

(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2009-303358

(P2009-303358A)

(43) 公開日 平成21年12月24日(2009.12.24)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
H 0 2 P 29/00 (2006.01)	H 0 2 P 7/00 P	2 H 0 4 5
G 0 2 B 26/10 (2006.01)	H 0 2 P 7/00 B	2 H 1 4 1
G 0 2 B 26/08 (2006.01)	G 0 2 B 26/10 1 O 4 Z	4 E 0 6 8
B 2 3 K 26/00 (2006.01)	G 0 2 B 26/08 E	5 H 5 0 1
B 2 3 K 26/08 (2006.01)	B 2 3 K 26/00 M	
審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 30 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2008-153727 (P2008-153727)
 (22) 出願日 平成20年6月12日 (2008.6.12)

(71) 出願人 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74) 代理人 100110412
 弁理士 藤元 亮輔
 (74) 代理人 100104628
 弁理士 水本 敦也
 (72) 発明者 上田 伸治
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ヤノン株式会社内
 Fターム(参考) 2H045 AB44
 2H141 MA12 MB24 MC01 MD12 MD20
 MD23 MD34 ME25 MF05 MG05
 MZ13
 4E068 CB05 CD11 CE02
 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 変位検出方法、補正テーブル作成方法、モータ制御装置及び工作機械装置

(57) 【要約】

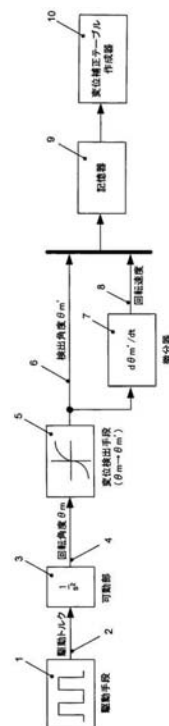
【課題】

エンコーダの出力信号に含まれる高調波成分やスケールピッチの加工誤差に伴う検出誤差を補正する変位検出方法を提供する。

【解決手段】

変位検出方法は、駆動手段1を用いて可動部3を駆動するステップと、変位検出手段5を用いて可動部3の変位置量6(検出角度 m')を検出するステップと、変位検出手段5で検出した変位置量6(検出角度 m')の変位速度($d m' / d t$)が一定となるように、変位補正テーブルを用いて変位置量6(検出角度 m')を補正するステップと、変位補正テーブルにより補正された変位置量(検出角度 m')を可動部3の変位置量として検出するステップとを有する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

駆動手段を用いて可動部を駆動するステップと、
変位検出手段を用いて前記可動部の変位量を検出するステップと、
前記変位検出手段で検出した前記変位量の変位速度が一定となるように、変位補正テーブルを用いて該変位量を補正するステップと、
前記変位補正テーブルにより補正された変位量を前記可動部の前記変位量として検出するステップと、を有することを特徴とする変位検出方法。

【請求項 2】

前記変位量の前記変位速度は、周期性のある速度むらを有し、
前記変位補正テーブルは、前記速度むらの少なくとも一周期の期間内で前記変位速度が一定となるように補正することを特徴とする請求項 1 記載の変位検出方法。

10

【請求項 3】

前記変位補正テーブルは、前記可動部の実際の変位量がゼロのとき、補正後の前記変位量がゼロとなるように補正することを特徴とする請求項 1 記載の変位検出方法。

【請求項 4】

駆動手段を用いて可動部を駆動するステップと、
変位検出手段を用いて前記可動部の変位量を検出するステップと、
微分器を用いて前記変位量の変位速度を算出するステップと、
前記変位検出手段で検出した前記変位量の前記変位速度が一定となるように該変位量を補正する変位補正テーブルを作成するステップと、を有することを特徴とする補正テーブル作成方法。

20

【請求項 5】

可動部と、
駆動トルクを前記可動部に供給する駆動手段と、
前記可動部の変位量を検出する変位検出手段と、
前記変位検出手段で検出した前記変位量の変位速度が一定となるように該変位量を補正する変位補正テーブルを備えた制御手段と、を有し、
前記制御手段は、前記変位補正テーブルにより補正された変位量を用いて前記駆動手段を制御することを特徴とするモータ制御装置。

30

【請求項 6】

前記変位量の前記変位速度は、周期性のある速度むらを有し、
前記変位補正テーブルは、前記速度むらの少なくとも一周期の期間内で前記変位速度が一定となるように前記変位量を補正することを特徴とする請求項 5 記載のモータ制御装置。

【請求項 7】

前記変位補正テーブルは、前記可動部の実際の変位量がゼロのとき、補正後の前記変位量がゼロとなるように補正することを特徴とする請求項 5 記載のモータ制御装置。

【請求項 8】

前記変位検出手段はエンコーダであることを特徴とする請求項 5 乃至 7 のいずれか一に記載のモータ制御装置。

40

【請求項 9】

請求項 5 乃至 8 のいずれか一に記載のモータ制御装置を有することを特徴とする工作機械装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

50

本発明は、変位情報を補正して検出精度を向上させる変位検出方法、補正テーブル作成方法、モータ制御装置及び工作機械装置に関する。

【背景技術】

【0002】

本出願人は、レーザ穴あけ加工機やレーザトリマ装置、レーザリペア装置などの工作機械装置に使用するガルバノモータの開発を行っている。ガルバノモータには、高精度な角度検出器として、インクリメンタルエンコーダが採用されており、本出願人はエンコーダ信号の電気分割手段について検討している。

【0003】

従来、インクリメンタルエンコーダでは、信号の振幅及びオフセットの値が揃っており、互いに位相が90度異なる2相のアナログ正弦波信号及び余弦波信号が出力されていること前提にして、電気分割が行われていた。また、上記の前提条件に近づけるようにエンコーダからの出力信号を補正した後、電気分割が行われる場合もあった。

【0004】

ここで、電気分割の方法としては、特許文献1に開示されるような抵抗分割による方法や、特許文献2に開示されるような \tan^{-1} （アークタンジェント）による方法が知られている。

【特許文献1】特開平02-138819号公報

【特許文献2】特開平06-58769号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上記のとおり、従来、エンコーダからの出力信号が正弦波信号であるとして、振幅、オフセット及び位相の補正が行われていた。しかしながら、エンコーダ出力信号は、高調波成分や非線形成分を含んでおり、理想的な正弦波信号でない。このため、エンコーダ出力信号を補正した場合でも、補正後の信号は厳密には正弦波信号とはならない。その結果、電気分割を行う際に、誤差の原因となっていた。

【0006】

また、エンコーダのスケールピッチは等間隔となるように加工されているが、実際には、加工誤差が生じている。

【0007】

そこで本発明は、エンコーダ出力信号に含まれる高調波成分又はスケールピッチの加工誤差に伴う検出誤差を補正して、検出精度を向上させた変位検出方法、モータ制御装置及び工作機械装置を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の一側面としての変位検出方法は、駆動手段を用いて可動部を駆動するステップと、変位検出手段を用いて前記可動部の変位量を検出するステップと、前記変位検出手段で検出した前記変位量の変位速度が一定となるように、変位補正テーブルを用いて該変位量を補正するステップと、前記変位補正テーブルにより補正された変位量を前記可動部の前記変位量として検出するステップとを有する。

【0009】

また、本発明の他の側面としての補正テーブル作成方法は、駆動手段を用いて可動部を駆動するステップと、変位検出手段を用いて前記可動部の変位量を検出するステップと、微分器を用いて前記変位量の変位速度を算出するステップと、前記変位検出手段で検出した前記変位量の前記変位速度が一定となるように該変位量を補正する変位補正テーブルを作成するステップとを有する。

【0010】

また、本発明の他の側面としてのモータ制御装置は、可動部と、駆動トルクを前記可動部に供給する駆動手段と、前記可動部の変位量を検出する変位検出手段と、前記変位検

10

20

30

40

50

出手段で検出した前記変位量の変位速度が一定となるように該変位量を補正する変位補正テーブルを備えた制御手段とを有し、前記制御手段は、前記変位補正テーブルにより補正された変位量を用いて前記駆動手段を制御する。

【0011】

また、本発明の他の側面としての工作機械装置は、前記モータ制御装置を有する。

【0012】

本発明の他の目的及び特徴は、以下の実施例において説明される。

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、エンコーダ出力信号に含まれる高調波成分又はスケールピッチの加工誤差に伴う検出誤差を補正して、検出精度を向上させた変位検出方法、モータ制御装置及び工作機械装置を提供することができる。また、そのための補正テーブル作成方法を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0014】

以下、本発明の実施例について、図面を参照しながら詳細に説明する。各図において、同一の部材については同一の参照番号を付し、重複する説明は省略する。

【0015】

まず、本実施例における工作機械装置の一例として、レーザ加工機の構成を説明する。図26にレーザ加工機100の概略図を示す。レーザ加工機100は、基板の切断や穴あけ、金属間の溶接など、幅広い用途に利用される。

【0016】

本実施例のレーザ加工機100は、二つのモータ制御装置200a、200bを備える。各々のモータ制御装置200a、200bは、ミラー及び回転モータを備える。回転モータは、ミラーを回転駆動するために設けられている。ミラーは、回転モータにより回転駆動され、その向きが変化する。

【0017】

このように、レーザ加工機100は、二つの回転モータを用いてそれぞれのミラーの向きを変化させることにより、レーザ光Lの進行方向を変えることができる。なお、後述のように、回転モータにはその回転変位量を検出するためのエンコーダが設けられている。エンコーダを用いて回転モータの回転変位量を正確に検知することにより、レーザ光Lの進行方向を正確に制御することができる。

【0018】

レーザ発振器105から射出されたレーザ光Lは、モータ制御装置200a、200bのミラーを経由して、レーザ加工面106に照射される。加工の対象となるレーザ加工面106としては、金属やガラス、プラスチックなど広範の材料が選択できる。

【0019】

上記のとおり、レーザ加工機100においては、モータ制御装置200a、200bのミラーが回転することにより、レーザ光Lの進行方向を正確に制御することができる。このため、レーザ加工面106が平坦でない場合でも、レーザ加工面106を高精度に加工することが可能である。

【0020】

次に、レーザ加工機100に用いられるモータ制御装置の構成を説明する。図27にモータ制御装置の概略図を示す。また、図28にエンコーダのスケール201の概略平面図を示す。

【0021】

本実施例のモータ制御装置200は、回転モータ104の回転変位量を検出するための光学式のエンコーダを有する。エンコーダは、回転スリット円板及び固定スリット円板を有するスケール201と、発光素子（発光ダイオード）と受光素子（フォトダイオード）を有するセンサ部202とからなる。回転スリット円板は、回転モータ104の回転と

10

20

30

40

50

もに回転し、固定スリット円板は固定されている。エンコーダは、発光素子と受光素子の間に回転スリット円板と固定スリット円板を配置した構成となっている。

【0022】

回転スリット円板と固定スリット円板には、多数のスリットが設けられている。発光素子の光は、回転スリット円板が回転することにより、透過又は遮断する。また、固定スリット円板は、エンコーダの出力信号を複数相にするため、固定スリットは複数に分かれている。このため、発光素子と受光素子も複数個設けられている。

【0023】

図28に示されるように、エンコーダのスケール201は、複数のスリット205が設けられている。スケール201は、回転モータ104の回転変位に伴い、スケール中心204（回転軸）を中心として回転する。センサ部202には2つの受光素子が設けられており、それぞれの受光素子は、発光素子からの光がスリット205を通過したとき、その光を検出する。これらの2つの受光素子は、スリット205を通過した光に基づいて、それぞれ、A相パターンとB相パターンの2種のパターンを形成する。

【0024】

この結果、図29に示されるように、互いに位相が90°異なるA相信号とB相信号が生成される。なお、図29のA相信号及びB相信号は、正弦波状のエンコーダ出力を波形整形回路により波形整形した矩形波信号である。

