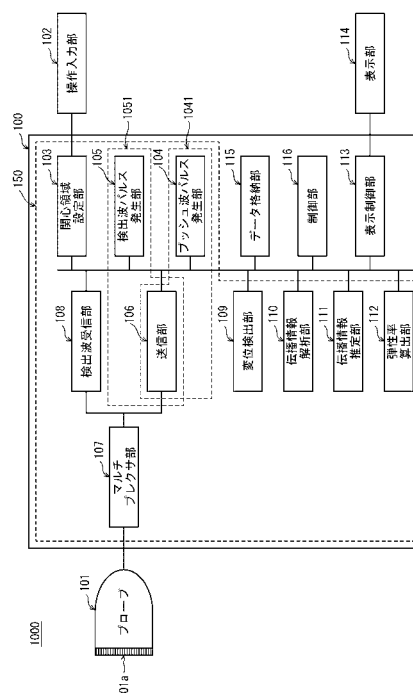




【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

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の特定部位に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、

前記複数の振動子にプッシュ波パルスを供給することにより、前記複数の振動子に前記特定部位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、

前記プッシュ波パルスに続き、前記複数の振動子に検出波パルスを供給して前記複数の振動子に被検体中の解析対象範囲を表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被検体組織からの反射検出波に基づき、前記関心領域内の複数の観測点について音響線信号を生成して音響線信号フレームデータのシーケンスを生成する検出波受信部と、

前記音響線信号フレームデータのシーケンスから、前記反射検出波の受信時刻それぞれにおける前記関心領域内の組織の変位を検出して変位量フレームデータのシーケンスを生成する変位検出部と、

各前記受信時刻における前記変位量フレームデータからせん断波の波面位置を抽出して波面フレームデータのシーケンスを生成し、複数の前記波面フレームデータそれぞれに含まれる波面の位置と前記受信時刻とを対応させることにより波面到達時間フレームデータを生成する伝播情報解析部と、

前記波面到達時間フレームデータ中の波面到達時間データの信頼度を評価し、前記波面到達時間フレームデータ中の所定の条件を満たさない信頼度不適合波面到達時間データを、所定の条件を満たす前記波面到達時間データに基づき補間して補償波面到達時間データを生成し、前記信頼度不適合波面到達時間データを前記補償波面到達時間データに置き換えて補償波面到達時間フレームデータを生成する伝播情報推定部と、

前記補償波面到達時間フレームデータに基づき、前記関心領域内のせん断波の伝播速度、又は、弾性率を算出する弾性率算出部とを備えた

超音波診断装置。

【請求項 2】

前記伝播情報推定部は、前記波面到達時間フレームデータ中の、当該フレームデータが依拠した前記音響線信号フレームデータにおける音響線信号の信号強度が閾値以下である信頼度不適合領域に含まれる前記波面到達時間データを前記信頼度不適合波面到達時間データとする

請求項 1 に記載の超音波処理装置。

【請求項 3】

前記伝播情報推定部は、前記波面到達時間フレームデータ中の、当該フレームデータが依拠した前記変位量フレームデータにおける変位量データの絶対値が閾値以下である信頼度不適合領域に含まれる前記波面到達時間データを前記信頼度不適合波面到達時間データとする

請求項 1 に記載の超音波処理装置。

【請求項 4】

前記伝播情報推定部は、スプライン補間法、又は折れ線近似補間法を用いて前記信頼度不適合波面到達時間データを補償する

請求項 1 から 3 の何れか 1 項に記載の超音波処理装置。

【請求項 5】

前記伝播情報解析部は、前記変位量フレームデータのシーケンスに基づいて着目観測点と所定距離離れた参照観測点における変位の時系列変化データをそれぞれ算出し、前記複数の時系列変化データ間において相互相関処理を行うことにより、前記着目観測点と前記参照観測点間における変位の移行時間を算出し、前記所定距離を前記移行時間で除することにより前記着目観測点に対するせん断波の伝播速度を算出し、前記関心領域内の複数の

10

20

30

40

50

観測点を前記着目観測点としてせん断波の伝播速度を算出することにより伝播速度フレームデータをダイレクトに生成する相関処理部を備え、

前記弾性率算出部は、前記波面到達時間フレームデータ中の信頼度不適合波面到達時間データが得られた前記関心領域内の信頼度不適合領域については、前記補償波面到達時間フレームデータに依拠した伝播速度データに基づき弾性率データを算出し、

前記関心領域内の前記信頼度不適合領域以外の領域については、前記ダイレクトに生成した伝播速度データに基づき弾性率データを算出する

請求項 1 から 4 の何れか 1 項に記載の超音波処理装置。

【請求項 6】

さらに、画像を表示する表示部を備え、

前記弾性率算出部は、前記弾性率フレームデータをマッピングして弾性画像を生成し、当該弾性画像を表示用の画像に変換して前記表示部に表示させる

請求項 1 から 5 の何れか 1 項に記載の超音波処理装置。

【請求項 7】

前記弾性率算出部は、前記補償波面到達時間データに依拠する前記弾性率データを前記補償波面到達時間データに依拠しない弾性率データと異なる態様にて表示するように弾性画像を生成する、

請求項 6 に記載の超音波診断装置。

【請求項 8】

前記検出波は、被検体中を前記複数の振動子の列と垂直に伝播する平面波である

請求項 1 から 7 の何れか 1 項に記載の超音波処理装置。

【請求項 9】

前記検出波パルスの送信振動子の列中心と前記関心領域の前記列方向の中心とは合致する

請求項 1 から 8 の何れか 1 項に記載の超音波診断装置。

【請求項 10】

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の特定部位に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の制御方法であって、

前記複数の振動子にプッシュ波パルスを供給することにより、前記複数の振動子に前記特定部位に集束するプッシュ波を送信させる、

前記プッシュ波パルスに続き、前記複数の振動子に検出波パルスを送信して前記複数の振動子に被検体中の解析対象範囲を表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被検体組織からの反射検出波に基づき、前記関心領域内の複数の観測点について音響線信号を生成して音響線信号フレームデータのシーケンスを生成し、

前記音響線信号フレームデータのシーケンスから、前記反射検出波の受信時刻それぞれにおける前記関心領域内の組織の変位を検出して変位量フレームデータのシーケンスを生成し、

各前記受信時刻における前記変位量フレームデータからせん断波の波面位置を抽出して波面フレームデータのシーケンスを生成し、複数の前記波面フレームデータそれぞれに含まれる波面の位置と前記受信時刻とを対応させることにより波面到達時間フレームデータを生成し、

前記波面到達時間フレームデータ中の波面到達時間データの信頼度を評価し、前記波面到達時間フレームデータ中の信頼度不適合波面到達時間データを、所定の条件を満たす前記波面到達時間データに基づき補間して補償波面到達時間データを生成し、前記信頼度不適合波面到達時間データを前記補償波面到達時間データに置き換えて補償波面到達時間フレームデータを生成し、

前記補償波面到達時間フレームデータに基づき、前記関心領域内のせん断波の伝播速度、又は、弾性率を算出する

10

20

30

40

50

超音波診断装置の制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、超音波診断装置、及び超音波診断装置の制御方法に関し、特に、せん断波を用いた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。

10

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瘍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。

【0003】

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、2）。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】米国特許公報US7252004号

【特許文献2】米国特許公報US7374538号

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、超音波弾性率計測による検査では、弾性画像取得の信号のS/Nを高め弾性画像の高画質化を図ることにより、病変の細かい変化の確認を容易にすることが求められている。

しかしながら、被検体中の組織中に反射波が得にくい部分などがあり検出された音響線信号の信号強度が微小である場合には、検出の精度が低く音響線信号から所定の精度以上でせん断波による組織の変位を検出することが難しかった。また、被検体中の組織中に固い部分があり検出された変位量の絶対値が微小である場合には、検出の精度が低く変位量から所定の精度以上でせん断波の波面を算出することが難しかった。その結果、生成された弾性画像上において、本来高弾性率として表示されるべき組織内の固い部分に対応する画像領域において、弾性率が算出されていないことに起因する画像抜けが発生することがあった。

40

【0006】

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、測定した波面到達時間データの信頼度が低い不適合領域における弾性画像の画像抜けを抑制することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

50

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の特定部位に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、前記複数の振動子にプッシュ波パルスを供給することにより、前記複数の振動子に前記特定部位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、前記プッシュ波パルスに続き、前記複数の振動子に検出波パルスを送信して前記複数の振動子に被検体中の解析対象範囲を表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被検体組織からの反射検出波に基づき、前記関心領域内の複数の観測点について音響線信号を生成して音響線信号フレームデータのシーケンスを生成する検出波受信部と、前記音響線信号フレームデータのシーケンスから、前記反射検出波の受信時刻それぞれにおける前記関心領域内の組織の変位を検出して変位量フレームデータのシーケンスを生成する変位検出部と、各前記受信時刻における前記変位量フレームデータからせん断波の波面位置を抽出して波面フレームデータのシーケンスを生成し、複数の前記波面フレームデータそれぞれに含まれる波面の位置と前記受信時刻とを対応させることにより波面到達時間フレームデータを生成する伝播情報解析部と、前記波面到達時間フレームデータ中の波面到達時間データの信頼度を評価し、前記波面到達時間フレームデータ中の所定の条件を満たさない信頼度不適合波面到達時間データを、所定の条件を満たす前記波面到達時間データに基づき補間して補償波面到達時間データを生成し、前記信頼度不適合波面到達時間データを前記補償波面到達時間データに置き換えて補償波面到達時間フレームデータを生成する伝播情報推定部と、前記補償波面到達時間フレームデータに基づき、前記関心領域内のせん断波の伝播速度、又は、弾性率を算出する弾性率算出部とを備えたことを特徴とする。

10

20

【発明の効果】

【0008】

本開示の一態様に係る超音波診断装置及び超音波信号処理方法によれば、超音波弾性率計測において、測定した波面到達時間データの信頼度が低い不適合領域における弾性画像の画像抜けを抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

30

【図1】実施の形態1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。

40

【図5】プッシュ波の概要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、伝播情報推定部111、弾性率算出部112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。

50

【図 1 1】(a) から (e) は、プッシュ波パルス $p p$ によるせん断波の生成の様子を示す模式図である。

【図 1 2】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 1 3】超音波診断装置 1 0 0 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 1 4】(a) から (f) は、せん断波の伝播解析の動作を示す模式図である。

【図 1 5】(a) (b) は、せん断波の伝播状態を示す模式図である。

【図 1 6】超音波診断装置 1 0 0 におけるせん断波の伝播情報推定の動作を示すフローチャートである。

【図 1 7】(a) (b) せん断波の伝播推定の動作を示す模式図である。

10

【図 1 8】せん断波の伝播推定の動作を示す模式図である。

【図 1 9】超音波診断装置 1 0 0 における弾性率算出の動作を示すフローチャートである。

【図 2 0】受信ビームフォーミングの動作を示すフローチャートである。

【図 2 1】音響線信号フレームデータ生成動作を示すフローチャートである。

【図 2 2】観測点 $P i j$ についての音響線信号データ生成動作を示すフローチャートである。

【図 2 3】実施の形態 2 に係る超音波診断装置 1 0 0 A における、変位検出部 1 0 9、伝播情報解析部 1 1 0 A、伝播情報推定部 1 1 1、弾性率算出部 1 1 2 A の構成を示す機能ブロック図である。

20

【図 2 4】(a) (b) は、超音波診断装置 1 0 0 A のせん断波の伝播解析の動作を示す模式図である。

【図 2 5】超音波診断装置 1 0 0 A 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 2 6】超音波診断装置 1 0 0 A における弾性率算出の動作を示すフローチャートである。

【図 2 7】図 2 5 におけるステップ $S 1 5 3 2 A$ 、 $S 1 5 3 3 A$ の動作を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0 0 1 0】

30

実施の形態 1

超音波診断装置 1 0 0 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 1 0 0 における超音波弾性率計測法による $S W S$ シーケンスの概要を示す概略図である。図 1 中央の枠内に示すように、超音波診断装置 1 0 0 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。

【0 0 1 1】

「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 $p w p 0$ を送信して、複数の振動子に被検体中の関心領域 $r o i$ に対応する範囲に検出波 $p w 0$ の送信と反射波 $e c 1 \sim 4$ 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。「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 $p p p$ 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集束させたプッシュ波 $p p$ を送信させて、被検体組織にせん断波励起させる。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 $p w p 1$ (1 は 1 から検出波パルス $p w p$ の送信回数 m までの自然数、番号を区別しない場合は検出波パルス $p w p 1$ とする) を送信して、複数の振動子に検出波 $p w 1$ の送信と反射波 $e c 1 \sim 4$ の受信とを複数回繰り返し行わせることで、せん断波を計測する。「弾性率算出」の工程では、まず、プッシュ波の音響放射圧により生じたせん断波の伝播に伴う組織の変位分布 $p t 1$ を時系列に算出し、次に、得られた変位分布 $p t 1$ 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、最後に組織弾性の分布を、例えば画像化して弾性率画

40

50

像として表示する。

【 0 0 1 2 】

以上に示した、プッシュ波 p p 送信に基づく 1 回のせん断波励起に伴う一連の工程を「 S W S シーケンス」((S W S : Shear Wave Speed)、複数回の「 S W S シーケンス」が統合された工程を「統合 S W S シーケンス」とする。

< 超音波診断システム 1 0 0 0 >

1 . 構成概要

実施の形態 1 に係る超音波診断装置 1 0 0 を含む超音波診断システム 1 0 0 0 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 1 に係る超音波診断システム 1 0 0 0 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 1 0 0 0 は、被検体 10 に向けて超音波を送信し、その反射波の受信する先端表面に列設された複数の振動子 (振動子列) 1 0 1 a を有する超音波プローブ 1 0 1 (以下、「プローブ 1 0 1」とする)、プローブ 1 0 1 に超音波の送受信を行わせプローブ 1 0 1 からの出力信号に基づき超音波画像を生成する超音波診断装置 1 0 0、検査者からの操作入力を受け付ける操作入力部 1 0 2、超音波画像を画面上に表示する表示部 1 1 4 を有する。プローブ 1 0 1、操作入力部 1 0 2、表示部 1 1 4 は、それぞれ、超音波診断装置 1 0 0 に各々接続可能に構成されている。図 1 は超音波診断装置 1 0 0 に、プローブ 1 0 1、操作入力部 1 0 2、表示部 1 1 4 が接続された状態を示している。

【 0 0 1 3 】

次に、超音波診断装置 1 0 0 に外部から接続される各要素について説明する。

2 . プローブ 1 0 1

プローブ 1 0 1 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 1 0 1 a からなる振動子列 (1 0 1 a) を有する。プローブ 1 0 1 は、後述の送信部 1 0 6 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 1 0 1 は、プローブ 1 0 1 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 1 0 1 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 1 0 1 a 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 1 0 0 に供給する。

【 0 0 1 4 】

3 . 操作入力部 1 0 2

操作入力部 1 0 2 は、検査者からの超音波診断装置 1 0 0 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 1 0 0 の制御部 1 1 6 に出力する。

操作入力部 1 0 2 は、例えば、表示部 1 1 4 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 1 1 4 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 1 0 0 の各種設定・操作を行うことができ、超音波診断装置 1 0 0 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 1 0 2 は、例えば、各種操作のキーを有するキーボードや、各種操作のボタン、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。

【 0 0 1 5 】

4 . 表示部 1 1 4

表示部 1 1 4 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 1 1 3 からの画像出力を画面に表示する。表示部 1 1 4 には、液晶ディスプレイ、C R T、有機 E L ディスプレイ等を用いることができる。

< 超音波診断装置 1 0 0 の構成概要 >

次に、実施の形態 1 に係る超音波診断装置 1 0 0 について説明する。

【 0 0 1 6 】

超音波診断装置 1 0 0 は、プローブ 1 0 1 の複数ある振動子 1 0 1 a のうち、送信又は

10

20

30

40

50

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。

【0017】

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 *pwp* を複数回送信させる検出波パルス発生部 105 を有する。

10

【0018】

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する伝播情報解析部 110、関心領域 *roi* 内の特定の各観測点についてせん断波の波面到達時間を推定する伝播情報推定部 111、関心領域 *roi* 内の各観測点におけるせん断波の伝播速度、又は、弾性率を算出する弾性率算出部 110 を有する。

【0019】

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及び波面到達時間データ、伝播情報推定部 111 が出力する補償波面到達時間データ、弾性率算出部 110 が出力する波面データ及び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。

20

【0020】

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、伝播情報推定部 111、弾性率算出部 110 は、超音波信号処理回路 150 を構成する。

30

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。

40

【0021】

データ格納部 115 は、コンピュータ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。

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。

50

【 0 0 2 2 】

< 超音波診断装置 1 0 0 の各部構成 >

次に、超音波診断装置 1 0 0 に含まれる各ブロックの構成について説明する。

1 . 関心領域設定部 1 0 3

一般に、表示部 1 1 4 にプローブ 1 0 1 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 1 1 4 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 1 0 2 に入力する。関心領域設定部 1 0 3 は、操作入力部 1 0 2 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 1 1 6 に出力する。このとき、関心領域設定部 1 0 3 は、被検体内の解析対象範囲をあらわす関心領域 $r o i$ をプローブ 1 0 1 にある複数の振動子 1 0 1 a からなる振動子列 (1 0 1 a) の位置を基準に設定してもよい。例えば、関心領域 $r o i$ は、複数の振動子 1 0 1 a からなる振動子列 (1 0 1 a) を含む検出波照射領域 $A x$ 内の全部又は一部領域であってもよい。

