

(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
2016年7月21日(21.07.2016)



(10) 国際公開番号

WO 2016/114058 A1

- (51) 国際特許分類:
G05B 19/4093 (2006.01) B23B 5/38 (2006.01)
B23B 1/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/085197
- (22) 国際出願日: 2015年12月16日(16.12.2015)
- (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 2015-007115 2015年1月16日(16.01.2015) JP
特願 2015-090385 2015年4月27日(27.04.2015) JP
- (71) 出願人: 住友電工ハードメタル株式会社(SUMITOMO ELECTRIC HARDMETAL CORP.) [JP/JP]; 〒6640016 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 Hyogo (JP). 住友電気工業株式会社(SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 Osaka (JP). 住友電工ツールネット株式会社(SUMITOMO ELECTRIC TOOL NET, INC.) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目7番28号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 金田 泰幸(KANADA, Yasuyuki); 〒6640016 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電工ハードメタル株式会社内 Hyogo (JP). 田

中 邦茂(TANAKA, Kunishige); 〒6640016 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電工ハードメタル株式会社内 Hyogo (JP). 奥村 宗一郎(OKUMURA, Soichiro); 〒6640016 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社 伊丹製作所内 Hyogo (JP). 岡本 順(OKAMOTO, Jun); 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目7番28号 住友電工ツールネット株式会社内 Osaka (JP). 竹下 太志(TAKESHITA, Futoshi); 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目7番28号 住友電工ツールネット株式会社内 Osaka (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人深見特許事務所(FUKAMI PATENT OFFICE, P.C.); 〒5300005 大阪府大阪市北区中之島二丁目2番7号 中之島セントラルタワー Osaka (JP).

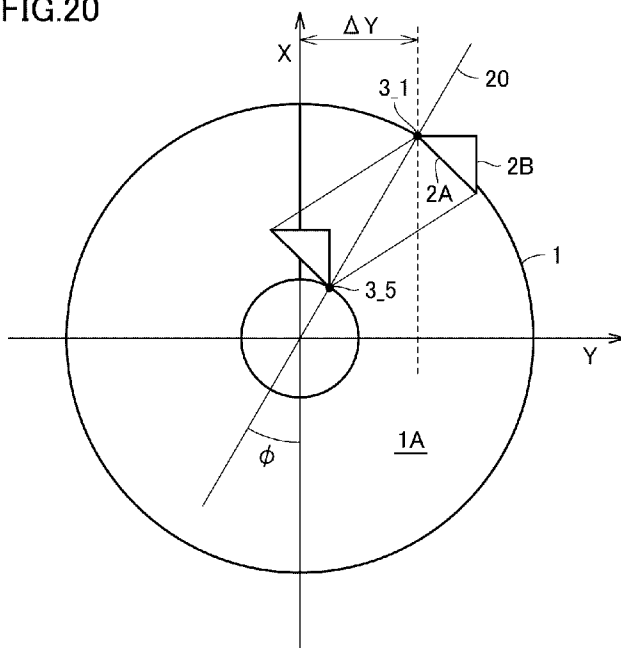
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, 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,

[続葉有]

(54) Title: METHOD FOR MANUFACTURING MACHINE PART, APPARATUS FOR MANUFACTURING MACHINE PART, MACHINING METHOD FOR ROTATIONALLY SYMMETRIC SURFACE, RECORDING MEDIUM, AND PROGRAM

(54) 発明の名称: 機械部品の製造方法、機械部品の製造装置、回転対称面の加工方法、記録媒体およびプログラム

FIG.20



(57) Abstract: Provided are a manufacturing method and a manufacturing apparatus for a manufacturing machine part having a rotationally symmetric surface; a computer-readable recording medium; and a program. The manufacturing method according to one aspect of the present invention comprises: a step for positioning a linear cutting blade (2A), which has been inclined by an angle of more than 0° and less than 90° with respect to the Z axis in a three-dimensional Cartesian coordinate system in which the rotation axis of a rotationally symmetric surface (1A) is designated as the Z axis, the diametrical direction axis of the rotationally symmetric surface as the X axis, and an axis orthogonal to both the Z axis and the X axis as the Y axis, at a cutting start position that is shifted along the Y-axis direction from a position on the X axis; and a step for machining the rotationally symmetric surface (1A) by advancing the cutting blade (2A) from the cutting start position along a trajectory having an X-axis component, a Y-axis component, and a Z-axis component, while contacting a rotating machine part (1).

(57) 要約:

[続葉有]



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:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

回転対称面を有する機械部品を製造するための製造方法、製造装置、コンピュータ読み取り可能な記録媒体、およびプログラムを提供する。一実施形態によれば、製造方法は、回転対称面 (1 A) の回転軸線を Z 軸とし、回転対称面の径方向の軸を X 軸とし、Z 軸および X 軸の両方に直交する軸を Y 軸と規定した三次元直交座標系において、Z 軸に対して 0° より大きく 90° より小さい角度で傾斜した直線状の切れ刃 (2 A) を、X 軸上の位置から Y 軸方向に沿ってずらした切削開始位置に位置決めするステップと、切れ刃 (2 A) を、切削開始位置から、X 軸成分、Y 軸成分および Z 軸成分を有する軌道に沿って、回転している機械部品 (1) に接触させながら送ることによって回転対称面 (1 A) を加工するステップとを備える。

明 細 書

発明の名称：

機械部品の製造方法、機械部品の製造装置、回転対称面の加工方法、記録媒体およびプログラム

技術分野

[0001] 本発明は、機械部品の製造方法、機械部品の製造装置、回転対称面の加工方法、製造方法のプログラムを記録した記録媒体、およびそのプログラムに関する。

背景技術

[0002] 回転軸線に対して切れ刃を斜めに配置した工具を用いて対象物を切削加工する方法が提案されている。国際公開第2001/043902号（特許文献1）および国際公開第2003/022497号（特許文献2）は、直線状の切れ刃を用いた工作物の加工方法を開示する。切れ刃は、送り方向に対して傾斜して配置されて、工作物の回転軸線を横断する方向に送られる。この加工方法により、工作物の表面が滑らかとなるように工作物の表面を加工できるとともに、高能率での加工が可能になる。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：国際公開第2001/043902号

特許文献2：国際公開第2003/022497号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 円錐あるいは円錐台は、稜線が回転軸線に対して 0° より大きく 90° よりも小さい一定の角度をなす回転対称体である。円柱形（円筒形を含む）は、稜線が回転軸線に対して 0° をなす回転対称体である。さまざまな機械部品の中には、このような回転対称面を有するものもある。

- [0005] 一般に、機械部品の寸法の精度は高いほど好ましい。したがって、回転軸線あるいは回転対称面に対して稜線が正確な角度（たとえば設計上の角度）をなすように、機械部品の回転対称面を高い精度で加工することが必要になる場合がある。
- [0006] しかしながら、国際公開第2001/043902号および国際公開第2003/022497号のいずれも、円錐面あるいは円錐台面の稜線が回転軸線あるいは回転対称面となす角度の精度を高めるための加工方法を開示していない。円柱形を有する加工対象物の多くにおいて、回転軸線方向の長さは、半径の長さより大きい。上記の方法に従って、回転軸線方向に長い機械部品を高い精度で製造するためには、適切な軌道に沿って切れ刃を移動させる必要がある。
- [0007] 本発明の目的は、稜線が回転軸線に対して 0° 以上かつ 90° よりも小さい一定の角度をなす回転対称面を有する機械部品を精度よく製造するための製造方法、製造装置、製造装置、回転対称面の加工方法、コンピュータ読み取り可能な記録媒体、およびプログラムを提供することである。

課題を解決するための手段

- [0008] 本発明の一態様に係る機械部品の製造方法は、回転軸線に対して 0° より大きく 90° より小さい角度で傾斜した稜線によって規定された回転対称面を有する機械部品の製造方法である。製造方法は、回転対称面の回転軸線をZ軸とし、回転対称面の径方向の軸をX軸とし、Z軸およびX軸の両方に直交する軸をY軸と規定した三次元直交座標系において、Z軸に対して 0° より大きく 90° より小さい角度で傾斜した直線状の切れ刃を、X軸上の位置からY軸方向に沿ってずらした切削開始位置に位置決めするステップと、切れ刃を、切削開始位置から、X軸成分、Y軸成分およびZ軸成分を有する軌道に沿って、回転している機械部品に接触させながら送ることによって回転対称面を加工するステップとを備える。
- [0009] 本発明の一態様に係る機械部品の製造方法は、回転軸線に対して平行な母線によって規定された回転対称面を有する機械部品の製造方法である。製造

方法は、回転軸線をZ軸とし、回転対称面の径方向の軸をX軸とし、Z軸およびX軸の両方に直交する軸をY軸とする三次元直交座標系において、直線状の切れ刃を、YZ平面上において 0° より大きく 90° よりも小さい第1の傾斜角度でZ軸に対して傾けられた状態で、切削開始位置に位置付けるステップと、切れ刃の異なる部分が順次接触するように、切れ刃を、切削開始位置から、回転している機械部品に接触させながら送ることによって回転対称面を加工するステップとを備える。切削開始位置は、X軸座標およびY軸座標を含む。X軸座標およびY軸座標の各々は、第1の傾斜角度、および、切れ刃がXZ平面上においてZ軸となす第2の傾斜角度に基づいて定められる。

発明の効果

[0010] 上記によれば、稜線が回転軸線に対して 0° 以上かつ 90° よりも小さい一定の角度をなす回転対称面を有する機械部品を精度よく製造することができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]本発明の第1の実施形態に係る製造方法を示した斜視図である。

[図2]本発明の第1の実施形態に係る製造装置の構成を概略的に示したブロック図である。

[図3]ポイント切削によって切削された加工面の面粗さを示したグラフである。

[図4]本発明の実施の形態に従う製造方法に従って切削加工された表面の面粗さを示したグラフである。

[図5]XZ平面上に射影された切れ刃を模式的に示した模式図である。

[図6]XY平面上に射影されたホルダおよび切れ刃を模式的に示した模式図である。

[図7]切れ刃のXZ平面上の軌跡を説明するための模式図である。

[図8]切れ刃のXY平面上の軌跡を説明するための模式図である。

[図9]補正なし軌道の場合の機械部品の加工方法を説明するための模式図であ

る。

[図10]補正なし軌道に沿って切れ刃を送る場合における、切れ刃の先端および後端の初期位置を説明するための模式図である。

[図11]切れ刃の後端の軌道を説明するための模式図である。

[図12]切れ刃の軌跡をモニタするための切れ刃の5つの領域を示した図である。

[図13]R Z平面における、切れ刃の先端および後端の軌跡を模式的に示した模式図である。

[図14]切れ刃の角度が目標角に等しい場合における、R Z平面上の加工形状を計算した結果を示した図である。

[図15]図14に示された計算結果に基づいて、加工面と、設計上の面との間のZ軸方向の差分を表した図である。

[図16]切れ刃の角度が目標角度よりも大きい場合における、R Z平面上の加工形状を計算した結果を示した図である（補正なし軌道）。

[図17]図16に示された計算結果に基づいて、加工面（回転対称面）と、設計上の面との間のZ軸方向の差分を表した図である。

[図18]切れ刃の角度が目標角度よりも小さい場合における、R Z平面上の加工形状を計算した結果を示した図である（補正なし軌道）。

[図19]図18に示された計算結果に基づいて、加工面（回転対称面）と、設計上の面との間のZ軸方向の差分を表した図である。

[図20]本発明の第1の実施の形態に係る製造方法を模式的に説明するためのXY平面図である。

[図21]本発明の第1の実施の形態に係る製造方法を模式的に説明するためのR Z平面図である。

[図22]補正された軌道に沿って切れ刃を送る場合における、切れ刃の先端および後端の初期位置を説明するための図である。

[図23]切れ刃の後端の軌道を説明するための模式図である。

[図24]X Z平面上における、切れ刃の補正された軌道を説明した図である。

[図25] X Y 平面上における、切れ刃の補正された軌道を説明した図である。

[図26] 切れ刃の角度が目標角度よりも小さい場合における、R Z 平面上の加工形状を計算した結果を示した図である（補正した軌道）。

[図27] 切れ刃の角度が目標角度よりも小さい場合における、R Z 平面上の加工形状を計算した結果を示した図である（補正した軌道）。

[図28] 本発明の第 1 の実施の形態に係る製造方法を示したフローチャートである。

[図29] 本発明の第 2 の実施形態に係る製造方法を示した斜視図である。

[図30] Y Z 平面上に射影された切れ刃を模式的に示した模式図である。

[図31] X Z 平面上に射影された切れ刃を模式的に示した模式図である。

[図32] X Y 平面上に射影された切れ刃を模式的に示した模式図である。

[図33] Y Z 平面上の切れ刃の角度を説明するための図である。

[図34] 補正なし軌道の場合の機械部品の加工方法を説明するための Y Z 平面図である。

[図35] 補正なし軌道の場合の機械部品の加工方法を説明するための X Z 平面図である。

[図36] Y Z 平面上のプログラム角度と第 1 の傾斜角度との関係を説明するための図である。

[図37] 補正なし軌道の場合の機械部品の加工方法を説明するための X Y 平面図である。

[図38] R Z 平面における、切れ刃の先端および後端の軌跡を模式的に示した模式図である。

[図39] 切れ刃の第 2 の傾斜角度が 0° に等しい場合における、R Z 平面上の加工形状を計算した結果を示した図である。

[図40] 図 3 9 に示された計算結果に基づいて、加工面と設計上の面との間の R 軸方向の差分を表した図である。

[図41] 切れ刃の第 2 の傾斜角度が 0° よりも小さい場合における、R Z 平面上の加工形状を計算した結果を示した図である（補正なし軌道）。

[図42]図4 1 に示された計算結果に基づいて、加工面（回転対称面）と設計上の面との間のR軸方向の差分を表した図である。

[図43]切れ刃の第2の傾斜角度が 0° よりも大きい場合における、R Z平面上の加工形状を計算した結果を示した図である（補正なし軌道）。

[図44]図4 3 に示された計算結果に基づいて、加工面（回転対称面）と設計上の面との間のR軸方向の差分を表した図である。

[図45]本発明の第2の実施の形態に係る製造方法を模式的に説明するためのX Y平面図である。

[図46]本発明の第2の実施の形態に係る製造方法を模式的に説明するためのY Z平面図である。

[図47]本発明の第2の実施の形態に係る製造方法を模式的に説明するためのX Z平面図である。

[図48]切れ刃の第2の傾斜角度が 0° よりも小さい場合における、R Z平面上の加工形状を計算した結果を示した図である（補正した軌道）。

[図49]切れ刃の第2の傾斜角度が 0° よりも大きい場合における、R Z平面上の加工形状を計算した結果を示した図である（補正した軌道）。

[図50]本発明の第2の実施の形態に係る製造方法を示したフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0012] [本発明の実施形態の説明]

最初に本発明の実施態様を列記して説明する。

[0013] (1) 本発明の一態様に係る機械部品の製造方法は、回転軸線(10)に対して 0° より大きく 90° より小さい角度で傾斜した稜線(1B)によって規定された回転対称面(1A)を有する機械部品(1)の製造方法である。製造方法は、回転対称面(1A)の回転軸線(10)をZ軸とし、回転対称面(1A)の径方向の軸をX軸とし、Z軸およびX軸の両方に直交する軸をY軸と規定した三次元直交座標系において、Z軸に対して 0° より大きく 90° より小さい角度で傾斜した直線状の切れ刃(2A)を、X軸上の位置

からY軸方向に沿ってずらした切削開始位置に位置決めするステップ（S 4 1）と、切れ刃（2 A）を、切削開始位置から、X軸成分、Y軸成分およびZ軸成分を有する軌道に沿って、回転している機械部品に接触させながら送ることによって回転対称面（1 A）を加工するステップ（S 4 2）とを備える。

[0014] 上記によれば、稜線が回転軸線に対して 0° より大きく 90° よりも小さい一定の角度をなす回転対称面を有する機械部品を精度よく製造することができる。切削開始位置は、X軸上の位置からY軸方向に沿ってずらされる。Z軸またはXY平面に対する切れ刃の傾斜角度が目標の角度とは異なる場合にも、Y軸方向のずれ量および軌道を適切に定めることによって、切れ刃をZ軸に対して目標角度で送ることができる。したがって機械部品を精度よく製造することができる。

[0015] さらにZ軸に対して 0° より大きく 90° より小さい角度で傾斜した切れ刃（2 A）を送ることによって回転対称面が加工される。これにより面粗さおよび能率の点で優れた加工を実現できる。この点からも、機械部品を精度よく製造することができる。

[0016] X軸成分、Y軸成分およびZ軸成分は、いずれも0とは異なる。切削開始位置から切削終了位置までの間に、切れ刃は、X軸、Y軸およびZ軸のすべての軸の方向の移動量を有する。すなわち切れ刃の軌道の方法は、X軸、Y軸、Z軸の各々の軸を横断する方向である。

[0017] 製造方法は、上記の回転対称面の加工工程に加えて他の工程を含むことができる。

（2）好ましくは、切削開始位置において切れ刃（2 A）の第1の端部（3__1）が機械部品（1）に接触する。切削開始位置から切削終了位置まで軌道に沿って切れ刃（2 A）を送る間に、切れ刃（2 A）の第1の端部（3__1）から、第1の端部（3__1）と反対側に位置する切れ刃（2 A）の第2の端部（3__5）まで、切れ刃（2 A）の異なる部分が順次接触する。

[0018] 上記によれば、切れ刃（2 A）の全体を使って回転対称面が加工される。

したがって切れ刃の寿命を長くすることができる。

[0019] (3) 好ましくは、製造方法は、切れ刃 (2 A) の長さ (L)、XZ 平面において、X 軸に対して切れ刃 (2 A) がなす第 1 の傾斜角度 (θ)、XY 平面において、X 軸に対して切れ刃 (2) がなす第 2 の傾斜角度 (β)、回転対称面 (1 A) の最大半径 ($R_{\max}$)、回転対称面 (1 A) の最小半径 ($R_{\min}$)、および稜線 (1 B) が XZ 平面において、X 軸に対してなす目標角度 (θ_s) から、切削開始位置および軌道を計算するステップ (S30) をさらに備える。

[0020] 上記によれば、切れ刃を Z 軸に対して目標角度で送ることができる。したがって機械部品を精度よく製造することができる。

[0021] (4) 好ましくは、切削開始位置の座標は、 $(X, Y, Z) = (R_{\max}, \Delta Y, Z_{\min})$ と表現され、軌道は、 $(X, Y, Z) = (R_{\max} - t, \Delta Y - t \times \tan \theta_1', Z_{\min} + t \times \tan \theta_0')$ と表現され、 $R_{\max}$ は、回転対称面 (1 A) の最大半径であり、 $R_{\min}$ は、回転対称面 (1 A) の最小半径であり、 t は、0 から $R_{\max} - R_{\min}$ まで変化する変数であり、 θ_s は、目標角度であり、 ΔY , $\tan \theta_1'$, $\tan \theta_0'$ が以下の式に従い、

[0022] [数1]

$$\Delta Y = R_{\max} \sin \phi$$

$$\tan \theta_1' = \tan(\phi + \gamma)$$

$$\tan \theta_0' = \frac{\tan \theta_s}{\cos \phi - \sin \phi \tan \gamma}$$

$$\phi = \cos^{-1} \left(\cos \beta \times \frac{\tan \theta}{\tan \theta_s} \right) - \beta$$

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{L_{XY} \sin(\beta + \phi)}{R_{\max} - R_{\min} - L_{XY} \cos(\beta + \phi)} \right)$$

$$L_{XY} = L \sqrt{\frac{1 + \tan^2 \beta}{1 + \tan^2 \beta + \tan^2 \theta}}$$

[0023] L は、切れ刃の長さであり、 θ は、第 1 の傾斜角度であり、 β は、第 2 の

傾斜角度である。

[0024] 上記によれば、切れ刃をZ軸に対して目標角度で送ることができる。したがって、機械部品を精度よく製造することができる。

[0025] (5) 本発明の一態様に係る機械部品の製造方法は、回転軸線(10)に対して平行な母線(1B)によって規定された回転対称面(1A)を有する機械部品(1)の製造方法である。製造方法は、回転軸線(10)をZ軸とし、回転対称面(1A)の径方向の軸をX軸とし、Z軸およびX軸の両方に直交する軸をY軸とする三次元直交座標系において、直線状の切れ刃(2A)を、YZ平面上において 0° より大きく 90° よりも小さい第1の傾斜角度(β)でZ軸に対して傾けられた状態で、切削開始位置に位置付けるステップと、切れ刃(2A)の異なる部分が順次接触するように、切れ刃(2A)を、切削開始位置から、回転している機械部品(1)に接触させながら送ることによって回転対称面(1A)を加工するステップとを備える。切削開始位置は、X軸座標およびY軸座標を含む。X軸座標およびY軸座標の各々は、第1の傾斜角度(β)、および、切れ刃(2A)がXZ平面上においてZ軸となす第2の傾斜角度(θ_{xz})に基づいて定められる。

[0026] 上記によれば回転軸線に対して平行な母線によって規定された回転対称面を有する機械部品を高い精度で加工することができる。直線状の切れ刃がYZ平面上において 0° より大きく 90° よりも小さい第1の傾斜角度でZ軸に対して傾けられる。この状態で、切れ刃の異なる部分が順次接触するように、切れ刃が切削開始位置から送られる。これにより、加工される面の面粗さの精度を高くすることができる。第1の傾斜角度および第2の傾斜角度に基づいて、切削開始位置のX座標およびY座標が決定される。これにより、機械部品の径方向の寸法の精度が高くなるように、機械部品を製造することができる。

[0027] 「回転軸線に対して平行な母線によって規定された回転対称面」は、円柱の側面、および円筒の側面を含む。回転軸線に対して平行な母線は、回転軸線に対して 0° をなす稜線と言い換えることができる。

[0028] (6) 好ましくは、製造方法は、切れ刃 (2 A) の長さ、第 1 の傾斜角度 (β)、第 2 の傾斜角度 (θ_{xz})、回転対称面 (1 A) の半径、および回転対称面 (1 A) の Z 軸座標に基づいて、切れ刃 (2 A) の軌道を計算するステップをさらに備える。

[0029] 上記によれば、機械部品の径方向の寸法の精度が高くなるように、機械部品を製造することができる。

[0030] (7) 好ましくは、軌道は、 $(X, Y, Z) = (R + \Delta X - t \times \tan \theta_1', \Delta Y - t \times \tan \theta_2', Z_{\min} + t)$ と表現される。R は、回転対称面 (1 A) の半径であり、t は、0 から $Z_{\max} - Z_{\min}$ まで変化する変数であり、 $Z_{\min}$ は、回転対称面 (1 A) の Z 軸座標の最小値であり、 $Z_{\max}$ は、回転対称面 (1 A) の Z 軸座標の最大値である。第 1 の傾斜角度を β と表し、第 2 の傾斜角度を θ_{xz} と表し、切れ刃 (2 A) の長さを L と表すと、 ΔX , ΔY , $\tan \theta_1'$, $\tan \theta_2'$ が以下の式に従う。

[0031] [数2]

$$\Delta X = -R(1 - \cos \theta_{XY})$$

$$\Delta Y = -R \sin \theta_{XY}$$

$$\tan \theta_1' = \frac{L_{XZ} \sin \theta_{XZ}}{Z_{\max} - Z_{\min} - L_{XZ} \cos \theta_{XZ}}$$

$$\tan \theta_2' = \frac{L_{YZ} \sin \beta}{Z_{\max} - Z_{\min} - L_{YZ} \cos \beta}$$

ただし

$$\tan \theta_{XY} = \frac{\tan \theta_{XZ}}{\tan \beta}$$

$$L_{YZ} = L \sqrt{\frac{1 + \tan^2 \beta}{1 + \tan^2 \theta_{XZ} + \tan^2 \beta}}$$

$$L_{XZ} = L \sqrt{\frac{1 + \tan^2 \theta_{XZ}}{1 + \tan^2 \theta_{XZ} + \tan^2 \beta}}$$

[0032] 上記によれば機械部品の径方向の寸法の精度が高くなるように、機械部品

を製造することができる。

[0033] (8) 好ましくは、切れ刃(2A)は、切れ刃(2A)の回転を阻止するホルダによって保持される。

[0034] 上記により、機械部品の加工中に、切れ刃(2A)の傾きが変わるのを防ぐことができる。したがって機械部品を精度よく製造することができる。

[0035] (9) 好ましくは、製造方法は、測定器によって第1および第2の傾斜角度を測定するステップ(S10)をさらに備える。

[0036] 上記により、切削開始位置および軌道を算出することができる。

(10) 好ましくは、機械部品の製造装置は、上記(1)～(9)のいずれかに記載の方法を実行する装置である。

[0037] 上記により、機械部品を精度よく製造することができる。

(11) 本発明の一態様に係る回転対称面の加工方法は、回転軸線(10)に対して 0° より大きく 90° より小さい角度で傾斜した稜線によって規定された回転対称面の加工方法であって、回転対称面(1A)の回転軸線(10)をZ軸とし、回転対称面(1A)の径方向の軸をX軸とし、Z軸およびX軸の両方に直交する軸をY軸と規定した三次元直交座標系において、Z軸に対して 0° より大きく 90° より小さい角度で傾斜した直線状の切れ刃(2A)を、X軸上の位置からY軸方向に沿ってずらした切削開始位置に位置決めするステップ(S41)と、切れ刃(2A)を、切削開始位置から、X軸成分、Y軸成分およびZ軸成分を有する軌道に沿って、回転している工作物(1)に接触させながら送ることによって回転対称面(1A)を加工するステップとを備える。

