

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B1)

(11) 特許番号

特許第4897123号
(P4897123)

(45) 発行日 平成24年3月14日(2012.3.14)

(24) 登録日 平成24年1月6日(2012.1.6)

(51) Int.Cl. F 1
A 6 1 B 1/00 (2006.01) A 6 1 B 1/00 3 2 0 Z

請求項の数 14 (全 39 頁)

(21) 出願番号	特願2011-537466 (P2011-537466)	(73) 特許権者	304050923
(86) (22) 出願日	平成23年6月15日 (2011.6.15)		オリンパスメディカルシステムズ株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2011/063736		東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目4番2号
審査請求日	平成23年9月1日 (2011.9.1)	(74) 代理人	100108855
(31) 優先権主張番号	特願2010-191350 (P2010-191350)		弁理士 蔵田 昌俊
(32) 優先日	平成22年8月27日 (2010.8.27)	(74) 代理人	100159651
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		弁理士 高倉 成男
早期審査対象出願		(74) 代理人	100091351
			弁理士 河野 哲
		(74) 代理人	100088683
			弁理士 中村 誠
		(74) 代理人	100109830
			弁理士 福原 淑弘
		(74) 代理人	100075672
			弁理士 峰 隆司

最終頁に続く

(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

(57) 【特許請求の範囲】

【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、

前記姿勢検出部により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を寸法が前記センサ間寸法に等しい直線状の仮リンクと仮定して、それぞれの前記センサユニットの仮位置を検出するセンサ仮位置検出部と、

前記センサ仮位置検出部により検出されたそれぞれの前記センサユニットの前記仮位置に基づいて、それぞれの前記センサユニットの前記仮位置の間を仮円弧で曲線補間を行い、前記挿入部の仮曲線形状を検出する仮曲線形状検出部と、

前記仮曲線形状検出部により検出された前記仮曲線形状のそれぞれの前記仮円弧の弧長と前記センサ間寸法との差の絶対値に基づいて、それぞれの前記センサユニットの位置を前記仮位置から最終位置まで修正するセンサ位置修正部と、

それぞれの前記センサユニットの前記最終位置の間を最終円弧で曲線補間し、前記挿入部の最終曲線形状を検出する最終曲線形状検出部と、

を具備する内視鏡形状検出装置。

【請求項 2】

前記仮曲線形状検出部は、

10

20

それぞれの前記センサユニットの前記仮位置での単位接ベクトルを算出する単位接ベクトル算出部と、

前記単位接ベクトル算出部で算出されたそれぞれの前記単位接ベクトルに基づいて、それぞれの前記センサユニットの前記仮位置の間での前記単位接ベクトルの変化率を算出する変化率算出部と、

前記単位接ベクトル算出部で算出されたそれぞれの前記単位接ベクトル、及び、前記変化率算出部で算出されたそれぞれの前記変化率に基づいて、それぞれの前記センサユニットの前記仮位置の間の前記仮円弧を形成する仮円弧形成部と、

を備える請求項 1 の内視鏡形状検出装置。

【請求項 3】

前記センサ位置修正部は、

最も基端側又は最も先端側の前記センサユニットの中心を原点とするグローバル座標系において、前記グローバル座標系の前記原点に近い側の前記センサユニットから順次に位置補正を行い、それぞれの前記センサユニットを位置補正前の補正前位置から前記最終位置へ位置補正するセンサ位置順次補正部と、

前記センサ位置順次補正部により 1 つの前記センサユニットの位置補正が行われるたびに、直前の位置補正で補正対象だった前記センサユニットである直前補正対象センサの前記補正前位置から前記最終位置への補正量だけ、位置補正が完了していない前記センサユニットである未補正センサ群を平行移動させる未補正センサ群移動部と、

を備える請求項 1 の内視鏡形状検出装置。

【請求項 4】

前記センサ位置順次補正部は、

位置補正の対象である補正対象センサを前記補正前位置から 1 回以上移動させ、1 回の移動により前記補正対象センサを移動前位置から移動後位置まで移動させるセンサ移動部と、

前記センサ移動部により前記補正対象センサの移動が 1 回行われるたびに、前記補正対象センサに対して前記グローバル座標系の前記原点に近い側に隣設される前記センサユニットである近位側隣設センサの前記最終位置と前記補正対象センサの前記移動後位置との間を曲線補間し、移動後円弧を形成する移動後円弧形成部と、

を備える請求項 3 の内視鏡形状検出装置。

【請求項 5】

前記センサ位置順次補正部は、

前記移動後円弧形成部により形成される前記移動後円弧の弧長と前記センサ間寸法との差の絶対値が所定の閾値以下になるまで、前記補正対象センサの前記移動前位置から前記移動後位置への移動を繰り返し行う状態に前記センサ移動部を制御する移動制御部と、

前記センサ移動部による最終回の移動での前記移動後位置を、前記補正対象センサの前記最終位置として決定する最終位置決定部と、

を備える請求項 4 の内視鏡形状検出装置。

【請求項 6】

前記センサ位置順次補正部は、

前記近位側隣設センサの前記最終位置と前記補正対象センサの前記移動前位置との間を曲線補間して形成される移動前円弧の弧長と前記センサ間寸法との差の絶対値に対して、前記移動後円弧の弧長と前記センサ間寸法との差の絶対値が小さくなる前記補正対象センサの移動を所定の回数だけ繰り返す状態に、前記センサ移動部を制御する移動制御部と、

前記センサ移動部による最終回の移動での前記移動後位置を、前記補正対象センサの前記最終位置として決定する最終位置決定部と、

を備える請求項 4 の内視鏡形状検出装置。

【請求項 7】

前記最終曲線形状検出部は、

それぞれの前記センサユニットの前記最終位置に基づいて、それぞれの前記最終円弧の

10

20

30

40

50

パラメータを算出するパラメータ算出部と、

前記パラメータ算出部により算出された前記パラメータに基づいて、クォータニオン及び媒介変数を用いた補間関数により、前記媒介変数の変化に対して等角速度でそれぞれの前記センサユニットの前記最終位置の間を曲線補間し、前記最終円弧を形成する最終円弧形成部と、

を備える請求項 1 の内視鏡形状検出装置。

【請求項 8】

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が計測を行うことと、

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姿勢検出部が検出することと、

前記姿勢検出部が検出し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を寸法が前記センサ間寸法に等しい直線状の仮リンクと仮定して、それぞれの前記センサユニットの仮位置をセンサ仮位置検出部が検出することと、

仮曲線形状検出部が、前記センサ仮位置検出部が検出したそれぞれの前記センサユニットの前記仮位置に基づいて、それぞれの前記センサユニットの前記仮位置の間を仮円弧で曲線補間を行い、前記挿入部の仮曲線形状を検出することと、

前記仮曲線形状検出部が検出した前記仮曲線形状のそれぞれの前記仮円弧の弧長と前記センサ間寸法との差の絶対値に基づいて、それぞれの前記センサユニットの位置を前記仮位置から最終位置までセンサ位置修正部が修正することと、

最終曲線形状検出部が、それぞれの前記センサユニットの前記最終位置の間を最終円弧で曲線補間し、前記挿入部の最終曲線形状を検出することと、

を具備する内視鏡の挿入部の形状検出方法。

【請求項 9】

前記仮曲線形状検出部が前記仮曲線形状を検出することは、

それぞれの前記センサユニットの前記仮位置での単位接ベクトルを前記仮曲線形状検出部の単位接ベクトル算出部が算出することと、

前記単位接ベクトル算出部が算出したそれぞれの前記単位接ベクトルに基づいて、それぞれの前記センサユニットの前記仮位置の間での前記単位接ベクトルの変化率を前記仮曲線形状検出部の変化率算出部が算出することと、

前記単位接ベクトル算出部が算出したそれぞれの前記単位接ベクトル、及び、前記変化率算出部が算出したそれぞれの前記変化率に基づいて、それぞれの前記センサユニットの前記仮位置の間の前記仮円弧を前記仮曲線形状検出部の仮円弧形成部が形成することと、

を備える請求項 8 の内視鏡の挿入部の形状検出方法。

【請求項 10】

前記センサ位置修正部がそれぞれの前記センサユニットの位置を前記仮位置から前記最終位置まで修正することは、

最も基端側又は最も先端側の前記センサユニットの中心を原点とするグローバル座標系において、前記センサ位置修正部のセンサ位置順次補正部が、前記グローバル座標系の前記原点に近い側の前記センサユニットから順次に位置補正を行い、それぞれの前記センサユニットを位置補正前の補正前位置から前記最終位置へ位置補正することと、

前記センサ位置順次補正部が 1 つの前記センサユニットの位置補正を行うたびに、直前の位置補正で補正対象だった前記センサユニットである直前補正対象センサの前記補正前位置から前記最終位置への補正量だけ、位置補正が完了していない前記センサユニットである未補正センサ群を前記センサ位置修正部の未補正センサ群移動部が平行移動させることと、

を備える請求項 8 の内視鏡の挿入部の形状検出方法。

【請求項 11】

前記グローバル座標系の前記原点に近い側の前記センサユニットから順次に、それぞれの前記センサユニットの位置補正を前記センサ位置順次補正部が行うことは、

10

20

30

40

50

前記センサ位置順次補正部のセンサ移動部が、位置補正の対象である補正対象センサを前記補正前位置から1回以上移動させ、1回の移動により前記補正対象センサを移動前位置から移動後位置まで移動させることと、

前記センサ位置順次補正部の移動後円弧形成部が、前記センサ移動部が前記補正対象センサの移動を1回行うたびに、前記補正対象センサに対して前記グローバル座標系の前記原点に近い側に隣設される前記センサユニットである近位側隣設センサの前記最終位置と前記補正対象センサの前記移動後位置との間を曲線補間し、移動後円弧を形成することと、

を備える請求項10の内視鏡の挿入部の形状検出方法。

【請求項12】

前記グローバル座標系の前記原点に近い側の前記センサユニットから順次に、それぞれの前記センサユニットの位置補正を前記センサ位置順次補正部が行うことは、

前記移動後円弧形成部が形成する前記移動後円弧の弧長と前記センサ間寸法との差の絶対値が所定の閾値以下になるまで、前記センサ移動部が前記補正対象センサの前記移動前位置から前記移動後位置への移動を繰り返し行う状態に、前記センサ位置順次補正部の移動制御部が制御することと、

前記センサ移動部による最終回の移動での前記移動後位置を、前記補正対象センサの前記最終位置として前記センサ位置順次補正部の最終位置決定部が決定することと、

を備える請求項11の内視鏡の挿入部の形状検出方法。

【請求項13】

前記グローバル座標系の前記原点に近い側の前記センサユニットから順次に、それぞれの前記センサユニットの位置補正を前記センサ位置順次補正部が行うことは、

前記近位側隣設センサの前記最終位置と前記補正対象センサの前記移動前位置との間を曲線補間して形成される移動前円弧の弧長と前記センサ間寸法との差の絶対値に対して、前記移動後円弧の弧長と前記センサ間寸法との差の絶対値が小さくなる前記補正対象センサの移動を前記センサ移動部が所定の回数だけ繰り返す状態に、前記センサ位置順次補正部の移動制御部が制御することと、

前記センサ移動部による最終回の移動での前記移動後位置を、前記補正対象センサの前記最終位置として前記センサ位置順次補正部の最終位置決定部が決定することと、

を備える請求項11の内視鏡の挿入部の形状検出方法。

【請求項14】

前記最終曲線形状検出部が前記挿入部の最終曲線形状を検出することは、

それぞれの前記センサユニットの前記最終位置に基づいて、それぞれの前記最終円弧のパラメータを前記最終曲線形状検出部のパラメータ算出部が算出することと、

前記最終曲線形状算出部の最終円弧形成部が、前記パラメータ算出部が算出した前記パラメータに基づいて、クォータニオン及び媒介変数を用いた補間関数により、前記媒介変数の変化に対して等角速度でそれぞれの前記センサユニットの前記最終位置の間を曲線補間し、前記最終円弧を形成することと、

を備える請求項8の内視鏡の挿入部の形状検出方法。

【発明の詳細な説明】

【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、体外に設けられるソースコイルにより、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

10

20

30

40

50

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。

【 0 0 0 3 】

また、特許文献 2 には、内視鏡の挿入部に配置されたそれぞれのコイルの位置を交流磁場から検出し、検出されたそれぞれのコイルの位置の間を曲線補間する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、検出されたそれぞれのコイルの位置をベジェ曲線又はスプライン曲線で結ぶことにより、曲線補間を行っている。曲線補間を行うことにより、内視鏡の挿入部の曲線形状が検出される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 4 】

【特許文献 1】特開 2 0 0 0 - 1 7 5 8 6 2 号公報

【特許文献 2】特開 2 0 0 7 - 1 3 0 1 7 5 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 5 】

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。

【 0 0 0 6 】

上記特許文献 2 の内視鏡形状検出装置では、検出されたそれぞれのコイルの位置をベジェ曲線又はスプライン曲線で結ぶことにより、曲線補間を行っている。しかし、この内視鏡形状検出装置では、それぞれのコイルの間の長手方向の寸法であるコイル間寸法を考慮して曲線補間を行っていない。このため、体腔内への挿入時の挿入部の形状は、高い精度で検出されない。

【 0 0 0 7 】

例えば検出されたそれぞれのコイルの位置をスプライン曲線で結んで、挿入部の仮形状を検出した後に、コイル間寸法に基づいて、検出されたそれぞれのコイルの位置を順次に修正することも考えられる。この場合、1つのコイルの位置の修正が行われるたびに、位置修正後のコイルの位置をスプライン曲線で結び、コイル位置修正前の挿入部の検出形状を修正したコイル位置修正後の挿入部の修正形状が検出される。すなわち、1つのコイルの位置修正が行われるたびに、挿入部の曲線形状全体が修正される。ここで、コイル間寸法は、コイルとコイルの間の長手方向の寸法であり、挿入部の局所的なパラメータである。すなわち、コイル間寸法は、挿入部の形状に局所的に影響を与えるパラメータであり、挿入部全体の形状に影響を与えるパラメータではない。このため、1つのコイルの位置の修正により、位置修正されたコイルの近傍で局所的にセンサ位置修正前の挿入部の検出形状が修正されるのではなく、1つのコイルの位置の修正により、挿入部の曲線形状全体が修正される構成では、高い精度で挿入部の曲線形状の修正が行われず、最終的に挿入部の曲線形状が、高い精度で検出されない。また、スプライン曲線等の種類によっては1つのコイルの位置の修正により、挿入部の全体形状が修正されるため、処理が複雑になる。

【 0 0 0 8 】

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、装置の構成が大型化、複雑化することなく、かつ、処理が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】

【 0 0 0 9 】

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、前記姿勢検出部により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

10

20

30

40

50

て、それぞれの前記センサユニットの間を寸法が前記センサ間寸法に等しい直線状の仮リンクと仮定して、それぞれの前記センサユニットの仮位置を検出するセンサ仮位置検出部と、前記センサ仮位置検出部により検出されたそれぞれの前記センサユニットの前記仮位置に基づいて、それぞれの前記センサユニットの前記仮位置の間を仮円弧で曲線補間を行い、前記挿入部の仮曲線形状を検出する仮曲線形状検出部と、前記仮曲線形状検出部により検出された前記仮曲線形状のそれぞれの前記仮円弧の弧長と前記センサ間寸法との差の絶対値に基づいて、それぞれの前記センサユニットの位置を前記仮位置から最終位置まで修正するセンサ位置修正部と、それぞれの前記センサユニットの前記最終位置の間を最終円弧で曲線補間し、前記挿入部の最終曲線形状を検出する最終曲線形状検出部と、を備える内視鏡形状検出装置を提供する。

