

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

機械要素を回転させるモータの検出角度をフィードバックして、前記検出角度が指令角度に追従するように前記モータを駆動することで、前記機械要素の機械角度を制御する装置において前記機械角度を測定する機械角度測定装置であって、

回転する前記機械要素の位置、加速度および角速度の少なくとも 1 つを測定するセンサと、

前記検出角度と前記センサによる測定結果とから前記機械角度を計算する機械角度計算部と、を備えることを特徴とする機械角度測定装置。

【請求項 2】

10

前記センサは変位センサであり、

前記変位センサは、前記機械要素上で回転に伴い変位が生じる箇所に設置され、

前記機械角度計算部は、前記検出角度と前記変位センサにより測定される変位とから前記変位センサの設置位置を推定し、前記変位センサの設置位置の推定結果に基づいて前記変位から前記機械角度を計算することを特徴とする請求項 1 に記載の機械角度測定装置。

【請求項 3】

前記機械角度計算部は、正弦波指令角度を与えた場合における前記検出角度と前記変位とから前記変位センサの設置位置を推定することを特徴とする請求項 2 に記載の機械角度測定装置。

【請求項 4】

20

前記センサは加速度センサであり、

前記加速度センサは、その感度方向が、前記機械要素の回転の接線方向を向くように設置され、

前記機械角度計算部では、前記加速度センサにより測定される接線方向加速度および前記接線方向加速度を積分して得られる情報と、前記検出角度および前記検出角度を微分して得られる情報とを比較し、前記接線方向加速度の測定誤差と前記接線方向加速度を積分することによる積分誤差とを補正して、前記機械角度を計算することを特徴とする請求項 1 に記載の機械角度測定装置。

【請求項 5】

前記機械角度計算部は、前記検出角度と重力加速度とから前記重力加速度が前記接線方向加速度に及ぼす影響を推定し、前記接線方向加速度から差し引くことを特徴とする請求項 4 に記載の機械角度測定装置。

30

【請求項 6】

前記センサは、角速度センサであり、

前記角速度センサは、その感度方向が前記機械要素の回転軸の回転方向と一致するように前記機械要素上に設置され、

前記機械角度計算部は、前記角速度センサにより測定される角速度および前記角速度を積分して得られる情報と、前記検出角度および前記検出角度を微分して得られる情報とを比較することで、前記角速度の測定誤差と前記角速度を積分することによる積分誤差とを補正して、前記機械角度を計算することを特徴とする請求項 1 に記載の機械角度測定装置。

40

【請求項 7】

正弦波角度指令を与えた場合における前記検出角度と前記機械角度とを記録した第 1 のデータ組として出力し、前記検出角度と振幅が同じで位相が 90 度異なる描画用検出角度を演算により求め、前記機械角度と振幅が同じで位相が 90 度異なる描画用機械角度を演算により求め、前記描画用検出角度と前記描画用機械角度とを第 2 のデータ組として出力する出力部と、

出力された前記第 1 のデータ組と前記第 2 のデータ組を 2 次元平面上の直交する軸の検出移動量および機械移動量として円弧表示する機械角度表示部と、をさらに備えることを特徴とする請求項 1 に記載の機械角度測定装置。

50

【請求項 8】

前記検出角度、前記機械角度、または前記指令角度から基準角度を求め、前記基準角度と前記検出角度および前記機械角度との誤差を計算し、前記基準角度と前記誤差との関係、または経過時間と前記誤差との関係を出力する出力部と、

出力された前記基準角度と前記誤差との関係、または経過時間と前記誤差との関係を表示する表示部と、をさらに備えることを特徴とする請求項 1 に記載の機械角度測定装置。

【請求項 9】

前記検出角度と前記機械角度との誤差を計算し、前記検出角度、前記機械角度または時間と、前記誤差との関係を出力する出力部と、

出力された前記検出角度、前記機械角度または時間と、前記誤差との関係を表示する表示部と、をさらに備えることを特徴とする請求項 1 に記載の機械角度測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、工作機械やロボットにおいて、工作機械の回転軸やロボットアームといった回転運動を伴う機械要素の回転角度を測定する機械角度測定装置に関する。

【背景技術】

【0002】

工作機械やロボットの回転軸の回転角度を測定する方法としては、多面鏡とオートコリメータと呼ばれる測定器を組み合わせた方法が実用に供されている。しかし、この方法では多面鏡の形状により測定可能な角度が制限され、例えば 30 度ごとに静止させたときの角度しか測定できない。

【0003】

例えば特許文献 1 には、ロータリエンコーダを使って回転角度を測定するための装置が説明されている。しかし、この方法では回転軸の回転中心線上にロータリエンコーダを設置する必要があるため、回転中心線上にロータリエンコーダを置けない場合には測定が難しい。

【0004】

また、例えば特許文献 2 には、ロータリエンコーダと水準器を組み合わせ、傾斜角度を測定するための装置が説明されている。この方法では、任意の角度で測定が可能であるが、水準器を使っているために、傾斜角度のみが測定対象であり、運動中の連続的な角度変化の測定が難しい。

【0005】

また、特許文献 3 には、ロータリエンコーダと電子水準器にダイレクトドライブモータを組み合わせ、電子水準器の出力が常に一定値になるようにモータを制御することで、傾斜角度を測定するための方法が説明されている。しかし、この方法でも傾斜角度のみが測定対象であり、連続的な角度変化の測定が難しい。

【0006】

また、特許文献 4 には、隣接する直交軸をもたない直進軸や回転軸等の単独制御軸の調整を行うために、直交 2 軸の場合と同様に視覚的に運動誤差を表示するための方法として、周期的な角度指令を与えたときの検出角度と、その 1 / 4 周期前または 1 / 4 周期後のデータとを使って円弧表示する方法が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献 1】特開 2004-205288 号公報

【特許文献 2】特許第 3396464 号公報

【特許文献 3】特開 2007-333712 号公報

【特許文献 4】特許第 4256353 号公報

【発明の概要】

10

20

30

40

50

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

回転軸の運動精度を向上するために、例えば工作機械の数値制御装置にはバックラッシュや摩擦による影響を補正する機能や、ピッチ誤差や回転むらを補正するための機能が存在する。しかし、運動方向反転時の挙動や連続した角度変化を測定することは難しかった。そのため、上記補正機能の各種パラメータを調整するためには、実際に加工を行ってその加工面を観察することで補正パラメータを調整することが行われており、多大な時間と労力が必要とされる。

【0009】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、連続的な角度変化を測定できる機械角度測定装置を得ることを目的とする。

10

【課題を解決するための手段】

【0010】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明は、機械要素を回転させるモータの検出角度をフィードバックして、検出角度が指令角度に追従するようにモータを駆動することで、機械要素の機械角度を制御する装置において機械角度を測定する機械角度測定装置であって、回転する機械要素の位置、加速度および角速度の少なくとも1つを測定するセンサと、検出角度とセンサによる測定結果とから機械角度を計算する機械角度計算部と、を備えることを特徴とする。

20

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、ロータリエンコーダを設置できないような回転軸についても、変位センサのような簡便に設置できるセンサを使い、運動方向反転時の挙動や回転むらといった連続的な角度変化を測定することができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】図1は、本発明の実施の形態1にかかる機械角度測定装置の概略構成を示すブロック図である。

