

(43) 国際公開日  
2016 年 8 月 4 日(04.08.2016)



(10) 国際公開番号

WO 2016/121106 A1

- (51) 国際特許分類:  
*A61B 1/00* (2006.01) *G02B 23/24* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2015/052696

(22) 国際出願日: 2015 年 1 月 30 日(30.01.2015)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人: オリンパス株式会社(OLYMPUS CORPORATION) [JP/JP]; 〒1510072 東京都渋谷区幡ヶ谷 2 丁目 4 3 番 2 号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 伊藤 毅(ITO, Takeshi); 〒1928512 東京都八王子市久保山町 2-3 オリンパス知的財産サービス株式会社 知的財産技術部内 Tokyo (JP). 羽根 潤(HANE, Jun); 〒1928512 東京都八王子市久保山町 2-3 オリンパス知的財産サービス株式会社 知的財産技術部内 Tokyo (JP). 藤田 浩正(FUJITA, Hiromasa); 〒1928512 東京都八王子市久保山町 2-3 オリンパス知的財産サービス株式会社 知的財産技術部内 Tokyo (JP). 東條 良(TOJO, Ryo); 〒1928512 東京都八王子市久保山町 2-3 オリンパス知的財産サービス株式会社 知的財産技術部内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 蔵田 昌俊, 外(KURATA, Masatoshi et al.); 〒1050014 東京都港区芝 3 丁目 2 3 番 1 号 セレスティン芝三井ビルディング 11 階 鈴榮特許総合事務所内 Tokyo (JP).

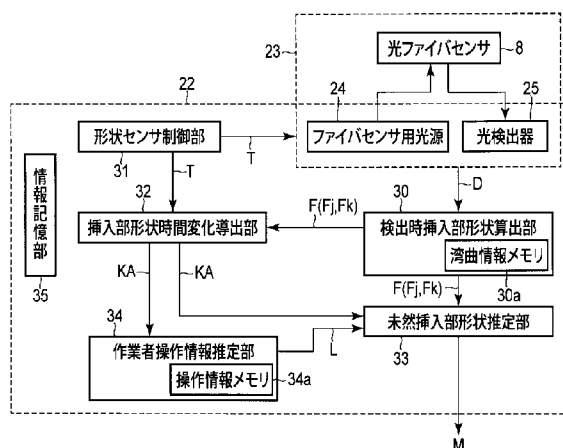
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, 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, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロパ (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨー

[続葉有]

**(54) Title:** PRELIMINARY SHAPE ESTIMATION DEVICE, INSERTION/WITHDRAWAL OPERATION SYSTEM, INSERTION/WITHDRAWAL OPERATION ASSISTANCE SYSTEM, PRELIMINARY SHAPE ESTIMATION METHOD, AND PRELIMINARY SHAPE ESTIMATION PROGRAM

(54) 発明の名称：未然形状推定装置、挿入／抜去作業システム、挿入／抜去作業支援システム、未然形状推定方法及び未然形状推定プログラム



- 8 Optical fiber sensor
- 24 Light source for optical fiber sensor
- 25 Photodetector
- 30 Unit for calculating shape of insertion unit upon detection
- 30a Bending information memory
- 31 Shape sensor control unit
- 32 Unit for deriving change in shape of insertion unit over time
- 33 Unit for preliminarily estimating shape of insertion unit
- 34 Operator operation information estimation unit
- 34a Operation information memory
- 35 Information storage unit

**(57) Abstract:** This preliminary shape estimation device comprises an insertion unit (7), a shape sensor (8), and a unit (33) for preliminarily estimating the shape of the insertion unit. The insertion unit (7) is flexible and is inserted inside a subject to be observed. The shape sensor (8) detects the bending state of the insertion unit and outputs a detection signal therefor. The unit (33) for preliminarily estimating the shape of the insertion unit preliminarily estimates the shape of the insertion unit after a predetermined time period on the basis of information acquired from the detection signal output from the shape sensor, and outputs the shape as preliminarily estimated information.

(57) 要約: 未然形状推定装置は、挿入部(7)と、形状センサ(8)と、未然挿入部形状推定部(33)を含む。前記挿入部(7)は、可撓性を有し、観察対象物の内部に挿入される。前記形状センサ(8)は、前記挿入部の湾曲状態を検出してその検出信号を出力する。前記未然挿入部形状推定部(33)は、前記形状センサから出力された前記検出信号から取得される情報に基づいて所定の時間経過後の前記挿入部の形状を未然に推定し、未然推定形状情報として出力する。



ロツパ (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:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

## 明 細 書

発明の名称：

未然形状推定装置、挿入／抜去作業システム、挿入／抜去作業支援システム、未然形状推定方法及び未然形状推定プログラム

### 技術分野

[0001] 本発明は、観察対象物の内部に挿入する挿入部の形状を未然に推定する未然形状推定装置、挿入／抜去作業システム、挿入／抜去作業支援システム、未然形状推定方法及び未然形状推定プログラムに関する。

### 背景技術

[0002] 挿入部を細い管孔内に挿入して観察対象物の内部に挿入し、当該観察対象物内部で作業を行うための装置がある。例えば内視鏡では、観察対象物の内部に挿入部を挿入することにより当該観察対象物の内表面の観察作業を行う。このような内視鏡等の装置では、管孔内における挿入部の形状等を外部から直接見ることはできない。

[0003] すなわち、内視鏡では、観察対象物の内部における挿入部の位置及び形状等の状態が観察対象物の外部から分からない。このため、作業者は、管孔内部に挿入された挿入部の状態について、現時点において挿入部が管孔内部中の何処に在って、何処を観察しているのかなどを想像しながら観察作業を行う必要がある。よって、作業者は、観察対象物内部における挿入部の状態を想像しながら、感を頼りに挿入部に対する操作を行う必要があった。

[0004] このような事から管孔の形状が複雑な場合、又は観察対象物が生体のように柔らかく変形するような場合には、観察対象物内部への挿入そのものが困難であったりする。管孔の形状が想像と異なる位置又は状態である場合には、最悪のケースとして観察対象物に影響を与えるおそれがある。このため作業者は、作業を行うための長時間の訓練や、実作業を行いながら感や経験を身に付けるなど、作業の技能を向上させる必要があった。言い換えると、高度に訓練された技能者又はエキスパートでなければ、観察対象物内部への挿

入部の挿入、観察対象物内部での作業を行えない場合があった。

[0005] このような実情から管孔内での挿入部の状態を作業者に知らせるための技術が考案されている。例えば特許文献 1 は、内視鏡の挿入部の形状を検出し、表示するための内視鏡挿入形状プローブについて開示している。この内視鏡挿入形状検出プローブは、内視鏡装置に設けられている鉗子チャンネルに挿入して内視鏡挿入部の形状検出を行う。この内視鏡挿入形状検出プローブでは、光供給用ファイバにより供給された光をミラーに照射し、このミラーで反射した光を複数の曲率検出用光ファイバにより伝送する。これら曲率検出用光ファイバには、それぞれ曲率に応じて光損失が変化する光損失部が一つずつ設けられている。これにより、各曲率検出用光ファイバにより導光される光は、光損失部を経由してモジュールに到達するので、モジュールに導光される光の光量変化を検出することにより光損失部が設けられた位置における曲率検出用光ファイバの曲率を検出することができる。

[0006] 又、特許文献 1 は、光損失部が設けられる位置を異ならせた複数の曲率検出用ファイバを用い、これら曲率検出用ファイバ毎にそれぞれ異なる光損失部の各位置での各曲率を検出することを開示している。これにより、各光損失部が設けられるポイントにおける曲げ角度と隣り合うポイントの距離とによって内視鏡挿入部の形状を検知することができる。

## 先行技術文献

### 特許文献

[0007] 特許文献1：特開 2 0 0 7 - 0 4 4 4 1 2 号公報

### 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

[0008] 特許文献 1 によれば、挿入形状検出プローブが形状を検出した時点、すなわち過去における内視鏡挿入部の形状を検出することが可能であるが、これから後、内視鏡挿入部がどのような形状になるのかを推測することはできない。すなわち、複雑な形状を有する観察対象物の内部に内視鏡挿入部を挿入し

ていく過程で、“過去における内視鏡挿入部の形状”を検出することができるが、その後、内視鏡挿入部の形状がどうなっているのか、及びこのまま挿入部の操作を継続したときに“内視鏡挿入部の形状がどのような形状になるのか”の情報を得ることはできない。

[0009] 又、観察対象物が生体の場合、“過去において内視鏡挿入部の形状が生体内でどのような形状になっていたか”を検出することができるが、その後、内視鏡挿入部の形状がどうなっているのか、及びこのままの挿入部の操作を継続したときに“内視鏡挿入部の形状がどのような形になるか”の情報を得ることは出来ない。

本発明の目的は、形状センサにより検出したタイミングよりも後のタイミングにおける挿入部の形状を未然に推定し、未然推定形状情報として出力する未然形状推定装置、挿入／抜去作業システム、挿入／抜去作業支援システム、未然形状推定方法及び未然形状推定プログラムを提供することにある。

### 課題を解決するための手段

[0010] 本発明の未然形状推定装置は、観察対象物の内部に挿入される可撓性を有する挿入部と、前記挿入部の湾曲状態を検出してその検出信号を出力する形状センサと、前記形状センサから出力された前記検出信号から取得される情報に基づいて所定の時間経過後の前記挿入部の形状を未然に推定し、未然推定形状情報として出力する未然挿入部形状推定部とを具備する。

[0011] 本発明の挿入／抜去作業システムは、観察対象物の内部に挿入される可撓性を有する挿入部と、前記挿入部の湾曲状態を検出してその検出信号を出力する形状センサと、前記挿入部を湾曲させるための操作部と、前記形状センサから出力された前記検出信号から取得される情報に基づいて所定の時間経過後の前記挿入部の形状を未然に推定し、未然推定形状情報として出力する未然挿入部形状推定部とを具備する。

[0012] 本発明の挿入／抜去作業支援システムは、観察対象物の内部に挿入される可撓性を有する挿入部と、前記挿入部の湾曲状態を検出してその検出信号を出力する形状センサと、前記挿入部を湾曲させるための操作部と、前記形状

センサから出力された前記検出信号から取得される情報に基づいて所定の時間経過後の前記挿入部の形状を未然に推定し、未然推定形状情報として出力する未然挿入部形状推定部と、前記未然挿入部形状推定部から出力された前記未然推定形状情報を報知し、前記挿入部の前記観察対象物の内部への挿入／抜去を支援する作業支援部とを具備する。

[0013] 本発明の未然形状推定方法は、観察対象物の内部に挿入される可撓性を有する挿入部の湾曲状態を形状センサにより検出してその検出信号を出力し、前記形状センサから出力された前記検出信号から取得される情報に基づいて所定の時間経過後の前記挿入部の形状を未然に推定し、未然推定形状情報として出力する。

[0014] 本発明の未然形状推定プログラムは、コンピュータに、観察対象物の内部に挿入される可撓性を有する挿入部の湾曲状態を検出する形状センサから出力される検出信号を入力する入力機能と、前記入力機能により入力した前記検出信号から取得される情報に基づいて所定の時間経過後の前記挿入部の形状を未然に推定し、未然推定形状情報として出力する未然挿入部形状推定機能とを実現する。

## 発明の効果

[0015] 本発明は、形状センサにより検出したタイミングよりも後のタイミングにおける挿入部の形状を未然に推定し、未然推定形状情報として出力する事前形状推定装置、挿入／抜去作業システム、挿入／抜去作業支援システム、未然形状推定方法及び未然形状推定プログラムを提供できる。

## 図面の簡単な説明

[0016] [図1]図1は、本発明の挿入/抜去作業システムとしての内視鏡システムの第1の実施の形態を示す構成図である。

[図2]図2は、挿入部の先端部を示す構成図である。

[図3A]図3Aは、光ファイバセンサを湾曲形状検出部が設けられた側に湾曲したときの光伝達量を示す図である。

[図3B]図3Bは、光ファイバセンサを湾曲しないときの光伝達量を示す図で

ある。

[図3C]図3Cは、光ファイバセンサを湾曲形状検出部が設けられた側とは反対側に湾曲したときの光伝達量を示す図である。

[図4]図4は、支援情報ユニットを示す構成図である。

[図5]図5は、検出時挿入部形状算出部により算出された第jと第kとの各タイミング信号に対応した第jと第kとの各検出時挿入部形状を示す図である。

[図6]図6は、形状変化領域に対する解析の例を示す図である。

[図7]図7は、図6に示す形状変化領域における第jの操作部側中心軸 $Z_{ja}$ と第kの操作部側中心軸 $Z_{ka}$ とを重ね合わせたときの形状変化領域 $KE_1$ を示す図である。

[図8]図8は、第jと第kとの各タイミング信号時における内視鏡挿入部の形状変化を示す図である。

[図9]図9は、時間経過に従ったタイミング信号Tの出力イメージを示す図である。

[図10]図10は、第j～hのタイミング信号Tの発生時における形状変化領域 $KE_1$ の未然推定形状情報 $KE_1h$ を推定する過程を示す図である。

[図11]図11は、挿入部形状時間変化情報KAを用いて推定される第hのタイミング信号の発生時点における挿入部7の全体の未然挿入部形状情報（時間変化） $J_h$ を示す図である。

[図12]図12は、第jと第kと第hとの各タイミング信号の発生時点における作業者の操作が加わったときの内視鏡挿入部の各形状を示す図である。

[図13]図13は、本発明の第1の実施の形態の第1の変形例における挿入部形状時間変化導出部により取得される第jと第kとの各タイミング信号の発生時点における内視鏡挿入部の各形状変化領域の形状を示す図である。

[図14]図14は、第jと第kとのタイミング信号の各発生時点における内視鏡挿入部の形状変化領域の接続方向の変化を示す図である。

[図15]図15は、第jと第kとの各タイミング信号に対応した第jと第kと

の各検出時挿入部形状情報を示す図である。

[図16]図16は、挿入部における挿入部形状非類似領域NL Rと、挿入部進行領域7 s rと、挿入部後退領域との3つの領域を説明するための図である。

[図17A]図17Aは、第jの検出時挿入部形状F jを示す図である。

[図17B]図17Bは、第kの検出時挿入部形状F kを示す図である。

[図17C]図17Cは、観察対象物の内部空間の形状等のおおよその情報を得ている場合の第hの検出時挿入部形状F h 1を示す図である。

[図17D]図17Dは、観察対象物の内部空間の形状等のおおよその情報が無い場合の第hの検出時挿入部形状F h 2を示す図である。

[図18]図18は、本発明の第2の実施の形態の第1の変形例における第jと第kの検出時挿入部形状F j、F kにおける第1乃至第3の特徴部の例を示す図である。

[図19]図19は、本発明の第3の実施の形態における支援情報ユニットを示す構成図である。

[図20]図20は、第j、kの形状情報F j、F kに対応する観察対象物の内部空間の内面プロファイルを示す図である。

[図21]図21は、対象物内面プロファイル情報推定部による動作を説明するための図である。

[図22]図22は、対象物内面プロファイル情報推定部による動作を説明するための図である。

[図23]図23は、本発明の第3の実施の形態の第1の変形例における支援情報ユニットを示す構成図である。

[図24]図24は、観察対象物負荷推定部の動作を説明するための図である。

[図25]図25は、本発明の変形例の一例を示す図である。

## 発明を実施するための形態

### [0017] [第1の実施の形態]

以下、本発明の第1の実施の形態について図面を参照して説明する。

図 1 は挿入/抜去作業システムとしての内視鏡システム 1 の構成図を示す。本システム 1 は、作業者による作業によって、主に、観察対象物 2 の内部空間（空洞）3 の内部に内視鏡挿入部（以下、挿入部と称する）7 を挿入し、観察対象物 2 の内部空間 3 の内面を観察するために用いられる。

本システム 1 は、各構成要素として内視鏡本体部 4 と、内視鏡スコープ部 5 と、表示部 6 とを含む。内視鏡スコープ部 5 は、挿入部 7 を含む。挿入部 7 には、形状センサ 8 が搭載されている。

[0018] 本システム 1 の各構成要素について説明する。

[内視鏡スコープ部]

内視鏡スコープ部 5 は、挿入部 7 と、操作部 9 と、本体側ケーブル 10 とを含む。内視鏡スコープ部 5 は、作業者により把持されて操作される。この操作により内視鏡スコープ部 5 の挿入部 7 は、観察対象物 2 の入口部としての挿入開口 2 a から挿入可能な位置に移動され、さらに観察対象物 2 の内部空間 3 に挿入される。

本体側ケーブル 10 は、内視鏡スコープ部 5 と内視鏡本体部 4 との間を接続するもので、内視鏡本体部 4 に対しては着脱可能である。本体側ケーブル 10 は、1 本又は複数本、内視鏡スコープ部 5 と内視鏡本体部 4 との間に接続される。

[0019] 挿入部 7 について具体的に説明する。挿入部 7 は、先端部 7 a と、この先端部 7 a 以外の部分とで形成されている。先端部 7 a は、硬質に形成された領域（硬質部）を含む。先端部 7 a 以外の領域は、可撓性を有するように形成されている。先端部 7 a の硬質部は、予め設定された領域（小領域）に形成される。挿入部 7 の可撓性を有する領域のうち先端部 7 a 側の一部の領域は、能動的に湾曲可能な能動湾曲部 7 b に形成されている。この能動湾曲部 7 b は、操作部 9 に設けられた操作ハンドル 11 を作業者が操作することで上下方向および左右方向に能動的に湾曲可能である。その他の挿入部 7 の領域には、受動的に湾曲可能な受動湾曲部 7 c が形成されている。受動湾曲部 7 c は、観察対象物 2 の形状に倣うことで受動的に湾曲する。この受動湾曲

部 7 c は、作業者の把持の仕方、又は観察対象物 2 の挿入開口 2 a と操作部 9 との位置関係等により受動的に湾曲する。

[0020] 操作部 9 は、操作ハンドル 1 1 を含む。操作ハンドル 1 1 は、作業者によって操作され、挿入部 7 の能動湾曲部 7 b を上下方向又は左右方向に湾曲させる。操作部 9 は、例えば作業者の一方の手によって把持され、この状態で操作ハンドル 1 1 が操作されることにより挿入部 7 の能動湾曲部 7 b を上下方向又は左右方向に湾曲させる。操作部 9 は、作業者による操作ハンドル 1 1 に対する操作を受けて挿入部 7 における能動湾曲部 7 b の湾曲量を変えることが可能である。

[0021] 挿入部 7 と操作ハンドル 1 1 との間には、一对の操作ワイヤが複数設けられている。これら操作ワイヤは、上下方向への湾曲と、左右方向への湾曲とに用いられる。これら操作ワイヤは、例えばループ状に形成されている。操作ハンドル 1 1 が回転すると、操作ワイヤが挿入部 7 と操作ハンドル 1 1 との間で移動し、操作ハンドル 1 1 の回転が挿入部 7 に伝達される。これにより、挿入部 7 の能動湾曲部 7 b は、操作ハンドル 1 1 の操作量に応じて上下方向又は左右方向に湾曲する。

図 2 は本システム 1 における挿入部 7 の先端部 7 a の構成図を示す。挿入部 7 の先端部 7 a には、撮像素子 7 d と、対物レンズ 1 0 と、鉗子チャンネル 1 2 と、照明部 1 3 と、を含む当該内視鏡の用途に応じて様々な部材が設けられている。対物レンズ 1 0 は、撮像素子 7 d と光学的に接続されている。鉗子チャンネル 1 2 は、観察対象物 2 の内部空間 3 内において様々な作業や処置を行うための鉗子等を挿入するための開口である。照明部 1 3 は、内視鏡本体部 4 の光源部 2 0 から射出された光を例えば観察対象物 2 の内部空間 3 に向けて射出する。

[0022] 本システム 1 では、挿入部 7 の照明部 1 3 から射出された光が観察対象物 2 の内部空間 3 に照射されると、当該観察対象物 2 の内部空間 3 から反射等した光が対物レンズ 1 0 に入射する。挿入部 7 の先端部 7 a には、撮像素子 7 d が設けられており、当該撮像素子 7 d は、対物レンズ 1 0 に入射した光

を撮像して撮像信号を出力する。この撮像信号は、本体側ケーブル 10 を通ってビデオプロセッサ 21 に送られる。このビデオプロセッサ 21 は、撮像素子 7d から出力される撮像信号を画像処理して観察対象物 2 の内面の観察画像を取得する。この観察画像は、表示部 6 に表示される。

[0023] 挿入部 7 は、操作ハンドル 11 の操作により湾曲する能動湾曲部 7b と、受動的に湾曲する受動湾曲部 7c とを含む。受動湾曲部 7c は、観察対象物 2 の内部空間 3 の壁面に押し当てられることにより、当該内部空間 3 の壁面の形状に倣うように湾曲する。これにより、挿入部 7 は、観察対象物 2 の内部空間 3 に挿入されると、当該観察対象物 2 の内部空間 3 の壁面に押し当てられながら当該内部空間 3 を進行する。観察対象物 2 の内部空間 3 は、観察対象物 2 の種類等により様々な形状等の導入経路を含むものとなっている。このように挿入部 7 は、当該観察対象物 2 の内部空間 3 の内部を進行できる構造を有する。

[0024] 挿入部 7 の内部には、当該挿入部 7 の全体の形状を検出する形状センサ 8 が設けられている。形状センサ 8 は、例えば光ファイバセンサ（以下、光ファイバセンサ 8 として説明する）である。光ファイバセンサ 8 には、複数の検出ポイントが挿入部 7 の全体の形状検出が可能ないように設けられている。

[0025] これら検出ポイントは、例えば図 3A 乃至図 3C に示すように光ファイバセンサ 8 を形成する光ファイバ 8a に設けられた光吸収体（以下、湾曲形状検出部と称する）8b から成る。これら検出ポイントは、挿入部 7 のほぼ全長に渡り、光ファイバセンサ 8 の長手方向に分散して配置されている。光ファイバセンサ 8 の構成及び原理については後述する。

挿入部 7 と操作部 9 とは機械的に接続されている。操作部 9 と本体側ケーブル 10 も機械的に接続されている。

[0026] [内視鏡本体部]

内視鏡本体部 4 は、図 1 に示すように光源部 20 と、ビデオプロセッサ 21 と、支援情報ユニット 22 と、本体メモリ 40 とを含む。光源部 20 は、キセノン、ハロゲン等のランプ類、又は LED、レーザなどの半導体光源を

含む。又、本体側ケーブル１０と操作部９と挿入部７の内部には、ライトガイド等、光を導光可能な部材が挿通して設けられている。これにより、光源部２０から光を射出すると、この光は、ライトガイド等を経由して挿入部７の先端部７ａに設けられた照明部１３から照明光として射出される。この照明光は、観察対象物２の内部に入射し、当該観察対象物２の内部を照明する。

[0027] ビデオプロセッサ２１は、挿入部７の先端部７ａに搭載された撮像素子７ｄから出力される撮像信号を画像処理して観察対象物２の内面の観察画像を取得する。撮像素子７ｄから出力される撮像信号は、挿入部７と、操作部９と、本体側ケーブル１０の内部に設けられている信号線を通してビデオプロセッサ２１に伝送される。ビデオプロセッサ２１は、取得した観察画像を表示部６に表示可能な観察画像信号に変換して表示部６に送る。

本体メモリ４０には、観察対象物２に関する情報と、観察対象物２を観察するときの観察作業の情報とが予め記憶されている。又、本体メモリ４０には、支援情報ユニット２２から出力される未然推定形状情報Ｍが記憶される。

[0028] 図４は支援情報ユニット２２の構成図を示す。支援情報ユニット２２は、形状センサユニット２３の一部を含む。形状センサユニット２３は、光ファイバセンサ８と、ファイバセンサ用光源２４と、光検出器２５とを含む。なお、ファイバセンサ用光源２４と光検出器２５とは、支援情報ユニット２２に含まれ、光ファイバセンサ８は、支援情報ユニット２２に含まれないものとなっている。形状センサユニット２３は、挿入部７の湾曲形状に対応する光情報を示す検出信号Ｄを出力する。形状センサユニット２３の構成及びその動作の詳細は、後述する。なお、挿入部７の湾曲形状に対応する光情報は、光ファイバセンサ８内に配設している光ファイバの湾曲角に応じた光量を表す。

[0029] 支援情報ユニット２２は、挿入部７の観察対象物２の内部への挿入／抜去を支援する作業支援部として機能する。すなわち、支援情報ユニット２２は

、形状センサユニット 23 から出力される検出信号 D を受信し、この検出信号 D を処理して作業者の作業及び操作を支援するための支援情報、すなわち挿入部 7 の形状を未然に推定した未然推定形状情報 M を出力する。この支援情報ユニット 22 は、検出時挿入部形状算出部（以下、形状算出部と称する）30 と、形状センサ制御部 31 と、挿入部形状時間変化導出部（以下、変化導出部と称する）32 と、未然挿入部形状推定部（以下、未然形状推定部と称する）33 と、作業者操作情報推定部（以下、操作推定部と称する）34 と、情報記憶部 35 とを含む。

[0030] なお、形状センサユニット 23 の一部であるファイバセンサ用光源 24 と光検出器 25 とは、支援情報ユニット 22 内に含む。この形状センサユニット 23 は、光検出器 25 の出力信号を処理し、検出信号 D を出力するための図示しない信号処理回路を含む。

形状算出部 30 は、形状センサユニット 23 から出力される検出信号 D を演算処理して挿入部 7 が湾曲したときの湾曲の方向と大きさを算出し、当該算出の結果を検出時挿入部形状情報（以下、挿入部形状情報と称する）F として出力する。ここでは、挿入部 7 は、先端部 7a 以外は可撓性を有するように形成されているので、湾曲している状態が多い。また、観察対象物 2 の内部空間 3 の形状も複雑に湾曲しているものが多いので、挿入部 7 は、直線状に配置されている状態が殆どない。従って、形状算出部 30 は、単に、挿入部 7 の形状を算出するのではなく、挿入部 7 が湾曲したときの湾曲の方向と大きさを算出するものとして記載する。

[0031] 形状算出部 30 は、湾曲情報メモリ 30a を含む。この湾曲情報メモリ 30a には、挿入部 7 の湾曲角と、形状センサユニット 23 から出力される検出信号 D により示される光情報の変化との関係を示す情報が保存されている。又、湾曲情報メモリ 30a には、光ファイバセンサ 8 の複数の検出ポイントの数と、これら検出ポイントの配置位置と、これら検出ポイントで検出する湾曲の方向（X 方向，Y 方向）との情報が保存されている。従って、形状算出部 30 は、形状センサユニット 23 から出力される検出信号 D と、湾曲

