

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6021632号
(P6021632)

(45) 発行日 平成28年11月9日(2016.11.9)

(24) 登録日 平成28年10月14日(2016.10.14)

(51) Int.Cl.

F 1

B23Q 15/12 (2006.01)

B23Q 15/12

G05B 19/404 (2006.01)

G05B 19/404

B23Q 17/09 (2006.01)

B23Q 17/09

A

K

F

請求項の数 15 (全 19 頁)

(21) 出願番号

特願2012-277911 (P2012-277911)

(22) 出願日

平成24年12月20日 (2012.12.20)

(65) 公開番号

特開2014-121741 (P2014-121741A)

(43) 公開日

平成26年7月3日 (2014.7.3)

審査請求日

平成27年12月18日 (2015.12.18)

(73) 特許権者 000006208

三菱重工業株式会社

東京都港区港南二丁目16番5号

(74) 代理人 100112737

弁理士 藤田 考晴

(74) 代理人 100118913

弁理士 上田 邦生

(72) 発明者 小野 裕治

東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内

審査官 木原 裕二

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】加工装置の制御装置、加工装置、加工装置の制御プログラム、加工装置の制御方法、及び加工方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

加工工具の回転により被加工物を加工する加工装置の制御装置であって、前記被加工物の加工によって生じる振動を検知する振動検知手段と、前記振動検知手段による振動の検知結果に基づいて、前回加工時のびびり振動と今回加工時のびびり振動の位相差と相関関係のある物理量を取得する取得手段と、前記取得手段によって取得された前記物理量に応じて変化する補正係数を前記物理量に乗算することで、前記加工装置の共振周波数を求め、該共振周波数に基づいて前記加工工具の回転数を算出する回転数算出手段と、

前記回転数算出手段によって算出された前記回転数で前記加工工具を回転させる回転数制御手段と、

を備える加工装置の制御装置。

【請求項 2】

前記振動検知手段は、前記被加工物の加工によって生じる音を検知する音検知手段、又は前記加工工具の回転加速度を検知する加速度検知手段である請求項1記載の加工装置の制御装置。

【請求項 3】

前記音検知手段による音の検知結果は、音の周波数又は音圧レベルである請求項2記載の加工装置の制御装置。

【請求項 4】

10

20

前記音検知手段による音の検知結果に基づいて、加工時のびびり振動の位相差を算出する位相差算出手段を備え、

前記回転数算出手段は、前記位相差が所定の第1閾値より小さい場合に前記加工工具の回転数を第1所定数増加させ、前記位相差が前記第1閾値より大きい第2閾値より大きい場合に前記加工工具の回転数を第2所定数減少させ、前記位相差が前記第1閾値と前記第2閾値との間である場合、前記補正係数を前記物理量に乗算することで前記加工工具の回転数を算出する請求項2又は請求項3記載の加工装置の制御装置。

【請求項5】

加工工具の回転により被加工物を加工する加工装置の制御装置であって、

10

前記被加工物の加工によって生じる振動を検知する振動検知手段と、

前記振動検知手段による振動の検知結果に基づいて、加工時のびびり振動の位相差を算出する位相差算出手段と、

前記位相差算出手段によって算出された前記位相差が所定の閾値より小さい場合、前記加工工具の回転数を所定数増加させ、前記位相差が前記閾値より大きい場合、前記加工工具の回転数を所定数減少させることで、前記加工工具の回転数を前記加工装置の共振周波数に応じた回転数に近くする回転数算出手段と、

前記回転数算出手段によって算出された前記回転数で前記加工工具を回転させる回転数制御手段と、

を備える加工装置の制御装置。

20

【請求項6】

前記閾値は、前記位相差の整数部分毎に異なる請求項5記載の加工装置の制御装置。

【請求項7】

前記閾値は、第1閾値及び前記第1閾値より大きい第2閾値が設定され、

前記回転数算出手段は、前記位相差算出手段によって算出された前記位相差が前記第1閾値より小さい場合に前記加工工具の回転数を第1所定数増加させ、前記位相差が前記第2閾値より大きい場合に前記加工工具の回転数を第2所定数減少させる請求項5又は請求項6記載の加工装置の制御装置。

【請求項8】

前記回転数算出手段は、前記加工工具の回転数が前記第2閾値より大きく、前記加工工具の回転数を前記第2所定数増加させた結果、前記加工工具の回転数が前記第1閾値より小さくなっ場合、前記加工工具の回転数を該回転数に固定する請求項7記載の加工装置の制御装置。

30

【請求項9】

回転により被加工物を加工する加工工具と、

請求項1から請求項8の何れか1項記載の制御装置と、

を備える加工装置。

【請求項10】

加工工具の回転により被加工物を加工し、前記被加工物の加工によって生じる振動を検知する振動検知手段を備える加工装置の制御プログラムであって、

40

コンピュータを、

前記振動検知手段による振動の検知結果に基づいて、前回加工時のびびり振動と今回加工時のびびり振動の位相差と相関関係のある物理量を取得する取得手段と、

前記取得手段によって取得された前記物理量に応じて変化する補正係数を前記物理量に乗算することで、前記加工装置の共振周波数を求め、該共振周波数に基づいて前記加工工具の回転数を算出する回転数算出手段と、

して機能させるための加工装置の制御プログラム。

【請求項11】

加工工具の回転により被加工物を加工し、前記被加工物の加工によって生じる振動を検知する振動検知手段を備える加工装置の制御プログラムであって、

50

コンピュータを、

前記振動検知手段による振動の検知結果に基づいて、加工時のびびり振動の位相差を算出する位相差算出手段と、

前記位相差算出手段によって算出された前記位相差が所定の閾値より小さい場合、前記加工工具の回転数を所定数増加させ、前記位相差が前記閾値より大きい場合、前記加工工具の回転数を所定数減少させることで、前記加工工具の回転数を前記加工装置の共振周波数に応じた回転数に近くする回転数算出手段と、

して機能させるための加工装置の制御プログラム。

【請求項 1 2】

加工工具の回転により被加工物を加工する加工装置の制御方法であって、

10

前記被加工物の加工によって生じる振動を検知する第1工程と、

振動の検知結果に基づいて、前回加工時のびびり振動と今回加工時のびびり振動の位相差と相関関係のある物理量を取得する第2工程と、

取得した前記物理量に応じて変化する補正係数を前記物理量に乗算することで、前記加工装置の共振周波数を求め、該共振周波数に基づいて前記加工工具の回転数を算出する第3工程と、

算出した前記回転数で前記加工工具を回転させる第4工程と、
を含む加工装置の制御方法。

【請求項 1 3】

加工工具の回転により被加工物を加工する加工装置の制御方法であって、

20

前記被加工物の加工によって生じる振動を検知する第1工程と、

振動の検知結果に基づいて、加工時のびびり振動の位相差を算出する第2工程と、

算出した前記位相差が所定の閾値より小さい場合、前記加工工具の回転数を所定数増加させ、前記位相差が前記閾値より大きい場合、前記加工工具の回転数を所定数減少させることで、前記加工工具の回転数を前記加工装置の共振周波数に応じた回転数に近くする第3工程と、

