(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号
特開2011-209000
(P2011-209000A)
(43)公開日　平成23年10月20日(2011.10.20)

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード（参考）
G01C 19/00	(2006.01)	G01C 19/00	Z	2F105

審査請求 未請求　請求項の数 7　ＯＬ　（全 22 頁）

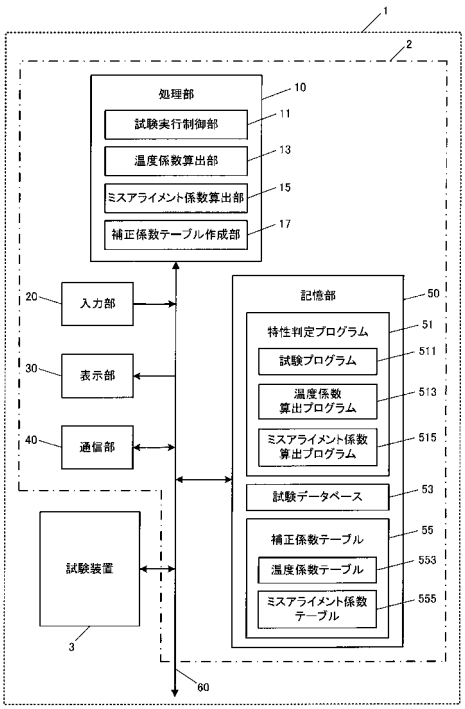
(21)出願番号　特願2010-74978(P2010-74978)
(22)出願日　平成22年3月29日(2010.3.29)

(71)出願人　000002369
セイコーエプソン株式会社
東京都新宿区西新宿２丁目４番１号
(74)代理人　100095728
弁理士　上柳　雅誉
(74)代理人　100107261
弁理士　須澤　修
(74)代理人　100127661
弁理士　宮坂　一彦
(72)発明者　丁　イメイ
長野県諏訪市大和３丁目３番５号　セイコーエプソン株式会社内
(72)発明者　工藤　昭
長野県諏訪市大和３丁目３番５号　セイコーエプソン株式会社内

Ｆターム(参考)　2F105 AA10　BB09

(54)【発明の名称】校正データ取得方法、ジャイロセンサー出力補正方法及び校正データ取得システム

(57)【要約】
【課題】ミスアライメント誤差を考慮しつつ、慣性センサーの温度特性を適切に求めるための新たな手法を提案すること。
【解決手段】試験システム１において、ジャイロセンサー５２０を具備するセンサーモジュール５の特性判定処理が行われる。すなわち、試験装置３において、絶対軸が定められた被検体固定装置３４０に、ジャイロセンサー５２０の検出軸の方向を絶対軸方向とするようにセンサーモジュール５が固定される。そして、センサーモジュール５の姿勢及び恒温槽３２０内部の温度を変化させながら、ジャイロセンサー５２０の出力値を記録するデータ取得処理が行われる。そして、記録されたジャイロセンサー５２０の出力値を用いて、補正係数算出装置２により温度依存成分の温度係数及びミスアライメント係数が補正係数として算出される。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
ジャイロセンサーの各検出軸の方向を絶対軸方向とし、各絶対軸周りそれぞれの角速度を検出するように当該ジャイロセンサーの姿勢を変化させるとともに、動作環境温度を変化させて、当該ジャイロセンサーの各検出軸の出力値を記録するデータ取得処理を行うことと、
前記出力値に基づいて前記ジャイロセンサーの温度依存特性を算出することと、
を含む校正データ取得方法。
【請求項２】
前記出力値と前記温度依存特性とを用いて、前記ジャイロセンサーのミスアライメント誤差を算出すること、
を更に含む請求項１に記載の校正データ取得方法。
【請求項３】
前記温度依存特性を算出することは、姿勢及び動作環境温度を変化させたそれぞれの場合の前記出力値を用いて、前記ジャイロセンサーの検出結果の出力値に含まれるゼロ点バイアス及びスケールファクターの温度依存特性を算出することを含む、
請求項１又は２に記載の校正データ取得方法。
【請求項４】
前記温度依存特性を算出することは、更に、前記ジャイロセンサーの検出結果の出力値に含まれる二次感度の温度依存特性を算出することを含む、
請求項３に記載の校正データ取得方法。
【請求項５】
請求項１～４の何れか一項に記載の校正データ取得方法によって取得された温度依存特性と、動作環境温度とを用いて、前記ジャイロセンサーの出力値を補正するジャイロセンサー出力補正方法。
【請求項６】
請求項２に記載の校正データ取得方法によって取得された温度依存特性と、動作環境温度と、ミスアライメント誤差とを用いて、前記ジャイロセンサーの出力値を補正するジャイロセンサー出力補正方法。
【請求項７】
ジャイロセンサーの各検出軸の方向を絶対軸方向とし、各絶対軸周りそれぞれの角速度を検出するように当該ジャイロセンサーの姿勢を変化させるとともに、動作環境温度を変化させて、当該ジャイロセンサーの各検出軸の出力値を記録するデータ取得処理部と、
前記出力値に基づいて前記ジャイロセンサーの温度依存特性を算出する温度依存特性算出部と、
を備えた校正データ取得システム。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、校正データ取得方法、ジャイロセンサー出力補正方法及び校正データ取得システムに関する。
【背景技術】
【０００２】
いわゆるシームレス測位やモーションセンシング、姿勢制御など様々な分野において、慣性センサーの活用が注目されている。慣性センサーとしては、ジャイロセンサーや加速度センサー、圧力センサー、地磁気センサーなどが広く知られている。
【０００３】
近年では、多軸の慣性センサーを搭載したセンサーモジュールが開発されている。この多軸のセンサーモジュールは、直交する複数の軸上に慣性センサーが取り付けられ、三次元空間でのセンシングを行うことができるように構成されている。しかし、センサーモジ

ュールに対する慣性センサーの取り付け姿勢が正確でないことに起因して、慣性センサーの出力に取り付け誤差や他軸感度誤差に起因するミスアライメント誤差が含まれ得ることが問題となっていた。

【０００４】

かかる問題に鑑み、例えば特許文献１には、センサーモジュールに対する加速度センサーの取り付け誤差を考慮し、加速度センサーにより検出される重力加速度の他軸感度を計算して、加速度センサーの出力値を補正する技術が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００５】

【特許文献１】特開平１０－２６７６５１号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００６】

確かに、特許文献１の技術によれば、慣性センサーの出力に含まれるミスアライメント誤差は補正できるかもしれない。しかし、慣性センサーの出力には、他の成分も含まれ得る。典型的には、ゼロ点バイアスやスケールファクターといった成分である。ゼロ点バイアスとは、定常的に付加される誤差値を意味し、スケールファクターとは、センサーの感度、すなわち計測すべき入力値の変化に対する出力値の変化の割合を意味する。

【０００７】

厄介であるのは、これらの成分が温度依存性を有することである。これらの成分が温度依存性を有しているため、慣性センサーの出力も温度依存性を有する。そのため、ミスアライメント誤差を考慮するのみでは足りず、慣性センサーの温度特性も考慮しなければ、慣性センサーの出力を正しく補正することはできない。

【０００８】

本発明は上述した課題に鑑みて為されたものであり、その目的とするところは、ミスアライメント誤差を考慮しつつ、慣性センサーの温度特性を適切に求めるための新たな手法を提案することにある。

【課題を解決するための手段】

【０００９】

以上の課題を解決するための第１の形態は、ジャイロセンサーの各検出軸の方向を絶対軸方向とし、各絶対軸周りそれぞれの角速度を検出するように当該ジャイロセンサーの姿勢を変化させるとともに、動作環境温度を変化させて、当該ジャイロセンサーの各検出軸の出力値を記録するデータ取得処理を行うことと、前記出力値に基づいて前記ジャイロセンサーの温度依存特性を算出することと、を含む校正データ取得方法である。

【００１０】

また、他の形態として、ジャイロセンサーの各検出軸の方向を絶対軸方向とし、各絶対軸周りそれぞれの角速度を検出するように当該ジャイロセンサーの姿勢を変化させるとともに、動作環境温度を変化させて、当該ジャイロセンサーの各検出軸の出力値を記録するデータ取得処理部と、前記出力値に基づいて前記ジャイロセンサーの温度依存特性を算出する温度依存特性算出部と、を備えた校正データ取得システムを構成してもよい。

【００１１】

この第１の形態等によれば、ジャイロセンサーの各検出軸の方向を絶対軸方向とし、各絶対軸周りそれぞれの角速度を検出するように当該ジャイロセンサーの姿勢を変化させるとともに、動作環境温度を変化させて、当該ジャイロセンサーの各検出軸の出力値を記録する。そして、当該出力値に基づいて前記ジャイロセンサーの温度依存特性を算出する。

【００１２】

ジャイロセンサーは、慣性センサーの一種である。絶対軸方向が定められた環境下で、ジャイロセンサーの各検出軸の方向を絶対軸方向とし、各絶対軸周りそれぞれの角速度を検出するように当該ジャイロセンサーの姿勢を変化させて各検出軸の出力値を記録するこ

とで、当該ジャイロセンサーの検出値（すなわち角速度の検出値）からミスアライメント誤差を分離可能である。また、ジャイロセンサーの動作環境温度を変化させながら出力値を計測・記録する。これにより、ジャイロセンサーの温度特性をも適切に求めることができる。

【００１３】

また、第２の形態として、第１の形態の校正データ取得方法であって、前記出力値と前記温度依存特性とを用いて、前記ジャイロセンサーのミスアライメント誤差を算出すること、を更に含む校正データ取得方法を構成してもよい。

【００１４】

この第２の形態によれば、ジャイロセンサーの各検出軸の出力値と、算出したジャイロセンサーの温度依存特性とを用いて、ジャイロセンサーのミスアライメント誤差を算出する。

【００１５】

所定の動作環境温度におけるジャイロセンサーの各検出軸の出力値と、ジャイロセンサーの温度依存特性とから、温度依存性の成分が分離された角速度を計算することができる。この温度依存性の成分が分離された角速度にはミスアライメント誤差が含まれ得るが、複数の動作環境温度における角速度を利用することで、ミスアライメント誤差を適切に求めることができる。