【図2】図2は、変位センサにより機械角度を測定する手順を説明するためのフローチャートである。

30

【図3】図3は、変位センサの設置位置のZ方向オフセット量について説明する図である。

【図4】図4は、変位センサのZ方向オフセットによる測定誤差の発生原理を説明するための図である。

【図5】図5は、主軸頭の側面の変位を測定するように変位センサを設置し、正弦波往復運動を行ったときの検出角度と変位の測定結果を示す図である。

【図6】図6は、変位センサによる測定結果とそのときの測定誤差、および測定誤差を補正したあとの結果を示す図である。

【図7】図7は、図2に示す手順により計算された機械角度と、そのときの検出角度を示す図である。

40

【図8-1】図8-1は、検出角度と機械角度とを円弧表示するために主軸頭に行わせた運動を示す図である。

【図8-2】図8-2は、測定された検出角度と機械角度とを円弧表示した結果の例を示す図である。

【図8-3】図8-3は、測定された検出角度と機械角度とを円弧表示した結果の例を示す図である。

【図8-4】図8-4は、測定された検出角度と機械角度とを円弧表示した結果の例を示す図である。

【図9】図9は、横軸を時間、縦軸を回転角度および角度誤差とした場合の測定結果を示す図である。

50

【図 1 0】図 1 0 は、横軸を回転角度、縦軸を角度誤差とした場合の測定結果を示す図である。

【図 1 1 - 1】図 1 1 - 1 は、変位センサを使ってワークテーブルの回転角度と傾斜角度を測定する例を示す模式図である。

【図 1 1 - 2】図 1 1 - 2 は、図 1 1 - 1 に示す模式図を他の方向から見た図である。

【図 1 2 - 1】図 1 2 - 1 は、変位センサを使って主軸頭の回転角度と傾斜角度を測定する他の例を示す模式図である。

【図 1 2 - 2】図 1 2 - 2 は、図 1 2 - 1 に示す模式図を他の方向から見た図である。

【図 1 3】図 1 3 は、本発明の実施の形態 2 にかかる機械角度測定装置の概略構成を示すブロック図である。

10

【図 1 4】図 1 4 は、加速度センサにより機械角度を測定する手順を説明するためのフローチャートである。

【図 1 5 - 1】図 1 5 - 1 は、加速度センサを使ってワークテーブルの回転角度と傾斜角度を測定する例を示す模式図である。

【図 1 5 - 2】図 1 5 - 2 は、図 1 5 - 1 に示す模式図を他の方向から見た図である。

【図 1 6 - 1】図 1 6 - 1 は、加速度センサを使って主軸頭の回転角度と傾斜角度を測定する他の例を示す模式図である。

【図 1 6 - 2】図 1 6 - 2 は、図 1 6 - 1 に示す模式図を他の方向から見た図である。

【図 1 7】図 1 7 は、加速度の測定結果と、重力加速度による影響の推定値を示す図である。

20

【図 1 8】図 1 8 は、加速度の測定結果から重力加速度成分を差し引いて補正した結果を示す図である。

【図 1 9】図 1 9 は、図 1 4 に示すステップ S 1 0 における処理を詳細に説明するための図である。

【図 2 0】図 2 0 は、実施の形態 2 により測定された検出角度と機械角度とを円弧表示した結果の例を示す図である。

【図 2 1 - 1】図 2 1 - 1 は、B 軸周りに回転動作する主軸頭を示す図である。

【図 2 1 - 2】図 2 1 - 2 は、図 2 1 - 1 に示す回転動作における時間と回転角度の関係を示す図である。

【図 2 2】図 2 2 は、加速度センサを使って等速回転中の回転角度を測定するための手順を説明するためのフローチャートである。

30

【図 2 3】図 2 3 は、図 2 1 - 1, 2 1 - 2 に示す運動を行った場合における加速度の測定結果と、そのときの重力成分の推定結果を示す図である。

【図 2 4】図 2 4 は、図 2 2 に示すステップ S 1 1 における加速度センサによる測定結果を補正した場合の加速度の測定結果と重力成分の推定値とを示す図である。

【図 2 5】図 2 5 は、図 2 2 に示すステップ S 6 において重力成分を補正したあとの加速度の測定結果を示す図である。

【図 2 6】図 2 6 は、図 2 2 に示すステップ S 1 2 により計算された機械角加速度と、検出角度を 2 回微分して得た検出角加速度とを示す図である。

【図 2 7】図 2 7 は、実施の形態 3 により測定された等速回転中の回転角度を示す図である。

40

【図 2 8】図 2 8 は、本発明の実施の形態 4 にかかる機械角度測定装置の概略構成を示すブロック図である。

【図 2 9】図 2 9 は、角速度センサを使う場合の機械角度計算部の処理手順を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0 0 1 3】

以下に、本発明の実施の形態にかかる機械角度測定装置の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、この実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。

【0 0 1 4】

50

実施の形態 1.

図 1 は、本発明の実施の形態 1 にかかる機械角度測定装置の概略構成を示すブロック図である。機械角度測定装置は、機械要素を回転させるモータの検出角度をフィードバックして、検出角度が指令角度に追従するようにモータを駆動することで、機械要素の機械角度を制御する装置において機械角度を測定する。まず、機械角度測定装置の一般的な構成例を、図 1 を使って説明する。サーボモータ 4 の回転運動は、例えばウォーム 6 とウォームホイール 7 とからなる減速機構により、ウォームホイール 7 と機械的に結合された主軸頭 5 に伝達される。ここでは、主軸頭 5 が、回転する機械要素となる。

【0015】

モータ 4 の回転角度は角度検出器 3 により常時測定されており、モータ駆動部 9 では、指令生成部 8 から伝達される指令角度と、角度検出器 3 で測定された検出角度とが一致するようにモータ駆動電圧を逐次変更することで、モータ 4 の回転角度を制御する。指令生成部 8 では、上位装置から伝達またはオペレータにより入力された目標角度から指令角度が生成される。

【0016】

主軸頭 5 の回転角度（機械角度）は、理想的には検出角度と一致することが好ましい。しかし、実際には、減速機構の角度伝達誤差や重力による変形といった様々な要因により、機械角度が検出角度と一致することはほとんどない。すなわち、たとえ検出角度と指令角度が一致したとしても、本来制御したいはずの機械角度は指令角度とは一致していないことが多い。

【0017】

このため、指令生成部 8 およびモータ駆動部 9 には各種補正機能が備わっており、機械角度を指令角度となるべく一致するように制御している。この各種補正機能を有効に動作させるためには、機械角度の測定結果に基づいて補正機能のパラメータを適切に設定しておく必要がある。

【0018】

続いて、本発明の実施の形態にかかる機械角度測定装置について、図 1 を用いて説明する。本実施の形態 1 では、回転する機械要素上で回転に伴い変位が生じる箇所の変位を変位センサ 1 により測定し、機械角度計算部 10 では、角度検出器 3 により測定される検出角度と、変位センサ 1 により測定される変位（変位信号として出力）とから、変位センサ 1 の設置位置を推定し、変位センサ 1 の設置位置の推定結果に基づいて変位から機械角度を計算することを特徴とする。また、計算された機械角度が、機械角度表示部 11 に表示されることを特徴とする。

【0019】

図 2 は、変位センサ 1 により機械角度を測定する手順を説明するためのフローチャートである。変位センサオフセット量計算ステップ S1 では、変位センサ 1 の設置位置のオフセットを計算する。

