

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6803192号
(P6803192)

(45) 発行日 令和2年12月23日 (2020. 12. 23)

(24) 登録日 令和2年12月2日 (2020. 12. 2)

(51) Int. Cl.	F 1
B 2 3 Q 17/09 (2006. 01)	B 2 3 Q 17/09 A
G 0 5 B 19/18 (2006. 01)	G 0 5 B 19/18 W

請求項の数 3 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2016-203685 (P2016-203685)	(73) 特許権者	000149066
(22) 出願日	平成28年10月17日 (2016. 10. 17)		オークマ株式会社
(65) 公開番号	特開2018-65199 (P2018-65199A)		愛知県丹羽郡大口町下小口五丁目2 5 番地の1
(43) 公開日	平成30年4月26日 (2018. 4. 26)	(74) 代理人	100078721
審査請求日	令和1年8月30日 (2019. 8. 30)		弁理士 石田 喜樹
		(74) 代理人	100121142
			弁理士 上田 恭一
		(72) 発明者	田中 貴暁
			愛知県丹羽郡大口町下小口5 丁目2 5 番地の1 オークマ株式会社内
		審査官	中川 康文

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】

回転軸を備えた回転軸装置と、前記回転軸装置に取り付けられ、前記回転軸の回転に同期して前記回転軸装置に周期的に発生する現象に係る情報を取得するセンサと、前記回転軸装置の動作を制御するとともに、前記センサを介して前記情報を取得する制御装置とを備えており、

前記制御装置が、所定のサンプリング周期で前記センサを介して前記情報を取得するとともに、取得した前記情報と前記回転軸の回転位相とを関連づけ、前記回転軸の複数回の回転にわたって取得した前記情報をもとに前記現象の1周期分の変化を作成する工作機械であって、

前記制御装置に、前記1周期分の変化の作成に係るサンプリング周期である抽出サンプリング周期が設定されており、

前記制御装置は、前記抽出サンプリング周期で前記現象の変化をサンプリングすると仮定した際に、その各サンプリング時の位相である抽出位相を算出し、前記情報を利用して前記抽出位相における前記現象の値を算出しており、

前記回転軸の複数回の回転にわたって取得した前記情報を重ね合わせて前記現象の1周期分の変化の近似波形を作成した上で、算出した前記現象の値を内挿することにより、前記現象の1周期分の変化を作成することを特徴とする工作機械。

【請求項 2】

前記抽出位相における前記現象の値の算出に前記情報を利用するにあたり、当該情報に

関連づけられている前記回転位相と前記抽出位相との位相差が所定のしきい値以下であることをもって利用することを特徴とする請求項 1 に記載の工作機械。

【請求項 3】

前記抽出位相における前記現象の値の算出に情報 A を利用するにあたり、前記情報 A に関連づけられている回転位相 A と、前記現象の 1 周期分の変化を作成する際に、回転位相 A と位相が最も近くなる情報 B に関連づけられている回転位相 B との位相差が所定のしきい値以下であることをもって、前記情報 A を利用することを特徴とする請求項 1 に記載の工作機械。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、たとえば工具又はワークを回転させながら加工するための回転軸装置を備えた工作機械に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来、回転軸を回転させながら加工を行う工作機械において、工作機械自体の状態診断や加工診断を行うにあたっては、動作中の振動や駆動力等を測定し、その測定結果にもとづいて診断を行うことが一般的となっている。たとえば、回転軸に工具を装着し、ワークに対して切削加工を行う場合、切削加工中の回転軸の駆動力を測定することによって、切削量の同定を行ったり、切削工具の状態を検出したりすることができる。

20

【0003】

また、特許文献 1 に記載の発明では、加工対象の形状データ及び加工パスから求められる切削体積と被切削材の材質とにもとづいて切削時に発生する駆動力を算出し、算出した駆動力と実測した駆動力とを比較することにより、異常な加工を検出するようになっている。