[0038] 上記により、稜線が回転軸線またはXY平面となす角度の精度が高く、かつ滑らかな回転対称面を加工することができる。

[0039] (12) 本発明の一態様に係る記録媒体は、回転軸線(10)に対して 0° より大きく 90° より小さい角度で傾斜した稜線(1B)によって規定された回転対称面(1A)を有する機械部品(1)を製造するためのプログラムを記録した、コンピュータ読み取り可能な記録媒体である。プログラムは

、回転対称面（１Ａ）の回転軸線（１０）をＺ軸とし、回転対称面（１Ａ）の径方向の軸をＸ軸とし、Ｚ軸およびＸ軸の両方に直交する軸をＹ軸と規定した三次元直交座標系において、直線状の切れ刃（２Ａ）の長さ（Ｌ）、ＸＺ平面において、Ｘ軸に対して切れ刃（２Ａ）がなす第１の傾斜角度（ θ ）、ＸＹ平面において、Ｘ軸に対して切れ刃（２）がなす第２の傾斜角度（ β ）、回転対称面（１Ａ）の最大半径（ $R_{\max}$ ）、回転対称面（１Ａ）の最小半径（ $R_{\min}$ ）、および稜線（１Ｂ）がＸＺ平面において、Ｘ軸に対してなす目標角度（ θ_s ）を受け付けるステップと、Ｚ軸に対して 0° より大きく 90° より小さい角度で傾斜した切れ刃（２Ａ）を、切削開始位置に位置決めするステップと、切れ刃（２Ａ）を、切削開始位置から軌道に沿って、回転している機械部品（１）に接触させながら送ることによって回転対称面（１Ａ）を加工するステップをコンピュータに実行させる。切削開始位置の座標は、（ X ， Y ， Z ）＝（ $R_{\max}$ ， ΔY ， $Z_{\min}$ ）と表現され、軌道は、（ X ， Y ， Z ）＝（ $R_{\max} - t$ ， $\Delta Y - t \times \tan \theta_1'$ ， $Z_{\min} + t \times \tan \theta_0'$ ）と表現され、 $R_{\max}$ は、回転対称面（１Ａ）の最大半径であり、 $R_{\min}$ は、回転対称面（１Ａ）の最小半径であり、 t は、０から $R_{\max} - R_{\min}$ まで変化する変数であり、 θ_s は、目標角度であり、 ΔY ， $\tan \theta_1'$ ， $\tan \theta_0'$ が以下の式に従い、

[0040] [数3]

$$\Delta Y = R_{\max} \sin \phi$$

$$\tan \theta_1' = \tan(\phi + \gamma)$$

$$\tan \theta_0' = \frac{\tan \theta_s}{\cos \phi - \sin \phi \tan \gamma}$$

$$\phi = \cos^{-1} \left(\cos \beta \times \frac{\tan \theta}{\tan \theta_s} \right) - \beta$$

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{L_{XY} \sin(\beta + \phi)}{R_{\max} - R_{\min} - L_{XY} \cos(\beta + \phi)} \right)$$

$$L_{XY} = L \sqrt{\frac{1 + \tan^2 \beta}{1 + \tan^2 \beta + \tan^2 \theta}}$$

[0041] L は、切れ刃の長さであり、 θ は、第1の傾斜角度であり、 β は、第2の傾斜角度である。

[0042] 上記により、機械部品を精度よく製造することができる。

(13) 本発明の一態様に係るプログラムは、回転軸線(10)に対して 0° より大きく 90° より小さい角度で傾斜した稜線(1B)によって規定された回転対称面(1A)を有する機械部品(1)を製造するためのプログラムである。プログラムは、回転対称面(1A)の回転軸線(10)をZ軸とし、回転対称面(1A)の径方向の軸をX軸とし、Z軸およびX軸の両方に直交する軸をY軸と規定した三次元直交座標系において、直線状の切れ刃(2A)の長さ(L)、XZ平面において、X軸に対して切れ刃(2A)がなす第1の傾斜角度(θ)、XY平面において、X軸に対して切れ刃(2)がなす第2の傾斜角度(β)、回転対称面(1A)の最大半径($R_{\max}$)、回転対称面(1A)の最小半径($R_{\min}$)、および稜線(1B)がXZ平面において、X軸に対してなす目標角度(θ_s)を受け付けるステップと、Z軸に対して 0° より大きく 90° より小さい角度で傾斜した切れ刃(2A)を、切削開始位置に位置決めするステップと、切れ刃(2A)を、切削開始位置から軌道に沿って、回転している機械部品(1)に接触させながら送ることによって回転対称面(1A)を加工するステップをコンピュータに実行させる。切削開始位置の座標は、 $(X, Y, Z) = (R_{\max}, \Delta Y, Z_{\min})$ と表現され、軌道は、 $(X, Y, Z) = (R_{\max} - t, \Delta Y - t \times \tan \theta_1', Z_{\min} + t \times \tan \theta_0')$ と表現され、 $R_{\max}$ は、回転対称面(1A)の最大半径であり、 $R_{\min}$ は、回転対称面(1A)の最小半径であり、 t は、0から $R_{\max} - R_{\min}$ まで変化する変数であり、 θ_s は、目標角度であり、 ΔY , $\tan \theta_1'$, $\tan \theta_0'$ が以下の式に従い、

[0043]

[数4]

$$\Delta Y = R_{\max} \sin \phi$$

$$\tan \theta_1' = \tan(\phi + \gamma)$$

$$\tan \theta_0' = \frac{\tan \theta_s}{\cos \phi - \sin \phi \tan \gamma}$$

$$\phi = \cos^{-1} \left(\cos \beta \times \frac{\tan \theta}{\tan \theta_s} \right) - \beta$$

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{L_{XY} \sin(\beta + \phi)}{R_{\max} - R_{\min} - L_{XY} \cos(\beta + \phi)} \right)$$

$$L_{XY} = L \sqrt{\frac{1 + \tan^2 \beta}{1 + \tan^2 \beta + \tan^2 \theta}}$$

[0044] Lは、切れ刃の長さであり、 θ は、第1の傾斜角度であり、 β は、第2の傾斜角度である。

[0045] 上記により、機械部品を精度よく製造することができる。

(14) 本発明の一態様に係る回転対称面の加工方法は、回転軸線(10)に対して平行な母線(1B)によって規定された回転対称面(1A)の加工方法である。加工方法は、回転軸線(10)をZ軸とし、回転対称面(1A)の径方向の軸をX軸とし、Z軸およびX軸の両方に直交する軸をY軸とする三次元直交座標系において、直線状の切れ刃(2A)を、YZ平面上において 0° より大きく 90° よりも小さい第1の傾斜角度(β)でZ軸に対して傾けられた状態で、切削開始位置に位置付けるステップと、切れ刃(2A)の異なる部分が順次接触するように、切れ刃(2A)を、切削開始位置から、回転している機械部品(1)に接触させながら送ることによって回転対称面(1A)を加工するステップとを備える。切削開始位置は、X軸座標およびY軸座標を含む。X軸座標およびY軸座標の各々は、第1の傾斜角度(β)、および、切れ刃がXZ平面上においてZ軸となす第2の傾斜角度(θ_{xz})に基づいて定められる。

[0046] 上記によれば、回転軸線に対して平行な母線によって規定された回転対称

面を有する機械部品を高い精度で加工することができる。

[0047] (15) 本発明の一態様に係る記録媒体は、回転軸線(10)に対して平行な母線(1B)によって規定された回転対称面(1A)を有する機械部品(1)を製造するためのプログラムを記録した、コンピュータ読み取り可能な記録媒体である。プログラムは、コンピュータに、次のステップを実行させる：回転軸線(10)をZ軸とし、回転対称面(1A)の径方向の軸をX軸とし、Z軸およびX軸の両方に直交する軸をY軸と規定した三次元直交座標系において、YZ平面において直線状の切れ刃(2A)がZ軸に対してなす第1の傾斜角度(β)と、XZ平面において切れ刃(2A)がZ軸に対してなす第2の傾斜角度(θ_{xz})と、回転対称面(1A)の半径と、直線状の切れ刃(2A)の長さを受け付けるステップ；切れ刃(2A)を、切削開始位置に位置付けるステップ；および、切れ刃(2A)を、回転している機械部品(1)に接触させながら、切削開始位置から軌道に沿って送ることによって回転対称面(1A)を加工するステップ。軌道は、 $(X, Y, Z) = (R + \Delta X - t \times \tan \theta_1', \Delta Y - t \times \tan \theta_2', Z_{\min} + t)$ と表現される。Rは、回転対称面(1A)の半径であり、tは、0から $Z_{\max} - Z_{\min}$ まで変化する変数であり、 $Z_{\min}$ は、回転対称面(1A)のZ軸座標の最小値であり、 $Z_{\max}$ は、回転対称面(1A)のZ軸座標の最大値である。第1の傾斜角度を β と表し、第2の傾斜角度を θ_{xz} と表し、切れ刃(2A)の長さをLと表すと、 ΔX , ΔY , $\tan \theta_1'$, $\tan \theta_2'$ が以下の式に従う。

[0048]

[数5]

$$\Delta X = -R(1 - \cos \theta_{XY})$$

$$\Delta Y = -R \sin \theta_{XY}$$

$$\tan \theta_1' = \frac{L_{XZ} \sin \theta_{XZ}}{Z_{\max} - Z_{\min} - L_{XZ} \cos \theta_{XZ}}$$

$$\tan \theta_2' = \frac{L_{YZ} \sin \beta}{Z_{\max} - Z_{\min} - L_{YZ} \cos \beta}$$

ただし

$$\tan \theta_{XY} = \frac{\tan \theta_{XZ}}{\tan \beta}$$

$$L_{YZ} = L \sqrt{\frac{1 + \tan^2 \beta}{1 + \tan^2 \theta_{XZ} + \tan^2 \beta}}$$

$$L_{XZ} = L \sqrt{\frac{1 + \tan^2 \theta_{XZ}}{1 + \tan^2 \theta_{XZ} + \tan^2 \beta}}$$

[0049] 上記によれば、回転軸線に対して平行な母線によって規定された回転対称面を有する機械部品を高い精度で加工することができる。

[0050] (16) 本発明の一態様に係るプログラムは、回転軸線(10)に対して平行な母線(1B)によって規定された回転対称面(1A)を有する機械部品(1)を製造するためのプログラムである。プログラムは、コンピュータに、次のステップを実行させる：回転軸線(10)をZ軸とし、回転対称面(1A)の径方向の軸をX軸とし、Z軸およびX軸の両方に直交する軸をY軸と規定した三次元直交座標系において、YZ平面において直線状の切れ刃(2A)がZ軸に対してなす第1の傾斜角度(β)と、XZ平面において切れ刃(2A)がZ軸に対してなす第2の傾斜角度(θ_{XZ})と、回転対称面(1A)の半径と、切れ刃(2A)の長さを受け付けるステップ；切れ刃(2A)を、切削開始位置に位置付けるステップ；および、切れ刃(2A)を、回転している機械部品(1)に接触させながら、切削開始位置から軌道に沿って送ることによって回転対称面(1A)を加工するステップ。軌道は、(

$X, Y, Z) = (R + \Delta X - t \times \tan \theta_1', \Delta Y - t \times \tan \theta_2', Z_{\min} + t)$ と表現される。Rは、回転対称面（1A）の半径であり、tは、0から $Z_{\max} - Z_{\min}$ まで変化する変数であり、 $Z_{\min}$ は、回転対称面（1A）のZ軸座標の最小値であり、 $Z_{\max}$ は、回転対称面のZ軸座標の最大値である。第1の傾斜角度を β と表し、第2の傾斜角度を θ_{xz} と表し、切れ刃（2A）の長さをLと表すと、 $\Delta X, \Delta Y, \tan \theta_1', \tan \theta_2'$ が以下の式に従う。

[0051] [数6]

$$\Delta X = -R(1 - \cos \theta_{XY})$$

$$\Delta Y = -R \sin \theta_{XY}$$

$$\tan \theta_1' = \frac{L_{XZ} \sin \theta_{XZ}}{Z_{\max} - Z_{\min} - L_{XZ} \cos \theta_{XZ}}$$

$$\tan \theta_2' = \frac{L_{YZ} \sin \beta}{Z_{\max} - Z_{\min} - L_{YZ} \cos \beta}$$

ただし

$$\tan \theta_{XY} = \frac{\tan \theta_{XZ}}{\tan \beta}$$

$$L_{YZ} = L \sqrt{\frac{1 + \tan^2 \beta}{1 + \tan^2 \theta_{XZ} + \tan^2 \beta}}$$

$$L_{XZ} = L \sqrt{\frac{1 + \tan^2 \theta_{XZ}}{1 + \tan^2 \theta_{XZ} + \tan^2 \beta}}$$

[0052] 上記によれば、回転軸線に対して平行な母線によって規定された回転対称面を有する機械部品を高い精度で加工することができる。

[0053] [本発明の実施形態の詳細]

以下、図面に基づいて本発明の実施の形態を説明する。なお、以下の図面において同一または相当する部分には同一の参照番号を付し、その説明は繰返さない。また、説明を分かりやすくするために、図面において、発明の構成要素の一部のみが示される場合がある。

[0054] （第1の実施の形態）

図 1 は、本発明の第 1 の実施形態に係る製造方法を示した斜視図である。図 1 に示されるように、回転対称面 1 A を有する機械部品 1 が、回転軸線 1 O を中心として回転する。機械部品 1 は、本発明の一実施形態に係る製造方法によって製造される製造品である。

[0055] 図 1 には、本発明の一実施形態に係る製造方法の一工程である加工工程が示される。したがって図 1 に示す工程においては、機械部品 1 を工作物と呼ぶこともできる。加工工程は切削を含む。本発明の第 1 の実施形態に係る製造方法は、他の工程を含んでもよい。製造方法は、たとえば、鑄造工程、組み立て工程、検査工程等を含むことができる。

[0056] 本発明の第 1 の実施形態に係る製造方法においては、三次元直交座標系に従って、切れ刃 2 A の送りが制御される。図 1 において、Z 軸は、回転軸線 1 O に相当する。X 軸および Y 軸は、ともに Z 軸に対して垂直であるとともに、互いに垂直である。X 軸は、切削加工において径方向とも称される、加工面の直径寸法を決定する方向とすることができる。Y 軸は、X 軸および Z 軸の両方に直交する軸であり、たとえば横方向と呼ばれる。たとえば旋盤において X 軸、Y 軸、Z 軸と定められる軸を、本発明の実施の形態における X 軸、Y 軸および Z 軸に適用することができる。

[0057] この実施形態では、Z 軸方向は、切れ刃 2 A の送り（縦送り）方向と定義される。X 軸の負の方向は、機械部品 1 への切れ込み方向であると定義される。Y 軸の方向は、切削のための切れ刃 2 A の移動方向とは逆の方向である。

[0058] 切れ刃 2 A は、切削チップ（図 1 に示さず）の一部である。切削チップは、ホルダ 2（工具）に着脱自在である。図 1 では、切削チップの切れ刃 2 A の部分のみ示されている。以下、切れ刃と切削チップとを区別する必要がない場合には、両方を「切れ刃」と総称する。

[0059] 切れ刃 2 A は、Z 軸方向に対して 0° より大きく 90° より小さい角度で傾斜している。すなわち、切れ刃 2 A は、切れ刃 2 A の送り方向に沿って、Z 軸方向に対して斜めに配置される。切れ刃 2 A は、X 軸成分、Y 軸成分お

よびZ軸成分を有する軌道に沿って機械部品1に接触しながら送られる。これにより回転対称面1Aが加工される。切削開始から切削終了までの間、先端3__1から後端3__5までの切れ刃2Aの個々の領域が、回転対称面1A（すなわち加工面）に順次接触する。

[0060] この実施の形態では、回転対称面1Aは、円錐台面である。ただし回転対称面1Aは、円錐面でもよい。回転対称面1Aは、 0° より大きく 90° よりも小さい角度 θ_a で傾斜した稜線1Bによって規定される。すなわち稜線1Bを回転軸線1Oの周囲に回転させることによって形成される面が回転対称面1Aである。

[0061] 回転対称面1Aを有する機械部品1は、特に限定されるものではない。一実施形態では、機械部品1は、自動車の無段変速機を構成するためのプーリである。

[0062] 図2は、本発明の第1の実施形態に係る製造装置の構成を概略的に示したブロック図である。本発明の第1の実施形態に係る製造装置100は、たとえばコンピュータ化数値制御（CNC）旋盤によって実現可能である。図2に示されるように、製造装置100は、入力部101と、表示部102と、記憶部103と、制御部104と、駆動部105と、送り機構106と、ホルダ2と、切れ刃2Aを有する切削チップ2Bとを備える。

[0063] 入力部101は、ユーザによって操作される。入力部101は、ユーザからの情報を受け付けて、その情報を制御部104に送る。ユーザからの情報は、ユーザによって選択されるプログラムについての情報、機械部品1の製造（回転対称面1Aの加工）のために必要な各種のデータ、ユーザからの指令などを含む。

[0064] 表示部102は、文字、記号、図形等を表示する。表示部102は、入力部101が受け付けた情報、制御部104の演算結果などを表示することができる。

[0065] 記憶部103は、入力部101が受け付けた情報、機械部品1の製造のためのプログラムなどを記憶する。このプログラムは、回転対称面1Aの加工

のためのプログラムを含む。一実施形態によれば、記憶部１０３は、書き換え可能な不揮発性の記憶装置によって構成される。したがって記憶部１０３は、プログラムを記録した記録媒体に相当する。プログラムは、通信回線を通じて提供されてもよい。この場合にも、プログラムは、記憶部１０３に記憶される。

[0066] 制御部１０４は、製造装置１００を統括して制御するように構成されたコンピュータである。制御部１０４は、演算部１１０を含む。演算部１１０は、入力部１０１が受け付けた情報、記憶部１０３に記憶された情報に基づいて数値演算を実行する。たとえばＣＰＵ（Central Processing Unit）が、プログラムを実行することにより、演算部１１０が具現化されてもよい。

[0067] 駆動部１０５は、送り機構１０６を駆動する。駆動部１０５は、制御部１０４によって制御される。送り機構１０６は、ホルダ２を、Ｘ軸方向、Ｙ軸方向およびＺ軸方向に送ることが可能に構成される。

[0068] ホルダ２は、切削チップ２Ｂを保持することにより、切れ刃２Ａを保持する。ホルダ２は、送り機構１０６に取り付けられる。切れ刃２Ａによる回転対称面１Ａの加工時には、ホルダ２は、回転軸に対して回転不能となるように送り機構１０６に固定される。したがって回転対称面１Ａの加工時には、ホルダ２は、切れ刃２Ａの角度を保持する。一方、回転対称面１Ａの加工時以外の時（一例では、製造装置１００のメンテナンス時）には、ホルダ２は、回転軸を中心として回転可能である。これにより、たとえば製造装置１００のメンテナンスが容易になるといった利点が得られる。

[0069] 切れ刃２Ａは、切削チップ２Ｂのすくい面と逃げ面との稜線により形成される。本発明の実施の形態において、この稜線は直線である。すなわち、切れ刃２Ａの形状は直線形である。本明細書において「直線状」との用語は、切れ刃２Ａの形状が直線であることを意味する。直線状の切れ刃を実現するための切削チップ２Ｂの形状は、特に限定されない。一実施形態では、切削チップ２Ｂは、三角柱形状を有する。

[0070] 直線状の切れ刃を用いた加工は、ポイント切削に比べて面粗さおよび能率

の点で有利である。図3は、ポイント切削によって切削された加工面の面粗さを示したグラフである。図4は、本発明の実施の形態に従う製造方法に従って切削加工された表面の面粗さを示したグラフである。なお、図3と図4とにおいて、グラフの縦軸および横軸のスケールは同じである。

[0071] 図3および図4に示されるように、本発明の実施の形態に従う製造方法は、ポイント切削に比べて、切れ刃の送り速度を大きくしつつ加工面の精度（面粗さ）を高くすることができる。さらに、ポイント切削の場合には、切削開始から切削終了までの間、切れ刃2Aにおける同一の領域が加工面に接触する。このため切れ刃の摩耗が早い。一方、本発明の実施の形態によれば、切削開始から切削終了までの間、直線状の切れ刃2Aの個々の領域が加工面に順次接触する。これにより、切れ刃2Aの全体に摩耗が分散する。したがって切れ刃2Aの寿命を延ばすことができる。

[0072] 以下に本発明の第1の実施の形態に係る製造方法、特に、回転対称面の加工を詳細に説明する。

[0073] 1. パラメータの定義

図5は、XZ平面上に射影された切れ刃2Aを模式的に示した模式図である。図6は、XY平面上に射影されたホルダ2および切れ刃2Aを模式的に示した模式図である。

[0074] 図5において、角度 θ_s は、XZ平面において、機械部品1の回転対称面1A（すなわち加工面）がX軸に対してなす目標角度である。以後、角度 θ_s を「目標角度 θ_s 」と呼ぶ。切れ刃2Aは、XZ平面において、X軸に対して角度 θ （第1の傾斜角度）だけ傾斜する。図5において、 R_{max} は、回転対称面1Aの最大半径である。 R_{min} は、回転対称面1Aの最小半径である。 L_{xz} は、切れ刃2AのXZ平面上の長さである。

[0075] 角度 β は、XY平面において、切れ刃2AがX軸に対してなす傾斜角度（第2の傾斜角度）である。図6において、 L_{xy} は、切れ刃2AのXY平面上の長さである。

[0076] 角度 β は、XY平面において、ホルダがX軸に対してなす傾斜角度と定義

してもよい。角度 β は、切れ刃 2 A が X 軸に対してなす角度が 0° である状態からのホルダ 2 の傾きとして定義することができる。ホルダ 2 を送り機構 106 に取り付ける際に、ホルダ 2 は、Z 軸に平行である回転軸 2 C を中心として回転可能である。ホルダ 2 を送り機構 106 に取り付けた後は、ホルダ 2 は、実質的に回転不可となる。

[0077] 図 7 は、切れ刃 2 A の X Z 平面上の軌跡を説明するための模式図である。図 8 は、切れ刃 2 A の X Y 平面上の軌跡を説明するための模式図である。図 7 および図 8 を参照して、切れ刃 2 A の軌道は、X Z 平面上において、X 軸に対して角度 θ_0 をなす。また、切れ刃 2 A の軌道は、X Y 平面上において、X 軸に対して角度 θ_1 をなす。切削線 2 O は、X 軸上に形成される。したがって切削線 2 O は、回転対称面 1 A の稜線 1 B に相当する。

[0078] 2. 補正なし軌道の場合

切れ刃を補正なし軌道に沿って送る場合、切れ刃 2 A の X Z 面への射影像（図 5 参照）において、角度 θ （第 1 の傾斜角度）が目標角度 θ_s に一致しなければならない。ホルダ 2 が送り機構 106 に取り付けられたときに、角度 θ が目標角度 θ_s に一致するように、切れ刃 2 A の傾きが調整される。

[0079] たとえば、ダイヤルゲージなどの測定器を用い、切れ刃 2 A の 2 以上の部分から、切れ刃 2 A の傾斜角度を測定する。シムなどをチップのホルダに挿入して取り付け角度が補正される。ホルダ 2 が、切れ刃 2 A の取り付け角度を補正するための機構を有する場合には、切れ刃 2 A の傾斜角度を測定した後、当該補正機構によって切れ刃 2 A の取り付け角度を補正することができる。切れ刃 2 A の傾斜角度は、上述したダイヤルゲージ、あるいは、プリセッターといった測定器によって測定することができる。

[0080] (1) 軌道

図 9 は、補正なし軌道の場合の機械部品 1 の加工方法を説明するための模式図である。図 9 に示されるように、まず、切れ刃 2 A の先端 3__1 が切削開始位置に位置付けられる。「先端」は、機械部品 1 に最初に接触する切れ刃 2 A の端部を指す。切削開始位置における先端 3__1 の座標は、(X, Y

, Z) = $(R_{\max}, 0, Z_{\min})$ である。

[0081] 切れ刃 2 A を、回転する機械部品 1 に接触させながら送ることによって、回転対称面 1 A が加工される。切れ刃 2 A の先端 3__1 は、軌道 $(X, Y, Z) = (R_{\max} - t, -t \times \tan \theta_1, Z_{\min} + t \times \tan \theta_0)$ に沿って変化する。 t は、0 から $(R_{\max} - R_{\min})$ まで変化する変数である。

[0082] 次に、切れ刃 2 A の先端および後端の初期位置についてより詳細に説明する。図 9 に示されるように、切れ刃 2 A の後端 3__5 は、先端 3__1 と反対側に位置する切れ刃 2 A の端部である。「初期位置」とは、切削開始時における位置である。切れ刃 2 A の先端 3__1 の初期位置が「切削開始位置」に一致する。

