

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2020年1月9日(09.01.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/009130 A1

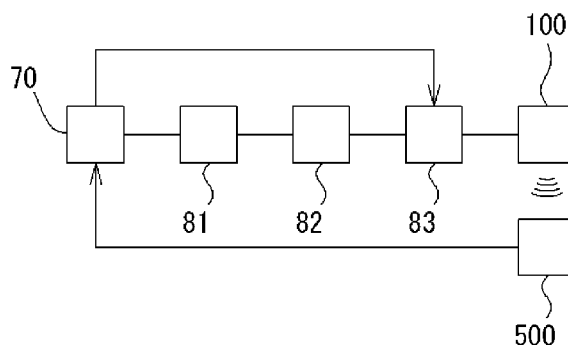
- (51) 国際特許分類:
A61B 3/16 (2006.01) *A61B 3/10* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2019/026391
- (22) 国際出願日: 2019年7月2日(02.07.2019)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2018-126415 2018年7月2日(02.07.2018) JP
特願 2018-126416 2018年7月2日(02.07.2018) JP
特願 2018-145482 2018年8月1日(01.08.2018) JP
- (71) 出願人: 株式会社ニデック(NIDEK.CO.,LTD)
[JP/JP]; 〒4430038 愛知県蒲郡市拾石町前浜3 4番地1 4 Aichi (JP).
- (72) 発明者: 三輪 哲之(MIWA Tetsuyuki); 〒4430038
愛知県蒲郡市拾石町前浜3 4番地1 4 Aichi (JP). 植村 努(UEMURA Tsutomu);

〒4430038 愛知県蒲郡市拾石町前浜3 4番地1 4 Aichi (JP). 清水 一成(SHIMIZU Kazunari); 〒4430038 愛知県蒲郡市拾石町前浜3 4番地1 4 Aichi (JP).

- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS,

(54) Title: ULTRASONIC TONOMETER

(54) 発明の名称: 超音波眼圧計



(57) Abstract: This ultrasonic tonometer measures intraocular pressure of a subject's eye using ultrasonic waves, and is characterized by being provided with: an ultrasonic actuator which has an ultrasonic element and which irradiates the subject's eye with ultrasonic waves; and an electric current adjustment means which adjusts an electric current to be applied to the ultrasonic element so as to control the acoustic pressure or acoustic radiation pressure of the ultrasonic waves. With this configuration, it becomes possible to provide an ultrasonic tonometer that resolves at least one of the conventional issues, and it becomes possible to provide, for example, an ultrasonic tonometer capable of appropriately irradiating a subject's eye with ultrasonic waves.

(57) 要約: 超音波を用いて被検眼の眼圧を測定する超音波眼圧計であって、超音波素子を有し、前記被検眼に対して超音波を照射する超音波アクチュエータと、前記超音波素子に印加する電流を調整し、超音波の音圧または音響放射圧を制御する電流調整手段を備えることを特徴とする。これによって、従来の問題点の少なくとも1つを解決する超音波眼圧計を提供することができる。例えば、被検眼に対して超音波を適正に照射できる超音波眼圧計を提供することができる。

MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

- 一 国際調査報告（条約第21条(3)）

明 細 書

発明の名称：超音波眼圧計

技術分野

[0001] 本開示は、超音波を用いて被検眼の眼圧を測定する超音波眼圧計に関する。

背景技術

[0002] 非接触式眼圧計としては、未だ空気噴射式眼圧計が一般的である。空気噴射式眼圧計は、角膜に空気を噴射したときの角膜の変形状態と、角膜に噴射される空気圧とを検出することによって、所定の変形状態における空気圧を眼圧に換算していた。

[0003] また、非接触式眼圧計としては、超音波を用いて眼圧を測定する超音波式眼圧計が提案されている（特許文献１参照）。特許文献１の超音波式眼圧計は、角膜に超音波を放射したときの角膜の変形状態と、角膜に噴射される放射圧とを検出することによって、所定の変形状態における放射圧を眼圧に換算するものである。

[0004] また、超音波眼圧計としては、角膜からの反射波の特性（振幅、位相）と眼圧との関係に基づいて眼圧を計測する装置が提案されている（特許文献２参照）。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献１：特開平５－２５３１９０

特許文献２：特開２００９－２６８６５１

発明の概要

[0006] しかしながら、従来の装置では、被検眼の角膜に対して超音波を適正に照射することができていなかった。例えば、特許文献１の装置では、角膜に対して超音波を適正に照射できず、実際に角膜を扁平または陥没させる程度の超音波を被検眼に加えることはできなかった。また、例えば、特許文献２の

装置では、角膜に対して超音波を適正に照射できず、反射波の特性を十分に検出できなかった。

[0007] また他の問題も存在する。超音波式（音響放射圧式）では、角膜を短時間で変形できるため、短時間での眼圧測定が可能となり、患者の負担を低減できるという利点がある。しかしながら、短時間で角膜を変形させると、角膜の変形状態を検出するための検出信号も急峻に変化するため、検出信号に生じる突発的なノイズ等の影響を受けやすく、眼圧の測定精度が低下してしまう可能性があった。

[0008] 本開示は、従来の問題点の少なくとも1つを解決する超音波眼圧計を提供することを技術課題とする。

[0009] 上記課題を解決するために、本開示は以下のような構成を備えることを特徴とする。

[0010] （１） 超音波を用いて被検眼の眼圧を測定する超音波眼圧計であって、超音波素子を有し、前記被検眼に対して超音波を照射する超音波アクチュエータと、前記超音波素子に印加する電流を調整し、超音波の音圧または音響放射圧を制御する電流調整手段を備えることを特徴とする。

（２） 超音波を用いて被検眼の眼圧を測定する超音波眼圧計であって、超音波素子を有し、前記被検眼に対して超音波を照射する照射手段と、前記照射手段を制御する制御手段と、を備え、前記制御手段は、前記超音波素子への印加周波数を補正することを特徴とする。

（３） 超音波を用いて被検眼の眼圧を測定する超音波眼圧計であって、超音波素子を有し、前記被検眼に対して超音波を照射する照射手段と、前記照射手段を制御する制御手段と、を備え、前記制御手段は、前記照射手段の共振周波数を補正することを特徴とする。

（４） 超音波を用いて被検眼の眼圧を測定する超音波眼圧計であって、超音波素子を有し、前記被検眼に対して超音波を照射する照射手段と、前記照射手段を制御する制御手段と、を備え、前記制御手段は、前記照射手段によって出力される超音波の音圧または音響放射圧を制御することによって、

眼圧の測定精度を変化させることを特徴とする。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]超音波眼圧計の外観図である。

[図2]筐体内部を示す概略図である。

[図3A]超音波アクチュエータの構成を示す概略図である。

[図3B]超音波アクチュエータの構成を示す概略図である。

[図4]制御系を示すブロック図である。

[図5]電気回路の構成を示すブロック図である。

[図6]電流調整部の一例を示す図である。

[図7]制御動作のフローチャートを示す図である。

[図8]バースト波の電圧信号を示す図である。

[図9]共振周波数の時間変化を示す図である。

[図10]超音波の音圧レベルの時間変化を示す図である。

[図11]バースト周波数と電流との関係を示す図である。

[図12]印加周波数の表示例を示す図である。

[図13]共振周波数の表示例を示す図である。

[図14]制御動作のフローチャートを示す図である。

[図15A]電圧信号の波形を示す図である。

[図15B]電圧信号の波形を示す図である。

[図16A]超音波の音圧レベルの時間変化を示す図である。

[図16B]超音波の音圧レベルの時間変化を示す図である。

[図17A]角膜変形信号の時間変化を示す図である。

[図17B]角膜変形信号の時間変化を示す図である。

[図18A]ノイズが生じたときの角膜変形信号の時間変化を示す図である。

[図18B]ノイズが生じたときの角膜変形信号の時間変化を示す図である。

発明を実施するための形態

[0012] <第1実施形態>

以下、本開示に係る第1実施形態について説明する。第1実施形態の超音

波眼圧計（例えば、超音波眼圧計１）は、超音波を用いて被検眼の眼圧を測定する。超音波眼圧計は、例えば、超音波アクチュエータ（例えば、超音波アクチュエータ１００）と、電流調整部（例えば、電流調整部８３）を備える。超音波アクチュエータは、超音波素子（例えば、超音波素子１１０）を有し、被検眼に対して超音波を照射する。電流調整部は、超音波素子に印加する電流を調整する。これによって、超音波アクチュエータから出力される音圧または音響放射圧が安定し、好適に眼圧測定を行うことができる。例えば、超音波眼圧計は、安定した音圧または音響放射圧を被検眼に照射することによって、角膜を好適に変形（圧平）させることができる。

[0013] なお、超音波眼圧計は、制御部（例えば、制御部７０）と、取得部（検出部５００）を備えてもよい。制御部は、例えば、電流調整部を制御する。取得部は、例えば、超音波アクチュエータに流れる電流の大きさに関する電流情報を取得する。この場合、制御部は電流情報に基づいて電流調整部を制御してもよい。例えば、制御部は、超音波アクチュエータに所定の電流が流れるように電流調整部を制御してもよい。これによって、超音波アクチュエータの出力が安定する。

[0014] なお、取得部は、超音波素子に印加される電流値もしくは電圧値、または超音波素子の抵抗値を検出することによって、電流情報を取得してもよい。この場合、例えば、電流計、電圧計等を用いてもよい。また、取得部は、超音波アクチュエータの出力を検出することによって、電流情報を取得してもよい。

[0015] なお、電流調整部は、可変インピーダンス部（例えば、可変インピーダンス部８４）を備えてもよい。この場合、制御部は、可変インピーダンス部のインピーダンスを変化させることによって、電流を調整してもよい。例えば、超音波アクチュエータと直列に接続した可変インピーダンス部のインピーダンスを変化させることによって、超音波アクチュエータに流れる電流を調整することができる。

[0016] <第２実施形態>

以下、本開示に係る第2実施形態について説明する。第2実施形態の超音波眼圧計（例えば、超音波眼圧計1）は、超音波を用いて被検眼の眼圧を測定する。超音波眼圧計は、例えば、照射部（例えば、超音波アクチュエータ100）と、制御部（例えば、制御部70）を備える。照射部は、超音波素子（例えば、超音波素子110）を有し、被検眼に対して超音波を照射する。制御部は、照射を制御し、超音波素子への印加周波数を補正する。これによって、被検眼に対して出力される音圧（または音響放射圧）を安定させることができる。

[0017] なお、制御部は、照射部の共振周波数の時間的な変化に応じて、印加周波数を補正してもよい。例えば、制御部は、照射部の共振周波数に近づくように印加周波数を補正してもよい。照射部の共振周波数に近い印加周波数の電圧を印加することによって、照射部を共振させることができ、眼圧測定のために十分な音圧または音響放射圧を出力させることができる。もちろん、可能であれば、制御部は、超音波素子への印加周波数を照射部の共振周波数に合わせてもよい。

[0018] なお、印加周波数は、超音波素子に印加する電圧の周波数であってもよい。例えば、印加する電圧波形がバースト波である場合、バースト波の周波数であってもよい。

[0019] なお、本装置は、照射部の出力を検出する検出部（例えば、検出部500）をさらに備えてもよい。この場合、制御部は、検出部の検出結果に基づいて印加周波数を補正する。例えば、制御部は、照射部の出力（音圧または音響放射圧等）が増加するように印加周波数を補正してもよい。検出部は、照射部から出力される超音波を検出してもよいし、照射部の振動を検出してもよい。制御部は、検出部によって検出された超音波または振動等の振幅に基づいて印加周波数を補正してもよい。

[0020] なお、制御部は、補正した印加周波数を表示部（例えば、表示部75）に表示してもよい。これによって、印加周波数の変化を確認することができる。

[0021] なお、制御部は、照射部の共振周波数を補正してもよい。例えば、超音波素子をクランプするクランプ部（例えば、バックマス１３２、ソノトロード１３１、駆動部６００など）をさらに備えてもよい。この場合、制御部は、クランプ部によるクランプ圧を調整することによって共振周波数を安定させてもよい。これによって、共振周波数と印加周波数との差が大きくなることが抑制され、照射部の音圧を安定させることができる。

