

(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2011-253125

(P2011-253125A)

(43) 公開日 平成23年12月15日(2011.12.15)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>G02B 26/10 (2006.01)</b>	G02B 26/10 104Z	2H045
<b>B23K 26/08 (2006.01)</b>	B23K 26/08 B	4E068

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2010-128269 (P2010-128269)	(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
(22) 出願日	平成22年6月3日(2010.6.3)	(74) 代理人	100076428 弁理士 大塚 康德
		(74) 代理人	100112508 弁理士 高柳 司郎
		(74) 代理人	100115071 弁理士 大塚 康弘
		(74) 代理人	100116894 弁理士 木村 秀二
		(74) 代理人	100130409 弁理士 下山 治
		(74) 代理人	100134175 弁理士 永川 行光

最終頁に続く

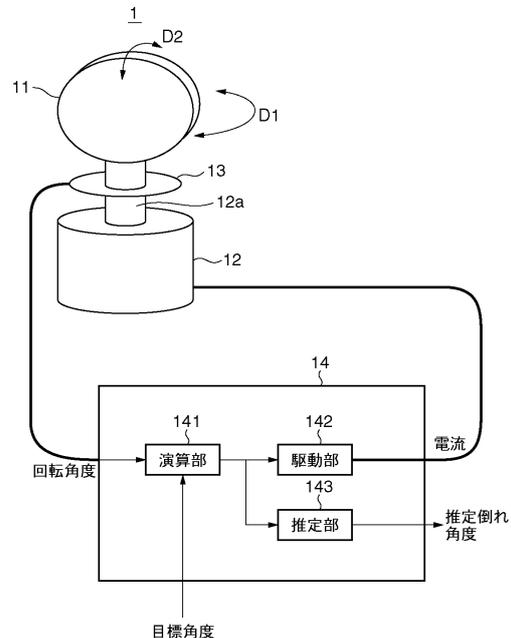
(54) 【発明の名称】 ガルバノ装置及びレーザー加工装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】ミラーの倒れに起因する物品の加工精度の低下を抑制することができるガルバノ装置を提供する。

【解決手段】第1のミラー11と、第1のミラーを回転させる第1のモータ12と、第1のミラーの回転角度を検出する第1の検出部13と、第1の検出部で検出される第1のミラーの回転角度が目標角度となるように、第1のモータに電流を供給する第1の駆動部と、当該電流の電流値とこれに対応する第1のミラーの倒れ角度との関係を表すモデルを参照して、第1の駆動部によって第1のモータに供給された電流値に対応する第1のミラーの倒れ角度を推定する第1の推定部と、第1の推定部で推定された第1のミラーの倒れ角度が許容値を超えるかどうかを判定し、許容値を超えている場合に、第1のミラーの倒れ角度が許容値に収まるように、第1の駆動部による駆動電流の供給を調整する処理を行う処理部と、を有することを特徴とするガルバノ装置1を提供する。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

第 1 のミラーと、  
 前記第 1 のミラーを回転させる第 1 のモータと、  
 前記第 1 のミラーの回転角度を検出する第 1 の検出部と、  
 前記第 1 の検出部で検出される前記第 1 のミラーの回転角度が目標角度となるように、  
 前記第 1 のモータを駆動するための電流を前記第 1 のモータに供給する第 1 の駆動部と、  
 前記第 1 のモータに供給される電流の電流値と当該電流値に対応する前記第 1 のミラー  
 の倒れ角度との関係を表すモデルを参照して、前記第 1 の駆動部によって前記第 1 のモータ  
 に電流を供給したときの当該電流の電流値に対応する前記第 1 のミラーの倒れ角度を推  
 定する第 1 の推定部と、

前記第 1 の推定部で推定された前記第 1 のミラーの倒れ角度が許容値を超えるかどうか  
 を判定し、前記第 1 の推定部で推定された前記第 1 のミラーの倒れ角度が許容値を超えて  
 いると判定した場合に、前記第 1 のミラーを目標角度に回転させたときの前記第 1 のミラ  
 ーの倒れ角度が許容値に収まるように、前記第 1 の駆動部による前記第 1 のモータへの電  
 流の供給を調整する処理を行う処理部と、

を有することを特徴とするガルバノ装置。

## 【請求項 2】

前記処理部は、前記処理として、前記第 1 のミラーを次の目標角度に回転させるための  
 電流を前記第 1 のモータに供給する時刻の前に、前記第 1 のミラーの倒れ角度を許容値に  
 収めるための調整時間を設定することを特徴とする請求項 1 に記載のガルバノ装置。

## 【請求項 3】

前記処理部は、前記処理として、前記第 1 のミラーの倒れ角度が許容値に収まるよう  
 に、前記第 1 のミラーを回転させて次の目標角度へ位置決めする時間を調整することを特徴  
 とする請求項 1 に記載のガルバノ装置。

## 【請求項 4】

前記第 1 のミラー、前記第 1 のモータ、前記第 1 の検出部、前記第 1 の駆動部及び前記  
 第 1 の推定部は、第 1 のユニットを構成し、

前記ガルバノ装置は、第 2 のミラーと、前記第 2 のミラーを回転させる第 2 のモータと  
 、前記第 2 のミラーの回転角度を検出する第 2 の検出部と、前記第 2 の検出部で検出され  
 る前記第 2 のミラーの回転角度が目標角度となるように、前記第 2 のモータを駆動するた  
 めの電流を前記第 2 のモータに供給する第 2 の駆動部と、前記第 2 のモータに供給される  
 電流の電流値と当該電流値に対応する前記第 2 のミラーの倒れ角度との関係を表すモデル  
 を参照して、前記第 2 の駆動部によって前記第 2 のモータに電流を供給したときの当該電  
 流の電流値に対応する前記第 2 のミラーの倒れ角度を推定する第 2 の推定部とを含む第 2  
 のユニットを更に有し、

前記第 1 のモータの回転軸と前記第 2 のモータの回転軸とは互いに直交しており、

前記処理部は、前記処理として、前記第 1 のユニットの前記第 1 の推定部で推定された  
 前記第 1 のミラーの倒れ角度を前記第 2 のユニットの前記第 2 の推定部で推定された前記  
 第 2 のミラーの倒れ角度で補償することを特徴とする請求項 1 に記載のガルバノ装置。

## 【請求項 5】

被照射体にレーザ光を照射するレーザ加工装置であって、

請求項 1 乃至 4 のうちいずれか 1 項に記載のガルバノ装置と、

前記ガルバノ装置の第 1 のミラーに前記レーザ光を照射する照射部と、

を有することを特徴とするレーザ加工装置。

## 【請求項 6】

被照射体にレーザ光を照射するレーザ加工装置であって、

ガルバノ装置と、

前記ガルバノ装置に前記レーザ光を照射する照射部と、

制御部と、

10

20

30

40

50

を有し、  
 前記ガルバノ装置は、  
 ミラーと、  
 前記ミラーを回転させるモータと、  
 前記ミラーの回転角度を検出する検出部と、  
 前記検出部で検出される前記ミラーの回転角度が目標角度となるように、前記モータを駆動するための電流を前記モータに供給する駆動部と、  
 前記モータに供給される電流の電流値と当該電流値に対応する前記ミラーの倒れ角度との関係を表すモデルを参照して、前記駆動部によって前記モータに電流を供給したときの当該電流の電流値に対応する前記ミラーの倒れ角度を推定する推定部と、  
 を含み、  
 前記制御部は、前記ミラーの回転角度を制御することで前記被照射体における前記レーザー光の照射位置を制御すると共に、前記推定部で推定された前記ミラーの倒れ角度が許容値を超えている場合に前記ミラーの倒れ角度が許容値に収まるまで前記照射部による前記レーザー光の照射を停止することを特徴とするレーザー加工装置。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ガルバノ装置及びレーザー加工装置に関する。

