(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2011 年 5 月 12 日(12.05.2011)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2011/055662 A1

(51) 国際特許分類:
G01D 5/244 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2010/069023

(22) 国際出願日: 2010 年 10 月 27 日(27.10.2010)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2009-255712 2009 年 11 月 9 日(09.11.2009) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 独立行政法人産業技術総合研究所(NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY) [JP/JP]; 〒1008921 東京都千代田区霞が関１丁目３番１号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 渡部 司 (WATANABE Tsukasa) [JP/JP]; 〒3058563 茨城県つくば市梅園１－１－１ 中央第３ 独立行政法人産業技術総合研究所内 Ibaraki (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

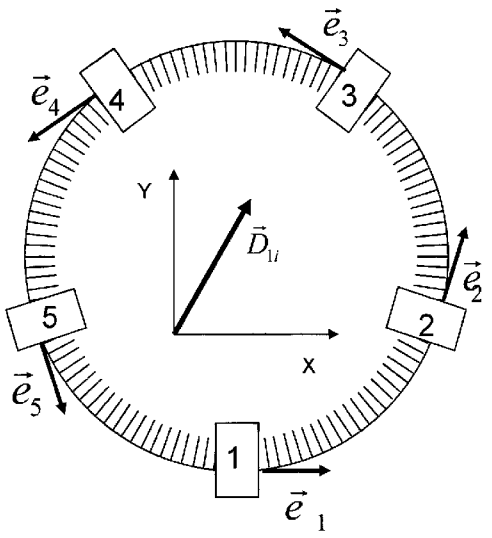
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

(54) **Title**: AXIAL DEVIATION MEASUREMENT METHOD AND ANGLE DETECTING DEVICE WITH AUTO-CORRECT FUNCTION COMPRISING AXIAL DEVIATION MEASUREMENT FUNCTION

(54) 発明の名称 : 軸ぶれ計測方法及び軸ぶれ計測機能を具備した自己校正機能付き角度検出器

[図3]



(57) **Abstract**: Disclosed is an angle detecting device with auto-correct function comprising an axial deviation measurement function, allowing a variety of setups to be carried out with ease upon such as engines and vehicle drive shafts. An angle detecting device with auto-correct function is used wherein an auto-correct value is found by arranging a plurality of sensor heads equiangularly upon the perimeter of a dial that is anchored upon a rotational axis, choosing one of the sensor heads to serve as a reference sensor head, finding the sum of the measurement deviations between the reference sensor head and each of the other sensor heads, and taking the average measurement deviation by dividing the sum of the measurement deviations by the number of sensor heads. The sensor head that is chosen to be the reference sensor head is changed in sequence, auto-correct values are found for all sensor heads serving as the reference head, each respective auto-correct value is offset by the angle of positioning with respect to a specified sensor head, and phase alignments are made with the auto-correct value when the specified sensor head is treated as the reference head. The average is taken for all of the phase transformed computation results, the average thus taken is subtracted from the respective phase transformed computation results, and only the asynchronous angular error is abstracted.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2011/055662 A1

自己校正機能付き角度検出器に軸ぶれ計測機能をも具備させ、エンジン、自動車のドライブシャフト等への各種セットアップも簡単に行えるようにする。　回転軸に固定した目盛り盤の周囲に等角度間隔に複数のセンサヘッドを配設し、該センサヘッドの一つを基準センサヘッドとして選択したとき、この基準センサヘッドと他のセンサヘッドのそれぞれとの計測差の和を求め、この和を前記センサヘッドの個数で除して平均値を得ることにより自己校正値を求めようにした自己校正機能付き角度検出器を利用する。そして、基準センサヘッドとして選択するセンサヘッドを順次他のセンサヘッドに変更し、すべてのセンサヘッドについて、これを基準ヘッドとした場合の自己校正値をそれぞれ求め、各自己校正値を、特定のセンサヘッドとの配置上の角度分だけずらして、特定のセンサヘッドを基準ヘッドとした場合の自己校正値に位相を合わせる。位相変換したそれぞれの演算結果のすべてについての平均値を求め、位相変換したそれぞれの演算結果から、この平均値を減算し、非同期角度誤差のみを取り出す。

明　細　書

発明の名称 ：

軸ぶれ計測方法及び軸ぶれ計測機能を具備した自己校正機能付き角度検出器

技術分野

[0001] 本発明は回転角度を検出するロータリエンコーダ等の角度検出器に関し、特に自己校正機能を備えることにより、角度検出器が出力する角度情報に含まれる使用環境下での取り付け軸偏心、角度検出器の経年変化の影響等により発生する角度誤差も含めた目盛りの校正値を求めることができるようにした自己校正機能付き角度検出器を利用して、加工機械のスピンドルの軸ぶれ、自動車や航空機のエンジンの回転軸ぶれ、自動車の車軸の軸ぶれ等を検出できるようにした、軸ぶれ計測方法及び軸ぶれ計測機能を具備した自己校正機能付き角度検出器に関する。

背景技術

[0002] 一般に回転軸の軸ぶれを計測する方法は、電気マイクロによる接触方式、静電容量センサや下記特許文献１にみられるようにレーザーによる非接触方式による方法が主流である。

接触方式は高速な回転軸には対応できず、また、非接触方式は静電容量センサの場合、測定回転軸とセンサの間の隙間が狭く測定までのセットアップに時間がかかる。

レーザー式は高価であるがゆえ、ＸＹの２軸を用意するにはコストがかさむといった問題点があった。

[0003] ところで、ロータリエンコーダ等の角度検出器の一般的な原理は、円形の目盛り盤の周囲に目盛りが刻まれ、その目盛り本数を目盛り読み取り用のセンサヘッドで数えることにより角度情報を出力する装置であり、各種の装置が用いられている。角度検出器は、目盛りを人工的に書き込むため、目盛り線は等角度間隔には書き込まれておらず、その目盛り線の位置から得られる

角度情報には誤差が生ずる。図１の放射状の直線Ｌ１は、理想的な目盛り線位置（等角度間隔線）であり、放射状の短い破線Ｌ２は、実際の目盛り線位置で、理想位置からの差をプロットしたのが図１の右のグラフになる。

[0004] 図１右図の点が角度検出器の目盛り線の校正値になり、図では目盛り線が３６本あるとして描かれているが、実際の角度検出器は数千から数１０万本の目盛り線がある。これらの線を校正する方法として、２つの角度検出器の目盛りを互いに比較し、自己校正する方法が幾つかある。この方法では２つの角度検出器が校正されていなくても、同時に校正することができるため、上位の高精度な角度検出器を必要としない。なお、自己校正の意味は、角度誤差が未知数の２つの角度検出器を比べても、同時に両方の角度誤差である校正値がわかるということである。

[0005] 角度の国家標準器（角度測定器）では、角度測定器の内部にある角度検出器とその上部に設置されている被校正角度検出器を、等分割平均法による自己校正方法を用いて校正している。

[0006] 図２を用いて等分割平均法を単純化し簡単に説明する。下部の第１角度検出器１１の目盛り盤に配置されている第１センサヘッド１２、１２・・・の一つと、上部の第２角度検出器１３の目盛り盤に配置されている第２センサヘッド１４の目盛り信号の差を測定(SA1)する。次に下部隣の別のセンサヘッド１２と上部の第２センサヘッド１４の差(SA2)を同様に測定する。同様に他の第１センサヘッド１２と第２センサヘッド１４の差を測定し、それら（SA1,SA2,SA3,SA4,SA5）の平均値SAVを求めると、上部の第２角度検出器１３の校正曲線が求まるという方法である。