情報メモリ 30a に保存されている当該各情報とに基づいて挿入部 7 が湾曲したときの湾曲の方向と大きさを算出し、当該算出の結果を挿入部形状情報 F として出力する。

[0032] 形状センサ制御部 31 は、形状センサユニット 23 が挿入部 7 の湾曲形状を検出するタイミングを取るためのタイミング信号 T を出力する。このタイミング信号 T は、例えば一定周期でハイレベルとなる矩形波である。ここで、 $n$  を 2 以上の自然数、 $j$ 、 $k$  をそれぞれ互いに異なる  $n$  以下の自然数、 $j$ 、 $k$  の大小関係を  $j < k$  とすると、形状センサ制御部 31 は、第 1 乃至第  $n$  のタイミングでハイレベルとなる矩形波のタイミング信号 T を出力する。この第 1 乃至第  $n$  のタイミング信号 T には、第  $j$  のタイミング信号 T、第  $k$  のタイミング信号 T が含まれる。

[0033] 変化導出部 32 は、形状センサ制御部 31 から出力されるタイミング信号 T を受信し、第  $j$  のタイミング信号 T の発生時に形状算出部 30 から出力される挿入部形状情報 F（以下、第  $j$  の挿入部形状情報  $F_j$  と称する）を受信し、第  $k$  のタイミング信号 T の発生時に形状算出部 30 から出力される挿入部形状情報 F（以下、第  $k$  の挿入部形状情報  $F_k$  と称する）を受信する。

変化導出部 32 は、形状算出部 30 から受信した第  $j$  の挿入部形状情報  $F_j$  と第  $k$  の挿入部形状情報  $F_k$  とを比較する。なお、第  $j$  の挿入部形状情報  $F_j$  は、便宜上、第  $j$  の検出時挿入部形状も示すものとする。同様に、第  $k$  の挿入部形状情報  $F_k$  も便宜上、第  $k$  の検出時挿入部形状を示すものとする。

[0034] 変化導出部 32 は、当該比較の結果に基づいて第  $j$  のタイミング信号 T の発生時から第  $k$  のタイミング信号 T の発生時までの期間中において、挿入部 7 の形状変化を解析し、当該解析の結果を挿入部形状時間変化情報（以下、形状変化情報と称する）K A として出力する。当該形状変化情報 K A の詳細については後述する。

未然形状推定部 33 は、形状算出部 30 から出力される挿入部形状情報 F と、変化導出部 32 から出力される形状変化情報 K A とを受信し、これら挿

入部形状情報Fと形状変化情報KAとに基づいて現時点のタイミングから次のタイミング、例えば現時点の第jのタイミングから次の第kのタイミングにおける挿入部7の湾曲形状を未然に推定する。未然形状推定部33は、未然に推定した挿入部7の湾曲形状を未然推定形状情報Mとして出力する。

[0035] 挿入部7の形状を未然に推定したい場合、作業者による挿入部7の挿入操作を考慮したい状況下にある場合がある。このような状況では、未然形状推定部33は、上記挿入部形状情報Fと上記形状変化情報KAと共に、操作推定部34から出力される作業者操作情報Lを受信する。未然形状推定部33は、これら挿入部形状情報Fと形状変化情報KAと作業者操作情報Lとの組み合わせた情報に基づいて挿入部7の形状を未然に推定し、未然推定形状情報Mとして出力する。

[0036] 操作推定部34は、変化導出部32から出力される形状変化情報KAを受信し、この形状変化情報KAに基づいて作業者が第jのタイミング信号Tの発生時から第kのタイミング信号Tの発生時までの期間中に行った作業者の操作を推定し、当該推定した作業者の操作を作業者操作情報Lとして出力する。当該作業者操作情報Lについては後述する。操作推定部34は、操作ハンドル11を操作したときの挿入部7の形状変化の位置、湾曲形状などを示すハンドル操作情報が記憶される操作情報メモリ34aを含む。

[0037] 情報記憶部35には、形状センサユニット23から出力される検出信号Dと、支援情報ユニット22内で伝送される各種情報、例えば挿入部形状情報Fと、形状変化情報KAと、作業者操作情報Lと、未然推定形状情報Mとがタイミング信号Tに紐付けされて記憶されている。

情報記憶部35には、光ファイバセンサ8に設けられている複数の検出ポイント、すなわち光吸収体8aの各位置情報と、挿入部7の湾曲角と光ファイバセンサ8の湾曲角に応じた光量を示す検出信号Dとの対応情報が記憶されている。

[0038] 情報記憶部35は、支援情報ユニット22内の形状算出部30と、形状センサ制御部31と、変化導出部32と、未然形状推定部33と、操作推定部

34との間で図示しない経路を通して情報の授受が可能になっている。この情報記憶部35に保存されている情報は、作業者により適宜読み出し可能である。情報記憶部35と、各本体メモリ40と、湾曲情報メモリ30aと、操作情報メモリ34aとは、同一のメモリデバイスの記憶領域をそれぞれに対応付けて用いることも可能である。また、共通する情報については、本体メモリ40、湾曲情報メモリ30a、操作情報メモリ34a又は情報記憶部35のうちいずれかの一箇所に記憶させておき、図示しない経路を通じて本体メモリ40、湾曲情報メモリ30a、操作情報メモリ34a、又は情報記憶部35から読み出し可能にすることが可能である。

[0039] 本実施の形態は、内視鏡本体部4として光源部20と、ビデオプロセッサ21と、支援情報ユニット22、本体部メモリ40との4つのユニットを含む例について示したが、これに限ることはない。内視鏡本体部4は、例えばプリンタを備えてもよい。内視鏡本体部4は、様々な処置や治療に必要な医療機器、さらには内視鏡システム1に接続可能なものの全てを備えてもよい。

光源部20と、ビデオプロセッサ21と、支援情報ユニット22とは、内視鏡本体部4の内部でそれぞれ別に機能しているが、これに限らない。光源部20と、ビデオプロセッサ21と、支援情報ユニット22とは、内視鏡本体部4の内部において1つの処理ユニットとして機能するようにしてもよい。光源部20とビデオプロセッサ21との一部の機能は、支援情報ユニット22内に組み込んでもよい。さらに、内視鏡本体部4は、光源部20、ビデオプロセッサ21、支援情報ユニット22の3つのユニット以外のユニットと一体化することもできる。内視鏡本体部4は、別のユニットと組み合わせるなど、ユーザの利便性や設計のし易さ、コストなど、様々な事情を考慮して自由に組み合わせることが可能である。

[0040] 支援情報ユニット22は、形状算出部30と、形状センサ制御部31と、変化導出部32と、未然形状推定部33と、操作推定部34との各機能を1つの処理ユニットとして纏めて構成することが可能である。

これに対して支援情報ユニット２２は、形状算出部３０と、形状センサ制御部３１と、変化導出部３２と、未然形状推定部３３と、操作推定部３４との各機能をそれぞれ独立したユニットとして構成することも可能である。

支援情報ユニット２２は、別のユニットと組み合わせるなど、ユーザの利便性や設計のし易さ、コストなど、様々な事情を考慮して自由に組み合わせることが可能である。

[0041]    〔表示部〕

表示部６は、本システム１によって観察する観察対象物２の内部空間３と、内視鏡本体部４の本体メモリ４０に予め記憶されている観察対象物２に関する情報と、観察対象物２を観察するときの観察作業の情報と、支援情報ユニット２２から出力される未然推定形状情報Ｍとを表示可能である。表示部６は、例えば液晶、ブラウン管、ＬＥＤ、又はプラズマから成るモニタ用のディスプレイを含む。表示部６は、図１において便宜上１つであるが、これに限らず、２つ以上を並べて配置する、或いは複数台をそれぞれ異なる場所に配置してもよい。

[0042]    表示部６は、モニタ用のディスプレイに画像及び文字情報を表示することのみに限るものでない。ここでの表示部６は、音声やアラーム音等による聴覚で認識させるための出力、バイブレーション等による触覚で認識させるための出力なども含め、作業者に対して情報を報知させるための様々の情報伝達手法による出力デバイスを総称して表示部とする。

[0043]    〔形状センサ８〕

光ファイバセンサ（形状センサ）８には、図３Ａ乃至図３Ｃに示すように長尺の光ファイバ８ａの側面の一部に湾曲形状検出部８ｂが設けられている。本実施の形態において用いる光ファイバセンサ８は、湾曲形状検出部８ｂに吸収される光量が光ファイバ８ａの湾曲角に応じて増減する現象を利用している。これにより、光ファイバセンサ８は、例えば光ファイバ８ａの湾曲角に従って湾曲形状検出部８ｂに吸収される光量が大きくなると、光ファイバ８ａ内に透過する光量が減少する。従って、光ファイバセンサ８は、光フ

ファイバ 8 a の湾曲角に応じた光量の光信号を射出するものとなる。

[0044] 光ファイバセンサ 8 は、上記の通り、例えば光ファイバ 8 a により成るので、挿入部 7 が湾曲すると、この湾曲に応じて光ファイバ 8 a が湾曲し、これに伴って光ファイバ 8 a 内を伝達する光の一部が湾曲形状検出部 8 b を通じて外部に漏れ出したり、湾曲形状検出部 8 b に吸収されるなどするので、光ファイバセンサ 8 を通る光量は減少する。湾曲形状検出部 8 b の構成は、光ファイバ 8 a のクラッドの一部を取り除き、当該クラッドを取り除いた部分に光吸収部材又は色素などを塗布したのとなっている。すなわち、湾曲形状検出部 8 b は、光ファイバ 8 a の一側面に設けられ、光ファイバ 8 a の湾曲に応じて伝達する光の一部を減少させる。つまり、湾曲形状検出部 8 b は、光ファイバ 8 a の湾曲に応じて光ファイバ 8 a の光学特性、例えば光伝達量を変化させるものである。

[0045] 図 3 A は光ファイバ 8 a を湾曲形状検出部 8 b が設けられた側に湾曲したときの光伝達量を示し、図 3 B は光ファイバ 8 a を湾曲しないときの光伝達量を示し、図 3 C は光ファイバ 8 a を湾曲形状検出部 8 b が設けられた側とは反対側に湾曲したときの光伝達量を示すイメージ図である。これら図に示すように光ファイバ 8 a を湾曲形状検出部 8 b が設けられた側に湾曲したときの光伝達量が最も多く、次に光ファイバ 8 a を湾曲しないときの光伝達量、次に光ファイバ 8 a を湾曲形状検出部 8 b が設けられた側とは反対側に湾曲したときの光伝達量の順で光伝達量が減少する。

[0046] 光ファイバセンサ 8 は、1 つの湾曲形状検出部 8 b を設けることにより曲げセンサとなる。光ファイバセンサ 8 は、複数の湾曲形状検出部 8 b を挿入部 7 の長手方向及び周方向に設けることにより、挿入部 7 の全体の 3 次元形状を検出できるものとなる。

光ファイバセンサ 8 は、湾曲形状検出部 8 b に色素を添付して光を波長別に分離するなどの光学的な手段を備えてもよい。これにより、光ファイバセンサ 8 は、一本の光ファイバに複数の湾曲形状検出部 8 b を設けることが可能である。

湾曲形状検出部 8 b が設けられた光ファイバを複数束ねれば、複数点で曲げ角を検出することが実現可能である。光ファイバの 1 本当たりに設ける湾曲形状検出部 8 b の数を増加すれば、光ファイバ 8 a の本数を減少することが可能である。

[0047] 複数の光ファイバ 8 a を束ねれば、各光ファイバ 8 a 毎の湾曲形状検出部 8 b による光ファイバ 8 a の湾曲角の検出に対する独立性を高めることができる。これにより、湾曲形状検出部 8 b ごとの検出精度が向上し、対ノイズ性を向上することができる。

挿入部 7 には、所定の間隔、例えば 10 cm 毎の間隔で複数の湾曲形状検出部 8 b が設けられるように光ファイバセンサ 8 が搭載されている。このような間隔で複数の湾曲形状検出部 8 b を設ければ、挿入部 7 の全体の湾曲形状を精度高く検出することができる。各湾曲形状検出部 8 b の間隔を例えば 10 cm より長くすると、湾曲形状検出部 8 b の個数を減少してコストの軽減と、湾曲形状を検出するシステム構成を簡素化できる。

[0048] なお、挿入部 7 は、例えば作業員により任意の方向に湾曲させることが可能である。挿入部 7 の湾曲形状を 3 次元で検出するためには、例えば、挿入部 7 のほぼ同一の場所の異なる周方向に 2 つ以上の湾曲形状検出部 8 b を設ければよい。

形状センサユニット 23 は、光ファイバセンサ 8 に導光される光の光量の変化を検出する機能を含むもので、ファイバセンサ用光源 24 と光検出器 25 とを含む。光ファイバセンサ 8 は、挿入部 7 に設けられている。ファイバセンサ用光源 24 と光検出器 25 とは、支援情報ユニット 22 内に設けられている。

[0049] ファイバセンサ用光源 24 は、検出光を射出する。ファイバセンサ用光源 24 から射出された検出光は、光ファイバセンサ 8 に入射し、この光ファイバセンサ 8 により導光されて光検出器 25 に入射する。このとき検出光は、光ファイバセンサ 8 に設けられた湾曲形状検出部 8 b を通る。光検出器 25 は、入射した光を検出し、当該検出した光の光量を図示しない信号処理回路

により検出信号Dに変換して出力する。この検出信号Dは、形状算出部30に伝送される。なお、湾曲形状検出部8bに色素を添付して光を波長別に分離するなどの光学的な手段を備えた光ファイバセンサ8がある。この光ファイバセンサ8を用いる場合、光検出器25は、入射した光を波長別に分離して検出し、当該検出した光の分光光量を図示しない信号処理回路により検出信号Dに変換して出力する。

[0050]     [本システムの動作]

次に、上記の通り構成された本システム1の動作について説明する。なお、既存の内視鏡システムが有する基本的な動作についてはその説明を省略する。

作業者による本システム1への電源投入によって形状センサユニット23及び支援情報ユニット22にも電源が投入される。電源投入によって形状センサユニット23は、挿入部7の湾曲形状の検出が可能になる。これにより、形状センサユニット23は、挿入部7の形状が検出可能になったことを示す検出可能信号（Ready信号）を形状センサ制御部31に送る。

[0051]     形状センサ制御部31は、検出可能信号を受信することにより形状センサユニット23が検出可能な状態であることを認識すると、第1乃至第nのタイミング信号Tを順次出力する。この第1乃至第nのタイミング信号Tは、最初のハイレベル信号を第1のタイミング信号とし、次のハイレベル信号を第2のタイミング信号とし、以下同様に、第jのタイミング信号、第kのタイミング信号、・・・、第n（＝自然数）のタイミング信号とする。この第1乃至第nのタイミング信号Tの発生間隔は、目的とする支援情報の内容、作業者からの要請、支援情報ユニット22及び形状センサユニット23の動作速度などにより適宜設定可能である。第1乃至第nのタイミング信号Tは、一定間隔で周期的な場合、又は第1乃至第nのタイミング信号の間隔が状況に応じて変更される場合もある。

[0052]     形状センサユニット23は、形状センサ制御部31から出力される第1乃至第nのタイミング信号Tを受信する。光検出器25は、当該第1乃至第n

のタイミング信号Tに応じて光ファイバセンサ8から出力され、湾曲形状検出部8bを経由した光信号を検出し、当該光信号に応じた検出信号Dを出力する。光ファイバセンサ8そのものの動作については公知のものを利用可能であり、その説明は省略する。

[0053] 形状センサユニット23は、電源投入によりファイバセンサ用光源24を点灯させる。ファイバセンサ用光源24は、基本的に同じ明るさ、スペクトルで連続発光する検出光を射出する。この検出光は、光ファイバセンサ8の光ファイバ8aの入射端に入射する。この光ファイバセンサ8は、光ファイバ8aの入射端から入射した検出光を導光し、当該検出光を同光ファイバセンサ8に設けられた湾曲形状検出部8bを経由して光ファイバ8aの射出端から射出させる。この光ファイバ8aの射出端から射出した光は、光検出器25に入射する。

[0054] このとき光ファイバセンサ8は、挿入部7と共に湾曲すると、当該湾曲角に応じて湾曲形状検出部8bに吸収される光量が変わる。例えば図3Aに示すように、光ファイバ8aの湾曲角が、湾曲形状検出部8b側に大きくなるに従って湾曲形状検出部8bに吸収される光量が小さくなる。これにより、光ファイバ8a内を透過する光量は増加する。このように光ファイバセンサ8は、挿入部7の湾曲角に応じた光量の光信号を出力する。この光ファイバセンサ8から出力された光信号は、光検出器25に入射する。この光検出器25は、入射した光信号を受光して電気信号に変換し、この電気信号を信号処理回路によって光信号の光量に応じた検出信号Dとして出力する。

[0055] 形状センサユニット23は、光ファイバセンサ8に設けられた複数の湾曲形状検出部8bから射出される各光信号と第1乃至第nのタイミング信号Tとを対応させ、かつ複数の湾曲形状検出部8bから射出された各光信号の識別が付くように検出信号Dにフラグを付ける。この検出信号Dは、形状算出部30に送られる。

形状算出部30は、形状センサユニット23から出力されるフラグ付きの検出信号Dを受信し、情報記憶部35に記憶されている湾曲形状検出部8b

の位置情報と、光ファイバの湾曲角と検出信号D（光量）との関係を示す湾曲角光量情報とを参照し、第1乃至第nのタイミング信号T毎における挿入部7が湾曲したときの湾曲の方向と大きさを算出し、挿入部形状情報Fとして出力する。

[0056] すなわち、形状算出部30は、第1乃至第nのタイミング信号T<sub>1</sub>～T<sub>n</sub>のうち例えば第jのタイミング信号T<sub>j</sub>に紐付けられた検出信号Dに基づいて第jの挿入部形状情報F<sub>j</sub>を算出する。以下、同様に、形状算出部30は、形状センサ制御部31から順次出力される第k、第l、・・・、第n（第k～第n）のタイミング信号T<sub>k</sub>、T<sub>l</sub>、…、T<sub>n</sub>毎に形状センサユニット23から順次出力される検出信号Dを受信し、これら第k～第nのタイミング信号T毎に第k～第nの挿入部形状情報F<sub>k</sub>～F<sub>n</sub>を算出する。第k～第nの挿入部形状情報F<sub>k</sub>～F<sub>n</sub>は、支援情報ユニット22内の情報記憶部35に順次保存される。

[0057] [変化導出部32の動作]

変化導出部32は、第1～第nのタイミング信号T<sub>1</sub>～T<sub>n</sub>に基づいて形状算出部30から出力されるタイミングの異なる少なくとも2つの挿入部形状情報Fを受信し、これら挿入部形状情報Fを比較して形状変化情報K<sub>A</sub>を導出する。

変化導出部32は、例えば、図5に示すような形状算出部30により算出された第jの挿入部形状情報F<sub>j</sub>と、第kの挿入部形状情報F<sub>k</sub>とを比較する。

比較結果、変化導出部32は、挿入部7の湾曲形状が変化している領域を形状変化領域K<sub>E1</sub>として抽出し、挿入部7の湾曲形状が変化していない領域を第1と第2の形状不変化領域K<sub>E2a</sub>、K<sub>E2b</sub>として抽出する。

[0058] 図5に示す第jの挿入部形状情報F<sub>j</sub>と第kの挿入部形状情報F<sub>k</sub>とを比較すると、挿入部7において操作部9側の第1の形状不変化領域K<sub>E2a</sub>の湾曲形状と、挿入部7の先端部7a側の第2の形状不変化領域K<sub>E2b</sub>の湾曲形状とは、それぞれ変化していない。

これら第 1 と第 2 の形状不変化領域 K E 2 a、K E 2 b の間の形状変化領域 K E 1 では、挿入部 7 の湾曲形状が変化している。

[0059] 第 1 と第 2 の形状不変化領域 K E 2 a、K E 2 b では、それぞれ挿入部 7 の湾曲形状が変化していないが、これら第 1 と第 2 の形状不変化領域 K E 2 a、K E 2 b 同士の相対的な位置関係が変化している。この相対的な位置関係は、挿入部 7 における形状変化領域 K E 1 の形状が変化したためである。

変化導出部 3 2 は、抽出した形状変化領域 K E 1 の湾曲形状の変化の種類の分類と、当該形状変化領域 K E 1 における湾曲形状の変化量とを算出する。挿入部 7 は、断面が略円形で、かつ可撓性を有する細長い棒状に形成されている。これにより、挿入部 7 の部分的な湾曲形状の変化としては、例えば湾曲とねじれとの 2 つの形状変化が含むものと考えられる。さらに、挿入部 7 の部分的な湾曲形状の変化としては、湾曲とねじれとが複合して発生する場合、又は湾曲とねじれとが近接した各領域でそれぞれ連続的に発生する場合などが考えられる。

[0060] 図 6 は、形状変化領域 K E 1 に対する解析の例を示すもので、第 j のタイミング信号 T j の発生時の形状変化領域 K E 1 に対する解析の例と、第 k のタイミング信号 T k の発生時の形状変化領域 K E 1 に対する解析の例をと示す。

変化導出部 3 2 は、2 つのタイミング信号発生時、例えば第 j のタイミング信号 T j と第 k のタイミング信号 T k との各発生時における形状変化領域 K E 1 の各湾曲形状を比較する。第 j と第 k の挿入部形状情報 F j、F k とは、3 次元情報であるので、形状変化領域 K E 1 の形状情報も 3 次元情報である。

[0061] 変化導出部 3 2 は、図 6 に示すように第 j と第 k の挿入部形状情報 F j、F k に基づいて形状変化領域 K E 1 の両端部の各軸方向、すなわち第 j の挿入部形状 F j の両端部の各軸方向 Z j a、Z j b と、第 k の挿入部形状 F k の両端部の各軸方向 Z k a、Z k b とを設定する。なお、Z j a は第 j の操

作部側中心軸であり、 $Z_j b$ は第 $j$ の先端側中心軸である。 $Z_k a$ は第 $k$ の操作部側中心軸 $Z_k a$ であり、 $Z_k b$ は第 $k$ の先端側中心軸である。 $Z$ は、形状変化領域 $KE1$ における挿入部7の中心軸である。

[0062] 形状変化領域 $KE1$ のうち、最も操作部9に近いものの操作部9側は、形状不変化領域 $KE2$ に接続されているか、又は操作部9に直接接続されている。本実施の形態では、第1の形状不変化領域 $KE2a$ に接続されている。そこで、形状変化領域 $KE1$ における湾曲形状の変化の種類、当該湾曲形状の変化量、湾曲の変化の方向は、図7に示すように第 $j$ の操作部側中心軸 $Z_j a$ と第 $k$ の操作部側中心軸 $Z_k a$ とを互いに重ね合わせたときの第 $j$ の先端側中心軸 $Z_j b$ と第 $k$ の先端側中心軸 $Z_k b$ との位置関係から算出される。

第 $j$ と第 $k$ の操作部側中心軸 $Z_j a$ 、 $Z_k a$ を重ね合わせると、第 $j$ と第 $k$ の先端側中心軸 $Z_j b$ 、 $Z_k b$ は、挿入部7の湾曲により同じ平面内で移動していることが分かる。このとき形状変化領域 $KE1$ は、第 $j$ と第 $k$ の操作部側中心軸 $Z_j a$ 、 $Z_k a$ を重ねた部分を中心として角度（以下、湾曲角と称する） $\theta$ だけ湾曲している。この角 $\theta$ は、第 $j$ から第 $k$ のタイミング信号 $T$ までの期間中において挿入部7が湾曲したときの湾曲の変化量となる。換言すると、第 $j$ と第 $k$ の先端側中心軸 $Z_j b$ 、 $Z_k b$ は、同じ平面内でのみ変化しているので、挿入部7は、ねじれることなく、単純に湾曲変化したものであることが分かる。

[0063] 形状変化領域 $KE1$ の変化量及びその方向は、湾曲角の変化量及びその方向として算出することが可能となる。挿入部7の湾曲の場合、変化の種類は、湾曲角の変化である。湾曲角の変化量は、図7に示すように第 $j$ と第 $k$ の先端側中心軸 $Z_j b$ 、 $Z_k b$ の成す角の大きさ、すなわち角 $\theta$ である。湾曲方向は、図中矢印により示す第 $j$ の先端側中心軸 $Z_j b$ から第 $k$ の先端側中心軸 $Z_k b$ への移動方向（時計回り方向）である。

[0064] 変化導出部32は、挿入部7の湾曲角の変化量（角 $\theta$ ）及びその方向（時計回り方向）の情報を形状変化情報 $KA$ として出力する。本実施の形態にお

ける形状変化情報K Aは、変化の種類が平面内の湾曲であり、変化の量が角 $\theta$ であり、変化の方向が時計回りである。この形状変化情報K Aは、未然形状推定部33と操作推定部34とにそれぞれ送られる。

[0065] [操作推定部34の動作]

操作推定部34は、作業者が行った操作を推定し、この推定した作業者の操作を作業者操作情報Lとして出力する。操作推定部34は、挿入部7の湾曲形状の変化が作業者の操作により成された結果であるものと仮定し、形状変化情報K Aに基づいて例えば第jのタイミング信号T<sub>j</sub>と第kのタイミング信号T<sub>k</sub>との期間中に行われた作業者の操作を推定し、この推定した作業者の操作を作業者操作情報Lとして出力する。この推定では、作業者による操作の種類と、操作の方向と、操作量とを推定する。すなわち作業者操作情報は、作業者による操作の種類と、操作の方向と、操作量とを含んでいる。

[0066] 作業者の操作は、大きく分けて、操作ハンドル11を操作する操作ハンドル操作と、挿入部7を直接把持して操作する直接操作との2種類がある。

操作ハンドル操作は、操作ハンドル11を操作して挿入部7の能動湾曲部7bを湾曲させるものである。

直接操作は、観察対象物2の内部空間3内に挿入されていない挿入部7の部分（観察対象物2の内部空間3から出ている部分）を作業者が直接把持して押し込み、引き抜き、又はひねり等の操作を行うものである。

[0067] 操作ハンドル11を作業員が操作したときの操作方向及びその操作量に応じた挿入部7の湾曲角及びその湾曲方向は、ハンドル操作情報として内視鏡スコープ部5の種類ごとに決まっている。操作方向は、例えば上下方向と左右方向とである。操作量は、上下方向への操作量と、左右方向への操作量とである。このようなハンドル操作情報は、例えば操作推定部34内に設けられている操作情報メモリ34aに記憶されている。

