

(19)日本国特許庁 (J P)

(12)特許公報 (B 2)

(11)特許番号

特許第3218327号

(P 3 2 1 8 3 2 7)

(45)発行日 平成13年10月15日(2001.10.15)

(24)登録日 平成13年8月10日(2001.8.10)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I
G01B 7/30	101	G01B 7/30 101 A
G01D 5/20		G01D 5/20 S

請求項の数 6 (全7頁)

(21)出願番号	特願平11 - 255794	(73)特許権者	391012327 東京大学長 東京都文京区本郷7丁目3番1号
(22)出願日	平成11年9月9日(1999.9.9)	(72)発明者	加賀美 聡 東京都文京区根津1 - 1 - 21 - 505
(65)公開番号	特開2001 - 82913(P 2001 - 82913 A)	(72)発明者	稲葉 雅幸 千葉県鎌ヶ谷市丸山2 - 10 - 70 - 307
(43)公開日	平成13年3月30日(2001.3.30)	(72)発明者	井上 博允 東京都江戸川区江戸川1 - 42 - 8
審査請求日	平成11年9月9日(1999.9.9)	(74)代理人	100058479 弁理士 鈴江 武彦 (外5名)
		審査官	白石 光男
		(58)調査した分野(Int.Cl. ⁷ , D B名)	G01B 7/30 G01D 5/20

(54)【発明の名称】角度検出センサ

1

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】球状の外面を持った球体部と、上記球体部から延出したジョイント軸と、ほぼ球状の内面を有しているとともに上記球体部が回転自在に係合した凹所を有した受部材と、を備えた球ジョイントにおける上記ジョイント軸の3軸回転角度を検出する角度検出センサにおいて、

上記球体部の外面に巻回されているとともに、上記球体部の中心と一致した中心をそれぞれ有した2つの第1コイルと、

上記凹所を囲んで上記受部材に設けられているとともに、上記球体部の中心と一致した中心をそれぞれ有した2つの第2コイルと、

上記第1および第2コイルのいずれか一方の2つのコイルに互いに周波数の異なる電圧を供給し交代磁場を発生

2

させる電圧供給部と、

上記交代磁場により上記第1および第2コイルの他方の2つのコイルに発生する誘導起電力を上記周波数毎に検出し、検出された誘導起電力から上記ジョイント軸の3軸周りでの回転角度をそれぞれ算出する算出部と、を備えていることを特徴とする角度検出センサ。

【請求項2】上記各コイルに発生した誘導起電力を周波数毎の出力電圧に分離する分離部を備えていることを特徴とする請求項1に記載の角度検出センサ。

10 【請求項3】上記第1コイルと第2コイルとのなす角度と出力電圧との関係を規定する関数データを格納した記憶部を備え、上記算出部は、上記検出された周波数毎の出力電圧と上記記憶部に格納された関数データとに基づいて上記ジョイント軸の回転角度を算出することを特徴とする請求項2に記載の角度検出センサ。

【請求項 4】上記一方の第 1 コイルと一方の第 2 コイルとのなす角度を θ_{1a} 、上記一方の第 1 コイルと他方の第 2 コイルとのなす角度を θ_{2a} 、他方の第 1 コイルと上記一方の第 2 コイルとのなす角度を θ_{1b} 、上記他方の第 1 コイルと上記他方の第 2 コイルとのなす角度を θ_{2b} 、上記 2 つの第 2 コイルのコイル面同士がなす角度を ω とし、

上記球体部の中心を通る x、y、z 軸に対する上記ジョイント軸のなす角度をそれぞれロール角 β 、ピッチ角 α 、ヨー角 γ とした場合、

上記算出部は、上記検出された周波数毎の出力電圧と上記記憶部に格納された関数データとに基づいて上記 θ_{1a} 、 θ_{2a} 、 θ_{1b} 、 θ_{2b} をそれぞれ算出するとともに、以下の式に基づいて上記ロール角 β 、ピッチ角 α 、ヨー角 γ を算出することを特徴とする請求項 3 に記載の角度検出センサ。