【００１６】

また、第３の形態として、第１又は第２の形態の校正データ取得方法であって、前記温度依存特性を算出することは、姿勢及び動作環境温度を変化させたそれぞれの場合の前記出力値を用いて、前記ジャイロセンサーの検出結果の値に含まれるゼロ点バイアス及びスケールファクターの温度依存特性を算出することを含む、校正データ取得方法を構成してもよい。

【００１７】

この第３の形態によれば、姿勢及び動作環境温度を変化させたそれぞれの場合のジャイロセンサーの出力値を用いて、ジャイロセンサーの検出結果の値に含まれるゼロ点バイアス及びスケールファクターの温度依存特性を算出することができる。

【００１８】

また、第４の形態として、第３の形態の校正データ取得方法であって、前記温度依存特性を算出することは、更に、前記ジャイロセンサーの検出結果の値に含まれる二次感度の温度依存特性を算出することを含む、校正データ取得方法を構成してもよい。

【００１９】

この第４の形態によれば、ゼロ点バイアス及びスケールファクターの温度依存特性ばかりでなく、ジャイロセンサーの検出結果の値に含まれる二次感度の温度依存特性も算出することができる。

【００２０】

また、第５の形態として、第１～第４の何れかの形態の校正データ取得方法によって取得された温度依存特性と、動作環境温度とを用いて、前記ジャイロセンサーの出力値を補正するジャイロセンサー出力補正方法を構成してもよい。

【００２１】

さらには、第６の形態として、第２の形態の校正データ取得方法によって取得された温度依存特性と、動作環境温度と、ミスアライメント誤差とを用いて、前記ジャイロセンサーの出力値を補正するジャイロセンサー出力補正方法を構成することも可能である。

【００２２】

この第５又は第６の形態によれば、上述した形態の校正データ取得方法によって取得された校正データを用いて、ジャイロセンサーの出力値を正しく補正することができる。

【図面の簡単な説明】

【００２３】

【図１】試験システムの機能構成の一例を示す図。

【図２】試験装置の機能構成の一例を示す図。
【図３】センサーモジュールの機能構成の一例を示す図。
【図４】試験データベースのデータ構成の一例を示す図。
【図５】温度係数テーブルのテーブル構成の一例を示す図。
【図６】特性判定処理の流れを示すフローチャート。
【図７】試験処理の流れを示すフローチャート。
【図８】温度係数算出処理の流れを示すフローチャート。
【図９】ミスアライメント係数算出処理の流れを示すフローチャート。
【図１０】補正出力処理の流れを示すフローチャート。
【図１１】実験結果の一例を示す図。

【発明を実施するための形態】

【００２４】

以下図面を参照して、ジャイロセンサーを具備するセンサーモジュールの試験を行ってジャイロセンサーの校正データを取得する校正データ取得システムとしての試験システムに本発明を適用した実施形態について説明する。但し、本発明を適用可能な実施形態が以下説明する実施形態に限定されるわけではないことは勿論である。

【００２５】

１．機能構成

１－１．試験システムの機能構成

図１は、本実施形態における試験システム１の機能構成の一例を示すブロック図である。試験システム１は、ジャイロセンサー５２０を搭載したモジュールの一種であるセンサーモジュール５の試験（テスト）を行って、当該センサーモジュール５の校正データを取得する校正データ取得システムの一種であり、例えば、補正係数算出装置２と、試験装置３とを備えて構成される。

【００２６】

（１）補正係数算出装置２の機能構成

補正係数算出装置２は、センサーモジュール５に搭載されたジャイロセンサー５２０の出力値を補正するための補正係数を算出する装置である。図１に示すように、補正係数算出装置２は、処理部１０と、入力部２０と、表示部３０と、通信部４０と、記憶部５０とを備えて構成され、各部がバス６０を介して接続されるコンピューターシステムである。

【００２７】

処理部１０は、記憶部５０に記憶されているシステムプログラム等の各種プログラムに従って、補正係数算出装置２の各部や試験装置３を統括的に制御する制御装置であり、ＣＰＵ（Central Processing Unit）等のプロセッサーを有して構成される。

【００２８】

主要な処理ブロックとして、処理部１０は、試験プログラム５１１に従って試験処理を行う試験実行制御部１１と、温度係数算出プログラム５１３に従って温度係数算出処理を行う温度係数算出部１３と、ミスアライメント係数算出プログラム５１５に従ってミスアライメント係数算出処理を行うミスアライメント係数算出部１５とを有する。また、温度係数算出部１３及びミスアライメント係数算出部１５により算出された温度係数及びミスアライメント係数を用いて、補正係数が格納されたテーブルである補正係数テーブル５５を作成する補正係数テーブル作成部１７を有する。

【００２９】

入力部２０は、例えばキーボードやボタンスイッチ等により構成される入力装置であり、押下されたキーやボタンの信号を処理部１０に出力する。この入力部２０の操作により、各種データの入力や、センサーモジュール５の試験開始要求等の各種指示入力がなされる。

【００３０】

表示部３０は、ＬＣＤ（Liquid Crystal Display）等により構成され、処理部１０から入力される表示信号に基づいた各種表示を行う表示装置である。表示部３０には、処理部

１０により算出されたセンサーモジュール５の補正係数等の情報が表示される。

【００３１】

通信部４０は、補正係数算出装置２が外部装置との間で有線通信又は無線通信を行うための通信装置である。この機能は、例えば、有線ケーブルを介して通信を行う有線通信モジュールや、無線ＬＡＮやスペクトラム拡散通信等を行う無線通信モジュール等により実現される。

【００３２】

記憶部５０は、ＲＯＭ（Read Only Memory）やフラッシュＲＯＭ、ＲＡＭ（Random Access Memory）等の記憶装置（メモリー）によって構成され、補正係数算出装置２のシステムプログラムや、試験機能等の各種機能を実現するための各種プログラム、各種データ等を記憶している。また、各種処理の処理中データ、処理結果などを一時的に記憶するワークエリアを有する。

【００３３】

記憶部５０には、プログラムとして、処理部１０により読み出され、特性判定処理（図６参照）として実行される特性判定プログラム５１が記憶されている。また、特性判定プログラム５１には、試験処理（図７参照）として実行される試験プログラム５１１と、温度係数算出処理（図８参照）として実行される温度係数算出プログラム５１３と、ミスアライメント係数算出処理（図９参照）として実行されるミスアライメント係数算出プログラム５１５とがサブルーチンとして含まれている。

【００３４】

特性判定処理は、センサーモジュール５の特性を判定する処理である。すなわち、処理部１０は、センサーモジュール５が固定された試験装置３を動作制御することで、ジャイロセンサー５２０の各検出軸の出力値を記録するデータ取得処理としての試験処理を行う。そして、試験装置３により取得された試験データを用いて、ジャイロセンサー５２０の補正係数を算出する処理を行う。

【００３５】

本実施形態では、温度依存性を有し、慣性センサーの出力に含まれる成分の温度係数と、ミスアライメント係数との２種類の係数を補正係数と定義する。温度依存性を有し、慣性センサーの出力に含まれる成分には、ゼロ点バイアスやスケールファクター、二次感度といったミスアライメントに依存しないパラメーターが含まれる。

【００３６】

ゼロ点バイアスとは、ジャイロセンサー５２０の出力値に定常的に付加される誤差値を意味する。スケールファクターとは、センサーの感度、すなわち計測すべき入力値の変化に対する出力値の変化の割合を意味する。また、二次感度は、計測すべき入力値の二乗値の変化に対する出力値の変化の割合を意味する。

【００３７】

ミスアライメント係数とは、ジャイロセンサー５２０の検出軸として定められた各検出軸の他の検出軸に対する感度を表す係数である。本実施形態では、ジャイロセンサー５２０の検出軸を、互いに直交するｘ軸、ｙ軸及びｚ軸の３軸とし、ジャイロセンサー５２０は各軸周りの角速度を検出するものとする。

【００３８】

この場合、ミスアライメント係数として、ｘ軸のｙ軸に対する感度を表す係数「m_{xy}」と、ｘ軸のｚ軸に対する感度を表す係数「m_{xz}」と、ｙ軸のｘ軸に対する感度を表す係数「m_{yx}」と、ｙ軸のｚ軸に対する感度を表す係数「m_{yz}」と、ｚ軸のｘ軸に対する感度を表す係数「m_{zx}」と、ｚ軸のｙ軸に対する感度を表す係数「m_{zy}」とが定義される。また、各検出軸の自身の軸に対する感度を表す係数として「$m_{xx}=m_{yy}=m_{zz}=1$」が定義される。

【００３９】

ここで、ジャイロセンサー５２０の出力モデルを定式化する。ジャイロセンサー５２０の出力値「ｐ」は、ゼロ点バイアス「ｂ」、スケールファクター「ｓ」、二次感度「ｑ」

及びミスアライメント誤差を含んで、次式（１）でモデル化される。
【数１】

$$p_t = b_t + s_t \cdot r + q_t \cdot r^2 + w$$
$$\approx b_t + s_t \cdot r + q_t \cdot r^2 \cdots (1)$$

