよい。加工条件決定部 21 が、加工条件決定装置 5 とは別個の装置である場合、加工条件決定部 21 は、例えば通信ネットワークを介して加工条件決定装置 5 に接続される。また、加工条件決定部 21 は、サーバやクラウド上に存在してもよい。

[0080] 学習部 202 は、例えば、ニューラルネットワークモデルにしたがって、いわゆる教師あり学習により、加工条件と加工結果との対応関係を学習する。教師あり学習とは、ある入力と結果（ラベル）とのデータの組を大量に学習装置に与えることで、データセットにある特徴を学習し、入力から結果を推定するモデルをいう。

[0081] ニューラルネットワークは、複数のニューロンからなる入力層、複数のニューロンからなる中間層（隠れ層）、および複数のニューロンからなる出力層で構成される。中間層は、1 層であってもよいし、2 層以上でもよい。

[0082] 図 9 は、実施の形態 2 にかかる機械学習装置が用いるニューラルネットワークの例を説明するための図である。例えば、図 9 に示すような 3 層のニューラルネットワークでは、複数の入力が入力層（ $X_1 - X_3$ ）に入力されると、入力された値に重み W_1 （ $w_{11} - w_{16}$ ）が掛けられることによって得られる値が中間層（ $Y_1 - Y_2$ ）に入力される。中間層（ $Y_1 - Y_2$ ）に入力された値に重み W_2 （ $w_{21} - w_{26}$ ）が掛けられることによって得られる値が出力層（ $Z_1 - Z_3$ ）から出力される。出力結果は、重み W_1 と重み W_2 との値によって変わる。

[0083] 例えば、ニューラルネットワークは、データ取得部 201 によって取得される加工条件、加工時間、加工精度、加工面品位、および消費電力の組み合わせに基づいて作成されるデータセットにしたがって、いわゆる教師あり学習により、加工条件と加工結果との対応関係を学習する。すなわち、ニューラルネットワークは、入力層に加工時間、加工精度、加工面品位、および消費電力を入力して出力層から出力された結果が、加工条件に近づくように重み W_1 と重み W_2 とを調整することで学習する。

[0084] ニューラルネットワークは、いわゆる教師なし学習によって、加工条件と

加工結果との対応関係を学習してもよい。教師なし学習とは、入力データのみを大量に機械学習装置 22 に与えることで、入力データがどのような分布をしているのかを学習し、対応する教師出力データを与えなくても、入力データに対して例えば圧縮、分類および整形の一部または全部を行う装置を学習する手法である。例えば、ニューラルネットワークは、データセットにある特徴を似た者どうしにクラスタリングすることができる。ニューラルネットワークは、得られた結果を使って、何らかの基準を設けて当該結果を最適にするような出力の割り当てを行うことで、出力の予測を実現することができる。

[0085] 教師なし学習と教師あり学習との中間的な問題設定として、半教師あり学習と呼ばれる学習もある。半教師あり学習は、一部のみ入力と出力のデータの組が存在し、残部は入力のみデータである場合の学習である。

[0086] 学習部 202 は、複数の加工条件決定装置 5 に対して作成されるデータセットにしたがって加工条件と加工結果との対応関係を学習してもよい。学習部 202 は、同一の現場で使用される複数の加工条件決定装置 5 からデータセットを取得してもよいし、異なる現場で独立して稼働する複数の加工条件決定装置 5 から収集されるデータセットを利用して加工条件と加工結果との対応関係を学習してもよい。

[0087] データセットを収集する加工条件決定装置 5 が途中で対象に追加されてもよいし、加工条件決定装置 5 が対象から除去されてもよい。加工条件と加工結果との対応関係を学習した機械学習装置 22 は、機械学習装置 22 とは別の加工条件決定装置 5 に取り付けられて、当該別の加工条件決定装置 5 について加工条件と加工結果との対応関係を再学習して更新してもよい。

[0088] 学習部 202 に用いられる学習アルゴリズムには、特徴量そのものの抽出を学習する深層学習 (Deep Learning) を用いることができる。学習部 202 は、他の公知の方法、例えば遺伝的プログラミング、機能論理プログラミング、またはサポートベクターマシンなどにしたがって機械学習を実行してもよい。

- [0089] 図10は、実施の形態2にかかる加工条件決定装置が実行する処理の処理手順を示すフローチャートである。加工条件決定装置5は、図3で説明した加工結果評価装置1が実行するステップS1～S7と同様の処理を実行する。
- [0090] 加工条件決定装置5では、加工結果評価部15が、評価した加工結果を機械学習装置22に出力する。機械学習装置22は、加工条件と加工結果との対応関係を算出するための推論モデル（推論部200）を生成する（ステップS9）。加工条件決定部21は、推論モデルを用いて加工結果に対応する加工条件を算出する（ステップS10）。
- [0091] 加工条件決定部21は、決定した加工条件に含まれる加工パラメータを数値制御装置2に出力する。これにより、数値制御装置2は、加工条件決定部21から送られてきた加工パラメータを用いてサーボ制御装置3を制御する。
- [0092] 上述の通り、実施の形態2にかかる加工条件決定装置5は、サーボ制御模擬部13から数値制御模擬部12に応答を返すことで、実際の加工で機能している処理を正確に模擬することができる。したがって、実施の形態2にかかる加工条件決定装置5は、正確に加工結果を評価することができる。
- [0093] また、実施の形態2にかかる加工条件決定装置5は、加工条件と、正確に評価された加工結果との対応関係を学習した推論モデルを用いて、加工結果に対応する加工条件を算出する。加工条件決定装置5は、オペレータによって指定された加工結果に対応する加工条件を算出する。
- [0094] 加工条件決定装置5は、オペレータによって指定された加工結果に対応する加工条件を算出する場合、オペレータが希望する加工結果を満たす加工条件を決定することができる。したがって、実施の形態2にかかる加工条件決定装置5は、オペレータに希望する加工結果を示す情報を入力させるだけで、オペレータが希望する加工結果を満たす加工条件を決定することができる。
- [0095] 実施の形態2における加工条件決定部21の少なくとも一部の機能は、記

