(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2019-111104
(P2019-111104A)
(43)公開日　令和1年7月11日(2019.7.11)

(51)Int.Cl.	F I	テーマコード（参考）
A61B 8/08 (2006.01)	A61B 8/08	4C601

審査請求 未請求　請求項の数 15　ＯＬ　（全 29 頁）

(21)出願番号　特願2017-246757 (P2017-246757)
(22)出願日　平成29年12月22日 (2017.12.22)

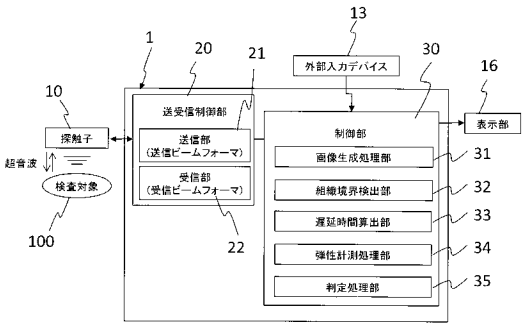
(71)出願人　000005108
株式会社日立製作所
東京都千代田区丸の内一丁目６番６号
(74)代理人　110000888
特許業務法人　山王坂特許事務所
(72)発明者　安田　惇
東京都千代田区丸の内一丁目６番６号　株式会社日立製作所内
(72)発明者　吉川　秀樹
東京都千代田区丸の内一丁目６番６号　株式会社日立製作所内

Ｆターム(参考)　4C601 DD19 DD23 EE09 HH29 JB36 JB40 JC02 JC09 JC37 KK25 KK31

(54)【発明の名称】超音波送受信装置および超音波送受信方法

(57)【要約】
【課題】検査対象の組織境界の形状を把握し、所望の焦点に超音波を精度よく集束させる。
【解決手段】複数の振動子が配列された探触子から検査対象に超音波を送信し、送信後に検査対象から戻る超音波を振動子がそれぞれ受信した受信信号を用いて、検査対象内の組織境界を検出する。検出した組織境界において、超音波が屈折する経路を求め、経路に基づいて所定の焦点に超音波を合焦させるための振動子ごとの送信する超音波の遅延時間を振動子ごとに算出する。振動子ごとの遅延時間により遅延させた超音波を各振動子から送信して焦点に超音波を集束させる。
【選択図】図１

図1



【特許請求の範囲】
【請求項１】
複数の振動子が配列された探触子に対してそれぞれ送信信号を出力し、前記複数の振動子から検査対象に超音波を送信させる送信部と、送信後に前記検査対象から戻る超音波を受信した前記振動子がそれぞれ出力する受信信号を取得する受信部と、前記送信部および前記受信部を制御する制御部とを有し、
前記制御部は、前記受信信号を用いて、前記検査対象内の組織境界を所定の範囲において検出する組織境界検出部と、複数の前記振動子から送信された超音波が前記組織境界において屈折する経路を求め、前記経路に基づいて所定の焦点に超音波を合焦させるための前記送信信号の遅延時間を前記振動子ごとに算出する遅延時間算出部とを含むことを特徴とする超音波送受信装置。
【請求項２】
請求項１に記載の超音波送受信装置であって、
前記組織境界検出部は、前記送信部を制御して、前記検査対象の前記所定の範囲に対して第１超音波を送信させ、当該送信後に前記所定の範囲から戻った超音波を受信した前記振動子がそれぞれ出力する受信信号を前記受信部から受け取り、前記受信信号を用いて、前記所定の範囲に存在する前記検査対象の組織境界を検出することを特徴とする超音波送受信装置。
【請求項３】
請求項１に記載の超音波送受信装置であって、前記制御部は、前記受信信号から前記検査対象の画像を生成する画像生成部をさらに有し、
前記組織境界検出部は、前記画像生成部が生成した、前記所定の範囲の画像を処理することにより、前記組織境界を検出することを特徴とする超音波送受信装置。
【請求項４】
請求項１に記載の超音波送受信装置であって、前記組織境界検出部は、複数の前記振動子の時系列な前記受信信号の信号波形の変化時点を検出することにより、前記検査対象の深さ方向の前記組織境界の位置を検出することを特徴とする超音波送受信装置。
【請求項５】
請求項１に記載の超音波送受信装置であって、前記制御部は、弾性計測処理部をさらに含み、
前記弾性計測処理部は、前記送信部を制御して、前記遅延時間算出部が前記振動子ごとに算出した遅延時間によってそれぞれ遅延させた前記送信信号を前記振動子にそれぞれ出力させることにより、前記所定の焦点に焦点を結ぶ集束超音波を送信してせん断波を生じさせた後、前記送信部および受信部を制御して、前記検査対象の所定の計測領域に超音波を送信し、前記検査対象から戻る超音波を受信した受信信号を得て、この受信信号に基づいて前記せん断波により生じた前記計測領域の変位を計測し、前記検査対象の弾性を求めることを特徴とする超音波送受信装置。
【請求項６】
請求項５に記載の超音波送受信装置であって、前記制御部は、判定処理部をさらに有し、前記判定処理部は、前記弾性計測処理部が求めた弾性の信頼性を、前記せん断波の特性または前記集束超音波の特性に基づいて判定することを特徴とする超音波送受信装置。
【請求項７】
請求項６に記載の超音波送受信装置であって、前記判定処理部が判定に用いる前記せん断波の特性は、せん断波の振幅、前記焦点を中心に左右に配置した点へのせん断波の波面の到達時間の差、せん断による前記計測領域の変位であることを特徴とする超音波送受信装置。
【請求項８】
請求項６に記載の超音波送受信装置であって、前記判定処理部が判定に用いる前記集束超音波の特性は、前記焦点周辺における超音波の推定強度分布であることを特徴とする超音波送受信装置。

【請求項９】
請求項６に記載の超音波送受信装置であって、前記判定処理部が判定に用いる前記集束超音波の特性は、前記焦点周辺に超音波を照射し、その反射波の受信強度であることを特徴とする超音波送受信装置。
【請求項１０】
請求項１に記載の超音波送受信装置であって、前記遅延時間算出部は、前記振動子を基点として前記焦点に到達する前記屈折する経路を算出することを特徴とする超音波送受信装置。
【請求項１１】
請求項１に記載の超音波送受信装置であって、前記遅延時間算出部は、前記焦点を基点として前記振動子に到達する前記屈折する経路を算出することを特徴とする超音波送受信装置。
【請求項１２】
請求項５に記載の超音波送受信装置であって、前記制御部は、前記せん断波の特性または前記集束超音波の特性を示す予め定めた信頼性指標の値を算出する判定処理部をさらに有し、
前記組織境界検出部は、前記組織境界の複数の候補を検出し、
前記判定処理部は、前記組織境界の複数の候補についてそれぞれ前記遅延時間算出部が求めた遅延時間を用いて送信される超音波に基づいて前記信頼性指標の値を算出し、算出した信頼性指標の値が最も信頼性が高いことを示す前記組織境界の候補を選択することを特徴とする超音波送受信装置。
【請求項１３】
請求項１２に記載の超音波送受信装置であって、前記制御部は、前記複数の組織境界の候補ごとの信頼性指標を、前記組織境界の候補と対応させて表示させることを特徴とする超音波送受信装置。
【請求項１４】
複数の振動子が配列された探触子から検査対象に超音波を送信し、送信後に前記検査対象から戻る超音波を前記振動子がそれぞれ受信した受信信号を用いて、前記検査対象内の組織境界を検出するステップと、
検出した前記組織境界において、超音波が屈折する経路を求め、前記経路に基づいて所定の焦点に超音波を合焦させるための前記振動子ごとの送信する超音波の遅延時間を前記振動子ごとに算出するステップと、
前記振動子ごとの遅延時間により遅延させた超音波を前記各振動子から送信して前記焦点に超音波を集束させるステップと
を含むことを特徴とする超音波送受信方法。
【請求項１５】
請求項１４に記載の超音波送受信方法であって、前記組織境界を検出するステップは、前記受信信号から生成した画像を画像処理するか、もしくは、時系列な前記受信信号の信号波形の変化時点を検出することにより、前記組織境界の位置を所定の範囲において検出することを特徴とする超音波送受信方法。

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、超音波送受信装置に係り、被検体内においてせん断波を発生させ、その伝搬速度を計測することにより、生体組織の性状を評価する技術に関する。
【背景技術】
【０００２】
超音波やＭＲＩ(Magnetic Resonance Imaging)、Ｘ線ＣＴ(Computed Tomography)に代

表される医療用の画像表示装置は、目視できない生体内の情報を数値または画像の形態で提示する装置として広く利用されている。中でも超音波を利用して画像を表示する超音波撮像装置は、他の装置と比較して高い時間分解能を備えており、例えば拍動下の心臓を滲みなく画像化できる性能を持つ。

【０００３】

被検体（生体）内を伝搬する波は、主に縦波と横波に区別される。超音波撮像装置で用いられる組織形状を映像化する技術や、血流速度を計測する技術は、主に縦波（音速約1540ｍ/ｓ）の情報を利用している。

【０００４】

一方、生体内を伝搬する横波（以降、せん断波）を利用して組織の弾性率を評価する技術が近年注目されており、慢性肝疾患や癌に対する臨床利用が進められている。この技術は、計測対象となる組織内部にせん断波を発生させ、せん断波の伝搬速度から組織の弾性率等の弾性を表す評価指標を算出する。

【０００５】

せん断波を発生させる手法は、機械方式と放射圧方式に大別される。機械方式は、バイブレータ等を利用して体表面に１ｋＨｚ程度の振動を与えてせん断波を発生させる方式で、振動源となる駆動装置が必要である。一方、放射圧方式は、超音波を組織内の局所に集中させる集束超音波を利用して生体内に音響放射圧を加え、瞬時的に発生する組織変位を利用してせん断波を発生させる。

【０００６】

いずれのせん断波発生方法を用いた場合も、発生したせん断波によって生じた組織変位は、超音波により計測され、せん断波の伝搬速度が算出される。算出されたせん断波の伝搬速度から、組織性状を表す弾性率等の特性値が計算によって求められる。

【０００７】

せん断波を利用して組織の弾性を評価する方法は、弾性率等の特性値を定量的に計測できるため、腫瘍診断において極めて重要であり、臨床価値が高い。しかしながら、超音波は、組織構造によって反射、屈折、回折、減衰の影響を受けるため、せん断波を用いて組織弾性を計測する際の計測精度や再現率に影響を与えることが知られている。

【０００８】

特許文献１には、被検体内に超音波を送信し、被検体内で反射して戻ってきた超音波信号を受信し、その受信信号から被検体の画像を生成する超音波診断装置において、送信時または受信時の超音波のフォーカシングを、被検体の脂肪層の境界における超音波の屈折を考慮して行う技術が開示されている。すなわち、振動子ごとの送信信号または受信信号に付与する遅延時間を、被検体の脂肪層の境界における超音波の屈折を考慮して設定する。これにより、被検体の脂肪層における超音波の屈折の影響を抑制し、被検体画像の分解能の劣化を防ぐことができる。遅延時間の設定方法としては、表在の皮下脂肪層の厚さを測定し、その他の生体組織との組織境界における屈折を考慮して、振動子から焦点までの伝搬経路を推定し、その伝搬経路の長さと、伝搬経路上の組織の音速から、音源から焦点まで音波が到達するまでの伝搬時間を算出し、これに基づき振動子ごとの遅延時間を設定する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００９】

【特許文献１】特許第４７１１５８３号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【００１０】

特許文献１の技術では、厚さが一様な脂肪層が存在していると想定して超音波の屈折した伝搬経路を算出する。脂肪層の厚さは、ユーザが脂肪層の上面と下面に配置したカーソル間の距離を算出することにより１か所で計測している。

