

(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  
2011年12月8日(08.12.2011)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2011/152141 A1

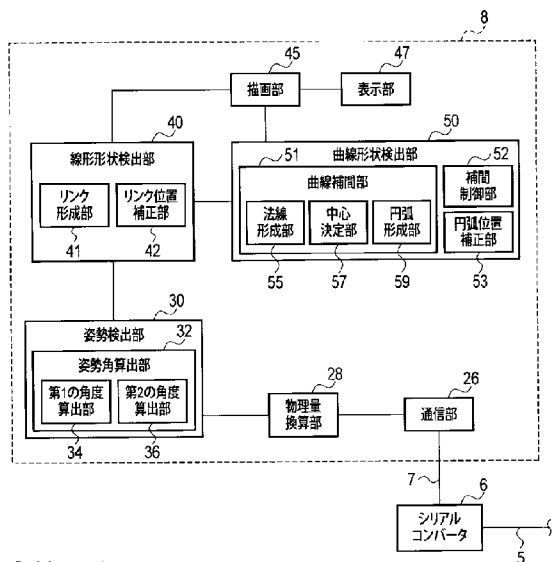
- (51) 国際特許分類:  
A61B 1/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/059637
- (22) 国際出願日: 2011年4月19日(19.04.2011)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2010-125154 2010年5月31日(31.05.2010) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): オリンパスメディカルシステムズ株式会社 (OLYMPUS MEDICAL SYSTEMS CORP.) [JP/JP]; 〒1510072 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目4番2号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 平川 克己 (HIRAKAWA, Katsumi) [JP/JP].
- (74) 代理人: 蔵田 昌俊, 外 (KURATA, Masatoshi et al.); 〒1050001 東京都港区虎ノ門1丁目12番9号 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, 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, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI

[続葉有]

(54) Title: ENDOSCOPE SHAPE DETECTION DEVICE AND METHOD FOR DETECTING SHAPE OF INSERTED PART OF ENDOSCOPE

(54) 発明の名称: 内視鏡形状検出装置及び内視鏡の挿入部の形状検出方法

[図3]



- |   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| 6 Serial converter                      | 47 Displaying section                |
| 26 Communication section                | 50 Curved-shape detecting section    |
| 28 Physical-quantity conversion section | 51 Curve interpolating section       |
| 30 Posture detecting section            | 52 Interpolation controlling section |
| 32 Posture-angle calculating section    | 53 Arc-position correcting section   |
| 34 First angle-calculating section      | 55 Normal-line forming section       |
| 36 Second angle-calculating section     | 57 Center determining section        |
| 40 Linear-shape detecting section       | 59 Arc forming section               |
| 41 Link forming section                 |                                      |
| 42 Link-position correcting section     |                                      |
| 45 Rendering section                    |                                      |

(57) Abstract: The disclosed endoscope shape detection device (1) includes: a posture detecting section (30) that detects the posture of each of a plurality of sensor units ( $S_i$ ) on the basis of measurement data obtained with the sensor units ( $S_i$ ); and a linear-shape detecting section (40) that detects the linear shape (61) of an inserted part (11) of an endoscope (10) on the basis of the posture of each sensor unit ( $S_i$ ) detected by the posture detecting section (30) and on the assumption that the shape between the sensor units ( $S_i$ ) is a straight-line link ( $T_j$ ) having a dimension equal to the dimension (l) between the sensors. The endoscope shape detection device (1) also includes a curved-shape detecting section (50, 70) that detects a curved shape (65, 81) by performing curve interpolation on said linear shape (61) detected by the linear-shape detecting section (40) on the assumption that the shape between the sensor units ( $S_i$ ) is an arc ( $L_j$ ) having an arc length equal to the dimension (l) between the sensors.

(57) 要約:

[続葉有]



(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG). 添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

---

内視鏡形状検出装置 (1) は、前記センサユニット ( $S_i$ ) での計測データに基づいて、それぞれの前記センサユニット ( $S_i$ ) の姿勢を検出する姿勢検出部 (30) と、前記姿勢検出部 (30) で検出されたそれぞれの前記センサユニット ( $S_i$ ) の姿勢に基づいて、それぞれの前記センサユニット ( $S_i$ ) の間の形状を寸法が前記センサ間寸法 (1) に等しい直線状のリンク ( $T_j$ ) と仮定して、前記内視鏡 (10) の前記挿入部 (11) の検出線形形状 (61) を検出する線形形状検出部 (40) と、を備える。また、内視鏡形状検出装置 (1) は、それぞれの前記センサユニット ( $S_i$ ) の間の形状を弧長が前記センサ間寸法 (1) に等しい円弧 ( $L_j$ ) と仮定して、前記線形形状検出部 (40) で検出された前記検出線形形状 (61) を曲線補間し、検出曲線形状 (65, 81) を検出する曲線形状検出部 (50, 70) を備える。

## 明 細 書

発明の名称：

### 内視鏡形状検出装置及び内視鏡の挿入部の形状検出方法

#### 技術分野

[0001] 本発明は、体腔内に挿入される内視鏡を備える内視鏡形状検出装置及びその内視鏡形状検出装置の内視鏡の挿入部の形状検出方法に関する。

#### 背景技術

[0002] 近年、内視鏡の挿入部の形状を検出可能な内視鏡形状検出装置が実用化されている。特許文献1には、体腔内に挿入される内視鏡の挿入部に複数のソースコイルを取付けた内視鏡挿入形状検出装置が開示されている。この内視鏡挿入形状検出装置では、体外に設けられるセンスコイルにより、それぞれのソースコイルの位置が検出される。そして、検出されたソースコイルの位置に基づいて、内視鏡の挿入部の形状が検出される。

[0003] また、特許文献2には、内視鏡の挿入部に2つのセンサが取付けられた内視鏡装置が開示されている。この内視鏡装置では、基端側のセンサを基準として、先端側のセンサの位置、姿勢が検出される。基端側のセンサは湾曲部の基端の近傍に、先端側のセンサは先端硬性部に配置されている。基端側のセンサに対する先端側のセンサの位置、姿勢を検出することにより、湾曲部の湾曲角度、湾曲方向が算出される。

[0004] また、特許文献3には、内視鏡の挿入部に複数のジャイロを取付けられた内視鏡形状検出装置が開示されている。この内視鏡形状検出装置では、ジャイロにより内視鏡の挿入部の所定の部位（ジャイロが取り付けられた部位）の姿勢が検出される。そして、検出された所定の部位での姿勢に基づいて、挿入部の形状が検出される。

#### 先行技術文献

#### 特許文献

[0005] 特許文献1：特開2000-175862号公報

特許文献2：特開2007-319622号公報

特許文献3：特開平11-19027号公報

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

- [0006] 上記特許文献1の内視鏡形状検出装置では、体腔内のソースコイルの位置を体外のセンスコイルで検出するため、検出装置が大型化するとともに、装置の構成が複雑化する。
- [0007] 上記特許文献2では、体腔内のセンサのみを用いて湾曲部の湾曲角度、湾曲方向が検出される。しかし、実際の内視鏡の挿入部は可撓性を有し、体腔内に挿入された際の挿入部の形状は、曲線状である。すなわち、この内視鏡装置では、湾曲部の湾曲角度、湾曲方向が検出されるのみで、体腔内への挿入時の挿入部の形状までは高い精度で検出されない。
- [0008] 上記特許文献3では、複数のジャイロを用いて内視鏡の挿入部の形状が検出される。しかし、ジャイロは挿入部が移動する際に発生する慣性力又はコリオリ力に基づいて挿入部の所定の部位での姿勢を検出する。このため、挿入部が移動していない静状態では、形状を検出できず、低速度で挿入部が移動する際の検出精度は低下してしまう。
- [0009] 本発明は上記課題に着目してなされたものであり、その目的とするところは、装置の構成を大型化、複雑化することなく、高い精度で挿入部の形状を検出可能な内視鏡形状検出装置及び内視鏡の挿入部の形状検出方法を提供することにある。

### 課題を解決するための手段

- [0010] 上記目的を達成するため、本発明のある態様では、長手方向に互いに所定のセンサ間寸法だけ離れて複数のセンサユニットが配置される挿入部を備える内視鏡と、前記センサユニットでの計測データに基づいて、それぞれの前記センサユニットの姿勢を検出する姿勢検出部と、前記姿勢検出部で検出されたそれぞれの前記センサユニットの姿勢に基づいて、それぞれの前記センサユニットの間の形状を寸法が前記センサ間寸法に等しい直線状のリンクと

仮定して、前記内視鏡の前記挿入部の検出線形形状を検出する線形形状検出部と、それぞれの前記センサユニットの間の形状を弧長が前記センサ間寸法に等しい円弧と仮定して、前記線形形状検出部で検出された前記検出線形形状を曲線補間し、検出曲線形状を検出する曲線形状検出部と、を備える内視鏡形状検出装置を提供する。

- [0011] また、本発明の別のある態様では、内視鏡の挿入部に、長手方向に互いに所定のセンサ間寸法だけ離れて配置される複数のセンサユニットで計測を行うことと、前記センサユニットでの計測データに基づいて、それぞれの前記センサユニットの姿勢を検出することと、検出されたそれぞれの前記センサユニットの姿勢に基づいて、それぞれの前記センサユニットの間の形状を寸法が前記センサ間寸法に等しい直線状のリンクと仮定して、前記内視鏡の前記挿入部の検出線形形状を検出することと、それぞれの前記センサユニットの間の形状を弧長が前記センサ間寸法に等しい円弧と仮定して、検出された前記検出線形形状を曲線補間し、検出曲線形状を形成することと、を備える内視鏡の挿入部の形状検出方法を提供する。

### 発明の効果

- [0012] 本発明によれば、装置の構成を大型化、複雑化することなく、高い精度で挿入部の形状を検出可能な内視鏡形状検出装置及び内視鏡の挿入部の形状検出方法を提供することができる。

### 図面の簡単な説明

- [0013] [図1]本発明の第1の実施形態に係る内視鏡形状検出装置の構成を示すブロック図。  
[図2]第1の実施形態に係る内視鏡の挿入部の構成を示す概略図。  
[図3]第1の実施形態に係る内視鏡形状検出装置のパソコンの構成を示すブロック図。  
[図4]第1の実施形態に係る内視鏡の挿入部の静状態での形状を検出する方法を示すフローチャート。  
[図5]第1の実施形態に係る内視鏡形状検出装置のグローバル座標系と補正座

標系とを比較して示す概略図。

[図6]第1の実施形態に係る内視鏡形状検出装置の線形形状検出部で検出される検出線形形状を示す概略図。

[図7]第1の実施形態に係る線形形状検出部のリンク位置補正部での処理を説明する概略図。

[図8]第1の実施形態に係る内視鏡形状検出装置の曲線形状検出部で検出される検出曲線形状を示す概略図。

[図9]第1の実施形態に係る曲線形状検出部により検出曲線形状を検出する方法を示すフローチャート。

[図10]第1の実施形態に係る曲線形状検出部の曲線補間部での処理を説明する概略図。

[図11]第1の実施形態に係る曲線形状検出部の円弧位置補正部での処理を説明する概略図。

[図12]本発明の第2の実施形態に係る内視鏡形状検出装置のパソコンの構成を示すブロック図。

[図13]第2の実施形態に係る内視鏡形状検出装置の曲線形状検出部により検出曲線形状を検出する方法を示すフローチャート。

[図14]第2の実施形態に係る曲線形状検出部の補間順次実施部での処理を説明する概略図。

[図15]第2の実施形態に係る曲線形状検出部の未補間リンク位置補正部での処理を説明する概略図。

[図16]本発明の第1の変形例に係る内視鏡形状検出装置のパソコンの構成を示すブロック図。

[図17]第1の変形例に係る内視鏡の挿入部の動状態での形状を検出する方法を示すフローチャート。

## 発明を実施するための形態

[0014] (第1の実施形態)

本発明の第1の実施形態について図1乃至図11を参照して説明する。

- [0015] 図1は、本実施形態の内視鏡形状検出装置1を示す図である。図1に示すように、内視鏡形状検出装置1の内視鏡10は、体腔内に挿入される挿入部11と、挿入部11の基端側に設けられる操作部12とを備える。挿入部11は、最先端に設けられる先端硬性部14と、先端硬性部14の基端側に設けられる湾曲部16と、湾曲部16の基端側に設けられる細長い可撓管部18とを備える。
- [0016] 先端硬性部14の内部には、被写体の撮像を行うCCD等の撮像素子20が設けられている。撮像素子20には、撮像用信号線21の一端が接続されている。撮像用信号線21は、挿入部11の内部を通過して操作部12から内視鏡10の外部に延出され、他端が画像処理ユニットであるビデオプロセッサ3に接続されている。また、挿入部11の内部には、先端硬性部14の照明窓（図示しない）に被写体を照射する照明光を導光するライトガイド23が、長手方向に延設されている。ライトガイド23は、操作部12から内視鏡10の外部に延出され、光源ユニット4に接続されている。
- [0017] また、挿入部11の湾曲部16の先端部には、湾曲操作伝達部材である4本の湾曲操作ワイヤ（図示しない）の一端が接続されている。湾曲操作ワイヤは、可撓管部18の内部を通過して、操作部12に設けられる湾曲操作部である湾曲操作ノブ（図示しない）に他端が接続されている。湾曲操作ノブでの操作により、湾曲操作ワイヤが長手方向に移動する。湾曲操作の移動により、湾曲部16が内視鏡10の上下方向及び左右方向に湾曲動作を行う。
- [0018] 挿入部2には、複数（本実施形態では $N+1$ 個）のセンサユニット $S_0 \sim S_N$ が設けられている。それぞれのセンサユニット $S_i$ （ $i=0, 1, 2, \dots, N$ ）は、互いに長手方向に一定の間隔 $l$ （ $=50\text{mm}$ ）だけ離れて配置されている。すなわち、それぞれのセンサユニット $S_i$ は、互いに長手方向に所定のセンサ間寸法 $l$ だけ離れて配置されている。ここで、例えば最も基端側のセンサユニット $S_0$ が可撓管部18の基端部に配置され、最も先端側のセンサユニット $S_N$ が湾曲部16の先端部に配置されている。センサユニット $S_i$ は、加速度を計測する加速度センサ $A_i$ と、地磁気を計測する地磁気センサ $B_i$

とを備える。

[0019] 図2は、内視鏡10の挿入部11を示す図である。図2に示すように、それぞれのセンサユニット $S_i$ は、センサユニット $S_i$ の中心を原点とし、 $X_i$ 軸、 $Y_i$ 軸、 $Z_i$ 軸を有するローカル座標系 $C_i$ （図2で点線で示す）を備える。ここで、 $X_i$ 軸方向は、センサユニット $S_i$ の中心での内視鏡10の左右方向と一致し、基端側から見た際の内視鏡10の右方向を正とする。 $Y_i$ 軸方向は、センサユニット $S_i$ の中心での長手方向と一致し、先端側方向を正とする。 $Z_i$ 軸方向は、センサユニット $S_i$ の中心での内視鏡10の上下方向と一致し、内視鏡10の上方向を正とする。加速度センサ $A_i$ は、ローカル座標系 $C_i$ の原点での加速度の $X_i$ 軸方向成分、 $Y_i$ 軸方向成分、 $Z_i$ 軸方向成分を計測する。地磁気センサ $B_i$ は、ローカル座標系 $C_i$ の原点での地磁気の $X_i$ 軸方向成分、 $Y_i$ 軸方向成分、 $Z_i$ 軸方向成分を計測する。

[0020] また、内視鏡形状検出装置1では、最も基端側のセンサユニット $S_0$ の中心を原点とし、 $X$ 軸、 $Y$ 軸、 $Z$ 軸を有するグローバル座標系 $C$ （図2で実線で示す）が定義されている。ここで、グローバル座標系 $C$ は、最も基端側のセンサユニット $S_0$ の中心を原点とする右手系の直交デカルト座標系である。 $X$ 軸方向は、重力が作用する鉛直方向に垂直な所定方向（本実施形態では、図2の矢印 $D_1$ 、 $D_2$ に平行な方向）と一致し、図2の矢印 $D_1$ の方向を正とする。 $Y$ 軸方向は、鉛直方向に垂直で、かつ、 $X$ 軸方向に垂直な方向（本実施形態では、図2の矢印 $E_1$ 、 $E_2$ に平行な方向）と一致し、図2の矢印 $E_1$ の方向を正とする。 $Z$ 軸方向は、鉛直方向と一致し、鉛直方向の上方向（紙面の裏から表への方向）を正とする。なお、ここでは説明の都合上、グローバル座標系の $X$ 軸方向を磁北方向とする。

[0021] それぞれのローカル座標系 $C_i$ は、グローバル座標系 $C$ を $X$ 軸回りに $\alpha_i$ 、 $Y$ 軸回りに $\beta_i$ 、 $Z$ 軸回りに $\gamma_i$ それぞれ回転し、最も基端側のセンサユニット $S_0$ の中心からセンサユニット $S_i$ の中心まで原点を平行移動した座標系である。ここで、 $\alpha_i$ をピッチ角、 $\beta_i$ をロール角、 $\gamma_i$ をヨー角と称し、ピッチ角 $\alpha_i$ 、ロール角 $\beta_i$ 、ヨー角 $\gamma_i$ の3つをまとめて姿勢角と称する。姿勢角 $\alpha$



$\alpha_i$ ,  $\beta_i$ ,  $\gamma_i$ は、それぞれX軸、Y軸、Z軸の負の方向から見て時計回りを正とする。姿勢角 $\alpha_i$ ,  $\beta_i$ ,  $\gamma_i$ の値を算出することにより、センサユニット $S_i$ の姿勢が検出される。

[0022] 図1に示すように、それぞれのセンサユニット $S_i$ の加速度センサ $A_i$ 及び地磁気センサ $B_i$ には、I2C等のシリアルバス5が接続されている。シリアルバス5は、挿入部11の内部を通して操作部12から内視鏡10の外部に延出され、基端がシリアルコンバータ6に接続されている。シリアルコンバータ6は、それぞれのセンサユニット $S_i$ からシリアルバス5を介して入力される計測データのシリアル信号を、USB信号に変換する。シリアルコンバータ6には、USBケーブル7の一端が接続されている。USBケーブル7の他端は、パソコン8に接続されている。パソコン8には、それぞれのセンサユニット $S_i$ での計測データのUSB信号がシリアルコンバータ6から入力される。

[0023] 図3は、パソコン8の構成を示す図である。図3に示すように、パソコン8は、USBケーブル7を介してシリアルコンバータ6に接続される通信部26を備える。通信部26は、それぞれのセンサユニット $S_i$ での計測データを受信する。通信部26には、物理量換算部28が接続されている。物理量換算部28は、通信部26で受信したそれぞれのセンサユニット $S_i$ での計測データを、オフセット、ゲイン等を用いて物理量に換算する。

[0024] 物理量換算部28には、姿勢検出部30が接続されている。姿勢検出部30は、センサユニット $S_i$ での計測データに基づいて、それぞれのセンサユニット $S_i$ の姿勢を検出する。姿勢検出部30は、それぞれのセンサユニット $S_i$ の加速度センサ $A_i$ 及び地磁気センサ $B_i$ での計測データに基づいて、それぞれのセンサユニット $S_i$ のローカル座標系 $C_i$ のグローバル座標系CからのX軸回り、Y軸回り、Z軸回りの回転角である3つの姿勢角 $\alpha_i$ ,  $\beta_i$ ,  $\gamma_i$ を算出する姿勢角算出部32を備える。姿勢角算出部32は、それぞれのセンサユニット $S_i$ の加速度センサ $A_i$ での加速度データに基づいて、それぞれのセンサユニット $S_i$ のローカル座標系 $C_i$ のグローバル座標系CからのX軸回り

