

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7240387号

(P7240387)

(45)発行日 令和5年3月15日(2023.3.15)

(24)登録日 令和5年3月7日(2023.3.7)

(51)国際特許分類

F I

G 0 1 D 5/245(2006.01)

G 0 1 D 5/245 1 1 0 B

G 0 1 D 5/244(2006.01)

G 0 1 D 5/244 F

請求項の数 8 (全18頁)

(21)出願番号 特願2020-518258(P2020-518258)  
(86)(22)出願日 平成31年4月25日(2019.4.25)  
(86)国際出願番号 PCT/JP2019/017642  
(87)国際公開番号 WO2019/216235  
(87)国際公開日 令和1年11月14日(2019.11.14)  
審査請求日 令和4年1月13日(2022.1.13)  
(31)優先権主張番号 特願2018-92021(P2018-92021)  
(32)優先日 平成30年5月11日(2018.5.11)  
(33)優先権主張国・地域又は機関  
日本国(JP)

(73)特許権者 390006585  
株式会社三共製作所  
東京都北区田端新町3丁目37番3号  
(74)代理人 110000855  
弁理士法人浅村特許事務所  
(72)発明者 勝又 一久  
静岡県菊川市本所2290 株式会社三  
共製作所内  
(72)発明者 高橋 直幸  
静岡県菊川市本所2290 株式会社三  
共製作所内  
審査官 吉田 久

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 角度検出器

## (57)【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

回転軸線を中心に回転する回転体と、前記回転体の回転方向に対する一周に沿って複数の目盛を有する目盛スケールと、前記一周に沿って配置された少なくとも2つのセンサとを備え、前記回転体の回転による角度変化量を検出する角度検出器であって、

前記少なくとも2つのセンサの各々は、前記複数の目盛に基づいて前記角度変化量に応じた出力信号を出力し、

前記出力信号は、前記複数の目盛のうちの1目盛分を1周期1次とする基本波成分と、前記基本波成分の2以上の整数倍を次数とする高調波成分とを含み、前記出力信号から算出された前記角度変化量は、前記高調波成分に起因して、1目盛分を1周期1次としてその整数倍の次数成分を有する少なくとも1つの角度誤差成分を含み、

前記少なくとも2つのセンサの個数は、前記目盛スケールの目盛数と前記少なくとも1つの角度誤差成分の次数成分である1以上の整数との積を割り切ることができない整数に基づいて決定され、更に、前記積を前記割り切ることができない整数で除算した場合の余りに基づいて決定されている、角度検出器。

## 【請求項2】

前記少なくとも1つの角度誤差成分は、複数の角度誤差成分であって、前記少なくとも2つのセンサの個数は、前記目盛スケールの目盛数及び前記複数の角度誤差成分の各々の次数成分に基づいて決定されている、請求項1に記載の角度検出器。

## 【請求項3】

10

20

前記少なくとも2つのセンサの個数は更に、前記余りの大きさに応じた重み付けに基づいて決定されている、請求項1又は2に記載の角度検出器。

【請求項4】

前記一周に沿って略等間隔に、前記割り切ることができない整数に一致する数のセンサ配置予定箇所が設定され、前記センサ配置予定箇所の何れかに、前記少なくとも2つのセンサが1つずつ配置されている、請求項1～3の何れか一項に記載の角度検出器。

【請求項5】

前記センサ配置予定箇所の隣接する2つに、前記少なくとも2つのセンサが1つずつ配置されている、請求項4に記載の角度検出器。

【請求項6】

前記センサ配置予定箇所の各々に、前記少なくとも2つのセンサが1つずつ配置されている、請求項4に記載の角度検出器。

【請求項7】

前記少なくとも1つの角度誤差成分は、前記少なくとも2つのセンサの種類によって相違する、請求項1～6の何れか一項に記載の角度検出器。

【請求項8】

前記少なくとも2つのセンサのうちの1つのセンサからの出力信号とそれ以外のセンサからの出力信号との間の出力信号差を求めることによって自己校正されている、請求項1～7の何れか一項に記載の角度検出器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、回転体の回転運動による角度変化量を検出するための角度検出器に関するものである。

【背景技術】

【0002】

回転体の回転運動による角度変化量を検出するために、エンコーダ、レゾルバ、インダクトシン、等の角度検出器が使用される。角度検出器は、複数の目盛が配置された目盛スケールと、その複数の目盛を読み取るセンサと、センサからの読み取り情報を回転体の角度変化量に変換する制御部とを備える。目盛スケール又はセンサの何れか一方が回転体に取り付けられている。回転体の角度変化量をより高分解能に読み取るためには、目盛スケールの1目盛の角度間隔を狭めればよいが、目盛は、例えば加工により刻まれるために、無限に細かくすることはできない。より詳細に回転体の角度変化量を測定するために、センサからの読み取り情報に基づく出力信号を制御部で数値演算し、1目盛を細かく分割する方法がある。角度検出器に使用されるセンサからの出力信号は、通常、矩形波若しくは正弦波の形であって、1目盛を1周期360°とし、位相が90°異なる2相の信号であることが多い。センサからの出力信号が正弦波信号の場合には、2相信号は1目盛を1周期とした $\cos \theta$ 、 $\sin \theta$ の形状となる。1目盛を分割する方法として、例えば2相信号を逆正接演算する手法が上げられる（すなわち、 $\theta = \tan^{-1}(\sin \theta / \cos \theta)$ ）。この手法ではセンサからの出力信号の振幅の検出分解能に応じ、角度分解能を向上させることができる。しかし、センサからの出力信号には、理想的な1目盛1周期の正弦波信号とは別に、高調波成分の歪が含まれているために、回転体の真の角度変化量だけでなく、高調波成分の歪に応じて、真の角度変化量とは無関係な量も含まれて測定される。すなわち、指令に基づく回転体の回転による真の角度変化量とセンサからの出力信号を制御部によって変換して得られた測定による角度変化量との間には、高調波成分の影響による真の角度変化量とは無関係な誤差（角度誤差）が生じる。真の角度変化量及び角度誤差を測定するためには、センサからの出力信号に含まれる高調波成分の歪を除去する必要がある。

【0003】

更に、角度検出器において、回転体の回転軸線と目盛スケールの中心軸線とは、同軸線

10

20

30

40

50

上に配置されていることが望ましい。しかし、一般的には、これらの軸線は完全には一致しておらず、これらの軸線間のオフセット（軸線偏心）によって、指令に基づく回転体の回転による真の角度変化量とセンサからの出力信号を制御部によって変換して得られた測定による角度変化量との間には角度誤差が生じる。また、目盛スケールの目盛は、例えば加工により刻まれるため、目盛パターン中心と目盛スケールの回転中心自体がオフセットしていること、1目盛の間隔が理想値に対して誤差を持ち複数の目盛において不均等となっていること、等の品質の問題がある。加えて、角度検出器そのものの検出精度も構成部品の劣化に伴い経年変化すること、等から、これらによっても回転体の回転による真の角度変化量とセンサからの出力信号を制御部によって変換して得られた測定による角度変化量との間には角度誤差が生じる。

10

【0004】

このような問題により、特許文献1には、位相が90°異なる2相正弦波状信号に含まれる3次の高調波成分の歪を検出して除去する方法が開示され、特許文献2には、位相が90°異なる2相正弦波状信号に含まれる3次及び5次の高調波成分の歪を検出して除去する方法が開示されている。

【0005】

また、特許文献3～5には、回転軸線に固定された目盛り盤の周囲に、複数の第1目盛り読み取りヘッドと、1個の第2目盛り読み取りヘッドとを備え、下記のように、第2目盛り読み取りヘッドの角度信号 $A_{i,1}$ と各第1目盛り読み取りヘッドの角度信号 $A_{i,j}$ との差 $SA_{i,j}$ を求めて平均値 $SAV_i$ を得ることにより自己校正を行う角度検出器が開示されている。ここで、 $i$ は目盛番号（1～ $N_G$ の整数、 $N_G$ は目盛の総数）、 $j$ は目盛り読み取りヘッド番号（1～ $N_H$ の整数、 $N_H$ は目盛り読み取りヘッドの総数）である。

20

【数1】

$$SA_{i,j} = A_{i,1} - A_{i,j}$$

$$SAV_i = \frac{1}{N_H} \sum_{j=1}^{N_H} SA_{i,j}$$

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【文献】特開2006-112862号公報

特開2008-304249号公報

特開2006-98392号公報

特開2011-99802号公報

特開2011-99804号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

40

【0007】

特許文献1、2においては、センサに起因する特定の高調波成分の歪による電氣的角度誤差を検出して除去することができる。しかし、センサからの出力信号には、目盛の精度、センサの特性や方式、等によって様々な高調波成分の歪が含まれ、特定の高調波成分の歪を検出することができるだけでは、様々なセンサに対して統一的に高調波成分の歪を除去することはできない。例えば、センサの読み取り方式が光学式と磁気式とでは歪の特性が全く異なり、磁気式でも読み取る目盛が着磁リングと歯車とでは歪の特性が全く異なる。また、センサからの出力信号を増幅するアンプ等の機器を用いる場合、それらの特性による高調波成分の歪も発生する。よって、ある場合では高調波成分の歪を除去することができたとしても、別の場合では高調波成分の歪を除去することができないこともある。