【００１１】
しかしながら、被検体によっては、脂肪層の厚さが一様でなく複雑な形状の場合もある。また、脂肪層と他の組織が交互に複数層に積層されている場合もある。さらに、被検体内には、脂肪層以外にも種々の組織の境界が存在し、複雑な形状の組織境界を形成している。
【００１２】
せん断波を利用して組織の弾性を評価する方法において、精度よく組織の弾性率を計測するためには、せん断波を所望の深さの指定位置で、所望の強度で発生させることが望ましい。せん断波の発生位置が指定位置からずれた場合、せん断波の計測領域に必要な強度（振幅）のせん断波が伝搬せず、せん断波の計測が困難になる。そのため、集束超音波によりせん断波を発生させる場合には、焦点において超音波を精度よく集束させるための遅延時間を振動子ごとに正確に求める必要があるが、そのためには、体表から指定位置（焦点）までに存在する組織境界の位置および形状を把握し、それらの境界における超音波の屈折を考慮して伝搬経路を求める必要がある。
【００１３】
特許文献１の技術では、脂肪層の厚さをユーザが設定したカーソルにより１か所で計測するため、組織の境界形状が複雑である場合にはその形状を把握することは困難である。そのため、特許文献１の技術を応用して、複雑な形状の組織境界を通過した超音波を、所望の焦点位置に精度よく集束させることは難しい。
【００１４】
また、特許文献１に記載の技術をせん断波を用いた弾性評価に用いた場合、得られた弾性率の信頼性を知る術がない。
【００１５】
本発明の目的は、検査対象の組織境界の形状を把握し、所望の焦点に超音波を精度よく集束させることにある。
【課題を解決するための手段】
【００１６】
上記目的を達成するために、本発明によれば、複数の振動子が配列された探触子に対してそれぞれ送信信号を出力し、複数の振動子から検査対象に超音波を送信させる送信部と、送信後に検査対象から戻る超音波を受信した振動子がそれぞれ出力する受信信号を取得する受信部と、送信部および受信部を制御する制御部とを有する超音波送受信装置が提供される。制御部は、受信信号を用いて、検査対象内の組織境界を所定の範囲において検出する組織境界検出部と、複数の振動子から送信された超音波が組織境界において屈折する経路を求め、経路に基づいて所定の焦点に超音波を合焦させるための送信信号の遅延時間を振動子ごとに算出する遅延時間算出部とを含む。
【発明の効果】
【００１７】
本発明によれば、検査対象の組織境界の形状を把握することができるため、所望の焦点位置に超音波を精度よく集束させることができる。よって、せん断波を発生させてその速度を精度よく計測することができる。
【図面の簡単な説明】
【００１８】
【図１】本発明の実施形態１の超音波送受信装置の一構成例のブロック図である。
【図２】（ａ）音速の異なる組織１、組織２の組織境界において、超音波が屈折する経路を示す説明図である、（ｂ）組織境界がない場合の超音波の経路、ならびに、超音波の焦点と計測点との適正距離を示す説明図である。
【図３】（ａ）は、実施形態の第１超音波の送受信を示す説明図である、（ｂ）第２超音波の送信および第３超音波の送受信をそれぞれ示す説明である。
【図４】実施形態１の超音波送受信装置の動作を示すフローチャートである。
【図５】Ｂモード画像から組織境界の検出をするフローチャートである。

【図６】ＲＦ信号から組織境界の検出をするフローチャートである。
【図７】組織１と組織２の組織境界と、組織境界の傾きを示した図である。
【図８】実施形態１の超音波の屈折経路の算出動作（振動子基点方式）を示すフローチャートである。
【図９】図８の算出動作で用いる超音波屈折経路の各点の関係を示す説明図である。
【図１０】実施形態１において求められる焦点付近の超音波推定強度分布を示した図である。
【図１１】実施形態２の超音波の屈折経路の算出動作（焦点基点方式）を示すフローチャートである。
【図１２】図１１の算出動作で用いる超音波屈折経路の各点の関係を示す説明図である。
【図１３】実施形態２において算出された遅延時間を用いる際、焦点位置と超音波到達点とのずれを許容する範囲を示すグラフである。
【図１４】実施形態３の超音波送受信装置の動作を示すフローチャートである。
【図１５】Ｂモード画像から複数の組織境界候補の検出をするフローチャートである。
【図１６】ＲＦ信号から複数の組織境界候補の検出をするフローチャートである。
【図１７】実施形態３における超音波送受信装置の表示形態の一例である。
【図１８】実施形態３における超音波送受信装置の表示形態の一例である。
【図１９】（ａ）、（ｂ）は、実施形態３における焦点付近の超音波の推定強度分布を信頼性指標とした場合の表示形態の一例である。
【図２０】実施形態３における焦点付近の超音波の推定強度分布を信頼性指標とした場合の表示形態の一例である。
【図２１】（ａ）、（ｂ）は、実施形態３におけるせん断波による深度方向の組織変位を、信頼性指標として用いた場合の表示形態の一例を示したものである。
【図２２】実施形態３におけるせん断波による深度方向の組織変位を、信頼性指標として用いた場合の表示形態の一例を示したものである。
【図２３】（ａ）、（ｂ）は、せん断波の波面の左右方向への伝搬を示す説明図である、（ｃ）は、実施形態３におけるせん断波の波面の左右方向の到達時間の差を信頼性指標として用いた場合の表示形態の一例を示したものである。
【図２４】実施形態３におけるせん断波の波面の左右方向の到達時間の差を信頼性指標として用いた場合の表示形態の一例を示したものである。
【図２５】（ａ）、（ｂ）は、実施形態３におけるせん断波が伝搬している焦点周辺に第３超音波の超音波を照射し、その反射波を受信した受信信号の信号強度を、信頼性指標として用いた場合の表示形態の一例を示したものである。
【図２６】実施形態３におけるせん断波が伝搬している焦点周辺に第３超音波の超音波を照射し、その反射波を受信した受信信号の信号強度を信頼性指標とした場合の表示形態の一例を示したものである。
【発明を実施するための形態】
【００１９】
以下、本発明の実施形態を図面に従って説明する。
【００２０】
＜＜実施形態１＞＞
実施形態１の超音波送受信装置１について図１を用いて説明する。
【００２１】
図１に示すように、実施形態１の超音波送受信装置１は、送信部（送信ビームフォーマ）２１と、受信部（受信ビームフォーマ）２２と、制御部３０を備えて構成される。送信部２０は、複数の振動子が配列された探触子１０に対して、それぞれ送信信号を出力し、複数の振動子から検査対象１００に超音波を送信させる。探触子１０による超音波の送信後に、検査対象１００から戻る超音波は、探触子１０の各振動子により受信され、各振動子は、受信信号を出力する。受信部２２は、振動子がそれぞれ出力する受信信号を取得する。

【００２２】
制御部３０は、送信部２１および受信部２２を制御する。制御部３０は、組織境界検出部３２と、遅延時間算出部３３とを含む。組織境界算出部３２は、受信部２２の受信信号を用いて、図２（ａ）に示すように、検査対象１００内の組織境界１２１を所定の範囲１１０において検出する。遅延時間算出部３３は、複数の振動子１１から送信された超音波が組織境界１２１において屈折する経路４１１を求め、経路４１１に基づいて所定の焦点４０１に超音波を合焦させるための送信信号の遅延時間を振動子１１ごとに算出する。
【００２３】
このように、実施形態１の超音波送受信装置は、受信信号を用いて検査対象１００の組織境界１２１を検出し、検出した組織境界１２１において超音波が屈折することを考慮して遅延時間を算出することができるため、精度よく所望の焦点位置に超音波を集束させることができる。
【００２４】
以下、さらに詳しく実施形態１の超音波送受信装置について説明する。
【００２５】
組織境界検出部３２は、組織境界１２１を検出するために、送信部２１を制御して、検査対象１００の所定の範囲１１０に対して第１超音波３０１を例えば図３（ａ）のように送信させる。第１超音波３０１が送信された後に、検査対象１００の所定の範囲１１０から探触子１００に戻る超音波（エコー等）３１１は、探触子１００の振動子１１によってそれぞれ受信される。組織境界検出部３２は、振動子１１がそれぞれ出力する受信信号を受信部２２から受け取り、受信信号を用いて、所定の範囲１１０に存在する検査対象１００の組織境界１２１を検出する。
【００２６】
例えば、図１のように、制御部３０は、振動子１１の受信信号から検査対象１００の画像を生成する画像生成部３１を備える構成とし、組織境界検出部３２は、画像生成部３１が生成した所定の範囲１１０の画像を画像処理することにより、組織境界１２１を検出する構成とすることができる。これにより、画像の範囲において組織境界１２１を２次元に検出することができる。
【００２７】
また、組織境界検出部３２は、受信信号から直接、組織境界１２１を検出する構成としてもよい。振動子の受信信号は、検査対象１００の各深度から戻った超音波（エコー等）３１１を時系列に受信したものであるため、時系列な受信信号の時刻は、超音波３１１が反射等された深度に対応している。また、組織１０１と組織１０２とで音速や散乱特性等が異なれば、受信信号の波形（振幅、周波数等）も変化するため、組織境界検出部３２は、時系列な受信信号の信号波形（振幅、周波数等）の変化時点を検出することにより、検査対象１００の深さ方向の組織境界１０１の位置を検出することができる。すなわち、組織境界検出部３２は、複数の振動子１１の受信信号について波形変化の位置を検出することにより、組織境界１２１の位置（深さ）を少なくとも振動子１１（受信信号）に対応する数だけ検出することができる。必要に応じて検出した組織境界１２１の位置を曲線や直線にフィッティングすることにより、組織境界１２１を連続する線として抽出することができる。
【００２８】
また、制御部３０は、図１のように、弾性計測処理部３４や判定処理部３５をさらに備えていてもよい。
【００２９】
弾性計測処理部３４は、送信部２１を制御して、遅延時間算出部３３が振動子１１ごとに算出した遅延時間によってそれぞれ遅延させた送信信号を探触子１０の振動子１１にそれぞれ出力させる。これにより、探触子１０からは、図２（ｂ）に示すように所定の位置に焦点を結ぶ集束超音波（第２超音波）３０２が送信され、この第２超音波３０２によって加えられた音響放射圧により、検査対象１００にはせん断波３０４が生じる（図３（ｂ

））。弾性計測処理部３４は、送信部２１および受信部２２を制御して、検査対象１００の所定の計測領域（ＲＯＩ：Ｒｅｇｉｏｎ ｏｆ Ｉｎｔｅｒｅｓｔ）３００に第３超音波３０３を送信する。第３超音波３０３の送信後に、検査対象１００から戻る超音波（エコー等）３１３は、探触子１０により受信される。弾性計測処理部３４は、受信部２２からこの受信信号を得て、受信信号に基づいてせん断波３０４により生じた計測領域の変位を計測し、検査対象の弾性を求める。

【００３０】

判定処理部３５は、弾性計測処理部３４で算出された弾性の計測結果の信頼性を、その計測時のせん断波３０４の特性や、集束超音波の特性に基づいて判定する。例えば、焦点４０１で発生したせん断波３０４の振幅や、発生したせん断波３０４の伝搬の焦点４０１に対する左右対称性（例えば焦点４０１の左右に等距離に配置したラインＡ，Ｂへのせん断波の波面の到達時間の差）や、遅延時間算出部３３で求めた伝搬経路から推定された焦点４０１を含む周辺領域での超音波の推定強度分布等を、信頼性を判断する指標（信頼性指標）として用いる。

【００３１】

＜各部の動作＞

以下、本実施形態の超音波送受信装置の各部の動作を図４等を用いて説明する。なお、以下の説明においては、超音波送受信装置の制御部３０が、図１のように、組織境界検出部３２および遅延時間算出部３３のみならず、画像生成部３１、弾性計測処理部３４および判定処理部３５をすべて備えた構成である場合について説明する。

【００３２】

制御部３０の画像生成処理部３１、構造分析処理部３２、遅延時間算出部３３、弾性計測処理部３４、判定処理部３５は、ソフトウェアによって実現することも可能であるし、その一部または全部をハードウェアによって実現することも可能である。

【００３３】

ソフトウェアによって実現する場合、制御部３０をＣＰＵ（Ｃｅｎｔｒａｌ Ｐｒｏｃｅｓｓｉｎｇ Ｕｎｉｔ）やＧＰＵ（Ｇｒａｐｈｉｃｓ Ｐｒｏｃｅｓｓｉｎｇ Ｕｎｉｔ）等のプロセッサにより構成し、制御部３０に予め格納されたプログラムを読み込んで実効することにより、画像生成処理部３１、構造分析処理部３２、遅延時間算出部３３、弾性計測処理部３４、判定処理部３５の機能を実現する。また、ハードウェアによって実現する場合には、ＡＳＩＣ（Ａｐｐｌｉｃａｔｉｏｎ Ｓｐｅｃｉｆｉｃ Ｉｎｔｅｇｒａｔｅｄ Ｃｉｒｃｕｉｔ）のようなカスタムＩＣやＦＰＧＡ（Ｆｉｅｌｄ－Ｐｒｏｇｒａｍｍａｂｌｅ Ｇａｔｅ Ａｒｒａｙ）のようなプログラマブルＩＣを用い、画像生成処理部３１、構造分析処理部３２、遅延時間算出部３３、弾性計測処理部３４、判定処理部３５の動作を少なくとも実現するように回路設計を行なえばよい。

【００３４】

ここでは、制御部３０の各部の機能をソフトウェアにより実現する場合を例に説明する。

【００３５】

図４～図６は、装置の動作を示すフローチャートである。

【００３６】

＜ステップ２００＞

まず、図４のように、ステップ２００では、制御部３０は、外部入力デバイス１３を介して、ユーザからＲＯＩ３００と、せん断波４０１を発生させるための第２超音波３０２の焦点４０１と、検査対象１００の組織境界１２１を検出すべき範囲１１０とを受け付ける。組織境界１２１を検出すべき範囲１１０は、焦点４０１を少なくとも含むように、制御部３０が設定してもよい。また、制御部３０は、ＲＯＩ３００内のせん断波３０４が伝搬する方向（例えばｘ方向）に等間隔に、複数の計測点３０５を設定する。

