(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2012 年 8 月 2 日(02.08.2012)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2012/102060 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 21/027 (2006.01) *G05D 3/12* (2006.01)
G03F 7/20 (2006.01) *H01L 21/68* (2006.01)
G05B 11/36 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2012/000548

(22) 国際出願日: 2012 年 1 月 27 日(27.01.2012)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2011-017265 2011 年 1 月 28 日(28.01.2011) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区有楽町一丁目１２番１号 Tokyo (JP). 国立大学法人東京大学 (THE UNIVERSITY OF TOKYO) [JP/JP]; 〒1138654 東京都文京区本郷七丁目３番１号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 佐伯 和明 (SAIKI, Kazuaki) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区有楽町一丁目１２番１号株式会社ニコン内 Tokyo (JP). 藤本 博志 (FUJIMOTO, Hiroshi) [JP/JP]; 〒1138654 東京都文京区本郷七丁目３番１号国立大学法人東京大学内 Tokyo (JP). 坂田 晃一 (SAKATA, Koichi) [JP/JP]; 〒1138654 東京都文京区本郷七丁目３番１号国立大学法人東京大学内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 立石 篤司 (TATEISHI, Atsuji); 〒2060035 東京都多摩市唐木田一丁目５３番地９ 唐木田センタービル 立石国際特許事務所 Tokyo (JP).

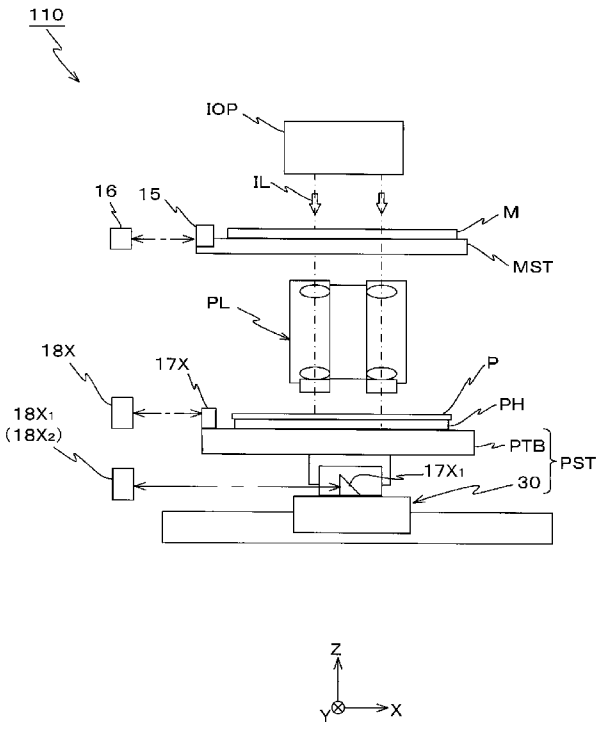
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT,

[続葉有]

(54) **Title**: DRIVING SYSTEM AND DRIVING METHOD, LIGHT EXPOSURE DEVICE AND LIGHT EXPOSURE METHOD, AND DRIVING SYSTEM DESIGNING METHOD

(54) 発明の名称 : 駆動システム及び駆動方法、露光装置及び露光方法、並びに駆動システム設計方法

[図1]



(57) **Abstract**: An interferometer ($18X_1$) for measuring the position (second control amount) of a plate stage (PST) driven in accordance with a manipulated variable is installed on a carriage (30) that exhibits a resonance mode of a reverse phase relative to a resonance mode exhibited by a plate table (PTB) on which is installed an interferometer (18X) for measuring the position (first control amount) of the plate stage (PST). Using the interferometer (18X) and the interferometer ($18X_1$) makes it possible to design a robust, high-bandwidth driving system for driving the plate stage (PST).

(57) 要約: 操作量に従って駆動されるプレートステージ（ＰＳＴ）の位置（第１制御量）を計測する干渉計（１８Ｘ）が設置されたプレートテーブル（ＰＴＢ）が示す共振モードに対して逆相の共振モードを示すキャリッジ（３０）に、プレートステージ（ＰＳＴ）の位置（第２制御量）を計測する干渉計（１８Ｘ$_1$）が設置される。干渉計（１８Ｘ）及び干渉計（１８Ｘ$_1$）を用いることにより、プレートステージ（ＰＳＴ）を駆動する、高帯域でロバストな駆動システムを設計することが可能となる。

WO 2012/102060 A1

QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

明　細　書

発明の名称 ：

駆動システム及び駆動方法、露光装置及び露光方法、並びに駆動システム設計方法

技術分野

[0001] 本発明は、駆動システム及び駆動方法、露光装置及び露光方法、並びに駆動システム設計方法に係り、特に、操作量を与えて制御対象を駆動する駆動システム及び駆動方法、前記駆動システムを備える露光装置及び前記駆動方法を用いる露光方法、並びに前記駆動システムを設計する駆動システム設計方法に関する。

背景技術

[0002] 液晶表示素子、半導体素子等の電子デバイス（マイクロデバイス）を製造するリソグラフィ工程では、主として、ステップ・アンド・リピート方式の投影露光装置（いわゆるステッパ）、ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置（いわゆるスキャニング・ステッパ（スキャナとも呼ばれる））などが用いられている。液晶表示素子用の露光装置（液晶露光装置）に対しては、基板の大型化に伴い、スキャナなどの走査型投影露光装置が主流となっている。

[0003] 電子デバイス（マイクロデバイス）は、基板（ガラスプレート、ウエハ等）上に複数層のパターンを重ねて形成することによって製造される。このため、露光装置には、マスクのパターンを基板上の各ショット領域に既に形成されたパターンに正確に重ね合わせて転写すること、すなわち高い重ね合わせ精度が要求される。

[0004] 高い重ね合わせ精度を達成するために、基板を保持して移動する基板ステージを精密に且つ安定して駆動する技術が必要となる。ここで、近年、基板ステージとして、走査露光時における基板の走査方向に移動するキャリッジと、該キャリッジの上に支持されて基板を保持して非走査方向に移動する基

板テーブルと、を備えるガントリー・ステージが主に採用されている。ガントリー・ステージなどでは、基板ステージの高精度なかつ安定した駆動の障害要因となる共振が発生する。特に、近時においては、基板ステージの大型化に伴い、その共振周波数（固有振動数）が低くなっている。

[0005] このような基板ステージの共振帯域を含む高帯域で且つ共振周波数の変動に対してもロバストな制御系を、ノッチフィルタを用いて構築するための理論的枠組みとして、H∞制御理論を代表とするアドバンストロバスト制御理論を利用したステージ制御装置が知られている（例えば、特許文献１参照）。アドバンストロバスト制御理論では、センサを追加して制御対象を１入力多出力系とするが、追加するセンサの配置に制約はなく、また、ノミナルモデルのモデル化誤差に対しても安定なフィードバック制御器を設計することができる。しかし、一般的に、制御対象の構造、重み関数の次数等に応じて制御器の設計自由度が増えるため、フィードバック制御器の高帯域化とロバスト性とはトレードオフの関係になってしまう。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開２００２－７３１１１号公報

発明の開示

課題を解決するための手段

[0007] 本発明の第１の態様によれば、操作量を与えて制御対象を駆動する駆動システムであって、前記制御対象の第１部分に設けられた第１計測点の位置に関連する第１制御量を計測する第１計測器と、前記制御対象の第２部分に設けられた第２計測点の位置に関連する第２制御量を計測する第２計測器と、前記第１及び第２計測器の計測結果と目標値とに基づいて制御演算を行って前記操作量を求め、該操作量を前記制御対象に設けられた操作点に与える制御部と、を備え、前記第２部分は、前記制御対象の前記操作点から前記第１計測点までを剛体としたときに現れる所定の振動状態において、前記第１部

分とは逆相の関係にある駆動システムが、提供される。

[0008] ここで、位置に関連する制御量（第１又は第２制御量）とは、位置を微分して得られる速度、加速度などを制御量とする場合は勿論、位置そのものを制御量とする場合をも含む。本明細書では、位置に関連する物理量という用語も用いているが、この場合の物理量も、位置を微分して得られる速度、加速度等の量は勿論、位置そのものを含む。このように、本明細書では、位置又は位置を微分して得られる速度、加速度等の量の総称として、位置に関連する量（制御量又は物理量）という表現を用いている。

[0009] これによれば、制御対象を精密に且つ安定して駆動することが可能となる。

[0010] 本発明の第２の態様によれば、エネルギビームで物体を露光して前記物体上にパターンを形成する露光装置であって、前記物体を保持して所定面上を移動する移動体を前記制御対象とする第１の態様の駆動システムを備える第１の露光装置が、提供される。

[0011] これによれば、物体を保持する移動体を精密に且つ安定して駆動することが可能となり、ひいては物体に対する高精度な露光が可能になる。

[0012] 本発明の第３の態様によれば、エネルギビームによりマスクを介して物体を露光する露光装置であって、前記マスクを保持して移動する移動体を前記制御対象とする第１の態様の駆動システムを備える第２の露光装置が、提供される。

[0013] これによれば、マスクを保持する移動体を精密に且つ安定して駆動することが可能となり、ひいては物体上にマスクのパターンを高精度に重ね合わせて転写することが可能になる。

[0014] 本発明の第４の態様によれば、制御対象の第１部分の位置に関連する第１制御量を計測することと、前記制御対象の第２部分の位置に関連する第２制御量を計測することと、前記第１及び第２制御量の計測結果と目標値とに基づいて制御演算を行って操作量を求め、該操作量を前記制御対象に与えて前記制御対象を駆動することと、を有する駆動方法であって、前記第２部分は

、前記制御対象の前記操作点から前記第１計測点までを剛体としたときに現れる所定の振動状態において、前記第１部分とは逆相の関係にある駆動方法が、提供される。

[0015] これによれば、制御対象を精密に且つ安定して駆動することが可能となる。

[0016] 本発明の第５の態様によれば、エネルギビームで物体を露光して前記物体上にパターンを形成する露光方法であって、第４の態様の駆動方法により、前記物体を保持して所定面上を移動する移動体を、前記制御対象として、駆動することを含む第１の露光方法が、提供される。

[0017] これによれば、物体を保持する移動体を精密に且つ安定して駆動することが可能となり、ひいては物体に対する高精度な露光が可能になる。

[0018] 本発明の第６の態様によれば、エネルギビームによりマスクを介して物体を露光する露光方法であって、第４の態様の駆動方法により、前記マスクを保持して移動する移動体を前記制御対象として駆動することを含む第２の露光方法が、提供される。

[0019] これによれば、マスクを保持する移動体を精密に且つ安定して駆動することが可能となり、ひいては物体上にマスクのパターンを高精度に重ね合わせて転写することが可能になる。

[0020] 本発明の第７の態様によれば、制御対象を駆動する駆動システムを設計する駆動システム設計方法であって、剛体モードに対する振動モードが互いに逆相となる前記制御対象の第１部分及び第２部分に、それぞれの位置に関連する第１制御量及び第２制御量を計測する第１及び第２計測器を設置することを含む駆動システム設計方法が、提供される。

[0021] これによれば、第１及び第２計測器を用いることにより、高帯域でロバストな駆動システムを設計することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0022] [図1]第１の実施形態に係る露光装置の構成を概略的に示す図である。

[図2]プレートステージを示す斜視図である。

[図3]露光装置のステージ制御に関連する構成を示すブロック図である。

[図4]１入力１出力系のフィードバック制御系におけるプレートステージの入出力応答を表現する伝達関数（振幅及び位相）の周波数応答特性を示すボード線図である。

[図5]図５（Ａ）及び図５（Ｂ）は、それぞれ、第１の実施形態に係る１入力２出力系のフィードバック制御系におけるプレートステージのキャリッジ、及びプレートテーブルの入出力応答を表現する伝達関数の周波数応答特性を示すボード線図である。

[図6]第１の実施形態に係る１入力２出力系のフィードバック制御系を表すブロック図である。

[図7]図７（Ａ）は、プレートステージの力学的運動（並進運動）を表現する力学模型の一例を示す図、図７（Ｂ）は、図７（Ａ）の力学模型に含まれる力学パラメータを示す表である。

[図8]図８（Ａ）及び図８（Ｂ）は、１入力２出力系のフィードバック制御系における２つの制御器の伝達関数の周波数応答特性を示すボード線図である。

[図9]図９（Ａ）～図９（Ｃ）は、それぞれ条件Ａ～Ｃに対する、１入力２出力系（ＳＩＭＯ系）及び１入力１出力系（ＳＩＳＯ系）のフィードバック制御系のそれぞれの閉ループ伝達関数の周波数応答特性を示すボード線図（シミュレーション結果）である。

[図10]図１０（Ａ）～図１０（Ｃ）は、それぞれ条件Ａ～Ｃに対する、１入力２出力系（ＳＩＭＯ系）及び１入力１出力系（ＳＩＳＯ系）のフィードバック制御系のそれぞれの開ループ伝達関数の周波数応答特性を示すボード線図（シミュレーション結果）である。

[図11]図１１（Ａ）～図１１（Ｃ）は、それぞれ条件Ａ～Ｃに対する、１入力２出力系（ＳＩＭＯ系）及び１入力１出力系（ＳＩＳＯ系）のフィードバック制御系のそれぞれに対するナイキスト線図である。

[図12]条件Ａ～Ｃに対するゲイン余裕（Ｇｍ）と位相余裕（Ｐｍ）を示す表

である。

[図13]図１３（Ａ）～図１３（Ｃ）は、それぞれ条件Ａ～Ｃに対する、１入力２出力系（ＳＩＭＯ系）及び１入力１出力系（ＳＩＳＯ系）のフィードバック制御系のそれぞれの閉ループ伝達関数の周波数応答特性を示すボード線図（実験結果）である。

[図14]図１４（Ａ）～図１４（Ｃ）は、それぞれ条件Ａ～Ｃに対する、１入力２出力系（ＳＩＭＯ系）及び１入力１出力系（ＳＩＳＯ系）のフィードバック制御系のそれぞれの開ループ伝達関数の周波数応答特性を示すボード線図（実験結果）である。

[図15]図１５（Ａ）～図１５（Ｃ）は、それぞれ条件Ａ～Ｃに対する、１入力２出力系（ＳＩＭＯ系）及び１入力１出力系（ＳＩＳＯ系）のフィードバック制御系のそれぞれに対するナイキスト線図である。

[図16]図１６（Ａ）はプレートステージの駆動軌跡を示す図、図１６（Ｂ）及び図１６（Ｃ）はプレートステージの追従誤差の時間変化を示す図である。

[図17]第１の実施形態に係る１入力２出力系のフィードバック制御系の変形例を表すブロック図である。

[図18]図１８（Ａ）は、一般的な２慣性系の力学模型を表す図であり、図１８（Ｂ）は、図１８（Ａ）の力学模型に含まれる力学パラメータを示す表である。

[図19]図１９（Ａ）及び図１９（Ｂ）は、それぞれ、第２の実施形態に係る１入力２出力系のフィードバック制御系におけるプレートステージＰＳＴのキャリッジ、及びプレートテーブルの入出力応答を表現する伝達関数の周波数応答特性を示すボード線図である。

[図20]図２０（Ａ）及び図２０（Ｂ）は、それぞれ、第２の実施形態に係る１入力２出力系のフィードバック制御系における２つの制御器の伝達関数の周波数応答特性を示すボード線図である。

[図21]第２の実施形態に係る１入力２出力系（ＳＩＭＯ系）及び従来の１入

力１出力系（ＳＩＳＯ系）のフィードバック制御系のそれぞれに対する閉ループ伝達関数の周波数応答特性を示すボード線図（シミュレーション結果）である。

[図22]第２の実施形態に係る１入力２出力系（ＳＩＭＯ系）及び従来の１入力１出力系（ＳＩＳＯ系）のフィードバック制御系のそれぞれに対する開ループ伝達関数の周波数応答特性を示すボード線図（シミュレーション結果）である。

[図23]第２の実施形態に係る１入力２出力系（ＳＩＭＯ系）及び従来の１入力１出力系（ＳＩＳＯ系）のフィードバック制御系のそれぞれに対するナイキスト線図である。

[図24]ゲイン余裕（Ｇｍ）と位相余裕（Ｐｍ）を示す表である。

[図25]マスクステージの構成を示す平面図である。

[図26]第３の実施形態に係る１入力２出力系のフィードバック制御系を表すブロック図である。

[図27]図２７（Ａ）及び図２７（Ｂ）は、第４の実施形態に係るボールねじ式のプレートステージの構成を示す図である。

[図28]第４の実施形態に係る１入力２出力系のフィードバック制御系を表すブロック図である。

[図29]図２９（Ａ）及び図２９（Ｂ）は、それぞれ、第４の実施形態に係るプレートステージの送りねじ（及び回転モータ）、及びプレートテーブルの入出力応答を表現する伝達関数の周波数応答特性を示すボード線図である。

発明を実施するための最良の形態

[0023] 《第１の実施形態》

以下、第１の実施形態について、図１～図１７に基づいて説明する。

[0024] 図１には、フラットパネルディスプレイ、例えば液晶表示装置（液晶パネル）などの製造に用いられる第１の実施形態に係る露光装置１１０の構成が概略的に示されている。露光装置１１０は、液晶表示素子パターンが形成されたマスクＭと、プレートステージＰＳＴに保持されたガラスプレート（以

下、「プレート」という）Ｐとを、投影光学系ＰＬに対して所定の走査方向（ここでは、図１における紙面内左右方向であるＸ軸方向とする）に沿って例えば同一速度で同一方向に相対走査し、マスクＭのパターンをプレートＰ上に転写するスキャニング・ステッパ（スキャナ）である。露光装置１１０は、照明系ＩＯＰ、マスクＭを保持するマスクステージＭＳＴ、投影光学系ＰＬ、マスクステージＭＳＴ及び投影光学系ＰＬなどが搭載された不図示のボディ、プレートＰをプレートホルダＰＨを介して保持するプレートステージＰＳＴ、及びこれらの制御系等を備えている。制御系は、露光装置１１０の構成各部を統括制御する主制御装置（不図示）及びその配下のステージ制御装置５０（図３等参照）によって主に構成される。以下においては、露光時にマスクＭとプレートＰとが投影光学系ＰＬに対してそれぞれ相対走査される方向をＸ軸方向（Ｘ方向）とし、水平面内でこれに直交する方向をＹ軸方向（Ｙ方向）、Ｘ軸及びＹ軸に直交する方向をＺ軸方向（Ｚ方向）とし、Ｘ軸、Ｙ軸、及びＺ軸回りの回転（傾斜）方向をそれぞれθｘ、θｙ、及びθｚ方向として説明を行う。

[0025] 照明系ＩＯＰは、例えば米国特許第５，７２９，３３１号明細書などに開示される照明系と同様に構成されている。すなわち、照明系ＩＯＰは、マスクＭ上に千鳥状に配置された複数、例えば５つの照明領域のそれぞれを照明する複数、例えば５つの照明系を有し、各照明系は、図示しない光源（例えば、水銀ランプ）から射出された光を、図示しない反射鏡、ダイクロイックミラー、シャッター、波長選択フィルタ、各種レンズなどを介して、露光用照明光（照明光）ＩＬとしてマスクＭに照射する。照明光ＩＬとしては、例えばｉ線（波長３６５ｎｍ）、ｇ線（波長４３６ｎｍ）、ｈ線（波長４０５ｎｍ）などの光（あるいは、上記ｉ線、ｇ線、ｈ線の合成光）が用いられる。また、照明光ＩＬの波長は、波長選択フィルタにより、例えば要求される解像度に応じて適宜切り替えることが可能になっている。

[0026] マスクステージＭＳＴには、回路パターンなどがそのパターン面（図１における下面）に形成されたマスクＭが、例えば真空吸着（あるいは静電吸着

）により固定されている。マスクステージＭＳＴは、不図示のボディの一部である鏡筒定盤の上面に固定されたＸ軸方向に伸びる一対のマスクステージガイド（不図示）上に、不図示の気体静圧軸受（例えばエアベアリング）を介して非接触状態で支持（浮上支持）されている。マスクステージＭＳＴは、例えばリニアモータを含むマスクステージ駆動系ＭＳＤ（図１では不図示、図３参照）により、走査方向（Ｘ軸方向）に所定のストロークで駆動されるとともに、Ｙ軸方向、及びθｚ方向にそれぞれ適宜微少駆動される。マスクステージＭＳＴのＸＹ平面内の位置情報（θｚ方向の回転情報を含む）は、マスク干渉計システム１６により計測される。

[0027] マスク干渉計システム１６は、マスクステージＭＳＴの端部に固定された移動鏡１５に測長ビームを照射し、移動鏡１５からの反射光を受光することにより、マスクステージＭＳＴの位置を計測する。その計測結果はステージ制御装置５０に供給され（図３参照）、ステージ制御装置５０は、マスク干渉計システム１６の計測結果に基づいて、マスクステージ駆動系ＭＳＤを介してマスクステージＭＳＴを駆動する。なお、移動鏡に代えて、マスクステージの端面に鏡面加工を施して反射面（移動鏡の反射面に相当）を形成しても良い。また、マスク干渉計システム１６に代えて、あるいはマスク干渉計システム１６とともにエンコーダ（又は複数のエンコーダから構成されるエンコーダシステム）を用いても良い。

[0028] 投影光学系ＰＬは、マスクステージＭＳＴの図１における下方において、不図示のボディの一部（鏡筒定盤）に支持されている。投影光学系ＰＬは、例えば米国特許第５，７２９，３３１号明細書に開示された投影光学系と同様に構成されている。すなわち、投影光学系ＰＬは、前述した複数の照明領域に対応して、マスクＭのパターン像の投影領域が千鳥状に配置された複数、例えば５つの投影光学系（マルチレンズ投影光学系）を含み、Ｙ軸方向を長手方向とする長方形状の単一のイメージフィールドを持つ投影光学系と同等に機能する。ここでは、３つの投影光学系がＹ軸方向に所定間隔で配置され、残りの２つの投影光学系が、３つの投影光学系から＋Ｘ側に離間して、

Ｙ軸方向に所定間隔で配置されている。本実施形態では、複数（５つ）の投影光学系のそれぞれとしては、例えば両側テレセントリックな等倍系で正立正像を形成するものが用いられている。また、以下では投影光学系ＰＬの千鳥状に配置された複数の投影領域をまとめて露光領域と呼ぶ。

[0029] 照明系ＩＯＰからの照明光ＩＬによってマスクＭ上の照明領域が照明されると、投影光学系ＰＬの第１面（物体面）とパターン面とがほぼ一致して配置されるマスクＭを通過した照明光ＩＬにより、投影光学系ＰＬを介してその照明領域内のマスクＭの回路パターンの投影像（部分正立像）が、投影光学系ＰＬの第２面（像面）側に配置される、表面にレジスト（感応剤）が塗布されたプレートＰ上の照明領域に共役な照明光ＩＬの照射領域（露光領域）に形成される。そして、マスクステージＭＳＴとプレートステージＰＳＴ（より正確には、後述のプレートテーブルＰＴＢ）との同期駆動によって、照明領域（照明光ＩＬ）に対してマスクＭを走査方向（Ｘ軸方向）に相対移動させるとともに、露光領域（照明光ＩＬ）に対してプレートＰを走査方向（Ｘ軸方向）に相対移動させることで、プレートＰ上の１つのショット領域（区画領域）の走査露光が行われ、そのショット領域にマスクＭのパターンが転写される。すなわち、本実施形態では照明系ＩＯＰ及び投影光学系ＰＬによってプレートＰ上にマスクＭのパターンが生成され、照明光ＩＬによるプレートＰ上の感応層（レジスト層）の露光によってプレートＰ上にそのパターンが形成される。

[0030] プレートステージＰＳＴは、投影光学系ＰＬの下方（－Ｚ側）に配置されている。プレートステージＰＳＴは、Ｘ軸方向（走査方向）に移動するキャリッジ３０と、該キャリッジ３０の上に支持されてプレートＰを保持してＹ軸方向（非走査方向、クロススキャン方向）に移動するプレートテーブルＰＴＢとを備えている。

[0031] 図２には、プレートステージＰＳＴが、プレート干渉計システム１８（１８Ｘ、１８Ｙ、$18X_1$、$18X_2$、図３参照）とともに、斜視図にて示されている。プレートテーブルＰＴＢは、図２に示されるように、平面視矩形板

状の部材から成り、その上面の中央にプレートＰ（図２では不図示、図１参照）を吸着保持するプレートホルダＰＨが固定されている。プレートテーブルＰＴＢは、複数、例えば３つの支持機構（不図示）を介してＹスライダ３２Ｙ上に支持されている。各支持機構は、プレートテーブルＰＴＢを支持するとともに、その支持点にてプレートテーブルＰＴＢをＺ軸方向に駆動するアクチュエータ（例えばボイスコイルモータ等）を含む。３つの支持機構により、プレートテーブルＰＴＢは、Ｙスライダ３２Ｙ上で、３自由度方向（Ｚ軸、θｘ、及びθｙの各方向）に微小駆動される。

[0032] Ｙスライダ３２Ｙは、ＸＺ断面が逆Ｕ字状の部材であり、エアベアリング（不図示）等を介して非接触で、Ｙ軸方向に伸びるＹビーム（Ｙガイド）３４Ｙに上方から係合している。Ｙビーム３４Ｙの内部には、例えば複数のコイルがＹ軸方向に所定間隔で配置され、Ｙスライダ３２Ｙの内面側には、例えば複数の永久磁石が、配置されている。Ｙビーム３４ＹとＹスライダ３２Ｙとによって、可動子であるＹスライダ３２ＹをＹ軸方向に駆動するムービングマグネット型のＹリニアモータ３６Ｙが構成されている。Ｙリニアモータ３６Ｙによって、プレートテーブルＰＴＢが、Ｙビーム３４Ｙに沿ってＹ軸方向に駆動される。なお、Ｙリニアモータ３６Ｙとしては、ムービングマグネット型に限らず、ムービングコイル型のリニアモータを用いることもできる。