[0068] 挿入部7において、湾曲する部分が能動湾曲部7bであり、かつ当該能動湾曲部7bの湾曲形状の変化が操作ハンドル11に対する作業者の操作によるものと想定される場合がある。すなわち、想定された能動湾曲部7bの湾

曲形状の変化と、実際に操作された能動湾曲部 7 b の湾曲形状の変化とが一致する場合がある。この場合、能動湾曲部 7 b の湾曲変化は、操作ハンドル 1 1 に対する作業者の操作によるものであると判定することが可能である。

[0069] 形状変化領域 K E 1 が能動湾曲部 7 b であると、当該能動湾曲部 7 b は、操作ハンドル 1 1 を作業者が操作することで上下方向又は左右方向に能動的に湾曲する。ところが、形状変化領域 K E 1 の形状変化が操作ハンドル 1 1 の操作による形状変化と一致しない場合がある。この場合、操作推定部 3 4 は、作業者による直接操作によるか、又は作業者による直接操作と操作ハンドル 1 1 に対する操作との両方の操作が合わさった複合操作であると推定する。

[0070] 図 5 に示す挿入部 7 の湾曲形状の変化の例では、挿入部 7 の形状変化領域 K E 1 が上記の通り受動湾曲部 7 c であるので、作業員による操作は、直接操作であると判定される。直接操作は、操作部 9 又は観察対象物 2 の内部空間 3 から出ている挿入部 7 の部分を直接把持して行うので、作業者による操作の力は、形状変化領域 K E 1 における操作部 9 側の端部から加わる。

従って、操作推定部 3 4 は、形状変化領域 K E 1 の湾曲形状の変化を引き起こし得る作業員による操作が操作部 9 側から加えられたものとして作業者の操作を推定する。

操作推定部 3 4 は、第 1 と第 2 の形状不変化領域 K E 2 a、K E 2 b の形状に変形が無ければ、当該変形の無いことを考慮し、形状変化領域 K E 1 の湾曲形状の変化が作業者による操作であることを推定する。

[0071] 図 5 に示す挿入部 7 の湾曲形状の変化の例では、第 1 の形状不変化領域 K E 2 a の形状は、第 j から第 k のタイミング信号 T の発生時までの期間中に変形していない。作業者の操作による力は、第 1 の形状不変化領域 K E 2 a の形状を変化させること無く当該操作の力を形状変化領域 K E 1 の操作部 9 側の端部に伝達させるような操作であることが分かる。

[0072] 従って、操作推定部 3 4 は、図 8 に示すように挿入部 7 に対して操作部 9 側から挿入部 7 の軸方向に押し込むような操作 Q が加わったと推定すること

ができる。なお、図8は第jの挿入部形状情報 $F_j$ と、作業者により操作された第kの挿入部形状情報 $F_k$ とを示す。

又、操作推定部34は、情報記憶部35に記憶されている観察対象物2の硬さに関する情報及び挿入部7の構造に基づく湾曲に要する力などに基づいて作業者が行った操作の力量のおおよその値を推定する。挿入部7の構造に関する構造情報は、例えば情報記憶部35に記憶されている。この構造情報は、挿入部7の構造に基づく部分的或いは湾曲方向ごとの湾曲のし易さ、挿入部7の形状保持のし易さ、挿入部7を湾曲させるのに必要な力などの情報を含む。

[0073] 次に、作業員により挿入部7に対して操作が行われたときに形状変化領域KE1に湾曲変形が起こるのか否かについて検証が行われる。この検証では、操作推定部34は、情報記憶部35に記憶されている挿入部7の構造情報、その他、観察対象物2の物性情報及び形状情報などの情報を参照する。

検証の結果、作業員による挿入部7に対する操作により形状変化領域KE1に湾曲変形が起こることが検証されると、操作推定部34は、推定した作業員による操作の種類と、操作の方向と、操作の操作量とを、第jのタイミング信号 $T_j$ と第kのタイミング信号 $T_k$ との期間中において作業者が行った操作の種類と、操作の方向と、操作の操作量とし、作業員操作情報Lとして未然形状推定部33に出力する。

[0074] 作業員による操作の種類は、例えば、挿入部7の観察対象物2の内部空間3への押し込みを含む。操作方向は、図8に示すように挿入開口2aから観察対象物2の内部空間3の外部に出ている挿入部7の部分の中心軸方向を含む。

操作量は、第jのタイミング信号 $T_j$ と第kのタイミング信号 $T_k$ との各発生時における第1と第2の形状不変化領域KE2a、KE2bの位置関係から推定される。この操作量は、図8に示すように形状変化領域KE1の先端側KE1sと操作部9側の端部KE1eとの間における挿入部7の中心軸方向における操作変化量 $\Delta P$  ( $=\Delta P_{jk}$ ) として推定している。

[0075] 具体的に、操作推定部34は、図8に示すように第jの挿入部形状情報F<sub>j</sub>における形状変化領域KE1の操作Qの方向の形状変化量 $\Delta P_j$ と、第kの挿入部形状情報F<sub>k</sub>における形状変化領域KE1の操作Qの方向の形状変化量 $\Delta P_k$ との差 $\Delta P_{jk}$ 、

$$\Delta P_{jk} (= \Delta P_j - \Delta P_k)$$

が操作者による操作変化量 $\Delta P_{jk}$ であると推定する。なお、本実施の形態における第jの挿入部形状情報F<sub>j</sub>における形状変化量 $\Delta P_j$ は、挿入開口2aから観察対象物2の外部に出ている挿入部7の中心軸方向（図面上の縦方向）の変化を表す。第kの挿入部形状情報F<sub>k</sub>における形状変化量 $\Delta P_k$ も同様に、挿入開口2aから観察対象物2の外部に出ている挿入部7の中心軸方向（図面上の縦方向）の変化を表す。

[0076] [未然形状推定部33の動作]

未然形状推定部33は、形状算出部30から出力される挿入部形状情報F（F<sub>j</sub>、F<sub>k</sub>を含む）を受信し、かつ変化導出部32から出力される形状変化情報KA又は操作推定部34から出力される作業者操作情報Lのいずれか一方又は両方を受信する。

未然形状推定部33は、挿入部形状情報Fと、形状変化情報KA又は作業者操作情報Lのいずれか一方又は両方とに基づいて未然推定形状情報Mを算出する。

[0077] ここで、挿入部形状情報Fと形状変化情報KAとに基づく未然推定形状情報Mの算出について説明する。

挿入部7において湾曲形状が変形する部分としては、例えば図5に示すように両端が第1の形状不変化領域KE2aと第2の形状不変化領域KE2bとに挟まれた形状変化領域KE1である。

変化導出部32は、図7に示すように形状変化情報KAとして挿入部7の形状変化領域KE1における湾曲角の変化量及び湾曲方向（時計回り方向）を出力する。

[0078] 未然形状推定部33は、変化導出部32から出力された形状変化情報KA

を受信し、当該形状変化情報 $K A$ としての挿入部 $7$ の形状変化領域の湾曲角の変化量及び湾曲方向（時計回り方向）に基づいて未然挿入部形状情報 $M$ を推定する。

図 $9$ は過去、現在、未来の時間経過に従ったタイミング信号 $T$ （ $T_1$ 、 $T_j$ 、 $T_k$ 、 $T_h$ 、 $T_n$ ）のイメージを示す。なお、 $h$ を $k$ より大きな自然数とする。現在において、形状センサ制御部 $31$ は、既に、第 $j$ と第 $k$ のタイミング信号 $T_j$ 、 $T_k$ を出力済みであり、未来において第 $h$ のタイミング信号 $T_h$ を出力しようとしている。ここでは、第 $j$ と第 $k$ のタイミング信号 $T_j$ 、 $T_k$ の時間間隔 $T_{jk}$ と、第 $k$ と第 $h$ のタイミング信号 $T_k$ 、 $T_h$ の時間間隔 $T_{kh}$ とは等しいとする。

[0079] 未然形状推定部 $33$ は、第 $h$ のタイミング信号 $T_h$ が出力されるまで、第 $1$ と第 $2$ の形状不変化領域 $KE2a$ 、 $KE2b$ において形状変化が生ぜず、かつ形状変化領域 $KE1$ において湾曲変形が同一速度で継続して行われるものと設定する。この設定に従って未然形状推定部 $33$ は、図 $10$ に示すように未来の第 $h$ のタイミング信号 $T_h$ の発生時における未然挿入部形状情報 $M$ （ $=M_h$ ）を推定する。

[0080] 具体的に、形状変化領域 $KE1$ の湾曲の推定では、形状変化情報 $K A$ に従って操作の種類が湾曲操作であり、操作方向が時計回りの方向であり、操作量が第 $j$ と第 $k$ のタイミング信号 $T_j$ 、 $T_k$ の期間中における湾曲角である角 $\theta$ である。未然形状推定部 $33$ は、操作の種類である湾曲角と、操作方向である時計回り方向と、操作量である角 $\theta$ とに基づいて第 $h$ のタイミング信号 $T_h$ の発生時における未然挿入部形状情報 $M$ （ $=M_h$ ）を推定する。

[0081] 図 $10$ は第 $j \sim h$ のタイミング信号 $T_j \sim T_h$ の発生時における形状変化領域 $KE1$ の未然推定形状情報 $KE1h$ を推定する過程を示す。同図は、第 $j$ のタイミング信号 $T_j$ の発生時における形状変化領域 $KE1$ の検出形状 $KE1j$ と、第 $k$ のタイミング信号 $T_k$ の発生時における形状変化領域 $KE1$ の検出形状 $KE1k$ と、第 $h$ のタイミング信号 $T_h$ の発生時点における形状変化領域 $KE1$ の未然推定形状情報 $KE1h$ とを示す。同図に示すように形

形状変化領域KE1は、湾曲角が一定の変化スピードで継続して変化したものとして推定される。

[0082] 図11は、第hのタイミング信号Thの発生時における挿入部7の全体の未然挿入部形状情報（時間変化）Mhを示す。未然挿入部形状情報Mhは、形状変化領域KE1の未然推定形状情報KE1hと、形状変化領域KE1の両端側の第1と第2の形状不変化領域KE2a、KE2bとを含む。

次に、作業者操作情報Lを用いた場合の未然推定形状情報Mの算出について説明する。

図12は作業者の操作が加わったときの第j、k、hのタイミング信号Tj、Tk、Thの発生時における挿入部7の各形状の変化を示す。すなわち、第jの挿入部形状情報Fjと、第kの挿入部形状情報Fkと、第hの挿入部形状情報Fhとの変化を示す。

[0083] 作業者操作情報Lは、上記[作業者操作情報推定部の動作]の欄で説明した通り、例えば、操作の種類を押し込みとし、操作方向を挿入開口2aから観察対象物2の外部に出ている挿入部7の中心軸方向とし、操作量を操作者の操作による操作変化量 $\Delta P_{jk}$ とする。

[0084] 未然形状推定部33は、作業者操作情報Lに基づいて未来の第hのタイミング信号Thの発生時における挿入部7の形状を未然に推定する。推定の方法は、上述した挿入部形状情報Fと形状変化情報KAとに基づく未然推定形状情報Mの算出とほぼ同様である。

[0085] 未然挿入部形状情報Mの推定では、未然形状推定部33は、操作の種類と、操作方向と、操作量とを継続して推定したときの挿入部7の湾曲形状を未然挿入部形状情報Mとして算出する。

これと共に、未然形状推定部33は、推定された作業者の操作により形状変化領域KE1が湾曲し、かつ第1と第2の形状不変化領域KE2a、KE2bの形状が変化しないものと仮定して未然挿入部形状情報Mを推定する。

[0086] 具体的に、未然形状推定部33は、上記同様に、操作の種類を押し込みとし、操作方向を挿入開口2aから観察対象物2の外部に出ている挿入部7の

中心軸方向とし、操作量を図 8 に示す操作者による操作変化量  $\Delta P_{jk}$  として、第  $h$  のタイミング信号  $T_h$  の発生時における未然挿入部形状情報  $M$  ( $=M_h$ ) を推定する。

図 9 に示すように本実施の形態では、第  $j$  と第  $k$  のタイミング信号  $T_j$ 、 $T_k$  の時間間隔  $T_{jk}$  と、第  $k$  と第  $h$  のタイミング信号  $T_k$ 、 $T_h$  の時間間隔  $T_{kh}$  とは等しい。

従って、未然形状推定部 33 は、第  $k$  と第  $h$  のタイミング信号  $T_k$ 、 $T_h$  の時間間隔  $T_{kh}$  内において作業者により操作されると予測される操作変化量  $\Delta P_{jk}$  が図 12 に示すように第  $j$  と第  $k$  のタイミング信号  $T_j$ 、 $T_k$  の時間間隔  $T_{jk}$  における作業者の操作変化量  $\Delta P_{kh}$  と等しいと推定する ( $\Delta P_{jk} = \Delta P_{kh}$ )。

[0087] このとき、図 12 に示すように第  $j$  のタイミング信号  $T_j$  の発生時の操作変化量を  $\Delta P_{jk}$  とし、第  $k$  のタイミング信号  $T_k$  の発生時における形状変化量を  $\Delta P_k$  とし、第  $h$  のタイミング信号  $T_h$  の発生時の形状変化量  $\Delta P_h$  とすると、当該形状変化量  $\Delta P_h$  は、

$$\Delta P_h = \Delta P_k - \Delta P_{kh} (= \Delta P_k - \Delta P_{jk}) \quad \dots (1)$$

により求められる。

[0088] しかるに、未然形状推定部 33 は、第  $h$  のタイミング信号  $T_h$  の発生時における形状変化量  $\Delta P_h$  に基づいて第  $h$  のタイミング信号  $T_h$  の発生時における未然挿入部形状情報  $M$  ( $=M_h$ ) を推定する。

[0089] 未然形状推定部 33 は、図 12 に示すように操作推定部 34 により推定された作業者操作情報  $L$  を用い、挿入部 7 の形状変形領域  $KE1$  における形状変形量  $\Delta P_h$  が、上記式 (1) に示す形状変化量  $\Delta P_h$  になるように、形状変化領域  $KE1$  における変形形状を推定する。本実施の形態では、形状変化領域  $KE1$  の変形形状の推定では、内視鏡構造を考慮している。

そして、未然形状推定部 33 は、未然挿入部形状情報 (時間変化)  $M$  と、未然挿入部形状情報 (作業者操作)  $M$  とを比較し、最終的な未然挿入部形状情報  $M$  を推定する。

[0090] このように未然挿入部形状情報（時間変化） $M$ と、未然挿入部形状情報（作業操作） $M$ との2つの未然挿入部形状情報 $M$ から最終的な未然挿入部形状情報 $M$ を推定する方法はいくつかある。例えば、内視鏡構造や観察対象物2の情報、観察作業の種類など別の情報を用いて2つの未然挿入部形状情報 $M$ のうちいずれか一つを選択することは好適である。2つの未然挿入部形状情報 $M$ の平均等を求める方法も好適である。この場合、単純に平均を求めることも好適であるし、上述した別の情報などと照らして重み付け平均を取ることも好適である。さらに、2つの未然挿入部形状情報 $M$ の両方とも作業者に提示することも好適である。

[0091] なお、本実施の形態では、図9に示すように第 $j$ と第 $k$ のタイミング信号 $T_j$ 、 $T_k$ の時間間隔 $T_{jk}$ と、第 $k$ と第 $h$ のタイミング信号 $T_k$ 、 $T_h$ の時間間隔 $T_{kh}$ とが等しいものと仮定したが、これら時間間隔 $T_{jk}$ 、 $T_{kh}$ とが等しくない場合でももちろん予測は可能である。

前述の通り、未然形状推定部33は、第 $j$ と第 $k$ のタイミング信号 $T_j$ 、 $T_k$ の期間中における挿入部7の形状変形領域 $KE1$ での変形及び作業員による操作は、等速で行われたと仮定しているので、例えば時間間隔 $T_{jk}$ 、 $T_{kh}$ が半分となる場合には、挿入部7の湾曲角の変化量 $\theta$ を $\theta/2$ 、操作量を $\Delta P_{jk}/2$ として未然挿入部形状情報 $M$ を推定すればよい。他のタイミングについても同様に経過時間の比を求めることで未然挿入部形状情報 $M$ を推定することができる。

[0092] [作用・効果]

このように第1の実施の形態によれば、観察対象物2の内部空間3に挿入される挿入部7の形状を形状センサユニット23により検出し、当該検出した挿入部形状情報 $F$ に基づいて例えば第 $k$ のタイミング信号 $T_k$ から第 $h$ のタイミング信号 $T_h$ までの経過時間 $T_{kh}$ 後の挿入部7の形状を未然に推定し、未然推定形状情報 $M$ として出力するので、作業者が挿入部7を観察対象物2の内部空間3に挿入する際に、これから形成されるであろう挿入部7の形状を未然に推定できる。推定した挿入部7の形状は、作業者に対して挿入

部 7 の挿入操作時の支援情報として表示部 6 等に表示することができる。この結果、従来の内視鏡システムと比較して訓練や技能向上に要する時間を短縮することができる。経験や技能レベルの低い作業員であっても比較的容易に挿入部 7 を観察対象物 2 の内部空間 3 に挿入、抜去することが可能となる。

[0093] 言い換えると、挿入部 7 の推定形状が作業員の所望の形状であった場合、作業員は、挿入部 7 の挿入・抜去作業を進めてよいと判断できる。一方、挿入部 7 の推定形状が所望の形状で無かった場合、作業員は、挿入・抜去作業を変更した方がよいと判断できる。これにより、上記第 1 の実施の形態であれば、既存システムと比較して、訓練や技能向上に要する時間を短縮できる。作業員の経験や技能レベルが低い場合であっても、比較的容易に挿入部 7 の挿入・抜去を行うことができる。

[0094] なお、上記第 1 の実施の形態において、変換導出部 3 2 は、2 つの挿入部形状情報 F、すなわち第 j の挿入部形状情報 F<sub>j</sub> と第 k の挿入部形状情報 F<sub>k</sub> とを比較する例を示したが、これに限るものでない。変換導出部 3 2 は、3 つ以上の挿入部形状情報 F を比較することも可能である。例えば、第 j の挿入部形状情報 F<sub>j</sub> と、第 k の挿入部形状情報 F<sub>k</sub> と、第 1 のタイミング信号 T に対応した第 1 の挿入部形状情報 F<sub>1</sub> とである。

[0095] このように 3 つ以上の挿入部形状情報 F (F<sub>j</sub>、F<sub>k</sub>、F<sub>1</sub> 等) を比較することで、上記第 1 の実施の形態で説明した作用、効果に加え、挿入部 7 の形状の変化の状態、すなわち低速で安定に変化を続けているのか、加速度を持って変化しているのか、又は繰り返しの操作が行われているのかなどの情報を得ることが可能となる。

このような 3 つ以上の挿入部形状情報 F (F<sub>j</sub>、F<sub>k</sub>、F<sub>1</sub> 等) を用いることを考慮して操作推定部 3 4 は、作業員操作情報 L を推定することができる。これによって未然形状推定部 3 3 は、より確度の高い未然挿入部形状情報 M を推定することができる。

[第 1 の実施の形態の第 1 の変形例]

次に、本発明の第 1 の実施の形態における第 1 の変形例について図面を参照して説明する。なお、本変形例では、上記第 1 の実施の形態と同一部分についてはその説明を省略し、上記第 1 の実施の形態とは相違する部分について詳細に説明する。

[0096] [第 1 の変形例における挿入部形状時間変化導出部の動作]

本変形例は、変化導出部 32 の動作を上記第 1 の実施の形態と相違させたものである。

上記第 1 の実施の形態では、変化導出部 32 は、図 5 に示すような形状算出部 30 により算出された第  $j$  の挿入部形状情報  $F_j$  と、第  $k$  の挿入部形状情報  $F_k$  とを比較し、この比較の結果に基づいて挿入部 7 の形状が変化している領域を形状変化領域  $KE1$  として抽出し、かつ挿入部 7 の形状が変化していない領域を第 1 と第 2 の形状不変化領域  $KE2a$ 、 $KE2b$  として抽出する。

[0097] これに対して本変形例では、変化導出部 32 は、挿入部 7 の湾曲形状が変化していない領域として抽出した第 1 と第 2 の形状不変化領域  $KE2a$ 、 $KE2b$  に着目し、これら形状不変化領域  $KE2a$ 、 $KE2b$  の相対的な位置関係に基づいて形状変化情報  $KA$  を導出する。

本変形例において、形状算出部 30 により挿入部形状情報  $F$  を算出する動作と、変化導出部 32 により形状変化領域  $KE1$  及び第 1 と第 2 の形状不変化領域  $KE2a$ 、 $KE2b$  を抽出する動作とは、上記第 1 の実施の形態と同一である。

[0098] 次に、本変形例における変化導出部 32 の動作のうち上記第 1 の実施の形態と相違する部分について説明する。

図 13 は変化導出部 32 の動作を説明するための図を示す。同図は、変化導出部 32 により取得される第  $j$  のタイミング信号  $T_j$  の発生時点における挿入部 7 の形状と、同変化導出部 32 により取得される第  $k$  のタイミング信号  $T_k$  の発生時点における挿入部 7 の形状とを示す。

[0099] 変化導出部 32 は、検出部挿入部形状算出部 30 により算出された第  $j$  の

挿入部形状情報  $F_j$  と、第  $k$  の挿入部形状情報  $F_k$  とを比較し、挿入部 7 において形状が変化している形状変化領域  $KE1$  と、挿入部 7 において形状が変化していない第 1 と第 2 の形状不変化領域  $KE2a$ 、 $KE2b$  とを抽出する。

挿入部 7 には、図 13 に示すように第 1 の形状不変化領域  $KE2a$  と形状変化領域  $KE1$  とを接続している第 1 の接続部  $C1$  と、形状変化領域  $KE1$  と第 2 の形状不変化領域  $KE2b$  とを接続している第 2 の接続部  $C2$  とがある。

[0100] 変化導出部 32 は、第  $j$  のタイミング信号  $T_j$  の発生時点と、第  $k$  のタイミング信号  $T_k$  の発生時点とにおける第 1 の接続部  $C1$  の座標（接続部座標）と、当該第 1 の接続部  $C1$  における挿入部 7 の中心軸の接線方向である接続方向  $CD1$  とを算出する。

これと共に変化導出部 32 は、第  $j$  のタイミング信号  $T_j$  の発生時点と、第  $k$  のタイミング信号  $T_k$  の発生時点とにおける第 2 の接続部  $C2$  の座標（接続部座標）と、当該第 2 の接続部  $C2$  における挿入部 7 の中心軸の接線方向である接続方向  $CD2$  とを算出する。

ここで、第 1 と第 2 の接続部  $C1$ 、 $C2$  の各接続部座標を表す座標系は、第  $j$  の挿入部形状情報  $F_j$  と、第  $k$  の挿入部形状情報  $F_k$  とが比較可能であれば、どのような座標系であってもよい。

[0101] 本変形例では、支援情報ユニット 22 は、第  $j$  の挿入部形状情報  $F_j$  と第  $k$  の挿入部形状情報  $F_k$  との最も操作部 9 側の位置を原点座標  $(0, 0, 0)$  としている。すなわち、原点座標  $(0, 0, 0)$  は、第 1 の形状不変化領域  $KE2a$  の操作部 9 側の端部に位置している。

又、本変形例では、支援情報ユニット 22 は、原点座標  $(0, 0, 0)$  と、第  $j$  の挿入部形状情報  $F_j$  と、第  $k$  の挿入部形状情報  $F_k$  とに基づいて第 1 の接続部  $C1$  の接続部座標と、第 2 の接続部  $C2$  の接続部座標との各座標を算出する。

[0102] 次に、第  $j$ 、 $k$  の各タイミング信号  $T_j$ 、 $T_k$  の発生時点における第 1 の

形状不変化領域KE 2 aの各座標について説明する。

第jのタイミング信号T<sub>j</sub>の発生時点における第1の形状不変化領域KE 2 aの先端側の接続部座標C 1は、図13に示すように( $x_{1j}$ 、 $y_{1j}$ 、 $z_{1j}$ )により表される。

第kのタイミング信号T<sub>k</sub>の発生時点における第1の形状不変化領域KE 2 aの先端側の接続部座標C 1は、( $x_{1k}$ 、 $y_{1k}$ 、 $z_{1k}$ )により表される。

本変形例では、原点座標(0, 0, 0)の部分と接続部座標C 1の部分との間には、第1の形状不変化領域KE 2 aが存在するので、接続部座標C 1( $x_{1j}$ 、 $y_{1j}$ 、 $z_{1j}$ )と、接続部座標C 1( $x_{1k}$ 、 $y_{1k}$ 、 $z_{1k}$ )とは、等しい。

[0103] 接続方向CD 1は、第1の形状不変化領域KE 2 aと形状変化領域KE 1との接続方向を示すベクトルとして算出される。

接続方向CD 2は、形状変化領域KE 1と第2の形状不変化領域KE 2 bとの接続方向を示すベクトルとして算出される。

なお、本変形例では、各接続方向CD 1、CD 2のベクトルの方向の情報だけが必要であり、ベクトルの長さの情報は用いない。このため本変形例では、各接続方向CD 1、CD 2の各ベクトルは、長さ「1」の単位ベクトルとして求めている。

[0104] 第jのタイミング信号T<sub>j</sub>の発生時点における接続方向CD 1のベクトルは、図13に示すように( $a_{1j}$ 、 $b_{1j}$ 、 $c_{1j}$ )により表される。

第kのタイミング信号T<sub>k</sub>の発生時点における接続方向CD 2のベクトルは、( $a_{1k}$ 、 $b_{1k}$ 、 $c_{1k}$ )により表される。

原点座標(0, 0, 0)に接続されているのは第1の形状不変化領域KE 2 aであるので、第1の変形例において第jのタイミング信号T<sub>j</sub>の発生時点における接続方向CD 1のベクトル( $a_{1j}$ 、 $b_{1j}$ 、 $c_{1j}$ )と、第kのタイミング信号T<sub>k</sub>の発生時点における接続方向CD 1のベクトル( $a_{1k}$ 、 $b_{1k}$ 、 $c_{1k}$ )とは等しい。

[0105] 次に、第  $j$ 、 $k$  の各タイミング信号  $T_j$ 、 $T_k$  の発生時点における第 2 の形状不変化領域  $KE2b$  の各座標についても上記第 1 の形状不変化領域  $KE2a$  の各座標と同様に求められる。