【００３７】

＜ステップ２０１＞

図４のように、ステップ２０１では、組織境界検出部３１は、送信部（以下、送信ビームフォーマと呼ぶ）２１に、ステップ２００で受け付けた（または設定された）組織境界１２１を検出すべき範囲１１０に向けて第１超音波３０１を送信するように指示する。例えば図３（ａ）のように、所定の間隔で複数の送信走査線３３１を設定し、これらに沿って順次第1超音波３０１を送信するように指示する。その指示に基づき、送信ビームフォーマ２１は、送信信号を探触子１０の各振動子１１に出力する。探触子１０の振動子１１が送信信号を超音波に変換することにより、第１超音波３０１が送信走査線３３１にそって送信される。検査対象１００の内部から反射等して探触子１０に戻ってきた超音波３１１は、探触子１０の振動子１１により受信される。複数の振動子１１の出力する受信信号は、受信ビームフォーマ２２により取得され、所定の受信走査線３２１（図３（ａ）の例では受信走査線３２１は、送信走査線３３１と平行）上に設定された複数の受信焦点にそれぞれ焦点を結ぶように、受信焦点ごとに予め定められた受信用遅延時間で遅延させることにより整相された後、加算され、整相加算後受信信号（以下、ＲＦ（Ｒａｄｉｏ Ｆｒｅｑｕｅｎｃｙ）信号とも呼ぶ）となる。

【００３８】

画像生成処理部３１は、ＲＦ信号の信号強度等を受信焦点の位置に対応した画素の画素値とすることにより、画像（Ｂモード画像）を生成する。

【００３９】

なお、ここでは、複数の送信走査線３３１を設定し、順次第１超音波３０１を送信して、送信走査線３３１に平行な受信走査線３２１についてＲＦ信号を生成したが、第１超音波３０１を広範囲に広がるように１回のみ送信し、その送信で得た受信信号により、複数の受信走査線３２１についてそれぞれ整相加算を行い複数のＲＦ信号を得ることも可能である。

【００４０】

＜ステップ２０２＞

次に、図４のステップ２０２において、組織境界検出部３２は、ステップ２０１で取得したＲＦ信号や、ＲＦ信号から画像生成処理部３１が生成したＢモード画像（ここではｘｚ平面の二次元画像）に基づいて、組織境界１２１の検出を行なう。この検出動作を図５および図６を用いて、以下詳しく説明する。

【００４１】

＜ステップ２０２の組織境界検出の詳細動作例１（画像処理）＞

ステップ２０２においてＢモード画像から組織境界１２１の検出を行なう場合の組織境界検出部３２の詳しい動作を図５のフローチャートに示す。

【００４２】

まず、図５のように、ステップ３００１において、組織境界検出部３２は、画像生成処理部３１からＢモード画像（ｘｚ平面）を受け取る。

【００４３】

次に、ステップ３００２において、組織境界検出部３２は、Ｂモード画像を画像処理することにより、画像に含まれる組織境界１２１の像（直線や曲線）を抽出する。画像処理としては、例えば、予め定めておいた閾値を用いて２値化する処理や、エッジ抽出処理や、テクスチャ解析等を用いることができる。

【００４４】

次に、ステップ３００３において、組織境界検出部３２は、抽出した組織境界１２１の形状を特定する情報を求める。例えば、抽出した組織境界１２１（直線や曲線）上に、図７のように離散的な点７１、７２、７３等を設定し、これらの点７１等の位置をｘｚ平面上で示す座標(Pj)と、点７１における組織境界１２１の傾き（水平面との角度）(αj)を求める。求めた点７１等の座標と傾き（Pj、αj）は、制御部３０が内蔵するメモリに格納される。

【００４５】

なお、ステップ３００３では、抽出された組織境界１２１の形状が特定できる情報であ

れば、座標と傾きの組み合わせ以外の情報を求めてもよい。例えば、組織境界１２１の形状を曲線や直線にフィッティングし、それを表す関数を求めてもよい。この場合、求めた関数を制御部３０が内蔵するメモリに格納する。

【００４６】

＜ステップ２０２の組織境界検出の詳細動作例２（ＲＦ信号の処理）＞

ステップ２０２の別の動作例として、受信信号から組織境界１２１の検出を行なう場合の組織境界検出部３２の詳しい動作を図６のフローチャートに示す。

【００４７】

まず、ステップ４００１において、組織境界検出部３２は、受信ビームフォーマ２２からＲＦ信号（整相加算後の受信信号）を受け取る。

【００４８】

次に、ステップ４００２において、組織境界検出部３２は、ＲＦ信号ごとに信号処理を施し、組織に境界が存在することにより、ＲＦ信号（時系列信号）に生じている変化の時点を検出する。ＲＦ信号に生じている変化とは、２以上の組織が境界において接していることによる超音波の反射特性や散乱特性ならびに伝搬特性等の変化によってＲＦ信号に生じている変化である。例えば、ＲＦ信号の振幅の変化や、周波数成分の変化を検出し、その変化時点を求めることにより、変化時点に対応する検査対象１００の深度６１（図３（ａ）参照）をＲＦ信号ごとに求めることができる。これにより、それぞれ受信走査線３２１のライン上における組織境界１２１の位置６１の深度を検出でき、組織境界１２１を示す位置６１を受信走査線３２１の数だけ離散的に求めることができる。さらに、必要に応じて、受信走査線３２１ごとの組織境界１２１の位置６１にフィッティングする直線や曲線を求め、直線や曲線として組織境界１２１を求めることもできる。

【００４９】

次に、ステップ４００３において、ステップ３００３と同様に、組織境界検出部３２は、抽出した組織境界１２１の形状を特定する情報を求める。例えば、図７のように、組織境界１２１（直線や曲線）上の離散的な点７１等の位置をｘｚ平面上で示す座標(Pj)と、点７１等における組織境界１２１の傾き(αj)を求める。このとき、離散的な点７１等を、受信走査線３２１の組織境界の位置６１と一致させてもよい。求めた点７１等の座標と傾き（Pj、αj）は、制御部３０が内蔵するメモリに格納される。

【００５０】

＜ステップ２０３＞

次に、図２のステップ２０３において、遅延時間算出部３３は、上記ステップ２０２で求めた組織境界１２１に基づいて、組織境界１２１において超音波が屈折することを考慮して、所望の送信焦点４０１に焦点を結ぶように各振動子１１から超音波を送信するための各振動子１１の遅延時間を算出する。

【００５１】

遅延時間算出部３３は、組織境界１２１における屈折を補償した遅延時間を算出するため、例えば次のような処理を行なう。

【００５２】

まず、組織境界検出部３２によって求められた組織境界１２１の位置と、探触子１０の各振動子１１の位置と、焦点４０１の位置との関係から、各振動子１１から送信され、組織境界１２１を通り、焦点４０１へ向かう超音波の伝搬経路を、屈折を考慮した上で算出する。組織境界１２１における超音波の伝搬経路の屈折角は、スネルの法則から算出する。各振動子１１から焦点４０１までの伝搬経路を算出した後、各振動子１１から焦点４０１までの伝搬時間を算出する。

【００５３】

振動子１１ごとに算出された伝搬時間に基づき、各振動子１１の遅延時間を算出する。このように、組織境界1２１における屈折を考慮して遅延時間を算出することにより、焦点４０１への超音波の集束効率を向上させることができる。

【００５４】

遅延時間算出部３３の遅延時間の算出方法については後でさらに詳しく説明する。

【００５５】

＜ステップ２０４＞

次に、ステップ２０４において、弾性計測処理部３４は、図３（ｂ）のように、遅延時間算出部３３から送信焦点４０１に焦点を結ばせるための送信時の遅延時間を受け取り、送信ビームフォーマ２１に設定する。これにより、送信ビームフォーマ２１は、上記遅延時間で遅延させた送信信号を振動子１１ごとに生成して、各振動子１１に出力する。振動子は、受け取った送信信号を超音波に変換して検査対象１００に照射する。これにより、照射された第２超音波３０２は、焦点４０１の位置に集束するため、第２超音波３０２による音響放射圧を焦点４０１の位置に加えることができる。第２超音波３０２の照射が停止されると、圧力負荷が排除されるため復元力が働き、焦点４０１の位置においてせん断波が発生する。せん断波３０４は、第２超音波３０が照射された焦点４０１の位置を基点に放射状に伝搬する。

【００５６】

＜ステップ２０５＞

次に、ステップ２０５において、弾性計測処理部３４は、送信ビームフォーマ２１および受信ビームフォーマ２２に対して、ＲＯＩ３００に第３超音波３０３を照射して、そのエコーを受信することにより、組織の変位を計測するように指示する。図３（ｂ）の図面では、焦点４０１から図面上の右方向に伝搬するせん断波３０４を計測する場合を例示している。

【００５７】

具体的には、例えば、弾性計測処理部３４は、所定の送信走査線の位置を送信ビームフォーマ２１に指示し、所定のタイミングで第３超音波１０５を探触子１０の振動子１１から２回以上送信させ、送信の都度、そのエコーを受信した振動子１１の受信信号を、受信ビームフォーマ２２を介して受信する。弾性計測処理部３４は、ＲＯＩ３００内の複数の計測点３０５を通る複数の受信走査線について、受信ビームフォーミングを行うことにより整相加算後の受信信号（ＲＦ信号）３１３をそれぞれ得る。

【００５８】

＜ステップ２０６＞

次に、ステップ２０６において、判定処理部３５は、ステップ２０４で生成されたせん断波３０４のＲＯＩ３００における信頼性を判定する。すなわち、せん断波３０４がＲＯＩ３００において十分な精度で計測できるような波形であるかどうかを判定する。例えば、実際に発生したせん断波３０４の振幅や、せん断波３０４の伝搬の左右対称性をステップ２０５で求めたＲＦ信号に基づいて求めて、これらを信頼性指標として信頼性を判定処理部３５が判定してもよい。また、判定処理部３５は、遅延時間算出部３３が後述するように算出した超音波の伝搬経路に基づいて、焦点４０１周辺の超音波の推定強度分布を算出し、この推定強度分布を信頼性指標としてせん断波３０４のＲＯＩ３００における信頼性を判定してもよい。なお、信頼性指標の具体的な例およびその算出方法については、実施形態３において説明する。

【００５９】

＜ステップ２０７＞

次に、ステップ２０７において、弾性計測処理部３４は、ステップ２０５において複数の計測点３０４について複数回の送信についてそれぞれ得たＲＦ信号３１３を用い、複数の計測点３０５の深さ方向（ｚ方向）について変位を計測する。

【００６０】

具体的には、同一の計測点３０５について、異なるタイミングで得たＲＦ信号３１３同士の相互相関演算により、複数の計測点３０５の深さ方向（ｚ方向）の変位を求める。これにより、せん断波の伝搬方向(ｘ方向）に設定した複数の計測点３０５の変位（せん断波の振幅）の時間変化が得られる。複数の計測点３０５についての変位の時間変化の位相差を算出することにより、せん断波３０４の伝搬速度を算出することができる。

【００６１】
＜ステップ２０８＞
次に、ステップ２０８において、弾性計測処理部３４は、得られたせん断波の速度から、公知の数式を用いて、弾性率を算出する。
【００６２】
なお、ステップ２０７、２０８におけるせん断波の速度を求める処理方法、および、せん断波の速度から計測点３０５における弾性率を求める処理方法は広く知られているので詳細な演算方法の説明は省略する。
【００６３】
制御部３０は、算出された弾性率を、表示部１６に表示する。また、制御部３０は、計測点３０５を２次元に設定して、それぞれについて弾性率を測定させることにより、弾性率マップを生成することも可能である。また、制御部３０は、判定処理部３５が算出した信頼性指標を表示部１６に表示してもよい。これにより、ユーザは、信頼性指標の値により、計測結果の信頼性を把握することができる。
【００６４】
なお、上述のステップ２０４において生成したせん断波３０４の振幅が、ＲＯＩ３００において小さすぎる場合、第３超音波３０３の送受信により計測点３０５の組織変位を正確に計測することができず、せん断波３０４の速度算出が難しくなる。本実施形態では、ステップ２０２において組織境界１２１を検出し、組織境界１２１における超音波の屈折を考慮して、ステップ２０３において焦点４０１に超音波を集束させる遅延時間を正確に算出しているため、ステップ２０４において焦点４０１の位置に、振幅の大きなせん断波３０４を発生させることができる。よって、ＲＯＩ３００に振幅の大きなせん断波３０４を伝搬させることができ、ステップ２０５においてせん断波３０４による組織変位を正確に計測することができる。これにより、せん断波３０４の速度算出の精度を高めることができる。
【００６５】
＜ステップ２０３の遅延時間算出部３３の動作の詳細＞
ここで、上述のステップ２０３において遅延時間算出部３３が遅延時間を算出する動作について、図８のフローを用いて説明する。図８のフローの処理は、振動子１１の位置を起点として、超音波経路を算出する（振動子起点方式）。
【００６６】
以下の説明は、集束させた第２超音波３０２を検査対象１００に照射して、音響放射圧によりせん断波を発生させる場合であって、組織１（１０１）と組織２（１０２）が接している２層組織（音源から焦点に伝搬する際１つのみの組織境界１２１がある）であり、組織１（１０１）と組織２（１０２）の音速(C1、C2)は予めわかっており、制御部３０の内蔵するメモリに格納されている場合を例に説明する。各振動子１１の位置(S1、…、Si、…、SN)も予めメモリにテーブルとして格納されている。なお、各振動子１１の位置(S1、…、Si、…、SN)は、有限幅をもつ各振動子１１の例えば中心等の位置であり、Nは振動子１１の数を示す。
【００６７】
図９は、図２のステップ２０２で検出された組織境界１２１と、振動子１１の位置を示したものである。
【００６８】
まず、図８のステップ８０１において、遅延時間算出部３３は、ステップ２００で制御部３０が受け付けた焦点４０１の位置（Ｆ）を、制御部３０が内蔵するメモリから読み込む。
【００６９】
次に、ステップ８０２において、遅延時間算出部３３は、組織１（１０１）と組織２（１０２）の音速(C1、C2)、各振動子１１の位置(S1、…、Si、…、SN)、および、組織境界１２１上の点７１等の座標(P1、…、Pj、…、PM)と傾き(α1、…αj、…αM)を、制御部

