



(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

whether regenerative chatter can be resolved, and if it has been detected that the regenerative chatter cannot be resolved, the rotational speed adjustment unit terminates cutting, terminates the adjustment of the main-shaft speed, and/or makes an announcement to the effect that the regenerative chatter cannot be resolved.

(57) 要約: 主軸回転速度調整装置(1)は、工具の振動を検出する振動検出部(加速度センサ)(2)と、振動検出部(2)の検出信号から再生びびりが生じたか否かを監視するびびり検出部(4)と、びびり検出部(4)から検出信号を受信すると、所定の時間間隔、且つ所定の変化量で、主軸回転速度を増加又は減少させる速度調整信号を数値制御装置(10)に送信する回転速度調整部(5)とを備える。回転速度調整部(5)は速度調整信号を送信する都度、再生びびりを解消できない状態であるか否かを検出する処理を実行し、再生びびりを解消できない状態にあることが検出されたときには、切削を停止させるか、主軸回転速度の調整を停止するか、又は再生びびりを解消できない旨を報知する、少なくともいずれかの処理を行う。

明 細 書

発明の名称：主軸回転速度制御装置

技術分野

[0001] 本発明は、工作機械を用いた加工中に再生びびりが生じるか否かを監視し、再生びびりが生じたときには、当該再生びびりを解消すべく主軸の回転速度を調整する主軸回転速度調整装置に関する。

背景技術

[0002] 工作機械を用いた加工の分野では、ワークを効率よく加工すること、及び加工コストを低減させることが永続的な課題として探求されている。一方、機械加工に求められる加工精度については、日増しに高い精度が求められるようになってきており、ワークを加工する際には、加工効率、加工コスト及び加工精度の各要素について要求される基準を満足するような加工条件を設定する必要がある。

[0003] そして、従来、加工精度に関する要素のうち再生びびりに着目し、工具又はワークを回転させる主軸の回転速度と、再生びびりを生じる工具の限界切り込み深さとの相関を示す線図であって、再生びびりを生じない安定領域と、再生びびりを生じる不安定領域との境界を示す安定限界線図を作成して表示する装置が知られている（例えば、特許文献1参照）。

[0004] この安定限界線図は、主軸回転速度が工具の固有振動数を当該工具の刃数で除した値であるときに、当該工具の限界切り込み深さがピークを示す、即ち、安定領域がピークを示す所謂安定ポケット（1次安定ポケット）を有し、更に、この1次安定ポケットに対応する主軸回転速度を2以上の整数で除した各主軸回転速度において高次の安定ポケットを有する。尚、k次安定ポケットの主軸回転速度は以下で表わされる。

$$(\text{k 次安定ポケットの主軸回転速度}) = (60 \times \text{工具の固有振動数}) / (\text{工具の刃数} \times \text{k})$$

但し、kは次数を表す1以上の整数である。

[0005] この安定限界線図によれば、オペレータは再生びびりを生じない主軸回転速度と工具の切り込み深さとの関係を瞬時に視覚的に認識することができ、当該再生びびりを生じない、効率の良い加工条件を容易に設定することができる。このように、上記装置によれば、オペレータは装置に表示された安定限界線図を基準にすることにより、再生びびりを生じない範囲内で効率の良い加工条件を設定することができる。

[0006] また、従来、再生びびりが生じたときに、再生びびりを解消すべく、上記のような安定ポケット理論を基に、主軸回転速度を、下式に従って算出される予想安定回転速度に変更するといった手法が提案されている（特許文献2参照）。

$$\text{予想安定回転速度} = (60 \times \text{びびり周波数}) / (\text{工具刃数} \times n)$$

但し、 n は任意の整数である。

[0007] この特許文献2によれば、主軸回転速度を前記予想安定回転速度に変更することで、再生びびりの抑制が一応期待されるとのことである。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：特許第5622626号公報

特許文献2：特許第5384996号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] しかしながら、上記特許文献2に開示された予想安定回転速度は、必ずしも上述した安定ポケットに対応した主軸回転速度と言い得るものではなく、このため、上記特許文献2に開示された方法は、その期待通りには再生びびりを抑制することができないものであった。

[0010] 即ち、上記数式から分かるように、安定ポケットの主軸回転速度は工具の固有振動数を基に算出され、一方、特許文献2に開示された予想安定回転速度は、実際の再生びびり周波数を基に算出されるが、経験上、実際の再生び

びり周波数は必ずしも工具の固有振動数とは一致しないため、特許文献2における予想安定回転速度は、現実的には、安定ポケットの主軸回転速度とは一致していないのである。

[0011] したがって、従来、再生びびりが生じた際に、そのときの主軸回転速度を特許文献2の予想安定回転速度に変更しても、期待される通りには再生びびりを抑制できなかった。

[0012] 本発明は、以上の実情に鑑みなされたものであって、工作機械を用いた加工中に再生びびりが生じるか否かを監視し、再生びびりが生じたときには、当該再生びびりを従来に比べてより効果的に解消することが可能な主軸回転速度調整装置の提供を、その目的とする。

課題を解決するための手段

[0013] 上記課題を解決するための本発明は、数値制御装置によって制御される工作機械の主軸回転速度を調整する装置であって、

加工によって工具に生じる振動を検出し、検出した振動に係る信号を出力する振動検出部と、

前記振動検出部から出力される振動信号を解析して、前記工具に再生びびりが生じているか否かを監視し、工具に再生びびりが生じたとき、その検出信号及び再生びびり周波数に係るデータを出力するびびり検出部と、

前記びびり検出部から出力された前記検出信号及び再生びびり周波数に係るデータを受信し、該検出信号を継続して受信する間、予め定められた時間間隔毎に、予め定められた変化量で、主軸回転速度を増加又は減少させる速度調整信号を前記数値制御装置に送信して、前記主軸回転速度を増加又は減少させる回転速度調整処理を実行し、該速度調整信号を送信する都度、再生びびりを解消できない状態であるか否かを検出する検出処理を実行するとともに、前記びびり検出部から前記検出信号を受信しなくなったとき、前記数値制御装置への前記速度調整信号の送信を停止する送信停止処理を実行し、一方、前記びびり検出部から継続して前記検出信号を受信している間に、再生びびりを解消できない状態にあることが検出されたとき、前記数値制御装

置に切削停止信号を送信して、切削を停止させるか、又は前記主軸回転速度の調整を停止するか、又は再生びびりを解消できない状態にある旨を外部に報知する、少なくともいずれかの対策処理を実行する回転速度調整部とを備えていることを特徴とする主軸回転速度調整装置。

[0014] 以上の構成を備えた主軸回転速度調整装置によれば、加工中の工具に生じる振動が振動検出部によって検出され、当該振動検出部から振動信号としてびびり検出部に出力される。振動検出部から出力される振動信号はびびり検出部により解析されて、工具に再生びびりが生じているか否かが監視され、工具に再生びびりが生じたとき、その検出信号が当該びびり検出部から回転速度調整部に出力される。

[0015] 回転速度調整部では、びびり検出部から検出信号を受信すると、この検出信号を継続して受信する間、予め定められた時間間隔毎に、予め定められた変化量で、主軸回転速度を増加又は減少させる速度調整信号を数値制御装置に送信して、主軸回転速度を前記変化量で段階的に増加又は減少させる処理を実行する。

[0016] 上述したように、前記安定限界線図は、主軸の回転速度と、再生びびりを生じる工具の限界切り込み深さとの相関を示す線図、言い換えれば、主軸回転速度と工具の切り込み深さとの関係において、再生びびりを生じない安定領域と、再生びびりを生じる不安定領域との境界を示す線図である。そして、この安定限界線図では、主軸回転速度が工具の固有振動数を当該工具の刃数で除した値であるときに、当該工具の限界切り込み深さがピークを示す、即ち、安定領域がピークを示す所謂安定ポケットを有し、更に、この1次安定ポケットに対応する主軸回転速度を2以上の整数で除した各主軸回転速度において高次の安定ポケットを有する。この安定限界線図の一例を図5に示す。

[0017] したがって、再生びびりを生じたときの工具の切り込み深さが、そのときの主軸回転速度より高速側の安定ポケットの限界切り込み深さより小さく、且つ低速側の安定ポケットの限界切り込み深さより小さい場合には、主軸回

転速度を段階的に増加又は減少させることで、主軸回転速度と工具の切り込み深さとの関係を、安定限界線図における安定ポケット内に入れた状態、即ち、再生びびりが生じる不安定領域から、再生びびりが生じない安定領域に移行させた状態を実現させることができ、これにより、工具に生じた再生びびりを解消（或いは抑制）することができる（図5参照）。

[0018] そして、回転速度調整部は、上記処理によって再生びびりが解消され、前記びびり検出部から検出信号を受信しなくなると、前記数値制御装置への速度調整信号の送信を停止する。

[0019] 一方、工具の切り込み深さが、そのときの主軸回転速度より高速側の安定ポケットの限界切り込み深さより大きい場合には、主軸回転速度を段階的に増加させても、主軸回転速度と工具の切り込み深さとの関係を安定領域に移行させることはできないため、工具に生じた再生びびりを解消することができないと考えられる。同様に、工具の切り込み深さが、そのときの主軸回転速度より低速側の安定ポケットの限界切り込み深さより大きい場合には、主軸回転速度を段階的に減少させても、主軸回転速度と工具の切り込み深さとの関係を安定領域に移行させることはできないため、この場合にも、工具に生じた再生びびりを解消することができないと考えられる。

[0020] したがって、再生びびりが生じたときの工具の切り込み深さが、主軸回転速度を調整することで再生びびりを解消することができない切り込み深さである場合には、再生びびりを解消できない状態にあるため、これを検出する必要がある。

[0021] そこで、本発明では、回転速度調整部において、前記速度調整信号を送信して主軸回転速度を段階的に増加又は減少させる都度、再生びびりを解消できない状態であるか否かを検出する検出処理を実行し、再生びびりを解消できない状態にあることが検出されたときに、回転速度調整部は、数値制御装置に切削停止信号を送信して、切削を停止させるか、又は主軸回転速度の調整を停止するか、又は再生びびりを解消できない状態にある旨を外部に報知する、少なくともいずれかの対策処理を実行する。

[0022] 例えば、送り軸を退避動作させる等して切削を停止させることで、再生びびり状態での加工を停止させることができる。また、主軸回転速度を段階的に増加させている場合には、速い回転速度は振動の増加を招き、工具やワーク等へのびびり振動の悪影響が増大する場合があるため、主軸回転速度の調整を停止し、初めの速度に戻す処置も好ましい。また、再生びびりを解消できない状態にある旨を外部に報知して、再生びびりを解消することが困難であることをオペレータに知らせることも好ましい。オペレータは、このような報知を認識することで、安全な状態で加工を停止させるといった措置を講じることができる。