第  $j$  のタイミング信号  $T_j$  の発生時点における第 2 の形状不変化領域  $KE2b$  の基端側の接続部座標  $C2$  は、図 13 に示すように  $(x_{2j}, y_{2j}, z_{2j})$  により表される。

第  $k$  のタイミング信号  $T_k$  の発生時点における第 2 の形状不変化領域  $KE2b$  の基端側の接続部座標  $C2$  は、 $(x_{2k}, y_{2k}, z_{2k})$  により表される。

第  $j$  のタイミング信号  $T_j$  の発生時点における接続方向  $CD1$  のベクトルは、 $(a_{2j}, b_{2j}, c_{2j})$  により表される。

第  $k$  のタイミング信号  $T_k$  の発生時点における接続方向  $CD2$  のベクトルは、 $(a_{2k}, b_{2k}, c_{2k})$  により表される。

[0106] このように変化導出部 32 は、挿入部 7 の形状変化の情報を第 1 と第 2 の形状不変化領域  $KE2a$ 、 $KE2b$  の位置と方向とにより表すことができる。すなわち、第 1 と第 2 の形状不変化領域  $KE2a$ 、 $KE2b$  の間には、形状変化領域  $KE1$  が存在する。挿入部 7 の形状変化の情報は、第 1 の形状不変化領域  $KE2a$  と形状変化領域  $KE1$  との第 1 の接続部  $C1$  の座標  $(x_{1j}, y_{1j}, z_{1j})$  と、第 2 の形状不変化領域  $KE2b$  と形状変化領域  $KE1$  との第 2 の接続部  $C2$  の座標  $(x_{2j}, y_{2j}, z_{2j})$  と、これら座標における挿入部 7 の接線方向の各ベクトル  $CD1$ 、 $CD2$  の情報のみで書き表すことが可能である。

[0107] なお、図 13 は、挿入部 7 の形状変化をイメージし易くすることを目的として記載されている。同図では、第 1 と第 2 の形状不変化領域  $KE2a$ 、 $KE2b$  を点線の四角形により表し、形状変化領域  $KE1$  を湾曲形状に応じた実線により表している。変化導出部 32 では、点線の四角形及び実線により表すための情報を生成したり、当該情報を用いたりする必要はない。

[0108] 本変形例では、説明の便宜上、第 1 と第 2 の形状不変化領域  $KE2a$ 、 $K$

E 2 b の間に形状変化領域 K E 1 が存在するようなシンプルな例を示した。実際には、形状変化領域 K E 1 と、第 1 又は第 2 の形状不変化領域 K E 2 a、K E 2 b とが交互に繰り返して配置される場合がある。このような場合、第 1 と第 2 の形状不変化領域 K E 2 a、K E 2 b は、挿入部 7 側の接続部座標と、先端部側の接続部座標との 2 つの位置座標を含むものとなる。但し、第 1 と第 2 の形状不変化領域 K E 2 a、K E 2 b 内では、挿入部 7 の形状が変化しない。このように形状変化領域 K E 1 と、第 1 又は第 2 の形状不変化領域 K E 2 a、K E 2 b とが交互に繰り返して配置される場合であっても、以下の 3 つの情報があれば挿入部 7 の形状全体を全てのタイミングで求めることができる。すなわち、あるタイミングである形状不変化領域において、当該領域における操作部 9 側の座標（第 1 の情報）と、同領域における挿入部 7 の先端側の座標（第 2 の情報）と、同先端側の接続方向のベクトル（第 3 の情報）とが分かっているならば、別のタイミングにおいては、上記第 1 乃至第 3 の情報のいずれか 2 つの情報が分かれば、残りの 1 つの情報を計算により求めることができる。

[0109] 次に、変化導出部 3 2 は、第 j と第 k のタイミング信号 T j、T k の各発生時点における操作部 9 側の各接続部座標 C 1 及び各接続方向 C D 1 の情報を用いて形状変化領域 K E 1 の形状変化の種類と、形状変化の方向と、形状変化の変化量とを算出する。具体的に変化導出部 3 2 は、形状変化領域 K E 1 と、第 1 及び第 2 の形状不変化領域 K E 2 a、K E 2 b との相対的な配置関係から形状変化の種類と、形状変化の方向と、形状変化の変化量とを算出する。すなわち、第 j のタイミング信号 T j の発生時点と第 k のタイミング信号 T k の発生時点とにおける第 1 の形状不変化領域 K E 2 a の各接続部座標 C 1、各接続方向 C D 1 同士が互いに等しい場合、変化導出部 3 2 は、第 2 の形状不変化領域 K E 2 b の各接続部座標 C 2、各接続方向 C D 2 の変化を求めることにより、形状変化領域 K E 1 と、第 1 及び第 2 の形状不変化領域 K E 2 a、K E 2 b との相対的な配置関係を求めることができる。

[0110] 本変形例では、第 1 の形状不変化領域 K E 2 a が移動していないので、当

該第 1 の形状不変化領域 K E 2 a の接続部座標 C 1 及び当該接続部 C 1 の接続方向 C D 1 も変化せず等しい値となっている。

操作部 9 側に形状変化領域 K E 1 が有る場合でも、本変形例では、当該注目する形状変化領域 K E 1 を挟むように設けられた第 1 及び第 2 の形状不変化領域 K E 2 a、K E 2 b の挿入部 7 側の接続座標 C 2、接続方向 C D 2 は、等しいものとして変化の種類、方向、量を算出する。

[0111] 本変形例では、第 2 の形状不変化領域 K E 2 b の接続方向 C D 2 は、第 j のタイミング信号 T j の発生時点から第 k のタイミング信号 T k の発生時点までの期間中に、図 1 4 に示すように平面内で湾曲角が角  $\theta$  だけ回転している。各接続部座標 C 2 も同一平面内において湾曲角が角  $\theta$  だけ変化している。又、挿入部 7 には、ねじれなどが発生していないことが分かる。

[0112] このように本変形例における挿入部 7 の形状変化領域 K E 1 における形状変化について、形状変化の種類と、形状変化の方向と、形状変化の変化量とを算出することができる。すなわち図 1 4 に示すように変化の種類は湾曲変化であり、変化の量は角  $\theta$  の変化である。形状変化の方向は、同図に示すように時計回り方向である。

[0113] 変化導出部 3 2 は、挿入部 7 の変化の種類、変化の量、変化の方向を、湾曲、角  $\theta$ 、時計回り方向の情報である形状変化情報 K A として未然形状推定部 3 3 と操作推定部 3 4 とにそれぞれ出力する。

これ以降、内視鏡システム 1 の動作は、上記第 1 の実施の形態と同様である。

なお、形状変化領域 K E 1 と、第 1 及び第 2 の形状不変化領域 K E 2 a、K E 2 b との抽出では、形状算出部 3 0 により算出される挿入部形状情報 F から挿入部 7 が最も大きな変化、又は挿入部 7 の形状変化を決定付ける明確な変化をしている領域と比較して十分に小さな形状変化が発生している領域を抽出することがある。当該領域については、第 1 及び第 2 の形状不変化領域 K E 2 a、K E 2 b と同等の形状不変化領域と見做してもよい。

[0114] このように微小な形状変化の領域を形状不変化領域と見做すことで、挿入

部 7 において大きな形状変化をしている領域についてのみ、形状変化の種類と、形状変化の方向と、形状変化の変化量との変化の情報を適切に算出することが可能となる。

[0115] 変化導出部 3 2 は、必ずしも挿入部 7 の全体に亘って形状変化の情報を導出する必要がない。変化導出部 3 2 では、作業者の操作において着目している部位、又は予め登録した部位などについてのみ形状変化情報 K A を導出するようにしてもよい。これにより、変化導出部 3 2 の動作を簡素化することができる。

[0116] [作用・効果]

このように第 1 の変形例によれば、変化導出部 3 2 によって第 1 と第 2 の形状不変化領域 K E 2 a、K E 2 b と、形状変化領域 K E 1 とを算出し、これら形状変化領域 K E 1 と、第 1 及び第 2 の形状不変化領域 K E 2 a、K E 2 b との相対的な配置関係から挿入部 7 の形状変化の種類と、形状変化の方向と、形状変化の変化量とを算出することが可能になる。具体的には、第 j のタイミング信号 T j の発生時点と第 k のタイミング信号 T k の発生時点において、第 1 と第 2 の形状不変化領域 K E 2 a、K E 2 b の間に存在する形状変化領域 K E 1 との第 1 の接続部 C 1 の座標と、第 2 の接続部 C 2 の座標と、これら座標における挿入部 7 の接線方向のベクトル C D 1、C D 2 の情報を算出することが可能になる。

[0117] これにより、上記第 1 の実施の形態と同様に、作業者が現在の操作を継続しているときに、次のタイミングで起こり得る挿入部 7 の形状を事前（未然）に推定できる。この挿入部 7 の形状を作業者に対して挿入部 7 の挿入操作時の支援情報として表示部 6 等に表示することが可能となる。この結果、従来の内視鏡システムと比較して訓練や技能向上に要する時間を短縮することができる。経験や技能レベルの低い作業者であっても比較的容易に挿入部 7 を観察対象物 2 の内部空間 3 に挿入、抜去することが可能となる。

[0118] この第 1 の変形例であれば、上記第 1 の実施の形態と比較して、形状変化情報 K A の算出を、第 1 の接続部 C 1 の座標と、第 2 の接続部 C 2 の座標と

、ベクトル $CD_1$ 、 $CD_2$ という数学的に扱い易いパラメータで算出することが可能となるので、変化導出部32を実現するプログラム、又は本システム1の全体を実現するためのプログラムをシンプルにすることができる。又、当該プログラムをシンプルにするので、処理の高速化に好適である。

[第2の実施の形態]

次に、本発明の第2の実施の形態について図面を参照して説明する。なお、本実施の形態では、上記第1の実施の形態と同一部分についてはその説明を省略し、相違する部分について説明する。

第2の実施の形態は、変化導出部32の動作と、操作推定部34の動作と、未然形状推定部33の動作とを上記第1の実施の形態と相違させたものである。

[0119] [変化導出部32の動作]

上記第1の実施の形態では、変化導出部32は、図5に示すような形状算出部30により算出された第 $j$ の挿入部形状情報 $F_j$ と、第 $k$ の挿入部形状情報 $F_k$ とを比較し、挿入部7の形状が変化している形状変化領域 $KE_1$ と挿入部7の形状が変化していない第1及び第2の形状不変化領域 $KE_2a$ 、 $KE_2b$ とを抽出し、これら領域 $KE_1$ 、 $KE_2a$ 、 $KE_2b$ に基づいて形状変化領域 $KE_1$ の形状変化の種類と、形状変化の方向と、形状変化の変化量とを算出する構成を例に説明した。

[0120] これに対して第2の実施の形態では、変化導出部32によって第 $j$ の挿入部形状情報 $F_j$ と、第 $k$ の挿入部形状情報 $F_k$ とを比較して類似形状領域を抽出し、当該類似形状領域に基づいて挿入部7の形状変化の種類と、形状変化の方向と、形状変化の変化量とを算出する構成である点が第1の実施の形態と相違している。

[0121] 図15は第 $j$ の挿入部形状情報 $F_j$ と第 $k$ の挿入部形状情報 $F_k$ とを示す。第 $j$ の挿入部形状情報 $F_j$ と第 $k$ の挿入部形状情報 $F_k$ とでは、それぞれ互いに形状が類似した各類似形状領域 $LR$ を含む。第 $k$ の挿入部形状情報 $F_k$ による挿入部7の先端部7aを含む部分には、挿入部進行領域7srが存

在する。挿入部進行領域  $7s_r$  は、第  $j$  のタイミング信号  $T_j$  の発生時点から第  $k$  のタイミング信号  $T_k$  の発生時点までの期間中に挿入部 7 が進行した部分である。

[0122] すなわち、挿入部 7 は、第  $j$  のタイミング信号  $T_j$  の発生時点から第  $k$  のタイミング信号  $T_k$  の発生時点までの期間中に、作業者による操作を受けて挿入部進行領域  $7s_r$  だけ観察対象物 2 の内部空間 3 内に進行している。当該期間中に、挿入部 7 の類似形状領域  $L_R$  の形状は、図 15 に示すように変化がない。

類似形状領域  $L_R$  の形状に変化がないのは、次の理由による。挿入部 7 は、作業者による挿入操作により形状が観察対象物 2 の内部空間 3 の内面に倣いながら当該観察対象物 2 の内部空間 3 内に進行する。挿入部 7 の進行により当該挿入部 7 の形状は、第  $j$  のタイミング信号  $T_j$  の発生時点から第  $k$  のタイミング信号  $T_k$  の発生時点までの期間中においても観察対象物 2 の内部空間 3 内に倣うものとなる。従って、挿入部 7 の形状は、第  $j$  のタイミング信号  $T$  の発生時点での類似形状領域  $L_R$  と、第  $k$  のタイミング信号  $T$  の発生時点での類似形状領域  $L_R$  とにおいて変化することがない。

[0123] ここで着目する点として、第  $j$  の挿入部形状情報  $F_j$  と第  $k$  の挿入部形状情報  $F_k$  とでは、類似形状領域  $L_R$  の各位置に対応する挿入部 7 の位置が変化していることである。すなわち、第  $j$  の挿入部形状情報  $F_j$  と第  $k$  の挿入部形状情報  $F_k$  とでは、挿入部 7 が挿入により移動しているので、形状センサ 8 の各検出ポイントの各湾曲形状検出部 8b から出力される各検出信号がそれぞれ異なるが、形状算出部 30 により算出される第  $j$  の挿入部形状情報  $F_j$  と第  $k$  の挿入部形状情報  $F_k$  とにおいては、形状が互いに略等しい各類似形状領域  $L_R$  が存在しているものとなっている。

[0124] 変化導出部 32 は、第  $j$  の挿入部形状情報  $F_j$  と第  $k$  の挿入部形状情報  $F_k$  とを比較する。比較の結果、変化導出部 32 は、形状が互いに略等しい各類似形状領域  $L_R$  と、当該各類似形状領域  $L_R$  以外の領域を区分し、このうち各類似形状領域  $L_R$  を抽出する。

当該各類似形状領域  $L R$  以外の領域には、例えば図 16 に示すような挿入部形状非類似領域  $N L R$  と、挿入部進行領域  $7 s r$  と、挿入部後退領域（図示せず）との 3 つの領域が存在する。挿入部後退領域については、後述する。

挿入部形状非類似領域  $N L R$  は、単純に形状が明らかに異なる領域である。挿入部進行領域  $7 s r$  は、例えば第  $j$  のタイミング信号  $T_j$  の発生時点では存在していなかった領域に第  $k$  のタイミング信号  $T_k$  の発生時点で新たに現れた領域である。

[0125] 挿入部後退領域は、例えば第  $j$  のタイミング信号  $T_j$  の発生時点では存在していた領域で第  $k$  のタイミング信号  $T_k$  の発生時点で消滅した領域である。すなわち、挿入部進行領域  $7 s r$  とは逆に、挿入部 7 が後退することにより、例えば挿入部形状類似領域  $L R$  の一部が欠落した領域である。

図 15 に示す例では、変化導出部 32 は、形状が互いに略等しい各挿入部類似形状領域  $L R$  と、第  $k$  のタイミング信号  $T_k$  の発生時点に現れる挿入部進行領域  $7 s r$  とを算出している。すなわち、作業者の操作により挿入部 7 は、観察対象物 2 の内部空間 3 において挿入部進行領域  $7 s r$  の分だけ進行している。この進行があったにも拘わらず挿入部 7 の操作部 9 側は、当該挿入部 7 の進行にも拘わらず略同一形状になっている。

[0126] この理由は、挿入部 7 が観察対象物 2 の内部空間 3 の形状に倣って進行するためであると推定できる。すなわち、挿入部 7 が観察対象物 2 の内部空間 3 を進行しても同じ形状を維持している領域は、観察対象物 2 に対して同一位置となる領域、すなわち挿入部類似形状領域  $L R$  となると推定できる。

[0127] 従って、図 15 に示す例の場合、変化導出部 32 は、挿入部 7 の移動方向が観察対象物 2 の内部空間 3 に向かう挿入方向であり、挿入部 7 の移動量が挿入部進行領域  $7 s r$  の長さと同程度の量であると推定する。

変化導出部 32 は、挿入部 7 の挿入方向と、挿入部進行領域  $7 s r$  の長さと略等しい量とを形状変化情報  $K A$  として未然形状推定部 33 と操作推定部 34 とに送出する。

[0128] なお、本実施の形態で用いている形状センサユニット23は、挿入部7の湾曲方向を検出することが可能なように構成されている。これにより、第jと第kのタイミング信号 $T_j$ 、 $T_k$ の各発生時点において、形状センサユニット23から出力される検出信号Dから挿入部7の操作の状態の一つとして、X方向、Y方向等の湾曲方向が判定できる。例えば、形状センサユニット23から出力される検出信号DからX方向とY方向とに対して変化が無ければ、変化導出部32は、挿入部7の形状に変化が無いとする形状変化情報KAを出力する。操作推定部34は、挿入部7の形状に変化が無いとする形状変化情報KAを受信すると、挿入部7が単に挿入されているもの推定する。

同検出信号DからX方向とY方向とに対して変化が有れば、変化導出部32は、挿入部7の形状においてX方向とY方向とに変化が有るとする形状変化情報KAを出力する。操作推定部34は、挿入部7の形状に変化が有るとする形状変化情報KAを受信すると、挿入部7のX方向とY方向とにおける形状の変化に基づいて例えば挿入部7に対してひねり方向にも操作されているものと推定する。

[0129] なお、挿入部7における挿入部類似形状領域RLの先端側には、挿入部進行領域7sr、挿入部後退領域（不図示）、又は挿入部形状非類似領域NLRのいずれもが存在しない場合がある。この場合、挿入部7の先端が停止していることを示す。

挿入部類似形状領域LRよりも操作部9側には、挿入部非類似形状領域NLRが存在する場合がある。挿入部非類似形状領域NLRは、作業者の操作によって生じたものである。

[0130] 図16は、作業者の操作により挿入部7の先端部が挿入部進行領域7srの分だけ進行し、さらに操作部9側に挿入部形状類似領域LRが発生している例を示す。これにより、作業者の操作の方向は、挿入部7の挿入方向となる。操作の量は、挿入部進行領域7srの長さに挿入部非類似形状領域NLRを生じるのに必要な挿入量を合わせた長さと同程度の量となる。

## [0131] [操作推定部34の動作]

操作推定部34は、作業者が行った作業者の操作を推定し、当該作業者操作情報Lとして出力する。操作推定部34は、挿入部7の形状変化が作業者による操作の結果であるものと仮定し、第jのタイミング信号T<sub>j</sub>の発生時点から第kのタイミング信号T<sub>k</sub>の発生時点までの期間中に行った操作を形状変化情報K<sub>A</sub>に基づいて推定し、作業者操作情報Lとして出力する。

本実施の形態では、作業者による操作の推定については、作業者の直接操作のみを対象として説明しているが、操作推定部34が操作ハンドル11に対して行った操作も推定可能なことも言うまでもない。

[0132] 第jの挿入部形状F<sub>j</sub>は、第kの挿入部形状F<sub>k</sub>と比較することにより、図15に示すように挿入開口2aより観察対象物2の内部空間3側において、ほぼ全体が挿入部類似形状領域L<sub>R</sub>になっている。なお、第kの挿入部形状F<sub>k</sub>では、作業者の操作により挿入部進行領域7s<sub>r</sub>の分だけ観察対象物2の内部空間3の奥に進行している。

従って、操作推定部34は、作業者が挿入方向の押し込み操作を行い、挿入部進行領域7s<sub>r</sub>の分だけ挿入部7が観察対象物2の内部空間3に進行したと推測する。

操作推定部34は、操作の種類が押し込みであり、操作方向が挿入開口2aから露出している挿入部7の中心軸方向であることを推測する。挿入部7の挿入量は、挿入部進行領域7s<sub>r</sub>の長さであることを推定する。

[0133] 挿入部進行領域7s<sub>r</sub>の長さは、例えば図15及び図16に示すように挿入部7の形状の各特徴部C<sub>rj</sub>、C<sub>rk</sub>に基づいて推定することができる。挿入部7の形状の各特徴部C<sub>rj</sub>、C<sub>rk</sub>は、形状センサユニット23の光ファイバセンサ8に設けられた各湾曲形状検出部8bの挿入部7上の位置と、検出時挿入部形状算出部30からの情報と、変化導出部32の情報などから推定することが出来る。

本実施形態における各特徴部C<sub>rj</sub>、C<sub>rk</sub>は、それぞれ挿入部7が湾曲して特定の形状、例えば凸部が他の領域と比較して、より鋭角になった形状

、凸状の形状等の滑らかな形状でない形状部分として設定している。なお、特徴部  $C_{rj}$  は、第  $j$  のタイミング信号  $T$  の発生時点に現れた形状部分であり、特徴部  $C_{rk}$  は、第  $k$  のタイミング信号  $T$  の発生時点に現れた形状部分である。

[0134] ここで、第  $j$  のタイミング信号  $T_j$  の発生時において、挿入部 7 の先端部 7a から例えば 20 cm の位置に配置された湾曲形状検出部 8b が丁度特徴部  $C_{rj}$  の頂点と一致していると、当該特徴部  $C_{rj}$  の位置は、挿入部 7 の先端から 20 cm の位置であると分かる。

第  $k$  の挿入部形状  $F_k$  の発生時において、挿入部 7 の先端部 7a から例えば 30 cm の位置に配置された別の湾曲形状検出部 8b と、同先端部 7a から例えば 40 cm の位置に配置された別の湾曲形状検出部 8b との中間の位置が丁度特徴部  $C_{rk}$  の頂点と一致していると、当該特徴部  $C_{rk}$  の位置は、挿入部 7 の先端から 35 cm の位置であると分かる。

[0135] これにより、観察対象物 2 の内部空間 3 への挿入部 7 の挿入量、すなわち挿入部進行領域  $GR$  の長さは、第  $k$  のタイミング信号  $T_k$  の発生時の特徴部  $C_{rk}$  の位置 (35 cm) と、第  $j$  のタイミング信号  $T_j$  の発生時の特徴部  $C_{rj}$  の位置 (20 cm) との差で  $35\text{ cm} - 20\text{ cm} = 15\text{ cm}$  となる。

図 16 に示すように、挿入部 7 に非類似形状領域  $NLR$  が存在する場合、挿入部 7 の挿入量は、さらに挿入部 7 における非類似形状領域  $NLR$  の長さの変化も考慮する必要がある。この場合では、挿入部 7 における非類似形状領域  $NLR$  が挿入部 7 の操作部 9 側にあるので、特徴部  $C_{rj}$ 、 $C_{rk}$  の位置を用いての挿入部進行領域  $GR$  の長さの算出が出来ない。

このような場合、操作推定部 34 は、形状センサユニット 23 から出力される検出信号  $D$  から挿入部 7 の長さを算出することができる。すなわち、形状センサユニット 23 は、挿入部 7 の形状情報を、相対的な位置情報として検出可能であるので、様々な数学的な手法により挿入部 7 の長さを求めることが可能となっている。

[0136] 例えば、図 1 6 に示すように第  $j$  のタイミング信号  $T_j$  の発生時点での挿入部 7 の非類似形状領域  $NLR$  の長さ、第  $k$  のタイミング信号  $T_k$  の発生時点での挿入部 7 の非類似形状領域  $NLR$  の長さとの差が、例えば 5 cm であったとすると、操作推定部 3 4 は、挿入部 7 の挿入量を先に求めた 15 cm に 5 cm を加えた量である 20 cm として算出する。当該挿入部 7 の挿入量である 20 cm は、作業者操作情報  $L$  として未然形状推定部 3 3 に送出される。

なお、言うまでもないが、図 1 5 は特徴部  $Cr_j$ 、 $Cr_k$  を用いて挿入部 7 の挿入量を求める例について示すが、この例に対しても形状センサユニット 2 3 により検出した情報に基づいて算出された挿入部 7 の長さの差を挿入部 7 の挿入量として算出することももちろん可能である。

[0137] [未然形状推定部 3 3 の動作]

未然形状推定部 3 3 は、変化導出部 3 2 から出力された形状変化情報  $KA$  と、操作推定部 3 4 から出力された作業者操作情報  $L$  のいずれか一方又は両方を受信し、形状変化情報  $KA$  又は作業者操作情報  $L$  のいずれか一方又は両方に基づいて挿入部 7 の形状を未然に推定する。

本実施の形態では、図 1 5 を参照して作業者操作情報  $L$  を用いた例について説明する。

前述の通り、操作の種類は、押し込みであり、操作方向は、挿入開口 2 a から外部に露出している挿入部 7 の中心軸の方向であり、操作量は、挿入部進行領域  $7sr$  の長さ、例えば 15 cm である。

未然形状推定部 3 3 は、操作の種類である押し込みと、操作方向である挿入部 7 の中心軸の方向と、操作量である挿入部進行領域  $7sr$  の長さとに基づいて未然挿入部形状情報  $M$  を推定する。

[0138] 自然数  $h$  は、 $k$  より大きな自然数とする。

形状センサ制御部 3 1 は、既に第  $j$  と第  $k$  のタイミング信号  $T_j$ 、 $T_k$  を出力しているが、第  $h$  のタイミング信号  $T_h$  を未だ出力しておらず、未来に出力する状態にあるものとする。ここでは、第  $j$  と第  $k$  のタイミング信号  $T$

j、T<sub>k</sub>の時間間隔は、第kと第hのタイミング信号T<sub>k</sub>、T<sub>h</sub>の時間間隔と等しいものとする。タイミング信号Tは、図9に示す時間経過に従った出力イメージに示す通りである。

[0139] 未然形状推定部33は、挿入開口2aから露出している挿入部7の中心軸方向に向けた押し込み操作が例えば15cmだけ行われた後、さらに同じ方向に同じ操作が同じ操作量だけ行われると仮定して未然挿入部形状情報Mを推定する。

図15に示す通り第jのタイミング信号T<sub>j</sub>から第kのタイミング信号T<sub>k</sub>の発生までの期間中における作業員による操作により挿入部7は、観察対象物2の内部空間3に挿入されている。

[0140] 従って、未然形状推定部33は、上記同様に、挿入部7がさらに15cmの押し込み操作されたものとして挿入部7の未然挿入部形状情報Mを推定する。

このとき、本実施の形態では、挿入部7の先端部7aは、これから先、観察対象物2の内部空間3における当該先端部7aが未だ到達していない領域まで進行することが予測されるので、当該領域、すなわち図16に示すような挿入部進行領域7s<sub>r</sub>のさらに先端側の情報を推定する必要がある。