[0083] 図 10 は、補正なし軌道に沿って切れ刃を送る場合における、切れ刃 2 A の先端 3__1 および後端 3__5 の初期位置を説明するための模式図である。上述の通り、切れ刃 2 A の先端 3__1 の初期位置は、 $(R_{\max}, 0, Z_{\min})$ である。切れ刃 2 A の後端 3__5 の初期位置は、 $(R_{\max} + L_{XY} \times \cos \beta, 0, Z_{\min} + L_{XZ} \times \cos \theta)$ である。切れ刃 2 A の先端の初期位置と切れ刃 2 A の後端の初期位置との差の X 軸成分、Y 軸成分、Z 軸成分を、 (dX, dY, dZ) と表す。 dX, dY, dZ の間には、以下の関係が成立する。

[0084] [数7]

$$dX^2 + dY^2 + dZ^2 = L^2$$

$$dY = dX \tan \beta$$

$$dZ = dX \tan \theta$$

$$dX = L \sqrt{\frac{1}{1 + \tan^2 \beta + \tan^2 \theta}}$$

$$L_{XY} = \sqrt{dX^2 + dY^2} = L \sqrt{\frac{1 + \tan^2 \beta}{1 + \tan^2 \beta + \tan^2 \theta}}$$

$$L_{XZ} = \sqrt{dX^2 + dZ^2} = L \sqrt{\frac{1 + \tan^2 \theta}{1 + \tan^2 \beta + \tan^2 \theta}}$$

[0085] 図 11 は、切れ刃 2 A の後端の軌道を説明するための模式図である。切削

終了時における切れ刃 2 A の後端 3__5 の位置を「最終位置」と呼ぶ。最終位置は、切削終了位置に相当する。

[0086] 図 1 1 に示されるように、切れ刃 2 A の後端 3__5 の最終位置は、 $(R_{\min}, 0, Z_{\max})$ である。切れ刃 2 A の後端 3__5 の最終位置と初期位置との差の X 軸成分、Y 軸成分、Z 軸成分を $(\delta X, \delta Y, \delta Z)$ と表す。 $\delta X, \delta Y, \delta Z$ の間には、以下の関係が成立する。

[0087] [数8]

$$\delta X = R_{\max} - R_{\min} - L_{XY} \cos \beta$$

$$\delta Y = L_{XY} \sin \beta$$

$$\delta Z = Z_{\max} - Z_{\min}$$

[0088] 角度 $\theta_s, \theta_0, \theta_1$ の間には、以下の関係が成立する。

[0089] [数9]

$$\tan \theta_0 = \frac{\delta Z}{\delta X} = \tan \theta_s$$

$$\tan \theta_1 = \frac{\delta Y}{\delta X} = \frac{L_{XY} \sin \beta}{R_{\max} - R_{\min} - L_{XY} \cos \beta}$$

[0090] 回転対称面 1 A が X Y 平面に対してなす目標角度 θ_s 、回転対称面 1 A の最大半径 $R_{\max}$ および回転対称面 1 A の最小半径 $R_{\min}$ は設計値である。角度 β 、および角度 θ は測定値である。切れ刃 2 A の長さ L は、予め定められた値である。したがって、これらの値は、回転対称面 1 A の加工開始前に取得することができる。

[0091] 図 2 に示した製造装置 1 0 0 において、これらの値は、入力部 1 0 1 に入力されて、たとえば記憶部 1 0 3 に記憶される。制御部 1 0 4 は、上記の式に従い、最大半径 $R_{\max}$ と、最小半径 $R_{\min}$ と、角度 β と、角度 θ と、長さ L とから、 $\tan \theta_0, \tan \theta_1$ を算出することができる。したがって制御部 1 0 4 は、切れ刃 2 A の先端 3__1 の軌道を算出することができる。

[0092] (2) 加工結果

図 1 2 は、切れ刃 2 A の軌跡をモニタするための切れ刃 2 A の 5 つの領域

を示した図である。先端 3__1 および後端 3__5 に加えて、切れ刃 2 A の領域 3__2, 3__3, 3__4 が、点によって表される。なお、領域 3__2, 3__3, 3__4 の位置は、先端 3__1 と後端 3__5 との間の長さを 4 等分する位置に対応する。

[0093] 図 1 3 は、R Z 平面における、切れ刃 2 A の先端および後端の軌跡を模式的に示した模式図である。「R Z 平面」は、回転対称面 1 A の半径および回転軸線（Z 軸）によって定まる平面である。図 1 3 では、切れ刃 2 A の先端 3__1 が描く軌跡 4__1 および、切れ刃 2 A の後端 3__5 が描く軌跡 4__5 が示される。R Z 平面における加工形状は、切れ刃 2 A の各領域が R Z 平面上で描く軌跡の包絡線に対応する。

[0094] 図 1 4 は、切れ刃 2 A の角度 θ が目標角度 θ_s に等しい場合における、R Z 平面上の加工形状を計算した結果を示した図である。図 1 5 は、図 1 4 に示された計算結果に基づいて、加工面と、設計上の面との間の Z 軸方向の差分 ΔZ を表した図である。グラフ中の各曲線は、切れ刃 2 A の先端 3__1、後端 3__5 および領域 3__2 ~ 3__4 のそれぞれに対応付けられる。図 1 4 および図 1 5 に示されるように、切れ刃 2 A の角度 θ が目標角度 θ_s に等しい場合には、 $\Delta Z = 0$ である。すなわち、切削加工によって、設計通りの面を形成することができる。

[0095] 図 1 6 は、切れ刃 2 A の角度 θ が目標角度 θ_s よりも大きい場合における、R Z 平面上の加工形状を計算した結果を示した図である。図 1 7 は、図 1 6 に示された計算結果に基づいて、加工面（回転対称面 1 A）と設計上の面 1 1 との間の Z 軸方向の差分 ΔZ を表した図である。図 1 6 および図 1 7 に示されるように、 $\theta > \theta_s$ の場合、半径 R が小さくなるほど、 ΔZ が正方向に増大する。すなわち、 $\theta > \theta_s$ の場合には、削り残しが生じる。

[0096] 図 1 8 は、切れ刃 2 A の角度 θ が目標角度 θ_s よりも小さい場合における、R Z 平面上の加工形状を計算した結果を示した図である。図 1 9 は、図 1 8 に示された計算結果に基づいて、加工面（回転対称面 1 A）と設計上の面 1 1 との間の Z 軸方向の差分 ΔZ を表した図である。図 1 8 および図 1 9 に示

されるように、 $\theta < \theta_s$ の場合、半径Rが小さくなるほど、 ΔZ が負方向に増大する。すなわち、 $\theta < \theta_s$ の場合には、削り過ぎが生じる。

[0097] 図14～図19に示されるように、切削加工によって設計通りの面を形成するためには、切れ刃2Aの角度 θ を角度 θ_s に一致させなければならない。しかしながら、現実には、切れ刃2Aの角度 θ と目標角度 θ_s とを一致させることは難しいことが多い。角度 θ が目標角度 θ_s からずれた場合、削り残しあるいは削り過ぎが発生する。

[0098] 切れ刃2Aの傾きを調整する機構（たとえば回転機構）を有するホルダを用いた場合、ホルダ2を送り機構106に取り付けた後に、切れ刃2Aの角度 θ を調整することができる。しかし、そのような機構の部分は、ホルダ2の他の部分に比べて剛性が低くなりやすい。したがって、硬い材料（たとえば焼入れされた鋼材）を切削する場合に、切れ刃2Aの傾きが変動する可能性がある。切れ刃2Aの傾きが変動した場合、設計通りに機械部品を加工することは、より難しい。

[0099] 3. 補正された切削開始位置および補正された軌道の場合

本発明の第1の実施の形態では、切れ刃2Aの角度 θ および角度 β に応じて切削開始位置および軌道が補正される。

[0100] (1) 切削開始位置および軌道の補正

図20は、本発明の第1の実施の形態に係る製造方法を模式的に説明するためのXY平面図である。図21は、本発明の第1の実施の形態に係る製造方法を模式的に説明するためのRZ平面図である。図20において示されるように、本発明の第1の実施の形態では、切削開始位置を、X軸上の位置からY軸方向に補正量 ΔY だけずらす。切削開始位置の座標、すなわち切れ刃2Aの先端3__1の初期位置は、 $(R_{\max}, \Delta Y, Z_{\min})$ である。なお、図21に示されるとおり、切れ刃2AはZ軸に対して 0° より大きく 90° より小さい角度で傾けられている。

[0101] 次に、切れ刃2Aが送られて、回転対称面1Aが加工される。切れ刃2Aの先端3__1の座標 (X, Y, Z) は、軌道 $(R_{\max} - t, \Delta Y - t \times \tan \theta,$

$'$, $Z_{\min} + t \times \tan \theta'_0$) に沿って変化する。 t は、 0 から $(R_{\max} - R_{\min})$ まで変化する変数である。したがって軌道は、 X 軸、 Y 軸および Z 軸のすべての軸の方向の移動量を有する。すなわち切れ刃の軌道の方向は、 X 軸、 Y 軸、 Z 軸の各々の軸を横断する方向である。切削線 20 は、 XY 平面上において、 X 軸に対して角度 ϕ をなし、 XY 座標系の原点を通る。

[0102] 本発明の第 1 の実施の形態によれば、切削開始位置が Y 軸方向に ΔY だけ移動する。角度 θ_0 , θ_1 が角度 θ'_0 , θ'_1 に置き換えられる。これにより、図 21 に示されるように、 RZ 平面において、加工面の角度を目標角度 θ_s に一致させることが可能となる。したがって機械部品 1 を精度よく製造することができる。さらに、製造装置 100 を動作させるためのプログラムの変更を少なくすることができる。

[0103] 次に、補正量 ΔY および角度 θ'_0 , θ'_1 の決定について詳細に説明する。

図 22 は、補正された軌道に沿って切れ刃 2A を送る場合における、切れ刃 2A の先端 3__1 および後端 3__5 の初期位置を説明するための図である。図 22 を参照して、切れ刃 2A の先端 3__1 は、 XY 平面において半径 $R_{\max}$ の円周上に位置する。先端 3__1 と原点とを結ぶ直線は、 XY 平面において、 X 軸に対して角度 ϕ をなす。切れ刃 2A の先端 3__1 の位置は、 $(R_{\max} \cos \phi, R_{\max} \sin \phi, Z_{\max})$ と表される。

[0104] X' 軸および Y' 軸は、それぞれ、 X 軸、 Y 軸を Z 軸に関して時計回りに角度 ϕ 回転させた軸である。角度 ϕ は、 $X'Z$ 平面において、切れ刃 2A の取り付け角度が目標角度 θ_s に一致するときの角度である。 $X'YZ$ 座標系における、切れ刃 2A の先端 3__1 の初期位置と切れ刃 2A の後端 3__5 の初期位置との差の X 軸成分、 Y 軸成分、 Z 軸成分を、 (dX', dY', dZ) と表す。 dX' , dY' , dZ の間には、以下の関係が成立する。なお、以下に示す dX , dY , dZ は、補正なし軌道に沿って切れ刃を送る場合における、切れ刃 2A の先端の初期位置と切れ刃 2A の後端の初期位置との差の X 軸成分、 Y 軸成分、 Z 軸成分である（図 10 を参照）。

[0105]

[数10]

$$dX = L_{XY} \cos \beta$$

$$dZ = dX \tan \theta$$

$$dX' = L_{XY} \cos(\phi + \beta)$$

[0106] さらに、以下の関係が成立する。

[0107] [数11]

$$\frac{dZ}{dX'} = \tan \theta_s \text{となるには}$$

$$\frac{dZ}{dX'} = \frac{L_{XY} \cos \beta}{L_{XY} \cos(\phi + \beta)} \tan \theta = \tan \theta_s$$

[0108] 上記の式から、次の関係が導かれる。

[0109] [数12]

$$\frac{\cos(\phi + \beta)}{\cos \beta} = \frac{\tan \theta}{\tan \theta_s}$$

$$\Delta Y = R_{\max} \sin \phi$$

[0110] 図23は、切れ刃2Aの後端3__5の軌道を説明するための模式図である。図23に示されるように、X' Z平面への切れ刃2Aの射影像は、X' 軸に対して傾けられる。切れ刃2Aの傾斜角度は目標角度 θ_s に一致する。

[0111] X' Y' Z座標系における、切れ刃2Aの後端3__5の最終位置と初期位置との差のX軸成分、Y軸成分、Z軸成分を($\delta X'$, $\delta Y'$, δZ)と表す。 $\delta X'$, $\delta Y'$, δZ の間には、以下の関係が成立する。

[0112] [数13]

$$\delta X' = R_{\max} - R_{\min} - L_{XY} \cos(\phi + \beta)$$

$$\delta Y' = L_{XY} \sin(\phi + \beta)$$

$$\delta Z = Z_{\max} - Z_{\min}$$

[0113] すなわち δX , δY , δZ における角度 β を($\beta + \phi$)に置き換えることによって $\delta X'$, $\delta Y'$, δZ が導かれる。

[0114] 図22に戻り、切れ刃2Aの後端3__5の軌道がX' 軸に対してなす角度

を γ とする。上記の式により、角度 θ'_1 は、以下のように表現される。

[0115] [数14]

$$\tan \gamma = \frac{\delta Y'}{\delta X'} = \frac{L_{XY} \sin(\phi + \beta)}{R_{\max} - R_{\min} - L_{XY} \cos(\phi + \beta)}$$

$$\theta'_1 = \gamma + \phi$$

[0116] $\delta X'$ は、元の XY 座標系において、以下のように表現される。

[0117] [数15]

$$\delta X = \delta X' \cos \phi - \delta Y' \sin \phi = (\cos \phi - \sin \phi \tan \gamma) \delta X'$$

[0118] したがって、角度 θ'_0 は、以下のように表現される。

[0119] [数16]

$$\tan \theta'_0 = \frac{\delta Z}{\delta X} = \frac{\delta Z}{\delta X'} \frac{1}{\cos \phi - \sin \phi \tan \gamma} = \frac{\tan \theta_s}{\cos \phi - \sin \phi \tan \gamma}$$

[0120] 図24は、 XZ 平面上における、切れ刃2Aの補正された軌道を説明した図である。図25は、 XY 平面上における、切れ刃2Aの補正された軌道を説明した図である。図24および図25を参照して、角度 θ'_0 および角度 θ'_1 は、製造装置100（図2参照）において、回転対称面1Aの加工のためのプログラムに用いられる角度（プログラム角度）である。角度 γ は、 XY 平面上において、切れ刃2Aの軌跡と切削線20とのなす角度である。角度 ϕ は、 XY 平面上において、切削線20と X 軸とのなす角度である。長さ L_{XY} は、切れ刃2Aの XY 平面上的射影像の長さである。

[0121] 角度 γ 、角度 ϕ および長さ L_{XY} は以下のように表現される。

[0122]

[数17]

$$L_{XY} = L \sqrt{\frac{1 + \tan^2 \beta}{1 + \tan^2 \beta + \tan^2 \theta}} \quad \dots (1)$$

$$\frac{\cos(\beta + \phi)}{\cos \beta} = \frac{\tan \theta}{\tan \theta_s}$$

$$\therefore \phi = \cos^{-1} \left(\cos \beta \times \frac{\tan \theta}{\tan \theta_s} \right) - \beta \quad \dots (2)$$

$$\tan \gamma = \frac{L_{XY} \sin(\beta + \phi)}{R_{\max} - R_{\min} - L_{XY} \cos(\beta + \phi)}$$

$$\therefore \gamma = \tan^{-1} \left(\frac{L_{XY} \sin(\beta + \phi)}{R_{\max} - R_{\min} - L_{XY} \cos(\beta + \phi)} \right) \quad \dots (3)$$

[0123] 角度 γ および角度 ϕ から、補正量 ΔY 、 $\tan \theta'_0$ および $\tan \theta'_1$ は次の式に従って求められる。

[0124] [数18]

$$\Delta Y = R_{\max} \sin \phi \quad \dots (4)$$

$$\tan \theta'_1 = \tan(\phi + \gamma) \quad \dots (5)$$

$$\tan \theta'_0 = \frac{\tan \theta_s}{\cos \phi - \sin \phi \tan \gamma} \quad \dots (6)$$

[0125] (2) 加工結果

図26は、切れ刃2Aの角度 θ が目標角度 θ_s よりも大きい場合における、RZ平面上の加工形状を計算した結果を示した図である。図27は、切れ刃2Aの角度 θ が目標角度 θ_s よりも小さい場合における、RZ平面上の加工形状を計算した結果を示した図である。図26および図27には、切れ刃2Aの先端3__1、後端3__5および領域3__2, 3__3, 3__4の軌跡が示される。角度 θ が目標角度 θ_s よりも大きい場合、角度 θ が目標角度 θ_s よりも小さい場合のいずれにおいても、切削開始から切削終了までの間、 ΔZ を0に維持できる。すなわち、本発明の第1の実施の形態によれば、稜線1BがX

Y平面に対して目標角度 θ_s をなすように、回転対称面1Aを加工することができる。

[0126] 本発明の第1の実施の形態によれば、切れ刃2Aの角度 θ 、および角度 β が同じ値を保つ限り、切削開始位置および軌道のさらなる補正は不要である。ホルダ2は切れ刃2の回転を阻止するように構成されているので、切れ刃2Aの角度 θ および角度 β を保つことができる。設定された切削開始位置から、その軌道に沿って切れ刃2Aを送ることで、高い精度を有する機械部品を繰り返し製造することができる。さらに、先に説明した通り、本発明の実施の形態では、切削開始から切削終了までの間、直線状の切れ刃2Aの個々の領域が回転対称面1Aに順次接触する。したがって回転対称面1Aの面粗さおよび切れ刃の寿命の点においても優れている。

[0127] 図28は、本発明の第1の実施の形態に係る製造方法を示したフローチャートである。図28に示されるように、ステップS01において、切削チップ2Bがホルダ2に取り付けられる。さらに、ホルダ2が製造装置100（送り機構106）に取り付けられる。

[0128] ステップS10において、角度 β および角度 θ が測定される。角度 β および角度 θ の測定には、公知の種々の方法を用いることができるので、ここでは詳細な説明を繰り返さない。たとえば、ダイヤルゲージあるいはプリセッターといった測定器を用いて、角度 β および角度 θ が測定される。

[0129] ステップS20～S40の処理は、記憶部103に記憶されたプログラムを制御部104が読み出すことによって実行される。ステップS20において、制御部104は、表示部102を制御して、回転対称面1Aの加工に必要な値の入力をユーザに促す画面を表示する。ユーザは入力部101を操作することにより、入力部101に、最大半径 R_{max} 、最小半径 R_{min} 、角度 θ_s 、角度 β 、角度 θ および長さLの値を入力する。すなわち入力部101は上記の値を受け付ける。入力部101が受け付けた値は、たとえば記憶部103に記憶される。入力部101が受け付けた値は制御部104に記憶されてもよく、記憶部103および制御部104の両方に記憶されてもよい。

- [0130] ステップS30において、制御部104は、切削開始位置および切れ刃2Aの軌道を算出する。たとえば演算部110が、 ΔY 、 $\tan \theta'_0$ および $\tan \theta'_1$ を算出する。具体的には、演算部110が、上述の式(1)～式(3)に従って、長さ L_{xy} 、角度 γ および角度 ϕ を算出する。さらに演算部110は、上述の式(4)～式(6)に従って、 ΔY 、 $\tan \theta'_0$ および $\tan \theta'_1$ を算出する。 ΔY 、 $\tan \theta'_0$ および $\tan \theta'_1$ は、記憶部103に記憶される。なお、プログラムの内容に応じて、角度 θ'_0 および／または角度 θ'_1 が記憶部103に記憶されてもよい。
- [0131] ステップS40において、回転対称面1Aが加工される。制御部104は、駆動部105を制御することにより、送り機構106を制御する。これにより、ホルダ2の送りが制御される。すなわち制御部104は、切れ刃2Aの送りを制御する。
- [0132] まず制御部104は、切れ刃2Aの先端3__1を、切削開始位置(R_{max} 、 ΔY 、 Z_{min})に位置付ける(ステップS41)。次に、制御部104は、軌道($R_{max}-t$ 、 $\Delta Y-t \times \tan \theta'_1$ 、 $Z_{min}+t \times \tan \theta'_0$)に沿って切れ刃2Aの先端3__1の位置が変化するように、切れ刃2Aを送る(ステップS42)。ステップS42において制御部104は、変数 t を0から($R_{max}-R_{min}$)まで変化させつつ、その変数 t によって決定される座標に切れ刃2Aの先端3__1が位置するように切れ刃2Aを移動させる。
- [0133] 2回目以後の加工においては、ステップS40の処理が繰り返される。制御部104は、 ΔY 、 $\tan \theta'_0$ 、 $\tan \theta'_1$ を記憶部103から読み出して、ステップS41、S42の処理を実行する。なお、同一の処理が繰り返される間は、制御部104が、 ΔY 、 $\tan \theta'_0$ 、 $\tan \theta'_1$ を記憶してもよい。
- [0134] 図28に示したフローによれば、制御部104は、ステップS40の処理よりも前に、 ΔY 、 $\tan \theta'_0$ 、 $\tan \theta'_1$ を算出し、次に、切削開始位置および軌道を算出する。しかしながら、制御部104は、ステップS41において、補正量 ΔY を算出し、ステップS42において、 $\tan \theta'_0$ および

$\tan \theta'_1$ を算出してもよい。すなわち、切削開始位置および軌道は、それが必要となる工程において算出されてもよい。

[0135] さらに、ステップS40の後、あるいはステップS01の前に、機械部品1を製造するために必要な、さらなる工程が実行されてもよい。たとえばステップS40の後に、機械部品1を検査するための検査工程が実行されてもよい。

[0136] ステップS20およびステップS30の処理を実行するコンピュータは、製造装置100の制御部104であると限定されない。製造装置100の外部に設けられたコンピュータがステップS20およびステップS30の処理を実行してもよい。この場合、ステップS40の前に、 ΔY 、 $\tan \theta'_0$ 、 $\tan \theta'_1$ を受け付ける工程を追加することができる。制御部104への ΔY 、 $\tan \theta'_0$ および $\tan \theta'_1$ の入力は、たとえばユーザによる入力部101の操作、通信回線によるデータの転送など、種々の公知の手段を適用することができる。

[0137] 本発明の第1の実施の形態に係る切削開始位置および軌道の算出は、 $\theta = \theta_s$ の場合を含むことができる。すなわち、 $\theta = \theta_s$ の場合 $\theta'_0 = \theta_0$ 、 $\theta'_1 = \theta_1$ となる。本発明の実施の形態によれば、角度 θ が目標角度 θ_s と異なる場合だけでなく、角度 θ が目標角度 θ_s に等しい場合にも、切削開始位置および軌道を算出することができる。すなわち本発明の第1の実施の形態は、角度 θ 、 β の測定値、および、予め定められた値（切れ刃2Aの長さL、回転対称面1Aの最大半径 $R_{\max}$ 、回転対称面1Aの最小半径 $R_{\min}$ 、および目標角度 θ_s ）に基づいて、切削開始位置および軌道を算出することができる。

[0138] また、目標角度 θ_s に代えて、図1に示された角度 θ_a を用いて、切削開始位置および軌道を算出してもよい。理想的には、 $\theta_a + \theta_s = 90^\circ$ である。したがって角度 θ_s を $(90 - \theta_a)$ と置き換えることができる。すなわち、X軸、Y軸およびZ軸のうちの2つの軸によって決定される平面において、一方の軸に対する傾斜角度を、他方の軸に対する傾斜角度に置き換えることができる。その場合にも、式(1)～式(6)を導き出すことができる。

[0139] (第2の実施の形態)

図29は、本発明の第2の実施形態に係る製造方法を示した斜視図である。この実施の形態では、機械部品1は円柱形を有する。回転対称面1Aは、円柱の側面である。回転対称面1Aは、回転軸線10に平行な母線によって規定される。母線は、稜線1Bに相当する。母線を回転軸線10の周囲に回転させることによって形成される面が回転対称面1Aである。

[0140] たとえば機械部品1は、シャフトである。しかし、機械部品1の種類は、特に限定されない。また、図29に示された円柱が機械部品1の一部であってもよい。なお、機械部品1は中空であってもよい。すなわち、機械部品1は円筒形を有していてもよい。

[0141] 本発明の第2の実施形態に係る製造装置の構成は、図2に示された構成と同様であるので、以後の説明は繰り返さない。本発明の第2の実施の形態に係る製造方法、特に回転対称面の加工を以下に詳細に説明する。

[0142] 1. パラメータの定義

図30は、YZ平面上に射影された切れ刃2Aを模式的に示した模式図である。図30に示されるように、角度 β ($=\theta_{yz}$)は、YZ平面において、切れ刃2AがZ軸に対してなす傾斜角度(第1の傾斜角度)である。 L_{yz} は、切れ刃2AのYZ平面への射影長さである。Rは、回転対称面1Aの半径である。 Z_{max} は、回転対称面1AのZ座標の最大値である。 Z_{min} は、回転対称面1AのZ座標の最小値である。 $Z=Z_{min}$ をZ軸の原点の位置とする。すなわち $Z_{min}=0$ である。以下では、 Z_{max} を機械部品1の高さとも呼ぶ。

