

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2013-169389

(P2013-169389A)

(43) 公開日 平成25年9月2日(2013.9.2)

(51) Int.Cl.
A61B 8/00 (2006.01)F1
A61B 8/00テーマコード (参考)
4C601

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 31 頁)

(21) 出願番号 特願2012-36115 (P2012-36115)
(22) 出願日 平成24年2月22日 (2012.2.22)(71) 出願人 304021417
国立大学法人東京工業大学
東京都目黒区大岡山2丁目12番1号
(74) 代理人 100078776
弁理士 安形 雄三
(74) 代理人 100121887
弁理士 菅野 好章
(72) 発明者 天谷 賢治
東京都目黒区大岡山2-12-1 国立大
学法人東京工業大学内
(72) 発明者 中村 なつ美
東京都目黒区大岡山2-12-1 国立大
学法人東京工業大学内
Fターム(参考) 4C601 BB03 BB17 EE11 EE12 GA18
GA27 JC25 KK21 LL04

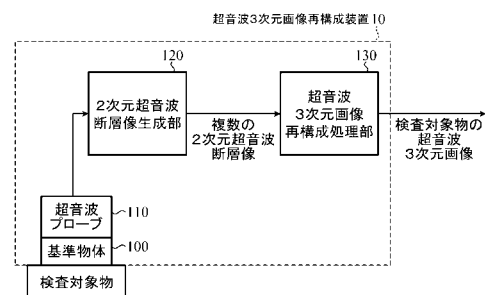
(54) 【発明の名称】 超音波画像構成装置、超音波画像構成方法、及び超音波画像構成処理プログラム

(57) 【要約】

【課題】検査対象物と超音波プローブの間に所定の形状を有する基準物体を挟んで、その検査対象物とその基準物体の超音波断層撮影を行うことで得られる複数の2次元超音波断層像に基づいて、検査対象物の超音波3次元画像を構成できる超音波画像構成装置を提供する。

【解決手段】超音波を送受信する超音波プローブと、所定の形状を有する基準物体と、超音波プローブが受信した超音波に基づいて、超音波断層像を生成する超音波断層像生成部と、超音波断層像生成部により生成される、検査対象物と基準物体が各々の超音波断層像に写し込まれている複数の超音波断層画像から、検査対象物の超音波画像を構成する超音波画像構成処理部を備える。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

超音波を送受信する超音波プローブと、
所定の形状を有する基準物体と、
前記超音波プローブが受信した超音波に基づいて、超音波断層像を生成する超音波断層像生成部と、

前記超音波断層像生成部により生成される、検査対象物と前記基準物体が各々の超音波断層像に写し込まれている複数の超音波断層画像から、前記検査対象物の超音波画像を構成する超音波画像構成処理部を備えることを特徴とする超音波画像構成装置。

【請求項 2】

前記超音波画像構成処理部では、前記超音波断層像生成部により取得された各超音波断層像に対し、超音波断層画像に写し込んだ前記基準物体に係る画像部分から特徴形状を抽出し、抽出した特徴形状の情報に基づき、前記各超音波断層像の基準物体に対する位置及び姿勢を算出し、算出した前記各超音波断層像の基準物体に対する位置及び姿勢と、前記各超音波断層像とに基づいて、前記検査対象物の超音波画像を構成するようになっている請求項 1 に記載の超音波画像構成装置。

【請求項 3】

前記基準物体は、超音波を透過しやすく、且つ、前記超音波プローブをフリーハンドスキャンする作業の間に形状を保つことのできる材料で構成される請求項 2 に記載の超音波画像構成装置。

【請求項 4】

前記材料はプラスチックである請求項 3 に記載の超音波画像構成装置。

【請求項 5】

前記基準物体は、プラスチックフレームに複数のワイヤーを所定のパターンで取り付けした物体である請求項 2 に記載の超音波画像構成装置。

【請求項 6】

検査対象物と超音波プローブの間に基準物体を挟んでいる状態で、フリーハンドスキャンにより、前記基準物体及び前記検査対象物の両方を写った複数の超音波断層像を取得するステップと、

各超音波断層像に対し、超音波断層画像に写し込んだ前記基準物体に係る画像部分から特徴形状を抽出し、抽出した特徴形状の情報に基づき、前記各超音波断層像の基準物体に対する位置及び姿勢を算出するステップと、

算出した前記各超音波断層像の基準物体に対する位置及び姿勢と、前記各超音波断層像とに基づいて、前記検査対象物の超音波画像を構成するステップとを有することを特徴とする超音波画像構成方法。

【請求項 7】

前記基準物体は、超音波を透過しやすく、且つ、前記超音波プローブをフリーハンドスキャンする作業の間に形状を保つことのできる材料で構成される請求項 6 に記載の超音波画像構成方法。

【請求項 8】

前記材料はプラスチックである請求項 7 に記載の超音波画像構成方法。

【請求項 9】

前記基準物体は、プラスチックフレームに複数のワイヤーを所定のパターンで取り付けした物体である請求項 6 に記載の超音波画像構成方法。

【請求項 10】

コンピュータに、検査対象物と超音波プローブの間に基準物体を挟んでいる状態で、フリーハンドスキャンにより、取得した前記基準物体及び前記検査対象物の両方を写った複数の超音波断層像から、前記検査対象物の超音波画像を構成する処理を実行させるための超音波画像構成処理プログラムであって、

前記コンピュータに、

10

20

30

40

50

各超音波断層像に対し、超音波断層画像に写し込んだ前記基準物体に係る画像部分から特徴形状を抽出し、抽出した特徴形状の情報に基づき、前記各超音波断層像の基準物体に対する位置及び姿勢を算出する処理と、

算出した前記各超音波断層像の基準物体に対する位置及び姿勢と、前記各超音波断層像とに基づいて、前記検査対象物の超音波画像を構成する処理と、

を実行させることを特徴とする超音波画像構成処理プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、外部センサを利用せず、フリーハンドで超音波プローブを操作してスキャンングすることにより得られる、任意の位置及び姿勢を持つ複数の２次元超音波断層画像から、超音波３次元画像を構成する超音波画像構成技術に関する。

10

【背景技術】

【0002】

超音波検査（Ultrasonography）は、検査対象物に超音波プローブ（超音波探触子）を当てて超音波を発生させ、検査対象物から反射した超音波を受信し、受信した超音波を画像データとして処理することにより、検査対象物の内部を映像化する画像検査法である。

【0003】

例えば、医療分野では、超音波検査は、超音波撮像装置（超音波診断装置）を用いて、超音波検査を受ける人（被検者）の体表に超音波プローブを押し当てるだけで、その被検者の体内の２次元超音波断層像を簡単に取得することができる非侵襲的な検査手法であり、また、造影剤などを使う必要がないことから、非常に手軽な検査手法でもあることから、多く利用されている。

20

【0004】

また、医療以外の分野では、超音波検査は、検査対象物を破壊せずに、検査対象物の内部構造の評価が行える非破壊検査として、広く利用されている。

【0005】

ところが、超音波撮像装置によって撮像された２次元超音波断層像（Ｂモード像）は視野が狭く、１枚の２次元超音波断層像では、検査対象物の情報を断片的にしか取得できないという問題点がある。

30

【0006】

また、２次元超音波断層像から得られる情報が２次元情報であるため、検査対象物のどの部分（被検者どの部位）を撮像したものであるかを的確に判断するには、判断者の熟練が必要になるという問題点もある。

【0007】

このような問題点を解決するため、検査対象物を撮像して得られた複数の２次元超音波断層像を３次元空間で重ね合わせることによって、その検査対象物を３次元空間で再構成する、即ち、その検査対象物の超音波３次元画像を再構成する、超音波３次元画像再構成技術が、既に提案されている。

【0008】

40

複数の２次元超音波断層像に基づいて再構成された超音波３次元画像は、医療分野におけるコンピュータ支援外科（CAS:Computer Aided Surgery）では、手術時に支援リソースとして活用する需要が非常に高い。

【0009】

既存の超音波３次元画像再構成技術において、フリーハンドで超音波プローブを操作してスキャンングすることにより得られる、任意の位置・姿勢を持つ複数の２次元超音波断層画像を３次元空間に重ね合わせて、超音波３次元画像を再構成するには、２次元超音波断層像同士の相対位置及び姿勢を求める必要がある。２次元超音波断層像同士の相対位置及び姿勢を求める方法として、例えば、以下のような手法が挙げられる。

【0010】

50

手法 1 として、非特許文献 1 に記載されたように、超音波プローブをロボットアームに取り付けることにより、2 次元超音波断層像同士の相対位置及び姿勢を求める方法がある。

【0011】

また、手法 2 として、非特許文献 2 に記載されたように、超音波プローブに磁気センサや光学センサなどの位置センサを取り付け、位置センサを取り付けたプローブの軌跡を追跡することにより、2 次元超音波断層像同士の相対位置及び姿勢を求める方法がある。

【0012】

更に、手法 3 として、非特許文献 3 に記載されたように、2 次元超音波断層像に出現するスペックルパターン (speckle pattern) と呼ばれる斑点模様を利用することにより、2 次元超音波断層像同士の相対位置及び姿勢を求める方法がある。

10

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0013】

【非特許文献 1】R Ohbuchi, H Fuchs, " INCREMENTAL VOLUME RENDERING ALGORITHM FOR INTERACTIVE 3D ULTRA-SOUND IMAGING "

【非特許文献 2】Q.H.Huang, Y.P.Zheng, " A NEW SCANNING APPROACH FOR LIMB EXTREMITIES USING A WATER BAG IN FREE-HAND 3-D ULTRASOUND ", Ultrasound in med. & Biol., Vol.31, No.4, pp.575-583, 2005

【非特許文献 3】R.James Housden, Andrew H.Gee, Graham M.Treece, Richard W.P. rager, " SENSORLESS RECONSTRUCTION OF UNCONSTRAINED FREEHAND 3D ULTRASOUND DATA ", Ultrasound in med. & Biol., Vol.33, No.3, pp.408-419, 2007

20

【非特許文献 4】Jose C.R.Seabra, Luis M.Pedro, Jose Fernandes e Fernandes, Joao M.Sanches, " A 3-D ULTRASOUND-BASED FRAMEWORK TO CHARACTERIZE THE ECHO MORPHOLOGY OF CAROTID PLAQUES "

【非特許文献 5】Youwei Zhang, " Direct Surface Extraction from 3D Freehand Ultrasound Images ", B.E.(Computer Science), A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF Master of Science in THE FACULTY OF GRADUATE STUDIES, The University of British Columbia, May 2003

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

しかしながら、上述した従来の 2 次元超音波断層像同士の相対位置及び姿勢を求める方法では、下記のような問題点が存在する。

【0015】

まず、手法 1 はロボットアームを、手法 2 も磁気センサや光学センサなどの位置センサを使用しているので、高額な設備が必要となる。

【0016】

また、磁気センサや光学センサのダイナミックレンジは 0.5 m ~ 3 m であるのに対して、当該目的である 2 次元画像 (2 次元超音波断層像) の 3 次元構成の要求精度は 0.5 mm ~ 数 mm であり、S / N 比が悪くなってしまう。

40

【0017】

更に、光学センサを用いる場合に、オクルージョンの問題も発生してしまう恐れがある。また、磁気センサを用いる場合に、鉄などの磁性材料があると、センサの検出精度が大きく低下してしまう。

【0018】

また更に、従来の手法の何れも、求められた姿勢・位置信号と、2 次元超音波断層像の信号の同期をとって解析する必要がある。

【0019】

50

本発明は、上述のような事情よりなされたものであり、本発明の目的は、検査対象物と超音波プローブの間に所定の形状を有する基準物体を挟んで、その検査対象物とその基準物体の超音波断層撮影を行うことで得られる複数の２次元超音波断層像に基づいて、検査対象物の超音波３次元画像を簡単に構成できる超音波画像構成装置、超音波画像構成方法及び超音波画像構成処理プログラムを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【００２０】

本発明は、超音波画像構成装置に関するものであり、本発明の上記目的は、超音波を送受信する超音波プローブと、所定の形状を有する基準物体と、前記超音波プローブが受信した超音波に基づいて、超音波断層像を生成する超音波断層像生成部と、前記超音波断層像生成部により生成される、検査対象物と前記基準物体が各々の超音波断層像に写し込まれている複数の超音波断層画像から、前記検査対象物の超音波画像を構成する超音波画像構成処理部を備えることにより達成される。