10

【0010】

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が計測を行うことと、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姿勢検出部が検出することと、前記姿勢検出部が検出し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を寸法が前記センサ間寸法に等しい直線状の仮リンクと仮定して、それぞれの前記センサユニットの仮位置をセンサ仮位置検出部が検出することと、仮曲線形状検出部が、前記センサ仮位置検出部が検出したそれぞれの前記センサユニットの前記仮位置に基づいて、それぞれの前記センサユニットの前記仮位置の間を仮円弧で曲線補間を行い、前記挿入部の仮曲線形状を検出することと、前記仮曲線形状検出部が検出した前記仮曲線形状のそれぞれの前記仮円弧の弧長と前記センサ間寸法との差の絶対値に基づいて、それぞれの前記センサユニットの位置を前記仮位置から最終位置までセンサ位置修正部が修正することと、最終曲線形状検出部が、それぞれの前記センサユニットの前記最終位置の間を最終円弧で曲線補間し、前記挿入部の最終曲線形状を検出することと、を備える内視鏡の挿入部の形状検出方法を提供する。

20

【発明の効果】

【0011】

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、かつ、処理が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。

30

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る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センサ仮位置検出部により検出されるそれぞれのセンサユニットの仮位置を示す概略図。

40

【図7】第1の実施形態に係るセンサ仮位置検出部の仮リンク移動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仮曲線形状検出部により検出された内視鏡の挿入部の仮曲線形状を示す概略図。

【図9】第1の実施形態に係る仮曲線形状検出部により仮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の実施形態に係る仮曲線形状検出部での処理を説明する概略図。

【図11】第1の実施形態に係る内視鏡形状検出装置のセンサ位置修正部により修正されたそれぞれのセンサユニットの最終位置を示す概略図。

50

【図12】第1の実施形態に係るセンサ位置修正部によりそれぞれのセンサユニットの位置を修正する方法を示すフローチャート。

【図13】第1の実施形態に係るセンサ位置修正部のセンサ位置順次補正部による処理を説明する概略図。

【図14】第1の実施形態に係るセンサ位置順次補正部のセンサ移動部及び移動後円弧形成部での処理を説明する概略図。

【図15】第1の実施形態に係るセンサ位置修正部の未補正センサ群移動部での処理を説明する概略図。

【図16】第1の実施形態に係る内視鏡形状検出装置の最終曲線形状検出部により検出された内視鏡の挿入部の最終曲線形状を示す概略図。

【図17】第1の実施形態に係る最終曲線形状検出部により最終曲線形状を検出する方法を示すフローチャート。

【図18】第1の実施形態に係る最終曲線形状検出部での処理を説明する概略図。

【図19】本発明の第2の実施形態に係る内視鏡形状検出装置のセンサ位置修正部によりそれぞれのセンサユニットの位置を修正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】

【0013】

(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18を参照して説明する。

【0014】

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。

【0015】

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。

【0016】

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。

【0017】

挿入部11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。

【0018】

10

20

30

40

50

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）を有する。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。

10

【0019】

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の方向（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 C の X 軸方向を磁北方向とする。

20

【0020】

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 θ_{i1} 、 Y 軸回りに θ_{i2} 、 Z 軸回りに θ_{i3} 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、 θ_{i1} をピッチ角、 θ_{i2} をロール角、 θ_{i3} をヨー角と称し、ピッチ角 θ_{i1} 、ロール角 θ_{i2} 、ヨー角 θ_{i3} の3つをまとめて姿勢角と称する。姿勢角 θ_{i1} 、 θ_{i2} 、 θ_{i3} 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 θ_{i1} 、 θ_{i2} 、 θ_{i3} 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。

30

【0021】

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 は、I2C等のシリアルバス5に接続されている。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。

【0022】

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。

40

【0023】

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

50

角 γ_i , α_i , β_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 β_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 α_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 γ_i を算出する第 2 の角度算出部 36 を備える。

【0024】

10

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 γ_i , α_i , β_i を算出する。

【0025】

姿勢角 γ_i , α_i , β_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 β_i 及びロール角 α_i を算出する (ステップ S102)。ここで、姿勢角 γ_i , α_i , β_i はヨー角 γ_i 、ピッチ角 β_i 、ロール角 α_i の順で回転する (Z, X, Y) 型とする。したがって、ローカル座標系 C_i からグローバル座標系 C への回転行列は、

20

【数 1】

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

30

【0026】

となる。

【0027】

挿入部 11 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_i 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、

40

【数 2】

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

【0028】

となる。また、加速度センサ A_i で計測される加速度ベクトルのローカル座標系 C_i の X 軸方向成分、Y 軸方向成分、Z 軸方向成分を、

【数3】

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

【0029】

とする。

【0030】

ここで、ローカル座標系 C_i はグローバル座標系 C をヨー角 α_i 、ピッチ角 β_i 、ロール角 γ_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_i で観測される加速度成分は、

10

【数4】

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

(4.2)

(4.3)

【0031】

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】

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

20

【0032】

となり、

【数6】

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

【0033】

となる。そして、式(4.2)を式(6)で割ることにより、

【数7】

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

30

【0034】

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

40

【数8】

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

【0035】

となり、ローカル座標系 C_i のロール角 γ_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 β_i 及びロール角 γ_i が算出される。

50

【 0 0 3 6 】

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 α_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 β_i 及びロール角 α_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軸及びY軸補正した補正座標系 C'_i はグローバル座標系 C をZ軸回りにヨー角 α_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軸回りにヨー角 α_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。本実施形態では、グローバル座標系 C のX軸方向が磁北方向と一致している。このため、 X'_i 軸方向が、磁北方向からZ軸回りにヨー角 α_i だけ回転した方向となる。

10

【 0 0 3 7 】

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】

20

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

【 0 0 3 8 】

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】

30

$$\begin{aligned} \dot{m}_{obsi}' &= R_{Xi} R_{Yi} \dot{m}_{obsi} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha_i & -\sin\alpha_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\beta_i & 0 & \sin\beta_i \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\beta_i & 0 & \cos\beta_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{Xi} \\ M_{Yi} \\ M_{Zi} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \cos\beta_i & 0 & \sin\beta_i \\ \sin\alpha_i \sin\beta_i & \cos\alpha_i & -\sin\alpha_i \cos\beta_i \\ -\cos\alpha_i \sin\beta_i & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i \cos\beta_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{Xi} \\ M_{Yi} \\ M_{Zi} \end{bmatrix} \quad (10.1) \end{aligned}$$

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

【 0 0 3 9 】

40

となる。式(10.1)、式(10.2)から、

【数11】

$$M_{Xi}' = M_{Xi} \cos\beta_i + M_{Zi} \sin\beta_i \quad (11.1)$$

$$M_{Yi}' = M_{Yi} \cos\alpha_i + \sin\alpha_i (M_{Xi} \sin\beta_i - M_{Zi} \cos\beta_i) \quad (11.2)$$

【 0 0 4 0 】

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 θ_i は、地磁気ベクトルの補正座標系 C'_i の X'_i 軸成分

50

、 Y'_i 軸成分を用いて求めることができる。すなわち、
【数 1 2】

$$\theta_i = \tan^{-1}(M_{Yi}' / M_{Xi}') \quad (12)$$

【0041】

となる。角度 θ_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。ここで、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 θ_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 θ_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 のヨー角 θ_i となる。 10

【0042】

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ー角 θ_i を求めることができる。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 1 3】

$$\dot{m}_{th} = [M_X \quad M_Y \quad M_Z]^T \quad (13)$$

【0043】

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 θ 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、 20

【数 1 4】

$$\theta = \tan^{-1}(M_Y / M_X) \quad (14)$$

【0044】

となる。ここで、角度 θ 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 θ_i だけ回転した座標系である。したがって、式 (12)、式 (14) より、 30

【数 1 5】

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

【0045】

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 θ_i が求まる。

【0046】

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 θ_i が算出される。算出された姿勢角 γ_i 、 θ_i 、 θ 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。 40

【0047】

図 3 に示すように、姿勢検出部 30 には、センサ仮位置検出部 40 が接続されている。図 6 は、センサ仮位置検出部 40 により検出されるそれぞれのセンサユニット S_i の仮位置 $P_{0,i}$ を、グローバル座標系 C の Z 軸の負から正の方向に向かって見た図である。図 6 に示すように、センサ仮位置検出部 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 に等しい直線状の仮リンク $T_{0,j}$ ($j = 1, 2, \dots, N$) と仮定して、そ 50

それぞれのセンサユニット S_i の仮位置 $P_{0,i}$ を検出する。ここで、基端側から k 番目の仮リンク $T_{0,k}$ 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 との間の仮リンク $T_{0,k}$ である。センサ仮位置検出部 40 は、それぞれの仮リンク $T_{0,j}$ を形成する仮リンク形成部 41 と、仮リンク形成部 41 により形成されたそれぞれの仮リンク $T_{0,j}$ を平行移動する仮リンク移動部 42 とを備える。仮リンク移動部 42 により、それぞれの仮リンク $T_{0,j}$ は、隣接する仮リンク $T_{0,j-1}$ 、 $T_{0,j+1}$ との仮リンク境界が連続する状態に、平行移動される。これにより、それぞれのセンサユニット S_i の間を直線状の仮リンク $T_{0,j}$ と仮定した仮線形状 71 が形成される。

【0048】

10

ここで、センサ仮位置検出部 40 でそれぞれのセンサユニット S_i の仮位置 $P_{0,i}$ を検出する方法について説明する。それぞれのセンサユニット S_i の仮位置 $P_{0,i}$ を検出する(ステップ S104)際、まず、ステップ S102、S103 で算出した姿勢角 γ_i 、 α_i の値に基づいて、仮リンク形成部 41 が、直線形状のそれぞれの仮リンク $T_{0,j}$ を形成する。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 番目の仮リンク $T_{0,k}$ の形成について説明する。

【0049】

式(7)、式(8)、式(12)(又は式(15))の i を $k-1$ で置換した式を用いて、ステップ S102、S103 でローカル座標系 C_{k-1} (つまり仮リンク $T_{0,k}$) の姿勢角 γ_{k-1} 、 α_{k-1} が算出される。この姿勢角 γ_{k-1} 、 α_{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} からセンサユニット S_k へ向かうベクトルが求まる。ここで、センサユニット S_{k-1} からセンサユニット S_k へ向かうベクトルは、

20

【数16】

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

30

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

【0050】

となる。式(16.1)では、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と式(1)で算出される回転行列を乗算することにより、ローカル座標系 C_{k-1} の原点での Y_{k-1} 軸方向の単位ベクトルを、グローバル座標系 C の X 軸方向成分、 Y 軸方向成分、 Z 軸方向にそれぞれ分解した成分が算出される。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。式(16.1)で算出されるベクトルにより、仮リンク $T_{0,k}$ が形成される。

40

【0051】

なお、仮リンク $T_{0,k}$ 以外の仮リンク $T_{0,j}$ についても、仮リンク形成部 41 により同様に形成される。すなわち、式(16.1)、式(16.2)の k を j で置換した式を用いて、仮リンク $T_{0,j}$ 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} から仮リンク $T_{0,j}$ 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 へのベクトルを求める。そして、センサユニット S_{j-1} からセンサユニット S_j へのベクトルにより、仮リンク $T_{0,j}$ が形成される。すなわち、仮リンク形成部 41 は、仮リンク $T_{0,j}$ 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

50

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、仮リンク $T_{0,j}$ を形成する。

【0052】

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、コストが削減される。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 に等しい直線状の仮リンク $T_{0,j}$ 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。

【0053】

そして、仮リンク移動部 42 が、仮リンク形成部 41 により形成されたそれぞれの仮リンク $T_{0,j}$ を隣接する仮リンク $T_{0,j-1}$ 、 $T_{0,j+1}$ との仮リンク境界が連続する状態に平行移動する。図 7 は、仮リンク移動部 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 番目の仮リンク $T_{0,k}$ の移動について説明する。

【0054】

図 7 に示すように、仮リンク移動部 42 により、仮リンク $T_{0,k}$ の移動が行われる前の状態では、仮リンク $T_{0,k}$ の基端側に隣接する仮リンク $T_{0,k-1}$ まで移動が完了し、仮リンク移動完了部 73 が形成されている。仮リンク $T_{0,k}$ の移動を行う際は、原点から仮リンク移動完了部 73 の先端（すなわちセンサユニット S_{k-1} の仮位置 $P_{0,k-1}$ ）までの移動量だけ、仮リンク移動部 42 は仮リンク $T_{0,k}$ 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仮リンク $T_{0,k}$ を平行移動する。これにより、仮リンク $T_{0,k-1}$ と仮リンク $T_{0,k}$ とのリンク境界が連続する状態となる。

【0055】

なお、仮リンク $T_{0,k}$ 以外の仮リンク $T_{0,j}$ についても、仮リンク移動部 42 により同様に移動される。すなわち、仮リンク $T_{0,j}$ の移動を行う際は、原点から仮リンク移動完了部 73 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、仮リンク移動部 42 は仮リンク $T_{0,j}$ を平行移動する。これにより、仮リンク $T_{0,j}$ と仮リンク $T_{0,j}$ の基端側（グローバル座標系 C の原点から近い側）に隣接する仮リンク $T_{0,j-1}$ との仮リンク境界が連続する状態となる。ただし、仮リンク $T_{0,1}$ については、仮リンク $T_{0,1}$ の基端がグローバル座標系 C の原点であるため、移動は行われない。すべての仮リンク $T_{0,j}$ の移動が完了することにより、図 6 に示すように、それぞれのセンサユニット S_i の間を直線状の仮リンク $T_{0,j}$ と仮定した仮線形形状 71 が形成される。仮線形形状 71 でのそれぞれのセンサユニット S_i の位置を、それぞれのセンサユニット S_i の仮位置 $P_{0,i}$ として検出する（ステップ S104）。

【0056】

図 3 に示すように、センサ仮位置検出部 40 は、仮曲線形状検出部 50 に接続されている。仮曲線形状検出部 50 は、センサ仮位置検出部 40 により検出されたそれぞれのセンサユニット S_i の仮位置 $P_{0,i}$ の間を仮円弧 $L_{0,j}$ として曲線補間を行い、仮曲線形状 75 を検出する。図 8 は、仮曲線形状検出部 50 により検出された内視鏡 10 の挿入部 11 の仮曲線形状 75 をグローバル座標系 C の Z 軸の負から正の方向に向かって見た図である。図 8 に示すように、仮曲線形状検出部 50 により、図 8 の点線で示す仮線形形状 71 のそれぞれのセンサユニット S_i の仮位置 $P_{0,i}$ の間が曲線補間される。これにより、それぞれの仮円弧 $L_{0,j}$ が形成され、図 8 の実線で示す仮曲線形状 75 が検出される。

【0057】

仮曲線形状検出部 50 は、それぞれのセンサユニット S_i の仮位置 $P_{0,i}$ での単位接ベクトルを算出する単位接ベクトル算出部 51 と、単位接ベクトル算出部 51 により算出された単位接ベクトルに基づいて、それぞれのセンサユニット S_i の仮位置 $P_{0,i}$ の間での単位接ベクトルの変化率を算出する変化率算出部 52 と、単位接ベクトル算出部 51 により算出された単位接ベクトル及び変化率算出部 52 で算出された変化率に基づいて、

10

20

30

40

50

それぞれのセンサユニット S_i の仮位置 $P_{0,i}$ の間の仮円弧 $L_{0,j}$ を形成する仮円弧形成部 53 と、を備える。すべてのセンサユニット S_i の仮位置 $P_{0,i}$ の間で曲線補間が行われ、すべての仮円弧 $L_{0,j}$ が形成されることにより、仮曲線形状 75 が検出される。

【0058】

ここで、仮曲線形状検出部 50 で、センサ仮位置検出部 40 により検出されたそれぞれのセンサユニット S_i の仮位置 $P_{0,i}$ の間を曲線補間し、仮曲線形状 75 を検出する方法について説明する。図 4 に示すように、仮曲線形状検出部 50 は、ステップ S104 で検出されたそれぞれのセンサユニット S_i の仮位置 $P_{0,i}$ の間を仮円弧 $L_{0,j}$ で曲線補間を行い、仮曲線形状 75 を検出する（ステップ S105）。前述のように、センサ間寸法 l が 50 mm 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 に等しい直線状の仮リンク $T_{0,j}$ 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、それぞれのセンサユニット S_i の仮位置 $P_{0,i}$ の間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、それぞれのセンサユニット S_i の間の形状を半径 $R_{0,j}$ （曲率 $1/R_{0,j}$ ）の仮円弧 $L_{0,j}$ 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仮曲線形状 75 が形成される。

