

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-79348

(P2015-79348A)

(43) 公開日 平成27年4月23日(2015.4.23)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)		
G05B	19/18	(2006.01)	G05B	19/18	C	3C045		
B23Q	15/00	(2006.01)	B23Q	15/00	H	3C048		
B23B	5/36	(2006.01)	B23B	5/36		3C269		
B23P	23/02	(2006.01)	B23P	23/02	A			
B23Q	1/48	(2006.01)	B23Q	1/48	F			

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2013-215914 (P2013-215914)
 (22) 出願日 平成25年10月17日 (2013.10.17)

(71) 出願人 000005267
 ブラザー工業株式会社
 愛知県名古屋市瑞穂区苗代町15番1号
 (74) 代理人 100104178
 弁理士 山本 尚
 (74) 代理人 100174344
 弁理士 安井 雅俊
 (72) 発明者 入江 武志
 愛知県名古屋市瑞穂区苗代町15番1号
 ブラザー工業株式会社内

Fターム(参考) 3C045 EA02
 3C048 DD10 DD17
 3C269 AB01 AB02 AB31 CC01 CC19
 DD01 EF15 EF20 EF39

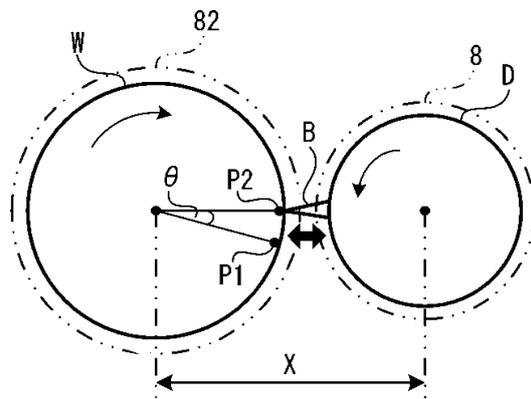
(54) 【発明の名称】 数値制御装置

(57) 【要約】

【課題】二軸を同時駆動する加工方式で、ワークに自由形状を施すことができる数値制御装置を提供する。

【解決手段】二軸同期加工は、基準周期に対し、工具主軸8を第一回転数、ワーク主軸82を第二回転数で夫々回転し互いに同期させる。第二回転数は第一回転数よりも小さい回転数差を第一回転数に加算した数である。ワーク主軸82と工具主軸8とを結ぶ仮想直線はX軸方向である。回転数差は、基準周期に基づく第一周期毎にワークW表面の同一円周上に位相差を生じる。同一円周上にて工具DのチップBとワークW表面との刃当たり位置は第一周期毎に周方向へずれる。数値制御装置は刃当たり位置のX軸方向の位置を第一周期毎に制御する。回転数差により第一周期毎に生じる位相差は正確である。故に数値制御装置はワークW表面に自由形状を高精度に加工できる。

【選択図】 図6



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

ワークを保持して回転するワーク主軸と、前記ワーク主軸の軸線方向に対して平行に配置し、ワーク表面に工具の刃を接触させて回転する工具主軸とを備えた工作機械を制御する数値制御装置において、

基準周期に対し、前記ワーク主軸又は前記工具主軸を第一回転数で回転させる第一主軸回転制御手段と、

前記基準周期に対し、前記工具主軸又は前記ワーク主軸を前記第一回転数よりも小さい回転数差を、前記第一回転数にさらに加算した第二回転数で回転させる第二主軸回転制御手段と、

前記ワーク主軸と前記工具主軸とを結ぶ仮想直線の方角を第一方向とした場合に、前記回転数差によって前記基準周期に基づく第一周期毎に前記ワーク表面において同一円周上に生じる位相差に基づき、前記同一円周上において前記第一周期毎に周方向へずれる前記刃と前記ワーク表面との接点の前記第一方向における位置を、前記第一周期毎に制御する接点位置制御手段と

を備えたことを特徴とする数値制御装置。

【請求項 2】

前記接点位置制御手段は、

前記位相差に基づき、前記接点の前記第一方向における位置を前記第一周期毎に制御し、且つ前記接点の前記ワーク主軸及び前記工具主軸に対して平行な第二方向における位置を前記基準周期に基づく第二周期毎に制御することを特徴とする請求項 1 に記載の数値制御装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、二つの主軸を有する工作機械を制御する数値制御装置に関する。

【背景技術】**【0002】**

従来、二つの主軸を有し、一方の主軸にワーク、他方の主軸に工具を取り付け、何れか一方を他方に対して相対的に回転させることによって、ワークに回転加工と旋削加工を選択的に施すことができる工作機械がある。ワークを取り付ける主軸はワーク主軸、工具を取り付ける主軸は工具主軸である。回転加工はワーク主軸を停止し且つ工具主軸を回転して加工する加工方式であり、例えばドリル加工及びタップ加工等である。旋削加工は工具主軸を停止し且つワーク主軸を回転して加工する加工方式であり、例えばねじ切り加工等である。これらに対し、二軸を同時駆動する加工方式は、二つの主軸の相対的な周速度が速くなるので効率の良い加工が期待できる。例えば、ワーク主軸と工具主軸を予め設定された所定の比率の回転速度で駆動し、ワークに多角形の形状を加工するポリゴン加工方式がある（例えば、特許文献 1 参照）。

【先行技術文献】**【特許文献】****【0003】**

【特許文献 1】特開平 4 - 1 6 4 5 5 7 号公報

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0004】**

二軸を同時駆動する方式で、ワークに対しユーザが意図する自由形状（例えば自然な形状又は複雑な形状を含む）を高精度で加工しようとした場合、所定の比率の回転速度で夫々を回転すると、ポリゴン加工方式では多角形になってしまうので採用できない。何れの主軸も回転しているので、自由形状を加工する為のワークと工具の位置関係の制御が困難であった。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 5 】

本発明の目的は、二軸を同時駆動する加工方式で、ワークに自由形状を施すことができる数値制御装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 6 】

本発明の請求項 1 に係る数値制御装置は、ワークを保持して回転するワーク主軸と、前記ワーク主軸の軸線方向に対して平行に配置し、ワーク表面に工具の刃を接触させて回転する工具主軸とを備えた工作機械を制御する数値制御装置において、基準周期に対し、前記ワーク主軸又は前記工具主軸を第一回転数で回転させる第一主軸回転制御手段と、前記基準周期に対し、前記工具主軸又は前記ワーク主軸を前記第一回転数よりも小さい回転数差を、前記第一回転数にさらに加算した第二回転数で回転させる第二主軸回転制御手段と、前記ワーク主軸と前記工具主軸とを結ぶ仮想直線の方法を第一方向とした場合に、前記回転数差によって前記基準周期に基づく第一周期毎に前記ワーク表面において同一円周上に生じる位相差に基づき、前記同一円周上において前記第一周期毎に周方向へずれる前記刃と前記ワーク表面との接点の前記第一方向における位置を、前記第一周期毎に制御する接点位置制御手段とを備えたことを特徴とする。故に数値制御装置は、工具主軸とワーク主軸の二軸を同時駆動する方式で、ワークに対し自由形状を高精度に施すことができる。