算出した前記回転数で前記加工工具を回転させる第4工程と、
を含む加工装置の制御方法。

【請求項 1 4】

加工工具の回転により被加工物を加工する加工方法であって、

30

前記被加工物の加工によって生じる振動を検知する第1工程と、

振動の検知結果に基づいて、前回加工時のびびり振動と今回加工時のびびり振動の位相差と相関関係のある物理量を取得する第2工程と、

取得した前記物理量に応じて変化する補正係数を前記物理量に乗算することで、前記加工装置の共振周波数を求め、該共振周波数に基づいて前記加工工具の回転数を算出する第3工程と、

算出した前記回転数で前記加工工具を回転させ、前記被加工物を加工する第4工程と、
を含む加工方法。

【請求項 1 5】

加工工具の回転により被加工物を加工する加工方法であって、

40

前記被加工物の加工によって生じる振動を検知する第1工程と、

振動の検知結果に基づいて、加工時のびびり振動の位相差を算出する第2工程と、

算出した前記位相差が所定の閾値より小さい場合、前記加工工具の回転数を所定数増加させ、前記位相差が前記閾値より大きい場合、前記加工工具の回転数を所定数減少させることで、前記加工工具の回転数を前記加工装置の共振周波数に応じた回転数に近くする第3工程と、

算出した前記回転数で前記加工工具を回転させ、前記被加工物を加工する第4工程と、
を含む加工方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

50

【0001】

本発明は、加工装置の制御装置、加工装置、加工装置の制御プログラム、加工装置の制御方法、及び加工方法に関するものである。

【背景技術】**【0002】**

加工工具の回転により被加工物を加工している場合に自励振動の一一種であるびびり振動が生じると、加工面の表面粗さ及び外観が悪化し、悪化した箇所に対して手仕上げ作業が必要となる。なお、加工とは、例えば切削である。

【0003】

従来、このような加工装置のびびり振動の抑制方法としては、インパルス応答試験によって加工工具や被加工物を含むびびり振動が生じる系の伝達関数を求め、加工時の切り込み深さや加工工具の回転数の範囲において加工中に生じるびびり振動の収束発散を算出し、安定限界線図を求めることにより、びびり振動が生じにくい加工工具の回転数を求める方法がある。10

【0004】

また、特許文献1に記載されているように、びびり振動が生じる系の加工中のびびり周波数を下記(1)式によって算出した回転数を安定回転速度として用い、加工を行うことによりびびり振動を抑制する方法もある。

【数1】

$$\text{安定回転速度} = \frac{f_c \times 60}{Z \times K} \quad \cdots (1)$$
20

なお、 f_c はびびり周波数、 Z は加工工具の刃数、 K は整数である。

【先行技術文献】**【特許文献】****【0005】****【特許文献1】特開2010-247316号公報****【発明の概要】****【発明が解決しようとする課題】****【0006】**

しかしながら、インパルス応答試験によって伝達関数を求める方法は、加工工具を停止させて行うものであるため、求めた伝達関数に加工工具の回転や加工時における伝達関数との差異があり、求めた安定限界線図も加工時のものと異なる。

また、びびり周波数から安定回転速度を算出する方法は、びびり周波数と加工装置全体の共振周波数（固有周波数）とに差異があるため、必ずしもびびり振動を生じさせない最適な回転速度を算出できるわけではない。

【0007】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであって、加工工具の回転により被加工物を加工する際に、びびり振動を抑制した安定した加工を可能とする、加工装置の制御装置、加工装置、加工装置の制御プログラム、加工装置の制御方法、及び加工方法を提供することを目的とする。40

【課題を解決するための手段】**【0008】**

上記課題を解決するために、本発明の加工装置の制御装置、加工装置、加工装置の制御プログラム、加工装置の制御方法、及び加工方法は以下の手段を採用する。

【0009】

本発明の第一態様に係る加工装置の制御装置は、加工工具の回転により被加工物を加工する加工装置の制御装置であって、前記被加工物の加工によって生じる振動を検知する振動検知手段と、前記振動検知手段による振動の検知結果に基づいて、加工時のびびり振動50

の位相差と相関関係のある物理量を取得する取得手段と、前記取得手段によって取得された前記物理量に応じて変化する補正係数を前記物理量に乗算することで、前記加工装置の共振周波数を求め、該共振周波数に基づいて前記加工工具の回転数を算出する回転数算出手段と、前記回転数算出手段によって算出された前記回転数で前記加工工具を回転させる回転数制御手段と、を備える。

【0010】

本構成によれば、加工工具の回転により被加工物を加工する加工装置において、被加工物の加工によって生じる振動が振動検知手段によって検知される。

被加工物の加工によって生じる振動は、加工時のびびり振動の位相差と相関関係がある。加工時のびびり振動の位相差は、すなわち前回加工時のびびり振動の位相と今回加工時のびびり振動の位相との差である。10

【0011】

加工時のびびり振動の位相差の大きさによっては、安定した加工の妨げとなる。安定した加工を行うために、加工工具の回転数は、加工装置全体の共振周波数に応じた回転数となることが望ましい。

【0012】

そこで、加工時のびびり振動の位相差と相関関係のある物理量が、振動検知手段による振動の検知結果に基づいて取得手段によって取得される。

そして、回転数算出手段によって、取得された物理量に応じて変化する補正係数を該物理量に乗算することで、加工装置の共振周波数を求め、該共振周波数に基づいて加工工具の回転数が算出される。すなわち、補正係数は、取得された物理量に乗算することで、加工装置の共振周波数とするための値である。なお、補正係数は、予め求められている。これにより、安定した加工を行うための加工工具の回転数が算出されることとなる。そして、回転数制御手段は、回転数算出手段によって算出された回転数で加工工具を回転させる。20

【0013】

従って、本構成は、加工工具の回転により被加工物を加工する際に、びびり振動を抑制した安定した加工を可能とする。

【0014】

上記第一態様では、前記振動検知手段が、前記被加工物の加工によって生じる音を検知する音検知手段、又は前記加工工具の回転加速度を検知する加速度検知手段であることが好ましい。30

【0015】

本構成によれば、被加工物の加工によって生じる振動を検知できる。

【0016】

上記第一態様では、前記音検知手段による音の検知結果が、音の周波数又は音圧レベルであることが好ましい。

【0017】

音検知手段によって検知された音の周波数や音圧レベルは、加工時のびびり振動の位相差と相関関係がある。このため、本構成によれば、簡易に補正係数を算出できる。40

【0018】

上記第一態様では、前記音検知手段による音の検知結果に基づいて、加工時のびびり振動の位相差を算出する位相差算出手段を備え、前記回転数算出手段が、前記位相差が所定の第1閾値より小さい場合に前記加工工具の回転数を第1所定数増加させ、前記位相差が前記第1閾値より大きい第2閾値より大きい場合に前記加工工具の回転数を第2所定数減少させ、前記位相差が前記第1閾値と前記第2閾値との間である場合、前記補正係数を前記物理量に乗算することで前記加工工具の回転数を算出することが好ましい。