[0023] 以上のように、本発明に係る主軸回転速度調整装置によれば、加工中に再生びびりが生じると、回転速度調整部から、所定の時間間隔毎に、所定の変化量で、主軸回転速度を増加又は減少させる速度調整信号が数値制御装置に送信されて、主軸回転速度が前記変化量で段階的に増加又は減少される。したがって、再生びびりが生じたときの工具の切り込み深さが、主軸回転速度を調整することで再生びびりを解消することができる切り込み深さである場合には、このような主軸回転速度の調整を行うことで、再生びびりを従来に比べて効果的に解消することができる。

[0024] また、再生びびりを生じたときの工具の切り込み深さが、主軸回転速度を調整することでは再生びびりを解消することができない切り込み深さである場合には、再生びびりを解消できない状態にあることを検出して、採り得る相応の措置を講じるようにしているので、主軸回転速度を変えることにより工具やワーク等に不要な悪影響が出るのを防止することができる。

[0025] また、本発明では、前記回転速度調整部は、前記検出処理において、前記速度調整信号を送信する都度、そのときの前記主軸回転速度 S_i [min⁻¹] 及び再生びびり周波数 ω_i [Hz]、並びに工具の刃数 N を基に、以下の数式 1 により係数 k_i を算出するように構成されるとともに、前記びびり検出部から継続して前記検出信号を受信している間に、算出された前記係数 k_i の値が変化したとき、再生びびりを解消できない状態にあると判定して、前記対策処理を実行

するように構成された態様を採ることができる。

(数式 1)

$$k_i = (60 \times \omega_i) / (N \times S_i)$$

但し、 i は 1 以上の整数であり、前記主軸回転速度の変更回数を意味する。

また、 N は 1 以上の整数であり、 k_i は小数点以下を切り捨てた整数である。

[0026] 前記係数 k_i は、前記安定限界線図における安定ローブ（下に凸の個々の曲線）の次数を表すものであり、この係数 k_i の値が変化する場合には、現在の工具の切り込み深さが、安定ポケットの限界切り込み深さを越えていると判断され、主軸回転速度を調整することでは、工具の切り込み深さと主軸回転速度との関係を安定領域に移行させることができないと判断される。

[0027] また、本発明では、前記回転速度調整部は、前記検出処理において、前記速度調整信号を送信する都度、そのときに前記びびり検出部から出力される再生びびり周波数と前回出力された再生びびり周波数との差分値を算出するように構成されるとともに、前記びびり検出部から継続して前記検出信号を受信している間に、算出された差分値が予め定められた基準値を超えたとき、再生びびりを解消できない状態にあると判定して、前記対策処理を実行するように構成された態様を採ることができる。

[0028] 再生びびり現象は、前記安定限界線図における前記各安定ローブに対応した領域内では、主軸回転速度が速くなるにつれて再生びびり周波数が徐々に高くなる（連続的に高くなる）特性を有し、また、主軸回転速度が高速になる過程で高次の安定ローブの領域から低次の安定ローブの領域に移行する際、言い換えれば、安定ポケットを跨ぐ際には、再生びびり周波数が急激に低下する特性を有する。

[0029] したがって、前記びびり検出部から継続して前記検出信号を受信している間に、当該びびり検出部から出力される再生びびり周波数と前回出力された再生びびり周波数との差分値（変化量）が所定の基準値を超える場合には、主軸回転速度が安定ポケットを跨いで変動したと判断され、この場合には、現在の工具の切り込み深さが、安定ポケットの限界切り込み深さを越えてい

るために、主軸回転速度を調整することでは、工具の切り込み深さと主軸回転速度との関係を安定領域に移行させることができないと判断される。

[0030] また、本発明において、前記回転速度調整部は、前記びびり検出部から前記検出信号を受信すると、前記回転速度調整処理を実行する前に、まず、そのときの前記主軸回転速度 S_0 [min^{-1}] 及び再生びびり周波数 ω_0 [Hz]、並びに工具の刃数 N を基に、以下の数式 2 によって処理前の係数 k_0 を算出し、前記回転速度調整処理において、前記係数 k_0 が予め定められた値よりも大きい値である場合には、前記主軸回転速度を減少させ、前記係数 k_0 が予め定められた値よりも小さい値である場合には、前記主軸回転速度を増加又は減少させるように構成された態様を採ることができる。

(数式 2)

$$k_0 = (60 \times \omega_0) / (N \times S_0)$$

但し、 k_0 は小数点以下を切り捨てた整数である。

[0031] この態様の回転速度調整部では、前記びびり検出部から検出信号を受信すると、前記回転速度調整処理を実行する前に、まず、そのときの主軸回転速度 S_0 [min^{-1}] 及び再生びびり周波数 ω_0 [Hz]、並びに工具の刃数 N を基に、上記数式 2 によって処理前の係数 k_0 が算出される。この係数 k_0 は、前記安定限界線図における安定ローブの次数を表すものである。

[0032] 再生びびりに関する前記安定限界線図は、安定ポケットの次数がある数値を超えて高次になると、主軸回転速度が低くなるに従い、限界切り込み深さが次第に大きくなる傾向を有し、この安定領域は、一般的にプロセスダンピング領域と称される (図 5 参照)。

[0033] 斯くして、前記回転速度調整部は、前記係数 k_0 が所定の値よりも大きい、即ち、プロセスダンピング領域に対応するものである場合には、以降の処理において、前記主軸回転速度を、所定の時間間隔且つ所定の変化量で、段階的に減少させる、即ち、びびり検出信号が無くならない限り主軸回転速度を減少させることで、主軸回転速度をプロセスダンピング領域内に導く処理を行い、前記係数 k_0 が、所定の値よりも小さい、即ち、プロセスダンピング領

域に対応するもので無い場合には、以降の処理において、主軸回転速度を、所定の時間間隔且つ所定の変化量で、段階的に増加又は減少させる。これにより、主軸回転速度をより効果的に安定領域に導くことができる。

[0034] また、前記回転速度調整部は、前記びびり検出部から前記検出信号を受信すると、前記各処理を実行する前に、そのときの再生びびり周波数 ω_0 [Hz]、及び工具の刃数 N を基に、以下の数式3によって主軸の安定回転速度 S_s [min^{-1}]を推定し、推定した安定回転速度 S_s に係る速度指令信号を前記数値制御装置に送信して、前記主軸回転速度を推定した安定回転速度 S_s に変更させ、変更後も前記びびり検出部から前記検出信号を受信する場合に、前記各処理を実行するように構成された態様を採ることができる。

(数式3)

$$S_s = (60 \times \omega_0) / (N \times k)$$

但し、 k は1以上の任意の整数である。

[0035] この態様の回転速度調整部によれば、前記びびり検出部から検出信号を受信すると、前記各処理を実行する前に、そのときの再生びびり周波数 ω_0 [Hz]、及び工具の刃数 N を基に、上記数式3によって主軸の安定回転速度 S_s [min^{-1}]を推定し、推定した安定回転速度 S_s に係る速度指令信号を前記数値制御装置に送信して、まず、主軸回転速度を推定した安定回転速度 S_s に変更させる。

[0036] 尚、この安定回転速度 S_s は、上記安定限界線図における k 次の安定ポットに対応した回転速度であり、主軸回転速度をこの安定回転速度 S_s に調整することで、再生びびりを解消することができる可能性がある。但し、この安定回転速度 S_s は近似値であり、実際の安定ポケットに対応した回転速度とは必ずしも一致しないため、主軸回転速度をこのような安定回転速度 S_s に調整しても再生びびりが解消されない場合には、所定の時間間隔且つ所定の変化量で、主軸回転速度を段階的に増加又は減少させる処理を行って、再生びびりを解消させる。尚、前記係数(次数) k が、そのときの主軸回転速度とびびり周波数から算出された係数(次数) k_0 と大きく異なる場合には、主軸回転

速度を大きく変化させることになるので、加工上工具欠損等のリスクが高まるため、係数 k の値を設定する際には、前記係数 k_0 を基準にある程度制限を設けた方が好ましい。

[0037] また、前記回転速度調整部は、前記主軸回転速度を推定した安定回転速度 S_s に変更後においても、前記びびり検出部から前記検出信号を受信する場合には、以下の数式4により、そのときの主軸回転速度 S_0' [min^{-1}]及び再生びびり周波数 ω_0' [Hz]、並びに工具の刃数 N を基に係数 k_0' を算出し、算出した係数 k_0' が前記係数 k よりも大きい場合または等しい場合には、以後の処理において、主軸回転速度を増加させ、前記係数 k_0' が前記係数 k より小さい場合には、主軸回転速度を減少させるように構成された態様を採ることができる。

(数式4)

$$k_0' = (60 \times \omega_0') / (N \times S_0')$$

但し、 k_0' は小数点以下を切り捨てた整数である。

[0038] また、前記回転速度調整部は、前記対策処理において、前記切削を停止させる処理を実行する際に、前記数値制御装置から得られる工具の位置がエアカット位置である否かを判断し、工具の位置がエアカット位置となったときに、前記数値制御装置に切削停止信号を送信して、前記主軸の回転を停止させる処理を実行するように構成された態様を採ることができる。

[0039] このようにすれば、再生びびりを解消することができず、切削を停止させる場合に、工具がエアカット位置、即ち、工具がワークに接触していない位置に在るときに、切削を停止、例えば主軸の回転及び工具の送りを停止させることができるので、切削を停止させる際に工具やワークが損傷するのを防止することができる。

[0040] また、前記回転速度調整部は、前記数値制御装置に前記主軸回転速度を変更させる場合に、前記工具の一刃当たりの切削量に変動が生じないように、主軸回転速度の変更に応じて切削送り速度を変更させる信号を、前記数値制御装置に送信するように構成された態様を採ることができる。

[0041] このようにすれば、主軸回転速度を変更しても、工具の一刃当たりの切削量、言い換えれば一刃当たりの送り量に変動を生じないので、当該工具によって加工されるワーク表面の理論表面粗さを一定にすることができ、主軸回転速度を変更することによって加工精度が悪化するのを防止することができる。

発明の効果

[0042] 以上のように、本発明に係る主軸回転速度調整装置よれば、加工中に再生びびりが生じた場合に、回転速度調整部から、所定の時間間隔毎に、所定の変化量で、主軸回転速度を増加又は減少させる速度調整信号が数値制御装置に送信されて、主軸回転速度が前記変化量で段階的に増加又は減少される。したがって、再生びびりが生じたときの工具の切り込み深さが、主軸回転速度を調整することで再生びびりを解消することができる切り込み深さである場合には、このような主軸回転速度の調整を行うことで、従来に比べてより効果的に再生びびりを解消することができる。

[0043] また、再生びびりを生じたときの工具の切り込み深さが、主軸回転速度を調整することで再生びびりを解消することができない切り込み深さである場合には、これを検出して採り得る相応の措置を講じるようにしているので、工具やワーク等に過大な悪影響が出るのを未然に防止することができる。