但し、「ｗ」はホワイトノイズである。このホワイトノイズは無視できるほど小さな値であるため、本実施形態では考慮しないこととする。
【００４０】
ゼロ点バイアス「ｂ」、スケールファクター「ｓ」及び二次感度「ｑ」は、温度「ｔ」に依存する成分であり、温度「ｔ」によって値が変化する。そのため、本実施形態では、これらの成分のことを「温度依存成分」と称する。
【００４１】
温度に依存する成分であることを明確にするため、ゼロ点バイアス「ｂ」、スケールファクター「ｓ」及び二次感度「ｑ」には、それぞれ下付きの添え字「ｔ」を付している。また、式（１）の右辺には温度依存成分が含まれるため、左辺の出力値「ｐ」も温度に依存することになる。そのため、出力値「ｐ」にも下付きの添え字「ｔ」を付している。
【００４２】
各温度依存成分は、温度「ｔ」の多項式で、次式（２）～（４）で近似される。
【数２】

$$b_t = b_0 + b_1 t + b_2 t^2 + \cdots \quad \cdots (2)$$

【数３】

$$s_t = s_0 + s_1 t + s_2 t^2 + \cdots \quad \cdots (3)$$

【数４】

$$q_t = q_0 + q_1 t + q_2 t^2 + \cdots \quad \cdots (4)$$

【００４３】
式（２）における「b_0，b_1，b_2，・・・」はゼロ点バイアスの温度の次数に応じた温度係数を示している。同様に、式（３）における「s_0，s_1，s_2，・・・」はスケールファクターの温度の次数に応じた温度係数を示しており、式（４）における「q_0，q_1，q_2，・・・」は二次感度の温度の次数に応じた温度係数を示している。
【００４４】
また、式（１）において、「ｒ」はミスアライメント誤差を含むジャイロセンサー５２０の各検出軸周りの角速度の値（この角速度「ｒ」のことを「ミスアライメント誤差を含む角速度」と定義する。）を示しており、次式（５）で定式化される。
【数５】

$$r = \begin{pmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \omega_x + m_{xy}\omega_y + m_{xz}\omega_z \\ \omega_y + m_{yx}\omega_x + m_{yz}\omega_z \\ \omega_z + m_{zx}\omega_x + m_{zy}\omega_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & m_{xy} & m_{xz} \\ m_{yx} & 1 & m_{yz} \\ m_{zx} & m_{zy} & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{pmatrix}$$
$$= M \cdot G_\omega \cdots (5)$$

【００４５】
式（５）において、「r_x，r_y，r_z」は、それぞれミスアライメント誤差を含むｘ軸、ｙ軸及びｚ軸周りの角速度を示している。一方、「ω_x，ω_y，ω_z」はミスアライメント誤差を含まない各検出軸周りの角速度を示している。ミスアライメント誤差を含まないということは、ジャイロセンサー５２０の取り付け誤差や他軸感度誤差を含まない角速度

ということであり「角速度の真値」であると言える。また、「Ｍ」はミスアライメント係数を成分とするミスアライメント係数行列を示しており、「G_{ω}」は各検出軸周りの角速度の真値を成分とする角速度行列である。

【００４６】

原理については詳細後述するが、本実施形態では、試験装置３を用いてセンサーモジュール５の試験を行い、その試験データを用いて、上記のモデル式に従って補正係数を算出する。そして、算出した補正係数を格納した補正係数テーブル５５を作成し、当該補正係数テーブル５５を用いて上記の角速度の真値を求めることで、ジャイロセンサー５２０の出力値を補正することが本実施形態の目的である。

【００４７】

図１の機能ブロックの説明に戻って、記憶部５０には、データとして、試験データベース５３と、補正係数テーブル５５とが格納される。

【００４８】

図４は、試験データベース５３のデータ構成の一例を示す図である。試験データベース５３は、複数の試験データ５４（５４－１，５４－２，５４－３，・・・）が蓄積記憶されたデータベースである。試験データ５４は、試験装置３を用いて、ジャイロセンサー５２０の姿勢及び動作環境温度を変化させながら、ジャイロセンサー５２０の各検出軸の出力値が記録されたデータである。

【００４９】

各試験データ５４には、試験が行われた温度を表す試験温度５４１と、当該試験温度５４１で取得されたジャイロセンサー５２０の出力値データ５４３とが対応付けて記憶されている。また、出力値データ５４３には、ジャイロセンサー５２０が試験装置３に固定された姿勢を試験姿勢として、各試験姿勢別の出力値のデータが記憶されている。具体的には、試験姿勢となる軸方向周りの回転速度（試験装置３の回転台の回転速度）を試験回転速度として、各試験回転速度における出力値がテーブル形式に記憶されている。

【００５０】

温度係数テーブル５５３は、各温度依存成分の温度係数が格納されたテーブルであり、そのテーブル構成例を図５に示す。温度係数テーブル５５３には、ジャイロセンサー５２０の各検出軸５５３１と、当該検出軸５５３１について算出された各温度依存成分の温度係数５５３３とが対応付けて記憶されている。

【００５１】

ミスアライメント係数テーブル５５５は、ミスアライメント係数が格納されたテーブルであり、例えば式（５）のミスアライメント係数行列「Ｍ」が記憶される。

【００５２】

（２）試験装置３の機能構成

図２は、試験装置３の機能構成の一例を示すブロック図である。

試験装置３は、少なくとも鉛直方向が正確に位置決めされ（絶対軸が定められ）、鉛直方向軸周りに水平に回転可能な回転台を有する被検体固定装置３４０と、被検体固定装置３４０の回転台を水平に回転駆動させる駆動部３３０と、ヒーター装置及び冷却装置を有する温度調整部３５０と、温度センサー３６０とが恒温槽３２０内に設置されて構成されている。また、試験装置３は、試験制御装置３１０を有し、試験制御装置３１０が、温度調整部３５０及び駆動部３３０を制御することによって、任意の試験環境温度において、任意の回転負荷を被検体に与えることが可能に構成されている。

【００５３】

センサーモジュール５は、被検体固定装置３４０の回転台に定められた鉛直下方向（絶対軸正方向）をジャイロセンサー５２０の何れかの検出軸の方向とする姿勢で固定される。具体的には、ｘ軸正方向を絶対軸正方向とする姿勢（ｘ軸　正）、ｘ軸負方向を絶対軸正方向とする姿勢（ｘ軸　負）、ｙ軸正方向を絶対軸正方向とする姿勢（ｙ軸　正）、ｙ軸負方向を絶対軸正方向とする姿勢（ｙ軸　負）、ｚ軸正方向を絶対軸正方向とする姿勢（ｚ軸　正）、ｚ軸負方向を絶対軸正方向とする姿勢（ｚ軸　負）の合計６姿勢の試験を

行うため、これら６姿勢それぞれに応じた姿勢でセンサーモジュール５が固定される。
【００５４】
被検体固定装置３４０は、センサーモジュール５を上述した６姿勢の１つに固定した後、残余の何れかの姿勢に自動的に変位させることが可能な装置であってもよいし、固定した状態で手動で姿勢を変位させる（例えば、回転台の中心に任意の面を下向きにして設置可能な正立方体状の固定具の一側面にセンサーモジュール５を固定し、その固定具の回転台への取り付け向きを変化させる）等の機構を備えた装置としてもよい。
【００５５】
温度センサー３６０は、恒温槽３２０内部の温度を検出する接触式又は非接触式のセンサーであり、検出した温度を試験制御装置３１０に出力するように構成されている。
【００５６】
試験制御装置３１０は、処理部１０からの指示信号に従って、試験装置３の各部を制御する制御装置であり、ＣＰＵやＤＳＰ（Digital Signal Processor）等のプロセッサーを有して構成される。試験制御装置３１０は、被検体固定装置３４０の回転台を処理部１０から指示された回転速度で回転させるように駆動部３３０を回転制御する。また、恒温槽３２０内部の温度を処理部１０から指示された温度とするように温度調整部３５０を制御する。また、試験制御装置３１０はセンサーモジュール５と接続され、試験中のジャイロセンサー５２０の出力値を記録するよう構成されている。
【００５７】
試験の手順としては、ある１つの姿勢でセンサーモジュール５を被検体固定装置３４０に固定して、恒温槽３２０を密閉させた後、温度を変化させる。そして、温度が所定の一定温度となった段階で被検体固定装置３４０の回転台を様々な回転速度で回転させてジャイロセンサー５２０の試験を行う。試験中は、ジャイロセンサー５２０の出力値が記録される。これを、全ての温度及び全ての姿勢について行う。
【００５８】
１－２．センサーモジュールの機能構成
図３は、センサーモジュール５の機能構成の一例を示すブロック図である。センサーモジュール５は、処理部５１０と、ジャイロセンサー５２０と、温度センサー５３０と、出力部５４０と、記憶部５５０とを備えて構成されるモジュールである。
【００５９】
処理部５１０は、記憶部５５０に記憶されているシステムプログラム等の各種プログラムに従って、センサーモジュール５の各部を統括的に制御する制御装置であり、ＣＰＵやＤＳＰ等のプロセッサーを有して構成される。
【００６０】
ジャイロセンサー５２０は、直交３軸（ｘ軸，ｙ軸及びｚ軸）の各軸周りの角速度を検出可能に設計された角速度センサーであり、その検出結果を処理部５１０に出力する。ジャイロセンサー５２０は、検出方向の軸がセンサーモジュール５に対する予め定められた方向となるようにセンサーモジュール５に取り付けられる。本実施形態の試験の目的の１つが、この取り付け角度（姿勢）の誤差を判定することである。
【００６１】
温度センサー５３０は、外界の気温を検出する接触式又は非接触式のセンサーであり、検出した温度を処理部５１０に出力する。
【００６２】
出力部５４０は、処理部５１０がジャイロセンサー５２０の出力値を補正することで得られた補正出力値を外部出力するインターフェース（Ｉ／Ｆ）部である。但し、試験中においては、例えば補正係数が全てゼロに設定される等して、補正が行われずにジャイロセンサー５２０の出力値がそのまま出力される。
【００６３】
記憶部５５０は、ＲＯＭやフラッシュＲＯＭ、ＲＡＭ等の記憶装置（メモリー）によって構成され、センサーモジュール５のシステムプログラムや、ジャイロセンサー５２０の

出力値の補正出力機能等の各種機能を実現するための各種プログラム、データ等を記憶している。また、各種処理の処理中データ、処理結果などを一時的に記憶するワークエリアを有する。

【００６４】

本実施形態では、記憶部５５０には、プログラムとして、処理部５１０により読み出され、補正出力処理（図１０参照）として実行される補正出力プログラム５５１が格納されている。また、データとして、温度係数テーブル５５３及びミスアライメント係数テーブル５５５を含む補正係数テーブル５５が格納される。