【0019】

位相差が0に近く小さい場合や位相差が1に近く大きい場合ほど、加工工具の回転数は、共振周波数に応じた回転数に近く、安定した加工が可能となる。50

【 0 0 2 0 】

本構成は、音検知手段による検知結果に基づいて、位相差算出手段によって加工時のびびり振動の位相差が算出される。

そして、算出された位相差が第1閾値より小さい場合、加工工具の回転数が第1所定数増加される。また、位相差が第2閾値より大きい場合、加工工具の回転数が第2所定数減少される。なお、第1所定数と第2所定数は、同じ値であってもよいし、異なる値であってもよい。位相差が第1閾値より小さい場合は、位相差が0に近い場合であり、加工工具の回転数は増加されることで、共振周波数に応じた回転数に近くなる。一方、位相差が第2閾値より大きい場合は、位相差が1に近い場合であり、加工工具の回転数は減少されることで、共振周波数に応じた回転数に近くなる。

10

【 0 0 2 1 】

従って、本構成は、加工工具の回転により被加工物を加工する際に、よりびびり振動を抑制した安定した加工を可能とする。

【 0 0 2 2 】

本発明の第二態様に係る加工装置の制御装置は、加工工具の回転により被加工物を加工する加工装置の制御装置であって、前記被加工物の加工によって生じる振動を検知する振動検知手段と、前記振動検知手段による振動の検知結果に基づいて、加工時のびびり振動の位相差を算出手段と、前記位相差算出手段によって算出された前記位相差が所定の閾値より小さい場合、前記加工工具の回転数を所定数増加させ、前記位相差が前記閾値より大きい場合、前記加工工具の回転数を所定数減少させる回転数算出手段と、前記回転数算出手段によって算出された前記回転数で前記加工工具を回転させる回転数制御手段と、を備える。

20

【 0 0 2 3 】

本構成によれば、加工工具の回転により被加工物を加工する加工装置において、被加工物の加工によって生じる振動が振動検知手段によって検知される。

【 0 0 2 4 】

被加工物の加工によって生じる振動、例えば音や回転加速度は、加工時のびびり振動の位相差と相関関係がある。加工時のびびり振動の位相差は、すなわち前回加工時のびびり振動の位相と今回加工時のびびり振動の位相との差である。なお、ここでいう位相差とは、位相差が整数と少数で表わされる場合、少数部分のみをいう。

30

【 0 0 2 5 】

加工時のびびり振動の位相差の大きさによっては、安定した加工の妨げとなる。安定した加工を行うために、加工工具の回転数は、加工装置全体の共振周波数に応じた回転数となることが望ましい。位相差が0に近く小さい場合や位相差が1(2)に近く大きい場合ほど、加工工具の回転数は、共振周波数に応じた回転数に近く、安定した加工が可能となる。

【 0 0 2 6 】

そこで、位相差算出手段によって、振動検知手段による検知結果に基づいて、加工時のびびり振動の位相差が算出される。そして、回転数算出手段は、算出された位相差が所定の閾値より小さい場合、加工工具の回転数を所定数増加させ、位相差が閾値より大きい場合、加工工具の回転数を所定数減少させる。

40

位相差が閾値より小さい場合は、位相差が0に近い場合であり、加工工具の回転数は増加されることで、共振周波数に応じた回転数に近くなる。一方、位相差が閾値より大きい場合は、位相差が1に近い場合であり、加工工具の回転数は減少されることで、共振周波数に応じた回転数に近くなる。そして、回転数制御手段は、回転数算出手段によって算出された回転数で加工工具を回転させる。

【 0 0 2 7 】

従って、本構成は、加工工具の回転により被加工物を加工する際に、びびり振動を抑制した安定した加工が可能となる。

【 0 0 2 8 】

50

上記第二態様では、前記閾値が、前記位相差の整数部分毎に異なることが好ましい。

【0029】

位相差の整数部分が異なると、位相差の小数部分の最小値と最大値も異なる。このため、本構成は、閾値を位相差の整数部分毎に異ならせるので、加工工具の回転数を精度高く、加工装置全体の共振周波数に応じた回転数とすることができます。

【0030】

上記第二態様では、前記閾値が、第1閾値及び前記第1閾値より大きい第2閾値として設定され、前記回転数算出手段が、前記位相差算出手段によって算出された前記位相差が前記第1閾値より小さい場合に前記加工工具の回転数を第1所定数増加させ、前記位相差が前記第2閾値より大きい場合に前記加工工具の回転数を第2所定数減少させることができます。10

【0031】

本構成によれば、閾値は、第1閾値及び第1閾値より大きい第2閾値が設定される。

【0032】

そして、算出された位相差が第1閾値より小さい場合に加工工具の回転数が第1所定数増加される。また、位相差が第2閾値より大きい場合に加工工具の回転数が第2所定数減少される。なお、第1所定数と第2所定数は、同じ値であってもよいし、異なる値であってもよい。

【0033】

位相差が第1閾値より小さい場合は、位相差が0に近い場合であり、加工工具の回転数は増加されることで、共振周波数に応じた回転数に近くなる。一方、位相差が第2閾値より大きい場合は、位相差が1に近い場合であり、加工工具の回転数は減少されることで、共振周波数に応じた回転数に近くなる。20

従って、本構成は、加工工具の回転数を精度高く、加工装置全体の共振周波数に応じた回転数とすることができます。

【0034】

上記第二態様では、前記回転数算出手段が、前記加工工具の回転数が前記第2閾値より大きく、前記加工工具の回転数を前記第2所定数増加させた結果、前記加工工具の回転数が前記第1閾値より小さくなつた場合、前記加工工具の回転数を該回転数に固定することが好ましい。30

【0035】

加工工具の回転数が第2所定数増加された後に第1閾値より小さくなる場合とは、位相差の整数部分が変化した場合である。このような場合、加工工具の回転数を再び第1所定数増加させると、位相差の整数部分が再び変化して位相差が第2閾値より大きくなり、回転数が頻繁に切り替わって制御が不安定となる可能性がある。また、位相差が小さい方が、例えば、びびり振動に起因する音圧がより小さく、びびり振動が小さいので、位相差は小さい方が好ましい。

【0036】

従って、本構成は、加工工具の回転により被加工物を加工する際に、びびり振動を抑制した安定した加工が可能となる。40

【0037】

本発明の第三態様に係る加工装置は、回転により被加工物を加工する加工工具と、上記記載の制御装置と、を備える。

【0038】

本発明の第四態様に係る加工装置の制御プログラムは、加工工具の回転により被加工物を加工し、前記被加工物の加工によって生じる振動を検知する振動検知手段を備える加工装置の制御プログラムであつて、コンピュータを、前記振動検知手段による振動の検知結果に基づいて、加工時のびびり振動の位相差と相関関係のある物理量を取得する取得手段と、前記取得手段によって取得された前記物理量に応じて変化する補正係数を前記物理量に乗算することで、前記加工装置の共振周波数を求め、該共振周波数に基づいて前記加工

工具の回転数を算出する回転数算出手段と、して機能させる。

【0039】

本発明の第五態様に係る加工装置の制御プログラムは、加工工具の回転により被加工物を加工し、前記被加工物の加工によって生じる振動を検知する振動検知手段を備える加工装置の制御プログラムであって、コンピュータを、前記振動検知手段による振動の検知結果に基づいて、加工時のびびり振動の位相差を算出する位相差算出手段と、前記位相差算出手段によって算出された前記位相差が所定の閾値より小さい場合、前記加工工具の回転数を所定数増加させ、前記位相差が前記閾値より大きい場合、前記加工工具の回転数を所定数減少させる回転数算出手段と、して機能させる。

