

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014年7月31日(31.07.2014)



(10) 国際公開番号
WO 2014/115395 A1

- (51) 国際特許分類:
B23Q 15/12 (2006.01) **G05B 19/404** (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/079811
- (22) 国際出願日: 2013年11月5日(05.11.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2013-009745 2013年1月23日(23.01.2013) JP
- (71) 出願人: 株式会社日立製作所(HITACHI, LTD.)
[JP/JP]; 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 山中 敏夫(YAMANAKA, Toshio); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 吉川 武尚(YOSHIKAWA, Takehisa); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 中須 信昭(NAKASU, Nobuaki); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 井上 学, 外(INOUE, Manabu et al.); 〒1008220 東京都千代田区丸の内一丁目6番1号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシ

[続葉有]

(54) Title: CUTTING-VIBRATION SUPPRESSION METHOD, COMPUTATION CONTROL DEVICE, AND MACHINE TOOL

(54) 発明の名称: 切削振動抑止方法、演算制御装置、および工作機械

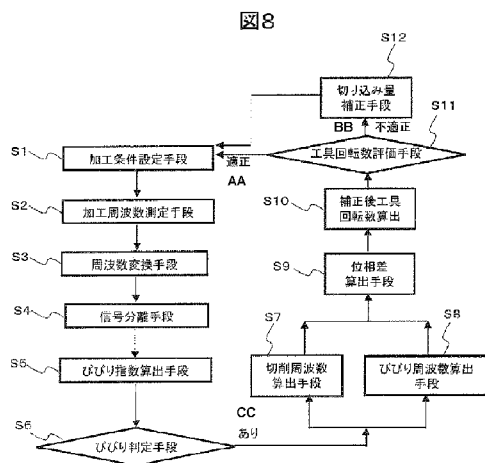


FIG. 8
S1 Machining-conditions setting means
S2 Machining-frequency measurement means
S3 Frequency conversion means
S4 Signal separation means
S5 Chatter-index computation means
S6 Chatter determination means
S7 Cutting-frequency computation means
S8 Chatter-frequency computation means
S9 Phase-difference computation means
S10 Post-correction tool-speed computation
S11 Tool-speed evaluation means
S12 Cut-depth correction means
AA Appropriate
BB Not appropriate
CC Present

(57) Abstract: A method in which vibrations occurring during a cutting process are analyzed using a chatter index, said chatter index being the ratio between the maximum value of a cutting-force component and the maximum value of a chatter-vibration component, and if it is determined that chatter vibration is present, a machining state is corrected. A cutting frequency, harmonics thereof, a chatter frequency, and harmonics thereof are computed from a machining frequency, a rotary-shaft speed that reduces the phase difference between the cutting frequency and the chatter frequency is computed, and cutting conditions are changed on the basis of the result of said computation.

(57) 要約: 切削加工中に発生した振動を、切削力成分の最大値とびり振動成分の最大値の比であるびり指数を用いて判定し、びり振動があると判定された場合の加工状態の矯正方法であって、加工周波数から切削周波数とその高次周波数と、びり周波数とその高次周波数を算出し、前記切削周波数と前記びり周波数の位相差を小さくするような回転軸回転数を算出し、算出結果に基づいて切削加工条件を変更する。



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:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： 切削振動抑止方法、演算制御装置、および工作機械 技術分野

[0001] 本発明は、切削加工で発生する振動を抑止する方法とその機能を備える演算制御装置、および工作機械に関する。

背景技術

[0002] 本発明の背景技術として、特開 2 0 0 8 - 2 9 0 1 8 6 号公報（特許文献 1）がある。該公報には、切削加工中に生じる異常振動、いわゆるびびり振動を、振動を検出するセンサで検出し、びびり振動数領域の振動が所定の閾値を超えた場合に、びびり振動を抑制可能な回転軸の最適回転速度を算出する演算手段が開示されている。この手段では、まず、振動センサを回転軸ハウジングに取り付け、そのセンサから得られる振動加速度を F F T（F a s t F o u r i e r T r a n s f o r m）演算装置でフーリエ解析を行い、最大加速度とその周波数（びびり振動数）を求める。予め設定された所定の閾値を最大加速度が超えた場合にびびり振動が発生しているとして、回転軸の回転数を制御してびびり振動の抑制を行なう方法が開示されている。

[0003] また、特開 2 0 1 2 - 2 0 6 2 3 0 号公報（特許文献 2）では、回転軸用モータの電流値と周波数フィルタの組み合わせでびびり振動を検出する手段を開示している。この手段では、まず、回転軸を駆動するモータの電流から既知のトルク換算情報をもとにトルクに換算する。回転軸に設けられた、エンコーダから回転軸の角速度を求め、回転速度領域の周波数を遮断するローパスフィルタをトルク波形にかける。ローパスフィルタの遮断周波数を高周波にすることで、フィルタを通したトルク波形からびびり振動を検出する手法で、演算にデータ量を必要とする F F T 装置によるフーリエ解析より短時間でびびり振動の検出が可能である技術を開示している。

[0004] 特開 2 0 1 2 - 5 6 0 5 1 号公報（特許文献 3）では、回転軸に変位センサを装着し、この変位センサから得られる信号の自己相関係数の増減の態様

でびびり振動の有無を識別するとともに、びびり振動を抑制する手段を開示している。時間経過に伴う自己相関係数の波形の極大値が、切れ刃が被削材に接触する周期からずれている場合、びびり振動が発生しているので、この状態をモニタすることでびびり振動の発生を検出できるとしている。また、時間経過に伴う自己相関係数波形の極大値と、切れ刃が被削材に接触する周期のずれを補正するように回転軸の回転数を増減することで、びびり振動が抑制できる技術を開示している。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2008-290186号公報

特許文献2：特開2012-206230号公報

特許文献3：特開2012-56051号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 特許文献1に示される手法は、びびり振動をフーリエ変換によりびびり周波数における波形の振幅（スペクトルの大きさ）で評価し、スペクトルがあらかじめ定めた閾値を超えたらびびり振動と判定する。この閾値は、使用する工具や加工条件によって変化する。よって、加工工具やその加工条件に合わせた閾値をあらかじめ実験などで求めてデータとして保有しておかなければならないため、閾値を求めるのに莫大な時間を要する第一の課題があった。また、びびり振動の周波数が、スペクトルから一意に求められる現象のびびり振動を抑制する回転軸の回転数の求め方を示している。しかし、スペクトルを表示した結果、びびり振動による成分と切削振動の高次成分が混在する線図となると、線図のどの山谷がびびり振動成分によるものか識別できず、よって、びびり振動を抑制する根拠となるびびり振動の周波数が特定できない場合がある第二の課題があった。

[0007] 特許文献2に示される手法は、びびり振動をローパスフィルタをかけたト

ルク波形から判定する。この手法も、かけるべきローパスフィルタの特性を、使用する工具や加工条件によって変える必要があり、その特性をあらかじめ実験などで決めるために莫大な時間を要する問題があった（第一の課題と同様）。

[0008] 特許文献3に示される手法は、自己相関係数の時間変化の波形からびびり振動を判定するが、周期ずれだけでは加工結果に有害となる振幅のびびり振動が識別できず、何らかの、閾値で評価する必要がある欠点を有する。この閾値をあらかじめ準備しようとする、工具と加工条件によって実験などで求めなくてはならず多大な時間を要する問題があった（第一の課題と同様）。また、自己相関係数の時間変化の波形の位相から、びびり振動を抑止する回転軸の回転数を求めるにあたって、位相を特定する波形がびびり振動によるものである確証がない課題があった（第二の課題と同様）。また、特許文献1および2では、回転軸の回転数を変更してびびり振動を抑止する手法を採用しているが、回転軸の回転数は、工具の切削速度を決定する主因子である。工具の切削速度は、工具摩耗を支配する因子であり、びびり振動を抑止するために速い切削速度を選定すると、切削工具が異常摩耗する現象を呈する第三の課題があった。

[0009] まとめて、以下のような課題があった。

- [0010] （１）びびり振動を特定する閾値の決定に多大な時間を要する課題。
- （２）びびり振動を抑止する根拠となる周波数の特定が困難な現象の課題。
- （３）過度に速い回転軸の回転数を選定すると切削工具が異常摩耗する課題。

[0011] 以上を鑑み、本発明の目的は、びびり振動の発生を検出して、びびり振動を抑止する加工条件を求めるにあたり、上述の課題（１）～（３）の少なくとも１つ、あるいは全てを解決できること、すなわち、以下のような点を実現できる技術を提供することにある。

[0012] （１）びびり振動を特定する閾値の決定を短時間にして、費用を抑える。

(2) びびり振動を抑止する根拠の特定を確実にする。

(3) 工具を異常摩耗させないため、びびり振動抑止の選択肢を増やす。

課題を解決するための手段

[0013] 上記目的を達成するため、本発明の代表的な形態は、前述の切削加工にあたって発生するびびり振動の問題に対処するために、びびり振動発生を特定し、その周波数を求めて、工具に異常を生じない方法で切削振動を抑止する方法であり、以下に示す方法を用いることを特徴とする。

[0014] (1) 加工で生じる振動をセンサで取得して、その振動データから切削周波数とびびり周波数および両者の大きさを算出する処理と、(2) 算出結果から、びびり振動の発生有無を定量的に判定するびびり指数を求めて、びびり振動が発生している状態では、切削周波数とびびり周波数の位相差を小さくするような、回転軸回転数を演算する処理と、(3) この回転数に切削加工条件を変更することで、びびり振動の抑止を行なう処理と、(4) 変更した後の回転軸回転数が、工具に異常を招く切削速度領域に該当するか判別し、変更後の回転軸回転数が適切でないとの判断した場合には工具の切り込み量をびびり振動が抑止されるまで小さくする処理とを行なう。

[0015] より簡略に述べれば、本発明は切削加工中に発生した振動を、びびり指数を用いて判定した結果、びびり振動があると判定された加工状態を、回転軸回転数、工具切り込み量（経路）を補正することで、切削振動を抑止する方法・演算制御装置・工作機械などを提供することを可能にする。

[0016] また、切削加工中に発生した振動を、びびり指数を用いて判定した結果、びびり振動があると判定された加工状態の矯正方法であって、加工周波数から切削周波数とその高次周波数とびびり周波数とその高次周波数を算出し、前記切削周波数と前記びびり周波数の位相差を小さくするような回転軸回転数を算出し、前記算出結果に基づいて切削加工条件を変更することを特徴とする切削振動抑止方法である。

