

(19)日本国特許庁 ( J P )

# 公開特許公報 ( A )

(11)特許出願公開番号

特開2002 - 131009

( P2002 - 131009A )

(43)公開日 平成14年5月9日 (2002.5.9)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

識別記号

G 0 1 B 7/00

A 6 1 B 1/00

300

F I

G 0 1 B 7/00

A 6 1 B 1/00

テ-マコード\* ( 参考 )

R 2 F 0 6 3

D 4 C 0 6 1

審査請求 有 請求項の数 40 L ( 全 38数 )

(21)出願番号 特願2001 - 248217(P2001 - 248217)

(62)分割の表示 特願平10 - 315024の分割

(22)出願日 平成10年11月5日 (1998.11.5)

(31)優先権主張番号 特願平10 - 69075

(32)優先日 平成10年3月18日 (1998.3.18)

(33)優先権主張国 日本 (JP)

(71)出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72)発明者 長谷川 潤

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリン

パス光学工業株式会社内

(72)発明者 野波 徹緒

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリン

パス光学工業株式会社内

(74)代理人 100076233

弁理士 伊藤 進

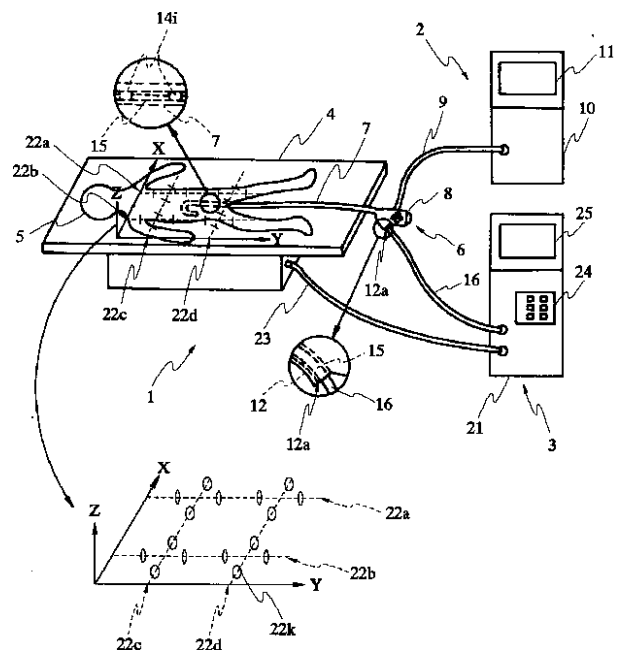
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 位置推定方法

(57)【要約】

【課題】 複数組のセンスコイルによりソースコイルの3次元位置を求めるときの推定誤差を縮小する。

【解決手段】 電子内視鏡6の鉗子チャンネル12の挿入口12aから16個のソースコイル14iを有するプローブ15が挿通されることにより、挿入部7内にソースコイル14iが設置される。患者5が横たわるベッド4には、共通の中心を持ち、同一直線上に同一方向に磁界を検出する少なくとも4つの単心コイル22kを並べた4つのセンスコイル22a、22b、22c、22dのうちセンスコイル22a、22bを平行に、センスコイル22c、22dをセンスコイル22a、22bに直交した并げた状態で、所定の位置に設置されている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 磁界発生源で発生する磁界を磁界検出手段により検出し、前記磁界発生源の位置情報を推定する位置推定方法において、少なくとも、  
磁界発生源の位置と向きを仮定し、該仮定した磁界発生源の位置と向きでの磁界検出手段の出力を算出する第 1 の算出工程と、

磁界発生源からの磁力を受けた磁界検出手段の出力を検知し、該検知された磁界発生源の出力と前記第 1 の算出工程で算出された磁界検出手段の出力とを比較し、前記検知された出力と前記算出された出力との差異が小さくなるよう、仮定する磁界発生源の位置と向きを更新するための更新値を算出する更新値算出工程と、  
前記第 1 の算出工程から前記更新値算出工程までを繰り返し、前記更新値算出工程で算出される更新値が所定の値となったことにより、磁界発生源の位置と向きを推定する磁界発生源位置及び向き推定工程と、  
を有することを特徴とする位置推定方法。

【請求項 2】 前記磁界発生源位置及び向き推定工程を繰り返し、過去に算出された推定位置と最新の推定位置とに基づき現在の磁界発生源の位置及び向きを推定する請求項 1 に記載の位置推定方法。

【請求項 3】 磁界発生源で発生する磁界を磁界検出手段により検出し、前記磁界発生源の位置情報を推定する位置推定方法において、少なくとも、  
磁界発生源の位置と向きを仮定し、該仮定した磁界発生源の位置での磁界検出手段の出力を算出する第 1 の算出工程と、

磁界発生源からの磁力を受けた磁界検出手段の出力を検知し、該検知された磁界発生源の出力と前記第 1 の算出工程で算出された磁界検出手段の出力とを比較し、前記検知された出力と前記算出された出力との差異が小さくなるよう、仮定する磁界発生源の位置を更新するための更新値を算出する更新値算出工程と、  
前記第 1 の算出工程から前記更新値算出工程までを繰り返し、前記更新値算出工程で算出される更新値が所定の値となったことにより、磁界発生源の位置を推定する磁界発生源位置推定工程と、  
を有することを特徴とする位置推定方法。

【請求項 4】 前記磁界発生源位置推定工程を繰り返し、過去に算出された推定位置と最新の推定位置とに基づき現在の磁界発生源の位置を推定する請求項 3 に記載の位置推定方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、位置推定方法、詳しくは、複数の単軸コイルによるソースコイルの位置推定部分に特徴のある位置推定装置に係る位置推定方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、内視鏡は医療用分野及び工業用分野で広く用いられるようになった。この内視鏡は特に挿入部が軟性のものは、屈曲した体腔内に挿入することにより、切開することなく体腔内深部の臓器を診断したり、必要に応じてチャンネル内に処置具を挿通してポリプ等を切除するなどの治療処置を行うことができる。

【0003】この場合、例えば肛門側から下部消化管内を検査する場合のように、屈曲した体腔内に挿入部を円滑に挿入するためにはある程度の熟練を必要とする場合がある。

【0004】つまり、挿入作業を行っている場合、管路の屈曲に応じて挿入部に設けた湾曲部を湾曲させる等の作業が円滑な挿入を行うのに必要になり、そのためには挿入部の先端位置等が、体腔内のどの位置にあるのか、現在の挿入部の屈曲状態等を知ることができると便利である。

【0005】このため、例えば PCT 出願の公開番号 WO 94/04938 号公報に記載の技術では予め決められた位置に固定された 3 個の直交する 3 軸をもつコイルを用いて、空間内に直交するベクトルを持つ交流磁界を順次発生させ、前記空間内にある座標上に存在する 1 軸コイルで、3 軸の各軸のコイルが発生した磁界により誘導されて生じた前記 1 軸コイル両端間の電圧を計測する。この計測したデータを基に、前記 1 軸コイルの空間座標を検出していた。

【0006】ところが、上記 PCT 出願の公開番号 WO 94/04938 号公報に記載の技術においては、周囲温度の変化や経時的な変化によって、磁界を発生させるための高周波信号の周波数と周波数抽出手段の抽出する周波数成分の周波数が一致していないと、周波数成分の値が本来抽出されるべき値からはずれてしまい、この値から求めた内視鏡の位置が実際の位置と一致なくなってしまうため、挿入状態を正確に検出できなくなる可能性があった。

【0007】そこで、特開平 9-28661 号公報には、高周波信号の周波数と参照信号の周波数とを一致させるための周波数の調整手段を設けることにより、周囲温度の変化や経時的な変化により高周波信号の周波数と参照信号の周波数とがずれるような環境等においても、一致させることができ、設定への影響を受けにくくし、内視鏡の挿入状態を検出することのできる内視鏡形状検出装置が提案されている。

【0008】上記 PCT 出願の公開番号 WO 94/04938 号公報に記載の技術では、複数の検出素子の出力値から磁気発生素子の位置を推定するためには、直交させた単心コイルを 3 つ組み合わせた 3 軸コイルが複数必要であり、複雑な構成となる。

【0009】また、特開平 9-28661 号公報においても、内視鏡システムに応用する場合、複数の検出素子の出力値から磁気発生素子の位置を推定するためには、

直交させた単心コイルを 3 つ組み合わせた 3 軸コイルが複数必要であり、やはり、複雑な構成となる。

【0010】さらに、特開平 9-28661 号公報では、ベクトルの解析において、信号列を構成する周波数のフーリエ変換等により観測される周波数とを厳密に同値とすることが困難であり、周波数領域上でのモレが発生するため、窓関数法などを適用することにより、モレによる影響を軽減する必要がある。

【0011】そこで、本出願人は、先に出願した特願平 9-140603 号において、同一直線上に同一方向に異なる位置に置かれた少なくとも 4 つの単心コイルで構成される検出素子（または磁気発生素子）により、磁気発生素子（または検出素子）の存在する空間を推定する場合、推定すべき変数の数を減らすことのできるコイル位置測定方法を提案している。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、この特願平 9-140603 号では、確かに上記問題を解決することができるが、4 個組センスコイルを並列に並べたことにより各 4 個組センスコイルにより推定される円の誤差（中心と半径の誤差）の方向が同一となり、推定されるソースコイルの 3 次元位置の誤差が特定の方向に大きくなるという問題や、ソースコイルとセンスコイルとの距離が離れると推定されるソースコイルの 3 次元位置がばらつくという問題がある。

【0013】本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであり、複数組のセンスコイルによりソースコイルの 3 次元位置を求めるときの推定誤差を縮小することのできる位置推定方法を提供することを目的としている。

【0014】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために本発明による第 1 の位置推定方法は、磁界発生源で発生する磁界を磁界検出手段により検出し、前記磁界発生源の位置情報を推定する位置推定方法において、少なくとも、磁界発生源の位置と向きを仮定し、該仮定した磁界発生源の位置と向きでの磁界検出手段の出力を算出する第 1 の算出工程と、磁界発生源からの磁力を受けた磁界検出手段の出力を検知し、該検知された磁界発生源の出力と前記第 1 の算出工程で算出された磁界検出手段の出力とを比較し、前記検知された出力と前記算出された出力との差異が小さくなるよう仮定する磁界発生源の位置と向きを更新するための更新値を算出する更新値算出工程と、前記第 1 の算出工程から前記更新値算出工程までを繰り返し、前記更新値算出工程で算出される更新値が所定の値となったことにより、磁界発生源の位置と向きを推定する磁界発生源位置及び向き推定工程とを有することを特徴とする。

【0015】また、本発明による第 2 の位置推定方法は、磁界発生源で発生する磁界を磁界検出手段により検出し、前記磁界発生源の位置情報を推定する位置推定方

法において、少なくとも、磁界発生源の位置と向きを仮定し、該仮定した磁界発生源の位置での磁界検出手段の出力を算出する第 1 の算出工程と、磁界発生源からの磁力を受けた磁界検出手段の出力を検知し、該検知された磁界発生源の出力と前記第 1 の算出工程で算出された磁界検出手段の出力とを比較し、前記検知された出力と前記算出された出力との差異が小さくなるよう、仮定する磁界発生源の位置を更新するための更新値を算出する更新値算出工程と、前記第 1 の算出工程から前記更新値算出工程までを繰り返し、前記更新値算出工程で算出される更新値が所定の値となったことにより、磁界発生源の位置を推定する磁界発生源位置推定工程とを有することを特徴とする。

【0016】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しながら本発明の実施の形態について述べる。

【0017】第 1 の実施の形態：図 1 ないし図 39 は本発明の第 1 の実施の形態に係わり、図 1 は内視鏡システムの構成を示す構成図、図 2 は図 1 の内視鏡装置形状検出装置の機能構成を示すブロック図、図 3 は図 2 の内視鏡装置形状検出装置の構成を示す構成図、図 4 は図 3 の内視鏡装置形状検出装置の要部である 2 ポートメモリ等の構成を示す構成図、図 5 は図 4 の 2 ポートメモリの動作を示すタイミング図、図 6 は図 1 の内視鏡システムの作用を示すフローチャート、図 7 は図 6 の FFT 処理の流れを示すフローチャート、図 8 は図 6 の内視鏡システムの作用における並行処理タイミングを示すタイミング図、図 9 は図 6 のソースコイル推定位置座標算出処理の原理を説明する第 1 の説明図、図 10 は図 6 のソースコイル推定位置座標算出処理の原理を説明する第 2 の説明図、図 11 は図 6 のソースコイル推定位置座標算出処理の原理を説明する第 3 の説明図、図 12 は図 6 のソースコイル推定位置座標算出処理の原理を説明する第 4 の説明図、図 13 は図 6 のソースコイル推定位置座標算出処理の原理を説明する第 5 の説明図、図 14 は図 6 のソースコイル推定位置座標算出処理の原理を説明する第 6 の説明図、図 15 は図 6 のソースコイル推定位置座標算出処理の原理を説明する第 7 の説明図、図 16 は図 6 のソースコイル推定位置座標算出処理の原理を説明する第 8 の説明図、図 17 は図 6 のソースコイル推定位置座標算出処理の原理を説明する第 9 の説明図、図 18 は図 6 のソースコイル推定位置座標算出処理の原理を説明する第 10 の説明図、図 19 は図 6 のソースコイル推定位置座標算出処理の原理を説明する第 11 の説明図、図 20 は図 6 のソースコイル推定位置座標算出処理の流れを示す第 1 のフローチャート、図 21 は図 6 のソースコイル推定位置座標算出処理の流れを示す第 2 のフローチャート、図 22 は図 20 及び図 21 により算出されたソースコイル推定位置に対する位置更新制御処理の流れを示すフローチャート、図 23 は図 6 の内視鏡形状検出イメー

ジ画像表示処理の流れを示すフローチャート、図 24 は図 23 の通常モード処理による表示例を示す図、図 25 は図 23 の拡大モード処理の流れを示すフローチャート、図 26 は図 25 の拡大モード処理による表示例を示す図、図 27 は図 6 の内視鏡形状検出イメージ画像表示処理における 3D モデル 1 および 3D モデル 2 のイメージモデルを説明する第 1 の説明図、図 28 は図 27 の 3D モデル 1 および 3D モデル 2 のイメージモデルの表示処理を示すフローチャート、図 29 は図 6 の内視鏡形状検出イメージ画像表示処理における 3D モデル 1 および 3D モデル 2 のイメージモデルを説明する第 2 の説明図、図 30 は図 29 の色調補正処理の流れを示す第 1 のフローチャート、図 31 は図 30 の色調補正処理の作用を説明する第 1 の説明図、図 32 は図 29 の色調補正処理の流れを示す第 2 のフローチャート、図 33 は図 30 の色調補正処理の作用を説明する第 2 の説明図、図 34 は図 6 の内視鏡形状検出イメージ画像表示処理における 2D モデルのイメージモデルの表示処理を示すフローチャート、図 35 は図 34 による処理で表示される内視鏡形状検出イメージ画像の表示例を示す図、図 36 は図 6 10 の内視鏡形状検出イメージ画像表示処理における 12 点モデルのイメージモデルの表示処理を示すフローチャート、図 37 は図 36 による処理で表示される内視鏡形状検出イメージ画像の表示例を示す図、図 38 は図 6 の内視鏡形状検出イメージ画像表示処理における直線モデルのイメージモデルの表示処理を示すフローチャート、図 39 は図 38 による処理で表示される内視鏡形状検出イメージ画像の表示例を示す図である。

【0018】（構成）図 1 に示すように、本実施の形態の内視鏡システム 1 は、内視鏡検査を行う内視鏡装置 2 30 と、内視鏡検査の補助に用いられる内視鏡装置形状検出装置 3 とを備え、この内視鏡形状検出装置 3 は、ベット 4 に横たわる患者 5 の体腔内に電子内視鏡 6 の挿入部 7 を挿入し、内視鏡検査を行う際の挿入補助手段として使用される。

【0019】電子内視鏡 6 は、可撓性を有する細長の挿入部 7 の後端に湾曲操作ノブを設けた操作部 8 が形成され、この操作部 8 からユニバーサルコード 9 が延出され、ビデオイメージングシステム（またはビデオプロセッサ）10 に接続されている。

【0020】この電子内視鏡 6 は、ライトガイドが挿通されビデオプロセッサ 10 内の光源部からの照明光を伝送し、挿入部 7 の先端に設けた照明窓から伝送した照明光を出射し、患者等を照明する。照明された患部等の被写体は照明窓に隣接して設けられた観察窓に取り付けた対物レンズにより、その結像位置に配置された撮像素子に像を結び、この撮像素子は光電変換する。

【0021】光電変換された信号はビデオプロセッサ 10 内の映像信号処理部により信号処理されて標準的な映像信号が生成され、ビデオプロセッサ 10 に接続された 50

画像観察用モニタ 11 に表示される。

【0022】この電子内視鏡 6 には鉗子チャンネル 12 が設けてあり、この鉗子チャンネル 12 の挿入口 12a から例えば 16 個の磁気発生素子（またはソースコイル）14a、14b、...、14p（以下、符号 14i で代表する）を有するプローブ 15 が挿通されることにより、挿入部 7 内にソースコイル 14i が設置される。

【0023】このプローブ 15 の後端から延出されたソースケーブル 16 は、その後端のコネクタが内視鏡形状検出装置 3 の装置本体 21 に着脱自在に接続される。そして、装置本体 21 側から高周波信号伝達手段としてソースケーブル 16 を介して磁気発生手段となるソースコイル 14i に高周波信号（駆動信号）を印加することにより、ソースコイル 14i は磁界を伴う電磁波を周囲に放射する。

【0024】また、患者 5 が横たわるベット 4 には、共通の中心を持ち、同一直線上に同一方向に磁界を検出する少なくとも 4 つの単心コイル 22k を並べた磁気検出素子（またはセンスコイル）、例えば 4 つのセンスコイル 22a、22b、22c、22d（以下、22j で代表する）を、センスコイル 22a 及びセンスコイル 22b を平行に、かつセンスコイル 22c 及びセンスコイル 22d をセンスコイル 22a 及びセンスコイル 22b と直交した状態の井げた状の位置に設置している。この場合、単心コイル 22k は全部で 16 個となる。

【0025】センスコイル 22j は、ベット 4 のコネクタから検出信号伝達手段としてのセンスケーブル 23 を介して装置本体 21 に接続されている。この装置本体 21 には使用者が装置を操作するための操作パネル 24 またはキーボード等が設けられている。また、この装置本体 21 には検出した内視鏡形状を表示する表示手段としてモニタ 25 が接続されている。

【0026】さらに、内視鏡形状検出装置 3 の詳細な構成について説明する。内視鏡形状検出装置 3 は、図 2 に示すように、ソースコイル 14i を起動する駆動ブロック 26 と、センスコイル 22j が受信した信号を検出する検出ブロック 27 と、検出ブロック 27 で検出した信号を信号処理するホストプロセッサ 28 とから構成される。

【0027】図 3 に示すように、電子内視鏡 6 の挿入部 7 に設置されるプローブ 15 には、上述したように、磁界を生成するための 16 個のソースコイル 14i が所定の間隔で配置されており、これらソースコイル 14i は、駆動ブロック 26 を構成する 16 個の互いに異なる高周波の駆動信号を生成するソースコイル駆動回路 31 に接続されている。

【0028】ソースコイル駆動回路部 31 は、各ソースコイル 14i をそれぞれ異なる周波数の正弦波の駆動信号電流で駆動し、それぞれの駆動周波数はソースコイル駆動回路部 31 内部の図示しない駆動周波数設定データ

格納手段或いは駆動周波数設定データ記憶手段に格納された駆動周波数設定データ（駆動周波数データとも記す）により設定される。この駆動周波数データは、ホストプロセッサ 28 において内視鏡形状の算出処理等を行う CPU（中央処理ユニット）32 により PIO（パラレル入出力回路）33 を介してソースコイル駆動回路部 31 内の駆動周波数データ格納手段（図示せず）に格納される。

【0029】一方、4つのセンスコイル 22j を構成する 16 個の単心コイル 22k は、検出ブロック 27 を構成するセンスコイル信号増幅回路部 34 に接続されている。

【0030】図 4 に示すように、センスコイル信号増幅回路部 34 では、単心コイル 22k が 1 個につき 1 系統設けられた増幅回路 35k に接続されており、各単心コイル 22k で検出された微小な信号が増幅回路 35k により増幅されフィルタ回路 36k でソースコイル群が発生する複数周波数が通過する帯域をもち不要成分を除去して出力バッファ 37k に出力された後、ADC（アナログ・デジタル・コンバータ）38k でホストプロセッサ 28 が読み込み可能なデジタル信号に変換される。

【0031】なお、検出ブロック 27 は、センスコイル信号増幅回路部 34 及び ADC 38k より構成され、センスコイル信号増幅回路部 34 は増幅回路 35k、フィルタ回路 36k 及び出力バッファ 37k より構成される。

【0032】図 3 に戻り、このセンスコイル信号増幅回路部 34 の 16 系統の出力は、16 個の前記 ADC 38k に伝送され、制御信号発生回路部 40 から供給されるクロックにより所定のサンプリング周期のデジタルデータに変換される。このデジタルデータは、制御信号発生回路部 27 からの制御信号によりローカルデータバス 41 を介して 2 ポートメモリ 42 に書き込まれる。

【0033】なお、2 ポートメモリ 42 は、図 4 に示すように、機能的には、ローカルコントローラ 42a、第 1 の RAM 42b、第 2 の RAM 42c 及びバススイッチ 42d よりなり、図 5 に示すようなタイミングにより、ローカルコントローラ 42a からの A/D 変換開始信号により ADC 38k が A/D 変換を開始し、ローカルコントローラ 42a からの切り換え信号によりバススイッチ 42d が RAM 42b、42c を切り換えながら第 1 RAM 42b、42c を交互に読み出しメモリ及び書き込みメモリとして用い、書き込み信号により、電源投入後は、常時データの取り込みを行っている。

