

(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4月11日(11.04.2024)



(10) 国際公開番号  
**WO 2024/075284 A1**

- (51) 国際特許分類:  
B24B 49/16 (2006.01) B24B 5/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2022/037658
- (22) 国際出願日: 2022年10月7日(07.10.2022)
- (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: 株式会社ジェイテクト (JTEKT CORPORATION) [JP/JP]; 〒4488652 愛知県刈谷市朝日町1丁目1番地 Aichi (JP).
- (72) 発明者: 小林 久修 (KOBAYASHI Hisanobu); 〒4488652 愛知県刈谷市朝日町1丁目1番地 株式会社ジェイテクト内 Aichi (JP). 久

原 淳司(KUHARA Junji); 〒4488652 愛知県刈谷市朝日町1丁目1番地 株式会社ジェイテクト内 Aichi (JP). 森 知也(MORI Tomoya); 〒4488652 愛知県刈谷市朝日町1丁目1番地 株式会社ジェイテクト内 Aichi (JP).

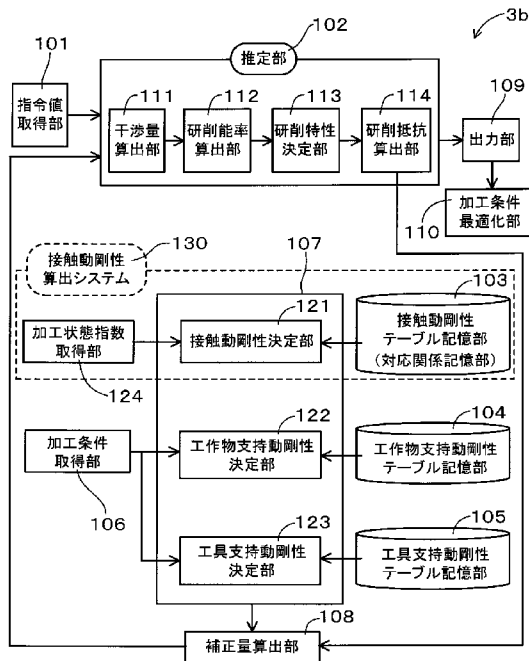
(74) 代理人: 弁理士法人あいち国際特許事務所 (AICHI, TAKAHASHI, IWAKURA & ASSOCIATES); 〒4500002 愛知県名古屋市 中村区名駅3丁目26番19号 名駅永田ビル Aichi (JP).

(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,

(54) Title: CONTACT DYNAMIC STIFFNESS CALCULATION SYSTEM, MACHINING ESTIMATION DEVICE, AND PROCESSING SYSTEM

(54) 発明の名称: 接触動剛性算出システム、加工推定装置及び加工システム

[図2]



- 101 Command value acquisition unit
- 102 Estimation unit
- 103 Contact dynamic stiffness table storage unit (correspondence relationship storage unit)
- 104 Workpiece support dynamic stiffness table storage unit
- 105 Tool support dynamic stiffness table storage unit
- 106 Machining condition acquisition unit
- 108 Correction quantity calculation unit
- 109 Output unit
- 110 Machining condition optimization unit
- 111 Interference quantity calculation unit
- 112 Grinding efficiency calculation unit
- 113 Grinding characteristic determination unit
- 114 Grinding resistance calculation unit
- 121 Contact dynamic stiffness determination unit
- 122 Workpiece support dynamic stiffness determination unit
- 123 Tool support dynamic stiffness determination unit
- 124 Machining condition index acquisition unit
- 130 Contact dynamic stiffness calculation system

(57) Abstract: This contact dynamic stiffness calculation system (130) calculates contact dynamic stiffness data ( $C_i$ ,  $K_i$ ) between a workpiece (W) and a tool (T) exhibited via contact between the workpiece (W) and the tool (T) when machining in a machining device (2) for machining the workpiece (W) using the tool (T). The contact dynamic stiffness calculation system (130) has a correspondence relationship storage unit (103) that stores a correspondence relationship between the contact dynamic stiffness data and a machining condition index that changes according to the condition of the machining

WO 2024/075284 A1

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, 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, 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 :

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

of the workpiece (W) by the tool (T), a machining condition index acquisition unit (124) that acquires the machining condition index, and a contact dynamic stiffness calculation unit (121) that calculates the contact dynamic stiffness data on the basis of the acquired machining condition index and the correspondence relationship. Moreover, in the correspondence relationship, the degree of change of the contact dynamic stiffness data relative to the machining condition index varies.

(57) 要約 : 接触動剛性算出システム (130) は、工具 (T) により工作物 (W) を加工する加工装置 (2) において、加工する際に工作物 (W) と工具 (T) との接触により発揮する工作物 (W) と工具 (T) との間の接触動剛性データ (C<sub>i</sub>, K<sub>i</sub>) を算出する。そして、接触動剛性算出システム (130) は、工具 (T) による工作物 (W) の加工の状態に応じて変化する加工状態指数と接触動剛性データとの対応関係を記憶する対応関係記憶部 (103) と、加工状態指数を取得する加工状態指数取得部 (124) と、取得された上記加工状態指数と上記対応関係とに基づいて、上記接触動剛性データを算出する接触動剛性算出部 (121) とを、有し、上記対応関係において、上記加工状態指数に対する上記接触動剛性データの変化度合いが変動する。

## 明 細 書

発明の名称：

接触動剛性算出システム、加工推定装置及び加工システム

### 技術分野

[0001] 本開示は、接触動剛性算出システム、加工推定装置及び加工システムに関する。

### 背景技術

[0002] 工作物を砥石車により研削加工する研削加工装置において、加工結果を高精度に推定するには、推定過程において工作物と砥石車との相対位置の補正を行う必要がある。特許文献1に開示の構成では、工作物を砥石車により研削加工する場合に、研削抵抗に加えて、工作物の支持剛性および砥石車の支持剛性ととも、工作物と砥石車との間における接触静剛性を加味し、当該接触静剛性が工作物と砥石車との接触弧長さに対して比例すること、すなわち接触静剛性と接触弧長さとの関係が線形性を有することを前提として、工作物と砥石車との相対位置の補正を高精度に行って、工作物の加工結果を推定する。ここで用いられる接触静剛性は、砥石車を静止しているときに測定した値ではなく、研削時における理論接触静剛性を用いて算出している。接触静剛性は、工作物と砥石車との間のばね定数 $K$ により表される。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0003] 特許文献1：特開2015-208812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、本願発明者らは接触静剛性及び接触弧長さの実測値を取得してその関係を検証したところ、両者の関係は線形性を有しないことを見出した。そして、工作物を砥石車により研削加工する場合の研削加工状態は一樣ではなく、砥石車が工作物表面をすべる「弾性すべり」や、砥石車が工作

物を塑性変形させながら工作物表面を取り除く「掘り起し」や、砥石車の砥粒が工作物に切り込んで工作物を切り取る「切削」の3種の状態が混在し、加工の進行に応じてその存在割合が複雑に変化することに鑑みれば、接触静剛性及び接触弧長さの関係が線形性のような単純な関係を有しないことは妥当であると推察された。かかる知見から、特許文献1に記載の構成では接触静剛性の算出精度が低いため、改善の余地がある。

[0005] 本開示は、より高精度に接触動剛性を算出することができる接触動剛性算出システムを提供しようとするものである。

### 課題を解決するための手段

[0006] 本開示の一態様は、工具により工作物を加工する加工装置において、加工する際に上記工作物と上記工具との接触により発揮する上記工作物と上記工具との間の接触動剛性データを算出する接触動剛性算出システムであって、  
上記工具による上記工作物の加工の状態に応じて変化する加工状態指数と接触動剛性データとの対応関係を記憶する対応関係記憶部と、  
上記加工状態指数を取得する加工状態指数取得部と、  
取得された上記加工状態指数と上記対応関係とに基づいて、上記接触動剛性データを決定する接触動剛性決定部とを、有し、  
上記対応関係において、上記加工状態指数に対する上記接触動剛性データの変化度合いが変動する、接触動剛性算出システムにある。

### 発明の効果

[0007] 上記態様によれば、接触動剛性データは、記憶された加工状態指数と接触動剛性データとの対応関係と、取得された加工状態指数とに基づいて決定される。そして、上記対応関係において加工状態指数に対する接触動剛性データの変化度合いが変動するため、従来の線形性を有する接触静剛性及び接触弧長さの関係を有した場合に比べて、より高精度に接触動剛性データを算出することができる。

[0008] 以上のごとく、上記態様によれば、より高精度に接触動剛性を算出することができる加工推定装置を提供することができる。

[0009] なお、請求の範囲に記載した括弧内の符号は、後述する実施形態に記載の具体的手段との対応関係を示すものであり、本発明の技術的範囲を限定するものではない。

### 図面の簡単な説明

[0010] [図1]実施形態1の、接触動剛性算出システムおよび加工推定装置を含む加工システムを示す図。

[図2]実施形態1の接触動剛性算出システムおよび加工推定装置の機能ブロック図。

[図3]研削加工時における工作物と砥石車との干渉状態を示す模式図。

[図4]研削加工シミュレーションにおける工作物の形状を径方向の線分群にて表した図であり、研削加工時において径方向の線分で表した工作物が砥石車の外周線に干渉する状態を示す図。

[図5]研削加工における接触動剛性、工作物支持動剛性、工具支持動剛性を示す模式図である。

[図6]実施形態1における、加工状態指数と接触動剛性データとの対応関係の(a)第1の例を示す図、(b)第2の例を示す図。

[図7]実施形態1における、加工状態指数と接触動剛性データとの対応関係の(a)第3の例を示す図、(b)第4の例を示す図。

[図8]対応関係作成のための接触動剛性データの取得処理を示すフローチャート。

[図9]対応関係作成のための接触動剛性を取得する際における研削盤の平面図。

[図10]対応関係作成のための接触動剛性取得処理の一部工程における研削盤の状態を示す図。

[図11]変形形態における、接触動剛性算出システムおよび加工推定装置を含む加工システムを示す図。

[図12]変形形態における、研削加工時の工作物と砥石車とレスト装置の干渉状態を示す模式図。

## 発明を実施するための形態

[0011] (実施形態 1)

### 1. 加工システム 1 の構成

本実施形態 1 における接触動剛性算出システム 130、加工推定装置 3b 及び加工システム 1 について図 1 を参照して説明する。加工システム 1 は、研削加工を行う加工装置を対象とする。加工システム 1 は、加工装置としての研削盤 2 と、処理部 3 とを備える。

[0012] 研削盤 2 は、工作物 W を回転させ、回転体である工具としての砥石車 T を回転させ、かつ、砥石車 T を工作物 W に対して工作物 W の軸線に交差する方向に相対的に接近させることにより、工作物 W の外周面または内周面を研削する。研削盤 2 は、テーブルトラバース型の研削盤、砥石台トラバース型の研削盤などを適用可能である。また、研削盤 2 は、円筒研削盤、カム研削盤等を適用可能である。