[0022] なお、制御部は、補正した共振周波数を表示部に表示してもよい。これによって、共振周波数が安定しているか否かを容易に確認することができる。

[0023] <第３実施形態>

以下、本開示に係る第３実施形態について説明する。第３実施形態の超音波眼圧計は、超音波を用いて被検眼の眼圧を測定する。超音波眼圧計は、例えば、照射部（例えば、超音波アクチュエータ１００）と、制御部（例えば、制御部７０）を備える。照射部は、超音波素子を有し、被検眼に対して超音波を照射する。制御部は、照射部を制御する。制御部は、例えば、照射部によって出力される超音波の音圧または音響放射圧を制御することによって、眼圧の測定精度を変化させる。これによって、好適な測定精度で眼圧を測定することができる。

[0024] なお、制御部は、音圧または音響放射圧の上昇率（上昇速度）を制御することによって、眼圧の測定精度を変化させてもよい。例えば、音響放射圧によって角膜を所定の形状に変化させたときの経過時間に基づいて眼圧を測定する場合、音圧または音響放射圧の時間に対する上昇率を緩やかにしてもよい。これによって、角膜が所定形状に変形するまでの時間が長くなり、角膜の変形を精度よく検出できるようになる。

[0025] なお、制御部は、超音波素子への印加電圧、印加電流、または印加周波数を制御してもよい。これによって、音圧または音響放射圧の上昇率を容易に変化させることができる。

[0026] 制御部は、被検眼の眼圧をラフに測定する第１測定モード（例えば、スクリーニングモード）と、第１測定モードよりも高精度（シビア）に眼圧を測

定する第2測定モード（高精度測定モード）と、を切り換えてもよい。これによって、制御部は、異なる精度で眼圧測定を行うことができる。例えば、超音波眼圧計は、第1の測定精度と、第2の測定精度にて眼圧測定を行うことができる。

[0027] 制御部は、第1測定モードによって測定された眼圧に基づいて、第2測定モードに切り換えてもよい。例えば、制御部は、第1測定モードによって測定された眼圧が所定値に比べて小さい場合は第2測定モードでの測定に移行し、所定値に比べて大きい場合は第2測定モードでの測定は行わないようにしてもよい。これによって、より詳細な眼圧値を測定するために測定時間が長くなって被検者の負担が増えることを防止できる。

[0028] 制御部は、第1測定モードによって測定された眼圧に基づいて、第2測定モードの測定精度を変化させてもよい。例えば、制御部は、第1測定モードによって測定された眼圧値が小さくなるほど、第2測定モードの測定精度を大きくしてもよい。これによって、被検者ごとに適した精度で眼圧を測定することができる。

[0029] <第1実施例>

以下、本開示に係る第1実施例について説明する。第1実施例の超音波眼圧計は、例えば、超音波を用いて非接触にて被検眼の眼圧を測定する。超音波眼圧計は、例えば、被検眼に超音波を照射したときの被検眼の形状変化または振動等を、光学的または音響的に検出することで眼圧を測定する。例えば、超音波眼圧計は、角膜へパルス波またはバースト波を連続的に照射し、角膜が所定形状に変形したときの超音波の出力情報等に基づいて眼圧を算出する。出力情報とは、例えば、超音波の音圧、音響放射圧、照射時間（例えば、トリガ信号が入力されてからの経過時間）、または周波数等である。なお、被検眼の角膜を変形させる場合、例えば、超音波の音圧、音響放射圧、または音響流等が用いられる。

[0030] 図1は、装置の外観を示している。超音波眼圧計1は、例えば、基台2と、筐体3と、顔支持部4、駆動部5等を備える。筐体3の内部には後述する

超音波アクチュエータ１００、光学ユニット２００等が配置される。顔支持部４は、被検眼の顔を支持する。顔支持部４は、例えば、基台２に設置される。駆動部５は、例えば、アライメントのために基台２に対して筐体３を移動させる。

[0031] 図２は、筐体内部の主な構成の概略図である。筐体３の内部には、例えば、超音波アクチュエータ１００と、光学ユニット２００等が配置される。超音波アクチュエータ１００、光学ユニット２００について図２を用いて順に説明する。

[0032] 超音波アクチュエータ１００は、例えば、超音波を被検眼Ｅに照射する。例えば、超音波アクチュエータ１００は、角膜に対して超音波を照射し、角膜に音響放射圧を発生させる。音響放射圧は、例えば、音波の進む方向に働く力である。本実施例の超音波眼圧計１は、例えば、この音響放射圧を利用して、角膜を変形させる。なお、本実施例の超音波ユニットは、円筒状であり、中央の開口部１０１に、後述する光学ユニット２００の光軸Ｏ１が配置される。

[0033] 図３Ａは、超音波アクチュエータ１００の概略構成を示す断面図であり、図３Ｂは、図３Ａに示す範囲Ａ１を拡大した様子である。本実施例の超音波アクチュエータ１００は、いわゆるランジュバン型振動子である。超音波アクチュエータ１００は、例えば、超音波素子１１０、電極１２０、マス部材１３０、締付部材１６０等を備える。超音波素子１１０は、超音波を発生させる。超音波素子１１０は、電圧素子（例えば、圧電セラミックス）、または磁歪素子等であってもよい。本実施例の超音波素子１１０はリング状である。例えば、超音波素子１１０は複数の圧電素子が積層されたものでもよい。本実施例では、超音波素子１１０は積層された２つの圧電素子（例えば、圧電素子１１１、圧電素子１１２）が用いられる。例えば、２つの圧電素子には、それぞれ電極１２０（電極１２１、電極１２２）が接続される。本実施例の電極１２１、電極１２２は、例えば、リング状である。

[0034] マス部材１３０は、例えば、超音波素子１１０を挟む。マス部材１３０は

、超音波素子 110 を挟み込むことによって、例えば、超音波素子 110 の引っ張り強度を強くし、強い振動に耐えられるようにする。これによって、高出力の超音波を発生させることができる。マス部材 130 は、例えば、金属ブロックであってもよい。例えば、マス部材 130 は、ソノトロード（ホーン、またはフロントマスともいう）131 と、バックマス 132 等を備える。

[0035] ソノトロード 131 は、超音波素子 110 の前方（被検眼側）に配置されたマス部材である。ソノトロード 131 は、超音波素子 110 によって発生した超音波を空気中に伝搬させる。本実施例のソノトロード 131 は、円筒状である。ソノトロード 131 の内円部には、一部に雌ねじ部 133 が形成される。雌ねじ部 133 は、後述する締付部材 160 に形成された雄ねじ部 161 と螺合する。なお、ソノトロード 131 は、超音波を収束させる形状であってもよい。例えば、ソノトロード 131 の被検眼側の端面は、開口部 101 側に傾斜させ、テーパ形状としてもよい。また、ソノトロード 131 は、不均一な厚さを有する円筒であってもよい。例えば、ソノトロード 131 は、円筒の長手方向に関して外径と内径が変化する形状であってもよい。

[0036] バックマス 132 は、超音波素子 110 の後方に配置されたマス部材である。バックマス 132 は、ソノトロード 131 とともに超音波素子 110 を挟み込む。バックマス 132 は、例えば、円筒状である。バックマス 132 の内円部には、一部に雌ねじ部 134 が形成される。雌ねじ部 134 は、後述する締付部材 160 の雄ねじ部 161 と螺合する。また、バックマス 132 はフランジ部 135 を備える。フランジ部 135 は、装着部 400 によって保持される。

[0037] 締付部材 160 は、例えば、マス部材 130 と、マス部材 130 に挟み込まれる超音波素子 110 と、を締め付ける。締付部材 160 は、例えば、中空ボルトである。締付部材 160 は、例えば、円筒状であり、外円部に雄ねじ部 161 を備える。締付部材 160 の雄ねじ部 161 は、ソノトロード 131 およびバックマス 132 の内側に形成された雌ねじ部 133, 134 と

螺合する。ソノトロード１３１とバックマス１３２は、締付部材１６０によって、互いに引き合う方向に締め付けられる。これによって、ソノトロード１３１とバックマス１３２との間に挟まれた超音波素子１１０が締め付けられ、圧力が負荷される。

[0038] なお、超音波アクチュエータ１００は、絶縁部材１７０を備えてもよい。絶縁部材１７０は、例えば、電極１２０または超音波素子１１０などが締付部材１６０に接触することを防ぐ。絶縁部材１７０は、例えば、電極１２０と締付部材１６０との間に配置される。絶縁部材１７０は、例えば、スリーブ状である。

[0039] ＜光学ユニット＞

光学ユニット２００は、例えば、被検眼の観察、または測定等を行う（図２参照）。光学ユニット２００は、例えば、対物系２１０、観察系２２０、固視標投影系２３０、指標投影系２５０、変形検出系２６０、ダイクロイックミラー２０１、ビームスプリッタ２０２、ビームスプリッタ２０３、ビームスプリッタ２０４等を備える。

[0040] 対物系２１０は、例えば、光学ユニット２００に筐体３の外からの光を取り込む、または光学ユニット２００からの光を筐体３の外に照射するための光学系である。対物系２１０は、例えば、光学素子を備える。対物系２１０は、光学素子（対物レンズ、リレーレンズなど）を備えてもよい。

[0041] 照明光学系２４０は、被検眼を照明する。照明光学系２４０は、例えば、被検眼を赤外光によって照明する。照明光学系２４０は、例えば、照明光源２４１を備える。照明光源２４１は、例えば、被検眼の斜め前方に配置される。照明光源２４１は、例えば、赤外光を出射する。照明光学系２４０は、複数の照明光源２４１を備えてもよい。

[0042] 観察系２２０は、例えば、被検眼の観察画像を撮影する。観察系２２０は、例えば、被検眼の前眼部画像を撮影する。観察系２２０は、例えば、受光レンズ２２１、受光素子２２２等を備える。観察系２２０は、例えば、被検眼によって反射した照明光源２４１からの光を受光する。観察系は、例えば

、光軸〇１を中心とする被検眼からの反射光束を受光する。例えば、被検眼からの反射光は、超音波アクチュエータ１００の開口部１０１を通り、対物系２１０、受光レンズ２２１を介して受光素子２２２に受光される。

[0043] 固視標投影系２３０は、例えば、被検眼に固視標を投影する。固視標投影系２３０は、例えば、視標光源２３１、絞り２３２、投光レンズ２３３、絞り２３４等を備える。視標光源２３１からの光は、光軸〇２に沿って絞り２３２、投光レンズ２３３、絞り２３２等を通り、ダイクロイックミラー２０１によって反射される。ダイクロイックミラー２０１は、例えば、固視標投影系２３０の光軸〇２を光軸〇１と同軸にする。ダイクロイックミラー２０１によって反射された視標光源２３１からの光は、光軸〇１に沿って対物系２１０を通り、被検眼に照射される。固視標投影系２３０の視標が被検者によって固視されることで、被検者の視線が安定する。

[0044] 指標投影系２５０は、例えば、被検眼に指標を投影する。指標投影系２５０は、被検眼にＸＹアライメント用の指標を投影する。指標投影系２５０は、例えば、指標光源（例えば、赤外光源であってもよい）２５１と、絞り２５２、投光レンズ２５３等を備える。指標光源２５１からの光は、光軸〇３に沿って絞り２５２、投光レンズ２５３を通り、ビームスプリッタ２０２によって反射される。ビームスプリッタ２０２は、例えば、指標投影系２５０の光軸〇３を光軸〇１と同軸にする。ビームスプリッタ２０２によって反射された指標光源２５１の光は、光軸〇１に沿って対物系２１０を通り、被検眼に照射される。被検眼に照射された指標光源２５１の光は、被検眼によって反射され、再び光軸〇１に沿って対物系２１０と受光レンズ２２１等を通り、受光素子２２２によって受光される。受光素子によって受光された指標は、例えば、ＸＹアライメントに利用される。この場合、例えば、指標投影系２５０および観察系２２０は、ＸＹアライメント検出手段として機能する。