【背景技術】

20

【0002】

レーザー穴あけ装置、レーザートリマ装置、レーザーリペア装置などのレーザー加工装置（工作機械）においては、ガルバノ装置が使用されている。ガルバノ装置は、モータの回転軸に取り付けられたミラーの回転角度を制御しながら、かかるミラーでレーザー光を反射して目標位置に照射する。レーザー光の照射位置を目標位置に高精度に位置決めするためには、ミラーの回転角度を高精度に制御することが必要となる。そこで、ガルバノ装置には、ミラーの回転角度を検出する検出器（例えば、静電容量センサ、光学式又は磁気式エンコーダ）が備えられている。なお、レーザー加工装置には高速性も求められているため、ガルバノ装置のミラーを高速に回転駆動する必要がある。

【0003】

30

また、ガルバノ装置では、モータの回転軸及びミラーの動バランスが取れていない場合やモータの磁石及びコイルによって生じる力に回転方向以外の成分が含まれている場合に、ミラーがモータの回転軸に対して倒れ方向に振動する振動モードが励起される。そこで、ミラーの倒れ方向の振動を抑制するために、モータの回転軸に対する動バランスを調整する技術が従来から提案されている（特許文献1参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開昭61-116632号公報

【発明の概要】

40

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、従来技術では、レーザーの照射位置（即ち、ミラーの回転角度）を高速、且つ、高精度に位置決めする際に、ミラーの倒れ方向の振動を十分に取り除くことができない。また、ミラーの倒れ方向の振動は、従来のガルバノ装置が有するようなミラーの回転角度を検出する検出器では検出することができないため、かかる振動が存在したまま物品が加工され、物品の加工不良が生じる可能性がある。特に、レーザーを複数の照射位置のそれぞれに連続的に位置決めする場合には、ミラーの倒れ方向の振動が十分に減衰する前に次の位置決め動作が行われることがあり、振動の波が重ね合わされてより大きな振動が生じてしまうことがある。

50

## 【 0 0 0 6 】

本発明は、このような従来技術の課題に鑑みてなされ、ミラーの倒れに起因する物品の加工精度の低下を抑制することができる技術を提供することを例示的目的とする。

## 【課題を解決するための手段】

## 【 0 0 0 7 】

上記目的を達成するために、本発明の一側面としてのガルバノ装置は、第1のミラーと、前記第1のミラーを回転させる第1のモータと、前記第1のミラーの回転角度を検出する第1の検出部と、前記第1の検出部で検出される前記第1のミラーの回転角度が目標角度となるように、前記第1のモータを駆動するための電流を前記第1のモータに供給する第1の駆動部と、前記第1のモータに供給される電流の電流値と当該電流値に対応する前記第1のミラーの倒れ角度との関係を表すモデルを参照して、前記第1の駆動部によって前記第1のモータに電流を供給したときの当該電流の電流値に対応する前記第1のミラーの倒れ角度を推定する第1の推定部と、前記第1の推定部で推定された前記第1のミラーの倒れ角度が許容値を超えるかどうかを判定し、前記第1の推定部で推定された前記第1のミラーの倒れ角度が許容値を超えていると判定した場合に、前記第1のミラーを目標角度に回転させたときの前記第1のミラーの倒れ角度が許容値に収まるように、前記第1の駆動部による前記第1のモータへの電流の供給を調整する処理を行う処理部と、を有することを特徴とする。

10

## 【 0 0 0 8 】

本発明の更なる目的又はその他の側面は、以下、添付図面を参照して説明される好ましい実施形態によって明らかにされるであろう。

20

## 【発明の効果】

## 【 0 0 0 9 】

本発明によれば、例えば、ミラーの倒れに起因する物品の加工精度の低下を抑制する技術を提供することができる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【 0 0 1 0 】

【図1】第1の実施形態におけるガルバノ装置の構成を示す概略図である。

【図2】図1に示すガルバノ装置におけるミラーの軸倒れ方向への振動を説明するための図である。

30

【図3】式1に示すモデルを用いてミラーの倒れ角度を推定した結果を示す図である。

【図4】図1に示すガルバノ装置を適用したレーザ加工装置の構成を示す概略図である。

【図5】図1に示すガルバノ装置に適用される第2の実施形態におけるミラーの位置決め制御系の構成の一例を示す概略ブロック図である。

【図6】第2の実施形態におけるガルバノ装置のミラーの位置決めを説明するための図である。

【図7】第2の実施形態におけるガルバノ装置のミラーの位置決めを説明するための図である。

【図8】第3の実施形態におけるガルバノ装置のミラーの位置決めを説明するための図である。

40

【図9】第3の実施形態におけるガルバノ装置のミラーの位置決めを説明するための図である。

【図10】第4の実施形態におけるレーザ加工装置の構成を示す概略図である。

【図11】図10に示すレーザ加工装置におけるミラーの位置決め制御系の構成の一例を示す概略ブロック図である。

【図12】第4の実施形態におけるガルバノ装置のミラーの位置決めを説明するための図である。

## 【発明を実施するための形態】

## 【 0 0 1 1 】

以下、添付図面を参照して、本発明の好適な実施の形態について説明する。なお、各図

50

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。

< 第 1 の実施形態 >

図 1 は、本発明の第 1 の実施形態におけるガルバノ装置 1 の構成を示す概略図である。ガルバノ装置 1 は、例えば、レーザ穴あけ装置、レーザトリマ装置、レーザリペアなどのレーザ加工装置に適用され、レーザ光を反射して被照射体（加工対象の物品）の目標位置に照射するための装置である。ガルバノ装置 1 は、ミラー 1 1 と、モータ 1 2 と、検出部 1 3 と、制御部 1 4 とを有する。

【 0 0 1 2 】

ミラー 1 1 は、モータ 1 2 の回転軸 1 2 a に取り付けられ、レーザ光を被照射体や他のミラーに向けて反射する。モータ 1 2 は、ミラー 1 1 を回転させる回転モータである。検出部 1 3 は、本実施形態では、モータ 1 2 の回転軸 1 2 a に取り付けられたロータリエンコーダで構成され、ミラー 1 1 の回転角度（即ち、回転軸 1 2 a の回転角度）を検出する。制御部 1 4 は、ミラー 1 1 の回転角度を制御する機能を有し、例えば、検出部 1 3 で検出されたミラー 1 1 の回転角度が目標角度となるように、モータ 1 2 を制御する。