[0013] 本実施形態においては、図 1 に示すように、工作物 W は、非加工部としての軸部 W a と、外周面が研削対象となる複数の加工部 W b とを備える場合を例にあげる。加工部 W b は、例えば、軸部 W a と同軸の円筒外周面を有する。ただし、図 1 に示す工作物 W は、一例であって、研削盤 2 は、種々の形状を有する工作物を研削加工の対象とすることができる。

[0014] 処理部 3 は、研削盤 2 を制御する制御装置 3 a、および、加工結果を推定する加工推定装置 3 b を備える。制御装置 3 a は、研削盤 2 を制御することにより、研削加工を制御することができる。加工推定装置 3 b は、研削加工に用いる情報を入力してシミュレーションを行うことにより、工作物 W における加工結果を推定する処理を行う。

[0015] 加工推定装置 3 b は、研削盤 2 とは独立したシミュレーション装置として機能させることもできるし、研削盤 2 と連動して動作するシミュレーション装置として機能させることもできる。前者の場合には、例えば、実際の工作物 W の研削加工を行うことなく、最適な研削加工条件を決定することができる。後者の場合には、加工推定装置 3 b は、研削盤 2 による工作物 W の研削

加工と並行して処理することにより、例えば、研削加工条件を補正したり、各種制御に影響を及ぼすように動作したりすることができる。また、加工推定装置 3 b は、研削盤 2 および制御装置 3 a の組込みシステムとすることもできる。

[0016] 2. 研削盤 2 および制御装置 3 a の構成

研削盤 2 および制御装置 3 a の構成の一例について、図 1 を参照して詳細に説明する。研削盤 2 は、テーブルトラバース型の円筒研削盤を例にあげる。つまり、当該研削盤 2 は、工作物 W を工作物 W の軸線方向に移動させ、かつ、砥石車 T を工作物 W の軸線に交差する方向に移動させる構成である。また、本実施形態においては、研削盤 2 は、砥石車 T により工作物 W の円筒外周面を研削する場合を例にあげる。

[0017] 研削盤 2 は、ベッド 1 0、テーブル 2 0、主軸装置 3 0、心押装置 4 0、砥石台 5 0、定寸装置 6 0、制御装置 3 a を備える。ベッド 1 0 は、設置面上に設置されている。ベッド 1 0 は、X 軸方向の正面側（図 1 の下側）の幅（Z 軸方向長さ）が長く形成されており、X 軸方向の背面側（図 1 の上側）の幅が短く形成されている。

[0018] ベッド 1 0 は、X 軸方向の正面側の上面に、Z 軸方向に延在する Z 軸案内面 1 1 を備える。さらに、ベッド 1 0 には、Z 軸案内面 1 1 に沿って駆動する Z 軸駆動機構 1 2 を備える。本実施形態では、Z 軸駆動機構 1 2 は、ボールねじ機構 1 2 a と Z 軸用モータ 1 2 b とを備える場合を例にあげる。ボールねじ機構 1 2 a が、Z 軸案内面 1 1 に平行に延在し、Z 軸用モータ 1 2 b が、ボールねじ機構 1 2 a を駆動する。

[0019] Z 軸駆動機構 1 2 を駆動するために、図示しない Z 軸用駆動回路および Z 軸用検出器 1 2 c が設けられる。Z 軸用駆動回路は、アンプ回路を含み、Z 軸用モータ 1 2 b を駆動する。Z 軸用検出器 1 2 c は、本実施形態においては、例えば、エンコーダなどの角度検出器であって、Z 軸用モータ 1 2 b の回転軸の角度を検出する。なお、Z 軸駆動機構 1 2 は、上記のボールねじ機構 1 2 a を備える構成に代えて、リニアモータなどを適用することもできる

- 。
- [0020] また、ベッド10は、X軸方向の背面側の上面に、Z軸方向に交差する方向に延在する案内面13を備える。本実施形態においては、案内面13は、Z軸に直交するX軸方向に延在するX軸案内面である。さらに、ベッド10には、X軸案内面13に沿って駆動するX軸駆動機構14を備える。本実施形態では、X軸駆動機構14は、ボールねじ機構14aとX軸用モータ14bとを備える場合を例にあげる。ボールねじ機構14aが、X軸案内面13に平行に延在し、X軸用モータ14bが、ボールねじ機構14aを駆動する。
- 。
- [0021] X軸駆動機構14を駆動するために、図示しないX軸用駆動回路およびX軸用検出器14cが設けられる。X軸用駆動回路は、アンプ回路を含み、X軸用モータ14bを駆動する。X軸用検出器14cは、本実施形態においては、例えば、エンコーダなどの角度検出器であって、X軸用モータ14bの回転軸の角度を検出する。なお、X軸駆動機構14は、上記のボールねじ機構14aを備える構成に代えて、リニアモータなどを適用することもできる。
- 。
- [0022] テーブル20は、長尺状に形成されており、ベッド10のZ軸案内面11にZ軸方向（水平左右方向）に移動可能に支持されている。また、テーブル20は、Z軸ボールねじ機構12aのボールねじナットに固定されており、Z軸用モータ12bの回転駆動によってZ軸方向に移動する。
- [0023] 主軸装置30は、工作物支持装置を構成する。主軸装置30は、工作物Wを支持し、工作物Wを回転駆動する。主軸装置30は、テーブル20上のZ軸方向の一端側に配置されている。主軸装置30は、主軸ハウジング31と、主軸32、主軸用モータ33と、主軸センタ34と、主軸用検出器35と、図示しない主軸用駆動回路とを備える。
- [0024] 主軸ハウジング31は、テーブル20上に固定されている。主軸32は、主軸ハウジング31に軸受を介して回転可能に支持される。主軸用モータ33は、主軸32を回転駆動する。主軸センタ34は、工作物Wの軸方向一端

の端面を支持する。主軸センタ34は、主軸32に固定されて、主軸ハウジング31に対して回転可能に設けられる。ただし、主軸装置30が、図示しないケレなどの回し部材を備える場合には、主軸センタ34は、主軸ハウジング31に固定されて、主軸ハウジング31に対して回転不能となるように設けられるようにしても良い。また、主軸装置30は、主軸センタ34に代えて、工作物Wを把持するチャックを備えるようにしても良い。なお、チャックは、主軸32に連結されることで回転駆動される。

[0025] 主軸用検出器35および主軸用駆動回路は、主軸用モータ33を駆動するために設けられている。主軸用検出器35は、本実施形態においては、例えば、エンコーダなどの角度検出器であって、主軸用モータ33の回転軸の角度を検出する。主軸用駆動回路は、アンプ回路を含み、主軸用モータ33を駆動する。

[0026] 心押装置40は、主軸装置30と共に、工作物支持装置を構成する。心押装置40は、テーブル20上のZ軸方向の他端側に配置されている。心押装置40は、テーブル20上をZ軸方向に移動可能に設けられている。心押装置40は、心押センタ41を備える。心押センタ41は、工作物Wの軸方向他端の端面を支持する。心押センタ41は、回転不能に設けられるようにしても良いし、回転可能に設けられるようにしても良い。なお、研削盤2が、工作物Wの内周面を研削加工する場合には、心押装置40は不要である。

[0027] また、心押センタ41は、工作物Wに対して固定された位置に位置決めされるようにしても良いし、工作物Wに対して工作物Wの軸方向に動作可能に設けられるようにしても良い。後者において、心押センタ41は、工作物Wに対して工作物Wの軸方向への押圧力を調整可能に構成されるようにしても良い。押圧力は、スプリング力を調整する手段、流体圧を調整する手段などにより制御可能とすることができる。

[0028] 砥石台50は、工具としての砥石車Tを備え、砥石車Tを回転駆動する。砥石台50は、砥石車Tの他に、砥石台本体51、砥石軸52、砥石車用モータ53、図示しない砥石車用駆動回路を備える。

- [0029] 砥石車Tは、円盤状に形成されている。砥石車Tは、工作物Wの外周面または内周面を研削するために用いられる。砥石車Tは、複数の砥粒を結合剤により固定されて構成されている。砥粒には、アルミナや炭化ケイ素などのセラミックス質の材料などにより形成される一般砥粒、ダイヤモンドやCBNなどの超砥粒などが適用される。
- [0030] 結合剤には、ビトリファイド(V)、レジノイド(B)、ラバー(R)、シリケート(S)、シェラック(E)、メタル(M)、電着(P)、マグネシアセメント(Mg)などが存在する。さらに、砥石車Tは、気孔を有する構成と、気孔を有しない構成とがある。砥石車Tは、結合剤の種類や気孔の有無によって、弾性変形可能な構成である場合と、ほぼ弾性変形しない構成である場合とが存在する。弾性変形可能な砥石車Tにおいて、結合剤の種類、気孔の有無、気孔率などによって、弾性率が異なる。
- [0031] 砥石台本体51は、例えば平面視にて矩形状に形成されており、ベッド10のX軸案内面13にX軸方向(水平前後方向)に移動可能に支持されている。また、砥石台本体51は、X軸ボールねじ機構14aのボールねじナットに固定されており、X軸用モータ14bの回転駆動によってX軸方向に移動する。砥石台本体51は、砥石車Tを支持する工具支持装置を構成する。
- [0032] 砥石軸52は、砥石台本体51に軸受を介して回転可能に支持される。砥石軸52の先端に砥石車Tが固定されており、砥石軸52の回転によって砥石車Tが回転する。砥石車用モータ53は、砥石軸52を回転駆動する。軸受には、静圧軸受や転がり軸受などが用いられる。
- [0033] 砥石車用モータ53は、例えば、ベルトを介して砥石軸52に回転駆動力を伝達する。ただし、砥石車用モータ53は、砥石軸52と同軸に配置しても良い。一般に、砥石車用モータ53の駆動による砥石車Tの回転速度は、主軸用モータ33の駆動による工作物Wの回転速度に比べて高速である。砥石車用駆動回路は、砥石車用モータ53を駆動するために設けられている。砥石車用駆動回路は、アンプ回路を含み、砥石車用モータ53を駆動する。
- [0034] 定寸装置60は、ベッド10の上面に設けられ、工作物Wの外径寸法を計

測する。定寸装置60は、例えば、工作物Wの外周面に接触可能な一对の接触子を備えており、工作物Wへの接触部位における外径寸法を計測する。

[0035] 制御装置3aは、加工制御を実行するCNC (Computer Numerical Control) 装置およびPLC (Programmable Logic Controller) 装置である。つまり、制御装置3aは、研削加工プログラムおよび定寸装置60による計測結果に基づいて、移動装置としてのZ軸駆動機構12およびX軸駆動機構14を駆動して、テーブル20および砥石台50の位置制御を行う。つまり、制御装置3aは、テーブル20および砥石台50などの位置制御を行うことで、工作物Wと砥石車Tとを相対的に接近および離間させる。さらに、制御装置3aは、主軸装置30および砥石台50の制御を行う。つまり、制御装置3aは、主軸32の回転制御および砥石車Tの回転制御を行う。