【0025】

図27において、モータコントローラ203は、回転モータ104の回転駆動を制御する。モータコントローラ203は、回転モータ104に駆動トルクを供給する駆動手段、及び、この駆動手段を制御する制御手段を備える。モータコントローラ203は、目標値であるモータ回転角度と実測値であるモータ検出角度とを比較して、実測値が目標値に等しくなるように、フィードバック制御する。この結果、ミラー103の向きを目標値通りの角度に変更することができる。

【0026】

なお、エンコーダの検出原理は光学式に限られず、磁気式など他の方式を採用することも可能である。

【実施例1】

【0027】

次に、本発明の実施例1における変位検出方法及びモータ制御装置を説明する。図1は、モータ制御装置が実行する制御ブロック図である。

【0028】

図1の制御ブロックは、モータの回転角度 m を検出するための角度検出器としてロータリエンコーダを用いた位置決め制御系である。本図では、トルク指令に対する位置応答が $1/s^2$ となる簡易な可動部のモデルを示している。

【0029】

1は駆動手段（駆動トルク発生器）である。駆動手段1は、上位の制御手段（不図示）からの出力信号に基づいて、所定の駆動トルク2を可動部3（回転モータ）に供給する。本実施例の可動部3は、駆動手段1から入力される駆動トルク2（トルク指令）に対し、伝達関数 $1/s^2$ の位置応答を示す。

【0030】

可動部3は、駆動トルク2が入力されることにより、所定の回転角度だけ変位する。このとき、可動部3の変位量4、すなわち可動部3の実際の回転角度を m とする。

【0031】

5は可動部3の回転角度 m （変位量4）を検出する変位検出手段である。変位検出手段5としては例えばエンコーダが用いられるが、これに限定されるものではない。変位検出手段5は、可動部3の変位量4を検出して、その検出角度 m' （変位量6）を出力する。

【0032】

10

20

30

40

50

ただし、変位検出手段 5 から出力される信号（正弦波信号）には、高調波成分や非線形成分が含まれている。また、変位検出手段 5 としてエンコーダが用いられる場合、エンコーダのスケールに加工誤差が含まれている可能性もある。このため、厳密には、変位検出手段 5 により求められた可動部 3 の検出角度 m' （変位置量 6）は、可動部 3 の実際の回転角度 m （変位置量 4）とは異なる。すなわち、可動部 3 の実際の回転角度 m （変位置量 4）と変位検出手段 5 により検出された可動部 3 の検出角度 m' （変位置量 6）との間には誤差がある。そこで、変位検出手段 5 の検出精度を向上させるには、後述のとおり、検出角度 m' （変位置量 6）を補正して、検出角度 m' （変位置量 6）に対する誤差を小さくする必要がある。

【0033】

10

7 は可動部 3 の回転速度 8（変位速度）を求めるために設けられている微分器である。微分器 7 は、変位検出手段 5 により検出された検出角度 m' （変位置量 6）の時間微分値（ dm'/dt ）を算出する。微分器 7 で算出された時間微分値は、可動部 3 の回転速度 8（変位速度）に相当する。9 は記憶器である。記憶器 9 は、回転角度 m' （変位置量 6）及び微分器 7 で算出された回転速度 8 を記憶する。

【0034】

10 は変位補正テーブル作成器である。変位補正テーブル作成器 10 は、記憶器 9 に記憶されたデータ（回転角度 m' （変位置量 6）及び回転速度 8）から変位補正テーブルを作成する。変位補正テーブルは、微分器 7 で算出した回転速度 8（変位速度）が一定となるように、変位検出手段 5 で検出した検出角度 m' （変位置量 6）を補正する。このようにして、変位補正テーブルは、変位検出手段 5 で検出した検出角度 m' （変位置量 6）が可動部 3 の実際の回転角度 m （変位置量 4）に等しくなるように補正する。なお、変位補正テーブルは制御手段（不図示）に備えられている。

20

【0035】

次に、本実施例における変位検出方法について、詳細に説明する。

（1）高調波成分を含むエンコーダ信号が角度検出に与える誤差

まず、本実施例において、高周波成分を含むエンコーダ信号が角度検出に与える誤差について説明する。

【0036】

本実施例において、エンコーダ（変位検出手段 5）は、回転モータ（可動部 3）1 回転当たり、正弦波状の二相信号を各々 140000 周期分だけ出力する。ここで、回転モータの回転角度を m [rad] とすると、エンコーダの位相角度 e [rad] は、以下の式（1）で表される。

30

【0037】

【数 1】

$$\theta_e = 140000 \times \theta_m \quad (1)$$

【0038】

また、理想的な正弦波信号を出力するエンコーダの二相信号 A_{sig} 、 B_{sig} は、下記の式（2）及び式（3）で求められる。

【0039】

【数 2】

$$A_{sig} = \sin\left(\theta_e + \frac{\pi}{2}\right) \quad (2)$$

【0040】

【数 3】

$$B_{sig} = \sin \theta_e \quad (3)$$

【0041】

エンコーダの二相信号 A_{sig} 、 B_{sig} には、通常、高調波成分が含まれる。このため、下記の式（4）及び式（5）で表されるような 3 次及び 5 次の高調波成分を含む工

50

ンコード信号について考える。

【 0 0 4 2 】

【 数 4 】

$$Asig5 = \sin\left(\theta_e + \frac{\pi}{2}\right) + 0.05 \sin 3\left(\theta_e + \frac{\pi}{2}\right) + 0.01 \sin 5\left(\theta_e + \frac{\pi}{2}\right) \quad (4)$$

【 0 0 4 3 】

【 数 5 】

$$Bsig5 = \sin \theta_e + 0.05 \sin 3\theta_e + 0.01 \sin 5\theta_e \quad (5)$$

【 0 0 4 4 】

次に、高調波成分を含むエンコード信号を理想的な正弦波信号であるとして、 \tan^{-1} （アークタンジェント）により電気分割した場合の誤差を考える。このとき、以下の式（6）を用いて、高調波成分を含むエンコード信号からエンコードの位相角度 θ_e' を求めることができる。

【 0 0 4 5 】

【 数 6 】

$$\theta_e' = \tan^{-1}\left(\frac{Bsig5}{Asig5}\right) \quad (6)$$

【 0 0 4 6 】

ここで、エンコード信号は周期関数であるため、エンコードの角度 θ_e を θ_e の範囲で考えればよい。このとき、図 2 及び図 3 に示されるように、高調波成分による可動部の回転角度の検出誤差を有していることがわかる。

【 0 0 4 7 】

図 2 は、モータの回転角度検出誤差 $m' - m$ とモータの回転角度 m との関係を示している。横軸はモータ（可動部）の回転角度 m であり、縦軸はモータの回転角度 m と電気分割により求められた検出角度 m' との検出誤差 $m' - m$ である。図 2 に示されるように、本実施例のモータ制御装置には周期的に大きく変化する検出誤差 $m' - m$ が含まれている。

【 0 0 4 8 】

図 3 は、モータの検出角度 m' とモータの回転角度 m との関係を示している。横軸はモータの回転角度 m であり、縦軸は電気分割により算出された回転角度 m' を表している。高調波成分に起因する誤差が生じていない場合、図 3 に示される関係は直線で表される。しかし、本実施例では高調波成分が含まれているため、図 3 に示される関係は直線ではなく歪んだ線で表される。

（ 2 ）角度検出の補正方法

次に、本実施例における角度検出の補正方法について説明する。ここでは、具体的な例を示しながら補正手順を説明する。

【 0 0 4 9 】

まず、可動部（モータ）にトルクを印加して、可動部を駆動する。本実施例では、可動部に供給するトルクとして、図 4 に示される波形を印加した。図 4 は、本実施例における駆動トルクの入力波形図である。図 4 に示されるように、0 ～ 0.1 秒間に、0.01 N の駆動トルクが印加されている。

【 0 0 5 0 】

図 5 は、トルクとして図 4 に示される波形を印加したときの検出角度 m' 及び回転速度の時間依存性である。図 5 において、検出角度 m' を実線で表示し、回転速度を点線で表示している。なお、可動部の初期位置は、 $-2 / 1400000$ [rad] としている。

【 0 0 5 1 】

図 5 において、点線で表示されている回転速度に着目すると、0.1 秒以後の回転速

10

20

30

40

50

度（変位速度）は、周期性のある速度むらを有していることがわかる。すなわち、回転速度は、短い周期で高速及び低速を繰り返している。エンコード信号に高調波成分が含まれていない場合、0.1秒後以後の回転速度は一定になる。しかし、本実施例のエンコード信号には高調波成分が含まれているため、回転速度には、一定速度になるべき期間で速度むらが生じている。

【0052】

本実施例では、速度むらの一周期分を100[msec]から111.56[msec]の間と考え、この期間内の速度むらが0となるように検出角度を補正する。補正後の検出角度は m'' とする。

【0053】

図6は、100[msec]から111.56[msec]の間（速度むら一周期）における検出角度 m' 及び回転速度の時間依存性である。図6において、検出角度 m' を実線で表示し、回転速度を点線で表示している。速度むらを0にするため、本実施例では、100[msec]から111.56[msec]までの期間（速度むら一周期）において、検出角度 m' の時間依存性について、直線近似を行う。

【0054】

直線近似は、補正期間である速度むら一周期において二点を選択し、その二点おける傾きを算出することにより行われる。例えば、本実施例においては、補正期間の最初である100[msec]及び最後の111.56[msec]の二つの検出角度 m' を用いて、時間微分値（直線の傾き）を算出する。

【0055】

図7は、図6に示される検出角度 m' を直線近似した様子を一点鎖線で示す。これにより、検出角度 m' と直線近似により得られた補正後の検出角度 m'' との関係が得られる。この関係を図8に示す。図8に示される検出角度 m'' と検出角度 m' との関係は、変位補正テーブルとして、モータ制御装置200のモータコントローラ203（制御手段）に保持される。このように、変位補正テーブルは、速度むらの少なくとも一周期の期間で回転速度（変位速度）が一定となるように検出角度 m' （変位置量6）を補正する。

【0056】

次に、本実施例における補正手順について説明する。図25は、本実施例における補正手順（変位補正テーブル作成方法）を示すフローチャートである。

【0057】

まず、ステップS1において、上位の制御手段の指令に基づき、駆動手段1を用いて可動部3（モータ）を駆動する。次に、ステップS2において、モータ駆動時の応答として、変位検出手段5を用いてモータの検出角度 m' （変位置量6）を検出する。また、微分器7を用いて検出角度 m' （変位置量6）の時間微分値（変位速度）を算出する。

【0058】

ステップS3では、回転速度（変位速度）の速度むら範囲すなわち補正範囲を決定する。回転速度の速度むら範囲（補正範囲）は、使用される可動部3（モータ）の種類等により適宜決定される。

【0059】

ステップS4では、ステップS3で決定された速度むら範囲において、回転速度の速度むらがゼロになるように、補正前の検出角度 m' から補正後の検出角度 m'' を算出する。すなわち、検出角度 m' （変位置量6）の時間微分値（変位速度）が一定となるように検出角度 m' を補正する。補正前の検出角度 m' と補正後の検出角度 m'' との関係は、変位補正テーブル作成器10により作成された変位補正テーブルとして保持される。上記のとおり、本実施例の変位補正テーブルは作成される。

【0060】

本実施例の変位検出方法では、このような変位補正テーブルを用いて補正された変位置量（検出角度 m'' ）を、可動部3の変位置量4（回転角度 m ）として検出する。なお、

10

20

30

40

50

図 25 に示される補正手順は、後述の実施例 2 及び実施例 3 にも適用される。

(3) 角度検出の補正前後での検出誤差

次に、本実施例における角度検出の補正前後での検出誤差について説明する。

【0061】

図 9 は、補正前の検出誤差 $m' - m$ 及び補正後の検出誤差 $m'' - m$ と、回転角度 m との関係である。図 9 において、横軸はモータの回転角度 m であり、縦軸は補正前の検出誤差 $m' - m$ 及び補正後の検出誤差 $m'' - m$ である。なお、実線は補正前の検出誤差 $m' - m$ を示し、点線は補正後の検出誤差 $m'' - m$ を示している。

