

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号

特開2022-8099

(P2022-8099A)

(43)公開日 令和4年1月13日(2022.1.13)

| (51)国際特許分類                     | F I           | テーマコード (参考) |
|--------------------------------|---------------|-------------|
| <b>B 2 3 Q 17/22 (2006.01)</b> | B 2 3 Q 17/22 | B 2 F 0 6 5 |
| <b>B 2 3 Q 17/24 (2006.01)</b> | B 2 3 Q 17/24 | B 3 C 0 2 9 |
| <b>G 0 1 B 11/00 (2006.01)</b> | G 0 1 B 11/00 | H           |

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全28頁)

|                   |                             |            |                           |
|-------------------|-----------------------------|------------|---------------------------|
| (21)出願番号          | 特願2021-85332(P2021-85332)   | (71)出願人    | 000003458                 |
| (22)出願日           | 令和3年5月20日(2021.5.20)        |            | 芝浦機械株式会社                  |
| (31)優先権主張番号       | 特願2020-110638(P2020-110638) |            | 東京都千代田区内幸町2丁目2番2号         |
| (32)優先日           | 令和2年6月26日(2020.6.26)        | (74)代理人    | 110000637                 |
| (33)優先権主張国・地域又は機関 | 日本国(JP)                     |            | 特許業務法人樹之下知的財産事務所          |
|                   |                             | (72)発明者    | 土屋 康二                     |
|                   |                             |            | 静岡県沼津市大岡2068の3 芝浦機械株式会社内  |
|                   |                             | F ターム (参考) | 2F065 AA07 AA17 BB16 CC10 |
|                   |                             |            | DD03 FF02 FF04 GG18       |
|                   |                             |            | HH03 HH13 HH17 JJ03       |
|                   |                             |            | JJ09 JJ26 LL04 MM03       |
|                   |                             |            | MM04 PP12 QQ21 QQ3        |
|                   |                             |            | 1                         |
|                   |                             |            | 3C029 AA02 AA40           |

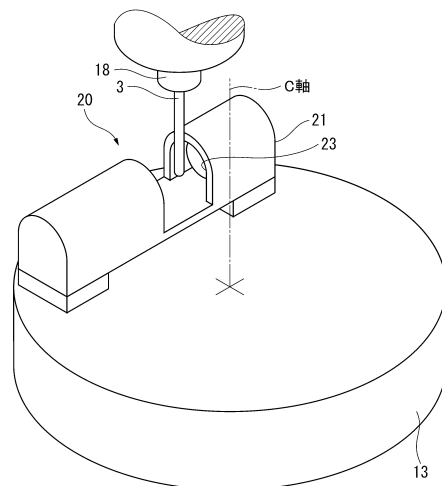
(54)【発明の名称】 工作機械の回転軸中心位置計測方法

## (57)【要約】

【課題】タッチプローブを用いずに単純な計算で回転軸の中心位置を高精度に計測できる工作機械の回転軸中心位置計測方法を提供する。

【解決手段】主軸18に工具3を装着し、工具3の位置を非接触で検出可能な検出ユニット20を回転テーブル13に設置しておき、計測対象の回転軸であるC軸について工具3と回転テーブル13とを所定の角度位置に割り出し、各角度位置で検出ユニット20を用いて回転テーブル13に対する工具3の位置を検出する検出動作を繰り返し、複数回の検出動作で検出された各角度位置での工具3の位置からC軸の中心位置を計算する。

【選択図】図4



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

主軸に工具を装着し、前記工具の位置を非接触で検出可能な検出ユニットをテーブルに設置しておき、

計測対象の回転軸について前記工具と前記テーブルとを所定の角度位置に割り出し、各角度位置で前記検出ユニットを用いて前記テーブルに対する前記工具の位置を検出する検出動作を繰り返し、

複数回の前記検出動作で検出された各角度位置での前記工具の位置から前記回転軸の中心位置を計算することを特徴とする工作機械の回転軸中心位置計測方法。

**【請求項 2】**

10

請求項 1 に記載した工作機械の回転軸中心位置計測方法において、

前記検出ユニットは、前記工具の先端が前記検出ユニットにおける特定位置にあることを非接触で検出可能であり、

前記検出動作では、前記主軸と前記テーブルとを相対移動させて前記工具と前記テーブルとを所定の角度位置に割り出し、前記各角度位置で前記工具が前記検出ユニットの前記特定位置にくるように前記主軸と前記テーブルとの相対位置を調節し、この状態で前記主軸と前記テーブルとの相対位置から前記各角度位置での前記テーブルに対する前記工具の位置を検出することを特徴とする工作機械の回転軸中心位置計測方法。

**【請求項 3】**

20

請求項 1 または請求項 2 に記載した工作機械の回転軸中心位置計測方法において、

前記工具の前記テーブルの径方向の位置を検出可能な前記検出ユニットを用い、

前記工具と前記テーブルとを、前記回転軸を挟んで第 1 方向に対向する 2 つの角度位置、および前記回転軸を挟んで前記第 1 方向と交差する第 2 方向に対向する 2 つの角度位置の 4 つの角度位置に割り出し、各角度位置で前記検出動作を行って前記工具の前記テーブルの径方向の位置を検出し、

前記第 1 方向に対向する 2 つの角度位置で検出された前記工具の位置を結ぶ線分の中点を通りかつ前記第 1 方向に交差する第 1 直線と、前記第 2 方向に対向する 2 つの角度位置で検出された前記工具の位置を結ぶ線分の中点を通りかつ前記第 2 方向に交差する第 2 直線とを計算し、前記第 1 直線と前記第 2 直線との交点を前記回転軸の中心位置として計測することを特徴とする工作機械の回転軸中心位置計測方法。

30

**【請求項 4】**

請求項 1 または請求項 2 に記載した工作機械の回転軸中心位置計測方法において、

前記工具の前記テーブルの表面に沿った位置を検出可能な前記検出ユニットを用い、

前記工具と前記テーブルとを、前記回転軸を挟んで対向する 2 つの角度位置に割り出し、各角度位置で前記検出動作を行って前記工具の前記テーブルの表面に沿った位置を検出し、

2 回の前記検出動作での前記工具の位置を結ぶ線分の中点を計算し、前記中点を前記回転軸の中心位置として計測することを特徴とする工作機械の回転軸中心位置計測方法。

**【請求項 5】**

40

請求項 1 または請求項 2 に記載した工作機械の回転軸中心位置計測方法において、

前記工具の前記テーブルの径方向の位置を検出可能な前記検出ユニットを用い、

前記工具と前記テーブルとを、前記回転軸を中心とした所定角度範囲内の複数の角度位置に割り出し、各角度位置で前記検出動作を行って前記工具の前記テーブルの径方向の位置を検出し、

複数回の前記検出動作で得られた前記工具の位置をプロットし、近似計算により前記回転軸の中心位置を計算することを特徴とする工作機械の回転軸中心位置計測方法。

**【請求項 6】**

請求項 1 から請求項 5 のいずれか一項に記載した工作機械の回転軸中心位置計測方法において、

前記検出ユニットは、前記テーブルに対する固定手段を有することを特徴とする工作機械

50

の回転軸中心位置計測方法。

【請求項 7】

請求項 1 から請求項 6 のいずれか一項に記載した工作機械の回転軸中心位置計測方法において、

前記検出ユニットは、平行光束を照射する照明部と、前記平行光束を検出する撮像部と、を有し、

前記撮像部で検出された画像から前記平行光束中に配置された前記工具の先端位置を検出することを特徴とする工作機械の回転軸中心位置計測方法。

【請求項 8】

請求項 7 に記載した工作機械の回転軸中心位置計測方法において、

10

前記工具を前記撮像部に対して回転した状態で、前記撮像部で前記画像を検出し、

前記画像から前記工具の輪郭を検出し、前記輪郭の対称性から前記工具の中心軸線を検出し、

前記中心軸線と前記輪郭との交点を前記工具の先端位置として検出することを特徴とする工作機械の回転軸中心位置計測方法。

【請求項 9】

請求項 8 に記載した工作機械の回転軸中心位置計測方法において、

前記中心軸線と前記輪郭との交点を前記工具の先端位置として検出する際に、

前記中心軸線の両側に所定距離をおいて一对の平行線を設定し、一对の前記平行線と前記輪郭との交点を通りかつ前記中心軸線と直交する補助輪郭線を設定し、

20

前記中心軸線と前記補助輪郭線との交点を前記工具の先端位置として検出することを特徴とする工作機械の回転軸中心位置計測方法。

【請求項 10】

請求項 8 または請求項 9 に記載した工作機械の回転軸中心位置計測方法において、

前記工具の延伸方向に前記輪郭を横断する複数の横断線を設定し、各々の前記横断線について前記輪郭との 2 つの交点および 2 つの前記交点の中点を検出し、各々の前記横断線の前記中点を通る直線を前記工具の中心軸線とすることを特徴とする工作機械の回転軸中心位置計測方法。

【請求項 11】

請求項 8 または請求項 9 に記載した工作機械の回転軸中心位置計測方法において、

30

前記工具の延伸方向に対して前記輪郭の片側の形状を基準パターンとして検出し、前記基準パターンを反転した形状に合致する対称パターンを前記輪郭から検出し、前記基準パターンと前記対称パターンとの中間を通る直線を前記工具の中心軸線とすることを特徴とする工作機械の回転軸中心位置計測方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、工作機械の回転軸中心位置計測方法に関する。

【背景技術】

【0002】

40

工作機械においては、主軸に装着された工具により、テーブルに載置されたワークを加工する。加工時には、工具とワークとを X 軸，Y 軸，Z 軸の各方向へ三次元移動させることで、ワークに任意の立体形状が加工できる。

工作機械のうち一部は、加工自由度を高めるために、X Y Z 方向の並進軸に加えて、並進軸回りに工具を回転させる回転軸を備えている。追加される回転軸としては、例えば X 軸回りの回転である A 軸、Y 軸回りの回転である B 軸、Z 軸回りの回転である C 軸などがある。このような多軸制御工作機械としては、例えば、X 軸，Y 軸，Z 軸の 3 つに A 軸，C 軸の 2 つを追加した 5 軸制御の工作機械が利用されている。

【0003】

前述した多軸制御工作機械においては、加工精度の向上のために、並進軸の位置誤差を最

50

小限とするとともに、回転軸の角度誤差および回転中心の位置精度を最小限とすることが必要である。このうち、回転軸中心位置の誤差による加工精度の低下を抑止するために、回転軸の中心位置を計測しておき、加工時にパラメータとして補正制御を行うことがなされている（特許文献 1 参照）。

#### 【 0 0 0 4 】

特許文献 1 では、回転軸の中心位置を計測する方法として、ワークに代えて基準マスタとなるターゲット球をテーブル上に固定するとともに、工具に代えてタッチプローブを主軸に装着しておき、計測すべき回転軸を複数の角度に割り出し、各角度位置でタッチプローブをターゲット球に接触させてターゲット球の中心位置を計測し、複数の角度位置での計測値から当該回転軸の中心位置を算出している。

10

とくに、特許文献 1 では、並進軸の動作範囲が構造的に制限される工作機械の場合でも回転軸の中心位置が高精度に計測できるように、回転軸の複数の角度位置でのタッチプローブとターゲット球との接触動作を、並進軸の動作可能範囲内だけで行い、移動が制限される範囲では接触動作を行うことなく、計算により回転軸中心位置を計測している。

#### 【 0 0 0 5 】

一方、測定対象の工具と測定装置が干渉して旋回軸（第 4 軸，第 5 軸）の割出範囲が大きく制限される場合でも、1 個の測定装置だけで X，Y，Z 方向すべての誤差量を測定することができる刃先位置検出方法が開発されている（特許文献 2）。

特許文献 2 では、旋回テーブルの回転軸上にある工具の最下点と、旋回テーブルの回転軸と直交する面内にある工具外周の 2 箇所以上とを測定して求まる工具中心点の 2 方向の誤差量より、X，Y，Z 方向の刃先位置決め誤差量を求めている。

20

#### 【 先行技術文献 】

#### 【 特許文献 】

#### 【 0 0 0 6 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 1 9 - 1 5 2 5 7 4 号公報

【 特許文献 2 】 特開 2 0 2 0 - 2 8 9 2 2 号公報

#### 【 発明の概要 】

#### 【 発明が解決しようとする課題 】

#### 【 0 0 0 7 】

前述した特許文献 1 の計測方法により、並進軸の動作範囲が制限されている工作機械の場合でも、回転軸の中心位置を高精度に計測できるようになった。

30

しかし、特許文献 1 の計測方法では、ターゲット球の位置を検出するために、刃物に代えてタッチプローブを主軸に装着する。

このため、計測時の工作機械は、主軸に工具が装着された実際の加工時の状態ではなく、計測した回転軸の中心位置は加工時の中心位置とは異なり、計測精度に限界があるという問題があった。

さらに、主軸にタッチプローブが装着できない工作機械では、そもそも特許文献 1 の計測方法を利用できないという問題があった。

一方、特許文献 2 では、工具中心点の 2 方向の誤差量を求めるために、幾つかの方法が提示されているが、工具種類がボールエンドミルに限定され、工具先端を「真円」として扱うことが前提となっており、異なる先端形状の工具には適用ができず、中心位置の高精度な計測は困難であった。このため、多様な先端形状の工具に対しても、単純な計算で回転軸の中心位置を高精度に計測できるようにすることが求められていた。