[0036] 3. 加工推定装置3bの構成

加工推定装置3bの構成について図2を参照して説明する。加工推定装置3bは、指令値取得部101、推定部102、接触動剛性テーブル記憶部（対応関係記憶部）103、工作物支持動剛性テーブル記憶部104、工具支持動剛性テーブル記憶部105、加工条件取得部106、動剛性決定部107、補正量算出部108、出力部109、加工条件最適化部110を備える。

[0037] 指令値取得部101は、研削加工において研削盤2を制御するための指令値を取得する。加工推定装置3bが、研削盤2とは独立したシミュレーション装置である場合には、指令値取得部101は、研削加工プログラムおよび研削盤2の構成情報を入力することにより、研削盤2の各部を制御するための指令値を演算により生成する。また、加工推定装置3bが、研削盤2による研削加工と連動して動作するシミュレーション装置として機能する場合には、指令値取得部101は、研削盤2の制御装置3aから直接指令値を取得することができる。

[0038] 推定部102は、指令値取得部101が取得した指令値を用いて、研削加工シミュレーションを実行することにより、研削加工時における工作物Wま

たは砥石車Tの状態、工作物Wの形状、砥石車Tの形状、および、研削盤2の機械状態の少なくとも1つを推定する。

[0039] 工作物Wの状態は、例えば、工作物Wの振動状態や温度状態などを含む。砥石車Tの状態は、例えば、砥石車Tの振動状態や温度状態、砥石車Tの外周面の部位毎に生じた研削抵抗、砥石車Tの切れ味、砥石車Tを構成する砥粒の状態などを含む。砥粒の状態は、例えば、砥粒の平均突き出し量や砥粒分布などを含む。工作物Wの形状は、研削加工の途中段階の形状、研削加工の終了段階の形状を含む。砥石車Tの形状は、研削加工の途中段階の形状、研削加工の終了段階の形状を含む。研削盤2の機械状態は、研削盤2を構成する部位の振動状態や温度状態などを含む。

[0040] 本実施形態においては、推定部102は、研削加工シミュレーションにより、工作物Wの形状が逐次変化する処理を行うことで、工作物Wの形状、工作物Wの状態、研削盤2の機械状態を推定対象とする場合を例にあげる。本実施形態においては、砥石車Tは変形しないものとして、研削加工シミュレーションを行う。なお、推定部102は、上記推定対象に加えて、砥石車Tの外周面の部位毎に生じた研削抵抗を推定することもできる。

[0041] 推定部102は、干渉量算出部111、研削能率算出部112、研削特性決定部113、研削抵抗算出部114を備える。

[0042] 干渉量算出部111は、指令値取得部101が取得した指令値を用いて得られた工作物Wと砥石車Tとの相対位置、工作物Wの外周面形状、および、砥石車Tの外周面形状に基づいて、工作物Wと砥石車Tとの干渉量を算出する。干渉量は、工作物Wの周方向の各部位における工作物Wの径方向の研削量に相当する。換言すると、干渉量は、砥石車Tにより研削される工作物Wの除去量、詳細には、工作物Wの周方向の各部位における工作物Wの径方向の除去量である。干渉量は、図3に示すように、工作物Wと砥石車Tとが干渉する部分（図3の斜線部分：干渉領域）の体積である。

[0043] 干渉量算出部111は、当該干渉量を演算処理によって幾何学的に算出する。ここで、干渉量算出部111は、工作物Wの外周面形状、および、砥石

車Tの外周面形状を記憶している。図4の右側部分に示すように、工作物Wの外周面形状は、工作物Wの回転中心O<sub>w</sub>を原点とした極座標上において、複数の径方向の線分群で表現されている。つまり、干渉量算出部111は、工作物Wを等角( $\alpha$ )に分割した外周面上の分割点(図4の白色点)と工作物Wの回転中心O<sub>w</sub>(原点)とを結ぶ複数の線分群を、工作物Wの外周面形状として記憶している。図4における白色点にて示す分割点が、砥石車Tによる除去される前の工作物Wの外周面形状として記憶される。

[0044] 干渉量算出部111は、工作物Wと砥石車Tとの相対位置(軸間距離)および砥石車Tの外周面形状から、工作物Wの各線分と砥石車Tの外周面形状を表す線との交点(図4の黒色点)を決定する。干渉量算出部111は、決定された交点(図4の黒色点)を、砥石車Tにより工作物Wの除去された後の工作物Wの外周面形状として記憶する。つまり、干渉量算出部111は、記憶している工作物Wの外周面形状を変更する。

[0045] そして、干渉量算出部111は、除去前の工作物Wの外周面形状を定義する点のうち隣り合う点a<sub>1</sub>、a<sub>2</sub>と原点O<sub>w</sub>とからなる三角形△O<sub>w</sub>-a<sub>1</sub>-a<sub>2</sub>の面積から、除去後の点b<sub>1</sub>、b<sub>2</sub>(砥石車Tとの交点)と原点O<sub>w</sub>とからなる三角形△O<sub>w</sub>-b<sub>1</sub>-b<sub>2</sub>の面積を減算する。減算後の面積を、工作物Wの外周面形状を定義する全ての隣り合う点について算出する。

[0046] そして、干渉量算出部111は、各減算後の面積を積算し、積算した総面積に工作物Wの厚みを掛けて干渉量(除去量)を算出する。なお、上記においては、2種類の三角形の面積を算出して、その面積の差分を算出することにより、除去される部分の面積を算出した。この他に、四角形a<sub>1</sub>-a<sub>2</sub>-b<sub>1</sub>-b<sub>2</sub>を直接算出することにより、除去される部分の面積を算出してもよい。

[0047] 図2に示すように、研削能率算出部112は、干渉量算出部111により算出された干渉量に基づいて、研削能率(加工能率)Z'を算出する。研削能率Z'は、単位時間及び単位幅における砥石車Tにより除去される工作物Wの体積を算出する。

[0048] 研削特性決定部 113 は、工作物 W の材質、砥石車 T の砥粒や結合剤の種類、および、砥石車 T の外周面の状態などに基づいて、研削特性  $k_c$  を決定する。砥石車 T の外周面の状態は、例えば、砥石車 T の砥粒の摩耗状態や切れ味を表す指標を用いて表現される。ここで、研削特性決定部 113 は、予め実験や解析などにより各状態における研削特性を記憶しておく。

[0049] 研削抵抗算出部 114 は、研削能率  $Z'$  および研削特性  $k_c$  に基づいて、工作物 W の外周面の法線方向（X 軸方向）における研削抵抗  $F_n$  を算出する。研削抵抗  $F_n$  は、研削能率  $Z'$  に研削特性  $k_c$  を乗算することにより得られる（ $F_n = k_c \times Z'$ ）。

[0050] なお、研削特性  $k_c$  は、研削能率  $Z'$  が大きくなるほど法線方向（X 軸線方向）の研削抵抗  $F_n$  が大きくなるようなほぼ線形の関係性を有する。そして、研削特性  $k_c$  は、例えば、砥石車 T が摩耗した場合には、当該関係性が変化する。例えば、砥石車 T が摩耗した場合には、研削能率  $Z'$  に対して、法線方向の研削抵抗  $F_n$  が大きくなるように変化する。

[0051] 接触動剛性テーブル記憶部 103 は、工作物 W と砥石車 T との間の接触動剛性データ  $C_i$ 、 $K_i$  を記憶する。特に、対応関係記憶部 103 は、後述する加工状態指数と接触動剛性におけるデータ  $C_i$ 、 $K_i$  との対応関係を記憶する対応関係記憶部を構成する。工作物支持動剛性テーブル記憶部 104 は、工作物支持装置としての主軸装置 30 および心押装置 40 における工作物支持動剛性データ  $C_w$ 、 $K_w$  を記憶する。特に、工作物支持動剛性テーブル記憶部 104 は、加工条件と工作物支持動剛性データ  $C_w$ 、 $K_w$  との対応関係を記憶する。工具支持動剛性テーブル記憶部 105 は、砥石車支持装置としての砥石台本体 51 における工具支持動剛性データ  $C_t$ 、 $K_t$ （工具支持動剛性データ）を記憶する。特に、工具支持動剛性テーブル記憶部 105 は、加工条件と工具支持動剛性データ  $C_t$ 、 $K_t$  との対応関係を記憶する。

[0052] 4. 加工条件の取得

図 2 に示すように、加工条件取得部 106 は、研削盤 2 にて研削加工を行う際の加工条件を取得する。詳細には、加工条件取得部 106 は、推定部 1

02による推定時（処理対象時）の加工条件を取得する。加工条件取得部106が取得する加工条件は、動剛性決定部107が各動剛性を算出するために用いる情報である。取得する加工条件は、例えば、工作物Wの種類、工作物支持部材の種類、砥石車Tの種類、主軸センタ34及び心押センタ41による押圧力などである。

[0053] 加工推定装置3bが、研削盤2とは独立したシミュレーション装置である場合には、加工条件取得部106は、研削盤2の機械構成および研削加工プログラムを入力することにより、動剛性を決定するための条件を取得する。また、加工推定装置3bが、研削盤2による研削加工と連動して動作するシミュレーション装置として機能する場合には、加工条件取得部106は、制御装置3aから研削盤2の機械構成および研削加工プログラムを入力することにより動剛性を決定するための条件を取得しても良いし、研削盤2の制御装置3aから直接条件に関する情報を取得しても良い。

[0054] 5. 動剛性決定部107の構成

動剛性決定部107は、研削加工に影響を及ぼす動剛性データを決定する。動剛性決定部107は、図5に示す、接触動剛性データ $C_i$ 、 $K_i$ 、工作物支持動剛性データ $C_w$ 、 $K_w$ および工具支持動剛性データ $C_t$ 、 $K_t$ を、それぞれ別々に決定する。つまり、動剛性決定部107は、接触動剛性決定部121、工作物支持動剛性決定部122、および、工具支持動剛性決定部123を備える。

[0055] 接触動剛性（ $C_i$ 、 $K_i$ ）、工作物支持動剛性（ $C_w$ 、 $K_w$ ）および工具支持動剛性（ $C_t$ 、 $K_t$ ）について、図5を参照して説明する。接触動剛性（ $C_i$ 、 $K_i$ ）は、工作物Wと砥石車Tとの間の動剛性である。工作物支持動剛性（ $C_w$ 、 $K_w$ ）は、工作物Wを含み、テーブル20、主軸装置30及び心押装置40に関する工作物W側の動剛性である。また、工具支持動剛性（ $C_t$ 、 $K_t$ ）は、砥石車Tを含み、砥石台50に関する動剛性である。以下、それぞれについて詳述する。

[0056] 5-1. 接触動剛性、加工状態指数

接触動剛性は、工作物Wと砥石車Tとの間の動剛性であって、研削加工する際に工作物Wと砥石車Tとの接触により発揮する動剛性である。接触動剛性は、減衰係数 $C_i$ およびばね定数 $K_i$ により定義される。なお、接触動剛性と区別される接触静剛性データとは、ばね定数 $K$ のみにより表され、減衰係数 $C$ を含まない。接触動剛性における減衰係数 $C_i$ は、工作物Wと砥石車Tとの相対速度と、工作物Wまたは砥石車Tが受ける外力との関係を表す値である。ばね定数 $K_i$ は、工作物Wと砥石車Tとの相対位置と、工作物Wまたは砥石車Tが受ける外力との関係を表す値である。