３０の内蔵するメモリから読み込む。

【００７０】

焦点の位置（Ｆ）、各振動子１１の位置(S1、…、Si、…、SN)、組織境界の位置(P1、…、Pj、…、PM)、角度(α1、…αj、…αM)の位置関係の一例は、図９に示す通りである。組織境界の位置(P1、…、Pj、…、PM)は、本来連続的なものであるが、ステップ２０２において説明したように、Ｍ個の点７１、７２、７３・・・に離散化されている。

【００７１】

ステップ８０３において、遅延時間算出部３３は、１つの振動子Siを選択する。

【００７２】

次に、ステップ８０４では、遅延時間算出部３３は、組織境界１２１の点Pjを選択する。

【００７３】

次に、ステップ８０５では、遅延時間算出部３３は、ステップ８０３で選択した振動子Siから送信された超音波のうち組織境界１２１の点Pjを通る超音波の、組織境界１２１の法線に対する角θを下式（１）により求める。

【００７４】

【数１】

$$\theta = \arcsin\left(\frac{S_i I}{P_j S_i}\right) - \alpha_j \qquad \cdots(1)$$

【００７５】

さらに、ステップ８０６において、遅延時間算出部３３は、振動子Siから送信され、点Pjを通過し、境界１２１において屈折する超音波が、焦点Fの深度を通過する際の位置F'をした場合、位置F'と焦点Fとの距離FF’を式（２）および式（３）より求める。

【００７６】

【数２】

$$\tan(\phi + \alpha_j) = \tan\left\{\arcsin\left(\frac{C_2}{C_i}\sin\theta\right) + \alpha_j\right\} \qquad \cdots(2)$$

【数３】

$$FF' = F'H - FH = P_j H \tan(\alpha_j + \phi) - FH \qquad \cdots(3)$$

【００７７】

次に、ステップ８０７にて、遅延時間算出部３３は、j=Mとなるまで、すべての組織境界１２１上の点Pjについて、上記ステップ８０４－８０６を繰り返し、各点Pjごとの位置F'と焦点Fとの距離FF’を算出する。

【００７８】

つぎに、ステップ８０８では、遅延時間算出部３３は、距離FF’が最も小さくなった点Pjを選定する。

【００７９】

次に、ステップ８０９において、遅延時間算出部３３は、式（４）より、振動子Siから送信され点Ｐｊを通過して焦点Fに到達する超音波の伝搬経路SiPjFの伝搬時間(Time Of Flight: TOF)を算出する。

【００８０】

【数４】

$$t_{TOFi} = \frac{S_i P_j}{C_1} + \frac{P_j F}{C_2} \qquad \cdots(4)$$

【００８１】

次に、ステップ８１０では、遅延時間算出部３３は、式（５）から遅延時間t_{Di}を算出

する。

【００８２】

【数５】

$$t_{Di} = \max(T_{TOF}) - t_{TOFi}$$

ただし、$T_{TOF} = \{t_{TOF1}, t_{TOF2}, t_{TOF3}, \cdots, t_{TOFi}, \cdots t_{TOFN}\}$ …（５）

【００８３】

次に、ステップ８１１では、振動子Ｓｉの番号i=Nであるか判定し、i=Nでなければ再びステップ８０３に戻ってステップ８０３－８１０を繰り返す。ステップ８１１において、i=Nとなったら、振動子S1…SNのそれぞれについて遅延時間t_{Di}の算出が完了する。

【００８４】

上述の図８のステップ８０８では、各振動子Si（ｉ=1～N）から送信され、組織境界１２１上の点Pj（ｊ=1～M）をそれぞれ通過した音波の到達する位置（F’）が算出される。1つの振動子Siから送信されて一つの点Ｐｊを通過する超音波の強度が、振動子Ｓｉが異なっても、また、点Pjの位置が異なっても同等であると仮定すると、上記ステップ８０１－８１１で求められた、ある位置F'に到達する伝搬経路の数によって、位置F’に到達する超音波の強度を推定することができる。したがって、図１０のように横軸をF’の位置、縦軸を到達した伝搬経路の数（超音波強度）としてグラフ化すると、焦点４０１周辺の超音波の推定強度分布を計算により求めることができる。

【００８５】

そこで、判定処理部３５は、図２のステップ２０６において、焦点４０１周辺の超音波の推定強度分布（図１０）を算出し、この推定強度分布を信頼性指標として用いて、ＲＯＩ３００において所定値以上の振幅のせん断波３０４を到達させることができるかどうかを判定することができる。

【００８６】

また、図２に示すように、第２超音波３０２によって生成されるせん断波の波源(焦点４０１)と、計測点３０５の間の距離４０２には、適正な範囲があり、距離４０２が短すぎても長すぎても、ＲＯＩ３００におけるせん断波３０４の速度の算出精度が低下する。そこで、判定処理部３０５は、上述のように算出した焦点４０１周辺の超音波の推定強度分布の振幅のピーク位置が実際の波源であるとして、波源と計測点３０５の距離が適正な範囲に入るように、計測点３０５をずらすように弾性計測処理部３４に指示してもよい。これにより、弾性計測処理部３４が計測点３０５を再設定することができるため、ＲＯＩ３００におけるせん断波３０４の計測の信頼性を向上させることが可能となる。

【００８７】

上述してきたように、本実施形態では、組織境界検出部３２が組織境界１２１の形状を二次元に求め、遅延時間算出部３３は、組織境界１２１における超音波の屈折を考慮して遅延時間を算出できる。これに対し、図２（ｂ）に示すように、均質組織であることを想定して算出された遅延時間を用いて、第２超音波３０２を送信した場合には、図２（ａ）のように実際には存在する組織境界１２１において第２超音波３０２が屈折するために、第２超音波３０２が集束しなかったり、設定した焦点４０１とは異なる位置４０１ａに集束する。このため、設定した焦点４０１に到達するエネルギーが減少し、焦点４０１において発生する組織変位が小さくなり、所望の振幅のせん断波を焦点４０１の位置において発生させることができなくなる。また、屈折した超音波が位置４０１ａに集束する場合でも、その位置４０１ａが設定した焦点４０１からずれているため、計測点３０５に対する距離４０２を適正範囲に保つことができなくなることがある。本実施形態では、これらの問題を解消することができるため、せん断波の速度の算出精度を向上させることができる。すなわち、本実施形態では、組織境界１２１の形状を２次元に把握できるため、組織境界の屈折に起因する焦点移動やエネルギー分散を抑制し、発生するせん断波の振幅を改善し、せん断波速度を精度よく計測することができる。これにより、計測点３０５における弾性率の算出精度を向上させることができる。

【００８８】
言い換えるならば、本実施形態では、組織境界検出部３２により検出された組織境界１２１における屈折の影響を補償し、適応的に遅延時間を算出することにより、弾性計測処理部で用いるせん断波の振幅が改善され、せん断波の速度を精度よく求めることができる。そして、せん断波の速度を用いて、弾性等の組織性状を表す特性値を精度よく求めることができる。
【００８９】
なお、上述の実施形態では、組織境界１２１が一つだけの検査対象１００について説明してきたが、３以上の組織が隣接している場合のように、複数の組織境界１２１が検査対象１００に含まれる場合でも、それぞれの組織境界１２１を組織境界検出部３２が検出して、それぞれの組織境界１２１における超音波の屈折を考慮して遅延時間を遅延時間算出部３３によって算出することも可能である。その場合、上述の式（１）～（５）に替えて、複数の組織境界１２１を通過する際に屈折する超音波の経路を求める数式を用いる。
【００９０】
また、本実施形態においては、２次元空間（ｘ－ｚ平面）において組織境界１２１の形状を組織境界検出部３２が抽出したが、振動子１１が２次元に配列された探触子１０を用いる場合には、探触子１０が取得した３次元空間におけるＲＦ信号を用いて、組織境界検出部３２は組織境界１２１の形状を３次元に抽出することが可能である。
【００９１】
＜＜実施形態２＞＞
実施形態２の超音波送受信装置について図１１、図１２等を用いて説明する。
【００９２】
実施形態２では、図４のステップ２０３における遅延時間の算出処理において、実施形態１（振動子基点方式）とは異なり、焦点４０１を基点として超音波の経路をたどることにより、超音波経路を算出する（焦点基点方式）。ステップ２０３以外のステップは、実施形態１と同様であるので、ここではステップ２０３のみを説明する。
【００９３】
図１１は、図４のステップ２０３における遅延時間推定の動作を示すフローチャートである。図１２は、図２のステップ２０３における振動子１１、組織境界１２１、焦点４０１の位置を示したものである。
【００９４】
まず、図１１のステップ１１０１、１１０２において、遅延時間算出部３３は、実施形態１のステップ８０１、８０２と同様に、焦点４０１の位置（Ｆ）と、組織１（１０１）と組織２（１０２）の音速(C1、C2)、各振動子１１の位置(S1、…、Si、…、SN)、および、組織境界１２１上の点７１等の座標(P1、…、Pj、…、PM)と傾き(α1、…αj、…αM)を、制御部３０の内蔵するメモリから読み込む。
【００９５】
次に、本実施形態では、ステップ１１０３において、遅延時間算出部３３は、組織境界１２１上の一つの点(Pj、αj)を選択する。
【００９６】
次に、ステップ１１０４において、遅延時間算出部３３は、ステップ１１０３で選択した組織境界１２１上の点(Pj、αj)を通過して焦点４０１の位置（Ｆ)に至る超音波経路PjFの組織境界１２１の法線に対する角φを下式（６）により求める。
【００９７】
【数６】

$$\phi = \arcsin\left(\frac{FH}{P_jF}\right) - \alpha_j \qquad \cdots(6)$$

【００９８】
次に、ステップ１１０５において、ある振動子Siから送信され、組織境界１２１上の点

(Pj、αj)に到達し、組織境界１２１で屈折することにより、上記ステップ１１０４で算出した角φで屈折する超音波経路S'Pjの、組織境界１２１の法線に対する角θを式（７）により算出する（図１２参照）。さらに、組織境界１２１上の点(Pj、αj)を通って深度方向の直線IHと振動子列との交点Iとした場合、上記超音波経路S'Pjの振動子列との交点S’と、交点Iとの距離IS’を、式（８）から求める。

【００９９】

【数７】

$$\tan(\theta+\alpha_j)=\tan\left\{\arcsin\left(\frac{C_1}{C_2}\sin\phi\right)+\alpha_j\right\} \quad \cdots(7)$$

【数８】

$$IS'=P_jI\tan(\alpha_j+\theta) \quad \cdots(8)$$

【０１００】

次に、ステップ１１０６にて、位置S'を含む振動子Siが、振動子列の端部の振動子S1から何番目（i番目）に位置するかを式（９）から求める。なお、式（９）においてpitchは、振動子1つあたりの幅である。

【０１０１】

【数９】

$$i=\frac{S_1I+IS'}{pitch}+1 \quad \cdots(9)$$

【０１０２】

さらに、ステップ１１０７にて、伝搬経路SiPjFの伝搬時間t_{TOFi}を式（１０）から求める。

【０１０３】

【数１０】

$$t_{TOFi}=\frac{S_iP_j}{C_1}+\frac{P_jF}{C_2} \quad \cdots(10)$$

【０１０４】

次に、ステップ１１０８にて、式（１１）から、振動子Siの遅延時間を求める。

【０１０５】

【数１１】

$$t_{Di}=\max(T_{TOF})-t_{TOFi}$$
$$\text{ただし、}T_{TOF}=\{t_{TOF1},t_{TOF2},t_{TOF3},\cdots,t_{TOFi},\cdots t_{TOFN}\} \quad \cdots(11)$$