【0034】再び、図 3 に戻り、CPU 32 は、制御信号発生回路部 27 からの制御信号により 2 ポートメモリ 42 に書き込まれたデジタルデータをローカルデータバス 43、PCI コントローラ 44 及び PCI バス 45（図 4 参照）からなる内部バス 46 を介して読みだし、メインメモリ 47 を用い、後述するように、デジタルデ

ータに対して周波数抽出処理（フーリエ変換：FFT）を行い、各ソースコイル 14i の駆動周波数に対応する周波数成分の磁界検出情報に分離抽出し、分離した磁界検出情報の各デジタルデータから電子内視鏡 6 の挿入部 7 内に設けられた各ソースコイル 14i の空間位置座標を算出する。

【0035】また、算出された位置座標データから電子内視鏡 6 の挿入部 7 の挿入状態を推定し、内視鏡形状画像を形成する表示データを生成し、ビデオ RAM 48 に出力する。このビデオ RAM 48 に書き込まれているデータをビデオ信号発生回路 49 が読みだし、アナログのビデオ信号に変換してモニタ 25 へと出力する。モニタ 25 は、このアナログのビデオ信号を入力すると、表示画面上に電子内視鏡 6 の挿入部 7 の挿入形状を表示する。

【0036】CPU 32 において、各ソースコイル 14i に対応した磁界検出情報、すなわち、各センスコイル 22j の 4 つの単心コイル 22k に発生する起電力（正弦波信号の振幅値）と位相情報が算出される。なお、位相情報は、起電力の極性  $\pm$  を示す。

【0037】（作用）ソースコイルの存在する空間をセンスコイルの出力から推定する手法と直交する 2 つのセンスコイル、平行な 2 つのセンスコイルからソースコイルの 3 次元位置を推定する手法は、特願平 9 - 140603 号の実施の形態と同一である。

【0038】本実施の形態では、空間上に配置された 4 つのセンスコイルのうち、ソースコイルの存在する空間を精度良く推定しているセンスコイルを複数抽出し、抽出されたセンスコイルからソースコイルの 3 次元位置を推定する手法について説明する。

【0039】本実施の形態の内視鏡システム 1 では、電源が投入されると、図 6 に示すように、ステップ S1 でパラメータファイルに基づき各システムパラメータを初期化し、ステップ S2 でハードウェアの初期化を行う。

【0040】電源投入後は、2 ポートメモリ 42 には FFT 処理を行うための FFT ポイント数分のデータが常時更新されており（図 5 参照）、ステップ S3 で、CPU 32 は、この FFT ポイント数分のデータを取り込む。そして、ステップ S4 で窓関数法による処理によりデータの補正を行い、ステップ S5 で後述する FFT 処理を行う。FFT 処理後は、ステップ S6 で駆動周波数分の周波数成分を抽出し、ステップ S7 で振幅値及び位相差を算出し、ステップ S8 で算出した振幅値及び位相差の補正を行う。

【0041】そして、ステップ S9 で 8 個の前記 ADC 38k からの信号（以下、チャンネル：CH とも記す）の検出が全て終了したか判断し、終了していなければステップ S3 に戻り、終了していればステップ S10 でセンスコイル特性に応じて全 CH 分の振幅値を補正し、ステップ S11 で全 CH 分の振幅値及び位相差により後述

する方法によりソースコイル14iの推定位置座標を算出する。

【0042】その後、ステップS12で内視鏡システム1のシステム終了SWがオンかどうか判断し、オンでないならば、ステップS13で後述する内視鏡形状検出イメージ画像表示処理を行い、ステップS3に戻り処理を繰り返す。また、ステップS12で内視鏡システム1のシステム終了SWがオンされると、ステップS14で各システムパラメータをパラメータファイルに保存した後、システムを終了する。

【0043】ステップS5でのFFT処理では、図7に示すように、CPU32は、ステップS21で全CHがシグナル状態（FFTポイント数分のデータが揃った状態）かどうか判断し、シグナル状態ならばステップS22に進み、シグナル状態でないならばステップS23でシグナル状態になるまで待機しステップS22に進む。

【0044】ステップS22では、FFT処理を行うCHのビットの状態（ビットが0ならば今回処理のためのデータ、ビットが1ならば処理済みのデータ）を判断し、ビットが0ならばステップS24でFFTを行い、FFT後ステップS25でビットの状態を1とする。ステップS22でビットが1ならばステップS21に戻り、次の第2以降のCH全てに対して処理を繰り返し全てのCHのFFT処理を行う。

【0045】ステップS25後のステップS26では、全てのCHのビット状態が1かどうか判断し、全てのCHのビット状態が1でない場合は、ビット状態が1でないCHに対してFFT処理を行うためにステップS21に戻る。ステップS26で全てのCHのビット状態が1と判断すると、ステップS27で全CHをノンシグナル状態とし待機し、FFTポイント数分のデータが揃うとステップS28でシグナル状態にセットし、ステップS21に戻る。

【0046】なお、図6の処理では、高速処理を行うために、図8に示すように、各処理単位を並列処理化するようにしている。特に、処理時間が長く繰り返し演算であるFFTについては、同じ処理単位をほぼ同時に処理する構成にしている。この並列処理化の対応によりCPU32の空き時間を有効に使用し高速化を図っている。

【0047】上述したように、CPU32において、フーリエ変換に基づく周波数抽出処理を実現する。ここでは、各ソースコイル14iを駆動する正弦波の周波数 $f_i$ とデジタルデータの打ち切り幅との関係により生ずる漏れ（leakage）と呼ばれる現象が問題となる。

【0048】もし、サンプリングするデジタルデータの打ち切り幅（すなわち、信号列の長さに相当する）がすべての駆動周波数 $f_i$ の周期に対して整数倍であれば、各周波数の正弦波の振幅及び位相情報（いわゆる振幅スペクトル及び位相スペクトル）を正確に求めることが可能である。しかし、打ち切り幅が少なくともいずれか1\*50

\*つの駆動周波数 $f_i$ の周期に対して整数倍でなければ漏れが発生し、算出する振幅及び位相情報に誤差として反映される。これを防ぐため、一般的にはHamming窓等による窓関数法が用いられる（参考文献：THE FAST FOURIER TRANSFORM E. ORAN BRIGHAM Sec. 6）。

【0049】しかしながら、前記窓関数法はあくまで漏れによる誤差を軽減しているものであるにすぎない。また、駆動周波数として漏れの影響がなるべく小である値を使用する必要があり、これが制約となる場合もある。

【0050】以下に図6のステップS6における、漏れによる影響を簡便な行列演算により積極的に補正し、より高精度な振幅及び位相情報を得ることを可能とする周波数抽出処理について説明する。

【0051】なお、簡単のため、フーリエ変換結果に対する正規化及び窓関数（矩形窓等）に対する係数倍での補償はすでになされているものとする。

【0052】ある周波数 $f_k$ の正弦波からなる信号列のフーリエ変換（ここでは複素離散的フーリエ変換とする） $F_k$ は

【数1】

$$F_k = \sum_{n=0}^{N-1} f_n e^{-j2\pi kn/N} \quad \dots(1)$$

で表される。ここで、Nはサンプリングした離散信号列の長さ、jは虚数単位である。 $F_k$ は実数倍 $\text{Re}\{F_k\}$ 及び虚数倍 $\text{Im}\{F_k\}$ からなっている。

【0053】一方、前述したデジタルデータの打ち切り幅が駆動周波数 $f_i$ の周期の整数倍であるという条件は、離散的フーリエ変換により観測される周波数 $f_{s_i}$ と駆動周波数 $f_i$ とが等しいということに相当する。この条件が満たされない場合には、観測周波数 $f_{s_i}$ と駆動周波数 $f_i$ との間に誤差が生ずる（すなわち、周波数 $f_i$ は観測できない）こととなる。もしすべての観測周波数 $f_{s_i}$ と駆動周波数 $f_i$ とが等しい関係にあれば、打ち切り幅はすべての駆動周波数 $f_i$ の周期に対して整数倍となっているため漏れは発生しない。

【0054】ここでは、観測周波数 $f_{s_i}$ において得られたフーリエ変換 $F_{s_i}$ から本来求めるべき駆動周波数 $f_i$ のフーリエ変換 $F_i$ を導出する方法について示す。

【0055】サンプリングしたデジタルデータによる信号列が、それぞれ駆動周波数 $f_i$ （ $i = 1, 2, \dots, M$ ）であるM個の正弦波により構成されている場合、観測周波数 $f_{s_i}$ 及び駆動周波数 $f_i$ の各フーリエ変換の関係は、

【数2】

$$\begin{bmatrix} \text{Re}\{Fs_1\} \\ \text{Im}\{Fs_1\} \\ \text{Re}\{Fs_2\} \\ \text{Im}\{Fs_2\} \\ \vdots \\ \text{Re}\{Fs_M\} \\ \text{Im}\{Fs_M\} \end{bmatrix} = A \cdot \begin{bmatrix} \text{Re}\{F_1\} \\ \text{Im}\{F_1\} \\ \text{Re}\{F_2\} \\ \text{Im}\{F_2\} \\ \vdots \\ \text{Re}\{F_M\} \\ \text{Im}\{F_M\} \end{bmatrix} \quad \dots(2)$$

と表すことができる。式(2)において、 $A$ は、 $\text{Re}\{F_1\}$ 、 $\text{Im}\{F_1\}$ 、 $\text{Re}\{F_M\}$ 、 $\text{Im}\{F_M\}$ の間における漏れの量を規定する係数列から構成される大きさ $2M \times 2M$ の行列である。

【0056】ここで、式(2)をあらためて

$$Y = A \cdot X \quad \dots(3)$$

とする。式(3)において、行列 $X$ 及び $Y$ は、それぞれ駆動周波数 $f_i$ 及び観測周波数 $f_{s_i}$  ( $i = 1, 2, \dots, M$ )のフーリエ変換の実数倍及び虚数部からなる大

きさ $2M \times 1$ の行列である。行列 $X$ において、

【数4】

$$X = X_1 = [1, 0, 0, 0, \dots, 0, 0, 0]^T \quad \dots(4)$$

( $t$ は転置を表す)となるのは、信号列が駆動周波数 $f_1$ のみに構成されている場合である。また、 $f_1$ 、位相が $\pi/2$ ずれた振幅1の正弦波(すなわち余弦波)のみにより構成されている場合である。

$$X = X_2 = [0, 1, 0, 0, \dots, 0, 0, 0]^T \quad \dots(5)$$

となるのは、信号列が駆動周波数 $f_1$ 、位相が0である正弦波のみに構成されている場合である。

$$X = X_3 = [0, 0, 1, 0, \dots, 0, 0, 0]^T,$$

$$X = X_4 = [0, 0, 0, 1, \dots, 0, 0, 0]^T,$$

$\vdots$

$$X = X_{2M-1} = [0, 0, 0, 0, \dots, 0, 1, 0]^T,$$

$$X = X_{2M} = [0, 0, 0, 0, \dots, 0, 0, 1]^T \quad \dots(6)$$

は信号列としてそれぞれ駆動周波数 $f_i$  (ここでは $i = 2, 3, \dots, M$ )、位相のずれが $\pi/2$ または0である振幅1の正弦波を与えることにより発生するものである。

【0058】一方、行列 $X_1, X_2, \dots, X_{2M}$ をそれぞれ式(3)に与えたときに得られる行列 $Y$ をそれぞれ $Y_1, Y_2, \dots, Y_{2M}$ とする。行列 $Y_1$ ないし $Y_{2M}$ は、それぞれ本来行列 $X_1$ ないし $X_{2M}$ とし

$$A = [Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_{2M}] \quad \dots(7)$$

であることがわかる。

【0059】以上をまとめると、駆動周波数 $f_i$ のフーリエ変換 $F_i$  (本来、振幅及び位相情報の算出に用いられるべき周波数抽出情報)からなる行列 $X$ は、

$$\text{【数8】 } X = A^{-1} \cdot Y \quad \dots(8)$$

として示される、観測周波数 $f_{s_i}$ のフーリエ変換 $F_{s_i}$ からなる行列 $Y$ に対する行列 $A$ の逆行列 $A^{-1}$ の乗算により求められ、行列 $A$ は前述のように行列 $X = X_1, X_2, X_3, \dots, X_{2M}$ となるべき信号列を与えたときそれぞれ得られる行列 $Y = Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_{2M}$ から構成することが可能である。

【0060】したがって、あらかじめ求めた行列 $A$ の逆行列 $A^{-1}$ を、信号列のフーリエ変換から得られる行列 $Y$ に乗ずることで、より正確な周波数情報の抽出が可能となり、ひいてはソースコイル14iに対する高精度な位置推定が達成できる。

【0061】また、フーリエ変換及び行列 $A^{-1}$ の乗算

で得られるはずの信号列によるデジタルデータを与えたときの、漏れ(この場合、行列 $X$ において0となる項に0以外の値が生ずる、1であるべき値が他の値となる等)をとともなう観測値である。これらの行列 $Y = Y_1, Y_2, \dots, Y_{2M}$ は行列 $A$ の各列を構成する項に他ならないため、

【数7】

を同時に実行する大きさ $2M \times N$ の行列 $Q$ を作成しておき、長さ $N \times 1$ のデジタルデータに直接乗ずることにより行列 $X$ を求めることも可能である。

【0062】これにより、内視鏡形状検出装置におけるソースコイル位置推定の高精度化が達成されるとともに、駆動周波数の選択における自由度が向上する。

【0063】次に、図6のステップS11でのソースコイル推定位置座標算出処理について説明する。まず、ソースコイル推定位置座標の算出方法を説明し、その後に具体的な処理内容を説明する。

【0064】図9に示すように、半径が極めて小さく薄い円形コイルでは、特開平9-84745号公報に記載されているように、円形コイルに電流を流すと磁気双極子と同様に、3次元空間上の点Pの磁位は次のような形で表すことができる。

【0065】

【数9】

$$U_P = \frac{\mu N_1 \pi a^2}{4\pi\mu} \frac{z}{(x^2 + y^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} \quad \dots(9)$$

$\mu$  : 透磁率

$N_1$  : 円形コイルの巻数

$a$  : 円形コイルの半径

$I$  : 円形コイルに流れる電流

\*従って、点PにおけるX, Y, Z軸と同一方向の磁界

( $H_{Px}$ ,  $H_{Py}$ ,  $H_{Pz}$ )は、

【数10】

$$\begin{aligned} H_{Px} &= -\frac{\partial U_P}{\partial x} = \frac{IN_1 a^2}{4} \frac{3xz}{(x^2 + y^2 + z^2)^{\frac{5}{2}}} = k_g \frac{3xz}{r^5} \\ H_{Py} &= -\frac{\partial U_P}{\partial y} = \frac{IN_1 a^2}{4} \frac{3yz}{(x^2 + y^2 + z^2)^{\frac{5}{2}}} = k_g \frac{3yz}{r^5} \\ H_{Pz} &= -\frac{\partial U_P}{\partial z} = \frac{IN_1 a^2}{4} \frac{2z^2 - x^2 - y^2}{(x^2 + y^2 + z^2)^{\frac{5}{2}}} = k_g \frac{2z^2 - x^2 - y^2}{r^5} \quad \dots(10) \end{aligned}$$

のように求められる。

【0066】図10に示すような3次元空間(以下ワールド座標系 $X_w$  -  $Y_w$  -  $Z_w$ )において、磁界を発生する単心コイル(以下ソースコイル)の位置を( $x_{gw}$ ,  $y_{gw}$ ,  $z_{gw}$ )とし、3次元空間上の任意の位

\*置を点P( $x_{pw}$ ,  $y_{pw}$ ,  $z_{pw}$ )とする。

【0067】ソースコイルを基準とした座標系をローカル座標系 $X_L$  -  $Y_L$  -  $Z_L$ とすると、ローカル座標系における点Pの座標( $x_{pl}$ ,  $y_{pl}$ ,  $z_{pl}$ )は

\*20 【数11】

$$\begin{pmatrix} x_{pl} \\ y_{pl} \\ z_{pl} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_{00} & R_{10} & R_{20} \\ R_{01} & R_{11} & R_{21} \\ R_{02} & R_{12} & R_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{pw} - x_{gw} \\ y_{pw} - y_{gw} \\ z_{pw} - z_{gw} \end{pmatrix} \quad \dots(11)$$

$P_L$  : ローカル座標系における原点Oから点Pへのベクトル

$P_w$  : ワールド座標系における原点Oから点Pへのベクトル

$G_w$  : ワールド座標系におけるソースコイルの位置へのベクトル

R : 回転マトリックス

と表すことができる。

【0068】但し、Rは回転マトリックスで、図11に示す極座標系の回転マトリックスRは

【数12】

$$R = \begin{pmatrix} R_{00} & R_{01} & R_{02} \\ R_{10} & R_{11} & R_{12} \\ R_{20} & R_{21} & R_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \cos \beta & \sin \alpha \sin \beta \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \cos \beta & \cos \alpha \sin \beta \\ 0 & -\sin \beta & \cos \beta \end{pmatrix} \quad \dots(12)$$

となる。は $Z_w$ 軸を中心とした回転量を、は $X_w$ 軸を中心とした回転量を示す。

において、点Pに発生する磁界 $H_L$ ( $H_{PxL}$ ,  $H_{PyL}$ ,  $H_{PzL}$ )は式(10)より

【0069】ソースコイルを基準としたローカル座標系 【数13】



$$\begin{aligned}
 H_{PxI} &= \frac{k_g}{r^5} 3x_{Pl}z_{Pl} \\
 H_{PyI} &= \frac{k_g}{r^5} 3y_{Pl}z_{Pl} \\
 H_{PzI} &= \frac{k_g}{r^5} (2z_{Pl}^2 - x_{Pl}^2 - y_{Pl}^2) \quad \dots(13)
 \end{aligned}$$

となる。

【0070】従って、ワールド座標系の点PにおけるX、Y、Z軸と同一方向の磁界H<sub>w</sub> (H<sub>w</sub>、H<sub>yw</sub>、H<sub>zw</sub>)は、  
【数14】

$H_w = RH_i$

$$\begin{aligned}
 H_{PxW} &= \frac{k_g}{r^5} [\{2(x_{PW} - x_{gW})^2 - (y_{PW} - y_{gW})^2 - (z_{PW} - z_{gW})^2\} \sin \alpha \sin \beta \\
 &\quad + 3(y_{PW} - y_{gW})(x_{PW} - x_{gW}) \cos \alpha \sin \beta \\
 &\quad + 3(z_{PW} - z_{gW})(x_{PW} - x_{gW}) \cos \beta] \\
 H_{PyW} &= \frac{k_g}{r^5} [3(x_{PW} - x_{gW})(y_{PW} - y_{gW}) \sin \alpha \sin \beta \\
 &\quad + \{2(y_{PW} - y_{gW})^2 - (z_{PW} - z_{gW})^2 - (x_{PW} - x_{gW})^2\} \cos \alpha \sin \beta \\
 &\quad + 3(z_{PW} - z_{gW})(y_{PW} - y_{gW}) \cos \beta] \\
 H_{PzW} &= \frac{k_g}{r^5} [3(x_{PW} - x_{gW})(z_{PW} - z_{gW}) \sin \alpha \sin \beta \\
 &\quad + 3(y_{PW} - y_{gW})(z_{PW} - z_{gW}) \cos \alpha \sin \beta \\
 &\quad + \{2(z_{PW} - z_{gW})^2 - (y_{PW} - y_{gW})^2 - (x_{PW} - x_{gW})^2\} \cos \beta] \quad \dots(14)
 \end{aligned}$$

となる。

【0071】図12に示すように、ソースコイルを3次元空間上の適当な位置(X<sub>g</sub>、Y<sub>g</sub>、Z<sub>g</sub>)に、ソースコイルによって発生する磁界を起電力として検出す

るY軸上にY軸と同一な方向に向いた単心コイル(以下センスコイル)を位置(X<sub>d</sub>、Y<sub>d</sub>、Z<sub>d</sub>)におくとセンスコイルの位置の磁界H<sub>y</sub>は式(14)より  
【数15】

$$\begin{aligned}
 H_y &= \frac{k_g}{r^5} [3(x_d - x_g)(y_d - y_g) \sin \alpha \sin \beta \\
 &\quad + \{2(y_d - y_g)^2 - (z_d - z_g)^2 - (x_d - x_g)^2\} \cos \alpha \sin \beta \\
 &\quad + 3(z_d - z_g)(y_d - y_g) \cos \beta] \quad \dots(15)
 \end{aligned}$$

となる。

【0072】さらに、センスコイルに発生する起電力V<sub>y</sub>は、磁界H<sub>y</sub>を時間tで偏微分することにより、

次のような式で表される。

【0073】

【数16】

$$\begin{aligned}
V_y &= -\mu N_2 \pi b^2 \frac{d}{dt} H_y \\
&= -\mu N_2 \pi b^2 \frac{\omega I_{\max} \cos(\omega t + \varphi) N_1 a^2}{4r^5} [3(x_d - x_g)(y_d - y_g) \sin \alpha \sin \beta \\
&\quad + \{2(y_d - y_g)^2 - (z_d - z_g)^2 - (x_d - x_g)^2\} \cos \alpha \sin \beta \\
&\quad + 3(z_d - z_g)(y_d - y_g) \cos \beta] \\
&= \frac{k_s}{r^5} [3(x_d - x_g)(y_d - y_g) \sin \alpha \sin \beta \\
&\quad + \{2(y_d - y_g)^2 - (z_d - z_g)^2 - (x_d - x_g)^2\} \cos \alpha \sin \beta \\
&\quad + 3(z_d - z_g)(y_d - y_g) \cos \beta] \quad \dots(16)
\end{aligned}$$

