

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5628078号
(P5628078)

(45) 発行日 平成26年11月19日(2014.11.19)

(24) 登録日 平成26年10月10日(2014.10.10)

(51) Int.Cl. F 1
A 6 1 B 3/13 (2006.01) A 6 1 B 3/12 D
A 6 1 B 3/10 (2006.01) A 6 1 B 3/10 W

請求項の数 6 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2011-81048 (P2011-81048)	(73) 特許権者	000135184
(22) 出願日	平成23年3月31日 (2011. 3. 31)		株式会社ニデック
(65) 公開番号	特開2012-213524 (P2012-213524A)		愛知県蒲郡市拾石町前浜 3 4 番地 1 4
(43) 公開日	平成24年11月8日 (2012. 11. 8)	(72) 発明者	滝井 通浩
審査請求日	平成26年3月28日 (2014. 3. 28)		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
早期審査対象出願		審査官	島田 保
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 角膜内皮細胞撮影装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

照明光源からの照明光を被検者眼角膜に向けて斜めから照射する照明光学系、角膜内皮細胞を含む前記角膜からの反射光を撮像素子により受光して角膜内皮細胞画像を取得する撮像光学系、を備える装置本体と、

被検者眼に対して前記装置本体を相対移動させる駆動手段と、

前記駆動手段の駆動を制御することにより前記装置本体を上下左右方向に移動させ、上下左右方向に関して異なる撮影位置での内皮画像を前記撮像素子により順次取得する連続撮影手段と、

を備えることを特徴とする角膜内皮細胞撮影装置。

10

【請求項 2】

各撮影位置での角膜に対する前後方向のアライメント状態を検出する Z アライメント検出手段と、

前記 Z アライメント検出手段の検出結果に基づいて前記装置本体の前後位置を調整する Z 調整手段と、

を備えることを特徴とする請求項 1 の角膜内皮細胞撮影装置。

【請求項 3】

角膜上における撮影範囲を設定する設定手段を備え、

前記連続撮影手段は、前記駆動手段の駆動を制御することにより、前記設定手段によって設定された撮影範囲における内皮画像が撮影されるように前記装置本体を移動させるこ

20

とを特徴とする請求項 1 ~ 2 のいずれかの角膜内皮細胞撮影装置。

【請求項 4】

前記設定手段は、検者によって操作される操作部材からの操作信号に基づいて角膜上における撮影範囲を設定することを特徴とする請求項 3 の角膜内皮細胞撮影装置。

【請求項 5】

被検者眼の角膜中心に対する上下左右方向のアライメント状態を検出する X Y アライメント検出手段と、

前記 X Y アライメント検出手段の検出結果に基づいて前記装置本体を移動させ、撮影位置を角膜中心近傍に調整する X Y 調整手段と、を備え、

前記連続撮影手段は、前記 X Y 調整手段によって撮影位置が調整された後、前記装置本体を上下左右方向に移動させ、角膜中心近傍での内皮画像を前記撮像素子により順次取得することを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれかの角膜内皮細胞撮影装置。

10

【請求項 6】

照明光源からの照明光を被検者眼角膜に向けて斜めから照射する照明光学系、角膜内皮細胞を含む前記角膜からの反射光を撮像素子により受光して角膜内皮細胞画像を取得する撮像光学系、を備える装置本体と、

被検者眼に対して前記装置本体を相対移動させる駆動手段と、

前記駆動手段の駆動を制御することにより前記装置本体を左右方向に移動させ、左右方向に関して異なる撮影位置での内皮画像を前記撮像素子により順次取得する連続撮影手段と、

20

を備えることを特徴とする角膜内皮細胞撮影装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、被検者眼の角膜内皮の細胞像を撮影する角膜内皮細胞撮影装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、照明光源からの照明光を角膜に向けて斜めから照射し、その角膜からの反射光束を撮像素子により受光して非接触にて角膜内皮の細胞像を得る装置が知られている（特許文献 1 参照）。

30

【0003】

例えば、特許文献 1 では、角膜上の撮影部位を選択するためのスイッチとして、角膜上部、中央、下部に対応するスイッチがそれぞれ設けられている。そして、ある選択スイッチが押されると、アライメント基準となるレチクルが移動される。それから、検者は、位置変更されたレチクルと、アライメント輝点が一致するようにアライメントを行った後、選択された角膜位置での細胞像を撮影する。

また、撮影部位を変更する構成としては、固視灯の点灯位置を変更する手法が知られている。

【先行技術文献】

【特許文献】

40

【0004】

【特許文献 1】特開平 6 - 189909 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、一回の内皮細胞の撮像範囲は限られており、細胞状態の適否を判断する上で不十分な場合がある。

そして、上記のように撮影位置を選択する装置の場合、異なる撮影位置での細胞画像を得ようとしても、その都度、撮影位置を選択する必要がある。

また、固視灯の位置を変更する場合、通常、眼の視線方向が変更され、固視状態が不安

50

定となるため、時間がかかる。また、ある撮影位置近傍での内皮画像を一体的に取得するのは難しい。

【 0 0 0 6 】

本発明は、上記問題点を鑑み、異なる撮影位置での細胞画像をスムーズに取得できる角膜内皮細胞撮影装置を提供することを技術課題とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 7 】

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。

【 0 0 0 8 】

(1)

照明光源からの照明光を被検者眼角膜に向けて斜めから照射する照明光学系、角膜内皮細胞を含む前記角膜からの反射光を撮像素子により受光して角膜内皮細胞画像を取得する撮像光学系、を備える装置本体と、

被検者眼に対して前記装置本体を相対移動させる駆動手段と、

前記駆動手段の駆動を制御することにより前記装置本体を上下左右方向に移動させ、上下左右方向に関して異なる撮影位置での内皮画像を前記撮像素子により順次取得する連続撮影手段と、

を備えることを特徴とする。

(2)

各撮影位置での角膜に対する前後方向のアライメント状態を検出するZアライメント検出手段と、

前記Zアライメント検出手段の検出結果に基づいて前記装置本体の前後位置を調整するZ調整手段と、

を備えることを特徴とする請求項1の角膜内皮細胞撮影装置。

(3)

角膜上における撮影範囲を設定する設定手段を備え、

前記連続撮影手段は、前記駆動手段の駆動を制御することにより、前記設定手段によって設定された撮影範囲における内皮画像が撮影されるように前記装置本体を移動させることを特徴とする(1) ~ (2)のいずれかの角膜内皮細胞撮影装置。

(4)

前記設定手段は、検者によって操作される操作部材からの操作信号に基づいて角膜上における撮影範囲を設定することを特徴とする(3)の角膜内皮細胞撮影装置。

(5)

被検者眼の角膜中心に対する上下左右方向のアライメント状態を検出するXYアライメント検出手段と、

前記XYアライメント検出手段の検出結果に基づいて前記装置本体を移動させ、撮影位置を角膜中心近傍に調整するXY調整手段と、を備え、

前記連続撮影手段は、前記XY調整手段によって撮影位置が調整された後、前記装置本体を上下左右方向に移動させ、角膜中心近傍での内皮画像を前記撮像素子により順次取得することを特徴とする(1) ~ (4)のいずれかの角膜内皮細胞撮影装置。

(6)

照明光源からの照明光を被検者眼角膜に向けて斜めから照射する照明光学系、角膜内皮細胞を含む前記角膜からの反射光を撮像素子により受光して角膜内皮細胞画像を取得する撮像光学系、を備える装置本体と、

被検者眼に対して前記装置本体を相対移動させる駆動手段と、

前記駆動手段の駆動を制御することにより前記装置本体を左右方向に移動させ、左右方向に関して異なる撮影位置での内皮画像を前記撮像素子により順次取得する連続撮影手段と、

を備えることを特徴とする。

10

20

30

40

50

【発明の効果】

【0009】

本発明は、上記問題点を鑑み、異なる撮影位置での細胞画像をスムーズに取得できる。

【発明を実施するための形態】

【0010】

本発明の一実施形態について図面に基づいて説明する。図1は、本実施形態に係る角膜内皮細胞撮影装置の外観側方構成図である。

【0011】

装置100は、いわゆる据え置き型の装置であって、基台1と、基台1に取り付けられた顔支持ユニット2と、図示なき摺動機構により基台1上で移動可能に設けられた移動台3と、移動台3に対して移動可能に設けられ、後述する撮影系及び光学系を収納する撮影部（装置本体）4と、を備える。