【０１０６】

次にステップ１１０９にて、組織境界１２１上の点j=Mとなるまで、すべての組織境界１２１上の点Pjについて、ステップ１１０３から１１０９を繰り返す。以上により、振動子ごとの遅延時間を算出することができる。

【０１０７】

実施形態１で示した遅延時間t_{Di}の算出法においては、計算の繰り返し回数がN×M回（ステップ８０４からステップ８０７までのM回の繰り返しと、ステップ８０３からステップ８１１のN回の繰り返しとを掛け合わせたもの）である。これに対し、上述の実施形態２の遅延時間t_{Di}の算出方法においては、計算の繰り返し回数は、M回（繰り返し個所がステップ１１０３から１１０９までのM回のみ）である。よって、上記実施形態２の図１１で示した遅延時間の算出方法は、計算の繰り返し回数がM回であり、図８で示した方式（計算の繰り返し回数がN×M回）に比べ少ないため、計算コストが低いというメリットがある。

【０１０８】
また、実施形態２において、ステップ１１０３において選択したPjに対し、伝搬経路SiPjFが求まらない場合は、焦点４０１の位置にある程度許容範囲を設け、その許容範囲内に到達する伝搬経路を再計算して、伝搬経路SiPjFに近似した伝搬経路を求めてもよい。許容範囲は、例えば図１３のように、焦点４０１を中心とする超音波強度のガウシアンの半値幅等で規定することが考えられる。
【０１０９】
＜＜実施形態３＞＞
＜複数の組織境界の候補が擁立される場合＞
実施形態３の超音波送受信装置について図１４等を用いて説明する。
【０１１０】
実施形態３の超音波送受信装置は、実施形態１と同様に、組織境界検出部３２が組織境界１２１を画像処理やＲＦ信号の処理により抽出する構成である。しかしながら、体内の組織構造は複雑であるため、２つの組織１０１、１０２の組織境界１２１について複数本の組織境界１２１の候補が抽出される場合がある。そこで、実施形態３では、判定処理部３５がその複数の組織境界１２１の候補各々について、信頼性指標を算出し、算出された信頼性指標に基づいては最も信頼性の高いものを組織境界検出部３２が選択することにより組織境界１２１を決定する。これよりロバスト性及び精度の高いせん断波の速度計測が可能となる。以下、実施形態３の各部の動作について図１４～図１６を用いて説明する。以下の説明において、実施形態１の図４～図６を用いて説明した動作と同様の動作については説明を省略する。
【０１１１】
＜ステップ１４００～１４０１＞
まず、図４のように、ステップ１４００では、実施形態１と同様に、制御部３０は、ＲＯＩ３００と、焦点４０１と、組織境界１２１の検出範囲とをユーザから受け付ける。制御部３０は、ＲＯＩ３００内に等間隔に複数の計測点３０５を設定する。
【０１１２】
ステップ１４０１では、制御部３０は送信ビームフォーマ２１に第１超音波３０１を送信を指示する。検査対象の内部から反射等して探触子１０に戻ってきた超音波の探触子１０による受信信号は、受信ビームフォーマ２２により受信ビームフォーミングされＲＦ信号となる。
【０１１３】
＜ステップ１４０２＞
次に、図１４のステップ１４０２において、ステップ１４０１で取得したＢモード画像やＲＦ信号を用い、複数の組織の境界の検出を行なう。
【０１１４】
＜Ｂモード画像から組織の境界検出＞
具体的には、Ｂモード画像から組織境界１２１の検出を行う場合には、図１５のステップ１５０２～１５０３のフローのように、組織境界検出部３２は、実施形態１の図５のステップ３００１～３００３と同様に、Ｂモード画像を受け取り、画像処理により組織境界を抽出し、組織境界の形状を特定する情報（座標Pjや傾斜角αj）をメモリに格納する。このとき、組織境界検出部３２は、ステップ１５０２において、組織境界１２１の候補が複数ある場合には、複数の組織境界１２１の候補を抽出する。
【０１１５】
＜ＲＦ信号から組織の境界検出＞
ＲＦ信号から組織境界１２１の検出を行う場合には、組織境界検出部３２は、図１６のステップ１６０１～１６０３により、実施形態１の図６のステップ４００１～４００３と同様に、ＲＦ信号を受け取って、ＲＦ信号の変化を検出することにより、組織境界１２１の深度を求め、組織境界１２１の形状を特定する情報（座標Pjや傾斜角αj）をメモリに格納する。このとき、組織境界検出部３２は、ステップ１６０２において、組織境界１２

１の候補が複数ある場合には、複数の組織境界１２１の候補をそれぞれ抽出する。

【０１１６】

このように、実施形態３では、組織境界検出部３２は、ステップ１４０２において複数の組織境界１２１の候補を検出するため、その候補の組織境界１２１についてそれぞれ遅延時間を推定し、せん断波を発生させて計測し、計測結果を判定することにより、最適な組織境界３２を選択する。

【０１１７】

＜ステップ１４０３＞

ステップ１４０３では、組織境界検出部３２は、ステップ１４０２で検出された複数の組織境界１２１の候補のうち、１つを選択する。

【０１１８】

＜ステップ１４０４＞

次に、ステップ１４０４では、遅延時間算出部３３は、ステップ１４０３で選択した1つの組織境界１２１を用いて、焦点４０１に超音波を集束させるための各振動子１１の遅延時間を算出する。この遅延時間算出の動作は、実施形態１のステップ２０３と同様に行う。

【０１１９】

＜ステップ１４０５＞

次に、ステップ１４０５において、弾性計測処理部３０４は、ステップ１４０４で算出された遅延時間を、第２超音波３０２を送信ビームフォーマ２１に設定し、第2超音波３０２を検査対象１００に送信させる。これにより、焦点４０１において検査対象１００にせん断波が発生する。

【０１２０】

＜ステップ１４０６＞

次に、ステップ１４０６において、弾性計測処理部３４は、送信ビームフォーマ２１および受信ビームフォーマ２２を制御して、ＲＯＩ３００に第３超音波３０３を照射させ後、そのエコーを受信させ、組織の変位を計測する。

【０１２１】

＜ステップ１４０７＞

次に、ステップ１４０７は、判定処理部３５は、ステップ１４０５で生成させたせん断波の信頼性指標を算出することにより、せん断波３０４のＲＯＩ３００における信頼性を判定する。すなわち、せん断波３０４がＲＯＩ３００において十分な精度で計測できるような波形であるかどうかを判定する。信頼性指標としては、実施形態１において図１０に示した焦点４０１周辺の超音波の推定強度分布や、ステップ１４０６で計測させたせん断波の振幅、発生させたせん断波の両対称性、せん断波発生時の焦点領域のＢモード画像の輝度等のうち１つか、もしくは複数を組み合わせて用いる。信頼性指標とその算出方法、ならびに、表示方法については後で詳しく説明する。

【０１２２】

＜ステップ１４０８＞

ステップ１４０３からステップ１４０８は、全ての組織境界の候補の試行が完了するまで繰り返し行なう。

【０１２３】

＜ステップ１４０９＞

次に、ステップ１４０９では、組織境界検出部３２は、ステップ１４０７で算出された、各候補の組織境界１２１についてのせん断波の信頼性指標を比較し、最も大きな信頼性が大きい組織境界１２１を選択する。

【０１２４】

＜ステップ１４１０～１４１１＞

次に、ステップ１４１０において、弾性計測処理部３４は、実施形態１のステップ２０７と同様に、ステップ１４０６において複数の計測点３０４についてそれぞれ複数回得た

ＲＦ信号３１３を用い、複数の計測点３０５についてせん断波３０４の伝搬速度を算出する。

【０１２５】

ステップ１４１１において、弾性計測処理部３４は、得られたせん断波の速度から、公知の数式を用いて、弾性率を算出する。

【０１２６】

図１７は、実施形態３において超音波送受信装置が、図１４の動作の結果を表示部１６に表示する表示形態の一例である。図１７の表示画面には、検査対象１００におけるＲＯＩ３００を表示する領域１７０１と、ステップ１４０２で求めた組織境界１２１の複数（ｎ個）の候補の画像を表示する領域１７０２と、それぞれの組織境界１２１の候補についてステップ１４０７で求めた信頼度（信頼性指標）を表示する領域１７０３と、ステップ１４１１で求めた計測点３０５ごとの弾性率等の測定結果を表示する領域１７０４とが含まれる。組織境界１２１の候補それぞれに対する信頼度１７０３を指標に、組織境界１２１の候補の選択を自動または手動で行なうことができる。

【０１２７】

図１８は、ステップ１４０９において、組織境界検出部３２が組織境界１２１の複数の候補から最適な境界が選択された場合の表示画面の一例である。図１８の表示画面は、ＲＯＩ３００を表示する領域１７０１と、計測点の弾性率等の測定結果の表示領域１７０４と、信頼度（信頼性指標）を表示する領域１７０３とを一つずつ含む。表示領域１７０４に表示される測定結果および表示領域１７０３に表示される信頼度は、ステップ１４０９により選択後の組織境界１２１についてそれぞれ求めたものである。したがって、使用者は、この表示画面により、測定結果の信頼性を知ることができ、信頼性指標の値が低い場合、再測定をするなどの判断をすることができる。

【０１２８】

次に、信頼性指標の例とその算出方法、ならびに、表示画面の例を、図１９から図２６を用いて具体的に説明する。

【０１２９】

＜超音波の推定強度分布を信頼性指標とする例＞

図１９、図２０は、図１０で示した超音波の推定強度分布を信頼性指標とした場合の例を示したものである。超音波強度分布の算出方法は、実施形態１のステップ２０６で説明した通りである。超音波の推定強度分布を信頼性指標とすることにより、第２超音波３０２を送信する前に、組織境界１２１の候補の信頼性指標を算出できるため、第2超音波３０２の送信前に最適な組織境界１２１を選択することが可能になる。すなわち、図１４のフローのうち第２超音波３０２を送信するステップ１４０５と第３超音波３０３を送受信するステップ１４０６を、最適な組織境界１２１の選択を行うステップ１４０９の後で行うことができる。したがって、第２および第３超音波３０２，３０３の送信を組織境界１２１の候補の数だけ繰り返す必要がなく、最適な組織境界１２１に基づいて求めた遅延時間でせん断波を精度よく発生させ、弾性率の計測を行う動作を短時間で行うことができる。

【０１３０】

図１９（ａ）、（ｂ）は、図１０と同様に、組織境界１２１の候補についてそれぞれ超音波の推定強度分布を算出した結果の例を示している。横軸は焦点からの距離、縦軸は超音波の推定強度である。焦点４０１における超音波の推定強度が大きいほど、第２超音波３０２によって励起されるせん断波の振幅は大きい。よって、超音波の推定強度分布のピーク値や半値幅は、最適な組織境界１２１の候補の選択する際の信頼性指標として用いることができる。また、超音波の推定強度分布のピーク位置と、所望の焦点４０１(理想焦点)との位置ずれ量も、最適な組織境界候補を選択する際の信頼性指標として用いることができる。すなわち、ピーク値が大きい、または、半値幅が狭い、または、ピーク位置が焦点４０１に近い方が望ましい。例えば、図１９（ａ）、（ｂ）の例では、図１９（ａ）の超音波の推定強度分布の方が、図１９（ｂ）の分布に比べ、ピーク値が大きく、半値幅

が狭く、かつ、ピーク位置が焦点４０１に近いため望ましい。よって、図１４のステップ１４０７の判定処理においては、図１９（ａ）の推定強度分布が算出された組織境界１２１が最適な組織境界であるとして選択される。

【０１３１】

図２０は、超音波の推定強度分布を信頼性指標とする場合に、図１４の動作フローにおいて、ステップ１４０２、１４０７、１４０９等において表示部１６で表示する表示画面の例である。この表示画面には、図１４のステップ１４０２で検出された複数の組織境界１２１の候補の形状を示す画像をそれぞれ示す領域２００１と、それぞれの候補についてステップ１４０７で算出した超音波の推定強度分布を表示する領域２００２と、超音波推定強度分布のピーク値や半値幅等の数値を表示する領域２００３が含まれている。これらの候補の組織境界１２１のうち、図１４のステップ１４０９において選択された最適な組織境界１２１については判定結果として最適な組織境界であることを示す表示２００４（ここでは枠囲み）が表示される。

【０１３２】

＜せん断波による組織変位の値を信頼性指標とする例＞

図２１（ａ）、（ｂ）、図２２は、ステップ１４０５において生じたせん断波３０４による深度方向の組織変位を、信頼性指標として用いた場合の表示画面例である。深度方向の組織変位の値は、図１４のステップ１４０６において各計測点３０５について算出されるものを用いる。図２１（ａ）、（ｂ）はいずれも、焦点４０１を含むように設定されたＲＯＩ３００に２次元に配置された複数の計測点３０５についてそれぞれ求めた組織変位を、計測点３０５に対応する位置にある画素の画素値（カラー）として生成した組織変位の分布画像（組織変位マップ）の例である。また、組織変位マップの横には、変位の大きさとカラーとの関係を示すカラーバー２１０２が表示されている。