[0143] 角度 β は、YZ平面において、ホルダ2がZ軸に対してなす傾斜角度と定義してもよい。角度 β は、切れ刃2AがZ軸に対してなす角度が 90° である状態からのホルダ2の傾きとして定義することができる。ホルダ2を送り機構106に取り付ける際に、ホルダ2は、X軸に平行な回転軸を中心としてYZ平面内で回転可能である。ホルダ2を送り機構106に取り付けた後は、ホルダ2は、X軸に平行な回転軸の周りには回転不可となる。

[0144] 図31は、XZ平面上に射影された切れ刃2Aを模式的に示した模式図で

ある。図 3 1 に示されるように、角度 θ_{xz} は、X Z 平面において、切れ刃 2 A が Z 軸に対してなす傾斜角度（第 2 の傾斜角度）である。角度 θ_{xz} ができるだけ 0° に近づくように切削チップ 2 B がホルダ 2 に取り付けられる。 L_{xz} は、切れ刃 2 A の X Z 平面への射影長さである。

[0145] 図 3 2 は、X Y 平面上に射影された切れ刃 2 A を模式的に示した模式図である。図 3 2 に示されるように、角度 θ_{xy} は、X Y 平面において、切れ刃 2 A が Y 軸に対してなす傾斜角度である。 L_{xy} は、切れ刃 2 A の X Y 平面への射影長さである。

[0146] 図 3 2 に示された円は、X Y 平面上に射影された回転対称面 1 A を表す。切れ刃 2 A は、この円の接線に沿って X Y 平面上を移動する。切削開始時における切れ刃 2 A の先端 3 __ 1 の位置は、円の接点に相当する。

[0147] 図 3 0 ~ 図 3 2 によれば、 $\beta > 0$ 、 $\theta_{xz} > 0$ および $\theta_{xy} > 0$ である。ホルダ 2 への切削チップ 2 B の取り付けに基づいて、角度 θ_{xz} は負の値（ $\theta_{xz} < 0$ ）になり得る。

[0148] 切れ刃 2 A の先端 3 __ 1 の初期位置と、切れ刃 2 A の後端 3 __ 5 の初期位置との差の X 軸成分、Y 軸成分、Z 軸成分を（ dX 、 dY 、 dZ ）と表す。以下の関係式が成立するように、角度 θ_{xy} 、 θ_{xz} 、 θ_{yz} の符号が定義される。

[0149] [数19]

$$dY = dZ \tan \theta_{yz} = dZ \tan \beta$$

$$dX = dZ \tan \theta_{xz}$$

$$dX = dY \tan \theta_{xy}$$

[0150] 角度 θ_{xy} 、 θ_{xz} 、 θ_{yz} （ $= \beta$ ）の間には以下の関係が成立する。

[0151] [数20]

$$\tan \theta_{xy} = \frac{\tan \theta_{xz}}{\tan \theta_{yz}} = \frac{\tan \theta_{xz}}{\tan \beta}$$

[0152] $\tan \theta_{xy} = \tan \theta_{xz} / \tan \beta$ から明らかなように、X Y 平面内の切れ刃 2 A の角度 θ_{xy} は、角度 θ_{xz} 、 β から求めることができる。したがって角度 θ_{xy} を製造装置 1 0 0 に入力することは必須ではない。

[0153] L_{YZ} , L_{XZ} , L_{XY} は、以下の式に従って表される。 L は、切れ刃 2 A の長さを表す。

[0154] [数21]

$$dX^2 + dY^2 + dZ^2 = L^2$$

$$L_{XY} = \sqrt{dX^2 + dY^2} = L \sqrt{\frac{\tan^2 \theta_{XZ} + \tan^2 \beta}{1 + \tan^2 \theta_{XZ} + \tan^2 \beta}}$$

$$L_{YZ} = \sqrt{dY^2 + dZ^2} = L \sqrt{\frac{1 + \tan^2 \beta}{1 + \tan^2 \theta_{XZ} + \tan^2 \beta}}$$

$$L_{XZ} = \sqrt{dX^2 + dZ^2} = L \sqrt{\frac{1 + \tan^2 \theta_{XZ}}{1 + \tan^2 \theta_{XZ} + \tan^2 \beta}}$$

[0155] 角度 β は、接触抵抗と面粗さとの観点から設定することができる。図 3 3 は、YZ 平面上の切れ刃の角度 β を説明するための図である。図 3 3 を参照して、切れ刃 2 A を RZ 平面に投影した場合、その投影像は曲線である。なお、「RZ 平面」は、回転対称面 1 A の半径 (R) および回転軸線 (Z) によって定まる平面である。

[0156] 角度 β が大きいほど切れ刃 2 A の投影像の曲率は小さい。したがって、切削幅は大きい。一方、角度 β が小さいほど切れ刃 2 A の投影像の曲率は大きい。したがって、切削幅は小さい。

[0157] 角度 β が大きい場合には、切削幅が大きいために切れ刃 2 A の接触抵抗が大きい。一方で、加工面の面粗さは小さい。逆に、角度 β が小さい場合には、切削幅が小さいために切れ刃 2 A の接触抵抗が小さい。しかしながら、加工面の面粗さが大きい。

[0158] 上記の通り、角度 β を変化させることにより、接触抵抗および面粗さが変化する。接触抵抗と面粗さとは、互いにトレードオフの関係にある。したがって、接触抵抗と面粗さとの両方が要求される水準となるように、角度 β を決定することができる。

[0159] 角度 β が 0° の場合、切れ刃 2 A が機械部品 1 の回転方向に対して垂直の方向に向けられるため、接触抵抗が大きい。一方、角度 β が 90° の場合、

切れ刃 2 A が機械部品 1 の回転方向に向けられるため、機械部品 1 の加工が難しくなる。したがって、この実施の形態では、 $0^\circ < \beta < 90^\circ$ となるように角度 β が定められる。好ましくは、角度 β は、 $20^\circ \leq \beta \leq 70^\circ$ である。より好ましくは、角度 β は、 $30^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$ であり、さらに好ましくは、角度 β は、 45° である。

[0160] 2. 補正なし軌道の場合

切れ刃 2 A を補正なし軌道に沿って送る場合、切れ刃 2 A の X Z 面への射影像において、角度 θ_{xz} が 0° に一致しなければならない。このためには、ホルダ 2 が送り機構 106 に取り付けられたときに、角度 θ_{xz} が 0° に等しくなるように切れ刃 2 A の角度を調整する必要がある。たとえば第 1 の実施の形態に例示される方法が適用される。

[0161] (1) 軌道

図 34 は、補正なし軌道の場合の機械部品 1 の加工方法を説明するための Y Z 平面図である。図 35 は、補正なし軌道の場合の機械部品 1 の加工方法を説明するための X Z 平面図である。

[0162] 図 34 に示されるように、まず、切れ刃 2 A の先端 3__1 が切削開始位置に位置付けられる。図 34 および図 35 に示されるように、補正なし軌道の場合における切削開始位置を、三次元直交座標系の原点に設定する。

[0163] 切れ刃 2 A を、回転する機械部品 1 に接触させながら送ることによって、回転対称面 1 A が加工される。図 35 に示されるように、切れ刃 2 A の X Z 平面への射影像は、Z 軸に平行（すなわち $\theta_{xz} = 0$ ）である。

[0164] 切れ刃 2 A は、X Z 平面内で直線的に移動するとともに、Y Z 平面内で直線的に移動する。以後の説明において、「X Z プログラム角」との用語は、X Z 平面内における切れ刃 2 A の移動方向と Z 軸とのなす角度を意味する。「Y Z プログラム角」との用語は、Y Z 平面内における切れ刃 2 A の移動方向と Z 軸とのなす角度を意味する。

[0165] 補正なし軌道の場合における、X Z プログラム角および Y Z プログラム角をそれぞれ θ_1 および θ_2 と表す。角度 θ_1 、 θ_2 は、以下の式に従って表すこと

ができる。

[0166] [数22]

$$\theta_1 = 0$$

$$\tan \theta_2 = \frac{L_{YZ} \sin \beta}{Z_{\max} - Z_{\min} - L_{YZ} \cos \beta}$$

[0167] 図36は、YZ平面上のプログラム角度 θ_2 と第1の傾斜角度 β との関係を説明するための図である。図36には、三角形が示される。三角形の1つの辺の長さは、 $Z_{\max}$ である。三角形のもう1つの辺は切れ刃2Aに相当する。したがって、その辺の長さは、 L_{YZ} である。これら2つの辺のなす角度は β である。

[0168] 切れ刃2Aの後端3__5から、長さ $Z_{\max} - Z_{\min}$ の辺に垂線を引く。この垂線の長さは、 $L_{YZ} \sin \beta$ である。したがって、 $\tan \theta_2 = (L_{YZ} \sin \beta) / (Z_{\max} - Z_{\min} - L_{YZ} \cos \beta)$ の関係が成立する。

[0169] 図37は、補正なし軌道の場合の機械部品1の加工方法を説明するためのXY平面図である。図37を参照して、 $\theta_{XY} = 0$ であるため、切れ刃2Aは、Y軸に平行に移動する。

[0170] 軌道の補正を行わない場合、以下の手順に従って機械部品1が加工される。

(a) XZ平面内での切れ刃2Aの傾斜角度が 0° となるように、切削チップ2Bをホルダ2に取り付けるとともにホルダ2を送り機構106に取り付ける。

[0171] (b) プログラム角度 θ_2 を算出する($\theta_{xz} = 0$)。

(c) 切れ刃2Aの先端3__1を切削開始位置(X, Y, Z) = ($R, 0, Z_{\min}$)に位置付ける。

[0172] (d) 切れ刃の先端3__1の座標を、軌道(X, Y, Z) = ($R, -t \times \tan \theta_2, Z_{\min} + t$)に沿って移動させる。 t は、0から($Z_{\max} - Z_{\min}$)まで変化する変数である。軌道のX軸成分は一定であるため、切れ刃2Aは、XY平面上においてY軸に平行に移動する。

[0173] (2) 加工結果

図38は、RZ平面における、切れ刃2Aの先端および後端の軌跡を模式的に示した模式図である。図38では、切れ刃2Aの先端3__1が描く軌跡4__1および、切れ刃2Aの後端3__5が描く軌跡4__5が示される。RZ平面における加工形状は、切れ刃2Aの各領域がRZ平面上で描く軌跡の包絡線に対応する。

[0174] 図39は、切れ刃2Aの第2の傾斜角度 θ_{xz} が 0° に等しい場合における、RZ平面上の加工形状を計算した結果を示した図である。図40は、図39に示された計算結果に基づいて、加工面と設計上の面との間のR軸方向の差分 ΔR を表した図である。グラフ中の各曲線は、切れ刃2Aの先端3__1、後端3__5および領域3__2～3__4のそれぞれに対応付けられる(図12を参照)。図39および図40に示されるように、角度 θ_{xz} が 0° に等しい場合には、 $\Delta R = 0$ である。すなわち、切削加工によって、設計通りの面を形成することができる。

[0175] 図41は、切れ刃2Aの第2の傾斜角度 θ_{xz} が 0° よりも小さい場合における、RZ平面上の加工形状を計算した結果を示した図である。図42は、図41に示された計算結果に基づいて、加工面(回転対称面1A)と設計上の面11との間のR軸方向の差分 ΔR を表した図である。図41および図42に示されるように、 $\theta_{xz} < 0$ の場合、Zが大きくなるほど、 ΔR が負方向に増大する。すなわち、 $\theta_{xz} < 0$ の場合には削り過ぎが生じる。

[0176] 図43は、切れ刃2Aの第2の傾斜角度 θ_{xz} が 0° よりも大きい場合における、RZ平面上の加工形状を計算した結果を示した図である。図44は、図43に示された計算結果に基づいて、加工面(回転対称面1A)と設計上の面11との間のR軸方向の差分 ΔR を表した図である。図43および図44に示されるように、 $\theta_{xz} > 0$ の場合、Zが大きくなるほど、 ΔR が正方向に増大する。すなわち、 $\theta_{xz} > 0$ の場合には削り残しが生じる。なお、図41および図43において、横軸は、 Z_{min} を基準としたZ軸方向の位置を表している。

[0177] 図40～図44に示されるように、切削加工によって設計通りの面を形成

するためには、切れ刃 2 A の角度 θ_{xz} を 0° に一致させなければならない。しかしながら、現実には、切れ刃 2 A の角度 θ_{xz} を 0° に一致させることは難しいことが多い。切れ刃 2 A の角度 θ_{xz} が 0° からずれた場合、加工対象物の削り残しあるいは削り過ぎが発生する。

[0178] 3. 補正された切削開始位置および補正された軌道

本発明の第 2 の実施の形態では、切れ刃 2 A の角度 β および角度 θ_{xz} に応じて切削開始位置および軌道が補正される。

[0179] (1) 切削開始位置および軌道の補正

図 4 5 は、本発明の第 2 の実施の形態に係る製造方法を模式的に説明するための X Y 平面図である。図 4 6 は、本発明の第 2 の実施の形態に係る製造方法を模式的に説明するための Y Z 平面図である。図 4 7 は、本発明の第 2 の実施の形態に係る製造方法を模式的に説明するための X Z 平面図である。

[0180] 図 4 5 ～図 4 7 において示されるように、本発明の実施の形態では、切削開始位置を、X 軸上において補正量 $|\Delta X|$ だけずらすとともに、Y 軸方向に補正量 $|\Delta Y|$ だけずらす。なお、 $\Delta X = \Delta Y = 0$ の場合の切削開始位置は、 $\theta_{xz} = 0^\circ$ の場合の切削開始位置 $(R, 0, Z_{\min})$ に相当する。切削開始位置の補正量 ΔX , ΔY は、以下の式により表すことができる。

[0181] [数 23]

$$\Delta X = -R(1 - \cos \theta_{XY}) \quad \dots (7)$$

$$\Delta Y = -R \sin \theta_{XY} \quad \dots (8)$$

$$\text{ただし } \tan \theta_{XY} = \frac{\tan \theta_{XZ}}{\tan \theta_{YZ}} = \frac{\tan \theta_{XZ}}{\tan \beta}$$

[0182] 図 4 6 および図 4 7 によれば、 $\beta > 0$ および $\theta_{xz} > 0$ である。すなわち $\theta_{xz} > 0$ 、 $\Delta Y < 0$ かつ $\Delta X < 0$ である。

[0183] 次に、切れ刃 2 A が送られて、回転対称面 1 A が加工される。切れ刃 2 A の先端 3 __ 1 の座標 (X, Y, Z) は、プログラム角 θ_1' および θ_2' に従って変化する。軌道は、X 軸、Y 軸および Z 軸のすべての軸の方向の移動量を有する。すなわち切れ刃の軌道の方向は、X 軸、Y 軸、Z 軸の各々の軸を横

断する方向である。

[0184] 切削線 20 は、回転対称面 1A に接する切れ刃 2A の部分の軌跡に相当する。切削線 20 は、切削開始位置における切れ刃 2A の先端 3__1 と、切削終了位置における切れ刃 2A の後端 3__5 とを結ぶ直線に相当する。切削線 20 は、Z 軸に平行である。

[0185] 切削線 20 は、YZ 平面上において、Z 軸から ΔY だけ Y 軸の正方向にずれる。切削線 20 は、XZ 平面上において、Z 軸から ΔX だけ X 軸の正方向にずれる。

[0186] 本発明の第 2 の実施の形態によれば、切削開始位置が、Y 軸方向に ΔY だけ移動するとともに、X 軸方向に ΔX だけずれる。プログラム角度 θ_1 、 θ_2 がプログラム角度 θ_1' 、 θ_2' に置き換えられる。これにより、XZ 平面において、加工面を設計面に一致させることが可能となる。したがって機械部品 1 を精度よく製造することができる。さらに、製造装置 100 を動作させるためのプログラムの変更を少なくすることができる。

[0187] 式 (7) および式 (8) は、 ΔX 、 ΔY が $\tan \beta$ および $\tan \theta_{xz}$ に基づいて変化することを表す。切削開始位置の X 軸座標および Y 軸座標は、それぞれ、 ΔX および ΔY を含む。したがって、切削開始位置の X 軸座標および Y 軸座標は、角度 β および角度 θ_{xz} にそれぞれ依存する。これにより、回転軸線に対して平行な母線によって規定された回転対称面を有する機械部品を高い精度で加工することができる。

[0188] プログラム角度 θ_1' 、 θ_2' は、次のように表すことができる。

[0189] [数 24]

$$\tan \theta_1' = \frac{L_{XZ} \sin \theta_{XZ}}{Z_{\max} - Z_{\min} - L_{XZ} \cos \theta_{XZ}} \quad \dots (9)$$

$$\tan \theta_2' = \frac{L_{YZ} \sin \beta}{Z_{\max} - Z_{\min} - L_{YZ} \cos \beta} \quad \dots (10)$$

[0190] なお、 $\theta_2' = \theta_2$ である。プログラム角度 θ_1' は、以下のように求められる。切れ刃 2A の先端 3__1 が切削開始位置に位置付けられているとき、切れ

刃 2 A の後端 3__5 の高さ（Z 軸方向の位置）は、 $L_{xz} \cos \theta_{xz}$ と表される。一方、切削線 20 から、切れ刃 2 A の後端 3__5 までの距離は、 $L_{xz} \sin \theta_{xz}$ と表される。

[0191] 仮想線 21 は、切れ刃 2 A の後端 3__5 を通り、切削線 20 および Z 軸に平行な直線である。したがって仮想線 21 と切削線 20 との間の距離は、 $L_{xz} \sin \theta_{xz}$ に等しい。

[0192] プログラム角度 θ_1' は、切れ刃 2 A の後端 3__5 の XZ 平面上の軌道が仮想線 21 となす角度に等しい。仮想線 21 と切削線 20 とは平行である。したがって、プログラム角度 θ_1' は、切れ刃 2 A の後端 3__5 の XZ 平面上の軌道が仮想線 21 となす角度に等しい。

[0193] 切れ刃 2 A の後端 3__5 の XZ 平面上の軌道と、切削線 20 と、切削開始時の切れ刃 2 A の後端 3__5 の位置から、切削線 20 へ下した垂線とによって、三角形が形成される。この三角形において $\tan \theta_1' = L_{xz} \sin \theta_{xz} / (Z_{\max} - Z_{\min} - L_{xz} \cos \theta_{xz})$ の関係が成立する。

[0194] (2) 加工結果

図 48 は、切れ刃 2 A の第 2 の傾斜角度 θ_{xz} が 0° よりも小さい場合における、RZ 平面上の加工形状を計算した結果を示した図である。図 49 は、切れ刃 2 A の第 2 の傾斜角度 θ_{xz} が 0° よりも大きい場合における、RZ 平面上の加工形状を計算した結果を示した図である。

[0195] 図 48 および図 49 には、切れ刃 2 A の先端 3__1、後端 3__5 および領域 3__2, 3__3, 3__4（図 12 参照）の軌跡が示される。角度 θ_{xz} が 0° よりも小さい場合、角度 θ_{xz} が 0° よりも大きい場合のいずれにおいても、切削開始から切削終了までの間、 ΔR を 0 に維持できる。すなわち、本発明の第 2 の実施の形態によれば、回転対称面 1 A を設計通りに加工することができる。

[0196] (3) 製造方法

図 50 は、本発明の第 2 の実施の形態に係る製造方法を示したフローチャートである。図 50 に示された各ステップの処理は、基本的には、図 28 に

示された対応するステップの処理と同じである。ステップS 0 1において、切削チップ2 Bがホルダ2に取り付けられる。さらに、ホルダ2が製造装置1 0 0（送り機構1 0 6）に取り付けられる。

[0197] ステップS 1 0において、角度 θ_{xz} が測定される。角度 θ_{xz} の測定には、公知の種々の方法を用いることができるので、ここでは詳細な説明を繰り返さない。たとえば、ダイヤルゲージあるいはプリセッターといった測定器を用いて、角度 θ_{xz} が測定される。角度 β は、予め定められた角度である。しかしながら角度 θ_{xz} とともに角度 β を測定してもよい。

[0198] ステップS 2 0～S 4 0の処理は、記憶部1 0 3に記憶されたプログラムを制御部1 0 4が読み出すことによって実行される。ステップS 2 0において、制御部1 0 4は、表示部1 0 2を制御して、回転対称面1 Aの加工に必要な値の入力をユーザに促す画面を表示する。ユーザは入力部1 0 1を操作することにより、入力部1 0 1に、回転対称面1 AのZ軸座標の最大値 Z_{max} 、回転対称面1 AのZ軸座標の最小値 Z_{min} 、角度 β 、角度 θ_{xz} および長さLの値を入力する。すなわち入力部1 0 1は上記の値を受け付ける。入力部1 0 1が受け付けた値は、たとえば記憶部1 0 3に記憶される。入力部1 0 1が受け付けた値は制御部1 0 4に記憶されてもよく、記憶部1 0 3および制御部1 0 4の両方に記憶されてもよい。

[0199] ステップS 3 0において、制御部1 0 4は、切削開始位置および切れ刃2 Aの軌道を算出する。たとえば演算部1 1 0が、式(7)～(10)に従って、 ΔX 、 ΔY 、 $\tan \theta_1'$ および $\tan \theta_2'$ を算出する。 ΔX 、 ΔY 、 $\tan \theta_1'$ および $\tan \theta_2'$ は、記憶部1 0 3に記憶される。なお、プログラムの内容に応じて、角度 θ_1' および／または角度 θ_2' が記憶部1 0 3に記憶されてもよい。あるいは、軌道の始点（切削開始位置）の座標および軌道の終点（切削終了位置）の座標が記憶部1 0 3に記憶されてもよい。

[0200] ステップS 4 0において、回転対称面1 Aが加工される。制御部1 0 4は、駆動部1 0 5を制御することにより、送り機構1 0 6を制御する。これにより、ホルダ2の送りが制御される。すなわち制御部1 0 4は、切れ刃2 A

の送りを制御する。

[0201] まず制御部104は、切れ刃2Aの先端3__1を、切削開始位置($R + \Delta X, \Delta Y, Z_{\min}$)に位置付ける(ステップS41)。切削開始位置のX軸座標およびY軸座標は、第1の傾斜角度 β および第2の傾斜角度 θ_{xz} に依存する。したがって、ステップS41は、切れ刃2Aの先端3__1のX軸座標およびY軸座標が、第1の傾斜角度 β および第2の傾斜角度 θ_{xz} に基づく座標となるように、切れ刃2Aの先端3__1を位置付けるステップを含むことができる。

[0202] 次に、制御部104は、軌道($R + \Delta X - t \times t \tan \theta_1', \Delta Y - t \times t \tan \theta_2', Z_{\min} + t$)に沿って切れ刃2Aの先端3__1の位置が変化するように、切れ刃2Aを送る(ステップS42)。ステップS42において制御部104は、変数 t を0から($Z_{\max} - Z_{\min}$)まで変化させつつ、その変数 t によって決定される座標に切れ刃2Aの先端3__1が位置するように切れ刃2Aを移動させる。

[0203] 2回目以後の加工においては、ステップS40の処理が繰り返される。制御部104は、 $\Delta X, \Delta Y, \tan \theta_1'$ および $\tan \theta_2'$ を記憶部103から読み出して、ステップS41, S42の処理を実行する。なお、同一の処理が繰り返される間は、制御部104が、 $\Delta X, \Delta Y, \tan \theta_1'$ および $\tan \theta_2'$ を記憶してもよい。

[0204] 図50に示したフローによれば、制御部104は、ステップS40の処理よりも前に、 $\Delta X, \Delta Y, \tan \theta_1'$ および $\tan \theta_2'$ を算出し、次に、切削開始位置および軌道を算出する。しかしながら、制御部104は、ステップS41において、補正量 $\Delta X, \Delta Y$ を算出し、ステップS42において、 $\tan \theta_1'$ および $\tan \theta_2'$ を算出してもよい。すなわち、切削開始位置および軌道は、それが必要となる工程において算出されてもよい。

[0205] さらに、ステップS40の後、あるいはステップS01の前に、機械部品1を製造するために必要な、さらなる工程が実行されてもよい。たとえばステップS40の後に、機械部品1を検査するための検査工程が実行されても

よい。

[0206] ステップS20およびステップS30の処理を実行するコンピュータは、製造装置100の制御部104であると限定されない。製造装置100の外部に設けられたコンピュータがステップS20およびステップS30の処理を実行してもよい。この場合、ステップS40の前に、 ΔX 、 ΔY 、 $\tan \theta_1'$ および $\tan \theta_2'$ を受け付ける工程を追加することができる。制御部104への ΔX 、 ΔY 、 $\tan \theta_1'$ および $\tan \theta_2'$ の入力、たとえばユーザによる入力部101の操作、通信回線によるデータの転送など、種々の公知の手段を適用することができる。