憶装置に格納されるプログラムを実行する演算装置によって実現されてもよい。当該記憶装置は、加工条件決定部 21 によって実行されるステップの少なくとも一部のステップが結果的に実行されることになるプログラムを格納するための記憶装置であって、記憶装置 43 と同様の記憶装置である。この場合の演算装置は、演算装置 41 と同様の演算装置である。また、加工条件決定部 21 の少なくとも一部の機能は、処理回路によって実現されてもよい。当該処理回路は、図 4 で説明した処理回路または図 5 で説明した処理回路 51 と同様の処理回路である。

[0096] 実施の形態 2 における加工条件決定部 21 が有する推論部 200 の少なくとも一部の機能は、記憶装置に格納されるプログラムを実行する演算装置によって実現されてもよい。当該記憶装置は、推論部 200 によって実行されるステップの少なくとも一部のステップが結果的に実行されることになるプログラムを格納するための記憶装置であって、記憶装置 43 と同様の記憶装置である。この場合の演算装置は、演算装置 41 と同様の演算装置である。推論部 200 の少なくとも一部の機能は、処理回路によって実現されてもよい。当該処理回路は、図 4 で説明した処理回路または図 5 で説明した処理回路 51 と同様の処理回路である。

[0097] 実施の形態 2 にかかる機械学習装置 22 が有するデータ取得部 201 および学習部 202 の少なくとも一部の機能は、記憶装置に格納されるプログラムを実行する演算装置によって実現されてもよい。当該記憶装置は、データ取得部 201 および学習部 202 によって実行されるステップの少なくとも一部のステップが結果的に実行されることになるプログラムを格納するための記憶装置であって、記憶装置 43 と同様の記憶装置である。この場合の演算装置は、演算装置 41 と同様の演算装置である。データ取得部 201 および学習部 202 の少なくとも一部の機能は、処理回路によって実現されてもよい。当該処理回路は、図 4 で説明した処理回路または図 5 で説明した処理回路 51 と同様の処理回路である。

[0098] また、加工条件決定装置 5 の少なくとも一部の機能は、図 4 で説明した処

理回路または図 5 で説明した処理回路 5 1 と同様の処理回路によって実現されてもよい。

[0099] このように実施の形態 2 の加工条件決定装置 5 では、駆動軸模擬部 1 4 が、駆動軸の位置を示す位置情報をサーボ制御模擬部 1 3 に出力し、サーボ制御模擬部 1 3 が、位置情報を用いて駆動軸模擬部 1 4 に対するフィードバック制御を模擬している。そして、加工結果評価部 1 5 が、駆動軸模擬部 1 4 に対するフィードバック制御が模擬された場合の動作情報に基づいて加工結果を評価している。さらに、機械学習装置 2 2 が、加工結果から加工条件を推論するための推論モデルを生成し、加工条件決定部 2 1 が、推論モデルを用いて、加工結果に対応する加工条件を決定している。これにより、加工条件決定装置 5 は、実際の加工で機能している処理を正確に模擬した加工結果に対応する加工条件を決定することが可能となる。

[0100] また、加工条件決定装置 5 では、サーボ制御模擬部 1 3 が、位置情報を数値制御模擬部 1 2 に出力し、数値制御模擬部 1 2 が、位置情報を用いてサーボ制御模擬部 1 3 に対するフィードバック制御を模擬している。そして、加工結果評価部 1 5 が、サーボ制御模擬部 1 3 に対するフィードバック制御および駆動軸模擬部 1 4 に対するフィードバック制御が模擬された場合の動作情報に基づいて加工結果を評価している。これにより、加工条件決定装置 5 は、実際の加工で機能している処理をさらに正確に模擬することができるので、さらに正確に模擬した加工結果に対応する加工条件を決定することが可能となる。

[0101] 以上の実施の形態に示した構成は、一例を示すものであり、別の公知の技術と組み合わせることも可能であるし、実施の形態同士を組み合わせることも可能であるし、要旨を逸脱しない範囲で、構成の一部を省略、変更することも可能である。

符号の説明

[0102] 1 加工結果評価装置、2 数値制御装置、3 サーボ制御装置、4 工作機械、5 加工条件決定装置、1 2 数値制御模擬部、1 3 サーボ制御

模擬部、14 駆動軸模擬部、15 加工結果評価部、16 表示部、21
加工条件決定部、22 機械学習装置、41 演算装置、42 メモリ、
43 記憶装置、44 通信装置、45 入力装置、46 表示装置、51
処理回路、60 コーナ部分、61 経路、62, 63 直線、101
加工結果評価システム、102 加工条件決定システム、200 推論部、
201 データ取得部、202 学習部。

