

(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  
2023年8月10日(10.08.2023)

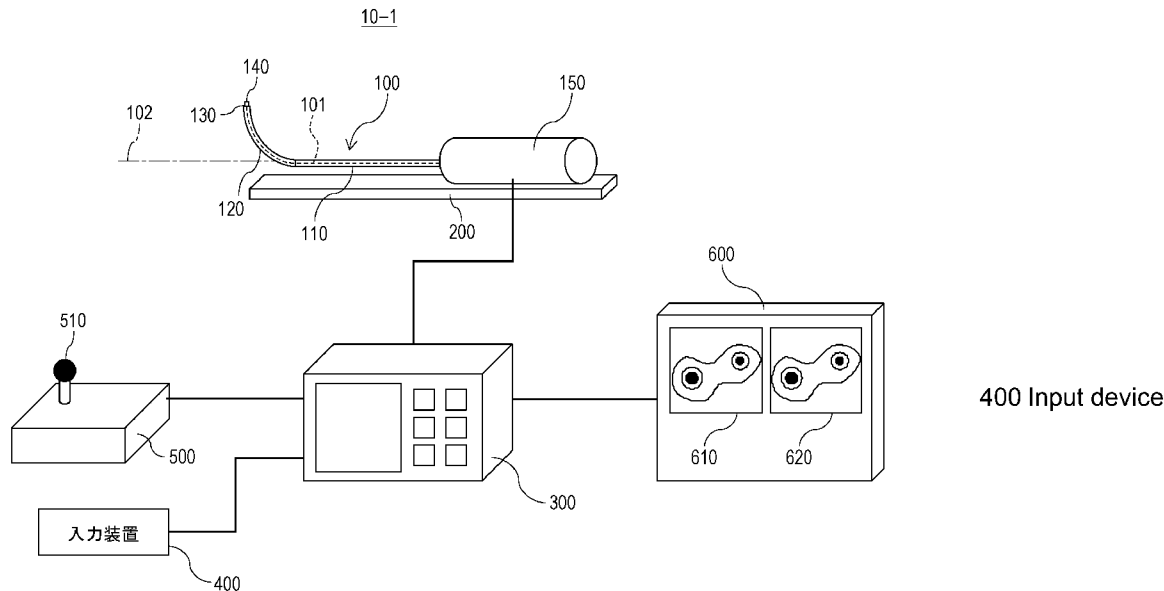


(10) 国際公開番号  
**WO 2023/149232 A1**

- (51) 国際特許分類:  
*A61B 1/005* (2006.01) *A61B 1/00* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/001646
- (22) 国際出願日: 2023年1月20日(20.01.2023)
- (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 2022-015558 2022年2月3日(03.02.2022) JP
- (71) 出願人: キヤノン株式会社 (CANON KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒1468501 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 古瀬 秀和(KOSE Hidekazu); 〒1468501 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 阿部 琢磨, 外 (ABE Takuma et al.); 〒1468501 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内 Tokyo (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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,

(54) Title: CONTINUUM ROBOT CONTROL SYSTEM AND CONTINUUM ROBOT CONTROL METHOD

(54) 発明の名称: 連続体ロボット制御システム及び連続体ロボット制御方法



(57) Abstract: This control device (300): estimates, on the basis of the distal-end position of a bending portion (120) of a continuum robot (100) detected after the bending portion (120) is inserted into a lumen of a subject and information pertaining to the structure of the lumen, the angle limit value of the bending angle of the bending portion (120) when a feature region related to the path of the lumen is included in a prescribed area or greater within the field of view of an imaging unit (140) in a case in which the bending portion (120) is bent in a prescribed direction; and limits the drive of a drive unit (150) such that the bending portion (120) bends within the range of the estimated angle limit value when the bending portion (120) is bent in the prescribed direction.

PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK,  
SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,  
UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, 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, ME, 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 :

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

---

(57) 要約 : 制御装置 (300) は、連続体ロボット (100) の湾曲部 (120) が被検体の管腔の内部に差し入れられた後に検出された湾曲部 (120) の先端位置と、前記管腔の構造情報とに基づいて、湾曲部 (120) を所定の方法に湾曲させる場合に撮像部 (140) の視野に前記管腔の経路に係る特徴領域が所定の面積以上で含まれる際の湾曲部 (120) の湾曲角度における角度制限値を推定し、湾曲部 (120) を前記所定の方法に湾曲させる際に、推定した角度制限値の範囲内で湾曲部 (120) が湾曲するように駆動ユニット (150) の駆動を制限する。

## 明 細 書

発明の名称：

### 連続体ロボット制御システム及び連続体ロボット制御方法

#### 技術分野

[0001] 本発明は、撮像部を備える連続体ロボットの制御を行う連続体ロボット制御システム及び連続体ロボット制御方法に関するものである。

#### 背景技術

[0002] 近年、患者等の被検者の負担を低減し治療・検査後のQOLを向上させるための低侵襲医療が注目を集めている。低侵襲医療の代表例として、内視鏡を用いた手術・検査が挙げられる。例えば、腹腔鏡手術は、従来の開腹手術と比べて手術創を小さくすることが可能となるため、術後に必要な入院期間を短縮できるだけでなく、美容上も優れているというメリットがある。

[0003] 低侵襲医療に用いられる内視鏡として、軟性内視鏡が知られている。この軟性内視鏡は、被検者の内部に挿入する挿入部が湾曲可能な部材で構成されているため、食道や大腸、肺などの湾曲する器官であっても、組織を圧迫することなく被検者の内部に挿入し、被検者の負担を低減することができる。さらに、アクチュエータを用いて軟性内視鏡の挿入部を駆動し、被検者の内部の経路に沿うように挿入部の姿勢を自動的に制御すれば、被検者の負担をより低減することが期待できる。そのため、軟性内視鏡として利用可能な連続体ロボットの機構とその制御方法の研究開発が盛んに行われている。

[0004] このような連続体ロボットを被検体の管腔の内部に挿入させる際には、医師等のユーザは、管腔と強く接触しないように連続体ロボットを操作する必要がある。なぜならば、連続体ロボットが管腔と接触すると、連続体ロボットと管腔との間に働く力によってユーザが意図する方向とは異なる方向に連続体ロボットが動いてしまい、操作性が悪化してしまうためである。さらに、連続体ロボットが管腔と強く接触すると、連続体ロボットが破損してしまう恐れもある。従来の技術では、ユーザは、連続体ロボットの挿入部に設置

された撮像部（カメラ）の画像や、術前のCTやMRIによって作成した医用画像等の2次元画像を参照しながら、連続体ロボットを操作する。しかしながら、被検者の内部にある連続体ロボットの挿入部を直接観察することはできないため、誤って管腔と強く接触する方向に連続体ロボットを操作しないようにするためには、操作方法に習熟する必要がある。

[0005] このような課題に対して、特許文献1には、検査または治療の対象とする臓器の容積に基づいて、挿入部である湾曲部の湾曲角度を制限する連続体ロボットの例が記載されている。具体的に、特許文献1では、心臓を対象として心臓の容積と同等の容積を持つ作業空間を定義し、ロボットの遠位端の稼働範囲が作業空間内に制限されるように、挿入部である湾曲部の湾曲角度を制御するようにしている。これにより、ユーザの誤操作によって、連続体ロボットが臓器と強く接触してしまうリスクを低減することが可能となる。

## 先行技術文献

### 特許文献

[0006] 特許文献1：特表2007-527296号公報

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0007] しかしながら、上述した特許文献1に記載の技術に関して、検査または治療の対象とする臓器や手技によっては、臓器の容積に基づいて連続体ロボットの挿入部である湾曲部の湾曲角度を制限するための作業空間を定義することは困難である。このような手技の例としては、例えば、肺の深部から病変が疑われる組織を採取する肺生検が挙げられる。具体的に、この肺生検では、まず、医師等のユーザは、被検者の口または鼻から気管に連続体ロボットを挿入する。続いて、ユーザは、連続体ロボットの先端に設置した撮像部（カメラ）などの画像情報を参照しながら、被検者の気管支の形状に沿うように連続体ロボットを操作する。この際、上述した特許文献1に記載の技術をこの肺生検に適用するためには、被検者の気管支の形状と精度よく一致する

ように作業空間を定義する必要がある。なぜならば、気管支の径は連続体ロボットの径と比べて僅かに大きい程度であるため、術前に定義した連続体ロボットの作業空間と実際の気管支の形状に少しでも誤差が生じると、本来は制限すべきであるにもかかわらず湾曲することを許可してしまうためである。そして、肺においては、作業空間を精度よく定義することは困難である。なぜならば、気管支は複雑に立体湾曲しており、さらに気管支の形状は被検者の呼吸によって変化してしまうためである。したがって、肺のような被検体では、特許文献1とは異なる方法で連続体ロボットの作業空間を定義して、被検体の管腔と強く接触する方向に連続体ロボットを操作してしまうリスクを低減できるようにする必要がある。

[0008] 本発明は、このような問題点に鑑みてなされたものであり、被検体の管腔と強く接触する方向に連続体ロボットを操作してしまうリスクを低減できる仕組みを提供することを目的とする。

#### 課題を解決するための手段

[0009] 本発明の連続体ロボット制御システムは、線状部材が駆動されることによって基準軸に対して湾曲する湾曲部と、前記線状部材を駆動する駆動部と、前記湾曲部の先端の近傍に配置された撮像部と、を備える連続体ロボットと、前記連続体ロボットの動作を制御する制御装置と、を有する連続体ロボット制御システムであって、前記制御装置は、前記湾曲部が被検体の管腔の内部に差し入れられた後に検出された前記湾曲部の先端位置と、前記管腔の構造情報とに基づいて、前記湾曲部を所定の方向に湾曲させる場合に前記撮像部の視野に前記管腔の経路に係る特徴領域が所定の面積以上で含まれる際の前記湾曲部の湾曲角度における角度制限値を推定する角度推定手段と、前記湾曲部を前記所定の方向に湾曲させる際に、前記角度制限値の範囲内で前記湾曲部が湾曲するように前記駆動部の駆動を制限する角度制限手段と、を有する。

[0010] また、本発明は、上述した連続体ロボット制御システムによる連続体ロボット制御方法を含む。

## 発明の効果

[0011] 本発明によれば、被検体の管腔と強く接触する方向に連続体ロボットを操作してしまうリスクを低減することが可能となる。

## 図面の簡単な説明

[0012] [図1]本発明の第1の実施形態に係る連続体ロボット制御システムの概略構成の一例を示す模式図である。

[図2]本発明の第1の実施形態に係る連続体ロボットの概略構成の一例を示す模式図である。

[図3]図2に示す湾曲部の概略構成の一例を示す模式図である。

[図4]本発明の第1の実施形態に係る連続体ロボット制御システムによる制御で用いるロボット座標系とカメラ座標系を示す模式図である。

[図5]本発明の第1の実施形態に係る制御装置の概略構成の一例を示す模式図である。

[図6]図5の角度制限値推定部において湾曲角度制限値を求める際の反復計算の処理手順の一例を示すフローチャートである。

[図7]図6のステップS103の処理を行う角度制限値推定部の機能構成の一例を示す模式図である。

[図8A]本発明の第1の実施形態を示し、被検体の内部における連続体ロボットの姿勢の一例を示す図である。

[図8B]本発明の第1の実施形態を示し、被検体の内部における連続体ロボットの姿勢の一例を示す図である。

[図8C]本発明の第1の実施形態を示し、被検体の内部における連続体ロボットの姿勢の一例を示す図である。

[図9A]本発明の第1の実施形態を示し、連続体ロボットが図8A、図8B、図8Cの姿勢となるときに撮像部が出力するカメラ画像の一例を示す図である。

[図9B]本発明の第1の実施形態を示し、連続体ロボットが図8A、図8B、図8Cの姿勢となるときに撮像部が出力するカメラ画像の一例を示す図であ

る。

[図9C]本発明の第1の実施形態を示し、連続体ロボットが図8A、図8B、図8Cの姿勢となるときに撮像部が出力するカメラ画像の一例を示す図である。

[図10A]本発明の第1の実施形態に係る連続体ロボットの湾曲部の湾曲角度制限値を増加させることができる形態の一例を示す図である。

[図10B]本発明の第1の実施形態に係る連続体ロボットの湾曲部の湾曲角度制限値を増加させることができる形態の一例を示す図である。

[図10C]本発明の第1の実施形態に係る連続体ロボットの湾曲部の湾曲角度制限値を増加させることができる形態の一例を示す図である。

[図11]本発明の第2の実施形態に係る連続体ロボット制御システムの概略構成の一例を示す模式図である。

[図12]本発明の第2の実施形態に係る制御装置の概略構成の一例を示す模式図である。

[図13A]本発明の第2の実施形態を示し、被検体の内部における連続体ロボットの姿勢の一例を示す図である。

[図13B]本発明の第2の実施形態を示し、被検体の内部における連続体ロボットの姿勢の一例を示す図である。

[図13C]本発明の第2の実施形態を示し、被検体の内部における連続体ロボットの姿勢の一例を示す図である。

[図14A]本発明の第2の実施形態を示し、連続体ロボットが図13A、図13B、図13Cの姿勢となるときに撮像部が出力するカメラ画像の一例を示す図である。

[図14B]本発明の第2の実施形態を示し、連続体ロボットが図13A、図13B、図13Cの姿勢となるときに撮像部が出力するカメラ画像の一例を示す図である。

[図14C]本発明の第2の実施形態を示し、連続体ロボットが図13A、図13B、図13Cの姿勢となるときに撮像部が出力するカメラ画像の一例を示す

図である。

[図15]本発明の第3の実施形態に係る連続体ロボット制御システムの概略構成の一例を示す模式図である。

[図16]本発明の第3の実施形態に係る連続体ロボットに備わる複数の湾曲部の一例を示す模式図である。

[図17]本発明の第3の実施形態に係る制御装置の概略構成の一例を示す模式図である。

### 発明を実施するための形態

[0013] 以下に、図面を参照しながら、本発明を実施するための形態（実施形態）について説明する。

[0014] （第1の実施形態）

まず、本発明の第1の実施形態について説明する。

[0015] 本実施形態では、立体的に湾曲可能な湾曲部を備える連続体ロボットと、連続体ロボットの動作を制御する制御装置と、を備えた連続体ロボット制御システムの例について説明する。まず、本実施形態に係る連続体ロボット制御システムの構成を説明し、次いで、本実施形態に係る連続体ロボットの構成について説明する。引き続いて、制御装置において湾曲部の湾曲角度を制限する方法を説明し、最後に患者等の被検者の肺（被検体）の深部から検体を採取する手技の例を説明する。

[0016] [1-1：連続体ロボット制御システムの構成]

図1は、本発明の第1の実施形態に係る連続体ロボット制御システム10-1の概略構成の一例を示す模式図である。連続体ロボット制御システム10-1は、図1に示すように、連続体ロボット100、リニアステージ200、制御装置300、入力装置400、操作装置500、及び、画像表示装置600を有して構成されている。

[0017] 連続体ロボット100は、図1に示すように、長尺部110、湾曲部120、コイル130、撮像部140、及び、駆動ユニット150を有して構成されている。また、連続体ロボット100は、長尺部110及び湾曲部12

0の内部を貫通する管状の経路であって、長尺部110と駆動ユニット150の接合部近傍に設けられたツール挿入口を介して各種のツールを挿抜するためのツールチャンネル101が備えられている。このツールチャンネル101に挿抜される各種のツールとしては、先端に撮像部140が設けられている撮像ツールや、生検ブラシツールや生検針ツール等の生検ツール等の術具が挙げられる。

[0018] 長尺部110は、内部に、ツールチャンネル101が備えられていることに加えて、湾曲部120を基準軸102に対して湾曲させる際に駆動ユニット150によって駆動される複数の線状部材に相当する複数の駆動ワイヤが挿通されている。

[0019] 湾曲部120は、能動的に姿勢を変更することが可能に構成されている。具体的に、湾曲部120は、湾曲部120に接続されている線状部材である駆動ワイヤが駆動ユニット150の内部に設置されたアクチュエータ（駆動部）により駆動されることによって基準軸102に対して湾曲する。ここで、本実施形態においては、基準軸102は、リニアステージ200上における連続体ロボット100の移動方向と平行な方向の軸であるものとする。

[0020] コイル130は、湾曲部120の先端に設置されている。また、図1には不図示であるが、湾曲部120の近くには、磁場発生装置が設置されている。そして、磁場発生装置（不図示）が発生する磁場の変化をコイル130を介して読み取ることで、制御装置300は、湾曲部120の先端位置と方向を検出することができる。

[0021] 撮像部140は、例えばツールチャンネル101に挿入された撮像ツールの先端に設けられているカメラ機能を備えた構成部である。ここで例えば、ツールチャンネル101には案内部材が設けられており、ツールチャンネル101に挿入された撮像ツールの撮像部140は、湾曲部120の先端の近傍において所定の挿入深さ及び位相となるように配置される。