50

## 【 0 0 0 8 】

特許文献 3 ～ 5 においては、角度検出器は、回転体の回転軸線と目盛スケールの中心軸線との軸線偏心、目盛スケールの品質、角度検出器の経年変化、等によって生じる機械的角度誤差を検出して除去することができる。この手法を用いて更に高精度に回転体の角度変化量を得るためには、1 目盛の角度間隔を狭くすることや、高精度の目盛り読み取りヘッドを使用すること等が有効であるが、角度検出器の高コスト化に繋がりがやすい。しかし、低コスト化のため目盛の間隔が広い目盛スケールや精度の低い目盛り読み取りヘッドを使用すると、目盛り読み取りヘッドが出力する信号に含まれる高調波成分が電気的角度誤差に影響する量が大きくなり、機械的角度誤差よりも支配的な誤差として現れるため、高精度に回転体の角度変化量を得ることができない。

10

## 【 0 0 0 9 】

従って、本発明の目的は、センサに起因する電気的角度誤差だけでなく、回転体の取り付け精度、目盛スケールの品質、角度検出器の経時変化、等に起因する機械的角度誤差を同時に除去して、高精度に回転体の角度変化量が得られ、低コスト化が可能な角度検出器を提供することである。

## 【課題を解決するための手段】

## 【 0 0 1 0 】

本発明の 1 つの観点によれば、角度検出器が、回転軸線を中心に回転する回転体と、回転体の回転方向に対する一周に沿って複数の目盛を有する目盛スケールと、回転体の回転方向に対する一周に沿って配置された少なくとも 2 つのセンサとを備えて、回転体の回転による角度変化量を検出し、少なくとも 2 つのセンサの各々は、複数の目盛に基づいて角度変化量に応じた信号を出力し、出力信号は、複数の目盛のうちの 1 目盛分を 1 周期 1 次とする基本波成分と、基本波成分の 2 以上の整数倍を次数とする高調波成分とを含み、出力信号から算出された角度変位量は、高調波成分に起因して、1 目盛分を 1 周期 1 次としてその整数倍の次数成分を有する少なくとも 1 つの角度誤差成分を含み、少なくとも 2 つのセンサの個数は、目盛スケールの目盛数及び少なくとも 1 つの角度誤差成分の次数に基づいて決定されている。

20

## 【 0 0 1 1 】

本発明の一具体例によれば、角度検出器において、少なくとも 1 つの角度誤差成分は、複数の角度誤差成分であって、少なくとも 2 つのセンサの個数は、目盛スケールの目盛数及び複数の角度誤差成分の各々の次数に基づいて決定されている。

30

## 【 0 0 1 2 】

本発明の一具体例によれば、角度検出器において、少なくとも 2 つのセンサの個数は、目盛スケールの目盛数と少なくとも 1 つの角度誤差成分の次数である 1 以上の整数との積を割り切ることができない整数に基づいて決定されている。

## 【 0 0 1 3 】

本発明の一具体例によれば、角度検出器において、少なくとも 2 つのセンサの個数は更に、目盛スケールの目盛数と角度誤差成分の次数との積を割り切ることができない整数で除算した場合の余りに基づいて決定されている。

## 【 0 0 1 4 】

本発明の一具体例によれば、角度検出器において、少なくとも 2 つのセンサの個数は更に、目盛スケールの目盛数と角度誤差成分の次数との積を割り切ることができない整数で除算した場合の余りの大きさに応じた重み付けに基づいて決定されている。

40

## 【 0 0 1 5 】

本発明の一具体例によれば、角度検出器において、回転体の回転方向に対する一周に略等間隔に、割り切ることができない整数に一致する数のセンサ配置予定箇所が設定され、センサ配置予定箇所の何れかに、少なくとも 2 つのセンサが 1 つずつ配置されている。

## 【 0 0 1 6 】

本発明の一具体例によれば、角度検出器において、センサ配置予定箇所の隣接する 2 つに、少なくとも 2 つのセンサが 1 つずつ配置されている。

50

## 【 0 0 1 7 】

本発明の一具体例によれば、角度検出器において、センサ配置予定箇所の各々に、少なくとも2つのセンサが1つずつ配置されている。

## 【 0 0 1 8 】

本発明の一具体例によれば、角度検出器において、少なくとも1つの角度誤差成分は、少なくとも2つのセンサの種類によって相違する。

## 【 0 0 1 9 】

本発明の一具体例によれば、角度検出器は、少なくとも2つのセンサのうちの1つのセンサからの出力信号とそれ以外のセンサからの出力信号との間の出力信号差を求めることによって自己校正されている。

## 【 発明の効果 】

## 【 0 0 2 0 】

本発明によれば、角度検出器は、センサからの出力信号に含まれる歪に起因する電氣的角度誤差と、回転体の取り付け精度、目盛スケールの品質、角度検出器の経時変化、等に起因する機械的角度誤差とを同時に除去して、高精度に回転体の角度変化量が得られ、また、角度検出器は、センサに起因することなく、統一的に高精度に回転体の角度変化量が得られることができる。更に、本発明によれば、安価で精度の低いセンサを使用して回転体の角度変化量の精度を大幅に向上でき、従来の高価で精度の高いセンサを使用する必要はなく、角度検出器の低コスト化を達成することができる。

## 【 0 0 2 1 】

なお、本発明の他の目的、特徴及び利点は、添付図面に関する以下の本発明の実施例の記載から明らかになるであろう。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 2 2 】

【 図 1 A 】 本発明の一実施形態としての、目盛スケールが取り付けられた回転体の角度変化量を検出する角度検出器を示す概略図である。

【 図 1 B 】 本発明の別の実施形態としての、目盛スケールが取り付けられた回転体の角度変化量を検出する角度検出器を示す概略図である。

【 図 2 A 】 本発明の別の実施形態としての、少なくとも2つのセンサが取り付けられた回転体の角度変化量を検出する角度検出器を示す概略図である。

【 図 2 B 】 本発明の別の実施形態としての、少なくとも2つのセンサが取り付けられた回転体の角度変化量を検出する角度検出器を示す概略図である。

【 図 3 】 図 1 A ~ 図 2 B の角度検出器の制御部の概略図である。

【 図 4 A 】 センサが1目盛中の位置を検出した際に出力する疑似正弦波信号を示す。

【 図 4 B 】 図 4 A の疑似正弦波信号により算出した、1目盛中の位置に対する測定角度と理想角度とを示す。

【 図 4 C 】 図 4 A の疑似正弦波信号により算出した、1目盛中の位置に対する測定角度と理想角度との間の角度誤差を示す。

【 図 5 A 】 目盛数を一定にして、目盛スケール一周の角度誤差次数をセンサ配置予定箇所数で除算して割り切れる / 割り切れないに基づいて判定した結果を示す表である。

【 図 5 B 】 目盛数を一定にして、目盛スケール一周の角度誤差次数をセンサ配置予定箇所数で除算した場合の余りの大きさに応じた重み付けに基づいて判定した結果を示す表である。

【 図 5 C 】 センサ配置予定箇所数を一定にして、目盛スケール一周の角度誤差次数をセンサ配置予定箇所数で除算した場合の余りの大きさに応じた重み付けに基づいて判定した結果を示す表である。

【 図 6 A 】 センサによる電氣的角度誤差と回転体の取り付け精度等による機械的角度誤差が除去される前の回転体の指令角度に対する角度誤差を示す。

【 図 6 B 】 回転体の指令角度を目盛に換算した場合の図 6 A の一部の拡大図である。

【 図 6 C 】 センサによる電氣的角度誤差と回転体の取り付け精度等による機械的角度誤差

10

20

30

40

50

が除去される前の回転体の一周を 1 周期 1 次とした角度誤差に対してフーリエ変換を実行することによって得られたスペクトル強度を示す。

【図 7 A】センサによる電氣的角度誤差と回転体の取り付け精度等による機械的角度誤差が除去された後の回転体の指令角度に対する角度誤差を示す。

【図 7 B】回転体の指令角度を目盛に換算した場合の図 7 A の一部の拡大図である。

【図 7 C】センサによる電氣的角度誤差と回転体の取り付け精度等による機械的角度誤差が除去された後の回転体の一周を 1 周期 1 次とした角度誤差に対してフーリエ変換を実行することによって得られたスペクトル強度を示す。

【発明を実施するための形態】

【0023】

10

以下、本発明の実施例について図面を参照して説明するが、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。