【００６５】

２．原理

２－１．補正係数算出の原理

（１）温度依存成分の温度係数の算出

試験温度「ｔ」におけるジャイロセンサー５２０の各検出軸の出力値「p_t」は、式（１）に従って次式（６）で定式化される。

【数６】

$$p_t=\begin{pmatrix}p_{xt}\\p_{yt}\\p_{zt}\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}b_{xt}+s_{xt}r_{xt}+q_{xt}r_{xt}^2+w_x\\b_{yt}+s_{yt}r_{yt}+q_{yt}r_{yt}^2+w_y\\b_{zt}+s_{zt}r_{zt}+q_{zt}r_{zt}^2+w_z\end{pmatrix}\approx\begin{pmatrix}b_{xt}+s_{xt}r_{xt}+q_{xt}r_{xt}^2\\b_{yt}+s_{yt}r_{yt}+q_{yt}r_{yt}^2\\b_{zt}+s_{zt}r_{zt}+q_{zt}r_{zt}^2\end{pmatrix}\cdots(6)$$

【００６６】

説明を分かり易くするため、例えば「ｘ軸」に着目して考える。ｘ軸方向が絶対軸方向と一致するような姿勢でセンサーモジュール５を被検体固定装置３４０に固定し、絶対軸周り（ｘ軸周り）のジャイロセンサー５２０の出力値「p_{xt}」を計測する。

【００６７】

より具体的には、試験温度「ｔ」を固定して、被検体固定装置３４０の回転台を絶対軸周りに回転させる。つまり、ｙ軸及びｚ軸周りの角速度が発生しないようにジャイロセンサー５２０を回転させる。そして、ジャイロセンサー５２０のｘ軸の出力値「p_{xt}」を計測する。これにより、ミスアライメント誤差を含まないジャイロセンサーのｘ軸の出力値「p_{xt}」を得ることができる。

【００６８】

この手順を、回転台を回転させる回転速度（試験回転速度）「ｎ」を変化させながら行う。例えば、Ｍ通りの試験回転速度「ｎ１，ｎ２，ｎ３，・・・，ｎＭ」で回転台を回転させると、試験回転速度の異なるＭ個の出力値のサンプルデータ「p_{x1t}，p_{x2t}，p_{x3t}，・・・，p_{xMt}」が得られる。但し、１番目の添え字は検出軸を、２番目の添え字は試験回転速度の番号を、３番目の添え字は試験温度をそれぞれ示している。

【００６９】

一方、回転台の試験回転速度「ｎ」を用いてｘ軸周りの角速度「ω_x」を算出する。具体的には、試験回転速度「ｎ」に「２π（ｒａｄ）」を乗算することで、ｘ軸周りの角速度「$\omega_x=2\pi n$」を算出する。この角速度「ω_x」は、絶対軸周りの角速度であり、いわば絶対的な角速度である。

【００７０】

ここで、式（５）より、ミスアライメント誤差を含むｘ軸周りの角速度「r_x」は、

$r_x=\omega_x+m_{xy}\omega_y+m_{xz}\omega_z$

で表される。しかし、ｙ軸及びｚ軸周りの角速度が発生しないようにジャイロセンサー５２０を回転させるため「$\omega_y=\omega_z=0$」となり、「$r_x=\omega_x$」となる。

【００７１】

Ｍ個の試験回転速度「ｎ１，ｎ２，ｎ３，・・・，ｎＭ」それぞれについて「２π（ｒａｄ）」を乗算することで、Ｍ個の絶対的な角速度「ω_{x1t}，ω_{x2t}，ω_{x3t}，・・・，ω_{xMt}」が算出される。この場合、上記と同様に、「r_{x1t}，r_{x2t}，r_{x3t}，・・・，r_{xMt}」

＝「ω_{x1t}，ω_{x2t}，ω_{x3t}，・・・，ω_{xMt}」となる。

【００７２】

このとき、式（１）に従って、次式（７）のような連立方程式を立てることができる。

【数７】

$$\begin{pmatrix} p_{x1t} \\ p_{x2t} \\ p_{x3t} \\ \cdots \\ p_{xMt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & r_{x1t} & r_{x1t}^2 \\ 1 & r_{x2t} & r_{x2t}^2 \\ 1 & r_{x3t} & r_{x3t}^2 \\ & \cdots & \\ 1 & r_{xMt} & r_{xMt}^2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} b_{xt} \\ s_{xt} \\ q_{xt} \end{pmatrix} = G_{xt} \cdot \begin{pmatrix} b_{xt} \\ s_{xt} \\ q_{xt} \end{pmatrix} \cdots (7)$$

【００７３】

Ｍ＞３であれば、式（７）は過決定方程式となるため、例えば最小二乗法を利用して解くことができる。具体的には、次式（８）のように、試験温度「ｔ」における温度依存成分の値「b_{xt}，s_{xt}，q_{xt}」を近似的に求めることができる。

【数８】

$$\begin{pmatrix} b_{xt} \\ s_{xt} \\ q_{xt} \end{pmatrix} = \left(G_{xt}^T \cdot G_{xt}\right)^{-1} \cdot G_{xt}^T \cdot \begin{pmatrix} p_{x1t} \\ p_{x2t} \\ p_{x3t} \\ \cdots \\ p_{xMt} \end{pmatrix} \cdots (8)$$

【００７４】

Ｎ通りの試験温度「ｔ＝ｔ１，ｔ２，ｔ３，・・・，ｔＮ」で試験を行うことで、各温度依存成分それぞれについて、試験温度の異なるＮ個の温度依存成分の値を取得することができる。すなわち、Ｎ個のゼロ点バイアス「b_{xt1}，b_{xt2}，b_{xt3}，・・・，b_{xtN}」と、Ｎ個のスケールファクター「s_{xt1}，s_{xt2}，s_{xt3}，・・・，s_{xtN}」と、Ｎ個の二次感度「q_{xt1}，q_{xt2}，q_{xt3}，・・・，q_{xtN}」とを得ることができる。

【００７５】

ここで、説明を分かり易くするため、例えばゼロ点バイアス「ｂ」に着目して考える。この場合、各試験温度「ｔ＝ｔ１，ｔ２，ｔ３，・・・，ｔＮ」と、各試験温度におけるゼロ点バイアス値「b_{xt1}，b_{xt2}，b_{xt3}，・・・，b_{xtN}」とを用いて、式（２）に従ってＮ個の連立方程式を立式する。

【００７６】

「Ｎ」が十分大きければ、式（２）は過決定方程式となるため、例えば最小二乗法を利用して解くことができる。よって、ゼロ点バイアスの温度係数「b_{x0}，b_{x1}，b_{x2}，・・・」を近似的に求めることができる。但し、下付きの添え字について、１番目の添え字は検出軸を、２番目の添え字は温度の次数をそれぞれ示している。

【００７７】

同様に、スケールファクター「ｓ」及び二次感度「ｑ」についても、それぞれ式（３）及び（４）に従ってＮ個の連立方程式を立式する。そして、例えば最小二乗法を利用することで、スケールファクターの温度係数「s_{x0}，s_{x1}，s_{x2}，・・・」及び二次感度の温度係数「q_{x0}，q_{x1}，q_{x2}，・・・」をそれぞれ近似的に求めることができる。

【００７８】

分かり易いようにｘ軸に着目して各温度依存成分の温度係数を算出したが、ｙ軸及びｚ軸についても同様の手順により、各温度依存成分の温度係数を算出することができる。

【００７９】

（２）ミスアライメント係数の算出

最初に、ある試験温度「ｔ」に試験温度を固定する。この場合、当該試験温度「ｔ」における各温度依存成分の温度係数を用いて、次式（９）～（１１）に従って当該試験温度「ｔ」における各温度依存成分の値「（b_t，s_t，q_t）」を算出することができる。

【数９】

$$b_t=\begin{pmatrix}b_{xt}\\b_{yt}\\b_{zt}\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}b_{x0}+b_{x1}t+b_{x2}t^2\\b_{y0}+b_{y1}t+b_{y2}t^2\\b_{z0}+b_{z1}t+b_{z2}t^2\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}b_{x0}&b_{y0}&b_{z0}\\b_{x1}&b_{y1}&b_{z1}\\b_{x2}&b_{y2}&b_{z2}\end{pmatrix}^T\cdot(1\quad t\quad t^2)^T\cdots(9)$$

【数１０】

$$s_t=\begin{pmatrix}s_{xt}\\s_{yt}\\s_{zt}\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}s_{x0}+s_{x1}t+s_{x2}t^2\\s_{y0}+s_{y1}t+s_{y2}t^2\\s_{z0}+s_{z1}t+s_{z2}t^2\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}s_{x0}&s_{y0}&s_{z0}\\s_{x1}&s_{y1}&s_{z1}\\s_{x2}&s_{y2}&s_{z2}\end{pmatrix}^T\cdot\left(1\quad t\quad t^2\right)^T\cdots(10)$$

【数１１】

$$q_t=\begin{pmatrix}q_{xt}\\q_{yt}\\q_{zt}\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}q_{x0}+q_{x1}t+q_{x2}t^2\\q_{y0}+q_{y1}t+q_{y2}t^2\\q_{z0}+q_{z1}t+q_{z2}t^2\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}q_{x0}&q_{y0}&q_{z0}\\q_{x1}&q_{y1}&q_{z1}\\q_{x2}&q_{y2}&q_{z2}\end{pmatrix}^T\cdot\left(1\quad t\quad t^2\right)^T\cdots(11)$$

【００８０】

次に、ミスアライメント誤差を含む角速度「ｒ」を算出する。説明を簡単にするため、ｘ軸を絶対軸と一致させた場合に着目して考える。ジャイロセンサー５２０を、ｘ軸正方向を絶対軸正方向とする姿勢（ｘ軸　正）で固定した場合と、ｘ軸負方向を絶対軸正方向とする姿勢（ｘ軸　負）で固定した場合とのそれぞれについて、ジャイロセンサー５２０の出力値を計測し、その平均値を計算する。正反対の姿勢で計測した出力値の平均をとるのは、地球の自転に起因する出力値の誤差を排斥するためである。

【００８１】

また、各々の姿勢（ｘ軸　正，ｘ軸　負）で固定した場合について、正の角速度を検出する方向と、負の角速度を検出する方向とのそれぞれの方向に回転台を回転させて、ジャイロセンサー５２０の出力値をそれぞれ計測する。回転台の回転方向を変化させて出力値を計測するのは、温度依存成分に含まれるスケールファクターの値「s_t」を正しく求めるためである。式（１）からわかるように、スケールファクター「s_t」は、ミスアライメント誤差を含む角速度「ｒ」の一次の成分である。そのため、角速度の変化に対するスケールファクターの変化、換言すると、スケールファクターの角速度特性を求めるためには、正負の両方の角速度を考慮する必要がある。