[0022] 駆動ユニット150は、湾曲部120を基準軸102に対して所望の湾曲角度で湾曲させる際に、湾曲部120に接続されている線状部材である駆動

ワイヤを駆動するアクチュエータ（駆動部）を備えて構成されている。本実施形態においては、駆動ユニット150は、リニアステージ200に固定されており、医師等のユーザが駆動ユニット150を前後に押し引きすることによって、連続体ロボット100は、リニアステージ200の長手方向に直線運動を行う。

[0023] リニアステージ200には、上述したように駆動ユニット150が固定されている。このリニアステージ200は、連続体ロボット100を被検者（被検体）に対して前進移動及び後進移動させる移動装置に相当する。

[0024] 制御装置300は、例えば操作装置500からの操作入力や入力装置400からの入力、コイル130からの入力、更には撮像部140から出力された画像に基づいて、連続体ロボット100の動作を制御する装置である。さらに、制御装置300は、画像表示装置600の表示制御を含む各種の制御や、各種の処理を行う。

[0025] 入力装置400は、制御装置300に対して各種の情報（各種のデータや各種の画像を含む）を入力する装置である。

[0026] 操作装置500は、医師等のユーザが操作するための装置である。この操作装置500には、湾曲部120が所望の姿勢になるように医師等のユーザが操作するためのレバー510が備えられている。制御装置300は、レバー510の操作量に基づいて、湾曲部120が所望の姿勢になるように駆動ユニット150のアクチュエータ（駆動部）に対してワイヤ駆動指令を出力する。

[0027] また、制御装置300には、撮像部140で取得された画像を受信するためのインタフェースが設けられており、制御装置300で撮像部140から受信した画像は、画像表示装置600に出力されてカメラ画像610として表示される。また、画像表示装置600は、撮像部140から出力されるカメラ画像610に加えて、例えば術前に構築する被検者の肺の3Dモデルから作成したナビゲーション画像620等が表示される。ナビゲーション画像620には、例えば、被検体である肺の3Dモデルの管腔内を一人称視点で

観察した画像や、被検体である肺の3Dモデルを被検体の外から観察する俯瞰図等があり、医師等のユーザは、必要に応じてこれらの画像を切り替えることができる。

[0028] [1-2:連続体ロボットの構成と座標系]

図2は、本発明の第1の実施形態に係る連続体ロボット100の概略構成の一例を示す模式図である。この図2において、図1に示す構成と同様の構成については同じ符号を付しており、その詳細な説明は省略する。また、この図2では、図1に示す撮像部140は図示していない。

[0029] 長尺部110は、外力に対して受動的に湾曲する部材である。

[0030] 湾曲部120は、複数の線状部材である複数の駆動ワイヤ121~123と、複数の駆動ワイヤ121~123を案内するための部材である複数のワイヤガイド124を備えて構成されている。この際、3本の駆動ワイヤ121~123は、一端が湾曲部120の先端120aに配置されているワイヤガイド124Dに固定して接続され、他端が駆動伝達機構を介してアクチュエータ151a~153aに接続されている。また、例えば、湾曲部120の先端120aに配置されているワイヤガイド124Dには、上述したコイル130が備え付けられている。

[0031] 図1に示す駆動ユニット150の内部には、図2に示すアクチュエータ151a~153a及び送りねじ151b~153bが備えられている。具体的に、駆動ワイヤ121は、送りねじ151bを介してアクチュエータ151aに接続されている。また、駆動ワイヤ122は、送りねじ152bを介してアクチュエータ152aに接続されている。また、駆動ワイヤ123は、送りねじ153bを介してアクチュエータ153aに接続されている。それぞれのアクチュエータ151a~153aが、制御装置300の制御に基づいてそれぞれの駆動ワイヤ121~123を連続体ロボット100の長手方向に沿って押し引き駆動することで、湾曲部120を基準軸102に対して湾曲させることができる。

[0032] ここで、アクチュエータ151a~153aを駆動するときの湾曲部12

0と長尺部110の振る舞いについて、以下に説明する。

[0033] アクチュエータ151a～153aの回転運動は、それぞれの出力軸に接続された送りねじ151b～153bによって減速されて、並進運動に変換される。送りねじ151b～153bのナットには、駆動ワイヤ121～123を固定するためのワイヤ把持部が設けられており、アクチュエータ151a～153aを駆動すると駆動ワイヤ121～123は連続体ロボット100の長手方向に沿って押し引きされる。この際、駆動ワイヤ121～123は、それぞれ異なる位相で湾曲部120の先端120aに配置されているワイヤガイド124Dに固定して接続されているため、各アクチュエータ151a～153aの駆動量（各駆動ワイヤ121～123の押し引き量）を制御することで、湾曲部120を所望の湾曲角度と方向に湾曲させることが可能となる。一方、駆動ワイヤ121～123は、長尺部110には固定されていないため、駆動ワイヤ121～123を押し引きしても、長尺部110の姿勢は変化しない。

[0034] 図3は、図2に示す湾曲部120の概略構成の一例を示す模式図である。この図3において、図2に示す構成と同様の構成については同じ符号を付しており、その詳細な説明は省略する。

[0035] 湾曲部120の先端（以下、必要に応じて「遠位端」と記載することもある）に配置されているワイヤガイド124Dには、3本の駆動ワイヤ121～123が全て接続されている。一方、ワイヤガイド124Dを除く他のワイヤガイド124には、駆動ワイヤ121のみが接続されており、駆動ワイヤ122及び駆動ワイヤ123は、ワイヤガイド124に設けられた不図示の案内孔に沿って連続体ロボット100の長手方向に摺動することができる。

[0036] 次に、本実施形態に係る連続体ロボット制御システム10-1による制御で用いる座標系と湾曲部120の姿勢を表す変数を導入し、連続体ロボット100の運動学を導出する。

[0037] 本実施形態に係る連続体ロボット制御システム10-1による制御では、

患者等の被検者を基準とする作業座標系、駆動ユニット150を基準とするロボット座標系、及び、湾曲部120の先端を基準とするカメラ座標系を用いる。作業座標系では、被検者の気管における所定の位置を原点 $O_w$ とし、被検者の喉頭から肺の方向をZ軸 $Z_w$ 、腹部から背部の方向をY軸 $Y_w$ 、 $Y_w$ と $Z_w$ に対して右手座標系となるようにX軸 $X_w$ をとる。

[0038] 図4は、本発明の第1の実施形態に係る連続体ロボット制御システム10-1による制御で用いるロボット座標系とカメラ座標系を示す模式図である。この図4において、図1～図3に示す構成と同様の構成については同じ符号を付しており、その詳細な説明は省略する。また、以下の説明では、図2及び図3に示す駆動ワイヤ121を「1aワイヤ」とし、図2及び図3に示す駆動ワイヤ122を「1bワイヤ」とし、図2及び図3に示す駆動ワイヤ123を「1cワイヤ」として記載する。

[0039] ロボット座標系では、図4に示すように、連続体ロボット100の長尺部110と駆動ユニット150の接合部近傍の基台部の中心を原点 $O_B$ とする。そして、ロボット座標系では、図4に示すように、長尺部110の長手方向をZ軸 $Z_B$ 、原点 $O_B$ を基準として1aワイヤの方向をX軸 $X_B$ 、 $X_B$ と $Z_B$ に対して右手座標系となるようにY軸 $Y_B$ をとる。この際、図4に示すように、Z軸 $Z_B$ は、基準軸102と同等である。

[0040] また、上述したツールチャンネル101に設けられた案内部材によって、湾曲部120の先端（遠位端）に対する撮像部140（カメラ）の位置と姿勢が決まる。そこで、本実施形態では、連続体ロボット100の遠位端を基準として、カメラ座標系を定義する。上述した案内部材は、撮像部140の受光部の中心が湾曲部120の遠位端に配置されているワイヤガイド124Dの中心と一致するように撮像部140の挿入量を規定するため、図4に示すように、ワイヤガイド124Dの中心をカメラ座標系の原点 $O_c$ とする。また、上述した案内部材は、図4に示す原点 $O_c$ から1aワイヤへ向かう方向がカメラ画像のX軸と一致するように撮像部140の位相を規定するため、この方向をカメラ座標系のX軸 $X_c$ とする。そして、カメラ座標系では、図4に示

すように、撮像部140の視線の方向を $Z_1$ 、 $X_1$ と $Z_1$ に対して右手座標系となるように $Y$ 軸 $Y_1$ をとる。

[0041] なお、以下の説明では、ベクトルを用いる際に、左上の添え字を用いて上述したどの座標系で定義されたものであるのかを示す。具体的に、左上の添え字の $W$ は作業座標系、左上の添え字の $B$ はロボット座標系、左上の添え字の $l$ はカメラ座標系のそれぞれから観察するときのベクトルを表す。例えば、ロボット座標系と作業座標系で表された湾曲部120の先端位置ベクトルは、それぞれ、 ${}^B p_1$ 、 ${}^W p_1$ となる。

[0042] また、湾曲部120の姿勢を表す変数として、湾曲の大きさを表す図3の湾曲角度 $\theta_1$ と、湾曲の方向を表す図3の旋回角度 $\zeta_1$ を定義する。具体的には、図3に示すように、湾曲部120の遠位端における長手方向の単位ベクトル $n_1$ とロボット座標系の $Z$ 軸 $Z_B$ （図4に示すように、「基準軸102」と考えることもできる）とのなす角度を湾曲部120の湾曲角度 $\theta_1$ とする。また、図3に示すように、単位ベクトル $n_1$ を $X_B - Y_B$ 平面に射影したベクトルを $W_B$ とし、 $W_B$ と $X_B$ とのなす角度を湾曲部120の旋回角度 $\zeta_1$ とする。

[0043] このとき、湾曲部120の湾曲角度 $\theta_1$ 及び旋回角度 $\zeta_1$ と、1aワイヤ、1bワイヤ及び1cワイヤの駆動量 $l_{1a}$ 、 $l_{1b}$ 及び $l_{1c}$ との関係を表す運動学（以下、「アクチュエータ運動学」と記載する）は、それぞれ、以下の（1）式～（3）式と表される。

[0044] [数1]

$$l_{1a} = \frac{R_g \theta_1}{2} \cos(\xi_1 - \zeta_1) \quad \dots (1)$$

$$l_{1b} = \frac{R_g \theta_1}{2} \cos\left(\xi_1 - \zeta_1 + \frac{2\pi}{3}\right) \quad \dots (2)$$

$$l_{1c} = \frac{R_g \theta_1}{2} \cos\left(\xi_1 - \zeta_1 + \frac{4\pi}{3}\right) \quad \dots (3)$$

[0045] また、ロボット座標系における湾曲部120の先端の位置 $p_1$ 及び方向 $n_1$ と、湾曲部120の湾曲角度 $\theta_1$ 及び旋回角度 $\zeta_1$ との関係を表す運動学（以下、「ロボット運動学」と記載する）は、それぞれ、以下の（4）式及び（5）式と表される。

[0046] [数2]

$${}^B p_1 = \left[ \frac{l_{1d}}{\theta_1} (1 - \cos \theta_1) \cos \zeta_1 \quad \frac{l_{1d}}{\theta_1} (1 - \cos \theta_1) \sin \zeta_1 \quad \frac{l_{1d}}{\theta_1} \sin \theta_1 \right] \quad \dots (4)$$

$${}^B n_1 = [\sin \theta_1 \cos \zeta_1 \quad \sin \theta_1 \sin \zeta_1 \quad \cos \theta_1] \quad \dots (5)$$

[0047] なお、(1)式～(5)式において、 $R_g$ はワイヤガイド124を通過するワイヤのピッチ円の直径を表し、 $l_{1d}$ は湾曲部120の中心軸の長さを表す。また、 $\xi_1$ はロボット座標系の $Z_B$ 軸に対するワイヤガイド124の案内孔の位相を表し、湾曲部120においては $\xi_1 = 0$ である。

[0048] [1-3：制御装置の構成]

図5は、本発明の第1の実施形態に係る制御装置300の概略構成の一例を示す模式図である。

[0049] 図5に示す制御装置300は、角度制限値推定部311、角度指令生成部312、角度制限部313、運動学演算部314、及び、ワイヤ制御部315を有して構成されている。

[0050] 図5において、構造情報301は、例えば、医師等のユーザが、術前に患者等の被検者の被検体における構造情報（例えば、肺の管腔の構造情報）を入力装置400から入力した情報である。また、湾曲部先端位置302は、コイル130で計測された湾曲部120の先端120aの位置情報である。また、湾曲部操作入力303は、例えば、医師等のユーザが、操作装置500のレバー510を操作した際の操作量の入力情報である。

[0051] 角度制限値推定部311は、入力された被検者の被検体における構造情報301を含む3Dモデル、入力された湾曲部先端位置302に含まれる湾曲部120の遠位端の位置 $p_1$ 及び方向 $n_1$ 、並びに、角度制限部313から出力される現在の目標湾曲角度 $\theta_{1\_ref}$ 及び目標旋回角度 $\zeta_{1\_ref}$ に基づいて、後述する図6の反復計算によって或る旋回角度（或る湾曲方向） $\zeta_1$ に対する湾曲部120の湾曲角度制限値 $\theta_{1\_lim}(\zeta_1)$ を演算して推定する。

[0052] 角度指令生成部312は、入力された湾曲部操作入力303に含まれるレバー510の左右方向の傾き量 $r_x$ と上下方向の傾き量 $r_y$ とに基づいて、湾

曲部 120 の湾曲角度指令値  $\theta_{1\_cmd}$  と旋回角度指令値  $\zeta_{1\_cmd}$  を演算により生成する。

[0053] 角度制限部 313 は、角度制限値推定部 311 から出力される湾曲部 120 の湾曲角度制限値  $\theta_{1\_lim}(\zeta_1)$  の範囲内（例えば湾曲角度制限値  $\theta_{1\_lim}(\zeta_1)$  以下）となるように、駆動部であるアクチュエータ 151a~153a の駆動を制限するべく目標湾曲角度  $\theta_{1\_ref}$  を設定する。具体的には、角度制限部 313 は、まず、角度指令生成部 312 から出力される湾曲角度指令値  $\theta_{1\_cmd}$  に対応する湾曲角度制限値  $\theta_{1\_lim}(\zeta_{1\_cmd})$  を求める。次いで、角度制限部 313 は、湾曲角度指令値  $\theta_{1\_cmd}$  が湾曲角度制限値  $\theta_{1\_lim}(\zeta_{1\_cmd})$  以下であれば、角度指令生成部 312 から出力される湾曲角度指令値  $\theta_{1\_cmd}$  及び旋回角度指令値  $\zeta_{1\_cmd}$  を、それぞれ、目標湾曲角度  $\theta_{1\_ref}$  及び目標旋回角度  $\zeta_{1\_ref}$  として出力する。一方、角度制限部 313 は、湾曲角度指令値  $\theta_{1\_cmd}$  が湾曲角度制限値  $\theta_{1\_lim}(\zeta_{1\_cmd})$  よりも大きければ、現在の目標湾曲角度  $\theta_{1\_ref}$  を更新せずにそのまま出力する。

[0054] 運動学演算部 314 は、(1) 式~(3) 式に示すアクチュエータ運動学を用いて、角度制限部 313 から出力される目標湾曲角度  $\theta_{1\_ref}$  及び目標旋回角度  $\zeta_{1\_ref}$  から、1aワイヤ、1bワイヤ及び1cワイヤの駆動量  $l_{1a}$ 、 $l_{1b}$  及び  $l_{1c}$  を算出する。

[0055] ワイヤ制御部 315 は、実際の1aワイヤ、1bワイヤ及び1cワイヤの駆動量が、それぞれ、運動学演算部 314 で算出された駆動量  $l_{1a}$ 、 $l_{1b}$  及び  $l_{1c}$  と一致するように、アクチュエータ 151a~153a に対してワイヤ駆動指令 304 を出力する。

[0056] 図6は、図5の角度制限値推定部 311 において湾曲角度制限値  $\theta_{1\_lim}(\zeta_1)$  を求める際の反復計算の処理手順の一例を示すフローチャートである。

[0057] まず、図6のステップ S101 において、角度制限値推定部 311 は、レバー 510 を所定の方向  $\Delta\zeta_{1\_in}$  に所定の大きさ  $\Delta\theta_{1\_in}$  だけ動かすと仮定する場合の、所定の方向  $\Delta\zeta_{1\_in}$  及び所定の大きさ  $\Delta\theta_{1\_in}$  を初期化する（0にする）。