【0062】

図 9 に示されるように、本実施例で補正した範囲において、補正後の検出角度 m' は、補正前の検出角度 m' と比較して、検出誤差が大幅に低減している。このため、本実施例によれば、理想的な電気分割が可能となる。

【0063】

以上のとおり、本実施例によれば、高調波信号を含むエンコーダ信号について角度検出誤差を低減することができる。本実施例における検出角度の補正方法は、可動部（モータ）の初期位置を変えて繰り返し実行することにより、広範囲に渡って検出角度を補正することができる。

【実施例 2】

【0064】

次に、本発明の実施例 2 について説明する。

【0065】

本実施例では、回転モータのトルク指令に対する位置応答が $1 / (s^2 + s + 100)$ となる可動部のモデルを考える。このモデルは、実施例 1 のモデルに対して、粘性及びばね系のモデルを加味したものである。粘性のモデルについては上記式における分母の「 s 」で反映され、ばね系のモデルについては同式における分母の「 100 」で反映されている。

(4) 角度検出の補正方法

まず、本実施例における角度検出の補正方法について説明する。

【0066】

本実施例においても、実施例 1 と同様の手順で補正を行う。まず、トルクとして、実施例 1 と同様に図 4 に示される波形を印加する。このときの検出角度 m' 及び回転速度（時間微分値）の時間依存性を図 10 に示す。図 10 において、検出角度 m' を実線で表示し、回転速度を点線で表示している。

【0067】

なお、本実施例において、可動部 3（モータ）の初期位置は $0 [rad]$ としている。

【0068】

図 10 において回転速度に着目すると、 $0.3 \sim 0.4$ 秒の期間における回転速度は、ほぼ一定速度であり、かつ、速度むらを有する。そこで、速度むらの一周期分を $358.16 [msec]$ から $371.89 [msec]$ までの期間と考え、この期間の速度むらがゼロになるように検出角度 m' を補正し、補正後の検出角度 m'' を求める。

【0069】

図 11 は、 $358.16 [msec]$ から $371.89 [msec]$ までの期間（速度むらの一周期分）の検出角度 m' 及び回転速度（時間微分値）の時間依存性である。本図において、検出角度 m' を実線で表示し、回転速度を点線で表示している。本図は、図 10 の一部を拡大した図に相当する。

【0070】

回転速度の速度むらをゼロにするため、本実施例では、図 12 の一点鎖線で示されるように、 $358.16 [msec]$ から $371.89 [msec]$ までの期間（速度むら

10

20

30

40

50

の一周分)における検出角度 m' を直線近似する。これにより、補正前の検出角度 m' と直線近似により得られた補正後の検出角度 m'' との関係が得られる。この関係を図 13 に示す。

【0071】

図 13 に示される補正後の検出角度 m'' と補正前の検出角度 m' との関係は、変位補正テーブルとして、モータ制御装置 200 のモータコントローラ 203 に保持される。

(5) 角度検出の補正前後での検出誤差

次に、本実施例における角度検出の補正前後での検出誤差について説明する。

【0072】

10

図 14 は、本実施例において、補正前の検出誤差 $m' - m$ 及び補正後の検出誤差 $m'' - m$ と、回転角度 m との関係を示す図である。図 14 において、横軸はモータの回転角度 m であり、縦軸は補正前の検出誤差 $m' - m$ 及び補正後の検出誤差 $m'' - m$ である。なお、実線は補正前の検出誤差 $m' - m$ を示し、点線は補正後の検出誤差 $m'' - m$ を示している。

【0073】

図 14 に示されるように、本実施例で補正した範囲において、補正後の検出角度 m'' は、補正前の検出角度 m' と比較して、検出誤差が大幅に低減している。このため、本実施例によれば、理想的な電気分割が可能となる。

【0074】

20

以上のとおり、本実施例によれば、高調波信号を含むエンコーダ信号について角度検出誤差を低減することができる。本実施例における検出角度の補正方法は、可動部(モータ)の初期位置を変えて繰り返し実行することにより、広範囲に渡って検出角度を補正することができる。

【実施例 3】

【0075】

次に、本発明の実施例 3 について説明する。

【0076】

本実施例では、エンコーダのスケールピッチに加工誤差が生じている場合を考える。実施例 1 及び実施例 2 と同様に、可動部として回転モータを用い、変位検出手段としてロータリエンコーダ(角度検出器)を用いている。エンコーダは、モータ一回転当たり、正弦波状の二相信号を各々 140000 周期分だけ出力とする。

30

【0077】

ここで、モータの回転角度を $m[\text{rad}]$ とすると、エンコーダの位相角度 $e[\text{rad}]$ は、以下の式(7)で表される。

【0078】

【数 7】

$$\theta_e = 140000 \times \theta_m \quad (7)$$

【0079】

また、エンコーダの二相正弦波信号 $A \text{ sig}$ 、 $B \text{ sig}$ は、以下の式(8)及び式(9)で表される。

40

【0080】

【数 8】

$$A \text{ sig} = \sin\left(\theta_e + \frac{\pi}{2}\right) \quad (8)$$

【0081】

【数 9】

$$B \text{ sig} = \sin \theta_e \quad (9)$$

【0082】

50

しかしながら、スケールピッチに加工誤差が生じていると、上記の式(7)の関係が満たされず、正確な位置を検出することができない。

【0083】

そこで、本実施例ではスケールピッチに加工誤差が生じている場合における検出補正手順について説明する。

(6) スケール加工誤差を含むエンコーダ信号が角度検出に与える誤差

まず、スケール加工誤差を含むエンコーダ信号が角度検出に与える誤差について説明する。本実施例において、エンコーダのスケールは、モータの回転角度に対して、以下の式(10)及び式(11)を満たすように構成されているとする。

【0084】

モータの回転角度範囲が $(-\pi / 140000) \times 1.2$ $m < 0$ のとき、エンコーダの位相角度 $e' [rad]$ は、以下の式(10)で表される。

【0085】

【数10】

$$\theta_e' = \frac{\theta_m \times 140000}{1.2} \quad (10)$$

【0086】

また、モータの回転角度範囲が $0 \leq m < (\pi / 140000) \times 0.8$ のとき、エンコーダの位相角度 $e' [rad]$ は、以下の式(11)で表される。

【0087】

【数11】

$$\theta_e' = \frac{\theta_m \times 140000}{0.8} \quad (11)$$

【0088】

このとき、本実施例のエンコーダのスケールには、式(10)及び式(11)の関係を満たす加工誤差が生じている。上記以外の範囲では、エンコーダのスケールの加工誤差はないものとする。ここで、エンコーダのスケールが理想的なものとすると、モータの回転角 m' は、エンコーダ信号 e' を用いて、式(12)で求められる。

【0089】

【数12】

$$\theta_m' = \frac{\theta_e'}{140000} \quad (12)$$

【0090】

図15は、本実施例におけるモータの検出角度 m' とモータの回転角度 m との関係である。図15において、横軸にモータの回転角度 m を表示し、縦軸に電気分割により求めたモータ回転角度 m' を表示する。

【0091】

図16は、本実施例におけるモータの回転角度検出誤差 $m' - m$ とモータの回転角度 m との関係である。図16において、横軸にモータの回転角度 m を表示し、縦軸にモータの回転角度 m と電気分割により求めたモータ回転角度 m' との検出誤差 $m' - m$ を表示する。

【0092】

図15及び図16に示されるように、本実施例のエンコーダは、スケール加工誤差による角度検出誤差を有している。

(7) 角度検出の補正方法

次に、本実施例における角度検出の補正方法について説明する。

【0093】

本実施例における補正は、実施例1と同様の手順で行われる。本実施例では、駆動トルクとして、図17に示される波形を印加した。図17は、本実施例における駆動トルクの入力波形図である。図17に示されるように、0～0.1秒間に、0.1Nの駆動トルク

10

20

30

40

50

クが印加されている。

【0094】

図18は、本実施例において、トルクとして図17に示される波形を印加したときの検出角度 m' 及び回転速度の時間依存性を示す図である。図18において、検出角度 m' を実線で表示し、回転速度を点線で表示している。なお、可動部（モータ）の初期位置は $0 [rad]$ としている。

【0095】

図18において回転速度に着目すると、 $0.35 \sim 0.38$ 秒の期間における回転速度は、ほぼ一定速度である。しかし、 $365 [msec]$ 前後において回転速度の速度むらが生じている。そこで、速度むらの範囲を $350 [msec]$ から $380 [msec]$ までの間と考え、この期間における速度むらがゼロとなるように検出角度を補正し、補正後の検出角度 m'' を求める。

【0096】

図19は、本実施例における速度むらを含む期間（ $358 [msec]$ から $380 [msec]$ までの期間）の検出角度 m' 及び回転速度の時間依存性を示す図である。図19において、検出角度 m' を実線で表示し、回転速度を点線で表示している。

【0097】

回転速度の速度むらをゼロにするため、本実施例では、図20の一点鎖線で示されるように、 $358 [msec]$ から $380 [msec]$ までの期間（速度むらを含む期間）における検出角度 m' を直線近似する。これにより、補正前の検出角度 m' と直線近似により得られた補正後の検出角度 m'' との関係が得られる。この関係を図21に示す。

【0098】

図21に示される補正後の検出角度 m'' と補正前の検出角度 m' との関係は、変位補正テーブルとして、モータ制御装置200のモータコントローラ203に保持される。

（8）角度検出の補正前後での検出誤差

次に、本実施例における角度検出の補正前後での検出誤差について説明する。

【0099】

図22は、補正前の検出角度 m' 及び補正後の検出角度 m'' と、回転角度 m との関係である。図22において、横軸はモータの回転角度 m を示し、縦軸は補正前の検出角度 m' 及び補正後の検出角度 m'' を示している。なお、補正前の検出角度 m' を実線で表示し、直線近似により得られた補正後の検出角度 m'' を点線で表示している。

【0100】

図22に示されるように、モータの回転角度 m が0のとき、補正後の検出角度 m'' が0以外の値となっている。そこで、モータの回転角度 m が0のときに補正後の検出角度 m'' が0となるように、ゼロ補正を追加して行う。ゼロ補正後の検出角度を m''' とする。

【0101】

図23は、補正前の検出角度 m' 及びゼロ補正後の検出角度 m''' と、回転角度 m との関係である。図23において、横軸はモータの回転角度 m であり、縦軸は検出角度 m' 及びゼロ補正後の検出角度 m''' である。また、検出角度 m' は実線で表示し、ゼロ補正後の検出角度 m''' は点線で表示している。

【0102】

図23に示されるように、回転角度 m が0のとき、ゼロ補正後の検出角度 m''' も0となっている。このように、本実施例の変位補正テーブルは、可動部（モータ）の回転角度 m （変位量）がゼロのとき、補正後の回転角度 m''' （変位量）がゼロとなるように補正する。

【0103】

10

20

30

40

50

図24は、補正前の検出誤差 $m' - m$ 及びゼロ補正後の検出誤差 $m''' - m$ と、回転角度 m との関係である。図24において、横軸はモータの回転角度 m であり、縦軸は補正前の検出誤差 $m' - m$ 及びゼロ補正後の検出誤差 $m''' - m$ である。また、補正前の検出誤差 $m' - m$ を実線で表示し、ゼロ補正後の検出誤差 $m''' - m$ を点線で表示している。

【0104】

図24に示されるように、本実施例で補正した範囲において、ゼロ補正後の検出角度 m''' は、補正前の検出角度 m' と比較して、検出誤差が大幅に低減している。

【0105】

以上のとおり、本実施例によれば、スケール加工誤差を含むエンコーダ信号について角度検出誤差を低減することができる。また、本実施例において、エンコーダのスケールピッチが不均質としても、不均質を含む角度又は位置範囲を設定して、変位補正を行うこともできる。