[0057] そして、接触動剛性は、加工装置2において、研削加工する際に工具（砥石車T）による工作物Wの加工の状態に応じて変化する加工状態指数に対応する。加工状態指数は、例えば、加工能率（研削能率 $Z'$ ）、接触弧長さ $L$ 、 $g/a$ （砥粒切り込み深さ／砥粒切れ刃間隔）などを例示できる。加工状態指数と接触動剛性データ $C_i$ 、 $K_i$ との対応関係は、実測を行うことにより取得することができる。なお、接触弧長さ $L$ は、図3に示すように、砥石車Tの軸直交方向断面において、研削加工の際に砥石車Tの外周面のうち工作物Wに接触している円弧長さである。接触弧長さ $L$ は、砥石車TのX軸方向の送り速度、砥石車Tの外径、工作物Wの外径などにより変化する。

[0058] 加工状態指数と接触動剛性データ $C_i$ 、 $K_i$ との対応関係の例を図6（a）及び（b）、図7（a）及び（b）に示す。図6（a）、（b）に示す例では、加工状態指数としての研削能率 $Z'$ を採用しており、研削能率 $Z'$ に対して接触動剛性における減衰係数 $C_i$ 及びばね定数 $K_i$ はいずれも、線形の関係（比例の関係）ではなく非線形関係を有している。より詳細には、加工状態指数と接触動剛性データ（ $C_i$ 、 $K_i$ ）との対応関係は、加工状態指数に対する接触動剛性データ（ $C_i$ 、 $K_i$ ）の変化度合いが変動する関係となっており、例えば、横軸を加工状態指数とし、縦軸を接触動剛性データ（ $C_i$ または $K_i$ ）とした二次平面において、傾きが連続的に変化する曲線を表す関数を近似式として規定することができる。当該近似式は、高次関数とすることができ、例えば、図6（a）及び（b）に示した曲線は3次関数

で規定される曲線である。

[0059] 図7 (a) 及び (b) に示す例では、加工状態指数として接触弧長さ $L$ を採用している。この場合は、加工状態指数を研削能率 $Z'$ とした場合と概ね同様の傾向を示すが、加工状態指数を研削能率 $Z'$ とした場合に比べて3次関数で表す曲線に適合しにくい傾向がある。一方、図6 (a)、(b) に示すように加工状態指数を研削能率とした場合には、3次関数で表す曲線に適合しやすく、近似式の作成が容易となるため、加工状態指数として研削能率 $Z'$ を使用することが好ましい。なお、加工状態指数を $g/a$ とした場合においても、加工状態指数と接触動剛性データ $C_i$ 、 $K_i$ との対応関係は図6 (a)、(b) に示す研削能率 $Z'$ の場合と概ね同様の傾向を示す。なお、上記対応関係は、上記曲線に替えて、上記二次平面において複数の直線をつなぎ合わせたものであってもよい。また、上記対応関係は近似式などの関数として規定されることに替えて、複数のデータの対応関係からなるデータテーブルの形式であってもよい。

[0060] 加工状態指数は、接触動剛性決定部121に備えられた加工状態指数取得部124により取得され、加工状態指数と接触動剛性データ( $C_i$ 、 $K_i$ )との対応関係は、対応関係記憶部103に記憶されている。そして、接触動剛性データ( $C_i$ 、 $K_i$ )は、加工状態指数取得部124により取得された加工状態指数に基づいて、接触動剛性決定部121により決定される。すなわち、加工状態指数取得部124、対応関係記憶部103及び接触動剛性決定部121により、接触動剛性算出システム130が構成される。

[0061] 5-2. 対応関係作成のための接触動剛性取得処理

上述の対応関係を作成するための接触動剛性の取得処理について、図8～図10を参照して説明する。図8に示すように、接触動剛性取得処理は、まず、測定治具4を研削盤2および工作物 $W$ に取り付ける(S1)。測定治具4は、非接触加振器であって、工作物 $W$ に加振力を付与する装置である。図9に示すように、測定治具4は、テーブル20の上面に設けられる。測定治具4は、テーブル20の上面において $Z$ 軸方向の固定位置を調整可能である

- 。
- [0062] 測定治具4は、工作物Wを挿通させた状態で工作物Wを保持する。詳細には、測定治具4には、工作物Wの非加工部としての軸部W aの一部が挿通されており、研削対象となる複数の加工部W bが測定治具4の外部に位置する。測定治具4に挿入されて保持された工作物Wは、通常の研削加工時と同様に、主軸装置30および心押装置40により支持される。
- [0063] ここで、測定治具4の構成について、図10(a)～図10(c)を参照して説明する。測定治具4は、ハウジング131、電磁石132、ロータ133、ロックナット134、変位センサ135、制御装置136を備える。ハウジング131は、研削盤2のテーブル20の上面に固定される。さらに、ハウジング131は、Z軸方向に貫通する孔131aが形成されている。
- [0064] 電磁石132は、ハウジング131に埋設されている。ロータ133は、工作物Wの外周面に装着され、工作物Wに一体的に設けられる。ロータ133は、磁性体により形成されており、電磁石132により発生される磁力によって移動する。ロータ133は、円筒状に形成されており、ロータ133の外周面は、ハウジング131の内周面に対して所定の隙間を有して配置される。この隙間が、ロータ133がハウジング131に対して移動可能な距離となる。ロータ133の内周面は、工作物Wの外周面形状に応じて形成されている。ロックナット134は、ロータ133を工作物Wに固定するための部材である。ロータ133の固定方法は、ロックナット134を用いた手段に限らず、種々の手段を採用できる。
- [0065] 変位センサ135は、ハウジング131の内周面寄りの位置に設けられており、ロータ133の外周面との距離を測定する。つまり、変位センサ135は、電磁石132によりロータ133が加振された場合に、ロータ133がハウジング131の内周面に対して接近離間する方向のロータ133の変位（以下、径方向変位と称する）を測定する。
- [0066] 制御装置136は、図10(c)に示すように、電磁石132が加振力を付与するために電磁石132に対して駆動電流を供給する。また、制御装置

136は、変位センサ135により測定された変位、すなわちロータ133の径方向変位を取得する。

[0067] そこで、図8のS1において、図10(a)に示すように、測定治具4のロータ133に、工作物Wの非加工部としての軸部Waを挿通する。そして、図10(b)に示すように、ロックナット134により工作物Wにロータ133を固定する。

[0068] そして、測定治具4のハウジング131をテーブル20に取り付ける。さらに、ロータ133が取り付けられた工作物Wを、主軸装置30および心押装置40により支持した状態とする。このとき、図10(b)に示すように、ロータ133の外周面が、測定治具4のハウジング131の内周面に対向する位置となるように、ハウジング131の位置を調整する。

[0069] 続いて、研削加工を開始する(S2)。つまり、工作物Wおよび砥石車Tを回転させた状態で、砥石車TをX軸方向に移動して、工作物Wの加工部Wbの外周面を研削加工する。

[0070] 続いて、測定治具4により加振力を付与する(S3)。測定治具4による加振力の付与は、砥石車Tにより工作物Wを研削加工しながら行われる。付与される加振力は、インパルス加振としても良いし、加振周波数を連続的に変化させるスイープ加振としても良い。加振力の付与は、測定治具4の制御装置136が電磁石132に電流を供給することにより行われる。そして、加振力は、制御装置136により電磁石132に供給される電流により制御される。

[0071] 続いて、研削加工をしながら加振力を付与した際に、測定治具4の変位センサ135により、ロータ133の径方向変位を測定する(S4)。ここで、ロータ133の変位は、工作物Wにおいてロータ133に固定された部位の径方向変位に一致する。従って、測定治具4の変位センサ135は、工作物Wに加振力を付与した際に、工作物Wに生じる径方向変位を測定している。

[0072] 続いて、変位センサ135による測定が終了した場合には、研削加工を終

了する (S5)。

[0073] 続いて、研削加工時における総合動剛性データ  $C_{com}$ ,  $K_{com}$  を算出する (S6)。総合動剛性データ  $C_{com}$ ,  $K_{com}$  とは、上述した接触動剛性データ  $C_i$ ,  $K_i$ 、工作物支持動剛性データ  $C_w$ ,  $K_w$ 、および、工具支持動剛性データ  $C_t$ ,  $K_t$  により表された総合的な (複合的な) 動剛性データである。総合動剛性データ  $C_{com}$ ,  $K_{com}$  は、上述した接触動剛性データ  $C_i$ ,  $K_i$ 、工作物支持動剛性データ  $C_w$ ,  $K_w$ 、および、工具支持動剛性データ  $C_t$ ,  $K_t$  の加算値として表される。

[0074] 上述したように、測定治具4の変位センサ135により測定された径方向の変位は、研削加工しながら工作物Wに加振力を付与した際に測定される。従って、測定される変位は、接触動剛性データ  $C_i$ ,  $K_i$ 、工作物支持動剛性データ  $C_w$ ,  $K_w$ 、工具支持動剛性データ  $C_t$ ,  $K_t$  の影響を受けた状態である。そこで、総合動剛性データ  $C_{com}$ ,  $K_{com}$  の算出は、研削加工しながら工作物Wに加振力を付与した際に、加振力と工作物Wの径方向変位との関係より生成されるデータとなる。

[0075] 続いて、工作物支持動剛性データ  $C_w$ ,  $K_w$ 、および、工具支持動剛性データ  $C_t$ ,  $K_t$  を取得する (S7)。工作物支持動剛性データ  $C_w$ ,  $K_w$  および工具支持動剛性データ  $C_t$ ,  $K_t$  は、予めハンマリング試験などにより取得されている。

[0076] 続いて、接触動剛性データ  $C_i$ ,  $K_i$  を算出する (S8)。接触動剛性データ  $C_i$ ,  $K_i$  は、総合動剛性データ  $C_{com}$ ,  $K_{com}$  から、工作物支持動剛性データ  $C_w$ ,  $K_w$  および工具支持動剛性データ  $C_t$ ,  $K_t$  を減算することにより求められる。

[0077] 続いて、接触動剛性データ  $C_i$ ,  $K_i$  の補間処理を行う (S9)。補間処理は、実測により得られた接触動剛性データ  $C_i$ ,  $K_i$  を用いて、実測とは異なる研削条件における接触動剛性データ  $C_i$ ,  $K_i$  を求める処理である。例えば、接触弧長さ  $L$ 、減衰係数  $C_i$  およびばね定数  $K_i$  との関係性を定義した実験式を用いることができる。また、補間処理は、実験式、機械学習、理

論計算などを適用することができる。このようにして、取得された接触動剛性データ  $C_i$ 、 $K_i$  を用いて、図 6 (a)、(b) に示す加工状態指数（研削能率）との対応関係を作成することができる。