【0020】

図 3 は、変位センサ 1 の設置位置の Z 方向オフセット量について説明する図である。主軸頭 5 は円筒形であり、円筒の中心軸に直交する方向の軸まわりに回転するものとし、その回転軸を B 軸とする。主軸頭の回転軸の方向を Y 軸、B 軸の回転角度が 0° の状態での円筒の中心軸を X 軸とし、X 軸と Y 軸に直交する軸を Z 軸とする。図 3 は、B 軸の回転角度が 0° の状態での主軸頭 5 を、Y 軸方向から見た図である。このとき、たとえば回転中心を通り X 軸に平行な直線上の点を測定対象点とし、図 3 の 1' の位置に変位センサを配置して、主軸頭 5 の回転により生じる測定対象点の Z 方向の変位を測定することができれば、その変位から機械角度を求めることができる。特に、変位が微小である場合は、測定変位と機械角度は比例関係となる。すなわち、回転中心と測定対象点との間の距離と機械角度の積が測定変位となるので、測定変位を回転中心と測定対象点の間の距離で除することにより、機械角度を求めることができる。

【0021】

しかしながら、回転中心を通る直線上の変位を測定することは一般には困難である場合が多い。前述の例では、図3の1'のように、主軸頭5の下端付近に変位センサを取り付けることになるが、この部分には工具などがすでに取り付けられている場合が多く、その場合には変位センサを取り付けられない。また、主軸頭5の長さの関係で回転中心と測定対象点の間の距離が長くなるため、変位センサの有効測定範囲が限られている場合には、角度の測定範囲が狭くなってしまう。

【0022】

そこで、実際には変位センサを配置しやすく、かつ回転中心に近い点を測定対象点とすることになる。例えば、図3の1に示す主軸頭5の側面に変位センサを配置する。その場合には、変位センサで測定される変位と実際の機械角度の関係は、比例関係とはならず、回転中心を通る直線からZ方向に離れた位置にセンサを配置することによる測定誤差が生じる。また、測定対象点の回転中心に対する相対位置を正確に把握するのは一般に難しい。そこで、回転中心からZ方向・X方向にオフセットした位置を測定対象点とし、主軸頭5の回転により生じる測定対象点のZ方向の変位から機械角度を求める場合の、測定誤差について解析し、さらにZ方向のオフセットとX方向のオフセットは未知の場合でも、変位センサで測定した位置と検出角度とからこれらのオフセットを推定する方法について考察する。なお、ここでは、B軸の回転角度は $\pm 1^\circ$ 以下の微小な角度とする。

【0023】

図4は、変位センサ1のZ方向オフセットによる測定誤差の発生原理を説明するための図である。図4において、測定半径（B軸回転中心位置からの-X方向オフセット）を r_x [mm]、Z方向オフセットを r_z [mm]、測定誤差を Δz [mm]、B軸の回転角度を θ [deg]とする。もし測定対象点がB軸回転中心をとおりX軸に平行な直線上にあれば、すなわちZ方向オフセットが0であれば、測定される変位は測定半径と回転角度の積 $r_x \cdot \theta$ となる。しかしZ方向オフセットが0でない場合には、測定対象点における変位は、前述の測定半径と回転角度の積 $r_x \cdot \theta$ に、測定誤差 Δz が加算された値となる。図4から、Z方向オフセットと測定誤差の和に回転角度の余弦を乗じたものがZ方向オフセットの値と等しくなることがわかる。これらを式で表すと、式(1)および式(2)となる。さらに、式(1)と式(2)を測定誤差 Δz について解くことで、式(3)を得る。

$$z = r_z + \Delta z \quad (1)$$

$$r_z = z \cos \theta \quad (2)$$

【0024】

【数1】

$$\Delta z = \frac{r_z}{\cos \theta} - r_z \quad (3)$$

【0025】

式(3)より、Z方向オフセットによる測定誤差 Δz はZ方向オフセット r_z とB軸の回転角度 θ とから計算でき、B軸の回転角度が0度では測定誤差も0である。また、B軸回転角度の符号によらず、測定誤差は同じ値になることがわかる。

【0026】

本実施の形態1の機械角度計算部10では、検出角度も同期して取得するため、便宜上検出角度をB軸の回転角度 θ とすることで、変位センサ1のZ方向オフセットによる測定誤差を計算できる。そのために、まずステップS1では、回転中心線からみた変位センサ1の設置位置のZ方向オフセット量を計算する。

【0027】

図5は、主軸頭5の側面の変位を測定するように変位センサ1を設置し、角度振幅が1 deg、速度振幅が100 deg/minの正弦波往復運動を行ったときの検出角度と変位の測定結果を示す図である。図5において、検出角度[deg]を破線で表し、変位センサによる測定結果[mm]を実線で表している。式(3)によると、回転角度 θ が最大となるときに測定誤差も最大となる。よって、検出角度の最大値を θ_{max} [deg]、

変位センサ 1 の Z 方向オフセットによる測定誤差の最大値を Δz_{max} [mm] とすると、その関係は式 (4) のように書ける。

【0028】

【数 2】

$$\Delta z_{max} = \frac{r_z}{\cos \theta_{max}} - r_z \quad (4)$$

【0029】

ここで、変位の測定結果の最大値を D_{max} [mm]、最小値を D_{min} [mm] とすると、回転角度の符号によらず測定誤差は正の値となるので、測定誤差の最大値 Δz_{max} [mm] は、式 (3) から以下のように計算できる。

10

【0030】

【数 3】

$$\Delta z_{max} = \left| \frac{D_{max} + D_{min}}{2} \right| \quad (5)$$

【0031】

すなわち、式 (5) により求めた測定誤差の最大値 Δz_{max} と、検出角度の最大値 θ_{max} とから、式 (4) により変位計の Z 方向オフセット量 r_z を計算できる。図 5 に示した測定結果から変位センサ 1 の Z 方向オフセット量を計算したところ、117.4 mm となった。このように、変位センサの正確な取り付け位置が未知の場合でも、正弦波指令角度を与えた場合における検出角度と変位の測定結果とから、変位センサ 1 の Z 方向オフセット量を計算できる。

20

【0032】

オフセット依存誤差計算ステップ S 2 では、ステップ S 1 で計算された Z 方向オフセット量を使って、式 (3) により Z 方向オフセットによる測定誤差を計算する。さらに、オフセット依存誤差補正ステップ S 3 において、ステップ S 2 で計算された測定誤差を変位センサ 1 による測定結果から差し引くことで、変位センサ 1 の Z 方向オフセットによる測定誤差を補正する。図 6 は、変位センサ 1 による測定結果とそのときの測定誤差、および測定誤差を補正したあとの結果を示す図である。

30

【0033】

測定半径計算ステップ S 4 では、測定半径すなわち B 軸回転中心からの -X 方向オフセットを計算する。測定半径 r_x は変位測定結果の振幅とフィードバック角度の振幅との比として、式 (6) により求められる。

【0034】

【数 4】

$$r_x = \frac{D_{max} - D_{min}}{\theta_{max} - \theta_{min}} \quad (6)$$

【0035】

式 (6) を用いて、図 5 に示した測定結果から測定半径 r_x を計算したところ、27.4 mm となった。このように、正弦波指令角度を与えた場合における検出角度と変位の測定結果とから、変位センサ 1 の Z 方向オフセット量と測定半径の両方、すなわち回転中心位置に対する変位センサ 1 の設置位置を計算できる。そして、機械角度計算ステップ S 5 では、ステップ S 4 で計算された測定半径を使い、変位センサ 1 により測定された変位を機械角度に変換する。