10

【 0 0 1 3 】

ここで、制御部 1 4 について詳細に説明する。制御部 1 4 は、本実施形態では、演算部 1 4 1 と、駆動部 1 4 2 と、推定部 1 4 3 とを含む。

【 0 0 1 4 】

演算部 1 4 1 には、検出部 1 3 で検出されたミラー 1 1 の回転角度とミラー 1 1 の目標とする角度、即ち、ミラー 1 1 の目標角度が入力される。演算部 1 4 1 は、ミラー 1 1 の回転角度と目標角度との差分を求め、かかる差分がゼロとなるように（即ち、ミラー 1 1 の回転角度が目標角度となるように）、モータ 1 2 に供給する電流の電流値を決定する。演算部 1 4 1 で決定された電流値は、駆動部 1 4 2 及び推定部 1 4 3 に入力される。駆動部 1 4 2 は、演算部 1 4 1 で決定された電流値に従って、モータ 1 2 を駆動するための電流をモータ 1 2 に供給する。モータ 1 2 は、駆動部 1 4 2 から供給される電流に応じて、ミラー 1 1 を回転方向 D 1 に回転させて目標角度に位置決めする。

20

【 0 0 1 5 】

この際、ミラー 1 1 は、軸倒れ方向 D 2 に倒れて振動する。なお、ミラー 1 1 の軸倒れとは、基準軸（回転軸 1 2 の設計上の中心軸）に対してミラー 1 1 が傾くことを意味し、以下、基準軸に対するミラー 1 1 の角度を倒れ角度と称する。図 2 ( a ) は、ミラー 1 1 を目標角度に回転させたときのミラー 1 1 の回転角度（検出部 1 3 で検出されたミラー 1 1 の回転角度）と目標角度との差分及びミラー 1 1 の倒れ角度（実測値）との関係を示す図である。なお、ミラー 1 1 の倒れ角度の測定は、測定系の制限によって、ミラー 1 1 の位置決めを開始してから 4 0 0  $\mu$  s e c 後に開始されている。また、図 2 ( a ) に示すようにミラー 1 1 を目標角度に回転させたときの駆動部 1 4 2 からモータ 1 2 に供給された電流の波形を図 2 ( b ) に示す。

30

【 0 0 1 6 】

図 2 ( a ) 及び図 2 ( b ) を参照するに、モータ 1 2 に供給される電流の電流値 [ A ] に対応するミラー 1 1 の倒れ角度 [ r a d ] は、以下の式 1 に示すように、1 自由度減衰系の伝達関数モデルで近似表現することができる。なお、式 1 において、s は、ラプラス演算子である。

40

$$= ( 1 . 0 6 1 \times 1 0 ^ { 2 } ) / ( s ^ { 2 } + 4 2 7 . 3 s + 2 . 5 4 7 \times 1 0 ^ { 8 } ) \cdots ( \text{式 1} )$$

式 1 に示すモデルを用いてミラー 1 1 の倒れ角度を推定した結果を図 3 に示す。図 3 では、縦軸にミラー 1 1 の倒れ角度を採用し、横軸にミラー 1 1 の位置決めを開始してからの時間を採用している。図 2 ( a ) と図 3 とを比較するに、ミラー 1 1 の倒れ角度の実測値と式 1 に示すモデルを用いたミラー 1 1 の倒れ角度の推定値とが、精度よく一致していることが分かる。

【 0 0 1 7 】

推定部 1 4 3 は、上述したようなモータ 1 2 に供給される電流の電流値とミラー 1 1 の

50

倒れ角度との関係を表すモデルを参照して、駆動部 1 4 2 によってモータ 1 2 に供給された電流の電流値に対応するミラー 1 1 の倒れ角度を推定する。推定部 1 4 3 で推定されたミラー 1 1 の倒れ角度は、推定倒れ角度として出力され、例えば、処理部に提供される。なお、処理部は、ミラー 1 1 の推定倒れ角度が許容値を超えているかどうかを判定する。そして、処理部は、ミラー 1 1 の推定倒れ角度が許容値を超えていると判定した場合、ミラー 1 1 を目標角度に回転させるときのミラー 1 1 の倒れ角度を許容値に収めるための処理（駆動部 1 4 2 によるモータ 1 2 への電流の供給を調整する処理）を行う。

**【 0 0 1 8 】**

図 4 は、図 1 に示すガルバノ装置 1 を適用したレーザ加工装置 2 の構成を示す概略図である。レーザ加工装置 2 は、加工対象の物体 O B に照射するレーザ光 L L を発する照射部 2 2 0 と、レーザ光 L L の X 軸方向の照射位置を制御する第 1 のユニットと、レーザ光 L L の Y 軸方向の照射位置を制御する第 2 のユニットと、主制御部 2 3 0 とを有する。なお、X 軸及び Y 軸は、互いに直交する軸である。

10

**【 0 0 1 9 】**

第 1 のユニットは、X 軸ミラー（第 1 のミラー）2 0 1 と、X 軸ミラー 2 0 1 を回転させる X 軸モータ（第 1 のモータ）2 0 2 と、X 軸ミラー 2 0 1 の回転角度を検出する X 軸検出部（第 1 の検出部）2 0 3 とを含む。更に、第 1 のユニットは、X 軸モータ 2 0 2 を制御する X 軸制御部 2 0 4 と、X 軸ミラー 2 0 1 の目標角度を指令（入力）してレーザ光 L L の X 軸方向の照射位置を制御する X 軸モータ位置指令部 2 0 5 とを含む。

**【 0 0 2 0 】**

第 2 のユニットは、Y 軸ミラー（第 2 のミラー）2 0 6 と、Y 軸ミラー 2 0 6 を回転させる Y 軸モータ（第 2 のモータ）2 0 7 と、Y 軸ミラー 2 0 6 の回転角度を検出する Y 軸検出部（第 2 の検出部）2 0 8 とを含む。更に、第 2 のユニットは、Y 軸モータ 2 0 7 を制御する Y 軸制御部 2 0 9 と、Y 軸ミラー 2 0 6 の目標角度を指令（入力）してレーザ光 L L の Y 軸方向の照射位置を制御する Y 軸モータ位置指令部 2 1 0 とを含む。

20

**【 0 0 2 1 】**

X 軸制御部 2 0 4 は、図 1 を参照して説明した制御部 1 4 に相当する構成を有し、X 軸ミラー 2 0 1 の倒れ角度を推定する（第 1 の推定部）と共に、X 軸モータ 2 0 2 を駆動するための電流を X 軸モータ 2 0 2 に供給する（第 1 の駆動部）。同様に、Y 軸制御部 2 0 9 は、図 1 を参照して説明した制御部 1 4 に相当する構成を有し、Y 軸ミラー 2 0 6 の倒れ角度を推定する（第 2 の推定部）と共に、Y 軸モータ 2 0 7 を駆動するための電流を Y 軸モータ 2 0 7 に供給する（第 2 の駆動部）。なお、X 軸制御部 2 0 4 は、主制御部 2 3 0 に対して、推定した X 軸ミラー 2 0 1 の倒れ角度を示す X 軸ミラー推定倒れ角度を提供し、Y 軸制御部 2 0 9 は、推定した Y 軸ミラー 2 0 6 の倒れ角度を示す Y 軸ミラー推定倒れ角度を提供する。また、X 軸モータ 2 0 2 の回転軸と Y 軸モータ 2 0 7 の回転軸とは、互いに直交している。

