

(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2019-136063  
(P2019-136063A)

(43) 公開日 令和1年8月22日(2019.8.22)

(51) Int.Cl.

A61B 8/08 (2006.01)

F1

A61B 8/08

テーマコード(参考)

4C601

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 46 頁)

(21) 出願番号 特願2018-18957(P2018-18957)  
(22) 出願日 平成30年2月6日(2018.2.6)

(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 ナカジマ知的財産総合事務所  
 (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 DD20 DD23 EE10 EE15  
 GB04 HH05 HH08 HH24 HH25  
 JB34 JB41 JC37 KK02 KK45

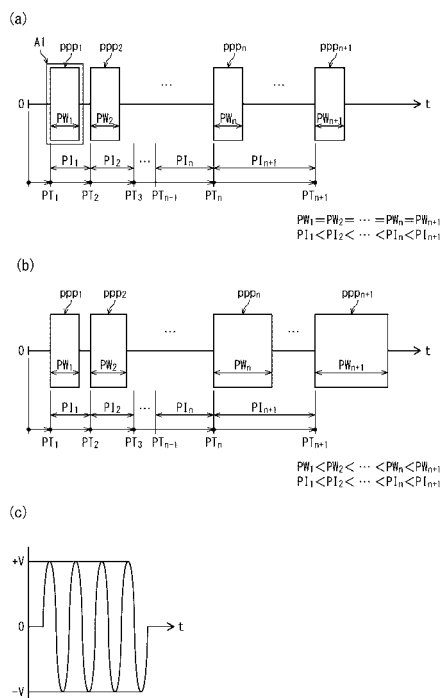
(54) 【発明の名称】 超音波診断装置、及び超音波診断装置の制御方法

(57) 【要約】

【課題】少ない消費電力にて関心領域内の超音波弾性計測の信頼度を向上する。

【解決手段】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、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において、プッシュ波パルス送信部1041は、複数の振動子101aから選択される複数の送信振動子P×それぞれに対し所定の位相が設定された所定時間長のプッシュ波パルスpppnを複数回供給することにより、複数の送信振動子Txに被検体内の深さ方向における位置が異なる複数の送信焦点FPnそれぞれに集束する複数のプッシュ波ppnを、隣接する送信焦点FPn間の間隔Fznが被検体の深部ほど大きく浅部ほど小さく、かつ、複数の送信振動子の列長Pxに対する送信焦点の深さFznの比率が被検体の深部ほど大きく浅部ほど小さく送信させる。

【選択図】図5



## 【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それぞれに対し、所定の位相が設定された所定時間長のプッシュ波パルスを複数回供給することにより、前記複数の送信振動子に被検体内の深さ方向における位置が異なる複数の送信焦点それぞれに集束する複数のプッシュ波を順次送信させるプッシュ波パルス送信部と、

前記複数のプッシュ波の送信に続き、前記複数の振動子の一部又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反射検出波に基づき、前記関心領域内のせん断波の伝播速度フレームデータを算出する伝播情報解析部とを備え、

前記プッシュ波パルス送信部は、隣接する前記送信焦点間の間隔が被検体の深部ほど大きく浅部ほど小さく、かつ、前記複数の送信振動子の列長に対する前記送信焦点の深さの比率が被検体の深部ほど大きく浅部ほど小さく、前記複数のプッシュ波を送信させる

超音波診断装置。

## 【請求項 2】

前記プッシュ波パルス送信部から、供給されるプッシュ波パルスの供給開始時間の間隔は被検体の深部ほど長く浅部ほど短い

請求項 1 に記載の超音波診断装置。

## 【請求項 3】

前記プッシュ波パルス送信部は、同一の送信振動子の列に対してプッシュ波パルスを複数回供給する

請求項 1 又は 2 に記載の超音波診断装置。

## 【請求項 4】

前記プッシュ波パルス送信部から供給されるプッシュ波パルスの供給時間は被検体の深部ほど長く浅部ほど短い

請求項 1 から 3 の何れか 1 項に記載の超音波診断装置。

## 【請求項 5】

それぞれの前記送信焦点に対し、前記送信焦点を含み超音波ビームのエネルギー密度が所定値以上の領域それぞれをフォーカス領域としたとき、

前記フォーカス領域の深さ方向の長さが、被検体の深部ほど長く浅部ほど短い

請求項 1 から 4 の何れか 1 項に記載の超音波診断装置。

## 【請求項 6】

前記プッシュ波パルス送信部は、前記複数の送信振動子を特定し、前記送信振動子毎に適用される前記プッシュ波パルスの位相、前記プッシュ波パルス毎の前記プッシュ波パルスの印加電圧及び電圧印加時間、前記プッシュ波パルス毎の前記プッシュ波パルスの最小電圧印加開始時間を設定して、前記プッシュ波パルスを供給する

請求項 1 から 5 の何れか 1 項に記載の超音波診断装置。

## 【請求項 7】

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 6 の何れか 1 項に記載の超音波診断装置。

## 【請求項 8】

さらに、前記複数回の検出波の各々に対応した前記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

10

20

30

40

50

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を備え、

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き、前記関心領域内のせん断波の伝播速度のフレームデータを算出する、

請求項 1 から 7 の何れか 1 項に記載の超音波診断装置。

【請求項 9】

前記伝播情報解析部は、各前記受信時刻における前記変位量フレームデータのシーケンス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のシーケンスを生成し、前記波面到達時間フレームデータのシーケンスに基づき前記関心領域内のせん断波の伝播速度フレームデータを算出する

10

請求項 8 に記載の超音波診断装置。

【請求項 10】

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だけ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フレームデータを算出する

20

請求項 8 に記載の超音波診断装置。

【請求項 11】

前記関心領域内のせん断波の伝播速度フレームデータに基づき、前記関心領域内の弾性率フレームデータを算出する弾性率算出部をさらに備えた

請求項 1 から 10 の何れか 1 項に記載の超音波診断装置。

【請求項 12】

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、前記関心領域内の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 11 に記載の超音波診断装置。

30

【請求項 13】

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の制御方法であって、

前記複数の振動子から選択される複数の送信振動子それぞれに対し所定の位相が設定された所定時間長のプッシュ波パルスを複数回供給することにより、前記複数の送信振動子に被検体内の深さ方向における位置が異なる複数の送信焦点それぞれに集束する複数のプッシュ波を、隣接する前記送信焦点間の間隔が被検体の深部ほど大きく浅部ほど小さく、かつ、前記複数の送信振動子の列長に対する前記送信焦点の深さの比率が被検体の深部ほど大きく浅部ほど小さく、順次送信させ、

40

前記複数のプッシュ波の送信に続き、前記複数の振動子の一部又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た前記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のシーケンスからせん断波の波面位

50

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のシーケンスを生成し、前記波面到達時間フレームデータのシーケンスに基づき前記関心領域内のせん断波の伝播速度フレームデータを算出する

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内のせん断波の伝播速度解析、及び組織の弾性率測定に関する。

10

【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。

20

【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（ShearWave）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）。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特表2006-500089号公報

【特許文献2】特開20016-7315号公報

【特許文献3】特開20016-22249号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

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。

40

【0007】

ところが、超音波弾性計測に用いるせん断波の波面形状は送信焦点を中心とするほぼ球面波状となるため、せん断波の伝播速度を正確に求めるためには、プッシュ波の送信焦点の深度と同一の深度において、せん断波の伝搬方向に対して直交した線上において変位を観測する必要があり、1つのプッシュ波で弾性値を計測できる領域は狭い領域に限られる。

【0008】

そのため、被検体内の異なる位置に複数のプッシュ波を送信することにより関心領域内に広い波面を有したせん断波を疑似的に発生させ、弾性計測領域の拡大を図る提案がされ

50

ている（例えば、特許文献 2、3）。

【0009】

しかしながら、超音波弾性計測でのせん断波の生成には強力なプッシュ波を発生させる必要があり、そのために大電力の電源回路を必要とし、さらに複数のプッシュ波を発生するためには、より大規模な電源回路を備えなければならない。このため、伝播解析の精度向上、計測領域の拡大を図るとともに省電力化が必要となる。

【0010】

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より少ない消費電力にて関心領域内の計測の信頼度を向上することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0011】

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それぞれに対し所定の位相が設定された所定時間長のプッシュ波パルスを複数回供給することにより、前記複数の送信振動子に被検体内の深さ方向における位置が異なる複数の送信焦点それぞれに集束する複数のプッシュ波を順次送信させるプッシュ波パルス送信部と、

前記複数のプッシュ波の送信に続き、前記複数の振動子の一部又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反射検出波に基づき、前記関心領域内のせん断波の伝播速度フレームデータを算出する伝播情報解析部とを備え、前記プッシュ波パルス送信部は、隣接する前記送信焦点間の間隔が被検体の深部ほど大きく浅部ほど小さく、かつ、前記複数の送信振動子の列長に対する前記送信焦点の深さの比率が被検体の深部ほど大きく浅部ほど小さく、前記複数のプッシュ波を送信させることを特徴とする。

【発明の効果】

【0012】

本開示の一態様に係る超音波診断装置及び超音波診断装置の制御方法によれば、より少ない消費電力にて関心領域内の超音波弾性計測の信頼度を向上することができる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図 1】実施の形態に係る超音波診断装置 100 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) から (c) 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。

【図 6】(a) から (d) は、プッシュ波の概要を示す模式図である。

【図 7】(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 8】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 9】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 10】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

10

20

30

40

50

図である。

【図 1 1】超音波診断装置 1 0 0 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 1 2】( 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 3】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 4】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 5】( 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 6】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

10

。【図 1 7】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 1 8】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 1 9】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 0】( a ) は被検体浅部、( b ) は深部における超音波診断装置 1 0 0 におけるプッシュ波によるせん断の態様を示すシミュレーション結果である。

【図 2 1】( a ) ( b ) は、超音波診断装置 1 0 0 におけるプッシュ波に基づくせん断波が伝播する態様を示す模式図である。

【図 2 2】( a ) ( b ) は、超音波診断装置 1 0 0 におけるプッシュ波に基づくせん断波による計測可能領域を示す模式図である。

20

【図 2 3】プッシュ波に基づくせん断波による計測可能領域の態様を示す模式図であり、( a ) は実施例、( b ) は比較例 1、( c ) は比較例 2、( d ) は変形例について示した図である。

【図 2 4】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、弾性率算出部 1 1 1 の構成を示す機能ブロック図である。

【図 2 5】( 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 6】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。

30

【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 4】

発明を実施する形態に至る経緯

弾性計測手法を用いた超音波弾性計測では、プッシュ波で弾性値を計測できる領域は狭い領域に限られ、被検体内の異なる位置に複数のプッシュ波を送信することにより関心領域内に広い波面を有したせん断波を疑似的に発生させ、伝播解析の精度向上を図ることが考えられる。

【0 0 1 5】

40

広い計測領域を確保するためには、例えば、複数のプッシュ波を連続して入射することで複数のせん断波源をほぼ同時に生成し、各波源から発生した球面波が合成されて仮想的な平面波を作成する *M a c h C o n e* 法を用いることができる。通常、*M a c h C o n e* 法では各プッシュ波の送信焦点の深さ方向の位置は等間隔に設定され、プッシュ波の送信間隔も同一に設定される。この方法によれば、1 つのプッシュ波を用いる場合と比べて、より広範囲な弾性計測を行うことができる。また、*M a c h C o n e* 法を用いた場合には、1 つのプッシュ波を用いる超音波弾性率計測 ( *S W S* シーケンス ) を複数回行い、それぞれの *S W S* シーケンスから得られた結果を統合する統合 *S W S* シーケンスの処理を行う必要もない。

【0 0 1 6】

50

一方、弾性計測手法を用いた超音波弾性計測では、せん断波の生成には強力なプッシュ波を発生させる必要があり、そのために大電力の電源回路を必要とし、伝播解析の精度向上を図るとともに省電力化が必要である。

【0017】

さらに、Mach Cone法による所要電力は、プッシュ波の数だけ倍増することになり、実用化には極めて大きな容量の電源が必要とされ、大型の機械にしか搭載することができないという制約が生じる。

【0018】

そこで、発明者は、超音波弾性計測に必要な電力を削減し、より小型の機械にも同機能を搭載可能とする構成、あるいは、電力配分を最適化することで、消費電力は同程度ながら、せん断波の検出効率を高めて高精度な計測を実現する構成について鋭意検討を行った。

10

【0019】

一般に、Bモード等では、通常、画質の均一性を確保するため、フォーカス深度に合わせてBFの送信開口数を変え、いわゆる‘F値’を一定にする。

【0020】

これに対し、発明者はプッシュ波の送信では、大きな物理的変位を起こす必要があることから、深度によらずできる限り開口数を大きく確保する構成を採ることが好ましいと考えた。この場合、被検体の浅部ではほぼ理想的な点波源を形成できるが、深部では、深度方向に広がった波源となる。このため、せん断波は、浅部では球面波状となるが、深部では曲率の緩い平面波に近い形状となる。発明者は、プッシュ波の送信焦点の深度に依存したせん断波の波面形状の違いに着目し検討を行った。その結果、浅部で同フォーカス間隔を狭く、深部で広く設定することにより、送信焦点により異なる弾性計測可能領域を過不足なく結合し、全体として広範囲な計測を可能にできることに想到した。また、当該構成の実現にあたり、浅部に送信する場合はプッシュ波の送信間隔を狭く、深部の場合は広く設定する制御を行うことにより、プッシュ波の総数を減らして超音波弾性計測に要する電力を削減できることに想到し、実施の形態に係る超音波診断装置及び超音波診断装置の制御方法に至ったものである。