40

#### 【 0 0 0 8 】

本発明の目的は、タッチプローブを用いずに単純な計算で回転軸の中心位置を高精度に計測できる工作機械の回転軸中心位置計測方法を提供することにある。

本発明の他の目的は、多様な先端形状の工具に対しても、単純な計算で回転軸の中心位置を高精度に計測できる工作機械の回転軸中心位置計測方法を提供することにある。

#### 【 課題を解決するための手段 】

#### 【 0 0 0 9 】

50

本発明の工作機械の回転軸中心位置計測方法は、主軸に工具を装着し、前記工具の位置を非接触で検出可能な検出ユニットをテーブルに設置しておき、計測対象の回転軸について前記工具と前記テーブルとを所定の角度位置に割り出し、各角度位置で前記検出ユニットを用いて前記テーブルに対する前記工具の位置を検出する検出動作を繰り返し、複数回の前記検出動作で検出された各角度位置での前記工具の位置から前記回転軸の中心位置を計算することを特徴とする。

【 0 0 1 0 】

このような本発明では、非接触式の検出ユニットを用いた検出動作を複数回繰り返し、各角度位置での工具の位置から幾何学的な計算を行うことで、回転軸の中心位置を高精度に計測することができる。

10

計測にあたって、工作機械の主軸には加工用の工具を装着でき、計測の直前に主軸を回転させて昇温させ、加工時と同様な状態で計測することができる。また、主軸にタッチプローブが装着できない工作機械にも、幅広く適用できる。

従って、本発明によれば、タッチプローブを用いずに単純な計算で回転軸の中心位置を高精度に計測できる工作機械の回転軸中心位置計測方法を提供することができる。

【 0 0 1 1 】

なお、本発明では、テーブルに対する検出ユニットの位置および向きが高精度に把握できていれば、より少ない回数で回転軸の回転中心を計算できるが、テーブルに対する検出ユニットの位置および向きが高精度に把握できていなくても、複数回の検出動作により各角度位置での工具の位置を検出することで、幾何学的演算により工具の先端位置を絞り込んで高精度に確定することができる。

20

【 0 0 1 2 】

本発明の工作機械の回転軸中心位置計測方法において、前記検出ユニットは、前記工具の先端が前記検出ユニットにおける特定位置にあることを非接触で検出可能であり、前記検出動作では、前記主軸と前記テーブルとを相対移動させて前記工具と前記テーブルとを所定の角度位置に割り出し、前記各角度位置で前記工具が前記検出ユニットの前記特定位置にくるように前記主軸と前記テーブルとの相対位置を調節し、この状態で前記主軸と前記テーブルとの相対位置から前記各角度位置での前記テーブルに対する前記工具の位置を検出することが好ましい。

【 0 0 1 3 】

30

本発明において、検出動作として検出ユニットを用いてテーブルに対する工具の位置を検出する際には、検出ユニットにおいて工具の位置を検出してもよく、検出ユニットを工具の位置決め治具として用い、工作機械の制御装置から制御用の位置データを取得してもよい。すなわち、工作機械を制御装置の制御下で動作させ、主軸を移動させて工具を検出ユニットの特定位置に配置し、この状態で工作機械の制御装置における主軸の位置データを参照することで、工具の位置を取得することができる。特定位置としては、検出ユニットにおける工具検出領域の中心位置などが利用できる。

【 0 0 1 4 】

本発明の工作機械の回転軸中心位置計測方法において、前記工具の前記テーブルの径方向の位置を検出可能な前記検出ユニットを用い、前記工具と前記テーブルとを、前記回転軸を挟んで第1方向に対向する2つの角度位置、および前記回転軸を挟んで前記第1方向と交差する第2方向に対向する2つの角度位置の4つの角度位置に割り出し、各角度位置で前記検出動作を行って前記工具の前記テーブルの径方向の位置を検出し、前記第1方向に対向する2つの角度位置で検出された前記工具の位置を結ぶ線分の中点を通りかつ前記第1方向に交差する第1直線と、前記第2方向に対向する2つの角度位置で検出された前記工具の位置を結ぶ線分の中点を通りかつ前記第2方向に交差する第2直線とを計算し、前記第1直線と前記第2直線との交点を前記回転軸の中心位置として計測してもよい。

40

【 0 0 1 5 】

本発明において、テーブルの径方向の工具の位置を検出可能な検出ユニットとしては、工具の側面からの画像を検出して画像上の工具の位置を検出する画像センサを、テーブル

50

の周方向に向けて設置したものが利用できる。

回転軸を挟んで対向する４つの角度位置としては、例えばテーブルの０度位置と１８０度位置を第１方向に対向する２つの角度位置とし、９０度位置および２７０度位置を第２方向に対向する２つの角度位置とすることができる。

このような本発明によれば、０度と１８０度の角度位置での検出動作では確定できない中心位置の推定範囲を、９０度と２７０度の角度位置での検出動作による工具の位置により絞り込み、正確な回転軸の中心を確定することができ、計４つの角度位置での検出動作で、回転軸の中心位置を高精度に計測できる。

#### 【００１６】

本発明の工作機械の回転軸中心位置計測方法において、前記工具の前記テーブルの表面に沿った位置を検出可能な前記検出ユニットを用い、前記工具と前記テーブルとを、前記回転軸を挟んで対向する２つの角度位置に割り出し、各角度位置で前記検出動作を行って前記工具の前記テーブルの表面に沿った位置を検出し、２回の前記検出動作での前記工具の位置を結ぶ線分の中点を計算し、前記中点を前記回転軸の中心位置として計測してもよい。

10

#### 【００１７】

本発明において、テーブルの表面に沿った工具の位置を検出可能な検出ユニットとしては、工具のテーブルの径方向の位置および周方向の位置を検出可能な検出ユニットが利用でき、より具体的には、オートフォーカス機能を有する画像センサシステムをテーブルの周方向に向けてテーブルに設置し、工具の側面からの画像上の工具の位置を径方向の位置とし、オートフォーカス機能で検出される画像の奥行き方向の工具の位置を周方向の位置として検出することができる。

20

回転軸を挟んで対向する２つの角度位置としては、例えばテーブルの０度位置と１８０度位置などとすることができる。

このような本発明によれば、２つの角度位置での検出動作という簡単な操作で、回転軸の中心位置を高精度に計測できる。

#### 【００１８】

本発明の工作機械の回転軸中心位置計測方法において、前記工具の前記テーブルの径方向の位置を検出可能な前記検出ユニットを用い、前記工具と前記テーブルとを、前記回転軸を中心とした所定角度範囲内の複数の角度位置に割り出し、各角度位置で前記検出動作を行って前記工具の前記テーブルの径方向の位置を検出し、複数回の前記検出動作で得られた前記工具の位置をプロットし、近似計算により前記回転軸の中心位置を計算してもよい。

30

#### 【００１９】

このような本発明では、工作機械の構造的な制約で、回転軸まわりの一部の角度範囲での検出動作ができない場合でも、同角度範囲を除く限定された角度範囲で複数回の検出動作を繰り返すことで、回転軸中心位置の候補位置を例えば円弧状にプロットすることができ、最小二乗法などの近似計算により中心位置を確定することができる。

#### 【００２０】

本発明の工作機械の回転軸中心位置計測方法において、前記検出ユニットは、前記テーブルに対する固定手段を有することが好ましい。

40

本発明において、テーブルに設置される検出ユニットは、各角度位置での検出動作の間に、テーブルに対する設置位置が変動しないことが必要である。テーブルが上向きの場合、単に載置つまりテーブル表面に対して摩擦力で移動規制されるものであればよい。テーブルが上向き以外になる場合、検出ユニットがテーブルから落下しないように、テーブルに対して他の固定手段を用いることが好ましい。

固定手段としては、着脱が容易なものが好ましく、例えばマグネットによる吸着、粘着シートや接着剤などによる粘着、クランプなどの機械的な固定であってもよい。検出ユニットは非接触式であるため、工具との接触による移動は基本的になく、検出ユニットをテーブルに対して強固に固定する必要はない。

50

## 【 0 0 2 1 】

本発明の工作機械の回転軸中心位置計測方法において、前記検出ユニットは、平行光束を照射する照明部と、前記平行光束を検出する撮像部と、を有し、前記撮像部で検出された画像から前記平行光束中に配置された前記工具の先端位置を検出することが好ましい。

## 【 0 0 2 2 】

本発明において、照射部としては、点光源とテレセントリックレンズを用いて平行光束を形成するもの、直線状に配列された光源により平行光束を形成するもの、光ビームを平行に振って擬似的に平行光束を形成するもの、などが適宜利用できる。

本発明において、撮像部としては、例えばCCD (Charge Coupled Device) 式のカメラなど、撮影した画像をデータ出力して画像処理可能な画像検出器を用いることが好ましい。 10

本発明において、撮像部で検出された画像から平行光束中に配置された工具の先端位置を検出する際には、撮像部で検出された画像に対して既存の画像処理を行うことにより、平行光束中に配置された工具の影を検出し、エッジ検出により工具先端の輪郭からその中心位置を演算することで工具の先端位置を計算するソフトウェアを用いることができる。

このような本発明では、光学式の検出を行うことで、工具の先端位置を非接触で高精度に検出することができる。

また、位置検出にあたっては、照明部と撮像部との間の平行光束の中に工具の先端を配置するだけでよく、検出操作が容易である。

## 【 0 0 2 3 】

20

本発明の工作機械の回転軸中心位置計測方法において、前記工具を前記撮像部に対して回転した状態で、前記撮像部で前記画像を検出し、前記画像から前記工具の輪郭を検出し、前記輪郭の対称性から前記工具の中心軸線を検出し、前記中心軸線と前記輪郭との交点を前記工具の先端位置として検出することが好ましい。

このような本発明では、回転する工具の輪郭が線対称になることを利用して、工具の中心軸線を検出できるとともに、検出した中心軸線と工具の輪郭との交点をとることで、工具の先端位置を確定することができる。この際、工具の先端形状について制約はなく、多様な先端形状の工具に対して先端位置を確定できる。さらに、先端位置の確定は、工具の画像上の幾何学的演算処理だけでよく、単純な計算で工具の先端位置ないし回転軸の中心位置を高精度に計測できる。 30

## 【 0 0 2 4 】

本発明の工作機械の回転軸中心位置計測方法において、前記中心軸線と前記輪郭との交点を前記工具の先端位置として検出する際に、前記中心軸線の両側に所定距離をおいて一对の平行線を設定し、一对の前記平行線と前記輪郭との交点を通りかつ前記中心軸線と直交する補助輪郭線を設定し、前記中心軸線と前記補助輪郭線との交点を前記工具の先端位置として検出することが好ましい。

このような本発明では、例えば、先端に複数の突起をもつ工具や、偏った先端をもつ工具など、回転した状態では先端部の輪郭の形状が不明瞭になる工具についても、補助輪郭線を設定することで、中心から工具の先端位置を確定できる。これにより、多様な先端形状の工具に対しても、単純な計算で工具の先端位置ないし回転軸の中心位置を高精度に計測できる。 40

## 【 0 0 2 5 】

本発明の工作機械の回転軸中心位置計測方法において、前記工具の延伸方向に前記輪郭を横断する複数の横断線を設定し、各々の前記横断線について前記輪郭との2つの交点および2つの前記交点の中点を検出し、各々の前記横断線の前記中点を通る直線を前記工具の中心軸線とすることができる。

このような本発明では、工具の延伸方向（工具の向き、概略的な軸線方向）を利用して、工具の正確な中心軸線（回転対称軸）を検出することができる。この際、複数の横断線を用いる幾何学的な演算処理により、簡単に工具の先端位置ないし回転軸の中心位置を高精度に計測できる。 50

## 【 0 0 2 6 】

本発明の工作機械の回転軸中心位置計測方法において、前記工具の延伸方向に対して前記輪郭の片側の形状を基準パターンとして検出し、前記基準パターンを反転した形状に合致する対称パターンを前記輪郭から検出し、前記基準パターンと前記対称パターンとの中間を通る直線を前記工具の中心軸線とすることができる。

このような本発明では、工具の延伸方向（工具の向き、概略的な軸線方向）を利用して、工具の正確な中心軸線（回転対称軸）を検出することができる。この際、画像上のパターン認識により、簡単に工具の先端位置ないし回転軸の中心位置を高精度に計測できる。

## 【 発明の効果 】

## 【 0 0 2 7 】

10

本発明によれば、タッチプローブを用いずに単純な計算で回転軸の中心位置を高精度に計測できる工作機械の回転軸中心位置計測方法を提供することができる。また、多様な先端形状の工具に対しても、単純な計算で回転軸の中心位置を高精度に計測できる工作機械の回転軸中心位置計測方法を提供することができる。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 2 8 】

