

(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2017-123994

(P2017-123994A)

(43) 公開日 平成29年7月20日(2017.7.20)

(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 8 O L (全 50 頁)

(21) 出願番号 特願2016-4564 (P2016-4564)
(22) 出願日 平成28年1月13日(2016.1.13)(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 津島 峰生
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
(72) 発明者 近藤 敏志
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 BB03 DD19 DD20 DD23 EE04
HH04 HH21 JB45 JC18 JC37

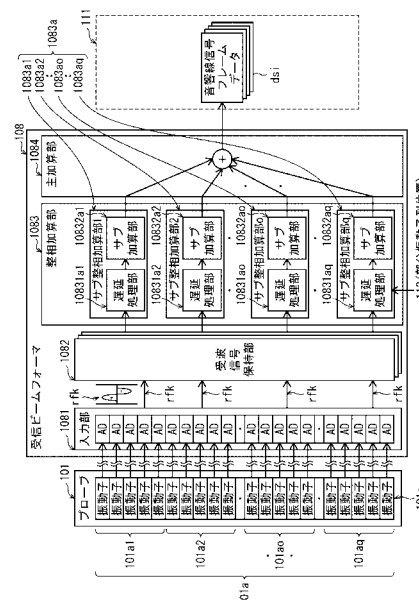
(54) 【発明の名称】 超音波診断装置、及び超音波信号処理方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 超音波弾性率計測の信号取得時間分解能又は/及び空間分解能とを改善した超音波診断装置を提供する。

【解決手段】 受信ビームフォーマ部108は、複数の振動子101aからなる振動子列を列方向に分割した複数の部分振動子列101aoの各々について、検出波照射領域における各部分振動子列101aoの被検体深さ方向に位置する複数の観測点についてその部分振動子列101aoに含まれる振動子各々が被検体から受波した反射波に基づく受波信号列rfkを整相加算することにより音響線信号を生成して、複数の部分振動子列101aoの各々に対応する音響線信号サブフレームデータを生成する複数のサブ整相加算部1083と、生成された複数の音響線信号サブフレームデータを観測点の位置を基準に加算して音響線信号フレームデータを生成する主加算部1084とを備えた。

【選択図】 図7



【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た超音波診断装置であって、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に向けて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おいて受波された被検体からの反射波に基づき、被検体中において検出波が到達する範囲に対応する検出波照射領域内の複数の観測点について音響線信号を生成し、これらの信号を集約して音響線信号フレームデータを時系列に生成し、当該音響線信号フレームデータのシーケンスを生成する受信ビームフォーマ部と、

10

前記音響線信号フレームデータのシーケンスに基づき、前記複数の観測点について弾性率フレームデータを算出する弾性率算出部とを備え、

前記受信ビームフォーマ部は、前記複数の振動子からなる振動子列を列方向に分割した複数の部分振動子列の各々について、前記検出波照射領域における前記各部分振動子列の被検体深さ方向に位置する複数の観測点についてその部分振動子列に含まれる振動子各々が被検体から受波した反射波に基づく受波信号列を整相加算することにより音響線信号を生成して、前記複数の部分振動子列の各々に対応する音響線信号サブフレームデータを生成する複数のサブ整相加算部と、

生成された複数の前記音響線信号サブフレームデータを観測点の位置を基準に加算して前記音響線信号フレームデータを生成する主加算部とを有する

20

超音波診断装置。

【請求項 2】

さらに、前記検出波照射領域中に特定点を設定し、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点に対応する被検体中の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を備え、

前記検出波パルス送信部は、前記プッシュ波の送信に続き、前記検出波パルスを複数回送信し、

前記弾性率算出部は、前記音響線信号フレームデータのシーケンスから、前記検出波照射領域内の複数の観測点について前記プッシュ波の音響放射圧により生じた組織の変位を検出して前記複数回の検出波パルスの各々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を表した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間の波面位置の変化量と時間間隔とに基づき前記弾性率フレームデータを算出する