20

【0021】

実施の形態 1

30

< 超音波弾性計測の概要 >

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中央の枠内に示すように、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。

【0022】

「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 $e_c$ 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。

40

【0023】

「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を励起させる。

【0024】

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 $e_c$ 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

50

では、先ず、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  $p_{t1}$  を時系列に算出し、次に、得られた変位分布  $p_{t1}$  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搬解析を行い、最後に組織弾性の分布を、例えば画像化して弾性画像（エラストグラフィ）として表示する。

#### 【0025】

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「SWSシーケンス」（（SWS：Shear Wave Speed）、複数回の「SWSシーケンス」が統合された工程を「統合SWSシーケンス」とする。

#### 【0026】

< 超音波診断システム1000 >

##### 1. 構成概要

実施の形態1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1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）101aを有する超音波プローブ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画像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。

#### 【0027】

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。

#### 【0028】

##### 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。

#### 【0029】

##### 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。

#### 【0030】

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。

#### 【0031】

##### 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。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 2 】

< 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 3 3 】

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、送信又は受信の際に用いる振動子を各々を選択し、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 1 0 7、超音波の送信を行うためにプローブ 1 0 1 の各振動子 1 0 1 a に対する高電圧印加のタイミングを制御する送信部 1 0 6 と、プローブ 1 0 1 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 1 0 8 を有する。

10

## 【 0 0 3 4 】

また、操作入力部 1 0 2 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 r o i を複数の振動子 1 0 1 a を基準に設定する関心領域設定部 1 0 3、複数の振動子 1 0 1 a にプッシュ波パルス p p p を送信させるプッシュ波パルス発生部 1 0 4、プッシュ波パルス p p p に続き検出波パルス p w p l を複数 ( m ) 回送信させる検出波パルス発生部 1 0 5 を有する。

## 【 0 0 3 5 】

また、音響線信号から関心領域 r o i 内の組織の変位を検出する変位検出部 1 0 9、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 r o i 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 1 1 0、関心領域 r o i 内の各観測点における弾性率を算出する弾性率算出部 1 1 1 を有する。

20

## 【 0 0 3 6 】

また、検出波受信部 1 0 8 が出力する音響線信号、変位検出部 1 0 9 が出力する変位量データ、伝播情報解析部 1 1 0 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 1 1 1 が出力する弾性率データ等を保存するデータ格納部 1 1 5、表示画像を構成して表示部 1 1 4 に表示させる表示制御部 1 1 3、さらに、各構成要素を制御する制御部 1 1 6 を備える。

## 【 0 0 3 7 】

このうち、マルチプレクサ部 1 0 7、送信部 1 0 6、検出波受信部 1 0 8、関心領域設定部 1 0 3、プッシュ波パルス発生部 1 0 4、検出波パルス発生部 1 0 5、変位検出部 1 0 9、伝播情報解析部 1 1 0、弾性率算出部 1 1 1 は、超音波信号処理回路 1 5 0 を構成する。

30

## 【 0 0 3 8 】

超音波信号処理回路 1 5 0 を構成する各要素、制御部 1 1 6、表示制御部 1 1 3 は、それぞれ、例えば、F P G A ( Field Programmable Gate Array )、A S I C ( 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、C P U ( Central Processing Unit ) や G P G P U ( 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とすることもできる。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とすることもできる。

40

## 【 0 0 3 9 】

データ格納部 1 1 5 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、M O、D V D、D V D - R A M、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 1 1 5 は、超音波診断装置 1 0 0 に外部から接続された記憶装置であってもよい。

## 【 0 0 4 0 】

なお、本実施の形態 1 に係る超音波診断装置 1 0 0 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 1 0 7 が不要な構成もあるし、プローブ

50

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。

【0041】

<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。

【0042】

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ゆる関心領域 $roi$ 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。

10

【0043】

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 $roi$ を示す情報を入力し、関心領域 $roi$ 内の所定位置に特定点を設定する。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 $ppn$ ( $n=1 \sim n_{max}$ )を複数( $n_{max}$ )回送信させることにより、複数の振動子101aに特定点(以後、「送信焦点 $FPn$ 」( $n=1 \sim n_{max}$ )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 $ppn$ ( $n=1 \sim n_{max}$ )を送信させる。これより、被検体中の特定部位にせん断波励起する。このとき、プッシュ波パルス $ppn$ の送信回数( $n_{max}$ )は、例えば、3以上8以下、さらに好ましくは、4以上6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。

20

【0044】

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 $ppn$ 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。

30

【0045】

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 $ppn$ 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 $wc$ と一致し、深さ方向送信焦点位置 $fzn$ ( $n=1 \sim n_{max}$ )は、隣接する送信焦点 $fzn$ 間の間隔 $fzn$ が被検体の深部ほど大きく浅部ほど小さくなる構成とした。

40

【0046】

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 $fzn$ 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 $Pxn$ ( $n=1 \sim n_{max}$ )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。これにより、送信焦点 $FPn$ の深さ(深さ方向送信焦点位置 $fzn$ の深さ方向の座標)に応じて、プッシュ波送信振動子列 $Px$ の列長に対する送信焦点 $FPn$ の深さの比率が、被検体の深部ほど大きく浅部ほど小さく構成される。

【0047】

送信焦点 $FPn$ の位置と、プッシュ波送信振動子列 $Pxn$ を示す情報は、プッシュ波パルス $ppn$ のパルス幅 $PWn$ 、印加開始時刻 $PTn$ とともに、送信制御信号として送信

50

部 106 に出力される。また、印加開始時刻  $P T_n$  の時間間隔  $P I_n$  を含めてもよい。なお、プッシュ波パルス  $p p p n$  のパルス幅  $P W_n$ 、印加開始時刻  $P T_n$ 、及び時間間隔  $P I_n$  については後述する。

【0048】

なお、以上の構成において、プッシュ波パルス送信振動子列  $P x_n$  の長さは上記に限られず、プッシュ波送信振動子列  $P x$  の列長に対する送信焦点  $F P_n$  の深さの比率が被検体の深部ほど大きく浅部ほど小さく構成される条件を満たせば、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、プッシュ波パルス送信振動子列  $P x_n$  を、複数の振動子 101a の列の一部とする構成としてもよい。また、プッシュ波パルス送信振動子列  $P x_n$  の長さが送信焦点  $F P_n$  によって異なる構成としてもよい。

10

【0049】

また、関心領域  $r o i$  と送信焦点  $F P_n$  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。

【0050】

例えば、図 3 ( a ) に示す例を、送信焦点  $F P$  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  $F P$  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。

20

【0051】

また、関心領域幅  $w$  が相対的に大きい場合には、送信焦点  $F P_n$  の列方向送信焦点位置  $f x$  が送信焦点  $F P_n$  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。

【0052】

また、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  $F P$  を設定する構成としてもよい。このとき、関心領域  $r o i$  の近傍に設定する場合には、送信焦点  $F P$  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。

【0053】

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  $F P$ 」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。

30

【0054】

また、本明細書では、以降において、プッシュ波パルス  $p p p n$ 、プッシュ波  $p p n$ 、プッシュ波送信振動子列  $P x_n$ 、送信焦点  $F P_n$ 、深さ方向送信焦点位置  $f z_n$ 、隣接する送信焦点  $f z_n$  間の間隔  $f z_n$ 、プッシュ波パルス  $p p p n$  のパルス幅  $P W_n$ 、印加開始時刻  $P T_n$ 、印加開始時刻  $P T_n$  の時間間隔  $P I_n$  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。

40

【0055】

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  $r o i$  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  $p w p l$  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  $r o i$  を通過するよう、検出波パルス送信振動子列  $T x$  に属する複数の振動子 101a に検出波  $p w$  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  $r o i$  を示す情報に基づき、超音波ビームが関心領域  $r o i$  を通過するよう、検出波パルス  $p w p l$  を送信させる振動子列 ( 以後、「検出波送信振動子列  $T x$ 」とする ) を決定する。このとき、検出波パルス  $p w p l$  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  $p w p l$  の送信間隔は、例えば、10

50

0  $\mu$ sec ~ 150  $\mu$ sec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。

【0056】

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。

10

【0057】

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。

20

【0058】

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。

【0059】

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波パルス送信部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。

30

【0060】

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。

【0061】

(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pppn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。

40

【0062】

(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

50

出波送信振動子列  $T_x$  と送信焦点  $F P_n$  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  $P T_n$  からの遅延時間  $t p_k$  ( $k$  は、1 から振動子  $101a$  の数  $k_{max}$  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。

【0063】

(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  $t p_k$  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  $p p p$  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。

10

【0064】

図 5 (a) から (c) 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。

【0065】

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  $30 \sim 40 V$  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、 $50 V$  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  $\mu s e c$  程度であるが、プッシュ波には 1 送信あたり数百  $\mu s e c$  の送信パルス長を必要とする。

20

【0066】

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 から複数 ( $n_{max}$ ) 回のプッシュ波パルス  $p p p n$  がそれぞれの印加開始時刻  $P T_n$  に複数の振動子  $101a$  に送信される。プッシュ波パルス  $p p p n$  は、図 5 (c) に示すように、所定のパルス幅  $P W_n$  (時間長) を有し所定の電圧振幅 ( $+V \sim -V$ )、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  $P W_n$  は、例えば、 $100 \sim 200 \mu s e c$ 、周波数は、例えば、 $6 M H z$ 、電圧振幅は、例えば、 $+50 V \sim -50 V$  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。

30

また、図 5 (a) に示すように、プッシュ波パルス  $p p p n$  ごとの印加開始時刻  $P T_n$  は、プッシュ波パルス  $p p p n$  ごとの印加開始時刻  $P T_n$  の時間間隔  $P I_n$  が、プッシュ波パルス  $p p p n$  の印加ごとに降順に増加する構成としている。これにより、プッシュ波パルス  $p p p n$  ごとの深さ方向送信焦点位置  $f z_n$  は、図 3 (a) に示すように、隣接する送信焦点  $f z_n$  間の間隔  $f z_n$  が被検体の深部ほど大きく浅部ほど小さくすることができる。

【0067】

また、図 5 (a) に示すように、プッシュ波パルス  $p p p n$  ごとのパルス幅  $P W_n$  は、プッシュ波パルス  $p p p n$  の印加順にかかわらず一定としてもよい。

【0068】

あるいは、図 5 (b) に示すように、プッシュ波パルス  $p p p n$  ごとのパルス幅  $P W_n$  は、プッシュ波パルス  $p p p n$  の印加ごとに降順に増加する構成としてもよい。これにより、深部送受信時の伝搬損失等によるせん断波のレベル低下を補償し、浅部 / 深部のせん断波レベルを均一に保って計測品質を高めることができる。図 5 (a) の場合と比べて、プッシュ波パルス  $p p p n$  ごとの印加開始時刻  $P T_n$  の時間間隔に適合させて電力配分を適正化できる。

40

【0069】

図 6 (a) から (d) は、プッシュ波の概要を示す模式図である。プッシュ波パルス  $p p p n$  ごとの印加開始時刻  $P T_n$  に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  $t p_k$  を有する分布が適用されたプッシュ波パ

50

ルス  $p p p$  が送信される。これにより、プッシュ波送信振動子列  $P x$  から送信焦点  $F P n$  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  $p p n$  が送信させる。このとき、隣接する送信焦点  $f z n$  間の間隔  $f z n$  は、被検体の深部ほど大きく浅部ほど小さくなるようプッシュ波  $p p n$  が送信される。

【 0 0 7 0 】

また、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である送信焦点  $F P n$  に対し、送信焦点  $F P$  を含み超音波ビームのエネルギー密度が所定値以上の領域それぞれをフォーカス領域  $F A n$  とすると、フォーカス領域  $F A n$  の深さ方向の長さ  $A F n$  は、被検体の深部ほど長く浅部ほど短い構成となる。

【 0 0 7 1 】

例えば、フォーカス領域  $F A n$  の深さ方向の長さ  $A F n$  は、

【 0 0 7 2 】

【 数 1 】

$$AF_{n+1} = AF_n \times \frac{fz_{n+1}}{AF_1} \quad \dots \text{ (式1)}$$

により規定される構成としてもよい。

【 0 0 7 3 】

また、送信焦点  $f z n$  の深さ方向の座標は、 を係数としたとき、

【 0 0 7 4 】

【 数 2 】

$$fz_{n+1} = \frac{2fz_1 + \beta a_1}{2fz_1 - \beta a_1} fz_n \quad \dots \text{ (式2)}$$

( $\beta$ :係数)

により規定される構成としてもよい。

【 0 0 7 5 】

また、駆動信号送信部 1 0 6 3 は、プローブ 1 0 1 に存する複数の振動子 1 0 1 a 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  $p w p l$  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 1 0 7 によって選択される。しかしながら、検出波パルス  $p w p l$  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 1 0 7 を用いない構成としてもよい。

【 0 0 7 6 】

図 7 ( 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  $t p k$  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  $p w p l$  が送信される。これにより、図 7 ( 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を伝搬させる。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。