【0059】

仮曲線形状 75 を検出する際、仮曲線形状検出部 50 は、それぞれのセンサユニット S_i の仮位置 $P_{0,i}$ の間ごとに順次に曲線補間を行い、仮円弧 $L_{0,j}$ を形成する。ここで、仮曲線形状検出部 50 により、それぞれのセンサユニット S_i の仮位置 $P_{0,i}$ の間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 との間の曲線補間について説明する。すなわち、仮位置 $P_{0,k-1}$ と仮位置 $P_{0,k}$ との間が、補間対象である補間対象仮位置間となる。

【0060】

図 9 は、仮曲線形状検出部 50 により仮曲線形状 75 を検出する方法を示すフローチャートである。図 10 は、仮曲線形状検出部 50 での処理を説明する図である。図 9 及び図 10 に示すように、仮曲線形状検出部 50 によりセンサユニット S_{k-1} の仮位置 $P_{0,k-1}$ とセンサユニット S_k の仮位置 $P_{0,k}$ との間である補間対象のセンサ間の曲線補間を行う際は、まず、単位接ベクトル算出部 51 が、センサユニット S_{k-1} の仮位置 $P_{0,k-1}$ での単位接ベクトル及びセンサユニット S_k の仮位置 $P_{0,k}$ での単位接ベクトルを算出する（ステップ S111）。センサユニット S_{k-1} の仮位置 $P_{0,k-1}$ での単位接ベクトルは、

【数 17】

$$\Delta \dot{P}_{0,k} = \dot{P}_{0,k} - \dot{P}_{0,k-1} \quad (17.1)$$

$$\Delta L_{0,k} = |\Delta \dot{P}_{0,k}| \quad (17.2)$$

$$\dot{e}_{0,k} = \frac{d\dot{P}}{dL} \Big|_{0,k} = \frac{\Delta \dot{P}_{0,k}}{\Delta L_{0,k}} \quad (17.3)$$

【0061】

となる。すなわち、仮位置 $P_{0,k-1}$ での単位接ベクトルは、仮位置 $P_{0,k-1}$ から仮位置 $P_{0,k}$ までのベクトルの単位ベクトルである。センサユニット S_k の仮位置 $P_{0,k}$ での単位接ベクトルは、式 (17.1)、式 (17.2)、式 (17.3) の k を $k+1$ で置換した式を用いて求められる。すなわち、仮位置 $P_{0,k}$ での単位接ベクトルは、仮位置 $P_{0,k}$ から仮位置 $P_{0,k+1}$ までのベクトルの単位ベクトルである。

【 0 0 6 2 】

そして、単位接ベクトル算出部 5 1 により算出された単位接ベクトルに基づいて、変化率算出部 5 2 がセンサユニット S_{k-1} の仮位置 $P_{0,k-1}$ とセンサユニット S_k の仮位置 $P_{0,k}$ との間での単位接ベクトルの変化率を算出する（ステップ S 1 1 2）。まず、仮位置 $P_{0,k-1}$ と仮位置 $P_{0,k}$ との間での単位接ベクトルの変化率ベクトルが、

【 数 1 8 】

$$\dot{\lambda}_{0,k} = \frac{d^2\dot{P}}{dL^2} \Big|_{0,k} = \frac{d\dot{e}}{dL} \Big|_{0,k} = \frac{\dot{e}_{0,k+1} - \dot{e}_{0,k}}{\Delta L_{0,k}} \quad (18.1)$$

10

$$\Delta L_{0,k} = \frac{\Delta L_{0,k+1} - \Delta L_{0,k}}{2} \quad (18.2)$$

【 0 0 6 3 】

で求められる。そして、式 (18.1)、式 (18.2) で求められた変化率ベクトルの大きさが仮位置 $P_{0,k-1}$ と仮位置 $P_{0,k}$ との間での単位接ベクトルの変化率となる。

【 0 0 6 4 】

そして、単位接ベクトル算出部 5 1 により算出された単位接ベクトル及び変化率算出部 5 2 で算出された変化率に基づいて、仮円弧形成部 5 3 が、センサユニット S_{k-1} の仮位置 $P_{0,k-1}$ とセンサユニット S_k の仮位置 $P_{0,k}$ との間での仮円弧 $L_{0,k}$ を形成する（ステップ S 1 1 3）。ここで、ステップ S 1 1 2 で算出した仮位置 $P_{0,k-1}$ と仮位置 $P_{0,k}$ との間での単位接ベクトルの変化率は、仮円弧 $L_{0,k}$ の曲率 $1/R_{0,k}$ となる。仮円弧 $L_{0,k}$ の半径 $R_{0,k}$ は曲率 $1/R_{0,k}$ の逆数であるため、仮円弧 $L_{0,k}$ の半径 $R_{0,k}$ は、

【 数 1 9 】

$$R_{0,k} = \frac{1}{|\dot{\lambda}_{0,k}|} \quad (19)$$

20

30

【 0 0 6 5 】

となる。また、仮円弧 $L_{0,k}$ の中心 $O_{0,k}$ のグローバル座標 C での位置が、

【 数 2 0 】

$$O_{0,k} = \dot{P}_{0,k-1} + R_{0,k} \dot{\lambda}_{0,k} \quad (20)$$

【 0 0 6 6 】

により求められる。さらに、仮位置 $P_{0,k-1}$ での単位接ベクトル及び仮位置 $P_{0,k}$ での単位接ベクトルを用いて、仮円弧 $L_{0,k}$ の中心角 $\phi_{0,k}$ が、

【 数 2 1 】

$$\phi_{0,k} = \cos^{-1} \frac{\Delta \dot{P}_{0,k} \cdot \Delta \dot{P}_{0,k+1}}{|\Delta \dot{P}_{0,k}| |\Delta \dot{P}_{0,k+1}|} = \cos^{-1} (\dot{e}_{0,k} \cdot \dot{e}_{0,k+1}) \quad (21)$$

40

【 0 0 6 7 】

により求められる。これらのパラメータを用いて、仮位置 $P_{0,k-1}$ と仮位置 $P_{0,k}$ との間での仮円弧 $L_{0,k}$ が形成される。

【 0 0 6 8 】

なお、仮円弧 $L_{0,k}$ 以外の仮円弧 $L_{0,j}$ についても、仮位置 $P_{0,j-1}$ と仮位置

50

$P_{0,j}$ との間を同様に曲線補間することにより、形成される。すなわち、仮円弧 $L_{0,j}$ を形成する際は、まず、単位接ベクトル算出部 51 が、補間対象仮位置間の基端側（グローバル座標系 C の原点に近い側）に位置するセンサユニット S_{j-1} の仮位置 $P_{0,j-1}$ での単位接ベクトル及び補間対象仮位置間の先端側（グローバル座標系 C の原点から遠い側）に位置するセンサユニット S_j の仮位置 $P_{0,j}$ での単位接ベクトルを算出する。センサユニット S_{j-1} の仮位置 $P_{0,j-1}$ での単位接ベクトルは、式 (17.1)、式 (17.2)、式 (17.3) の k を j で置換した式を用いて求められ、仮位置 $P_{0,j-1}$ から仮位置 $P_{0,j}$ までのベクトルの単位ベクトルである。また、センサユニット S_j の仮位置 $P_{0,j}$ での単位接ベクトルは、式 (17.1)、式 (17.2)、式 (17.3) の k を $j+1$ で置換した式を用いて求められ、仮位置 $P_{0,j}$ から仮位置 $P_{0,j+1}$ までのベクトルの単位ベクトルである。これにより、それぞれのセンサユニット S_i の仮位置 $P_{0,i}$ での単位接ベクトルが算出される（ステップ S111）。

10

【0069】

そして、単位接ベクトル算出部 51 により算出された単位接ベクトルに基づいて、変化率算出部 52 がセンサユニット S_{j-1} の仮位置 $P_{0,j-1}$ とセンサユニット S_j の仮位置 $P_{0,j}$ との間である補間対象仮位置間での単位接ベクトルの変化率を算出する。仮位置 $P_{0,j-1}$ と仮位置 $P_{0,j}$ との間での単位接ベクトルの変化率は、式 (18.1)、式 (18.2) の k を j で置換した式を用いて求められる。これにより、それぞれのセンサユニット S_i の仮位置 $P_{0,i}$ の間での単位接ベクトルの変化率が算出される（ステップ S112）。

20

【0070】

そして、単位接ベクトル算出部 51 により算出された単位接ベクトル及び変化率算出部 52 で算出された変化率に基づいて、仮円弧形成部 53 が、センサユニット S_{j-1} の仮位置 $P_{0,j-1}$ とセンサユニット S_j の仮位置 $P_{0,j}$ との間である補間対象仮位置間の仮円弧 $L_{0,j}$ を形成する。ここで、式 (19)、式 (20)、式 (21) の k を j で置換した式を用いて、仮円弧 $L_{0,j}$ の半径 $R_{0,j}$ 、中心 $O_{0,j}$ 、中心角 $\theta_{0,j}$ が求められる。これにより、それぞれのセンサユニット S_i の仮位置 $P_{0,i}$ の間の仮円弧 $L_{0,j}$ が形成される（ステップ S113）。すべてのセンサユニット S_i の仮位置 $P_{0,i}$ の間で曲線補間が行われ、すべての仮円弧 $L_{0,j}$ が形成されることにより、仮曲線形状 75 が検出される。

30

【0071】

図 3 に示すように、仮曲線形状検出部 50 は、それぞれのセンサユニット S_i の位置を修正するセンサ位置修正部 55 に接続されている。センサ位置修正部 55 は、仮曲線形状検出部 50 により検出された仮曲線形状 75 のそれぞれの仮円弧 $L_{0,j}$ の弧長 $R_{0,j}$ とセンサ間寸法 l との差の絶対値に基づいて、それぞれのセンサユニット S_i の位置を修正する。ここで、仮円弧 $L_{0,j}$ の弧長 $R_{0,j}$ とセンサ間寸法 l との差の絶対値をエネルギー $E_{0,j}$ とする。図 11 は、センサ位置修正部 55 により修正されたそれぞれのセンサユニット S_i の位置をグローバル座標 C の Z 軸の負から正の方向に向かって見た図である。図 11 に示すように、センサ位置修正部 55 により、それぞれのセンサユニット S_i は、仮位置 $P_{0,i}$ から最終位置 $P_{F,i}$ まで修正される。

40

【0072】

センサ位置修正部 55 は、基端側（グローバル座標系 C の原点に近い側）のセンサユニット S_i から順次に位置補正を行うセンサ位置順次補正部 57 を備える。センサ位置順次補正部 57 によりそれぞれのセンサユニット S_i の位置補正を行う前の状態では、それぞれのセンサユニット S_i は、仮位置 $P_{0,i}$ から補正前位置 $Q_{0,i}$ に移動されている（詳細については、後述する。）。センサ位置順次補正部 57 は、それぞれのセンサユニット S_i を補正前位置 $Q_{0,i}$ から最終位置 $P_{F,i}$ へ位置補正する。また、センサ位置修正部 55 は、センサ位置順次補正部 57 により 1 つのセンサユニット S_i の位置補正が行われるたびに、位置補正が完了していないセンサユニット S_i である未補正センサ群 77 を平行移動させる未補正センサ群移動部 59 を備える。センサ位置順次補正部 57 により

50

、すべてのセンサユニット S_i の補正前位置 $Q_{0,i}$ から最終位置 $P_{F,i}$ への位置補正が行われる。ここで、補正前位置 $Q_{0,i}$ は、センサ位置順次補正部 57 により位置補正が行われる直前のそれぞれのセンサユニット S_i の位置である。未補正センサ群移動部 59 は、センサ位置順次補正部 57 による直前の位置補正で補正対象だったセンサユニット S_i である直前補正対象センサ 79 の補正前位置 $Q_{0,i}$ から最終位置 $P_{F,i}$ への補正量だけ、未補正センサ群 77 を平行移動させる。これにより、未補正センサ群 77 は、平行移動前位置 $U_{a-1,i}$ ($a = 1, 2, \dots$) から平行移動後位置 $U_{a,i}$ まで平行移動する。ここで、 a は、未補正センサ群移動部 59 によりそれぞれのセンサユニット S_i が平行移動した回数を示している。それぞれのセンサユニット S_i の未補正センサ群移動部 59 による 1 回目の平行移動の平行移動前位置 $U_{0,i}$ は、仮位置 $P_{0,i}$ と一致する。それぞれのセンサユニット S_i は、未補正センサ群移動部 59 により $(i-1)$ 回だけ平行移動する。それぞれのセンサユニット S_i の未補正センサ群移動部 59 による $(i-1)$ 回目の平行移動の平行移動後位置 $U_{i-1,i}$ は、補正前位置 $Q_{0,i}$ と一致する。以上のように、センサ位置順次補正部 57 での位置補正及び未補正センサ群移動部 59 での平行移動により、それぞれのセンサユニット S_i が、仮位置 $P_{0,i}$ から最終位置 $P_{F,i}$ へ位置修正される。

10

【0073】

センサ位置順次補正部 57 は、位置補正の対象である補正対象センサ 81 を位置補正前の補正前位置 $Q_{0,i}$ から 1 回以上移動させるセンサ移動部 61 を備える。センサ移動部 61 での 1 回の移動により、補正対象センサ 81 は移動前位置 $Q_{t-1,i}$ ($t = 1, 2, \dots$) から移動後位置 $Q_{t,i}$ まで移動する。ここで、 t はセンサ移動部 61 によりそれぞれのセンサユニット S_i が移動した回数を示している。また、センサ位置順次補正部 57 は、センサ移動部 61 により補正対象センサ 81 の移動が 1 回行われるたびに、補正対象センサ 81 に対して基端側（グローバル座標系 C の原点に近い側）に隣設されるセンサユニット S_i である近位側隣設センサ 82 の最終位置 $P_{F,i}$ と補正対象センサ 81 の移動後位置 $Q_{t,i}$ との間を曲線補間する移動後円弧形成部 62 とを備える。移動後円弧形成部 62 で近位側隣設センサ 82 の最終位置 $P_{F,i}$ と補正対象センサ 81 の移動後位置 $Q_{t,i}$ との間を曲線補間することにより、移動後円弧 $L_{t,j}$ が形成される。

20

【0074】

センサ位置順次補正部 57 は、移動後円弧形成部 62 により形成される移動後円弧 $L_{t,j}$ の弧長 $R_{t,j}$ とセンサ間寸法 l との差の絶対値が所定の閾値以下になるまで、補正対象センサ 81 の移動前位置 $Q_{t-1,i}$ から移動後位置 $Q_{t,i}$ への移動を繰り返し行う状態にセンサ移動部 61 を制御する移動制御部 63 を備える。ここで、移動後円弧 $L_{t,j}$ の弧長 $R_{t,j}$ とセンサ間寸法 l との差の絶対値をエネルギー $E_{t,j}$ とする。また、センサ位置順次補正部 57 は、センサ移動部 61 による最終回（例えば F 回目）の移動での移動後位置 $Q_{F,i}$ を、補正対象センサ 81 の最終位置 $P_{F,i}$ として決定する最終位置決定部 64 を備える。センサ移動部 61、移動後円弧形成部 62、移動制御部 63、最終位置決定部 64 での詳細な処理については、後述する。

30

【0075】

ここで、センサ位置修正部 55 で、それぞれのセンサユニット S_i の位置を修正する方法について説明する。図 4 に示すように、センサ位置修正部 55 は、センサ位置修正部 55 は、仮曲線形状検出部 50 により検出された仮曲線形状 75 のそれぞれの仮円弧 $L_{0,j}$ の弧長 $R_{0,j}$ とセンサ間寸法 l との差の絶対値に基づいて、それぞれのセンサユニット S_i の位置を修正する（ステップ S106）。すなわち、

40

【数 22】

$$E_{0,j} = |R_{0,j} - l| \quad (22)$$

【0076】

で求められるエネルギー $E_{0,j}$ に基づいて、それぞれのセンサユニット S_i の位置を修正

50

する。これにより、それぞれのセンサユニット S_i は、仮位置 $P_{0,i}$ から最終位置 $P_{F,i}$ まで修正される。

【0077】

前述のように、仮曲線形状検出部 50 により、実際の挿入部 11 の曲線形状と誤差の少ない仮曲線形状 75 が形成される。しかし、仮曲線形状検出部 50 では、センサ間寸法 l を考慮して、それぞれのセンサユニット S_i の間の曲線補間を行っていない。また、それぞれのセンサユニット S_i の計測データはノイズ等により誤差を有する。したがって、センサ間寸法 l を考慮して、それぞれの仮円弧 $L_{0,j}$ の弧長 $R_{0,j}$ とセンサ間寸法 l との差の絶対値に基づいて、それぞれのセンサユニット S_i の位置を修正することが重要となる。