40

【0036】

図 7 は、図 2 に示す手順により計算された機械角度と、そのときの検出角度を示す図である。図 7 からわかるように、検出角度と機械角度との間の誤差は運動の振幅と比べて大変微小であり、機械角度と検出角度とを重ねて表示したとしても読み取ることが難しい。

50

そこで、何らかの方法により運動誤差を拡大表示する必要がある。

【0037】

運動誤差を拡大表示するための方法の1つとして、円弧表示する方法がある。この方法は2つ以上の直進軸を有する機械の運動精度を評価するための方法として一般的な方法であり、円弧表示することの利点として誤差の拡大表示が容易な点がある。これは、実際の軌跡の平均半径（基準円半径）を求めてその平均半径と実際の軌跡との誤差を計算することで、平均値からの変動分のみを大きく拡大して表示できるためである。

【0038】

回転軸1軸の測定結果についても、同様の方法を適用することができる。すなわち、正弦波角度指令を与えた場合における検出角度と機械角度とを記録して第1のデータ組とし、検出角度と振幅が同じで位相が90度異なる描画用検出角度を演算により求め、機械角度と振幅が同じで位相が90度異なる描画用機械角度を演算により求め、描画用検出角度と描画用機械角度とを第2のデータ組とし、第1のデータ組と第2のデータ組を2次元平面上の直交する軸の検出移動量および機械移動量として円弧表示することができる。第1のデータ組と第2のデータ組は、機械角度計算部10によって出力される。すなわち、機械角度計算部10は、出力部としても機能する。なお、出力部を機械角度計算部10と別個に設けても構わない。

【0039】

なお、正弦波角度指令は余弦波角度指令としてもよい。また、描画用検出角度および描画用機械角度は、それぞれ検出角度および機械角度を直接用いるのではなく、演算により生成されるものである。例えば、それぞれ検出角度および機械角度の振幅と位相と周期を検出し、その振幅と位相と周期に基づいて正弦波関数のパラメータを決定して直交検出角度と機械検出角度とを計算したものでよいし、指令角度と回転軸を駆動するサーボ系の特性を模擬した数式とから検出角度と機械角度とを推定し、その推定結果の位相を90度変化させたものとしてもよい。

【0040】

図8-1は、検出角度と機械角度とを円弧表示するために主軸頭5に行わせた運動を示す図である。図8-2～8-4は、測定された検出角度と機械角度とを円弧表示した結果の例を示す図である。図8-1に示すように、B軸周りに回転する主軸頭5を±θ度の範囲で正弦波往復運動させる。なお、検出角度と機械角度の円弧表示は、機械角度表示部11に表示される。したがって、機械角度をユーザに視覚的に認識させることができる。

【0041】

図8-2は、そのときの測定結果を円弧一周分として表示した結果であり、角度誤差を半径方向に拡大して表示している。左右方向に現れている軌跡誤差が、運動方向反転時に生じた誤差である。図8-3は往復運動の往路と復路を180度分ずつに分割して表示した結果であり、図8-4は往路と復路の測定結果を重ねて表示した結果である。

【0042】

運動誤差を拡大表示するための他の方法として、基準角度を定義してその基準角度に対する誤差を表示する方法がある。すなわち、検出角度、機械角度、または指令角度から基準角度を求め、基準角度と検出角度および機械角度との誤差を計算し、基準角度と誤差との関係、または経過時間と誤差との関係を表示する。基準角度としては、例えば振幅と位相を検出角度または機械角度と一致させた正弦波とする方法や、サーボ系の特性を模擬した数学モデルにより指令角度に対する検出角度を計算しておく方法がある。

【0043】

図9は、横軸を時間、縦軸を回転角度および角度誤差とした場合の測定結果を示す図である。図10は、横軸を回転角度、縦軸を角度誤差とした場合の測定結果を示す図である。図9および図10をみると、運動方向が反転する箇所では検出角度と機械角度の両方で角度誤差が大きく変化していることがわかる。さらに、検出角度よりも機械角度のほうが、角度誤差が大きいこともわかる。なお、図9や図10に示すような測定結果も機械角度計算部10によって出力されて、機械角度表示部11に表示される。これにより、機械角

度をユーザに視覚的に認識させることができる。

【0044】

図11-1は、変位センサ1を使ってワークテーブルの回転角度と傾斜角度を測定する例を示す模式図である。図11-2は、図11-1に示す模式図を他の方向から見た図である。図12-1は、変位センサ1を使って主軸頭5の回転角度と傾斜角度を測定する他の例を示す模式図である。図12-2は、図12-1に示す模式図を他の方向から見た図である。A軸やC軸などの回転軸は傾斜軸支持部13に支持される。ワークテーブル12上には、変位測定用基準ブロックが設けられる。

【0045】

ここまでは、主軸頭5がB軸周りに回転する場合を例に説明したが、例えば図11-1, 11-2に示すように、ワークテーブル12がA軸とC軸周りに回転する場合についても、同様の方法で測定が可能である。また、図12-1, 12-2に示すように、主軸頭5がC軸周りとB軸周りに回転する場合についても、同様の方法で測定が可能である。ほかの軸構成についても測定可能であることは、当業者であれば容易に想像できる。

【0046】

以上説明したように、変位センサ1で変位を測定して機械角度を算出するので、連続的な角度変化の測定が可能になる。また、正弦波指令角度を与えることで変位センサ1の設置位置を計算できるので、変位センサ1の設置位置を厳密に管理しなくてもよいため、メンテナンス性や使い勝手の向上を図ることができる。

【0047】

実施の形態2.

図13は、本発明の実施の形態2にかかる機械角度測定装置の概略構成を示すブロック図である。なお、上記実施の形態と同様の構成については、同様の符号を付して詳細な説明を省略する。本実施の形態2では、加速度センサ2の感度方向が、回転する機械要素の回転の接線方向を向くように加速度センサ2を設置する。また、機械角度計算部10が、加速度センサ2により測定される接線方向加速度および接線方向加速度を積分して得られる情報と、検出角度および検出角度を微分して得られる情報とを比較することで、加速度の測定誤差と加速度を積分することによる積分誤差とを補正して、機械角度を計算することの特徴とする。

【0048】

図14は、加速度センサ2により機械角度を測定する手順を説明するためのフローチャートである。加速度を測定する場合には、加速度センサ2の感度方向の向きによっては重力加速度gによる影響を受ける。そこで、まず重力成分補正ステップS6において重力による影響を補正する。例えば、図13に示すように主軸端に加速度センサ2を取付けて主軸頭5が回転する場合、その回転角度 θ と加速度センサ2の感度方向に対する重力加速度成分は、式(7)のように表される。ここで、 γ はB軸回転中心線のZ軸周りの回転角度であり、本実施の形態2で測定対象とした回転軸では30度である。

$$G_T = g \cdot \cos(\gamma) \cdot \sin(\theta) \quad (7)$$

【0049】

図15-1は、加速度センサ2を使ってワークテーブルの回転角度と傾斜角度を測定する例を示す模式図である。図15-2は、図15-1に示す模式図を他の方向から見た図である。図16-1は、加速度センサ2を使って主軸頭5の回転角度と傾斜角度を測定する他の例を示す模式図である。図16-2は、図16-1に示す模式図を他の方向から見た図である。