【 0 0 7 7 】

送信部 1 0 6 は、プッシュ波パルス  $p p p$  送信後に、検出波パルス発生部 1 0 5 からの送信制御信号に基づき検出波パルス  $p w p l$  を複数回送信する。1 回のプッシュ波パルス  $p p p$  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  $p w p l$  送信の各回を「送信イベント」と称呼する。

【 0 0 7 8 】

10

20

30

40

50

## 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 $p w p l$ 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 $P i j$ 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 $d s l$  ( $l$ 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 $d s l$ 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 $p w p l$ 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 $A x$ における $x$ 方向の座標を示す自然数であり、 $j$ は $z$ 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。

10

【0079】

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。

【0080】

### 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。

20

【0081】

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、反射検出波受信の概要を示す図7(b)に示すように、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。

30

【0082】

### 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。

【0083】

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。

【0084】

40

### 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。

【0085】

50

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 1083 1、加算部 1083 2 を備える。

【0086】

(1) 遅延処理部 1083 1

遅延処理部 1083 1 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。

【0087】

図 8 は、遅延処理部 1083 1 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  $r o i$  内の任意の位置にある観測点  $P i j$  において反射され受信振動子  $R p k$  に到達する超音波の伝播経路を示したものである。

【0088】

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  $p w l$  は上述のとおり平面波である。したがって、遅延処理部 1083 1 は、送信イベントに対応して、観測点  $P i j$  までの送信経路を、検出波送信振動子列  $T x$  から発された検出波  $p w l$  が観測点  $P i j$  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。

【0089】

b) 受信時間の算出

遅延処理部 1083 1 は、送信イベントに対応して、観測点  $P i j$  について、観測点  $P i j$  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  $R p k$  に到達するまでの受信経路を算出する。観測点  $P i j$  での反射波が受信振動子  $R p k$  に戻っていくときの受信経路は、任意の観測点  $P i j$  から各受信振動子  $R p k$  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。

【0090】

c) 遅延量の算出

次に、遅延処理部 1083 1 は、送信時間と受信時間とから各受信振動子  $R p k$  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  $R p k$  に対する受波信号列  $r f k$  に適用する遅延量を算出する。

【0091】

d) 遅延処理

次に、遅延処理部 1083 1 は、各受信振動子  $R p k$  に対する受波信号列  $r f k$  から、遅延量に相当する受波信号  $r f k$ （遅延量を差引いた時間に対応する受波信号）を、観測点  $P i j$  からの反射波に基づく受信振動子  $R p k$  に対応する信号として同定する。

【0092】

遅延処理部 1083 1 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  $r f k$  を入力として、関心領域  $r o i$  内に位置する全ての観測点  $P i j$  について、各受信振動子  $R p k$  に対する受波信号  $r f k$  を同定する。

【0093】

(2) 加算部 1083 2

加算部 1083 2 は、遅延処理部 1083 1 から出力される受信振動子  $R p k$  に対応して同定された受波信号  $r f k$  を入力として、それらを加算して、観測点  $P i j$  に対する整相加算された音響線信号  $d s i j$  を生成する回路である。

【0094】

さらに、各受信振動子  $R p k$  に対応して同定された受波信号  $r f k$  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  $P i j$  に対する音響線信号  $d s i$

10

20

30

40

50

$j$  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  $R_{x0}$  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。

#### 【0095】

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  $ds_l$  を生成する。

#### 【0096】

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

10

#### 【0097】

##### 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  $ds_l$  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。

#### 【0098】

図 9 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。

20

#### 【0099】

変位検出部 109 は、音響線信号フレームデータ  $ds_l$  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  $ds_l$  と、基準となる 1 フレームの音響線信号フレームデータ  $ds_0$  (以下、「基準音響線信号フレームデータ  $ds_0$ 」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  $ds_0$  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  $ds_l$  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  $pp$  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  $ds_l$  と基準音響線信号フレームデータ  $ds_0$  との差分から、音響線信号フレームデータ  $ds_l$  の検出波照射領域  $A_x$  内の観測点  $P_{ij}$  の変位 (画像情報の動き)  $P_{tij}$  を検出し、変位  $P_{tij}$  を観測点  $P_{ij}$  の座標と関連付けて変位置量フレームデータ  $pt_l$  ( $l$  は 1 から  $m$  までの自然数、番号を区別しない場合は変位置量フレームデータ  $pt_l$  とする) を生成する。変位検出部 109 は、生成した変位置量フレームデータ  $pt_l$  をデータ格納部 115 に出力する。

30

#### 【0100】

##### 4 伝播情報解析部 110

伝播情報解析部 110 は、関心領域  $roi$  内の複数の観測点  $P_{ij}$  について波面到達時間データ  $at_{ij}$  を算出し、関心領域  $roi$  に対する波面到達時間フレームデータ  $at_l$  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。

40

#### 【0101】

波面検出部 1101 は、送信イベントごとに、変位置量フレームデータ  $pt_l$  のシーケンスから、関心領域  $roi$  内の観測点  $P_{ij}$  について、複数回の検出波パルス  $pp_l$  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  $wf_{ij}$  を表した波面フレームデータ  $wf_l$  ( $l$  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  $wf_l$  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。

#### 【0102】

具体的には、波面検出部 1101 は、変位置量フレームデータ  $pt_l$  をデータ格納部 115 から取得する。伝播情報解析部 110 は、変位置量フレームデータ  $pt_l$  から変位データ  $P_{tij}$  の極大点を検出し、 $XZ$  平面内で連続している変位データ  $P_{tij}$  の極大点をそ

50

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。変位データ  $p t i j$  から波面位置  $w f i j$  の抽出方法については、図 13、図 15 (a) (b) において後述する。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。

#### 【0103】

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かず自然数、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。

10

#### 【0104】

伝播速度変換部 1103 は、波面到達時間フレームデータ  $a t o$  を、関心領域  $r o i$  内の観測点  $P i j$  における伝播速度データ  $v i j$  に変換して、関心領域  $r o i$  に対する伝播速度フレームデータ  $v o$  ( $o$  は異なる波面の数をあらかず自然数、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。

#### 【0105】

##### 6 弾性率算出部 111

弾性率算出部 111 は、関心領域  $r o i$  内の観測点  $P i j$  について組織の弾性率を算出し、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  $v o$  を入力として、伝播速度データ  $v$  を関心領域  $r o i$  内の観測点  $P i j$  における弾性率データ  $e l$  に変換して、関心領域  $r o i$  に対する弾性率フレームデータ  $e l f$  を生成してデータ格納部 115 に出力する。

20

#### 【0106】

##### 8 . その他の構成

データ格納部 115 は、生成された受波信号列  $r f$ 、音響線信号フレームデータ  $d s l$  のシーケンス、変位量フレームデータ  $p t l$  のシーケンス、波面フレームデータ  $w f l$  のシーケンス、波面到達時間フレームデータ  $a t$ 、補償波面到達時間フレームデータ  $c a t$ 、伝播速度フレームデータ  $v l$ 、弾性率フレームデータ  $e l$  を逐次記録する記録媒体である。

30

#### 【0107】

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。

#### 【0108】

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  $p p p$  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。

40

#### 【0109】

また、弾性率算出部 111 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

50

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  $e_{lf}$  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。

#### 【0110】

<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 SWS シーケンスの動作について説明する。

#### 【0111】

##### 1. 動作の概要

図 10 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  $d_{s0}$  を取得する工程 (1a)、プッシュ波パルス  $pppn$  ( $n=1 \sim n_{max}$ ) を複数 ( $n_{max}$ ) 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  $ppn$  を複数 ( $n_{max}$ ) 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  $pwl$  の送受信を複数 ( $m$ ) 回繰り返す検出波パルス  $pwp$  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  $e_{lf}$  を算出する弾性率算出の工程 (1d) から構成される。

#### 【0112】

##### 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。

#### 【0113】

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。

#### 【0114】

図 11 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。

#### 【0115】

[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ゆる関心領域  $roi$  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。

#### 【0116】

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。

#### 【0117】

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  $pppn$  ( $n=1 \sim n_{max}$ ) の送信焦点 FP

10

20

30

40

50

$n$  の位置とプッシュ波送信振動子列  $P \times n$  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  $P \times n$  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 1 0 1 a 全部とした。また、列方向送信焦点位置  $f_x$  は関心領域  $r_{oi}$  の列方向中心位置  $w_c$  と一致し、深さ方向送信焦点位置  $f_{z_n}$  ( $n=1 \sim n_{max}$ ) は、隣接する送信焦点  $f_{z_n}$  間の間隔  $f_{z_n}$  が被検体の深部ほど大きく浅部ほど小さくなる構成とした。しかしながら、検出波照射領域  $A_x$  と送信焦点  $F_P$  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。

#### 【 0 1 1 8 】

送信焦点  $F_P$  の位置と、プッシュ波送信振動子列  $P \times n$  を示す情報は、プッシュ波パルス  $p_{pp}$  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 1 0 6 に出力される。

10

#### 【 0 1 1 9 】

ステップ  $S_{130}$  では、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検出波パルス  $p_{wp0}$  を送信し、被検体内に向けて検出波  $p_{w0}$  をさせ、検出波受信部 1 0 8 は、検出波  $p_{w0}$  の反射波  $e_c$  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  $d_{s0}$  を生成する。基準音響線信号フレームデータ  $d_{s0}$  はデータ格納部 1 1 5 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。

#### 【 0 1 2 0 】

ステップ  $S_{140}$  では、送信部 1 0 6 は、プッシュ波送信振動子列  $P \times n$  に含まれる振動子に複数 ( $n_{max}$ ) 回のプッシュ波パルス  $p_{ppn}$  を送信させることにより、当該振動子に送信焦点  $F_P$  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  $p_{pn}$  を複数 ( $n_{max}$ ) 回送信させる。

20

#### 【 0 1 2 1 】

具体的には、送信部 1 0 6 は、プッシュ波パルス発生部 1 0 4 より取得した送信焦点  $F_{Pn}$  の位置とプッシュ波送信振動子列  $P \times n$  を示す情報、プッシュ波パルス  $p_{ppn}$  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  $P \times n$  に含まれる各送信振動子に対するパルス信号  $s_p$  と遅延時間  $t_{pk}$  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  $p_{ppn}$  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  $p_{pn}$  を送信する。送信部 1 0 6 は、は、この動作を複数 ( $n_{max}$ ) 回行う。

30

#### 【 0 1 2 2 】

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 1 2 ( a ) から ( e ) の模式図を用いて説明する。図 1 2 ( 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 1 2 ( 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 1 2 ( 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。

#### 【 0 1 2 3 】

ここで、プローブ 1 0 1 を皮膚表面 6 0 0 に密接させた状態で送信焦点  $F_P$  に対応する被検体中の焦点部位 6 0 1 に対してプッシュ波  $p_p$  を印加すると、図 1 2 ( b ) の模式図に示すように、焦点部位 6 0 1 に位置していた組織 6 3 2 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 6 3 2 からプッシュ波  $p_p$  の進行方向側にある組織 6 3 3 は、組織 6 3 2 に押されてプッシュ波  $p_p$  の進行方向に移動する。

40

#### 【 0 1 2 4 】

次に、プッシュ波  $p_p$  の送信が終了すると、組織 6 3 2、6 3 3 が元の位置に復元しようとするので、図 1 2 ( c ) の模式図に示すように、組織 6 3 1 ~ 6 3 3 がプッシュ波  $p_p$  の進行方向に沿った振動を開始する。

#### 【 0 1 2 5 】

50

すると、図 12 (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。

【0126】

さらに、図 12 (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。

【0127】

[ステップ S150]

図 11 に戻って説明を続ける。

10

【0128】

ステップ S150 では、関心領域  $roi$  に検出波パルス  $pp1$  を複数回送受信し、取得した音響線信号フレームデータ  $ds1$  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  $pp1$  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  $ds1$  を生成する。最後のプッシュ波  $pp_{n_{max}}$  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  $ds1$  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  $ds1$  のシーケンスはデータ格納部 115 に出力され保存される。

20

【0129】

ステップ S150 における、音響線信号フレームデータ  $ds1$  の生成方法の詳細は後述する。

【0130】

[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。

【0131】

図 13 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。

【0132】

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。

30

【0133】

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  $ds1$  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  $ds1$  が取得された時刻における、各画素の変位を検出する。

【0134】

図 13 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  $ds1$  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  $pt1$  を示したものである。図 13、A 列及び B 列に示すように、変位量フレームデータ  $pt1$  は、音響線信号フレームデータ  $ds1$  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  $ds1$  における観測点  $P'ij$  の音響線信号  $dsij$  と類似するのかが検出して、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。

40

【0135】

具体的には、例えば、音響線信号フレームデータ  $ds1$  を 8 ピクセル × 8 ピクセルなど

50

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  $d s 1$  の各画素の変位を検出する。

【0136】

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。

【0137】

なお、領域のサイズは8ピクセル×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  $d s 1$  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される。

【0138】

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。

【0139】

[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  $p t l$  をデータ格納部115に出力し保存する（ステップS173）。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  $p w p l$  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S153に進む。

【0140】

ステップS153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。さらに、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  $v i j$  を算出してデータ格納部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。

【0141】

ステップS155では、弾性率算出部111は、関心領域  $r o i$  内の観測点  $P i j$  について弾性率データ  $e l i j$  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S155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。

【0142】

ステップS156では、弾性率算出部111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

10

20

30

40

50

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。

【0143】

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  $e_{lf}$  を算出することができる。

【0144】

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、各送信イベントにおける関心領域  $roi$  内の観測点  $P_{ij}$  の変位量フレームデータ  $p_{tl}$  から波面を検出する。