【００８２】

さらに、各々の姿勢（ｘ軸　正，ｘ軸　負）で固定した場合について、ジャイロセンサー５２０の向きが東西南北それぞれの向きとなるように回転台に対するジャイロセンサー５２０の設置向きを変化させ、それぞれの設置向きで計測された出力値の平均値を計算する。設置向きを変えて計測した出力値の平均をとるのは、回転台の傾きに起因する出力値の誤差を排斥するためである。

【００８３】

なお、このように回転台に対するジャイロセンサー５２０の設置向きを変化させる処理は、静止状態（角速度＝０）でのジャイロセンサー５２０の出力値を計測する場合のみ行い、回転状態（角速度≠０）でのジャイロセンサー５２０の出力値を計測する場合は行わなくてもよい。回転状態（角速度≠０）では、回転台の回転によりジャイロセンサー５２

０の向きが変化するため、回転期間中の出力を平均すれば、同様に回転台の傾きに起因する出力値の誤差を排斥できる。

【００８４】

このような条件で計測した出力値の平均値を計算したら、この平均値を「p_{xt}」として、先に算出しておいた試験温度「ｔ」における各温度依存成分の値「（b_{xt}，s_{xt}，q_{xt}）」を用いて、式（１）に従ってミスアライメント誤差を含むｘ軸周りの角速度「r_x」を逆算する。

【００８５】

なお、ここではｘ軸を絶対軸と一致させた場合に着目して説明したが、ｙ軸及びｚ軸を絶対軸と一致させた場合についても同様に、ジャイロセンサー５２０の姿勢、回転方向及び設置向きを変化させながら出力値を計測し、上記の手順で、ミスアライメント誤差を含むｙ軸及びｚ軸周りの角速度「r_y」及び「r_z」を逆算する。

【００８６】

さて、その一方で、ミスアライメント誤差を含む角速度「ｒ」は、回転台の回転速度及び回転方向を用いて、次のように表すことができる。すなわち、ｘ軸を絶対軸と一致させるようにジャイロセンサー５２０を固定した場合について、正の角速度を検出する方向へ回転台を回転させた場合のミスアライメント誤差を含む角速度「（r_{xt}，r_{yt}，r_{zt}）」は、回転台の回転速度「ｎ」から求められる正の角速度「$\omega = 2\pi n$」を用いて、「（r_{xt}，r_{yt}，r_{zt}）＝（ω，$m_{yx}\omega$，$m_{zx}\omega$）」で表すことができる。

【００８７】

同様に、負の角速度を検出する方向へ回転台を回転させた場合のミスアライメント誤差を含む角速度「（r_{xt}，r_{yt}，r_{zt}）」は、負の角速度「－ω」を用いて、「（r_{xt}，r_{yt}，r_{zt}）＝（$-\omega$，$-m_{yx}\omega$，$-m_{zx}\omega$）」で表すことができる。

【００８８】

なお、ｙ軸及びｚ軸を絶対軸と一致させるようにジャイロセンサー５２０を固定した場合についても同様に、正負の角速度「ω」及び「－ω」を用いて、ミスアライメント誤差を含む角速度「（r_{xt}，r_{yt}，r_{zt}）」を表現することができる。

【００８９】

この場合、複数の試験回転速度「ｎ＝ｎ１，ｎ２，・・・」について角速度「ω＝ω１，ω２，・・・」をそれぞれ算出し、式（５）に従って連立方程式を立てると、次式（１２）が導かれる。

【数１２】

$$\begin{pmatrix} r_{x1t} & r_{y1t} & r_{z1t} \\ r_{x2t} & r_{y2t} & r_{z2t} \\ r_{x3t} & r_{y3t} & r_{z3t} \\ r_{x4t} & r_{y4t} & r_{z4t} \\ r_{x5t} & r_{y5t} & r_{z5t} \\ r_{x6t} & r_{y6t} & r_{z6t} \\ r_{x7t} & r_{y7t} & r_{z7t} \\ r_{x8t} & r_{y8t} & r_{z8t} \\ r_{x9t} & r_{y9t} & r_{z9t} \\ r_{x10t} & r_{y10t} & r_{z10t} \\ r_{x11t} & r_{y11t} & r_{z11t} \\ r_{x12t} & r_{y12t} & r_{z12t} \\ \cdots & & \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \omega 1 & 0 & 0 \\ -\omega 1 & 0 & 0 \\ 0 & \omega 1 & 0 \\ 0 & -\omega 1 & 0 \\ 0 & 0 & \omega 1 \\ 0 & 0 & -\omega 1 \\ \omega 2 & 0 & 0 \\ -\omega 2 & 0 & 0 \\ 0 & \omega 2 & 0 \\ 0 & -\omega 2 & 0 \\ 0 & 0 & \omega 2 \\ 0 & 0 & -\omega 2 \\ & \cdots & \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & m_{yx} & m_{zx} \\ m_{xy} & 1 & m_{zx} \\ m_{xz} & m_{yz} & 1 \end{pmatrix}$$

$$= G_\omega \cdot M \cdots (12)$$

【００９０】

最終的に、角速度「ω」と、ミスアライメント誤差を含む角速度「ｒ」とを用いて、ミスアライメント係数行列「Ｍ」を、次式（１３）のように近似的に求めることができる。

【数１３】

$$M^T = \left(G_\omega^T \cdot G_\omega\right)^{-1} \cdot G_\omega^T \cdot \begin{pmatrix} r_{x1t} & r_{y1t} & r_{z1t} \\ r_{x2t} & r_{y2t} & r_{z2t} \\ r_{x3t} & r_{y3t} & r_{z3t} \\ r_{x4t} & r_{y4t} & r_{z4t} \\ r_{x5t} & r_{y5t} & r_{z5t} \\ r_{x6t} & r_{y6t} & r_{z6t} \\ r_{x7t} & r_{y7t} & r_{z7t} \\ r_{x8t} & r_{y8t} & r_{z8t} \\ r_{x9t} & r_{y9t} & r_{z9t} \\ r_{x10t} & r_{y10t} & r_{z10t} \\ r_{x11t} & r_{y11t} & r_{z11t} \\ r_{x12t} & r_{y12t} & r_{z12t} \\ & \cdots & \end{pmatrix} \cdots (13)$$

【００９１】

２－２．ジャイロセンサー５２０の出力値の補正

次に、ジャイロセンサー５２０の出力値の補正の原理について説明する。センサーモジュール５において、記憶部５０に記憶された温度係数テーブル５５３を参照して、温度センサー５３０の検出温度「ｔｄ」に対応する各温度依存成分の温度係数を読み出す。そして、式（９）～（１１）に従って、検出温度「ｔｄ」における各温度依存成分の値「（b_{td}，s_{td}，q_{td}）」を算出する。

【００９２】

次いで、検出温度「ｔｄ」におけるジャイロセンサー５２０の出力値「p_{td}」と、検出温度「ｔｄ」における各温度依存成分の値「（b_{td}，s_{td}，q_{td}）」とを用いて、式（１）に従ってミスアライメント誤差を含む各検出軸周りの角速度「ｒ」を逆算する。

【００９３】

そして、算出したミスアライメント誤差を含む角速度「ｒ」と、記憶部５０のミスアライメント係数テーブル５５５に格納されているミスアライメント係数行列「Ｍ」とを用いて、式（５）に従って角速度の真値「ω」を算出し、補正出力値として出力する。

【００９４】

３．処理の流れ

３－１．補正係数算出装置２の処理

図６は、記憶部５０に記憶されている特性判定プログラム５１が処理部１０により読み出されて実行されることで、補正係数算出装置２において実行される特性判定処理の流れを示すフローチャートである。

【００９５】

最初に、試験実行制御部１１は、記憶部５０に記憶されている試験プログラム５１１を読み出して実行することで、試験処理を行う（ステップＡ１）。その後、温度係数算出部１３は、記憶部５０に記憶されている温度係数算出プログラム５１３を読み出して実行することで、温度係数算出処理を行う（ステップＡ３）。

【００９６】

次いで、ミスアライメント係数算出部１５が、記憶部５０に記憶されているミスアライメント係数算出プログラム５１５を読み出して実行することで、ミスアライメント係数算出処理を行う（ステップＡ５）。そして、特性判定処理を終了する。以下、ステップＡ１～Ａ５の各処理についてフローチャートを用いて説明する。

【００９７】

図７は、試験処理の流れを示すフローチャートである。

先ず、試験実行制御部１１は、センサーモジュール５の初期試験姿勢を設定する（ステップＢ１）。例えば、ジャイロセンサー５２０のｘ軸正方向が絶対軸正方向と一致するような姿勢（ｘ軸　正）でセンサーモジュール５を被検体固定装置３４０に固定させる。そして、試験実行制御部１１は、予め定められた各試験温度それぞれについて、ループＡの処理を実行する（ステップＢ３～Ｂ１３）。

【００９８】

ループＡの処理では、試験実行制御部１１は、予め定められた各試験回転速度それぞれについて、ループＢの処理を実行する（ステップＢ５～Ｂ１１）。具体的には、当該試験回転速度で被検体固定装置３４０の回転台を回転制御する（ステップＢ７）。すなわち、当該試験回転速度で回転台を回転させるための回転速度指示信号を駆動部３３０に出力するように、試験制御装置３１０を指示制御する。

【００９９】

次いで、試験実行制御部１１は、試験制御装置３１０から試験データ５４を取得し、記憶部５０の試験データベース５３に記憶させる（ステップＢ９）。そして、試験実行制御部１１は、次の試験回転速度へと処理を移行する。予め定められた全ての試験回転速度についてステップＢ７及びＢ９の処理を行った後、試験実行制御部１１は、ループＢの処理を終了する（ステップＢ１１）。