10

【0106】

上記各実施例における補正方法を用いたガルバノモータの位置決め装置（モータ制御装置）、また、このモータ制御装置を用いたレーザ加工機及び工作機械装置では、従来と比較してエンコーダの分割精度を容易に改善できる。

【0107】

このため、上記各実施例によれば、エンコーダで検出した変位量の変位速度（測定した位置応答の時間微分）の速度むらを抑制することができる。その結果、エンコーダからの出力信号の振幅、オフセット、二相信号の位相差、高調波成分又はエンコーダスケールのピッチ誤差に依存せずに正確な変位検出が可能となる。

20

【0108】

従って、上記各実施例によれば、エンコーダ出力信号に含まれる高調波成分又はスケールピッチの加工誤差等に伴う検出誤差を補正して、検出精度を向上させた変位検出方法、モータ制御装置及び工作機械装置を提供することができる。また、そのための補正テーブル作成方法を提供することができる。その結果、機械の性能を向上させ、加工物、工作物の品質を向上させることが可能となる。

【0109】

以上、本発明の実施例について具体的に説明した。ただし、本発明は上記実施例として記載された事項に限定されるものではなく、本発明の技術思想を逸脱しない範囲内で適宜変更が可能である。

30

【0110】

例えば、上記各実施例では、可動部として回転モータ（回転機構）を用いているが、これに代えて直動機構を用いてもよい。また、可動部の駆動手段として、モータやピエゾなどのアクチュエータや、人の手により駆動してもよい。

【0111】

また、上記各実施例では、変位検出手段としてエンコーダが用いられているが、これに代えて、静電容量センサやPSD（光位置センサ：Position Sensitive Detector）を用いることもできる。静電容量センサやPSDを用いれば、変位検出のリニアリティ補正を行うことが可能である。

40

【図面の簡単な説明】

【0112】

【図1】実施例1におけるモータ制御装置が実行する制御ブロック図である。

【図2】実施例1におけるモータの回転角度検出誤差 $m' - m$ とモータの回転角度 m との関係を示す図である。

【図3】実施例1におけるモータの検出角度 m' とモータの回転角度 m との関係を示す図である。

【図4】実施例1における駆動トルクの入力波形図である。

【図5】実施例1において、トルクとして図4に示される波形を印加したときの検出角度

50

m' 及び回転速度の時間依存性を示す図である。

【図 6】実施例 1 における速度むら一周期分の検出角度及び回転速度の時間依存性を示す図である。

【図 7】実施例 1 において、図 6 に示される検出角度 m' を直線近似した様子を示す図である。

【図 8】実施例 1 における補正後の検出角度 m'' と補正前の検出角度 m' との関係を示す図である。

【図 9】実施例 1 において、補正前の検出誤差 $m' - m$ 及び補正後の検出誤差 $m'' - m$ と、回転角度 m との関係を示す図である。

【図 10】実施例 2 において、トルクとして図 4 に示される波形を印加したときの検出角度 m' 及び回転速度の時間依存性を示す図である。

【図 11】実施例 2 における速度むら一周期分の検出角度及び回転速度の時間依存性を示す図である。

【図 12】実施例 2 において、図 11 に示される検出角度 m' を直線近似した様子を示す図である。

【図 13】実施例 2 における補正後の検出角度 m'' と補正前の検出角度 m' との関係を示す図である。

【図 14】実施例 2 において、補正前の検出誤差 $m' - m$ 及び補正後の検出誤差 $m'' - m$ と、回転角度 m との関係を示す図である。

【図 15】実施例 3 におけるモータの検出角度 m' とモータの回転角度 m との関係を示す図である。

【図 16】実施例 3 におけるモータの回転角度検出誤差 $m' - m$ とモータの回転角度 m との関係を示す図である。

【図 17】実施例 3 における駆動トルクの入力波形図である。

【図 18】実施例 3 において、トルクとして図 17 に示される波形を印加したときの検出角度 m' 及び回転速度の時間依存性を示す図である。

【図 19】実施例 3 における速度むらを含む期間の検出角度及び回転速度の時間依存性を示す図である。

【図 20】実施例 3 において、図 19 に示される検出角度 m' を直線近似した様子を示す図である。

【図 21】実施例 3 における補正後の検出角度 m'' と補正前の検出角度 m' との関係を示す図である。

【図 22】実施例 3 において、補正前の検出角度 m' 及び補正後の検出角度 m'' と、回転角度 m との関係を示す図である。

【図 23】実施例 3 において、補正前の検出角度 m' 及びゼロ補正後の検出角度 m'' と、回転角度 m との関係を示す図である。

【図 24】実施例 3 において、補正前の検出誤差 $m' - m$ 及びゼロ補正後の検出誤差 $m'' - m$ と、回転角度 m との関係を示す図である。

【図 25】実施例 1 における補正手順を示すフローチャートである。

【図 26】本実施例におけるレーザ加工機の一例を示す概略図である。

【図 27】本実施例におけるモータ制御装置の一例を示す概略図である。

【図 28】ロータリエンコーダのスケールの一例を示す平面図である。

【図 29】エンコーダの出力信号を示す図である。

【符号の説明】

【0113】

1 駆動手段

2 駆動トルク

3 可動部

4 変位量（回転角度 m ）

5 変位検出手段

10

20

30

40

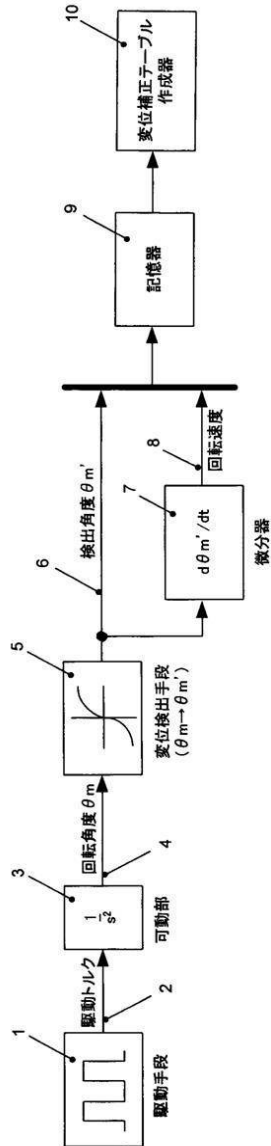
50

- 6 変位量 (検出角度 m')
- 7 微分器
- 8 回転速度
- 9 記憶器
- 10 変位補正テーブル作成器
- 100 レーザ加工機
- 103 ミラー
- 104 回転モータ
- 105 レーザ発信器
- 106 レーザ加工面
- 200 モータ制御装置
- 201 スケール
- 202 センサ部
- 203 モータコントローラ
- 204 スケール中心
- 205 スリット

