

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6727041号  
(P6727041)

(45) 発行日 令和2年7月22日(2020.7.22)

(24) 登録日 令和2年7月2日(2020.7.2)

(51) Int.Cl.

F 1

B23Q 15/12 (2006.01)  
G05B 19/404 (2006.01)B23Q 15/12  
G05B 19/404A  
K

請求項の数 1 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2016-128213 (P2016-128213)  
 (22) 出願日 平成28年6月28日 (2016.6.28)  
 (65) 公開番号 特開2018-1301 (P2018-1301A)  
 (43) 公開日 平成30年1月11日 (2018.1.11)  
 審査請求日 平成31年2月20日 (2019.2.20)

(73) 特許権者 000001236  
 株式会社小松製作所  
 東京都港区赤坂二丁目3番6号  
 (73) 特許権者 000152675  
 コマツNTC株式会社  
 富山県南砺市福野100番地  
 (74) 代理人 110002147  
 特許業務法人酒井国際特許事務所  
 (72) 発明者 板東 賢一  
 神奈川県平塚市万田1200 株式会社小  
 松製作所 開発本部内  
 (72) 発明者 ムンジル モハマド  
 神奈川県平塚市万田1200 株式会社小  
 松製作所 開発本部内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】工作機械

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

ワークと接触して前記ワークを加工する工具と、  
 前記ワーク及び前記工具の状態量データが入力される状態量データ取得部と、  
 前記工具の動特性を示す装置動特性モデル及び前記ワークの目標形状を示すワークモデルを含むシミュレーションモデルから状態量推定データを算出する状態量推定データ算出部と、  
 前記状態量データと前記状態量推定データに基づいて前記ワークの加工状態を示す加工状態データを算出する加工状態算出部と、

前記工具を回転させる動力を発生する第1モータを含む第1回転装置と、  
 送り方向に前記工具又は前記ワークを移動する動力を発生する第3モータを含み、前記工具と前記ワークとを押し当てる駆動装置と、を備え、

前記状態量データは、前記第1モータの出力データを含み、  
 前記状態量データは、前記工具の回転速度データを含み、  
 前記状態量データは、前記第3モータの出力データ及び前記送り方向における前記工具の位置データを含み、  
 前記状態量推定データ算出部は、前記第1モータの出力データ及び前記工具の回転速度データと前記シミュレーションモデルとに基づいて、前記工具の加工抵抗を算出し、

前記加工状態算出部は、前記加工抵抗と前記ワークモデルとに基づいて前記ワーク又は前記工具の撓み量変動データを算出し、前記第3モータに出力された制御指令データと前

10

20

記憶量変動データに基づいて、前記ワークの形状誤差変動を算出し、

前記加工状態算出部は、前記第3モータの出力データ及び前記位置データに基づいて、前記ワークの表面の凹凸を算出する

工作機械。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、工作機械、加工物の製造方法、及び加工システムに関する。

【背景技術】

【0002】

ワークを加工する工作機械として例えば研削装置が知られている（特許文献1参照）。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2016-016483号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

工作機械で製造された加工物は、後工程において検査装置で加工品質を検査される。検査には時間を要するため、製造された加工物の全部を検査することは困難である。そのため、製造された複数の加工物のうち一部の加工物を選択して検査する抜き取り検査が実施される。抜き取り検査では、不良な加工品質の加工物が出荷されてしまう可能性がある。また、検査装置を用いる検査では、不良な加工品質の加工物は後工程において発見され、加工中にリアルタイムに発見することは困難である。

20

【0005】

本発明の態様は、加工中においてリアルタイムで加工品質を検査でき、不良な加工品質の加工物の製造を抑制できる工作機械、加工物の製造方法、及び加工システムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

30

本発明の第1の態様に従えば、ワークと接触して前記ワークを加工する工具と、前記ワーク及び前記工具の状態量データが入力される状態量データ取得部と、前記工具の動特性を示す装置動特性モデル及び前記ワークの目標形状を示すワークモデルを含むシミュレーションモデルから状態量推定データを算出する状態量推定データ算出部と、前記状態量データと前記状態量推定データとに基づいて前記ワークの加工状態を示す加工状態データを算出する加工状態算出部と、を備える工作機械が提供される。

【0007】

本発明の第2の態様に従えば、ワークと工具とを接触させて前記工具で前記ワークを加工することと、前記加工において前記ワーク及び前記工具の状態量データを取得することと、前記工具の動特性を示す装置動特性モデル及び前記ワークの目標形状を示すワークモデルを含むシミュレーションモデルから状態量推定データを算出することと、前記状態量データと前記状態量推定データとに基づいて前記ワークの加工状態を示す加工状態データを算出することと、前記加工において前記加工状態データを出力することと、前記加工において前記加工状態データに基づいて前記工具による加工条件を制御することと、を含む加工物の製造方法が提供される。

40

【0008】

本発明の第3の態様に従えば、ワークと接触して前記ワークを加工する工具と、前記ワーク及び前記工具の状態量データが入力される状態量データ取得部と、前記工具の動特性を示す装置動特性モデル及び前記ワークの目標形状を示すワークモデルを含むシミュレーションモデルから状態量推定データを算出する状態量推定データ算出部と、前記状態量データ

50

ータと前記状態量推定データとに基づいて前記ワークの加工状態を示す加工状態データを算出する加工状態算出部と、を備える加工システムが提供される。

【発明の効果】

【0009】

本発明の態様によれば、加工中においてリアルタイムで加工品質を検査でき、不良な加工品質の加工物の製造を抑制できる工作機械、加工物の製造方法、及び加工システムが提供される。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】図1は、本実施形態に係る工作機械の一例を模式的に示す平面図である。