[0033] Ｙビーム３４Ｙの長手方向の一端と他端の下面には、Ｘスライダ$32X_1$，$32X_2$が固定されている。Ｘスライダ$32X_1$，$32X_2$は、それぞれ、ＹＺ断面が逆Ｕ字状の部材であり、Ｙ軸方向に離間して配置され、かつＸ軸方向にそれぞれ延設された一対のＸガイド$34X_1$，$34X_2$にエアベアリング（不図示）等を介して非接触で、上方から係合している。Ｘガイド$34X_1$，$34X_2$は、それぞれ、不図示の防振部材を介して（あるいは直接）床面Ｆ上に設置されている。

[0034] Ｘガイド$34X_1$，$34X_2$のそれぞれの内部には、例えば複数のコイルがＸ軸方向に所定間隔で配置され、Ｘスライダ$32X_1$，$32X_2$の内面側には、そ

れぞれ、複数の永久磁石が配置されている。Ｘガイド３４X_1とＸスライダ３２X_1とによって、可動子であるＸスライダ３２X_1をＸ軸方向に駆動するムービングマグネット型のＸリニアモータ３６X_1が構成されている。同様に、Ｘガイド３４X_2とＸスライダ３２X_2とによって、可動子であるＸスライダ３２X_2をＸ軸方向に駆動するムービングマグネット型のＸリニアモータ３６X_2が構成されている。

[0035] ここで、一対のＸスライダ３２X_1，３２X_2と、Ｙビーム３４Ｙとを含んで、キャリッジ３０（図１参照）が構成され、キャリッジ３０が、一対のＸリニアモータ３６X_1，３６X_2によって、Ｘ軸方向に駆動される。また、一対のＸリニアモータ３６X_1，３６X_2が異なる推力（駆動力）を発生することで、一対のＸリニアモータ３６X_1，３６X_2によって、キャリッジ３０が、θz方向に駆動されるようになっている。なお、Ｘリニアモータ３６X_1，３６X_2としては、ムービングマグネット型に限らず、ムービングコイル型のリニアモータを用いることもできる。

[0036] 本実施形態では、上述したＹリニアモータ３６Ｙ、一対のＸリニアモータ３６X_1，３６X_2、及び３つの支持機構（不図示）によって、プレートテーブルＰＴＢを６自由度方向（Ｘ軸，Ｙ軸，Ｚ軸，θx，θy，θzの各方向）に駆動するプレートステージ駆動系ＰＳＤ（図３参照）が構成されている。プレートステージ駆動系ＰＳＤ（の構成各部）は、ステージ制御装置５０によって制御される（図３参照）。

[0037] 図２に戻り、プレートテーブルＰＴＢの上面には、－Ｘ端部及び＋Ｙ端部に、それぞれＸ軸に直交する反射面を有する移動鏡（平面ミラー）１７Ｘ、Ｙ軸に直交する反射面を有する移動鏡（平面ミラー）１７Ｙが、固定されている。また、Ｘスライダ３２X_1の上面にはコーナーキューブ１７X_1が、Ｘスライダ３２X_2の上面にはコーナーキューブ（不図示）が、それぞれ固定されている。

[0038] プレートステージＰＳＴの位置は、プレート干渉計システム１８（図３参照）によって計測されている。プレート干渉計システム１８は、図２に示さ

れる４つの干渉計１８Ｘ，１８Ｙ、１８$Ｘ_1$及び１８$Ｘ_2$を含む。

[0039] 干渉計１８Ｘは、プレートテーブルＰＴＢに固定された移動鏡１７ＸにＸ軸に平行な少なくとも３本の測長ビームを照射し、それぞれの反射光を受光して、プレートテーブルＰＴＢのＸ軸方向、θｚ方向、及びθｙ方向の位置を計測する。干渉計１８Ｙは、プレートテーブルＰＴＢに固定された移動鏡１７ＹにＹ軸に平行な少なくとも２本の測長ビームを照射し、それぞれの反射光を受光して、プレートテーブルＰＴＢのＹ軸方向及びθｘ方向の位置を計測する。

[0040] 干渉計１８$Ｘ_1$は、Ｘスライダ３２$Ｘ_1$上に固定されたコーナーキューブ１７$Ｘ_1$にＸ軸に平行な測長ビームを照射し、その反射光を受光してキャリッジ３０のＸ軸方向の位置（Ｘ位置）を計測する。同様に、干渉計１８$Ｘ_2$は、Ｘスライダ３２$Ｘ_2$上に固定されたコーナーキューブ（不図示）にＸ軸に平行な測長ビームを照射し、その反射光を受光してキャリッジ３０のＸ軸方向の位置（Ｘ位置）を計測する。

[0041] プレート干渉計システム１８の各干渉計の計測結果は、ステージ制御装置５０に供給される（図３参照）。ステージ制御装置５０は、プレート干渉計システム１８の各干渉計の計測結果に基づいて、プレートステージ駆動系ＰＳＤ（より正確には、一対のＸリニアモータ３６$Ｘ_1$，３６$Ｘ_2$及びＹリニアモータ３６Ｙ）を介してプレートステージＰＳＴ（プレートテーブルＰＴＢ）をＸＹ平面内で駆動する。本実施形態では、プレートステージＰＳＴ（プレートテーブルＰＴＢ）のＸ軸方向の駆動に際して、後述するように、干渉計１８Ｘの計測結果と、干渉計１８$Ｘ_1$及び１８$Ｘ_2$の少なくとも一方の計測結果とが用いられる。

[0042] なお、ステージ制御装置５０は、露光時などに、不図示のフォーカス検出系の検出結果に基づいて、プレートステージ駆動系ＰＳＤ（より正確には、３つの支持機構（不図示））を介してプレートテーブルＰＴＢをＺ軸、θｙ及びθｚの少なくとも１方向に微小駆動する。

[0043] 図３には、露光装置１１０のステージ制御に関連する制御系の構成が示さ

れている。図３の制御系は、例えばマイクロコンピュータなどを含むステージ制御装置５０を中心として構成されている。

[0044] 露光装置１１０では、予め行われたプレートのアライメント計測（例えば、ＥＧＡ等）の結果に基づいて、以下の手順で、プレートＰの複数のショット領域が露光される。すなわち、主制御装置（不図示）の指示に応じて、ステージ制御装置５０が、マスク干渉計システム１６及びプレート干渉計システム１８の計測結果を監視して、マスクステージＭＳＴとプレートステージＰＳＴとを、プレートＰ上の１つのショット領域を露光するためのそれぞれの走査開始位置（加速開始位置）に移動する。そして、ステージＭＳＴ，ＰＳＴをＸ軸方向に沿って同一方向に同期駆動する。これにより、前述のようにして、プレートＰ上の１つのショット領域にマスクＭのパターンが転写される。走査露光中、ステージ制御装置５０は、例えば補正パラメータに従って、マスクステージＭＳＴとプレートステージＰＳＴの同期駆動（相対位置及び相対速度）を微調整する。これにより、前工程レイヤに形成されたパターンに重なるように、マスクＭのパターンの投影像が位置合わせされる。

[0045] １つのショット領域に対する走査露光が終了すると、ステージ制御装置５０が、プレートステージＰＳＴを、次のショット領域を露光するための走査開始位置（加速開始位置）へ移動（ステッピング）させる。そして、次のショット領域に対する走査露光を行う。このようにして、プレートＰのショット領域間のステッピングとショット領域に対する走査露光とを繰り返すことにより、プレートＰ上の全てのショット領域にマスクＭのパターンが転写される。

[0046] 次に、プレートステージＰＳＴを駆動する駆動システム（プレートステージＰＳＴの駆動を制御する制御系）の設計について説明する。

[0047] 本実施形態では、並進方向、一例としてＸ軸方向にプレートステージＰＳＴを駆動する駆動システムについて説明する。また、比較のため、従来技術についても、簡単に説明する。

[0048] 従来技術では、１入力１出力系（ＳＩＳＯ系）のフィードバック制御系（

閉ループ制御系）が構築される。この１入力１出力系（ＳＩＳＯ系）のフィードバック制御系を、露光装置１１０に適用する場合を考える。この場合、干渉計１８Ｘにより、制御対象であるプレートステージＰＳＴ（プレートテーブルＰＴＢ）のＸ位置（制御量）が計測される。その計測結果Ｘは、ステージ制御装置５０に供給される。ステージ制御装置５０は、計測結果Ｘを用いて操作量Ｕ（Ｘリニアモータ３６$Ｘ_1$，３６$Ｘ_2$が発する駆動力Ｆ、又はＸリニアモータ３６$Ｘ_1$，３６$Ｘ_2$のコイルに流す電流量Ｉ等）を求め、求められた操作量Ｕをプレートステージ駆動系ＰＳＤへ送る。プレートステージ駆動系ＰＳＤは、受信した操作量Ｕに従って、例えば、駆動力Ｆに等しい駆動力を発する、あるいは電流量Ｉに等しい量の電流をＸリニアモータ３６$Ｘ_1$，３６$Ｘ_2$のコイルに流す。これにより、プレートステージＰＳＴが駆動（制御）される。

[0049] 図４には、上述の１入力１出力系（ＳＩＳＯ系）のフィードバック制御系におけるプレートステージＰＳＴ（プレートテーブルＰＴＢ）の入出力応答（操作量Ｕに対する制御量Ｘの応答）を表現する伝達関数Ｐ（＝Ｘ／Ｕ）の周波数応答特性を示すボード線図（振幅（ゲイン）｜Ｐ（ｓ）｜及び位相ａｒｇ（Ｐ（ｓ））、すなわちゲイン線図（上側の図）及び位相線図（下側の図）が示されている。ここで、ｓ＝ｊω＝ｊ２πｆ、ｊ＝$\sqrt{}$（－１）、ｆは周波数である。図中、実線は、例えば後述する力学模型に基づいて求められた理論結果を示し、一点鎖線は、実験結果（実験機を用いて測定された結果）を示す。実験では、操作量Ｕに対して制御量Ｘを測定し、その結果を定義式（Ｐ＝Ｘ／Ｕ）に適用することにより、伝達関数Ｐの周波数応答特性が求められている。

[0050] 伝達関数Ｐの周波数応答特性において、１０数Ｈｚ付近に、共振モード（共振振舞い）が現れることが確認できる。伝達関数Ｐは、基本的な振舞いとして、周波数ｆの増加に対して、その振幅を単調に減少し、位相を一定に保つ。これらは、ゲイン線図及び位相線図において、それぞれ、右下がりの直線及び傾き零の直線を示す。そして、伝達関数Ｐは、共振振舞いとして、１

０数Ｈｚ付近において、振幅を急激に増加そして減少し、位相を急激に減少そして増加する。これらは、ゲイン線図及び位相線図において、それぞれ、連続する山と谷の形及び谷の形を示す。すなわち、伝達関数Ｐは、１０数Ｈｚ付近において、剛体モードに対して逆相の共振モードを示す。

[0051] 上述の共振モード（共振振舞い）は、近年の露光装置の大型化により、より低周波数域に現れ、プレートステージＰＳＴの駆動の精密なかつ安定した制御の大きな妨げになっている。なお、図４の周波数応答特性の実験結果において、高周波数域（数１０Ｈｚ以上）において激しい振動振舞いが見られるが、ここでは特に問題としない。

[0052] 上述の共振モード（共振振舞い）を相殺し、プレートステージＰＳＴの駆動を精密にかつ安定して制御するために、プレート干渉計システム１８の干渉計１８Ｘ（第１計測器）に加えて干渉計$18X_1$（第２計測器）を用いることにより、１入力２出力系（ＳＩＭＯ系）のフィードバック制御系を構築する。ここで、キャリッジ３０のＸ位置は、干渉計$18X_1$、$18X_2$のいずれによっても計測することができ、両者の計測値の平均によっても得られるが、ここでは、説明の便宜上、キャリッジ３０のＸ位置を計測する第２計測器として、干渉計$18X_1$を用いるものとしている。

[0053] この１入力２出力系（ＳＩＭＯ系）のフィードバック制御系では、干渉計１８Ｘ，$18X_1$により、それぞれ、プレートステージＰＳＴ（制御対象）を構成するプレートテーブルＰＴＢ（制御対象の第１部分）及びキャリッジ３０（制御対象の第２部分）のＸ位置（制御量）X_1，X_2が計測される。これらの計測結果（X_1，X_2）は、ステージ制御装置５０に供給される。ステージ制御装置５０は、計測結果（X_1，X_2）を用いて操作量Ｕ（駆動力Ｆ）を求め、求められた操作量Ｕをプレートステージ駆動系ＰＳＤへ送信する。プレートステージ駆動系ＰＳＤ（Ｘリニアモータ$36X_1$，$36X_2$）は、受信した操作量Ｕ（駆動力Ｆ）に従って、駆動力Ｆに等しい駆動力をキャリッジ３０（第２部分）に加える。これにより、プレートステージＰＳＴが駆動される。

[0054] 図５（Ａ）には、キャリッジ３０の入出力応答（操作量Ｕ（駆動力Ｆ）に対する制御量$Ｘ_2$）を表現する伝達関数$Ｐ_2$（＝$Ｘ_2$／Ｕ）の周波数応答特性を示すボード線図、すなわちゲイン線図（上側の図）及び位相線図（下側の図）が示されている。また、図５（Ｂ）には、プレートテーブルＰＴＢの入出力応答（操作量Ｕ（駆動力Ｆ）に対する制御量$Ｘ_1$）を表現する伝達関数$Ｐ_1$（＝$Ｘ_1$／Ｕ）の周波数応答特性を示すボード線図、すなわちゲイン線図（上側の図）及び位相線図（下側の図）が示されている。

[0055] プレートテーブルＰＴＢに対する伝達関数$Ｐ_1$の周波数応答特性（図５（Ｂ））は、前述の周波数応答特性（図４）と同様の振舞いを示す。ただし、共振振舞い（共振モード）が現れる周波数域が、幾分高周波数側にシフトしている。これに対し、キャリッジ３０に対する伝達関数$Ｐ_2$の周波数応答特性は、伝達関数$Ｐ_1$の周波数応答特性と相反する振舞い（逆相の共振モード）、すなわち剛体モードに対して同相の共振モードを示す。伝達関数$Ｐ_2$は、周波数ｆの増加に対して、その振幅を急激に減少そして増加し、位相を急激に増加そして減少する。これらは、図５（Ａ）のゲイン線図及び位相線図において、それぞれ、連続する谷と山の形及び山の形を示している。

[0056] また、１入力２出力系（ＳＩＭＯ系）の制御対象に対するフィードバック制御を用いた露光装置が、特開２００６－２０３１１３号公報に記載されている。しかし、２つの出力を合成して１出力とし、１入力１出力系（ＳＩＳＯ系）の制御対象に対して１つの制御器を設計する構成であるため、十分とは言えなかった。

[0057] 本第１の実施形態に係る露光装置１１０では、１入力２出力系（ＳＩＭＯ系）のフィードバック制御系を構築するにあたり、第１計測器（干渉計１８Ｘ（移動鏡１７Ｘ））が設置されたプレートステージＰＳＴの第１部分（プレートテーブルＰＴＢ）が示す共振モードに対して逆相の共振モードを示すプレートステージＰＳＴの第２部分（キャリッジ３０（Ｘスライダ$３２Ｘ_1$））に、第２計測器（干渉計$１８Ｘ_1$（コーナーキューブ$１７Ｘ_1$））を設置している。これにより、目的のフィードバック制御系の構築が可能となる。

[0058] 図６には、プレートステージＰＳＴを駆動する駆動システムに対応する１入力２出力系（ＳＩＭＯ系）の閉ループ制御系（フィードバック制御系）を示すブロック図が示されている。この図６の閉ループ制御系に対応する駆動システムは、制御対象であるプレートステージＰＳＴの第１部分（プレートテーブルＰＴＢ）のＸ位置（第１の制御量$Ｘ_1$）及び第２部分（キャリッジ３０）のＸ位置（第２の制御量$Ｘ_2$）をそれぞれ計測するプレート干渉計システム１８の干渉計１８Ｘ，１８$Ｘ_1$と、プレートステージＰＳＴを駆動するステージ制御装置５０と、を含む。ステージ制御装置５０は、目標値Ｒと第１、第２の制御量の計測結果（$Ｘ_1$，$Ｘ_2$）とに基づいて操作量Ｕを演算し、その結果をプレートステージ駆動系ＰＳＤに送信してプレートステージＰＳＴを駆動することで、プレートステージＰＳＴの位置を制御する。このように、本実施形態では、ステージ制御装置５０によるプレートステージＰＳＴの駆動は、プレートステージＰＳＴの位置の制御を伴うが、以下においては、単に駆動（ただし、必要に応じて駆動（位置制御））と表記する。

[0059] ここで、目標値（目標軌道）、制御量、操作量等は、時間の関数として定義されるが、図６及びそれを用いた説明では、制御ブロック図の説明に際しての慣習に従い、それらのラプラス変換を用いて説明を行うものとする。また、後述する演算式Ｕ（Ｒ－$Ｘ_1$，Ｒ－$Ｘ_2$）についても、ラプラス変換形においてその定義を与えるものとする。また、以降においても、特に断らない限り、ラプラス変換（ラプラス変換形）を用いて説明するものとする。

[0060] ステージ制御装置５０は、目標生成部５０_0と、２つの制御器５０_1，５０_2と、２つの減算器５０_3，５０_4と、加算器５０_5と、を含む。なお、これら各部は、実際には、ステージ制御装置５０を構成するマイクロコンピュータとソフトウェアによって実現されるが、ハードウェアによって構成しても勿論良い。

[0061] 目標生成部５０_0は、プレートステージＰＳＴの目標値、ここでは目標位置（時々刻々変化する位置の目標値）Ｒを生成して、減算器５０_3、５０_4に供給する。

[0062] 一方の減算器５０$_3$は、目標位置Ｒと干渉計１８Ｘによって計測されるプレートテーブルＰＴＢ（伝達関数Ｐ$_1$）のＸ位置Ｘ$_1$（現在位置）との差、すなわち偏差（Ｒ－Ｘ$_1$）を算出し、制御器５０$_1$（伝達関数Ｃ$_1$）に供給する。他方の減算器５０$_4$は、目標位置Ｒと干渉計１８Ｘ$_1$によって計測されるキャリッジ３０（伝達関数Ｐ$_2$）のＸ位置Ｘ$_2$（現在位置）との差、すなわち偏差（Ｒ－Ｘ$_2$）を算出し、制御器５０$_2$（伝達関数Ｃ$_2$）に供給する。ここで、Ｘ位置Ｘ$_1$、Ｘ$_2$は、それぞれ干渉計１８Ｘ、１８Ｘ$_1$によって計測されるが、図６では、図示が省略されている。以降の閉ループ制御系のブロック図においても同様に計測器は図示が省略される。

[0063] 制御器５０$_1$は、偏差（Ｒ－Ｘ$_1$）が零となるように、演算（制御演算）により中間量Ｃ$_1$（Ｒ－Ｘ$_1$）を算出し、加算器５０$_5$に送出する。同様に、制御器５０$_2$は、偏差（Ｒ－Ｘ$_2$）が零となるように、制御演算により中間量Ｃ$_2$（Ｒ－Ｘ$_2$）を算出し、加算器５０$_5$に送出する。ここで、Ｃ$_1$，Ｃ$_2$は、それぞれ、制御器５０$_1$，５０$_2$の伝達関数である。伝達関数とは、入力信号ｒ（ｔ）と出力信号Ｃ（ｔ）とのラプラス変換の比Ｒ（ｓ）／Ｃ（ｓ）、すなわちインパルス応答関数のラプラス変換関数である。

[0064] 加算器５０$_5$は、制御器５０$_1$，５０$_2$の出力（中間量）を加算して操作量Ｕを求める。このように、ステージ制御装置５０は、干渉計１８Ｘ，１８Ｘ$_1$の計測結果（Ｘ$_1$，Ｘ$_2$）と目標位置Ｒとに基づいて演算式Ｕ（Ｒ－Ｘ$_1$，Ｒ－Ｘ$_2$）＝Ｃ$_1$（Ｒ－Ｘ$_1$）＋Ｃ$_2$（Ｒ－Ｘ$_2$）で表される制御演算を行って操作量Ｕを求め、該操作量Ｕを制御対象であるプレートステージＰＳＴに与える。これにより、操作量Ｕに従ってプレートステージＰＳＴが駆動（位置制御）される。

[0065] 本実施形態では、制御器５０$_1$，５０$_2$を設計するために、すなわち伝達関数Ｃ$_1$，Ｃ$_2$を決定するために、簡素化された力学模型（剛体模型）を用いてプレートステージＰＳＴの力学的運動を表現する。ここでは、図７（Ａ）に示されるように、プレートステージＰＳＴが、第１計測器（干渉計１８Ｘ）が設置されたプレートテーブルＰＴＢ、及び第２計測器（干渉計１８Ｘ$_1$）が

設置されたキャリッジ３０の２部分から構成されるものとする。そして、これらの部分のＸ軸方向の運動を、ばねにより連結された２つの剛体の運動、より詳細には、図７（Ａ）に示されるように、プレートステージ駆動系ＰＳＤ（Ｘリニアモータ３６$Ｘ_1$，３６$Ｘ_2$）に対応する駆動系から駆動力Ｆを与えられてＸ軸方向に並進する剛体Ｃｒ（キャリッジ３０に対応する）と、剛体Ｃｒ上の回転中心Ｏにてばねを介して連結され、回転中心Ｏに関して（θ_z方向に）回転する剛体Ｔｂ（プレートテーブルＰＴＢに対応する）との運動として表現する。

[0066] ここで、剛体Ｔｂ，ＣｒのＸ位置をそれぞれ$Ｘ_1$，$Ｘ_2$、質量をそれぞれ$Ｍ_1$，$Ｍ_2$、剛体Ｔｂの（回転中心Ｏに関する）慣性モーメントを$Ｊ_1$、粘性（剛体Ｃｒの速度に比例する抵抗）をＣ、剛体Ｔｂと剛体Ｃｒとの間の減衰係数をμ、ばね定数（剛体Ｔｂと剛体Ｃｒとの間のねじり剛性）をｋ、剛体Ｔｂの重心と回転中心Ｏとの間の距離をＬ、剛体Ｔｂ，ＣｒのそれぞれのＸ位置（$Ｘ_1$，$Ｘ_2$）計測の基準位置間のＺ軸方向に関する離間距離をｌ、無駄時間をτ_dとする。なお、図７（Ｂ）の表に、これらの力学パラメータの値が示されている。これらの値は、後述する式（１ａ）及び式（１ｂ）により表されるモデル式が、それぞれ、図５（Ａ）及び図５（Ｂ）に示される周波数応答特性（の実験結果）を再現するように、最小自乗法等を用いて決定されたものである。

[0067] 上述の剛体模型において、剛体Ｔｂ，Ｃｒの入出力応答（駆動力Ｆに対する制御量$Ｘ_1$，$Ｘ_2$の応答）を表す伝達関数$Ｐ_1$，$Ｐ_2$は、ラプラス変換形において、次のように与えられる。

[0068]

[数1]

$$P_1(s)=\frac{X_1}{F}=\frac{b_{12}s^2+b_{11}s+b_{10}}{a_4s^4+a_3s^3+a_2s^2+a_1s}e^{-\tau_d s} \quad \cdots(1a)$$

$$P_2(s)=\frac{X_2}{F}=\frac{b_{22}s^2+b_{21}s+b_{20}}{a_4s^4+a_3s^3+a_2s^2+a_1s}e^{-\tau_d s} \quad \cdots(1b)$$

ただし、

$$a_4=M_1M_2L^2+(M_1+M_2)J_1,$$
$$a_3=(M_1+M_2)\mu+(M_1L^2+J_1)C,$$
$$a_2=(M_1+M_2)k-(M_1+M_2)M_1gL+\mu C,$$
$$a_1=(k-M_1gL)C,$$
$$b_{12}=M_1L^2+J_1-M_1Ll,$$
$$b_{22}=M_1L^2+J_1,$$
$$b_{11}=b_{21}=\mu,$$
$$b_{20}=b_{10}=k-M_1gL.$$

[0069] 上記の伝達関数P_1，P_2を用いて、伝達関数C_1，C_2を決定する。便宜のため、伝達関数P_1，P_2，C_1，C_2を、分数式形$P_1=N_{P1}/D_PD_R$，$P_2=N_{P2}/D_PD_R$，$C_1=N_{C1}/D_C$、$C_2=N_{C2}/D_C$において表す。ここで、

$N_{P1}=b_{12}s^2+b_{11}s+b_{10}$ …（２ａ）

$N_{P2}=b_{22}s^2+b_{21}s+b_{20}$ …（２ｂ）

$D_P=s^2+C/(M_1+M_2)\ s$ …（２ｃ）

$D_R=a_4s^2+(a_3-a_4C/(M_1+M_2))\ s+a_1(M_1+M_2)/C$ …（２ｄ）

である。この場合、フィードバック制御系（図６）に対する閉ループ伝達関数の特性方程式A_{CL}は、$1+C_1P_1+C_2P_2$の分数式の分子部分により与えられる。すなわち、

$A_{CL}=D_CD_PD_R+N_{C1}N_{P1}+N_{C2}N_{P2}$ …（３）

特性方程式A_{CL}において、任意の解析関数αを用いて、次式（４）を満たすようにN_{C1}，N_{C2}を決定する。

[0070] $N_{C1}N_{P1}+N_{C2}N_{P2}=\alpha D_R$ …（４）

これにより、開ループ伝達関数$C_1P_1+C_2P_2=\alpha/D_CD_P$が得られ、$P_1$，$P_2$のそれぞれに含まれる共振振舞いを与える極（すなわちP_1，P_2のそれぞれが示す共振モード）が極零相殺される。さらに、特性方程式A_{CL}が安定な極（本説明では便宜上、重根となるようにする）を有するように、すなわち次式（５）を満たすように、D_C，αを決定する。

