(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2019-187777
(P2019-187777A)
(43)公開日　令和1年10月31日(2019.10.31)

| (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 34 頁）

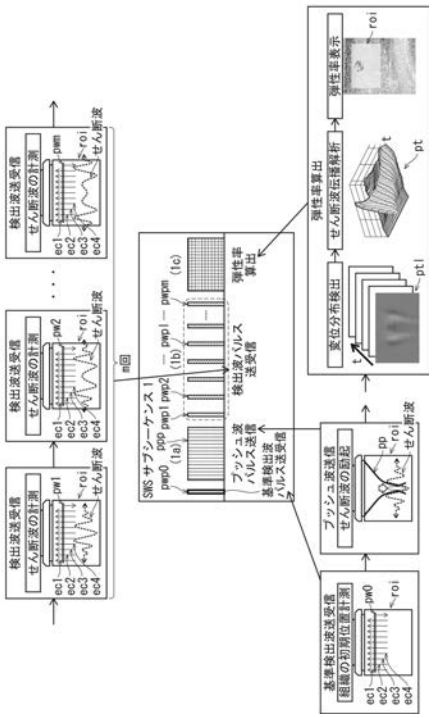
(21)出願番号　特願2018-83920(P2018-83920)
(22)出願日　平成30年4月25日(2018.4.25)

(71)出願人　000001270
コニカミノルタ株式会社
東京都千代田区丸の内二丁目７番２号
(74)代理人　110001900
特許業務法人　ナカジマ知的財産綜合事務所
(72)発明者　布施　優
東京都千代田区丸の内二丁目７番２号　コニカミノルタ株式会社内

Ｆターム(参考)　4C601 DD19 DD23 EE09 EE10 GB04 HH25 JB50 JC37 KK02 KK24 KK31 KK45

(54)【発明の名称】超音波診断装置、および、超音波信号処理方法

(57)【要約】
【課題】超音波弾性率計測において、弾性率計測結果の信頼性を向上させる。
【解決手段】プッシュ波を送信させ、プッシュ波の音響放射圧により生じたせん断波の伝播速度を検出する超音波診断装置であって、被検体内の１以上の送信焦点に集束するプッシュ波を送信させるプッシュ波パルス送信部と、プッシュ波の送信に続き、被検体内の関心領域を通過する検出波を複数回送信させる検出波パルス送信部と、複数回の検出波の各々に対応して時系列に受信された反射検出波に基づき、関心領域内の複数の観測点それぞれにおける組織の変位量を検出する変位検出部と、変位量の時間変化の急峻度に基づき、せん断波の伝播解析の対象となる解析対象領域を決定する解析対象決定部と、解析対象領域内に存在する複数の観測点における組織の変位量に基づいて、解析対象領域内に存在する観測点それぞれにおけるせん断波の伝播速度を算出する伝播情報解析部とを備える。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
複数の振動子が列設されたプローブが接続可能に構成されており、前記プローブに被検体内に超音波ビームが集束するプッシュ波を送信させ、当該プッシュ波の音響放射圧により生じたせん断波の伝播速度を検出する超音波診断装置であって、
前記複数の振動子から選択される複数の送信振動子を用いて、被検体内の１以上の送信焦点に集束するプッシュ波を送信させるプッシュ波パルス送信部と、
前記プッシュ波の送信に続き、前記複数の振動子の一部または全部に検出波パルスを供給して前記複数の振動子に被検体内の解析対象範囲を示す関心領域を通過する検出波を複数回送信させる検出波パルス送信部と、
前記複数回の検出波の各々に対応して前記複数の振動子にて時系列に受信された反射検出波に基づき、前記関心領域内の複数の観測点それぞれにおける組織の変位量を検出する変位検出部と、
前記複数の観測点における組織の変位量の時間変化の急峻度に基づき、せん断波の伝播解析の対象となる解析対象領域を決定する解析対象決定部と、
前記解析対象領域内に存在する複数の観測点における組織の変位量に基づいて、前記解析対象領域内に存在する観測点それぞれにおけるせん断波の伝播速度を算出する伝播情報解析部と
を備えることを特徴とする超音波診断装置。
【請求項２】
前記伝播情報解析部は、前記解析対象領域内に存在する各観測点について、変位量の値が最大となる時刻を特定し、特定した時刻をせん断波が当該観測点を通過した時刻としてせん断波の速度を算出する
ことを特徴とする請求項１に記載の超音波診断装置。
【請求項３】
前記解析対象決定部は、前記送信焦点が存在する深度を含む所定範囲の深度に存在する観測点における組織の変化量の時間変化に基づき、前記所定範囲の深度から前記解析対象領域を選択する
ことを特徴とする請求項１または２に記載の超音波診断装置。
【請求項４】
前記解析対象決定部は、前記送信焦点に近い側に隣接する音響線上で決定された前記解析対象領域を含む所定範囲の深度に存在する観測点における組織の変化量の時間変化に基づき、前記所定範囲の深度から当該音響線上の解析対象領域を選択する
ことを特徴とする請求項１または２に記載の超音波診断装置。
【請求項５】
前記解析対象決定部は、深度の異なる複数の観測点のうち、組織の変位量の時間変化が最大である観測点を解析対象領域に含まれると決定する
ことを特徴とする請求項１から４のいずれか１項に記載の超音波診断装置。
【請求項６】
前記解析対象決定部は、深度の異なる複数の観測点のうち、組織の変位量の時間変化のプロファイルが所定のプロファイルに適合する観測点を解析対象領域に含まれるとして決定する
ことを特徴とする請求項１から４のいずれか１項に記載の超音波診断装置。
【請求項７】
前記プッシュ波パルス送信部は、深度の異なる複数の送信焦点に対し、深度の順に連続してプッシュ波を送信させる
ことを特徴とする請求項１から６のいずれか１項に記載の超音波診断装置。
【請求項８】
前記プッシュ波パルス送信部は、深度の異なる複数の送信焦点から一の送信焦点を選択してプッシュ波を送信し、

前記変位検出部は、前記プッシュ波に対応して受信された反射検出波に基づき、前記関心領域内の一部または全部の観測点それぞれにおける組織の変位量を検出し、
前記送信焦点を変更しながら前記プッシュ波パルス送信部によるプッシュ波送信と前記変位検出部による変位量の検出とを行い、前記関心領域内の全部の観測点における組織の変位量を検出する
ことを特徴とする請求項１から６のいずれか１項に記載の超音波診断装置。
【請求項９】
前記せん断波の伝播速度に基づいて、前記解析対象領域内に存在する複数の観測点それぞれにおける、前記被検体の弾性率を示す情報を出力する画像出力部をさらに備える
ことを特徴とする請求項１から６のいずれか１項に記載の超音波診断装置。
【請求項１０】
前記画像出力部は、前記関心領域内の複数の観測点相互の位置関係と、各観測点の弾性率を示す情報とを示す弾性画像を出力する
ことを特徴とする請求項９に記載の超音波診断装置。
【請求項１１】
前記伝播情報解析部は、さらに、前記関心領域に含まれ前記解析対象領域内に存在しない観測点について、せん断波の伝播速度を算出し、
前記画像出力部は、前記弾性画像に、前記関心領域に含まれ前記解析対象領域内に存在しない観測点の弾性率を示す情報を出力する
ことを特徴とする請求項１０に記載の超音波診断装置。
【請求項１２】
前記解析対象決定部は、前記複数の観測点における組織の変位量の時間変化の急峻度を示すパラメータを算出し、
前記画像出力部は、前記パラメータを前記弾性画像に重畳して出力する
ことを特徴とする請求項９または１０に記載の超音波診断装置。
【請求項１３】
前記解析対象決定部は、前記複数の観測点における組織の変位量の時間変化の急峻度を示すパラメータを算出し、
前記画像出力部は、前記パラメータが所定の基準以上である観測点についてのみ、前記弾性画像に弾性率を示す情報を出力する
ことを特徴とする請求項１０に記載の超音波診断装置。
【請求項１４】
前記画像出力部は、前記解析対象領域の位置を前記弾性画像に重畳して出力する
ことを特徴とする請求項１０から１３のいずれか１項に記載の超音波診断装置。
【請求項１５】
複数の振動子が列設されたプローブを用いて被検体内に超音波ビームが集束するプッシュ波を送信し、当該プッシュ波の音響放射圧により生じたせん断波の伝播速度を検出する超音波信号処理方法であって、
前記複数の振動子から選択される複数の送信振動子を用いて、被検体内の１以上の送信焦点に集束するプッシュ波を送信させ、
前記プッシュ波の送信に続き、前記複数の振動子の一部または全部に検出波パルスを供給して前記複数の振動子に被検体内の解析対象範囲を示す関心領域を通過する検出波を複数回送信させ、
前記複数回の検出波の各々に対応して前記複数の振動子にて時系列に受信された反射検出波に基づき、前記関心領域内の複数の観測点それぞれにおける組織の変位量を検出し、
前記複数の観測点における組織の変位量の時間変化の急峻度に基づき、せん断波の伝播解析の対象となる解析対象領域を決定し、
前記解析対象領域内に存在する複数の観測点における組織の変位量に基づいて、前記解析対象領域内に存在する観測点それぞれにおけるせん断波の伝播速度を算出する
ことを特徴とする超音波信号処理方法。

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本開示は、超音波診断装置、および、超音波信号処理方法に関し、特に、せん断波を用いた組織内のせん断波の伝播速度解析、および、組織の弾性率測定に関する。
【背景技術】
【０００２】
超音波診断装置は、超音波プローブを構成する複数の振動子から被検体内部に超音波を送信し、被検体組織の音響インピーダンスの差異により生じる超音波反射波（エコー）を受信し、得られた電気信号に基づいて被検体の内部組織の構造を示す超音波断層画像を生成して表示する医療用検査装置である。
【０００３】
近年、この超音波診断の技術を応用した組織の弾性率計測（ＳＷＳＭ：Shear Wave Speed Measurement、以後「超音波弾性率計測」とする)が広く検査に用いられている。臓器や体組織内に発見された腫瘤の硬さを非侵襲かつ簡易に計測することができるために、癌のスクリーニング検査において腫瘍の硬さを調べることや、肝臓疾患の検査において肝線維化の評価に用いることができ有用である。
【０００４】
この超音波弾性率計測では、被検体内の関心領域（ＲＯＩ：Region of Interest）を定めると共に、複数の振動子から被検体内の特定部位に超音波を集束させたプッシュ波（集束超音波、又は、ＡＲＦＩ：Acoustic Radiation Force Impulse）を送信した後、検出用の超音波（以後、「検出波」とする）の送信と反射波の受信とを複数回繰り返して、プッシュ波の音響放射圧により生じたせん断波の伝播解析を行うことにより組織の弾性率を表すせん断波の伝播速度を算出して、組織弾性の分布を例えば画像化して弾性画像として表示することができる（例えば、特許文献１）。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００５】
【特許文献１】特表２００６－５００００８９号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００６】
せん断波の伝播解析を行う代表的な方法としては、被検体内における超音波プローブ表面と直交する方向（以下、「深さ方向」と表記する）の変位を検出し、時系列における変位ピークの深さ方向に直交する方向（以下、「水平方向」と表記する）の移動速度をせん断波速度として検出する方法がある。プッシュ波による押圧の向きは深さ方向であるため、せん断波の振動の向きは深さ方向である一方、せん断波の伝播方向は水平方向となるからである。しかしながら、せん断波はプッシュ波の焦点から略放射状に伝播するため、着目している組織内の箇所において、せん断波の伝播方向と水平方向との一致度が低い場合、そのずれに応じてせん断波の検出精度の低下が生じることがある。
【０００７】
本開示は、上記課題に鑑みてなされたものであり、超音波弾性率計測において、弾性率計測結果の信頼性を向上させることを目的とする。
【課題を解決するための手段】
【０００８】
本開示の一態様に係る超音波診断装置は、複数の振動子が列設されたプローブが接続可能に構成されており、前記プローブに被検体内に超音波ビームが集束するプッシュ波を送信させ、当該プッシュ波の音響放射圧により生じたせん断波の伝播速度を検出する超音波診断装置であって、前記複数の振動子から選択される複数の送信振動子を用いて、被検体内の１以上の送信焦点に集束するプッシュ波を送信させるプッシュ波パルス送信部と、前

記プッシュ波の送信に続き、前記複数の振動子の一部または全部に検出波パルスを供給して前記複数の振動子に被検体内の解析対象範囲を示す関心領域を通過する検出波を複数回送信させる検出波パルス送信部と、前記複数回の検出波の各々に対応して前記複数の振動子にて時系列に受信された反射検出波に基づき、前記関心領域内の複数の観測点それぞれにおける組織の変位量を検出する変位検出部と、前記複数の観測点における組織の変位量の時間変化の急峻度に基づき、せん断波の伝播解析の対象となる解析対象領域を決定する解析対象決定部と、前記解析対象領域内に存在する複数の観測点における組織の変位量に基づいて、前記解析対象領域内に存在する観測点それぞれにおけるせん断波の伝播速度を算出する伝播情報解析部とを備えることを特徴とする。

【発明の効果】

【０００９】

上記構成によれば、被検体内部において、せん断波の伝播方向を検出してせん断波の伝播解析を行うため、せん断波の仮定した伝播方向と実際の伝播方向のずれによる誤差を抑止し、伝播解析の精度を向上させることができる。したがって、せん断波が放射状に伝播する場合や、蛇行するように伝播する場合においても、観測点の配置を適切に行うことで、高精度に伝播解析を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【００１０】

【図１】実施の形態に係る超音波診断装置１００における超音波弾性率計測法によるＳＷＳシーケンスの概要を示す概略図である。

【図２】超音波診断装置１００を含む超音波診断システム１０００の機能ブロック図である。

【図３】（ａ）は、プッシュ波パルス発生部１０４で発生させるプッシュ波の送信焦点Ｆの位置を示す模式図、（ｂ）は、検出波パルス発生部１０５で発生させる検出波パルスの構成概要を示す模式図である。

【図４】（ａ）は、送信部１０６の構成を示す機能ブロック図、（ｂ）は、検出波受信部１０８の構成を示す機能ブロック図である。

【図５】（ａ）は、プッシュ波送信の概要を示す模式図、（ｂ）は、プッシュ波パルスの例を示す模式図である。

【図６】（ａ）は、検出波送信の概要を示す模式図、（ｂ）は、反射検出波受信の概要を示す模式図である。

【図７】遅延処理部１０８３１において、超音波の伝播経路の計算方法の概要を示す模式図である。

【図８】変位検出部１０９、伝播情報解析部１１０、弾性率算出部１１１の構成を示す機能ブロック図である。

【図９】超音波診断装置１００における統合ＳＷＳシーケンスの工程の概要を示す概略図である。

【図１０】超音波診断装置１００における超音波弾性率算出の動作を示すフローチャートである。

【図１１】（ａ）から（ｅ）は、プッシュ波パルスｐｐによるせん断波の生成の様子を示す模式図である。

【図１２】変位検出及びせん断波の伝播解析の動作を示す模式図である。

【図１３】超音波診断装置１００におけるせん断波の伝播情報解析の動作を示すフローチャートである。

【図１４】（ａ）は、観測線とその上に存在する複数の観測点、および、せん断波の進行方向との相対関係を示す模式図であり、（ｂ）、（ｃ）は、変位の時間変化を示すグラフである。

【図１５】（ａ）は、観測点の位置を基準として隣接する観測線上に存在する複数の観測点から変位量ピークの鋭さが極大となる観測点を特定する動作を示す模式図であり、（ｂ）はプッシュ波の送信焦点Ｆが１つの場合の、（ｃ）はプッシュ波の送信焦点Ｆｐが複数

存在する場合の、それぞれの観測点を特定する動作を示す模式図である。
【図１６】せん断波の速度解析の詳細を示す模式図である。
【図１７】（ａ）から（ｃ）は、弾性画像の表示例を示す図である。
【発明を実施するための形態】
【００１１】
≪実施の形態≫
超音波診断装置１００は、超音波弾性率計測法により組織の弾性率を表すせん断波の伝播速度を算出する処理を行う。図１は、超音波診断装置１００における、超音波弾性率計測法によるＳＷＳシーケンスの概要を示す概略図である。図１中央の枠に示すように、超音波診断装置１００の処理は、「基準検出波パルス送受信」、「プッシュ波パルス送信」、「検出波パルス送受信」、「弾性率算出」の工程から構成される。
【００１２】
「基準検出波パルス送受信」の工程では、超音波プローブに基準検出波パルスｐｗｐ０を送信して、複数の振動子に被検体中の関心領域ｒｏｉに対応する範囲に検出波ｐｗ０の送信と反射波ｅｃの受信とを行わせて、組織の初期位置の基準となる音響線信号を生成する。
【００１３】
「プッシュ波パルス送信」の工程では、超音波プローブにプッシュ波パルスｐｐｐを送信して、複数の振動子に被検体内の特定部位に超音波を収束させたプッシュ波ｐｐを送信させて、被検体組織にせん断波を励起させる。
【００１４】
その後、「検出波パルス送受信」の工程で、超音波プローブに検出波パルスｐｗｐｌ（ｌは１からｍまでの自然数、ｍは検出波パルスｐｗｐの送信回数）を送信し、複数の振動子に検出波ｐｗｌの送信と反射波ｅｃの受信とを複数回行わせることで、せん断波の伝播状態を計測する。「弾性率算出」の工程では、まず、せん断波の伝播に伴う組織の変位分布ｐｔ１を時系列に算出して、次に、変位分布ｐｔ１の時系列な変化から組織の弾性率を表すせん断波の伝播速度を算出するせん断波伝播解析を行い、最後に、弾性率分布を画像化し弾性画像として表示する。
【００１５】
以上に示した、プッシュ波ｐｐ送信に基づく１回のせん断波の励起に伴う一連の工程を、「ＳＷＳシーケンス」（ＳＷＳ：Shear Wave Speed）と呼ぶ。
【００１６】
＜超音波診断システム１０００＞
１．装置概要
実施の形態に係る超音波診断装置１００を含む超音波診断システム１０００について、図面を参照しながら説明する。図２は、実施の形態に係る超音波診断システム１０００の機能ブロック図である。図２に示すように、超音波診断システム１０００は、被検体に向けて超音波を送信し、その反射波を受信する複数の振動子（振動子列）１０１ａが先端表面に列設された超音波プローブ１０１（以下、「プローブ１０１」とする）、プローブ１０１に超音波の送受信を行わせプローブ１０１からの出力信号に基づき超音波信号を生成する超音波診断装置１００、検査者からの操作入力を受け付ける操作入力部１０２、超音波画像を画面上に表示する表示部１１４を有する。プローブ１０１、操作入力部１０２、表示部１１４は、それぞれ、超音波診断装置１００に各々接続可能に構成されている。
【００１７】
次に、超音波診断装置１００に外部接続される各要素について説明する。
【００１８】
２．プローブ１０１
プローブ１０１は、例えば一次元方向（以下、「振動子列方向」とする）に配列された複数の振動子１０１ａからなる振動子列（１０１ａ）を有する。プローブ１０１は、後述の送信部１０６から供給されたパルス状の電気信号（以下、「送信信号」とする）をパル