【０１３３】

図２２は、図２１（ａ）、（ｂ）で示した組織変位マップを示す領域２２０２と、その組織変位マップが得られた組織境界１２１の候補の形状を示す画像を示す領域２００１とを対応させて示す画面例である。また、組織変位マップの近傍には、組織変位の最大値や、最大変位の位置等の数値を示す領域２２０３も表示されている。

【０１３４】

組織変位を信頼性指標として用いる場合、せん断波速度の計測精度を高くするためには、組織変位が大きい方が望ましく、また、最大変位の位置が理想の焦点４０１位置に近いほど望ましい。例えば、図２１（ａ）と図２１（ｂ）の組織変位マップを比較すると、図２１（ａ）の組織変位マップの方が、図２１（ｂ）の組織変位マップよりも、最大変位の位置が理想焦点４０１の位置に近く、かつ、最大変位も大きいため望ましい。よって、図１４のステップ１４０７の判定処理において、図２１（ａ）の組織変位マップに対応する組織境界１２１が最適な組織境界であるとして選択される。図２２の表示画面には、選択された最適な組織境界１２１に、最適であることを示す表示２２０４（ここでは枠囲み）が表示される。

【０１３５】

＜せん断波の左右対称性を信頼性指標とする例＞

図２３（ｃ）、図２４は、図１４のステップ１４０５で送信された第２超音波３０２によって励起されるせん断波の伝搬の焦点４０１に対する左右対称性を信頼性指標とした場合の表示画面例を示している。図１４のステップ１４０６において第３超音波の送受信によりせん断波の波面２３０３が、図２３（ａ）、（ｂ）のように検出される。せん断波は、設定された理想の焦点４０１付近の位置２３０４で励起され、放射状に広がるため、焦点４０１を中心とする左右方向２３０１、２３０２にもそれぞれ伝搬する。このとき、焦点４０１から左右方向に等距離にラインＡ、Ｂを設定し、ラインＡ、Ｂにせん断波が到達する時間を求めた場合、実際にせん断波が励起された位置２３０４が、設定された焦点４０１に近いほど、ラインＡ、Ｂにせん断波が到達する時間の差が少なくなり、せん断波の伝搬の焦点４０１に対する左右対称性が高くなる。したがって、ラインＡ、Ｂへのせん断

波到達時間の差を、判定処理部３５が、ステップ１４０７において算出することにより、せん断波の伝搬の焦点４０１に対する左右対称性を信頼性指標として求めることができる。

【０１３６】

例えば、図２３（ａ）、（ｂ）に示したせん断波の例におけるラインＡ、Ｂへのせん断波の到達時間の差（信頼性指標）を求めた結果をグラフ化すると図２３（ｃ）の画像例のようになる。

【０１３７】

図２４は、図２３（ｃ）に示したせん断波の左右のラインＡ、Ｂへの到達時間の差（信頼性指標）として示す領域２４０２と、その信頼性指標が得られた組織境界１２１の候補の形状を示す画像を示す領域２００１とを対応させて示す画面例である。また、信頼性指標を示す領域２４０２の近傍には、ラインＡ、Ｂへのせん断波の到達時間の差の数値等を示す領域２４０３も表示されている。

【０１３８】

せん断波の左右のラインＡ、Ｂへの到達時間の差を信頼性指標として用いる場合、図２３（ｃ）から明らかなように、図２３（ａ）に示したせん断波の方が、図２３（ｂ）よりも差が小さく、焦点４０１により近い位置で発生したせん断波であるため望ましい。よって、図１４のステップ１４０７の判定処理では、図２３（ａ）と図２３（ｂ）の信頼性指標を比較した場合、図２３（ａ）の信頼性指標に対応する組織境界１２１が最適な組織境界であるとして選択される。図２４の表示画面には、選択された最適な組織境界１２１に、それを示す表示２４０４（ここでは枠囲み）が表示される。

【０１３９】

＜第３超音波の反射波の受信強度を信頼性指標とする例＞

図２５（ａ）、（ｂ）、図２６は、ステップ１４０６において、せん断波が伝搬している焦点４０１およびその周辺のＲＯＩ３００に第３超音波の超音波を照射し、その反射波を探触子１０によって受信した受信信号の信号強度（反射波の受信強度）を、信頼性指標として用いた場合の表示画面例である。受信信号の信号強度は、受信ビームフォーマ２２により、計測点３０５の位置の受信走査線について得られた整相加算後のＲＦ信号の所定の深さ（例えば、焦点４０１の深さ）の信号強度を用いてもよいし、所定の深さ範囲について求めたＲＦ信号の信号強度の平均を用いてもよい。また、各計測点３０５について受信信号を得るタイミングとしては、第３超音波の送信後の同一時点でもよいし、所定の時間範囲で繰り返し得た受信信号の時間平均でもよい。

【０１４０】

図２５（ａ）、（ｂ）はそれぞれ、焦点４０１を含むように設定されたＲＯＩ３００に２次元に配置された複数の計測点３０５についてそれぞれ求めた受信信号の信号強度を、計測点３０５に対応する位置にある画素の輝度として生成した画像（輝度分布）の例である。また、反射波の強度分布の横には、反射波の強度と輝度との関係を示す輝度バー２５０３が表示されている。

【０１４１】

図２６は、図２５（ａ）、（ｂ）で示した反射波の強度分布を示す領域２６０２と、その反射波の強度分布が得られた組織境界１２１の候補の形状を示す画像を示す領域２６０１とを対応させて示す画面例である。また、反射波の強度分布の近傍には、反射波強度の最大値や、反射波強度が最大値となる位置や、反射者強度が最大値となる位置と焦点４０１とのずれ量等の数値を示す領域２６０３も表示されている。

【０１４２】

反射波の強度を信頼性指標として用いる場合、せん断波速度の計測精度を高くするためには、反射波の強度が大きい方が望ましく、また、反射波の強度が最大値となる位置が理想の焦点４０１位置に近いほど望ましい。例えば、図２５（ａ）と図２５（ｂ）の反射波の強度分布を比較すると、図２５（ａ）よりも図２５（ｂ）の反射強度の最大値が大きいため望ましい。そのため、図１４のステップ１４０７の判定処理において、図２５（ｂ）

の組織変位マップに対応する組織境界１２１が最適な組織境界であるとして選択される。図２６の表示画面には、選択された最適な組織境界１２１に、最適であることを示す表示２６０４（ここでは枠囲み）が表示される。

【０１４３】

上述してきたように、実施形態３では、組織境界１２１の候補を複数抽出し、それぞれの候補について信頼性指標を算出することにより、最適な組織境界１２１を求めることができる。よって、選択した組織境界１２１に基づいて算出された遅延時間を用い、所望の強度のせん断波をＲＯＩ３００に発生させることができる。また、使用者は、信頼性指標を表示画面で目視で確認できるため、選択されている組織境界１２１による遅延時間の補正効果を数値的、視覚的に確認することが可能となる。

【符号の説明】

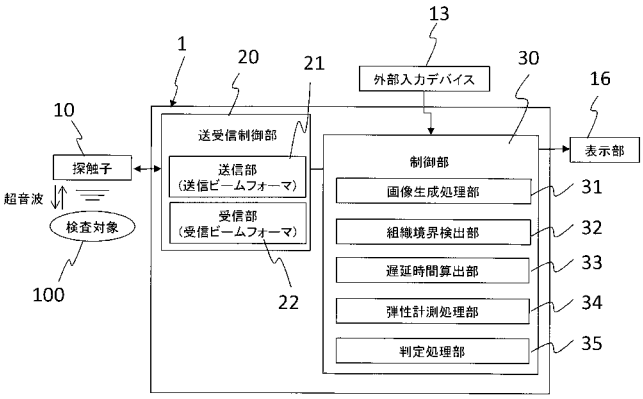
【０１４４】

１０：探触子
１３：外部入力デバイス
１６：表示部
２０：送受信制御部
２１：送信部（送信ビームフォーマ）
２２：受信部（受信ビームフォーマ）
３０：制御部
３１：画像生成処理部
３２：構造分析処理部
３３：遅延時間算出部
３４：弾性計測処理部
３５：判定処理部
１００：検査対象
３００：ＲＯＩ
３０１：第１超音波
３０２：第２超音波
３０３：第３超音波
３０４：せん断波
３０５：計測点
１０１：組織１
１０２：組織２
１２１：組織境界
４０１：焦点
４０２：適正距離
１７０１：ＲＯＩの表示領域
１７０２：組織境界の候補の表示領域
１７０３：信頼性指標の表示領域
１７０４：測定結果の表示領域
２００１：組織境界の候補の表示領域
２００２：信頼性指標（超音波の推定強度分布）の表示領域
２００３：信頼性指標の数値の表示領域
２００４：最適な組織境界であることを示す表示
２１０２：変位の大きさを表すカラーバー
２２０２：信頼性指標（組織変位マップ）の表示領域
２２０３：信頼性指標の数値の表示領域
２２０４：最適な組織境界であることを示す表示
２３０１、２３０２：せん断波の伝搬方向（左右方向）
２３０３：せん断波の波面

２３０４：せん断波が励起される位置
２４０２：信頼性指標（せん断波の到達時間の差）の表示領域
２４０３：信頼性指標の数値の表示領域
２４０４：最適な組織境界であることを示す表示
２５０３：反射波の強度の大きさを表す輝度バー
２６０３：信頼性指標の数値の表示領域
２６０４：最適な組織境界であることを示す表示