【0040】

10

本発明の第六態様に係る加工装置の制御方法は、加工工具の回転により被加工物を加工する加工装置の制御方法であって、前記被加工物の加工によって生じる振動を検知する第1工程と、振動の検知結果に基づいて、加工時のびびり振動の位相差と相関関係のある物理量を取得する第2工程と、取得した前記物理量に応じて変化する補正係数を前記物理量に乗算することで、前記加工装置の共振周波数を求め、該共振周波数に基づいて前記加工工具の回転数を算出する第3工程と、算出した前記回転数で前記加工工具を回転させる第4工程と、を含む。

【0041】

20

本発明の第七態様に係る加工装置の制御方法は、加工工具の回転により被加工物を加工する加工装置の制御方法であって、前記被加工物の加工によって生じる振動を検知する第1工程と、振動の検知結果に基づいて、加工時のびびり振動の位相差を算出する第2工程と、算出した前記位相差が所定の閾値より小さい場合、前記加工工具の回転数を所定数増加させ、前記位相差が前記閾値より大きい場合、前記加工工具の回転数を所定数減少させる第3工程と、算出した前記回転数で前記加工工具を回転させる第4工程と、を含む。

【0042】

30

本発明の第八態様に係る加工方法は、加工工具の回転により被加工物を加工する加工方法であって、前記被加工物の加工によって生じる振動を検知する第1工程と、振動の検知結果に基づいて、加工時のびびり振動の位相差と相関関係のある物理量を取得する第2工程と、取得した前記物理量に応じて変化する補正係数を前記物理量に乗算することで、前記加工装置の共振周波数を求め、該共振周波数に基づいて前記加工工具の回転数を算出する第3工程と、算出した前記回転数で前記加工工具を回転させ、前記被加工物を加工する第4工程と、を含む。

【0043】

本発明の第九態様に係る加工方法は、加工工具の回転により被加工物を加工する加工方法であって、前記被加工物の加工によって生じる振動を検知する第1工程と、振動の検知結果に基づいて、加工時のびびり振動の位相差を算出する第2工程と、算出した前記位相差が所定の閾値より小さい場合、前記加工工具の回転数を所定数増加させ、前記位相差が前記閾値より大きい場合、前記加工工具の回転数を所定数減少させる第3工程と、算出した前記回転数で前記加工工具を回転させ、前記被加工物を加工する第4工程と、を含む。

【発明の効果】

40

【0044】

本発明によれば、加工工具の回転により被加工物を加工する際に、びびり振動を抑制した安定した加工を可能とする、という優れた効果を有する。

【図面の簡単な説明】

【0045】

【図1】本発明の実施形態に係る加工装置の構成図である。

【図2】本発明の実施形態に係るエンドミルによる被加工物の切削の様子を示した模式図である。

【図3】本発明の実施形態に係るエンドミルによる加工面の模式図である。

【図4】本発明の実施形態に係る位相差の影響による加振力の大きさを示した模式図であ

50

る。

【図5】本発明の実施形態に係る位相差の影響による加振力の大きさを示した模式図である。

【図6】本発明の実施形態に係るエンドミルが安定した切削を行える回転数を示したグラフである。

【図7】本発明の実施形態に係るびびり周波数と相関関係のある位相差と補正係数との関係を示したグラフである。

【図8】本発明の実施形態に係る位相差と最適回転数との関係を示したグラフである。

【図9】本発明の実施形態に係る回転数制御処理の流れを示すフローチャートである。

【図10】本発明の実施形態に係る位相差と音圧レベルとの関係を示したグラフである。 10

【図11】本発明の実施形態に係るエンドミルの回転数と音圧レベルとの関係を示したグラフである。

【図12】本発明の実施形態に係る音圧レベルと補正係数との関係を示したグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0046】

以下に、本発明に係る加工装置の制御装置、加工装置、加工装置の制御プログラム、加工装置の制御方法、及び加工方法の一実施形態について、図面を参照して説明する。

【0047】

図1は、本実施形態に係る加工装置10の構成を示すブロック図である。 20

加工装置10は、NC加工装置12及び制御装置14を備える。

【0048】

NC加工装置12は、加工工具の回転により被加工物16を加工する。なお、本実施形態では、加工工具の一例としてエンドミル18を用い、加工の一例として切削を行う。エンドミル18は、主軸20に連結されることで回転する。

被加工物16がエンドミル18によって切削される加工室22には、被加工物16の切削によって生じる音を検知するマイクロフォン24が備えられている。

【0049】

制御装置14は、エンドミル18の回転数を算出し、算出した回転数を示す制御信号をNC加工装置12が備えるNC制御盤26へ出力する。NC制御盤26は、入力された制御信号に基づいて、エンドミル18を回転させる。 30

【0050】

制御装置14は、周波数解析部28、びびり振動判定部30、最適回転数算出部32、及び回転制御部34を備えている。

【0051】

周波数解析部28は、マイクロフォン24で検知された音を示す音信号の周波数を解析する。

【0052】

びびり振動判定部30は、周波数解析部28から出力された周波数に基づいて、被加工物16の切削において自励振動の一種であるびびり振動が生じているか否かを判定する。また、びびり振動判定部30は、音検知手段による音の検知結果に基づいて、切削時のびびり振動の位相差と相関関係のある物理量を取得する。なお、本実施形態では、びびり振動判定部30は、物理量としてびびり周波数を取得する。 40

【0053】

なお、制御装置14は、マイクロフォン24で検知された音信号の周波数の解析の替わりに、主軸20にエンドミル18の回転加速度を検知する加速度センサーを備え、検知した加速度波形をFFT(Fast Fourier Transform)解析することで、びびり周波数を算出してもよい。

【0054】

最適回転数算出部32は、エンドミル18の最適な回転数を算出する。 50

【 0 0 5 5 】

回転制御部 3 4 は、最適回転数算出部 3 2 で算出された回転数を N C 加工装置 1 2 へ入力するため信号化する。

【 0 0 5 6 】

なお、制御装置 1 4 は、例えば、C P U (Central Processing Unit)、R A M (Random Access Memory)、及びコンピュータ読み取り可能な記録媒体等から構成されている。そして、周波数解析部 2 8、びびり振動判定部 3 0、最適回転数算出部 3 2、及び回転制御部 3 4 の各種機能を実現するための一連の処理は、一例として、プログラムの形式で記録媒体等に記録されており、このプログラムを C P U が R A M 等に読み出して、情報の加工・演算処理を実行することにより、各種機能が実現される。

10

【 0 0 5 7 】

次に、エンドミル 1 8 による被加工物 1 6 の切削において生じるびびり振動について説明する。

【 0 0 5 8 】

図 2 は、エンドミル 1 8 による被加工物 1 6 の切削の様子を示している。被加工物 1 6 は、エンドミル 1 8 によって、加工面 4 0 _ 1 , 4 0 _ 2 , 4 0 _ 3 , 4 0 _ 4 , 4 0 _ 5 の順に厚さ L で切削される。

エンドミル 1 8 は、力を受けるため振動しながら被加工物 1 6 を切削する。このため、振動は被加工物 1 6 に転写されることとなる。エンドミル 1 8 が受ける力は、被加工物 1 6 を切削した厚みに比例する。