10

【0012】

撮影部4は、移動台3に設けられたXYZ駆動部6により、被検眼Eに対して左右方向（X方向）、上下方向（Y方向）及び前後方向（Z方向）に移動される。移動台3は、ジョイスティック5の操作により、基台1上をXZ方向に移動される。また、検者が回転ノブ5aを回転操作することにより、撮影部4はXYZ駆動部6のY駆動によりY方向に移動される。ジョイスティック5の頂部には、スタートスイッチ5bが設けられている。表示モニター95は、撮影部4の検者側に設けられている。なお、本実施形態では、図示なき摺動機構又はXYZ駆動部6により撮影部4が眼Eに対して相対的に移動される。

20

【0013】

なお、撮影部4を移動させる構成としては、メカニカルな摺動機構を設けず、駆動部6のモータの駆動によって撮影部4を左右眼に対して移動させる構成であってもよい。また、本装置は、ジョイスティック5のような手動用操作部材としてタッチパネルを有する構成であってもよい。

【0014】

図2は、撮影部4に収納された光学系を上方から見たときの光学配置と、制御系の構成の一例を示す概略構成図である。図3は第1投影光学系、第2投影光学系を被検者側から見たときの図である。光学系の全体構成は、照明光学系10、撮像光学系30、正面投影光学系50、第1投影光学系60a、60b、第2投影光学系65a～65d（図3参照）、内部固視光学系70a～70g、外部固視光学系75a～75f、前眼部観察光学系80、Zアライメント検出光学系85、を有する。

30

【0015】

照明光学系10は、照明光源12からの照明光を角膜Ecに向けて斜めから照射する。照明光学系10は、内皮撮影用の可視光を発する照明光源（例えば、可視LED、フラッシュランプ）12、集光レンズ14、スリット板16、可視光反射・赤外透過のダイクロイックミラー18、投光レンズ20、を有する。照明光源12から発せられた光は、集光レンズ14を介してスリット板16を照明する。そして、スリット板16を通過したスリット光は、ダイクロイックミラー18を介して投光レンズ20によって収束され、角膜に照射される。ここで、スリット板16と角膜Ecは、対物レンズ20に関して略共役な位置に配置されている。

40

【0016】

撮像光学系30は、内皮細胞を含む角膜Ecからの反射光を撮像素子により受光することにより内皮細胞画像を取得する。撮像光学系30は、光軸L1に関して照明光学系10と左右対称であり、対物レンズ32、可視光反射・赤外透過のダイクロイックミラー34、マスク35、第1結像レンズ36、全反射ミラー38、第2結像レンズ42、内皮細胞画像を取得するための専用の第1の二次元撮像素子（例えば、二次元CCD、CMOS、等）44を有する。マスク35は、対物レンズ32に関して角膜Ecと略共役な位置に配置されている。第1結像レンズ36、及び第2結像レンズ42は、内皮像を撮像素子44上に結像させる結像光学系を形成する。撮像素子44は、撮像光学系30のレンズ系に関し

50

て角膜 E c と略共役な位置に配置されている。

【 0 0 1 7 】

照明光学系 1 0 による角膜反射光は、光軸 L 3 方向（斜め方向）に向かい、対物レンズ 3 2 によって収束された後、ダイクロイックミラー 3 4 によって反射され、マスク 3 5 にて一旦結像され、内皮細胞像を取得する際にノイズとなる光が遮光される。そして、マスク 3 5 を通過した光は、第 1 結像レンズ 3 6、全反射ミラー 3 8、第 2 結像レンズ 4 2 を介して二次元撮像素子 8 4 に結像される。これにより、高倍率の角膜内皮細胞像が取得される。なお、撮像素子 4 4 の出力は、制御部 9 0 に接続され、取得された細胞像は、メモリ 9 2 に記憶される。また、細胞像はモニタ 9 5 に表示される。

【 0 0 1 8 】

正面投影光学系 5 0 は、正面から角膜 E c に向けてアライメント指標を投影する。正面投影光学系 5 0 は、赤外光源 5 1、投光レンズ 5 3、ハーフミラー 5 5、を有し、X Y アライメント検出用の赤外光を観察光軸 L 1 方向から角膜 E c に投影する。光源 5 1 から発せられた赤外光は、投光レンズ 5 3 により平行光束に変換された後、ハーフミラー 5 5 により反射され、角膜 E c の中心部に投影され、指標 i 1 0 が形成される（図 4 参照）。

【 0 0 1 9 】

第 1 投影光学系 6 0 a、6 0 b は、斜めから角膜 E c に向けて無限遠のアライメント指標を投影する。第 1 投影光学系 6 0 a、6 0 b は、光軸 L 1 に対して所定の角度でそれぞれ傾斜して配置されている。第 1 投影光学系 6 0 a、6 0 b は、赤外光源 6 1 a、6 1 b と、コリメータレンズ 6 3 a、6 3 b と、をそれぞれ有し、光軸 L 1 を挟んで左右対称に配置され、眼 E に対して無限遠の指標を投影する（図 2 参照）。なお、第 1 投影光学系 6 0 a、6 0 b は、光軸 L 1 を通る水平方向と略同一経線上に配置されている（図 3 参照）。

【 0 0 2 0 】

光源 6 1 a、6 1 b から出射された光は、コリメータレンズ 6 3 a、6 3 b によりそれぞれコリメートされた後、角膜 E c に投影され、指標 i 2 0、i 3 0 が形成される（図 4 参照）。

【 0 0 2 1 】

第 2 投影光学系 6 5 a ~ 6 5 d は、複数の斜め方向から角膜 E c に向けて有限遠のアライメント指標をそれぞれ投影する。第 2 投影光学系 6 5 a ~ 6 5 d は、光軸 L 1 に対してそれぞれ傾斜して配置されている。第 2 投影光学系 6 5 a ~ 6 5 d は、赤外光源 6 6 a ~ 6 6 d をそれぞれ有し、光軸 L 1 を挟んで左右対称に配置され、眼 E に対して有限遠の指標を投影する。なお、第 2 投影光学系 6 5 a、6 5 b は、光軸 L 1 に対して上方に配置され、Y 方向に関して互いに同じ高さに配置されている。また、第 2 投影光学系 6 5 c、6 5 d は、光軸 L 1 に対して下方に配置され、Y 方向に関して互いに同じ高さに配置されている。また、第 2 投影光学系 6 5 a、6 5 b と、第 2 投影光学系 6 5 c、6 5 d は、光軸 L 1 を挟んで上下対称な関係で配置されている。

【 0 0 2 2 】

ここで、光源 6 6 a、6 6 b からの光は角膜 E c の上部に向けて斜め上方向から照射され、光源 6 6 a、6 6 b の虚像である指標 i 4 0、i 5 0 が形成される。また、光源 6 6 c、6 6 d からの光は角膜 E c の下部に向けて斜め下方向から照射され、光源 6 6 c、6 6 d の虚像である指標 i 6 0、i 7 0 が形成される（図 4 参照）。

【 0 0 2 3 】

上記のような指標投影光学系によれば、指標 i 1 0 は、眼 E の角膜頂点に形成される（図 4 参照）。また、第 1 投影光学系 6 0 a、6 0 b による指標 i 2 0、i 3 0 は、指標 i 1 0 と同じ水平位置において、指標 i 1 0 に関し左右対称に形成される。さらに、第 2 投影光学系 6 5 a、6 5 b による指標 i 4 0、i 5 0 は、指標 i 1 0 より上方において、指標 i 1 0 に関し左右対称に形成される。第 2 投影光学系 6 5 c、6 5 d による指標 i 6 0、i 7 0 は、指標 i 1 0 より下方において、指標 i 1 0 に関し左右対称に形成される。

【 0 0 2 4 】

内部固視光学系 70 a ~ 70 g は、眼 E に対して内部から固視標を投影する。内部固視光学系 70 a ~ 70 g は、可視光源（固視灯）71 a ~ 71 g、投光レンズ 73、可視反射・赤外透過のダイクロイックミラー 74、を有する。光源 71 から発せられた可視光は、投光レンズ 73 により平行光束に変換された後、ダイクロイックミラー 74 により反射され、眼 E の眼底に投影される。また、図示無き外部固視光学系が前述の第 1 投影光学系及び第 2 投影光学系の近傍に配置される。

