

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4162450号
(P4162450)

(45) 発行日 平成20年10月8日(2008.10.8)

(24) 登録日 平成20年8月1日(2008.8.1)

(51) Int.Cl.

F 1

A 6 1 F 9/007 (2006.01)

A 6 1 F 9/00 5 1 2

A 6 1 F 9/00 5 0 5

請求項の数 2 (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2002-250494 (P2002-250494)
 (22) 出願日 平成14年8月29日(2002.8.29)
 (65) 公開番号 特開2004-89215 (P2004-89215A)
 (43) 公開日 平成16年3月25日(2004.3.25)
 審査請求日 平成17年7月22日(2005.7.22)

(73) 特許権者 000135184
 株式会社ニデック
 愛知県蒲郡市拾石町前浜34番地14
 (72) 発明者 杉浦 基弘
 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 川端 修

(56) 参考文献 国際公開第01/O28476 (WO,
 A1)
 特開平09-149914 (JP, A)

(58) 調査した分野(Int.Cl., DB名)
 A61F 9/007

(54) 【発明の名称】 角膜手術装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

レーザビームを角膜に照射するレーザ照射光学系を備え、切除データに基づくレーザビームの照射により角膜を切除する角膜手術装置において、術眼の切除データを決定するための要因となる眼特性測定データが得られた測定状態で撮像された術眼の第1前眼部像を入力する前眼部像入力手段と、手術状態に置かれた術眼の角膜切除領域外に付された回転検出用のマークを含む第2前眼部像を撮像する撮像手段と、該撮像手段により撮像された第2前眼部像を画像処理して前記マークを検出するマーク検出手段と、前記第1前眼部像と第2前眼部像とに共通する特徴点を検出し、該特徴点の検出結果に基づいて角膜切除前に発生した術眼の回転ズレを検出する第1回転ズレ検出手段と、該第1回転ズレ検出手段による術眼の回転ズレ情報及び前記マーク検出手段によるマークの位置に基づいて前記マークが位置すべき基準位置を設定するマーク基準位置設定手段と、前記撮像手段による角膜切除中の第2前眼部像から前記第1回転ズレ検出手段による特徴点を得て角膜切除中に発生した術眼の回転ズレを検出する第2回転ズレ検出手段と、前記マーク検出手段による角膜切除中のマークの検出結果と前記マーク基準位置設定手段により設定された基準位置との回転ズレに基づいて角膜切除中に発生した術眼の回転ズレを検出する第3回転ズレ検出手段と、を有し、両回転ズレの一つを選択的に切除中の回転補正のための回転ズレとする切除中回転ズレ検出手段と、を備えることを特徴とする角膜手術装置。

【請求項2】

請求項1の角膜手術装置において、前記切除中回転ズレ検出手段は、前記撮像手段によ

る角膜切除中の第2前眼部像から特徴点が得られるときは前記第2回転ズレ検出により得られた回転ズレを切除中の回転補正のための回転ズレとし、前記撮像手段による角膜切除中の第2前眼部像から特徴点が得られなくなったときは前記第3回転ズレ検出手段により得られた回転ズレを切除中の回転補正のための回転ズレとすることを特徴とする角膜手術装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、角膜を切除（アブレーション）することにより角膜表面形状を変える角膜手術装置に関する。

【0002】

【従来技術】

レーザビームの照射により角膜を切除（アブレーション）し、角膜表面形状を変化させることにより眼の屈折異常を矯正する角膜手術装置が知られている。この種の手術では、手術前の患者眼（術眼）の角膜形状や屈折力分布（あるいは波面収差の分布）等の特性を測定し、その測定データに基づいて角膜の切除データを算出することが行われている。

角膜の切除データを得るための測定時の体位は、通常、立位の状態（患者の顔を立てた状態）であるのに対し、角膜手術時の体位はベットに横臥位になった状態で行われる。立位の状態に対して横臥位の状態では眼球の回転（回旋）が発生することが知られている。このため、手術前の測定時と手術時とで変化する眼球の回転を、眼の虹彩像を利用して調整する光学システムが提案されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、レーザ照射途中、あるいは角膜上皮を層状に切開して角膜フラップを形成し、その後にレーザ照射するLASIK手術（Laser in Situ Keratomileusis）では、角膜表面が粗面となるために虹彩像の取得が難しくなる。この場合には、回転ズレの情報が得られなくなる。

【0004】

本発明は、上記従来技術に鑑み、レーザ照射途中や角膜を層状に切開した後にも、体位に違いによる眼球の回転ズレを得て、レーザビームによる角膜手術をより精度良く行える角膜手術装置を提供することを技術課題とする。

【0005】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、本発明は以下のような構成を備えることを特徴とする。