【0024】

図 1 A ~ 図 2 B に、回転軸線 108 を中心に回転する回転体 105 と、回転体 105 の回転方向 106 に対する一周に沿って複数の目盛 103 を有する目盛スケール 102 と、回転体 105 の回転方向 106 に沿って、センサ配置予定箇所 202 a ~ 202 i に配置された少なくとも 2 つのセンサ 201 a ~ 201 i とを備える角度検出器 101 を示す。ここで、目盛スケール 102 が有する目盛 103 とは、例えば加工により目盛スケール 102 に実際に刻まれたような視覚的に認識できるものだけではなく、目盛スケール 102 における所定の位置間隔を 1 目盛分の間隔としてセンサ 201 a ~ 201 i に対して読み取らせることができるものであればよく、目盛スケール 102 は、そのような目盛 103 が複数配置された部材である。角度検出器 101 の代表例としては、エンコーダ、レゾルバ、インダクトシン、等があるが、本発明を適用することができれば特に原理は問われない。また、センサ 201 a ~ 201 i は、目盛スケール 102 の目盛 103 を読み取ることができれば特に原理は問われない。センサ 201 a ~ 201 i としては、例えば、光学式センサ、磁気式センサ、コイル、等がある。また、目盛スケール 102 は、センサ 201 a ~ 201 i が目盛 103 を読み取ることができるものであればよく、材質、目盛 103 の配置の方法、等は問われない。センサ 201 a ~ 201 i は、回転体 105 の回転方向 106 に対する一周 107、すなわち全周に沿ってセンサ配置予定箇所 202 a ~ 202 i に配置されている。角度検出器 101 は、回転体 105 の回転による角度変化量  $X_p$  を、回転方向 106 に沿って配置された複数の目盛 103 を使用することによってセンサ 201 a ~ 201 i からの出力信号に基づいて検出する。センサ 201 a ~ 201 i の各々は、複数の目盛 103 に基づいて、回転体 105 の回転による角度変化量に応じた信号 204 を出力する。ここで、隣接する 2 つの目盛 103 間の幅、すなわち 1 目盛の角度間隔 104 は  $X$  で示される。

20

30

【0025】

図 1 A には、回転体 105 の一周 107 に沿って 2 つのセンサ 201 a、201 b が配置され、目盛スケール 102 が取り付けられた回転方向 106 に沿って回転する回転体 105 の角度変化量  $X_p$  を検出する角度検出器 101 が示され、図 1 B には、回転体 105 の一周 107 に沿って、9 つのセンサ 201 a ~ 201 i が配置され、目盛スケール 102 が取り付けられた回転方向 106 に沿って回転する回転体 105 の角度変化量  $X_p$  を検出する角度検出器 101 が示され、図 2 A には、回転体 105 の一周 107 に沿って、3 つのセンサ 201 a、201 b、201 d が配置され、3 つのセンサ 201 a、201 b、201 d が取り付けられた回転方向 106 に沿って回転する回転体 105 の角度変化量  $X_p$  を検出する角度検出器 101 が示され、図 2 B には、回転体 105 の一周 107 に沿って、9 つのセンサ 201 a ~ 201 i が配置され、9 つのセンサ 201 a ~ 201 i が取り付けられた回転方向 106 に沿って回転する回転体 105 の角度変化量  $X_p$  を検出する角度検出器 101 が示される。

40

【0026】

図 3 に示すように、角度検出器 101 は更に、センサ 201 a ~ 201 i に接続され、

50

センサ 201a ~ 201i の読み取り情報を回転体 105 の角度変化量  $X_p$  に変換する制御部 203 を備える。変換された角度変化量  $X_p$  は、表示装置 211、等に出力され、又は、回転体 105 を駆動するモータ、回転体 105 の制御装置、等にフィードバックされてもよい。

#### 【0027】

センサ 201a ~ 201i は、一般的に、目盛スケール 102 との相対運動が生じたとき、読み取られた目盛 103 と 1 目盛の角度間隔 104 に基づいて、複数の目盛 103 のうちの 1 目盛を 1 周期 1 次とし角度変化量に応じて振幅が変化する出力信号 204 を出力することができる。また、制御部 203 は、センサ 201a ~ 201i からの出力信号 204 と、ある時間までに数えた目盛検出数  $M$  とから、回転体 105 の角度変化量  $X_p$  に変換することができる。図 1A ~ 図 2B に示すように、目盛スケール 102 とセンサ 201a ~ 201i との間の相対運動によって、例えば、センサ 201a ~ 201i からそれぞれ図 5A に示すような位相が  $90^\circ$  異なる 2 つの擬似正弦波信号 (A 相信号 ( $A^{(0)}$ ) 及び B 相信号 ( $B^{(0)}$ )) が出力信号 204 として出力される場合、制御部 203 は、センサ 201a ~ 201i のそれぞれによって出力された擬似正弦波信号を取得し、各センサ 201a ~ 201i からの 2 つの擬似正弦波信号のうちの位相が  $90^\circ$  遅れた一方の擬似正弦波信号 (B 相信号 ( $B^{(0)}$ )) を他方の擬似正弦波信号 (A 相信号 ( $A^{(0)}$ )) で除算したものを逆正接演算することによって 1 目盛を分割して、以下のように回転体 105 の仮の角度変化量  $X_p^{(0)}$  を算出する。

#### 【数 2】

$$X_p^{(0)} = X \cdot \left( M + \frac{\theta^{(0)}}{2\pi} \right) = X \cdot \left( M + \tan^{-1} \left( \frac{B^{(0)}}{A^{(0)}} \right) / 2\pi \right)$$

ここで、 $\theta^{(0)} = \tan^{-1} (B^{(0)} / A^{(0)})$  は  $0 \sim 2\pi$  の範囲となるように数値処理されている。また目盛検出数  $M$  は、 $\theta^{(0)} = \tan^{-1} (B^{(0)} / A^{(0)})$  が  $0$  と  $2\pi$  の境界を超えるタイミングで、そのカウント値を増減させる等の処理で検出可能であって、その方法については問われない。図 1A ~ 図 2B のように、目盛スケール 102 又はセンサ 201a ~ 201i を回転体 105 に取り付けて回転させる場合には、制御部 203 は、回転体 105 の回転による角度変位量  $X_p$  として算出できる。

#### 【0028】

しかし、この算出された仮の角度変化量  $X_p^{(0)}$  と理想とされる角度検出器 101 より得られるべき回転体 105 の角度変化量  $X_{pideal}$  との間には誤差が生じる (理想的には、 $X_p = X_{pideal}$  になるのがよい)。図 1A ~ 図 2B の回転体 105 が等速に回転運動して、回転体 105 の角度が変化するように回転指令した場合、図 4B に示すように、理想的には、回転体 105 が指令値に対して誤差なく回転運動が可能であると仮定すると、回転体 105 の回転運動によって回転体 105 の角度が増加するに従って、センサ 201a ~ 201i からの出力信号 204 から算出された角度変化量  $X_p$  は線形的に増加し、回転体 105 の角度と理想的な角度変化量  $X_{pideal}$  との間に角度誤差は無い。しかし、実際には、センサ 201a ~ 201i からの出力信号 204 から算出された角度変化量  $X_p$  と理想的な角度変化量  $X_{pideal}$  との間には角度誤差が生じる。この角度誤差の一因として、算出された角度変化量  $X_p$  には、回転体 105 の回転に伴い複数の目盛 103 を検出する過程において、回転体 105 の回転軸線 108 と目盛スケール 102 の中心軸線との軸線偏心、目盛スケール 102 の品質、角度検出器 101 の経年変化、等によって生じる余分な量 (機械的角度誤差と呼称する) が含まれ、また、出力信号 204 にはセンサ 201a ~ 201i の特性に起因する余分な歪が含まれていることにある (センサ 201a ~ 201i の特性に起因する角度誤差を電気的角度誤差と呼称する)。より具体的には、このセンサ 201a ~ 201i による電気的角度誤差の原因は、センサ 201a ~ 201i からの出力信号が、複数の目盛 103 のうちの 1 目盛分を 1 周期 1 次とする基本

波成分と、基本波成分の２以上の整数倍を次数とする高調波成分とを含んでいることにあ  
る。例えば、センサ２０１ａ～２０１ｉからそれぞれ図４Ａに示すような位相が９０°異  
なる２つの擬似正弦波信号（Ａ相信号（ $A^{(0)}$ ）及びＢ相信号（ $B^{(0)}$ ））が出力信号  
２０４として出力される場合、センサ２０１ａ～２０１ｉから出力された２つの擬似正弦  
波信号が、複数の目盛１０３のうちの１目盛分を１周期１次とする理想波となる基本波成  
分 $\cos(\theta)$ 、 $\sin(\theta)$ と、次のように、基本波成分の２以上の整数倍を次数とす  
る高調波成分（次数 $k$ が２以上の整数の場合の成分）を含んでいることにあって、このセ  
ンサ２０１ａ～２０１ｉの高調波成分が、上記〔数２〕のように逆正接演算する際に角度  
変化量 $X_p$ に影響を及ぼし、図４Ｃに示すように、電氣的角度誤差が生じている。

【数３】

10

$$A^{(0)} = \cos(\theta) + \sum_{k=2}^{\infty} a_k \cdot \cos(k \cdot \theta + \phi a_k)$$

$$B^{(0)} = \sin(\theta) + \sum_{k=2}^{\infty} b_k \cdot \sin(k \cdot \theta + \phi b_k)$$