発明の効果

[0017] 本発明の代表的な形態によれば、前述の従来の課題(1)～(3)等に対

応した以下のような効果の少なくとも1つあるいは全部を有する。

- [0018] (1) びびり振動を特定する閾値の決定を短時間にして、費用を抑える。
- (2) びびり振動を抑止する根拠の特定を確実にする。
- (3) 工具を異常摩耗させないため、びびり振動抑止の選択肢を増やす。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]本発明の工作機械の全体概略構成を示す図である。

[図2]工作機械を制御するための演算・制御装置のハードウェア構成を示す図である。

[図3]構成要素を簡略化した演算・制御装置のハードウェア構成を示す図である。

[図4(a)]びびり振動を説明した図で、工具が工作物加工している形態例である。

[図4(b)]びびり振動を説明した図で、びびり振動が発生していない切削力波形例である。

[図4(c)]びびり振動を説明した図でびびり振動が発生している切削力波形例である。

[図5(a)]びびり指数の算出方法を説明する図であり、びびり振動が発生していない切削力波形をFFT処理した線図例である。

[図5(b)]びびり指数の算出方法を説明する図であり、びびり振動が発生している切削力波形をFFT処理した線図例である。

[図6(a)]びびり振動が発生している切削力波形例である。

[図6(b)]切削力成分とびびり振動成分の位相差 α の一例を示し、びびり振動を抑止する回転軸回転数の算出法の説明図である。

[図7(a)]びびり振動が発生する不安定領域とびびり振動が発生しない安定領域を説明する線図例である。

[図7(b)]加工形態例でびびり振動を抑止する目的で切り込み量を低減する工具移動方向例を示す説明図である。

[図8]演算制御装置においてびびり振動の判定、びびり振動抑止処理のフロー

を示す図である。

発明を実施するための形態

[0020] 以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。

[0021] 図1は、本発明を適用する工作機械の全体主要部の構成概要である。図1において、1は工作機械全体、2は工具回転主軸、3は、NC (Numerical Control) 装置、4はテーブル、5は通信I/F (Interface)、6は、演算・制御装置、Tは切削工具、Wは工作物である。

[0022] 工作機械1は、工具回転主軸2が工具Tを回転させながら、テーブル4に搭載された工作物Wとの相対的な位置をNC装置3で制御して、工作物Wの切削加工を行う。図1では、工具回転主軸2と工作物Wが、矢印で方向を示したX、Y、Zの3方向に移動する直交3軸制御の工作機械の一例を示したが、工具回転主軸2が旋回動作する、あるいはテーブル4が回転動作を行なう4軸以上を制御して加工する多軸制御工作機械であってもよい。また、図1では、工具Tが回転する形態の工作機械1を例示したが、工作物Wが回転する形態の工作機械であってもよい。

[0023] 工作機械1には、切削加工中の振動を検出するセンサ（図示せず）が組み込まれている。センサの種類は、力センサ、加速度センサ、変位センサ、音センサなどの振動を信号に変換できるセンサが組み込まれている。基本構成としては、いずれか1種類のセンサを組み込めば、振動情報を入手できるが、判定の信頼性を向上させるために2種類以上のセンサを組み込んでもよい。センサを組み込む位置は、テーブル4、あるいは、工具回転主軸2が代表例である。音センサでは、工作機械1の外部に設置して加工中の音を収集することも可能である。センサの検出方向は、切削工具Tの全方位の振動を検出するため音センサを除いてX、Y、Z方向を検出可能にしている。切削工具Tの移動方向が限定されるような構成の工作機械では、センサの数を少なくしてもよい。

[0024] 上述のような構成で、切削工具Tが工作物Wを切削加工中に発生する振動

はセンサで検出されて、通信 I / F 5 を経由して演算・制御装置 6 に信号が送られる。演算・制御装置 6 では、送られてきた振動に関する信号を演算処理して加工条件に関わる変更が必要な判定結果となったら、工作機械の加工条件を変更する制御指令を通信 I / F 5 を経由して NC 装置 3 に送り込む。NC 装置 3 はこの制御指令を受けて、工作機械 1 で予定されていた加工条件を変更して以後の加工を行う。

[0025] 図 1 では、通信 I / F 5、演算・制御装置 6 が、工作機械 1 の外部に配置されている一例を示したが、通信 I / F 5、演算・制御装置 6 は工作機械 1 の NC 装置 3 を組み込んだ制御装置全体（図示せず）に組み入れてもよい。

[0026] 図 2 を用いて、演算・制御装置 6 の構成概要を説明する。

[0027] 図 2 において、601 は CPU (Central Processing Unit)、602 は ROM (Read Only Memory)、603 は RAM (Random Access Memory)、604 は磁気ディスクドライブ、605 は光ディスクドライブ、606 は光ディスク、607 はディスプレイ、608 はマウス、609 はキーボード、610 はプリンタ、611 はプログラム、612 はデータである。

[0028] 外部のセンサ 7、通信 I / F 5 から信号が演算・制御装置 6 に送り込まれ、演算処理等は、CPU 601 が磁気ディスクドライブ 604 や光ディスク 606 や ROM 602 からデータを RAM 603 へロードしてプログラム処理を実行することにより実現される。制御指令の送出が必要な演算結果においても、送出すべき制御指令の作成は、上記と同様にプログラム処理を実行することにより実現される。通信 I / F 装置 5 には、通信ネットワーク (LAN) 8 に接続する機能を備えさせて、他の装置とデータ通信する処理を行う構成にしてもよい。マウス 608 やキーボード 609 は、ユーザがデータや指示の入力に用いる。ディスプレイ 607 やプリンタ 610 は、処理に基づき、画面／紙面に各種データやユーザインタフェース情報を表示／印刷出力する。ユーザインタフェース情報としては、例えばセンサ 7 の信号データやその処理結果情報や指令の入出力などを含む。

[0029] 図2の例は、ディスプレイ607、マウス608、キーボード609、プリンタ610を備え、プログラム611や演算に必要なデータは磁気ディスクに格納した形態である。生産に用いる工作機械では、演算・制御に用いるプログラム611やデータ612の変更の機会が少ないことが多い。このような、工作機械では、演算・制御装置6が工作機械1の外部に付属している形態は、工作機械の操作で演算・制御装置6が邪魔になる。その場合、次の図3に示すように演算・制御装置を簡素化して、工作機械1の制御機器の収容部分に格納することも可能である。

[0030] 図3は、図2の演算・制御装置を簡素化した構成例を示している。用いた記号は、図3と同様である。演算・制御に必要なプログラム611、データ612はROMに格納して利用する。図2のディスプレイ607、マウス608、キーボード609およびプリンタ610は省略される。ユーザインタフェース等はNC装置3が備える入出力装置や表示装置を利用する構成にすることで代用ができる。

[0031] ここで、びびり振動を図4および表1を用いて簡単に説明する。

[0032] 図4(a)は、切削工具が工作物に溝を加工する形態例を示しており、表1はその加工の条件例を示している。図4(b)(c)は、図4(a)の加工で得られる切削力の時間変化を示した例である。図4において、Tは回転切削工具でエンドミル、Wは工作物で一例としては機械構造用炭素工鋼である。

[0033] 図4(a)では、エンドミルTが矢印nの方向に回転して、矢印fの方向に進行して、機械構造用炭素工鋼W1に深さ a_p の溝を加工している。加工条件は一例として表1に示すように、工具直径(D)が40mm、刃数(N_T)が2枚、回転数(N)が 3120 min^{-1} 、1刃送り(f_z)が0.07mm/刃である。

[0034]

[表1]

【表1】

工具直径(D)	40 mm
刃数(NT)	2 枚
回転数(N)	3120 min ⁻¹
1刃送り(fz)	0.07 mm/刃

[0035] 図4 (b) は、図4 (a) の加工において、深さ a_p が 0.4 mm で矢印 Y の方向に生じる切削力の時間変化を測定した結果である。刃数が 2 枚で、1 分間に 3120 回転しているので、切削周期は 0.0096 秒 ($= 60 / (3120 \times 2)$) である。図4 (b) の測定は加工開始初期に行い、びびり振動が生じていないので、測定波形 G1 は切削周期毎に生じる山谷が滑らかに連なる波形となっている。図4 (c) は、図4 (b) の加工において、時間が経過した後に矢印 Y の方向に生じる切削力の時間変化を測定した結果である。測定波形 G2 は、切削周期の山谷に、短い周期の山谷が重畳されている。

[0036] 図4 (c) ではびびり振動が発生しており、切削周期より極めて短い周期の波形がびびり振動の波形である。換言すれば、切削加工中に、切削周期より極めて短い周期（高い周波数）の振動で生じる振動がびびり振動である。振幅が大きい場合、加工した面の表面粗さを増大させる、あるいは切削工具の損傷を引き起こす原因となるため、切削加工に有害となる振幅のレベルに達した短周期振動をびびり振動と称することが通例である。このびびり振動を発生させずに、切削加工を遂行することが切削加工の工程条件設計では肝要となる。

[0037] 次に、図5 を用いてびびり指数の算出方法を説明する。

[0038] 図5 (a) は、びびり振動が発生していない加工の切削力波形である図4

(b) を F F T で処理した結果である。G 3 の領域において、切削周期に応じた切削周波数 (1 0 4 H z) で顕著なピークがあるスペクトルとなり、切削周波数より高い周波数には顕著なピークが生じない。一方、図 5 (b) は、びびり振動が発生している加工の切削力波形である図 4 (c) を F F T で処理した結果である。G 4 の領域において、切削周波数 (1 0 4 H z) で顕著なピークがあるとともに、より高周波帯域の G 5 の領域にも顕著なピークが生じる波形となっている。この G 5 の領域に生じる顕著なピークはびびり振動成分のスペクトルを現している。本願発明者はびびり振動により増大する切削工具の振動振幅は、切削力成分の最大値と、びびり振動成分の最大値の比に比例する現象を発見した。そこでびびり振動の判定指標として、びびり指数 C V I (C h a t t e r V i b r a t i n I n d e x) を以下の数式 1 のように定めた。

$$C V I = f b / f a \quad \cdots \cdots \quad (\text{数式 1})$$

この C V I に閾値を定めれば、定数でびびり振動の発生有無を判定可能である。さらに、切削力成分 f a で正規化しているので、切削条件の変更に対しても同一の閾値でびびり振動の発生有無を判定可能である。従来は、工具や切削条件によってびびり振動の発生を判定するためのデータを、多大な実験によって収集して蓄積する必要があった。しかし、このびびり指数 (C V I) ではその必要がなく、びびり振動の発生有無の判定を大幅に簡易化できる。