$N_2$  : センスコイルの巻数

$I_{\max} \cos(\omega t + \varphi)$  : ソースコイルに流す電流  
 $I_{\max} \sin(\omega t + \varphi)$  を時間  $t$  で微分した値

また、図13に示すように、Y軸を中心に円を描き、ソースコイルを円周に沿って移動させたとき、センスコイルには常に一定の起電力が発生する。ただし、Y軸より見たセンスコイルの向きは常に同一とする。

\*【0074】このとき、センスコイルをY軸上に複数並べるにより、ソースコイルが存在する空間、すなわち、Y軸を中心とした円を推定することができる。

【0075】図14に示すように、Y軸上に4つのセンスコイルを置き、Y軸とソースコイルの位置によって構成される平面の座標系をX'-Y'とすると、各センスコイルに発生する起電力 $V_{yi}$ は

【数17】

$$V_{yi} = \frac{k_{si}}{r_i^5} [3(x_{di} - x_g')(y_{di} - y_g')g_x + \{2(y_{di} - y_g')^2 - (x_{di} - x_g')^2\}g_y] \quad \dots(17)$$

となる。ただし、 $g_x$ 、 $g_y$  は平面とソースコイルの向きによって表される項、 $x_{di}$ 、 $y_{di}$  は座標系X'-Y'でのセンスコイルの位置、 $x_g'$ 、 $y_g'$  はソースコイルの位置を表す。

【0076】式(17)が4つの未知数( $g_x$ 、 $g_y$ 、 $x_g'$ 、 $y_g'$ )によって表されることから、Y軸上に同一な向きに少なくとも4つセンスコイル並べることにより4つの方程式が得られ、方程式を解くことによって座標系X'-Y'でのソースコイルの位置が求められる。

【0077】詳細には、図15に示すように、3次元空間上に磁界を発生するソースコイルを適当な位置に、Y\*

\*軸上に4つのセンスコイルを置く。ソースコイルと4つのセンスコイルによって構成される平面をX'-Y'平面とし、そのときのソースコイルの位置を( $x_g$ 、 $y_g$ )、各センスコイルの位置を( $x_{d0}$ 、 $y_{d0}$ )、( $x_{d1}$ 、 $y_{d1}$ )、( $x_{d2}$ 、 $y_{d2}$ )、( $x_{d3}$ 、 $y_{d3}$ )とする。

【0078】各センスコイル $C_{s0}$ 、 $C_{s1}$ 、 $C_{s2}$ 、 $C_{s3}$ に発生する起電力 $V_{y0}$ 、 $V_{y1}$ 、 $V_{y2}$ 、 $V_{y3}$ は、式(17)より次のようになる。

【0079】

【数18】

$$V_{y0} = \frac{k_{s0}}{r_0^5} [3(x_{d0} - x_g)(y_{d0} - y_g)g_x + \{2(y_{d0} - y_g)^2 - (x_{d0} - x_g)^2\}g_y] \quad \dots(18)$$

【数19】

$$V_{y1} = \frac{k_{s1}}{r_1^5} [3(x_{d1} - x_g)(y_{d1} - y_g)g_x + \{2(y_{d1} - y_g)^2 - (x_{d1} - x_g)^2\}g_y] \quad \dots(19)$$

【数20】

$$V_{y2} = \frac{k_{s2}}{r_2^5} [3(x_{d2} - x_g)(y_{d2} - y_g)g_x + \{2(y_{d2} - y_g)^2 - (x_{d2} - x_g)^2\}g_y] \quad \dots(20)$$

【数21】

$$V_{y3} = \frac{k_{s3}}{r_3^5} [3(x_{d3} - x_g)(y_{d3} - y_g)g_x + \{2(y_{d3} - y_g)^2 - (x_{d3} - x_g)^2\}g_y] \quad \dots(21)$$

ただし、 $k_{si}$  ( $i = 0, 1, 2, 3$ ) は、ソースコイルの電流量と、各センスコイルの巻数等により決定される定数。 \*【0080】式(19)、(20)を行列で表すと

$$\begin{pmatrix} V_{y1} \\ V_{y2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{k_{s1}}{r_1^5} 3(x_{d1} - x_g)(y_{d1} - y_g) & \frac{k_{s1}}{r_1^5} \{2(y_{d1} - y_g)^2 - (x_{d1} - x_g)^2\} \\ \frac{k_{s2}}{r_2^5} 3(x_{d2} - x_g)(y_{d2} - y_g) & \frac{k_{s2}}{r_2^5} \{2(y_{d2} - y_g)^2 - (x_{d2} - x_g)^2\} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} g_x \\ g_y \end{pmatrix} \quad \dots(22)$$

となり、センスコイルとソースコイルの位置で表される項を行列Aで表す。

\*クラメルの方程式から行列Aの逆行列 $A^{-1}$ を求めると

【0081】

【数24】

【数23】

$$\begin{pmatrix} V_{y1} \\ V_{y2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{00} & a_{01} \\ a_{10} & a_{11} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} g_x \\ g_y \end{pmatrix}$$

$$A = \begin{pmatrix} a_{00} & a_{01} \\ a_{10} & a_{11} \end{pmatrix} \quad \dots(23) \quad 30$$

$$A^{-1} = \frac{1}{a_{00}a_{11} - a_{01}a_{10}} \begin{pmatrix} a_{11} & -a_{01} \\ -a_{10} & a_{00} \end{pmatrix} \quad \dots(24)$$

となり、 $g_x$ 、 $g_y$  は次のように計算できる。

【数25】

【0082】

$$\begin{pmatrix} g_x \\ g_y \end{pmatrix} = \frac{1}{a_{00}a_{11} - a_{01}a_{10}} \begin{pmatrix} a_{11} & -a_{01} \\ -a_{10} & a_{00} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_{y1} \\ V_{y2} \end{pmatrix} \quad \dots(25)$$

逆行列 $A^{-1}$ を計算し、 $g_x$ 、 $g_y$  を式(18)、(21)に代入すると

【数26】

$$V_{y0} = \frac{K_1 R_1 (2Y_{02} + X_{02})(XY_{02} - XY_{20}) - K_2 R_2 (2Y_{01} + X_{01})(XY_{01} - XY_{10})}{R_0 (2Y_{12} + X_{12})(XY_{12} - XY_{21})} \quad \dots(26)$$

【数27】

$$V_{y3} = \frac{K_3 R_1 (2Y_{32} + X_{32})(XY_{32} - XY_{23}) - K_4 R_2 (2Y_{31} + X_{31})(XY_{31} - XY_{13})}{R_3 (2Y_{12} + X_{12})(XY_{12} - XY_{21})} \quad \dots(27)$$

となる。ただし、

$$\begin{aligned} K_1 &= \frac{k_{s0}}{k_{s1}} V_{y1} & K_2 &= \frac{k_{s0}}{k_{s2}} V_{y2} & K_3 &= \frac{k_{s3}}{k_{s1}} V_{y1} & K_4 &= \frac{k_{s3}}{k_{s2}} V_{y2} \\ R_0 &= r_0^5 & R_1 &= r_1^5 & R_2 &= r_2^5 & R_3 &= r_3^5 \\ X_{01} &= (x_{d0} - x_g)(x_{d1} - x_g) & X_{02} &= (x_{d0} - x_g)(x_{d2} - x_g) \\ X_{31} &= (x_{d3} - x_g)(x_{d1} - x_g) & X_{32} &= (x_{d3} - x_g)(x_{d2} - x_g) \\ Y_{01} &= (y_{d0} - y_g)(y_{d1} - y_g) & Y_{02} &= (y_{d0} - y_g)(y_{d2} - y_g) \\ Y_{31} &= (y_{d3} - y_g)(y_{d1} - y_g) & Y_{32} &= (y_{d3} - y_g)(y_{d2} - y_g) \\ X_{12} &= (x_{d1} - x_g)(x_{d2} - x_g) & Y_{12} &= (y_{d1} - y_g)(y_{d2} - y_g) \\ XY_{01} &= (x_{d0} - x_g)(y_{d1} - y_g) & XY_{10} &= (x_{d1} - x_g)(y_{d0} - y_g) \\ XY_{02} &= (x_{d0} - x_g)(y_{d2} - y_g) & XY_{20} &= (x_{d2} - x_g)(y_{d0} - y_g) \\ XY_{31} &= (x_{d3} - x_g)(y_{d1} - y_g) & XY_{13} &= (x_{d1} - x_g)(y_{d3} - y_g) \\ XY_{32} &= (x_{d3} - x_g)(y_{d2} - y_g) & XY_{23} &= (x_{d2} - x_g)(y_{d3} - y_g) \\ XY_{12} &= (x_{d1} - x_g)(y_{d2} - y_g) & XY_{21} &= (x_{d2} - x_g)(y_{d1} - y_g) \end{aligned} \quad \dots(28)$$

である。

【0083】式(26)、(27)は、 $x_g$ 、 $y_g$ を未知数とする非線形方程式となる。この2つの非線形方程式に対し、ニュートン法を適用し $x_g$ 、 $y_g$ を求める。

$$f_1(X_g, Y_g) = V_{y0} - V_{y0}' \quad \dots(29)$$

【数30】

$$f_2(X_g, Y_g) = V_{y3} - V_{y3}' \quad \dots(30)$$

となる。式(29)、(30)において、センスコイルに発生する起電力 $V_{y0}'$ 、 $V_{y3}'$ が正確に測定され、推定値 $V_{y0}$ 、 $V_{y3}$ の $x_g$ 、 $y_g$ がソースコイルの位置と完全に一致した場合、式(29)、(30)の右辺の値は0になる。

【0085】そこで、ソースコイルの位置を推定するために、 $f_1 = 0$ 、 $f_2 = 0$ を満たす $x_g$ 、 $y_g$ を求める。

30 【0084】実際にセンスコイルに発生する起電力を $V_{y0}'$ 、 $V_{y3}'$ 、式(26)、(27)の $V_{y0}$ 、 $V_{y3}$ を推定値とすると、それぞれの差分値は  
【数29】

【0086】 $f_1$ 、 $f_2$ を $x_g$ 、 $y_g$ で偏微分すると、ヤコビ行列Jは

40 【数31】

$$J = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_g} & \frac{\partial f_1}{\partial y_g} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_g} & \frac{\partial f_2}{\partial y_g} \end{pmatrix} \quad \dots(31)$$

となる。

【0087】ヤコビ行列Jの逆行列 $J^{-1}$ をクラメル  
の方程式から求め、行列Cとおく。

【0088】

【数32】

$$J^{-1} = \begin{pmatrix} C_{00} & C_{01} \\ C_{10} & C_{11} \end{pmatrix} \quad \dots(32)$$

$$x_{g1} = x_{g0} - \{ c_{00} f_1(x_{g0}, y_{g0}) + c_{01} f_2(x_{g0},$$

$$y_{g0}) \} \quad \dots(33)$$

$$y_{g1} = y_{g0} - \{ c_{10} f_1(x_{g0}, y_{g0}) + c_{11} f_2(x_{g0},$$

$$x_{g0}) \} \quad \dots(34)$$

のように求めることができる。...

【0090】 $x_{g1}$ 、 $y_{g1}$ を式(29)、(30)に  
代入し、 $f_1$ 、 $f_2$ の値が0にならなければ式(3  
3)、(34)の $x_{g0}$ 、 $y_{g0}$ に $x_{g1}$ 、 $y_{g1}$ を代  
入し $x_{g2}$ 、 $y_{g2}$ を求め、再び $f_1$ 、 $f_2$ を計算  
する。この操作を繰り返すことにより、 $f_1$ 、 $f_2$   
が0に近づき、 $x_g$ 、 $y_g$ が求められる。

【0091】なお、ニュートン法によって非線形方程式  
を解いたが、最小2乗法等の手法を用いてもよい。

【0092】単心コイルを少なくとも4つ同一直線上に  
同一な向きに並べたセンスコイルの出力値から、セン  
スコイルとソースコイルにより構成される平面上のソ  
ースコイルの位置を推定することができる。すなわち、3  
次元空間においてソースコイルが存在する空間(円)が推  
定される。

【0093】従って、空間上に単心コイルを同一直線上  
に同一な向きに少なくとも4つ並べたセンスコイルを、  
少なくとも2つ配置することにより、ソースコイルの3  
次元位置を推定することができる(空間上の2つの円  
の交点として求められる)。

【0094】センスコイル22kは4つの単心コイルに  
よって構成されており、次に、センスコイルの4つの単

$$C_1 : (x - a_1)^2 + y^2 + z^2 = r_1^2 \quad \dots(3$$

5

【数36】

)

$$C_2 : x^2 + (y - b_2)^2 + z^2 = r_2^2 \quad \dots(3$$

6

となる。

【0099】一方、図17に示すように、任意の点P  
( $x_1$ 、 $y_1$ 、 $z_1$ )から平面 $y = b_2$ に垂直に下  
ろしたときの点Qの座標は

\*ニュートン法は

$$^{(k+1)} = ^{(k)} - ^{(k)}$$

で定義される非線形方程式 $f(^{(k)}) = 0$ の反復解法であ  
り、修正量 $^{(k)}$ を $f(^{(k)})$ の $^{(k)}$ 付近  
での線形近似に基づいて定める。

【0089】

$$^{(k)} = J^{-1}(^{(k)}) f(^{(k)})$$

いま、 $x_g$ 、 $y_g$ の適当な初期値を $x_{g0}$ 、 $y_{g0}$   
とすると $x_g$ 、 $y_g$ の近似値 $x_{g1}$ 、 $y_{g1}$ は

10 【数33】

\*

20 \*心コイルのうち最大出力値を発生する単心コイルの出力  
値を取り出し、各センスコイルの最大出力値の大きい2  
つのセンスコイルを選択する。

【0095】選択された2つのセンスコイルの配置の条  
件、すなわち、直交または平行に応じてソースコイルの  
3次元位置を推定する。

【0096】本実施の形態では、空間上の2つの円の交  
点または2つの円周上の点を結ぶ距離が最も短くなる各  
円周上の点を求める(ノイズ等により2つの円が交点を  
もたない場合がある)。

【0097】まず、選択された2つのセンスコイルが直  
交して配置された場合について説明する。図16に示す  
ように、ソースコイルを適当な位置に、センスコイルを  
X軸、Y軸上にそれぞれおくと、各センスコイルの出力  
値からソースコイルが存在する円 $C_1$ 、 $C_2$ が求めら  
れる。

【0098】 $C_1$ が平面 $x = a_1$ 上に存在し中心( $a_1$ 、 $0$ 、 $0$ )、半径 $r_1$ の円、 $C_2$ が平面 $y = b_2$   
上に存在し中心( $0$ 、 $b_2$ 、 $0$ )、半径 $r_2$ の円  
とすると、

【数35】

$$(x_1, b_2, z_1)$$

である。

【0100】点Qと円 $C_2$ の中心( $0$ 、 $b_2$ 、 $0$ )を  
50 通過する平面 $y = b_2$ 上に存在する直線mは実変数t

を用いて

【数37】

$$x = x_1 + t x_1$$

$$y = b_2$$

$$(x_1 + t x_1)^2 + (z_1 + t z_1)^2 = r_2^2 \quad \dots (3)$$

となり、 $t$ は次のようになる。

【0101】

【数39】

$$t = \pm \frac{r_2}{(x_1^2 + z_1^2)^{\frac{1}{2}}} - 1 \quad \dots (39)$$

直線 $m$ と円 $C_2$ の交点は2点存在するが、ここでは、 $t > 0$ の場合を考える。式(39)を式(37)に代入すると

【数40】

$$x = \frac{x_1 r_2}{(x_1^2 + z_1^2)^{\frac{1}{2}}}$$

$$y = b_2$$

$$z = \frac{z_1 r_2}{(x_1^2 + z_1^2)^{\frac{1}{2}}} \quad \dots (40)$$

となる。式(40)は、図17に示すように点 $P$ に最も近い円 $C_2$ 上の点 $P'$ を表す。

$$\begin{aligned} D &= \left\{ \frac{a_1 r_2}{(a_1^2 + r_1^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} - a_1 \right\}^2 + (b_2 - r_1 \cos \theta)^2 \\ &\quad + \left\{ \frac{r_1 r_2 \sin \theta}{(a_1^2 + r_1^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} - r_1 \sin \theta \right\}^2 \\ &= \left\{ r_2 - (a_1^2 + r_1^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}} \right\}^2 + (b_2 - r_1 \cos \theta)^2 \quad \dots (43) \end{aligned}$$

であり、(43)式を $\theta$ について微分すると

$$\frac{dD}{d\theta} = -2 \left\{ \frac{r_1 r_2 \cos \theta}{(a_1^2 + r_1^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} - b_2 \right\} r_1 \sin \theta \quad \dots (44)$$

となる。

【0104】式(44)を0にする条件は

$$\sin \theta = 0$$

(2円が交点を持たず、 $r_1 < a_1$  かつ  $r_1 < b_2$  または、 $r_1 < b_2$  または、 $r_2 < a_1$  の場合)

または

$$* z = z_1 + t z_1 \quad \dots (37)$$

と表される。式(35)を円 $C_2$ の方程式(36)に代入すると

\* 【数38】

\* 【0102】このとき、図18に示すように、点 $P(x_1, y_1, z_1)$ が円 $C_1$ 上にあるならば

【数41】

$$10 \quad x_1 = a_1$$

$$y_1 = r_1 \cos$$

$$z_1 = r_1 \sin \quad \dots (41)$$

であり、これを式(40)に代入して

【数42】

$$x = \frac{a_1 r_2}{(a_1^2 + r_1^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}}$$

$$y = b_2$$

$$20 \quad z = \frac{r_1 r_2 \sin \theta}{(a_1^2 + r_1^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} \quad \dots (42)$$

となる。

【0103】円 $C_1$ 上の点と円 $C_2$ の上の点の距離の2乗 $D$ は

【数43】

【数44】

【数45】

$$\frac{r_1 r_2 \cos \theta}{(a_1^2 + r_1^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} - b_2 = 0 \quad \dots (45)$$

である。

50 【0105】したがって、式(45)を満たす $\theta$ は、

【数46】

$$r_1 r_2 \cos \theta = b_2 (a_1^2 + r_1^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}$$

$$\cos^2 \theta = \frac{(b_2^2 a_1^2 + b_2^2 r_1^2)}{(r_1^2 r_2^2 + b_2^2 r_1^2)}$$

$$\theta = \cos^{-1} \left\{ \pm \sqrt{\frac{(b_2^2 a_1^2 + b_2^2 r_1^2)}{(r_1^2 r_2^2 + b_2^2 r_1^2)}} \right\} \quad \dots(46)$$

となり、式(46)および式(40)、(41)から各円 $C_1$ 、 $C_2$ の円周上の点の座標を求めることができる。

【0106】円 $C_1$ 上の点を $(x_{c1}, y_{c1}, z_{c1})$ 、円 $C_2$ の点を $(x_{c2}, y_{c2}, z_{c2})$ とすると、ソースコイルの位置 $(x_g, y_g, z_g)$ を例えば、各座標値の平均値として求める。

【0107】

【数47】

$$x_g = \frac{x_{c1} + x_{c2}}{2}$$

$$y_g = \frac{y_{c1} + y_{c2}}{2}$$

$$z_g = \frac{z_{c1} + z_{c2}}{2} \quad \dots(47)$$

したがって、単心コイルを同一直線上に同一な向きに4つ並べたセンスコイルを2つ用いることにより、空間上のソースコイルの位置を推定できる。

【0108】次に、選択された2つのセンスコイルが平行に配置された場合について説明する。図19に示すよ\*

【数52】

$$r_1 \sin \theta = r_2 \sin \theta \quad \dots(52)$$

式(52)の両辺を2乗すると

$$r_1^2 (1 - \cos^2 \theta) = r_2^2 (1 - \cos^2 \theta)$$

となり、式(51)を代入し整理する。

\*うに、各センスコイルを平行に並べるによりソースコイルの位置を推定する。いま、センスコイルにより得られる円 $C_1$ を

【数48】

$$x = a_1$$

$$y = b_1 + r_1 \cos \theta$$

$$z = r_1 \sin \theta \quad \dots(48)$$

また、円 $C_2$ を

【数49】

$$x = a_2$$

$$y = b_2 + r_2 \cos \theta$$

$$z = r_2 \sin \theta \quad \dots(49)$$

と表す。 $C_1$ 上の点を $P_1(x_1, y_1, z_1)$ 、 $C_2$ 上の点を $P_2(x_2, y_2, z_2)$ とすると、円 $C_1$ 、 $C_2$ 上の点が変わる又は最も接近するときの条件は

【数50】

$$y_1 = y_2 \text{ かつ } z_1 = z_2 \quad \dots(50)$$

となる。

30 【0109】条件式(50)に式(48)、(49)を代入し

【数51】

$$b_1 + r_1 \cos \theta = b_2 + r_2 \cos \theta \quad \dots(51)$$

【数52】

$$r_1 \sin \theta = r_2 \sin \theta \quad \dots(52)$$

式(52)の両辺を2乗すると

$$r_1^2 (1 - \cos^2 \theta) = r_2^2 (1 - \cos^2 \theta)$$

となり、式(51)を代入し整理する。

【数53】

【0110】

$$\cos \theta = \frac{r_2^2 - r_1^2 - (b_1 - b_2)^2}{2r_1(b_1 - b_2)}$$

$$\theta = \cos^{-1} \left\{ \frac{r_2^2 - r_1^2 - (b_1 - b_2)^2}{2r_1(b_1 - b_2)} \right\} \quad \dots(53)$$