ここで、 $a_k$ 及び $b_k$ は、１目盛を１周期とする１次の基本波成分の振幅を１とした場  
合の次数 $k$ の高調波成分のゲインであって、 $\phi a_k$ 及び $\phi b_k$ は、次数 $k$ の高調波成分の  
基本波成分に対する位相差である。なお、 $a_k$ 、 $b_k$ 、 $\phi a_k$ 、 $\phi b_k$ は、一般的には、異  
なる目盛１０３であっても変化しないか、又は変化したとしても小さい相違である。なお  
、 $a_k$ 、 $b_k$ 、 $\phi a_k$ 、 $\phi b_k$ は、センサ２０１ａ～２０１ｉや目盛スケール１０２の特性  
、検出原理により決定付けられ、例えば、センサ２０１ａ～２０１ｉが光検出型センサで  
あれば目盛スケール１０２の目盛パターンの反射・透過特性や受光部の感度特性により決  
定付けられ、センサ２０１ａ～２０１ｉが半導体磁気抵抗型センサであれば半導体の磁気  
抵抗特性により決定付けられ、また、半導体磁気抵抗型センサを使用する場合において、  
磁気検出に平歯車を使用すると、歯の形状特性により決定付けられる。このように、出力  
信号２０４に含まれる高調波成分は、センサ２０１ａ～２０１ｉ等の種類によって相違す  
る。なお、センサ２０１ａ～２０１ｉは、実質的に同一の基本波成分及び高調波成分を含  
む出力信号２０４を出力するセンサであることが好ましい。例えば、センサ２０１ａ～２  
０１ｉは同一の種類であってもよい。

20

30

【００２９】

また、上記のように、角度誤差には、センサ２０１ａ～２０１ｉの特性に起因する電氣  
的角誤差だけでなく、回転体１０５の取り付け精度、目盛スケール１０２の品質、角度  
検出器１０１の経時変化、等に起因する機械的角誤差も含まれている。

【００３０】

そこで、センサ２０１ａ～２０１ｉの特性に起因する電氣的角誤差、及び回転体１０  
５の取り付け精度、目盛スケール１０２の品質、角度検出器１０１の経時変化、等に起因  
する機械的角誤差を除去するために、上記のように、角度検出器１０１は、回転体１０  
５の回転方向１０６に対する一周に沿って複数の目盛１０３を有する目盛スケール１０２  
と、回転体１０５の回転方向１０６に対する一周に沿って、センサ配置予定箇所２０２  
ａ～２０２ｉに配置された少なくとも２つのセンサ２０１ａ～２０１ｉとを備え、更に、図  
３に示すように、制御部２０３は、これらのセンサ２０１ａ～２０１ｉからの出力信号２  
０４を演算処理する信号処理部２０９を備える。

40

【００３１】

なお、制御部２０３は、信号処理部２０９による出力信号２０４の演算処理に先立って  
、出力信号２０４を取得するための入力部２０５、出力信号２０４のノイズを除去するノ  
イズフィルタ２０６、出力信号２０４を増幅する増幅器２０７、及び出力信号２０４をア  
ナログ値からデジタル値に変換するＡ／Ｄ変換器２０８を備えていてもよい。デジタル値

50

に変換された出力信号 204 が、信号処理部 209 に出力される。また、制御部 203 は、信号処理部 209 によるデータの書き込み/読み出しを行う記憶部 210 を備えていてもよい。信号処理部 209 は、出力信号 204 が位相の異なる 2 相の信号である場合には、2 相間の振幅、オフセット、位相差を調整できてもよい。なお、調整しない場合でも各センサの信号特性が同レベルであれば、これらの値はほぼ同じになると考えられ、本発明によって電氣的角度誤差を除去することができる。

#### 【0032】

センサ 201a ~ 201i からの出力信号 204 のうちの 1 つを基準センサ（例えば、センサ 201a）として、基準センサからの出力信号 204 と、それ以外の各センサ（例えば、センサ 201b ~ 201i）の出力信号 204 との間の出力信号差を求め、求められたそれ以外のセンサとの出力信号差についての平均値を得ることによって、機械的角度誤差を除去するための校正値を得ることができる。この校正値を、算出された回転体 105 の仮の角度変化量  $X_p^{(0)}$  に対して足し引きすることで、真の角度変化量  $X_p$  を検出することができ、角度検出器 101 は、機械的角度誤差について自己校正される。しかし、センサ 201a ~ 201i を単に回転体 105 の回転方向 106 に沿って配置しただけでは、電氣的角度誤差を除去することはできない。これは上記のように、センサ 201a ~ 201i の各々の出力信号 204 は、複数の目盛 103 のうちの 1 目盛分を 1 周期 1 次とする基本波成分と、基本波成分の 2 以上の整数倍を次数とする高調波成分とを含み、出力信号 204 から算出された仮の角度変位量  $X_p^{(0)}$  は、出力信号 204 の 1 つ以上の高調波成分に起因して、目盛 103 の 1 目盛分を 1 周期 1 次としてその整数倍の次数成分を有する少なくとも 1 つの角度誤差成分を含んでいるからである。

#### 【0033】

センサ 201a ~ 201i の特性に起因する電氣的角度誤差を除去するためには、回転体 105 の回転方向 106 に対する一周 107 に沿った目盛スケール 102 の目盛数  $N$ 、及びセンサ 201a ~ 201i からの出力信号 204 に含まれる高調波成分に起因する 1 目盛における角度誤差成分の次数  $p$  に基づいて、回転体 105 の回転方向 106 に対する一周 107 に沿って配置されるセンサ 201a ~ 201i の個数を適切に選択する必要がある。ここで、角度誤差成分の次数とは、角度誤差成分が有する次数のことであって、角度誤差成分の次数は、目盛 103 の 1 目盛分を 1 周期 1 次とするとその整数倍である。例えば、図 1A ~ 図 2B のように、目盛スケール 102 の目盛数が 32 であって、出力信号 204 に含まれる高調波成分に起因する 1 目盛における角度誤差成分の次数が  $p$  である場合には、目盛スケール 102 の目盛数 32、及び角度誤差成分の次数  $p$  に基づいて、一周 107 に沿って配置されるセンサ 201a ~ 201i の個数を選択する。なお、角度誤差成分の次数  $p$  は、推定で見積もってもよいし、目盛スケール 102 の一周における角度誤差成分を算出した結果から決定してもよい。参考として、電氣的角度誤差が顕著に現れる角度誤差成分の次数  $p$  は 5 以下であることが多い。或いは、事前にセンサ 201a ~ 201i からの出力信号 204 から高調波成分を抽出し、除去が必要となる角度誤差成分の次数  $p$  を決定してもよい。また、センサ 201a ~ 201i からの出力信号 204 が、図 3 のように、入力部 205、ノイズフィルタ 206、増幅器 207、A/D 変換器 208、等を介して信号処理部 209 に入力される場合には、信号処理部 209 に入力される信号に含まれる高調波成分を抽出し、除去が必要となる角度誤差成分の次数  $p$  に基づいてセンサ 201a ~ 201i の個数を適切に選択してもよい。

#### 【0034】

また、出力信号 204 から算出された仮の角度変化量  $X_p^{(0)}$  は、出力信号 204 に含まれる 1 つ以上の高調波成分に起因して、目盛 103 の 1 目盛分を 1 周期 1 次として、それぞれがその整数倍の次数成分を有する複数の角度誤差成分を含んでいて、角度誤差成分が複数の角度誤差成分であってもよい。センサ 201a ~ 201i の個数は、目盛スケール 102 の目盛数  $N$ 、及びその複数の角度誤差成分の各々の次数に基づいて、回転体 105 の回転方向 106 に対する一周 107 に沿って配置されるセンサ 201a ~ 201i の個数を適切に選択する必要がある。例えば、出力信号 204 の 1 つ以上の高調波成分に起

因して、出力信号 204 から算出された仮の角度変化量  $X_p^{(0)}$  は、次数  $p = 1$ 、 $p = 2$  の 2 つの角度誤差成分が含まれ、図 1 A ~ 図 2 B のような場合には、目盛スケール 102 の目盛数 32、及び 2 つの角度誤差成分の次数  $p = 1$  と  $p = 2$  に基づいて、回転体 105 の回転方向 106 に対する一周 107 に沿って配置されるセンサ 201 a ~ 201 i の個数を選択する。

#### 【0035】

センサ 201 a ~ 201 i の個数は、目盛スケール 102 の目盛数  $N$  と 1 目盛における角度誤差成分の次数  $p$  との積を割り切ることができない整数に基づいて決定されてもよい。すなわち、角度誤差成分の具体的な大きさ等は、回転体 105 の一周に対しては目盛数だけ目盛の各々の個体差をもって現れるが、1 目盛に発生する角度誤差成分の次数  $p$  は何れの目盛でも同じであるために、目盛スケール 102 の一周における電氣的角度誤差は、次数  $N_p = N$  (目盛スケール 102 の目盛数)  $\times p$  (1 目盛における角度誤差成分の次数) として現れ、次数  $N_p$  を割り切ることができない整数に基づいて、センサ 201 a ~ 201 i の個数は決定されてもよい。これによって、センサ 201 a ~ 201 i はそれぞれ、位相の異なる出力信号 204 を出力することができる。すなわち、センサ 201 a ~ 201 i のそれぞれによって出力される出力信号 204 に含まれる基本波成分及び高調波成分の位相は、各センサ 201 a ~ 201 i で相違する。