10

【００２１】

また、本発明の上記目的は、前記超音波画像構成処理部では、前記超音波断層像生成部により取得された各超音波断層像に対し、超音波断層画像に写し込んだ前記基準物体に係る画像部分から特徴形状を抽出し、抽出した特徴形状の情報に基づき、前記各超音波断層像の基準物体に対する位置及び姿勢を算出し、算出した前記各超音波断層像の基準物体に対する位置及び姿勢と、前記各超音波断層像とに基づいて、前記検査対象物の超音波画像を構成することにより、或いは、前記基準物体は、超音波を透過しやすく、且つ、前記超音波プローブをフリーハンドスキャンする作業の間に形状を保つことのできる材料で構成されることにより、或いは、前記材料はプラスチックであることにより、或いは、前記基準物体は、プラスチックフレームに複数のワイヤーを所定のパターンで取り付けられた物体であることによって、より効果的に達成される。

20

【００２２】

更に、本発明は、超音波画像構成方法に関するものであり、本発明の上記目的は、検査対象物と超音波プローブの間に基準物体を挟んでいる状態で、フリーハンドスキャンングにより、前記基準物体及び前記検査対象物の両方を写った複数の超音波断層像を取得するステップと、各超音波断層像に対し、超音波断層画像に写し込んだ前記基準物体に係る画像部分から特徴形状を抽出し、抽出した特徴形状の情報に基づき、前記各超音波断層像の基準物体に対する位置及び姿勢を算出するステップと、算出した前記各超音波断層像の基準物体に対する位置及び姿勢と、前記各超音波断層像とに基づいて、前記検査対象物の超音波画像を構成するステップとを有することにより達成される。

30

【００２３】

また更に、本発明は、コンピュータに、検査対象物と超音波プローブの間に基準物体を挟んでいる状態で、フリーハンドスキャンングにより、取得した前記基準物体及び前記検査対象物の両方を写った複数の超音波断層像から、前記検査対象物の超音波画像を構成する処理を実行させるための超音波画像構成処理プログラムに関するものであり、本発明の上記目的は、前記コンピュータに、各超音波断層像に対し、超音波断層画像に写し込んだ前記基準物体に係る画像部分から特徴形状を抽出し、抽出した特徴形状の情報に基づき、前記各超音波断層像の基準物体に対する位置及び姿勢を算出する処理と、算出した前記各超音波断層像の基準物体に対する位置及び姿勢と、前記各超音波断層像とに基づいて、前記検査対象物の超音波画像を構成する処理とを実行させることにより達成される。

40

【発明の効果】

【００２４】

本発明によれば、外部センサを利用せず、検査対象物と超音波プローブの間に所定の形状を有する基準物体を挟んで、フリーハンドで超音波プローブを操作してスキャンングし、その検査対象物とその基準物体の超音波断層撮影を行うことで得られる、任意の位置及び姿勢を持つ複数の２次元超音波断層画像から、超音波３次元画像を簡単に構成することができる。

50

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 5 】

【図 1】本発明に係る超音波 3 次元画像再構成装置のブロック図である。

【図 2】本発明に係る超音波 3 次元画像再構成装置の処理の流れを説明するための図である。

【図 3】基準物体座標系と 2 次元超音波断層像座標系との関係を説明するための概念図である。

【図 4】本発明に係る超音波 3 次元画像再構成装置における基準物体の一具体例を説明するための図である。

【図 5】本発明において、生成（撮像）される 2 次元超音波断層像の一例を示す図である 10

【図 6】本発明において、2 次元超音波断層像平面と基準物体が交差しているようなフリーハンドスキニングの一場面を説明するための模式図である。

【図 7】本発明において、2 次元超音波断層像平面と基準物体が交差しているようなフリーハンドスキニングの一場面（基準物体にある 3 本のワイヤーが全て同一平面内に含まれる場合）を説明するための模式図である。

【図 8】本発明において、2 次元超音波断層像平面と基準物体が交差しているようなフリーハンドスキニングの一場面（基準物体に全部で 4 本のワイヤーがあり、そのうちの 3 本のワイヤーが同一平面内に含まれる場合）を説明するための模式図である。

【図 9】本発明において、2 次元超音波断層像平面に写し込む基準物体の情報として、三角錐台もしくは多角錐台のエッジを利用する場合を説明するための模式図である。 20

【図 10】本発明において、2 次元超音波断層像平面に写し込む基準物体の情報として、テープ状物体のエッジを利用する場合を説明するための模式図である。

【図 11】本発明において、2 次元超音波断層像平面に写し込む基準物体の情報として、基準物体座標系における形状が既知の曲線エッジを利用する場合を説明するための模式図である。

【図 12】本発明において、2 次元超音波断層像平面に写し込む基準物体として、繰り返し形状が現れる物体を利用する場合を説明するための模式図である。

【図 13】本発明に係る超音波 3 次元画像再構成装置において、超音波プローブ、基準物体及び検査対象物の位置関係を説明するための模式図である。 30

【図 14】本発明の 2 次元超音波断層像の基準物体に対する位置及び姿勢を算出する具体的な実施例において、2 次元超音波断層像平面、基準物体及び検査対象物の位置関係を説明するための模式図である。

【図 15】本発明の 2 次元超音波断層像の基準物体に対する位置及び姿勢を算出する具体的な実施例において、基準物体座標系における 2 次元超音波断層像の位置及び姿勢を表すパラメータの定義を説明するための模式図である。

【図 16】本発明の 2 次元超音波断層像の基準物体に対する位置及び姿勢を算出する具体的な実施例において、2 次元超音波断層像平面上にある 2 次元超音波断層像の面内回転角の定義を説明するための模式図である。

【図 17】本発明の 2 次元超音波断層像の基準物体に対する位置及び姿勢を算出する具体的な実施例において、直線の方程式で基準物体をモデル化することを説明するための模式図である。 40

【図 18】血管の 2 次元超音波断層像を取得するための模式図である。

【図 19】取得された血管の 2 次元超音波断層像に基づいて、再構成された血管の超音波 3 次元画像（血管の表面形状）を示す図である。

【図 20】本発明を複数のボリューム像（複数の 3 次元超音波画像）に適用する場合に、基準物体座標系と 3 次元超音波画像座標系との関係を説明するための概念図である。

【図 21】本発明を複数のボリューム像（複数の 3 次元超音波画像）に適用する場合に、基準物体のワイヤーを含む平面を抽出することを説明するための概念図である。

【図 22】本発明を複数のボリューム像（複数の 3 次元超音波画像）に適用する場合に、 50

基準物体のワイヤー形状に、３次元超音波画像内のワイヤーを含む平面に写し込まれたワイヤー形状をテンプレートマッチングでフィッティングさせる様子を説明するための概念図である。

【図２３】本発明において、ワイヤー配置図、及び、ワイヤーを含む平面と３つの超音波断層面の交線を示す図である。

【図２４】本発明により構成した３次元超音波画像の例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【００２６】

本発明のポイントは、検査対象物と超音波プローブの間に所定の形状を有する基準物体を挟んで、その検査対象物とその基準物体の超音波断層撮影を行うことで、検査対象物と基準物体の両方を２次元超音波断層像に意図的に写し込ませ、２次元超音波断層像に写った基準物体に関する情報から、２次元超音波断層像の３次元座標系である基準物体座標系における位置及び姿勢を同定（算出）し、同定した２次元超音波断層像の基準物体座標系における位置及び姿勢と、検査対象物の２次元超音波断層像（即ち、２次元超音波断層像に写った検査対象物に関する情報）に基づいて、検査対象物の超音波３次元画像を構成することである。

【００２７】

つまり、本発明では、検査対象物の内部を３次元的に可視化するために、フリーハンドスキニングで取得される（即ち、自由に超音波プローブを動かしながら、取得する）、任意の位置及び姿勢を持つ複数の検査対象物と基準物体の両方を写った２次元超音波断層画像から、２次元超音波断層像の基準物体座標系における位置及び姿勢を求め、求めた２次元超音波断層像の基準物体座標系における位置及び姿勢に基づいて、任意の位置及び姿勢を持つ複数の２次元超音波断層像を３次元空間（即ち、同じ３次元領域に）に再構築する（即ち、マッピングする）ことで、検査対象物の超音波３次元画像（即ち、検査対象物の内部の３次元形状）を再構成するようにしている。

【００２８】

以下に、本発明の実施の形態を、図面を参照して詳細に説明する。

【００２９】

図１は、本発明に係る超音波３次元画像再構成装置のブロック図である。図２は、図１に示す本発明の超音波３次元画像再構成装置の処理の流れを説明するための図である。

【００３０】

図１に示されるように、本発明に係る超音波３次元画像再構成装置（以下、単に、超音波３次元画像再構成装置１０とも言う。）は、超音波を送受信する超音波プローブ１１０と、検査対象物と超音波プローブ１１０の間に配置される、所定の形状を有する基準物体１００と、超音波プローブ１１０が受信した超音波に基づいて２次元超音波断層像を生成する２次元超音波断層像生成部１２０と、２次元超音波断層像生成部１２０により生成される、検査対象物と基準物体１００の両方を写った複数の２次元超音波断層画像から、検査対象物の超音波３次元画像を再構成する超音波３次元画像再構成処理部１３０とを備えている。

【００３１】

本発明の超音波３次元画像再構成装置において、超音波プローブ１１０と２次元超音波断層像生成部１２０は、例えば、２次元超音波断層像を撮像（生成）できる通常の超音波撮像装置で構成することが可能である（図２参照）。

【００３２】

また、図示しないが、本発明の超音波３次元画像再構成装置は、必要によって、取得した２次元超音波断層像や再構成した超音波３次元画像を表示するための表示装置を備えるようにしても良い。

【００３３】

図１３は、本発明に係る超音波３次元画像再構成装置において、超音波プローブ１１０、基準物体１００、及び検査対象物の位置関係を説明するための模式図である。以下、図

10

20

30

40

50

1、図2、及び図13を参照して、本発明に係る超音波3次元画像再構成装置（超音波3次元画像再構成装置10）の処理の流れを説明する。

【0034】

本発明では、2次元超音波断層画像を取得するために、まず、基準物体100を検査対象物と超音波プローブ110の間に挟みこむように配置する（図13参照）。このとき、それぞれの物体（即ち、基準物体100及び検査対象物）と超音波プローブ110の間に空隙ができないように、通常の超音波撮像装置による超音波検査と同様に、ゼリーもしくは液体などの超音波を伝える媒質で充填する。

【0035】

また、本発明では、超音波プローブ110が、検査対象物、及び検査対象物と密着している基準物体100に対し、超音波を送信するとともに、検査対象物、及び検査対象物と密着している基準物体100から反射した超音波を受信するようになっている。

【0036】

つまり、本発明では、検査対象物と超音波プローブ110の間に基準物体100を挟んでいる状態で、基準物体100及び検査対象物の2次元超音波断層像の撮影が行われるようになっている。

【0037】

次に、超音波プローブ110で検査対象物と密着している基準物体100をフリーハンドスキャンし、超音波プローブ110が受信した超音波に基づいて2次元超音波断層像を生成する2次元超音波断層像生成部120により（図1と図2のステップS100を参照する）、検査対象物と基準物体100の両方を写った、複数の2次元超音波断層像が生成される。

【0038】

次に、本発明では、超音波3次元画像再構成処理部130が、検査対象物と基準物体100の両方を写った複数の2次元超音波断層画像に基づいて、検査対象物の超音波3次元画像を再構成する（図1参照）。

【0039】

具体的に、まず、2次元超音波断層像生成部120により取得された全ての2次元超音波断層像に対し、それぞれ、2次元超音波断層画像に写し込んだ基準物体100に係る画像部分から特徴形状を抽出する（図2のステップS110を参照する）。

【0040】

次に、図2のステップS110により抽出された、各2次元超音波断層画像に係る特徴形状の情報に基づき、2次元超音波断層像生成部120により取得された全ての2次元超音波断層像の基準物体100に対する位置及び姿勢を算出する（図2のステップS120を参照する）。