【0025】

内部固視光学系 70 a ~ 70 i は、光軸 L4 に対して直交する方向に関して異なる位置に配置される複数の固視標を有し、眼 E の固視方向を各方向に誘導する。内部固視光学系 70 a ~ 70 i は、撮影部 3 の内部に設けられる。例えば、可視光源 71 a は、光軸 L4 10 近傍に配置され、眼 E を正面方向に誘導することにより角膜の中心部の内皮画像を得るために用いられる。また、複数の可視光源 71 b ~ 71 i は、光軸 L4 を中心とする同一円周上に配置され、被検者から見て、所定角度毎に配置されている。図 2 では、0 度、45 度、90 度、135 度、180 度、225 度、270 度、305 度の各位置に 45 度ずつ配置されている。可視光源 71 b ~ 71 i は、眼 E の視線方向を周辺方向に誘導することにより角膜中心の周辺における内皮画像を得るために用いられる。

【0026】

外部固視光学系 75 a ~ 75 f は、外部から固視標を投影する。外部固視光学系 75 a ~ 75 f は、XY 方向に関して異なる位置に配置される複数の固視標を有し、被検眼の固視方向を内部固視光学系 70 より大きく振らせる。外部固視光学系 75 a ~ 75 f は、撮影部 3 の外側であって、眼 E 側に設けられる。例えば、外部固視光学系 75 a ~ 75 f は、可視光源（固視灯）76 a ~ 76 f を有し、光軸 L1 を中心とする同一円周上で、被検者から見て、2 時、4 時、6 時、8 時、10、12 時の各位置に配置されている。可視光源 76 a ~ 76 f は、眼 E の視線方向を周辺方向に誘導することにより角膜の周辺部における内皮画像を得るために用いられる。この場合、可視光源 71 b ~ 71 g によって取得される画像よりさらに外側の内皮細胞像が取得される。

【0027】

例えば、角膜下部を撮影する場合、固視灯（固視標）の位置が上方に設定され、眼 E の固視が上方に誘導される。また、角膜上部を撮影する場合、固視灯（固視標）の位置が下方に設定され、眼 E の固視が下方に誘導される。

【0028】

図 2 に戻る。前眼部観察光学系 80 は、前眼部像を正面から観察する。前眼部観察光学系 80 は、対物レンズ 82、前眼部正面像を取得するための二次元撮像素子 84、を有し、第 1 の撮像素子 44 とは異なる第 2 の撮像素子 84 を有し、前眼部像及びアライメント指標を第 2 撮像素子 84 により撮像する。二次元撮像素子 84 としては、例えば、2 次元 CCD イメージセンサ（Charge coupled device image sensor）、二次元 CMOS（Complementary Metal Oxide Semiconductor Image Sensor）が用いられる。

【0029】

図示なき前眼部照明光源により照明された前眼部は、ダイクロイックミラー 75、ハーフミラー 55、対物レンズ 82 を介して二次元撮像素子 84 に撮像される。また、同様に、正面投影光学系 50、第 1 投影光学系 60 a、60 b と、第 2 投影光学系 65 a ~ 65 d、による角膜反射像は二次元撮像素子 84 に受光される。

【0030】

撮像素子 84 の出力は制御部 90 に接続され、図 4 に示すように、モニター 95 には、撮像素子 84 によって撮像された前眼部像が表示される。なお、モニター 95 上に電子的に表示されるレチクル LT は、XY アライメントの基準を示している。なお、観察光学系 80 は、眼 E に対する撮影部 4 のアライメント状態を検出するための検出光学系を兼用する。

【0031】

Z アライメント検出光学系 85 は、眼 E に対する撮影部 4 の Z 方向におけるアライメント状態を検出する。Z アライメント検出光学系 85 は、角膜 E c に向けて斜め方向から検

10

20

30

40

50

出用光束を投光する投光光学系 8 5 a と、投光光学系 8 5 a による角膜反射光束を受光する受光光学系 8 5 b と、を有する。そして、投光光学系 8 5 a の光軸 L 2 と受光光学系 8 5 b の光軸 L 3 は、観察光軸 L 1 に関して左右対称な位置に配置される。

【 0 0 3 2 】

投光光学系 8 5 a は、例えば、赤外光を発する照明光源 8 6、集光レンズ 8 7、ピンホール板 8 8、レンズ 2 0 からなる。ここで、ピンホール板 8 8 と角膜 E c は、レンズ 2 0 に関して略共役な位置に配置される。受光光学系 8 5 b は、例えば、レンズ 3 2、一次元受光素子（ラインセンサ）8 9 からなる。ここで、一次元受光素子 8 9 と角膜 E c は、レンズ 3 2 に関して略共役な位置に配置される。

【 0 0 3 3 】

光源 8 6 から出射された赤外光は、集光レンズ 8 7 を介してピンホール板 8 8 を照明する。そして、ピンホール板 8 8 の開口を通過した光は、レンズ 2 0 を介して角膜 E c に投光される。そして、その角膜反射光は、レンズ 3 2、ダイクロイックミラー 3 4 を介して受光素子 8 9 にて受光される。

【 0 0 3 4 】

受光素子 8 9 の出力は制御部 9 0 に接続され、眼 E に対する Z アライメント検出に利用される。ここで、受光素子 8 9 上に受光されるアライメント光束は、Z 方向における撮影部 4 と眼 E との位置関係によって受光位置が変化される。例えば、制御部 9 0 は、受光素子 8 9 からの検出信号において角膜反射光の位置を検出し、Z 方向のアライメント状態を検出する。なお、受光素子 8 9 を用いたアライメント検出は、眼 E に対する精密なアライメントのために利用される。

【 0 0 3 5 】

制御部 9 0 は、装置全体の制御を行う。そして、制御部 9 0 には、回転ノブ 5 a、スタートスイッチ 5 b、X Y Z 駆動部 6、二次元撮像素子 4 4、8 4、各光源、記憶手段としてのメモリ 9 2、モニタ 9 5、操作部 9 6、が接続されている。

【 0 0 3 6 】

例えば、制御部 9 0 は、モニタ 9 5 の表示を制御する。また、制御部 9 0 は、アライメント指標の受光結果に基づいて X Y Z 方向における眼 E に対する撮影部 4 のアライメント状態を検出する。そして、制御部 9 0 は、その検出結果に基づいて撮影部 4 の移動を指令する信号を出力する。また、制御部 9 0 は、受光素子 8 9 の受光結果に基づいて眼 E に対する撮影部 4 の Z 方向のアライメント状態を検出する。

【 0 0 3 7 】

以上のような構成を備える装置において、その動作について説明する。図 4 は角膜中心部の内皮を撮影する場合の前眼部観察画面の一例を示す図であり、図 4 (a) はアライメントずれがある場合の表示例であり、図 4 (b) はアライメントが適正な状態における表示例である。

【 0 0 3 8 】

この場合、光源 7 1 a が点灯され、眼 E の固視方向が正面に誘導される。まず、検者は、被検者に固視標を注視させる。また、モニタ 9 5 に表示された前眼部像を観察しながら、眼 E に対する撮影部 4 のアライメントを行う。

【 0 0 3 9 】

上記のようにしてラフなアライメントが行われると、図 4 (a) に示すように、拡散光による角膜指標像が撮像素子 6 4 の受光面に検出される。制御部 9 0 は、画像の左上の座標位置から、画面の右下に向かって輝点を探索する。そして、指標 i 4 0、i 5 0、i 6 0、i 7 0 が検出されるようになると、制御部 9 0 は、検出された輝点の位置を検出する。

【 0 0 4 0 】

そして、制御部 9 0 は、指標 i 4 0、i 5 0、i 6 0、i 7 0 からなる矩形の中心位置を略角膜頂点として検出し、X Y 方向におけるアライメントずれ方向 / 偏位量を検出する。そして、制御部 9 0 は、駆動部 6 の駆動を制御し、アライメントずれが所定のアライメ

10

20

30

40

50

ント許容範囲に入るように撮影部 4 を X Y 方向に移動させる。これにより、広範囲での自動アライメントが可能となる。

【 0 0 4 1 】

以上のようにして撮影部 4 が移動され、指標像 i 1 0 が検出されると、制御部 9 0 は、上記指標像 i 4 0 ~ i 7 0 によるアライメントを終了し、指標像 i 1 0 を用いたアライメントを行う。ここで、制御部 9 0 は、指標像 i 1 0 と、指標像 i 4 0 ~ i 7 0 とをその位置関係から判別する。