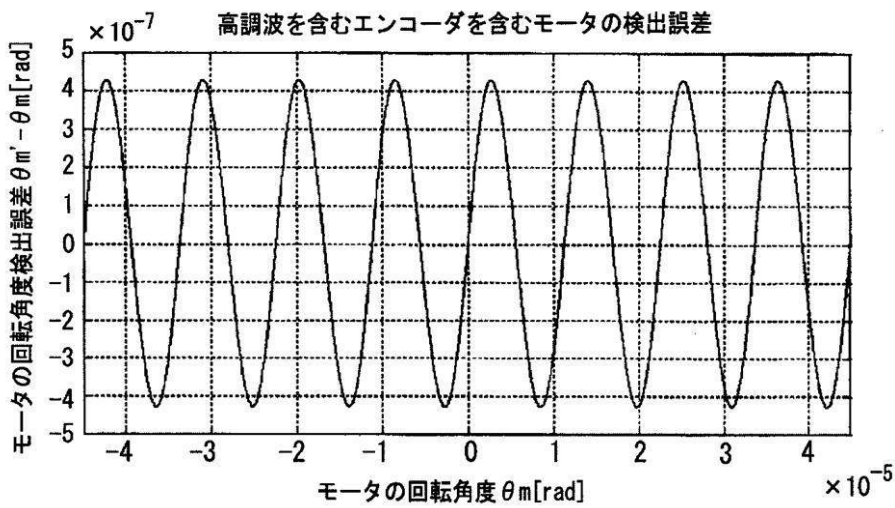
10

20

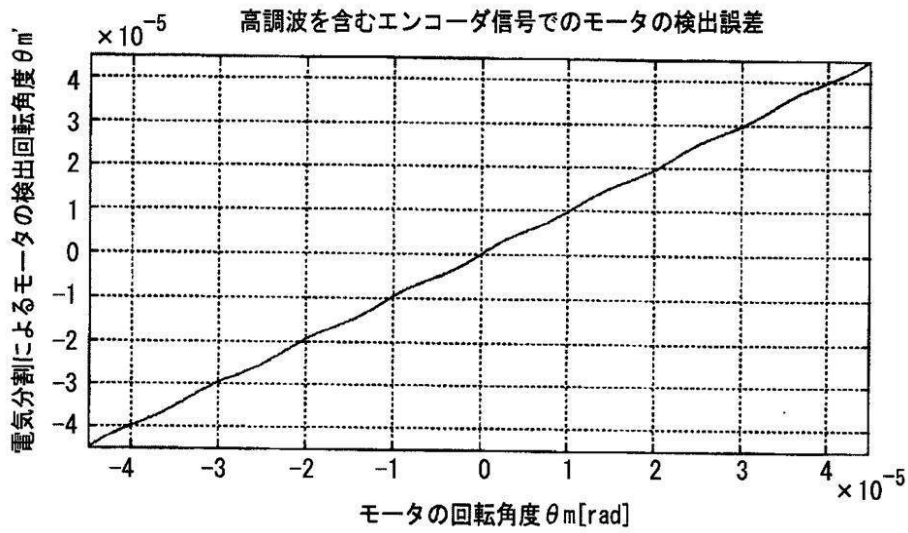
【図 1】



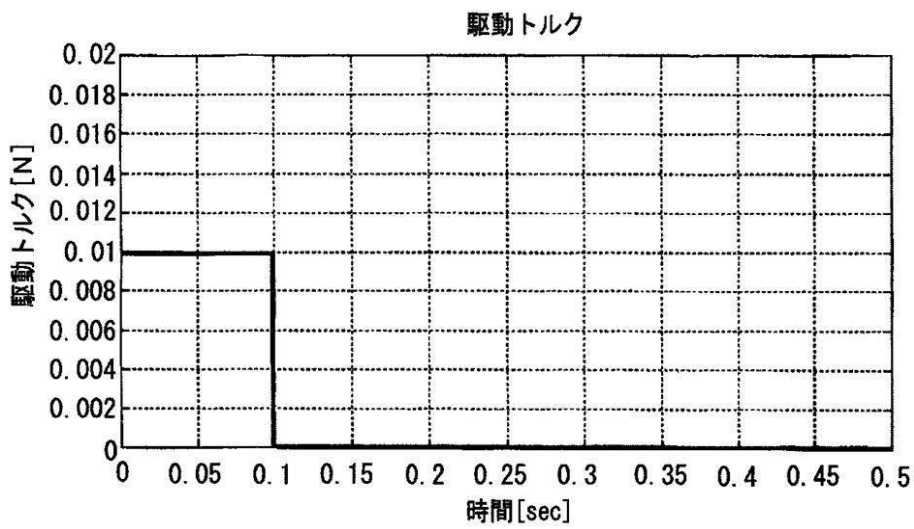
【図 2】



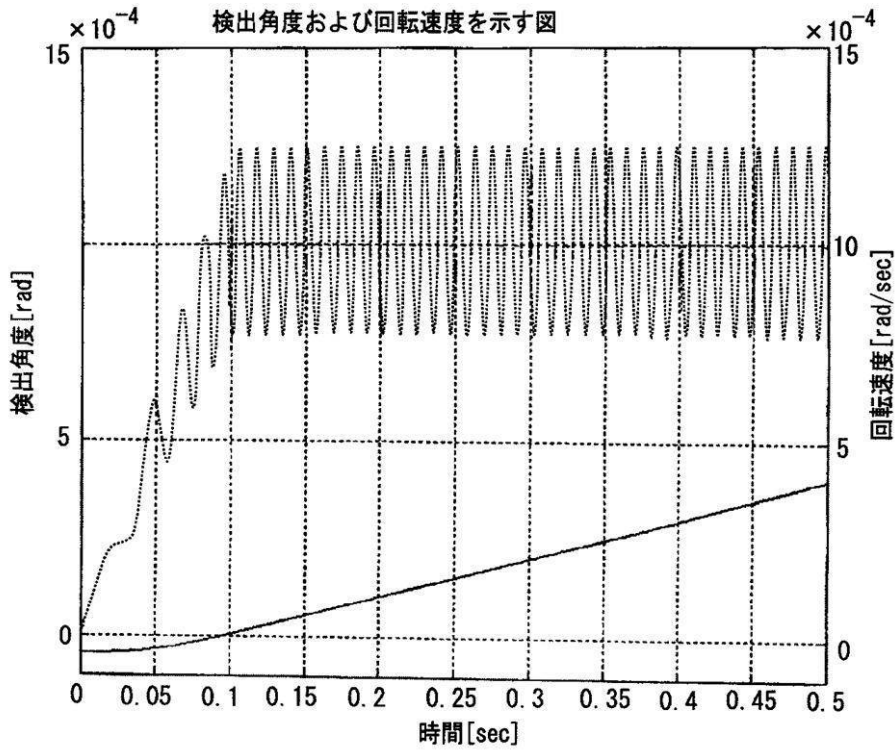
【図 3】



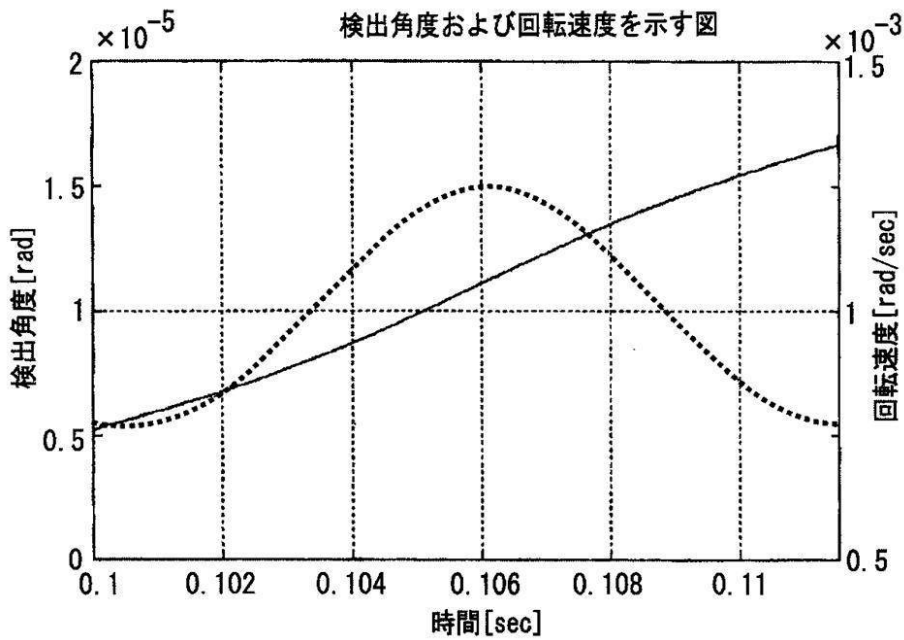
【図 4】



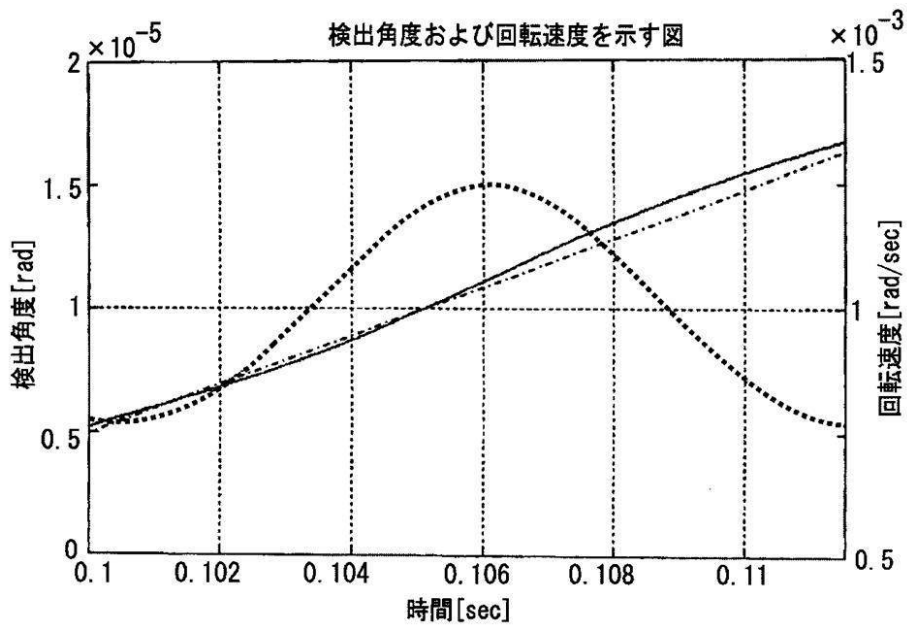
【図 5】



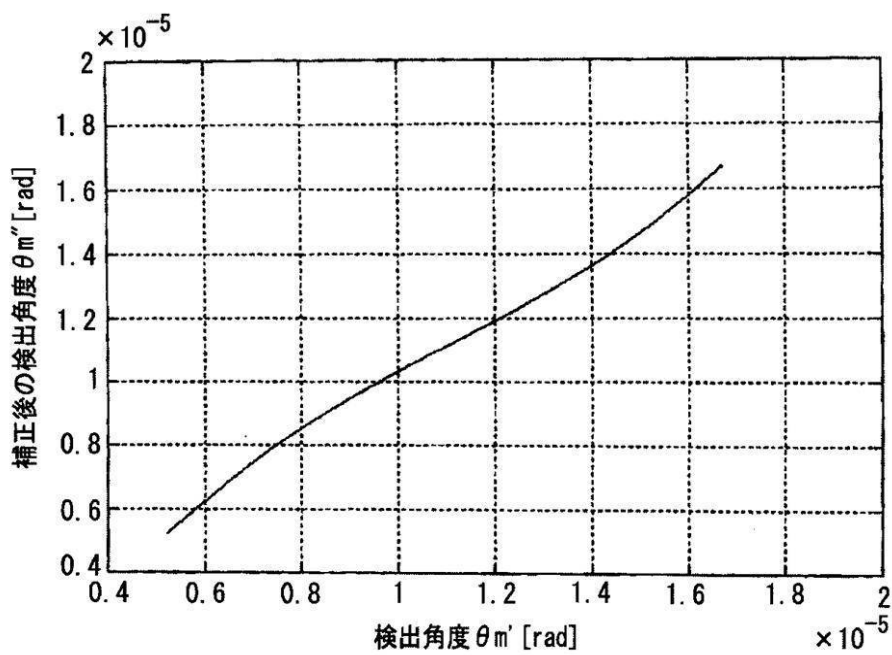
【図 6】



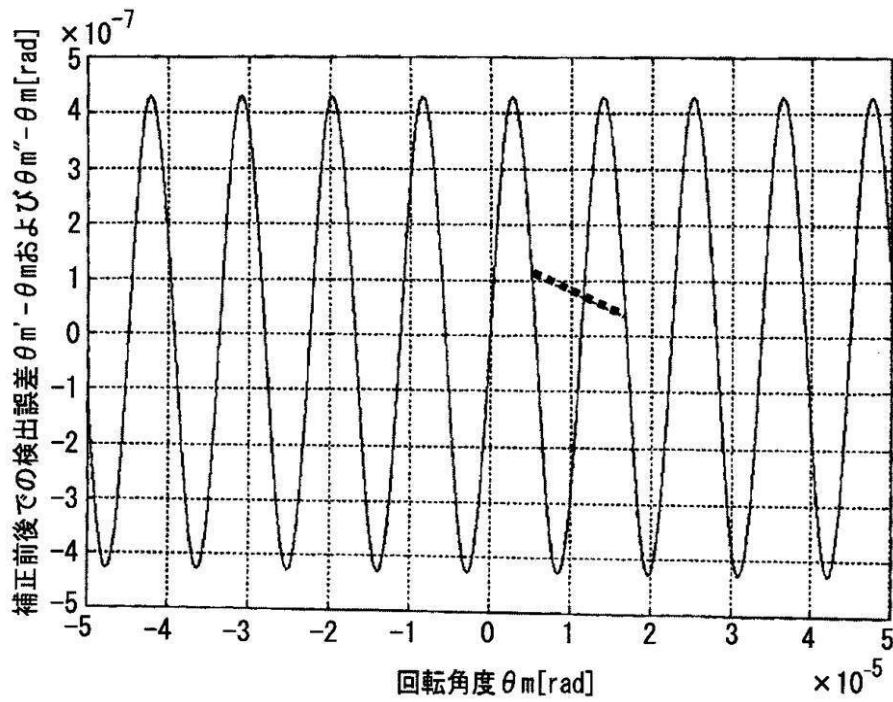
【図 7】