さらに、特許文献 2 に記載の発明では、繰り返し加工を行う場合に、前回の正常な加工を行った際の駆動力と、今回の加工において実測した駆動力とを比較することにより、異常な加工を検出するようになっている。

加えて、近年では、回転軸の駆動力の他、工作機械の各部に振動センサや A E センサを取り付けたり、変位センサを採用したりすることによって、工作機械上で発生する現象を一層明確に測定しようとする試みがなされている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2004 - 126956 号公報

【特許文献 2】特開 2012 - 254499 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、従来の方法において、回転軸の駆動や切削を行う周期、軸受やガイド部品固有の振動周期等といった所望の現象の変化を検出するためには、非常に短いサンプリング周期で測定する必要がある。たとえば、切削刃が 6 枚の回転工具を用いた切削時における 1 刃毎の駆動力の変化を測定しようとする、回転速度が 10000 min^{-1} である場合、切削周期は $100 \mu \text{sec}$ となる。そのため、切削刃 1 枚毎に 10 点サンプリングするには、サンプリング周期は $10 \mu \text{sec}$ よりも速くなければならない。そして、このような高速でのサンプリングが必要になると、測定及び解析にコストがかかるという問題がある。

40

【0006】

そこで、本発明は、上記問題に鑑みなされたものであって、回転軸装置に発生する現象の変化について、従来のように非常に短い周期でサンプリングを行うことなく、低コスト

50

で、且つ、精度の良い測定結果を得ることができる工作機械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】

【0007】

上記目的を達成するために、本発明のうち請求項1に記載の発明は、回転軸を備えた回転軸装置と、前記回転軸装置に取り付けられ、前記回転軸の回転に同期して前記回転軸装置に周期的に発生する現象に係る情報を取得するセンサと、前記回転軸装置の動作を制御するとともに、前記センサを介して前記情報を取得する制御装置とを備えており、前記制御装置が、所定のサンプリング周期で前記センサを介して前記情報を取得するとともに、取得した前記情報と前記回転軸の回転位相とを関連づけ、前記回転軸の複数回の回転にわたって取得した前記情報をもとに前記現象の1周期分の変化を作成する工作機械であって、前記制御装置に、前記1周期分の変化の作成に係るサンプリング周期である抽出サンプリング周期が設定されており、前記制御装置は、前記抽出サンプリング周期で前記現象の変化をサンプリングすると仮定した際に、その各サンプリング時の位相である抽出位相を算出し、前記情報を利用して前記抽出位相における前記現象の値を算出しており、前記回転軸の複数回の回転にわたって取得した前記情報を重ね合わせて前記現象の1周期分の変化の近似波形を作成した上で、算出した前記現象の値を内挿することにより、前記現象の1周期分の変化を作成することを特徴とする。

10

請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の発明において、前記抽出位相における前記現象の値の算出に前記情報を利用するにあたり、当該情報に関連づけられている前記回転位相と前記抽出位相との差が所定のしきい値以下であることをもって利用することを特徴とする。

20

請求項3に記載の発明は、請求項1に記載の発明において、前記抽出位相における前記現象の値の算出に情報Aを利用するにあたり、前記情報Aに関連づけられている回転位相Aと、前記現象の1周期分の変化を作成する際に、回転位相Aと位相が最も近くなる情報Bに関連づけられている回転位相Bとの位相差が所定のしきい値以下であることをもって、前記情報Aを利用することを特徴とする。

【発明の効果】

【0008】

本発明では、制御装置に、1周期分の変化の作成に係るサンプリング周期である抽出サンプリング周期が設定されており、制御装置は、抽出サンプリング周期で現象の変化をサンプリングすると仮定した際に、その各サンプリング時の位相である抽出位相を算出し、情報を利用して抽出位相における現象の値を算出しており、回転軸の複数回の回転にわたって取得した情報を重ね合わせて現象の1周期分の変化の近似波形を作成した上で、算出した現象の値を内挿することにより、現象の1周期分の変化を作成する。

