

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4003918号  
(P4003918)

(45) 発行日 平成19年11月7日(2007.11.7)

(24) 登録日 平成19年8月31日(2007.8.31)

(51) Int. Cl.

F I

A 6 1 F 9/00 (2006.01)

A 6 1 F 9/00 5 O 1

A 6 1 B 18/20 (2006.01)

A 6 1 B 17/36 3 5 O

A 6 1 N 5/06 (2006.01)

A 6 1 F 9/00 5 O 7

A 6 1 N 5/06 E

請求項の数 1 (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2000-327027 (P2000-327027)  
 (22) 出願日 平成12年10月20日(2000.10.20)  
 (65) 公開番号 特開2002-125996 (P2002-125996A)  
 (43) 公開日 平成14年5月8日(2002.5.8)  
 審査請求日 平成16年7月23日(2004.7.23)

前置審査

(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 3 4 番地 1 4  
 (72) 発明者 近藤 直幸  
 愛知県蒲郡市拾石町前浜 3 4 番地 1 4 株  
 式会社ニデック拾石工場内  
 (72) 発明者 小嶋 和伸  
 愛知県蒲郡市拾石町前浜 3 4 番地 1 4 株  
 式会社ニデック拾石工場内  
 (72) 発明者 今泉 智  
 愛知県蒲郡市拾石町前浜 3 4 番地 1 4 株  
 式会社ニデック拾石工場内

審査官 小原 深美子

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 角膜手術装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

角膜の切除データを入力するデータ入力手段と、レーザ光源からのレーザビームを角膜へ導光して照射するための照射光学系とを備え、レーザビームを角膜へ照射して角膜表面を切除データに基づいて所期する形状にアブレーションする角膜手術装置において、レーザ光源からのレーザビームの断面領域を小領域に制限する円形小アパーチャと、該円形小アパーチャを通過する際の回折により変化されるレーザビームの強度分布を補正して中心部分に対して周辺部分の強度を小さくし強度分布を略凸状にする光学部材と、を持つ小アパーチャ光学系と、該小アパーチャ光学系を照射光軸に対して移動する移動手段と、入力された切除データに基づいて前記移動手段を制御して前記小アパーチャ光学系によるレーザビームを重ね合わせて照射して不正乱視成分を切除する制御手段と、を備え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、角膜表面を切除することによって眼の屈折矯正や角膜表面の病変部の除去を行うための角膜手術装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

レーザビームで角膜表面（角膜実質等）を切除（アブレーション）することによって眼の

屈折異常を矯正する P R K (Photorefractive Keratectomy) や角膜表面の病変部を除去する P T K (Phototherapeutic Keratectomy) において、所期する角膜領域を切除する方法としては、照射光軸に垂直なビーム断面が大円形（大スポット）のレ - ザビームを一括照射する方法（one shot方式）、ビーム断面が矩形のレ - ザビームを少なくとも 1 方向に走査して照射する方法（slit scan方式）、ビーム断面が小円形（小スポット）のレーザビームを二次元的に走査して照射する方法（spot scan方式）等がある。

【 0 0 0 3 】

また、不正乱視等の非対称形状の角膜を球面やトーリック面などの対称形状に矯正する場合には、one shot方式やslit scan方式では、特開平 9 - 2 6 6 9 2 5 号等にあるように、円形や矩形の小アパーチャ等によってビーム断面が円形や矩形の小領域に制限されたレーザビームを照射して角膜の非対称成分を切除する方法が提案されている。

10

【 0 0 0 4 】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、前述した方法では、レーザビームが小アパーチャ等を通過する際に回折が起こるため、レーザビームの強度分布（エネルギー分布）が中心部分に対して周辺部分が大きい略凹状となってしまう。そして、このような強度分布を持つレーザビームの照射を重ね合わせていくと、正確な切除結果を得ることができない惧れがある。