10

【 0 0 0 7 】

請求項 2 に係る発明の数値制御装置は、請求項 1 に記載の発明の構成に加え、前記接点位置制御手段は、前記位相差に基づき、前記接点の前記第一方向における位置を前記第一周期毎に制御し、且つ前記接点の前記ワーク主軸及び前記工具主軸に対して平行な第二方向における位置を前記基準周期に基づく第二周期毎に制御することを特徴とする。故に数値制御装置は、工具主軸とワーク主軸の二軸を同時駆動する方式で、ワークに対し立体的な自由形状を高精度に施すことができる。

20

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 8 】

【図 1】工作機械 1 の斜視図。

【図 2】工作機械 1 の正面図。

【図 3】工作機械 1 の右側面図。

【図 4】工作機械 1 の電気的構成を示すブロック図。

30

【図 5】ワーク W と工具 D の相互の位置関係を示す図。

【図 6】図 5 の状態から位相差を生じた時のチップ B の刃当たり位置 P 2 を示す図。

【図 7】仮想円周上に沿って刃当たり位置が P 1 ~ P 4 に順次ずれた状態を示す図。

【図 8】自由形状 L を Z 軸方向に加工した図。

【図 9】楕円柱 6 0 の平面図。

【図 10】楕円柱 6 0 の斜視図。

【図 11】NC プログラム A 1 の一部を示す図。

【図 12】形状プログラム A 2 の図。

【図 13】形状プログラム A 2 に対応する形状角度と X 軸方向の移動位置の関係を示すグラフ。

40

【図 14】メイン処理の流れ図。

【図 15】二軸同期加工処理の流れ図。

【図 16】変形例である NC プログラム A 3 の一部を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 0 9 】

本発明の一実施形態を図面を参照して説明する。図 1 の左斜め下方、右斜め上方、左斜め上方、右斜め下方は、夫々、工作機械 1 の前方、後方、左方、右方である。工作機械 1 の左右方向、前後方向、上下方向は、夫々、X 軸方向、Y 軸方向、Z 軸方向である。

【 0 0 1 0 】

図 1 に示す工作機械 1 は複合加工機である。工作機械 1 はワーク（工作物）に対し回転

50

加工と旋削加工に加え、二軸同期加工を施すことができる。回転加工は、工具Dを回転し、静止状態のワーク（図1では図示略）に接触させてワークを切削する加工である。旋削加工は、ワークを回転し、静止状態の工具Dを接触させてワークを軸対称に切削する加工である。二軸同期加工は、二軸同時駆動により、工具Dとワークを同時に回転してワークを切削する加工である。

【0011】

図1～図3を参照し、工作機械1の構造を説明する。工作機械1は、基台部2、運搬体12、コラム5、主軸ヘッド7、工具主軸8（図2，図3参照）、ワーク保持装置80、自動工具交換装置30（以下ATC30と称す）等を備える。

【0012】

基台部2はY軸方向に長い矩形箱状の鉄製部材である。基台部2は上面後ろ側に台座部4、上面右前側に右前台座部18、上面左前側に左前台座部19を備える。台座部4は上面に一对のY軸レール61，62（図2参照）、Y軸ボールネジ63（図2参照）、Y軸モータ52（図4参照）等を備える。Y軸レール61，62、Y軸ボールネジ63はY軸方向に延びる。Y軸ボールネジ63はY軸レール61，62の間に設ける。

【0013】

運搬体12はY軸レール61，62に沿って移動可能に設ける。運搬体12は下面にナット（図示略）を備え、該ナットはY軸ボールネジ63に螺合する。Y軸モータ52はY軸ボールネジ63を回転する。運搬体12はナットと共にY軸方向に移動する。運搬体12は上面に一对のX軸レール71，72、X軸ボールネジ73、X軸モータ51等を備える。X軸レール71，72、X軸ボールネジ73はX軸方向に延びる。X軸ボールネジ73はX軸レール71，72の間に設ける。

【0014】

コラム5はX軸レール71，72に沿って移動可能に設ける。コラム5は下面にナット（図示略）を備え、該ナットはX軸ボールネジ73に螺合する。X軸モータ51はX軸ボールネジ73を回転する。コラム5はナットと共にX軸方向に移動し、運搬体12を介してY軸方向に移動可能である。コラム5は前面に一对のZ軸レール（図示略）、Z軸ボールネジ（図示略）、Z軸モータ53（図4参照）等を備える。Z軸レール、Z軸ボールネジはZ軸方向に延びる。Z軸ボールネジは一对のZ軸レールの間に設ける。

【0015】

主軸ヘッド7はZ軸レールに沿って移動可能に設ける。主軸ヘッド7は背面にナット（図示略）を備え、該ナットはZ軸ボールネジに螺合する。Z軸モータ53はZ軸ボールネジを回転する。主軸ヘッド7はZ軸方向に移動する。工具主軸8は主軸ヘッド7に設ける。工具主軸8は下端部に工具装着穴（図示略）を備える。工具装着穴は主軸ヘッド7下部に位置する。工具装着穴は工具Dを装着する。工具主軸モータ54は工具主軸8を回転する。工具主軸モータ54は主軸ヘッド7上部に設ける。

【0016】

ワーク保持装置80は、右側固定部88、左側固定部89、テーブル81、ワーク主軸82、ワーク主軸モータ56、チルトモータ57等を備える。右側固定部88は右前台座部18上面に固定する。左側固定部89は左前台座部19上面に固定する。テーブル81は、水平部81A、右連結部81B、左連結部81Cを備える。ワーク主軸82はテーブル81略中央に回転可能に設ける。ワーク主軸モータ56は水平部81A下面側に設ける。ワーク主軸82はワーク主軸モータ56の回転軸に連結する。ワーク主軸82の軸線方向は水平部81Aに対して直交する。ワーク主軸82は治具（図示略）を用いて上部にワークを保持可能である。

【0017】

右連結部81Bは水平部81Aから右斜め上方に延び且つ右側固定部88にX軸回りに回転可能に連結する。左連結部81Cは水平部81Aから左斜め上方に延び且つ左側固定部89にX軸回りに回転可能に連結する。チルトモータ57は右側固定部88に固定する。チルトモータ57の回転軸は右連結部81Bと連結する。チルトモータ57はテーブル

10

20

30

40

50

8 1 を X 軸回りに回転する。ワーク主軸 8 2 に保持したワークは、ワーク主軸モータ 5 6 の駆動によりワーク主軸 8 2 の軸回りに回転する。ワークはチルトモータ 5 7 によるテーブル 8 1 の回転に関わらず、ワーク主軸モータ 5 6 の駆動により水平部 8 1 A に対して直角な軸回りに回転する。

【 0 0 1 8 】

図 1 ~ 図 3 を参照し、A T C 3 0 の構造を説明する。A T C 3 0 は、工具マガジン 3 1、マガジン支持部材 3 2、マガジンモータ 5 5、駆動ギヤ 3 5 等を備える。マガジン支持部材 3 2 は楕円環状であり、主軸ヘッド 7 とコラム 5 を内側に挿入した状態で、コラム 5 に取り付ける。工具マガジン 3 1 はマガジン支持部材 3 2 の外周に沿って取り付けられる。工具マガジン 3 1 はチェーン 3 4 と複数のポット 3 7 を備える。チェーン 3 4 はマガジン支持部材 3 2 の外周に沿って移動可能に取り付ける。複数のポット 3 7 はチェーン 3 4 に夫々取り付けられる。ポット 3 7 は工具 D を保持可能である。ポット 3 7 はアーム状に形成し且つ前後方向に揺動可能に取り付ける。