[0045] 変形検出系２６０は、例えば、被検眼の角膜形状を検出する。変形検出系２６０は、例えば、被検眼の角膜の変形を検出する。変形検出系２６０は、

例えば、受光レンズ２６１、絞り２６２、受光素子２６３等を備える。変形検出系２６０は、例えば、受光素子２６３によって受光された角膜反射光に基づいて、角膜の変形を検出してもよい。例えば、変形検出系２６０は、指標光源２５１からの光が被検眼の角膜によって反射した光を受光素子２６３で受光することによって角膜の変形を検出してもよい。例えば、角膜反射光は、光軸Ｏ１に沿って対物系２１０を通り、ビームスプリッタ２０２、ビームスプリッタ２０３によって反射される。そして、角膜反射光は、光軸Ｏ４に沿って受光レンズ２６１および絞り２６２を通過し、受光素子２６３によって受光される。

[0046] 変形検出系２６０は、例えば、受光素子２３６の受光信号の大きさに基づいて角膜の変形状態を検出してもよい。例えば、変形検出系２６０は、受光素子２３６の受光量が最大となったときに角膜が圧平状態になったことを検出してもよい。この場合、例えば、変形検出系２６０は、被検眼の角膜が圧平状態になったときに受光量が最大となるように設定される。

[0047] なお、変形検出系２６０は、ＯＣＴ又はシャインプルーフカメラ等の前眼部断面像撮像ユニットであってもよい。例えば、変形検出系２６０は、角膜の変形量または変形速度などを検出してもよい。

[0048] 角膜厚測定系２７０は、例えば、被検眼の角膜厚を測定する。角膜厚測定系２７０は、例えば、光源２７１と、投光レンズ２７２と、絞り２７３と、受光レンズ２７４と、受光素子２７５等を備えてもよい。光源２７１からの光は、例えば、光軸Ｏ５に沿って投光レンズ２７２、絞り２７３を通り、被検眼に照射される。そして、被検眼によって反射された反射光は、光軸Ｏ６に沿って受光レンズ２７４によって集光され、受光素子２７５によって受光される。

[0049] Zアライメント検出系２８０は、例えば、Z方向のアライメント状態を検出する。Zアライメント検出系２８０は、例えば、受光素子２８１を備える。Zアライメント検出系２８０は、例えば、角膜からの反射光を検出することによって、Z方向のアライメント状態を検出してもよい。例えば、Zアラ

イメント検出系は、光源 271 からの光が被検眼の角膜によって反射した反射光を受光してもよい。この場合、Zアライメント検出系 280 は、例えば、光源 271 からの光が被検眼の角膜によって反射してできた輝点を受光してもよい。このように、光源 271 は、Zアライメント検出用の光源として兼用されてもよい。例えば、角膜によって反射した光源 271 からの光は、光軸 06 に沿ってビームスプリッタ 204 によって反射され、受光素子 281 によって受光される。

[0050] <検出部>

検出部 500 は、例えば、超音波アクチュエータ 100 の出力を検出する。検出部 500 は、例えば、超音波センサ、変位センサ、圧力センサ等のセンサである。超音波センサは、超音波アクチュエータ 100 から発生した超音波を検出する。変位センサは、超音波アクチュエータ 100 の変位を検出する。変位センサは、変位を継続的に検出することによって、超音波アクチュエータ 100 が超音波を発生させるときの振動を検出してもよい。

[0051] 図 2 に示すように、検出部 500 は、超音波の照射経路 A の外に配置される。照射経路 A は、例えば、超音波アクチュエータ 100 の前面 F と、超音波の照射目標 T i を結ぶ領域である。検出部 500 は、例えば、超音波アクチュエータ 100 の側方または後方などに配置される。本実施例のように、検出部 500 が側方に配置される場合、観察系 220 での被検眼の観察を行い易い。検出部 500 として超音波センサが用いられる場合、検出部 500 は、超音波アクチュエータ 100 の側方または後方から漏れる超音波を検出する。検出部 500 として変位センサが用いられる場合、検出部 500 は、超音波アクチュエータ 100 の側方または後方から超音波アクチュエータ 100 の変位を検出する。変位センサは、例えば、超音波アクチュエータ 100 にレーザ光を照射し、反射したレーザ光に基づいて超音波アクチュエータ 100 の変位を検出する。検出部 500 によって検出された検出信号は、制御部に送られる。

[0052] <制御部>

次に、図5を用いて、制御系の構成について説明する。制御部70は、例えば、装置全体の制御、測定値の演算処理等を行う。制御部70は、例えば、一般的なCPU (Central Processing Unit) 71、ROM72、RAM73等で実現される。ROM72には、超音波眼圧計1の動作を制御するための各種プログラム、初期値等が記憶されている。RAM73は、各種情報を一時的に記憶する。なお、制御部70は、1つの制御部または複数の制御部（つまり、複数のプロセッサ）によって構成されてもよい。制御部70は、例えば、駆動部5、記憶部74、表示部75、操作部76、超音波アクチュエータ100、光学ユニット200、検出部500等と接続されてもよい。

[0053] 記憶部74は、電源の供給が遮断されても記憶内容を保持できる非一過性の記憶媒体である。例えば、ハードディスクドライブ、フラッシュROM、着脱可能なUSBメモリ等を記憶部74として使用することができる。

[0054] 表示部75は、例えば、被検眼の測定結果を表示する。表示部75は、タッチパネル機能を備えてもよい。

[0055] 操作部76は、検者による各種操作指示を受け付ける。操作部76は、入力された操作指示に応じた操作信号を制御部70に出力する。操作部76には、例えば、タッチパネル、マウス、ジョイスティック、キーボード等の少なくともいずれかのユーザーインターフェイスを用いればよい。なお、表示部75がタッチパネルである場合、表示部75は、操作部76として機能してもよい。

[0056] <電気回路>

図5は、本実施例の電気回路を示す概略図である。超音波眼圧計1は、例えば、信号生成部81、信号増幅部82、電流調整部83等を備える。信号生成部81は、例えば、超音波アクチュエータ100に印加される電圧信号を生成する。本実施例では、信号生成部81によってバースト波の電圧信号が生成される。信号生成部81によって生成された電圧信号は、信号増幅部82に送られる。信号増幅部82は、信号生成部81によって生成された電圧信号を増幅させる。信号増幅部82は、例えば、パワーアンプ等である。

電流調整部 83 は、例えば、超音波アクチュエータ 100 に流れる電流を調整する。

[0057] 図 6 は、電流調整部 83 を示す図である。電流調整部 83 は、例えば、可変インピーダンス部 84 を有する。可変インピーダンス部 84 は、インピーダンスを変更することができる素子である。可変インピーダンス部 84 は、例えば、可変インダクタであってもよい。可変インダクタは、例えば、コア（磁石など）をスライドさせてコイルとの位置をずらすことで透磁率を変化させ、インピーダンス（例えば、インダクタンス）を変更できる素子である。例えば、制御部 70 は、駆動部 85（図 4 参照）の駆動によってコアを移動させることでインピーダンスを変更することができる。本実施例の電流調整部 83 は、可変インピーダンス部 84 のインピーダンスを変更することによって、超音波アクチュエータ 100 に流れる電流を調整する。

[0058] 超音波アクチュエータ 100 を流れる電流 I_{in} は、回路全体のインピーダンス Z_0 によって変化する。例えば、回路全体のインピーダンス Z_0 が小さくなると、回路に電流が流れやすくなるため、超音波アクチュエータ 100 を流れる電流 I_{in} は大きくなる。逆に、回路全体のインピーダンス Z_0 が大きくなると、回路に電流が流れにくくなるため、超音波アクチュエータ 100 を流れる電流 I_{in} は小さくなる。本実施例の場合、可変インピーダンス部 84 と超音波アクチュエータ 100 は直列に接続されるため、可変インピーダンス部 84 のインピーダンスを Z_L 、超音波アクチュエータ 100 のインピーダンスを Z_{act} とすると、回路全体のインピーダンス Z_0 は、数 1 で表される。したがって、電流調整部 83 は、可変インピーダンス部 84 のインピーダンス Z_L を変更することによって、回路全体のインピーダンス Z_0 を変化させ、電流 I_{in} を調整する。

[数 1]

$$Z_0 = Z_L + Z_{act}$$

[0059] 例えば、超音波アクチュエータ 100 に流れる電流 I_{in} を大きくする場合

、可変インピーダンス部 84 のインピーダンス Z_L を小さくする。これによって、回路全体のインピーダンス Z_0 が小さくなり、電流 I_{in} が大きくなる。また、超音波アクチュエータ 100 に流れる電流 I_{in} を小さくする場合、可変インピーダンス部 84 のインピーダンス Z_L を大きくする。これによって、回路全体のインピーダンス Z_0 が大きくなり、電流 I_{in} が小さくなる。

[0060] なお、本実施例では、超音波アクチュエータ 100 から出力された音圧に基づいて電流値を調整する。例えば、超音波アクチュエータ 100 から出力された超音波の音圧 P を検出し、目標の音圧 P_0 と比較する。音圧 P が目標の音圧 P_0 より小さい場合は、超音波素子 110 に流れる電流 I_{in} が小さくなっていると考えられる。したがって、制御部 70 は、可変インピーダンス部 84 のインピーダンス Z_L を小さくすることによって回路全体のインピーダンス Z_0 を小さくし、超音波アクチュエータ 100 に流れる電流 I_{in} を大きくする。逆に、超音波の音圧 P が目標の音圧 P_0 よりも大きい場合は、超音波素子 110 に流れる電流 I_{in} が大きくなっていると考えられる。したがって、制御部 70 は、可変インピーダンス部 84 のインピーダンス Z_L を大きくすることによって回路全体のインピーダンス Z_0 を大きくし、超音波アクチュエータ 100 に流れる電流 I_{in} を小さくする。

[0061] 例えば、電流調整前の時間 t_1 における可変インピーダンス部 84 のインピーダンスを $Z_L(t_1)$ とし、電流調整後の時間 t_2 における可変インピーダンス部 84 のインピーダンスを $Z_L(t_2)$ とすると、インピーダンス $Z_L(t_2)$ は、インピーダンス $Z_L(t_1)$ を用いて数 2 のように表すことができる。

[0062] [数2]

$$Z_L(t_2) = Z_L(t_1) \times C(t_1)$$

[0063] ここで、係数 $C(t_1)$ は、時間 t_1 における実際の音圧 $P(t_1)$ の音圧 P_0 に対する比と、重み付け係数 w を用いて数 3 のように表すことができる。なお、係数 w は、例えば、実験的に求められた数値が用いられる。

[数3]

$$C(t_1) = \frac{1}{(P(t_1)/P_0)} \times w$$

[0064] 電流調整部 8 3 は、数 2 および数 3 に基づいて、順次、可変インピーダンス部 8 4 のインピーダンス Z_L を変化させることによって、超音波アクチュエータ 1 0 0 から出力された超音波の音圧 P を目標の音圧 P_0 に近づけることができる。これによって、超音波アクチュエータ 1 0 0 は安定した音圧で超音波を被検眼に照射することができる。

[0065] <電流値の調整>

以下、本実施例における電流値の調整制御を図 7 に基づいて説明する。

[0066] (ステップ S 1 : 電圧信号出力)

まず、制御部 7 0 は、信号生成部 8 1 を制御し、波形信号を出力させる。信号生成部 8 1 は、制御部 7 0 からの指令信号に基づいてバースト波の電圧信号を出力する。

[0067] (ステップ S 2 : 信号増幅)

信号生成部 8 1 から出力された電圧信号は、信号増幅部 8 2 に入力される。信号増幅部 8 2 は入力された電圧信号を増幅する。

[0068] (ステップ S 3 : 超音波出力)

信号増幅部 8 2 によって増幅された電圧信号は、電流調整部 8 3 を通過し、超音波アクチュエータ 1 0 0 に入力される。超音波素子 1 1 0 にバースト波の電圧信号が加わると、超音波素子 1 1 0 は超音波を出力する。超音波素子 1 1 0 によって発生した超音波は、ソノトロード 1 3 1 を伝搬し、被検眼に向けて照射される。

[0069] (ステップ S 4 : 超音波検出)