【 0 0 0 5 】

本発明は、上記従来技術の問題点に鑑み、角膜表面の部分的な切除を正確に行うことができる角膜手術装置を提供することを技術課題とする。

20

【 0 0 0 6 】

【課題を解決するための手段】

本発明は、上記課題を解決するために、次のような構成を有することを特徴とする。

【 0 0 0 7 】

（ 1 ） 角膜の切除データを入力するデータ入力手段と、レーザ光源からのレーザビームを角膜へ導光して照射するための照射光学系とを備え、レーザビームを角膜へ照射して角膜表面を切除データに基づいて所期する形状にアブレーションする角膜手術装置において、レーザ光源からのレーザビームの断面領域を小領域に制限する円形小アパーチャと、該円形小アパーチャを通過する際の回折により変化されるレーザビームの強度分布を補正して中心部分に対して周辺部分の強度を小さくし強度分布を略凸状にする光学部材と、を持つ小アパーチャ光学系と、該小アパーチャ光学系を照射光軸に対して移動する移動手段と、入力された切除データに基づいて前記移動手段を制御して前記小アパーチャ光学系によるレーザビームを重ね合わせて照射して不正乱視成分を切除する制御手段と、を備えることを特徴とする。

30

【 0 0 1 4 】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の一実施形態を図面に基づいて説明する。図 1 は本形態の角膜手術装置の光学系及び制御系の概略構成図である。

【 0 0 1 5 】

1 はレーザ光源であり、本形態では 1 9 3 n m の波長を持つパルス波のエキシマレーザビームを出射する光源を使用している。エキシマレーザビームの代表的な形状は、図 2 に示すように、照射光軸 L に対して垂直な断面の形状が細長い矩形となっている。また、レーザビームの強度分布（エネルギー分布）は、断面の長手方向（X 軸方向）がほぼ均一な分布 F（W）で、それに垂直な方向（Y 軸方向）はガウシアン分布 F（H）となっている。なお、光源 1 から出射されたレーザビームは、必要があれば、エキスパンドレンズ等のビーム整形手段によって所期する矩形状に整えられる。

40

【 0 0 1 6 】

光源 1 から出射されたレーザビームは、平面ミラー 2 によって反射されて偏向され、さらに平面ミラー 3 によって反射されて偏向される。ミラー 3 はミラー移動装置 4 によって光軸 L 上を矢印 A 方向に移動され、レーザビームをガウシアン分布方向に平行移動させる（

50

詳しくは特開平 4 - 2 4 2 6 4 4 号を参照されたい)。

【 0 0 1 7 】

イメージローテータ 5 は、イメージローテータ駆動装置 6 によって光軸 L を中心にして回転駆動され、ミラー 3 によって反射されたレーザービームを光軸 L 回りに回転させる (詳しくは特開平 6 - 1 1 4 0 8 3 号を参照されたい)。

【 0 0 1 8 】

円形アパーチャ板 7 は、角膜の切除領域を限定するために、円形アパーチャ板駆動装置 8 によって円形の開口領域 (開口径) が変化される。また、スリットアパーチャ板 9 も、角膜の切除領域を限定するために、スリットアパーチャ板駆動装置 10 によって矩形のスリット開口領域 (開口幅) が変化され、スリット開口の方向も光軸 L 回りに回転されて変化される。円形アパーチャ板 7 やスリットアパーチャ板 9 は、投影レンズ 15 によって患者眼 E の角膜 E c 上に投影され、制限した領域が角膜 E c 上に結像して切除領域を限定する。

10

【 0 0 1 9 】

分割アパーチャ板 11 は、シャッタ装置 13 との組合せにより、レーザービームの長手方向 (X 軸方向) を選択的に分割する。分割アパーチャ板 11 を光源 1 側から見ると、図 3 (a) に示すように、略同じ大きさ及び形状の円形小アパーチャ 110 が複数 (本形態では 6 個) 並んでいる。これら小アパーチャ 110 をシャッタ装置 13 の各シャッタ板 130 によって選択的に開閉することにより、細長い矩形のレーザービームの長手方向を選択的に分割して照射することができる。