[0207] なお、 $\theta_{xz}=0$ の場合、 $\theta_1'=0$ 、 $\theta_2'=\theta_2$ となる。したがって、式(7)～(10)に基づく切削開始位置および軌道の算出は、 $\theta_{xz}=0$ の場合(図35を参照)を含むことができる。

[0208] 角度 β 、 θ_{yz} 、 θ_{xz} の基準となる軸を、それぞれ、Y軸、X軸、Z軸に設定してもよい。一方の軸に対する傾斜角度を、他方の軸に対する傾斜角度に置き換えることができる。その場合にも、式(7)～式(10)を導き出すことができる。

[0209] さらに、X軸、Y軸、Z軸の方向は、各図面に示されるように限定されるものではない。X軸、Y軸、Z軸の各々の正方向が図面に示された向きと逆向きでもよい。X軸、Y軸、Z軸を互いに入れ替えることも可能である。

[0210] さらに、本発明の各実施の形態は、機械部品に限定されない工作物の加工にも適用することができる。

[0211] 今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって、制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した実施の形態ではなく請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味、および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

符号の説明

[0212] 1 機械部品、1A 回転対称面、1B 稜線(母線)、2 ホルダ、2A 切れ刃、2B 切削チップ、2C 回転軸(ホルダ)、3__1 先端(切

れ刃)、3__5 後端(切れ刃)、3__2~3__4 領域(切れ刃)、4__1, 4__5 軌跡、10 回転軸線、11 設計上の面、20 切削線、100 製造装置、101 入力部、102 表示部、103 記憶部、104 制御部、105 駆動部、106 送り機構、110 演算部、S01, S10, S20, S30, S40, S41, S42 ステップ。

請求の範囲

【請求項1】 回転軸線に対して 0° より大きく 90° より小さい角度で傾斜した稜線によって規定された回転対称面を有する機械部品の製造方法であって、

前記回転対称面の前記回転軸線をZ軸とし、前記回転対称面の径方向の軸をX軸とし、前記Z軸および前記X軸の両方に直交する軸をY軸と規定した三次元直交座標系において、前記Z軸に対して 0° より大きく 90° より小さい角度で傾斜した直線状の切れ刃を、前記X軸上の位置から前記Y軸方向に沿ってずらした切削開始位置に位置決めするステップと、

前記切れ刃を、前記切削開始位置から、X軸成分、Y軸成分およびZ軸成分を有する軌道に沿って、回転している前記機械部品に接触させながら送ることによって前記回転対称面を加工するステップとを備える、機械部品の製造方法。

【請求項2】 前記切削開始位置において前記切れ刃の第1の端部が前記機械部品に接触し、

前記切削開始位置から切削終了位置まで前記軌道に沿って前記切れ刃を送る間に、前記切れ刃の前記第1の端部から、前記第1の端部と反対側に位置する前記切れ刃の第2の端部まで、前記切れ刃の異なる部分が順次接触する、請求項1に記載の機械部品の製造方法。

【請求項3】 前記切れ刃の長さ、XZ平面において、前記X軸に対して前記切れ刃がなす第1の傾斜角度、XY平面において、前記X軸に対して前記切れ刃がなす第2の傾斜角度、前記回転対称面の最大半径、前記回転対称面の最小半径、および前記稜線がXZ平面において、X軸に対してなす目標角度から、前記切削開始位置および前記軌道を計算するステップをさらに備える、請求項1または請求項2に記載の機械部品の製造方法。

【請求項4】 前記切削開始位置の座標は、 $(X, Y, Z) = (R_{\max}, \Delta Y, Z_{\min})$

) と表現され、

前記軌道は、 $(X, Y, Z) = (R_{\max} - t, \Delta Y - t \times \tan \theta_1', Z_{\min} + t \times \tan \theta_0')$ と表現され、

$R_{\max}$ は、前記回転対称面の前記最大半径であり、

$R_{\min}$ は、前記回転対称面の前記最小半径であり、

t は、0 から $R_{\max} - R_{\min}$ まで変化する変数であり、

θ_s は、前記目標角度であり、

$\Delta Y, \tan \theta_1', \tan \theta_0'$ が以下の式に従い、

[数1]

$$\Delta Y = R_{\max} \sin \phi$$

$$\tan \theta_1' = \tan(\phi + \gamma)$$

$$\tan \theta_0' = \frac{\tan \theta_s}{\cos \phi - \sin \phi \tan \gamma}$$

$$\phi = \cos^{-1} \left(\cos \beta \times \frac{\tan \theta}{\tan \theta_s} \right) - \beta$$

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{L_{XY} \sin(\beta + \phi)}{R_{\max} - R_{\min} - L_{XY} \cos(\beta + \phi)} \right)$$

$$L_{XY} = L \sqrt{\frac{1 + \tan^2 \beta}{1 + \tan^2 \beta + \tan^2 \theta}}$$

L は、前記切れ刃の長さであり、

θ は、前記第1の傾斜角度であり、

β は、前記第2の傾斜角度である、請求項3に記載の機械部品の製造方法。

[請求項5]

回転軸線に対して平行な母線によって規定された回転対称面を有する機械部品の製造方法であって、

前記回転軸線をZ軸とし、前記回転対称面の径方向の軸をX軸とし、前記Z軸および前記X軸の両方に直交する軸をY軸とする三次元直交座標系において、直線状の切れ刃を、YZ平面上において0°より

大きく 90° よりも小さい第1の傾斜角度で前記Z軸に対して傾けられた状態で、切削開始位置に位置付けるステップと、

前記切れ刃の異なる部分が順次接触するように、前記切れ刃を、前記切削開始位置から、回転している前記機械部品に接触させながら送ることによって前記回転対称面を加工するステップとを備え、

前記切削開始位置は、X軸座標およびY軸座標を含み、

前記X軸座標および前記Y軸座標の各々は、前記第1の傾斜角度、および、前記切れ刃がXZ平面上において前記Z軸となす第2の傾斜角度に基づいて定められる、機械部品の製造方法。

[請求項6] 前記切れ刃の長さ、前記第1の傾斜角度、前記第2の傾斜角度、前記回転対称面の半径、および前記回転対称面のZ軸座標に基づいて、前記切れ刃の軌道を計算するステップをさらに備える、請求項5に記載の機械部品の製造方法。

[請求項7] 前記軌道は、 $(X, Y, Z) = (R + \Delta X - t \times \tan \theta_1', \Delta Y - t \times \tan \theta_2', Z_{\min} + t)$ と表現され、

Rは、前記回転対称面の前記半径であり、

tは、0から $Z_{\max} - Z_{\min}$ まで変化する変数であり、

$Z_{\min}$ は、前記回転対称面のZ軸座標の最小値であり、

$Z_{\max}$ は、前記回転対称面のZ軸座標の最大値であり、

前記第1の傾斜角度を β と表し、前記第2の傾斜角度を θ_{xz} と表し、前記切れ刃の長さをLと表すと、 ΔX , ΔY , $\tan \theta_1'$, $\tan \theta_2'$ が以下の式に従う、

[数2]

$$\Delta X = -R(1 - \cos \theta_{XY})$$

$$\Delta Y = -R \sin \theta_{XY}$$

$$\tan \theta_1' = \frac{L_{XZ} \sin \theta_{XZ}}{Z_{\max} - Z_{\min} - L_{XZ} \cos \theta_{XZ}}$$

$$\tan \theta_2' = \frac{L_{YZ} \sin \beta}{Z_{\max} - Z_{\min} - L_{YZ} \cos \beta}$$

ただし

$$\tan \theta_{XY} = \frac{\tan \theta_{XZ}}{\tan \beta}$$

$$L_{YZ} = L \sqrt{\frac{1 + \tan^2 \beta}{1 + \tan^2 \theta_{XZ} + \tan^2 \beta}}$$

$$L_{XZ} = L \sqrt{\frac{1 + \tan^2 \theta_{XZ}}{1 + \tan^2 \theta_{XZ} + \tan^2 \beta}}$$

請求項 6 に記載の機械部品の製造方法。

[請求項8] 前記切れ刃は、前記切れ刃の回転を阻止するように構成されたホルダによって保持される、請求項 3 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の機械部品の製造方法。

[請求項9] 測定器によって前記第 1 および第 2 の傾斜角度を測定するステップをさらに備える、請求項 3 から請求項 8 のいずれか 1 項に記載の機械部品の製造方法。

[請求項10] 請求項 1 から請求項 9 のいずれか 1 項に記載の機械部品の製造方法を実行する、機械部品の製造装置。

[請求項11] 回転軸線に対して 0° より大きく 90° より小さい角度で傾斜した稜線によって規定された回転対称面の加工方法であって、

前記回転対称面の前記回転軸線を Z 軸とし、前記回転対称面の径方向の軸を X 軸とし、前記 Z 軸および前記 X 軸の両方に直交する軸を Y 軸と規定した三次元直交座標系において、前記 Z 軸に対して 0° より大きく 90° より小さい角度で傾斜した直線状の切れ刃を、前記 X 軸

上の位置から前記 Y 軸方向に沿ってずらした切削開始位置に位置決めするステップと、

前記切れ刃を、前記切削開始位置から、X 軸成分、Y 軸成分および Z 軸成分を有する軌道に沿って、回転している工作物に接触させながら送ることによって前記回転対称面を加工するステップとを備える、回転対称面の加工方法。

[請求項12]

回転軸線に対して 0° より大きく 90° より小さい角度で傾斜した稜線によって規定された回転対称面を有する機械部品を製造するためのプログラムを記録した、コンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、

前記プログラムが、

前記回転対称面の前記回転軸線を Z 軸とし、前記回転対称面の径方向の軸を X 軸とし、前記 Z 軸および前記 X 軸の両方に直交する軸を Y 軸と規定した三次元直交座標系において、

直線状の切れ刃の長さ、XZ 平面において、前記 X 軸に対して前記切れ刃がなす第 1 の傾斜角度、XY 平面において、前記 X 軸に対して前記切れ刃がなす第 2 の傾斜角度、前記回転対称面の最大半径、前記回転対称面の最小半径、および前記稜線が XZ 平面において、X 軸に対してなす目標角度を受け付けるステップと、

前記 Z 軸に対して 0° より大きく 90° より小さい角度で傾斜した前記切れ刃を、切削開始位置に位置決めするステップと、

前記切れ刃を、前記切削開始位置から軌道に沿って、回転している前記機械部品に接触させながら送ることによって前記回転対称面を加工するステップをコンピュータに実行させ、

前記切削開始位置の座標は、 $(X, Y, Z) = (R_{\max}, \Delta Y, Z_{\min})$ と表現され、

前記軌道は、 $(X, Y, Z) = (R_{\max} - t, \Delta Y - t \times \tan \theta_1, Z_{\min} + t \times \tan \theta_0)$ と表現され、

$R_{\max}$ は、前記回転対称面の前記最大半径であり、

$R_{\min}$ は、前記回転対称面の前記最小半径であり、

t は、0 から $R_{\max} - R_{\min}$ まで変化する変数であり、

θ_s は、前記目標角度であり、

ΔY , $\tan \theta_1'$, $\tan \theta_0'$ が以下の式に従い、

[数3]

$$\Delta Y = R_{\max} \sin \phi$$

$$\tan \theta_1' = \tan(\phi + \gamma)$$

$$\tan \theta_0' = \frac{\tan \theta_s}{\cos \phi - \sin \phi \tan \gamma}$$

$$\phi = \cos^{-1} \left(\cos \beta \times \frac{\tan \theta}{\tan \theta_s} \right) - \beta$$

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{L_{XY} \sin(\beta + \phi)}{R_{\max} - R_{\min} - L_{XY} \cos(\beta + \phi)} \right)$$

$$L_{XY} = L \sqrt{\frac{1 + \tan^2 \beta}{1 + \tan^2 \beta + \tan^2 \theta}}$$

L は、前記切れ刃の長さであり、

θ は、前記第1の傾斜角度であり、

β は、前記第2の傾斜角度である、コンピュータ読み取り可能な記録媒体。

[請求項13]

回転軸線に対して 0° より大きく 90° より小さい角度で傾斜した稜線によって規定された回転対称面を有する機械部品を製造するためのプログラムであって、

前記回転対称面の前記回転軸線をZ軸とし、前記回転対称面の径方向の軸をX軸とし、前記Z軸および前記X軸の両方に直交する軸をY軸と規定した三次元直交座標系において、

直線状の切れ刃の長さ、XZ平面において、前記X軸に対して前記切れ刃がなす第1の傾斜角度、XY平面において、前記X軸に対して前記切れ刃がなす第2の傾斜角度、前記回転対称面の最大半径、前記

回転対称面の最小半径、および前記稜線がXZ平面において、X軸に対してなす目標角度を受け付けるステップと、

前記Z軸に対して 0° より大きく 90° より小さい角度で傾斜した前記切れ刃を、切削開始位置に位置決めするステップと、

前記切れ刃を、前記切削開始位置から軌道に沿って、回転している前記機械部品に接触させながら送ることによって前記回転対称面を加工するステップをコンピュータに実行させ、

前記切削開始位置の座標は、 $(X, Y, Z) = (R_{\max}, \Delta Y, Z_{\min})$ と表現され、

前記軌道は、 $(X, Y, Z) = (R_{\max} - t, \Delta Y - t \times \tan \theta_1', Z_{\min} + t \times \tan \theta_0')$ と表現され、

$R_{\max}$ は、前記回転対称面の前記最大半径であり、

$R_{\min}$ は、前記回転対称面の前記最小半径であり、

t は、0から $R_{\max} - R_{\min}$ まで変化する変数であり、

θ_s は、前記目標角度であり、

$\Delta Y, \tan \theta_1', \tan \theta_0'$ が以下の式に従い、

[数4]

$$\Delta Y = R_{\max} \sin \phi$$

$$\tan \theta_1' = \tan(\phi + \gamma)$$

$$\tan \theta_0' = \frac{\tan \theta_s}{\cos \phi - \sin \phi \tan \gamma}$$

$$\phi = \cos^{-1} \left(\cos \beta \times \frac{\tan \theta}{\tan \theta_s} \right) - \beta$$

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{L_{XY} \sin(\beta + \phi)}{R_{\max} - R_{\min} - L_{XY} \cos(\beta + \phi)} \right)$$

$$L_{XY} = L \sqrt{\frac{1 + \tan^2 \beta}{1 + \tan^2 \beta + \tan^2 \theta}}$$

Lは、前記切れ刃の長さであり、

θ は、前記第 1 の傾斜角度であり、

β は、前記第 2 の傾斜角度である、プログラム。

[請求項14] 回転軸線に対して平行な母線によって規定された回転対称面の加工方法であって、

前記回転軸線を Z 軸とし、前記回転対称面の径方向の軸を X 軸とし、前記 Z 軸および前記 X 軸の両方に直交する軸を Y 軸とする三次元直交座標系において、直線状の切れ刃を、Y Z 平面上において 0° より大きく 90° よりも小さい第 1 の傾斜角度で前記 Z 軸に対して傾けられた状態で、切削開始位置に位置付けるステップと、

前記切れ刃の異なる部分が順次接触するように、前記切れ刃を、前記切削開始位置から、回転している機械部品に接触させながら送ることによって前記回転対称面を加工するステップとを備え、

前記切削開始位置は、X 軸座標および Y 軸座標を含み、

前記 X 軸座標および前記 Y 軸座標の各々は、前記第 1 の傾斜角度、および、前記切れ刃が X Z 平面上において前記 Z 軸となす第 2 の傾斜角度に基づいて定められる、回転対称面の加工方法。

[請求項15] 回転軸線に対して平行な母線によって規定された回転対称面を有する機械部品を製造するためのプログラムを記録した、コンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、

前記プログラムが、コンピュータに、

前記回転軸線を Z 軸とし、前記回転対称面の径方向の軸を X 軸とし、前記 Z 軸および前記 X 軸の両方に直交する軸を Y 軸と規定した三次元直交座標系において、Y Z 平面において直線状の切れ刃が Z 軸に対してなす第 1 の傾斜角度と、X Z 平面において前記切れ刃が Z 軸に対してなす第 2 の傾斜角度と、前記回転対称面の半径と、直線状の切れ刃の長さとを受け付けるステップと、

前記切れ刃を、切削開始位置に位置付けるステップと、

前記切れ刃を、回転している前記機械部品に接触させながら、前記

切削開始位置から軌道に沿って送ることによって前記回転対称面を加工するステップとを実行させ、

前記軌道は、 $(X, Y, Z) = (R + \Delta X - t \times \tan \theta_1', \Delta Y - t \times \tan \theta_2', Z_{\min} + t)$ と表現され、

R は、前記回転対称面の前記半径であり、

t は、 0 から $Z_{\max} - Z_{\min}$ まで変化する変数であり、

$Z_{\min}$ は、前記回転対称面の Z 軸座標の最小値であり、

$Z_{\max}$ は、前記回転対称面の Z 軸座標の最大値であり、

前記第 1 の傾斜角度を β と表し、前記第 2 の傾斜角度を θ_{xz} と表し、前記切れ刃の長さを L と表すと、 ΔX , ΔY , $\tan \theta_1'$, $\tan \theta_2'$ が以下の式に従う、

[数5]

$$\Delta X = -R(1 - \cos \theta_{xy})$$

$$\Delta Y = -R \sin \theta_{xy}$$

$$\tan \theta_1' = \frac{L_{xz} \sin \theta_{xz}}{Z_{\max} - Z_{\min} - L_{xz} \cos \theta_{xz}}$$

$$\tan \theta_2' = \frac{L_{yz} \sin \beta}{Z_{\max} - Z_{\min} - L_{yz} \cos \beta}$$

ただし

$$\tan \theta_{xy} = \frac{\tan \theta_{xz}}{\tan \beta}$$

$$L_{yz} = L \sqrt{\frac{1 + \tan^2 \beta}{1 + \tan^2 \theta_{xz} + \tan^2 \beta}}$$

$$L_{xz} = L \sqrt{\frac{1 + \tan^2 \theta_{xz}}{1 + \tan^2 \theta_{xz} + \tan^2 \beta}}$$

コンピュータ読み取り可能な記録媒体。

[請求項16]

回転軸線に対して平行な母線によって規定された回転対称面を有する機械部品を製造するためのプログラムであって、

前記プログラムが、コンピュータに、

前記回転対称面の前記回転軸線をZ軸とし、前記回転対称面の径方向の軸をX軸とし、前記Z軸および前記X軸の両方に直交する軸をY軸と規定した三次元直交座標系において、YZ平面において直線状の切れ刃がZ軸に対してなす第1の傾斜角度と、XZ平面において前記切れ刃がZ軸に対してなす第2の傾斜角度と、前記回転対称面の半径と、前記切れ刃の長さを受け付けるステップと、

前記切れ刃を、切削開始位置に位置付けるステップと、

前記切れ刃を、回転している前記機械部品に接触させながら、前記切削開始位置から軌道に沿って送ることによって前記回転対称面を加工するステップとを実行させ、

前記軌道は、 $(X, Y, Z) = (R + \Delta X - t \times \tan \theta_1', \Delta Y - t \times \tan \theta_2', Z_{\min} + t)$ と表現され、

Rは、前記回転対称面の前記半径であり、

tは、0から $Z_{\max} - Z_{\min}$ まで変化する変数であり、

$Z_{\min}$ は、前記回転対称面のZ軸座標の最小値であり、

$Z_{\max}$ は、前記回転対称面のZ軸座標の最大値であり、

前記第1の傾斜角度を β と表し、前記第2の傾斜角度を θ_{xz} と表し、前記切れ刃の長さをLと表すと、 ΔX , ΔY , $\tan \theta_1'$, $\tan \theta_2'$ が以下の式に従う、

[数6]

$$\Delta X = -R(1 - \cos \theta_{XY})$$

$$\Delta Y = -R \sin \theta_{XY}$$

$$\tan \theta_1' = \frac{L_{XZ} \sin \theta_{XZ}}{Z_{\max} - Z_{\min} - L_{XZ} \cos \theta_{XZ}}$$

$$\tan \theta_2' = \frac{L_{YZ} \sin \beta}{Z_{\max} - Z_{\min} - L_{YZ} \cos \beta}$$

ただし

$$\tan \theta_{XY} = \frac{\tan \theta_{XZ}}{\tan \beta}$$

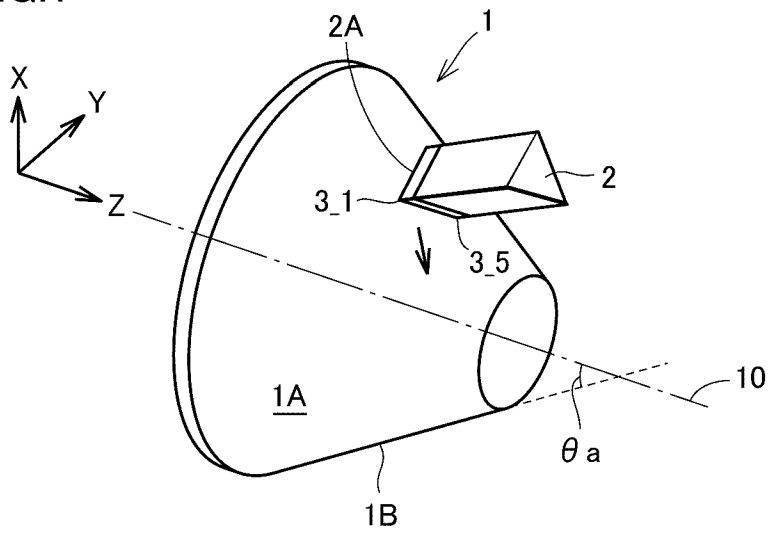
$$L_{YZ} = L \sqrt{\frac{1 + \tan^2 \beta}{1 + \tan^2 \theta_{XZ} + \tan^2 \beta}}$$

$$L_{XZ} = L \sqrt{\frac{1 + \tan^2 \theta_{XZ}}{1 + \tan^2 \theta_{XZ} + \tan^2 \beta}}$$

プログラム。

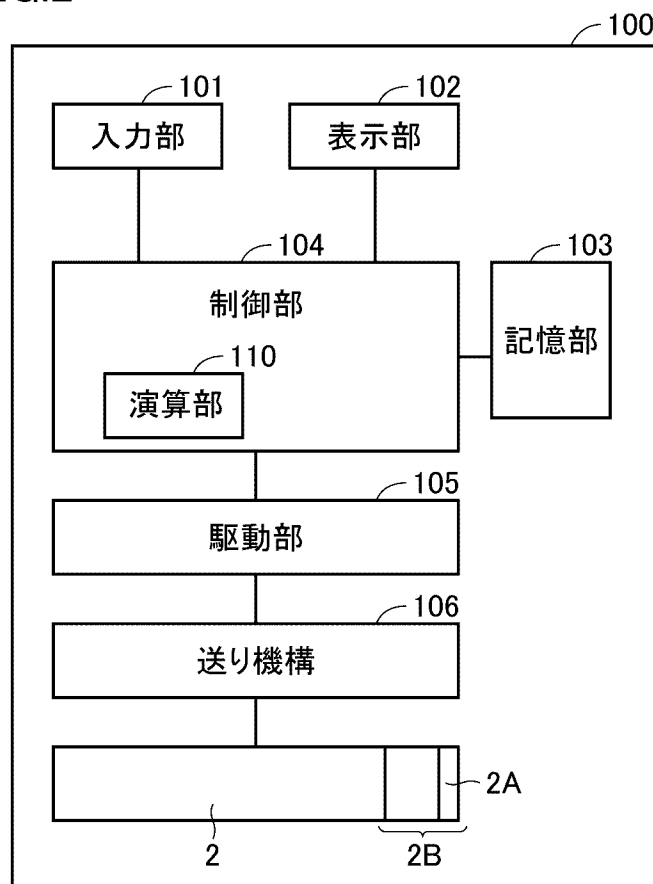
[図1]

FIG.1



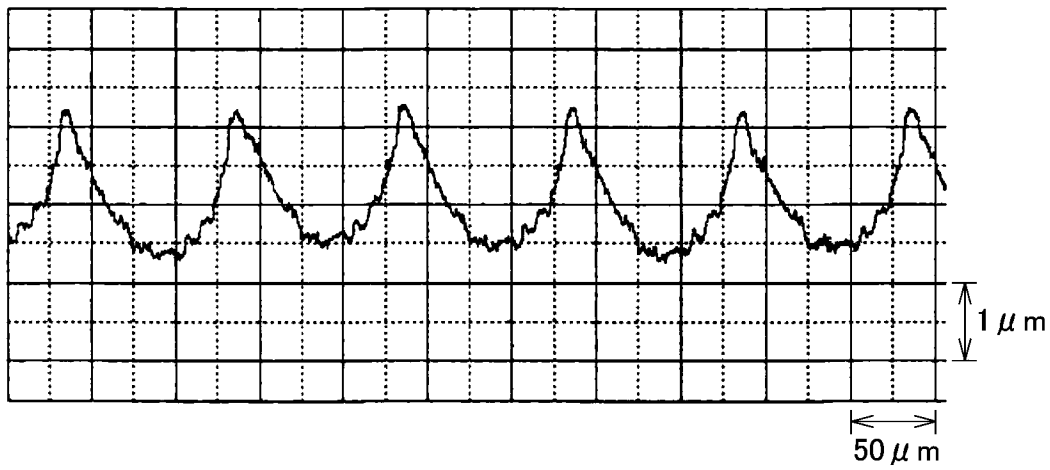
[図2]