[0071] $$A_{CL}=(D_CD_P+\alpha)D_R=(s+\omega_n)^nD_R \quad \cdots(5)$$

[0072] 次に、伝達関数C_1，C_2（N_{C1}，N_{C2}，D_C，α）の具体形を決定する。N_{C1}，N_{C2}が特異点（極）を有するD_Rを含まないように、定数ａ，ｂを用いて、$N_{C1}=a\alpha$、$N_{C2}=b\alpha$と与える。式（２ａ）～式（２ｄ）及び式（４）より、$a=M_1L/l$，$b=M_1+M_2-a$と定まる。ここで、定数ａ，ｂは、質量M_1，M_2および距離Ｌ，ｌのみに依存し、ばね定数ｋ、減衰係数μ，粘性Ｃ等、プレートステージＰＳＴの状態に応じて変化し得るパラメータに依存しないことに注目する。これは、閉ループ伝達関数においてP_1，P_2の共振モードが相殺され、剛体Ｔｂ，Ｃｒの質量M_1，M_2（すなわちプレートテーブルＰＴＢ及びキャリッジ３０の質量）および距離Ｌ，ｌが変化しない限り、閉ループ伝達関数の振舞いは如何なるプレートステージＰＳＴの状態の変化に対しても不変であることを意味する。

[0073] 残りのD_C，αの決定において、幾らかの自由度が残る。そこで、制御器５０$_1$，５０$_2$として、例えばＰＩＤ制御器を設計することとする。これにより、$D_C=s^2+b_1s$，$\alpha=b_2s^2+b_3s+b_4$が得られる。ただし、$b_1=4\omega_n-C/(M_1+M_2)$，$b_2=6\omega_n^2-C/(M_1+M_2)b_1$，$b_3=4\omega_n^3$，$b_4=\omega_n^4$である。

[0074] なお、露光装置１１０において、干渉計１８Ｘ，１８X_1によるプレートステージＰＳＴのＸ位置計測の基準位置、すなわち移動鏡１７Ｘとコーナーキューブ１７X_1の設置位置にオフセットがある。このオフセットを取り除くために、制御器５０$_2$（伝達関数C_2）にハイパスフィルタ（不図示）を接続して、低周波数帯域において制御量X_2をカットする。

[0075] 図８（Ａ）及び図８（Ｂ）には、それぞれ、上で設計された１入力２出力

系（ＳＩＭＯ系）のフィードバック制御系における制御器５０$_2$，５０$_1$の伝達関数Ｃ$_2$，Ｃ$_1$の周波数応答特性を示すボード線図が示されている。図８（Ａ）及び図８（Ｂ）のいずれにおいても、上側の図がゲイン線図、下側の図が位相線図である。ここで、伝達関数Ｃ$_1$，Ｃ$_2$に含まれる力学パラメータには、図７（Ｂ）に示されている値がそれぞれ代入されている。図８（Ｂ）には、比較例として、従来の１入力１出力系（ＳＩＳＯ系）のフィードバック制御系（例えば特開２００６－２０３１１３号公報参照）における制御器（ＰＩＤ型制御器とノッチフィルタの組み合わせ）の伝達関数の周波数応答特性（破線で表示）も示されている。ここでは、ＳＩＳＯ系の制御器の周波数帯域を５Ｈｚ（ω_n＝１０πｒａｄ／ｓ）、ＳＩＭＯ系の制御器の周波数帯域を２０Ｈｚ（ω_n＝４０πｒａｄ／ｓ）、ハイパスフィルタのカットオフ周波数を１Ｈｚとした。

[0076] 従来のＳＩＳＯ系の制御器の伝達関数は、３０Ｈｚ付近において特異な振舞いを示すのに対し、ＳＩＭＯ系の制御器５０$_1$，５０$_2$の伝達関数Ｃ$_1$，Ｃ$_2$は、いずれも全周波数帯域において特異な振る舞いは示していない。

[0077] 発明者らは、上で設計した制御器５０$_1$，５０$_2$（伝達関数Ｃ$_1$，Ｃ$_2$）を用いて構築されるＳＩＭＯ系のフィードバック制御系のパフォーマンスを、シミュレーションにより検証した。ここで、プレートステージＰＳＴの力学的運動（応答特性）は、前述の剛体模型（伝達関数Ｃ$_1$，Ｃ$_2$）を用いて再現されている。シミュレーションでは、剛体模型（伝達関数Ｃ$_1$，Ｃ$_2$）について３つの条件を適用する。条件Ａとして、ノミナルモデル、すなわち全ての力学パラメータに対し図７（Ｂ）に与えられた値を、条件Ｂとして、ばね定数ｋに対し図７（Ｂ）に与えられた値の０．５倍の値を、その他の力学パラメータに対し図７（Ｂ）に与えられた値を、条件Ｃとして、慣性モーメントＪ$_1$に対し図７（Ｂ）に与えられた値の５倍の値を、その他の力学パラメータに対し図７（Ｂ）に与えられた値を、適用する。

[0078] 図９（Ａ）～図９（Ｃ）には、それぞれ条件Ａ～Ｃに対する、本実施形態のＳＩＭＯ系のフィードバック制御系の感度関数（閉ループ伝達関数）Ｓ（

及びＴ＝１－Ｓ；Ｔは相補感度関数）の周波数応答特性を示すゲイン線図が示されている。また、比較例として、前述のＳＩＳＯ系のフィードバック制御系の感度関数Ｓ（及びＴ＝１－Ｓ；Ｔは相補感度関数）の周波数応答特性を示すゲイン線図も示されている。ここで、先と同様に、ＳＩＳＯ系の制御器の周波数帯域を５Ｈｚ（ω_n＝１０πｒａｄ／ｓ）、ＳＩＭＯ系の制御器の周波数帯域を２０Ｈｚ（ω_n＝４０πｒａｄ／ｓ）、ハイパスフィルタのカットオフ周波数を１Ｈｚとしている。

[0079] 図９（Ａ）に示されるノミナルモデルに対する周波数応答特性では、従来のＳＩＳＯ系のフィードバック制御系、本実施形態のＳＩＭＯ系のフィードバック制御系ともに、特異な振る舞いはしていない。なお、ＳＩＭＯ系のフィードバック制御系についての周波数応答特性において、３０Ｈｚ付近に特異な振舞いが現れているが、これは、ハイパスフィルタに起因する振舞いであり、システム制御上、無視できる程度の微小な振舞いである。

[0080] 図９（Ｂ）及び図９（Ｃ）において、従来のＳＩＳＯ系のフィードバック制御系に対する周波数応答特性は、図９（Ａ）における周波数応答特性から大きく変化し、３０Ｈｚ付近において特異な振舞いを示している。これは、次のような理由による。

[0081] すなわち、図９（Ａ）の条件Ａ（ノミナルモデル）に対しては、プレートステージＰＳＴの共振振舞い（共振モード）が現れる帯域がノッチフィルタの実効帯域に一致しているため、ノッチフィルタの作用により共振モードが抑制されていた。しかし、図９（Ｂ）の条件Ｂにおいてはばね定数ｋの値を、図９（Ｃ）の条件Ｃにおいては慣性モーメントJ_1の値をずらしたことにより、プレートステージＰＳＴの状態がノミナルモデルから変化して、共振モードが現れる帯域がノッチフィルタの実効帯域から外れたため、ノッチフィルタが作用せず、共振モードが抑制されなかったからである。

[0082] これに対し、図９（Ｂ）及び図９（Ｃ）における本実施形態のＳＩＭＯ系のフィードバック制御系に対する周波数応答特性は、図９（Ａ）におけるノミナルモデルに対する周波数応答特性からまったく変化していない。これは

、前述の通り、制御器５０$_1$，５０$_2$の伝達関数Ｃ$_1$，Ｃ$_2$（定数ａ，ｂ）が質量Ｍ$_1$，Ｍ$_2$および距離Ｌ，ｌのみに依存し、ばね定数ｋ等、プレートステージＰＳＴの状態に応じて変化し得るパラメータに依存しないからである。この結果は、本実施形態のＳＩＭＯ系のフィードバック制御系は、如何なるプレートステージＰＳＴの状態の変化に対してもロバストであることを示唆している。

[0083] なお、従来のＳＩＳＯ系のフィードバック制御系に対して本実施形態のＳＩＭＯ系のフィードバック制御系では、プレートステージＰＳＴを駆動する上で特に重要な低周波数帯域（１０Ｈｚ以下）において、約３０ｄＢ、外乱抑圧特性が向上している。

[0084] 図１０（Ａ）～図１０（Ｃ）には、それぞれ条件Ａ～Ｃに対する、本実施形態のＳＩＭＯ系のフィードバック制御系と、従来のＳＩＳＯ系のフィードバック制御系（比較例）とのそれぞれの開ループ伝達関数の周波数応答特性を示すボード線図が示されている。図１０（Ａ）～図１０（Ｃ）のいずれにおいても、上側の図がゲイン線図、下側の図が位相線図である。従来のＳＩＳＯ系のフィードバック制御系に対する周波数応答特性は、３０Ｈｚ付近において特異な振舞いを示しているのに対し、本実施形態のＳＩＭＯ系のフィードバック制御系に対する周波数応答特性は、全周波数帯域において特異な振舞いを示していない。

[0085] 図１１（Ａ）～図１１（Ｃ）には、それぞれ条件Ａ～Ｃに対する、本実施形態のＳＩＭＯ系のフィードバック制御系と、従来のＳＩＳＯ系のフィードバック制御系（比較例）とのそれぞれに対するナイキスト線図が示されている。従来のＳＩＳＯ系のフィードバック制御系では、ナイキスト軌跡は、ノミナルモデル（条件Ａ）に対してのみ、点（－１，０）を囲まず、ナイキストの安定条件を満たすが、条件Ｂ及びＣに対しては、点（－１，０）を囲み、ナイキストの安定条件を満たさない。これに対し、本実施形態のＳＩＭＯ系のフィードバック制御系では、ナイキスト軌跡は、全ての条件Ａ～Ｃについて、点（－１，０）を囲まず、ナイキストの安定条件を満たしている。

[0086] 図１２には、条件Ａ～Ｃに対するゲイン余裕（Ｇｍ）と位相余裕（Ｐｍ）とが示されている。従来のＳＩＳＯ系のフィードバック制御系では、ノミナルモデル（条件Ａ）において、ゲイン余裕は９．７ｄＢ、位相余裕は３０．１ｄｅｇである。条件Ｂ及びＣに対しては、システムは不安定であり、ゲイン余裕と位相余裕は定義できない。これに対し、本実施形態のＳＩＭＯ系のフィードバック制御系では、条件Ａ～Ｃともに、ゲイン余裕は１７．８ｄＢ、位相余裕は３５．７ｄｅｇである。通常、高帯域化と安定余裕は、一方が改善されれば他方は改悪する関係にある。それにも関わらず、制御器の周波数帯域を４倍にしたにも関わらず、本実施形態のＳＩＭＯ系のフィードバック制御系では、従来のＳＩＳＯ系に対して、ゲイン余裕、位相余裕ともに劇的に改善されている。

[0087] 発明者らは、露光装置１１０を模擬した実験機において、上で設計した制御器５０_1，５０_2（伝達関数$Ｃ_1$，$Ｃ_2$）を用いて１入力２出力系（ＳＩＭＯ系）のフィードバック制御系を構築し、そのパフォーマンスを実験により検証した。実験においても、先のシミュレーションと同様の３つの条件Ａ～Ｃを採用した。

[0088] 図１３（Ａ）～図１３（Ｃ）には、それぞれ条件Ａ～Ｃに対する、本実施形態の１入力２出力系（ＳＩＭＯ系）のフィードバック制御系と、従来の１入力１出力系（ＳＩＳＯ系）のフィードバック制御系（比較例）とのそれぞれの感度関数Ｓの周波数応答特性を示すゲイン線図が示されている。ここで、先と同様に、ＳＩＳＯ系の制御器の周波数帯域を５Ｈｚ（ω_n＝１０πｒａｄ／ｓ）、ＳＩＭＯ系の制御器の周波数帯域を２０Ｈｚ（ω_n＝４０πｒａｄ／ｓ）、ハイパスフィルタのカットオフ周波数を１Ｈｚとしている。

[0089] 従来のＳＩＳＯ系のフィードバック制御系に対する周波数応答特性は、図１３（Ａ）からわかるように条件Ａ（ノミナルモデル）では特異な振る舞いを示さないが、図１３（Ｂ）及び図１３（Ｃ）に示されるように、条件Ｂ及びＣにおいては３０Ｈｚ付近において特異な振舞いを示す。これに対し、本実施形態のＳＩＭＯ系のフィードバック制御系に対する周波数応答特性は、

いずれの条件においても、３０Ｈｚ付近にハイパスフィルタに起因する無視できる程度の微小な特異振舞いを、高周波数帯域（１００Ｈｚ以上）において高次共振モードに起因する微小な特異振舞いを、それぞれ示すが、これらを除いて、特に露光装置１１０において問題となる低周波数帯域においては問題となるような特異な振舞いを示していない。

[0090] 図１４（Ａ）～図１４（Ｃ）には、それぞれ条件Ａ～Ｃに対する、本実施形態のＳＩＭＯ系のフィードバック制御系と、従来のＳＩＳＯ系のフィードバック制御系（比較例）とのそれぞれに対する開ループ伝達関数の周波数応答特性を示すボード線図が示されている。図１４（Ａ）～図１４（Ｃ）のいずれにおいても、上側の図がゲイン線図、下側の図が位相線図である。従来のＳＩＳＯ系のフィードバック制御系に対する周波数応答特性は、３０Ｈｚ付近において特異な振舞いを示している。これに対し、本実施形態のＳＩＭＯ系のフィードバック制御系に対する周波数応答特性は、いずれの条件においても、３０Ｈｚ付近にハイパスフィルタに起因する無視できる程度の微小な特異振舞いを、高周波数帯域（１００Ｈｚ以上）において高次共振モードに起因する微小な特異振舞いを、それぞれ示すが、これらを除いて、特に露光装置１１０において問題となる低周波数帯域において問題となるような特異な振舞いを示していない。

[0091] 図１５（Ａ）～図１５（Ｃ）には、それぞれ条件Ａ～Ｃに対する、本実施形態のＳＩＭＯ系のフィードバック制御系と、従来のＳＩＳＯ系のフィードバック制御系（比較例）とのそれぞれに対するナイキスト線図が示されている。従来のＳＩＳＯ系のフィードバック制御系に対し、ナイキスト軌跡は、ノミナルモデル（条件Ａ）に対してのみ、点（－１，０）を囲まず、ナイキストの安定条件を満たすが、条件Ｂ及びＣに対しては、点（－１，０）を囲み、ナイキストの安定条件を満たさない。これに対し、本実施形態のＳＩＭＯ系のフィードバック制御系に対し、ナイキスト軌跡は、全ての条件Ａ～Ｃについて、点（－１，０）を囲まず、ナイキストの安定条件を満たしている。

[0092] 発明者らは、さらに、実験機において、図１６（Ａ）に示されるプレートステージＰＳＴの目標軌道（位置及び速度のそれぞれに関する目標値）のうち位置の目標値Ｒに対し、フィードバック制御系の追従性能を検証した。

[0093] 図１６（Ｂ）には、本実施形態のＳＩＭＯ系のフィードバック制御系と、従来のＳＩＳＯ系のフィードバック制御系（比較例）とのそれぞれにおけるプレートステージＰＳＴの追従誤差の時間変化が示されている。追従誤差は、特に、プレートステージＰＳＴの加減速時に大きくなる。図１６（Ｂ）から明らかなように、従来のＳＩＳＯ系のフィードバック制御系に対し、本実施形態のＳＩＭＯ系のフィードバック制御系では、プレートステージＰＳＴの追従性能が劇的に改善されていることが分かる。図１６（Ｃ）には、フィードバック制御にフィードフォワード制御を組み合わせた場合の追従誤差の時間変化が示されている。フィードフォワード制御を組み合わせることにより、さらに、追従性能が改善されることが分かる。

[0094] 以上説明したように、本実施形態に係る露光装置１１０によると、プレートステージＰＳＴ（制御対象）の位置（第１制御量）X_1を計測する干渉計１８Ｘ（第１計測器）が設置されたプレートテーブルＰＴＢ（制御対象の第１部分）が示す共振モードと逆相の剛体モードに対する共振モードを示すキャリッジ３０（制御対象の第２部分）に、プレートステージＰＳＴの位置（第２制御量）X_2を計測する干渉計１８X_1（第２計測器）が設置される。第１及び第２計測器を用いることにより、プレートステージＰＳＴを駆動する、高帯域でロバストな駆動システムを設計することが可能となる。

[0095] また、駆動システムの設計に際し、プレートステージＰＳＴの位置（第１及び第２制御量）X_1，X_2の計測結果を用いて操作量を求めるための演算式$U(X_1, X_2) = C_1X_1 + C_2X_2$において、伝達関数$C_1$，$C_2$を、プレートステージＰＳＴの第１及び第２部分（プレートテーブルＰＴＢ及びキャリッジ３０）の応答を表現する伝達関数P_1，P_2のそれぞれに含まれる共振モードに対応する極が開ループ伝達関数$C_1P_1 + C_2P_2$において相殺されるように決定する。さらに、伝達関数P_1，P_2の具体形を、第１及び第２部分の運

動をばねにより連結された２つの剛体の運動として表現する力学模型（剛体模型）を用いて与える。これにより、閉ループ伝達関数においてＰ$_1$，Ｐ$_2$の共振振舞い（共振モード）が相殺され（Ｐ$_1$の共振モードがＰ$_2$の共振モードにより相殺され）、第１及び第２部分の質量（すなわちプレートテーブルＰＴＢ及びキャリッジ３０の質量）および距離Ｌ，Ｉが変化しない限り、如何なる状態の変化に対してもロバストなプレートステージＰＳＴの駆動（位置制御）が可能な駆動システムを設計することが可能となる。

[0096] また、本実施形態に係る露光装置１１０によると、プレートステージＰＳＴの第１部分（プレートテーブルＰＴＢ）の第１制御量（位置）を計測するとともに、第１部分が示す共振モードと逆相の剛体モードに対する共振モードを示すプレートステージＰＳＴの第２部分（キャリッジ３０）の第２制御量（位置）を計測し、それらの計測結果と目標値とに基づいて制御演算を行って操作量を求め、得られた操作量をプレートステージ駆動系ＰＳＤに与えることにより、プレートステージＰＳＴを駆動する。これにより、プレートステージＰＳＴを精密に且つ安定して駆動することが可能となる。

[0097] また、本実施形態に係る露光装置１１０は、上述のように設計されたプレートステージＰＳＴの駆動システムを備えるため、プレートステージＰＳＴを精密に且つ安定して駆動することが可能となり、露光精度、すなわち重ね合わせ精度の向上が可能となる。

[0098] なお、本実施形態では、制御対象であるプレートステージＰＳＴの制御量として位置を選択したが、これに代えて速度、加速度等、位置以外の位置に関連する物理量を制御量として選択しても良い。かかる場合、プレート干渉計システム１８（を構成する干渉計１８Ｘ，１８Ｙ，１８Ｘ$_1$）とは独立の速度計測器、加速度計測器等を設置し、それらを用いて速度、加速度等を計測することとする。あるいは、プレート干渉計システム１８の計測値の１階差分又は２階差分演算により、速度、加速度を算出して用いても良い。

[0099] また、位置、速度、加速度等、位置に関連する物理量を複数組み合わせてプレートステージＰＳＴの制御量とすることも可能である。図１７には、本

実施形態に係る１入力２出力系のフィードバック制御系の変形例のブロック図が示されている。この変形例のフィードバック制御系は、全体として速度制御ループを構成している。従って、目標生成部５０$_0$が目標値として目標速度Ｖを生成し、制御対象であるプレートステージＰＳＴの制御量も速度となっている。プレート干渉計システム１８を構成する第１計測器（干渉計１８Ｘ）及び該第１計測器とは独立の第１速度計測器（不図示）によってプレートステージＰＳＴの第１部分（プレートテーブルＰＴＢ）の位置Ｘ$_1$及び速度Ｖ$_1$がそれぞれ計測され、これらの計測結果が混合部５２に送られる。位置Ｘ$_1$の計測結果は、微分器５２ａを介して、混合器５２ｂにより速度Ｖ$_1$の計測結果と合成され、合成された結果はステージ制御装置５０の減算器５０$_3$にフィードバックされる。同様に、プレート干渉計システム１８を構成する第２計測器（干渉計１８Ｘ$_1$）及び第２計測器とは独立の第２速度計測器（不図示）によってプレートステージＰＳＴの第２部分（キャリッジ３０）の位置Ｘ$_2$及び速度Ｖ$_2$がそれぞれ計測され、それらの計測結果が混合部５２に送られる。位置Ｘ$_2$の計測結果は、微分器５２ａを介して、混合器５２ｂにより速度Ｖ$_2$の計測結果と合成され、合成された結果はステージ制御装置５０の減算器５０$_4$にフィードバックされる。ここで、混合器５２ｂは、一例として、同じカットオフ周波数を有するハイパスフィルタとローパスフィルタを含み、これらの２つのフィルタを用いて位置Ｘ$_1$，Ｘ$_2$及び速度Ｖ$_1$，Ｖ$_2$の一方の計測結果が通過するように構成されている。この混合式のフィードバック制御系により、プレートステージＰＳＴをさらに精密に且つ安定して駆動する（すなわち速度（及び位置）を制御する）ことが可能となる。

[0100] なお、上記実施形態では、Ｘ軸方向についてプレートステージＰＳＴを駆動する場合について説明したが、Ｙ軸方向及びＺ軸方向についてプレートステージＰＳＴを駆動する場合についても、同様にして、フィードバック制御系を設計することができ、同等の効果を得ることができる。

[0101] 《第２の実施形態》

次に、第２の実施形態について、図６、図１８～図２４に基づいて説明す

る。ここで、前述した第１の実施形態と同一の構成部分には同一の符号を用いるものとする。この第２の実施形態に係る露光装置の構成等は、第１の実施形態と同様であるので装置構成等の説明は省略する。ただし、本第２の実施形態では、回転（傾斜）方向（θｘ方向、θｙ方向、及びθｚ方向）についてプレートステージＰＳＴを駆動する駆動システムを取り扱うこととし、その設計等について説明する。ここでは、一例として、プレートステージＰＳＴを、θｚ方向に駆動する駆動システムについて説明する。

[0102] 露光装置１１０では、前述のごとく、Ｘリニアモータ３６Ｘ$_1$，３６Ｘ$_2$がそれぞれ発生するＸ軸方向の駆動力（推力）を異ならせることでＺ軸周りのトルクτを発生させて、キャリッジ３０及びプレートテーブルＰＴＢをθｚ方向に駆動する。

[0103] また、プレートステージＰＳＴのθｚ方向の位置（ヨーイング値、ヨー角）は、前述の通り、プレート干渉計システム１８の干渉計１８Ｘにより計測される。すなわち、干渉計１８ＸによってプレートテーブルＰＴＢのθｚ位置（θｚ$_1$）が計測される。また、プレート干渉計システム１８の干渉計１８Ｘ$_1$、１８Ｘ$_2$のそれぞれによるキャリッジ３０のＸ位置の計測結果同士の差に基づいて、ステージ制御装置５０は、キャリッジ３０のθｚ位置（θｚ$_2$）を求めることができる。

[0104] プレート干渉計システム１８の干渉計１８Ｘ、１８Ｘ$_1$及び１８Ｘ$_2$を用いて、図６のブロック図で表される１入力２出力系（ＳＩＭＯ系）のフィードバック制御系を構築する。なお、制御対象の第２部分であるキャリッジ３０のθｚ位置（θｚ$_2$）を計測する第２計測器は干渉計１８Ｘ$_1$，１８Ｘ$_2$から構成されるが、以下では、説明の便宜上、第２計測器を、干渉計１８Ｘ$_1$と表記する。

[0105] 図６に示される、本第２の実施形態に係るフィードバック制御系では、干渉計１８Ｘ，１８Ｘ$_1$（第１及び第２計測器）により、それぞれ、プレートステージＰＳＴ（制御対象）のプレートテーブルＰＴＢ（第１部分）及びキャリッジ３０（第２部分）のθｚ位置（第１制御量θｚ$_1$及び第２制御量θｚ$_2$

）が計測される。

[0106] 第１及び第２制御量の計測結果（θｚ$_1$，θｚ$_2$）は、ステージ制御装置５０に供給される。ステージ制御装置５０は、計測結果（θｚ$_1$，θｚ$_2$）を用いて操作量Ｕ（トルクτ）を求め、求められた操作量Ｕをプレートステージ ＰＳＴ（制御対象）を駆動するプレートステージ駆動系ＰＳＤへ送信する。プレートステージ駆動系ＰＳＤ（Ｘリニアモータ３６Ｘ$_1$，３６Ｘ$_2$）は、受信した操作量Ｕ（トルクτ）に従って、Ｘリニアモータ３６Ｘ$_1$，３６Ｘ$_2$が発生する駆動力（推力）を互いに異ならせることによりトルクτに等しいトルクをキャリッジ３０（第２部分）に加える。これにより、プレートステージＰＳＴがθｚ方向に関して駆動され、θｚ方向の位置が制御される。このように、本第２の実施形態においても、ステージ制御装置５０によるプレートステージＰＳＴの駆動は、プレートステージＰＳＴの位置の制御を伴うが、以下においては、単に駆動と表記する。

[0107] ステージ制御装置５０に含まれる目標生成部５０$_0$は、プレートステージＰＳＴの目標値Ｒ（この場合はθｚ位置（ヨー角）の目標値）を生成して、減算器５０$_3$、５０$_4$に供給する。一方の減算器５０$_3$は、目標値Ｒと干渉計１８Ｘによって計測されるプレートテーブルＰＴＢのθｚ位置θｚ$_1$（現在位置）との差、すなわち偏差（Ｒ－θｚ$_1$）を算出し、制御器５０$_1$（伝達関数Ｃ$_1$）に供給する。他方の減算器５０$_4$は、目標値Ｒと干渉計１８Ｘ$_1$によって計測されるキャリッジ３０（伝達関数Ｐ$_2$）のθｚ位置θｚ$_2$（現在位置）との差、すなわち偏差（Ｒ－θｚ$_2$）を算出し、制御器５０$_2$（伝達関数Ｃ$_2$）に供給する。

[0108] 制御器５０$_1$は、偏差（Ｒ－θｚ$_1$）が零となるように、演算（制御演算）により中間量Ｃ$_1$（Ｒ－θｚ$_1$）を算出し、加算器５０$_5$に送出する。同様に、制御器５０$_2$は、偏差（Ｒ－θｚ$_2$）が零となるように、制御演算により中間量Ｃ$_2$（Ｒ－θｚ$_2$）を算出し、加算器５０$_5$に送出する。