（1）レーザビームを角膜に照射するレーザ照射光学系を備え、切除データに基づくレーザビームの照射により角膜を切除する角膜手術装置において、術眼の切除データを決定するための要因となる眼特性測定データが得られた測定状態で撮像された術眼の第1前眼部像を入力する前眼部像入力手段と、手術状態に置かれた術眼の角膜切除領域外に付された回転検出用のマークを含む第2前眼部像を撮像する撮像手段と、該撮像手段により撮像された第2前眼部像を画像処理して前記マークを検出するマーク検出手段と、前記第1前眼部像と第2前眼部像とに共通する特徴点を検出し、該特徴点の検出結果に基づいて角膜切除前に発生した術眼の回転ズレを検出する第1回転ズレ検出手段と、該第1回転ズレ検出手段による術眼の回転ズレ情報及び前記マーク検出手段によるマークの位置に基づいて前記マークが位置すべき基準位置を設定するマーク基準位置設定手段と、前記撮像手段による角膜切除中の第2前眼部像から前記第1回転ズレ検出手段による特徴点を得て角膜切除中に発生した術眼の回転ズレを検出する第2回転ズレ検出手段と、前記マーク検出手段による角膜切除中のマークの検出結果と前記マーク基準位置設定手段により設定された基準位置との回転ズレに基づいて角膜切除中に発生した術眼の回転ズレを検出する第3回転ズレ検出手段と、を有し、両回転ズレの一つを選択的に切除中の回転補正のための回転ズレとする切除中回転ズレ検出手段と、を備えることを特徴とする。

10

20

30

40

50

(2) (1)の角膜手術装置において、前記切除中回転ズレ検出手段は、前記撮像手段による角膜切除中の第2前眼部像から特徴点が得られるときは前記第2回転ズレ検出により得られた回転ズレを切除中の回転補正のための回転ズレとし、前記撮像手段による角膜切除中の第2前眼部像から特徴点が得られなくなったときは前記第3回転ズレ検出手段により得られた回転ズレを切除中の回転補正のための回転ズレとすることを特徴とする。

【0006】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。図1は本発明に係る角膜手術装置システムの構成図である。1は角膜形状及び屈折力分布を測定する眼科測定装置、200はレーザビームを患者眼(術眼)に照射する角膜手術装置である。眼科測定装置1は角膜切除量を決定する要因となる角膜形状及び屈折力分布の測定データを得た後、その測定データに基づき切除量データを算出する。また、眼科測定装置1は測定時の患者眼の前眼部像を撮像する。切除量データ及び前眼部像の画像データは、角膜手術装置200のコンピュータ209に有線通信又は電子記録媒体を介して転送される。

【0007】

図1には眼科測定装置1の側面外観を示している。固定基台1aには被検者の頭部を固定するための頭部支持部2が固設されている。この頭部支持部2に患者の顔を垂直に立てた状態で測定が行われる。5は測定光学系やアライメント光学系等が収納された測定部である。測定部5を搭載する本体部3はジョイスティック4を前後左右に倒すことにより、固定基台1a上を前後左右に移動する。また、ジョイスティック4に設けられた回転ノブ4aを回転操作することにより、モータ等からなる上下方向駆動機構が作動し、測定部5は本体部3に対して上下に移動する。6はカラーのモニターであり、観察用の被検眼像やアライメント情報、測定結果等の検者への報知情報が表示される。

【0008】

図2は眼科測定装置1の測定系及び制御系の構成ブロック図を示す。眼科測定装置1は、患者眼の角膜に多数の円環状のプラチドリリングを投影する投影光学系10と、角膜に投影されたプラチドリリング像及び前眼部像を撮像するカメラ部11と、ハーフミラー12と、眼屈折力分布測定光学系13と、カメラ部11で撮像された画像を記憶するメモリ15を持つ解析部16と、通信手段18と、を備える。カメラ部11は、プラチドリリングを投影していない状態の前眼部像の撮像手段として兼用される。前眼部像の撮像時には、図示なき照明光源により患者眼の前眼部が照明される。

眼屈折力分布測定光学系13は、スリット光束を患者眼眼底に走査する光学系と、スリット光のスリット方向に対応した経線方向で患者眼角膜と略共役な位置に光軸を挟んで対称に配置される受光素子を複数対もつ検出光学系とを備える。

【0009】

解析部16は、メモリ15に記憶されたプラチドリリング像を処理して角膜曲率分布を求める機能と、眼屈折力分布測定光学系13の受光素子から出力された信号に基づいて経線方向で変化する患者眼の屈折力を演算する機能とを持つ。さらに、解析部16は、眼屈折力分布データと角膜曲率分布データとから、屈折矯正手術のためのアブレーション量データを求める。その方法は、眼屈折力分布のデータを角膜位置での屈折力に変換し、患者眼を正視とするに必要な屈折力を角膜屈折力の形式で表した値として求める。次に、この屈折力の分布データを、スネルの法則を用いて角膜曲率の分布データに変換し、その三次元形状データを求める。そして、手術領域のデータを与え、角膜形状測定により得られる術前角膜の三次元形状から、屈折力分布測定により得られた三次元形状を差引くことによりアブレーション量を算出する。このアブレーション量データは、球面成分(回転対称成分)、柱面成分(線対称成分)、非対称成分に分割して求められ、各アブレーション量は鳥瞰図等の3次元形状で図形表示される。