FIG.2



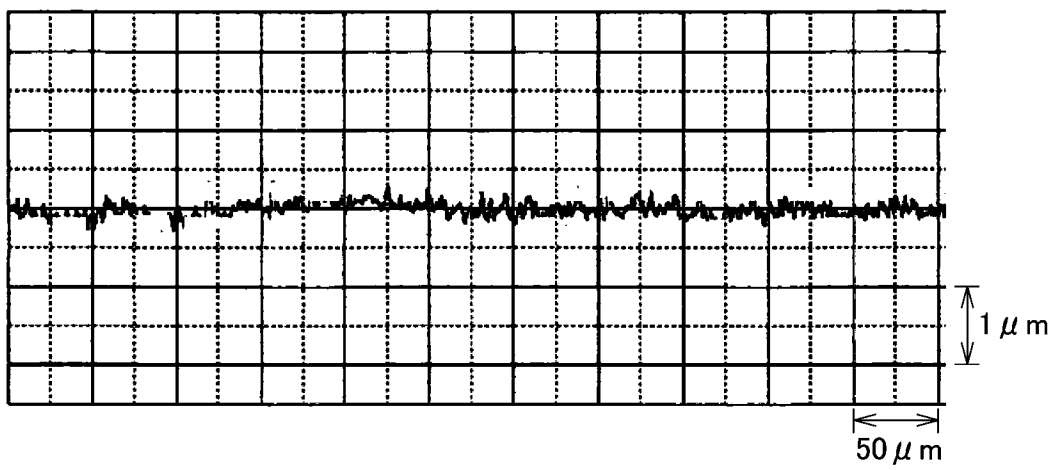
[図3]

FIG.3



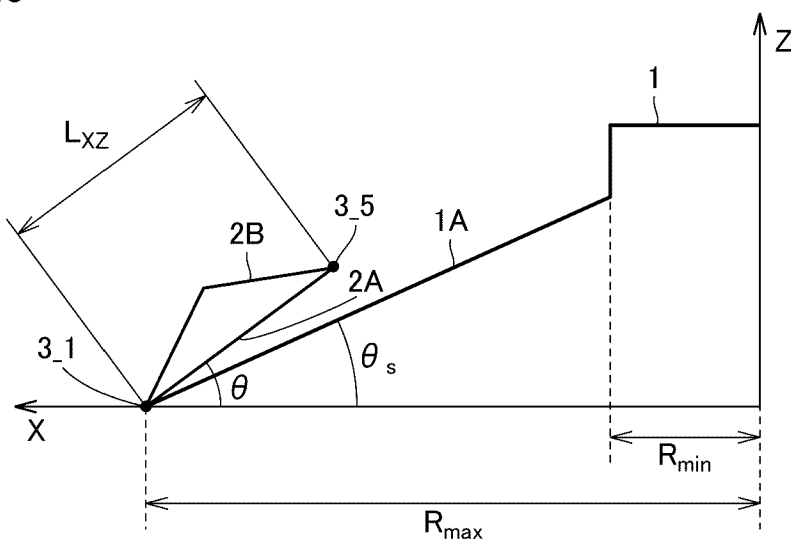
[図4]

FIG.4



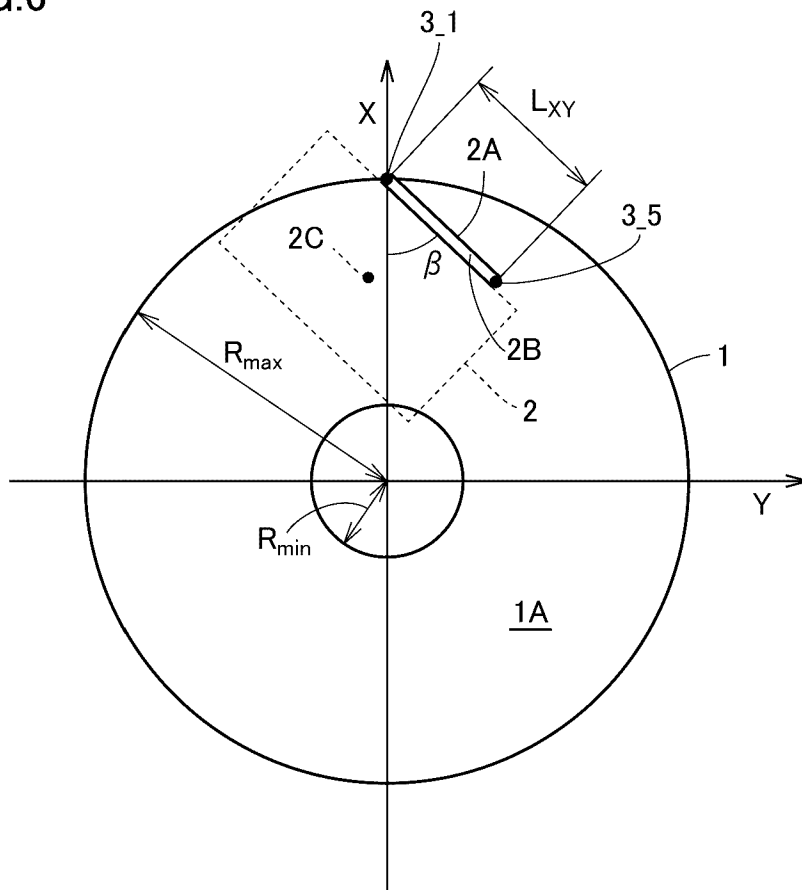
[図5]

FIG.5



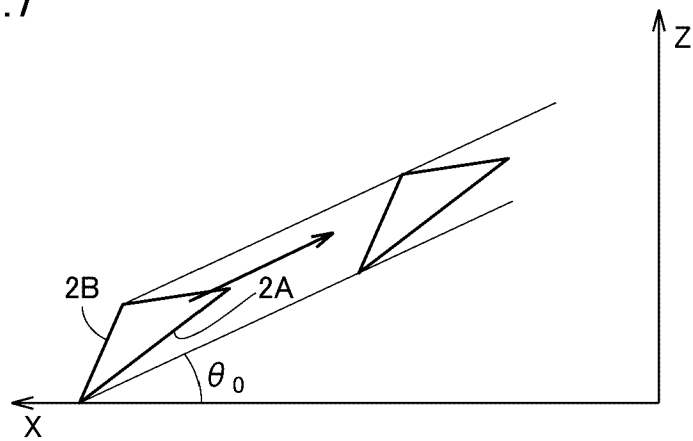
[図6]

FIG.6



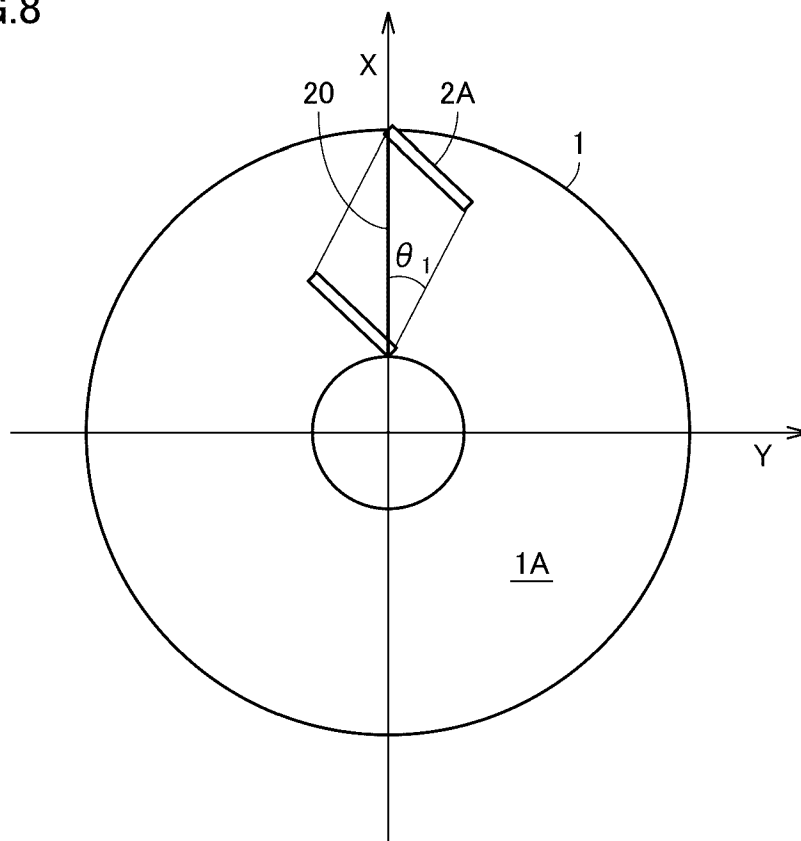
[図7]

FIG.7



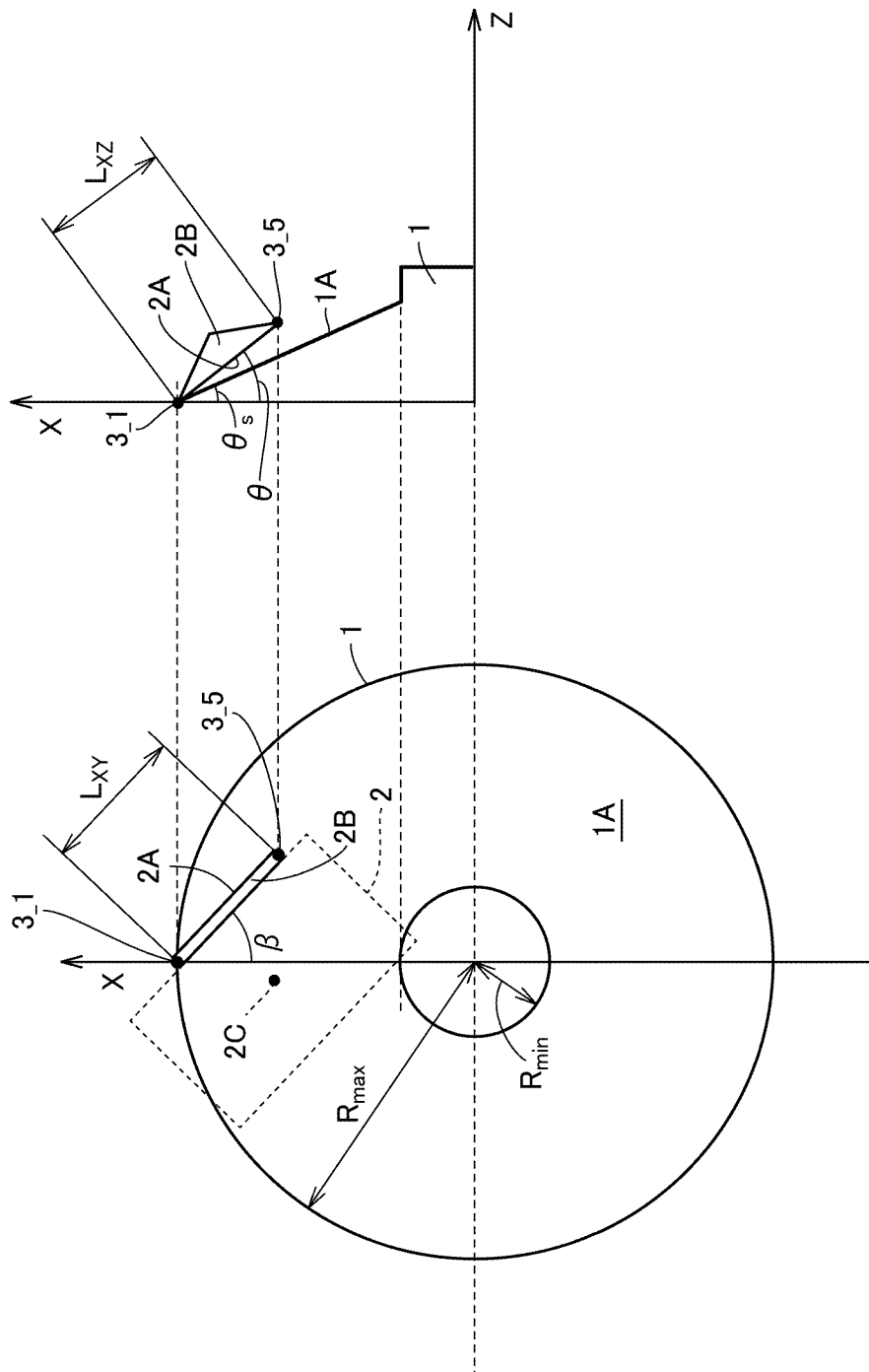
[図8]

FIG.8



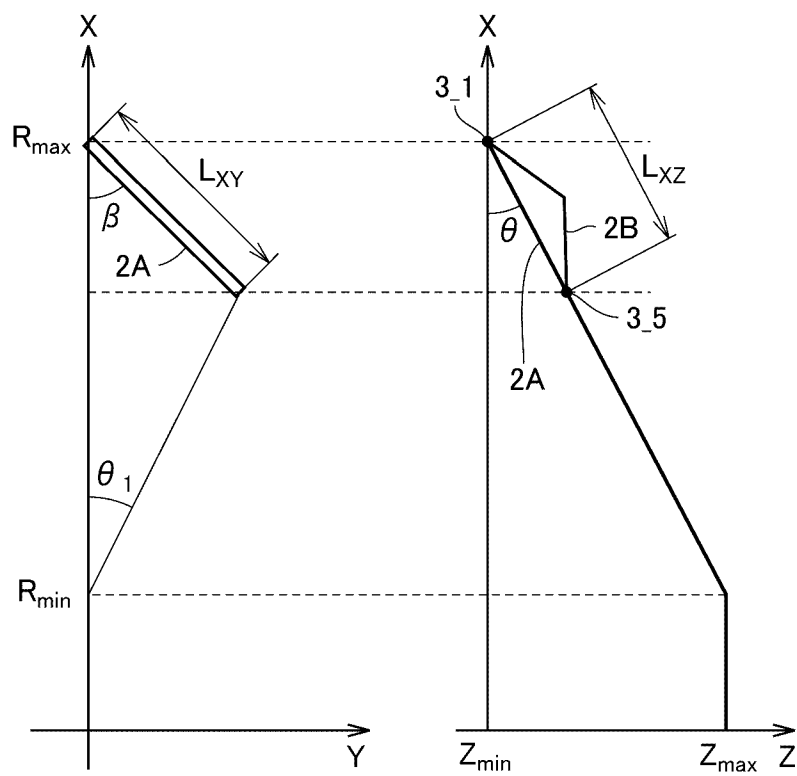
[図9]

FIG.9



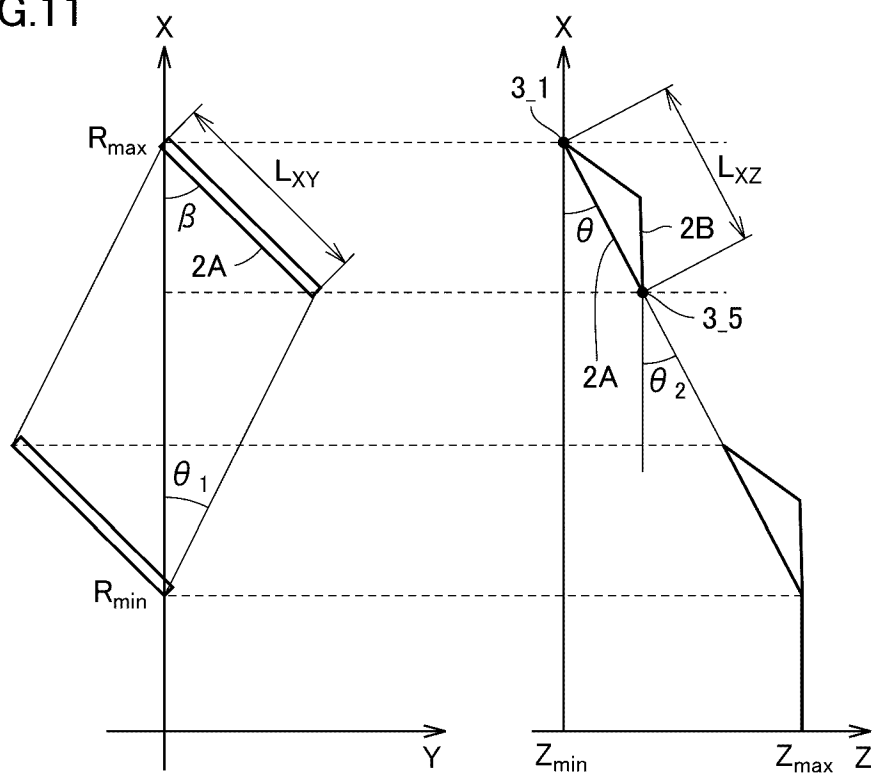
[図10]

FIG.10



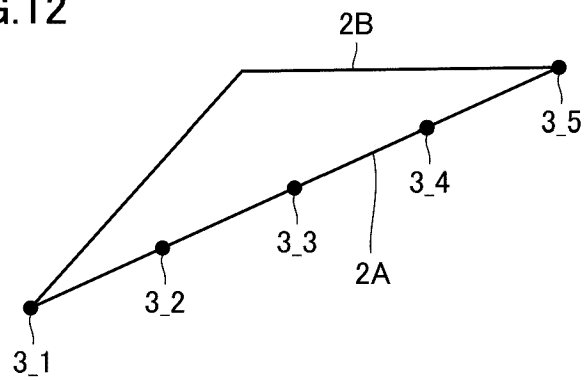
[図11]

FIG.11



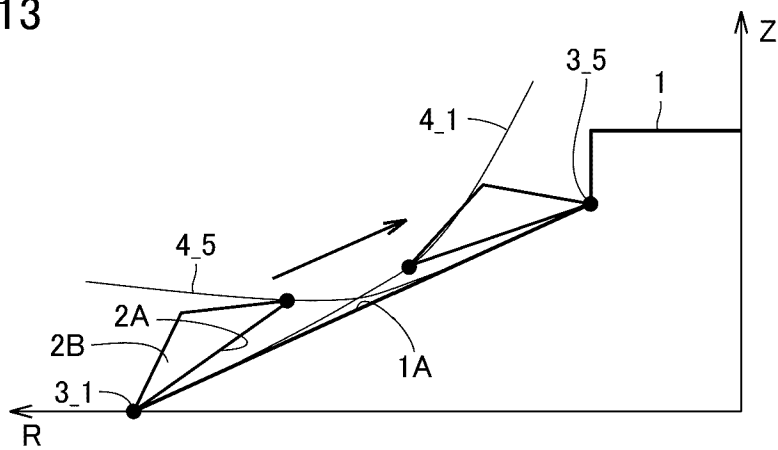
[図12]

FIG.12



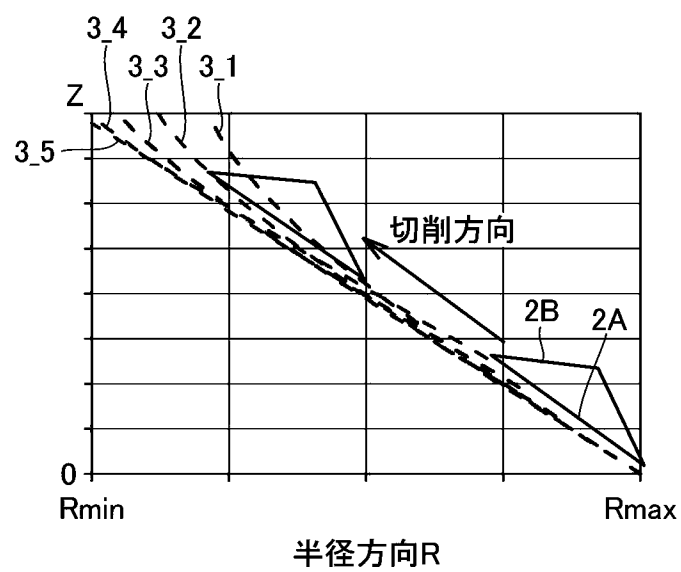
[図13]

FIG.13



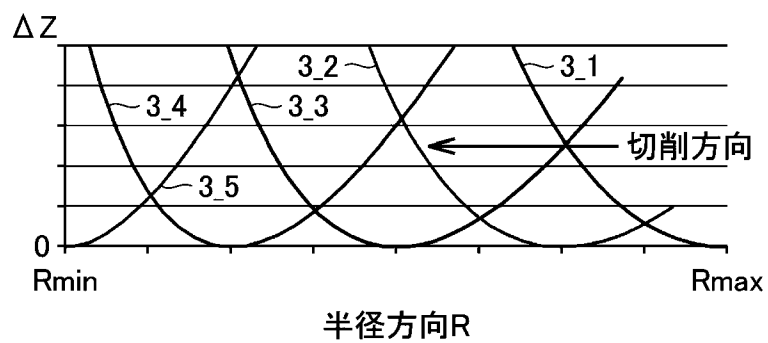
[図14]

FIG.14



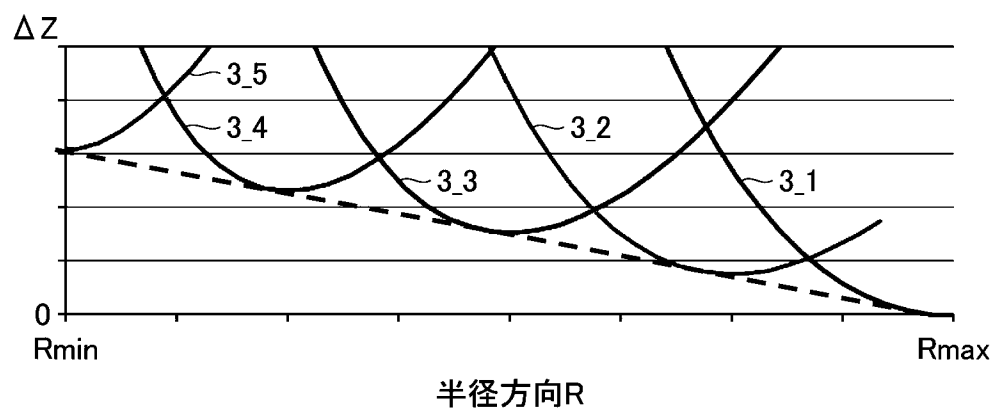
[図15]

FIG.15



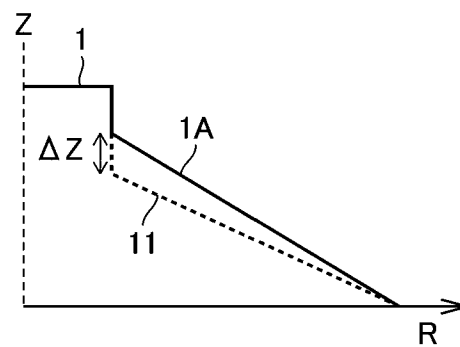
[図16]

FIG.16



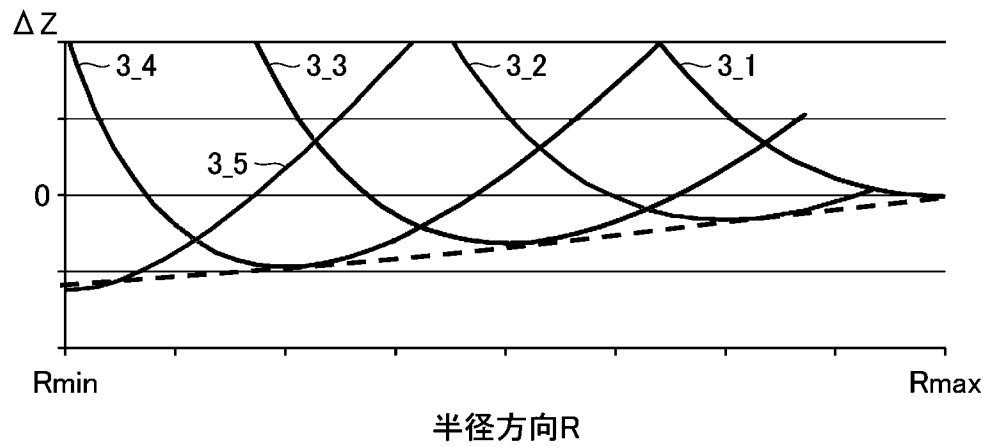
[図17]

FIG.17



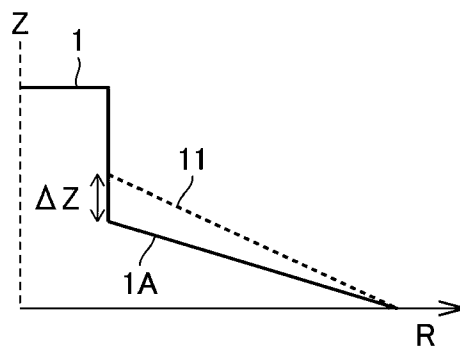
[図18]

FIG.18



[図19]

FIG.19



[図20]