[0141] 図17Aは第jの挿入部形状F<sub>j</sub>を示し、図17Bは第kの挿入部形状F<sub>k</sub>を示す。第kの挿入部形状F<sub>k</sub>は、推定された挿入部進行領域7s<sub>r</sub>を含む。

[0142] 図17Cは、観察対象物2の内部空間3の例えば形状等のおおよその情報を得ている場合における第hのタイミング信号T<sub>h</sub>の発生時に形状算出部30から出力される挿入部形状情報F<sub>h1</sub>を示す。挿入部形状情報F<sub>h1</sub>には、推定された挿入部進行領域7s<sub>r</sub>(a)が含まれる。すなわち、未然形状推定部33は、観察対象物2の内部空間3のおおよその形状情報に基づいて挿入部進行領域7s<sub>r</sub>(a)がこれに倣うように挿入部7が進行するものとして、未然形状推定情報Mを推定している。

一方、観察対象物2の内部空間3のおおよその形状等の情報が無い場合、

未然形状推定部 33 は、挿入部 7 の仮の形状、例えば直線形状等の予め設定された形状を仮の形状として想定し、当該仮の形状の情報に基づいて挿入部 7 の未然挿入部形状情報 M を推定する。

[0143] 図 17D は、観察対象物 2 の内部空間 3 の例えば形状等のおおよその情報が無い場合における第 h のタイミング信号 T の発生時に形状算出部 30 から出力される挿入部形状情報 F<sub>h2</sub> を示す。挿入部形状情報 F<sub>h2</sub> には、推定された挿入部進行領域 7s<sub>r</sub>(b) が含まれる。挿入部進行領域 7s<sub>r</sub>(b) は、上記挿入部進行領域 7s<sub>r</sub>(a) と比較して直線形状になっている。

未然形状推定部 33 は、挿入部 7 における類似形状領域 L R の形状が変化しないまま挿入部 7 が作業者の挿入操作による挿入操作量だけさらに進行するものと想定して挿入部 7 の形状を未然に推定する。

[0144] このように上記第 2 の実施の形態によれば、変化導出部 32 によって互いに異なるタイミングの挿入部 7 の形状情報を比較して類似形状領域 L R を抽出し、当該類似形状領域 L R に基づいて挿入部 7 の形状変化の種類と、形状変化の方向と、形状変化の変化量とを算出し、操作推定部 34 によって作業者が押し込み操作を行ったときの挿入部進行領域 7s<sub>r</sub> の分だけ挿入部 7 が観察対象物 2 の内部空間 3 に進行したと推測し、未然形状推定部 33 によって操作の種類である押し込みと、操作方向である挿入部 7 の中心軸の方向と、操作量である挿入部進行領域 7s<sub>r</sub> の長さとに基づいて未然挿入部形状情報 M を推定する。

[0145] これにより、作業者が現在の操作を継続したときに、次のタイミングで起こり得る挿入部 7 の形状を未然に推定し、この推定した形状を作業者に挿入操作支援情報として表示部 6 等に表示して作業者に提供できる。この結果、従来の内視鏡システムと比較して訓練や技能向上に要する時間を短縮することができる。経験や技能レベルの低い作業者であっても比較的容易に挿入部 7 を観察対象物 2 の内部空間 3 に挿入、抜去することが可能となる。

特に、本実施の形態では、挿入部 7 の全体の形状が変化した場合であっても、挿入部 7 の形状が類似している類似形状領域 L R を検出するので、次の

タイミングで起こり得る挿入部 7 の形状を未然に推定することができる。

[第 2 の実施の形態の第 1 の変形例]

次に、第 2 の実施の形態の第 1 の変形例について図を参照して説明する。  
なお、本変形例では、上記第 2 の実施の形態と同一部分についてはその説明を省略し、それとは相違する部分について説明する。

本変形例は、変化導出部 3 2 の動作が上記第 2 の実施の形態と相違する。  
上記第 2 の実施の形態では、挿入部類似形状領域 L R を用いて形状変化情報 K A としての挿入部 7 の移動方向と移動の量とを算出する例を示したが、本変形例では、挿入部類似形状領域 L R に代えて挿入部 7 の湾曲部の頂点の間隔である頂点部間距離同一領域を用いる。

[0146] [変化導出部 3 2 の動作]

図 1 8 は第 j と第 k の挿入部形状 F j、F k の例を示す。本変形例は、上記第 1 の実施の形態のように挿入部 7 の形状が第 1 と第 2 の形状不変化領域 K E 2 a、K E 2 b と、形状変化領域 K E 1 とに分類することが出来ず、かつ上記第 2 の実施の形態のように挿入部類似形状領域 L R を抽出すること出来ない場合であって、一方、複数の湾曲部が存在し、これら湾曲部の各頂点間の距離が互いに等しくなっている場合に適用される。

[0147] すなわち、例えば、第 j と第 k の挿入部形状 F j、F k には、それぞれ 3 つの湾曲部が存在する。これら湾曲部は、第 j の挿入部形状 F j において、第 1 の特徴部 j w 1、第 2 の特徴部 j w 2、第 3 の特徴部 j w 3 と称し、第 k の挿入部形状 F k において、第 1 の特徴部 k w 1、第 2 の特徴部 k w 2、第 3 の特徴部 k w 3 と称する。

第 1 の特徴部 j w 1、第 2 の特徴部 j w 2、・・・、第 3 の特徴部 k w 3 は、それぞれ湾曲部の頂点を有する。

第 j の挿入部形状 F j 等における第 1 乃至の第 3 特徴部 j w 1 ~ j w 3 と第 1 乃至の第 3 特徴部 k w 1 ~ k w 3 とは、互いに各頂点の間隔が等しく、かつ湾曲している各方向が等しい関係となっている。第 1 乃至の第 3 特徴部 j w 1 ~ j w 3 と第 1 乃至の第 3 特徴部 k w 1 ~ k w 3 とにおいて、互いに

各頂点の間隔が等しく、かつ湾曲している各方向が等しいのは、第1乃至の第3特徴部  $j w 1 \sim j w 3$  と第1乃至の第3特徴部  $k w 1 \sim k w 3$  との位置関係を比較することにより認識される。図18中におけるG1は、第1乃至の第3特徴部  $k w 1 \sim k w 3$  に挟まれていない領域を示す。なお、当該領域G1は、複数存在するが、図18では全ての領域G1を図示することが困難であるので、一例として1つの領域G1を示す。

[0148] はじめに、変化導出部32は、挿入部7における湾曲部の各頂点の座標を算出する。湾曲部の各頂点の座標は、第jと第kの挿入部形状情報F<sub>j</sub>、F<sub>k</sub>から容易に求められる。

[0149] 変化導出部32は、挿入部7における湾曲部の各頂点の座標から当該各頂点間の距離と、湾曲している各方向とを算出する。湾曲している各方向は、湾曲部の各頂点の相対的な方向となる。

すなわち、第jの挿入部形状情報F<sub>j</sub>において、第1の特徴部  $j w 1$  と、第2の特徴部  $j w 2$  と、第3の特徴部  $j w 3$  との相対的な位置関係及び間隔が求められる。同様に第kの挿入部形状情報F<sub>k</sub>において、第1の特徴部  $k w 1$  と、第2の特徴部  $k w 2$  と、第3の特徴部  $k w 3$  との相対的な位置関係及び間隔が求められる。

[0150] これら第jの挿入部形状情報F<sub>j</sub>における第1の特徴部  $j w 1$  と、第2の特徴部  $j w 2$  と、第3の特徴部  $j w 3$  との相対的な位置関係及び間隔、及び第kの挿入部形状情報F<sub>k</sub>における第1の特徴部  $k w 1$  と、第2の特徴部  $k w 2$  と、第3の特徴部  $k w 3$  との相対的な位置関係及び間隔は、それぞれ各座標の情報を共通の座標軸上において算出するようにしてもよい。

これら第1の特徴部  $j w 1$  と、第2の特徴部  $j w 2$  と、第3の特徴部  $j w 3$  との頂点の間隔、及び第1の特徴部  $k w 1$  と、第2の特徴部  $k w 2$  と、第3の特徴部  $k w 3$  との頂点の間隔は、それぞれスカラー量の情報として求めてもよいし、湾曲している各方向をベクトルとしての方向情報も含めて求めてもよい。

[0151] これら位置関係及び間隔を求める場合、第1乃至の第3特徴部  $j w 1 \sim j$

w 3 と第 1 乃至の第 3 特徴部 k w 1 ~ k w 3 とを比較するのは、如何なる技術・手法であってもよい。

変化導出部 3 2 は、第 j の挿入部形状情報 F j 間における第 1 の特徴部 j w 1 と第 2 の特徴部 j w 2 と第 3 の特徴部 j w 3 との相対的な位置関係及び間隔と、第 k の挿入部形状情報 F k における第 1 の特徴部 k w 1 と第 2 の特徴部 k w 2 と第 3 の特徴部 k w 3 との相対的な位置関係及び間隔とを比較し、略同一となる位置関係及び間隔を第 j の挿入部形状情報 F j における第 1 の特徴部 j w 1 と第 2 の特徴部 j w 2 と第 3 の特徴部 j w 3 として抽出すると共に、第 k の挿入部形状情報 F k における第 1 の特徴部 k w 1 と第 2 の特徴部 k w 2 と第 3 の特徴部 k w 3 として抽出する。

[0152] 第 1 の特徴部 j w 1 と、第 2 の特徴部 j w 2 と、第 3 の特徴部 j w 3 と、第 1 の特徴部 k w 1 と、第 2 の特徴部 k w 2 と、第 3 の特徴部 k w 3 とにおける各頂点は、当該頂点の周囲に何もない状態であれば、直線上に存在するはずである。ところが、観察対象物 2 の内部空間 3 に挿入されることにより挿入部 7 は、観察対象物 2 の内部空間 3 の構造により湾曲させられている可能性が高い。

さらに、第 j、k の挿入部形状情報 F j、F k 間における第 1 の特徴部 j w 1 と、第 2 の特徴部 j w 2 と、・・・、第 3 の特徴部 k w 3 の各頂点は凸部であることから、挿入部 7 の凸側が観察対象物 2 の内部空間 3 に接触している部分である可能性が高い。

[0153] 又、観察対象物 2 の内部空間 3 では、当該内部空間 3 の管孔形状の特徴によって湾曲して挿入部 7 と接触し易い場所がある程度決まっている。これらのことから、第 j、k の挿入部形状情報 F j、F k 間における第 1 の特徴部 j w 1 と、第 2 の特徴部 j w 2 と、・・・、第 3 の特徴部 k w 3 の各頂点の相対的な位置関係、間隔が略等しい場合、挿入部 7 は、観察対象物 2 の内部空間 3 における同じ内壁面に接触している可能性が高い。すなわち、挿入部 7 は、同じ場所に存在していると推定することができる。

[0154] しかるに、変化導出部 3 2 は、第 j の挿入部形状 F j における第 1 乃至第

3の特徴部  $j w 1 \sim j w 3$  の相対的な位置関係と、第  $k$  の挿入部形状  $F_k$  における第1乃至第3の特徴部  $k w 1 \sim k w 3$  の相対的な位置関係とが略等しい場合、第1の特徴部  $j w 1$  と第1の特徴部  $k w 1$  とが同一位置に存在し、第2の特徴部  $j w 2$  と第2の特徴部  $k w 2$  とが同一位置に存在し、第3の特徴部  $j w 3$  と第3の特徴部  $k w 3$  とも同一位置に存在するものと判定する。

[0155] さらに、変化導出部32は、第1乃至の第3特徴部  $j w 1 \sim j w 3$  と第1乃至の第3特徴部  $k w 1 \sim k w 3$  との各頂点の間隔と、湾曲している各方向との情報に基づいて挿入部7の移動方向と、移動量とを求める。すなわち、移動方向については、第  $j$  の挿入部形状情報  $F_j$  と第  $k$  の挿入部形状情報  $F_k$  とを比較すると、挿入部7は、図18に示すように挿入部進行領域  $GR$  の分だけ観察対象物2の内部空間3に伸びていることが分かる。これにより、移動方向は、挿入部7の挿入方向となる。挿入部7の移動の量は、挿入部進行領域  $GR$  の長さと同程度の長さに対して第1乃至の第3特徴部  $k w 1 \sim k w 3$  までの長さの差を加えた長さとなる。なお、挿入部7の移動量の求め方については、上記第2の実施の形態における挿入部7の移動量の求め方と同様に求めることが可能である。さらに、上記第2の実施の形態における挿入部7の形状を未然に推定する手法と同じ手法を用いて未然形状情報  $M$  を推定できる

[0156] これにより、作業者が現在の操作を継続したときに、次のタイミングで起こり得る挿入部7の形状を未然に推定し、この推定した形状を作業者に挿入操作支援情報として表示部6等に表示して作業者に提供できる。この結果、従来の内視鏡システムと比較して訓練や技能向上に要する時間を短縮することができる。経験や技能レベルの低い作業者であっても比較的容易に挿入部7を観察対象物2の内部空間3に挿入、抜去することが可能となる。

特に、本実施の形態では、挿入部7の全体の形状が変化した場合であっても、挿入部7の形状が類似している類似形状領域  $LR$  を検出するので、次のタイミングで起こり得る挿入部7の形状を未然に推定することができる。

[第3の実施の形態]

次に、本発明の第３の実施の形態について図面を参照して説明する。なお、第１及び第２の実施の形態と同一部分には同一符号を付してその詳しい説明は省略する。

本実施の形態の上記第１及び第２の実施の形態と相違する点は、観察対象物２の内部空間３における内面プロファイルの少なくとも一部を推定する内面プロファイル情報推定部（以下、プロファイル推定部と称する）５０を含むところである。

[0157] 内面プロファイルは、観察対象物２の内部空間３の内表面の形状情報を示す。内視鏡をはじめとする挿入/抜去作業システムは、作業を行う観察対象物２が狭い内部空間３を含む場合が多い。挿入部７は、当該観察対象物２が狭い内部空間３の形状に沿って観察対象物２における内部空間３の奥方向に向かって進行し、作業を行う。

このため、挿入／抜去作業システムの挿入部７は、その一部が観察対象物２の内部空間３の内面と接触しながら作業者の操作によって奥方向に進行する。従って、挿入部７が観察対象物２の内面に接触しているところが推定できれば、観察対象物２の内面プロファイルをおおよそ推定することが出来る。観察対象物２の内面プロファイルが推定できれば、挿入部７の形状の未然の推定に活用することができる。これにより、作業者に内面プロファイル情報を提供することが可能となり、より容易に挿入／抜去作業システムが実現できる。

[0158] 図１９は支援情報ユニット２２の構成図を示す。支援情報ユニット２２の基本的な構成は、上記第１の実施の形態と同一である。本実施の形態における支援情報ユニット２２は、観察対象物２のプロファイル推定部５０を含む。すなわち、支援情報ユニット２２は、形状算出部３０と、形状センサ制御部３１と、変化導出部３２と、未然形状推定部３３と、操作推定部３４とに加え、観察対象物２のプロファイル推定部５０を含む。

プロファイル推定部５０は、変化導出部３２からの情報を受けて観察対象物２の内面プロファイル情報ＦＤを推定し、当該内面プロファイル情報ＦＤ

を未然形状推定部 33 に送る。内面プロファイル情報 F D は、支援情報として表示部 6 を経由して作業者に情報提供されることも可能である。

[0159] 次に、上記の如く構成された支援情報ユニット 22 の動作について説明する。

支援情報ユニット 22 の基本的な動作は、上記第 1 と第 2 の実施の形態と同一であり、相違する部分について説明する。

プロファイル推定部 50 は、変化導出部 32 からの情報に基づいて観察対象物 2 の内面プロファイルを推定する。プロファイル推定部 50 は、未然プロファイル情報メモリ 50 a を含む。未然プロファイル情報メモリ 50 a には、観察対象物 2 の内面プロファイルに関する未然情報が予め記憶されている。

[0160] プロファイル推定部 50 は、未然プロファイル情報メモリ 50 a に予め記憶されている観察対象物 2 の内面プロファイルに関する事前情報を用いて観察対象物 2 の内面プロファイルを推定する。

[0161] [プロファイル推定部 50 の動作]

プロファイル推定部 50 は、変化導出部 32 からの情報について下記第 1 ～第 5 の機能のように観察対象物 2 の内面プロファイルを推定する。

(第 1 の機能)

挿入部 7 の全体の形状は時間的に変化しているにも拘わらず、部分的に同じ形状の領域が存在する場合がある。この場合、挿入部 7 の同じ形状の領域は、観察対象物 2 の内部空間 3 の内面形状に倣った形状となっているためであると仮説を立て、内面プロファイルとほぼ近い形状を現していると推定する。

(第 2 の機能)

特徴部の位置関係、例えば、第 j の挿入部形状 F j における第 1 乃至第 3 の特徴部 j w 1 ～ j w 3 の相対的な位置関係と、第 k の挿入部形状 F k における第 1 乃至第 3 の特徴部 k w 1 ～ k w 3 の相対的な位置関係とが等しい場合、挿入部 7 は、観察対象物 2 内部空間 3 における同じ位置にあり、例えば

各特徴部  $j w 1 \sim j w 3$  である頂点（外側）は、観察対象物 2 の内部空間 3 の内面に接していると推定する。

（第 3 の機能）

上記第 2 の機能と同様に、各特徴部の位置関係が等しい場合であって、各特徴部  $j w 1 \sim j w 3$  の間の領域が凸状になっている場合は、当該領域も観察対象物 2 の内部空間 3 の内面と接していると推定する。

（第 4 の機能）

複数の不連続な内面プロファイル領域について、滑らかに接続することが可能な場合にはこれを根拠として内面プロファイルを推定する。

（第 5 の機能）

推定した複数の内面プロファイルが滑らかにつながらない場合は、優先順位を第 1 の機能、第 2 の機能、第 3 の機能、第 4 の機能の順とし、下位のものについては内面プロファイルを推定できない場合としてこの推定による情報を削除する。

[0162] 次に、プロファイル推定部 50 の動作について説明する。この動作の説明では、上記第 1 と第 2 の実施の形態で説明した例について内面プロファイルを推定する一例について上記図 5 に示す第 1 の実施の形態の例を用いて説明する。なお、事前情報として、観察対象物 2 は、生体の臓器であることが与えられているとする。観察対象とする臓器は、挿入部 7 の押圧力により観察対象物 2 内をある程度移動可能であることが与えられているとする。これらの事前情報は、プロファイル推定部 50 の未然プロファイル情報メモリ 50 a に記憶されているものとする。さらに、臓器は、例えば大腸のように筒状の臓器であることが未然プロファイル情報メモリ 50 a に記憶されているものとする。

[0163] このような場合のプロファイル推定部 50 による内面プロファイル推定のプロセスについて説明する。

プロファイル推定部 50 は、第 1 の機能により形状不変化領域  $K E 2 a$ 、 $K E 2 b$  の周囲に内面プロファイルを推定する。

次に、プロファイル推定部50は、第3の機能により形状変化領域KE1の湾曲の頂点（外側）の内面プロファイルを推定する。

最後に、プロファイル推定部50は、観察対象物2が筒状であるという情報から湾曲の頂点の内側のプロファイルを推定する。この例の場合、プロファイル推定部50は、挿入部7が存在している領域の全体について内面プロファイルを推定することが可能である。なお、挿入部7の先端側の形状不変化領域KE2bでは、観察対象物2の内壁が移動しており、これに伴って内面プロファイルも変化している。

[0164] 次に、上記図15に示す第2の実施の形態の例を用いて説明する。この例では、観察対象物2の内面プロファイルに関する情報は、未然プロファイル情報メモリ50aに記憶されていないものと仮定する。この場合、図21に示すように挿入部7の全体の内面プロファイルを推定することは出来ない。

プロファイル推定部50は、第2の機能により3箇所の凸部について、観察対象物2の内面に接しているものと仮定して内面プロファイルを推定する。

これと共に、プロファイル推定部50は、第3の機能により挿入部7における挿入部類似形状領域LRの凸方向の側面について、挿入部7が観察対象物2の内面に接触しているものと仮定し、内面プロファイルを推定する。

[0165] さらにプロファイル推定部50は、第4の機能によって、第1の機能による推定と第3の機能による推定とにより不連続な部分が滑らかに繋がりそうな領域（例えば、図21上部に点線により示す内面プロファイルPN）を接続して内面プロファイルの推定可能な領域を拡大する。なお、この例では、内面プロファイルを挿入部7の全体に亘って推定することは出来ないが、筒状を仮定したりすることで、推定できない部分についても情報提供、表示等行うことも可能である。推定した対象物内面プロファイル情報FDは、情報記憶部35に記憶される。又、対象物内面プロファイル情報FDは、表示部6に出力されることも可能である。

[0166] さらに、上記図 1 8 に示す第 2 の実施の形態の例を用いて説明する。この例についても観察対象物 2 の内面プロファイルに関する情報は未然プロファイル情報メモリ 5 0 a に記憶されていないものと仮定する。この場合、図 1 5 に示す例と同様に全体の内面プロファイルを推定することは出来ず、第 2 の機能により特徴部の相対的な位置関係が略等しいことを利用し、観察対象物 2 に対し同じ領域にあると推定できる。このとき、第 1 の特徴部  $j w 1$  と第 2 の特徴部  $j w 2$  の間、及び第 2 の特徴部  $j w 2$  と第 3 の特徴部  $j w 3$  との間の領域は、同図右側に若干凸形状となっている。これにより、第 3 の機能により当該領域についても図 2 2 に示すように内面プロファイルを推定できる。

[0167] さらに、第  $j$  の挿入部形状  $F_j$  では、第 2 の特徴部  $j w 1$  と第 3 の特徴部  $j w 3$  との間の領域は図右下側に凸であるが、第  $k$  の挿入部形状  $F_k$  では、第 2 の特徴部  $k w 1$  と第 3 の特徴部  $k w 3$  若干左上側に凸形状となっている。従って、当該領域の左上側のプロファイルについては、第  $j$  の検出時挿入部形状  $F_j$  では内面プロファイルを推定できないが、第  $k$  の挿入部形状  $F_k$  を用いることで第 3 の機能により内面プロファイルを推定できる。

[0168] なお、一旦、内面プロファイルが推定できた領域であっても、その後、挿入部 7 の形状変化により推定できない領域に変化することがある。このような場合、観察対象物 2 の内面が出現したり消滅したりするとは考えにくいので、内面プロファイルは存在するものとしてプロファイル推定部 5 0 は、動作を継続する。

[0169] さらに、本実施の形態では、挿入／抜去作業システムは内視鏡装置として、プロファイル推定部 5 0 は、当然内視鏡装置に含まれる撮像素子 7 d から出力される撮像信号を画像処理することによって観察画像を取得し、この観察画像などを用いて内面プロファイル情報を推定することが可能である。例えば、プロファイル推定部 5 0 は、観察画像から観察対象物 2 の内面が広い空間であるのか、筒状であるのかを知ることが可能である。プロファイル推定部 5 0 は、これらの情報を元に自動または作業からの入力により内

面プロファイル情報の信頼度を向上することができる。

プロファイル推定部50は、上述のプロセスにより推定した内面プロファイル情報FDを情報記憶部35に記憶し、かつ未然形状推定部33に出力する。また、表示部6に出力することも可能である。

[0170] 〔未然形状推定部33の動作〕

未然形状推定部33の動作について、上記図5、図20に示した第1の実施の形態で用いた例を用いて説明する。

図20は、第j、kの挿入部形状情報Fj、Fkに対応する観察対象物2の内部空間3の内面プロファイルG2j、G2kを示す。

前述の通り、観察対象物2は、例えば大腸のような筒状の内面プロファイルを有している。観察対象物2の内部を移動可能であることの情報が未然プロファイル情報メモリ50aに記憶されている。

[0171] 図20に示す通り、第jの挿入部形状Fjと第kの挿入部形状Fkとの間に挿入部7の先端側において観察対象物2の内面プロファイルG2j、G2kは大きく変形している。この内面プロファイルG2j、G2kの変形は、挿入部7からの押圧力によるものである。又、生体内で臓器が移動可能であっても、臓器には移動の限界がある。これにより、挿入部7に同じ押圧力を加えたとき、挿入部7は、同じだけ変形することではなく、徐々に変形量は小さくなることが予想される。なお、GF1は、第1の機能により推定された内面プロファイルを示し、GF2は、第3の機能により推定された内面プロファイルを示す。

[0172] これらの情報を考慮し、未然形状推定部33は、上記第1の実施の形態の上記図10、図11及び図12に示した第hのタイミング信号Thの発生時の未然挿入部形状情報Mと比較してその変形例は小さいものと推定する。

このとき、観察対象物2の内面が移動できる距離や移動に必要な応力などの情報が予め未然プロファイル情報メモリ50aに記憶されている場合、未然形状推定部33は、当該情報を用いて適切な物理的な演算を行って未然挿入部形状情報Mを推定する。推定した未然挿入部形状情報Mは、情報記憶部

35に記憶される。

[0173] なお、上記説明では観察対象物2の内面プロファイルG2j、G2kが移動可能である例を示したが、例えば工業配管などのように移動不可能であることが未然プロファイル情報メモリ50aに記憶されている場合、未然形状推定部33は、観察対象物2の内面プロファイルG2j、G2kが移動しないものとして推定された内面プロファイルの内部にのみ挿入部7が存在しえるものとして未然挿入部形状情報Mを推定する。

[0174] このように第3の実施の形態のように構成することで、作業者が現在の操作を継続したときに、次のタイミングで起こり得る挿入部7の形状を未然に推定し、これを作業者に挿入操作支援情報として表示・提供することが可能となる。この結果、本実施の形態は、従来の内視鏡システムと比較して訓練や技能向上に要する時間を短縮したり、経験や技能レベルの低い作業者であっても比較的容易に内視鏡を挿入、抜去することが可能となるなどの効果が期待できる。

[0175] 特に、本実施の形態のように観察対象物2の内面プロファイルG2j、G2kを推定可能とすることで、観察対象物2の内部空間3の構造情報や、観察対象物2と挿入部7との位置関係などを情報提供可能となるため、作業者はその時々を情報を直感的に把握し易いなどの効果を奏する。

[第3の実施の形態の第1の変形例]

次に、第3の実施の形態の第1の変形例について説明する。

図23は本変形例の支援情報ユニット22の構成図を示す。上記実施の形態では、プロファイル推定部50を含む例について示したが、本変形例における支援情報ユニット22は、図23に示すように観察対象物2の負荷推定情報を推定する観察対象物負荷推定部（以下、負荷推定部と称する）60を含むところが上記第3の実施の形態と相違する。