【0010】

この角膜形状測定と眼屈折力分布測定の構成、解析部16の解析方法の詳細については、本出願人による特開平11-342152号公報に記載されているので、これを参照されたい。解

10

20

30

40

50

析部 16 で求められたアブレーション量データ、有線又は無線（フレキシブルディスク等）で通信する通信手段 18 により、角膜手術装置 200 側に転送される。

【0011】

次に、角膜手術装置 200 の構成を説明する。図 3 は角膜手術装置 200 の外観略図、図 4 はレーザ照射光学系及び制御系の構成を示す図である。

手術装置本体 201 の内部に配置されたエキシマレーザ光源 210 からのレーザ光はミラー等の光学系を通り、アーム部 202 に導かれる。アーム部 202 は、図 3 における X 方向、Y 方向に移動可能である。アーム先端部 205 は Z 方向に移動可能である。各方向の移動はモータやスライド機構等からな駆動部 251, 252, 253 により行われる。206 はコントローラであり、ジョイスティックや各種スイッチが配置されている。209 は必要な手術条件の各種データ入力やレーザ照射制御データの演算、表示、記憶等を行うコンピュータである。275 は患者眼の観察画像を表示するカラーモニタである。290 は患者用のベットであり、患者は横臥位の状態で手術を受ける。患者眼は、アーム先端部 205 に取り付けられた顕微鏡部 203 の顕微鏡下に置かれる。また、ベット 290 はベット回転機構 291 により水平方向に回転可能である。

10

【0012】

図 4 において、レーザ光源 210 から水平方向に出射されたレーザビームは、ミラー 211、212 により反射され、平面ミラー 213 でさらに 90 度方向に反射される。平面ミラー 213 はミラー駆動部 214 により図における矢印方向に移動可能であり、レーザビームをガウシアン分布方向に平行移動して対象物を均一に切除できる。この点は、特開平 4 - 242644 号に詳細に記載されているので、詳しくはこれを参照されたい。

20

【0013】

215 はイメージローテータであり、イメージローテータ駆動部 216 により中心光軸を中心に回転駆動され、レーザビームを光軸周りに回転させる。217 はミラーである。

218 はアブレーション領域を円形に制限する可変円形アパーチャであり、アパーチャ駆動部 219 によりその開口径が変えられる。220 はアブレーション領域をスリット状に制限する可変のスリットアパーチャであり、アパーチャ駆動部 221 により開口幅とスリット開口の方向が変えられる。222、223 はビームの方向を変えるミラーである。224 は円形アパーチャ 218 およびスリットアパーチャ 220 を患者眼の角膜 E c 上に投影するための投影レンズである。

30

【0014】

また、スリットアパーチャ 220 とミラー 222 との間の光路には、複数個の円形小アパーチャを持つ分割アパーチャ板 260 が挿脱可能に配置されている。分割アパーチャ板 260 は分割シャッタ 265 との組み合わせにより、レーザビームの長手方向を選択的に分割するようになっている。分割アパーチャ板 260 が持つ円形小アパーチャを分割シャッタ 265 が持つシャッタ板によって選択的に開閉することにより、アブレーション領域をさらに制限してレーザ照射できる。分割アパーチャ板 260 及び分割シャッタ 265 は、駆動部 268 により、レーザ光軸の垂直な平面内で平行移動及びレーザ光軸の中心軸（基準軸）を中心に回転可能となっている。

40

【0015】

225 は 193 nm のエキシマレーザビームを反射して可視光及び赤外光を通過する特性を持つダイクロイックミラーであり、投影レンズ 224 を経たレーザビームはダイクロイックミラー 225 により 90° 偏向されて角膜 E c へと導光される。

ダイクロイックミラー 225 の上方には固視灯 226、対物レンズ 227、赤外光を反射し可視光を透過するダイクロイックミラー 230、顕微鏡部 203 が配置される。術眼は可視光源 247 により照明され、術者は顕微鏡部 203 により術眼を観察する。ダイクロイックミラー 230 の反射側の光路には、結像レンズ 231、赤外透過フィルタ 235、CCD カメラ 233 が順次配置されている。CCD カメラ 233 は赤外光源 246 に照明された前眼部を撮像する。CCD カメラ 233 の出力は、画像処理部 243 に接続されて

50

いる。画像処理部 243 は、前眼部の画像を処置して瞳孔位置を検出する。また、画像処理部 243 は、虹彩像、事前に患者眼に付されたマーク等を検出する。L はレーザ照射の基準軸を示す。