式(48)と式(53)、式(49)と式(52)、(53)から、円 $C_1$ 、 $C_2$ の交点 $(a_1 = a_2)$ または最も接近する2点を求めることができる。

【0111】円 $C_1$ 、 $C_2$ 上の最も接近した2点が求

められた場合、直交して配置された場合で示したように、X軸方向の成分は平均をとることで1つの座標値を推定する(Y、Z軸方向の成分は、式(53)により1つ決定されている)。

50 【0112】次に、上述した方法に基づく、CPU32

における具体的なソースコイル推定位置座標算出処理について説明する。

【0113】図1に示したように、4つの単心コイルを同一直線上に同一な向きに並べたセンスコイル22jをベット4に4つ配置する。また、単心コイルを16個つなげたソースコイル14iのプロープ15を電子内視鏡6の鉗子チャンネル12から挿入する。

【0114】内視鏡形状検出装置3において、各ソースコイル14iに対応するセンスコイル22jに発生する電圧の最大振幅値と位相を求め、位相値から電圧の最大振幅値の±の極性を決定し、極性をもつ電圧値をセンスコイル22jの電圧値とする。

【0115】すなわち、CPU32は、図20に示すように、ステップS31とステップS32で初めに処理されるソースコイル14iとセンスコイル22jの順番の初期化を行う。つまり、ステップS31ではiに0をセットし、ステップS32ではjに0をセットする。

【0116】まず、第0番目のソースコイルと第0番目のセンスコイルが選ばれ、ステップS33において、第0番目のセンスコイルの4つの単心コイルに発生する電圧値 $V_{00}$ 、 $V_{01}$ 、 $V_{02}$ 、 $V_{03}$ が取り込まれる。そして、ステップS34にて、ステップS33で取り込まれた4つの電圧値の最大電圧値 $V_{max}[j]$ が検出される。

【0117】ステップS35は、すべてのセンスコイルの最大電圧値の検出が終了したかを検出し、終了していなければステップS36に進みjをインクリメントし、ステップS33へ戻る。

【0118】ステップS35が終了すると、ステップS37へ進み各センスコイルの絶対値の最大電圧値を比較し、大きい2つのセンスコイルを抽出する。

【0119】ステップS38では、ステップS37で抽出された2つのセンスコイルに対し、第0番目のソースコイルによって構成されるそれぞれの平面上でのソースコイルの2次元位置 $(x'_{g00}, y'_{g00})$ 、 $(x'_{g01}, y'_{g01})$ を求める。

【0120】ステップS39は、ステップS37で抽出された2つのセンスコイルの配置が直交しているか否かの判別し、直交している場合は図21のステップS40へ進み、そうでない場合は図21のステップS41へ進む。

【0121】図21に示すように、ステップS40では、2つのセンスコイルが直交した関係でのソースコイルが存在する円を算出し、ステップS41では、2つのセンスコイルが平行した関係でのソースコイルが存在する円を算出する。

【0122】ステップS42では、2つのセンスコイルの配置条件により算出された2つの円から、それぞれの円周上の点が最も接近する円周上の点を算出する。

【0123】そして、ステップS43にてステップS4

2で算出された2点から第0番目のソースコイルの3次元空間上の位置 $(x_{g0}, y_{g0}, z_{g0})$ を求め、ステップS44ですべてのソースコイルの3次元位置 $(x_{gi}, y_{gi}, z_{gi})$ が求められたかを検出し、すべてのソースコイルの3次元位置 $(x_{gi}, y_{gi}, z_{gi})$ が求められていない場合は、図20のステップS45でiをインクリメントしてステップS32に戻り、すべてのソースコイルの3次元位置 $(x_{gi}, y_{gi}, z_{gi})$ が求められるまで処理を繰り返して、処理を終了する。

【0124】従って、単心コイルを同一直線上に同一な向きに4つ並べたセンスコイルを4つ用いることにより、空間上のソースコイルの位置を推定できる。

【0125】なお、本実施の形態では、各センスコイルの最大電圧の絶対値の大きさから必要なセンスコイルを抽出したが、4つのセンスコイルのそれぞれとソースコイルによって構成される平面上のソースコイルの位置を推定し、ソースコイルとセンスコイルとの距離が近い(円の半径が小さい)2つのセンスコイルを検出し、ソースコイルの3次元位置を推定しても良い。

【0126】このように推定された空間上のソースコイルの位置は常時更新されるが、ソースコイルの位置に対して、図22に示す位置更新制御処理が行われる。すなわち、図22に示すように、例えば第0番目のソースコイルの空間上の位置(3次元位置)の座標を $(x_0, y_0, z_0)$ としたとき、ステップS51でこの3次元推定座標 $(x_0, y_0, z_0)$ を入力し、ステップS52でこの3次元推定座標 $(x_0, y_0, z_0)$ が1回目のソースコイル推定位置座標算出処理により得られた最初の3次元推定座標かどうか判断し、最初の3次元推定座標でないならば、ステップS53に進み、最初の3次元推定座標ならば、ステップS54に進む。

【0127】最初の3次元推定座標の場合、ステップS54で3次元推定座標 $(x_0, y_0, z_0)$ を前回3次元推定座標 $(x_b, y_b, z_b)$ として格納し、ステップS55で3次元推定座標 $(x_0, y_0, z_0)$ をソースコイル推定位置座標算出処理の出力とし処理を終了する。

【0128】次に、最初の3次元推定座標ではなく、2回目の処理により得られた3次元推定座標 $(x_0, y_0, z_0)$ について説明する。この場合も、ステップS51でこの3次元推定座標 $(x_0, y_0, z_0)$ を入力し、ステップS52でこの3次元推定座標 $(x_0, y_0, z_0)$ が1回目のソースコイル推定位置座標算出処理により得られた最初の3次元推定座標かどうか判断するが、最初の3次元推定座標でないで、ステップS53に進み、今回の3次元推定座標 $(x_0, y_0, z_0)$ と前回3次元推定座標 $(x_b, y_b, z_b)$ との差の絶対値が、所定の $x, y, z$ 座標の変動制限値 $x_s, y_s, z_s$ を越えていないかどうか判断し、越えていな



い場合には、最初の3次元推定座標と同様に、ステップS54で3次元推定座標( $x_0, y_0, z_0$ )を前回3次元推定座標( $x_B, y_B, z_B$ )として格納し、ステップS55で3次元推定座標( $x_0, y_0, z_0$ )をソースコイル推定位置座標算出処理の出力とし処理を終了する。

【0129】また、ステップS53で今回の3次元推定座標( $x_0, y_0, z_0$ )と前回3次元推定座標( $x_B, y_B, z_B$ )との差の絶対値が、所定の $x, y, z$ 座標の変動制限値 $x_s, y_s, z_s$ を越えていると判断すると、ステップS56に進み、前回3次元推定座標( $x_B, y_B, z_B$ )をソースコイル推定位置座標算出処理の出力とし処理を終了する。

【0130】このようにソースコイルの位置に対して、所定の $x, y, z$ 座標の変動制限値 $x_s, y_s, z_s$ により位置更新制御処理が行われる。

【0131】なお、図22においては、第0番目のソースコイルを例に説明したが、この処理は全てのソースコイルに対して行われる。

【0132】次に、図6のステップS13での内視鏡形状検出イメージ画像表示処理について説明する。

【0133】内視鏡形状検出イメージ画像表示処理は、図23に示すように、ステップS61でソースコイル推定位置座標算出処理より出力されたソースコイルの空間上の位置(3次元位置)の座標に基づき内視鏡形状モデルデータを構築する。そして、ステップS62で内視鏡装置形状検出装置3に設けられている入力部からの入力により、内視鏡形状モデルデータによる内視鏡形状モデルの描画モードを判別し、通常モードならばステップS63の通常モード処理を行い、拡大モードならばステップS64の拡大モード処理を行って処理を終了する。

【0134】そして、通常モード処理では、内視鏡装置形状検出装置3のモニタ25に、図24に示すような内視鏡形状モデルが表示される。

【0135】拡大モード処理は、図25に示すように、ステップS71で内視鏡形状モデルが表示されているモニタ25上(図24参照)において拡大する範囲を選択するため、操作パネル24を操作し、その範囲の例えば左上と右下の座標を取得する。そして、ステップS72で選択した左上と右下の座標が同じかどうか判断し、同じならば拡大範囲が決定できないため、ステップS71に戻り、選択した左上と右下の座標が同じでない場合には、ステップS73に進む。

【0136】ステップS73では、選択された範囲の中心に現在の内視鏡形状モデルの中心を移動させる。そして、ステップS74で選択された範囲がモニタ25の表示ウィンドと同じになるように拡大し処理を終了する。

【0137】これにより、モニタ25に図24のように表示されていた内視鏡形状モデルは、図26に示すように、拡大されてモニタ25に表示される。

【0138】また、内視鏡形状のイメージ画像を次のモデルから選択して表示することができる。すなわち、

(1) 3Dモデル1および3Dモデル2

(2) 2Dモデル

(3) 12点モデル

(4) 直線モデル

である。

【0139】3Dモデル1および3Dモデル2においては、3次関数曲線近似とナチュラルラインによる補間法、3次B-スプライン補間法あるいは2次B-スプライン補間法により、図27に示すように、ソースコイルの点座標から内視鏡形状の立体像を補間し、ソースコイルの任意の座標の2つのモデルの法線ベクトルを得る。

【0140】そして、図28に示すように、ステップS81で内視鏡形状モデルデータから、図29に示す面abcd、面cdefの順で面を描画し、ステップS82で各点に対してそれぞれの法線ベクトルを用いて面のシェーディング(スムーズシェーディング)を行い、内視鏡形状の立体イメージ画像を表示する。

【0141】次に、ステップS83で、モニタ25平面をXY平面としたときの奥行き方向Z軸座標を、立体感を向上させるためにグレースケールによる色調補正を行うかどうか判断し、行う場合にはステップS84により色調補正処理を行い、処理を終了する。

【0142】ステップS84の色調補正処理は、内視鏡装置形状検出装置3の計測範囲フルスケールで色調補正を行う第1の色調補正処理と、内視鏡形状モデルの存在領域フルスケールで色調補正を行う第2の色調補正処理とがある。

【0143】第1の色調補正処理は、図30に示すように、ステップS91で計測範囲の最大値及び最小値を取得し、ステップS92で内視鏡形状モデルデータから色調を算出し、ステップS93で算出された色調から表示できる色を求めて色調補正を行う。これにより図31に示すように、Z軸方向の計測範囲をフルスケールとして色調補正がなされる。

【0144】一方、第2の色調補正処理は、図32に示すように、ステップS95で内視鏡形状モデルの存在範囲の最大値及び最小値を取得し、ステップS96で内視鏡形状モデルデータから色調を算出し、ステップS97で算出された色調から表示できる色を求めて色調補正を行う。これにより図33に示すように、内視鏡形状モデルの存在範囲をフルスケールとして色調補正がなされる。つまり、第2の色調補正処理は、第1の色調補正処理に比べ内視鏡形状モデルに対して細かく色調補正を行うことになる。

【0145】内視鏡形状のイメージ画像の2Dモデルでは、図34に示すように、ステップS101でソースコイルの各座標を中心に円を描く(円は常に視点方向を向

いている)。そして、ステップS102で色調補正を行うかどうか判断し、行う場合にはステップS103により色調補正処理を行い処理を終了することで、モニタ25に図35に示すような内視鏡形状のイメージ画像を表示する。

【0146】また、内視鏡形状のイメージ画像の12点モデルでは、図36に示すように、ステップS105でソースコイルの全ての位置座標を線で結び、ステップS106で全ての点に×印を描き処理を終了することで、モニタ25に図37に示すような内視鏡形状のイメージ10 画像を表示する。

【0147】さらに、内視鏡形状のイメージ画像の直線モデルでは、図38に示すように、ステップS108でソースコイルの全ての位置座標を線で結び、ステップS109で全ての点に「黒塗り 印」を描き処理を終了することで、モニタ25に図39に示すような内視鏡形状のイメージ画像を表示する。

【0148】(効果)以上説明したように、本実施の形態では、3次元空間上に配置された複数のセンスコイルからソースコイルが存在する空間を精度良く推定してい20 るセンスコイルを選択し、ソースコイルの3次元位置を推定しているため、ソースコイルの正確な3次元位置を推定することができる。

【0149】第2の実施の形態：図40ないし図42は本発明の第2の実施の形態に係わり、図40はソースコイル推定位置座標算出処理の原理を説明する説明図、図41は図40のソースコイル推定位置座標算出処理の流れを示す第1のフローチャート、図42は図40のソースコイル推定位置座標算出処理の流れを示す第2のフローチャートである。

【0150】(構成)第2の実施の形態は、その構成は第1の実施の形態と同じであり、異なる点はソースコイルの3次元位置を推定する処理方法であるので、同じ符号をつけ説明は省略する。

【0151】(作用)1つのセンスコイルによって推定されるソースコイルの存在する円は、図15に示すように単心コイル $C_{s0} \sim C_{s2}$ と $C_{s1} \sim C_{s3}$ によって得られる2つの非線型方程式(26)、(27)を満たす点 $(x_g, y_g)$ をニュートン法により導き、点 $(x_g, y_g)$ から円の方程式として算出する。

【0152】ソースコイルとセンスコイルが接近した場合、図40に示すように、式(26)、(27)を満たす交点が複数存在し、推定系の初期値 $(x_{g0}, y_{g0})$ の値からそれらの交点の1つが求められる。

【0153】いま、図40において第2交点が求められたとすると、第2交点の座標値からソースコイルが存在する円が求められる。

【0154】求められた円を図18に示す円 $C_1$ とすると、他のセンスコイルから円 $C_2$ を求め、2つの円周上の最も近接する点P、P'を計算することによりソース 50

コイルの3次元位置を決定できる。

【0155】このとき、第2交点が正しい場合、点P、P'間の距離は0に近づき、正しくないときは点P、P'間の距離は離れることから、2組のセンスコイルによって推定される2つの円の円周上の点の距離が、最も短くなるようなセンスコイルの組み合わせを求め、得られた2つのセンスコイルからソースコイルの3次元位置を推定する。

【0156】図41、図42はソースコイルの3次元位置を推定する処理のフローを示す。

【0157】図41に示すように、ステップS120とステップS121は、ソースコイル14iとセンスコイル22jの順番の初期化を行う。

【0158】初めに、第0番目のソースコイルと第0番目のセンスコイルが選ばれ、ステップS122において、第0番目のセンスコイルの4つの単心コイルに発生する電圧 $V_{00}, V_{01}, V_{02}, V_{03}$ が取り込まれる。ステップS123では、ステップS122で取り込まれた4つの電圧全てが0[V]であるかを判別する。

【0159】ステップS123において、すべての電圧が0[V]の場合、ステップS128により第0番目のセンスコイルに対応するフラグを0にセットし、ステップS129でjをインクリメントし、ステップS122に戻り第1番目のセンスコイルの処理に移行する。

【0160】ステップS123において、全ての電圧が0[V]でない場合、ステップS124により第0番目のセンスコイルに対応するフラグを1にセットする。

【0161】ステップS125では、第0番目のセンスコイルと第0番目のソースコイルにより構成される平面上のソースコイルの位置 $(x_{g00}, y_{g00})$ を算出し、ステップS126でソースコイルが存在する円を推定する。

【0162】いま、第0番目のセンスコイルの処理が終了したことから、ステップS127によりステップS129の処理に移行し、ステップS129でjをインクリメントする。

【0163】ステップS127は、第0番目のソースコイルに対する全てのセンスコイルに処理が終了したこと検出し、図42のステップS131へ進む。

【0164】図42に示すように、ステップS131では、フラグが1にセットされたセンスコイルを抽出し、抽出された全てのセンスコイルの組み合わせに対し2つの円周上の点が最も接近する円周上の点と、その2点間の距離を算出する。

【0165】ステップS131で算出された距離が最も短くなるセンスコイルの組み合わせをステップS132で求め、ステップS133で、求められた2つのセンスコイルからソースコイルの3次元位置を算出する。

【0166】ステップS134は、全てのソースコイルに対して処理が行われたかを判別し、すべてのソースコ

イルに対して処理が行われていない場合は、図41のステップS130でiをインクリメントしてステップS121に戻り、すべてのソースコイルに対して処理が行われるまで処理を繰り返して、16個のソースコイルの3次元位置を求め、処理を終了する。

【0167】(効果)2組のセンスコイルによって推定された2つの円の円周上の点の距離から正しく円を推定したか判別できるため、センスコイルとソースコイルが近接した場合でも正しくソースコイルの3次元位置を推定できる。

【0168】第3の実施の形態：図43ないし図45は本発明の第3の実施の形態に係わり、図43はソースコイル推定位置座標算出処理を説明する説明図、図44は図43の角度θが直交した状態に近い2つセンスコイルによるソースコイル推定位置座標算出処理の流れを示す第1のフローチャート、図45は図43の角度θが直交した状態に近い2つセンスコイルによるソースコイル推定位置座標算出処理の流れを示す第2のフローチャートである。

【0169】(構成)第3の実施の形態は、その構成は第1の実施の形態と同じであり、異なる点はソースコイルの3次元位置を推定する処理方法であるので、同じ符号をつけ説明は省略する。

【0170】(作用)本実施の形態では、4つの単心コ

$$\mathbf{v}_0 = \left( \frac{\partial V_{y0}}{\partial x_g}, -\frac{\partial V_{y0}}{\partial y_g} \right) = (x_0, y_0) \quad \dots(56)$$

【数57】

$$\mathbf{v}_3 = \left( \frac{\partial V_{y3}}{\partial x_g}, -\frac{\partial V_{y3}}{\partial y_g} \right) = (x_3, y_3) \quad \dots(57)$$

と表される。それぞれの正規化したベクトルを

$$\mathbf{v}'_0 = (x'_0, y'_0) \quad \dots(58)$$

$$\mathbf{v}'_3 = (x'_3, y'_3) \quad \dots(59)$$

とすると、式(26)、(27)で表される曲線が交差する角度θは

$$\cos \theta = x'_0 x'_3 + y'_0 y'_3 \quad \dots(60)$$

となる。

【0173】図43に示すように、角度θが小さいと交差する位置がノイズによる影響を受けやすいことから、角度θが直交した状態に近いセンスコイルを2つ選び、ソースコイルの3次元位置を求める。

【0174】図44及び図45はソースコイルの3次元位置を推定する処理のフローを示す。

【0175】図44に示すように、ステップS140とステップS141はソースコイル14iとセンスコイル22jの順番の初期化を行い。

【0176】初めに、第0番目のソースコイルと第0番目のセンスコイルが選ばれ、ステップS142におい

\*イルによって構成されるセンスコイルが推定する円が、精度良く求められているかの判断を2つの曲線の交差条件から求め、その結果に応じて2つのセンスコイルを選び出し、ソースコイルの3次元位置を推定する。

【0171】1つのセンスコイルによって推定されるソースコイルの存在する円は、図15に示すように単心コイル $C_{s0} \sim C_{s2}$ と $C_{s1} \sim C_{s3}$ によって得られる2つの非線型方程式(26)、(27)を満たす点 $(x_g, y_g)$ をニュートン法により求める。

10 【0172】このとき、式(26)、(27)の $x_g, y_g$ の偏微分を

$$\left[ \frac{\partial V_{y0}}{\partial x_g}, \frac{\partial V_{y0}}{\partial y_g} \right] \quad \dots(54)$$

$$\left[ \frac{\partial V_{y3}}{\partial x_g}, \frac{\partial V_{y3}}{\partial y_g} \right] \quad \dots(55)$$

とおき、 $y_g$ を $x_g$ の関数とすると、位置 $(x_g, y_g)$ における式(26)、(27)で表される曲線の接線方向のベクトルは

【数56】

て、第0番目のセンスコイルの4つの単心コイルに発生する電圧 $V_{00}, V_{01}, V_{02}, V_{03}$ が取り込まれる。

ステップS143では、ステップS142で取り込まれた4つの電圧全てが0[V]であるかを判別する。

【0177】ステップS143において、すべての電圧が0[V]の場合、ステップS150により第0番目のセンスコイルに対応するフラグを0にセットし、ステップS149でjをインクリメントし、ステップS142に戻り第1番目のセンスコイルの処理に移行する。

【0178】ステップS143において、全ての電圧が0[V]でない場合、ステップS144により第0番目のセンスコイルに対応するフラグを1にセットする。

37

【0179】ステップS145では、第0番目のセンスコイルと第0番目のソースコイルにより構成される平面上のソースコイルの位置 $(x_{g00}, y_{g00})$ を算出し、ステップS146で位置 $(x_{g00}, y_{g00})$ で2つの曲線が交差する時の角度を求める。

【0180】いま、第0番目のセンスコイルの処理が終了したことから、ステップS147によりステップS149の処理に移行し、ステップS149でjをインクリメントする。

【0181】ステップS147は、第0番目のソースコイルに対する全てのセンスコイルに処理が終了したこと検出し、ステップS151へ進む。

【0182】ステップS151では、フラグが1にセットされたセンスコイルを抽出し、抽出されたセンスコイルのうち交差する角度が直交した状態に近い2つのセンスコイルを選択する。

【0183】そして、図45に示すように、ステップS152は、ステップS151で選択された2つのセンスコイルの配置の状態が直交しているかを検出し、直交していれば、ステップS40へ進み、それ以外はステップS41へ進む。

【0184】ステップS40から処理が終了するまでの処理は、第1の実施の形態で説明した通りである(図20及び図21参照)。

【0185】(効果)本実施の形態では、4つの単心コイルによって構成される複数のセンスコイルからノイズ等の影響の少ない2つのセンスコイルが選択されるため、ソースコイルの3次元位置を精度良く推定できる。