30

請求項 1 に記載の超音波診断装置。

【請求項 3】

前記検出波パルス送信部は、前記複数の振動子に位相が等しい検出波パルスを供給する請求項 2 に記載の超音波診断装置。

【請求項 4】

さらに、操作入力を受付ける操作入力部と、

前記操作入力に基づき前記検出波照射領域内に、被検体内の解析対象範囲を表す関心領域を前記振動子列を基準に設定する関心領域設定部と、

40

前記検出波照射領域内の複数の観測点のうち、前記関心領域内に存在し、かつ評価対象となる対象観測点を選択する対象観測点選択部とを備え、

前記プッシュ波パルス送信部は、前記関心領域の位置に基づき前記特定点を設定し、

前記対象観測点選択部は、前記関心領域と前記特定点の位置とに基づき前記対象観測点を選択し、

前記サブ整相加算部は、前記複数の部分振動子列の各々について、前記検出波照射領域における前記各部分振動子列の被検体深さ方向に位置する前記対象観測点について前記音響線信号を生成して、前記音響線信号サブフレームデータを生成する

請求項 2 に記載の超音波診断装置。

50

【請求項 5】

前記プッシュ波パルス送信部は、前記検出波照射領域中の異なる位置に前記特定点を複数設定して、各々の前記特定点に対応する被検体中の特定部位に集束するプッシュ波を順次送信させ、

前記検出波パルス送信部は、前記複数の振動子に、各々の前記プッシュ波の送信に続き、前記検出波を複数回送信させ、

前記受信ビームフォーマ部は、各々の前記プッシュ波の送信に対応して前記音響線信号フレームデータのシーケンスを生成し、

前記弾性率算出部は、各々の前記プッシュ波の送信に対応して前記合成弾性率フレームデータを算出し、さらに、算出した複数の合成弾性率フレームデータを対象観測点の位置を基準に加算して統合弾性率フレームデータを生成する

10

請求項 4 に記載の超音波診断装置。

【請求項 6】

複数の振動子が列設されたプローブを用いる超音波信号処理方法であって、

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に向けて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おいて受波された被検体からの反射波に基づき、被検体中において検出波が到達する範囲に対応する検出波照射領域内の複数の観測点について音響線信号を生成し、これらの信号を集約して音響線信号フレームデータを時系列に生成して、当該音響線信号フレームデータのシーケンスを生成し、

20

前記音響線信号フレームデータのシーケンスに基づき、前記複数の観測点について弾性率フレームデータを算出し、

前記音響線信号フレームデータの生成では、前記複数の振動子からなる振動子列を列方向に分割した複数の部分振動子列の各々について、前記検出波照射領域における前記各部分振動子列の被検体深さ方向に位置する複数の観測点について、その部分振動子列に含まれる振動子各々が被検体から受波した反射波に基づく受波信号列を整相加算することにより音響線信号を生成して、前記複数の部分振動子列の各々に対応する音響線信号サブフレームデータを生成し、

生成された複数の前記音響線信号サブフレームデータを観測点の位置を基準に加算して前記音響線信号フレームデータを生成する

30

超音波信号処理方法。

【請求項 7】

さらに、前記検出波の送信の前に、前記検出波照射領域中に特定点を設定し、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点に対応する被検体中の特定部位に集束するプッシュ波を送信させ、

前記プッシュ波の送信に続き、前記検出波を複数回送信させ、

前記弾性率フレームデータを算出では、前記音響線信号フレームデータのシーケンスから、前記検出波照射領域内の複数の観測点について前記プッシュ波の音響放射圧により生じた組織の変位を検出して前記複数回の検出波パルスの各々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を表した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間の波面位置の変化量と時間間隔とに基づき前記弾性率フレームデータを算出する

40

請求項 6 に記載の超音波信号処理方法。

【請求項 8】

前記検出波パルスの供給では、前記複数の振動子に位相が等しい検出波パルスを供給する

請求項 7 に記載の超音波信号処理方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

50

本開示は、超音波診断装置、及び超音波信号処理方法に関し、特に、せん断波を用いた組織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生体組織の形態を示す超音波断層画像を生成してリアルタイムに表示することができる医療用検査装置である。

近年、この超音波画像計測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。臓器や生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。

【0004】

超音波弾性率計測による検査では、弾性画像取得の時間分解能を高め組織弾性の画像の更新速度を高めたり、又は、得られる信号の空間分解能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。

一般に、超音波画像計測における時間分解能及び空間分解能は、受信ビームフォーマにおける同時に受信処理可能なチャンネル数に依存し、チャンネル数が多いほど空間的な解像度が高い。これに対し、複数チャンネルからなる受信処理回路を用いて超音波断層画像を生成する技術が提案されている（例えば、特許文献1～4）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2011-50488号公報

