

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3755862号
(P3755862)

(45) 発行日 平成18年3月15日(2006.3.15)

(24) 登録日 平成18年1月6日(2006.1.6)

(51) Int. Cl.	F I
G05D 3/00 (2006.01)	G05D 3/00 Q
G05D 3/12 (2006.01)	G05D 3/12 P
H01L 21/68 (2006.01)	H01L 21/68 F
H01L 21/027 (2006.01)	H01L 21/68 K
	H01L 21/30 516B
請求項の数 7 (全 15 頁)	

<p>(21) 出願番号 特願平11-146350 (22) 出願日 平成11年5月26日(1999.5.26) (65) 公開番号 特開2000-339032(P2000-339032A) (43) 公開日 平成12年12月8日(2000.12.8) 審査請求日 平成16年4月1日(2004.4.1)</p>	<p>(73) 特許権者 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 100086287 弁理士 伊東 哲也 (72) 発明者 伊藤 浩司 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 審査官 槻木澤 昌司</p>
最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 同期位置制御装置および方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

各軸についての位置フィードバックによる位置制御手段と、各位置制御手段に対する目標位置指令値を発生する目標位置指令値生成手段とを備えた複数軸についての同期位置制御装置において、各位置制御手段に対する目標位置指令値に対し、所定の伝達関数に従った変換を施して各位置制御手段に出力する変換手段を備え、その伝達関数の特性は各軸について同一であり、その特性は高域遮断特性であり、かつその遮断周波数は、いずれの位置制御手段におけるサーボ帯域よりも小さいことを特徴とする同期位置制御装置。

【請求項2】

各位置制御手段の前段に前置フィルタを挿入し、各軸における前記前置フィルタと位置制御手段を合わせた伝達特性が全軸でほぼ同一となるように前記前置フィルタの特性を設定したことを特徴とする請求項1に記載の同期位置制御装置。

【請求項3】

各軸についての目標加速度指令値を生成する加速度指令値生成手段と、各目標加速度指令値に対して、所定の伝達関数に従った変換を施し、変換加速度指令値として出力する変換手段と、各変換加速度指令値を2回積分することにより位置指令値に変換して出力する積分手段と、各変換加速度指令値に所定の補償を施し、これをフィードフォワード信号として出力する補償手段と、各位置指令値およびフィードフォワード信号に基づき、各軸についての位置フィードバックによる位置制御を行う位置制御手段とを備え、各変換手段の伝達関数の特性は各軸について同一であり、その特性は高域遮断特性であり、かつその遮断

10

20

周波数は、いずれの位置制御手段におけるサーボ帯域よりも小さいことを特徴とする同期位置制御装置。

【請求項 4】

前記複数軸は 2 軸であり、そのうちの一方の軸についての追従位置に所定の係数を乗ずる係数倍手段と、この係数倍された追従位置と他方の軸についての追従位置との差である同期誤差に基づき、いずれかの軸における前記位置指令位値に加算すべき補正値を求める補正手段と、前記補正値をいずれかの軸における前記位置指令位値に加算する加算手段とを備えたことを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の同期位置制御装置。

【請求項 5】

前記一方の軸はスキャン方式の半導体露光装置のウエハステージであり、他方の軸はそのレチクルステージであることを特徴とする請求項 4 に記載の同期位置制御装置。 10

【請求項 6】

各軸についての位置フィードバックによる位置制御手段に対して目標位置指令値を付与して複数軸についての同期位置制御を行う同期位置制御方法において、伝達関数の特性が各軸について同一であり、その特性は高域遮断特性であり、かつその遮断周波数は、いずれの位置制御手段におけるサーボ帯域よりも小さい変換手段によって変換を施してから前記目標位置指令値を各位置制御手段に対して付与することを特徴とする同期位置制御方法。

【請求項 7】

各軸についての目標加速度指令値を生成する加速度指令値生成工程と、各目標加速度指令値に対して、所定の伝達関数に従った変換を施し、変換加速度指令値として出力する変換工程と、各変換加速度指令値を 2 回積分することにより位置指令値に変換して出力する積分工程と、各変換加速度指令値に所定の補償を施し、これをフィードフォワード信号として出力する補償工程と、各位置指令値およびフィードフォワード信号に基づき、各軸についての位置フィードバックによる位置制御を行う位置制御工程とを備え、前記変換工程における伝達関数の特性は各軸について同一であり、その特性は高域遮断特性であり、かつその遮断周波数は、いずれの軸についての位置制御工程におけるサーボ帯域よりも小さいことを特徴とする同期位置制御方法。 20

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明はスキャン方式の半導体露光装置、工作機械等における 2 つ以上の対象物について位置の同期関係を高精度で維持する必要のある分野で利用される同期位置制御装置および方法に関する。 30

【0002】

【従来の技術】

例えば金型加工の工作機械においては、自由曲面を高精度で切削する必要がある。このような制御を輪郭制御というが、この制御において重要なことは、各軸間の位置の同期性が性能を決めるという点にある。すなわち、通常的位置制御系においては、目標位置に対する追従誤差が重要な制御指標であるが、輪郭制御においては、目標位置に対する追従性能よりも各軸の同期性の方がより重要な性能である。この点を、例を用いて説明する。 40

【0003】

図 1 2 は工作機械の X Y テーブルを想定した、X Y 平面上直交 2 軸についての従来の同期位置制御系を示す。同図 (a) は X 軸位置制御系、(b) は Y 軸位置制御系を示すが、各位置制御系は、目標位置指令値生成手段 1 a および 1 b が出力する目標位置指令値 2 a および 2 b に対して一次遅れ特性を有している。それらの遮断周波数を表す位置ループゲイン $40 a$ および $40 b$ を W_{0x} および W_{0y} とする。図 1 5 は、 $W_{0x} = W_{0y} = 5 \text{ Hz}$ とし、X Y 平面上で直線経路を描いたときの平面上の軌跡、すなわち、低ゲインの同期位置制御系の追従軌跡を示す。図 1 6 (a) および (b) は、このときの X 軸および Y 軸の追従誤差、すなわち低ゲインの同期位置制御系の時間応答を示す。また、図 1 7 は、 $W_{0x} = 10 \text{ Hz}$ 、 $W_{0y} = 12 \text{ Hz}$ と高いゲインに設定し、X Y 平面上で直線を描いたとき 50

の平面上の軌跡、すなわち高ゲインの同期位置制御系の追従軌跡を示す。図18(a)および(b)は、このときのX軸およびY軸の追従誤差、すなわち高ゲインの同期位置制御系の時間応答を示す。図15および図16に示されるように低ゲインの場合は、位置制御系の追従性能は悪いが、同期性能は高いシステムとなる。これに対し、高ゲインの場合は、図17および図18に示されるように、位置制御系の追従性能は良いが、同期性能は低いシステムとなる。両者を比較すると、図15および図16の応答性の低いシステムの方が、追従誤差は大きいにもかかわらず、目標経路に対する経路誤差が小さいことが分かる。

