(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3567030号
(P3567030)
(45)発行日　平成16年9月15日(2004.9.15)　(24)登録日　平成16年6月18日(2004.6.18)

(51)Int.Cl.[7]　F I
G01B 11/26　G01B 11/26　G

請求項の数 1　(全 10 頁)

(21)出願番号　特願平7-257395
(22)出願日　平成7年10月4日(1995.10.4)
(65)公開番号　特開平9-101127
(43)公開日　平成9年4月15日(1997.4.15)
審査請求日　平成14年10月4日(2002.10.4)

(73)特許権者　000148623
株式会社ソキア
神奈川県厚木市長谷２６０番地６３
(74)代理人　100087826
弁理士　八木　秀人
(72)発明者　中川　信行
神奈川県厚木市長谷字柳町２６０－６３
株式会社ソキア　厚木工場内
(72)発明者　青木　達也
神奈川県厚木市長谷字柳町２６０－６３
株式会社ソキア　厚木工場内
(72)発明者　河野　克巳
神奈川県厚木市長谷字柳町２６０－６３
株式会社ソキア　厚木工場内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】ローリング角測定装置

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
レーザヘッドの光軸上にターニングミラーを介して直交配置され、かつ前記光軸に対して平行に移動する移動体上に設置された角度干渉計と、
前記角度干渉計から出射されるレーザ光線を受けて、当該角度干渉計側に反射する角度ターゲットプリズムとを備え、
前記角度干渉計と角度ターゲッドプリズムのいずれか一方の上端側を他方に対して揺動自在に連結設置し、
揺動自在に設置された一方の下端側に制動用のダンパを設置するとともに、他方側を前記移動体上に固定配置したことを特徴とするローリング角測定装置。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、レーザ測長機を用いたローリング角測定装置に関するものである。
【０００２】
【従来の技術】
精密移動ステージを有する工作機械や３次元測定機などでは、組立時における調整や校正のために、レーザ測長機により移動方向の直線度や垂直，水平方向の真直度、および、これらの軸線回りのピッチングやヨーイングなどが高精度に測定されている。
【０００３】

この種のレーザ測長機では、直線運動を行なう移動体の移動軸の周りの揺動運動、すなわち、ローリングの測定も可能であり、例えば、その一例が、特開昭４９－６２１５３号公報に提案されている。
この公開公報に開示されているローリング角測定装置は、レーザヘッドから発射されたレーザ光線を上下に分け、分割されたそれぞれの光線をさらにウォラストンプリズムによって一定角に拡げた状態で２分割し、各分割された光をく字形に形成された反射ミラーに照射して、反射ミラーからの反射光を相互に干渉させることにより、２分割された光の光路差を測定し、この光路差に応じて水平方向の真直度を求め、上下二つの真直度の差からローリング角を求めている。
【０００４】
しかしながら、このような従来のローリング角測定装置には、以下に説明する技術的な課題が指摘されていた。
【０００５】
【発明が解決しようとする課題】
すなわち、前記公開公報に開示されているローリング角測定装置では、複数のウォラントプリズムや反射ミラーを必要として、光学系の構成が複雑で、しかも、受光部が複数必要になるため、コスト面での問題があった。また、レーザヘッドから発射したレーザ光線は、二つに分離しなければならず、光軸合わせが面倒で、各光学系部品の配置に時間がかかるため、実用化が難しかった。
【０００６】
本発明は、以上のように従来の問題点に鑑みてなされたものであって、その目的とするところは、干渉計および角度プリズムの一方をダンパの制動効果を利用して移動体上に垂設状態で停止させることで、既存の光学系部品の組合せにより移動体のローリングを精度良く、かつ短時間で測定できるローリング角測定装置を提供するところにある。
【０００７】
【課題を解決するための手段】
上記目的を達成するために、本発明は、レーザヘッドの光軸上にターニングミラーを介して直交配置され、かつ前記光軸に対して平行に移動する移動体上に設置された角度干渉計と、前記角度干渉計から出射されるレーザ光線を受けて、当該角度干渉計側に反射する角度ターゲットプリズムとを備え、前記角度干渉計と角度ターゲッドプリズムのいずれか一方の上端を他方に対して揺動自在に連結設置し、揺動自在に設置された一方の下端に制動用のダンパを設置するとともに、他方側を前記移動体上に固定配置したことを特徴とする。
上記構成のローリング角測定装置によれば、角度干渉計と角度ターゲッドプリズムのいずれか一方の上端を他方に対して揺動自在に連結設置し、揺動自在に設置された一方の下端に制動用のダンパを設置しているので、移動体を移動させて停止すると、ダンパが設けられた角度干渉計ないしは角度ターゲットプリズムのいずれか一方は、ダンパの制動特性に応じて所定時間経過後に垂設支持される。一方、ダンパが設けられていない角度干渉計ないしは角度ターゲットプリズムの他方は、移動体上に固定されているので、移動体のローリングに応じて光軸回りに傾斜する。従って、レーザヘッドの光軸上にターニングミラーを介して直交配置された光学系（角度干渉計および角度ターゲットプリズム）からの反射光をレーザヘッドで受光し、この振れによる光路差を測定すれば、移動体の傾斜角度およびローリング周期を検出できる。
また、本発明のローリング角測定装置では、角度干渉計と角度ターゲットプリズムのうち、いずれか一方が他方に揺動自在に支持されていて、これらが一体化されているので、既存の光学系部品の組合せにより光学系を構成することができるとともに、光軸合わせが簡単になる。
【０００８】
【発明の実施の形態】
以下に、本発明の好適な実施の形態について添付図面を参照にして詳細に説明する。図１