【 図 1 】 本発明の第 1 実施形態の工作機械を示す斜視図。

【 図 2 】 前記第 1 実施形態の検出ユニットを示す斜視図。

【 図 3 】 前記第 1 実施形態の検出ユニットを示す模式図。

【 図 4 】 前記第 1 実施形態の検出動作を示す斜視図。

20

【 図 5 】 前記第 1 実施形態の検出動作での工具先端を示す模式図。

【 図 6 】 前記第 1 実施形態の検出動作を示す模式図。

【 図 7 】 前記第 1 実施形態の C 軸位置計測動作を示す模式図。

【 図 8 】 前記第 1 実施形態の C 軸位置計測動作を示す模式図。

【 図 9 】 前記第 1 実施形態の C 軸位置計測動作を示す模式図。

【 図 1 0 】 本発明の第 2 実施形態の C 軸位置計測動作を示す模式図。

【 図 1 1 】 本発明の第 3 実施形態の C 軸位置計測動作を示す模式図。

【 図 1 2 】 前記第 3 実施形態の C 軸位置計測動作を示す模式図。

【 図 1 3 】 前記第 1 ～ 第 3 実施形態の変形例を示す模式図。

【 図 1 4 】 本発明の第 4 実施形態の A 軸位置計測動作を示す模式図。

30

【 図 1 5 】 前記第 4 実施形態の A 軸位置計測動作を示す模式図。

【 図 1 6 】 前記第 4 実施形態の A 軸位置計測動作を示す模式図。

【 図 1 7 】 本発明の第 5 実施形態の A 軸位置計測動作を示す模式図。

【 図 1 8 】 前記第 5 実施形態の A 軸位置計測動作を示す模式図。

【 図 1 9 】 前記第 5 実施形態の A 軸位置計測動作を示す模式図。

【 図 2 0 】 前記第 5 実施形態の A 軸位置計測動作を示す模式図。

【 図 2 1 】 本発明の第 6 実施形態の A 軸位置計測動作を示す模式図。

【 図 2 2 】 前記第 6 実施形態の A 軸位置計測動作の変形例を示す模式図。

【 図 2 3 】 前記第 6 実施形態の A 軸位置計測動作の変形例を示す模式図。

【 図 2 4 】 前記第 7 実施形態の工具先端位置検出処理を示す模式図。

40

【 図 2 5 】 前記第 7 実施形態の異なる向きの工具先端位置検出処理を示す模式図。

【 図 2 6 】 前記第 8 実施形態の工具先端位置検出処理を示す模式図。

【 図 2 7 】 前記第 9 実施形態の工具先端形状とその画像を示す模式図。

【 図 2 8 】 前記第 9 実施形態の工具先端位置検出処理を示す模式図。

## 【 発明を実施するための形態 】

## 【 0 0 2 9 】

## 〔 第 1 実施形態 〕

図 1 において、工作機械 1 は、ベッド 1 1 の上面に移動テーブル 1 2 および回転テーブル 1 3 を有する。

移動テーブル 1 2 は、ベッド 1 1 の上面に沿って移動自在に支持され、ベッド 1 1 に形成

50

された X 軸移動機構（図示省略）により移動され、X 軸方向の所定位置に位置決め可能である。

回転テーブル 13 は、移動テーブル 12 の上面に回転自在に設置され、移動テーブル 12 に形成された C 軸回転機構（図示省略）により回転され、C 軸まわりの所定角度位置に位置決め可能である。

回転テーブル 13 の上面には、加工対象であるワーク 2 が固定される。

【0030】

工作機械 1 は、ベッド 11 の上面に門型のコラム 14 を有する。

コラム 14 は、移動テーブル 12 の X 軸方向の移動経路を跨ぐように門型に形成されている。コラム 14 には、サドル 15 およびスライダ 16 を介して主軸ヘッド 17 が支持されている。

サドル 15 は、コラム 14 の水平バーに沿って移動自在に支持され、コラム 14 に設置された Y 軸移動機構（図示省略）により移動され、Y 軸方向の所定位置に位置決め可能である。

スライダ 16 は、サドル 15 の垂直な表面に沿って昇降自在に支持され、サドル 15 に設置された Z 軸移動機構（図示省略）により移動され、Z 軸方向の所定位置に位置決め可能である。

【0031】

主軸ヘッド 17 は、スライダ 16 の下部表面に回転自在に支持され、スライダ 16 に形成された A 軸回転機構（図示省略）により回転され、A 軸まわりの所定角度位置に位置決め可能である。

主軸ヘッド 17 には、主軸 18 が回転自在に支持され、主軸 18 の先端には工具 3 が装着される。

主軸 18 は、主軸ヘッド 17 に設置されたモータにより回転され、ワーク 2 の切削加工に必要な所定の回転数およびトルクで工具 3 を回転させることができる。

【0032】

工作機械 1 は、前述した移動テーブル 12 の X 軸移動、サドル 15 の Y 軸移動、スライダ 16 の Z 軸移動の 3 つに、回転テーブル 13 の C 軸回転、主軸ヘッド 17 の A 軸回転の 2 つを追加した 5 軸制御により、ワーク 2 に対して多様な切削加工が可能である。これらの動作制御を行うために、工作機械 1 には CNC（コンピュータ数値制御）式の制御装置 9 が接続されている。

このような工作機械 1 において、回転テーブル 13 の C 軸の回転軸中心位置を以下の手順で計測する。

【0033】

図 2 において、本実施形態では、工作機械 1 の C 軸中心位置の計測を行うために、回転テーブル 13 に検出ユニット 20 を設置する。

図 3 において、検出ユニット 20 はケース 21 を有し、ケース 21 の両端の脚部 22 で回転テーブル 13 の表面に着脱可能である。脚部 22 は、粘着あるいはマグネットや吸盤などの固定手段を有し、回転テーブル 13 の表面にずれないように固定される。

【0034】

ケース 21 は中間部上面側に開く開口部 23 を有する。ケース 21 の内部には、開口部 23 を挟んで一方の側に照明部 24 が設置され、反対側にテレセントリックレンズ 25、撮像部である CCD カメラ 26 および演算部 27 が設置されている。

照明部 24 は、開口部 23 を通してテレセントリックレンズ 25 に向けて平行光束 28 を照射可能である。

平行光束 28 は、テレセントリックレンズ 25 により集束され、CCD カメラ 26 で撮影される。

【0035】

撮像部である CCD カメラ 26 は、入射された集束光から平行光束 28 の横断画像を検出する。ここで、開口部 23 に検出対象物 29 が配置されると、平行光束 28 の一部が遮断

10

20

30

40

50

され、影 281 が形成される。

演算部 27 は、CCD カメラ 26 の検出画像を処理し、検出画像に表れる影 281 における幅および高さを測定することで、検出対象物 29 の幅および高さを非接触で検出可能である。

【0036】

図 4 において、前述した検出ユニット 20 の開口部 23 に工具 3 の先端を導入することで、工具 3 の先端が検出対象物 29 として平行光束 28 中に配置され、工具 3 の先端位置を検出することができる。

検出ユニット 20 は、平行光束 28 が回転テーブル 13 の周方向（回転テーブル 13 の半径方向と直交する方向）となるように、つまり照明部 24 と CCD カメラ 26 とが回転テーブル 13 の周方向に沿って向き合う姿勢としておく。

検出ユニット 20 の位置は、回転テーブル 13 の中心から離れた位置であればよく、正確な位置を計測しておく必要はない。また、検出ユニット 20 の向きも、平行光束 28 が回転テーブル 13 の周方向に正確に沿う方向である必要はない。これは、正確でない成分があっても、後述する対向位置（角度位置 A0 と角度位置 A180、角度位置 A90 と角度位置 A270）での演算時に、正確でない成分が相殺されるからである。

工具 3 を検出ユニット 20 に導入する際には、工具 3 の先端位置が CCD カメラ 26 の検出画像（図 5 の検出画像 261）の中央にくるように位置を調整する。

【0037】

図 5 において、CCD カメラ 26 の検出画像 261 には、工具 3 の先端の影 281 が表れる。

検出画像 261 においては、影 281 の輪郭 282 から、工具 3 の先端位置 283 の座標（ $T_v$ ,  $T_h$ ）を正確に割り出すことができる。

検出画像 261 で検出される座標（ $T_v$ ,  $T_h$ ）のうち、垂直方向の座標  $T_v$  は工作機械 1 の Z 軸座標に相当する。一方、水平方向の座標  $T_h$  は、回転テーブル 13 の中心に対する工具 3 の径方向位置  $R_c$ （半径方向の距離）であり、回転テーブル 13 の角度位置に応じて工作機械 1 の X 軸座標および Y 軸座標に投影される。例えば、回転テーブル 13 が図 7（A）の角度位置 A0 にあるとき、検出画像 261 は工作機械 1 の X 軸に交差し、座標  $T_h$  は工作機械 1 の Y 軸の座標  $T_y$  となる。回転テーブル 13 が図 8（A）の角度位置 A90 にあるとき、検出画像 261 は工作機械 1 の Y 軸に交差し、座標  $T_h$  は工作機械 1 の X 軸の座標  $T_x$  となる。

【0038】

工具 3 の先端位置 283 の座標（ $T_v$ ,  $T_h$ ）の割り出しにあたっては、演算部 27 において検出画像 261 の画像処理による工具 3 の先端位置検出を行ってもよく、検出ユニット 20 を工具 3 の位置決め治具として用い、工作機械 1 の位置データを取得して工具 3 の先端位置としてもよい。この際の工具 3 の先端位置の検出処理は、検出ユニット 20 に設置された演算部 27 で行うことができるほか、検出ユニット 20 では CCD カメラ 26 による画像検出までを行い、検出画像 261 の処理ないし工具 3 の先端位置の検出は工作機械 1 の制御装置 9 で行ってもよい。

【0039】

図 6 において、工作機械 1 の制御装置 9 は、前述した各軸移動などを制御するための動作制御部 91 を有するとともに、検出ユニット 20 から取得した検出画像 261 を画像処理して工具 3 の先端位置を検出する工具位置検出部 92 を有する。

検出動作においては、動作制御部 91 の制御のもとで工作機械 1 を動作させ、主軸 18 を移動させて工具 3 を検出ユニット 20 の開口部 23 内に導入し、工具 3 の先端が検出ユニット 20 の特定位置にくるように主軸 18 と回転テーブル 13 との相対位置を調節する。この状態で、工具位置検出部 92 は動作制御部 91 から主軸 18 の位置データ（工作機械 1 の Z 軸座標、X 軸座標および Y 軸座標）を取得し、検出画像 261 における座標  $T_v$ ,  $T_h$  を計算し、これを工具 3 の先端位置とすることができる。

【0040】

10

20

30

40

50

特定位置としては、検出ユニット 20 における工具検出領域である開口部 23 の中心位置などが利用できる。工具 3 の先端を特定位置に配置するために、CCD カメラ 26 の検出画像 261 に特定位置を示すマーカなどを表示することができる。一方、CCD カメラ 26 の検出画像 261 の中央位置を特定位置とし、目視確認のみで特定位置と判定してもよい。これは、特定位置が正確でなくても、後述する対向位置（角度位置 A0 と角度位置 A180、角度位置 A90 と角度位置 A270）での演算時に、正確でない成分が相殺されるからである。

#### 【0041】

本実施形態では、上述した検出ユニット 20 を用いて、工作機械 1 の C 軸中心位置を以下の手順で計測する。

10

図 7 (A) において、先ず回転テーブル 13 を角度位置 A0 とし、回転テーブル 13 の中心から離れた位置に検出ユニット 20 を置く。

回転テーブル 13 の角度位置 A0 は、CCD カメラ 26 の光軸が工作機械 1 の X 軸に沿った状態とする。ただし角度位置 A0 は任意の角度でよい。

#### 【0042】

検出ユニット 20 を設置したら、回転テーブル 13 の上方から主軸 18 (図 1 参照) を下降させ、工具 3 を検出ユニット 20 の開口部 23 に導入する。そして、検出ユニット 20 により角度位置 A0 における工具 3 の位置 P0 ( $Tx0, Ty0$ ) を記録しておく。

#### 【0043】

次に、工具 3 を上昇させて検出ユニット 20 から抜き出したうえ、検出ユニット 20 を載せたまま回転テーブル 13 を角度位置 A0 から 180 度回転させ、角度位置 A0 に対して C 軸を挟んで第 1 方向 D1 に対向する角度位置 A180 とする。

20

図 7 (B) において、回転テーブル 13 が角度位置 A180 にある状態で、再び工具 3 を検出ユニット 20 に導入する。そして、検出ユニット 20 により角度位置 A180 における工具 3 の先端位置 P180 ( $Tx180, Ty180$ ) を記録しておく。

#### 【0044】

図 7 (C) において、角度位置 A0 位置および角度位置 A180 での工具 3 の位置 P0, P180 が得られたら、演算部 27 により、C 軸中心位置を通りかつ第 1 方向 D1 と交差する第 1 直線 L1 を計算する。具体的には、角度位置 A0 での工具 3 の位置 P0 と角度位置 A180 での工具 3 の先端位置 P180 とを線分 L01 で結び、その中点を通りかつ第 1 方向 D1 と交差する直線を第 1 直線 L1 とする。

30

#### 【0045】

図 7 (A) ~ 図 7 (C) の検出動作により第 1 直線 L1 が得られたら、同様の手順で第 2 直線 L2 を計算する。

図 8 (A) において、検出ユニット 20 および回転テーブル 13 を角度位置 A90 (角度位置 A0 から 90 度回転した角度位置) とし、工具 3 を検出ユニット 20 の開口部 23 に導入する。そして、検出ユニット 20 により角度位置 A90 における工具 3 の先端位置 P90 ( $Tx90, Ty90$ ) を記録しておく。

図 8 (B) において、同様の操作により、検出ユニット 20 および回転テーブル 13 を、角度位置 A90 に対して C 軸を挟んで第 2 方向 D2 (第 1 方向 D1 と交差する) に対向する角度位置 A270 とし、検出ユニット 20 により角度位置 A270 における工具 3 の先端位置 P270 ( $Tx270, Ty270$ ) を記録しておく。

40

#### 【0046】

図 8 (C) において、角度位置 A90 および角度位置 A270 での工具 3 の先端位置 P90, P270 が得られたら、演算部 27 により、C 軸中心位置を通りかつ第 2 方向 D2 と交差する第 2 直線 L2 を計算する。具体的には、角度位置 A90 での工具 3 の先端位置 P90 と角度位置 A270 での工具 3 の先端位置 P270 とを線分 L02 で結び、その中点を通りかつ第 2 方向 D2 と交差する直線を第 2 直線 L2 とする。

図 9 において、第 1 直線 L1 および第 2 直線 L2 が得られたら、演算部 27 により第 1 直線 L1 と第 2 直線 L2 との交点 Pc を計算する。これにより、C 軸中心位置の存在可能範