ス状の超音波に変換する。プローブ１０１は、プローブ１０１の振動子側外表面を超音波ジェル等を介して被検体の皮膚表面に当てた状態で、複数の振動子から発せられる複数の超音波からなる超音波ビームを測定対象に向けて送信する。そして、プローブ１０１は、被検体からの複数の反射検出波（以下、「反射波」とする）を受信し、複数の振動子１０１ａによりこれら反射波をそれぞれ電気信号に変換して超音波診断装置１００に供給する。

【００１９】

３．操作入力部１０２

操作入力部１０２は、検査者からの超音波診断装置１００に対する各種設定・操作等の各種操作入力を受け付け、超音波診断装置１００の制御部１１６に出力する。

【００２０】

操作入力部１０２は、例えば、表示部１１４と一体に構成されたタッチパネルであってもよい。この場合、表示部１１４に表示された操作キーに対してタッチ操作やドラッグ操作を行うことで超音波診断装置１００の各種設定・操作を行うことができ、超音波診断装置１００がこのタッチパネルにより操作可能に構成される。また、操作入力部１０２は、例えば、各種操作用のキーを有するキーボードや、各種操作用のボタン、レバー等を有する操作パネルやマウス等であってもよい。

【００２１】

４．表示部１１４

表示部１１４は、いわゆる画像表示用の表示装置であって、後述する表示制御部１１３からの画像出力を画面に表示する。表示部１１４には、液晶ディスプレイ、ＣＲＴ、有機ＥＬディスプレイ等を用いることができる。

【００２２】

＜超音波診断装置１００の構成概要＞

次に、実施の形態に係る超音波診断装置１００について説明する。

【００２３】

超音波診断装置１００は、プローブ１０１の複数ある振動子１０１ａのうち、送信又は受信の際に用いる振動子を各々に選択し、選択された振動子に対する入出力を確保するマルチプレクサ部１０７、超音波の送信を行うためにプローブ１０１の各振動子１０１ａに対する高電圧印加のタイミングを制御する送信部１０６と、プローブ１０１で受信した反射波に基づき、受信ビームフォーミングして音響線信号を生成する検出波受信部１０８を有する。

【００２４】

また、操作入力部１０２からの操作入力に基づき被検体内の解析対象範囲を表す関心領域ｒｏｉを複数の振動子１０１ａを基準に設定する関心領域設定部１０３、複数の振動子１０１ａにプッシュ波パルスｐｐｐを送信させるプッシュ波パルス発生部１０４、プッシュ波パルスｐｐｐに続き検出波パルスｐｗｐｌを複数（ｍ）回送信させる検出波パルス発生部１０５を有する。

【００２５】

また、音響線信号から関心領域ｒｏｉ内の組織の変位を検出する変位検出部１０９、検出した組織の変位からせん断波の伝播情報解析を行い関心領域ｒｏｉ内の各観測点におけるせん断波の波面到達時間を算出してせん断波の伝播速度を算出する伝播情報解析部１１０、関心領域ｒｏｉ内の各観測点における弾性率を算出する弾性率算出部１１１を有する。

【００２６】

また、検出波受信部１０８が出力する音響線信号、変位検出部１０９が出力する変位量データ、伝播情報解析部１１０が出力する波面データ、波面到達時間データ及び速度値データ、弾性率算出部１１１が出力する弾性率データ等を保存するデータ格納部１１５、表示画像を構成して表示部１１４に表示させる表示制御部１１３、さらに、各構成要素を制御する制御部１１６を備える。

【００２７】
このうち、マルチプレクサ部１０７、送信部１０６、検出波受信部１０８、関心領域設定部１０３、プッシュ波パルス発生部１０４、検出波パルス発生部１０５、変位検出部１０９、伝播情報解析部１１０、弾性率算出部１１１は、超音波信号処理回路１５０を構成する。
【００２８】
超音波信号処理回路１５０を構成する各要素、制御部１１６、表示制御部１１３は、それぞれ、例えば、ＦＰＧＡ（Field Programmable Gate Array）、ＡＳＩＣ（Application Specific Integrated Circuit）などのハードウェア回路により実現される。あるいは、ＣＰＵ（Central Processing Unit）やＧＰＧＰＵ（General-Purpose computing on Graphics Processing Unit）やプロセッサなどのプログラマブルデバイスとソフトウェアにより実現される構成であってもよい。これらの構成要素は一個の回路部品とすることができるし、複数の回路部品の集合体にすることもできる。また、複数の構成要素を組合せて一個の回路部品とすることができるし、複数の回路部品の集合体にすることもできる。
【００２９】
データ格納部１１５は、コンピュータで読み取り可能な記録媒体であり、例えば、フレキシブルディスク、ハードディスク、ＭＯ、ＤＶＤ、ＤＶＤ－ＲＡＭ、半導体メモリ等を用いることができる。また、データ格納部１１５は、超音波診断装置１００に外部から接続された記憶装置であってもよい。
【００３０】
なお、本実施の形態１に係る超音波診断装置１００は、図１で示した構成の超音波診断装置に限定されない。例えば、マルチプレクサ部１０７が不要な構成もあるし、プローブ１０１に送信部１０６や検出波受信部１０８、またその一部などが内蔵される構成であってもよい。
【００３１】
＜超音波診断装置１００の各部構成＞
次に、超音波診断装置１００に含まれる各ブロックの構成について説明する。
【００３２】
１．関心領域設定部１０３
一般に、表示部１１４にプローブ１０１によりリアルタイムに取得された被検体の断層画像であるＢモード画像が表示されている状態において、操作者は、表示部１１４に表示されているＢモード画像を指標として、被検体内の解析対象範囲を指定し操作入力部１０２に入力する。関心領域設定部１０３は、操作入力部１０２から操作者により指定された情報を入力として設定し、制御部１１６に出力する。このとき、関心領域設定部１０３は、被検体内の解析対象範囲をあらわす関心領域ｒｏｉをプローブ１０１にある複数の振動子１０１ａからなる振動子列（１０１ａ）の位置を基準に設定してもよい。例えば、関心領域ｒｏｉは、複数の振動子１０１ａからなる振動子列（１０１ａ）を含む検出波照射領域Ａｘ内の全部又は一部領域であってもよい。
【００３３】
２．プッシュ波パルス発生部１０４
プッシュ波パルス発生部１０４は、制御部１１６から関心領域ｒｏｉを示す情報を取得し、関心領域ｒｏｉの近傍又は内部の所定位置に１以上の特定点を設定する。そして、複数の振動子１０１ａに送信部１０６からプッシュ波パルス$ppp_n$（ｎ＝１～$n_{max}$）を１回以上（$n_{max}$回）送信させることにより、複数の振動子１０１ａに特定点（以下、「送信焦点$FP_n$」（ｎ＝１～$n_{max}$）とする。）に対応する被検体中の特定部位に超音波ビームが集束するプッシュ波$pp_n$（ｎ＝１～$n_{max}$）を送信させる。これにより、被検体中の特定部位にせん断波を励起させる。このとき、プッシュ波パルス$ppp_n$の送信回数（$n_{max}$）は１以上８以下としてもよい。しかしながら、$n_{max}$は、上記に限定されず適宜変更可能であることは言うまでもない。
【００３４】

具体的には、プッシュ波パルス発生部１０４は、関心領域ｒｏｉを示す情報に基づき、プッシュ波の送信焦点ＦＰｎの位置とプッシュ波$ppp_n$を送信させる振動子列（以後、「プッシュ波送信振動子列Ｐｘｎ」とする）を以下に示すように決定する。

【００３５】

図３（ａ）は、プッシュ波パルス発生部１０４で発生させるプッシュ波$ppp_n$の送信焦点ＦＰｎの位置を示す模式図である。関心領域ｒｏｉの列方向長さｗ及び被検体深さ方向の長さｈが、それぞれ平面波による超音波照射範囲の列方向長さａ及び被検体深さ方向の長さｂ以下であり、超音波照射範囲の中心付近に関心領域ｒｏｉが設定される場合を例に説明する。本実施の形態では、図３（ａ）に示すように、送信焦点ＦＰｎの位置のうち、例えば、列方向送信焦点位置ｆｘは関心領域ｒｏｉの列方向中心位置ｗｃと一致する構成とした。

【００３６】

また、プッシュ波送信振動子列Ｐｘは、深さ方向送信焦点位置ｆｙｎに基づき設定される。本実施の形態では、プッシュ波パルス送信振動子列Ｐｘｎ（ｎ＝１～$n_{max}$）の長さは複数の振動子１０１ａ全部の列の長さａとする構成とした。

【００３７】

送信焦点$FP_n$の位置と、プッシュ波送信振動子列$Px_n$を示す情報は、プッシュパルス$ppp_n$のパルス幅$PW_n$、印加開始時刻$PT_n$とともに、送信制御信号として送信部１０６に出力される。また、印加開始時刻$PT_n$の時間間隔$PI_n$を含めてもよい。なお、プッシュ波パルス$ppp_n$のパルス幅$PW_n$、印加開始時刻$PT_n$、及び時間間隔$PI_n$については後述する。

【００３８】

なお、関心領域ｒｏｉと送信焦点ＦＰとの位置関係は上記に限られず、被検体の検査すべき部位の形態等により適宜変更してもよい。

【００３９】

例えば、図３（ａ）に示す例を、送信焦点ＦＰの位置のうち列方向送信焦点位置ｆｘが関心領域ｒｏｉの列方向中心位置ｗｃからｘ軸の正又は負の方向にオフセットされた構成に変更してもよい。この場合、関心領域幅ｗと振動子列の列方向中心は異なる構成となる。さらに、送信焦点ＦＰのうち列方向焦点位置ｆｘが、関心領域ｒｏｉの列方向中心ｗｃからｘ軸の正又は負の方向にオフセットされ関心領域ｒｏｉ外に位置するような構成としてもよい。

【００４０】

また、関心領域幅ｗが相対的に大きい場合には、送信焦点ＦＰｎの列方向送信焦点位置ｆｘが送信焦点ＦＰｎによって異なる複数のプッシュ波を発生する構成としてもよい。

【００４１】

また、関心領域ｒｏｉの近傍であって関心領域ｒｏｉ外の所定位置に送信焦点ＦＰを設定する構成としてもよい。このとき、関心領域ｒｏｉの近傍に設定する場合には、送信焦点ＦＰは関心領域ｒｏｉに対してせん断波が関心領域ｒｏｉへ到達可能な距離に設定される。

【００４２】

なお、プッシュ波による超音波ビームが「集束」するとは、超音波ビームが絞られフォーカスビームであること、すなわち、超音波ビームに照射される面積が送信後に減少し特定の深さにおいて最小値を採ることを指し、超音波ビームが１点にフォーカスされる場合に限られない。この場合、「送信焦点ＦＰ」とは、超音波ビームが集束する深さにおける超音波ビーム中心をさす。

【００４３】

なお、本明細書では、以降において、プッシュ波パルス$ppp_n$、プッシュ波$pp_n$、プッシュ波送信振動子列$Px_n$、送信焦点$FP_n$、深さ方向送信焦点位置ｆｙｎ、プッシュ波パルス$ppp_n$のパルス幅$PW_n$、印加開始時刻$PT_n$、印加開始時刻$PT_n$の時間間隔$PI_n$の送信順（ｎ）の区別しない場合には、これらのｎを付さずに表記するものとする。

【００４４】
３．検出波パルス発生部１０５
検出波パルス発生部１０５は、制御部１１６から関心領域ｒｏｉを示す情報を入力し、複数の振動子１０１ａに送信部１０６から検出波パルスｐｗｐｌを複数回送信させることにより超音波ビームが関心領域ｒｏｉを通過するよう、検出波パルス送信振動子列Ｔｘに属する複数の振動子１０１ａに検出波ｐｗを送信させる。具体的には、検出波パルス発生部１０５は、関心領域ｒｏｉを示す情報に基づき、超音波ビームが関心領域ｒｏｉを通過するよう、検出波パルスｐｗｐｌを送信させる振動子列（以後、「検出波送信振動子列Ｔｘ」とする）を決定する。このとき、検出波パルスｐｗｐｌの送信回数（ｍ）は、例えば、３０～１００としてもよい。また、検出波パルスｐｗｐｌの送信間隔は、例えば、１００μｓｅｃ～１５０μｓｅｃとしてもよい。しかしながら、これらの印加条件は、上記に限定されず適宜変更可能であることは言うまでもない。
【００４５】
図３（ｂ）は、検出波パルス発生部１０５で発生させる検出波パルスｐｗｐｌの構成概要を示す模式図である。図３（ｂ）に示すように、検出波パルス発生部１０５は、検出波パルス送信振動子が同位相で駆動されるいわゆる平面波である検出波が関心領域ｒｏｉ全体を通過するように検出波パルス送信振動子列Ｔｘを設定する。検出波パルス送信振動子列Ｔｘの長さａは関心領域幅ｗよりも大きく設定されることが好ましい。本例では、関心領域幅ｗは検出波パルス送信振動子列Ｔｘの列方向の端部よりも所定距離βだけ内方に位置するように設定される。検出波ｐｗは平面波であるので振動子列方向と垂直なＹ方向に伝播する。したがって、関心領域ｒｏｉは、Ｘ方向両端において距離βだけマージンを持って超音波照射領域Ａｘに含まれる。これより、１回の検出波の送受信により関心領域ｒｏｉ全体にある観測点について音響線信号を生成できるとともに、超音波ビームが確実に関心領域ｒｏｉ全体を通過するように前記検出波パルスｐｗｐｌを送信することができる。しかしながら、検出波の送受信回数は上記に限られず、例えば、１回の検出波の送受信により関心領域ｒｏｉの一部にある観測点について音響線信号を生成して、この検出波の送受信を複数回行うことにより、各送受信から得られた音響線信号を合成して関心領域ｒｏｉ全体の観測点について音響線信号を生成する構成としてもよい。
【００４６】
また、検出波パルス送信振動子列Ｔｘは複数の振動子１０１ａ全部とする構成としてもよい。超音波照射領域Ａｘを、平面波による最大超音波照射領域$Ａｘ_{max}$とすることができる。
【００４７】
検出波パルス送信振動子列Ｔｘを示す情報は、検出波パルスｐｗｐｌのパルス幅とともに、送信制御信号として送信部１０６に出力される。
【００４８】
４．送信部１０６
送信部１０６は、マルチプレクサ部１０７を介してプローブ１０１と接続され、プローブ１０１から超音波の送信を行うために、プローブ１０１に存する複数の振動子１０１ａの全てもしくは一部に当たるプッシュ波送信振動子列Ｐｘ又は検出波送信振動子列Ｔｘに含まれる複数の振動子各々に対する高電圧印加のタイミングを制御する回路である。
【００４９】
図４（ａ）は、送信部１０６の構成を示す機能ブロック図である。図４（ａ）に示すように、送信部１０６は、駆動信号発生部１０６１、遅延プロファイル生成部１０６２、駆動信号送信部１０６３を含む。
【００５０】
（１）駆動信号発生部１０６１
駆動信号発生部１０６１は、プッシュ波パルス発生部１０４又は検出波パルス発生部１０５からの送信制御信号のうち、プッシュ波送信振動子列Ｐｘ又は検出波送信振動子列Ｔｘを示す情報、プッシュ波パルス$ｐｐｐ_{n}$のパルス幅ＰＷｎ、印加開始時刻ＰＴｎを示す

情報、検出波パルスｐｗｐｌのパルス幅、印加開始時刻を示す情報とに基づき、プローブ１０１に存する振動子１０１ａの一部又は全部に該当する送信振動子から超音波ビームを送信させるためのパルス信号ｓｐを発生する回路である。