[0078] 5-3. 工作物支持動剛性

工作物支持動剛性は、図 1 に示す主軸装置 30 および心押装置 40 における支持に関する動剛性であって、研削盤 2 を構成する工作物支持装置としての主軸装置 30 および心押装置 40 により工作物 W を支持する際に発揮する動剛性である。工作物支持動剛性は、図 5 に示すように、減衰係数  $C_w$  およびばね定数  $K_w$  により定義される。減衰係数  $C_w$  は、主軸装置 30 および心押装置 40 の基準位置に対する工作物 W の相対速度と、工作物 W が受ける外力との関係を表す値である。ばね定数  $K_w$  は、主軸装置 30 および心押装置 40 の基準位置に対する工作物 W の相対位置と、工作物 W が受ける外力との関係を表す値である。

[0079] 上述したように、工作物支持動剛性データ  $C_w$ 、 $K_w$  は、工作物支持動剛性テーブル記憶部 104 において、上述の加工条件に対応するように記憶されている。例えば、心押センタ 41 が工作物 W に対して工作物 W の軸方向への押圧力を制御可能な場合において、工作物支持動剛性データ  $C_w$ 、 $K_w$  は、心押センタ 41 による押圧力の変化により心押センタ 41 と工作物 W との接触状態が変化することに伴って変化するデータである。工作物支持動剛性データ  $C_w$ 、 $K_w$  は、例えば、主軸センタ 34 および心押センタ 41 により工作物 W を支持した状態において、心押センタ 41 による押圧力を変化させてハンマリング試験を行うことにより取得できる。

[0080] そして、工作物支持動剛性決定部 122 により、工作物支持動剛性テーブル記憶部 104 に記憶された工作物支持動剛性テーブルから、加工条件取得部 106 にて取得した加工条件に対応する工作物支持動剛性データ  $C_w$ 、 $K_w$  を決定する。

[0081] 5-4. 工具支持動剛性

工具支持動剛性は、図 1 に示す砥石台本体 51 における支持に関する動剛

性であって、研削盤2を構成する砥石車支持装置としての砥石台本体51により砥石車Tを支持する際に発揮する動剛性である。工具支持動剛性は、図5に示すように、減衰係数 $C_t$ およびばね定数 $K_t$ により定義される。減衰係数 $C_t$ は、砥石台本体51における基準位置に対する砥石車Tの相対速度と、砥石車Tが受ける外力との関係を表す値である。ばね定数 $K_t$ は、砥石台本体51における基準位置に対する砥石車Tの相対位置と、砥石車Tが受ける外力との関係を表す値である。

[0082] 上述したように、工具支持動剛性データ $C_t$ 、 $K_t$ は、工具支持動剛性テーブル記憶部105において、上述の加工条件に対応するように記憶されている。工具支持動剛性テーブル記憶部105は、例えば、砥石車Tの種類毎に、工具支持動剛性データ $C_t$ 、 $K_t$ を記憶する。また、砥石車Tが静圧軸受により支持される構成において、静圧軸受の圧力を制御可能な場合において、工具支持動剛性データ $C_t$ 、 $K_t$ が、加工条件に応じて変化する場合は、工具支持動剛性テーブル記憶部105は、加工条件と、工具支持動剛性データ $C_t$ 、 $K_t$ との対応関係を記憶するようにしても良い。

[0083] そして、工具支持動剛性決定部123により、工具支持動剛性テーブル記憶部105に記憶された工具支持動剛性テーブルから、加工条件取得部106にて取得した加工条件に対応する工具支持動剛性データ $C_w$ 、 $K_w$ を決定する。

[0084] 6. 補正量算出部108

補正量算出部108は、研削抵抗に起因して砥石車Tおよび工作物WがX軸線方向に相対変位する補正量を、動剛性決定部107にて決定された各動剛性データに基づいて算出する。変位に関する補正量は、各動剛性データと研削抵抗から求めることができる。つまり、変位に関する補正量は、研削抵抗、接触動剛性データ $C_i$ 、 $K_i$ 、工作物支持動剛性データ $C_w$ 、 $K_w$ 、工具支持動剛性データ $C_t$ 、 $K_t$ から算出することができる。

[0085] 補正量算出部108は、算出した補正量を、推定部102へ出力する。推定部102は、上述したように、指令値取得部101が取得した工作物Wと

砥石車Tとの相対位置、工作物Wの外周面形状、および、砥石車Tの外周面形状に基づいて、推定対象を推定する。ただし、研削抵抗により、工作物Wと砥石車Tとの相対位置は、指令値による相対位置とは異なる位置となる。

[0086] そこで、推定部102、推定対象の推定の際に、工作物Wと砥石車Tとの相対位置として、指令値取得部101が取得した相対位置に加えて、補正量算出部108により算出された補正量を加えた相対位置を用いる。つまり、推定部102は、指令値による相対位置と、各動剛性データを用いて算出された補正量とに基づいて、推定対象を推定する。

[0087] 特に、本実施形態1においては、補正量算出部108は、算出した補正量を、推定部102の干渉量算出部111へ出力する。干渉量算出部111は、上述したように、指令値取得部101が取得した工作物Wと砥石車Tとの相対位置、工作物Wの外周面形状、および、砥石車Tの外周面形状に基づいて、工作物Wと砥石車Tとの干渉量を算出する。ただし、研削抵抗により、工作物Wと砥石車Tとの相対位置は、指令値による相対位置とは異なる位置となる。

[0088] そこで、干渉量算出部111は、干渉量の算出に用いる工作物Wと砥石車Tとの相対位置として、指令値取得部101が取得した相対位置に加えて、補正量算出部108により算出された補正量を加えた相対位置を用いる。つまり、干渉量算出部111は、指令値による相対位置と、各動剛性データを用いて算出された補正量とに基づいて、干渉量を算出する。

[0089] 干渉量算出部111が、補正量を考慮した干渉量を算出するため、研削能率算出部112、研削特性決定部113、研削抵抗算出部114は、補正量を考慮した干渉量に基づき得られた研削能率 $Z'$ 、研削特性 $k_c$ 、研削抵抗 $F_n$ を得る。

[0090] 出力部109は、推定部102により推定された推定対象を出力する。つまり、出力部109は、研削加工時における工作物Wまたは砥石車Tの状態、工作物Wの形状、砥石車Tの形状、および、加工システム1の機械状態（研削盤2の機械状態に相当）の少なくとも1つを推定する。出力部109は

、例えば、図示しない教示装置に推定結果を教示するようにしても良い。

[0091] 加工条件最適化部110は、推定部102による推定結果に基づいて加工条件を最適化する。そして、加工条件最適化部110は、最適化された加工条件を研削盤2の制御装置3aに出力することができる。この場合、制御装置3aは、最適化された加工条件を用いて、研削加工を行うことができる。この他に、制御装置3aは、推定結果によらず、動剛性決定部107により決定された各種の動剛性データを用いて、加工の制御を行うこともできる。

[0092] 7. 作用効果

本実施形態1の接触動剛性算出システム130によれば、接触動剛性データは、記憶された加工状態指数と接触動剛性データとの対応関係と、取得された加工状態指数とに基づいて算出される。そして、上記対応関係において加工状態指数に対する接触動剛性データの変化度合いが変動するため、従来の線形性を有する接触静剛性及び接触弧長さの関係を用いた場合に比べて、より高精度に接触動剛性データを算出することができる。

[0093] また、本実施形態1の接触動剛性算出システム130では、上記対応関係における接触動剛性データは、工具Tにより工作物Wを加工しながら工作物Wに加振力を付与した際に、当該加振力と工作物Wの変位との関係により生成されるデータである。これにより、接触動剛性データは、工作物Wと砥石車Tとの間の動剛性を正確に表すものとなる。

[0094] また、本実施形態1の接触動剛性算出システム130では、加工状態指数は、工具Tによる工作物Wの加工能率である。加工能率は、工作物Wの加工状態に密接に関係しているため、加工状態指数として加工能率を用いることにより、工作物Wの加工状態に応じて接触動剛性データを高精度に算出することができる。

[0095] また、本実施形態1の接触動剛性算出システム130では、上記対応関係は、横軸を加工状態指数とし、縦軸を接触動剛性とした二次平面において、傾きが連続的に変化する曲線を表す関数の近似式として規定される。このように、対応関係を非線形の関係である曲線を表す関数の近似式で規定するこ

とで、従来の線形性を有する関係を用いた場合に比べて、より高精度に接触動剛性データを算出することができる。

[0096] また、本実施形態1の接触動剛性算出システム130では、加工装置2は、工具である砥石車Tにより工作物Wの円筒外周面を研削加工する円筒研削盤であり、工作物Wの軸方向一端を支持すると共に回転駆動する主軸装置30、および、工作物Wの軸方向他端を支持する心押センタ41により構成される工作物支持装置を備える。そして、加工状態指数は、砥石車Tによる工作物Wの研削能率Z'である。これにより、加工状態指数を研削能率とした場合には、接触動剛性データが3次関数で表す曲線に適合しやすく、近似式の作成が容易となるとともに、より高精度に接触動剛性データを算出することができる。

[0097] また、本実施形態1の接触動剛性算出システム130では、加工装置2は、工具である砥石車Tにより工作物Wの円筒外周面を研削加工する円筒研削盤であり、工作物Wの軸方向一端を支持すると共に回転駆動する主軸装置30、および、工作物Wの軸方向他端を支持する心押センタ41により構成される工作物支持装置を備える。そして、加工状態指数は、砥石車Tにおける工作物Wとの接触弧長さLである。これにより、加工状態指数を容易に取得でき、計算負荷を低減することができる。

[0098] また、本実施形態1における加工推定装置3bは、接触動剛性算出システム130からなり、工具Tと工作物Wとの間の接触動剛性データを決定する接触動剛性決定部121と、加工装置2を構成する工作物支持装置30、40により工作物Wを支持する際に発揮する工作物支持装置30、40における工作物支持動剛性データを決定する工作物支持動剛性決定部122と、加工装置2を構成する工具支持装置51により工具Tを支持する際に発揮する工具支持装置51における工具支持動剛性データを決定する工具支持動剛性決定部123と、上接触動剛性データ、上記工具支持動剛性データ及び上記工作物支持動剛性データに基づいて、工具Tと工作物Wとの相対位置の補正量を算出する補正量算出部108と、工作物Wの加工についての指令値と補

正量とに基づいて、工具Tによる工作物Wの加工結果を推定する推定部102と、を備える。これにより、加工推定装置3bは、接触動剛性算出システム130に基づいて高精度に算出された接触動剛性データを用いているため、加工結果を高精度に推定することができる。

[0099] また、本実施形態1における加工システム1では、加工推定装置3bは、推定部102により推定された加工結果に基づいて、工作物Wの加工条件を最適化する加工条件最適化部110をさらに備え、加工装置2は、最適化された加工条件に基づいて、工具Tにより工作物Wの加工を行うように構成されている。これにより、高精度に推定された加工結果に基づいて最適化された加工条件によって工作物Wの加工を行うことができるため、高精度の工作物Wの作成を安定して行うことができ、製造コストの低減を図ることができる。