10

【 0 0 2 3 】

2 . プッシュ波パルス発生部 1 0 4

プッシュ波パルス発生部 1 0 4 は、制御部 1 1 6 から関心領域 $r o i$ を示す情報を入力し、関心領域 $r o i$ 内の所定位置に特定点を設定する。そして、複数の振動子 1 0 1 a に送信部 1 0 6 からプッシュ波パルス $p p p$ を送信させることにより、複数の振動子 1 0 1 a に特定点 (以後、「送信焦点 F 」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 $p p$ を送信させる。あるいは、関心領域 $r o i$ の近傍であって関心領域 $r o i$ 外の所定位置に送信焦点 F を設定する構成としてもよい。関心領域 $r o i$ の近傍に設定する場合には、送信焦点 F は関心領域 $r o i$ に対してせん断波が関心領域 $r o i$ へ到達可能な距離に設定される。

20

【 0 0 2 4 】

具体的には、プッシュ波パルス発生部 1 0 4 は、関心領域 $r o i$ を示す情報に基づき、プッシュ波の送信焦点 F の位置とプッシュ波を送信させる振動子列 (以後、「プッシュ波送信振動子列 $P x$ 」とする) を以下に示すように決定する。

図 3 (a) は、プッシュ波パルス発生部 1 0 4 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である。関心領域 $r o i$ の列方向長さ w 及び被検体深さ方向の長さ h が、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 に対し数分の一程度であり、超音波照射範囲の中心付近に関心領域 $r o i$ 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 F の位置のうち、例えば、列方向送信焦点位置 $f x$ は関心領域 $r o i$ の列方向中心位置 $w c$ と一致し、深さ方向送信焦点位置 $f z$ は関心領域 $r o i$ 中心までの深さ d と一致する構成とした。

30

【 0 0 2 5 】

また、プッシュ波送信振動子列 $P x$ は、深さ方向送信焦点位置 $f z$ 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長 a は複数の振動子 1 0 1 a 全部の列長とする構成とした。しかしながら、関心領域 $r o i$ と送信焦点 F 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。

例えば、図 3 (a) に示す例を、送信焦点 F の位置のうち列方向送信焦点位置 $f x$ が関心領域 $r o i$ の列方向中心位置 $w c$ 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 F の位置のうち列方向送信焦点位置 $f x$ が、関心領域 $r o i$ の列方向中心位置 $w c$ から X 軸の正又は負の方向にオフセットされ関心領域 $r o i$ 外に位置するような構成としてもよい。

40

【 0 0 2 6 】

また、関心領域幅 w が相対的に大きい場合には、送信焦点 F 位置が異なる複数のプッシュ波を発生する構成としてもよい。

なお、プッシュ波による超音波ビームが「集束」とするとは、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

50

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F」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。

【００２７】

送信焦点F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pp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。

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ppwpl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ppwpl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。

10

【００２８】

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ppwpl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Z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ppwplを送信することができる。

20

【００２９】

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Axmaxとすることができる。

30

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ppwpl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。

【００３０】

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。なお、図２に示すように、プッシュ波パルス発生部１０４と送信部１０６とを含む構成をプッシュパルス送信部１０４１とし、送信部１０６と検出波パルス発生部１０５とを含む構成を検出波パルス送信部１０５１とする。

40

【００３１】

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。

（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とパルス幅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

50

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 s_p を発生する回路である。

【0032】

(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 P_x 又は検出波送信振動子列 T_x と送信焦点 F 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遅延時間 t_{pk} (k は、1 から振動子 101a の数 n 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。

10

【0033】

(2) 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 s_p と遅延プロファイル生成部 1062 からの遅延時間 t_{pk} 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 P_x 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 p_{pp} 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 P_x 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、プッシュ波パルス p_{pp} を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。

【0034】

20

図5は、プッシュ波の概要を示す模式図である。プッシュ波送信振動子列 P_x 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 t_{pk} が適用されたプッシュ波パルス p_{pp} が送信される。これにより、図5に示すように、プッシュ波送信振動子列 P_x から送信焦点 F 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 p_p が送信させる。

【0035】

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 T_x 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 p_{wp1} を供給する検出波送信処理を行う。検出波送信振動子列 T_x 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 p_{wp1} 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。

30

【0036】

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 T_x に含まれる振動子に対しては遅延時間 t_{pk} が適用されず、検出波送信振動子列 T_x に対して位相が等しい検出波パルス p_{wp1} 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 T_x 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 T_x を含む平面内の領域が検出波照射領域 A_x となる。

【0037】

送信部 106 は、プッシュ波パルス p_{pp} 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 p_{wp1} を複数回送信する。1回のプッシュ波パルス p_{pp} 送信後に、同一の検出波送信振動子列 T_x から複数回行われる一連の検出波パルス p_{wp1} 送信の各回を「送信イベント」と称呼する。

40

2. 検出波受信部 108 の構成

検出波受信部 108 は、複数回の検出波パルス p_{wp1} 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 A_x 内の複数の観測点 P_{ij} 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 d_{s1} (1 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 d_{s1} 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 p_{wp1} 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

50

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 A_x における x 方向の座標を示す 1 から n までの自然数であり、 j は z 方向の座標を示す 1 から z_{max} までの自然数である。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。

【0038】

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。

2.1 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 $r f k$ (k は 1 から n までの自然数である) とは、検出波パルス $p w p l$ 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 $r f k$ は各受波振動子 $r w k$ 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。

【0039】

入力部 1081 は、受波振動子 $r w k$ 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 $r w k$ に対する受波信号 $r f k$ 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、1 回の受信処理により検出波照射領域 A_x 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 $r f k$ は、受波信号保持部 1082 に出力される。

【0040】

2.2 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 $r w k$ に対する受波信号 $r f k$ 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。

【0041】

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。

2.3 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 $r o i$ 内の観測点 $P i j$ から、検出波パルス受信振動子列 $R x$ に含まれる受信振動子 $R p k$ が受信した受波信号 $r f k$ に遅延処理を施した後、全ての受信振動子 $R p k$ について加算して音響線信号 $d s$ を生成する回路である。検出波パルス受信振動子列 $R x$ 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 $R p k$ 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 $R x$ 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 $T x$ 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。

【0042】

整相加算部 1083 は、受波信号 $r f k$ 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。

(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 $R x$ 内の受信振動子 $R p k$ に対する受波信号 $r f k$ から、観測点 $P i j$ と受信振動子 $R p k$ 各々との間の距離の差を音速値で除した受信振動子 $R p k$ 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 $P i j$ からの反射超音波に基づく受信振動子 $R p k$ に対応する受信信号として同定する回路である。

【0043】

10

20

30

40

50

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 T_x から放射され関心領域 roi 内の任意の位置にある観測点 P_{ij} において反射され受信振動子 R_{pk} に到達する超音波の伝播経路を示したものである。

a) 送信時間の算出

検出波送信振動子列 T_x (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 P_{ij} までの送信経路を、検出波送信振動子列 T_x から振動子列に垂直に発された検出波 pwl が観測点 P_{ij} 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。

10

【0044】

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 P_{ij} について、観測点 P_{ij} で反射され検出波受信振動子列 R_x に含まれる受信振動子 R_{pk} に到達するまでの受信経路を算出する。観測点 P_{ij} での反射波が受信振動子 R_{pk} に戻っていくときの受信経路は、任意の観測点 P_{ij} から各受信振動子 R_{pk} 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。

【0045】

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 R_{pk} 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 R_{pk} に対する受波信号列 r_{fk} に適用する遅延量を算出する。

20

d) 遅延処理

次に、遅延処理部 10831 は、各受信振動子 R_{pk} に対する受波信号列 r_{fk} から、遅延量に相当する受波信号 r_{fk} (遅延量を差引いた時間に対応する受波信号) を、観測点 P_{ij} からの反射波に基づく受信振動子 R_{pk} に対応する信号として同定する。

【0046】

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 r_{fk} を入力として、関心領域 roi 内に位置する全ての観測点 P_{ij} について、各受信振動子 R_{pk} に対する受波信号 r_{fk} を同定する。

30

(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 R_{pk} に対応して同定された受波信号 r_{fk} を入力として、それらを加算して、観測点 P_{ij} に対する整相加算された音響線信号 ds_{ij} を生成する回路である。

【0047】

さらに、各受信振動子 R_{pk} に対応して同定された受波信号 r_{fk} 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 P_{ij} に対する音響線信号 ds_{ij} 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 R_x 内の受信振動子 R_{pk} 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 R_x 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 R_{xo} 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。

40

【0048】

加算部 10832 は、関心領域 roi 内に存在する全ての観測点 P_{ij} について音響線信号 ds_{ij} を生成して音響線信号フレームデータ ds_1 を生成する。

そして、送信イベントに同期して検出波パルス pwp_1 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 ds_1 を生成する。生成された音響線信号フレームデータ ds_1 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。

【0049】

50

3. 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 $d s 1$ のシーケンスから、検出波照射領域 $A x$ 内の組織の変位を検出する回路である。

図 8 は、変位検出部 109、伝播情報解析部 110、伝播情報推定部 111、弾性率算出部 112 の構成を示す機能ブロック図である。変位検出部 109 は、音響線信号フレームデータ $d s 1$ 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 $d s 1$ と、基準となる 1 フレームの音響線信号フレームデータ $d s 0$ (以下、「基準音響線信号フレームデータ $d s 0$ 」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 $d s 0$ 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 $d s 1$ 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 $p p p$ 送信前に検出波照射領域 $A x$ 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 $d s 1$ と基準音響線信号フレームデータ $d s 0$ との差分から、音響線信号フレームデータ $d s 1$ の検出波照射領域 $A x$ 内の観測点 $P i j$ の変位 (画像情報の動き) $P t i j$ を検出し、変位 $P t i j$ を観測点 $P i j$ の座標と関連付けて変位量フレームデータ $p t l$ (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 $p t l$ 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 $p t l$ をデータ格納部 115 に出力する。

【0050】

4 伝播情報解析部 110

伝播情報解析部 110 は、関心領域 $r o i$ 内の複数の観測点 $p i j$ について波面到達時間データ $a t i j$ を算出し、関心領域 $r o i$ に対する波面到達時間フレームデータ $a t l$ を算出する回路である。伝播情報解析部 110 は、波面検出部 1101、波面到達時間検出部 1102 とから構成される。

【0051】

波面検出部 1101 は、送信イベントごとに、変位量フレームデータ $p t l$ のシーケンスから、関心領域 $r o i$ 内の観測点 $p i j$ について、複数の検出波パルス $p w p l$ のそれぞれに対応する時間軸上の複数時点におけるせん断波の波面位置 $w f i j$ を表した波面フレームデータ $w f l$ (l は 1 から m までの自然数、番号を区別しない場合は波面フレームデータ $w f l$ とする) のシーケンスを生成してデータ格納部 115 に出力する。

【0052】

具体的には、波面検出部 1101 は、変位量フレームデータ $p t l$ をデータ格納部 115 から取得する。伝播情報解析部 110 は、変位量フレームデータ $p t l$ から変位データ $p t i j$ の極大点を検出し、 $X Z$ 平面内で連続している変位データ $p t i j$ の極大点をその座標 $i j$ をせん断波の波面位置 $w f i j$ として抽出する。各送信イベントにおける関心領域 $r o i$ について波面位置 $w f i j$ を抽出して波面フレームデータ $w f l$ のシーケンスを生成する。

【0053】

波面到達時間検出部 1102 は、波面フレームデータ $w f l$ のシーケンスから、波面フレームデータ $w f l$ の依拠する変位量フレームデータ $p t l$ を取得した各時刻における、せん断波の波面 $w f$ とその位置 $w f i j$ 、進行方向を検出し、波面フレームデータ $w f l$ の波面位置 $w f i j$ とフレームデータ取得時刻 $t l$ とに基づき、波面到達時間フレームデータ $a t o$ (o は異なる波面の数をあらわす自然数、番号を区別しない場合は波面到達時間フレームデータ $a t$ とする) を生成してデータ格納部 115 に出力する。

【0054】

5 伝播情報推定部 111

伝播情報推定部 111 は、波面到達時間フレームデータ $a t o$ 中の波面到達時間データ $a t$ の信頼度を評価し、信頼度不適合波面到達時間データ $a t i j$ を、所定の条件を満たす波面到達時間データ $a t i j$ に基づき補間して生成した補償波面到達時間データ $c a t i j$ に置き換えた補償波面到達時間フレームデータ $c a t o$ (o は異なる波面の数をあら

10

20

30

40

50

わす自然数、番号を区別しない場合は補償波面到達時間フレームデータ $c a t$ とする) を生成する回路である。

【0055】

伝播情報推定部 111 は、信頼度不適合領域検出部 1111、波面到達時間補間部 1112 とから構成される。

信頼度不適合領域検出部 1111 は、輝度不適合領域検出部 11111、変位不適合領域検出部 11112、加算器 11113 とから構成される。

輝度不適合領域検出部 11111 は、波面到達時間フレームデータ $a t o$ が依拠した音響線信号フレームデータ $d s l$ における音響線信号 $d s i j$ のデータ信頼度が閾値以下である信頼度不適合領域 $L l r$ に含まれる信頼度不適合観測点 $L l i j$ を検出する。具体的には、輝度不適合領域検出部 11111 は、送信イベントごとに音響線信号フレームデータ $d s l$ を取得し、関心領域 $r o i$ 内の観測点 $p i j$ について、音響線信号 $d s i j$ の信号強度が閾値以下である輝度不適合点 $L d s i j$ を検出する。そして、検出した観測点 $L d s i j$ の座標 $i j$ を加算器 11113 に出力する。被検体中の組織中に反射波が得にくい部分があり検出された音響線信号 $d s$ の絶対値が小さく閾値以下である場合には、検出の精度が低く音響線信号から所定の精度以上で変位を算出することが難しいためである。

10

【0056】

変位不適合領域検出部 11112 は、波面到達時間フレームデータ $a t o$ が依拠した変位量フレームデータ $p t l$ における変位量データ $p t i j$ のデータ信頼度が閾値以下である信頼度不適合領域 $L l r$ に含まれる信頼度不適合観測点 $L l i j$ を検出する。具体的には、変位不適合領域検出部 11112 は、送信イベントごとに変位量フレームデータ $p t l$ を取得し、関心領域 $r o i$ 内の観測点 $p i j$ について、変位量データ $p t i j$ の変位量の絶対値が閾値以下である変位不適合点 $L p t i j$ を検出する。そして、検出した変位不適合点 $L p t i j$ の座標 $i j$ を加算器 11113 に出力する。被検体中の組織に固い部分があり検出された変位量データ $p t$ の絶対値が小さく閾値以下である場合には、検出の精度が低く変位量から所定の精度以上で波面を算出することが難しいためである。

20

【0057】

加算器 11113 は、輝度不適合点 $L d s i j$ の座標と、変位不適合点 $L p t i j$ の座標とを加算して信頼度不適合観測点 $L l i j$ の座標を算出し、信頼度不適合観測点 $L l i j$ が含まれる領域を信頼度不適合領域 $L l r$ として波面到達時間補間部 1112 に出力する。

30

波面到達時間補間部 1112 は、信頼度不適合観測点 $L l i j$ を入力として、波面到達時間フレームデータ $a t o$ 中の信頼度不適合領域 $L l r$ を特定する。信頼度不適合観測点 $L l i j$ における波面到達時間データ $a t$ (信頼度不適合波面到達時間データ $a t$) を、所定の条件を満たす波面到達時間データ $a t$ に基づき補間して補償波面到達時間データ $c a t i j$ を算出する。そして、波面到達時間フレームデータ $a t o$ 中の信頼度不適合波面到達時間データ $a t$ を補償波面到達時間データ $c a t i j$ に置き換えた補償波面到達時間フレームデータ $c a t o$ (o は異なる波面の数をあらず自然数、番号を区別しない場合は補償波面到達時間フレームデータ $c a t$ とする) を生成してデータ格納部 115 に出力する。

40

【0058】

係る構成により、超音波弾性率計測において、測定した波面到達時間データの信頼度が低い領域における弾性画像の画像抜けを抑制することができる。

信頼度不適合波面到達時間データ $a t$ の補間方法としては、スプライン補間法、折れ線近似補間法を用いることができる。あるいは、波面到達時間データの両側の領域をせん断波到達前と到達後との境界時刻とし、境界検出処理に基づいてせん断波到達時刻を推定する構成としてもよい。境界検出処理方法として、動的輪郭モデル、動的計画法などを用いることができる。

【0059】

6 弾性率算出部 112

50

弾性率算出部 112 は、関心領域 roi 内の観測点 P_{ij} についてせん断波の伝播速度、又は、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 $e1f$ を算出する回路である。弾性率算出部 112 は、伝播速度変換部 1121、弾性率変換部 1122 とから構成される。

【0060】

伝播速度変換部 1121 は、波面到達時間フレームデータ ato を、関心領域 roi 内の観測点 p_{ij} における伝播速度データ v_{ij} に変換して、関心領域 roi に対する伝播速度フレームデータ vo (o は異なる波面の数をあらわす自然数、番号を区別しない場合は伝播速度フレームデータ v とする) を生成してデータ格納部 115 に出力する。補償波面到達時間フレームデータ cat が複数存在する場合には、それぞれの補償波面到達時間フレームデータ cat から算出した伝播速度フレームデータ vo を座標 ij を基準に平均することにより、伝播速度フレームデータ vf を算出する。

10

【0061】

弾性率変換部 1122 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 p_{ij} における弾性率データ $e1$ に変換して、関心領域 roi に対する弾性率フレームデータ $e1f$ を生成してデータ格納部 115 に出力する。

弾性率算出部 112 は、生成した弾性率フレームデータ $e1f$ をデータ格納部 115 に、制御部 116 を介してそれぞれ出力する。

【0062】

8. その他の構成

20

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、波面フレームデータ wfl のシーケンス、波面到達時間フレームデータ at 、補償波面到達時間フレームデータ cat 、伝播速度フレームデータ vl 、弾性率フレームデータ $e1$ を逐次記録する記録媒体である。