【数 1】

$$\beta = -\sin^{-1} \left(\frac{\cos \theta_{1a} + \cos \theta_{2a}}{2 \cos \omega} \right)$$

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{\cos \theta_{1a} - \cos \theta_{2a}}{2 \sin \omega \cos \beta} \right)$$

$$\gamma = \sin^{-1} \left(\frac{\cos \theta_{1b} + \cos \theta_{2b}}{2 \cos \omega \cos \beta} \right)$$

【請求項 5】上記 2 つの第 1 コイルのコイル面同士がなす角度は $30^\circ \sim 90^\circ$ に設定され、上記 2 つの第 2 コイルのコイル面同士がなす角度は $30^\circ \sim 90^\circ$ に設定されていることを特徴とする請求項 1 ないし 4 のいずれか 1 項に記載の角度検出センサ。

【請求項 6】上記 2 つの第 2 コイルのコイル面同士がなす角度は $50 \sim 60^\circ$ に設定されていることを特徴とする請求項 5 に記載の角度検出センサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は角度検出センサに関し、特に、球ジョイントの 3 軸周りの回転角度を検出するための角度検出センサに関する。

【0002】

【従来の技術】近年、ロボットの関節、ジョイスティック等の操作レバーの軸受に、3 軸自由度を持った球ジョイントを用いたものが提供されている。例えば、ロボットの分野においては、軽量化と動作の多自由度化を実現するため、股関節や足首関節のような 3 自由度を持つ関節を、球ジョイントを用いて構成している。そして、このような球ジョイントは、機構部分が軽量かつ単純な構成にできる利点を有している。

【0003】球ジョイントを用いた場合、ワイヤ等で牽引して関節の角度を制御するためには、球ジョイントの 3 軸の回転角度を測定することが必要となる。一般に、3 次元角度測定には、ホール素子を用いた測定素子や、

交代磁場を用いた VR 用途の 3 次元位置測定装置などを用いることが知られている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記のようなホール素子を用いた測定素子や、3 次元位置測定装置は、その構造上、球ジョイントに組み込むことが困難であり、球ジョイントの回転角度検出には適していない。そこで、この発明の目的は、球ジョイントに容易に組み込むことができ球ジョイントの 3 軸回転角度を測定可能な角度検出センサを提供することにある。

【0005】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明に係る角度検出センサは、球ジョイントの球体部と、この球体部を摺動自在に受けた受部材とにそれぞれコイルを組み込み、これらのコイルの磁気結合の強度から球ジョイントに設けられたジョイント軸の角度を測定することを特徴としている。

【0006】上記角度検出センサの基本原理は、例えば、受部材に設けられた外側送信コイルに磁場を発生させ、球体部に設けられ外側送信用コイルのループ内に位置した受信コイルに誘導される起電力を測定することで、2 つのコイルのなす角度を検出するものである。誘導起電力の大きさは、送信コイル面と受信コイル面とのなす角度、つまり、ジョイント軸の角度のみによって決定され、方向には依存しない。

【0007】球ジョイントの自由度として、3 軸周りの全ての回転角度を測定するためには、少なくとも送信コイルが 2 つ、受信コイルが 2 つ必要となる。送信、受信コイルの組み合わせはコイル 4 つとなるが、送信コイルへ供給する電圧の周波数をコイル毎に変更し、各受信コイルで受信した周波数成分をバンドパスフィルタ等の分離部によって分解することで、送信側の 2 つのコイルと各受信側のコイルとのなす角度をそれぞれ独立に求めることができ、3 軸全ての回転角度を検出することが可能となる。