[0100] 以上のごとく、上記態様によれば、より高精度に接触動剛性を算出することができる接触動剛性算出システム130、加工推定装置3b及び加工システム1を提供することができる。

[0101] 本実施形態1の場合に替えて、図11に示す変形形態では、加工装置2がレスト装置70を備えている。レスト装置70は、図12に示すように、第1アーム71と第2アーム72を備えており、両アーム71、72により、砥石車Tと主軸方向位置が同じ位置において、工作物Wの下部W1及び工具Tと反対側部W2を滑り支持するように構成されている。レスト装置70は、工作物Wが加工の際に砥石車Tから離れるように変位することを抑制する。

[0102] 当該変形形態の場合も本実施形態1の場合と同様の作用効果を奏することができる。なお、レスト装置70を有する場合には、工作物Wの支持は片持ち支持、両持ち支持のいずれでもよい。

[0103] 上記実施形態においては、加工装置として研削盤2を用いた研削加工を用いた切削加工について例をあげて説明したが、これらの他に、旋盤やマシンングセンタを用いた切削加工についても同様に適用可能である。切削加工の

場合には、加工状態指数として、切削能率、切込み深さ等を採用することができる。

## 請求の範囲

- [請求項1] 工具（T）により工作物（W）を加工する加工装置（2）において、加工する際に上記工作物と上記工具との接触により発揮する上記工作物と上記工具との間の接触動剛性データ（ $C_i$ 、 $K_i$ ）を算出する接触動剛性算出システム（130）であって、
- 上記工具による上記工作物の加工の状態に応じて変化する加工状態指数と接触動剛性データとの対応関係を記憶する対応関係記憶部（103）と、
- 上記加工状態指数を取得する加工状態指数取得部（124）と、
- 取得された上記加工状態指数と上記対応関係とに基づいて、上記接触動剛性データを決定する接触動剛性決定部（121）とを、有し、
- 上記対応関係において、上記加工状態指数に対する上記接触動剛性データの変化度合いが変動する、接触動剛性算出システム。
- [請求項2] 上記対応関係における上記接触動剛性データは、上記工具により上記工作物を加工しながら上記工作物に加振力を付与した際に、上記加振力と上記工作物の変位との関係により生成されるデータである、請求項1に記載の接触動剛性算出システム。
- [請求項3] 上記加工状態指数は、上記工具による上記工作物の加工能率、上記工具と上記工作物との接触弧長さ、上記工具の砥粒切り込み深さ／砥粒切れ刃間隔、上記工具の切込み深さのうちのいずれかを含む、請求項1又は2に記載の接触動剛性算出システム。
- [請求項4] 上記対応関係は、横軸を上記加工状態指数とし、縦軸を上記接触動剛性データとした二次平面において、傾きが連続的に変化する曲線を表す関数を近似式として規定される、請求項1又は2に記載の接触動剛性算出システム。
- [請求項5] 上記加工装置（2）は、上記工具である砥石車により上記工作物の円筒外周面を研削加工する円筒研削盤であり、上記工作物の軸方向一端を支持すると共に回転駆動する主軸装置（30）、および、上記工

工作物の軸方向他端を支持する心押センタ（４１）により構成される工作物支持装置を備え、

上記加工状態指数は、上記砥石車による上記工作物の研削能率（ $Z'$ ）である、請求項１又は２に記載の接触動剛性算出システム。

[請求項6]

上記加工装置（２）は、上記工具である砥石車により上記工作物の円筒外周面を研削加工する円筒研削盤であり、上記工作物の軸方向一端を支持すると共に回転駆動する主軸装置（３０）、および、上記工作物の軸方向他端を支持する心押センタ（４１）により構成される工作物支持装置を備え、

上記加工状態指数は、上記砥石車における上記工作物との接触弧長さ（ $L$ ）である、請求項１又は２に記載の接触動剛性算出システム。

[請求項7]

請求項１又は２に記載の上記接触動剛性算出システムからなり、上記工具と上記工作物との間の接触動剛性データを決定する接触動剛性決定部（１２１）と、

上記加工装置を構成する工作物支持装置（３０、４０）により上記工作物を支持する際に発揮する上記工作物支持装置における工作物支持動剛性データを決定する工作物支持動剛性決定部（１２２）と、

上記加工装置を構成する工具支持装置（５１）により上記工具を支持する際に発揮する上記工具支持装置における工具支持動剛性データを決定する工具支持動剛性決定部（１２３）と、

上記接触動剛性データ、上記工作物支持動剛性データ及び上記工具支持動剛性データに基づいて、上記工具と上記工作物との相対位置の補正量を算出する補正量算出部（１０８）と、

上記工作物の加工についての指令値と上記補正量とに基づいて、上記工具による上記工作物の加工結果を推定する推定部（１０２）と、を備える、加工推定装置（３ｂ）。

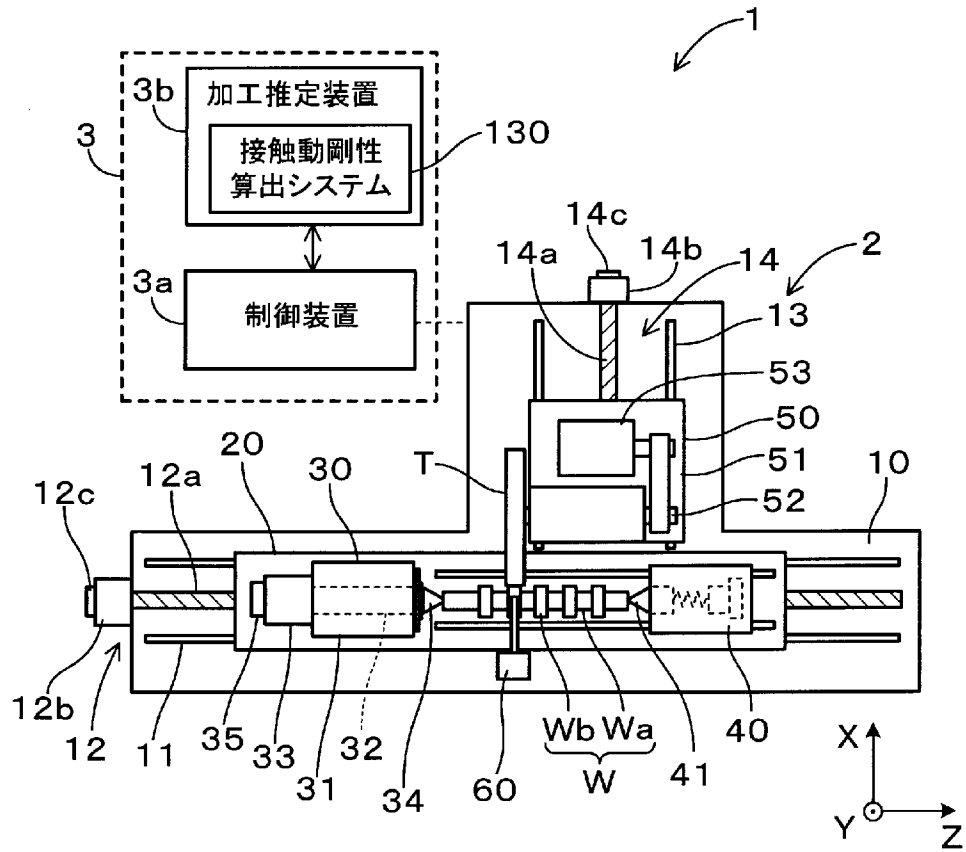
[請求項8]

請求項７に記載の加工推定装置であって、上記推定部により推定された加工結果に基づいて、上記工作物の加工条件を最適化する加工条

件最適化部（110）をさらに備える上記加工推定装置と、  
上記最適化された加工条件に基づいて、上記工具により上記工作物の加工を行う上記加工装置と、を備える加工システム（1）。

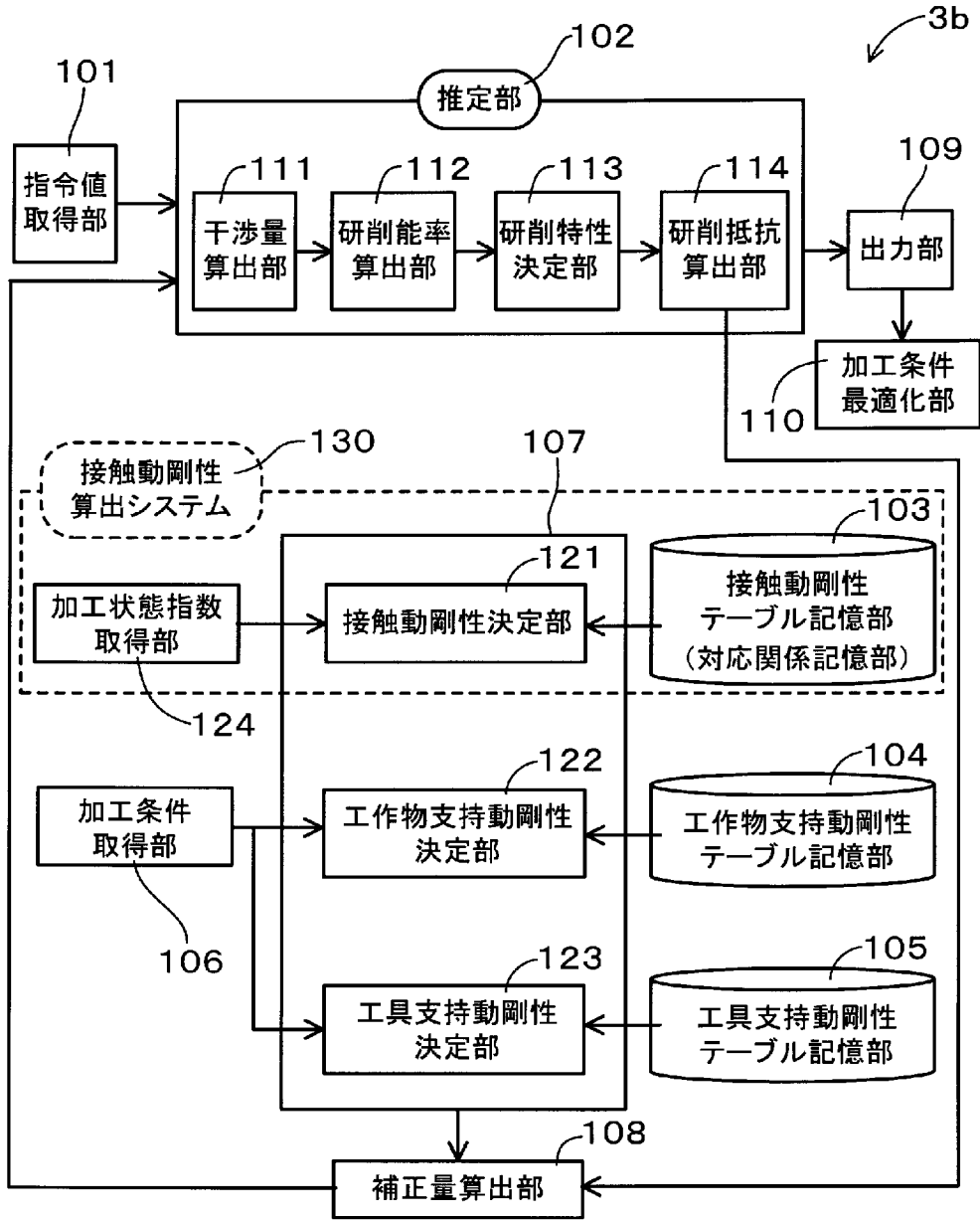
[図1]