【 0 0 4 2 】

そして、制御部 9 0 は、指標像 i 1 0 の座標位置を略角膜頂点として検出し、X Y 方向におけるアライメントずれ方向 / 偏位量を検出する。そして、制御部 9 0 は、駆動部 6 の駆動を制御し、アライメントずれが所定のアライメント許容範囲内に入るように撮影部 4 を X Y 方向に移動させる。

【 0 0 4 3 】

また、上記のようにして指標像 i 1 0 が検出されるようになると、同様に、無限遠の指標像 i 2 0、i 3 0 が検出される。そこで、制御部 9 0 は、前述のように検出される無限遠の指標像 i 2 0、i 3 0 の間隔と有限遠の指標像 i 6 0、i 7 0 の間隔とを比較することにより Z 方向のアライメントずれ方向 / 偏位量を求める（第 1 のアライメント検出）。そして、制御部 9 0 は、Z 方向のアライメントずれが所定のアライメント許容範囲に入るように撮影部 4 を Z 方向に移動させる（第 1 自動アライメント）。

【 0 0 4 4 】

この場合、制御部 9 0 は、測定部 3 が作動距離方向にずれた場合に、前述の無限遠指標 i 2 0、i 3 0 の間隔がほとんど変化しないのに対して、有限遠の指標像 i 6 0、i 7 0 の像間隔が変化するという特性を利用して、Z 方向のアライメントずれを求める（詳しくは、特開平 6 - 4 6 9 9 9 号参照）。なお、指標像 i 6 0、i 7 0 の代わりに、指標像 i 4 0、i 5 0 が利用されてもよい。また、光軸 L 1 からの指標の距離（指標高さ）に基づいて Z アライメントが検出されてもよい。

【 0 0 4 5 】

そして、制御部 9 0 は、第 1 の Z アライメント検出においてアライメント状態が適正と判定されると、第 1 自動アライメントの作動を停止し、検出光学系 8 5 を用いた第 2 の Z アライメント検出及びその検出結果に基づく第 2 の自動アライメントを作動させる。

【 0 0 4 6 】

制御部 9 0 は、光源 8 6 を点灯させアライメント光束を角膜 E c に投光する（光源 8 6 を予め点灯させていてもよい）と共に、その角膜反射光束を受光素子 8 9 にて検出する。そして、制御部 9 0 は、受光素子 8 9 からの受光結果に基づいて駆動部 6 の駆動を制御し、撮影部 4 を Z 方向に移動させる。

【 0 0 4 7 】

例えば、制御部 9 0 は、受光素子 8 9 から出力される受光信号に基づいて角膜上皮からの反射光束に対応するピーク P を検出し、受光素子 8 9 上における上皮ピークの位置 P z を検出する（図 5 参照）。そして、制御部 9 0 は、上皮からの反射光束による受光信号のピークが受光素子 8 9 上の所定位置（例えば、中心位置）にくるように駆動部 6 を駆動させる。

【 0 0 4 8 】

前述したアライメント動作によって、X Y Z 方向のアライメント状態がアライメント完了の条件を満たしたら、制御部 9 0 は、X Y Z 方向のアライメントが合致したと判定し、トリガ信号を発する。

【 0 0 4 9 】

制御部 9 0 は、トリガ信号が発せられると、照明光源 1 2 を発光させ、可視照明光による角膜内皮細胞像を二次元撮像素子 4 4 にて取得する。その後、制御部 9 0 は、光源 1 2 を点灯させると共に、駆動部 6 の駆動を制御して、撮影部 4 を眼 E に向かって前進させていく。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 0 】

光源 1 2 は、二次元撮像素子 4 4 のフレームレートに同期して連続的に点滅される。例えば、一枚の撮像時間が 3 0 m s の場合、画像の取得開始から数 m s の間、光源 1 2 が点灯され、その後、消灯される。そして、次の画像の取得が開始されると、光源 1 2 が点灯される。すなわち、このような点滅動作が繰り返される。

【 0 0 5 1 】

二次元撮像素子 4 4 は、そのフレームレートに合わせて撮像信号を随時制御部 9 0 に出力する。これにより、内皮の撮像画像が複数取得される。そして、制御部 9 0 は、出力画像の内、ある条件（例えば、内皮細胞像が適正に取得されている）を満たす画像を静止画としてメモリ 9 2 に記憶させる。これにより、内皮細胞像が撮影される。この場合、制御部 9 0 は、予め設定された所定枚数をメモリ 9 2 に記憶するようにしてもよい。そして、制御部 9 0 は、メモリ 9 2 に記憶された撮影画像をモニタ 9 5 に出力する。

10

【 0 0 5 2 】

< X Y 方向連続撮影 > 概して、制御部 9 0 は、駆動部 6 の駆動を制御することにより撮影部 4 を X Y 方向に移動させ、X Y 方向に関して異なる角膜位置での細胞画像を連続的に撮影する。例えば、制御部 9 0 は、X Y 方向に関して撮影部 4 を直線的に移動させ、内皮画像を連続的に取得する。

【 0 0 5 3 】

図 6 は角膜上に設定された撮影範囲の一例を示す図である。撮影範囲 P は、例えば、角膜中心 P1 を中心として上下・左右・斜めの少なくともいずれかに存在する複数の撮影部位を含む。この場合、例えば、角膜中心と観察光軸 L 1 が合致したときのアライメント位置が基準位置として設定され、各撮影部位に対応する撮影位置への撮影部 4 の移動量が設定される。

20

【 0 0 5 4 】

図 6 では、撮影範囲 P は、撮影部位 P 1 ~ 撮影部位 P 9 の 9 個の部位に対応する。撮影範囲 P は、ある直線方向（例えば、左右方向）に関して撮影部位が一行に並ぶような範囲であってもよいし、サークル状に撮影部位が並ぶような範囲であっても良い。また、撮影範囲 P は、予め設定された範囲であってもよいし、検者によって設定される範囲であってもよい（詳しくは後述する）。また、複数の撮影範囲が予め用意され、検者によってある撮影範囲が設定されるようにしてもよい。

30

【 0 0 5 5 】

次に、制御部 9 0 は、駆動部 6 の駆動を制御して、各撮影部位に対応する位置に向けて撮影部 4 を移動させる。なお、各撮影部位への撮影順序については予め設定される。例えば、制御部 9 0 は、撮影部位 P 1 を起点として、撮影部位 P 2、P 3、・・・順で、撮影部 4 が所定の軌跡（拡大図の矢印参照）を描くように撮影部 4 を移動させる。そして、制御部 9 0 は、各撮影位置において、照明光源 1 2 を発光させ、内皮細胞像を撮像素子 4 4 にて順次取得する。そして、取得された細胞像は、各撮影部位 P 1 ~ P 9 と対応付けされ、メモリ 9 2 に記憶される。

【 0 0 5 6 】

なお、制御部 9 0 は、撮影部 4 を撮影範囲 P 内で連続的に移動させ、その移動中に照明光源 1 2 を連続発光（常時点灯、所定間隔でのフラッシュを含む）させることにより、細胞像を連続的に撮影するようにしてもよい。また、制御部 9 0 は、各撮影位置にて撮影部 4 を停止させた状態で細胞像を撮影するようにしてもよい。

40

【 0 0 5 7 】

以上のようにして連続撮影が完了したら、制御部 9 0 は、図 7 に示すように、撮影部位間の位置関係に合わせた表示形式にて各細胞像をモニタ 9 5 の画面上に表示する。表示形式としては、これに限定されず、制御部 9 0 は、所定数の列（例えば、2 列）にて各細胞像を並列表示するようにしてもよい。また、制御部 9 0 は、所定数（例えば、3 つ）の画像をモニタ 9 5 上に表示し、検者の操作に応じて画像を更新するようにしてもよい。

【 0 0 5 8 】

50

以上のようにすれば、眼 E の視線方向を変更することなく、角膜中心近傍での複数位置に関する細胞像をスムーズに取得できる。例えば、一定の位置での内皮撮影と比較すると、広い撮影範囲で細胞像が得られる。