請求の範囲

- [請求項1] サーボ制御装置によって駆動される工作機械による加工の加工結果を評価する加工結果評価装置であって、
- 前記サーボ制御装置を制御する数値制御装置の動作を模擬して前記工作機械が有する駆動軸への位置指令を出力する数値制御模擬部と、
- 前記位置指令に基づいて前記サーボ制御装置の動作を模擬して前記駆動軸へのトルク指令を出力するサーボ制御模擬部と、
- 前記トルク指令に基づいて前記駆動軸の動作を模擬する駆動軸模擬部と、
- 前記駆動軸の動作に対応する情報に基づいて前記加工結果を評価する加工結果評価部と、
- を備え、
- 前記駆動軸模擬部は、前記駆動軸の位置を示す位置情報を前記サーボ制御模擬部に出力し、
- 前記サーボ制御模擬部は、前記位置情報を用いて前記駆動軸模擬部へのフィードバック制御を模擬し、
- 前記加工結果評価部は、前記駆動軸模擬部へのフィードバック制御が模擬された場合の前記加工結果を評価する、
- ことを特徴とする加工結果評価装置。
- [請求項2] 前記駆動軸の動作に対応する情報は、前記位置情報であり、
- 前記加工結果評価部は、前記位置情報に基づいて前記加工結果を評価する、
- ことを特徴とする請求項1に記載の加工結果評価装置。
- [請求項3] 前記サーボ制御模擬部は、前記位置情報を前記数値制御模擬部に出力し、
- 前記数値制御模擬部は、前記位置情報を用いて前記サーボ制御模擬部へのフィードバック制御を模擬し、
- 前記加工結果評価部は、前記サーボ制御模擬部へのフィードバック

制御および前記駆動軸模擬部へのフィードバック制御が模擬された場合の前記加工結果を評価する、

ことを特徴とする請求項 1 に記載の加工結果評価装置。

[請求項4] 前記駆動軸の動作に対応する情報は、前記サーボ制御模擬部が前記数値制御模擬部に出力する前記位置情報であり、

前記加工結果評価部は、前記サーボ制御模擬部が前記数値制御模擬部に出力する前記位置情報に基づいて前記加工結果を評価する、

ことを特徴とする請求項 3 に記載の加工結果評価装置。

[請求項5] 前記駆動軸の動作に対応する情報は、前記数値制御模擬部が出力する前記位置指令であり、

前記加工結果評価部は、前記数値制御模擬部が出力する前記位置指令に基づいて前記加工結果を評価する、

ことを特徴とする請求項 3 に記載の加工結果評価装置。

[請求項6] 前記加工結果評価部は、前記工作機械による加工の、加工時間、加工精度、加工面品位、および消費電力のうちの少なくとも 1 つの評価を行う、

ことを特徴とする請求項 1 から 5 の何れか 1 つに記載の加工結果評価装置。

[請求項7] サーボ制御装置によって駆動される工作機械による加工の加工結果を評価する加工結果評価方法であって、

加工結果評価装置の数値制御模擬部が、前記サーボ制御装置を制御する数値制御装置の動作を模擬して前記工作機械が有する駆動軸への位置指令を出力する数値制御模擬ステップと、

前記加工結果評価装置のサーボ制御模擬部が、前記位置指令に基づいて前記サーボ制御装置の動作を模擬して前記駆動軸へのトルク指令を出力するサーボ制御模擬ステップと、

前記加工結果評価装置の駆動軸模擬部が、前記トルク指令に基づいて前記駆動軸の動作を模擬する駆動軸模擬ステップと、

前記加工結果評価装置の加工結果評価部が、前記駆動軸の動作に対応する情報に基づいて前記加工結果を評価する加工結果評価ステップと、

を含み、

前記駆動軸模擬ステップでは、前記駆動軸模擬部が、前記駆動軸の位置を示す位置情報を前記サーボ制御模擬部に出し、

前記サーボ制御模擬ステップでは、前記サーボ制御模擬部が、前記位置情報を用いて前記駆動軸模擬部へのフィードバック制御を模擬し、

前記加工結果評価ステップでは、前記加工結果評価部が、前記駆動軸模擬部へのフィードバック制御が模擬された場合の前記加工結果を評価する、

ことを特徴とする加工結果評価方法。

[請求項8]

前記サーボ制御模擬ステップでは、前記サーボ制御模擬部が、前記位置情報を前記数値制御模擬部に出し、

前記数値制御模擬ステップでは、前記数値制御模擬部が、前記位置情報を用いて前記サーボ制御模擬部へのフィードバック制御を模擬し、

前記加工結果評価ステップでは、前記加工結果評価部が、前記サーボ制御模擬部へのフィードバック制御および前記駆動軸模擬部へのフィードバック制御が模擬された場合の前記加工結果を評価する、

ことを特徴とする請求項7に記載の加工結果評価方法。

[請求項9]