- [0058] 続いて、ステップS102において、角度制限値推定部311は、レバー510を所定の方向 $\Delta \zeta_{1\_in}$ に所定の大きさ $\Delta \theta_{1\_in}$ だけ動かすと仮定した場合の湾曲角度 $\theta_{1\_itr}$ 及び旋回角度 $\zeta_{1\_itr}$ を、角度指令生成部312と同様の方法によって算出する。
- [0059] 続いて、ステップS103において、角度制限値推定部311は、後述する図7のブロック図の構成に基づく演算方法を用いて、レバー510の操作後における湾曲部120の先端（遠位端）の位置 $w_p^{\wedge 1'}$ と方向 $w_n^{\wedge 1'}$ を算出する。
- [0060] 続いて、ステップS104において、角度制限値推定部311は、構造情報301を用いて、位置 $w_p^{\wedge 1'}$ を基点として $w_n^{\wedge 1'}$ で表される方向を観察したときに撮像部140が出力する被検体（例えば、肺）の内部の画像を推定する。次いで、角度制限値推定部311は、推定した画像に被検体（例えば、肺）の管腔の深部に向かう経路の一部が含まれているか否かを判別する。具体的には、まず、角度制限値推定部311は、被検体（例えば、肺）の管腔の深部に向かう経路が黒に、それ以外の領域が白に分かれるように、推定した画像を明度に基づいて二値化処理する。そして、ステップS104では、角度制限値推定部311は、二値化処理した画像から、黒で表された領域（以下、「特徴領域」と記載する）を検出する。
- [0061] 続いて、ステップS105において、角度制限値推定部311は、ステップS104で検出した特徴領域が所定の面積以上で含まれているか否かを判断する。即ち、ステップS105では、角度制限値推定部311は、撮像部140の視野（撮像部140で得られる画像）に、被検体（例えば、肺）の管腔の経路に係る特徴領域が所定の面積以上で含まれているか否かを判断する。
- [0062] そして、ステップS105の判断の結果、ステップS104で検出した特徴領域が所定の面積以上で含まれている場合には（S105／Yes）、被検体（例えば、肺）の管腔の深部に向かう経路が撮像部140の視野に入ると判定し、ステップS106に進む。

- [0063] ステップS106に進むと、角度制限値推定部311は、湾曲部120の湾曲角度制限値 $\theta_{1\_lim}(\zeta_{1\_itr})$ を湾曲角度 $\theta_{1\_itr}$ に更新する。
- [0064] 続いて、ステップS107において、角度制限値推定部311は、所定の大きさ $\Delta\theta_{1\_in}$ を増加させる。その後、ステップS102の処理に戻る。このステップS102～ステップS107の処理を、二値化処理した画像の中に特徴領域が所定の面積以上で含まれなくなるまで繰り返すことで、レバー510の或る操作方向 $\Delta\zeta_{1\_in}$ に対して画像の中に特徴領域が所定の面積以上で含まれる湾曲角度の限界（例えば、上限）である $\theta_{1\_lim}(\zeta_{1\_itr})$ を求めることができる。
- [0065] また、ステップS105の判断の結果、ステップS104で検出した特徴領域が所定の面積以上で含まれていない場合には（S105／No）、ステップS108に進む。
- [0066] ステップS108に進むと、角度制限値推定部311は、所定の方向 $\Delta\zeta_{1\_in}$ が360deg未満であるか否かを判断する。
- [0067] ステップS108の判断の結果、所定の方向 $\Delta\zeta_{1\_in}$ が360deg未満である場合には（S108／Yes）、ステップS109に進む。
- [0068] ステップS109に進むと、角度制限値推定部311は、所定の方向 $\Delta\zeta_{1\_in}$ を増加させる。その後、ステップS102の処理に戻る。
- [0069] また、ステップS108の判断の結果、所定の方向 $\Delta\zeta_{1\_in}$ が360deg未満でない場合には（S108／No）、図6のフローチャートの処理を終了する。
- [0070] 図6のステップS102～ステップS109の処理を繰り返すことで、レバー510の操作方向 $\Delta\zeta_{1\_in}$ を0degから360degまで少しずつ増加させながら、その都度、湾曲角度の限界（例えば、上限）である $\theta_{1\_lim}(\zeta_{1\_itr})$ を算出することで、全ての操作方向に対応する湾曲部120の湾曲角度制限値 $\theta_{1\_lim}(\zeta_1)$ を求めることができる。
- [0071] 図7は、図6のステップS103の処理を行う角度制限値推定部311の機能構成の一例を示す模式図である。この図7を用いて、図6のステップS

103において、角度制限値推定部311が、所定のレバー操作を仮定するときの、湾曲部120の先端（遠位端）の位置 ${}^w p_1'$ と方向 ${}^w n_1'$ の推定値を算出する方法について説明する。また、この図7において、図5に示す構成と同様の構成については同じ符号を付しており、その詳細な説明は省略する。

[0072] 図6のステップS103の処理を行う角度制限値推定部311は、図7に示すように、変化量演算部3111及び座標変換部3112の機能構成を有している。

[0073] 図7において、操作角度701は、図6のステップS102で算出された湾曲角度 $\theta_{1\_itr}$ 及び旋回角度 $\zeta_{1\_itr}$ である。また、湾曲部角度702は、図5の角度制限部313から出力される目標湾曲角度 $\theta_{1\_ref}$ 及び目標旋回角度 $\zeta_{1\_ref}$ である。

[0074] 図7の変化量演算部3111は、まず、湾曲部角度702である現在の目標湾曲角度 $\theta_{1\_ref}$ 及び目標旋回角度 $\zeta_{1\_ref}$ から、(4)式及び(5)式に示すロボット運動学を用いて、位置 ${}^B p_{1\_ref}$ 及び方向 ${}^B n_{1\_ref}$ を算出する。同様に、変化量演算部3111は、操作角度701である湾曲角度 $\theta_{1\_itr}$ 及び旋回角度 $\zeta_{1\_itr}$ から、移動後の遠位端の位置 ${}^B p_{1\_itr}$ 及び方向 ${}^B n_{1\_itr}$ を算出する。そして、変化量演算部3111は、算出した移動後の位置 ${}^B p_{1\_itr}$ 及び方向 ${}^B n_{1\_itr}$ から、移動前の位置 ${}^B p_{1\_ref}$ 及び方向 ${}^B n_{1\_ref}$ を減算して、変化量 ${}^B \Delta \hat{p}_1$ 及び ${}^B \Delta \hat{n}_1$ を算出する。

[0075] 図7の座標変換部3112は、変化量演算部3111で算出された変化量 ${}^B \Delta \hat{p}_1$ 及び ${}^B \Delta \hat{n}_1$ を、作業座標系に変換した変化量 ${}^w \Delta \hat{p}_1$ 及び ${}^w \Delta \hat{n}_1$ を算出する。

[0076] そして、角度制限値推定部311は、座標変換部3112で算出された変化量 ${}^w \Delta \hat{p}_1$ 及び ${}^w \Delta \hat{n}_1$ と、湾曲部先端位置302であるコイル130で計測された湾曲部120の先端（遠位端）の位置 ${}^w p_1$ 及び方向 ${}^w n_1$ とを、それぞれ加算して、位置 ${}^w p_1'$ 及び方向 ${}^w n_1'$ を算出する。図7では、ここで算出された位置 ${}^w p_1'$ 及び方向 ${}^w n_1'$ は、先端推定位置703とし

て出力される。

[0077] [1-4: 肺生検の処理手順]

上述した連続体ロボット制御システム10-1を用いて、被検者の肺生検を行う際の湾曲部120の湾曲角度における制限方法の処理手順について説明する。術前に、ユーザは、被検者の肺（被検体）のMRI画像やCT画像等の医用画像から肺の3Dモデルを作成する。その後、ユーザは、作成した3Dモデルを参照しながら組織を採取する目標位置と、当該目標位置に到達するまでに連続体ロボット100の湾曲部120の先端120aが通過する目標経路を決定する。そして、ユーザは、決定した目標位置及び目標経路の情報を3Dモデルとともに制御装置300の記憶部（不図示）に保存する。

[0078] 手術が始まると、医師等のユーザは、まず、撮像部140を先端に備えた撮像ツールを連続体ロボット100のツールチャンネル101に挿入し、撮像ツールの撮像部140を湾曲部120の先端120aまで挿入する。次いで、ユーザは、撮像ツールが挿入された連続体ロボット100を、被検者の口または鼻から挿入する。そして、ユーザは、画像表示装置600に表示されたカメラ画像610とナビゲーション画像620を参照しながら操作装置500（レバー510等）を操作し、湾曲部120の先端120aの姿勢を制御しながら、連続体ロボット100の駆動ユニット150が載置されたリニアステージ200を前進させる。

[0079] 図8A、図8B、図8Cは、本発明の第1の実施形態を示し、被検体の内部における連続体ロボット100の姿勢の一例を示す図である。この図8A、図8B、図8Cにおいて、図1～図4に示す構成と同様の構成については同じ符号を付しており、その詳細な説明は省略する。また、図9A、図9B、図9Cは、本発明の第1の実施形態を示し、連続体ロボット100が図8A、図8B、図8Cの姿勢となるときに撮像部140が出力するカメラ画像の一例を示す図である。以下、図8A、図8B、図8C及び図9A、図9B、図9Cを参照した説明を行う。

[0080] まず、図8Aに示すように、先端にコイル130及び撮像部140を備え

た湾曲部120の当該先端が被検体である肺の管腔における分岐の近傍に到達する。このとき、撮像部140の視野（カメラ画像）には、図9Aに示すように、画面左側に図8Aの経路L（910）と画面右側に図8Aの経路R（920）の両方の経路が入る。また、図9Aには、例えば管腔壁（管腔内壁）900と、上述した特徴領域に該当する経路L（910）の深部に向かう管腔の経路911及び経路R（920）の深部に向かう管腔の経路921が図示されている。

[0081] 続いて、図8Bに示すように、先端にコイル130及び撮像部140を備えた湾曲部120を左（所定の方向）に湾曲させると、経路Lと経路Rは、撮像部140の画面に対して右方向に移動することになる。このとき、撮像部140の視野（カメラ画像）には、図9Bに示すように、経路R（920）が画面から外れてしまうが、特徴領域に該当する管腔の経路911を含む経路L（910）は画面内にとどまる。このため、本実施形態では、角度制限部313による湾曲部120の湾曲角度の制限は行わない。

[0082] 続いて、図8Cに示すように、先端にコイル130及び撮像部140を備えた湾曲部120を更に左に湾曲させて湾曲角度を増加させる。そうすると、撮像部140の視野（カメラ画像）には、図9Cに示すように、経路L（910）の一部が画面から外れてしまい、特徴領域に該当する管腔の経路911の面積が減少してしまう。そして、本実施形態では、特徴領域に該当する管腔の経路911の面積が一定の閾値である所定の面積未満になると、湾曲部120を更に左に湾曲させようとする湾曲部操作入力303がユーザから与えられても、制御装置300（角度制限部313）は、湾曲部120をこれ以上、左（所定の方向）に湾曲させないように制御する。ただし、角度制限部313は、旋回角度ごとに異なる湾曲角度制限値 $\theta_{1\_lim}(\zeta)$ を保持しているため、上述した特徴領域の面積が増加する画面上下方向または右方向（所定の方向以外の方向）への湾曲部操作入力303については、湾曲部120の湾曲角度を制限しない。

[0083] このように、本実施形態の制御装置300による制御を行うことで、カメ

ラ画像610上に被検体の管腔の経路に係る特徴領域が常に表示されるため、ユーザは、湾曲部120の操作方向を容易に把握することが可能となる。これにより、誤って被検体の管腔と強く接触する方向に湾曲部120を操作し、連続体ロボット100を破損してしまうリスクを低減させることができる。

[0084] なお、本実施形態では、被検体である肺の管腔壁と肺の管腔の深部に向かう経路との明暗の差に基づいて特徴領域の面積を算出したが、これは本発明の制御装置300における特徴領域の演算方法を限定するものではない。本発明においては、背景と識別可能であれば、管腔以外の情報を用いてもよい。例えば、被検体の管腔壁に存在する腫瘍や瘻等の凹凸によって生じる明暗の差や、被検体の管腔の分岐・湾曲によって生じるエッジの情報を用いて、特徴領域を定義してもよい。

[0085] また、本実施形態では、角度制限値推定部311によって推定したカメラ画像を用いて特徴領域の面積を算出したが、被検体の組織の構造情報に透過等の画像処理を施した画像を用いてもよい。これにより、例えば、前面の管腔壁の背後にある管腔や凹凸を特徴領域として用いることが可能となるため、カメラ画像を推定する場合と比べて、湾曲角度制限値を増加させて、ユーザによる湾曲部120の操作性を向上させることができる。

[0086] 図10A、図10B、図10Cは、本発明の第1の実施形態に係る連続体ロボット100の湾曲部120の湾曲角度制限値を増加させることができる形態の一例を示す図である。この図10A、図10B、図10Cにおいて、図8A、図8B、図8C及び図9A、図9B、図9Cに示す構成と同様の構成については同じ符号を付しており、その詳細な説明は省略する。

[0087] 図10Aは、被検体の内部における連続体ロボット100の姿勢の一例を示す図である。図10Aに示す被検体の内部において、連続体ロボット100から見て、管腔壁Aの奥には経路Lが続いている。このとき、図10Bに示すように、撮像部140の視野（カメラ画像）には、管腔壁Aのみが入り、上述した特徴領域は存在しない。そのため、カメラ画像のみを用いる場合

には、図10Aに示す姿勢に湾曲部120を操作することはできない。しかしながら、図10Cに示すように、管腔壁Aを透過させれば、経路Lを含む画像を生成することができる。この透過画像をナビゲーション画像620として用いるか、または、透過画像から画像処理により抽出した経路L(910)をカメラ画像610に重畳すれば、ユーザは、経路Lの情報を参照しながら湾曲部120の操作方向を決定できるため、経路Lを特徴領域(911)とすることが可能となる。これにより、図10Aに示す姿勢をとるように湾曲部120の湾曲角度制限値を増加させることができる。

[0088] さらに、術前に計画した被検体内部の患部(関心領域)までの目標経路に基づいて、上述した特徴領域を設定してもよい。例えば、組織の3Dモデルに目標経路の情報を重畳し、目標経路を含むカメラ画像610を推定する。そして、推定したカメラ画像610に目標経路の一部が必ず入るように湾曲部120の湾曲角度制限値を算出してもよい。

[0089] 第1の実施形態に係る連続体ロボット制御システム10-1の制御装置300は、以下の処理を行うようにしている。

[0090] 制御装置300は、まず、角度制限値推定部311(角度推定手段)において、湾曲部120が被検体(例えば、被検者の肺)の管腔の内部に差し入れられた後に検出された湾曲部先端位置302と、前記管腔の構造情報301とに基づいて、湾曲部120を所定の方向に湾曲させる場合に撮像部140の視野に管腔の経路に係る特徴領域が所定の面積以上で含まれる際の湾曲部120の湾曲角度制限値 $\theta_{1\_lim}(\zeta_1)$ を推定している。そして、制御装置300は、角度制限部313(角度制限手段)において、湾曲部120を前記所定の方向に湾曲させる際に、湾曲角度制限値 $\theta_{1\_lim}(\zeta_1)$ の範囲内で湾曲部120が湾曲するように駆動部であるアクチュエータ151a~153aの駆動を制限するようにしている。

[0091] かかる構成によれば、撮像部140の視野に被検体の管腔の経路に係る特徴領域が常に入るように湾曲部120の湾曲角度を制御することができるため、例えば気管支のように細径で且つ術中に形状が変化してしまう被検体で

あっても、被検体の管腔と強く接触する方向に連続体ロボット100を操作してしまうリスクを低減することが可能となる。

[0092] また、第1の実施形態には、連続体ロボット制御システム10-1により行われる処理の方法（連続体ロボット制御方法）も含まれる。

[0093] （第2の実施形態）

次に、本発明の第2の実施形態について説明する。なお、以下に記載する第2の実施形態の説明では、上述した第1の実施形態と共通する事項については説明を省略し、上述した第1の実施形態と異なる事項について説明を行う。

[0094] 第1の実施形態で説明したように、連続体ロボット100は、リニアステージ200に固定されているため、湾曲部120の湾曲動作だけではなく、リニアステージ200の前後進運動によってもカメラ画像610上の特徴領域の面積は変化する。そこで、本実施形態の制御装置300は、上述した特徴領域の面積が所定の面積以上になるようにリニアステージ200の移動量も制限する。

[0095] [2-1：連続体ロボット制御システムの構成]

図11は、本発明の第2の実施形態に係る連続体ロボット制御システム10-2の概略構成の一例を示す模式図である。この図11において、図1に示す構成と同様の構成については同じ符号を付しており、その詳細な説明は省略する。

[0096] 連続体ロボット制御システム10-2は、図11に示すように、連続体ロボット100、リニアステージ200、電動ステージ220、制御装置300、入力装置400、操作装置500、及び、画像表示装置600を有して構成されている。

[0097] 第2の実施形態では、リニアステージ200は、電動アクチュエータを含む電動ステージ220によって駆動される。このリニアステージ200及び電動ステージ220は、連続体ロボット100を被検者の被検体に対して前進移動及び後進移動させる移動装置に相当する。また、第2の実施形態にお