図面の簡単な説明

[0044] [図1]本発明の一実施形態に係る主軸回転速度調整装置、及び数値制御装置等の概略構成を示したブロック図である。

[図2]本実施形態に係る工作機械を示した斜視図である。

[図3]本実施形態に係る回転速度調整部における処理を示したフローチャートである。

[図4]本実施形態に係る回転速度調整部における処理を示したフローチャートである。

[図5]本実施形態に係る回転速度調整部における処理を説明するための説明図である。

[図6]本実施形態に係る回転速度調整部における処理を説明するための説明図である。

[図7]本実施形態に係る回転速度調整部における処理を説明するための説明図である。

[図8]本実施形態に係る回転速度調整部における処理を説明するための説明図である。

[図9]本実施形態に係る回転速度調整部における処理を説明するための説明図である。

[図10]本実施形態に係る回転速度調整部における処理を説明するための説明図である。

[図11]本実施形態に係る回転速度調整部における処理を説明するための説明図である。

[図12]本発明の他の実施形態に係る回転速度調整部における処理を説明するための説明図である。

発明を実施するための形態

[0045] 以下、本発明の具体的な実施の形態について、図面を参照しながら説明する。図1は、本実施形態に係る主軸回転速度調整装置、及び数値制御装置等の概略構成を示したブロック図である。

[0046] 図1に示すように、本例の主軸回転速度調整装置1は、数値制御装置10によって数値制御される工作機械20の主軸の回転速度を調整する装置である。以下、各装置について説明する。

[0047] A. 工作機械

まず、制御対象である工作機械20の概略について説明する。図2に示すように、本例の工作機械20は、ベッド21と、このベッド21上に立設されたコラム22と、このコラム22の前面（加工領域側の面）に矢示Z軸方向に移動自在に設けられた主軸頭23と、軸中心に回転自在に主軸頭23に保持された主軸24と、主軸頭23より下方のベッド21上に矢示Y軸方向に移動自在に設けられたサドル25と、サドル25上に矢示X軸方向に移動

自在に配設されたテーブル 26 と、このテーブル 26 を X 軸方向に移動させる X 軸送り機構 29 と、サドル 25 を Y 軸方向に移動させる Y 軸送り機構 28 と、主軸頭 23 を Z 軸方向に移動させる Z 軸送り機構 27 と、主軸 24 を回転させる主軸モータ（図示せず）とを備えている。

[0048] 前記 X 軸送り機構 29、Y 軸送り機構 28、Z 軸送り機構 27 及び主軸モータ（図示せず）が駆動されて、主軸 24 がその軸中心に回転するとともに、当該主軸 24 とテーブル 26 とが 3 次元空間内で相対的に移動することで、テーブル 26 上に固定されたワーク W が、主軸 24 に装着された工具 T によって加工される。尚、工具 T は工具ホルダ TH により保持された状態で主軸 24 に装着されており、図 2 には、工具 T の一例としてエンドミルを図示している。

[0049] B. 数値制御装置

前記数値制御装置 10 は、図 1 に示すように、NC プログラム実行部 11、NC プログラム記憶部 12、主軸制御部 13、送り制御部 14、工具データ記憶部 15 及び表示制御部 16 などから構成され、適宜ディスプレイを備えた表示装置 17 が接続されている。

[0050] この数値制御装置 10 は、CPU、RAM、ROM などを含むコンピュータから構成される。そして、前記 NC プログラム記憶部 12 及び工具データ記憶部 15 は RAM などの適宜記憶媒体から構成され、NC プログラム実行部 11、主軸制御部 13、送り制御部 14 及び表示制御部 16 はコンピュータプログラムによってその機能が実現される。

[0051] 前記主軸制御部 13 は、主軸モータ（図示せず）の作動を制御する制御部であり、例えば、前記 NC プログラム実行部 11 から主軸回転速度に係る制御信号（指令信号）を受信して、前記主軸 24 の回転速度が指令された回転速度となるように前記主軸モータ（図示せず）を制御する。

[0052] また、前記送り制御部 14 は、前記 X 軸送り機構 29、Y 軸送り機構 28 及び Z 軸送り機構 27 の作動を制御する制御部であり、例えば、前記 NC プログラム実行部 11 から、各送り軸（X 軸、Y 軸及び Z 軸）についての移動

位置及び移動速度に関する制御信号を受信して、対応するX軸送り機構29、Y軸送り機構28及びZ軸送り機構27を駆動し、指令された移動速度で、指令された位置関係となるように、主軸24とテーブル26とを3次元空間内で相対的に移動させる。

[0053] また、NCプログラム実行部11は、前記NCプログラム記憶部12に記憶されたNCプログラムを読み出し、これを順次解析して、指令に応じた制御信号を生成し、生成した制御信号を前記主軸制御部13及び送り制御部14に送信する処理を行う。

[0054] 斯くして、この数値制御装置10によれば、NCプログラム記憶部12に格納されたNCプログラムがNCプログラム実行部11によって実行され、このNCプログラムに従った制御の下で、前記主軸モータ（図示せず）が前記主軸制御部13により駆動されて、前記主軸24がその軸中心に回転するとともに、前記X軸送り機構29、Y軸送り機構28及びZ軸送り機構27が前記送り制御部14により駆動されて、前記主軸24とテーブル26とが3次元空間内で相対的に移動することで、テーブル26上のワークWが主軸24に装着された工具Tによって加工される。

[0055] また、前記工具データ記憶部15には、当該工作機械20で使用される工具Tの情報、例えば、工具番号、工具Tの型式、工具Tの刃数及び工具Tの材質等が相互に関連付けられて格納されている。

[0056] また、表示制御部16は、前記表示装置17における表示を制御する。例えば、この表示制御部16の制御の下で、NCプログラム記憶部12に格納されたNCプログラムが前記表示装置17に表示され、また、前記工具Tの3次元空間内における座標位置が前記表示装置17に表示される。

[0057] C. 主軸回転速度調整装置

前記主軸回転速度調整装置1は、前記主軸頭23の下端部に設けられる加速度センサ2と、演算処理装置3とから構成される（図1及び図2参照）。

[0058] 前記演算処理装置3は、CPU、ROM、RAMなどを備えた一般的なコンピュータから構成され、コンピュータプログラムによってその機能が実現

されるびびり検出部4及び回転速度調整部5を備える。

[0059] 前記加速度センサ2は、前記工具TによってワークWを加工しているときに、当該工具Tに生じる振動を検出して、振動に応じた信号を前記びびり検出部4に出力する。この加速度センサ2による振動の検出は、加工が行なわれている間、常に実行される。

[0060] 前記びびり検出部4は、前記加速度センサ2から連続的に出力される振動に係る信号を受信し、受信した信号を所定のサンプリング間隔でフーリエ解析（周波数解析）により解析して、工具Tに生じている振動の周波数とその大きさを算出する。そして、得られた振動の大きさが所定の閾値を超えたとき、再生びびりが生じていると判断して、都度、びびり検出信号及び再生びびり周波数に係るデータを前記回転速度調整部5に送信する処理を行う。

[0061] 前記回転速度調整部5は、図3及び図4に示した処理を行う。即ち、回転速度調整部5は、適宜処理開始信号の入力を待って処理を開始し、前記びびり検出部4からびびり検出信号が入力されたか否か、即ち前記工具Tに再生びびりが生じたか否かを監視する（ステップS1）。そして、びびり検出部4からびびり検出信号が入力されると、回転速度調整部5は、そのときの再生びびり周波数 ω_0 [Hz]、及び工具Tの刃数Nを基に、下記数式5に従って安定回転速度 S_s を算出する（ステップS2）。

（数式5）

$$S_s = (60 \times \omega_0) / (N \times k)$$

但し、 k は1以上の任意の整数である。

[0062] この安定回転速度 S_s は、上述した図5に示す安定限界線図における k 次の安定ポットに対応した回転速度であり、主軸回転速度をこの安定回転速度 S_s に調整することで、再生びびりを解消できる可能性がある。例えば、図5に示すように、再生びびりが発生したときの主軸回転速度を S_0 として、前記 k を2とした場合に数式5によって得られる安定回転速度 S_s が安定領域内となるような場合には、主軸回転速度を S_0 から S_s に変更することによって再生びびりを解消することができる。

- [0063] 尚、再生びびり周波数 ω_0 は前記びびり検出部4から取得される。また、工具Tの刃数Nは、まず、前記NCプログラム実行部11から現在加工中の工具番号を取得し、ついで、当該工具番号に対応した工具刃数に係るデータを前記工具データ記憶部15から取得することによって得られる。
- [0064] また、同じくNCプログラム実行部11から現在実行中の主軸回転速度及び工具Tの送り速度を認識した後、主軸回転速度を現在の回転速度から前記安定回転速度 S_s に変更しても、一刀当たりの切削量（送り量）が変更されないような調整送り速度を算出する（ステップS2）。工具Tの一刀当たりの送り量が変動しないようにすることで、当該工具Tによって加工されるワークWの理論表面粗さを一定にすることができ、これにより主軸回転速度を変更することで加工精度が悪化するのを防止することができる。尚、現在の主軸回転速度は、前記主軸モータ（図示せず）に付設されるロータリエンコーダから取得することもできる。
- [0065] そして、上記のようにして算出された安定回転速度 S_s に対応した回転速度指令を前記主軸制御部13に送信して、主軸回転速度を安定回転速度 S_s に変更させるとともに、調整送り速度に対応した送り速度指令を前記送り制御部14に送信して、工具TとワークWとの相対な送り速度（以下、これを単に「工具Tの送り速度」と言う）を当該調整送り速度に変更させる（ステップS3）。
- [0066] 尚、上述したように、前記係数kは任意の整数で良いが、びびり振動を生じない状態で、現在の主軸回転速度よりも更に回転速度を上げることにより、切削能率を上げた切削条件を設定したいとき、又は、びびり振動を生じない状態で、現在の主軸回転速度よりも回転速度を下げることにより、工具寿命を長くした切削条件を設定したいときには、現在の主軸回転速度及びびびり周波数を基に、詳しくは後述する数式8に従って算出される係数 k_0 とは異なる値に設定する。
- [0067] 次に、上記ステップS2及びS3の処理によって、再生びびりが解消した場合には、後述するステップS16に進み、一方、再生びびりが解消せず、

引き続き前記びびり検出部4からびびり検出信号が入力される場合には、以下の数式6により、そのときの主軸回転速度 S_o' [min^{-1}]、及び再生びびり周波数 ω_o' [Hz]、並びに工具の刃数 N を基に係数 k_o' を算出する（ステップS5）。

（数式6）

$$k_o' = (60 \times \omega_o') / (N \times S_o')$$

但し、 k_o' は小数点以下を切り捨てた整数である。

[0068] そして、算出された係数 k_o' が前記係数 k 以上の値である場合には、予め定められた時間間隔毎に、予め定められた変化量で、主軸回転速度を増加させる設定にするとともに、主軸回転速度の増加に対応させて、工具Tの一刃当たりの切削量（送り量）が変更されないように、送り速度を増加させる増加量（調整量）を設定して（ステップS6, S7）、次のステップS9に進む。