サーボ制御装置によって駆動される工作機械が加工を実行する際の加工条件を決定する加工条件決定装置であって、

前記サーボ制御装置を制御する数値制御装置の動作を模擬して前記工作機械が有する駆動軸への位置指令を出力する数値制御模擬部と、

前記位置指令に基づいて前記サーボ制御装置の動作を模擬して前記駆動軸へのトルク指令を出力するサーボ制御模擬部と、

前記トルク指令に基づいて前記駆動軸の動作を模擬して前記駆動軸の動作を示す動作情報を出力する駆動軸模擬部と、

前記駆動軸の動作に対応する情報に基づいて前記工作機械による加工の加工結果を評価する加工結果評価部と、

前記加工結果から前記加工条件を推論するための推論モデルを生成する機械学習装置と、

前記推論モデルを用いて、オペレータに入力された加工結果に対応する加工条件を決定する加工条件決定部と、

を備え、

前記駆動軸模擬部は、前記駆動軸の位置を示す位置情報を前記サーボ制御模擬部に出し、

前記サーボ制御模擬部は、前記位置情報を用いて前記駆動軸模擬部へのフィードバック制御を模擬し、

前記加工結果評価部は、前記駆動軸模擬部へのフィードバック制御が模擬された場合の前記加工結果を評価する、

ことを特徴とする加工条件決定装置。

[請求項10]

前記サーボ制御模擬部は、前記位置情報を前記数値制御模擬部に出し、

前記数値制御模擬部は、前記位置情報を用いて前記サーボ制御模擬部へのフィードバック制御を模擬し、

前記加工結果評価部は、前記サーボ制御模擬部へのフィードバック制御および前記駆動軸模擬部へのフィードバック制御が模擬された場合の前記加工結果を評価する、

ことを特徴とする請求項9に記載の加工条件決定装置。

[請求項11]

サーボ制御装置によって駆動される工作機械が加工を実行する際の加工条件を決定する加工条件決定方法であって、

加工条件決定装置の数値制御模擬部が、前記サーボ制御装置を制御する数値制御装置の動作を模擬して前記工作機械が有する駆動軸への

位置指令を出力する数値制御模擬ステップと、

前記加工条件決定装置のサーボ制御模擬部が、前記位置指令に基づいて前記サーボ制御装置の動作を模擬して前記駆動軸へのトルク指令を出力するサーボ制御模擬ステップと、

前記加工条件決定装置の駆動軸模擬部が、前記トルク指令に基づいて前記駆動軸の動作を模擬して前記駆動軸の動作を示す動作情報を出力する駆動軸模擬ステップと、

前記加工条件決定装置の加工結果評価部が、前記駆動軸の動作に対応する情報に基づいて前記工作機械による加工の加工結果を評価する加工結果評価ステップと、

機械学習装置が、前記加工結果から前記加工条件を推論するための推論モデルを生成する機械学習ステップと、

加工条件決定部が、前記推論モデルを用いて、オペレータに入力された加工結果に対応する加工条件を決定する加工条件決定ステップと、

を含み、

前記駆動軸模擬ステップでは、前記駆動軸模擬部が、前記駆動軸の位置を示す位置情報を前記サーボ制御模擬部に出力し、

前記サーボ制御模擬ステップでは、前記サーボ制御模擬部が、前記位置情報を用いた前記駆動軸模擬部へのフィードバック制御を模擬し、

前記加工結果評価ステップでは、前記加工条件決定部が、前記駆動軸模擬部へのフィードバック制御が模擬された場合の前記加工結果を評価する、

ことを特徴とする加工条件決定方法。

[請求項12]