【0186】第4の実施の形態：図46及び図47は本発明の第4の実施の形態に係わり、図46は3次元空間上に磁界を発生するソースコイルの配置の一例を示す図、図47は図46の配置に対する第4の実施の形態のソースコイルの配置を説明する図である。

【0187】(構成)第4の実施の形態は、その構成は第1の実施の形態と同じであり、異なる点はセンスコイルの数と配置、ソースコイルの3次元位置を推定する処理方法であるので、同じ符号をつけ説明は省略する。

【0188】(作用)本実施の形態では、複数の単心コイルを4つ組み合わせたセンスコイルによって、ソースコイルの3次元位置を求めるのではなく、複数の単心コイルを3次元空間に配置し、それぞれの単心コイルに発生する電圧からソースコイルの3次元位置を推定する。

【0189】図46に示すように、3次元空間XYZ上に磁界を発生する1つのソースコイルを位置 $(x_g, y_g, z_g)$ 、向き $(g_x, g_y, g_z)$ に配置した場合、適当な位置P $(x_d, y_d, z_d)$ に発生する磁界 $H_x, H_y, H_z$ は、式(14)から次のように表される。

【0190】

【数61】

$$\begin{pmatrix} H_x \\ H_y \\ H_z \end{pmatrix} = \frac{k_g}{r^5} \begin{pmatrix} 2(x_d - x_g)^2 - (y_d - y_g)^2 - (z_d - z_g)^2 \\ 3(x_d - x_g)(y_d - y_g) \\ 3(x_d - x_g)(z_d - z_g) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 3(z_d - z_g)(x_d - x_g) \\ 3(z_d - z_g)(y_d - y_g) \\ 2(z_d - z_g)^2 - (y_d - y_g)^2 - (x_d - x_g)^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} g_x \\ g_y \\ g_z \end{pmatrix} \quad \dots(61)$$

但し、 $k_g$ は定数、 $r$ はソースコイルと点Pとの距離であって、磁界 $H_x, H_y, H_z$ の向きはX, Y, Z軸と同一方向である。

【0191】点Pの位置に座標軸X, Y, Zと同一に向いた単心コイル $C_x, C_y, C_z$ が配置された場合、それぞれの単心コイル $C_x, C_y, C_z$ に発生する電圧 $V_x, V_y, V_z$ は

【数62】

$$\begin{pmatrix} g_x \\ g_y \\ g_z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 3(z_d - z_g)(x_d - x_g) \\ 3(z_d - z_g)(y_d - y_g) \\ 2(z_d - z_g)^2 - (y_d - y_g)^2 - (x_d - x_g)^2 \end{pmatrix} \dots (62)$$

$$\begin{pmatrix} 3(y_d - y_g)(x_d - x_g) \\ 2(y_d - y_g)^2 - (z_d - z_g)^2 - (x_d - x_g)^2 \\ 3(y_d - y_g)(z_d - z_g) \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 2(x_d - x_g)^2 - (y_d - y_g)^2 - (z_d - z_g)^2 \\ 3(x_d - x_g)(y_d - y_g) \\ 3(x_d - x_g)(z_d - z_g) \end{pmatrix} = \frac{k_s}{r^5} \begin{pmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{pmatrix}$$

$$r = \sqrt{(x_d - x_g)^2 + (y_d - y_g)^2 + (z_d - z_g)^2} \dots (63)$$

となる。ここで、X軸に向いた単心コイル $C_x$ は、コイルを構成する導線を巻くときの軸をX軸と同一方向にしたコイルであって、Y軸、Z軸と同一に向いた単心コイル $C_y$ 、 $C_z$ も同様なコイルである。

【0192】但し、 $k_s$ はソースコイル及びセンスコイルの大きさやコイルの巻数等により決定される定数、 $r$ はソースコイルとセンスコイルの距離

【数63】

10

20

30

である。

【0193】図47に示すように、本実施の形態では、単心コイルからなるセンスコイルを3次元空間上に複数配置し、具体的にはベット4において、中心のZ座標が第1のZ座標である例えばX軸に向いたセンスコイル101、102、103、104と、中心のZ座標が第1のZ座標と異なる第2のZ座標であるY軸に向いたセンスコイル105、106、107、108と、中心のZ座

標が第1及び第2のZ座標と異なる第3のZ座標であるZ軸に向いたセンスコイル109、110、111、112の12個のセンスコイルを配置する。この12個のセンスコイルの電圧、位置、向きが全て既知であることから、式(62)によりソースコイルの位置( $x_g, y_g, z_g$ )と向き( $g_x, g_y, g_z$ )を未知数とする12個の非線形方程式が得られる。

【0194】この12個の非線形方程式の解、すなわ

50

ち、ソースコイルの位置と向きを反復改良によって求める (Gauss - Newton 法)。

【0195】 $x$  をソースコイルの位置 ( $x_g, y_g, z_g$ ) と向き ( $g_x, g_y, g_z$ ) のパラメータとし、そのパラメータの初期値を  $x^{(0)}$  とする。

$$V(x) = V(x^{(k)}) + \left[ \frac{\partial V(x)}{\partial x} \right]_{x=x^{(k)}}^* (x - x^{(k)}) \quad \dots(64)$$

となる。

\* 定された電圧とすると観測方程式は

【0197】このとき、 $V_m$  をセンスコイルによって測る。 【数65】

$$V_m(x) \cong V(x^{(k)}) + \left[ \frac{\partial V(x)}{\partial x} \right]_{x=x^{(k)}}^* (x - x^{(k)}) \quad \dots(65)$$

ここで、式が等号ではなく nearly equal となっているのは、 $V_m$  に測定誤差が含まれるため。

$$\Delta V_m^{(k)} \cong A^{(k)} \Delta x^{(k)} \quad \dots(66)$$

【0198】と表される。式 (65) の右辺の第1項を左辺に移動すると

\* となる。但し、

【数67】

【数66】

$$V_m^{(k)} = V_m - V(x^{(k)}) = V_m - V_m^{(k)} \quad \dots(67)$$

【数68】

$$x^{(k)} = x - x^{(k)} \quad \dots(68)$$

\* ( $i = 1 \sim n, j = 1 \sim m$ )

(行方向: 未知数の数  $n$ 、列方向: センスコイルの数

【数69】

$$A_{ij} = \left[ \frac{\partial V_i(x)}{\partial x_j} \right]_{x=x^{(k)}} \quad \dots(69)$$

$m$ ) である。解  $x^{(k)}$  は、式 (66) より

【数70】

$$x^{(k)} = (B^{(k)} W A^{(k)})^{-1} B^{(k)} W V_m^{(k)}$$

と表される。ただし、 $B$  は  $A$  の転置、 $W$  は重み行列である。 【数71】

【0199】よって、式 (68) より改良したパラメータ

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} + \Delta x^{(k)} \quad \dots(71)$$

と求められる。

(センスコイル) を並べると、行列  $A$  は

【0200】図47に示すように、12個の単心コイル

【数72】

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial V_{x0}}{\partial x_g} & \frac{\partial V_{x0}}{\partial y_g} & \frac{\partial V_{x0}}{\partial z_g} & \frac{\partial V_{x0}}{\partial g_x} & \frac{\partial V_{x0}}{\partial g_y} & \frac{\partial V_{x0}}{\partial g_z} \\ \frac{\partial V_{x1}}{\partial x_g} & \frac{\partial V_{x1}}{\partial y_g} & \frac{\partial V_{x1}}{\partial z_g} & \frac{\partial V_{x1}}{\partial g_x} & \frac{\partial V_{x1}}{\partial g_y} & \frac{\partial V_{x1}}{\partial g_z} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial V_{z11}}{\partial x_g} & \frac{\partial V_{z11}}{\partial y_g} & \frac{\partial V_{z11}}{\partial z_g} & \frac{\partial V_{z11}}{\partial g_x} & \frac{\partial V_{z11}}{\partial g_y} & \frac{\partial V_{z11}}{\partial g_z} \end{bmatrix} \quad \dots(72)$$

重み行列  $W$  は

【数73】

$$W = \begin{bmatrix} \sigma_0^2 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \sigma_1^2 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_2^2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & \sigma_{11}^2 \end{bmatrix} \quad \cdots(73)$$

と表される。ただし、重み行列 $W$ の $\sigma_i$  ( $i = 0, 1, \dots, 11$ ) は、各センスコイルの測定電圧の変動量で、例えば、環境ノイズ等がある。

【0201】また、第 $k$ 番目の $Vm$ は

【数74】

$$\Delta Vm = \begin{bmatrix} Vm_0 - V_{x0}(x^{(k)}) \\ Vm_1 - V_{x1}(x^{(k)}) \\ Vm_2 - V_{x2}(x^{(k)}) \\ \vdots \\ Vm_{11} - V_{x11}(x^{(k)}) \end{bmatrix} \quad \cdots(74)$$

となることから、ソースコイルの位置と向きは、次の手順(1)から(4)で求められる。

【0202】手順(1)； $k = 0$ とし、ソースコイルの初期値を位置 $(x_g, y_g, z_g)^{(0)}$ 、向き $(g_x, g_y, g_z)^{(0)}$ とする(例えば、ソースコイルを測定する空間の中心位置と $Z$ 軸方向のベクトル $(0, 0, 1)$ )。

手順(2)；式(72)、(73)、(74)により第 $k$ 番目の行列を計算する。

手順(3)；式(71)により第 $k$ 番目の更新量 $x^{(k)}$ を計算する。

手順(4)；更新量 $x^{(k)}$ が小さくなるまで上記手順(2)から(4)を繰り返す。

【0203】本実施の形態では、 $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ 軸方向に向けたセンスコイルをそれぞれ同一の高さに配置してソースコイルの位置を推定したが、これに限らず、各々のセンスコイルを任意の位置や向きに配置した場合でも、センスコイルの位置と向きが既知であればソースコイルの位置が推定できる。

【0204】ソースコイルが存在する空間が小さい場合、先に説明したようにソースコイルの初期値を適当な位置として反復改良を行うことにより位置と向きを求めることができる。しかし、その空間が大きい場合、適当な方法で初期位置を決定することが必要になる。

【0205】例えば、第1の実施の形態のように井げた状にセンスコイルを並べた場合は、第1～第3の実施の形態で説明した手法を用いて4個の単心コイルによって構成されたセンスコイルからソースコイルの存在する空間(円)を求め、複数のセンスコイルによりソースコイ

ルの位置を推定し、反復改良によりソースコイルの位置を精度良く求めることができる。

【0206】また、全てのソースコイル14*i*に対して円の位置推定と反復改良を行ったのでは計算量が多くなるため、ソースコイルの先頭14*a*は円の位置推定と反復改良を行い、それ以外のソースコイルについてはソースコイルの連続性から1つ前に推定された位置を初期値にして、反復改良のみを行う方法もある(ソースコイル14*b*の3次元位置を推定する場合、すでに3次元位置が推定されたソースコイル14*a*の位置を初期値にして反復改良を行う)。

【0207】ソースコイルの連続性を用いて、推定を行うソースコイルの3次元位置をそれ以前に推定されたソースコイルの3次元位置から予測し、その予測位置から反復改良を行う手法もある。

【0208】いま、ソースコイル14*a*、14*b*の3次元位置を

【数75】

$$P_a = \begin{bmatrix} x_a \\ y_a \\ z_a \end{bmatrix} \quad P_b = \begin{bmatrix} x_b \\ y_b \\ z_b \end{bmatrix} \quad \cdots(75)$$

とすると、ソースコイル14*b*の3次元位置を推定するときの初期値をソースコイル14*a*とし、ソースコイル14*c*からは、まえの2つのソースコイルの3次元位置からソースコイルの位置を予測する。

【0209】例えば、ソースコイル14*c*の場合

【数76】

$$P_c = P_b + (P_b - P_a) \\ = \begin{bmatrix} x_b \\ y_b \\ z_b \end{bmatrix} + \left( \begin{bmatrix} x_b \\ y_b \\ z_b \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_a \\ y_a \\ z_a \end{bmatrix} \right) \quad \cdots(76)$$

とする。

【0210】また、本実施の形態が体腔内で使われることから、ソースコイルの3次元位置が時間方向の変動が少ないことが予想されることから(体腔内でソースコイルの動きが小さい)、前回までに推定された3次元位置を初期位置として反復改良を行う手法もある。

【0211】(効果)本実施の形態では、複数のセン

コイルの出力と反復改良法によってソースコイルの3次元位置が推定されるため、ノイズ等の影響が軽減され、推定精度向上させることができる。

【0212】また、各ソースコイルの3次元位置を反復改良によって推定する場合、初期位置を適当な方法で求めることにより計算量を削減できる。

【0213】第5の実施の形態：

(構成) 本実施の形態の内視鏡形状検出装置3の構成は、第4の実施の形態と同一で、ソースコイルの3次元位置を推定する方法が異なる。

【0214】(作用) 本実施の形態では、複数の単心コイルを4つ組み合わせたセンスコイルによって、ソースコイルの3次元位置を求めるのではなく、第4の実施の形態と同様に、複数の単心コイルを3次元空間に配置し、それぞれの単心コイルに発生する電圧からソースコイルの3次元位置を推定する。

【0215】今、センスコイルユニット内のセンスコイルに発生する起電力の行列をV、式(62)で示したようにソースコイルとセンスコイルの3次元位置の項で表される行列をH、ソースコイルの向きで表される項をGとすると、それぞれの関係式は次のようになる。

【0216】

$$\text{【数77】 } V = HG \quad \dots (77)$$

式(77)よりソースコイルの向きの項を消去するため、式(77)の両辺に左から $H^T$ (行列Hの転置行列)をかけると、

$$\text{【数78】 } H^T V = H^T H G \quad \dots (78)$$

となる。

【0217】また、式(78)の両辺に左から $[H^T H]^{-1}$ ( $H^T H$ の逆行列)をかけると、

$$\text{【数79】 } [H^T H]^{-1} H^T V = G \quad \dots (79)$$

となる。

【0218】式(79)を式(77)に代入すると、次のようなソースコイルの向きの項を消去した式を得ることができる。

$$V(x) = H[H^T H]^{-1} H^T V_m$$

として偏微分を計算する。

【0224】このとき、 $V_m$ をセンスコイルによって測定された電圧とすると観測方程式は、第4の実施の形態で示した式(65)で表される。式(65)の右辺の第1項を左辺に移動すると、第4の実施の形態で示した式(66)となる。

【0225】解  $x^{(k)}$  は、式(66)より第4の実施の形態で示した式(70)と表される。

【0226】よって、 $x^{(k)} = x - x^{(k)}$ より改良したパラメータの推定値は第4の実施の形態で示した式(71)と求められる。

【0227】図47に示すように、12個の単心コイル(センスコイル)を並べると、行列Aは

\*【0219】

【数80】

$$V = H[H^T H]^{-1} H^T V \quad \dots (80)$$

図47に示すように、本実施の形態では、単心コイルからなるセンスコイルを3次元空間上に複数配置し、具体的にはベット4において、中心のZ座標が第1のZ座標である例えばX軸に向いたセンスコイル101、102、103、104と、中心のZ座標が第1のZ座標と異なる第2のZ座標であるY軸に向いたセンスコイル105、106、107、108と、中心のZ座標が第1及び第2のZ座標と異なる第3のZ座標であるZ軸に向いたセンスコイル109、110、111、112の12個のセンスコイルを配置する。この12個のセンスコイルの電圧、位置、向きが全て既知であることから、式(62)によりソースコイルの位置( $x_g, y_g, z_g$ )を未知数とする12個の非線形方程式が得られる。

【0220】この12個の非線形方程式の解、すなわち、ソースコイルの位置を反復改良によって求める(Gauss-Newton法)。

【0221】 $x$ をソースコイルの位置( $x_g, y_g, z_g$ )のパラメータとし、そのパラメータの初期値を $x^{(0)}$ とする。

【0222】いま、反復改良によりk次の推定値 $x^{(k)}$ が得られ、センスコイルに発生する電力のモデル関数 $V(x)$ を $x^{(k)}$ のまわりでTaylor展開すると、その一次近似は第4の実施の形態で示した式(64)で示される。

【0223】但し、式(64)の偏微分の項

$$\text{【数81】 } \frac{\partial V(x)}{\partial x} \quad \dots (81)$$

は、式(80)の右辺のVにセンスコイルによって測定された電圧 $V_m$ の値を入力して

【数82】

$$\dots (82)$$

【数83】

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial V_{x0}}{\partial x_g} & \frac{\partial V_{x0}}{\partial y_g} & \frac{\partial V_{x0}}{\partial z_g} \\ \frac{\partial V_{x1}}{\partial x_g} & \frac{\partial V_{x1}}{\partial y_g} & \frac{\partial V_{x1}}{\partial z_g} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial V_{z11}}{\partial x_g} & \frac{\partial V_{z11}}{\partial y_g} & \frac{\partial V_{z11}}{\partial z_g} \end{bmatrix} \quad \dots (83)$$

重み行列Wは第4の実施の形態で示した式(73)と表される。ただし、重み行列Wの $w_i$  ( $i = 0, 1, \dots$  ,



11)は、各センスコイルの測定電圧の変動量で、例えば、環境ノイズ等がある。

【0228】また、第k番目のVmは第4の実施の形態で示した式(74)となることから、ソースコイルの位置は、次の手順(1)'から(4)'で求められる。

【0229】手順(1)'; k=0とし、ソースコイルの初期値を位置 $(x_g, y_g, z_g)^{(0)}$ とする(例えば、ソースコイルを測定する空間の中心位置)。

手順(2)'; 式(83), (73), (74)により第k番目の行列を計算する。

手順(3)'; 式(71)により第k番目の更新量 $x^{(k)}$ を計算する。

手順(4)'; 更新量 $x^{(k)}$ が小さくなるまで上記

手順(2)'から(4)'を繰り返す。

【0230】本実施の形態では、X, Y, Z軸方向に向けたセンスコイルをそれぞれ同一の高さに配置してソースコイルの位置を推定したが、これに限らず、各々のセンスコイルを任意の位置や向きに配置した場合でも、センスコイルの位置と向きが既知であればソースコイルの位置が推定できる。

【0231】ソースコイルが存在する空間が小さい場合、先に説明したようにソースコイルの初期値を適当な位置として反復改良を行うことにより位置を求めることができる。しかし、その空間が大きい場合、適当な方法で初期位置を決定することが必要になる。

【0232】例えば、第1の実施の形態のように井げた状にセンスコイルを並べた場合は、第1~第3の実施の形態で説明した手法を用いて4個の単心コイルによって構成されたセンスコイルからソースコイルの存在する空間(円)を求め、複数のセンスコイルによりソースコイルの位置を推定し、反復改良によりソースコイルの位置を精度良く求めることができる。

【0233】また、全てのソースコイル14iに対して円の位置推定と反復改良を行ったのでは計算量が多くなるため、ソースコイルの先頭14aは円の位置推定と反復改良を行い、それ以外のソースコイルについてはソースコイルの連続性から1つ前に推定された位置を初期値にして、反復改良のみを行う方法もある(ソースコイル14bの3次元位置を推定する場合、すでに3次元位置が推定されたソースコイル14aの位置を初期値にして反復改良を行う)。

【0234】ソースコイルの連続性を用いて、推定を行うソースコイルの3次元位置をそれ以前に推定されたソースコイルの3次元位置から予測し、その予測位置から反復改良を行う手法もある。

【0235】第4の実施の形態と同様に、いま、ソースコイル14a、14bの3次元位置を第4の実施の形態\*

$$P'_{i,n} = P_{i,n-1} + (1 - \alpha) P_{i,n}$$

より求める。

【0242】また、現在と2つ過去の推定位置からX, 50

\*で示した式(75)とすると、ソースコイル14bの3次元位置を推定するときの初期値をソースコイル14aとし、ソースコイル14cからは、まえの2つのソースコイルの3次元位置からソースコイルの位置を予測する。例えば、ソースコイル14cの場合第4の実施の形態で示した式(76)とする。

【0236】また、本実施の形態が体腔内で使われることから、ソースコイルの3次元位置が時間方向の変動が少ないことが予想されることから(体腔内でソースコイルの動きが小さい)、前回までに推定された3次元位置を初期位置として反復改良を行う手法もある。

【0237】(効果)本実施の形態では、第4の実施の形態の効果に加え、ソースコイルの向きの項を消去し、未知数を減らした関係式によりソースコイルの3次元位置を推定することが可能となる。

【0238】第6の実施の形態:

(構成)本実施の形態の内視鏡形状検出装置3は、図示はしないが、第1の実施の形態の構成に加え、推定されたソースコイル位置を時系列的に記憶する位置記憶手段を有して構成される。その他の構成は第1の実施の形態と同じであり、本実施の形態では、ソースコイルの3次元位置を推定する処理方法が、第1の実施の形態と異なる。

【0239】(作用)本実施の形態では、上記の第1ないし第5の実施の形態に説明した方法を用いてソースコイル14iの3次元位置を推定し、位置記憶手段(図示せず)に推定された3次元位置を順次記憶する。

【0240】現在のソースコイル14iの位置を

【数84】

$$P_{i,n} = \begin{pmatrix} x_{i,n} \\ y_{i,n} \\ z_{i,n} \end{pmatrix} \quad \dots(84)$$

とし、過去の推定位置を

【数85】

$$P_{i,n-1} = \begin{pmatrix} x_{i,n-1} \\ y_{i,n-1} \\ z_{i,n-1} \end{pmatrix} \quad \dots(85)$$