【００５１】

（２）遅延プロファイル生成部１０６２

遅延プロファイル生成部１０６２では、プッシュ波パルス発生部１０４又は検出波パルス発生部１０５から得られる送信制御信号のうち、プッシュ波送信振動子列Ｐｘｎ又は検出波送信振動子列Ｔｘと送信焦点$ＦＰ_n$の位置を示す情報とに基づき、超音波ビームの送信タイミングを決める印加開始時刻$ＰＴ_n$からの遅延時間ｔｐｋ（ｋは、１から振動子１０１ａの数ｋｍａｘまでの自然数）を振動子毎に設定して出力する回路である。これにより、遅延時間分だけ振動子毎に超音波ビームの送信を遅延させて超音波ビームのフォーカシングを行う。

【００５２】

（３）駆動信号送信部１０６３

駆動信号送信部１０６３は、駆動信号発生部１０６１からのパルス信号ｓｐと遅延プロファイル生成部１０６２からの遅延時間ｔｐｋとに基づき、プローブ１０１に存する複数の振動子１０１ａ中、プッシュ波送信振動子列Ｐｘに含まれる各振動子にプッシュ波を送信させるためのプッシュ波パルスｐｐｐを供給するプッシュ波送信処理を行う。プッシュ波送信振動子列Ｐｘは、マルチプレクサ部１０７によって選択される。

【００５３】

図５（ａ）及び（ｂ）は、プッシュ波パルスの印加タイミングを示す模式図である。

【００５４】

生体に物理的変位を起こすプッシュ波には、通常のＢモード表示等に用いる送信パルスに比して格段に大きなパワーが求められる。即ち、パルサ（超音波発生器）に与える駆動電圧として、Ｂモード画像の取得では通常３０～４０Ｖでも成立する場合があるのに対して、プッシュ波では、例えば、５０Ｖ以上を要する。また、Ｂモード画像の取得では、送信パルス長は数μｓｅｃ程度であるが、プッシュ波には１送信あたり数百μｓｅｃの送信パルス長を必要とする。

【００５５】

本実施の形態では、図５（ａ）に示すように、駆動信号送信部１０６３から１回以上の$ｎ_{max}$回のプッシュ波パルス$ｐｐｐ_n$がそれぞれの印加開始時刻$ＰＴ_n$に複数の振動子１０１ａに送信される。プッシュ波パルス$ｐｐｐ_n$は、図５（ｂ）に示すように、所定のパルス幅ＰＷｎ（時間長）を有し所定の電圧振幅（＋Ｖ～－Ｖ）、所定周波数からなるバースト信号からなる。具体的には、パルス幅$ＰＷ_n$は、例えば、１００～２００μｓｅｃ、周波数は、例えば、６ＭＨｚ、電圧振幅は、例えば、＋５０Ｖ～－５０Ｖとしてもよい。しかしながら、印加条件は上記に限定されないことは言うまでもない。

【００５６】

また、図５（ａ）に示すように、プッシュ波パルス$ｐｐｐ_n$ごとの印加開始時刻$ＰＴ_n$は、プッシュ波パルス$ｐｐｐ_n$ごとの印加開始時刻ＰＴｎの時間間隔$ＰＩ_n$が、プッシュ波パルス$ｐｐｐ_n$の印加ごとに降順に増加する構成としている。プッシュ波パルス$ｐｐｐ_n$ごとのパルス幅$ＰＷ_n$は、プッシュ波パルス$ｐｐｐ_n$の印加順にかかわらず一定としてもよい。あるいは、プッシュ波パルス$ｐｐｐ_n$ごとのパルス幅$ＰＷ_n$は、プッシュ波パルス$ｐｐｐ_n$の印加ごとに降順に増加する構成としてもよい。

【００５７】

プッシュ波パルス$ｐｐｐ_n$ごとの印加開始時刻ＰＴｎにプッシュ波送信振動子列Ｐｘに対し、振動子列の中心に位置する振動子に対して大きな遅延時間ｔｐｋを有する分布が適用されたプッシュ波パルスｐｐｐが送信される。これにより、プッシュ波送信振動子列Ｐｘから送信焦点$ＦＰ_n$に対応する被検体中の特定部位に超音波ビームが集束するプッシュ波$ｐｐ_n$が送信させる。

【００５８】

また、駆動信号送信部１０６３は、プローブ１０１に存する複数の振動子１０１ａ中、検出波送信振動子列Ｔｘに含まれる各振動子に超音波ビームを送信させるための検出波パルスｐｗｐｌを供給する検出波送信処理を行う。検出波送信振動子列Ｔｘは、マルチプレクサ部１０７によって選択される。しかしながら、検出波パルスｐｗｐｌ供給に係る構成には上記に限定されず、例えば、マルチプレクサ部１０７を用いない構成としてもよい。

【００５９】

図６（ａ）は、検出波送信の概要を示す模式図である。検出波送信振動子列Ｔｘに含まれる振動子に対しては遅延時間ｔｐｋが適用されず、検出波送信振動子列Ｔｘに対して位相が等しい検出波パルスｐｗｐｌが送信される。これにより、図６（ａ）に示すように、検出波送信振動子列Ｔｘ中の各振動子から被検体深さ方向に進行する平面波が送信させる。検出波が到達する被検体内の範囲に対応し検出波送信振動子列Ｔｘを含む平面内の領域が検出波照射領域Ａｘとなる。

【００６０】

送信部１０６は、プッシュ波パルスｐｐｐ送信後に、検出波パルス発生部１０５からの送信制御信号に基づき検出波パルスｐｗｐｌを複数回送信する。１回のプッシュ波パルスｐｐｐ送信後に、同一の検出波送信振動子列Ｔｘから複数回行われる一連の検出波パルスｐｗｐｌ送信の各回を「送信イベント」と称呼する。

【００６１】

５．検出波受信部１０８

検出波受信部１０８は、複数回の検出波パルスｐｗｐｌの各々に対応して複数の振動子１０１ａにおいて時系列に受信された被検体組織からの反射波に基づき、検出波照射領域Ａｘ内の複数の観測点Ｐｉｊに対する音響線信号を生成して音響線信号フレームデータｄｓｌ（ｌは１からｍまでの自然数、番号を区別しない場合は音響線信号フレームデータｄｓｌとする）のシーケンスを生成する回路である。すなわち、検出波受信部１０８は、検出波パルスｐｗｐｌを送信した後、プローブ１０１で受信した反射波に基づき、複数の振動子１０１ａで得られた電気信号から音響線信号を生成する。ここで、ｉは検出波照射領域Ａｘにおけるｘ方向の座標を示す自然数であり、ｊはｙ方向の座標を示す自然数である。なお、「音響線信号」とは、受波信号（ＲＦ信号）を整相加算処理した信号である。

【００６２】

図４（ｂ）は、検出波受信部１０８の構成を示す機能ブロック図である。検出波受信部１０８は、入力部１０８１、受波信号保持部１０８２、整相加算部１０８３を備える。

【００６３】

５．１　入力部１０８１

入力部１０８１は、マルチプレクサ部１０７を介してプローブ１０１と接続され、プローブ１０１において反射波に基づき受波信号（ＲＦ信号）を生成する回路である。ここで、受波信号ｒｆｋ（ｋは１からｎまでの自然数である）とは、検出波パルスｐｗｐｌの送信に基づいて各振動子にて受信された反射波から変換された電気信号をＡ／Ｄ変換したいわゆるＲＦ信号であり、受波信号ｒｆｋは各受波振動子ｒｗｋにて受信された超音波の送信方向（被検体の深さ方向）に連なった信号の列（受波信号列）から構成されている。

【００６４】

入力部１０８１は、受波振動子ｒｗｋの各々が得た反射波に基づいて、送信イベントごとに各受波振動子ｒｗｋに対する受波信号ｒｆｋの列を生成する。受波振動子列はプローブ１０１に存する複数の振動子１０１ａの一部又は全部にあたる振動子列から構成されており、制御部１１６からの指示に基づきマルチプレクサ部１０７によって選択される。本例では、複数の振動子１０１ａの全部が受波振動子列として選択される構成とした。これにより、反射検出波受信の概要を示す図６（ｂ）に示すように、１回の受信処理により検出波照射領域Ａｘ内全域に存する観測点からの反射波を全ての振動子を用いて受波して全ての振動子に対する受波振動子列を生成することができる。生成された受波信号ｒｆｋは、受波信号保持部１０８２に出力される。

【００６５】

５．２　受波信号保持部１０８２

受波信号保持部１０８２は、コンピュータ読み取り可能な記録媒体であり、例えば、半導体メモリ等を用いることができる。受波信号保持部１０８２は、送信イベントに同期して入力部１０８１から、各受信振動子ｒｗｋに対する受波信号ｒｆｋを入力し、１枚の音響線信号フレームデータが生成されるまでこれを保持する。

【００６６】

なお、受波信号保持部１０８２は、データ格納部１１５の一部であってもよい。

【００６７】

５．３　整相加算部１０８３

整相加算部１０８３では、送信イベントに同期して関心領域ｒｏｉ内の観測点Ｐｉｊから、検出波パルス受信振動子列Ｒｘに含まれる受信振動子Ｒｐｋが受信した受波信号ｒｆｋに遅延処理を施した後、全ての受信振動子Ｒｐｋについて加算して音響線信号ｄｓを生成する回路である。検出波パルス受信振動子列Ｒｘはプローブ１０１に存する複数の振動子１０１ａの一部又は全部にあたる受信振動子Ｒｐｋから構成されており、制御部１１６からの指示に基づき整相加算部１０８３とマルチプレクサ部１０７によって選択される。本例では、反射波受信振動子列Ｒｘとして、各送信イベントにおける検出波パルス送信振動子列Ｔｘを構成する振動子を少なくとも全て含む振動子列が選択される構成とした。

【００６８】

整相加算部１０８３は、受波信号ｒｆｋに対する処理を行うための遅延処理部１０８３１、加算部１０８３２を備える。

【００６９】

（１）遅延処理部１０８３１

遅延処理部１０８３１は、検出波パルス受信振動子列Ｒｘ内の受信振動子Ｒｐｋに対する受波信号ｒｆｋから、観測点Ｐｉｊと受信振動子Ｒｐｋ各々との間の距離の差を音速値で除した受信振動子Ｒｐｋ各々への反射超音波の到達時間差（遅延量）により補償して、観測点Ｐｉｊからの反射超音波に基づく受信振動子Ｒｐｋに対応する受信信号として同定する回路である。

【００７０】

図７は、遅延処理部１０８３１において、超音波の伝播経路の計算方法の概要を示す模式図である。検出波パルス送信振動子列Ｔｘから放射され関心領域ｒｏｉ内の任意の位置にある観測点Ｐｉｊにおいて反射され受信振動子Ｒｐｋに到達する超音波の伝播経路を示したものである。

【００７１】

ａ）送信時間の算出

検出波送信振動子列Ｔｘ（振動子列（１０１ａ）全体）から送信される検出波ｐｗｌは上述のとおり平面波である。したがって、遅延処理部１０８３１は、送信イベントに対応して、観測点Ｐｉｊまでの送信経路を、検出波送信振動子列Ｔｘから振動子列に垂直に発された検出波ｐｗｌが観測点Ｐｉｊに到達するまでの最短経路４０１として算出し、これを音速で除して送信時間を算出する。

【００７２】

ｂ）受信時間の算出

遅延処理部１０８３１は、送信イベントに対応して、観測点Ｐｉｊについて、観測点Ｐｉｊで反射され検出波受信振動子列Ｒｘに含まれる受信振動子Ｒｐｋに到達するまでの受信経路を算出する。観測点Ｐｉｊでの反射波が受信振動子Ｒｐｋに戻っていくときの受信経路は、任意の観測点Ｐｉｊから各受信振動子Ｒｐｋまでの経路４０２の長さは幾何学的に算出する。これを音速で除して受信時間を算出する。

【００７３】

ｃ）遅延量の算出

次に、遅延処理部１０８３１は、送信時間と受信時間とから各受信振動子Ｒｐｋへの総伝播時間を算出し、当該総伝播時間に基づいて、各受信振動子Ｒｐｋに対する受波信号列

ｒｆｋに適用する遅延量を算出する。
【００７４】
ｄ）遅延処理
次に、遅延処理部１０８３１は、各受信振動子Ｒｐｋに対する受波信号列ｒｆｋから、遅延量に相当する受波信号ｒｆｋ（遅延量を差引いた時間に対応する受波信号）を、観測点Ｐｉｊからの反射波に基づく受信振動子Ｒｐｋに対応する信号として同定する。
【００７５】
遅延処理部１０８３１は、送信イベントに対応して、受波信号保持部１０８２から受波信号ｒｆｋを入力として、関心領域ｒｏｉ内に位置する全ての観測点Ｐｉｊについて、各受信振動子Ｒｐｋに対する受波信号ｒｆｋを同定する。
【００７６】
（２）加算部１０８３２
加算部１０８３２は、遅延処理部１０８３１から出力される受信振動子Ｒｐｋに対応して同定された受波信号ｒｆｋを入力として、それらを加算して、観測点Ｐｉｊに対する整相加算された音響線信号ｄｓｉｊを生成する回路である。
【００７７】
さらに、各受信振動子Ｒｐｋに対応して同定された受波信号ｒｆｋに対し、受信アポダイゼーション（重み数列）を乗じた後加算して、観測点Ｐｉｊに対する音響線信号ｄｓｉｊを生成してもよい。受信アポダイゼーションは、検出波受振動子列Ｒｘ内の受信振動子Ｒｐｋに対応する受信信号に適用される重み係数の数列である。受信アポダイゼーションは、検出波受振動子列Ｒｘの列方向の中心に位置する振動子に対する重みが最大となるよう設定され、受信アポダイゼーションの分布の中心軸は検出波受振動子列中心軸Ｒｘｏと一致し、分布は中心軸に対し対称な形状をなす。分布の形状は特に限定されない。
【００７８】
加算部１０８３２は、関心領域ｒｏｉ内に存在する全ての観測点Ｐｉｊについて音響線信号ｄｓｉｊを生成して音響線信号フレームデータｄｓｌを生成する。
【００７９】
そして、送信イベントに同期して検出波パルスｐｗｐｌの送受信を繰り返し、全ての送信イベントに対する音響線信号フレームデータｄｓｌを生成する。生成された音響線信号フレームデータｄｓｌは、送信イベントごとにデータ格納部１１５に出力され保存される。
【００８０】
６．変位検出部１０９
変位検出部１０９は、音響線信号フレームデータｄｓｌのシーケンスから、検出波照射領域Ａｘ内の組織の変位を検出する回路である。
【００８１】
図８は、変位検出部１０９、伝播情報解析部１１０、弾性率算出部１１１の構成を示す機能ブロック図である。
【００８２】
変位検出部１０９は、音響線信号フレームデータｄｓｌのシーケンスに含まれる変位検出の対象となる１フレームの音響線信号フレームデータｄｓｌと、基準となる１フレームの音響線信号フレームデータｄｓ０（以下、「基準音響線信号フレームデータｄｓ０」とする）とを、制御部１１６を介してデータ格納部１１５から取得する。基準音響線信号フレームデータｄｓ０とは、各送信イベントに対応する音響線信号フレームデータｄｓｌにおけるせん断波による変位を抽出するための基準となる信号であり、具体的には、プッシュ波パルスｐｐｐ送信前に検出波照射領域Ａｘから取得した音響線信号のフレームデータである。そして、変位検出部１０９は、音響線信号フレームデータｄｓｌと基準音響線信号フレームデータｄｓ０との差分から、音響線信号フレームデータｄｓｌの検出波照射領域Ａｘ内の観測点Ｐｉｊの変位（画像情報の動き）Ｐｔｉｊを検出し、変位Ｐｔｉｊを観測点Ｐｉｊの座標と関連付けて変位量フレームデータｐｔｌ（ｌは１からｍまでの自然数

、番号を区別しない場合は変位量フレームデータｐｔｌとする）を生成する。変位検出部１０９は、生成した変位量フレームデータｐｔｌをデータ格納部１１５に出力する。

【００８３】

７．　伝播情報解析部１１０

伝播情報解析部１１０は、変位量の時間変化特性に基づいて関心領域ｒｏｉ内の複数の観測点Ｐｉｊから解析対象領域を決定し、関心領域ｒｏｉの解析対象領域に対する変位量ピークフレームデータｓｗｆを算出し、伝播速度フレームデータｖｏを算出する回路である。伝播情報解析部１１０は、解析対象決定部１１０１、変位量ピーク抽出部１１０２、伝播速度変換部１１０３から構成される。

【００８４】

（１）解析対象決定部１１０１

解析対象決定部１１０１は、関心領域ｒｏｉのｘ座標ごとに、当該ｘ座標上に存在する複数の観測点Ｐｉｊに対する変位Ｐｔｉｊの時間変化特性に基づいて、伝播情報解析の対象となる解析対象領域を決定する。本実施の形態では、解析対象領域は、伝播速度の算出対象とする複数の観測点Ｐｉｊそれぞれの座標ｉ，ｊの組み合わせを示す情報である。