（ａ），（ｂ）には、本発明にかかるローリング角測定装置の角度光学系の測定原理が示されている。図１（ａ）において、レーザヘッド１から出射したレーザ光線は、移動体２上に設置された角度干渉計３のビームスプリッタによって透過光Ａと反射光Ｂに分割された後、角度プリズム４の上下方向に設けられた、一対のコーナープリズムによりそれぞれ反射され、再びレーザヘッド１で受光される。

【０００９】

ここで、例えば、角度プリズム４側において、図中矢印に示すような傾きが生じた場合、図１（ｂ）に示すように、その傾斜角度Δθに応じて透過光Ａと反射光Ｂとの間に光路差Δｘが生ずる。ここで、角度プリズム４の二つのプリズムの中心間の距離をＤとすると、角度プリズム４の傾きΔθは次の式で表すことができる。

【００１０】

Δθ＝Ｓｉｎ　（Δｘ／Ｄ）　　…式１

この状態は、上記とは逆に、角度プリズム４側が真直度を保ち、角度干渉計３側に傾きΔθが生じても同様である。

このことから、レーザヘッド１の光軸と直交する方向であって、干渉計３または角度プリズム４のいずれか一方が真直度を保持した状態で固定され、他方が移動体２のローリングに応じて揺れているならば、ローリング角度の測定を行うことができることに着目し、このような知得に基づいて本発明が完成された。

【００１１】

図２から図４には、本発明にかかるローリング角測定装置の一実施例が示されている。図２は、ローリング角測定装置の組立状態を示す斜視図、図３は、同正面図、図４は、側面図である。

これらの図に示したローリング角測定装置における光学系部品は、被測定対象である移動ステージ１０上に配置された角度干渉計１２と、角度干渉計１２の入射端に一体に固定されたターニングミラー１４と、角度干渉計１２の頂部に一端を固定した連結板１６を介して、揺動自在に取付らせた角度ターゲットプリズム１８とを備えている。

【００１２】

角度干渉計１２は、移動ステージ１０上に吸着固定されたマグネットベース２２に立設されたポスト２４に、ハイトアジャスタ２６を介して固定設置されている。

角度ターゲットプリズム１８は、コ字状をした固定金具２８に周囲を固定されて支持されている。固定金具２８の内側には、銅などの導体からなる鉛直支持板３０が垂設され、この支持板３０の下端側には、一対のＮ，Ｓ極で構成された磁石３２が配置されている。支持板３０の下端側は、その先端が移動ステージ１０の上面から離間するようにして、磁石３２の内部に挿通され、この支持板３０と磁石３２とで磁気ダンパ３３が構成されている。