#### 【0036】

具体的には、目盛スケール 102 が有する目盛 103 の目盛数  $N$  である 256 に対して、仮に出力信号 204 の高調波成分に起因して、仮の角度変化量  $X_p^{(0)}$  には 1 目盛において次数  $p$  (1 ~ 10) の成分を有する角度誤差成分が含まれると想定して次数  $p$  を乗算することによって、目盛スケール 102 の一周における電氣的角度誤差の次数  $N_p$  を求め、その次数  $N_p$  を、センサ配置予定箇所数としての整数 (5 ~ 9) で割り切れる場合を  $\times$  で、割り切れない場合を  $\circ$  で判定した結果を図 5 A に示す。 $\circ$  の数が多いセンサ配置予定箇所数の方が、より多くの次数  $p$  の成分による電氣的角度誤差を除去することができる。図 5 A の場合においては、整数が 7 又は 9 の場合、すなわちセンサ配置予定箇所数が 7 又は 9 の場合に  $\circ$  の数が 9 であって、多くの次数  $p$  の成分による電氣的角度誤差を除去することができ、7 つ又は 9 つのセンサ配置予定箇所 202 a ~ 202 i の何れかに、センサ 201 a ~ 201 i を配置する。一方で、整数が 8 の場合、すなわちセンサ配置予定箇所数が 8 の場合には  $\circ$  の数が 0 であって、全く電氣的角度誤差を除去することができない。なお、図 5 A は一例であって、目盛スケール 102 が有する目盛 103 の目盛数、センサ配置予定箇所数には特に上下限はない。

#### 【0037】

図 1 A、図 2 A のように、センサ配置予定箇所 202 a ~ 202 i は、回転体 105 の回転方向 106 に対する一周 107 に沿って略等間隔に、目盛スケール 102 の一周における電氣的角度誤差の次数  $N_p$  を割り切ることができない整数に一致する数によって設定されている。図 5 A のように、目盛スケール 102 の目盛数  $N$  が 256 である場合には、センサ配置予定箇所 202 a ~ 202 i の個数を 7 又は 9 として、7 つ又は 9 つのセンサ配置予定箇所 202 a ~ 202 i を回転体 105 の回転方向 106 に対する一周 107 に沿って略等間隔に設定することができる。図 1 A、図 2 A では、回転体 105 の回転方向 106 に対する一周 107 に沿って、9 つのセンサ配置予定箇所 202 a ~ 202 i が設定されている。そして、センサ 201 a ~ 201 i は、センサ配置予定箇所 202 a ~ 202 i の何れかに配置されている。図 1 A では、9 つのセンサ配置予定箇所 202 a ~ 202 i のうちの 2 箇所 (202 a、202 b) にセンサ 201 a、201 b が配置され、図 2 A では、9 つのセンサ配置予定箇所 202 a ~ 202 i のうちの 3 箇所 (202 a、202 b、202 d) にセンサ 201 a、201 b、201 d が配置されているが、センサ配置予定箇所 202 a ~ 202 i の何れにセンサ 202 a ~ 202 i が配置されているかは問われない。例えば、図 1 A のように、センサ配置予定箇所 202 a ~ 202 i のうちの隣接する 2 つのセンサ配置予定箇所 202 a、202 b に、センサ 201 a、201 b がそれぞれ 1 つずつ配置されてもよいし、図 1 B、図 2 B のように、センサ配置予定箇所

10

20

30

40

50

所 2 0 2 a ~ 2 0 2 i の各々に、センサ 2 0 1 a ~ 2 0 1 i がそれぞれ 1 つずつ配置されてもよい。

#### 【 0 0 3 8 】

電氣的角度誤差は、次数  $N_p = N$  ( 目盛スケール 1 0 2 の目盛数 )  $\times p$  ( 1 目盛における角度誤差成分の次数 ) として現れ、一般的には  $N$  と  $p$  は整数であるため  $N_p$  も整数となる。しかし、実際には目盛スケール 1 0 2 の 1 目盛の間隔が複数の目盛 1 0 3 において不均一である点等に起因し、角度誤差に対して回転体 1 0 5 の一周を 1 周期 1 次としてフーリエ変換して実行すると、スペクトル強度は整数の次数の近辺において山形で生じている ( 例えば、次数が 3 のスペクトル強度の近辺において、2 . 9 次、3 . 1 次、等の少数点を有する次数のスペクトル強度が含まれている ) 。よって、目盛スケール 1 0 2 の一周における電氣的角度誤差の次数  $N_p$  をセンサ配置予定箇所数としての整数で除算した場合に、その場合における余り ( 端数 ) の数が大きいほど除去できる電氣的角度誤差の次数  $N_p$  の数が多くなるために、その余りに基づいて、センサ 2 0 1 a ~ 2 0 1 i の個数は決定されてもよい。

#### 【 0 0 3 9 】

具体的には、図 5 A と同様に、目盛スケール 1 0 2 が有する目盛 1 0 3 の目盛数  $N$  である 2 5 6 に対して、仮に出力信号 2 0 4 の高調波成分に起因して、仮の角度変化量  $X_p^{(0)}$  には 1 目盛において次数  $p$  ( 1 ~ 1 0 ) の成分を有する角度誤差成分が含まれると想定して次数  $p$  を乗算することによって、目盛スケール 1 0 2 の一周における電氣的角度誤差の次数  $N_p$  を求め、その次数  $N_p$  を、センサ配置予定箇所数としての整数 ( 5 ~ 9 ) によって除算した場合に、例えば、余りが 0 . 3 未満の場合を  $\times$ 、余りが 0 . 3 以上 0 . 7 未満の場合を  $\circ$ 、余りが 0 . 7 以上の場合を  $\square$  とし、余りの大きさに応じて重み付けをし ( 例えば、 $\times$  は 0 点、 $\circ$  は 1 点、 $\square$  は 2 点 ) 、総得点の多いセンサ配置予定箇所数を判定した結果を図 5 B に示す。総得点が高い方が、より多くの次数  $p$  の成分による電氣的角度誤差を除去することができる。図 5 B の場合においては、整数が 7 又は 9 の場合、すなわちセンサ配置予定箇所数が 7 又は 9 の場合に総得点が 9 点であって、多くの次数  $p$  の成分による電氣的角度誤差を除去することができ、図 1 A ~ 図 2 B のように、9 つのセンサ配置予定箇所 2 0 2 a ~ 2 0 2 i の何れかに、センサ 2 0 1 a ~ 2 0 1 i を配置する。このように、目盛スケール 1 0 2 の一周における電氣的角度誤差の次数  $N_p$  をセンサ配置予定箇所数としての整数で除算した場合の余りの大きさに応じて重み付けをし、各次数の重み付けに基づいてセンサ 2 0 1 a ~ 2 0 1 i の個数は決定されてもよい。また、出力信号 2 0 4 の高調波成分に起因する 1 目盛における角度誤差成分が 2 次及び 4 次の次数成分を含む場合には、 $p = 2$ 、 $p = 4$  で  $\square$  と判定されているので、センサ配置予定箇所数を 9 として選定すれば、2 次及び 4 次の電氣的角度誤差を除去することができ、図 1 A ~ 図 2 B のように、9 つのセンサ配置予定箇所 2 0 2 a ~ 2 0 2 i の何れかに、センサ 2 0 1 a ~ 2 0 1 i を配置する。このように、目盛スケール 1 0 2 の一周における電氣的角度誤差の次数  $N_p$  をセンサ配置予定箇所数としての整数で除算した場合の余りの大きさに応じた重み付けに基づいて、センサ 2 0 1 a ~ 2 0 1 i の個数は決定されてもよい。

#### 【 0 0 4 0 】

また、センサ配置予定箇所数を先に決定して、目盛スケール 1 0 2 が有する目盛 1 0 3 の目盛数  $N$  を選定してもよい。具体的には、センサ配置予定箇所数を 5 とし、目盛スケール 1 0 2 が有する目盛 1 0 3 の目盛数  $N$  である 2 5 4 ~ 2 5 9 に対して、仮に出力信号 2 0 4 の高調波成分に起因して、仮の角度変化量  $X_p^{(0)}$  には 1 目盛において次数  $p$  ( 1 ~ 1 0 ) の成分を有する角度誤差成分が含まれると想定して次数  $p$  を乗算することによって、目盛スケール 1 0 2 の一周における電氣的角度誤差の次数  $N_p$  を求め、その次数  $N_p$  を、センサ配置予定箇所数の 5 によって除算した場合に、例えば、余りが 0 . 3 未満の場合を  $\times$ 、余りが 0 . 3 以上 0 . 7 未満の場合を  $\circ$ 、余りが 0 . 7 以上の場合を  $\square$  とし、余りの大きさに応じて重み付けをし ( 例えば、 $\times$  は 0 点、 $\circ$  は 1 点、 $\square$  は 2 点 ) 、目盛スケール 1 0 2 の一周における目盛数  $N$  を判定した結果を図 5 C に示す。総得点が高い方が、より多くの次数  $p$  の電氣的角度誤差を除去することができる。図 5 C の場合においては、目