【００８５】

具体的には、解析対象決定部１１０１は、変位量フレームデータｐｔｌをデータ格納部１１５から取得する。解析対象決定部１１０１は、観測点Ｐｉｊごとに、変位データｐｔｉｊが極大となる時刻の近傍における変位の時間変化特性、より具体的には、変位量のピークの鋭さを示すパラメータを取得する。変位量ピークの鋭さを示すパラメータとは、例えば、変位データｐｔｉｊを時間の関数として評価した場合の、ガウス関数で近似化した際の分散値、ピークの半値半幅または半値全幅、変位データｐｔｉｊの大きさが所定の閾値以上である連続時間、などである。但し、変位量ピークの鋭さを示すパラメータは、変量の時間変化の急峻度を示すパラメータであれば任意の物であってよく、上述のものに限られない。そして、解析対象決定部１１０１は、ｉごとに、変位量のピークの鋭さが極大となる観測点Ｐｉｊを特定し、特定されたｉｊの組み合わせを、解析対象領域に含まれる観測点として決定する。

【００８６】

具体的には、関心領域ｒｏｉ内において基準となる観測点Ｐｉｊを特定し、特定した観測点Ｐｉｊの位置を指標としてｉ方向に隣接する観測線上に探索対象となる領域Ｒを設定し、領域Ｒにおいて変位量のピークの鋭さが最大となる観測点Ｐｉｊを特定する、という動作を繰り返す。図１５（ａ）は、基準となる観測点Ｐｉｊを指標としてｉ方向に隣接する観測線上に探索対象となる領域Ｒを設定する動作を示す模式図である。なお、以下の説明において、ｉ座標がＩ、ｊ座標がＪの観測点を観測点$Ｐ_{IJ}$と表記するが、ＩとＪの値を明確にするために、明細書内では観測点Ｐ（Ｉ，Ｊ）と表記する場合がある。具体的には、ｉ＝Ｉである観測点Ｐ（$Ｉ_{p}$，$Ｊ_{q}$）を指標として、プッシュ波の送信焦点ＦＰｎから遠い側のｉ＝Ｉ＋１において、観測点Ｐ（$Ｉ_{p}$，$Ｊ_{q}$）のｊ座標$Ｊ_{q}$を指標に、幅が２×ΔＪである、ｉ＝Ｉ＋１、$Ｊ_{q}$－ΔＪ≦ｊ≦$Ｊ_{q}$＋ΔＪの範囲Ｒ（$Ｉ_{p+q,}Ｊ_{q}$）を設定し、当該領域Ｒ（$Ｉ_{p}$＋ｑ，$Ｊ_{q}$）を対象として変位量ピークの鋭さが最大となる観測点Ｐｉｊの特定を行う。なお、領域Ｒ（Ｉ，Ｊ）について、図面上では$Ｒ_{I,J}$と略記する。

【００８７】

プッシュ波の送信焦点$ＦＰ_{n}$が$Ｆｐ_{1}$のみの場合について、図１５（ｂ）を用いて説明する。図１５（ｂ）は、関心領域ｒｏｉの範囲が$Ｉ_{0}$≦ｉ≦$Ｉ_{pmax}$、$Ｊ_{0}$≦ｊ≦$Ｊ_{max}$の領域であり、送信焦点$Ｆｐ_{1}$のｉ座標が$Ｉ_{0}$より小さい場合を示している。解析対象決定部１１０１は、まず、送信焦点$Ｆｐ_{1}$に最近接するｉ＝$Ｉ_{0}$の観測線について、特定された観測点Ｐｉｊに替えて、送信焦点$Ｆｐ_{1}$の位置を指標として領域Ｒ（$Ｉ_{0}$，ｊ）を設定する。具体的には、送信焦点$Ｆｐ_{1}$のｊ座標$Ｊ_{F}$を指標として、座標（$Ｉ_{0}$，$Ｊ_{F}$）を中心とする領域Ｒ（$Ｉ_{0}$，$Ｊ_{F}$）を設定する。そして、領域Ｒ（$Ｉ_{0}$，$Ｊ_{F}$）を対象として変位量ピークの鋭さが最大となる観測点Ｐｉｊの特定を行う。次に、解析対象決定部１１０１は、ｉ＝$Ｉ_{0}$の観測線に対して送信焦点$Ｆｐ_{1}$から遠ざかる方向に隣接するｉ＝$Ｉ_{0}$＋１の観測線について

、特定されたｉ＝Ｉ$_0$の観測点Ｐｉｊの位置を指標として領域Ｒ（Ｉ$_0$＋１，ｊ）を設定し、領域Ｒ（Ｉ$_0$＋１，ｊ）を対象として変位量ピークの鋭さが最大となる観測点Ｐｉｊの特定を行う。同様に、例えば、ｉ＝Ｉ$_p$－１の観測点Ｐ（Ｉ$_p$－１，Ｊ$_a$）の位置を指標として、ｉ＝Ｉ$_p$の観測線上の領域Ｒ（Ｉ$_p$，Ｊ$_a$）を設定し、領域Ｒ（Ｉ$_p$，Ｊ$_a$）を対象として変位量ピークの鋭さが最大となる観測点Ｐｉｊの特定を行う。同様に、ｉ＝Ｉ$_{pmax}$－１の観測点Ｐ（Ｉ$_{pmax}$－１，Ｊ$_b$）の位置を指標として、ｉ＝Ｉ$_{pmax}$の観測線上の領域Ｒ（Ｉ$_{pmax}$，Ｊ$_b$）を設定し、領域Ｒ（Ｉ$_{pmax}$，Ｊ$_b$）を対象として変位量ピークの鋭さが最大となる観測点Ｐｉｊの特定を行う。これにより、Ｉ$_0$≦ｉ≦Ｉ$_{pmax}$の全てのｉに対して、観測点Ｐｉｊが１つずつ特定される。

【００８８】

プッシュ波の送信焦点ＦＰｎが複数存在する場合の場合は、図１５（ｃ）の模式図に示すような動作となる。解析対象決定部１１０１は、まず、送信焦点Ｆｐ$_n$に最近接するｉ＝Ｉ$_0$の観測線について、特定された観測点Ｐｉｊに替えて、送信焦点Ｆｐ$_n$のそれぞれの位置を指標として、送信焦点Ｆｐ$_n$の数だけ、領域Ｒを設定する。具体的には、例えば、送信焦点Ｆｐ$_{n-1}$のｊ座標Ｊ$_{F(n-1)}$を指標として、座標（Ｉ$_0$，Ｊ$_{F(n-1)}$）を中心とする領域Ｒ（Ｉ$_0$，Ｊ$_{F(n-1)}$）を設定する。同様に、送信焦点Ｆｐ$_n$のｊ座標Ｊ$_{Fn}$を指標として、座標（Ｉ$_0$，Ｊ$_{Fn}$）を中心とする領域Ｒ（Ｉ$_0$，Ｊ$_{Fn}$）を、送信焦点Ｆｐ$_{n+1}$のｊ座標Ｊ$_{F(n+1)}$を指標として、座標（Ｉ$_0$，Ｊ$_{F(n+1)}$）を中心とする領域Ｒ（Ｉ$_0$，Ｊ$_{F(n+1)}$）を、それぞれ設定する。設定された各領域Ｒのそれぞれを対象として変位量ピークの鋭さが最大となる観測点Ｐｉｊの特定を行う。次に、解析対象決定部１１０１は、送信焦点Ｆｐ$_1$に最近接するｉ＝Ｉ$_0$＋１の観測線について、特定されたｉ＝Ｉ$_0$の観測点Ｐｉｊのそれぞれの位置を指標として領域Ｒを設定し、領域Ｒのそれぞれを対象として変位量ピークの鋭さが最大となる観測点Ｐｉｊの特定を行う。同様に、例えば、ｉ＝Ｉ$_p$－１の観測点Ｐ（Ｉ$_p$－１，Ｊ$_c$）、Ｐ（Ｉ$_p$－１，Ｊ$_e$）、Ｐ（Ｉ$_p$－１，Ｊ$_g$）のそれぞれの位置を指標として、ｉ＝Ｉ$_p$の観測線上の領域Ｒ（Ｉ$_p$，Ｊ$_c$）、Ｒ（Ｉ$_p$，Ｊ$_e$）、Ｒ（Ｉ$_p$，Ｊ$_g$）のそれぞれを設定する。そして、領域Ｒ（Ｉ$_p$，Ｊ$_c$）、Ｒ（Ｉ$_p$，Ｊ$_e$）、Ｒ（Ｉ$_p$，Ｊ$_g$）のそれぞれを対象として変位量ピークの鋭さが最大となる観測点Ｐｉｊの特定を行う。同様に、ｉ＝Ｉ$_{pmax}$－１の観測点Ｐ（Ｉ$_{pmax}$－１，Ｊ$_d$）、Ｐ（Ｉ$_{pmax}$－１，Ｊ$_f$）、Ｐ（Ｉ$_{pmax}$－１，Ｊ$_h$）のそれぞれの位置を指標として、ｉ＝Ｉ$_{pmax}$の観測線上の領域Ｒ（Ｉ$_{pmax}$，Ｊ$_d$）、Ｒ（Ｉ$_{pmax}$，Ｊ$_f$）、Ｒ（Ｉ$_{pmax}$，Ｊ$_h$）をそれぞれ設定する。そして、領域Ｒ（Ｉ$_{pmax}$，Ｊ$_d$）、Ｒ（Ｉ$_{pmax}$，Ｊ$_f$）、Ｒ（Ｉ$_{pmax}$，Ｊ$_h$）のそれぞれを対象として変位量ピークの鋭さが最大となる観測点Ｐｉｊの特定を行う。これにより、Ｉ$_0$≦ｉ≦Ｉ$_{pmax}$の全てのｉに対して、観測点Ｐｉｊが送信焦点Ｆｐ$_n$の数ずつ特定される。

【００８９】

なお、上述の例では、送信焦点Ｆｐ$_n$が関心領域ｒｏｉの外部である場合について説明したが、送信焦点Ｆｐ$_n$が関心領域ｒｏｉの内部に存在してもよい。この場合には、送信焦点Ｆｐ$_n$の座標が（Ｉ$_{fn}$，Ｊ$_{fn}$）であるとした場合、ｉ＝Ｉ$_{fn}$－１の観測線において座標（Ｉ$_{fn}$－１，Ｊ$_{fn}$）を中心とする領域Ｒ（Ｉ$_{fn-1}$，Ｊ$_{fn}$）を、ｉ＝Ｉ$_{fn}$＋１の観測線において座標（Ｉ$_{fn}$＋１，Ｊ$_{fn}$）を中心とする領域Ｒ（Ｉ$_{fn+1}$，Ｊ$_{fn}$）を、それぞれ設定して観測点Ｐｉｊの特定を行い、ｉ＝Ｉ$_{fn}$から遠ざかるようにｉが増加する方向とｉが減少する方向の両方向に領域Ｒの設定と観測点Ｐｉｊの特定とを繰り返す。

【００９０】

（２）変位量ピーク抽出部１１０２

変位量ピーク抽出部１１０２は、関心領域ｒｏｉの解析対象領域内に存在する観測点Ｐｉｊごとに、変位データｐｔｉｊが極大となる時刻ａｔを特定し、当該時刻ａｔの波面の位置を観測点Ｐｉｊとして対応付けた変位量ピークフレームデータｓｗｆを生成してデータ格納部１１５に出力する。

【００９１】

（３）伝播速度変換部１１０３

伝播速度変換部１１０３は、変位量ピークフレームデータｓｗｆを、関心領域ｒｏｉの

解析対象領域内に存在する観測点Ｐｉｊにおける伝播速度データｖｉｊに変換して、伝播速度フレームデータｖｏを作成してデータ格納部１１５に出力する。

【００９２】

８．弾性率算出部１１１

弾性率算出部１１１は、関心領域ｒｏｉ内の観測点Ｐｉｊについて組織の弾性率を算出し、関心領域ｒｏｉに対する弾性率フレームデータｅｌｆを算出する回路である。弾性率算出部１１１は、弾性率変換部１１１１から構成される。弾性率変換部１１１１は、伝播速度データｖｏを入力として、伝播速度データｖを関心領域ｒｏｉ内の観測点Ｐｉｊにおける弾性率データｅｌに変換して、関心領域ｒｏｉに対する弾性率フレームデータｅｌｆを生成してデータ格納部１１５に出力する。

【００９３】

９．その他の構成

データ格納部１１５は、生成された受波信号列ｒｆ、音響線信号フレームデータｄｓｌのシーケンス、変位量フレームデータｐｔｌのシーケンス、変位量ピークフレームデータｓｗｆ、伝播速度フレームデータｖｌ、弾性率フレームデータｅｌを逐次記録する記録媒体である。

【００９４】

制御部１１６は、操作入力部１０２からの指令に基づき、超音波診断装置１００内の各ブロックを制御する。制御部１１６にはＣＰＵ等のプロセッサを用いることができる。

【００９５】

また、図示しないが、超音波診断装置１００は、プッシュ波パルスｐｐｐを送信することなく、送信部１０６及び検出波受信部１０８においてされた検出波の送受信に基づいて出力される音響線信号のうち、被検体の組織からの反射成分に基づき時系列に超音波画像（Ｂモード画像）を生成するＢモード画像生成部を有する。Ｂモード画像生成部は、データ格納部１１５から音響線信号のフレームデータを入力して、音響線信号に対して包絡線検波、対数圧縮などの処理を実施してその強度に対応した輝度信号へと変換し、その輝度信号を直交座標系に座標変換を施すことでＢモード画像のフレームデータを生成する。なお、Ｂモード画像生成のための音響線信号を取得するための送信部１０６及び検出波受信部１０８における超音波の送受信には公知の方法を用いることができる。生成されたＢモード画像のフレームデータはデータ格納部１１５に出力され保存される。表示制御部１１３はＢモード画像を表示画像として構成して表示部１１４に表示させる。

【００９６】

また、弾性率算出部１１１は、弾性率フレームデータｅｌｆが表す弾性率に基づいて、色情報をマッピングした弾性画像を生成し表示する構成としてもよい。例えば、弾性率が一定値以上の座標は赤、弾性率が一定値未満の座標は緑、弾性率が取得できなかった座標は黒、というように色分けした弾性画像を生成してもよい。操作者の利便性を向上することができる。弾性率算出部１１１は、生成した弾性率フレームデータｅｌｆと弾性画像とをデータ格納部１１５に出力し、制御部１１６は弾性画像を表示制御部１１３に出力する。さらに、表示制御部１１３は、弾性画像に対して画面表示用の画像データとなるよう幾何変換を行い、幾何変換後の弾性画像を表示部１１４に出力する構成としてもよい。

【００９７】

＜超音波診断装置１００の動作＞

以上の構成からなる超音波診断装置１００の統合ＳＷＳシーケンスの動作について説明する。

【００９８】

１．動作の概要

図９は、超音波診断装置１００における統合ＳＷＳシーケンスの工程の概要を示す概略図である。超音波診断装置１００によるＳＷＳシーケンスは、基準検出波送受信を行い、以後の各送信イベントに対応するせん断波による変位を抽出するための基準音響線信号フレームデータｄｓ０を取得する工程（１ａ）、プッシュ波パルス$ppp_n$（$n=1\sim n_{max}$

）を１回以上（$n_{max}$回）送信して被検体内の特定部位ＦＰに集束するプッシュ波$ppp_n$を１回以上（$n_{max}$回）送信して被検体中にせん断波励起する工程（１ｂ）、関心領域ｒｏｉを通過する検出波ｐｗｐｌの送受信を複数（ｍ）回繰り返す検出波パルスｐｗｐｌ送受信する工程（１ｃ）、せん断波伝播解析を行いせん断波の伝播速度ｖｆと弾性率ｅｌｆを算出する弾性率算出の工程（１ｄ）から構成される。

【００９９】

２．ＳＷＳシーケンスの動作

以下、公知の方法に基づき被検体の組織からの反射成分に基づき組織が描画されたＢモード画像が表示部１１４に表示された後の超音波弾性率計測処理の動作を説明する。

【０１００】

なお、Ｂモード画像のフレームデータは、プッシュ波パルスｐｐｐを送信されることなく、送信部１０６及び検出波受信部１０８においてされた超音波の送受信に基づいて被検体の組織からの反射成分に基づき時系列に音響線信号のフレームデータが生成され、音響線信号に対して包絡線検波、対数圧縮などの処理がされて輝度信号へと変換された後、輝度信号を直交座標系に座標変換して生成する。表示制御部１１３は被検体の組織が描画されたＢモード画像を表示部１１４に表示させる。

【０１０１】

図１０は、超音波診断装置１００における超音波弾性率算出の動作を示すフローチャートである。

【０１０２】

［ステップＳ１００～Ｓ１４０］

ステップＳ１００では、表示部１１４にプローブ１０１によりリアルタイムに取得された被検体の断層画像であるＢモード画像が表示されている状態において、関心領域設定部１０３は、操作入力部１０２から操作者により指定された情報を入力として、被検体内の解析対象範囲をあらわす関心領域ｒｏｉをプローブ１０１の位置を基準に設定し、制御部１１６に出力する。

【０１０３】

操作者による関心領域ｒｏｉの指定は、例えば、表示部１１４にデータ格納部１１５に記録されている最新のＢモード画像を表示し、タッチパネル、マウスなどの入力部（図示しない）を通して関心領域ｒｏｉを指定することによりされる。なお、関心領域ｒｏｉは、例えば、Ｂモード画像の全域を関心領域ｒｏｉとしてもよいし、あるいは、Ｂモード画像の中央部分を含む一定範囲としてもよい。