[0007] 下部の第１角度検出器１１から出力される角度誤差をa_iとし、上部の第２角度検出器１３から出力される角度誤差をb_iとすると差は、$SAj=b_i-a_{i+(j-1)N/M}$となり、平均値SAVは、

[数1]

$$\begin{aligned} SAV_i &= \frac{1}{M}\sum_{j=1}^{M} SAj_i \\ &= b_i - \frac{1}{M}(a_i + a_{i+N/M} + \cdots + a_{i+(j-1)N/M} + \cdots + a_{i+(M-1)N/M}) \end{aligned} \quad (1)$$

となる。ここで、i=1, 2, 3…, Nは目盛り線の番号であり、Nは目盛り盤に設けられた目盛りの総数である。Mは第１センサヘッドの数である。

第１センサヘッド１２は５箇所設置する場合は一周360°の5分の１の角度間隔で配置する。M個の角度検出器を配置する場合は同様にM分の１の等角度間隔に配置する。これは等分割平均法と読ばれる。

[0008] 角度誤差は、図１に示す目盛り線の理想的な位置と実際の位置の角度誤差ばかりでなく、角度検出器自身の軸偏心の影響や角度検出器の経年変化等の影響による角度誤差も含まれている。

特に、目盛りと軸偏心による角度誤差のように回転角度に同期した同期角度誤差と、回転軸のベアリングによる角度誤差や温度や経年変化のように測定環境に依存した、軸ぶれ等に起因する角度誤差のように、回転角度に非同期な非同期角度誤差とがある。

[0009] 出願人は、下記特許文献２に示されるように、等分割平均法による自己校正方法を用いて校正する際に、校正装置内の角度検出器との回転軸の接続時に発生する軸偏心による誤差を解消するために、角度検出器本体に内蔵された演算装置あるいは電気的に接続された演算装置により、角度検出器自身の軸偏心の影響や角度検出器の経年変化等も含めて目盛りの校正値を得ることを可能にすることによって、常に正確な校正を行うことができるとともに、小型化することができるようにした自己校正機能付き角度検出器を提案している。

先行技術文献

特許文献

[0010] 特許文献1：特許第２９７２６５２号公報

特許文献2：特許第３８２６２０７号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0011] 上記特許文献２による自己校正機能付き角度検出器によれば、目盛りの角度誤差を検出し、安価で、しかも、高速な回転軸にも対応し得る精度の高い自己校正機能付き角度検出器を構成することができ、しかも、その角度誤差の回転角度に同期した同期角度誤差と非同期な非同期角度誤差によるものとを、演算処理による分離できることに着目し、非同期角度誤差を計測する軸ぶれ計測方法を提供するとともに、非同期角度誤差を検出できることで軸ぶれ計測機能をも具備させ、加工機械のスピンドル、エンジン、自動車のドライブシャフト等への各種セットアップも簡単に行える、軸ぶれ計測機能を具備した自己校正機能付き角度検出器を提供することを目的としている。

課題を解決するための手段

[0012] 上記課題を解決するため、本発明の軸ぶれ計測方法は、回転軸に固定した目盛り盤の周囲に等角度間隔に複数のセンサヘッドを配設し、該センサヘッドの一つを基準センサヘッドとして選択したとき、該基準センサヘッドと他のセンサヘッドのそれぞれとの計測差の和を求め、この和を前記センサヘッドの個数で除して平均値を得ることにより自己校正値を求めようにした自己校正機能付き角度検出器を使用した軸ぶれ計測方法であって、前記基準センサヘッドとして選択するセンサヘッドを順次他のセンサヘッドに変更し、すべてのセンサヘッドについて、これを基準ヘッドとした場合の前記自己校正値をそれぞれ求める手順と、各自己校正値を、特定のセンサヘッドとの前記目盛り盤における配置上の角度分だけずらして、該特定のセンサヘッドを基準ヘッドとした場合の自己校正値に位相を合わせる手順と、前記位相変換後の各自己校正値についての平均値を求める手順と、前記位相変換後の各自己校正値から、前記位相変換後の各自己校正値についての平均値を減算し、非同期角度誤差のみを取り出す手順とから構成される。

[0013] また、本発明の軸ぶれ計測機能を具備した自己校正機能付き角度検出器は

、回転軸に固定した目盛り盤の周囲に等角度間隔に複数のセンサヘッドを配設し、該センサヘッドの一つを基準センサヘッドとして選択したとき、該基準センサヘッドと他のセンサヘッドのそれぞれとの計測差の和を求め、この和を前記センサヘッドの個数で除して平均値を得ることにより自己校正値を求めるようにした自己校正機能付き角度検出器において、前記基準センサヘッドとして選択するセンサヘッドを順次他のセンサヘッドに変更し、すべてのセンサヘッドについて、これを基準ヘッドとした場合の自己校正値をそれぞれ求める自己校正値演算手段と、各自己校正値を、特定のセンサヘッドとの配置上の角度分だけずらして、該特定のセンサヘッドを基準ヘッドとした場合の自己校正値に位相を合わせる位相変換手段と、前記位相変換手段のそれぞれの演算結果のすべてについての平均値を求める平均値演算手段と、前記位相変換手段のそれぞれの演算結果から、前記平均値演算手段の演算結果を減算し、非同期角度誤差のみを取り出す動的誤差抽出手段とを具備している。

発明の効果

[0014] 本発明によれば、自己校正機能付き角度検出器に内蔵された演算装置、あるいは配線で接続された演算装置に、角度検出器自体に非同期角度誤差を抽出する機能を具備させたから、例えば、エンジンのクランクシャフトや自動車のドライブシャフトに配置される角度検出器に、回転軸のぶれを検出する機能を具備させることができ、小型軽量、低コストで角度検出器の機能性を高めることができる。

図面の簡単な説明

[0015] 図4から図9までの図中に示された⑪は、j番目のセンサヘッドが目盛り盤の目盛り番号 i=1 を検出した位置を示し、△は j 番目のセンサヘッドが測定開始時に検出した目盛り盤の目盛り番号の位置を示す。

また、図10の△は測定開始位置、矢印は回転に対する非同期角度誤差の変動方向を示す。

[図1]ロータリエンコーダの原理を示す図

[図2]等分割平均法を用いた角度検出器を示す図

[図3]５個のセンサヘッドを目盛り盤に等間隔に配置した実施例を示す図

[図4]前提となる自己校正機能付き角度検出器における各センサヘッドの校正値を計算した結果を示す図

[図5]図４の計算結果の位相を合わせたデータを示す図

[図6]図５のデータの平均値を示す図

[図7]算出された非同期角度誤差を示す図

[図8]非同期角度誤差の時間を一体させた結果を示す図

[図9]非同期角度誤差を回転面上に定義したＸＹ座標に射影したときの状態を示す図

[図10]回転面上に定義したＸＹ座標で非同期角度誤差を表した図

発明を実施するための形態

実施例

[0016] まず、本発明の前提となる自己校正機能付き角度検出器について説明する。

本例では、図３のように、回転軸に連結された目盛り盤の周りに５個のセンサヘッドを等角度間隔に配置し、その検出値に基づいて、検出器本体に内蔵された演算装置あるいは電気的に接続された演算装置により、下記のような演算処理を行い、角度検出を行うようになっている。