の回転角であるピッチ角  $\alpha_i$ 、及び、それぞれのセンサユニット  $S_i$  のローカル座標系  $C_i$  のグローバル座標系  $C$  からの Y 軸回りの回転角であるロール角  $\beta_i$  を算出する第 1 の角度算出部 34 を備える。また、姿勢角算出部 32 は、それぞれのセンサユニット  $S_i$  の地磁気センサ  $B_i$  での地磁気データに基づいて、それぞれのセンサユニット  $S_i$  のローカル座標系  $C_i$  のグローバル座標系  $C$  からの Z 軸回りの回転角であるヨー角  $\gamma_i$  を算出する第 2 の角度算出部 36 を備える。

[0025] ここで、姿勢検出部 30 でそれぞれのセンサユニット  $S_i$  の姿勢を検出する方法について説明する。図 4 は、内視鏡 10 の挿入部 11 が停止している静状態での挿入部 11 の形状検出方法を示すフローチャートである。図 4 に示すように、挿入部 11 の形状検出の際には、まず、それぞれのセンサユニット  $S_i$  での計測を行い（ステップ S101）、姿勢検出部 30 がそれぞれのセンサユニット  $S_i$  での計測データを取得する。そして、姿勢角算出部 32 が、それぞれのセンサユニット  $S_i$  のローカル座標系  $C_i$  の 3 つの姿勢角  $\alpha_i$ 、 $\beta_i$ 、 $\gamma_i$  を算出する。

[0026] 姿勢角  $\alpha_i$ 、 $\beta_i$ 、 $\gamma_i$  を算出する際には、まず、第 1 の角度算出部 34 が、それぞれのセンサユニット  $S_i$  の加速度センサ  $A_i$  での計測データに基づいて、それぞれのセンサユニット  $S_i$  のローカル座標系  $C_i$  のピッチ角  $\alpha_i$  及びロール角  $\beta_i$  を算出する（ステップ S102）。ここで、姿勢角  $\alpha_i$ 、 $\beta_i$ 、 $\gamma_i$  はヨー角  $\gamma_i$ 、ピッチ角  $\alpha_i$ 、ロール角  $\beta_i$  の順で回転する（Z、X、Y）型とする。したがって、グローバル座標系  $C$  からローカル座標系  $C_i$  への回転行列は、

[数1]

$$C_{B_i}^G = R_{Z_i} R_{X_i} R_{Y_i} = \begin{bmatrix} \cos\gamma_i & -\sin\gamma_i & 0 \\ \sin\gamma_i & \cos\gamma_i & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha_i & -\sin\alpha_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\beta_i & 0 & \sin\beta_i \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\beta_i & 0 & \cos\beta_i \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -\sin\gamma_i \cdot \sin\alpha_i \cdot \sin\beta_i + \cos\beta_i \cdot \cos\gamma_i & -\sin\gamma_i \cdot \cos\alpha_i & \sin\gamma_i \cdot \sin\alpha_i \cdot \cos\beta_i + \sin\beta_i \cdot \cos\gamma_i \\ \cos\gamma_i \cdot \sin\alpha_i \cdot \sin\beta_i + \cos\beta_i \cdot \sin\gamma_i & \cos\gamma_i \cdot \cos\alpha_i & -\cos\gamma_i \cdot \sin\alpha_i \cdot \cos\beta_i + \sin\beta_i \cdot \sin\gamma_i \\ -\cos\alpha_i \cdot \sin\beta_i & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i \cdot \cos\beta_i \end{bmatrix}$$

(1)

[0027] となる。

[0028] 挿入部 1 1 が停止している静状態では、重力加速度のみが鉛直方向の下方に作用している。すなわち、グローバル座標系 C においても、ローカル座標系 C<sub>i</sub> においても、鉛直方向の下方に重力加速度のみが作用している。したがって、この際、加速度ベクトルのグローバル座標系 C の X 軸方向成分、Y 軸方向成分、Z 軸方向成分は、

[数2]

$$\dot{a}_{th} = [0 \quad 0 \quad -g]^T \quad (2)$$

[0029] となる。また、加速度センサ A<sub>i</sub> で計測される加速度ベクトルのローカル座標系 C<sub>i</sub> の X<sub>i</sub> 軸方向成分、Y<sub>i</sub> 軸方向成分、Z<sub>i</sub> 軸方向成分を、

[数3]

$$\dot{a}_{obsi} = [a_{Bi\_X} \quad a_{Bi\_Y} \quad a_{Bi\_Z}]^T \quad (3)$$

[0030] とする。

[0031] ここで、ローカル座標系 C<sub>i</sub> はグローバル座標系 C をヨー角  $\gamma_i$ 、ピッチ角  $\alpha_i$ 、ロール角  $\beta_i$  の順で回転した座標系である。したがって、式 (1) ~ 式 (3) より、ローカル座標系 C<sub>i</sub> で観測される加速度成分は、

[数4]

$$\dot{a}_{obsi} = \left( C_{Bi}^G \right)^T \dot{a}_{th} = -g \begin{bmatrix} -\cos\alpha_i \cdot \sin\beta_i \\ \sin\alpha_i \\ \cos\alpha_i \cdot \cos\beta_i \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

$$(4.2)$$

$$(4.3)$$

[0032] となる。ここで、式 (4. 1) の 2 乗と式 (4. 3) の 2 乗を加算すると、

[数5]

$$a_{Bi\_X}^2 + a_{Bi\_Z}^2 = g^2 \cos^2 \alpha_i (\sin^2 \beta_i + \cos^2 \beta_i) \quad (5)$$

[0033] となり、

[数6]

$$g \cos \alpha_i = \sqrt{a_{Bi\_X}^2 + a_{Bi\_Z}^2} \quad (6)$$

[0034] となる。そして、式(4.2)を式(6)で割ることにより、

[数7]

$$\alpha_i = \tan^{-1} \left( \frac{-a_{Bi\_Y}}{\sqrt{a_{Bi\_X}^2 + a_{Bi\_Z}^2}} \right) \quad (7)$$

[0035] となり、ローカル座標系  $C_i$  のピッチ角  $\alpha_i$  が求まる。また、式(4.1)を式(4.3)で割ることにより、

[数8]

$$\beta_i = \tan^{-1} \left( \frac{-a_{Bi\_X}}{a_{Bi\_Z}} \right) \quad (8)$$

[0036] となり、ローカル座標系  $C_i$  のロール角  $\beta_i$  が求まる。以上のようにして、それぞれの加速度センサ  $A_i$  での計測データに基づいて、それぞれのローカル座標系  $C_i$  のピッチ角  $\alpha_i$  及びロール角  $\beta_i$  が算出される。[0037] そして、第2の角度算出部36が、それぞれのセンサユニット  $S_i$  の地磁気センサ  $B_i$  での計測データに基づいて、それぞれのセンサユニット  $S_i$  のローカル座標系  $C_i$  のヨー角  $\gamma_i$  を算出する(ステップS103)。ここで、ステップS102で算出したピッチ角  $\alpha_i$  及びロール角  $\beta_i$  を用いて、それぞれのローカル座標系  $C_i$  のグローバル座標系  $C$  からのX軸回りの回転及びY軸回りの回転を補正した補正座標系  $C'_i$  を定義する。図5は、グローバル座標系  $C$  (図5において実線で示す) 及び補正座標系  $C'_i$  (図5で点線で示す) を示す図である。なお、実際はグローバル座標系  $C$  と補正座標系  $C'_i$  とでは原点の位置が異なるが、図5では両者の比較のため原点が同一の位置にある状態で示す。図5に示すように、X軸回りの回転及びY軸回りの回転を補正した補正座標系  $C'_i$  は、結果的にグローバル座標系  $C$  をZ軸回りにヨー角  $\gamma_i$  だ

け回転した座標系であり、 $X'_i$ 軸、 $Y'_i$ 軸、 $Z'_i$ 軸を有する。 $X'_i$ 軸方向、 $Y'_i$ 軸方向は、それぞれグローバル座標系CのX軸方向、Y軸方向からZ軸回りにヨ一角 $\gamma_i$ だけ回転した方向と一致する。 $Z'_i$ 軸方向は、鉛直方向、すなわちグローバル座標系CのZ軸方向と一致する。ここでは、グローバル座標系CのX軸方向が磁北方向と一致するため、 $X'_i$ 軸方向が、グローバル座標系CのX軸方向からZ軸回りにヨ一角 $\gamma_i$ だけ回転した方向となる。

[0038] 地磁気センサ $B_i$ で計測される地磁気ベクトルのローカル座標系 $C_i$ の $X_i$ 軸方向成分、 $Y_i$ 軸方向成分、 $Z_i$ 軸方向成分を、

[数9]

$$\dot{m}_{obsi} = [M_{Xi} \quad M_{Yi} \quad M_{Zi}]^T \tag{9}$$

[0039] とする。補正座標系 $C'_i$ は、ローカル座標系 $C_i$ のグローバル座標系CからのX軸回りの回転及びY軸回りの回転を補正した座標系である。したがって、式(9)及び式(1)の $R_{xi}$ 、 $R_{yi}$ を用いて、地磁気センサ $B_i$ で計測される地磁気ベクトルの補正座標系 $C'_i$ の $X'_i$ 軸方向成分、 $Y'_i$ 軸方向成分、 $Z'_i$ 軸方向成分は、

[数10]

$$\dot{m}_{obsi}' = R_{Xi} R_{Yi} \dot{m}_{obsi} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha_i & -\sin\alpha_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\beta_i & 0 & \sin\beta_i \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\beta_i & 0 & \cos\beta_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{Xi} \\ M_{Yi} \\ M_{Zi} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \cos\beta_i & 0 & \sin\beta_i \\ \sin\alpha_i \sin\beta_i & \cos\alpha_i & -\sin\alpha_i \cos\beta_i \\ -\cos\alpha_i \sin\beta_i & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i \cos\beta_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{Xi} \\ M_{Yi} \\ M_{Zi} \end{bmatrix} \tag{10.1}$$

$$\dot{m}_{obsi}' = [M_{Xi}' \quad M_{Yi}' \quad M_{Zi}']^T \tag{10.2}$$

[0040] となる。式(10.1)、式(10.2)から、

[数11]

$$M_{X_i'} = M_{X_i} \cos \beta_i + M_{Z_i} \sin \beta_i \quad (11.1)$$

$$M_{Y_i'} = M_{Y_i} \cos \alpha_i + \sin \alpha_i (M_{X_i} \sin \beta_i - M_{Z_i} \cos \beta_i) \quad (11.2)$$

[0041] となる。鉛直方向に垂直な水平面（補正座標系  $C'_i$  の  $X'_i - Y'_i$  平面）の地磁気成分は、磁北方向を向いている。したがって、式（11.1）、式（11.2）より、 $X'_i$  軸から磁北方向までの角度  $\theta_i$  は地磁気ベクトルの補正座標系  $C'_i$  の  $X'_i$  軸成分、 $Y'_i$  軸成分を用いて求めることができる。すなわち、

[数12]

$$\theta_i = \tan^{-1} \left( M_{Y_i'} / M_{X_i'} \right) \quad (12)$$

[0042] となる。角度  $\theta_i$  は  $Z'_i$  軸（ $Z$  軸）を負の方向から見て時計回りを正とする。補正座標系  $C'_i$  はグローバル座標系  $C$  を  $Z$  軸回りにヨ一角  $\gamma_i$  だけ回転した座標系である。したがって、式（12）で求まる角度  $\theta_i$  が、グローバル座標系  $C$  を基準としたローカル座標系  $C_i$  のヨ一角  $\gamma_i$  となる。

[0043] なお、グローバル座標系  $C$  の  $X$  軸方向が磁北方向と一致しない場合も、磁北を基準としてヨ一角  $\gamma_i$  を求めることもできる。地磁気ベクトルのグローバル座標系  $C$  の  $X$  軸方向成分、 $Y$  軸方向成分、 $Z$  軸方向成分を、

[数13]

$$\dot{m}_{th} = [E_X \quad E_Y \quad E_Z]^T \quad (13)$$

[0044] とする。地磁気ベクトルのグローバル座標系  $C$  の  $X$  軸方向成分、 $Y$  軸方向成分、 $Z$  軸方向成分は、地磁気センサ  $B_i$  と同一のタイプの地磁気センサを用いて、グローバル座標系  $C$  の  $X$  軸方向、 $Y$  軸方向、 $Z$  軸方向と軸の方向が一致する状態で計測を行うことにより、求められる。そして、式（13）より、 $X$  軸から磁北方向までの角度  $\theta$  を、地磁気ベクトルのグローバル座標系  $C$  の  $X$  軸成分、 $Y$  軸成分を用いて求める。すなわち、

[数14]

$$\theta = \tan^{-1}(E_Y/E_X) \quad (14)$$

[0045] となる。ここで、角度 $\theta$ はZ軸を負の方向から見て時計回りを正とする。補正座標系 $C'_i$ はグローバル座標系 $C$ をZ軸回りにヨー角 $\gamma_i$ だけ回転した座標系である。したがって、式(12)、式(14)より、

[数15]

$$\gamma_i = \theta - \theta_i \quad (15)$$

[0046] となり、グローバル座標系 $C$ を基準としたローカル座標系 $C_i$ のヨー角 $\gamma_i$ が求まる。

[0047] 以上のようにして、それぞれの地磁気センサ $B_i$ での計測データに基づいて、それぞれのローカル座標系 $C_i$ のヨー角 $\gamma_i$ が算出される。算出された姿勢角 $\alpha_i$ 、 $\beta_i$ 、 $\gamma_i$ の値に基づいて、姿勢検出部30はそれぞれのセンサユニット $S_i$ の姿勢を検出する。

[0048] 図3に示すように、姿勢検出部30には、線形形状検出部40が接続されている。図6は、線形形状検出部40により検出される内視鏡10の挿入部11の検出線形形状61をグローバル座標 $C$ のZ軸の正の方向から見た図である。図6に示すように、線形形状検出部40は、姿勢検出部30で検出されたそれぞれのセンサユニット $S_i$ の姿勢に基づいて、それぞれのセンサユニット $S_i$ の間の形状を寸法がセンサ間寸法 $l$ に等しい直線状のリンク $T_j$  ( $j = 1, 2, \dots, N$ )と仮定して、挿入部11の検出線形形状61を検出する。ここで、基端側から $k$ 番目のリンク $T_k$ は、基端側から $k$ 番目のセンサユニット $S_{k-1}$ と基端側から $(k+1)$ 番目のセンサユニット $S_k$ との間のリンクである。線形形状検出部40は、それぞれのリンク $T_j$ を形成するリンク形成部41と、リンク形成部41により形成されたそれぞれのリンク $T_j$ を平行移動して、リンク $T_j$ の位置を補正するリンク位置補正部42とを備える。リンク位置補正部42によりそれぞれのリンク $T_j$ は、隣接するリンク $T_{j-1}$ 、 $T_{j+1}$ とのリンク境界が連続する状態に、平行移動される。

[0049] 線形形状検出部40には、描画部45が接続されている。描画部45には、表示部47が接続されている。線形形状検出部40により検出されたグローバル座標系Cでの挿入部11の検出線形形状61は、描画部45により描画される。術者は、描画部45により描画された検出線形形状61を表示部47で確認可能となっている。

[0050] ここで、線形形状検出部40で挿入部11の検出線形形状61を検出する方法について説明する。図4に示すように、挿入部11の検出線形形状61を検出する際、まず、ステップS102, S103で算出した姿勢角 $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ の値に基づいて、リンク形成部41が、直線形状のそれぞれのリンク $T_i$ を形成する(ステップS104)。ここでは、基端側からk番目のセンサユニット $S_{k-1}$ と基端側から(k+1)番目のセンサユニット $S_k$ との間の基端側からk番目のリンク $T_k$ の形成について説明する。

[0051] 式(7)、式(8)、式(12)(又は式(15))に示すように、ステップS102, S103でローカル座標系 $C_{k-1}$ (つまりリンク)の姿勢角 $\alpha_{k-1}, \beta_{k-1}, \gamma_{k-1}$ が算出される。この姿勢角 $\alpha_{k-1}, \beta_{k-1}, \gamma_{k-1}$ 及びそれぞれのセンサユニット $S_i$ の間の長手方向についての間隔であるセンサ間寸法lを用いて、センサユニット $S_{k-1}$ がグローバル座標系Cの原点に位置する場合の、センサユニット $S_k$ の座標 $P'_k(l_{xk}, l_{yk}, l_{zk})$ が求まる。ここで、座標 $P'_k$ は、

[数16]

$$i_k = [l_{xk} \quad l_{yk} \quad l_{zk}]^T = l C_{Bk-1}^G e_{yk-1} = l \begin{bmatrix} -\sin\gamma_{k-1} \cdot \cos\alpha_{k-1} \\ \cos\gamma_{k-1} \cdot \cos\alpha_{k-1} \\ \sin\alpha_{k-1} \end{bmatrix} \quad (16.1)$$

$$e_{yk-1} = [0 \quad 1 \quad 0]^T \quad (16.2)$$

[0052] となる。式(16.1)、式(16.2)の $e_{yk-1}$ は、ローカル座標系 $C_{k-1}$ の原点での長手方向である $Y_{k-1}$ 軸方向の単位ベクトルである。単位ベクトル $e_{yk-1}$ と式(1)で算出される回転行列を乗算することにより、単位ベクトル $e_{yk-1}$ のグローバル座標系CのX軸方向成分、Y軸方向成分、Z軸方向



成分がそれぞれ算出される。すなわち、 $l_{xk}$ 、 $l_{yk}$ 、 $l_{zk}$ は、ローカル座標系 $C_{k-1}$ の $Y_{k-1}$ 軸方向への大きさ $l$ のベクトルを、それぞれグローバル座標系 $C$ の $X$ 軸方向、 $Y$ 軸方向、 $Z$ 軸方向に分解した成分である。グローバル座標系 $C$ の原点と式(16.1)、式(16.2)で算出される座標 $P'_k(l_{xk}, l_{yk}, l_{zk})$ とを直線状に結ぶことにより、リンク $T_k$ が形成される。

[0053] なお、リンク $T_k$ 以外のリンク $T_j$ についても、リンク形成部41により同様に形成される。すなわち、式(16.1)、式(16.2)を用いて、リンク $T_j$ の基端側(グローバル座標系 $C$ の原点から近い側)のセンサユニット $S_{j-1}$ がグローバル座標系 $C$ の原点に位置する場合の、リンク $T_j$ の先端側(グローバル座標系 $C$ の原点から遠い側)のセンサユニット $S_j$ の座標 $P'_j(l_{xj}, l_{yj}, l_{zj})$ を求める。そして、グローバル座標系 $C$ の原点と座標 $P'_j(l_{xj}, l_{yj}, l_{zj})$ とを直線状に結ぶことにより、リンク $T_j$ が形成される。すなわち、リンク形成部41は、リンク $T_j$ が基端側(グローバル座標系 $C$ の原点から近い側)のセンサユニット $S_{j-1}$ の中心から先端側(グローバル座標系 $C$ の原点から遠い側)のセンサユニット $S_j$ の中心まで基端側のセンサユニット $S_{j-1}$ の中心での長手方向に延設されると仮定して、リンク $T_j$ を形成する。

[0054] また、センサ間寸法 $l$ は50mm程度であることが好ましい。センサ間寸法 $l$ を長くすることにより、センサユニット $S_i$ の数が減少し、コストを削減される。また、センサ間寸法 $l$ が50mm程度より小さい範囲であれば、それぞれのセンサユニット $S_i$ の間を寸法がセンサ間寸法 $l$ に等しい直線状のリンク $T_j$ と仮定した場合でも、挿入部11の形状検出の際の誤差を小さくすることが可能である。