【0078】

図 12 は、センサ位置修正部 55 によりそれぞれのセンサユニット S_i の位置を修正する方法を示すフローチャートである。図 13 は、センサ位置順次補正部 57 による処理を説明する図である。図 12 に示すように、それぞれのセンサユニット S_i の位置を修正する際は、センサ位置順次補正部 57 により基端側（グローバル座標系 C の原点に近い側）のセンサユニット S_i から順次に、それぞれのセンサユニット S_i の位置補正前の補正前位置 $Q_{0,i}$ から最終位置 $P_{F,i}$ への位置補正が行われる。ここで、補正前位置 $Q_{0,i}$ は、センサ位置順次補正部 57 により位置補正が行われる直前のそれぞれのセンサユニット S_i の位置であり、それぞれのセンサユニット S_i が仮位置 $P_{0,i}$ から未補正センサ群移動部 59 により $(i-1)$ 回だけ平行移動した位置である。センサ位置順次補正部 57 は、未補正センサ群 77 の中で最も基端側のセンサユニット S_i の位置補正を開始する（ステップ S121）。すなわち、図 13 に示すように、センサユニット S_{k-1} まで補正前位置 $Q_{0,i}$ から最終位置 $P_{F,i}$ への位置補正が完了している場合には、センサ位置順次補正部 57 により、未補正センサ群 77 の中で最も基端側のセンサユニット S_k の最終位置 $P_{F,k}$ への位置補正が開始される。すなわち、センサユニット S_k が位置補正の対象である補正対象センサ 81 となる。なお、以下の説明では、基端側から $(k+1)$ 番目のセンサユニット S_k の位置補正について説明する。

【0079】

図 13 に示すように、補正対象センサ 81 であるセンサユニット S_k の位置補正を開始する際、センサユニット S_{k-1} まで補正前位置 $Q_{0,i}$ から最終位置 $P_{F,i}$ への位置補正が完了している。この際、センサユニット S_k は、補正前位置 $Q_{0,k}$ に位置している。この状態で、センサ移動部 61 により、センサユニット S_k が位置 $Q_{0,k}$ から位置 $Q_{1,k}$ に移動し（ステップ S122）、センサユニット S_k の 1 回目の移動が行われる。この際、位置 $Q_{0,k}$ が移動前位置、位置 $Q_{1,k}$ が移動後位置となる。センサ移動部 61 によるセンサユニット S_k の移動は、1 回以上行われる。図 14 は、センサ移動部 61 及び移動後円弧形成部 62 での処理を説明する図である。図 14 に示すように、 s 回目の移動では、補正対象センサ 81 であるセンサユニット S_k は移動前位置 $Q_{s-1,k}$ から移動後位置 $Q_{s,k}$ まで移動する。すなわち、センサ移動部 61 による 1 回の移動により、センサユニット S_k は移動前位置 $Q_{t-1,k}$ から移動後位置 $Q_{t,k}$ まで移動する（ステップ S122）。

【0080】

そして、センサ移動部 61 によりセンサユニット S_k の移動が 1 回行われるたびに、移動後円弧形成部 62 により、センサユニット S_k に対して基端側に隣設されるセンサユニット S_{k-1} の最終位置 $P_{F,k-1}$ とセンサユニット S_k の移動後位置 $Q_{t,k}$ との間が曲線補間され、移動後円弧 $L_{t,k}$ が形成される（ステップ S123）。図 14 に示すように、 s 回目の移動後には、センサユニット S_{k-1} の最終位置 $P_{F,k-1}$ とセンサユニット S_k の移動後位置 $Q_{s,k}$ との間が曲線補間され、移動後円弧 $L_{s,k}$ が形成される。ここで、センサユニット S_{k-1} は、補正対象センサ 81 であるセンサユニット S_k に対してグローバル座標系 C の原点に近い側に隣設される近位側隣設センサ 82 である。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 1 】

センサユニット S_k の s 回目に移動後に移動後円弧 $L_{s,k}$ を形成する際は、センサユニット S_{k-1} の最終位置 $P_{F,k-1}$ での単位接ベクトル及びセンサユニット S_k の移動後位置 $Q_{s,k}$ での単位接ベクトルを算出する。センサユニット S_{k-1} の最終位置 $P_{F,k-1}$ での単位接ベクトルは、

【数 2 3】

$$\Delta \dot{P}_{s,k} = \dot{Q}_{s,k} - \dot{P}_{F,k-1} \quad (23.1)$$

$$\Delta L_{s,k} = |\Delta \dot{P}_{s,k}| \quad (23.2)$$

$$\dot{e}_{s,k} = \left. \frac{d\dot{P}}{dL} \right|_{s,k} = \frac{\Delta \dot{P}_{s,k}}{\Delta L_{s,k}} \quad (23.3)$$

10

【 0 0 8 2 】

となる。すなわち、最終位置 $P_{F,k-1}$ での単位接ベクトルは、最終位置 $P_{F,k-1}$ から移動後位置 $Q_{s,k}$ までのベクトルの単位ベクトルである。また、移動後位置 $Q_{s,k}$ での単位接ベクトルを算出する際は、補正対象センサ 81 であるセンサユニット S_k に対してグローバル座標系 C の原点から遠い側に隣設される遠位側隣設センサ 83 であるセンサユニット S_{k+1} が、位置 $Q'_{s,k+1}$ に配置されていると仮定する。ここで、移動後位置 $Q_{s,k}$ から位置 $Q'_{s,k+1}$ までのベクトルは、センサユニット S_k の仮位置 $P_{0,k}$ からセンサユニット S_{k+1} の仮位置 $P_{0,k+1}$ までのベクトルと向き及び大きさが同一である。センサユニット S_k の移動後位置 $Q_{s,k}$ での単位ベクトルは、

20

【数 2 4】

$$\Delta \dot{P}'_{s,k+1} = \dot{Q}'_{s,k+1} - \dot{Q}_{s,k} \quad (24.1)$$

$$\Delta L'_{s,k+1} = |\Delta \dot{P}'_{s,k+1}| \quad (24.2)$$

$$\dot{e}'_{s,k+1} = \left. \frac{d\dot{P}'}{dL'} \right|_{s,k+1} = \frac{\Delta \dot{P}'_{s,k+1}}{\Delta L'_{s,k+1}} \quad (24.3)$$

30

【 0 0 8 3 】

となる。すなわち、移動後位置 $Q_{s,k}$ での単位接ベクトルは、移動後位置 $Q_{s,k}$ からセンサユニット S_{k+1} の位置 $Q'_{s,k+1}$ までのベクトルの単位ベクトルである。したがって、移動後位置 $Q_{s,k}$ での単位接ベクトルは、式 (17.1) ~ 式 (17.3) で k を $k+1$ に置換して得られる単位接ベクトルと向きが同一である。

【 0 0 8 4 】

そして、式 (23.1) ~ 式 (23.3)、式 (24.1) ~ 式 (24.3) により算出された単位接ベクトルに基づいて、センサユニット S_{k-1} の最終位置 $P_{F,k-1}$ とセンサユニット S_k の移動後位置 $Q_{s,k}$ との間での単位接ベクトルの変化率を算出する。まず、最終位置 $P_{F,k-1}$ と移動後位置 $Q_{s,k}$ との間での単位接ベクトルの変化率ベクトルが、

40

【数 2 5】

$$\lambda_{s,k} = \left. \frac{d^2\dot{P}}{dL^2} \right|_{s,k} = \left. \frac{de}{dL} \right|_{s,k} = \frac{\dot{e}'_{s,k+1} - \dot{e}_{s,k}}{\Delta L_{s,k}} \quad (25.1)$$

$$\Delta L_{s,k} = \frac{\Delta L'_{s,k+1} - \Delta L_{s,k}}{2} \quad (25.2)$$

【 0 0 8 5 】

50

で求められる。そして、式(25.1)、式(25.2)で求められた変化率ベクトルの大きさが最終位置 $P_{F,k-1}$ と移動後位置 $Q_{s,k}$ との間での単位接ベクトルの変化率となる。

【0086】

そして、式(23.1)~式(23.3)、式(24.1)~式(24.3)により算出された単位接ベクトル及び式(25.1)、式(25.2)により算出された変化率に基づいて、センサユニット S_{k-1} の最終位置 $P_{F,k-1}$ とセンサユニット S_k の移動後位置 $Q_{s,k}$ との間の移動後円弧 $L_{s,k}$ を形成する。ここで、式(25.1)、式(25.2)で算出した最終位置 $P_{F,k-1}$ と移動後位置 $Q_{s,k}$ との間での単位接ベクトルの変化率は、移動後円弧 $L_{s,k}$ の曲率 $1/R_{s,k}$ となる。移動後円弧 $L_{s,k}$ の半径 $R_{s,k}$ は曲率 $1/R_{s,k}$ の逆数であるため、移動後円弧 $L_{s,k}$ の半径 $R_{s,k}$ は、

10

【数26】

$$R_{s,k} = \frac{1}{|\dot{\lambda}_{s,k}|} \quad (26)$$

【0087】

となる。また、移動後円弧 $L_{s,k}$ の中心 $O_{s,k}$ のグローバル座標 C での位置が、

【数27】

20

$$O_{s,k} = \dot{P}_{F,k-1} + R_{s,k} \dot{\lambda}_{s,k}^2 \quad (27)$$

【0088】

により求められる。さらに、最終位置 $P_{F,k-1}$ での単位接ベクトル及び移動後位置 $Q_{s,k}$ での単位接ベクトルを用いて、移動後円弧 $L_{s,k}$ の中心角 $\phi_{s,k}$ が、

【数28】

$$\phi_{s,k} = \cos^{-1} \frac{\Delta \dot{P}_{s,k} \cdot \Delta \dot{P}'_{s,k+1}}{|\Delta \dot{P}_{s,k}| |\Delta \dot{P}'_{s,k+1}|} = \cos^{-1} (\dot{e}_{s,k} \cdot \dot{e}'_{s,k}) \quad (28)$$

30

【0089】

により求められる。これらのパラメータを用いて、最終位置 $P_{F,k-1}$ と移動後位置 $Q_{s,k}$ との間の移動後円弧 $L_{s,k}$ が形成される。

【0090】

なお、センサユニット S_k の s 回目の移動後に移動後円弧 $L_{s,k}$ を形成する処理について説明したが、センサユニット S_k の s 回目以外の移動後についても、式(23.1)~式(28)で、 s を t で置換した式を用いて同様に、センサユニット S_{k-1} の最終位置 $P_{F,k-1}$ とセンサユニット S_k の移動後位置 $Q_{t,k}$ との間の移動後円弧 $L_{t,k}$ が形成される。

40

【0091】

そして、移動後円弧 $L_{t,k}$ が形成された後、移動制御部63により移動後円弧 $L_{t,k}$ の弧長 $R_{t,k}$ とセンサ間寸法 l との差の絶対値が算出される(ステップS124)。ここで、移動後円弧 $L_{t,k}$ の弧長 $R_{t,k}$ とセンサ間寸法 l との差の絶対値をエネルギー $E_{t,k}$ とし、

【数29】

$$E_{t,k} = |R_{t,k} \phi_{t,k} - l| \quad (29)$$

【0092】

50

で与えられる。エネルギー $E_{t,k}$ が所定の閾値より大きい場合は（ステップ S 1 2 4 - No）、ステップ S 1 2 2 に戻り、センサ移動部 6 1 がセンサユニット S_k を位置 $Q_{t,k}$ からさらに移動させる。センサユニット S_k の s 回目の移動後にエネルギー $E_{s,k}$ が所定の閾値より大きい場合は、センサ移動部 6 1 により $(s+1)$ 回目の移動が行われる。 $(s+1)$ 回目の移動により、センサユニット S_k は移動前位置 $Q_{s,k}$ から移動後位置 $Q_{s+1,k}$ に移動する。以上のように、センサ移動部 6 1 は、エネルギー $E_{t,k}$ が所定の閾値以下になるまで、補正対象センサ 8 1 であるセンサユニット S_k の移動前位置 $Q_{t-1,k}$ から移動後位置 $Q_{t,k}$ への移動を繰り返し行う状態に、移動制御部 6 3 により制御されている。

【 0 0 9 3 】

エネルギー $E_{t,k}$ が所定の閾値以下の場合は（ステップ S 1 2 4 - Yes）、次のステップに進む。そして、最終位置決定部 6 4 が、センサ移動部 6 1 によるセンサユニット S_k の最終回（例えば F 回目）の移動での移動後位置 $Q_{F,k}$ を、補正対象センサ 8 1 であるセンサユニット S_k の最終位置 $P_{F,k}$ として決定する（ステップ S 1 2 5）。以上のようにして、センサユニット S_k の補正前位置 $Q_{0,k}$ から最終位置 $P_{F,k}$ への位置補正が完了する。

【 0 0 9 4 】

なお、センサユニット S_k 以外のセンサユニット S_i についても、センサ位置順次補正部 5 7 によりセンサユニット S_k と同様に最終位置 $P_{i,k}$ への位置補正が行われる。すなわち、センサ移動部 6 1 により、センサユニット S_i は移動前位置 $Q_{t-1,i}$ から移動後位置 $Q_{t,i}$ まで移動する（ステップ S 1 2 2）。そして、センサ移動部 6 1 によりセンサユニット S_i の移動が 1 回行われるたびに、移動後円弧形成部 6 2 により、センサユニット S_i に対して基端側に隣設される近位側隣設センサ 8 2 であるセンサユニット S_{i-1} の最終位置 $P_{F,i-1}$ とセンサユニット S_i の移動後位置 $Q_{t,i}$ との間が曲線補間され、移動後円弧 $L_{t,j}$ が形成される（ステップ S 1 2 3）。

【 0 0 9 5 】

そして、移動後円弧 $L_{t,j}$ が形成された後、移動制御部 6 3 により移動後円弧 $L_{t,j}$ の弧長 $R_{t,j}$ とセンサ間寸法 l との差の絶対値であるエネルギー $E_{t,j}$ が算出される（ステップ S 1 2 4）。エネルギー $E_{t,j}$ が所定の閾値より大きい場合は（ステップ S 1 2 4 - No）、ステップ S 1 2 2 に戻り、センサ移動部 6 1 がセンサユニット S_i を位置 $Q_{t,i}$ からさらに移動させる。エネルギー $E_{t,j}$ が所定の閾値以下の場合は（ステップ S 1 2 4 - Yes）、次のステップに進む。そして、最終位置決定部 6 4 が、センサ移動部 6 1 によるセンサユニット S_i の最終回の移動での移動後位置 $Q_{F,i}$ を、補正対象センサ 8 1 であるセンサユニット S_i の最終位置 $P_{F,i}$ として決定する（ステップ S 1 2 5）。以上のようにして、センサユニット S_i の補正前位置 $Q_{0,i}$ から最終位置 $P_{F,i}$ への位置補正が完了する。

【 0 0 9 6 】

そして、センサ位置順次補正部 5 7 により 1 つのセンサユニット S_i の位置補正が行われるたびに、未補正センサ群移動部 5 9 により、位置補正が完了していないセンサユニット S_i である未補正センサ群 7 7 が平行移動される（ステップ S 1 2 6）。図 1 5 は、未補正センサ群移動部 5 9 での処理を説明する図である。図 1 5 に示すように、センサ位置順次補正部 5 7 によりセンサユニット S_k の補正前位置 $Q_{0,k}$ から最終位置 $P_{F,k}$ への位置修正が完了した状態では、センサユニット $S_{k+1} \sim S_N$ が、位置補正が完了していない未補正センサ群 7 7 となる。また、センサユニット S_k が、センサ位置順次補正部 5 7 による直前の位置補正で補正対象だった直前補正対象センサ 7 9 となる。