[0069] 上記数式6によって算出される係数 k_o' は、前記安定限界線図における安定ローブ（下に凸の曲線）の次数を表すものであり、そのときの主軸回転速度 S_o' は次数 k_o' の安定ローブの範囲内に在る。そして、この係数 k_o' が前記係数 k 以上である場合には、主軸回転速度 S_o' は次数 k の安定ポケットより低速側の回転速度であるので、上記のように、所定の時間間隔且つ所定の変化量で主軸回転速度を増加させ、また、これに応じて送り速度を増加させる増加量を設定する。

[0070] 例えば、図6に示すように、 $k=3$ の安定ポケットに対応した安定回転速度 S_s に主軸回転速度を変更した結果、再生びびりが解消しない場合に、そのときの主軸回転速度 S_o' （ $=S_s$ ）を基に上記数式6によって算出される k_o' が k に等しい値である場合（ k より大きい値である場合を含む）には、主軸回転速度 S_o' は、 $k=3$ の実際の安定ポケットに対応した回転速度よりも低い回転速度となっている、言い換えれば、主軸回転速度 S_o' は $k=3$ の安定ローブ領域内に在るため、図7に示すように、主軸回転速度が $k=3$ の安定ポケット（安定領域）内に入るように、当該主軸回転速度を所定の時間間

隔且つ所定の変化量で段階的に増加させる設定にする。

[0071] 一方、算出された係数 k_o' が前記係数 k より小さい値である場合には、予め定められた時間間隔毎に、予め定められた変化量で、主軸回転速度を減少させる設定にするとともに、主軸回転速度の減少に対応させて、工具 T の一刃当たりの切削量（送り量）が変更されないように、送り速度を減少させる減少量（調整量）を設定して（ステップ S_6 , S_8 ）、次のステップ S_9 に進む。

[0072] 例えば、図 8 に示すように、 $k = 3$ の安定ポケットに対応した安定回転速度 S_s に主軸回転速度を変更した結果、再生びびりが解消しない場合に、そのときの主軸回転速度 S_o' ($= S_s$) を基に上記数式 6 によって算出される k_o' が k より小さい値である場合には、主軸回転速度 S_o' は、 $k = 3$ の安定ポケットに対応した回転速度よりも高い回転速度となっている、言い換えれば、主軸回転速度 S_o' は $k = 2$ の安定ローブ領域内に在るため、図 9 に示すように、主軸回転速度が $k = 3$ の安定ポケット（安定領域）内に入るように、当該主軸回転速度を所定の時間間隔且つ所定の変化量で段階的に減少させる設定にする。

[0073] そして、回転速度調整部 5 は、ステップ S_9 において、ステップ S_7 又はステップ S_8 で設定された主軸回転速度の調整に係る指令を前記主軸制御部 13 に送信して、主軸回転速度を設定された変化量だけ変動させるとともに、送り速度の調整指令を前記送り制御部 14 に送信して、設定された調整量だけ工具 T の送り量を調整する処理を行う。

[0074] ついで、回転速度調整部 5 は、調整処理後の主軸回転速度 S_i [min^{-1}] 及び再生びびり周波数 ω_i [Hz]、並びに工具の刃数 N を基に、以下の数式 7 により係数 k_i を算出して（ステップ S_{10} ）、算出した係数 k_i の値が変化したか否かを確認し（ステップ S_{11} ）、係数 k_i の値が変化しない場合には、再生びびりが解消されたか否かを確認し（ステップ S_{12} ）、再生びびりが解消された場合にはステップ S_{16} に進み、再生びびりが解消されない場合にはステップ $S_9 \sim S_{11}$ の処理を繰り返す。この繰り返し処理により、主軸回転

速度及び送り速度が段階的に調整される。

(数式 7)

$$k_i = (60 \times \omega_i) / (N \times S_i)$$

但し、 i は 1 以上の整数であり、前記主軸回転速度及び送り速度の調整回数を意味する。また、 k_i は小数点以下を切り捨てた整数である。

[0075] 一方、係数 k_i の値が変化すると (ステップ S 1 1)、回転速度調整部 5 は、係数 k_i の値が変化した旨を表示するための指令信号を前記表示制御部 1 6 に送信して、表示装置 1 7 に、当該係数 k_i の値が変化した旨、即ち、主軸回転速度を調整することでは再生びびりを解消できない旨を表示させる (ステップ S 1 3)。尚、ステップ S 1 0 及び S 1 1 の処理は、再生びびりを解消できない状態であるか否かを検出するための処理である。

[0076] そして、回転速度調整部 5 は、前記 NC プログラム実行部 1 1 における NC プログラムの実行状態と前記びびり検出部 4 によって検出される振動状態から切削振動が無くなった事を検出するか、工具 T に作用する負荷状態から負荷が極端に減少した事を検出する事により、工具 T がワーク W に接触していないエアカット状態となったかどうかを監視し (ステップ S 1 4)、エアカット状態になったと認められる場合には、切削停止信号を前記 NC プログラム実行部 1 1 に送信して、プログラムの実行を停止させ、これにより主軸 2 4 の回転を停止させるとともに、工具 T の送りを停止させて、切削を停止させる。或いは、切削停止信号として、回転速度調整部 5 から前記送り制御部 1 4 に適宜退避動作の制御信号を送信して、工具 T に退避動作を実行させ、これにより切削を停止させるようにしても良い。

[0077] 例えば、図 1 0 に示すように、工具 T の切り込み深さが安定ポケット ($k = 3$) の限界切り込み深さより大きい場合には、主軸回転速度を S_0' から段階的に増加又は減少させても、主軸回転速度と工具の切り込み深さとの関係を安定領域に移動させることはできないため、工具 T に生じた再生びびりを解消することができないと考えられる。そして、随時算出される係数 k_i の値が変化した場合には、このような状態であると考えられる。即ち、図 1 0 に

示した例では、再生びびりが生じたまま、係数 k_i の値が変化する場合、主軸回転速度が $k = 2$ の安定ローブ領域から $k = 3$ の安定ローブ領域に移行したか、或いは主軸回転速度が $k = 3$ の安定ローブ領域から $k = 2$ の安定ローブ領域に移行したと考えられる。

[0078] そこで、このような場合には、主軸回転速度を再生びびりが生じない安定領域に導くことができないので、上述したステップS 9及びS 10の処理を停止して、ステップS 13～S 15の処理を行う。

[0079] 以降、回転速度調整部5は、処理終了信号が入力されるまでステップS 1～S 15の処理を繰り返し、処理終了信号が入力されると処理を終了する（ステップS 16）。

[0080] 以上の構成を備えた主軸回転速度調整装置1によれば、前記NCプログラム実行部11によりNCプログラムが実行され、前記工作機械20によってワークWが加工される間に、前記工具Tに生じる振動が加速度センサ2によって検出され、振動に応じた信号が当該加速度センサ2からびびり検出部4に入力される。そして、びびり検出部4は、連続的に入力される振動信号を適宜サンプリング間隔で解析して、工具Tの振動周波数とその大きさを算出し、算出した振動の大きさが所定の閾値を超えたとき、びびり検出信号及び再生びびり周波数に係るデータを、当該びびり検出部4から前記回転速度調整部5に送信する。

[0081] 一方、回転速度調整部5は、前記びびり検出部4からびびり検出信号が入力されると、そのときの再生びびり周波数 ω_o [Hz]、及び工具Tの刃数Nを基に、上記数式5に従って安定回転速度 S_s を算出するとともに、主軸回転速度を現在の回転速度から前記安定回転速度 S_s に変更しても、一刃当たりの切削量（送り量）が変更されないような調整送り速度を算出する。

[0082] そして、このようにして算出された安定回転速度 S_s に対応した回転速度指令が主軸制御部13に送信され、調整送り速度に対応した送り速度指令が前記送り制御部14に送信される。これにより、主軸制御部13による制御の下で、主軸24の回転速度が安定回転速度 S_s に変更され、送り制御部14に

よる制御の下で、工具Tの送り速度が調整送り速度に変更される。

[0083] 前記安定回転速度 S_s は、安定限界線図における k 次の安定ポケットに対応した推定回転速度であり、まず、主軸回転速度をこの安定回転速度 S_s に変更することで、再生びびりの解消が試みられる。尚、主軸回転速度をこのような安定回転速度 S_s に変更しても、工具Tの一刃当たりの送り量の変動しないように、工具Tの送り速度も調整されるので、当該工具Tによって加工されるワークWの理論表面粗さを一定にすることができ、これにより主軸回転速度を変更することで、加工精度が悪化するのを防止される。

[0084] そして、主軸回転速度を安定回転速度 S_s に変更する処理によっても、再生びびりが解消しない場合には、そのときの主軸回転速度 S_o' ($= S_s$)、再生びびり周波数 ω_o' 及び工具の刃数 N を基に、上記数式6に従って係数 k_o' が算出され、算出された係数 k_o' が係数 k 以上の値である場合には、目標とする安定ポケットを越えていないと判断されるため、所定の時間間隔、且つ所定の変化量で、段階的に主軸回転速度を増加させるとともに、この主軸回転速度の増加に対応させて、工具Tの一刃当たりの切削量（送り量）が変更されないように、工具Tの送り速度を増加させる。

[0085] 一方、算出された係数 k_o' が係数 k よりも小さい値である場合には、目標とする安定ポケットを越えていると判断されるため、所定の時間間隔、且つ所定の変化量で、段階的に主軸回転速度を減少させるとともに、この主軸回転速度の減少に対応させて、工具Tの一刃当たりの切削量（送り量）が変更されないように、工具Tの送り速度を減少させる。

[0086] 以上の処理により、工具Tの切り込み深さが、目標とする安定ポケットの限界切り込み深さより小さい場合には、主軸回転速度と工具の切り込み深さとの関係を、安定限界線図における安定ポケット内に移行させた状態、即ち、再生びびりが生じる不安定領域から、再生びびりが生じない安定領域に移行させることができ、これにより、工具の再生びびりを解消（或いは抑制）することができる。

[0087] 一方、工具Tの切り込み深さが、目標とする安定ポケットの限界切り込み

深さより大きい場合、即ち、前記主軸回転速度及び送り速度を調整したときに算出される係数 k_f が変化した場合には、このような調整処理を行っても再生びびりは解消しないので、当該調整処理を停止するとともに、係数 k_f の値が変化した旨を表示装置１７に表示し、また、工具Ｔがエアカット状態となったとき、上例のように、切削停止信号をNCプログラム実行部１１又は送り制御部１４に送信して、切削動作を停止させる。

[0088] 係数 k_f の値が変化した旨を表示装置１７に表示することで、再生びびりを解消することができないことをオペレータに認識させることができる。また、工具がエアカット状態のときに主軸２４の回転を停止させることで、工具ＴやワークＷに損傷を与えることなく、切削を停止させることができる。