【0008】上記の基本原理に基づき、この発明に係る角度検出センサは、球状の外面を持った球体部と、上記球体部から延出したジョイント軸と、ほぼ球状の内面を有しているとともに上記球体部が回転自在に係合した凹所を有した受部材と、を備えた球ジョイントにおける上記ジョイント軸の 3 軸回転角度を検出する角度検出センサにおいて、上記球体部の外面に巻回されているとともに、上記球体部の中心と一致した中心をそれぞれ有した 2 つの第 1 コイルと、上記凹所を囲んで上記受部材に設けられているとともに、上記球体部の中心と一致した中心をそれぞれ有した 2 つの第 2 コイルと、上記第 1 および第 2 コイルのいずれか一方の 2 つのコイルに互いに周波数の異なる電圧を供給し交代磁場を発生させる電圧供給部と、上記交代磁場により上記第 1 および第 2 コイルの他方の 2 つのコイルに発生する誘導起電力を上記周波

数毎に検出し、検出された誘導起電力から上記ジョイント軸の 3 軸周りでの回転角度をそれぞれ算出する算出部と、を備えていることを特徴としている。

【 0 0 0 9 】また、この発明に係る角度検出センサは、各コイルに発生した誘導起電力を周波数毎の出力電圧に分離する分離部を備え、更に、上記第 1 コイルと第 2 コイルとのなす角度と出力電圧との関係を規定する関数データを格納した記憶部を備え、上記算出部は、上記検出された周波数毎の出力電圧と上記記憶部に格納された関数データとに基づいて上記ジョイント軸の回転角度を算出

【 0 0 1 0 】上記一方の第 1 コイルと一方の第 2 コイルとのなす角度を θ_{1a} 、上記一方の第 1 コイルと他方の第 2 コイルとのなす角度を θ_{2a} 、他方の第 1 コイルと上記一方の第 2 コイルとのなす角度を θ_{1b} 、上記他方の第 1 コイルと上記他方の第 2 コイルとのなす角度を θ_{2b} 、上記 2 つの第 2 コイルのコイル面同士がなす角度を ω とし、上記球体部の中心を通る x、y、z 軸に対する上記ジョイント軸のなす角度をそれぞれロール角 α 、ピッチ角 β 、ヨー角 γ とした場合、上記算出部は、上記検出された周波数毎の出力電圧と上記記憶部に格納された関数データとに基づいて上記 θ_{1a} 、 θ_{2a} 、 θ_{1b} 、 θ_{2b} をそれぞれ算出するとともに、以下の式に基づいて上記ロール角 α 、ピッチ角 β 、ヨー角 γ を算出する。

【 0 0 1 1 】

【数 2】

$$\beta = -\sin^{-1} \left(\frac{\cos \theta_{1a} + \cos \theta_{2a}}{2 \cos \omega} \right)$$

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{\cos \theta_{1a} - \cos \theta_{2a}}{2 \sin \omega \cos \beta} \right)$$

$$\gamma = \sin^{-1} \left(\frac{\cos \theta_{1b} + \cos \theta_{2b}}{2 \cos \omega \cos \beta} \right)$$

【 0 0 1 2 】

【発明の実施の形態】以下図面を参照しながら、この発明の実施の形態に係る角度検出センサを備えた球ジョイントについて詳細に説明する。図 1 に示すように、球ジョイントは、球状の外表面を有しジョイント軸 1 0 に固定された球体部 1 2 と、この球体部 1 2 を回転自在に受けた受部材 1 4 と、を備えている。球体部 1 2 および受部材 1 4 は、例えば合成樹脂により形成されている。また、ジョイント軸 1 0 は、例えば真鍮によって形成されているとともに、球体部 1 2 の中心 c を通る方向に沿って、球体部 1 2 の外表面から延出している。

【 0 0 1 3 】受部材 1 4 は円柱形状に形成されているとともに、その一端面に開口したほぼ球状の凹所 1 6 を有している。そして、球体部 1 2 の大部分は凹所 1 6 内に摺動自在かつ回転自在に装着され、ジョイント軸 1 0 は凹所 1 6 の開口を