【０１００】

その後、試験実行制御部１１は、次の試験温度へと処理を移行する。そして、予め定められた全ての試験温度についてステップＢ５～Ｂ１１の処理を行った後、試験実行制御部１１は、ループＡの処理を終了する（ステップＢ１３）。

【０１０１】

次いで、試験実行制御部１１は、予め定められた全ての試験姿勢（例えば６姿勢）についてセンサーモジュール５の試験が終了したか否かを判定し（ステップＢ１５）、まだ終了していないと判定した場合は（ステップＢ１５；Ｎｏ）、試験姿勢を変更する制御を行

う（ステップＢ１７）。すなわち、センサーモジュール５の姿勢を自動的に変位させることが可能である場合には試験姿勢を変化させるように試験制御装置３１０を指示制御する。また、手動で変化させる場合には、センサーモジュール５の姿勢を変える設定を行う。

【０１０２】

一方、全ての試験姿勢について試験が終了したと判定した場合は（ステップＢ１５；Ｙｅｓ）、試験実行制御部１１は、試験処理を終了する。

【０１０３】

図８は、温度係数算出処理の流れを示すフローチャートである。

先ず、温度係数算出部１３は、各試験温度それぞれについて、ループＣの処理を実行する（ステップＣ１～Ｃ９）。

【０１０４】

ループＣの処理では、温度係数算出部１３は、当該試験温度「ｔ」について、各試験回転速度「ｎ」それぞれについてのジャイロセンサー５２０の出力値「p_t」のサンプルデータを、試験データベース５３から読み出す（ステップＣ３）。

【０１０５】

また、温度係数算出部１３は、当該試験温度「ｔ」について、各試験回転速度「ｎ」それぞれに「２π（ｒａｄ）」を乗算することで絶対軸周りの角速度「ω＝２πｎ」を算出して、ミスアライメント誤差を含む角速度「ｒ」のサンプルデータを取得する（ステップＣ５）。なお、上述したように、この場合は「ω＝ｒ」となる。

【０１０６】

そして、温度係数算出部１３は、出力値「p_t」のサンプルデータと、角速度「ω」とを用いて、当該試験温度における各温度依存成分の値「（b_t，s_t，q_t）」を、例えば最小二乗法を利用して算出する（ステップＣ７）。

【０１０７】

そして、温度係数算出部１３は、次の試験温度へと処理を移行する。全ての試験温度についてステップＣ３～Ｃ７の処理を行った後、温度係数算出部１３は、ループＣの処理を終了する（ステップＣ９）。

【０１０８】

その後、温度係数算出部１３は、各試験温度と、各試験温度における各温度依存成分の値とを用いて、各温度依存成分の温度係数を、例えば最小二乗法を利用して算出する（ステップＣ１１）。そして、温度係数算出部１３は、温度係数算出処理を終了する。

【０１０９】

図９は、ミスアライメント係数算出処理の流れを示すフローチャートである。

先ず、ミスアライメント係数算出部１５は、試験温度を選択する（ステップＤ１）。すなわち、複数の試験温度の中から試験温度を任意に１つ選択する。

【０１１０】

次いで、ミスアライメント係数算出部１５は、ステップＤ１で選択した試験温度「ｔ」と、温度係数算出処理で算出した各温度依存成分の温度係数とを用いて、各温度依存成分の値「（b_t，s_t，q_t）」を算出する（ステップＤ３）。

【０１１１】

次いで、ミスアライメント係数算出部１５は、各試験回転速度それぞれについて、ループＤの処理を実行する（ステップＤ５～Ｄ９）。ループＤの処理では、ミスアライメント係数算出部１５は、ステップＤ３で算出した各温度依存成分の値「（b_t，s_t，q_t）」と、当該試験回転速度におけるセンサーモジュール５の出力値の平均値「p_t」とを用いて、式（１）に従ってミスアライメント誤差を含む角速度「ｒ」を逆算する（ステップＤ７）。

【０１１２】

そして、ミスアライメント係数算出部１５は、次の試験回転速度へと処理を移行する。全ての試験回転速度についてステップＤ７の処理を行った後、ミスアライメント係数算出部１５は、ループＤの処理を終了する（ステップＤ９）。

【０１１３】
次いで、ミスアライメント係数算出部１５は、各試験回転速度「ｎ」から求められる角速度「ω＝２πｎ」と、ステップＤ７で算出したミスアライメント誤差を含む角速度「ｒ」とを用いて、例えば最小二乗法によりミスアライメント係数を算出する（ステップＤ１１）。そして、ミスアライメント係数算出部１５は、ミスアライメント係数算出処理を終了する。
【０１１４】
特性判定処理が終了すると、補正係数テーブル作成部１７は、温度係数算出処理で算出された各温度依存成分の温度係数を検出軸別に対応付けて格納した温度係数テーブル５５３を作成する。また、ミスアライメント係数算出処理で算出されたミスアライメント係数行列を格納したミスアライメント係数テーブル５５５を作成する。そして、これらのテーブルを補正係数テーブル５５として記憶部５０に記憶させる。
【０１１５】
補正係数テーブル作成部１７により作成された補正係数テーブル５５は、センサーモジュール５に搭載される。すなわち、試験システム１において、センサーモジュール５の試験及び特性判定が終了すると、当該センサーモジュール５について作成された補正係数テーブル５５が、当該センサーモジュール５の記憶部５５０に書き込まれる。センサーモジュール５は、その後製品として出荷されることになる。
【０１１６】
３－２．センサーモジュール５の処理
図１０は、記憶部５５０に記憶されている補正出力プログラム５５１が処理部５１０により読み出されて実行されることで、センサーモジュール５において実行される補正出力処理の流れを示すフローチャートである。
【０１１７】
先ず、処理部５１０は、記憶部５５０に記憶されている補正係数テーブル５５の温度係数テーブル５５３から、各温度依存成分の温度係数を読み出す（ステップＥ１）。また、処理部５１０は、補正係数テーブル５５のミスアライメント係数テーブル５５５からミスアライメント係数行列を読み出す（ステップＥ３）。
【０１１８】
次いで、処理部５１０は、温度センサー５３０の検出温度「ｔｄ」と、ステップＥ１で読み出した各温度依存成分の温度係数とを用いて、各温度依存成分の値「（b_{td}，s_{td}，q_{td}）」を算出する（ステップＥ５）。
【０１１９】
そして、処理部５１０は、ジャイロセンサー５２０の出力値「p_{td}」と、ステップＥ５で算出した各温度依存成分の値「（b_{td}，s_{td}，q_{td}）」とを用いて、ミスアライメント誤差を含む角速度「ｒ」を逆算する（ステップＥ７）。
【０１２０】
そして、処理部５１０は、ミスアライメント誤差を含む角速度「ｒ」及びミスアライメント係数行列を用いて、ミスアライメント誤差を補正し（ステップＥ９）、その補正出力値「ω」を出力部５４０から出力させる（ステップＥ１１）。これら一連の処理を行った後、処理部５１０は、補正出力処理を終了する。
【０１２１】
４．実験結果
図１１は、センサーモジュール５の出力値を補正なしと補正ありの場合とで対比した実験結果の一例を示す図である。ｚ軸周りにセンサーモジュール５を回転させた場合におけるｘ軸の軸周りの角速度を検出する実験を行った。ｘ軸の軸周りの角速度には、ゼロ点バイアスやスケールファクター、二次感度等による温度依存成分と、センサーの取り付け誤差に起因するミスアライメント誤差とが含まれ得る。
【０１２２】
図１１において、横軸は温度を示している。また、黒のダイヤマークで示したプロット

は補正なしの出力値を示しており、×マークで示したプロットは温度依存成分のみを補正した場合の補正出力値を示している。また、＊マークで示したプロットは、本実施形態の手法に従って温度依存成分及びミスアライメント誤差を補正した補正出力値を示している。単位は「ｄｐｓ（degree per second）」である。ｚ軸周りにセンサーモジュール５を回転させた場合であるため、理想的にはｘ軸の軸周りの角速度は「０」である。そのため、縦軸はセンサーの出力誤差を表していると言える。

【０１２３】

具体的な実験の手順としては、温度を室温である２５℃から８５℃まで徐々に上昇させた後、－３５℃まで徐々に低下させ、その後、再び室温である２５℃まで上昇させた。そして、これらの一連の温度変化におけるセンサーモジュール５の出力値の計測及び出力値の補正を行った。

【０１２４】

この実験結果を見ると、補正なしの出力値は、高温になるほど理想値である「０」に近付く傾向があるものの、「０」よりも大きな値で推移している。次に、温度依存成分のみを補正した補正出力値を見ると、全体的に「０」の方向に値がシフトしており、補正なしの場合と比べて出力誤差が約５０％低減されていることがわかった。

【０１２５】

一方、本実施形態の手法を用いて温度依存成分及びミスアライメント誤差を補正した補正出力値を見ると、全ての温度を通じて値がほぼ「０」となっていることがわかる。温度依存成分のみを補正した補正出力値と比べると、出力誤差はさらに５０％低減されていることがわかった。全温度を通じて出力誤差は０．１ｄｐｓ以下に収まっており、本実施形態の手法の有効性が実証された。

【０１２６】

５．作用効果

本実施形態によれば、試験システム１において、ジャイロセンサー５２０を具備するセンサーモジュール５の特性判定処理が行われる。すなわち、試験装置３において、絶対軸が定められた被検体固定装置３４０に、ジャイロセンサー５２０の検出軸の方向を絶対軸方向とするようにセンサーモジュール５が固定される。そして、センサーモジュール５の姿勢及び恒温槽３２０内部の温度を変化させながら、ジャイロセンサー５２０の出力値を記録するデータ取得処理が行われる。そして、記録されたジャイロセンサー５２０の出力値を用いて、補正係数算出装置２により温度依存成分の温度係数及びミスアライメント係数が補正係数として算出される。

【０１２７】

ジャイロセンサー５２０は、慣性センサーの一種である。絶対軸方向が定められた試験装置３において、ジャイロセンサー５２０の各検出軸が絶対軸方向と一致するようにセンサーモジュール５を固定し、絶対軸周りにセンサーモジュール５を回転させることで、ミスアライメント誤差を含まない出力値を取得できる。さらに、恒温槽３２０内部の温度を変化させて、複数の試験温度でジャイロセンサー５２０を動作させる。そして、ジャイロセンサー５２０の各検出軸の出力値「ｐ」と、絶対軸周りの角速度「ω」とを利用した近似計算を行うことで、温度依存成分の温度係数を適切に算出することができる。