盛スケール 102 の一周における目盛数  $N$  が 255 である場合を除いて、ほぼ同等数の次数  $p$  の電氣的角度誤差を除去することができ、5つのセンサ配置予定箇所 202a ~ 202e の何れかに、センサ 201a ~ 201e を配置する。なお、目盛スケール 102 の一周における目盛数  $N$  についての判定した結果は、センサ配置予定箇所数による繰り返し性を有する。例えば、センサ配置予定箇所数を 5 とした場合の判定した結果は、目盛スケール 102 の一周における目盛数  $N$  が  $254 \pm (5 \times \text{整数倍})$  の場合において同じである (図 5C においては、254 と 259 の場合では同じ判定結果となる)。このように、目盛スケール 102 の一周における目盛数  $N$  の大小に寄らず、センサ配置予定箇所数による繰り返し性を有する判定結果を得ることができる。

#### 【0041】

上記のようにして、目盛スケール 102 が有する目盛 103 の目盛数  $N$ 、出力信号 204 が含む高調波成分から推定される、或いは事前に確認した角度誤差成分の次数  $p$ 、センサ配置予定箇所数を得、図 1A ~ 図 2B のように、センサ配置予定箇所 202a ~ 202i にセンサ 201a ~ 201i を配置し、センサ 201a ~ 201i からの出力信号 204 のうちの 1 つを基準センサ (例えば、センサ 201a) として、基準センサからの出力信号 204 と、それ以外の各センサ (例えば、センサ 201b ~ 201i) の出力信号 204 との間の出力信号差を求め、求められたそれ以外のセンサとの出力信号差についての平均値を得ることによって、機械的角度誤差だけでなく電氣的角度誤差をも除去するための校正值を得ることができる。この校正值を、算出された回転体 105 の仮の角度変化量  $X_p^{(0)}$  に対して足し引きすることで、真の角度変化量  $X_p$  を検出することができ、角度検出器 101 は、機械的角度誤差及び電氣的角度誤差を含む角度誤差について自己校正される。校正後の角度変化量  $X_p$  は、角度検出器 101 の検出値としてもよいし、回転体 105 を駆動するモータ、回転体 105 の制御装置、等にフィードバックされ、参照角度として使用されてもよい。この校正值は、回転体 105 が回転してセンサ 201a ~ 201i からの出力信号 204 が信号処理部 209 に入力される都度に演算されてもよいし、事前に回転体 105 の 1 周分についてこの校正值を信号処理部 209 にて演算し、補正テーブルとして記憶部 210 に保存しておき、回転体 105 が回転する際に、この校正值が記憶部 210 から読み出されてもよい。

#### 【0042】

図 6A ~ 図 6C にそれぞれ、図 1B の角度検出器 101 のセンサ 201a のみからの出力信号 204 に基づいて信号処理部 209 によって算出された、機械的角度誤差及び電氣的角度誤差を含む角度誤差が除去される前における、回転体 105 の指令角度に対する角度誤差、その一部を拡大した回転体 105 の 1 目盛中の指令角度に対する角度誤差、回転体 105 の一周を 1 周期 1 次とした角度誤差に対してフーリエ変換を実行することによって得られたスペクトル強度を示す。指令角度に対して、周期が長い (次数が小さい) 成分による角度誤差が、機械的角度誤差によるものであって、図 6A によれば、この角度検出器 101 においては、機械的角度誤差は、回転体 105 の一周を 1 周期 1 次とする角度誤差を主成分として約  $180 \text{ arcsec}$  の幅である。なお図 6A は、測定された  $0 \sim 360 \text{ deg}$  の範囲のうちの  $0 \sim 180 \text{ deg}$  の範囲だけを抜き出した測定結果である。指令角度に対して、周期が短い (次数が大きい) 成分による角度誤差が、電氣的角度誤差によるものであって、図 6B によれば、電氣的角度誤差の次数は、1024 次 (1 目盛における次数  $p = 4$  次) による角度誤差を主成分として約  $20 \text{ arcsec}$  の幅であって、目盛スケール 102 の全目盛数が 256 であることから 1 目盛の角度間隔 104 は  $1.406 \text{ deg}$  であるので、電氣的角度誤差である約  $20 \text{ arcsec}$  はその約  $0.4\%$  に相当する。図 6C によれば、角度誤差の次数成分が 256 次 (1 目盛 1 次)、768 次 (1 目盛 3 次)、1024 次 (1 目盛 4 次) のスペクトル強度が大きく、角度誤差の次数成分が 1024 次 (1 目盛 4 次) のスペクトル強度が、特に顕著であることが分かる。

#### 【0043】

次に、図 7A ~ 図 7C にそれぞれ、図 1B の角度検出器 101 のセンサ 201a ~ 201i からの出力信号 204 に基づいて信号処理部 209 によって算出された、機械的角度

10

20

30

40

50

誤差及び電氣的角度誤差を含む角度誤差が除去された後における、回転体 105 の指令角度に対する角度誤差、その一部を拡大した回転体 105 の 1 目盛中の指令角度に対する角度誤差、回転体 105 の一周を 1 周期 1 次とした角度誤差に対してフーリエ変換を実行することによって得られたスペクトル強度を示す。センサ配置予定箇所数（センサ配置数）が 9 であるので、9 で割り切ることができない次数  $N_p$  の機械的角度誤差及び電氣的角度誤差を含む角度誤差を除去することができ、図 7 A によれば、9 で割り切ることができない 1 次を主成分とする機械的角度誤差を、約  $45 \text{ arc sec}$  の幅まで減少することができる。なお図 7 A は、測定された  $0 \sim 360 \text{ deg}$  の範囲のうちの  $0 \sim 180 \text{ deg}$  の範囲だけを抜き出した測定結果である。図 7 B によれば、9 で割り切ることができない 1024 次を主成分とする電氣的角度誤差を、約  $5 \text{ arc sec}$ （1 目盛の角度間隔 104 である  $1.406 \text{ deg}$  に対して約  $0.1\%$ ）の幅まで減少することができる。このように、機械的角度誤差及び電氣的角度誤差を含む角度誤差を約  $1/4$  まで減少することができる。図 7 C によれば、角度誤差の次数成分が 256 次（1 目盛における次数  $p = 1$  次）、768 次（1 目盛 3 次）、1024 次（1 目盛 4 次）のスペクトル強度を大幅に減少させることができる。また図 7 A において、回転体 105 の指令角度  $180 \text{ deg}$  中に発生している 10 山成分（回転体 105 の一周を 1 周期 1 次として 20 次成分）は、使用した回転体 105 の機構特性に起因する角度誤差であることが分かっており、本発明を使用することで、出力信号 204 から算出された仮の角度変化量  $X_p^{(0)}$  から機械的角度誤差及び電氣的角度誤差を除去し、回転体 105 の真の回転角度量  $X_p$  と角度誤差をより高精度に検出可能であることを図 7 A ~ 図 7 C は示している。

10

20

#### 【0044】

上記記載は特定の実施例についてなされたが、本発明はそれに限らず、本発明の原理と添付の特許請求の範囲の範囲内で種々の変更及び修正をすることができることは当業者に明らかである。

#### 【符号の説明】

#### 【0045】

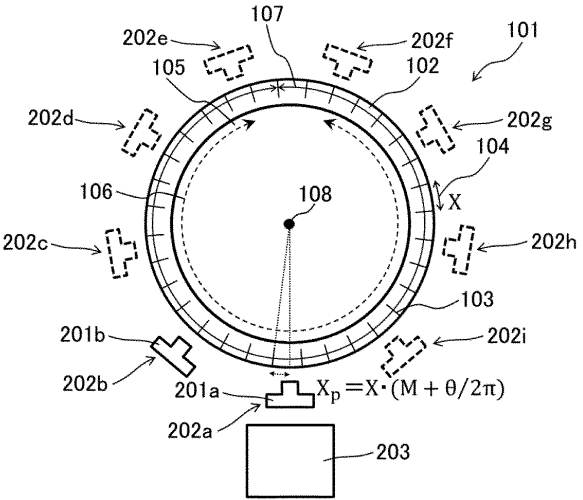
- 101 角度検出器
- 102 目盛スケール
- 103 目盛
- 104 1 目盛の角度間隔
- 105 回転体
- 106 回転方向
- 107 一周
- 108 回転軸線
- 201 a ~ 201 i センサ
- 202 a ~ 202 i センサ配置予定箇所
- 203 制御部
- 204 出力信号
- 205 入力部
- 206 ノイズフィルタ
- 207 増幅器
- 208 A / D 変換器
- 209 信号処理部
- 210 記憶部
- 211 表示装置