1 0 は、球体部 1 2 の中心 c を通る 3 軸 x、y、z の周りでそれぞれ回転自在となっている。なお、受部材 1 4 は、凹所 1 6 に対して球体部 1 2 を脱着できるように、二つの部分に分離可能に形成されている。

【 0 0 1 4 】一方、上記のように構成された球ジョイントには、ジョイント軸 1 0 の回転角度を検出する角度検出センサ 2 0 が設けられている。図 2 に示すように、この角度検出センサ 2 0 は、球体部 1 2 の外表面に設けられた 2 つの第 1 コイル 2 2 a、2 2 b と、凹所 1 6 を囲むように受部材 1 4 の外周面に設けられた 2 つの第 2 コイル 2 4 a、2 4 b と、を備えている。

【 0 0 1 5 】第 2 コイル 2 4 a、2 4 b は送信用コイルとして機能し、電圧が供給されることによりそれぞれ交代磁場を発生する。また、第 1 コイル 2 2 a、2 2 b は受信コイルとして機能し、第 2 コイル 2 4 a、2 4 b により形成された交代磁場に応じて誘導された起電力を発生する。そして、各第 1 コイル 2 2 a、2 2 b に発生した誘導起電力は、角度検出センサ 2 0 の検出力となる。

【 0 0 1 6 】第 1 コイル 2 2 a、2 2 b は、それぞれ被覆された銅線を、球体部 1 2 の外表面に切られた 2 つの溝に巻き付けることによって構成されている。そして、2 つの第 1 コイル 2 2 a、2 2 b は、それぞれその中心が球体部 1 2 の中心 c と一致するように巻かれている。また、第 1 コイル 2 2 a、2 2 b は、ジョイント軸 1 0 の軸方向と直交した法線ベクトルを持つ円周上に巻回され、かつ互いに 9 0 度の角度をなして設けられている。すなわち、本実施の形態においては、2 つの第 1 コイル 2 2 a、2 2 b は、ジョイント軸 1 0 と交差する円周上の溝に沿って、かつ、コイル面が互いに直交するように巻回されている。

【 0 0 1 7 】なお、第 1 コイル 2 2 a、2 2 b 間の角度は、3 0 ° ~ 9 0 ° の範囲、より好ましくは 6 0 ° ないし 9 0 ° の範囲に設定されている。また、第 1 コイル 2 2 a、2 2 b は、凹所 1 6 内における球体部 1 2 の移動を妨げないように、球体部 1 2 の外周面から突出することなくほぼ面に設けられている。

【 0 0 1 8 】一方、2 つの第 2 コイル 2 4 a、2 4 b は、それぞれ円環状に巻回され、その中心が球体部 1 2 の中心 c と一致した状態で受部材 1 4 の外周面に固定されている。各第 2 コイル 2 4 a、2 4 b は、受部材 1 4 の中心軸と直交する平面に対して角度 θ だけ傾斜して設けられている。そして、第 2 コイル 2 4 a、2 4 b は、送信用コイルとして機能し、正弦波形の電圧を流すことで交代磁場を発生させる。

【 0 0 1 9 】なお、2 つの第 2 コイル 2 4 a、2 4 b 同士がなす角度 2θ は、3 0 ° ないし 9 0 ° の範囲に、より好ましくは 6 0 ° ~ 9 0 ° の範囲に設定されている。

【 0 0 2 0 】本実施の形態において、第 1 コイル 2 2 a、2 2 b は、巻数 5、直径 2 4 mm、第 2 コイル 2 4

a、2 4 bは、巻数 1 0、直径 3 5 mm、角度 = 1 5 °に形成されている。この場合、第 1 コイルおよび第 2 コイルのインダクタンスは、それぞれ 1 . 9 μH、9 . 4 μHとなる。