ける操作装置500には、電動ステージ220の前後進指令を出力するための前後進ボタン520（前進ボタン及び後進ボタン）が備えられている。本実施形態では、ユーザがこれらの前後進ボタン520を押すと、制御装置300は、押されたボタンの種類に応じて電動ステージ220の電動アクチュエータに駆動指令を出力する。電動アクチュエータの回転運動は、送りねじによって並進運動に変換されて電動ステージ220のテーブルとともに駆動ユニット150が前後進運動（前後進移動）を行う。また、電動ステージ220の電動アクチュエータには、不図示のエンコーダが接続されており、制御装置300は、このエンコーダの出力に基づいてテーブル（ステージ）の移動量を算出する。

[0098] [2-2：制御装置の構成]

図12は、本発明の第2の実施形態に係る制御装置300の概略構成の一例を示す模式図である。この図12において、図5に示す構成と同様の構成については同じ符号を付しており、その詳細な説明は省略する。

[0099] 図12に示す制御装置300は、図5に示す構成部311～315に加えて、移動制限値推定部321、移動指令演算部322、移動量制限部323、及び、ステージ制御部324を有して構成されている。図12に示す構成部321～324は、電動ステージ220の制御系に係る構成部である。

[0100] 図12において、構造情報301、湾曲部先端位置302及び湾曲部操作入力303は、図5と同様である。図12において、ステージ操作入力305は、例えば、医師等のユーザが、操作装置500の前後進ボタン520を操作した際のボタンの種類及び操作量の入力情報である。

[0101] 移動制限値推定部321は、第1の実施形態で説明した角度制限値推定部311と同様に反復計算を用いて、入力された構造情報301及び湾曲部先端位置302に含まれる湾曲部120の遠位端の位置 $p_1$ 及び方向 $n_1$ に基づいて、ステージの移動量における移動制限値 $z_{b_{i,m}}$ を演算して推定する。具体的に、移動制限値推定部321は、まず、ステージを所定の量だけ移動させたときの撮像部140の位置と方向を推定し、これらと構造情報301か

ら、撮像部140が出力する画像を推定する。そして、移動制限値推定部321は、推定した画像の中の特徴領域が所定の面積以上で含まれているか否かを判定する。

[0102] そして、移動制限値推定部321は、上述した処理を、ステージの移動量を増加させながら繰り返し行い、推定した画像内に特徴領域が含まれる最大のステージ移動量を移動制限値 $z b_{lim}$ として出力する。

[0103] 移動指令演算部322は、ステージ操作入力305に基づいて、ステージの位置指令値 $z b_{cmd}$ を算出する。

[0104] 移動量制限部323は、移動指令演算部322で算出された位置指令値 $z b_{cmd}$ が移動制限値 $z b_{lim}$ 以下であれば、位置指令値 $z b_{cmd}$ を目標位置 $z b_{ref}$ として出力する。また、移動量制限部323は、移動指令演算部322で算出された位置指令値 $z b_{cmd}$ が移動制限値 $z b_{lim}$ よりも大きければ、移動制限値 $z b_{lim}$ を目標位置 $z b_{ref}$ として出力する。

[0105] ステージ制御部324は、電動ステージ220の電動アクチュエータに接続されているエンコーダで計測されるステージの位置が目標位置 $z b_{ref}$ と一致するように、ステージ駆動指令306を出力する。

[0106] [2-3: 肺生検の処理手順]

上述した連続体ロボット制御システム10-2を用いて、被検者の肺生検の術中における電動ステージ220の制御方法の処理手順について説明する。

[0107] 図13A、図13B、図13Cは、本発明の第2の実施形態を示し、被検体の内部における連続体ロボット100の姿勢の一例を示す図である。この図13A、図13B、図13Cにおいて、図1~図4、図8A、図8B、図8C及び図11に示す構成と同様の構成については同じ符号を付しており、その詳細な説明は省略する。また、図14A、図14B、図14Cは、本発明の第2の実施形態を示し、連続体ロボット100が図13A、図13B、図13Cの姿勢となるときに撮像部140が出力するカメラ画像の一例を示す図である。この図14A、図14B、図14Cにおいて、図9A、図9B

、図9Cに示す構成と同様の構成については同じ符号を付しており、その詳細な説明は省略する。以下、図13A、図13B、図13C及び図14A、図14B、図14Cを参照して、被検者の肺生検の術中における電動ステージ220の制御方法を説明する。

[0108] まず、図13Aに示すように、先端にコイル130及び撮像部140を備えた湾曲部120の当該先端が被検体である肺の管腔における分岐の近傍に到達する。このとき、撮像部140の視野（カメラ画像）には、図14Aに示すように、画面左側に図13Aの経路L（910）と画面右側に図13Aの経路R（920）の両方の経路が入る。

[0109] 続いて、ステージを前進させると、図13Bに示すように、先端にコイル130及び撮像部140を備えた湾曲部120の当該先端が分岐に近づく。このとき、撮像部140の視野（カメラ画像）には、図14Bに示すように、経路L（910）は左側に移動し、経路R（920）は右側に移動する。

[0110] 続いて、ステージを更に前進させると、図13Cに示すように、先端にコイル130及び撮像部140を備えた湾曲部120の当該先端が分岐に更に近づく。このとき、撮像部140の視野（カメラ画像）には、図14Cに示すように、経路L（910）と経路R（920）の大部分がカメラ画像610から外れてしまい、特徴領域に該当する管腔の経路911及び921が所定の面積未満となってしまふ。このため、移動量制限部323は、この場合にはステージの前進を制限する制御を行う。

[0111] ただし、図12に示すように、ステージの移動量制限部323と湾曲部120の湾曲角度における角度制限部313とは独立しているため、ステージの移動が制限されていても、湾曲部120の湾曲動作を行うことは可能である。例えば、図14Cに示すカメラ画像が得られている場合、湾曲部120を左に曲げれば経路L（910）がカメラ画像の中心付近に移動し、また、湾曲部120を右に曲げれば経路R（920）がカメラ画像の中心付近に移動するため、湾曲部120の湾曲角度を制限しないことも適用しうる。そして、このような湾曲動作によって特徴領域が所定の面積以上になれば、ステ

ージ移動量の制限が解除されるため、ステージを再び前進させることが可能となる。

[0112] 第2の実施形態に係る連続体ロボット制御システム10-2の制御装置300は、第1の実施形態に係る制御装置300の処理に加えて、以下の処理を行うようにしている。

[0113] 制御装置300は、まず、移動制限値推定部321（移動推定手段）において、湾曲部120が被検体（例えば、被検者の肺）の管腔の内部に差し入れられた後に検出された湾曲部先端位置302と、前記管腔の構造情報301とに基づいて、移動装置であるリニアステージ200及び電動ステージ220による移動量における移動制限値 $z_{b_{lim}}$ を推定している。そして、制御装置300は、移動量制限部323（移動量制限手段）において、移動制限値 $z_{b_{lim}}$ の範囲内となるように移動装置であるリニアステージ200及び電動ステージ220による移動量を制限するようにしている。

[0114] かかる構成によれば、ステージの位置を制御することで、連続体ロボット100を被検体に対して大きく移動させてしまって撮像部140の視野（カメラ画像610）から特徴領域が外れることを防止することができる。

[0115] なお、本実施形態では、電動ステージ220の電動アクチュエータを用いてステージの移動量を制限したが、本発明は、その他の実施形態にも適用しうる。例えば、第1の実施形態と同様にユーザが手動で前進操作をすることが可能なステージと、ステージの移動量を計測するエンコーダと、ステージの前後進方向の運動を規制する電磁ブレーキを用いる形態も採りうる。この形態を採る場合、ユーザの操作によりステージが移動し、エンコーダで計測した移動量 $z_b$ が目標位置 $z_{b_{lim}}$ 以上になるときに電磁ブレーキを作用させることで、移動量を目標位置 $z_{b_{lim}}$ よりも小さくすることが可能となる。

[0116] （第3の実施形態）

次に、本発明の第3の実施形態について説明する。なお、以下に記載する第3の実施形態の説明では、上述した第1及び第2の実施形態と共通する事項については説明を省略し、上述した第1及び第2の実施形態と異なる事項

について説明を行う。

[0117] 第1の実施形態で上述したように、連続体ロボット100の長尺部110は、被検体の管腔と接触しても、受動的に湾曲することができるが、大きく湾曲する経路を通過するときには被検体の管腔と強く接触してしまう。これに対して、複数の湾曲部120を備える連続体ロボット100を用いて被検体の管腔の形状に沿うように各湾曲部120の姿勢を能動的に制御すれば、被検体の管腔と連続体ロボット100との接触による操作性の悪化や連続体ロボット100が破損してしまうリスクを低減できる。そこで、第3の実施形態では、複数の湾曲部120を備える連続体ロボット100を適用し、先端（遠位端）以外の湾曲部120を操作するときにも、カメラ画像610内に上述した特徴領域が入るように湾曲部120の湾曲角度を制限する。

[0118] [3-1：連続体ロボット制御システムの構成]

図15は、本発明の第3の実施形態に係る連続体ロボット制御システム10-3の概略構成の一例を示す模式図である。この図15において、図1及び図11に示す構成と同様の構成については同じ符号を付しており、その詳細な説明は省略する。

[0119] 第3の実施形態に係る連続体ロボット制御システム10-3は、連続体ロボット100が複数の湾曲部120-1～120-3を備える点で、上述した第1及び第2の実施形態と異なる。医師等のユーザは、第1の実施形態に係る連続体ロボット制御システム10-1と同様に、操作装置500に設置されたレバー510を用いて複数の湾曲部120-1～120-3のうちの1つの湾曲部120の湾曲角度と姿勢を変更することができる。また、第3の実施形態に係る連続体ロボット制御システム10-3では、操作装置500には、スライドスイッチ530が設置されており、ユーザは、スライドスイッチ530のスライダの位置を変更することで操作する湾曲部120を選択することができる。

[0120] [3-2：連続体ロボットの構成]

図16は、本発明の第3の実施形態に係る連続体ロボット100に備わる

複数の湾曲部120の一例を示す模式図である。この図16において、図2～図4及び図15に示す構成と同様の構成については同じ符号を付しており、その詳細な説明は省略する。

[0121] 本実施形態においては、湾曲部120の数をNとする。図16では、N個の湾曲部120のうちの或る湾曲部120を第n ( $n=1, 2, \dots, N$ ) の湾曲部120-nとして図示している。第nの湾曲部120-nにおいて、複数のワイヤガイド124-nのうちの遠位端に位置するワイヤガイド124-nDには、駆動ワイヤ121-n、122-n及び123-nの一端が固定して接続されている。以下の説明では、図16に示す駆動ワイヤ121-nを「naワイヤ」とし、図16に示す駆動ワイヤ122-nを「nbワイヤ」とし、図16に示す駆動ワイヤ123-nを「ncワイヤ」として記載する。また、第nの湾曲部120-nの遠位端のワイヤガイド124-nD以外のワイヤガイド124-nには、naワイヤのみが固定されており、nbワイヤとncワイヤは、ワイヤガイド124-nに設けられた不図示の案内孔により長手方向に摺動することができる。

[0122] この図16には、連続体ロボット100の先端から順に、第(n-1)の湾曲部120-(n-1)、第nの湾曲部120-n及び第(n+1)の湾曲部120-(n+1)の3つの湾曲部120が図示されている。この場合、図16に示す第(n-1)の湾曲部120-(n-1)は、図15に示す第1の湾曲部120-1に相当する。同様に、図16に示す第nの湾曲部120-nは、図15に示す第2の湾曲部120-2に相当し、また、図16に示す第(n+1)の湾曲部120-(n+1)は、図15に示す第3の湾曲部120-3に相当する。

[0123] また、図16において、第nの湾曲部120-nよりも基台部の側に位置する第(n+1)の湾曲部120-(n+1)のワイヤガイドには、naワイヤ、nbワイヤ及びncワイヤのいずれも固定されておらず、各ワイヤは当該ワイヤガイドの案内孔を摺動する。そして、最も基台部の側に位置する第Nの湾曲部に相当する第(n+1)の湾曲部120-(n+1)を通過し

た各ワイヤは、長尺部110に案内されて、それぞれ、不図示の駆動部であるアクチュエータに接続される。このそれぞれのアクチュエータを駆動すると、naワイヤ、nbワイヤ及びncワイヤのそれぞれが押し引きされるため、第nの湾曲部120-nの湾曲角度 $\theta_n$ と旋回角度 $\zeta_n$ が変化する。このとき、第nの湾曲部120-nの湾曲角度 $\theta_n$ 及び旋回角度 $\zeta_n$ と、naワイヤ、nbワイヤ及びncワイヤの駆動量 $l_{na}$ 、 $l_{nb}$ 、 $l_{nc}$ との関係を表すアクチュエータ運動学は、以下の(6)式～(8)式と表される。

[0124] [数3]

$$l_{na} = \frac{R_g \theta_n}{2} \cos(\xi_n - \zeta_n) \quad \dots (6)$$

$$l_{nb} = \frac{R_g \theta_n}{2} \cos(\xi_n - \zeta_n + \frac{2\pi}{3}) \quad \dots (7)$$

$$l_{nc} = \frac{R_g \theta_n}{2} \cos(\xi_n - \zeta_n + \frac{4\pi}{3}) \quad \dots (8)$$

[0125] なお、上述したように、naワイヤ、nbワイヤ及びncワイヤは、第nの湾曲部120-nのワイヤガイド以外には接続されていないため、駆動量 $l_{na}$ 、 $l_{nb}$ 及び $l_{nc}$ を変化させても、第nの湾曲部120-n以外の湾曲部120の湾曲角度及び旋回角度は変化しない。このように、本実施形態の連続体ロボット100は、各湾曲部120の姿勢を独立に制御することができる。

[0126] また、角度と第1の湾曲部120-1の先端の位置 ${}^B p_1$ を表すロボット運動学は、各湾曲部120の運動学を用いて求めることができる。まず、制御装置300は、(4)式と同様の式を用いて、各湾曲部120において最も基台部に近いワイヤガイドから遠位端までのベクトルを求める。次いで、制御装置300は、これらのベクトルを、各湾曲部120の基台を原点としてロボット座標系の座標軸 $X_B$ 、 $Y_B$ 及び $Z_B$ を座標軸とする座標系に変換する。そして、制御装置300は、これらのベクトルを加算して位置 ${}^B p_1$ を得る。なお、第1の湾曲部120-1の先端の方向 $n_1$ は、第1の湾曲部120-1の湾曲角度 $\theta_1$ と旋回角度 $\zeta_1$ にのみ依存するため、本実施形態の連続体ロボ

ット100においても、(5)式を用いて $n_1$ を求めることができる。

[0127] [3-3:制御装置の構成]

図17は、本発明の第3の実施形態に係る制御装置300の概略構成の一例を示す模式図である。この図17において、図5及び図12に示す構成と同様の構成については同じ符号を付しており、その詳細な説明は省略する。

[0128] 図17に示す制御装置300は、図5に示す制御装置300と同様に、角度制限値推定部311、角度指令生成部312、角度制限部313、運動学演算部314、及び、ワイヤ制御部315を有して構成されている。

[0129] 図17において、構造情報301、湾曲部先端位置302及び湾曲部操作入力303は、図5と同様である。図17において、湾曲部選択信号307は、例えば、医師等のユーザが、操作装置500のスライドスイッチ530を操作して選択した1つの湾曲部120の選択信号である。

[0130] 第3の実施形態では、角度制限値推定部311は、入力された構造情報301及び湾曲部先端位置302に含まれる第1の湾曲部120-1の遠位端の位置 $p_1$ 及び方向 $n_1$ 、湾曲部選択信号307で示される操作対象の湾曲部120の番号 $n$ 、並びに、角度制限部313から出力される第 $n$ の湾曲部120- $n$ の目標湾曲角度 $\theta_{n\_ref}$ 及び目標旋回角度 $\zeta_{n\_ref}$ に基づいて、第 $n$ の湾曲部120- $n$ を駆動するとき撮像部140が出力する画像を推定する。そして、角度制限値推定部311は、第1の実施形態で説明した反復計算によって、推定した画像の中の特徴領域が所定の面積以上で含まれる最大の湾曲角度を第 $n$ の湾曲部120- $n$ の湾曲角度制限値 $\theta_{n\_lim}(\zeta_n)$ として出力する。

[0131] 第3の実施形態では、角度指令生成部312は、入力された湾曲部操作入力303に含まれるレバー510の左右方向の傾き量 $r_x$ 及び上下方向の傾き量 $r_y$ と、湾曲部選択信号307で示される操作対象の湾曲部120の番号 $n$ とに基づいて、第 $n$ の湾曲部120- $n$ の湾曲角度指令値 $\theta_{n\_cmd}$ と旋回角度指令値 $\zeta_{n\_cmd}$ を演算により生成する。