10

【図2】図2は、本実施形態に係る工作機械の一例を模式的に示す側面図である。

【図3】図3は、本実施形態に係る制御装置の一例を示す機能プロック図である。

【図4】図4は、本実施形態に係るワークの挙動を説明するための模式図である。

【図5】図5は、本実施形態に係るワークと工具との関係を模式的に示す図である。

【図6】図6は、本実施形態に係る加工物の製造方法の一例を示すフローチャートである。

【図7】図7は、本実施形態に係る工作機械により算出された加工状態データの一例を示す図である。

【図8】図8は、本実施形態に係る加工システムの一例を模式的に示す図である。

【発明を実施するための形態】

20

【0011】

以下、本発明に係る実施形態について図面を参照しながら説明するが、本発明はこれに限定されない。以下で説明する実施形態の構成要素は適宜組み合わせができる。また、一部の構成要素を用いない場合もある。

【0012】

以下の説明においては、3次元直交座標系を設定し、3次元直交座標系を参照しつつ各部の位置関係について説明する。所定面内のX軸と平行な方向をX軸方向とし、所定面内においてX軸と直交するY軸と平行な方向をY軸方向とし、X軸及びY軸と直交するZ軸と平行な方向をZ軸方向とする。また、X軸を中心とする回転又は傾斜方向をX方向とし、Y軸を中心とする回転又は傾斜方向をY方向とし、Z軸を中心とする回転又は傾斜方向をZ方向とする。所定面はXY平面であり、本実施形態においては水平面と平行である。Z軸方向は鉛直方向である。

30

【0013】

[工作機械]

図1は、本実施形態に係る工作機械100の一例を模式的に示す平面図である。図2は、本実施形態に係る工作機械100の一例を模式的に示す側面図である。本実施形態において、工作機械100は研削装置である。

【0014】

図1及び図2に示すように、工作機械100は、ワークWと接触してワークWを加工する工具1と、工具1を回転させる第1回転装置10と、ワークWを回転させる第2回転装置20と、工具1をX軸方向に移動する駆動装置30と、工具1をY軸方向に移動する駆動装置40と、制御装置50とを備える。

40

【0015】

ワークWは、工作機械100に加工される加工対象物である。ワークWは、円柱状の部材である。工作機械100は、ワークWを加工して、カムシャフト又はクランクシャフトを製造する。

【0016】

工具1は、研削用の砥石である。工具1は、ワークWを接触した状態で回転することによりワークWを研削する。

【0017】

50

第1回転装置10は、Y軸と平行な回転軸AXを中心に工具1を回転させる。第1回転装置10は、工具1を回転可能に支持する支持機構11と、工具1を回転させる動力を発生する第1モータ12とを有する。支持機構11及び第1モータ12は、X軸方向に移動可能なステージ部材13に支持される。

#### 【0018】

第2回転装置20は、Y軸と平行な回転軸BXを中心にワークWを回転させる。第2回転装置20は、ワークWの一方の端部を回転可能に支持する支持機構21と、ワークWの他方の端部を回転可能に支持する支持機構22と、ワークWを回転させる動力を発生する第2モータ23とを有する。支持機構21及び支持機構22は、ベース部材2に支持される。

10

#### 【0019】

駆動装置30は、工具1の回転軸AXと直交するX軸方向に工具1を移動する。X軸方向は、工具1の送り方向である。駆動装置30は、ステージ部材13をX軸方向に移動することによって工具1をX軸方向に移動する。駆動装置30は、工具1をX軸方向に移動する動力を発生する第3モータ31を有する。第3モータ31は、直動モータを含む。第3モータ31は、リニアモータである。なお、第3モータ31が回転モータを含み、第3モータ31によって作動するボールねじ機構により工具1がX軸方向に移動してもよい。ステージ部材13が-X方向に移動することにより、工具1が-X方向に移動してワークWに押し当てられる。

#### 【0020】

20

駆動装置40は、Y軸方向に工具1を移動する。駆動装置40は、ステージ部材13をY軸方向に移動することによって工具1をY軸方向に移動する。駆動装置40は、工具1をY軸方向に移動する動力を発生する第4モータ41を有する。第4モータ41は、直動モータを含む。第4モータ41は、リニアモータである。なお、第4モータ41が回転モータを含み、第4モータ41によって作動するボールねじ機構により工具1がY軸方向に移動してもよい。ステージ部材13は、駆動装置30及び駆動装置40を介してベース部材2に支持される。

#### 【0021】

30

制御装置50は、コンピュータシステムを含む。制御装置50は、CPU(Central Processing Unit)のようなプロセッサと、ROM(Read Only Memory)のような不揮発性メモリ及びRAM(Random Access Memory)のような揮発性メモリを含む記憶装置と、入出力インターフェース装置とを有する。

#### 【0022】

##### [制御システム]

次に、本実施形態に係る工作機械100の制御システム200の一例について説明する。図3は、本実施形態に係る制御システム200の一例を示す機能ブロック図である。

#### 【0023】

図3に示すように、制御システム200は、制御装置50と、回転軸AXを中心に工具1を回転させる動力を発生する第1モータ12と、工具1の回転速度を検出する回転速度センサ14と、工具1をX軸方向に移動させる動力を発生する第3モータ31と、X軸方向における工具1の位置を検出する位置センサ32と、回転軸BXを中心にワークWを回転させる動力を発生する第2モータ23と、ワークWの回転角度を検出する回転角度センサ24と、ワークWの設計データであるCAD(Computer Aided Design)データを保持するCADデータ保持部60と、を備える。

40

#### 【0024】

制御装置50は、ワークW及び工具1の状態量データが入力される状態量データ取得部51と、工具1の動特性を示す装置動特性モデル及びワークWの目標形状を示すワークモデルを含むシミュレーションモデルから状態量推定データを算出する状態量推定データ算出部52と、状態量データと状態量推定データとに基づいてワークWの加工状態を示す加工状態データを算出する加工状態算出部53と、を備える。