10

【0145】

詳しくは、図 14 のフローチャートを用いて説明する。図 14 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 15 (a) から (f) は、せん断波の伝播情報解析の動作を示す模式図である。

【0146】

まず、データ格納部 115 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  $p_{tl}$  を取得する (ステップ S1531)。

【0147】

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 S1532)。伝播情報解析部 110 は、変位量フレームデータ  $p_{tl}$  から変位が所定の閾値より大きい変位領域を抽出する。

20

【0148】

以下、図 15 の模式図を用いて説明する。

【0149】

図 15 (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 12 と同じく、図中の “ ” 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 101 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 110 は、 $z$  座標ごとに変位量  $u_z$  を座標  $x$  の関数として、動的閾値を用いることで変位量  $u_z$  が大きい領域を抽出する。また、 $x$  座標ごとに変位量  $u_x$  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  $u_x$  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 15 (a) に、 $z = z_1$  の直線 710 上における変位量をプロットしたグラフ 711 と、 $x = x_1$  の直線 720 上における変位量をプロットしたグラフ 721 とを示す。これにより、例えば、変位量が閾値より大きな変位領域 730 が抽出できる。

30

【0150】

また、図 13 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  $p_{tl}$  を示したものであり、各変位量フレームデータ  $p_{tl}$  中のハッチングされた領域は変位量が閾値より大きな変位領域である。図 13 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。

40

【0151】

次に、伝播情報解析部 110 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 S1533)。図 15 (b) の模式図に示している変位領域 740、750 は、それぞれ、ステップ S1532 において変位領域 730 として抽出された領域である。伝播情報解析部 110 は、例えば、Hilbert 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 15 (b) の模式図において、変位領域 740 から波面 741 が、変位領域 750 から波面 751 が、それぞれ抽出される。なお、細線化のアルゴリズムは Hilbert 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

50

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 110 は、抽出した波面を波面フレームデータ  $wf1$  としてデータ格納部 115 に出力する。

#### 【0152】

次に、伝播情報解析部 110 は、波面フレームデータ  $wf1$  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  $S1534$ ）。例えば、ステップ  $S1533$  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 15 (c) の波面画像に示すように、波面  $761 \sim 764$  の長さの平均値を算出し、それよりも短い波面  $763$ 、 $764$  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。

10

#### 【0153】

伝播情報解析部 110 は、ステップ  $S1531 \sim S1534$  の動作を、全ての変位量フレームデータ  $pt1$  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  $pt1$  に対して 1 対 1 で波面フレームデータ  $wf1$  が生成される。

#### 【0154】

図 13 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  $wf1$  を示したものであり、各波面フレームデータ  $wf1$  中の円弧状の細線は波面である。図 13 の C 列に示すように、時間の経過に伴い波面  $wf$  は X 方向に移動するとともに、波面  $wf$  の円弧の長さは増加する。

#### 【0155】

次に、伝播情報解析部 110 は、複数の波面フレームデータ  $wf1$  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  $wf1$  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。

20

#### 【0156】

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  $t = t_1 + t$  の波面画像  $780$ 、時刻  $t = t_1 + 2t$  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 15 においては x 軸方向）に  $t$  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  $t$  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  $t$  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。

30

#### 【0157】

波面画像  $780$  と波面画像  $790$  と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 15 (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。

40

#### 【0158】

これらの動作により、時刻ごとの波面フレームデータ  $wf1$  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  $wf1$  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

50

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。

【0159】

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  $wf_l$  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。

【0160】

図 15 (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 15 (e) は、ある時刻  $t$  における波面フレームデータ  $wf_l$  と、時刻  $t + \Delta t$  における波面フレームデータ  $wf_l$  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  $t + \Delta t$  を関係付けることができる。同様に、取得時刻が既定されている波面フレームデータ  $wf_l$  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。

10

20

【0161】

図 13 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  $wf_l$  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  $wf_l$  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  $a_t$  であり、波面到達時間フレームデータ  $a_t$  中の円弧状の細線は波面の到達時間である。

【0162】

4. 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 111 は、関心領域  $roi$  内の観測点  $P_{ij}$  について、波面到達時間フレームデータ  $a_{to}$  ( $o$  は異なる波面の数をあらかず自然数、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) 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  $elf$  を算出する。

30

【0163】

図 16 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。まず、伝播速度変換部 1103 は、データ格納部 115 から波面到達時間フレームデータ  $a_{to}$  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  $vfo$  に変換する（ステップ S1552）。

【0164】

図 15 (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  $\Delta t$  で割った値として推定することができる。すなわち、

40

$$v(x_t, z_t) = m / \Delta t = \{ (x_{t+\Delta t} - x_t)^2 + (z_{t+\Delta t} - z_t)^2 \} / \Delta t$$
となる。伝播速度変換部 1103 は、全ての波面に対して波面到達時間フレームデータ  $a_{to}$  から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。

【0165】

図 13 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  $a_t$  を微分した伝播速度フレームデータ  $v_f$  である。

【0166】

次に、弾性率算出部 111 は、伝播速度フレームデータ  $vfo$  を弾性率フレームデータ

50

に変換する（ステップ S 1 5 5 3）。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、

$$e_l(x_t, z_t) = K T \times v(x_t, z_t)^2$$

に基づき算出される。K T は定数であり人体の組織では約 3 となる。

【 0 1 6 7 】

図 1 3 の F 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。

【 0 1 6 8 】

以上の手順により、弾性率算出部 1 1 1 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  $e_l$  とする) を合成する（ステップ S 1 5 5 4）。弾性率算出部 1 1 1 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  $i j$  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 1 1 5 保存する（ステップ S 1 5 5 5）。

10

【 0 1 6 9 】

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。

【 0 1 7 0 】

5. ステップ S 1 5 0 における処理の詳細について

ステップ S 1 5 0 における、音響線信号フレームデータ  $d_{sl}$  の生成処理の概要について説明する。図 1 7 は、検出波受信部 1 0 8 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。

20

【 0 1 7 1 】

まず、検出波の識別番号  $l$  を 1 に設定し（ステップ S 1 5 1）、送信部 1 0 6 は、プローブ 1 0 1 に存する複数の振動子 1 0 1 a 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（送信イベント）を行う（ステップ S 1 5 2）。

【 0 1 7 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  $r_{fk}$  を生成しデータ格納部 1 1 5 へ出力し、データ格納部 1 1 5 に受波信号  $r_{fk}$  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。

30

【 0 1 7 3 】

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  $r_{fk}$  に基づいて、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  $d_{sl}$  を生成しデータ格納部 1 1 5 へ出力し、データ格納部 1 1 5 に音響線信号フレームデータ  $d_{sl}$  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  $d_{sl}$  の生成方法の詳細は後述する。

40

【 0 1 7 4 】

全ての送信イベントの回数  $m$  について、検出波パルス  $p_{wpl}$  に基づく音響線信号フレームデータ  $d_{sl}$  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。

【 0 1 7 5 】

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 7 6 】

7. ステップ S 1 5 7 における処理の詳細について

50

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。

【 0 1 7 7 】

図 1 8 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 7 8 】

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。

10

【 0 1 7 9 】

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 8 0 】

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 へ出力され保存される。

20

【 0 1 8 1 】

以上により、図 1 7 におけるステップ S 1 5 7 の処理を終了する。

【 0 1 8 2 】

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 1 9 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。

【 0 1 8 3 】

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  $P i j$  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  $P i j$  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  $p w l$  が観測点  $P i j$  に到達するまでの最短経路 4 0 1 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。

30

【 0 1 8 4 】

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 S 1 5 7 3 2）。

【 0 1 8 5 】

次に、検出波受信振動子列  $R x$  内の受波振動子  $R w k$  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 S 1 5 7 3 3）、送信された検出波が被検体中の観測点  $P i j$  で反射された後、検出波受信振動子列  $R x$  の受波振動子  $R w k$  に到達する受信時間を算出する（ステップ S 1 5 7 3 4）。受信時間は、幾何学的に定まる観測点  $P i j$  から受波振動子  $R w k$  までの経路 4 0 2 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  $P i j$  で反射して受波振動子  $R w k$  に到達するまでの総伝播時間を算出し（ステップ S 1 5 7 3 5）、検出波受信振動子列  $R x$  内の各受波振動子  $R w k$  に対する総伝播時間の差異により、各受波振動子  $R w k$  に対する遅延量を算出する（ステップ S 1 5 7 3 6）。

40

【 0 1 8 6 】

ステップ S 1 5 7 3 7 において、遅延処理部 1 0 8 3 1 は、検出波受信振動子列  $R x$  内

50

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。

【0187】

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 S15739）。

【0188】

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）。

【0189】

以上により、図 18 におけるステップ S1573 の処理を終了する。

【0190】

< 効果 >

1. プッシュ波  $p_p$  によるせん断波の伝播について

プッシュ波  $p_p$  によるせん断波の伝播特性について説明する。

【0191】

図 20 超音波診断装置 100 におけるプッシュ波によるせん断の態様を示すシミュレーション結果であり、(a) は被検体浅部（体表から 10 mm）におけるせん断波の波面  $S_{w1}$  が伝播する態様を、(b) は深部（体表から 30 mm）におけるせん断波の波面  $S_{w2}$  が伝播する態様を示したものである。

【0192】

図 20 (a) に示すように、被検体浅部にプッシュ波  $p_{p1}$  の送信焦点  $P_{F1}$  が位置する場合には、円弧形状のせん断波の波面  $S_{w1}$  が観察される。これに対し、図 20 (b) に示すように、被検体深部にプッシュ波  $p_{p2}$  の送信焦点  $P_{F1}$  が位置する場合には、縦長の楕円の円弧形状のせん断波の波面  $S_{w2}$  が観察される。

【0193】

図 21 (a) (b) は、それぞれ、図 20 (a) (b) に対応する、超音波診断装置 100 におけるプッシュ波に基づくせん断波が伝播する態様を示す模式図である。図 21 (a) に示すように、被検体浅部にプッシュ波  $p_{pn}$  ( $n = 1, 2$ ) の送信焦点  $P_{F1}$  が位置する場合には、プッシュ波  $p_{pn}$  の送信焦点  $P_{Fn}$  に対し、それぞれ送信焦点  $F_{Pn}$  を含み超音波ビームのエネルギー密度が所定値以上の領域それぞれをフォーカス領域  $F_{An}$  が形成される。このとき、超音波診断装置 100 では、プッシュ波送信振動子列  $P_{xn}$  の列長に対する送信焦点  $F_{Pn}$  の深さの比率が被検体の深部ほど大きく浅部ほど小さく構成されているので、フォーカス領域  $F_{An}$  の形状は 2 次元で見たとき被検体の浅部ほど円形状に近く深部ほど縦長の楕円形状に近いものとなる。別の尺度によれば、フォーカス領域  $F_{An}$  の深さ方向の長さ  $A_{Fn}$  は、被検体の深部ほど長く浅部ほど短い構成となる。そのため、図 20 (a) (b) において観察されたように、送信焦点  $F_{Pn}$  を中心に周囲に伝播するせん断波の波面  $S_{wn}$  の形状も、被検体の浅部ほど円形状に近く深部ほど縦長の楕円形状に近いものとなる。

【0194】

図 22 (a) (b) は、超音波診断装置 100 におけるプッシュ波に基づくせん断波に

10

20

30

40

50

よる組織変位の計測可能領域を示す模式図である。プッシュ波  $pp_n$  ( $n = 1, 2$ ) は送信焦点  $PF_n$  付近の被検体組織を深さ方向に振動させるので、送信焦点  $PF_n$  を震源とするせん断波は被検体深さ方向に最大振幅を持つ横波である。せん断波は送信焦点  $PF_n$  を中心に放射状に伝播し、せん断波の波面  $Sw_n$  は送信焦点  $PF_n$  を中心に同心円状に拡大するが、被検体組織の変位の時間変化からせん断波の伝播状態を高精度に検出するためには、方位方向における被検体組織の変位の時間変化を測定することが好ましく、そのためには、せん断波の伝播方向と方位方向との角度ズレは所定値以下であることが必要である。

【0195】

上述のとおり、送信焦点  $FP_n$  を中心に周囲に伝播するせん断波の波面  $Sw_n$  の形状は、被検体の浅部ほど円形状に近く深部ほど縦長の楕円形状に近い。そのため、図22(a)(b)に示すように、せん断波の伝播方向と方位方向との角度ズレが所定値以下となる弾性計測可能領域  $Cx_n$  としたとき、弾性計測可能領域  $Cx_n$  の被検体深さ方向の長さは、被検体の浅部ほど大きく深部ほど縦長の小さい構成となる。

10

【0196】

2. 実施の形態に係る超音波診断装置100の効果

次に、超音波診断装置100による効果について説明する。

【0197】

(1) 実施例、変形例及び比較例の構成について

図23は、プッシュ波に基づくせん断波による計測可能領域の態様を示す模式図であり、(a)は超音波診断装置100の実施例、(b)は比較例1、(c)は比較例2、(d)は変形例について示した図である。

20

【0198】

実施例は、実施の形態1に係る超音波診断装置100の実施例であり、一例として、 $n_{max} = 3$  とし、各プッシュ波  $pp_n$  ( $n = 1, 2, 3$ ) においてプッシュ波パルス  $ppp_n$  ごとのパルス幅  $PW_n$  は、図5(a)に示すように、印加順によらず一定とした例である。なお、 $n_{max}$  の数値は3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。