[0109] 加算器５０$_5$は、制御器５０$_1$，５０$_2$の出力（中間量）を加算して操作量Ｕを求める。このように、ステージ制御装置５０は、干渉計１８Ｘ，１８Ｘ$_1$の

計測結果（θz_1，θz_2）と目標値Ｒとに基づいて演算式Ｕ（Ｒ－θz_1，Ｒ－θz_2）＝C_1（Ｒ－θz_1）＋C_2（Ｒ－θz_2）で表される制御演算を行って操作量Ｕを求め、該操作量Ｕを制御対象であるプレートステージＰＳＴに与える。これにより、操作量Ｕに従ってプレートステージＰＳＴがθz方向に駆動される。

[0110] 本実施形態では、制御器50_1，50_2を設計する（伝達関数C_1，C_2を決定する）ために、簡素化された力学模型（剛体模型）を用いてプレートステージＰＳＴの力学的運動を表現する。図１８（Ａ）は、一般的な２慣性系の力学模型を表す図である。ここで、プレートステージＰＳＴは、その２慣性系の一例であって、図１に示されるように、第１計測器（干渉計１８Ｘ）が設置されたプレートテーブルＰＴＢ、及び第２計測器（干渉計$18X_1$）が設置されたキャリッジ３０の２部分から構成されるものとする。そして、これらの部分のθz方向の運動（回転）を、ばねにより連結された２つの剛体の回転運動、より詳細には、プレートステージ駆動系ＰＳＤ（Ｘリニアモータ$36X_1$，$36X_2$）に対応する駆動系からトルクτを与えられる剛体Ｌ２（キャリッジ３０に対応する）と、剛体Ｌ２にばねを介して連結された剛体Ｌ１（プレートテーブルＰＴＢに対応する）と、の回転運動として表現する。

[0111] ここで、剛体Ｌ１，Ｌ２のθz位置をそれぞれθz_1，θz_2、慣性モーメントをそれぞれJ_1，J_2、ばね定数ｋとする。なお、図１８（Ｂ）の表に、これら力学パラメータの値（実測値）が示されている。

[0112] 上述の剛体模型において、剛体Ｌ１，Ｌ２の入出力応答（トルクτに対する制御量θz_1，θz_2の応答）を表す伝達関数P_1，P_2は、ラプラス変換形において、次のように与えられる。

[0113]

[数2]

$$P_1(s)=\frac{\theta z_1}{\tau}=\frac{1}{J_2 s^2}\frac{\frac{k}{J_1}}{s^2+\frac{k}{J_1}\left(1+\frac{J_1}{J_2}\right)} \quad \cdots(6a)$$

$$P_2(s)=\frac{\theta z_2}{\tau}=\frac{1}{J_2 s^2}\frac{s^2+\frac{k}{J_1}}{s^2+\frac{k}{J_1}\left(1+\frac{J_1}{J_2}\right)} \quad \cdots(6b)$$

[0114] 図１９（Ａ）及び図１９（Ｂ）には、それぞれ、伝達関数Ｐ$_2$，Ｐ$_1$の周波数応答特性を示すボード線図が示されている。図１９（Ａ）及び図１９（Ｂ）のいずれにおいても、上側の図がゲイン線図、下側の図が位相線図である。２つの剛体Ｌ１，Ｌ２の回転運動に係る伝達関数Ｐ$_1$，Ｐ$_2$は、並進運動についての剛体模型（図７（Ａ））における２つの剛体Ｃｒ，Ｔｂの並進運動に係る伝達関数Ｐ$_1$，Ｐ$_2$（図５（Ａ）及び図５（Ｂ）参照）とほぼ同様の振舞いを示す。伝達関数Ｐ$_1$は、基本的な振舞いとして、周波数ｆの増加に対して、その振幅を単調に減少し、位相を一定に保つ。そして、伝達関数Ｐ$_1$は、共振モード（共振振舞い）として、６０数Ｈｚ付近において、振幅を急激に増加そして減少し、位相を急激に減少する。これらは、図１９（Ｂ）のゲイン線図及び位相線図において、それぞれ、山形及びステップ形状を示す。一方、伝達関数Ｐ$_2$の周波数応答特性は、伝達関数Ｐ$_1$の周波数応答特性と相反する共振モード（共振振舞い）、すなわち逆相の共振モードを示す。すなわち、伝達関数Ｐ$_2$は、基本的な振舞いとして、周波数ｆの増加に対して、その振幅を単調に減少し、位相を一定に保つ。そして、伝達関数Ｐ$_2$は、６０数Ｈｚ付近において、その振幅を急激に減少そして増加し、位相を急激に増加そして減少する。これらは、図１９（Ａ）のゲイン線図及び位相線図において、それぞれ、連続する谷と山の形及びパルス形状を示している。

[0115] 従って、剛体Ｌ１（プレートテーブルＰＴＢ）に対する伝達関数Ｐ$_1$は、剛

体モードと逆相の共振モードを示し、剛体Ｌ２（キャリッジ３０）に対する伝達関数P_2は、剛体モードと同相の共振モードを示すことから、第１の実施形態と同様に、プレートテーブルＰＴＢ（伝達関数P_1）の共振振舞いをキャリッジ３０（伝達関数P_2）の共振振舞いでもって相殺する１入力２出力系（ＳＩＭＯ系）のフィードバック制御系を構築することができる。

[0116] 上記の伝達関数P_1，P_2を用いて、伝達関数C_1，C_2を決定する。便宜のため、伝達関数P_1，P_2，C_1，C_2を、分数式形$P_1=N_{P1}/D_PD_R$，$P_2=N_{P2}/D_PD_R$，$C_1=N_{C1}/D_C$、$C_2=N_{C2}/D_C$において表す。ここで、

$$N_{P1}=k/J_1 \quad \cdots（７ａ）$$

$$N_{P2}=s^2+k/J_1 \quad \cdots（７ｂ）$$

$$D_P=J_2s^2 \quad \cdots（７ｃ）$$

$$D_R=s^2+(k/J_1)(1+J_1/J_2) \quad \cdots（７ｄ）$$

である。この場合、フィードバック制御系（図６）の閉ループ伝達関数の特性方程式A_{CL}（式（３））において、任意の解析関数αを用いて、式（４）を満たすようにN_{C1}，N_{C2}を決定する。これにより、開ループ伝達関数$C_1P_1+C_2P_2=\alpha/D_CD_P$が得られ、$P_1$，$P_2$のそれぞれに含まれる共振振舞いを与える極（すなわちP_1，P_2のそれぞれが示す共振モード）が極零相殺される。さらに、特性方程式A_{CL}が安定な極（本説明では便宜上、重根となるようにする）を有するように、すなわち式（５）を満たすように、D_C，αを決定する。

[0117] 次に、伝達関数C_1，C_2（N_{C1}，N_{C2}，D_C，α）の具体形を決定する。第１の実施形態と同様に、N_{C1}，N_{C2}が特異点（極）を有するD_Rを含まないように、定数ａ，ｂを用いて、$N_{C1}=a\alpha$、$N_{C2}=b\alpha$と与える。式（７ａ）～式（７ｄ）及び式（４）より、$a=J_1/J_2$，$b=1$と定まる。ここで、定数ａ，ｂは、慣性モーメントJ_1，J_2のみに依存し、ばね定数ｋ、すなわちプレートステージＰＳＴの状態に応じて変化し得るパラメータに依存しないことに注目する。残りのD_C，αは、ＰＩＤ型の制御器５０_1，５０_2を設計することで、$D_C=s^2+b_1s$，$\alpha=b_2s^2+b_3s+b_4$と定まる。ただ

し、$b_1=4\omega_n$，$b_2=6J_2\omega_n^2$、$b_3=4J_2\omega_n^3$，$b_4=J_2\omega_n^4$である。

[0118] 図２０（Ａ）及び図２０（Ｂ）には、それぞれ、上で設計された１入力２出力系（ＳＩＭＯ系）のフィードバック制御系における制御器50_2，50_1の伝達関数C_2，C_1の周波数応答特性を示すボード線図が示されている。図２０（Ａ）及び図２０（Ｂ）のいずれにおいても、上側の図がゲイン線図、下側の図が位相線図である。ここで、伝達関数C_1，C_2に含まれる力学パラメータには、図１８（Ｂ）に示されている値がそれぞれ代入されている。図２０（Ｂ）には、比較例として、従来の１入力１出力系（ＳＩＳＯ系）のフィードバック制御系（例えば特開２００６－２０３１１３号公報参照）における制御器（ＰＩＤ型制御器とノッチフィルタの組み合わせ）の伝達関数の周波数応答特性も表されている。ここで、ＳＩＳＯ系の制御器の周波数帯域を５Ｈｚ（$\omega_n=10\pi$ｒａｄ／ｓ）、ＳＩＭＯ系の制御器の周波数帯域を２０Ｈｚ（$\omega_n=40\pi$ｒａｄ／ｓ）とした。

[0119] 従来のＳＩＳＯ系の制御器の伝達関数は、６０Ｈｚ付近において特異な振舞いを示すのに対し、ＳＩＭＯ系の制御器50_1，50_2の伝達関数C_1，C_2は、いずれも全周波数帯域において特異な振る舞いを示していない。

[0120] 発明者らは、上で設計した制御器50_1，50_2（伝達関数C_1，C_2）を用いて構築される１入力２出力系（ＳＩＭＯ系）のフィードバック制御系のパフォーマンスを、シミュレーションにより検証した。ここで、プレートステージＰＳＴの力学的運動（応答特性）は、前述の剛体模型（伝達関数P_1，P_2）を用いて再現されている。

[0121] 図２１には、本実施形態のＳＩＭＯ系のフィードバック制御系と、従来のＳＩＳＯ系のフィードバック制御系（比較例）とのそれぞれに対する感度関数Ｓ（及びＴ＝１－Ｓ；Ｔは相補感度関数）の周波数応答特性を示すゲイン線図が示されている。いずれのフィードバック制御系においても、閉ループ伝達関数は、全周波数帯域において特異な振舞いを示していない。

[0122] ただし、従来のＳＩＳＯ系のフィードバック制御系に対して本実施形態の

ＳＩＭＯ系のフィードバック制御系では、プレートステージＰＳＴを駆動する上で特に重要な低周波数帯域（１０Ｈｚ以下）において、約３０ｄＢ、外乱抑圧特性が向上している。

[0123] 図２２には、本実施形態のＳＩＭＯ系のフィードバック制御系と、従来のＳＩＳＯ系のフィードバック制御系（比較例）とのそれぞれに対する開ループ伝達関数の周波数応答特性示すボード線図が示されている。図２２において、上側の図がゲイン線図、下側の図が位相線図である。いずれのフィードバック制御系においても、開ループ伝達関数は、全周波数帯域において特異な振舞いを示していない。

[0124] 図２３には、本実施形態のＳＩＭＯ系のフィードバック制御系と、従来のＳＩＳＯ系のフィードバック制御系（比較例）とのそれぞれに対するナイキスト線図が示されている。いずれのフィードバック制御系についても、ナイキスト軌跡は点（－１，０）を囲まず、ナイキストの安定条件を満たしている。

[0125] 図２４には、ゲイン余裕（Ｇｍ）と位相余裕（Ｐｍ）とが示されている。従来のＳＩＳＯ系のフィードバック制御系に対し、ゲイン余裕は１２．２ｄＢ、位相余裕は３０．２ｄｅｇである。これに対し、本実施形態のＳＩＭＯ系のフィードバック制御系に対し、ゲイン余裕は無限大、位相余裕は４３．５ｄｅｇである。制御器の周波数帯域を４倍にしたにも関わらず、本実施形態のＳＩＭＯ系のフィードバック制御系では、従来のＳＩＳＯ系に対して、ゲイン余裕、位相余裕ともに劇的に改善されている。

[0126] 以上説明したように、本第２の実施形態に係る露光装置によると、プレートステージＰＳＴ（制御対象）の位置（第１制御量）θz_1を計測する干渉計１８Ｘ（第１計測器）が設置されたプレートテーブルＰＴＢ（制御対象の第１部分）が示す共振モードと逆相の剛体モードに対する共振モードを示すキャリッジ３０（制御対象の第２部分）に、プレートステージＰＳＴの位置（第２制御量）θz_2を計測する干渉計$18X_1$（第２計測器）が設置される。第１及び第２計測器を用いることにより、回転方向についてのプレートステ

ージＰＳＴの駆動についても、第１の実施形態における並進方向についてのプレートステージＰＳＴの駆動と同様に、プレートステージＰＳＴを駆動（θｚ位置を制御）する、高帯域でロバストな駆動システムを設計することが可能となる。

[0127] また、駆動システムの設計に当たり、プレートステージＰＳＴの位置（第１及び第２制御量）θz_1，θz_2の計測結果を用いて操作量を求めるための演算式Ｕ（θz_1，θz_2）＝$C_1\theta z_1+C_2\theta z_2$において、伝達関数$C_1$，$C_2$を、プレートステージＰＳＴの第１及び第２部分（プレートテーブルＰＴＢ及びキャリッジ３０）の応答を表現する伝達関数P_1，P_2のそれぞれに含まれる共振モードに対応する極が開ループ伝達関数$C_1P_1+C_2P_2$において相殺されるように決定する。さらに、伝達関数P_1，P_2の具体形を、第１及び第２部分の運動をばねにより連結された２つの剛体の運動として表現する力学模型（剛体模型）を用いて与える。これにより、閉ループ伝達関数においてはP_1，P_2の共振モード（共振振舞い）が相殺され（P_1の共振モードがP_2の共振モードにより相殺され）、第１及び第２部分の慣性モーメント（すなわちプレートテーブルＰＴＢ及びキャリッジ３０の慣性モーメント）が変化しない限り、如何なる状態の変化に対してもロバストなプレートステージＰＳＴの駆動システムを設計することが可能となる。

[0128] また、本第２の実施形態に係る露光装置によると、プレートステージＰＳＴの第１部分（プレートテーブルＰＴＢ）の第１制御量（θｚ方向の位置（回転位置））を計測するとともに、第１部分が示す共振モードと逆相の剛体モードに対する共振モードを示すプレートステージＰＳＴの第２部分（キャリッジ３０）の第２制御量（θｚ方向の位置（回転位置））を計測し、それらの計測結果と目標値とに基づいて制御演算を行って操作量を求め、得られた操作量をプレートステージ駆動系ＰＳＤに与えることにより、プレートステージＰＳＴを駆動する。これにより、プレートステージＰＳＴを精密に且つ安定して駆動することが可能となる。

[0129] また、本第２の実施形態に係る露光装置は、上述のように設計されたプレ

ートステージＰＳＴの駆動システムを備えるため、プレートステージＰＳＴを精密に且つ安定して駆動することが可能となり、露光精度、すなわち重ね合わせ精度の向上が可能となる。

[0130] なお、上記第２の実施形態では、制御対象であるプレートステージＰＳＴの制御量として回転位置を選択したが、これに代えて回転速度、回転加速度等、回転位置以外の回転位置に関連する物理量を制御量として選択しても良い。かかる場合、プレート干渉計システム１８（を構成する干渉計１８Ｘ，１８Ｙ，１８$Ｘ_1$，１８$Ｘ_2$）とは独立の回転速度計測器、回転加速度計測器等を設置し、それらを用いて回転速度、回転加速度等を計測することとする。あるいは、プレート干渉計システム１８の計測値の１階差分又は２階差分演算により、回転速度、回転加速度を算出して用いても良い。

[0131] また、第１の実施形態に対する変形例（図１７）と同様に、回転位置、回転速度、回転加速度等、回転位置に関連する物理量を複数組み合わせてプレートステージＰＳＴの制御量とすることも可能である。

[0132] また、本実施形態では、θｚ方向についてプレートステージＰＳＴを駆動する場合について説明したが、θｘ方向及びθｙ方向についてプレートステージＰＳＴを駆動する場合についても、同様に、フィードバック制御系を設計することができ、同等の効果を得ることができる。

[0133] なお、上記第１、第２の実施形態に係る露光装置では、剛体モードと逆相の共振モードを示すプレートテーブルＰＴＢ（プレートステージＰＳＴの第１部分）に第１計測器（干渉計１８Ｘ（移動鏡１７Ｘ））を設置し、剛体モードと同相の共振モードを示すキャリッジ３０（プレートステージＰＳＴの第２部分）に第２計測器（干渉計１８$Ｘ_1$（及び干渉計１８$Ｘ_2$）（コーナーキューブ１７$Ｘ_1$（及び$Ｘ_2$））を設置し、これら第１及び第２計測器を用いてフィードバック制御系を構築した。しかし、これに限らず、例えば、制御対象（プレートステージＰＳＴ）の剛体モードと同相の共振モードを示す位置（部分）に配置されたセンサ（第１計測器）を使ったセミクローズド制御の場合などでは、制御対象の剛体モードと逆相の共振モードを示す位置（

部分）にセンサ（第２計測器）を（追加）配置し、上記第１、第２の実施形態と同様のフィードバック制御系を構築し、発生する負荷側の振動を、抑圧することとしても良い。

[0134] また、上記第１、第２の実施形態では、プレートの走査方向に移動するキャリッジと該キャリッジ上に支持されてプレートを保持して非走査方向に移動するプレートテーブルとの２部分（あるいは３部分以上）から構成されるガントリー型のプレートステージＰＳＴを制御対象として、該プレートステージＰＳＴを精密に且つ安定して駆動する駆動システムを構築したが、これに限らず、２次元方向に移動する粗動ステージと該粗動ステージ上に支持されてプレート（基板）を保持して微小移動する微動ステージとの２部分（あるいは３部分以上）を有する粗微動型の基板ステージに対しても、上記第１、第２の実施形態と同様にして駆動システムを構築することが可能である。

[0135] 《第３の実施形態》

次に、第３の実施形態について、図２５及び図２６に基づいて説明する。ここで、前述した第１の実施形態と同一若しくは同等の構成部分については、同一の符号を用いるとともに、その説明を簡略若しくは省略する。

[0136] 本第３の実施形態では、前述の第１、第２の実施形態と異なり、単一部分から成る移動ステージ、一例として露光装置１１０におけるマスクステージＭＳＴを制御対象とする駆動システムを構築する場合について説明する。

[0137] ここでは、一例として、走査方向（Ｘ軸方向）についてのマスクステージＭＳＴの駆動について説明する。

[0138] マスクステージＭＳＴは、図２５に示されるように、マスクステージ本体６０と、マスクステージ本体６０のＹ軸方向の一側と他側に、支持部材６１（＋Ｙ側の支持部材は不図示）をそれぞれ介して設けられた一対の可動子６２Ａ，６２Ｂと、を備えている。

[0139] マスクステージ本体６０は、平面視（上方から見て）矩形の枠状部60_0と、枠状部60_0の＋Ｙ側とーＹ側にそれぞれ一体的に設けられたスライダ部60_1，60_2とを有している。一方のスライダ部60_1の＋Ｙ端面には、Ｙ軸に

垂直な反射面を有する平面ミラーから成る移動鏡１５Ｙが固定されている。すなわち、スライダ部60_1は、ミラー支持部材を兼ねている。枠状部60_0のほぼ中央には、平面視矩形の凹部６０ａが形成され、凹部６０ａの内部底面の中央部には、照明光ＩＬが通る開口（不図示）が形成されている。

[0140] 枠状部60_0上面の凹部６０ａの＋Ｙ側と－Ｙ側に各４つのマスク保持機構６３が設けられている。凹部６０ａ内に収容されたマスクＭは、８つのマスク保持機構６３によって、±Ｙ端部が押さえつけられ、枠状部60_0に対して固定されている。

[0141] 枠状部60_0の＋Ｙ側端部及び－Ｙ側端部の中央には、それぞれコーナーキューブ$15X_1$，$15X_2$が固定されている。また、スライダ部60_1，60_2のそれぞれのほぼ中央には、コーナーキューブ$15X_{12}$，$15X_{22}$が、固定されている。

[0142] スライダ部60_1，60_2は、前述の一対のマスクステージガイド（不図示）の上に、不図示の気体静圧軸受（例えばエアベアリング）を介して浮上支持されている。

[0143] 一対の可動子６２Ａ，６２Ｂは、それぞれ対応する固定子（不図示）と係合して、マスクステージ駆動系ＭＳＤを構成する一対のリニアモータを構成する。一対のリニアモータにより、マスクステージＭＳＴは走査方向（Ｘ軸方向）に駆動されるとともに、非走査方向（Ｙ軸方向）に微小駆動される。

[0144] マスクステージＭＳＴの位置は、マスク干渉計システム１６（図３参照）により計測される。マスク干渉計システム１６は、図２５に示されるように、干渉計１６Ｙ，$16X_1$，$16X_2$，$16X_{12}$，$16X_{22}$を有する。干渉計１６Ｙは、マスクステージＭＳＴに固定された移動鏡１５ＹにＹ軸に平行な測長ビームを照射し、その反射光を受光することで、マスクステージＭＳＴのＹ位置を計測する。干渉計$16X_1$，$16X_2$は、枠状部60_0上のコーナーキューブ$15X_1$，$15X_2$に測長ビームをそれぞれ照射し、それぞれの反射光を受光して、マスクステージＭＳＴの枠状部60_0のＸ位置を計測する。干渉計$16X_{12}$，$16X_{22}$は、スライダ部60_1，60_2上のコーナーキューブ

１５Ｘ$_{12}$，１５Ｘ$_{22}$に測長ビームをそれぞれ照射し、それぞれの反射光を受光して、マスクステージＭＳＴのスライダ部６０$_1$，６０$_2$のＸ位置を計測する。

[0145] 本第３の実施形態では、マスク干渉計システム１６を構成する干渉計１６Ｘ$_1$，１６Ｘ$_2$，１６Ｘ$_{12}$，１６Ｘ$_{22}$を用いて、図２６のブロック図で表される１入力２出力系（ＳＩＭＯ系）のフィードバック制御系が構築される。フィードバック制御系の基本構成は、前述の第１及び第２実施形態におけるフィードバック制御系の基本構成と同様である。すなわち、干渉計１６Ｘ$_1$，１６Ｘ$_2$（第１計測器）により、マスクステージＭＳＴ（制御対象）の枠状部６０$_0$（第１部分）のＸ位置（第１制御量Ｘ$_1$）が計測され、また干渉計１６Ｘ$_{12}$，１６Ｘ$_{22}$（第２計測器）によりマスクステージＭＳＴ（制御対象）の第２部分（スライダ部６０$_1$，６０$_2$と可動子６２Ａ、６２Ｂと移動鏡１５Ｙ）のＸ位置（第２制御量Ｘ$_2$）が計測される。これらの計測結果（Ｘ$_1$，Ｘ$_2$）は、ステージ制御装置５０に供給される。なお、干渉計１６Ｘ$_1$，１６Ｘ$_2$によりマスクステージＭＳＴのＸ位置を計測する場合、両干渉計１６Ｘ$_1$，１６Ｘ$_2$のいずれかの計測結果又は両計測結果の平均により、マスクステージＭＳＴのＸ位置（第１制御量Ｘ$_1$）が得られるのであるが、本実施形態では、説明の便宜上、干渉計１６Ｘ$_1$，１６Ｘ$_2$（第１計測器）により第１制御量Ｘ$_1$が計測されるものとしている。同様の趣旨から、干渉計１６Ｘ$_{12}$，１６Ｘ$_{22}$（第２計測器）により第２制御量Ｘ$_2$が計測されるものとしている。また、マスクステージＭＳＴ（制御対象）の第２部分は、スライダ部６０$_1$，６０$_2$の他、可動子６２Ａ，６２Ｂ及び移動鏡１５Ｙを含むが、以下では、適宜、スライダ部６０$_1$，６０$_2$が第２部分であるものとして説明する。

[0146] ステージ制御装置５０は、計測結果（Ｘ$_1$，Ｘ$_2$）を用いて操作量Ｕ（駆動力Ｆ）を求め、求められた操作量ＵをマスクステージＭＳＴ（制御対象）を駆動するマスクステージ駆動系ＭＳＤへ送信する。マスクステージ駆動系ＭＳＤは、受信した操作量Ｕ（駆動力Ｆ）に従って、駆動力Ｆに等しい駆動力を一対のリニアモータの可動子６２Ａ，６２Ｂに加える。これにより、マス

クステージＭＳＴがＸ軸方向に関して駆動される。

[0147] 図２６において、ステージ制御装置５０に含まれる目標生成部５０_0は、マスクステージＭＳＴの制御のための目標値、ここではＸ軸方向の目標位置（時々刻々変化するＸ位置の目標値））Ｒを生成して、減算器５０_3，５０_4に供給する。

[0148] 一方の減算器５０_3は、干渉計$１６Ｘ_1$，$１６Ｘ_2$によって計測されるマスクステージＭＳＴ（制御対象）の枠状部６０_0（伝達関数$Ｐ_1$）のＸ位置$Ｘ_1$（現在位置）と目標位置Ｒとの差、すなわち偏差（$Ｒ－Ｘ_1$）を算出し、制御器５０_1（伝達関数$Ｃ_1$）に供給する。他方の減算器５０_4は、干渉計$１６Ｘ_{12}$，$１６Ｘ_{22}$によって計測されるマスクステージＭＳＴ（制御対象）のスライダ部６０_1，６０_2（伝達関数$Ｐ_2$）のＸ位置$Ｘ_2$（現在位置）と目標位置Ｒとの差、すなわち偏差（$Ｒ－Ｘ_2$）を算出し、制御器５０_2（伝達関数$Ｃ_2$）に供給する。

[0149] 制御器５０_1は、偏差（$Ｒ－Ｘ_1$）が零となるように、演算（制御演算）により中間量$Ｃ_1$（$Ｒ－Ｘ_1$）を算出し、加算器５０_5に送出する。同様に、制御器５０_2は、偏差（$Ｒ－Ｘ_2$）が零となるように、制御演算により中間量$Ｃ_2$（$Ｒ－Ｘ_2$）を算出し、加算器５０_5に送出する。