負荷推定部60は、プロファイル推定部50からの内面プロファイル情報FDと、検出時挿入部形状推定部30からの挿入部形状情報Fと、操作推定部34からの作業者操作情報Lと、および/または未然形状推定部33からの

未然挿入部形状情報Mとを組み合わせることで観察対象物2に加わる負荷を観察対象物負荷推定情報KGとして推定する。

[0176] 内面プロファイル情報FDと挿入部形状情報Fとを組み合わせる例について説明する。この例では、観察対象物2は、挿入部7に対して十分に硬く、観察対象物2の内面プロファイルは変形しないものとする。

まず、図24に示すように第jの挿入部形状F<sub>j</sub>であったものが第kの挿入部形状F<sub>k</sub>に変形したものとする。挿入部7は、外部から負荷が掛かっていない場合、おおよそ直線形状を維持する。第jの挿入部形状F<sub>j</sub>の場合、図24左図に示すように、挿入部7の先端部7aは、観察対象物2に接触することで押圧力F<sub>O</sub>が加わり、湾曲した形状となっている。

[0177] 次に、作業者がさらに挿入部7に対して押し込み方向の操作を行った結果、挿入部7は、第kの挿入部形状F<sub>k</sub>となった。このとき挿入部7は、少なくとも3箇所観察対象物2に接触することでこの形状となっている。

負荷推定部60は、支援情報ユニット22内の情報記憶部35に記憶されている挿入部7のたわみ易さやその形状となるために必要な押圧力などの情報を用いて適切な演算を行い、求められた押圧力の反力として、挿入部7が観察対象物2に掛けている押圧力を推定する。負荷推定部60が推定した観察対象物負荷情報KGは、情報記憶部35に記憶される。

[0178] さらに、観察対象物2が生体のように内面プロファイルが変形したり移動したりする場合であっても、観察対象物2の変形のしやすさや変形に必要な押圧力の情報などを情報記憶部35に記憶させることで、負荷推定部60は、同様の手法により観察対象物2に掛かる押圧力を推定することが可能となる。

このとき、負荷推定部60は、操作推定部34からの作業操作の情報である操作の種類、方向、量の情報を活用することで押圧力F<sub>O</sub>に影響を及ぼす直接的な操作を推定することが可能である。これにより、より押圧力F<sub>O</sub>の値やその影響などについての精度を向上することが出来る。

[0179] 又、さらに負荷推定部60は、未然挿入部形状情報Mを組み合わせること

も可能である。未然挿入部形状情報Mを用いた場合でも、プロファイル推定部50の基本的な動作は変わらないが、この情報を用いることで、未来のタイミングで観察対象物2に負荷される押圧力を未然に知ることが可能となる。

[0180] 本実施の形態の第1の変形例のように、観察対象物2に掛かる負荷（押圧力F0）を推定することで、観察対象物2に掛かっている押圧力F0等を推定することが可能となる。これにより、過去、現在または未来において観察対象物2への負荷を定性的、あるいは定量的に評価することが可能となる。さらに、観察対象物2が生体の場合、患者の受ける痛みや、臓器の破損の恐れなどを推定することが可能となり、医療用内視鏡などでは、患者の負荷軽減や臓器破損等のリスクを軽減することが可能となる。

なお、上記第1の実施の形態と同様に、従来の内視鏡システムと比較して訓練や技能向上に要する時間を短縮したり、経験や技能レベルの低い作業者であっても比較的容易に内視鏡を挿入、抜去することが可能となるなどの効果が期待できることは言うまでもない。

[0181] [第4の実施の形態]

次に、本発明の第4の実施の形態について図面を参照して説明する。なお、本実施の形態では、上記第1乃至第3の実施の形態と共通の部分についてはその説明を省略し、それとは相違する部分についてのみ詳細に説明する。

本実施の形態において操作推定部34は、未然作業者操作情報を推定する未然操作推定部34として機能するところが上記第1乃至第3の実施の形態とは相違する。以下、操作推定部34を未然操作推定部34として読み替えて説明する。

[0182] 上記第1及び第2の実施の形態では、操作推定部34は、挿入部形状情報Fに基づいて過去又は現在までに行われた作業者の操作を推定した。未然形状推定部33は、過去又は現在までに行われた作業者の操作がそのまま継続した場合のみを想定して事前（未然）挿入部形状情報Mを推定していた。

[0183] これに対し本実施の形態の未然操作推定部 34 は、未来に作業者が行う可能性のある作業者操作を未然に推定し、それを未然形状推定部 33 に向けて出力する。なお、未然操作推定部 34 以外の構成・機能は、基本的に上記第 1 乃至第 3 の実施の形態と共通である。

[0184] [未然操作推定部 34 の動作]

作業者操作情報推定部 34 は、上記第 1 の実施の形態で説明した動作により作業者操作情報 L を推定する。この作業者操作情報 L は、過去又は現在までに行われた作業者操作に関する情報である。作業者操作情報 L は、操作の種類、操作の方向、操作の量の情報を含む。

未然操作推定部 34 は、これらの作業者操作情報 L を入力し、未来の作業者操作である未然作業者操作情報 L (= L F) を推定する。未然操作推定部 34 は、作業者操作情報推定部 34 が含む形状変化情報 K A も受信し、当該情報 K A を用いて未然作業者操作情報 L F を推定する。

[0185] 作業者による操作は、第 1 に挿入/抜去のように挿入部 7 を観察対象部 3 の部内に対して挿入／抜去する操作、第 2 に回転／ひねり操作のように挿入部 7 を当該挿入部 7 の軸周りに回転させる操作、第 3 に湾曲操作のように操作ハンドル 11 による湾曲部の操作の 3 つの基本操作がある。すなわち、操作の種類は、第 1 の挿入／抜去に関する操作、第 2 の回転／ひねりに関する操作、第 3 の湾曲に関する操作の 3 つが存在する。また、これらの操作は、独立または同時に行うことが出来る。

[0186] あるタイミングにおける作業者の操作と、次のタイミングにおける作業者の操作との関係は、操作の種類、方向の観点でみると、操作の継続、停止、反転（同じ操作であって操作の方向が逆の操作）の 3 つがある。

未然操作推定部 34 は、操作推定部 34 から入力した作業者操作 L の種類、方向について、継続、停止、反転の 3 つの可能性を考慮して推定する。

また、未然操作推定部 34 は、操作の量についても同様に、継続（同じ量を継続する）、減量、増量の 3 つの可能性を考慮して推定する。ここで操作の量でも「操作量ゼロ＝停止」もある。当該操作量ゼロ＝停止は、操作の種

類、方向で考慮する停止と同じであるので、操作の量はゼロとして考慮する。

[0187] 未然操作推定部34は、これらを踏まえて、操作の種類、方向については以下の3つのパターンを想定して未然に作業者の操作を推定する。なお、作業者操作は単純な操作とそれらの組み合わせの操作が考えられる。例えば挿入しながらひねりを加えるなどのような複合的な操作の場合、挿入とひねりとのそれぞれの操作ごとに、下記第1から第4の未然作業者操作を候補として推定する。

(1) 第1の未然作業者操作

この操作では、過去又は現在までに行われた操作の種類、方向、量をそのまま継続するとして推定する。未然操作推定部34は、操作推定部34から受け取った作業者操作情報Lをそのまま未然形状推定部33に向けて出力する。

(2) 第2の未然作業者操作

この操作では、過去又は現在までに行われた操作を停止するものとして推定する。

(3) 第3の未然作業者操作

この操作では、操作の種類は維持したまま方向を反転させる操作を行うものとして推定する。

(4) 第4の未然作業者操作

この操作では、現在行っていない操作を新たに開始するとして推定を行うものである。

操作の量について、第2の未然作業者操作では「停止」のために、操作量の情報は常にゼロとなる。第4の未然作業者操作では常に増量となる。さらに、第3の未然作業者操作では方向が反転するということは、一旦減量し、その後反転方向、すなわちマイナス方向に増量することになるため、常に減量ということになる。

[0188] このように第1から第4の未然作業者操作に対応して操作量の選択肢を絞

り込むことが出来る。

未然操作推定部 34 は、これらについて、過去および現在までの最新の作業操作を含む 1 つ又は複数の作業操作情報に基づいて未然作業操作情報 L (= L F) を推定する。

[0189] 未然操作推定部 34 は、第 1 乃至第 4 のいずれの未然作業操作を行うかを推定する。

先ず、作業者が同じ操作を連続的に行っており、かつ形状変化情報 K A より観察対象物 2 への挿入／抜去の操作が順調に進行していると判断できる場合、すなわち作業操作の方向と量が挿入部 7 の移動方向、量と略等しいような場合、未然操作推定部 34 は、同様の作業が継続する可能性が高いと判断する。すなわち、未然操作推定部 34 は、第 1 の未然作業操作が行われる可能性が高いと推定する。

[0190] 一方、作業者が頻繁に操作を変更しており、かつ形状変化情報 K A より観察対象物 2 への挿入／抜去の操作が順調には進行していないと判断できる場合、例えば作業操作の方向、量と比べ挿入部 7、特に先端部付近の移動方向、量が異なるかほとんど移動していない場合、未然操作推定部 34 は、同様の作業が継続する可能性が低く、一旦停止し、次に異なる方向の操作が行われる可能性が高いと推定する。すなわち、未然操作推定部 34 は、第 2 の未然作業操作が行われた後、第 3、第 4 の未然作業操作が行われるものと推定する。

[0191] さらに、同じ作業操作が一定時間以上長時間にわたって連続している場合、特に操作量が徐々に減量しているようなはその操作の目的が達成できたと考えられる。これにより、未然操作推定部 34 は、第 2 の未然作業操作が行われた後、第 3、第 4 の未然作業操作が行われるものと推定する。

操作の量について未然操作推定部 34 は、同じ操作を継続する場合、その操作が始められた後、所定時間以下の場合には増量する可能性が高いと推定する。未然操作推定部 34 は、所定時間以上継続されている場合、維持か又は減量する可能性が高いと推定する。また、同様に、第 3 又は第 4 の未然作業

者操作の場合、未然操作推定部 34 は、必ず増量することになるが、その量の大きさ事態は急激に大きな値になる可能性は小さいと推定する。

[0192] さらに、作業者の作業時間そのものが長時間となっている場合（内視鏡システムは当然時計を持っていて、作業している時間は管理可能なため、この情報を用いることは通常可能である。）、未然操作推定部 34 は、抜去方向の操作を行う可能性が高いなど、状況的な情報も活用して未然作業者操作を推定する。

[0193] さらに、未然操作推定部 34 は、同様の観察対象物 2 を観察した場合の過去の支援情報ログの分析結果などから、ある操作に対し次に行われる可能性の高い操作などを、観察対象物 2、作業者、内視鏡装置等ごとに分析し、当該分析結果を用いて未然作業者操作情報を推定する。ここで言う支援情報ログとは、支援情報ユニット 22 を用いた挿入抜去作業システムの作業において、各部が受信、生成した様々な情報を情報記憶部に記憶させ、どのような作業、操作が行われたかを後から振り返ることが出来るシステムである。

支援情報ログは、目的に応じて必要なログのみを抽出可能で、挿入操作の手順と、挿入/抜去の成否などを解析可能となっている。支援情報ログは、支援情報ユニット 22 内に設けられ、各部と信号接続されたメモリとそれと呼び出すためのデータ処理プログラムを有している。また、支援情報ユニット 22 は支援情報ログを表示部に表示させることが可能となっている。

[0194] なお、未然作業者操作の場合、操作量を正確に推定することは困難である。このため、その操作における標準的な操作量をデフォルト値として保持し、それを出力するように構成することも好適である。デフォルト値についても、支援情報ログの値を参照して設定したり、その値から適宜補正することも可能である。

[0195] ここで、上記については、挿入/抜去操作、回転/ひねり操作、湾曲操作の 3 つの基本操作をそれぞれ独立に未然作業者操作を推定する例を示したが、これらを複合的に行う組み合わせ操作ももちろん存在する。例えば、ひねりながら挿入/抜去を行ったりする場合がある。このような組み合わせは理論的

には全て可能であるが、実際の作業では、挿入しながらひねりを加え、さらに湾曲操作を行うなどの操作は極まれである。

[0196] また、組み合わせ操作よりも単独で操作を行うほうが一般的である。このため、未然操作推定部34は、作業者の支援情報ログからの情報や、特定の医学的な手技などを行うと推定される場合など、組み合わせ操作が行われる可能性が高いと判断される場合に、組み合わせ操作についても考慮して推定を行う。推定した未然作業情報情報は情報記憶部に記憶される。

又、未然操作推定部34は、未然形状推定部33に対し、複数の未然作業操作情報L(=LF)を並行して出力する機能を有している。これは、未然作業操作情報L(=LF)は、実際の作業者の操作ではないため、作業者が当然異なる操作を行う可能性がある。そこで、起こり得る可能性の高い順に複数の未然作業操作情報L(=LF)を未然形状推定部33に出力することで、起こりそうな複数の未然挿入部形状を未然形状推定部33が推定可能にする。このとき、未然操作推定部34は、上述したような様々な情報、状況を考慮し、起こりそうな順に未然作業操作情報L(=LF)を順位付けし、その順に沿って未然形状推定部33に出力する。順位付けが難しい場合や情報が不足する場合は、上述の第1の未然作業操作情報から第2、第3、第4の未然作業操作情報L(=LF)の順に出力する。

[0197] これを受け、未然形状推定部33は、入力した全ての未然作業操作情報L(=LF)に基づいて未然挿入部7形状を推定する。未然作業操作情報L(=LF)は、作業操作情報Lと同じ種類の情報となっている。このため、未然形状推定部33は、未然作業操作情報L(=LF)に対し、作業操作情報Lと同じ動作を行う。

本実施の形態のように構成することで次のタイミングで起こり得る挿入部7の形状を未然に推定し、これを作業者に挿入操作支援情報として表示・提供することが可能となる。この結果、従来の内視鏡システムと比較して訓練や技能向上に要する時間を短縮したり、経験や技能レベルの低い作業者であっても比較的容易に内視鏡を挿入、抜去することが可能となるなどの効果が

期待できる。

[0198] 特に、本実施の形態のように作業者がこれから行うであろう操作を未然作業操作情報 $L$ （= $L F$ ）として推定し、この情報 $L$ （= $L F$ ）に基づいて未然挿入部形状を推定可能とすることが可能となり、未然挿入部 $7$ 形状の起こり得る形状バリエーションを導出、作業者に提供することが可能となる。また、個々の未然挿入部形状の推定を、現在の操作の継続以外についても実施可能となるなど、作業者にとってより有効な情報提供が可能となる。

[0199] なお、本発明は、上記各実施の形態に限定されるものでない。

形状センサ $8$ は、光ファイバセンサを用いてきたが、これに限らない。

観察対象物 $2$ の内部での挿入部 $7$ の形状を検出可能なものであれば、どのようなものでもかまわない。例えば、複数の磁気コイルを挿入部 $7$ 内に配置し、外部に磁気アンテナを配置したものでもかまわない。この場合、アンテナとの絶対的な位置が確認できるため、後述するように挿入量センサを用いる必要がない。

[0200] X線カメラを用いてもかまわない。医療用内視鏡の場合、X線カメラで生体内部での挿入部 $7$ の形状、生体との相対位置を確認する手技は古くから知られている。この場合、生体内の臓器の位置、形状などもおおよそ確認できるため、観察対象物 $2$ の内面プロファイルの精度や確度の向上にもつなげることが出来る。なお、X線カメラの場合、1台のみを用いると2次元データしか得られない。この場合、上述した構成、動作を2次元的に処理することで対応することが出来る。3次元情報の場合と比較して情報量は減るが、一定程度の効果を奏することが期待できる。

[0201] また、上述した全ての実施形態において、内視鏡に搭載するセンサは、形状センサとしての光ファイバセンサ $8$ のみの例を示したが、これに限らない。例えば、図25に示すように、内視鏡の能動湾曲部 $7b$ の湾曲操作を検出するために操作ハンドル $11$ の操作量を直接検出できる操作量センサ $70$ を観察対象物 $2$ の挿入開口 $2a$ に設置し、かつ挿入部 $7$ の挿入抜去の操作の方向、量を検出できる挿入量センサ $71$ を設置し、これら操作量センサ $70$ と

挿入量センサ 71 とを組み合わせることが出来る。これらのセンサ 70、71 からの出力を用いることで、操作推定部 34 が行っていた推定の一部を直接検出することが可能となる。

[0202] また、未然操作推定部 34 が操作量センサと挿入量センサとからの出力結果を用いて未然作業操作情報を推定することで、未然作業操作情報の確度、精度を向上することが可能となる。

さらに、上述した実施形態では、異なる部分については置き換える例を示したが、これに限らない。例えば、第 1 の実施の形態から第 2 の実施の形態の変形例までで説明した変化導出部 32 の機能を一つの挿入部時間変化導出部に組み込んで使用時において選択可能としてもかまわないし、状況に応じて適切な手法を自動的に選定するように構成してもかまわない。同様に上述した全ての実施の形態の構成を一つの挿入／抜去作業システムに搭載し、それぞれの機能を選択可能としたり、同時に推定、表示可能とすることも可能である。

[0203] 上述の実施形態、およびその変形例では、内視鏡を題材に例示してきたが、これに限らない。可撓性を有する挿入部 7 を管孔内に挿入し、所望の作業を行うような挿入／抜去作業システム全てに対し、本発明は好適である。例えば、内視鏡の鉗子チャネルに挿入して処置を行う処置具や鉗子、血管やリンパ管内に挿入して様々な処置を行うカテーテル、さらには工業配管のメンテナンスを行う工業用の様々な観察／補修デバイスなどは特に好適である。これらの挿入／抜去作業システムの一部は能動操作を行う機能を有していない場合がある。その場合は作業操作情報は“湾曲操作”を持たないが、それ以外は上述した説明とほぼ同じ手法、動作、機能により目的を達成することが出来る。

なお、これまで述べてきた実施形態およびその変形例は一例に過ぎず、その趣旨を逸脱しない範囲で様々な変形が可能である。

## 符号の説明

[0204] 1：内視鏡システム、2：観察対象物、2a：挿入開口、3：内部空間（

空洞)、4:内視鏡本体部、5:内視鏡スコープ部、6:表示部、7:内視鏡挿入部(挿入部)、7a:挿入部の先端部、7b:能動湾曲部、7c:受動湾曲部、7d:撮像素子、7e:対物レンズ、8:形状センサ(光ファイバセンサ)、8a:光吸収体(湾曲形状検出部)、9:操作部、10:本体側ケーブル、11:操作ハンドル、12:鉗子チャンネル、13:照明部、21:ビデオプロセッサ、20:光源部、22:支援情報ユニット、23:形状センサユニット、24:ファイバセンサ用光源、25:光検出器、30:検出時挿入部形状算出部(形状算出部)、31:形状センサ制御部、32:挿入部形状時間変化導出部(変化導出部)、33:未然挿入部形状推定部(未然形状推定部)、34:作業者操作情報推定部(操作推定部)、34a:操作情報メモリ、35:情報記憶部、30a:湾曲情報メモリ、40:本体メモリ、50:内面プロファイル情報推定部(プロファイル推定部)、50a:未然プロファイル情報メモリ、60:観察対象物負荷推定部、70:操作量センサ、71:挿入量センサ。

## 請求の範囲

- [請求項1] 観察対象物の内部に挿入される可撓性を有する挿入部と、  
前記挿入部の湾曲状態を検出してその検出信号を出力する形状センサと、  
前記形状センサから出力された前記検出信号から取得される情報に基づいて所定の時間経過後の前記挿入部の形状を未然に推定し、未然推定形状情報として出力する未然挿入部形状推定部と、  
を具備することを特徴とする未然形状推定装置。
- [請求項2] 前記形状センサから出力された前記検出信号に基づいて前記挿入部の形状情報を算出し、当該挿入部形状情報を、前記検出信号から取得される前記情報として出力する挿入部形状算出部を含むことを特徴とする請求項1に記載の未然形状推定装置。
- [請求項3] 前記挿入部は、前記観察対象物の内部の表面を観察するための内視鏡の挿入部を含むことを特徴とする請求項1に記載の未然形状推定装置。
- [請求項4] 前記挿入部形状算出部によって互いに異なる各時刻に算出された前記各挿入部形状情報を比較し、当該比較結果に基づいて前記挿入部の形状変化を示す形状時間変化情報を導出する形状時間変化導出部を含み、  
前記未然挿入部形状推定部は、前記形状時間変化導出部により導出された前記形状時間変化情報と前記挿入部形状算出部により算出された前記挿入部形状情報とに基づいて前記未然推定形状情報を出力する、  
ことを特徴とする請求項2に記載の未然形状推定装置。
- [請求項5]  $n$ を2以上の自然数とし、 $j$ 、 $k$ をそれぞれ互いに異なる $n$ 以下の自然数とし、かつ当該 $j$ と $k$ との大小関係を $j < k$ とし、  
前記形状センサに対して、前記挿入部の形状の検出タイミングを示す第1乃至第 $n$ のタイミング信号を出力する形状センサ制御部を含み

、

前記挿入部形状算出部は、前記形状センサ制御部から出力された前記第1乃至第nのタイミング信号に含まれる第jと第kとの各タイミング信号に対応して前記形状センサから出力される前記検出信号に基づいて第jの挿入部形状情報と第kの挿入部形状情報とを算出し、

前記形状時間変化導出部は、前記挿入部形状算出部により算出された前記第jの挿入部形状情報と前記第kの挿入部形状情報とを比較し、前記第jのタイミング信号の出力時から前記第kのタイミング信号の出力時までの前記挿入部形状時間変化情報を求める、  
ことを特徴とする請求項4に記載の未然形状推定装置。

[請求項6] 前記形状時間変化導出部は、前記第jの挿入部形状情報と前記第kの挿入部形状情報とを比較して前記挿入部において形状が変化している形状変化領域を抽出し、かつ当該形状変化領域における前記挿入部の形状変化の種類、当該形状変化の方向、又は当該形状変化の量のうち少なくとも1つを導出し、前記挿入部形状時間変化情報として出力することを特徴とする請求項5に記載の未然形状推定装置。

[請求項7] 前記形状時間変化導出部は、前記第jの挿入部形状情報と前記第kの挿入部形状情報とを比較して前記挿入部において形状が殆ど変化していない形状不変化領域を抽出し、当該形状不変化領域が複数ある場合、当該各形状不変化領域の相対的な位置関係の変化に基づいて前記挿入部での形状変化の種類、当該形状変化の方向、又は当該形状変化の量のうち少なくとも1つを導出し、前記挿入部形状時間変化情報として出力することを特徴とする請求項5に記載の未然形状推定装置。

[請求項8] 前記挿入部形状時間変化情報に基づいて前記観察対象物の内部への前記挿入部の挿入操作を含む操作情報を推定する操作情報推定部を含み、

前記未然挿入部形状推定部は、前記操作情報に基づいて前記未然推定形状情報を推定する、

ことを特徴とする請求項4に記載の未然形状推定装置。

[請求項9]

$n$  を2以上の自然数とし、 $j$ 、 $k$  をそれぞれ互いに異なる  $n$  以下の自然数とし、かつ当該  $j$  と  $k$  との大小関係を  $j < k$  とすると、

前記形状センサに対して、前記挿入部の形状の検出タイミングを示す第1乃至第  $n$  のタイミング信号を出力する形状センサ制御部を含み、

前記挿入部形状算出部は、前記形状センサ制御部から出力された前記第1乃至第  $n$  のタイミング信号に含まれる第  $j$  と第  $k$  との各タイミング信号に対応して前記形状センサから出力される前記検出信号に基づいて第  $j$  の挿入部形状情報と第  $k$  の挿入部形状情報とを算出し、

前記形状時間変化導出部は、前記挿入部形状算出部により算出された前記第  $j$  の挿入部形状情報と前記第  $k$  の挿入部形状情報とを比較し、前記第  $j$  のタイミング信号の出力時から前記第  $k$  のタイミング信号の出力時までの前記挿入部形状時間変化情報を求め、

前記操作情報推定部は、前記挿入部の形状変化が前記挿入部の挿入操作を受けて為されたものと仮定し、前記第  $j$  のタイミング信号の発生時から前記第  $k$  のタイミング信号の発生時までの期間中における前記挿入部の前記形状変化の種類、当該形状変化の方向、又は当該形状変化の量のうち少なくとも1つを推定する、

ことを特徴とする請求項8に記載の未然形状推定装置。

[請求項10]

前記形状時間変化情報に基づいて前記観察対象物の内表面の形状情報を示す内面プロファイル情報の少なくとも一部を推定する観察対象物内面プロファイル情報推定部を含み、

前記未然挿入部形状推定部は、前記観察対象物の前記内面プロファイル情報に基づいて前記未然推定形状情報を推定する、

ことを特徴とする請求項4に記載の未然形状推定装置。

[請求項11]

前記操作情報推定部は、前記操作情報に基づいて今後に行われる前記挿入部への操作情報を未然に推定する未然操作情報推定部を含み、

前記未然挿入部形状推定部は、前記未然操作情報推定部により推定された前記操作情報が行われたときの前記挿入部の形状を未然に推定する、

ことを特徴とする請求項 8 に記載の未然形状推定装置。

[請求項12] 前記形状センサは、前記挿入部に搭載され、光ファイバセンサ、又は磁気センサを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の未然形状推定装置。

[請求項13] 前記形状センサは、X線カメラ、又は外部カメラを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の未然形状推定装置。

[請求項14] 前記挿入部の形状を操作可能な操作ハンドルと、  
前記操作ハンドルの操作量を検出する操作量センサと、  
を含み、

前記操作情報推定部は、前記操作量センサにより検出される前記操作ハンドルの操作量に基づいて前記挿入部に対する前記操作情報を推定する、

ことを特徴とする請求項 8 に記載の未然形状推定装置。

[請求項15] 前記観察対象物の内部に前記挿入部を挿入するための入口部と、  
前記入口部に設けられ、前記観察対象物の内部への前記挿入部の挿入量を検出する挿入量センサと、  
を含み、

前記操作情報推定部は、前記挿入量センサにより検出された前記挿入部の挿入量に基づいて前記挿入部に対する前記操作情報を推定する、

ことを特徴とする請求項 8 に記載の未然形状推定装置。

[請求項16] 前記未然に推定される前記未然推定形状情報を記憶し、かつ必要に応じて前記未然推定形状情報を読み出し可能とする情報記憶部を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の未然形状推定装置。