【０１０４】

ステップＳ１２０では、プッシュ波パルス発生部１０４は、制御部１１６から関心領域ｒｏｉを示す情報を入力し、プッシュ波パルス$ppp_n$（$n=1\sim n_{max}$）の送信焦点ＦＰｎの位置とプッシュ波送信振動子列$Px_n$を設定する。本例では、図３（ａ）に示すように、プッシュ波送信振動子列$Px_n$は、プッシュ波の送信順位ｎによらず一定とし、複数の振動子１０１ａ全部とした。また、列方向送信焦点位置ｆｘは検出波照射領域Ａｘの列方向中心位置ｗｃと一致し、深さ方向送信焦点位置$fy_n$（$n=1\sim n_{max}$）は関心領域ｒｏｉの内部に存在する構成とした。しかしながら、検出波照射領域Ａｘと送信焦点ＦＰとの位置関係は上記に限られず、被検体の検査すべき部位の形態等により適宜変更してもよい。

【０１０５】

送信焦点ＦＰの位置と、プッシュ波送信振動子列Ｐｘを示す情報は、プッシュ波パルスｐｐｐのパルス幅$PW_n$、印加開始時刻$PT_n$とともに、送信制御信号として送信部１０６に出力される。

【０１０６】

ステップＳ１３０では、送信部１０６は、検出波送信振動子列Ｔｘに含まれる振動子に検出波パルスｐｗｐ０を送信し、被検体内に向けて検出波ｐｗ０をさせ、検出波受信部１０８は、検出波ｐｗ０の反射波ｅｃの受波を行い組織の変位の基準となる基準音響線信号

フレームデータｄｓ０を生成する。基準音響線信号フレームデータｄｓ０はデータ格納部１１５に出力され保存される。音響線信号フレームデータの生成方法については後述する。

【０１０７】

ステップＳ１４０では、送信部１０６は、プッシュ波送信振動子列$Ｐｘ_{n}$に含まれる振動子に１回以上（$ｎ_{max}$回）のプッシュ波パルス$ｐｐｐ_{n}$を送信させることにより、当該振動子に送信焦点ＦＰに対応する被検体中の特定部位に超音波ビームが集束するプッシュ波ｐｐｎを１回以上（$ｎ_{max}$回）送信させる。

【０１０８】

具体的には、送信部１０６は、プッシュ波パルス発生部１０４より取得した送信焦点$ＦＰ_{n}$の位置とプッシュ波送信振動子列$Ｐｘ_{n}$を示す情報、プッシュ波パルス$ｐｐｐ_{n}$のパルス幅$ＰＷ_{n}$、印加開始時刻$ＰＴ_{n}$からなる送信制御信号に基づき送信プロファイルを生成する。送信プロファイルは、プッシュ波送信振動子列$Ｐｘ_{n}$に含まれる各送信振動子に対するパルス信号ｓｐと遅延時間ｔｐｋからなる。そして、送信プロファイルに基づき各送信振動子にプッシュ波パルス$ｐｐｐ_{n}$を供給する。各送信振動子は被検体内の特定部位に集束するパルス状のプッシュ波$ｐｐ_{n}$を送信する。送信部１０６は、この動作を１回以上（$ｎ_{max}$回）行う。

【０１０９】

ここで、プッシュ波ｐｐによるせん断波の生成について、図１１（ａ）から（ｅ）の模式図を用いて説明する。図１１（ａ）から（ｅ）は、プッシュ波ｐｐによるせん断波の生成の様子を示す模式図である。図１１（ａ）は、検出波照射領域Ａｘに対応した被検体内の領域の、プッシュ波ｐｐ印加前における組織を示した模式図である。図１１（ａ）から（ｅ）において、個々の“○”は、被検体内の組織の一部を、破線の交点は、負荷がない場合の組織”○“の中心位置を、それぞれ示している。

【０１１０】

ここで、プローブ１０１を皮膚表面６００に密接させた状態で送信焦点ＦＰに対応する被検体中の焦点部位６０１に対してプッシュ波ｐｐを印加すると、図１１（ｂ）の模式図に示すように、焦点部位６０１に位置していた組織６３２が、プッシュ波ｐｐの進行方向に押されて移動する。また、組織６３２からプッシュ波ｐｐの進行方向側にある組織６３３は、組織６３２に押されてプッシュ波ｐｐの進行方向に移動する。

【０１１１】

次に、プッシュ波ｐｐの送信が終了すると、組織６３２、６３３が元の位置に復元しようとするので、図１１（ｃ）の模式図に示すように、組織６３１～６３３がプッシュ波ｐｐの進行方向に沿った振動を開始する。

【０１１２】

すると、図１１（ｄ）の模式図に示すように、振動が組織６３１～６３３に隣接する、組織６２１～６２３および組織６４１～６４３に伝播する。

【０１１３】

さらに、図１１（ｅ）の模式図に示すように、振動がさらに組織６１１～６６３および組織６５１～６５３に伝播する。したがって、被検体内において、振動が振動の方向と直交する向きに伝播する。すなわち、せん断波がプッシュ波ｐｐの印加場所に発生し、被検体内を伝播する。

【０１１４】

［ステップＳ１５０］

図１０に戻って説明を続ける。

【０１１５】

ステップＳ１５０では、関心領域ｒｏｉに検出波パルスｐｗｐｌを複数回送受信し、取得した音響線信号フレームデータｄｓｌのシーケンスを保存する。具体的には、送信部１０６は、検出波送信振動子列Ｔｘに含まれる振動子に被検体に向けて検出波パルスｐｗｐｌを送信させ、検出波受信部１０８は、検出波パルス受信振動子列Ｒｘに含まれる振動子

により受信した反射波ｅｃに基づき音響線信号フレームデータｄｓｌを生成する。最後のプッシュ波$ppp_{nmax}$の送信終了の直後から、例えば、秒間１万回、上記処理を繰り返し行う。これにより、せん断波の発生直後から伝播が終わるまでの間、被検体の検出波照射領域Ａｘ内の音響線信号フレームデータｄｓｌを繰り返し生成する。生成された音響線信号フレームデータｄｓｌのシーケンスはデータ格納部１１５に出力され保存される。

【０１１６】

以下、ステップＳ１５０を詳細に説明する。

【０１１７】

まず、検出波受信部１０８は、検出波照射領域Ａｘ内に存在する任意の観測点Ｐｉｊについて、送信された超音波が被検体中の観測点Ｐｉｊに到達する送信時間を算出する。送信時間は、検出波送信振動子列Ｔｘから観測点Ｐｉｊまでの最短経路を、超音波の音速ｃｓで除することにより算出される。

【０１１８】

次に、検出波受信部１０８は、検出波パルス受信振動子列Ｒｘを設定し、観測点Ｐｉｊからの反射検出波が、検出波パルス受信振動子列Ｒｘに含まれる受波振動子Ｒｗｋのそれぞれに到達する受信時間を算出する。受信時間は、観測点Ｐｉｊから受波振動子Ｒｗｋまでの最短経路を、超音波の音速ｃｓで除することにより算出される。

【０１１９】

そして、検出波受信部１０８は、送信時間と受信時間とから、観測点Ｐｉｊごと、かつ、受波振動子Ｒｗｋごとの、遅延量を算出し、音響線信号フレームデータｄｓｌから、観測点Ｐｉｊごとに、観測点Ｐｉｊからの受信信号を同定する。

【０１２０】

次に、検出波受信部１０８は、観測点Ｐｉｊごとに同定した受信信号を重みづけ加算し、観測点Ｐｉｊに対する音響線信号を算出する。ここで、重み付けは、検出波パルス受信振動子列Ｒｘのｘ方向の中心に位置する振動子に対する重み付けが最大となるような、受信アポダイゼーションがなされる。

【０１２１】

検出波受信部１０８は、算出した音響線信号をデータ格納部１１５に保存する。

【０１２２】

［ステップＳ１５１］

ステップＳ１５１では、変位検出部１０９は、各送信イベントにおける関心領域ｒｏｉ内の観測点Ｐｉｊの変位を検出する。

【０１２３】

図１２は、変位検出及びせん断波の伝播解析の動作を示す模式図である。

【０１２４】

まず、変位検出部１０９は、ステップＳ１３０でデータ格納部１１５に保存された基準音響線信号フレームデータｄｓ０を取得する。上述したように、基準音響線信号フレームデータｄｓ０は、プッシュ波ｐｐの送信前、すなわち、せん断波の発生前に取得された音響線信号フレームデータである。

【０１２５】

次に、変位検出部１０９は、ステップＳ１５０でデータ格納部１１５に保存された各音響線信号フレームデータｄｓｌに対し、基準音響線信号フレームデータｄｓ０との差分から、当該音響線信号フレームデータｄｓｌが取得された時刻における、各画素の変位を検出する。

【０１２６】

図１２におけるＡ列は、基準音響線信号フレームデータｄｓ０、各送信イベントにて生成した音響線信号フレームデータｄｓｌを示し、Ｂ列は、ステップＳ１５０において、各送信イベントに対して算出する変位量フレームデータｐｔｌを示したものである。図１２のＡ列及びＢ列に示すように、変位量フレームデータｐｔｌは、音響線信号フレームデータｄｓｌと基準音響線信号フレームデータｄｓ０を比較し、基準音響線信号フレームデー

タｄｓ０中の観測点Ｐｉｊの音響線信号ｄｓｉｊが音響線信号フレームデータｄｓｌにおけるどの観測点Ｐ′ｉｊ′の音響線信号ｄｓｉｊ′と類似するのかを検出して、観測点Ｐ′ｉｊ′の観測点Ｐｉｊに対する位置変化量を算出することにより検出する。

【０１２７】

具体的には、例えば、音響線信号フレームデータｄｓｌと基準音響線信号フレームデータｄｓ０との間で相関処理を行うことにより、観測点Ｐｉｊに対応する観測点Ｐ′ｉｊ′を特定し、観測点間の距離ｊ′－ｊを、観測点Ｐｉｊにおける変位として特定する。

【０１２８】

なお、変位の特定方法はｉ座標を同じくする２つの音響線信号間の相関処理に限られず、パターンマッチングであってもよい。

【０１２９】

変位検出部１０９は、１フレームの音響線信号フレームデータｄｓｌに係る各観測点Ｐｉｊの変位を当該観測点の座標ｉｊと対応付けることで関心領域ｒｏｉ内の観測点の変位量データｐｔｉｊを生成し、生成した関心領域ｒｏｉについての変位量フレームデータｐｔｌをデータ格納部１１５に出力する。

【０１３０】

［ステップＳ１５２～Ｓ１５５］

伝播情報解析部１１０は、生成した変位量フレームデータｐｔｌをデータ格納部１１５に出力し保存する（ステップＳ１５１）。規定されている全ての送信イベントについてステップＳ１５１の処理が完了したか否かを判定し（ステップＳ１５２）、完了していない場合にはステップＳ１５１に戻り、次の検出波パルスｐｗｐｌの送信イベントについての一連の処理を行い、完了している場合にはステップＳ１５３に進む。

【０１３１】

ステップＳ１５３では、伝播情報解析部１１０は、関心領域ｒｏｉ内の複数の観測点Ｐｉｊに対する変位Ｐｔｉｊの時間変化特性に基づいて、解析対象領域を決定する。次に、伝播情報解析部１１０は、解析対象領域内に存在する観測点について、変位が極大となった時刻を検出し、観測点Ｐｉｊの位置と変位が極大となった時刻とを対応付けた変位量ピークフレームデータｓｗｆを生成する。さらに、伝播情報解析部１１０は、変位量ピークフレームデータｓｗｆを、関心領域ｒｏｉの解析対象領域内に存在する観測点Ｐｉｊにおける伝播速度データｖｉｊに変換して、伝播速度フレームデータｖｏを作成してデータ格納部１１５に出力する。ステップＳ１５３における、せん断波の伝播情報解析方法の詳細は後述する。

【０１３２】

ステップＳ１５４では、弾性率算出部１１１は、関心領域ｒｏｉ内の観測点Ｐｉｊについて弾性率データｅｌｉｊを算出し、関心領域ｒｏｉに対する弾性率フレームデータｅｌｆを算出してデータ格納部１１５に出力する。ステップＳ１５４における、弾性率フレームデータｅｌｆの算出方法の詳細は後述する。

【０１３３】

ステップＳ１５５では、弾性率算出部１１１は、弾性率フレームデータｅｌｆが表す弾性率に基づいて、色情報をマッピングした弾性画像を生成する。具体的には、例えば、弾性率が所定の閾値以上の観測点は赤色、弾性率が所定の閾値未満の観測点は緑色、弾性率が算出されていない観測点は黒色とする。なお、色情報のマッピングは上述の例に限らず、弾性率に応じて３色以上に塗り分けてもよいし、弾性率が算出されていない観測点はグレーや白であってもよい。また、弾性画像をＢモード断層画像に重畳する場合には、弾性率が算出されていない観測点に重畳する色は透明（Ｂモード断層画像そのまま）であるとしてもよい。表示制御部１１３は、弾性画像に対して画面表示用の画像データとなるよう幾何変換を行い、幾何変換後の弾性画像を表示部１１４に出力する。

【０１３４】

以上により、図１０に示したＳＷＳシーケンスの処理が終了する。以上の超音波弾性率計測処理により、ＳＷＳシーケンスによる弾性率フレームデータｅｌｆを算出することが

できる。

【０１３５】

３．ステップＳ１５３における処理の詳細について

ステップＳ１５３では、伝播情報解析部１１０は、伝播情報解析部１１０は、関心領域ｒｏｉ内の複数の観測点Ｐｉｊに対する変位Ｐｔｉｊの時間変化特性に基づいて、解析対象領域を決定する。次に、伝播情報解析部１１０は、解析対象領域内に存在する観測点について、変位が極大となった時刻を検出し、観測点Ｐｉｊの位置と変位が極大となった時刻とを対応付けた変位量ピークフレームデータｓｗｆを生成する。さらに、伝播情報解析部１１０は、変位量ピークフレームデータｓｗｆを、関心領域ｒｏｉの解析対象領域内に存在する観測点Ｐｉｊにおける伝播速度データｖｉｊに変換して、伝播速度フレームデータｖｏを作成してデータ格納部１１５に出力する。

【０１３６】

詳しくは、図１３のフローチャートを用いて説明する。図１３は、せん断波の伝播情報解析の動作を示すフローチャートである。

【０１３７】

まず、観測点Ｐｉｊのｉ座標を示すパラメータｉを初期化する（ステップＳ１５３１）。次に、探索対象の領域Ｒ（ｉ，Ｊ）を特定する（ステップＳ１５３２）。領域Ｒ（ｉ，Ｊ）の特定は、上述したように、最初のｉについてはプッシュ波の送信焦点$Ｆｐ_{n}$のｊ座標に基づいて行い、２つ目以降のｉについては、特定されたｉ＝ｉ－１の観測点Ｐ（ｉ－１，ｊ）に基づいて行う。

【０１３８】

次に、領域Ｒ（ｉ，Ｊ）に含まれる観測点Ｐｉｊの変位量ｐを読み出す（ステップＳ１５３３）。そして、観測点Ｐｉｊの変位量ｐの時間変化を示すパラメータｄｐを算出する（ステップＳ１５３４）。

【０１３９】

以下、図１４の模式図を示して説明する。

【０１４０】

図１４（ａ）は、観測線Ｌ１、Ｌ２、Ｌ３とその上に存在する複数の観測点、および、せん断波の進行方向との相対関係を模式的に示している。ここで、観測点Ｌ１とは、ｉ座標が$ｉ＝ｉ_{a}－１$である観測点Ｐｉｊが存在する直線状の領域である。同様に、観測点Ｌ２とはｉ座標が$ｉ＝ｉ_{a}$である観測点Ｐｉｊが存在する直線状の領域、観測点Ｌ３とは、ｉ座標が$ｉ＝ｉ_{a}＋１$である観測点Ｐｉｊが存在する直線状の領域である。ここで、せん断波とは、波の進行方向と波による振動の向きとは直交する波であるから、せん断波による変位は、波面の接線方向が最大となる。そのため、せん断波の進行方向Ｓ１と観測線Ｌ２とが略直交する観測点$Ｐｉ_{a}ｊ_{a}$においては、せん断波による変位の向きは観測点Ｌ２の向きと略一致する。同様に、せん断波の進行方向Ｓ１と観測線Ｌ３とが略直交する観測点$Ｐｉ_{a+1}ｊ_{b}$においては、せん断波による変位の向きは観測点Ｌ３の向きと略一致する。このとき、２つの観測点$Ｐｉ_{a}ｊ_{a}$と観測点$Ｐｉ_{a}＋１　ｊ_{b}$とを結ぶ線分はせん断波の経路と略一致するため、２つの観測点$Ｐｉ_{a}ｊ_{a}$と観測点$Ｐｉ_{a}＋１　ｊ_{b}$との距離を、２つの観測点$Ｐｉ_{a}ｊ_{a}$と観測点$Ｐｉ_{a}＋１　ｊ_{b}$における変位の最大時刻の時間差で除することにより、当該２つの観測点間におけるせん断波の速度を高精度に算出することができる。

【０１４１】

なお、図１４（ａ）においては、観測線Ｌ１、Ｌ２、Ｌ３は互いに平行かつ等間隔である場合を示しているが、観測線Ｌ１、Ｌ２、Ｌ３の関係はこの場合に限られない。例えば、観測線Ｌ１とＬ２との距離と、観測線Ｌ２とＬ３との距離が異なっていてもよいし、また、例えば観測線Ｌ１、Ｌ２、Ｌ３の間で、同一のｊ座標が示す深さが同一でなくてもよい。また、観測線Ｌ１～Ｌ３は平行ではなく、例えば、観測線Ｌ１、Ｌ２、Ｌ３は、ある１点で交差するような放射状に設定されていてもよい。さらに、観測線Ｌ１、Ｌ２、Ｌ３は直線ではなく曲線であってもよい。せん断波が水平方向（ｘ方向）に伝播しない場合であっても、観測線をせん断波の進行方向に対して略直交となるように設定することで、せ