[0150] 加算器５０_5は、制御器５０_1，５０_2の出力（中間量）を加算して操作量Ｕを求める。このように、ステージ制御装置５０は、第１及び第２計測器（干渉計$１６Ｘ_1$，$１６Ｘ_2$及び$１６Ｘ_{12}$，$１６Ｘ_{22}$）の計測結果（$Ｘ_1$，$Ｘ_2$）と目標位置Ｒとに基づいて演算式Ｕ（$Ｒ－Ｘ_1$，$Ｒ－Ｘ_2$）＝$Ｃ_1$（$Ｒ－Ｘ_1$）＋$Ｃ_2$（$Ｒ－Ｘ_2$）で表される制御演算を行って操作量Ｕを求め、該操作量Ｕを制御対象であるマスクステージＭＳＴに与える。これにより、操作量Ｕに従ってマスクステージＭＳＴがＸ軸方向に関して駆動される。

[0151] マスクステージＭＳＴは、枠状部６０_0によって構成される第１部分と、スライダ部６０_1，６０_2（及び可動子６２Ａ，６２Ｂ、並びに移動鏡１５Ｘ）によって構成される第２部分との２部分が連結された複合ステージとみなすこともできる。このような複合ステージでは、連結部分の剛性不足によりス

テージ全体のねじれ（曲げ）が生じ、これにより、第１及び第２部分６０$_0$，６０$_1$，６０$_2$の入出力応答、すなわち操作量Ｕ（駆動力Ｆ）に対する第１及び第２制御量Ｘ$_1$，Ｘ$_2$の応答を表現する伝達関数Ｐ$_1$（＝Ｘ$_1$／Ｕ），Ｐ$_2$（＝Ｘ$_2$／Ｕ）の周波数応答特性は、図５（Ａ）及び図５（Ｂ）に示される周波数応答特性と同様に、互いに相反する振舞い（逆相の共振モード）を示す。

[0152] そこで、第１及び第２の実施形態と同様に、制御器５０$_1$，５０$_2$を設計する（伝達関数Ｃ$_1$，Ｃ$_2$を決定する）。ここで、図７（Ａ）及び図１８（Ａ）に示される剛体模型と同様の模型を用いてマスクステージＭＳＴの力学的運動を表現する。これにより、Ｐ$_1$，Ｐ$_2$の共振モードが互いに相殺し、高帯域でロバストなマスクステージＭＳＴの駆動（位置制御）が可能となる。

[0153] 本第３の実施形態に係るマスクステージＭＳＴでは、干渉計１６Ｘ$_1$，１６Ｘ$_2$及び１６Ｘ$_{12}$，１６Ｘ$_{22}$による位置計測の基準位置（コーナーキューブ１５Ｘ$_1$，１５Ｘ$_2$及び１５Ｘ$_{12}$，１５Ｘ$_{22}$の設置位置）は、適宜、互いに逆相の共振モードを示すマスクステージＭＳＴの部分に選択される。この場合、ロバスト性を考慮して、共振周波数が変わっても、共振比が一定になるような位置にセンサ（干渉計で用いるコーナーキューブ）を配置することが最も好ましい。かかる観点から、例えば、図２５において、干渉計１６Ｘ$_1$，１６Ｘ$_2$（第１計測器）の基準位置（コーナーキューブ１５Ｘ$_1$，１５Ｘ$_2$の設置位置）に対し、コーナーキューブ１５Ｘ$_{12}$，１５Ｘ$_{22}$の設置位置（干渉計１６Ｘ$_{12}$，１６Ｘ$_{22}$（第２計測器）の基準位置）を、図２５中に点線を用いて示される位置１５Ｘ$_{10}$，１５Ｘ$_{20}$に変更しても良い。

[0154] 以上説明したように、本第３の実施形態に係る露光装置によると、プレートステージＰＳＴのように複数の部分（構成要素）から構成される複合ステージに限らず、マスクステージＭＳＴのように単一部分から構成される(剛性不足により複数部分から構成される複合ステージとみなすことのできる)移動ステージに対しても、前述の第１及び第２の実施形態と同様の駆動システムを構築することが可能であり、同等の効果を得ることができる。また、制御対象（マスクステージＭＳＴ）の剛体モードと同相の共振モードを示す位置

（部分）に配置されたセンサ（第１計測器）を使ったセミクローズド制御の場合などでは、制御対象の剛体モードと逆相の共振モードを示す位置（部分）にセンサ（第２計測器）を（追加）配置し、上記と同様のＳＩＭＯ系のフィードバック制御系を構築し、発生する負荷側の振動を抑圧することとしても良い。

[0155] なお、上記第３の実施形態では、制御対象であるマスクステージＭＳＴの制御量として位置を選択したが、これに代えて速度、加速度等、位置以外の位置に関連する物理量を制御量としても良い。かかる場合、マスク干渉計システム１６とは独立の速度計測器、加速度計測器等を設置し、それらを用いて速度、加速度等を計測することとする。あるいは、プレート干渉計システム１８の計測値の１階差分又は２階差分演算により、速度、加速度を算出して用いても良い。

[0156] また、前述の第１の実施形態に対する変形例（図１７）と同様に、位置、速度、加速度等、位置に関連する物理量を複数組み合わせてマスクステージＭＳＴの制御量とすることも可能である。

[0157] また、上記第３の実施形態では、Ｘ軸方向に関してマスクステージＭＳＴを駆動する場合について説明したが、Ｙ軸方向及びＺ軸方向に関してマスクステージＭＳＴを駆動する場合についても、同様に、フィードバック制御系を設計（及び構築）することができる。

[0158] また、前述の第２の実施形態と同様に、回転（傾斜）方向（θｘ方向、θｙ方向、及びθｚ方向）に関してマスクステージＭＳＴを駆動する場合についても、フィードバック制御系を設計（及び構築）することができる。

[0159] 《第４の実施形態》

次に、第４の実施形態について、図２７～図２９に基づいて説明する。

[0160] 本第４の実施形態では、プレートを保持するプレートテーブルと、プレートテーブルに設けられたナットに螺合された（組み合わされた）送りねじをその軸周りに回転することによりプレートテーブルを走査方向に送る駆動部と、から構成される送りねじ式（例えばボールねじ式）のプレートステージ

を駆動対象として、駆動システムを構築する場合を取り上げるものとする。

[0161] 送りねじ式のプレートステージは、主に、静止型（ステップ・アンド・リピート方式）の投影露光装置において採用されている。静止型の露光装置の構成は周知であるので、以下では、プレートステージについてのみ説明することとし、その他の部分の構成等の説明は省略する。

[0162] 図２７（Ａ）及び図２７（Ｂ）には、第４の実施形態に係る送りねじ式のプレートステージＰＳＴ’の構成が示されている。プレートステージＰＳＴ’は、プレートを保持するプレートテーブルＰＴＢ’と、プレートテーブルＰＴＢ’をＸ軸方向に駆動する駆動部ＰＳＤ’と、を備えている。

[0163] プレートテーブルＰＴＢ’上には、その中央にプレートを吸着保持するプレートホルダＰＨが固定されている。プレートテーブルＰＴＢ’の－Ｘ端面には、鏡面加工が施されて反射面７６_{1}が形成されている。プレートテーブルＰＴＢ’の底面には、その中央にボールネット（以下、ナットと略記する）７０_{1}が固定されている。

[0164] プレートテーブルＰＴＢ’は、その底面が、ナット７０_{1}をＹ軸方向に挟んで床面Ｆ上に固定されたＸ軸方向に延びる一対のガイド７３_{1}，７３_{2}の上面と対向するように配置され、その一対のガイド７３_{1}，７３_{2}上に、不図示の気体静圧軸受（例えばエアベアリング）を介して非接触状態で支持（浮上支持）されている。

[0165] 駆動部ＰＳＤ’は、ナット７０_{1}とともにボールねじ７０を構成するねじ軸７０_{2}と、ねじ軸７０_{2}をその軸周りに回転する回転モータ７１と、を備えている。ねじ軸７０_{2}は、所定長さの軸部と該軸部より大径で軸部の長手方向の両端部を除く部分に一体的にかつ同軸で設けられたねじ部とを有する。ねじ軸７０_{2}は、ねじ部が多数のボール（不図示）を介してナット７０_{1}に螺合（係合）されている。ねじ軸７０_{2}の軸部の－Ｘ端部は床面Ｆ上に固定された軸受７２_{3}に回転自在に支持され、＋Ｘ端部は＋Ｘ端面より－Ｘ側の位置が、床面Ｆ上に固定された別の軸受７２_{2}に回転自在に支持されている。ねじ軸７０_{2}の軸部の＋Ｘ端は、軸用カップリング７２_{1}を介して回転モータ７１の軸に

連結されている。回転モータ７１の本体は、床面Ｆ上に配置されている。ここで、軸受７２$_2$には、スラストベアリング（付図示）が設けられており、これにより、ねじ軸７０$_2$に働くその軸方向（Ｘ軸方向）の力が吸収される。

[0166] 上述の構成のプレートステージＰＳＴ’では、回転モータ７１によりねじ軸７０$_2$がその軸周り（θｘ方向）に回転され、ボールねじ７０によりねじ軸７０$_2$の回転がナット７０$_1$の並進に変換されることにより、プレートテーブルＰＴＢ’がＸ軸方向に駆動される。

[0167] プレートテーブルＰＴＢ’のＸ位置は、干渉計７５$_1$により計測される。干渉計７５$_1$は、プレートテーブルＰＴＢ’の反射面７６$_1$に測長ビームを照射し、その反射光を受光することで、プレートテーブルＰＴＢ’のＸ位置（Ｘ）を計測する。

[0168] 回転モータ７１の回転（θｘ）は、ロータリーエンコーダ（エンコーダ）７５$_2$により計測される。エンコーダ７５$_2$は、回転モータ７１の回転軸に固定された回転スリット７６$_2$を介して発光素子（不図示）からの光を受光する。これにより、回転モータ７１の回転（θｘ）が計測される。

[0169] 本第４の実施形態では、干渉計７５$_1$及びエンコーダ７５$_2$を用いて、図２８のブロック図で表される１入力２出力系（ＳＩＭＯ系）のフィードバック制御系が構築される。このフィードバック制御系では、干渉計７５$_1$（第１計測器）及びエンコーダ７５$_2$（第２計測器）により、それぞれ、プレートステージＰＳＴ’（制御対象）を構成するプレートテーブルＰＴＢ’のＸ位置（第１制御量Ｘ）及び回転モータ７１の回転位置（第２制御量θｘ）が計測される。これらの計測結果（Ｘ，θｘ）は、ステージ制御装置５０に供給される。ステージ制御装置５０は、計測結果（Ｘ，θｘ）を用いて操作量Ｕ（トルクτ）を求め、求められた操作量Ｕを駆動部ＰＳＤ’へ送信する。駆動部ＰＳＤ’は、受信した操作量Ｕ（トルクτ）に従って、トルクτに等しいトルクを回転モータ７１に発生させる。これにより、プレートテーブルＰＴＢ’が駆動される。

[0170] 図２８において、ステージ制御装置５０に含まれる目標生成部５０$_0$は、プ

レートテーブルＰＴＢ’のＸ位置の目標値Ｒを生成して、減算器５０$_3$、変換器５０$_6$に供給する。

[0171] 減算器５０$_3$は、干渉計７５$_1$によって計測されるプレートステージＰＳＴ’（制御対象）のプレートテーブルＰＴＢ’（伝達関数Ｐ$_1$）のＸ位置Ｘ（現在位置）と目標位置Ｒとの差、すなわち偏差（Ｒ－Ｘ）を算出し、制御器５０$_1$（伝達関数Ｃ$_1$）に供給する。変換器５０$_6$は、Ｘ位置の目標値Ｒを該目標値Ｒに相当（対応）するθｘ位置（回転モータ７１の回転位置）Ｒ$_\theta$に変換して、減算器５０$_4$に供給する。他方の減算器５０$_4$は、エンコーダ７５$_2$によって計測されるプレートステージＰＳＴ’（制御対象）の回転モータ７１（伝達関数Ｐ$_2$）の回転位置θｘ（現在位置）とθｘ位置Ｒ$_\theta$との差、すなわち偏差（Ｒ$_\theta$－θｘ）を算出し、制御器５０$_2$（伝達関数Ｃ$_2$）に供給する。

[0172] 制御器５０$_1$は、偏差（Ｒ－Ｘ）が零となるように、演算（制御演算）により中間量Ｃ$_1$（Ｒ－Ｘ）を算出し、加算器５０$_5$に送出する。同様に、制御器５０$_2$は、偏差（Ｒ$_\theta$－θｘ）が零となるように、制御演算により中間量Ｃ$_2$（Ｒ$_\theta$－θｘ）を算出し、加算器５０$_5$に送出する。

[0173] 加算器５０$_5$は、制御器５０$_1$，５０$_2$の出力（中間量）を加算して操作量Ｕを求める。このように、ステージ制御装置５０は、第１及び第２計測器（干渉計７５$_1$及びエンコーダ７５$_2$）の計測結果（Ｘ，θｘ）と目標位置（Ｒ、Ｒ$_\theta$）とに基づいて演算式Ｕ（Ｒ－Ｘ，Ｒ$_\theta$－θｘ）＝Ｃ$_1$（Ｒ－Ｘ）＋Ｃ$_2$（Ｒ$_\theta$－θｘ）で表される制御演算を行って操作量Ｕを求め、該操作量Ｕを制御対象であるプレートステージＰＳＴ’に与える。これにより、操作量Ｕに従ってプレートステージＰＳＴ’が駆動される。

[0174] 図２９（Ａ）及び図２９（Ｂ）には、それぞれ、回転モータ７１及びプレートテーブルＰＴＢ’の入出力応答、すなわち操作量Ｕ（トルクτ）に対する制御量θｘ，Ｘの応答を表現する伝達関数Ｐ$_2$（＝θｘ／Ｕ），Ｐ$_1$（＝Ｘ／Ｕ）の周波数応答特性を示すボード線図が示されている。図２９（Ａ）及び図２９（Ｂ）のいずれにおいても、上側の図がゲイン線図、下側の図が位相線図である。伝達関数Ｐ$_2$，Ｐ$_1$は、並進運動に係る剛体模型（図７（Ａ）

参照）から導出される伝達関数P_2，P_1（図５（Ａ）及び図５（Ｂ））及び回転運動に係る剛体模型（図１８（Ａ）参照）から導出される伝達関数P_2，P_1（図１９（Ａ）及び図１９（Ｂ））と、ほぼ同様の振舞いを示す。すなわち、伝達関数P_1，P_2は、互いに相反する振舞い（逆相の共振モード）を示す。（伝達関数P_1は剛体モードと逆相の共振モードを示し、伝達関数P_2は剛体モードと同相の共振モードを示す。）。

[0175] 上述の伝達関数P_1，P_2の振舞いは、プレートテーブルＰＴＢ’と回転モータ７１との連結部分（ボールねじ７０等）の剛性不足に起因すると考えられる。従って、プレートテーブルＰＴＢ’と回転モータ７１との力学的運動を、図７（Ａ）及び図１８（Ａ）に示される剛体模型と同様に、ばねにより連結された２つの剛体の運動として表現することができる。

[0176] 従って、前述の第１～第３の実施形態と同様に、図７（Ａ）又は図１８（Ａ）の剛体模型を適用して、制御器50_1，50_2を設計する（伝達関数C_1，C_2を決定する）ことにより、伝達関数P_1，P_2の共振モードが互いに相殺し、高帯域でロバストなプレートテーブルＰＴＢ’（プレートステージＰＳＴ’）の駆動が可能となる。

[0177] 以上説明したように、本第４の実施形態によると、プレートテーブルＰＴＢ’の並進運動と回転モータ７１の回転運動が結合した送りねじ式のプレートステージＰＳＴ’を制御対象として、第１～第３の実施形態と同様の駆動システムを構築することが可能であり、同等の効果を得ることができる。また、制御対象（送りねじ式のプレートステージ）の剛体モードと同相の共振モードを示す位置（部分）に配置されたセンサ（第１計測器）を使ったセミクローズド制御の場合などでは、制御対象の剛体モードと逆相の位置（部分）にセンサ（第２計測器）を（追加）配置し、上記と同様のＳＩＭＯ系のフィードバック制御系を構築し、発生する負荷側の振動を抑圧することとしても良い。

[0178] なお、上記第４の実施形態では、プレートテーブルＰＴＢ’の制御量として位置を選択したが、これに代えて速度、加速度等、位置以外の位置に関連

する物理量を制御量として選択しても良い。かかる場合、干渉計７５$_1$とは独立の速度計測器、加速度計測器等を設置し、それらを用いて速度、加速度等を計測することとする。あるいは、プレート干渉計システム１８の計測値の１階差分又は２階差分演算により、速度、加速度を算出して用いても良い。

[0179] また、第１の実施形態に対する変形例（図１７）と同様に、位置、速度、加速度等、位置に関連する物理量を複数組み合わせてプレートテーブルＰＴＢ’の制御量とすることも可能である。

[0180] なお、上記第４の実施形態では、回転モータ７１の制御量として回転位置を選択したが、これに代えて回転速度、回転加速度等、回転位置以外の位置に関係する物理量を制御量として選択しても良い。かかる場合、エンコーダ７５$_2$とは独立の回転速度計測器、回転加速度計測器等を設置し、それらを用いて回転速度、回転加速度等を計測することとする。あるいは、エンコーダ７５$_2$の計測値の１階差分又は２階差分演算により、回転速度、回転加速度を算出して用いても良い。

[0181] また、第１の実施形態に対する変形例（図１７）と同様に、回転位置、回転速度、回転加速度等、回転位置に関連する物理量を複数組み合わせて回転モータ７１の制御量とすることも可能である。

[0182] なお、上記各実施形態では、露光装置におけるプレートステージＰＳＴ及び／又はマスクステージＭＳＴを制御対象として駆動システムを構築する場合について説明した。しかし、露光装置に限らず、精密且つ安定な駆動（位置又は速度等の制御）を要する装置、例えば工作装置における可動ステージ、ロボットアームのような搬送装置等に対しても、上記各実施形態の駆動システム（ＳＩＭＯ系）を適用することができる。

[0183] また、計測器を追加する等して、主共振のみでなく、２次共振以上の高次共振に対しても同様に適用させることが可能である。

[0184] なお、プレート干渉計システム１８及びマスク干渉計システム１６の構成は、上記第１、第２、第３の実施形態における構成に限らず、目的に応じて、適宜、さらに干渉計を追加した構成を採用することができる。また、プレ

ート干渉計システム１８に代えて、あるいはプレート干渉計システム１８とともにエンコーダ（又は複数のエンコーダから構成されるエンコーダシステム）を用いても良い。また、マスク干渉計システム１６に代えて、あるいはマスク干渉計システム１６とともにエンコーダ（又は複数のエンコーダから構成されるエンコーダシステム）を用いても良い。

[0185] なお、上記各実施形態に係る露光装置は、サイズ（長辺又は直径）が５００ｍｍ以上の基板、例えば液晶表示素子などのフラットパネルディスプレイ（ＦＰＤ）用の大型基板を露光する露光装置に対して適用することが特に有効である。

[0186] また、上記各実施形態に係る露光装置において、照明光は、ＡｒＦエキシマレーザ光（波長１９３ｎｍ）、ＫｒＦエキシマレーザ光（波長２４８ｎｍ）などの紫外光や、F_2レーザ光（波長１５７ｎｍ）などの真空紫外光であっても良い。また、照明光としては、例えばＤＦＢ半導体レーザ又はファイバーレーザから発振される赤外域、又は可視域の単一波長レーザ光を、例えばエルビウム（又はエルビウムとイッテルビウムの両方）がドープされたファイバーアンプで増幅し、非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換した高調波を用いても良い。また、固体レーザ（波長：３５５ｎｍ、２６６ｎｍ）などを使用しても良い。

[0187] また、上記実施形態では、投影光学系ＰＬが、複数本の光学系を備えたマルチレンズ方式の投影光学系である場合について説明したが、投影光学系の数はこれに限らず、１つ以上あれば良い。また、マルチレンズ方式の投影光学系に限らず、例えばオフナー型の大型ミラーを用いた投影光学系などであっても良い。また、上記実施形態では投影光学系ＰＬとして、投影倍率が等倍系のものを用いる場合について説明したが、これに限らず、投影光学系は拡大系及び縮小系のいずれでも良い。

[0188] なお、上記各実施形態においては、光透過性のマスク基板上に所定の遮光パターン（又は位相パターン・減光パターン）を形成した光透過型マスクを用いたが、このマスクに代えて、例えば米国特許第６，７７８，２５７号明

細書に開示されているように、露光すべきパターンの電子データに基づいて、透過パターン又は反射パターン、あるいは発光パターンを形成する電子マスク（可変成形マスク）、例えば、非発光型画像表示素子（空間光変調器とも呼ばれる）の一種であるＤＭＤ（Digital Micro-mirror Device）を用いる可変成形マスクを用いても良い。

[0189] また、上記各実施形態（のステージ駆動システム）は、一括露光型又はスキャニング・ステッパなどの走査型露光装置、及びステッパなどの静止型露光装置のいずれにも適用することができる。また、ショット領域とショット領域とを合成するステップ・アンド・スティッチ方式の投影露光装置にも上記各実施形態は適用することができる。また、上記各実施形態は、投影光学系を用いない、プロキシミティ方式の露光装置にも適用することができるし、光学系と液体とを介して基板を露光する液浸型露光装置にも適用することができる。この他、上記各実施形態は、例えば米国特許第６，６１１，３１６号明細書などに開示されている、２つのパターンを、投影光学系を介して基板上で合成し、１回のスキャン露光によって基板上の１つのショット領域をほぼ同時に二重露光する露光装置などにも適用できる。

[0190] また、露光装置の用途としては、角型のガラスプレートに液晶表示素子パターンを転写する液晶用の露光装置に限定されることなく、例えば半導体製造用の露光装置、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン及びＤＮＡチップなどを製造するための露光装置にも広く適用できる。また、半導体素子などのマイクロデバイスだけでなく、光露光装置、ＥＵＶ露光装置、Ｘ線露光装置、及び電子線露光装置などで使用されるマスク又はレチクルを製造するために、ガラス基板又はシリコンウエハなどに回路パターンを転写する露光装置にも上記各実施形態を適用できる。なお、露光対象となる物体はガラスプレートに限られるものでなく、例えばウエハ、セラミック基板、あるいはマスクブランクスなど、他の物体でも良い。

[0191] 液晶表示素子（あるいは半導体素子）などの電子デバイスは、デバイスの機能・性能設計を行うステップ、この設計ステップに基づいたマスク（ある

いはレチクル）を製作するステップ、ガラスプレート（あるいはウエハ）を製作するステップ、上述した各実施形態の露光装置、及びその露光方法によりマスク（レチクル）のパターンをガラスプレートに転写するリソグラフィステップ、露光されたガラスプレートを現像する現像ステップ、レジストが残存している部分以外の部分の露出部材をエッチングにより取り去るエッチングステップ、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除くレジスト除去ステップ、デバイス組み立てステップ、検査ステップ等を経て製造される。この場合、リソグラフィステップで、上記実施形態の露光装置を用いて前述の露光方法が実行され、ガラスプレート上にデバイスパターンが形成されるので、高集積度のデバイスを生産性良く製造することができる。

[0192] なお、これまでの説明で引用した露光装置などに関する全ての公報、及び米国特許明細書の開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

産業上の利用可能性

[0193] 本発明の駆動システム及び駆動方法は、制御対象を精度良く且つ安定して駆動するのに適している。また、本発明の露光装置及び露光方法は、物体上にパターンを形成するのに適している。また、本発明の駆動システム設計方法は、ステージ等を制御対象とする駆動システムを設計するのに適している。

請求の範囲

[請求項1] 操作量を与えて制御対象を駆動する駆動システムであって、

前記制御対象の第１部分に設けられた第１計測点の位置に関連する第１制御量を計測する第１計測器と、

前記制御対象の第２部分に設けられた第２計測点の位置に関連する第２制御量を計測する第２計測器と、

前記第１及び第２計測器の計測結果と目標値とに基づいて制御演算を行って前記操作量を求め、該操作量を前記制御対象に設けられた操作点に与える制御部と、を備え、

前記第２部分は、前記制御対象の前記操作点から前記第１計測点までを剛体としたときに現れる所定の振動状態において、前記第１部分とは逆相の関係にある駆動システム。

[請求項2] 前記第１制御量は、前記第１部分の位置に関連する少なくとも１種類の物理量を含み、

前記第２制御量は、前記第２部分の位置に関連する少なくとも１種類の物理量を含む請求項１に記載の駆動システム。

[請求項3] 前記制御部は、前記第１及び第２制御量のそれぞれと前記目標値との偏差を用いてそれぞれ制御演算を行い第１及び第２の量を求める第１、第２の制御器と、前記第１及び第２の量の和を算出し、該和を前記操作量として前記制御対象に与える加算器とを含む請求項１又は２に記載の駆動システム。

[請求項4] 前記制御部は、

前記目標値が入力され、前記第１制御量及び前記第２制御量のラプラス変換X_1，X_2と前記第１、第２制御器のそれぞれに対応する伝達関数C_1，C_2とを用いてラプラス変換形$U(X_1, X_2) = C_1X_1 + C_2X_2$で表現される演算式に従って前記操作量$U(X_1, X_2)$を求める閉ループ制御系を、前記制御対象と共に構成し、

前記伝達関数C_1，C_2は、前記第１及び第２部分に対応する伝達

関数P_1，P_2のそれぞれに含まれる前記共振モードに対応する極が伝達関数$C_1P_1+C_2P_2$において相殺されるように決定されている請求項３に記載の駆動システム。

［請求項5］ 前記伝達関数P_1，P_2の具体形は、前記第１及び第２部分の運動をばねにより連結された２つの剛体の運動として表現する力学模型を用いて与えられる請求項４に記載の駆動システム。

［請求項6］ 前記伝達関数P_1，P_2は、前記操作量と前記第１及び第２制御量のラプラス変換（U，X_1，X_2）を用いて$P_1=X_1/U$，$P_2=X_2/U$と定義され、

前記力学模型に含まれる各種パラメータは、前記操作量に対する前記第１及び第２制御量の実測結果を、前記定義式$P_1=X_1/U$，$P_2=X_2/U$に適用することにより求められる前記伝達関数P_1，P_2の周波数応答特性を、前記伝達関数P_1，P_2の具体形が再現するように決定されている請求項５に記載の駆動システム。