[請求項17] 観察対象物の内部に挿入される可撓性を有する挿入部と、

前記挿入部の湾曲状態を検出してその検出信号を出力する形状センサと、

前記挿入部の湾曲操作を行うための操作部と、

前記形状センサから出力された前記検出信号から取得される情報に基づいて所定の時間経過後の前記挿入部の形状を未然に推定し、未然推定形状情報として出力する未然挿入部形状推定部と、  
を具備することを特徴とする挿入／抜去作業システム。

[請求項18]

観察対象物の内部に挿入される可撓性を有する挿入部と、

前記挿入部の湾曲状態を検出してその検出信号を出力する形状センサと、

前記挿入部を湾曲させるための操作部と、

前記形状センサから出力された前記検出信号から取得される情報に基づいて所定の時間経過後の前記挿入部の形状を未然に推定し、未然推定形状情報として出力する未然挿入部形状推定部と、

前記未然挿入部形状推定部から出力された前記未然推定形状情報を報知し、前記挿入部の前記観察対象物の内部への挿入／抜去を支援する作業支援部と、

を具備することを特徴とする挿入／抜去作業支援システム。

[請求項19]

観察対象物の内部に挿入される可撓性を有する挿入部の湾曲状態を形状センサにより検出してその検出信号を出力し、

前記形状センサから出力された前記検出信号から取得される情報に基づいて所定の時間経過後の前記挿入部の形状を未然に推定し、未然推定形状情報として出力する、

ことを特徴とする未然形状推定方法。

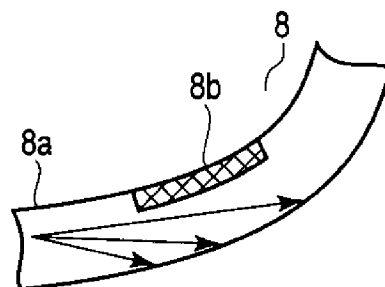
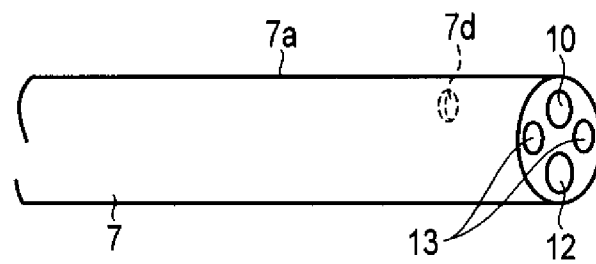
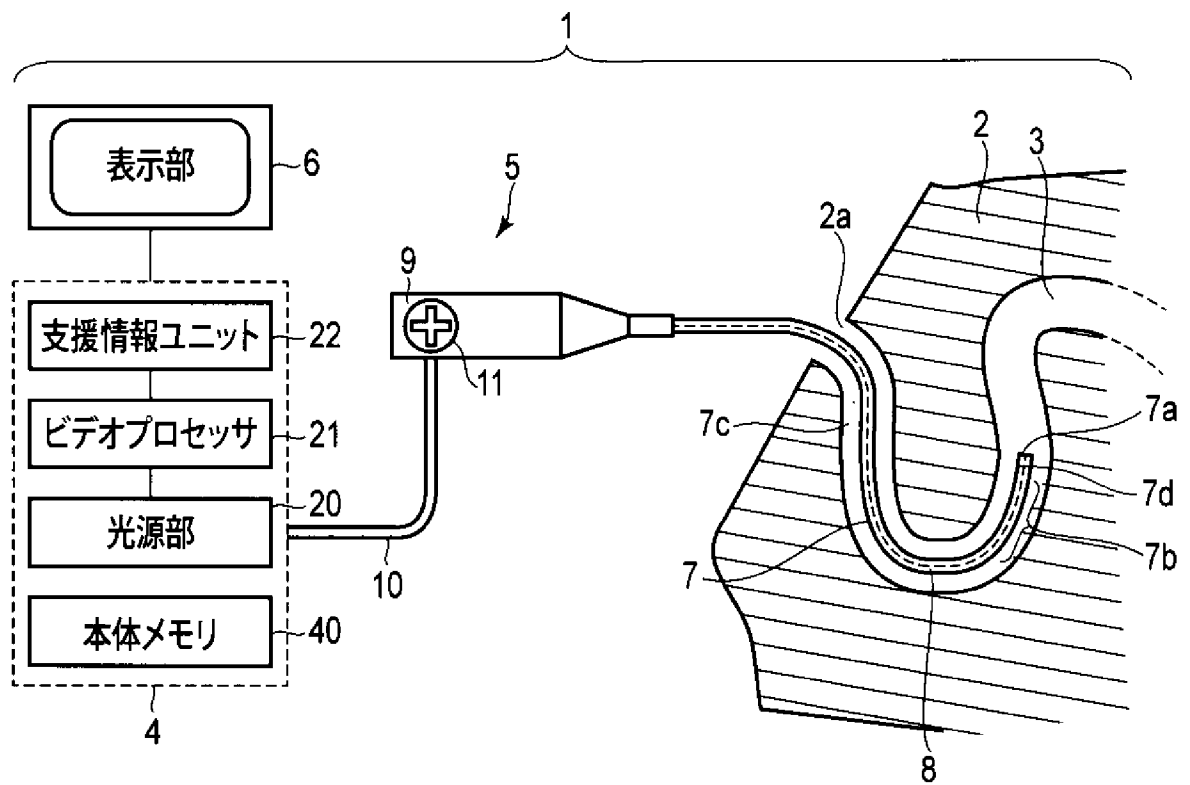
[請求項20]

コンピュータに、

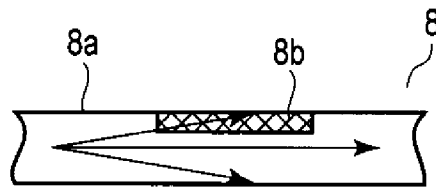
観察対象物の内部に挿入される可撓性を有する挿入部の湾曲状態を検出する形状センサから出力される検出信号を入力する入力機能と、

前記入力機能により入力した前記検出信号から取得される情報に基

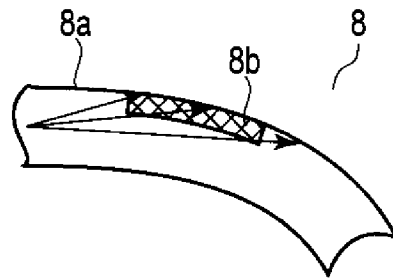
づいて所定の時間経過後の前記挿入部の形状を未然に推定し、未然推定形状情報として出力する未然挿入部形状推定機能と、  
を実現する未然形状推定プログラム。



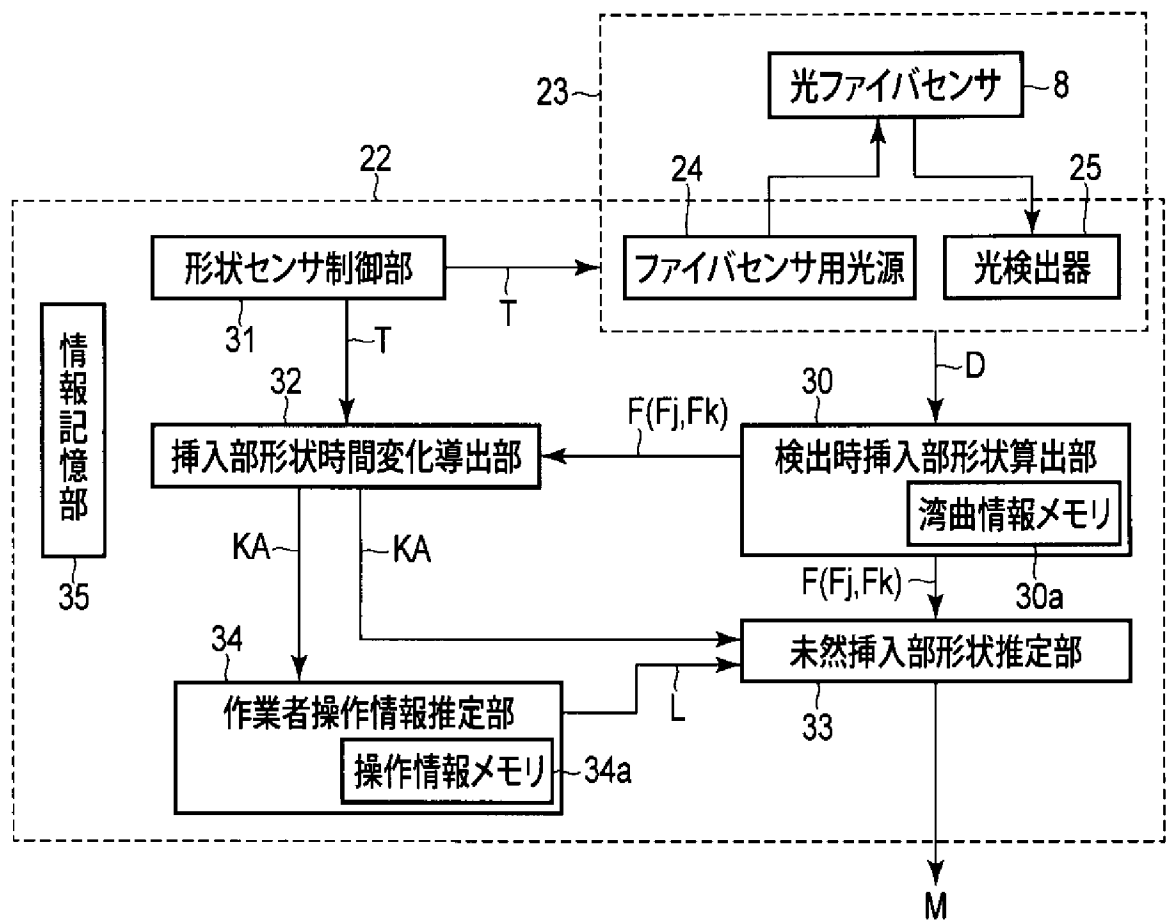
[図3B]



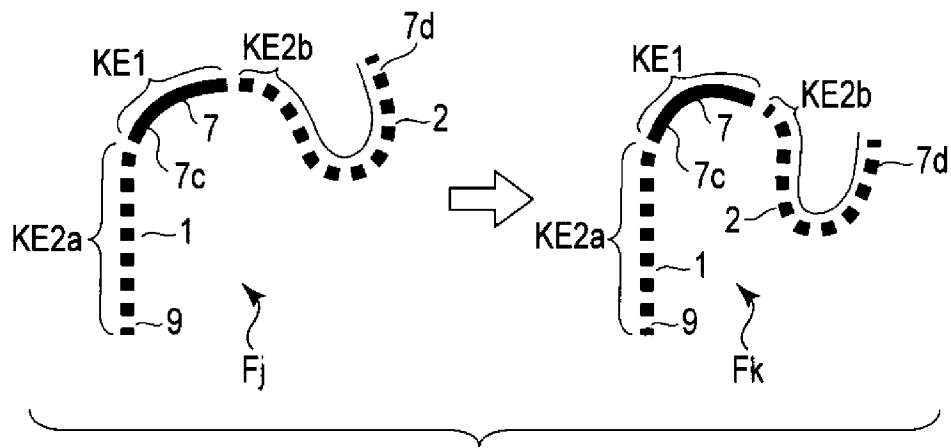
[図3C]



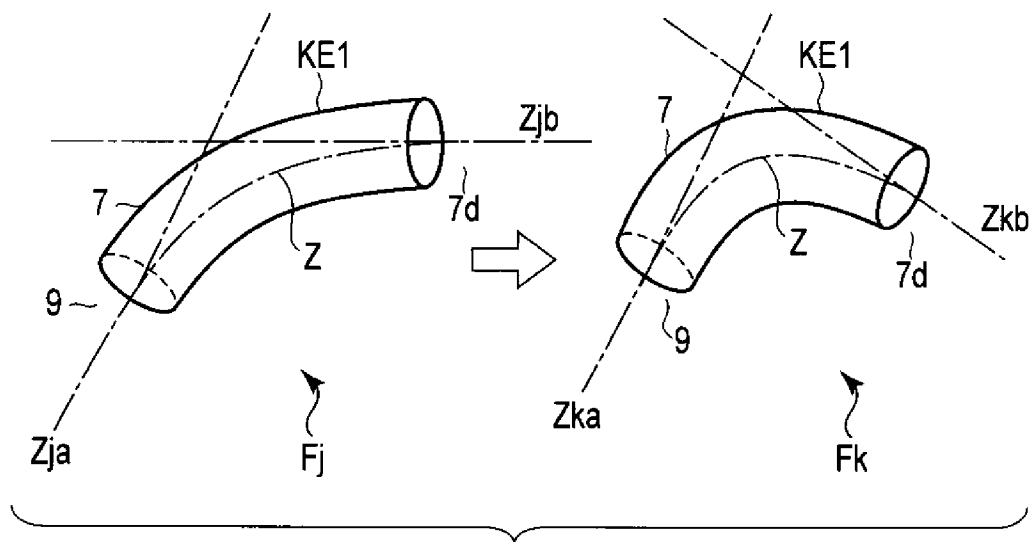
[図4]



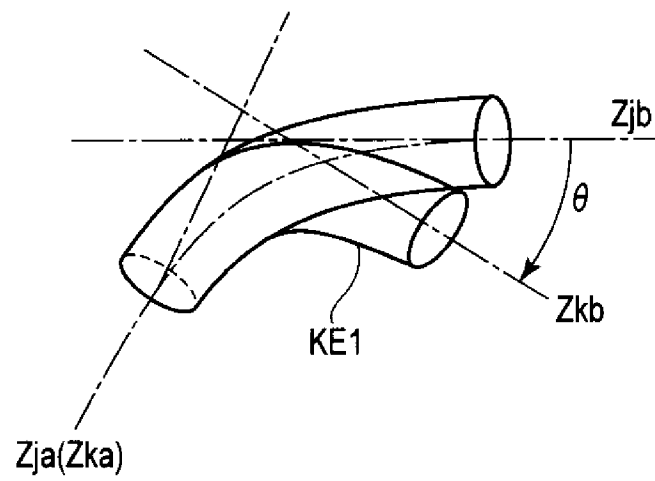
[図5]



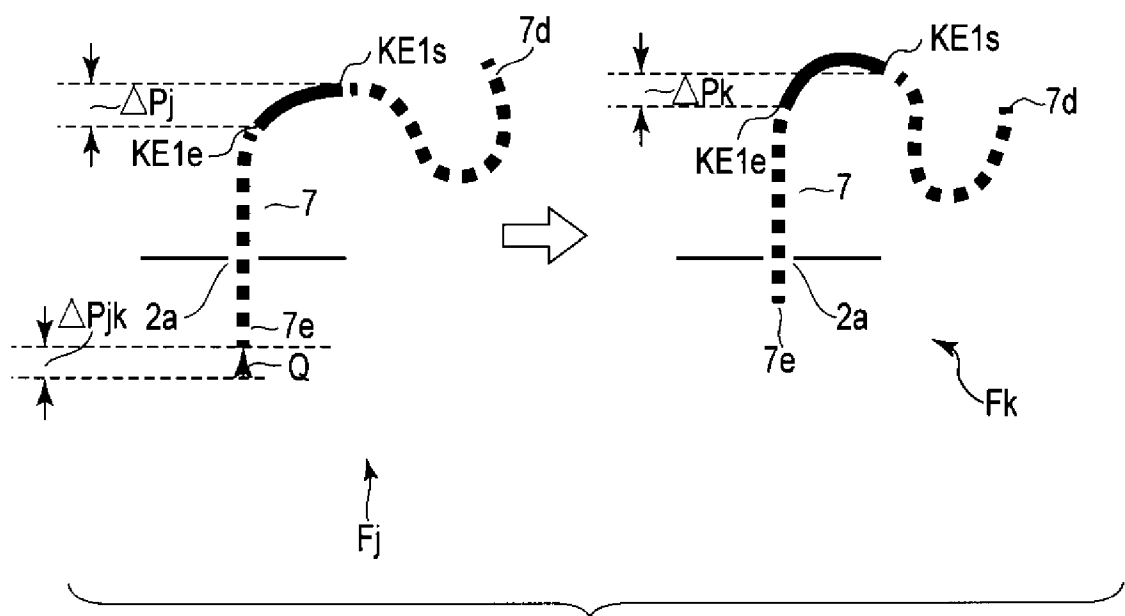
[図6]



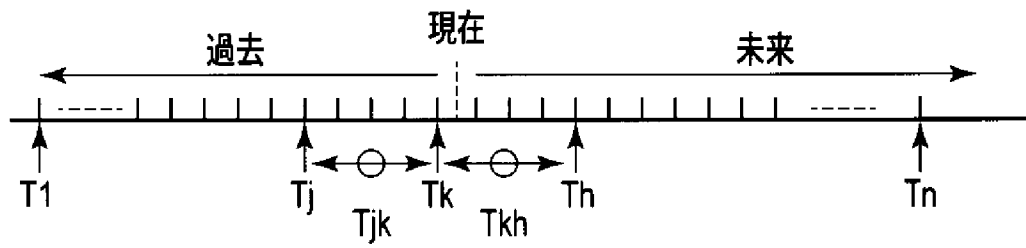
[図7]



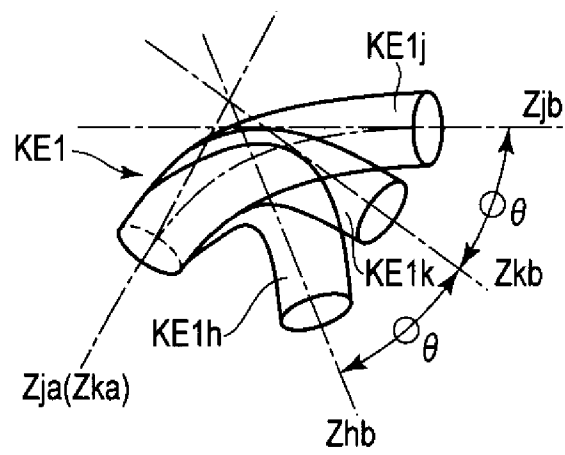
[図8]



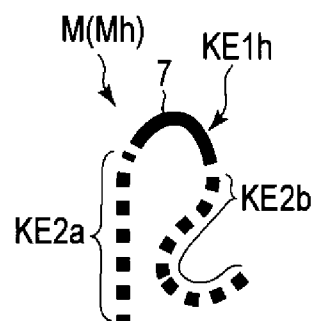
[図9]



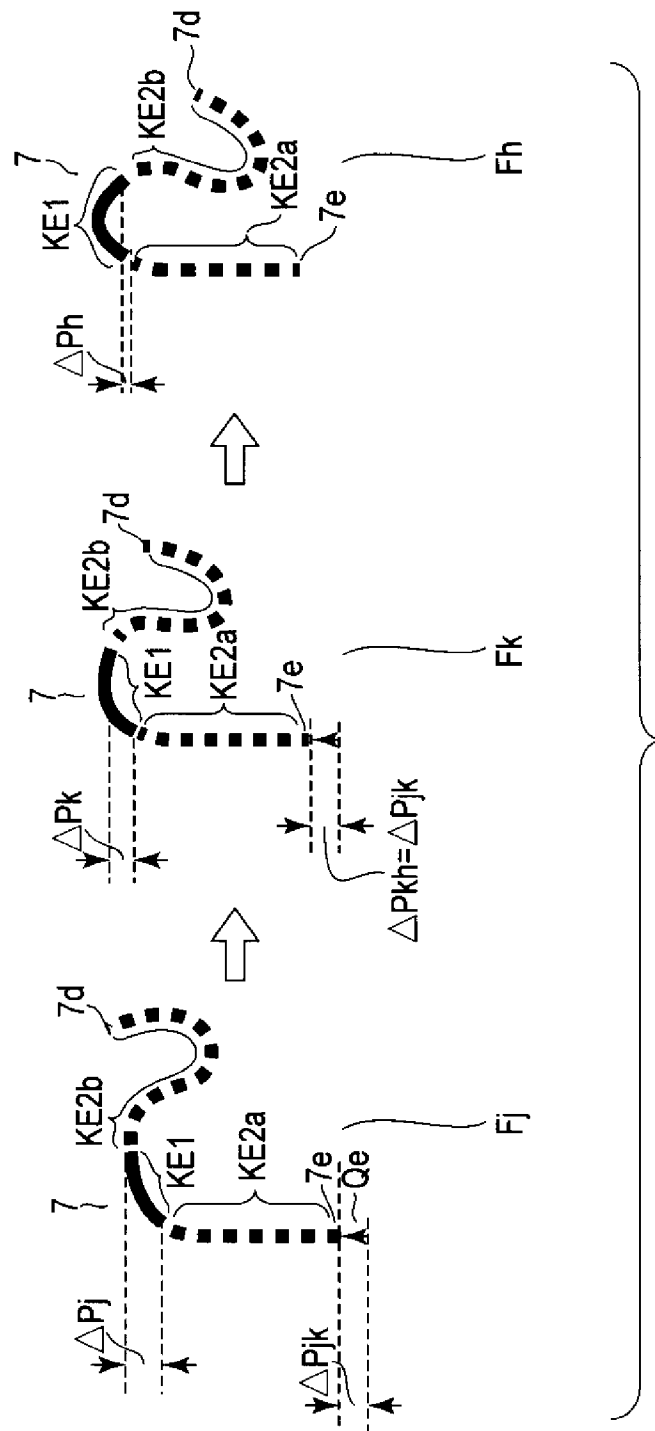
[図10]



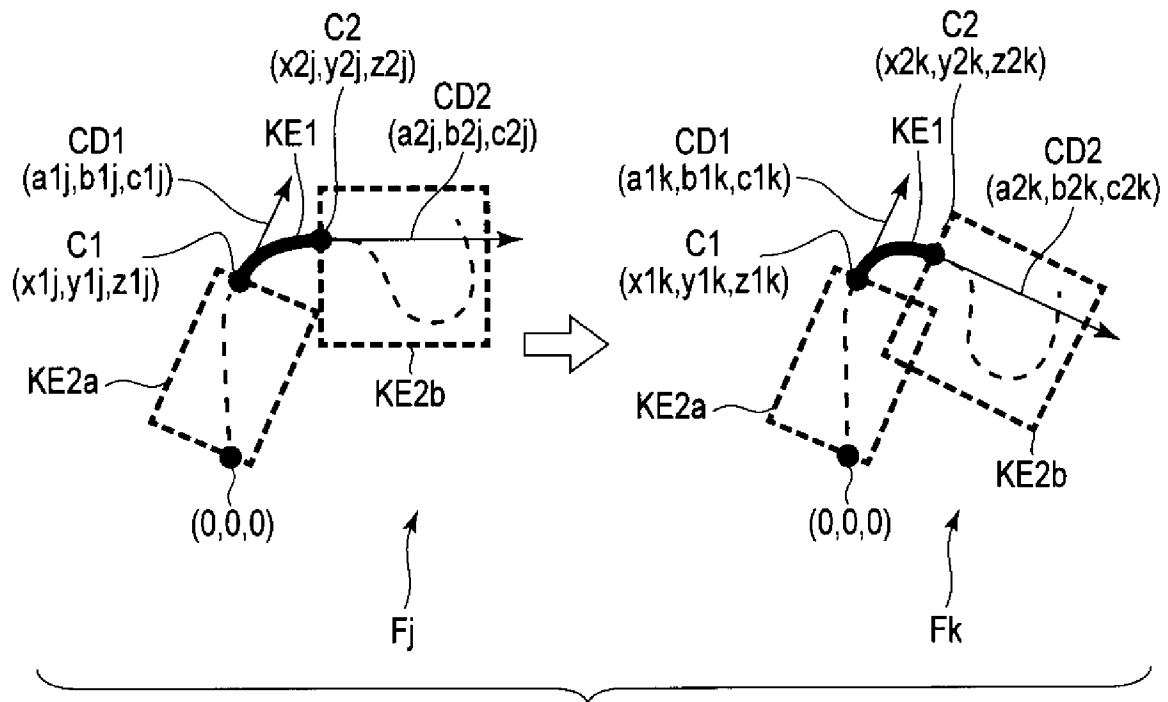
[図11]



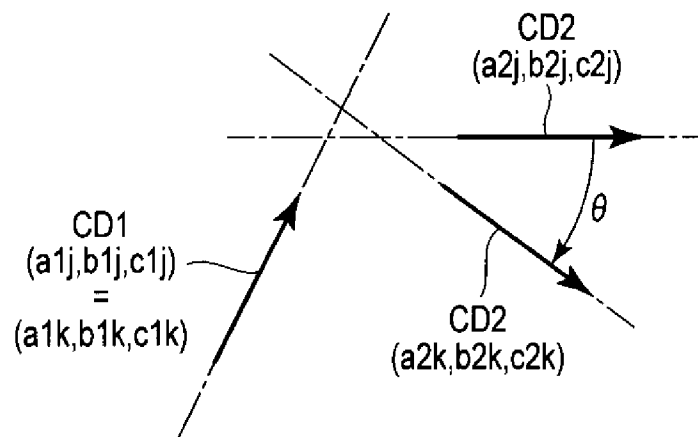
[図12]



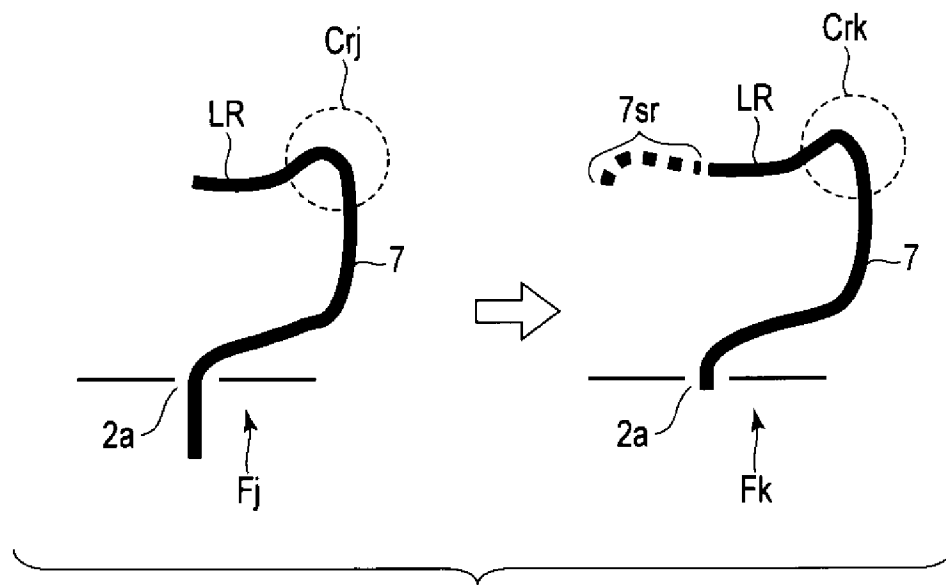
[図13]