20

【 0 0 5 9 】

エンドミル 1 8 の振動の影響により、図 3 に示されるように加工面 4 0 が波打つ場合がある。そして、前回切削時のびびり跡と今回切削時のびびり跡との差、すなわち前回切削時のびびり周波数と今回切削時のびびり周波数との差が、位相差 として生じる。なお、図 3 は、図 2 における曲線状の加工面 4 0 を直線状に表わした図である。

【 0 0 6 0 】

さらに、図 4 に示されるように次々と切削される加工面 4 0 毎に、位相差が連続してずれると、位相差が加振力となり、被加工物 1 6 に対する切削を繰り返す毎に振動が大きくなる。その結果、被加工物 1 6 に対する加工が不安定となり、加工面 4 0 が粗くなったり、エンドミル 1 8 が損傷したりする。

30

【 0 0 6 1 】

位相差は、下記 (2) 式から算出されるものである。また、整数 K は下記 (3) 式で表わされる。このように、本実施形態では、位相差が整数と少数とで表わされる場合、小数部分のみを位相差という。

【 数 2 】

$$\varepsilon = \frac{f_c \times 60}{Z \times n} - \left\lfloor \frac{f_c \times 60}{Z \times n} \right\rfloor \quad \dots \quad (2)$$

【 数 3 】

40

$$K = \left\lfloor \frac{f_c \times 60}{Z \times n} \right\rfloor \quad \dots \quad (3)$$

なお、 f_c はびびり周波数 [Hz] であり、Z はエンドミル 1 8 の刃数であり、n は回転数である。

【 0 0 6 2 】

位相差 = 0 の場合は、図 5 に示されるように、加工面 4 0 _ 1 と加工面 4 0 _ 2 とで位相差が無いので、加振力は生じない。一方、位相差 = 0 . 5 の場合は、図 5 に示され

50

るよう加工面 40_1 と加工面 40_2 の位相差が最大となるので、生じる加振力も最大となる。

【0063】

図 6 は、エンドミル 18 が安定した切削を行える回転数を示したグラフである。

図 6 は、横軸をエンドミル 18 の回転数（主軸回転数）とし、縦軸を安定した切削が可能なエンドミル 18 の軸方向の深さ（軸方向限界切込）、びびり周波数、及び位相差とする。なお、図 6 のエンドミル 18 の回転数と軸方向限界切込との関係を示したグラフは、すなわち安定限界線図である。

【0064】

エンドミル 18 の回転数と軸方向限界切込との関係では、軸方向限界切込が最大となる整数 K 毎の最適回転数（図 6 の破線であり、安定限界ピークともいう。）を頂点とした山形状の下側において、エンドミル 18 による安定した切削が可能であることを示している（安定領域）。なお、最適回転数は、（1）式のびびり周波数 f_c の替わりに加工装置 10 の共振周波数（固有振動数） f_s を代入して得られる回転数である。一方、上記山形状の上側において、エンドミル 18 による切削が不安定となる（不安定領域）。

10

【0065】

また、エンドミル 18 の回転数とびびり周波数との関係では、各整数 K の範囲毎に、回転数が大きいほどびびり周波数が大きくなることを示している。

【0066】

さらに、エンドミル 18 の回転数と位相差との関係では、位相差が 0 又は 2π (0 rad 又は 6.24 rad 、 $\theta = 0$ 又は 1 と同義) に近いほど、最適回転数に近づくことが分かる。このため、位相差が 0 から 2π に近づくほど、軸方向限界切込を深くでき、かつ安定した切削が可能となる。

20

【0067】

以上のように、切削時のびびり振動の位相差の大きさによっては、安定した切削の妨げとなる。安定した切削を行うために、エンドミル 18 の回転数は、加工装置 10 全体の共振周波数に応じた回転数である最適回転数に近いことが望ましい。

【0068】

また、図 6 からは、びびり周波数が大きいほど位相差は小さくなり、びびり周波数が小さいほど位相差は大きくなるというように、びびり周波数と位相差との間に相関関係があることが分かる。

30

【0069】

そこで、本実施形態では、マイクロフォン 24 によって、エンドミル 18 による切削時の音を検知し、周波数解析部 28 によって周波数解析を行うことでびびり周波数を求める。このびびり周波数をエンドミル 18 の異なる回転数毎に求め、図 6 に示されるようなエンドミル 18 の回転数とびびり周波数との関係を示すグラフを生成することで、びびり周波数が非連続となる回転数、すなわち最適回転数が求められる。

【0070】

算出した加工装置 10 の共振周波数とびびり周波数との比 (f_s / f_c) が、位相差から共振周波数を求めるための補正係数となる。図 7 は、びびり周波数と相関関係のある位相差と補正係数との関係を示したグラフの一例である。位相差（びびり周波数）と補正係数との関係は、近似線により近似することができる。このように、補正係数は、位相差すなわちびびり周波数に応じて変化する。

40

【0071】

補正係数は、以上のようにして予め実験的に求めておく。なお、補正係数は、エンドミル 18 の種類が異なる毎に求めることが好ましいが、代表的な種類のエンドミル 18 に対する補正係数を他の種類のエンドミル 18 に適用してもよい。

【0072】

下記(4)式は、補正係数を R として、びびり周波数 f_c に応じた補正回数 R をびびり周波数 f_c に乗算することで、加工装置 10 の共振周波数 f_s を求め、共振周波数 f_s に

50

基づいてエンドミル 18 の回転数として最適回転数を求めるための式である。

【数 4】

$$n = \frac{f_c \times 60}{R \times Z \times K} \quad \dots \quad (4)$$

【0073】

図 8 は、位相差と最適回転数との関係を示したグラフである。なお、図 8 は、図 6 におけるエンドミル 18 の回転数と軸方向限界切込との関係、回転数とびびり周波数との関係を重ね合わせたグラフに相当する。10

【0074】

図 8 に示されるように、位相差が 0 に近く小さい場合や位相差が 1 (2) に近く大きい場合ほど、エンドミル 18 の回転数は、最適回転数に近く、安定した切削が可能となる。10

そこで、本実施形態では、エンドミル 18 の回転数が最適回転数に近いか否かを判定するための閾値として、第 1 位相差閾値及び第 1 位相差閾値より大きい第 2 位相差閾値が設定される。位相差が第 1 位相差閾値より小さい場合、エンドミル 18 の回転数が第 1 所定数増加される。また、位相差が第 2 位相差閾値より大きい場合、エンドミル 18 の回転数が第 2 所定数減少される。20

【0075】

位相差が第 1 位相差閾値より小さい場合は、位相差が 0 に近い場合であり、エンドミル 18 の回転数は増加されることで、最適回転数に近くなる。一方、位相差が第 2 位相差閾値より大きい場合は、位相差が 1 に近い場合であり、エンドミル 18 の回転数は減少されることで、最適回転数に近くなる。

なお、第 1 所定数と第 2 所定数は、同じ値であってもよいし、異なる値であってもよく、本実施形態では、一例として、共にそれまでの回転数の 2 % とする。

【0076】

また、(3) 式から求められる位相差の整数部分が異なると、位相差の小数部分の最小値と最大値も異なる。このため、本実施形態は、第 1 位相差閾値及び第 2 位相差閾値を位相差の整数部分毎に異なる値とする。30