[0017] ここで、i は目盛り番号、Nは目盛盤の目盛り総数、jはセンサヘッド番号、センサヘッド数M、とする。測定はセンサヘッドj=1 番目が目盛り線の原点信号を検出してから開始し、その後に検出する目盛番号を i=1 番目とする。測定開始後にj番目のセンサヘッドが検出する角度誤差$a_{1i,j}$ は、回転角度に同期する同期角度誤差S_iと非同期な非同期角度誤差$\vec{D}_{1i}$から構成される。

すなわち、

[数2]

$$a_{1i,j} = S_{i+\frac{N}{M}(j-1)} + \left(\vec{D}_{1i} \cdot \vec{e}_j\right) \qquad (2)$$

なお、$a_{1i,j}$と$\vec{D}_{1i}$の添え字1i は、センサヘッド1番目が検出した目盛り盤の目盛番号を示し、$\vec{e}_j$は各センサヘッド位置の目盛り盤に対して接線方向の単位ベクトルである。

[0018] 一般にセンサヘッドをM個配置したセンサヘッドのうち2つのセンサヘッドから出力される角度信号の差δはそれぞれの角度誤差の差で表される。すなわち、j 番目のセンサヘッドと比較するセンサヘッドをk 番目とした場合、次の式で表される。

[数3]

$$\delta_{1i,j,k} = a_{1i,j} - a_{1i,k} = S_{i+\frac{N}{M}(j-1)} - S_{i+\frac{N}{M}(k-1)} + \left[\left(\vec{D}_{1i}\cdot\vec{e}_j\right) - \left(\vec{D}_{1i}\cdot\vec{e}_k\right)\right] \quad (3)$$

[0019] センサヘッドが５個（Ｍ＝５）の場合、j番目のセンサヘッドを基準センサヘッドとしたときの式３は次式に展開される。

[数4]

$$\begin{aligned}
&M = 5\\
&\delta_{1i,j,1} = a_{1i,j} - a_{1i,1} = S_{i+\frac{N}{5}j} - S_{i+\frac{N}{5}0} + \left[\left(\vec{D}_{1i}\cdot\vec{e}_j\right) - \left(\vec{D}_{1i}\cdot\vec{e}_1\right)\right]\\
&\delta_{1i,j,2} = a_{1i,j} - a_{1i,2} = S_{i+\frac{N}{5}j} - S_{i+\frac{N}{5}1} + \left[\left(\vec{D}_{1i}\cdot\vec{e}_j\right) - \left(\vec{D}_{1i}\cdot\vec{e}_2\right)\right]\\
&\delta_{1i,j,3} = a_{1i,j} - a_{1i,3} = S_{i+\frac{N}{5}j} - S_{i+\frac{N}{5}2} + \left[\left(\vec{D}_{1i}\cdot\vec{e}_j\right) - \left(\vec{D}_{1i}\cdot\vec{e}_3\right)\right]\\
&\delta_{1i,j,4} = a_{1i,j} - a_{1i,4} = S_{i+\frac{N}{5}j} - S_{i+\frac{N}{5}3} + \left[\left(\vec{D}_{1i}\cdot\vec{e}_j\right) - \left(\vec{D}_{1i}\cdot\vec{e}_4\right)\right]\\
&\delta_{1i,j,5} = a_{1i,j} - a_{1i,5} = S_{i+\frac{N}{5}j} - S_{i+\frac{N}{5}4} + \left[\left(\vec{D}_{1i}\cdot\vec{e}_j\right) - \left(\vec{D}_{1i}\cdot\vec{e}_5\right)\right]
\end{aligned} \quad (4)$$

[0020] 式3で j 番目のセンサヘッドを基準センサヘッドとし、それぞれのセンサヘッドとの角度信号の差δを得、これを平均した値μを求める。すなわち、

[数5]

$$\begin{aligned}\mu_{1i,j} &= \frac{1}{M}\sum_{k=1}^{M}\delta_{1i,j,k} \\ &= S_{i+\frac{N}{M}(j-1)} - \frac{1}{M}\sum_{k=1}^{M}S_{i+\frac{N}{M}(k-1)} + \left[\left(\vec{D}_{1i}\cdot\vec{e}_j\right) - \frac{1}{M}\sum_{k=1}^{M}\left(\vec{D}_{1i}\cdot\vec{e}_k\right)\right] \\ &= S_{i+\frac{N}{M}(j-1)} - \frac{1}{M}\sum_{k=1}^{M}S_{i+\frac{N}{M}(k-1)} + \left(\vec{D}_{1i}\cdot\vec{e}_j\right) \\ &= a_{1i,j} - \frac{1}{M}\sum_{k=1}^{M}S_{i+\frac{N}{M}(k-1)} \\ \because \frac{1}{M}\sum_{k=1}^{M}&\left(\vec{D}_{1i}\cdot\vec{e}_k\right) = 0\end{aligned} \tag{5}$$

なお、$\vec{e}_j$は各センサヘッド位置の目盛盤に対して接線方向の単位ベクトルである。

[0021] このように、1番目の基準センサヘッドと、1番目～5番目それぞれのセンサヘッドの計測差を求めて平均値μを得ることにより式1に示す$a_{1i,j}$の自己校正値を求めることができる。ただし、右辺第2項の$-\frac{1}{M}\sum_{k=1}^{M}S_{i+\frac{N}{M}(k-1)}$は$a_{1i,j}$の周波数成分分析をした場合、$a_{1i,j}$のMの倍数次の周波数成分のみをもつ値となっている。図4にセンサヘッドが5個(M＝5)の場合の基準センサヘッドの番号 j を1から5まで変化させたときの自己校正値の計算結果を示す。

以上のように、回転軸に固定した目盛り盤の周囲に等角度間隔に複数のセンサヘッドを配設し、複数のセンサヘッドのうち、一つを基準センサヘッドとして選択したとき、この基準センサヘッドと他のセンサヘッドのそれぞれとの計測差の和を求め、この和をセンサヘッドの個数5で除して平均値を得ることにより自己校正値を求めることができる。

[0022] さて、式5において、基準センサヘッドの番号 j を1からMまで変化させたときの各$\mu_{1i,j}$の示す自己校正値は同一の i では同時性があるが、目盛りの校正値としては各センサヘッドの配置位置のずれだけ、すなわち、目盛りの角度位相$\varphi = \frac{N}{M}(k-1)$だけずれている。

そこで、この同時性はなくなるが、目盛りの角度位相が等しくなるように変換する。

この変換後の値$\mu_{1i,j}(\varphi \lhd t)$は、式6で表される。

[数6]

$$\begin{aligned}\mu_{1i,j}(\varphi \lhd t) &= \mu_{1i-\frac{N}{M}(j-1),j} \\ &= \frac{1}{M}\sum_{k=1}^{M}\delta_{1i-\frac{N}{M}(j-1),j,k} \\ &= S_{i-\frac{N}{M}(j-1)+\frac{N}{M}(j-1)} - \frac{1}{M}\sum_{k=1}^{M}S_{i-\frac{N}{M}(j-1)+\frac{N}{M}(k-1)} + \left(\vec{D}_{1i-\frac{N}{M}(j-1)}\cdot\vec{e}_j\right) \\ &= S_i - \frac{1}{M}\sum_{k=1}^{M}S_{i+\frac{N}{M}(k-1)} + \left(\vec{D}_{1i-\frac{N}{M}(j-1)}\cdot\vec{e}_j\right)\end{aligned} \tag{6}$$