【0016】

また、ダイクロイックミラー 230 の上の位置で、かつ顕微鏡部 203 の双目光路の間（対物レンズ 227 の光軸上）の位置には、ミラー 270 が配置されており、ミラー 270 の反射側光路には結像レンズ 271、可視撮影用の CCD カメラ 273 が配置されている。カメラ 273 は可視光源 247 に照明された前眼部像を撮像する。カメラ 273 の出力は画像制御部 274 に接続され、画像制御部 274 にはカラーモニタ 275 が接続されている。カラーモニタ 275 には前眼部像が映し出される。

10

250 はレーザ光源や各駆動部を制御する制御部である。制御部 250 には、コンピュータ 209、画像処理部 243、コントローラ 206、フットスイッチ 208 等が接続されている。

【0017】

このレーザ照射装置 200 におけるアブレーションについて簡単に説明する。近視矯正用の球面成分を取り除くようにアブレーションする場合は次のようにする。円形アパーチャ 218 によりレーザビームを制限し、平面ミラー 213 を順次移動してレーザビームをガウシアン分布方向に移動する。そして、レーザビームが 1 面を移動し終わる（1 スキャンする）ごとに、イメージローテータ 215 の回転によりレーザビームの移動方向を変更し、円形アパーチャ 218 により制限された領域をアブレーションする。これを円形アパーチャ 218 の開口領域の大きさを順次変えるごとに行うことにより、角膜の中央部を深く、周辺部を浅くした球面成分のアブレーションが行える。

20

【0018】

柱面成分を取り除くべくアブレーションする場合、円形アパーチャ 218 の開口領域の大きさをオブチカルゾーンに合わせて固定し、スリットアパーチャ 220 の開口幅を変えていく。また、スリットアパーチャ 220 はそのスリット開口幅が、切除データの強主経線方向に変化するように駆動部 221 によりスリット開口の方向を調整しておく。レーザビームの照射は、前述の球面成分のアブレーションと同様に、平面ミラー 213 の移動によりレーザビームをスキャンさせ、スリットアパーチャ 220 により制限された領域を略均一にアブレーションする。そして、スリットアパーチャ 220 の開口幅を順次変えながら、これを繰り返すことにより、柱面成分のアブレーションが行える。

30

【0019】

非対称成分を取り除くべく部分的なアブレーションをするときは、分割アパーチャ板 260 を使用する。分割アパーチャ板 260 を光路に配置し、分割アパーチャ板 260 が持つ円形小アパーチャ 261 の位置を制御すると共に、分割シャッタ 265 の駆動により円形小アパーチャ 261 を選択的に開放・遮蔽する。平面ミラー 213 の移動によりレーザビームをスキャンさせることにより、開放された円形小アパーチャ 261 を通過する小領域のレーザビームが部分的に照射される。

【0020】

図 5 は、眼球の回転ズレを検出するためのマークを患者眼に施すマーキングユニットの例を説明する図であり、図 5 (a) はマーキングユニット 100 の側面図、図 5 (b) は図 5 (a) のマーキングユニット 100 を下から見た図である。把持部 101 の先端の支基 103 には、マーキング部材 105 が取り付けられている。マーキング部材 105 の下方視の形状は、例えば、直径 1 mm ほどの円形状とされている。マーキング部材 105 はやや柔らかいフェルトからなり、このマーキング部材 105 に、赤色や黒色素のインクを染み込ませておく。こうしたマークを眼球の強膜に施せば、可視観察が容易になると。また、赤外撮影の際にも強膜部分とマーク部分が区別され、マーク像の検出が可能となる。患者眼には、方向性が特定できるようにマークを付す。

40

【0021】

次に、以上のような構成を持つシステムの動作を説明する。まず、眼科測定装置 1 により

50

、角膜形状である角膜曲率分布及び屈折力分布を測定する。角膜曲率分布及び屈折力分布は、眼の水平方向を軸角度の基準としたデータとして得られる。測定に際しては、患者眼の両眼が水平状態となるように、患者の頭部を頭部支持部 2 により固定する。患者の顔は立位の状態とされる。解析部 1 6 は、角膜曲率分布及び屈折力分布に基づいて切除量データを得る。この切除量データも眼の水平方向を軸角度の基準としたデータとして得られる。また、測定状態にある患者眼の前眼部像をカメラ部 1 1 により撮像すると、その画像データがメモリ 1 5 に記憶される。切除量データ及び前眼部の画像データを角膜手術装置 2 0 0 側に転送する。切除量データ及び前眼部の画像データは、コンピュータ 2 0 9 により受信される。

【 0 0 2 2 】

次に、患者眼の角膜を切除量データに基づいて角膜手術装置 2 0 0 により切除する。レーザ照射の手術前には、マーキングユニット 1 0 0 を使用して患者眼の眼球に回転補正のためのマークを予め付す。ベット 2 0 9 に横臥位になった状態の患者に対してマークを施す場合、患者眼を顕微鏡部 2 0 3 により観察して行うことができる。マークは、切除領域を挟んだ位置で、角膜輪部のやや外側の強膜に 2 個以上付すことが好ましい。図 6 はその例であり、2 つのマーク 1 2 0 a、1 2 0 b が角膜輪部の外側に付されている。この 2 つのマーク 1 2 0 a、1 2 0 b を結ぶ線分 L m が、マーク検出時の回転補正に用いる軸方向とされる。なお、2 つのマーク 1 2 0 a、1 2 0 b は、必ずしも観察時の水平方向に並べる必要はなく、線分 L m の軸方向が分かれば良い。また、マークを付すときは、スリットランプの観察により、測定時と同様に、患者の顔が立位の状態であっても良い。