下記表 1 は、整数 K に応じて異なる位相差の範囲の一例である。

【表 1】

K値	位相差最小値	位相差最大値
3	0.35	0.90
4	0.41	0.88
5	0.46	0.88
6	0.52	0.87
7	0.57	0.87
8	0.59	0.86
9	0.63	0.86

そして、本実施形態では、下記表 2 に示されるように一例として、各整数 K に応じた第 1 位相差閾値を位相差最小値の + 0 . 1 とし、各整数 K に応じた第 2 位相差閾値を位相差最大値の - 0 . 1 とする。40

【表2】

K値	第1位相差閾値	第2位相差閾値
3	0.45	0.80
4	0.51	0.78
5	0.56	0.78
6	0.62	0.77
7	0.67	0.77
8	0.69	0.76
9	0.73	0.76

【0077】

なお、整数K毎の位相差最小値及び位相差最大値は、エンドミル18にハンマリング試験を行うことによって得られた伝達関数を用いることにより、理論的に求めることが可能である（例えば、文献「社本英二、切削におけるびびり振動の発生機構と抑制、大同特殊鋼技報、日本国、大同特殊鋼株式会社、2011年12月27日、Vol.82、No.2、p.143～p.155」を参照）。

具体的な算出方法の一例は、ハンマリング試験によりエンドミル18先端の伝達関数を求め、上記文献の(14)式に基づいて切削抵抗行列を求め、上記文献の(20)式に基づいて伝達関数及び切削抵抗行列を乗算したものの固有値を求め、上記文献の(24)式及び(25)式に基づいて上記固有値から整数Kに応じた位相差最小値及び位相差最大値を求める。

【0078】

図9は、本実施形態に係るエンドミル18の回転数制御処理（回転数制御プログラム）の流れを示すフローチャートである。回転数制御処理は、NC加工装置12による被加工物16の切削の開始と同時に制御装置14によって実行される。回転数制御プログラムは、制御装置14が備える不図示の記憶媒体に予めインストールしておく形態や、コンピュータ読み取り可能な記憶媒体に記憶された状態で提供される形態、有線又は無線による通信手段を介して配信される形態等を適用することができる。

【0079】

まず、ステップ100では、切削によりびびり振動が生じているか否かを、びびり振動判定部30が判定する。具体的には、周波数解析部28がマイクロフォン24で検知された音の周波数解析を行い、びびり振動判定部30が、この周波数がびびり周波数の範囲内であるか否かを判定する。

【0080】

ステップ100において肯定判定の場合はステップ102へ移行し、否定判定の場合は本回転数制御処理を終了する。すなわち、否定判定の場合、エンドミル18の回転数は、びびり振動を発生させない回転数であるので、その回転数が維持されて切削が継続される。

【0081】

次のステップ102では、マイクロフォン24で検知された音に基づいて、びびり振動判定部30がびびり周波数を取得すると共にびびり周波数から位相差を算出する。

【0082】

次のステップ104では、位相差が第1位相差閾値より小さいか否かを最適回転数算出部32が判定し、肯定判定の場合はステップ106へ移行し、否定判定の場合はステップ108へ移行する。

【0083】

ステップ106では、最適回転数算出部32が回転数を所定数増加させ、増加させた回転数を示す制御信号を回転制御部34がNC制御盤26へ出力し、ステップ118へ移行する。NC制御盤26は、入力された制御信号により示される回転数でエンドミル18を回転させ、被加工物16の切削を継続する。

【0084】

ステップ108では、位相差が第2位相差閾値より大きいか否かを最適回転数算出部32が判定し、肯定判定の場合はステップ110へ移行し、否定判定の場合はステップ116へ移行する。

【0085】

ステップ110では、最適回転数算出部32が回転数を所定数減少させ、減少させた回転数を示す制御信号を回転制御部34がNC制御盤26へ出力し、ステップ112へ移行する。NC制御盤26は、入力された制御信号により示される回転数でエンドミル18を回転させ、被加工物16の切削を継続する。

【0086】

次のステップ112では、マイクロフォン24で検知された音に基づいて、びびり振動判定部30がびびり周波数を取得すると共にびびり周波数から位相差を算出する。

【0087】

次のステップ114では、位相差が第1位相差閾値より小さいか否かを最適回転数算出部32が判定し、肯定判定の場合はエンドミル18の回転数を固定し、回転数制御処理を終了し、否定判定の場合はステップ118へ移行する。

【0088】

ここで、ステップ114の処理について詳細に説明する。

ステップ114で肯定判定となる場合とは、エンドミル18の回転数が第2位相差閾値より大きく、エンドミル18の回転数を所定数増加させた結果、エンドミル18の回転数が第1位相差閾値より小さくなつた場合である。

【0089】

エンドミル18の回転数が所定数増加された後に第1位相差閾値より小さくなる場合は、例えば図8に示される整数K=3から整数K=4へ変化するように、位相差の整数部分が変化する場合であり、被加工物16に対する切り込みが大きすぎる等の理由により、びびり振動が生じない回転数が存在しない場合である。このような場合、位相差が第1位相差閾値より小さくなり、エンドミル18の回転数を再び所定数増加させると、位相差の整数部分が再び変化して位相差が第2位相差閾値より大きくなるというように、回転数が頻繁に切り替わって制御が不安定となる可能性がある。

【0090】

また、図10の位相差と音圧レベルとの関係に示されるように、位相差が小さい方が、びびり振動に起因する音圧レベルがより小さく、びびり振動が小さい。そして、図11のエンドミル18の回転数と音圧レベルとの関係に示されるように、安定限界ピークである最適回転数を挟んで回転数が低いほど、音圧レベルが低い。このため、位相差は、小さい方が好ましいことが分かる。

【0091】

このため、ステップ114で肯定判定となつた場合は、第1位相差閾値より小さい回転数を減少させることなく、固定したまま回転させ、被加工物16の切削を継続する。

【0092】

一方、ステップ108で否定判定となつた場合は、位相差が第1位相差閾値より大きかつ第2位相差閾値より小さい、すなわち、エンドミル18の回転数が最適回転数から離れた回転数となっている場合である。

【0093】

ここで、ステップ116では、最適回転数算出部32が補正係数を用いる(4)式でエンドミル18の最適回転数を算出し、算出した最適回転数を示す制御信号を回転制御部34がNC制御盤26へ出力し、ステップ118へ移行する。NC制御盤26は、入力され

10

20

30

40

50

た制御信号により示される回転数となるようにエンドミル18を变速させ、被加工物16の切削を継続する。これにより、エンドミル18の回転数は、最適回転数に近づくこととなる。

【0094】

ステップ118では、切削によりびびり振動が生じているか否かを、びびり振動判定部30が判定し、肯定判定の場合はステップ102へ戻り、エンドミル18の回転数の最適化を繰り返し、否定判定の場合は回転数制御処理を終了し、エンドミル18の回転数を固定したままで、被加工物16の切削を継続する。