30

**【 0 0 2 2 】**

物体 O B を加工する（即ち、物体 O B にレーザ光 L L を照射する）際には、主制御部 2 3 0 は、X 軸モータ位置指令部 2 0 5 及び Y 軸モータ位置指令部 2 1 0 のそれぞれに対して、物体 O B におけるレーザ光 L L の照射位置の座標を指令する。X 軸モータ位置指令部 2 0 5 及び Y 軸モータ位置指令部 2 1 0 のそれぞれは、主制御部 2 3 0 から指令された座標を X 軸ミラー 2 0 1 の目標角度及び Y 軸ミラー 2 0 6 の目標角度に変換し、かかる目標角度を X 軸制御部 2 0 4 及び Y 軸制御部 2 0 9 に指令する。

40

**【 0 0 2 3 】**

なお、主制御部 2 3 0 は、X 軸制御部 2 0 4 から提供される X 軸ミラー推定倒れ角度及び Y 軸制御部 2 0 9 から提供される Y 軸ミラー推定倒れ角度が許容値を超えている場合には、それらが許容値に収まるまで照射部 2 2 0 によるレーザ光 L L の照射を停止する。そして、主制御部 2 3 0 は、X 軸ミラー推定倒れ角度及び Y 軸ミラー推定倒れ角度が許容値に収まった後に、物体 O B へのレーザ光 L L の照射が開始又は再開されるように、照射部 2 2 0、X 軸モータ位置指令部 2 0 5 及び Y 軸モータ位置指令部 2 1 0 を制御する。

50

## 【 0 0 2 4 】

このように、本実施形態では、X軸ミラー201及びY軸ミラー206を目的角度に回転させることによって倒れ（振動）が生じた場合には、それぞれのミラーの倒れ角度が許容値に収まるまで物体OBへのレーザ光LLの照射（物体OBの加工）を停止する。従って、レーザ加工装置2は、物体OBの加工不良を低減して、物体OBを高精度に加工することができる。

## &lt; 第2の実施形態 &gt;

レーザ加工装置では、ガルバノ装置に対してミラーの位置決めを指令し、加工対象の物体上の加工位置（照射位置）にレーザ光を照射する。その際、加工対象の物体上の加工位置は予め決まっており、かかる加工位置にレーザ光を照射するためのミラーの目標角度も決まっている。従って、ガルバノ装置のミラーを次の目標角度へ位置決めするタイミング（位置決めを開始する時刻）が決まれば、第1の実施形態で説明したようなモデルを用いることによって、そのときのミラーの倒れ角度を推定することが可能である。そこで、本実施形態では、加工対象の物体を加工する（加工対象の物体にレーザ光を照射する）ときのミラーの倒れ角度が許容値に収まるように、ミラーの位置決めを開始する前に調整時間（待機時間）を挿入する。

10

## 【 0 0 2 5 】

図5は、図1に示すガルバノ装置1に適用される本実施形態におけるミラー11の位置決め制御系の構成の一例を示す概略ブロック図である。本実施形態では、モータ12は、駆動部142から供給される電流の電流値に対して、検出部13で検出されるミラー11の回転角度が $1.736 \times 10^4 / s^2$ の伝達関数モデルで近似表現されるモータモデルを有するものとする。また、ミラー11及び検出部13は、回転方向D1の運動に対して、ねじれ運動しない剛体であるものとする。

20

## 【 0 0 2 6 】

本実施形態におけるミラー11の位置決め制御系は、図5に示すように、2自由度制御系のデジタル制御系で構成されている。なお、推定部143は、式1に示すモデルを用いてミラー11の倒れ角度を推定する。2自由度制御系でのフィードフォワード制御電流加算項51は、終端状態制御によるジャーク最小化軌道で設計されている。また、参照角度52は、フィードフォワード制御電流加算項51をモータ12のモータモデルに入力して、その角度応答を求めた値を設定している。従って、フィードバック制御系53は、モータ12のモータモデルから得られる回転角度とモータ12の実際の回転角度（即ち、検出部13で検出されるミラー11の回転角度）とが一致している場合には機能しない。なお、本実施形態では、モータ12のモータモデルから得られる回転角度とモータ12の実際の回転角度とが一致しているものとする。

30

## 【 0 0 2 7 】

終端状態制御は、例えば、「ナノスケールサーボ制御」（東京電気大学出版局、P174～P178）で詳しく説明されており、制御対象に入力を与えて、システムの初期状態を有限時間で指定した終端状態にする制御である。本実施形態では、制御対象であるモータ12のモータモデルを伝達関数モデルから離散時間システムモデルに変換して、モータ12に供給する電流をモータ12の加速度の1階微分の総和を最小化する、所謂、ジャーク最小化軌道で設計した。

40

## 【 0 0 2 8 】

本実施形態では、以下に示すように、 $7 \times 10^{-3} [rad]$ の同じ回転量（角度移動量）でミラー11の位置決めを2回連続して行った場合について具体的に説明する。

## 1回目の位置決め

初期状態での角度位置： $x[0] = 0 [rad]$

終端状態での角度位置： $x[N] = 7 \times 10^{-3} [rad]$

## 2回目の位置決め

初期状態での角度位置： $x[0] = 7 \times 10^{-3} [rad]$

終端状態での角度位置： $x[N] = 14 \times 10^{-3} [rad]$

50

サンプリング周波数は150kHzとし、終端ステップ数は79とした。なお、終端ステップ数は、ミラー11を初期状態から終端状態にするまでのサンプリング回数である。

【0029】

1回目の位置決めと2回目の位置決めとは、回転量、回転方向及び終端ステップ数が同じであるため、駆動部142から供給される電流の電流値に対するモータ12の角度応答は同じである。

【0030】

1回目の位置決めを行うための指令（駆動部142への電流の供給）に対して、ミラー11が終端状態になった後に調整時間を設定し、2回目の位置決めを行うための指令を行った。1回目の位置決めと2回目の位置決めとの間に設定される調整時間を66.4[ $\mu$ sec]ずつ変更してミラー11の倒れ角度を推定した結果を図6(a)、図6(b)、図7(a)及び図7(b)に示す。図6(a)、図6(b)、図7(a)及び図7(b)の上段には、ミラー11の倒れ角度（推定値）が実線で、検出部13で検出されるミラー11の回転角度が破線で示されている。また、図6(a)、図6(b)、図7(a)及び図7(b)の下段には、駆動部142からモータ12に供給された電流の波形が示されている。

【0031】

ここで、ガルバノ装置のミラーの位置決めが完了した後において、レーザ加工装置が加工対象の物体にレーザ光を照射する処理に要する時間を200[ $\mu$ sec]とする。また、物体の加工精度を満たすためには、ミラーの回転角度と目標角度との差分、及び、ミラーの倒れ角度を10[ $\mu$ rad]以下にする必要があるものとする。