[0055] そして、リンク位置補正部42が、リンク形成部41により形成されたそれぞれのリンク $T_j$ を隣接するリンク $T_{j-1}$ 、 $T_{j+1}$ とのリンク境界が連続する状態に平行移動して、リンク $T_j$ の位置を補正する(ステップS105)。図7は、リンク位置補正部42での処理を説明する図である。ここでは、基端側から $k$ 番目のセンサユニット $S_{k-1}$ と基端側から $(k+1)$ 番目のセンサ

ユニット $S_k$ との間の基端側から $k$ 番目のリンク $T_k$ の位置補正について説明する。

[0056] 図7に示すように、リンク位置補正部42により、リンク $T_k$ の位置補正が行われる前の状態では、リンク $T_k$ の基端側に隣接するリンク $T_{k-1}$ まで位置補正が完了し、リンク位置補正完了部63が形成されている。リンク $T_k$ の位置補正を行う際は、原点からリンク位置補正完了部63の先端までの移動量だけ、リンク位置補正部42はリンク $T_k$ を平行移動する。すなわち、図7の点線で示す位置から図7の実線で示す位置にリンク $T_k$ を平行移動する。これにより、リンク $T_{k-1}$ とリンク $T_k$ とのリンク境界が連続する状態となり、リンク $T_k$ の位置が補正される。

[0057] なお、リンク $T_k$ 以外のリンク $T_j$ についても、リンク位置補正部42により同様に位置が補正される。すなわち、リンク $T_j$ の位置補正を行う際は、原点からリンク位置補正完了部63の先端（グローバル座標系Cの原点から遠い側の端）までの移動量だけ、リンク位置補正部42はリンク $T_j$ を平行移動する。これにより、リンク $T_j$ とリンク $T_j$ の基端側（グローバル座標系Cの原点から近い側）に隣接するリンク $T_{j-1}$ とのリンク境界が連続する状態となり、リンク $T_j$ の位置が補正される。ただし、リンク $T_1$ については、リンク $T_1$ の基端がグローバル座標系Cの原点であるため、位置の補正は行われない。

[0058] 図3に示すように、線形状検出部40は、曲線形状検出部50に接続されている。図8は、曲線形状検出部50により検出された内視鏡10の挿入部11の検出曲線形状65をグローバル座標CのZ軸の正の方向から見た図である。図8に示すように、曲線形状検出部50は、それぞれのセンサユニット $S_j$ の間の形状を弧長がセンサ間寸法 $l$ に等しい円弧 $L_j$ （ $j = 1, 2, \dots, N$ ）と仮定して、検出線形状61を曲線補間する。曲線補間を行うことにより、検出曲線形状65が形成される。ここで、基端側から $k$ 番目の円弧 $L_k$ は、基端側から $k$ 番目のセンサユニット $S_{k-1}$ と基端側から $(k+1)$ 番目のセンサユニット $S_k$ との間の円弧である。

- [0059] 曲線形状検出部50は、それぞれのリンク $T_j$ ごとに曲線補間を行い、円弧 $L_j$ を形成する曲線補間部51と、すべてのリンク $T_j$ について曲線補間を行う状態に曲線補間部51を制御する補間制御部52と、曲線補間部51により形成されたそれぞれの円弧 $L_j$ を平行移動して、円弧 $L_j$ の位置を補正する円弧位置補正部53とを備える。円弧位置補正部53によりそれぞれの円弧 $L_j$ は、隣接する円弧 $L_{j-1}$ 、 $L_{j+1}$ との円弧境界が連続する状態に、平行移動される。
- [0060] 図3に示すように、曲線補間部51は、法線形成部55と、中心決定部57と、円弧形成部59とを備える。法線形成部55、中心決定部57及び円弧形成部59の詳細については、後述する。
- [0061] 曲線形状検出部50には、描画部45が接続されている。曲線形状検出部50により形成されたグローバル座標系Cでの挿入部11の検出曲線形状65は、描画部45により描画される。術者は、描画部45により描画された検出曲線形状65を表示部47で確認可能となっている。
- [0062] ここで、曲線形状検出部50で、線形状検出部40により検出された検出線形状61を曲線補間し、検出曲線形状65を検出する方法について説明する。図4に示すように、曲線形状検出部50は、それぞれのセンサユニット $S_j$ の間の形状を弧長がセンサ間寸法 $l$ に等しい円弧 $L_j$ と仮定して、検出線形状61の曲線補間を行い、検出曲線形状65を推定する（ステップS106）。前述のように、センサ間寸法 $l$ が50mm程度より小さい範囲であれば、それぞれのセンサユニット $S_j$ の間を寸法がセンサ間寸法 $l$ に等しい直線状のリンク $T_j$ と仮定した場合でも、挿入部11の形状検出の際の誤差は小さくなる。しかし、体腔内に挿入された際の内視鏡10の挿入部11の形状は曲線形状である。したがって、検出線形状61の曲線補間を行うことが重要となる。ここで、内視鏡10の挿入部11は、製品により差はあるが、適度の弾性を有する。このため、挿入部11の曲線形状の曲率が大きく変化することは、稀である。したがって、センサユニット $S_j$ の間の形状を半径 $R_j$ （曲率 $1/R_j$ ）の円弧 $L_j$ と仮定して曲線補間を行うことにより、実際

の挿入部 1 1 の曲線形状と誤差の少ない検出曲線形状 6 5 が形成される。

[0063] 検出線形形状 6 1 の曲線補間を行い、検出曲線形状 6 5 を検出する際、曲線補間部 5 1 は、それぞれのリンク  $T_j$  ごとに曲線補間を行い、円弧  $L_j$  を形成する。ここで、曲線補間部 5 1 により、リンク  $T_j$  の曲線補間を行う方法について説明する。ここでは、基端側から  $k$  番目のセンサユニット  $S_{k-1}$  と基端側から  $(k+1)$  番目のセンサユニット  $S_k$  との間の基端側から  $k$  番目のリンク  $T_k$  の曲線補間について説明する。

[0064] 図 9 は、曲線形状検出部 5 0 により検出線形形状 6 1 から検出曲線形状 6 5 を検出する方法を示すフローチャートである。図 10 は、曲線補間部 5 1 での処理を説明する図である。図 10 に示すように、曲線補間部 5 1 により補間対象であるリンク（補間対象リンク） $T_k$  の曲線補間を行う前の状態では、センサユニット  $S_k$  は点  $Q'_k$  に位置している。図 9 及び図 10 に示すように、曲線補間部 5 1 によりリンク（補間対象リンク） $T_k$  の曲線補間を行う際は、まず、法線形成部 5 5 が、リンク  $T_k$  の基端（第 1 の端点）を通り、リンク  $T_k$  に垂直な第 1 の補間法線  $N_{k-1}$  と、リンク  $T_k$  の先端（第 2 の端点）を通り、リンク  $T_k$  の先端側に隣接するリンク（補間対象隣接リンク） $T_{k+1}$  に垂直な第 2 の補間法線  $N_k$  とを形成する（ステップ S 1 1 1）。すなわち、第 1 の補間法線  $N_{k-1}$  は、リンク  $T_k$  の方向ベクトルに垂直という条件、及び、センサユニット（第 1 の端点） $S_{k-1}$  を通過するという条件から求めることができる。同様に、第 2 の補間法線  $N_k$  は、リンク  $T_{k+1}$  の方向ベクトルに垂直という条件、及び、センサユニット（第 2 の端点） $S_k$  を通過するという条件から求めることができる。

[0065] そして、中心決定部 5 7 が、第 1 の補間法線  $N_{k-1}$  と第 2 の補間法線  $N_k$  との交点  $O_k$  を算出し、交点  $O_k$  を円弧  $L_k$  の中心として決定する（ステップ S 1 1 2）。第 1 の補間法線  $N_{k-1}$  と第 2 の補間法線  $N_k$  とが交わらない場合は、第 1 の補間法線  $N_{k-1}$  と第 2 の補間法線  $N_k$  との距離が最小となる 2 点の中間点  $O_k$  を算出する。中間点  $O_k$  を算出する際は、まず、第 1 の補間法線  $N_{k-1}$  及び第 2 の補間法線  $N_k$  の両方に垂直な直線（図示しない）の方程式を求める。

そして、この直線と第1の補間法線 $N_{k-1}$ との交点、及び、この直線と第2の補間法線 $N_k$ との交点を求め、2つ交点の中間点が中間点 $O_k$ となる。そして、中間点 $O_k$ を円弧 $L_k$ の中心 $O_k$ として決定する(ステップS112)。

[0066] そして、円弧形成部59が、円弧 $L_k$ を形成する(ステップS113)。円弧 $L_k$ は、中心決定部57により決定された中心 $O_k$ とリンク(補間対象リンク) $T_k$ の基端(第1の端点)との間の距離と同一の半径 $R_k$ を有する。すなわち、円弧 $L_k$ は曲率 $1/R_k$ を有する。また、円弧 $L_k$ は、リンク $T_k$ の基端(第1の端点)を始点とする弧の長さがセンサ間寸法 $l$ に等しい円弧 $L_k$ である。円弧 $L_k$ の先端 $Q_k$ が、曲線補間後のセンサユニット $S_k$ の位置となる。すなわち、リンク $T_k$ の曲線補間により、センサユニット $S_k$ の位置が点 $Q'_k$ から点 $Q_k$ に移動する。以上のようにして、リンク $T_k$ の曲線補間が行われる。

[0067] なお、リンク $T_k$ 以外のリンク $T_j$ についても、曲線補間部51により同様に曲線補間が行われる。すなわち、リンク(補間対象リンク) $T_j$ の曲線補間を行う際は、法線形成部55が、リンク $T_j$ の基端(グローバル座標Cの原点から近い側の端)である第1の端点を通り、リンク $T_j$ に垂直な第1の補間法線 $N_{j-1}$ と、リンク $T_j$ の先端(グローバル座標Cの原点から遠い側の端)である第2の端点を通り、リンク $T_j$ の先端側(グローバル座標Cの原点から遠い側)に隣接するリンク(補間対象隣接リンク) $T_{j+1}$ に垂直な第2の補間法線 $N_j$ とを形成する(ステップS111)。そして、中心決定部57が、第1の補間法線 $N_{j-1}$ と第2の補間法線 $N_j$ との交点 $O_j$ 、又は、第1の補間法線 $N_{j-1}$ と第2の補間法線 $N_j$ との距離が最小となる2点の中間点 $O_j$ を算出し、交点 $O_j$ 又は中間点 $O_j$ を円弧 $L_j$ の中心 $O_j$ として決定する(ステップS112)。そして、円弧形成部59が、半径 $R_j$ が中心 $O_j$ とリンク(補間対象リンク) $T_j$ の基端との間の距離と同一で、かつ、リンク $T_j$ の基端を始点とする弧の長さがセンサ間寸法 $l$ に等しい円弧 $L_j$ を形成する(ステップS113)。

[0068] そして、図9に示すように、補間制御部52が、すべてのリンク $T_j$ について曲線補間が完了したか確認する(ステップS114)。すべてのリンク $T_j$ について曲線補間が完了している場合は、次のステップに進む(ステップS

114-Yes)。すべてのリンク $T_j$ について曲線補間が完了していない場合は、ステップS111に戻り（ステップS114-No）、曲線補間部51により、曲線補間が完了していないリンク $T_j$ について曲線補間が行われる。すなわち、すべてのリンク $T_j$ （本実施形態ではN本）について曲線補間が完了するまでステップS111～S113を行う状態に曲線補間部51が制御される。

[0069] 曲線補間部51によりすべてのリンク $T_j$ について曲線補間が行われると、円弧位置補正部53が、曲線補間部51により形成されたそれぞれの円弧 $L_j$ を隣接する円弧 $L_{j-1}$ 、 $L_{j+1}$ との円弧境界が連続する状態に平行移動して、円弧 $L_j$ の位置を補正する（ステップS115）。図11は、円弧位置補正部53での処理を説明する図である。ここでは、基端側から $k$ 番目のセンサユニット $S_{k-1}$ と基端側から $(k+1)$ 番目のセンサユニット $S_k$ との間の基端側から $k$ 番目の円弧 $L_k$ の位置補正について説明する。

[0070] 図11に示すように、円弧位置補正部53により、円弧 $L_k$ の位置補正が行われる前の状態では、円弧 $L_k$ の基端側に隣接する円弧 $L_{k-1}$ まで位置補正が完了し、円弧位置補正完了部67が形成されている。円弧 $L_k$ の位置補正を行う際は、位置補正前の円弧 $L_k$ の基端から円弧位置補正完了部67の先端までの移動量だけ、円弧位置補正部53は円弧 $L_k$ を平行移動する。すなわち、図11の点線で示す位置から図11の実線で示す位置に円弧 $L_k$ を平行移動する。これにより、円弧 $L_{k-1}$ と円弧 $L_k$ との円弧境界が連続する状態となり、円弧 $L_k$ の位置が補正される。

[0071] なお、円弧 $L_k$ 以外の円弧 $L_j$ についても、円弧位置補正部53により同様に位置が補正される。すなわち、円弧 $L_j$ の位置補正を行う際は、位置補正前の円弧 $L_j$ の基端から円弧位置補正完了部67の先端（グローバル座標系Cの原点から遠い側の端）までの移動量だけ、円弧位置補正部53は円弧 $L_j$ を平行移動する。これにより、円弧 $L_j$ と円弧 $L_j$ の基端側（グローバル座標系Cの原点から近い側）に隣接する円弧 $L_{j-1}$ との円弧境界が連続する状態となり、円弧 $L_j$ の位置が補正される。ただし、円弧 $L_1$ については、円弧 $L_1$ の基端

がグローバル座標系Cの原点であるため、位置の補正は行われない。

[0072] 図4に示すように、曲線形状検出部50による検出線形形状61の曲線補間が完了し、検出曲線形状65が形成されると、内視鏡形状検出装置1による検査が完了したかを確認する(ステップS107)。検査が完了していない場合は(ステップS107-No)、ステップS101に戻り、次の静状態での内視鏡10の挿入部11の形状検出を行う。検査が完了している場合は(ステップS107-Yes)、内視鏡10の挿入部11の形状検出は終了する。

[0073] そこで、上記構成の内視鏡形状検出装置1及び内視鏡形状検出装置1を用いた内視鏡10の挿入部11の形状検出方法では、以下の効果を奏する。すなわち、内視鏡形状検出装置1では、それぞれのセンサユニット $S_i$ の計測データから姿勢検出部30がセンサユニット $S_i$ の姿勢を検出し、線形形状検出部40がそれぞれのセンサユニット $S_i$ の姿勢から内視鏡10の挿入部11の検出線形形状61を検出する。そして、曲線形状検出部50が、検出線形形状61の曲線補間を行い、検出曲線形状65を検出する。以上のように、観察時に体腔内に挿入される挿入部11に配置されるセンサユニット $S_i$ の計測データから、挿入部11の検出曲線形状65が検出されるため、体外にセンスコイル等を設ける必要がない。このため、内視鏡形状検出装置1の小型化、単純化を実現することができる。

[0074] また、内視鏡形状検出装置1では、曲線形状検出部50により、それぞれのセンサユニット $S_i$ の間の形状を弧長がセンサ間寸法 $l$ に等しい円弧 $L_j$ と仮定して、検出線形形状61の曲線補間を行い、検出曲線形状65を検出している。実際に、内視鏡10の挿入部11は、製品により差はあるが、適度の弾性を有する。このため、挿入部11の曲線形状の曲率が大きく変化することは、稀である。したがって、センサユニット $S_i$ の間の形状を半径 $R_j$ (曲率 $1/R_j$ )の円弧 $L_j$ と仮定して曲線補間を行うことにより、実際の挿入部11の曲線形状と誤差の少ない検出曲線形状65を検出することができる。これにより、高い精度で挿入部11の検出曲線形状65を検出することが

できる。

[0075] さらに、内視鏡形状検出装置 1 では、挿入部 11 が移動していない静状態において、加速度センサ  $A_j$  が重力加速度を計測し、地磁気センサ  $B_j$  が地磁気を計測する。そして、計測された重力加速度、地磁気から姿勢検出部 30 がそれぞれのセンサユニット  $S_j$  の姿勢を検出する。静状態では、重力加速度及び地磁気は、常に一定の方向に一定の大きさを有する。重力加速度、地磁気からそれぞれのセンサユニット  $S_j$  の姿勢を検出するため、静状態においても高い精度でセンサユニット  $S_j$  の姿勢を検出することができる。これにより、高い精度で挿入部 11 の検出曲線形状 65 を検出することができる。

[0076] (第 2 の実施形態)

次に、本発明の第 2 の実施形態について図 12 乃至図 15 を参照して説明する。なお、第 1 の実施形態と同一の部分及び同一の機能を有する部分については同一の符号を付して、その説明は省略する。

[0077] 図 12 は、本実施形態のパソコン 8 の構成を示す図である。図 12 に示すように、パソコン 8 は、第 1 の実施形態と同様に、通信部 26、物理量換算部 28、姿勢検出部 30、線形形状検出部 40、描画部 45 及び表示部 47 とを備える。線形形状検出部 40 及び描画部 45 には、曲線形状検出部 70 が接続されている。

[0078] 曲線形状検出部 70 は、第 1 の実施形態の曲線形状検出部 50 と同様に、それぞれのセンサユニット  $S_j$  の間の形状を弧長がセンサ間寸法  $l$  に等しい円弧  $L_j$  ( $j = 1, 2, \dots, N$ ) と仮定して、検出線形形状 61 を曲線補間し、検出曲線形状 81 を検出する。ただし、検出曲線形状 81 を検出する手法が曲線形状検出部 50 とは異なる。

[0079] 曲線形状検出部 70 は、それぞれのリンク  $T_j$  ごとに基端側（グローバル座標系  $C$  の原点から近い側）のリンク  $T_j$  から順に曲線補間を行い、円弧  $L_j$  を形成する曲線補間部である補間順次実施部 71 と、すべてのリンク  $T_j$  について曲線補間を行う状態に補間順次実施部 71 を制御する補間制御部 72 とを備える。また、曲線形状検出部 70 は、補間順次実施部 71 により 1 つのリ



リンク $T_j$ の曲線補間が行われるたびに、曲線補間が行われていないリンク（未補間リンク） $T_j$ から構成される補間未完了部85を平行移動し、位置を補正する未補間リンク位置補正部73を備える。未補間リンク位置補正部73により、補間未完了部85が、曲線補間により形成される円弧 $L_j$ から構成される補間完了部83と境界が連続する状態に平行移動される。

[0080] 図12に示すように、補間順次実施部71は、法線形成部75と、中心決定部77と、円弧形成部79とを備える。法線形成部75、中心決定部77及び円弧形成部79の詳細については、後述する。

[0081] ここで、曲線形状検出部70で、線形形状検出部40により検出された検出線形形状61の曲線補間を行い、検出曲線形状81を検出する方法について説明する。曲線形状検出部70は、第1の実施形態の曲線形状検出部50と同様に、それぞれのセンサユニット $S_j$ の間の形状を弧長がセンサ間寸法 $l$ に等しい円弧 $L_j$ と仮定して、検出線形形状61を曲線補間する（図4のステップS106）。これにより、第1の実施形態で前述したように、実際の挿入部11の曲線形状と誤差の少ない検出曲線形状81が形成される。

[0082] 検出線形形状61の曲線補間を行う際、補間順次実施部71は、それぞれのリンク $T_j$ ごとに基端側（グローバル座標系Cの原点から近い側）のリンク $T_j$ から順に曲線補間を行い、円弧 $L_j$ を形成する。ここで、補間順次実施部71により、リンク $T_j$ の曲線補間を行う方法について説明する。ここでは、基端側から $k$ 番目のセンサユニット $S_{k-1}$ と基端側から $(k+1)$ 番目のセンサユニット $S_k$ との間の基端側から $k$ 番目のリンク $T_k$ の曲線補間について説明する。