このように角度位相を変換した後の平均値を図５に示す。

[0023] ここで、$\sum_{k=1}^{M}S_{i-\frac{N}{M}(j-1)+\frac{N}{M}(k-1)}$ と $\frac{1}{M}\sum_{k=1}^{M}S_{i+\frac{N}{M}(k-1)}$ は、S_i を $\frac{1}{M}$ ずつ位相をずらした M 個のデータを平均しているため同等の結果を示す。

したがって、この平均 $\bar{\mu}_i(\varphi \lhd t)$ は以下のように表される。

[数7]

$$\bar{\mu}_i(\varphi \lhd t) = \frac{1}{M}\sum_{j=1}^{M}\mu_{i,j}(\varphi \lhd t) = S_i - \frac{1}{M}\sum_{k=1}^{M}S_{i+\frac{N}{M}(k-1)} + \frac{1}{M}\sum_{j=1}^{M}\left(\vec{D}_{1i-\frac{N}{M}(j-1)}\cdot\vec{e}_j\right) \tag{7}$$

この平均 $\bar{\mu}_i(\varphi \lhd t)$ の値を図6に示す。

[0024] $\mu_{1i,j}(\varphi \lhd t)$ からこの平均値 $\bar{\mu}_i(\varphi \lhd t)$ を引くことにより、同期角度誤差 S_i を削除することで、非同期角度誤差 $\vec{D}_{1i}$ のみの式で表すことができる。

すなわち、

[数8]

$$\begin{aligned}D_{i,j}(\varphi \lhd t) &= \mu_{i,j}(\varphi \lhd t) - \bar{\mu}_i(\varphi \lhd t) \\ &= \left[S_i - \frac{1}{M}\sum_{k=1}^{M}S_{i+\frac{N}{M}(k-1)} + \left(\vec{D}_{1i-\frac{N}{M}(j-1)}\cdot\vec{e}_j\right)\right] - \left[S_i - \frac{1}{M}\sum_{k=1}^{M}S_{i+\frac{N}{M}(k-1)} + \frac{1}{M}\sum_{j=1}^{M}\left(\vec{D}_{1i-\frac{N}{M}(j-1)}\cdot\vec{e}_j\right)\right] \\ &= \left(\vec{D}_{1i-\frac{N}{M}(j-1)}\cdot\vec{e}_j\right) - \frac{1}{M}\sum_{j=1}^{M}\left(\vec{D}_{1i-\frac{N}{M}(j-1)}\cdot\vec{e}_j\right) \\ &= \left(\vec{D}_{1i-\frac{N}{M}(j-1)}\cdot\vec{e}_j\right) - d_i\end{aligned} \tag{8}$$

ただし、$d_i = \frac{1}{M}\sum_{j=1}^{M}\left(\vec{D}_{1i-\frac{N}{M}(j-1)}\cdot\vec{e}_j\right)$と表現した。

この演算結果を図7に示す。

[0025] 式8は、角度目盛りの位相は一致しているが、時間は一致していないため、角度位相$\varphi = \frac{N}{M}(k-1)$だけ元にもどすことで、同時刻の非同期角度誤差を抽出できる。

[0026] 角度の位相を測定と同じようにずらし、時間の同時性を回復した値$D_{i,j}(\varphi \triangleright t)$は、式9で表される。

[数9]

$$\begin{aligned} D_{i,j}(\varphi \triangleright t) &= \left(\mu_{i,j}(\varphi \triangleleft t) - \bar{\mu}_i(\varphi \triangleleft t)\right)_{\varphi \triangleright t} \\ &= \left(\vec{D}_{1i-\frac{N}{M}(j-1)+\frac{N}{M}(j-1)}\cdot\vec{e}_j\right) - d_{i+\frac{N}{M}(j-1),j} \\ &= \left(\vec{D}_{1i}\cdot\vec{e}_j\right) - d_{i+\frac{N}{M}(j-1),j} \end{aligned} \quad (9)$$

式9の右辺第2項の値$d_{i+\frac{N}{M}(j-1),j}$は異なる時間の異なるセンサヘッド位置で検出された$\left(\vec{D}_{1i}\cdot\vec{e}_j\right)$の平均値を示しており、$\left(\vec{D}_{1i}\cdot\vec{e}_j\right)$の周波数成分分析したときのMの倍数次成分の周波数成分を持つ値に近い。したがって式9の右辺第2項の値$d_{i+\frac{N}{M}(j-1),j}$は一般的に$\left(\vec{D}_{1i}\cdot\vec{e}_j\right)$に比べて十分に小さい。この場合、式9を式10のように$\left(\vec{D}_{1i}\cdot\vec{e}_j\right)$とみなすことができる。

すなわち、

[数10]

$$D_{i,j}(\varphi \triangleright t) \fallingdotseq \left(\vec{D}_{1i}\cdot\vec{e}_j\right) \quad (10)$$

非同期角度誤差$\vec{D}_{1i}$の時間を一致させた結果$D_{i,j}(\varphi \triangleright t)$の例を図8に示す。

[0027] 図8に示す$D_{i,j}(\varphi \triangleright t)$は図3に示す非同期角度誤差$\vec{D}_{1i}$を各センサヘッド位置での円の接線方向へ写影したときの強度となる。したがってこの値を回転面状にXY座標を定義し、非同期角度誤差$\vec{D}_{1i}$を射影したときのX，Y方向への強度を計算すると図9に示す値が得られる。

[0028] 図9に示されるX軸とY軸の強度をXY座標で非同期角度誤差 $\vec{D}_{1i}$ としてあらわすと、図10のように表される。

この値を、必要に応じてXY座標に射影することにより、回転の非同期角度誤差要因を定量的に評価することができる。

すなわち、この例の場合、ロータリエンコーダは目盛間隔が 20 μm 間隔に目盛り総数 N=16384 の目盛盤を用いている。20 μm 間隔が 360 度/16384 目盛＝約 79 秒(角度)に対応する。

したがって図9の非同期角度誤差の約4秒(角度)は以下の換算により約 1 μm に相当する。

[数11]

$$20\,\mu\mathrm{m}\times\frac{4''}{79''}\fallingdotseq 1\,\mu\mathrm{m} \tag{11}$$

この非同期角度誤差から得られる約１μmの変位の要因は、ボールベアリングのボール形状の不均一性やベアリングの内輪と外輪の隙間による変位を原因とする軸ぶれが想定される。

[0029] 以上の、演算処理を、検出器本体に内蔵された演算装置あるいは電気的に接続された演算装置により処理させれば、検出器本体に構造上の改造を伴うことなく、プログラムを追加するだけで、軸ぶれを正確に計測し得る、軸ぶれ計測機能を具備した自己校正機能付き角度検出器を実現することができる。

産業上の利用可能性

[0030] 以上のように本発明によれば、自己校正機能付き角度検出器に内蔵された演算装置、あるいは配線で接続された演算装置に、プログラムソフトを追加するだけで、上述した角度検出器自体に非同期角度誤差を抽出する機能を実現することができるから、安価かつ小型で、例えば、加工機械のスピンドル、エンジンのクランクシャフトや自動車のドライブシャフト等の回転軸のぶれを検出することができ、安全装置あるいは異常検出装置等として広く適用されることが可能になる。