【0199】

変形例は、実施例の構成において、各プッシュ波パルス  $ppp_n$  ごとのパルス幅  $PW_n$  を、図5(b)に示すよう、印加ごとに降順に増加させた例である。

30

【0200】

比較例1は、 $n_{max} = 4$  とし、隣接する送信焦点  $fz$  間の間隔  $fz_2, 3, 4$  を等価とするとともに、送信焦点  $fz_1 \sim 4$  において、プッシュ波送信振動子列  $Px_1 \sim 4$  の列長に対する送信焦点  $FP_1 \sim 4$  の深さの比率を等価に設定し、フォーカス領域  $FA_1 \sim 4$  における深さ方向の長さ  $AF_1 \sim 4$  を等価とした例である。

【0201】

比較例2は、実施例の構成において、隣接する送信焦点  $fz$  間の間隔  $fz_2, 3$  を等価とした例である。

【0202】

(2) 実施例の効果について

実施の形態1に係る実施例では、プッシュ波送信振動子列  $Px_1 \sim 3$  の列長に対する送信焦点  $FP_1 \sim 3$  の深さの比率が、被検体の深部ほど大きく浅部ほど小さく構成されている。そのため、フォーカス領域  $FA_n$  の深さ方向の長さ  $AF_n$  は、被検体の深部ほど長く浅部ほど短くなり、弾性計測可能領域  $Cx_n$  の被検体深さ方向の長さは、被検体の深部ほど大きく浅部ほど縦長の小さい構成となる。実施例では、図23(a)に示すように、隣接する送信焦点  $fz$  間の間隔  $fz_2, 3$  が、被検体の深部ほど大きく浅部ほど小さく構成されているので、弾性計測可能領域  $Cx_n$  を送信焦点  $fz$  間の間隔  $fz_n$  に適合させて、送信焦点  $fz$  間の間隔  $fz_n$  に対して均一な密度で配置することができる。これにより、3つの弾性計測可能領域  $Cx_1 \sim 3$  によって関心領域  $roi$  全体を隙間や重なりなくカバーすることができる。

40

50

## 【0203】

これに対し、比較例1では、図23(b)に示すように、関心領域 $r_{oi}$ 全体をカバーするために4つの弾性計測可能領域 $C_{x1} \sim 4$ が必要となり、送信焦点 $f_{z1} \sim 4$ に対するプッシュ波 $p_{pn}$  ( $n = 1 \sim 4$ )の送信が必要となり実施例に比べて消費電力が大きい。

## 【0204】

また、比較例2では、図23(c)に示すように、隣接する送信焦点 $f_z$ 間の間隔 $f_{z2}, 3$ を等価としたため、弾性計測可能領域 $C_{xn}$ を送信焦点 $f_z$ 間の間隔 $f_{zn}$ に適合させることができない。そのため、関心領域 $r_{oi}$ 内で、弾性計測可能領域 $C_{x1}$ と2との間に隙間 $GP$ が生じており、関心領域 $r_{oi}$ 全体をカバーすることができない。この場合には、隙間 $GP$ の部分において超音波弾性計測の信頼度が低下する可能性がある。その一方で弾性計測可能領域 $C_{x2}$ と3との間に重なり $OV$ が生じている。そのため、関心領域 $r_{oi}$ 全体の弾性計測を行うという要件に対して、プッシュ波 $p_{pn}$ の送信に要した消費電力が最適に使われているとは言えず消費電力が無駄に使われていることになる。

10

## 【0205】

一方、実施例では、上述のとおり、3つの弾性計測可能領域 $C_{x1} \sim 3$ によって関心領域 $r_{oi}$ 全体を隙間や重なりなくカバーできるので、比較例1よりも少ない消費電力にて関心領域 $r_{oi}$ 全体に対し信頼度の高い超音波弾性計測が可能となる。

## 【0206】

(3) 変形例の効果について

実施例では、各プッシュ波 $p_{pn}$ の送信におけるプッシュ波パルス $pppn$ ごとのパルス幅 $PW_n$ は、一定とした構成である。そのため、各プッシュ波送信振動子列 $P_{xn}$ から発生する音響放射圧は同じであるが、被検体深部ほどプッシュ波 $p_{pn}$ は減衰するために、各プッシュ波 $p_{pn}$ から発生する音響放射圧は送信焦点 $f_{zn}$ 近傍では被検体深部ほど減少する。また、弾性計測可能領域 $C_{xn}$ は被検体深部ほど面積が広いために、弾性計測可能領域 $C_{xn}$ 内の平均音響放射圧は被検体深部ほど減少する。さらに、検出波 $p_w$ の送受信においても、被検体深部ほど検出波 $p_w$ は減衰するために、被検体深部ほど信号 $S/N$ が低下する傾向がある。

20

## 【0207】

これに対し、変形例は、実施例の構成において、各プッシュ波パルス $pppn$  ( $n = 1, 2, 3$ )ごとのパルス幅 $PW_n$ を、印加ごとに降順に増加させたことにより、各プッシュ波送信振動子列 $P_{xn}$ から発生する音響放射圧は被検体深部ほど増加する。これにより、被検体組織でのプッシュ波 $p_{pn}$ の減衰を補い、各プッシュ波 $p_{pn}$ による送信焦点 $f_{zn}$ 近傍での音響放射圧の差を被検体深さにかかわらず軽減することができる。さらには、各プッシュ波 $p_{pn}$ による送信焦点 $f_{zn}$ 近傍での音響放射圧を被検体深部ほど増加して、弾性計測可能領域 $C_{xn}$ 内の平均音響放射圧は被検体深さにかかわらず一定とすることもできる。

30

## 【0208】

その結果、変形例では、実施例同様に、3つの弾性計測可能領域 $C_{x1} \sim 3$ によって関心領域 $r_{oi}$ 全体を隙間や重なりなくカバーすることに加えて、プッシュ波パルス $pppn$ ごとの印加開始時刻 $PT_n$ の時間間隔に適合してプッシュ波パルス $pppn$ ごとのパルス幅 $PW_n$ を制御することにより、被検体深部におけるせん断波や検出波の信号 $S/N$ の低下を抑制し、関心領域 $r_{oi}$ 全体に対し、より一層信頼度の高い超音波弾性計測が可能となる。すなわち、被検体中の送信焦点 $f_{zn}$ の深さに電力配分を適正化させて、より少ない消費電力にて関心領域 $r_{oi}$ 全体に対し、より一層信頼度の高い超音波弾性計測が可能となる。

40

## 【0209】

<小括>

本実施の形態1に係る超音波診断装置100によれば、プッシュ波パルス送信部104は、複数の振動子101aから選択される複数の送信振動子 $P_x$ それぞれに対し所定の

50

位相が設定された所定時間長のプッシュ波パルス  $p p p n$  を複数回供給することにより、複数の送信振動子  $T x$  に被検体内の深さ方向における位置が異なる複数の送信焦点  $F P n$  それぞれに集束する複数のプッシュ波  $p p n$  を順次送信させる。さらに、隣接する送信焦点  $F P n$  間の間隔  $F z n$  が被検体の深部ほど大きく浅部ほど小さく、かつ、複数の送信振動子の列長  $P x$  に対する送信焦点の深さ  $F z n$  の比率が被検体の深部ほど大きく浅部ほど小さく、複数のプッシュ波を送信させる構成を採る。

【0210】

係る構成により、各プッシュ波  $p p n$  に対する弾性計測可能領域  $C x n$  が関心領域  $r o i$  全体を隙間や重なりなくカバーできるので、より少ない消費電力にて関心領域  $r o i$  全体に対し信頼度の高い超音波弾性計測を実現できる。

10

【0211】

また、プッシュ波パルス送信部から供給されるプッシュ波パルスの供給時間は被検体の深部ほど長く浅部ほど短い構成としてもよい。

【0212】

係る構成により、被検体深さに適合してプッシュ波パルス  $p p p n$  ごとのパルス幅  $P W n$  を制御することにより、被検体深部におけるせん断波や検出波の信号  $S / N$  の低下を抑制し、関心領域  $r o i$  全体に対しより一層信頼度の高い超音波弾性計測が可能となる。すなわち、被検体中の送信焦点  $f z n$  の深さに適合させて電力配分を適正化し、より少ない消費電力にて関心領域  $r o i$  全体に対しより一層信頼度の高い超音波弾性計測が可能となる。

20

【0213】

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、伝播速度変換部1103は、関心領域  $r o i$  内の観測点  $P i j$  について、波面到達時間フレームデータ  $a t o$  に基づいてせん断波の伝播速度を算出する構成とした。

【0214】

しかしながら、実施の形態2に係る超音波診断装置100Aでは、変位量フレームデータ  $p t l$  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構成を採る点で実施の形態1と相違する。

【0215】

以下、超音波診断装置100Aについて説明する。

30

【0216】

<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。

【0217】

図24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、弾性率算出部111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の構成について説明する。

40

【0218】

伝播情報解析部110Aは、相関処理部1104Aから構成される点が超音波診断装置100Aと相違する。

【0219】

相関処理部1104A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、相互相関処理を用いて伝播速度  $C f$  フレームデータ  $v o$  ( $o$  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伝播速度  $C f$  フレームデータ  $v$  とする) をダイレクトに生成してデータ格納部115に出力する。

【0220】

図25(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

50

式図である。図 25 ( 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  $x$  離れた観測点  $P_{ij}$  と参照観測点  $R_{ij}$  とを定義する。図 25 ( b ) に示すように、相関処理部 1104A は、変位量フレームデータ  $p_{t1}$  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  $p_{tij}$  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  $p_{tij}$  の移行時間  $t$  を算出する。そして、所定距離  $x$  を移行時間  $t$  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  $P_{ij}$  についてせん断波の伝播速度  $v_{ij}$  を算出することにより伝播速度  $Cf$  フレームデータ  $v_o$  をダイレクトに生成する。

10

#### 【0221】

弾性率変換部 1111 は、伝播速度  $Cf$  データ  $v_o$  を入力として、伝播速度データ  $Cf_{vij}$  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  $e_{lf}$  を生成し、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。

#### 【0222】

< 動作 >

超音波診断装置 100A の  $SW S$  シーケンスの動作について説明する。

#### 【0223】

超音波診断装置 100A の  $SW S$  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 11 に示す超音波診断装置 100 の  $SW S$  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 14 とフローの一部が相違する。そのため、以後、異なる動作について説明する。

20

#### 【0224】

1. せん断波の伝播情報解析の動作について

図 26 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、および、ステップ  $S1535$  から  $S1538$  までの動作は、図 14 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 1104A は、変位量フレームデータ  $p_{t1}$  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  $x$  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  $t$  を算出し (ステップ  $S1532A$ )、 $x$  を  $t$  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  $Cf$  フレームデータ  $v_o$  をダイレクトに生成する (ステップ  $S1533A$ )。

30

#### 【0225】

2. 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  $S1532A$ 、 $S1533A$  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。

40

#### 【0226】

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、 $Rfg$ 、 $Cfg$  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

50

(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 $Cfg$ を算出する。ステップS75では、相関値 $Cfg$ を正規化して、正規化された相関値 $Rfg$ 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、 $Cfg$ 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 $Rfg$ のうち、最小のものに変数 $l$ を乗ずることで、時間方向のずれ量を算出する。そしてステップS78では、 $v_k / (T)$ 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。

10

【0227】

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。

20

【0228】

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。

【0229】

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。

30

【0230】

<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、伝播情報解析部110A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と所定距離だけ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、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、着目観測点と参照観測点間における変位の移行時間を算出し、所定距離を移行時間で除することにより着目観測点に対するせん断波の伝播速度を算出し、関心領域内の複数の観測点を着目観測点としてせん断波の伝播速度 $Cf$ フレームデータ $vo$ を算出する構成を採る。

40

【0231】

係る構成により、超音波弾性率計測において、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 $vo$ を直接に生成することができ演算負荷を軽減できる。これにより、実施の形態1に係る効果に加えて、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、さらに弾性率フレームデータを算出することができる。

【0232】

<その他の変形例>

50

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。

【0233】

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、弾性率算出部111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。

【0234】

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101a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。

10

【0235】

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。

【0236】

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FP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e1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FP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FP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e1を算出する構成としてもよい。

20

【0237】

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。

30

【0238】

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。

【0239】

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であってもよい。

40

【0240】

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。

【0241】

50

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)) から構成されているとしてもよい。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。

10

**【0242】**

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。

**【0243】**

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。

20

**【0244】**

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。

**【0245】**

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。

30

**【0246】**

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。

**【0247】**

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。

40

**【0248】**

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。

**【0249】**

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

50

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。

#### 【0250】

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いてもよい。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。

10

#### 【0251】

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。

#### 【0252】

##### まとめ

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それぞれに対し所定の位相が設定された所定時間長のプッシュ波パルスを複数回供給することにより、前記複数の送信振動子に被検体内の深さ方向における位置が異なる複数の送信焦点それぞれに集束する複数のプッシュ波を順次送信されるプッシュ波パルス送信部と、前記複数のプッシュ波の送信に続き、前記複数の振動子の一部又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反射検出波に基づき、前記関心領域内のせん断波の伝播速度フレームデータを算出する伝播情報解析部とを備え、前記プッシュ波パルス送信部は、隣接する前記送信焦点間の間隔が被検体の深部ほど大きく浅部ほど小さく、かつ、前記複数の送信振動子の列長に対する前記送信焦点の深さの比率が被検体の深部ほど大きく浅部ほど小さく、前記複数のプッシュ波を送信させることを特徴とする。