[0132] 第3の実施形態では、角度制限部313は、角度制限値推定部311から

出力される第 $n$ の湾曲部120- $n$ の湾曲角度制限値 $\theta_{n\_lim}(\zeta_n)$ の範囲内(例えば湾曲角度制限値 $\theta_{1\_lim}(\zeta_1)$ 以下)となるように、駆動部であるアクチュエータの駆動を制限するべく目標湾曲角度 $\theta_{n\_ref}$ を設定する。

[0133] 第3の実施形態では、運動学演算部314は、(6)式~(8)式に示す運動学を用いて、角度制限部313から出力される目標湾曲角度 $\theta_{n\_ref}$ 及び目標旋回角度 $\zeta_{n\_ref}$ から、第 $n$ の湾曲部120- $n$ の $n_a$ ワイヤ、 $n_b$ ワイヤ及び $n_c$ ワイヤの駆動量 $l_{na}$ 、 $l_{nb}$ 及び $l_{nc}$ を算出する。

[0134] 第3の実施形態では、ワイヤ制御部315は、実際の $n_a$ ワイヤ、 $n_b$ ワイヤ及び $n_c$ ワイヤの駆動量が、それぞれ、運動学演算部314で算出された駆動量 $l_{na}$ 、 $l_{nb}$ 及び $l_{nc}$ となるように、各アクチュエータに対してワイヤ駆動指令304を出力する。

[0135] 第3の実施形態に係る連続体ロボット制御システム10-3の制御装置300は、複数の湾曲部120を備える連続体ロボット100に対して、以下の処理を行うようにしている。

[0136] 制御装置300は、まず、角度制限値推定部311(角度推定手段)において、複数の湾曲部120が被検体(例えば、被検者の肺)の管腔の内部に差し入れられた後に検出された最遠位の湾曲部120-1の先端位置と、前記管腔の構造情報301と、操作対象の湾曲部120として選択された第 $n$ の湾曲部120- $n$ を示す湾曲部選択信号307(選択情報)とに基づいて、第 $n$ の湾曲部120- $n$ を所定の方に湾曲させる場合に撮像部140の視野に管腔の経路に係る特徴領域が所定の面積以上で含まれる際の第 $n$ の湾曲部120- $n$ の湾曲角度制限値 $\theta_{n\_lim}(\zeta_n)$ を推定している。そして、制御装置300は、角度制限部313(角度制限手段)において、第 $n$ の湾曲部120- $n$ を前記所定の方に湾曲させる際に、第 $n$ の湾曲部120- $n$ の湾曲角度制限値 $\theta_{n\_lim}(\zeta_n)$ の範囲内で第 $n$ の湾曲部120- $n$ が湾曲するように駆動部であるアクチュエータの駆動を制限するようにしている。

[0137] かかる構成によれば、複数の湾曲部120を備える連続体ロボット100

においても、撮像部140の視野（カメラ画像610）から特徴領域が外れることを防止することができる。これにより、被検体の管腔と強く接触する方向に連続体ロボット100を操作してしまうリスクを低減することが可能となる。

[0138] （その他の実施形態）

上述した第1～第3の実施形態では、連続体ロボット100の湾曲部120を挿入する被検体として患者等の被検者の肺を想定した例を説明したが、本発明においてはこれに限定されるものではない。連続体ロボット100の湾曲部120を挿入する被検体として、肺以外の、管腔を有する器官（臓器）を適用してもよい。また、上述した第1～第3の実施形態では、連続体ロボット100の湾曲部120を挿入する対象として患者等の被検者を想定した例を説明したが、本発明においてはこれに限定されるものではなく、人間以外の他の動物を対象とすることもできる。即ち、本発明には、連続体ロボット100の湾曲部120を挿入する被検体として、人間以外の他の動物の、管腔を有する器官（臓器）を適用することも含まれる。

[0139] 本発明は、上述の実施形態の1以上の機能を実現するプログラムを、ネットワーク又は記憶媒体を介してシステム又は装置に供給し、そのシステム又は装置のコンピュータにおける1つ以上のプロセッサがプログラムを読み出し実行する処理でも実現可能である。また、1以上の機能を実現する回路（例えば、ASIC）によっても実現可能である。

[0140] このプログラム及び当該プログラムを記憶したコンピュータ読み取り可能な記憶媒体は、本発明に含まれる。

[0141] なお、上述した本発明の実施形態は、いずれも本発明を実施するにあたっての具体化の例を示したものに過ぎず、これらによって本発明の技術的範囲が限定的に解釈されてはならないものである。即ち、本発明はその技術思想、又はその主要な特徴から逸脱することなく、様々な形で実施することができる。

[0142] 本発明は上記実施の形態に制限されるものではなく、本発明の精神及び範

困から離脱することなく、様々な変更及び変形が可能である。従って、本発明の範囲を公にするために以下の請求項を添付する。

[0143] 本願は、2022年2月3日提出の日本国特許出願特願2022-015558を基礎として優先権を主張するものであり、その記載内容の全てをここに援用する。

### 符号の説明

- [0144] 10 連続体ロボット制御システム
- 100 連続体ロボット
  - 101 ツールチャネル
  - 102 基準軸
  - 110 長尺部
  - 120 湾曲部
  - 130 コイル
  - 140 撮像部
  - 150 駆動ユニット
  - 200 リニアステージ
  - 300 制御装置
  - 400 入力装置
  - 500 操作装置
  - 510 レバー
  - 600 画像表示装置
  - 610 カメラ画像
  - 620 ナビゲーション画像

## 請求の範囲

- [請求項1] 線状部材が駆動されることによって基準軸に対して湾曲する湾曲部と、前記線状部材を駆動する駆動部と、前記湾曲部の先端の近傍に配置された撮像部と、を備える連続体ロボットと、  
前記連続体ロボットの動作を制御する制御装置と、  
を有する連続体ロボット制御システムであって、  
前記制御装置は、  
前記湾曲部が被検体の管腔の内部に差し入れられた後に検出された前記湾曲部の先端位置と、前記管腔の構造情報とに基づいて、前記湾曲部を所定の方向に湾曲させる場合に前記撮像部の視野に前記管腔の経路に係る特徴領域が所定の面積以上で含まれる際の前記湾曲部の湾曲角度における角度制限値を推定する角度推定手段と、  
前記湾曲部を前記所定の方向に湾曲させる際に、前記角度制限値の範囲内で前記湾曲部が湾曲するように前記駆動部の駆動を制限する角度制限手段と、  
を有することを特徴とする連続体ロボット制御システム。
- [請求項2] 前記角度推定手段は、前記湾曲部が前記所定の方向に所定の湾曲角度だけ湾曲するときの前記湾曲部の先端の位置と方向を求め、当該求めた前記湾曲部の先端の位置と方向、および前記管腔の構造情報に基づいて、前記撮像部が取得する画像を推定し、当該推定した画像に前記特徴領域が含まれているかを判別することによって、前記角度制限値を推定することを特徴とする請求項1に記載の連続体ロボット制御システム。
- [請求項3] 前記連続体ロボットを前記被検体に対して前進移動および後進移動させる移動装置を更に有し、  
前記制御装置は、  
前記湾曲部が前記管腔の内部に差し入れられた後に検出された前記湾曲部の先端位置と、前記管腔の構造情報とに基づいて、前記移動装

置による移動量における移動制限値を推定する移動推定手段と、

前記移動制限値の範囲内となるように前記移動装置による移動量を制限する移動量制限手段と、

を更に有することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の連続体ロボット制御システム。

[請求項4]

前記連続体ロボットは、複数の前記湾曲部を備えており、

前記角度推定手段は、前記複数の湾曲部が前記管腔の内部に差し入れられた後に検出された前記複数の湾曲部のうちの最遠位の湾曲部の先端位置と、前記管腔の構造情報と、前記複数の湾曲部のうちの 1 つの湾曲部の選択情報とに基づいて、前記 1 つの湾曲部を所定の方向に湾曲させる場合に前記撮像部の視野に前記特徴領域が所定の面積以上で含まれる際の前記 1 つの湾曲部の湾曲角度における角度制限値を推定し、

前記角度制限手段は、前記 1 つの湾曲部を前記所定の方向に湾曲させる際に、前記 1 つの湾曲部の前記角度制限値の範囲内で前記 1 つの湾曲部が湾曲するように前記駆動部の駆動を制限する

ことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の連続体ロボット制御システム。

[請求項5]

前記連続体ロボットは、前記湾曲部の内部を貫通する管状の経路であってツールを挿抜するためのツールチャネルを更に備え、

前記撮像部は、前記ツールチャネルに挿入された撮像ツールの先端に設けられていることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の連続体ロボット制御システム。

[請求項6]

線状部材が駆動されることによって基準軸に対して湾曲する湾曲部と、前記線状部材を駆動する駆動部と、前記湾曲部の先端の近傍に配置された撮像部と、を備える連続体ロボットと、

前記連続体ロボットの動作を制御する制御装置と、

を有する連続体ロボット制御システムによる連続体ロボット制御方

法であって、

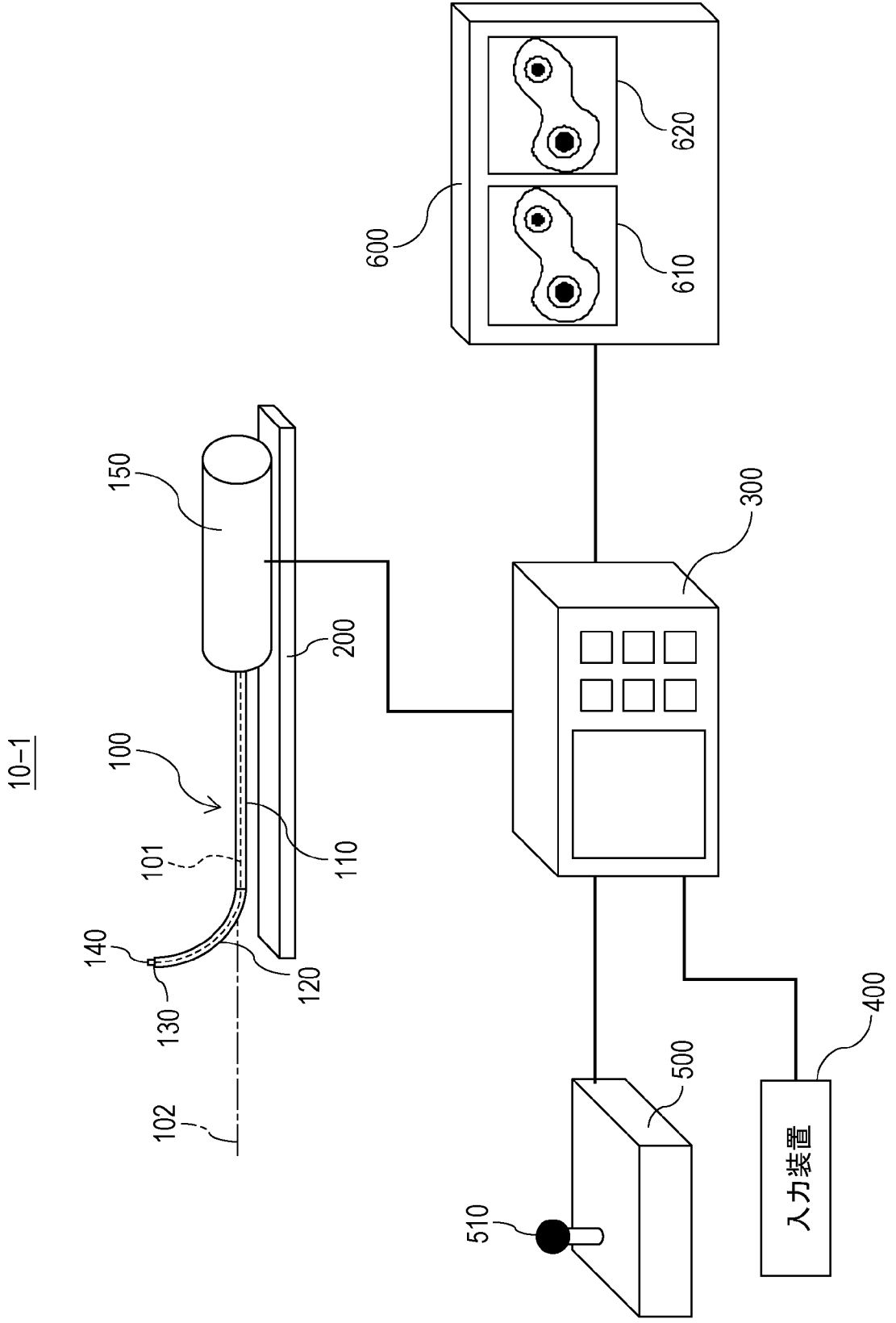
前記制御装置が、

前記湾曲部が被検体の管腔の内部に差し入れられた後に検出された前記湾曲部の先端位置と、前記管腔の構造情報とに基づいて、前記湾曲部を所定の方向に湾曲させる場合に前記撮像部の視野に前記管腔の経路に係る特徴領域が所定の面積以上で含まれる際の前記湾曲部の湾曲角度における角度制限値を推定する角度推定ステップと、

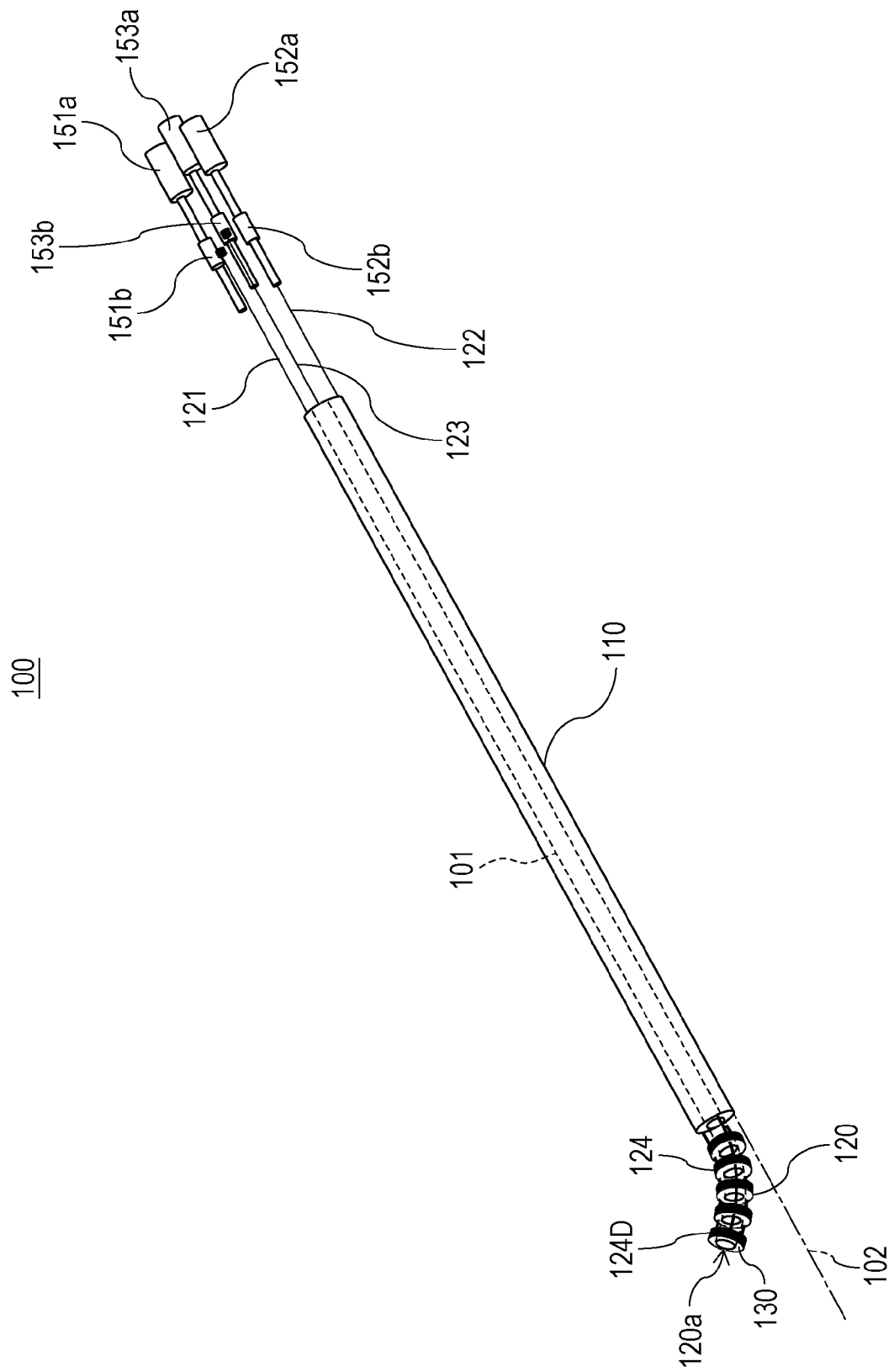
前記湾曲部を前記所定の方向に湾曲させる際に、前記角度制限値の範囲内で前記湾曲部が湾曲するように前記駆動部の駆動を制限する角度制限ステップと、