50

**【 0 0 2 5 】**

また、制御装置 5 0 は、加工状態算出部 5 3 で算出された加工状態データを出力する出力部 5 4 と、加工状態算出部 5 3 で算出された加工状態データに基づいて工具 1 による加工条件を制御する加工制御部 5 5 と、記憶部 5 6 と、を備える。

**【 0 0 2 6 】**

シミュレーションモデルは、関数又はマップ等に基づいて予め設定され、記憶部 5 6 に記憶されている。

**【 0 0 2 7 】**

状態量とは、工具 1 又は工具 1 と接触するワーク W の状態によって一義的に定まる量をいう。本実施形態において、状態量データは、第 1 モータ 1 2 の出力データ d 1 、回転速度センサ 1 4 によって検出される工具 1 の回転速度データ d 2 、第 3 モータ 3 1 の出力データ d 3 、位置センサ 3 2 によって検出される X 軸方向における工具 1 の位置データ d 4 、第 2 モータ 2 3 の出力データ d 5 、及び回転角度センサ 2 4 によって検出されるワーク W の回転角度データ d 6 を含む。10

**【 0 0 2 8 】**

第 1 モータ 1 2 の出力データ d 1 は、第 1 モータ 1 2 のトルクを含む。出力データ d 1 は、第 1 モータ 1 2 から出力される電流値に基づいて導出される。出力データ d 1 は、状態量データ取得部 5 1 に出力される。

**【 0 0 2 9 】**

回転速度センサ 1 4 は、例えばロータリーエンコーダを含み、工具 1 の回転速度を示す回転速度データ d 2 を検出する。回転速度データ d 2 は、状態量データ取得部 5 1 に出力される。20

**【 0 0 3 0 】**

第 3 モータ 3 1 の出力データ d 3 は、第 3 モータ 3 1 の推力を含む。出力データ d 3 は、第 3 モータ 3 1 から出力される電流値に基づいて導出される。出力データ d 3 は、状態量データ取得部 5 1 に出力される。

**【 0 0 3 1 】**

位置センサ 3 2 は、例えばリニアエンコーダを含み、X 軸方向における工具 1 の位置を示す位置データ d 4 を検出する。本実施形態において、位置センサ 3 2 は、第 3 モータ 3 1 の移動量を検出することによって、工具 1 の位置データ d 4 を検出する。位置データ d 4 は、状態量データ取得部 5 1 に出力される。30

**【 0 0 3 2 】**

第 2 モータ 2 3 の出力データ d 5 は、第 2 モータ 2 3 のトルクを含む。出力データ d 5 は、第 2 モータ 2 3 から出力される電流値に基づいて導出される。出力データ d 5 は、状態量データ取得部 5 1 に出力される。

**【 0 0 3 3 】**

回転角度データ 2 4 は、例えばロータリーエンコーダを含み、ワーク W の回転角度を示す回転角度データ d 6 を検出する。回転角度データ d 6 は、状態量データ取得部 5 1 に出力される。

**【 0 0 3 4 】**

C A D データ保持部 6 0 は、C A D データ d 7 を保持する。C A D データ d 7 は、ワーク W の目標形状データ及びワーク W の物性データを含む。ワーク W の目標形状データは、回転軸 B X と直交するワーク W の断面形状データを含む。40

**【 0 0 3 5 】**

状態量データ取得部 5 1 は、状態量データとして、出力データ d 1 、回転速度データ d 2 、出力データ d 3 、位置データ d 4 、出力データ d 5 、及び回転角度データ d 6 を取得する。なお、状態量データは、出力データ d 1 、回転速度データ d 2 、出力データ d 3 、位置データ d 4 、出力データ d 5 、及び回転角度データ d 6 に限定されない。状態量データは、例えば、クーラント流量を含んでもよい。

**【 0 0 3 6 】**

状態量推定データ算出部 5 2 は、工具 1 の動特性を示す装置動特性モデルから状態量推定データとして加工抵抗変動を算出する。また、状態量推定データ算出部 5 2 は、C A D データ d 7 に基づいて、ワーク W の目標形状を示すワークモデルから状態量推定データとして工具 1 とワーク W の接触角変動又は接触位置変動を算出する。

#### 【 0 0 3 7 】

装置動特性モデルは、工具 1 のモデリング及びシステム同定により算出される。モデリングとは、対象物の振る舞いを特徴付ける数学モデルを構築する処理をいう。モデリングにより、対象物は単純化された数学的表現に変換される。工具 1 について、例えば、質量成分、ダンパ成分、及びバネ成分を有する装置動特性モデルが算出される。

#### 【 0 0 3 8 】

システム同定とは、先に行われたモデリングの正しさを実験によって検証する処理をいう。システム同定においては、例えば工具 1 に様々な周波数の入力信号を実験的に入力し、工具 1 から出力される振幅又は位相を計測する処理が実施される。また、システム同定においては、工具 1 に様々な周波数の入力信号を入力したとき、工具 1 の速度を計測する処理が実施される。システム同定により、モデリングの正しさが実験的に検証される。

#### 【 0 0 3 9 】

システム同定の結果に基づいて、工具 1 の動特性を示す動特性データが導出される。工具 1 の動特性データは、工具 1 の質量成分、ダンパ成分、及びバネ成分を含む。また、工具 1 の動特性データは、工具 1 の外形及び寸法のような工具 1 に係る既知データを含む。

#### 【 0 0 4 0 】

ワークモデルは、C A D データに基づいて算出される。ワークモデルは、加工におけるワーク W の目標形状データを含む。ワーク W の目標形状データは、回転軸 B X と直交するワーク W の断面形状データを含む。また、ワークモデルは、ワーク W の弾性率のようなワーク W の物性データを含む。また、ワークモデルは、ワーク W の動特性データを含む。ワーク W の動特性データは、例えばワーク W の質量成分、ダンパ成分、及びバネ成分を含む。ワークモデルが算出されることにより、例えば外力が作用したときのワーク W の撓み量変動が算出される。

