(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3560746号
(P3560746)
(45)発行日　平成16年9月2日(2004.9.2)　(24)登録日　平成16年6月4日(2004.6.4)

(51)Int.Cl.[7]　F I
A61B 3/10　A61B 3/10 N

請求項の数 2　(全 9 頁)

(21)出願番号　特願平8-283280
(22)出願日　平成8年10月3日(1996.10.3)
(65)公開番号　特開平10-108836
(43)公開日　平成10年4月28日(1998.4.28)
審査請求日　平成14年4月12日(2002.4.12)

(73)特許権者　000135184
株式会社ニデック
愛知県蒲郡市栄町７番９号
(72)発明者　藤枝　正直
愛知県蒲郡市拾石町前浜３４番地１４　株式会社ニデック拾石工場内

審査官　安田　明央

(56)参考文献　特開昭６１－２８０５４３（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－１２６５７１（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－１８９９０５（ＪＰ，Ａ）
特開平０７－０３９５１７（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
A61B 3/00-3/16

(54)【発明の名称】眼屈折力測定装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

少なくとも２つの方向にスリット状の光束を走査するスリット光投影光学系と、被検眼眼底で反射されるスリット光束を被検眼角膜と略共役な位置に光軸を挟んで対称に配置された２対以上の受光素子により検出する検出光学系とを備え、前記受光素子間の位相差信号出力に基づいて被検眼の屈折力を得る眼屈折力測定装置において、前記スリット光束の走査方向に対応する経線方向の屈折力を測定する１対の受光素子を除く、少なくとも他の１対の受光素子の位相差信号出力に基づいて、測定される経線方向における角膜中心を検知する中心検知手段を備えることを特徴とする眼屈折力測定装置。

【請求項２】

少なくとも２つの方向にスリット状の光束を走査するスリット光投影光学系と、被検眼眼底で反射されるスリット光束を被検眼角膜と略共役な位置に光軸を挟んで対称に配置された２対以上の受光素子により検出する検出光学系とを備え、前記受光素子間の位相差信号出力に基づいて被検眼の屈折力を得る眼屈折力測定装置において、前記スリット光束の走査方向に対応する経線方向の屈折力を測定する１対の受光素子を除いた、少なくとも他の１対の受光素子の位相差信号出力に基づいて、測定される経線方向における被検眼の角膜中心を検知する中心検知手段と、検知された角膜中心と測定された経線方向に配置された受光素子の夫々の出力信号とに基づいて、各々の受光素子位置に対応する角膜部位での測定経線方向の屈折力を被検眼の角膜中心を中心として演算する屈折力演算手段と、を備えることを特徴とする眼屈折力測定装置。