検出部 5 0 0 は、超音波アクチュエータ 1 0 0 の出力を検出する。例えば、検出部 5 0 0 は、超音波アクチュエータ 1 0 0 から照射された超音波の音圧を検出する。もちろん、検出部 5 0 0 は、音圧に限らず、超音波アクチュ

エータ 100 の振動等から超音波の出力を検出してもよい。

[0070] (ステップ S 5 : フィードバック)

検出部 500 は、検出した超音波の出力情報を制御部 70 にフィードバックする。例えば、制御部 70 は、検出部 500 からフィードバックされた音圧と、数 2 および数 3 の計算式を用いて、変更するインピーダンス Z_L を計算する。

[0071] (ステップ S 6 : 電流値調整)

制御部 70 は、電流値の調整を行う。例えば、制御部 70 は、駆動部 85 を制御することによって、可変インピーダンス部 84 のインピーダンス Z_L を算出されたインピーダンスに合わせる。これによって、可変インピーダンス部 84 側の回路に流れる電流が変化し、その結果、超音波アクチュエータ 100 に流れる電流が変化する。例えば、制御部 70 は、ステップ S 1 からステップ S 6 を繰り返すことによって、超音波アクチュエータ 100 に流れる電流が一定となるように調整する。

[0072] <測定動作>

以上のような構成を備える装置の制御動作について説明する。まず、制御部 70 は、顔支持部 4 に顔を支持された被検者の被検眼に対する超音波眼圧計 1 のアライメントを行う。例えば、制御部 70 は、受光素子 222 によって取得される前眼部正面画像から指標投影系 250 による輝点を検出し、輝点の位置が所定の位置になるように駆動部 5 を駆動させる。もちろん、検者は、表示部 75 を見ながら、操作部 76 等を用いて被検眼に対するアライメントを手動で行ってもよい。制御部 70 は、駆動部 5 を駆動させると、前眼部画像の輝点の位置が所定の位置であるか否かによってアライメントの適否を判定する。

[0073] 被検眼 E に対するアライメント完了後、制御部 70 は、角膜厚測定系 270 によって角膜厚を測定する。例えば、制御部 70 は、受光素子 275 によって受光された受光信号に基づいて角膜厚を算出する。例えば、制御部 70 は、受光信号に基づいて、角膜表面の反射光によるピーク値と、角膜裏面の

反射光のピーク値との位置関係から角膜厚を求めてもよい。制御部 70 は、例えば、求めた角膜厚を記憶部 74 等に記憶させる。

[0074] 続いて制御部 70 は、超音波アクチュエータ 100 を用いて被検眼の眼圧を測定する。例えば、制御部 70 は、超音波素子 110 に電圧を印加し、被検眼 E に超音波を照射する。制御部 70 は、例えば、超音波によって音響放射圧を生じさせることによって角膜を変形させる。そして、制御部 70 は、変形検出系 260 によって角膜の変形状態を検出する。例えば、制御部 70 は、受光素子 263 の受光信号に基づいて角膜が所定形状（圧平状態または扁平状態）に変形したことを検出する。なお、超音波眼圧計 1 は、電流調整部 83 によって電流を調整する、安定した超音波出力で好適に角膜を所定形状に変形させることができる。

[0075] 制御部 70 は、例えば、被検眼の角膜が所定形状に変形したときの音響放射圧に基づいて被検眼の眼圧を算出する。被検眼に加わる音響放射圧は超音波の照射時間と相関があり、超音波の照射時間が長くなるにつれて大きくなる。したがって、制御部 70 は、超音波の照射時間に基づいて、角膜が所定形状に変形したときの音響放射圧を求める。角膜が所定形状に変形するときの音響放射圧と、被検眼の眼圧との関係は、予め実験等によって求められ、記憶部 74 等に記憶される。制御部 70 は、角膜が所定形状に変形したときの音響放射圧と、記憶部 74 に記憶された関係に基づいて被検眼の眼圧を決定する。なお、第 1 実施例のように、電流調整部 83 によって電流が調整されることで超音波の出力が安定するため、超音波の照射時間と、音響放射圧との適正な相関も得られやすい。

[0076] 以上のように、本実施例の超音波眼圧計 1 は、超音波素子 110 に印加する電流値を調整することによって、超音波の出力を安定させることができ、適切に眼圧を測定することができる。

[0077] 例えば、超音波アクチュエータ 100 は、全体が共振することによって大きな音圧または音響放射圧を出力できる。しなしながら、共振周波数は時間経過とともに変動するため、適正な共振状態ではなくなると音圧（または音

響放射圧)が徐々に低下してしまうことがある。そこで、音圧(または音響放射圧)の低下に合わせて超音波アクチュエータ100に印加する電流を調整することによって、安定した音圧または音響放射圧を得られる。

[0078] なお、上記の実施例において、検出部500は、超音波の音圧を検出し、制御部70にフィードバックしたが、これに限らない。例えば、検出部500は、サンプリングボードなどによって、超音波アクチュエータ100に流れる電流値、電圧値または抵抗値を計測してもよい。この場合、検出部500によって検出された電流値、電圧値または抵抗値等の情報は、制御部70にフィードバックされる。制御部70は、検出部500からフィードバックされた情報に基づいて、電流調整部83を制御し、電流を調整する。このように、検出部500は、超音波の音圧または音響放射圧だけでなく、超音波アクチュエータ100に流れる電流に関する情報を検出し、制御部70にフィードバックしてもよい。そして、制御部70は、超音波アクチュエータ100に流れる電流が所定となるように、電流調整部83を制御してもよい。

[0079] なお、電流調整部83は、定電流回路を備えてもよい。定電流回路は、抵抗が変わっても電流を一定に流そうとする回路である。例えば、トランジスタを用いた定電流回路が知られている。定電流回路を用いることによって、制御部70による特別な制御を必要とせず、電気回路の構成によって電流値を調整できる。このように、定電流回路を用いた場合であっても、超音波アクチュエータ100に印加する電流を安定させ、被検眼に印加する超音波の音圧または音響放射圧を安定させることができる。

[0080] <第2実施例>

第2実施例について説明する。第2実施例の超音波眼圧計は、以下に説明する印加周波数の補正に関する制御動作を行う。機械的な構成は第1実施例と同様であるため、同符号を付して説明は省略する。

[0081] <印加周波数の補正>

超音波アクチュエータ100によって超音波を発生させる際、制御部70は、超音波素子110に電圧を印加する。例えば、制御部70は、電圧のバ

ースト波を超音波素子 110 に印加する。本実施例では、5mmHg以上の被検眼を測定するために140dB以上の音圧（または音響放射圧）を発生させる。音圧（または音響放射圧）は、図8に示すような電圧のバースト波Bを連続的に印加することによって徐々に上昇していく。例えば、高い音圧（または音響放射圧）を得るために、1~100msec以上の時間、連続的にバースト波Bを超音波素子 110 に印加する。

[0082] 第2実施例の超音波アクチュエータ 100 は、共振周波数 f_r で共振するときに、大きな音圧または音響放射圧が出力される。そこで、制御部 70 は、超音波アクチュエータ 100 の共振周波数 f_r と同じ周波数のバースト波を超音波素子 110 に印加し、超音波アクチュエータ 100 を共振させる。しかしながら、一定の印加周波数 f_b のバースト波を印加する場合でも、図9に示すように、超音波アクチュエータ 100 の共振周波数 f_r が時間経過とともに変動することがある。この場合、共振周波数 f_r と印加周波数 f_b がずれて適正な共振状態ではなくなってしまう、図10に示すように音圧（または音響放射圧）が徐々に低下してしまう。そこで、第2実施例の制御部 70 は、共振周波数 f_r の変化に合わせて印加周波数 f_b を補正することで、安定した音圧または音響放射圧を得られるようにする。

[0083] 図11は、印加周波数 f_b と、超音波素子 110 に流れる電流の関係を示す図である。例えば、制御部 70 は、所定の大きさ（振幅V）のバースト波Bを印加したときに、超音波素子 110 に流れる電流値が増加するように印加周波数 f_b を繰り返し補正していく。超音波アクチュエータ 100 の共振状態が適正である場合、超音波素子 110 の抵抗値が小さくなり、超音波素子 110 に流れる電流が大きくなる。したがって、制御部 70 は、電流値が増加するように印加周波数 f_b を調整することで、実質的に印加周波数 f_b を共振周波数 f_r に近付けることになる。

[0084] 例えば、制御部 70 は、電流値が増加するような印加周波数 f_b を探索する。例えば、制御部 70 は、印加周波数 f_b を変化させ、このときに計測された電流値の増減に応じて印加周波数を補正していく。例えば、図11において

、制御部 70 は、まず印加周波数 f_{b1} のバースト波を印加し、そのときの電流値 I_{b1} を計測する。次に、印加周波数 f_{b1} よりも小さい印加周波数 f_{b2} のバースト波を印加し、そのときの電流値 I_{b2} を計測する。ここで、電流値 I_{b2} が電流値 I_{b1} よりも小さくなったため、今度は印加周波数 f_{b1} よりも大きい印加周波数 f_{b3} のバースト波を印加し、このときの電流値 I_{b3} を計測する。これを繰り返すことによって、制御部 70 は印加周波数 f_b を補正する。

[0085] 以上のように、第 2 実施例の超音波眼圧計は、制御部 70 は、超音波素子 110 に印加する印加周波数を補正することによって、超音波アクチュエータ 100 の適正な共振状態を維持し、十分な大きさの音圧（または音響放射圧）を安定して被検眼に照射できる。これによって、超音波を用いた眼圧測定が可能となる。

[0086] なお、制御部 70 は、検出部 500 による検出結果に基づいて印加周波数 f_b を補正してもよい。例えば、検出部 500 によって超音波アクチュエータ 100 から出力された超音波が検出される場合、超音波の音圧または振幅等が増加するように印加周波数 f_b を補正してもよい。また、検出部 500 によって超音波アクチュエータ 100 の変位（振動）が検出される場合、超音波アクチュエータ 100 の振幅が増加するように印加周波数 f_b を補正してもよい。このように、印加周波数 f_b が補正され、超音波アクチュエータ 100 の共振状態が適正に維持されることによって、十分な大きさの音圧または音響放射圧を被検眼に照射できる。

[0087] なお、図 12 に示すように、制御部 70 は、補正した印加周波数 f_b を表示部 75 に表示してもよい。これによって、どの程度周波数が補正されたか確認することが容易となる。また、制御部 70 は、印加周波数 f_b の補正量などを表示部 75 に表示させてもよい。印加周波数 f_b を表示部 75 に表示するかどうかは任意に選択可能であってもよい。

[0088] なお、上記のような印加周波数 f_b の補正は、制御部 70 によって自動で行われるか、または検者によって手動で行うかを任意で選択できるようにしてもよい。例えば、制御部 70 は、検者によって操作部 76 が操作されること

によって出力された操作信号に基づいて、印加周波数 f_b を自動で補正するか否かを判定してもよい。

[0089] なお、制御部 70 は、共振周波数 f_r を補正してもよい。制御部 70 は、共振周波数 f_r が一定となるように補正することによって、超音波アクチュエータ 100 の適正な共振状態を維持するようにしてもよい。共振周波数を補正する方法としては、例えば、超音波素子 110 のクランプ圧を調整することが挙げられる。例えば、図 3 に示すように、バックマス 132 に対してソノトロード 131 を回動させる駆動部 600 を設け、超音波素子 110 のクランプ圧を制御できるようにする。この場合、制御部 70 は、駆動部 600 を制御し、超音波素子 110 のクランプ圧を調整することで、共振周波数 f_r の変動を補正することができる。なお、共振周波数 f_r を補正する場合も、図 13 に示すように、補正した共振周波数 f_r を表示部 75 に表示させてもよい。これによって、共振周波数 f_r が安定しているかどうかを容易に確認することができる。また、共振周波数 f_r の補正も、印加周波数 f_b の補正と同様に、自動か手動かを任意で選択できるようにしてもよい。

[0090] <第 3 実施例>

第 3 実施例について説明する。第 3 実施例の超音波眼圧計は、以下に説明する制御動作を行う（図 14 参照）。機械的な構成は第 1 実施例と同様であるため、同符号を付して説明は省略する。