を行うことを特徴とする連続体ロボット制御方法。

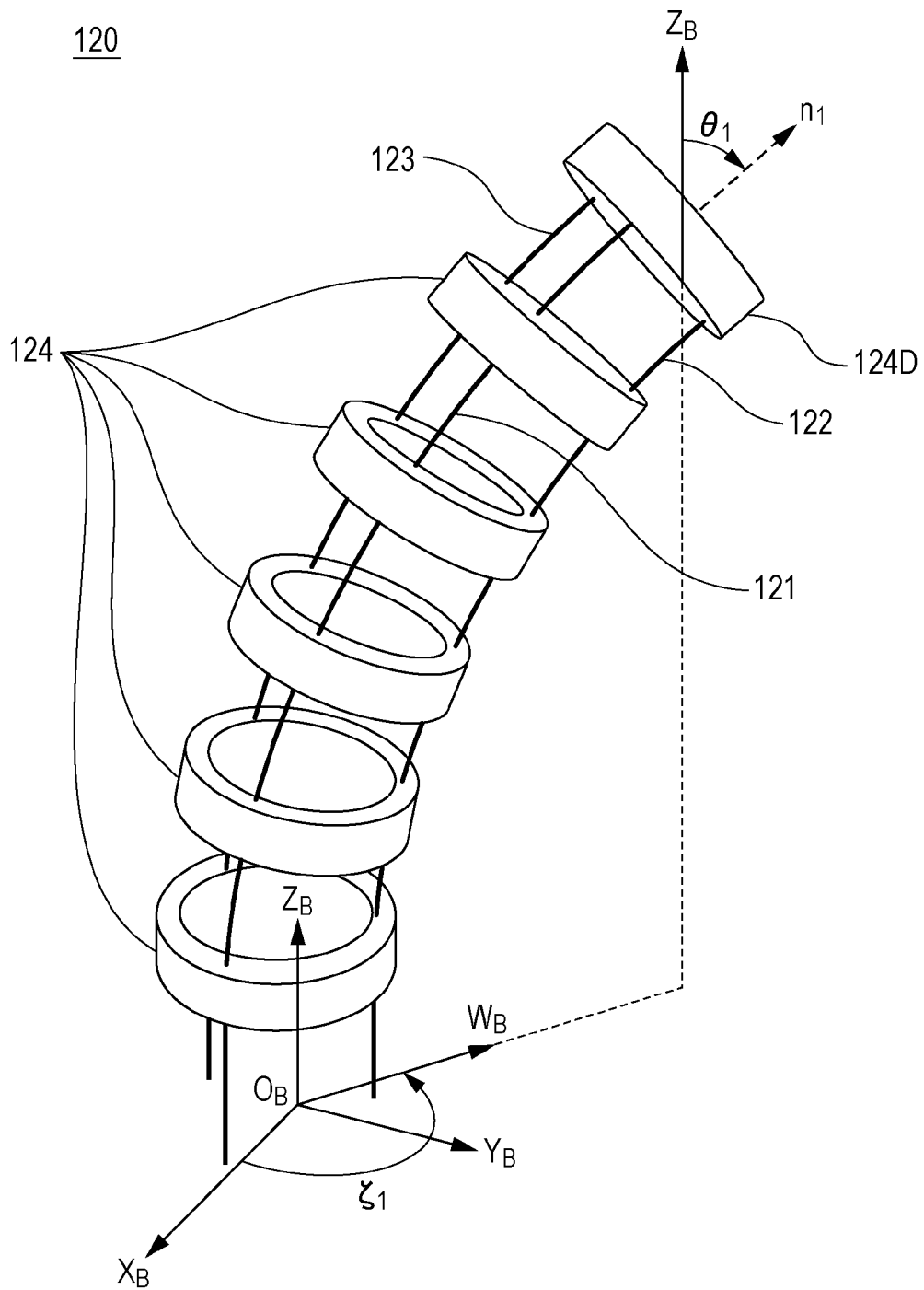
[図1]



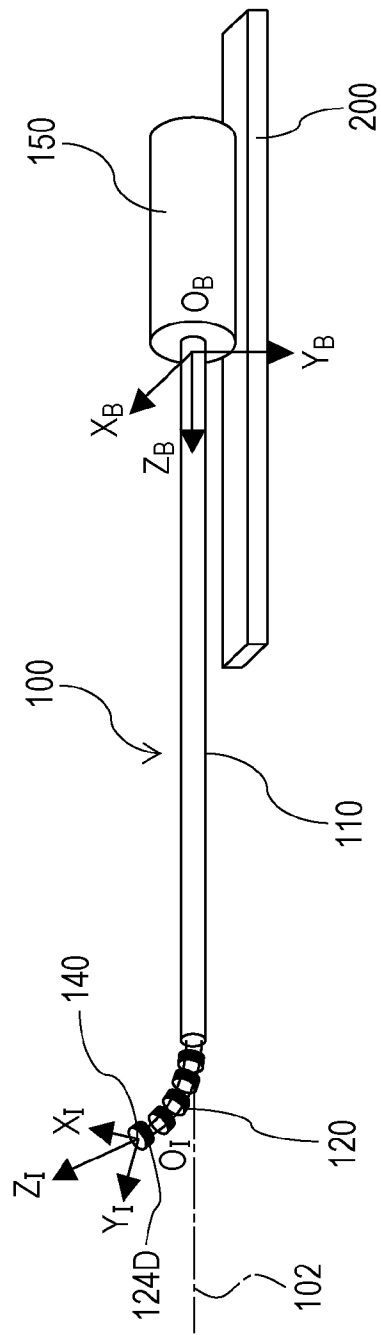
[図2]



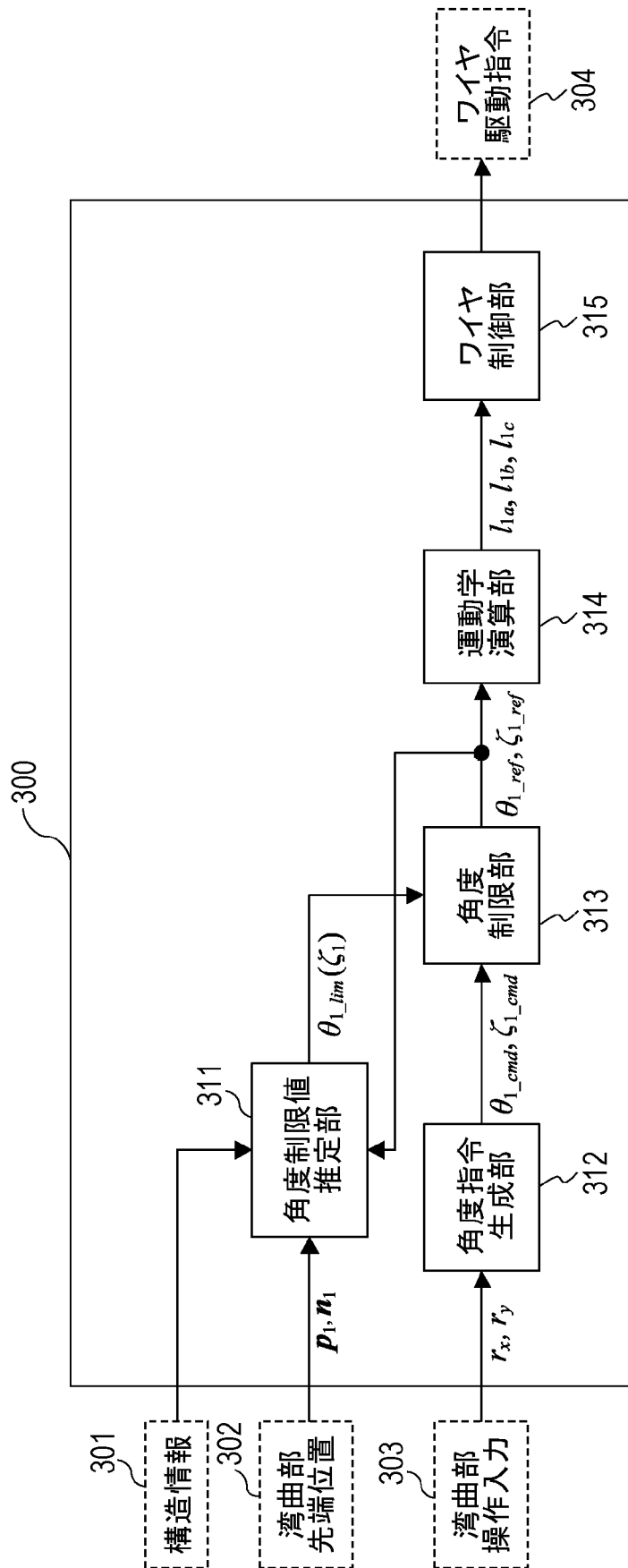
[図3]



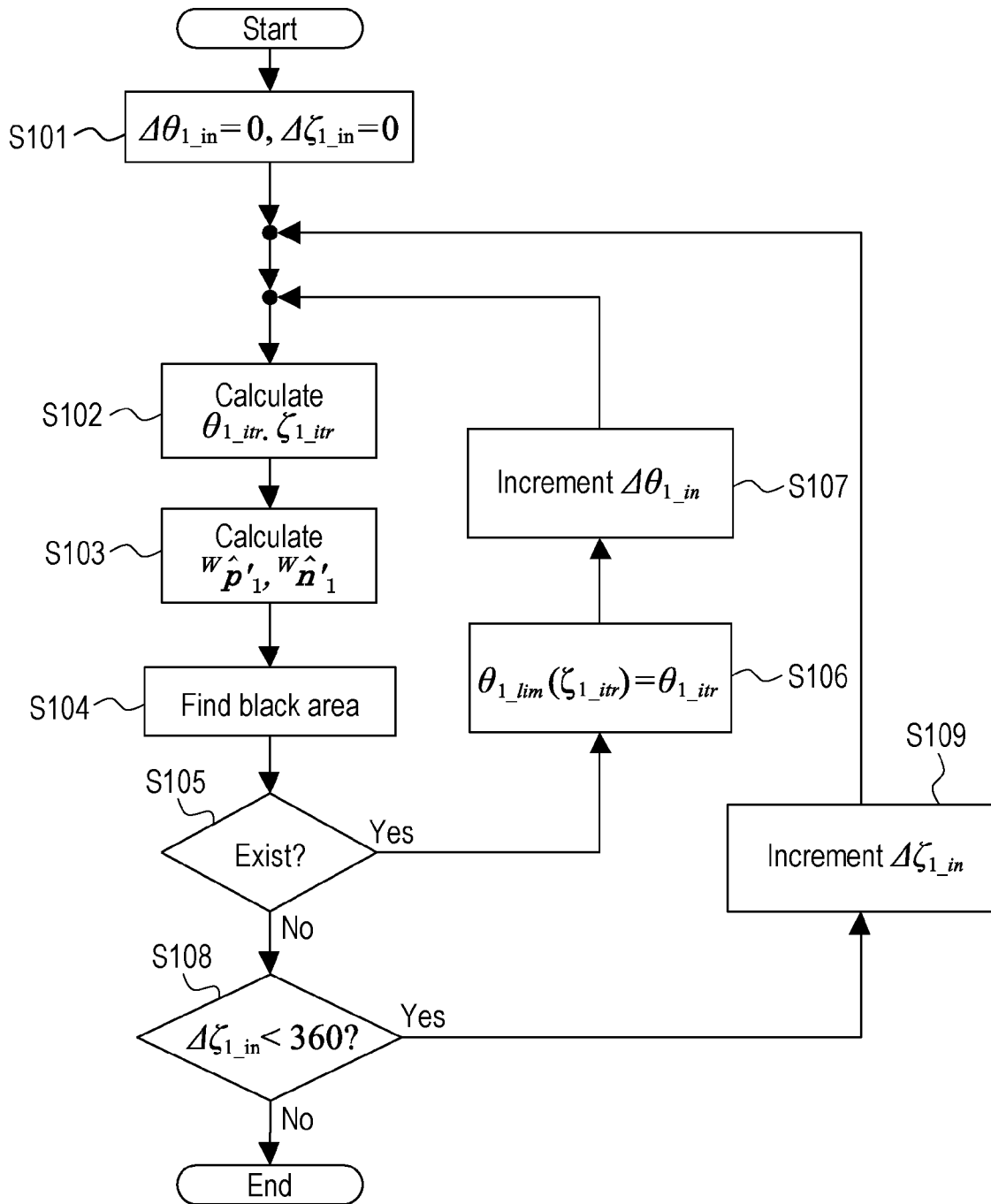
[図4]



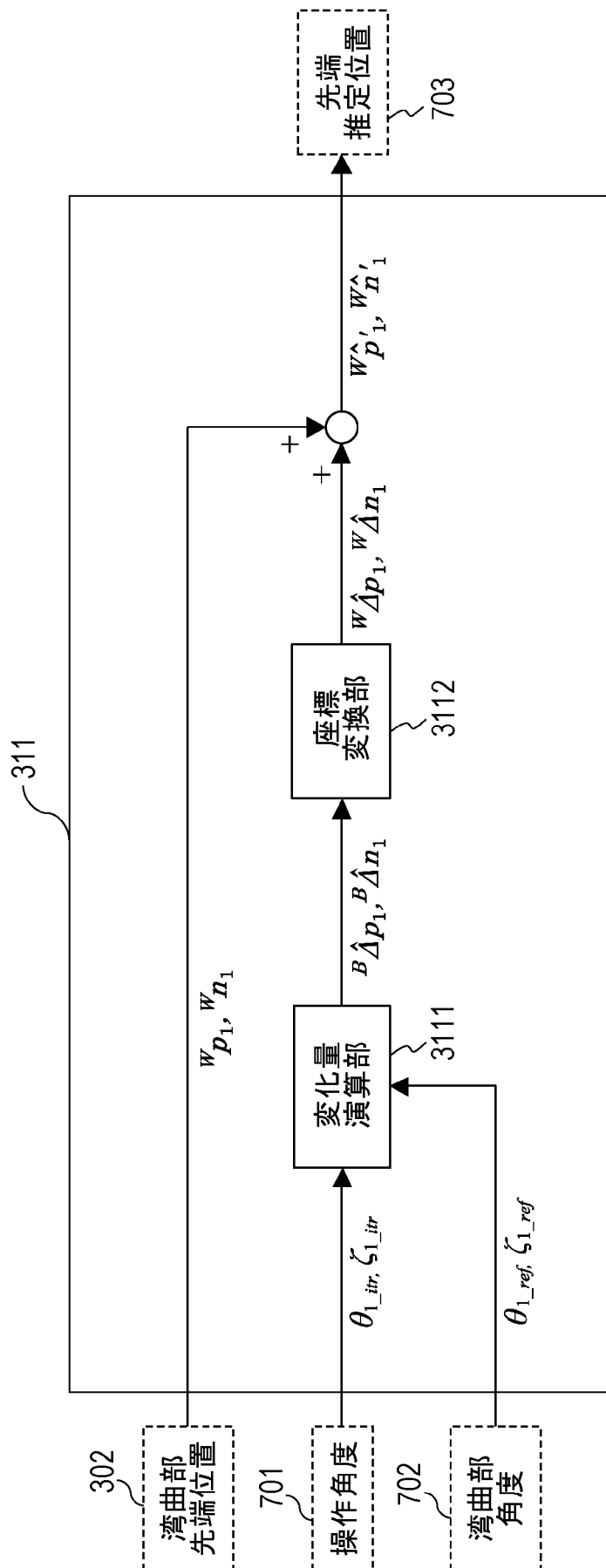
[図5]



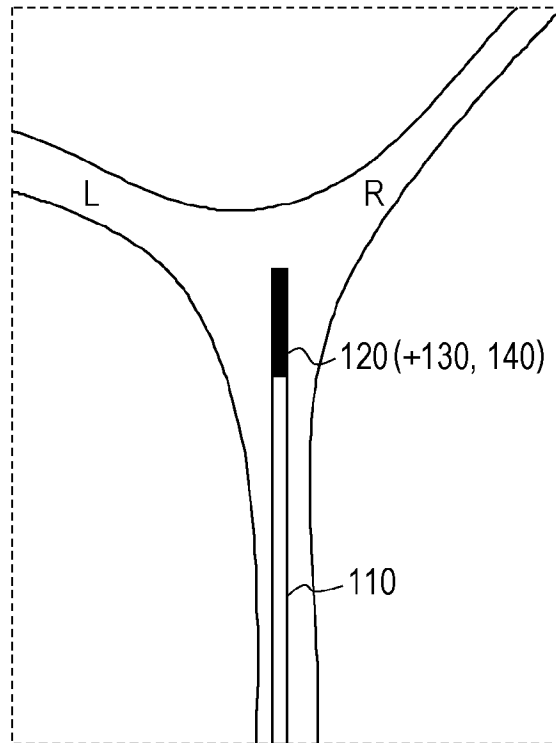
[図6]