20

【 0 0 2 0 】

各小アパーチャ 110 の角膜 E c 側には、図 3 (b) に示すように、小アパーチャ 110 を通過する際に起こる回折によるレーザービームの強度分布を補正するためのウインドウ部材 111 が取り付けられている。ウインドウ部材 111 は、小アパーチャ 110 側 (レーザー光源 1 側) が平面で角膜 E c 側が非球面の透明な光学部材であり (図 4 参照)、本形態では材質に合成溶融石英が使用されている。なお、図 3 (b) は図 3 (a) の S 方向から見た断面図である。

【 0 0 2 1 】

図 5 は、ウインドウ部材 111 が無い場合と有る場合でのレーザービームの強度分布の違いを説明する図である。ウインドウ部材 111 が無い場合は、小アパーチャ 110 を通過する際の回折により、中心部分に対して周辺部分の強度が大きくなり、強度分布が略凹状になる。一方、ウインドウ部材 111 が有る場合は、回折による強度分布を補正することにより、中心部分に対して周辺部分の強度を小さくし、強度分布を略凸状にすることができる (強度分布が略均一になるように角膜側の非球面を調整してもよい)。

30

【 0 0 2 2 】

なお、分割アパーチャ板 11 は分割アパーチャ板移動装置 12 により、シャッタ装置 13 はシャッタ駆動・移動装置 14 により、それぞれレーザービームの長手方向 (X 軸方向) 及びそれに垂直な方向 (Y 軸方向) に移動可能となっている。また、シャッタ駆動・移動装置 14 は、シャッタ装置 13 の各シャッタ板 130 の開閉のための駆動制御も行う。なお、シャッタ板 130 の開閉は、図のような回転による開閉の他、スライドさせて行うようにしてもよい。

40

【 0 0 2 3 】

16 は 193 nm のエキシマレーザービームを反射して可視光及び赤外光を透過する特性を持つダイクロイックミラーである。レンズ 15 を経たレーザービームは、ダイクロイックミラー 16 によって反射されて偏向され、角膜 E c へ導光される。17 は双眼の顕微鏡を持つ観察光学系であり、ダイクロイックミラー 16 の上方に位置する (観察光学系 17 については、本発明と関係がないので説明は省略する)。18 a は赤外光を反射して可視光を透過する特性を持つダイクロイックミラー、18 b は平面ミラー、19 は患者眼 E の位置を検出する眼位置検出光学系である (眼位置検出光学系 19 については、詳しくは特開平 9 - 1 4 9 9 1 4 号等を参照されたい)。

50

## 【0024】

20は装置全体を制御する制御装置であり、光源1、移動装置4、駆動装置6、駆動装置8、駆動装置10、移動装置12、駆動・移動装置14等を制御する。21は角膜の切除データ等を入力するためのデータ入力装置である。

## 【0025】

次に、以上のような構成を持つ装置における屈折矯正手術の際の動作について説明する。

## 【0026】

まず、屈折矯正手術用の切除データ（切除量データ）の算出方法について、図6及び図7に基づき、近視矯正の場合を例にとって説明する。切除データは、角膜形状測定による角膜曲率半径と等価正視角膜屈折力を変換した角膜曲率半径とから算出される（これらの求め方については、詳しくは特開平11-342152号を参照されたい）。

10

## 【0027】

角膜形状測定による角膜曲率半径からは、術前の角膜形状データが三次元形状として求められる。また、等価正視角膜屈折力を変換して得られる角膜曲率半径からは矯正目標の（術後の）角膜形状データが求められる。そこで、この両者の差から全体の切除データを算出する。すなわち、図6(a)に示すように、切除領域を示すオブチカルゾーン70の範囲における差の最大量  $h_1$  分だけ、術前の角膜形状データ75に対して矯正目標の角膜形状データ71を下方へシフトする（角膜形状データ71'）。この移動後の高さ分布データが全体の切除データ72となり、図6(b)に示すように高さ分布の三次元形状データ72'として得ることができる。なお、このときの切除データはスムージング処理を施