[0091] （ステップ S 11：アライメント）

まず、制御部 70 は、被検眼に対する測定部 3 のアライメントを行う。被検者の顔は、顔支持部 4 に支持される。例えば、制御部 70 は、受光素子 222 によって取得される前眼部正面画像から指標投影部 250 による輝点を検出し、輝点の位置が所定の位置になるように駆動部 5 を駆動させる。もちろん、検者は、表示部 75 を見ながら、操作部 76 等を用いて被検眼に対するアライメントを手動で行ってもよい。制御部 70 は、駆動部 5 を駆動させると、前眼部画像の輝点の位置が所定の位置であるか否かによってアライメントの適否を判定する。

[0092] (ステップS 1 2 : 角膜厚測定)

被検眼Eに対するアライメント完了後、制御部70は、角膜厚測定系270によって角膜厚を測定する。例えば、制御部70は、受光素子275によって受光された受光信号に基づいて角膜厚を算出する。例えば、制御部70は、受光信号に基づいて、角膜表面の反射光によるピーク値と、角膜裏面の反射光のピーク値との位置関係から角膜厚を求めてもよい。制御部70は、例えば、求めた角膜厚を記憶部74等に記憶させる。

[0093] (ステップS 1 3 : スクリーニング)

制御部70は、スクリーニングモードで眼圧を測定する。スクリーニングモードでは、被検眼の大まかな眼圧を短時間で測定する。例えば、制御部70は、図15Aに示すような最大電圧 V_{max} のバースト波 B_{max} を超音波アクチュエータ100の超音波素子110に印加する。これによって、超音波アクチュエータ100から被検眼に対して超音波が照射される。被検眼の角膜は、超音波によって生じた音響放射圧によって変形する。制御部70は、変形検出系260によって得られた角膜変形信号（受光素子263の受光信号）に基づいて、角膜が所定形状（圧平または扁平状態）に変形したことを検出する。

[0094] 制御部70は、例えば、被検眼の角膜が所定形状に変形したときの音響放射圧に基づいて被検眼の眼圧を算出する。被検眼に加わる音響放射圧は超音波の照射時間と相関があり、超音波の照射時間が長くなるにつれて大きくなる。したがって、制御部70は、超音波の照射時間に基づいて音響放射圧を求める。角膜が所定形状に変形するときの音響放射圧と、被検眼の眼圧との関係は、予め実験等によって求められ、記憶部74等に記憶される。制御部70は、角膜が所定形状に変形したときの音響放射圧と、記憶部74に記憶された関係に基づいて被検眼の眼圧値を決定する。

[0095] (ステップS 1 4 : 高精度測定)

続いて、制御部70は、高精度測定モードで眼圧を測定する。高精度測定モードでは、スクリーニングモードよりも精度良く眼圧が測定される。制御

部 70 は、超音波素子 110 に印加する電圧を制御することによって音圧の上昇率（例えば、単位時間当たりの上昇量）を変化させ、測定精度を向上させる。例えば、制御部 70 は、スクリーニングモードにおいて図 15 A に示すような最大電圧 V_{max} のバースト波 B_{max} を印加したのに対し、図 15 B に示すような最大電圧 V_{max} よりも小さい電圧 V_1 のバースト波 B_1 を超音波素子 110 に印加する。制御部 70 は、超音波素子 110 に印加する電圧を小さくすることによって、音圧の上昇を緩やかにする。例えば、図 16 A はバースト波 B_{max} の電圧を印加したときの音圧の時間変化を示すグラフであり、図 16 B はバースト波 B_1 の電圧を印加したときの音圧の時間変化を示すグラフである。図 16 A, B に示すように、大きい電圧を印加する場合に比べ、小さい電圧を印加する場合は音圧の時間に対する上昇率が小さくなる。

[0096] 例えば、眼圧値 P_a の被検眼を測定するために必要な音圧を K_1 、眼圧値 P_a よりも大きな眼圧値 P_b ($> P_a$) を測定するために必要な音圧を K_2 とする。また、図 16 A, B のように、バースト波 B_{max} を印加してから音圧 K_1 に達するまで時間を T_{11} 、バースト波 B_{max} を印加してから音圧 K_2 に達するまでの時間を T_{12} とする。さらに、バースト波 B_1 を印加してから音圧 K_1 に達するまでの時間を T_{21} 、バースト波 B_1 を印加してから音圧 K_2 に達するまでの時間を T_{22} とする。電圧を小さくすることで音圧上昇が緩やかになるため、時間 T_{21} と時間 T_{22} との間隔 Δt_2 は、時間 T_{11} と時間 T_{12} との間隔 Δt_1 よりも大きくなり、時間分解能が向上する。例えば、図 17 A はバースト波 B_{max} を印加したときの角膜変形信号であり、図 17 B はバースト波 B_1 を印加したときの角膜変形信号である。また、図 17 A, B の太い点線は眼圧値 P_a の眼を測定したときの角膜変形信号であり、実線は眼圧値 P_b の眼を測定したときの角膜変形信号である。音圧上昇を緩やかにすることで眼圧値ごとの角膜変形信号のピーク間隔が広がり、ピーク位置を誤検出する可能性が低下する。これによって、眼圧の測定精度が向上する。

[0097] また、図 18 A はバースト波 B_{max} を印加したときの角膜変形信号 Q_a であり、図 18 B はバースト波 B_1 を印加したときの角膜変形信号 Q_b である。こ

ここで、角膜変形信号 Q_a 、 Q_b は、同一の眼圧の眼を測定したときの信号である。角膜変形信号 Q_b の検出時間 T_2 は、角膜変形信号 Q_a の検出時間 T_1 よりも長く、角膜変形信号の変化が緩やかである。このため、突発的なノイズ（ピークノイズ） N が発生した場合であっても、角膜変形信号のピークを誤検出しにくい。

[0098] 制御部 70 は、電圧 V_1 を超音波素子 110 に印加し、スクリーニングモード時よりも緩やかに上昇する音響放射圧によって被検眼を変形させる。そして制御部 70 は、変形検出系 260 によって角膜が所定形状に変形したことを検出し、そのときの音響放射圧の大きさに基づいて被検眼の眼圧を測定する。

[0099] 以上のように、第 3 実施例の超音波眼圧計は、超音波の音圧または音響放射圧を制御することによって、眼圧の測定精度を変化させることができる。これによって、眼圧を短時間で簡易的に測定したり、眼圧を高精度に測定したりすることができるため、装置の使用目的に合わせた測定を行うことができる。

[0100] なお、上記の第 3 実施例では、超音波素子 110 に印加する電圧を制御することによって、音圧または音響放射圧の上昇率を制御したが、これに限らない。例えば、超音波素子 110 に印加する電流を制御することで、音圧または音響放射圧の上昇率を調整し、眼圧の測定精度を変化させてもよい。例えば、高精度測定モードのときに超音波素子 110 に流す電流をスクリーニングモードのときよりも小さくすることによって音圧の上昇率を低下させ、測定精度を上げるようにしてもよい。また、超音波素子 110 に印加する電圧の周波数を制御することで、音圧または音響放射圧の上昇率を調整してもよい。

[0101] なお、制御部 70 は、スクリーニングモードによって測定された眼圧値に基づいて、高精度測定モードに切り換えてもよい。例えば、眼圧値が大きい場合に高精度測定モードで測定してしまうと、測定完了までに時間が掛かり被検者の負担となる可能性がある。このため、スクリーニングモードで測定

された眼圧値が所定値以下であった場合に高精度測定モードに切り換えるようにしてもよい。

[0102] また、スクリーニングモードで測定された眼圧値に基づいて、高精度測定モードの音圧または音響放射圧を制御してもよい。例えば、スクリーニングモードでの眼圧値が小さくなるにしたがって、高精度測定モードでの音圧の上昇率を低下させてもよい。これによって、眼圧値が低い被検者に対してより精度良く眼圧測定を行うことができ、眼圧値が高い被検者に対しては測定時間が長くないようにすることができる。

[0103] なお、精度の異なる複数の測定モードで測定を行った場合、全ての測定結果を表示部 7 5 に表示させなくてもよい。例えば、いずれか 1 つの測定モードにおいて得られた測定結果を表示部 7 5 に表示させてもよい。例えば、複数の測定モードのうち、精度の高い測定モードで得られた測定結果を表示部 7 5 に表示させるようにしてもよい。

[0104] なお、眼圧の算出方法は、上記に限らず、種々の方法が用いられてもよい。例えば、制御部 7 0 は、変形検出系 2 6 0 によって角膜の変形量を求め、変形量に換算係数を掛けることによって眼圧を求めてもよい。なお、制御部 7 0 は、例えば、記憶部 7 4 に記憶された角膜厚に応じて算出した眼圧値を補正してもよい。

[0105] なお、制御部 7 0 は、被検眼によって反射した超音波に基づいて眼圧を測定してもよい。例えば、被検眼によって反射した超音波の特性変化に基づいて眼圧を測定してもよいし、被検眼によって反射した超音波から角膜の変形量を取得し、その変形量に基づいて眼圧を測定してもよい。また、超音波を照射したときの角膜の振動特性に基づいて眼圧を求めてもよい。

符号の説明

- [0106]
- 1 非接触式超音波眼圧計
 - 2 基台
 - 3 筐体
 - 4 顔支持部

6 支基

1 0 0 超音波アクチュエータ

2 0 0 光学ユニット

4 0 0 装着部

5 0 0 検出部

請求の範囲

- [請求項1] 超音波を用いて被検眼の眼圧を測定する超音波眼圧計であって、
超音波素子を有し、前記被検眼に対して超音波を照射する超音波アクチュエータと、
前記超音波素子に印加する電流を調整し、超音波の音圧または音響放射圧を制御する電流調整手段を備えることを特徴とする超音波眼圧計。
- [請求項2] 前記電流調整手段を制御する制御手段と、
前記超音波アクチュエータに流れる電流の大きさに関する電流情報を取得する取得手段と、をさらに備え、
前記制御手段は、前記電流情報に基づいて前記電流調整手段を制御することを特徴とする請求項1の超音波眼圧計。
- [請求項3] 前記制御手段は、前記超音波アクチュエータに所定の電流が流れるように、前記電流調整手段を制御することを特徴とする請求項2の超音波眼圧計。
- [請求項4] 前記取得手段は、前記超音波アクチュエータの出力を検出することによって、前記電流情報を取得することを特徴とする請求項2または3の超音波眼圧計。
- [請求項5] 前記取得手段は、前記超音波素子に印加される電流値もしくは電圧値または前記超音波素子の抵抗値を検出することによって、前記電流情報を取得することを特徴とする請求項2または3の超音波眼圧計。
- [請求項6] 前記電流調整手段は、可変インピーダンス部を備え、
前記制御手段は、前記可変インピーダンス部のインピーダンスを変化させることを特徴とする請求項2～5のいずれかの超音波眼圧計。
- [請求項7] 超音波を用いて被検眼の眼圧を測定する超音波眼圧計であって、
超音波素子を有し、前記被検眼に対して超音波を照射する照射手段と、
前記照射手段を制御する制御手段と、を備え、

前記制御手段は、前記超音波素子への印加周波数を補正することを特徴とする超音波眼圧計。

[請求項8] 前記制御手段は、前記照射手段の共振周波数の変化に応じて、前記印加周波数を補正することを特徴とすることを請求項7の超音波眼圧計。

[請求項9] 前記制御手段は、前記照射手段の音圧または音響放射圧が増加するように前記印加周波数を補正することを特徴とする請求項7または8の超音波眼圧計。

[請求項10] 前記印加周波数は、前記超音波素子に印加する電圧の周波数であることを特徴とする請求項7～9のいずれかの超音波眼圧計。

[請求項11] 前記超音波素子に印加する電圧は、バースト波であることを特徴とする請求項10の超音波眼圧計。

[請求項12] 前記照射手段の出力を検出する検出手段をさらに備え、
前記制御手段は、前記検出手段の検出結果に基づいて前記印加周波数を補正することを特徴とする請求項7～11のいずれかの超音波眼圧計。