【0063】

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。

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。

30

【0064】

40

また、弾性率算出部 112 は、弾性率フレームデータ $e1f$ 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 112 は、生成した弾性率フレームデータ $e1f$ 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。

【0065】

さらに、弾性率算出部 112 は、補償波面到達時間データ cat に依拠する弾性率デ

50

ータ $e_{l i j}$ を補償波面到達時間データ $c a t o$ に依拠しない弾性率データ $e_{l i j}$ と異なる態様にて表示するように弾性画像を生成し、表示制御部 113 は補償された弾性率データ $e_{l i j}$ を他の部分と異なる態様にて表示部 114 に表示させる構成としてもよい。係る構成により、操作者は、補償波面到達時間データに依拠する弾性画像の部分を選定した波面到達時間データの信頼度が低い領域であることを認識することができ、操作者の利便性を向上することができる。

【0066】

<動作について>

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

10

1. 動作の概要

図 9 は、超音波診断装置 100 における統合 S W S 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 S W S 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 $d s 0$ を取得する工程 (1a)、プッシュ波パルス $p p p$ を送信して被検体内の特定部位 F に集束するプッシュ波 $p p$ を送信して被検体中にせん断波励起する工程 (1b)、関心領域 $r o i$ を通過する検出波 $p w i$ の送受信を複数 (m) 回繰り返す検出波パルス $p w p i$ 送受信する工程 (1c)、せん断波伝搬解析を行いせん断波の伝播速度 $v f$ と弾性率 $e_{l f}$ を算出する弾性率算出の工程 (1d) から構成される。

20

【0067】

2. S W S 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。

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 $p p p$ 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。

30

【0068】

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。

[ステップ S 100 ~ S 140]

ステップ S 100 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 $r o i$ 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。

【0069】

操作者による関心領域 $r o i$ 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 $r o i$ を指定することによりされる。なお、関心領域 $r o i$ は、例えば、B モード画像の全域を関心領域 $r o i$ 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。

40

【0070】

ステップ S 120 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 $r o i$ を示す情報を入力し、プッシュ波パルス $p p p$ の送信焦点 F の位置とプッシュ波送信振動子列 $P x$ を設定する。本例では、図 3 (b) に示すように、列方向送信焦点位置 $f x$ は検出波照射領域 $A x$ の列方向中心位置 $w c$ と一致し、深さ方向送信焦点位置 $f z$ は検出波照射領域 $A x$ 中心までの深さ d と一致する構成とした。また、プッシュ波送信振動子

50

列 P_x は、複数の振動子 101a 全部とした。しかしながら、検出波照射領域 A_x と送信焦点 F 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。

【0071】

送信焦点 F の位置と、プッシュ波送信振動子列 P_x を示す情報は、プッシュ波パルス p_p 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。

ステップ $S130$ では、送信部 106 は、検出波送信振動子列 T_x に含まれる振動子に検出波パルス p_{w0} を送信し、被検体内に向けて検出波 p_w をさせ、検出波受信部 108 は、検出波 p_w 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。

10

【0072】

ステップ $S140$ では、送信部 106 は、プッシュ波送信振動子列 P_x に含まれる振動子にプッシュ波パルス p_{pp} を送信させることにより、当該振動子に送信焦点 F 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 p_p を送信させる。

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 F の位置とプッシュ波送信振動子列 P_x を示す情報、プッシュ波パルス p_{pp} のパルス幅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 P_x 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 p_{pp} 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 p_p を送信する。

20

【0073】

ここで、プッシュ波 p_p 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 p_p 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 A_x に対応した被検体内の領域の、プッシュ波 p_p 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 “ $\circ$ ” 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 “ $\circ$ ” の中心位置を、それぞれ示している。

30

【0074】

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 F に対応する被検体中の焦点部位 601 に対してプッシュ波 p_p 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 p_p 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 p_p 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 p_p の進行方向に移動する。

【0075】

次に、プッシュ波 p_p 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 p_p の進行方向に沿った振動を開始する。

40

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。

【0076】

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 p_p の印加場所に発生し、被検体内を伝播する。

[ステップ $S150$]

図 10 に戻って説明を続ける。

【0077】

50

ステップ S 1 5 0 では、関心領域 $r o i$ に検出波パルス $p w p l$ を複数回送受信し、取得した音響線信号フレームデータ $d s l$ のシーケンスを保存する。具体的には、送信部 1 0 6 は、検出波送信振動子列 $T x$ に含まれる振動子に被検体に向けて検出波パルス $p w p l$ を送信させ、検出波受信部 1 0 8 は、検出波パルス受信振動子列 $R x$ に含まれる振動子により受信した反射波 $e c$ に基づき音響線信号フレームデータ $d s l$ を生成する。プッシュ波 $p p$ 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 $A x$ 内の音響線信号フレームデータ $d s l$ 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 $d s l$ のシーケンスはデータ格納部 1 1 5 に出力され保存される。

【 0 0 7 8 】

ステップ S 1 5 0 における、音響線信号フレームデータ $d s l$ の生成方法の詳細は後述する。

[ステップ S 1 5 1]

ステップ S 1 5 1 では、変位検出部 1 0 9 は、各送信イベントにおける関心領域 $r o i$ 内の観測点 $p i j$ の変位を検出する。

【 0 0 7 9 】

図 1 2 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。

先ず、変位検出部 1 0 9 は、ステップ S 1 3 0 でデータ格納部 1 1 5 に保存された基準音響線信号フレームデータ $d s 0$ 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 $d s 0$ は、プッシュ波 $p p$ 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。

【 0 0 8 0 】

次に、変位検出部 1 0 9 は、ステップ S 1 5 0 でデータ格納部 1 1 5 に保存された各音響線信号フレームデータ $d s l$ に対し、基準音響線信号フレームデータ $d s 0$ との差分から、当該音響線信号フレームデータ $d s l$ が取得された時刻における、各画素の変位を検出する。

図 1 2 における A 列は、基準音響線信号フレームデータ $d s 0$ 、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 $d s l$ を示し、B 列は、ステップ S 1 5 0 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 $p t l$ を示したものである。図 1 2、A 列及び B 列に示すように、変位量フレームデータ $p t l$ は、音響線信号フレームデータ $d s l$ と基準音響線信号フレームデータ $d s 0$ を比較し、基準音響線信号フレームデータ $d s 0$ 中の観測点 $P i j$ の音響線信号 $d s i j$ が音響線信号フレームデータ $d s l$ におけるどの観測点 $P' i j$ の音響線信号 $d s i j$ と類似するのかが検出して、観測点 $P' i j$ の観測点 $P i j$ に対する位置変化量を算出することにより検出する。

【 0 0 8 1 】

具体的には、例えば、音響線信号フレームデータ $d s l$ を 8 ピクセル $\times$ 8 ピクセルなどの所定の大きさの領域に分割し、各領域と基準音響線信号フレームデータ $d s 0$ とをパターンマッチングすることで、音響線信号フレームデータ $d s l$ の各画素の変位を検出する。

パターンマッチングの方法としては、例えば、各領域と基準音響線信号フレームデータ $d s 0$ 内の同サイズの基準領域との間で、対応する画素毎に輝度値の差分を算出してその絶対値の合計値を算出し、その合計値が最も小さくなる領域と基準領域との組み合わせについて、領域と基準領域とが同一の領域であるものとし、領域の基準点（例えば、左上の角）と基準領域の基準点との距離を変位として検出する方法を用いることができる。

【 0 0 8 2 】

なお、領域のサイズは 8 ピクセル $\times$ 8 ピクセル以外であってもよいし、輝度値の差分の絶対値の合計値に替えて、例えば、輝度値の差分の 2 乗の合計値を用いてもよい。また、変位として、領域の基準点と基準領域の基準点との y 座標の差（深さの差）を算してもよい。これにより、各音響線信号フレームデータ $d s l$ の各観測点 $P i j$ に対応する被検体の組織が、プッシュ波 $p p$ またはせん断波によってどれだけ動いたかが変位として算出

10

20

30

40

50

される。

【0083】

なお、変位の検出方法はパターンマッチングに限られず、例えば、音響線信号フレームデータ $d s 1$ と基準音響線信号フレームデータ $d s 0$ との相関処理など、2つの音響線信号フレームデータ $d s 1$ 間の動き量を検出する任意の技術を用いてもよい。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 $d s 1$ に係る各観測点 $P i j$ の変位を当該観測点の座標 $i j$ と対応付けることで関心領域 $r o i$ 内の観測点の変位量データ $p t i j$ を生成し、生成した関心領域 $r o i$ についての変位量フレームデータ $p t l$ をデータ格納部 115 に出力する。

【0084】

10

[ステップ S 152 ~ S 155]

伝播情報解析部 110 は、生成した変位量フレームデータ $p t l$ をデータ格納部 115 に出力し保存する(ステップ S 173)。規定されている全ての送信イベントについてステップ S 151 の処理が完了したか否かを判定し(ステップ S 152)、完了していない場合にはステップ S 151 に戻り、次の検出波パルス $p w p l$ 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 S 153 に進む。

【0085】

ステップ S 153 では、伝播情報解析部 110 は、変位量フレームデータ $p t l$ のシーケンスを入力として、各送信イベントにおける関心領域 $r o i$ 内の観測点 $p i j$ の変位量データ $p t i j$ からせん断波の波面を検出して、波面位置 $w f i j$ を表した波面フレームデータ $w f l$ のシーケンスを生成する。さらに、伝播情報解析部 110 は、波面フレームデータ $w f l$ のシーケンスから、フレームデータの依拠する変位量フレームデータ $p t l$ を取得した各時刻における、せん断波の波面 $w f$ と位置 $w f i j$ とを検出し、波面ごとに波面到達時間フレームデータ $a t o$ を生成してデータ格納部 115 に出力する。ステップ S 153 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。

20

【0086】

ステップ S 154 では、伝播情報推定部 111 は、波面到達時間フレームデータ $a t o$ を入力とし、波面到達時間データ $a t i j$ の信頼度を評価し、信頼度を表す指標が閾値以下である所定の条件を満たさない信頼度不適合波面到達時間データ $a t i j$ を検出し、信頼度不適合波面到達時間データ $a t i j$ を所定の条件を満たす波面到達時間データ $a t i j$ に基づき補間して補償波面到達時間データ $c a t i j$ を生成する。そして、信頼度不適合波面到達時間データ $a t i j$ を補償波面到達時間データ $c a t i j$ に置き換えた補償波面到達時間フレームデータ $c a t o$ を生成してデータ格納部 115 に出力する。ステップ S 154 における、せん断波の伝播情報推定方法の詳細は後述する。

30

【0087】

ステップ S 155 では、弾性率算出部 112 は、関心領域 $r o i$ 内の観測点 $p i j$ についてせん断波の伝播速度データ $v i j$ 、又は、弾性率データ $e l i j$ を算出し、関心領域 $r o i$ に対する弾性率フレームデータ $e l f$ を算出してデータ格納部 115 に出力する。ステップ S 155 における、弾性率フレームデータ $e l f$ の算出方法の詳細は後述する。

ステップ S 156 では、弾性率算出部 112 は、弾性率フレームデータ $e l f$ 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。

40

【0088】

以上により、図 10 に示した S W S 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、S W S シーケンスによる弾性率フレームデータ $e l f$ を算出することができる。

3. ステップ S 153 における処理の詳細について

ステップ S 153 では、伝播情報解析部 110 は、各送信イベントにおける関心領域 $r o i$ 内の観測点 $p i j$ の変位量フレームデータ $p t l$ から波面を検出する。

50

【 0 0 8 9 】

詳しくは、図 1 3 のフローチャートを用いて説明する。図 1 3 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。図 1 4 (a) から (f) は、せん断波の伝播解析の動作を示す模式図である。

まず、データ格納部 1 1 5 から送信イベントに対応した各観測点 P_{ij} の変位量フレームデータ p_{t1} を取得する (ステップ S 1 5 3 1)。

【 0 0 9 0 】

次に、変位が相対的に大きい変位領域を抽出する (ステップ S 1 5 3 2)。伝播情報解析部 1 1 0 は、変位量フレームデータ p_{t1} から変位が所定の閾値より大きい変位領域を抽出する。

以下、図 1 4 の模式図を用いて説明する。

図 1 4 (a) は、変位量フレームデータが表す変位画像の一例を示している。図 1 1 と同じく、図中の “ o ” は関心領域 roi に対応する被検体内の組織の一部を示しており、プッシュ波 pp を印加する前の位置は破線の交点である。また、 x 軸はプローブ 1 0 1 における振動子の列方向、 z 軸は、被検体の深さ方向である。伝播情報解析部 1 1 0 は、 z 座標ごとに変位量 δ を座標 x の関数として、動的閾値を用いることで変位量 δ が大きい領域を抽出する。また、 x 座標ごとに変位量 δ を座標 z の関数として、動的閾値を用いて、ある閾値を超える領域を変位量 δ が大きい領域として抽出する。動的閾値とは、対象領域内について信号解析又は画像解析を行って閾値を決定することである。閾値は一定値ではなく、対象領域の信号の幅や最大値などによって異なる値となる。図 1 7 (a) に、 $z = z_1$ の直線 7 1 0 上における変位量をプロットしたグラフ 7 1 1 と、 $x = x_1$ の直線 7 2 0 上における変位量をプロットしたグラフ 7 2 1 とを示す。これにより、例えば、変位量 δ が閾値より大きな変位領域 7 3 0 が抽出できる。

【 0 0 9 1 】

また、図 1 2 の B 列は、各送信イベントに対して算出した変位量フレームデータ p_{t1} を示したものであり、各変位量フレームデータ p_{t1} 中のハッチングされた領域は変位量 δ が閾値より大きな変位領域である。図 1 2 の B 列に示すように、時間の経過に伴い変位領域は X 方向に移動するとともに、変位領域の大きさは拡大する。

図 1 5 (a) は、せん断波の伝播状態を示す模式図であり、横軸に時間、縦軸に変位量として、X 方向における 1、5、10 mm の位置における変位量 δ の時間変化を示した実験結果である。時間の経過に伴い変位領域は X 方向に移動するとともに、変位量のピークは減少し、変位領域の大きさは拡大することがわかる。

【 0 0 9 2 】

次に、伝播情報解析部 1 1 0 は、変位領域に細線化処理をおこなって波面を抽出する (ステップ S 1 5 3 3)。図 1 4 (b) の模式図に示している変位領域 7 4 0、7 5 0 は、それぞれ、ステップ S 1 5 3 2 において変位領域 7 3 0 として抽出された領域である。伝播情報解析部 1 1 0 は、例えば、H i l d i t c h の細線化アルゴリズムを用いて、波面を抽出する。例えば、図 1 4 (b) の模式図において、変位領域 7 4 0 から波面 7 4 1 が、変位領域 7 5 0 から波面 7 5 1 が、それぞれ抽出される。なお、細線化のアルゴリズムは H i l d i t c h に限らず、任意の細線化アルゴリズムを用いてよい。また、各変位領域に対して、変位量 δ が閾値以下の座標を変位領域から取り除く処理を、変位領域が幅 1 ピクセルの線になるまで、閾値を大きくしながら繰り返し行ってもよい。伝播情報解析部 1 1 0 は、抽出した波面を波面フレームデータ w_{f1} としてデータ格納部 1 1 5 に出力する。

【 0 0 9 3 】

次に、伝播情報解析部 1 1 0 は、波面フレームデータ w_{f1} に対して空間フィルタリングを行い、長さが短い波面を除去する (ステップ S 1 5 3 4)。例えば、ステップ S 1 5 3 3 で抽出した各波面の長さを検出し、全ての波面の長さの平均値の $1/2$ よりも長さが短い波面を、ノイズとして削除する。具体的には、図 1 4 (c) の波面画像に示すように、波面 7 6 1 ~ 7 6 4 の長さの平均値を算出し、それよりも短い波面 7 6 3、7 6 4 を、

ノイズとして消去する。これにより、誤検出された波面を消去できる。

【0094】

伝播情報解析部110は、ステップS1531～S1534の動作を、全ての変位量フレームデータp t lに対して行う(ステップS1535)。これにより、変位量フレームデータp t lに対して1対1で波面フレームデータw f lが生成される。

図12のC列は、各送信イベントに対して算出した波面フレームデータw f lを示したものであり、各波面フレームデータw f l中の円弧状の細線は波面である。図12のC列に示すように、時間の経過に伴い波面w fはX方向に移動するとともに、波面w fの円弧の長さは増加する。

【0095】

10

次に、伝播情報解析部110は、複数の波面フレームデータw f lに対して時間フィルタリングを行い、伝播していない波面を除去する(ステップS1536)。具体的には、時間的に連続する2以上の波面フレームデータw f lにおいて、波面位置の時間変化を検出し、速度が異常である波面をノイズとして除去する。

伝播情報解析部110は、例えば、時刻 $t = t_1$ の波面画像770、時刻 $t = t_1 + \Delta t$ の波面画像780、時刻 $t = t_1 + 2\Delta t$ の波面画像790との間で、波面位置の時間変化を検出する。例えば、波面771に対して、波面画像780のうち、波面771と同じ位置を中心に、波面と垂直な向き(図14においてはx軸方向)に Δt の間にせん断波が移動しうる領域776で、波面771との相関処理を行う。このとき、波面771のx軸の正方向(図の右側)と負方向(図の左側)の双方を含む範囲内で相関処理を行う。これは、透過波と反射波の両方を検出するためである。これにより、波面771の移動先が波面画像780内の波面781であると検出し、時間 Δt における波面771の移動距離を算出する。同様に、波面772、773のそれぞれについて、波面画像780において当該波面と同じ位置を中心に、波面と垂直な向きに Δt の間にせん断波が移動しうる領域で相関処理を行う。これにより、波面772が波面783の位置に、波面773が波面782の位置に、それぞれ移動したことを検出する。