30

したがって、たとえば主軸の駆動負荷の変化といった高速で変化する現象について、従来よりも長いサンプリング周期で測定するにも拘わらず、有用な測定結果を得ることができる。また、従来では変化の周期が速すぎて技術的に困難であった現象についても測定することができる。さらに、抽出サンプリング周期といった一定周期で測定したかの如き変化を作成することができるため、測定の周期が不等なデータと比較して周波数分解が行いやすい等、使い勝手の良いデータを得ることができる。

40

また、請求項2及び3に記載の発明によれば、現象の値の算出に利用する情報に関して、種々のしきい値を設定しているため、一層精度の高いデータを得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】工作機械を示した説明図である。

【図2】主軸装置に発生する現象の測定に係る制御について示したフローチャート図である。

【図3】測定条件が充足されている場合に得られる主軸の駆動力の1周期分の変化を示した説明図である。

50

【図 4】測定条件が充足されていない場合に得られる主軸の駆動力の 1 周期分の変化を示した説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、本発明の一実施形態となる工作機械について、図面にもとづき詳細に説明する。

【0011】

図 1 は、工作機械 20 を示した説明図である。

工作機械 20 は、所謂マシニングセンタであって、主軸装置 11 と制御装置 12 とを有する。主軸装置 11 の主軸頭 3 には、回転軸となる主軸 2 や、主軸 2 を回転させるための駆動装置（図示せず）等が備えられており、主軸 2 の先端には、工具を備えた工具ホルダ 1 が装着可能となっている。また、主軸頭 3 を始めとする主軸装置 11 の主要構成部品には、主軸 2 の駆動力を測定するためのセンサ（たとえば、駆動装置の所要電力を測定するセンサ）や、主軸装置 11 に生じる振動を測定するためのセンサ等が取り付けられている。一方、制御装置 12 は、主軸 2 の動作を制御するとともに、主軸装置 11 の状態や主軸装置 11 での加工を診断するためのものであって、上記各種センサに接続され、主軸装置 11 における種々の情報を測定し記録する測定記録部 4、測定記録部 4 に記録される測定データについてのしきい値を設定する設定部 5、及び種々の演算処理を行う演算部 6 を備えている。

【0012】

そして、本発明の要部となる主軸装置 11 に発生する現象の測定に係る制御について、図 2 のフローチャート図に沿って説明する。なお、主軸 2 の回転数（測定対象の駆動周期） $R_{spd} = 600 \text{ min}^{-1}$ にて加工を行った際に、主軸 2 の駆動負荷の変化をサンプリング周期 $S_T = 82 \text{ msec}$ にて測定することとする。

制御装置 12 は、主軸 2 の駆動負荷の変化を測定するにあたり、まず抽出サンプリング周期 S_{Tgt} を設定する（S1）。抽出サンプリング周期とは、サンプリング周期 S_T で測定された測定値をもとにして波形を作成するにあたり、その測定値の抽出に係る周期である。つまり、主軸 2 の回転数 $R_{spd} = 600 \text{ min}^{-1}$ であると、主軸 2 の駆動負荷は 10 Hz の振動（ 1 sec で 10 周期）として現れるため、1 周期毎に 10 点でサンプリングしたような波形の作成を考えると、抽出サンプリング周期 $S_{Tgt} = 10 \text{ msec}$ と設定することになる。

【0013】

次に、サンプリング周期 S_T での主軸 2 の駆動負荷の測定を開始するとともに、その測定値と測定時における主軸 2 の回転位相とを関連づけ、測定記録部 4 へ順次記録する（S2）。なお、制御装置 12 が、主軸装置 11 から主軸 2 の回転位相を取得しない場合には、下記式 1 にて回転周期 $R_T = 100 \text{ msec}$ と求め、測定開始からの経過時間と回転周期 R_T との剰余によって、主軸 2 の回転位相を算出するようにしてもよい。