【 0 0 2 1 】また、図 3 に示すように、角度検出センサ 2 0 は、送信用の第 2 コイル 2 4 a、2 4 b に互いに異なる周波数の電圧を供給し交代磁場を発生させるファンクションジェネレータ等の電圧供給部 3 0 と、送信用の第 2 コイル 2 2 a、2 2 b に誘導された起電力を測定するスペクトラムアナライザ等の測定部 3 2 と、を備えている。測定部 3 2 によって測定された起電力は、バンドパスフィルタ等の分離部 3 4 によって周波数毎に分離された後、すなわち、4 つの出力に分離された後、制御部および算出部として機能する CPU 3 6 に入力される。

【 0 0 2 2 】更に、記憶部としてのメモリ 4 0 には、後述するように、実験等により予め求められた、出力電圧と角度との関係を規定する関数データが格納されている。そして、CPU 3 6 は、この関数データ、および分離部 3 4 を通って得られた各周波数の検出電圧に基いてジョイント軸 1 0 の 3 軸回転角度、つまり、ロール角、

ピッチ角およびヨー角を算出する。
 【 0 0 2 3 】ここで、ジョイント軸 1 0 が x、y、z 軸となす角度を、それぞれロール角、ピッチ角、ヨー角としている。そして、第 1 コイル 2 2 a と第 2 コイル 2 4 a とのなす角度を θ_{1a}、第 1 コイル 2 2 a と第 2 コイル 2 4 b とのなす角度を θ_{2a}、第 1 コイル 2 2 b と第 2 コイル 2 4 a とのなす角度を θ_{1b}、第 1 コイル 2 2 b と第 2 コイル 2 4 b とのなす角度を θ_{2b} とすると、ロール角、ピッチ角、ヨー角は以下の式で表される。

【 0 0 2 4 】

【数 3】

$$\beta = -\sin^{-1} \left(\frac{\cos \theta_{1a} + \cos \theta_{2a}}{2 \cos \omega} \right)$$

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{\cos \theta_{1a} - \cos \theta_{2a}}{2 \sin \omega \cos \beta} \right)$$

$$\gamma = \sin^{-1} \left(\frac{\cos \theta_{1b} + \cos \theta_{2b}}{2 \cos \omega \cos \beta} \right)$$

【 0 0 2 5 】前述した出力電圧と角度との関数は以下の手法により求める。すなわち、送信側の 1 つの第 2 コイルと、受信側の 1 つの第 1 コイルとを用い、これら 2 つのコイルのなす角度と出力電圧の振幅との関係を測定する。例えば、電圧供給部 3 0 から第 2 コイル 2 4 a に振幅 V_{cc} = 5 (V)、発振周波数 f = 1 (MHz) の正弦波を供給して交代磁場を発生させ、第 1 コイル 2 2 a に誘導される起電力の周波数 f の成分 V_{out} (V) を測定部 3 2、分離部 3 4 を介して測定する。

【 0 0 2 6 】図 4 は、上記の測定結果を示したもので、図中、x は実際の測定値であり、これらの測定値を直線

で近似している。そして、得られた近似直線から、第 2 コイル 2 4 a に対する第 1 コイル 2 2 a の角度 θ_{1a} と出力電圧との関係を示す関数を求める。

【 0 0 2 7 】また、上記と同様の手法により、他の角度 θ_{1b}、θ_{2a}、θ_{2b} と出力電圧との関係を示す関数を、それぞれ求める。このようにして求めた 4 つの関数は、データとしてメモリ 4 0 に格納しておく。

【 0 0 2 8 】一方、受信側の第 1 コイル 2 2 a に誘導した起電力を 2 つの周波数毎に分離することにより、角度 θ_{1a}、θ_{2a} に対応した出力電圧が得られ、また、受信側の第 1 コイル 2 2 b に誘導した起電力を 2 つの周波数毎に分離することにより、角度 θ_{1b}、θ_{2b} に対応した検出電圧が得られる。