20

【0096】

波面画像780と波面画像790の間でも同様の処理を行い、波面781が波面791の位置に、波面782が波面797の位置に、波面783が波面793の位置に、それぞれ移動したことを検出する。ここで、波面773、波面782、波面792で示される1の波面については、他の波面と比べて移動距離が著しく小さい(伝播速度が著しく遅い)。このような波面は誤検知である可能性が高いので、ノイズとして消去する。これにより、図14(e)の波面フレームデータ300に示すように、波面801、802が検出できる。

30

【0097】

これらの動作により、時刻ごとの波面フレームデータw f lのシーケンスが生成できる。伝播情報解析部110は、生成した複数の波面フレームデータw f lのシーケンスをデータ格納部115に出力する。このとき、生成した複数の波面の対応情報もデータ格納部115へ出力してもよい(ステップS1537)。波面の対応情報とは、同一の波面が各波面画像のどの波面に対応するかを示した情報であり、例えば、波面772が波面783の位置に移動したことが検出された場合、波面783と波面772とが同一の波面であるという情報である。

40

【0098】

次に、伝播情報解析部110は、波面到達時間フレームデータa tを生成する(ステップS1538)。具体的には、時刻ごとの波面フレームデータw f lと、波面の対応情報とから、各時刻における波面の位置との関係を検出する。

図14(e)を用いて波面到達時間フレームデータa tの生成について説明する。図14(e)は、ある時刻tにおける波面フレームデータw f lと、時刻 $t + \Delta t$ における波面フレームデータw f lを1つの波面フレームデータ810として合成したものである。ここで、時刻tにおける波面811と、時刻 $t + \Delta t$ における波面812とが同一の波面

50

であるとする対応情報が存在するものとする。伝播情報解析部 110 は、対応情報から、波面 811 上の座標 (x_t, z_t) に対応する波面 812 上の座標 $(x_{t+\Delta t}, z_{t+\Delta t})$ を検出する。これにより、時刻 t に座標 (x_t, z_t) を通過したせん断波が、時刻 $t + \Delta t$ に座標 $(x_{t+\Delta t}, z_{t+\Delta t})$ に到達していると推定できる。これより、波面 811 が座標 (x_t, z_t) に到達した時刻 t 、波面 811 と同一の波面である波面 812 が座標 $(x_{t+\Delta t}, z_{t+\Delta t})$ した時刻 $t + \Delta t$ を関係図けることができる。同様に、取得時刻が既定されている波面フレームデータ $wf1$ から検出された波面位置から任意の座標 (x, z) に波面が到達する時刻は 2 次元の補間計算により算出することができる。

【0099】

図 12 の D 列は、各送信イベントに対して算出した波面フレームデータ $wf1$ 中の波面 wf を 1 枚のフレームに集めて、波面フレームデータ $wf1$ の取得時刻を関数値としてプロットした波面到達時間フレームデータ at であり、波面到達時間フレームデータ at 中の円弧状の細線は波面の到達時間である。

また、図 15 (b) は、せん断波の伝播状態を示す模式図であり、横軸を x 方向位置、縦軸を波面到達時間として、 x 方向における 2、4、8 mm の位置における波面到達時間を示した実験結果である。 x 方向位置の増加に伴い波面到達時間はリニアの増加し、波面は一定速度 V で伝播していることがわかる。

【0100】

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、伝播情報推定部 111 は、波面到達時間フレームデータ ato を入力とし、波面到達時間データ $atij$ の信頼度を評価し、信頼度不適合波面到達時間データ $atij$ を補償波面到達時間データ $c atij$ に置き換えた補償波面到達時間フレームデータ $c ato$ を生成する。

【0101】

詳しくは、図 16 のフローチャートを用いて説明する。図 16 は、せん断波の伝播情報推定の動作を示すフローチャートである。

まず、 j 、 i を関心領域 roi 内の最小値に初期化する (ステップ S1541、1542)。伝播情報推定部 111 は、データ格納部 115 から送信イベントに対応した観測点 Pij の波面到達時間データ $atij$ を取得する (ステップ S1543)。

【0102】

次に、伝播情報推定部 111 は、データ格納部 115 から送信イベントに対応した観測点 Pij の音響線信号 $dsij$ を取得し (ステップ S1544)、音響線信号 $dsij$ の信号強度の絶対値が閾値以下である輝度不適合点 $L dsij$ であるか否かを判定する (ステップ S1545)。閾値以下でない場合にはステップ S1546 に進み、閾値以下である場合にはステップ S1550 に進む。

【0103】

次に、伝播情報推定部 111 は、データ格納部 115 から送信イベントに対応した観測点 Pij の変位量データ $ptij$ を取得し (ステップ S1546)、変位量データ $ptij$ の絶対値が閾値以下である変位不適合点 $L ptij$ であるか否かを判定する (ステップ S1547)。閾値以下でない場合にはステップ S1550 に進み、閾値以下である場合にはステップ S1548 に進む。

【0104】

ステップ S1548 では、伝播情報推定部 111 は、所定の輝度条件を満たさない輝度不適合点 $L dsij$ 又は所定の変位条件を満たさない変位不適合点 $L ptij$ を信頼度不適合観測点 $L lij$ として検出し、信頼度不適合観測点 $L lij$ における波面到達時間データ at (信頼度不適合波面到達時間データ at) を、所定の条件を満たす波面到達時間データ at に基づき補間して補償波面到達時間データ $c atij$ を算出してデータ格納部 115 に保存する (ステップ S1549)。信頼度不適合波面到達時間データ at の補間方法としては、スプライン補間法、折れ線近似補間法を用いることができる。

【0105】

10

20

30

40

50

図 17 (a) (b)、図 18 は、せん断波の伝播推定の動作を示す模式図である。図 17 (a) (b)、図 18 において、下段に示される弾性画像 930 は、関心領域 roi の弾性画像である。中段に示される画像 530 は、関心領域 roi の弾性画像 930 に波面フレームデータ $wf1$ 中の各波面 $wf1$ を重ねて表示した画像である。ここで、内包物 542、543 は被検体組織内で周辺組織より硬い部分を表した画像部分である。なお、弾性画像を取得した際のプッシュ波 pp の焦点 F は焦点 541 である。上段に示されるグラフ 520 は、プッシュ波 pp の焦点 541 を含む一定の深さ上の直線 531 における、 x 方向位置と波面 $wf1$ についての波面到達時間 $at1$ との関係を示すグラフである。せん断波の伝播速度 v はグラフ 520 の傾きとして表される。

【0106】

グラフ 520 に示すように、せん断波の速度 v は、内包物 542 に対応する区間 522、内包物 543 に対応する区間 524 では速く、これに対し、その他の区間 521、523、525 では遅い。内包物 542、543 は周辺組織より硬いために、せん断波による変位量の絶対値は周辺組織より小さい。そのため、画像 530 における内包物 542 及び 543 に対応する領域では、波面 $wf1$ を検出できない場合がある。

【0107】

図 17 (a) は、画像 530 における内包物 542 に対応する領域において波面 $wf3$ 、4 が内包物 543 に対応する領域において波面 $wf8$ が正常に検出された場合である。グラフ 520 上の、内包物 542 に対応する区間 522 において波面 $wf3$ 、4 に対応する波面到達時間 $at3$ 、4 と、内包物 543 に対応する区間 524 において波面 $wf8$ に対応する波面到達時間 $at8$ とが正常に算出される。その結果、弾性画像 930 上の内包物 542 に対応する画像部分 942、内包物 543 に対応する画像部分 943 は正常に生成される。

【0108】

図 17 (b) は、画像 530 における内包物 542 に対応する領域において波面 $wf3$ 、4 が内包物 543 に対応する領域において波面 $wf8$ が正常に検出されなかった場合である。グラフ 520 上の、内包物 542 に対応する区間 522 において波面 $wf3$ 、4 に対応する波面到達時間 $at3$ 、4 と、内包物 543 に対応する区間 524 において波面 $wf8$ に対応する波面到達時間 $at8$ とは算出されず空白のデータとなる。その結果、高弾性率として画像表示されるべき弾性画像 930 上の内包物 542 に対応する画像部分 942、内包物 543 に対応する画像部分 943 は空白画像となる。

【0109】

図 18 は、本実施の形態に係る超音波診断装置 100 を用いた場合である。画像 530 における内包物 542 に対応する領域において波面 $wf3$ 、4 が内包物 543 に対応する領域において波面 $wf8$ が正常に検出されなかった場合において、グラフ 520 上の、内包物 542 に対応する区間 522 において波面到達時間 $at3$ 、4、内包物 543 に対応する区間 524 において波面到達時間 $at3$ を、他の区間 521、523、525 における x 方向位置と波面到達時間 at との関係に基づき補間計算により算出した場合である。グラフ 520 上の、内包物 542 に対応する区間 522 において波面 $wf3$ 、4 に対応する波面到達時間 $at3$ 、4 と、内包物 543 に対応する区間 524 において波面 $wf8$ に対応する波面到達時間 $at8$ とは、それぞれ補間計算に基づいて算出される。

【0110】

その結果、本来、弾性画像 930 上の内包物 542 に対応する画像部分 942、内包物 543 に対応する画像部分 943 も、波面 wf の推定値に基づいて生成される。弾性画像 930 は、内包物 542 に対応する画像部分 942 中の波面 $wf3$ 、4 に対応する画像部分 942 X、および、内包物 543 に対応する画像部分 943 中の波面 $wf8$ に対応する画像部分 943 X が、推定値に基づいて生成されたことがわかるように異なる態様で表示される画像としてもよい。

【0111】

ステップ S1550 では、波面到達時間データ at_{ij} を補償波面到達時間データ ca

10

20

30

40

50

t_{ij} としてデータ格納部115に保存し、関心領域 roi 内の全ての j について処理を完了したか否か(ステップS1551)、関心領域 roi 内の全ての i について処理を完了したか否か(ステップS1553)について判定し、完了していない場合は i 、 j をインクリメント(ステップS1552、S1554)して観測点 P_{ij} について補償波面到達時間データ c_{atij} を生成し(ステップS1549)、完了している場合には処理を終了する。

【0112】

5. ステップS155における処理の詳細について

ステップS155では、弾性率算出部112は、関心領域 roi 内の観測点 p_{ij} について、補償波面到達時間フレームデータ $c_{at o}$ に基づいてせん断波の伝播速度、又は、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 e_{lf} を算出する。

図19は、超音波診断装置100における弾性率算出の動作を示すフローチャートである。先ず、弾性率算出部112は、データ格納部115から補償波面到達時間フレームデータ $c_{at o}$ の読み出し(ステップS1551)、以下に示す方法により伝播速度フレームデータ v_{fo} に変換する(ステップS1552)。

【0113】

図14(f)において、座標 (x_t, z_t) を通過したせん断波の速度 $v(x_t, z_t)$ は、座標 (x_t, z_t) と座標 $(x_{t+\Delta t}, z_{t+\Delta t})$ との間の距離を m としたとき、距離 m を所要時間 Δt で割った値として推定することができる。すなわち、

$$v(x_t, z_t) = m / \Delta t = \sqrt{\{(x_{t+\Delta t} - x_t)^2 + (z_{t+\Delta t} - z_t)^2\}} / \Delta t$$

となる。弾性率算出部112は、全ての波面に対して補償波面到達時間フレームデータ $c_{at o}$ から補償波面到達時間データ c_{at} を取り出し上述の処理を行い、波面が通過した全座標についてせん断波の速度 v を取得する。

【0114】

図12のF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_t を微分した伝播速度フレームデータ v_{f} である。

次に、弾性率算出部112は、伝播速度フレームデータ v_{fo} を弾性率フレームデータに変換する(ステップS1553)。弾性率フレームデータは、せん断波の伝播速度を基に各座標における弾性率を算出する。弾性率は、せん断波の速度の2乗に比例し、

$$e_{lf}(x_t, z_t) = K \times v(x_t, z_t)^2$$

に基づき算出される。Kは定数であり人体の組織では約3となる。

【0115】

図12のG列は、伝播速度フレームデータ v_{f} から上式により算出した弾性率フレームデータ e_{lf} である。

以上の手順により、弾性率算出部112は、全ての波面 o について弾性率フレームデータ e_{lo} (o は異なる波面の数をあらわす自然数、番号を区別しない場合は弾性率フレームデータ e_{lf} とする)を合成する(ステップS1554)。弾性率算出部112は、全ての波面 o について弾性率フレームデータ e_{lo} は座標 ij を指標に平均され1フレームの弾性率フレームデータ e_{lf} を生成してデータ格納部115に保存する(ステップS1555)。

【0116】

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。

6. ステップS150における処理の詳細について

ステップS150における、音響線信号フレームデータ d_{sl} の生成処理の概要について説明する。図20は、検出波受信部108のビームフォーミングの動作を示すフローチャートである。

【0117】

先ず、検出波の識別番号 l を1に設定し(ステップS151)、送信部106は、プロンプ101に存する複数の振動子101a中検出波送信振動子列 T_x に含まれる各振動子に検出波 p_{wl} を送信させるための検出波パルス p_{wpl} を送信する送信処理(送信イベ

10

20

30

40

50

ント)を行う(ステップS 1 5 2)。

次に、検出波受信部 1 0 8 は、プローブ 1 0 1 での反射波から得た電気信号に基づき受波信号 $r f k$ を生成しデータ格納部 1 1 5 に出力し、データ格納部 1 1 5 に受波信号 $r f k$ を保存する(ステップS 1 5 3)。規定されている全ての送信イベントの回数 m について検出波の送受信が完了したか否かを判定する(ステップS 1 5 4)。完了していない場合には l をインクリメント(ステップS 1 5 5)してステップS 1 5 2 に戻り、検出波送信振動子列 $T x$ からの送信イベントを行い、完了している場合にはステップS 1 5 6 に進む。

【0 1 1 8】

次に、検出波の識別番号 l を 0 に初期化し(ステップS 1 5 6)、検出波受信部 1 0 8 は、データ格納部 1 1 5 に保存されている受波信号 $r f k$ に基づいて、検出波照射領域 $A x$ 内の複数の観測点 $P i j$ 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 $d s l$ を生成しデータ格納部 1 1 5 に出力し、データ格納部 1 1 5 に音響線信号フレームデータ $d s l$ を保存する(ステップS 1 5 7)。ステップS 1 5 7 における、音響線信号フレームデータ $d s l$ の生成方法の詳細は後述する。

10

【0 1 1 9】

全ての送信イベントの回数 m について、検出波パルス $p w p l$ に基づく音響線信号フレームデータ $d s l$ の生成を完了したか否かを判定し(ステップS 1 5 9)、完了していない場合には l をインクリメント(ステップS 1 6 0)してステップS 1 5 7 に戻り、完了している場合には処理を終了する。

20

以上により、図 1 9 におけるステップS 1 5 0 の処理を終了する。

【0 1 2 0】

7. ステップS 1 5 7 における処理の詳細について

ステップS 1 5 7 における、音響線信号フレームデータ $d s l$ の生成処理の詳細について説明する。

図 2 1 は、検出波受信部 1 0 8 における音響線信号フレームデータ生成動作を示すフローチャートである。

【0 1 2 1】

まず、 j 、 i を検出波照射領域 $A x$ 内の最小値に初期化する(ステップS 1 5 7 1、1 5 7 2)。次に、検出波受信部 1 0 8 は、観測点 $P i j$ について音響線信号 $d s i j$ を生成する(ステップS 1 5 7 3)。ステップS 1 5 7 3 における処理の詳細については後述する。

30

次に、検出波照射領域 $A x$ 内の全ての i について処理を完了したか否か(ステップS 1 5 7 4)、検出波照射領域 $A x$ 内の全ての j について処理を完了したか否か(ステップS 1 5 7 6)について判定し、完了していない場合は i 、 j をインクリメント(ステップS 1 5 7 5、S 1 5 7 7)して観測点 $P i j$ について音響線信号を生成し(ステップS 1 5 7 3)、完了している場合にはステップS 1 5 7 8 に進む。

【0 1 2 2】

この段階では、1 回の送信イベントに伴う検出波照射領域 $A x$ における観測点 $P i j$ について音響線信号 $d s i j$ が生成されており、音響線信号フレームデータ $d s l$ が生成されている。ステップS 1 5 7 8 では、生成された音響線信号フレームデータ $d s l$ をデータ格納部 1 1 5 に出力され保存される。

40

以上により、図 2 0 におけるステップS 1 5 7 の処理を終了する。

【0 1 2 3】

8. ステップS 1 5 7 3 における処理の詳細について

次に、ステップS 1 5 7 3 における、観測点 $P i j$ について音響線信号を生成する処理の動作について説明する。図 2 2 は、検出波受信部 1 0 8 における観測点 $P i j$ についての音響線信号生成動作を示すフローチャートである。

まず、ステップS 1 5 7 3 1 において、遅延処理部 1 0 8 3 1 は、検出波照射領域 $A x$ 内に存在する任意の観測点 $P i j$ について、送信された超音波が被検体中の観測点 $P i j$

50

に到達する送信時間を算出する。送信時間は、上述のとおり、観測点 P_{ij} までの送信経路を、検出波送信振動子列 T_x から振動子列に垂直に発せられた検出波 p_{w1} が観測点 P_{ij} に到達するまでの最短経路 401 として算出し、送信経路の長さを超音波の音速 c_s で除することにより算出できる。