【 0 0 9 7 】

この状態で、未補正センサ群移動部 5 9 は、直前補正対象センサ 7 9 であるセンサユニット S_k の補正前位置 $Q_{0,k}$ から最終位置 $P_{F,k}$ への補正量だけ、未補正センサ群 7 7 を平行移動させる。これにより、未補正センサ群 7 7 のそれぞれのセンサユニット S_i が平行移動前位置 $U_{k-1,i}$ から平行移動後位置 $U_{k,i}$ へ移動する。ここで、未補正

10

20

30

40

50

センサ群 77 のそれぞれのセンサユニット S_i が平行移動前位置 $U_{k-1, i}$ は、それぞれのセンサユニット S_i が仮位置 $P_{0, i}$ から未補正センサ群移動部 59 により $(k-1)$ 回だけ移動した位置であり、今回の平行移動で、未補正センサ群 77 のそれぞれのセンサユニット S_i は未補正センサ群移動部 59 により k 回だけ平行移動したことになる。また、センサユニット S_{k+1} の平行移動後位置 $U_{k, k+1}$ は、補正前位置 $Q_{0, k+1}$ と一致し、センサユニット S_k の最終位置 $P_{F, k}$ からセンサユニット S_{k+1} の平行移動後位置 $U_{k, k+1}$ へのベクトルは、センサユニット S_k の仮位置 $P_{0, k}$ からセンサユニット S_{k+1} の仮位置 $P_{0, k+1}$ までのベクトルと向き及び大きさが同一である。

【0098】

なお、センサユニット S_k 以外のセンサユニット S_i の最終位置 $P_{F, i}$ への位置補正が完了した状態でも、センサユニット S_k と同様に、未補正センサ群 77 が平行移動される。すなわち、未補正センサ群移動部 59 は、直前補正対象センサ 79 がセンサ位置順次補正部 57 により補正前位置 $Q_{0, i}$ から最終位置 $P_{F, i}$ へ補正された補正量だけ、未補正センサ群 77 を平行移動させる（ステップ S126）。これにより、未補正センサ群 77 は、平行移動前位置 $U_{a-1, i}$ から平行移動後位置 $U_{a, i}$ まで平行移動する。

【0099】

そして、図 12 に示すように、すべてのセンサユニット S_i について位置補正が完了したか確認する（ステップ S127）。すべてのセンサユニット S_i について位置補正が完了している場合は（ステップ S127 - Yes）、次のステップへ進む。すべてのセンサユニット S_i について位置補正が完了していない場合は（ステップ S127 - No）、ステップ S121 に戻り、センサ位置順次補正部 57 により、未補正センサ群 77 の中で最も基端側のセンサユニット S_i の位置補正が行われる。すなわち、ステップ S121 ~ S126 が、すべてのセンサユニット S_i について位置補正が完了するまで、繰り返し行われる。以上のように、センサ位置順次補正部 57 での補正前位置 $Q_{0, i}$ から最終位置 $P_{F, i}$ 位置への位置補正及び未補正センサ群移動部 59 での平行移動により、それぞれのセンサユニット S_i が、仮位置 $P_{0, i}$ から最終位置 $P_{F, i}$ へ位置修正される。

【0100】

図 3 に示すように、センサ位置修正部 55 は、最終曲線形状検出部 65 に接続されている。最終曲線形状検出部 65 は、それぞれのセンサユニット S_i の最終位置 $P_{F, i}$ の間を最終円弧 $L_{F, j}$ で曲線補間し、挿入部 11 の最終曲線形状 85 を検出する。図 16 は、最終曲線形状検出部 65 により検出された内視鏡 10 の挿入部 11 の最終曲線形状 85 をグローバル座標 C の Z 軸の負から正の方向に向かって見た図である。図 16 に示すように、最終曲線形状検出部 65 により、それぞれのセンサユニット S_i の最終位置 $P_{F, i}$ の間が曲線補間される。これにより、それぞれの最終円弧 $L_{F, j}$ が形成され、最終曲線形状 85 が検出される。

【0101】

最終曲線形状検出部 65 は、それぞれのセンサユニット S_i の最終位置 $P_{F, i}$ に基づいて、それぞれの最終円弧 $L_{F, j}$ のパラメータを算出するパラメータ算出部 67 と、パラメータ算出部 67 により算出されたパラメータに基づいて、最終円弧 $P_{F, i}$ を形成する最終円弧形成部 69 とを備える。最終円弧形成部 69 は、クォータニオン（四元数）及び媒介変数 t を用いた補間関数 $L_{F, j}(t)$ により、媒介変数 t の変化に対して等角速度でそれぞれのセンサユニット S_i の最終位置 $P_{F, i}$ の間を曲線補間し、最終円弧 $L_{F, j}$ を形成する。

【0102】

最終曲線形状検出部 65 には、描画部 45 が接続されている。最終曲線形状検出部 65 により検出されたグローバル座標系 C での挿入部 11 の最終曲線形状 85 は、描画部 45 により描画される。術者は、描画部 45 により描画された最終曲線形状 85 を表示部 47 で確認可能となっている。

【0103】

ここで、最終曲線形状検出部 65 で、センサ位置修正部 55 により位置修正されたそれ

10

20

30

40

50

それぞれのセンサユニット S_i の最終位置 $P_{F,i}$ の間を曲線補間し、最終曲線形状 85 を検出する方法について説明する。図 4 に示すように、最終曲線形状検出部 65 は、ステップ S106 で位置修正されたそれぞれのセンサユニット S_i の最終位置 $P_{F,i}$ の間を最終円弧 $L_{F,j}$ で曲線補間を行い、最終曲線形状 85 を検出する（ステップ S107）。これにより、センサ間寸法 l を考慮してそれぞれのセンサユニット S_i の最終位置 $P_{F,i}$ の間の曲線補間が行われ、検出精度の高い最終曲線形状 85 が検出される。

【0104】

最終曲線形状 85 を検出する際、最終曲線形状検出部 65 は、それぞれのセンサユニット S_i の最終位置 $P_{F,i}$ の間ごとに順次に曲線補間を行い、最終円弧 $L_{F,j}$ を形成する。ここで、最終曲線形状検出部 65 により、それぞれのセンサユニット S_i の最終位置 $P_{F,i}$ の間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 との間の曲線補間について説明する。すなわち、最終位置 $P_{F,k-1}$ と最終位置 $P_{F,k}$ との間が、補間対象である補間対象最終位置間となる。

10

【0105】

図 17 は、最終曲線形状検出部 65 により最終曲線形状 85 を検出する方法を示すフローチャートである。図 18 は、最終曲線形状検出部 65 での処理を説明する図である。図 17 及び図 18 に示すように、最終曲線形状検出部 65 によりセンサユニット S_{k-1} の最終位置 $P_{F,k-1}$ とセンサユニット S_k の最終位置 $P_{F,k}$ との間である補間対象の最終位置間の曲線補間を行う際は、まず、パラメータ算出部 67 により、最終位置 $P_{F,k-1}$ 及び最終位置 $P_{F,k}$ に基づいて、最終円弧 $L_{F,k}$ のパラメータを算出する（ステップ S131）。

20

【0106】

この際、センサユニット S_{k-1} の最終位置 $P_{F,k-1}$ での単位接ベクトル及びセンサユニット S_k の最終位置 $P_{F,k}$ での単位接ベクトルを算出する。センサユニット S_{k-1} の最終位置 $P_{F,k-1}$ での単位接ベクトルは、

【数 30】

$$\Delta \dot{P}_{F,k} = \dot{P}_{F,k} - \dot{P}_{F,k-1} \tag{30.1}$$

$$\Delta L_{F,k} = |\Delta \dot{P}_{F,k}| \tag{30.2}$$

30

$$\dot{e}_{F,k} = \frac{d\dot{P}}{dL} \Big|_{F,k} = \frac{\Delta \dot{P}_{F,k}}{\Delta L_{F,k}} \tag{30.3}$$

【0107】

となる。すなわち、最終位置 $P_{F,k-1}$ での単位接ベクトルは、最終位置 $P_{F,k-1}$ から最終位置 $P_{F,k}$ までのベクトルの単位ベクトルである。センサユニット S_k の最終位置 $P_{F,k}$ での単位接ベクトルは、式 (30.1)、式 (30.2)、式 (30.3) の k を $k+1$ で置換した式を用いて求められる。すなわち、最終位置 $P_{F,k}$ での単位接ベクトルは、最終位置 $P_{F,k}$ から最終位置 $P_{F,k+1}$ までのベクトルの単位ベクトルである。

40

【0108】

そして、最終位置 $P_{F,k-1}$ 及び $P_{F,k}$ での単位接ベクトルに基づいて、センサユニット S_{k-1} の最終位置 $P_{F,k-1}$ とセンサユニット S_k の最終位置 $P_{F,k}$ との間での単位接ベクトルの変化率を算出する。まず、最終位置 $P_{F,k-1}$ と最終位置 $P_{F,k}$ との間での単位接ベクトルの変化率ベクトルが、

【数31】

$$\dot{\lambda}_{F,k} = \frac{d^2\dot{p}}{dL^2} \Big|_{F,k} = \frac{d\dot{e}}{dL} \Big|_{F,k} = \frac{\dot{e}_{F,k+1} - \dot{e}_{F,k}}{\Delta L_{F,k}} \quad (31.1)$$

$$\bar{\Delta L}_{F,k} = \frac{\Delta L_{F,k+1} - \Delta L_{F,k}}{2} \quad (31.2)$$

【0109】

で求められる。そして、式(31.1)、式(31.2)で求められた変化率ベクトルの大きさが最終位置 $P_{F,k-1}$ と最終位置 $P_{F,k}$ との間での単位接ベクトルの変化率となる。

10

【0110】

そして、式(30.3)～式(31.2)により算出された単位接ベクトル及び変化率に基づいて、センサユニット S_{k-1} の最終位置 $P_{F,k-1}$ とセンサユニット S_k の最終位置 $P_{F,k}$ との間での最終円弧 $L_{F,k}$ のパラメータが算出される。ここで、最終円弧 $L_{F,k}$ の半径 $R_{F,k}$ は、式(31.1)、式(31.2)を用いて算出された変化率 $\dot{\lambda}_{F,k}$ の逆数であるため、

【数32】

$$R_{F,k} = \frac{1}{|\dot{\lambda}_{F,k}|} \quad (32)$$

20

【0111】

となる。また、最終円弧 $L_{F,k}$ の中心 $O_{F,k}$ のグローバル座標 C での位置が、

【数33】

$$O_{F,k} = \dot{P}_{F,k-1} + R_{F,k} \dot{\lambda}_{F,k}^2 \quad (33)$$

【0112】

により求められる。さらに、最終円弧 $L_{F,k}$ の中心角 $\phi_{F,k}$ が、

30

【数34】

$$\phi_{F,k} = \cos^{-1} \frac{\Delta \dot{P}_{F,k} \cdot \Delta \dot{P}_{F,k+1}}{|\Delta \dot{P}_{F,k}| |\Delta \dot{P}_{F,k+1}|} = \cos^{-1} (\dot{e}_{F,k} \cdot \dot{e}_{F,k+1}) \quad (34)$$

【0113】

により求められる。

【0114】

なお、最終円弧 $L_{F,k}$ 以外の最終円弧 $L_{F,j}$ についても、式(30.1)～式(34)の k を j で置換した式を用いて、最終円弧 $L_{F,k}$ と同様に、パラメータ算出部67により、最終円弧 $L_{F,j}$ のパラメータが算出される。すなわち、それぞれのセンサユニット S_i の最終位置 $P_{F,i}$ に基づいて、それぞれの最終円弧 $L_{F,j}$ のパラメータを算出する(ステップS131)。

40

【0115】

そして、パラメータ算出部67により算出された最終円弧 $L_{F,j}$ のパラメータに基づいて、最終円弧形成部69が、それぞれのセンサユニット S_i の最終位置 $P_{F,i}$ の間を曲線補間し、最終円弧 $L_{F,j}$ を形成する(ステップS132)。最終円弧 $L_{F,j}$ の形成は、クォータニオン(四元数)及び媒介変数を用いた補間関数により行われる。

【0116】

50

ここで、クォータニオンは、複素数を拡張した数であり、
【数 3 5】

$$q=w+xi+yj+zk \quad (35)$$

【0 1 1 7】

で現される。式(35)の i, j, k は虚数単位を示し、

【数 3 6】

$$i^2=j^2=k^2=-1 \quad (36.1)$$

$$ij=k \quad (36.2)$$

$$ji=-k \quad (36.3)$$

$$jk=i \quad (36.4)$$

$$kj=-i \quad (36.5)$$

$$ki=j \quad (36.6)$$

$$ik=-j \quad (36.7)$$

10

【0 1 1 8】

の関係を満たす。

【0 1 1 9】

図 1 8 に示すように、センサユニット S_{k-1} の最終位置 $P_{F,k-1}$ とセンサユニット S_k の最終位置 $P_{F,k}$ との間の最終円弧 $L_{F,k}$ を形成する場合には、グローバル座標系 C において、最終円弧 $L_{F,k}$ の中心 $O_{F,k}$ からセンサユニット S_{k-1} の最終位置 $P_{F,k-1}$ へのベクトルを算出する。中心 $O_{F,k}$ から最終位置 $P_{F,k-1}$ へのベクトルは、

【数 3 7】

$$\dot{q}_{1,k}=(x_{1,k}, y_{1,k}, z_{1,k}) \quad (37)$$

20

【0 1 2 0】

となる。また、グローバル座標系 C において、最終円弧 $L_{F,k}$ の中心 $O_{F,k}$ からセンサユニット S_k の最終位置 $P_{F,k}$ へのベクトルを算出する。中心 $O_{F,k}$ から最終位置 $P_{F,k}$ へのベクトルは、

【数 3 8】

$$\dot{q}_{2,k}=(x_{2,k}, y_{2,k}, z_{2,k}) \quad (38)$$

30

【0 1 2 1】

となる。

【0 1 2 2】

式(37)で算出されたベクトルは、クォータニオンにより、

【数 3 9】

$$q_{1,k}=x_{1,k}i+y_{1,k}j+z_{1,k}k \quad (39)$$

40

【0 1 2 3】

と現される。同様に、式(38)で算出されたベクトルは、クォータニオンにより、

【数40】

$$q_{2,k} = x_{2,k}i + y_{2,k}j + z_{2,k}k \quad (40)$$

【0124】

と現される。すなわち、算出されたベクトルのグローバル座標系CのX軸方向成分が、クォータニオンの虚数iの成分となる。同様に、ベクトルのグローバル座標系CのY軸方向成分がクォータニオンの虚数jの成分となり、ベクトルのグローバル座標系CのZ軸方向成分がクォータニオンの虚数kの成分となる。

【0125】

そして、式(39)、式(40)のクォータニオンを用いて、以下の関数 $L'_{F,k}(t)$ を定義する。関数 $L'_{F,k}(t)$ は、

【数41】

$$L'_{F,k}(t) = q_{1,k} \sin(1-t)\phi_{F,k} + q_{2,k} \sin t \phi_{F,k} \quad (0 \leq t \leq 1) \quad (41)$$

【0126】

となる。ここで、tは媒介変数である。正規化のため、式(41)の両辺を $\sin \phi_{F,k}$ で割ると、

【数42】

$$L_{F,k}(t) = q_{1,k} \frac{\sin(1-t)\phi_{F,k}}{\sin \phi_{F,k}} + q_{2,k} \frac{\sin t \phi_{F,k}}{\sin \phi_{F,k}} \quad (0 \leq t \leq 1) \quad (42)$$

【0127】

となり、補間関数 $L_{F,k}(t)$ が算出される。

【0128】

そして、補間関数 $L_{F,k}(t)$ でtを0から1に変化させることにより、センサユニット S_{k-1} の最終位置 $P_{F,k-1}$ とセンサユニット S_k の最終位置 $P_{F,k}$ との間が曲線補間され、最終円弧 $L_{F,k}$ が形成される。この際、最終位置 $P_{F,k-1}$ と最終位置 $P_{F,k}$ との間は、媒介変数tの変化に対して等角速度で曲線補間される。例えば、tが0から0.1に変化する間に補間される距離d1と、tが0.5から0.6に変化する間に補間される距離d2は同一である(図18参照)。したがって、最終位置 $P_{F,k-1}$ と最終位置 $P_{F,k}$ との間を補間する際に、角速度の変化を考慮する必要がないため、最終円弧 $L_{F,k}$ を形成する処理が単純化される。