10

【 0 0 1 9 】

マガジンモータ 5 5 はマガジン支持部材 3 2 の上部に取り付ける。マガジンモータ 5 5 の駆動軸はマガジン支持部材 3 2 の上面に直交する。マガジンモータ 5 5 の駆動軸は正逆方向に夫々回転可能である。駆動ギヤ 3 5 はマガジンモータ 5 5 の駆動軸に取り付ける。駆動ギヤ 3 5 はマガジンモータ 5 5 の駆動軸と共に回転する。駆動ギヤ 3 5 は工具マガジン 3 1 のチェーン 3 4 に噛合する。チェーン 3 4 は駆動ギヤ 3 5 の駆動によりマガジン支持部材 3 2 の外周に沿って正逆何れかの方向に移動する。故にポット 3 7 はチェーン 3 4 と共にマガジン支持部材 3 2 の外周に沿って移動する。工具マガジン 3 1 の最下部に位置するポット 3 7 の位置は工具交換位置である。工具交換位置は工具主軸 8 に最も近接する位置である。A T C 3 0 は次工具を現工具と交換する。次工具は工具交換位置にあるポット 3 7 が保持する工具である。現工具は工具主軸 8 に装着する工具である。

20

【 0 0 2 0 】

図 4 を参照し、工作機械 1 の電氣的構成を説明する。工作機械 1 は数値制御装置 2 0 を備える。数値制御装置 2 0 は C P U 2 1、R O M 2 2、R A M 2 3、不揮発性記憶装置 2 4、入力部 2 5、入出力部 2 6 等を備える。C P U 2 1 は工作機械 1 の動作を統括制御する。R O M 2 2 は、後述するメインプログラム、後述する二軸同期制御プログラム等の各種プログラムを記憶する。メインプログラムは後述するメイン処理（図 1 4 参照）を実行する為のプログラムである。二軸同期制御プログラムは後述する二軸同期制御処理（図 1 5 参照）を実行する為のプログラムである。R A M 2 3 は各種データを記憶する。不揮発性記憶装置 2 4 は N C プログラム等を記憶する。N C プログラムは複数のブロックで構成したものである。各ブロックは各種 N C コマンドを含む。N C コマンドは制御指令である。

30

【 0 0 2 1 】

操作部 3 8、Z 軸原点センサ 3 9 は入力部 2 5 に接続する。操作部 3 8 は例えば工作機械 1 を覆うカバー（図示略）に設ける。操作部 3 8 は例えば作業者が工作機械 1 の動作について各種入力及び設定を行う機器である。Z 軸原点センサ 3 9 は主軸ヘッド 7 の Z 軸方向の原点を検出する。駆動回路 4 1 ~ 4 9 は入出力部 2 6 に接続する。

40

【 0 0 2 2 】

駆動回路 4 1 は X 軸モータ 5 1 を駆動する。エンコーダ 5 1 A は X 軸モータ 5 1 と入出力部 2 6 に接続する。エンコーダ 5 1 A は X 軸モータ 5 1 の回転量を検出し該検出信号を入出力部 2 6 に入力する。駆動回路 4 2 は Y 軸モータ 5 2 を駆動する。エンコーダ 5 2 A は Y 軸モータ 5 2 と入出力部 2 6 に接続する。エンコーダ 5 2 A は Y 軸モータ 5 2 の回転量を検出し該検出信号を入出力部 2 6 に入力する。駆動回路 4 3 は Z 軸モータ 5 3 を駆動する。エンコーダ 5 3 A は Z 軸モータ 5 3 と入出力部 2 6 に接続する。エンコーダ 5 3 A は Z 軸モータ 5 3 の回転量を検出し該検出信号を入出力部 2 6 に入力する。

【 0 0 2 3 】

駆動回路 4 4 は工具主軸モータ 5 4 を駆動する。エンコーダ 5 4 A は工具主軸モータ 5

50

4 と入出力部 2 6 に接続する。エンコーダ 5 4 A は工具主軸モータ 5 4 の回転量を検出し該検出信号を入出力部 2 6 に入力する。駆動回路 4 5 はマガジンモータ 5 5 を駆動する。エンコーダ 5 5 A はマガジンモータ 5 5 と入出力部 2 6 に接続する。エンコーダ 5 5 A はマガジンモータ 5 5 の回転量を検出し該検出信号を入出力部 2 6 に入力する。駆動回路 4 6 はワーク主軸モータ 5 6 を駆動する。エンコーダ 5 6 A はワーク主軸モータ 5 6 と入出力部 2 6 に接続する。エンコーダ 5 6 A はワーク主軸モータ 5 6 の回転量を検出し該検出信号を入出力部 2 6 に入力する。

【 0 0 2 4 】

駆動回路 4 7 はチルトモータ 5 7 を駆動する。エンコーダ 5 7 A はチルトモータ 5 7 と入出力部 2 6 に接続する。エンコーダ 5 7 A はチルトモータ 5 7 の回転量を検出し該検出信号を入出力部 2 6 に入力する。駆動回路 4 8 はクランプ装置 5 8 を駆動する。クランプ装置 5 8 はテーブル 8 1 の裏面側に設ける。クランプ装置 5 8 はワーク主軸 8 2 を固定保持する。駆動回路 4 9 は表示部 1 1 を駆動する。表示部 1 1 は工作機械 1 を覆うスプラッシュカバー（図示略）に設ける。表示部 1 1 は工作機械 1 の設定画面、操作画面等の各種画面を表示する。

10

【 0 0 2 5 】

X 軸モータ 5 1、Y 軸モータ 5 2、Z 軸モータ 5 3、工具主軸モータ 5 4、マガジンモータ 5 5、ワーク主軸モータ 5 6、チルトモータ 5 7 は、サーボモータである。

【 0 0 2 6 】

図 5 ~ 図 8 を参照し、二軸同期加工の原理を説明する。二軸同期加工は、工具主軸 8 とワーク主軸 8 2 を同期して回転しながらワーク W の加工表面（加工を施す面）に自由形状を施す加工方法である。図 5 に示すように、工具主軸 8 の軸線方向とワーク主軸 8 2 の軸線方向は互いに平行である。ワーク主軸 8 2 は上部の保持面に治具でワーク W を保持し、工具主軸 8 は工具装着穴に工具 D を装着する。工具 D は下向きである。工具 D は側面に一枚のチップ B を備えるが、複数でもよい。工作機械 1 はワーク主軸 8 2 と工具主軸 8 とを結ぶ仮想直線の方法を X 軸方向に設定する。数値制御装置 2 0 はワーク主軸 8 2 に対して工具主軸 8 を X 軸方向に移動可能に制御する。尚、数値制御装置 2 0 は工具主軸 8 に対してワーク主軸 8 2 を X 軸方向に移動可能に制御してもよい。X 軸方向は本発明の第一方向に相当する。チップ B は本発明の刃に相当する。

20

【 0 0 2 7 】

二軸同期加工に用いるパラメータは、T：基準周期、S_w：ワーク主軸 8 2 の回転数、S_t：工具主軸 8 の回転数、R：工具 D のチップ B の数、E：回転数差、Q：形状数、等である。形状数とは、ワーク W を仮想円周上で分割する分割数であり、分割して得られる夫々の形状部分の数である。分割する各形状は夫々互いに面対象形状である。仮想円とは、後述するが、ワーク主軸 8 2 と工具主軸 8 を同期回転中に、チップ B のワーク W の加工表面に対する刃当たり位置が移動する円形状の軌跡である。回転数差 E については後述する。