前記サーボ制御模擬部は、前記位置情報を前記数値制御模擬部に出力し、

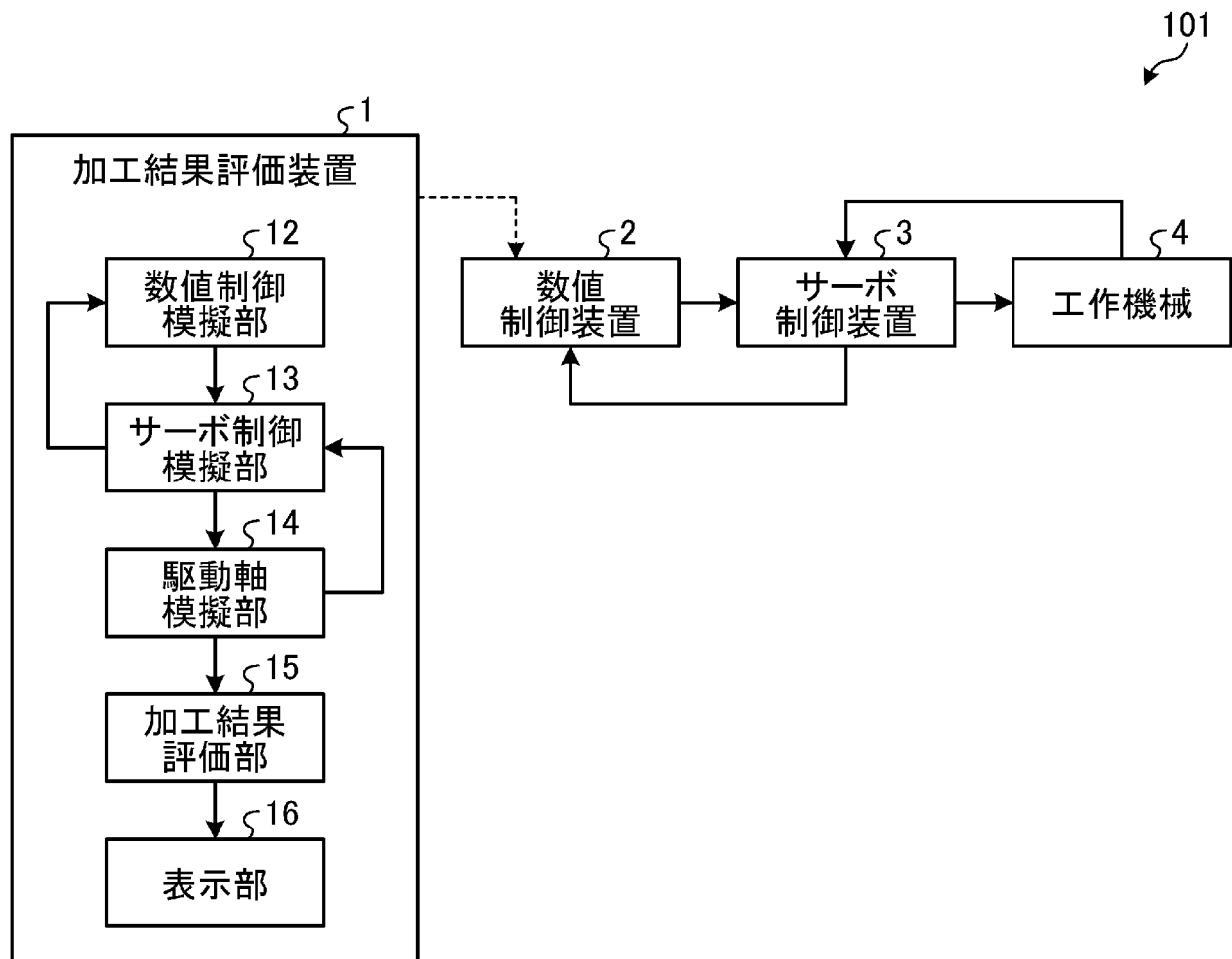
前記数値制御模擬部は、前記位置情報を用いて前記サーボ制御模擬

部へのフィードバック制御を模擬し、

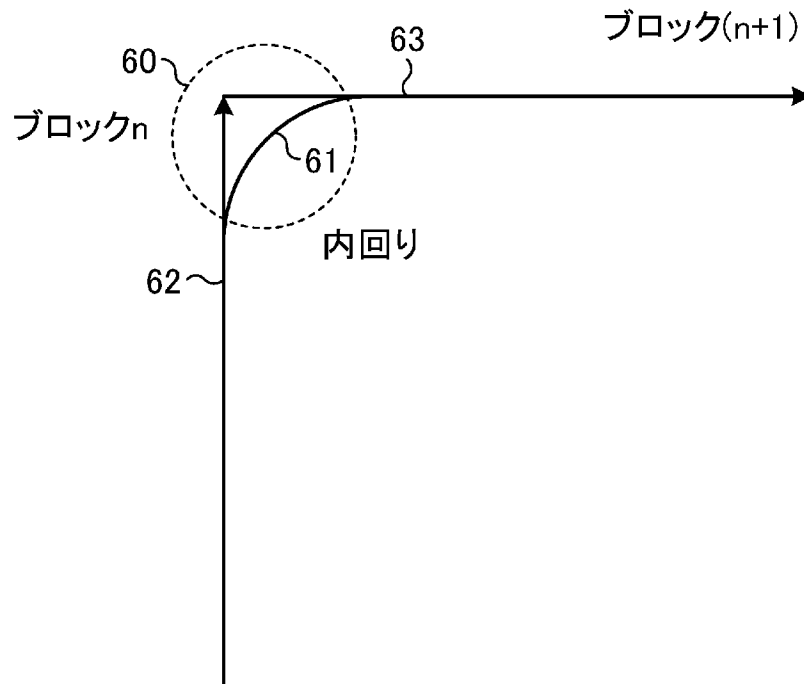
前記加工結果評価部は、前記サーボ制御模擬部へのフィードバック制御および前記駆動軸模擬部へのフィードバック制御が模擬された場合の前記加工結果を評価する、