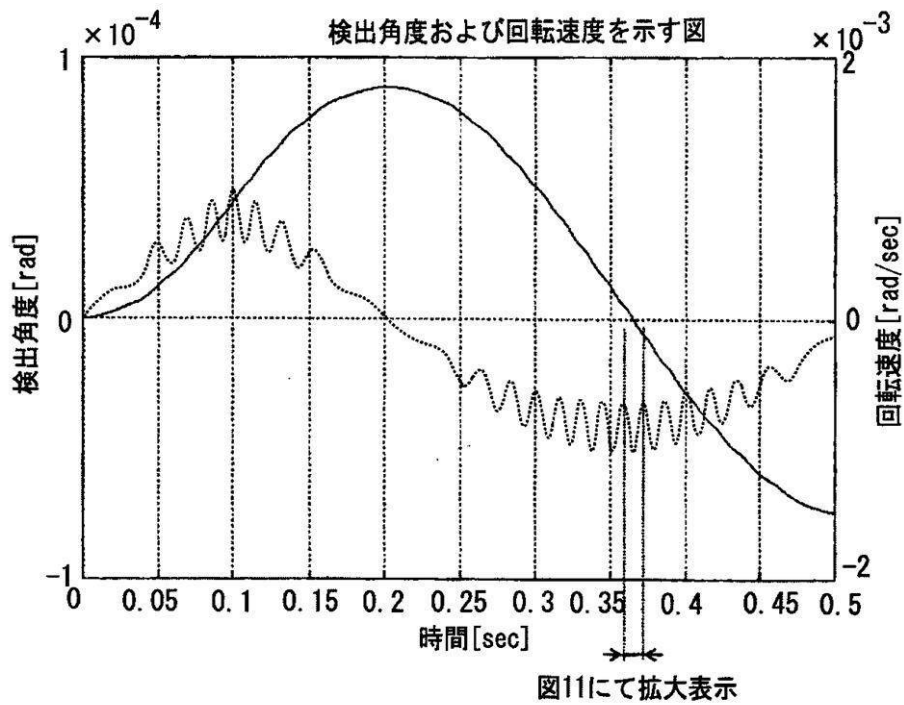
【図 8】



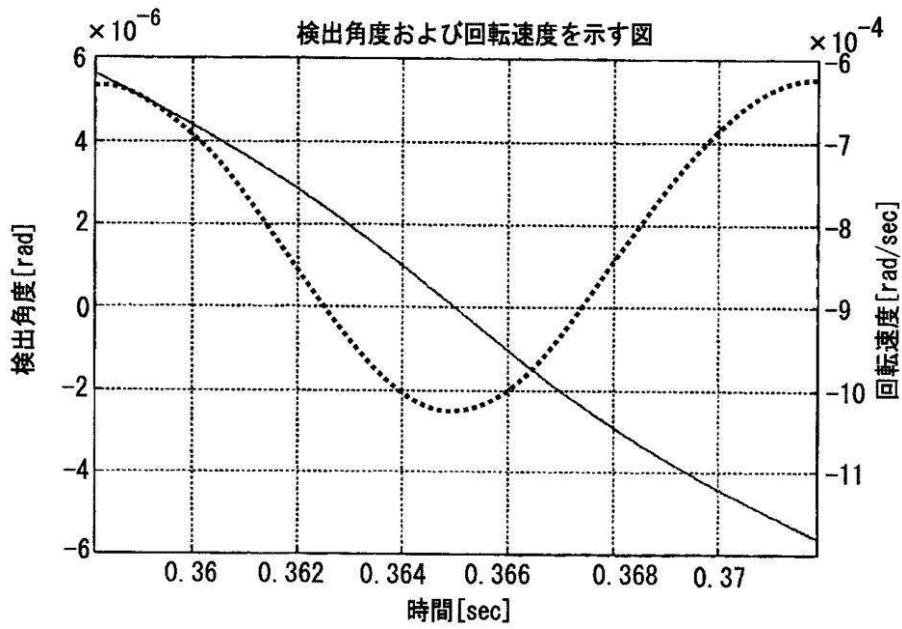
【図 9】



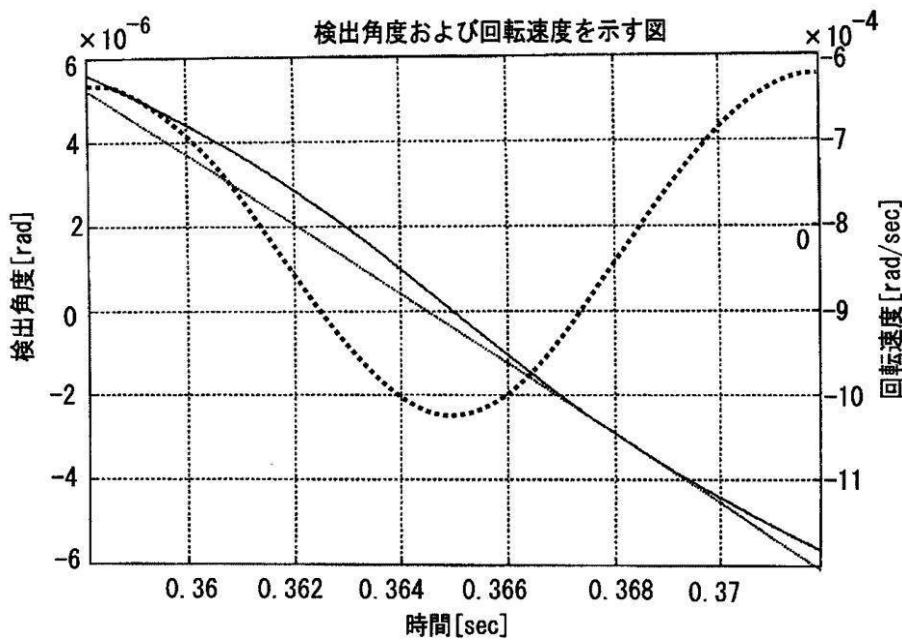
【図 10】



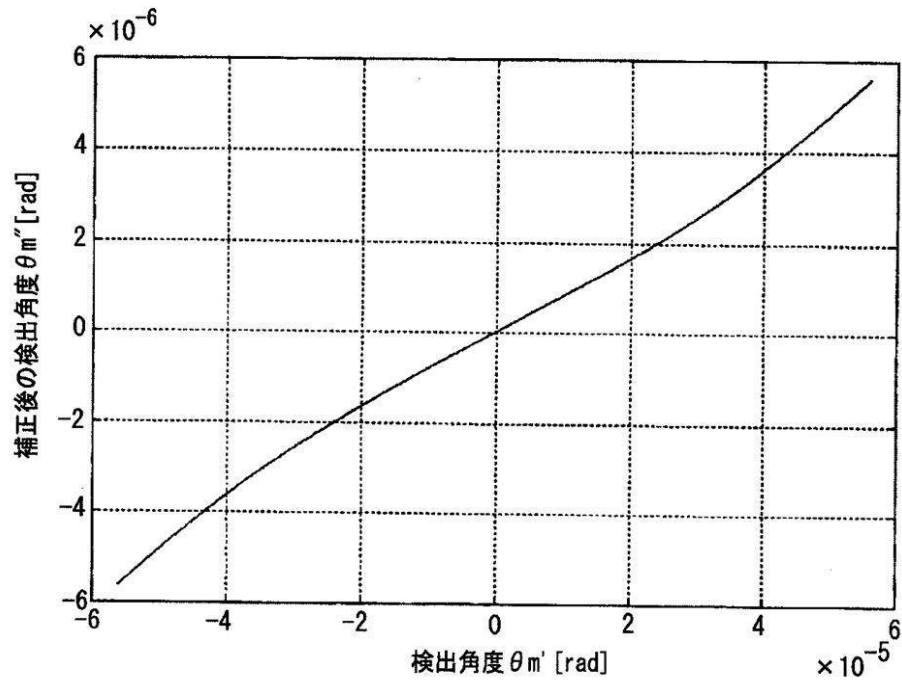
【図 1 1】



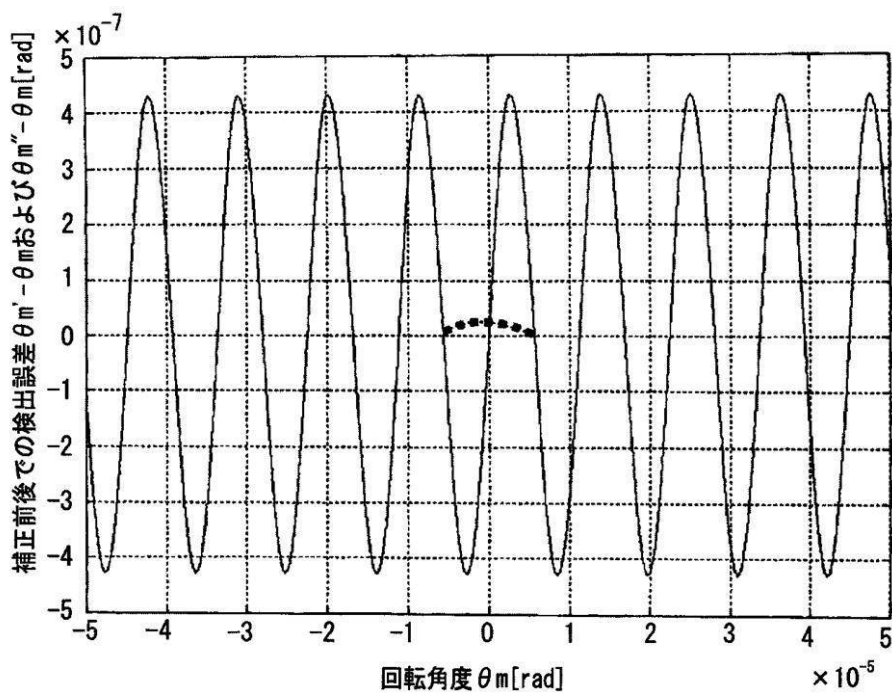
【図 1 2】



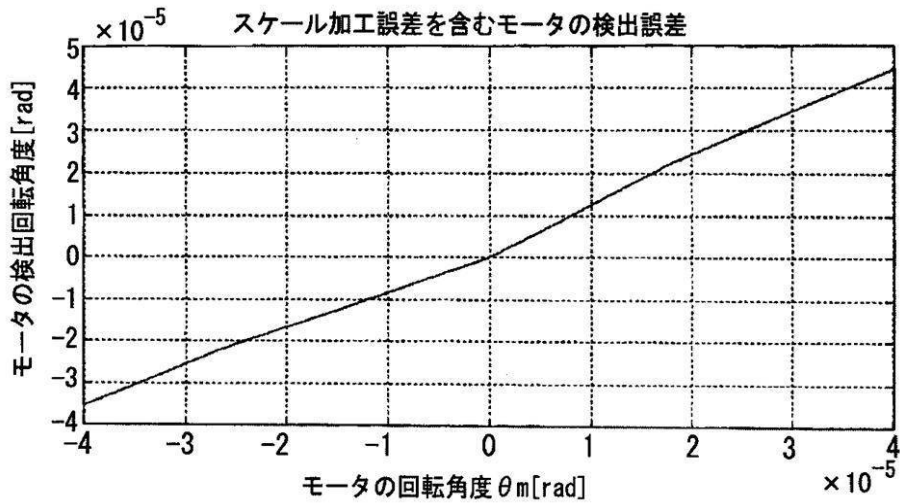
【図 13】



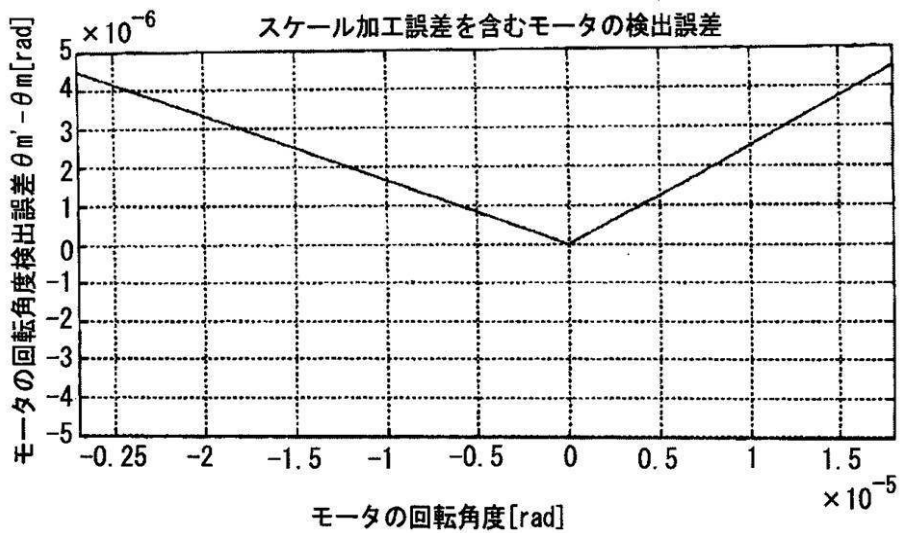
【図 14】



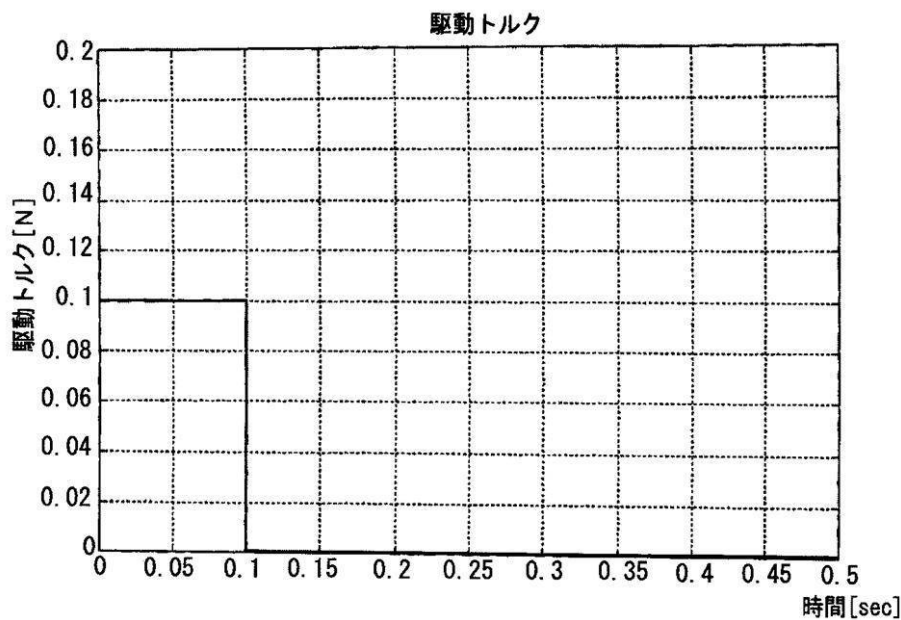