【 0 0 5 9 】

なお、上記説明においては、固視位置が中心に固定された状態で X Y 方向に関して異なる部位への連続撮影を行う構成としたが、これに限定されない。すなわち、眼 E の固視方向が、ある方向に固定された状態において、眼 E に対する撮影部 4 の X Y 位置を変更することにより複数の細胞像を連続的に取得する構成であればよい。例えば、固視位置が上方に固定された状態で、X Y 方向に関して異なる部位への連続撮影を行う。これにより、角膜の周辺部の下方における細胞像が広い撮影範囲で得られる。

10

【 0 0 6 0 】

なお、上記 X Y 連続撮影において、制御部 9 0 は、各撮影位置において、前後方向に関する異なる位置にて内皮細胞を連続撮影するようにしてもよい。例えば、制御部 9 0 は、各撮影位置にて撮影部 4 を前後方向に移動させ、前後移動中に照明光源 1 2 を連続発光させ、各位置での細胞像を複数取得する。

【 0 0 6 1 】

この場合、制御部 9 0 は、X Y 方向に関して撮影部 4 の移動を停止させた状態で撮影部 4 を Z 方向に移動させながら連続撮影を行うようにしてもよい。また、制御部 9 0 は、X Y 方向の移動中に撮影部 3 を Z 方向に移動させながら連続撮影を行うようにしてもよい。

【 0 0 6 2 】

20

< 各撮影位置に対する Z アライメント判定及び位置調整 > 上記 X Y 連続撮影において、X Y 方向での位置が変更される場合、Z 方向に関するアライメントがずれてしまう可能性がある。例えば、角膜は曲面形状であるから、Z 方向における内皮位置は、撮影部位によって異なる。そこで、制御部 9 0 は、上記 X Y 連続撮影の作動中において、Z 方向に関する自動アライメントを行うようにしてもよい。

【 0 0 6 3 】

例えば、制御部 9 0 は、撮像素子 4 4 にて取得される撮像画像を画像処理により解析し、内皮細胞像が取得された撮像画像か否かを判定する。そして、制御部 9 0 は、その判定結果を用いて、撮像画像中に内皮細胞像が含まれるように撮影部 4 を前後方向に移動させる。この場合、内皮細胞像の輝度レベル及び面積を利用して内皮細胞像の有無を判定してもよいし、撮像素子 4 4 上の内皮細胞像の位置が所定位置か否かを判定するようにしてもよい。

30

【 0 0 6 4 】

図 8 は撮像素子によって撮像される内皮細胞像を用いて Z 方向のアライメントを検出する場合の一例を示す図である。撮影部位 P 1 に対応する第 1 の内皮画像を取得する場合、制御部 9 0 は、駆動部 6 の駆動を制御し、撮影部位 P 1 に対する自動アライメントを作動させる。そして、X Y Z のアライメントが完了したら、制御部 9 0 は、撮影部 4 を前進させていき、内皮画像を連続的に撮影する。

【 0 0 6 5 】

ここで、制御部 9 0 は、照明光源 1 2 を連続的に点灯させ、撮像素子 4 4 によって取得される撮影画像中に内皮細胞像が含まれるように、駆動部 6 の駆動を制御する。例えば、制御部 9 0 は、図 8 に示すように、内皮像 N の輝度分布による第 1 エッジ N 1 と第 2 エッジを画像処理（例えば、エッジ検出）により検出し、第 1 エッジ N 1 と第 2 エッジ N 2 の中間位置 N c を検出する。なお、制御部 9 0 は、輝度、出現順序等によって、上皮像と内皮像を判別できる。

40

【 0 0 6 6 】

内皮像 N の中心位置 N c が検出されると、制御部 9 0 は、中心位置 N c が撮像素子 4 4 上の所定位置 C に形成されるように、駆動部 6 の駆動を制御する。そして、撮像素子 4 4 の中心に内皮像 N が取得された画像が取得されると、制御部 9 0 は、撮影部位 P 1 の撮影完了と判断する。

50

【 0 0 6 7 】

その後、制御部 9 0 は、撮影部 4 を X Y 方向に移動させ、撮影部位 P 2 ~ P 9 に対し、撮影部 4 を順次移動させる。ここで、制御部 9 0 は、撮影部 4 の X Y 方向への移動に加えて、制御部 9 0 は、撮像素子 4 4 上の所定位置 C に対する中心位置 N c のずれ Z を検出し、そのずれ Z が許容範囲内に収まるように撮影部 3 を移動させる。制御部 9 0 は、ずれ Z が許容範囲内であれば、Z 方向における駆動部 6 の駆動を停止する一方、ずれ Z が許容範囲外であれば、Z 方向に関して駆動部 6 の駆動を制御することにより、ずれが解消される方向に撮影部 3 を移動させる。

【 0 0 6 8 】

このようにすれば、X Y 方向に関して撮影位置が変更される場合であっても、Z 方向のアライメント位置が調整されるため、各撮影位置での細胞像が安定して得られる。

10

【 0 0 6 9 】

なお、制御部 9 0 は、第 1 の撮影部位 P 1 に対応する第 1 位置（他の撮影位置でもよい）にて内皮像が取得されたときの Z 方向のアライメント位置情報 Z a を受光素子 8 9 の受光結果に基づいて取得し、位置情報 Z a に対応するアライメント位置に撮影部 3 が移動されるように駆動部 6 の駆動を制御するようにしてもよい。

【 0 0 7 0 】

制御部 9 0 は、第 1 位置にて内皮像が取得されたときの受光素子 8 9 の受光結果をメモリ 9 2 に記憶させておく。そして、X Y 方向に関する連続撮影中において、制御部 9 0 は、受光素子 8 9 から出力される受光信号に基づいて Z 方向におけるアライメント状態を検出する。そして、制御部 9 0 は、受光素子 8 9 の受光結果が位置情報 Z a になるように駆動部 6 のフィードバック制御を行う。

20

【 0 0 7 1 】

例えば、制御部 9 0 は、内皮像が取得されたときの上皮の位置をメモリ 9 2 に記憶し、メモリ 9 2 に記憶された位置に上皮が受光されるように駆動部 6 のフィードバック制御を行うようにしてもよい。

【 0 0 7 2 】

また、制御部 9 0 は、受光素子 8 9 によるアライメント検出において、内皮反射に対応する受光信号を検出するようにしてもよい。例えば、X Y 方向に関する連続撮影中において、制御部 9 0 は、内皮からの反射光束による受光信号のピークが受光素子 8 9 上の所定位置（例えば、中心位置）にくるように駆動部 6 のフィードバック制御を行う。

30

【 0 0 7 3 】

< 各撮影位置に対する X Y アライメント判定 > なお、上記装置において、眼 E に対する撮影部 4 の相対位置を検出し、その検出結果に基づいて、各撮影位置へのアライメント誘導・アライメント判定を行うようにしてもよい。

【 0 0 7 4 】

概して、制御部 9 0 は、X Y アライメントの検出結果に基づいて撮影部 4 を移動させ、撮影位置を角膜中心近傍に調整する。そして、制御部 9 0 は、角膜中心近傍に撮影位置が調整された後、撮影部 4 を上下左右方向に移動させ、角膜中心近傍での内皮画像を撮像素子 4 4 により順次取得する。この場合、例えば、角膜中心部撮影用の固視灯を被検者眼が視認できる範囲内であれば、撮影位置の調整が可能である。

40

【 0 0 7 5 】

例えば、制御部 9 0 は、各撮影位置に対して自動アライメントを作動させることにより、各撮影位置に撮影部 4 を順次自動的に移動させる。そして、各撮影位置での内皮細胞像を取得する。このとき、制御部 9 0 は、撮影位置の変更に応じて眼 E に対する撮影部 4 のアライメント完了位置を変更する。

【 0 0 7 6 】

図 9 は、各撮影位置に対応する指標像 i 1 0 の受光位置を表す。例えば、各撮影位置 P 1 ~ P 9 に関して、撮像素子 8 4 上におけるアライメント完了位置が設定され、予めメモリ 9 2 に記憶される。このとき、角膜中心と光軸 L 1 が一致された位置が基準位置 O 1 と

50

して用いられる。言い換えれば、各撮影位置 P 1 ~ P 9 に関して、光軸 L 1 が撮影位置にアライメントされた状態での受光位置 K 1 と基準位置 O 1 との間の距離がオフセット量として設定される。