【0041】

即ち、本発明では、3次元領域にマッピングされる、2次元超音波断層像を表すピクセル座標 $Ce(xe, ye)$ と、超音波3次元画像の再構成を行うボリューム内のボクセル座標 $Cs(xs, ys, zs)$ を対応付けるために、下記数1で表される座標変換を利用する。

（数1）

$$Cs = TesCe$$

ここで、 Cs は3次元座標系である基準物体座標系を表し、 Ce は2次元座標系である2次元超音波断層像座標系を表す（図3参照）。また、 Tes は、2次元超音波断層像座標系 Ce と基準物体座標系 Cs 間の変換行列である。

【0042】

ちなみに、本発明では、図2のステップS120により算出された位置及び姿勢の情報から、座標変換行列 Tes を求める。

【0043】

次に、2次元超音波断層像生成部120により取得された各2次元超音波断層像、及び、図2のステップS120により算出された各2次元超音波断層像の基準物体100に対

10

20

30

40

50

する位置及び姿勢を統合して、３次元のボリューム（３次元空間）に、２次元超音波断層像内の輝度値をボリュームデータ（ボクセルデータ）として格納していく（図２のステップＳ１３０を参照する）。

【００４４】

なお、図２のステップＳ１３０の処理において、ボクセルデータが格納されているボクセルに、新たな輝度値が入ってきた場合は、高いほうの輝度値をそのボクセルに格納するようにしても良い。また、本発明では、２次元超音波断層像の垂直方向に超音波のビーム幅があるので、２次元超音波断層面に厚みを持たせて、２次元超音波断層像を３次元領域にマッピングするようにしても良い。

【００４５】

次に、図２のステップＳ１３０により構築された３次元のボリュームデータを画像化する、ボリュームレンダリング処理を行うことにより、検査対象物の超音波３次元画像を再構成する（図２のステップＳ１４０を参照する）。

【００４６】

なお、本発明では、図２のステップＳ１３０により構築された３次元のボリュームデータについて、図２のステップＳ１４０のボリュームレンダリング処理を行うだけでなく、必要であれば、例えば、任意断面をカットして表示装置に出力したり、検査対象物は人体の場合、注目する臓器の表面抽出処理を施した後に、表示装置に出力するなど、既存のボリュームデータ処理方法と、ボリュームデータを可視化するための既存の表示方法を適用することが可能である。

【００４７】

ここで、本発明に係る超音波３次元画像再構成装置で使用される基準物体１００の材料について説明する。基準物体１００は、超音波を透過しやすく、且つ、超音波プローブ１１０をフリーハンドスキャンする一連の作業の間に形状が変化しない硬質な材料（即ち、超音波プローブ１１０をフリーハンドスキャンする作業の間に形状を保つことのできる材料）で構成される。

【００４８】

このような材料としては、例えば、各種プラスチックや金属が利用可能である。ただし、超音波を透過しやすくする箇所を肉抜きし、柔らかい媒質で充填しても良い。

【００４９】

以下、本発明で使用される基準物体１００の具体例について説明する。図４は本発明の超音波３次元画像再構成装置１０における基準物体１００の一具体例を説明するための図である。図４に示されるように、基準物体１００は、所定の厚さ（例えば、１ｍｍ～１５ｍｍほど）を有するプラスチック製（例えば、アクリル製）のフレーム（以下、プラスチックフレームとも言う。）に複数のワイヤーを所定のパターン（例えば、Ｎ字状）で取り付け付けた物体である。

【００５０】

前述したように、本発明では、フリーハンドでスキャンしながら（即ち、自由に超音波プローブ１１０を動かしながら、）検査対象物と基準物体１００の両方を写る２次元超音波断層画像を、２次元超音波断層像生成部１２０にて生成するようになっている。

【００５１】

フリーハンドスキャンの一場面において、例えば、２次元超音波断層像平面と、図４に示されるような基準物体が交差している場合（図６参照）に、生成（撮像）される２次元超音波断層像は、図５に示されるような２次元超音波断層像になる。

【００５２】

図５に示されるように、基準物体中のワイヤーと２次元超音波断層像平面の交差する箇所（即ち、図５中のワイヤーの断面）が、輝度値の高い像として現れる。また、図５に示されるように、プラスチックフレームの両面で超音波が干渉してできる縞模様（即ち、多重反射アーチファクトによる縞）が撮像（測定）される。

【００５３】

10

20

30

40

50

ここで、本発明の超音波３次元画像再構成装置１０に、図４に示されるような基準物体１００を用いた場合の座標変換行列Ｔesの算出方法について説明する。

【００５４】

この場合に、本発明では、図２のステップＳ１１０において、特徴点・形状として、２次元超音波断層像に写ったワイヤー断面点（例えば、図５中のワイヤーの断面点）の座標 $P_{ei} = (x_{ei}, y_{ei})$ を画像処理により抽出する。ここで、 i ($i = 1 \sim n$) は基準物体１００に取り付けられたワイヤーの本数である。

【００５５】

２次元超音波断層像に写ったワイヤー断面点の座標を抽出する具体的な方法として、例えば、非特許文献５に記載された方法を用いることが可能である。

10

【００５６】

なお、本発明では、２次元超音波断層像に写ったワイヤー断面点の座標を抽出する処理を行うために、画像処理ハードウェアを利用するようにしても良く、また、画像処理ソフトウェアを利用するようにしても良い。

【００５７】

また、本発明に係る超音波３次元画像再構成装置１０の超音波３次元画像再構成処理部は、コンピュータを利用し、ソフトウェア（コンピュータプログラム）により実装されることができ、そして、ＡＳＩＣ（Application Specific Integrated Circuit）、ＧＰＵ（Graphics Processing Unit）やＦＰＧＡ（Field Programmable Gate Array）などのハードウェアにより実装されることも勿論できる。

20

【００５８】

また、本発明では、上記数１は、例えば、下記数２で表すことができる。

【００５９】

【数２】

$$\begin{pmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & t_1 \\ R_{21} & R_{22} & t_2 \\ R_{31} & R_{32} & t_3 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_e \\ y_e \\ 1 \end{pmatrix}$$

30

ここで、座標変換行列Ｔesの１列と２列は、互いに直交で大きさが既知のベクトルである。また、２次元超音波断層像座標系Ｃeから、基準物体座標系Ｃsへの回転及び並進が決まると、座標変換行列Ｔesが決まる。

【００６０】

並進ベクトルは、そのまま t_1, t_2, t_3 となる。また、回転を表す係数 R_{ij} について、オイラー角表現、ロールピッチヨー角表現、クォータニオン表現などを利用し、それぞれの表現で用いられるパラメータから、係数 R_{ij} を算出することができる。

【００６１】

これらの回転を表すパラメータを p とするオイラー角表現およびロールピッチヨー角表現では、３次元角度のパラメータとなり、クォータニオン表現では、４つのパラメータに一つの制約条件式が与えられる。

40

【００６２】

あるパラメータ ($\phi_1, \phi_2, \phi_3, t_1, t_2, t_3$) に対して、決まる２次元超音波断層平面とワイヤーの交点（即ち、ワイヤー断面点）を計算する。ワイヤー断面点の計算手順を関数 $P_{ei}(\phi_1, \phi_2, \phi_3)$ と記すことにする。

【００６３】

それぞれのワイヤー断面点に対し、下記数３で表す方程式を構成する。次に、全てのワイヤー断面点に対して構成された方程式で構成される連立方程式を解くことにより、パラメータ ($\phi_1, \phi_2, \phi_3, t_1, t_2, t_3$) を求める。

（数３）

50

$P_{ei} = P_{ei}(\phi_1, \phi_2, \phi_3, t_1, t_2, t_3)$

なお、パラメータ($\phi_1, \phi_2, \phi_3, t_1, t_2, t_3$)を算出する代わりとして、本発明では、例えば、非特許文献5の5.2.3節(Calibration from a Single Scan)の記載に従って、座標変換行列 T_{es} の成分を直接に算出するようにしても良い。

【0064】

即ち、座標変換行列 T_{es} の成分を算出するために、まず、上記数2に対して、複数のワイヤー断面点に基づいて、下記数4で表す連立方程式を構成する。

【0065】

【数4】

$$\begin{pmatrix} xs1 & xs2 & xs3 & xs4 \\ ys1 & ys2 & ys3 & ys4 \\ zs1 & zs2 & zs3 & zs4 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} R11 & R12 & t1 \\ R21 & R22 & t2 \\ R31 & R32 & t3 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} xe1 & xe2 & xe3 & xe4 \\ ye1 & ye2 & ye3 & ye4 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad 10$$

次に、下記数5で表すように、最小2乗法を用いて座標変換行列 T_{es} を直接に算出する。

【0066】

【数5】

$$\begin{bmatrix} R11 & R12 & t1 \\ R21 & R22 & t2 \\ R31 & R32 & t3 \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} xs1 & xs2 & xs3 & xs4 \\ ys1 & ys2 & ys3 & ys4 \\ zs1 & zs2 & zs3 & zs4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} xe1 & xe2 & xe3 & xe4 \\ ye1 & ye2 & ye3 & ye4 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}^T \left[\begin{pmatrix} xe1 & xe2 & xe3 & xe4 \\ ye1 & ye2 & ye3 & ye4 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} xe1 & xe2 & xe3 & xe4 \\ ye1 & ye2 & ye3 & ye4 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}^T \right]^{-1} \quad 20$$

ただし、 $(\cdot)^T$ は、 $(\cdot)$ の転置行列を表し、また、 $(\cdot)^{-1}$ は、 $(\cdot)$ の逆行列を表す。

【0067】

また、本発明では、最小2乗法で下記数6で表す目的関数 J を、各種の非線形最適化手法により最小化して、パラメータ($\phi_1, \phi_2, \phi_3, t_1, t_2, t_3$)を算出するようにしても良い。

【0068】

【数6】

$$J(\phi_1, \phi_2, \phi_3, t_1, t_2, t_3) = \sum_{i=1}^n ((\underline{xei} - x_{ei}(\phi_1, \phi_2, \phi_3, t_1, t_2, t_3))^2 + (\underline{yei} - y_{ei}(\phi_1, \phi_2, \phi_3, t_1, t_2, t_3))^2) \quad 30$$

ここで、 i ($i = 1 \sim n$) は基準物体100に取り付けられたワイヤーの本数である。

【0069】

上記の方法では、連立方程式を解くことで、一度に全てのパラメータを算出するようにしているが、本発明では、その連立方程式を多段階に(即ち、小問題に)分解して解くことで、パラメータを算出することもできる。

【0070】

例えば、連立方程式では、直接ワイヤー断面点の位置が一致するような条件式となっているが、それぞれのワイヤー断面点 P_{ei} および P_{ej} の間の距離が一致するように、下記数7で表す方程式を構成するようにしても良い。

【0071】

【数7】

$$\|P_{ei} - P_{ej}\|^2 = \|P_{ei}(\phi_1, \phi_2, \phi_3, t_1, t_2, t_3) - P_{ej}(\phi_1, \phi_2, \phi_3, t_1, t_2, t_3)\|^2$$

また、本発明では、2次元断層画像平面に、少なくとも3つのワイヤー断面点が撮影されるようにする。また、3つのワイヤーは同一平面に含まれないよう、且つ、少なくとも1つのワイヤーは他のワイヤーに平行にならないように構成する。

【 0 0 7 2 】

以下、2次元超音波断層像平面のパラメータの表現法について説明する。ここで、図6に示されるような2次元超音波断層像平面の並進及び回転を表現する方法について説明する。

【 0 0 7 3 】

即ち、図6に示されるように、ワイヤー断面点 P_{e1} のワイヤー1上における位置を表すパラメータ α 、ワイヤー断面点 P_{e2} のワイヤー2上における位置を表すパラメータ β 、及び、ワイヤー断面点 P_{e3} のワイヤー3上における位置を表すパラメータ γ を用いて、2次元超音波断層像平面の並進及び回転を表現する。

【 0 0 7 4 】

それぞれのワイヤー断面点 P_{ei} の互いの距離に対して、計測値と計算値を等しくする条件の方程式が下記数8、数9、数10となる。

【 0 0 7 5 】

【 数 8 】

$$\| \underline{Pe1} - \underline{Pe2} \|^2 = \| Pe1(\alpha, \beta) - Pe2(\alpha, \beta) \|^2$$