[0089] 以上本発明の具体的な実施の形態について説明したが、本発明が採り得る態様は、何らこれに限定されるものではない。

[0090] 例えば、上例において、前記回転速度調整部５は、再生びびりを解消できない状態であるか否かを検出するための処理として、上記ステップＳ１０及びＳ１１の処理を行うように構成されているが、これに限られるものではなく、ステップＳ９において、主軸回転速度調整指令及び送り速度調整指令を出力した後、ステップＳ１０に代えて、前記びびり検出部４から出力される再生びびり周波数と前回出力された再生びびり周波数との差分値を算出する処理を行うとともに、ステップＳ１１に代えて、算出した差分値が予め定められた基準値を超えたか否かを判別し、基準値を超えていない場合には、上記ステップＳ１２に進み、基準値を超えた場合には、ステップＳ１４に代えて、主軸回転速度を調整することでは再生びびりを解消できない旨を表示装置１７に表示させる処理を行った後、上記ステップＳ１４に進むように構成されていても良い。

[0091] 図１２（ａ）は、上述した図１０と同じ内容の図であり、図１２（ｂ）は、図１２（ａ）に示した各安定ローブに対応した主軸回転速度領域における再生びびり周波数を示した線図である。この図１２（ａ）及び（ｂ）から分かるように、再生びびり現象は、安定限界線図における各安定ローブに対応し

た領域内では、主軸回転速度が速くなるにつれて再生びびり周波数が徐々に高くなる（連続的に高くなる）特性を有し、また、主軸回転速度が高速になる過程で高次の安定ローブの領域から低次の安定ローブの領域に移行する際、言い換えれば、安定ポケットを跨ぐ際には、再生びびり周波数が急激に低下する特性を有する。

[0092] したがって、前記びびり検出部4から継続して前記検出信号を受信している間に、当該びびり検出部4から出力される再生びびり周波数と前回出力された再生びびり周波数との差分値（変化量）が所定の基準値を超える場合には、図において S_0' の挙動として示すように、主軸回転速度が安定ポケットを跨いで変動したと判断され、この場合には、現在の工具の切り込み深さが、安定ポケットの限界切り込み深さを越えているために、主軸回転速度を調整することでは、工具の切り込み深さと主軸回転速度との関係を安定領域に移行させることができないと判断することができる。

[0093] また、上例では、回転速度調整部5は、ステップS2～S6の処理を行うように構成されているが、これに限られるものではなく、ステップS1においてびびり検出信号を受信した場合に、ステップS2～S6を実行することなく、所定の時間間隔、且つ所定の変化量で、主軸回転速度を増加させるとともに、これに応じて工具Tの送り速度を増加させる設定処理（ステップS7）、又は同じく所定の時間間隔、且つ所定の変化量で、主軸回転速度を減少させるとともに、これに応じて工具Tの送り速度を減少させる設定処理（ステップS8）を実行するように構成されていても良い（図11参照）。ステップS7を実行するようにするか、ステップS8を実行するようにするかは、任意に設定することができる。

[0094] また、回転速度調整部5は、ステップS1においてびびり検出信号を受信した場合に、ステップS2～S6を実行することなく、まず、そのときの主軸回転速度 S_0 [min^{-1}]、再生びびり周波数 ω_0 [Hz]、及び工具の刃数 N を基に、以下の数式8によって係数 k_0 を算出し、係数 k_0 が予め定められた値よりも大きい値である場合には、主軸回転速度及び工具Tの送り速度を段階的に

減少させるステップS 8を実行し、係数 k_0 が予め定められた値よりも小さい値である場合には、主軸回転速度及び工具Tの送り速度を段階的に増加させるステップS 7を実行するか、又は主軸回転速度及び工具Tの送り速度を段階的に減少させるステップS 8を実行するように構成されていても良い。

(数式8)

$$k_0 = (60 \times \omega_0) / (N \times S_0)$$

但し、 k_0 は小数点以下を切り捨てた整数である。

[0095] 前記係数 k_0 は、前記安定限界線図における安定ローブの次数を表すものである。そして、再生びびりに関する安定限界線図は、安定ポケットの次数がある数値を超えた高次になると、主軸回転速度が低くなるに従い、限界切り込み深さが大きくなる傾向を有し、この安定領域は、一般的にプロセスダンピング領域と称される(図11参照)。

[0096] したがって、係数 k_0 が所定の値よりも大きい、即ち、プロセスダンピング領域に対応するものである場合には、主軸回転速度及び工具Tの送り速度を、所定の時間間隔且つ所定の変化量で、段階的に減少させる、即ち、主軸回転速度をプロセスダンピング領域内に導く処理を行う。一方、前記次数 k_0 が、前記所定値よりも小さい、即ち、プロセスダンピング領域に対応するもので無い場合には、以降の処理において、主軸回転速度及び工具Tの送り速度を、所定の時間間隔且つ所定の変化量で、段階的に増加又は減少させる。これにより、主軸回転速度をより効果的に安定領域に導くことができる(図11参照)。

[0097] また、上例では、主軸頭23に設けた加速度センサ2によって工具Tの振動を検出するようにしたが、これに限られるものではなく、加工中に生じる加工音をマイクロフォンにより集音することにより、加工振動を検出するようにしても良い。

[0098] また、上例のびびり検出4では、FFT解析によって得られる振動の大きさが所定の閾値を越えたときに、再生びびりが生じたと判定するようにしたが、これに限られるものではなく、所定のサンプリング間隔で検出される振

動レベル（大きさ）の差分値が所定の閾値を越えたときに、再生びびりが生じたと判定するようにしても良い。

[0099] また、上例では、主軸回転速度調整装置 1 の演算処理装置 3 を数値制御装置 10 とは別に設けたが、このような構成に限られるものではなく、演算処理装置 3 を数値制御装置 10 に組み込んだ構成としても良い。

符号の説明

- [0100]
- | | |
|----|------------|
| 1 | 主軸回転速度調整装置 |
| 2 | 加速度センサ |
| 3 | 演算処理装置 |
| 4 | びびり検出部 |
| 5 | 回転速度調整部 |
| 10 | 数値制御装置 |
| 11 | NCプログラム実行部 |
| 12 | NCプログラム記憶部 |
| 13 | 主軸制御部 |
| 14 | 送り制御部 |
| 15 | 工具データ記憶部 |
| 16 | 表示制御部 |
| 17 | 表示装置 |
| 20 | 工作機械 |
| 23 | 主軸頭 |
| 24 | 主軸 |
| T | 工具 |
| W | ワーク |

請求の範囲

[請求項1] 数値制御装置によって制御される工作機械の主軸回転速度を調整する装置であって、

加工によって工具に生じる振動を検出し、検出した振動に係る信号を出力する振動検出部と、

前記振動検出部から出力される振動信号を解析して、前記工具に再生びびりが生じているか否かを監視し、工具に再生びびりが生じたとき、その検出信号及び再生びびり周波数に係るデータを出力するびびり検出部と、

前記びびり検出部から出力された前記検出信号及び再生びびり周波数に係るデータを受信し、該検出信号を継続して受信する間、予め定められた時間間隔毎に、予め定められた変化量で、主軸回転速度を増加又は減少させる速度調整信号を前記数値制御装置に送信して、前記主軸回転速度を増加又は減少させる回転速度調整処理を実行し、該速度調整信号を送信する都度、再生びびりを解消できない状態であるか否かを検出する検出処理を実行するとともに、前記びびり検出部から前記検出信号を受信しなくなったとき、前記数値制御装置への前記速度調整信号の送信を停止する送信停止処理を実行し、一方、前記びびり検出部から継続して前記検出信号を受信している間に、再生びびりを解消できない状態にあることが検出されたとき、前記数値制御装置に切削停止信号を送信して、切削を停止させるか、又は前記主軸回転速度の調整を停止するか、又は再生びびりを解消できない状態にある旨を外部に報知する、少なくともいずれかの対策処理を実行する回転速度調整部とを備えていることを特徴とする主軸回転速度調整装置。

[請求項2] 前記回転速度調整部は、前記検出処理において、前記速度調整信号を送信する都度、そのときの前記主軸回転速度 S_i [min^{-1}] 及び再生びびり周波数 ω_i [Hz]、並びに工具の刃数 N を基に、以下の数式 1 により係数 k_i を算出するように構成されるとともに、前記びびり検出部

から継続して前記検出信号を受信している間に、算出された前記係数 k_i の値が変化したとき、再生びびりを解消できない状態にあると判定して、前記対策処理を実行するように構成されていることを特徴とする請求項 1 記載の主軸回転速度調整装置。

(数式 1)

$$k_i = (60 \times \omega_i) / (N \times S_i)$$

但し、 i は 1 以上の整数であり、前記主軸回転速度の変更回数を意味する。また、 N は 1 以上の整数であり、 k_i は小数点以下を切り捨てた整数である。

[請求項3] 前記回転速度調整部は、前記検出処理において、前記速度調整信号を送信する都度、そのときに前記びびり検出部から出力される再生びびり周波数と前回出力された再生びびり周波数との差分値を算出するように構成されるとともに、前記びびり検出部から継続して前記検出信号を受信している間に、算出された差分値が予め定められた基準値を超えたとき、再生びびりを解消できない状態にあると判定して、前記対策処理を実行するように構成されていることを特徴とする請求項 1 記載の主軸回転速度調整装置。

[請求項4] 前記回転速度調整部は、前記びびり検出部から前記検出信号を受信すると、前記回転速度調整処理を実行する前に、まず、そのときの前記主軸回転速度 S_0 [min^{-1}] 及び再生びびり周波数 ω_0 [Hz]、並びに工具の刃数 N を基に、以下の数式 2 によって処理前の係数 k_0 を算出し、前記回転速度調整処理において、前記係数 k_0 が予め定められた値よりも大きい値である場合には、前記主軸回転速度を減少させ、前記係数 k_0 が予め定められた値よりも小さい値である場合には、前記主軸回転速度を増加又は減少させるように構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 3 記載のいずれかの主軸回転速度調整装置。

(数式 2)

$$k_0 = (60 \times \omega_0) / (N \times S_0)$$

但し、 k_0 は小数点以下を切り捨てた整数である。

[請求項5] 前記回転速度調整部は、前記びびり検出部から前記検出信号を受信すると、前記各処理を実行する前に、そのときの再生びびり周波数 ω_0 [Hz]、及び工具の刃数 N を基に、以下の数式3によって主軸の安定回転速度 S_s [min⁻¹]を推定し、推定した安定回転速度 S_s に係る速度指令信号を前記数値制御装置に送信して、前記主軸回転速度を推定した安定回転速度 S_s に変更させ、変更後も前記びびり検出部から前記検出信号を受信する場合に、前記各処理を実行するように構成されていることを特徴とする請求項1乃至3記載のいずれかの主軸回転速度調整装置。