[0039] 続いて、前述したびびり指数 (C V I) によって、びびり振動が発生していると判定された後に、びびり振動を抑止する第一の手法について図 6 を参照して説明する。

[0040] 図 6 (a) は、図 4 (a) と同様の加工法で得た切削力波形でびびり振動が発生している一例である。図 4 (a) では、工具の全幅を用いて加工する溝削りの例を示しているが、図 6 (a) は、工作物の側面を工具の半径分だけ切り込んで加工した、いわゆる肩削りで得た切削力の波形である。

[0041] この切削力波形を F F T 処理して、切削力成分を除いて微びり振動成分だ

けを抽出し、切削力成分とびびり振動成分に分離した結果が図6（b）である。切削力成分には切削周波数の整数倍の周波数に複数のピークが生じる結果を示している。一方、びびり振動成分では、620Hzに最大のピークがあり、120Hz離れてピークが生じる結果を示している。このびびり振動成分の最大ピークを示す周波数に最も近い切削力成分のピーク周波数を探索して、両者の差を α とする。本例の場合、620Hz近傍の切削力成分のピークは635Hzである。この周波数差 α を無くす（ゼロにする）ように、以下の数式2にしたがって、1分間当たりの工具の回転数を変更する。

$$\Delta N = \alpha \times 60 / NT \quad \cdots \quad (\text{数式2})$$

数式2において、 ΔN は、現在の工具回転数から増減する回転数。右辺 α は周波数差、 NT は工具の刃数である。

[0042] 図6（b）の例においては、切削力成分の高次周波数が、びびり振動周波数より15Hz大きい。刃数 NT は2（2枚刃工具）である。よって、数式2から ΔN は450（ $\Delta N = 15 \times 60 / 2$ ）となり、工具回転数を450 min^{-1} 減速すればよい。この工具回転数の減速によって、周波数の切削力成分とびびり振動成分の差が解消されるので、切削力の周波数に同期しない振動はなくなりびびり振動が抑止できる。上述の例とは逆に、びびり周波数に隣接する切削力成分の方が小さい場合は、数式2に従って ΔN を求め、その回転数だけ増速すればよい。なお、FFT処理した結果、びびり振動数に隣接する切削力成分の周波数が明確なピークとなって現れない場合は、切削力成分の1次周波数を整数倍していき、びびり振動の周波数に最も近い周波数を、 α を求めるための切削力の高次周波数とすればよい。

[0043] 上述したびびり振動の抑止手段では、切削工具の回転数を変更する。しかし、工具を増速すると、切削速度が工具の異常摩耗領域に入る選択となる可能性がある。この選択を防止するため、上記の数式2で α を求めるにあたって、最適な切削力成分の高次周波数より1次小さい周波数を用いて、強制的に工具回転数が減速するように定めると、工具が極端に低回転になり加工能率を著しく阻害する。このように、びびり振動を抑止するために工具回転数

を変更すると新たな課題を引き起こすと判断された状況では、工具の切り込み量を低減してびびり振動を抑止する選択が可能である。

[0044] この選択に関して図 7 を用いて説明する。

[0045] 図 7 (a) は、安定限界線図であり、ローブと称される曲線 G 6 より切り込み量が多い加工条件ではびびり振動が発生する不安定領域であり、曲線 G 6 より切り込みが小さい条件ではびびり振動が発生しない安定領域である。曲線 G 6 は、表 1 に示した加工条件から計算により求めた曲線である。表 1 に示した加工条件で切り込み量が 0.4 mm の状態である P 1 ではびびり振動が発生するが、切り込み量が 0.25 mm では安定領域に入りびびり振動は発生しない。また、さらに切り込み量が小さい領域では、どのような工具回転数でもびびり振動が発生しない無条件安定限界がある。このように、びびり振動は切り込み量を低減することで、抑止することが可能である。

[0046] 図 7 (b) は、エンドミル T が工作物 W を加工している状態を示した図で、用いた記号は図 4 (a) と同様である。びびり指数 (C V I) をモニタリングしながら図 7 (a) の P 1 の条件で加工すると、びびり振動の発生を検出する。この検出に続いて、びびり指数 (C V I) をモニタリングしながら切り込み量 a_p を小さくするように工具 T の送りを f_1 の方向に制御する。びびり指数 (C V I) がびびり振動の検出を停止した時点で、切り込み量 a_p が定常になるように工具 T の送り方向を f_2 に変更する。切り込み量 a_p を小さくしていけば、図 7 (a) で示したようにびびり振動を抑止できる状態にできるので必ずびびり振動を抑止できる条件になる。

[0047] 図 7 (a) のローブ G 6 を求めるには、工具 T の剛性や工作物 W の比切削抵抗などのデータが必要であり、またローブ G 6 は工具の摩耗によって変化する。よって、加工中にローブ G 6 をリアルタイムに求めて、びびり振動を抑止する条件を求めることは現実的ではない。しかし、切り込み量 a_p を小さくすればびびり振動を抑止できることは、ローブ G 6 の形態から明らかなので、びびり指数 (C V I) をモニタリングしながら切り込み量 a_p を小さくしていく方法は、びびり振動を確実に抑止できる有効な手段である。

[0048] しかし、切り込み量 a_p を小さくすることは、加工能率を低下させる結果になるため、工具回転数の変更でびびり振動を抑止する手段で障害が生じる結果を招くと判断された時点で採用する手段である。びびり指数 (C V I) の評価に要する時間は極めて短時間（一例では 0.1 秒以下）であるので切り込み量 a_p を小さくする手段の採用にあたって迅速にびびり振動の抑止が可能である。

[0049] 切り込み量 a_p を変更するには、あらかじめ作成された工具軌跡を制御する NC 装置のプログラムを途中で変更する必要がある。さらに、切り込み量 a_p を変更した後に、所定の形状に加工するためには、切り込み量 a_p を変更した後の NC のプログラムを再作成して、NC 装置に送出する必要がある。この機能は、図 2 に示した演算・制御装置 6 のプログラム 611 に工具経路計算機能を持たせて対処することが可能である。

[0050] 以上に図 1 ないし図 7 を用いて説明してきたびびり振動の抑止機能を実現するためのシステムを図 8 のフローチャートを図 2 を参照して説明する。

(S1) まず S1 では、演算・制御装置 6 のデータ 612 に基づいて、プログラム 611 が使用する工具、工具の軌跡、工具の加工条件を設定する。ここで、データ 611 は加工前の被削材の形状、加工後の被削材（製品）の形状、及び加工に使用する工具 1 の形状、等の情報を含む。また、プログラムは、データ 611 によって、使用する工具、工具の軌跡、工具の加工条件を設定する機能を含む。なお、使用する工具、工具の軌跡、工具の加工条件は、演算・制御装置 6 や NC 装置 3 の入力機能を用いて人手によって設定してもよい。S1 では、NC 装置 3 を駆動させるプログラムを作り、NC 装置 3 に送り込む。

(S2) S2 では、加工中の周波数を測定する。測定手段は、図 1 を用いて説明したように、力センサ、加速度センサ、変位センサおよび音センサなどの振動を信号に変換できるセンサである。これらいずれかのセンサもしくは複数のセンサにより、加工中の振動を信号に変換して、通信 I/F 5 を経由して演算・制御装置に送り込む。

(S 3) S 3では、S 2で送り込まれた信号を、プログラム6 1 1が周波数変換を行なう。一例として、前述したように、F F Tによりパワースペクトルを求める。

(S 4) S 4では、プログラム6 1 1が切削周波数とびびり振動周波数を分離して、切削振動の大きさと、びびり振動の大きさを求める。

(S 5) S 5では、図5と数式1を用いて前述したびびり指数(C V I)を求める

(S 6) S 6では、データ6 1 2に記憶された閾値を用いて、プログラム6 1 1がS 5で求めたびびり指数からびびり振動が発生しているか否かを判定する。びびり振動が無いと判定されると、S 2ないしS 5のステップを繰り返して実行して加工状態の監視を続ける。びびり振動が発生していると判定されると、S 7、S 8に移る。

(S 7) S 7では、プログラム6 1 1が切削周波数の算出を行なう。1次の切削周波数から、びびり振動周波数を超えるまでの高次の周波数を算出する。F F T処理で、びびり振動周波数まで明確なピークが得られればそのピークの値を求める。F F T処理で、びびり振動周波数まで明確なピークが得られない信号にあたっては、1次の切削周波数を整数倍して代用する。

(S 8) S 8では、プログラム6 1 1がびびり振動周波数の算出を行なう。F F T処理で、切削周波数より高周波帯域に出るピークの周波数を求める。

(S 9) S 9では、プログラム6 1 1がS 7とS 8によって得られた結果から、図6を用いて説明した位相差 α を求める。

(S 10) S 10では、プログラム6 1 1が数式2により、工具の増減回転数 ΔN を求める。この ΔN を、その時点の工具回転数に加減算して、補正後の工具回転数を算出する。(S 11) S 11では、データ6 1 2に記憶されている異常摩耗を引き起こす切削速度を、S 10で求めた工具回転数が工具に与えるかどうかを判定する。補正後の工具回転数が適正と評価されたら、補正後の回転数を通信1 / F 5を経由してN C装置3に送り込み、工具の回

転数を変更する。補正後の工具回転数が不適切と評価されたら、工具回転数を変更せずに S 1 2 に移行する。

(S 1 2) S 1 2 では、プログラム 6 1 1 が通信 I / F 5 を経由して N C 装置 3 に切り込み量を低減する指令を与える。この指令は、加工状態をモニタリングしている S 1 ないし S 5 で、びびり振動が無いと判定されるまで続ける。びびり振動が抑止されたら、切り込み量の低減指令を止め、低減した切り込み量に基づいてプログラム 6 1 1 が以後の工具経路を算出して通信 I / F 5 を経由して N C 装置 3 に経路プログラムを送り込む。