【0004】

この例からわかるように、同期性能を重視するシステムにおいては、単純に位置制御系のゲインを高くし、追従性能を高くするだけでは良好な制御性能を得ることはできず、各制御軸間の位置制御特性を一致させ、同期制御性能を高めることが重要である。このように、輪郭制御を行う工作機械の位置制御においては、各制御軸のサーボ特性を可能な限り同一の特性に設定し、各軸の同期関係を維持する必要がある。各軸のサーボ特性が異なると、各軸間の同期関係が崩れ、切削目標経路と実際の切削経路に誤差が発生し、加工精度を悪化させる。

【0005】

従来、このような各軸間の同期関係を維持する同期位置制御系を構成するために、工作機械では、図13に示すような位置制御系を構成している。このサーボ系は内部にゲインの高い速度制御ループ43を有し、外部にゲインの低い位置制御ループ44を有する。このような構成にする目的は、速度制御ループによって系の安定性の確保と外乱抑圧を行い、位置制御ループによって目標値に対する各軸の応答性、特に同期性を確保することにある。例えば、金型加工機において、制御軸をX、Y、Zの3軸とすると、3軸の位置制御ループのゲインは一致している必要がある。しかし、速度制御ループのゲインは必ずしも一致させることはできない。これは機械的な要因によって各軸の機械構造が異なるため、速度制御ループのゲインを決める機械共振点異なるからである。すなわち、外乱抑制の観点からは速度制御ループのゲインは可能な限り高いことが望ましいが、機械共振の制約から、軸の速度制御ループのゲインは異なるのが普通である。したがって、位置制御ループのゲインを一致させても、各軸の速度制御ループのゲインは必ずしも一致していないため、位置目標値に対する各軸の応答性は異なる。しかし、工作機械の位置制御系においては、位置制御ループのゲインは速度制御ループのゲインの1/10倍以下の低い値に設定される。このような場合、位置目標値に対する位置制御系の応答性には、速度制御ループの特性がほとんど現れない。このため、図13のような制御系によって、各軸の同期位置制御系を構成できることになる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、このような従来の同期位置制御系によれば、速度制御ループが位置制御ループの内部ループとなっているため、両者のゲイン設定が干渉することがある。すなわち、従来の使用方法により位置制御ループのゲインを速度制御ループのゲインの1/10以下に設定する場合は2つのループの特性はほぼ独立に設定可能であるが、応答性の観点から位置ループのゲインを高く設定する必要がある場合には、2つのループのゲインを大きく離しておくことは困難になる。つまり、位置制御ループのゲインが高くなると、速度制御ループの特性が、位置目標値に対する応答に現れてくる。このとき、各軸の速度制御ループの特性が異なると、同期位置制御特性が悪化する。

【0007】

また、従来の構成では、目標値に対する応答性は位置制御ループゲインに支配されるため、同期位置制御する必要のない単なる位置決め制御の場合には、整定時間が長くなるなどの問題もある。また、目標値に対する応答性は位置ループゲインを遮断周波数とする一次遅れ系で近似されるが、逆に一次遅れ特性以外の応答性が望ましい場合への対応が困難であるなどの問題がある。さらに、同期性能を決める位置制御系の特性がフィードバック系

10

20

30

40

50

であるため、制御の知識のない設計者には同期制御系の構成が困難であるなどのシステム設計上の問題もある。

【0008】

本発明の目的は、このような従来技術の問題点に鑑み、同期位置制御装置および方法において、第1に、目標値に対する応答性の調整の自由度を向上させることにある。第2に、単なる位置決め制御の場合には、整定時間を短くすることができるようにすることにある。第3に、容易に設計できるような構成にすることにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】

この目的を達成するため本発明の第1の同期位置制御装置は、各軸についての位置フィードバックによる位置制御手段と、各位置制御手段に対する目標位置指令値を生成する目標位置指令値生成手段とを備えた複数軸についての同期位置制御装置において、各位置制御手段に対する目標位置指令値に対し、所定の伝達関数に従った変換を施して各位置制御手段に出力する変換手段を備え、その伝達関数の特性は各軸について同一であり、その特性は高域遮断特性であり、かつその遮断周波数は、いずれの位置制御手段におけるサーボ帯域よりも小さいことを特徴とする。

10

【0010】

また、本発明の第1の同期位置制御方法は、各軸についての位置フィードバックによる位置制御手段に対して目標位置指令値を付与して複数軸についての同期位置制御を行う同期位置制御方法において、伝達関数の特性が各軸について同一であり、その特性は高域遮断特性であり、かつその遮断周波数は、いずれの位置制御手段におけるサーボ帯域よりも小さい変換手段によって変換を施してから前記目標位置指令値を各位置制御手段に対して付与することを特徴とする。

20

【0011】

従来は比較的応答性の低い位置制御手段で同期位置制御装置を構成していたのに対し、これら本発明では、応答性の高い位置制御手段で同期位置制御装置を構成し、かつ各位置制御装置の前段に高域遮断特性をもつフィルタ（変換手段）を設け、このフィルタの特性を全制御軸で同一とし、フィルタの遮断周波数を全軸の位置制御ループゲインのいずれよりも低く設定するようにしている。このように、応答性の高い位置制御ループの前段にそのようなフィルタを用いると、位置指令値に対する応答性はほぼ、このフィルタの応答性に支配される。したがって、このフィルタの特性を全軸で同じに設定すると、位置指令値に対する応答性は全軸ほぼ同じになるため、同期性能の高い同期位置制御装置が容易に構成できることになる。また、前記フィルタ（変換手段）の特性は系の安定性とは無関係に設定できるため、位置指令値に対する応答性の調整の自由度が大きくなる。さらに、応答性を決めるフィルタは単に目標位置指令値を変換するだけであるから、同期制御が不要な単なる位置決め制御の場合には、このフィルタを介さないで目標位置指令値を与えるなどの処理が可能であるため、位置決め性能の高いシステムとして用いることも容易である。

30

【0012】

本発明の第2の同期位置制御装置は、各軸についての目標加速度指令値を生成する加速度指令値生成手段と、各目標加速度指令値に対して、所定の伝達関数に従った変換を施し、変換加速度指令値として出力する変換手段と、各変換加速度指令値を2回積分することにより位置指令値に変換して出力する積分手段と、各変換加速度指令値に所定の補償を施し、これをフィードフォワード信号として出力する補償手段と、各位置指令値およびフィードフォワード信号に基づき、各軸についての位置フィードバックによる位置制御を行う位置制御手段とを備え、各変換手段の伝達関数の特性は各軸について同一であり、その特性は高域遮断特性であり、かつその遮断周波数は、いずれの位置制御手段におけるサーボ帯域よりも小さいことを特徴とする。