【数 1】

$$\text{回転周期 } R_T [\text{sec}] = 1/(R_{spd}/60) \quad \dots \quad \text{式 1}$$

【0014】

さらに、測定値が溜まってくると、波形の作成に係る条件となる測定条件（ここでは測定時間）を算出する（S3）。つまり、下記式 2 で示すように、サンプリング周期 S_T と抽出サンプリング周期 S_{Tgt} との最小公倍数、回転周期 R_T 、及び抽出サンプリング周期 S_{Tgt} より、測定時間 M_{Tme} （ここでは測定時間 $M_{Tme} = 4.1 \text{ sec}$ となる）を算出する。それから、算出した測定条件が充足されているか否か、すなわち測定時間 M_{Tme} 以上の時間にわたり主軸 2 の駆動負荷の変化が定常的に発生しているか否かを判断する（S4）。

【数 2】

$$\text{測定時間 } M_{Time} [\text{sec}] = lcm(S_T, S_{Tgt}) \times (R_T / S_{Tgt}) \quad \dots \quad \text{式 2}$$

$lcm(a, b)$ は a と b の最小公倍数とする

【0015】

そして、測定時間 M_{Time} 以上の時間にわたり主軸 2 の駆動負荷の変化が定常的に発生していると判断する（S 4 で YES と判断する）と、波形の作成に必要となる測定値が全て記録されていることになるため、測定記録部 4 に記録されている測定値を、その位相情報に沿って並べることにより、図 3 に示すような 1 周期分の主軸 2 の駆動負荷の変化に係る波形を作成する（S 6）。なお、ただ単に位相情報に沿って測定値を並べるのではなく、1 周期分の主軸 2 の駆動負荷の変化を抽出サンプリング周期 S_{Tgt} でサンプリングすると仮定した際に、その各サンプリング時の変化の位相である抽出位相を下記式 5 で算出し、測定記録部 4 に記録されている測定値のうち、回転位相が抽出位相に一致する測定値を抽出して並べた方が、等サンプリング間隔のデータとなって好ましい。

10

【0016】

一方、測定時間 M_{Time} 以上の時間にわたり主軸 2 の駆動負荷の変化が定常的に発生していなかったと判断する（S 4 で NO と判断する）と、主軸 2 の駆動が安定していなかったり、駆動時間が短かったりといった事情で、波形の作成に必要となる測定値が足りないことになるため、波形を作成するにあたり内挿処理を実行して測定値を補間する必要がある。そこで、そのような補間に利用する測定値の抽出に使用するしきい値を設定する（S 5）。このしきい値としては、測定値に関連づけられている位相情報と、波形を作成する際の抽出位相との位相差に対するものや、測定値 A に関連づけられている位相情報 A と、波形を作成するにあたり複数周期にわたる測定値を重ね合わせる際、当該位相情報 A と位相が前後する測定値 B（位相情報 A に位相が近い方の測定値 B）に関連づけられている位相情報 B との位相差に対するものがある。そして、しきい値の設定は、求める精度に応じて作業者が入力装置等で設定してもよいし、種々の条件から制御装置 12 が算出するようにしてもよい。

20

【0017】

具体例を挙げると、測定値に関連づけられている位相情報と、波形を作成する際の抽出位相との差について、抽出サンプリング周期 S_{Tgt} 以下のしきい値を設定することが考えられる。このようなしきい値を設定することで、波形を作成するにあたり、抽出サンプリング周期 S_{Tgt} でのプロット間に、適当な位相情報をもつ測定値が存在しないまま内挿処理を実行してしまうことが避けられるため、波形のピークの消失を回避することができる。また、位相情報 A と位相情報 B との位相差について、センサのサンプリング周期 S_T の精度以上の値をしきい値として設定することが考えられる。このようなしきい値を設定することで、波形の作成にあたり、回転位相の入れ替わりや不確かさを考慮しつつ内挿処理を実行することができる。