[0051] なお、S 1 1、S 1 2 の機能を持たず、S 1 0 で求めた補正後工具回転数を S 1 の加工条件設定手段に送出する構造であっても、びびり振動の抑止機能を果たすことは可能である。

産業上の利用可能性

[0052] 本発明は、切削加工で発生する振動を抑止する方法とその機能を備える演算制御装置、および工作機械に関し産業上の利用可能性がある。

符号の説明

- [0053]
- | | |
|-------|------------|
| 1 | 工作機械 |
| 2 | 工具回転軸 |
| 3 | N C 装置 |
| 4 | テーブル |
| 5 | 通信インタフェース |
| 6 | 演算・制御装置 |
| 6 0 1 | C P U |
| 6 0 2 | R O M |
| 6 0 3 | R A M |
| 6 0 4 | 磁気ディスクドライブ |
| 6 0 5 | 光ディスクドライブ |
| 6 0 6 | 光ディスク |
| 6 0 7 | ディスプレイ |

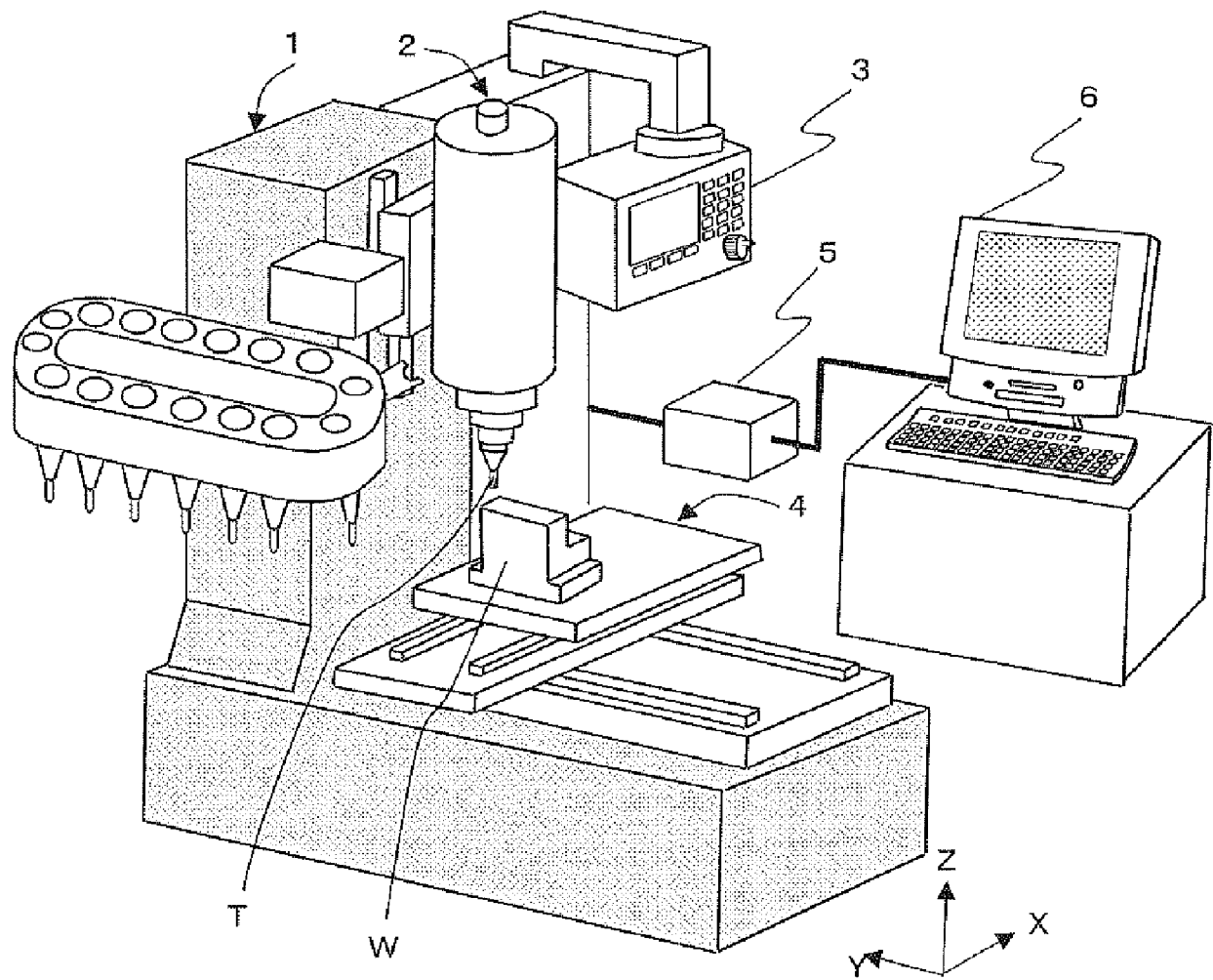
6 0 8 マウス
6 0 9 キーボード
6 1 0 プリンタ
6 1 1 プログラム
6 1 2 データ
7 センサ
8 L A N
T 切削工具
W 工作物

請求の範囲

- [請求項1] 切削加工中に発生した振動を、びびり指数を用いて判定した結果、びびり振動があると判定された加工状態の矯正方法であって、加工周波数から切削周波数とその高次周波数とびびり周波数とその高次周波数を算出し、前記切削周波数と前記びびり周波数の位相差を小さくするような回転軸回転数を算出し、前記算出結果に基づいて切削加工条件を変更することを特徴とする切削振動抑止方法。
- [請求項2] 算出した前記回転軸回転数の適否を判断し、前記判断結果が否であった場合には、工具の切り込み量をびびり振動が抑止されるまで小さくすることを特徴とする請求項1記載の切削振動抑止方法。
- [請求項3] 切削加工条件の演算制御装置であって、加工条件設定手段と、加工振動および周波数測定手段と、前記加工振動および周波数測定手段によって測定された信号からびびり指数を算出する手段と、前記びびり指数からびびり振動の有無を判定する手段と、びびり振動が発生している状態にあっては、切削周波数とびびり振動周波数を算出し、前記切削周波数とびびり振動周波数の位相差を算出する手段と、前記位相差を縮小するように工具回転数を補正する手段とを備えることを特徴とする切削加工条件の演算制御装置。
- [請求項4] 工具と被服材の特性を記憶する手段と、加工する素材と加工形状を記憶する手段とを備え、前記補正後の工具回転数の適否を判断する手段と、前記補正後の工具回転数が否の場合には前記工具の切り込み量をびびり振動が抑止されるまで低減する手段を備え、前記切り込み量の変更後に、前記工具の経路を演算制御することを特徴とする請求項3に記載の切削加工条件の演算制御装置。
- [請求項5] 請求項3あるいは請求項4に記載の切削加工条件の演算制御装置で演算された切削条件を、通信インタフェース装置でNC装置に受け、前記切削条件と前記工具経路にて加工状態を制御可能な工作機械。

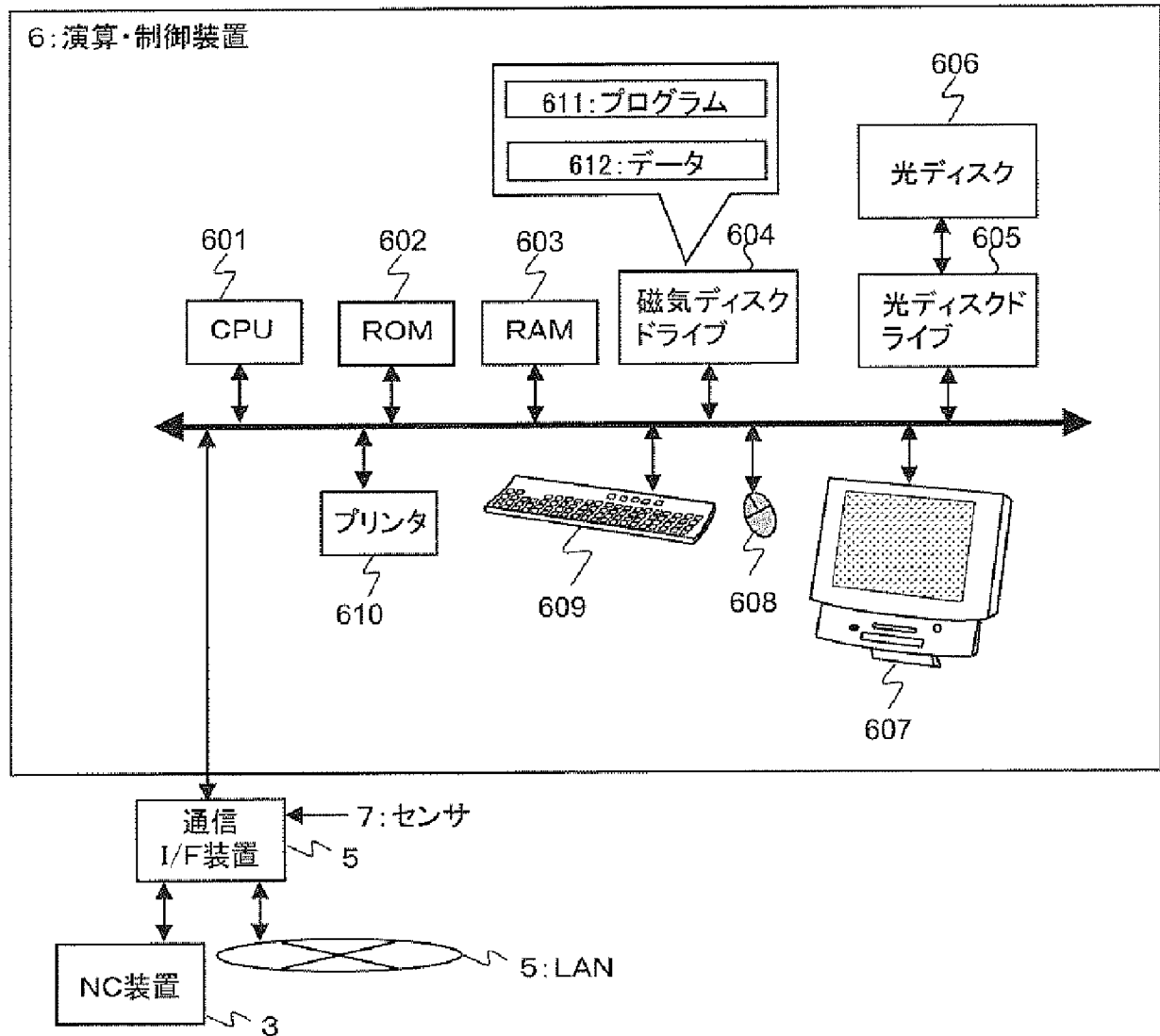
[図1]