40

【0013】

また、本発明の第2の同期位置制御方法は、各軸についての目標加速度指令値を生成する加速度指令値生成工程と、各目標加速度指令値に対して、所定の伝達関数に従った変換を

50

施し、変換加速度指令値として出力する変換工程と、各変換加速度指令値を2回積分することにより位置指令値に変換して出力する積分工程と、各変換加速度指令値に所定の補償を施し、これをフィードフォワード信号として出力する補償工程と、各位置指令値およびフィードフォワード信号に基づき、各軸についての位置フィードバックによる位置制御を行う位置制御工程とを備え、前記変換工程における伝達関数の特性は各軸について同一であり、その特性は高域遮断特性であり、かつその遮断周波数は、いずれの軸についての位置制御工程におけるサーボ帯域よりも小さいことを特徴とする。

これら第2の発明では、目標値のフィードフォワードループを設けることにより、目標値に対する追従性能を向上させるようにしている。また、フィードフォワードループにおける補償手段の構造は単純であり、実施は容易である。

10

【0014】

【発明の実施の形態】

本発明の第1の同期位置制御装置または同期位置制御方法の好ましい実施形態においては、各位置制御手段または位置制御工程の前段に前置フィルタを挿入し、各軸における前記前置フィルタと位置制御手段を合わせた伝達特性が全軸でほぼ同一となるように前記前置フィルタの特性を設定して、同期制御特性を、より向上させるようにしている。

【0015】

また、本発明の第1または第2の同期位置制御装置または同期位置制御方法をスキャン方式の半導体露光装置におけるウエハステージおよびレチクルステージの2軸についての同期位置制御に適用する場合は、そのうちの一方の軸についての追従位置に所定の係数を乗ずる係数倍手段と、この係数倍された追従位置と他方の軸についての追従位置との差である同期誤差に基づき、いずれかの軸における前記位置指令値に加算すべき補正値を求め補正手段と、前記補正値をいずれかの軸における前記位置指令値に加算する加算手段とを設け、これにより同期位置制御性能を向上させるようにしている。

20

【0016】

【実施例】

[実施例1]

図1は本発明の第1の実施例に係る同期位置制御装置を示すブロック線図である。ここでは、この装置を、金型を切削するX、Y、Zの直交3軸を輪郭制御する工作機械に適用した場合を想定している。X軸を第1軸とし、YおよびZ軸をそれぞれ第2軸および第3軸としている。なお、図1では、第1軸、第2軸および第3軸の各要素の符号における後部のa、bおよびcにより各軸を区別している。

30

【0017】

この装置は、図1に示すように、目標位置指令値生成手段1aが発生する目標位置指令値2aを、指令値変換手段3aにより高周波振動成分が遮断された変換位置指令値4aに変換し、位置制御手段5aに印加するように構成している。第2軸、第3軸についても第1軸と同様に構成している。全軸の変換手段3a、3bおよび3cは、周波数特性が同じで、かつ高域遮断特性をもつ2次のフィルタである。位置制御手段5aは、図14に示すような、位置制御ループによる単一ループの構成を有する。この構成における位置補償手段45はPID補償器としている。第2軸および第3軸の位置制御手段5bおよび5cの構成も、同様である。

40

【0018】

この構成において、位置制御手段5a、5bおよび5cの位置ループゲインは各々80Hz、90Hz、100Hzとする。また、変換手段3a、3bおよび3cの遮断周波数は5Hzとし、各軸の位置制御手段の位置ループゲインより十分小さい値とする。このように設定すると、各軸の目標指令値に対する応答はほぼ5Hzの高域遮断フィルタ(変換手段3a~3c)の応答に支配されるため、各軸での位置の応答性はほぼ等しくなり、各軸間の同期性の高いシステムを構成することができる。

【0019】

すでに説明したように、従来の同期位置制御系における1軸の構成は、図13のような速

50

度制御ループを内部にもつ構成である。この系の位置ループゲインを全軸ともに5 Hzとし、速度制御ループのゲインは第1軸、第2軸および第3軸のそれぞれにおいて80 Hz、90 Hzおよび100 Hzとすると、例えば第1軸および第2軸間の同期誤差は図19のようになる。そして、本実施例の場合における第1軸および第2軸間の同期誤差は図20のようになる。したがって、両者の同期制御性能はほぼ同じになる。

【0020】

したがって、本実施例によれば、制御特性の異なる位置制御手段をもつ位置制御系に対して、制御系の特性を変えなく、位置制御手段の前段に変換手段を挿入するだけで、同期位置制御系を構成することができる。このため、各種システムへの適用が容易である。

10

なお、ここでは3軸の同期位置制御装置の例を示したが、軸数が増えても、1軸相当の構成を必要な軸数分増やすことにより、多軸の同期位置制御装置を容易に構成することができる。

【0021】

[実施例2]

図2は本発明の第2の実施例に係る同期位置制御装置を示すブロック線図である。この装置では、位置制御手段の前段に前置フィルタを設けることにより、目標値に対する各軸の位置制御特性を同一とし、同期位置制御特性を向上させるようにしている。すでに説明したように、複数軸を目標位置指令値に同期させて移動するためには、各制御軸の目標値に対する応答性を一致させる必要がある。このために、上述の実施例では、位置指令値に対する応答性の異なる各位置制御手段の前段に、同一の特性をもつ高域遮断フィルタ(変換手段)を設置することにより位置制御の同期性を高めている。本実施例ではさらに、前置フィルタと位置制御手段を合わせた伝達特性が、全軸で一致するように構成している。

20

【0022】

すなわち、図2に示すように、位置制御手段5a、5bおよび5cの伝達関数を各々G1、G2およびG3とし、前置フィルタ7a、7bおよび7cの伝達関数をF1、F2およびF3とすれば、 $F1 * G1 = F2 * G2 = F3 * G3$ となるように前置フィルタ7a、7bおよび7cを設定することにより、全軸について前置フィルタ7a~7c以降の位置制御手段5a~5cにおける位置目標値信号から追従位置への伝達関数がすべて等しくなるようにしている。ここでは、伝達関数F1は1とし、 $F2 = G1 / G2$ 、 $F3 = G1 / G3$ と定めてある。したがって、原理的には各軸間の同期位置誤差は零である。実際には伝達関数G1、G2、G3等は高次の伝達関数となり、高次の項の係数を求めることは困難であり、また、係数が変動するなどの問題もあるため、伝達関数F2およびF3を前記のように定めることは困難である。このため、これらの伝達関数を近似した形で補償器7bおよび7cの伝達関数F2およびF3を定めることになるが、その場合でも、実施例1で示した系に比べ、同期制御特性が、より向上したものとなる。