【0124】

次に、検出波パルス受信振動子列 R_x を設定する（ステップ $S15732$ ）。

次に、検出波受信振動子列 R_x 内の受波振動子 R_{wk} の振動子識別番号 k を検出波受信振動子列 R_x 内の最小値に初期化し（ステップ $S15733$ ）、送信された検出波が被検体中の観測点 P_{ij} で反射された後、検出波受信振動子列 R_x の受波振動子 R_{wk} に到達する受信時間を算出する（ステップ $S15734$ ）。受信時間は、幾何学的に定まる観測点 P_{ij} から受波振動子 R_{wk} までの経路 402 の長さを超音波の音速 c_s で除することにより算出できる。さらに、送信時間と受信時間の合計から、検出波送信振動子列 T_x から送信された超音波が観測点 P_{ij} で反射して受波振動子 R_{wk} に到達するまでの総伝播時間を算出し（ステップ $S15735$ ）、検出波受信振動子列 R_x 内の各受波振動子 R_{wk} に対する総伝播時間の差異により、各受波振動子 R_{wk} に対する遅延量を算出する（ステップ $S15736$ ）。

10

【0125】

ステップ $S15737$ において、遅延処理部 10831 は、検出波受信振動子列 R_x 内の受波振動子 R_{wk} に対応する受波信号の列から、各受波振動子 R_{wk} に対する遅延量を差引いた時間に対応する受波信号 r_{fk} を観測点 P_{ij} からの反射波に基づく受波信号として同定する。

20

次に、重み算出部（不図示）は、検出波受信振動子列 R_x 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各受波振動子 R_{wk} に対する受信アポダイゼーションを算出する（ステップ $S15738$ ）。加算部 10832 は、各受波振動子 R_{wk} に対応して同定された受波信号 r_{fk} に、各受波振動子 R_{wk} に対する重みを乗じて加算して、観測点 P_{ij} に対する音響線信号 d_{sij} を算出する（ステップ $S150159$ ）。

【0126】

検出波受信振動子列 R_x 内に存在する全ての受波振動子 R_{wk} について音響線信号 d_{sij} の算出処理を完了したか否かを判定し（ステップ $S15740$ ）、完了していない場合には k をインクリメント（ステップ $S15741$ ）して、更に受波振動子 R_{wk} について遅延量の算出し（ステップ $S15739$ ）、完了している場合にはステップ $S15742$ に進む。この段階では、検出波受信振動子列 R_x 内に存在する全ての受波振動子 R_{wk} について観測点 P_{ij} に対する音響線信号 d_{sij} が算出されている。算出された観測点 P_{ij} に対する音響線信号 d_{sij} はデータ格納部 115 に出力され保存される（ステップ $S15762$ ）。

30

【0127】

以上により、図 21 におけるステップ $S1573$ の処理を終了する。

< 効果 >

従来、被検体中の組織中に反射波が得にくい部分などがあり検出された音響線信号の信号強度が微小である場合には、検出の精度が低く音響線信号から所定の精度以上でせん断波による組織の変位を検出することが難しく、また、組織中に固い部分があり検出された変位量の絶対値が微小である場合には、検出の精度が低く変位量から所定の精度以上でせん断波の波面を算出することが難しかった。そのため、生成された弾性画像上において、本来高弾性率として表示されるべき組織内の固い部分に対応する画像領域において、弾性率が算出されていないことに起因する画像抜けが発生することがあった。

40

【0128】

しかしながら、本実施の形態 1 に係る超音波診断装置 100 によれば、波面到達時間フレームデータ中の波面到達時間データの信頼度を評価し、波面到達時間フレームデータ中の信頼度不適合領域を抽出し、波面到達時間フレームデータ中の信頼度不適合波面到達時間データを、所定の条件を満たす波面到達時間データに基づき補間して補償波面到達時間

50

データを生成し、信頼度不適合波面到達時間データを補償波面到達時間データに置き換えて補償波面到達時間フレームデータを生成する伝播情報推定部と、補償波面到達時間フレームデータに基づき、関心領域内のせん断波の伝播速度、又は、弾性率を算出する弾性率算出部とを備えた構成を採る。

【0129】

係る構成により、測定した波面到達時間データの信頼度が低い領域における弾性画像の画像抜けを抑制することができる。

実施の形態2

実施の形態1に係る超音波診断装置100では、弾性率算出部112は、関心領域 roi 内の観測点 p_{ij} について、補償波面到達時間フレームデータ $cato$ に基づいてせん断波の伝播速度を算出する構成とした。

10

【0130】

しかしながら、データ信頼度が閾値以下であることにより所定の条件を満たさない信頼度不適合観測点 L_{lij} 以外の観測点 P_{ij} については、変位量フレームデータ ptl に基づいて伝播速度フレームデータを算出する構成としもよい。

実施の形態2に係る超音波診断装置100Aでは、データ信頼度が閾値以下であることにより所定の条件を満たさない信頼度不適合観測点 L_{lij} を検出し、信頼度不適合観測点 L_{lij} 以外の観測点 P_{ij} については、変位量フレームデータ ptl に基づいて伝播速度フレームデータを算出して伝播速度フレームデータを弾性率フレームデータに変換するとともに、信頼度不適合観測点 L_{lij} については、実施の形態1と同様に弾性率算出部112は補償波面到達時間フレームデータ $cato$ に基づいてせん断波の伝播速度フレームデータを算出して伝播速度フレームデータを弾性率フレームデータに変換する構成を採る点で実施の形態1と相違する。

20

【0131】

以下、超音波診断装置100Aについて説明する。

<構成>

超音波診断装置100Aでは、伝播情報解析部、弾性率算出部の構成が実施の形態1の構成と相違するため、超音波診断装置100Aに係るこれらの構成について説明する。上記以外の構成については、超音波診断装置100と同じであり説明は省略する。

【0132】

30

図23は、超音波診断装置100Aにおける、変位検出部109、伝播情報解析部110A、伝播情報推定部111、弾性率算出部112Aの構成を示す機能ブロック図である。このうち、超音波診断装置100Aと異なる伝播情報解析部110A、弾性率算出部112Aの構成について説明する。

伝播情報解析部110Aは、波面検出部1101、波面到達時間検出部1102、相関処理部1103Aとから構成され、相関処理部1103Aを備えた点が超音波診断装置100Aと相違する。

【0133】

相関処理部1103Aは、送信イベントごとに、変位量フレームデータ ptl のシーケンスから、相互相関処理を用いて伝播速度 Cf フレームデータ vo をダイレクトに生成してデータ格納部115に出力する。

40

図24(a)(b)は、超音波診断装置100Aのせん断波の伝播解析の動作を示す模式図である。図24(a)に示すように、関心領域 roi 内にある z 方向位置が等しく所定距離 Δx 離れた観測点 P_{ij} と参照観測点 R_{ij} とを定義する。図24(b)に示すように、相関処理部1103Aは、変位量フレームデータ ptl のシーケンスに基づいて、着目観測点 P_{ij} と参照観測点 R_{ij} における変位 pt_{ij} の時系列変化データをそれぞれ抽出して、複数の時系列変化データ間において相互相関処理を行い、着目観測点 P_{ij} と参照観測点 R_{ij} 間における変位 pt_{ij} の移行時間 Δt を算出する。そして、所定距離 Δx を移行時間 Δt で除することにより着目観測点 P_{ij} に対するせん断波の伝播速度 v_{ij} を算出する。この処理により、関心領域 roi 内の各着目観測点 P_{ij} についてせ

50

せん断波の伝播速度 v_{ij} を算出することにより伝播速度 C_f フレームデータ v_o をダイレクトに生成する。

【0134】

弾性率算出部 112A は、伝播速度変換部 1121、弾性率変換部 1122A とから構成され、弾性率変換部 1122A を備えた点が超音波診断装置 100A と相違する。

弾性率変換部 1122A は、伝播速度データ v_o 、伝播速度 C_f データ v_o を入力として、関心領域 roi 内の観測点 P_{ij} が信頼度不適合観測点 L_{lij} である場合には伝播速度データ v_{ij} を観測点 p_{ij} における弾性率データ e_{lij} に変換し、関心領域 roi 内の観測点 P_{ij} が信頼度不適合観測点 L_{lij} 以外の観測点である場合には伝播速度データ $C_f v_{ij}$ を観測点 p_{ij} における弾性率データ e_{lij} に変換する。こうして、関心領域 roi に対する弾性率フレームデータ e_{lf} を生成する。

10

【0135】

弾性率算出部 112A は、生成した弾性率フレームデータ e_{lf} をデータ格納部 115 に、制御部 116 を介してそれぞれ出力する。

<動作>

超音波診断装置 100A の SWS シーケンスの動作について説明する。

超音波診断装置 100A の SWS シーケンスの動作は、超音波診断装置 100 の動作と比較して、図 10 に示す超音波診断装置 100 の SWS シーケンスの動作フローにおいて、ステップ S153 に係るせん断波の伝播情報解析の動作の詳細を示した図 13 とフローの一部が相違する。また、図 10 におけるステップ S155 が示す弾性率算出の動作が相違する。そのため、以後、異なる動作について説明する。

20

【0136】

1. せん断波の伝播情報解析の動作について

図 25 は、超音波診断装置 100A 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。ステップ S1531 から S1534 までの動作は、図 13 に示した超音波診断装置 100 のものと同じであり説明を省略する

超音波診断装置 100A では、ステップ S1534 の後に相関処理部 1103A は、変位量フレームデータ p_{tl} のシーケンスをデータ格納部 115 から読み出し（ステップ S1531A）、着目観測点 P_{ij} と所定距離 Δx 離れた参照観測点 R_{ij} における変位 p_{tij} の時系列変化データ間において相互相関処理を行い、着目観測点 P_{ij} と参照観測点 R_{ij} 間における変位 p_{tij} の移行時間 Δt を算出し（ステップ S1532A）、 Δx を Δt で除することにより着目観測点 P_{ij} に対するせん断波の伝播速度 v_{ij} を算出する。この処理を関心領域 roi 内の各着目観測点 P_{ij} について行い伝播速度 C_f フレームデータ v_o をダイレクトに生成する（ステップ S1533A）。なお、ステップ S1535 から S1538 までの動作は、図 13 に示した超音波診断装置 100 のものと同じであり説明を省略する。

30

【0137】

2. 弾性率算出の動作について

弾性率算出部 112 は、関心領域 roi 内の観測点 p_{ij} について、補償波面到達時間フレームデータ $cato$ に基づいてせん断波の伝播速度、又は、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 e_{lf} を算出する。図 26 は、超音波診断装置 100A における弾性率算出の動作を示すフローチャートである。図 10 におけるステップ S155 における処理の詳細を示したものである。

40

【0138】

まず、弾性率変換部 1122A は、送信イベントごとに信頼度不適合領域検出部 1111 から関心領域 roi 内の信頼度不適合観測点 L_{lij} の座標 ij に関する信頼度不適合領域情報を取得する（ステップ S1551A）。

次に、 i 、 j を関心領域 roi 内の最小値に初期化する（ステップ S1552A、S1553A）。弾性率変換部 1122A は、着目観測点 P_{ij} が信頼度不適合領域に含まれるか否かを判定し（ステップ S1554A）、着目観測点 P_{ij} が信頼度不適合領域に含ま

50

れる場合 (Yes) には、着目観測点 P_{ij} の補償波面到達時間データ c_{atij} をデータ格納部 115 から読み出し (ステップ S1555A)、ステップ S1552 と同様の方法にて伝播速度データ v_{ij} に変換する (ステップ S156A)。着目観測点 P_{ij} が信頼度不適合領域に含まれない場合 (No) には、弾性率変換部 1122A は、着目観測点 P_{ij} の伝播速度 C_f データ v_{ij} をデータ格納部 115 から読み出す (ステップ S1558A)。次に、弾性率算出部 112A は、伝播速度フレーム v_{ij} 又は伝播速度 C_f データ v_{ij} を弾性率データ e_{lij} に変換し (ステップ S1557A)、関心領域 roi 内の全ての j について処理を完了したか否か (ステップ S1559A)、関心領域 roi 内の全ての i について処理を完了したか否か (ステップ S1561A) について判定し、完了していない場合は i 、 j をインクリメント (ステップ S1560A、S1562A) して新たな観測点 P_{ij} について弾性率データ e_{lij} を生成し (ステップ S1557A)、完了している場合には、弾性率フレームデータ e_{lf} をデータ格納部 115 に保存して (ステップ S1561A) 処理を終了する。

【0139】

以上により弾性率計測の計算処理を終了する。

3. 相互相関処理を用いたせん断波の伝播速度 v_{ij} 算出方法

について説明する。図 27 は、図 25 のステップ S1532A、S1533A と同様のステップで用いることができるせん断波の伝播速度 v_{ij} の出力データ作成手順を示すフローチャートである。

【0140】

本フローチャートは、変数 l についてのループ、変数 i についてのループ、変数 j についてのループが多重化されている。変数 l についてのループは、 x 方向 (振動子列方向) 位置 i における波面の到達時間と、 x 方向位置 $i+1$ における波面の到達時間とのずれを意味する変数 l についてのループであり、変数 l がとり得る様々な値について、 R_{fg} 、 C_{fg} を算出するもためのループである。ここで、 $f_i(t)$ は、 x 方向位置 (i) における時間軸方向の波面位置の変化量を示し、 $g_{i+1}(t)$ は、 x 方向位置 ($i+1$) における時間軸方向の波面位置の変化量である。変数 i についてのループは、1 つの z 方向 (被検体深さ方向) 位置における複数 x 方向位置のそれぞれについて、せん断波の伝播速度を算出するためのループである。変数 j についてのループは、 z 方向位置のそれぞれについて、 $v(i, j)$ を繰り返すためのループである

ステップ S71 では、 z 方向のそれぞれの位置を示す変数 j を 1 に初期化し、ステップ S72 では、振動子配列方向のそれぞれの位置を示す変数 i を 1 で初期化する。ステップ S73 は、変数 l を 1 で初期化する。ステップ S74 では、変数初期化又は変数更新により一個の値が設定された変数 l について、積和演算を行い、 $f_i(t)$ と、 $g_{i+1}(t+1)$ との相関値 C_{fg} を算出する。ステップ S75 では、相関値 C_{fg} を正規化して、正規化された相関値 R_{fg} を得る。ステップ S76 は、変数 l についての終了要件であり、 l が最大値 max に達していなければ、変数 l をインクリメントして (ステップ S70)、ステップ S74 に戻る。変数 l が最大値 max に達するまで、変数 l のインクリメントと、 C_{fg} の算出、正規化が繰り返される。 l が最大値 max に達すると (ステップ S76 が Yes)、ステップ S77 に移行する。ステップ S77 は、 $l = 1, 2, 3, 4, 5 \dots n$ のそれぞれの値についての R_{fg} のうち、最小のものに変数 l を乗ずることで、時間方向のずれ量 τ を算出する。そしてステップ S78 では、 $v = k / (\tau T)$ の計算によりせん断波速度の局所値を算出して、座標 (i, j) におけるせん断波の伝播速度 $v(i, j)$ を得る。

【0141】

ステップ S80 は、変数 i が最大値 max に達したかどうかの判定であり、達していなければ、変数 i をインクリメントして (ステップ S81)、ステップ S73 に戻る。ステップ S82 は、変数 j のループの終了要件であり、達していなければ (ステップ S82 が No)、ステップ S83 で変数 j をインクリメントして、ステップ S72 に戻る。変数 j が最大値 max に達すれば、ループを抜ける。ステップ S84 は、全てのループが終了し

た後の後処理であり、各 x 方向位置、 z 位置についてのせん断波の伝播速度 $v(i, j)$ の出力データを得る。

【0142】

以上のように、本計算方法では、みかけ上の時間分解能、空間分解能を高めることができる。これにより、硬性組織の通過で局所的に上昇した瞬間のせん断波の速度を算出することができるので、弾性評価を高精度に行うことができる。

以上により、SWSシーケンスの処理が終了する。以上の超音波診断装置100Aの超音波弾性率計測処理により、SWSシーケンス弾性率フレームデータelfを算出することができる。

【0143】

10

<効果>

以上、説明したように、実施の形態2に係る超音波診断装置100Aでは、データ信頼度が閾値以下であることにより所定の条件を満たさない信頼度不適合観測点 L_{lij} を検出し、信頼度不適合観測点 L_{lij} 以外の観測点 P_{ij} については、変位量フレームデータptlに基づいて伝播速度フレームデータを算出して伝播速度フレームデータを弾性率フレームデータに変換するとともに、信頼度不適合観測点 L_{lij} については、実施の形態1と同様に弾性率算出部112は補償波面到達時間フレームデータcatに基づいてせん断波の伝播速度フレームデータを算出して伝播速度フレームデータを弾性率フレームデータに変換する構成を採る。

【0144】

20

係る構成により、超音波弾性率計測において、信頼度不適合観測点 L_{lij} については、測定した波面到達時間データの信頼度が低い領域における弾性画像の画像抜けを抑制するとともに、信頼度不適合観測点 L_{lij} 以外の観測点 P_{ij} については、時間分解能、空間分解能を高め高精度に伝播速度フレームデータ及び弾性率フレームデータを算出することができる。

【0145】

<その他の変形例>

なお、本発明を上記実施の形態に基づいて説明してきたが、本発明は、上記の実施の形態に限定されず、以下のような場合も本発明に含まれる。

例えば、実施の形態2に係る超音波診断装置100Aでは、データ信頼度が閾値以下である信頼度不適合観測点 L_{lij} を検出し、信頼度不適合観測点 L_{lij} 以外の観測点 P_{ij} については、変位量フレームデータptlに基づいて伝播速度フレームデータを算出して伝播速度フレームデータを弾性率フレームデータに変換するとともに、信頼度不適合観測点 L_{lij} については、実施の形態1と同様に弾性率算出部112は補償波面到達時間フレームデータcatに基づいてせん断波の伝播速度フレームデータを算出して伝播速度フレームデータを弾性率フレームデータに変換する構成を採る構成とした。しかしながら、データ信頼度が閾値以下である信頼度不適合観測点 L_{lij} を検出し、信頼度不適合観測点 L_{lij} と信頼度不適合観測点 L_{lij} 以外の観測点 P_{ij} とのそれぞれに適した異なる信号処理を並列に適用して、信頼度不適合観測点 L_{lij} と信頼度不適合観測点 L_{lij} 以外の観測点 P_{ij} とに異なる処理から得られた弾性画像を同時に生成して出力する構成であれば、処理方法は伝播速度フレームデータを算出方法に限られないことは言うまでもない。例えば、変位検出、波面検出、弾性率への変換、画像中の形状認識、動き判定等について、信頼度不適合観測点 L_{lij} と信頼度不適合観測点 L_{lij} 以外の観測点 P_{ij} とのそれぞれに適した異なる信号処理を施してもよい。