［請求項7］ 前記伝達関数P_1，P_2は、前記剛体モード及び前記共振モードの特性をそれぞれ表現する関数D_P，D_Rを用いて分数式$P_1=N_{P1}/D_PD_R$，$P_2=N_{P2}/D_PD_R$により表され、

前記伝達関数C_1，C_2は、分数式$C_1=N_{C1}/D_C$，$C_2=N_{C2}/D_C$により表され、

前記伝達関数C_1，C_2の分母部分D_Cは、$D_CD_P+\alpha$（αは任意の解析関数）が任意の安定な極を有するように決定されている請求項４～６のいずれか一項に記載の駆動システム。

［請求項8］ 前記伝達関数C_1，C_2の分子部分N_{C1}，N_{C2}は、前記閉ループ制御系の伝達関数の特性方程式$A_{CL}=D_CD_PD_R+N_{C1}N_{P1}+N_{C2}N_{P2}$が$A_{CL}=(D_CD_P+\alpha)D_R$を満たすように、前記任意の解析関数$\alpha$及び前記剛体モードに係るパラメータのみにより与えられる定数ａ，ｂを用いて$N_{C1}=a\alpha$、$N_{C2}=b\alpha$と決定されている請求項７に記載の駆動システム。

[請求項9] 前記制御対象は、並進方向に駆動され、

前記第１及び第２制御量は、前記第１及び第２部分のそれぞれの前記並進方向に関する位置に関連する物理量の少なくとも１つを含む請求項１～８のいずれか一項に記載の駆動システム。

[請求項10] 前記制御対象は、回転方向に駆動され、

前記第１及び第２制御量は、前記第１及び第２部分のそれぞれの前記回転方向に関する位置に関連する物理量の少なくとも１つを含む請求項１～９のいずれか一項に記載の駆動システム。

[請求項11] 前記制御対象の前記第１及び第２部分は、それぞれ、並進及び回転方向に駆動され、

前記第１制御量は、前記第１部分の前記並進方向に関する位置に関連する物理量の少なくとも１つを含み、

前記第２制御量は、前記第２部分の前記回転方向に関する位置に関連する物理量の少なくとも１つを含む請求項１～８のいずれか一項に記載の駆動システム。

[請求項12] エネルギビームで物体を露光して前記物体上にパターンを形成する露光装置であって、

前記物体を保持して所定面上を移動する移動体を前記制御対象とする請求項１～１１のいずれか一項に記載の駆動システムを備える露光装置。

[請求項13] 前記移動体は、前記所定面上を移動する第１移動体と、該第１移動体上で前記物体を保持して移動する第２移動体とを有し、

前記制御対象の前記第１及び第２部分は、それぞれ、前記第１及び第２移動体に含まれる請求項１２に記載の露光装置。

[請求項14] 前記移動体は、前記物体を保持して所定面上を移動する第１移動体と、該第１移動体の一部を構成するナット部とともに送りねじ機構を構成するねじ部を含む第２移動体とを有し、

前記制御対象の前記第１及び第２部分は、それぞれ、前記第１及び

第２移動体に含まれる請求項１２に記載の露光装置。

[請求項15] エネルギビームによりマスクを介して物体を露光する露光装置であって、

前記マスクを保持して移動する移動体を前記制御対象とする請求項１～１１のいずれか一項に記載の駆動システムを備える露光装置。

[請求項16] 制御対象の第１部分の位置に関連する第１制御量を計測することと、

前記制御対象の第２部分の位置に関連する第２制御量を計測することと、

前記第１及び第２制御量の計測結果と目標値とに基づいて制御演算を行って操作量を求め、該操作量を前記制御対象に与えて前記制御対象を駆動することと、を有する駆動方法であって、

前記第２部分は、前記制御対象の前記操作点から前記第１計測点までを剛体としたときに現れる所定の振動状態において、前記第１部分とは逆相の関係にある駆動方法。

[請求項17] 前記第１制御量は前記第１部分の位置に関連する少なくとも１種類の物理量であり、前記第２制御量は前記第２部分の位置に関連する少なくとも１種類の物理量である請求項１６に記載の駆動方法。

[請求項18] 前記駆動することでは、前記第１及び第２制御量のそれぞれと前記目標値との偏差を用いてそれぞれ制御演算を行い第１及び第２の量を求め、前記第１及び第２の量の和を算出し、該和を前記操作量として前記制御対象に与える請求項１６又は１７に記載の駆動方法。

[請求項19] 前記駆動することでは、前記第１及び第２制御量のラプラス変換X_1，X_2と前記第１及び第２の量を求めるための制御演算にそれぞれ対応する伝達関数C_1，C_2と用いてラプラス変換形$U(X_1, X_2) = C_1X_1 + C_2X_2$により与えられる演算式に従って前記操作量$U(X_1, X_2)$を求め、

前記伝達関数C_1，C_2は、前記第１及び第２部分に対応する伝達

関数P_1，P_2のそれぞれに含まれる前記共振モードに対応する極が伝達関数$C_1P_1+C_2P_2$において相殺されるように決定される請求項１８に記載の駆動方法。

［請求項20］ 前記伝達関数P_1，P_2の具体形は、前記第１及び第２部分の運動をばねにより連結された２つの剛体の運動として表現する力学模型を用いて与えられる請求項１９に記載の駆動方法。

［請求項21］ 前記伝達関数P_1，P_2は、前記操作量と前記第１及び第２制御量のラプラス変換（U，X_1，X_2）を用いて$P_1=X_1/U$，$P_2=X_2/U$と定義され、

前記力学模型に含まれる各種パラメータは、前記操作量に対する前記第１及び第２制御量の実測結果を、前記定義式$P_1=X_1/U$，$P_2=X_2/U$に適用することにより求められる前記伝達関数P_1，P_2の周波数応答特性を、前記伝達関数P_1，P_2の具体形が再現するように決定される請求項２０に記載の駆動方法。

［請求項22］ 前記伝達関数P_1，P_2は、前記剛体モード及び前記共振モードの特性をそれぞれ表現する関数D_P，D_Rを用いて分数式$P_1=N_{P1}/D_PD_R$，$P_2=N_{P2}/D_PD_R$により表され、

前記伝達関数C_1，C_2は、分数式$C_1=N_{C1}/D_C$，$C_2=N_{C2}/D_C$により表され、

前記伝達関数C_1，C_2の分母部分D_Cは、$D_CD_P+\alpha$（αは任意の解析関数）が任意の安定な極を有するように決定されている請求項１９～２１のいずれか一項に記載の駆動方法。

［請求項23］ 前記伝達関数C_1，C_2の分子部分N_{C1}，N_{C2}は、前記閉ループ制御系の伝達関数の特性方程式$A_{CL}=D_CD_PD_R+N_{C1}N_{P1}+N_{C2}N_{P2}$が$A_{CL}=(D_CD_P+\alpha)D_R$を満たすように、前記任意の解析関数$\alpha$及び前記剛体モードに係るパラメータのみにより与えられる定数ａ，ｂを用いて$N_{C1}=a\alpha$、$N_{C2}=b\alpha$と決定されている請求項２２に記載の駆動方法。

[請求項24] 前記計測することでは、前記第１及び第２制御量として、前記第１及び第２部分のそれぞれの並進方向に関する位置に関連する物理量の少なくとも１つを計測し、

前記駆動することでは、前記制御対象を、前記並進方向に駆動する請求項１６～２３のいずれか一項に記載の駆動方法。

[請求項25] 前記計測することでは、前記第１及び第２制御量は、前記第１及び第２部分のそれぞれの回転方向に関する位置に関連する物理量の少なくとも１つを計測し、

前記駆動することでは、前記制御対象を、前記回転方向に駆動する請求項１６～２４のいずれか一項に記載の駆動方法。

[請求項26] 前記計測することでは、前記第１制御量として前記第１部分の並進方向に関する位置に関連する物理量の少なくとも１つを、前記第２制御量として、前記第２部分の回転方向に関する位置に関連する物理量の少なくとも１つを、それぞれ計測し、

前記駆動することでは、前記制御対象の前記第１及び第２部分を、それぞれ、前記並進及び前記回転方向に駆動する請求項１６～２３のいずれか一項に記載の駆動方法。

[請求項27] エネルギビームで物体を露光して前記物体上にパターンを形成する露光方法であって、

請求項１６～２６のいずれか一項に記載の駆動方法により、前記物体を保持して所定面上を移動する移動体を、前記制御対象として、駆動することを含む露光方法。

[請求項28] 前記所定面上を移動する第１移動体と、該第１移動体上で前記物体を保持して移動する第２移動体とを有する前記移動体が、前記制御対象とされ、

前記移動体の駆動に際して、前記第１移動体の位置に関連する第１制御量、及び前記剛体モードに対し前記第１移動体と逆相の共振モードを示す前記第２移動体の位置に関連する第２制御量が、計測される

請求項２７に記載の露光方法。

[請求項29] 前記物体を保持して所定面上を移動する第１移動体と、該第１移動体の一部を構成するナット部とともに送りねじ機構を構成するねじ部を含む第２移動体とを有する前記移動体が、前記制御対象とされ、

前記移動体の駆動に際して、前記第１移動体の位置に関連する第１制御量、及び前記剛体モードに対し前記第１移動体と逆相の共振モードを示す前記第２移動体の位置に関連する第２制御量が、計測される請求項２７に記載の露光方法。

[請求項30] エネルギビームによりマスクを介して物体を露光する露光方法であって、

請求項１６～２６のいずれか一項に記載の駆動方法により、前記マスクを保持して移動する移動体を前記制御対象として駆動することを含む露光方法。

[請求項31] 制御対象を駆動する駆動システムを設計する駆動システム設計方法であって、

剛体モードに対する振動モードが互いに逆相となる前記制御対象の第１部分及び第２部分に、それぞれの位置に関連する第１制御量及び第２制御量を計測する第１及び第２計測器を設置することを含む駆動システム設計方法。

[請求項32] 前記制御対象に与える操作量を求めるための演算式を、前記第１及び第２制御量のラプラス変換X_1，X_2と、前記第１及び第２制御量のそれぞれと目標値との偏差を用いてそれぞれ第１及び第２の量を求めるための制御演算にそれぞれ対応する伝達関数C_1，C_2と用いてラプラス変換形Ｕ（X_1，X_2）＝$C_1X_1+C_2X_2$により与え、前記伝達関数C_1，C_2を、前記第１及び第２部分に対応する伝達関数P_1，P_2のそれぞれに含まれる前記共振モードに対応する極が伝達関数$C_1P_1+C_2P_2$において相殺されるように決定することを、さらに含む請求項３１に記載の駆動システム設計方法。

［請求項33］ 前記決定することでは、前記伝達関数P_1，P_2の具体形を、前記第１及び第２部分の運動をばねにより連結された２つの剛体の運動として表現する力学模型を用いて与える請求項３２に記載の駆動システム設計方法。

［請求項34］ 前記伝達関数P_1，P_2は、前記操作量と前記第１及び第２制御量のラプラス変換（U，X_1，X_2）を用いて$P_1=X_1/U$，$P_2=X_2/U$と定義され、

前記力学模型に含まれる各種パラメータを、前記操作量に対する前記第１及び第２制御量を計測し、該計測結果を前記定義式$P_1=X_1/U$，$P_2=X_2/U$に適用することにより求められる前記伝達関数P_1，P_2の周波数応答特性を、前記伝達関数P_1，P_2の具体形が再現するように、決定する、請求項３３に記載の駆動システム設計方法。

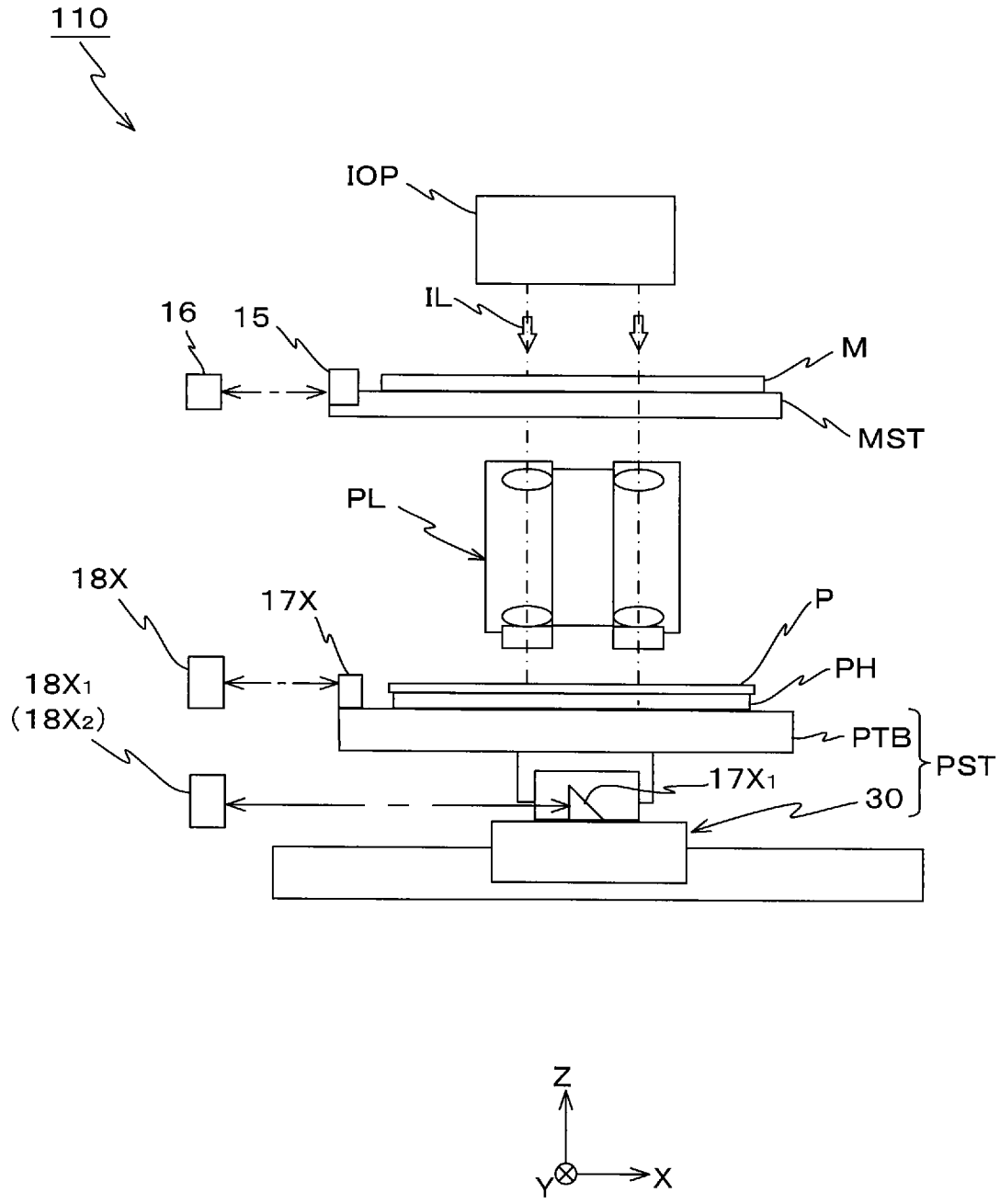
［請求項35］ 前記伝達関数P_1，P_2は、前記剛体モード及び前記共振モードの特性をそれぞれ表現する関数D_P，D_Rを用いて分数式$P_1=N_{P1}/D_PD_R$，$P_2=N_{P2}/D_PD_R$により表され、

前記伝達関数C_1，C_2は、分数式$C_1=N_{C1}/D_C$，$C_2=N_{C2}/D_C$により表され、

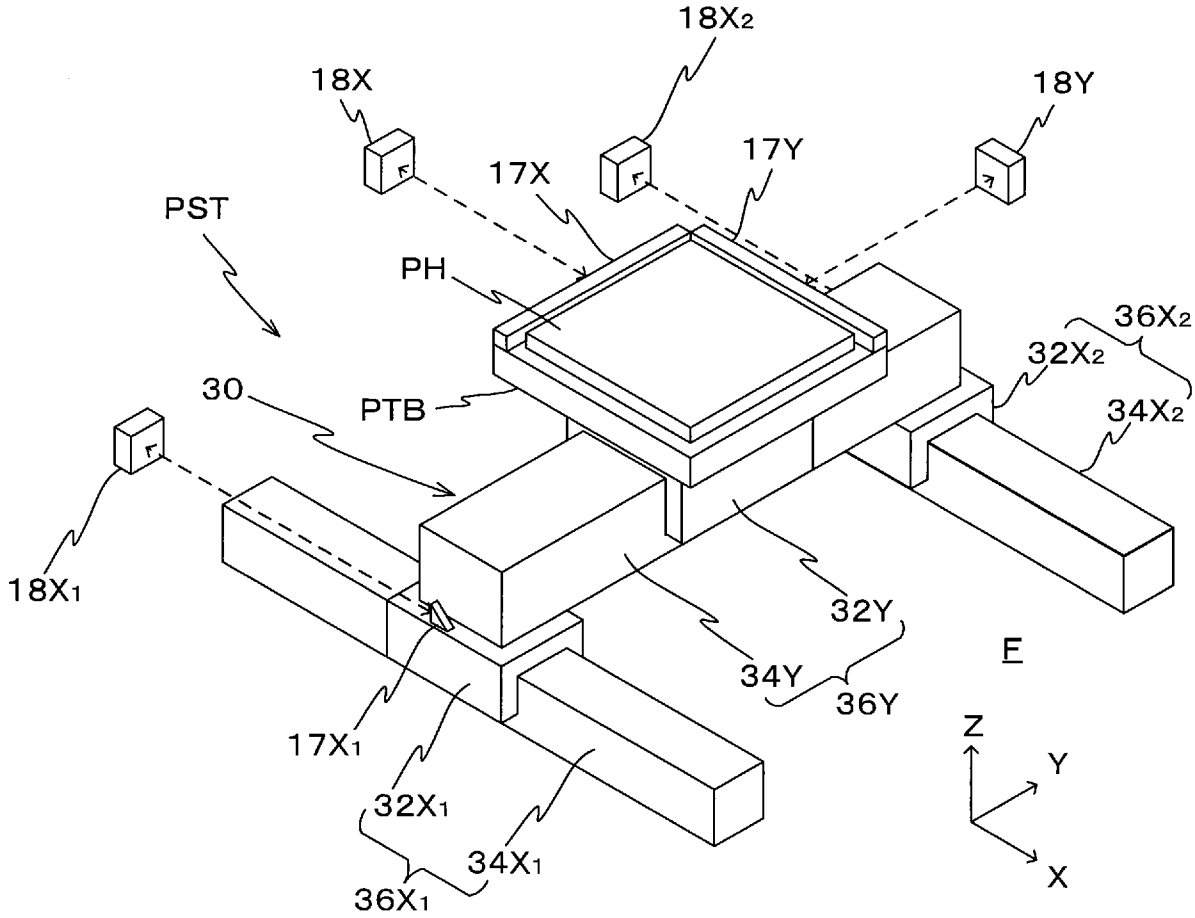
前記決定することでは、前記伝達関数C_1，C_2の分母部分D_Cを、$D_CD_P+\alpha$（αは任意の解析関数）が任意の安定な極を有するように決定する請求項３２～３４のいずれか一項に記載の駆動システム設計方法。

［請求項36］ 前記決定することでは、前記伝達関数C_1，C_2の分子部分N_{C1}，N_{C2}を、前記閉ループ制御系の伝達関数の特性方程式$A_{CL}=D_CD_PD_R+N_{C1}N_{P1}+N_{C2}N_{P2}$が$A_{CL}=(D_CD_P+\alpha)D_R$を満たすように、前記任意の解析関数$\alpha$及び前記剛体モードに係るパラメータのみにより与えられる定数ａ，ｂを用いて$N_{C1}=a\alpha$、$N_{C2}=b\alpha$と決定する請求項３５に記載の駆動システム設計方法。

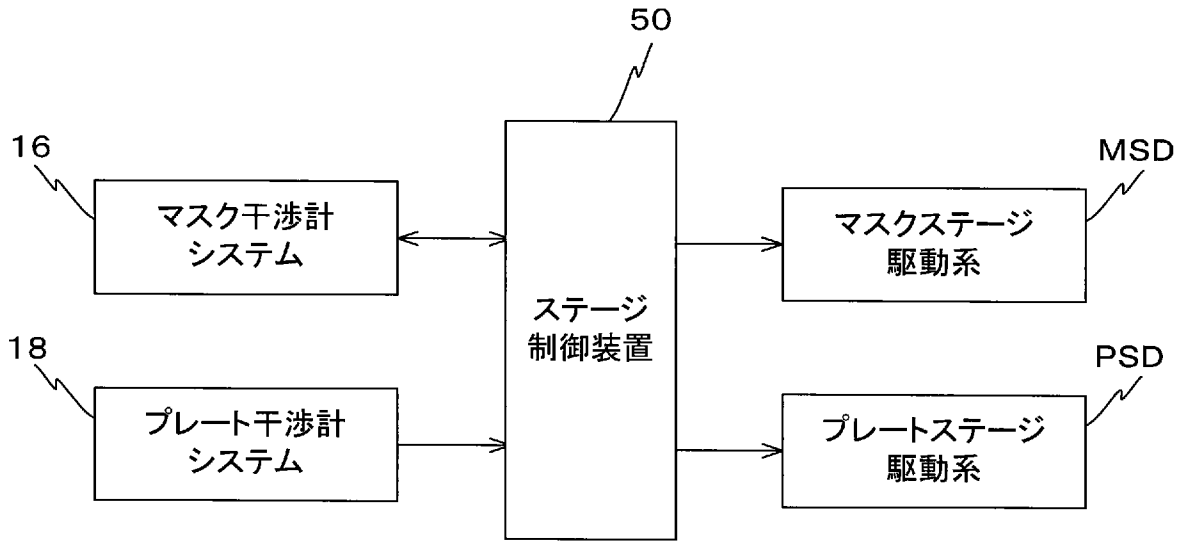
[図1]


110
IOP
IL
16
15
M
MST
PL
18X
17X
P
PH
18X1
(18X2)
PTB
PST
17X1
30
Z
Y
X

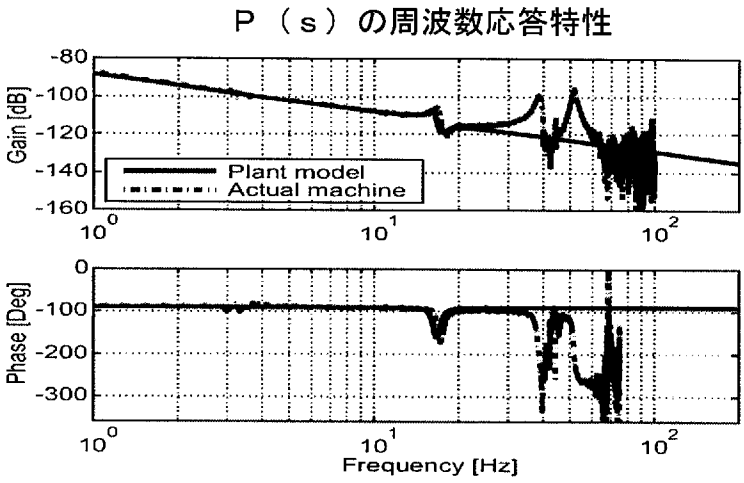
[図2]


18X2
18X
18Y
17Y
17X
PST
PH
36X2
32X2
34X2
30
PTB
18X1
32Y
34Y
36Y
E
17X1
32X1
34X1
36X1
Z
Y
X

[図3]

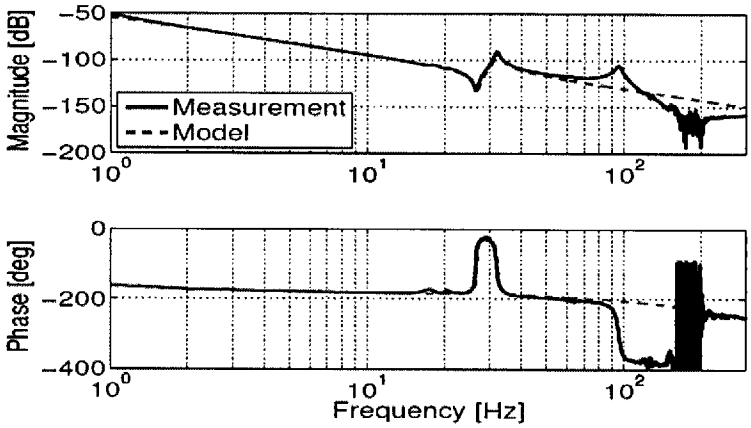

50
16
マスク干渉計
システム
18
プレート干渉計
システム
ステージ
制御装置
MSD
マスクステージ
駆動系
PSD
プレートステージ
駆動系

[図4]

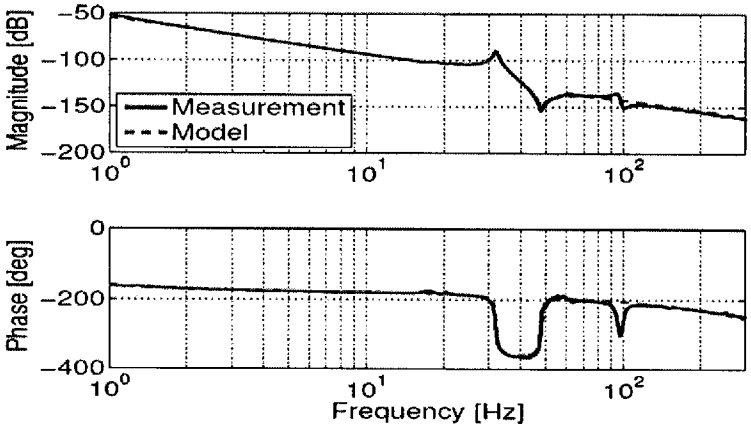

P（s）の周波数応答特性
Gain [dB]
-80
-100
-120
-140
-160
Plant model
Actual machine
Phase [Deg]
0
-100
-200
-300
Frequency [Hz]

[図5]