【0095】

以上説明したように、本実施形態に係る加工装置10の制御装置14は、エンドミル18による被加工物16の切削によって生じる音の検知結果に基づいて、切削時のびびり振動の位相差を算出し、位相差が第1位相差閾値より小さい場合、エンドミル18の回転数を所定数増加させ、位相差が第2位相差閾値より大きい場合、エンドミル18の回転数を所定数減少させる。また、制御装置14は、位相差が第1位相差閾値と第2位相差閾値との間である場合、びびり周波数に応じて変化する補正係数をびびり周波数に乗算することで、加工装置10の共振周波数を求め、該共振周波数に基づいてエンドミル18の回転数を算出する。

【0096】

従って、制御装置14は、エンドミル18の回転により被加工物16を切削する際に、びびり振動を抑制した安定した切削を可能とする。

【0097】

以上、本発明を、上記実施形態を用いて説明したが、本発明の技術的範囲は上記実施形態に記載の範囲には限定されない。発明の要旨を逸脱しない範囲で上記実施形態に多様な変更又は改良を加えることができ、該変更又は改良を加えた形態も本発明の技術的範囲に含まれる。

【0098】

例えば、上記実施形態では、びびり周波数と位相差とが相関関係を有することに基づいて補正係数を求める形態について説明したが、本発明は、これに限定されるものではなく、図10に示されるように音圧レベルと位相差とが相関関係を有することに基づいて、音圧レベルに応じて変化する補正係数を求める形態としてもよい。

図12は、音圧レベルと補正係数との関係を示したグラフである。図12に示されるように、補正係数は、音圧レベルからでも近似式にて算出可能である。

【0099】

また、上記実施形態で説明した回転数制御処理の流れも一例であり、本発明の主旨を逸脱しない範囲内において不要なステップを削除したり、新たなステップを追加したり、処理順序を入れ替えたりしてもよい。

【0100】

例えば、上記実施形態では、エンドミル18の回転数が最適回転数に近いか否かを判定するための閾値として第1位相差閾値及び第2位相差閾値を設定する形態について説明したが、本発明は、これに限定されるものではなく、閾値を1つのみ設定する形態としても良い。

この形態の場合、例えば、整数K毎の位相差の範囲の中央値を閾値とし、位相差が閾値より小さい場合、エンドミル18の回転数を所定数増加させ、位相差が閾値より大きい場合、エンドミル18の回転数を所定数減少させる。なお、この形態の場合、ステップ116のような補正係数を用いたエンドミル18の回転数の算出及び变速は行われない。

【0101】

また、上記実施形態では、ステップ116において補正係数を用いた(4)式でエンドミル18の回転数を算出する形態について説明したが、本発明は、これに限定されるものではなく、補正係数を用いることなく、びびり周波数f_cを用いた(1)式でエンドミル18の回転数を算出する形態としてもよい。

10

20

30

40

50

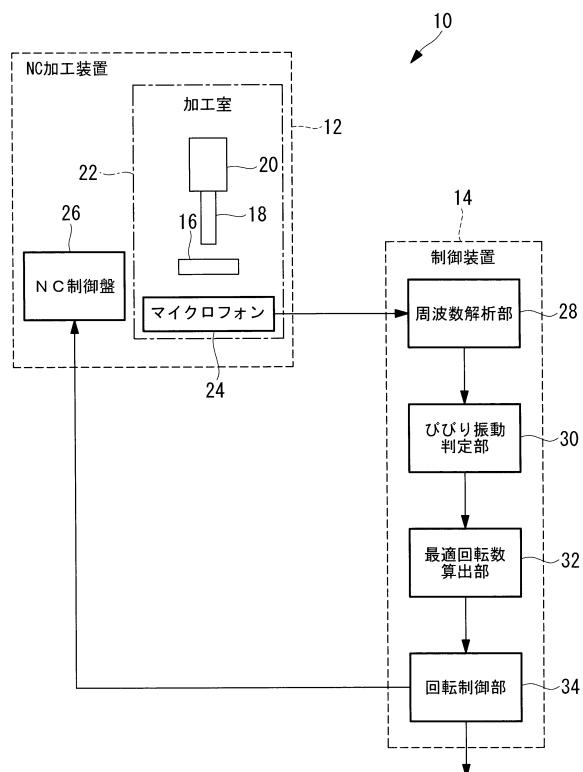
【符号の説明】

【0102】

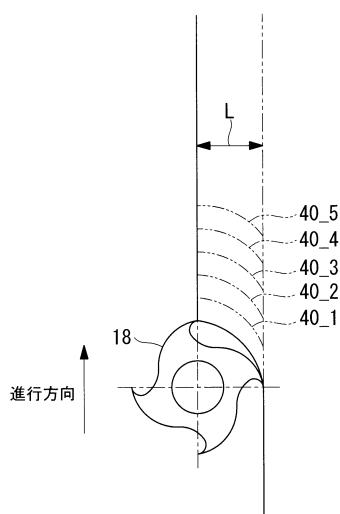
- 10 加工装置
- 14 制御装置
- 16 被加工物
- 18 エンドミル
- 24 マイクロフォン
- 30 びびり振動判定部
- 32 最適回転数算出部
- 34 回転制御部