符号の説明

[0031] １１ 第１角度検出器

１２ 第１角度検出器に配置されている第１センサヘッド

１３　　第２角度検出器

１４　　第２角度検出器に配置されている第２センサヘッド

請求の範囲

[請求項1] 回転軸に固定した目盛り盤の周囲に等角度間隔に複数のセンサヘッドを配設し、該センサヘッドの一つを基準センサヘッドとして選択したとき、該基準センサヘッドと他のセンサヘッドのそれぞれとの計測差の和を求め、この和を前記センサヘッドの個数で除して平均値を得ることにより自己校正値を求めようにした自己校正機能付き角度検出器を使用した軸ぶれ計測方法であって、

前記基準センサヘッドとして選択するセンサヘッドを順次他のセンサヘッドに変更し、すべてのセンサヘッドについて、これを基準ヘッドとした場合の前記自己校正値をそれぞれ求める手順と、

各自己校正値を、特定のセンサヘッドとの前記目盛り盤における配置上の角度分だけずらして、該特定のセンサヘッドを基準ヘッドとした場合の自己校正値に位相を合わせる手順と、

前記位相変換後の各自己校正値についての平均値を求める手順と、

前記位相変換後の各自己校正値から、前記位相変換後の各自己校正値についての平均値を減算し、非同期角度誤差のみを取り出す手順とからなる軸ぶれ計測方法。

[請求項2] 回転軸に固定した目盛り盤の周囲に等角度間隔に複数のセンサヘッドを配設し、該センサヘッドの一つを基準センサヘッドとして選択したとき、該基準センサヘッドと他のセンサヘッドのそれぞれとの計測差の和を求め、この和を前記センサヘッドの個数で除して平均値を得ることにより自己校正値を求めようにした自己校正機能付き角度検出器において、

前記基準センサヘッドとして選択するセンサヘッドを順次他のセンサヘッドに変更し、すべてのセンサヘッドについて、これを基準ヘッドとした場合の自己校正値をそれぞれ求める自己校正値演算手段と、

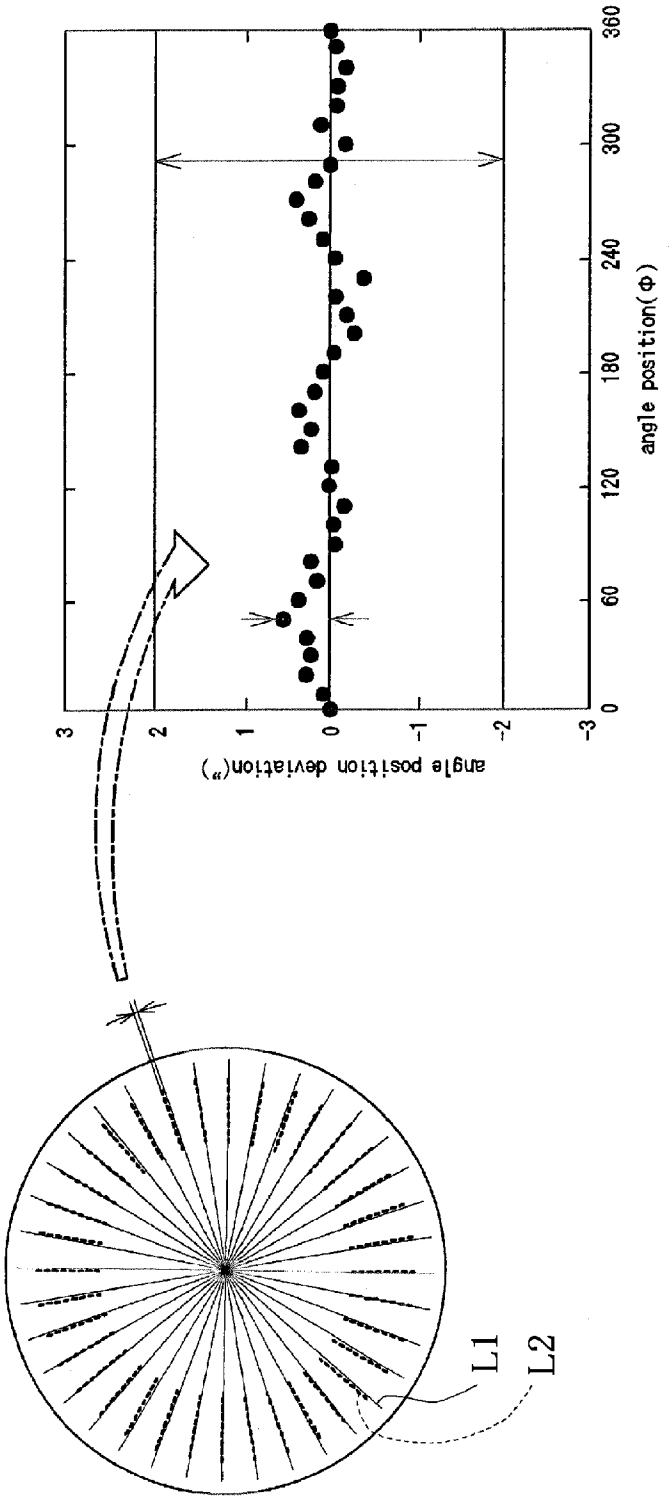
各自己校正値を、特定のセンサヘッドとの配置上の角度分だけずらして、該特定のセンサヘッドを基準ヘッドとした場合の自己校正値に

位相を合わせる位相変換手段と、

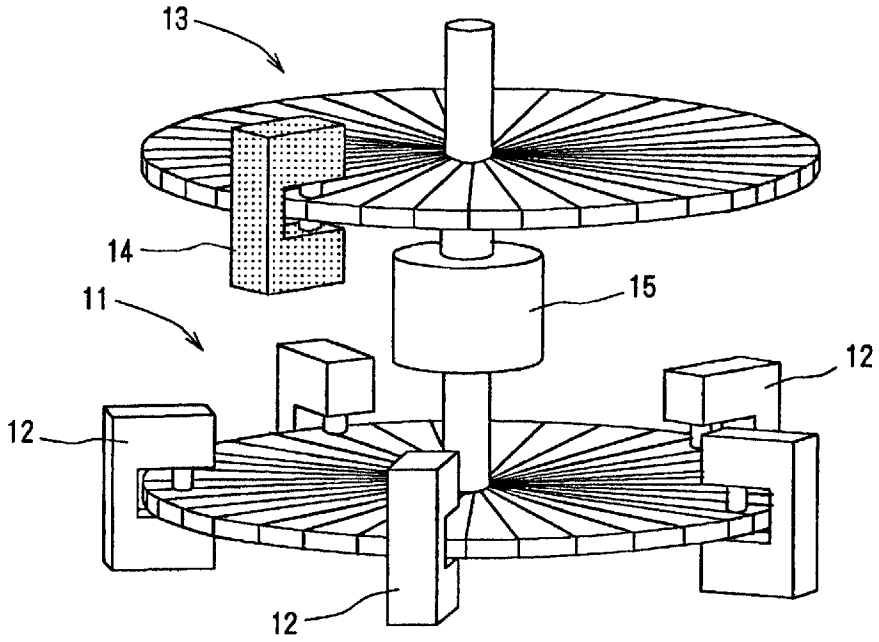
前記位相変換手段のそれぞれの演算結果のすべてについての平均値を求める平均値演算手段と、