ん断波の速度を高精度に算出することが可能となる。

【０１４２】

そこで、解析対象決定部１１０１は、上述したような、せん断波の進行方向と観測線とが略直交する観測点Ｐｉｊを解析対象領域に含まれる観測点として特定する。具体的には、解析対象決定部１１０１は、観測点Ｐｉｊにおける観測点に沿った向きの変位量ｐの時間変化を示すパラメータｄｐを算出する。本実施の形態では、パラメータｄｐとして、変位量ｐを時間の関数として評価したときのピークの半値半幅をｈｔ［秒］としたとき、ｈｔの逆数１／ｈｔをパラメータｄｐとして用いる。これは、せん断波の伝播方向と観測線の向きとの一致度が高いほど、ピークが鋭くなるからである。せん断波の進行方向Ｓ１と観測線Ｌ２とが直交する観測点$Pi_aj_a$においては、せん断波による変位の向きが変位量ｐの向きと一致するため、変位量ｐの絶対値は大きくなり、また、急峻なピークが得られる。そのため、変位の時系列的な変化は、図１４（ｂ）のグラフに示すようにピークが高く、かつ、鋭い特性を有する。解析対象決定部１１０１は、観測点$Pi_aj_a$のような、せん断波の進行方向と観測線とが略直交する観測点を、解析対象領域に含まれる観測点として特定する。

【０１４３】

これに対して、例えば、せん断波の進行方向Ｓ１と観測線Ｌ２とが略直交するとはいえない観測点$Pi_aj_c$においては、せん断波による変位の向きｄ２と観測線Ｌ２の向き、すなわち変位量ｐの向きと角度θをなしている。したがって、変位量ｐの絶対値はｃｏｓθの値に比例して小さくなり、ピークも鈍くなる。また、観測点$Pi_aj_c$を通過したせん断波は、観測点Ｌ３上の観測点$Pi_a+1\ \ j_e$を通過するが、同様に観測点$Pi_a+1\ \ j_e$においても、観測点$Pi_aj_c$に最近接する観測点$Pi_a+1\ \ j_d$においても、変位量ｐのピークが鈍く、せん断波が観測点$Pi_a+1\ \ j_d$を通過したのか、観測点$Pi_a+1\ \ j_e$を通過したのかを特定できない。したがって、観測点$Pi_aj_c$を通過したせん断波が次にどの観測点を通過したかを特定できず、せん断波の伝播距離を精度よく特定することができない。そのため、解析対象決定部１１０１は、観測点$Pi_aj_c$のような、せん断波の進行方向と観測線とが略直交とはいえない観測点については、解析対象領域に含まれる観測点として特定しない。

【０１４４】

解析対象決定部１１０１は、領域Ｒ（ｉ，Ｊ）に含まれる全ての観測点についてパラメータｄｐを算出し（ステップＳ１５３４）、全ての領域Ｒ（ｉ，Ｊ）のそれぞれについて、ｄｐが最大となる観測点Ｐｉｊを特定する（ステップＳ１５３５、１５３６）。そして、ｉをインクリメントし（Ｓ１５３９）、ステップＳ１５３５で特定した観測点Ｐｉｊの座標に基づいて探索対象の領域Ｒ（ｉ，Ｊ）を設定し（ステップＳ１５３２）、領域Ｒ（ｉ，Ｊ）のそれぞれについて、ｄｐが最大となる観測点Ｐｉｊを特定する（ステップＳ１５３５、１５３６）、の動作を繰り返す（ステップＳ１５３７）。これにより、関心領域ｒｏｉ全体から解析対象領域を抽出する。

【０１４５】

次に、伝播情報解析部１１０は、解析対象領域に含まれる観測点Ｐｉｊのそれぞれについて、変位量が最大となる時刻ａｔを特定し、観測点Ｐｉｊの波面到達時刻Ｔｉｊとして、変位量ピークフレームデータｓｗｆを作成してデータ格納部１１５に出力する。

【０１４６】

図１１のＤ列は、変位量が最大となる時刻を関数値としてプロットした変位量ピークフレームデータｓｗｆであり、破線で囲まれた複数の観測点は、波面の到達時間が同一である観測点を示している。

【０１４７】

４．ステップＳ１５４における処理の詳細について

ステップＳ１５４では、弾性率算出部１１１は、関心領域ｒｏｉ内の解析対象領域に含まれる観測点Ｐｉｊについて、変位量ピークフレームデータｓｗｆに基づいてせん断波の伝播速度、または、弾性率を算出し、弾性率フレームデータｅｌｆを算出する。

【０１４８】
まず、伝播速度変換部１１０３は、データ格納部１１５から変位量ピークフレームデータｓｗｆを読み出し、以下のように伝播速度フレームデータｖｆｏに変換する。図１５は、波面の伝播速度の算出方法を示す模式図である。まず、波面速度変換部１１０３は、解析対象決定部１１０１によって特定された解析対象領域に含まれる複数の観測点を、観測点が特定された領域と、その領域の指標となった観測点との関係に基づいてグルーピングすることで、せん断波の伝播ルートを特定する。具体的には、観測点Ｐｉｊの位置を基にｉ座標がｉ＋１である領域Ｒ（ｉ＋１，ｊ）を設定して領域Ｒ（ｉ＋１，ｊ）から観測点Ｐ（ｉ＋１）ｊ’を特定したとした場合に、観測点Ｐｉｊと観測点Ｐ（ｉ＋１）ｊ’とを対応付ける。すなわち、第１の観測点と、当該第１の観測点の位置に基づいて設定された領域から特定された第２の観測点とを対応付ける。対応付けられた観測点同士を結んだ線が、せん断波の伝播ルートとなる。具体的には、観測点Ｐ１$ｊ_1$に対し、観測点Ｐ１$ｊ_1$に基づいて設定された領域から特定された観測点Ｐ２$Ｊ_2$を対応付ける。同様に、観測点Ｐ２$ｊ_2$に対し、観測点Ｐ２$ｊ_2$に基づいて設定された領域から特定された観測点Ｐ３$Ｊ_3$を対応付ける。これにより、せん断波の伝播ルートとして、観測点Ｐ１$Ｊ_1$－Ｐ２$Ｊ_2$－Ｐ３$Ｊ_3$－Ｐ４$Ｊ_4$－Ｐ５$Ｊ_5$－Ｐ６$Ｊ_6$を結んだ折れ線を特定する。同様に、せん断波の伝播ルートとして、観測点Ｐ１$Ｊ_7$－Ｐ２$Ｊ_8$－Ｐ３$Ｊ_9$－Ｐ４$Ｊ_{10}$－Ｐ５$Ｊ_{11}$－Ｐ６$Ｊ_{12}$を特定する。
【０１４９】
そして、伝播速度変換部１１０３は、対応付けられた２つの観測点間の距離を、各観測点の変位量ピーク時刻の差で除することにより、せん断波の速度を算出する。すなわち、
ｖｉｊ＝｛Ｔ（ｉ＋１）ｊ’－Ｔｉｊ｝／ｄ
ただし、Ｔｉｊは観測点Ｐｉｊの変位量ピーク時刻、Ｔ（ｉ＋１）ｊ’は観測点Ｐ（ｉ＋１）ｊ’の変位量ピーク時刻、ｄは、観測点Ｐｉｊと観測点Ｐ（ｉ＋１）ｊ’間の距離
弾性率変換部１１１１は、伝播速度フレームデータｖｆｏを弾性率フレームデータｅｌｆに変換する。観測点Ｐｉｊの弾性率Ｅｉｊは、以下の式で算出できる。
Ｅｉｊ＝Ｋ×$ｖｉｊ^2$
ここで、Ｋは定数であり、およそ３である。
【０１５０】
図１２のＥ列は、各送信イベントに対して算出した波面到達時間フレームデータａから算出した伝播速度フレームデータｖｆである。
【０１５１】
これにより、算出した弾性率Ｅｉｊを、弾性率Ｅｉｊを示すカラー情報に変換し、カラー情報を対応する観測点Ｐｉｊの位置にマッピングすることで、弾性画像を形成することができる。
【０１５２】
以上の手順により、弾性率算出部１１１は、弾性率フレームデータｅｌｆを生成してデータ格納部１１５に保存する（ステップＳ１５５４）。
【０１５３】
以上によりせん断波伝播解析に基づく弾性率計測の計算処理を終了する。
【０１５４】
＜まとめ＞
以上の構成により、せん断波の伝播方向が観測線に対してもっとも直交状態に近い観測点のみにおいて伝播解析が行われる。したがって、観測線に対して略直交するように伝播するせん断波、すなわち、観測線と波面とが略平行となるようなせん断波に対して、伝播解析の精度を高めることができる。さらに、観測線および観測点を碁盤の目型のメッシュ状ではなく、適切に設置することで、せん断波の伝播方向がいずれの方向であっても、伝播解析の精度を高めることが可能となる。したがって、上記構成によれば、伝播解析の精度向上を図ることが可能となる。
【０１５５】

また、１つの観測線に対して解析対象領域に含まれる観測点Ｐｉｊを特定した後、プッシュ波の送信焦点ＦＰｎより遠い側に隣接する観測線における観測点Ｐｉｊを特定する際、その検索範囲をすでに特定された観測点Ｐｉｊの近傍に限ってもよい。図１６に示したように、観測点Ｐｉｊを通過したせん断波は、観測点Ｐｉｊにおいて観測線に略直交する向きに伝播するため、観測点Ｐｉｊを通り、かつ、観測点Ｐｉｊにおいて観測線に直交する直線上またはその近傍に、他の観測点が存在する可能性が高いためである。このような構成とすることで、演算量を削減することができる。

【０１５６】

≪変形例≫

（１）実施の形態では、伝播解析の対象及び結果の表示を解析対象領域内に存在する観測点Ｐｉｊと限定したが、以下のように行ってもよい。例えば、変位量のピークとなる時刻の検出、せん断波の伝播速度の算出、弾性率への変換を関心領域内の全ての観測点に対して行った上で、弾性画像に、解析対象領域や観測点Ｐｉｊの変位量ｐの時間変化を示すパラメータｄｐを示す情報を重畳してもよい。例えば、図１７（ａ）の弾性画像の拡大例に示すように、弾性画像上に解析対象領域を示す矢印を表示する、としてもよい。または、例えば、図１７（ｂ）の弾性画像の拡大例に示すように、弾性画像上に各観測点の変位量ｐの時間変化を示すパラメータｄｐを表示するとしてもよい。図１７（ｂ）の例では、変位量を時間の関数として評価したときのピークの半値半幅ｈｔの逆数１／ｈｔを最大値が１００を超えないように規格化し、５刻みの値に丸めた値を表示している。または、図１７（ｃ）の弾性画像の拡大例のように、解析対象領域に含まれない観測点についても変位量のピークとなる時刻の検出、せん断波の伝播速度の算出、弾性率への変換を行った上で、パラメータｄｐが所定の基準に満たない観測点については色のマッピングを行わない、としてもよい。

【０１５７】

（２）実施の形態では、観測点の変位量ｐの時間変化を示すパラメータｄｐとして、変位量を時間の関数として評価したときのピークの半値半幅ｈｔの逆数１／ｈｔを用いたが、上述したように、観測点の変位量ｐの時間変化におけるピークの鋭さ（急峻度）を示す任意の値を用いてよい。例えば、変位量を時間の関数として評価したときのピークの半値全幅の逆数であってもよいし、ガウス関数で近似したときの分散値であってもよいし、あるいは、基準となるピークとの一致度であってもよい。

【０１５８】

（３）実施の形態では、超音波診断装置１００がプッシュ波パルス送信の工程に先立って基準検出波パルス送受信の工程を行い、変位検出部が、音響線信号フレームデータｄｓｌと、基準検出波パルス送受信で形成された基準音響線信号フレームデータｄｓ０との差分に基づいて、観測点Ｐｉｊの変位Ｐｔｉｊを検出し、変位Ｐｔｉｊを観測点Ｐｉｊの座標と関連付けて変位量フレームデータｐｔｌを生成する、とした。しかしながら、組織の変位量の検出方法はこの場合に限られない。例えば、超音波診断装置は基準検出波パルス送受信の工程を行わず、基準音響線信号フレームデータｄｓ０の生成を行わない。そして、変位検出部は、音響線信号フレームデータｄｓｌと、１つ前の送信イベントで取得された音響線フレームデータｄｓ（ｌ－１）との差分に基づいて、観測点Ｐｉｊの変位Ｐｔｉｊの、送信イベント間での変化量ΔＰｔｉｊを検出する。そして、観測点Ｐｉｊごとに、変位Ｐｔｉｊにおける複数の送信イベント間の変化量ΔＰｔｉｊを積算することで、観測点Ｐｉｊの変位Ｐｔｉｊを生成する。そして、変位Ｐｔｉｊを観測点Ｐｉｊの座標と関連付けて変位量フレームデータｐｔｌを生成する、としてもよい。なお、送信イベント間での変化量ΔＰｔｉｊの検出は連続する２つの送信イベント間とは限らず、任意の２つの音響線信号フレームデータｄｓｌの差分から、観測点Ｐｉｊの変位Ｐｔｉｊの変化量ΔＰｔｉｊを算出してもよい。

【０１５９】

（４）実施の形態および各変形例に係る超音波診断装置は、その構成要素の全部又は一部を、１チップ又は複数チップの集積回路で実現してもよいし、コンピュータのプログラ

ムで実現してもよいし、その他どのような形態で実施してもよい。例えば、伝播解析部と評価部とを１チップで実現してもよいし、超音波信号取得部のみを１チップで実現し、変位検出部等を別のチップで実現してもよい。

【０１６０】

集積回路で実現する場合、典型的には、ＬＳＩ（Ｌａｒｇｅ Ｓｃａｌｅ Ｉｎｔｅｇｒａｔｉｏｎ）として実現される。ここでは、ＬＳＩとしたが、集積度の違いにより、ＩＣ、システムＬＳＩ、スーパーＬＳＩ、ウルトラＬＳＩと呼称されることもある。

【０１６１】

また、集積回路化の手法はＬＳＩに限るものではなく、専用回路、又は汎用プロセッサで実現してもよい。ＬＳＩ製造後に、プログラムすることが可能なＦＰＧＡ（Ｆｉｅｌｄ Ｐｒｏｇｒａｍｍａｂｌｅ Ｇａｔｅ Ａｒｒａｙ）や、ＬＳＩ内部の回路セルの接続や設定を再構成可能なリコンフィギュラブル・プロセッサを利用してもよい。

【０１６２】

さらには、半導体技術の進歩、又は派生する別技術により、ＬＳＩに置き換わる集積回路化の技術が登場すれば、当然その技術を用いて機能ブロックの集積化を行ってもよい。

【０１６３】

また、各実施の形態および各変形例に係る超音波診断装置は、記憶媒体に書き込まれたプログラムと、プログラムを読み込んで実行するコンピュータとで実現されてもよい。記憶媒体は、メモリカード、ＣＤ－ＲＯＭなどいかなる記録媒体であってもよい。また、本発明に係る超音波診断装置は、ネットワークを経由してダウンロードされるプログラムと、プログラムをネットワークからダウンロードして実行するコンピュータとで実現されてもよい。

【０１６４】

（５）以上で説明した実施の形態は、いずれも本発明の好ましい一具体例を示すものである。実施の形態で示される数値、形状、材料、構成要素、構成要素の配置位置及び接続形態、工程、工程の順序などは一例であり、本発明を限定する主旨ではない。また、実施の形態における構成要素のうち、本発明の最上位概念を示す独立請求項に記載されていない工程については、より好ましい形態を構成する任意の構成要素として説明される。

【０１６５】

また、発明の理解の容易のため、上記各実施の形態で挙げた各図の構成要素の縮尺は実際のものと異なる場合がある。また本発明は上記各実施の形態の記載によって限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲において適宜変更可能である。

【０１６６】

さらに、超音波診断装置においては基板上に回路部品、リード線等の部材も存在するが、電気的配線、電気回路について当該技術分野における通常の知識に基づいて様々な態様を実施可能であり、本発明の説明として直接的には無関係のため、説明を省略している。尚、上記示した各図は模式図であり、必ずしも厳密に図示したものではない。

【０１６７】

≪補足≫

（１）実施の形態に係る超音波診断装置は、複数の振動子が列設されたプローブが接続可能に構成されており、前記プローブに被検体内に超音波ビームが集束するプッシュ波を送信させ、当該プッシュ波の音響放射圧により生じたせん断波の伝播速度を検出する超音波診断装置であって、前記複数の振動子から選択される複数の送信振動子を用いて、被検体内の１以上の送信焦点に集束するプッシュ波を送信させるプッシュ波パルス送信部と、前記プッシュ波の送信に続き、前記複数の振動子の一部または全部に検出波パルスを供給して前記複数の振動子に被検体内の解析対象範囲を示す関心領域を通過する検出波を複数回送信させる検出波パルス送信部と、前記複数回の検出波の各々に対応して前記複数の振動子にて時系列に受信された反射検出波に基づき、前記関心領域内の複数の観測点それぞれにおける組織の変位量を検出する変位検出部と、前記複数の観測点における組織の変位量の時間変化の急峻度に基づき、せん断波の伝播解析の対象となる解析対象領域を決定す