【0050】

図13に示す回転軸では重力加速度gとその回転の接線方向成分 G_T との関係は式(7)のようになるが、例えば図15-1, 15-2に示すようにワークテーブル12がA軸とC軸周りに回転する場合や、図16-1, 16-2に示すように、主軸頭5がC軸周りとB軸周りに回転する場合についての関係式についても、当業者であれば容易に導出することができる。また、ほかの軸構成についても同様に導出可能であることも、当業者であ

10

20

30

40

50

れば容易に想像できる。

【0051】

図17は、角度振幅を1deg、速度振幅を100deg/minとした場合における加速度の測定結果と、そのときの重力加速度による影響の推定値を示す図である。図18は、加速度の測定結果から重力加速度成分を差し引いて補正した結果を示す図である。重力加速度による影響は、検出角度を θ として式7により計算した。本実施の形態2における機械角度測定方法の重力成分補正ステップS6では、検出角度と重力加速度とから、重力加速度が接線方向加速度に及ぼす影響を推定し、接線方向加速度から差し引くことを特徴とする。

【0052】

速度計算ステップS7では加速度を積分することで速度を計算する。感度誤差および測定半径補正ステップS8では、加速度を積分して得た速度と検出角度を微分して得た角速度の振幅を比較し、加速度を積分して得た速度の振幅が検出位置を微分して得た角速度の振幅と一致するように、加速度を積分して得た速度を係数倍して角速度に変換する。これは、加速度センサの感度誤差と測定半径を同時に補正したことに相当する。

【0053】

機械角度計算ステップS9では、ステップS8で計算された角速度を積分して機械角度を計算する。さらに、積分誤差補正ステップS10において、機械加速度を計算する際の積分誤差による影響を補正する。

【0054】

図19は、図14に示すステップS10における処理を詳細に説明するための図である。ステップS10では、加速度を2回積分して得た機械角度と検出角度との差を計算し、事前に準備した想定される積分誤差の近似式をつかって機械角度と検出角度との差を近似する。この近似式により得られる積分誤差の推定値を機械角度から差し引くことで、積分誤差による影響を補正する。

【0055】

図20は、実施の形態2により測定された検出角度と機械角度とを円弧表示した結果の例を示す図である。図20は、角度振幅を1deg、速度振幅を200deg/minとした場合の結果であり、1/4周期ずらした結果を使って円弧軌跡として表示している。

【0056】

また、検出角度を破線で表し、機械角度を実線で表している。各象限切り替え部、すなわち運動方向が反転する箇所では、検出角度と機械角度の両方に段差状の誤差が発生していること、および検出角度と機械角度とでは誤差の波形に違いがあることがわかる。このような円弧表示は、機械角度計算部10によって出力されて、機械角度表示部11に表示される。これにより、機械角度をユーザに視覚的に認識させることができる。

【0057】

なお、以上の実施の形態では、主軸頭がB軸周りに回転する場合を例に説明したが、例えば図15-1, 15-2に示すようにワークテーブル12がA軸とC軸周りに回転する場合についても、同様の方法で測定が可能である。また、図16-1, 16-2に示すように主軸頭5がC軸周りとはB軸周りに回転する場合についても、同様の方法で測定が可能である。ほかの軸構成についても測定可能であることは、当業者であれば容易に想像できる。

【0058】

以上説明したように、加速度センサ2で加速度を測定して機械角度を算出するので、連続的な角度変化の測定が可能になる。また、重力加速度が加速度に及ぼす影響を推定し、その影響を加速度から差し引くので、重力の影響を受ける場合でも機械角度を測定できる。

【0059】

実施の形態3.

本発明の実施の形態3として、加速度センサ2を使って連続的な回転運動中の回転角度

10

20

30

40

50

を測定する方法を例にあげて説明する。なお、上記実施の形態と同様の構成については、同様の符号を付して詳細な説明を省略する。図 2 1 - 1 は、B 軸周りに回転動作する主軸頭 5 を示す図である。加速度センサ 2 はその感度方向が回転運動の接線方向を向くように設置される。図 2 1 - 2 は、図 2 1 - 1 に示す回転動作における時間と回転角度の関係を示す図である。図 2 1 - 2 に示すように、主軸頭 5 を 0 度と 9 0 度との間で等速回転させたときの回転角度を測定する。

【0060】

なお、本実施の形態 3 では、主軸頭 5 が B 軸周りに回転する場合を例にあげて説明しているが、例えば図 1 5 - 1, 1 5 - 2 に示すようにワークテーブル 1 2 が A 軸と C 軸周りに回転する場合についても、同様の方法で測定が可能である。また、図 1 6 - 1, 1 6 - 2 に示すように主軸頭 5 が C 軸周りと B 軸周りに回転する場合についても、同様の方法で測定が可能である。なお、他の軸構成についても測定可能であることは、当業者であれば容易に想像できる。また、測定する回転角度の範囲についても、測定対象とする回転軸の可動範囲に応じて任意に設定可能である。

【0061】

図 2 2 は、加速度センサ 2 を使って等速回転中の回転角度を測定するための手順を説明するためのフローチャートである。まず、感度誤差補正ステップ S 1 1 では、加速度センサの設置誤差や感度誤差等に起因する測定誤差を補正する。

【0062】

図 2 3 は、図 2 1 - 1, 2 1 - 2 に示す運動を行った場合における加速度の測定結果と、そのときの重力成分の推定結果を示す図である。重力成分の推定結果は式 (7) によって求められるものである。図 2 3 によると、停止中の加速度の測定結果 (2 ~ 3 秒付近) は重力加速度の推定値とわずかにずれており、これは、加速度センサ 2 の感度誤差や設置誤差による影響である。また、停止中の加速度波形にはスパイク状の加速度変化が観察されるが、これは測定対象とした回転軸が有するクランプ機構の影響によるものである。

【0063】

感度誤差補正ステップ S 1 1 では、検出角度からモータの停止を検知するとともに重力加速度による影響を推定し、その推定結果と加速度の測定結果とが一致するように加速度センサ 2 の測定結果を補正する。その際、クランプ機構が動作して加速度の測定結果に影響を及ぼす箇所のデータは除いておくことを特徴とする。図 2 4 は、図 2 2 に示すステップ S 1 1 における加速度センサ 2 による測定結果を補正した場合の加速度の測定結果と重力成分の推定値とを示す図である。

【0064】

つぎに、重力成分補正ステップ S 6 では、感度誤差補正ステップ S 1 1 で補正された加速度データから重力成分の推定値を差し引くことで、重力加速度による影響を補正する。図 2 5 は、図 2 2 に示すステップ S 6 において重力成分を補正したあとの加速度の測定結果を示す図である。この結果が、回転運動に伴う接線方向加速度となる。

【0065】

つぎに、検出角度を 2 回微分して得た検出角加速度とステップ S 6 により補正された接線方向加速度とを比較して加速度の測定半径を計算し (ステップ S 4)、角加速度計算ステップ S 1 2 で接線方向加速度を角加速度に変換する。具体的には、加速および減速中であることを検知し、検出角加速度の最大値と加速度センサ 2 により測定された接線方向加速度の最大値との比を測定半径として計算し、接線方向加速度を測定半径で除することで、機械角加速度を計算する。

【0066】

本実施の形態 3 において計算された測定半径は、277.2 mm であった。図 2 6 は、図 2 2 に示すステップ S 1 2 により計算された機械角加速度と、検出角度を 2 回微分して得た検出角加速度とを示す図である。図 2 6 によると、機械角加速度のほうが振動の振幅が大きくなっており、これは回転軸の駆動機構に存在する誤差や機械的な振動による影響である。