30

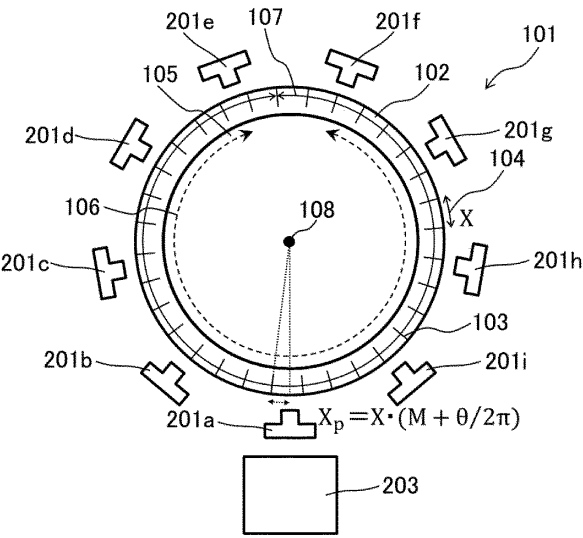
40

【図面】

【図 1 A】

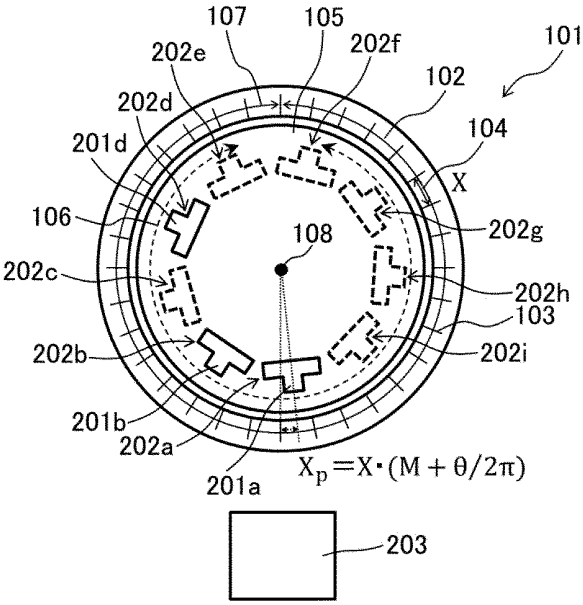


【図 1 B】

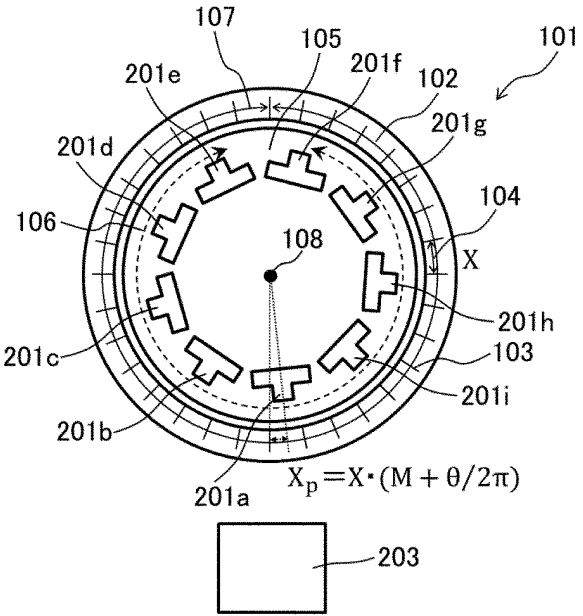


10

【図 2 A】



【図 2 B】



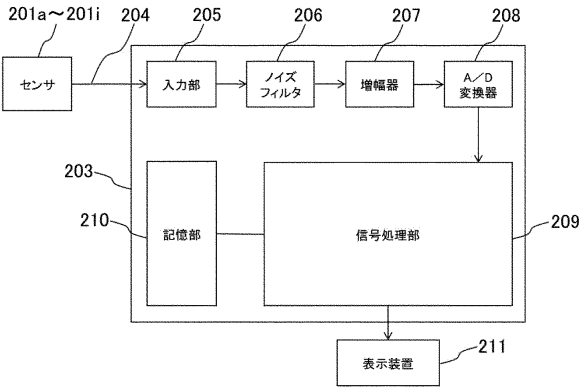
20

30

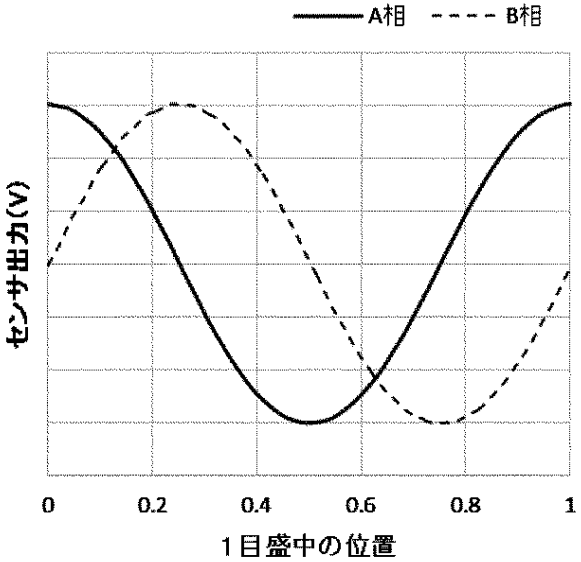
40

50

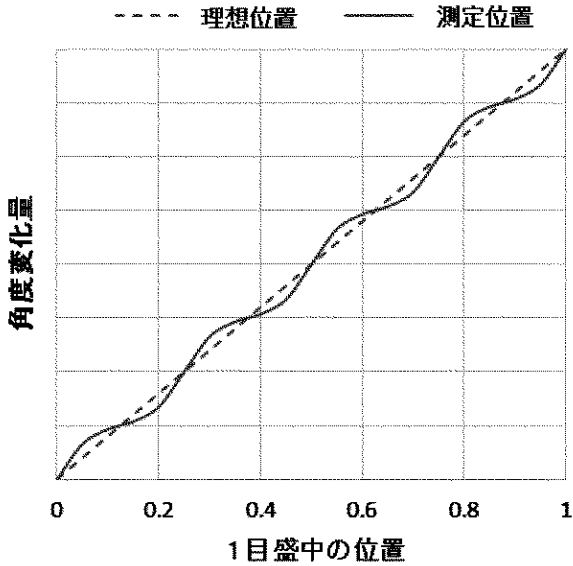
【図 3】



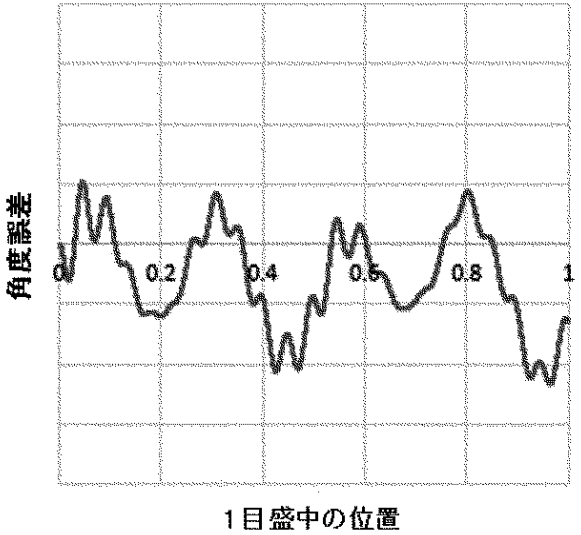
【図 4 A】



【図 4 B】



【図 4 C】



10

20

30

40

50

【図 5 A】

| 1 目盛における<br>角度誤差成分の次数 $p$ | 目盛スケールの一週における<br>電気的角誤差の次数 $N_e$ | センサ配置予定箇所数 |   |   |   |   |
|---------------------------|----------------------------------|------------|---|---|---|---|
|                           |                                  | 5          | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1                         | 256                              | ○          | ○ | ○ | × | ○ |
| 2                         | 512                              | ○          | ○ | ○ | × | ○ |
| 3                         | 768                              | ○          | × | ○ | × | ○ |
| 4                         | 1024                             | ○          | ○ | ○ | × | ○ |
| 5                         | 1280                             | ×          | ○ | ○ | × | ○ |
| 6                         | 1536                             | ○          | × | ○ | × | ○ |
| 7                         | 1792                             | ○          | ○ | × | × | ○ |
| 8                         | 2048                             | ○          | ○ | ○ | × | ○ |
| 9                         | 2304                             | ○          | × | ○ | × | × |
| 10                        | 2560                             | ×          | ○ | ○ | × | ○ |
| ○の個数                      |                                  | 8          | 7 | 9 | 0 | 9 |