FIG.20

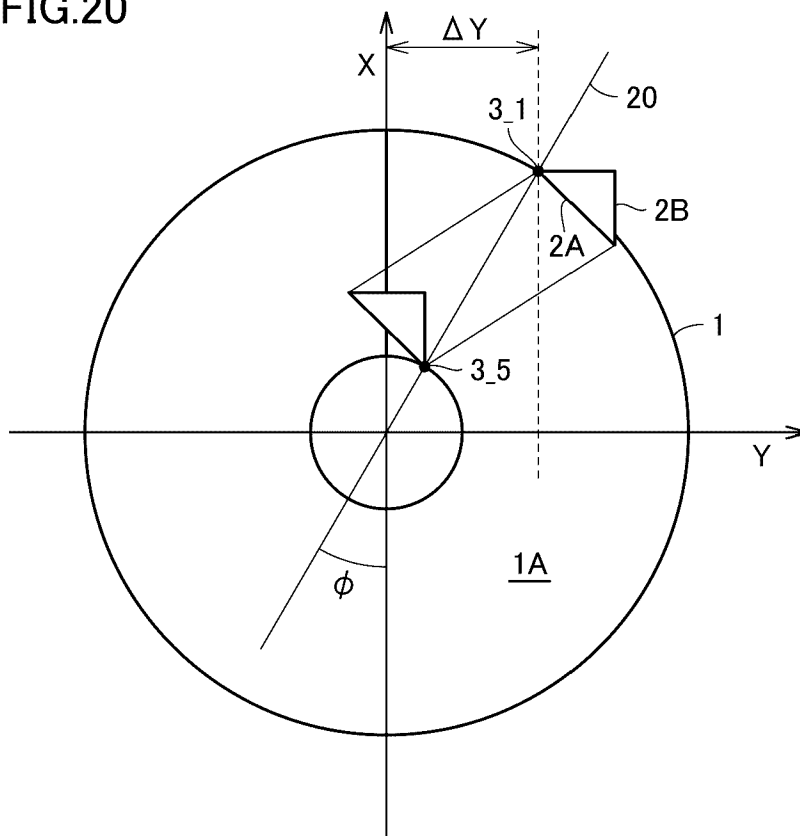
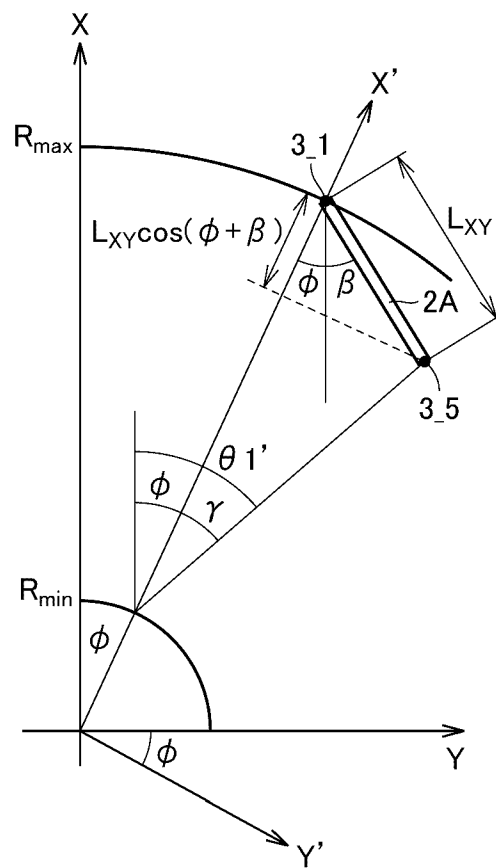
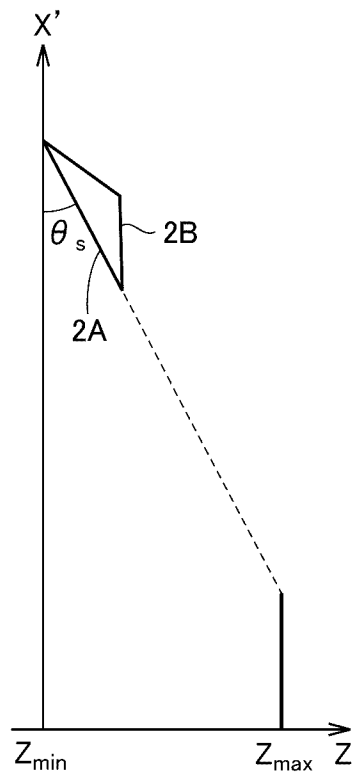


FIG.21



[図23]

FIG.23



[図24]

FIG.24

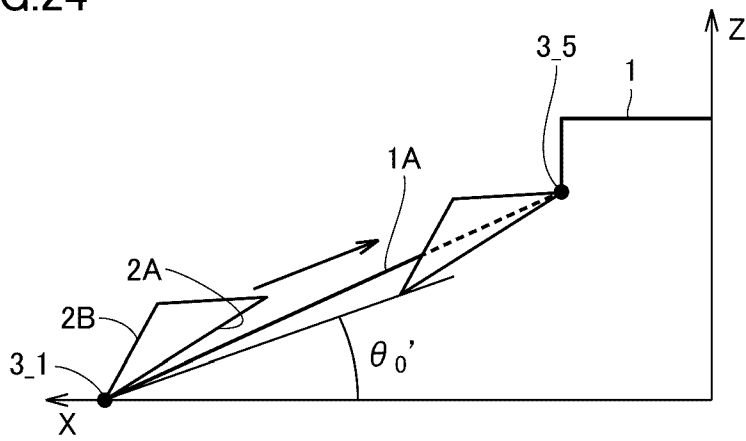
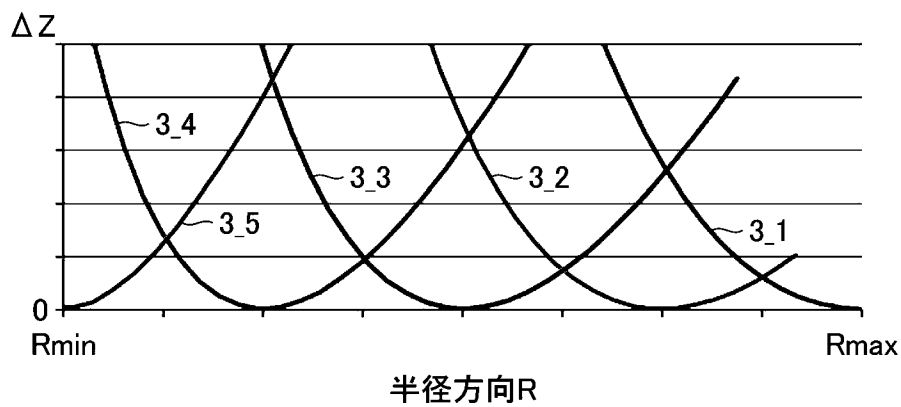
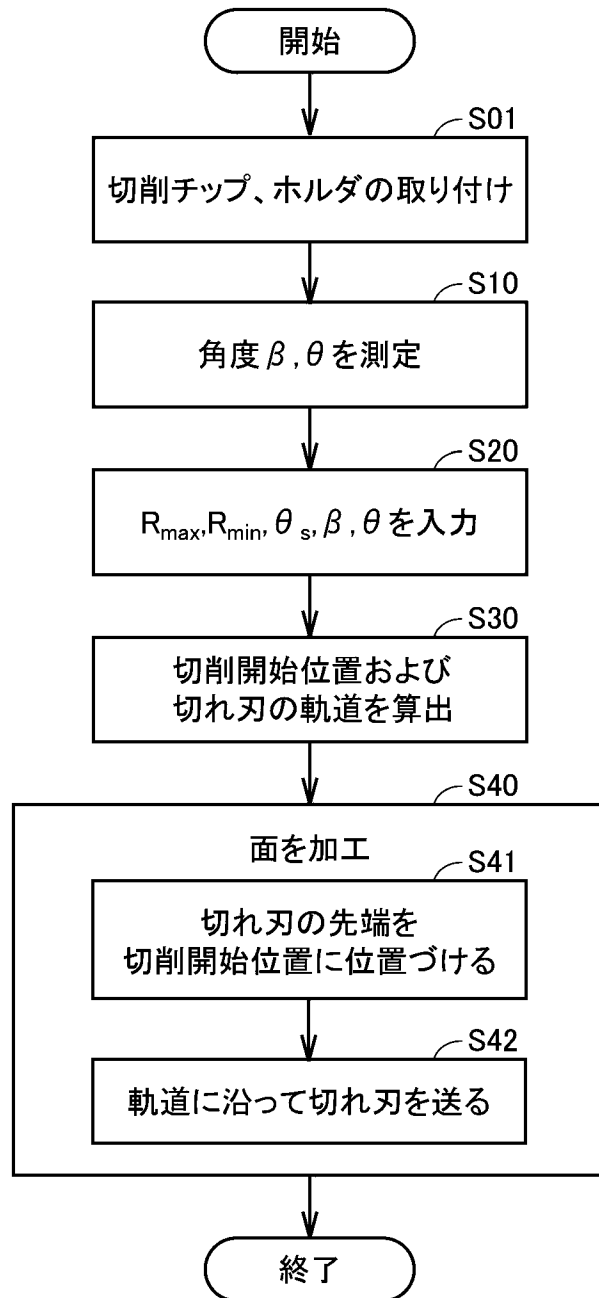


FIG.25



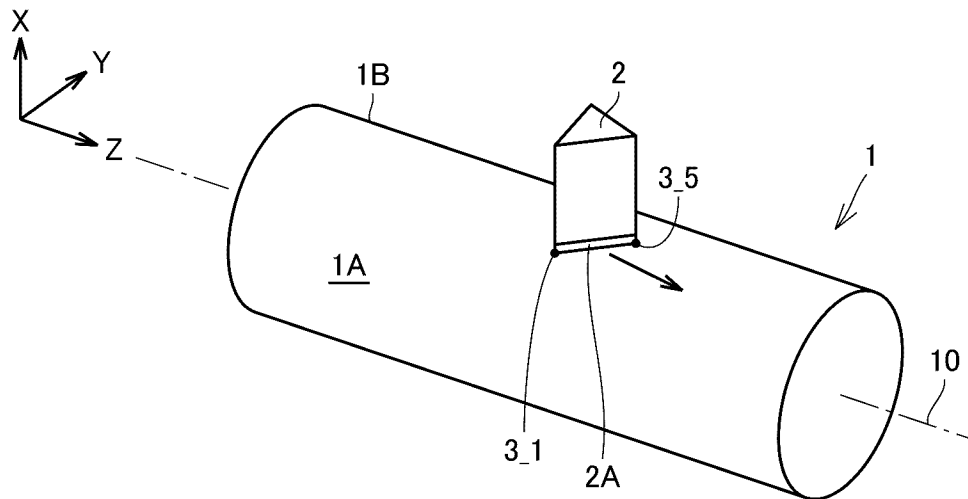
[図28]

FIG.28



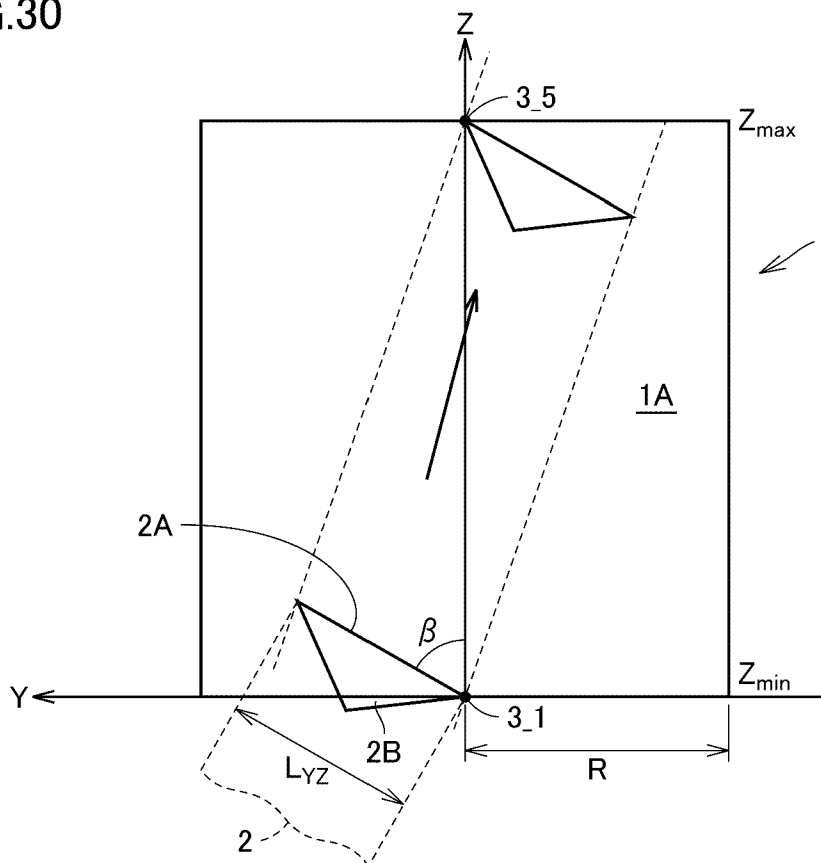
[図29]

FIG.29



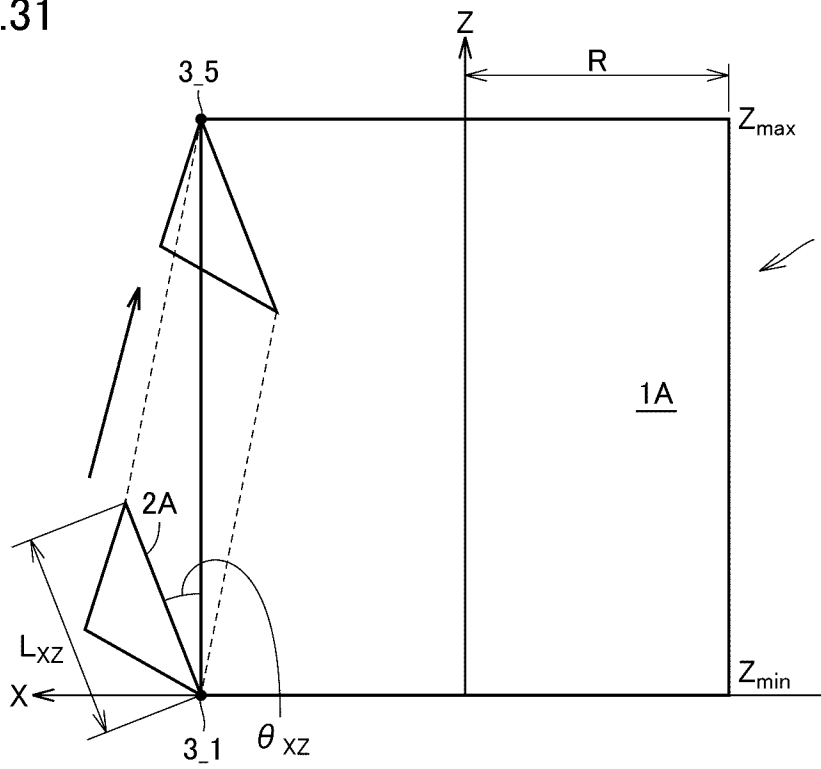
[図30]

FIG.30



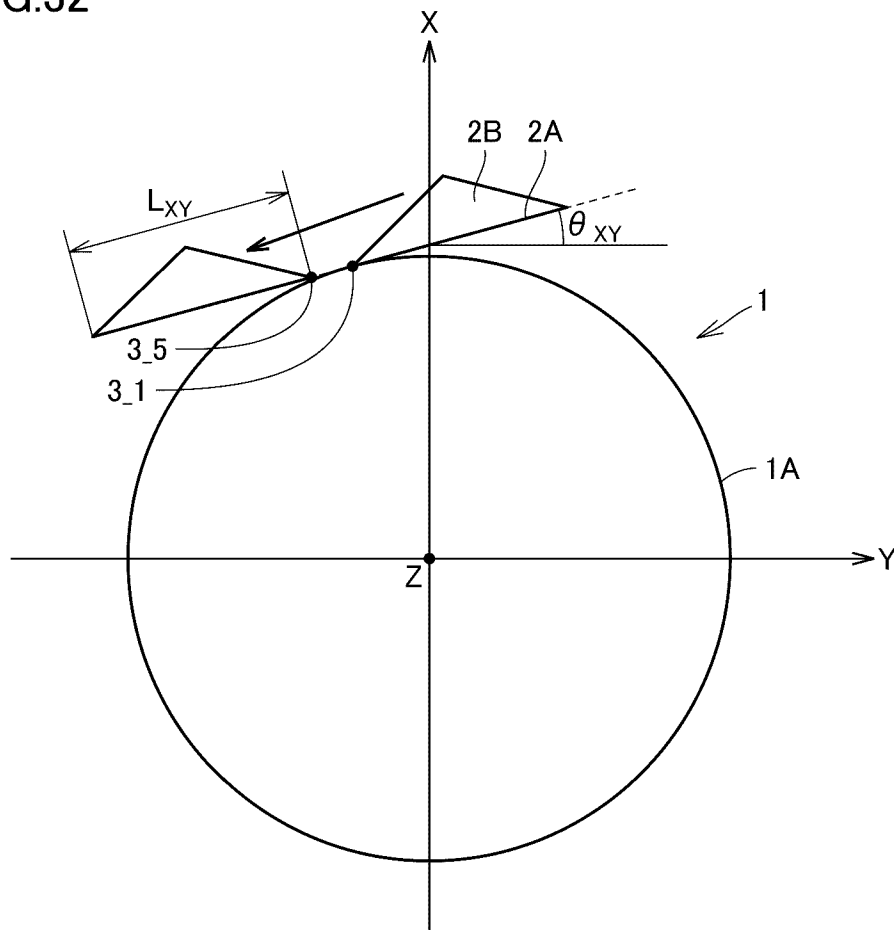
[図31]

FIG.31



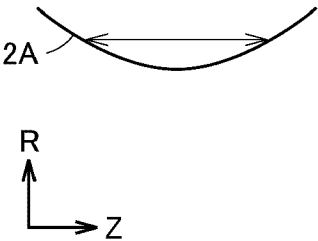
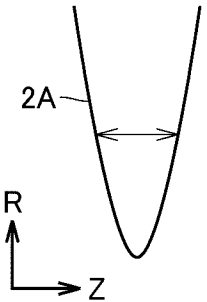
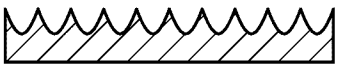
[図32]

FIG.32



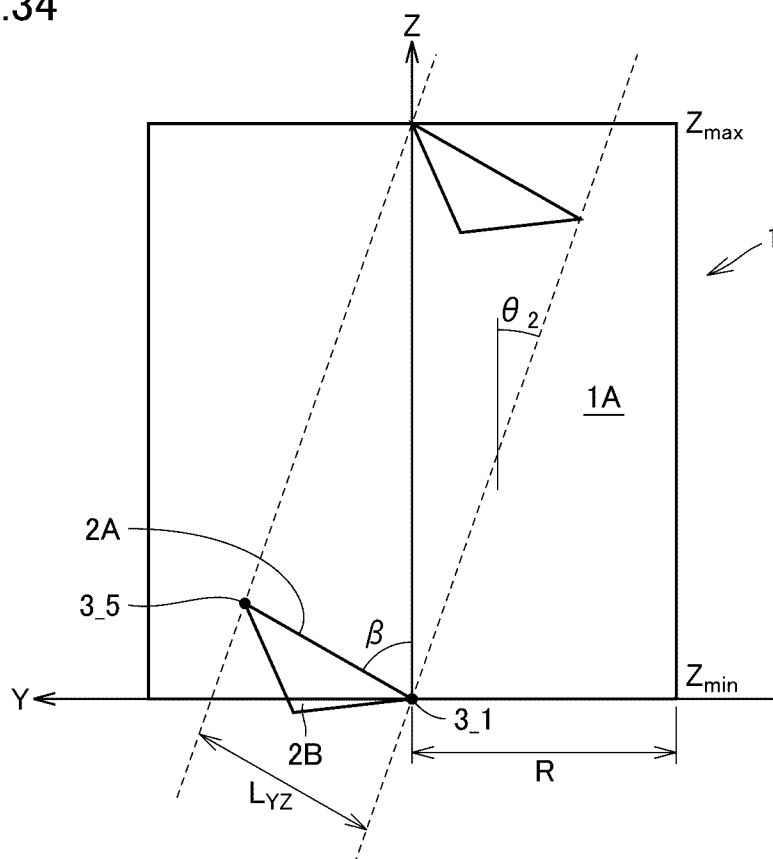
[図33]

FIG.33

	β 小	β 大
RZ平面への 切れ刃の射影像		
接触抵抗	大	小
面粗さ	小	大
切削面		

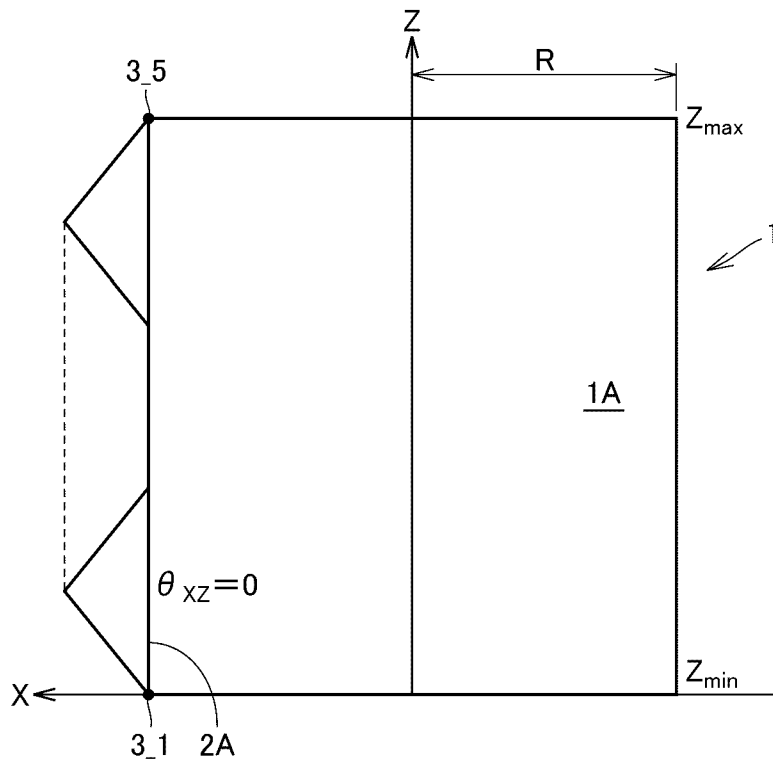
[図34]

FIG.34



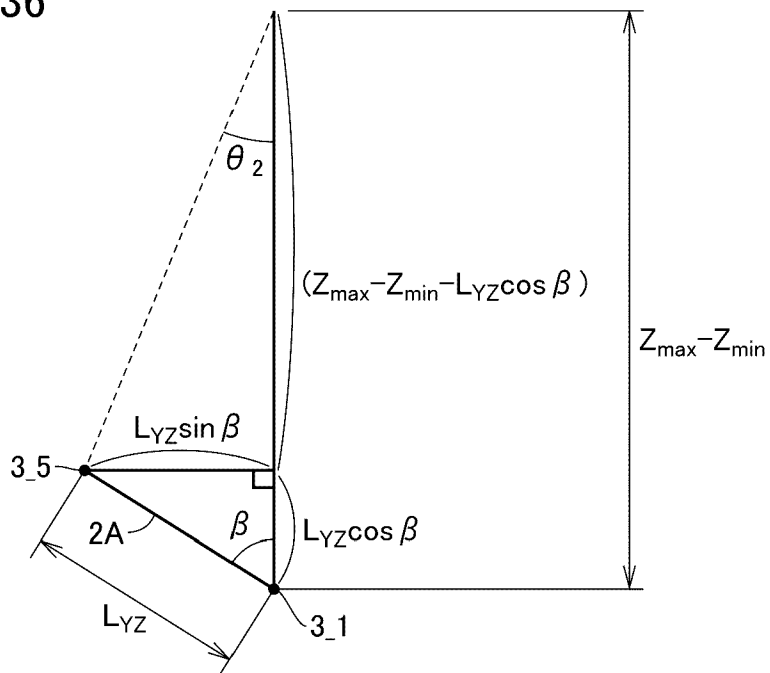
[図35]