【 0 0 2 9 】例えば、一方の第 2 コイル 2 4 a に振幅 5 V、発振周波数 1 MHz の電圧、他方の第 2 コイル 2 4 b に振幅 5 V、発振周波数 1 . 5 MHz の電圧、をそれぞれ供給した場合、一方の第 1 コイル 2 2 a に生じる誘導起電力は図 5 (a) に示すようになり、この誘導起電力を分離部 3 4 により周波数毎に分離すると、図 5 (b) に示すように、第 1 コイル 2 2 a と第 2 コイル 2 4 a との間の角度 θ_{1a} に対応する出力電圧、および図 5 (c) に示すように、第 1 コイル 2 2 a と第 2 コイル 2 4 b との間の角度 θ_{2a} に対応する出力電圧とが得られる。

【 0 0 3 0 】また、他方の第 1 コイル 2 2 b に生じる誘導起電力は図 6 (a) に示すようになり、この誘導起電力を分離部 3 4 により周波数毎に分離すると、図 6 (b) に示すように、第 1 コイル 2 2 b と第 2 コイル 2 4 a との間の角度 θ_{1b} に対応する出力電圧、および図 6 (c) に示すように、第 1 コイル 2 2 b と第 2 コイル 2 4 b との間の角度 θ_{2b} に対応する出力電圧が得られる。

【 0 0 3 1 】そして、得られた 4 つの検出電圧と上述した関数とから、角度 θ_{1a}、θ_{2a}、θ_{1b}、θ_{2b} を求め、更に、これらから上記式に基いてロール角、ピッチ角、ヨー角を算出する。

【 0 0 3 2 】本発明者等は、上記のように構成された角度検出センサ 2 0 による検出精度を調べるため、以下の実験を行った。図 7 に示すように、球ジョイントのジョイント軸 1 0 のピッチ角を 5 0 . 8 °、ロール角を 0 °にそれぞれ固定し、ヨー角を 1 5 °置きに 0 °から 3 6 0 °まで変化させたときの出力電圧を測定した。周波数による送信の多重化は行わず、送信用の第 2 コイルには、振幅 5 (V)、発振周波数 1 (MHz) の正弦波電圧を独立に印加した。

【 0 0 3 3 】図 8 は、得られた出力電圧から算出したロール角、ピッチ角、ヨー角を示している。ただし、ピッチ角の出力は、1 8 0 °で折返している。この図から分かるように、ピッチ角の平均値は 4 4 . 9 °、ロール角の平均値は - 2 . 9 °であり、実際のピ

10

20

30

40

50

ツチ角 = 50 . 8°、ロール角 = 0°とほぼ近似した値を得ることができた。同時に、ヨー角 についても、実際の値に対して平均で 5°程度のずれであった。

【0034】上記のような値のずれは、ある方向へのドリフトであり、ノイズ等に起因す誤差は少ない。そのため、前述した角度 - 出力電圧を示す関数を求めるための近似直線をより正確に定めるとともに、各コイルをより高い精度で巻くことにより、上述した誤差を低減し精度の高い検出が可能となる。

【0035】以上のように、上記構成の角度検出センサ 20 によれば、球ジョイントを構成する球体部 12 の外面に第 1 コイル 22 a、22 b を設け、受部材 14 に凹所 16 を囲む第 2 コイル 24 a、24 b を設けることにより、容易に球ジョイントに組込むことができる。同時に、第 2 コイル 24 a、24 b に電圧を供給して交代磁界を発生させ、第 1 コイル 22 a、22 b に誘導した起電力を検出することにより、球ジョイントに設けられたジョイント軸 10 の 3 軸周りで回転角度を精度良く検出することができる。

【0036】なお、この発明は上述した実施の形態に限定されることなく、この発明の範囲内で種々変形可能である。例えば、上述した実施の形態では、第 1 コイルを受信側、第 2 コイルを送信側としたが、逆に、第 1 コイルに電圧を供給して送信側とし、第 2 コイルを受信側として用いてもよい。