50

囲が交点  $P_c$  の 1 点に限定され、工作機械 1 の正確な C 軸中心位置を計測することができる。

#### 【 0 0 4 7 】

このような本実施形態によれば、次のような効果がある。

本実施形態では、主軸 18 に工具 3 を装着し、工具 3 の位置を非接触で検出可能な検出ユニット 20 を回転テーブル 13 に設置しておき、計測対象の C 軸について工具 3 と回転テーブル 13 とを所定の角度位置 ( $A_0$ ,  $A_{90}$ ,  $A_{180}$ ,  $A_{270}$ ) に割り出し、各角度位置で検出ユニット 20 により回転テーブル 13 に対する工具 3 の位置 ( $P_0$ ,  $P_{90}$ ,  $P_{180}$ ,  $P_{270}$ ) を検出する検出動作を繰り返し、4 回の検出動作で検出された各角度位置での工具 3 の位置から C 軸の中心位置 ( $P_c$ ) を計算した。

10

#### 【 0 0 4 8 】

このような本実施形態では、非接触式の検出ユニット 20 を用いた検出動作を 4 回繰り返し、各角度位置での工具 3 の位置から幾何学的な計算を行うことで、C 軸の中心位置 ( $P_c$ ) を高精度に計測することができる。

計測にあたって、工作機械 1 の主軸 18 には加工用の工具 3 を装着でき、計測の直前に主軸 18 を回転させて昇温させ、加工時と同様な状態で計測することができる。また、主軸 18 にタッチプローブが装着できない工作機械 1 にも、幅広く適用できる。

従って、本実施形態によれば、タッチプローブを用いずに単純な計算で C 軸の中心位置を高精度に計測できる。

#### 【 0 0 4 9 】

20

本実施形態では、とくに工具 3 の回転テーブル 13 の径方向の位置を検出可能な検出ユニット 20 を用い、工具 3 と回転テーブル 13 とを、C 軸を挟んで第 1 方向  $D_1$  に対向する 2 つの角度位置  $A_0$ ,  $A_{180}$ 、および C 軸を挟んで第 1 方向  $D_1$  と交差する第 2 方向  $D_2$  に対向する 2 つの角度位置  $A_{90}$ ,  $A_{270}$  の 4 つの角度位置に割り出し、各角度位置で検出動作を行って工具 3 の回転テーブル 13 の径方向の位置 ( $P_0$ ,  $P_{90}$ ,  $P_{180}$ ,  $P_{270}$ ) を検出し、第 1 方向  $D_1$  に対向する 2 つの角度位置  $A_0$ ,  $A_{180}$  で検出された工具 3 の位置  $P_0$ ,  $P_{180}$  を結ぶ線分  $L_{01}$  の中点を通りかつ第 1 方向  $D_1$  に交差する第 1 直線  $L_1$  と、第 2 方向  $D_2$  に対向する 2 つの角度位置  $A_{90}$ ,  $A_{270}$  で検出された工具 3 の位置  $P_{90}$ ,  $P_{270}$  を結ぶ線分  $L_{02}$  の中点を通りかつ第 2 方向  $D_2$  に交差する第 2 直線  $L_2$  とを計算し、第 1 直線  $L_1$  と第 2 直線  $L_2$  との交点  $P_c$  を C 軸の中心位置として計測した。

30

#### 【 0 0 5 0 】

このため、本実施形態の検出ユニット 20 としては、回転テーブル 13 の径方向の工具 3 の位置を検出可能であればよく、工具 3 の側面からの検出画像 261 (図 5 参照) を検出して画像上の工具 3 の位置を検出する画像センサ (照明部 24 ないし CCD カメラ 26、図 3 参照) を、回転テーブル 13 の周方向に向けて設置したものが利用できる。

このような本実施形態によれば、0 度と 180 度の角度位置  $A_0$ 、 $A_{180}$  での検出動作では確定できない C 軸中心位置の推定範囲 (直線  $L_1$ ) を、90 度と 270 度の角度位置  $A_{90}$ ,  $A_{270}$  での検出動作による工具 3 の位置 (直線  $L_2$ ) により絞り込み、正確な C 軸の中心を確定することができ、計 4 つの角度位置 ( $A_0$ ,  $A_{90}$ ,  $A_{180}$ ,  $A_{270}$ ) での検出動作で、C 軸の中心位置を高精度に計測できる。

40

#### 【 0 0 5 1 】

本実施形態では、検出ユニット 20 は、平行光束 28 を照射する照明部 24 と、平行光束 28 を検出する撮像部 (テレセントリックレンズ 25 および CCD カメラ 26) と、検出画像 261 から平行光束 28 中に配置された工具 3 の先端位置を検出する演算部 27 と、を有するものとし、検出画像 261 に対して既存の画像処理を行うことにより、平行光束 28 中に配置された工具 3 の影 281 を検出し、エッジ検出により工具 3 の先端の輪郭 282 からその中心位置を演算することで、工具 3 の先端位置 283 を計算することができる。

その結果、検出ユニット 20 により、光学式の検出を行うことで、工具 3 の先端位置を非

50

接触で高精度に検出することができる。

また、位置検出にあたっては、照明部 24 と撮像部（テレセントリックレンズ 25 および CCD カメラ 26）との間の平行光束 28 の中に工具 3 の先端を配置するだけでよく、検出操作が容易である。

本実施形態では、検出ユニット 20 は、回転テーブル 13 に対する固定手段を有するとしたため、検出ユニット 20 の回転テーブル 13 に対する設置位置が、各角度位置での検出動作の間に変動しないようにできる。

#### 【0052】

##### 〔第 2 実施形態〕

図 10 には、本発明の第 2 実施形態が示されている。

10

前述した第 1 実施形態では、工作機械 1（図 1 参照）の C 軸中心位置の計測を行うために、回転テーブル 13 に検出ユニット 20 を設置し（図 2 および図 3 参照）、角度位置 A0、A180 での工具 3 の径方向位置の検出動作により第 1 直線 L1 を検出し、角度位置 A90、A270 での同検出動作により第 2 直線 L2 を検出し、その交点 Pc を工作機械 1 の正確な C 軸中心位置として計測していた。

これに対し、本実施形態では、角度位置 A0、A180 での検出動作において工具 3 の径方向位置とともに周方向位置、つまり回転テーブル 13 の表面に沿った平面位置を検出することで、工作機械 1 の正確な C 軸中心位置を計測する。

#### 【0053】

図 10（A）において、角度位置 A0 にある回転テーブル 13 には検出ユニット 20A が置かれている。

20

検出ユニット 20A は、基本構成が第 1 実施形態の検出ユニット 20 と同様であり、さらに、オートフォーカス機能を利用した画像の奥行き方向の座標検出が可能である。オートフォーカス機能を用いた座標検出としては、例えば図 5 の検出画像 261 において、工具 3 の影 281 の輪郭 282 に対してエッジ検出を行い、コントラスト最大となる焦点位置を検出することで、画像の奥行き方向の座標を正確に検出できる。

従って、回転テーブル 13 に置かれた検出ユニット 20A に工具 3 を導入することにより、回転テーブル 13 に対する工具 3 の径方向位置 Rc および周方向位置 Cc を検出することができる。このような、角度位置 A0 における検出動作により、工具 3 の回転テーブル 13 に対する平面位置 PA0 が計測される。

30

#### 【0054】

図 10（B）において、角度位置 A0 での検出動作が済んだら、回転テーブル 13 を角度位置 A180 へ移動させ、角度位置 A180 で同様の検出動作を行うことで、工具 3 の回転テーブル 13 に対する平面位置 PA180 が計測される。

図 10（C）において、平面位置 PA0 および平面位置 PA180 が得られたら、演算部 27 により平面位置 PA0 と平面位置 PA180 とを結ぶ線分 LA の中点 PAc を計算する。この中点 PAc により、工作機械 1 の正確な C 軸中心位置を計測できる。

#### 【0055】

このような本実施形態によれば、前述した第 1 実施形態と同様な効果が得られるとともに、工具 3 の先端の検出動作が角度位置 A0、A180 の 2 箇所済み、作業効率を向上することができる。

40

さらに、本実施形態では、第 1 実施形態における角度位置 A90、A270 など、他の角度位置での検出動作が必要ないため、例えば角度位置 A90、A270 が並進軸（XYZ 軸）の構造的な制約により検出動作の範囲外となる工作機械 1 であっても、角度位置 A0、A180 での検出動作により正確な C 軸中心位置を計測できる。

#### 【0056】

##### 〔第 3 実施形態〕

図 11 ないし図 12 には、本発明の第 3 実施形態が示されている。

前述した第 1 実施形態では角度位置 A0、A180 および角度位置 A90、A270 での検出動作を行い、第 2 実施形態では角度位置 A0、A180 での検出動作を行っており、

50

それぞれ回転テーブル 13 の中心を挟んで対向する角度位置  $A_0$  ,  $A_{180}$  での検出動作が必要であった。

これに対し、本実施形態では、角度位置  $A_0$  から  $180$  度未満の複数の角度位置  $A_n$  でそれぞれ第 1 実施形態と同様に、工具 3 の先端位置の検出動作を行い、検出結果の演算により工作機械 1 の正確な C 軸中心位置を計測する。

本実施形態において、工作機械 1、回転テーブル 13 および検出ユニット 20 については前述した第 1 実施形態と同様であり、これらの構成に関する重複する説明は省略する。

#### 【0057】

図 11 (A) において、先ず、検出ユニット 20 が設置された回転テーブル 13 を角度位置  $A_0$  に配置し、検出ユニット 20 の開口部 23 に工具 3 の先端を導入し、その位置を検出ユニット 20 で検出して工具 3 の位置  $P_0$  とする。

10

図 11 (B) において、次に、回転テーブル 13 を  $30$  度回転させて次の角度位置  $A_{30}$  まで回転させ、角度位置  $A_0$  と同様な操作により工具 3 の位置  $P_{30}$  を検出する。

図 11 (C) において、さらに回転テーブル 13 を  $30$  度回転させて次の角度位置  $A_{60}$  まで回転させ、角度位置  $A_0$  と同様な操作により工具 3 の位置  $P_{60}$  を検出する。

図 12 (A) において、回転テーブル 13 を次の角度位置  $A_{120}$  まで回転させ、角度位置  $A_0$  と同様な操作により工具 3 の位置  $P_{120}$  を検出する。

図 12 (B) において、回転テーブル 13 を次の角度位置  $A_{150}$  まで回転させ、角度位置  $A_0$  と同様な操作により工具 3 の位置  $P_{150}$  を検出する。

#### 【0058】

20

図 12 (C) において、前述した角度位置  $A_0 \sim A_{150}$  で検出された工具 3 の位置  $P_0 \sim P_{150}$  は画面上にプロットした際に円弧状に並ぶことになる。円弧状に並んだ位置  $P_0 \sim P_{150}$  の点列に対して、例えば最小二乗法などにより、円弧状の中心点  $P_{bc}$  の位置を高精度に計算することができ、ここで得られた中心点  $P_{bc}$  を工作機械 1 の正確な C 軸中心位置として計測することができる。

#### 【0059】

このような本実施形態によっても、前述した第 1 実施形態と同様な効果が得られるとともに、工作機械 1 における並進軸 (XYZ 軸) の構造的な制約により検出動作の可能範囲が  $180$  度未満であっても、複数位置での検出動作により正確な C 軸中心位置を計測できる。

30

#### 【0060】

##### 〔第 1 ～ 第 3 実施形態の変形〕

前述した第 1 ～ 第 3 実施形態においては、角度位置  $A_n$  での検出動作の際に、検出ユニット 20 で工具 3 の先端の画像を撮影したが、工具 3 の検出画像上の位置は角度位置  $A_n$  ごとにずれていてもよい。

図 13 において、検出ユニット 20 の検出画像 261 において、工具 3 の影 281 の輪郭 282 の検出画像 261 上の位置は、角度位置  $A_0$  と他の角度位置  $A_n$  で常に同じ位置にならないことがある。しかし、検出画像 261 の画像処理によって、角度位置  $A_0$  (2 点鎖線) の位置からのずれ量  $d_{c0}$  が算出できれば、その分の補正により工具 3 の座標を確定することができ、工具 3 の検出画像 261 上の位置は角度位置  $A_n$  ごとにずれていてもよい。

40

#### 【0061】

##### 〔第 4 実施形態〕

図 14 ないし図 16 には、本発明の第 4 実施形態が示されている。

本実施形態は、工作機械 1 における A 軸中心位置から工具 3 の先端までのずれの距離 (オフセット量) を計測するものである。

本実施形態における工作機械 1、および計測に用いる検出ユニット 20 については、前述した第 1 実施形態と同様であるので、重複する説明は省略する。

#### 【0062】

本実施形態では、回転テーブル 13 に検出ユニット 20 を設置する。

50

検出ユニット 20 は開口部 23 が回転テーブル 13 の中央（C 軸回転中心位置）にくるように配置する。そして、平行光束 28 の向きが工作機械 1 の X 軸方向となるように検出ユニット 20 の向きを調整しておく。検出ユニット 20 の向きは、回転テーブル 13 の C 軸回転によって調整してもよい。

検出ユニット 20 が設置できたら、工作機械 1 の各軸動作により主軸ヘッド 17 を検出ユニット 20 に接近させ、主軸 18 に装着された工具 3 の先端を開口部 23 に導入して検出動作を行う。

#### 【0063】

図 15（A）において、先ず、工作機械 1 の A 軸回転により、工具 3 が Y 軸「+」方向に向いた状態（A 軸まわりの角度位置 A0）とし、この状態で工作機械 1 の各軸移動により工具 3 の先端を開口部 23 に導入する。さらに、工作機械 1 の Y 軸および Z 軸の移動により、検出ユニット 20 で得られる検出画像 262 において工具 3 の影 281 の先端位置 283 が検出画像 262 の中央にくるように調整し、この時の工作機械 1 の Y 軸位置および Z 軸位置（図 16 の Y1, Z1）を記録しておく。