30

40

【0146】

また、実施の形態に係る超音波診断装置100では、送信部106、検出波受信部108、変位検出部109、伝播情報解析部110、伝播情報推定部111、弾性率算出部112の構成は、実施の形態に記載した構成以外にも、適宜変更することができる。

例えば、実施の形態では、プローブ101に存する全ての振動子101aからプッシュ波の送信を行う構成としたが、送信部106は、プローブ101に存する複数の振動子1

50

01aの一部に当たる振動子列からなるプッシュ波送信振動子列Pxを設定し、SWSシーケンスごとに送信振動子列を列方向に漸次移動させながら超音波送信を繰り返す構成としてもよい。プッシュ波による音響放射圧を増加することができる。

【0147】

また、実施の形態では、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内の一部領域に設定される構成としたが、関心領域roiをその最大範囲である検出波照射領域Ax全体に設定した構成としてもよい。

また、実施の形態では、検出波照射領域Ax内の一部領域に設定し、プッシュ波パルス発生部104は、プッシュ波送信振動子列Pxを、複数の振動子101a全部とし、プッシュ波の送信焦点Fを関心領域roi内に単数設定する構成とし、関心領域roiに検出波pw1の送受信を複数回繰り返すSWSシーケンスを行い、1回のSWSシーケンスにより関心領域roi内に位置する観測点について弾性率フレームデータelを算出する構成とした。しかしながら、関心領域roiを、検出波照射領域Ax内の一部領域に設定し、SWSシーケンス毎に送信焦点Fを列方向に漸次移動させてプッシュ波ppを送信するとともに、送信焦点Fの位置に基づいて関心領域roi内の対象観測領域を異ならせて検出波pw1の送受信を複数回繰り返し、SWSシーケンスごとに関心領域roiの一部領域について算出された合成弾性率フレームデータempを合成して関心領域roi全体に対する統合SWSシーケンス合成弾性率elを算出する構成としてもよい。

【0148】

また、実施の形態では、観測点の存在領域は、受波振動子列と垂直であって振動子列と同幅の領域とした。

しかしながら、これに限定されるものではなく、超音波照射領域に含まれる任意の領域に設定してもよい。例えば、受信振動子列の列中心を通り振動子列に垂直な直線を中心線とする複数の振動子幅の帯状の矩形領域としてもよい。

【0149】

また、本発明は、例えば、マイクロプロセッサとメモリを備えたコンピュータシステムであって、上記メモリは、上記コンピュータプログラムを記憶しており、上記マイクロプロセッサは、上記コンピュータプログラムにしたがって動作するとしてもよい。例えば、本発明の超音波診断装置の診断方法のコンピュータプログラムを有しており、このプログラムに従って動作する(又は接続された各部位に動作を指示する)コンピュータシステム

【0150】

また、上記超音波診断装置の全部、もしくは一部、またビームフォーミング部の全部又は一部を、マイクロプロセッサ、ROM、RAM等の記録媒体、ハードディスクユニットなどから構成されるコンピュータシステムで構成した場合も本発明に含まれる。上記RAM又はハードディスクユニットには、上記各装置と同様の動作を達成するコンピュータプログラムが記憶されている。上記マイクロプロセッサが、上記コンピュータプログラムにしたがって動作することにより、各装置はその機能を達成する。

【0151】

また、上記の各装置を構成する構成要素の一部又は全部は、1つのシステムLSI(Large Scale Integration(大規模集積回路))から構成されるとしてもよい。システムLSIは、複数の構成部を1個のチップ上に集積して製造された超多機能LSIであり、具体的には、マイクロプロセッサ、ROM、RAMなどを含んで構成されるコンピュータシステムである。これらは個別に1チップ化されてもよいし、一部又は全てを含むように1チップ化されてもよい。なお、LSIは、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。上記RAMには、上記各装置と同様の動作を達成するコンピュータプログラムが記憶されている。上記マイクロプロセッサが、上記コンピュータプログラムにしたがって動作することにより、システムLSIは、その機能を達成する。例えば、本発明のビームフォーミング方法がLSIのプログラムとして格納されており、このLSIがコンピュータ内に挿

入され、所定のプログラム（ビームフォーミング方法）を実施する場合も本発明に含まれる。

【0152】

なお、集積回路化の手法はLSIに限るものではなく、専用回路また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りコンフィギュラブル・プロセッサ（Reconfigurable Processor）を利用してもよい。

【0153】

さらには、半導体技術の進歩また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。

また、各実施の形態に係る、超音波診断装置の機能の一部又は全てを、CPU等のプロセッサがプログラムを実行することにより実現してもよい。上記超音波診断装置の診断方法や、ビームフォーミング方法を実施させるプログラムが記録された非一時的なコンピュータ読み取り可能な記録媒体であってもよい。プログラムや信号を記録媒体に記録して移送することにより、プログラムを独立した他のコンピュータシステムにより実施するとしてもよい、また、上記プログラムは、インターネット等の伝送媒体を介して流通させることができるのは言うまでもない。

【0154】

上記実施形態に係る超音波診断装置では、記憶装置であるデータ格納部を超音波診断装置内に含む構成としたが、記憶装置はこれに限定されず、半導体メモリ、ハードディスクドライブ、光ディスクドライブ、磁気記憶装置、等が、超音波診断装置に外部から接続される構成であってもよい。

また、ブロック図における機能ブロックの分割は一例であり、複数の機能ブロックを一つの機能ブロックとして実現したり、一つの機能ブロックを複数に分割したり、一部の機能を他の機能ブロックに移してもよい。また、類似する機能を有する複数の機能ブロックの機能を単一のハードウェア又はソフトウェアが並列又は時分割に処理してもよい。

【0155】

また、上記のステップが実行される順序は、本発明を具体的に説明するために例示するためのものであり、上記以外の順序であってもよい。また、上記ステップの一部が、他のステップと同時（並列）に実行されてもよい。

また、超音波診断装置には、プローブ及び表示部が外部から接続される構成としたが、これらは、超音波診断装置内に一体的に具備されている構成としてもよい。

【0156】

また、上記実施の形態においては、プローブは、複数の圧電振動子が一次元方向に配列されたプローブ構成を示した。しかしながら、プローブの構成は、これに限定されるものではなく、例えば、複数の圧電変換振動子を2次元方向に配列した2次元配列振動子や、一次元方向に配列された複数の振動子を機械的に揺動させて三次元の断層画像を取得する揺動型プローブを用いてもよく、測定に応じて適宜使い分けることができる。例えば、2次元に配列されたプローブを用いた場合、圧電変換振動子に電圧を与えるタイミングや電圧の値を個々に変化させることによって、送信する超音波ビームの照射位置や方向を制御することができる。

【0157】

また、プローブは、送受信部の一部の機能をプローブに含んでもよい。例えば、送受信部から出力された送信電気信号を生成するための制御信号に基づき、プローブ内で送信電気信号を生成し、この送信電気信号を超音波に変換する。併せて、受信した反射波を受波信号に変換し、プローブ内で受波信号に基づき音響線信号を生成する構成を採ることができる。

【0158】

また、各実施の形態に係る超音波診断装置、及びその変形例の機能のうち少なくとも一

10

20

30

40

50

部を組み合わせてもよい。更に上記で用いた数字は、全て本発明を具体的に説明するために例示するものであり、本発明は例示された数字に制限されない。さらに、本実施の形態に対して当業者が思いつく範囲内の変更を施した各種変形例も本発明に含まれる。

まとめ

以上、説明したように、本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の特定部位に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、前記複数の振動子にプッシュ波パルスを供給することにより、前記複数の振動子に前記特定部位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、前記プッシュ波パルスに続き、前記複数の振動子に検出波パルスを供給して前記複数の振動子に被検体中の解析対象範囲を表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被検体組織からの反射検出波に基づき、前記関心領域内の複数の観測点について音響線信号を生成して音響線信号フレームデータのシーケンスを生成する検出波受信部と、前記音響線信号フレームデータのシーケンスから、前記反射検出波の受信時刻それぞれにおける前記関心領域内の組織の変位を検出して変位量フレームデータのシーケンスを生成する変位検出部と、各前記受信時刻における前記変位量フレームデータからせん断波の波面位置を抽出して波面フレームデータのシーケンスを生成し、複数の前記波面フレームデータそれぞれに含まれる波面の位置と前記受信時刻とを対応させることにより波面到達時間フレームデータを生成する伝播情報解析部と、前記波面到達時間フレームデータ中の波面到達時間データの信頼度を評価し、前記波面到達時間フレームデータ中の所定の条件を満たさない信頼度不適合波面到達時間データを、所定の条件を満たす前記波面到達時間データに基づき補間して補償波面到達時間データを生成し、前記信頼度不適合波面到達時間データを前記補償波面到達時間データに置き換えて補償波面到達時間フレームデータを生成する伝播情報推定部と、前記補償波面到達時間フレームデータに基づき、前記関心領域内のせん断波の伝播速度、又は、弾性率を算出する弾性率算出部とを備えた超音波診断装置。ことを特徴とする。

【0159】

係る構成により、超音波弾性率計測において、測定した波面到達時間データの信頼度が低い領域における弾性画像の画像抜けを抑制することができる。

また、別の態様では、上記何れかに記載の構成において、前記伝播情報推定部は、前記波面到達時間フレームデータ中の、当該フレームデータが依拠した前記音響線信号フレームデータにおける音響線信号の信号強度が閾値以下である信頼度不適合領域に含まれる前記波面到達時間データを前記信頼度不適合波面到達時間データとする構成であってもよい。

【0160】

係る構成により、検体中の組織中に反射波が得にくい部分などがあり検出された音響線信号の信号強度が微小である場合には、検出の精度が低く音響線信号から所定の精度以上でせん断波による組織の変位を検出することが難しい場合において、測定した波面到達時間データの信頼度が低い領域における弾性画像の画像抜けを抑制することができる。

また、別の態様では、上記何れかに記載の構成において、前記伝播情報推定部は、前記波面到達時間フレームデータ中の、当該フレームデータが依拠した前記変位量フレームデータにおける変位量データの絶対値が閾値以下である信頼度不適合領域に含まれる前記波面到達時間データを前記信頼度不適合波面到達時間データとする構成であってもよい。

【0161】

係る構成により、被検体中の組織中に固い部分があり検出された変位量の絶対値が微小である場合には、検出の精度が低く変位量から所定の精度以上でせん断波の波面を算出することが難い場合において、測定した波面到達時間データの信頼度が低い領域における弾性画像の画像抜けを抑制することができる。

また、別の態様では、上記何れかに記載の構成において、前記伝播情報推定部は、スプ

ライン補間法、又は折れ線近似補間法を用いて前記信頼度不適合波面到達時間データを補償する構成であってもよい。

【0162】

係る構成により、簡易な演算処理により、信頼度不適合観測点 L_{ij} における波面到達時間データ a_t (信頼度不適合波面到達時間データ a_t) を、所定の条件を満たす波面到達時間データ a_t に基づき補間して補償波面到達時間データ c_{atij} を算出することができる。

また、別の態様では、前記伝播情報解析部は、前記変位量フレームデータのシーケンスに基づいて着目観測点と所定距離離れた参照観測点における変位の時系列変化データをそれぞれ算出し、前記複数の時系列変化データ間において相互相関処理を行うことにより、前記着目観測点と前記参照観測点間における変位の移行時間を算出し、前記所定距離を前記移行時間で除することにより前記着目観測点に対するせん断波の伝播速度を算出し、前記関心領域内の複数の観測点を前記着目観測点としてせん断波の伝播速度を算出することにより伝播速度フレームデータをダイレクトに生成する相関処理部を備え、前記弾性率算出部は、前記波面到達時間フレームデータ中の信頼度不適合波面到達時間データが得られた前記関心領域内の信頼度不適合領域については、前記補償波面到達時間フレームデータに依拠した伝播速度データに基づき弾性率データを算出し、前記関心領域内の前記信頼度不適合領域以外の領域については、前記ダイレクトに生成した伝播速度データに基づき弾性率データを算出する構成であってもよい。

【0163】

係る構成により、超音波弾性率計測において、信頼度不適合観測点 L_{ij} については、測定した波面到達時間データの信頼度が低い領域における弾性画像の画像抜けを抑制するとともに、信頼度不適合観測点 L_{ij} 以外の観測点 P_{ij} については、時間分解能、空間分解能を高め高精度に伝播速度フレームデータ及び弾性率フレームデータを算出することができる。

【0164】

また、別の態様では、上記何れかに記載の構成において、さらに、画像を表示する表示部を備え、前記弾性率算出部は、前記弾性率フレームデータをマッピングして弾性画像を生成し、当該弾性画像を表示用の画像に変換して前記表示部に表示させる構成であってもよい。

係る構成により、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することにより、操作者の利便性を向上することができる。

【0165】

また、別の態様では、上記何れかに記載の構成において、前記弾性率算出部は、前記補償波面到達時間データに依拠する前記弾性率データを前記補償波面到達時間データに依拠しない弾性率データと異なる態様にて表示するように弾性画像を生成する構成であってもよい。

係る構成により、操作者は、補償波面到達時間データに依拠する弾性画像の部分を測定した波面到達時間データの信頼度が低い領域であることを認識することができ、操作者の利便性を向上することができる。

【0166】

また、別の態様では、上記何れかに記載の構成において、前記検出波は、被検体中を前記複数の振動子の列と垂直に伝播する平面波である構成であってもよい。

係る構成により、被検体を特定しない場合などにおいて操作が簡便であり、初めてその被検体を測定する場合などにおいて操作者の利便性を向上することができる。

また、別の態様では、上記何れかに記載の構成において、前記検出波パルスの送信振動子の列中心と前記関心領域の前記列方向の中心とは合致する構成であってもよい。

【0167】

係る構成により、1回のSWSシーケンスにより関心領域 roi 内に位置する観測点に

ついて弾性率フレームデータ e 1 を算出することができる。

また、本実施の形態に係る超音波診断装置の制御方法は、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の特定部位に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の制御方法であって、前記複数の振動子にプッシュ波パルスを供給することにより、前記複数の振動子に前記特定部位に集束するプッシュ波を送信させる、前記プッシュ波パルスに続き、前記複数の振動子に検出波パルスを供給して前記複数の振動子に被検体中の解析対象範囲を表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被検体組織からの反射検出波に基づき、前記関心領域内の複数の観測点について音響線信号を生成して音響線信号フレームデータのシーケンスを生成し、前記音響線信号フレームデータのシーケンスから、前記反射検出波の受信時刻それぞれにおける前記関心領域内の組織の変位を検出して変位量フレームデータのシーケンスを生成し、各前記受信時刻における前記変位量フレームデータからせん断波の波面位置を抽出して波面フレームデータのシーケンスを生成し、複数の前記波面フレームデータそれぞれに含まれる波面の位置と前記受信時刻とを対応させることにより波面到達時間フレームデータを生成し、前記波面到達時間フレームデータ中の波面到達時間データの信頼度を評価し、前記波面到達時間フレームデータ中の所定の条件を満たさない信頼度不適合波面到達時間データを、所定の条件を満たす前記波面到達時間データに基づき補間して補償波面到達時間データを生成し、前記信頼度不適合波面到達時間データを前記補償波面到達時間データに置き換えて補償波面到達時間フレームデータを生成し、前記補償波面到達時間フレームデータに基づき、前記関心領域内のせん断波の伝播速度、又は、弾性率を算出する超音波診断装置の制御方法であってもよい。

10

20

【0168】

係る構成により、超音波診断装置を用いて測定した波面到達時間データの信頼度が低い領域における弾性画像の画像抜けを抑制して弾性計測をすることができる。

【符号の説明】

【0169】

- 100、100A 超音波診断装置
- 101 プローブ
- 101a 超音波振動子
- 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
- 1041 プッシュ波パルス送信部
- 105 検出波パルス発生部
- 1051 検出波パルス送信部
- 106 送信部
- 1061 駆動信号発生部
- 1062 遅延プロファイル生成部
- 1063 駆動信号送信部
- 107 マルチプレクサ部
- 108 検出波受信部
- 1081 入力部
- 1082 受波信号保持部
- 1083 整相加算部
- 10831 遅延処理部
- 10832 加算部
- 109 変位検出部
- 110、110A 伝播情報解析部
- 1101 波面検出部