【特許文献2】特開2005-34633号公報

【特許文献3】特開2005-34634号公報

【特許文献4】特開2000-33087号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

超音波弾性率計測では、プッシュ波を送信した後、プッシュ波の音響放射圧により生じたせん断波の伝搬を観測領域内にとらえるように検出波の送受信を複数回繰り返してせん断波の伝播解析を行う。弾性画像における時間分解能又は空間分解能を向上するためには、受信信号処理能力とハードウェア規模とのトレードオフが課題となり、使用可能なハードウェアの制限のなかで、より一層の受信信号処理能力向上が必要となる。また、リアルタイムに近い超音波弾性率計測の実現に向けては、さらなる処理能力の向上もしくは、計測性能を落とさないように演算の処理量を削減することが求められる。

【0007】

本開示は、上記課題に鑑みてなされたものであり、超音波弾性率計測において、信号取得時間分解能又は/及び弾性画像の空間分解能を改善可能な超音波診断装置及び超音波信号処理方法を提供することを目的とする。

10

20

30

40

50

【課題を解決するための手段】

【0008】

本開示の一態様に係る超音波診断装置は、複数の振動子が列設されたプローブが接続可能に構成された超音波診断装置であって、

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に向けて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おいて受波された被検体からの反射波に基づき、被検体中において検出波が到達する範囲に対応する検出波照射領域内の複数の観測点について音響線信号を生成し、これらの信号を集約して音響線信号フレームデータを時系列に生成し、当該音響線信号フレームデータのシーケンスを生成する受信ビームフォーマ部と、

前記音響線信号フレームデータのシーケンスに基づき、前記複数の観測点について弾性率フレームデータを算出する弾性率算出部とを備え、

前記受信ビームフォーマ部は、前記複数の振動子からなる振動子列を列方向に分割した複数の部分振動子列の各々について、前記検出波照射領域における前記各部分振動子列の被検体深さ方向に位置する複数の観測点についてその部分振動子列に含まれる振動子各々が被検体から受波した反射波に基づく受波信号列を整相加算することにより音響線信号を生成して、前記複数の部分振動子列の各々に対応する音響線信号サブフレームデータを生成する複数のサブ整相加算部と、

生成された複数の前記音響線信号サブフレームデータを観測点の位置を基準に加算して前記音響線信号フレームデータを生成する主加算部とを有することを特徴とする。

【発明の効果】

【0009】

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、信号取得時間分解能又は/及び弾性画像の空間分解能を改善することができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【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】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である。

【図4】送信ビームフォーマ部106の構成を示す機能ブロック図である。

【図5】プッシュ波の概要を示す模式図である。

【図6】(a)(b)は、検出波の概要を示す模式図である。

【図7】受信ビームフォーマ部108の構成を示す機能ブロック図である。

【図8】(a)(b)は、受信ビームフォーマ部108における、音響線信号フレームデータの生成方法の概要を示す模式図である。

【図9】(a)から(c)は、受信ビームフォーマ部108中の整相加算部1083における、整相加算処理の概要を示す模式図である。

【図10】変位検出部109、弾性率算出部110の構成を示す機能ブロック図である。

【図11】超音波診断装置100における超音波弾性率算出の動作を示すフローチャートである。

【図12】(a)から(e)は、プッシュ波パルスpppによるせん断波の生成の様子を示す模式図である。

【図13】受信ビームフォーマ部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。

【図14】受信ビームフォーマ部108における音響線信号フレームデータ生成動作を示

10

20

30

40

50

すフローチャートである。

【図 15】受信ビームフォーマ部 108 における観測点 P_{ij} 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。

【図 16】超音波診断装置 100 におけるせん断波の伝播解析の動作を示すフローチャートである。

【図 17】(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 18】(a) から (c) は、従来の受信ビームフォーマ部 108 中の整相加算部 1083 における、整相加算処理の概要を示す模式図である。

【図 19】(a) から (c) は、従来の受信ビームフォーマ部 108 中の整相加算部 1083 における、整相加算処理の概要を示す模式図である。

【図 20】検出波パルスから生成した音響線信号に基づく B モード画像であり、(a) は超音波診断装置 100 に係る受信ビームフォーマ部 108 による B モード画像、(b) は従来の受信ビームフォーマ部による B モード画像である。