【００１３】

また、角度ターゲットプリズム１８の頂部と固定金具２８の頂部との間には、所定の間隔が設けられていて、この間隔部分に差し込まれた前記連結板１６の他端側には、固定金具２８の頂部に捩じ込まれた一対の調整ネジ３４の先端が、レーザヘッド１の光軸方向に配列して点接触させられ、この接触点を支点として角度ターゲットプリズム１８は、干渉計１２に対して揺動自在に支持されている。

【００１４】

干渉計１２は、入射した光を透過光と反射光とに分離するビームスプリッタ１２ａと、このビームスプリッタ１２ａの上面側に一体に配置され、ビームスプリッタ１２ａで反射した光を側方に反射する三角プリズム１２ｂとから構成されている。ターニングミラー１４は、具体的には、入射した光をその光軸と直交する側方に反射する三角プリズムから構成されている。

【００１５】

角度ターゲットプリズム１８は、上下方向に所定の間隔をおいて設けられた一対のコーナプリズム１８ａ，１８ｂから構成されていて、入射した光は、平行に出射される。このよ

うに構成された光学系部品は、図２に示すようにレーザヘッド３６の光軸と直角方向にターニングミラー１４の出射面が対向するように配列される。

【００１６】

このような状態に光学系部品を配列すると、、レーザヘッド３６から出射したレーザ光線は、ターニングミラー１４により直角に曲げられ、角度干渉計１２に入射し、ビームスプリッタ１２ａにより透過光と反射光と分けられて、これらの透過光と反射光とがそれぞれコーナプリズム１８ａ，１８ｂに入射して、各コーナープリズム１８ａ，１８ｂからの反射光が、再びビームスプリッタ１２ａに入射する。

【００１７】

このとき、ビームスプリッタ１２ａでは、各コーナープリズム１８ａ，１８ｂからの反射光が相互に干渉させられ、この干渉光がターニングミラー１４を介してレーザヘッド３６側に受光される。

次に、上記構成のローリング角測定装置を用いたローリング角度の測定方法を説明する。ローリング角度の測定に際しては、レーザヘッド３６とターニングミラー１４との光軸合わせが行なわれ、その後、移動ステージ１０を所定距離だけ移動させた後に、停止させる操作を繰り返しながら行なわれる。このときのローリング角の測定は、移動ステージ１０を光軸と平行する方向へ移動させ停止した後、磁気ダンパ３３の制動特性に応じて所定時間経過後に行う。

【００１８】

すなわち、角度ターゲットプリズム１８は、固定金具２８を介して、角度干渉計１２側の連結板１６に調整ねじ３４によって揺動自在に支持されているので、移動ステージ１０を移動すると、この移動方向に直交する方向に揺動する。そして、移動ステージ１０の移動を停止すると、角度ターゲットプリズム１８の揺動運動は、直ちに停止しないが、所定時間が経過すると、磁気ダンパ３３の磁石３２の吸引，反発力と支持板３０に発生する渦電流との間の電磁相互作用により支持板３０が、鉛直状態になって揺動運動が停止する。

【００１９】

換言するならば、角度ターゲットプリズム１８は、磁気ダンパ３３の制動効果により所定時間経過後、支持板３０が磁石３２間に挟まれるようにして、浮上支持され、その結果、角度ターゲットプリズム１８は、移動ステージ１０上で鉛直状態でほぼ静止する。一方、角度干渉計１２は、移動ステージ１０のローリングに応じて、図３に想像線で示すように光軸回りに所定周期で振れる。

【００２０】

このような状態で、レーザヘッド３６からレーザ光線を発射させて、ターニングミラー１４で光軸と直交する方向に曲げて、角度干渉計１２で角度ターゲットプリズム１８から反射された光を相互に干渉させて、この干渉光をレーザヘッド３６で受光し、この振れによる光路差をレーザヘッド３６に付設された計測器で測定すれば、移動ステージ１０のローリング傾斜角度を検出できることになる。