20

## 【0028】

なお、本形態のように等価正視角膜屈折力を使用しない場合は、角膜形状測定から求まる術前の角膜形状データから矯正屈折力（自覚測定等から得られる屈折力値に基づいて決定される）データから求まる術後に予定する角膜形状データを除くことにより、切除データを求めることができる。

## 【0029】

全体の切除データ72が得られたら、球面成分の切除データを算出する。例えば、全体の切除データ72の三次元形状データ72'に対し、その外側に接する球面形状76の最小曲率半径  $R_1$  を求める（図6(b)参照）。この最小曲率半径  $R_1$  を持つ球面形状76が三次元形状データ72'内に収まるように、 $h_2$  分だけ下方へ移動する（球面形状76'）。この移動後の高さ分布データが球面切除データ77として決定される。図7(a)は全体の切除データ72（三次元形状データ72'）から球面切除データ77を差し引いた残余切除データ73を示したものである。次に、これから柱面成分の切除データを算出する。

30

## 【0030】

柱面成分の切除データの算出に当たり、その軸角度方向Aを決定する。これは、全体の切除データ72の形状から各座標位置での角膜曲率半径の分布データを作成し、これから一番フラットな曲率の方向を求めることにより決定できる。図7(a)では軸角度方向Aを0°方向として描いている。

40

## 【0031】

次に、図7(a)に示す残余切除データ73の形状に対し、軸角度方向Aを基準にして内側に接する円柱形状78の最大曲率半径  $R_2$  を求める。この最大曲率半径  $R_2$  を持つ円柱形状78の高さ分布データが柱面切除データ79として決定される。図7(b)は、先の残余切除データ73から柱面切除データ79を差し引いた残りのものを示し、これが不正乱視成分（非対称成分）の切除データ74として決定される。

## 【0032】

以上、近視矯正の場合を例にとって説明したが、遠視矯正での球面成分、柱面成分の各切除データは、中央部に対して周辺部の切除量が多くなるような形状として、同様な考えで求めることができる。

50

## 【0033】

また、以上は対称成分と非対称成分との切除データ算出方法の一つの例であり、この他種々の方法でこれらを算出することができる。例えば、上記のように乱視軸角度方向Aが得られたら、全切除形状データを高さ方向に、例えば、2  $\mu$ m単位で分解した断層形状を求め、軸角度方向Aを考慮した内接円を各断層面に対し順次求めることで、球面、非球面成分を求めることができ、その切除データを求めることができる。全切除データから回転対称成分である球面、非球面成分や線対称成分である柱面成分の切除データを除いたものが、非対称成分の切除データとして算出できる。

## 【0034】

なお、オプティカルゾーン70の全領域について最大切除量が角膜切除の許容量を超えると  
10  
きは、許容量内に収まるようにオプティカルゾーン70の領域を狭くして、切除量を補正する。

## 【0035】

このように算出された球面成分（非球面）、柱面成分、不正乱視成分の各切除データは、  
入力装置21の入力により、制御装置20内のメモリに記憶される。また、上記データに  
対する患者眼Eの瞳孔中心位置も入力される。制御装置20は、入力された切除データに  
基づいて角膜Ecの各座標上のレーザ照射パルス数、照射パワーを決定し、これに従って  
レーザ照射を制御することによって屈折矯正手術を行う。