【図 21】受信ビームフォーマ部 108 に基づく音響線信号フレームデータ $ds1$ から B モード画像フレームデータを生成する処理の一例を示す模式図である。

【図 22】変位検出部 109、弾性率算出部 110 における、弾性率フレームデータを算出する処理の一例を示す模式図である。

【図 23】変位検出部 109、弾性率算出部 110 における、弾性率フレームデータを算出する処理の他の一例を示す模式図である。

【図 24】実施の形態 2 に係る超音波診断装置 100A 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 25】超音波診断装置 100A を含む超音波診断システム 1000A の機能ブロック図である。

【図 26】受信ビームフォーマ部 108A の構成を示す機能ブロック図である。

【図 27】変位検出部 109、弾性率算出部 110A の構成を示す機能ブロック図である。

【図 28】超音波診断装置 100A 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 29】受信ビームフォーマ部 108A 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。

【図 30】(a) から (c) は、受信ビームフォーマ部 108A における、音響線信号サブフレームデータの生成方法の概要を示す模式図である。

【図 31】(a) から (c) は、受信ビームフォーマ部 108A における、音響線信号サブフレームデータの生成方法の概要を示す模式図である。

【図 32】(a) から (c) は、受信ビームフォーマ部 108A における、音響線信号サブフレームデータの生成方法の概要を示す模式図である。

【図 33】(a) から (c) は、受信ビームフォーマ部 108A における、音響線信号サブフレームデータの生成方法の概要を示す模式図である。

【図 34】変形例 1 に係る受信ビームフォーマ部 108B の構成を示す機能ブロック図である。

【図 35】受信ビームフォーマ部 108B 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。

【図 36】(a) (b) は、図 24 の SWS シーケンス 3 の場合において、音響線信号サブフレームデータの生成のために想定される条件を示す模式図である。

【図 37】(a) から (c) は、受信ビームフォーマ部 108B における、音響線信号サブフレームデータの生成方法の概要を示す模式図である。

【図 38】(a) (b) は、図 24 の SWS シーケンス 2 の場合において、音響線信号サブフレームデータの生成のために想定される条件を示す模式図である。

【図 39】(a) から (c) は、受信ビームフォーマ部 108B における、音響線信号サブフレームデータの生成方法の概要を示す模式図である。

10

20

30

40

50

【発明を実施するための形態】

【0011】

実施の形態 1

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。

【0012】

「基準検出波パルス送受信」の工程では、超音波プローブに基準検出波パルス pwp_0 を送信して、複数の振動子に被検体中の関心領域 roi に対応する範囲に検出波 pwo の送信と反射波 $ec_1 \sim 4$ 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 pp 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 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 pwp_1 (1 は 1 から検出波パルス pwp 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 pwp_1 とする) を送信して、複数の振動子に検出波 pwl の送信と反射波 $ec_1 \sim 4$ 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 ptl を時系列に算出し、次に、得られた変位分布 ptl 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率画像として表示する。

【0013】

以上に示した、プッシュ波 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。

< 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。図 1 は超音波診断装置 100 に、プローブ 101、操作入力部 102、表示部 114 が接続された状態を示している。なお、プローブ 101、操作入力部 102、表示部 114 が、超音波診断装置 100 に含まれる態様であってもよい。

【0014】

次に、超音波診断装置 100 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 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、後述の送信ビームフォーマ部 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

プローブ１０１は、被検体からの複数の超音波反射波（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受信ビームフォーマ部１０８に供給する。

【００１５】

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、関心領域設定部１０３を介して制御部１１２に出力する。

操作入力部１０２は、例えば、表示部１１４と一体に構成されたタッチパネルであってもよい。この場合、表示部１１４に表示された操作キーに対してタッチ操作やドラッグ操作を行うことで超音波診断装置１００の各種設定・操作を行うことができ、超音波診断装置１００がこのタッチパネルにより操作可能に構成される。また、操作入力部１０２は、例えば、各種操作用のキーを有するキーボードや、各種操作用のボタン、レバー等を有する操作パネルであってもよい。また、表示部１１４に表示されるカーソルを動かすためのトラックボール、マウスまたはフラットパッド等であってもよい。または、これらを複数用いてもよく、これらを複数組合せた構成のものであってもよい。