【 0 0 7 6 】

【 数 9 】

$$\| \underline{Pe2} - \underline{Pe3} \|^2 = \| Pe2(\beta, \gamma) - Pe3(\beta, \gamma) \|^2$$

【 0 0 7 7 】

【 数 10 】

$$\| \underline{Pe3} - \underline{Pe1} \|^2 = \| Pe3(\alpha, \gamma) - Pe1(\alpha, \gamma) \|^2$$

ここで、 $\underline{Pe1}$ はワイヤー断面点 P_{e1} の座標であり、 $\underline{Pe2}$ はワイヤー断面点 P_{e2} の座標であり、 $\underline{Pe3}$ はワイヤー断面点 P_{e3} の座標である。また、 $\underline{Pe1} - \underline{Pe2}$ は、ワイヤー断面点 P_{e2} からワイヤー断面点 P_{e1} に向かうベクトルを表し、 $\underline{Pe2} - \underline{Pe3}$ は、ワイヤー断面点 P_{e3} からワイヤー断面点 P_{e2} に向かうベクトルを表し、 $\underline{Pe3} - \underline{Pe1}$ は、ワイヤー断面点 P_{e1} からワイヤー断面点 P_{e3} に向かうベクトルを表す。下線はそれぞれの値が2次元超音波断層像で観測された値であることを示す。

【 0 0 7 8 】

そして、 $Pe1(\alpha, \beta) - Pe2(\alpha, \beta)$ は、 α と β が決まったときの基準物体座標系におけるワイヤー断面点 P_{e2} からワイヤー断面点 P_{e1} に向かうベクトルを表す。また、 $Pe2(\beta, \gamma) - Pe3(\beta, \gamma)$ は、 β と γ が決まったときの基準物体座標系におけるワイヤー断面点 P_{e3} からワイヤー断面点 P_{e2} に向かうベクトルを表す。更に、 $Pe3(\alpha, \gamma) - Pe1(\alpha, \gamma)$ は、 α と γ が決まったときの基準物体座標系におけるワイヤー断面点 P_{e1} からワイヤー断面点 P_{e3} に向かうベクトルを表す。

【 0 0 7 9 】

上記数8、数9及び数10で構成される連立方程式を解くことにより、パラメータ α 、 β 、 γ を求めることができる。

【 0 0 8 0 】

図7は、本発明において2次元超音波断層像平面と基準物体が交差しているようなフリーハンドスキニングの一場面を示しており、図7に示されるように、基準物体にある3本のワイヤー（即ち、ワイヤー1、ワイヤー2及びワイヤー3）が全て同一平面にある。

【 0 0 8 1 】

図7の矢印AAに示されるように、3つのワイヤー断面点（ワイヤー断面点 P_{e1} 、ワイヤー断面点 P_{e2} 、及びワイヤー断面点 P_{e3} ）が一直線になり、2次元超音波断層像平面がワイヤー断面点 P_{e1} 、ワイヤー断面点 P_{e2} 、及びワイヤー断面点 P_{e3} を通る直線の周りに回転する姿勢が不定になる。

【 0 0 8 2 】

10

20

30

40

50

図 7 に示すように、3 本のワイヤーが同一平面内に含まれるような配置になっている場合には、パラメータ α 、 β 、 γ のいずれか一つのパラメータは、他の 2 つのパラメータを用いて線形に表すことができるので、上記数 8、数 9 及び数 10 で構成される連立方程式を効率的に解くことができる。

【0083】

なお、上記数 8、数 9 及び数 10 で構成される連立方程式を解く具体的な方法として、例えば、非特許文献 5 に記載された方法を用いることが可能である。

【0084】

しかし、図 7 に示されるような、3 本のワイヤーが同一平面内に含まれるような配置になっている場合には、3 本のワイヤーの張られる面と 2 次元超音波断層像平面のなす角が不定になり、即ち、問題が非適切になってしまう可能性もあるので、本発明では、それに対応するために、図 8 に示されるように、3 本のワイヤー（ワイヤー 1、ワイヤー 2 及びワイヤー 3）の張られる面に含まれないようなワイヤー 4 を基準物体に付加するようにする。

10

【0085】

ここで、ワイヤー 4 の付加により、ワイヤー 4 に係るパラメータ δ に関する方程式も、上記数 8、数 9 及び数 10 で構成される連立方程式に追加するようにする。ただし、パラメータ δ は、図 8 に示されたワイヤー断面点 P_{e4} のワイヤー 4 上における位置を表す。

【0086】

つまり、本発明では、図 8 の矢印 AA に示されるように、ワイヤー断面点 P_{e1} 、ワイヤー断面点 P_{e2} 、及びワイヤー断面点 P_{e3} が一直線になり、2 次元超音波断層像平面がワイヤー断面点 P_{e1} 、ワイヤー断面点 P_{e2} 、及びワイヤー断面点 P_{e3} を通る直線の周りに回転する姿勢が不定になっているが、基準物体にワイヤー 4 が付加されているので、ワイヤー 1、ワイヤー 2 及びワイヤー 3 だけでなく、ワイヤー 4 も用いることにより、パラメータ α 、 β 、 γ 、 δ を算出するようにしている。

20

【0087】

即ち、本発明では、ワイヤー断面点 P_{e1} のワイヤー 1 上における位置を表すパラメータ α 、ワイヤー断面点 P_{e2} のワイヤー 2 上における位置を表すパラメータ β 、ワイヤー断面点 P_{e3} のワイヤー 3 上における位置を表すパラメータ γ 、及び、ワイヤー断面点 P_{e4} のワイヤー 4 上における位置を表すパラメータ δ を用いて、図 8 に示されるような 2 次元超音波断層像平面の並進及び回転を表現する。

30

【0088】

図 8 において、それぞれのワイヤー断面点 P_{ei} の互いの距離に対して、計測値と計算値を等しくする条件の方程式が上記数 8、数 9、数 10、及び下記数 11 となる。

【0089】

【数 11】

$$\| \underline{Pe4} - \underline{Pe1} \|^2 = \| Pe4(\alpha, \delta) - Pe1(\alpha, \delta) \|^2$$

ここで、 $\underline{Pe4}$ はワイヤー断面点 P_{e4} の座標である。また、 $\underline{Pe4} - \underline{Pe1}$ は、ワイヤー断面点 P_{e1} からワイヤー断面点 P_{e4} に向かうベクトルを表す。下線はそれぞれの値が 2 次元超音波断層像で観測された値であることを示す。

40

【0090】

そして、 $Pe4(\alpha, \delta) - Pe1(\alpha, \delta)$ は、 α と δ が決まったときの基準物体座標系におけるワイヤー断面点 P_{e1} からワイヤー断面点 P_{e4} に向かうベクトルを表す。

【0091】

上記数 8、数 9、数 10 及び数 11 で構成される連立方程式を解くことにより、パラメータ α 、 β 、 γ 、 δ を求めることができる。

【0092】

要するに、本発明では、パラメータ α 、 β 、 γ を求めるための連立方程式（例えば、上記数 8、数 9 及び数 10 で構成される連立方程式）が非適切な場合は、適宜、方程式の適

50

切化手法を適用して、解を求めるようにしている。

【0093】

例えば、連立方程式が非適切な例として、基準物体にある複数のワイヤーが一平面内に張られていた場合（図7の場合）が挙げられる。この場合には、複数のワイヤーの張られる面と2次元超音波断層像平面のなす角が不定になってしまう問題がある。

【0094】

このような問題を解決するために、例えば、図8のように、複数のワイヤーの張られる面に含まれないような別のワイヤーを基準物体に付加するようにし、上記数8、数9、数10及び数11で構成される連立方程式を解くことにより、2次元超音波断層像平面の並進及び回転を表現するパラメータ α 、 β 、 γ 、 δ を求めるようにしても良い。

10

【0095】

また、フリーハンドスキャン時に、ワイヤーの張られる面と2次元超音波断層像平面のなす角が垂直になるような制限を加えたり、不定なパラメータを決めるために、別途付加した角度センサーからの測定情報を加えて適切化を行なっても良い。

【0096】

更に、本発明において、図5に示されたような、撮像される2次元超音波断層像中（即ち、基準物体のフレーム部分）の干渉縞の輝度値又は縞の間隔は、基準物体のフレーム部分と2次元超音波断層像平面のなす角と、相関があるので、干渉縞の輝度値又は縞の間隔に関する情報を連立方程式の適切化に利用するようにしても良い。

【0097】

20

以上では、本発明に係る超音波3次元画像再構成装置で使用される基準物体100の一具体例として、図4に示されるような、所定の厚さを有するプラスチックフレームに複数のワイヤーを所定のパターンで取り付けた基準物体について説明したが、本発明で使用される基準物体は、図4に示されたような基準物体に限らない。

【0098】

つまり、本発明では、所定の厚さを有するプラスチックフレームに、ワイヤーではなく、ワイヤー以外のもの（手段）を取り付ける（利用する）ことも可能である。即ち、本発明では、2次元超音波断層像平面に写し込む基準物体の情報として、図4に示されたようなワイヤー断面点だけでなく、ワイヤー断面点以外のものを用いることも可能である。

【0099】

30

具体例として、例えば、図9に示されるように、媒質を内部と外部で異なるように構成した角錐の一部を用い、辺の直線をワイヤーの直線とみなせば、同様な手段で、2次元超音波断層像平面の並進及び回転を表すパラメータを決定することができる。

【0100】

図9（A）に示されるように、本発明では、2次元超音波断層像平面に写し込む基準物体の情報として、三角錐台もしくは多角錐台のエッジを利用するようにしても良い。また、その場合に、図9（B）に示されるように、2次元超音波断層像平面上では、三角形もしくは多角形の形として現れる。

【0101】

40

また、図10（A）に示されるように、本発明では、2次元超音波断層像平面に写し込む基準物体の情報として、テープ状物体のエッジを利用するようにしても良い。また、その場合に、図10（B）に示されるように、2次元超音波断層像平面上では、線分の形として現れる。

【0102】

上述した2次元超音波断層像平面に写し込む基準物体の情報として、三角錐台もしくは多角錐台のエッジも、テープ状物体のエッジも、直線エッジであるが、本発明では、2次元超音波断層像平面に写し込む基準物体の情報として、直線エッジ以外のものを用いることもできる。

【0103】

例えば、図11（A）や図11（B）に示されるように、本発明において、2次元超音

50

波断層像平面に写し込む基準物体の情報として、基準物体座標系における形状が既知の曲線エッジ（例えば、螺旋やテープ状の物体をツイストさせたもの）を利用するようにしても良い。

【0104】

要するに、本発明では、2次元超音波断層像平面に、基準物体の断層像が基準物体のどの断面であるかを特定できる形状を写し込ませ、2次元超音波断層像平面に写った形状情報（例えば、断面点の位置、断面点間の距離、断面線分の長さ、断面線分の端点の位置、断面多角形の辺の長さ、頂点の位置、断面楕円の軸の長さ、中心の位置などの情報）を抽出し、抽出した形状情報から、基準物体の断層像が基準物体のどの断面であるかを特定できるように、固有の断面形状が、2次元超音波断層像平面に現れるように、基準物体を構成するようにしている。

10

【0105】

図12は、本発明において、2次元超音波断層像平面に写し込む基準物体として、繰り返し形状が現れる物体を利用する場合を説明するための模式図である。

【0106】

図12に示すように、本発明では、所定の厚さを有するプラスチックフレームの内部に複数の球状物体（例えば、金属製の粒子）が規則的に並べられているような基準物体を利用することができる。2次元超音波断層像平面には、球状物体の断面円が写り込む。複数の球状物体のどれが写り込んだかを特定するためには、図12の矢印BBに示されるように、超音波プローブを一方向にフリーハンドスキャンし、生成される2次元超音波断層像を、ビデオ映像として記録しながら、繰り返し現れるそれぞれの球状物体の断面を何番目の球状物体であるのかをカウントすることにより、2次元超音波断層像の位置・姿勢を同定（算出）することができる。

20

【0107】

また、本発明では、基準物体として、所定の厚さを有するプラスチックフレームの内部に、太さが規則的に変わるような物体を埋め込んだ物体を利用することができる。さらに、超音波に対するインピーダンスを変化させれば、2次元超音波断層像内に情報を写し込むことができるので、基準物体を構成する際に、上記のように物体を埋め込む代わりに、同じ形状の空孔を作成するようにしても良い。