## 【0036】

入力装置21によって切除データ及び瞳孔中心位置が入力されると、次に、手術の基準位  
20  
置となる眼の原点位置を決めるため、患者眼Eの瞳孔中心を求める。瞳孔中心の求め方は、  
眼位置検出光学系19に備えられた図示なきCCDカメラで撮影された前眼部像に基づ  
き、瞳孔の略中心位置を通る水平線が瞳孔のエッジと交わる2点の中点を通り垂直方向に  
伸ばした線と、瞳孔の略中心位置を通る垂直線が瞳孔のエッジと交わる2点の中点を通り  
水平方向に伸ばした線と、の交点でもよいし、その他の方法、例えば、瞳孔の重心から求  
める方法でもよい。また、単純に、術者が手術顕微鏡で瞳孔を観察し、瞳孔の中心を決定  
してもよい。切除データに対する瞳孔中心位置と眼位置検出光学系19によって得られた  
瞳孔中心位置とを一致させて、球面（非球面）成分、柱面成分、不正乱視成分の各切除デ  
ータに基づき、制御装置20は次のように各駆動装置、移動装置を制御して角膜Ecの切  
除を行う。  
30

## 【0037】

球面（非球面）成分の切除データに基づく球面（非球面）の近視矯正の場合、円形アパー  
チャ板7によってレーザビームを制限し、ミラー3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）  
毎に、レーザパルスとイメージローテータ5の回転のタイミングをずらしてレーザビーム  
の移動方向を変更し（例えば、120度間隔の3方向）、円形アパーチャ板7によって  
制限された領域を略均一に切除する。これを円形アパーチャ板7の開口領域の大きさを順  
次変える毎に行うことにより、角膜の中央部を深く、周辺部を浅くした球面（非球面）成  
分の切除を行うことができる。

## 【0038】

柱面成分の切除量データに基づく乱視矯正の場合は、円形アパーチャ板7の開口領域の大  
40  
きさはオプティカルゾーンに合わせて固定し、スリットアパーチャ板9の開口幅を変えてい  
く。また、スリットアパーチャ板9はそのスリット開口幅が強主経線方向に変化するよう  
に駆動装置10によって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  
述の近視矯正の場合と同様に、ミラー3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、レーザビームを1スキャンする毎にレーザビームの移動方向を変  
更し、スリットアパーチャ板9によって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板9の開口幅を順次変えながらこれを繰り返すことにより、  
柱面成分の切除を行うことができる。

## 【0039】

なお、対称成分（球面（非球面）成分、柱面成分）を切除する場合は、分割アパーチャ板 11 やシャッタ装置 13 は光路外に出脱されている。

【0040】

非対称成分（不正乱視成分）の切除は、移動装置 12 及び駆動・移動装置 14 によって分割アパーチャ板 11 及びシャッタ装置 13 をそれぞれ光路中に配置して次のように行う。ミラー 3 を順次移動すると、角膜 E c 上に照射されるレーザービームはその矩形の長手方向と垂直な方向（ガウシアン分布方向）に移動される。このときシャッタ装置 13 の各シャッタ板 130 を選択的に開閉すると、シャッタ板 130 が開いている小アパーチャ 110 を通過するレーザービームのみが角膜 E c 上に照射されるようになる。そして、不正乱視成分の切除データに基づき、ミラー 3 の移動によるレーザービームの各移動位置で分割アパーチャ板 11（及びシャッタ装置 13）の位置及び各シャッタ板 130 の開閉を制御する。また、各位置での切除量は照射時間や走査数によって制御する。これにより、不正乱視成分の切除を行うことができる。

10

【0041】

図 8 は不正乱視成分の切除方法を説明する図である。小領域に制限されたレーザービームの照射を重ね合わせて不正乱視成分を切除しているが、エネルギー分布が略凸状に補正されたレーザービームを使用しているため、重畳部分が深く切除されることを防ぐこともできる。

【0042】

以上のように、対称成分（球面（非球面）成分、柱面成分）の切除と非対称成分（不正乱視成分）の切除を別々に行うことにより、トータルの手術時間を短縮して効率良く手術を行うことができるようになる。

20

【0043】

また、上記の説明では、球面（非球面）成分、柱面成分、非対称成分の順序で切除を行ったが、順序はこれに限らず任意に変えることができる。

【0044】

なお、以上の実施形態では、slit scan方式の角膜手術装置を例にとって説明したが、one shot方式の角膜手術装置であっても本発明を適用することができる。

【0045】

また、データ入力装置は、特開平 11 - 342152 号にあるような角膜切除量決定装置とすることもできる。

30

【0046】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、角膜表面の部分的な切除を正確に行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の実施形態である角膜手術装置の光学系及び制御系の概略構成図である。