る解析対象決定部と、前記解析対象領域内に存在する複数の観測点における組織の変位量に基づいて、前記解析対象領域内に存在する観測点それぞれにおけるせん断波の伝播速度を算出する伝播情報解析部とを備えることを特徴とする。
また、実施の形態に係る超音波信号処理方法は、複数の振動子が列設されたプローブを用いて被検体内に超音波ビームが集束するプッシュ波を送信し、当該プッシュ波の音響放射圧により生じたせん断波の伝播速度を検出する超音波信号処理方法であって、前記複数の振動子から選択される複数の送信振動子を用いて、被検体内の１以上の送信焦点に集束するプッシュ波を送信させ、前記プッシュ波の送信に続き、前記複数の振動子の一部または全部に検出波パルスを供給して前記複数の振動子に被検体内の解析対象範囲を示す関心領域を通過する検出波を複数回送信させ、前記複数回の検出波の各々に対応して前記複数の振動子にて時系列に受信された反射検出波に基づき、前記関心領域内の複数の観測点それぞれにおける組織の変位量を検出し、前記複数の観測点における組織の変位量の時間変化の急峻度に基づき、せん断波の伝播解析の対象となる解析対象領域を決定し、前記解析対象領域内に存在する複数の観測点における組織の変位量に基づいて、前記解析対象領域内に存在する観測点それぞれにおけるせん断波の伝播速度を算出することを特徴とする。
【０１６８】
本開示によれば、上記構成により、被検体内部において、せん断波の伝播方向が仮定した方向と同じ領域についてせん断波の伝播解析を行うため、せん断波の伝播方向のずれによる誤差を抑止し、伝播解析の精度を向上させることができる。また、せん断波の伝播方向を解析する必要がないため、伝播解析の演算量を低減させることができる。
【０１６９】
（２）また、上記（１）の超音波診断装置は、前記伝播情報解析部は、前記解析対象領域内に存在する各観測点について、変位量の値が最大となる時刻を特定し、特定した時刻をせん断波が当該観測点を通過した時刻としてせん断波の速度を算出する、としてもよい。
【０１７０】
これにより、変位量の値が最大となる時刻に基づいてせん断波の波面が特定できるため、演算量の少ない処理によって伝播解析を行うことができる。
【０１７１】
（３）また、上記（１）または（２）の超音波診断装置は、前記解析対象決定部は、前記送信焦点が存在する深度を含む所定範囲の深度に存在する観測点における組織の変化量の時間変化に基づき、前記所定範囲の深度から前記解析対象領域を選択する。
【０１７２】
これにより、送信焦点から伝播するせん断波が観測線に対して略直交する向きに通過する可能性が十分に高い領域のみを対象として解析対象領域の決定を行うことができるため、関心領域の全域で解析対象領域の決定を行う必要がなく、演算量を削減することができる。
（４）また、上記（１）または（２）の超音波診断装置は、前記解析対象決定部は、前記送信焦点に近い側に隣接する音響線上で決定された前記解析対象領域を含む所定範囲の深度に存在する観測点における組織の変化量の時間変化に基づき、前記所定範囲の深度から当該音響線上の解析対象領域を選択する、としてもよい。
【０１７３】
これにより、すでに特定された観測点を通過したせん断波が到達しうる領域を対象として、せん断波の動きを追うように解析対象領域に含まれる観測点の探索を行うことができるため、関心領域の全域で解析対象領域の決定を行う必要がなく、演算量を削減することができる。
【０１７４】
（５）また、上記（１）から（４）の超音波診断装置は、前記解析対象決定部は、深度の異なる複数の観測点のうち、組織の変位量の時間変化が最大である観測点が存在している深度を解析対象領域として決定する、としてもよい。

【０１７５】
（６）また、上記（１）から（４）の超音波診断装置は、前記解析対象決定部は、深度の異なる複数の観測点のうち、組織の変位量の時間変化のプロファイルが所定のプロファイルに適合する観測点が存在している深度を解析対象領域として決定する、としてもよい。
【０１７６】
これにより、せん断波の伝播方向と、伝播解析において観測線とせん断波の伝播方向とが略直交する観測点を、解析対象領域として抽出することができる。
【０１７７】
（７）また、上記（１）から（６）の超音波診断装置は、前記プッシュ波パルス送信部は、深度の異なる複数の送信焦点に対し、深度の順に連続してプッシュ波を送信させる、としてもよい。
【０１７８】
これにより、複数の送信焦点から伝播した複数のせん断波が合成されることで、波面形状が平面に近いせん断波となるため、解析対象領域が広域化し、広範囲にわたって精度の高い伝播解析が可能となる。
【０１７９】
（８）また、上記（１）から（６）の超音波診断装置は、前記プッシュ波パルス送信部は、深度の異なる複数の送信焦点から一の送信焦点を選択してプッシュ波を送信し、前記変位検出部は、前記プッシュ波に対応して受信された反射検出波に基づき、前記関心領域内の一部または全部の観測点それぞれにおける組織の変位量を検出し、前記送信焦点を変更しながら前記プッシュ波パルス送信部によるプッシュ波送信と前記変異検出部による変位量の検出とを行い、前記関心領域内の全部の観測点における組織の変位量を検出するとしてもよい。
【０１８０】
これにより、１回のプッシュ波の送信とそれに続く反射検出波に基づく変位量の検出により検出される変位量の精度が十分でない場合に、送信焦点を変更しながら当該動作を繰り返すことで、関心領域内の全部の観測点における組織の変位量を高精度に検出することができる。
【０１８１】
（９）また、上記（１）から（８）の超音波診断装置は、前記せん断波の伝播速度に基づいて、前記解析対象領域内に存在する複数の観測点それぞれにおける、前記被検体の弾性率を示す情報を出力する画像出力部をさらに備える、としてもよい。
【０１８２】
（１０）また、上記（９）の超音波診断装置は、前記画像出力部は、前記関心領域内の複数の観測点相互の位置関係と、各観測点の弾性率を示す情報とを示す弾性画像を出力する、としてもよい。
【０１８３】
これにより、せん断波の伝播解析に基づく弾性率の分布を画像として分かりやすく示すことができる。
【０１８４】
（１１）また、上記（１０）の超音波診断装置は、前記伝播情報解析部は、さらに、前記関心領域に含まれ前記解析対象領域内に存在しない観測点について、せん断波の伝播速度を算出し、前記画像出力部は、前記弾性画像に、前記関心領域に含まれ前記解析対象領域内に存在しない観測点の弾性率を示す情報を出力する、としてもよい。
【０１８５】
これにより、せん断波の伝播解析の精度が低い領域についても、弾性率を表示することができる。
【０１８６】
（１２）また、上記（９）または（１０）の超音波診断装置は、前記解析対象決定部は

、前記複数の観測点における組織の変位量の時間変化の急峻度を示すパラメータを算出し、前記画像出力部は、前記パラメータを前記弾性画像に重畳して出力する、としてもよい。

【０１８７】

これにより、各観測点の弾性率について精度の高低を示すことができる。

【０１８８】

（１３）また、上記（１０）の超音波診断装置は、前記解析対象決定部は、前記複数の観測点における組織の変位量の時間変化の急峻度を示すパラメータを算出し、前記画像出力部は、前記パラメータが所定の基準以上である観測点についてのみ、前記弾性画像に弾性率を示す情報を出力する、としてもよい。

【０１８９】

これにより、解析対象領域以外の観測点のうち、弾性率の精度が高い観測点のみについて弾性率を示すことができる。

【０１９０】

（１４）また、上記（１０）から（１３）の超音波診断装置は、前記画像出力部は、前記解析対象領域に対応する観測点の位置を前記弾性画像に重畳して出力する、としてもよい。

【０１９１】

これにより、弾性率の精度が高い観測点の位置を弾性率とともに示すことができる。

【産業上の利用可能性】

【０１９２】

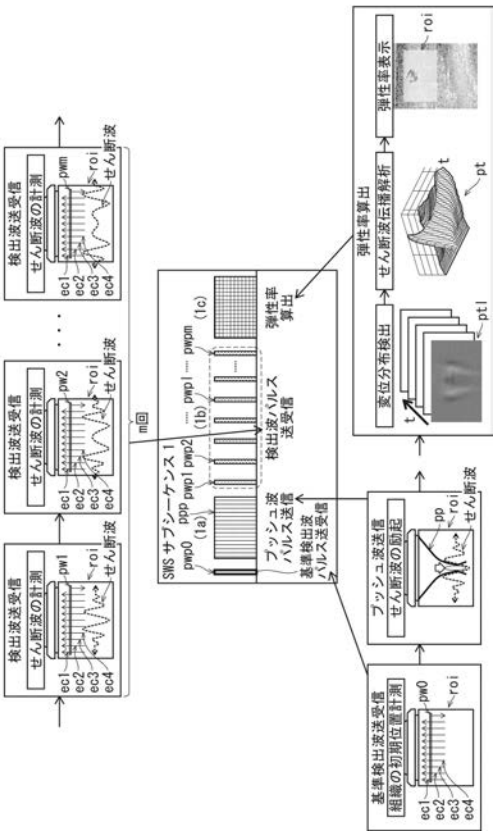
本開示に係る超音波診断装置、および、超音波信号処理方法は、超音波を用いた組織の硬さの測定に有用である。そのため、組織の硬さの測定精度を向上させることが可能となり、医療診断機器等において高い利用可能性を持つ。

【符号の説明】

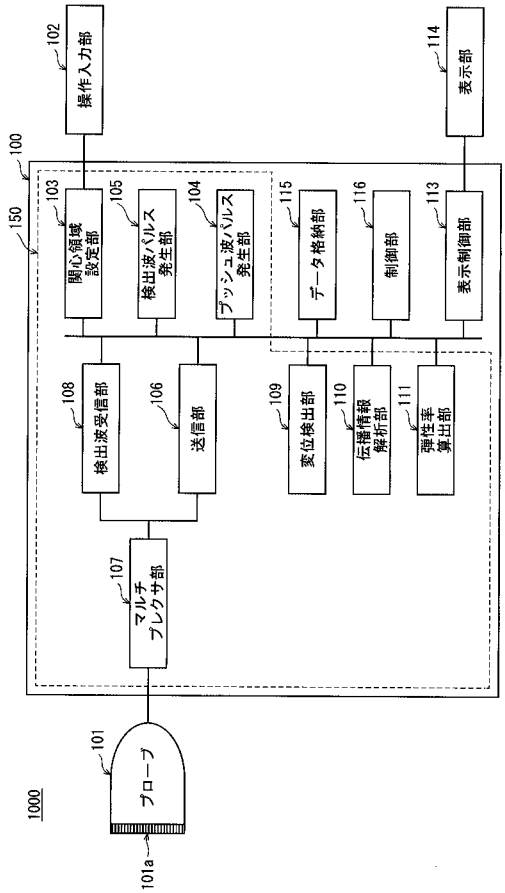
【０１９３】

１００　超音波診断装置
１０１　プローブ
１０１ａ　振動子
１０２　操作入力部
１０３　関心領域設定部
１０４　プッシュ波パルス発生部
１０５　検出波パルス発生部
１０６　送信部
１０７　マルチプレクサ部
１０８　検出波受信部
１０９　変位検出部
１１０　伝播情報解析部
１１１　弾性率算出部
１１３　表示制御部
１１４　表示部
１１５　データ格納部
１１６　制御部
１５０　超音波信号処理回路
１０００　超音波診断システム

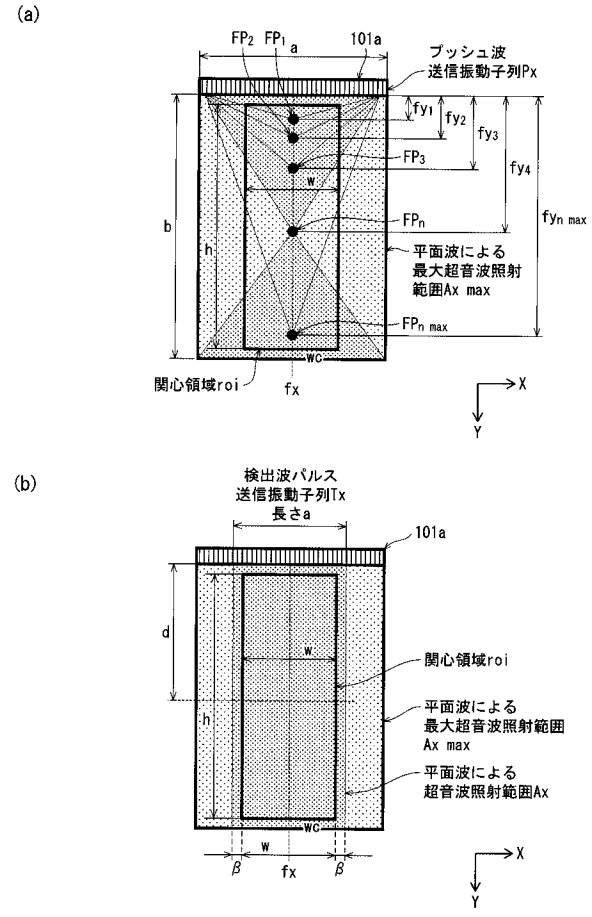
【図１】


検出波送受信
せん断波の計測
ec1
ec2
ec3
ec4
pwm
pw2
pw1
roi
せん断波
m回
SMS サブシーケンス 1
ppp
pwp2
pwp1
pwp0
(1a)
(1b)
(1c)
pwp1 — pwpm
プッシュ波
パルス送信
検出波パルス
送受信
基準検出波
パルス送受信
弾性率
算出
弾性率算出
せん断波伝播解析
弾性率表示
変位分布検出
pt
pt1
t
プッシュ波送信
せん断波の励起
pp
基準検出波送受信
組織の初期位置計測

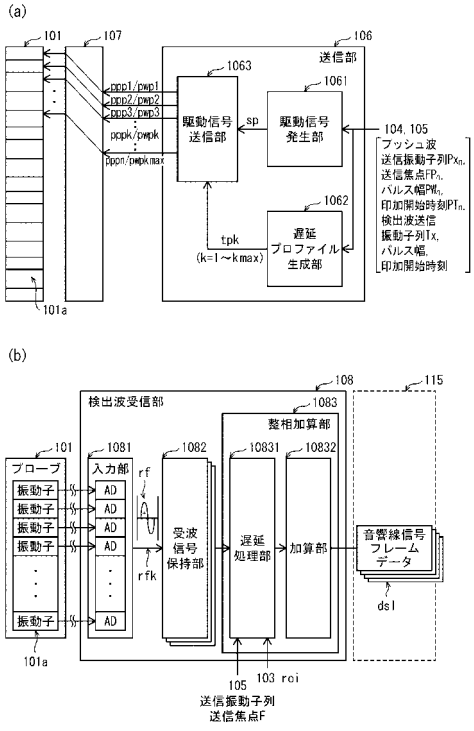
【図２】


操作入力部
表示部
関心領域
設定部
検出波パルス
発生部
プッシュ波パルス
発生部
データ格納部
制御部
表示制御部
検出波受信部
送信部
変位検出部
伝播情報
解析部
弾性率
算出部
マルチ
プレクサ部
プローブ
100
101
101a
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
113
114
115
116
150
1000

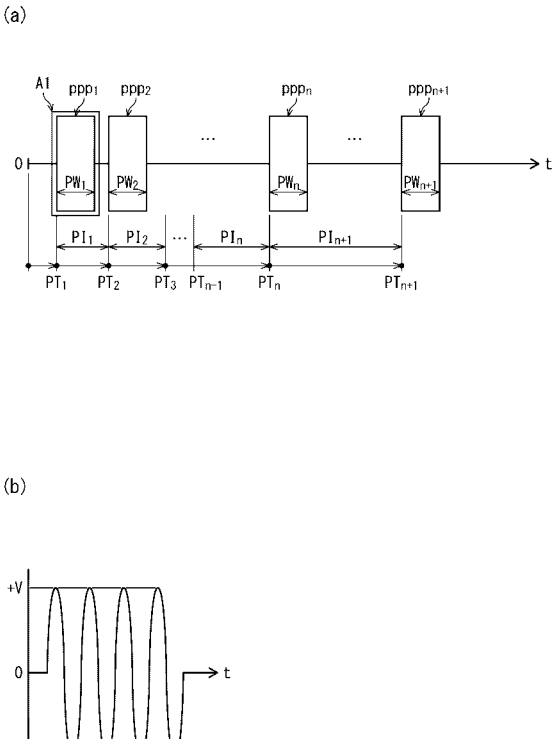
【図３】


(a)
FP2
FP1
a
101a
プッシュ波
送信振動子列Px
fy1
fy2
fy3
fy4
FP3
FPn
fyn max
w
b
h
平面波による
最大超音波照射
範囲Ax max
FPn max
wc
関心領域roi
fx
X
Y
(b)
検出波パルス
送信振動子列Tx
長さa
101a
d
w
h
関心領域roi
平面波による
最大超音波照射範囲
Ax max
平面波による
超音波照射範囲Ax
wc
β
fx
β
X
Y