30

【0023】

[実施例3]

図3は本発明の第3の実施例に係る同期位置制御装置を示すブロック線図である。この例では、目標値のフィードフォワードループを設けることにより、目標値に対する追従性能を向上させるようにしている。実施例2のような前置フィルタによる伝達特性の変更では、前置フィルタの伝達関数が複雑になる。これに対し、本実施例のフィードフォワードループによる方法は、補償器の構造が単純であり、実現が容易である。

40

【0024】

図3の装置における第1軸の動作を説明する。他の軸についても動作は同じである。同図に示すように、目標加速度指令値生成手段10aが生成する目標加速度指令値11aは、変換手段3aにより高周波成分が遮断され、変換加速度指令値12aになる。この変換加速度信号12aは積分手段15aにより2回積分され、位置指令値16aになり、位置制御手段5aに印加される。また、変換加速度信号12aは補償手段13aによりフィードフォワード信号14aに変換されて位置制御手段5aに印加される。位置制御手段5aは

50

位置指令値 1 6 a とフィードフォワード信号 1 4 a により駆動される。

【 0 0 2 5 】

図 3 ではフィード・フォワード処理の詳細が分かりにくいため、図 9 に図 3 の第 1 軸の位置制御手段 5 a の詳細な構成を示す。他の軸についても構成は同じである。図 9 に示すように、位置指令値信号 1 6 a と制御対象 2 2 a の追従位置 6 a との差分により位置誤差 2 0 a が求められる。位置補償器 2 1 a は位置誤差 2 0 a に基づいて補償制御入力 2 3 a を計算する。位置補償器 2 1 a は、通常は P I D 補償器である。そして、補償手段 1 3 a により出力されたフィードフォワード信号 1 4 a と補償制御入力 2 3 a との和である制御入力 2 4 a が、制御対象 2 2 a を駆動する。

【 0 0 2 6 】

フィードフォワード信号 1 4 a は制御対象 2 2 a の特性により決定される。追従位置 6 a が目標位置指令値 1 6 a に対して完全に追従するようにすると、図 9 の構成の場合、フィードフォワード信号 1 4 a を計算する補償手段 1 3 a の特性 H 1 は、次のようにして求めることができる。

【 0 0 2 7 】

【 数 1 】

$$H 1 = (1 / s ^ 2) / S 1$$

【 0 0 2 8 】

ここで、s はラプラス演算子である。制御対象 2 2 a が図 1 0 のようなモデルで表される場合の補償器 1 3 a の特性 H 1 は、次のようにして求めることができる。図 1 0 は、アクチュエータとしてリニアモータを用いた簡単な機械系による制御対象を示す。図中、M はステージ 5 5 の質量、K i は電流増幅器 5 1 のゲイン、K t はリニアモータ 5 3 の推力定数である。この系への制御入力値は電流指令値 5 0 である。数 1 式に図 1 0 のモデルの特性を代入すると、この例における補償器 1 3 a の特性は次のように求められる。

【 0 0 2 9 】

【 数 2 】

$$H 1 = M / (K t * K i)$$

【 0 0 3 0 】

[実施例 4]

図 4 は本発明の第 4 の実施例に係る同期位置制御装置を示すブロック線図である。この例では、制御対象軸を 2 軸に限定し、この 2 軸間の同期誤差に基づく補正を施すことにより同期位置制御性能を向上させるようにしている。このような制御は、2 つの制御対象の位置関係が比例関係にあることが望ましい系で有効である。実際の対象としては、スキャン方式の半導体露光装置におけるウエハステージとレチクルステージの同期位置制御系や、門型の工作機械において 2 つのコラムを別個のアクチュエータで制御する場合等が該当する。

【 0 0 3 1 】

図 4 の構成は、この同期補正を用いたシステムの基本的な構成である。この構成における動作を説明する。目標位置生成手段 1 a が生成する目標位置指令値 2 a は、フィルタ 3 a において、高周波振動成分が遮断され、新たな位置指令値 4 a となる。この位置指令値 4 a は、第 1 の位置制御手段 5 a への位置指令値となる。また、第 2 軸に対する位置目標値生成手段 1 b が生成する位置指令値 2 b は変換手段 3 b により変換位置指令値 4 b となる。一方、第 2 の位置制御手段 5 b の追従位置 6 b と、第 1 の位置制御手段の位置 6 a を所定の係数 K だけ乗じた位置との差分より同期誤差 3 3 が求められる。同期補正手段 3 4 は同期誤差 3 3 を入力とし、同期補正值 3 5 を出力する。同期補正手段 3 4 はここでは積分補償器とする。変換位置指令値 4 b と同期補正值 3 5 との和が、第 2 の位置制御手段 5 b に対する位置指令値となる。

【 0 0 3 2 】

このように、2 軸間の同期誤差を求めて補償する制御ループを同期ループと呼ぶことにする。このような同期ループをもつ構成により、第 1 軸と第 2 軸の追従位置に同期誤差が生

10

20

30

40

50

じた場合でも、同期補償器 3 4 によりこの誤差分だけ第 2 軸を移動することにより、2 軸の同期関係を維持することができる。

【 0 0 3 3 】

このような構成が実施例 1 ~ 3 の同期ループのない構成と最も異なる点は、外乱に対する特性である。すなわち、同期ループのない構成では、各軸に入る外乱は各軸のサーボ特性のみによって抑圧される。これに対し、同期ループをもつ構成では、第 1 軸に入った外乱の抑圧できなかった分は、同期ループによって第 2 軸を移動することにより低減することができる。このため、同期ループをもつ構成の方が同期ループのない構成に比べて同期位置制御性能が高い。

なお、本実施例では同期補償器 3 4 として単純な積分補償器 (I 補償器) を用いたが、この代わりに P I 補償器、P I D 補償器等によって構成することもできる。

10

【 0 0 3 4 】

[実施例 5]

実施例 4 では第 2 軸の目標位置指令値を独立に生成したが、図 5 に示す本発明の第 5 の実施例のように、第 1 軸の位置目標値 4 a を係数倍手段 3 2 によって K 倍することにより第 2 軸の変換位置指令値 4 b を求め、実施例 4 における第 2 軸の目標値生成手段 1 b および変換手段 3 b を省略するようにしてもよい。

【 0 0 3 5 】

[実施例 6]