【0108】

ここで、本発明に係る超音波3次元画像再構成装置において、検査対象物と基準物体の両方を写った2次元超音波断層像から、2次元超音波断層像の基準物体に対する位置及び姿勢を算出（同定）する具体的な実施例について説明する。

30

【0109】

図14は、本発明の2次元超音波断層像の基準物体に対する位置及び姿勢を算出する具体的な実施例において、2次元超音波断層像平面、基準物体及び検査対象物の位置関係を説明するための模式図である。

【0110】

図14に示されるように、基準物体は検査対象物に対して相対的に固定されており、角度 ϕ_{AT} は一定であり、基準物体の2次元超音波断層像を撮像した場合に、 ϕ_{AU} は一意に定まるものとする。基準物体と検査対象物が同時に写った2次元超音波断層像を基準物体座標系に配置することにより、2次元超音波断層像の基準物体座標系における位置及び姿勢を同定する。

40

【0111】

ここで、アクリル製のフレームに4本のワイヤーを張ったもの（図4参照）を基準物体とする。検査対象物と基準物体の両方が同時に2次元超音波断層像に収まるように、超音波プローブ及び2次元超音波断層像生成部で撮像を行うことで、図5のような2次元超音波断層像を取得する。

【0112】

図15は、本発明の2次元超音波断層像の基準物体に対する位置及び姿勢を算出する具

50

体的な実施例において、基準物体座標系における２次元超音波断層像の位置及び姿勢を表すパラメータの定義を説明するための模式図である。

【０１１３】

また、図１６は、本発明の２次元超音波断層像の基準物体に対する位置及び姿勢を算出する具体的な実施例において、２次元超音波断層像平面上にある２次元超音波断層像の面内回転角の定義を説明するための模式図である。

【０１１４】

そして、図１７は、本発明の２次元超音波断層像の基準物体に対する位置及び姿勢を算出する具体的な実施例において、直線の方程式で基準物体をモデル化することを説明するための模式図である。

10

【０１１５】

図１５、図１６及び図１７に示されるように、平面 U は２次元超音波断層像が存在する平面であり、即ち、２次元超音波断層像平面である。また、直線 $l_1 \sim l_4$ は、基準物体に取り付けられた４本のワイヤーを表し、点 $p_1 \sim p_4$ は直線 $l_1 \sim l_4$ と２次元超音波断層像平面 U との交点を表す。さらに、直線 l_U は、２次元超音波断層像と xy 平面との交線である。

【０１１６】

基準物体座標系における２次元超音波断層像の位置及び姿勢は、６つのパラメータ x_1 、 y_1 、 z_1 、 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 で表す。つまり、パラメータ x_1 、 y_1 、 z_1 、 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 が確定すれば、２次元超音波断層像の位置及び姿勢は一意に定まる。

20

【０１１７】

直線 l_1 と２次元超音波断層像平面 U との交点 p_1 の x 、 y 、 z 座標は、 x_1 、 y_1 、 z_1 である。 θ_1 は、直線 l_U が x 軸と成す角度を表す。 θ_2 は、２次元超音波断層像が xy 平面と成す角度を表す。また、 θ_3 は、２次元超音波断層像平面 U 上での２次元超音波断層像の回転角、即ち、 x_U 軸と直線 l_U が成す角度である。

【０１１８】

ここで、 y_1 は x_1 の関数であり、 z_1 は既知である。また、 θ_3 は２次元超音波断層像から画像処理による測定によって得ることができるため、本発明において、基準物体座標系における２次元超音波断層像の位置及び姿勢を表す六つのパラメータ x_1 、 y_1 、 z_1 、 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 のうち、未知のパラメータは x_1 、 θ_1 及び θ_2 の三つのみである。

30

【０１１９】

未知のパラメータ x_1 、 θ_1 及び θ_2 を以下のように算出（同定）する。

【０１２０】

まず、図１７に示されるように、基準物体のフレーム及びワイヤーを直線の方程式でモデル化し、パラメータ x_1 及び θ_1 の同定（算出）を行う。

【０１２１】

ここで、 $x = 0$ 、 $x = L_x$ 、 $y = 0$ 、 $y = L_y$ で囲まれた領域と、基準物体のフレーム内側の縁を対応させる。ただし、 L_x 及び L_y は既知である。

【０１２２】

交点 $p_1 \sim p_4$ の y 座標をそれぞれ $y_1 \sim y_4$ とする。また、線分 $p_1 p_2$ 、 $p_1 p_3$ 、 $p_1 p_4$ の長さは、２次元超音波断層像から画像処理により得られる測定量であり、線分 $p_1 p_2$ 、 $p_1 p_3$ 、 $p_1 p_4$ の長さを、それぞれ L_1 、 L_2 、 L_3 とする。

40

【０１２３】

直線 $l_1 \sim l_4$ の方程式を下記数１２とし、また、直線 l_U の方程式を下記数１３とする。

（数１２）

$$y = a_k x + b_k \quad (k = 1, 2, 3, 4)$$

（数１３）

$$y = a_U x + b_U$$

50

ここで、下記数 1 4、数 1 5 及び数 1 6 という関係が成り立つ。

(数 1 4)

$$L_{j-1} = (y_j - y_1) / \sin \theta_1$$

(数 1 5)

$$x_1 = (b_1 - b_U) / (a_U - a_1)$$

(数 1 6)

$$\theta_1 = \tan^{-1} a_U$$

ここで、設計変数が a_U 、 b_U であり、下記数 1 7 で表す目的関数という最小化問題を解くことによって、設計変数 a_U 及び b_U を同定する。そして、同定した設計変数 a_U 及び b_U を用いて、上記数 1 5 及び数 1 6 に基づいて、パラメータ x_1 及び θ_1 を算出する。

10

【 0 1 2 4 】

【 数 1 7 】

$$\sum_{j=2}^4 (L_{j-1} - \frac{y_j - y_1}{\sin \theta_1})$$

次に、パラメータ θ_2 の同定 (算出) を以下のように行う。

【 0 1 2 5 】

本発明の超音波 3 次元画像再構成装置により取得された 2 次元超音波断層像 (図 5 参照) から分かるように、超音波を強く反射する反射面 (即ち、基準物体のフレーム部分) と超音波プローブの間では、多重反射が起き、反射面 (基準物体のフレーム部分) に多重反射アーチファクトが見られる。この多重反射アーチファクトによる縞 (縞模様) の本数と、2 次元超音波断層像と反射面 (基準物体のフレーム部分) の角度には相関があり、2 次元超音波断層像と反射面 (基準物体のフレーム部分) とが垂直になったとき、多重反射アーチファクトによる縞の本数は最も多くなる。

20

【 0 1 2 6 】

本発明では、反射面 (基準物体のフレーム部分) に見られる、多重反射アーチファクトによる縞の本数のピークを測定することによって、パラメータ θ_2 を同定する。

【 0 1 2 7 】

上記のように、パラメータ x_1 、 θ_1 及び θ_2 が算出される。

30

【 0 1 2 8 】

また、 y_1 は x_1 の関数であり、算出されたパラメータ x_1 に基づいて、パラメータ y_1 を算出できる。上述のように、パラメータ z_1 は既知であり、また、2 次元超音波断層像から画像処理による測定によって、 θ_3 は算出されている。

【 0 1 2 9 】

このように、本発明では、上述した算出処理 (同定処理) により、本発明の超音波 3 次元画像再構成装置により取得された各 2 次元超音波断層像に対し、各 2 次元超音波断層像の基準物体座標系における位置及び姿勢を表すパラメータ x_1 、 y_1 、 z_1 、 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 を算出することができる。

【 0 1 3 0 】

算出された各 2 次元超音波断層像の位置・姿勢パラメータ x_1 、 y_1 、 z_1 、 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 と、各 2 次元超音波断層像とに基づいて、検査対象物の超音波 3 次元画像を再構成する。

40

【 0 1 3 1 】

2 次元超音波断層像に基づいて、検査対象物の超音波 3 次元画像を再構成する例として、例えば、非特許文献 4 に開示されたように、超音波プローブを予め決められた軌道に沿って一定速度で動かしながら、血管の 2 次元超音波断層像を取得し (図 1 8 参照)、取得された 2 次元超音波断層像を 3 次元空間で重ね合わせる (マッピングする) ことによって、図 1 9 に示されるような血管の表面形状を得ることができる。

【 0 1 3 2 】

50

なお、本発明に係る超音波３次元画像再構成装置は、超音波３次元画像の用途によって、１枚の超音波３次元画像を再構成するのに、必要な２次元超音波断層像の枚数も違ってくる。

【０１３３】

本発明に係る超音波３次元画像再構成装置を用いて、人体の体内を可視化するために用いることができる。例えば、背骨の一部の形状を１ｍｍ程度の解像度で３次元で可視化する場合には、可視化する領域の代表長さが例えば５０ｍｍとすれば、５０枚ほどの２次元超音波断層像が必要となる。

【０１３４】

また、本発明に係る超音波３次元画像再構成装置を用いて、体内に刺した針灸の針の方向や位置を可視化する場合に、針の方向の直線の位置を決定すればよいので、最低２枚の２次元超音波断層像に基づいて、用途にあった超音波３次元画像を再構成することができる。

【０１３５】

以上では、任意の位置及び姿勢を持つ複数の２次元超音波断層画像から、超音波３次元画像を再構成する本発明の実施形態について説明した。

【０１３６】

なお、３次元超音波診断装置から出力される複数のボリューム像（複数の３次元超音波画像）の互いの位置を一つのボリューム空間にマッピングする際にも、本発明を適用することが可能である。

【０１３７】

図２０は、本発明を複数の３次元超音波画像に適用する場合に、基準物体座標系と３次元超音波画像座標系との関係を説明するための概念図である。また、図２１は、本発明を複数の３次元超音波画像に適用する場合に、基準物体のワイヤーを含む平面を抽出することを説明するための概念図である。更に、図２２は、本発明を複数の３次元超音波画像に適用する場合に、基準物体のワイヤー形状に、３次元超音波画像内のワイヤーを含む平面に写し込まれたワイヤー形状をテンプレートマッチングでフィッティングさせる様子を説明するための概念図である。

【０１３８】

図２０、図２１及び図２２を参照しながら、本発明を複数のボリューム像（複数の３次元超音波画像）に適用する場合に、検査対象物と基準物体の両方を写った３次元超音波画像から、３次元超音波画像の基準物体における位置及び姿勢を算出する方法について、以下のように説明する。

【０１３９】

ここで、本実施形態では、検査対象物と超音波プローブの間に基準物体を挟んでいる状態で、３次元超音波診断装置を用いて、基準物体及び検査対象物の３次元超音波画像の撮影を行うことにより、検査対象物と基準物体の両方を写った、複数の３次元超音波画像を取得する。また、本実施形態で使用される基準物体は、図４に示されたようなプラスチックフレームに複数のワイヤーが張られている基準物体である。

【０１４０】

検査対象物と基準物体の両方を写った３次元超音波画像の基準物体における位置及び姿勢を算出するために、まず、検査対象物と基準物体の両方を写った各々の３次元超音波画像から、ワイヤーが張られている平面（即ち、３次元超音波画像内のワイヤーを含む平面）の２次元画像を抽出する（図２１参照）。

【０１４１】

図２２に示されるような３次元超音波画像内のワイヤーを含む平面に定義した座標系 $C_p(x_p, y_p, z_p)$ と、図２１に示されるような３次元超音波画像の座標系 $C_e(x_e, y_e, z_e)$ の関係は、下記数１８で表すことができる。

（数１８）

$$\{C_e\} = [T_{pe}]\{C_p\}$$

10

20

30

40

50

ここで、 T_{pe} は、3次元超音波画像内のワイヤーを含む平面に定義した座標系 C_p と3次元超音波画像の座標系 C_e 間の変換行列である。この座標変換行列 T_{pe} は、ワイヤーを含む平面内の特徴点を少なくとも3点以上抽出すれば、下記数19で表す連立方程式を構成することができる。

(数19)

$$[C_{e1}, C_{e2}, C_{e3}] = [T_{pe}][C_{p1}, C_{p2}, C_{p3}]$$

ここで、 $[C_{e1}, C_{e2}, C_{e3}]$ は、3つの特徴点の位置を表す列ベクトル $\{C_{e1}\}\{C_{e2}\}\{C_{e3}\}$ を横に並べて構成した行列である。