図 1



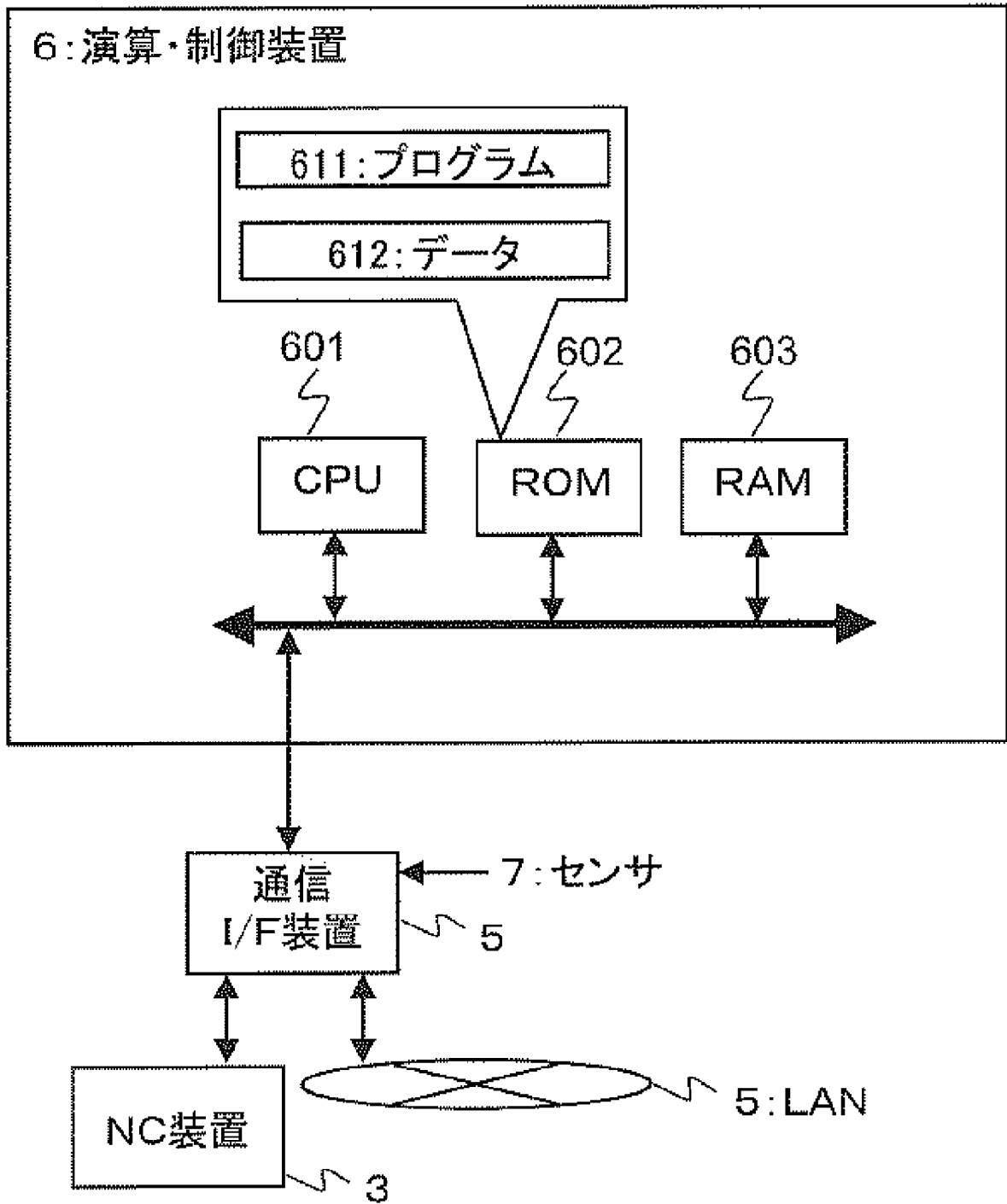
[図2]

図2

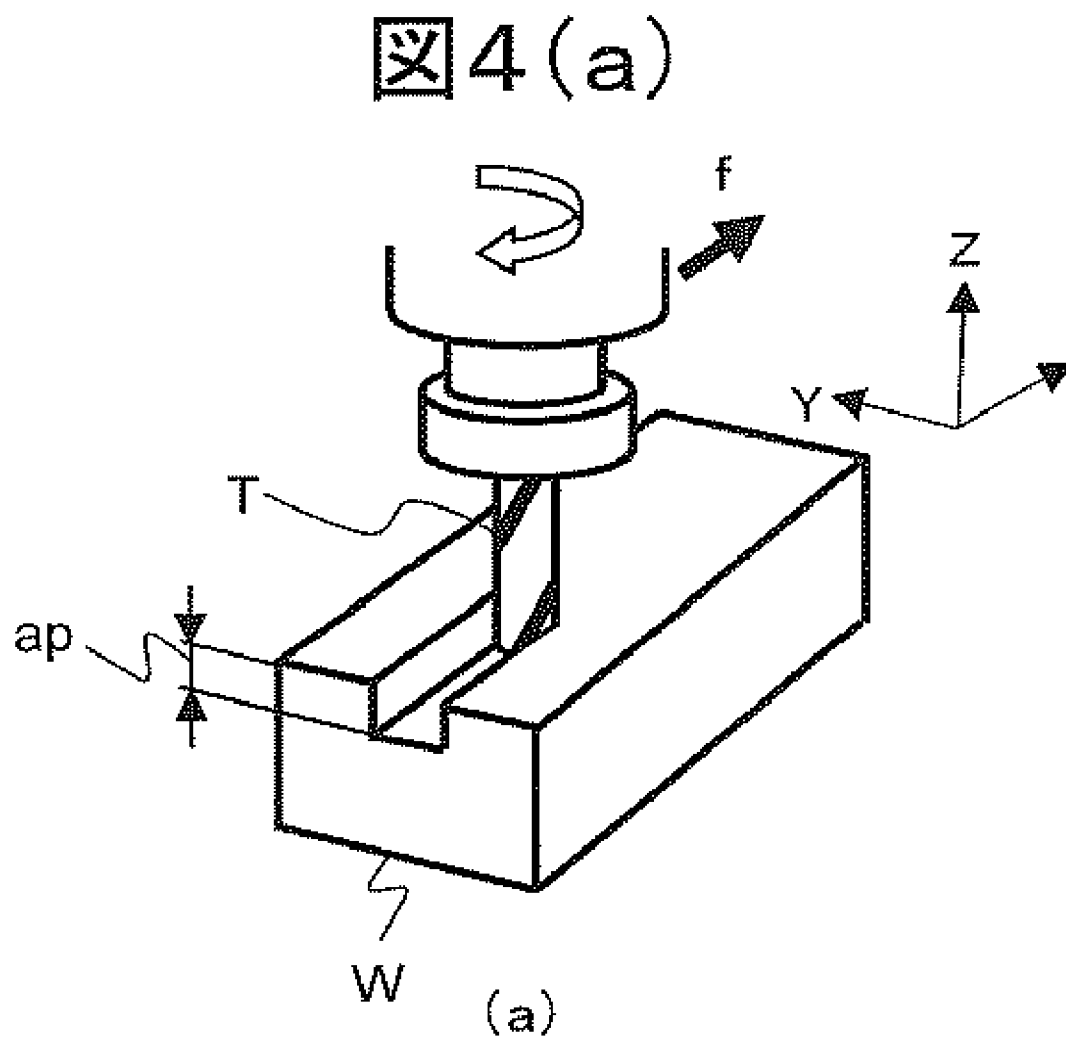


[図3]

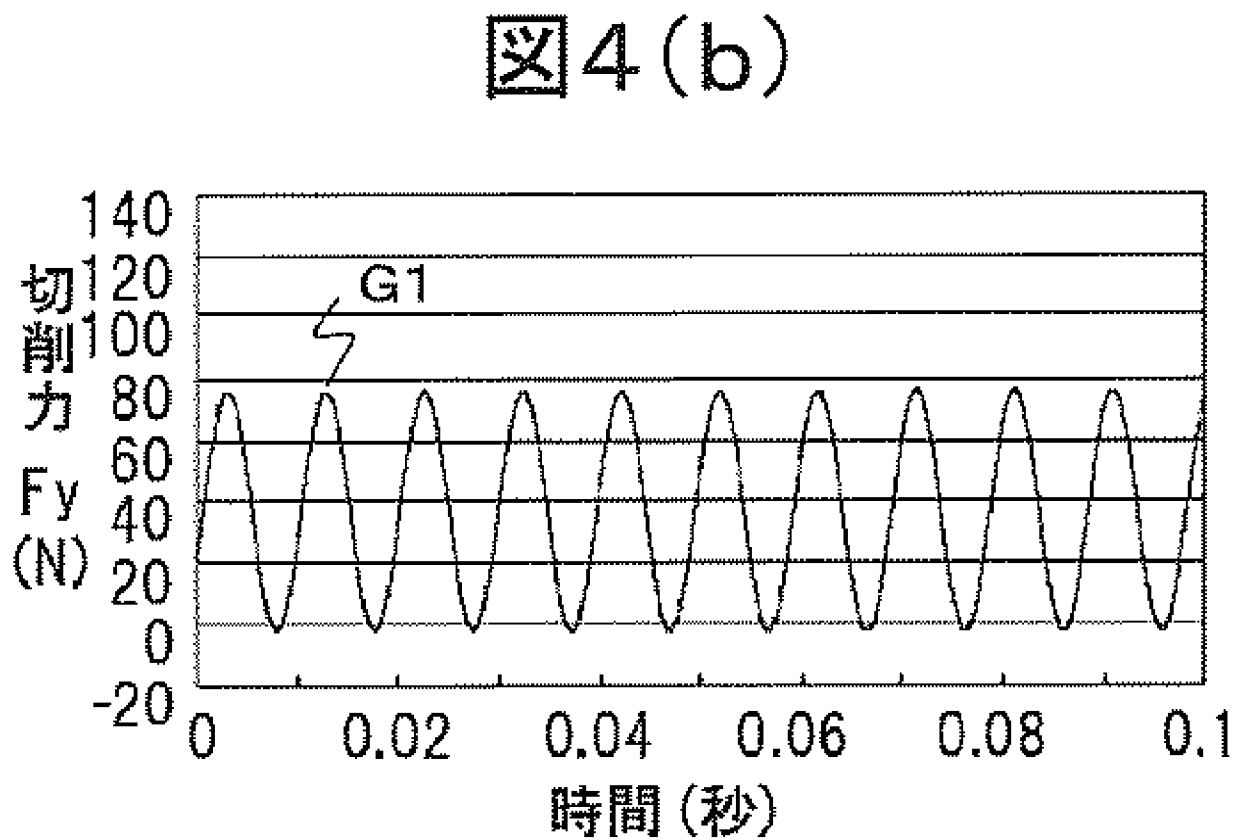
図3



[図4(a)]