10

20

30

40

50

【0067】

機械角度計算ステップS13では、ステップS12により計算された機械角加速度を2回積分して機械角度を計算する。さらに、ステップS10では、積分誤差による影響を同定して機械角度の測定結果に含まれる積分誤差による影響を補正する。積分誤差の補正方法としては、図19に示すように、加速度を2回積分して得た機械角度と検出角度との差を計算し、事前に準備した想定される積分誤差の近似式をつかって機械角度と検出角度との差を近似するとともに、この近似式により得られる積分誤差の推定値を機械角度から差し引く方法が適用できる。

【0068】

図27は、実施の形態3により測定された等速回転中の回転角度を示す図である。図27は、検出角度と機械角度との誤差を計算し、横軸を検出角度、縦軸を誤差として表示した結果である。本実施の形態3の機械角度測定方法では検出角度と加速度センサ2による測定結果とを時間的に同期して測定しているため、加速度センサ2による測定結果を積分した結果である機械角度も検出角度と時間的に同期していることになる。すなわち、機械角度と検出角度との誤差は回転軸の駆動機構に存在する機械的な誤差を表している。

【0069】

図27では、0度から90度まで主軸頭5を回転させた場合の結果と、逆に90度から0度まで主軸頭5を回転させた場合の結果とを重ねて表示している。図27によると、どちらの回転方向においても15度周期の変動が現れている。測定対象とした回転軸の減速機構は減速比が1/24であり、減速機構の入力軸1回転あたりの機械角度が15度に相当することから、15度周期の変動は減速機構の影響によるものであるといえる。

【0070】

なお、図27は、結果として検出角度と誤差との関係を表示したものであるが、これを機械角度と誤差との関係として表示してもよいし、時間と誤差との関係として表示してもよい。また、これらの関係を示す情報は、機械角度計算部10によって出力されて、機械角度表示部11に表示される。これにより、機械角度をユーザに視覚的に認識させることができる。

【0071】

実施の形態4.

本発明の実施の形態4として、角速度センサを使って回転角度を測定する方法を例に挙げて説明する。なお、上記実施の形態と同様の構成については、同様の符号を付して詳細な説明を省略する。本実施の形態4では、回転する機械要素上の任意の位置に角速度センサ15の感度方向が回転軸の回転方向と一致するように設置され、機械角度計算部10では、角速度センサ15により測定される角速度および角速度を積分して得られる情報と、検出角度および検出角度を微分して得られる情報とを比較することで、角速度の測定誤差と角速度を積分することによる積分誤差とを補正して、機械角度を計算する。

【0072】

図28は、本発明の実施の形態4にかかる機械角度測定装置の概略構成を示すブロック図である。角速度センサ15は、その回転の感度方向を測定対象の回転軸と一致するようにし、機械要素上に設置する。図29は、角速度センサ15を使う場合の機械角度計算部10の処理手順を示すフローチャートである。

【0073】

まず、機械角度計算ステップS9において、角速度を1回積分して角度とする。さらに、積分誤差補正ステップS10において、角速度を積分した際に生じる積分誤差による影響を補正する。積分誤差の補正アルゴリズムは、加速度センサ2による場合と同じ方法（図19を参照）が適用できる。これにより、上記実施の形態2、3と同様の効果を得ることができ、運動方向反転時の挙動や等速回転中の回転むらといった現象を測定できる。

【0074】

なお、図11-1、11-2、12-1、12-2、15-1、15-2、16-1、16-2に示すような回転軸の構成に対しても、同様に角速度センサ15によって機械角

10

20

30

40

50

度を測定できることは、当業者であれば容易に想像できる。

【0075】

以上説明したように、角速度センサ15で変位を測定して機械角度を算出するので、連続的な角度変化の測定が可能になる。

【産業上の利用可能性】

【0076】

以上のように、本発明にかかる機械角度測定装置は、回転軸を有する工作機械の機械角度を測定するのに有用である。

【符号の説明】

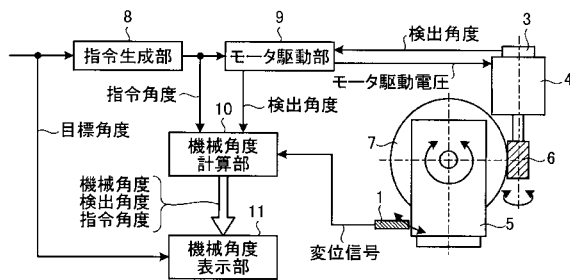
【0077】

- 1 変位センサ
- 2 加速度センサ
- 3 角度検出器
- 4 サーボモータ
- 5 主軸頭（機械要素）
- 6 ウォーム
- 7 ウォームホイール
- 8 指令生成部
- 9 モータ駆動部
- 10 機械角度計算部（出力部）
- 11 機械角度表示部
- 12 ワークテーブル
- 13 傾斜軸支持部
- 14 変位測定用基準ブロック
- 15 角速度センサ