【 0 0 2 3 】

患者眼にマークを付した後、術者は顕微部 2 0 3 により術眼を観察し、顕微鏡部 2 0 3 内で観察されるレチクル中心と術眼の瞳孔中心とが一致するようにして、レーザ照射のためのアライメントを行う。このアライメントは自動で行うこともできる。患者眼の前眼部像は C C D カメラ 2 3 3 に撮像され、その画像信号は画像処理部 2 4 3 に入力される。画像処理部 2 4 3 は、瞳孔のエッジ位置を検出して瞳孔位置を得る。制御部 2 5 0 は、瞳孔位置の検出信号に基づき駆動部 2 5 1、2 5 2、2 5 3 を制御し、アーム部 2 0 2 を移動する（この詳細は、特開平 9 - 1 4 9 9 1 4 号を参照）。患者眼が動いたときも瞳孔位置の検出によりアーム部 2 0 2 を移動する追尾が実行される。

【 0 0 2 4 】

また、画像処理部 2 4 3 は、C C D カメラ 2 3 3 で撮像された手術状態の前眼部像と眼科測定装置 1 から入力された測定時の前眼部像とに基づいて、測定データの軸角度基準に対するマークの方向の関連情報を求め、手術時にマークが位置すべき基準位置（基準方向）を定める。

【 0 0 2 5 】

図 7 (a) は、眼科測定装置 1 から入力された測定時の前眼部像の例を示す。図 7 (b) は、C C D カメラ 2 3 3 で撮像された手術状態の前眼部像の例を示し、この前眼部像には患者眼に付されたマーク 1 2 0 a、1 2 0 b が含まれている。画像処理部 2 4 3 は、測定時の前眼部像 1 1 0 と現在の前眼部像 1 1 1 との間にて共通の特徴点を検出する。例えば、前眼部像 1 1 0 と前眼部像 1 1 1 との虹彩模様について、共通の特徴点 P 1 と P 2 が見つかったとする。前眼部像 1 1 0 についての特徴点 P 1 と P 2 を結ぶ線分 L 1、前眼部像 1 1 1 についての特徴点 P 1 と P 2 を結ぶ線分 L 2 を、それぞれ求める。次に、図 8 に示すように、両者の前眼部像の水平基準方向 H 0 を一致させ（測定データの軸角度基準とレーザ照射光学系の軸角度基準を一致させ）、線分 L 1 の方向と線分 L 2 の方向を比較することにより、測定時の前眼部像 1 1 0 に対してマーク 1 2 0 a、1 2 0 b が付された前眼部像 1 1 2 の回転ズレを求める。この回転ズレを求めるときは、虹彩像の共通の特徴点を多く抽出し、2 つの画像間の回転ズレを平均化して求めることが好ましい。

【 0 0 2 6 】

また、画像処理部 2 4 3 は、C C D カメラ 2 3 3 で撮像された前眼部像 1 1 1 からマーク 1 2 0 a と 1 2 0 b を検出し、2 つを結ぶ線分 L m の方向を求める。この線分 L m の方向

10

20

30

40

50

に対して、虹彩像から求めた回転ズレ 分をオフセットした線分 L_m の方向を求める。線分 L_m の方向は、水平基準方向 H_0 に対する角度 m として得られる。この角度 m は、測定時の軸角度基準に対するマーク 120 a、120 b の関連情報となる。同時に、CCDカメラ233で撮像される画像の水平基準を水平基準方向 H_0 に一致させることにより、手術時に検出されるマーク 120 a、120 b が位置すべき基準方向となる。画像処理部243は、これをメモリに記憶しておく。手術の進行中においては、基準の角度 m に対して検出されたマークの方向（線分 L_m ）の角度差として補正すべき回転ズレが求められる。なお、虹彩像が得られている間は、虹彩像の特徴点 P_1 、 P_2 の検出から現在の回転ズレを求め、虹彩像の検出ができなくなったときに、マーク 120 a、120 b の検出結果から回転ズレを求めることでも良い。

10

【0027】

上記ではマーク 120 a、120 b が付された前眼部像の画像データを、角膜手術装置200が持つCCDカメラ233を使用して得るようにしたが、これに限らない。例えば、眼科測定装置1やスリットランプに付加した撮像装置により、手術前にマーク 120 a、120 b を付した前眼部像を撮像し、その画像データをコンピュータ209に入力して使用できる。眼科測定装置1を使用する場合、測定時と同じようにアライメントした後、マーク 120 a、120 b を含む前眼部像をカメラ部11で撮像する。この画像データをコンピュータ209に転送する。コンピュータ209はマーク 120 a、120 b を検出し、水平基準軸に対するマークの方向 L_m を求める。この画像の前眼部像は、角膜形状や眼屈折力分布の測定時と同じ位置関係にあると見なすことができるので、検出されたマークの方向 L_m を、そのまま、マークの基準方向として扱うことができる。