ことを特徴とする請求項 1 1 に記載の加工条件決定方法。

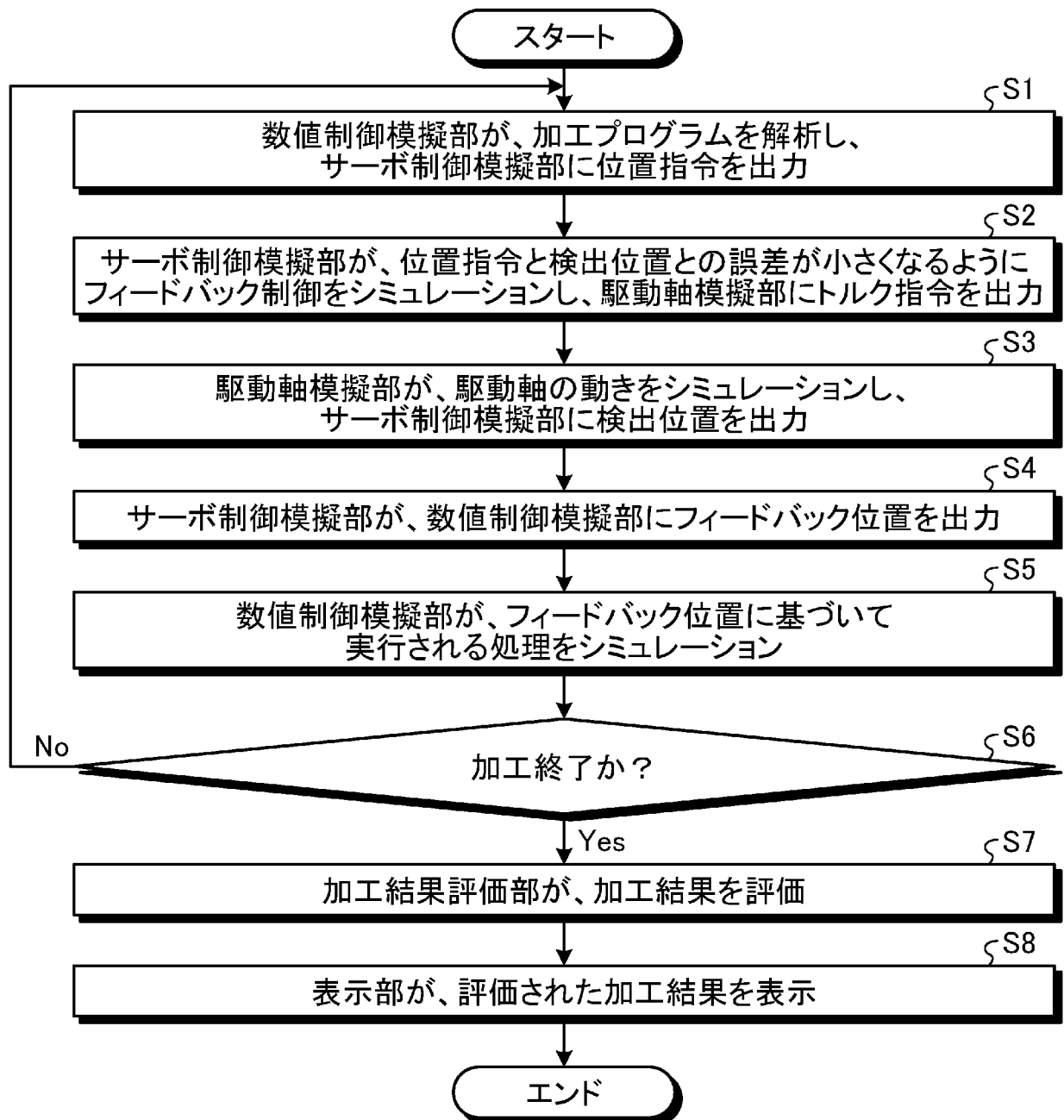
[図1]



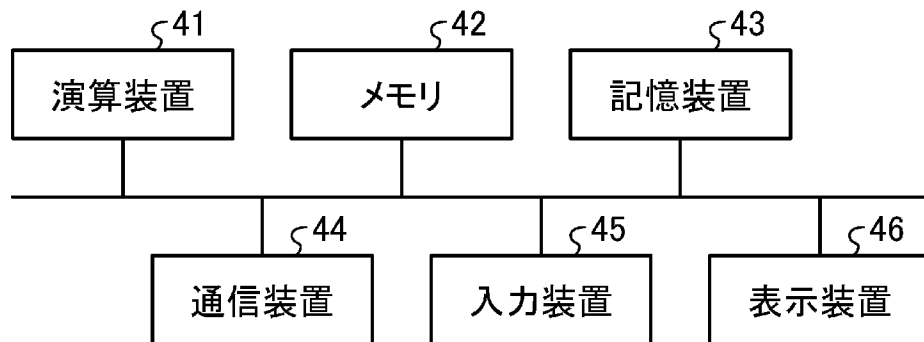
[図2]



[図3]