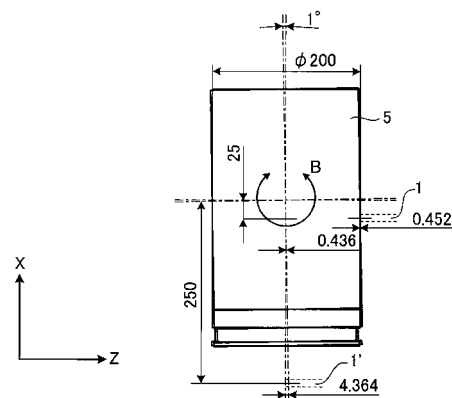
10

20

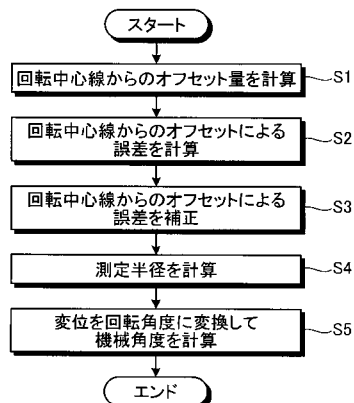
【図1】



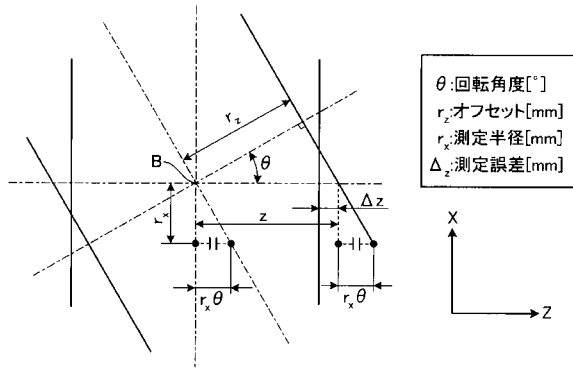
【図3】



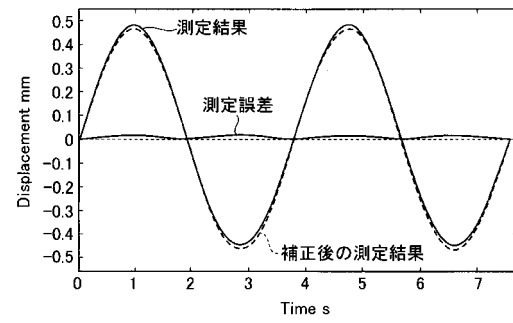
【図2】



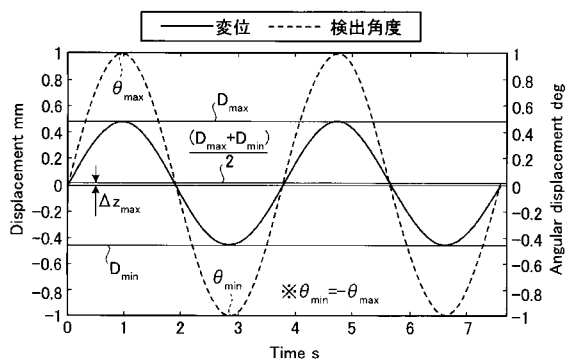
【図 4】



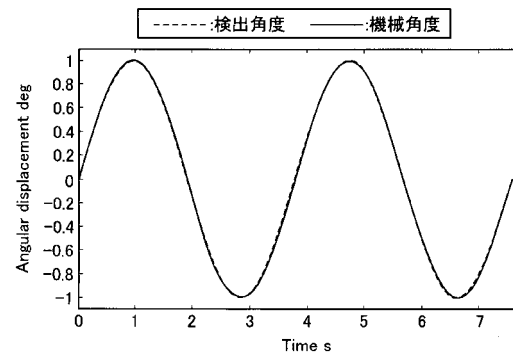
【図 6】



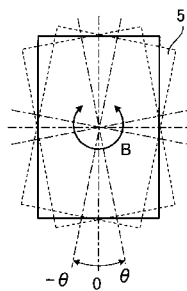
【図 5】



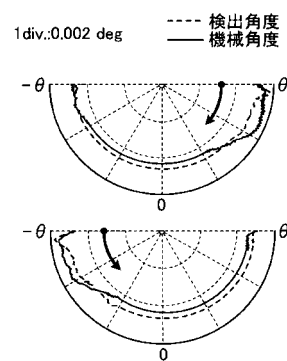
【図 7】



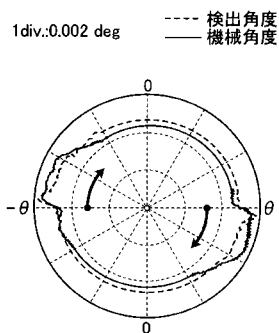
【図 8 - 1】



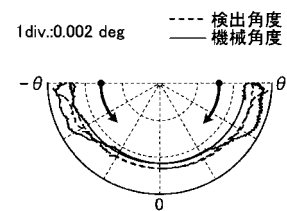
【図 8 - 3】



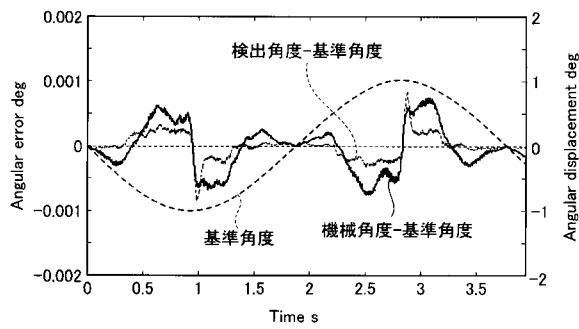
【図 8 - 2】



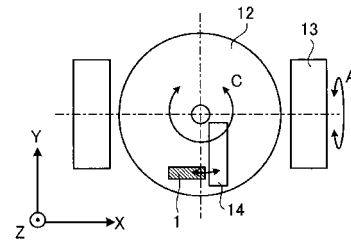
【図 8 - 4】



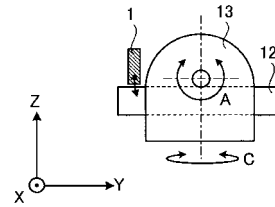
【図 9】



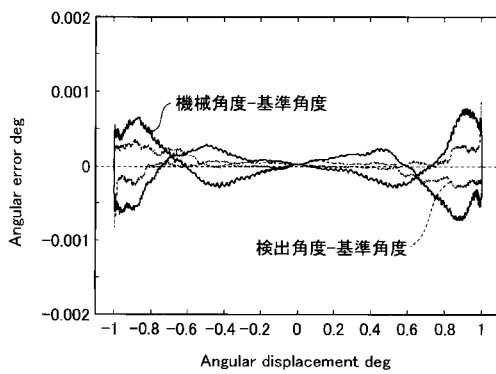
【図 11-1】



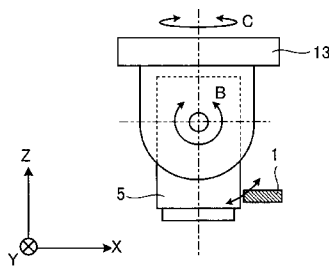
【図 11-2】



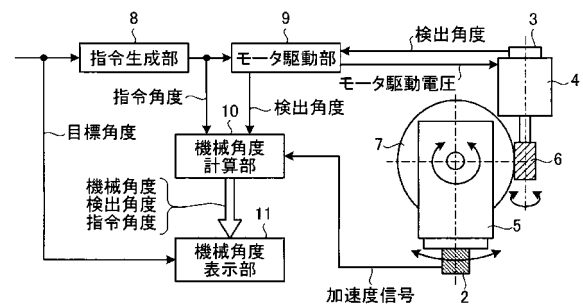
【図 10】



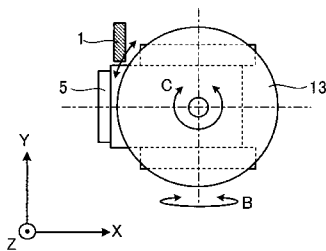
【図 12-1】



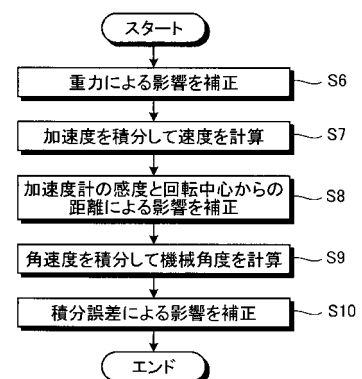
【図 13】