【０１２８】

また、所定の試験温度と、温度依存成分の温度係数とから、当該試験温度における温度依存成分の値「（ｂ，ｓ，ｑ）」を算出することができる。そして、当該試験温度におけるジャイロセンサー５２０の各検出軸の出力値「ｐ」と、当該試験温度における温度依存成分の値「（ｂ，ｓ，ｑ）」とを用いることで、温度依存性の誤差を分離したミスアライメント誤差を含む角速度「ｒ」を逆算することができる。そして、ミスアライメント誤差を含む角速度「ｒ」と、絶対軸周りの角速度「ω」とを利用した近似計算を行うことで、ミスアライメント係数を適切に算出することができる。

【０１２９】

ｘ軸、ｙ軸、ｚ軸の各検出軸のうちの１軸のみを絶対軸方向と一致させ、回転させて出

力値を取得すると、その軸に取り付けられたジャイロセンサーの温度係数を求めることができるが、ミスアライメント係数としては、一部分しか求められない。ｘ軸、ｙ軸、ｚ軸の各検出軸を絶対軸方向と一致させ、各検出軸それぞれの角速度を検出することによって、各軸の温度係数および３軸ミスアライメントのすべての係数（３×３行列）を求めることができる。

【０１３０】

６．適用例

上述したセンサーモジュール５は、各種の電子機器に搭載して利用することができる。また、センサーモジュール５を電子機器に搭載するのではなく、ジャイロセンサー５２０を電子機器或いは電子機器内の基板上に搭載することとしてもよい。この場合は、センサーモジュール５に対して試験処理（図７）を含む特性判定処理を行うのではなく、ジャイロセンサー５２０を搭載した状態の電子機器に対して処理を行うこととする。この際の試験環境温度は、その電子機器の動作温度仕様に応じて定めればより好適である。

【０１３１】

また、図１０の補正出力処理は、センサーモジュール５の処理部が行うのではなく、電子機器のプロセッサーが行うこととする。すなわち、温度センサーを電子機器に搭載させておき、電子機器のプロセッサーが、ジャイロセンサー５２０から出力される角速度の出力値を補正する処理を行う。

【０１３２】

電子機器の具体例としては、例えば携帯型ナビゲーション装置やデジタルカメラが挙げられる。携帯型ナビゲーション装置に適用する場合は、角速度の出力補正値は、例えば位置算出に利用される。この場合は、ジャイロセンサーの他に、加速度センサーを携帯型ナビゲーション装置に搭載させればより好適である。なお、ジャイロセンサー及び加速度センサーを具備するセンサーモジュールとして、ＩＭＵ（Inertial Measurement Unit）を搭載させることとしてもよい。

【０１３３】

携帯型ナビゲーション装置は、ジャイロセンサーの角速度の出力補正値と、加速度センサーの加速度の出力値とを用いて、慣性航法演算処理を行って位置を算出する。具体的には、角速度の出力補正値を積分することで移動方向を算出するとともに、加速度の出力値を積分することで移動速度を算出する。そして、算出した移動速度及び移動方向でなる移動速度ベクトルを用いて、携帯型ナビゲーション装置の位置を随時算出する処理を行う。

【０１３４】

なお、携帯型ナビゲーション装置が、ＧＰＳ（Global Positioning System）等の衛星測位システムを利用した位置算出も併せて行うこととしてもよい。この場合は、衛星測位システムを利用して算出した絶対的な位置（絶対位置）と、慣性航法演算処理で算出した相対的な位置（相対位置）とを用いて、最終的な出力位置を決定するようにすれば好適である。

【０１３５】

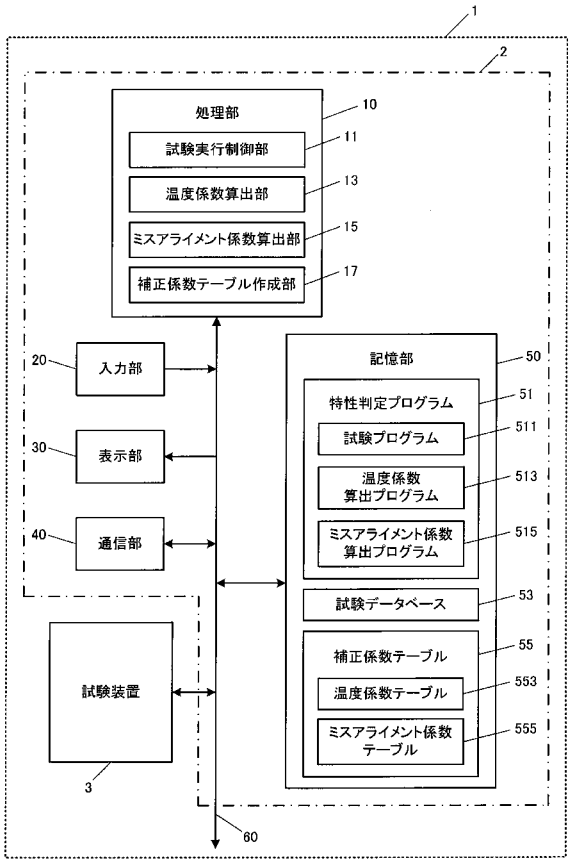
デジタルカメラに適用する場合は、角速度の出力補正値は、例えば、レンズシフト方式やイメージセンサーシフト方式、レンズユニットスイング方式などの光学式の手ぶれ補正に利用することができる。

【符号の説明】

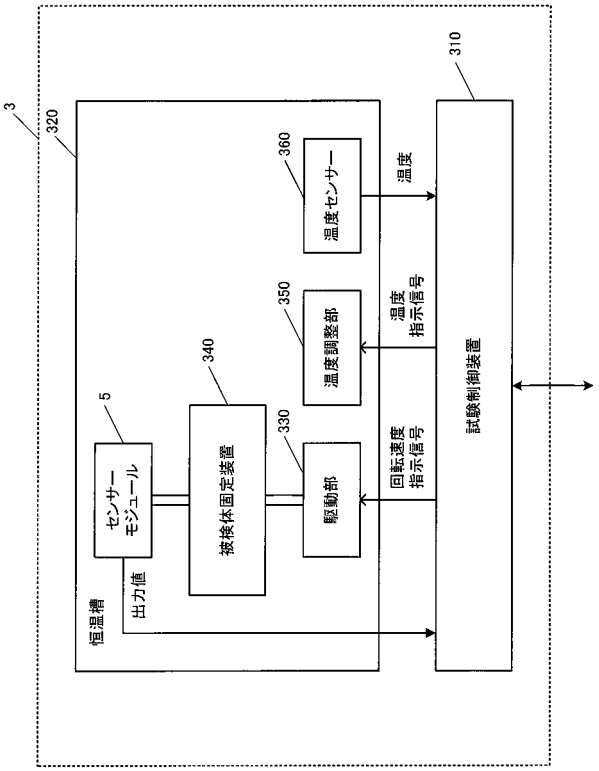
【０１３６】

１　試験システム、　２　補正係数算出装置、　３　試験装置、　５　センサーモジュール、　２０　入力部、　３０　表示部、　４０　通信部、　５０　記憶部、　６０　バス、　３１０　試験制御装置、　３２０　恒温槽、　３３０　駆動部、　３４０　被検体固定装置、　３５０　温度調整部、　３６０　温度センサー、　５１０　処理部、　５２０　ジャイロセンサー、　５３０　温度センサー、　５４０　出力部、　５５０　記憶部

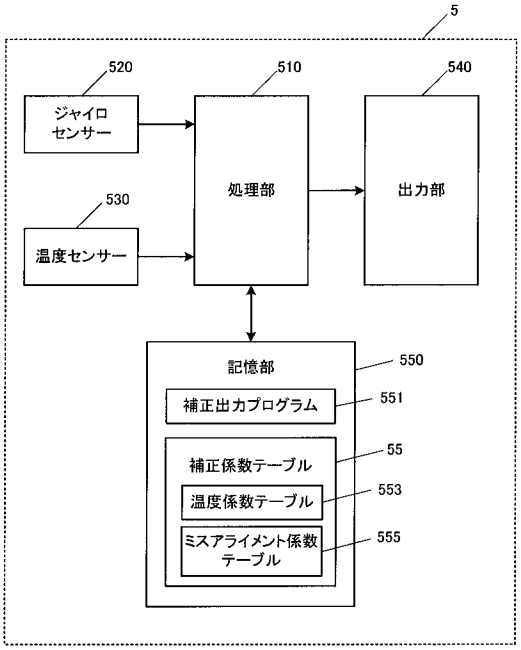
【図１】


1
2
処理部
10
試験実行制御部
11
温度係数算出部
13
ミスアライメント係数算出部
15
補正係数テーブル作成部
17
入力部
20
表示部
30
通信部
40
記憶部
50
特性判定プログラム
51
試験プログラム
511
温度係数算出プログラム
513
ミスアライメント係数算出プログラム
515
試験データベース
53
補正係数テーブル
55
温度係数テーブル
553
ミスアライメント係数テーブル
555
試験装置
3
60

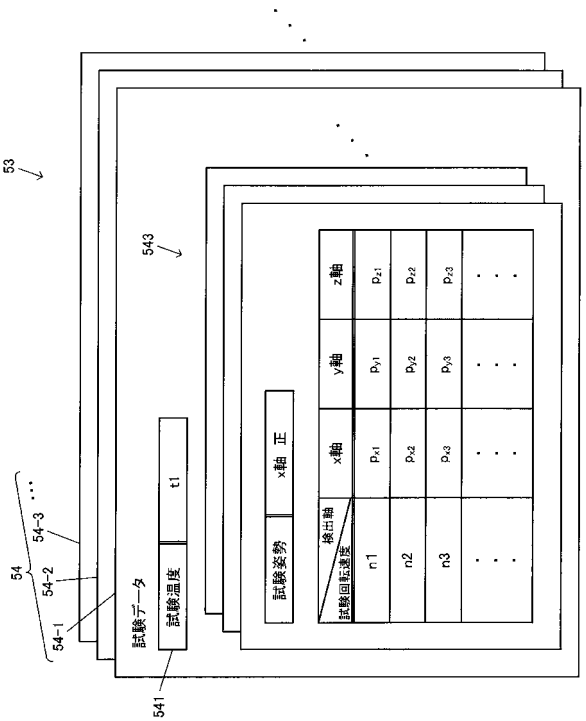
【図２】


3
320
310
360
温度センサー
温度
350
温度調整部
温度指示信号
340
5
センサーモジュール
被検体固定装置
330
駆動部
回転速度指示信号
試験制御装置
出力値
恒温槽