【００２１】

このときのローリング傾斜角度Δθは、前述の式１から導き出せ、ローリング周期はその値を時間で割った値である。なお、本実施例では角度ターゲットミラー１８を磁気ダンパ３３により移動ステージ１０上に浮上支持しているが、これとは逆に角度干渉計１２側を磁気ダンパで浮上支持し、角度ターゲットプリズム１８側を固定しても良い。

【００２２】

上記構成の装置のローリング傾斜の測定精度は、制動時間が大きく左右するので、制動を十分に考慮する必要がある。実験によれば静止時間１０秒で、測定精度１ａｒｃ－　ｓを目標としているが、以下に、磁気ダンパ３３の制動作用の原理、および測定時期を決定する移動ステージ１０の移動停止後から制動までに要する時間の関係について以下に説明する。

【００２３】

［渦電流制動力］

本発明で採用した磁気ダンパ３３の制動力は、導電性の支持板３０と磁石３２との間に発生する渦電流によって得ており、この制動力を図５（ａ），（ｂ）を用いて説明する。
いま、静止した磁気ギャップ中に導体が速度Ｖで移動しているとすれば、この導体中には、次式で示す誘導電圧Ｅが発生する。

【００２４】

$$E=-d\Phi g/dt$$
$$=Bg*c*V \qquad \cdots式2-1$$

ここに　Φｇ：磁気ギャップの磁束
Ｂｇ：磁気ギャップの磁束密度
ｃ：導体の移動方向と垂直方向の磁束片の長さ

である。

【００２５】

この誘導電圧Ｅにより導体中を流れる渦電流Ｉは、次式で表される。

$$I=E/(Ri+R0) \qquad \cdots式2-2$$

ここに　Ｒｉ：磁極片の内側を流れる渦電流の導体抵抗
Ｒ０　：磁極片の外側を流れる渦電流の導体抵抗
である。

【００２６】

また導体の固有抵抗をρで表すと

$$Ri=\rho\cdot c/b\cdot h \qquad \cdots式2-3$$

ここに　ｂ：導体の幅
ｈ：導体の厚み
ここで、以上の渦電流のエネルギーＥＩは、導体が動くときに摩擦力がなければ、導体が受ける機械的な仕事量と等しいはずであるから、導体に作用する制動力をＦｂとすると次式が成り立つ

$$Fb\cdot V=E\cdot I \qquad \cdots式2-4$$

従って、式２－１，２－２，２－３，２－４式より渦電流制動力は、次式で表される。

【００２７】

$$Fb=Bg^2\cdot c\cdot b\cdot h\cdot V/\rho(1+R0/Ri) \cdots式2-5$$

［渦電流制動力による磁気ダンパの減衰振動］
図６において、本ローリング角測定光学系の振動は、振れの小さな質点振子の減衰振動と考えられる。同図において、質量ｍの重りはＩの長さを半径とした円弧状を往復するが、糸がＯＡ方向から角度θだけ傾いたＰ点にあるとき、次式が成り立つ。

$$ma=-mgSin\theta-kV \qquad \cdots式2-6$$

ここに　ａ　：弧ＡＰ方向の加速度
ｇ　：重力加速度
ｋＶ：磁気ダンパによる制動力
ｋ：制動板の形状による定数
である。

【００２８】

ＡＰ＝ｘとし、振幅が小さい場合には、ほぼＳｉｎθ＝ｘ／Ｉとなり、式２－６は次のように書き替えられる。

$$ma=-mgx/I-kV \qquad \cdots式2-7$$

となる。
式２－７を変形すると

$$m\cdot d^2x/dt^2+k\cdot dx/dt+mg/I\cdot x=0 \cdots式2-8$$

この二階一次微分方程式を解けば、ｘがｔの関数として与えられる。

$x = Ae^{-K/2m} \cos\{(4m^2 g/I - k^2)^{1/2}/2mt + \varepsilon\}$ …式２－９

ここに　Ａ：初期振幅

ε：初期値

この式２－９をグラフで書くと図７に示す減衰振動となる。

【００２９】

図において、式２－９中の$x = Ae^{-K/2m}$の部分が減衰振幅を表している。

ｋＶ＝Ｆｂ（渦電流制動力）なので、減衰振幅Ｘ´は次式で表される。

$X' = Ae^{-Fb/2mv}$　…式２－１０

となる。

よって、式２－５および式２－１０より渦電流制動力および目標振幅に到達するまでの時間を計算によって求めることができ、これを求めるためには、磁気ダンパの実測値を代入すれば良い。