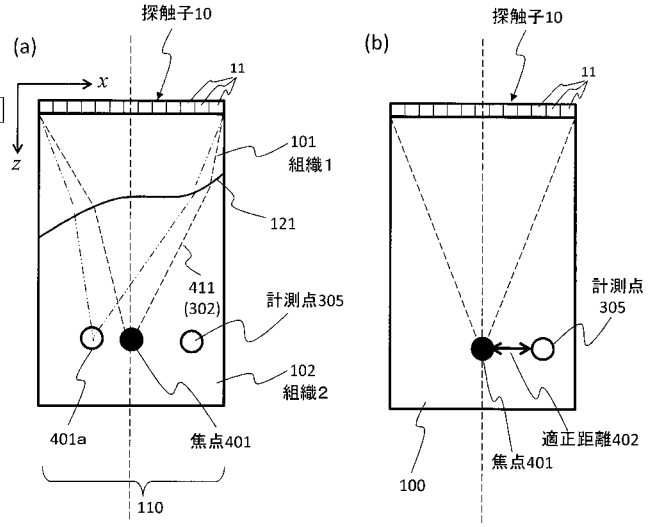
【図１】

図1



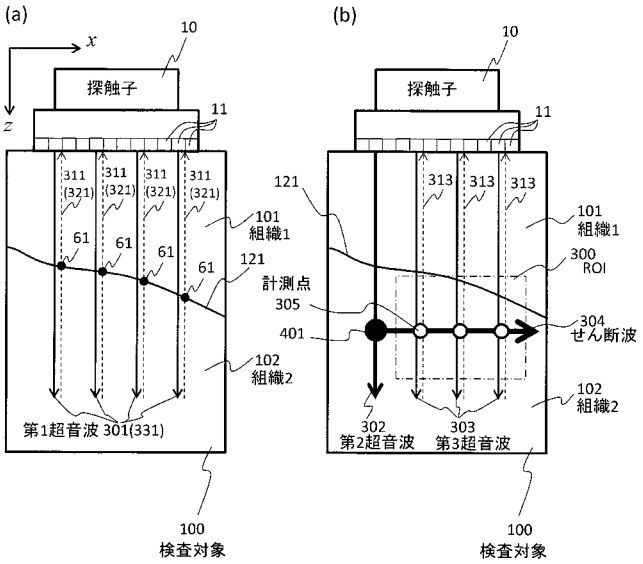
【図２】

図2



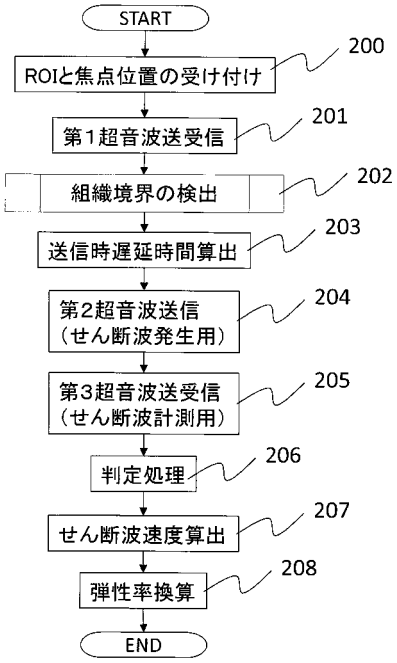
【図３】

図3



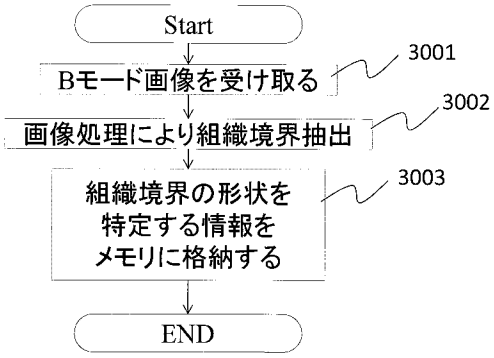
【図４】

図4



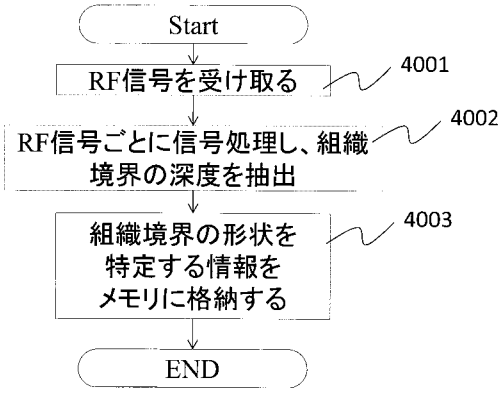
【図５】

図5



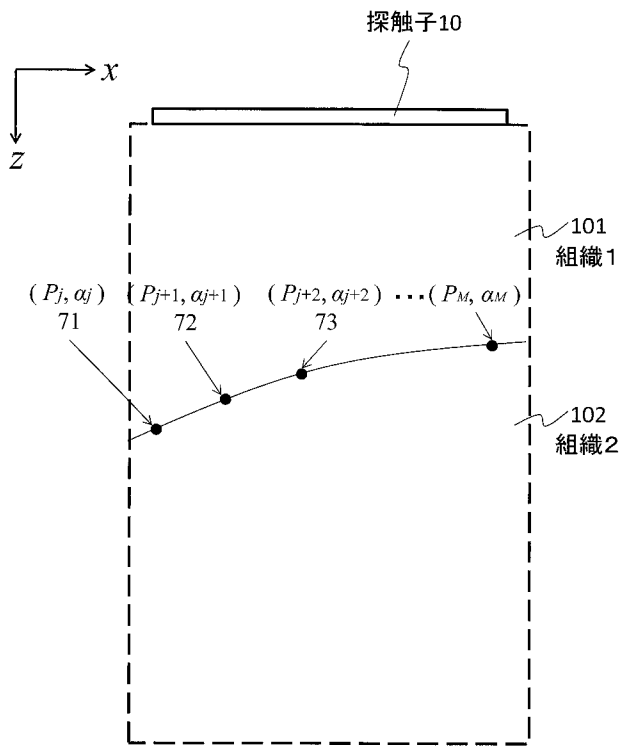
【図６】

図6



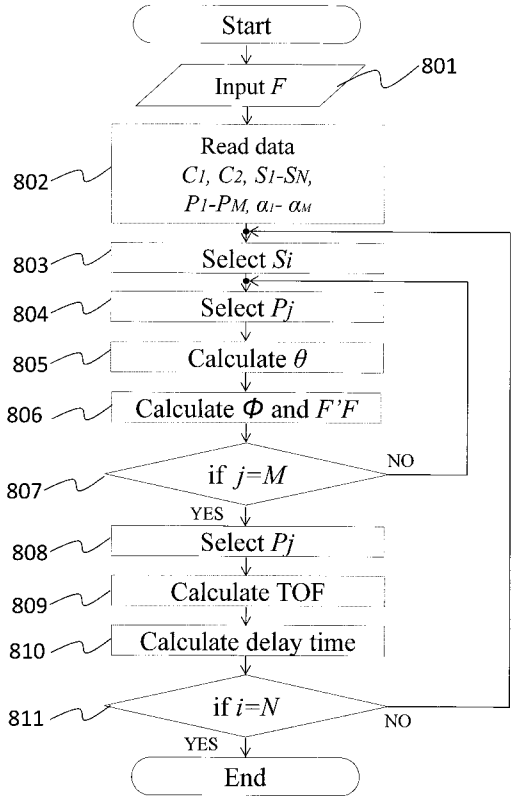
【図７】

図7



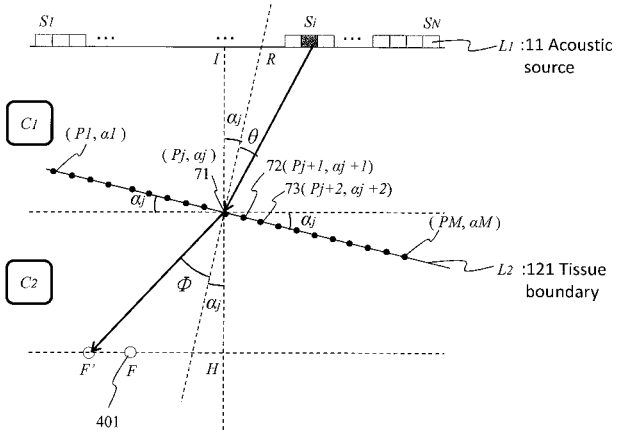
【図８】

図8



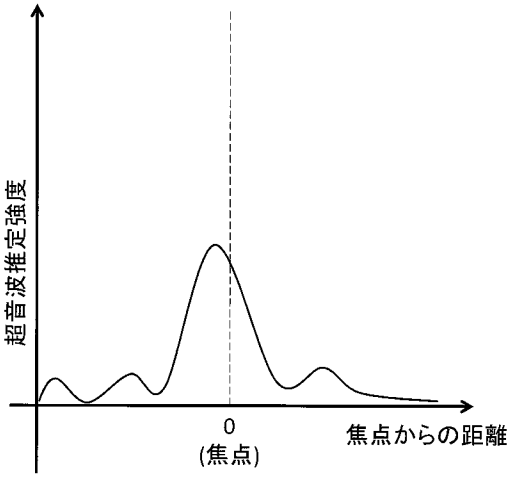
【図９】

図9



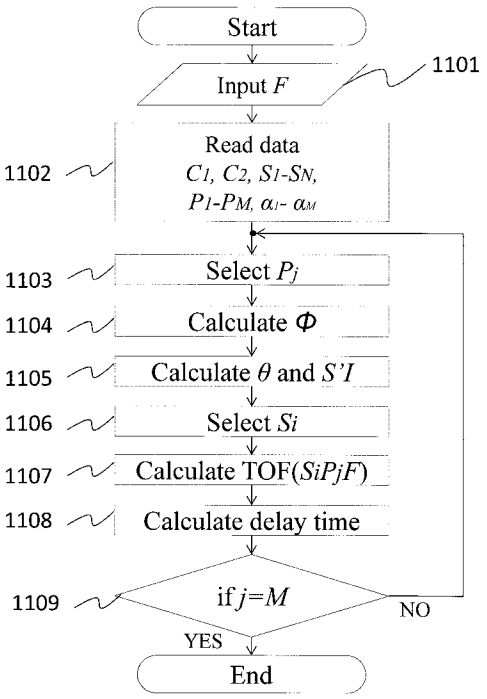
【図１０】

図10



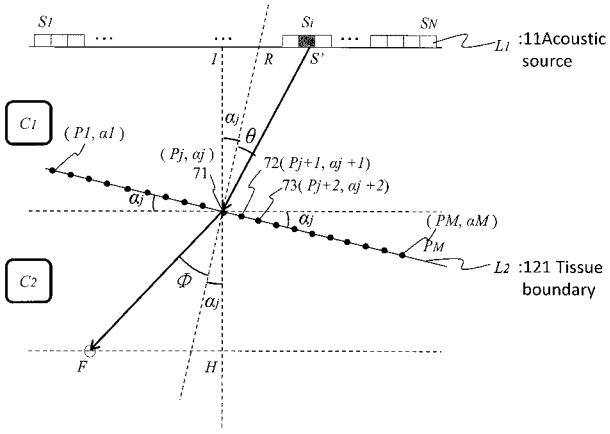
【図１１】

図11



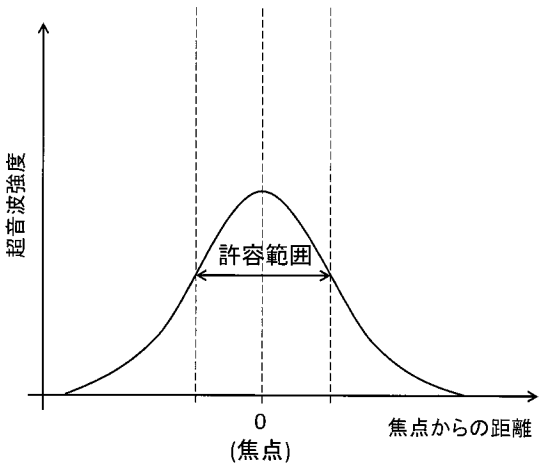
【図１２】

図12



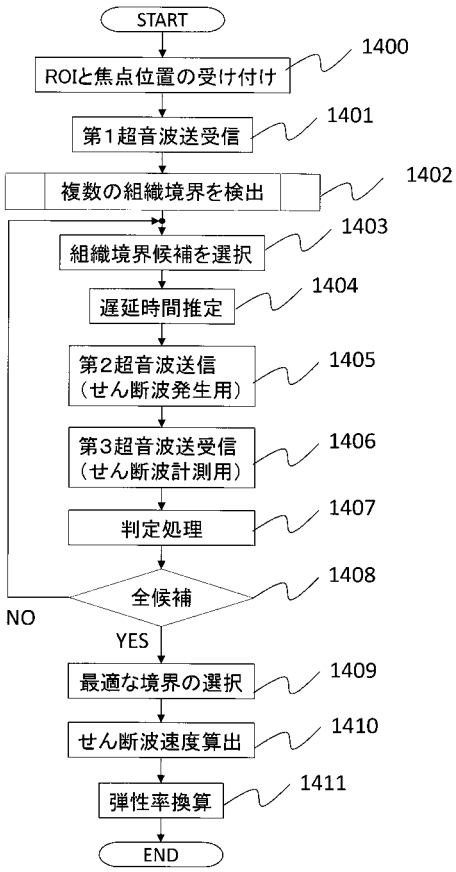
【図１３】

図13



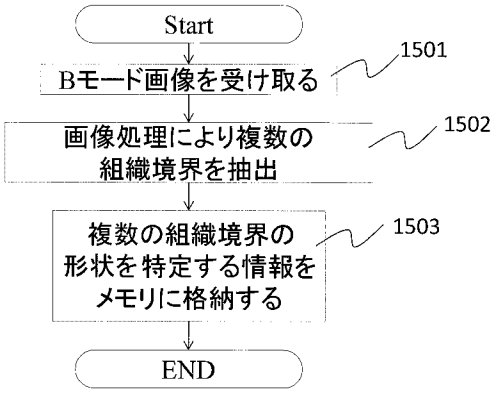
【図１４】

図14



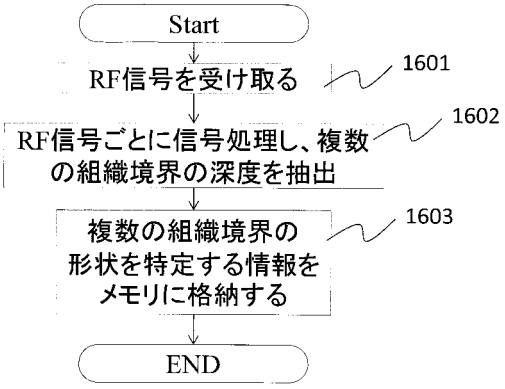
【図１５】

図15



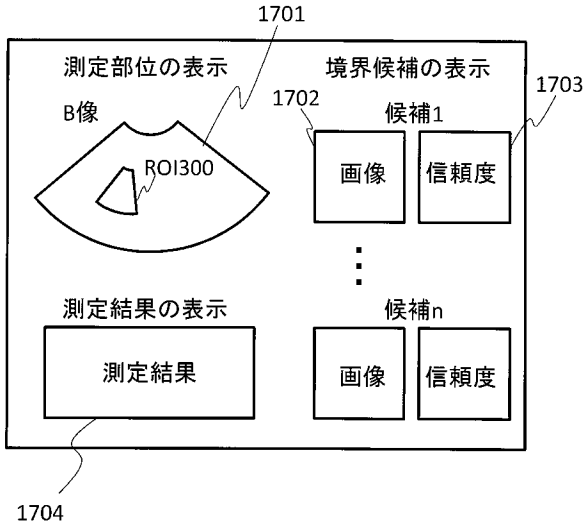
【図１６】

図16



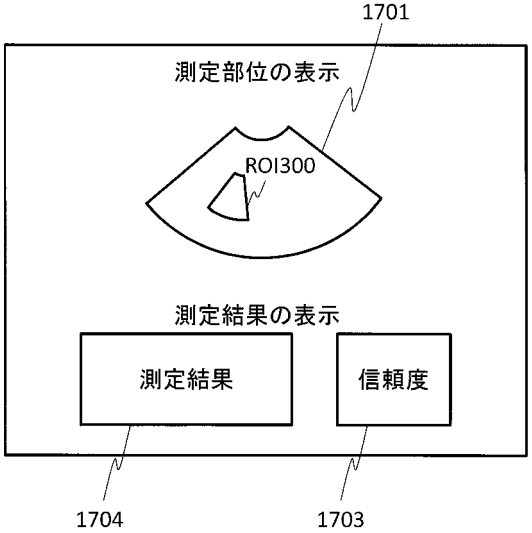
【図１７】

図17



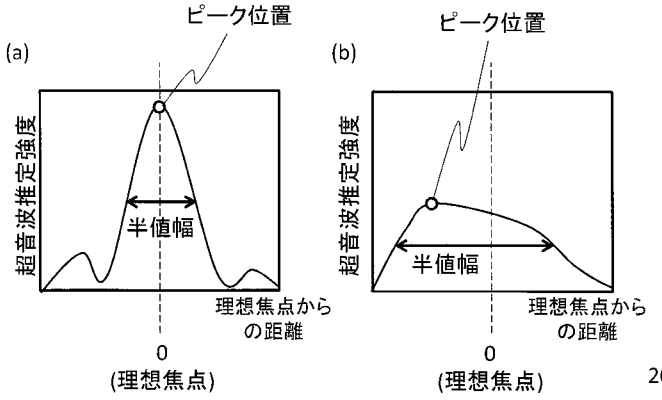
【図１８】

図18



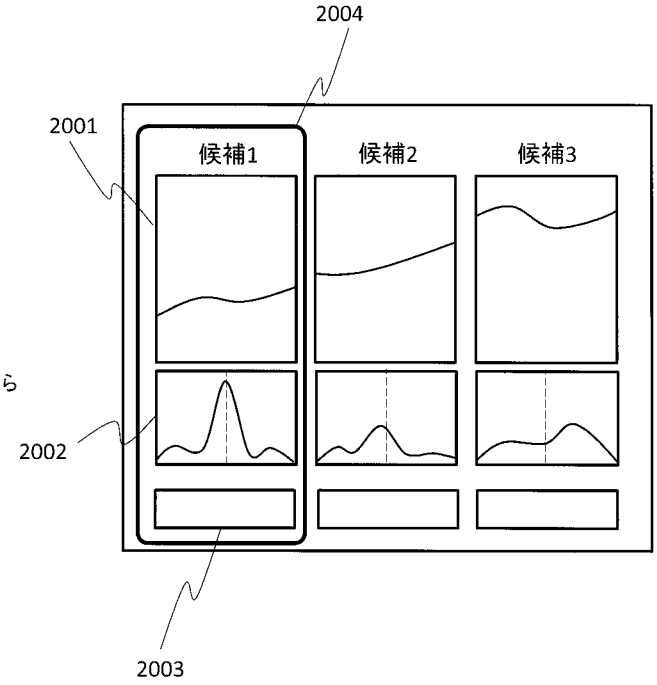
【図１９】

図19