#### 【 0 0 4 1 】

また、状態量推定データ算出部 5 2 は、複数のカルマンフィルタ 5 2 C を含み、1組の入出力データから複数の状態量データを抽出することができる。状態量推定データ算出部 5 2 は、例えば第 1 モータ 1 2 からの出力データ d 1 と回転速度センサ 1 4 からの回転速度データ d 2 に基づいて、状態量推定データとして、工具 1 の研削抵抗、ワーク W の加工開始点、及び工具 1 の摩耗量などを抽出することができる。

#### 【 0 0 4 2 】

加工状態算出部 5 3 は、状態量データ取得部 5 1 で取得された状態量データと状態量推定データ算出部 5 2 でシミュレーションモデルを用いて算出された状態量推定データとに基づいて、ワーク W の加工状態を示す加工状態データを算出する。加工状態算出部 5 3 に供給される状態量データは、状態量推定データ算出部 5 2 のカルマンフィルタ 5 2 C によって抽出された状態量推定データを含む。また、加工状態算出部 5 3 に供給される状態量データは、第 1 モータ 1 2 から供給される出力データ d 1 、回転速度センサ 1 4 から供給される回転速度データ d 2 、第 3 モータ 3 1 から供給される出力データ d 3 、位置センサ 3 2 から供給される位置データ d 4 、第 2 モータ 2 3 から供給される出力データ d 5 、及び回転角度センサ 2 4 から供給される回転角度データ d 6 を含む。

#### 【 0 0 4 3 】

状態量推定データ算出部 5 2 は、第 1 モータ 1 2 の出力データ d 1 及び工具 1 の回転速度データ d 2 とシミュレーションモデルとに基づいて、工具 1 の加工抵抗を算出する。本実施形態において、工具 1 の加工抵抗は、工具 1 の研削抵抗である。シミュレーションモデルに出力データ d 1 が入力されると、工具 1 とワーク W とが接触していない空転状態における工具 1 の回転速度データが算出される。状態量推定データ算出部 5 2 は、出力データ d 1 及びシミュレーションモデルに基づいて算出された空転状態の工具 1 の回転速度データ d 2 を用いて工具 1 の加工抵抗を算出する。

10

20

30

40

50

ータと、回転速度センサ 1 4 によって検出された回転速度データ d 2 との差に基づいて、工具 1 の加工抵抗を算出することができる。

**【 0 0 4 4 】**

なお、工具 1 の加工抵抗は、状態量推定データ算出部 5 2 のカルマンフィルタ 5 2 C によって抽出された研削抵抗でもよい。

**【 0 0 4 5 】**

また、加工状態算出部 5 3 は、加工抵抗とワークモデルとに基づいてワーク W の撓み量を示す撓み量変動データを算出することができる。加工抵抗は、ワーク W に作用する負荷と等価である。本実施形態において、ワーク W に作用する負荷は、ワーク W に作用する研削力である。上述のように、ワークモデルは、ワーク W の断面形状データ及びワーク W の物性データを含む。加工状態算出部 5 3 は、ワークモデルに作用する負荷とワークモデルとに基づいて、ワーク W の撓み量変動データを算出することができる。10

**【 0 0 4 6 】**

また、加工状態算出部 5 3 は、第 3 モータ 3 1 に出力される制御指令データと、算出されたワーク W の撓み量変動データとに基づいて、ワーク W の形状誤差変動を算出する。

**【 0 0 4 7 】**

図 4 は、本実施形態に係る第 3 モータ 3 1 に出力された制御指令データとワーク W の撓み量との関係を示す模式図である。制御指令データに基づいて、ワーク W に対する指令切り込み量が算出される。ワーク W の目標切り込み量を示す指令切り込み量は、第 3 モータ 3 1 の目標操作動量を含む。ワーク W に作用する研削力に応じてワーク W が撓んだ場合、ワーク W が工具 1 から逃げることとなる。その結果、ワーク W の実際の切り込み量を示す実切り込み量は、指令切り込み量よりも撓み量に応じた量だけ少なくなる。すなわち、ワーク W に作用する切削力によりワーク W が撓んだ場合、指令切り込み量よりも少ない量だけしかワーク W が加工されないこととなり、目標形状に対してワーク W に形状誤差が発生する。そして、ワーク W の目標形状や加工条件などによってワーク W に作用する研削力が変動するような場合においては、ワーク W の撓み量、すなわち、目標形状に対するワーク W の形状誤差が変動する。20

**【 0 0 4 8 】**

したがって、加工状態算出部 5 3 は、第 3 モータ 3 1 に出力された制御指令データと、算出されたワーク W の撓み量変動データとに基づいて、C A D データによって規定される目標形状に対するワーク W の形状誤差変動を算出することができる。30

**【 0 0 4 9 】**

また、状態量推定データ算出部 5 2 は、回転角度データ d 6 とワークモデルとに基づいて、ワーク W と工具 1 との接触位置 C を算出する。接触位置 C は、ワーク W が工具 1 によって加工される加工点を示す。

**【 0 0 5 0 】**

図 5 は、本実施形態に係るワーク W と工具 1 との関係を示す模式図である。工具 1 は回転軸 A X を中心に回転し、ワーク W は回転軸 B X を中心に回転する。ワーク W は、カムシャフト又はクランクシャフトに加工される。回転軸 B X と直交する断面において、ワーク W は非円形である。回転軸 A X と直交する断面において、工具 1 は実質的に円形である。40

**【 0 0 5 1 】**

回転する非円形のワーク W と回転する円形の工具 1 とが接触する場合、ワーク W の回転に伴って、工具 1 と接触するワーク W の接触位置 C と回転軸 B X との距離は変化する。

**【 0 0 5 2 】**

上述のように、ワークモデルは、回転軸 B X と直交するワーク W の断面形状データを含む。そのため、回転軸 B X を中心とする回転方向におけるワーク W の回転角度が分かれれば、工具 1 と接触するワーク W の接触位置 C が導出される。状態量推定データ算出部 5 2 は、回転角度データ d 6 とワークモデルとに基づいて、ワーク W と工具 1 との接触位置 C を算出することができる。