【００３０】

ここで図３，４における磁気ダンパ３３の実測値は次の通りである。

Ｂｇ＝０．５４Ｗｂ／ｍ

ｃ＝０．０３ｍ

ｂ＝０．０３ｍ

ｈ＝０．０００３ｍ

$\rho = 1.067 \times 10^{-8}$

Ｒ０／Ｒｉ＝１

ｍ＝０．８Ｋｇ

式２－５より当該磁気ダンパの渦電流制動力Ｆｂは以下の通りである。

【００３１】

$$Fb = Bg^2 \cdot c \cdot b \cdot h \cdot V / \rho (1 + R0/Ri)$$

$$= \frac{0.54^2 \times 0.03 \times 0.03 \times 0.0003}{1.67 \times 10^{-8} \times (1+1)} \times V$$

$$= 2.4V$$　…式３－１

この値を式２－１０に代入すると減衰振幅Ｘ´は次の通りとなる。

【００３２】

$X' = Ae^{-Fb/2mv} = Ae^{2.4/1.6} = Ae^{1.5}$　…式３－２

となる。

ここで、初期振幅Ａを１ｍｍとしたときに減衰振幅Ｘ´が０．１μｍ（０．６ａｒｃ－ｓ相当）になるまでの時間ｔは、３－２式より

$$t = -1/1.5 * \ln x/A$$

$$= -1/1.5 * \ln 0.1/1000 = 6.1\,sec$$

従って、上記構成の磁気ダンパ３３を備えたローリング角測定装置の計算上の測定精度は、目標値である静止時間１０秒で、測定精度１ａｒｃ－ｓを十分満足する値である、静止時間６．１秒で測定精度０．６ａｒｃ－ｓとなる。

【００３３】

次に、実際に以上の値が満足されているか否かを実験によって確認した。実験装置としては、図８に示すように、ローリング測定光学系を除震台の上にセットし、ローリング測定光学系の停止状態をレーザ測長機の角度測定モードで次の測定条件で測定し、以下の結果が得られた。

（１）磁気ダンパを外した状態でローリング測定光学系に外力を加えて振動を起こさせ、その３分後に停止状態を調べた結果、図９（ａ）に示すように、一定周期で振れ幅約２６

７０（ａｒｃ－　ｓ）の振動をしていることを確認した。
（２）磁気ダンパを設置した状態でローリング測定光学系に外力を加えて振動を起こさせ、その時の磁気ダンパの制動効果調べた結果、図９（ｂ）に示すように、約２秒で測定光学系は停止し、磁気ダンパの効果が認められた。なお、図９（ｂ）の＊印部を拡大したデータを図９（ｃ）に示す。図において減衰振動は±６（ａｒｃ－　ｓ）以内に収まっているが、常時残留していることが判る。

【００３４】

以上の結果から、磁気ダンパによる振動の収束時間は約２秒と理論値より短い時間であった。このことは振子の支点に当たる部分の摩擦が収束時間を短くしていると考えられる。また、カバーなどの取付により気流などの影響を防止した上で測定したところ、最終的に残留振動は±４（ａｒｃ－　ｓ）に収束させることができ、完全停止はできなかったが、後処理で平均化することでこの程度の残留振動は、精度上傾斜角を測る上で干渉光を無効にすることができる。

【００３５】

なお、上記実施例では、制動手段として磁気ダンパーを使用した場合を例示したが、本発明の実施はこれに限定されることはなく、例えば、エアダンパーを使用することもでき、この場合には、ｋＶをＰｖ（Ｐは圧力でｖは体積）に代えればよい。