10

#### 【0064】

図 15（B）において、次に、工作機械 1 の A 軸回転により、工具 3 が Y 軸「-」方向に向いた状態（A 軸を挟んで角度位置 A0 と対向する角度位置 A180）とし、この状態で工作機械 1 の各軸移動により工具 3 の先端を開口部 23 に導入する。さらに、工作機械 1 の Y 軸および Z 軸の移動により、検出ユニット 20 で得られる検出画像 262 において工具 3 の影 281 の先端位置 283 が検出画像 262 の中央にくるように調整し、この時の工作機械 1 の Y 軸位置および Z 軸位置（図 16 の Y2, Z2）を記録しておく。

20

#### 【0065】

図 16 において、角度位置 A0 での工作機械 1 の Y 軸位置 Y1 および Z 軸位置 Z1 と、角度位置 A180 での工作機械 1 の Y 軸位置 Y2 および Z 軸位置 Z2 との差は、それぞれ工具 3 の先端を同じ位置に配置した結果、A 軸（主軸ヘッド 17 の回転軸 171）における回転中心の振れに基づいている。

従って、角度位置 A0 および角度位置 A180 での各軸位置の差分の 1/2 から、工作機械 1 の A 軸中心位置から工具 3 の先端までのずれの距離（オフセット量）（ $Y = (Y1 - Y2) / 2$ ,  $Z = (Z1 - Z2) / 2$ ）が計測できる。

このような本実施形態によっても、A 軸中心位置から工具 3 の先端までのずれの距離（オフセット量）の計測にあたって、前述した第 1 実施形態と同様な効果が得られる。

30

#### 【0066】

##### 〔第 5 実施形態〕

図 17 ないし図 20 には、本発明の第 5 実施形態が示されている。

本実施形態は、いわゆる揺りかご式の工作機械 1A における A 軸中心位置と工具 3 の先端が一致する座標を計測するものである。

図 17 において、回転テーブル 13 はクレードル 131 を介して移動テーブル 12（図 1 参照）に支持され、クレードル 131 に対して C 軸まわりに回転可能である。クレードル 131 は一对のトラニオン 132 により移動テーブル 12 に対して A 軸まわりに回転可能である。

40

なお、工作機械 1A においては、主軸ヘッド 17 はスライダ 16（図 1 参照）に対して固定され、A 軸回転は行わず、常に Z 軸下向きに保持されている。

#### 【0067】

本実施形態では、回転テーブル 13 に検出ユニット 20 を設置する。検出ユニット 20 については、前述した第 1 実施形態と同様であるので、重複する説明は省略する。

検出ユニット 20 は開口部 23 が回転テーブル 13 の中央（C 軸回転中心位置）にくるように配置する。そして、平行光束 28 の向きが工作機械 1A の X 軸方向となるように検出ユニット 20 の向きを調整しておく。検出ユニット 20 の向きは、回転テーブル 13 の C 軸回転によって調整してもよい。

検出ユニット 20 が設置できたら、工作機械 1A の各軸動作により主軸ヘッド 17 を検出

50

ユニット 20 に接近させ、主軸 18 に装着された工具 3 の先端を開口部 23 に導入して検出動作を行う。

【0068】

図 18 (A) において、先ず、クレードル 131 の A 軸回転により、回転テーブル 13 が Y 軸「+」方向に向いた状態 (A 軸まわりの角度位置 A0) とし、この状態で工作機械 1 A の各軸移動により工具 3 の先端を開口部 23 に導入する。

図 19 (A) において、クレードル 131 を角度位置 A0 とした状態で、工作機械 1 A の Y 軸および Z 軸の移動により、検出ユニット 20 で得られる検出画像 263 において工具 3 の影 281 の先端位置 283 が検出画像 263 の中央にくるように調整し、この時の工作機械 1 A の Y 軸位置および Z 軸位置 (図 20 の Y1, Z1) を記録しておく。

10

【0069】

図 18 (B) において、続いて、クレードル 131 の A 軸回転により、回転テーブル 13 が Y 軸「-」方向に向いた状態 (A 軸を挟んで角度位置 A0 と対向する角度位置 A180) とし、この状態で工作機械 1 A の各軸移動により工具 3 の先端を開口部 23 に導入する。

図 19 (B) において、クレードル 131 を角度位置 A180 とした状態で、工作機械 1 A の Y 軸および Z 軸の移動により、検出ユニット 20 で得られる検出画像 263 において工具 3 の影 281 の先端位置 283 が検出画像 263 の中央にくるように調整し、この時の工作機械 1 A の Y 軸位置および Z 軸位置 (図 20 の Y2, Z2) を記録しておく。

20

【0070】

図 20 において、角度位置 A0 での工作機械 1 A の Y 軸位置 Y1 および Z 軸位置 Z1 と、角度位置 A180 での工作機械 1 A の Y 軸位置 Y2 および Z 軸位置 Z2 との差は、それぞれ工具 3 の先端を同じ位置に配置した結果、クレードル 131 の A 軸回転中心の振れに基づいている。

従って、角度位置 A0 および角度位置 A180 での各軸位置から、式 ( $Y = (Y1 + Y2) / 2$ ,  $Z = (Z1 + Z2) / 2$ ) により、工作機械 1 A の A 軸中心位置と工具 3 の先端が一致する座標が計測できる。

このような本実施形態によっても、A 軸中心位置と工具 3 の先端が一致する座標の計測にあたって、前述した第 1 実施形態と同様な効果が得られる。

【0071】

30

〔第 6 実施形態〕

図 21 ないし図 23 には、本発明の第 6 実施形態が示されている。

本実施形態は、前述した第 4 実施形態と同様の構成を用いて、工作機械 1 における A 軸中心位置から工具 3 の先端までのずれの距離 (オフセット量) を計測するものである。

ただし、第 4 実施形態が角度位置 A0 と、A 軸を挟んで角度位置 A0 と対向する (つまり 180 度間隔となる) 角度位置 A180 との、2 箇所在工作機械 1 の Y 軸位置 Y1, Y2 および Z 軸位置 Z1, Z2 を検出したのに対し、本実施形態では、角度位置 A0 から 180 度の範囲内の複数の角度位置 An で Y 軸位置および Z 軸位置の検出動作を行う。

【0072】

図 21 (A) において、先ず、工作機械 1 の A 軸回転 (主軸ヘッド 17 の回転軸 171 の回転) により、工具 3 が Y 軸「+」方向に向いた状態 (A 軸まわりの角度位置 A0) とし、この状態で工作機械 1 の各軸移動により工具 3 の先端を開口部 23 に導入する。

40

図 21 (B) において、工具 3 が角度位置 A0 に配置されたのち、工作機械 1 の Y 軸および Z 軸の移動により、検出ユニット 20 で得られる検出画像 264 において工具 3 の影 281 の先端位置 283 が検出画像 264 の中央にくるように調整し、この時の工作機械 1 の Y 軸位置および Z 軸位置を記録しておく。記録される Y 軸位置および Z 軸位置は、各角度位置 An における A 軸中心位置 Q0 となる。

【0073】

続いて、工作機械 1 の A 軸回転により、工具 3 を角度位置 A30 (角度位置 A0 から 30 度回転した状態) とし、この状態で角度位置 A0 と同様に、工作機械 1 の各軸移動により

50

工具 3 の先端を開口部 2 3 に導入し、検出ユニット 2 0 で得られる検出画像 2 6 4 において工具 3 の影 2 8 1 の先端位置 2 8 3 が検出画像 2 6 4 の中央にくるように調整し、その時の工作機械 1 の Y 軸位置および Z 軸位置 ( A 軸中心位置 Q 3 0 ) を記録する。

さらに、工作機械 1 の A 軸回転により、工具 3 を角度位置 A 6 0 ( 角度位置 A 0 から 6 0 度回転した状態 ) とし、角度位置 A 0 , A 3 0 と同様な手順で工作機械 1 の Y 軸位置および Z 軸位置 ( A 軸中心位置 Q 6 0 ) を記録する。

同様にして、角度位置 A 9 0 , A 1 2 0 , A 1 5 0 , A 1 8 0 における工作機械 1 の Y 軸位置および Z 軸位置 ( A 軸中心位置 Q 9 0 , Q 1 2 0 , Q 1 5 0 , Q 1 8 0 ) を記録してゆく。

#### 【 0 0 7 4 】

10

図 2 1 ( C ) において、上述の検出動作を繰り返して得られた角度位置  $A_n$  (  $A_0 \sim A_{180}$  ) における A 軸中心位置  $Q_n$  (  $Q_0 \sim Q_{180}$  ) を画面上にプロットすると、これらは円弧状に並んだ点列  $Q_C$  となる。これらの点列  $Q_C$  に対して、例えば最小二乗法などにより、円弧状の点列  $Q_C$  の中心点  $Q_{C_c}$  の位置 ( 各角度位置  $A_n$  に共通の工具 3 の先端位置 ) を高精度に計算することができる。ここで得られた中心点  $Q_{C_c}$  により、工作機械 1 の A 軸中心位置  $Q_n$  から工具 3 の先端までのずれの距離 ( オフセット量 ) を正確に計測することができる。

#### 【 0 0 7 5 】

このような本実施形態によっても、前述した第 1 実施形態および第 4 実施形態と同様な効果が得られるとともに、工作機械 1 における並進軸 ( X Y Z 軸 ) の構造的な制約により検出動作の可能範囲が 1 8 0 度未満であっても、複数の角度位置  $A_n$  での検出動作により A 軸中心位置  $Q_n$  から工具 3 の先端までのずれの距離 ( オフセット量 ) を正確に計測できる。

20

#### 【 0 0 7 6 】

##### 〔 第 6 実施形態の変形例 〕

図 2 2 において、前述した第 6 実施形態で計測された A 軸中心位置  $Q_n$  から工具 3 の先端までのずれの距離 ( オフセット量 ) は、工作機械 1 の N C 装置に登録され、工作機械 1 の動作時の補正值として参照される。

工作機械 1 の N C 装置に登録する際には、工具 3 の先端位置である中心点  $Q_{C_c}$  から実際の A 軸中心位置  $Q_n$  までの距離  $D$  ( オフセット量 ) が必要になる。A 軸中心位置  $Q_n$  による円弧状の点列  $Q_C$  の最小二乗法演算により、中心点  $Q_{C_c}$  の位置とともに中心点  $Q_{C_c}$  から A 軸中心位置  $Q_n$  までの距離  $D$  ( 近似値 ) を示す近似円弧半径が得られるので、この半径を中心点  $Q_{C_c}$  と A 軸中心位置  $Q_n$  との実際の距離  $D$  とすることができる。

30

#### 【 0 0 7 7 】

工作機械 1 の N C 装置に登録する場合、距離  $D$  を工具 3 に平行な Z 軸方向の成分  $D_z$  と工具 3 と直交する Y 軸方向の成分  $D_y$  に分離しなければならない。このために、A 軸中心位置  $Q_n$  と工具 3 の先端 ( 中心点  $Q_{C_c}$  ) とを結ぶ線分の角度  $\theta$  が必要となる。しかし、中心点  $Q_{C_c}$  の計算に用いた最小二乗法では、近似円弧半径 ( 距離  $D$  ) を与える線分の角度  $\theta$  は得られない。

図 2 3 ( A ) において、前述した角度  $\theta$  が得られないことに加えて、前述した複数の角度位置  $A_n$  (  $A_0 \sim A_{180}$  ) で円弧状の点列  $Q_C$  として検出される A 軸中心位置  $Q_n$  ( サンプリング点 ) は、点列  $Q_C$  の近似円弧に対してばらつき ( 径方向の変位 ) がある。また、A 軸中心位置  $Q_n$  を検出する角度位置  $A_n$  とされる角度 ( 0 度 ~ 1 8 0 度 ) で中心点  $Q_{C_c}$  から延びる基準線  $L_n$  を引くと、各角度での A 軸中心位置  $Q_n$  はこれらの基準線  $L_n$  に対してもばらつき ( 周方向の変位 ) をもっている。

40

このような誤差分布の下で、先の角度  $\theta$  の最適値を決定するために、以下のような操作を採用することができる。

#### 【 0 0 7 8 】

図 2 3 ( B ) において、第 1 の操作として、工具 3 が Z 軸に沿った向き ( 角度位置 A 9 0 ) での A 軸中心位置  $Q_{90}$  を採用してしまうことである。具体的には、中心点  $Q_{C_c}$  から

50

A 軸中心位置 Q 9 0 に伸ばした線分を求め、この線分と Z 軸とのなす角度を  $\theta$  とする。  
 このような操作によれば、全体最適にはならないが、基準としては最もふさわしい。

#### 【 0 0 7 9 】

図 2 3 ( C ) において、第 2 の操作として、工具 3 が Z 軸に対して所定角度 ( 例えば 4 0 度 ) となる向き ( 角度位置 A 0 から 1 3 0 度の角度位置 A 1 3 0 ) において、中心点 Q C c から A 軸中心位置 Q 1 3 0 に伸ばした線分を求め、この線分と Z 軸から 4 0 度をなす基準線 L 1 3 0 とのなす角度を  $\theta$  としてもよい。

#### 【 0 0 8 0 】

さらに、複数の角度位置 A n にある A 軸中心位置 Q n において、基準線 L n との角度  $\theta_n$  を求め、その平均値を求めてもよい。

10

このような操作によれば、操作が煩雑であるが、全体最適となる角度  $\theta$  を得ることができる。

前述した複数の角度位置 A n にある A 軸中心位置 Q n においては、全範囲を均等割りして角度  $\theta$  を求めてもよいが、一部の角度範囲のサンプリング密度を高めたりあるいは低くしたりしてもよい。