(数式3)

$$S_s = (60 \times \omega_0) / (N \times k)$$

但し、 k は1以上の任意の整数である。

[請求項6] 前記回転速度調整部は、前記主軸回転速度を推定した安定回転速度 S_s に変更させ、変更後も前記びびり検出部から前記検出信号を受信する場合に、以下の数式4により、そのときの主軸回転速度 S_0' [min⁻¹]及び再生びびり周波数 ω_0' [Hz]、並びに工具の刃数 N を基に係数 k_0' を算出し、算出された係数 k_0' が前記係数 k よりも大きい場合または等しい場合には、以後の処理において、主軸回転速度を増加させ、前記係数 k_0' が前記係数 k より小さい場合には、主軸回転速度を減少させるように構成されていることを特徴とする請求項5記載の主軸回転速度調整装置。

(数式4)

$$k_0' = (60 \times \omega_0') / (N \times S_0')$$

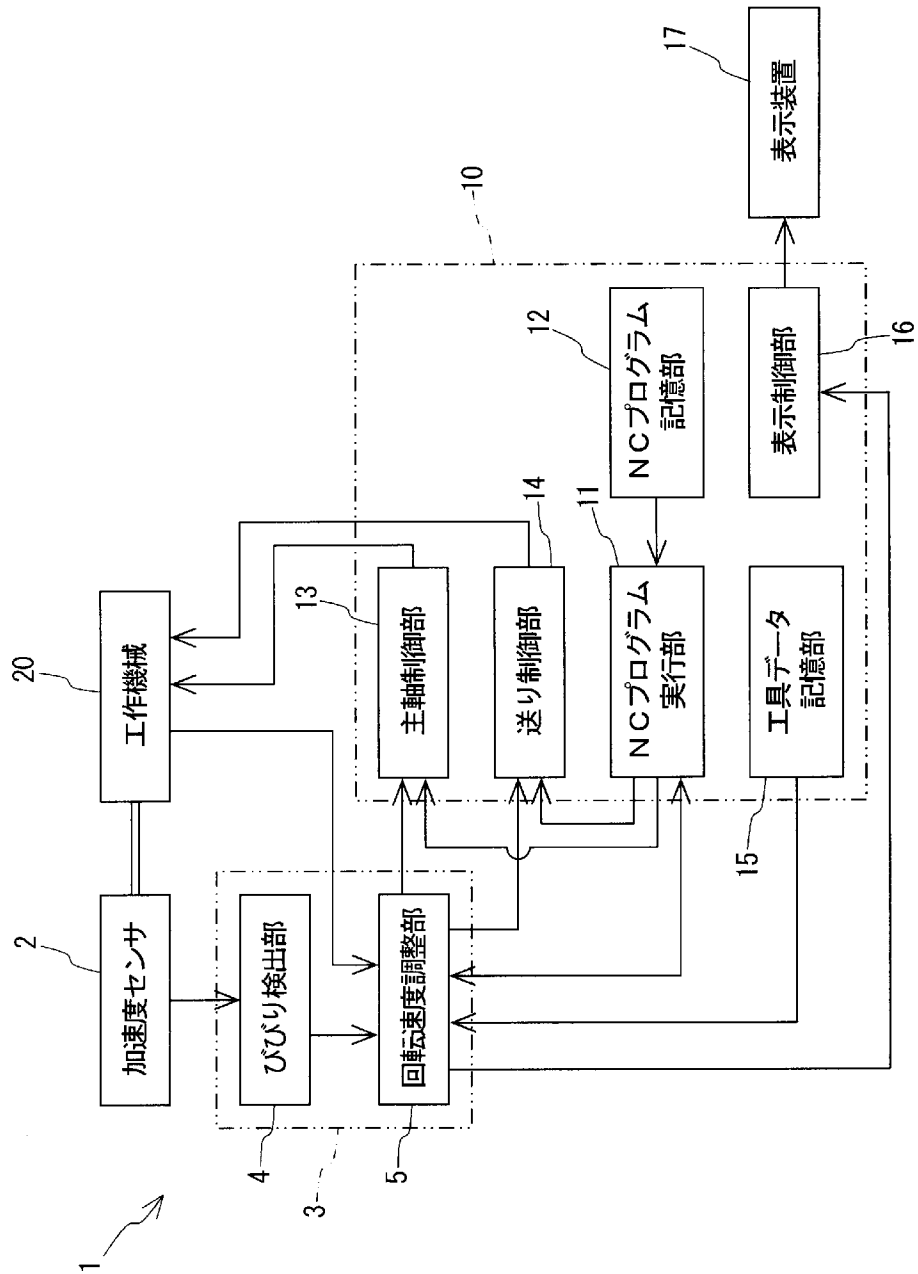
但し、 k_0' は小数点以下を切り捨てた整数である。

[請求項7] 前記回転速度調整部は、前記対策処理において、前記切削を停止させる処理を実行する際に、前記数値制御装置から得られる工具の位置がエアカット位置である否かを判断し、工具の位置がエアカット位置

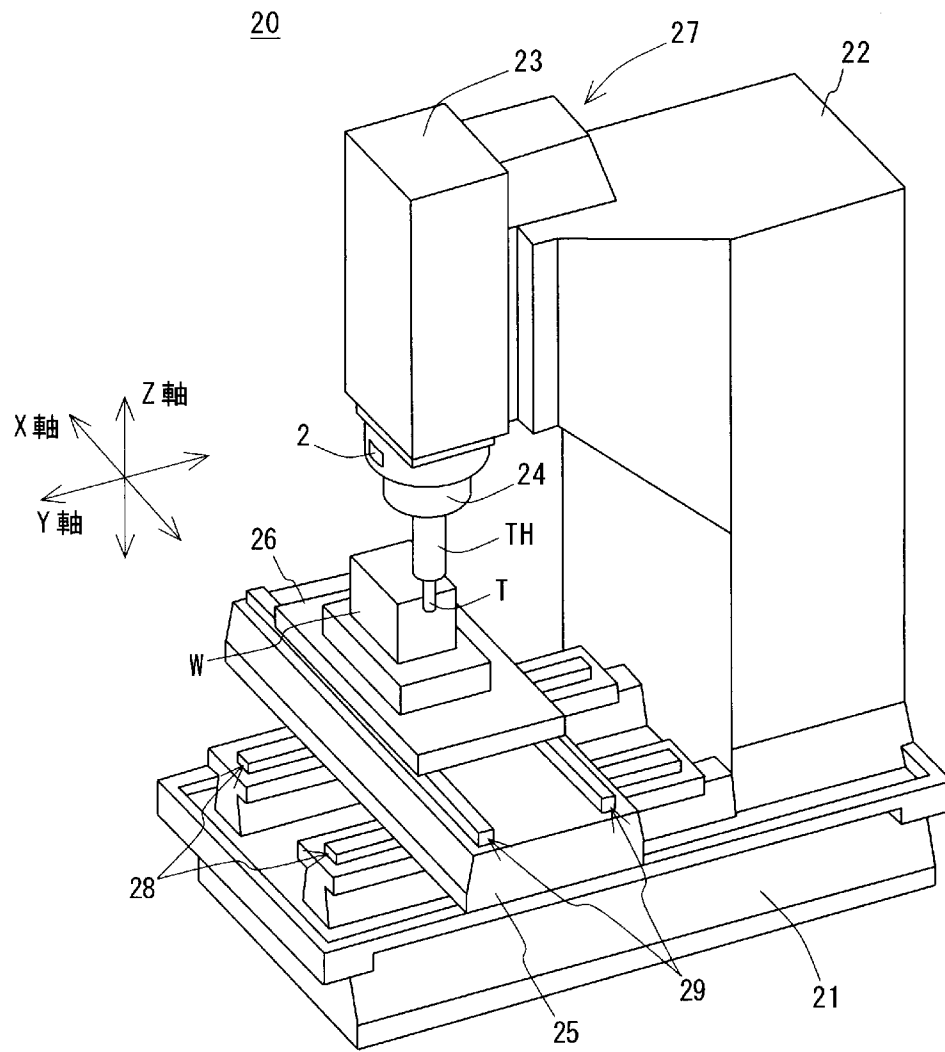
となったときに、前記数値制御装置に切削停止信号を送信して、前記主軸の回転を停止させる処理を実行するように構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 6 記載のいずれかの主軸回転速度調整装置。

[請求項 8] 前記回転速度調整部は、前記数値制御装置に前記主軸回転速度を変更させる場合に、前記工具の一刃当たりの切削量に変動が生じないように、主軸回転速度の変更に応じて切削送り速度を変更させる信号を、前記数値制御装置に送信するように構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 7 記載のいずれかの主軸回転速度調整装置。

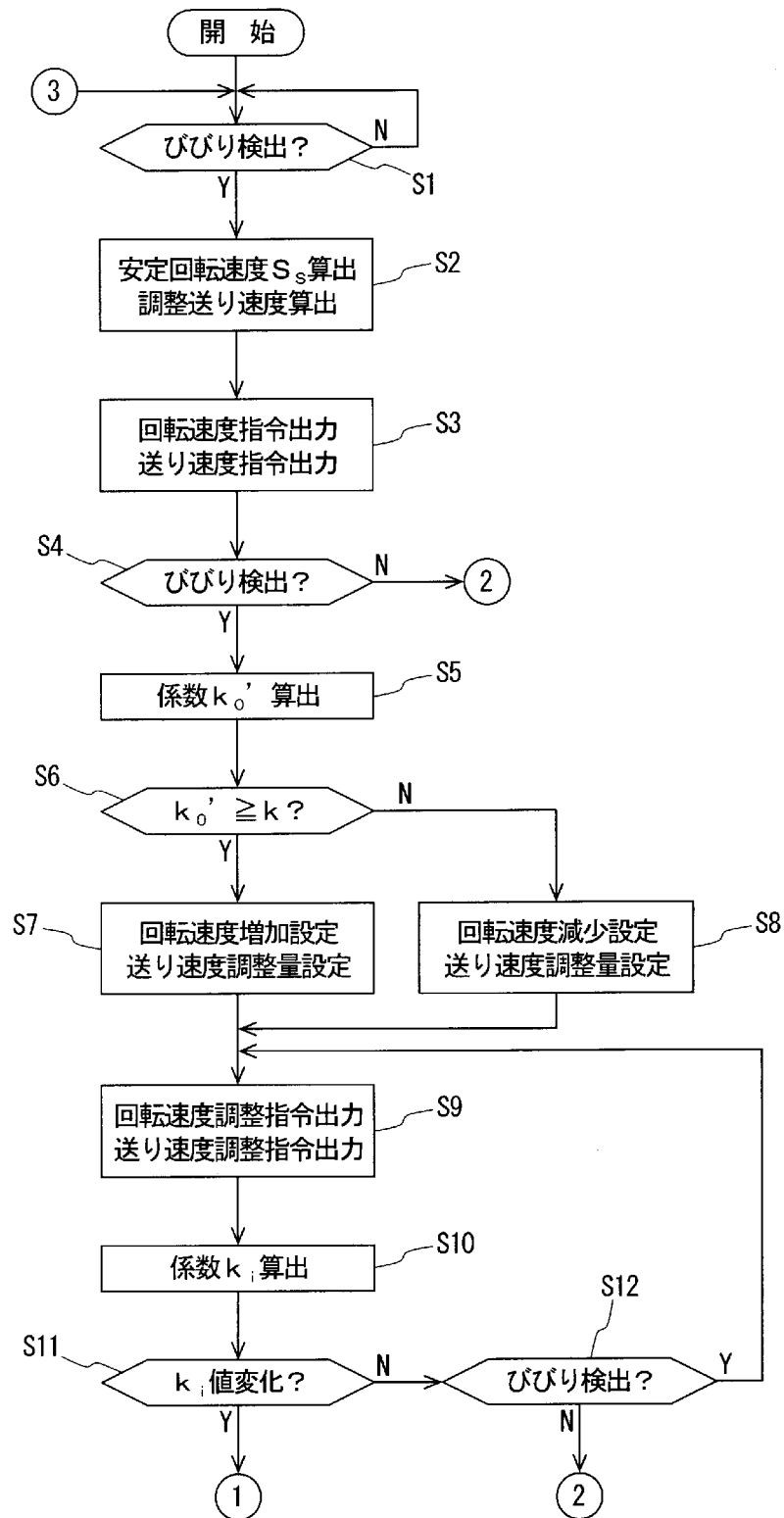
[図1]