30

【0018】

また、想定される入力成分（ここでは、主軸 2 の駆動負荷の変化）における最大周波数成分 f_{max} を基準に下記式 3 でしきい値を求めてもよい。

40

【数 3】

$$\text{保管実データしきい値 } TH = 1 / f_{max} \quad \dots \quad \text{式 3}$$

この最大周波数成分 f_{max} は、アンチエリアシングフィルタのカットオフ周波数であってもよいし、回転検出器の刃数等のセンサの固有値（所謂測定器の時間精度）であってもよい。また、エンドミルやフライスカッターを用いた加工であれば、駆動周期 R_{spd} 、工具刃数 Z と、切れ刃 1 枚あたりに検出したい分割数 p とをもとに下記式 4 から算出してもよい。他にも軸受けの回転体の通過周波数等も考えられる。

50

【数 4】

$$f_{\max} [\text{Hz}] = R_{\text{spd}} \cdot Z \cdot p / 60 \quad \dots \quad \text{式 4}$$

【0019】

そして、しきい値の設定が完了すると下記式 5 で抽出位相を算出し、内挿処理を実行しつつ 1 周期分の主軸 2 の駆動負荷の変化に係る波形を作成する (S 6)。この内挿処理を行うに際しては、算出した抽出位相 SP_n を超える最も小さい回転位相に関連づけられた測定値と、算出した抽出位相 SP_n を超えない最も大きい回転位相に関連づけられた測定値とを抽出する。そして、抽出位相 SP_n との差が S 5 で設定されたしきい値以下であることをもって内挿条件が満たされたとし、それらの測定値を用い直線補間を行い、抽出位相 SP_n における主軸 2 の駆動負荷を算出する。この処理は、 $n = 1, 2 \dots \lfloor S_T / S_{Tgt} \rfloor$ (「 $\lfloor \cdot \rfloor$ 」も床関数を示す) の範囲で行い、抽出サンプリング周期 S_{Tgt} での主軸 2 の駆動負荷を算出する。そして、複数周期にわたる測定値について周期をあわせて重ね合わせて近似波形を作成した上で、補間した主軸 2 の駆動負荷を内挿することにより、図 4 に示すような 1 周期分の主軸 2 の駆動負荷の変化に係る波形 (こちら等サンプリング間隔のデータとなる)、すなわち図 3 に示す波形と略同等の波形を得ることができる。なお、図 3 に示す波形が測定時間 $M_{Tme} = 4.1 \text{ sec}$ での波形であったところ、図 4 に示す波形は、測定時間 $M_{Tme} = 2.05 \text{ sec}$ での波形である。また、ここでは測定値に関連づけられている位相情報 (すなわち回転位相) と抽出位相との位相差をしきい値としてに内挿条件が満たされているか否かを判定するとしているが、上述の如く、位相情報 A と位相情報 B との位相差をしきい値と比較して内挿条件が満たされるか否かを判定してもよい。

【数 5】

$$\text{抽出位相 } SP_n = 360 \cdot (S_{Tgt} \cdot n \bmod R_T) / R_T \quad (n = 1, 2 \dots \lfloor S_T / S_{Tgt} \rfloor) \quad \dots \quad \text{式 5}$$

$\lfloor a \rfloor$ は a の床関数であり a を超えない最大の整数を示す
 $a \bmod b$ は a を b で除した際の剰余を示す

【0020】

以上のような構成を有する工作機械 20 によれば、主軸 2 の駆動負荷の測定、及び測定値についての測定時における主軸 2 の回転位相の関連づけを、主軸 2 の複数回の回転にわたって継続し、種々の回転位相で測定値を得ることにより、最終的に主軸 2 の 1 回転における駆動力の変化を求める。したがって、主軸 2 の駆動負荷の変化といった高速で変化する現象について、従来よりも長いサンプリング周期で測定するにも拘わらず、有用な測定結果を得ることができ、コスト低減を図ることができる。また、従来では変化の周期が速すぎて技術的に困難であった現象についても測定することができる。