図 6 は図 2 の実施例 2 の構成に同期補償のループを付加した第 6 の実施例に係る同期位置制御装置を示すブロック線図である。実施例 4 または 5 の方法で十分な同期精度が得られない場合には、図 6 の構成により同期性能を向上させることができる。この構成においても、第 2 軸の目標指令値は実施例 5 で示したように第 1 軸の位置指令値を係数倍することによって求めている。

20

【 0 0 3 6 】

この装置では、実施例 2 で説明したように、2 軸の目標値に対する同期性能を向上させるため、位置制御手段 5 a の前段に前置フィルタ 7 a を挿入してある。そして、第 1 軸および第 2 軸の位置制御手段の伝達関数を、各々 G 1 および G 2 とし、各々の位置制御手段 5 a および 5 b の前段に挿入する前置フィルタ 7 a および 7 b の伝達関数を F 1 および F 2 とすれば、 $F 1 * G 1 = F 2 * G 2$ となるように F 1 と F 2 を設定する。このとき、目標位置指令値に対する位置制御手段 5 a および 5 b の追従特性はまったく同じになるため、目標位置に対する同期誤差を零にすることができる。ただし、外乱に対する同期誤差は前置フィルタ 7 a および 7 b では補償できないため、同期ループは外乱の影響を低減するために有効である。

30

【 0 0 3 7 】

[実施例 7]

図 7 は本発明の第 7 の実施例に係る同期位置制御装置を示すブロック線図である。実施例 3 において説明したように、実施例 6 の前置フィルタを用いる方式は前置フィルタの構造が複雑になり、実現が困難な場合がある。そこで、本実施例では、目標加速度信号 1 1 a からフィードフォワード信号 1 4 a および 1 4 b を生成して位置制御手段 5 a および 5 b を駆動するようにしており、実現が容易である。この装置の動作は実施例 3 および 4 で説明したものとほぼ同じである。

40

【 0 0 3 8 】

[実施例 8]

図 1 1 は本発明の第 8 の実施例に係るスキャン方式の露光装置を示す側面図である。実施例 1 ~ 7 では特に対象を限定していなかったが、ここではこのスキャン方式の露光装置に対して本発明を適用した例を示す。この露光装置では、レチクルステージ 5 5 b を支持するレチクルステージ定盤 7 1 は、ウエハステージ 5 5 a を支持する定盤 9 2 に立設されたフレーム 9 4 と一体となっている。またレチクルステージ 5 5 b 上のレチクルを経てウエハステージ 5 5 a 上のウエハ W を露光する露光光は、破線で示す光源装置 9 5 から発生さ

50

れる。フレーム 9 4 は、レチクルステージ定盤 7 1 を支持するとともに、レチクルステージ 5 5 b とウエハステージ 5 5 a の間において投影光学系 9 6 を支持する。レチクルステージ 5 5 b を加速および減速するリニアモータの固定子 7 5 がフレーム 9 4 と別体である支持枠 9 0 によって支持されているため、レチクルステージ 5 5 b のモータの駆動反力がウエハステージ 5 5 a に伝わって、その駆動部の外乱となったり、あるいは投影光学系 9 6 を振動させるおそれはない。

【 0 0 3 9 】

この構成において、ウエハステージ 5 5 a は、駆動部によってレチクルステージ 5 5 b と同期して走査移動される。レチクルステージ 5 5 b とウエハステージ 5 5 a の走査移動中、両者の位置はそれぞれレーザ干渉計 9 8 および 9 7 によって継続的に検出され、レチクルステージ 5 5 b とウエハステージ 5 5 a の駆動部にそれぞれフィードバックされる。これによって、両者の走査開始位置を正確に同期させるとともに、定速走査領域での走査速度を高精度で制御することができる。

10

【 0 0 4 0 】

この露光装置に対して第 7 の実施例をより詳細に示した図 8 の制御系を適用した場合の動作を説明する。ただしこの場合、ウエハステージ 5 5 a とレチクルステージ 5 5 b は、レンズ 9 6 の光学中心を原点として、レンズ 9 6 の投影倍率に対応する位置関係で同期位置制御される。したがって、図 8 の係数倍手段 3 1 および 3 2 における比例定数 K は、ここではレンズの投影倍率になり、この例では 4 倍である。また、制御対象であるウエハステージ 5 5 a およびレチクルステージ 5 5 b はともに図 1 0 で示される構成を有するものとする。ウエハステージ 5 5 a とレチクルステージ 5 5 b に係る部分は、符号にそれぞれ a および b を含めて区別してある。

20

【 0 0 4 1 】

図 8 に示すように、目標加速度指令値生成手段 1 0 a が生成するウエハステージ 5 5 a に対する加速度指令値 1 1 a は、前置フィルタ 3 a により高周波成分の遮断された変換加速度信号 1 2 a となり、積分手段 1 5 a により 2 回積分され、ウエハ位置制御手段 5 a に、位置指令値 1 6 a として与えられる。ウエハ位置制御手段 5 a においては、位置指令値 1 6 a とレーザ干渉計 9 7 により計測されたウエハ追従位置 6 a との差分である位置誤差 2 0 a が位置補償器 2 1 a に入力される。また、変換加速度信号 1 2 a は補償手段 1 3 a によりフィードフォワード信号 1 4 a に変換され、これと、位置補償器 2 1 a の出力信号 2 3 a との和である制御入力 2 4 a が制御対象 2 2 a に入力される。制御対象 2 2 a は図 1 0 に示される構成を有する。すなわち、制御入力 2 4 a は電流指令値 5 0 として入力され、電流増幅器 5 1 により増幅されて電流 5 2 となり、アクチュエータであるリニアモータ 5 3 に印加され、推力 5 4 を発生する。この推力 5 4 によりウエハステージ 5 5 a が駆動される。このときの追従位置 6 a はレーザ干渉計 9 7 により計測される。

30

【 0 0 4 2 】

レチクルステージ 5 5 b もウエハステージ 5 5 a と同様にして駆動される。すなわち、ウエハステージ 5 5 a への位置指令値 1 6 a は、係数倍手段 3 2 によりレンズの投影倍率である 4 倍がなされて、レチクルステージ 5 5 b への位置目標指令値 1 6 b となる。また、計測されたウエハ追従位置 6 a は、係数倍手段 3 1 により投影倍率である 4 倍がなされ、レチクルステージ 5 5 b の計測位置 6 b との差分がとられて同期誤差 3 3 が求められる。同期誤差 3 3 は補正手段 3 4 により補正值信号 3 5 に変換される。そして、補正值信号 3 5 と、ウエハ位置目標値 1 6 a の 4 倍された値との和よりレチクルステージ 5 5 b への位置目標値 1 6 b が生成される。レチクル位置制御手段 5 b では、位置指令値 1 6 b とレーザ干渉計 9 8 により計測されたレチクル追従位置 6 b との差分である位置誤差 2 0 b が位置補償器 2 1 b に入力される。また、変換加速度信号 1 2 a は係数倍手段 3 6 により 4 倍され、補償手段 1 3 b によりフィードフォワード信号 1 4 b に変換される。このフィードフォワード信号 1 4 b と、位置補償器 2 1 b の出力である補償制御入力 2 3 b との和から制御対象 2 2 b に対する制御入力 2 4 b が生成される。制御対象 2 2 b はウエハステージ 5 5 a の場合と同様に、図 1 0 に示される構成を有する。したがって、制御入力 2 4 b は