【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、被検眼の屈折力を他覚的に測定する眼屈折力測定装置に関する。
【０００２】
【従来の技術】
眼屈折力測定装置としては、スリット状の光束を走査して被検眼眼底に投影し、スリット光束の投影により被検眼眼底から反射される光を被検眼角膜と略共役な位置に光軸を挟んで対称に配置された２対の受光素子により検出することに基づいて被検眼の屈折力を得るものが知られている。この種の装置の測定結果は、被検眼の屈折力を角膜中心に対称と仮定して、Ｓ（球面度数）、Ｃ（乱視度数）、Ａ（乱視軸角度）の３個のパラメータにより演算出力される。
【０００３】
【発明が解決しようとする課題】
しかし、眼の屈折力は角膜中心に対称とは限らず、不正乱視を持つ眼も少なくない。不正乱視眼では、被検眼が装置内部の固視標の中心を見ているときと、そうでない位置を見ているときに得られるＳ，Ｃ，Ａの結果は異なるものになる。不正乱視の代表的な例として、円錐角膜の場合では、Ｓ，Ｃ，Ａの値は全くあてにならない結果となることがあった。
【０００４】
また、最近の屈折異常の矯正法として脚光を浴びているエキシマレーザによる角膜手術では、角膜の表面を切除してその曲率を変えるが、手術時に軸ずれがあると、角膜の対称性が崩れる。
【０００５】
このように屈折力の対称性が確保されていない被検眼では、Ｓ，Ｃ，Ａの測定結果が不正確になることも少なくない。この場合にはその後に続いて行われる自覚検査による眼鏡処方等においてその検査に時間を要してしまうことになり、被検眼を疲労させたりして不正確な処方値を出しかねない。
【０００６】
本発明は、上記従来装置の欠点に鑑み、より精度の高い位相差法に基づく眼屈折力を得ることができ、また、不正乱視の有無を容易に発見できる眼屈折力測定装置を提供することを技術課題をする。
【０００７】
【課題を解決するための手段】
上記課題を解決するために、本発明は次のような構成を有することを特徴としている。
【０００８】
（１）　少なくとも２つの方向にスリット状の光束を走査するスリット光投影光学系と、被検眼眼底で反射されるスリット光束を被検眼角膜と略共役な位置に光軸を挟んで対称に配置された２対以上の受光素子により検出する検出光学系とを備え、前記受光素子間の位相差信号出力に基づいて被検眼の屈折力を得る眼屈折力測定装置において、前記スリット光束の走査方向に対応する経線方向の屈折力を測定する１対の受光素子を除く、少なくとも他の１対の受光素子の位相差信号出力に基づいて、測定される経線方向における角膜中心を検知する中心検知手段を備えることを特徴とする。
【０００９】
（２）　少なくとも２つの方向にスリット状の光束を走査するスリット光投影光学系と、被検眼眼底で反射されるスリット光束を被検眼角膜と略共役な位置に光軸を挟んで対称に配置された２対以上の受光素子により検出する検出光学系とを備え、前記受光素子間の位相差信号出力に基づいて被検眼の屈折力を得る眼屈折力測定装置において、前記スリット光束の走査方向に対応する経線方向の屈折力を測定する１対の受光素子を除いた、少なくとも他の１対の受光素子の位相差信号出力に基づいて、測定される経線方向における被検眼の角膜中心を検知する中心検知手段と、検知された角膜中心と測定された経線方向に配

置された受光素子の夫々の出力信号とに基づいて、各々の受光素子位置に対応する角膜部位での測定経線方向の屈折力を被検眼の角膜中心を中心として演算する屈折力演算手段と、を備えることを特徴とする。

【００１３】

【実施例】

本発明の一実施例を図面に基づいて説明する。図１は実施例の装置の光学系概略配置図である。光学系は、スリット投影光学系、スリット検出光学系、固視標光学系、及び観察光学系に大別される。

【００１４】

１はスリット投影光学系である。２は赤外の光を発するスリット照明光源、３はミラーである。４はモータ５により一定の速度で一定方向に回転される円筒状の回転セクターである。回転セクター４の側面には、その展開図を図２に示すように、２種類の異なる傾斜角度のスリット開口４ａ，４ｂがそれぞれ複数個設けられている。スリット開口４ａは回転セクター４の回転方向に対して４５度の傾斜角度を持つように設けられ、スリット開口４ｂは開口４ａに直交するように回転方向に対して１３５度の傾斜角度を持つように設けられている。６は投影レンズであり、光源２は投影レンズ６に関して被検眼角膜近傍と共役な位置に位置する。７は制限絞り、８及び９はビームスプリッタである。

【００１５】

光源２を発した赤外の光はミラー３に反射されて回転セクター４のスリット開口４ａまたは４ｂを照明する。回転セクター４の回転により走査されたスリット光束は、投影レンズ６、制限絞り７を経た後にビームスプリッタ８で反射される。その後ビームスプリッタ９を透過して被検眼Ｅの角膜近傍で集光した後、眼底に投影される。なお、回転セクター４は異なる傾斜角度のスリット開口を持つため、いづれの角度のスリット光束が投影されているかをセンサ２０が検出するようになっている。