FIG.35



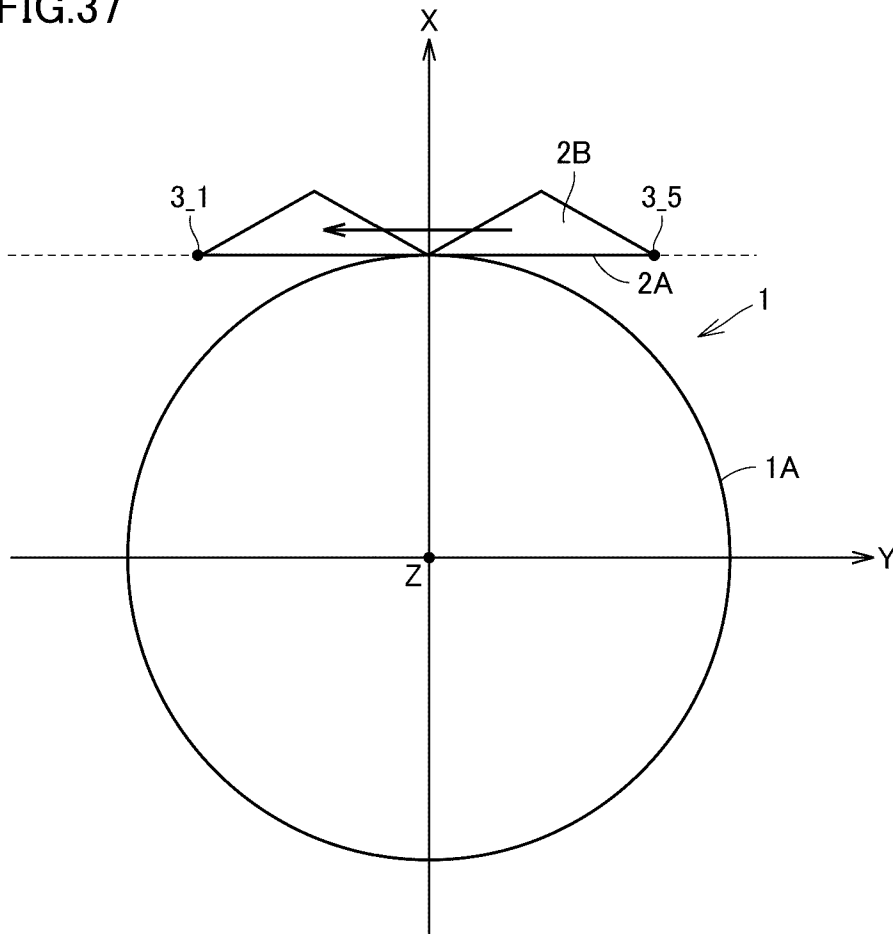
[図36]

FIG.36



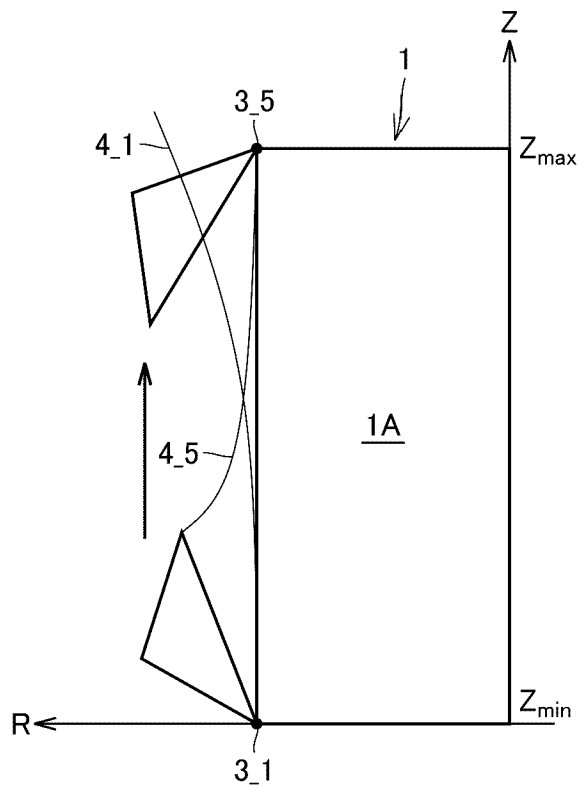
[図37]

FIG.37



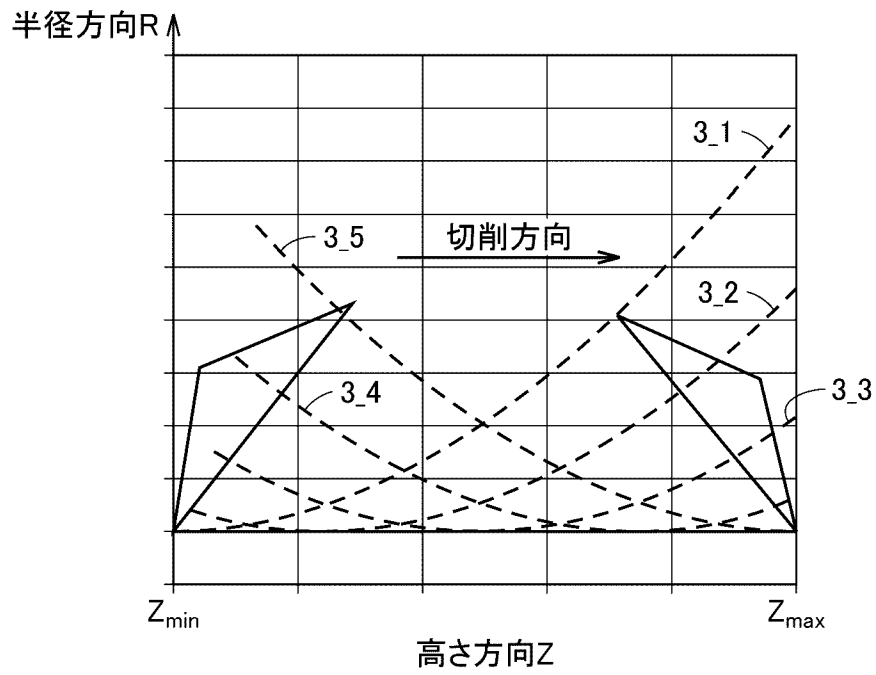
[図38]

FIG.38



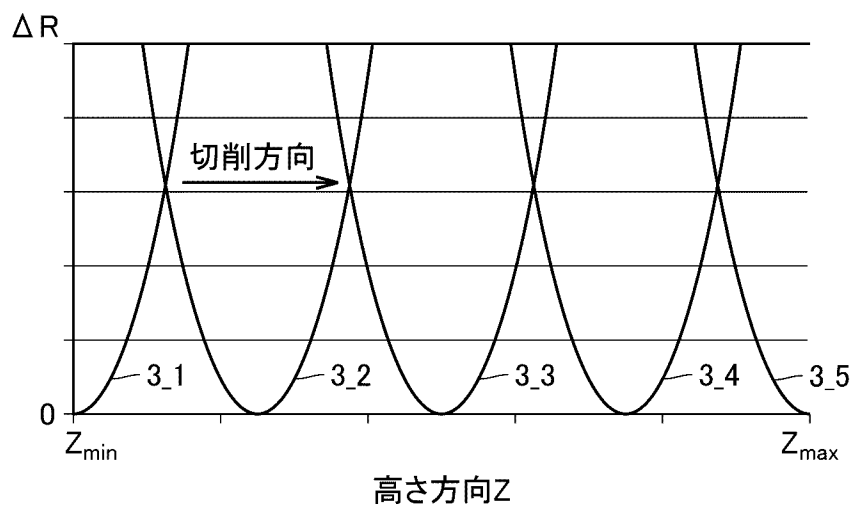
[図39]

FIG.39



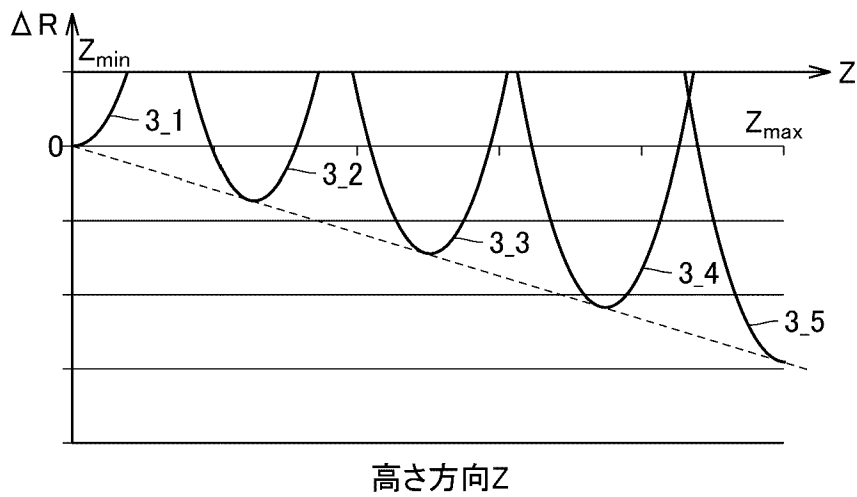
[図40]

FIG.40



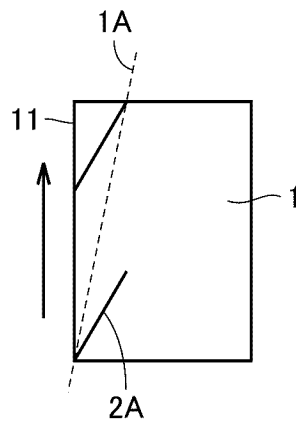
[図41]

FIG.41



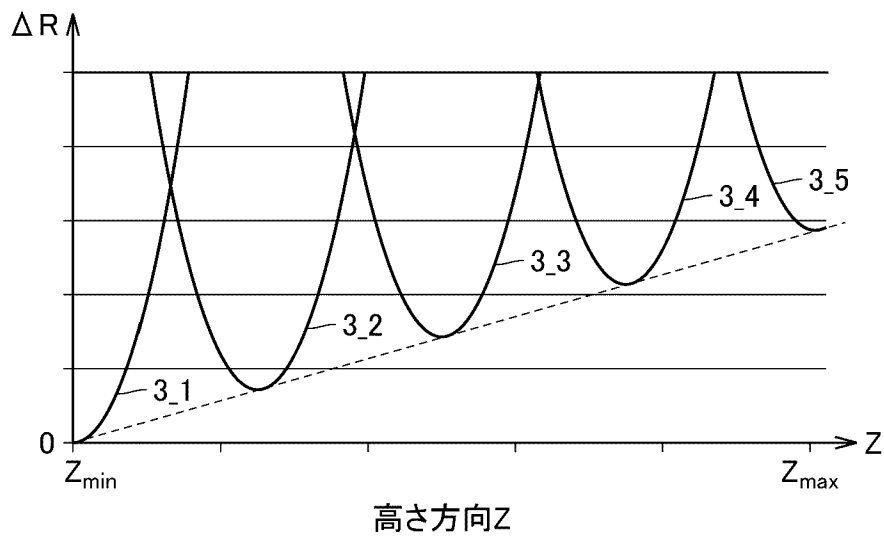
[図42]

FIG.42



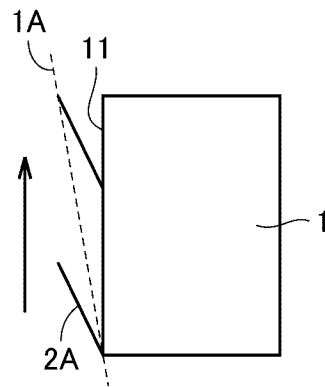
[図43]

FIG.43



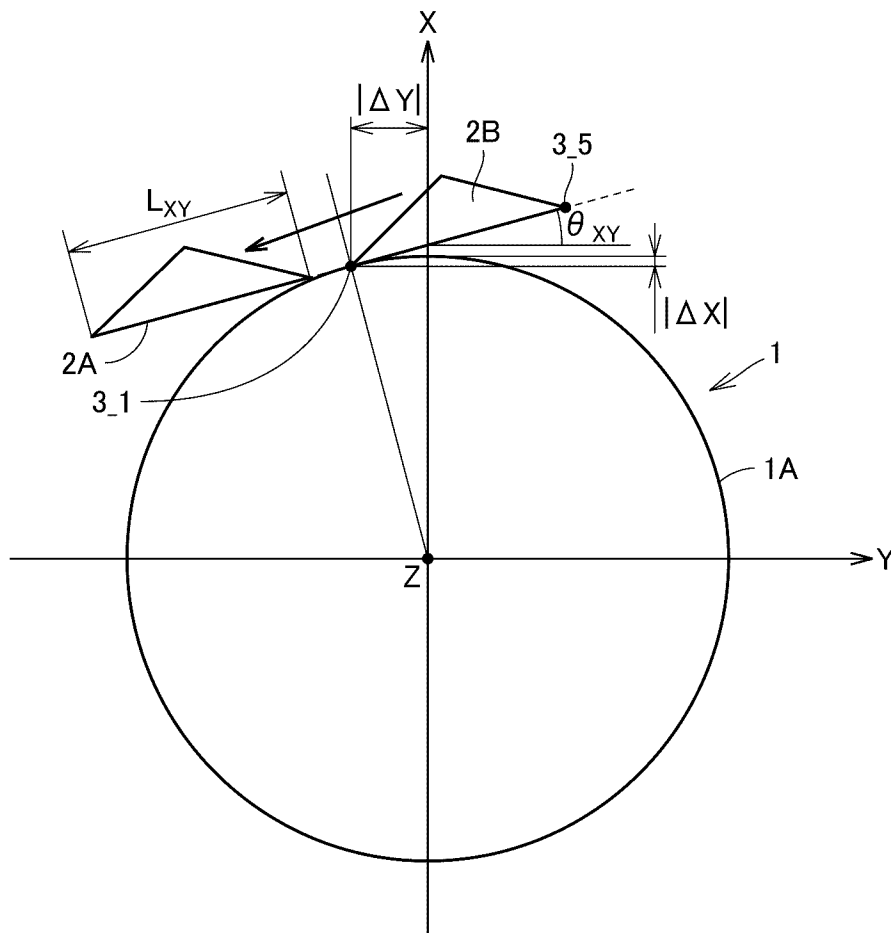
[図44]

FIG.44



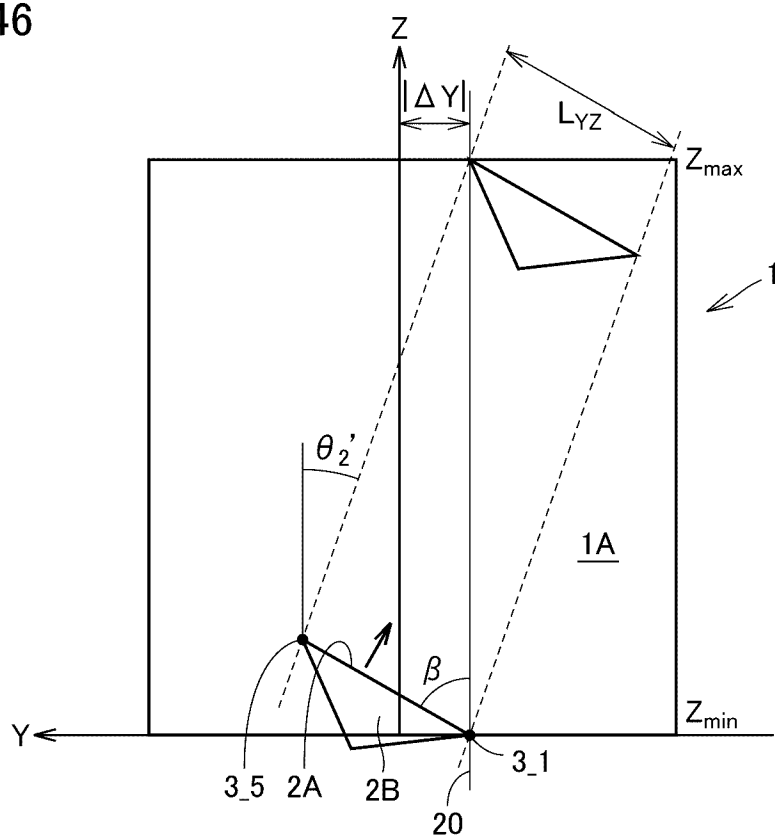
[図45]

FIG.45



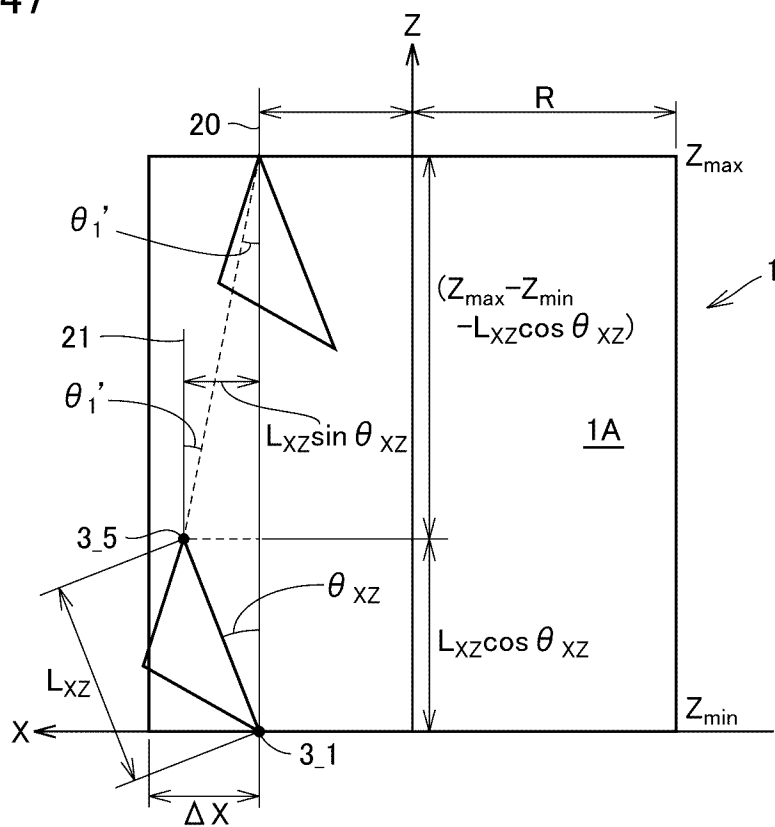
[図46]

FIG.46



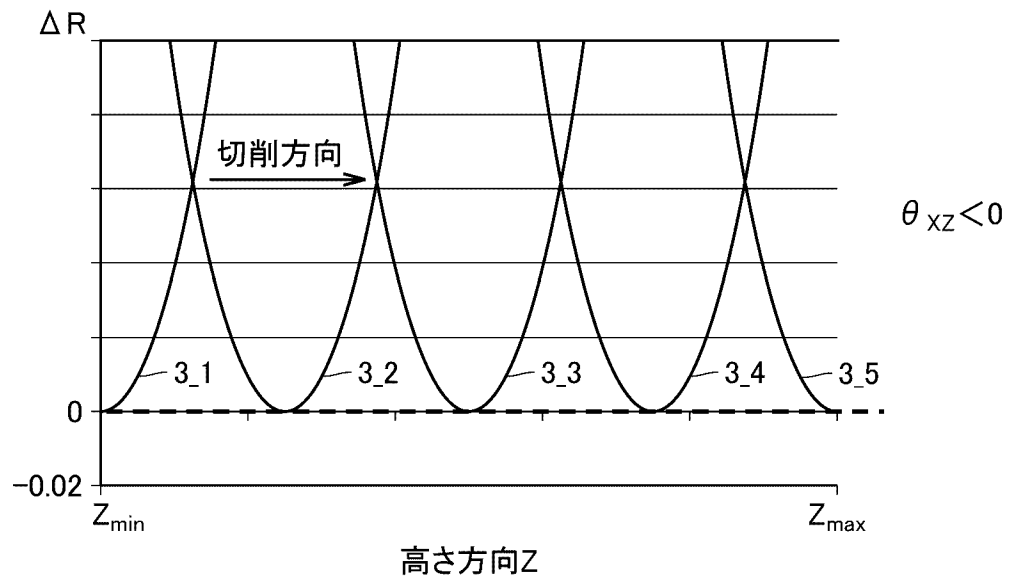
[図47]

FIG.47



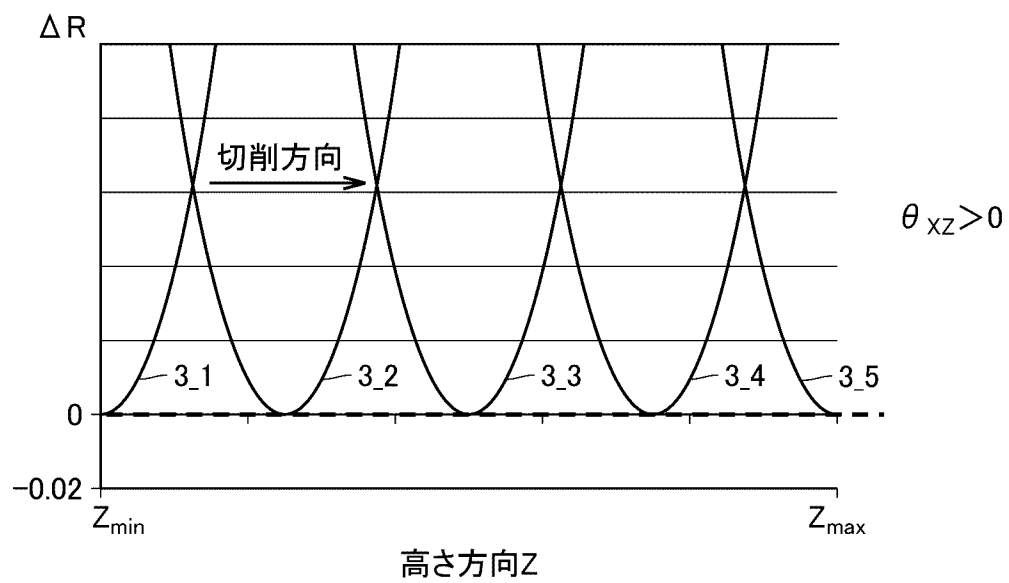
[図48]

FIG.48



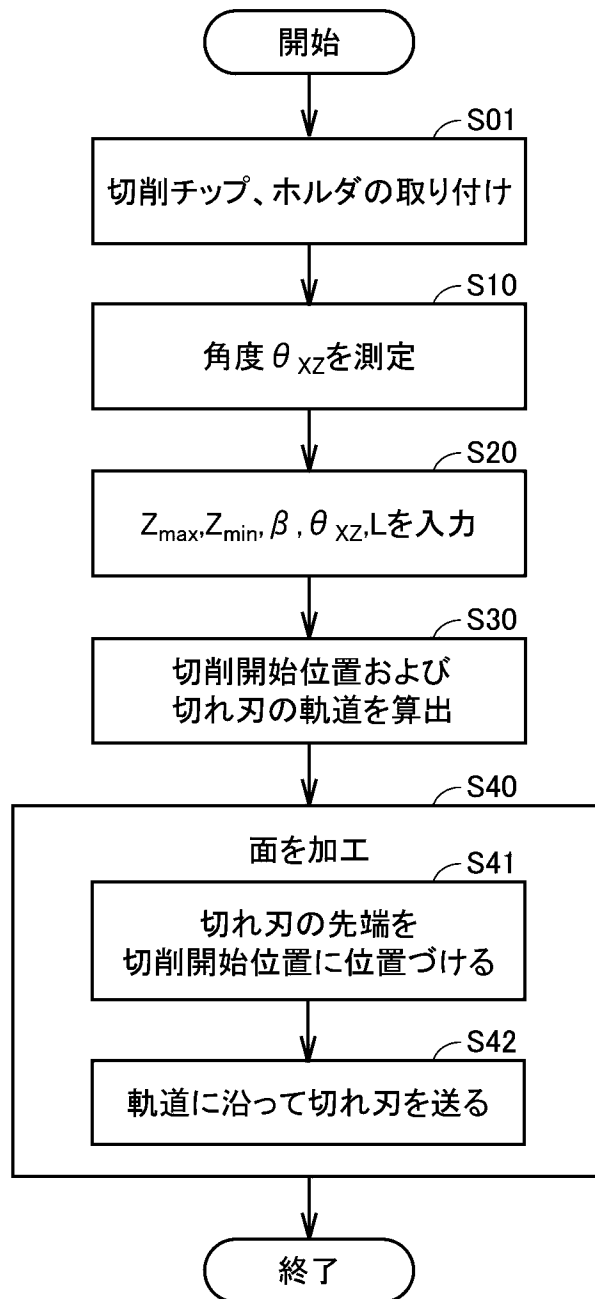
[図49]

FIG.49



[図50]

FIG.50



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/085197

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G05B19/4093(2006.01)i, B23B1/00(2006.01)i, B23B5/38(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)

G05B19/4093, B23B1/00, B23B5/38

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	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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	WO 2013/088884 A1 (Murata Machinery Ltd.), 20 June 2013 (20.06.2013), paragraphs [0003] to [0004] (Family: none)	1-16
A	JP 2-156308 A (Fanuc Ltd.), 15 June 1990 (15.06.1990), page 2, upper left column, line 1 to lower left column, line 2 (Family: none)	1-16

☐ 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

"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

"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
16 February 2016 (16.02.16)

Date of mailing of the international search report
01 March 2016 (01.03.16)

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

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G05B19/4093(2006.01)i, B23B1/00(2006.01)i, B23B5/38(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. G05B19/4093, B23B1/00, B23B5/38

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	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016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	WO 2013/088884 A1（村田機械株式会社）2013.06.20, 段落[0003]-[0004]（ファミリーなし）	1-16
A	JP 2-156308 A（フアナツク株式会社）1990.06.15, 第2頁左上欄第1行-左下欄第2行（ファミリーなし）	1-16

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

16.02.2016

国際調査報告の発送日

01.03.2016

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）

牧 初

3U

9064

電話番号 03-3581-1101 内線 3364