20

30

#### 【0253】

係る構成により、各プッシュ波  $p p n$  に対する弾性計測可能領域  $C \times n$  が関心領域  $r o i$  全体を隙間や重なりなくカバーできるので、より少ない消費電力にて関心領域  $r o i$  全体に対し信頼度の高い超音波弾性計測を実現できる。すなわち、関心領域  $r o i$  全体の弾性計測を行うという要件に対して、プッシュ波  $p p n$  の送信位置の適正化を図れ、プッシュ波  $p p n$  の送信に要した消費電力が無駄を防止できる。

#### 【0254】

また、別の態様では、上記何れかの態様において、前記プッシュ波パルス送信部から、供給されるプッシュ波パルスの供給開始時間の間隔は被検体の深部ほど長く浅部ほど短い構成としてもよい。

40

#### 【0255】

係る構成により、隣接する前記送信焦点間の間隔が被検体の深部ほど大きく浅部ほど小さく、前記複数のプッシュ波を送信させることができる。

#### 【0256】

また、別の態様では、上記何れかの態様において、前記プッシュ波パルス送信部は、同一の送信振動子の列に対してプッシュ波パルスを複数回供給する構成としてもよい。

#### 【0257】

係る構成により、容易に前記複数の送信振動子の列長に対する前記送信焦点の深さの比

50

率が被検体の深部ほど大きく浅部ほど小さく、前記複数のプッシュ波を送信させることができる。

【0258】

また、別の態様では、上記何れかの態様において、前記プッシュ波パルス送信部から供給されるプッシュ波パルスの供給時間は被検体の深部ほど長く浅部ほど短い構成としてもよい。

【0259】

係る構成により、被検体深さに適合してプッシュ波パルス  $p p p n$  ごとのパルス幅  $P W n$  を制御することにより、被検体深部におけるせん断波や検出波の信号  $S / N$  の低下を抑制し、関心領域  $r o i$  全体に対しより一層信頼度の高い超音波弾性計測が可能となる。すなわち、被検体中の送信焦点  $f z n$  の深さに適合させて電力配分を適正化し、より少ない消費電力にて関心領域  $r o i$  全体に対しより一層信頼度の高い超音波弾性計測が可能となる。

10

【0260】

また、別の態様では、上記何れかの態様において、それぞれの前記送信焦点に対し、前記送信焦点を含み超音波ビームのエネルギー密度が所定値以上の領域それぞれをフォーカス領域としたとき、前記フォーカス領域の深さ方向の長さが、被検体の深部ほど長く浅部ほど短い構成としてもよい。

【0261】

前記複数の送信振動子の列長に対する前記送信焦点の深さの比率が被検体の深部ほど大きく浅部ほど小さく前記複数のプッシュ波を送信させることにより、係る構成を実現できる。

20

【0262】

また、別の態様では、上記何れかの態様において、前記プッシュ波パルス送信部は、前記複数の送信振動子を特定し、前記送信振動子毎に適用される前記プッシュ波パルスの位相、前記プッシュ波パルス毎の前記プッシュ波パルスの印加電圧及び電圧印加時間、前記プッシュ波パルス毎の前記プッシュ波パルスの最小電圧印加開始時間を設定して、前記プッシュ波パルスを供給する構成としてもよい。

【0263】

係る構成により、前記プッシュ波パルス送信部は、隣接する前記送信焦点間の間隔が被検体の深部ほど大きく浅部ほど小さく、かつ、前記複数の送信振動子の列長に対する前記送信焦点の深さの比率が被検体の深部ほど大きく浅部ほど小さく、前記複数のプッシュ波を送信させる構成を簡易に実現できる。

30

【0264】

また、別の態様では、上記何れかの態様において、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としてもよい。

【0265】

係る構成により、1回の検出波の送受信により関心領域全体について音響線信号を取得でき、所定時間内に平面波による検出波を複数回、送受信することにより、せん断波の伝播速度の検出が可能になる。

40

【0266】

また、別の態様では、上記何れかの態様において、さらに、前記複数回の検出波の各々に対応した前記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を備え、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き、前記関心領域内のせん断波の伝播速度のフレームデータを算出する、構成としてもよい。

【0267】

50

係る構成により、せん断波の伝播速度を解析するための変位量フレームデータのシーケンスを生成できる。

【0268】

また、別の態様では、上記何れかの態様において、前記伝播情報解析部は、各前記受信時刻における前記変位量フレームデータのシーケンス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のシーケンスを生成し、前記波面到達時間フレームデータのシーケンスに基づき前記関心領域内のせん断波の伝播速度フレームデータを算出する構成としてもよい。

【0269】

係る構成により、変位量フレームデータのシーケンスに基づきせん断波の伝播速度フレームデータを算出できる。

【0270】

また、別の態様では、上記何れかの態様において、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だけ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フレームデータを算出する構成としてもよい。

【0271】

係る構成により、超音波弾性率計測において、変位量フレームデータ  $p_t 1$  のシーケンスから、相互相関処理を用いて伝播速度  $C_f$  フレームデータ  $v_o$  を直接に生成することができ演算負荷を軽減できる。

【0272】

また、別の態様では、上記何れかの態様において、前記関心領域内のせん断波の伝播速度フレームデータに基づき、前記関心領域内の弾性率フレームデータを算出する弾性率算出部をさらに備えた構成としてもよい。

【0273】

係る構成により、変位量フレームデータのシーケンスに基づき被検体組織の弾性率フレームデータを簡易に算出できる。

【0274】

また、別の態様では、上記何れかの態様において、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、前記関心領域内の弾性率フレームデータをマッピングして弾性画像（エラストグラフィ）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としてもよい。

【0275】

係る構成により、変位量フレームデータのシーケンスに基づき被検体組織の弾性率分布画像を表示できる。

【0276】

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の制御方法であって、前記複数の振動子から選択される複数の送信振動子それぞれに対し所定の位相が設定された所定時間長のプッシュ波パルスを複数回供給することにより、前記複数の送信振動子に被検体内の深さ方向における位置が異なる複数の送信焦点それぞれに集束する複数のプッシュ波を、隣接する前記送信焦点間の間隔が被検体の深部ほど大きく浅部ほど小さく、かつ、前記複数の送信振動子の列長に対する前記送信焦点の深さの比率が被検体の深部ほど大きく浅部ほど小さく、順次送信させ、前記複数のプッシュ波の送信に続き、前記複数の振動子の一部又は全部に検出波パルスを供

10

20

30

40

50

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た前記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のシーケンス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のシーケンスを生成し、前記波面到達時間フレームデータのシーケンスに基づき前記関心領域内のせん断波の伝播速度フレームデータを算出することを特徴とする。

10

## 【0277】

係る構成により、各プッシュ波  $p p n$  に対する弾性計測可能領域  $C \times n$  が関心領域  $r o i$  全体を隙間や重なりなくカバーできるので、より少ない消費電力にて関心領域全体に対し信頼度の高い超音波弾性計測ができる超音波診断装置の制御を実現できる。

## 【符号の説明】

## 【0278】

100、100A 超音波診断装置

101 プロープ

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

1102 波面到達時間検出部

1103 伝播速度変換部

1104A 相関処理部

111 弾性率算出部

1111 弾性率変換部

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

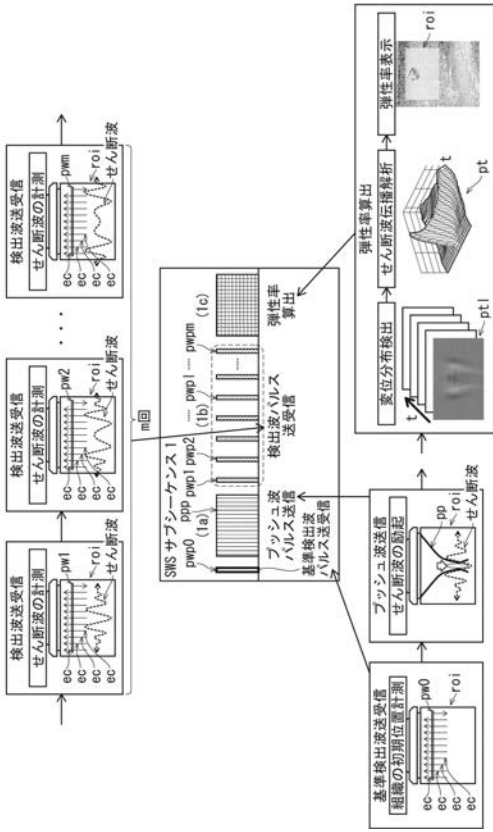
20

30

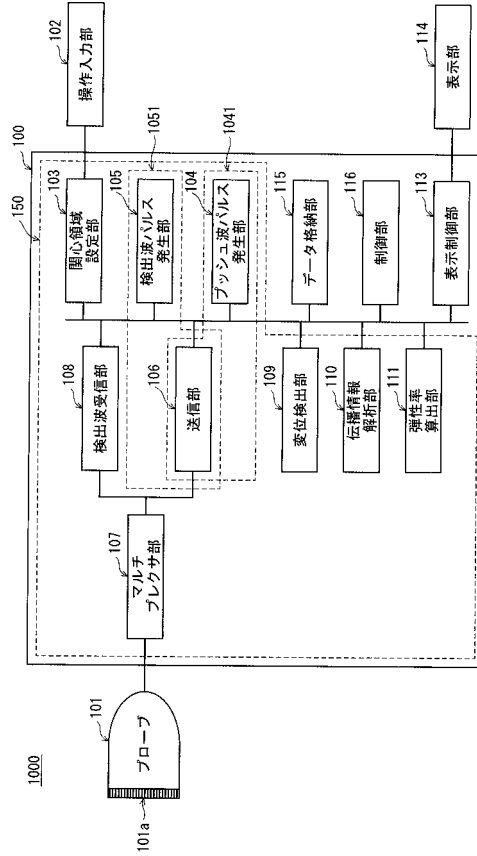
40

50

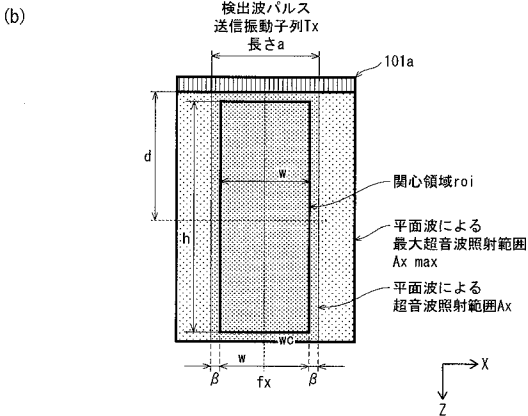
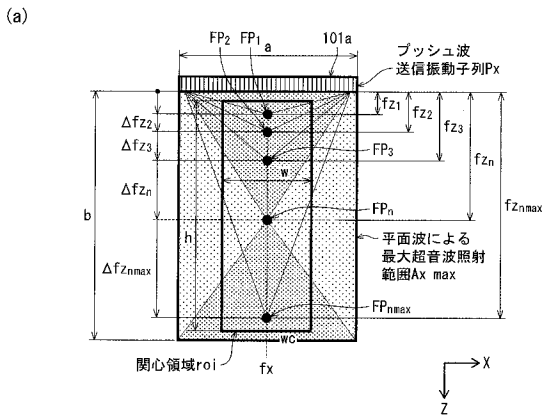
【図1】