【００１６】

１０はスリット検出光学系であり、その光軸Ｌ１　上に受光レンズ１１、絞り１３、受光部１４を備える。絞り１３は受光レンズ１１の後ろ側焦点位置に配置され、受光部１４は受光レンズ１１に関して被検眼角膜と略共役な位置に配置される。受光部１４はその受光面に、図３に示すように、４個の受光素子１５ａ～１５ｄを有している。受光素子１５ａ、１５ｂは光軸Ｌ１　を中心にして対称に設けられ、同じく受光素子１５ｃ、１５ｄは光軸Ｌ１　を中心にして対称になるように設けられている。この２対の受光素子は、２種類の傾斜角度を持つスリット開口４ａ、４ｂにより投影される被検眼眼底上でのスリット光束の走査方向（眼底上でのスリット光束は、あたかもスリットの長手方向に直交する方向に走査されるようになる）にそれぞれ対応させて配置されている。実施例の装置では乱視を持たない遠視または近視の被検眼眼底上でスリット開口４ａによるスリット光束が走査されたとき、受光部１４上で受光されるスリットの長手方向に直交する方向に対応するように一対の受光素子１５ａと１５ｂを配置し、同じくスリット開口４ｂによるスリット光束が走査されたとき、受光部１４上で受光されるスリットの長手方向に直交する方向に対応するように一対の受光素子１５ｃと１５ｄを配置している。

【００１７】

３０は固視標光学系である。３１は光源、３２は固視標、３３は投光レンズである。投光レンズ３３は光軸方向に移動することによって被検眼の雲霧を行う。３４は固視標光学系と観察光学系を同軸にするビームスプリッタである。光源３１は固視標３２を照明し、固視標３２からの光束は投光レンズ３３、ビームスプリッタ３４を経た後、ビームスプリッタ９で反射して被検眼Ｅに向かい、被検眼Ｅは固視標３２を固視する。

【００１８】

３５は観察光学系である。照明光源３６に照明された被検眼Ｅの前眼部像は、ビームスプリッタ９、３４を介して撮影レンズ３７によりＣＣＤカメラ３８の撮像素子面に結像し、ＴＶモニタ３９に映出される。

【００１９】

次に、各受光素子１５ａ～１５ｄの出力信号から角膜中心（または視軸中心）を求め、その角膜中心に対して各受光素子の対応する角膜部位での屈折力を求める方法について説明する。

【００２０】

いま、スリット開口４ａによるスリット光束が定速度で走査され、眼底から反射したスリット像が各受光素子１５ａ～１５ｄを横切るとき、その信号出力波形がある基準時間ｔ０　に対してそれぞれ図４（イ）～（ニ）のようになったとする。これは、被検眼が遠視または近視の状態でかつ乱視を持つ場合である。

【００２１】

さて、屈折力が角膜中心に対称であると仮定したときには、図４（イ）の受光素子１５ａからの出力信号と（ロ）の受光素子１４ｂからの出力信号との位相差（時間差）に対応させて、受光素子１５ａと１５ｂに対応した角膜部位間の屈折力を得ることができる。しかし、屈折力は必ずしも角膜中心に対称であるとは限らない。そこで、受光素子１５ａと１５ｂに対し、これと直交する方向に位置する受光素子１５ｃと１５ｄの信号出力から受光素子１５ａと１５ｂの中心を得る方法を考える。そして、受光素子１５ａ、１５ｂの各位置に対応する角膜部位に対応する屈折力を求める。これにより、屈折力の中心に対する対称性を評価することができる。

【００２２】

ここで、説明を簡単にするために、光の入射に伴って各受光素子に発生する光電圧信号波形の立上がり時間を検出すると（図４のｔａ　、ｔｂ　、ｔｃ　、ｔｄ　）、基準時間ｔ０　に対する受光素子１５ａと１５ｂの中心は、

（ｔｃ　＋ｔｄ　）／２

で求めることができる。したがって、受光素子１５ａに対応する角膜部位から角膜中心までの時間をＴａ、角膜中心から受光素子１５ｂに対応する角膜部位までの時間をＴｂとすると、