30

【 0 0 2 8 】

図 5 に示すように、工具 D のチップ B の刃先はワーク W の加工表面に対して側方から当たる。チップ B の最初の刃当たり位置は P 1 である。数値制御装置 2 0 は、ワーク主軸 8 2 と工具主軸 8 を互いに逆方向に回転する。例えば、ワーク主軸 8 2 と工具主軸 8 を、以下の（1）式が成り立つように夫々を同期して回転する。

40

$$S_w / R = S_t / Q \quad \dots (1)$$

（1）式が成り立つ加工は通常のポリゴン加工であるので、ワーク W の加工形状は多角形状となってしまう。

【 0 0 2 9 】

そこで、ワーク主軸 8 2 と工具主軸 8 を、以下の（2）式が成り立つように夫々を同期して回転する。

$$S_w / R + E = S_t / Q \quad \dots (2)$$

但し、回転数差 E は、（S_w / R）及び（S_t / Q）よりも十分に小さい値である。回

50

転数差 E によって、工具 D のチップ B がワーク W の加工表面に当たる時間差が生じる。時間差は位相差 を生じる。位相差 は、以下の (3) 式で求めることができる。

$$= (2 \times E) / T \cdots (3)$$

【 0 0 3 0 】

図 6 に示すように、位相差 により、チップ B の刃当たり位置は P 1 から P 2 にずれる。ワーク主軸 8 2 と工具主軸 8 の同期回転を継続すると、チップ B の刃当たり位置は、ワーク W の回転中心を中心とする仮想円周上を移動する。チップ B がワーク W 中心と工具 D 中心を結ぶ直線上を通過する周期は、 $T / (S t * R)$ である。チップ B がワーク W の同じ位置を加工する周期は、 $T / (E * Q)$ である。数値制御装置 2 0 は $T / (S t * R)$ 毎に工具 D の X 軸方向の位置を制御することにより、ワーク W の仮想円周上に微小な自由形状を形成する。尚、図 6 に示す刃当たり位置 P 1 , P 2 は本発明の接点に相当し、 $T / (S t * R)$ は本発明の第一周期に相当し、 $T / (E * Q)$ は本発明の第二周期に相当する。

10

【 0 0 3 1 】

ワーク主軸 8 2 と工具主軸 8 を上記 (2) 式が成り立つように夫々を同期回転した場合、例えば、図 7 に示すように、工具 D の刃当たり位置は、 $T / (S t * R)$ 毎に、P 1、P 2、P 3、P 4・・・と順次移動する。数値制御装置 2 0 は、 $T / (S t * R)$ 毎に、目標位置に到達するように、工具 D を X 軸方向に移動する。刃当たり位置 P 1、P 2、P 3、P 4・・・は仮想円の径方向に位置を変える。故に数値制御装置 2 0 は、ワーク W の加工表面に自由形状 L を高精度に形成できる。自由形状 L は、例えば刃当たり位置 P 1 ~ P 4 において折れ曲がった折れ線である。

20

【 0 0 3 2 】

更に、数値制御装置 2 0 は、 $T / (E * Q)$ を基準時間とした速度を与えられて、工具 D を Z 軸方向に移動する。刃当たり位置 P 1、P 2、P 3、P 4・・・は Z 軸方向にも位置を変えるので、図 8 に示すように、ワーク W の加工表面において自由形状 L を Z 軸方向にも高精度に表現できる。上記の二軸同期加工は、基準周期 T、回転数差 E を変更した場合でも、ワーク主軸 8 2 と工具主軸 8 を互いに同期することにより、ワーク W の加工形状を崩すことなく加工速度を変更できる。尚、Z 軸方向は本発明の第二方向に相当する。

【 0 0 3 3 】

図 9 ~ 図 1 5 を参照し、C P U 2 1 が制御する二軸同期加工を説明する。本実施形態は図 9 , 図 1 0 に示す楕円柱 6 0 を二軸同期加工でワーク W に切削する場合を一例として説明する。楕円柱 6 0 は、長半径 $a = 1 0 \text{ mm}$ 、短半径 $b = 9 . 9 \text{ mm}$ 、高さ $h = 1 0 \text{ mm}$ の円柱である。楕円柱 6 0 を加工する為に、C P U 2 1 は N C プログラム A 1 (図 1 1 参照) と形状プログラム A 2 (図 1 2 参照) を用いる。N C プログラム A 1 と形状プログラム A 2 は不揮発性記憶装置 2 4 に記憶する。

30

【 0 0 3 4 】

図 1 1 に示す N C プログラム A 1 の一部は、楕円柱 6 0 を二軸同期加工で切削するものである。このプログラムの「 X 」に続く数字は、図 4 の X 軸モータ 5 1 の絶対位置を指示するものであり、ワーク W に対し、工具主軸の軸線方向の位置を指示し、切削時の楕円の円周方向の半径と一致する。また、「 Z 」に続く数字は、図 4 の Z 軸モータ 5 3 の絶対位置を指示するものであり、ワーク W に対し、切削時の高さとも一致する。「 C 」に続く数字は、図 4 のワーク主軸モータ 5 6 の絶対位置を指示するものである。ワーク W の中心は、ワーク主軸モータの回転軸中心に設置されるため、ワーク W に対し、切削時の形状角度とも一致する。2 行目の「 G 5 1 . 9 」は同期開始指令を表し、同一行に指示された、「 P 」は形状指令のプログラム番号、「 Q 」は形状数、「 R 」はチップ数、「 S 」はワーク主軸 8 2 の回転数、「 T 」は基準時間、「 E 」は回転数差、「 I 」は $T / (S t * R)$ で補間する軸を指定する移動軸指令、「 J 」は $T / (E * Q)$ で補間する軸を指定する移動軸指令を示す。尚、「 I 」、「 J 」の軸指定は二進数で、X 軸 = b i t 0、Y 軸 = b i t 1、Z 軸 = b i t 2 で夫々指定する。最終行の「 G 5 0 . 9 」は同期終了指令である。2 行目の「 G 5 1 . 9 」から最終行の「 G 5 0 . 9 」までの間は、二軸同期加工を行う。その

40

50

間の「G 1」は直線補間指令、「F」はZ軸方向の工具主軸8の送り速度、「G 4」はドゥエル指令、「G 4」と同一行の「P」はドゥエル時間である。尚、「G 5 1 . 9」から「G 5 0 . 9」までの間は、「F」で指令される速度や、「G 0 4 P」で指令されるドゥエル指令の時間が毎分(/ 分)や毎回転(/ r e v)と違い、後述するように同期時間基準で指令される。

【 0 0 3 5 】

図 1 2 に示す形状プログラム A 2 は、長半径 $a = 10 \text{ mm}$ 、短半径 $b = 9.9 \text{ mm}$ の楕円 (図 9 参照) について、形状角度 毎の工具主軸 8 の X 軸方向の移動位置を夫々設定するサブプログラムである。「0 1 0 0 0」はプログラム番号が 1 0 0 0 番であることを示す。例えば、「C 0 . 0 0 0」は形状角度 $= 0^\circ$ 、「C 1 0 . 0 0 0」は形状角度 $= 10^\circ$ 、「C 9 0 . 0 0 0」は形状角度 $= 90^\circ$ であることを示す。「M 9 9」はサブプログラム終了コードである。図 1 3 は、形状プログラム A 2 が規定する形状角度 と X 軸方向の移動位置との関係を示したグラフである。形状角度 $= 0^\circ$ 、 180° 、 360° で X 軸方向の移動位置は 1 0、 $= 90^\circ$ 、 270° で X 軸方向の移動位置は 9 . 9 である。故に数値制御装置 2 0 は、形状プログラム A 2 に従い、工具主軸 8 を移動すれば、長半径 $a = 10 \text{ mm}$ 、短半径 $b = 9.9 \text{ mm}$ の楕円をワーク W の加工表面に描くことができる。CPU 2 1 は NC プログラム A 1 を後述するメイン処理で実行し、更に形状プログラム A 2 を参照し、後述する二軸同期制御処理を実行することにより、ワーク W に楕円柱 6 0 を加工できる。