(図1)



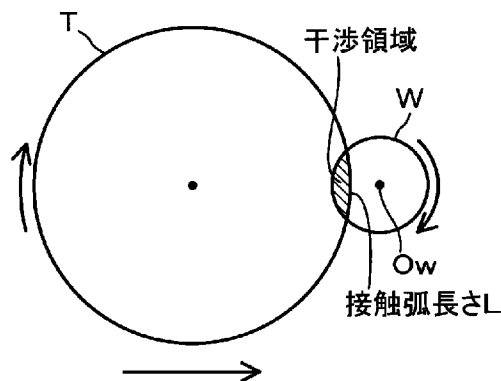
[図2]

(図2)



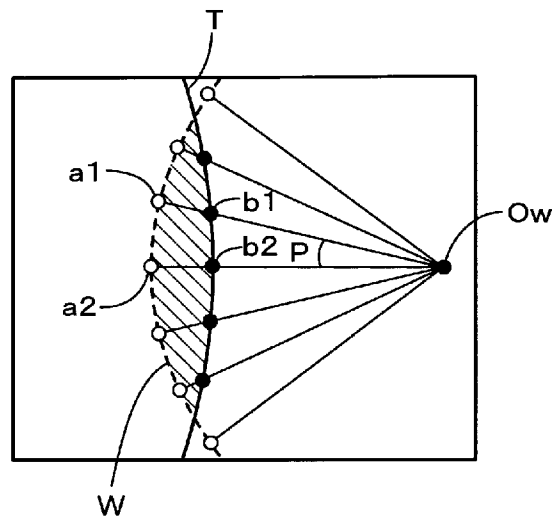
[図3]

(図3)



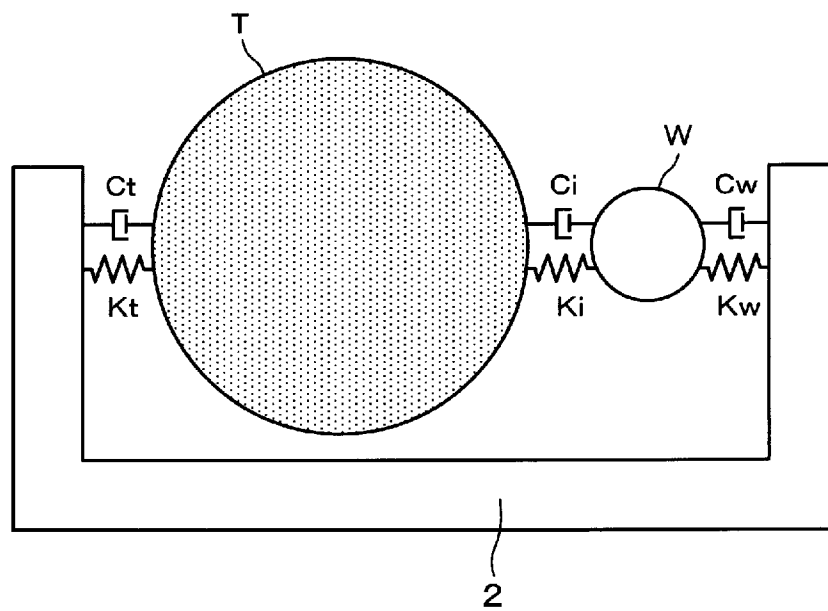
[図4]

(図4)



[図5]

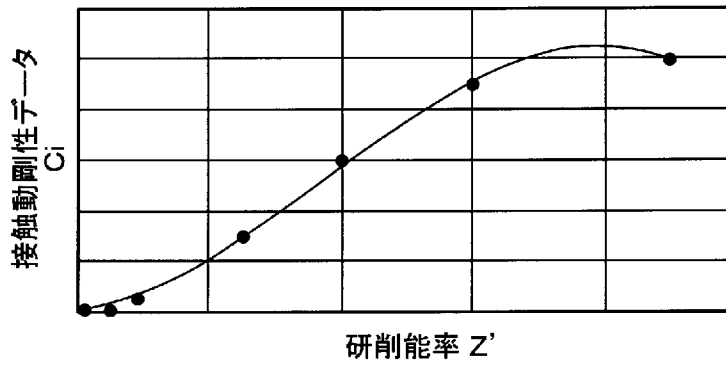
(図5)



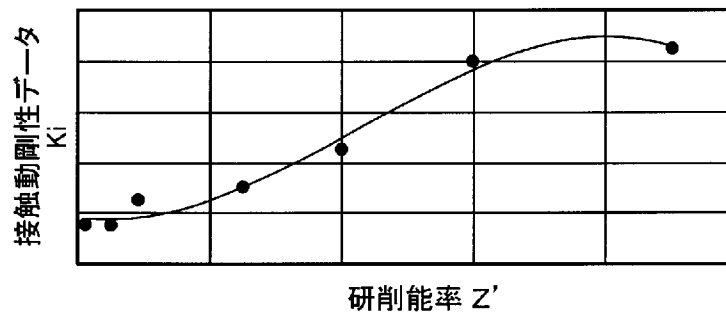
[図6]

(図6)

(a)



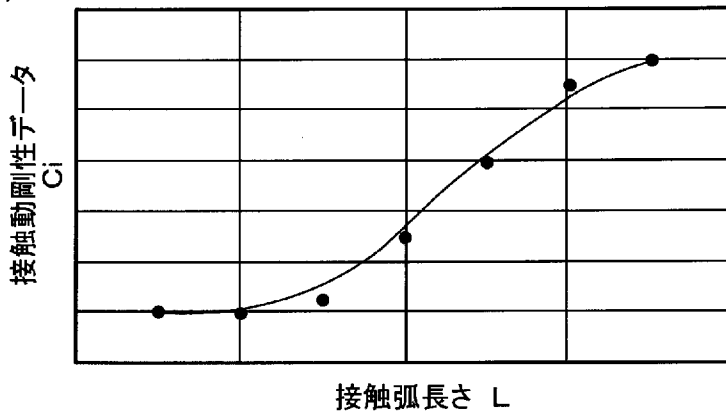
(b)



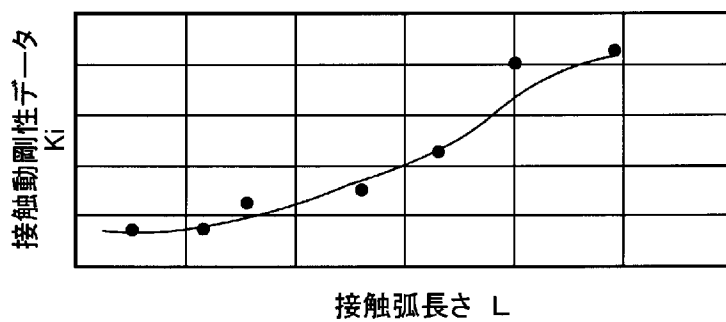
[図7]

(図7)

(a)

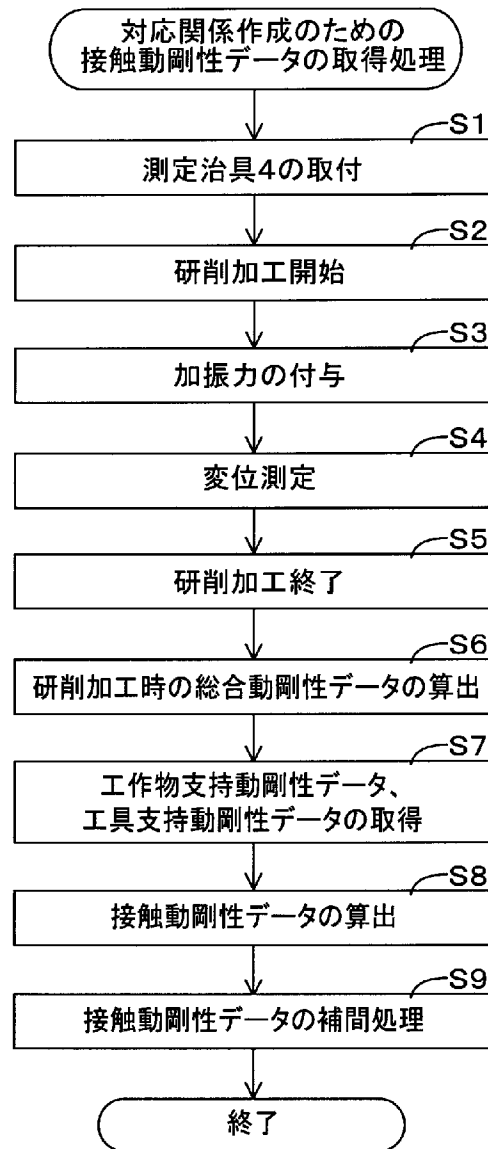


(b)



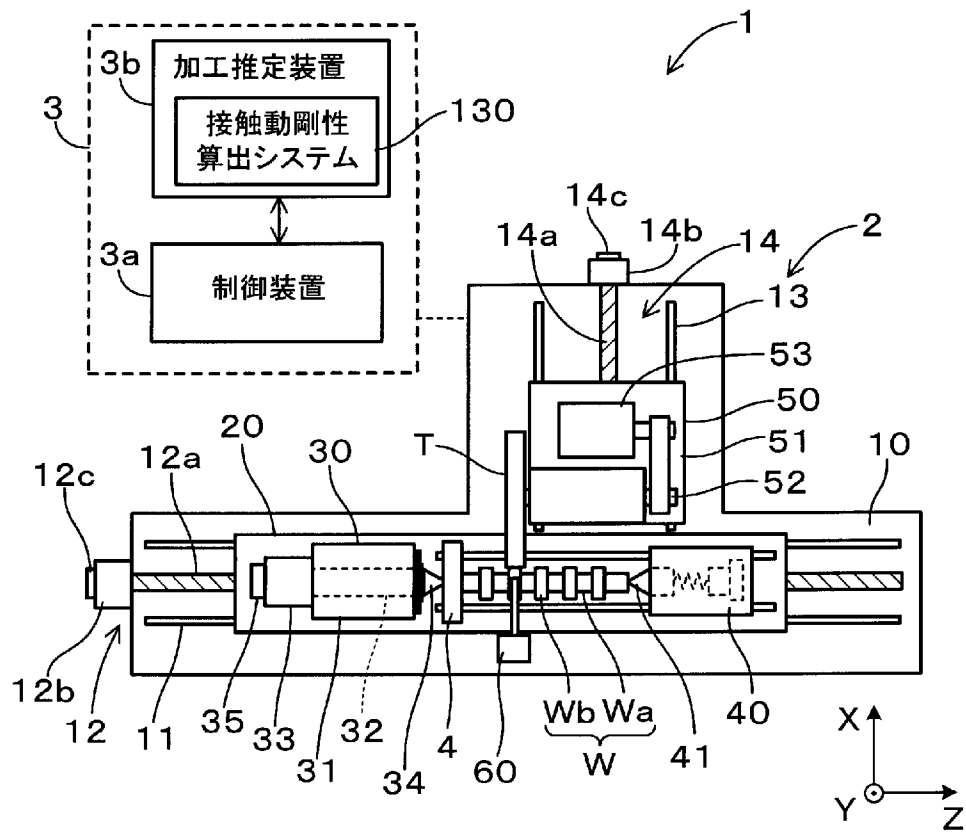
[図8]