として、それぞれの推定位置から現在のソースコイル14iの位置 $P'_{i,n}$ を重み付け加算により求める。

【0241】いま、現在の推定位置の重みを $\alpha$ とするとソースコイルの現在の位置 $P'_{i,n}$ を

【数86】

$$\dots(86)$$

Y, Z成分の中間値を抽出し、現在のソースコイルの位置としても良い(メディアンフィルタ)。

【0243】（効果）本実施の形態により、ソースコイルとセンスコイルが離れることによって発生するソースコイルの3次元位置のばらつきを抑制することができる。

【0244】第7の実施の形態：

（構成）本実施の形態の内視鏡形状検出装置3の構成は、第6の実施の形態と同一で、ソースコイルの3次元位置を推定する方法が異なる。

$$P_{i,0}, P_{i,1}, P_{i,2}, \dots, P_{i,N} \quad \dots (87)$$

とし、予測されたソースコイル14iの予測位置を

$$Q_{i,0}, Q_{i,1}, Q_{i,2}, \dots, Q_{i,N} \quad \dots (88)$$

とする（N番目が現在の位置とする）。

【0247】ソースコイル14iの推定位置と予測位置との差分の2乗和を

【数89】

$$f_{i,1} = \sum_{j=0}^N (P_{i,j} - Q_{i,j})^2 \quad \dots (89)$$

$$\begin{aligned} f_{i,2} &= \sum_{j=2}^N \{ (Q_{i,j} - Q_{i,j-1}) - (Q_{i,j-1} - Q_{i,j-2}) \}^2 \\ &= \sum_{j=2}^N (Q_{i,j} - 2Q_{i,j-1} + Q_{i,j-2})^2 \quad \dots (90) \end{aligned}$$

とし、 $f_{i,1}$ と $f_{i,2}$ を次のような重みで加算する。

【0248】

【数91】

$$f_i = f_{i,1} + f_{i,2} \quad \dots (91)$$

ここで、重みを小さくした場合、ソースコイル14iの位置は推定位置に近づく。また、重みを大きくした場合、ソースコイル14iの位置は予測位置に近づく。

【0249】 $f_i$ を最小にする予測位置 $Q_{i,j}$ は、式

$f_i$ を予測位置 $Q_{i,j}$ で偏微分し、 $f'_i = 0$ を満たす

$$\begin{bmatrix} P_{i,0} \\ P_{i,1} \\ P_{i,2} \\ P_{i,3} \\ P_{i,4} \\ P_{i,5} \\ P_{i,6} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1+\omega & -2\omega & \omega & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -2\omega & 1+5\omega & -4\omega & \omega & 0 & 0 & 0 \\ \omega & -4\omega & 1+6\omega & -4\omega & \omega & 0 & 0 \\ 0 & \omega & -4\omega & 1+6\omega & -4\omega & \omega & 0 \\ 0 & 0 & \omega & -4\omega & 1+6\omega & -4\omega & \omega \\ 0 & 0 & 0 & \omega & -4\omega & 1+5\omega & -2\omega \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \omega & -2\omega & 1+\omega \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_{i,0} \\ Q_{i,1} \\ Q_{i,2} \\ Q_{i,3} \\ Q_{i,4} \\ Q_{i,5} \\ Q_{i,6} \end{bmatrix} \quad \dots (94)$$

となり、重みを設定し行列Mの逆行列を算出することにより予測位置が式(93)から求められる。

【0252】（効果）本実施の形態により、ソースコイルの過去の推定位置からソースコイルの動きを予測し、推定位置と予測位置に基づいて現在のソースコイルの位置から求められるため、ソースコイルとセンスコイルが離れることによって発生するソースコイルの3次元位置

\*【0245】（作用）本実施の形態では、第1ないし第5の実施の形態に説明した方法を用いてソースコイル14iの3次元位置を推定し、位置記憶手段（図示せず）に順次記憶する。

【0246】時系列的に記憶されソースコイル14iの推定位置を

【数87】

\*【数88】

\*とし、隣接する予測位置の変位量の差分の2乗和を

【数90】

\*す予測位置 $Q_{i,j}$ を求めることにより得られる。

【0250】 $f_i$ を予測位置 $Q_{i,j}$ で偏微分し、 $f'_i = 0$ とおくと

【数92】 $P = MQ \quad \dots (92)$

の式が得られ、行列の逆行列

【数93】 $Q = M^{-1}P \quad \dots (93)$

を算出することにより、予測位置が求められる。

【0251】例えば、各ソースコイル14iを7つ前までの3次元推定位置を記憶した場合、式(92)は

【数94】

のばらつきを抑制し、ソースコイルが動いた場合においても第5の実施の形態に示した手法よりも安定したソースコイルの位置が求められる。

【0253】〔付記〕

（付記項1）磁界を発生するための単軸発信コイルを有する磁界発生手段と、前記磁界発生手段で発生された磁界を検出する磁界検出手段とを有し、前記磁界検出手

段による磁界検出に基づき前記磁界発生手段の位置情報を検出する位置推定装置において、前記磁界検出手段は、少なくとも、同一直線上に第1、第2、第3及び第4の単軸発信コイルを同一方向に向けて配置してなる第1の磁界検出部と、前記第1の磁界検出部と非平行な同一直線上に第5、第6、第7及び第8の単軸発信コイルを同一方向に向けて配置してなる第2の磁界検出部とを備えたことを特徴とする位置推定装置。

【0254】(付記項2) 磁界を発生するための単軸発信コイルを有する磁界発生手段と、前記磁界発生手段で発生された磁界を検出する磁界検出手段とを有し、前記磁界検出手段による磁界検出に基づき前記磁界発生手段の位置情報を検出する位置推定装置において、前記磁界検出手段は、少なくとも、第1の直線上に第1、第2、第3及び第4の単軸発信コイルを同一方向に向けて配置してなる第1の磁界検出部と、前記第1の直線と平行な第2の直線上に第5、第6、第7及び第8の単軸発信コイルを同一方向に向けて配置してなる第2の磁界検出部と、前記第1の直線と非平行な第3の直線上に第9、第10、第11及び第12の単軸発信コイルを同一方向に向けて配置してなる第3の磁界検出部と、前記第3の直線と平行な第4の直線上に第13、第14、第15及び第16の単軸発信コイルを同一方向に向けて配置してなる第4の磁界検出部とを備えたことを特徴とする位置推定装置。

【0255】(付記項3) 単心コイルにより磁界を発生するソースコイルと、少なくとも4つの単心コイルを同一直線上に同一方向に並べた複数のセンスコイルと、前記センスコイルにより前記ソースコイルの存在する空間を推定する空間推定手段と、前記空間推定手段により推定された前記ソースコイルの存在空間から前記ソースコイルの3次元位置を推定する位置推定手段とからなる位置推定装置において、前記センスコイルの少なくとも1組を他の前記センスコイルに対し非平行に配置することを特徴とする位置推定装置。

【0256】(付記項4) 前記空間推定手段は、前記センスコイルの並びを軸として前記ソースコイルまでの距離を算出する距離算出手段からなることを特徴とする付記項3に記載の位置推定装置。

【0257】(付記項5) 前記空間推定手段は、前記センスコイルの並びの軸を中心とする円領域として特定する円領域特定手段からなることを特徴とする付記項3に記載の位置推定装置。

【0258】(付記項6) 前記円領域特定手段は、前記センスコイルと前記ソースコイルによって構成される平面の条件を用いて前記円領域を算出する円領域算出手段であることを特徴とする付記項5に記載の位置推定装置。

【0259】(付記項7) 前記平面の条件は、前記平面上に前記センスコイルの3つの単心コイルによって表

される曲線を少なくとも2つ描いた際の交点を含むという条件であり、前記円領域算出手段は、前記交点を算出することを特徴とする付記項6に記載の位置推定装置。

【0260】(付記項8) 前記空間推定手段は、各前記センスコイルの単心コイルの最大出力を求め、最大出力の大きい順に前記センスコイルを抽出する抽出手段と、前記抽出手段により抽出された前記センスコイルにより前記ソースコイルの存在する空間を推定する空間推定手段とからなることを特徴とする付記項3に記載の位置推定装置。

【0261】(付記項9) 前記位置推定手段は、前記空間推定手段により推定された空間から少なくとも2つの前記センスコイルを抽出する抽出手段と、前記抽出手段により抽出された前記センスコイルの前記ソースコイルの存在する空間から前記ソースコイルの3次元位置を推定する3次元位置推定手段とからなることを特徴とする付記項3に記載の位置推定装置。

【0262】(付記項10) 前記抽出手段は、前記空間推定手段により推定された空間の領域が小さい少なくとも2つの前記センスコイルを抽出するセンスコイル抽出手段からなることを特徴とする付記項9に記載の位置推定装置。

【0263】(付記項11) 前記位置推定手段は、前記空間推定手段により推定された複数の円から2つの円を選び、その2つの円が最も接近する円周上の点とその点間の距離を算出する距離算出手段と前記距離算出手段により算出された距離が最小となる前記センスコイルの組み合わせを検出する検出手段と、前記検出手段により検出された前記センスコイルから前記ソースコイルの3次元位置を推定する3次元位置推定手段とからなることを特徴とする付記項3に記載の位置推定装置。

【0264】(付記項12) 前記位置推定手段は、前記空間推定手段により推定された空間から少なくとも2つの前記センスコイルを抽出する抽出手段と、前記抽出手段により抽出された前記センスコイルの前記ソースコイルの存在する空間から前記ソースコイルの3次元位置を推定する3次元位置推定手段とからなることを特徴とする付記項7に記載の位置推定装置。

【0265】(付記項13) 前記抽出手段は、前記空間推定手段の前記平面の条件から得られる複数の曲線の交差状態を検出する交差状態検出手段と、前記交差状態検出手段により検出された交差状態が直交した状態に近い少なくとも2つの前記センスコイルを抽出するセンスコイル抽出手段とからなることを特徴とする付記項12に記載の位置推定装置。

【0266】(付記項14) 前記位置推定手段により推定された前記ソースコイルの位置から向きを推定する向き推定手段と、前記位置推定手段と前記向き推定手段との結果を用いて、前記ソースコイル位置と向きを推定する推定手段とを備えたことを特徴とする付記項3に記

載の位置推定装置。

【0267】(付記項15) 前記推定手段は、前記位置推定手段と前記向き推定手段との結果から前記センスコイルの出力を算出する第1の出力算出手段と、前記第1の出力算出手段により算出された前記センスコイルの出力と、前記センスコイルの測定された出力とから、前記ソースコイルの位置と向きをそれぞれ更新するための値を算出する更新値算出手段と、前記更新値算出手段により算出された更新値を前記ソースコイルの位置と向きに加え、前記センスコイルの出力を算出する第2の出力算出手段と、前記更新値が適当な値になるまで前記更新値算出手段と第2の前記出力算出手段を繰り返し、前記ソースコイルの位置と向きを推定するソースコイル推定手段とからなることを特徴とする付記項14に記載の位置推定装置。

【0268】(付記項16) 前記位置推定手段により推定された位置を時系列的に記憶する記憶手段と、前記記憶手段に記憶された前記ソースコイルの位置から現在の前記ソースコイルの位置を予測する予測手段とを備えたことを特徴とする付記項3に記載の位置推定装置。

【0269】(付記項17) 前記予測手段は、前記記憶手段に記憶された前記ソースコイルの位置を時系列的に重み付け加算し、現在の前記ソースコイルの位置を予測する手段からなることを特徴とする付記項16に記載の位置推定装置。

【0270】(付記項18) 前記予測手段は、前記記憶手段に記憶された前記ソースコイルの位置から前記ソースコイルの動きを求め、現在の前記ソースコイルの位置を予測する手段からなることを特徴とする付記項16に記載の位置推定装置。

【0271】(付記項19) 単心コイルにより磁界を発生するソースコイルと、センスコイルとして3次元空間上に複数の単心コイルを異なる位置に配置し、前記センスコイルの出力から前記ソースコイルの位置と向きを推定する推定手段とを備えたことを特徴とする位置推定装置。

【0272】(付記項20) 前記推定手段は、前記センスコイルの出力を前記ソースコイルの適当な位置と向きから算出する第1の出力算出手段と、前記第1の出力算出手段により算出された前記センスコイルの出力と、前記センスコイルの測定された出力とから、前記ソースコイルの位置と向きをそれぞれ更新するための値を算出する更新値算出手段と、前記更新値算出手段により算出された更新値を前記ソースコイルの位置と向きに加え、前記センスコイルの出力を算出する第2の出力算出手段と、前記更新値が適当な値になるまで、前記更新算出手段と第2の前記出力算出手段を繰り返し、前記ソースコイルの位置と向きを推定するソースコイル推定手段とからなることを特徴とする付記項19に記載の位置推定装置。

【0273】(付記項21) 前記第1の出力算出手段は、前記ソースコイルの位置と向きを前記ソースコイルの並びの連続性から設定する設定手段からなることを特徴とする付記項20に記載の位置推定装置。

【0274】(付記項22) 前記推定手段により推定された位置と向きを時系列的に記憶する記憶手段と、前記第1の出力算出手段の前記ソースコイルの位置と向きを前記記憶手段に記憶された位置と向きから設定する設定手段とを備えたことを特徴とする付記項20に記載の位置推定装置。

【0275】(付記項23) 前記推定手段により推定された位置を時系列的に記憶する記憶手段と、前記記憶手段に記憶された前記ソースコイルの位置から現在の前記ソースコイルの位置を予測する予測手段とを備えたことを特徴とする付記項19に記載の位置推定装置。

【0276】(付記項24) 前記予測手段は、前記記憶手段に記憶された前記ソースコイルの位置を時系列的に重み付け加算し、現在の前記ソースコイルの位置を予測する手段からなることを特徴とする付記項23に記載の位置推定装置。

【0277】(付記項25) 前記予測手段は、前記記憶手段に記憶された前記ソースコイルの位置から前記ソースコイルの動きを求め、現在の前記ソースコイルの位置を予測する手段からなることを特徴とする付記項23に記載の位置推定装置。

【0278】(付記項26) 磁界を発生するソースコイルの存在空間を検出するコイル位置測定方法において、磁界を発生するための単軸発信コイルを有する磁界発生手段と、前記磁界発生手段で発生された磁界を検出する磁界検出手段とを有し、前記磁界検出手段による磁界検出に基づき前記磁界発生手段の位置情報を検出する位置推定装置において、前記磁界検出手段は、少なくとも、第1の直線上に同一方向に向けて配置された第1、第2、第3及び第4の単軸発信コイルからなる第1の磁界検出部によって、前記ソースコイルで発生された磁界強度を測定する第1の磁界測定工程と、前記第1の直線と平行な第2の直線上に同一方向に向けて配置された第5、第6、第7及び第8の単軸発信コイルからなる第2の磁界検出部によって、前記ソースコイルで発生された磁界強度を測定する第2の磁界測定工程と、前記第1の直線と非平行な第3の直線上に同一方向に向けて配置された第9、第10、第11及び第12の単軸発信コイルからなる第3の磁界検出部によって、前記ソースコイルで発生された磁界強度を測定する第3の磁界測定工程と、前記第3の直線と平行な第4の直線上に同一方向に向けて配置された第13、第14、第15及び第16の単軸発信コイルをからなる第4の磁界検出部によって、前記ソースコイルで発生された磁界強度を測定する第4の磁界測定工程とを具備したことを特徴とするコイル位置測定方法。

【0279】(付記項27) 前記第1ないし第4の各磁界検出部の単軸発信コイルの最大出力を求め、最大出力の大きい順に前記磁界検出部を抽出する磁界検出部抽出工程と、前記磁界検出部抽出工程により抽出された前記磁界検出部により前記ソースコイルの存在する空間を推定する空間推定工程とを具備したことを特徴とする付記項26に記載のコイル位置測定方法。

【0280】(付記項28) 前記第1ないし第4の磁界測定工程が測定した磁界強度に基づき前記ソースコイルの存在する空間を推定する空間推定工程と、前記空間推定工程により推定された前記ソースコイルの存在空間から前記ソースコイルの3次元位置を推定する位置推定工程とを具備したことを特徴とする付記項26に記載のコイル位置測定方法。

【0281】(付記項29) 前記空間推定工程は、前記第1ないし第4の直線を軸として前記ソースコイルまでの距離を算出する距離算出工程からなることを特徴とする付記項28に記載のコイル位置測定方法。

【0282】(付記項30) 前記空間推定工程は、前記第1ないし第4の直線を中心とする円領域として特定する円領域特定工程からなることを特徴とする付記項28に記載のコイル位置測定方法。

【0283】(付記項31) 前記円領域特定工程は、前記第1ないし第4の各磁界検出部と前記ソースコイルによって構成される平面の条件を用いて前記円領域を算出する円領域算出工程であることを特徴とする付記項30に記載のコイル位置測定方法。

【0284】(付記項32) 前記平面の条件は、前記平面上に前記第1ないし第4の各磁界検出部の3つの単軸発信コイルによって表される曲線を少なくとも2つ描いた際の交点を含むという条件であり、前記円領域算出工程は、前記交点を算出することを特徴とする付記項31に記載のコイル位置測定方法。

【0285】(付記項33) 前記位置推定工程は、前記空間推定工程により推定された複数の円から2つの円を選び、その2つの円が最も接近する円周上の点とその点間の距離を算出する距離算出工程と前記距離算出手段により算出された距離が最小となる前記第1ないし第4の各磁界検出部の組み合わせを検出する検出工程と、前記検出工程により検出された前記第1ないし第4の各磁界検出部から前記ソースコイルの3次元位置を推定する3次元位置推定工程とを特徴とする付記項28に記載のコイル位置測定方法。

【0286】(付記項34) 前記位置推定工程により推定された前記ソースコイルの位置から向きを推定する向き推定工程と、前記位置推定工程と前記向き推定工程との結果を用いて、前記ソースコイル位置と向きを推定する推定工程とを備えたことを特徴とする付記項28に記載のコイル位置測定方法。

【0287】(付記項35) 前記位置推定工程により

推定された位置を時系列的に記憶する記憶工程と、前記記憶工程で記憶された前記ソースコイルの位置から現在の前記ソースコイルの位置を予測する予測工程とを備えたことを特徴とする付記項28に記載のコイル位置測定方法。

【0288】(付記項36) 3次元空間上に複数の単心コイルを異なる位置に配置して構成されるセンスコイルの出力から単心コイルにより磁界を発生するソースコイルの位置と向きを推定する推定工程を備えたことを特徴とするコイル位置測定方法。

【0289】(付記項37) 前記推定工程は、前記センスコイルの出力を前記ソースコイルの適当な位置と向きから算出する第1の出力算出工程と、前記第1の出力算出工程により算出された前記センスコイルの出力と、前記センスコイルの測定された出力とから、前記ソースコイルの位置と向きをそれぞれ更新するための値を算出する更新値算出工程と、前記更新値算出工程により算出された更新値を前記ソースコイルの位置と向きに加え、前記センスコイルの出力を算出する第2の出力算出工程と、前記更新値が適当な値になるまで、前記更新算出工程と第2の前記出力算出工程を繰り返し、前記ソースコイルの位置と向きを推定するソースコイル推定工程とからなることを特徴とする付記項36に記載のコイル位置測定方法。

【0290】(付記項38) 単心コイルにより磁界を発生するソースコイルと、センスコイルとして3次元空間上に複数の単心コイルを異なる位置に配置し、前記センスコイルの出力から前記ソースコイルの位置を推定する推定手段とを備えたことを特徴とする位置推定装置。

【0291】(付記項39) 前記推定手段は、前記センスコイルの出力を前記ソースコイルの適当な位置から算出する第1の出力算出手段と、前記第1の出力算出手段により算出された前記センスコイルの出力と、前記センスコイルの測定された出力とから、前記ソースコイルの位置を更新するための値を算出する更新値算出手段と、前記更新値算出手段により算出された更新値を前記ソースコイルの位置に加え、前記センスコイルの出力を算出する第2の出力算出手段と、前記更新値が適当な値になるまで、前記更新算出手段と第2の前記出力算出手段を繰り返し、前記ソースコイルの位置を推定するソースコイル推定手段とからなることを特徴とする付記項38に記載の位置推定装置。

【0292】(付記項40) 前記第1の出力算出手段は、前記ソースコイルの位置を前記ソースコイルの並びの連続性から設定する設定手段からなることを特徴とする付記項39に記載の位置推定装置。

【0293】(付記項41) 前記推定手段により推定された位置を時系列的に記憶する記憶手段と、前記第1の出力算出手段の前記ソースコイルの位置を前記記憶手段に記憶された位置から設定する設定手段とを備えたこ

とを特徴とする付記項39に記載の位置推定装置。

【0294】(付記項42) 単心コイルにより磁界を発生するソースコイルと、3次元空間上に複数の単心コイルを異なる位置に配置して構成される前記磁界を検出するセンスコイルの出力から、磁界を発生するソースコイルの位置を推定する推定工程とからなることを特徴とするコイル位置測定方法。

【0295】(付記項43) 前記推定工程は、前記センスコイルの出力を前記ソースコイルの適当な位置から算出する第1の出力加算工程と、前記第1の出力加算工程により算出された前記センスコイルの出力と、前記センスコイルの測定された出力とから、前記ソースコイルの位置を更新するための値を算出する更新値算出工程と、前記更新値算出工程により算出された更新値を前記ソースコイルの位置に加え、前記センスコイルの出力を算出する第2の出力加算工程と、前記更新値が適当な値になるまで、前記更新値算出工程と前記第2の出力加算工程での算出を繰り返し、前記ソースコイルの位置を推定するソースコイル位置推定工程とからなることを特徴とする付記項42に記載のコイル位置測定方法。

【0296】

【発明の効果】以上説明したように本発明の位置推定方法によれば、複数組のセンスコイルによりソースコイルの3次元位置を求めるときの推定誤差を縮小することができるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係る内視鏡システムの構成を示す構成図