【0129】

なお、最終円弧 $L_{F,k}$ 以外の最終円弧 $L_{F,j}$ についても、補間関数 $L_{F,j}(t)$ を用いて形成される。補間関数 $L_{F,j}(t)$ は、式(37)~式(42)のkをjで置換した式を用いて、算出される。この場合も、それぞれのセンサユニット S_i の最終位置 $P_{F,i}$ の間は、補間関数 $L_{F,j}(t)$ の媒介変数tの変化に対して等角速度で曲線補間される。すべての最終円弧 $L_{F,j}$ が形成されることにより、内視鏡10の挿入部11の最終曲線形状85が検出される。

【0130】

図4に示すように、最終曲線形状検出部65により最終曲線形状85が検出されると、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S108)。検査が完了していない場合は(ステップS108-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S108-Yes)、内視鏡10の挿入部11の形状検出は終了する。

【0131】

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

10

20

30

40

50

0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、それぞれのセンサユニット S_i の姿勢からセンサ仮位置検出部40でそれぞれのセンサユニット S_i の仮位置 $P_{0,i}$ を検出する。そして、仮曲線形状検出部50が、それぞれのセンサユニット S_i の仮位置 $P_{0,i}$ の間を仮円弧 $L_{0,j}$ で曲線補間を行い、仮曲線形状75を検出する。そして、センサ位置修正部55が、仮曲線形状75のそれぞれの仮円弧 $L_{0,j}$ の弧長 $R_{0,j}$ とセンサ間寸法 l との差の絶対値に基づいて、それぞれのセンサユニット S_i の位置を修正する。そして、最終曲線形状検出部65が位置修正されたそれぞれのセンサユニット S_i の最終位置 $P_{F,i}$ の間を最終円弧 $L_{F,j}$ で曲線補間を行い、最終曲線形状85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の最終曲線形状85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。

10

【0132】

また、センサ位置順次補正部57によりそれぞれのセンサユニット S_i の位置を補正する際には、センサ移動部61がセンサユニット S_i を移動前位置 $Q_{t-1,i}$ から移動後位置 $Q_{t,i}$ まで移動する。そして、センサ移動部61によりセンサユニット S_i の移動が1回行われるたびに、移動後円弧形成部62により、センサユニット S_i に対して基端側に隣設されるセンサユニット S_{i-1} の最終位置 $P_{F,i-1}$ とセンサユニット S_i の移動後位置 $Q_{t,i}$ との間が曲線補間され、移動後円弧 $L_{t,j}$ が形成される。そして、移動後円弧 $L_{t,j}$ が形成された後、移動制御部63により移動後円弧 $L_{t,j}$ の弧長 $R_{t,j}$ とセンサ間寸法 l との差の絶対値であるエネルギー $E_{t,j}$ が算出される。エネルギー $E_{t,j}$ が所定の閾値より大きい場合は、センサ移動部61がセンサユニット S_i を位置 $Q_{t,i}$ からさらに移動させる。エネルギー $E_{t,j}$ が所定の閾値以下の場合は、最終位置決定部64が、センサ移動部61によるセンサユニット S_i の最終回の移動での移動後位置 $Q_{F,i}$ を、補正対象センサ81であるセンサユニット S_i の最終位置 $P_{F,i}$ として決定する。すなわち、エネルギー $E_{t,j}$ が所定の閾値以下になるまで、センサ移動部61によるセンサユニット S_i の移動が繰り返される。以上のように、それぞれのセンサユニット S_i の間の実際の寸法であるセンサ間寸法 l に基づいて、センサ位置順次補正部57によるそれぞれのセンサユニット S_i の位置補正が行われるため、実際の挿入部11の形状と誤差の少ない最終曲線形状85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の最終曲線形状85を検出することができる。

20

30

【0133】

また、センサ位置修正部55によりセンサユニット S_i の位置を修正すると、センサユニット S_i に対して基端側に隣設されるセンサユニット S_{i-1} とセンサユニット S_i との間の形状のみが影響を受け、仮円弧 $L_{0,j}$ が最終円弧 $L_{F,j}$ に修正される。すなわち、1つのセンサユニット S_i の位置修正が行われるたびに、挿入部11の形状全体が修正される構成でない。ここで、センサ間寸法 l は、それぞれのセンサユニット S_i の間の長手方向の寸法であり、挿入部11の局所的なパラメータである。すなわち、センサ間寸法 l は、挿入部11全体の形状に影響を与えるパラメータではなく、挿入部11の形状に局所的に影響を与えるパラメータである。したがって、1つのセンサユニット S_i の位置の修正により、位置修正されたセンサユニット S_i の近傍で局所的に挿入部11の形状が修正されるため、高い精度で仮円弧 $L_{0,j}$ から最終円弧 $L_{F,j}$ への修正が行われる。これにより、挿入部11の最終曲線形状85を、高い精度で検出することができる。また、1つのセンサユニット S_i の位置の修正により、位置修正されたセンサユニット S_i の近傍でのみ局所的に挿入部11の形状が修正されるため、挿入部11の形状を修正する処理を単純化することができる。

40

【0134】

また、最終曲線形状検出部65では、補間関数 $L_{F,j}(t)$ で t を0から1に変化させることにより、それぞれのセンサユニット S_i の最終位置 $P_{F,i}$ の間が曲線補間され

50

、それぞれの最終円弧 $L_{F, j}$ が形成される。この際、それぞれのセンサユニット S_i の最終位置 $P_{F, i}$ の間は、媒介変数 t の変化に対して等角速度で曲線補間される。したがって、それぞれの最終位置 $P_{F, i}$ の間を補間する際に、角速度の変化を考慮する必要がないため、それぞれの最終円弧 $L_{F, j}$ を形成する処理を単純化することができる。

【0135】

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 の最終曲線形状 85 を検出することができる。

10

【0136】

(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19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。

【0137】

本実施形態のセンサ位置修正部 55 は、第1の実施形態と同様に、基端側（グローバル座標系 C の原点に近い側）のセンサユニット S_i から順次に、それぞれのセンサユニット S_i の補正前位置 $Q_{0, i}$ から最終位置 $P_{F, i}$ への位置補正を行うセンサ位置順次補正部 57 と、センサ位置順次補正部 57 により1つのセンサユニット S_i の位置補正が行われるたびに、位置補正が完了していないセンサユニット S_i である未補正センサ群 77 を平行移動させる未補正センサ群移動部 59 と、を備える。

20

【0138】

センサ位置順次補正部 57 は、第1の実施形態と同様に、位置補正の対象である補正対象センサ 81 を補正前位置 $Q_{0, i}$ から1回以上移動させるセンサ移動部 61 を備える。センサ移動部 61 での1回の移動により、補正対象センサ 81 は移動前位置 $Q_{t-1, i}$ から移動後位置 $Q_{t, i}$ まで移動する。また、センサ位置順次補正部 57 は、センサ移動部 61 により補正対象センサ 81 の移動が1回行われるたびに、補正対象センサ 81 に対して基端側（グローバル座標系 C の原点に近い側）に隣設されるセンサユニット S_i である近位側隣設センサ 82 の最終位置 $P_{F, i-1}$ と補正対象センサ 81 の移動後位置 $Q_{t, i}$ との間を曲線補間する移動後円弧形成部 62 とを備える。移動後円弧形成部 62 で近位側隣設センサ 82 の最終位置 $P_{F, i-1}$ と補正対象センサ 81 の移動後位置 $Q_{t, i}$ との間を曲線補間することにより、移動後円弧 $L_{t, j}$ が形成される。

30

【0139】

センサ位置順次補正部 57 は、近位側隣設センサ 82 の最終位置 $P_{F, i-1}$ と補正対象センサ 81 の移動前の移動前位置 $Q_{t-1, i}$ との間を曲線補間して形成される移動前円弧 $L_{t-1, j}$ の弧長 $R_{t-1, j}$ とセンサ間寸法 l との差の絶対値に対して、移動後円弧 $L_{t, j}$ の弧長 $R_{t, j}$ とセンサ間寸法 l との差の絶対値が小さくなる補正対象センサ 81 の移動を所定の回数だけ繰り返す状態にセンサ移動部 61 を制御する移動制御部 63 を備える。ここで、移動前円弧 $L_{t-1, j}$ の弧長 $R_{t-1, j}$ とセンサ間寸法 l との差の絶対値をエネルギー $E_{t-1, j}$ とする。同様に、移動後円弧 $L_{t, j}$ の弧長 $R_{t, j}$ とセンサ間寸法 l との差の絶対値をエネルギー $E_{t, j}$ とする。また、センサ位置順次補正部 57 は、センサ移動部 61 による最終回の移動での移動後位置 $Q_{F, i}$ を、補正対象センサ 81 の最終位置 $P_{F, i}$ として決定する最終位置決定部 64 を備える。

40

【0140】

ここで、センサ位置修正部 55 で、それぞれのセンサユニット S_i の位置を修正する方法について説明する。センサ位置修正部 55 は、第1の実施形態と同様に、仮曲線形状検

50

出部 50 により検出された仮曲線形状 75 のそれぞれの仮円弧 $L_{0,j}$ の弧長 $R_{0,j}$ とセンサ間寸法 1 との差の絶対値に基づいて、それぞれのセンサユニット S_i の位置を修正する (図 4 のステップ S106)。すなわち、式 (22) で求められるエネルギー $E_{0,j}$ に基づいて、それぞれのセンサユニット S_i の位置を修正する。これにより、それぞれのセンサユニット S_i は、仮位置 $P_{0,i}$ から最終位置 $P_{F,i}$ まで修正される。

【0141】

図 19 は、センサ位置修正部 55 によりそれぞれのセンサユニット S_i の位置を修正する方法を示すフローチャートである。図 19 に示すように、それぞれのセンサユニット S_i の位置を修正する際は、第 1 の実施形態と同様に、センサ位置順次補正部 57 により基端側 (グローバル座標系 C の原点に近い側) のセンサユニット S_i から順次に、それぞれのセンサユニット S_i の補正前位置 $Q_{0,i}$ から最終位置 $P_{F,i}$ への位置補正が行われる。センサ位置順次補正部 57 は、未補正センサ群 77 の中で最も基端側のセンサユニット S_i の位置補正を開始する (ステップ S141)。すなわち、センサユニット S_{k-1} まで補正前位置 $Q_{0,i}$ から最終位置 $P_{F,i}$ への位置補正が完了している場合には、センサ位置順次補正部 57 により、未補正センサ群 77 の中で最も基端側のセンサユニット S_k の最終位置 $P_{F,k}$ への位置補正が開始される。この場合、センサユニット S_k が位置補正の対象である補正対象センサ 81 となる。なお、以下の説明では、基端側から (k+1) 番目のセンサユニット S_k の位置補正について説明する。

【0142】

補正対象センサ 81 であるセンサユニット S_k の位置補正を開始する際、センサユニット S_{k-1} まで最終位置 $P_{F,i}$ への位置補正が完了している。この際、センサユニット S_k は、補正前位置 $Q_{0,k}$ に位置している。この状態で、センサ移動部 61 により、センサユニット S_k が位置 $Q_{0,k}$ から位置 $Q_{1,k}$ に移動し (ステップ S142)、センサユニット S_k の 1 回目の移動が行われる。センサ移動部 61 によるセンサユニット S_k の移動は、1 回以上行われる。そして、s 回目の移動では、補正対象センサ 81 であるセンサユニット S_k は移動前位置 $Q_{s-1,k}$ から移動後位置 $Q_{s,k}$ まで移動する。すなわち、センサ移動部 61 による 1 回の移動により、センサユニット S_k は移動前位置 $Q_{t-1,k}$ から移動後位置 $Q_{t,k}$ まで移動する (ステップ S142)。

【0143】

そして、センサ移動部 61 によりセンサユニット S_k の移動が 1 回行われるたびに、移動後円弧形成部 62 により、センサユニット S_k に対して基端側に隣設されるセンサユニット S_{k-1} の最終位置 $P_{F,k-1}$ とセンサユニット S_k の移動後位置 $Q_{t,k}$ との間が曲線補間され、移動後円弧 $L_{t,k}$ が形成される (ステップ S143)。s 回目の移動後には、センサユニット S_{k-1} の最終位置 $P_{F,k-1}$ とセンサユニット S_k の移動後位置 $Q_{s,k}$ との間が曲線補間され、移動後円弧 $L_{s,k}$ が形成される。ここで、センサユニット S_{k-1} は、補正対象センサ 81 であるセンサユニット S_k に対してグローバル座標系 C の原点に近い側に隣設される近位側隣設センサ 82 である。

【0144】

センサユニット S_k の s 回目に移動後に移動後円弧 $L_{s,k}$ を形成する際は、第 1 の実施形態と同様に式 (23.1) ~ 式 (28) を用いて、移動後円弧 $L_{s,k}$ のパラメータが算出される。そして算出されたパラメータを用いて、最終位置 $P_{F,k-1}$ と移動後位置 $Q_{s,k}$ との間の移動後円弧 $L_{s,k}$ が形成される。

【0145】

なお、センサユニット S_k の s 回目に移動後に移動後円弧 $L_{s,k}$ を形成する処理について説明したが、センサユニット S_k の s 回目以外の移動後についても、式 (23.1) ~ 式 (28) で、s を t で置換した式を用いて同様に、センサユニット S_{k-1} の最終位置 $P_{F,k-1}$ とセンサユニット S_k の移動後位置 $Q_{t,k}$ との間の移動後円弧 $L_{t,k}$ が形成される。

【0146】

センサ移動部 61 は、移動制御部 63 により、近位側隣設センサ 82 の最終位置 $P_{F,k}$ 、

10

20

30

40

50

$k-1$ と補正対象センサ 8 1 の移動前の移動前位置 $Q_{t-1, k}$ との間を曲線補間して形成される移動前円弧 $L_{t-1, k}$ の弧長 $R_{t-1, k}$ とセンサ間寸法 l との差の絶対値に対して、移動後円弧 $L_{t, k}$ の弧長 $R_{t, k}$ とセンサ間寸法 l との差の絶対値が小さくなる補正対象センサ 8 1 の移動を行う状態に制御されている。ここで、移動後円弧 $L_{t, k}$ の弧長 $R_{t, k}$ とセンサ間寸法 l との差の絶対値をエネルギー $E_{t, k}$ とし、第 1 の実施形態と同様に式 (29) で与えられる。また、移動前円弧 $L_{t-1, k}$ の弧長 $R_{t-1, k}$ とセンサ間寸法 l との差の絶対値をエネルギー $E_{t-1, k}$ とし、式 (29) の t を $t-1$ で置換した式で与えられる。すなわち、センサ移動部 6 1 は、移動後のエネルギー $E_{t, k}$ が移動前のエネルギー $E_{t-1, k}$ より小さくなる状態に補正対象センサ 8 1 であるセンサユニット S_k の移動を行っている (ステップ S142)。なお、例えばセンサユニット S_k の s 回目の移動での移動前円弧 $L_{s-1, k}$ は、センサユニット S_k の $(s-1)$ 回目の移動での移動後円弧 $L_{s-1, k}$ と同一の円弧である。センサユニット S_k の s 回目の移動での移動前円弧 $L_{s-1, k}$ は、式 (23.1) ~ 式 (28) で s を $s-1$ で置換した式を用いて、形成される。

【0147】

そして、移動制御部 6 3 が、補正対象センサ 8 1 であるセンサユニット S_k の移動を所定の回数だけ行ったかを判断する (ステップ S144)。センサユニット S_k の移動を所定の回数だけ行っていない場合は (ステップ S144 - No)、ステップ S122 に戻り、センサ移動部 6 1 がセンサユニット S_k を位置 $Q_{t, k}$ からさらに移動させる。この場合、センサユニット S_k の s 回目の移動後に、センサ移動部 6 1 により $(s+1)$ 回目の移動が行われる。 $(s+1)$ 回目の移動により、センサユニット S_k は移動前位置 $Q_{s, k}$ から移動後位置 $Q_{s+1, k}$ に移動する。以上のように、センサ移動部 6 1 は、補正対象センサ 8 1 であるセンサユニット S_k の移動前位置 $Q_{t-1, k}$ から移動後位置 $Q_{t, k}$ への移動を所定の回数だけ繰り返し行う状態に、移動制御部 6 3 により制御されている。