前記位相変換手段のそれぞれの演算結果から、前記平均値演算手段の演算結果を減算し、非同期角度誤差のみを取り出す動的誤差抽出手段とを具備した、軸ぶれ計測機能を具備した自己校正機能付き角度検出器。

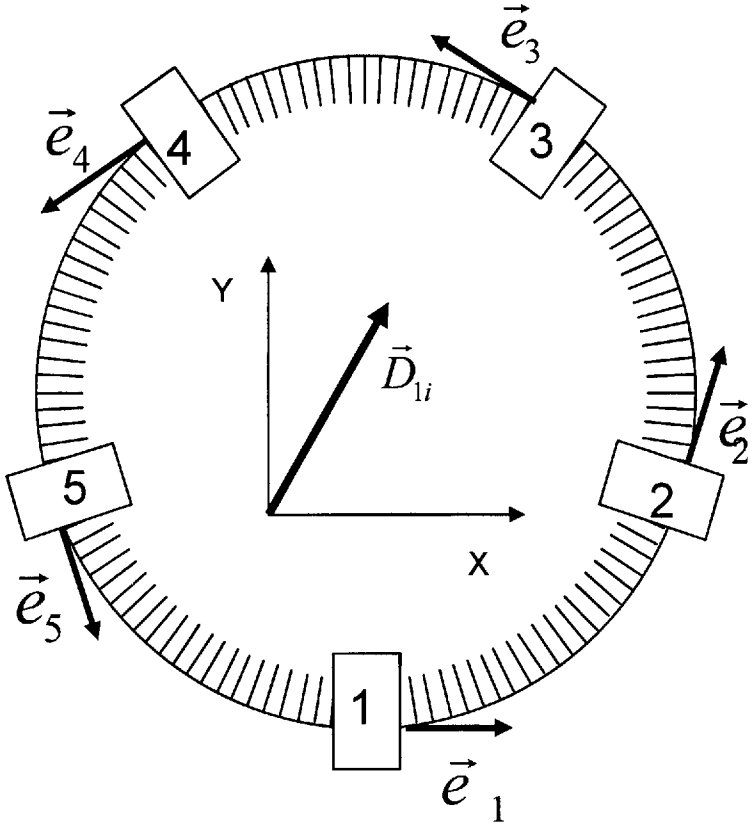
[図1]


angle position deviation(")
3
2
1
0
-1
-2
-3
0
60
120
180
240
300
360
angle position(Φ)
L1
L2

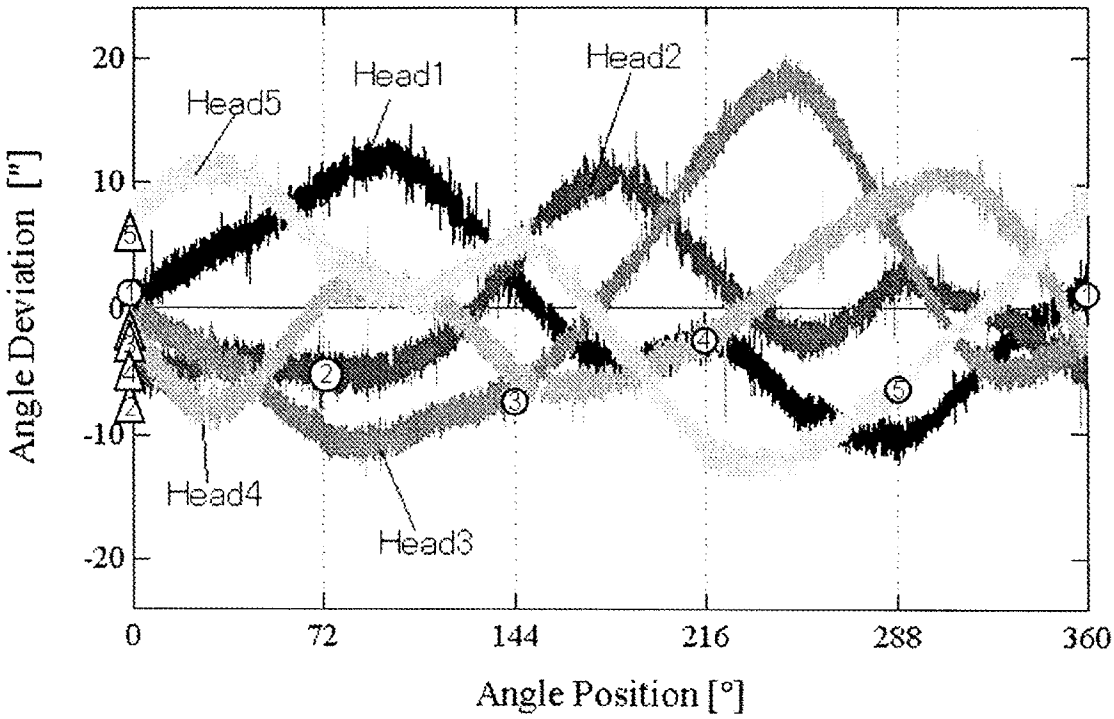
[図2]


13
14
11
15
12
12
12

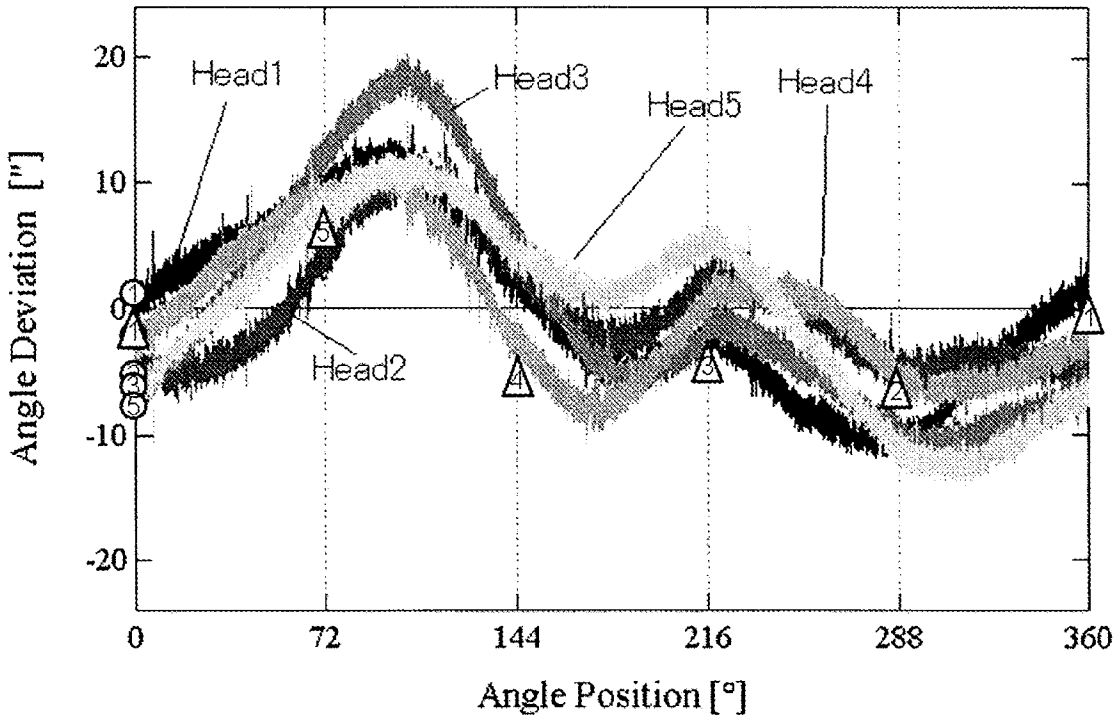
[図3]