20

【0028】

測定時の同じ状態の前眼部像が得られない場合は、先に説明した方法でマークと測定データの軸角度基準の関係を求めることができる。すなわち、眼科測定装置1等からの測定時の画像データから虹彩像の特徴点 P_1 、 P_2 を結ぶ線分 L_1 を求める。マークが付けられた術眼の前眼部像の画像データから、同じ特徴点 P_1 、 P_2 を結ぶ線分 L_2 を求めると共に、マーク 120 a と 120 b とを結ぶ線分 L_m を求める。これらから、測定データと術眼に付されたマークとの位置関係が分かる。

【0029】

また、特徴点 P_1 、 P_2 は、コンピュータ209（画像処理部243の場合も同様）が画像処理により抽出するのではなく、術者が特定する方法でも良い。例えば、コンピュータ209が持つモニタに、眼科測定装置1からの画像とマークが付けられた術眼の前眼部像の画像とを表示させ、マウス等の指示手段で両画像に共通する特徴点を特定する。

30

【0030】

また、眼科測定装置1やスリットランプに付加した撮像装置により、手術前にマーク 120 a、120 b を付した前眼部像を取得する場合は、外部のコンピュータで測定データと術眼に付されたマークとの位置関係を求める処理を行い、その結果のみを角膜手術装置200側のコンピュータ209に入力することにより、マークの基準位置を定めても良い。

【0031】

次に、マークの回転ズレの検出情報に基づく眼球の回転補正の方法を説明する。補正の方法としては、レーザ照射光学系に対して術者が患者の頭部を動かして補正する方法と、患者の頭部は固定したままレーザ照射位置を回転して補正する方法がある。

40

【0032】

まず、患者の頭部を動かして補正する方法を説明する。モニタ275の画面上には、図患者眼の前眼部像と共に、検出された回転ズレ の角度が数値で表示される。例えば、回転ズレが時計回りに生じている場合は、「+」の符号付き角度で表示され、反時計回りに回転ズレが生じている場合は、「-」の符号付き角度で表示される。術者は、その表示が0になるように、患者の頭部を動かして眼球を回転して補正する。なお、術者が患者眼を顕微鏡部203で観察して行うときは、モニタ275に表示される回転ズレの角度情報を、アシスタント等が術者に口頭で伝達することにより対応できる。あるいは、顕微鏡部2

50

03の観察光学系に回転ズレ情報を表示する表示器の光束を導き、観察像と表示器の光束を合成するヘッドアップディスプレイの構成としても良い。こうすれば、術者自身が顕微鏡部203から目を離さずに、回転ズレ情報を知ることができる。アライメント及び回転ズレの補正が完了したら、フットスイッチ208を押してレーザ光を患者眼に照射する。

【0033】

レーザ照射途中に眼の回転が生じた場合、既にレーザ照射が施されているので、虹彩像の検出が難くなる。この場合には、レーザ照射領域外に付けられたマーク120aと120bを基にして回転ズレが検出される。回転ズレの補正が必要となった場合、制御部250はレーザ光の照射を中断する。モニタ275等には、回転ズレの情報が表示されるので、術者は再びその情報に従って患者眼の頭部を移動して回転ズレを補正する。補正完了後、レーザ照射を再開する。なお、患者の頭部の回転移動は、制御部250の制御により、ベット回転機構291を作動させてベット290を回転させて行うこともできる。

10

【0034】

次に、レーザ照射光学系によるレーザ照射位置を回転させて、回転ズレを補正する場合について説明する。画像処理部243により得られた回転ズレの情報は、制御部250に送られる。柱面成分のアブレーションでは、制御部250はスリットアパーチャ220の軸方向（スリット開口の方向）をその回転ズレ分だけ補正するように回転することにより、レーザビームの照射位置を基準軸に対して回転する。非対称成分のアブレーションでは、分割アパーチャ板260を基準軸に対して回転ズレ分だけ回転する。

20

【0035】

また、レーザ照射途中に眼の回転が生じた場合、制御部250は画像処理部243により検出される回転ズレの情報に基づいてスリットアパーチャ220や分割アパーチャ板260を回転して、レーザ照射位置を眼の回転に追尾させる。画像処理部243は、マーク120aと120bを基に回転ズレを検出する。回転ズレ量が追尾の許容範囲を超えていれば、制御部250はレーザ照射を一旦停止し、回転ズレの補正ができたときにレーザ照射を再開する。なお、眼の位置ズレについてのレーザ照射位置の追尾についても、瞳孔位置が検出しずらなくなったときは、マーク120aと120bを基に位置ズレを検出し、これに基づいてアーム部202に移動することもできる。