以上の操作により、角度  $\theta$  が得られたら、前述した Z 軸方向の成分 D z と工具 3 と直交する Y 軸方向の成分 D y ( 図 2 2 参照 ) は、それぞれ  $D_z = D \cos \theta$ 、 $D_y = D \sin \theta$  として計算することができる。

#### 【 0 0 8 1 】

〔 第 1 ~ 第 6 実施形態の変形 〕

20

前述した第 1 ないし第 6 の各実施形態においては、それぞれ検出ユニット 2 0 , 2 0 A により工具 3 の先端位置を検出した。

例えば、第 1 実施形態では、図 5 に示すように、C C D カメラ 2 6 の検出画像 2 6 1 の中央に工具 3 の先端位置を捉え、検出画像 2 6 1 に表れる工具 3 の先端の影 2 8 1 の輪郭 2 8 2 から、工具 3 の先端位置 2 8 3 の座標 ( T v , T h ) を割り出していた。

この際、工具 3 の先端の凹凸形状が複雑であるなど、工具 3 の先端形状によっては、座標が正確に検出できないことがある。

これに対し、工具 3 の先端位置 ( T v , T h ) を簡単かつ正確に検出するために、以下に示す手順が利用できる。

#### 【 0 0 8 2 】

30

〔 第 7 実施形態 〕

図 2 4 ( A ) に示すように、C C D カメラ 2 6 ( 図 3 参照 ) の検出画像 2 6 1 には、工具 3 の先端の影 2 8 1 が表れる ( 図 5 と同様 ) 。影 2 8 1 の輪郭 2 8 2 の一部には、工具 3 の先端位置 2 8 3 が表れ、その座標 ( T v , T h ) の計測が求められる。

本実施形態では、工具 3 を C C D カメラ 2 6 に対して回転させた状態で、C C D カメラ 2 6 で検出画像 2 6 5 を検出し ( 第 1 ~ 第 6 実施形態における検出画像 2 6 1 ~ 2 6 4 と同様 ) 、検出画像 2 6 5 から工具 3 の輪郭 2 8 2 を検出する。

本実施形態では、工具 3 が回転していることで、検出画像 2 6 5 に表れる輪郭 2 8 2 は回転中心に対して対称となり、この輪郭 2 8 2 の対称性から工具 3 の中心軸線 2 8 4 を正確に検出し、中心軸線 2 8 4 と輪郭 2 8 2 との交点を工具 3 の先端位置 2 8 3 として検出することができる。

40

#### 【 0 0 8 3 】

本実施形態において、輪郭 2 8 2 から工具 3 の中心軸線 2 8 4 を検出する際には、次のような演算処理を行う。

図 2 4 ( B ) に示すように、検出画像 2 6 5 において、工具 3 を所定の角度位置 ( 例えば図 2 1 ( B ) に示す角度位置 A 9 0 ) に配置し、その際の工具 3 の延伸方向 D 9 0 とする。次に、延伸方向 D 9 0 に沿って所定間隔で平行に、延伸方向 D 9 0 に直交しつつ輪郭 2 8 2 を横断する複数の横断線 3 0 を設定してゆく。

図 2 4 ( C ) に示すように、設定した複数の横断線 3 0 に対して、それぞれ輪郭 2 8 2 との 2 つの交点 3 1 , 3 2 を検出し、さらに 2 つの交点 3 1 , 3 2 の中点 3 3 を検出する。

50

そして、各横断線 30 の中点 33 を通る直線を検出することで、この直線を工具 3 の中心軸線 284 とすることができる。

#### 【0084】

このような本実施形態では、工具 3 の延伸方向  $D_n$  (各角度位置  $A_n$  , 工具 3 の向き、概略的な軸線方向) を利用して、回転対称の軸を検出することで、工具 3 の正確な中心軸線 284 を検出でき、正確な中心軸線 284 と輪郭 282 との交点から、工具 3 の先端位置 283 の座標 ( $T_h$  ,  $T_v$ ) を高精度に検出できる。

この際、中心軸線 284 の検出には複数の横断線 30 の中点検出を行い、先端位置 283 の検出には輪郭 282 との交点検出を行うことで、それぞれは幾何学的な演算処理で実行でき、これにより工具 3 の先端位置 283 ないし回転軸 (A 軸あるいは C 軸) の中心位置を高精度に、かつ簡単に計測できる。

10

#### 【0085】

本実施形態において、工具 3 の向き (延伸方向  $D_n$ ) は任意の角度 (角度位置  $A_n$ ) とすることができる。

図 25 (A) において、工具 3 は角度位置  $A_{150}$  とされ、延伸方向  $D_{150}$  に直交する複数の横断線 30 が設定される。

図 25 (B) に示すように、各横断線 30 においては 2 つの交点 31 , 32 および中点 33 が検出され、複数の中点 33 を通る中心軸線 284 と輪郭 282 との交点から工具 3 の先端位置 283 の座標 ( $T_h$  ,  $T_v$ ) を正確に検出できる。

#### 【0086】

20

#### 〔第 8 実施形態〕

前述した第 7 実施形態では、輪郭 282 から工具 3 の中心軸線 284 を検出する際に、複数の横断線 30 の中点検出を行った。

これに対し、本実施形態では、回転対称図形である輪郭 282 の片側ずつのパターン認識により工具 3 の中心軸線 284 を検出する。

図 26 (A) に示すように、検出画像 265 において、工具 3 を所定の角度位置 (例えば図 21 (B) に示す角度位置  $A_{90}$ ) に配置し、その際の工具 3 の延伸方向  $D_{90}$  とする。次に、延伸方向  $D_{90}$  に対して輪郭 282 の片側 (延伸方向  $D_{90}$  に沿った直線で輪郭 282 を 2 分割した一部) の形状 41 を基準パターン 40 として検出する。

図 26 (B) に示すように、基準パターン 40 が検出できたら、基準パターン 40 を反転した形状に合致する対称パターン 42 を演算し、この対称パターン 42 に一致する形状 43 を輪郭 282 から検出する。対称パターン 42 が検出できたら、基準パターン 40 と対称パターン 42 との中間を通る直線 (基準パターン 40 と対称パターン 42 との線対称の軸) を工具 3 の中心軸線 284 とする。

30

#### 【0087】

このような本実施形態では、工具 3 の延伸方向  $D_n$  (各角度位置  $A_n$  , 工具 3 の向き、概略的な軸線方向) を利用し、輪郭 282 の片側ずつのパターン認識により、工具 3 の正確な中心軸線 284 を検出でき、正確な中心軸線 284 と輪郭 282 との交点から、工具 3 の先端位置 283 の座標 ( $T_h$  ,  $T_v$ ) を高精度に検出できる。

この際、輪郭 282 の片側ずつのパターン認識として、基準パターン 40 および対称パターン 42 の検出は、それぞれ幾何学的な演算処理で実行でき、これにより工具 3 の先端位置 283 ないし回転軸 (A 軸あるいは C 軸) の中心位置を高精度に、かつ簡単に計測できる。

40

#### 【0088】

#### 〔第 9 実施形態〕

前述した第 7 実施形態では、輪郭 282 から工具 3 の中心軸線 284 を検出したのち、中心軸線 284 と輪郭 282 との交点を検出して工具 3 の先端位置 283 とした。

これに対し、本実施形態では、工具 3 の先端部の輪郭 282 に補助輪郭線を設定することで、先端に複数の突起をもつ工具 3 や、中心から偏った先端をもつ工具 3 など、回転した状態では先端部の輪郭 282 の形状が不明瞭になる工具 3 についても、工具 3 の先端位置

50

を確定できるようにする。

【 0 0 8 9 】

図 2 7 ( A ) および図 2 7 ( B ) に示すように、工具 3 の先端部には回転中心を挟んで対向する一对の刃先 3 T が形成されていたとする。図 2 7 ( B ) において、実線で示された刃先 3 T は、工具 3 が回転することで、2 点鎖線で示された位置へ移動する。

前述した各実施形態では、それぞれ工具 3 の側方（工具 3 の回転軸線と交差する方向）から、C C D カメラ 2 6 で工具 3 の先端部を撮影する。

例えば、C C D カメラ 2 6 が図 2 7 ( B ) の図中下側から工具 3 を撮影するとして、一对の刃先 3 T が C C D カメラ 2 6 の光軸と直交方向に対向する状態（図 2 7 ( B ) で実線の状態）では、一对の刃先 3 T をともに C C D カメラ 2 6 の合焦範囲 R f 0 に収めることができる。ところが、工具 3 が回転し、一对の刃先 3 T が C C D カメラ 2 6 の光軸に沿った状態に近づくにつれ（図 2 7 ( B ) で 2 点鎖線の状態）、C C D カメラ 2 6 から各々の刃先 3 T までの距離の差が拡大し、一方が C C D カメラ 2 6 から遠い焦点深度範囲 R f 1 にあり、他方が C C D カメラ 2 6 から近い焦点深度範囲 R f 2 にある状態となり、C C D カメラ 2 6 が一对の刃先 3 T の双方に合焦することはできない。

10

【 0 0 9 0 】

このように、工具 3 を回転させることで、一对の刃先 3 T の C C D カメラ 2 6 からの距離が周期的に変化し、C C D カメラ 2 6 で撮影される画像には一部にボケが生じる。

図 2 7 ( C ) に示すように、工具 3 の影 2 8 1 の輪郭 2 8 2 は、先端を除き明瞭であるが、先端については一对の刃先 3 T が C C D カメラ 2 6 の光軸方向に変位するため、ボケが生じた状態となる。その結果、前述した第 7 ~ 第 8 実施形態のように、中心軸線 2 8 4 と輪郭 2 8 2 との交点により工具 3 の先端位置 2 8 3 の座標を確定することができない。

20

これに対し、本実施形態では、前述した第 7 または第 8 実施形態と同様にして中心軸線 2 8 4 を検出するとともに、工具 3 の先端部の輪郭 2 8 2 に補助輪郭線を設定し、この輪郭補助線と中心軸線 2 8 4 との交点を工具 3 の先端位置 2 8 3 として検出する。具体的には、以下の手順を用いる。

【 0 0 9 1 】

図 2 8 ( A ) において、工具 3 の影 2 8 1 に対して中心軸線 2 8 4 を検出したら、中心軸線 2 8 4 の両側に、所定距離 O f s をおいて、中心軸線 2 8 4 と平行な一对の平行線 M , M b を設定する。ここで、所定距離 O f s は、一对の平行線 M a , M b と輪郭 2 8 2 との交点 C a , C b が、輪郭 2 8 2 のボケが生じていない部分を通るように設定する。所定距離 O f s は、輪郭 2 8 2 の状態を見て調整してもよいが、工具 3 の刃先 3 T の設計寸法に基づいて設定してもよい。

30

図 2 8 ( B ) において、一对の平行線 M a , M b と輪郭 2 8 2 との交点 C a , C b が得られたら、一对の交点 C a , C b を通りが中心軸線 2 8 4 と直交する補助輪郭 2 8 5 を設定し、中心軸線 2 8 4 と補助輪郭 2 8 5 との交点を工具 3 の先端位置 2 8 3 として検出する。

【 0 0 9 2 】

本実施形態では、補助輪郭 2 8 5 を設定することで、例えば一对の刃先 3 T など、先端に複数の突起をもつ工具 3 や、偏った先端をもつ工具 3 など、回転した状態では先端部の輪郭 2 8 2 の形状が不明瞭になる工具 3 についても、中心軸線 2 8 4 と補助輪郭 2 8 5 との交点により工具 3 の先端位置 2 8 3 を確定できる。これにより、多様な先端形状の工具 3 に対しても、単純な計算で工具 3 の先端位置 2 8 3 ないし回転軸（A 軸あるいは C 軸）の中心位置を高精度に計測できる。

40

【 0 0 9 3 】

〔他の実施形態〕

なお、本発明は前述した実施形態に限定されるものではなく、本発明の目的を達成できる範囲での変形などは本発明に含まれる。

前記各実施形態では、5 軸制御の工作機械 1 , 1 A の C 軸あるいは A 軸の回転中心位置を計測したが、本発明を適用する工作機械および軸は任意に選択できる。

50

例えば、工作機械としては回転軸としてA軸およびB軸を有する5軸制御であってもよく、そのB軸の回転中心位置を計測してもよい。また、工作機械は4軸制御あるいは6軸制御などであってもよく、少なくとも回転軸中心位置が問題となる回転軸を有するものであればよい。

#### 【0094】

前記実施形態では、工具3の先端位置を検出するために検出ユニット20, 20Aを用いたが、検出ユニット20, 20Aとしては平行光束28を形成するものに限らず、レーザー光ビームを平行に振って対象物を走査するもの（擬似的に平行光束となる）を用いてもよい。さらに、工具3に対して非接触であればよく、他の検出方式であってもよい。