10

【 0 0 3 6 】

図 1 4 を参照し、CPU 2 1 が実行するメイン処理を説明する。作業者が工作機械 1 を起動し、操作部 3 8 において NC プログラム A 1 を選択すると、CPU 2 1 は不揮発性記憶装置 2 4 から NC プログラム A 1 を読み出す。作業者が操作部 3 8 の実行ボタン (図示略) を押下すると、CPU 2 1 は ROM 2 2 からメインプログラムを起動し、NC プログラム A 1 について本処理を実行する。

20

【 0 0 3 7 】

先ず、CPU 2 1 は NC プログラム A 1 を 1 ブロック解釈する (S 1)。CPU 2 1 は解釈した指令がエンド指令か否か判断する (S 2)。解釈した指令がエンド指令でない場合 (S 2 : N O)、解釈したブロックの制御指令に従って動作を実行する (S 3)。

【 0 0 3 8 】

例えば、NC プログラム A 1 の 1 行目は「G 0 X 1 0 . 0 0 0 Z 0 . 0 0 0 C 0 . 0 0 0 M 1 9」であり、「工具主軸 8 を (X , Z) = (1 0 , 0) に位置決めし、ワーク主軸 8 2 を (C) = (0) に位置決めし、工具主軸 8 の向きをオリент、つまり、チップ B の位置方向をオリент方向にリセットせよ」という旨の指令である。CPU 2 1 は指令に従って動作を実行する (S 3)。

30

【 0 0 3 9 】

CPU 2 1 は、S 1 に戻り、2 行目を解釈する。2 行目は「G 5 1 . 9 P 1 0 0 0 Q 2 R 1 S 1 0 0 0 T 6 0 E 1 I 1 J 4」であり、「プログラム番号 1 0 0 0 番の形状プログラム A 2 を読み出し、形状数 Q を 2、チップ数 R を 1、ワーク主軸 8 2 の回転数 S を 1 0 0 0 回転、基準周期 T を 6 0 秒、回転数差 E を 1、 $T / (S t * R)$ 周期で補間する軸を X 軸、 $T / (E * Q)$ 周期で補間する軸を Z 軸に指定し、同期を開始せよ。」という旨の指令である。CPU 2 1 は指令に従い、各種パラメータ設定後、ワーク主軸 8 2 と工具主軸 8 の同期を開始する (S 3)。同期を開始すると、CPU 2 1 は ROM 2 2 から二軸同期制御プログラムを読み出し、後述する二軸同期制御処理 (図 1 5 参照) を開始する。尚、二軸同期制御処理の実行により、CPU 2 1 は、1 ミリ秒毎に、後述する補間位置 $S w$ 、補間位置 $S t$ 、形状角度 θ 、形状角度 ϕ 、移動量 Z 等を求め、ワーク主軸 8 2 と工具主軸 8 の各動作を制御する。

40

【 0 0 4 0 】

CPU 2 1 は、S 1 に戻り、3 行目を解釈する。3 行目は「G 1 Z 1 0 . 0 0 0 F 5」であり、「工具主軸 8 を Z 軸方向において 0 から 1 0 mm の位置に移動するまで、毎

50

T / (E * Q) 時間あたり 5 mm の移動速度で移動せよ。」という旨の指令である。CPU 2 1 は指令に従い、工具主軸 8 の X 軸方向の移動位置を制御し、且つ Z 軸方向に毎 T / (E * Q) 時間あたり 5 mm の移動速度で工具主軸 8 を移動する (S 3) 。後述するが、CPU 2 1 は F 5 の速度指令を後述する二軸同期制御処理にも反映する。図 1 0 に示すように、ワーク W に楕円柱 6 0 が徐々に形成される。

【 0 0 4 1 】

CPU 2 1 は、S 1 に戻り、4 行目を解釈する。4 行目は「G 4 P 2」であり、ドゥエル指令であるので、「T / (E * Q) の 2 倍の時間移動を停止しなさい。」という旨の指令である。CPU 2 1 は指令に従い、動作を実行する (S 3) ことにより、ワーク W に形状を最後まで加工できる。

10

【 0 0 4 2 】

CPU 2 1 は、S 1 に戻り、5 行目を解釈する。5 行目は「G 1 Z 0 . 0 0 0 F 5」であり、「工具主軸 8 を Z 軸方向に 1 0 mm から 0 の位置に移動するまで、毎 T / (E * Q) 時間あたり 5 mm の速度で移動せよ。」という旨の指令である。CPU 2 1 は指令に従って動作を実行する (S 3) ことにより、加工済みであるワーク W から工具主軸 8 を引き抜いて最初の位置に戻すことができる。

【 0 0 4 3 】

CPU 2 1 は、S 1 に戻り、6 行目を解釈する。6 行目は「G 5 0 . 9」であり、同期終了の指令である。CPU 2 1 は同期を終了し、ワーク主軸 8 2 と工具主軸 8 の動作を停止する。CPU 2 1 は解釈した指令がエンド指令か否か判断する (S 2) 。解釈した指令がエンド指令である場合 (S 2 : Y E S) 、本処理を終了する。

20

【 0 0 4 4 】

図 1 5 を参照し、二軸同期制御処理を説明する。まず、CPU 2 1 は S 指令からワーク主軸 8 2 の補間位置 S_w を算出する (S 1 1) 。補間位置 S_w は 1 ミリ秒間あたりのワーク主軸 8 2 の回転量であり、以下の (4) 式で算出する。尚、 t_{ic} は $t_{ic k}$ の略であり、CPU 2 1 の内部処理上の時間の最少単位である。本実施形態の t_{ic} は 1 ミリ秒である。

$$S_w = S_w / T * t_{ic} \dots (4)$$

【 0 0 4 5 】

CPU 2 1 は、S 1 1 で算出した補間位置 S_w に基づき、工具主軸 8 の補間位置 S_t を算出する (S 1 2) 。補間位置 S_t は 1 ミリ秒間あたりの工具主軸 8 の回転量であり、以下の (5) 式で算出する。

30

$$S_t = (S_w * Q + E) / (R * T) * t_{ic} \dots (5)$$

【 0 0 4 6 】

CPU 2 1 は、S 1 1 で算出した補間位置 S_w に基づき、形状角度 θ を算出する (S 1 3) 。形状角度 θ は 1 ミリ秒間あたりの刃当たり位置の位相差であり、以下の (6) 式で算出する。

$$\theta = 360 * E / T * t_{ic} \dots (6)$$

【 0 0 4 7 】

CPU 2 1 は、S 1 3 で算出した形状角度 θ を RAM 2 3 に記憶する形状角度 θ_{mem} に加算し、形状角度 θ を更新する (S 1 4) 。形状角度 θ_{mem} は同期開始から現在までの位相差となる。CPU 2 1 は、形状プログラム A 2 を不揮発性記憶装置 2 4 から読み出し、形状角度 θ_{mem} に対応する工具主軸 8 の X 軸方向の移動位置を求める (S 1 5) 。