【 0 0 7 7 】

図 1 0 はある撮影部位 (P 2) の内皮細胞像を取得する際のアライメント検出手法の一例を示す図である。撮影部位 P 1 に対応する内皮像を取得するとき、制御部 9 0 は、基準位置 O 1 と受光位置 K 1 とのアライメント偏位量 d_1 を検出する。そして、制御部 9 0 は、偏位量 d_1 が許容範囲内に入るように駆動部 6 を駆動させた後、内皮像を撮像する。

【 0 0 7 8 】

撮影部位 P 1 での撮影が終了したら、制御部 9 0 は、基準位置 O 1 と受光位置 K 1 とのアライメント偏位量 d_1 に対し、撮影位置 P 2 に対応するオフセット量 P を差し引く。そして、制御部 9 0 は、偏位量 d_1 に対してオフセット量 P がかけられたアライメント偏位量 d_2 を検出する。

【 0 0 7 9 】

そして、制御部 9 0 は、偏位量 d_2 が許容範囲内に入るように駆動部 6 を駆動させた後、内皮像を撮像する。その後、制御部 9 0 は、撮影位置を変更し、変更された撮影位置に対する自動アライメント及び撮影を順次行う。

【 0 0 8 0 】

このようにすれば、X Y 方向に関する連続撮影を行う場合、設定された各撮影位置での細胞像を安定的に取得できる。

【 0 0 8 1 】

なお、上記説明において、角膜輝点を検出することにより眼 E に対するアライメント状態を検出する構成としたが、これに限定されない。眼 E の特徴部位を画像処理で検出することによりアライメント状態を検出してもよい。例えば、眼 E の瞳孔中心を検出することによりアライメントを検出する。このとき、瞳孔中心と光軸 L 1 が一致された位置が前述の基準撮影位置として用いられるようにしてもよい。

【 0 0 8 2 】

< 検者による撮影範囲の変更 >

図 1 1 はモニタ 9 5 上で撮影範囲 P を設定する場合の一例を示す図である。モニタ 9 5 に表示された前眼部上において撮影範囲を設定する場合、制御部 9 0 は、撮影範囲に対応するフレーム F をモニタ 9 5 上に電子的に表示するようにしてもよい。そして、制御部 9 0 は、撮影範囲を変更するために設定された所定の操作部材からの操作信号に基づいて、モニタ 9 5 の画面上に表示されたフレーム F の位置、大きさを変更する。

【 0 0 8 3 】

撮影範囲を設定するための操作部材としては、例えば、操作部 9 6 に設けられた所定のスイッチが用いられる。また、モニタ 9 5 の画面上に形成されるタッチパネルであってもよい。

【 0 0 8 4 】

制御部 9 0 は、操作部材に基づくフレーム F の変更に応じて撮影範囲を変更する。この場合、モニタ 9 5 におけるフレーム F の表示位置と、眼 E に対する撮影部 4 の相対位置との対応関係が予めメモリ 9 5 に記憶される。撮影範囲内における X Y 方向の撮影位置については、各撮影位置が所定の間隔で設定されてもよいし、各撮影位置が任意に設定されてもよい。

【 0 0 8 5 】

フレーム F が調整された後、撮影スイッチ 5 b が押されると、制御部 9 0 は、設定された撮影範囲における内皮画像が撮影されるように撮影部 4 を順次移動させ、各撮影位置における細胞像を取得する。

【 0 0 8 6 】

なお、上記のように連続撮影を行う場合において、内部固視光学系 7 0 は、眼 E に対し

10

20

30

40

50

て無限遠の光束を投影する構成であることが好ましい。このようにすれば、眼 E に対して撮影部 4 が X Y 方向に移動された場合であっても、眼 E の視線方向が保持されるため、異なる X Y 位置での細胞像が安定的に取得される。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 8 7 】

【図 1】本実施形態に係る角膜内皮細胞撮影装置の外観側方構成図である。

【図 2】撮影部に収納された光学系を上方から見たときの光学配置と、制御系の構成の一例を示す概略構成図である。

【図 3】第 1 投影光学系、第 2 投影光学系を被検者側からみたときの図である。

【図 4】角膜中心部の内皮を撮影する場合の前眼部観察画面の一例を示す図であり、図 4 (a) はアライメントずれがある場合の表示例であり、図 4 (b) はアライメントが適正な状態における表示例である。

10

【図 5】ラインセンサ上に検出された上皮ピークについて示す図である。

【図 6】角膜上に設定された撮影範囲の一例を示す図である。

【図 7】撮影部位間の位置関係に合わせた表示形式にて各細胞像をモニタの画面上に表示する場合の一例を示す図である。

【図 8】撮像素子によって撮像される内皮細胞像を用いて Z 方向のアライメントを検出する場合の一例を示す図である。

【図 9】各撮影位置に対応する指標像 i 1 0 の受光位置を表す図である。

【図 1 0】ある撮影部位 (P 2) の内皮細胞像を取得する際のアライメント検出手法の一例を示す図である。

20

【図 1 1】モニタ上で撮影範囲 P を設定する場合の一例を示す図である。

【符号の説明】

【 0 0 8 8 】

4 撮影部 (装置本体)