10

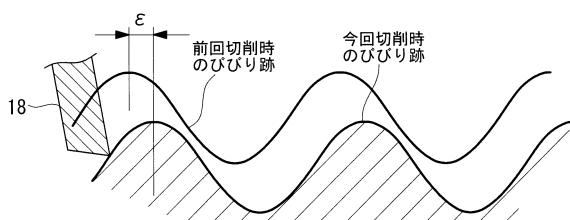
【図1】



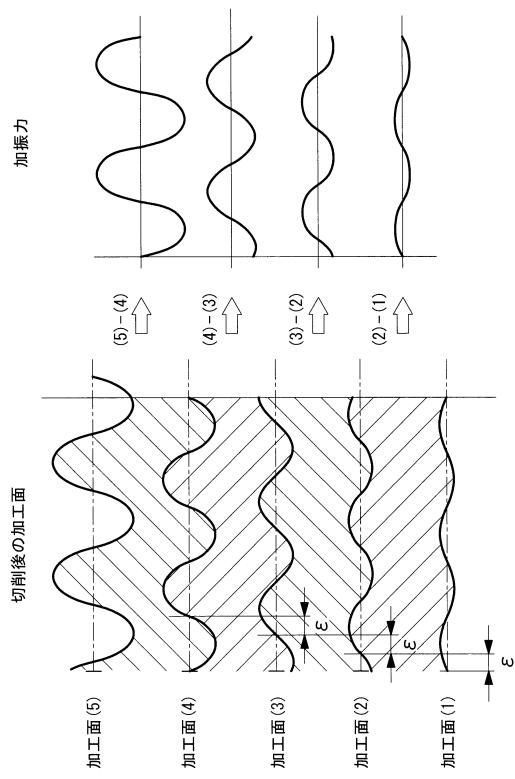
【図2】



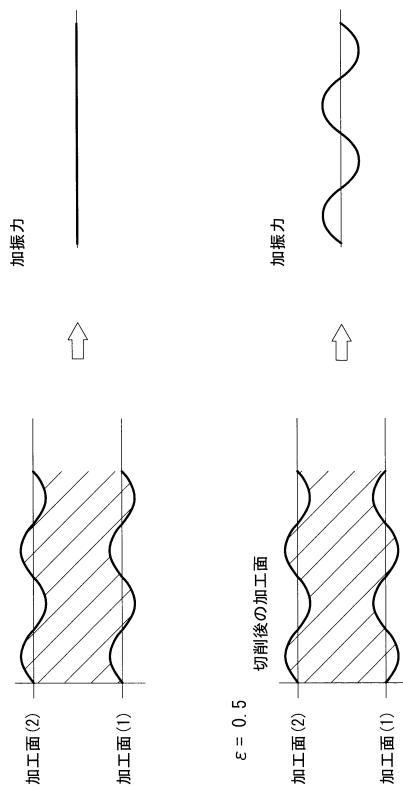
【図3】



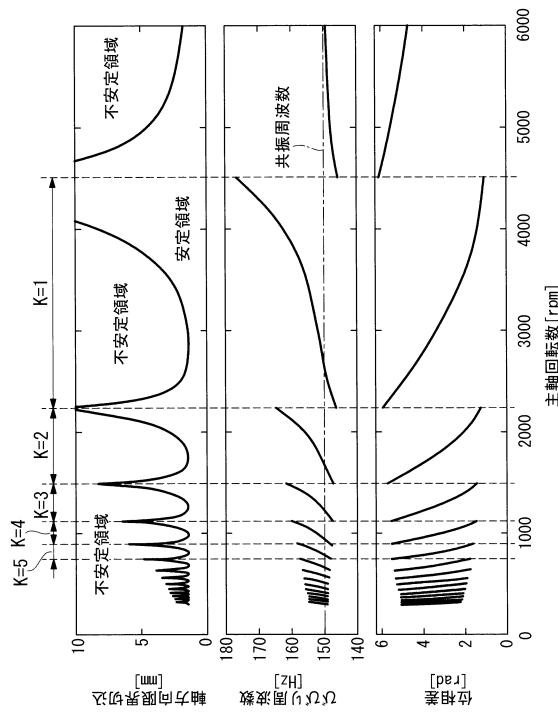
【図4】



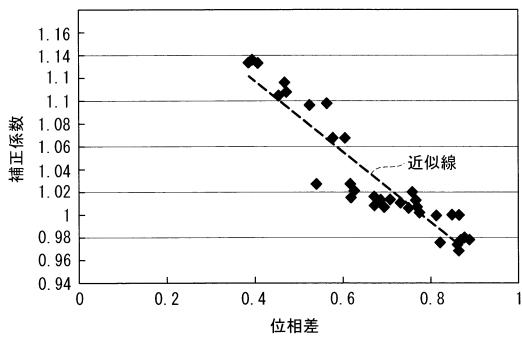
【図5】



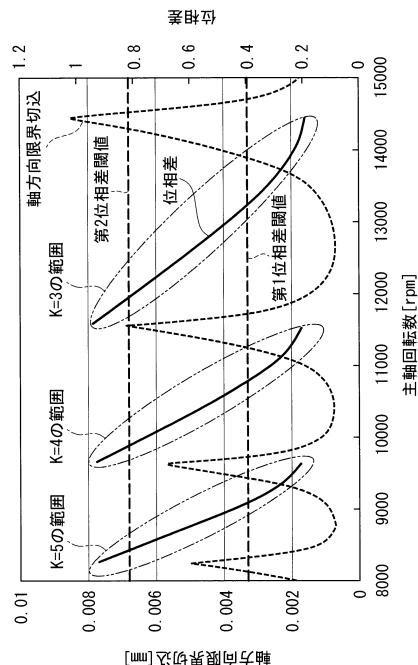
【図6】



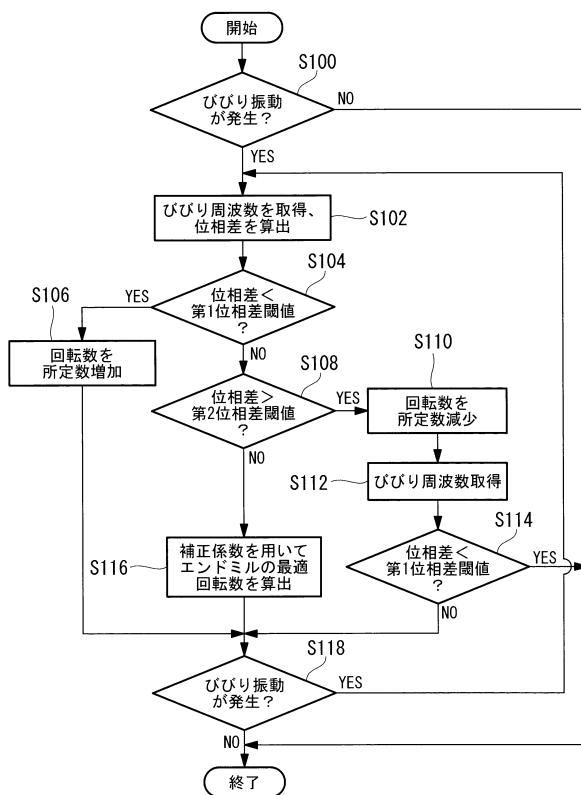
【図7】



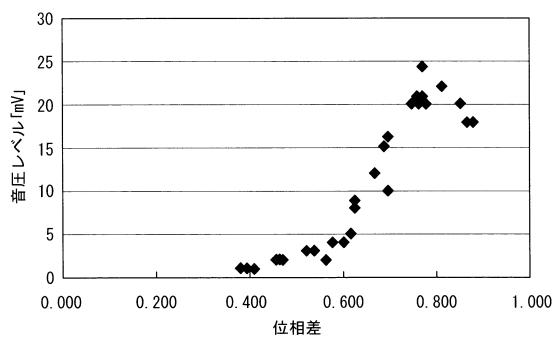
【図8】



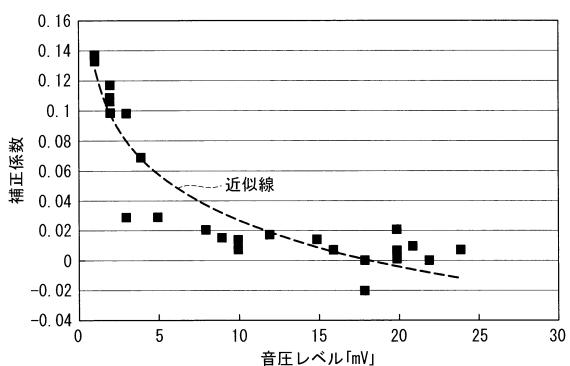
【図9】



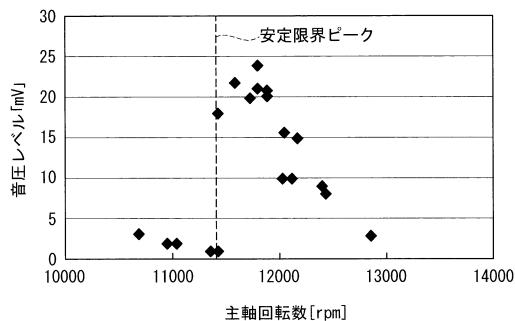
【図10】



【図12】



【図11】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2009-291872(JP,A)
特開2012-196741(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B23Q 15/12
B23Q 17/09
G05B 19/404