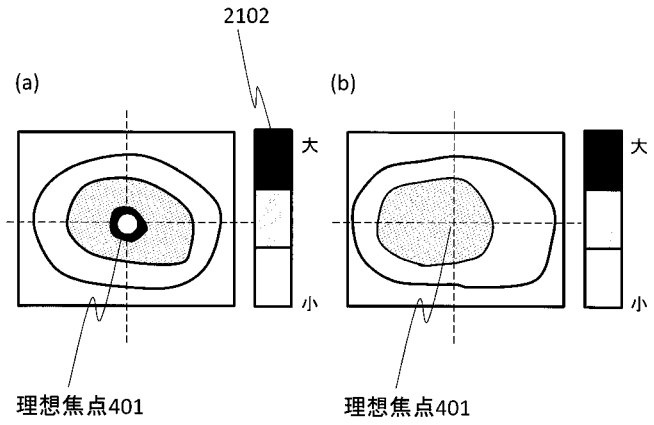
【図２０】

図20



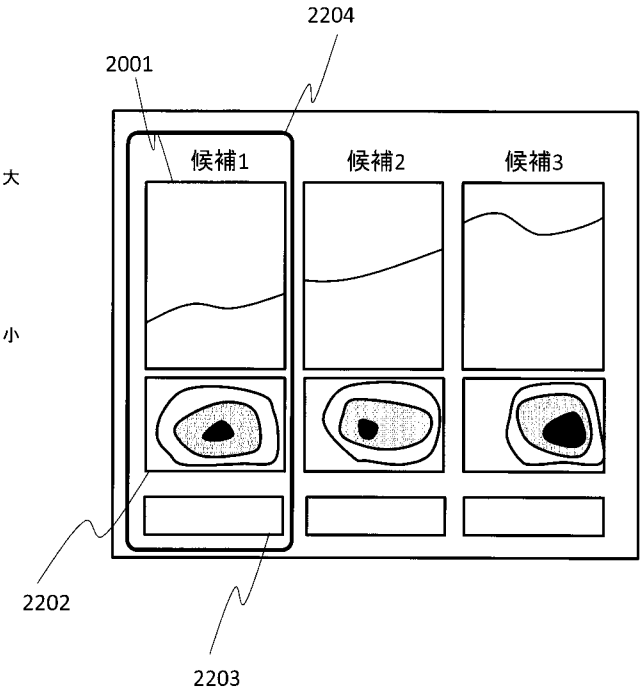
【図２１】

図21



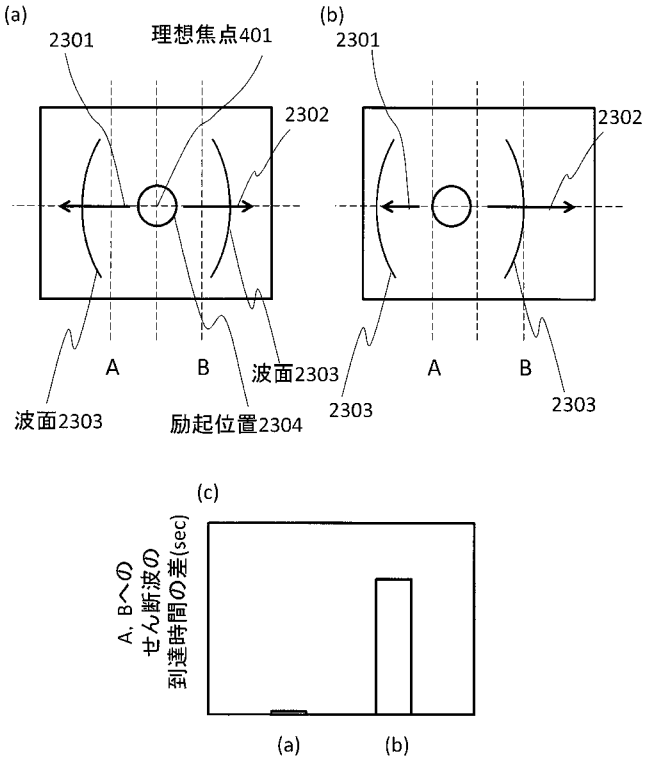
【図２２】

図22



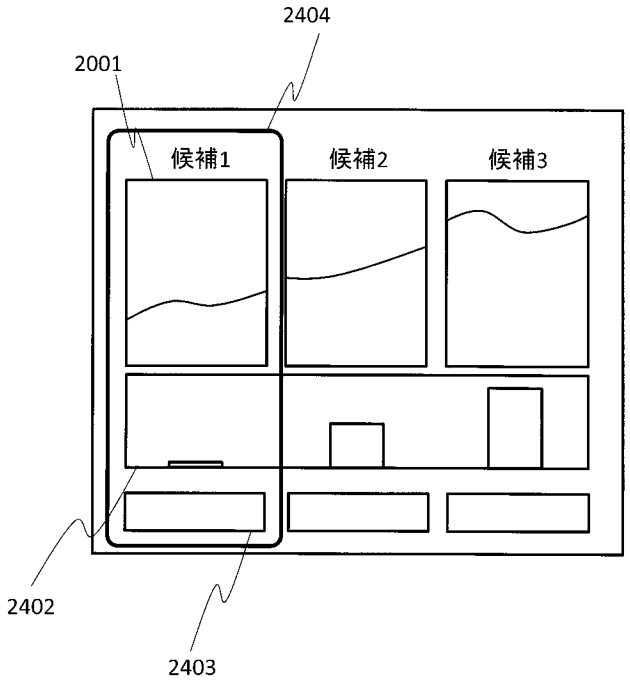
【図２３】

図23



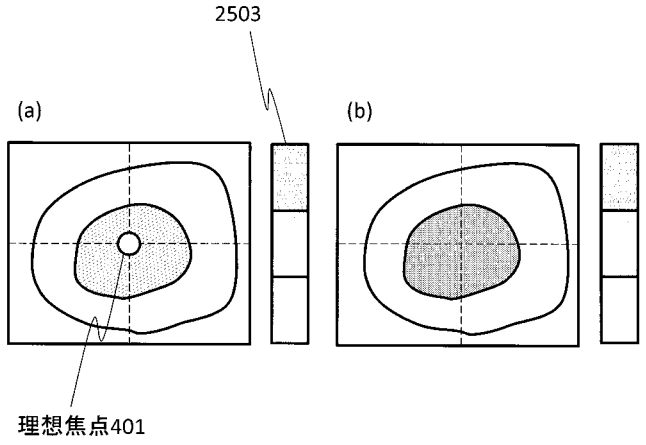
【図２４】

図24



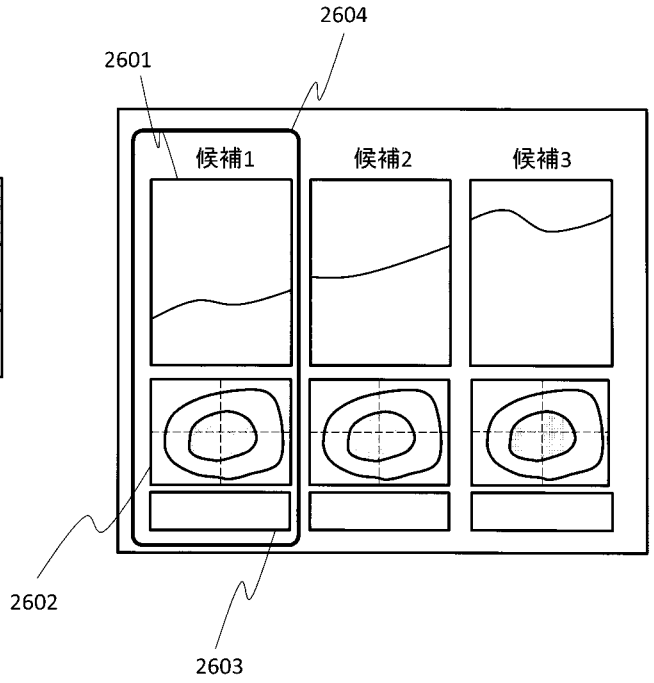
【図２５】

図25



【図２６】

図26



专利名称(译)	超声波发送/接收装置和超声波发送/接收方法		
公开(公告)号	JP2019111104A	公开(公告)日	2019-07-11
申请号	JP2017246757	申请日	2017-12-22
[标]申请(专利权)人(译)	株式会社日立制作所		
申请(专利权)人(译)	株式会社日立制作所		
[标]发明人	吉川秀樹		
发明人	安田 惇 吉川 秀樹		
IPC分类号	A61B8/08		
FI分类号	A61B8/08		
F-TERM分类号	4C601/DD19 4C601/DD23 4C601/EE09 4C601/HH29 4C601/JB36 4C601/JB40 4C601/JC02 4C601/JC09 4C601/JC37 4C601/KK25 4C601/KK31		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

本发明的目的是掌握待检查的组织边界的形状，并且以高精度将超声波聚焦在期望的焦点上。 超声波从其中布置有多个换能器的探头传输到检查对象，并且使用分别由换能器接收的接收信号接收在发送之后从检查对象返回的超声波。检测组织边界。在检测到的组织边界处，确定超声波被折射的路径，并且基于该路径，针对每个换能器计算用于将超声波聚焦在预定焦点的每个换能器的发送超声波的延迟时间。从每个换能器发送延迟了每个换能器的延迟时间的超声波，以将超声波聚焦在焦点处。 [选图]图1

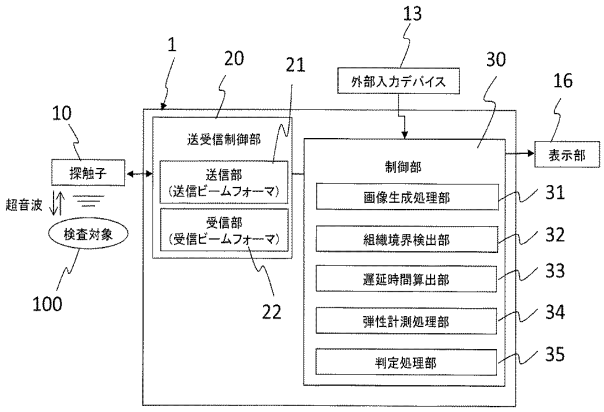



图1