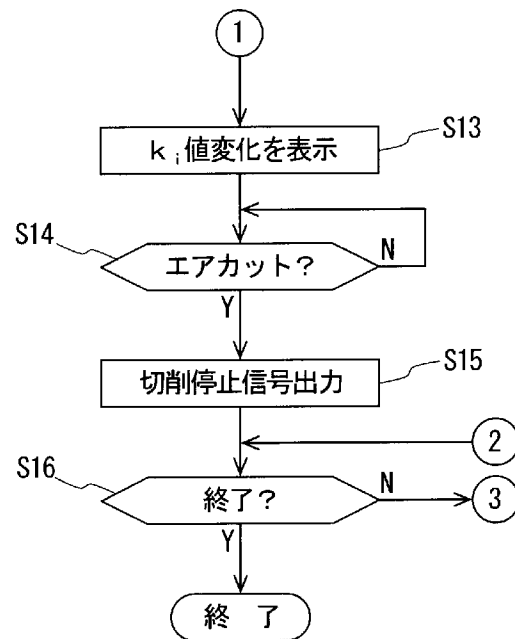
[図2]



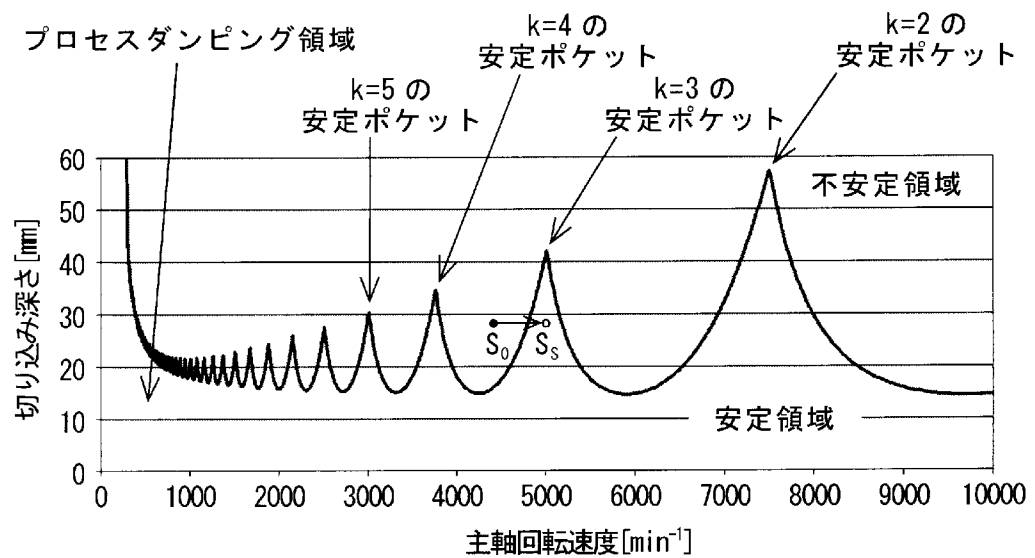
[図3]



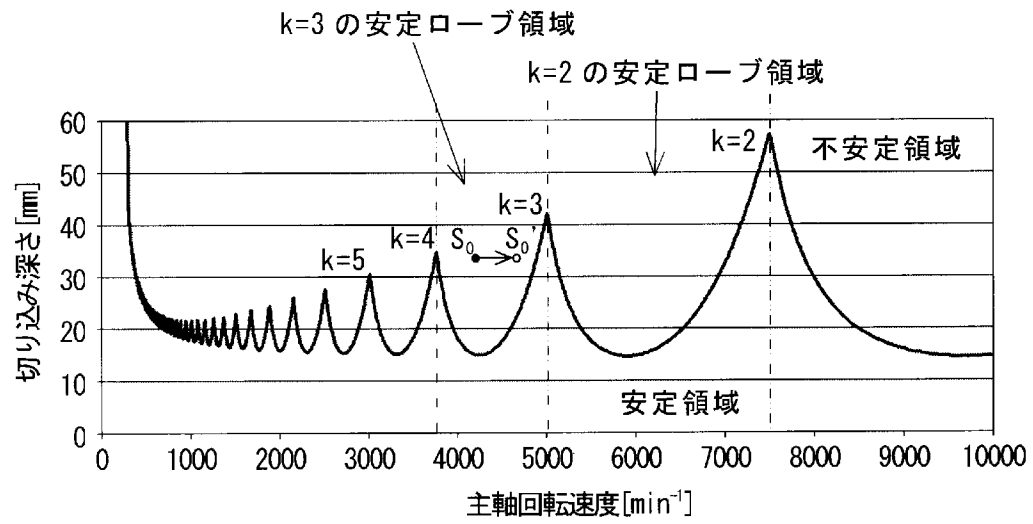
[図4]



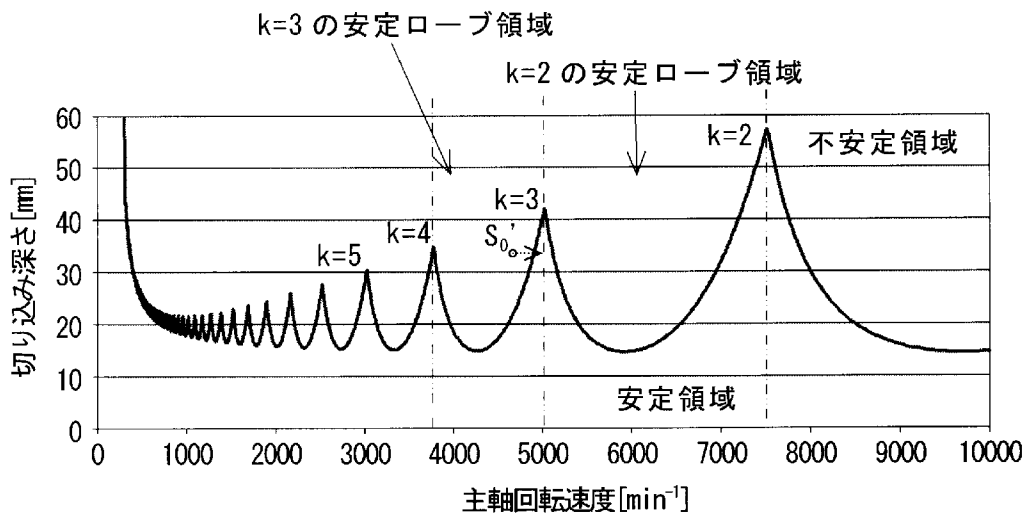
[図5]



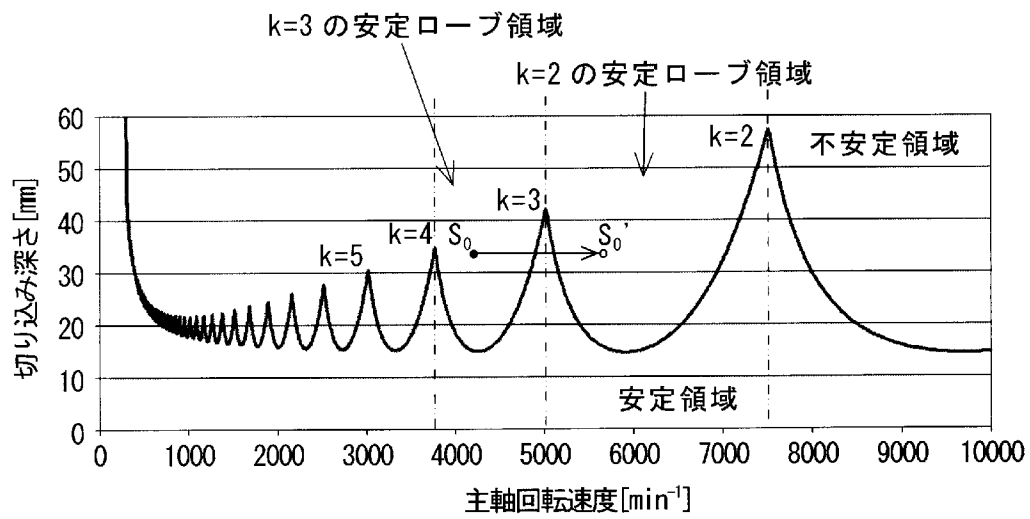
[図6]



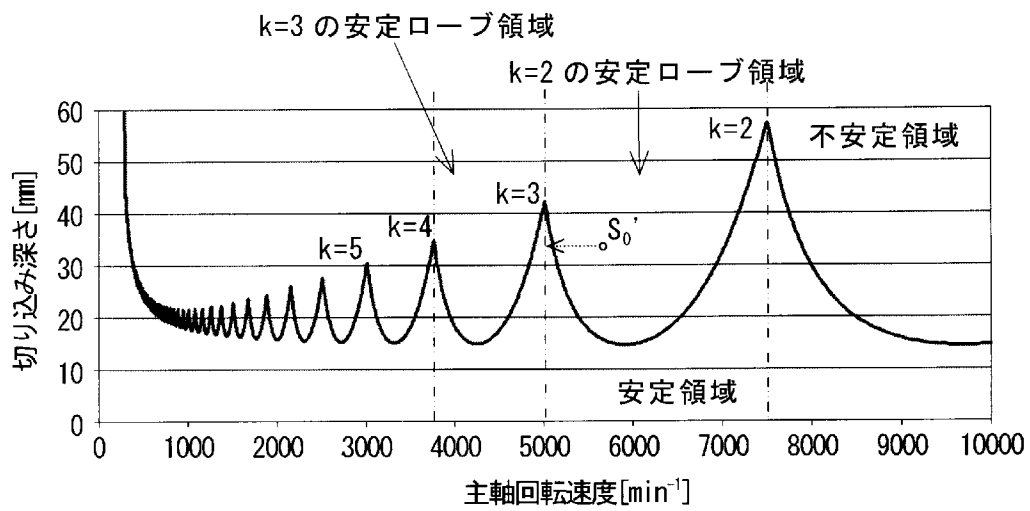
[図7]