【0036】

上記のように患者眼に予め付したマーク像を利用する方法は、LASIK手術においても適用できる。LASIK手術では、マイクロケラトームと称する角膜切開装置により、角膜の一端を残して角膜上皮を層状に切開して角膜フラップを作り、この角膜フラップを開いた後の角膜実質にレーザ照射する。角膜フラップを開くとその切開面は粗面となるので、レーザ照射途中と同様に虹彩像の検出が難しくなる。したがって、角膜フラップを作成する前の前眼部像から虹彩像とマーク120a、120bを検出し、図8のように、角膜手術装置のレーザ照射光学系に対して、測定状態の体位に患者眼が置かれたときにマーク120a、120bが位置べき方向の関係を記憶しておく。その後、角膜切開装置により角膜を層状に切開する。その後の回転ズレの検出は、マーク120a、120bに基づいて行う。

30

【0037】

以上の実施形態ではCCDカメラ233により撮像される赤外の前眼部像からマーク120aと120bを検出するものとしたが、可視撮影用のCCDカメラ273により撮像される前眼部像から検出しても良い。この場合、CCDカメラ233とCCDカメラ273とで得られる画像の撮像中心と水平基準を合わせておけば、両者の画像を等価に扱える。虹彩像は、眼科測定装置1の画像に合わせるために、CCDカメラ233により撮像される赤外の前眼部像から検出する。

40

【0038】

また、以上の実施形態ではマーク120aと120bを眼球の強膜に付す例を説明したが、これに限らない。例えば、手術時に水分吸収用のリング状シート（レーザ照射領域より広い円形の開口を持つシート）を眼球に被せたままレーザ照射する手術方式がある。この

50

リング状シートの使用により強膜にマークを付すことができない場合は、そのリング状シートにマーク 120a と 120b を付せば良い。眼球に被せたリング状シートも眼の回転に合わせて回転するので、前述と同様にマークに基づいて回転ズレを得ることができる。眼球の前眼部に付すマークは、リング状シートに付す場合も含むものである。

【0039】

また、以上の実施形態では、測定時の状態におかれた前眼部像と手術状態に置かれた前眼部の共通の特徴点を虹彩の模様から抽出するものとしたが、これに限らない。例えば、瞳孔縁の形状に特徴点があれば、これを利用することができる。

【0040】

また、レーザ照射光学系は、0.1～1.0mm程の小スポットに形成されたレーザビームを、XYの2次元方向にスキャニングするスキャニングミラー（2つのガルバノミラーで構成できる）を用いた光学系でも良い。このタイプの光学系によりレーザ照射位置を回転させて回転ズレを補正する場合、スキャニングミラーの制御データの角度基準軸（XY軸）を、マークにより検出された回転ズレ分だけ回転させてやれば良い。

【0041】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、レーザ照射途中や角膜を層状に切開した後にも、体位の違いによる眼球の回転ズレを得ることができる。その回転ズレ情報に基づいて眼球の回転ズレを補正することにより、レーザビームによる角膜手術をより精度良く行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る角膜手術装置システムの構成図である。

【図2】眼科測定装置の測定系及び制御系の構成ブロック図である。

【図3】角膜手術装置の外観略図である。

【図4】角膜手術装置200のレーザ照射光学系及び制御系の構成を示す図である。

【図5】眼球の回転ズレを検出するためのマークを患者眼に施すマーキングユニットの例を説明する図である。

【図6】患者眼の前眼部に付けたマークの例を示す図である。

【図7】眼科測定装置から入力された測定時の前眼部像の例と、角膜手術装置のカメラで撮像された手術状態の前眼部像の例を示す図である。

【図8】マークの基準位置の設定方法を説明する図である。

【符号の説明】

- 1 眼科測定装置
- 11 カメラ部
- 100 マーキングユニット
- 120a, 120b マーク
- 200 角膜手術装置
- 209 コンピュータ
- 210 レーザ光源
- 218 可変円形アパーチャ
- 220 スリットアパーチャ
- 233 CCDカメラ
- 243 画像処理部
- 290 ベット