$\vec{e}_3$
$\vec{e}_4$
4
3
Y
$\vec{D}_{1i}$
$\vec{e}_2$
5
2
X
$\vec{e}_5$
1
$\vec{e}_1$

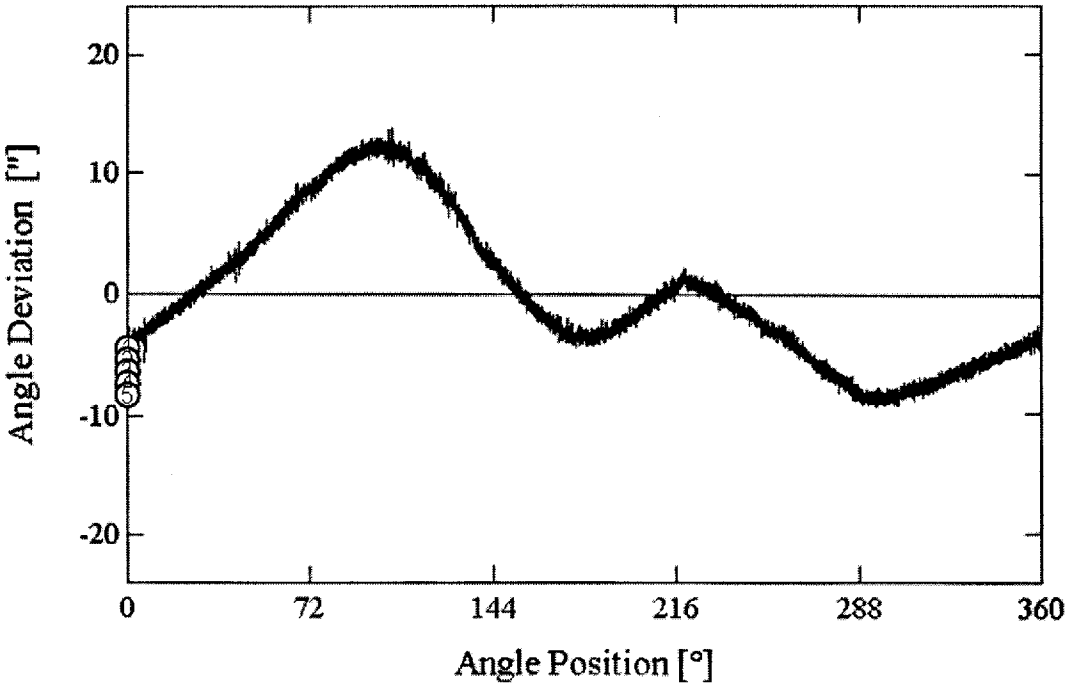
[図4]


Head5
Head1
Head2
Head4
Head3
20
10
0
-10
-20
0
72
144
216
288
360
Angle Deviation [']
Angle Position [°]

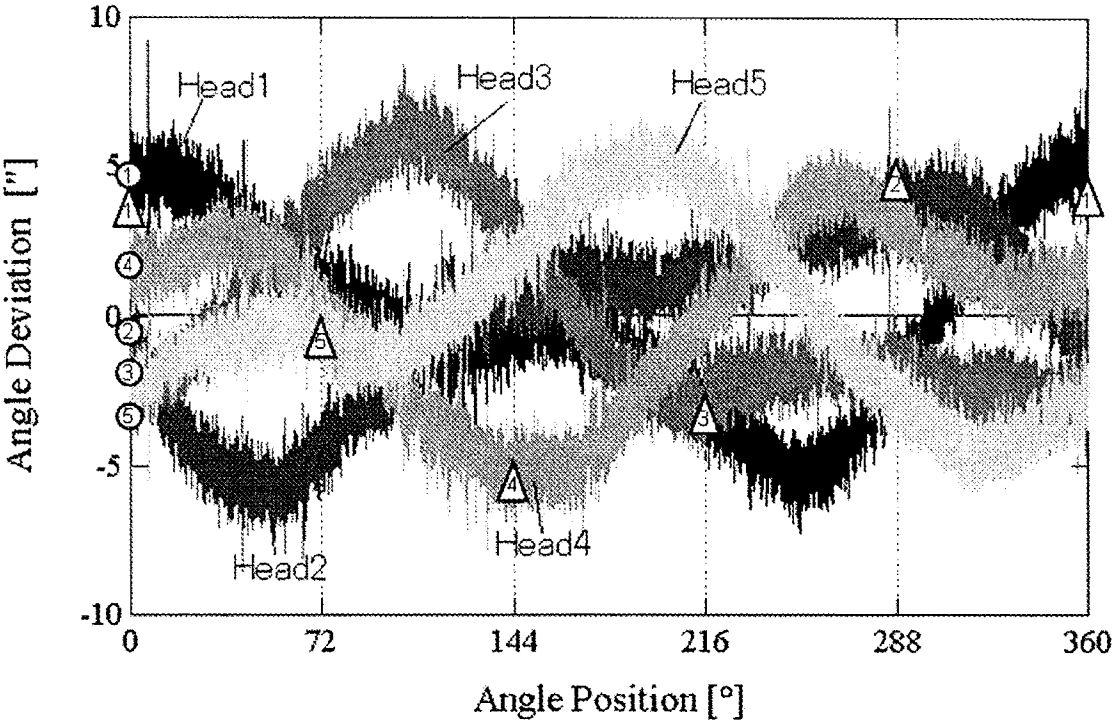
[図5]


Head1
Head3
Head5
Head4
Head2
20
10
0
-10
-20
0
72
144
216
288
360
Angle Deviation [']
Angle Position [°]

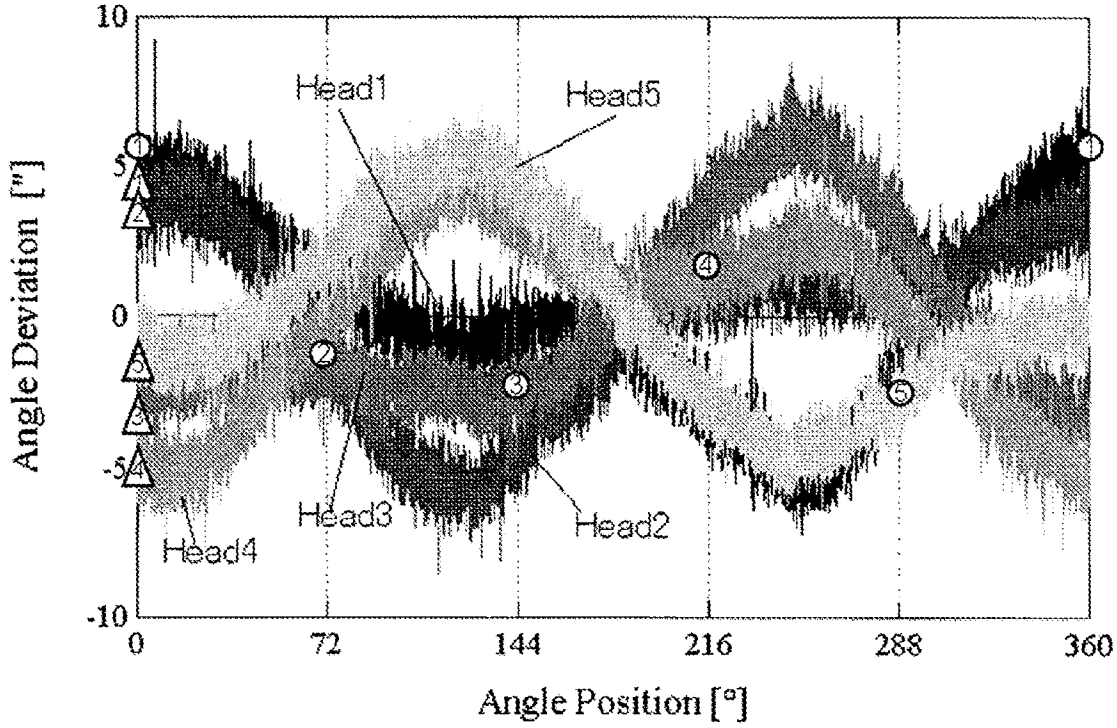
[図6]