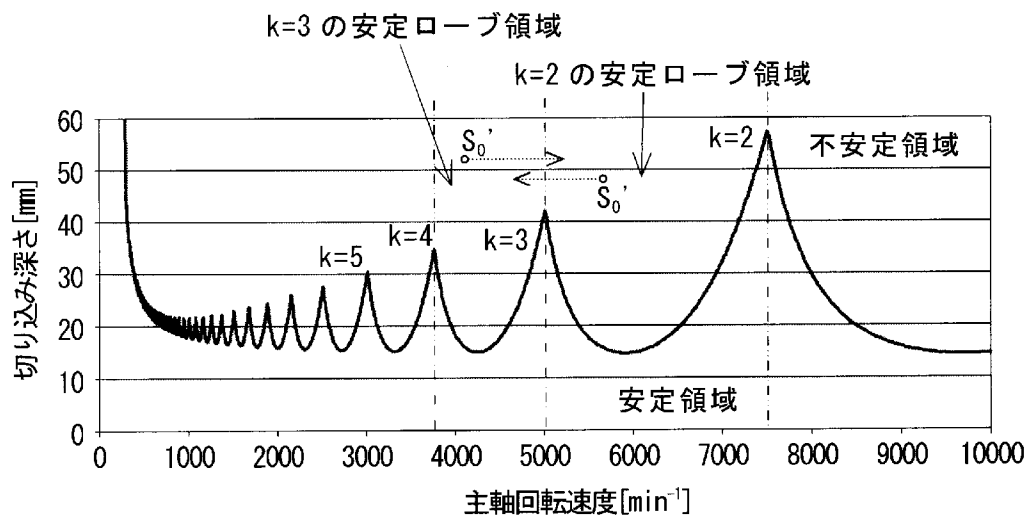
[図8]



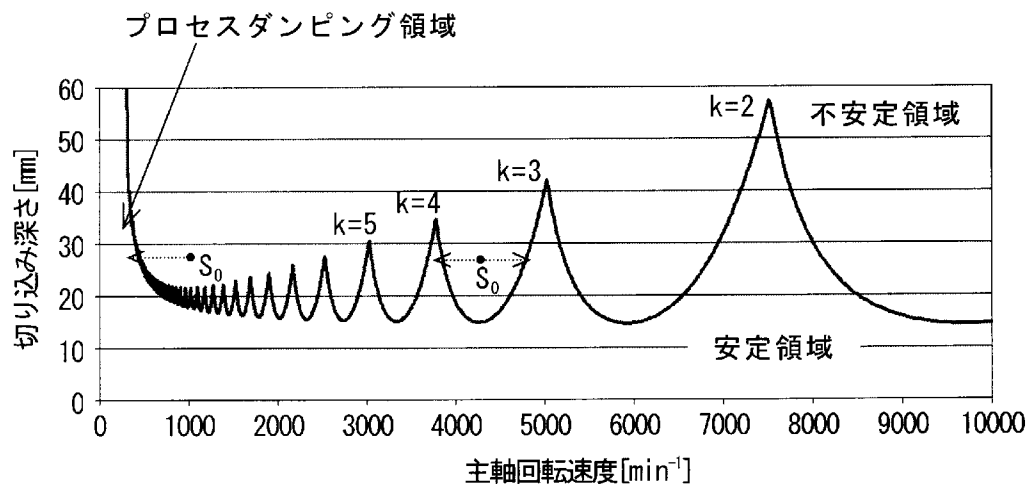
[図9]



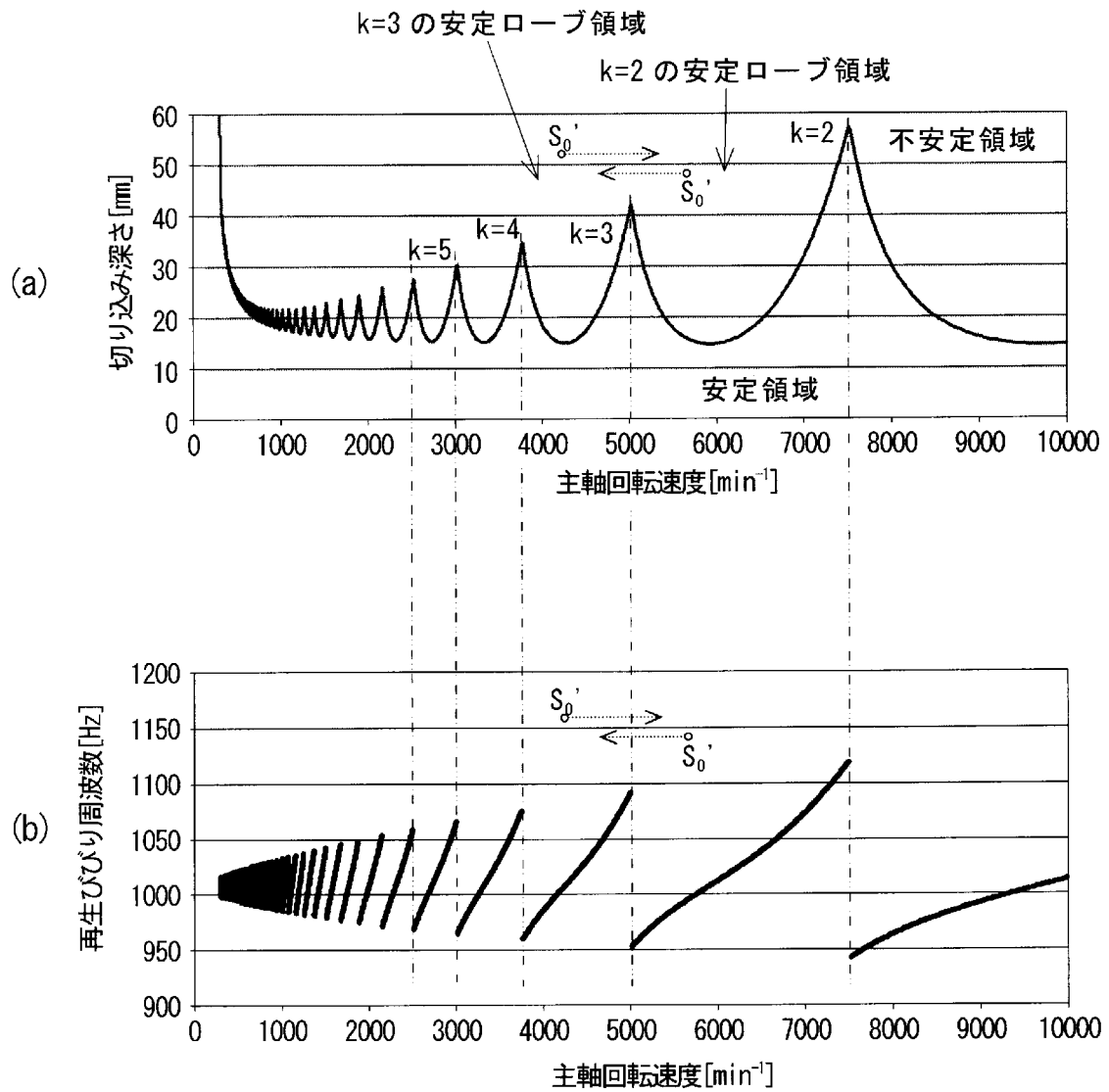
[図10]



[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/001000

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. B23Q15/12 (2006.01) i, G05B19/404 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. B23Q15/12, B23Q17/00, G05B19/404

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 1971-2018

Registered utility model specifications of Japan 1996-2018

Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2015-217500 A (DMG MORI SEIKI CO., LTD.) 07 December 2015, paragraphs [0035]-[0075], fig. 1-4 & US 2015/0338842 A1, paragraphs [0046]-[0086], fig. 1-4 & EP 2947528 A2 & CN 105204443 A	1-8

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search
29.03.2018

Date of mailing of the international search report
10.04.2018

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/001000

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2012-091249 A (OKUMA CORPORATION) 17 May 2012, paragraphs [0007]-[0044], fig. 1-7 & US 2012/0101624 A1, paragraphs [0006]-[0071], fig. 1-7 & DE 102011085057 A1 & CN 102554692 A	1-8
Y	WO 2012/032811 A1 (MAKINO MILLING MACH CO., LTD.) 15 March 2012, pages 4-17, fig. 1-8 & US 2013/0164092 A1, paragraphs [0020]-[0064], fig. 1-8 & EP 2614922 A1 & CN 103079757 A & KR 10-2013-0056895 A	2-8
Y	JP 2013-039645 A (OKUMA CORPORATION) 28 February 2013, paragraph [0006] (Family: none)	2-8
Y	WO 2014/098172 A1 (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 26 June 2014, paragraphs [0046]-[0101], fig. 1-12 & US 2015/0306720 A1, paragraphs [0065]-[0132], fig. 1-12	2-8

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. B23Q15/12(2006.01)i, G05B19/404(2006.01)i

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））

Int.Cl. B23Q15/12, B23Q17/00, G05B19/404

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	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018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
Y	JP 2015-217500 A（DMG森精機株式会社）2015.12.07, [0035]-[0075], 図 1-4 & US 2015/0338842 A1, [0046]-[0086], FIGS. 1-4 & EP 2947528 A2 & CN 105204443 A	1-8

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

- | | |
|---|---|
| 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの | 「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矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの |
| 「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 | 「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 |
| 「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） | 「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 |
| 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 | 「&」 同一パテントファミリー文献 |
| 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願 | |

国際調査を完了した日

29.03.2018

国際調査報告の発送日

10.04.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

永富 宏之

3U

4658

電話番号 03-3581-1101 内線 3364

C (続き) . 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
Y	JP 2012-091249 A (オークマ株式会社) 2012.05.17, [0007]-[0044], 図 1-7 & US 2012/0101624 A1, [0006]-[0071], FIGS. 1-7 & DE 102011085057 A1 & CN 102554692 A	1-8
Y	WO 2012/032811 A1 (株式会社牧野フライス製作所) 2012.03.15, 第 4-17 ページ, 図 1-8 & US 2013/0164092 A1, [0020]-[0064], FIGS. 1-8 & EP 2614922 A1 & CN 103079757 A & KR 10-2013-0056895 A	2-8
Y	JP 2013-039645 A (オークマ株式会社) 2013.02.28, [0006] (ファミリーなし)	2-8
Y	WO 2014/098172 A1 (三菱重工業株式会社) 2014.06.26, [0046]-[0101], 図 1-12 & US 2015/0306720 A1, [0065]-[0132], FIGS. 1-12	2-8