**【 0 0 5 3 】**

10

20

30

40

50

また、加工状態算出部 5 3 は、第 3 モータ 3 1 の出力データ  $d_3$  及び X 軸方向における工具 1 の位置データ  $d_4$  に基づいて、ワーク W の表面の凹凸を算出する。

#### 【 0 0 5 4 】

工具 1 の回転軸 A X が変動し、工具 1 が振れ回る現象が発生する可能性がある。工具 1 が振れ回ると、工具 1 においてビビリ振動が発生し、工具 1 及びワーク W の少なくとも一方が X 軸方向に微振動する。ビビリ振動が発生すると、ワーク W の表面に微細な凹凸が形成されてしまう。

#### 【 0 0 5 5 】

ビビリ振動が発生すると、工具 1 を X 軸方向に移動する第 3 モータ 3 1 の出力データ  $d_3$  が変動する。したがって、加工状態算出部 5 3 は、第 3 モータ 3 1 の出力データ  $d_3$  に基づいて、加工状態データとして、ビビリ振動の発生の有無、及びビビリ振動の力を示すビビリ力 [N] を算出することができる。また、加工状態算出部 5 3 は、位置センサ 3 2 によって検出される X 軸方向における工具 1 の位置データ  $d_4$  に基づいて、加工状態データとして、ビビリ振動の振幅を示すビビリ量 [ $\mu m$ ] を算出することができる。10

#### 【 0 0 5 6 】

なお、本実施形態においては、状態量データ取得部 5 1 に取得された出力データ  $d_3$  から工具 1 の回転速度に対応する周波数帯域の出力データ  $d_3$  がフィルタリング処理により抽出される。加工状態算出部 5 3 は、抽出された出力データ  $d_3$  に基づいて、ビビリ力を算出する。同様に、状態量データ取得部 5 1 に取得された位置データ  $d_4$  から工具 1 の回転速度に対応する周波数帯域の位置データ  $d_4$  がフィルタリング処理により抽出される。20 加工状態算出部 5 3 は、抽出された位置データ  $d_4$  に基づいて、ビビリ量を算出する。なお、工具 1 の回転速度に対応する周波数帯域は、工具 1 の回転速度データ  $d_2$  から算出される。

#### 【 0 0 5 7 】

出力部 5 4 は、加工状態算出部 5 3 で算出された加工状態データを出力する。出力部 5 4 は、工具 1 による加工において加工状態データを出力する。すなわち、出力部 5 4 は、ワーク W の加工中においてワーク W の加工状態データをリアルタイムで出力する。

#### 【 0 0 5 8 】

加工制御部 5 5 は、加工状態算出部 5 3 によって算出された加工状態データに基づいて、工具 1 による加工条件を制御する。本実施形態において、加工制御部 5 5 は、加工状態算出部 5 3 によって算出された加工状態データに基づいて、第 1 モータ 1 2、第 3 モータ 3 1、及び第 2 モータ 2 3 の少なくとも一つをフィードバック制御する。30

#### 【 0 0 5 9 】

##### [加工物の製造方法]

次に、本実施形態に係る加工物の製造方法について説明する。図 6 は、本実施形態に係る加工物の製造方法の一例を示すフローチャートである。本実施形態においては、工作機械 1 0 0 を用いてワーク W から加工物であるカムシャフト又はクランクシャフトが製造される。

#### 【 0 0 6 0 】

ワーク W が支持機構 2 1 及び支持機構 2 2 に支持される。第 1 回転装置 1 0 により工具 1 が回転軸 A X を中心に回転し、第 2 回転装置 2 0 によりワーク W が回転軸 B X を中心に回転する。工具 1 が回転しワーク W が回転している状態で、工具 1 とワーク W とが接触するように、駆動装置 3 0 により工具 1 が - X 方向に移動される。40

#### 【 0 0 6 1 】

ワーク W と工具 1 とが接触し工具 1 によりワーク W が加工されている状態で、状態量データ取得部 5 1 は、第 1 モータ 1 2 の出力データ  $d_1$ 、回転速度センサ 1 4 によって検出される工具 1 の回転速度データ  $d_2$ 、第 3 モータ 3 1 の出力データ  $d_3$ 、位置センサ 3 2 によって検出される X 軸方向における工具 1 の位置データ  $d_4$ 、第 2 モータ 2 3 の出力データ  $d_5$ 、及び回転角度センサ 2 4 によって検出されるワーク W の回転角度データ  $d_6$  を含む状態量データを取得する（ステップ S 1 0）。50

**【0062】**

状態量推定データ算出部52は、工具1の動特性を示す装置動特性モデル及びワークWの目標形状を示すワークモデルを含むシミュレーションモデルから状態量推定データを算出する(ステップS20)。

**【0063】**

加工状態算出部53は、状態量データ取得部51で取得された状態量データと状態量推定データ算出部52で算出された状態量推定データとに基づいて、ワークWの加工状態を示す加工状態データを算出する(ステップS30)。

**【0064】**

本実施形態においては、状態量推定データ算出部52において、第1モータ12の出力データd1及び工具1の回転速度データd2とシミュレーションモデルとに基づいて、工具1の加工抵抗が算出される。なお、状態量推定データ算出部52のカルマンフィルタ52Cが、第1モータ12の出力データd1から工具1の加工抵抗を抽出してもよい。10

**【0065】**

工具1の加工抵抗が導出された後、加工状態算出部53は、加工抵抗とワークモデルとに基づいて、ワークWの撓み量変動データを算出する。加工抵抗は、ワークWに作用する負荷と等価である。また、ワークモデルは、ワークWの目標形状データ、ワークWの物性データ、及びワークWの動特性データを含む。加工状態算出部53は、ワークWに作用する負荷とワークモデルとに基づいて、ワークWの撓み量変動を示す撓み量変動データを算出することができる。20