30

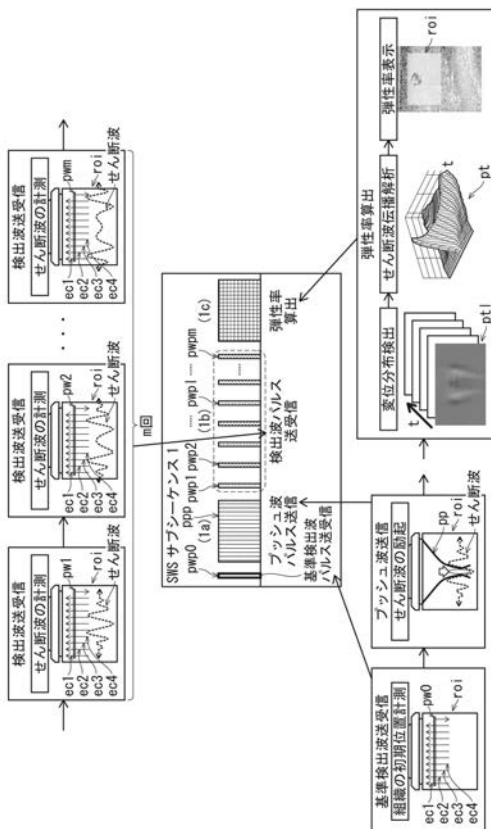
40

50

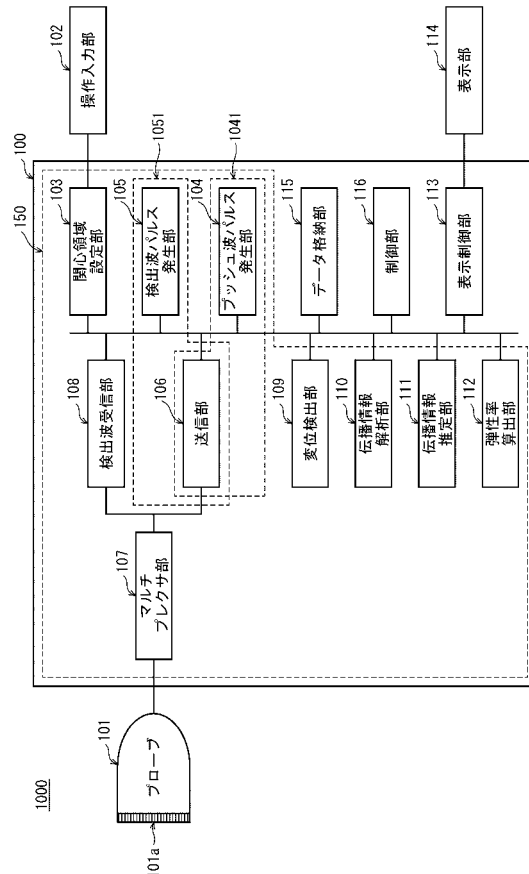
- 1 1 0 2 波面到達時間検出部
- 1 1 0 3 A 相関処理部
- 1 1 1 伝播情報推定部
- 1 1 1 1 信頼度不適合領域検出部
- 1 1 1 1 1 輝度不適合領域検出部
- 1 1 1 1 2 変位不適合領域検出部
- 1 1 1 1 3 加算部
- 1 1 1 2 波面到達時間補間部
- 1 1 2、1 1 2 A 弾性率算出部
- 1 1 2 1 伝播速度変換部
- 1 1 2 2、1 1 2 2 A 弾性率変換部
- 1 1 3 表示制御部
- 1 1 4 表示部
- 1 1 5 データ格納部
- 1 1 6 制御部
- 1 5 0 超音波信号処理回路