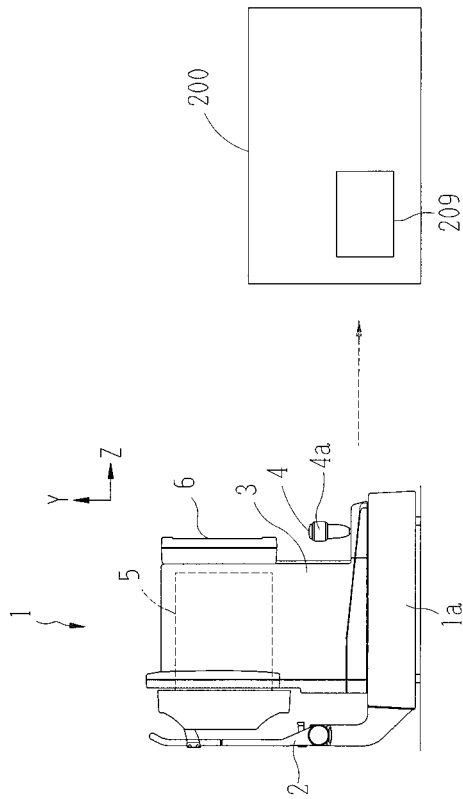
10

20

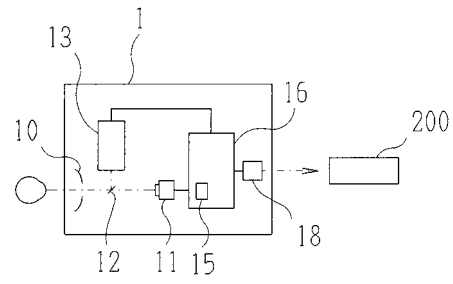
30

40

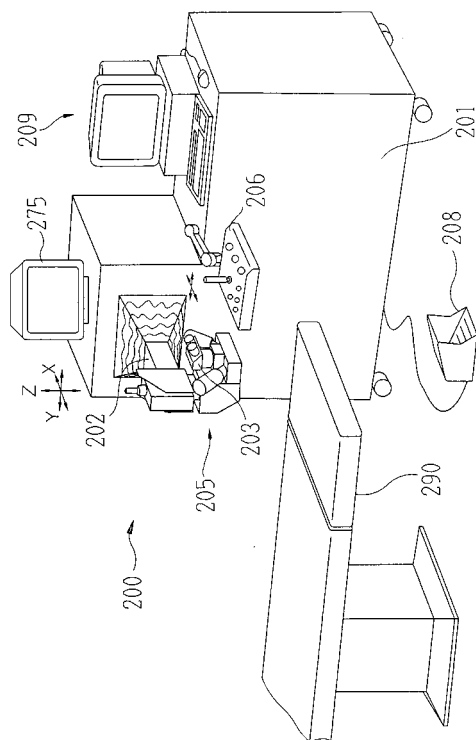
【図 1】



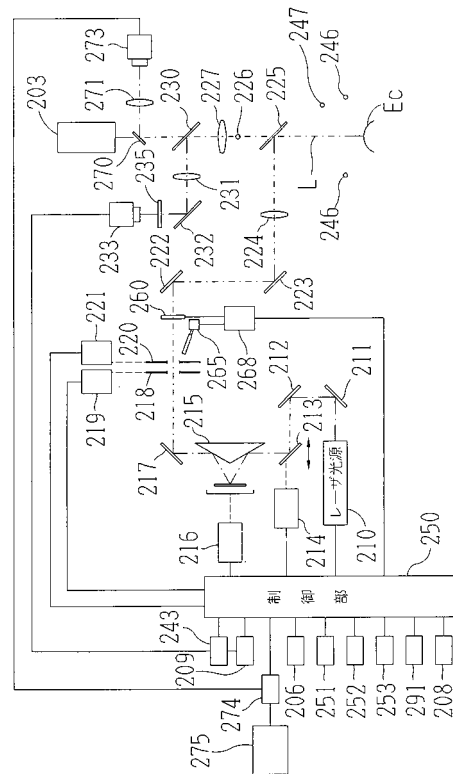
【図 2】



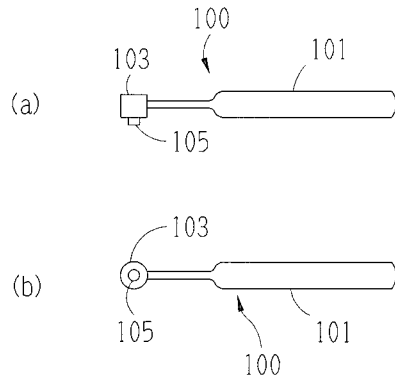
【図 3】



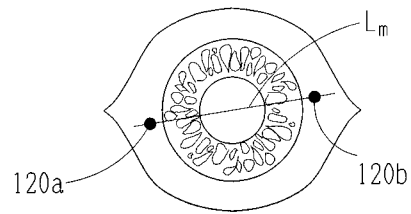
【図 4】



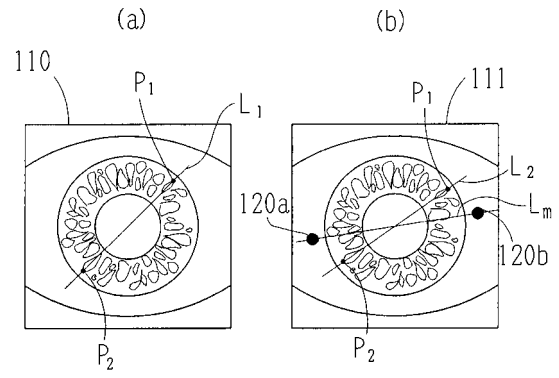
【図 5】



【図 6】



【図 7】



【図 8】