#### 【産業上の利用可能性】

10

#### 【0095】

本発明は、工作機械の回転軸中心位置計測方法に利用できる。

#### 【符号の説明】

#### 【0096】

1, 1A ... 工作機械、2 ... ワーク、3 ... 工具、3T ... 刃先、9 ... 制御装置、91 ... 動作制御部、92 ... 工具位置検出部、11 ... ベッド、12 ... 移動テーブル、13 ... 回転テーブル、131 ... クレードル、132 ... トラニオン、14 ... コラム、15 ... サドル、16 ... スライダ、17 ... 主軸ヘッド、171 ... 回転軸、18 ... 主軸、20, 20A ... 検出ユニット、21 ... ケース、22 ... 固定手段を含む脚部、23 ... 開口部、24 ... 照明部、25 ... テレセントリックレンズ、26 ... 撮像部であるCCDカメラ、261 ~ 265 ... 検出画像、27 ... 演算部、28 ... 平行光束、281 ... 影、282 ... 輪郭、283 ... 先端位置、284 ... 中心軸線、285 ... 補助輪郭線、29 ... 検出対象物、31, 32 ... 交点、33 ... 中点、A0 ~ A270, An ... 角度位置、Ca, Cb ... 交点、Cc ... 周方向位置、D ... 距離、D1 ... 第1方向、D2 ... 第2方向、dc0 ... ずれ量、Dy ... Y軸方向の成分、Dz ... Z軸方向の成分、L01, L02 ... 線分、L1 ... 第1直線、L130 ... 基準線、L2 ... 第2直線、LA ... 線分、Ln ... 基準線、Ma, Mb ... 平行線、Ofs ... 所定間隔、P0 ~ P270 ... 工具先端位置、PA0, PA180 ... 平面位置、PAc ... 中点、PBc ... 中心点、Pc ... 交点、Q0 ~ Q180, Qn ... A軸中心位置、QC ... 点列、QCc ... 中心点、Rc ... 径方向位置、Th, Tv ... 先端位置の座標、Tx0 ~ Tx270 ... X軸座標、Ty0 ~ Ty270 ... Y軸座標、Y1, Y2 ... Y軸位置、Z1, Z2 ... Z軸位置、θ, θn ... 角度。