**【0066】**

ワークWの撓み量変動データが算出されることにより、図4を参照して説明したように、指令切り込み量に対する実切り込み量が算出される。実切り込み量が算出されることにより、CADデータによって規定される目標形状に対するワークWの形状誤差変動が算出される。加工状態算出部53は、加工状態データとして、目標形状に対するワークWの形状誤差変動を示す誤差データを算出することができる。

**【0067】**

また、図5を参照して説明したように、状態量推定データ算出部52は、ワークWの回転角度データd6と工具1の位置データd4とワークモデルとに基づいて、ワークWと工具1との接触位置Cを算出することができる。接触位置Cは、ワークWが工具1と接触する加工点を示す。加工状態算出部53は、接触位置Cを算出することにより、ワークWのどの部位がどれくらい加工されているかを把握することができる。換言すれば、加工状態算出部53は、回転軸BXを中心とする回転方向におけるワークWの複数の部位のそれぞれについての目標形状に対する形状誤差変動を算出することができる。30

**【0068】**

また、加工状態算出部53は、第3モータ31の出力データd3及び工具1の位置データd4に基づいて、ビビリ振動に起因して生成されるワークWの表面の凹凸の深さ及びピッチを算出することができる。

**【0069】**

すなわち、本実施形態においては、加工状態算出部53は、ワークWの加工中に取得される状態量データに基づいて、ワークWの加工状態データとして、目標形状に対する回転方向におけるワークWの複数の部位のそれぞれについての誤差データ、及びビビリ振動に起因するワークWの表面の凹凸データを算出することができる。40

**【0070】**

また、加工状態算出部53は、状態量推定データである工具1の加工抵抗と、工具1により加工されたワークWの数とに基づいて、工具1の摩耗量を算出し推定することができる。例えば、推定される工具1の加工抵抗(研削抵抗)が静定した後、ワークWを2回転して複数のワークWのそれぞれが粗研削され、それら複数のワークWのそれぞれが粗研削されたときの工具1の摩耗量が取得される。加工状態算出部53は、複数のワークWのそれぞれを粗研削したときの工具1の摩耗量の平均値を示す代表摩耗量を算出する。代表摩50

耗量は記憶部 5 9 に記憶される。加工状態算出部 5 3 は、算出した工具 1 の代表摩耗量と、その工具 1 を使って加工されたワーク W の数とに基づいて、工具 1 の摩耗量を推定することができる。

#### 【 0 0 7 1 】

工具 1 による加工中において、出力部 5 4 は、加工状態算出部 5 3 で算出された加工状態データを出力する（ステップ S 4 0）。出力部 5 4 は、ワーク W の加工中においてリアルタイムで加工状態データを出力する。出力部 5 4 は、例えば表示装置に加工状態データをリアルタイムに出力する。

#### 【 0 0 7 2 】

図 7 は、本実施形態に係る工作機械 1 0 0 により算出された加工状態データの一例を示す図である。図 7 に示すグラフは、表示装置に表示される。10

#### 【 0 0 7 3 】

図 7 に示すグラフにおいて、横軸は、ワーク W の基準部位を 0 [°] としたときの回転方向におけるワーク W の部位の角度を示す。縦軸は、目標形状に対するワーク W のそれぞれの部位の誤差データを示す。

#### 【 0 0 7 4 】

図 7 において、ライン L a は、出力部 5 4 から出力された加工状態データを示す。工作機械 1 0 0 において状態量データが取得されることにより、加工状態算出部 5 3 は、ワーク W の加工中においてワーク W の加工状態データをリアルタイムで算出することができる。出力部 5 4 は、ワーク W の加工中においてワーク W の加工状態データをリアルタイムで出力することができる。20

#### 【 0 0 7 5 】

なお、ライン L b は、工作機械 1 0 0 による加工後の後工程において検査装置で検出されたワーク W の誤差データを示す。ライン L a とライン L b とは十分に一致することが分かる。

#### 【 0 0 7 6 】

加工制御部 5 5 は、工具 1 を用いるワーク W の加工において、加工状態算出部 5 3 で算出された加工状態データに基づいて、工具 1 による加工条件を制御する（ステップ S 5 0）。加工制御部 5 5 は、加工状態算出部 5 3 で算出された加工状態データに基づいて、算出された誤差が 0 [μm] になるように、第 1 モータ 1 2 、第 3 モータ 3 1 、及び第 2 モータ 2 3 の少なくとも一つをフィードバック制御する。30

#### 【 0 0 7 7 】

##### [作用及び効果]

以上説明したように、本実施形態によれば、ワーク W の加工中において取得される状態量データに基づいて、ワーク W の加工状態データがリアルタイムで算出される。ワーク W の加工状態データは、目標形状に対するワーク W の形状誤差変動を示す誤差データを含み、ワーク W の加工品質を示す。本実施形態によれば、シミュレーションモデルを用いることにより、状態量データとシミュレーションモデルとに基づいて、ワーク W の加工中には直接的には計測できないワーク W の加工品質を、演算処理によって仮想的に検査することができる。40

#### 【 0 0 7 8 】

したがって、従来技術のような、後工程において検査装置を使って加工物を検査する必要が無くなる。大型で高価な検査装置が不要となるため、設備コストを抑制することができる。

#### 【 0 0 7 9 】

また、ワーク W の加工中に取得される状態量データに基づいてワーク W の加工品質がリアルタイムで検査される。そのため、加工品質の検査のための検査時間を別途設けなくても済む。したがって、製造された加工物の全部の加工品質を低コストで検査することができる。そのため、不良な加工品質の加工物の出荷が抑制される。