40

50

電流指令値 5 0 として入力され、電流増幅器 5 1 により増幅されて電流 5 2 となり、アクチュエータであるリニアモータ 5 3 に印加され、推力 5 4 を発生する。この推力 5 4 によりレチクルステージ 5 5 b が駆動される。このときのレチクル追従位置 6 b は、レーザ干渉計 9 8 により計測される。

なお、本実施例では第 1 軸をウエハステージ 5 5 a、第 2 軸をレチクルステージ 5 5 b としてシステムを構成する場合の例を示したが、第 1 軸と第 2 軸が逆であっても同様にしてシステムを構成することができるのは当然である。

【 0 0 4 3 】

【 発明の効果 】

以上説明したように、本発明によれば、目標位置指令値に対する変換手段を設け、その特性を、各軸について同一でかつ高域遮断特性とし、かつ遮断周波数をいずれの位置制御手段におけるサーボ帯域よりも小さいものとしたため、目標位置指令値に対する応答性を全軸ほぼ同一とし、同期性能の高い同期位置制御装置を容易に設計して構成することができる。また、目標位置指令値に対する応答性の調整の自由度を向上させることができる。さらに、同期制御が不要な単なる位置決め制御の場合には、変換手段を介さないで目標位置指令値を与える等により、位置決め性能の高いシステムとして用いることも容易となる。

【 0 0 4 4 】

また、さらに、位置制御手段の前段に前置フィルタを挿入し、各軸における前置フィルタと位置制御手段を合わせた伝達特性が全軸でほぼ同一となるように前置フィルタの特性を設定することにより、同期制御特性をより向上させることができる。

また、さらに、変換加速度指令値に基づくフィードフォワード信号にも基づいて位置制御を行うことにより、目標値に対する追従性能をも向上させることができ、かつ装置をより容易に構成することができる。

また、2 軸についての同期位置制御に適用する場合は、同期ループを設けることにより、同期位置制御性能をさらに向上させることができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 図 1 】 本発明の第 1 の実施例に係る同期位置制御装置を示すブロック線図である。

【 図 2 】 本発明の第 2 の実施例に係る同期位置制御装置を示すブロック線図である。

【 図 3 】 本発明の第 3 の実施例に係る同期位置制御装置を示すブロック線図である。

【 図 4 】 本発明の第 4 の実施例に係る同期位置制御装置を示すブロック線図である。

【 図 5 】 本発明の第 5 の実施例に係る同期位置制御装置を示すブロック線図である。

【 図 6 】 本発明の第 6 の実施例に係る同期位置制御装置を示すブロック線図である。

【 図 7 】 本発明の第 7 の実施例に係る同期位置制御装置を示すブロック線図である。

【 図 8 】 本発明の第 8 の実施例に係る同期位置制御装置を示すブロック線図である。

【 図 9 】 図 3 の装置における位置制御手段の構成を示すブロック線図である。

【 図 1 0 】 図 8 および図 9 における制御対象の構成を示すブロック線図である。

【 図 1 1 】 本発明の第 8 の実施例に係るスキャン方式の露光装置を示す側面図である。

【 図 1 2 】 従来の同期位置制御系の構成を示すブロック線図である。

【 図 1 3 】 従来の位置制御系の構成を示すブロック線図である。

【 図 1 4 】 図 1 の位置制御装置における位置制御手段の構成を示すブロック線図である

。 【 図 1 5 】 図 1 2 の同期位置制御系による低ゲインの場合の輪郭制御の特性を示す、追従軌跡のグラフである。

【 図 1 6 】 図 1 2 の同期位置制御系による低ゲインの場合の輪郭制御の特性を示す、時間応答のグラフである。

【 図 1 7 】 図 1 2 の同期位置制御系による高ゲインの場合の輪郭制御の特性を示す、追従軌跡のグラフである。

【 図 1 8 】 図 1 2 の同期位置制御系による高ゲインの場合の輪郭制御の特性を示す、時間応答のグラフである。

【 図 1 9 】 図 1 3 の従来の位置制御系を用いた同期位置制御系における同期誤差を示す

10

20

30

40

50

グラフである。

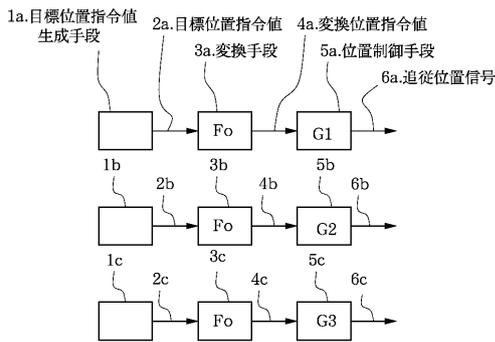
【図20】 図1の同期位置制御装置における同期誤差を示すグラフである。

【符号の説明】

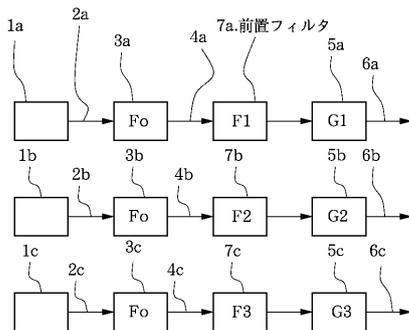
1 a ~ 1 c : 目標位置指令値生成手段、 2 a ~ 2 c : 目標位置指令値、 3 a ~ 3 c : 変換手段、 4 a ~ 4 c : 変換位置指令値、 5 a ~ 5 c : 位置制御手段、 6 a ~ 6 c : 追従位置信号、 7 a ~ 7 c : 前置フィルタ、 10 a ~ 10 c : 目標加速度指令値生成手段、 11 a ~ 11 c : 目標加速度指令値、 12 a ~ 12 c : 変換加速度指令値、 13 a ~ 13 c : 補償手段、 14 a ~ 14 c : フィードフォワード信号、 15 a ~ 15 c : 積分手段、 16 a ~ 16 c : 位置指令値、 20 a , 20 b : 位置誤差、 21 a , 21 b : 位置補償手段、 22 a , 22 b : 制御対象、 23 a , 23 b : 補償制御入力、 24 a , 24 b : 制御入力、 31 : 係数倍手段、 32 : 係数倍手段、 33 : 同期誤差、 34 : 補正手段、 35 : 補正值信号、 36 : 係数倍手段、 40 , 40 a , 40 b : 位置ループゲイン、 41 : 速度補償手段、 42 : 制御対象、 43 : 速度制御ループ、 44 : 位置制御ループ、 45 : 位置補償手段、 50 : 電流指令値、 51 : 電流増幅器、 52 : 電流、 53 : リニアモータ、 54 : 推力、 55 : ステージ、 56 : 位置信号、 55 a : ウエハステージ、 55 b : レチクルステージ、 71 : レチクルステージ定盤、 72 : リニアモータベース、 90 : 支持枠、 92 : 定盤、 94 : フレーム、 95 : 光源装置、 96 : 投影光学系、 97 : ウエハステージ位置計測レーザ干渉計、 98 : レチクルステージ位置計測レーザ干渉計。