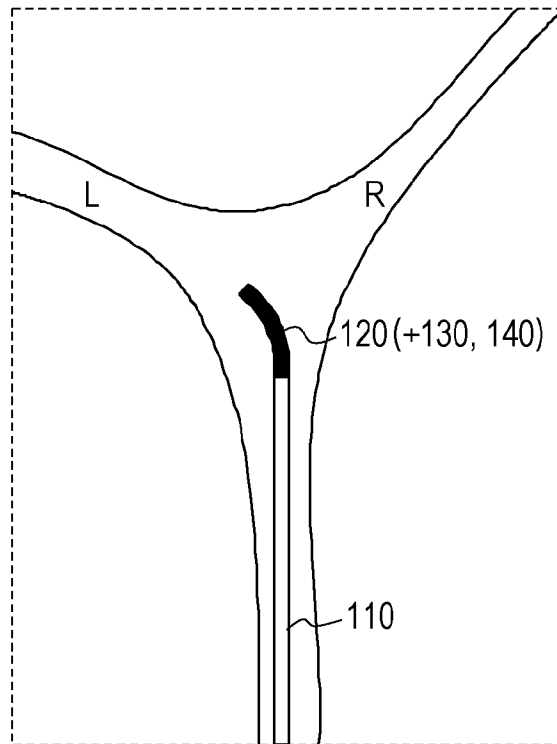
[図7]



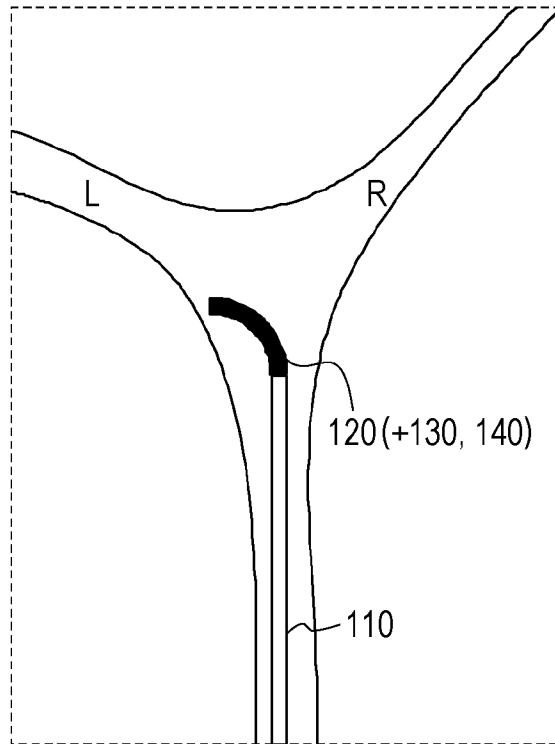
[図8A]



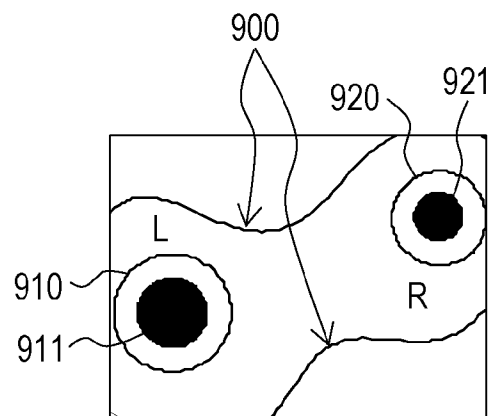
[図8B]



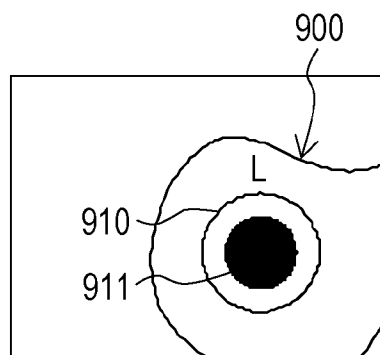
[図8C]



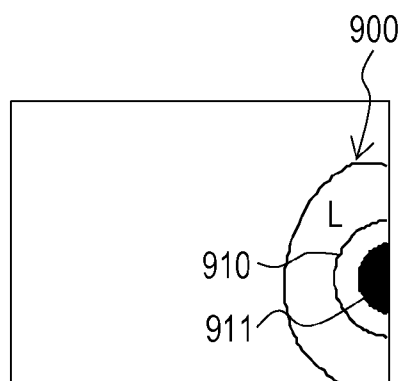
[図9A]



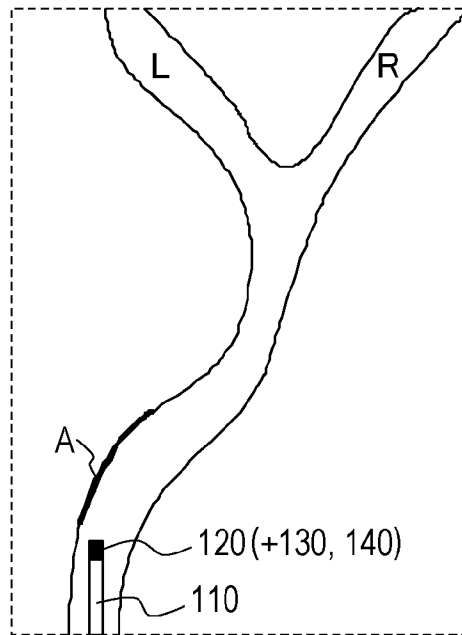
[図9B]



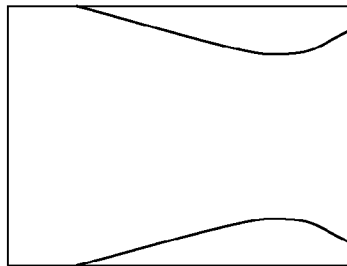
[図9C]



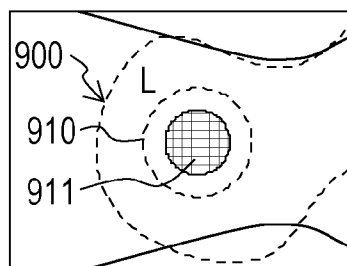
[図10A]



[図10B]

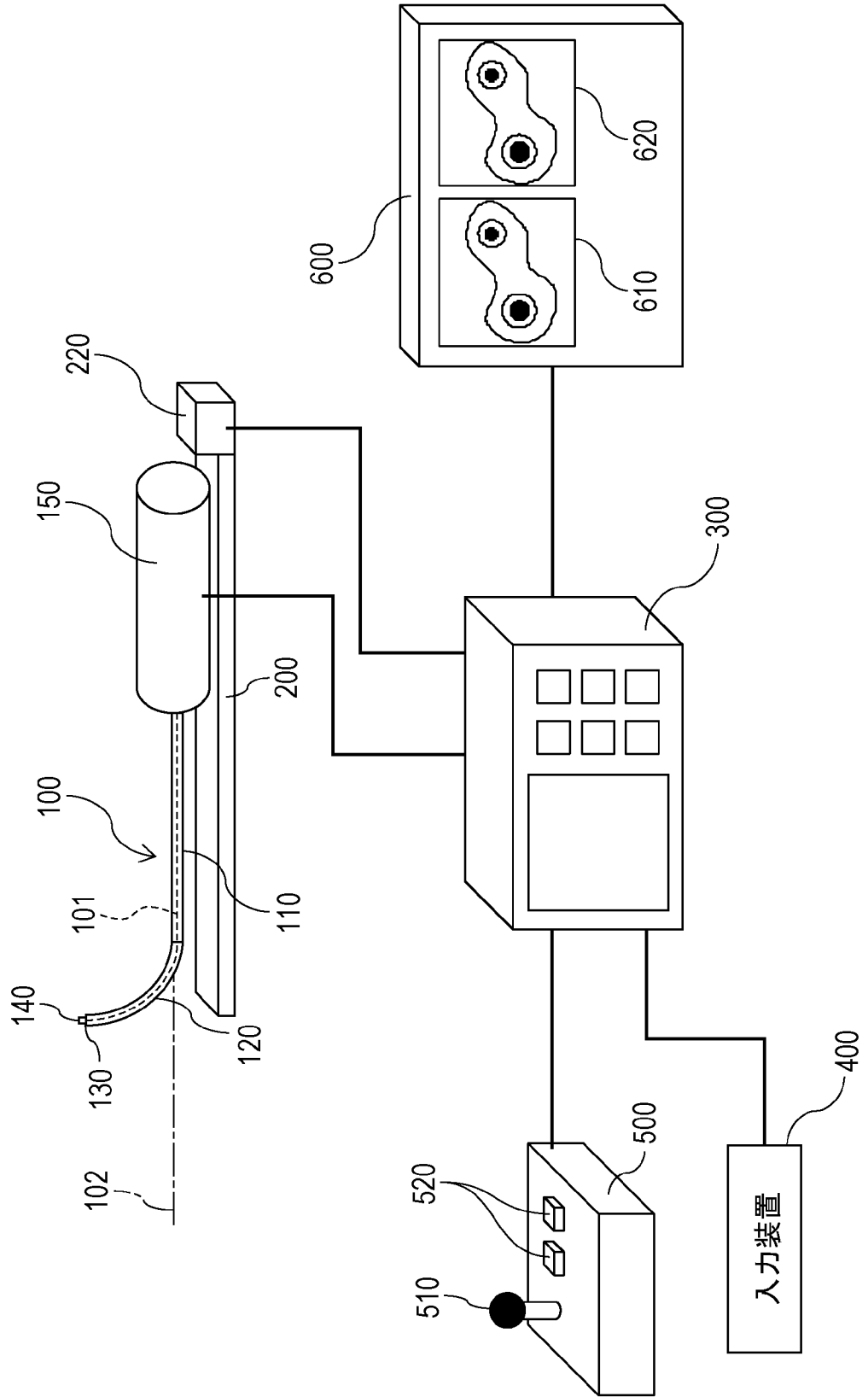


[図10C]

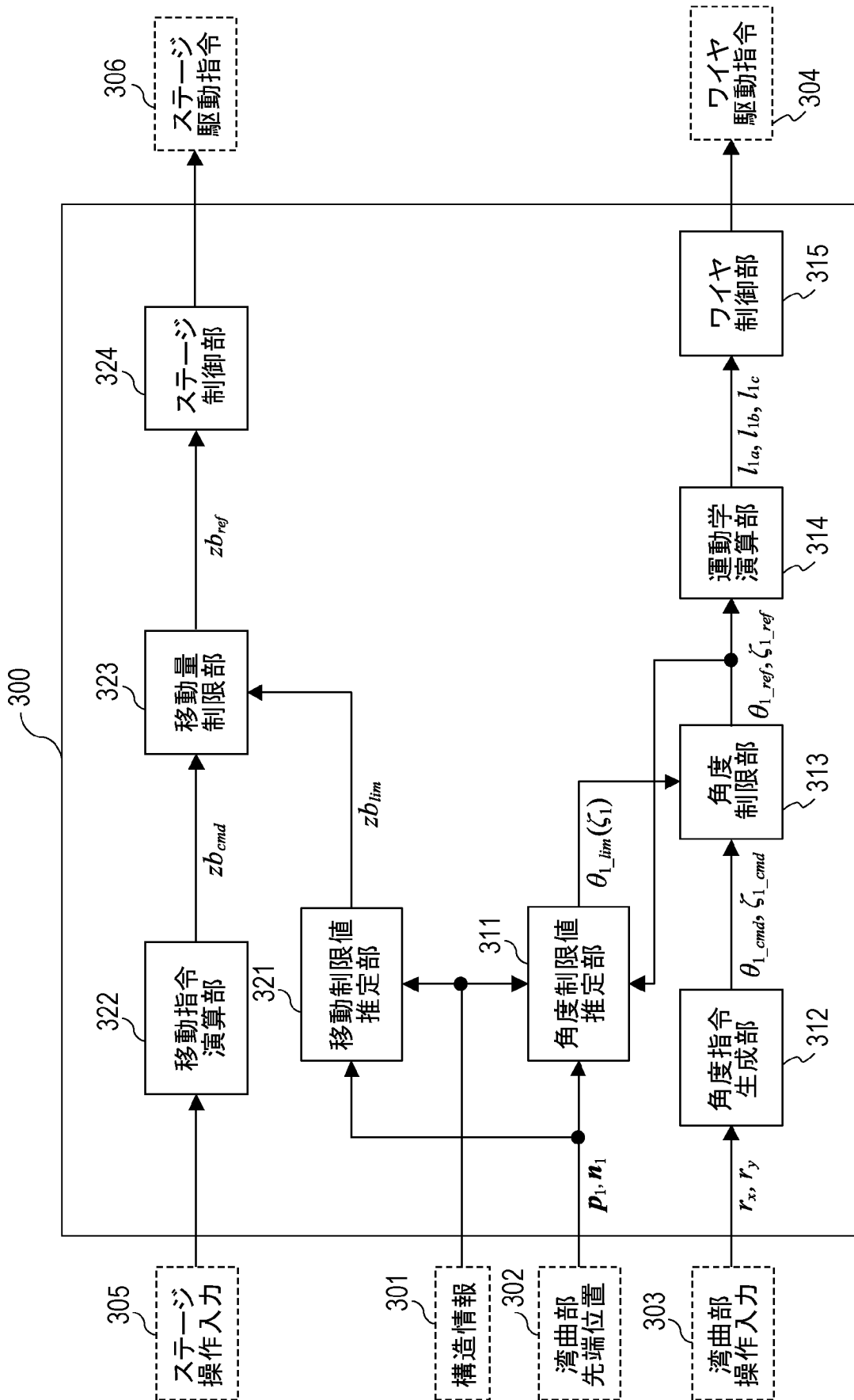


[図11]

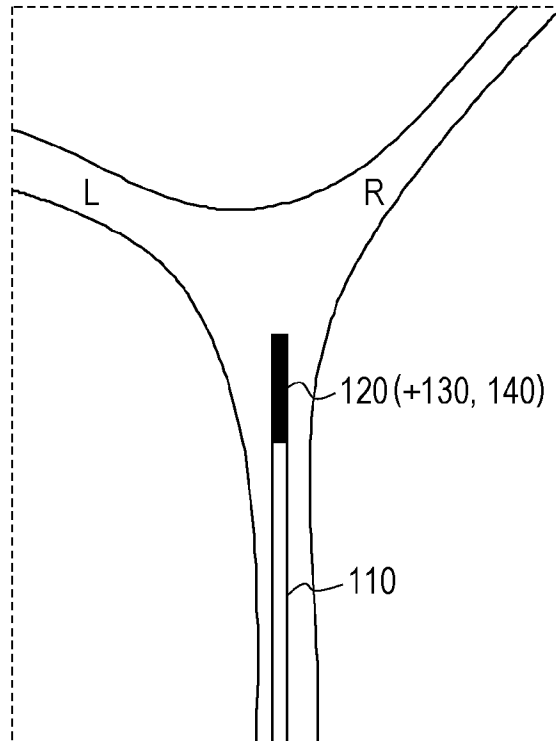
10-2



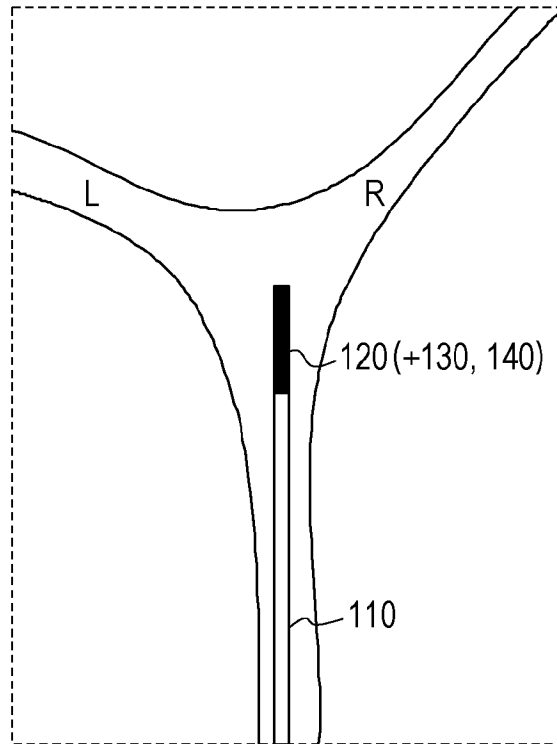
[図12]