【００３６】

【発明の効果】

以上、実施例で詳細に説明したように、本発明にかかるローリング角測定装置によれば、角度干渉計と角度ターゲットプリズムのうち、磁気ダンパで支持された側は、その制動効果により所定時間経過後移動体上に静止し、他方側は、移動体のローリングに応じて光軸回りに所定周期で振れるので、ローリング周期を小さくし、光学系からの反射光をレーザヘッドで受光し、この振れによる光路差を計測器で測定すれば、移動体のローリングの傾斜角度を検出できる。

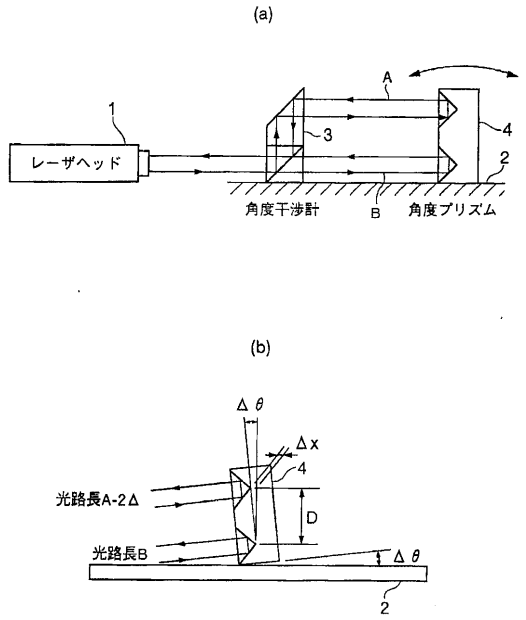
【００３７】

また、本発明のローリング角測定装置では、角度干渉計と角度ターゲットプリズムのうちいずれか一方が他方に揺動自在に支持されていて、これらが一体化されているので、既存の光学系部品の組合せにより光学系を構成することができるとともに、光軸合わせが簡単になり、従って、セッティングが容易であって、移動体のローリングを精度良く短時間で測定できる。

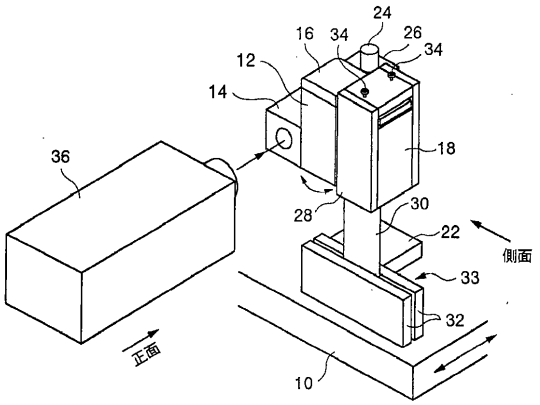
【図面の簡単な説明】

【図１】本発明にかかるローリング角測定装置の測定原理を示す説明図である。
【図２】本発明にかかるローリング測定装置の一実施例を示す斜視図である。
【図３】　図２の正面図である。
【図４】　図２の側面図である。
【図５】本発明にかかるローリング角測定装置に使用する磁気ダンパの制動力の原理説明図である。
【図６】ローリング測定光学系の振動の原理説明図である。
【図７】本発明にかかるローリング角測定装置に使用する磁気ダンパの減衰振動を表すグラフである。
【図８】ローリング測定光学系の実験装置を示す側面図である。
【図９】本発明にかかるローリング角測定装置の実験によって得られたデータを示すグラフである。