【0021】

また、1 周期分の主軸 2 の駆動負荷の変化を抽出サンプリング周期 S_{Tgt} でサンプリングすると仮定した際に、その各サンプリング時の変化の位相である抽出位相を算出し、測定記録部 4 に記録されている測定値のうち、回転位相が抽出位相に一致する測定値を抽出して並べたり、所定の抽出位相での主軸 2 の駆動負荷を補間するとともに、複数周期にわたる測定値について周期をあわせて重ね合わせて近似波形を作成した上で、補間した主軸 2 の駆動負荷を内挿したりして、1 周期分の主軸 2 の駆動負荷の変化を作成しているため、等サンプリング間隔のデータを得ることができ、測定の周期が不等なデータと比較して周波数分解が行いやすい等、使い勝手の良いデータを得ることができる。

【0022】

さらに、測定値に関連づけられている位相情報と、波形を作成する際の抽出位相との差に対するしきい値や、位相情報 A と位相情報 B との位相差に対するしきい値を設定しており、主軸 2 の駆動負荷の補間に際して利用する測定値について、それらのしきい値にもと

づいて取捨するため、一層精度の高いデータを得ることができる。

加えて、想定される入力成分における最大周波数成分 f_{max} を基準にしてしきい値を算出したり、その最大周波数成分 f_{max} を、アンチエイリアシングフィルタのカットオフ周波数と測定器の時間精度との何れか、若しくは、それらの組み合わせとしたり、測定対象の駆動周期 R_{spd} と検出したい分割数 p との積を用いて算出したりすることで、補間に利用する測定値の抽出を一層有効に行うことができ、極めて精度の高いデータを得ることができる。

【0023】

なお、本発明の工作機械に係る構成は、上記実施形態に何ら限定されるものではなく、工作機械全体の構成は勿論、現象の測定に係る制御等に係る構成についても、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で必要に応じて適宜変更可能である。

10

【0024】

たとえば、上記実施形態ではマシニングセンタの主軸装置について説明しているが、旋盤の主軸装置や送り軸装置等、本発明は他の工作機械、回転軸装置についても好適に適用することができる。

また、上記実施形態では、周期的に変化する現象として主軸の駆動負荷を挙げているが、これに限定されることはなく、たとえば送り軸といった他の駆動軸の駆動負荷であってもよいし、回転軸装置に発生する振動、変位、温度等であってもよい。具体的に例示すると、送り軸（回転軸）に振動センサ（センサ）を取り付け、送り軸を一定速度で回転させて移動体を移動させる際の振動を測定してもよい。このような測定結果を得ることで、送り軸移動に係るベアリングやボールねじの状態を診断することができる。

20

【0025】

さらに、上記実施形態では直線補間によって抽出位相における主軸の駆動負荷を求めているが、補間の手法は直線補間に限定されることはなく、他の近似法を用いてもよい。さらにまた、算出した抽出位相に近い2つの測定値を用いて補間しているが、補間に用いる測定値の数を増やして精度向上を図ってもよい。

加えて、抽出位相 SP_n ($n = 1, 2 \cdots \lfloor S_T / S_{Tgt} \rfloor$) の算出結果に対して、サンプリング周期 S_T で測定・記録した測定値の回転位相に関し、当該回転位相が内挿条件を条件を満たすか否かの検証を行うことで測定時間を決定することができる。そこで、周期的な現象の測定に必要な測定時間を決定した上で、抽出位相 SP_n ($n = 1, 2 \cdots \lfloor S_T / S_{Tgt} \rfloor$) で算出される1周期分の波形を作成するために必要な全ての抽出位相を満たせるようにサンプリング周期 S_{Tgt} を設定することで、最短時間で測定を行うことができ、時間変化による影響を少なくすることも可能である。