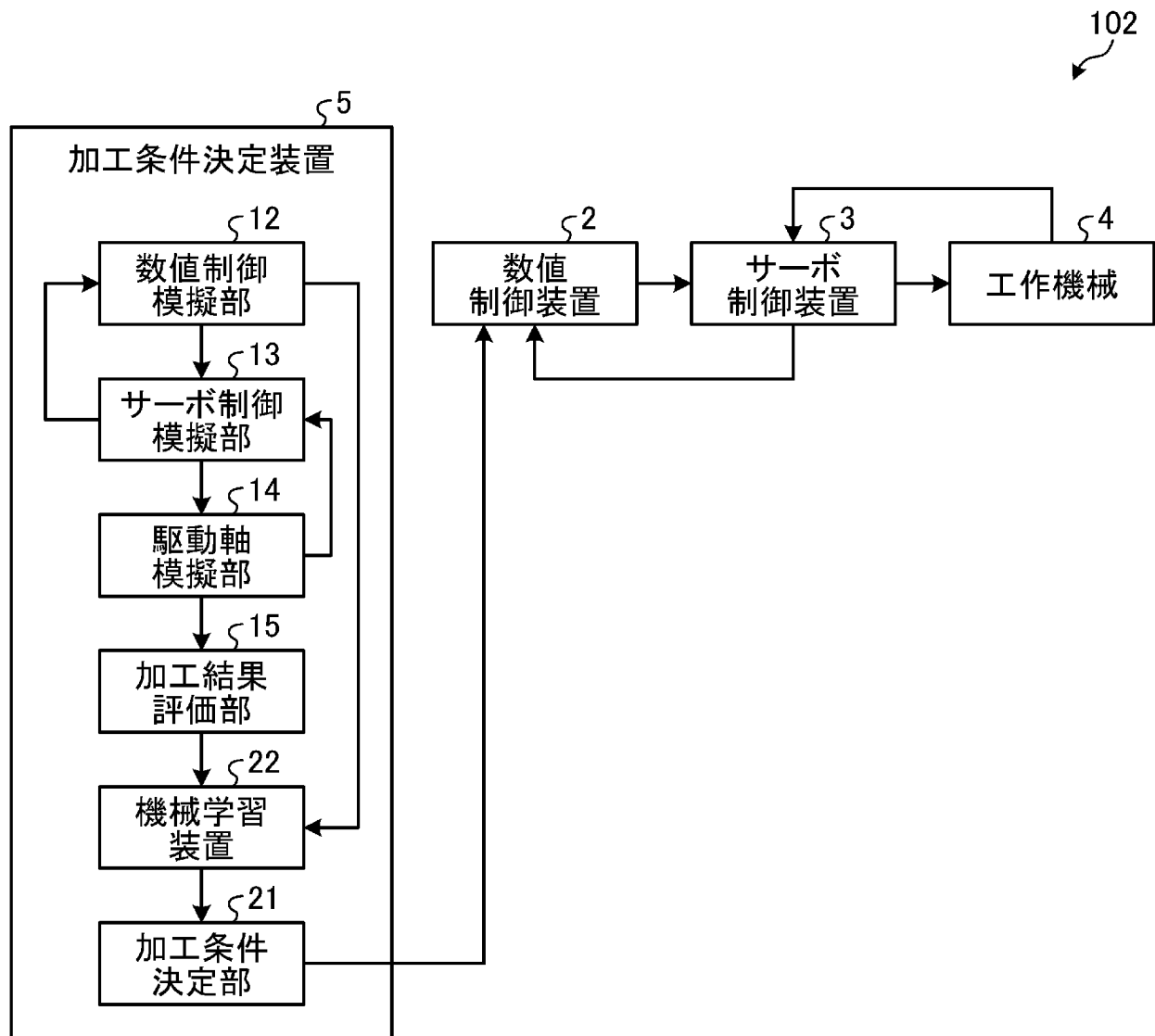
[図4]



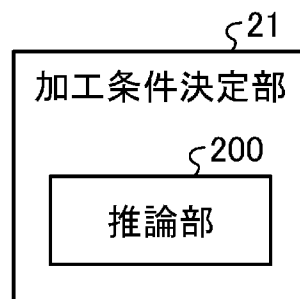
[図5]



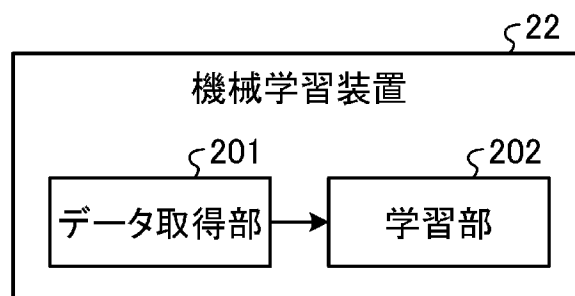
[図6]



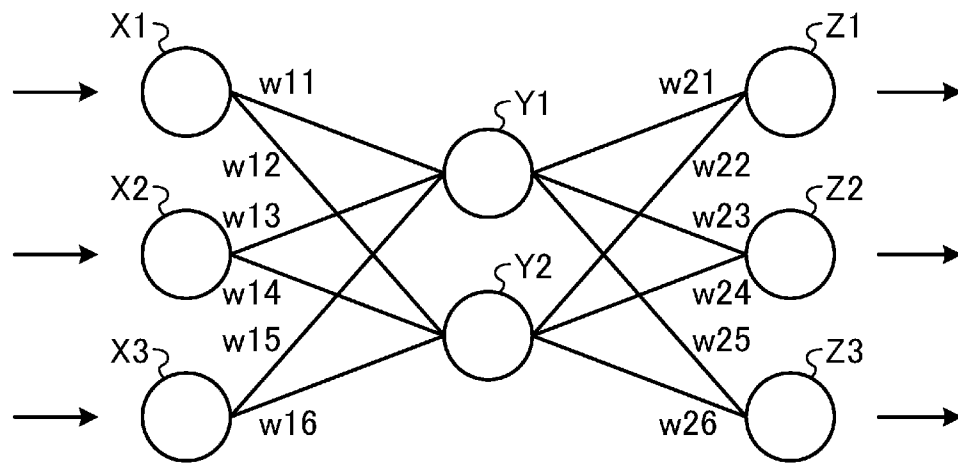
[図7]