【0148】

センサユニット S_k の移動が所定の回数だけ行われた場合は (ステップ S144 - Yes)、次のステップに進む。そして、最終位置決定部 6 4 が、センサ移動部 6 1 によるセンサユニット S_k の最終回 (例えば F 回目) の移動での移動後位置 $Q_{F, k}$ を、補正対象センサ 8 1 であるセンサユニット S_k の最終位置 $P_{F, k}$ として決定する (ステップ S145)。以上のようにして、センサユニット S_k の最終位置 $P_{F, k}$ への位置修正が完了する。

【0149】

なお、センサユニット S_k 以外のセンサユニット S_i についても、センサ位置順次補正部 5 7 によりセンサユニット S_k と同様に最終位置 $P_{i, k}$ への位置補正が行われる。すなわち、センサ移動部 6 1 により、センサユニット S_i は移動前位置 $Q_{t-1, i}$ から移動後位置 $Q_{t, i}$ まで移動する (ステップ S142)。そして、センサ移動部 6 1 によりセンサユニット S_i の移動が 1 回行われるたびに、移動後円弧形成部 6 2 により、センサユニット S_i に対して基端側に隣設されるセンサユニット S_{i-1} の最終位置 $P_{F, i-1}$ とセンサユニット S_i の移動後位置 $Q_{t, i}$ との間が曲線補間され、移動後円弧 $L_{t, j}$ が形成される (ステップ S143)。センサ移動部 6 1 は、移動前円弧 $L_{t-1, j}$ の弧長 $R_{t-1, j}$ とセンサ間寸法 l との差の絶対値に対して、移動後円弧 $L_{t, j}$ の弧長 $R_{t, j}$ とセンサ間寸法 l との差の絶対値が小さくなる状態に、センサユニット S_i の移動を行っている (ステップ S142)。すなわち、移動後のエネルギー $E_{t, j}$ が移動前のエネルギー $E_{t-1, j}$ より小さくなる状態に、補正対象センサ 8 1 であるセンサユニット S_i の移動を行っている。

【0150】

そして、移動後円弧 $L_{t, j}$ が形成された後、移動制御部 6 3 によりセンサユニット S_i の移動が所定の回数だけ行われたか判断される (ステップ S144)。センサユニット S_i の移動が所定の回数だけ行われていない場合は (ステップ S144 - No)、ステッ

10

20

30

40

50

プ S 1 4 2 に戻り、センサ移動部 6 1 がセンサユニット S_i を位置 $Q_{t, i}$ からさらに移動させる。センサユニット S_i の移動が所定の回数だけ行われた場合は (ステップ S 1 4 4 - Yes)、次のステップに進む。そして、最終位置決定部 6 4 が、センサ移動部 6 1 によるセンサユニット S_i の最終回の移動での移動後位置 $Q_{F, i}$ を、補正対象センサ 8 1 であるセンサユニット S_i の最終位置 $P_{F, i}$ として決定する (ステップ S 1 4 5)。以上のようにして、センサユニット S_i の最終位置 $P_{F, i}$ への位置補正が完了する。

【 0 1 5 1 】

そして、第 1 の実施形態と同様に、センサ位置順次補正部 5 7 により 1 つのセンサユニット S_i の位置補正が行われるたびに、未補正センサ群移動部 5 9 により、位置補正が行われていないセンサユニット S_i である未補正センサ群 7 7 が平行移動される (ステップ S 1 4 6)。未補正センサ群移動部 5 9 での処理は、第 1 の実施形態と同様であるため、詳細な説明は省略する。

【 0 1 5 2 】

そして、すべてのセンサユニット S_i について位置補正が完了したか確認する (ステップ S 1 4 7)。すべてのセンサユニット S_i について位置補正が完了している場合は (ステップ S 1 4 7 - Yes)、次のステップへ進む。すべてのセンサユニット S_i について位置補正が完了していない場合は (ステップ S 1 4 7 - No)、ステップ S 1 4 1 に戻り、センサ位置順次補正部 5 7 により、未補正センサ群 7 7 の中で最も基端側のセンサユニット S_i の位置補正が行われる。すなわち、ステップ S 1 4 1 ~ S 1 4 6 が、すべてのセンサユニット S_i について位置補正が完了するまで、繰り返し行われる。

【 0 1 5 3 】

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、第 1 の実施形態と同様の効果に加えて、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、センサ位置順次補正部 5 7 によりそれぞれのセンサユニット S_i の位置を補正する際に、センサ移動部 6 1 がセンサユニット S_i を移動前位置 $Q_{t-1, i}$ から移動後位置 $Q_{t, i}$ まで移動する。そして、センサ移動部 6 1 によりセンサユニット S_i の移動が 1 回行われるたびに、移動後円弧形成部 6 2 により、センサユニット S_i に対して基端側に隣設されるセンサユニット S_{i-1} の最終位置 $P_{F, i-1}$ とセンサユニット S_i の移動後位置 $Q_{t, i}$ との間が曲線補間され、移動後円弧 $L_{t, j}$ が形成される。センサ移動部 6 1 は、移動前円弧 $L_{t-1, j}$ の弧長 $R_{t-1, j}$ とセンサ間寸法 l との差の絶対値に対して、移動後円弧 $L_{t, j}$ の弧長 $R_{t, j}$ とセンサ間寸法 l との差の絶対値が小さくなる状態に、補正対象センサ 8 1 であるセンサユニット S_i の移動を行っている。そして、移動後円弧 $L_{t, j}$ が形成された後、移動制御部 6 3 によりセンサユニット S_i の移動が所定の回数だけ行われたか判断される。センサユニット S_i の移動が所定の回数だけ行われていない場合は、センサ移動部 6 1 がセンサユニット S_i を位置 $Q_{t, i}$ からさらに移動させる。センサユニット S_i の移動が所定の回数だけ行われた場合は、最終位置決定部 6 4 が、センサ移動部 6 1 によるセンサユニット S_i の最終回の移動での移動後位置 $Q_{F, i}$ を、補正対象センサ 8 1 であるセンサユニット S_i の最終位置 $P_{F, i}$ として決定する。すなわち、センサユニット S_i の移動が繰り返される。以上のように、それぞれのセンサユニット S_i の間の実際の寸法であるセンサ間寸法 l に基づいて、センサ位置順次補正部 5 7 によるそれぞれのセンサユニット S_i の位置補正が行われるため、実際の挿入部 1 1 の形状と誤差の少ない最終曲線形状 8 5 を検出することができる。これにより、高い精度で挿入部 1 1 の最終曲線形状 8 5 を検出することができる。

【 0 1 5 4 】

(変形例)

なお、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、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

10

20

30

40

50

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)の代わりに、

【数43】

$$\dot{l}_k = [l_{xk} \quad l_{yk} \quad l_{zk}]^T = l C_{Bk-1}^G \dot{f}_{xk-1} = l \begin{bmatrix} -\sin\gamma_{k-1} \cdot \sin\alpha_{k-1} \cdot \sin\beta_{k-1} + \cos\beta_{k-1} \cdot \cos\gamma_{k-1} \\ \cos\gamma_{k-1} \cdot \sin\alpha_{k-1} \cdot \sin\beta_{k-1} + \cos\beta_{k-1} \cdot \sin\gamma_{k-1} \\ -\cos\alpha_{k-1} \cdot \sin\beta_{k-1} \end{bmatrix} \quad (43.1)$$

$$\dot{f}_{xk-1} = [1 \quad 0 \quad 0]^T \quad (43.2)$$

10

【0155】

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)の代わりに、

【数44】

$$\dot{l}_k = [l_{xk} \quad l_{yk} \quad l_{zk}]^T = l C_{Bk-1}^G \dot{f}_{zk-1} = l \begin{bmatrix} \sin\gamma_{k-1} \cdot \cos\alpha_{k-1} \cdot \cos\beta_{k-1} + \sin\beta_{k-1} \cdot \cos\gamma_{k-1} \\ -\cos\gamma_{k-1} \cdot \sin\alpha_{k-1} \cdot \cos\beta_{k-1} + \sin\beta_{k-1} \cdot \sin\gamma_{k-1} \\ \cos\alpha_{k-1} \cdot \cos\beta_{k-1} \end{bmatrix} \quad (44.1)$$

$$\dot{f}_{zk-1} = [0 \quad 0 \quad 1]^T \quad (44.2)$$

20

【0156】

を用いる。ここで、式(43.2)のベクトルはローカル座標系 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、式(44.2)のベクトルはローカル座標系 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。

【0157】

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、 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、

30

【数45】

$$\dot{a}_{th} = [-g \quad 0 \quad 0]^T \quad (45)$$

【0158】

となる。この場合、第1の実施形態では、姿勢角 θ_i 、 ϕ_i 、 ψ_i はヨー角 θ_i 、ピッチ角 ϕ_i 、ロール角 ψ_i の順で回転する (Z, X, Y) 型としたが、姿勢角 θ_i 、 ϕ_i 、 ψ_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 θ_i 、 ϕ_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 θ_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 θ_i 、 ϕ_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

40

50

i が算出される。

【0159】

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、仮リンク形成部 41 は、式 (16.1)、式 (16.2) の k を $j+1$ で置換した式を用いて、仮リンク $T_{0,j}$ 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 から仮リンク $T_{0,j}$ 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} へのベクトルを求める。そして、センサユニット S_j からセンサユニット S_{j-1} へのベクトルにより、仮リンク $T_{0,j}$ が形成される。すなわち、仮リンク形成部 41 は、仮リンク $T_{0,j}$ が先端側（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 の中心から基端側（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} の中心まで先端側のセンサユニット S_j の中心での長手方向に延設されると仮定して、仮リンク $T_{0,j}$ を形成する。また、センサ位置修正部 55 のセンサ位置順次補正部 57 によりそれぞれのセンサユニット S_i の位置補正を行う際は、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_i から順次に位置補正が行われる。この場合、補正対象センサ 81 の先端側（グローバル座標系 C の原点に近い側）に隣設されるセンサユニット S_i が近位側隣設センサ 82 となる。

10

【0160】

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。

20

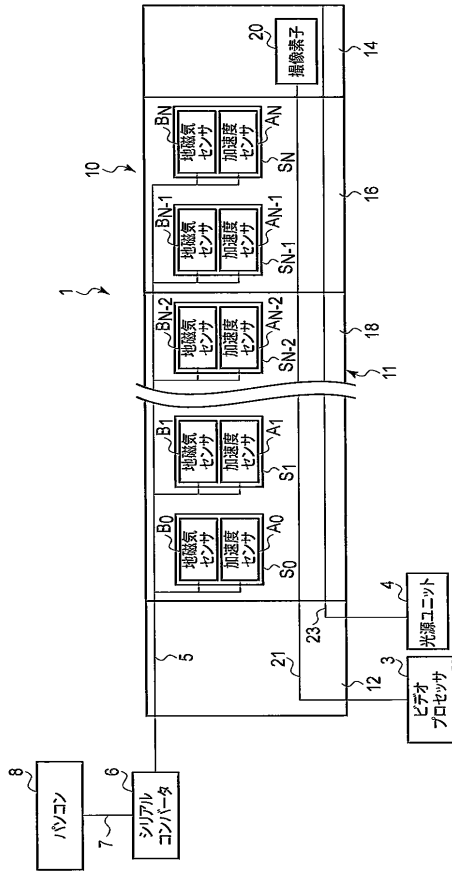
【要約】

内視鏡形状検出装置は、それぞれの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を寸法がセンサ間寸法に等しい直線状の仮リンクと仮定して、それぞれの前記センサユニットの仮位置を検出するセンサ仮位置検出部と、それぞれの前記センサユニットの前記仮位置に基づいて、それぞれの前記センサユニットの前記仮位置の間を仮円弧で曲線補間を行い、前記挿入部の仮曲線形状を検出する仮曲線形状検出部と、を備える。内視鏡形状検出装置は、それぞれの前記仮円弧の弧長と前記センサ間寸法との差の絶対値に基づいて、それぞれの前記センサユニットの位置を前記仮位置から最終位置まで修正するセンサ位置修正部と、それぞれの前記センサユニットの前記最終位置の間を最終円弧で曲線補間し、前記挿入部の最終曲線形状を検出する最終曲線形状検出部と、を備える。