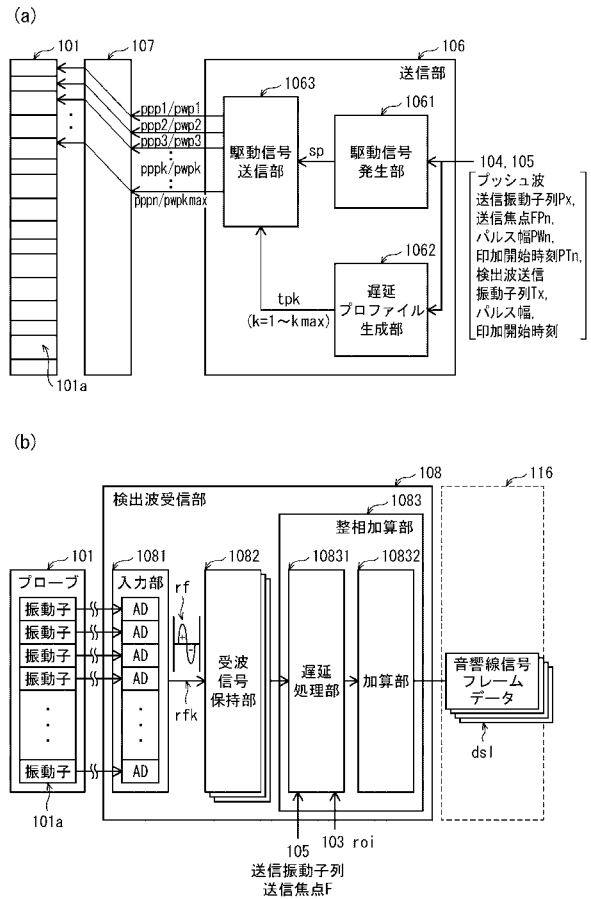
【図2】



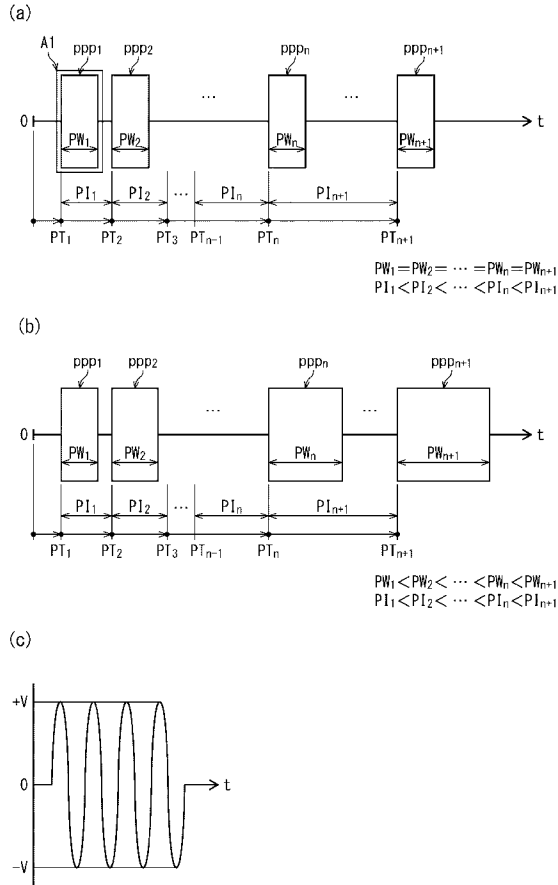
【図3】



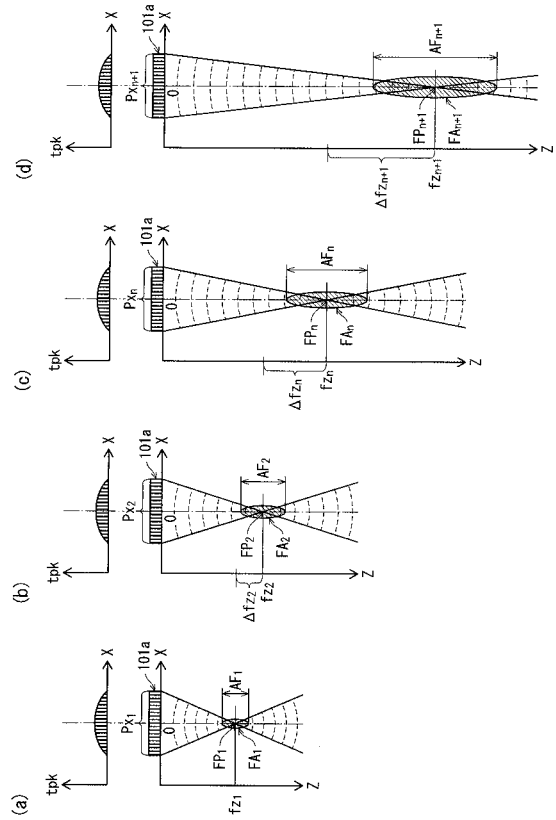
【図4】



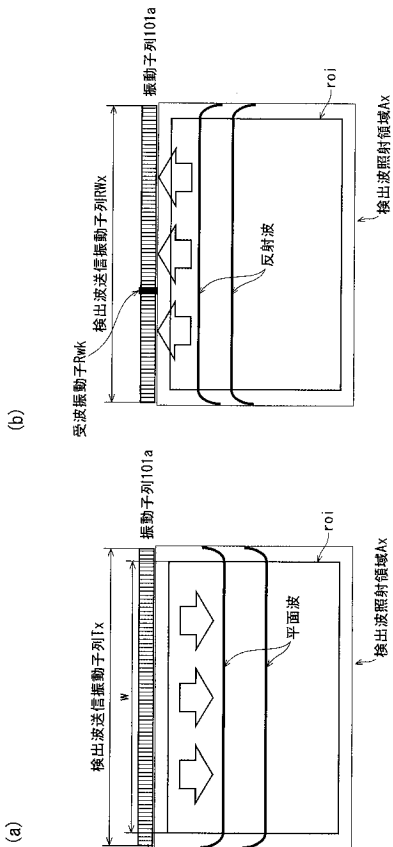
【 図 5 】



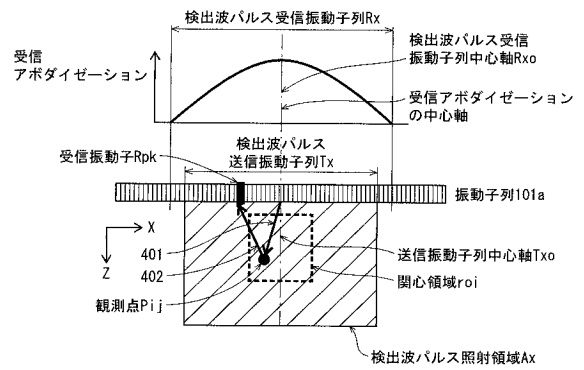
【 図 6 】



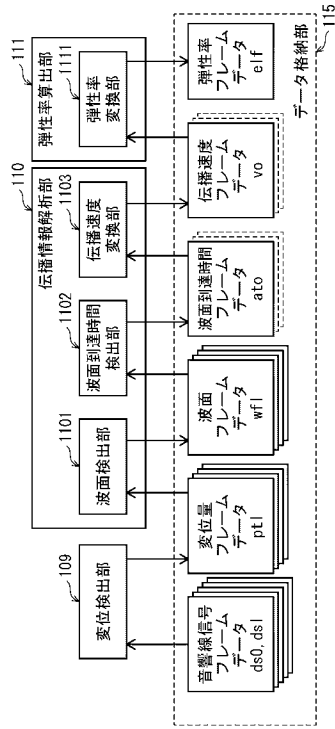
【 図 7 】



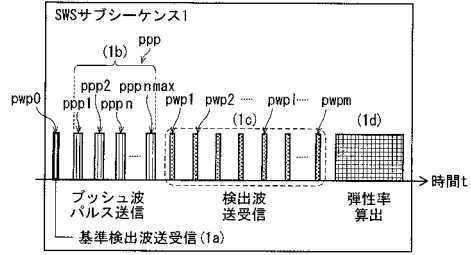
【 図 8 】



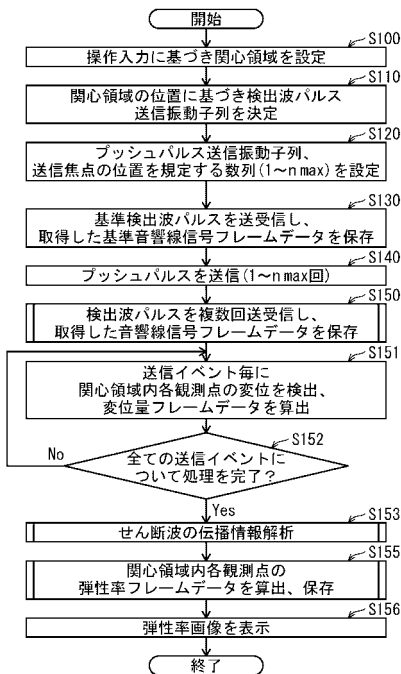
【図 9】



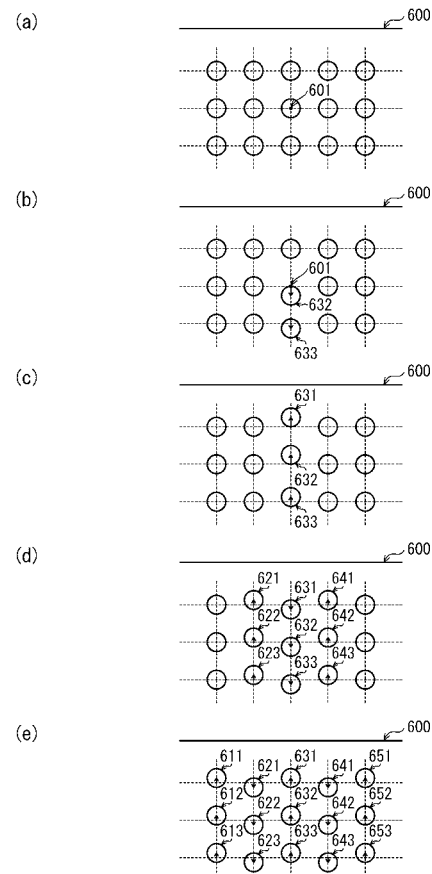
【図 10】



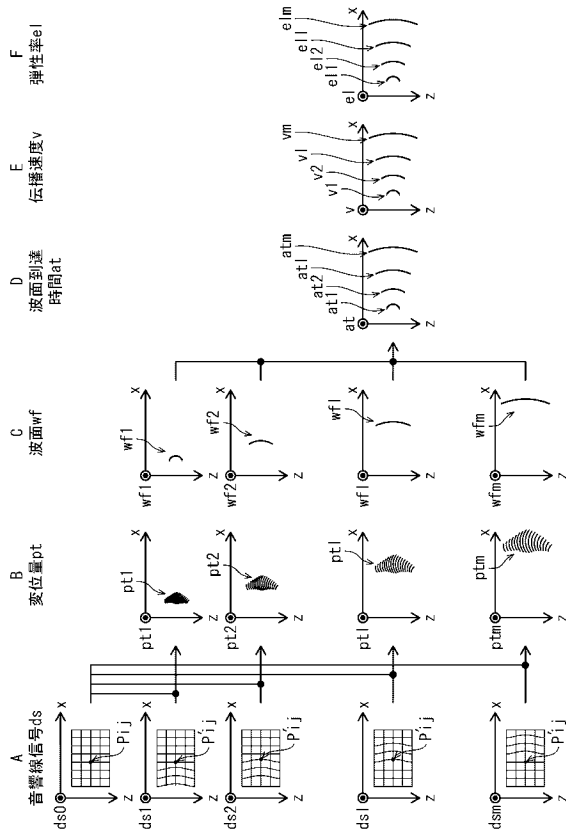
【図 11】



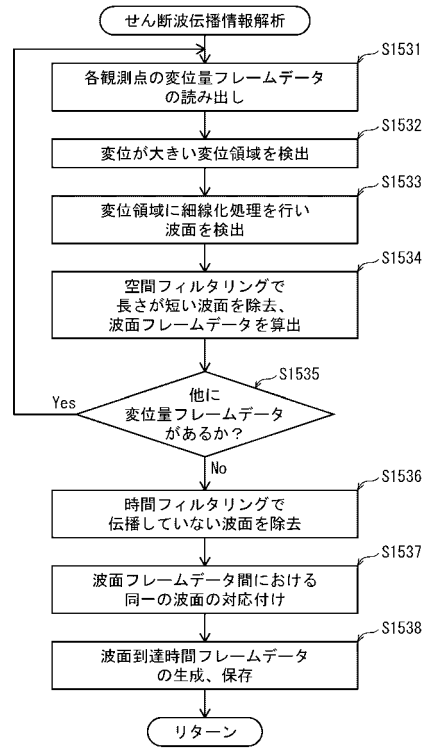
【図 12】



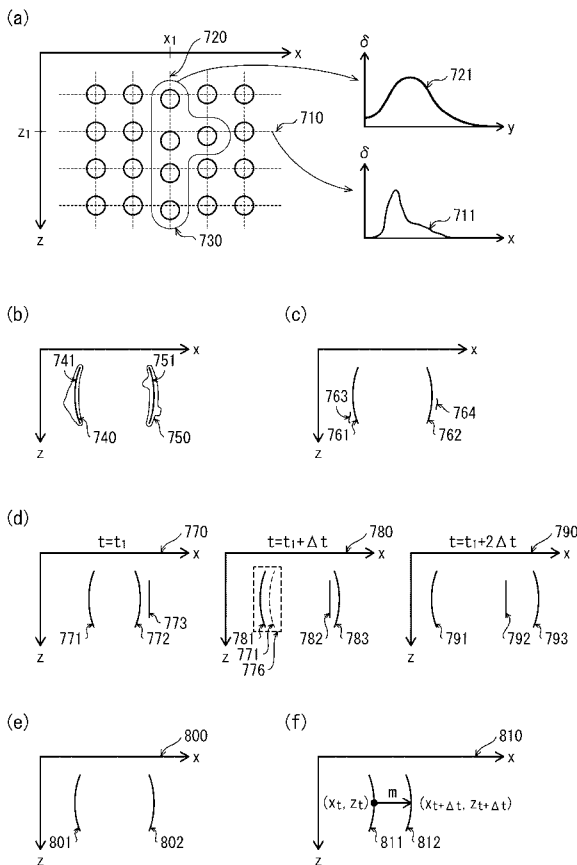
【図 1 3】



【図 1 4】



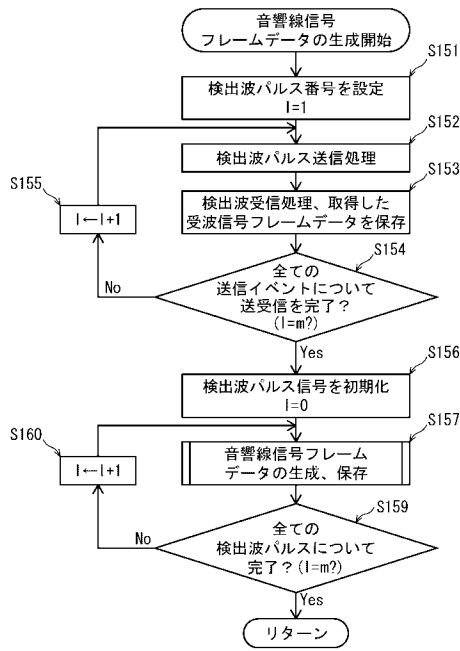
【図 1 5】



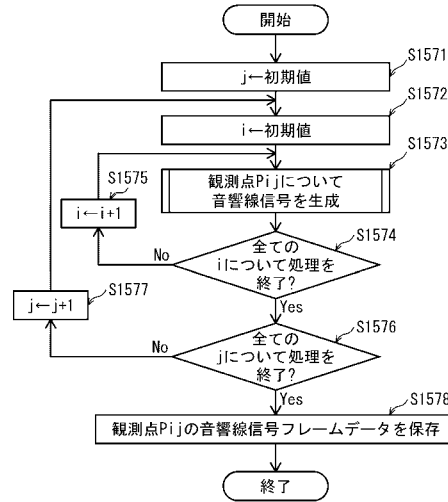
【図 1 6】



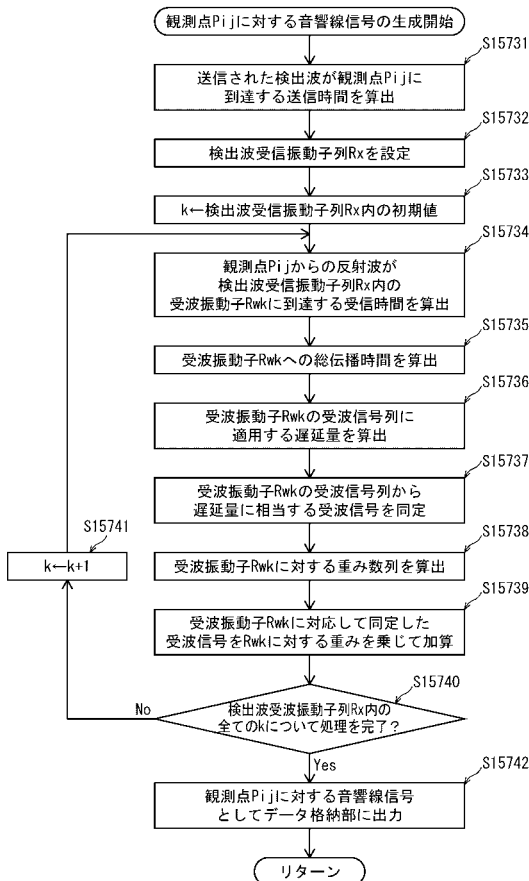
【 図 1 7 】



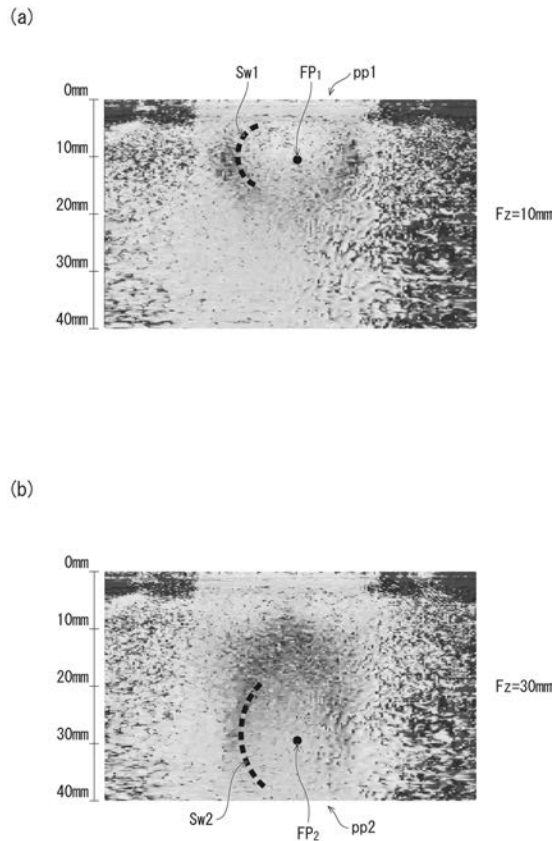
【 図 1 8 】



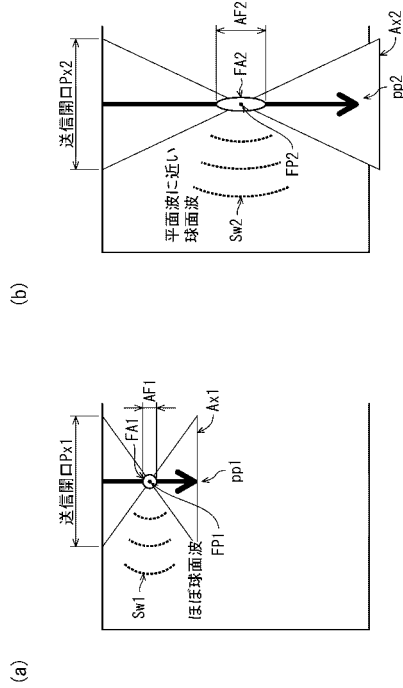
【 図 1 9 】



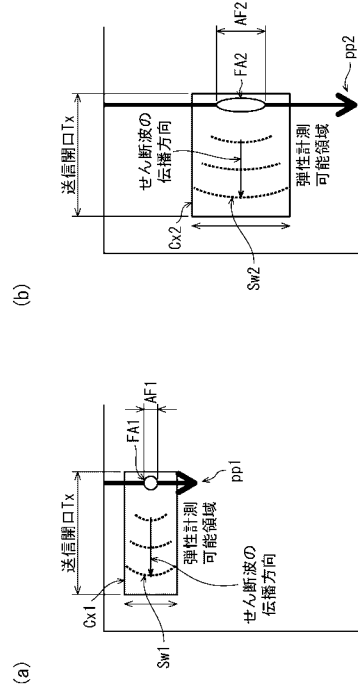
【 図 2 0 】



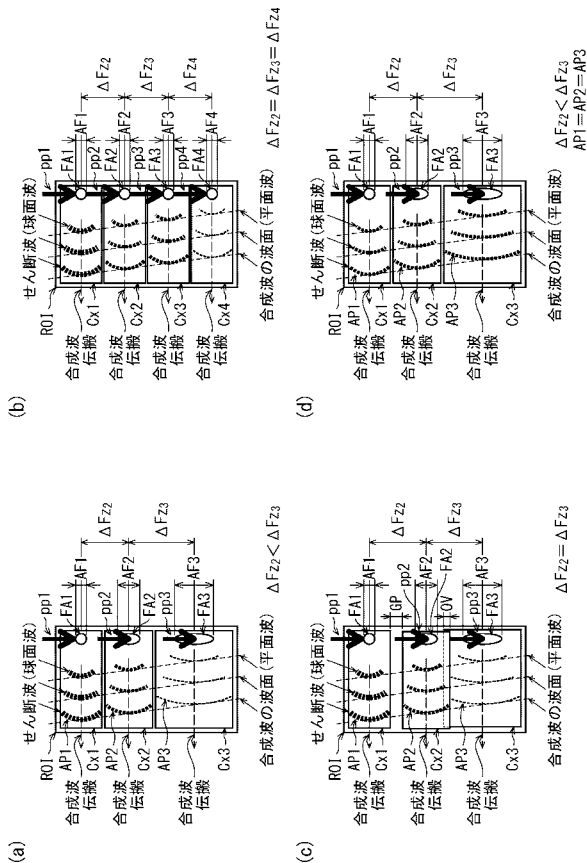
【図 2 1】



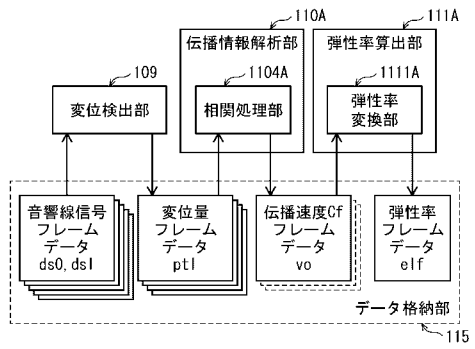
【図 2 2】