【図2】図1の内視鏡装置形状検出装置の機能構成を示すブロック図

【図3】図2の内視鏡装置形状検出装置の構成を示す構成図

【図4】図3の内視鏡装置形状検出装置の要部である2ポートメモリ等の構成を示す構成図、

【図5】図4の2ポートメモリの動作を示すタイミング図

【図6】図1の内視鏡システムの作用を示すフローチャート

【図7】図6のFFT処理の流れを示すフローチャート

【図8】図6の内視鏡システムの作用における並行処理タイミングを示すタイミング図

【図9】図6のソースコイル推定位置座標算出処理の原理を説明する第1の説明図

【図10】図6のソースコイル推定位置座標算出処理の原理を説明する第2の説明図

【図11】図6のソースコイル推定位置座標算出処理の原理を説明する第3の説明図

【図12】図6のソースコイル推定位置座標算出処理の原理を説明する第4の説明図

【図13】図6のソースコイル推定位置座標算出処理の

原理を説明する第5の説明図

【図14】図6のソースコイル推定位置座標算出処理の原理を説明する第6の説明図

【図15】図6のソースコイル推定位置座標算出処理の原理を説明する第7の説明図

【図16】図6のソースコイル推定位置座標算出処理の原理を説明する第8の説明図

【図17】図6のソースコイル推定位置座標算出処理の原理を説明する第9の説明図

【図18】図6のソースコイル推定位置座標算出処理の原理を説明する第10の説明図

【図19】図6のソースコイル推定位置座標算出処理の原理を説明する第11の説明図、

【図20】図6のソースコイル推定位置座標算出処理の流れを示す第1のフローチャート

【図21】図6のソースコイル推定位置座標算出処理の流れを示す第2のフローチャート

【図22】図20及び図21により算出されたソースコイル推定位置に対する位置更新制御処理の流れを示すフローチャート

【図23】図6の内視鏡形状検出イメージ画像表示処理の流れを示すフローチャート

【図24】図23の通常モード処理による表示例を示す図

【図25】図23の拡大モード処理の流れを示すフローチャート

【図26】図25の拡大モード処理による表示例を示す図

【図27】図6の内視鏡形状検出イメージ画像表示処理における3Dモデル1および3Dモデル2のイメージモデルを説明する第1の説明図

【図28】図27の3Dモデル1および3Dモデル2のイメージモデルの表示処理を示すフローチャート

【図29】図6の内視鏡形状検出イメージ画像表示処理における3Dモデル1および3Dモデル2のイメージモデルを説明する第2の説明図

【図30】図29の色調補正処理の流れを示す第1のフローチャート

【図31】図30の色調補正処理の作用を説明する第1の説明図

【図32】図29の色調補正処理の流れを示す第2のフローチャート

【図33】図30の色調補正処理の作用を説明する第2の説明図

【図34】図6の内視鏡形状検出イメージ画像表示処理における2Dモデルのイメージモデルの表示処理を示すフローチャート

【図35】図34による処理で表示される内視鏡形状検出イメージ画像の表示例を示す図

【図36】図6の内視鏡形状検出イメージ画像表示処理

における12点モデルのイメージモデルの表示処理を示すフローチャート

【図37】図36による処理で表示される内視鏡形状検出イメージ画像の表示例を示す図

【図38】図6の内視鏡形状検出イメージ画像表示処理における直線モデルのイメージモデルの表示処理を示すフローチャート

【図39】図38による処理で表示される内視鏡形状検出イメージ画像の表示例を示す図

【図40】本発明の第2の実施の形態に係るソースコイル推定位置座標算出処理の原理を説明する説明図

【図41】図40のソースコイル推定位置座標算出処理の流れを示す第1のフローチャート

【図42】図40のソースコイル推定位置座標算出処理の流れを示す第2のフローチャート

【図43】本発明の第3の実施の形態に係るソースコイル推定位置座標算出処理を説明する説明図

【図44】図43の角度が直交した状態に近い2つセンスコイルによるソースコイル推定位置座標算出処理の流れを示す第1のフローチャート

【図45】図43の角度が直交した状態に近い2つセンスコイルによるソースコイル推定位置座標算出処理の流れを示す第2のフローチャート

【図46】本発明の第4の実施の形態に係る3次元空間上に磁界を発生するソースコイルの配置の一例を示す図

【図47】図46の配置に対する第4の実施の形態のソースコイルの配置を説明する図

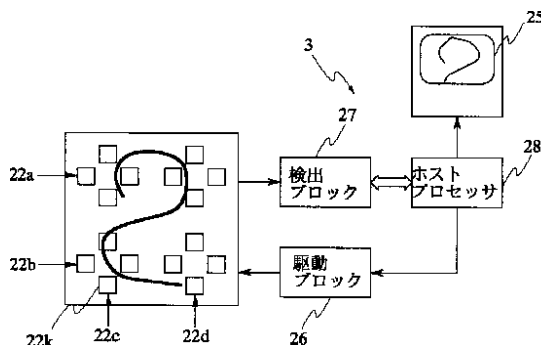
【符号の説明】

- 1...内視鏡システム
- 2...内視鏡装置
- 3...内視鏡形状検出装置
- 4...ベッド
- 6...電子内視鏡
- 7...挿入部

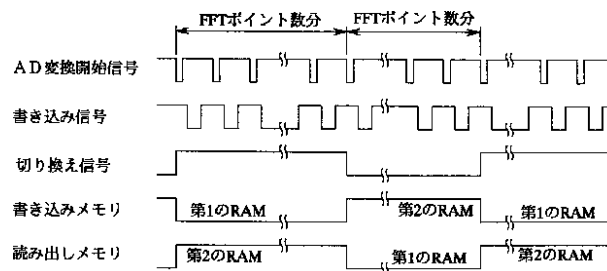
- \*8...操作部
- 9...ユニバーサルコード
- 10...ビデオプロセッサ
- 11...画像観察用モニタ
- 12...鉗子チャンネル
- 12a...挿入口
- 14i...ソースコイル
- 15...プローブ
- 16...ソースケーブル
- 21...装置本体
- 22k...単心コイル
- 22j...センスコイル
- 23...センスケーブル
- 24...操作パネル
- 25...モニタ
- 26...駆動ブロック
- 27...検出ブロック
- 28...ホストプロセッサ
- 31...ソースコイル駆動回路
- 32...CPU
- 33...PIO
- 34...センスコイル信号増幅回路部
- 35k...増幅回路
- 36k...フィルタ回路
- 37k...出力バッファ
- 38k...ADC
- 40...制御信号発生回路部
- 41...ローカルデータバス
- 42...2ポートメモリ
- 46...内部バス
- 47...メインメモリ
- 48...ビデオRAM
- 49...ビデオ信号発生回路