Ｔａ＝［（ｔｃ　＋ｔｄ　）／２－ｔａ　］

Ｔｂ＝［ｔｂ　－（ｔｃ　＋ｔｄ　）／２］

となり、この時間Ｔａ、Ｔｂを屈折力に対応させることにより、角膜中心と所定の角膜部位間での屈折力を求めることができる。

【００２３】

次に、各受光素子からの出力信号を２値化処理して位相差時間を検出する場合について説明する。各受光素子から出力された信号に対してあるスレッシュレベルを設定して２値化処理する場合、各受光素子間に光量差があると位相差時間の検出に誤差を生じることがある。これは白内障眼のような眼の透光体に混濁がある場合等に生じやすい。例えば、図５は受光素子１５ａに対応する角膜部位に対して受光素子１５ｂに対応する角膜部位の混濁が大であったときの、両素子からの信号波形の例を示した図である（図は説明を簡単にするために、受光のタイミングを揃えている）。波形６５が受光素子１５ａからの信号波形を示し、波形６６が受光素子１５ｂからの信号波形を示す。受光素子１５ｂの波形振幅は混濁のため小さい。このアナログ波形は２値化処理によりあるスレッシュレベル６７で矩形波の波形に整形されるが、振幅が変化すると、矩形波形に整形したときの基準時間ｔ０　からのそれぞれの立上がり時間ｔａ１、ｔｂ１には、Δｔの時間差が生じてしまう。したがって、各受光素子間に光量差があるときには、Δｔの時間差は屈折力に変換したときの誤差となってしまう。

【００２４】

そこで、各受光素子間に光量差がある場合を考慮し、測定する経方向の中心（角膜中心）及びその中心に対する屈折力は、それぞれ整形された矩形波形のパルス幅の半分の時間をとるようにする。こうすると、各受光素子位置における振幅差の影響を排除することができる。すなわち、図５において、基準時間ｔ０　からのｔａ１及びｔａ２、ｔｂ１及びｔｂ２の時間を計測し、その中心までの時間ｔａ３又はｔｂ３を求めれば良い。ｔａ３及びｔｂ３はそれぞれ、

ｔａ３＝ｔａ１＋ｔａ２／２
ｔｂ３＝ｔｂ１＋ｔｂ２／２
となる。このことは、各受光素子に対応する２値化処理のときのスレッシュレベルが各々異なっても正確な時間を求めることができることを意味している。

【００２５】

このような時間の検出方法を具体的に各受光素子について示したものが図６である。（イ）は基準となる計測パルスのデジタル波形を示し、この場合は受光素子１５ａ～１５ｄの内、２値化処理後のパルス波形の最初の立上がり時のタイミングを基準にとるようにしている。（ロ）～（ホ）はそれ４つの受光素子１５ａ～１５ｄから得られるデジタル波形を示し、t_{A3}，t_{B3}，t_{C3}，t_{D3}がそれぞれ基準時間（計測パルスの立上がりエッジ）からのパルス幅の中心までの時間を示すものである。したがって、受光素子１５ａ，１５ｂの方向を測定経線方向としたとき、その中心（角膜中心）は、（t_{C3}＋t_{D3}）／２で求められ、求められた中心までの受光素子１５ａの位置での時間差T_A　、及び中心から受光素子１５ｂの位置での時間差T_B　は、

T_A　＝（t_{C3}＋t_{D3}）／２－t_{A3}
T_B　＝t_{B3}－（t_{C3}＋t_{D3}）／２
で求められる。そして、この時間差をその経線方向の中心に対する屈折力に対応させることができる。

【００２６】

同様に、受光素子１５ｃ，１５ｄの方向を測定経線方向としたとき、その中心（角膜中心）は受光素子１５ａ，１５ｂからのデジタル波形に基づいて求められ、その中心に対する受光素子１５ｃ及び１５ｄの位置でのそれぞれの時間差も求められる。

【００２７】

次に、装置の動作を図７の信号処理系の概略ブロック図を使用して説明する。検者は照明光源３６に照明された被検眼Ｅの前眼部像をＴＶモニタ３９により観察しながら装置を上下左右及び前後に移動してアライメントを行う（アライメントは位置合わせ用の指標を角膜に投影し、その角膜反射輝点とレチクルとが所定の関係になるようにする周知のものが使用できる）。アライメントが完了したら、図示なき測定開始スイッチによりトリガ信号を発生させて測定を開始する。