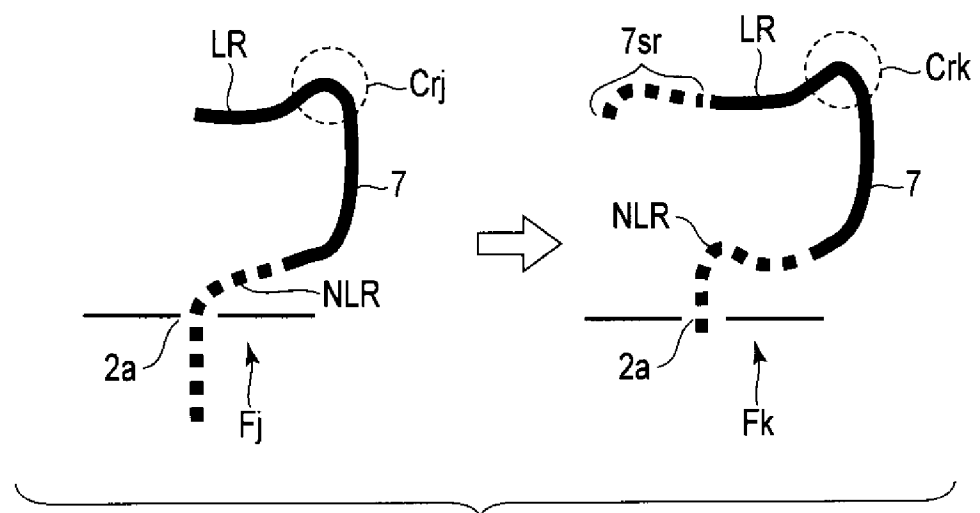
[図14]



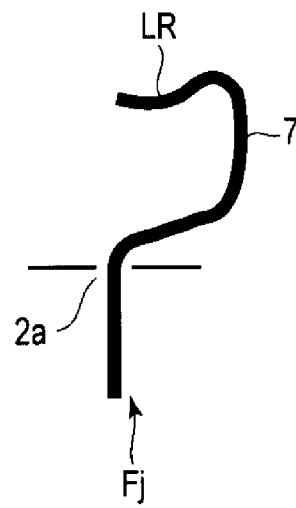
[図15]



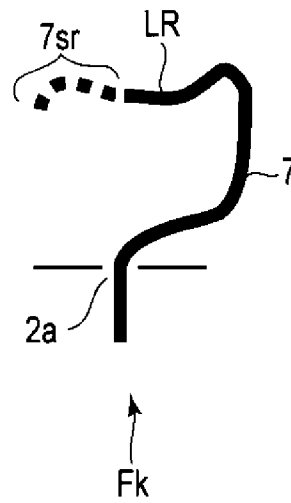
[図16]



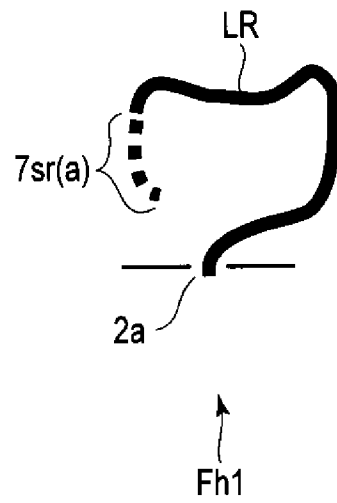
[図17A]



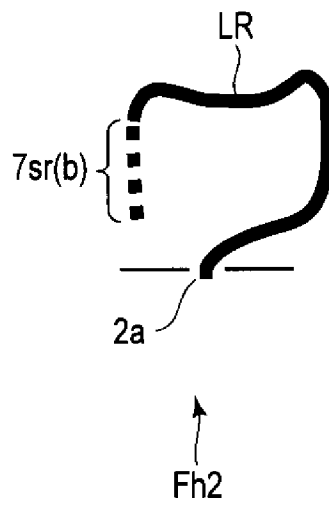
[図17B]



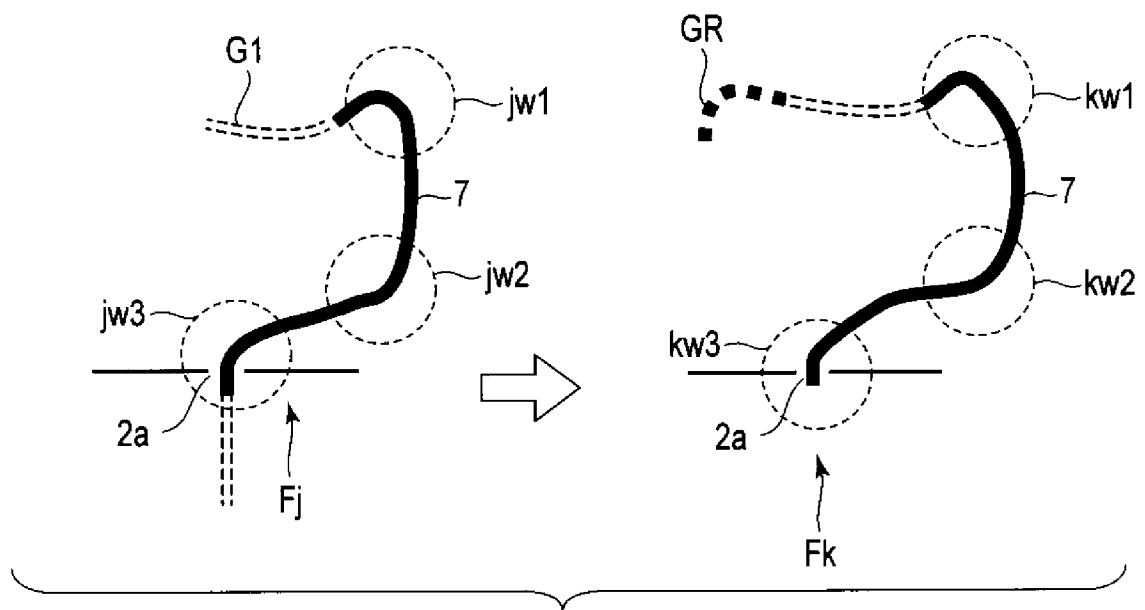
[図17C]



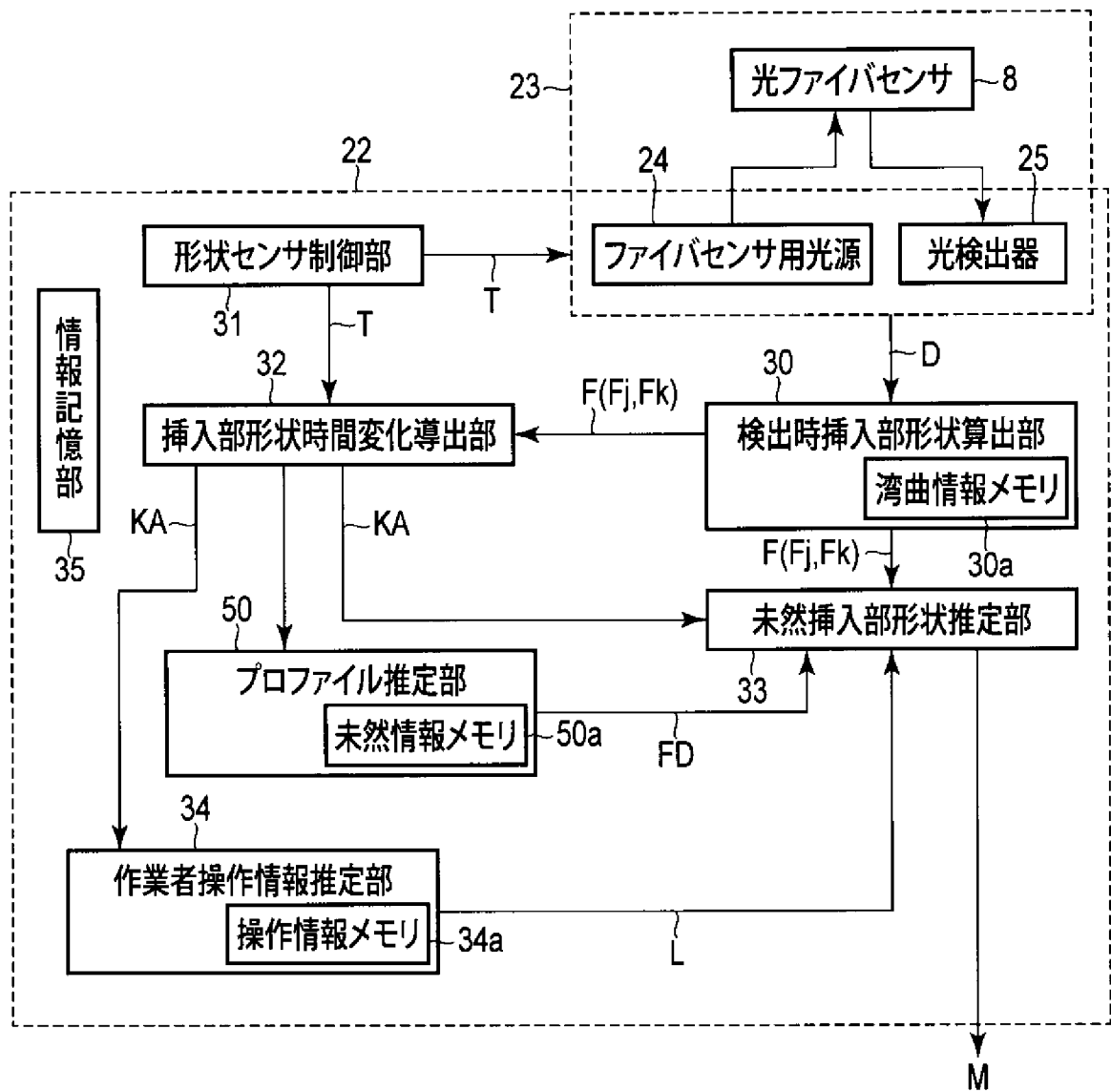
[図17D]



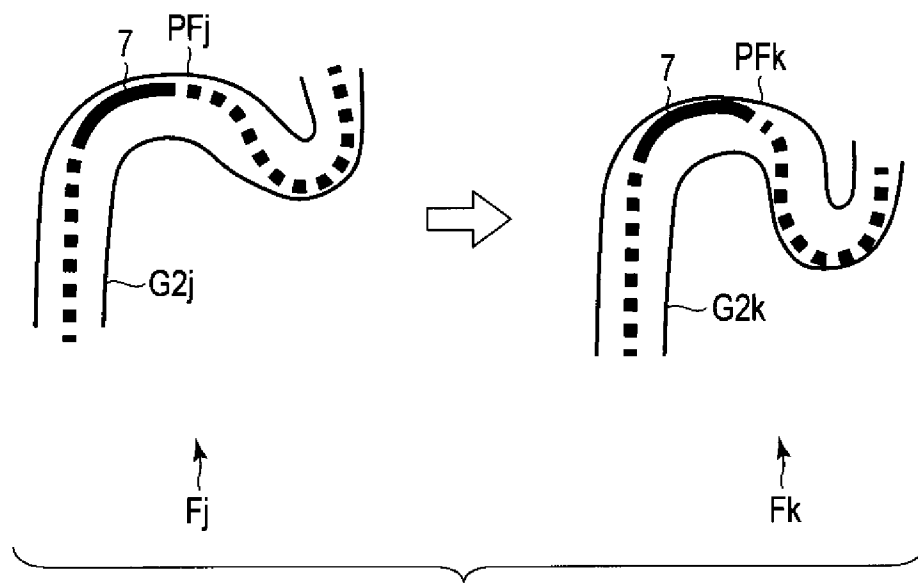
[図18]



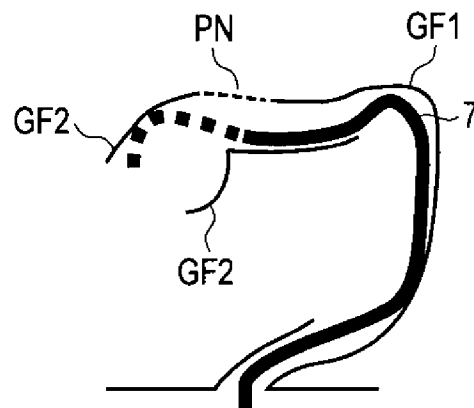
[図19]



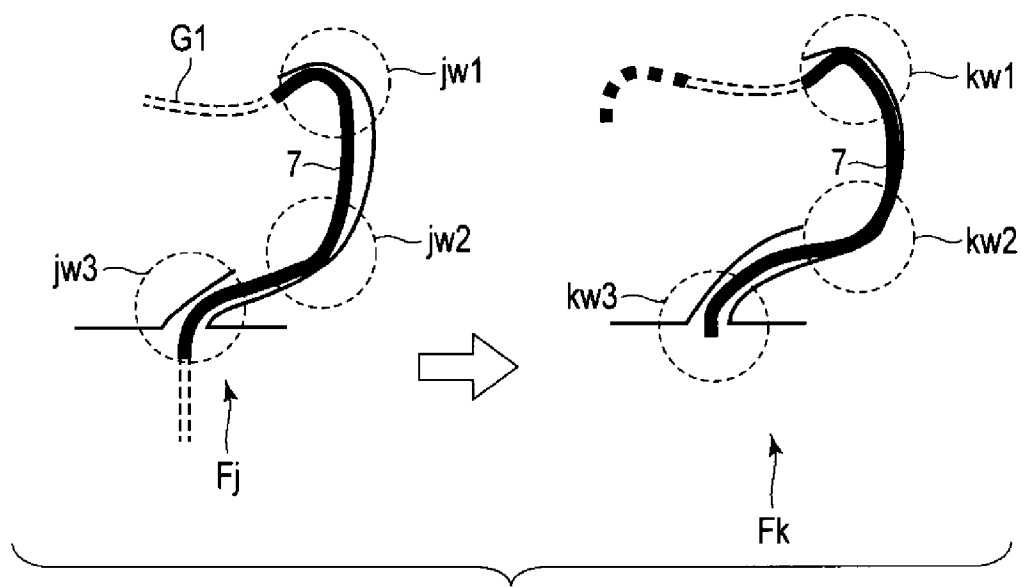
[図20]



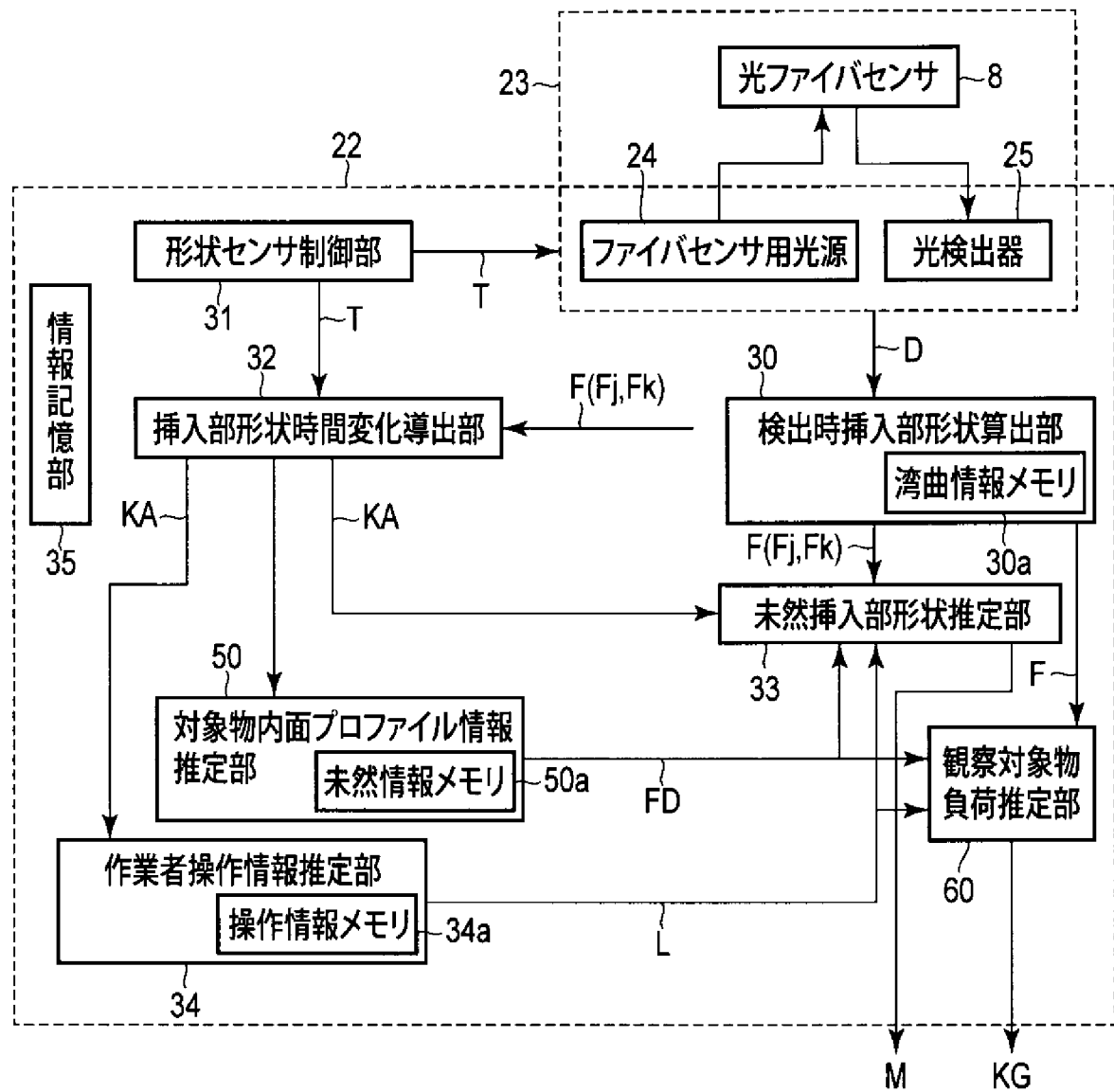
[図21]



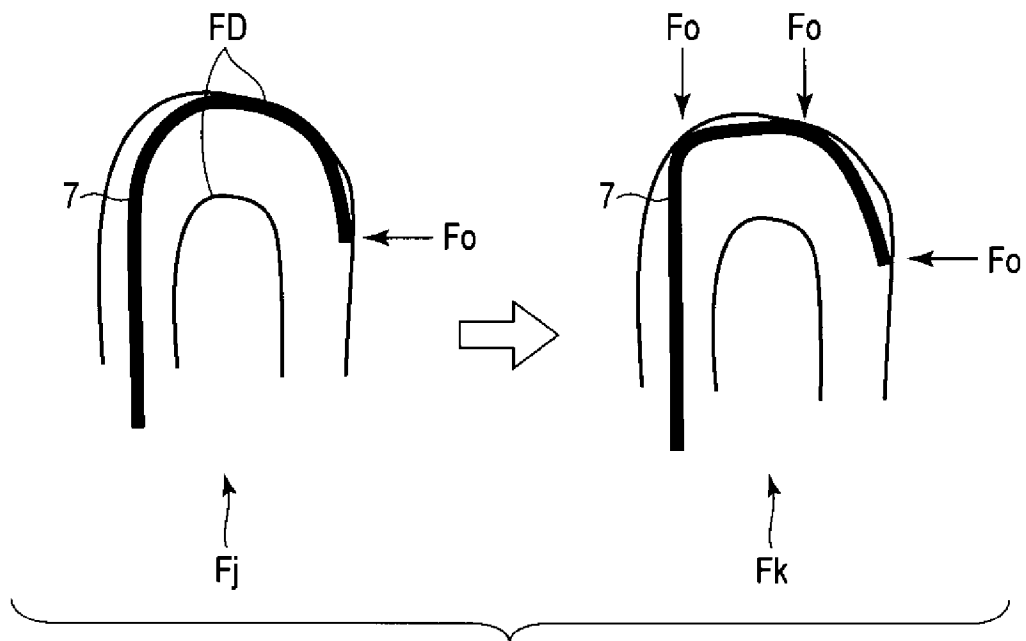
[図22]



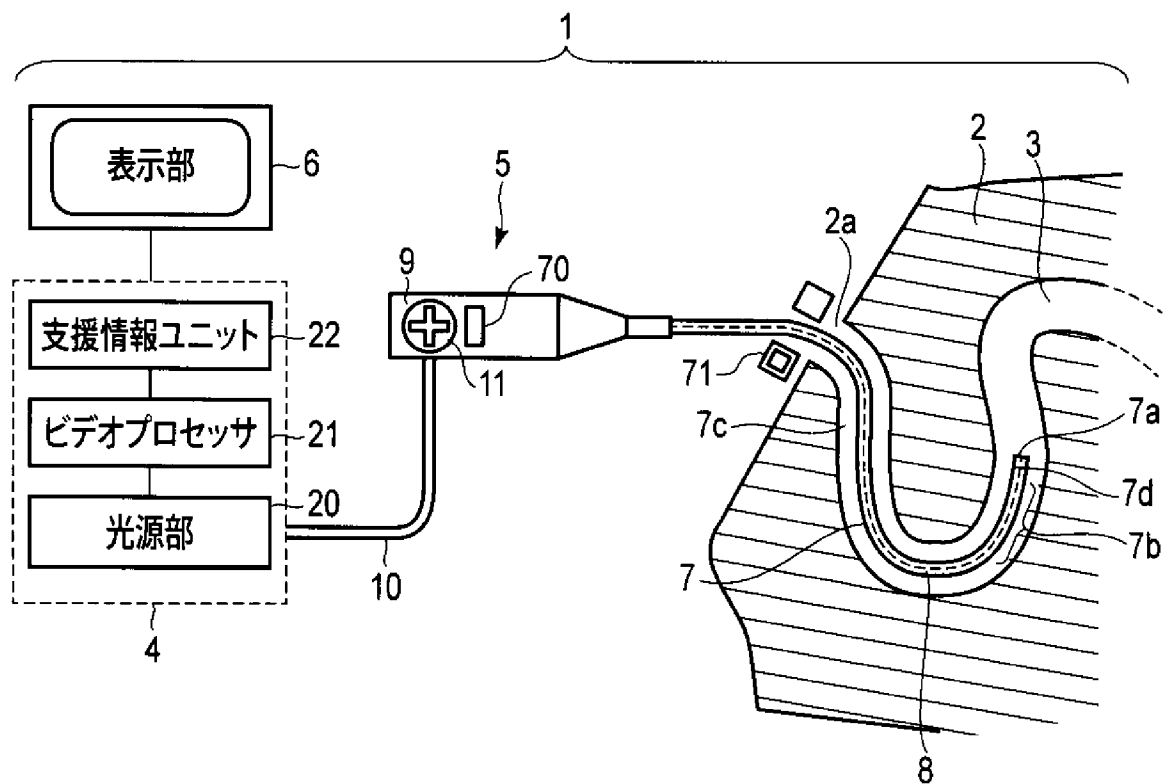
[図23]



[図24]



[図25]



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/052696

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

A61B1/00(2006.01)i, G02B23/24(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)

A61B1/00-1/32, G02B23/24-23/26

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

|                           |           |                            |           |
|---------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| Jitsuyo Shinan Koho       | 1922-1996 | Jitsuyo Shinan Toroku Koho | 1996-2015 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2015 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2015 |

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<br>A    | JP 2014-502911 A (Enav Medical Ltd.),<br>06 February 2014 (06.02.2014),<br>paragraphs [0068] to [0082], [0125] to [0128];<br>fig. 3D<br>& US 2013/0303878 A1 & WO 2012/098551 A1<br>& EP 2665415 A1 & CN 103607946 A | 1-6, 8-9,<br>11-20<br>7, 10 |
| Y<br>A    | WO 2010/103866 A1 (Olympus Medical Systems<br>Corp.),<br>16 September 2010 (16.09.2010),<br>paragraphs [0077] to [0106]<br>& US 2011/0184690 A1 & EP 2407081 A1<br>& CN 102421349 A                                  | 1-6, 8-9,<br>11-20<br>7, 10 |

☒ 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  
17 April 2015 (17.04.15)

Date of mailing of the international search report  
28 April 2015 (28.04.15)

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/JP2015/052696

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                    | Relevant to claim No.           |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Y<br>A    | JP 2014-113352 A (Olympus Corp.),<br>26 June 2014 (26.06.2014),<br>paragraphs [0038] to [0055], [0075] to [0080];<br>fig. 1, 9<br>& WO 2014/091885 A1 | 12-13, 15<br>1-11, 14,<br>16-20 |

## A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. A61B1/00(2006.01)i, G02B23/24(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（I P C））

Int.Cl. A61B1/00-1/32, G02B23/24-23/26

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   | 1 9 2 2 - 1 9 9 6 年 |
| 日本国公開実用新案公報 | 1 9 7 1 - 2 0 1 5 年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1 9 9 6 - 2 0 1 5 年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1 9 9 4 - 2 0 1 5 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<br>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<br>請求項の番号              |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Y<br>A          | JP 2014-502911 A（エナヴ メディカル リミテッド）<br>2014.02.06, 段落[0068]-[0082], [0125]-[0128], 第3D図<br>& US 2013/0303878 A1 & WO 2012/098551 A1 & EP 2665415 A1<br>& CN 103607946 A | 1-6, 8-9,<br>11-20<br>7, 10 |
| Y<br>A          | WO 2010/103866 A1（オリンパスメディカルシステムズ株式会社）<br>2010.09.16, 段落[0077]-[0106]<br>& US 2011/0184690 A1 & EP 2407081 A1 & CN 102421349 A                                        | 1-6, 8-9,<br>11-20<br>7, 10 |

☒ 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

「&amp;」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 7 . 0 4 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

2 8 . 0 4 . 2 0 1 5

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

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）

原 俊文

2 Q

4 0 7 8

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 9 2

| C (続き) . 関連すると認められる文献 |                                                                                                            |                                 |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| 引用文献の<br>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<br>請求項の番号                  |
| Y<br>A                | JP 2014-113352 A (オリンパス株式会社)<br>2014.06.26, 段落[0038]-[0055], [0075]-[0080], 第1, 9 図<br>& WO 2014/091885 A1 | 12-13, 15<br>1-11, 14,<br>16-20 |