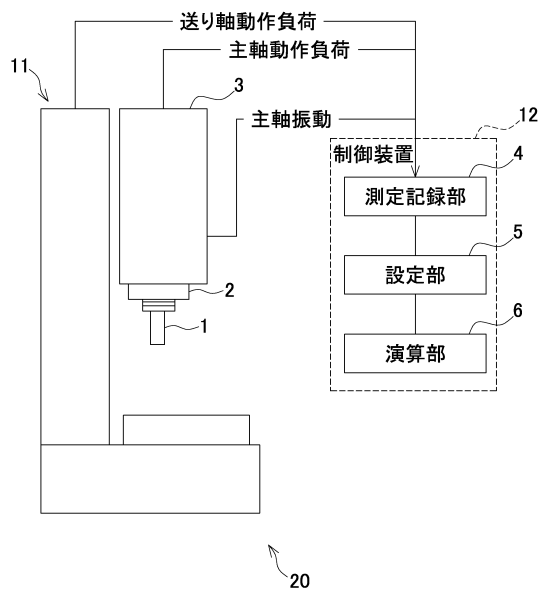
30

【符号の説明】

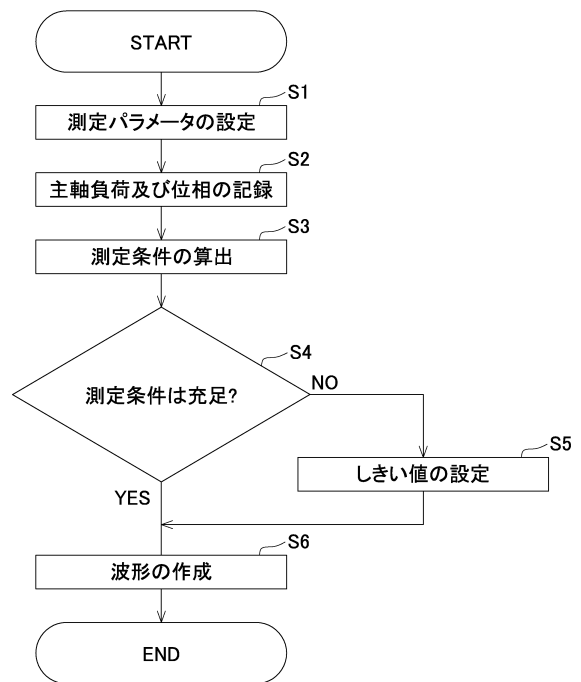
【0026】

2・・・主軸（回転軸）、4・・・測定記録部、5・・・設定部、6・・・演算部、11・・・主軸装置（回転軸装置）、12・・・制御装置、20・・・工作機械。

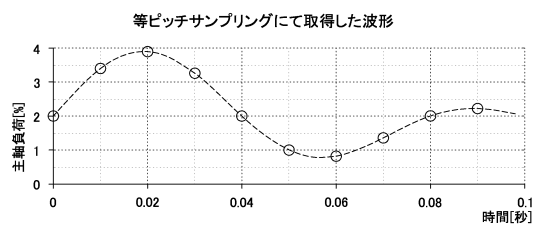
【 図 1 】



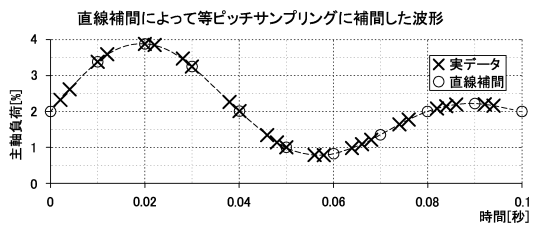
【 図 2 】



【圖 3】



【 図 4 】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2003-103436(JP,A)
特開平04-201160(JP,A)
特開2004-126956(JP,A)
特開2004-276145(JP,A)
特開2008-093750(JP,A)
特開2012-056051(JP,A)
特開2012-187657(JP,A)
特開2012-254499(JP,A)
特開2014-184505(JP,A)
特開2016-057843(JP,A)
特表2003-523516(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B23Q	15/00 - 15/28
B23Q	17/00 - 23/00
G05B	19/18 - 19/416
G05B	19/42 - 19/46