Angle Deviation ["]
20
10
0
-10
-20
0
72
144
216
288
360
Angle Position [°]

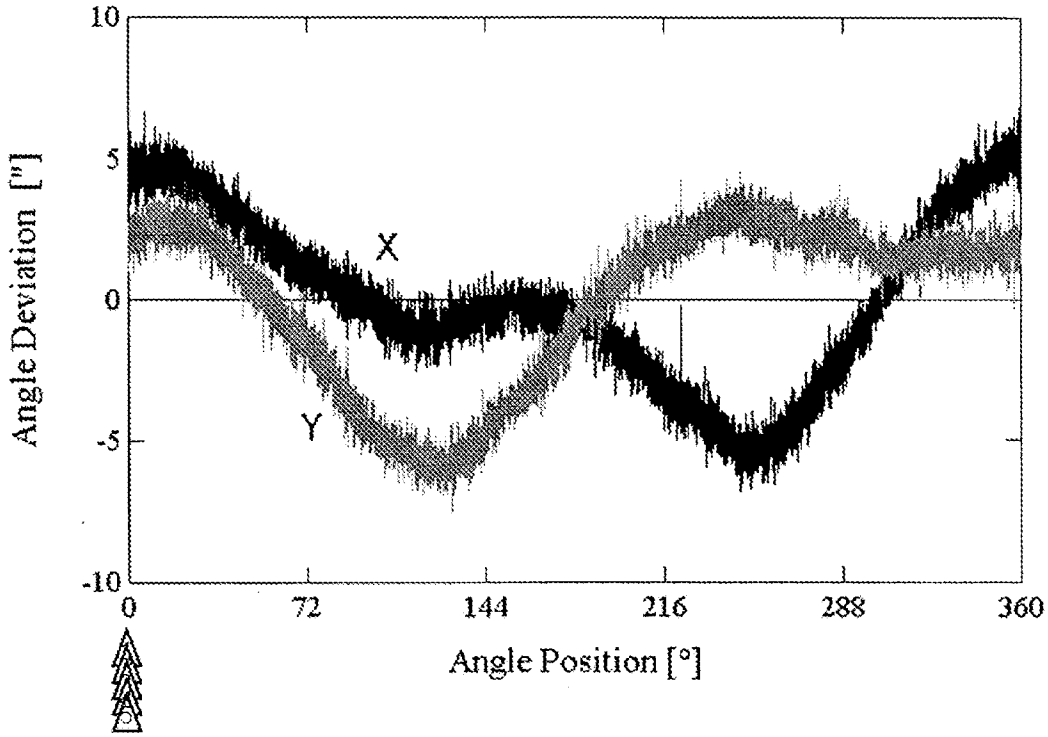
[図7]


Angle Deviation ["]
10
5
0
-5
-10
Head1
Head3
Head5
Head2
Head4
0
72
144
216
288
360
Angle Position [°]

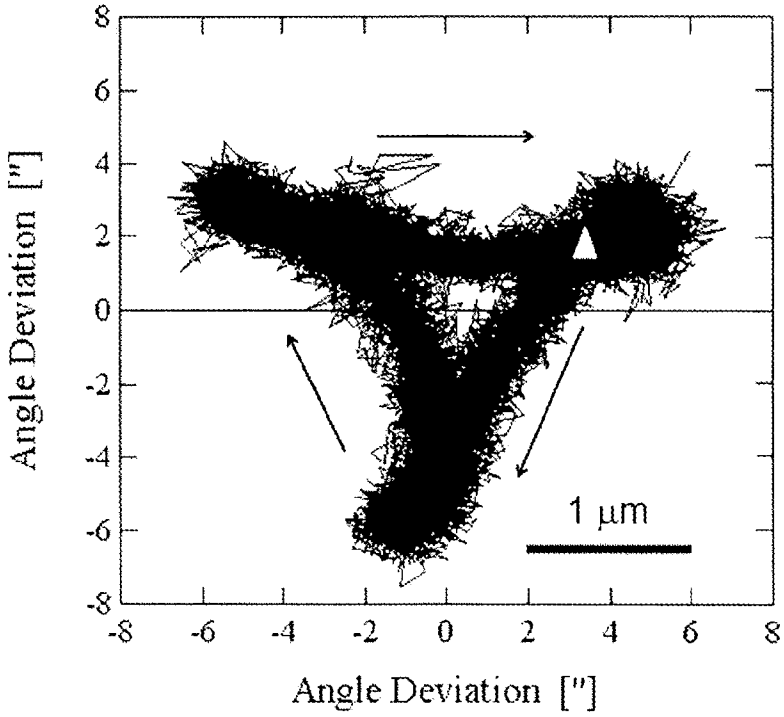
[図8]


10
5
0
-5
-10
0
72
144
216
288
360
Angle Deviation [']
Angle Position [°]
Head1
Head5
Head2
Head3
Head4
①
②
③
④
⑤

[図9]


10
5
0
-5
-10
0
72
144
216
288
360
Angle Deviation [']
Angle Position [°]
X
Y

[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2010/069023

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G01D5/244(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01D5/00-5/62

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2006-98392 A (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology), 13 April 2006 (13.04.2006), entire text; all drawings & US 2006/0043964 A1	1-2
A	WO 2007/086160 A1 (Sokkia Co., Ltd.), 02 August 2007 (02.08.2007), entire text; all drawings & CN 101341378 A & DE 112006003663 T & KR 10-2008-0090409 A & SE 800894 A & US 2010/0181468 A	1-2

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
01 December, 2010 (01.12.10)	14 December, 2010 (14.12.10)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１０／０６９０２３

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G01D5/244(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G01D5/00-5/62

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１０年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１０年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１０年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	JP 2006-98392 A (独立行政法人産業技術総合研究所) 2006.04.13, 全文,全図 & US 2006/0043964 A1	1-2
A	WO 2007/086160 A1 (株式会社ソキア) 2007.08.02, 全文,全図 & CN 101341378 A & DE 112006003663 T & KR 10-2008-0090409 A & SE 800894 A & US 2010/0181468 A	1-2

☐　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー

「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献

「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 ０１．１２．２０１０	国際調査報告の発送日 １４．１２．２０１０
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ） 郵便番号１００－８９１５ 東京都千代田区霞が関三丁目４番３号	特許庁審査官（権限のある職員）　２Ｆ　９２０６ 岡田　卓弥 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２１６