10

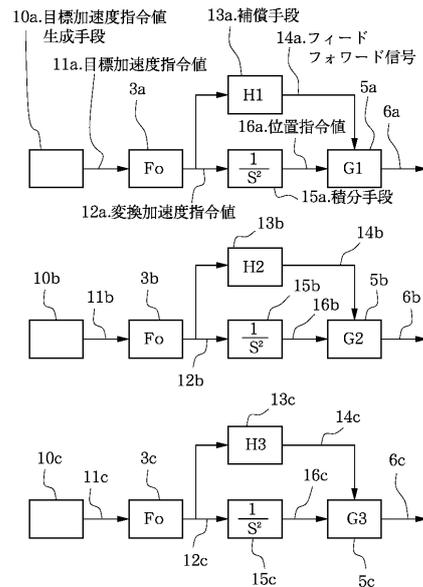
【図1】



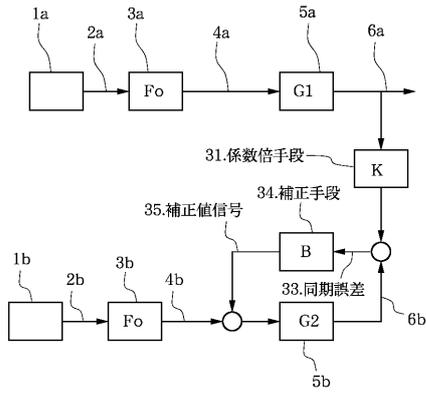
【図2】



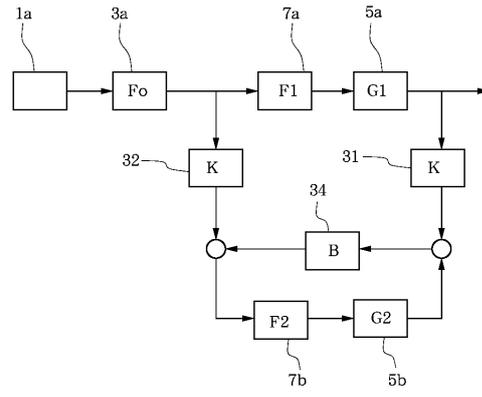
【図3】



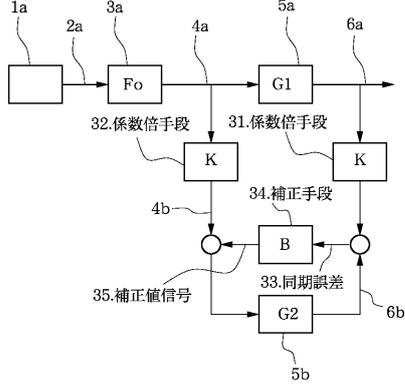
【図4】



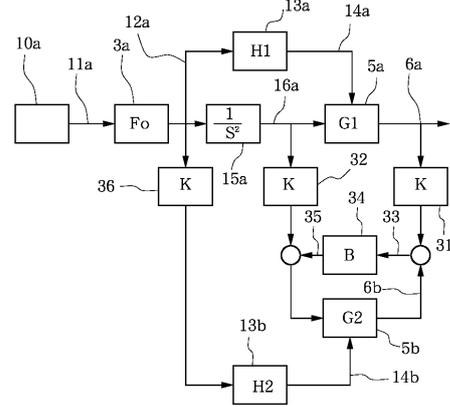
【図6】



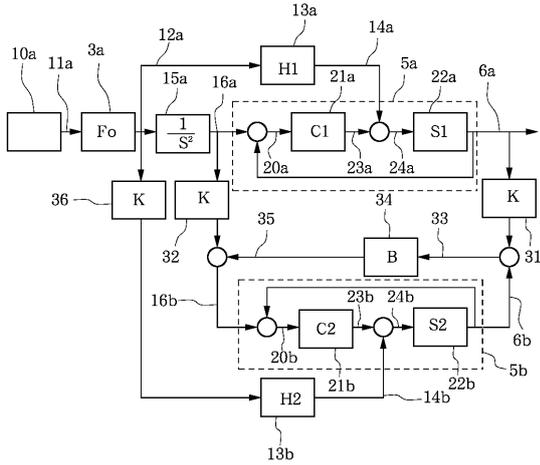
【図5】



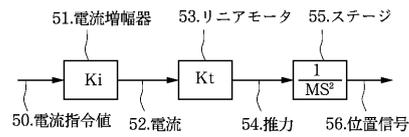
【図7】



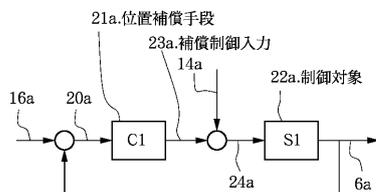
【図8】



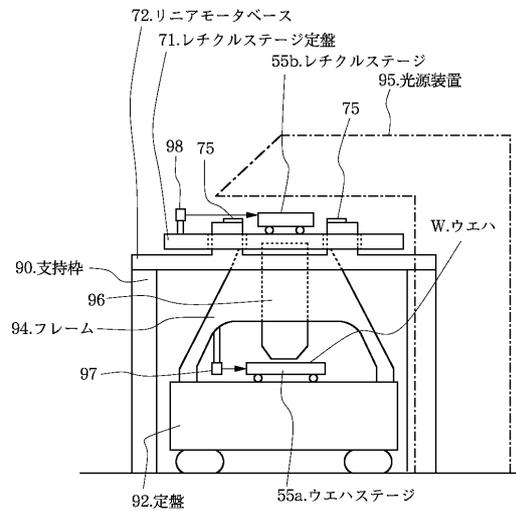
【図10】



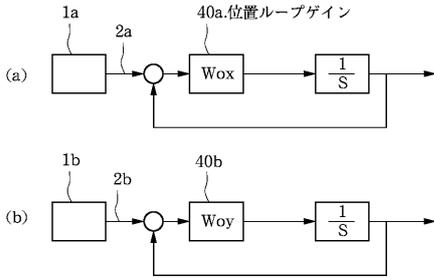
【図9】



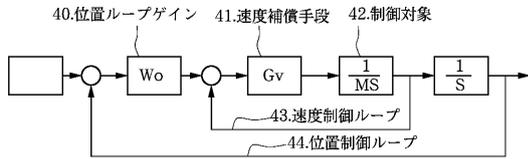
【図11】



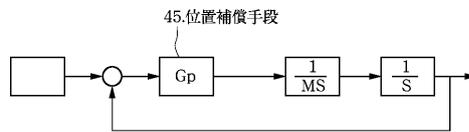
【 図 1 2 】