【００２８】

測定が開始すると、スリット投影光学系１からはスリット開口４ａ又は４ｂにより制限されたスリット光束が瞳孔を介して眼内に入射し、眼底上を走査して投影される。眼底で反射され瞳孔を通過したスリット像の光束は、スリット像検出光学系１０の受光レンズ１１により集光され、絞り１３を介して受光部１４上に届く。ここで、被検眼Ｅが正視眼であれば眼内に光束が入射したと同時に受光部１４上の受光素子１５ａ～１５ｄに光電圧が発生するが、屈折異常があれば眼底で反射されたスリット像の光が受光部１４上を横切るように移動する。

【００２９】

受光部１４上でのスリット像の光の移動に伴い、各受光素子１５ａ～１５ｄからはそれぞれ光電圧が出力される（光電圧に時間差を生ずる）。出力された各光電圧はそれぞれ４個の増幅器４０ａ～４０ｄに入力されて増幅され、さらに４個のレベルシフト回路４１ａ～４１ｄでそれぞれ電圧レベルのシフト処理がされた後、２値化回路４２ａ～４２ｄにより所定のスレッシュレベルでの２値化したデジタル信号に変えられる。その後、各デジタル信号は各々カウンタ回路４６ａ～４６ｄとＯＲ回路４３に入力される。ＯＲ回路４３は２値化回路４２ａ～４２ｄの中の最初の立上がりエッジを計測パルスの立上がりとするためであり、次に続くフリップフロップ４４に入力される。フリップフロップ４４は計測の開始となる基準時間（立上がりエッジ）を含み、全ての受光素子からのパルスを計測し終えた後に制御回路５０から出力されるＲｓｅｔ信号を受けるまでの間の計測時間を意味する計測パルス信号をカウンタ回路４６ａ～４６ｄへ出力する。

【００３０】

各カウンタ回路４６ａ～４６ｄは２値化回路４２ａ～４２ｄで２値化されたパルス信号とフリップフロップ４４からの計測パルス信号が入力されると、計測パルス信号の立上りエッジ（＝基準時間）に対するそれぞれのパルス信号の立上りまでの時間及びそれぞれのパルス幅の時間をカウントして保持する。これを図６の例にとって説明すると、基準時間ｔ０　に対するそれぞれのパルス信号入力までの時間は、それぞれの受光素子に対して、t_{A1}（図６では$t_{A1}=0$）、t_{B1}、t_{C1}、t_{D1}である。また、パルス幅の時間は、それぞれt_{A2}、t_{B2}、t_{C2}、t_{D2}である。

【００３１】

各カウンタ回路が保持した時間は、制御回路５０からの呼び出し指令信号（ＣＳａ　～ＣＳｄ　）により出力され、データバス４７を介して制御回路５０に入力される。制御回路５０は、各カウンタ回路４６ａ～４６ｄからの各受光素子における基準時間に対するそれぞれのパルス信号の立上りまでの時間（t_{A1}、t_{B1}、t_{C1}、t_{D1}）、パルス幅の時間（t_{A2}、t_{B2}、t_{C2}、t_{D2}）、及びセンサ２０によるスリット投影の種類の判別信号に基づき、前述した方法により測定経線方向（スリット光束の走査方向）の角膜中心の時間を求めた後、測定経線方向に位置する１対の受光素子各々の角膜中心に対する時間差（位相差）を得る。

【００３２】

こうして時間差が得られたら、これを屈折力に換算する。位相差法により検出される時間差と屈折力との間には、図８のような関係がある。この関係は、例えば、予め屈折力値が既知である模型眼を使用することによってサンプリングし、その位相差データを記憶させておくことにより時間差に対応した屈折力値を得ることができる。

【００３３】

また、従来と同様のＳ（球面度数）、Ｃ（乱視度数）、Ａ（乱視軸角度）の３個のパラメータは次のようにして得る。スリット開口４ａによるスリット光束が走査されたときの１対の受光素子１５ａ、１５ｂの出力信号の位相差から得られる値をＤ１　、他方の対の受光素子１５ｃ，１５ｄの出力信号の位相差から得られる値をＤ２　とし、同様に、スリット開口４ｂによるスリット光束が走査されたときの１対の受光素子１５ａ、１５ｂの出力信号の位相差から得られる値をＤ３　、他方の対の受光素子１５ｃ，１５ｄの出力信号の位相差から得られる値をＤ４　とすると、