【図 5 B】

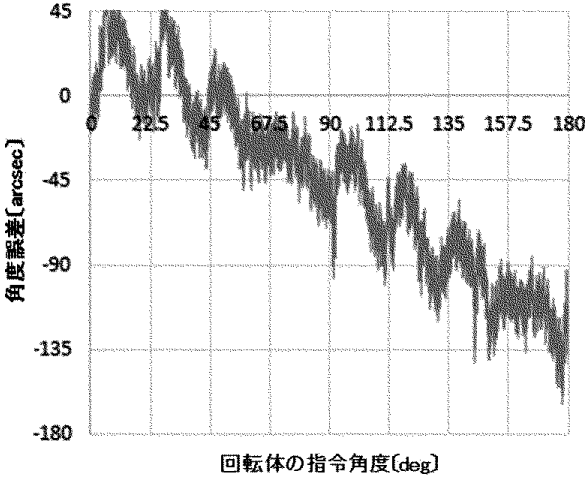
| 1 目盛における<br>角度誤差成分の次数 $p$ | 目盛スケールの一週における<br>電気的角誤差の次数 $N_e$ | センサ配置予定箇所数 |   |   |   |   |
|---------------------------|----------------------------------|------------|---|---|---|---|
|                           |                                  | 5          | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1                         | 256                              | ×          | ○ | ○ | × | ○ |
| 2                         | 512                              | ○          | ○ | × | × | ◎ |
| 3                         | 768                              | ○          | × | ◎ | × | ○ |
| 4                         | 1024                             | ◎          | ○ | × | × | ◎ |
| 5                         | 1280                             | ×          | ○ | ◎ | × | × |
| 6                         | 1536                             | ×          | × | ○ | × | ○ |
| 7                         | 1792                             | ○          | ○ | × | × | × |
| 8                         | 2048                             | ○          | ○ | ○ | × | ○ |
| 9                         | 2304                             | ◎          | × | × | × | × |
| 10                        | 2560                             | ×          | ○ | ◎ | × | ○ |
| ○の個数                      |                                  | 4          | 7 | 3 | 0 | 5 |
| ◎の個数                      |                                  | 2          | 0 | 3 | 0 | 2 |
| 総得点                       |                                  | 8          | 7 | 9 | 0 | 9 |

10

【図 5 C】

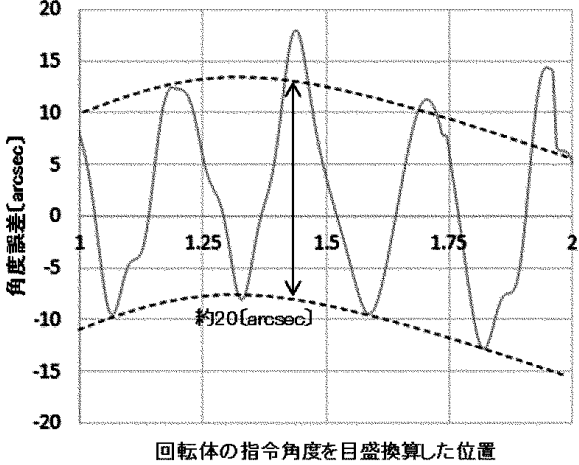
| 1 目盛における<br>角度誤差成分の次数: $p$ | 目盛スケールの一週における<br>電気的角誤差の次数: $N_e$ | 目盛数: $N$ |     |     |     |     |     |
|----------------------------|-----------------------------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                            |                                   | 254      | 255 | 256 | 257 | 258 | 259 |
| 1                          | $p \times$ 目盛数: $N$               | ◎        | ×   | ×   | ○   | ○   | ◎   |
| 2                          |                                   | ○        | ×   | ○   | ◎   | ×   | ○   |
| 3                          |                                   | ○        | ×   | ○   | ×   | ◎   | ○   |
| 4                          |                                   | ×        | ×   | ◎   | ○   | ○   | ×   |
| 5                          |                                   | ×        | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   |
| 6                          |                                   | ◎        | ×   | ×   | ○   | ○   | ◎   |
| 7                          |                                   | ○        | ×   | ○   | ◎   | ×   | ○   |
| 8                          |                                   | ○        | ×   | ○   | ×   | ◎   | ○   |
| 9                          |                                   | ×        | ×   | ◎   | ○   | ○   | ×   |
| 10                         |                                   | ×        | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   |
| ○の個数                       |                                   | 4        | 0   | 4   | 4   | 4   | 4   |
| ◎の個数                       |                                   | 2        | 0   | 2   | 2   | 2   | 2   |
| 総得点                        |                                   | 8        | 0   | 8   | 8   | 8   | 8   |

【図 6 A】

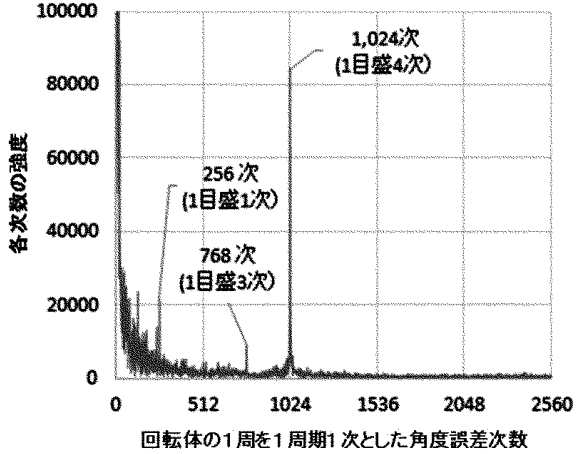


20

【図 6 B】



【図 6 C】

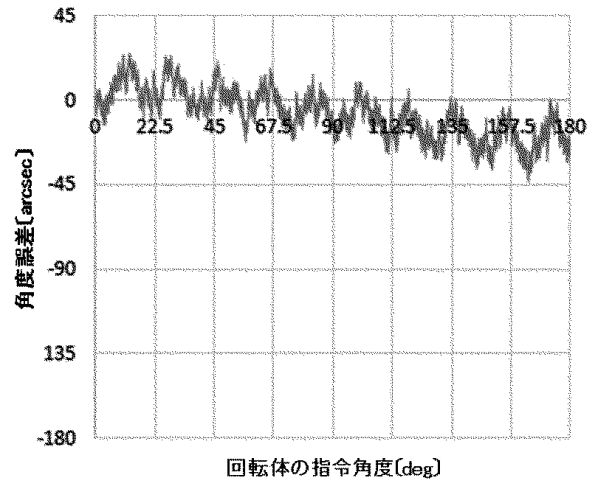


30

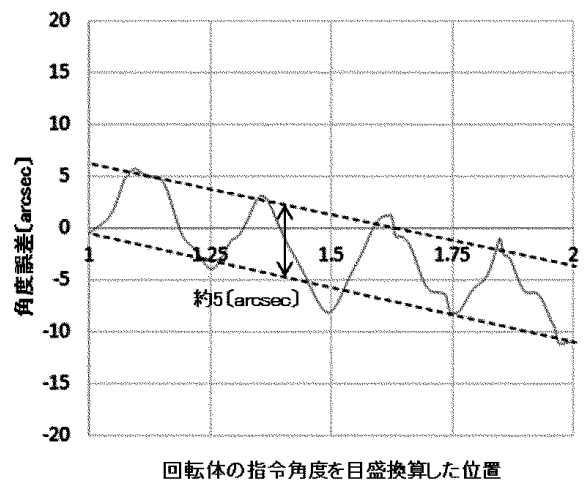
40

50

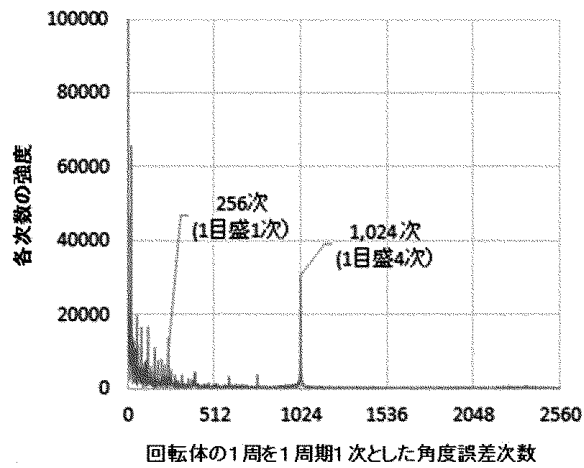
【図 7 A】



【図 7 B】



【図 7 C】



10

20

30

40

50

---

フロントページの続き

- (56)参考文献      特表 2 0 1 2 - 5 1 9 2 9 6 ( J P , A )  
                    特開昭 6 0 - 1 7 0 7 1 0 ( J P , A )  
                    特開 2 0 1 2 - 1 3 2 7 1 4 ( J P , A )  
                    特開 2 0 1 6 - 1 1 8 4 9 1 ( J P , A )  
                    特開 2 0 0 5 - 2 1 4 9 2 0 ( J P , A )  
                    米国特許第 6 4 3 3 5 3 6 ( U S , B 1 )
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)  
                    G 0 1 D      5 / 0 0 - 5 / 2 5 2  
                    G 0 1 B      7 / 0 0 - 7 / 3 4