[0083] 図13は、曲線形状検出部70により検出線形形状61から検出曲線形状81を検出する方法を示すフローチャートである。図14は、補間順次実施部71での処理を説明する図である。図14に示すように、補間順次実施部71により、リンク $T_k$ の曲線補間が行われる前の状態では、リンク $T_{k-1}$ まで曲線補間が完了し、補間完了部83が形成されている。補間完了部83は、円弧 $L_1 \sim L_{k-1}$ から構成されている。また、補間が行われていないリンク

(補間未完了リンク)  $T_k \sim T_N$ から構成される補間未完了部85が形成されている。この際、補間完了部83と補間未完了部85との境界は連続し、センサユニット $S_k$ は点 $U'_k$ に位置している。

[0084] この状態で、補間順次実施部71により、補間未完了部85の中で最も基端側に位置するリンク(補間対象リンク)  $T_k$ の曲線補間が行われる。図13及び図14に示すように、リンク $T_k$ の曲線補間を行う際は、まず、法線形成部75が、リンク $T_k$ の基端(第1の端点)を通り、リンク $T_k$ に垂直な第1の補間法線 $N_{k-1}$ と、リンク $T_k$ の先端(第2の端点)を通り、リンク $T_k$ の先端側に隣接するリンク(補間対象隣接リンク)  $T_{k+1}$ に垂直な第2の補間法線 $N_k$ とを形成する(ステップS121)。

[0085] そして、中心決定部77が、第1の補間法線 $N_{k-1}$ と第2の補間法線 $N_k$ との交点 $O_k$ を算出し、交点 $O_k$ を円弧 $L_k$ の中心として決定する(ステップS122)。第1の補間法線 $N_{k-1}$ と第2の補間法線 $N_k$ とが交わらない場合は、第1の補間法線 $N_{k-1}$ と第2の補間法線 $N_k$ との距離が最小となる2点の中間点 $O_k$ を算出する。中間点 $O_k$ は、第1の実施形態と同様の手法により算出される。そして、中間点 $O_k$ を円弧 $L_k$ の中心 $O_k$ として決定する(ステップS122)。

[0086] そして、円弧形成部79が、円弧 $L_k$ を形成する(ステップS123)。円弧 $L_k$ は、中心決定部77により決定された中心 $O_k$ とリンク(補間対象リンク)  $T_k$ の基端との間の距離と同一の半径 $R_k$ を有する。すなわち、円弧 $L_k$ は曲率 $1/R_k$ を有する。また、円弧 $L_k$ は、リンク $T_k$ の基端を始点とする弧の長さがセンサ間寸法 $l$ に等しい円弧 $L_k$ である。円弧 $L_k$ の先端 $U_k$ が、曲線補間後のセンサユニット $S_k$ の位置となる。すなわち、リンク $T_k$ の曲線補間により、センサユニット $S_k$ の位置が点 $U'_k$ から点 $U_k$ に移動する。センサユニット $S_k$ の位置の移動により、補間順次実施部71によりリンク $T_k$ の曲線補間が行われる前の状態では連続していた補間完了部83と補間未完了部85との境界が、不連続な状態となる。すなわち、円弧 $L_k$ とリンク $T_{k+1}$ が不連続な状態となる。

[0087] なお、リンク  $T_k$  以外のリンク  $T_j$  についても、補間順次実施部 7 1 により同様に曲線補間が行われる。すなわち、リンク（補間対象リンク） $T_j$  の曲線補間を行う際は、法線形成部 7 5 が、リンク  $T_j$  の基端（グローバル座標  $C$  の原点から近い側の端）である第 1 の端点を通り、リンク  $T_j$  に垂直な第 1 の補間法線  $N_{j-1}$  と、リンク  $T_j$  の先端（グローバル座標  $C$  の原点から遠い側の端）である第 2 の端点を通り、リンク  $T_j$  の先端側（グローバル座標  $C$  の原点から遠い側）に隣接するリンク（補間対象隣接リンク） $T_{j+1}$  に垂直な第 2 の補間法線  $N_j$  とを形成する（ステップ S 1 2 1）。そして、中心決定部 7 7 が、第 1 の補間法線  $N_{j-1}$  と第 2 の補間法線  $N_j$  との交点  $O_j$ 、又は、第 1 の補間法線  $N_{j-1}$  と第 2 の補間法線  $N_j$  との距離が最小となる 2 点の中間点  $O_j$  を算出し、交点  $O_j$  又は中間点  $O_j$  を円弧  $L_j$  の中心  $O_j$  として決定する（ステップ S 1 2 2）。そして、円弧形成部 7 9 が、半径  $R_j$  が中心  $O_j$  とリンク（補間対象リンク） $T_j$  の基端との間の距離と同一で、かつ、リンク  $T_j$  の基端を始点とする弧の長さがセンサ間寸法  $l$  に等しい円弧  $L_j$  形成する（ステップ S 1 2 3）。

[0088] 図 1 5 は、未補間リンク位置補正部 7 3 での処理を説明する図である。図 1 5 に示すように、補間順次実施部 7 1 により、リンク  $T_k$  の曲線補間が行われ、円弧  $L_k$  が形成された後の状態では、曲線補間が完了した補間完了部 8 3 と、曲線補間が完了していない補間未完了部 8 5 とが形成されている。補間完了部 8 3 は円弧  $L_1 \sim L_k$  から構成され、補間未完了部 8 5 はリンク  $T_{k+1} \sim T_N$  から構成されている。この際、前述のようにリンク  $T_k$  の曲線補間によりセンサユニット  $S_k$  の位置が点  $U'_k$  から点  $U_k$  に移動するため、補間完了部 8 3 と補間未完了部 8 5 との境界は、不連続となっている。この状態で、未補間リンク位置補正部 7 3 が、補間未完了部 8 5 を補間完了部 8 3 と境界が連続する状態に平行移動して、補間未完了部 8 5 の位置を補正する（ステップ S 1 2 4）。すなわち、図 1 5 の点線で示す位置から、実線で示す位置に補間未完了部 8 5 が平行移動される。

[0089] なお、リンク  $T_k$  以外のリンク  $T_j$  についても、同様に未補間リンク位置補

正部 7 3 により補間未完了部 8 5 の位置が補正される。すなわち、補間順次実施部 7 1 によりリンク  $T_j$  の曲線補間が行われた後、補間完了部 8 3 と補間未完了部 8 5 との境界は不連続となっている。この状態で、未補間リンク位置補正部 7 3 が、補間未完了部 8 5 を補間完了部 8 3 と連続する状態に平行移動して、補間未完了部 8 5 の位置を補正する（ステップ S 1 2 4）。未補間リンク位置補正部 7 3 は、補間順次実施部 7 1 により 1 つのリンク  $T_j$  の曲線補間が行われるたびに、補間未完了部 8 5 の位置を補正する。

[0090] そして、図 1 3 に示すように、補間制御部 7 2 が、すべてのリンク  $T_j$  について曲線補間が完了したか確認する（ステップ S 1 2 5）。すべてのリンク  $T_j$  について曲線補間が完了している場合は、挿入部 1 1 の検出曲線形状 8 1 が形成され、次のステップに進む（ステップ S 1 2 5 - Yes）。すべてのリンク  $T_j$  について曲線補間が完了していない場合は、ステップ S 1 2 1 に戻り（ステップ S 1 2 5 - No）、補間順次実施部 7 1 により、補間未完了部 8 5 の中で最も基端側（グローバル座標系 C の原点から近い側）に位置するリンク（補間対象リンク）  $T_j$  の曲線補間が行われる。すなわち、すべてのリンク  $T_j$  について曲線補間が完了するまでステップ S 1 2 1 ~ S 1 2 3 を行う状態に、補間順次実施部 7 1 が制御される。そして、補間順次実施部 7 1 により次のリンク  $T_j$  の曲線補間が行われると（ステップ S 1 2 1 ~ S 1 2 3）、未補間リンク位置補正部 7 3 により補間未完了部 8 5 の位置の補正が行われる（ステップ S 1 2 4）。

[0091] そこで、上記構成の内視鏡形状検出装置 1 及び内視鏡形状検出装置 1 を用いた内視鏡 1 0 の挿入部 1 1 の形状検出方法では、以下の効果を奏する。すなわち、内視鏡形状検出装置 1 では、それぞれのセンサユニット  $S_i$  の計測データから姿勢検出部 3 0 がセンサユニット  $S_i$  の姿勢を検出し、線形形状検出部 4 0 がそれぞれのセンサユニット  $S_i$  の姿勢から内視鏡 1 0 の挿入部 1 1 の検出線形形状 6 1 を検出する。そして、曲線形状検出部 7 0 が、検出線形形状 6 1 の曲線補間を行い、検出曲線形状 8 1 を検出する。以上のように、観察時に体腔内に挿入される挿入部 1 1 に配置されるセンサユニット  $S_i$  の計測

データから、挿入部 11 の検出曲線形状 81 が検出されるため、体外にセンスコイル等を設ける必要がない。このため、内視鏡形状検出装置 1 の小型化、単純化を実現することができる。

[0092] また、内視鏡形状検出装置 1 では、曲線形状検出部 70 により、それぞれのセンサユニット  $S_i$  の間の形状を弧長がセンサ間寸法  $l$  に等しい円弧  $L_i$  と仮定して、検出線形形状 61 の曲線補間を行い、検出曲線形状 81 を検出している。実際に、内視鏡 10 の挿入部 11 は、製品により差はあるが、適度の弾性を有する。このため、挿入部 11 の曲線形状の曲率が大きく変化することは、稀である。したがって、センサユニット  $S_i$  の間の形状を半径  $R_i$  (曲率  $1/R_i$ ) の円弧  $L_i$  と仮定して曲線補間を行うことにより、実際の挿入部 11 の曲線形状と誤差の少ない検出曲線形状 81 を検出することができる。これにより、高い精度で挿入部 11 の検出曲線形状 81 を検出することができる。

[0093] さらに、内視鏡形状検出装置 1 では、挿入部 11 が移動していない静状態において、加速度センサ  $A_i$  が重力加速度を計測し、地磁気センサ  $B_i$  が地磁気を計測する。そして、計測された重力加速度、地磁気から姿勢検出部 30 がそれぞれのセンサユニット  $S_i$  の姿勢を検出する。静状態では、重力加速度及び地磁気は、常に一定の方向に一定の大きさを有する。重力加速度、地磁気からそれぞれのセンサユニット  $S_i$  の姿勢を検出するため、静状態においても高い精度でセンサユニット  $S_i$  の姿勢を検出することができる。これにより、高い精度で挿入部 11 の検出曲線形状 81 を検出することができる。

[0094] (第 1 の変形例)

次に、上述の実施形態の第 1 の変形例について図 16 及び図 17 を参照して説明する。なお、第 1 の実施形態及び第 2 の実施形態と同一の部分及び同一の機能を有する部分については同一の符号を付して、その説明は省略する。

[0095] 本変形例では、内視鏡 10 の挿入部 11 が平行移動している動状態での挿入部 11 の形状を検出可能である。動状態での挿入部 11 の形状を検出は、

図4のステップS106とステップS107との間に行われる。図16は、本変形例のパソコン8の構成を示す図である。図17は、動状態での挿入部11の形状を検出する手法を示すフローチャートである。

[0096] 図16に示すように、パソコン8は、第1の実施形態と同様に、通信部26、物理量換算部28、姿勢検出部30、線形形状検出部40、描画部45、表示部47及び曲線形状検出部50とを備える。

[0097] 物理量換算部28には、加速度検出部90が接続されている。図17に示すように、動状態での挿入部11の形状を検出する際、加速度検出部90は、それぞれのセンサユニット $S_i$ の加速度センサ $A_i$ により計測された動状態での加速度データを取得する(ステップS131)。そして、加速度検出部90は、動状態での加速度データに基づいて、それぞれのセンサユニット $S_i$ の中心で計測される加速度ベクトルを、グローバル座標系CのX軸方向成分、Y軸方向成分、Z軸方向成分に分解する。そして、それぞれのセンサユニット $S_i$ の中心で計測される加速度ベクトルの、グローバル座標系CのX軸方向成分、Y軸方向成分、Z軸方向成分を検出する(ステップS132)。

[0098] ここで、加速度検出部90で、それぞれのセンサユニット $S_i$ の中心で計測される加速度ベクトルの、グローバル座標系CのX軸方向成分、Y軸方向成分、Z軸方向成分を検出する手法について説明する。動状態では、静状態で鉛直方向に発生する重力加速度に、挿入部11の移動による成分が加わるため、それぞれのセンサユニット $S_i$ の中心で計測される加速度ベクトルのグローバル座標系CのX軸方向成分、Y軸方向成分、Z軸方向成分を、

[数17]

$$\dot{a}_{thi} = [a_{thi\_x} \quad a_{thi\_y} \quad -g + a_{thi\_z}]^T \quad (17)$$

[0099] とする。また、それぞれのセンサユニット $S_i$ の加速度センサ $A_i$ により計測された加速度ベクトルのローカル座標系 $C_i$ の $X_i$ 軸方向成分、 $Y_i$ 軸方向成分、 $Z_i$ 軸方向成分を、

[数18]

$$\dot{a}_{\text{obs}i}' = \left[ a_{\text{Bi}_X}' \quad a_{\text{Bi}_Y}' \quad a_{\text{Bi}_Z}' \right]^T \quad (18)$$

[0100] とする。

[0101] また、本変形例では、内視鏡 10 の挿入部 11 が平行移動している場合を考えるため、近接して配置される複数のセンサユニット  $S_i$  において、グローバル座標系 C での加速度ベクトルは、同一であると仮定する。実際の内視鏡 10 では、それぞれのセンサユニット  $S_i$  の間のセンサ間寸法  $l$  は非常に小さいため、このような仮定は可能である。このように仮定することにより、例えばセンサユニット  $S_1$  で計測される加速度ベクトルとセンサユニット  $S_2$  で計測される加速度ベクトルとの間で、

[数19]

$$\dot{a}_{\text{th}1} = \dot{a}_{\text{th}2} \quad (19.1)$$

$$\|\dot{a}_{\text{obs}1}'\| = \|\dot{a}_{\text{obs}2}'\| \quad (19.2)$$

[0102] となる。そして、式 (19.1)、式 (19.2) からそれぞれ、

[数20]

$$[a_{\text{th}1_X} \quad a_{\text{th}1_Y} \quad a_{\text{th}1_Z}]^T = [a_{\text{th}2_X} \quad a_{\text{th}2_Y} \quad a_{\text{th}2_Z}]^T \quad (20.1)$$

$$\left[ a_{\text{B}1_X}' \quad a_{\text{B}1_Y}' \quad a_{\text{B}1_Z}' \right]^T = \left[ a_{\text{B}2_X}' \quad a_{\text{B}2_Y}' \quad \sqrt{\|\dot{a}_{\text{obs}1}'\|^2 - (a_{\text{B}2_X}'^2 + a_{\text{B}2_Y}'^2)} \right]^T \quad (20.2)$$

[0103] の関係が成り立つ。

[0104] ここで、センサユニット  $S_1$  では、グローバル座標系 C とローカル座標系  $C_1$  の関係から、式 (1) の回転行列を用いて、

[数21]

$$\begin{aligned} \dot{a}_{obs1}' &= \left( C_{B1}^G \right)^T \dot{a}_{th1} \\ &= \begin{bmatrix} -\sin\gamma_1 \cdot \sin\alpha_1 \cdot \sin\beta_1 + \cos\beta_1 \cdot \cos\gamma_1 & -\sin\gamma_1 \cdot \cos\alpha_1 & \sin\gamma_1 \cdot \sin\alpha_1 \cdot \cos\beta_1 + \sin\beta_1 \cdot \cos\gamma_1 \\ \cos\gamma_1 \cdot \sin\alpha_1 \cdot \sin\beta_1 + \cos\beta_1 \cdot \sin\gamma_1 & \cos\gamma_1 \cdot \cos\alpha_1 & -\cos\gamma_1 \cdot \sin\alpha_1 \cdot \cos\beta_1 + \sin\beta_1 \cdot \sin\gamma_1 \\ -\cos\alpha_1 \cdot \sin\beta_1 & \sin\alpha_1 & \cos\alpha_1 \cdot \cos\beta_1 \end{bmatrix} \\ &\quad \begin{bmatrix} a_{th1\_X} \\ a_{th1\_Y} \\ -g+a_{th1\_Z} \end{bmatrix} \end{aligned} \tag{21}$$

[0105] となる。同様に、センサユニット S<sub>2</sub> では、グローバル座標系 C とローカル座標系 C<sub>2</sub> の関係から、式 (1) の回転行列を用いて、

[数22]

$$\begin{aligned} \dot{a}_{obs2}' &= \left( C_{B2}^G \right)^T \dot{a}_{th2} \\ &= \begin{bmatrix} -\sin\gamma_2 \cdot \sin\alpha_2 \cdot \sin\beta_2 + \cos\beta_2 \cdot \cos\gamma_2 & -\sin\gamma_2 \cdot \cos\alpha_2 & \sin\gamma_2 \cdot \sin\alpha_2 \cdot \cos\beta_2 + \sin\beta_2 \cdot \cos\gamma_2 \\ \cos\gamma_2 \cdot \sin\alpha_2 \cdot \sin\beta_2 + \cos\beta_2 \cdot \sin\gamma_2 & \cos\gamma_2 \cdot \cos\alpha_2 & -\cos\gamma_2 \cdot \sin\alpha_2 \cdot \cos\beta_2 + \sin\beta_2 \cdot \sin\gamma_2 \\ -\cos\alpha_2 \cdot \sin\beta_2 & \sin\alpha_2 & \cos\alpha_2 \cdot \cos\beta_2 \end{bmatrix} \\ &\quad \begin{bmatrix} a_{th2\_X} \\ a_{th2\_Y} \\ -g+a_{th2\_Z} \end{bmatrix} \end{aligned} \tag{22}$$

[0106] となる。式 (20. 1) の関係を利用して、式 (21) , (22) を解くことにより、センサユニット S<sub>1</sub> , S<sub>2</sub> で計測された重力加速度以外の加速度ベクトルの、グローバル座標系 C の X 軸方向成分 a<sub>th1\_x</sub> ( a<sub>th2\_x</sub> )、Y 軸方向成分 a<sub>th1\_y</sub> ( a<sub>th2\_y</sub> )、Z 軸方向成分 a<sub>th1\_z</sub> ( a<sub>th2\_z</sub> ) が求まる。式 (13) で示す地磁気センサ B<sub>i</sub> により計測される地磁気ベクトルのグローバル座標系 C のそれぞれの軸方向成分と、式 (9) で示す地磁気ベクトルのローカル座標系 C<sub>i</sub> のそれぞれの軸方向成分との関係は、式 (1) の回転行列を用いて、



[数23]

$$\begin{aligned}
 \dot{M}_{obsi} &= \begin{pmatrix} C \\ B_i \end{pmatrix}^T \dot{M}_{th} \\
 &= \begin{bmatrix} -\sin\gamma_i \cdot \sin\alpha_i \cdot \sin\beta_i + \cos\beta_i \cdot \cos\gamma_i & -\sin\gamma_i \cdot \cos\alpha_i & \sin\gamma_i \cdot \sin\alpha_i \cdot \cos\beta_i + \sin\beta_i \cdot \cos\gamma_i \\ \cos\gamma_i \cdot \sin\alpha_i \cdot \sin\beta_i + \cos\beta_i \cdot \sin\gamma_i & \cos\gamma_i \cdot \cos\alpha_i & -\cos\gamma_i \cdot \sin\alpha_i \cdot \cos\beta_i + \sin\beta_i \cdot \sin\gamma_i \\ & -\cos\alpha_i \cdot \sin\beta_i & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i \cdot \cos\beta_i \end{bmatrix} \\
 &\quad \begin{bmatrix} E_X \\ E_Y \\ E_Z \end{bmatrix} \tag{23}
 \end{aligned}$$