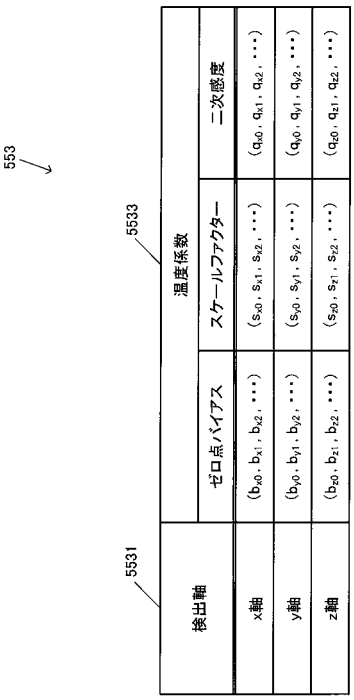
【図３】


5
520
ジャイロセンサー
510
処理部
540
出力部
530
温度センサー
記憶部
550
補正出力プログラム
551
補正係数テーブル
55
温度係数テーブル
553
ミスアライメント係数テーブル
555

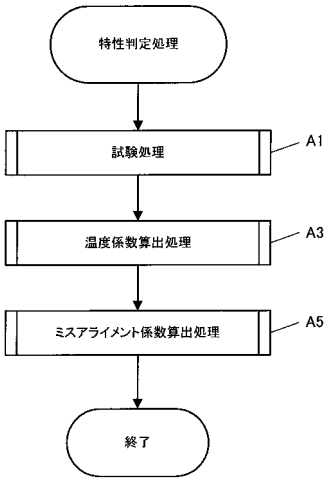
【図４】


53
543
試験姿勢
x軸 正
検出軸
試験回転速度
x軸
y軸
z軸
n1
n2
n3
54
54-3
54-2
54-1
試験データ
試験温度
t1
541

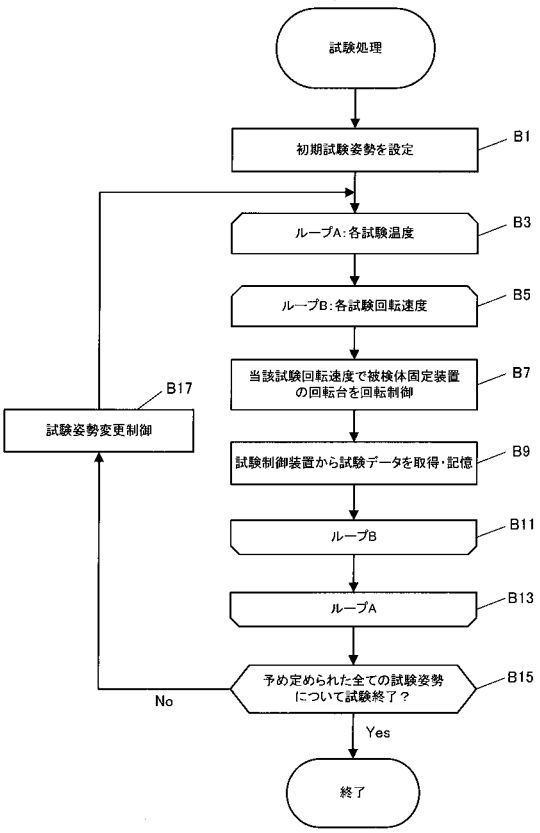
【図５】


553
5533
5531
温度係数
ゼロ点バイアス
スケールファクター
二次感度
検出軸
x軸
y軸
z軸
$(b_{x0}, b_{x1}, b_{x2}, \cdots)$
$(s_{x0}, s_{x1}, s_{x2}, \cdots)$
$(q_{x0}, q_{x1}, q_{x2}, \cdots)$
$(b_{y0}, b_{y1}, b_{y2}, \cdots)$
$(s_{y0}, s_{y1}, s_{y2}, \cdots)$
$(q_{y0}, q_{y1}, q_{y2}, \cdots)$
$(b_{z0}, b_{z1}, b_{z2}, \cdots)$
$(s_{z0}, s_{z1}, s_{z2}, \cdots)$
$(q_{z0}, q_{z1}, q_{z2}, \cdots)$

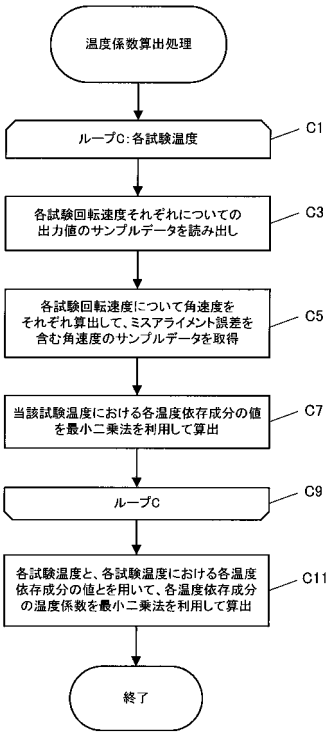
【図６】


特性判定処理
試験処理
A1
温度係数算出処理
A3
ミスアライメント係数算出処理
A5
終了

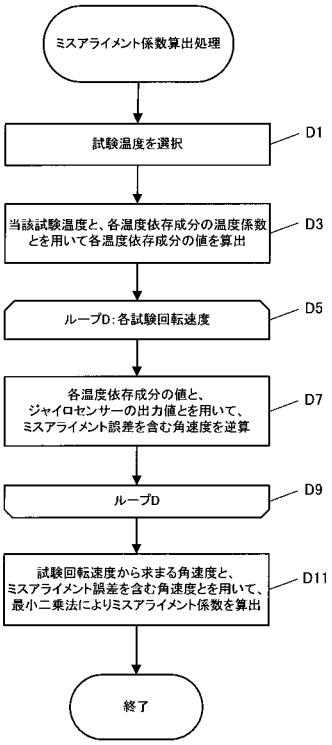
【図７】


試験処理
初期試験姿勢を設定
B1
ループA:各試験温度
B3
ループB:各試験回転速度
B5
当該試験回転速度で被検体固定装置の回転台を回転制御
B7
試験制御装置から試験データを取得・記憶
B9
ループB
B11
ループA
B13
予め定められた全ての試験姿勢について試験終了？
B15
No
Yes
試験姿勢変更制御
B17
終了

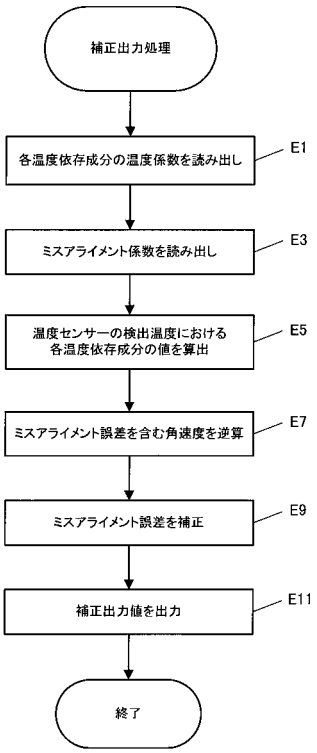
【図８】


温度係数算出処理
ループC:各試験温度
C1
各試験回転速度それぞれについての出力値のサンプルデータを読み出し
C3
各試験回転速度について角速度をそれぞれ算出して、ミスアライメント誤差を含む角速度のサンプルデータを取得
C5
当該試験温度における各温度依存成分の値を最小二乗法を利用して算出
C7
ループC
C9
各試験温度と、各試験温度における各温度依存成分の値とを用いて、各温度依存成分の温度係数を最小二乗法を利用して算出
C11
終了

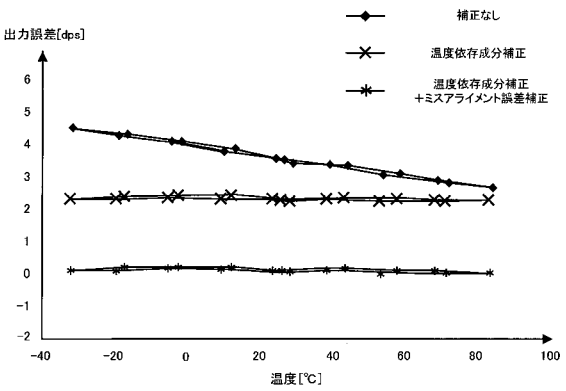
【図９】


ミスアライメント係数算出処理
試験温度を選択
D1
当該試験温度と、各温度依存成分の温度係数とを用いて各温度依存成分の値を算出
D3
ループD:各試験回転速度
D5
各温度依存成分の値と、ジャイロセンサーの出力値とを用いて、ミスアライメント誤差を含む角速度を逆算
D7
ループD
D9
試験回転速度から求まる角速度と、ミスアライメント誤差を含む角速度とを用いて、最小二乗法によりミスアライメント係数を算出
D11
終了

【図１０】


補正出力処理
各温度依存成分の温度係数を読み出し
E1
ミスアライメント係数を読み出し
E3
温度センサーの検出温度における各温度依存成分の値を算出
E5
ミスアライメント誤差を含む角速度を逆算
E7
ミスアライメント誤差を補正
E9
補正出力値を出力
E11
終了

【図１１】


出力誤差[dps]
補正なし
温度依存成分補正
温度依存成分補正
＋ミスアライメント誤差補正
6
5
4
3
2
1
0
−1
−2
−40
−20
0
20
40
60
80
100
温度[℃]