[請求項13] 前記検出手段は、前記照射手段から出力される超音波を検出することを特徴とする請求項12の超音波眼圧計。

[請求項14] 前記検出手段は、前記照射手段の振動を検出することを特徴とする請求項12の超音波眼圧計。

[請求項15] 前記制御手段は、前記検出手段によって検出された振幅に基づいて前記印加周波数を補正することを特徴とする13または14の超音波眼圧計。

[請求項16] 前記制御手段は、補正した前記印加周波数を表示手段に表示することを特徴とする請求項7～15のいずれかの超音波眼圧計。

[請求項17] 超音波を用いて被検眼の眼圧を測定する超音波眼圧計であって、
超音波素子を有し、前記被検眼に対して超音波を照射する照射手段と、

前記照射手段を制御する制御手段と、を備え、

前記制御手段は、前記照射手段の共振周波数を補正することを特徴とする超音波眼圧計。

[請求項18] 前記超音波素子をクランプするクランプ手段をさらに備え、

前記制御手段は、前記クランプ手段によるクランプ圧を調整することを特徴とする請求項17の超音波眼圧計。

[請求項19] 前記制御手段は、補正した前記共振周波数を表示手段に表示することを特徴とする請求項17または18の超音波眼圧計。

[請求項20] 超音波を用いて被検眼の眼圧を測定する超音波眼圧計であって、

超音波素子を有し、前記被検眼に対して超音波を照射する照射手段と、

前記照射手段を制御する制御手段と、を備え、

前記制御手段は、前記照射手段によって出力される超音波の音圧または音響放射圧を制御することによって、眼圧の測定精度を変化させることを特徴とする超音波眼圧計。

[請求項21] 前記制御手段は、音圧または音響放射圧の上昇率を制御することを特徴とする請求項20の超音波眼圧計。

[請求項22] 前記制御手段は、前記超音波素子への印加電圧、印加電流、または印加周波数を制御することを特徴とする請求項20または21の超音波眼圧計。

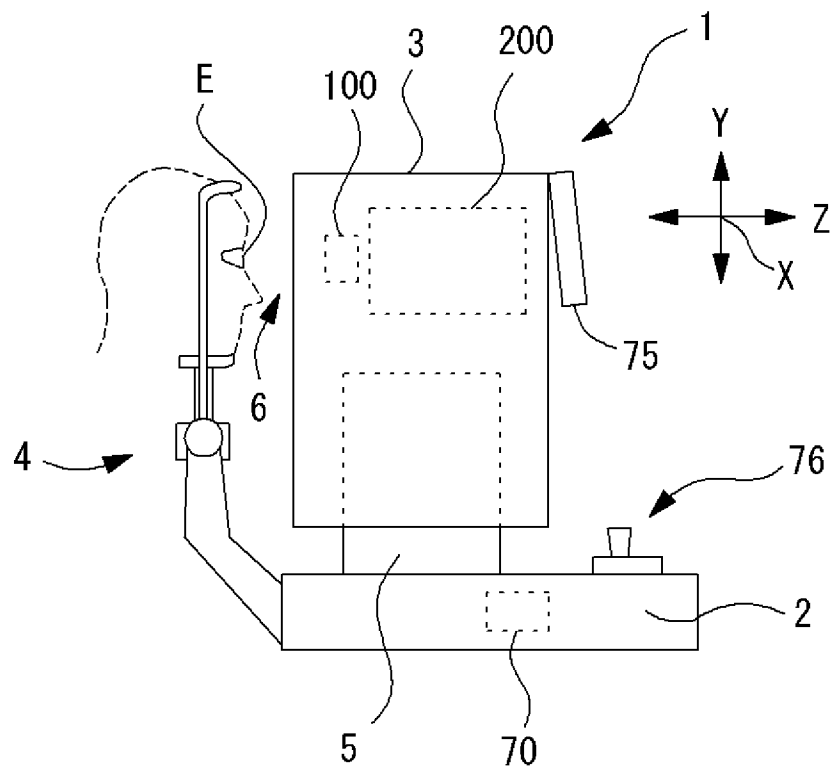
[請求項23] 前記制御手段は、被検眼の眼圧を測定する第1測定モードと、前記第1測定モードよりも高精度に眼圧を測定する第2測定モードと、を切り換えることを特徴とする請求項20～22のいずれかの超音波眼圧計。

[請求項24] 前記制御手段は、前記第1測定モードによって測定された眼圧に基づいて、前記第2測定モードに切り換えることを特徴とする請求項23の超音波眼圧計。

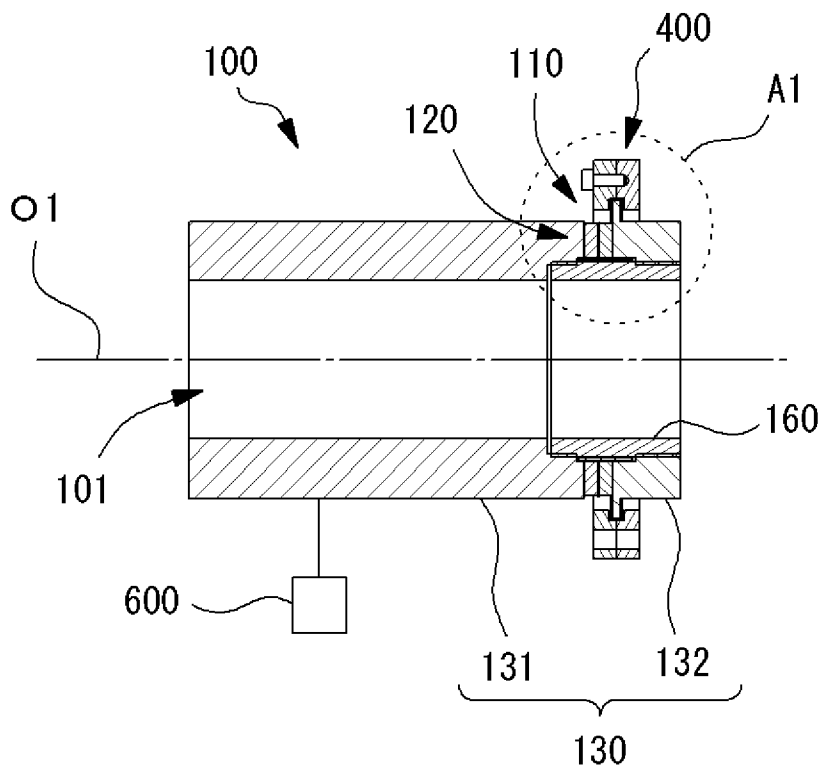
[請求項25] 前記制御手段は、前記第1測定モードによって測定された眼圧に基

づいて、前記第 2 測定モードの測定精度を変化させることを特徴とする請求項 2 3 または 2 4 の超音波眼圧計。

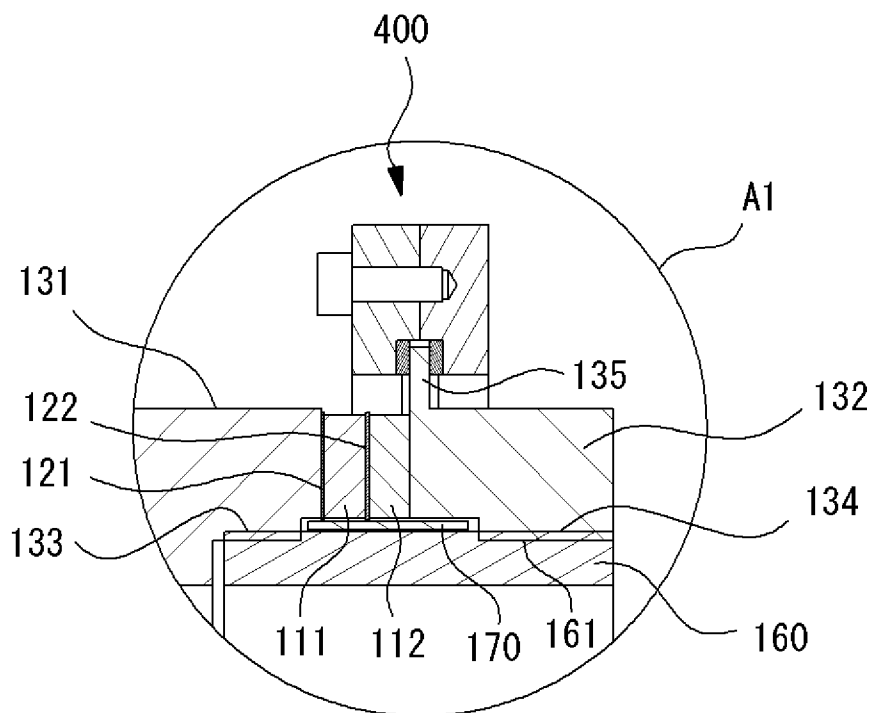
[図1]



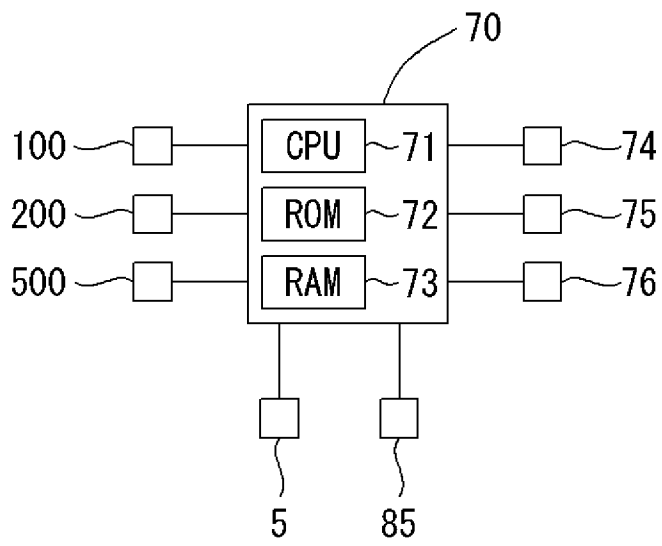
[図3A]



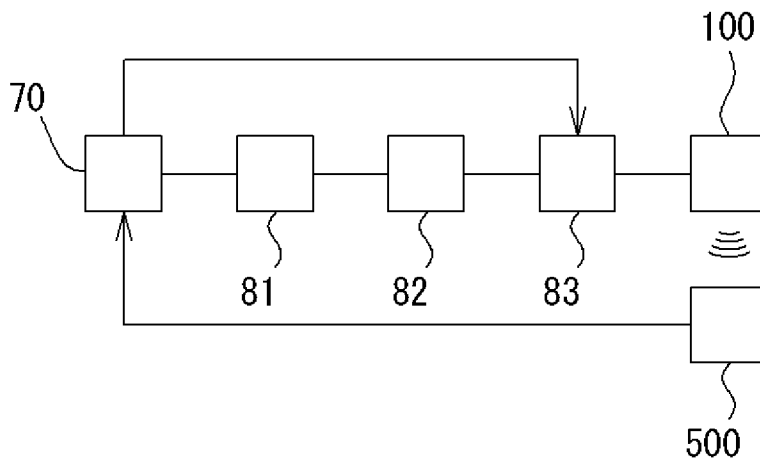
[図3B]



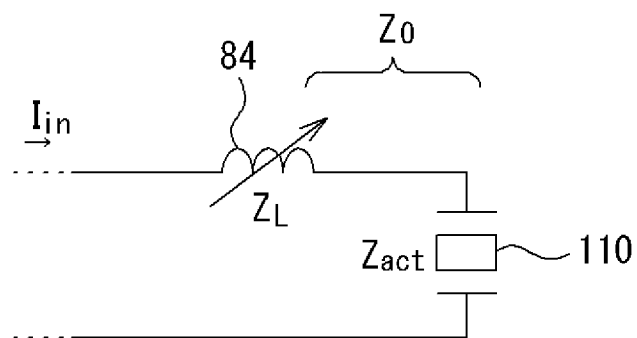
[図4]