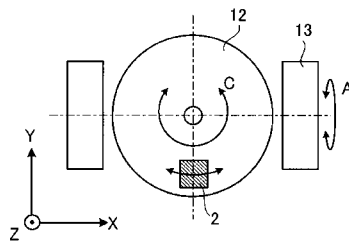
【図 12-2】



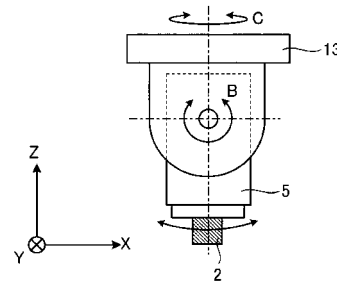
【図 14】



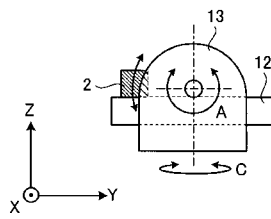
【図 15-1】



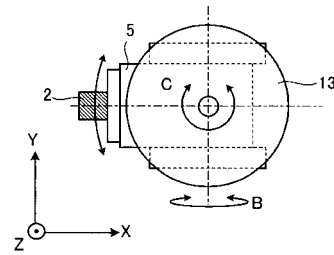
【図 16-1】



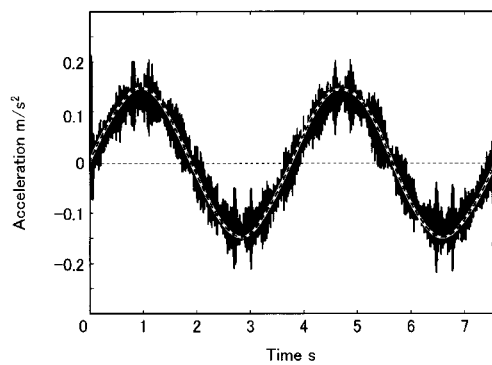
【図 15-2】



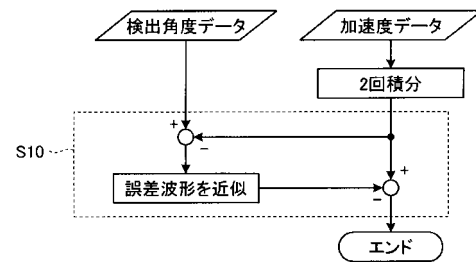
【図 16-2】



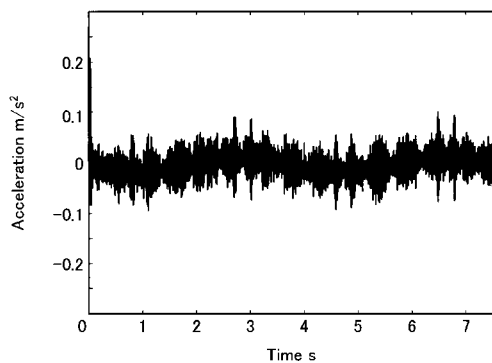
【図 17】



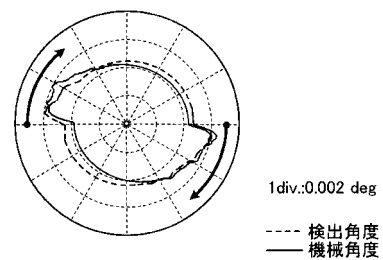
【図 19】



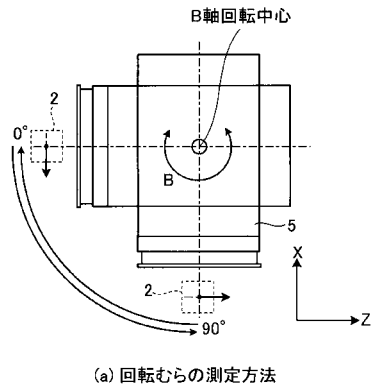
【図 18】



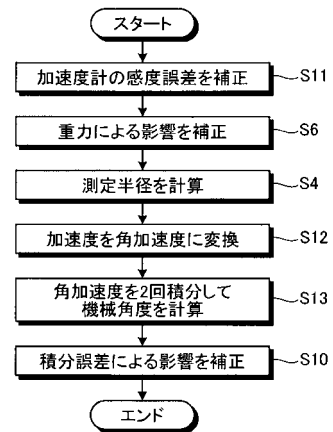
【図 20】



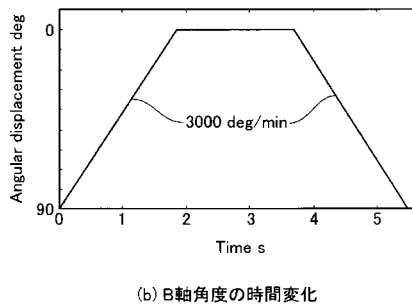
【図 2 1 - 1】



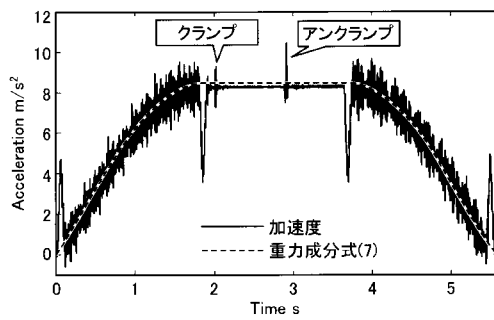
【図 2 2】



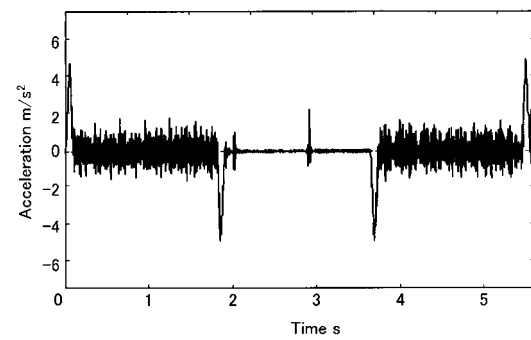
【図 2 1 - 2】



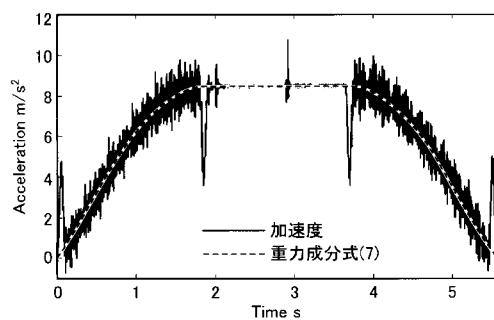
【図 2 3】



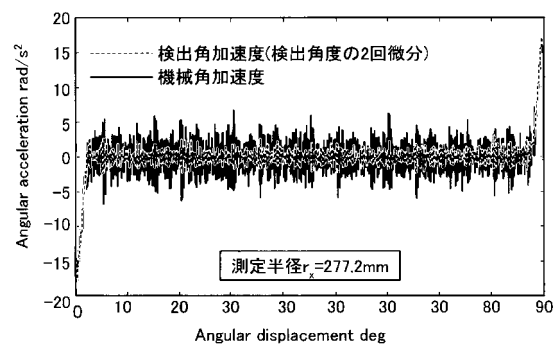
【図 2 5】



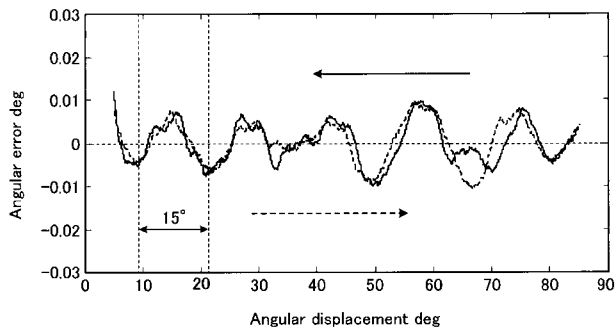
【図 2 4】



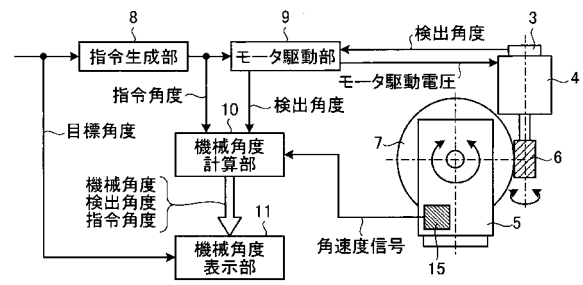
【図 2 6】



【図 27】



【図 28】



【図 29】