$D1 = S + C\cos^2\theta$

$D2 = (C/2)\sin 2\theta$

$D3 = -(C/2)\sin 2\theta$

$D4 = S + C\sin^2\theta$

の関係式が成り立つので、これらの関係式を演算処理することにより、Ｓ、Ｃ、Ａ（＝θ）の各値を得る。

【００３４】

以上のようにして得られた測定結果を表示部５１に表示する。このとき角膜中心に対する測定経線方向の屈折力に所定量の差があるときは、不正乱視がある旨を表示する。また、その差の程度及び測定経線の方向を表示するようにしても良い。

【００３５】

さらに、測定結果をプリンタ５２から印字出力するときは、図９のように、Ｓ、Ｃ、Ａの値のほか、測定経線方向（実施例では、４５度方向と１３５度方向）ごとに中心に対する各測定受光素子位置での屈折力差７０を表示する。また、その差が所定の値以上（例えば、ΔＤ＞０．５　ディオプタ）であれば、不正乱視がある旨及びコンタクトレンズの処方をしたほうが良い旨のメッセージ表示７１を表示する。このような表示により、その後に続く最終処方のための検眼において、装置から得られるＳ、Ｃ，Ａの値を慎重に再確認する等の注意を検者に対して喚起することができる。

【００３６】

以上の実施例では、２対の受光素子による２経線方向の測定について説明したが、さらに測定精度を上げるために、スリット光束の走査方向及び受光素子の配置の数を増やしても

良い。例えば、３経線方向の測定を行う場合、回転セクター４には回転方向に対して３０度、９０度、－３０度の３種類の傾斜角度を持つスリット開口８０ａ，８０ｂ，８０ｃを設ける（図１０参照）。一方、受光部１４上には３種類のスリット開口の方向に対応させるように、６０度ごとに光軸を対称にそれぞれ受光素子８１ａ，８１ｂの対、受光素子８１ｃ，８１ｄの対、受光素子８１ｅ，８１ｆの対を設ける（図１１参照）。この場合、スリット開口の方向（被検眼眼底上でのスリット光束の走査方向）が受光素子８１ａ，８１ｂ方向に対応しているときには、この方向を除く一対の受光素子８１ｃ，８１ｄ、又は一対の受光素子８１ｅ，８１ｆを光が横切るときの位相差（あるいは両者の平均位相差としても良い）から、前述の方法によりスリット光束の走査方向の中心を求めることができ、その中心に対する各経線方向の受光素子に対応した角膜位置での屈折力を得ることができる。

【００３７】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、角膜中心に対する経線方向の角膜部位における屈折力を得ることができる。したがって、不正乱視の有無を容易に発見でき、その後の眼鏡処方等のための検眼において検者に注意を喚起することができる。