6 駆動部

1 0 照明光学系

1 2 照明光源

3 0 撮像光学系

4 4 撮像素子

30

8 0 前眼部観察光学系

8 5 Z アライメント検出光学系

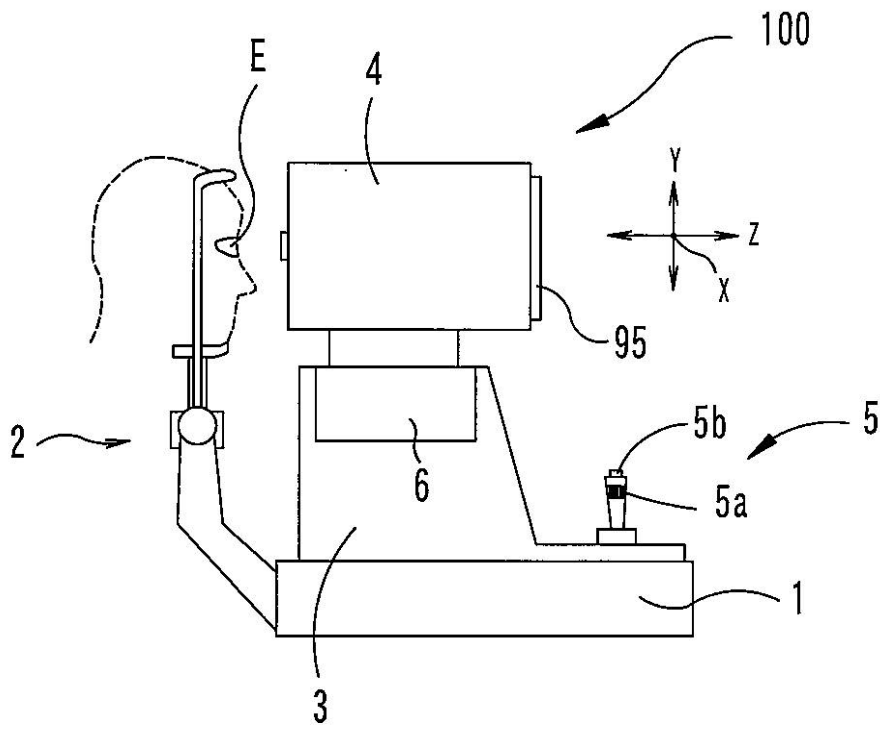
8 5 a 投光光学系

8 5 b 受光光学系

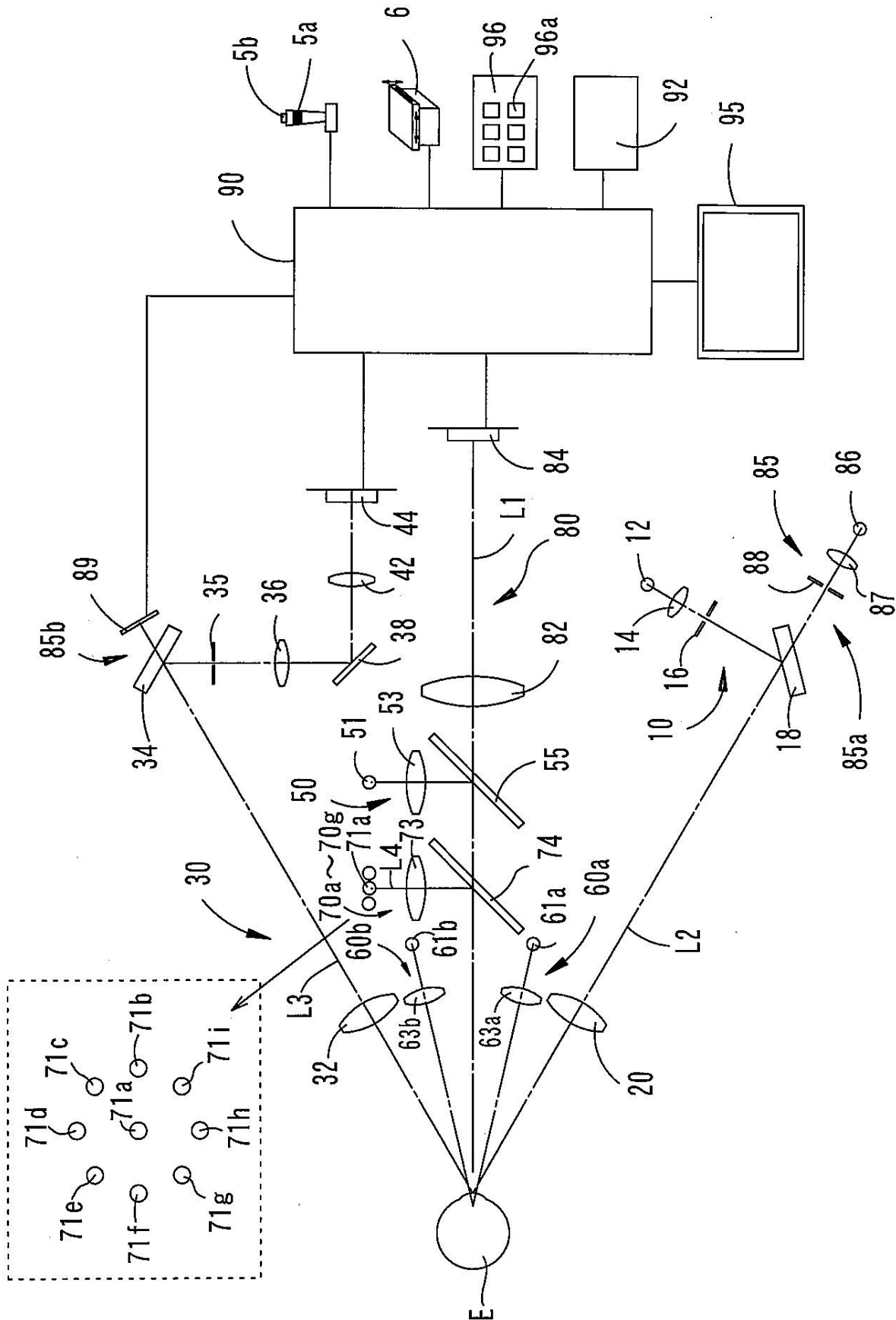
9 0 制御部

9 5 モニタ

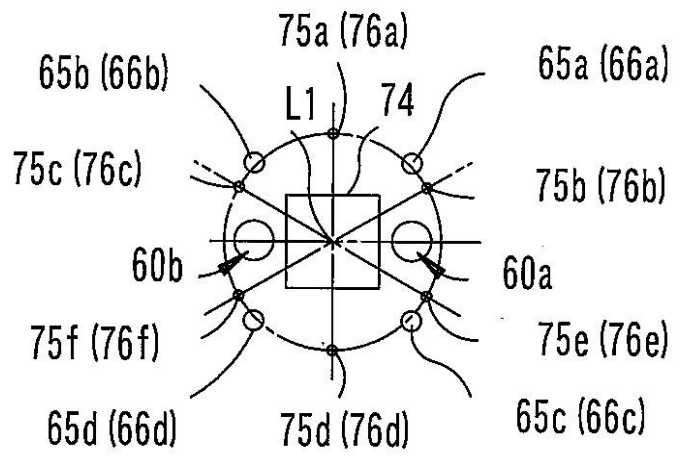
【図1】



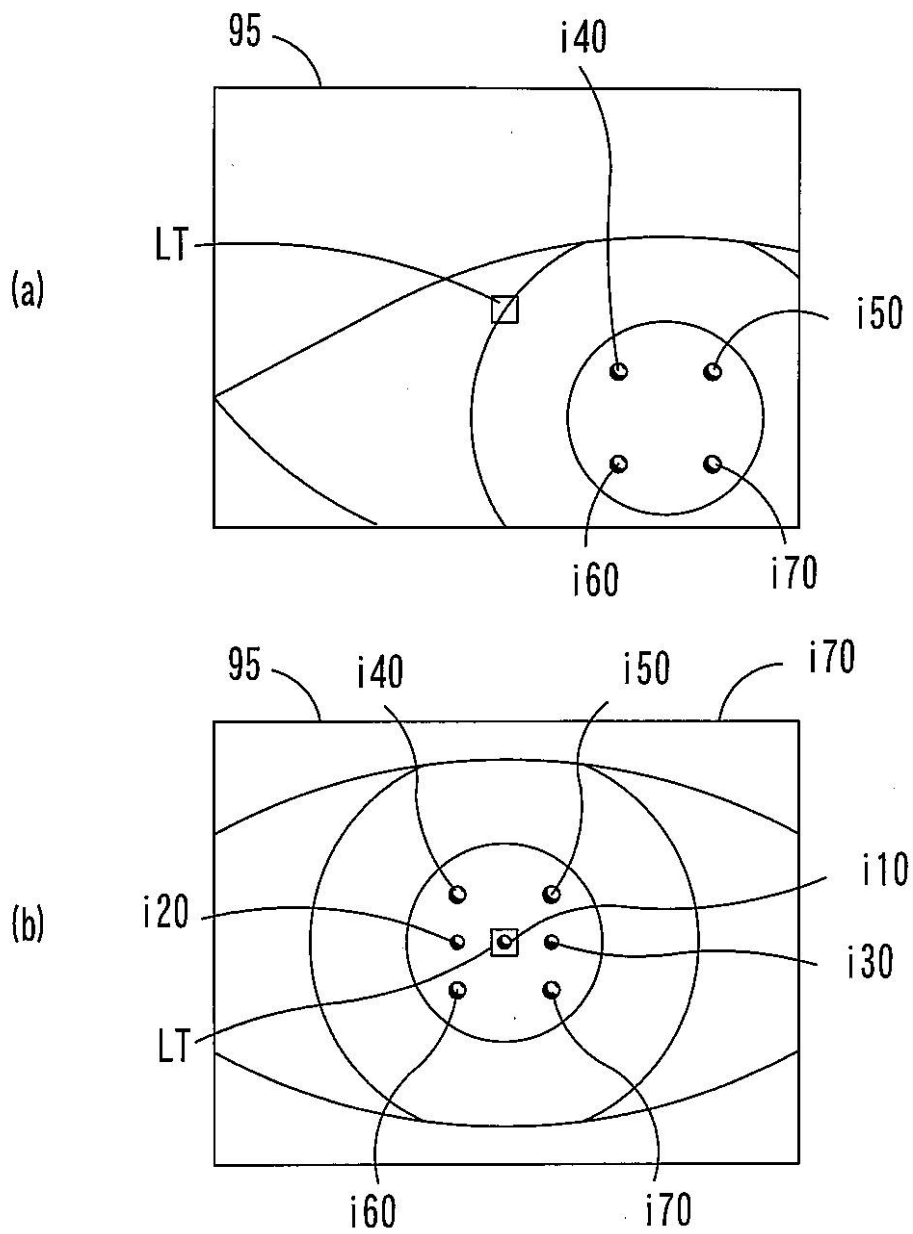
【図2】



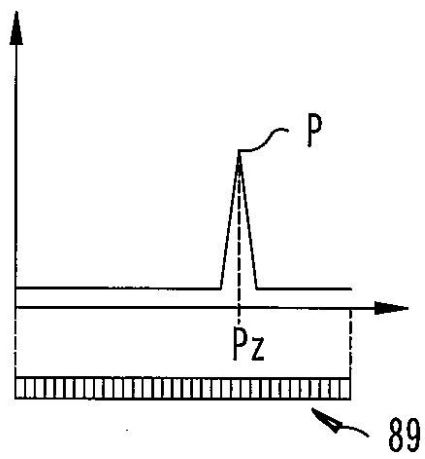
【図 3】



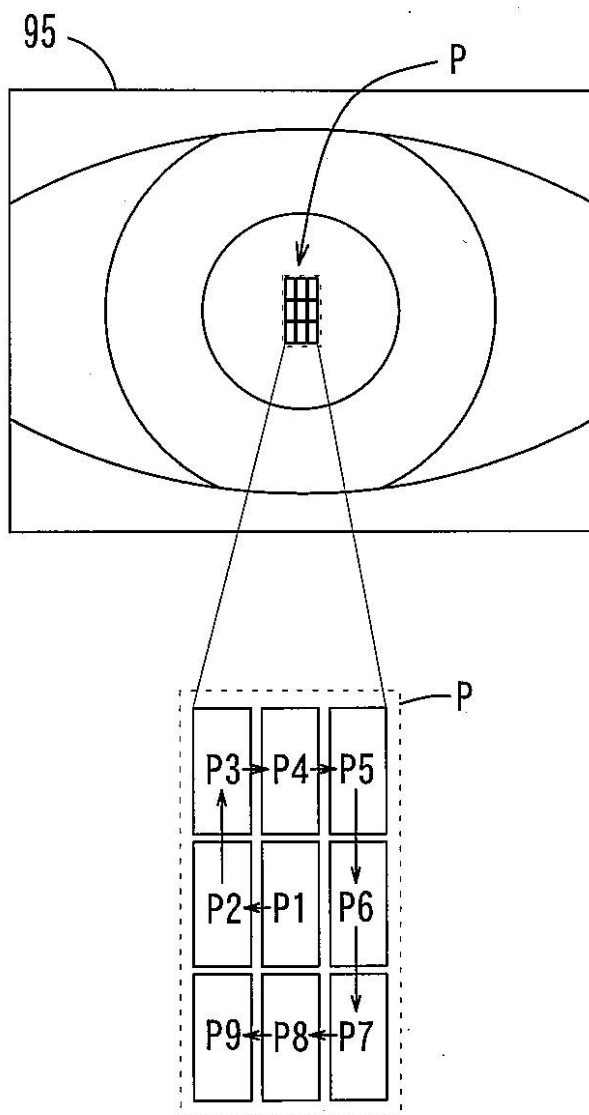
【図 4】



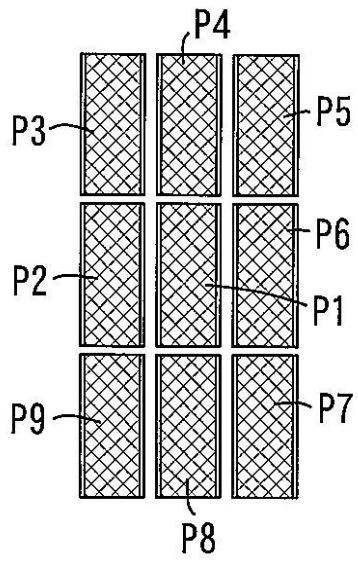
【図5】