#### 【 0 0 8 0 】

50

また、本実施形態によれば、工具1によるワークWの加工において加工状態データを出力する出力部54が設けられる。これにより、加工状態算出部53で算出された加工状態データは、ワークWの加工中においてリアルタイムで出力される。例えば、加工状態データが表示装置にリアルタイムで出力されることにより、管理者は、表示装置を介して、ワークWの加工品質をリアルタイムで視認することができる。

#### 【0081】

また、本実施形態によれば、加工状態データに基づいて工具1によるワークWの加工条件を制御する加工制御部55が設けられる。加工制御部55は、加工状態算出部53においてリアルタイムで算出された加工状態データに基づいて、ワークWの形状誤差が抑制されるように、工作機械100をフィードバック制御することができる。したがって、ワークWの加工条件が短時間で最適化され、良好な加工品質の加工物が短時間で効率良く製造される。10

#### 【0082】

また、本実施形態においては、状態量データとして、工具1を回転させる動力を発生する第1モータ12の出力データd1が取得される。カルマンフィルタ52Cにおいて第1モータ12の出力データd1がデータ処理されることにより、工具1の研削抵抗、ワークWの加工開始点、及び工具1の摩耗量など、様々な状態量データを取得することができる。。

#### 【0083】

また、本実施形態においては、状態量データとして、回転速度センサ14によって検出される工具1の回転速度データd2が取得される。これにより、第1モータ12の出力データd1及び工具1の回転速度データd2とシミュレーションモデルとに基づいて、工具1の加工抵抗を算出することができる。工具1の加工抵抗が算出されることにより、ワークWの加工量及びワークWの撓み量変動を推定することができる。20

#### 【0084】

また、本実施形態においては、ワークWの撓み量変動データが算出される。これにより、第3モータ31に出力された制御指令データとワークWの撓み量変動データとに基づいて、ワークWの形状誤差変動を示す誤差データを算出することができる。

#### 【0085】

また、本実施形態においては、状態量データとして、ワークWの回転角度データd6が取得される。これにより、回転角度データd2とワークモデルとに基づいて、ワークWと工具1との接触位置Cを算出することができる。30

#### 【0086】

また、本実施形態においては、状態量データとして、第3モータ31の出力データd3及び送り方向における工具1の位置データd4が取得される。これにより、第3モータ31の出力データd3及び工具1の位置データd4に基づいて、ビビリ振動に起因するワークWの表面の凹凸データを算出することができる。

#### 【0087】

なお、上述の実施形態においては、加工状態算出部53によって算出された加工状態データに基づいて、工具1による加工条件がフィードバック制御されることとした。例えば、加工状態算出部53によって算出された加工状態データが、加工物(製品)のシリアル番号に対応付けられて記憶部56に記憶されてもよい。例えば、工作機械100によって加工された最終製品である加工物の形状データがタイムスタンプ及び/又はシリアル番号に対応付けられて記憶部56に記憶されてもよいし、あるいは、出力部54を介して外部の管理端末に記憶するように構成してもよい。40

#### 【0088】

なお、上述の実施形態においては、工作機械100が、カムシャフトやクランクシャフトを加工する研削装置であることとしたが、研削装置に限定されない。工作機械100は、一般的な円筒研削盤でもよいし、球面研削盤でもよいし、マシニングセンタでもよいし、ワイヤソーでもよい。50

## 【0089】

なお、上述の実施形態においては、制御装置 50 が工作機械 100 に設けられることとした。制御装置 50 は工作機械 100 とは別の装置でもよい。例えば、図 8 に示す加工システム 1000 のように、制御装置 50 の機能が工場の管理端末に設けられてもよい。図 8 に示す加工システム 1000 において、工作機械 100C と制御装置 50 の機能を有する管理端末 50C とは、通信装置 1500 を介して接続される。管理端末 50C は、通信装置 1500 を介して、工作機械 100C とデータ通信する。すなわち、上述の実施形態において、状態量データ取得部 51、状態量推定データ算出部 52、加工状態算出部 53、出力部 54、加工制御部 55、及び記憶部 56 の少なくとも一つの機能が、工作機械 100C とは別に設けられてもよい。

10

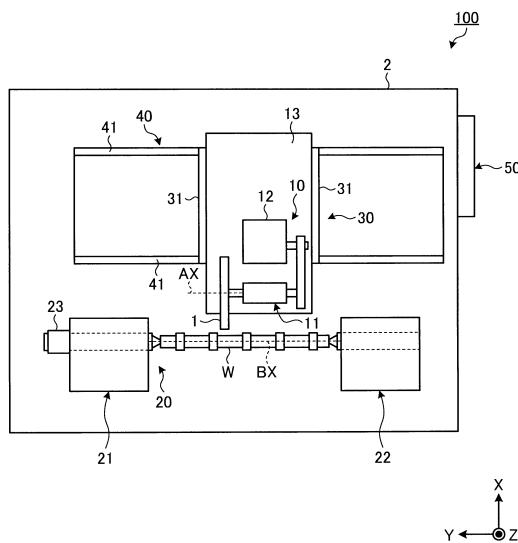
## 【符号の説明】

## 【0090】

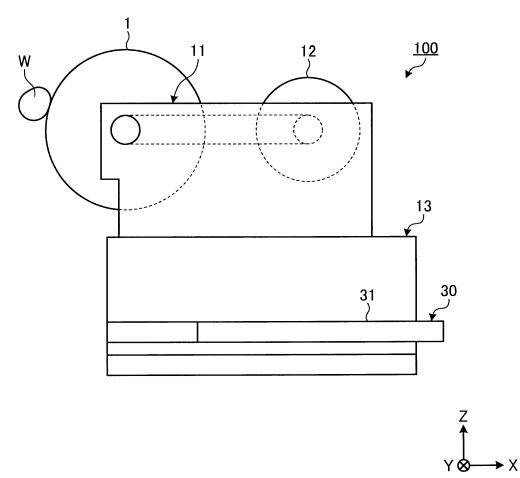
1 … 工具、2 … ベース部材、10 … 第1回転装置、11 … 支持機構、12 … 第1モータ、13 … ステージ部材、14 … 回転速度センサ、20 … 第2回転装置、21 … 支持機構、22 … 支持機構、23 … 第2モータ、24 … 回転角度センサ、30 … 駆動装置、31 … 第3モータ、32 … 位置センサ、40 … 駆動装置、41 … 第4モータ、50 … 制御装置、51 … 状態量データ取得部、52 … 状態量推定データ算出部、52C … カルマンフィルタ、53 … 加工状態算出部、54 … 出力部、55 … 加工制御部、56 … 記憶部、60 … CADデータ保持部、100 … 工作機械、200 … 制御システム、1000 … 加工システム、AX … 回転軸、BX … 回転軸、C … 接触位置、W … ワーク。