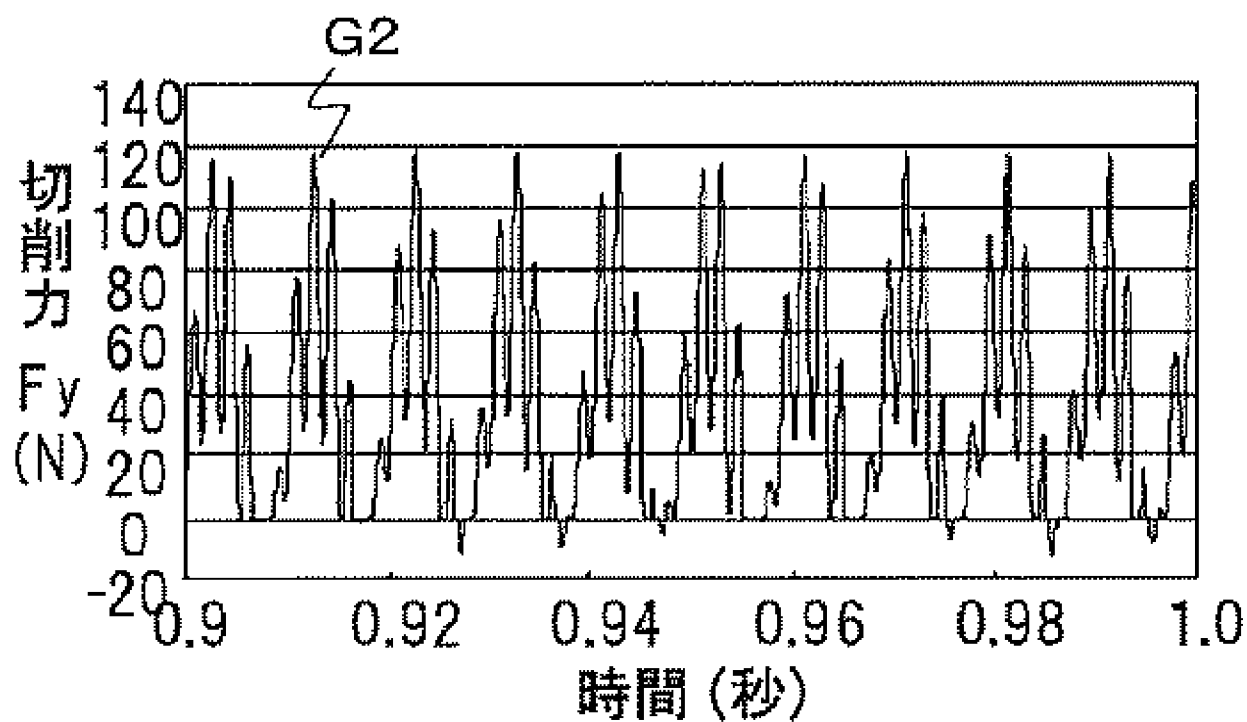


[図4(b)]



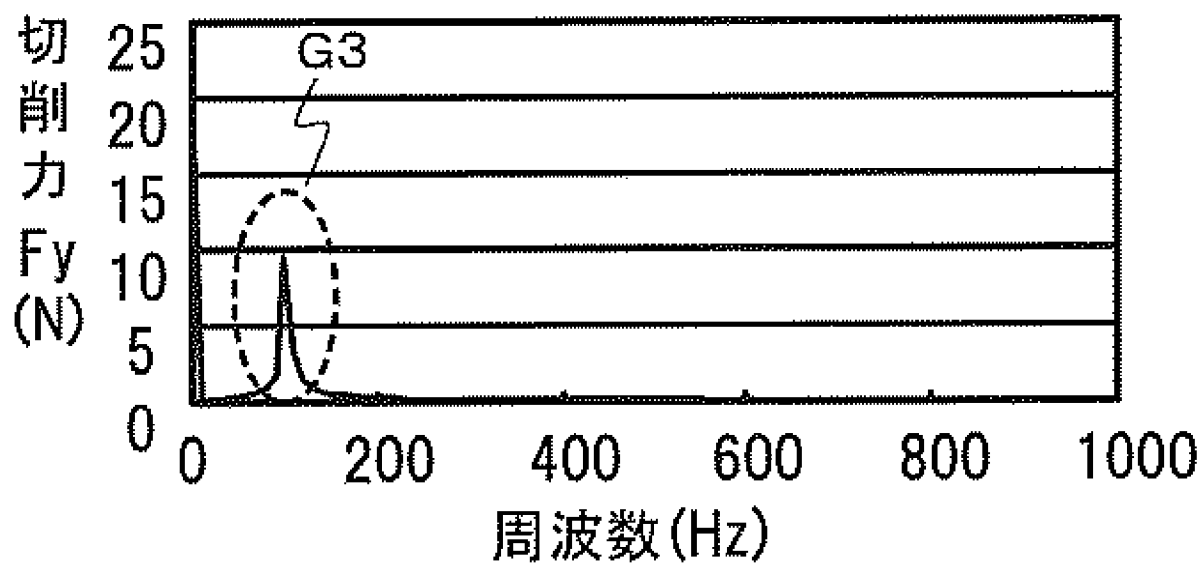
[図4(c)]

図4(c)



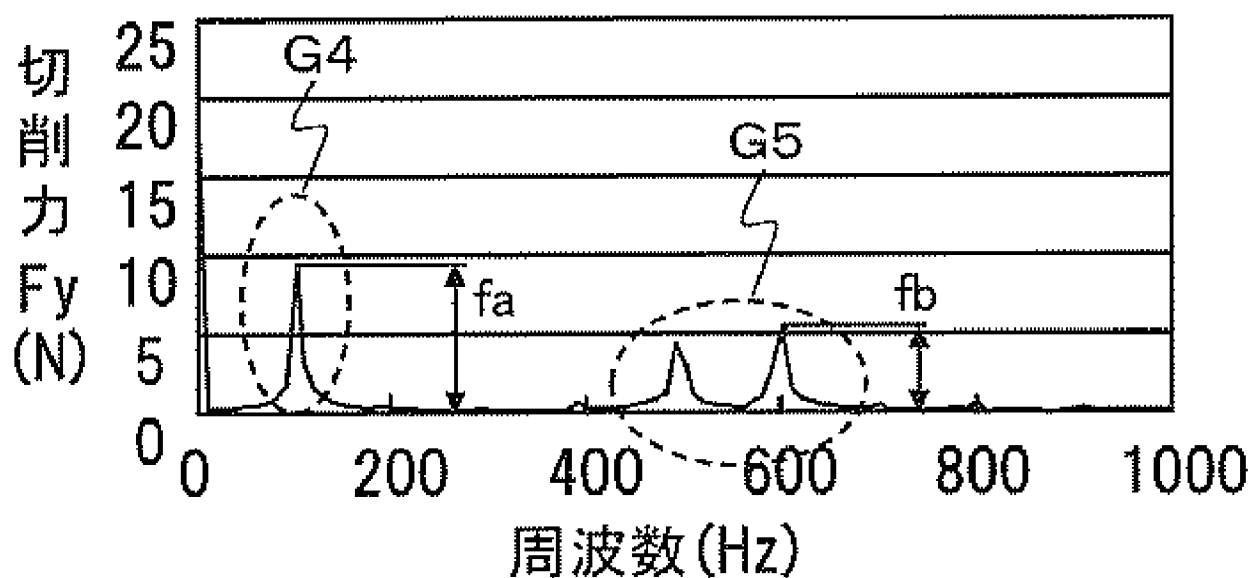
[図5(a)]

図5(a)