【図 15】



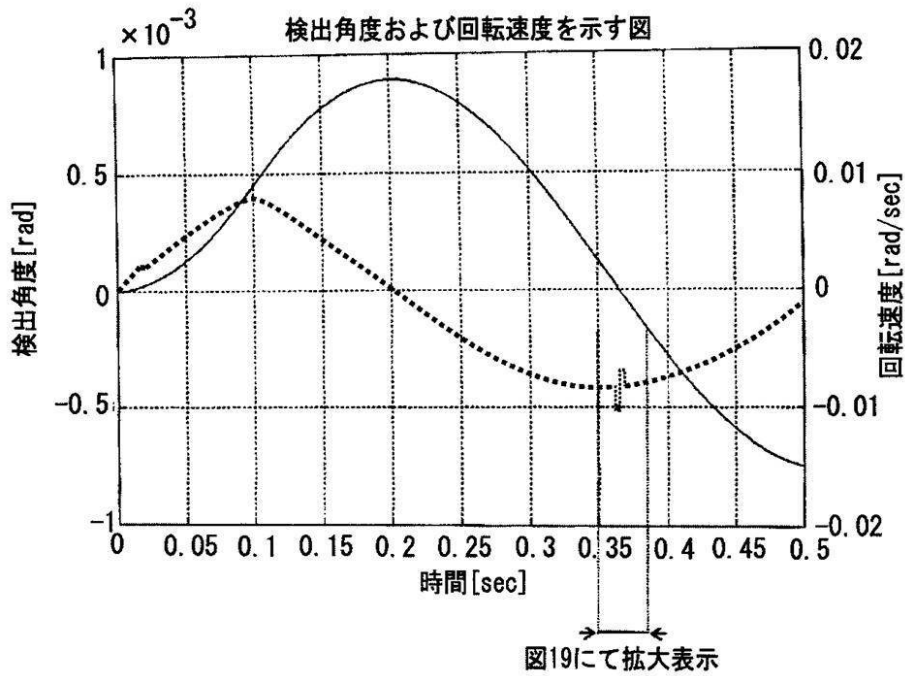
【図 16】



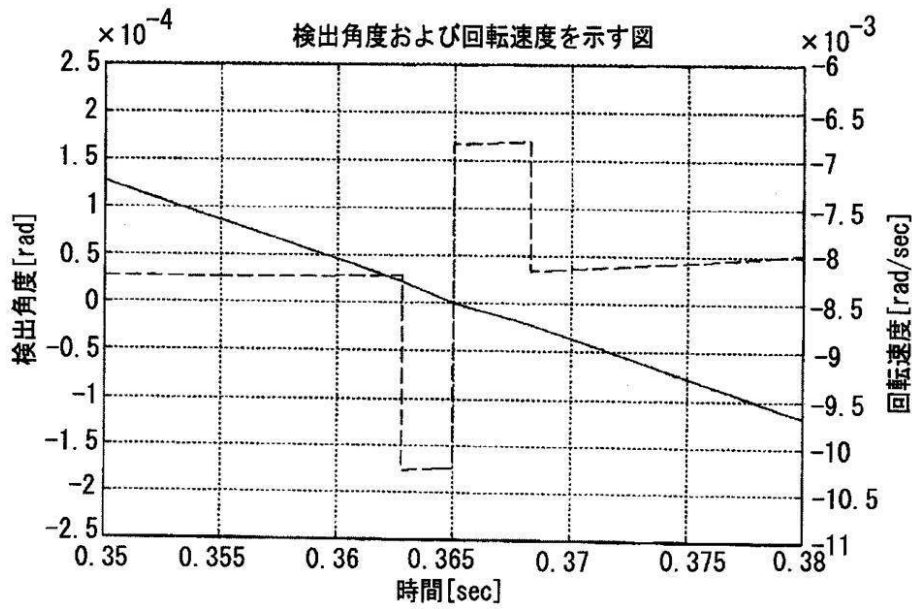
【図 17】



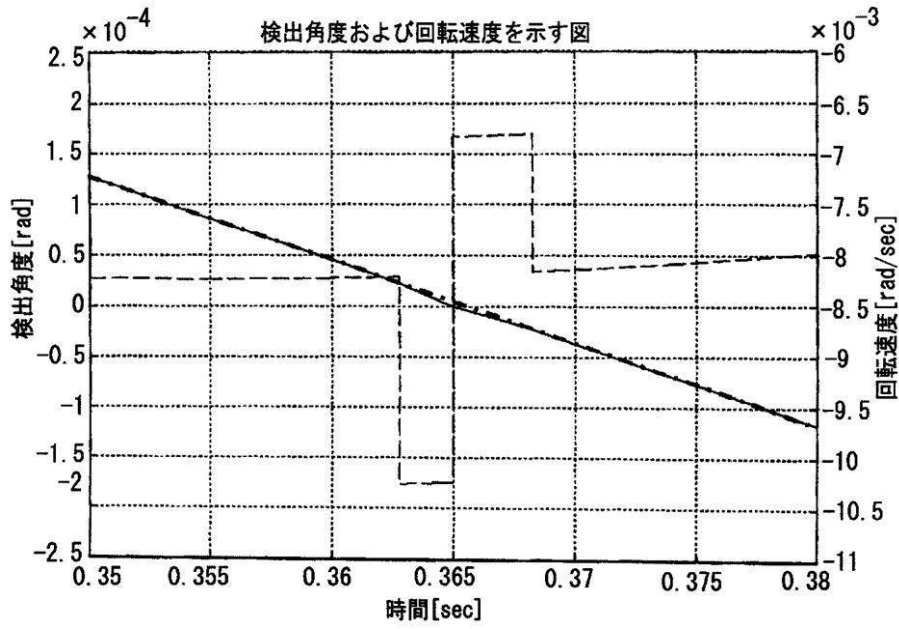
【図18】



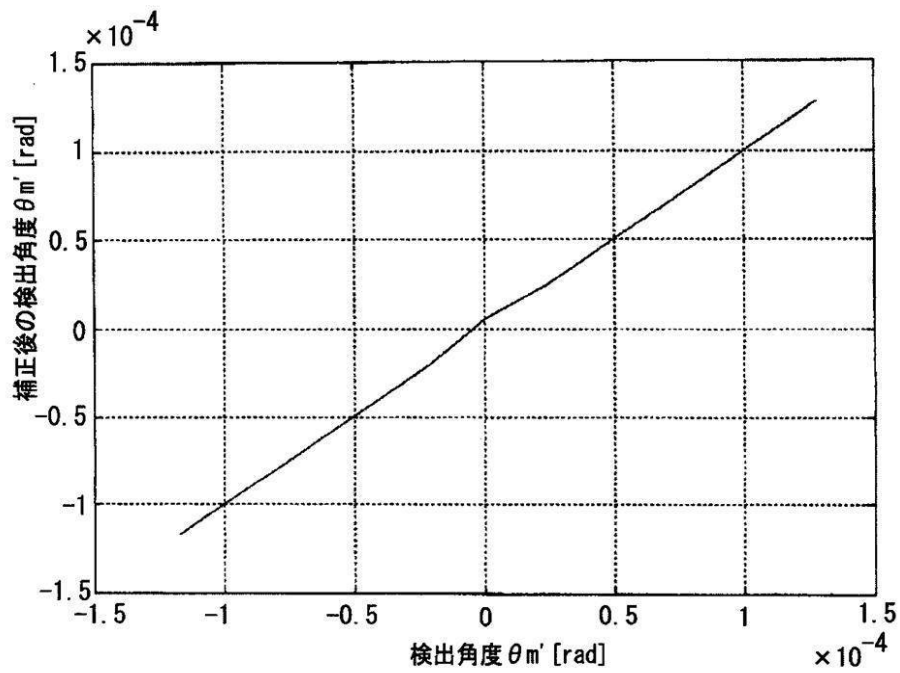
【図19】



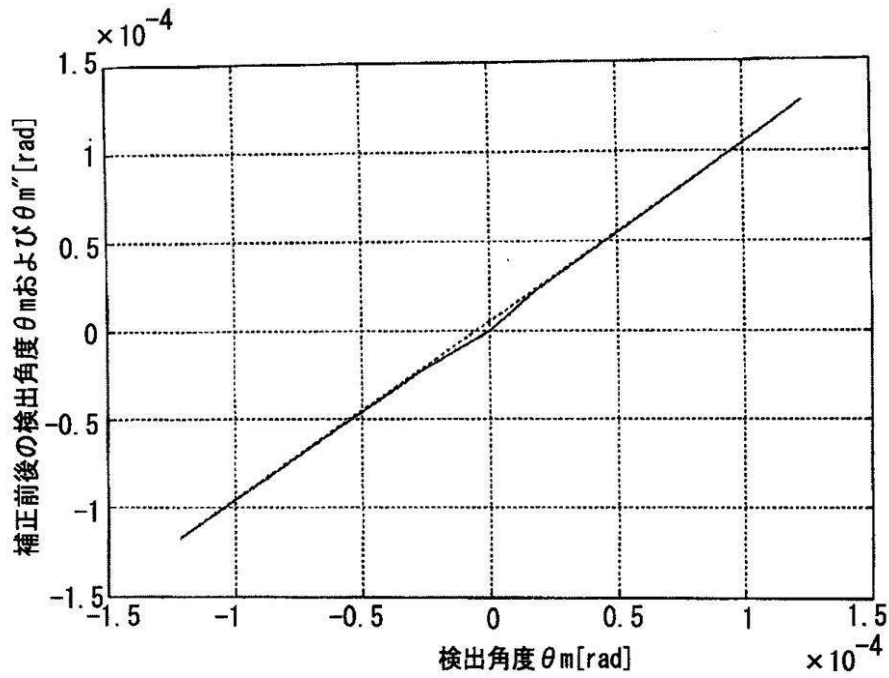
【図 20】



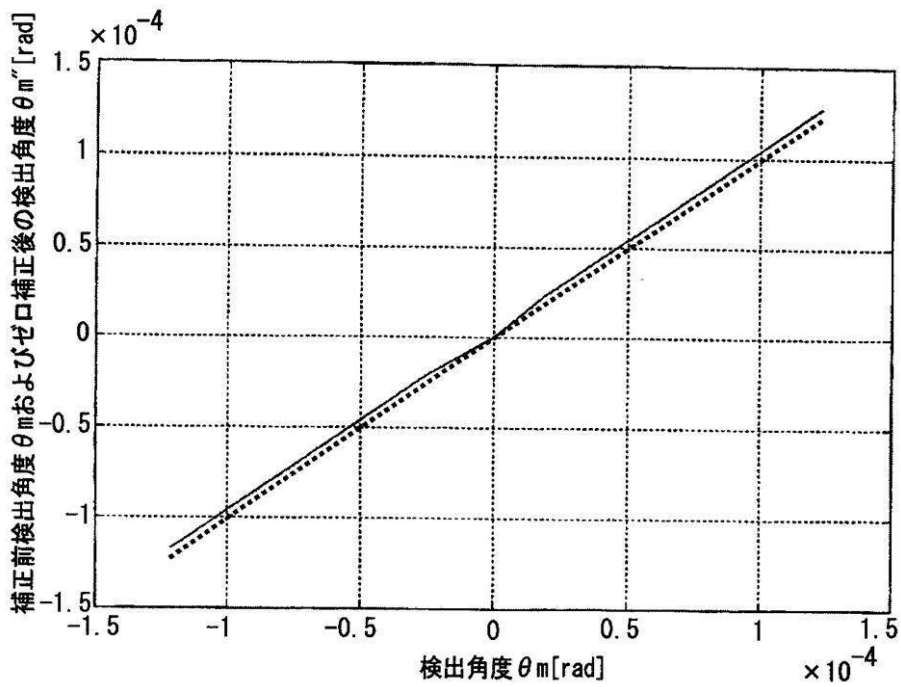
【図 21】



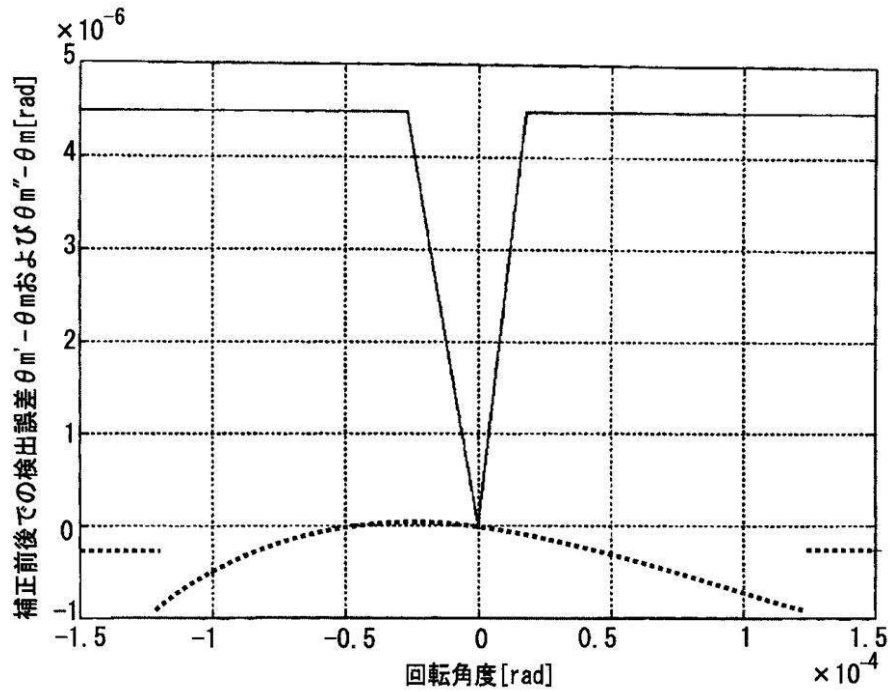
【図 2 2】



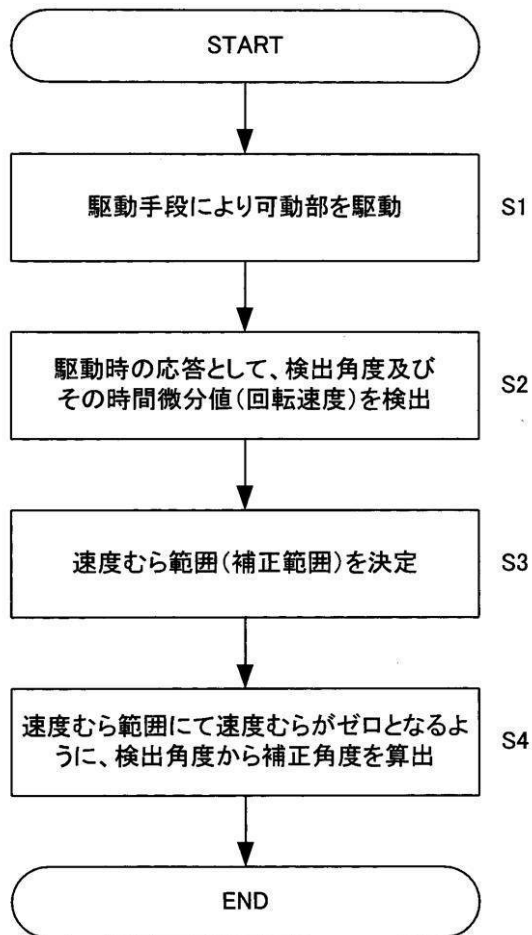