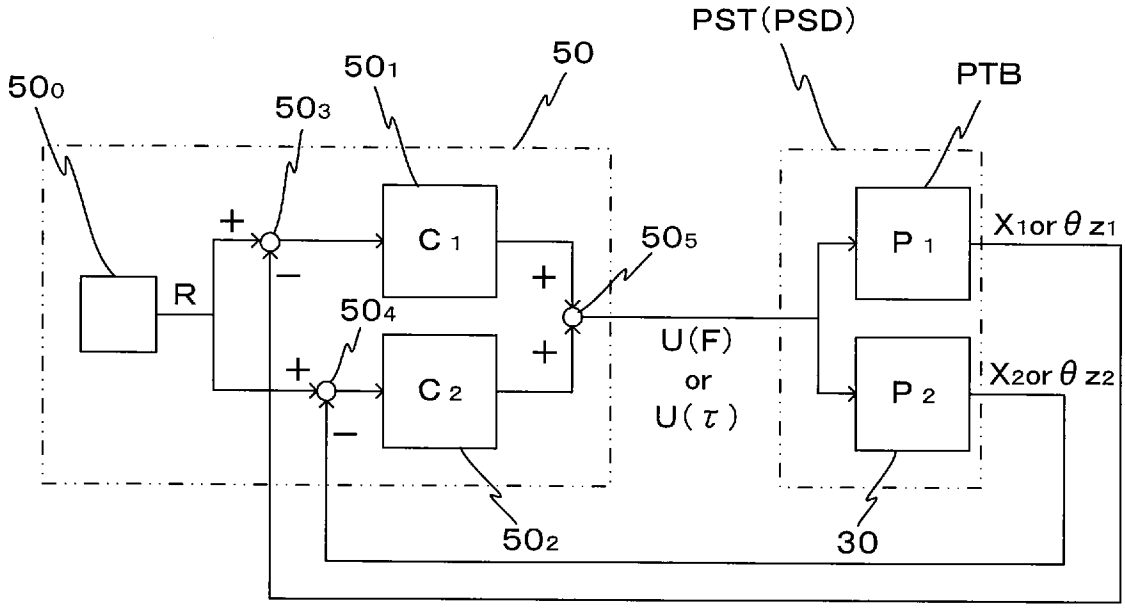
（A） P_2（s）の周波数応答特性



（B） P_1（s）の周波数応答特性

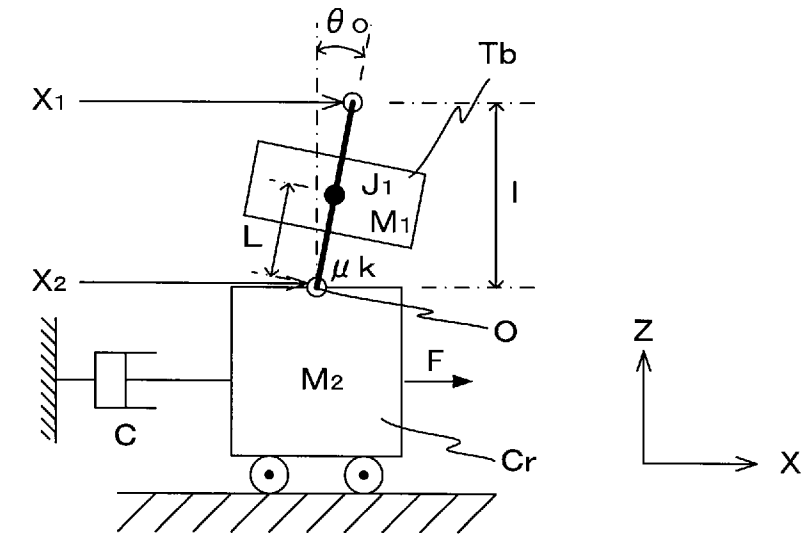


[図6]


PST(PSD)
50
50₁
PTB
50₀
50₃
C 1
50₅
P 1
X1or θ z1
R
+
−
+
+
50₄
U(F)
or
U(τ)
+
C 2
P 2
X2or θ z2
−
50₂
30

[図7]

(A)

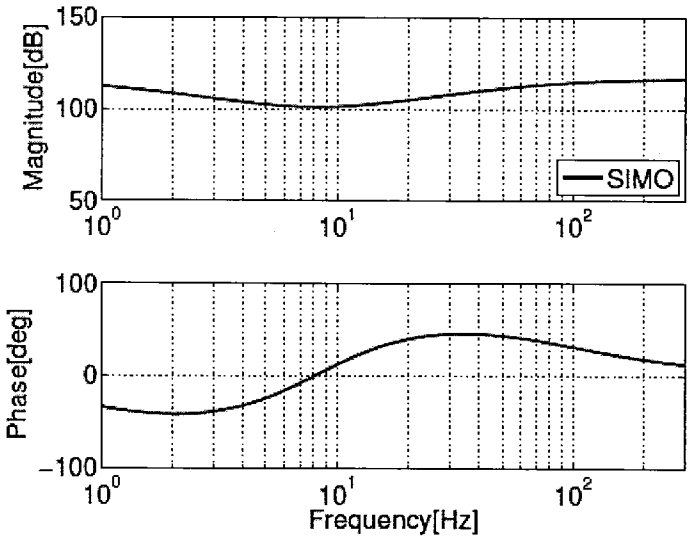


(B)

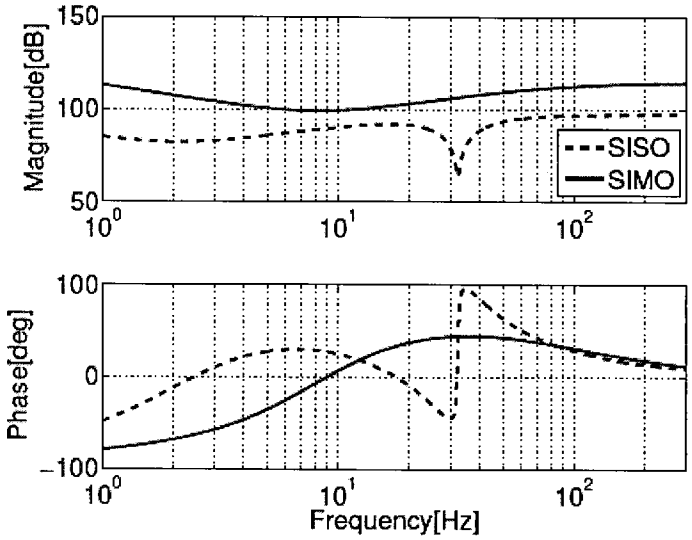
M_1	5. 3 kg
M_2	7. 7 kg
J_1	0. 015 kgm^2
C	24 N／(m･s)
k	1700 Nm／rad
μ	0. 20 Nm／(rad／s)
L	0. 092 m
l	0. 085 m
τ_d	6.0×10^{-4} s

[図8]

（A） C_2（s）の周波数応答特性

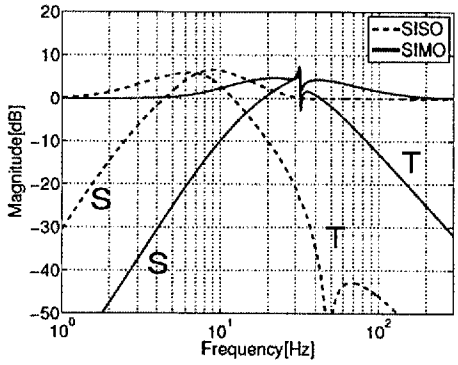


（B） C_1（s）の周波数応答特性

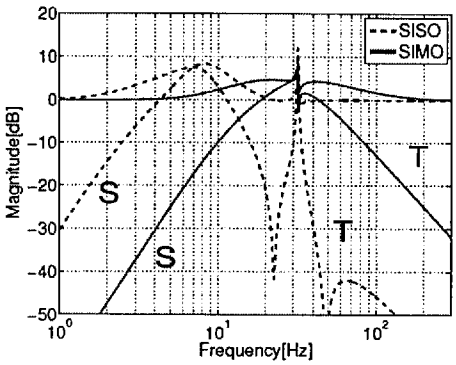


[図9]

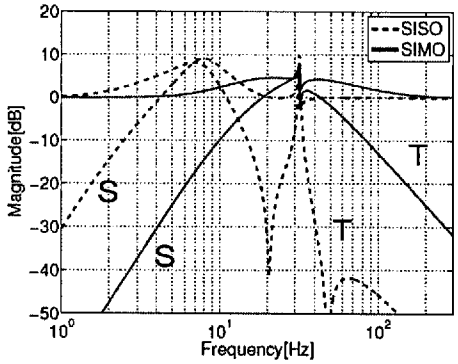
(A)


SISO
SIMO
Magnitude[dB]
Frequency[Hz]
S
S
T
T

(B)

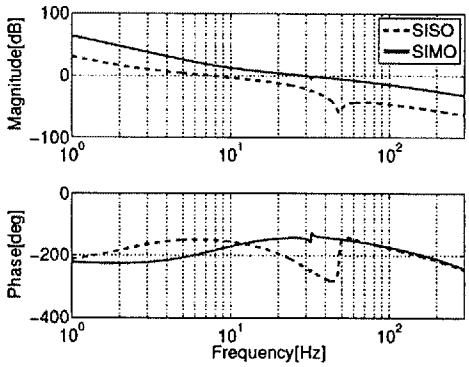

SISO
SIMO
Magnitude[dB]
Frequency[Hz]
S
S
T
T

(C)

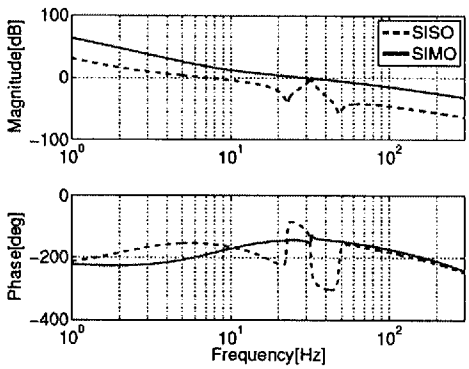

SISO
SIMO
Magnitude[dB]
Frequency[Hz]
S
S
T
T

[図10]

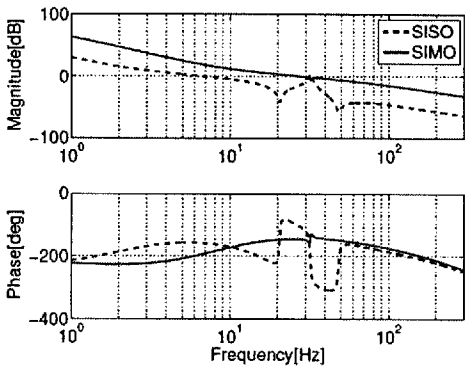
(A)


Magnitude[dB]
100
0
−100
SISO
SIMO
Phase[deg]
0
−200
−400
10^0
10^1
10^2
Frequency[Hz]

(B)

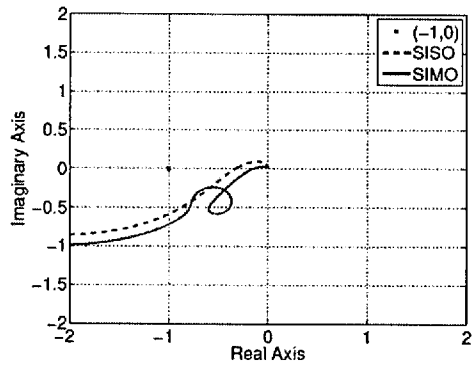

Magnitude[dB]
100
0
−100
SISO
SIMO
Phase[deg]
0
−200
−400
10^0
10^1
10^2
Frequency[Hz]

(C)

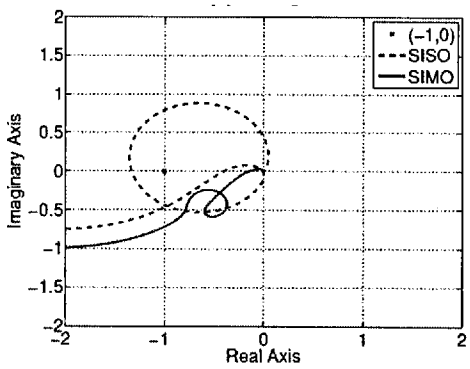

Magnitude[dB]
100
0
−100
SISO
SIMO
Phase[deg]
0
−200
−400
10^0
10^1
10^2
Frequency[Hz]

[図11]

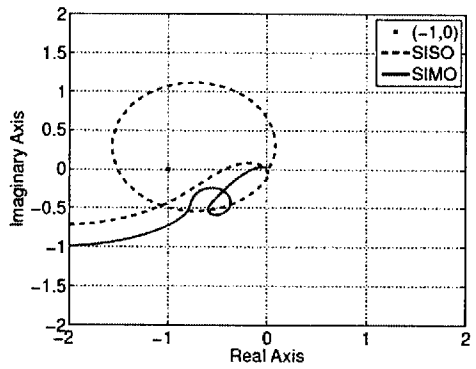
(A)



(B)



(C)

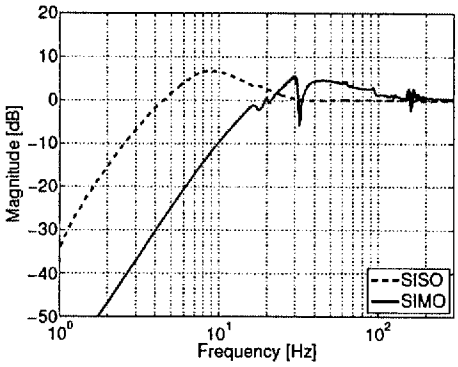


[図12]

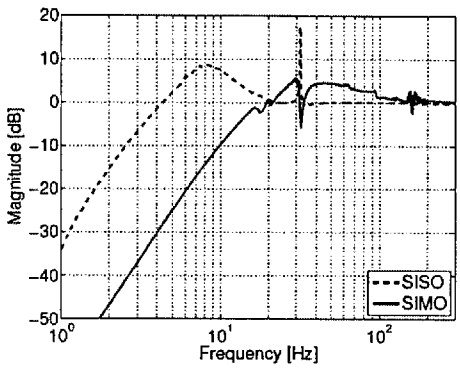
	SISO		SIMO	
	G_m[dB]	P_m[deg]	G_m[dB]	P_m[deg]
(A) Nominal	9.7	30.1	17.8	35.7
(B) 0.5k	Unstable	Unstable	17.8	35.7
(C) $5J_1$	Unstable	Unstable	17.8	35.7

[図13]

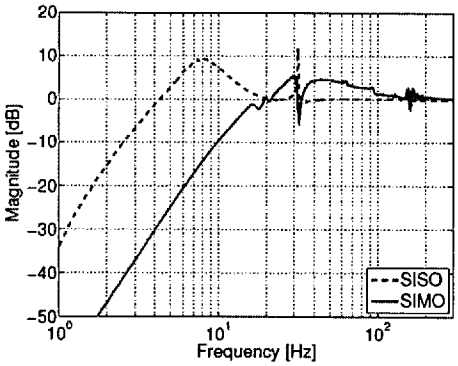
(A)


Magnitude [dB]
Frequency [Hz]
SISO
SIMO

(B)

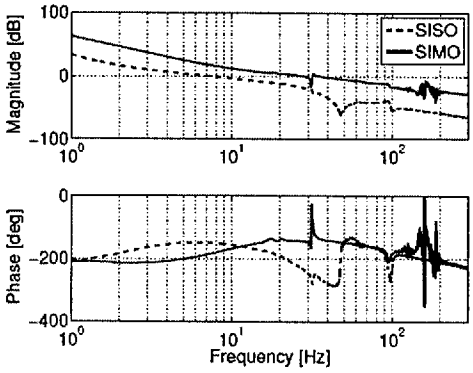

Magnitude [dB]
Frequency [Hz]
SISO
SIMO

(C)

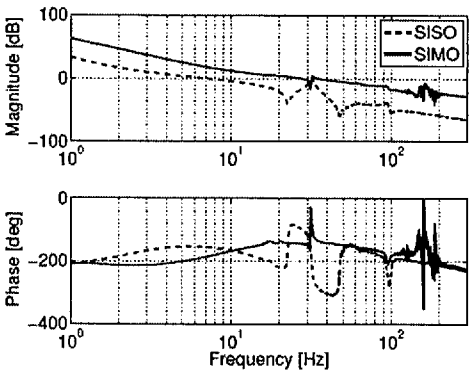

Magnitude [dB]
Frequency [Hz]
SISO
SIMO

[図14]

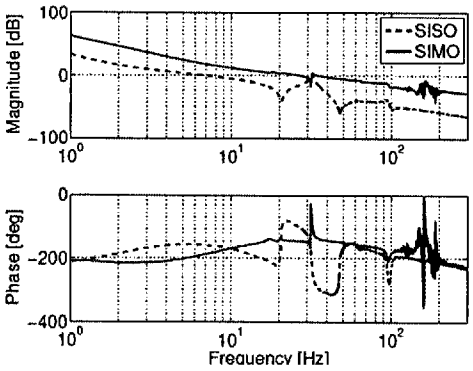
(A)


Magnitude [dB]
100
0
-100
SISO
SIMO
Phase [deg]
0
-200
-400
10^0
10^1
10^2
Frequency [Hz]

(B)

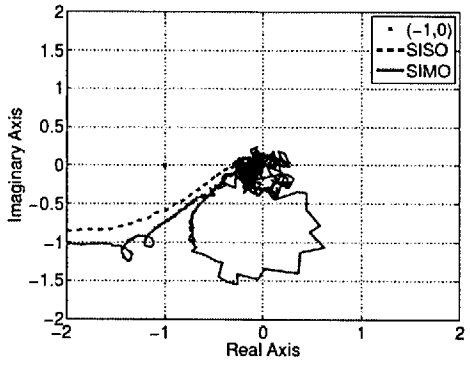

Magnitude [dB]
100
0
-100
SISO
SIMO
Phase [deg]
0
-200
-400
10^0
10^1
10^2
Frequency [Hz]

(C)

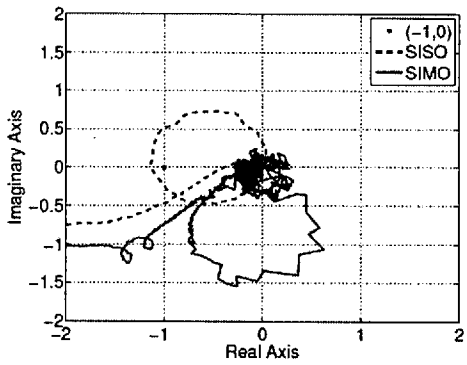

Magnitude [dB]
100
0
-100
SISO
SIMO
Phase [deg]
0
-200
-400
10^0
10^1
10^2
Frequency [Hz]

[図15]

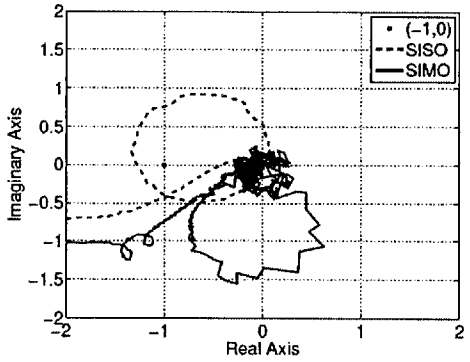
(A)


(−1,0)
SISO
SIMO
Imaginary Axis
Real Axis
2
1.5
1
0.5
0
−0.5
−1
−1.5
−2
−2
−1
0
1
2

(B)

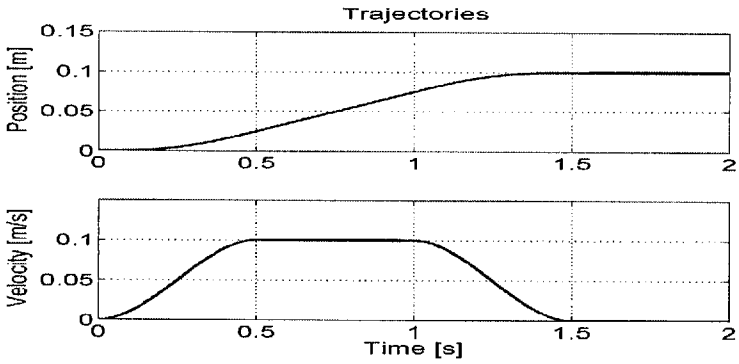

(−1,0)
SISO
SIMO
Imaginary Axis
Real Axis
2
1.5
1
0.5
0
−0.5
−1
−1.5
−2
−2
−1
0
1
2

(C)

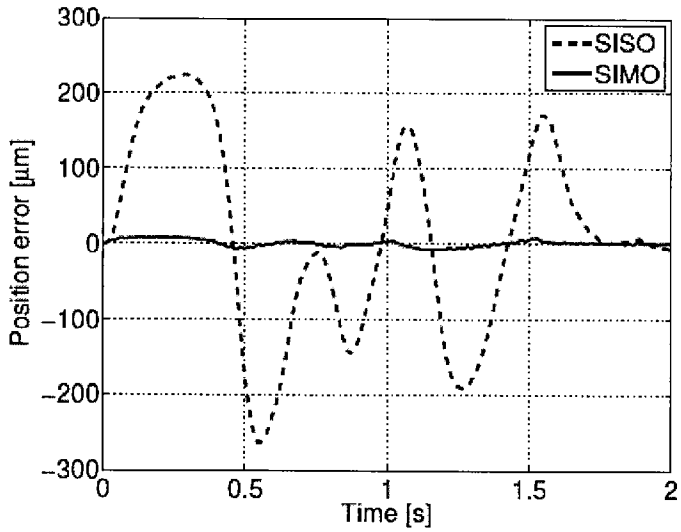

(−1,0)
SISO
SIMO
Imaginary Axis
Real Axis
2
1.5
1
0.5
0
−0.5
−1
−1.5
−2
−2
−1
0
1
2

[図16]

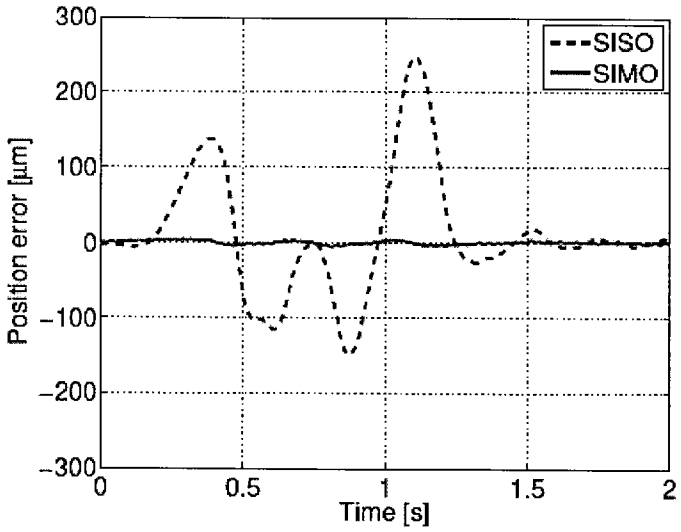
(A)


Trajectories
Position [m]
0.15
0.1
0.05
0
0
0.5
1
1.5
2
Velocity [m/s]
0.1
0.05
0
0
0.5
1
1.5
2
Time [s]

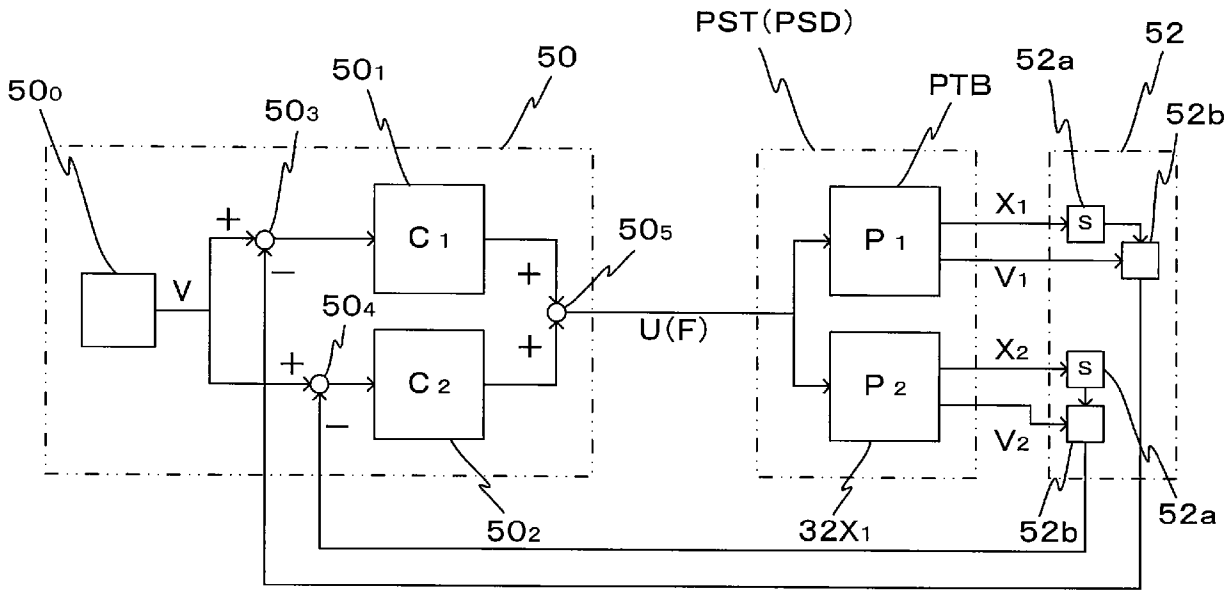
(B)


SISO
SIMO
Position error [μm]
300
200
100
0
−100
−200
−300
0
0.5
1
1.5
2
Time [s]

(C)

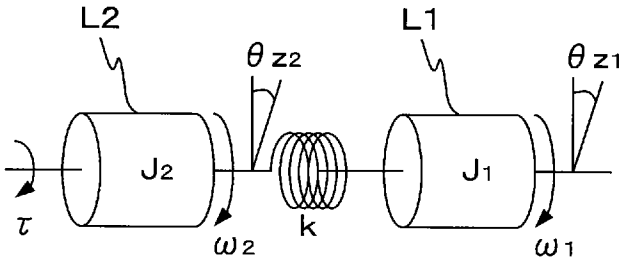

SISO
SIMO
Position error [μm]
300
200
100
0
−100
−200
−300
0
0.5
1
1.5
2
Time [s]

[図17]