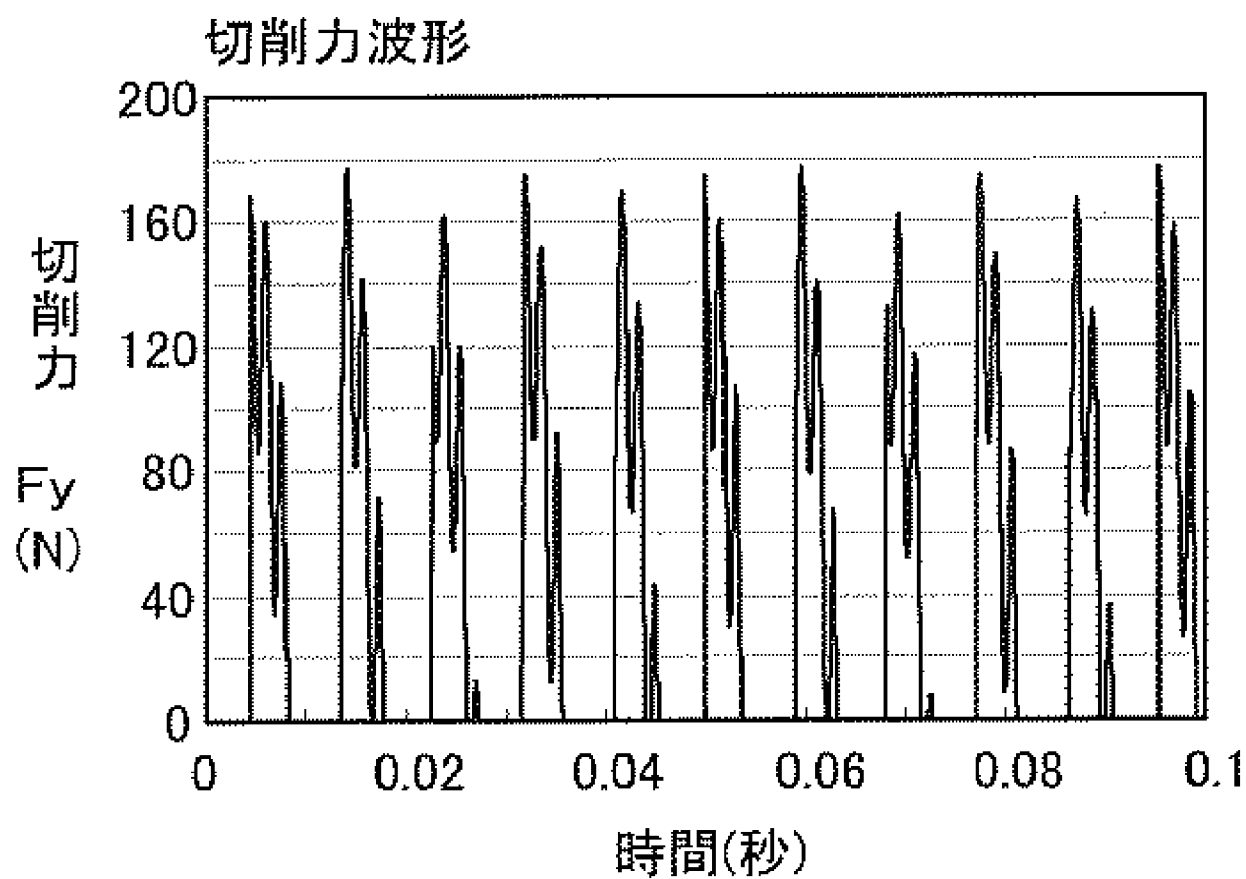
[図5(b)]

図5(b)



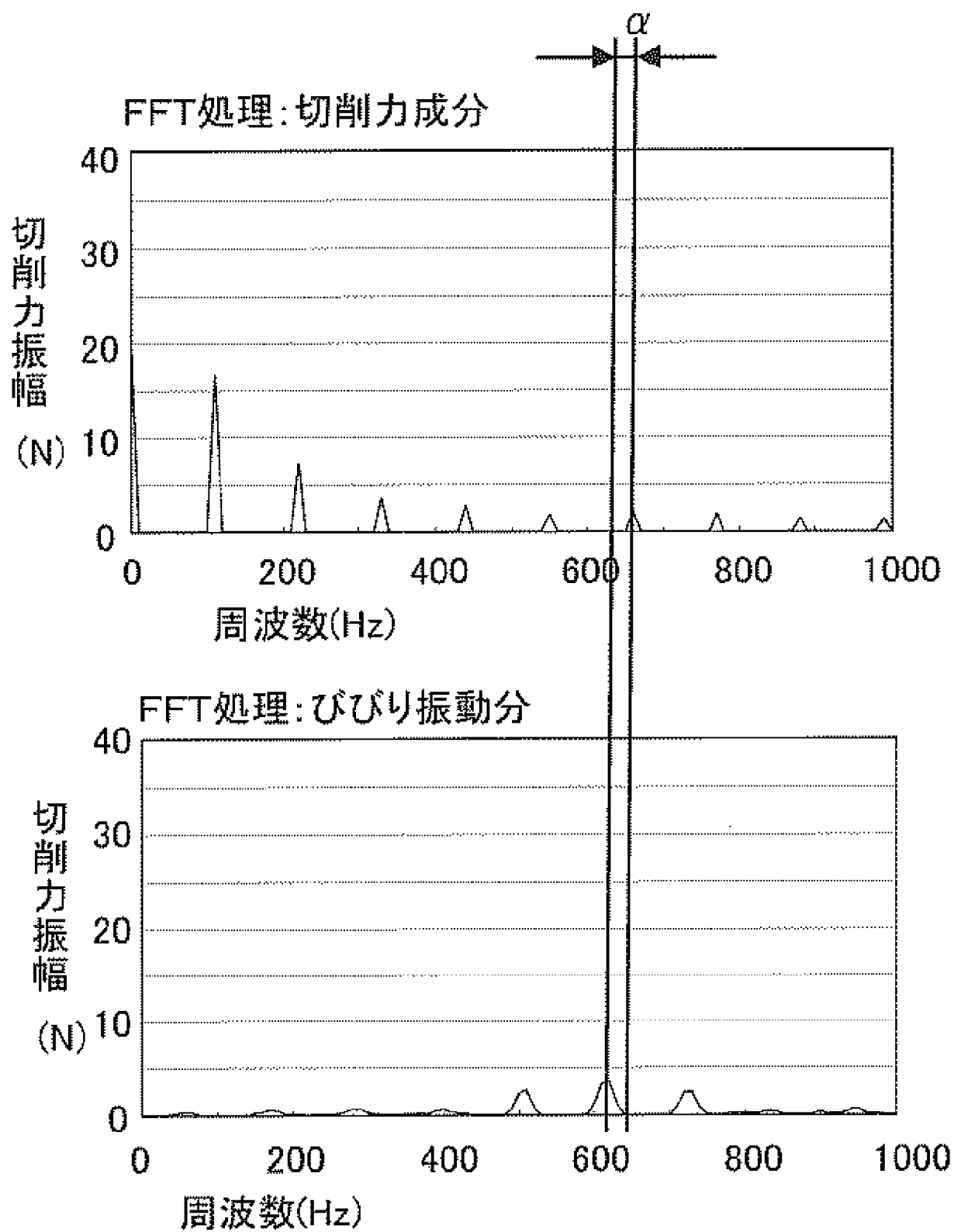
[図6(a)]

図6(a)

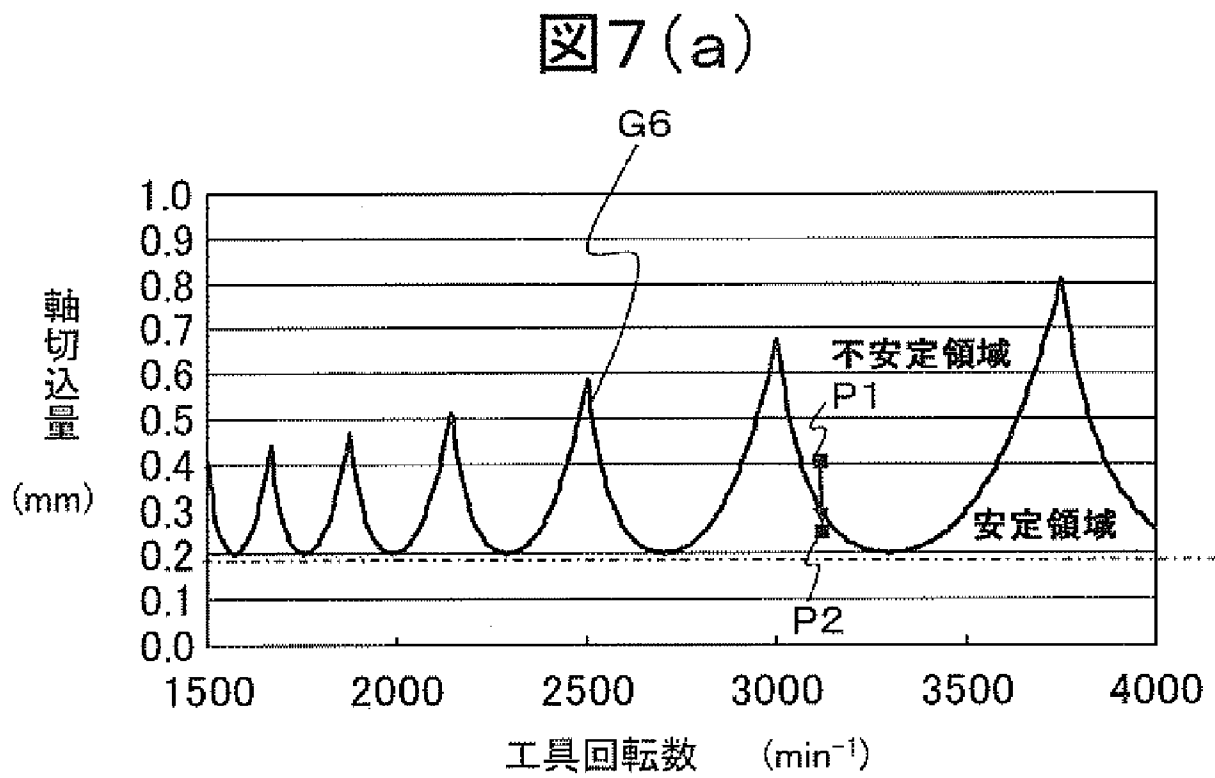


[図6(b)]

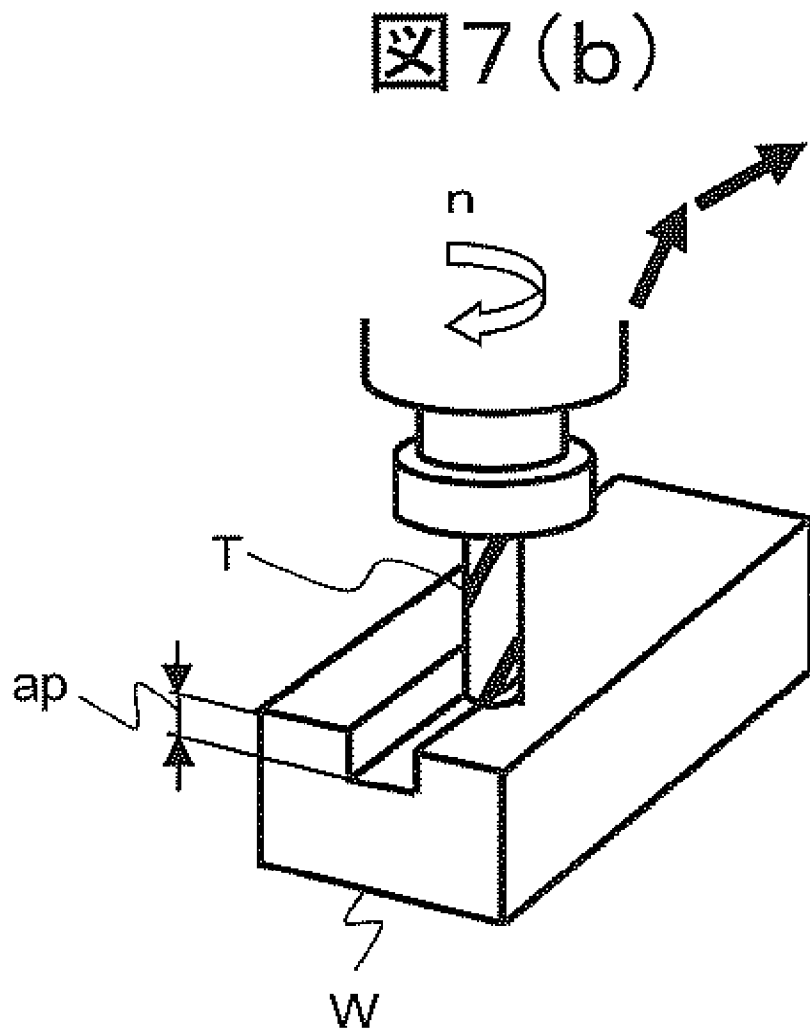
図6(b)