[0107] となる。式(23)において  $i = 1$  (又は2)を代入した地磁気の関係式を含めて式(20.1)(21)(22)を解く場合、方程式12個に対して、未知数が姿勢角6個に加え加速度が6個で合計12個である。その結果、センサユニット  $S_1, S_2$  で計測された重力加速度以外の加速度ベクトルの、グローバル座標系CのX軸方向成分  $a_{th1\_x}$  ( $a_{th2\_x}$ )、Y軸方向成分  $a_{th1\_y}$  ( $a_{th2\_y}$ )、Z軸方向成分  $a_{th1\_z}$  ( $a_{th2\_z}$ ) を数値演算的に解くことが可能である。その他のセンサユニット  $S_i$  についても同様にして、それぞれのセンサユニット  $S_i$  で計測された重力加速度以外の加速度ベクトルの、グローバル座標系CのX軸方向成分  $a_{thi\_x}$ 、Y軸方向成分  $a_{thi\_y}$ 、Z軸方向成分  $a_{thi\_z}$  が求まる。

[0108] 加速度検出部90には、変位算出部92が接続されている。変位算出部92は、加速度検出部90で検出された重力加速度以外の加速度ベクトルに基づいて、前回の静状態からのそれぞれのセンサユニット  $S_i$  の変位を算出する(ステップS133)。前回の静状態からのそれぞれのセンサユニット  $S_i$  の変位のグローバル座標系CのX軸方向成分、Y軸方向成分、Z軸方向成分は、それぞれのセンサユニット  $S_i$  で計測された重力加速度以外の加速度ベクトルの、グローバル座標系CのX軸方向成分  $a_{thi\_x}$ 、Y軸方向成分  $a_{thi\_y}$ 、Z軸方向成分  $a_{thi\_z}$  をそれぞれ2重積分することにより求まる。また、変位算出部92では、それぞれのセンサユニット  $S_i$  の速度ベクトルのグローバル座標系CのX軸方向成分、Y軸方向成分、Z軸方向成分も算出される。それぞれのセンサユニット  $S_i$  の速度ベクトルのグローバル座標系CのX軸方向成分、Y軸方向成分、Z軸方向成分は、それぞれのセンサユニット  $S_i$  で計測さ

れた重力加速度以外の加速度ベクトルの、グローバル座標系CのX軸方向成分  $a_{thi\_x}$ 、Y軸方向成分  $a_{thi\_y}$ 、Z軸方向成分  $a_{thi\_z}$  をそれぞれ1回だけ積分することにより求まる。

[0109] 変位算出部92は、移動状態検出部94が接続されている。移動状態検出部94は、曲線形状検出部50に接続されている。図17に示すように、動状態での挿入部11の形状を検出する際には、前述した手法（図4のステップS101～S106）により前回の静状態での挿入部11の検出曲線形状65が検出されている。移動状態検出部94には、前回の静状態での挿入部11の検出曲線形状65が、曲線形状検出部50から入力される。また、移動状態検出部94には、変位算出部92から前回の静状態からのそれぞれのセンサユニット $S_i$ の変位のグローバル座標系CのX軸方向成分、Y軸方向成分、Z軸方向成分の算出結果が入力される。移動状態検出部94は、前回の静状態での挿入部11の検出曲線形状65、及び、前回の静状態からのそれぞれのセンサユニット $S_i$ の変位に基づいて、前回の静状態からの挿入部11の移動状態を検出する（ステップS134）。これにより、動状態での内視鏡10の挿入部11の形状が検出される。

[0110] 移動状態検出部94には、描画部45が接続されている。移動状態検出部94により検出されたグローバル座標系Cにおける挿入部11の動状態での検出形状は、描画部45により描画される。術者は、描画部45により描画された動状態での検出形状を表示部47で確認可能となっている。

[0111] また、変位算出部92には、滞留状態検出部96が接続されている。滞留状態検出部96には、警告部98が接続されている。滞留状態検出部96では、それぞれのセンサユニット $S_i$ の加速度ベクトル、速度ベクトル、変位のグローバル座標系CのX軸方向成分、Y軸方向成分、Z軸方向成分に基づいて、挿入部11の滞留状態を検出する（ステップS135）。すなわち、例えば内視鏡10によりS状結腸の観察を行う際に、挿入部11がSトップ等で滞留している状態を検出する。これにより、操作部12での操作が挿入部11に伝達されているか、術者は確認可能となる。挿入部11が滞留してい

る場合は（ステップS135-Yes）、警告部98により警告表示される（ステップS136）。挿入部11が滞留していない場合は（ステップS135-No）、警告表示は行われずステップS107（図4参照）に進む。

[0112] 以上のように、本変形例の内視鏡形状検出装置1では、加速度検出部90でそれぞれのセンサユニット $S_i$ の中心で計測される加速度ベクトルの、グローバル座標系CのX軸方向成分、Y軸方向成分、Z軸方向成分を検出される。そして、変位算出部92では、それぞれのセンサユニット $S_i$ の変位及び速度ベクトルの、グローバル座標系CのX軸方向成分、Y軸方向成分、Z軸方向成分も算出される。算出された加速度ベクトル、速度ベクトル、変位及び前回の静状態での検出曲線形状65から、移動状態検出部94が動状態での挿入部11の形状を検出する。また、算出された加速度ベクトル、速度ベクトル、変位に基づいて、滞留状態検出部96が挿入部11の滞留状態を検出する。そして、滞留状態が検出された場合は、警告部98により警告表示が行われる。このような構成にすることにより、操作部12での操作が挿入部11に伝達されているか、術者は確認可能となる。これにより、術者は内視鏡10を操作する際、より適切な判断を行うことができる。

[0113] （その他の変形例）

なお、第1の実施形態では、まず、曲線補間部51がすべてのリンク $T_j$ について曲線補間を行い、円弧 $L_j$ を形成している。そして、円弧位置補正部53がそれぞれの円弧 $L_j$ を隣接する円弧 $L_{j-1}$ 、 $L_{j+1}$ と境界が連続する状態に平行移動し、円弧 $L_j$ の位置を補正している。一方、第2の実施形態では、補間順次実施部71により、それぞれのリンク $T_j$ ごとに基端側のリンク $T_j$ から順に曲線補間が行われる。そして、1つのリンク $T_j$ について曲線補間が行われるたびに、補間未完了部85を補間完了部83と連続する状態に平行移動して、補間未完了部85の位置を補正する。すなわち、第1の実施形態の曲線形状検出部50で検出される検出曲線形状65と、第2の実施形態の曲線形状検出部70で検出される検出曲線形状81とは同一の曲線形状である。以上のことから、本発明は、回路構成等が複雑になるが、第1の実施形

態と第2の実施形態とを組み合わせた曲線形状検出部を備えてもよい。この曲線形状検出部では、例えば、まず、リンク $T_k$ までは第1の実施形態と同様に曲線補間を行い、円弧 $L_1 \sim L_k$ 形成された後に円弧 $L_1 \sim L_k$ の位置補正を行う。そして、リンク $T_{k+1}$ からは、第2の実施形態と同様に1つのリンク $T_j$ について曲線補間が行われるたびに、補間未完了部85の位置補正を行う。

[0114] また、上述の実施形態では、それぞれのローカル座標系 $C_i$ は、 $Y_i$ 軸方向がセンサユニット $S_i$ の中心での長手方向と一致している座標系である。しかし、本発明では、それぞれのローカル座標系 $C_i$ は、センサユニット $S_i$ の中心を原点とし、 $X_i$ 軸、 $Y_i$ 軸、 $Z_i$ 軸のいずれか1つの軸がセンサユニット $S_i$ の中心での長手方向と軸方向が一致する長手方向軸である座標系であればよい。ただし、 $X_i$ 軸が長手方向軸である場合は、式(16.1)、式(16.2)で $e_{y_{k-1}}$ 代わりに、

[数24]

$$e_{x_{k-1}} = [1 \ 0 \ 0]^T \quad (24)$$

[0115] を用いる。同様に、 $Z_i$ 軸が長手方向軸である場合は、式(16.1)、式(16.2)で $e_{y_{k-1}}$ 代わりに、

[数25]

$$e_{z_{k-1}} = [0 \ 0 \ 1]^T \quad (25)$$

[0116] を用いる。ここで、 $e_{x_{k-1}}$ はローカル座標系 $C_{k-1}$ の原点での長手方向である $X_{k-1}$ 軸方向の単位ベクトルであり、 $e_{z_{k-1}}$ はローカル座標系 $C_{k-1}$ の原点での長手方向である $Z_{k-1}$ 軸方向の単位ベクトルである。

[0117] また、上述の実施形態では、グローバル座標系 $C$ は、最も基端側のセンサユニット $S_0$ の中心を原点とし、 $Z$ 軸が鉛直方向と一致し、 $X$ 軸及び $Y$ 軸が水平面上に配置される座標系である。しかし、本発明では、 $X$ 軸、 $Y$ 軸、 $Z$ 軸のいずれか1つの軸が鉛直方向と軸方向が一致する鉛直方向軸であり、鉛直方向軸以外の2つの軸が水平面上に配置される水平方向軸である座標系であ

ればよい。これにより、加速度センサ $A_i$ により計測される重力加速度及び地磁気センサ $B_i$ により計測される地磁気に基づいて、姿勢検出部30はそれぞれのセンサユニット $S_i$ の姿勢を検出することが可能である。ただし、X軸が鉛直方向軸の場合は、式(2)で示される重力加速度ベクトルのグローバル座標系CのX軸方向成分、Y軸方向成分、Z軸方向成分は、

[数26]

$$\dot{a}_{th} = [-g \ 0 \ 0]^T \quad (26)$$

[0118] となる。この場合、第1の実施形態では、姿勢角 $\alpha_i$ 、 $\beta_i$ 、 $\gamma_i$ はヨー角 $\gamma_i$ 、ピッチ角 $\alpha_i$ 、ロール角 $\beta_i$ の順で回転する(Z, X, Y)型としたが、姿勢角 $\alpha_i$ 、 $\beta_i$ 、 $\gamma_i$ の回転する順序を変えて、式(1)の回転行列とは別の回転行列を用いる。これにより、加速度センサ $A_i$ で計測された加速度データに基づいて、第1の角度算出部34で水平方向軸であるY軸、Z軸回りの姿勢角 $\beta_i$ 、 $\gamma_i$ が算出される。また、地磁気センサ $B_i$ で計測された地磁気データに基づいて、第2の角度算出部36で鉛直方向軸であるX軸回りの姿勢角 $\alpha_i$ が算出される。Y軸が鉛直方向軸の場合についても同様であり、加速度センサ $A_i$ で計測された加速度データに基づいて、第1の角度算出部34で水平方向軸であるX軸、Z軸回りの姿勢角 $\alpha_i$ 、 $\gamma_i$ が算出される。また、地磁気センサ $B_i$ で計測された地磁気データに基づいて、第2の角度算出部36で鉛直方向軸であるY軸回りの姿勢角 $\beta_i$ が算出される。

[0119] さらに、上述の実施形態では、グローバル座標系Cは、最も基端側のセンサユニット $S_0$ の中心を原点としているが、最も先端側のセンサユニット $S_N$ の中心を原点としてもよい。この場合、リンク形成部41は、式(16.1)、式(16.2)を用いて、リンク $T_j$ の先端側(グローバル座標系Cの原点から近い側)のセンサユニット $S_j$ がグローバル座標系Cの原点に位置する場合の、リンク $T_j$ の基端側(グローバル座標系Cの原点から遠い側)のセンサユニット $S_{j-1}$ の座標 $P'_j (l_{xj}, l_{yj}, l_{zj})$ を求める。そして、グローバル座標系Cの原点と座標 $P'_j (l_{xj}, l_{yj}, l_{zj})$ とを直線状に結ぶ

ことにより、リンク  $T_j$  が形成される。

[0120] また、この場合、曲線形状検出部 50 の曲線補間部 51 によりリンク（補間対象リンク） $T_j$  の曲線補間を行う際は、法線形成部 55 が、リンク  $T_j$  の先端（グローバル座標  $C$  の原点から近い側の端）である第 1 の端点を通り、リンク  $T_j$  に垂直な第 1 の補間法線  $N_j$  と、リンク  $T_j$  の基端（グローバル座標  $C$  の原点から遠い側の端）である第 2 の端点を通り、リンク  $T_j$  の基端側（グローバル座標  $C$  の原点から遠い側）に隣接するリンク（補間対象隣接リンク） $T_{j-1}$  に垂直な第 2 の補間法線  $N_{j-1}$  とを形成する。そして、中心決定部 57 が、第 1 の補間法線  $N_j$  と第 2 の補間法線  $N_{j-1}$  との交点  $O_j$ 、又は、第 1 の補間法線  $N_j$  と第 2 の補間法線  $N_{j-1}$  との距離が最小となる 2 点の中間点  $O_j$  を算出し、交点  $O_j$  又は中間点  $O_j$  を円弧  $L_j$  の中心  $O_j$  として決定する。そして、円弧形成部 59 が、半径  $R_j$  が中心  $O_j$  とリンク（補間対象リンク） $T_j$  の先端との間の距離と同一で、かつ、リンク  $T_j$  の先端を始点とする弧の長さがセンサ間寸法  $l$  に等しい円弧  $L_j$  を形成する。

[0121] さらに、この場合、曲線形状検出部 70 の補間順次実施部 71 は、それぞれのリンク  $T_j$  ごとに先端側（グローバル座標系  $C$  の原点から近い側）のリンク  $T_j$  から順に曲線補間を行い、円弧  $L_j$  を形成する。

[0122] 以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明は上記の実施形態に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の変形ができることは勿論である。

## 請求の範囲

[請求項1]

長手方向に互いに所定のセンサ間寸法（ $l$ ）だけ離れて複数のセンサユニット（ $S_i$ ）が配置される挿入部（ $11$ ）を備える内視鏡（ $10$ ）と、

前記センサユニット（ $S_i$ ）での計測データに基づいて、それぞれの前記センサユニット（ $S_i$ ）の姿勢を検出する姿勢検出部（ $30$ ）と、

前記姿勢検出部（ $30$ ）で検出されたそれぞれの前記センサユニット（ $S_i$ ）の姿勢に基づいて、それぞれの前記センサユニット（ $S_i$ ）の間の形状を寸法が前記センサ間寸法（ $l$ ）に等しい直線状のリンク（ $T_j$ ）と仮定して、前記内視鏡（ $10$ ）の前記挿入部（ $11$ ）の検出線形形状（ $61$ ）を検出する線形形状検出部（ $40$ ）と、

それぞれの前記センサユニット（ $S_i$ ）の間の形状を弧長が前記センサ間寸法（ $l$ ）に等しい円弧（ $L_j$ ）と仮定して、前記線形形状検出部（ $40$ ）で検出された前記検出線形形状（ $61$ ）を曲線補間し、検出曲線形状（ $65, 81$ ）を検出する曲線形状検出部（ $50, 70$ ）と、

を具備する内視鏡形状検出装置（ $1$ ）。

[請求項2]

前記曲線形状検出部（ $50, 70$ ）は、

それぞれの前記リンク（ $T_j$ ）ごとに前記曲線補間を行い、それぞれの前記センサユニット（ $S_i$ ）の間の前記円弧（ $L_j$ ）を形成する曲線補間部（ $51, 71$ ）と、

すべての前記リンク（ $T_j$ ）について前記曲線補間を行う状態に前記曲線補間部（ $51, 71$ ）を制御する補間制御部（ $52, 72$ ）と

、

を備える請求項1の内視鏡形状検出装置（ $1$ ）。

[請求項3]

前記曲線補間部（ $51, 71$ ）は、

最も基端側又は最も先端側の前記センサユニット（ $S_1, S_N$ ）の

中心を原点とするグローバル座標系（C）において、前記曲線補間部（51, 71）により前記曲線補間を行う対象の前記リンク（ $T_j$ ）である補間対象リンク（ $T_k$ ）の前記グローバル座標（C）の前記原点から近い側の端である第1の端点を通り、前記補間対象リンク（ $T_k$ ）に垂直な第1の補間法線（ $N_{k-1}$ ）と、前記補間対象リンク（ $T_k$ ）の前記グローバル座標（C）の前記原点から遠い側の端である第2の端点を通り、前記補間対象リンク（ $T_k$ ）の前記グローバル座標（C）の前記原点から遠い側に隣接する前記リンク（ $T_j$ ）である補間対象隣接リンク（ $T_{k+1}$ ）に垂直な第2の補間法線と（ $N_k$ ）、を形成する法線形成部（55, 75）と、

前記法線形成部（55, 75）で形成された前記第1の補間法線（ $N_{k-1}$ ）と前記第2の補間法線（ $N_k$ ）との交点、又は、前記第1の補間法線（ $N_{k-1}$ ）と前記第2の補間法線（ $N_k$ ）との距離が最小となる2点の中間点を算出し、前記交点又は前記中間点を前記円弧（ $L_k$ ）の中心（ $O_k$ ）として決定する中心決定部（57, 77）と、

半径（ $R_k$ ）が前記中心（ $O_k$ ）と前記補間対象リンク（ $T_k$ ）の前記第1の端点との間の距離と同一で、かつ、前記補間対象リンク（ $T_k$ ）の前記第1の端点を始点として前記円弧（ $L_k$ ）を形成する円弧形成部（59, 79）と、

を備える請求項2の内視鏡形状検出装置（1）。

[請求項4]

前記曲線形状検出部（50）は、前記曲線補間部（51）により形成されたそれぞれの前記円弧（ $L_j$ ）を、隣接する前記円弧（ $L_{j-1}$ ,  $L_{j+1}$ ）との円弧境界が連続する状態に平行移動し、前記円弧（ $L_j$ ）の位置を補正する円弧位置補正部（53）を備える請求項2の内視鏡形状検出装置（1）。

[請求項5]

前記曲線補間部（71）は、最も基端側又は最も先端側の前記センサユニット（ $S_1$ ,  $S_N$ ）の中心を原点とするグローバル座標系（C）において、前記グローバル座標系（C）の前記原点から近い側の前



記リンク ( $T_j$ ) から順に前記曲線補間を行い、前記円弧 ( $L_j$ ) を形成する補間順次実施部 (71) であり、

前記曲線形状検出部 (70) は、前記補間順次実施部 (71) により1つの前記リンク ( $T_j$ ) の前記曲線補間が行われるたびに、曲線補間が行われていない前記リンク ( $T_j$ ) である未補間リンクから構成される補間未完了部 (85) を前記曲線補間により形成される前記円弧 ( $L_j$ ) から構成される補間完了部 (83) と境界が連続する状態に平行移動し、前記補間未完了部 (85) の位置を補正する未補間リンク位置補正部 (73) を備える請求項2の内視鏡形状検出装置 (1) 。

[請求項6]

それぞれの前記センサユニット ( $S_i$ ) は、

前記センサユニット ( $S_i$ ) の中心を原点とし、X軸、Y軸、Z軸のいずれか1つの軸が前記センサユニット ( $S_i$ ) の前記中心での前記内視鏡 (10) の長手方向と軸方向が一致する長手方向軸であるローカル座標系 ( $C_i$ ) において、前記ローカル座標系 ( $C_i$ ) の前記原点での加速度の3つの軸方向成分を計測する加速度センサ ( $A_i$ ) と、