50₀
50₃
50₁
50
PST(PSD)
PTB
52a
52
52b
V
C 1
C 2
50₄
50₅
U(F)
P 1
P 2
X1
V1
X2
V2
S
S
50₂
32X1
52b
52a

[図18]

(A)

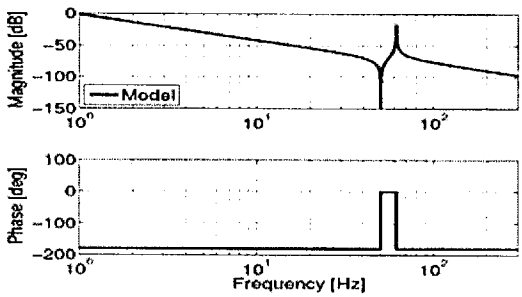


(B)

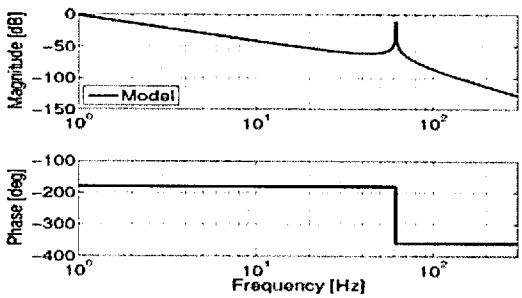
J_1	0.01 kgm^2
J_2	0.02 kgm^2
k	1000 Nm／rad

[図19]

(A) P_2(s)の周波数応答特性

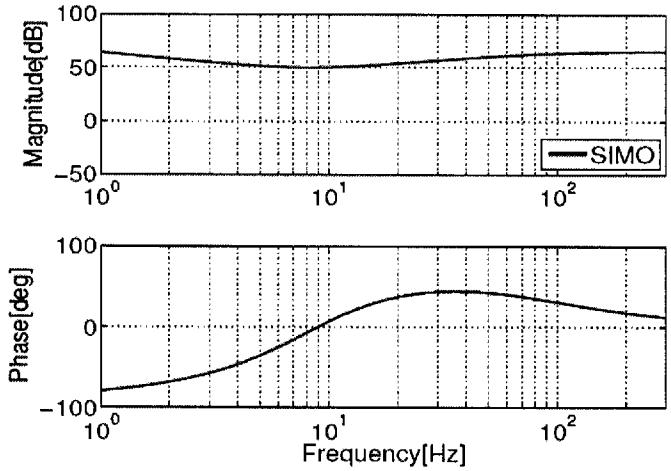


(B) P_1(s)の周波数応答特性

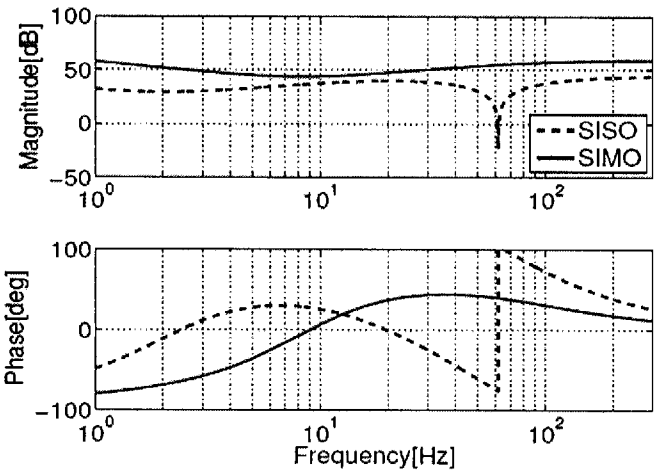


[図20]

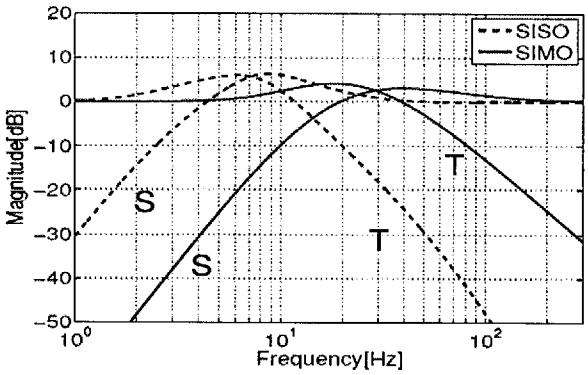
（A）C_2（s）の周波数応答特性



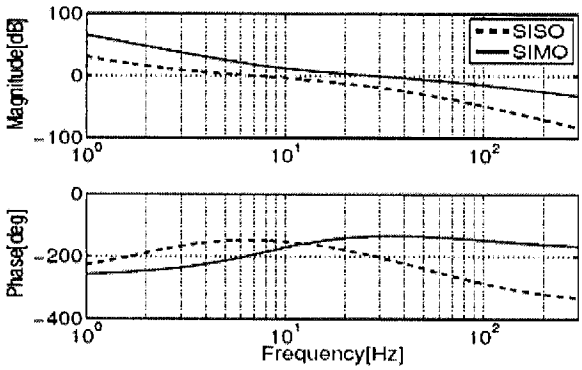
（B）C_1（s）の周波数応答特性



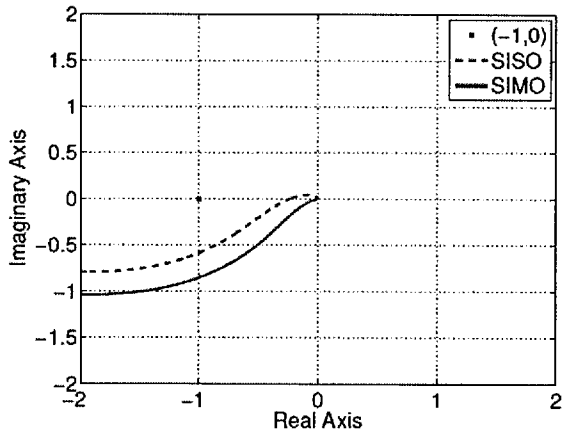
[図21]


SISO
SIMO
Magnitude[dB]
Frequency[Hz]
S
S
T
T

[図22]


SISO
SIMO
Magnitude[dB]
Phase[deg]
Frequency[Hz]

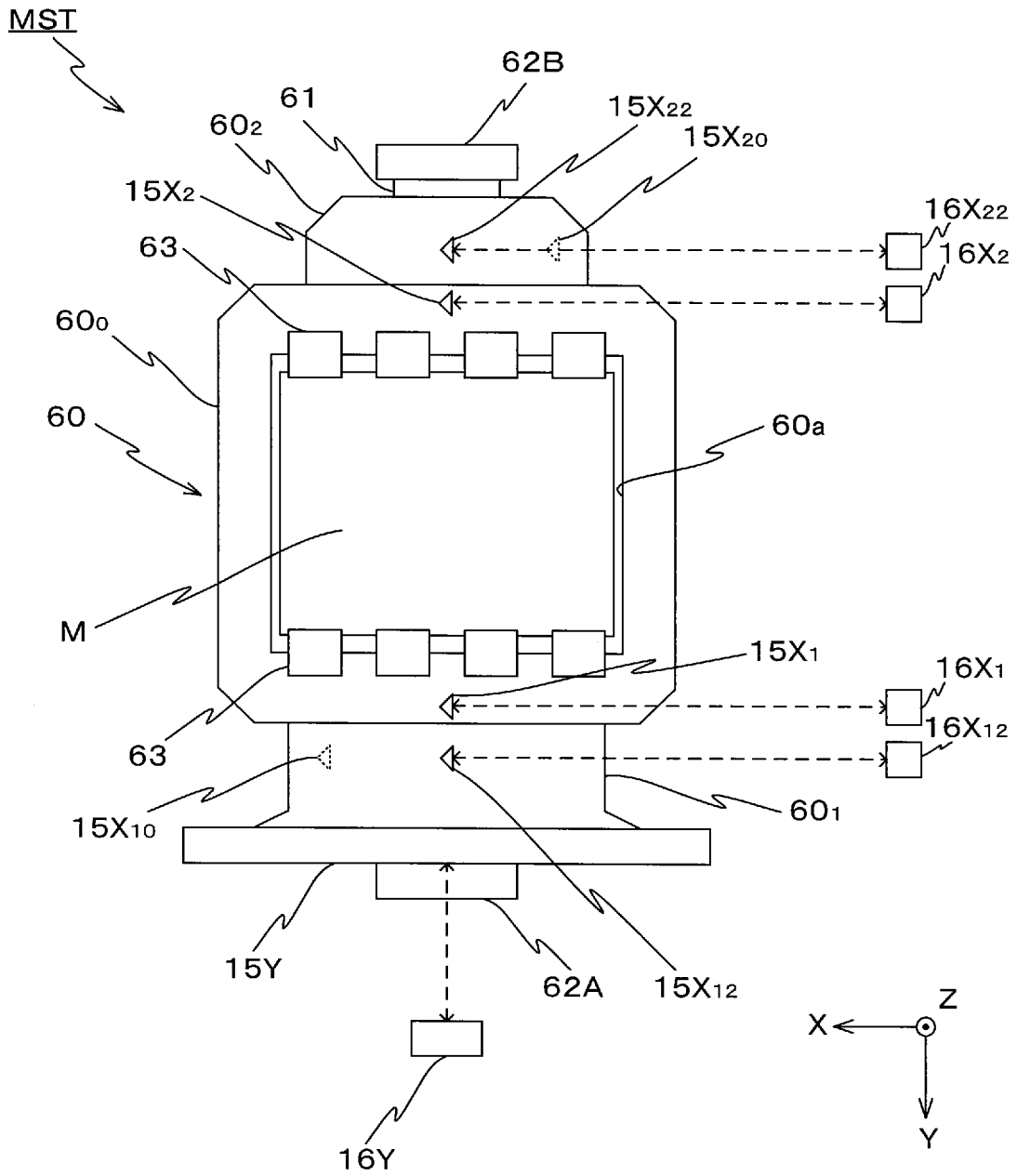
[図23]



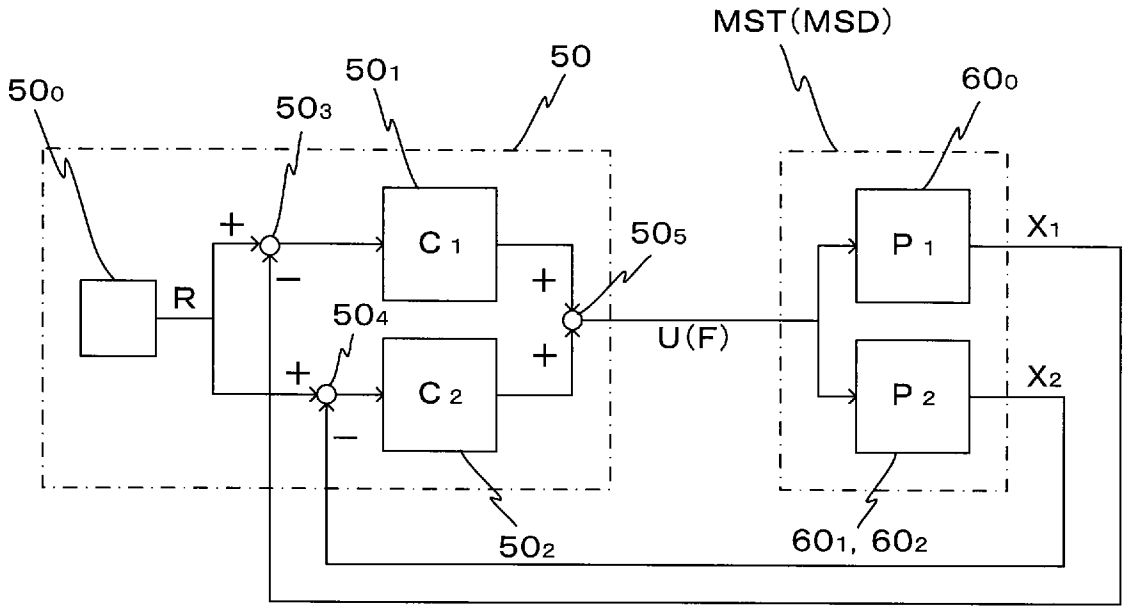
[図24]

	SISO		SIMO	
	G_m[dB]	P_m[deg]	G_m[dB]	P_m[deg]
Nominal	12.2	30.2	Inf	43.5

[図25]

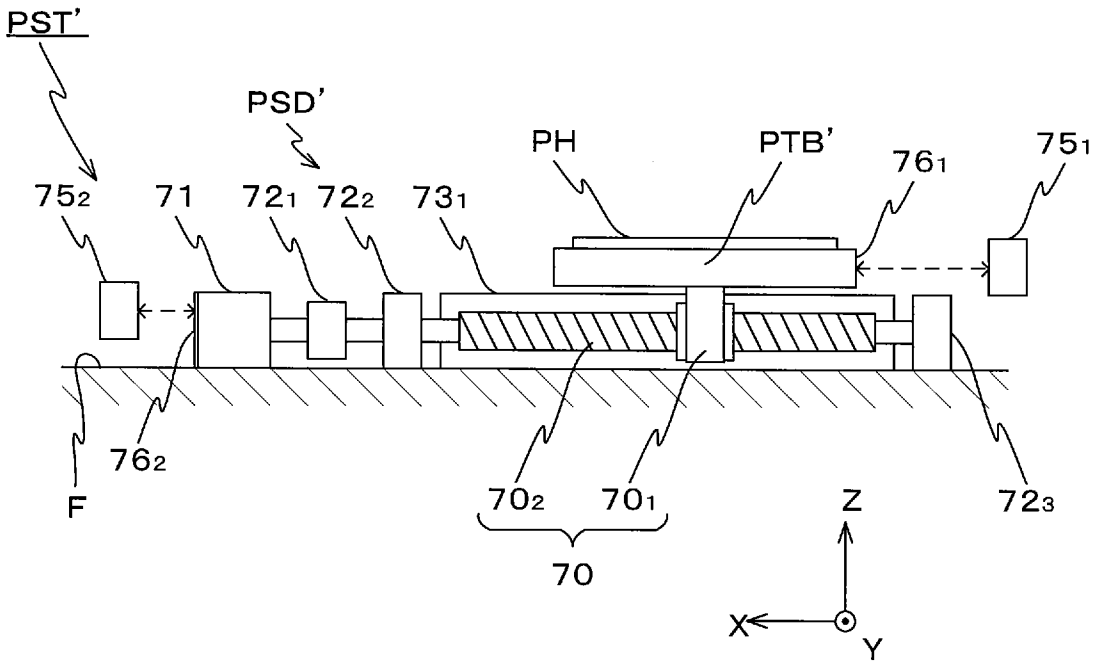

MST
62B
61
60₂
15X₂₂
15X₂₀
15X₂
16X₂₂
16X₂
63
60₀
60
60a
M
15X₁
16X₁
16X₁₂
63
15X₁₀
60₁
15Y
62A
15X₁₂
16Y
Z
X
Y

[図26]

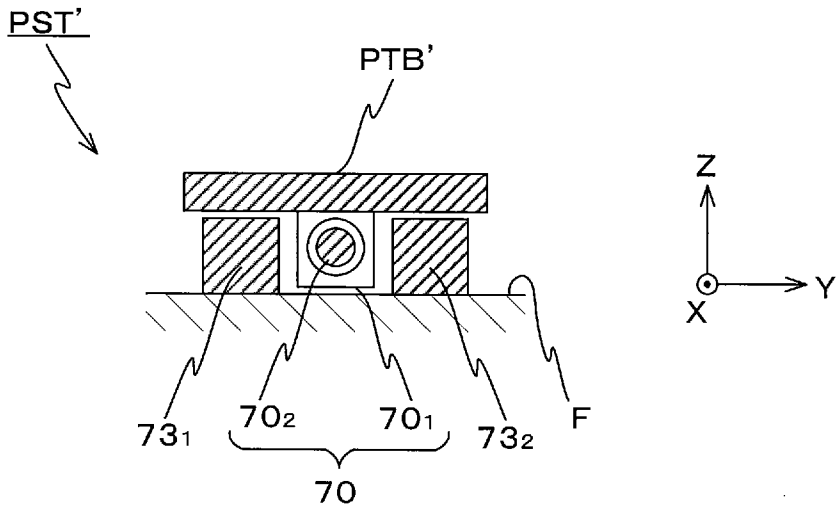

MST(MSD)
50
50₀
50₁
50₃
60₀
C 1
P 1
X1
50₅
R
U(F)
50₄
C 2
P 2
X2
50₂
60₁, 60₂

[図27]

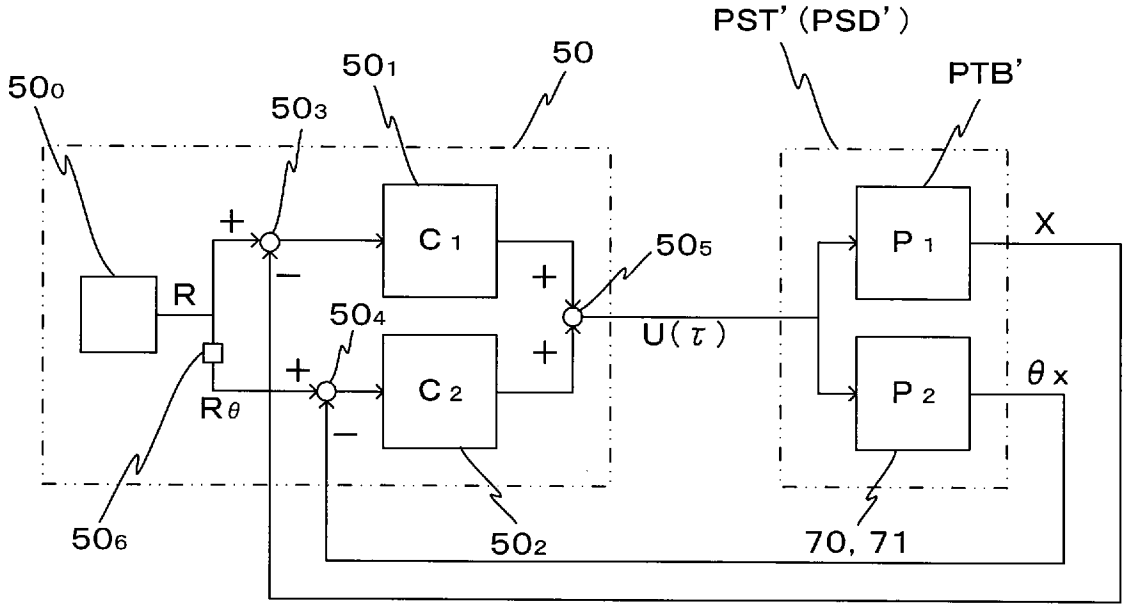
(A)


PST'
PSD'
PH
PTB'
76_1
75_1
75_2
71
72_1
72_2
73_1
76_2
F
70_2
70_1
72_3
70
Z
X
Y

(B)

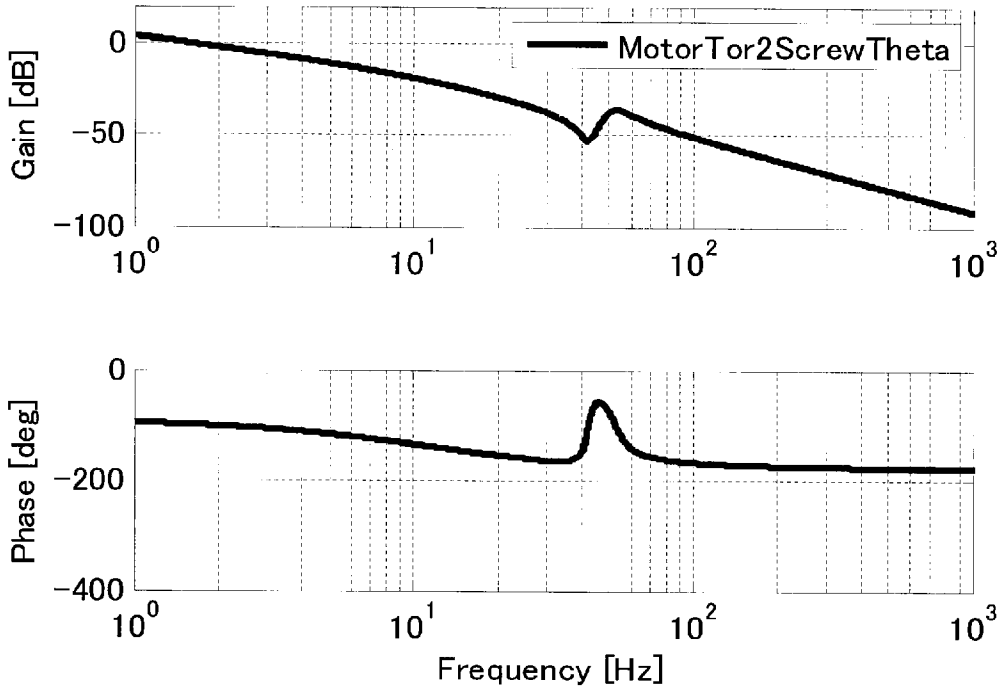

PST'
PTB'
Z
Y
X
73_1
70_2
70_1
73_2
F
70

[図28]

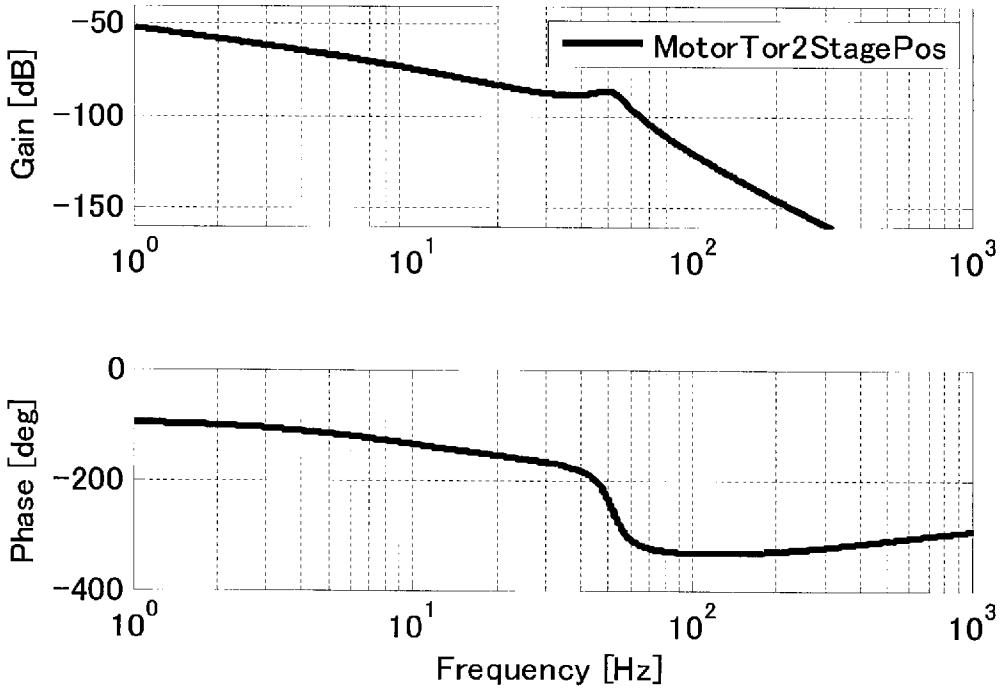

PST'(PSD')
PTB'
50
501
500
503
C1
P1
X
505
R
504
U(τ)
C2
P2
θx
Rθ
506
502
70, 71

[図29]

（A） P_2（s）の周波数応答特性



（B） P_1（s）の周波数応答特性



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2012/000548

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01L21/027(2006.01)i, *G03F7/20*(2006.01)i, *G05B11/36*(2006.01)i, *G05D3/12*(2006.01)i, *H01L21/68*(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H01L21/027, G03F7/20, G05B11/36, G05D3/12, H01L21/68

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2012
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2012	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2012

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2009-159774 A (Yaskawa Electric Corp.), 16 July 2009 (16.07.2009), entire text; all drawings (Family: none)	1-36
A	JP 2006-335160 A (Nissan Motor Co., Ltd.), 14 December 2006 (14.12.2006), paragraphs [0008] to [0031]; fig. 1 to 14 (Family: none)	1-36
A	JP 5-66845 A (Canon Inc.), 19 March 1993 (19.03.1993), entire text; all drawings (Family: none)	1-36

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
13 February, 2012 (13.02.12)	21 February, 2012 (21.02.12)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2012/000548

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2001-76451 A (Toshiba Corp.), 23 March 2001 (23.03.2001), entire text; all drawings & US 6771455 B1	1-36
A	WO 2009/031654 A1 (Yokohama National University, Nikon Corp.), 12 March 2009 (12.03.2009), entire text; all drawings & US 2011/0046795 A1 & CN 101855705 A & KR 10-2010-0072015 A	1-36

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１２／０００５４８

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01L21/027(2006.01)i, G03F7/20(2006.01)i, G05B11/36(2006.01)i, G05D3/12(2006.01)i, H01L21/68(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01L21/027, G03F7/20, G05B11/36, G05D3/12, H01L21/68

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１２年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１２年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１２年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Ａ	JP 2009-159774 A（株式会社安川電機）2009.07.16，全文，全図（ファミリーなし）	１－３６
Ａ	JP 2006-335160 A（日産自動車株式会社）2006.12.14，【０００８】－【００３１】，第１－１４図（ファミリーなし）	１－３６
Ａ	JP 5-66845 A（キヤノン株式会社）1993.03.19，全文，全図（ファミリーなし）	１－３６

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　　☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 １３．０２．２０１２	国際調査報告の発送日 ２１．０２．２０１２
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ） 郵便番号１００－８９１５ 東京都千代田区霞が関三丁目４番３号	特許庁審査官（権限のある職員）　３Ｕ　４４８０ 青山　純 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３３２４

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Ａ	JP 2001-76451 A (株式会社東芝) 2001.03.23, 全文, 全図 & US 6771455 B1	１－３６
Ａ	WO 2009/031654 A1 (国立大学法人横浜国立大学, 株式会社ニコン) 2009.03.12, 全文, 全図 & US 2011/0046795 A1 & CN 101855705 A & KR 10-2010-0072015 A	１－３６