[図7(a)]

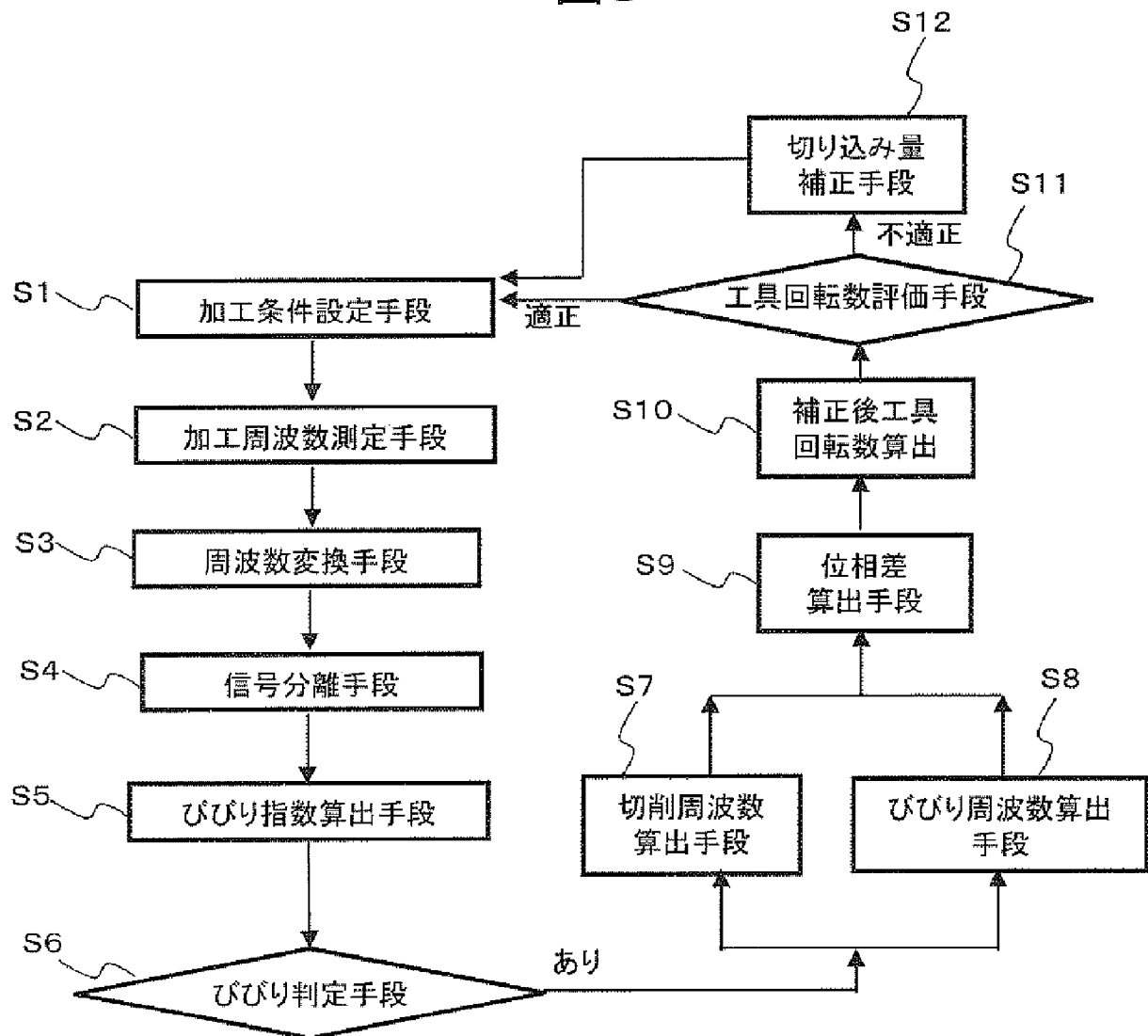


[図7(b)]



[図8]

図8



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/079811

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

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)

B23Q15/00-15/28, 17/00-17/24, G05B19/18-19/46

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

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.
A	JP 08-229772 A (Toyota Motor Corp.), 10 September 1996 (10.09.1996), entire text; all drawings (Family: none)	1-5
A	JP 06-008106 A (Mamoru MITSUISHI, Hamai Co., Ltd.), 18 January 1994 (18.01.1994), entire text; all drawings (Family: none)	1-5
A	JP 5288318 B1 (NT Engineering Corp.), 11 September 2013 (11.09.2013), entire text; all drawings (Family: none)	1-5



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
05 December, 2013 (05.12.13)

Date of mailing of the international search report
17 December, 2013 (17.12.13)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/079811

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2008-290186 A (Okuma Corp.), 04 December 2008 (04.12.2008), entire text; all drawings & US 2008/0289923 A1 & DE 102008024773 A & CN 101310921 A & IT MI20080871 A & IT MI20080871 A1	1-5
A	JP 2012-206230 A (Brother Industries, Ltd.), 25 October 2012 (25.10.2012), entire text; all drawings (Family: none)	1-5
A	JP 2012-056051 A (Makino Milling Machine Co., Ltd.), 22 March 2012 (22.03.2012), entire text; all drawings & US 2013/0164092 A1 & EP 2614922 A1 & WO 2012/032811 A1 & CN 103079757 A & KR 10-2013-0056895 A	1-5
A	JP 2009-101495 A (Okuma Corp.), 14 May 2009 (14.05.2009), entire text; all drawings & US 2009/0110499 A1 & DE 102008052954 A & CN 101417398 A & IT MI20081866 A & IT MI20081866 A1	1-5
A	JP 2000-084798 A (Toshiba Corp.), 28 March 2000 (28.03.2000), entire text; all drawings (Family: none)	1-5
P,A	WO 2013/073436 A1 (Hitachi, Ltd.), 23 May 2013 (23.05.2013), claim 14; paragraphs [0055] to [0079]; fig. 21 to 25 (Family: none)	1-5
P,A	WO 2013/088849 A1 (Hitachi, Ltd.), 20 June 2013 (20.06.2013), entire text; all drawings (particularly, claim 5; paragraph [0047]; fig. 5 to 7) (Family: none)	1-5
P,A	JP 2013-215809 A (Hitachi, Ltd.), 24 October 2013 (24.10.2013), entire text; all drawings (particularly, paragraphs [0095] to [0096]; fig. 11) & WO 2013/150905 A1	1-5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/079811

While the term "chatter vibration index" is used in the claims of this application, this term is not considered to be a term that is commonly used in the technical field of the application.

Therefore, this term is considered to have the definition given in (Equation 1) in paragraph 38 of the description, and an international search was carried out limited to subject matter where the "chatter vibration index" defined by (Equation 1) in paragraph 38 of the description is used.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

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（I P C））

Int.Cl. B23Q15/00-15/28, 17/00-17/24
G05B19/18-19/46

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 3 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 3 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 3 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 08-229772 A（トヨタ自動車株式会社）1996.09.10, 全文、全図（ファミリーなし）	1-5
A	JP 06-008106 A（光石 衛、浜井産業株式会社）1994.01.18, 全文、全図（ファミリーなし）	1-5

☒ 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

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と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

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 5 . 1 2 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

1 7 . 1 2 . 2 0 1 3

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

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）

松浦 陽

3 U

3 7 5 2

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 3 2 4

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
A	JP 5288318 B1 (エヌティーエンジニアリング株式会社) 2013. 09. 11, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-5
A	JP 2008-290186 A (オークマ株式会社) 2008. 12. 04, 全文、全図 & US 2008/0289923 A1 & DE 102008024773 A & CN 101310921 A & IT MI20080871 A & IT MI20080871 A1	1-5
A	JP 2012-206230 A (ブラザー工業株式会社) 2012. 10. 25, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-5
A	JP 2012-056051 A (株式会社牧野フライス製作所) 2012. 03. 22, 全文、全図 & US 2013/0164092 A1 & EP 2614922 A1 & WO 2012/032811 A1 & CN 103079757 A & KR 10-2013-0056895 A	1-5
A	JP 2009-101495 A (オークマ株式会社) 2009. 05. 14, 全文、全図 & US 2009/0110499 A1 & DE 102008052954 A & CN 101417398 A & IT MI20081866 A & IT MI20081866 A1	1-5
A	JP 2000-084798 A (株式会社東芝) 2000. 03. 28, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-5
PA	WO 2013/073436 A1 (株式会社日立製作所) 2013. 05. 23, 請求項 14, [0055]-[0079], Fig. 21-25 (ファミリーなし)	1-5
PA	WO 2013/088849 A1 (株式会社日立製作所) 2013. 06. 20, 全文、全図 (特に請求項 5, [0047] , Fig. 5-7) (ファミリーなし)	1-5
PA	JP 2013-215809 A (株式会社日立製作所) 2013. 10. 24, 全文、全図 (特に、[0095]-[0096], Fig. 11) & WO 2013/150905 A1	1-5

本願特許請求の範囲では、「びびり指数」なる用語が用いられているが、当該用語は、本願の属する技術分野において一般に用いられている用語とは認められない。

そこで、当該用語については、本願明細書[0038]における（数式1）によって定義されるものであると認め、調査対象を、明細書[0038]における（数式1）によって定義される「びびり指数」を用いているものに限定して、国際調査を行った。