【0032】

図6(a)、図6(b)及び図7(a)のそれぞれに示すように、調整時間が $199.2 \times 10^{-6}$ [sec]、 $265.6 \times 10^{-6}$ [sec]及び $332.0 \times 10^{-6}$ [sec]である場合には、ミラーの倒れ角度が10[ $\mu$ rad]以上生じている。また、図7(a)を参照するに、調整時間が $332.0 \times 10^{-6}$ [sec]である場合、ミラーの倒れ角度を10[ $\mu$ rad]以下にするためには、2.7[msec]を要することがわかる。

【0033】

一方、図7(b)に示すように、調整時間が $398.4 \times 10^{-6}$ [sec]である場合には、2回目の位置決め完了時にミラーの倒れ角度が10[ $\mu$ rad]以下になっており、1.5[msec]後にレーザ光の照射を行う条件が整っていることがわかる。

【0034】

このように、本実施形態では、ガルバノ装置のミラーの倒れ角度が許容値に収まった後にミラーを次の目標角度に回転させる際に、駆動部によるモータへの電流の供給タイミングを制御する。具体的には、ガルバノ装置のミラーを次の目標角度に回転させるための電流をモータに供給する時刻の前に、ミラーの倒れ角度を許容値に収めるための調整時間を設定する。これにより、ミラーの倒れ（又は振動）を抑制することが可能となり、加工対象の物体を高速、且つ、高精度に加工することができる。

【0035】

本実施形態では、同じ回転量（角度移動量）でミラーの位置決めを2回連続して行った場合について説明した。但し、異なる回転量で、或いは、2回以上連続してミラーの位置決めを行う場合であっても、同様に、ミラーの倒れ角度を許容値に収めるための調整時間を設定することで、加工対象の物体の高速、且つ、高精度な加工を実現することができる。

【0036】

また、本実施形態では、終端状態を用いた2自由度制御系でミラーの位置決め制御系を構成したが、1自由度制御系やその他の2自由度制御系などでミラーの位置決め制御系を構成することもできる。

【0037】

10

20

30

40

50

また、レーザ光の照射を厳密に制御できる場合には、ミラーの倒れ角度が許容値に収まっているときだけにレーザ光を照射することを組み合わせることによって、加工対象の物体を更に高精度に加工することが可能となる。

#### < 第 3 の実施形態 >

上述したように、ガルバノ装置のミラーを次の目標角度へ位置決めするタイミング（位置決めを開始する時刻）が決まれば、第 1 の実施形態で説明したようなモデルを用いることによって、そのときのミラーの倒れ角度を推定することが可能である。そこで、本実施形態では、加工対象の物体を加工する（加工対象の物体にレーザ光を照射する）ときのミラーの倒れ角度が許容値に収まるように、ミラーの位置決めに必要な時間を調整（長く）する。

10

#### 【 0 0 3 8 】

本実施形態では、以下に示すように、 $7 \times 10^{-3}$  [rad] の同じ回転量（角度移動量）でミラー 11 の位置決めを 2 回連続して行った場合について具体的に説明する。なお、ミラー 11 の位置決め制御系の構成については、第 2 の実施形態と同様である。

##### 1 回目の位置決め

初期状態での角度位置： $x[0] = 0$  [rad]

終端状態での角度位置： $x[N] = 7 \times 10^{-3}$  [rad]

サンプリング周波数：150 kHz

終端ステップ数：79

##### 2 回目の位置決め

20

初期状態での角度位置： $x[0] = 7 \times 10^{-3}$  [rad]

終端状態での角度位置： $x[N] = 14 \times 10^{-3}$  [rad]

サンプリング周波数：150 kHz

終端ステップ数：79、90、105

1 回目の位置決めと 2 回目の位置決めとは、回転量及び回転方向は同じであるが、終端ステップ数が異なるため、駆動部 142 から供給される電流の電流値に対するモータ 12 の角度応答も異なる。

#### 【 0 0 3 9 】

1 回目の位置決めを行うための指令（駆動部 142 への電流の供給）に対して、ミラー 11 が終端状態になった後に、レーザ光の照射に必要な時間として 200 [μsec] を経過させ、2 回目の位置決めを行うための指令を行った。2 回目の位置決めにおける終端ステップ数を 79、90、100 としてミラー 11 の倒れ角度を推定した結果を図 8 (a)、図 8 (b) 及び図 9 に示す。図 8 (a)、図 8 (b) 及び図 9 の上段には、ミラー 11 の倒れ角度（推定値）が実線で、検出部 13 で検出されるミラー 11 の回転角度が破線で示されている。また、図 8 (a)、図 8 (b) 及び図 9 の下段には、駆動部 142 からモータ 12 に供給された電流の波形が示されている。

30

#### 【 0 0 4 0 】

ここで、第 2 の実施形態と同様に、物体の加工精度を満たすためには、ミラーの回転角度と目標角度との差分、及び、ミラーの倒れ角度を  $10$  [μrad] 以下にする必要があるものとする。

40

#### 【 0 0 4 1 】

図 8 (a) に示すように、2 回目の位置決めにおける終端ステップ数が 79 である場合には、2 回目の位置決め完了時において、ミラーの倒れ角度が  $10$  [μrad] 以上生じている。そして、ミラーの倒れ角度が  $10$  [μrad] 以下に収まるまでには、 $3.2$  [msec] を要することがわかる。また、図 8 (b) に示すように、2 回目の位置決めにおける終端ステップ数が 90 である場合には、ミラーの倒れ角度が  $10$  [μrad] 以下に収まるまでには、2 回目の位置決め完了時から  $2.2$  [msec] を要することがわかる。

#### 【 0 0 4 2 】

一方、図 9 に示すように、2 回目の位置決めにおける終端ステップ数が 105 である場

50

合には、2回目の位置決め完了時にミラーの倒れ角度が $10 [\mu \text{rad}]$ 以下になっており、 $1.4 [\text{msec}]$ 後にレーザ光の照射を行う条件が整っていることがわかる。

【0043】

このように、本実施形態では、ガルバノ装置のミラーの倒れ角度が許容値を超えない範囲でミラーを次の目標角度へ位置決めする時間を調整してモータを制御する。これにより、ミラーの倒れ（又は振動）を制御することが可能となり、加工対象の物体を高速、且つ、高精度に加工することができる。

【0044】

本実施形態では、同じ回転量（角度移動量）でミラーの位置決めを2回連続して行った場合について説明した。但し、異なる回転量で、或いは、2回以上連続してミラーの位置決めを行う場合であっても、同様に、次の目標角度にミラーを回転させる位置決め時間を調整することで、加工対象の物体の高速、且つ、高精度な加工を実現することができる。

<第4の実施形態>

図10は、本発明の第4の実施形態におけるレーザ加工装置2Aの構成を示す概略図である。レーザ加工装置2Aは、加工対象の物体OBに照射するレーザ光LLを発する照射部220と、レーザ光LLのX軸方向の照射位置を制御する第1のユニットと、レーザ光LLのY軸方向の照射位置を制御する第2のユニットと、主制御部230とを有する。なお、X軸及びY軸は、互いに直交する軸である。