40

【 0 0 4 8 】

CPU 2 1 は S 1 1 で算出した補間位置 S_w と F の速度指令に基づき、工具主軸 8 の移動量 Z を求める (S 1 6) 。移動量 Z は 1 秒間あたりの工具主軸 8 の Z 軸方向の移動量である。本実施形態では、CPU 2 1 がメイン処理において NC プログラム A 1 の 3 行目の解釈で得ることができる。移動量 Z は、以下の (7) 式で算出する。

$$Z = F * Q * E / T * t_{ic} \dots (7)$$

【 0 0 4 9 】

50

CPU21は、上記S11～S16の処理を実行することにより、補間位置Sw、補間位置St、形状角度、形状角度、工具主軸8のX軸方向の移動位置、移動量Zを夫々求めることができる。CPU21は、これらパラメータに基づき、ワーク主軸82と工具主軸8の各動作を制御し、ワークWに楕円柱60を形成できる。

【0050】

CPU21は加工終了か否か判断する(S17)。加工終了か否かはワーク主軸82と工具主軸8が目標位置に到達したか否かで判断する。目標位置へ到達していない場合(S17:NO)、CPU21はS11に戻って、引き続き、上記パラメータを求め、ワーク主軸82と工具主軸8の各動作を制御する。目標位置へ到達して、同期加工が終了した場合(S17:YES)、本処理を終了する。上記のように、二軸同期加工では、ワーク主軸82と工具主軸8の回転数差によって生じる位相差を利用し、ワークWの仮想円周上を第一周期毎にずれる工具DのチップBの刃当たり位置を制御する。回転数差によって第一周期毎に生じる位相差は正確である。故に数値制御装置20はワークWの加工表面に自由形状を高精度に形成できる。

10

【0051】

以上説明したように、本実施形態の数値制御装置20は工作機械1を制御し、ワーク主軸82と工具主軸8を同期して回転させる二軸同期加工が可能である。二軸同期加工では、基準周期Tに対し、工具主軸8を第一回転数、ワーク主軸82を第二回転数で夫々回転し互いに同期させる。第二回転数は、第一回転数よりも小さい回転数差Eを第一回転数に加算した数である。ワーク主軸82と工具主軸8とを結ぶ仮想直線の方法はX軸方向とする。回転数差Eによって基準周期Tに基づく第一周期毎にワークWの加工表面にて仮想円周上に位相差を生じる。位相差に基づき、仮想円周上にて工具DのチップBとワークWの加工表面との刃当たり位置は第一周期毎に周方向へずれる。数値制御装置20は刃当たり位置のX軸方向における位置を第一周期毎に制御する。回転数差Eによって第一周期毎に生じる位相差は正確である。故に数値制御装置20は二軸同時加工により、ワークWの加工表面に自由形状を高精度に加工できる。

20

【0052】

また本実施形態では更に、数値制御装置20は刃当たり位置のX軸方向における位置を第一周期毎に制御し、且つ刃当たり位置のZ軸方向における位置を基準周期Tに基づく第二周期毎に制御する。故に数値制御装置20は、二軸同時加工により、ワークWに対し自由形状を立体的に高精度に施すことができる。

30

【0053】

なお本発明は上記実施形態に限らず、様々な変形が可能である。上記実施形態では、図11に示すNCプログラムA1をメイン処理で実行することにより、ワークWの加工表面に楕円柱60を加工したが、例えば、図16に示すNCプログラムA3をメイン処理で実行することにより、ワークWの加工表面に楕円柱60を加工することもできる。NCプログラムA3は楕円指令を用いるので、NCプログラムA1に比べてブロック数が少ない。

【0054】

NCプログラムA3の1、3、5行目は、NCプログラムA1の1、4、6行目と同じ制御指令である。NCプログラムA3の2、4行目について、G51.8は楕円指令、Uは楕円の長半径、Vは楕円の短半径、Wは形状角度、Rはチップ数、Sはワーク主軸82の回転数、Tは基準周期、Eは回転数差、FはZ軸方向の移動速度である。NCプログラムA3の2行目は「チップ数Rを1、ワーク主軸82の回転数Swを1000回転、基準周期Tを60秒、回転数差Eを1とし、U=10mm、V=9.9mmの楕円に沿って工具主軸8を移動しながら、工具主軸8をZ軸方向に0から10mmの位置に移動するまで毎T/(E*Q)時間当たり5mmの速度で移動せよ。」という旨の指令である。NCプログラムA3の4行目は「チップ数Rを1、ワーク主軸82の回転数Swを1000回転、基準周期Tを60秒、回転数差Eを1とし、U=10mm、V=9.9mmの楕円に沿って工具主軸8を移動しながら、工具主軸8をZ軸方向に10mmの位置から0の位置に移動するまで毎T/(E*Q)時間当たり5mmの速度で移動せよ。」という旨の指令で

40

50

ある。

【0055】

上記変形例の場合、図15に示す二軸同期制御処理のS13, S14, S15の処理の代わりに、以下の(8)式を用いることにより、X軸方向の移動位置を簡単に求めることができる。

$$X = \text{Sqrt}(U^2 * \cos(\quad)^2 + V^2 * \sin(\quad)^2) \quad \dots (8)$$

【0056】

また、本発明は上記変形例の他にも、種々の変更が可能である。上記実施形態では、ワーク主軸82を第一回転数で回転し、工具主軸8を第二主軸で同期して回転したが、この逆であってもよい。即ち、上記(2)式について、 $S_t / Q + E = S_w / R$ とすることも可能である。この場合、ワーク主軸82と工具主軸8の関係を逆にして上記各処理を行えばよい。