【図 2 3】



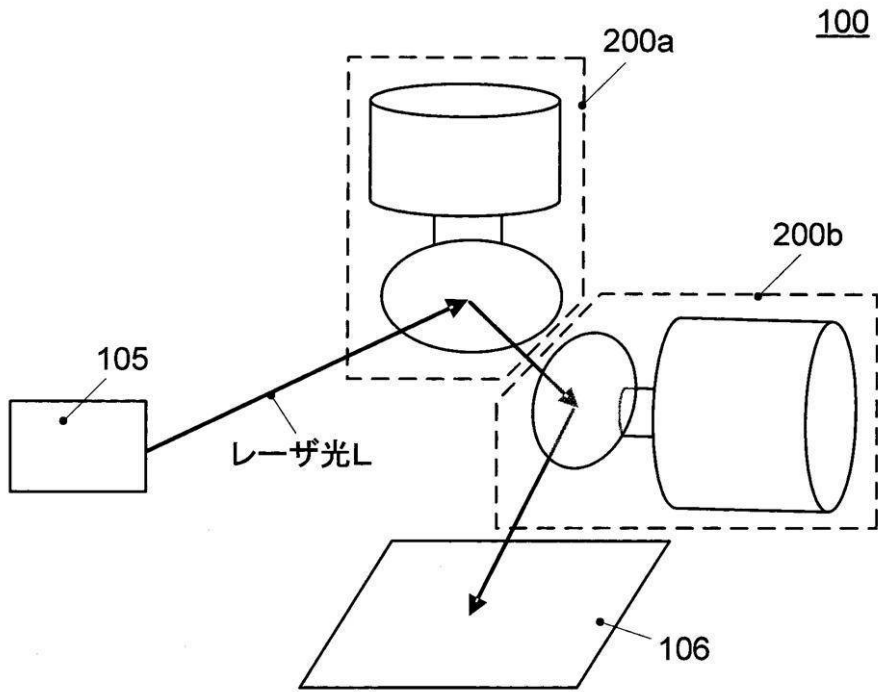
【図 2 4】



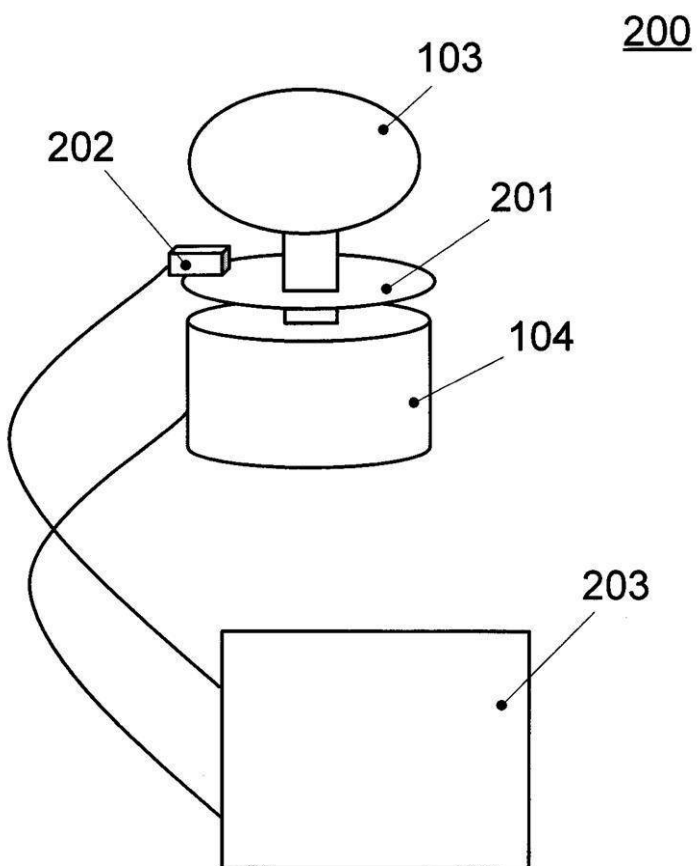
【図 2 5】



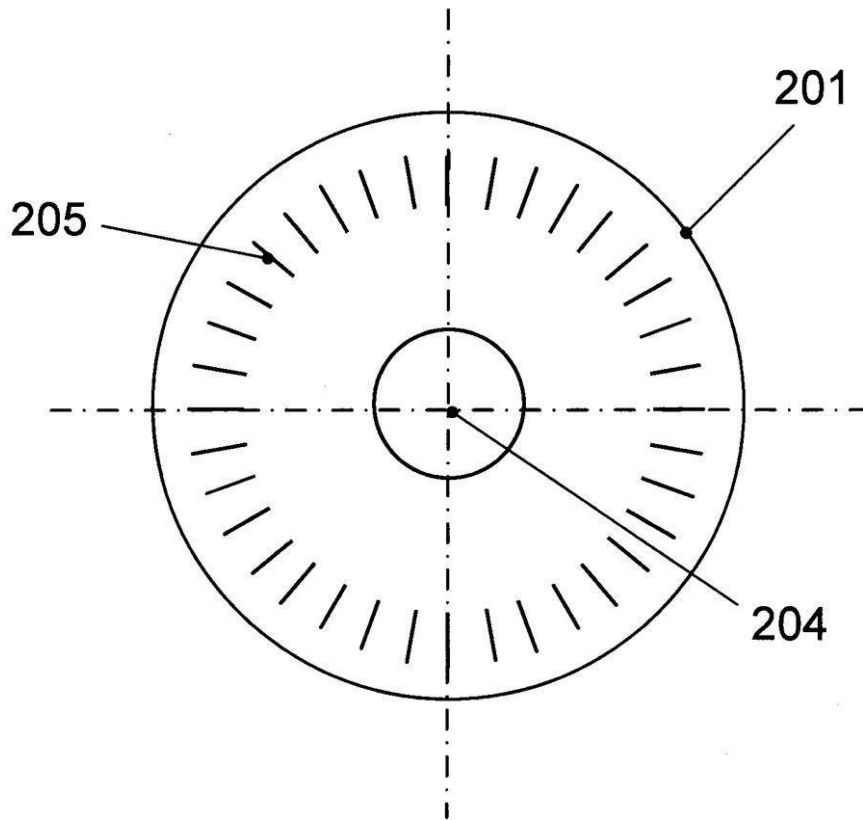
【図 26】



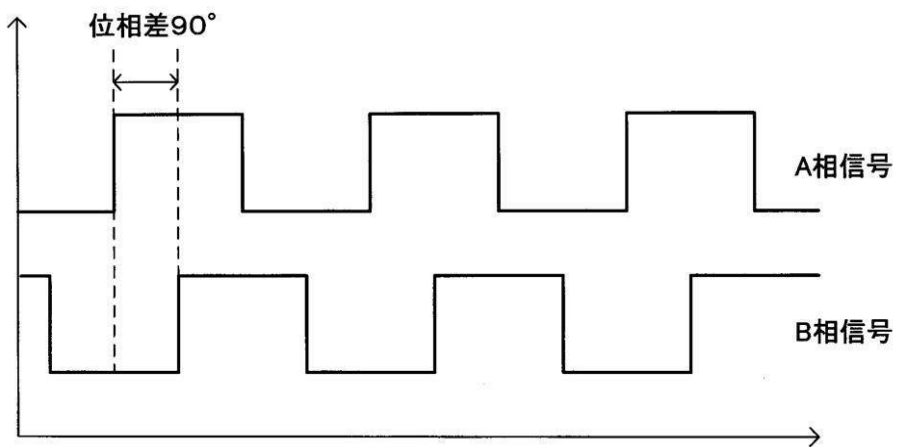
【図 27】



【图 2 8】



【图 2 9】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.	F I	テーマコード(参考)
	B 2 3 K 26/08	B

F ターム(参考) 5H501 AA22 BB20 DD01 FF03 GG01 GG03 JJ17 KK06 LL07 LL35
MM19