【0142】

上記数19については、最小2乗法で下記数20のように、解を求めることができる。

(数20)

$$[T_{pe}] = [C_{e1}, C_{e2}, C_{e3}][C_{p1}, C_{p2}, C_{p3}]^T([C_{p1}, C_{p2}, C_{p3}][C_{p1}, C_{p2}, C_{p3}]^T)^{-1}$$

ここで、 $(\cdot)^T$ は、 $(\cdot)$ の転置行列を表し、また、 $(\cdot)^{-1}$ は、 $(\cdot)$ の逆行列を表す。

【0143】

次に、抽出した2次元画像内に写っているワイヤーを抽出し、図22に示されたように、基準物体座標系に対して表現されているワイヤー図形に、テンプレートマッチングなどの手法を適用してフィッティングを行う。

【0144】

テンプレートマッチングを行った結果として、図22に示されたように、3次元超音波画像内のワイヤーを含む平面に定義した座標系 $C_p(x_p, y_p, z_p)$ と、基準物体座標系 $C_s(x_s, y_s, z_s)$ 間の変換行列 T_{sp} を、下記数21に基づいて、算出することができる。

(数21)

$$\{C_p\} = [T_{sp}]\{C_s\}$$

ここで、 T_{sp} は、3次元超音波画像内のワイヤーを含む平面に定義した座標系 C_p と基準物体座標系 C_s 間の変換行列である。

【0145】

上記数18及び数21に基づいて、3次元超音波画像内のワイヤーを含む平面に定義した座標系 C_p と基準物体座標系 C_s の関係を、下記数22で表すことができる。

(数22)

$$\{C_e\} = [T_{pe}]\{C_p\} = [T_{pe}][T_{sp}]\{C_s\}$$

以上のようにして、3次元超音波画像の基準物体における位置及び姿勢を算出することができる。

【0146】

ここで、図23及び図24を参照しながら、本発明の実施例で構成した3次元超音波画像を説明する。図23には、ワイヤー配置図、及び、ワイヤーを含む平面と3つの超音波断層面の交線を示しており、図23に示されたようなワイヤーを張った基準物体を用いて、3つの超音波断層像をフリーハンドスキニングで計測した。

【0147】

図23に示されたような条件において、本発明により構成した3次元超音波画像の例を図24に示す。本実施例では、ワイヤーは1平面内に含まれる配置にしたので、基準物体と断層面のなす角は、基準物体のフレーム部分で発生する干渉縞の間隔から、位置及び姿勢を同定した。

【符号の説明】

【0148】

- 10 超音波3次元画像再構成装置
- 100 基準物体
- 110 超音波プローブ

10

20

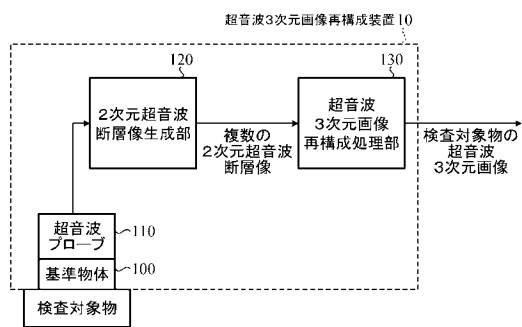
30

40

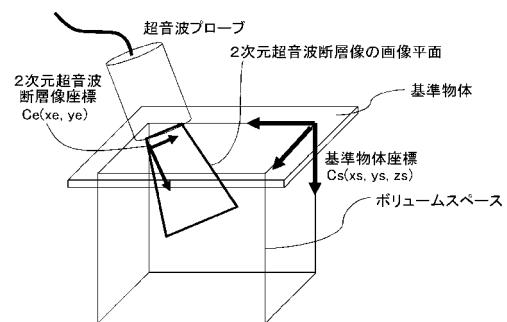
50

1 2 0	2次元超音波断層像生成部
1 3 0	超音波3次元画像再構成処理部

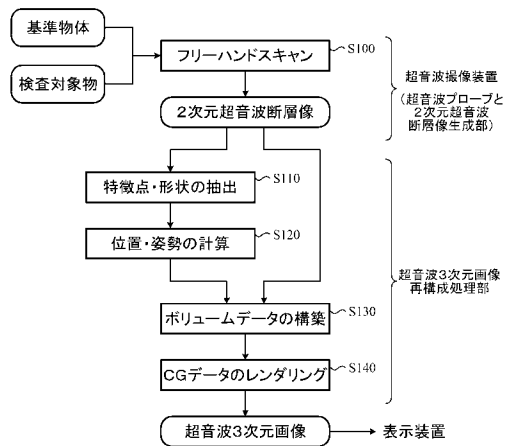
【 圖 1 】



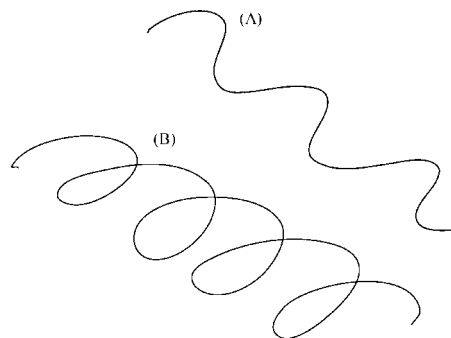
【 図 3 】



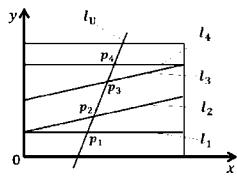
【圖 2】



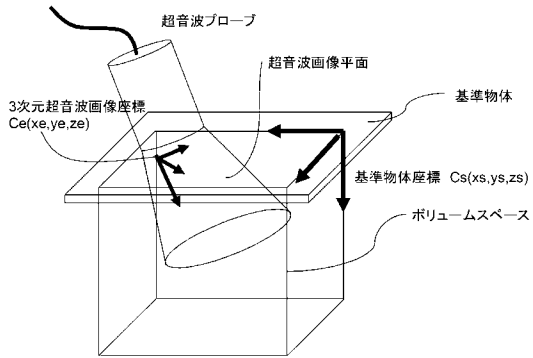
【 ㄨ 1 1 】



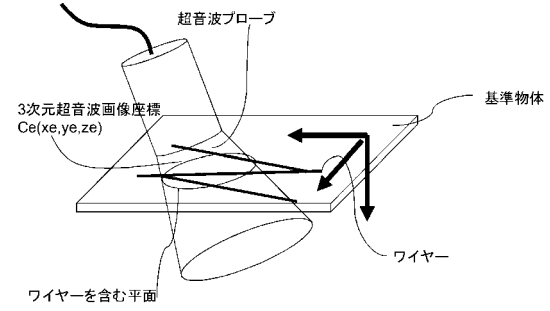
【図 17】



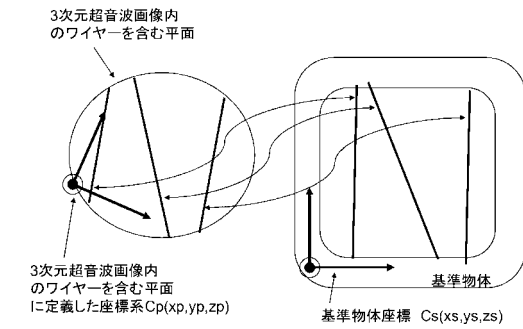
【図 20】



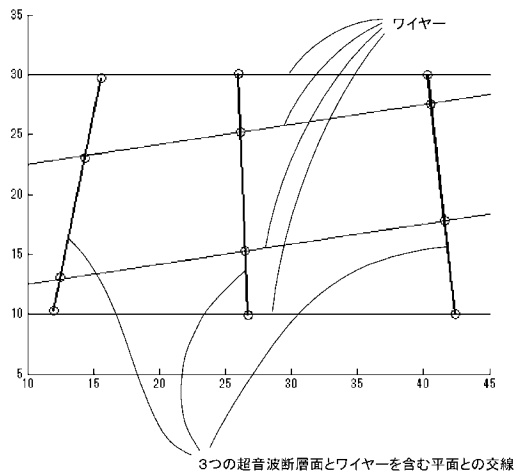
【図 21】



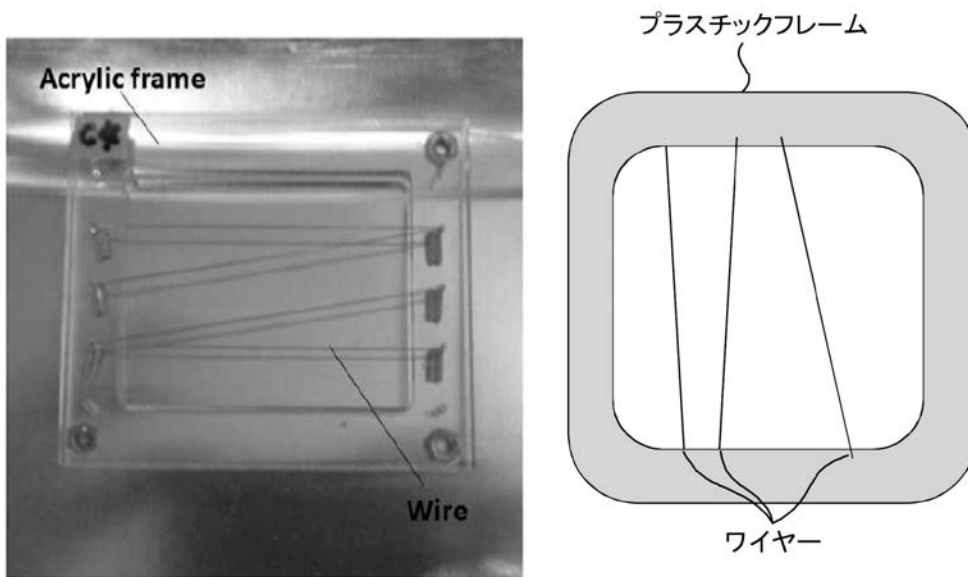
【図 22】



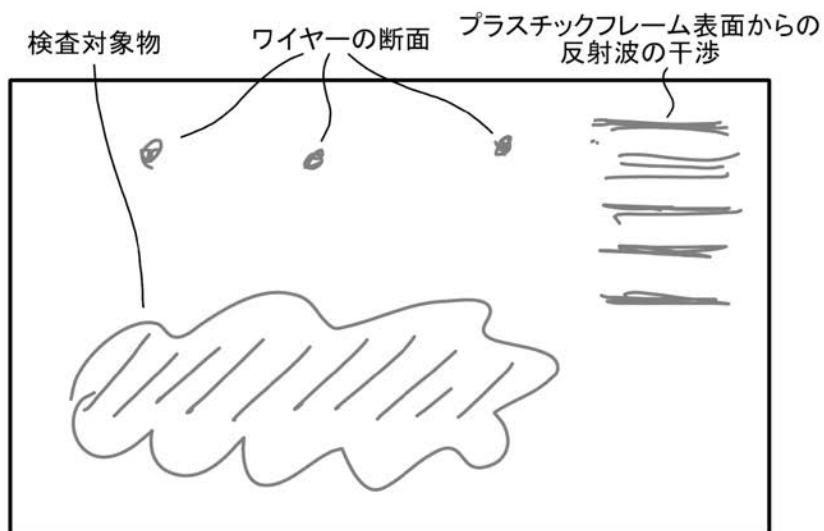
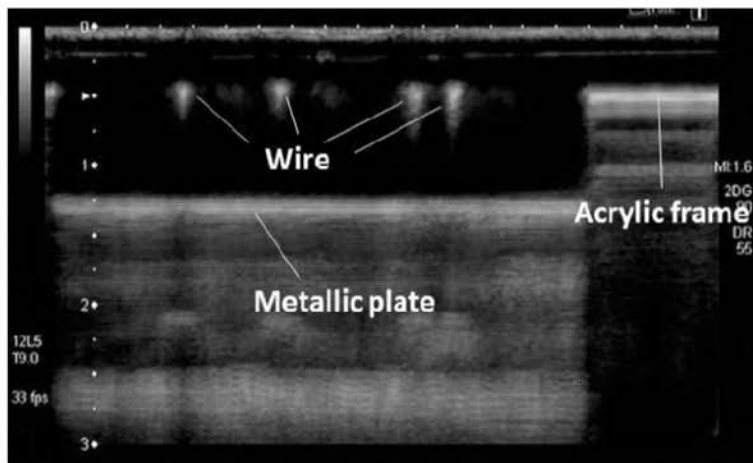
【図 23】