前記ローカル座標系 ( $C_i$ ) において、前記ローカル座標系 ( $C_i$ ) の前記原点での地磁気の3つの軸方向成分を計測する地磁気センサ ( $B_i$ ) と、

を備える請求項1の内視鏡形状検出装置 (1) 。

[請求項7]

前記姿勢検出部 (30) は、最も基端側又は最も先端側の前記センサユニット ( $S_i$ ) の中心を原点とし、X軸、Y軸、Z軸のいずれか1つの軸が鉛直方向と軸方向が一致する鉛直方向軸であり、前記鉛直方向軸以外の2つの軸が水平面上に配置される水平方向軸であるグローバル座標系 (C) を基準として、それぞれの前記センサユニット ( $S_i$ ) の前記ローカル座標系 ( $C_i$ ) の前記鉛直方向軸回り及びそれぞれの前記水平方向軸回りの回転角である3つの姿勢角 ( $\alpha_i$ ,  $\beta_i$

,  $\gamma_i$ ) を算出する姿勢角算出部 (32) を備える請求項6の内視鏡形状検出装置 (1)。

[請求項8]

前記姿勢角算出部 (32) は、

前記加速度センサ ( $A_i$ ) で計測された加速度データに基づいて、それぞれの前記センサユニット ( $S_i$ ) の前記ローカル座標系 ( $C_i$ ) の前記グローバル座標系 (C) からのそれぞれの前記水平方向軸回りの2つの前記姿勢角 ( $\alpha_i$ ,  $\beta_i$ ) を算出する第1の角度算出部 (34) と、

前記地磁気センサ ( $B_i$ ) で計測された地磁気データに基づいて、それぞれの前記センサユニット ( $S_i$ ) の前記ローカル座標系 ( $C_i$ ) の前記グローバル座標系 (C) からの前記鉛直方向軸回りの前記姿勢角 ( $\gamma_i$ ) を算出する第2の角度算出部 (36) と、

を備える請求項7の内視鏡形状検出装置 (1)。

[請求項9]

内視鏡 (10) の挿入部 (11) に、長手方向に互いに所定のセンサ間寸法 (1) だけ離れて配置される複数のセンサユニット ( $S_i$ ) で計測を行うことと、

前記センサユニット ( $S_i$ ) での計測データに基づいて、それぞれの前記センサユニット ( $S_i$ ) の姿勢を検出することと、

検出されたそれぞれの前記センサユニット ( $S_i$ ) の姿勢に基づいて、それぞれの前記センサユニット ( $S_i$ ) の間の形状を寸法が前記センサ間寸法 (1) に等しい直線状のリンク ( $T_j$ ) と仮定して、前記内視鏡 (10) の前記挿入部 (11) の検出線形形状 (61) を検出することと、

それぞれの前記センサユニット ( $S_i$ ) の間の形状を弧長が前記センサ間寸法 (1) に等しい円弧 ( $L_j$ ) と仮定して、検出された前記検出線形形状 (61) を曲線補間し、検出曲線形状 (65, 81) を形成することと、

を具備する内視鏡 (10) の挿入部 (11) の形状検出方法。

[請求項10] 前記検出線形形状 (61) を曲線補間し、検出曲線形状 (65, 81) を形成することは、それぞれの前記リンク ( $T_j$ ) ごとに前記曲線補間を行い、それぞれの前記センサユニット ( $S_j$ ) の間の前記円弧 ( $L_j$ ) を形成することを、すべての前記リンク ( $T_j$ ) について行うことを備える請求項9の内視鏡 (10) の挿入部 (11) の形状検出方法。

[請求項11] それぞれの前記リンク ( $T_j$ ) ごとに前記曲線補間を行うことは、最も基端側又は最も先端側の前記センサユニット ( $S_1, S_N$ ) の中心を原点とするグローバル座標系 (C) において、前記曲線補間を行う対象の前記リンク ( $T_j$ ) である補間対象リンク ( $T_k$ ) の前記グローバル座標 (C) の前記原点から近い側の端である第1の端点を通り、前記補間対象リンク ( $T_k$ ) に垂直な第1の補間法線 ( $N_{k-1}$ ) と、前記補間対象リンクの前記グローバル座標の前記原点から遠い側の端である第2の端点を通り、前記補間対象リンク ( $T_k$ ) の前記グローバル座標 (C) の前記原点から遠い側に隣接する前記リンク ( $T_j$ ) である補間対象隣接リンク ( $T_{k+1}$ ) に垂直な第2の補間法線 ( $N_k$ ) と、を形成することと、

形成された前記第1の補間法線 ( $N_{k-1}$ ) と前記第2の補間法線 ( $N_k$ ) との交点、又は、前記第1の補間法線 ( $N_{k-1}$ ) と前記第2の補間法線 ( $N_k$ ) との距離が最小となる2点の中間点を算出し、前記交点又は前記中間点を前記円弧 ( $L_k$ ) の中心 ( $O_k$ ) として決定することと、

半径 ( $R_k$ ) が前記中心 ( $O_k$ ) と前記補間対象リンク ( $T_k$ ) の前記第1の端点との間の距離と同一で、かつ、前記補間対象リンク ( $T_k$ ) の第1の端点を始点として前記円弧 ( $L_k$ ) を形成することと、

を備える請求項10の内視鏡 (10) の挿入部 (11) の形状検出方法。

[請求項12] 前記検出線形形状 (61) を曲線補間し、検出曲線形状 (65) を

形成することは、それぞれの前記リンク ( $T_j$ ) ごとに前記曲線補間を行うことにより形成されたそれぞれの前記円弧 ( $L_j$ ) を、隣接する前記円弧 ( $L_{j-1}$ ,  $L_{j+1}$ ) との円弧境界が連続する状態に平行移動し、前記円弧 ( $L_j$ ) の位置を補正することを備える請求項 10 の内視鏡 (10) の挿入部 (11) の形状検出方法。

[請求項13]

それぞれの前記リンク ( $T_j$ ) ごとに前記曲線補間を行うことは、最も基端側又は最も先端側の前記センサユニット ( $S_1$ ,  $S_N$ ) の中心を原点とするグローバル座標系 (C) において、前記グローバル座標系 (C) の前記原点から近い側の前記リンク ( $T_j$ ) から順に前記曲線補間を行い、前記円弧 ( $L_j$ ) を形成することを備え、

前記検出線形形状 (61) を曲線補間し、検出曲線形状 (81) を形成することは、1つの前記リンク ( $T_j$ ) の前記曲線補間が行われるたびに、前記曲線補間が行われていない前記リンク ( $T_j$ ) である未補間リンクから構成される補間未完了部 (85) を前記曲線補間により形成される前記円弧 ( $L_j$ ) から構成される補間完了部 (83) と境界が連続する状態に平行移動し、前記補間未完了部 (85) の位置を補正することを備える請求項 10 の内視鏡 (10) の挿入部 (11) の形状検出方法。

[請求項14]

それぞれの前記センサユニット ( $S_i$ ) で計測を行うことは、

それぞれの前記センサユニット ( $S_i$ ) が備える加速度センサ ( $A_i$ ) により、前記センサユニット ( $S_i$ ) の中心を原点とし、X軸、Y軸、Z軸のいずれか1つの軸が前記センサユニット ( $S_i$ ) の前記中心での前記内視鏡 (10) の長手方向と軸方向が一致する長手方向軸であるローカル座標系 ( $C_i$ ) において、前記原点での加速度の3つの軸方向成分を計測することと、

それぞれの前記センサユニット ( $S_i$ ) が備える地磁気センサ ( $B_i$ ) により、前記ローカル座標系 ( $C_i$ ) において、前記原点での地磁気の3つの軸方向成分を計測することと、

を備える請求項9の内視鏡(10)の挿入部(11)の形状検出方法。

[請求項15]

それぞれの前記センサユニット( $S_i$ )の姿勢を検出することは、最も基端側又は最も先端側の前記センサユニット( $S_1, S_N$ )の中心を原点とし、X軸、Y軸、Z軸のいずれか1つの軸が鉛直方向と軸方向が一致する鉛直方向軸であり、前記鉛直方向軸以外の2つの軸が水平面上に配置される水平方向軸であるグローバル座標系(C)を基準として、それぞれの前記センサユニット( $S_i$ )の前記ローカル座標系( $C_i$ )の、前記鉛直方向軸回り及びそれぞれの前記水平方向軸回りの回転角である3つの姿勢角( $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ )を算出することを備える請求項14の内視鏡(10)の挿入部(11)の形状検出方法。

[請求項16]

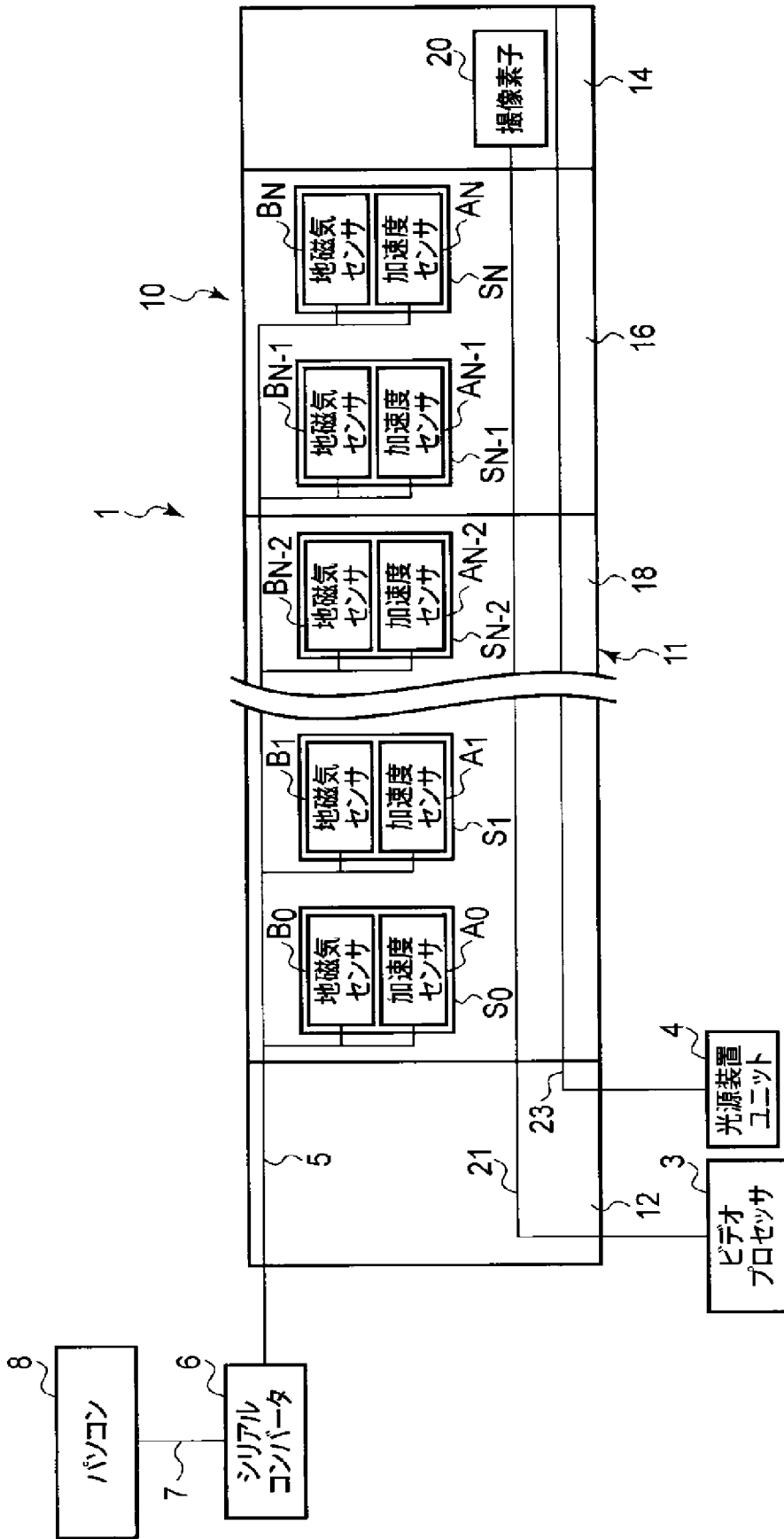
前記鉛直方向軸回り及びそれぞれの前記水平方向軸回りの3つの姿勢角( $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ )を算出することは、

前記加速度センサ( $A_i$ )で計測された加速度データに基づいて、それぞれの前記センサユニット( $S_i$ )の前記ローカル座標系( $C_i$ )の前記グローバル座標系(C)からのそれぞれの前記水平方向軸回りの2つの前記姿勢角( $\alpha_i, \beta_i$ )を算出することと、

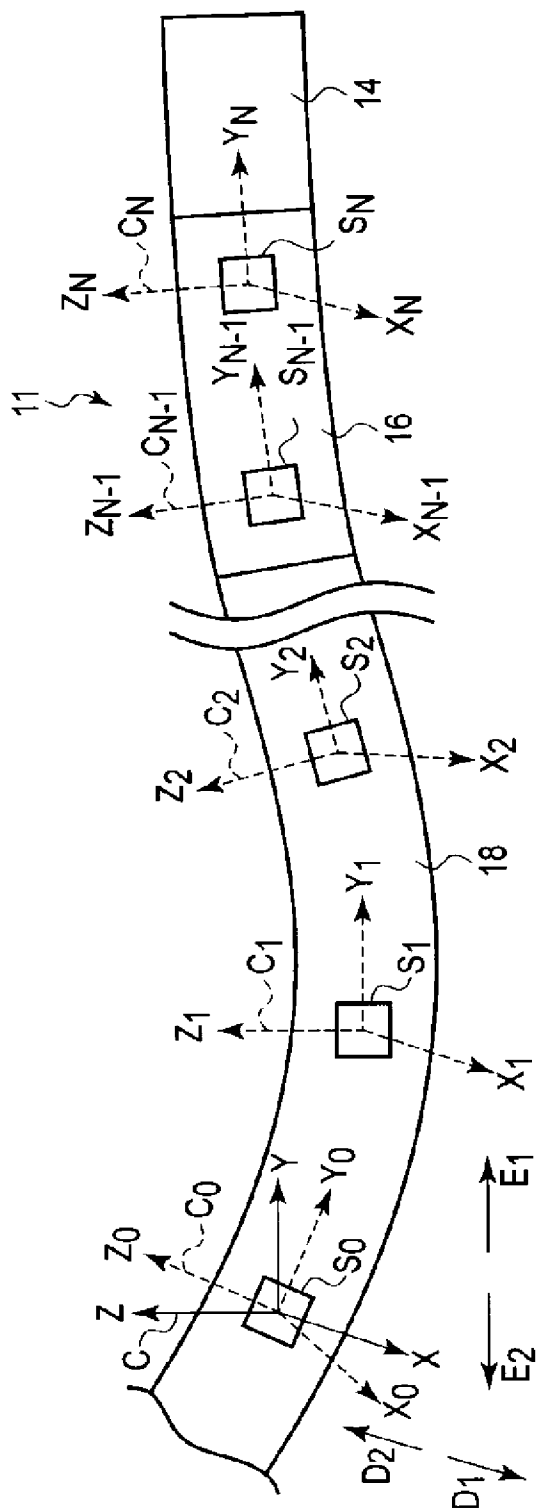
前記地磁気センサ( $B_i$ )で計測された地磁気データに基づいて、それぞれの前記センサユニット( $S_i$ )の前記ローカル座標系( $C_i$ )の前記グローバル座標系(C)からの前記鉛直方向軸回りの前記姿勢角( $\gamma_i$ )を算出することと、

を備える請求項15の内視鏡(10)の挿入部(11)の形状検出方法。

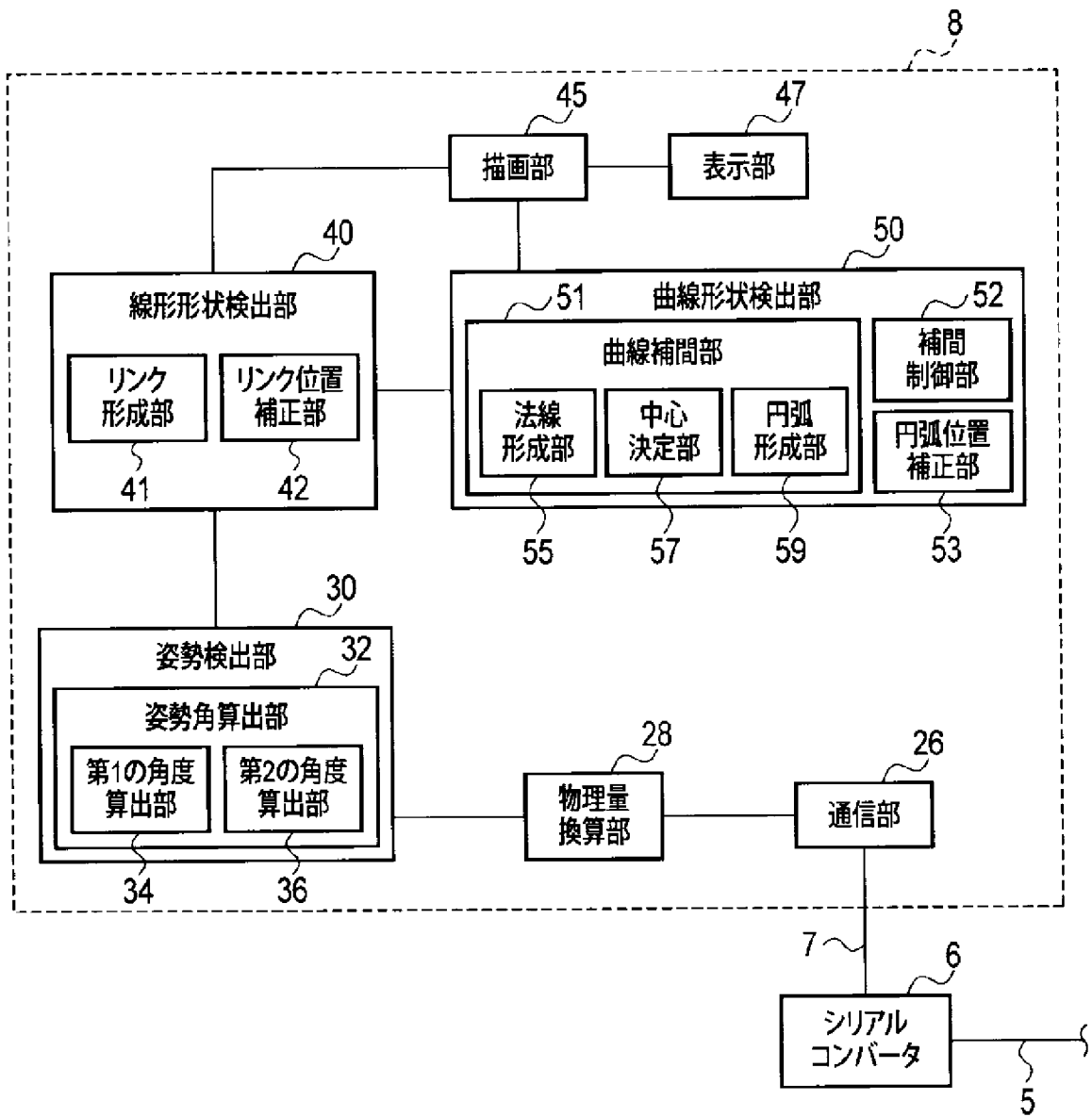
[図1]



[図2]