【図面の簡単な説明】

【図１】実施例の装置の光学系概略配置を示す図である。

【図２】回転セクターの側面に設けられるスリット開口の展開図である。

【図３】受光部が有する４個の受光素子の配置を示す図である。

【図４】基準時間ｔ０　に対する４個の受光素子のからの信号出力波形の例を示した図である。

【図５】受光素子１５ａに対応する角膜部位に対して受光素子１５ｂに対応する角膜部位の混濁が大であったときの、両素子からの信号波形の例を示した図である。

【図６】本発明の２値化処理の検出方法を各受光素子について示した図である。

【図７】実施例の装置の信号処理系の概略ブロック図である。

【図８】位相差法により検出される時間差と屈折力との関係を示す図である。

【図９】実施例の装置による印字出力例を示す図である。

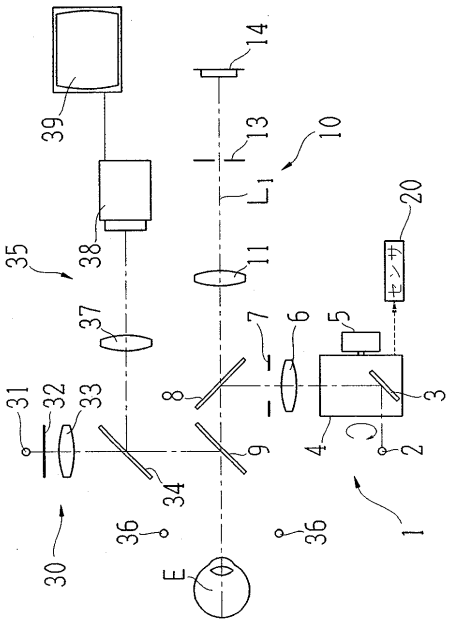
【図１０】３経線方向の測定を行う場合の回転セクターの側面に設けるスリット開口の配置例を示す図である。