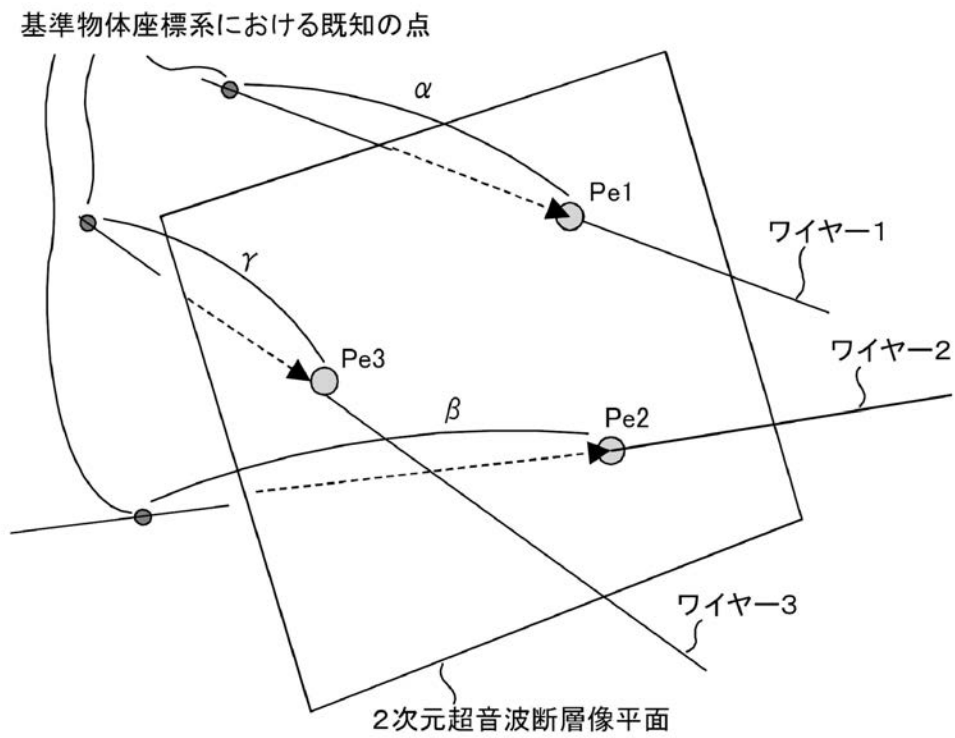
【 図 4 】



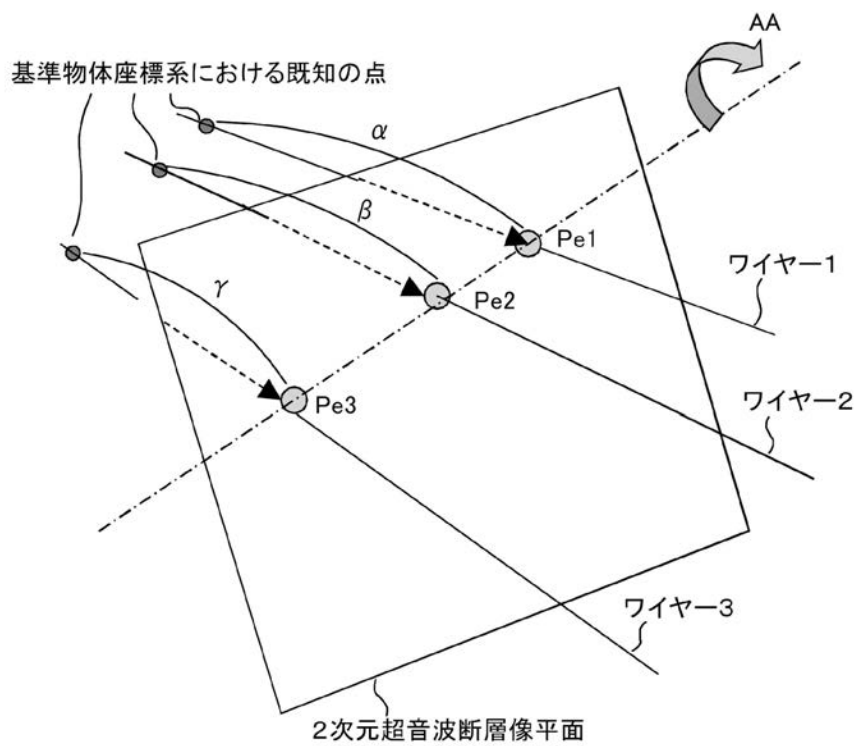
【 図 5 】



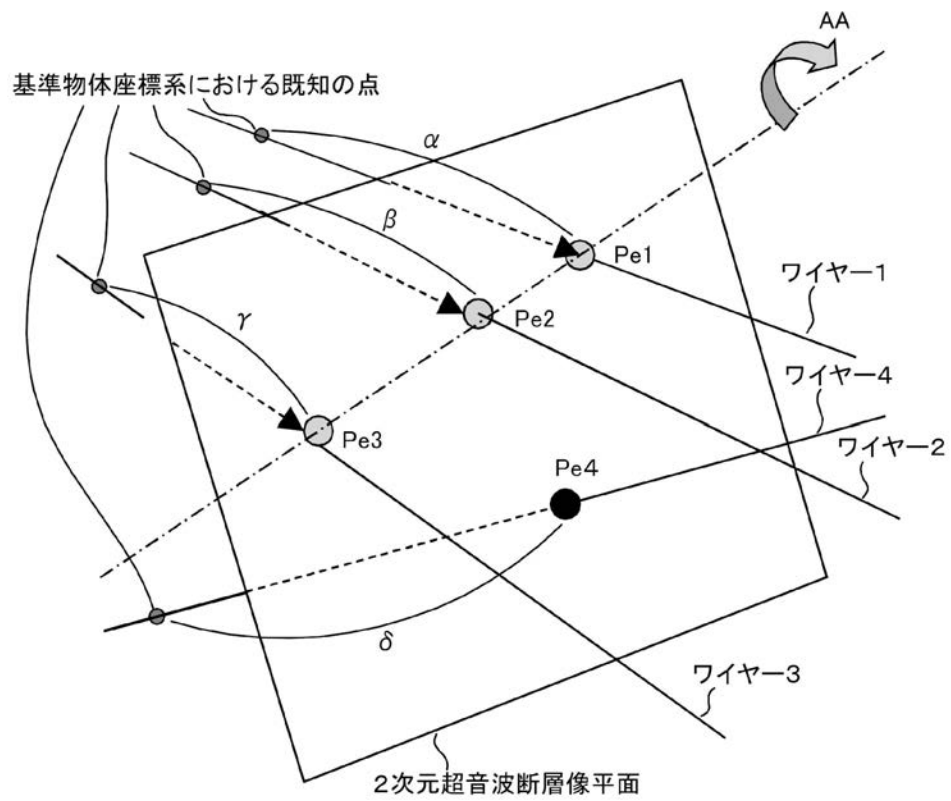
【図 6】



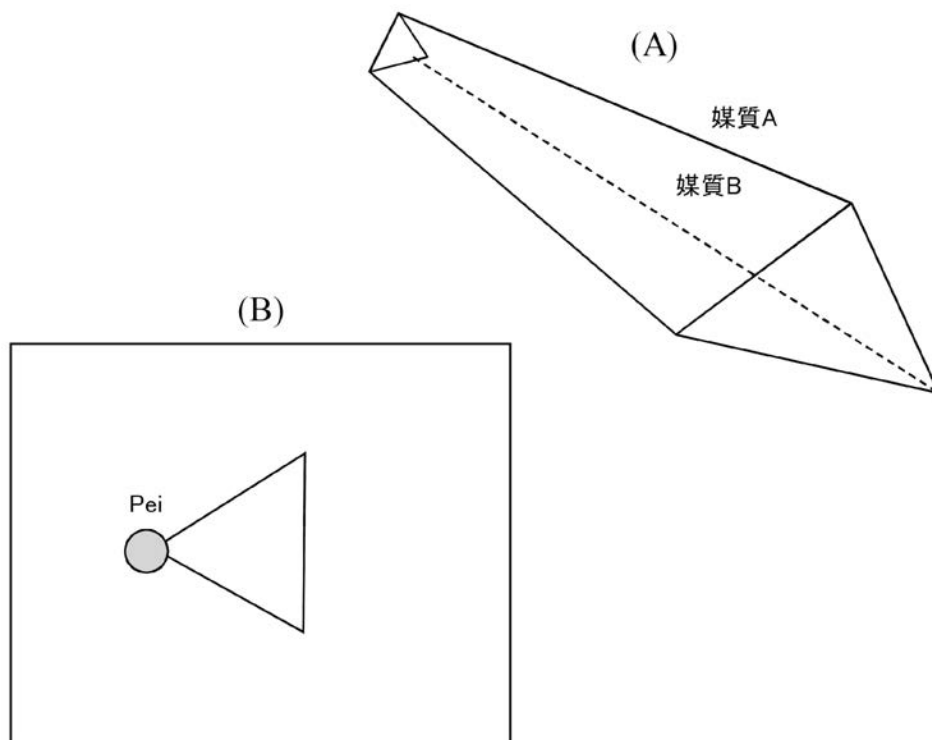
【図 7】



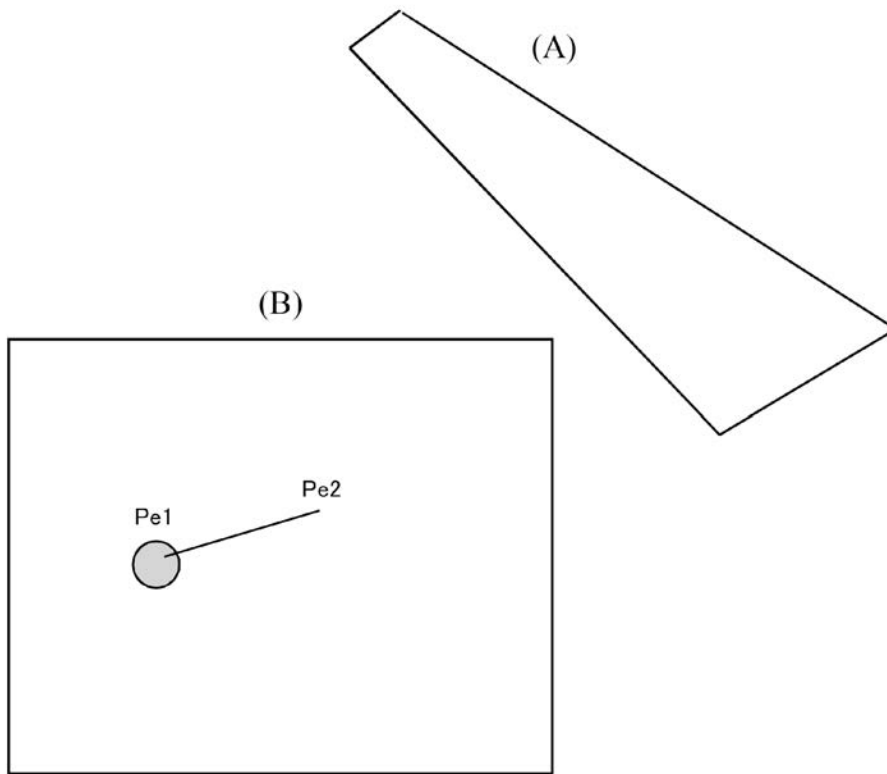
【図 8】



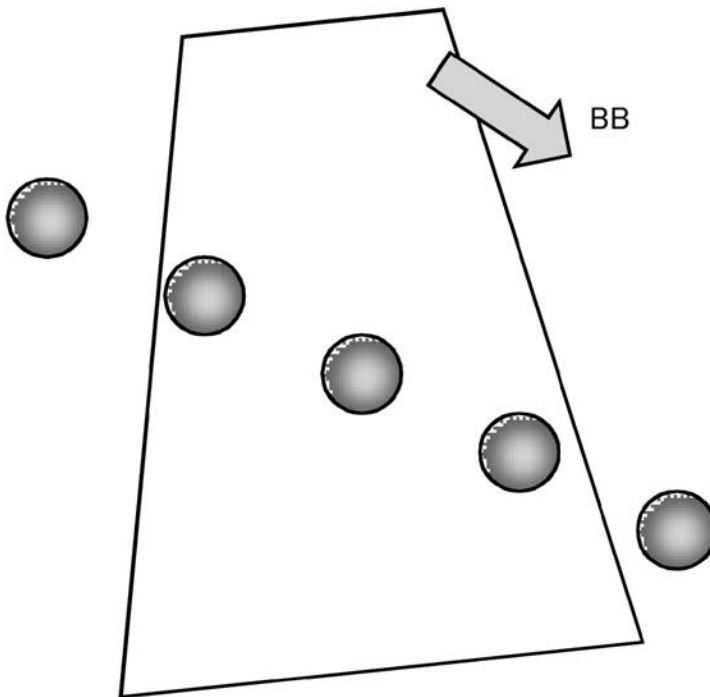
【図 9】



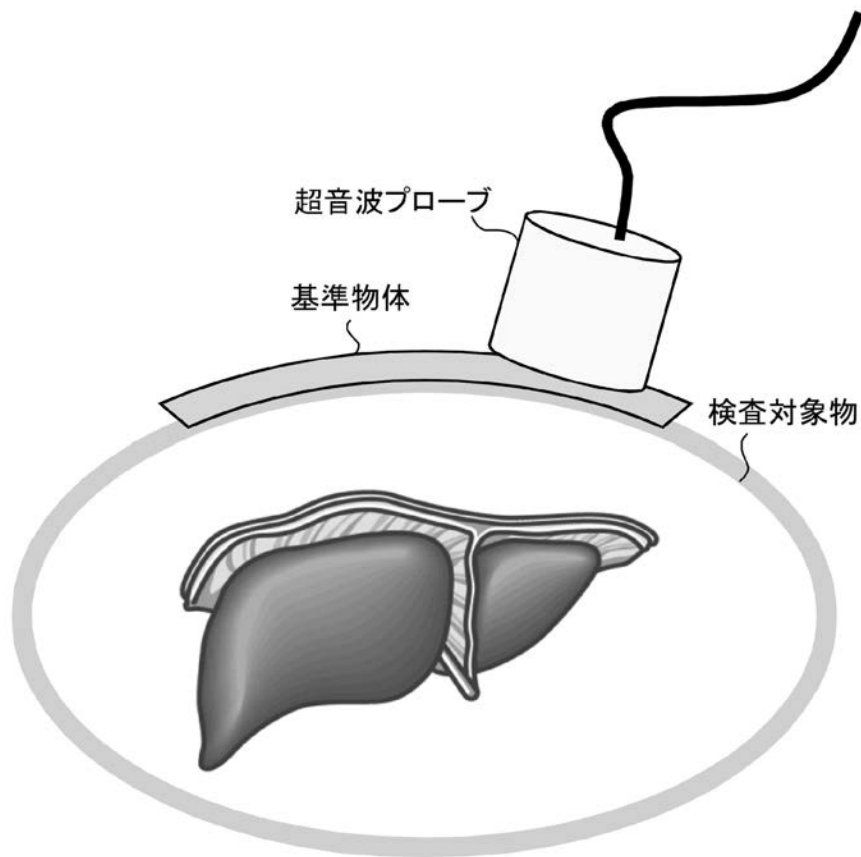
【図 10】



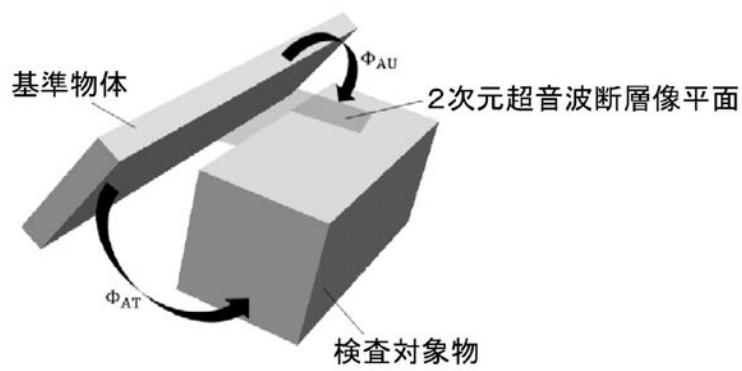
【図 12】



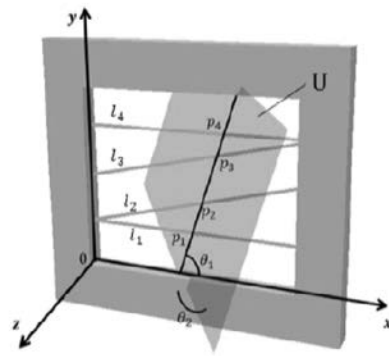
【図 1 3】



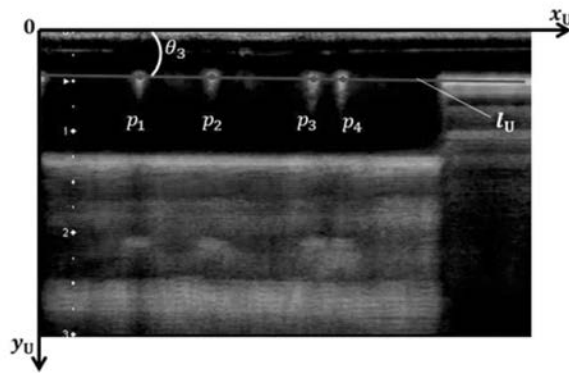
【図 1 4】



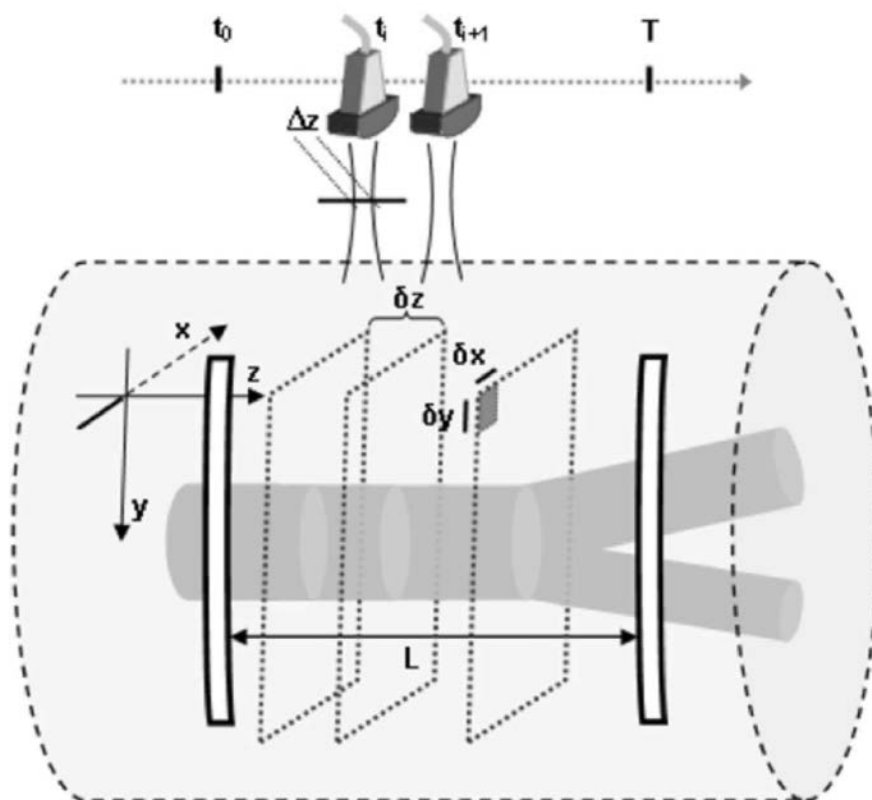
【図 15】



【図 16】



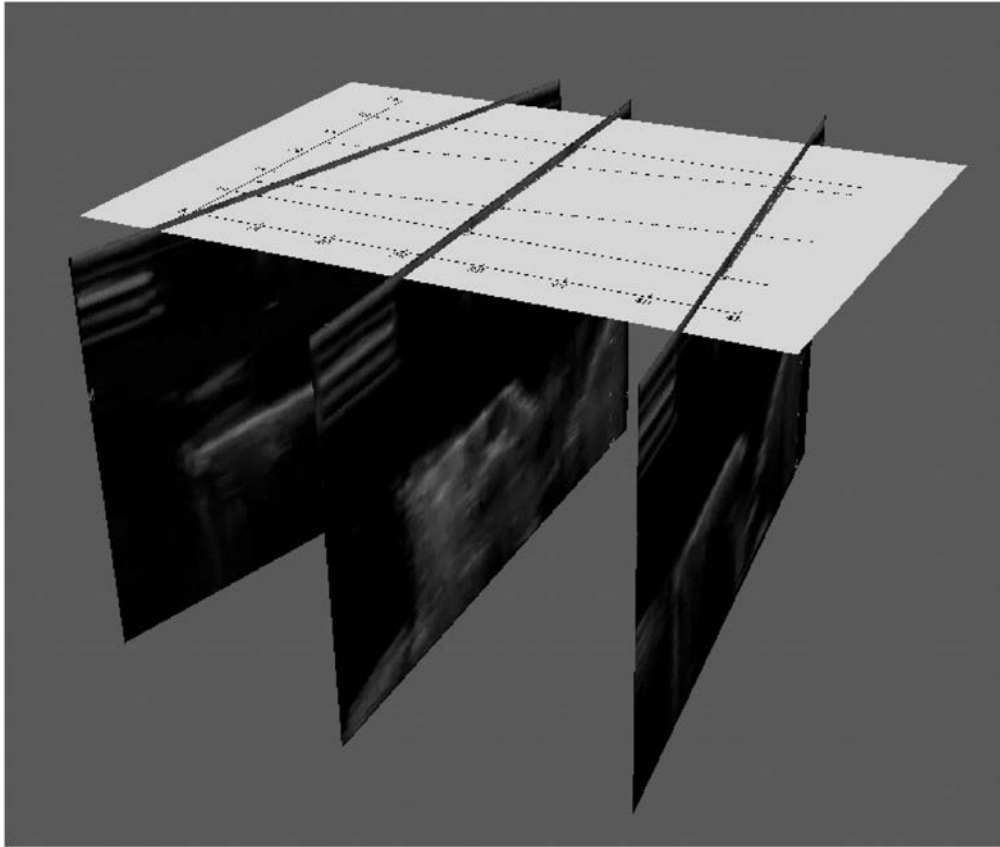
【図 18】



【 図 19 】



【図 24】



专利名称(译)	超声图像配置设备		