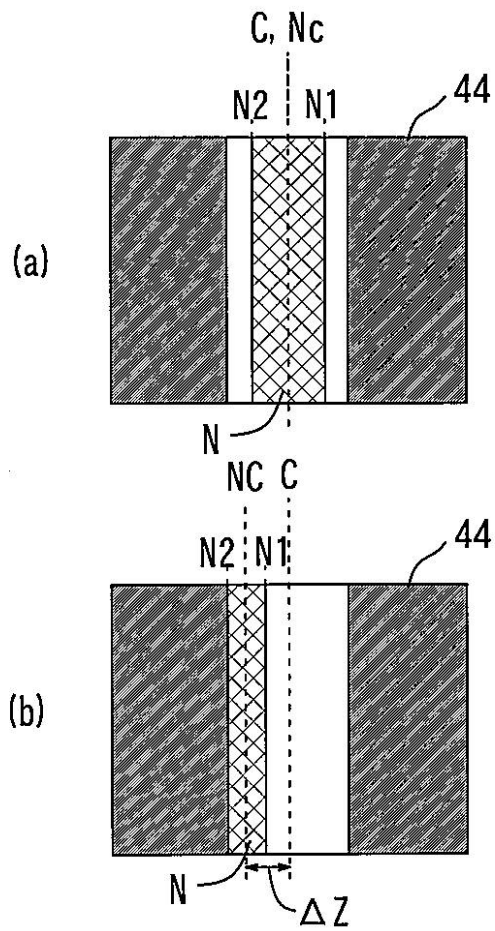
【図6】



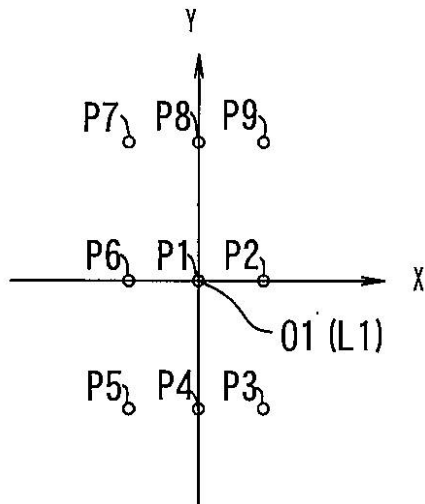
【図 7】



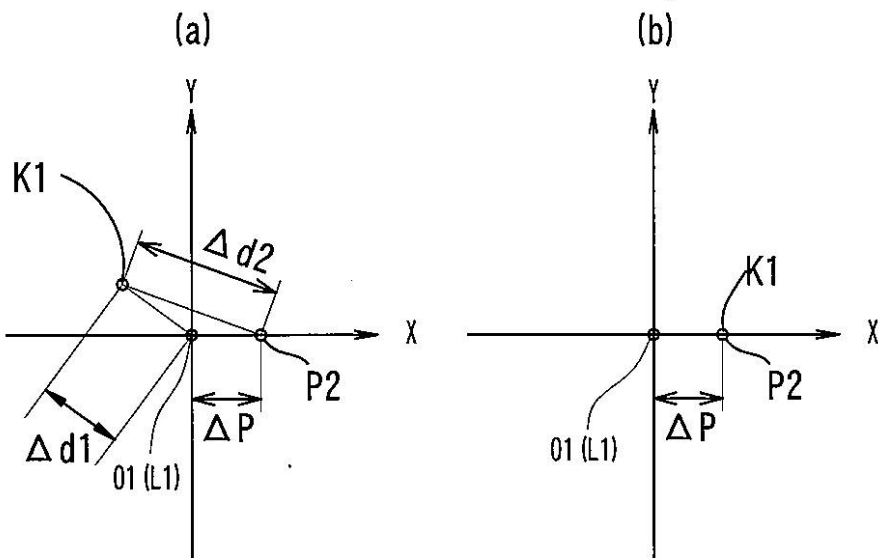
【図 8】



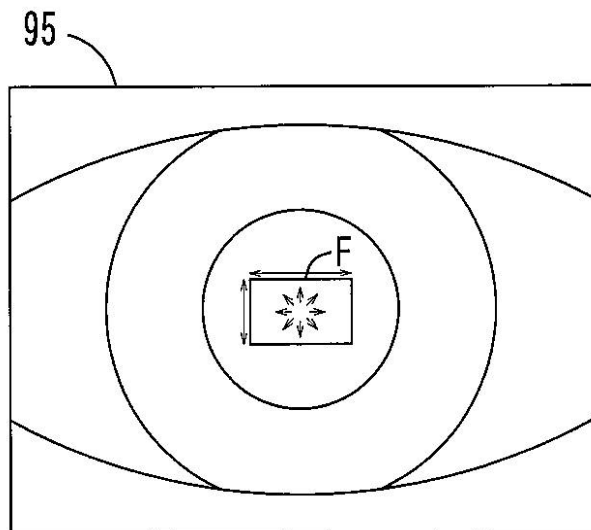
【図 9】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平09-098951(JP,A)
特開2009-291516(JP,A)
特開2010-268871(JP,A)
特開2007-307384(JP,A)
特開2003-175004(JP,A)
特開平11-070079(JP,A)
特開平06-327635(JP,A)
特開2008-054964(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
A61B 3/12
A61B 3/10