10

【0057】

また、上記実施形態は、ワーク主軸82に対して工具主軸8をX軸方向に移動したが、ワーク主軸82を工具主軸8に対してX軸方向に移動してもよい。

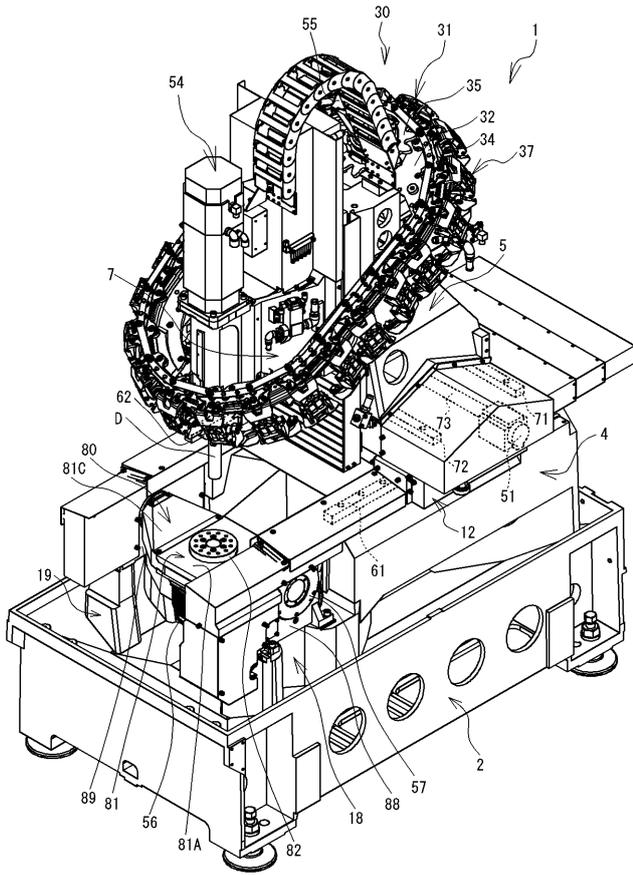
【符号の説明】

【0058】

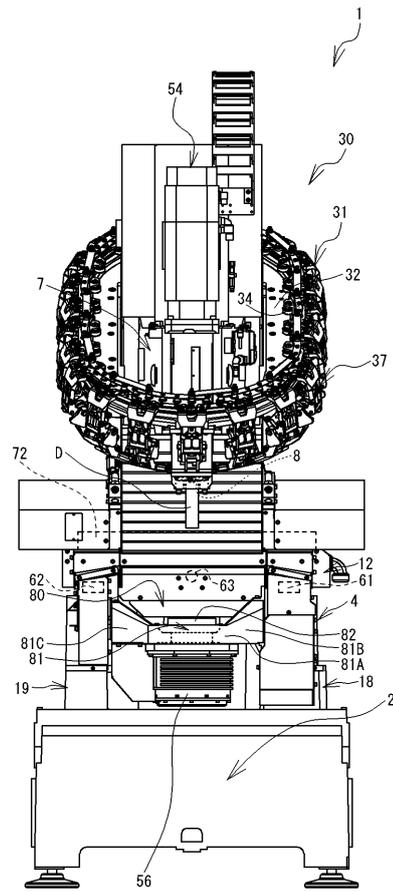
- 1 工作機械
- 8 工具主軸
- 20 数値制御装置
- 21 CPU
- 82 ワーク主軸
- B チップ
- E 回転数差
- T 工具
- W ワーク