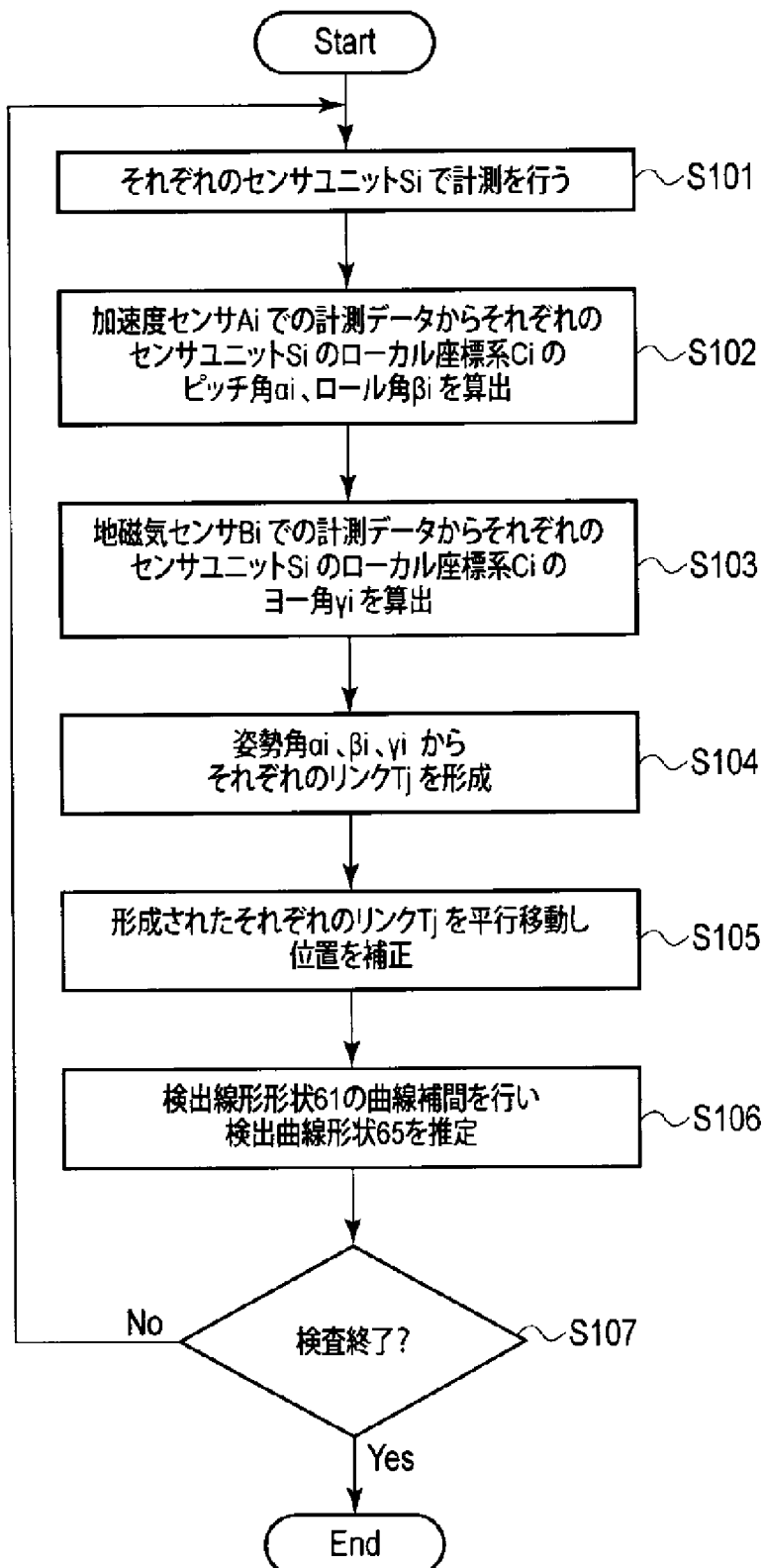


[図3]

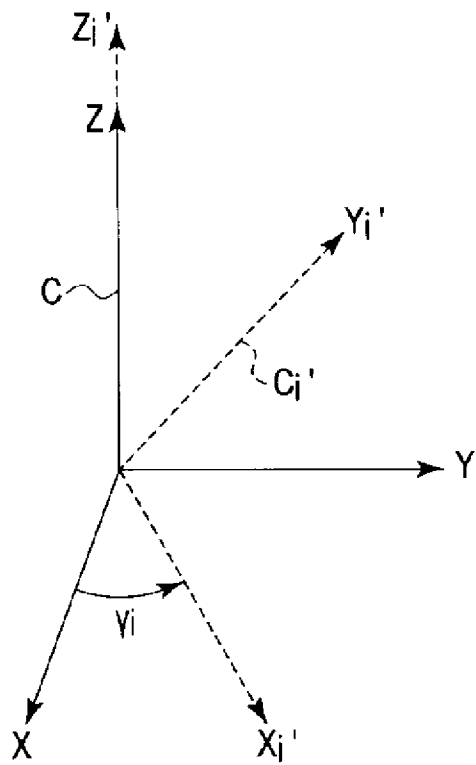




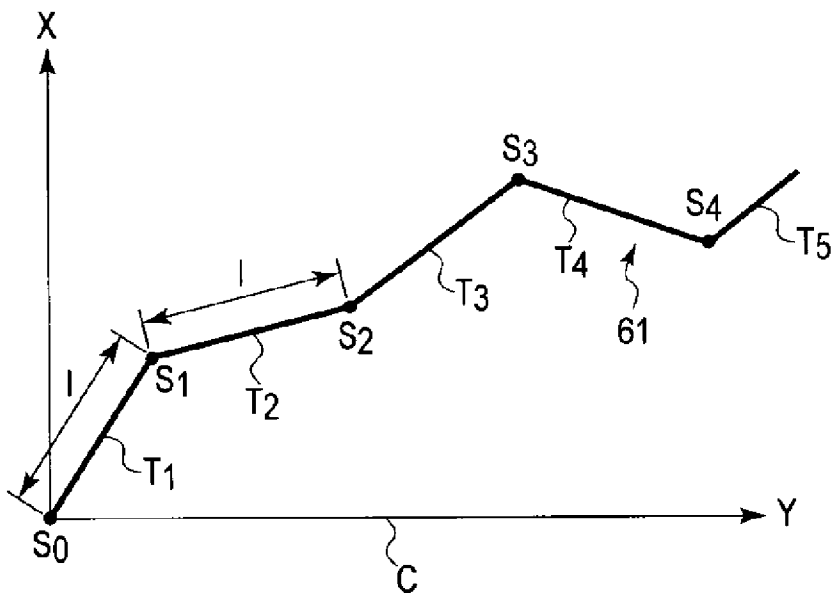
[図4]



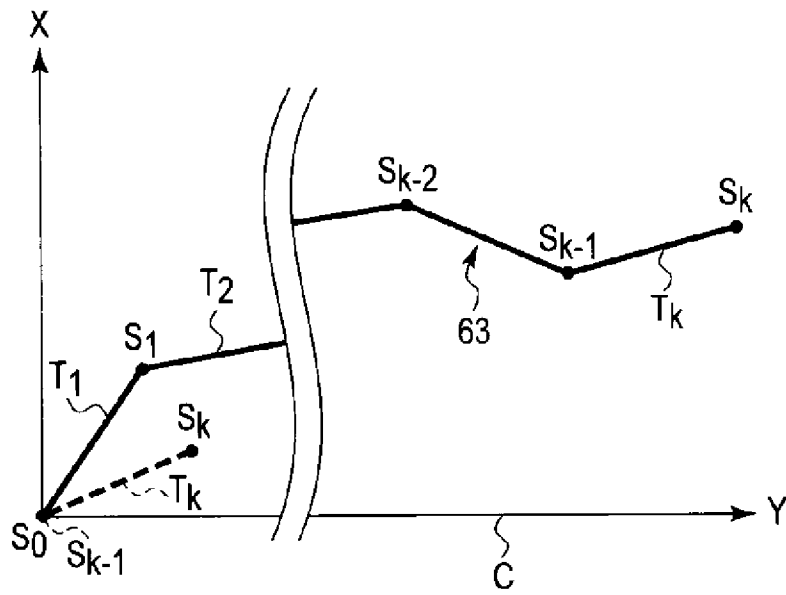
[図5]



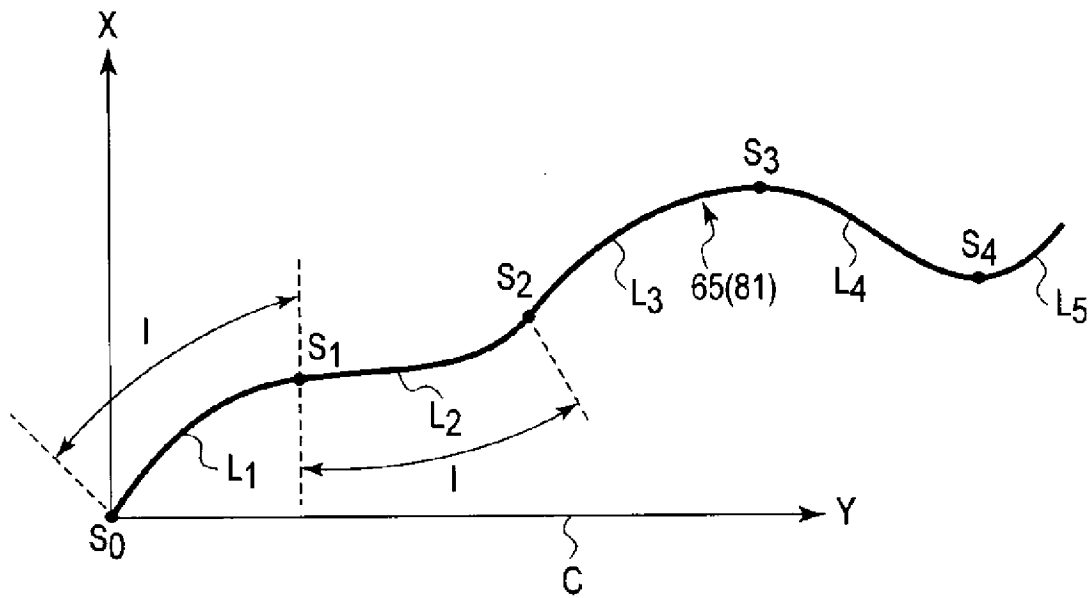
[図6]



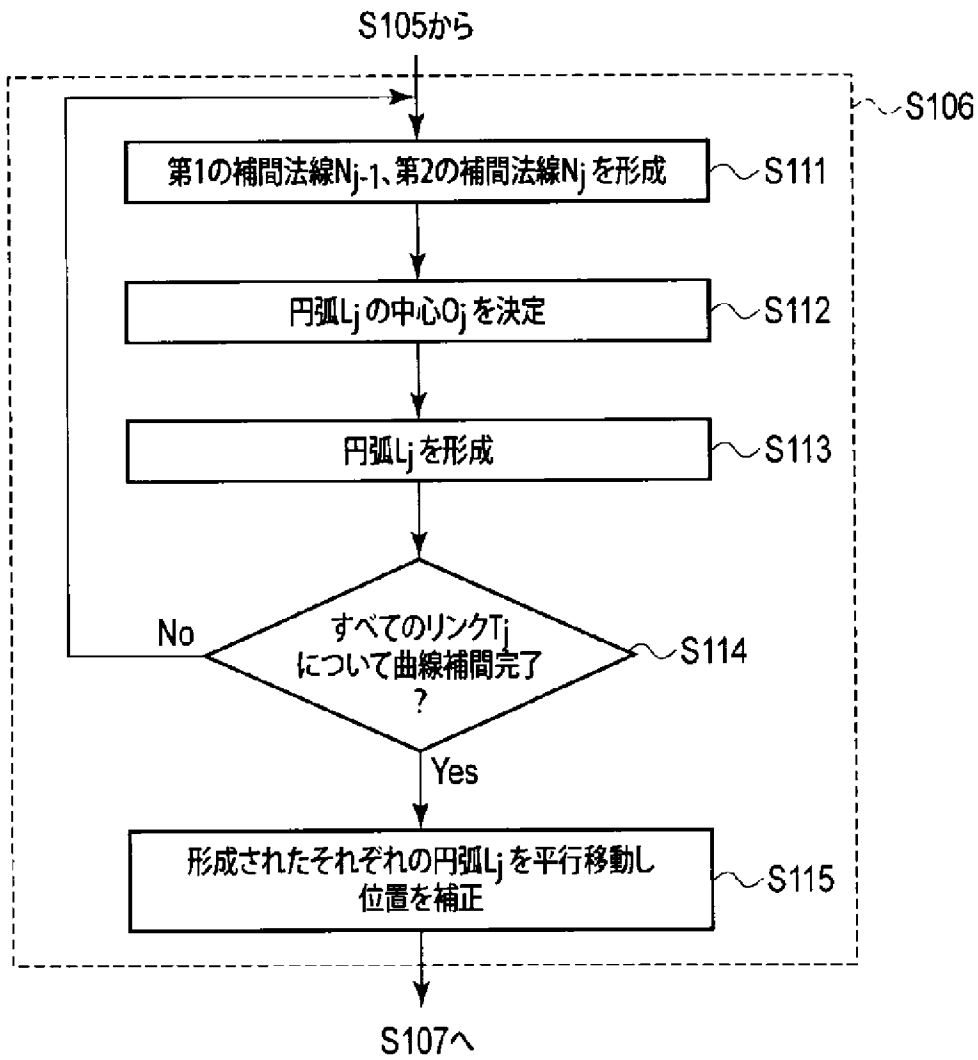
[図7]



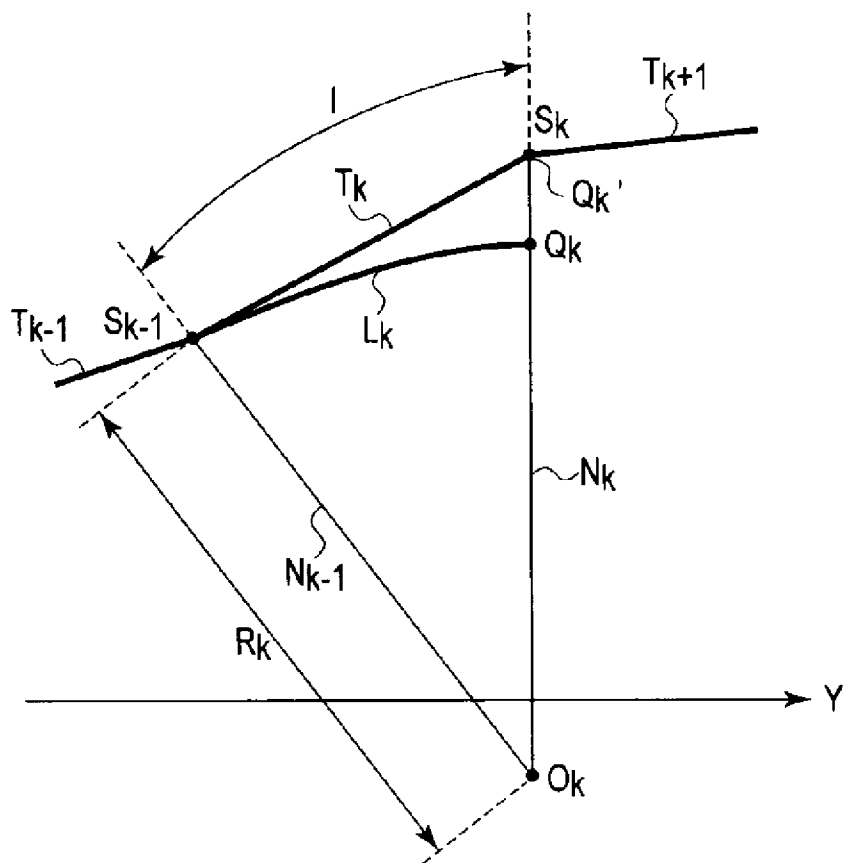
[図8]



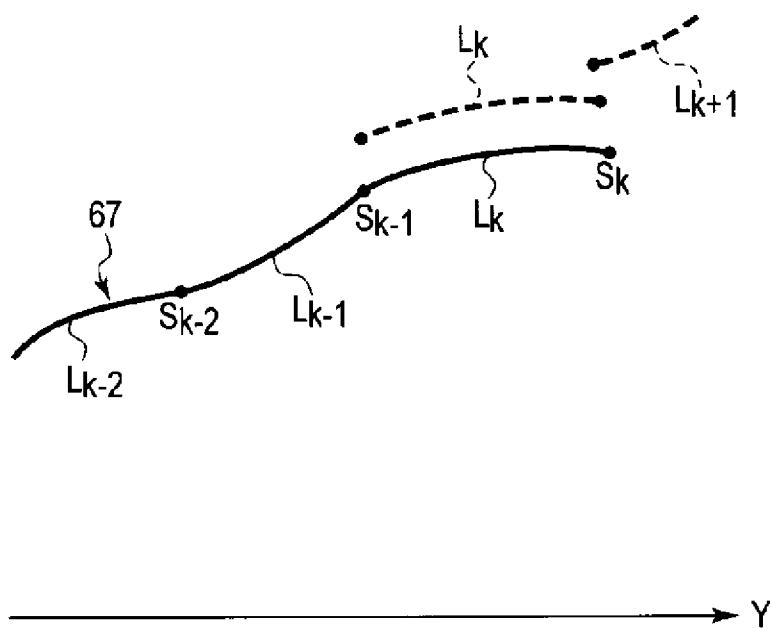
[図9]



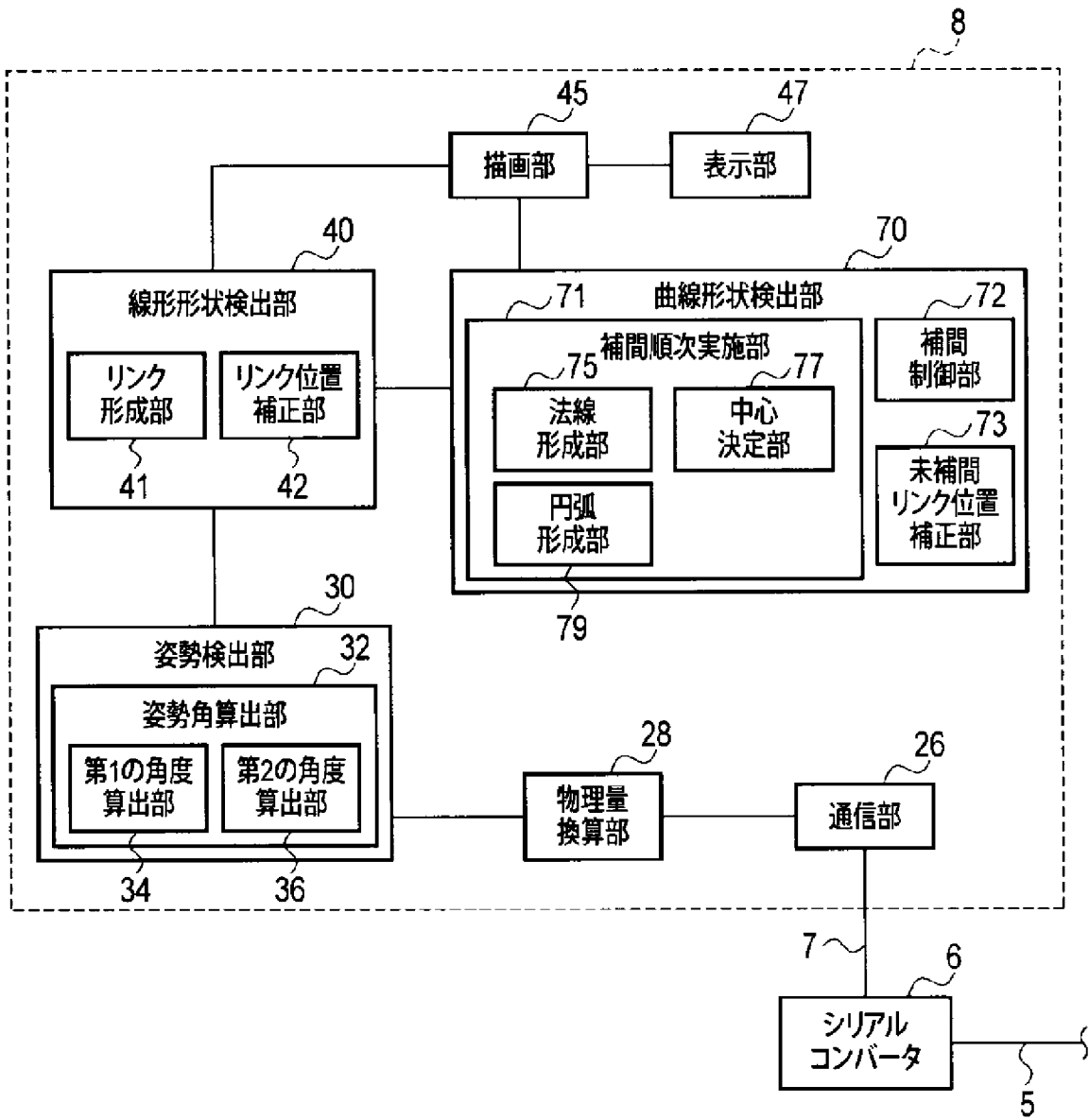
[图10]