10

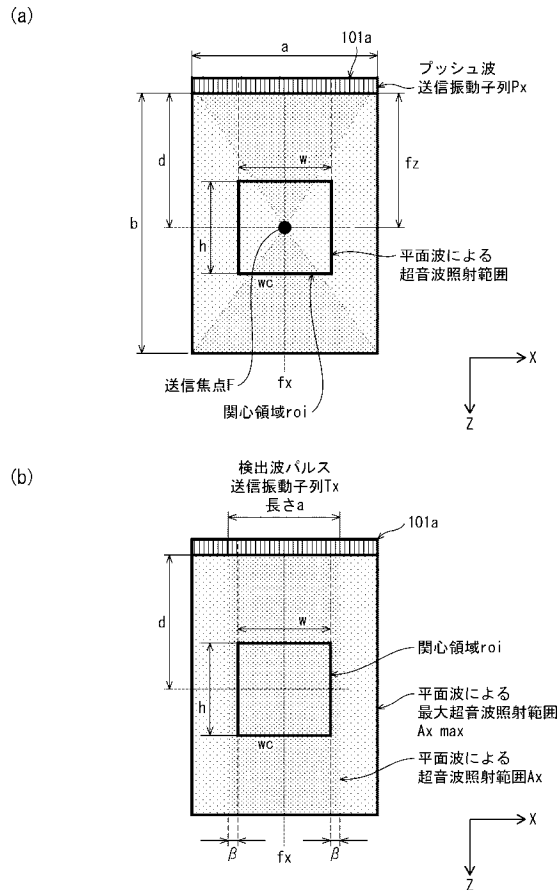
【図 1】



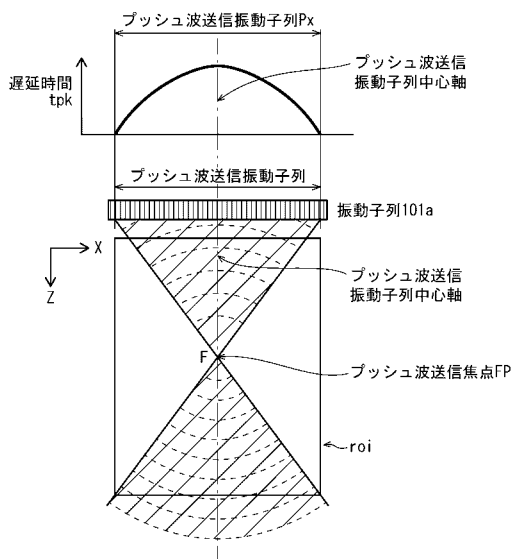
【図 2】



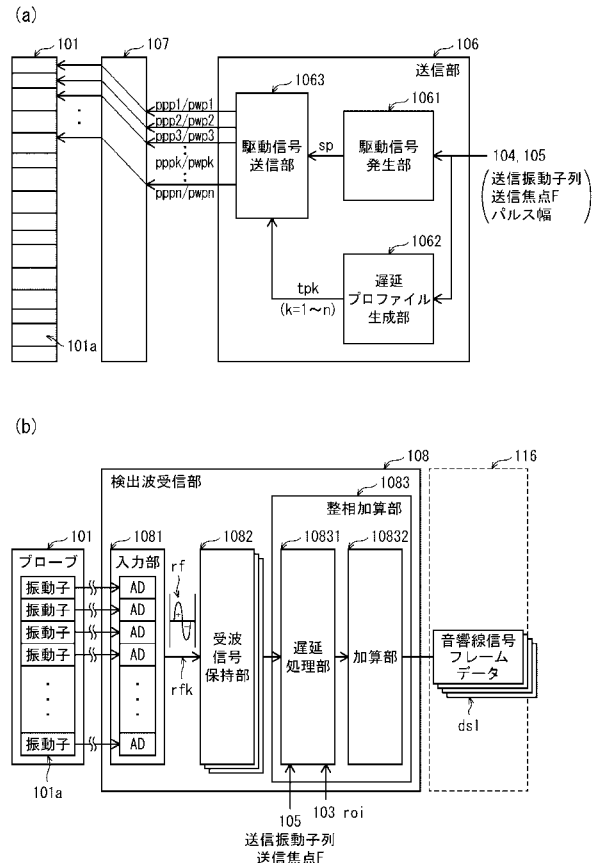
【 図 3 】



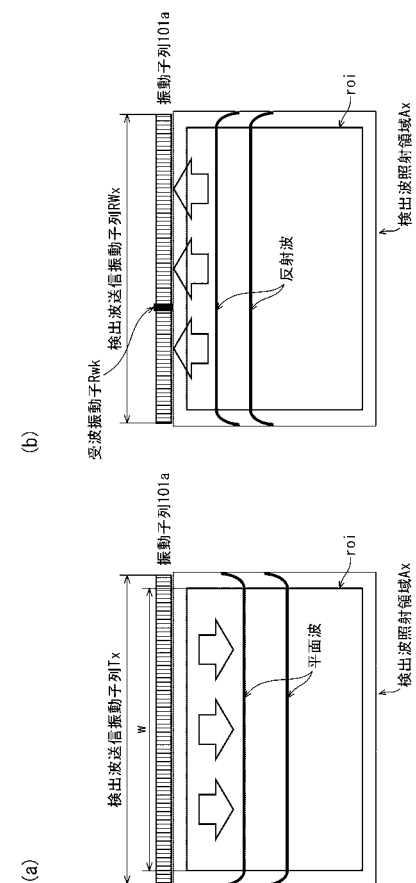
【 図 5 】



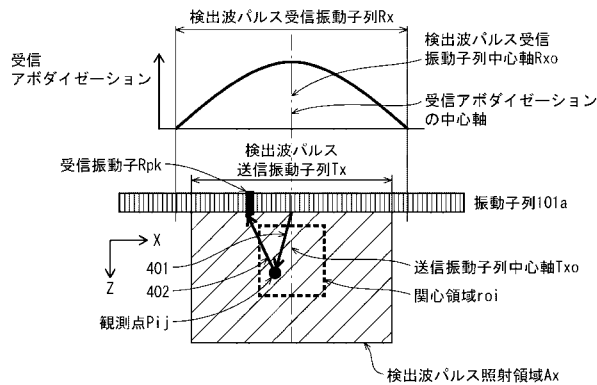
【圖 4】



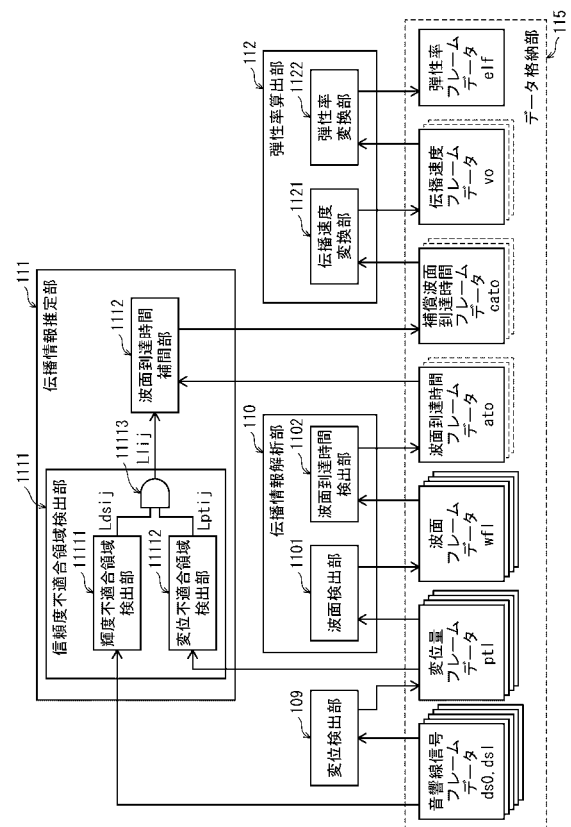
【 図 6 】



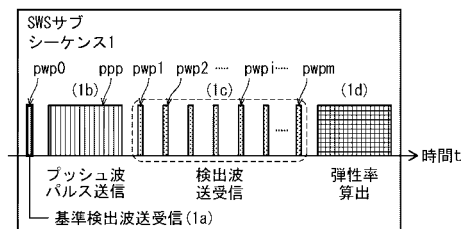
【図 7】



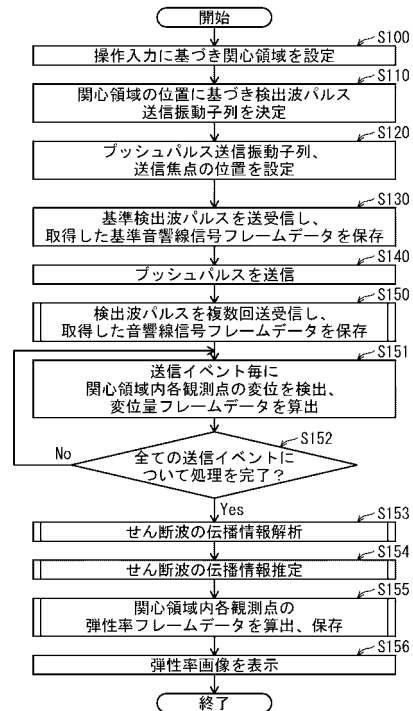
【図 8】



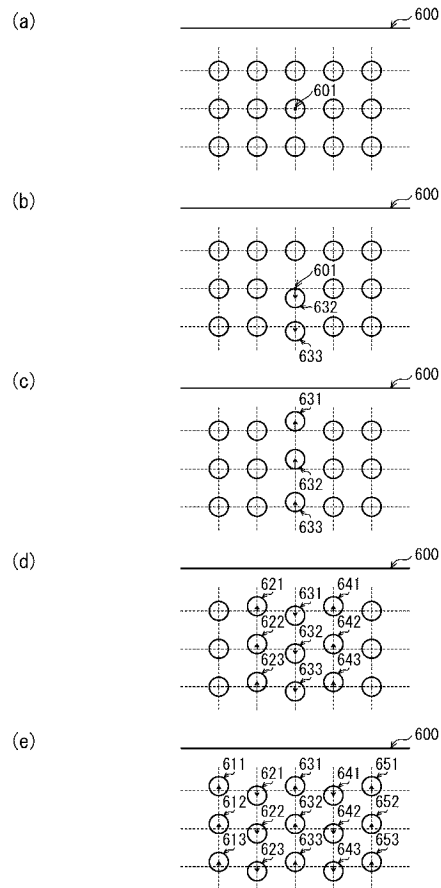
【図 9】



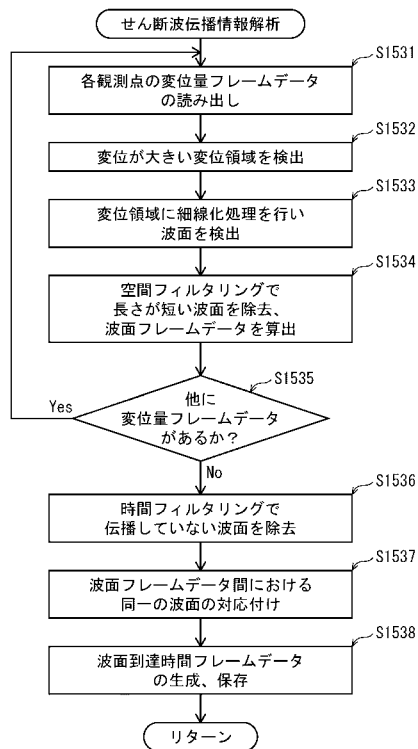
【図 10】



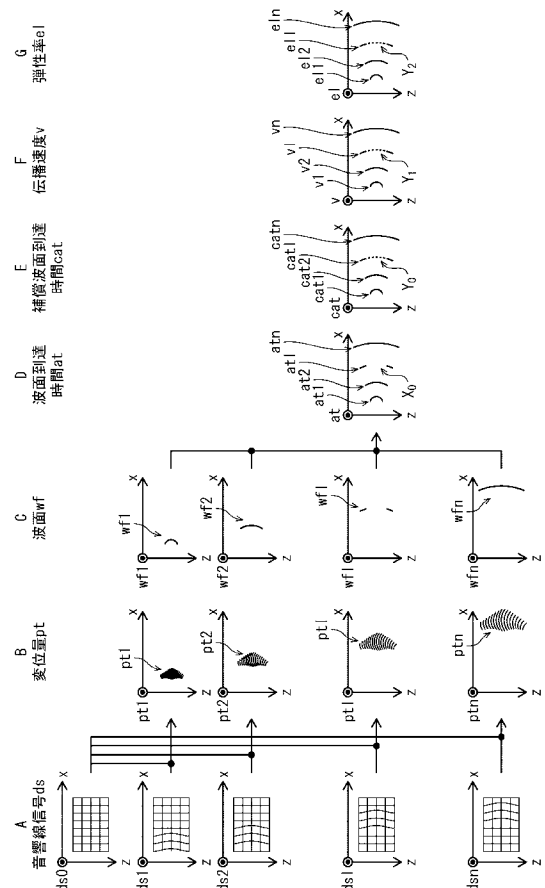
【図 1 1】



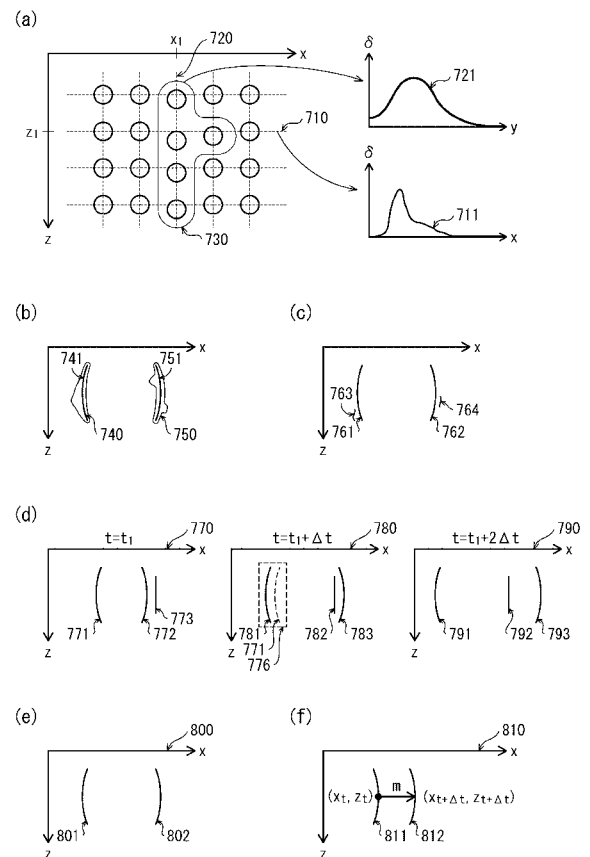
【図 1 3】



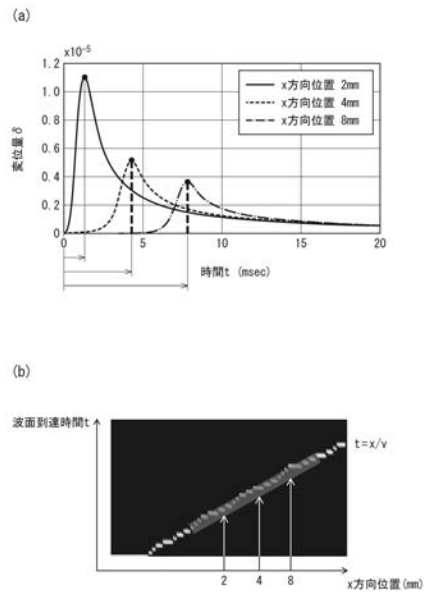
【図 1 2】



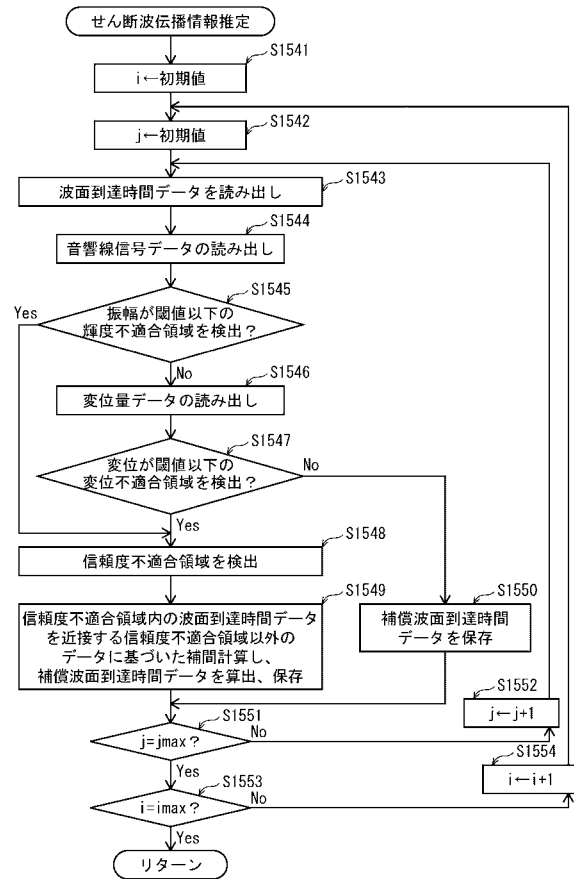
【図 1 4】



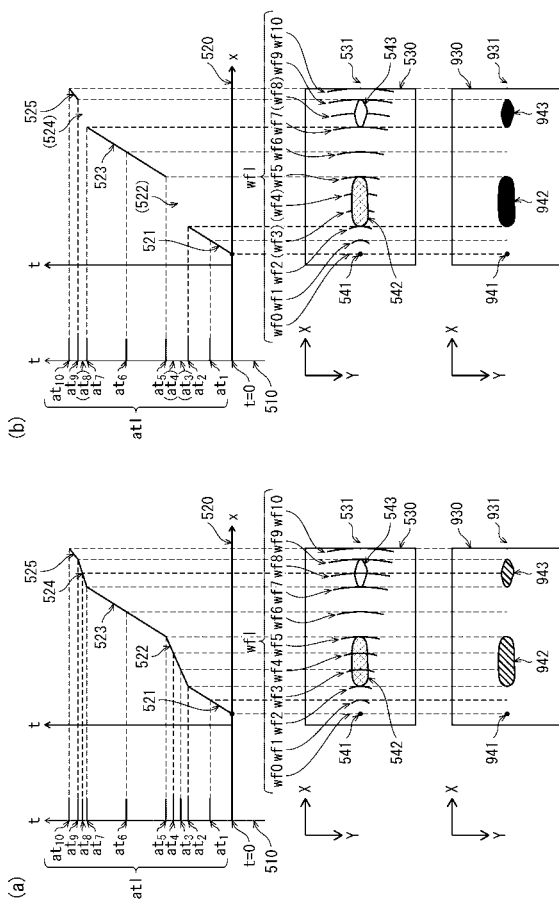
【図 15】



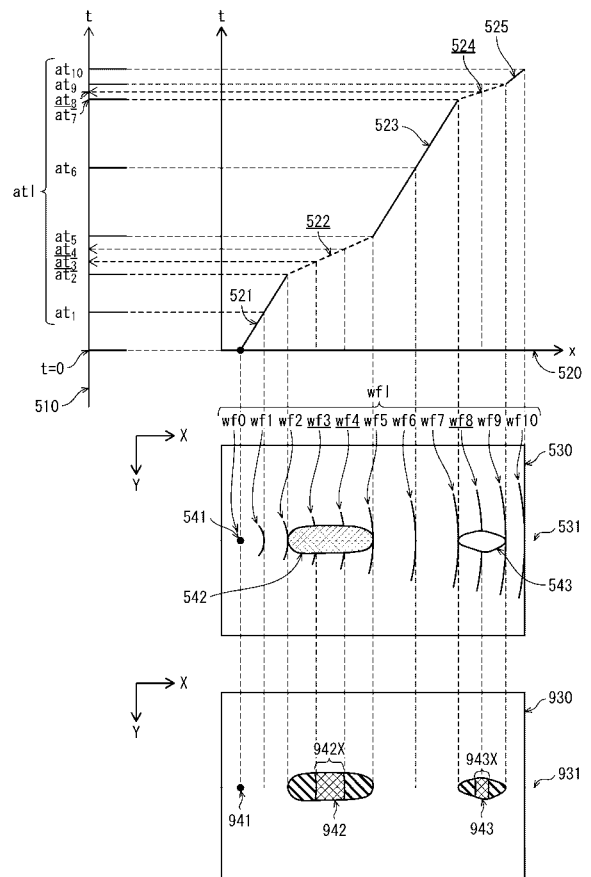
【図 16】



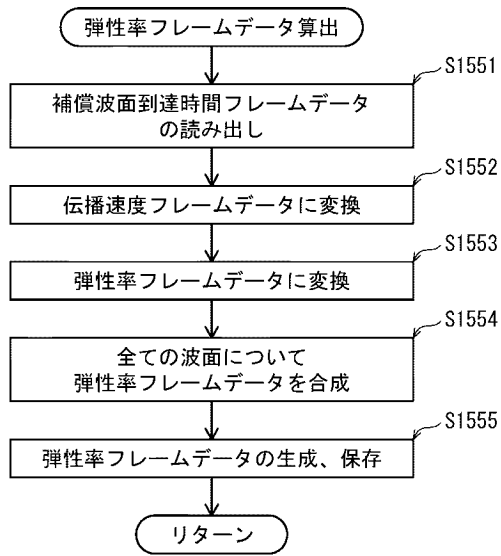
【図 17】



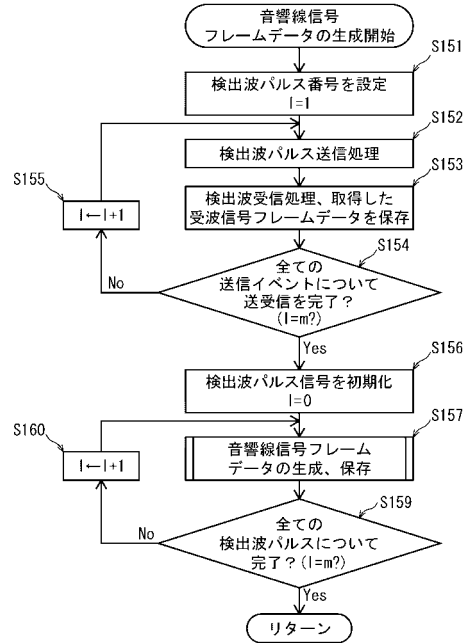
【図 18】



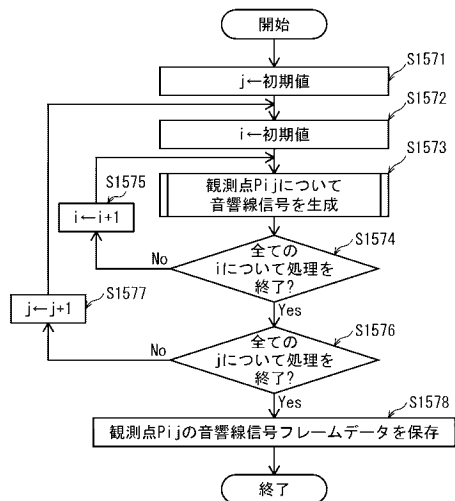
【図 19】



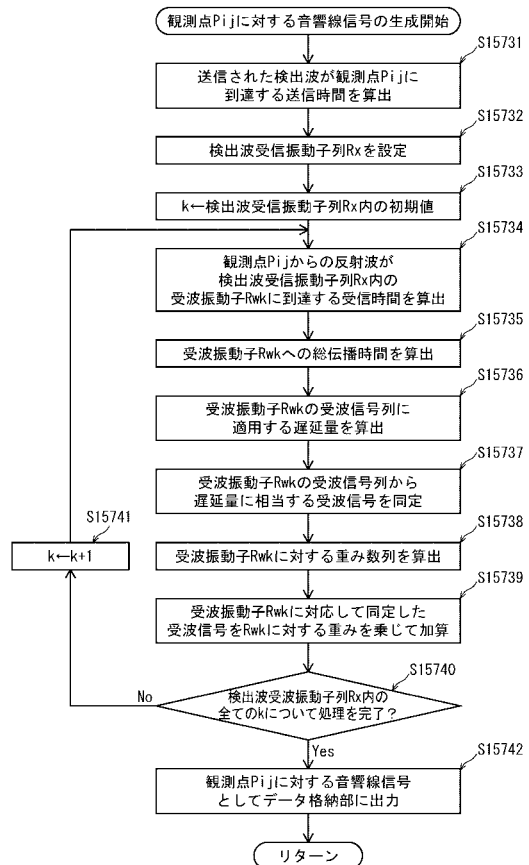
【図 20】



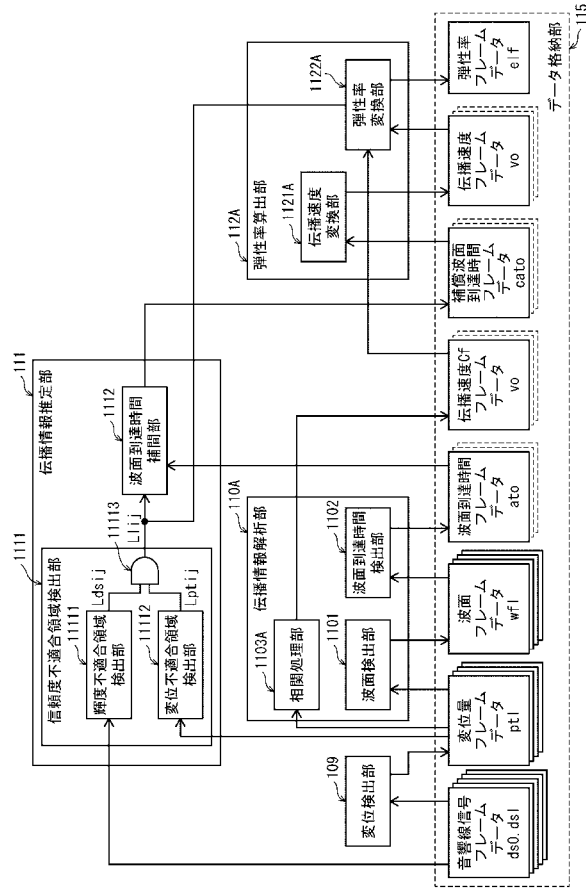
【図 21】



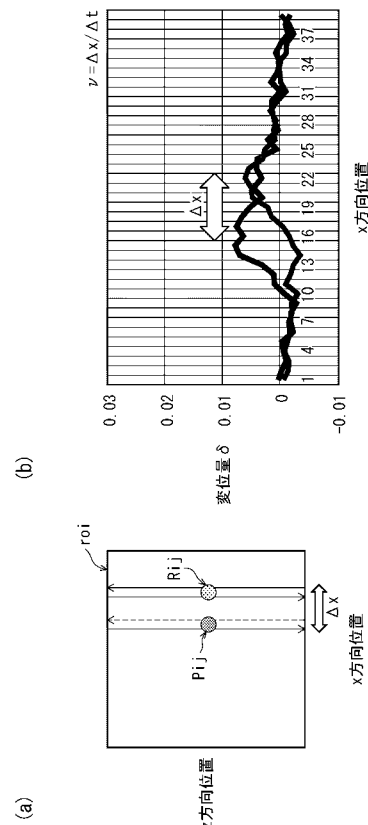
【図 22】



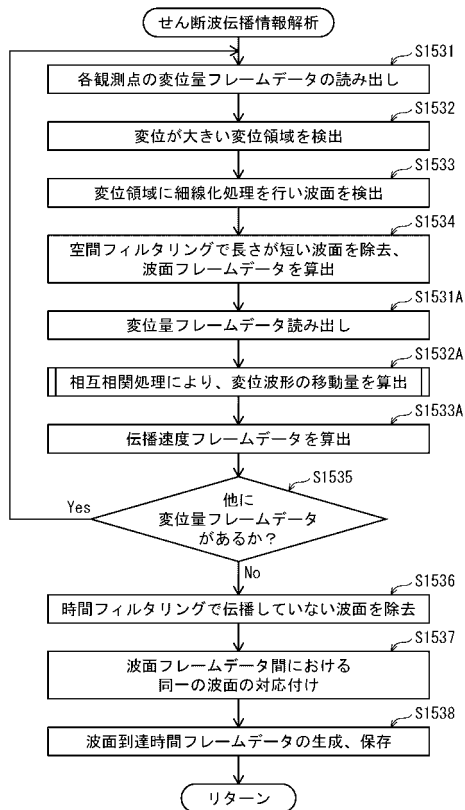
【図 2 3】



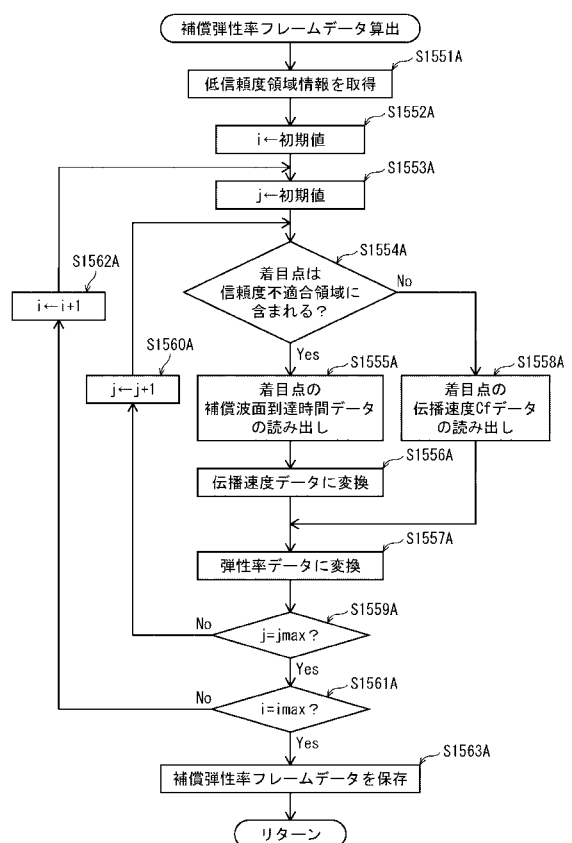
【図 2 4】



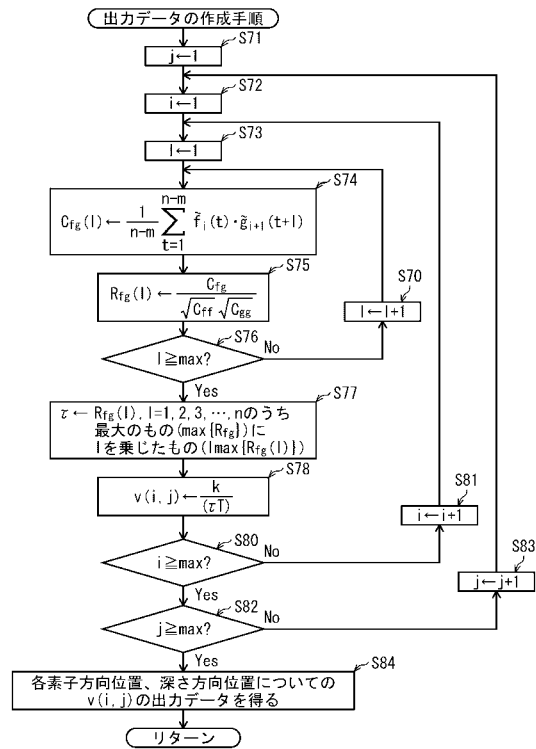
【図 2 5】



【図 2 6】



【図 27】



专利名称(译)	超声波诊断装置和超声波诊断装置的控制方法		
公开(公告)号	JP2017221512A	公开(公告)日	2017-12-21
申请号	JP2016120168	申请日	2016-06-16
[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	田路文平		
发明人	田路 文平		
IPC分类号	A61B8/08		
CPC分类号	A61B8/085 A61B8/469 A61B8/485 A61B8/5207 G01S7/52022 G01S7/52042 G01S7/52071 G01S7/52077 G01S7/52017 G01S15/8906 G06T7/0012		
FI分类号	A61B8/08		
F-TERM分类号	4C601/DD19 4C601/DD23 4C601/JC02 4C601/JC11 4C601/JC16 4C601/JC37		
其他公开文献	JP6601320B2		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

要解决的问题：在超声弹性模量测量中，在不合格区域中抑制弹性图像的图像遗漏，其中测量的波前到达时间数据的可靠性低。一种超声波诊断装置的计算结果在波前的到达时间帧数据中的波前的到达时间的数据的可靠性，在波阵面到达时间帧数据的可靠性不兼容的波前的到达时间数据，满足预定条件的波阵面通过到达时间数据的基础上，内插，以生成经补偿的波阵面到达时间数据，通过更换可靠性不相容波前的到达时间数据，以补偿波前到达时间数据并且弹性模量计算部分用于基于补偿波前到达时间帧数据计算感兴趣区域中的剪切波的传播速度或弹性模量。