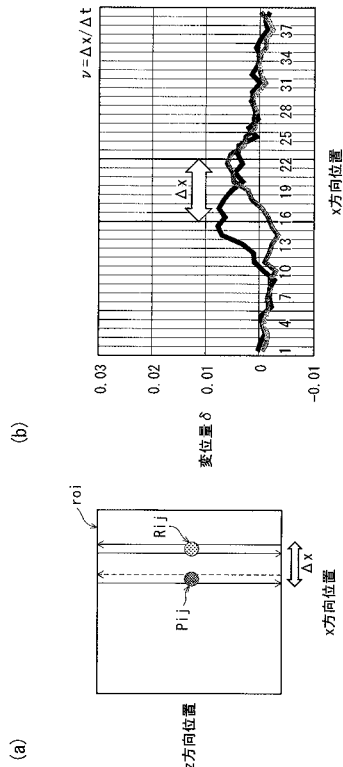
【図 2 3】



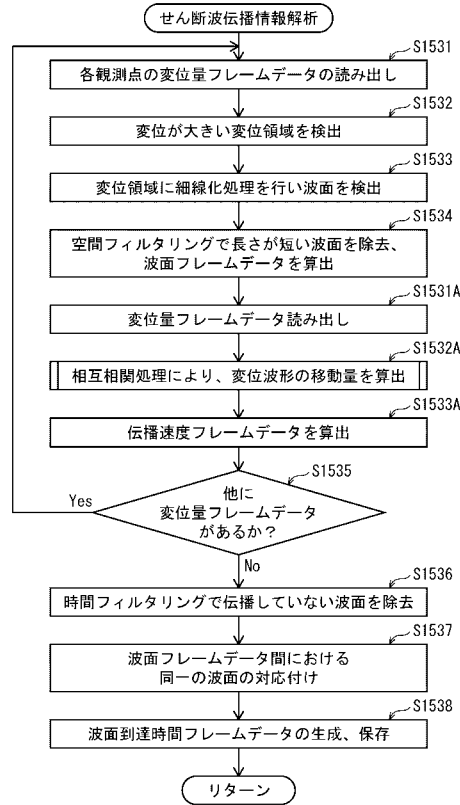
【図 2 4】



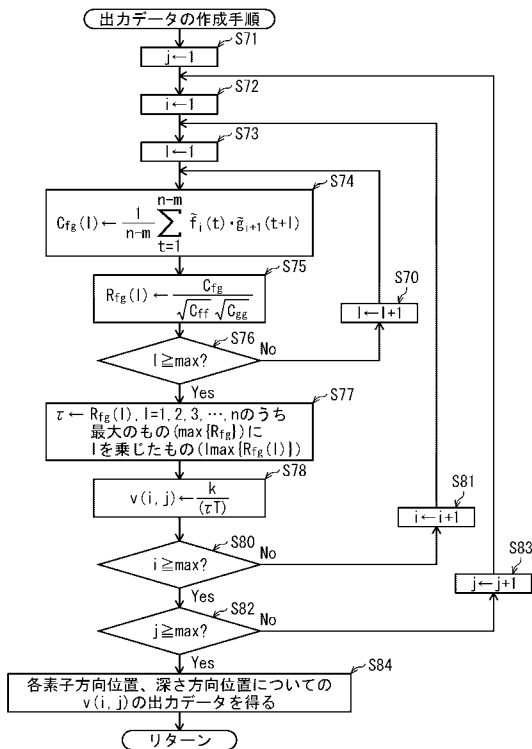
【 図 2 5 】



【 図 2 6 】



【 図 2 7 】



专利名称(译)	超声波诊断装置及超声波诊断装置的控制方法		
公开(公告)号	<a href="#">JP2019136063A</a>	公开(公告)日	2019-08-22
申请号	JP2018018957	申请日	2018-02-06
[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	A61B8/085 A61B8/485 A61B8/5207 A61B8/5276 A61B8/54 G01S7/52022 G01S7/52042 G01S7/52096		
FI分类号	A61B8/08		
F-TERM分类号	4C601/DD19 4C601/DD20 4C601/DD23 4C601/EE10 4C601/EE15 4C601/GB04 4C601/HH05 4C601/HH08 4C601/HH24 4C601/HH25 4C601/JB34 4C601/JB41 4C601/JC37 4C601/KK02 4C601/KK45		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a>		

摘要(译)

解决方案：在一种超声诊断设备中，该超声诊断设备使探头发射推动波以使超声束聚焦在被检体内，并检测被检体的传播速度。由推波的声辐射压力产生的剪切波，推波脉冲传输单元1041将预定时间长度的推波脉冲pppn提供给预定的相位，该预定时间长度的预定相位被设置给从a选择的多个发送振荡器Px中的每一个。这样，使多个振动体101a多次移动，从而使多个发送振动体Tx对被检体在深度方向上的位置不同的多个发送焦点FPn中的每一个聚焦多个推波ppn。相邻传输焦点FPn之间的间隔 $\Delta Fzn$ 在被摄体的深处较大而在a中较小的方式因此，在对象的较深部分，传输焦点的深度Fzn与多个传输振荡器的弦长Px的比值在对象的较深部分较大，而在对象的较浅部分则较小。：图5