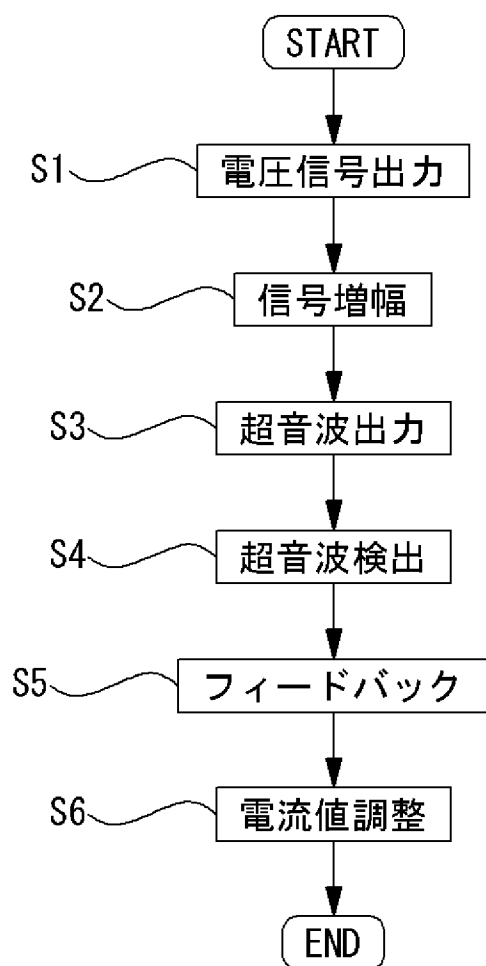
[図5]



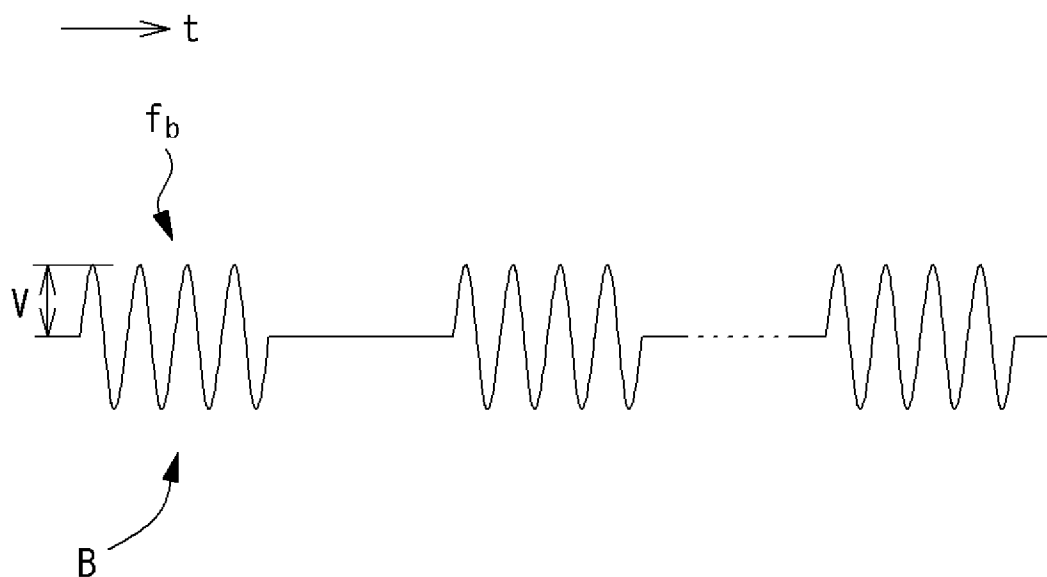
[図6]



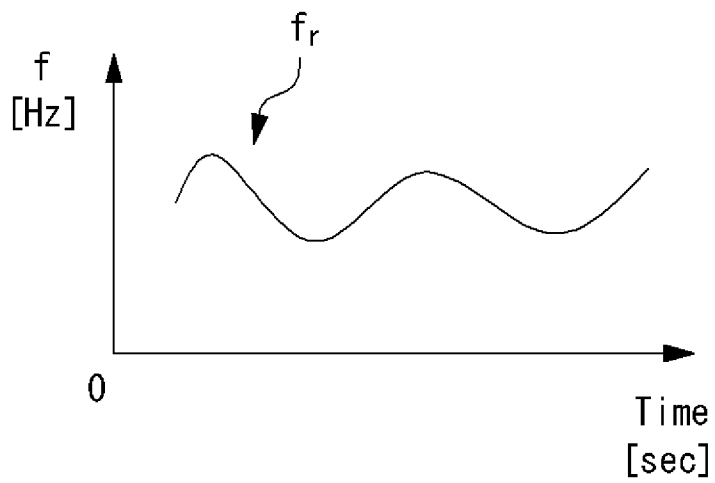
[図7]



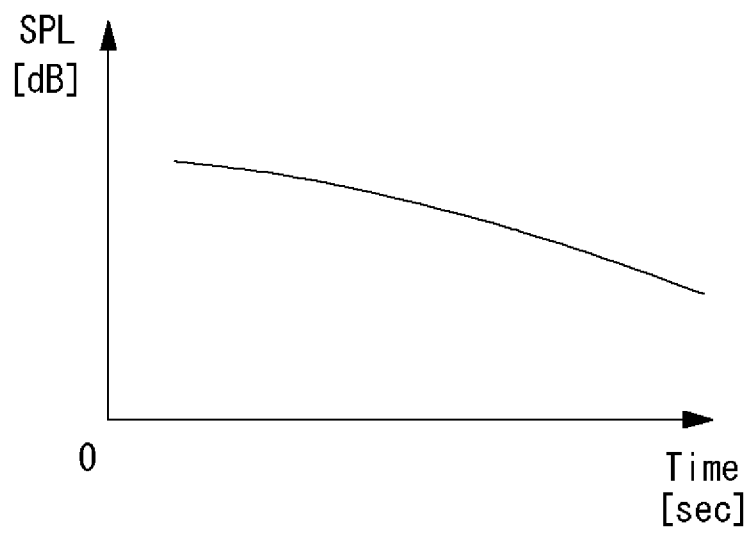
[図8]



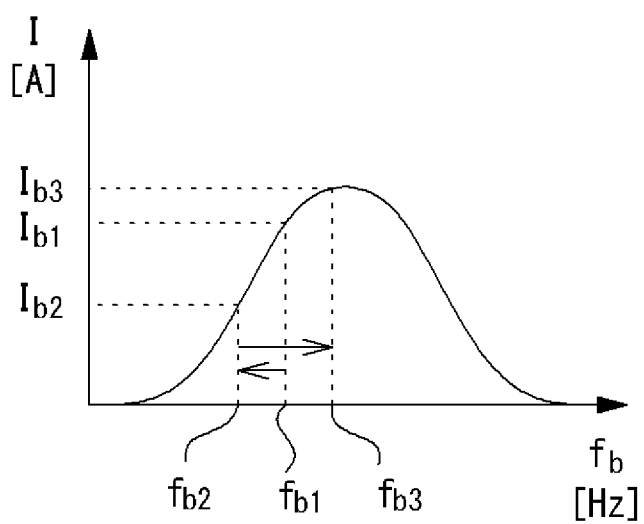
[図9]



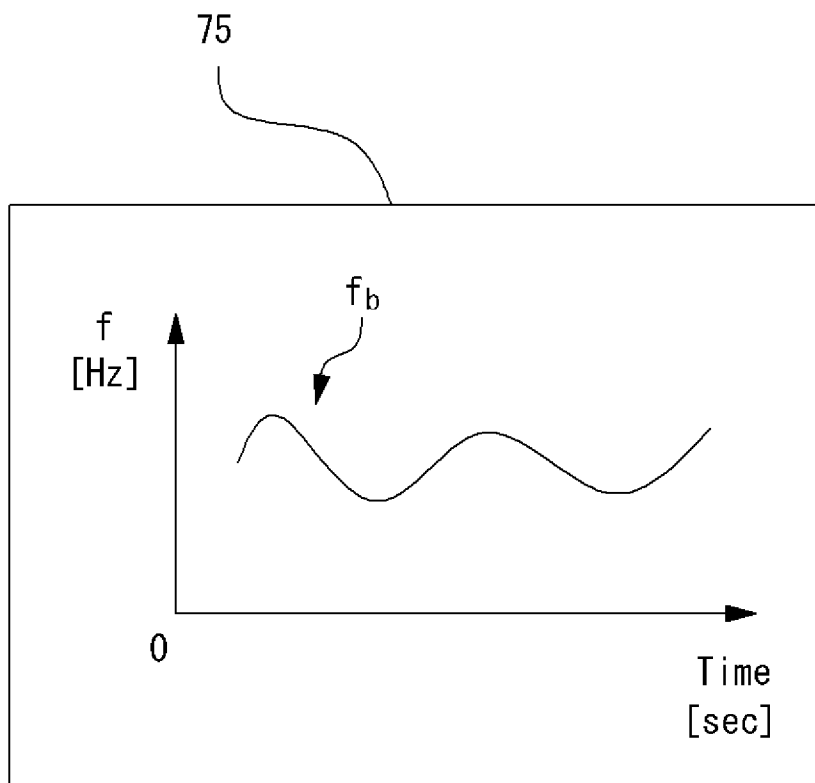
[図10]



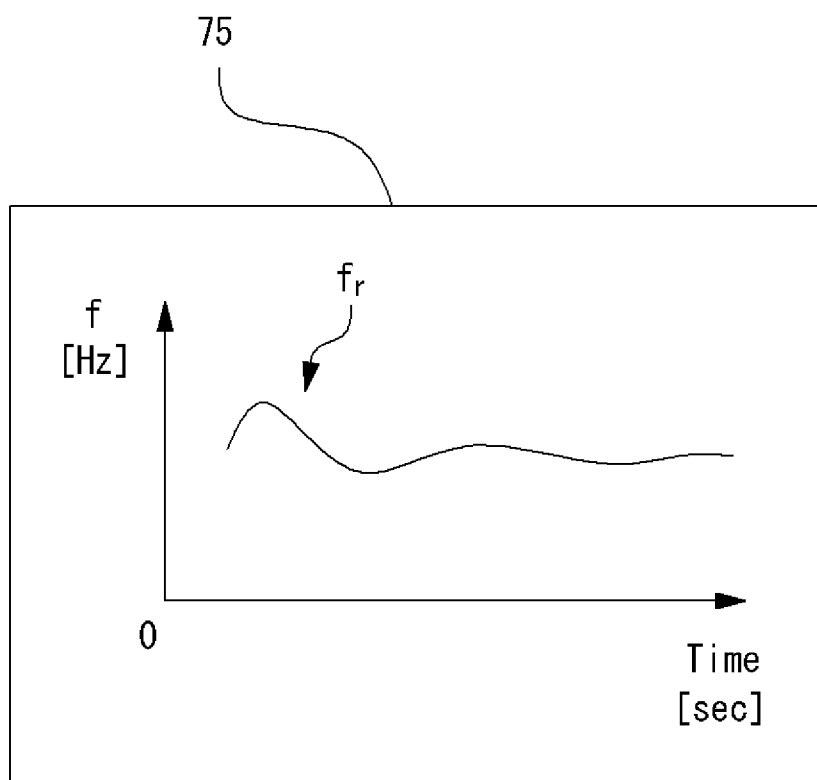
[図11]



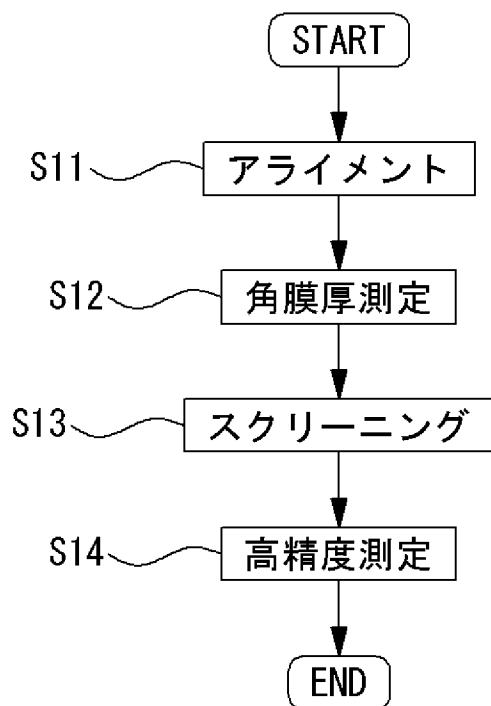
[図12]