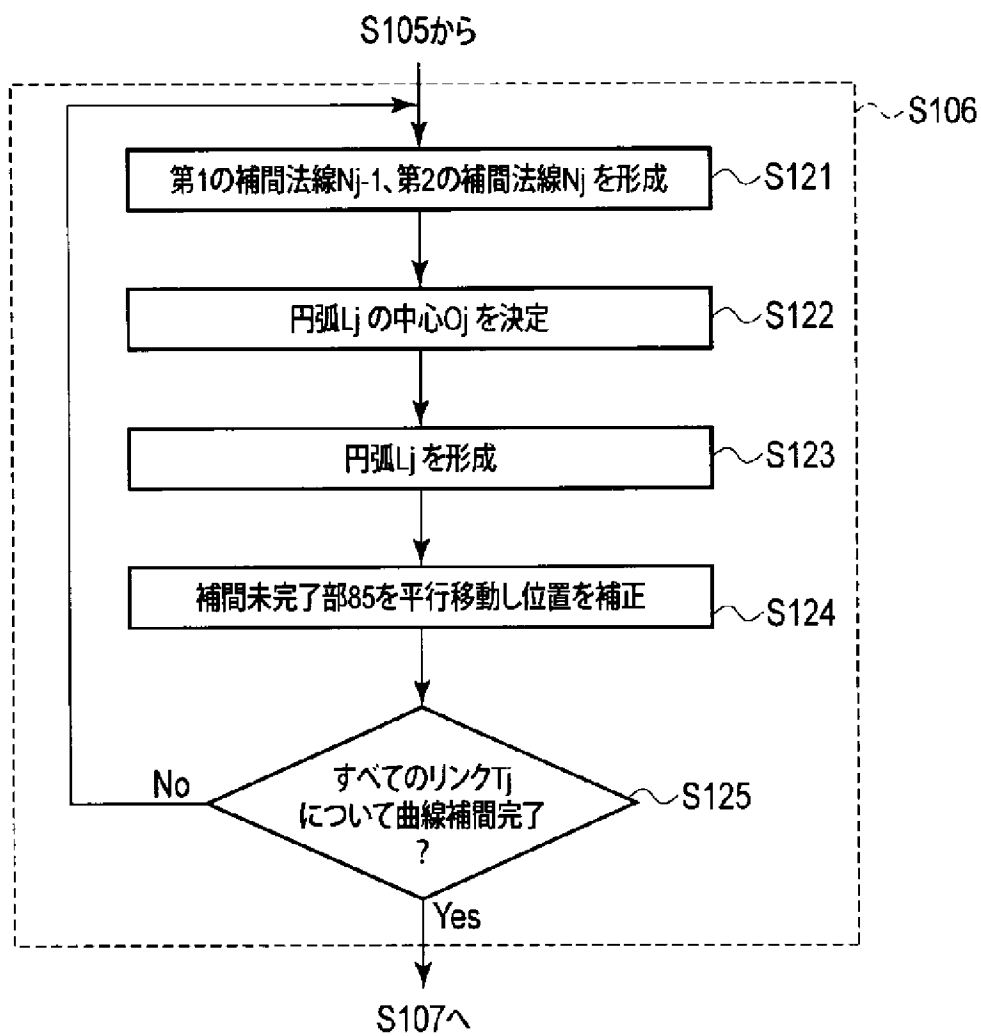
[图11]



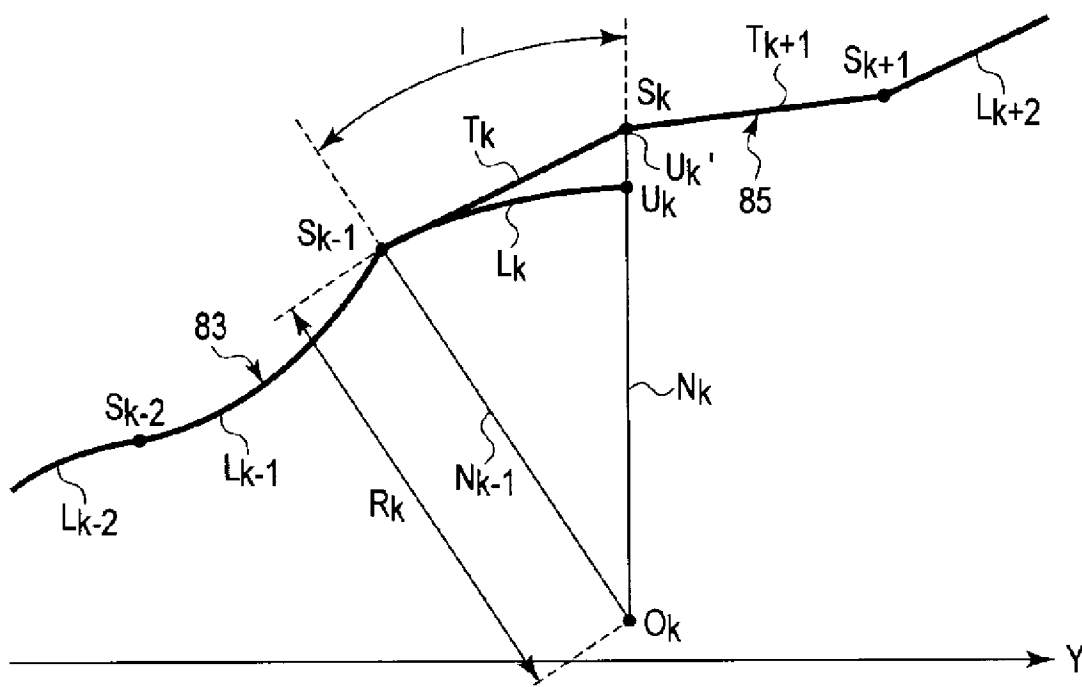
[図12]



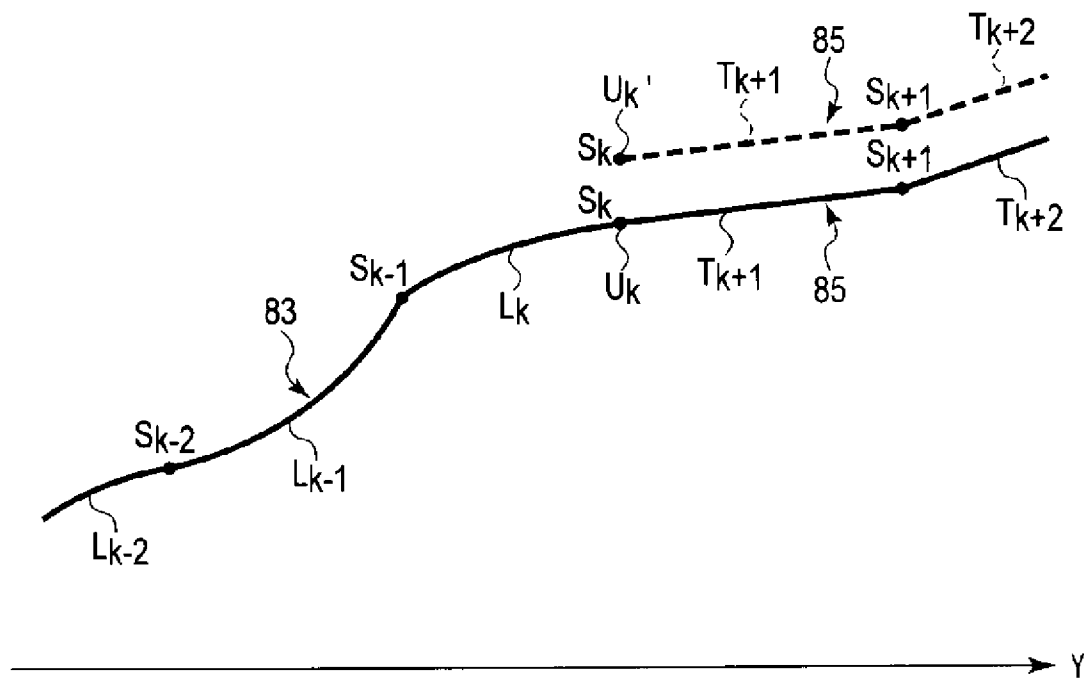
[図13]



[図14]

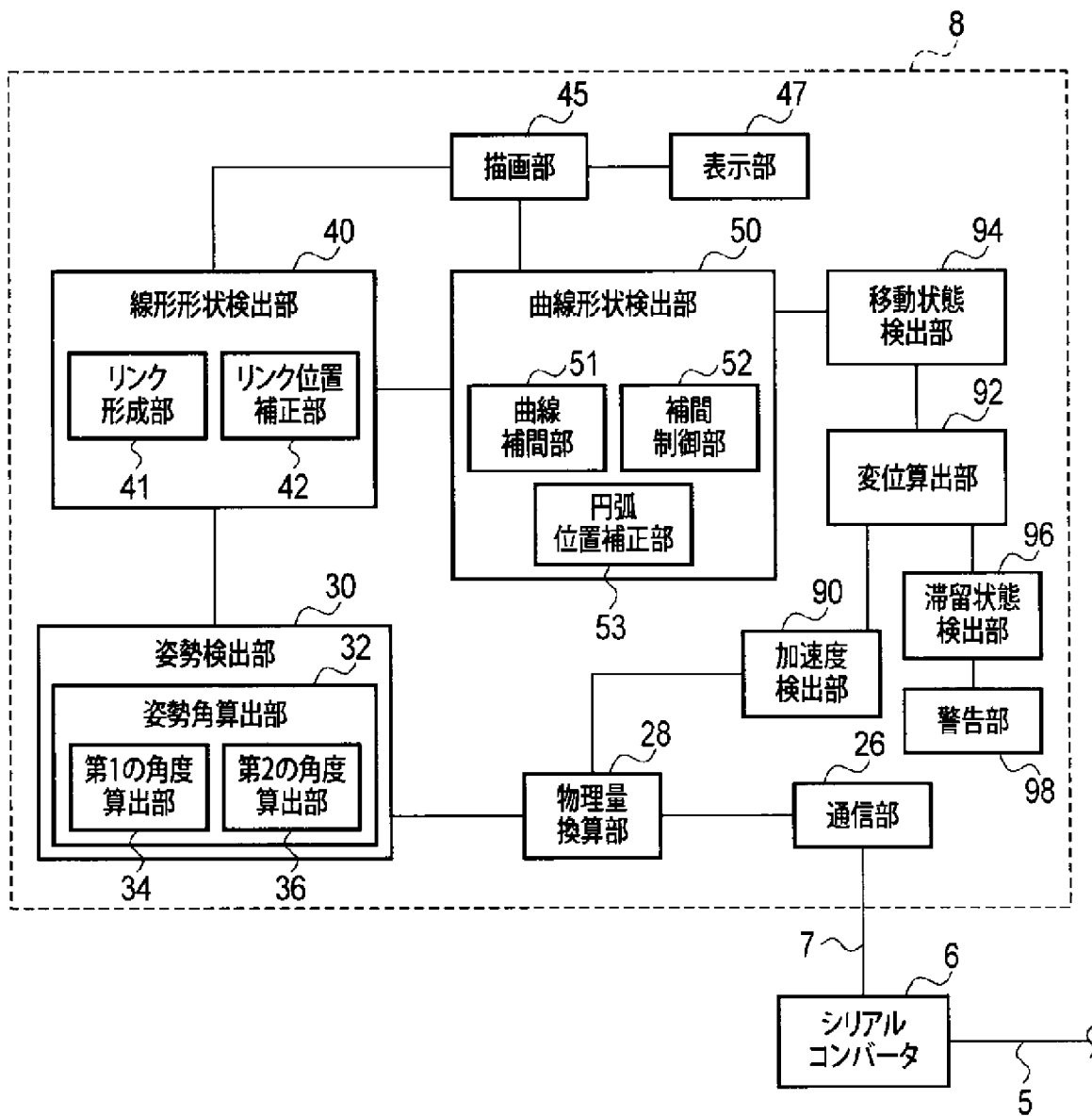


[図15]

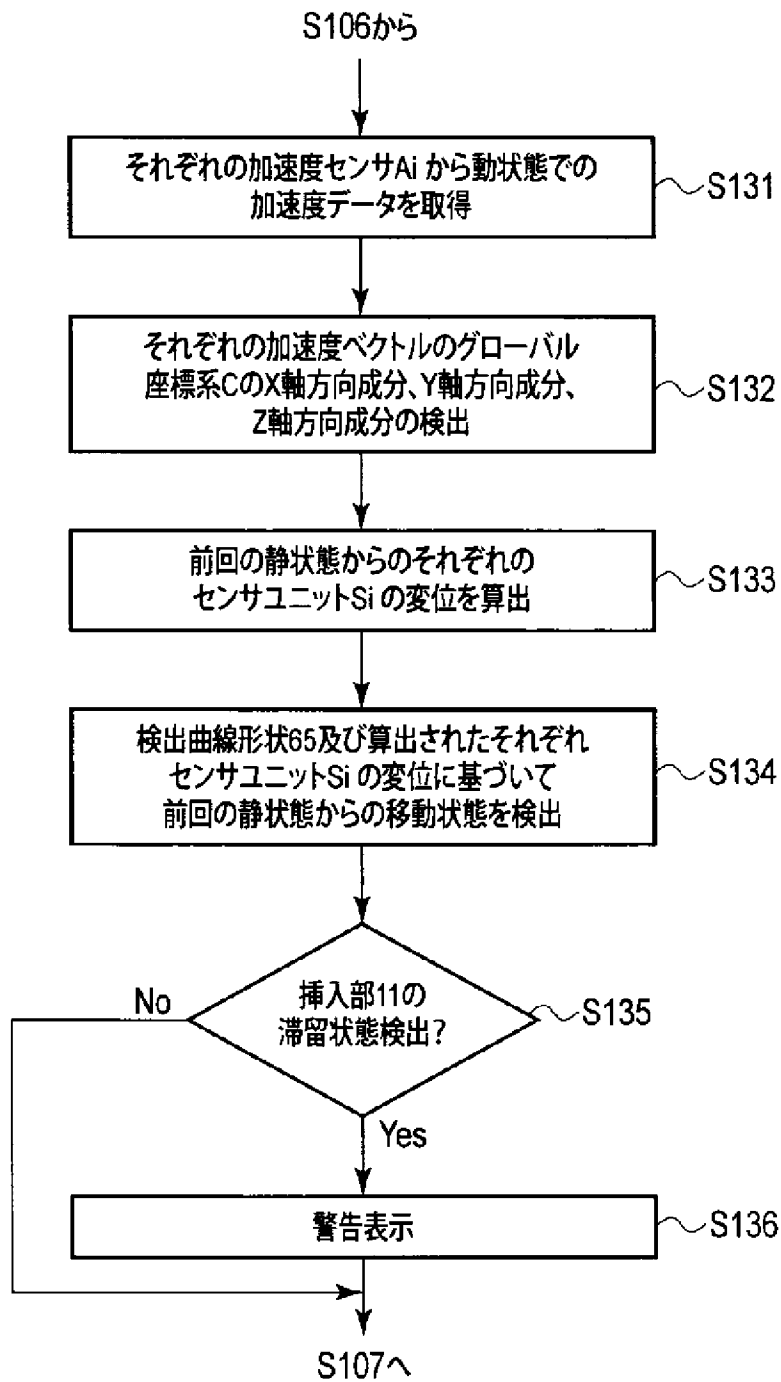




[図16]



[図17]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/059637

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER A61B1/00 (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		
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 1996-2011 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2011 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2011		
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.
A	JP 11-19027 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 26 January 1999 (26.01.1999), paragraphs [0020] to [0032]; fig. 5 (Family: none)	1-8
A	JP 2007-130154 A (Pentax Corp.), 31 May 2007 (31.05.2007), paragraph [0035]; fig. 6, 7 & US 2007/0106114 A1 & DE 102006052886 A	1-8
A	JP 2010-104426 A (Olympus Medical Systems Corp.), 13 May 2010 (13.05.2010), entire text; all drawings (Family: none)	1-8
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> 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 May, 2011 (17.05.11)		Date of mailing of the international search report 31 May, 2011 (31.05.11)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2011/059637

**Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)**

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1.  Claims Nos.: 9 - 16  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:  
Since the inventions in claims 9 - 16 are considered to be concerned with method which is executed in a state where an endoscope is inserted and held in the human body, said inventions pertain to "method for treatment of the human body by surgery", (continued to extra sheet)
2.  Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3.  Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

**Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)**

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

1.  As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2.  As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3.  As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4.  No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

**Remark on Protest**

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2011/059637

Continuation of Box No.II-1 of continuation of first sheet (2)

and thus relate to a subject matter on which this International Searching Authority is not required to carry out an international search under the provision of PCT Rule 39.1(iv).

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. A61B1/00(2006.01)i		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. 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 1971-2011年 日本国実用新案登録公報 1996-2011年 日本国登録実用新案公報 1994-2011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	JP 11-19027 A (オリンパス光学工業株式会社) 1999.01.26, 段落【0020】-【0032】、第5図 (ファミリーなし)	1-8
A	JP 2007-130154 A (ペンタックス株式会社) 2007.05.31, 段落【0035】、第6, 7図 & US 2007/0106114 A1 & DE 102006052886 A	1-8
A	JP 2010-104426 A (オリンパスメディカルシステムズ株式会社) 2010.05.13, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-8
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input 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日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 17.05.2011	国際調査報告の発送日 31.05.2011	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 松谷 洋平 電話番号 03-3581-1101 内線 3292	2Q 3410

## 第II欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第1ページの2の続き)

法第8条第3項 (PCT 17条(2)(a)) の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1.  請求項 9-16 は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、請求項9-16に係る発明は、内視鏡を人体内に挿入して維持した状態で行われる方法であると認められるので、[手術による人体の処置方法に関するもの] であって、PCT規則39.1(iv)の規定により、国際調査をすることを要しない対象に係るものである。
2.  請求項 \_\_\_\_\_ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3.  請求項 \_\_\_\_\_ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

## 第III欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第1ページの3の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。

1.  出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2.  追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3.  出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4.  出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

## 追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。