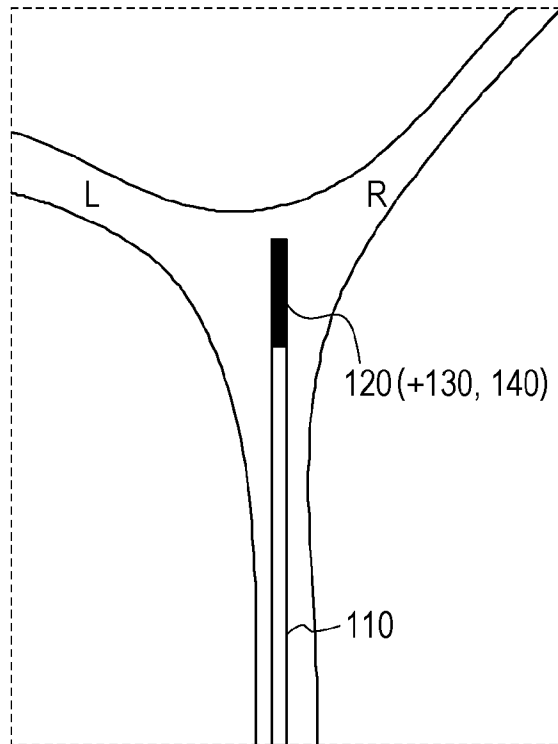
[図13A]



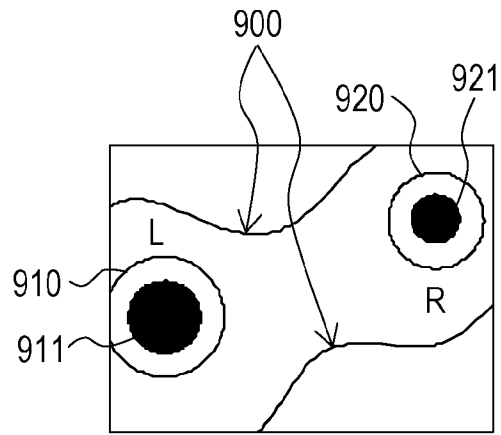
[図13B]



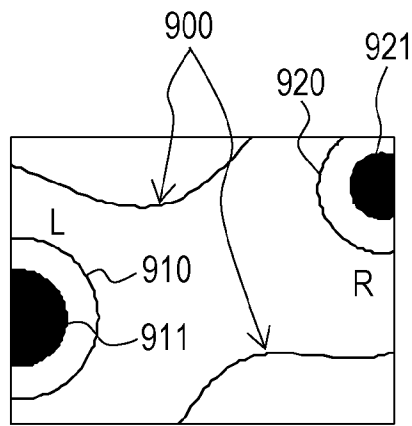
[図13C]



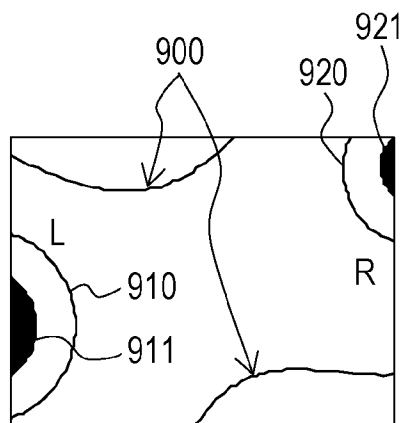
[図14A]



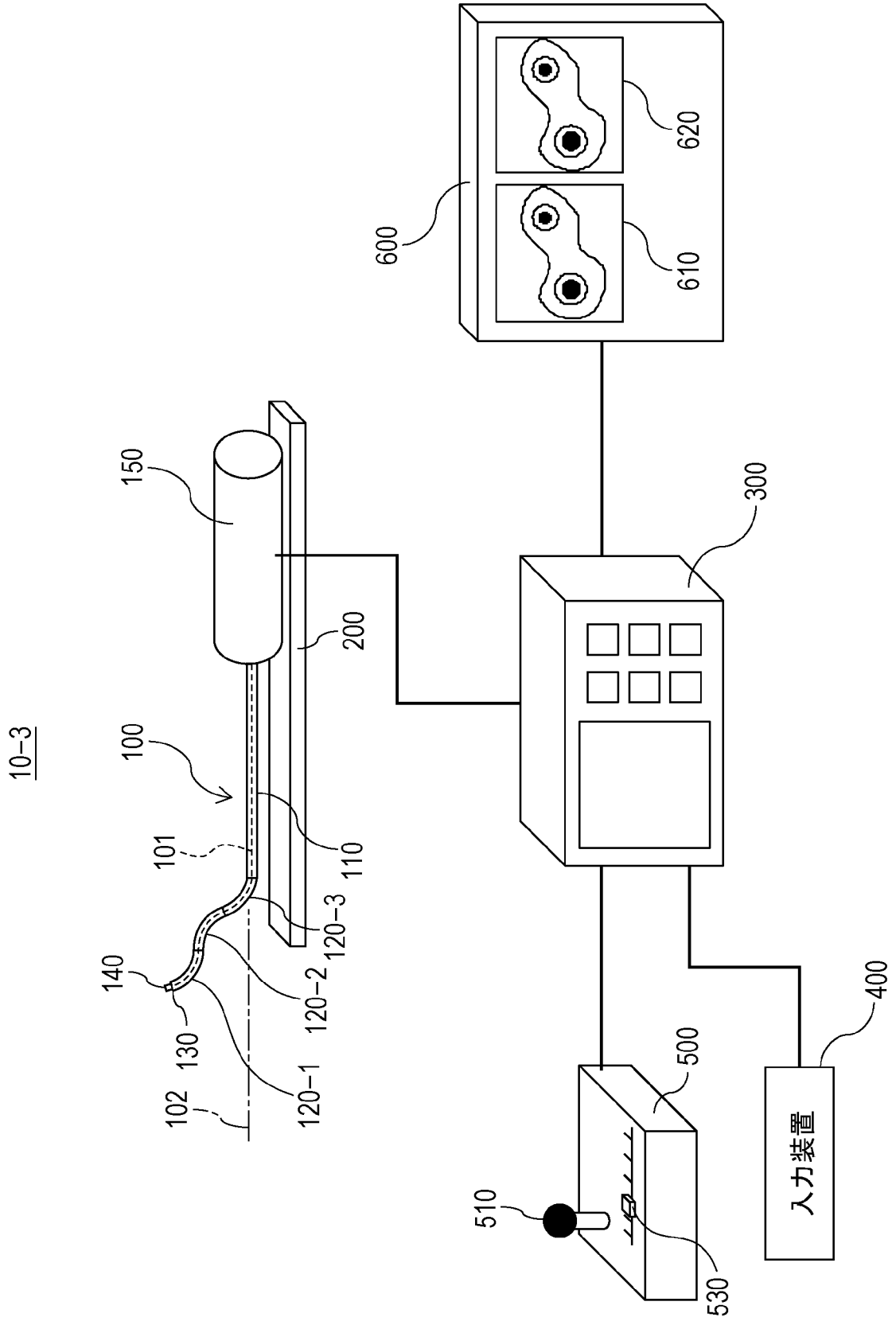
[図14B]



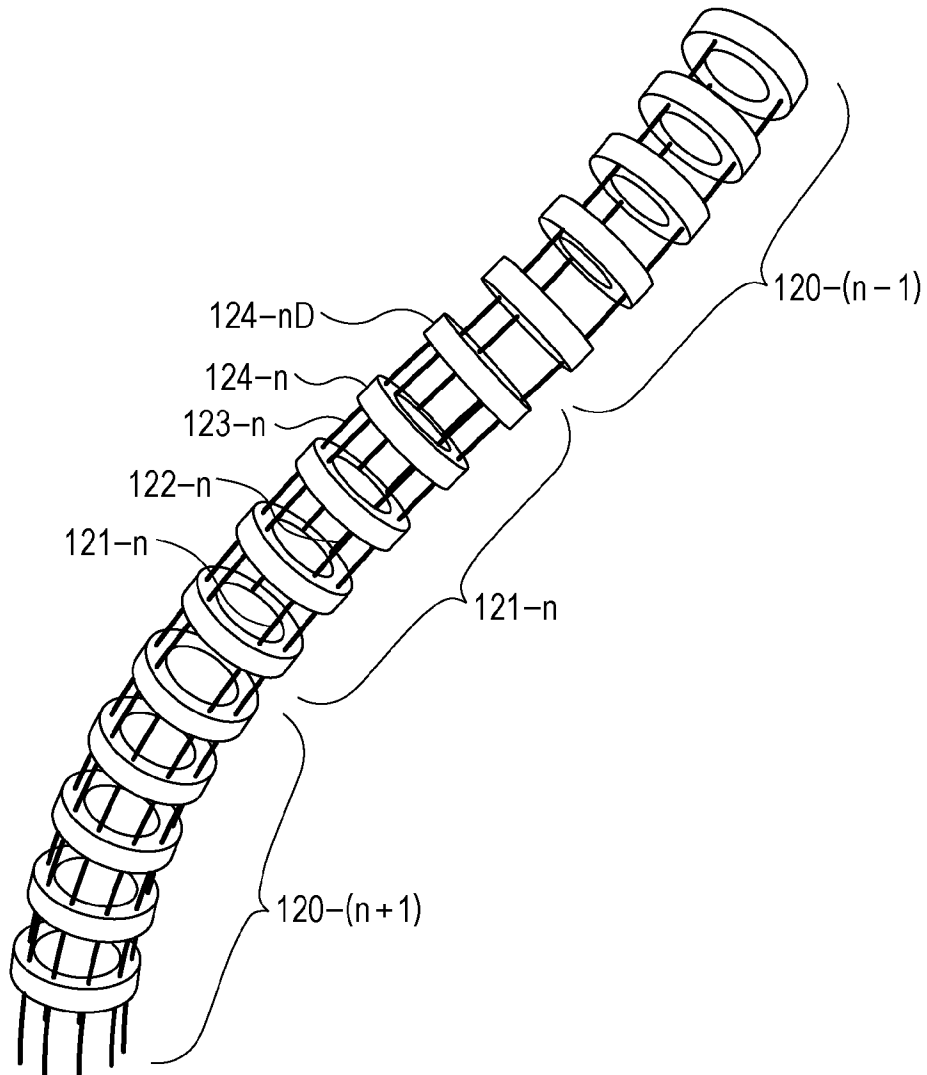
[図14C]



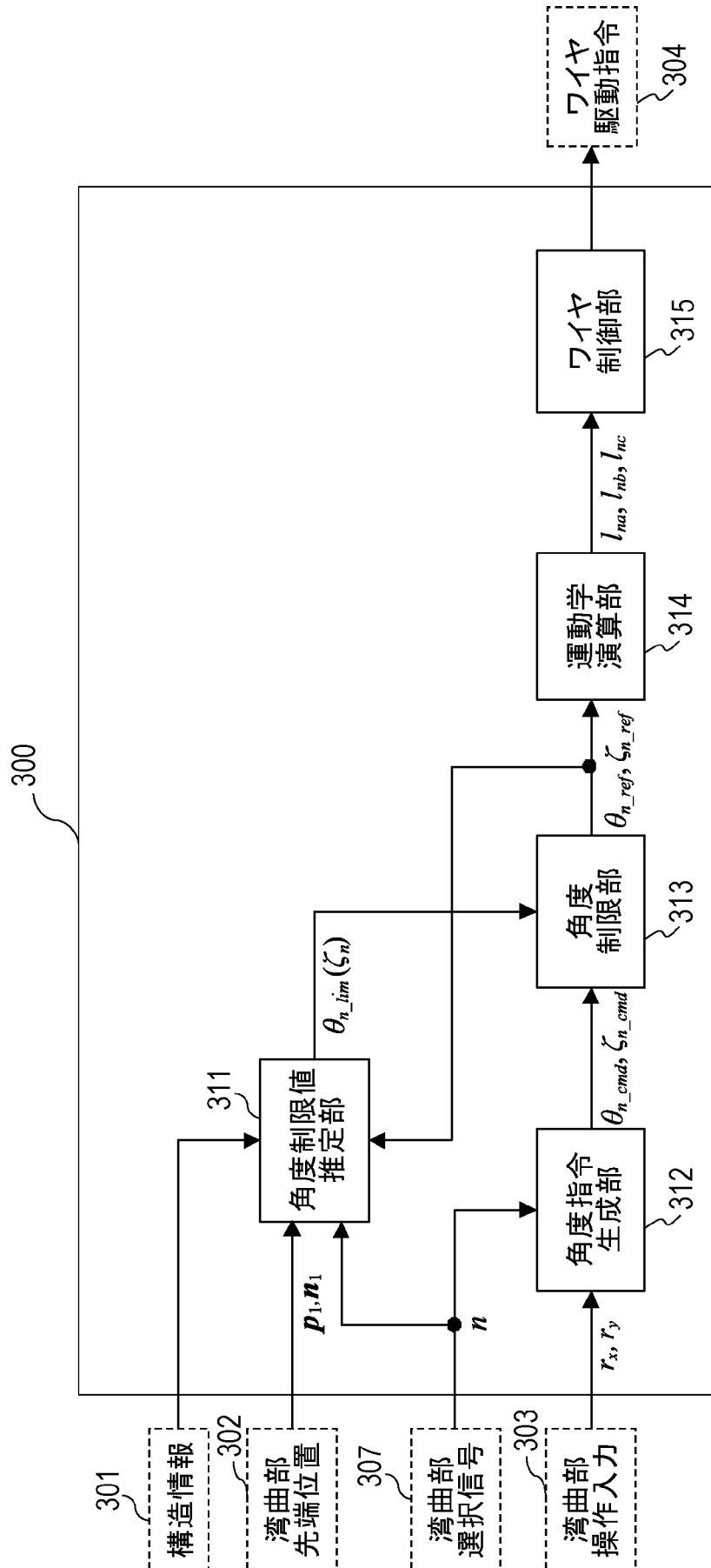
[図15]



[図16]



[図17]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/001646

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<p><i>A61B 1/005</i>(2006.01)i; <i>A61B 1/00</i>(2006.01)i  FI: A61B1/005 523; A61B1/00 553</p> <p>According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC</p>		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) A61B1/005; A61B1/00		
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 1971-2023 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2021/192593 A1 (HOYA CORP.) 30 September 2021 (2021-09-30) entire text, all drawings	1-6
A	JP 2018-176406 A (CANON KABUSHIKI KAISHA) 15 November 2018 (2018-11-15) entire text, all drawings	1-6
A	JP 2018-175602 A (CANON KABUSHIKI KAISHA) 15 November 2018 (2018-11-15) entire text, all drawings	1-6
A	JP 2009-136618 A (OLYMPUS MEDICAL SYSTEMS CORP.) 25 June 2009 (2009-06-25) entire text, all drawings	1-6
A	WO 2012/132638 A1 (OLYMPUS MEDICAL SYSTEMS CORP.) 04 October 2012 (2012-10-04) entire text, all drawings	1-6
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&amp;” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search <b>14 March 2023</b>		Date of mailing of the international search report <b>28 March 2023</b>
Name and mailing address of the ISA/JP <b>Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan</b>		Authorized officer  Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No. <b>PCT/JP2023/001646</b>
---

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
WO	2021/192593	A1	30 September 2021	US	2022/0351407	A1	
				entire document			
				CN	114554934	A	
JP	2018-176406	A	15 November 2018	US	2018/0304458	A1	
				entire document			
JP	2018-175602	A	15 November 2018	US	2018/0296282	A1	
				entire document			
JP	2009-136618	A	25 June 2009	US	2009/0149711	A1	
				entire document			
				EP	2070465	A1	
				CN	101455554	A	
WO	2012/132638	A1	04 October 2012	US	2013/0096423	A1	
				entire document			
				CN	103068297	A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） A61B 1/005(2006.01)i; A61B 1/00(2006.01)i FI: A61B1/005 523; A61B1/00 553		
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）） A61B1/005; A61B1/00 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 1971-2023年 日本国実用新案登録公報 1996-2023年 日本国登録実用新案公報 1994-2023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
A	WO 2021/192593 A1 (HOYA株式会社) 30.09.2021 (2021-09-30) 全文、全図	1-6
A	JP 2018-176406 A (キヤノン株式会社) 15.11.2018 (2018-11-15) 全文、全図	1-6
A	JP 2018-175602 A (キヤノン株式会社) 15.11.2018 (2018-11-15) 全文、全図	1-6
A	JP 2009-136618 A (オリンパスメディカルシステムズ株式会社) 25.06.2009 (2009-06-25) 全文、全図	1-6
A	WO 2012/132638 A1 (オリンパスメディカルシステムズ株式会社) 04.10.2012 (2012-10-04) 全文、全図	1-6
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> 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抵触するものではなく、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	14.03.2023	国際調査報告の発送日 28.03.2023
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官）  門田 宏 2Q 9224  電話番号 03-3581-1101 内線 3292	

国際調査報告  
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号  
 PCT/JP2023/001646

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
WO	2021/192593	A1	30.09.2021	US	2022/0351407	A1	
				whole document			
				CN	114554934	A	
JP	2018-176406	A	15.11.2018	US	2018/0304458	A1	
				whole document			
JP	2018-175602	A	15.11.2018	US	2018/0296282	A1	
				whole document			
JP	2009-136618	A	25.06.2009	US	2009/0149711	A1	
				whole document			
				EP	2070465	A1	
				CN	101455554	A	
WO	2012/132638	A1	04.10.2012	US	2013/0096423	A1	
				whole document			
				CN	103068297	A	