【0045】

第1のユニットは、X軸ミラー（第1のミラー）201と、X軸ミラー201を回転させるX軸モータ（第1のモータ）202と、X軸ミラー201の回転角度を検出するX軸検出部（第1の検出部）203とを含む。更に、第1のユニットは、X軸モータ202を制御するX軸制御部204と、X軸ミラー201の目標角度を指令（入力）してレーザ光LLのX軸方向の照射位置を制御するX軸モータ位置指令部205とを含む。

【0046】

第2のユニットは、Y軸ミラー（第2のミラー）206と、Y軸ミラー206を回転させるY軸モータ（第2のモータ）207と、Y軸ミラー206の回転角度を検出するY軸検出部（第2の検出部）208とを含む。更に、第2のユニットは、Y軸モータ207を制御するY軸制御部209と、Y軸ミラー206の目標角度を指令（入力）してレーザ光LLのY軸方向の照射位置を制御するY軸モータ位置指令部210とを含む。

【0047】

X軸制御部204及びY軸制御部209のそれぞれは、図1を参照して説明した制御部14に相当する構成を有し、X軸ミラー201の倒れ角度及びY軸ミラー206の倒れ角度を推定する。X軸制御部204は、主制御部230に対して、推定したX軸ミラー201の倒れ角度を示すX軸ミラー推定倒れ角度を提供し、Y軸制御部209は、推定したY軸ミラー206の倒れ角度を示すY軸ミラー推定倒れ角度を提供する。また、X軸モータ202の回転軸とY軸モータ207の回転軸とは、互いに直交している。

【0048】

物体OBを加工する（即ち、物体OBにレーザ光LLを照射する）際には、主制御部230は、X軸モータ位置指令部205及びY軸モータ位置指令部210のそれぞれに対して、物体OBにおけるレーザ光LLの照射位置の座標を指令する。X軸モータ位置指令部205及びY軸モータ位置指令部210のそれぞれは、主制御部230から指令された座標をX軸ミラー201の目標角度及びY軸ミラー206の目標角度に変換し、かかる目標角度をX軸制御部204及びY軸制御部209に指令する。この際、X軸モータ位置指令部205の補償部205aは、Y軸制御部209で推定されたY軸ミラー206の倒れ角度に起因するレーザ光LLのX軸方向の位置ずれが補償されるように、X軸制御部204に指令するX軸ミラー201の目標角度を補正する。同様に、Y軸モータ位置指令部210の補償部210aは、X軸制御部204で推定されたX軸ミラー201の倒れ角度に起因するレーザ光LLのY軸方向の位置ずれが補償されるように、Y軸制御部209に指令するY軸ミラー206の目標角度を補正する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 4 9 】

このように、本実施形態では、X軸ミラー201の倒れ角度を、Y軸モータ207でY軸ミラー206を回転させることによって補償し、Y軸ミラー206の倒れ角度を、X軸モータ202でX軸ミラー201を回転させることによって補償する。従って、レーザ加工装置2Aは、物体OBの加工不良を低減して、物体OBを高精度に加工することができる。

## 【 0 0 5 0 】

図11は、レーザ加工装置2AにおけるX軸ミラー201及びY軸ミラー206の位置決め制御系の構成の一例を示す概略ブロック図である。本実施形態では、X軸モータ202は、駆動部から供給される電流の電流値に対して、X軸検出部203で検出されるX軸ミラー201の回転角度が $1.736 \times 10^4 / s^2$ の伝達関数モデルで近似表現されるモータモデルを有するものとする。同様に、Y軸モータ207は、駆動部から供給される電流の電流値に対して、Y軸検出部208で検出されるY軸ミラー206の回転角度が $1.736 \times 10^4 / s^2$ の伝達関数モデルで近似表現されるモータモデルを有するものとする。また、X軸ミラー201、Y軸ミラー206、X軸検出部203及びY軸検出部208は、回転方向の運動に対して、ねじれ運動しない剛体であるものとする。

## 【 0 0 5 1 】

本実施形態におけるX軸ミラー201及びY軸ミラー206の位置決め制御系は、図11に示すように、2自由度制御系のデジタル制御系で構成されている。なお、X軸推定部1101及びY軸推定部1102のそれぞれは、式1に示すモデルを用いてX軸ミラー201の倒れ角度及びY軸ミラー206の倒れ角度を推定する。

## 【 0 0 5 2 】

X軸ミラー201の位置決め制御について説明する。2自由度制御系でのX軸フィードフォワード制御電流加算項1103は、終端状態制御によるジャーク最小化軌道で設計されている。X軸参照角度1104は、X軸フィードフォワード制御電流加算項1103をX軸モータ202のモータモデルに入力して、その角度応答を求めた値を設定している。X軸フィードバック制御系1105には、Y軸推定部1102で推定されたY軸ミラー206の倒れ角度をX軸参照角度1104に加算した値からX軸ミラー201の回転角度を減算した値が入力される。X軸フィードフォワード制御電流加算項1103からの出力とX軸フィードバック制御系1105からの出力との加算から得られる電流値がX軸推定部1101に入力され、X軸ミラー201の傾き角度が推定される。また、Y軸推定部1102で推定されたY軸ミラー206の倒れ角度がX軸モータモデルの逆モデル1106に入力され、Y軸ミラー206の倒れ角度を補償するためにX軸モータ202に供給する電流の電流値が算出される。X軸フィードフォワード制御電流加算項1103からの出力とX軸フィードバック制御系1105からの出力との加算から得られる電流値と、X軸モータモデルの逆モデル1106から出力される電流値とを加算した電流値をX軸モータ202に供給する。従って、X軸フィードバック制御系1105は、X軸モータ202のモータモデルから得られる回転角度とX軸モータ202の実際の回転角度（即ち、X軸検出部203で検出されるX軸ミラー201の回転角度）とが一致している場合には機能しない。なお、本実施形態では、X軸モータ202のモータモデルから得られる回転角度とX軸モータ202の実際の回転角度とが一致しているものとする。

## 【 0 0 5 3 】

Y軸ミラー206の位置決め制御について説明する。2自由度制御系でのY軸フィードフォワード制御電流加算項1107は、終端状態制御によるジャーク最小化軌道で設計されている。Y軸参照角度1108は、Y軸フィードフォワード制御電流加算項1107をY軸モータ207のモータモデルに入力して、その角度応答を求めた値を設定している。Y軸フィードバック制御系1109には、X軸推定部1101で推定されたX軸ミラー201の倒れ角度をY軸参照角度1108に加算した値からY軸ミラー206の回転角度を減算した値が入力される。Y軸フィードフォワード制御電流加算項1107からの出力とY軸フィードバック制御系1109からの出力との加算から得られる電流値がY軸推定部