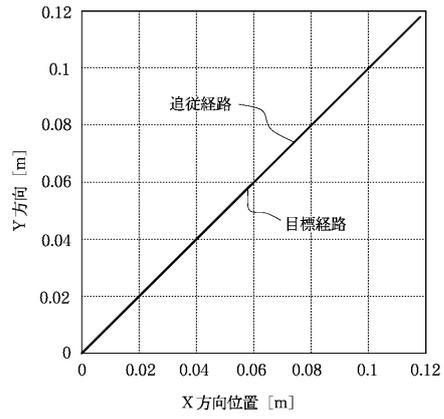
【 図 1 3 】



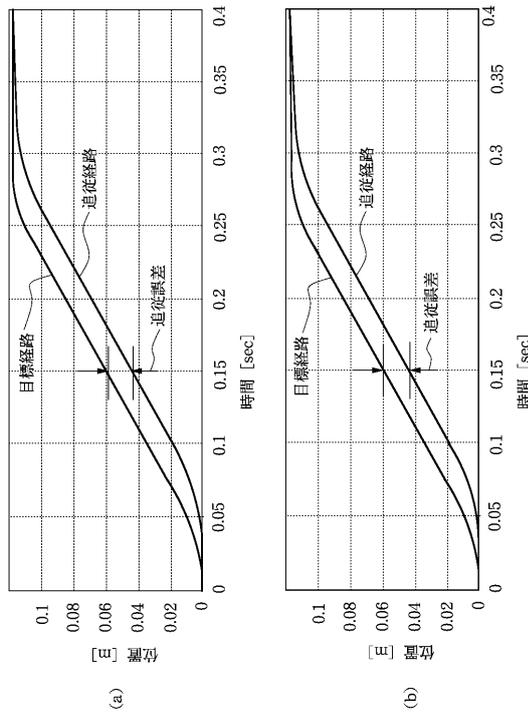
【 図 1 4 】



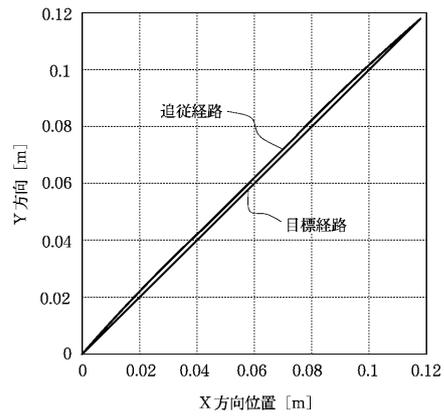
【 図 1 5 】



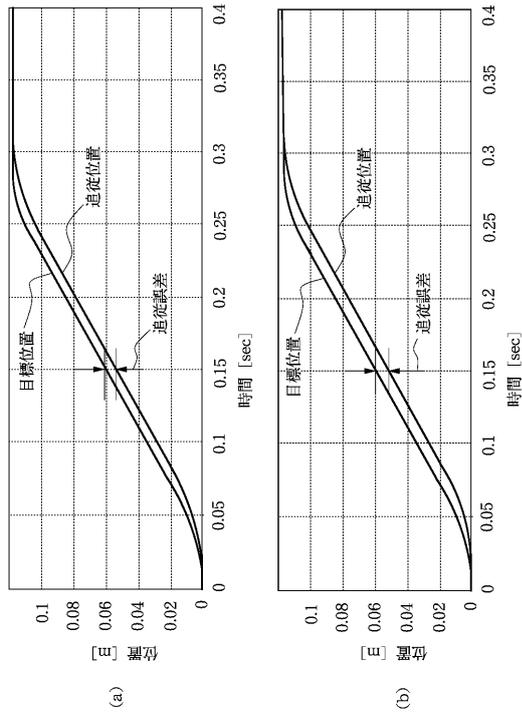
【 図 1 6 】



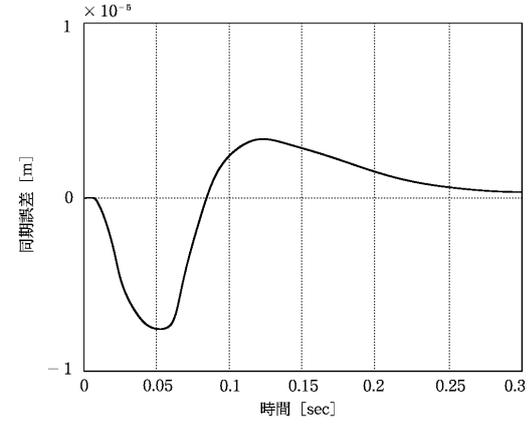
【 図 1 7 】



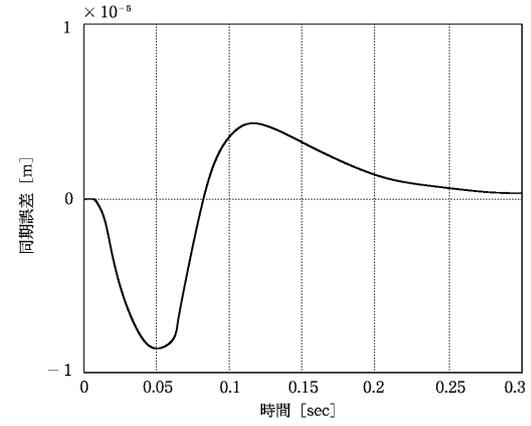
【 図 18 】



【 図 19 】



【 図 20 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平02 - 157904 (JP, A)
特開平10 - 125594 (JP, A)
特開平10 - 247116 (JP, A)
特開平08 - 241852 (JP, A)
特開平09 - 199399 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

G05D 3/00
G05D 3/12
H01L 21/027
H01L 21/68