【0037】また、第 1 コイルおよび第 2 コイルの数はそれぞれ 2 個としたが、3 個以上としてもよく、数を増やすことにより検出精度を上げることができる。更に、球体部、受部材、ジョイント軸の材質は必要に応じて変更可能である。

【0038】

【発明の効果】以上詳述したように、この発明によれば、球ジョイントに容易に組込むことができ、球ジョイントの 3 軸回転角度を精度良く測定可能な角度検出センサを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】この発明の実施の形態に係る球ジョイントを示す平面図および断面図。

【図 2】上記球ジョイントに設けられた角度検出センサの第 1 および第 2 コイルを示す図。

【図 3】上記角度検出センサの構成を概略的に示すブロック図。

【図 4】コイルの角度と出力電圧との関係を測定した結果を示すグラフ。

【図 5】上記角度検出センサの一方の第 2 コイルに生じた誘導起電力、および周波数毎に分離した誘導起電力を示すグラフ。

【図 6】上記角度検出センサの他方の第 2 コイルに生じた誘導起電力、および周波数毎に分離した誘導起電力を示すグラフ。

【図 7】上記球ジョイントの 3 軸回転角度を測定する実験方法を示す図。

【図 8】上記実験によるロール角、ピッチ角、ヨー角の測定結果を示すグラフ。