10

20

30

40

50

1102に入力され、Y軸ミラー206の傾き角度が推定される。また、X軸推定部1101で推定されたX軸ミラー201の倒れ角度がY軸モータモデルの逆モデル1110に入力され、X軸ミラー201の倒れ角度を補償するためにY軸モータ207に供給する電流の電流値が算出される。Y軸フィードフォワード制御電流加算項1107からの出力とY軸フィードバック制御系1109からの出力との加算から得られる電流値と、Y軸モータモデルの逆モデル1110から出力される電流値とを加算した電流値をY軸モータ207に供給する。従って、Y軸フィードバック制御系1109は、Y軸モータ207のモータモデルから得られる回転角度とY軸モータ207の実際の回転角度（即ち、Y軸検出部208で検出されるY軸ミラー206の回転角度）とが一致している場合には機能しない。なお、本実施形態では、Y軸モータ207のモータモデルから得られる回転角度とY軸モータ207の実際の回転角度とが一致しているものとする。

10

## 【0054】

上述したように、X軸ミラー201の倒れ角度及びY軸ミラー206の倒れ角度は、 $(1.061 \times 10^2) / (s^2 + 427.3s + 2.547 \times 10^8)$ の1自由度減衰系の伝達関数モデルで近似表現することができる。また、駆動部から供給される電流の電流値に対して、X軸検出部203及びY軸検出部208のそれぞれで検出されるX軸ミラー201の回転角度及びY軸ミラー206の回転角度の応答は、伝達関数 $1.736 \times 10^4 / s^2$ で求められる。従って、X軸ミラー201の倒れ角度を補正するために必要なY軸モータ207の応答は、 $\{(1.061 \times 10^2) / (s^2 + 427.3s + 2.547 \times 10^8)\} / (1.736 \times 10^4 / s^2)$ となる。

20

## 【0055】

本実施形態では、レーザ光の照射位置をX軸方向のみに位置決めする際に、 $7 \times 10^{-3}$  [rad]の回転量（回転移動量）でX軸ミラー201の位置決めを1回行った場合について具体的に説明する。なお、X軸ミラー201の倒れ角度はY軸モータ207でY軸ミラー206を回転させることによって補償し、Y軸ミラー206の倒れ角度は補償しないものとする。

## 【0056】

X軸ミラー201の初期状態での角度位置を $x[0] = 0$  [rad]、終端状態での角度位置を $x[N] = 7 \times 10^{-3}$  [rad]とし、サンプリング周波数を150kHz、終端ステップ数を79とする。

30

## 【0057】

X軸ミラー201の倒れ角度を図12(a)の上段に、X軸モータ202に供給された電流の波形を図12(a)の下段に示す。また、図12(a)の上段に示すX軸ミラー201の倒れ角度を補償するために必要なY軸ミラー206の回転角度を図12(b)の上段に、Y軸モータ207に供給された電流の波形を図12(b)の下段に示す。

## 【0058】

図12(a)と図12(b)とを比較するに、X軸ミラー201の倒れ角度とY軸ミラー206の回転角度とは、位相が180度異なっており、X軸ミラー201の倒れ角度をY軸ミラー206の回転によって補正できていることがわかる。同様に、Y軸ミラー206の倒れ角度もX軸ミラー201の回転によって補正できることが理解されるであろう。なお、X軸ミラー201の倒れ角度をY軸ミラー206の回転によって補正する際には、Y軸ミラー206にも倒れ角度が生じるが、その倒れ角度の大きさは非常に小さいため無視することができる。勿論、Y軸ミラー206の倒れ角度を、X軸ミラー201の回転によって再度補正してもよい。

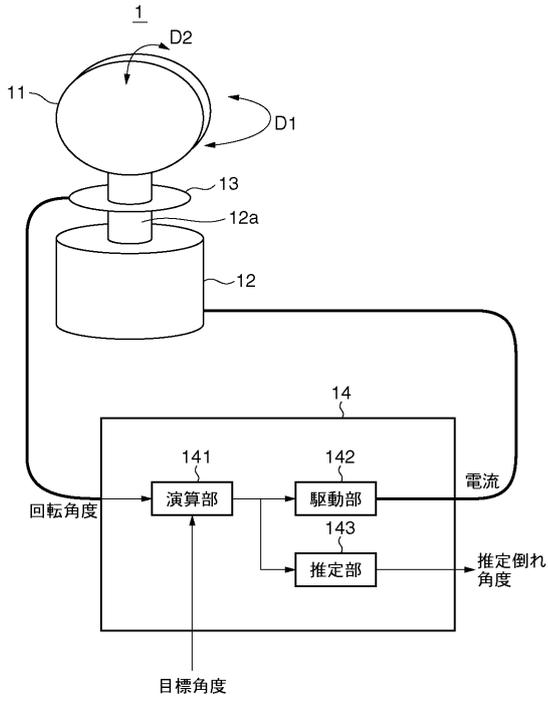
40

## 【0059】

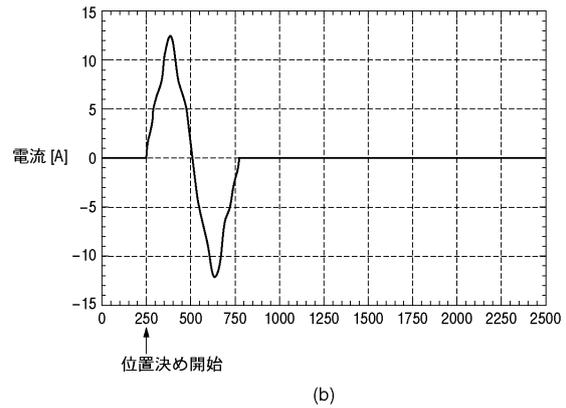
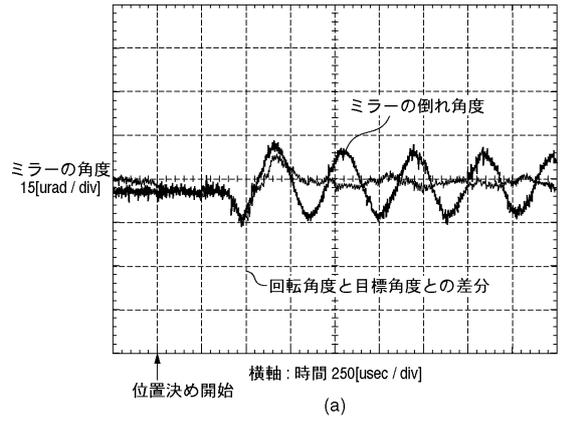
以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明はこれらの実施形態に限定されないことはいうまでもなく、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