【図１１】３経線方向の測定を行う場合の受光素子の配置例を示す図である。

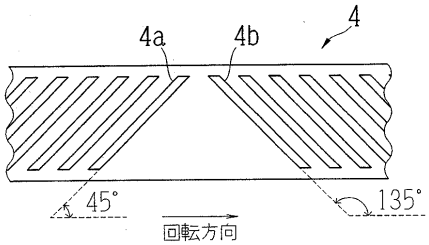
【符号の説明】

１　スリット投影光学系
４ａ，４ｂ　スリット開口
１０　スリット検出光学系
１５ａ～１５ｄ　受光素子
４６ａ～４６ｄ　カウンタ回路
５０　制御回路

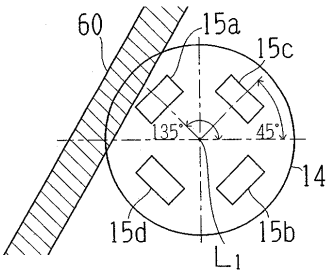
【図１】


14
39
13
10
L_1
20
センサ
35
38
11
37
7
6
5
31
32
33
8
3
9
4
2
34
36
36
1
30
E

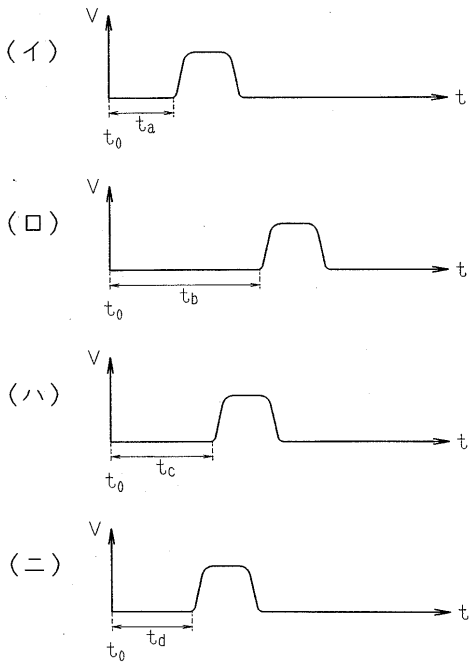
【図２】


4
4a
4b
45°
135°
回転方向

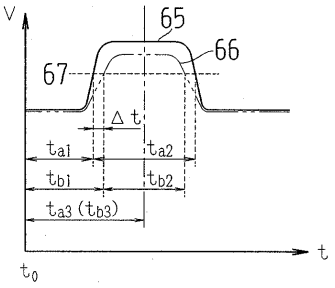
【図３】


60
15a
15c
135°
45°
14
15d
15b
L_1

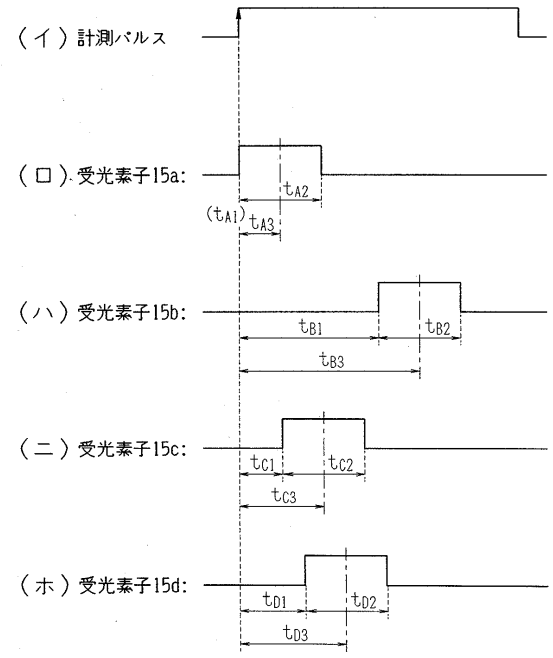
【図４】


(イ)
V
t
t_0
t_a
(ロ)
V
t
t_0
t_b
(ハ)
V
t
t_0
t_c
(ニ)
V
t
t_0
t_d

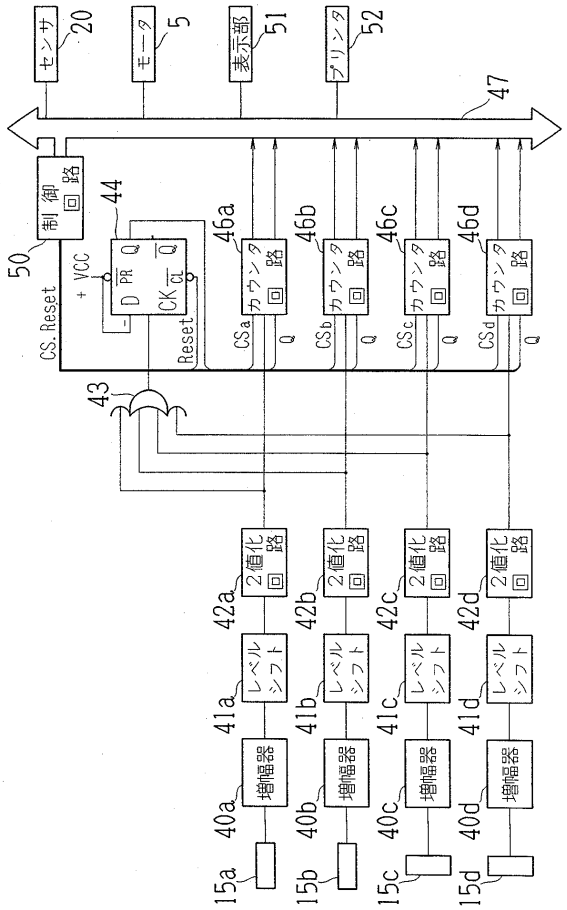
【図５】


V
65
66
67
Δt
t_{a1}
t_{a2}
t_{b1}
t_{b2}
t_{a3} (t_{b3})
t
t_0

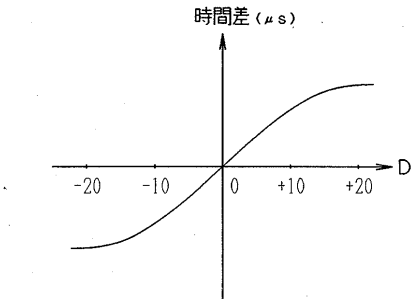
【図６】



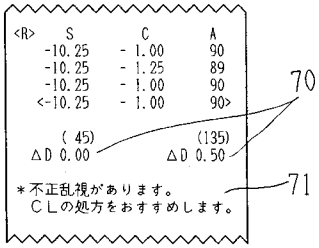
【図７】



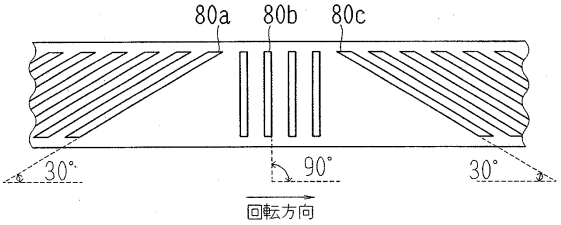
【図８】



【図９】



【図１０】



【図１１】