20

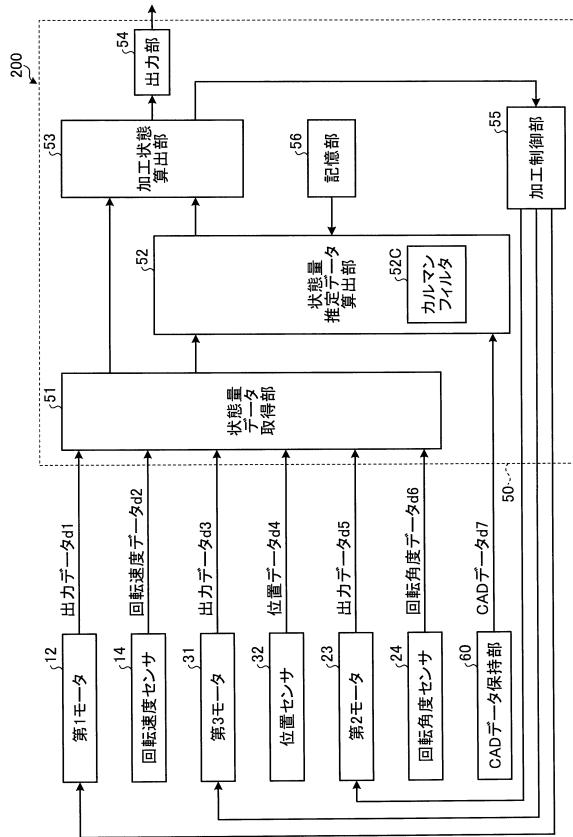
【図1】



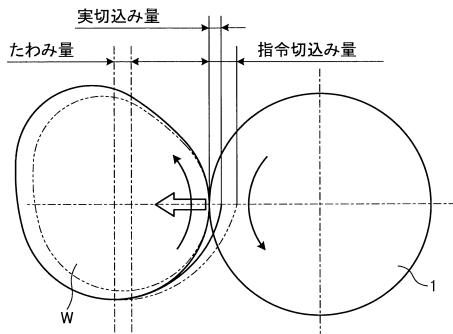
【図2】



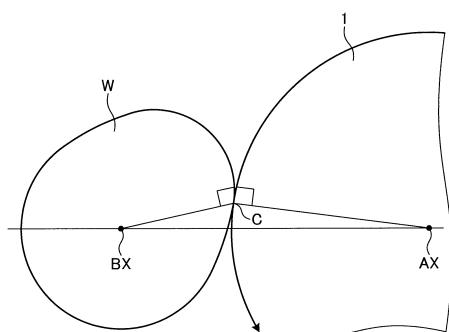
【図3】



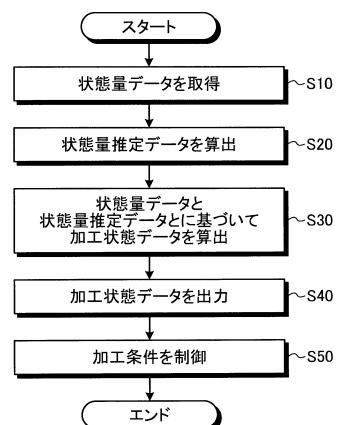
【図4】



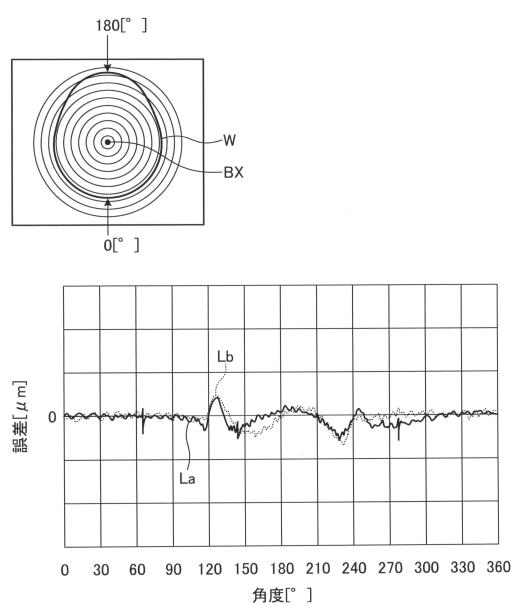
【図5】



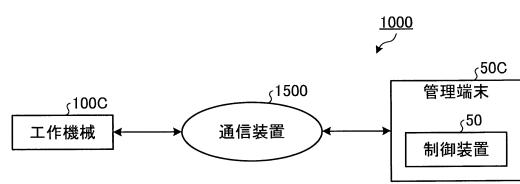
【図6】



【図7】



【図8】



---

フロントページの続き

(72)発明者 中山 彰

富山県南砺市福野100番地 コマツNTC株式会社 富山工場内

審査官 中田 善邦

(56)参考文献 特開2013-059840(JP, A)

米国特許第06810302(US, B2)

国際公開第2015/114861(WO, A1)

特開昭60-229113(JP, A)

実開平03-001742(JP, U)

特開2015-134400(JP, A)

特開2015-229216(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B23Q15/00-15/28,

G05B19/18-416, 42-46