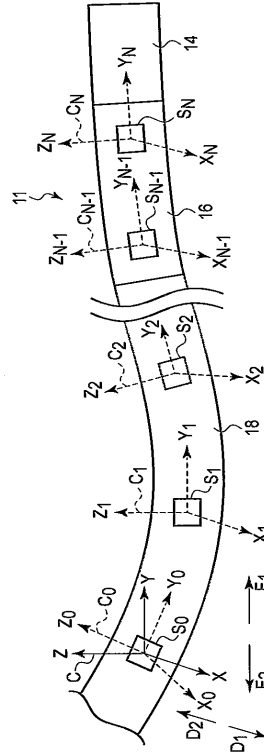
30

【選択図】図 3

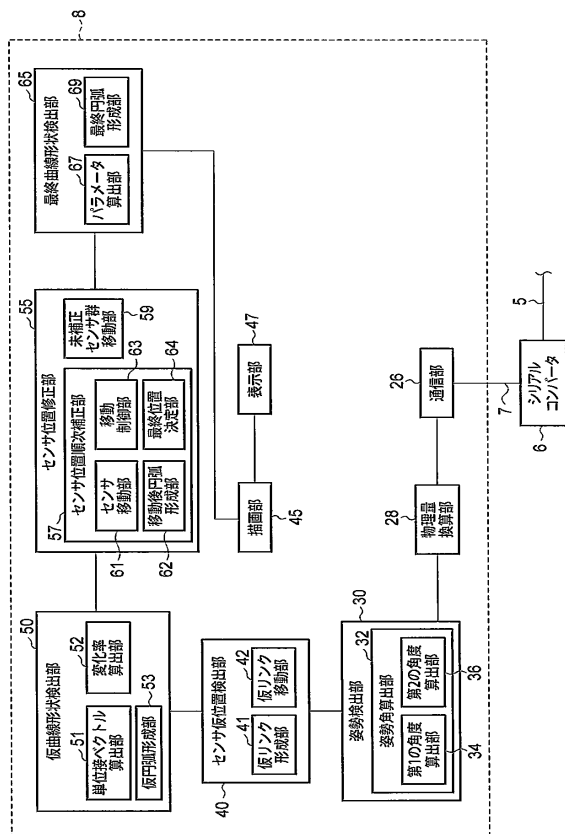
【図1】



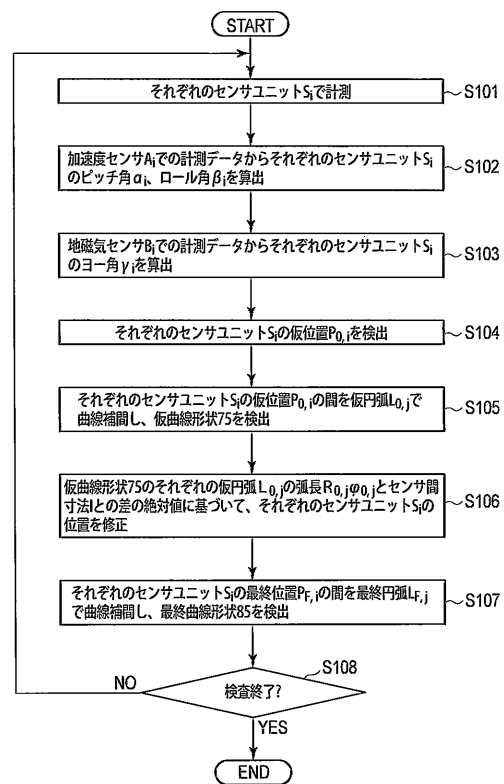
【図2】



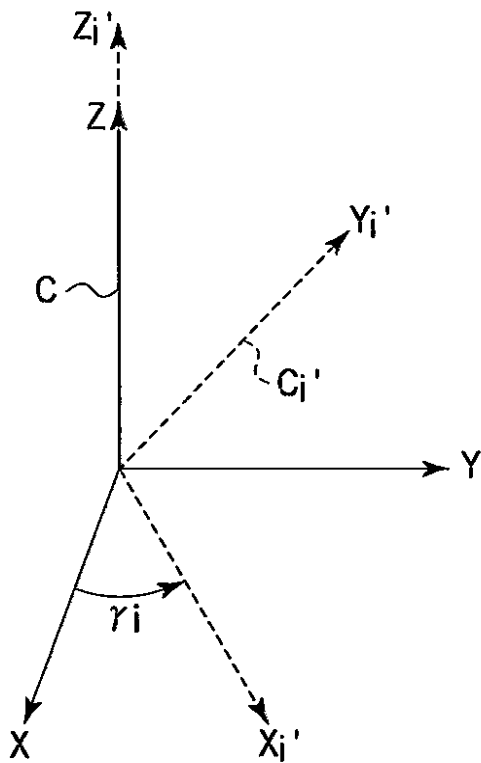
【図3】



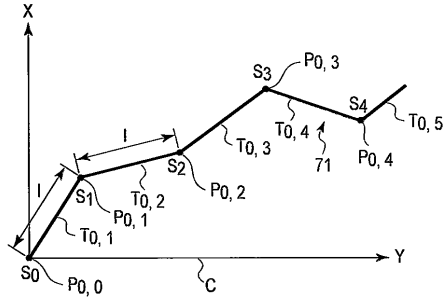
【図4】



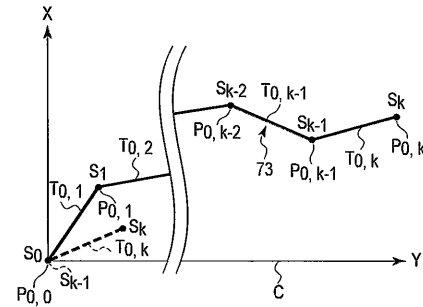
【図5】



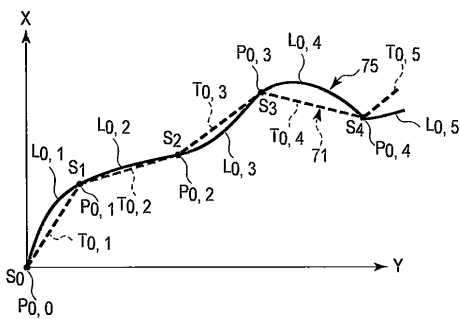
【図6】



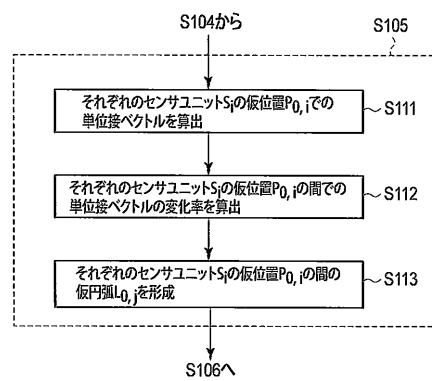
【図7】



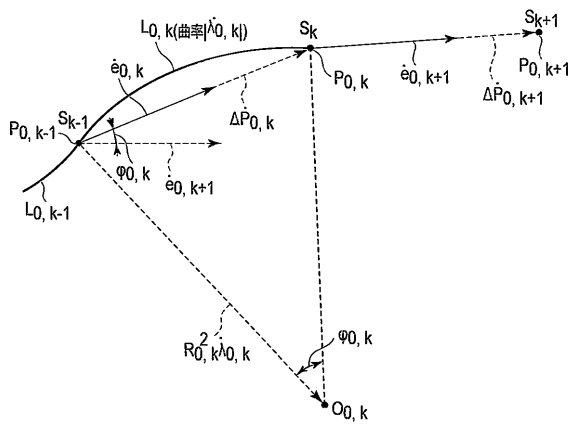
【図8】



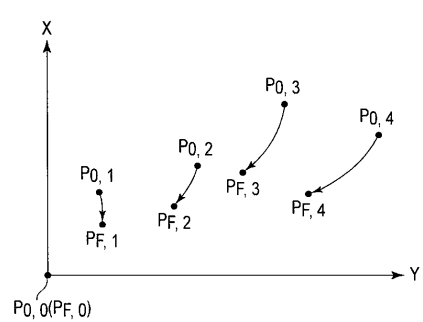
【図9】



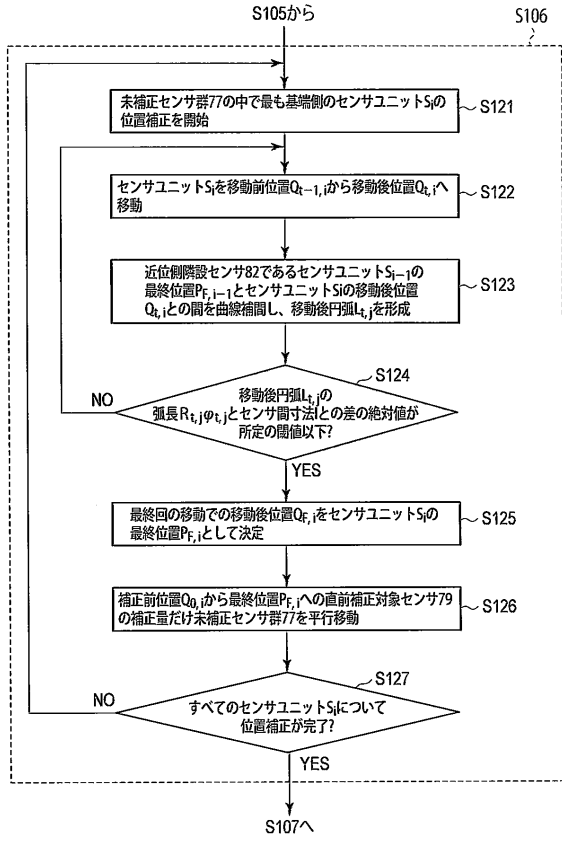
【図10】



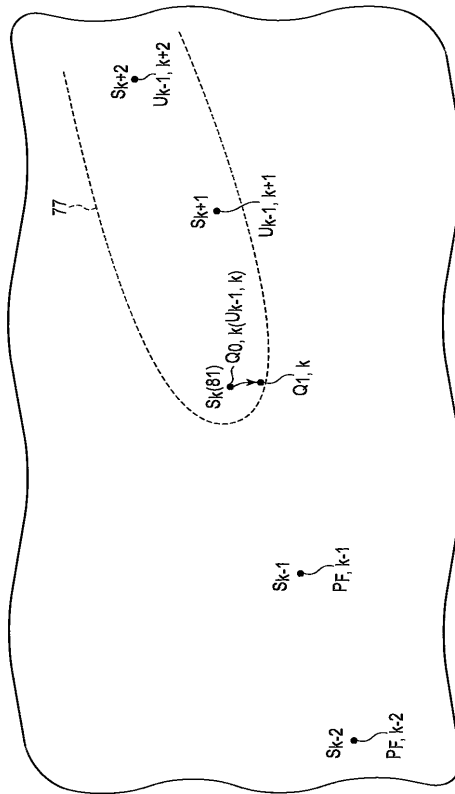
【図11】



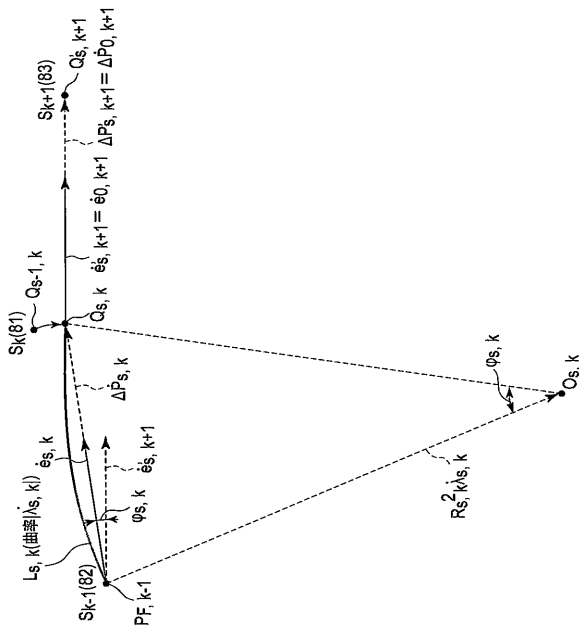
【図12】



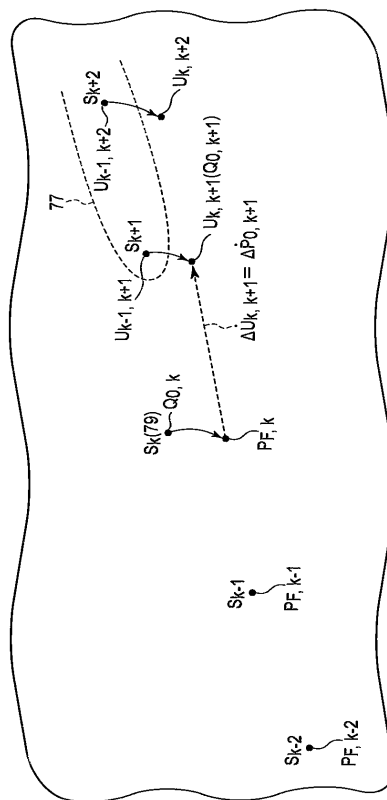
【図13】



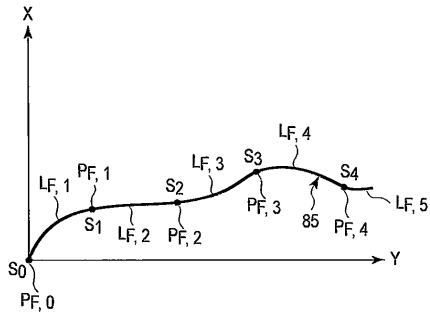
【図14】



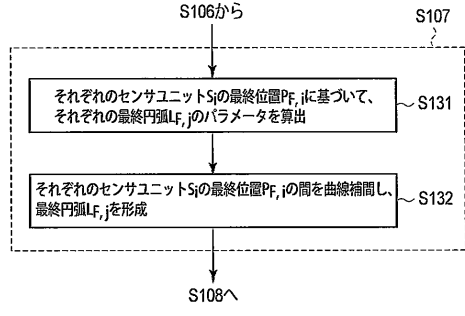
【図15】



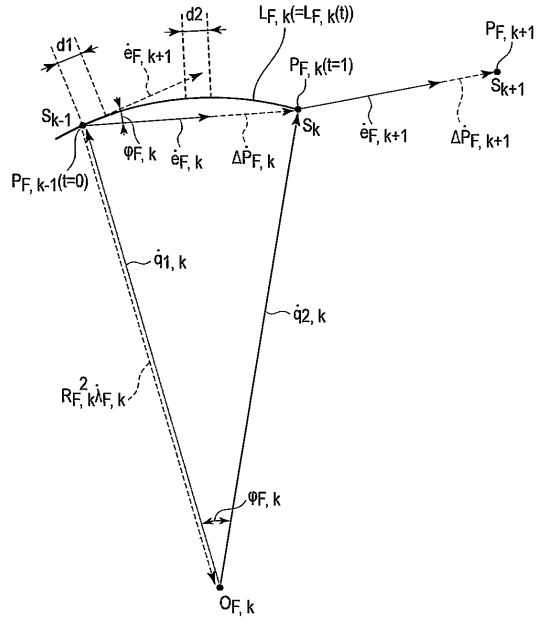
【 図 1 6 】



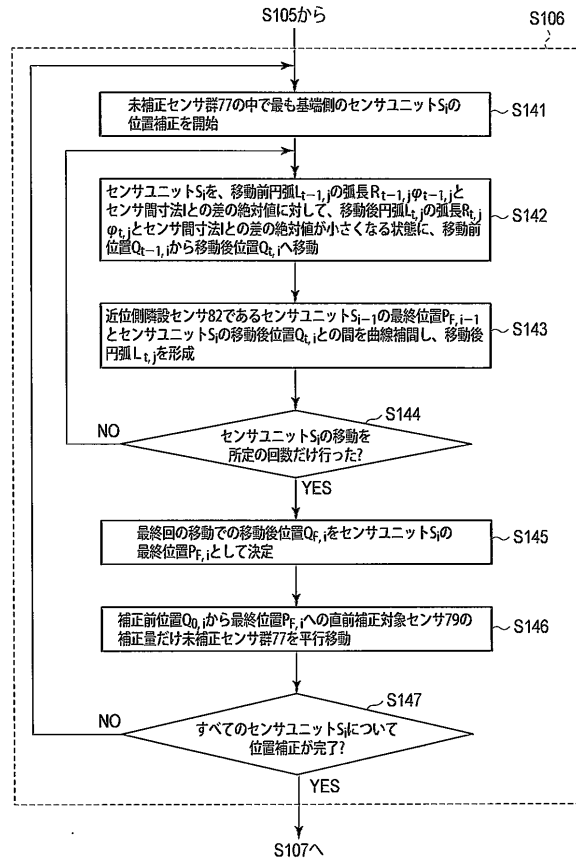
【 図 1 7 】



【 図 1 8 】



【 図 1 9 】



フロントページの続き

- (74)代理人 100095441
弁理士 白根 俊郎
- (74)代理人 100084618
弁理士 村松 貞男
- (74)代理人 100103034
弁理士 野河 信久
- (74)代理人 100119976
弁理士 幸長 保次郎
- (74)代理人 100153051
弁理士 河野 直樹
- (74)代理人 100140176
弁理士 砂川 克
- (74)代理人 100158805
弁理士 井関 守三
- (74)代理人 100124394
弁理士 佐藤 立志
- (74)代理人 100112807
弁理士 岡田 貴志
- (74)代理人 100111073
弁理士 堀内 美保子
- (74)代理人 100134290
弁理士 竹内 将訓
- (72)発明者 平川 克己

日本国東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目4番2号 オリジナルメディカルシステムズ株式会社内

審査官 松谷 洋平

- (56)参考文献 特開2007-130154(JP,A)
特開平11-019027(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
A61B 1/00

专利名称(译)	内窥镜形状检测装置和用于检测内窥镜的插入部分的形状的方法		
公开(公告)号	JP4897123B1	公开(公告)日	2012-03-14
申请号	JP2011537466	申请日	2011-06-15
[标]申请(专利权)人(译)	奥林巴斯医疗株式会社		
申请(专利权)人(译)	オリンパスメディカルシステムズ株式会社		
当前申请(专利权)人(译)	オリンパスメディカルシステムズ株式会社		
[标]发明人	平川克己		
发明人	平川 克己		
IPC分类号	A61B1/00		
CPC分类号	A61B1/0051 A61B5/065		
FI分类号	A61B1/00.320.Z		
代理人(译)	河野 哲 中村诚 河野直树 冈田隆		
优先权	2010191350 2010-08-27 JP		
其他公开文献	JPWO2012026184A1		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

内窥镜形状检测装置基于每个传感器单元的姿势，假定传感器单元之间的距离是线性临时链接，其尺寸等于传感器间尺寸，并且基于用于检测每个传感器单元的位置和临时位置的传感器的临时位置，利用各传感器单元的临时位置与插入单元的临时曲线之间的临时弧进行曲线插补。以及检测形状的临时曲线形状检测单元。内窥镜形状检测装置基于每个临时电弧的弧长与传感器之间的尺寸之差的绝对值，确定传感器位置，以将每个传感器单元的位置从临时位置校正到最终位置。校正部分和最终曲线形状检测部分，其通过利用各个传感器单元的最终位置之间的最终弧线进行曲线插值来检测插入部分的最终曲线形状。[选择图]图3

$$C_{Bi}^G = R_{Zi} R_{Xi} R_{Yi} = \begin{bmatrix} \cos\gamma_i & -\sin\gamma_i & 0 \\ \sin\gamma_i & \cos\gamma_i & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha_i & -\sin\alpha_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\beta_i & 0 & \sin\beta_i \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\beta_i & 0 & \cos\beta_i \end{bmatrix}$$

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