(図8)



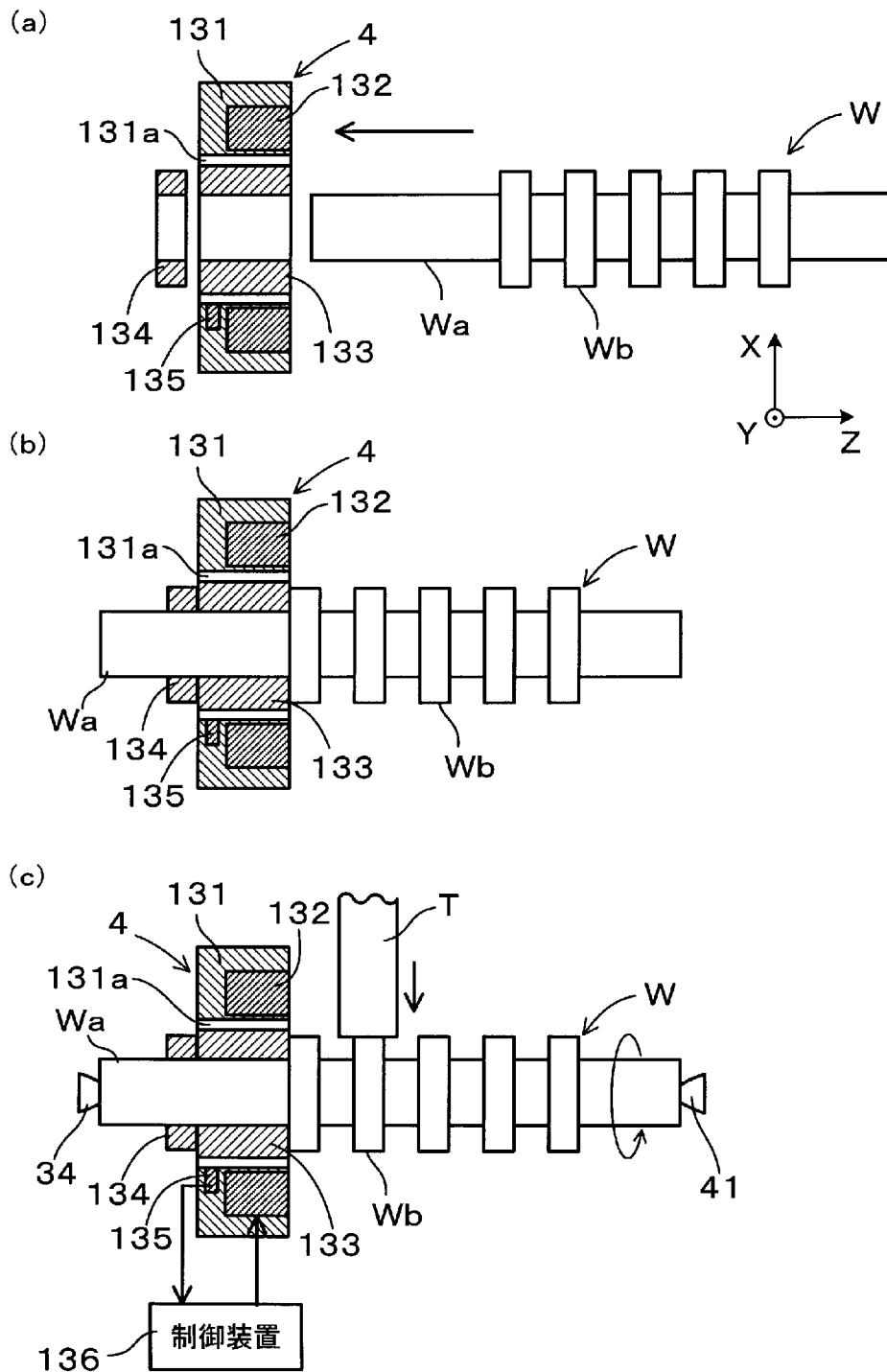
[図9]

(図9)



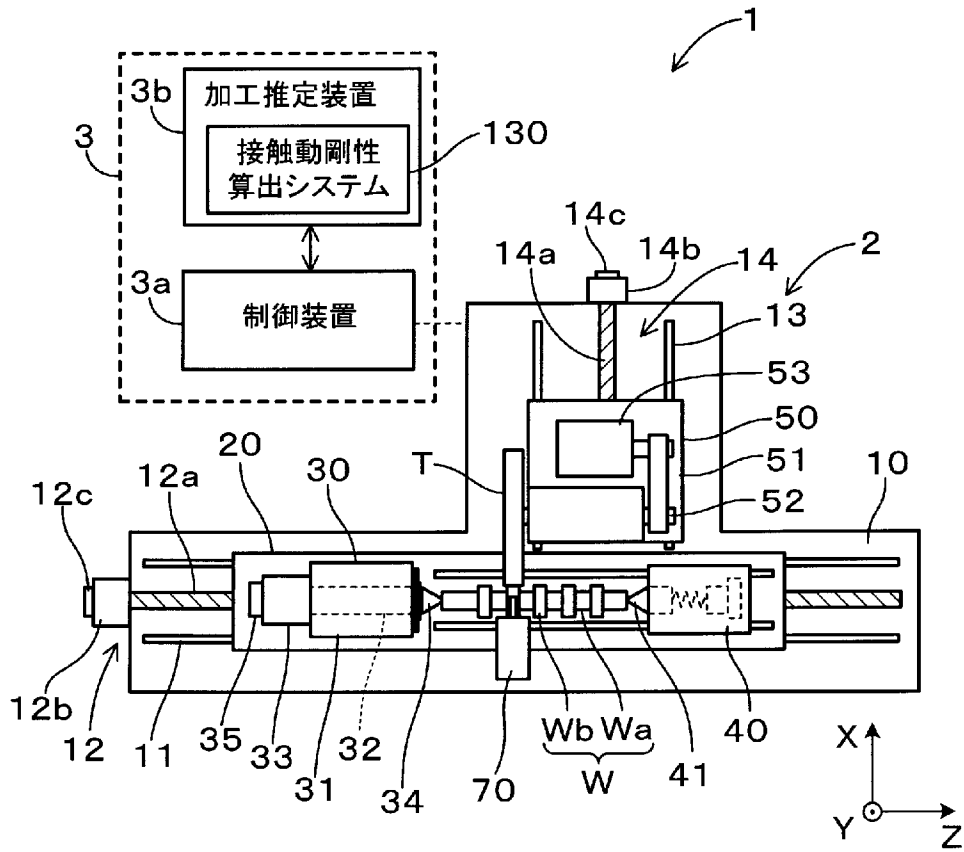
[図10]

(図10)



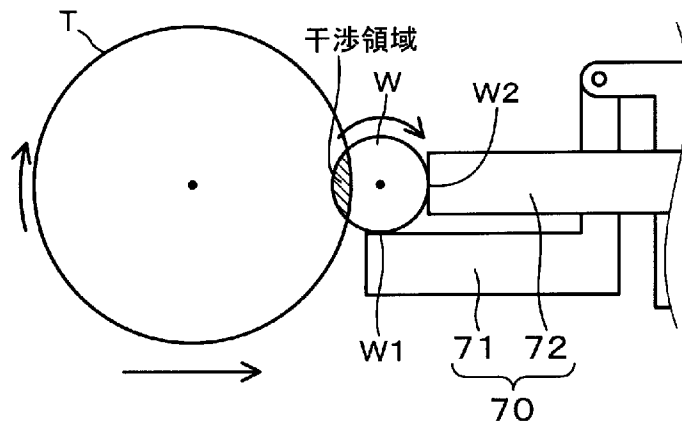
[図11]

(図11)



[図12]

(図12)



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/037658

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> <i>B24B 49/16</i> (2006.01)i; <i>B24B 5/00</i> (2006.01)i FI: B24B49/16; B24B5/00 Z  According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) B24B49/16; B24B5/00		
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)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2015-208812 A (NIHON UNIVERSITY) 24 November 2015 (2015-11-24)	1-8
A	JP 2013-132706 A (JTEKT CORP.) 08 July 2013 (2013-07-08)	1-8
A	JP 2009-64426 A (JTEKT CORP.) 26 March 2009 (2009-03-26)	1-8
A	JP 2018-1301 A (KOMATSU LTD.) 11 January 2018 (2018-01-11)	1-8
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 <b>15 December 2022</b>		Date of mailing of the international search report <b>27 December 2022</b>
Name and mailing address of the ISA/JP <b>Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan</b>		Authorized officer  Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No. <b>PCT/JP2022/037658</b>
---

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2015-208812	A 24 November 2015	(Family: none)	
JP 2013-132706	A 08 July 2013	(Family: none)	
JP 2009-64426	A 26 March 2009	(Family: none)	
JP 2018-1301	A 11 January 2018	US 2019/0291228 A1 KR 10-2019-0003640 A CN 109414792 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） B24B 49/16(2006.01)i; B24B 5/00(2006.01)i FI: B24B49/16; B24B5/00 Z		
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）） B24B49/16; B24B5/00 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2022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 2015-208812 A (学校法人日本大学) 24.11.2015 (2015-11-24)	1-8
A	JP 2013-132706 A (株式会社ジェイテクト) 08.07.2013 (2013-07-08)	1-8
A	JP 2009-64426 A (株式会社ジェイテクト) 26.03.2009 (2009-03-26)	1-8
A	JP 2018-1301 A (株式会社小松製作所) 11.01.2018 (2018-01-11)	1-8
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と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	15. 12. 2022	国際調査報告の発送日 27. 12. 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）  山内 康明 3C 9255  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/JP2022/037658

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2015-208812 A	24.11.2015	(ファミリーなし)	
JP 2013-132706 A	08.07.2013	(ファミリーなし)	
JP 2009-64426 A	26.03.2009	(ファミリーなし)	
JP 2018-1301 A	11.01.2018	US 2019/0291228 A1	
		KR 10-2019-0003640 A	
		CN 109414792 A	