\*

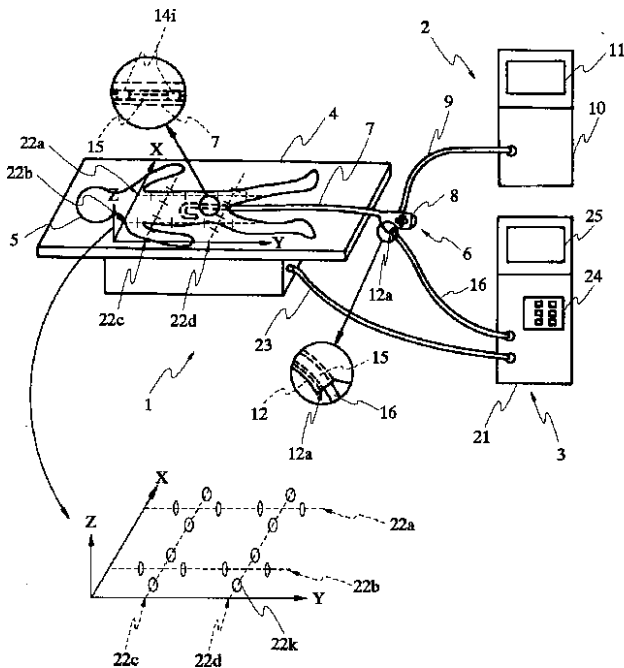
【図2】



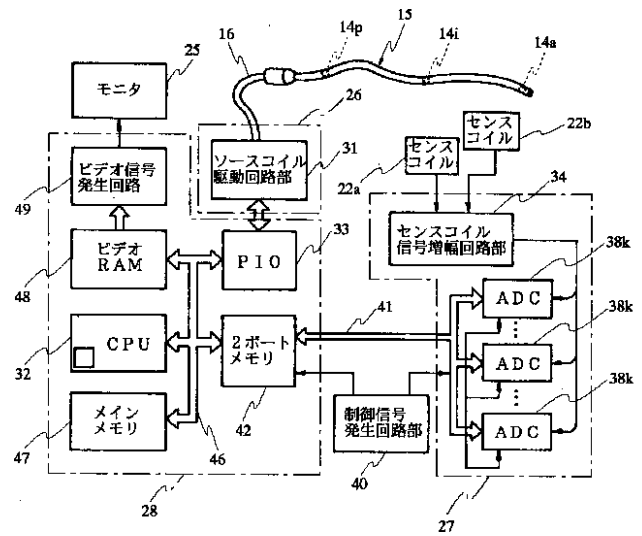
【図5】



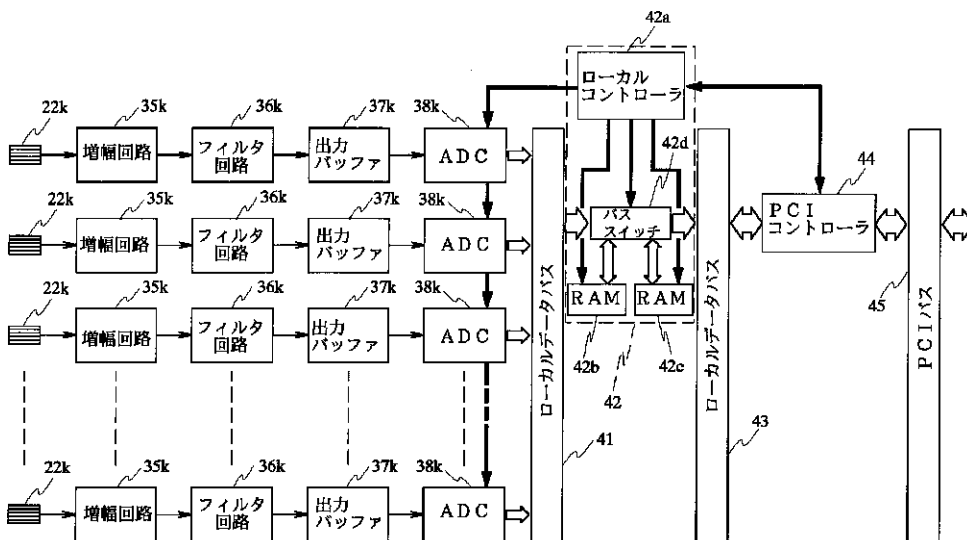
【図1】



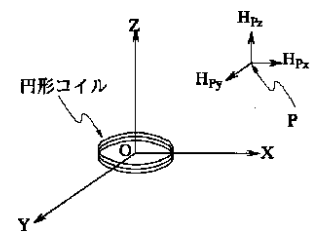
【図3】



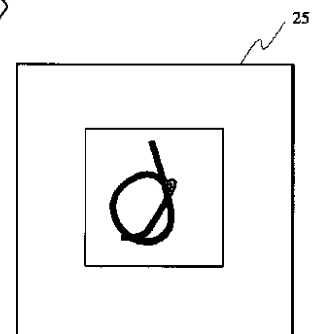
【図4】



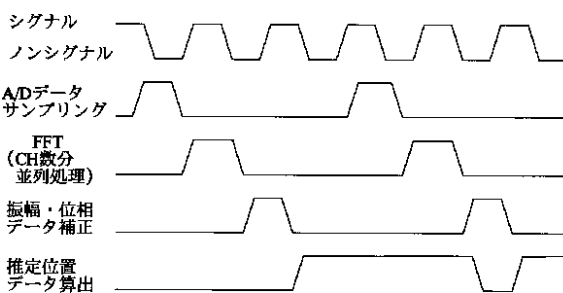
【図9】



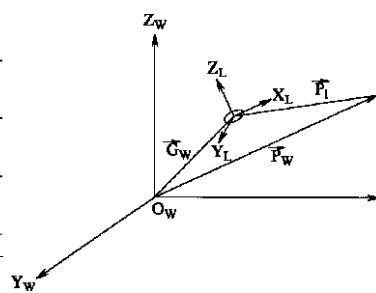
【図24】



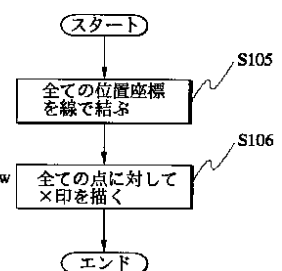
【図8】



【図10】

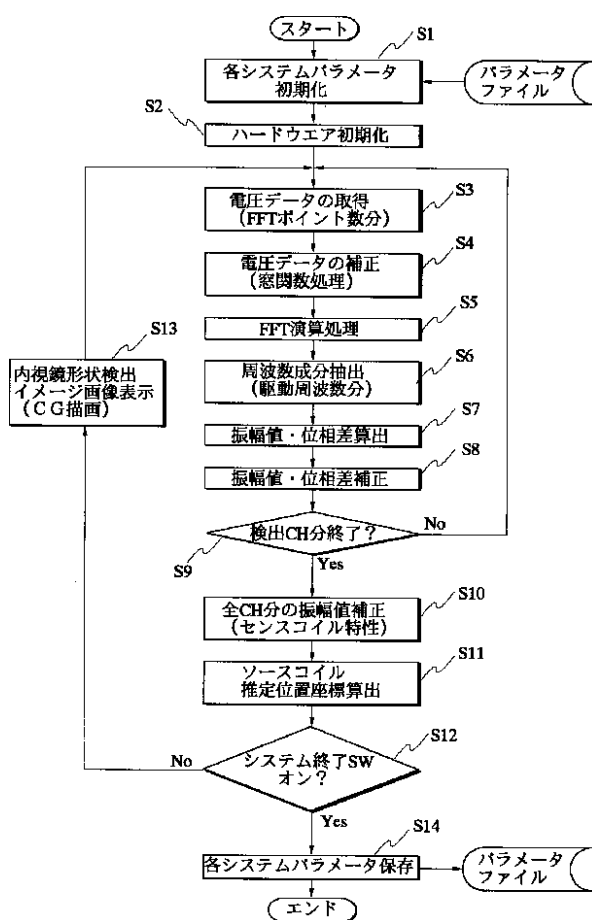


【図36】

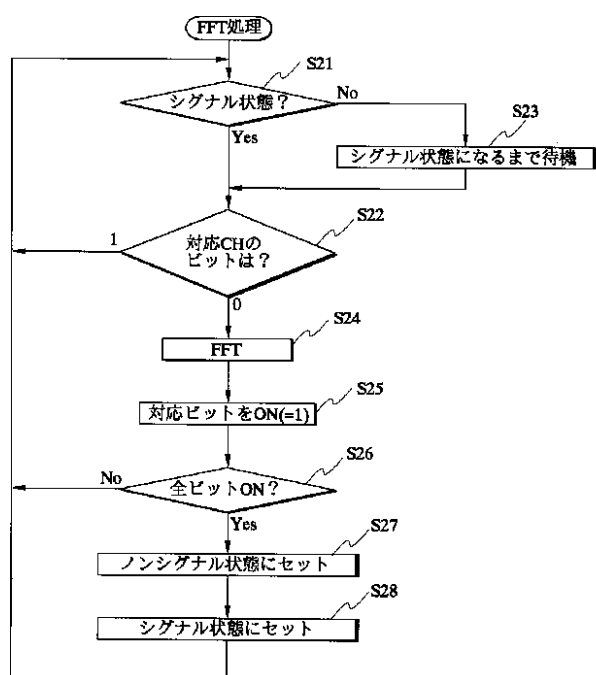




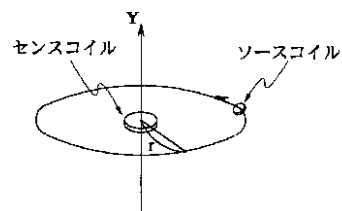
【図6】



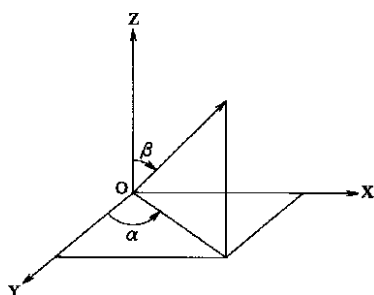
【図7】



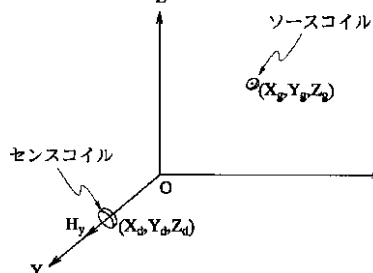
【図13】



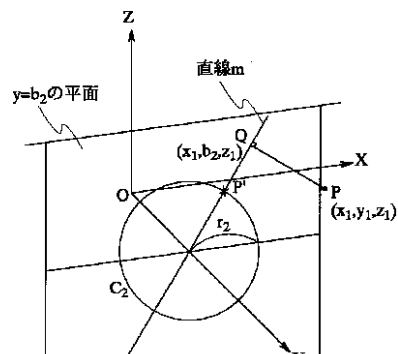
【図11】



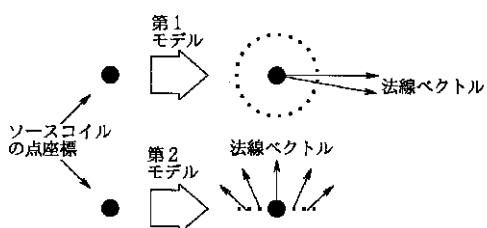
【図12】



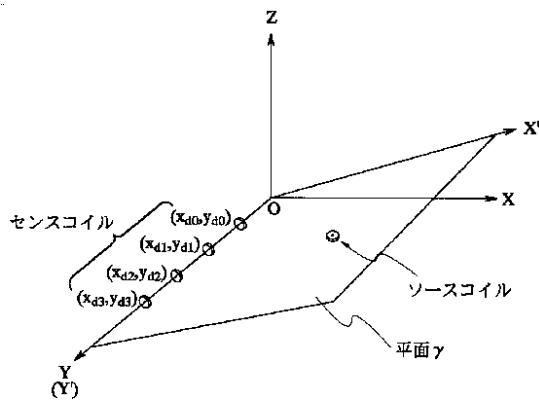
【図17】



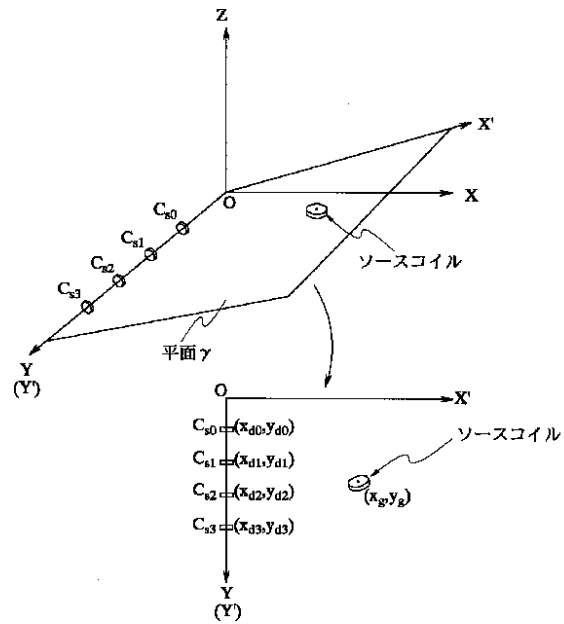
【図27】



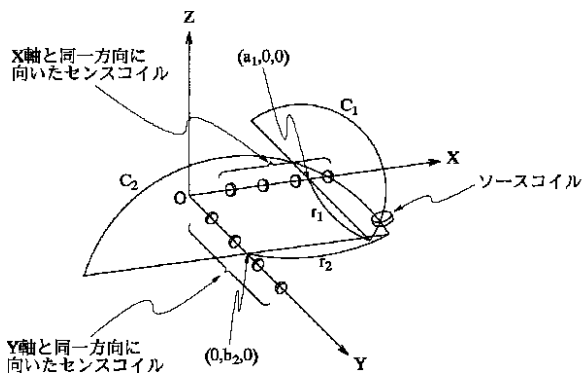
【図14】



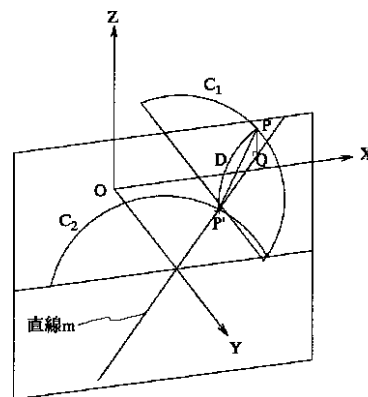
【図15】



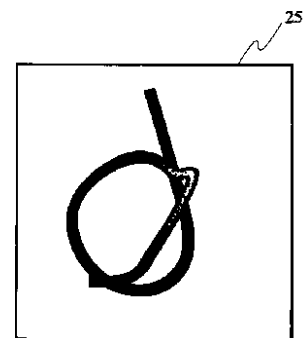
【図16】



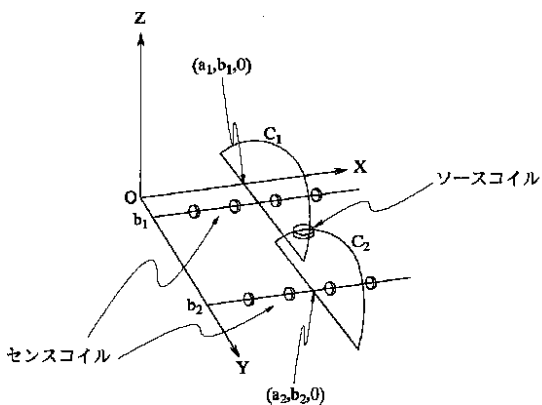
【図18】



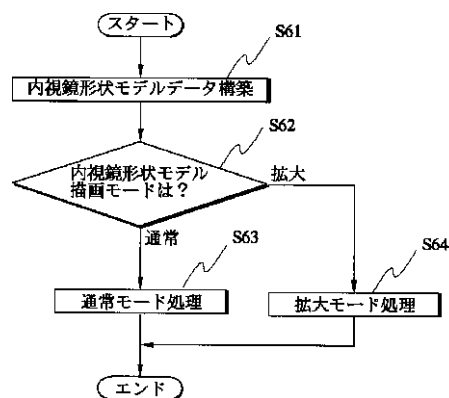
【図26】



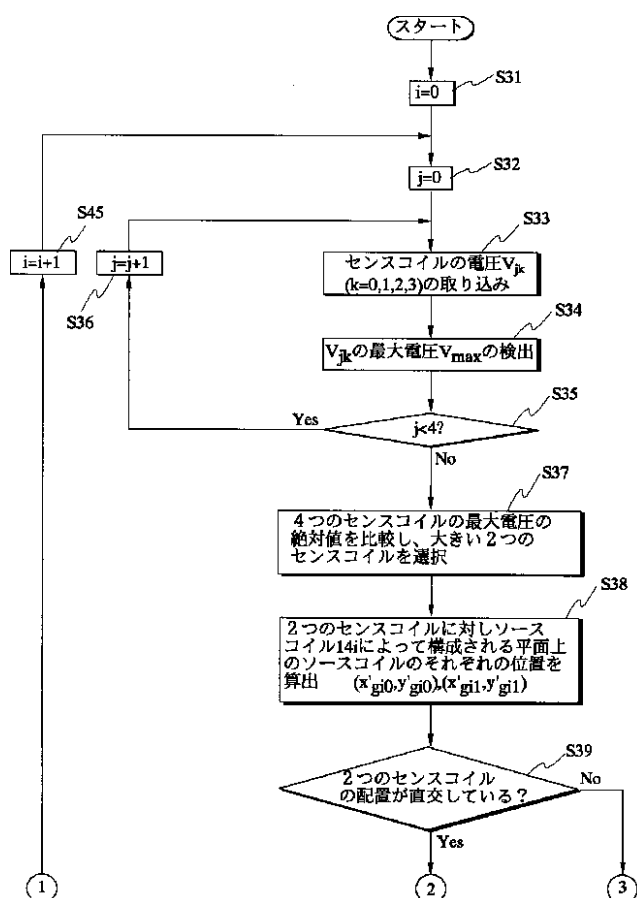
【図19】



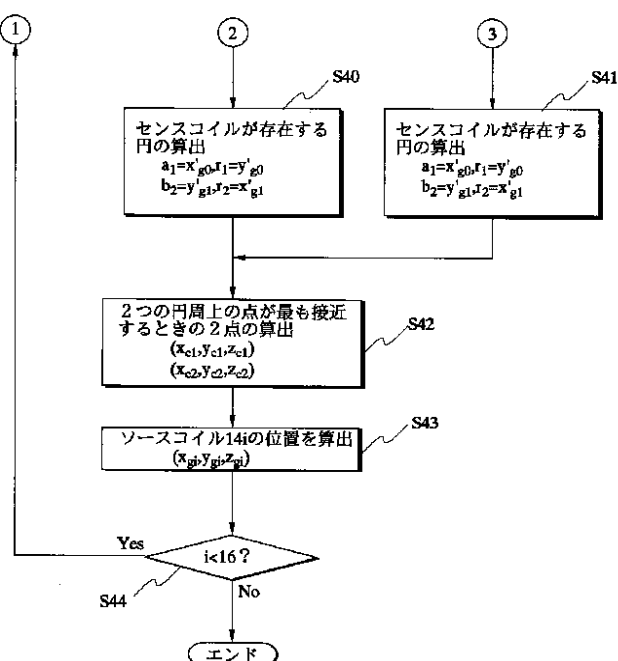
【図23】



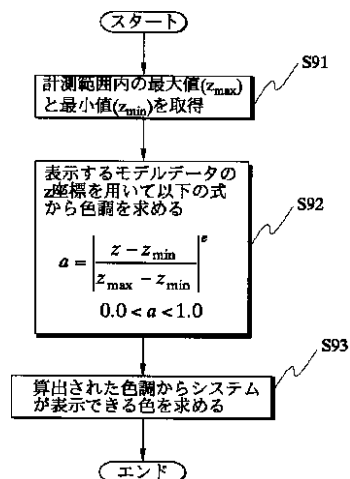
【図20】



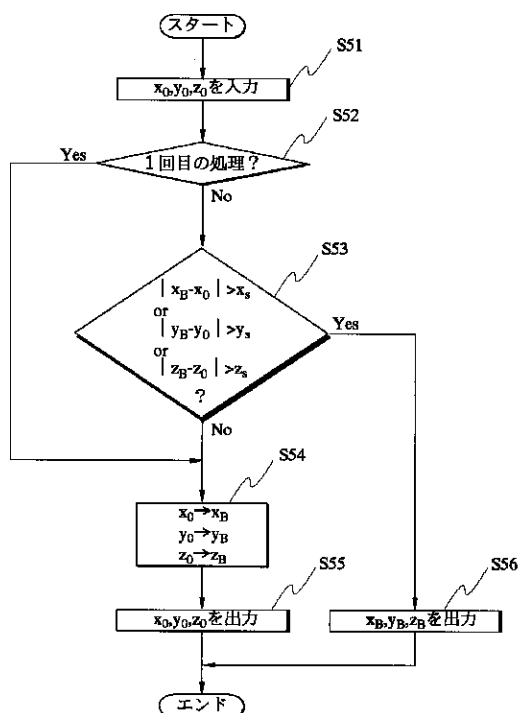
【図21】



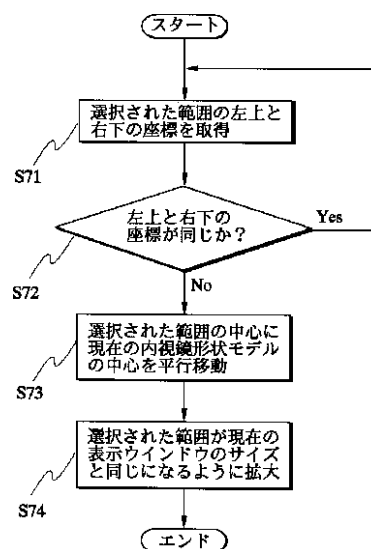
【図30】



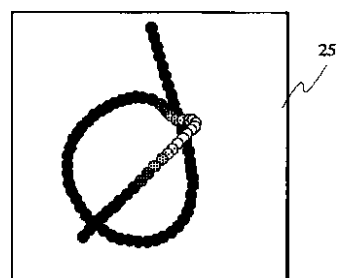
【図22】



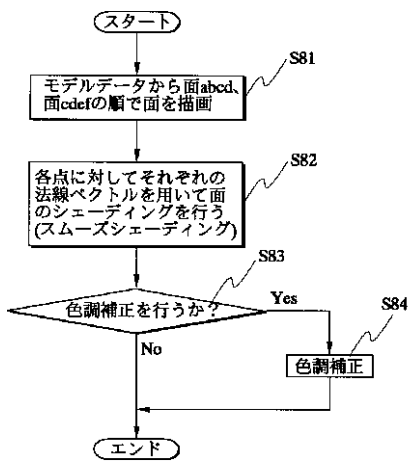
【図25】



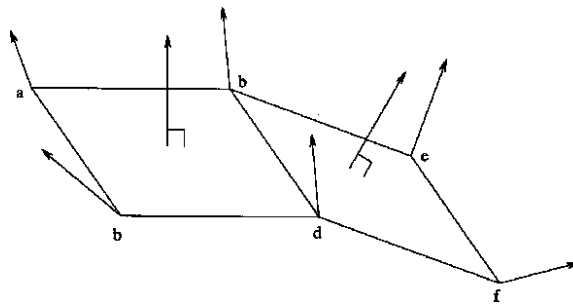
【図35】



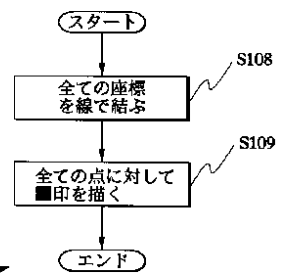
【図28】



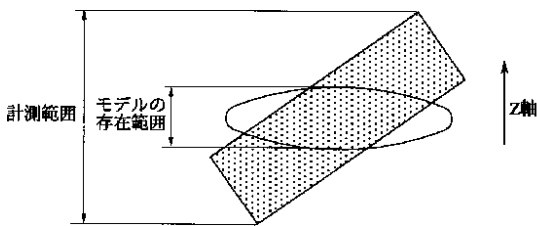
【図29】



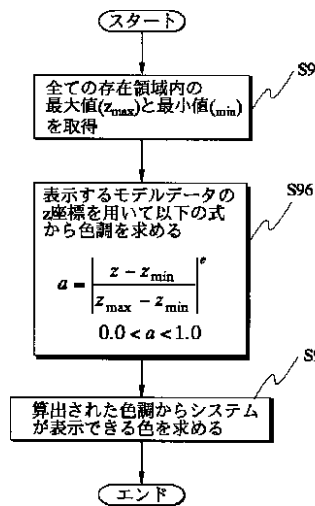
【図38】



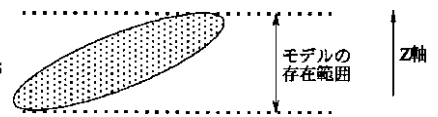
【図31】



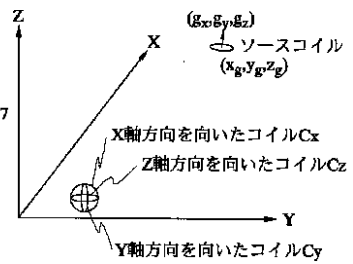
【図32】



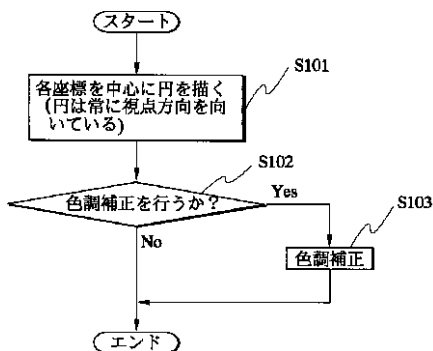
【図33】



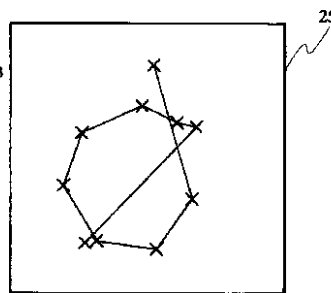
【図46】



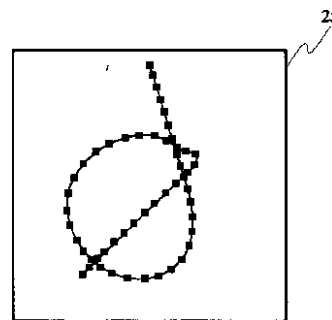
【図34】



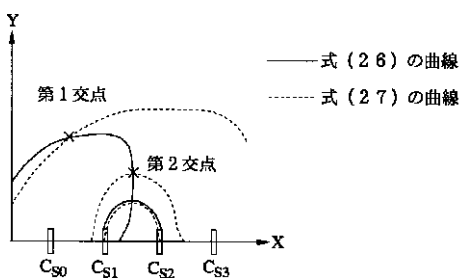
【図37】



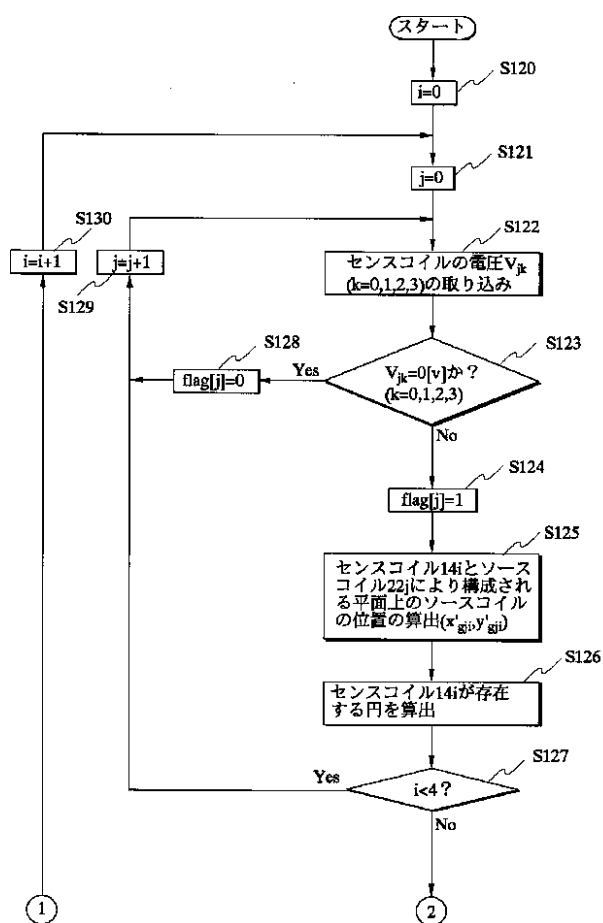
【図39】



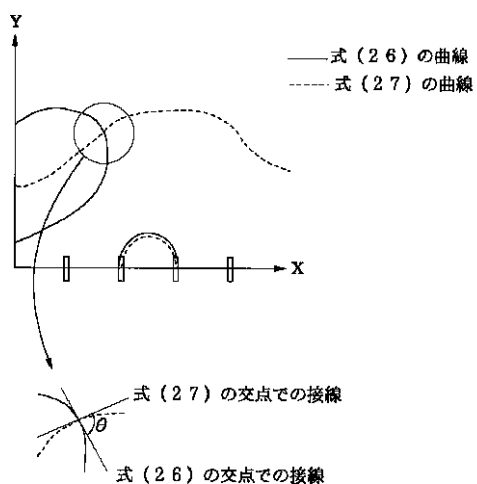
【図40】



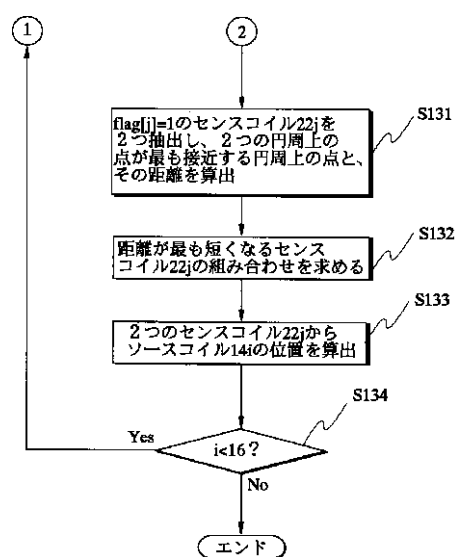
【図41】



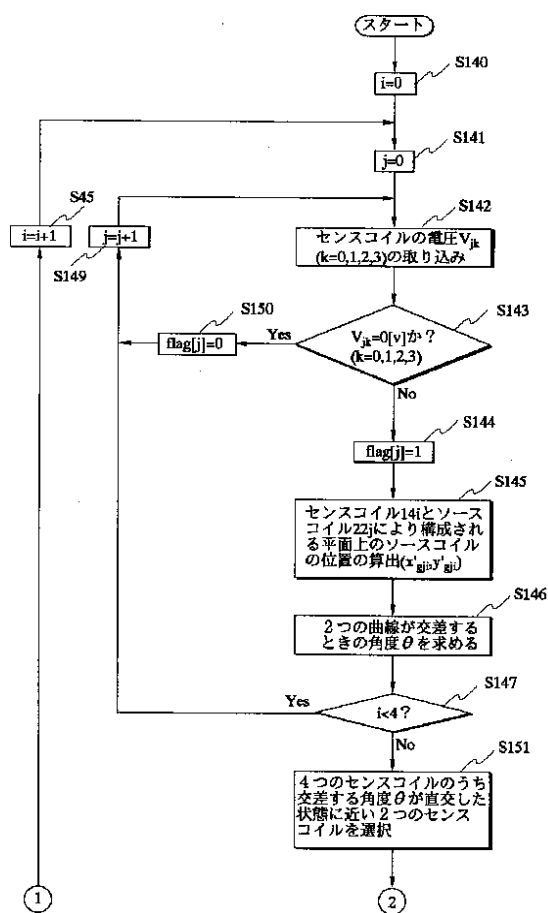
【図43】



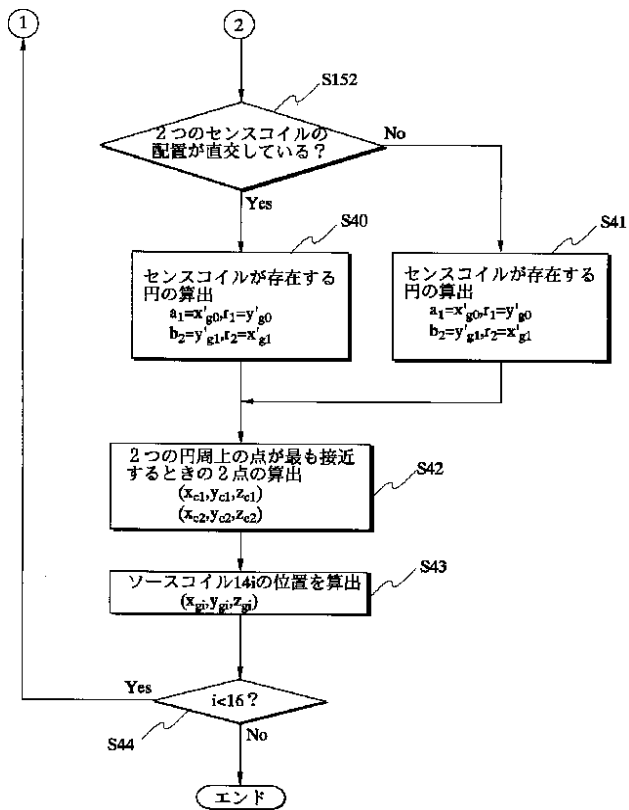
【図42】



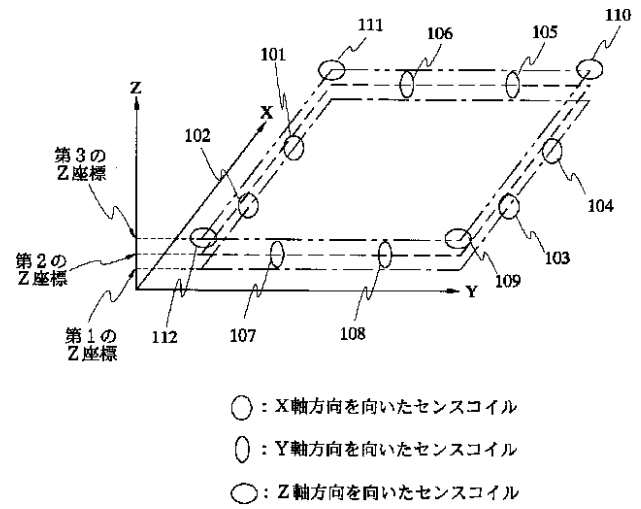
【図44】



【図45】



【図47】



专利名称(译)	位置推定方法		
公开(公告)号	<a href="#">JP2002131009A</a>	公开(公告)日	2002-05-09
申请号	JP2001248217	申请日	2001-08-17
[标]申请(专利权)人(译)	奥林巴斯株式会社		
申请(专利权)人(译)	オリンパス光学工業株式会社		
[标]发明人	長谷川 潤 野波 徹緒		
发明人	長谷川 潤 野波 徹緒		
IPC分类号	G01B7/00 A61B1/00		
FI分类号	G01B7/00.R A61B1/00.300.D A61B1/00.550 A61B1/00.552 G01B7/00.102.M G01B7/00.103.M		
F-TERM分类号	2F063/AA04 2F063/BA29 2F063/DA01 2F063/DC08 2F063/DD06 2F063/GA01 2F063/LA06 2F063/LA11 2F063/LA19 4C061/GG22 4C061/HH51 4C061/JJ17 4C061/NN10 4C161/GG22 4C161/HH51 4C161/HH55 4C161/JJ17 4C161/NN10		
代理人(译)	伊藤 进		
优先权	1998069075 1998-03-18 JP		
其他公开文献	JP3571675B2		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a>		

#### 摘要(译)

解决的问题：减少当通过多组感测线圈获得源线圈的三维位置时的估计误差。通过从电子内窥镜（6）的钳子通道（12）的插入口（12a）插入具有16个源线圈（14i）的探头（15），将源线圈（14i）安装在插入部（7）中。患者5所躺在的床4具有共同的中心，并且从四个具有至少四个单芯线圈22k的感测线圈22a，22b，22c和22d中进行感测，所述四个单芯线圈22k在相同的直线上检测沿相同方向的磁场。线圈22a和22b彼此平行布置，并且感测线圈22c和22d以正交于感测线圈22a和22b的交叉状态安装在预定位置。