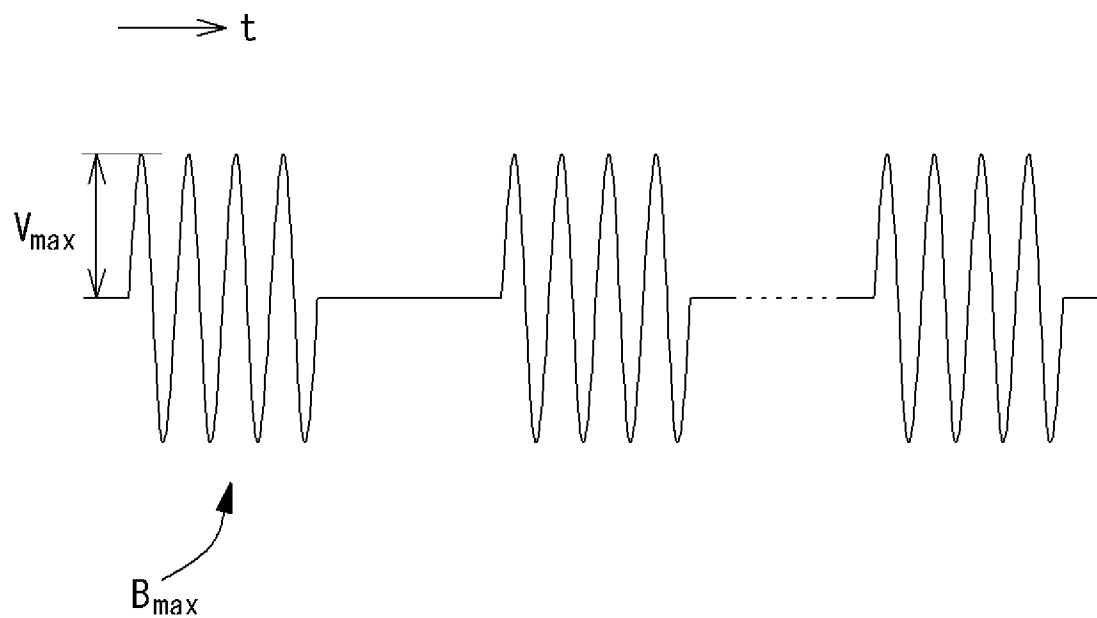
[図13]



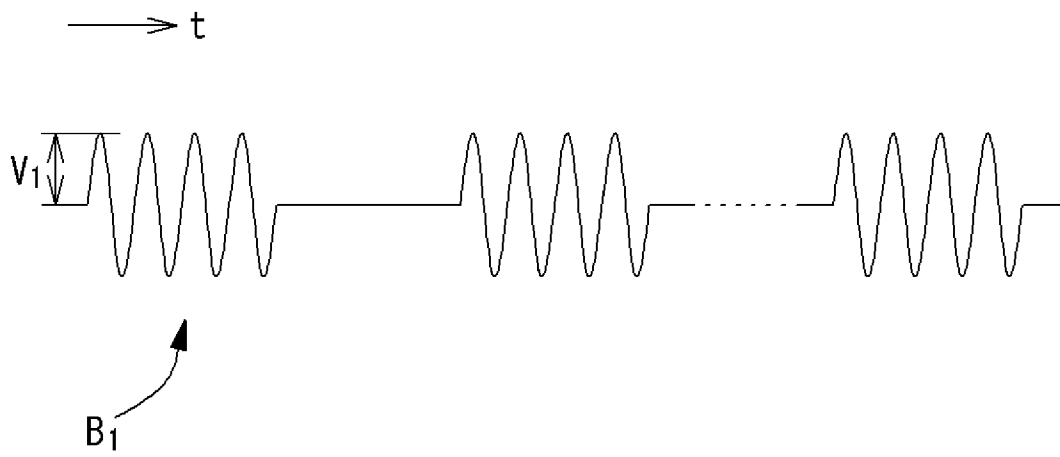
[図14]



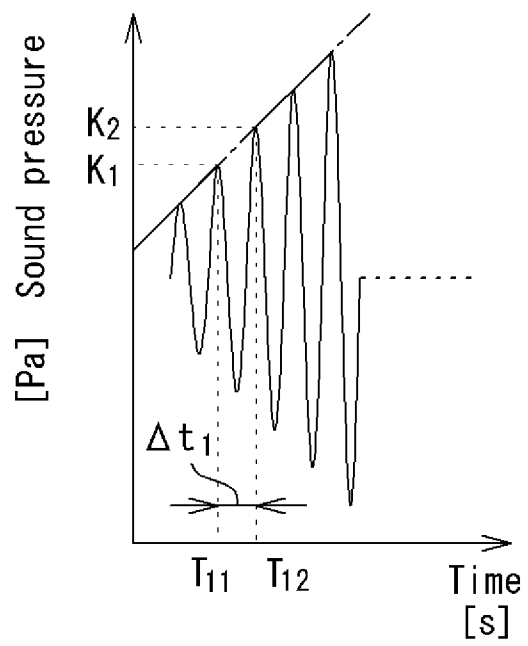
[図15A]



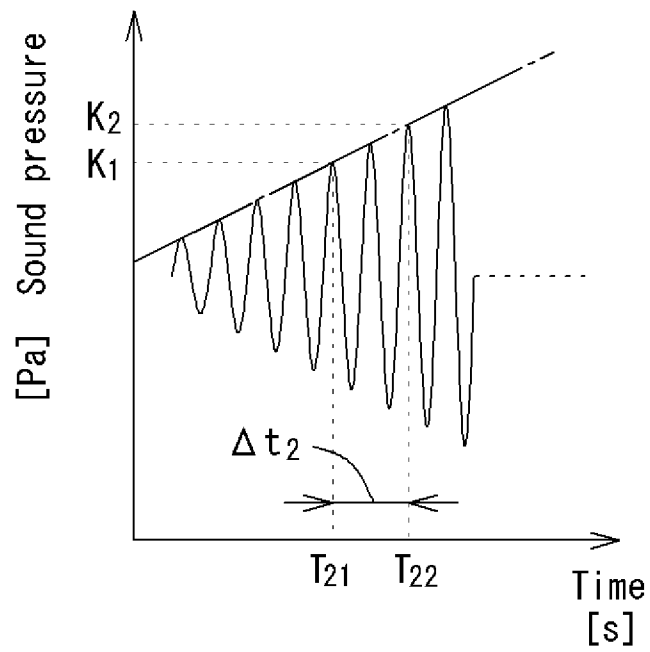
[図15B]



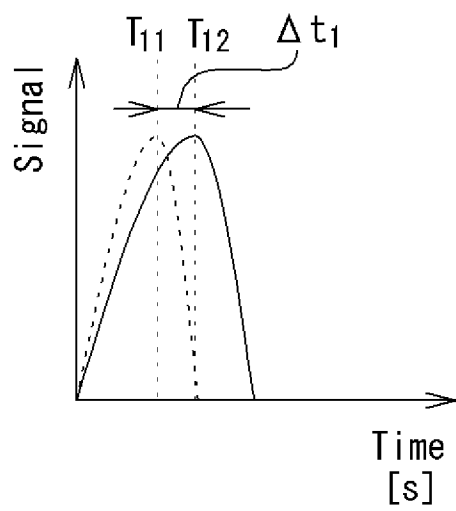
[図16A]



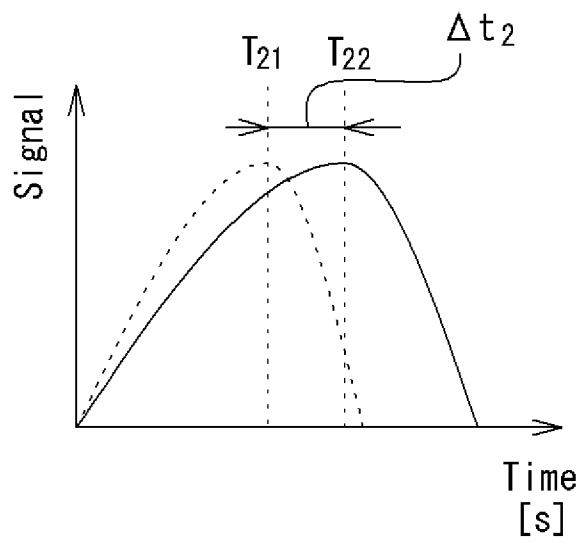
[図16B]



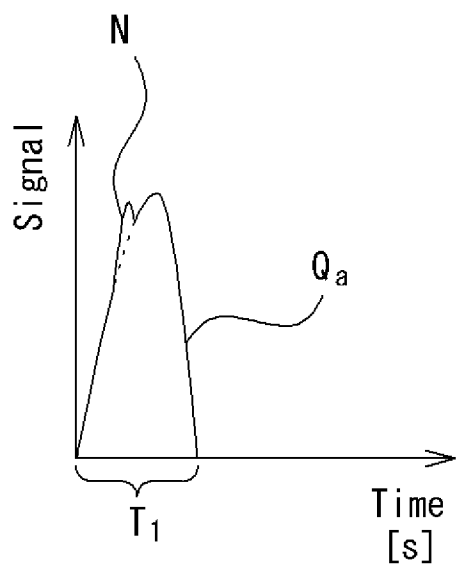
[図17A]



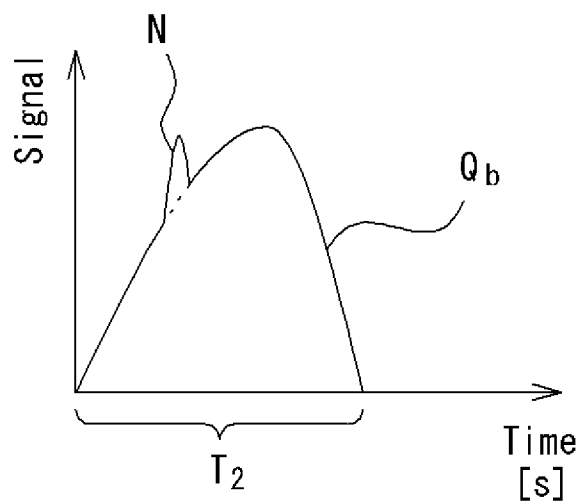
[図17B]



[図18A]



[図18B]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/026391

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. A61B3/16 (2006.01) i, A61B3/10 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. A61B3/00-3/18, A61B8/00-8/15

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2019
Registered utility model specifications of Japan	1996-2019
Published registered utility model applications of Japan	1994-2019

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2015-8955 A (NIDEK CO., LTD.) 19 January 2015, paragraphs [0009]-[0059], fig. 1-9 (Family: none)	1-22 23-25
Y A	JP 2002-192074 A (SANYO ELECTRIC CO., LTD.) 10 July 2002, paragraphs [0006], [0037] & US 2002/0082056 A1, paragraphs [0008], [0061] & EP 1220177 A2	1-22 23-25



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
04 September 2019 (04.09.2019)

Date of mailing of the international search report
17 September 2019 (17.09.2019)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/026391

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2006-20018 A (NEC CORP.) 19 January 2006, paragraph [0023], fig. 1-2 & US 2006/0001334 A1, paragraphs [0064]-[0065], fig. 1-2	18

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. A61B3/16(2006.01)i, A61B3/10(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. A61B3/00 - 3/18, A61B8/00 - 8/15

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A	JP 2015-8955 A（株式会社ニデック）2015.01.19, [0009]-[0059]、図 1-9（ファミリーなし）	1-22 23-25
Y A	JP 2002-192074 A（三洋電機株式会社）2002.07.10, [0006], [0037] & US 2002/0082056 A1, [0008], [0061] & EP 1220177 A2	1-22 23-25

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

04.09.2019

国際調査報告の発送日

17.09.2019

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

富永 昌彦

2 Q

4 4 6 1

電話番号 03-3581-1101 内線 3292

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2006-20018 A (日本電気株式会社) 2006.01.19, [0023]、図 1-2 & US 2006/0001334 A1, [0064]-[0065], Figs.1-2	18