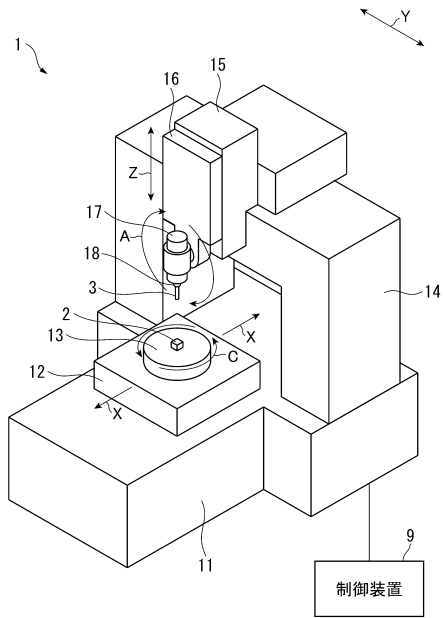
20

30

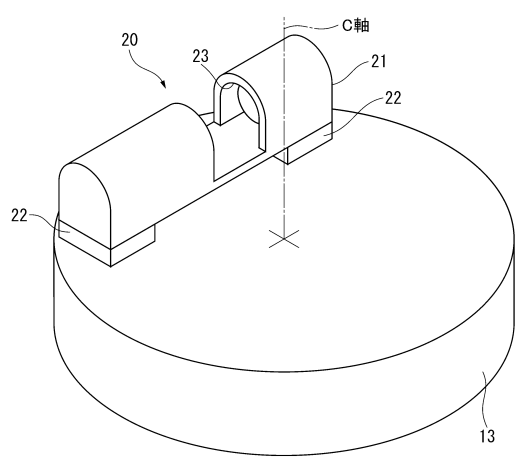
40

50

【図面】  
【図 1】



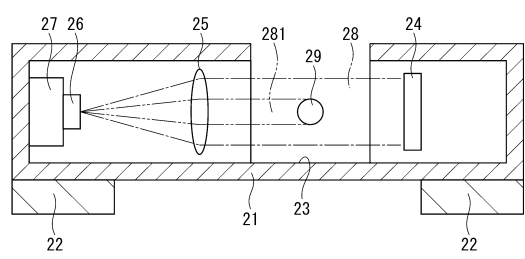
【図 2】



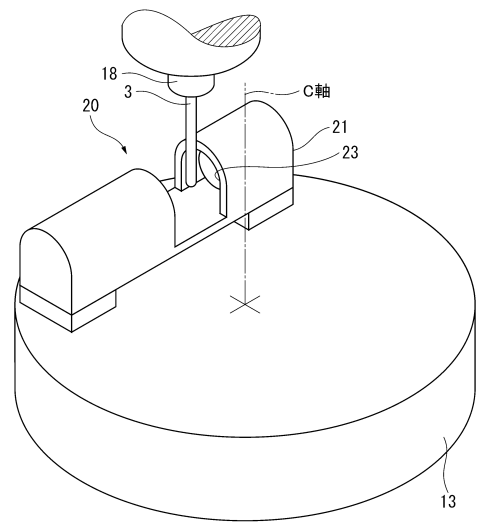
10

20

【図 3】



【図 4】

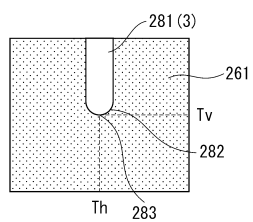


30

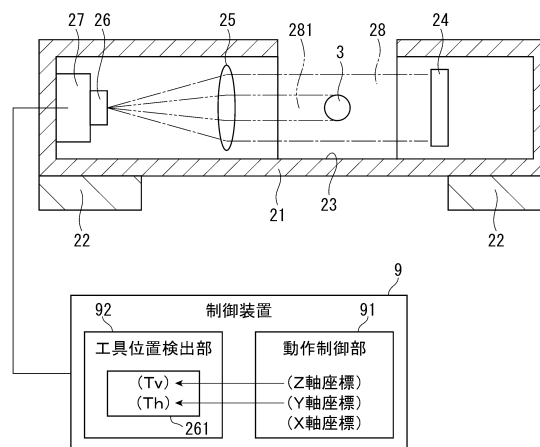
40

50

【 図 5 】



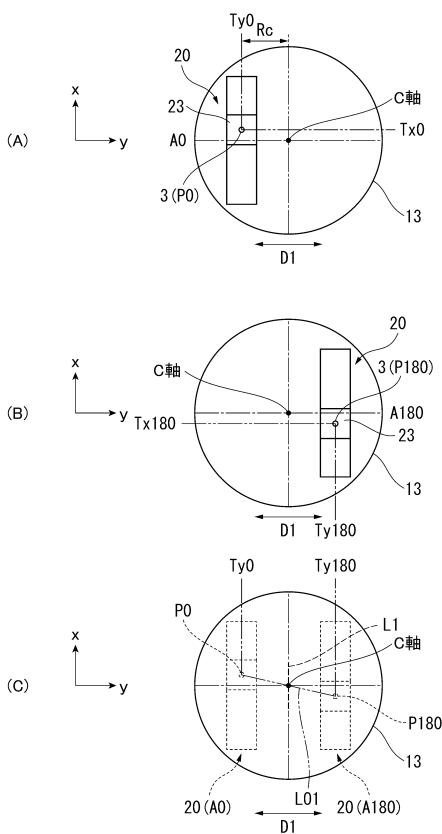
【 図 6 】



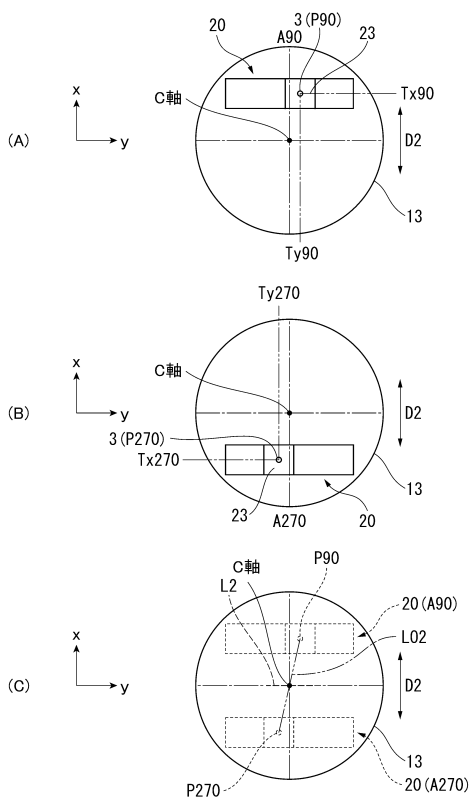
10

20

【圖 7】



【圖 8】

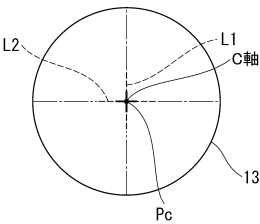


30

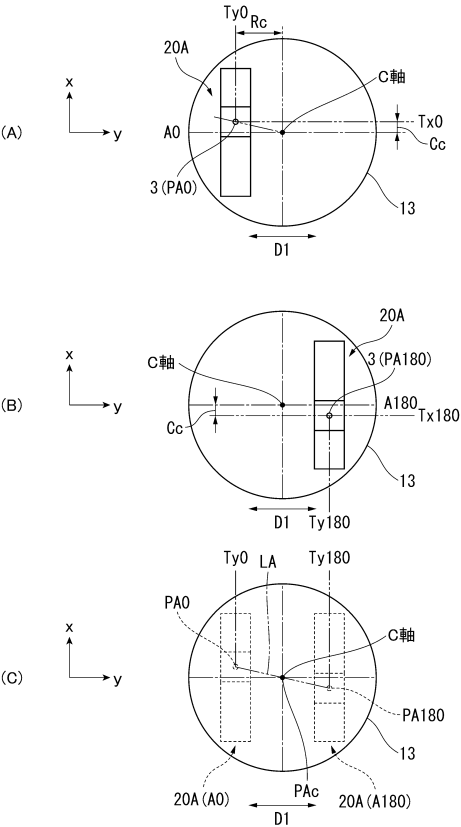
40

50

【 図 9 】



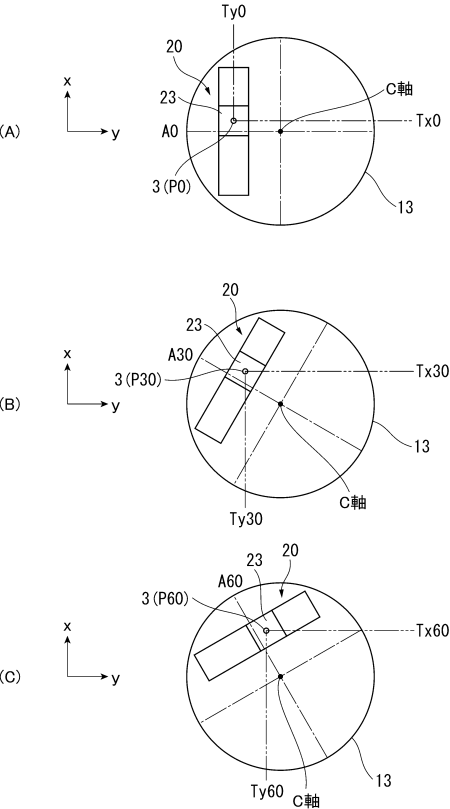
【 図 1 0 】



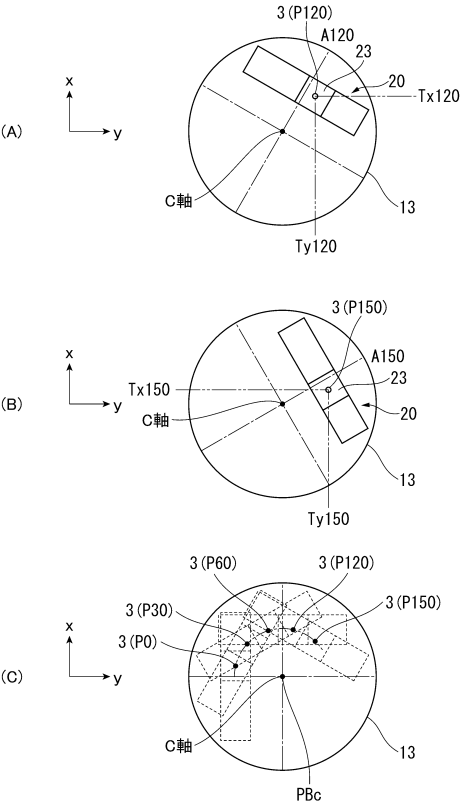
10

20

【 図 1 1 】



【 図 1 2 】

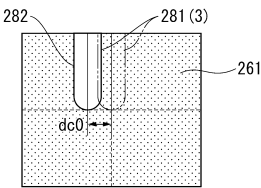


30

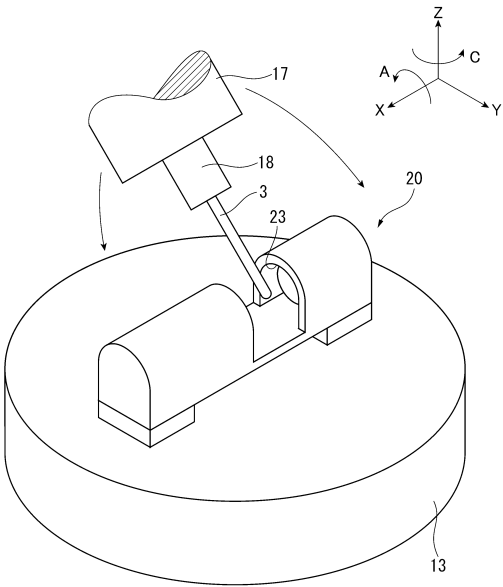
40

50

【 図 1 3 】



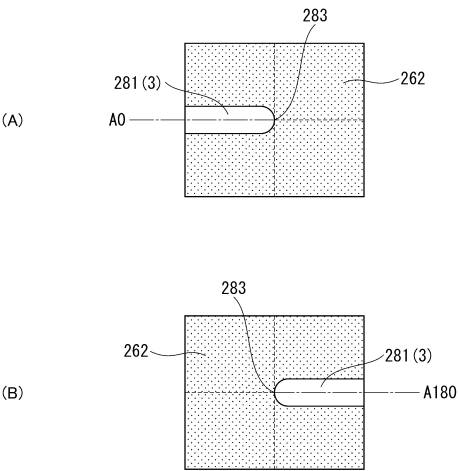
【 図 1 4 】



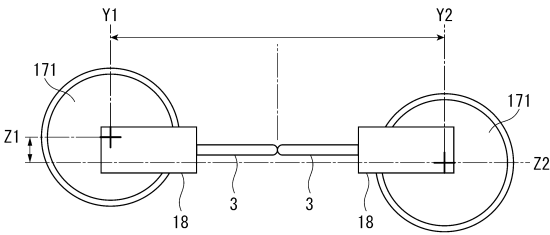
10

20

【 図 1 5 】



【 図 1 6 】

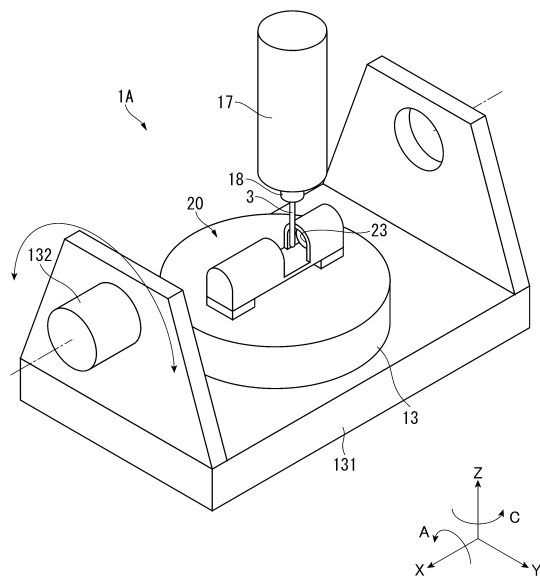


30

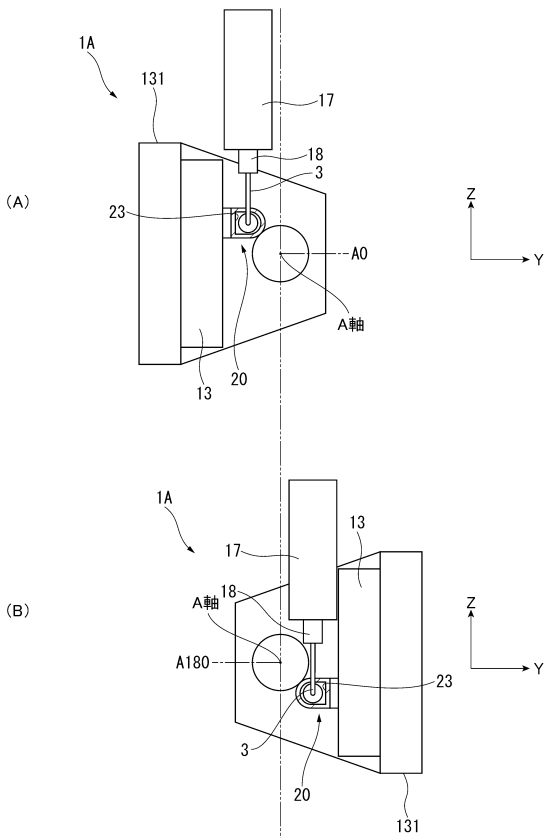
40

50

【図 17】



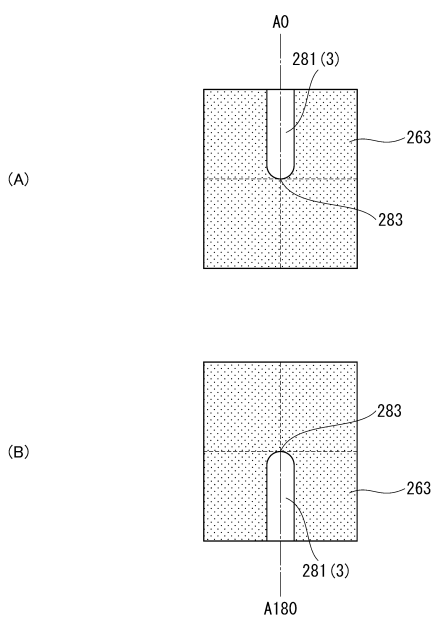
【図 18】



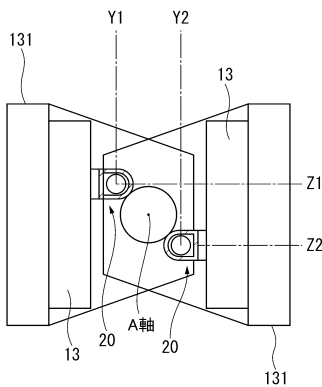
10

20

【図 19】



【図 20】

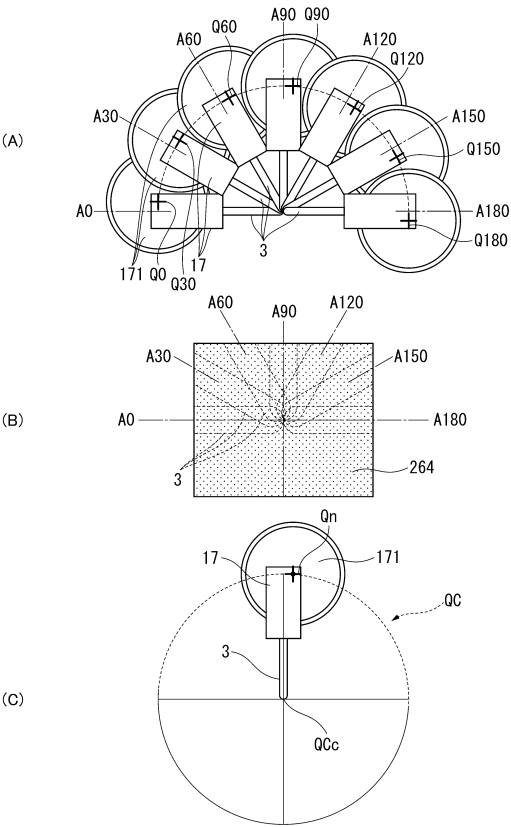


30

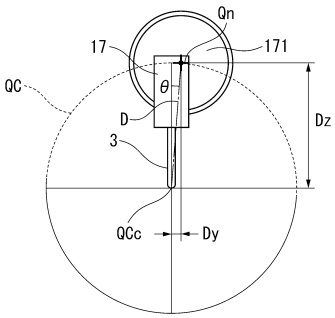
40

50

【図 2 1】

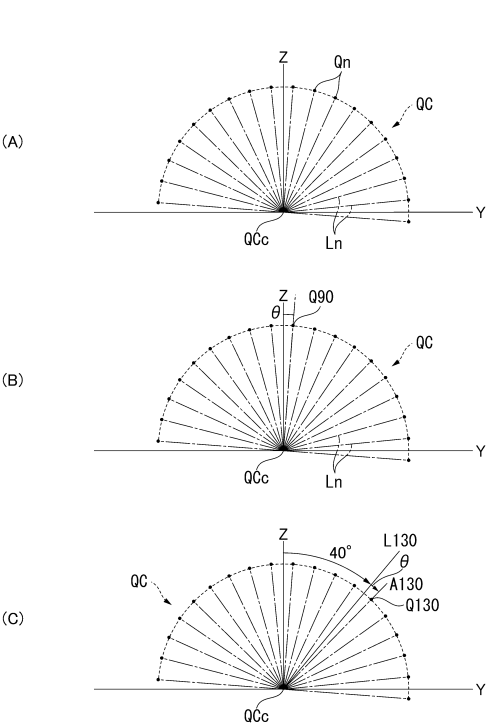


【図 2 2】

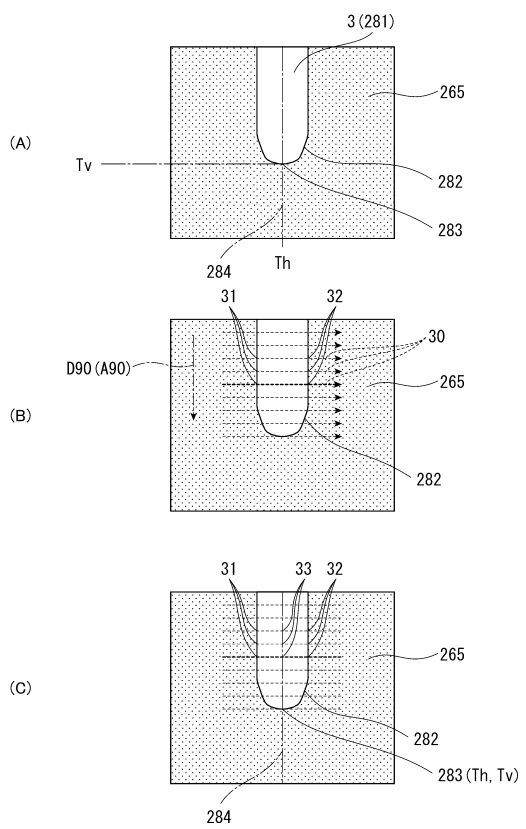


10

【図 2 3】



【図 2 4】

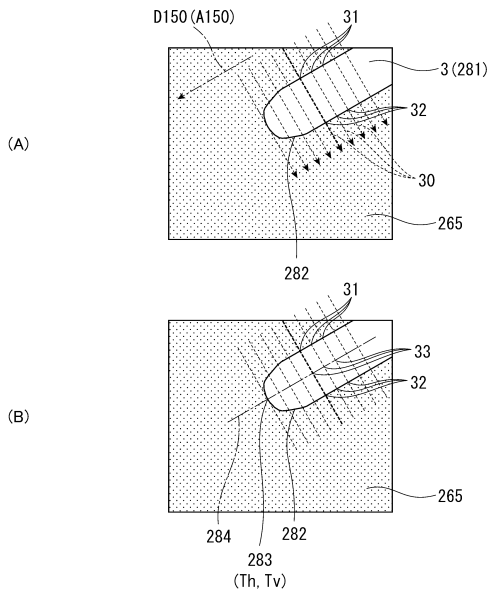


30

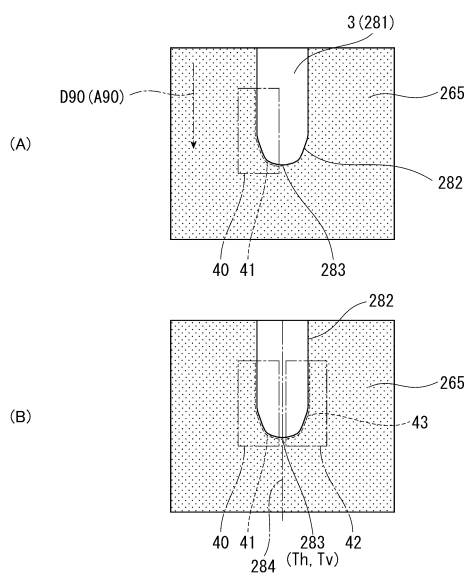
40

50

【 図 2 5 】



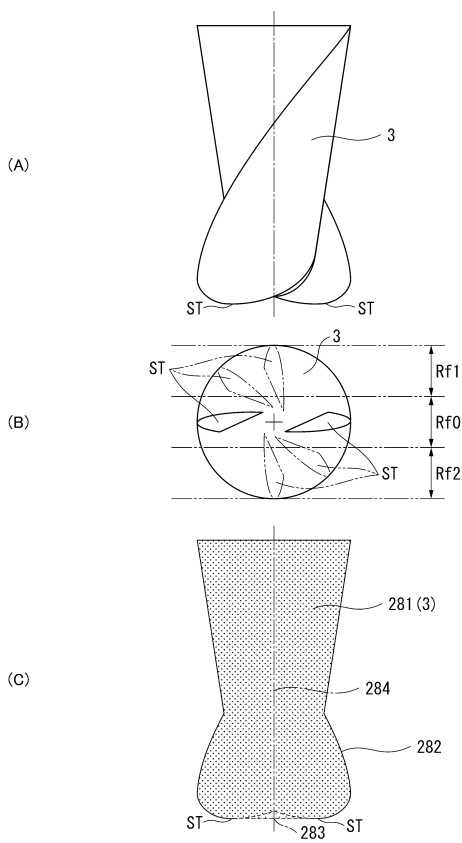
【 図 2 6 】



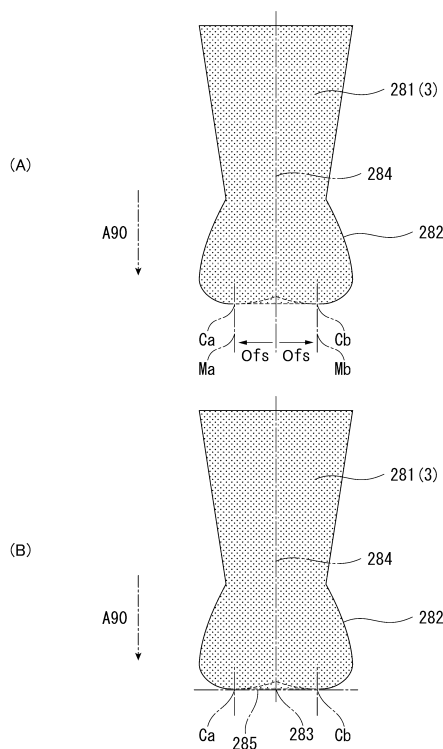
10

20

【 図 2 7 】



【 図 2 8 】



30

40

50