。

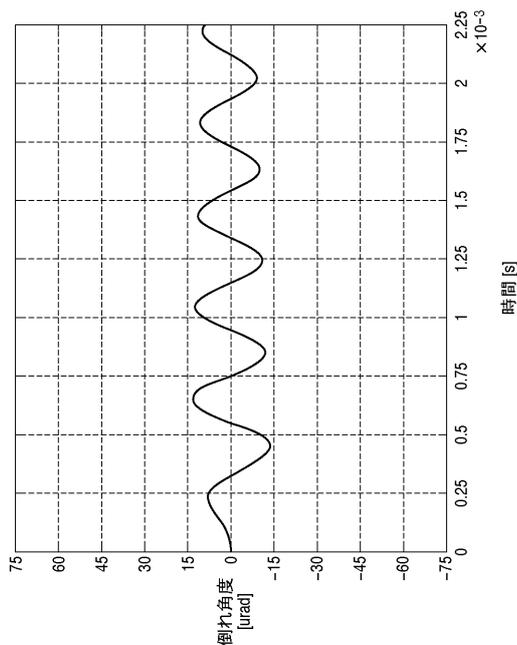
【 図 1 】



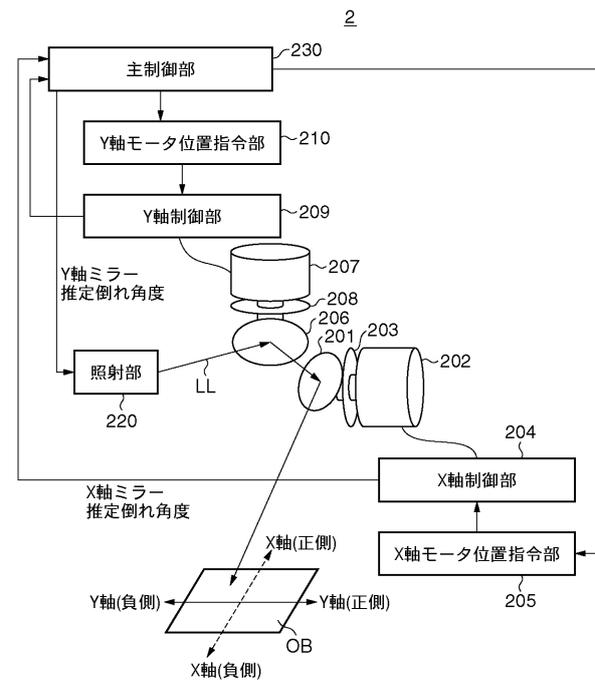
【 図 2 】



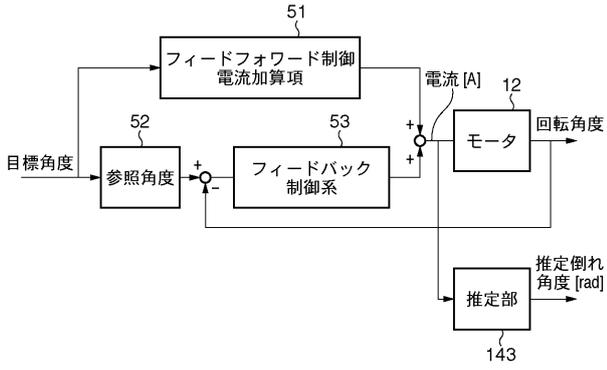
【 図 3 】



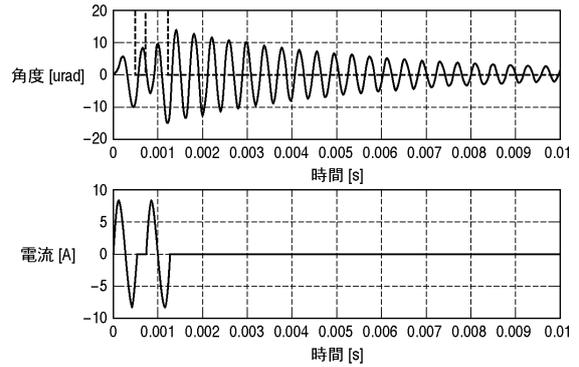
【 図 4 】



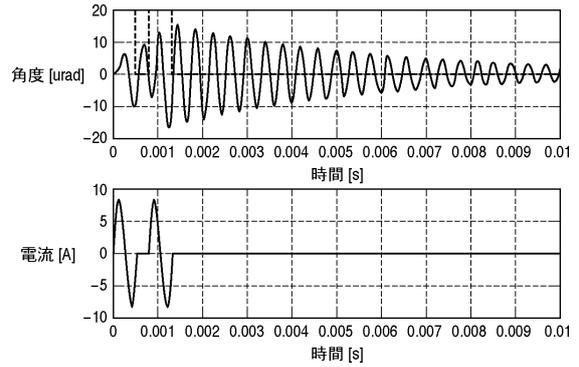
【 図 5 】



【 図 6 】

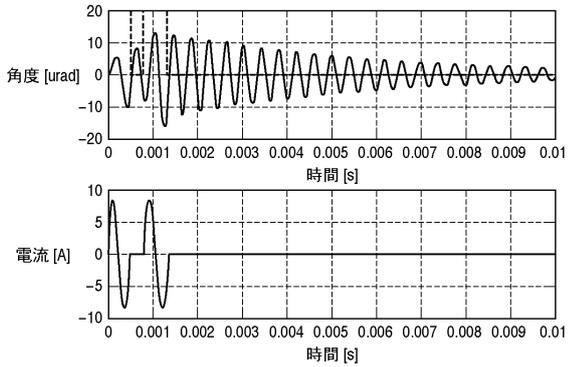


(a)

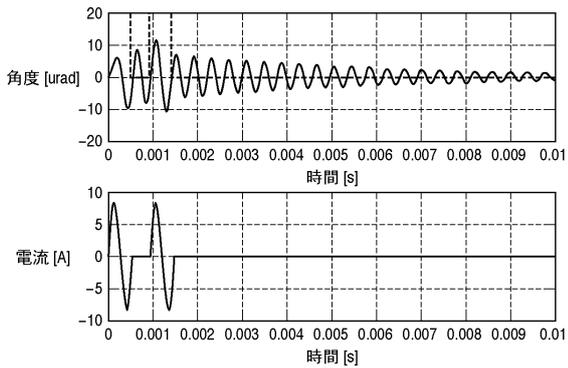


(b)

【 図 7 】

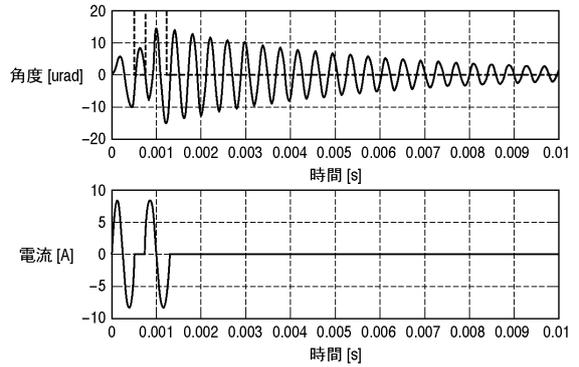


(a)

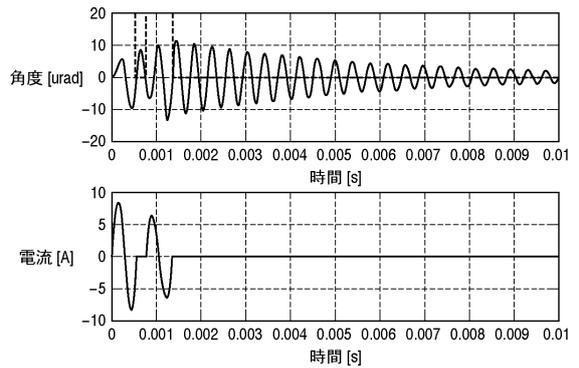


(b)

【 図 8 】



(a)



(b)



フロントページの続き

(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 AB03 AB27 AB44 BA12 DA11

4E068 CB02 CB05 CC06 CE03