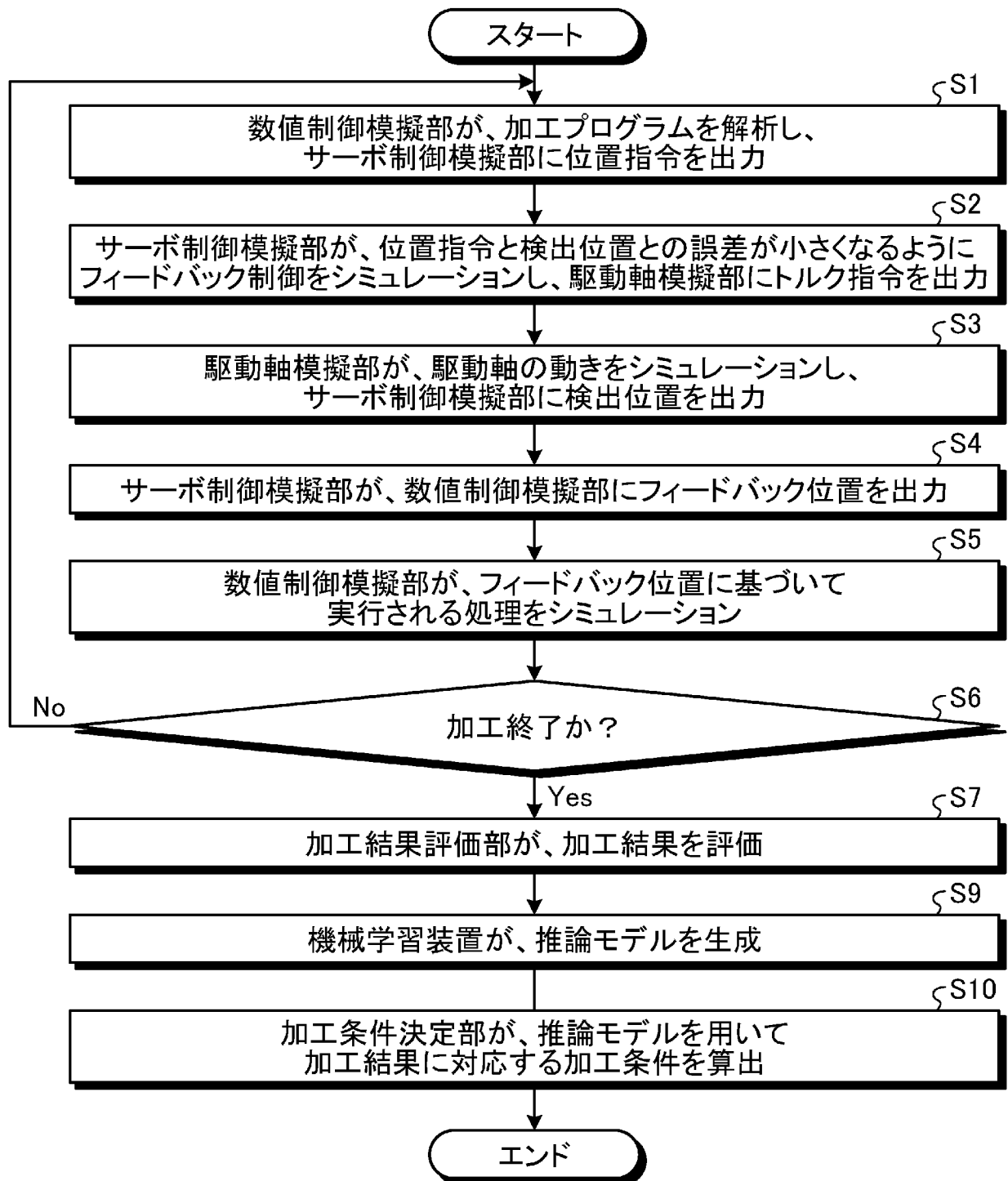
[図8]



[図9]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/020704

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)

G05B19/4069; B23Q15/00

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2022
 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.
X	JP 2020-71734 A (FANUC CORP.) 07 May 2020 (2020-05-07) paragraphs [0001]-[0003], [0009]-[0013], [0015]-[0027], fig. 1-3	1-8
Y		9-12
Y	WO 2020/217614 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 29 October 2020 (2020-10-29) paragraphs [0015], [0092]-[0111], fig. 17-19	9-12
A	WO 2014/122822 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 14 August 2014 (2014-08-14) entire text, all drawings	1, 7, 9, 11



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 July 2022

Date of mailing of the international search report

02 August 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/JP2022/020704

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2020-71734	A	07 May 2020	US 2020/0133225 A1 paragraphs [0002]-[0004], [0008]-[0013], [0023]-[0037], fig. 1-3 DE 102019007563 A1 CN 111123842 A	
WO	2020/217614	A1	29 October 2020	CN 113711144 A paragraphs [0019], [0117]- [0136], fig. 17-19	
WO	2014/122822	A1	14 August 2014	US 2015/0323924 A1 paragraphs [0001]-[0083], fig. 1-8 CN 104981749 A	

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）） G05B19/4069; B23Q15/00										
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの										
<table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2022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								
X	JP 2020-71734 A（ファナック株式会社）07.05.2020（2020-05-07） 段落0001-0003, 段落0009-0013, 段落0015-0027, 図1-3	1-8								
Y		9-12								
Y	WO 2020/217614 A1（三菱電機株式会社）29.10.2020（2020-10-29） 段落0015, 段落0092-0111, 図17-19	9-12								
A	WO 2014/122822 A1（三菱電機株式会社）14.08.2014（2014-08-14） 全文, 全図	1, 7, 9, 11								
☐ 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 25.07.2022	国際調査報告の発送日 02.08.2022									
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） 中川 康文 3C 4068 電話番号 03-3581-1101 内線 3322									

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/JP2022/020704

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2020-71734	A	07.05.2020	US 2020/0133225 A1 段落0002-0004, 段落 0008-0013, 段落0023-0037, 第1-3図 DE 102019007563 A1 CN 111123842 A	
WO	2020/217614	A1	29.10.2020	CN 113711144 A 段落0019, 段落0117-0136, 第 17-19図	
WO	2014/122822	A1	14.08.2014	US 2015/0323924 A1 段落0001-0083, 第1-8図 CN 104981749 A	