【図 2】エキシマレーザービームの代表的な形状を示す図である。

【図 3】分割アパーチャ板及びシャッタ装置の概略構成図である。

【図 4】ウインドウ部材の形状を説明する図である。

【図 5】ウインドウ部材が無い場合と有る場合でのレーザービームの強度分布の違いを説明する図である。

40

【図 6】角膜の切除データの算出方法を説明する図である。

【図 7】角膜の切除データの算出方法を説明する図である。

【図 8】不正乱視成分の切除方法を説明する図である。

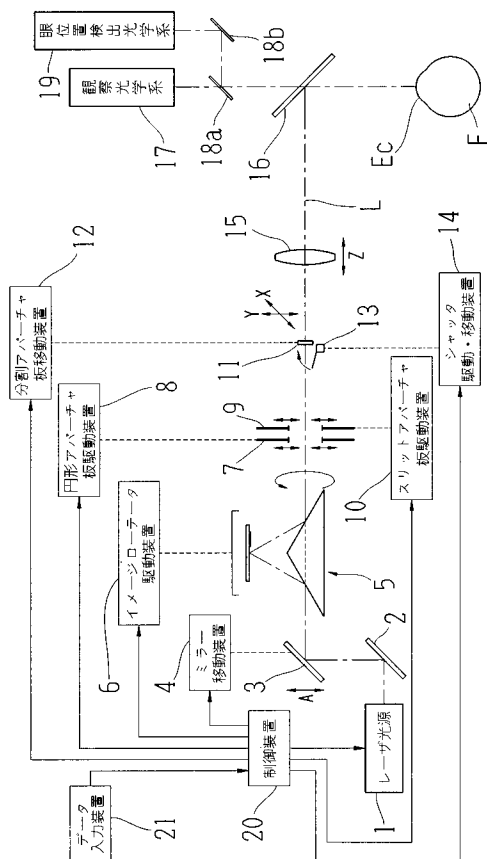
【符号の説明】

- 1 レーザ光源
- 3 平面ミラー
- 5 イメージローテータ
- 7 円形アパーチャ板
- 9 スリットアパーチャ板

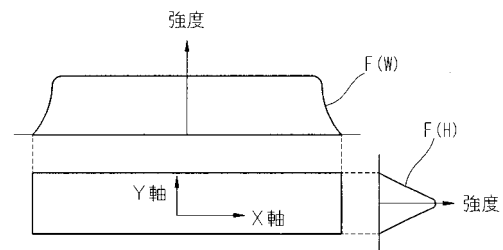
50

- 1 1 分割アパーチャ板
- 1 3 シャッタ装置
- 2 0 制御装置
- 2 1 データ入力装置
- 1 1 0 円形小アパーチャ
- 1 1 1 ウインドウ部材
- 1 3 0 シャッタ板

【図 1】



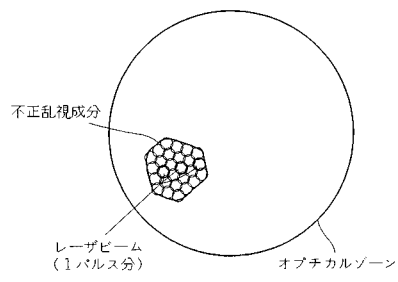
【図 2】







【図 8】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特公平03-044533(JP,B2)  
特表平08-501227(JP,A)  
特開平06-189999(JP,A)  
特開2000-279440(JP,A)  
特開昭63-289519(JP,A)  
特開平09-266925(JP,A)  
特表平08-503625(JP,A)  
特開平08-257050(JP,A)  
特開平09-122167(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A61F 9/007  
A61B 18/20  
A61N 5/06