20

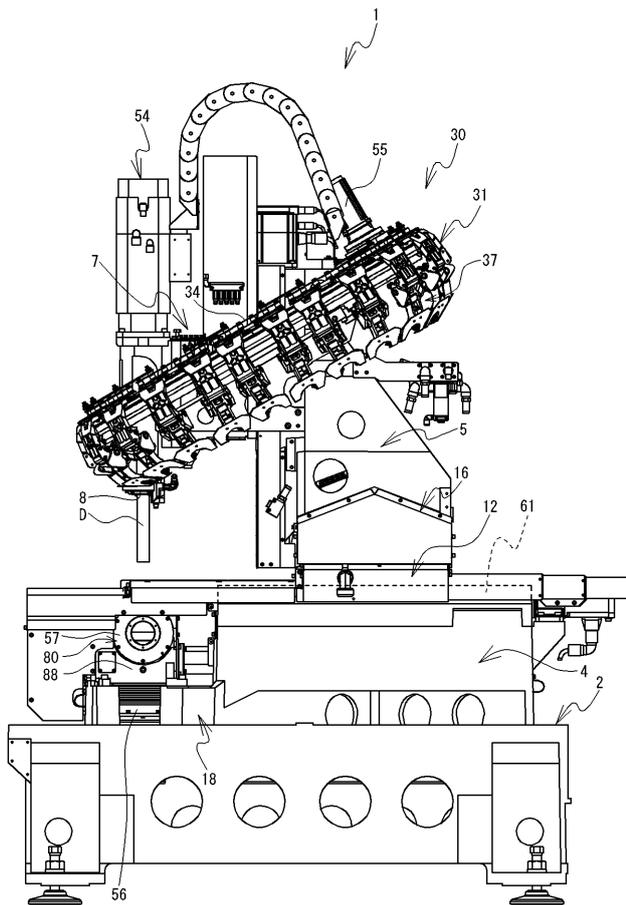
【図1】



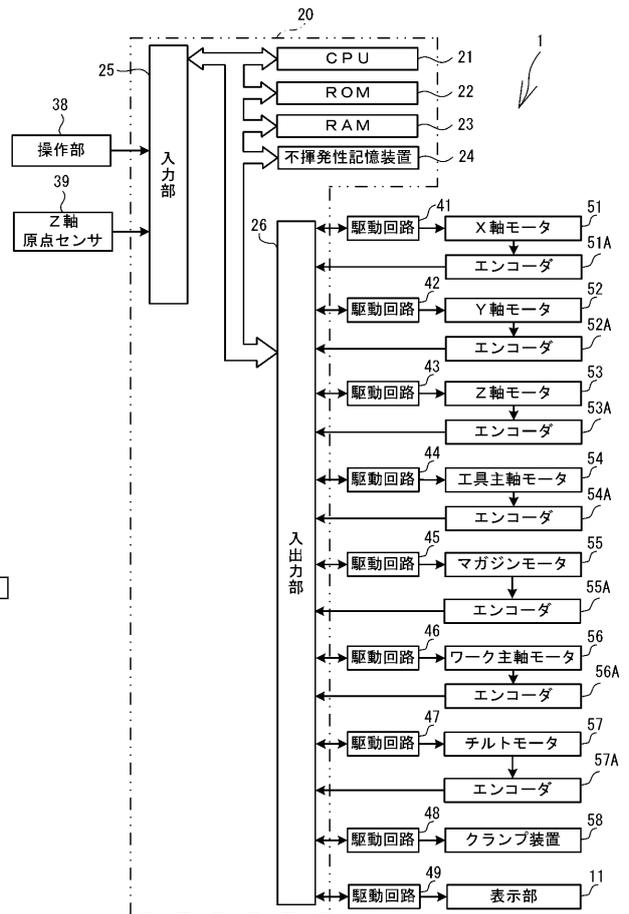
【図2】



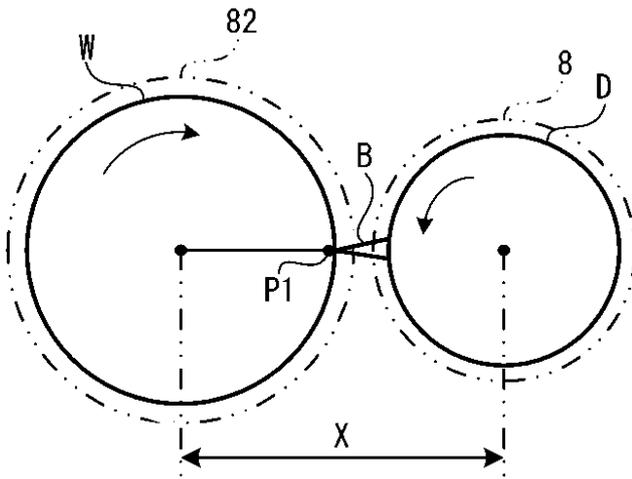
【図3】



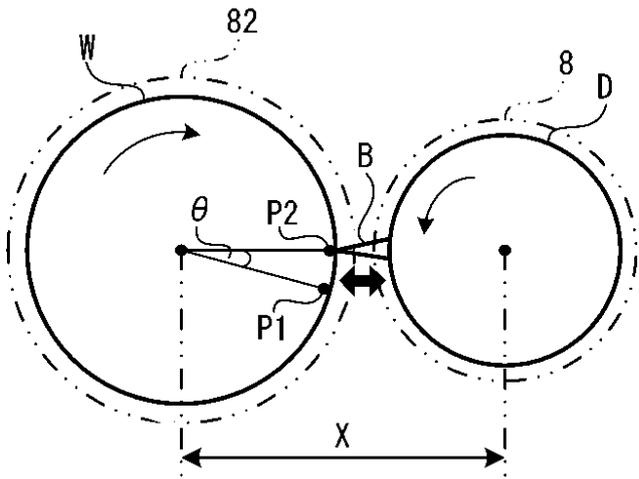
【図4】



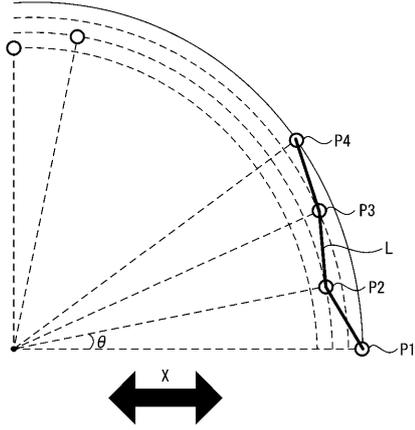
【 図 5 】



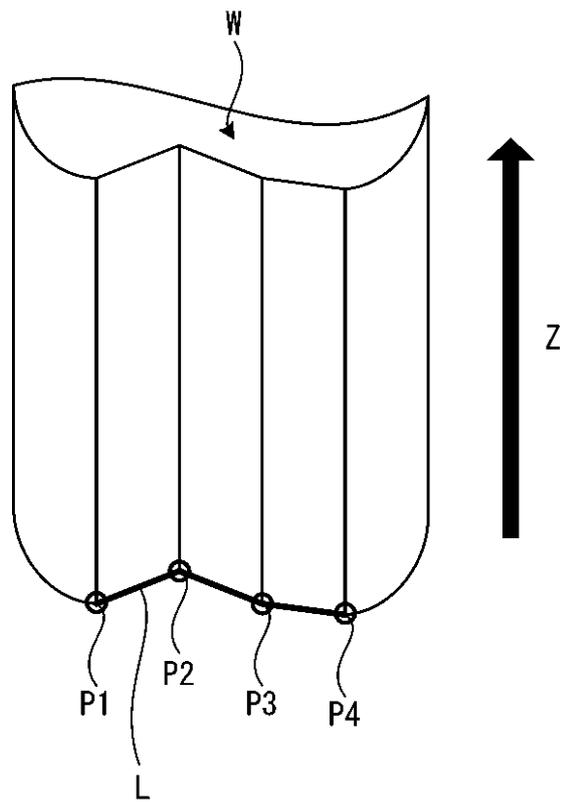
【 図 6 】



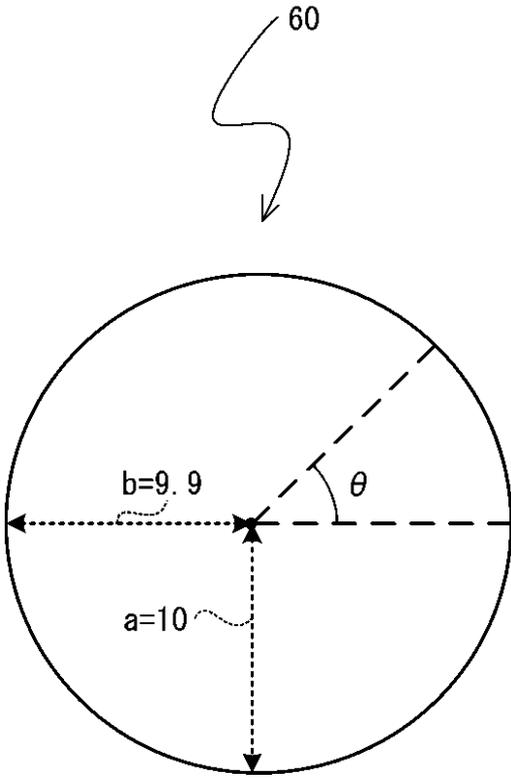
【 図 7 】



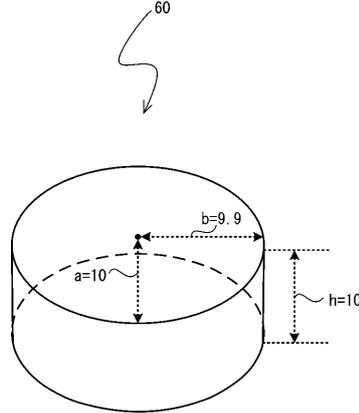
【 図 8 】



【図9】



【図10】



【図11】

A1

```

G0 X10.000 Z0.000 C0.000 M19
G51.9 P1000 Q2 R1 S1000 T60. E1 I1. J4.
G1 Z10.000 F5.
G4 P2
G1 Z0.000 F5.
G50.9
  
```

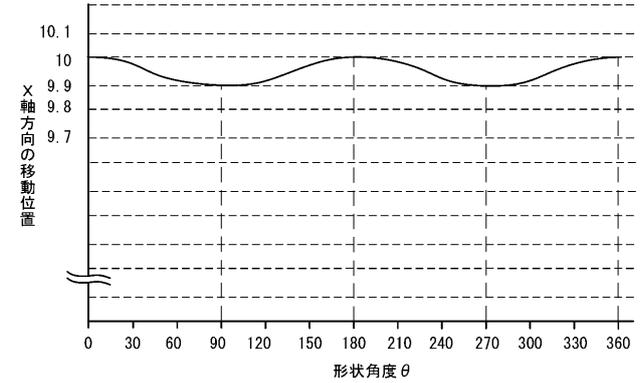
【図12】

A2

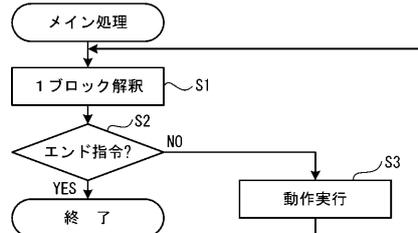
```

O1000
C0.000 X10.000
C5.000 X9.999
C8.000 X9.998
C10.000 X9.997
:
C20.000 X9.998
:
C30.000 X9.975
:
C50.000 X9.941
:
C90.000 X9.900
:
C120.000 X9.925
:
C180.000 X10.000
:
M99
  
```

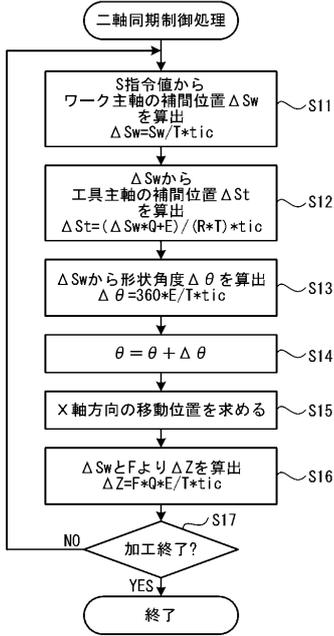
【図13】



【図14】



【 図 1 5 】



【 図 1 6 】

A3



```

G0 X10.000 Z0.000 C0.000 M19
G51.8 X10.000 Z10.000 U10. V99. W0.R1 S1000 T60. E1 F5.
G4 P2
G51.8 X10.000 Z0.000 U10. V99. W0.R1 S1000 T60. E1 F5.
G50.9
  
```