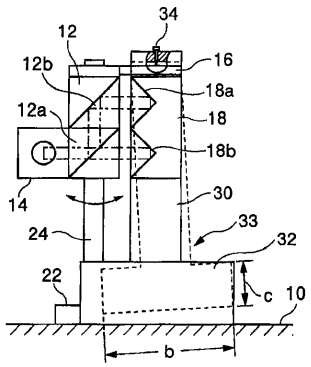
【図１】



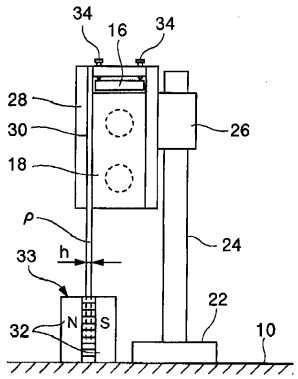
【図２】



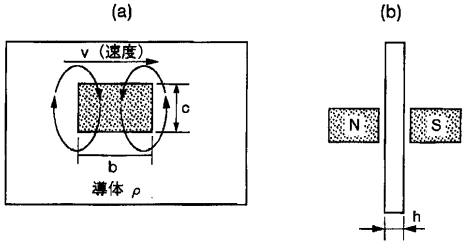
【図３】



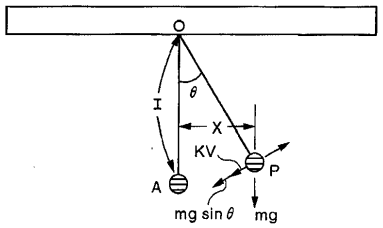
【図４】



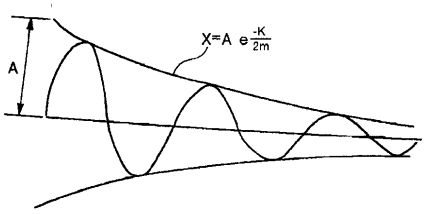
【図５】



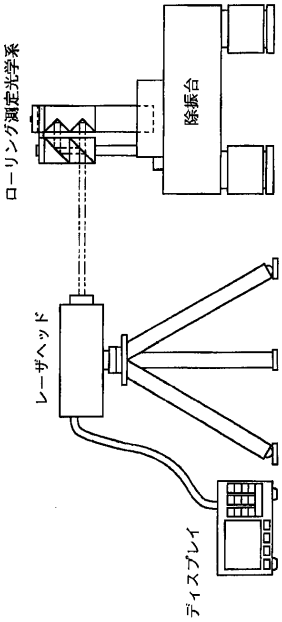
【図６】



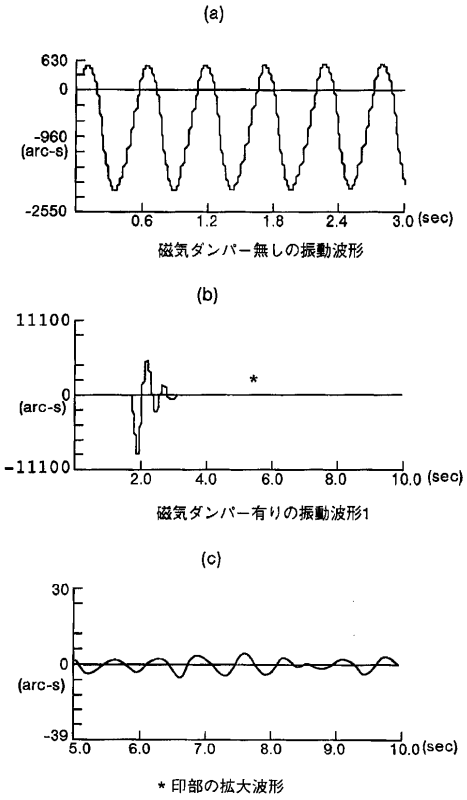
【図７】



【図８】


ローリング測定光学系
除振台
レーザヘッド
ディスプレイ

【図９】


(a)
630
0
-960
(arc-s)
-2550
0.6
1.2
1.8
2.4
3.0 (sec)
磁気ダンパー無しの振動波形
(b)
11100
0
(arc-s)
-11100
*
2.0
4.0
6.0
8.0
10.0 (sec)
磁気ダンパー有りの振動波形1
(c)
30
0
(arc-s)
-39
5.0
6.0
7.0
8.0
9.0
10.0 (sec)
* 印部の拡大波形

フロントページの続き

(72)発明者　藤沢　博之
神奈川県厚木市長谷字柳町２６０－６３　株式会社ソキア　厚木工場内
(72)発明者　天野　勇
神奈川県厚木市長谷字柳町２６０－６３　株式会社ソキア　厚木工場内

審査官　山下　雅人

(56)参考文献　特公平０４－４３２１２（ＪＰ，Ｂ２）
特表平０６－５０２７２７（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
G01B　9/00 - 11/30
G01C　9/00 -　9/14