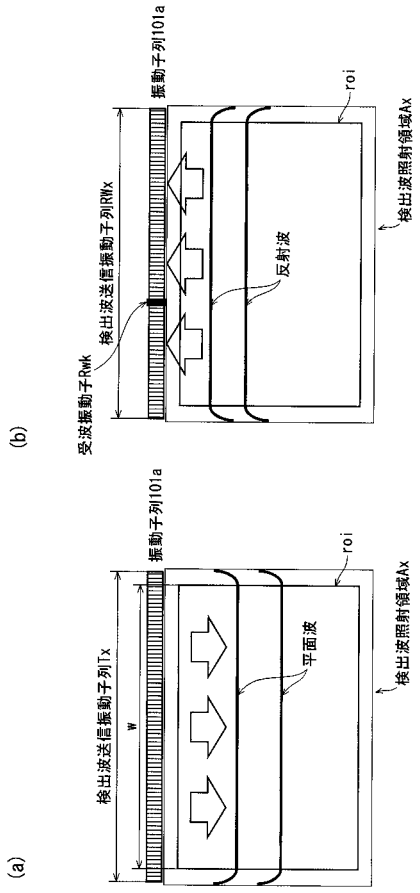
【図４】


(a)
101
107
106
送信部
1063
1061
ppp1/pwp1
ppp2/pwp2
ppp3/pwp3
pppk/pwpk
pppn/pwpk max
駆動信号
送信部
sp
駆動信号
発生部
104, 105
プッシュ波
送信振動子列Pxn,
送信集点FPn,
パルス幅Pwn,
印加開始時刻PTn,
検出波送信
振動子列Tx,
パルス幅,
印加開始時刻
1062
遅延
プロファイル
生成部
tpk
(k=1～kmax)
101a
(b)
108
115
検出波受信部
1083
整相加算部
101
プローブ
1081
入力部
1082
10831
10832
振動子
AD
rf
rfk
受波
信号
保持部
遅延
処理部
加算部
音響線信号
フレーム
データ
dsl
105
送信振動子列
送信集点F
103 roi

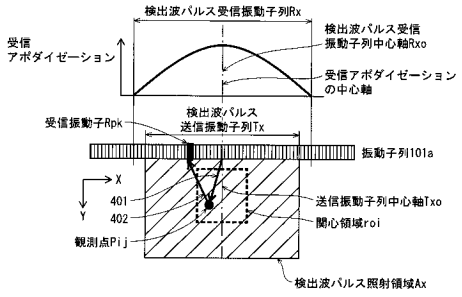
【図５】


(a)
A1
ppp1
ppp2
pppn
pppn+1
0
t
PW1
PW2
PWn
PWn+1
PI1
PI2
PIn
PIn+1
PT1
PT2
PT3
PTn-1
PTn
PTn+1
(b)
+V
0
-V
t

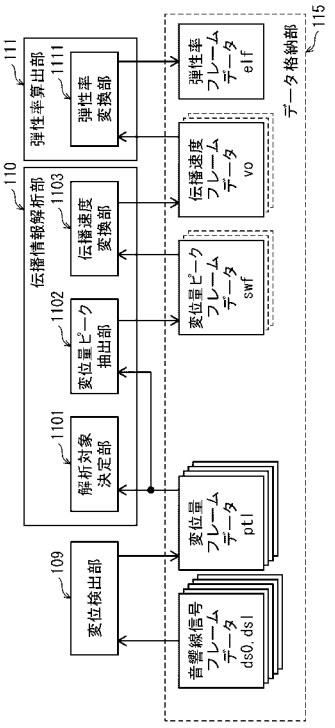
【図６】


(b)
振動子列101a
roi
検出波照射領域Ax
検出波送信振動子列RWk
受波振動子RWk
反射波
(a)
振動子列101a
roi
検出波照射領域Ax
検出波送信振動子列Tx
w
平面波

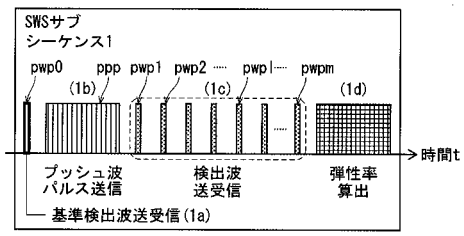
【図７】


検出波パルス受信振動子列Rx
受信
アポダイゼーション
検出波パルス受信
振動子列中心軸Rxo
受信アポダイゼーション
の中心軸
検出波パルス
送信振動子列Tx
受信振動子Rpk
振動子列101a
X
Y
401
402
送信振動子列中心軸Txo
関心領域roi
観測点Pij
検出波パルス照射領域Ax

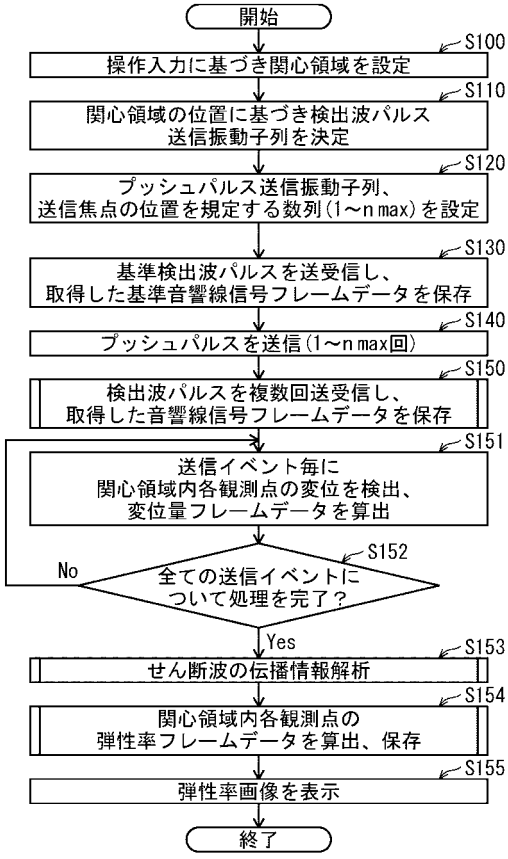
【図８】


データ格納部
115
111
弾性率算出部
1111
弾性率
変換部
110
伝播情報解析部
1103
伝播速度
変換部
1102
変位量ピーク
抽出部
1101
解析対象
決定部
109
変位検出部
弾性率
フレーム
データ
elf
伝播速度
フレーム
データ
vo
変位量ピーク
フレーム
データ
swf
変位量
フレーム
データ
ptl
音響線信号
フレーム
データ
ds0, dsl

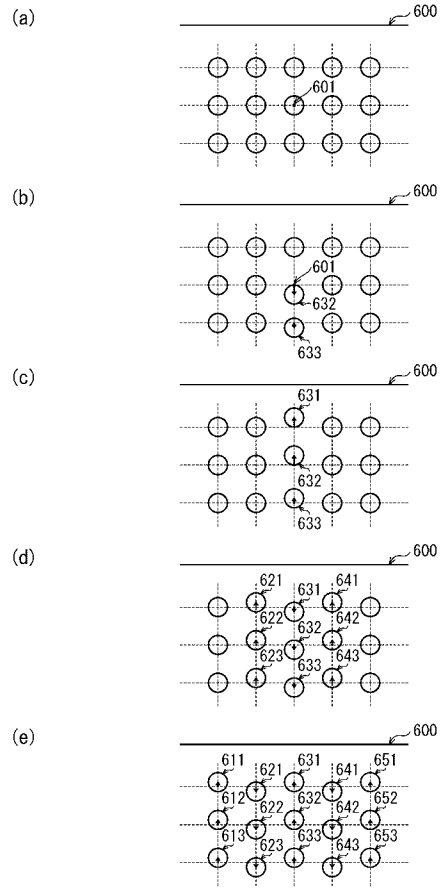
【図９】



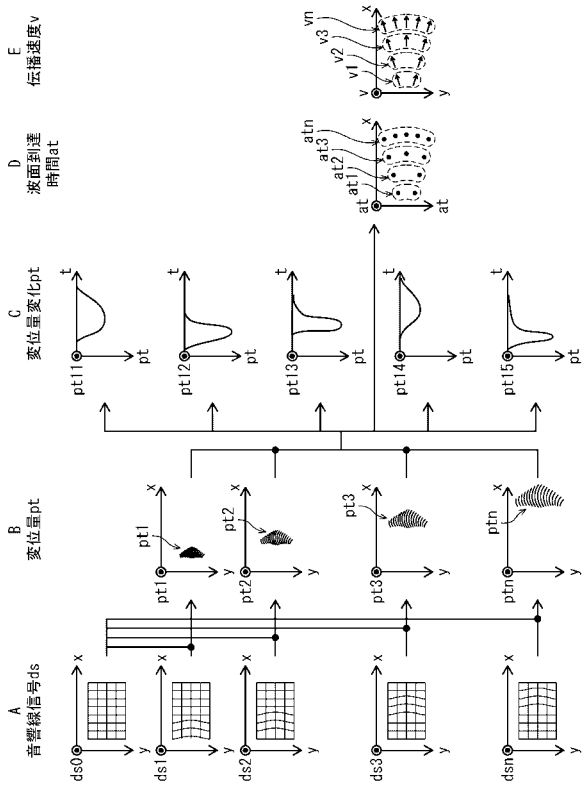

【図１０】



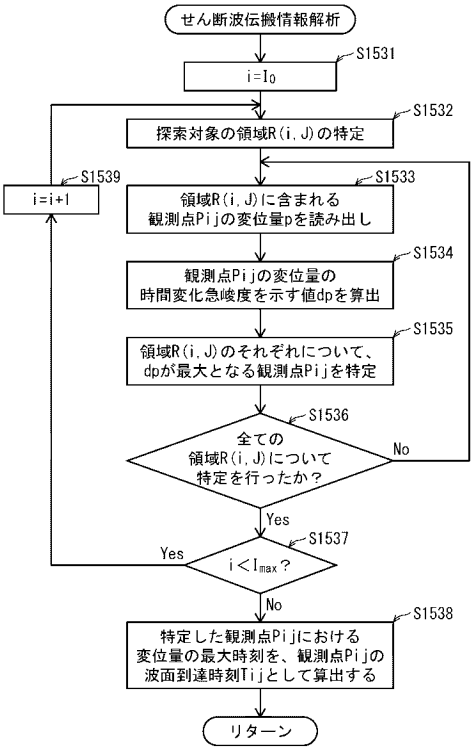

【図１１】



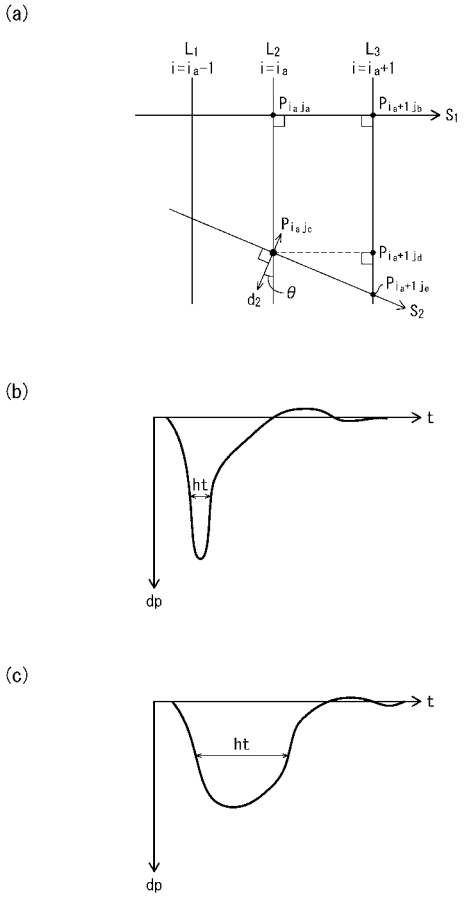

【図１２】



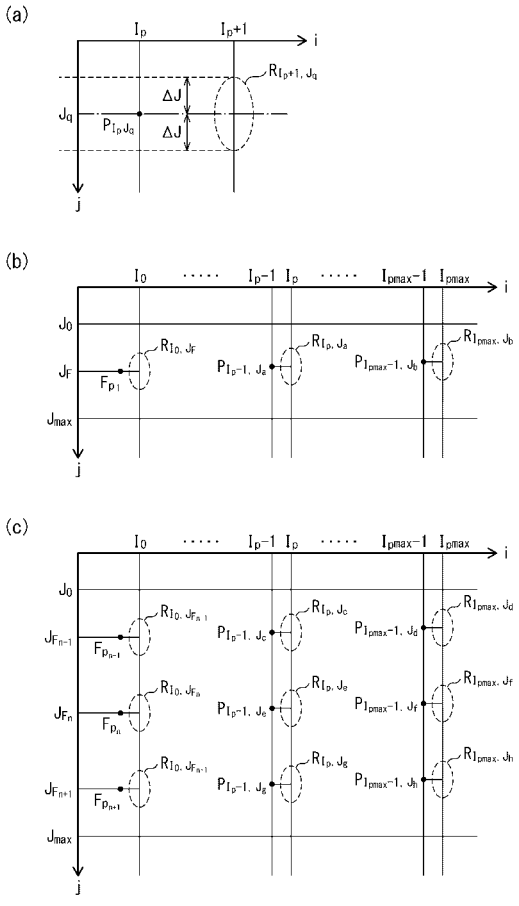
【図１３】



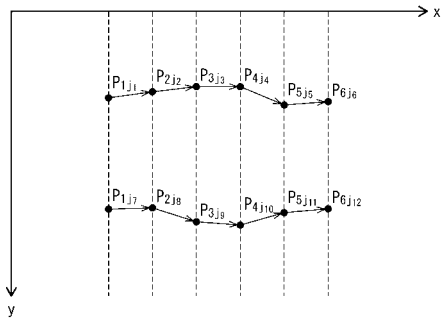

【図１４】




【図１５】

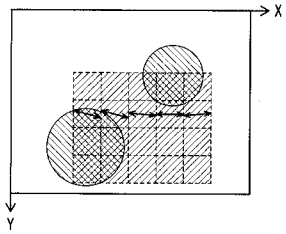



【図１６】

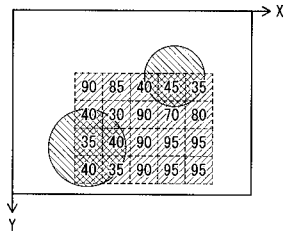


【図１７】

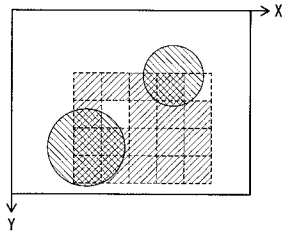
(a)



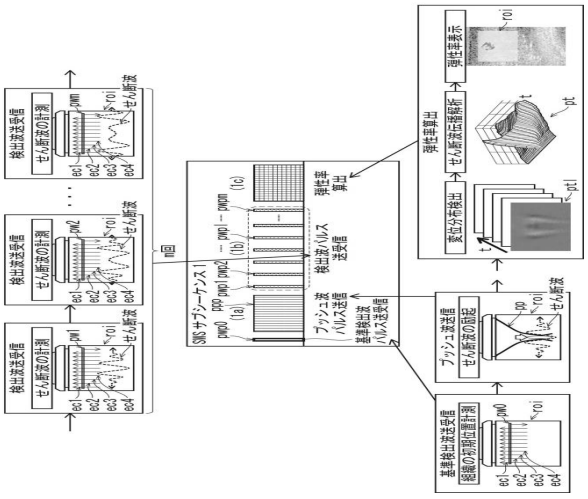

(b)




(c)



| | | | |
|---|---|---|---|
| 专利名称(译) | 超声诊断仪及超声信号处理方法 | | |
| 公开(公告)号 | JP2019187777A | 公开(公告)日 | 2019-10-31 |
| 申请号 | JP2018083920 | 申请日 | 2018-04-25 |
| [标]申请(专利权)人(译) | 柯尼卡株式会社 | | |
| 申请(专利权)人(译) | 柯尼卡美能达有限公司 | | |
| [标]发明人 | 布施優 | | |
| 发明人 | 布施 優 | | |
| IPC分类号 | A61B8/08 | | |
| CPC分类号 | A61B8/4488 A61B8/463 A61B8/485 A61B8/5207 A61B8/5246 A61B8/54 G01S7/52022 G01S7/52042 G01S7/52071 G01S15/8915 | | |
| FI分类号 | A61B8/08 | | |
| F-TERM分类号 | 4C601/DD19 4C601/DD23 4C601/EE09 4C601/EE10 4C601/GB04 4C601/HH25 4C601/JB50 4C601/JC37 4C601/KK02 4C601/KK24 4C601/KK31 4C601/KK45 | | |
| 外部链接 | Espacenet | | |


摘要(译)

为了提高测量超声弹性模量时测量结果的可靠性。解决方案：超声诊断设备使推波的传输检测由推波的声辐射压力产生的切波的传播速度，包括： 推波脉冲发送单元，用于发送会聚到被检体中的一个或多个发送焦点的推波。 检测波脉冲发送单元，用于在推波的发送之后多次发送穿过被检体内的关注区域的检测波。 位移检测单元，用于根据与检测波的多次发送相对应的，按时间序列接收的每个检测波的反射，来检测关注区域中的多个观察点的每一个的组织的位移量。 分析目标确定单元，用于基于位移量的时间变化的陡度来确定分析目标区域，在该分析目标区域中分析了剪切波的传播； 以及传播信息分析单元，其基于分析目标区域中多个观察点处的组织的位移来计算分析目标区域中每个观察点处的剪切波的传播速度。