公开(公告)号	JP2013169389A	公开(公告)日	2013-09-02
申请号	JP2012036115	申请日	2012-02-22
[标]申请(专利权)人(译)	国立大学法人东京工业大学		
申请(专利权)人(译)	国立大学法人东京工业大学		
[标]发明人	天谷賢治 中村なつ美		
发明人	天谷 賢治 中村 なつ美		
IPC分类号	A61B8/00		
FI分类号	A61B8/00		
F-TERM分类号	4C601/BB03 4C601/BB17 4C601/EE11 4C601/EE12 4C601/GA18 4C601/GA27 4C601/JC25 4C601/KK21 4C601/LL04		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

摘要：要解决的问题：提供一种超声图像合成装置，其能够基于多个二维超声断层图像构成检查对象的超声三维图像，其中，通过以下方式获得多个二维超声断层图像：在检查对象和超声波探头之间放置具有特定形状的标准物体，然后取得检查对象和标准物体的超声波断层图像。解决方案：一种超声波图像合成装置，包括：超声波探头，用于发送和接收超声波；具有特定形状的标准物体；超声波断层图像发生器，用于根据超声波探头接收的超声波产生超声波断层图像；基于所述多个超声波断层图像构成所述检查对象的超声波图像的超声波图像合成处理器，其中，所述多个超声波断层图像由所述超声波断层图像生成器生成，并使所述检查对象和所述标准对象复制。各自的超声波断层图。