【符号の説明】

10...ジョイント軸

12...球体部

14...受部材

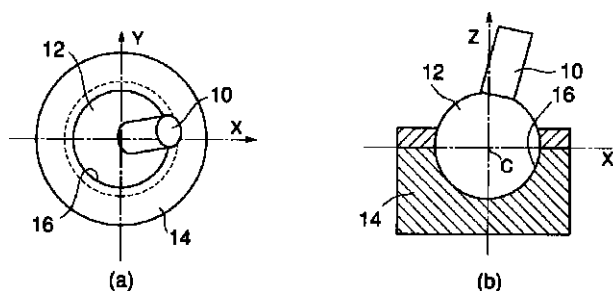
16...凹所

20...角度検出センサ

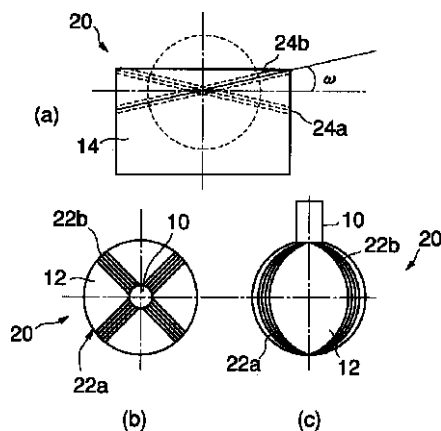
22 a、22 b...第 1 コイル

24 a、24 b...第 2 コイル

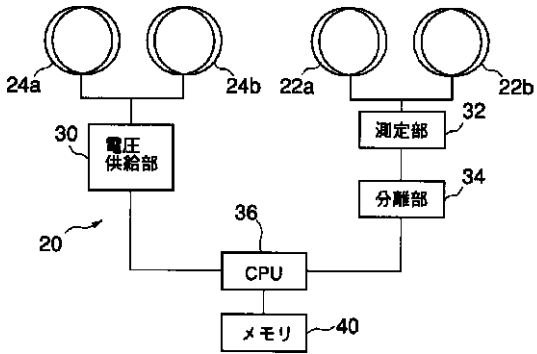
【図 1】



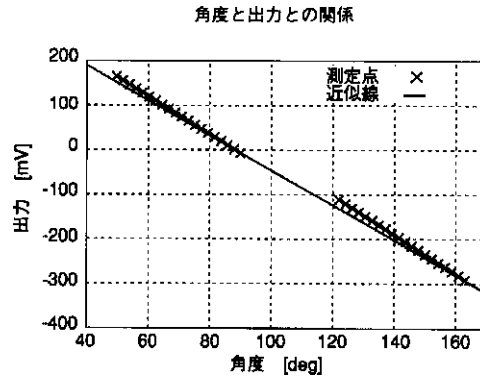
【図 2】



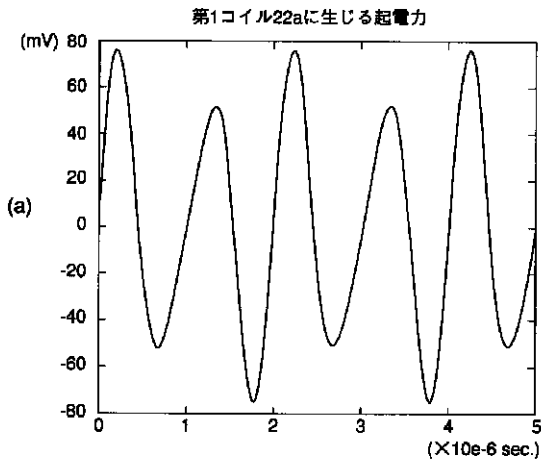
【 図 3 】



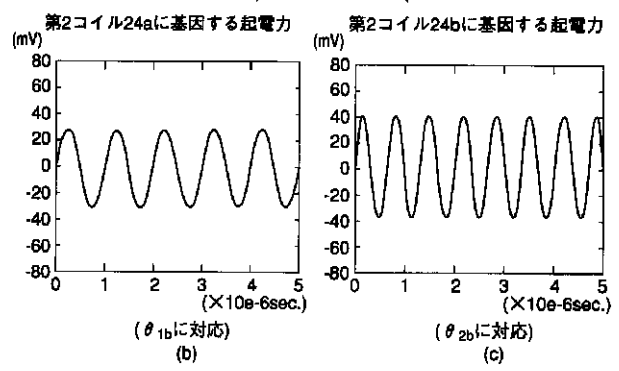
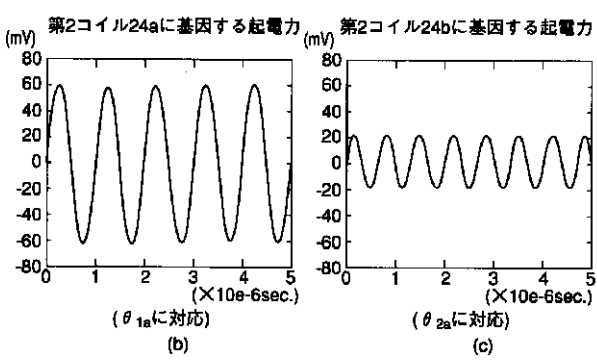
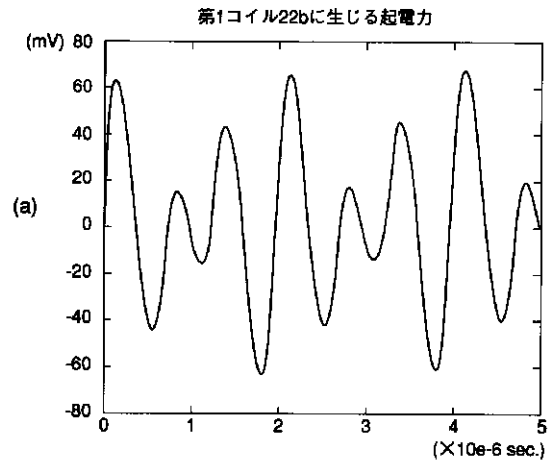
【 図 4 】



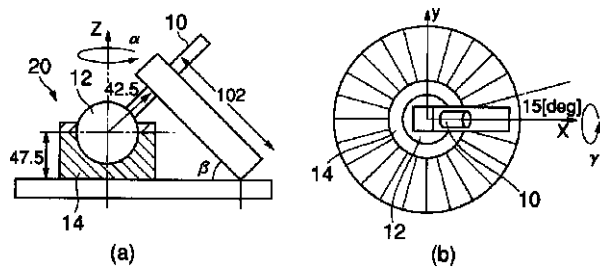
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】