【００１６】

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。

< 超音波診断装置１００の構成概要 >

次に、実施の形態１に係る超音波診断装置１００について説明する。

【００１７】

超音波診断装置１００は、プローブ１０１の複数の振動子１０１aのうち、送信又は受信の際に用いる振動子を各々に選択し、選択された振動子に対する入出力を確保するマルチプレクサ部１０７、超音波の送信を行うためにプローブ１０１の各振動子１０１aに対する高電圧印加のタイミングを制御する送信ビームフォーマ部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受信ビームフォーマ部１０８を有する。

【００１８】

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pwp1を複数回送信させる検出波パルス発生部１０５を有する。

【００１９】

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解析を行い関心領域roi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１１０を有する。

また、受信ビームフォーマ部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、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１１１、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１１２を備える。

【００２０】

このうち、マルチプレクサ部１０７、送信ビームフォーマ部１０６、受信ビームフォーマ部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、弾性率算出部１１０は、超音波信号処理回路１５０を構成する。

超音波信号処理回路１５０を構成する上記各要素、制御部１１２、表示制御部１１３は、それぞれ、例えば、ＦＰＧＡ（Ｆｉｅｌｄ　Ｐｒｏｇｒａｍｍａｂｌｅ　Ｇａｔｅ　Ａ

10

20

30

40

50

rray)、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GPU(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。

【0021】

データ格納部111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111は、超音波診断装置100に外部からネットワーク等により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が不要な構成としてもよい。また、プローブ101に送信ビームフォーマ部106や受信ビームフォーマ部108、またその一部などが内蔵される構成であってもよい。

【0022】

<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。

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112に出力する。このとき、関心領域設定部103は、被検体内の解析対象範囲をあらわす関心領域roiをプローブ101にある複数の振動子101aからなる振動子列(101a)の位置を基準に設定してもよい。例えば、関心領域roiは、複数の振動子101aからなる振動子列(101a)を含む検出波照射領域Ax内の全部又は一部領域であってもよい。本実施の形態では、関心領域roiをその最大範囲である検出波照射領域Ax全体に設定した場合を例に説明を行う。

【0023】

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112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に送信ビームフォーマ部106からプッシュ波パルスpppを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ppを送信させる。あるいは、関心領域roiの近傍であって関心領域roi外の所定位置に送信焦点Fを設定する構成としてもよい。関心領域roiの近傍に設定する場合には、送信焦点Fは関心領域roiに対してせん断波が関心領域roiへ到達可能な距離に設定される。

【0024】

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Px」とする)を以下に示すように決定する。

図3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、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と略等しく、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fzは関心領域ro

10

20

30

40

50

i 中心までの深さ d と一致する構成とした。

【 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。

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」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。

10

【 0 0 2 6 】

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ビームフォーマ部 1 0 6 に出力される。

3 . 検出波パルス発生部 1 0 5

検出波パルス発生部 1 0 5 は、制御部 1 1 2 から関心領域 r o i を示す情報を入力し、複数の振動子 1 0 1 a に送信ビームフォーマ部 1 0 6 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、複数の振動子 1 0 1 a に検出波を送信させる。具体的には、検出波パルス発生部 1 0 5 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。検出波送信振動子列 T x の長さは、後述する図 6 (a) に示すように、関心領域 r o i の列方向の長さ w よりも大きいことが好ましい。超音波ビームが確実に関心領域全体を通過するように検出波パルス p w p l を送信することができ、1 回の検出波の送受信により関心領域全体にある観測点について音響線信号を生成できるからである。本実施の形態では、検出波送信振動子列 T x は複数の振動子 1 0 1 a 全部とする構成としている。

20

【 0 0 2 7 】

検出波送信振動子列 T x を示す情報は、検出波パルス p w p l のパルス幅とともに、送信制御信号として送信ビームフォーマ部 1 0 6 に出力される。

30

4 . 送信ビームフォーマ部 1 0 6

送信ビームフォーマ部 1 0 6 は、マルチプレクサ部 1 0 7 を介してプローブ 1 0 1 と接続され、プローブ 1 0 1 から超音波の送信を行うために、プローブ 1 0 1 に存する複数の振動子 1 0 1 a の全てもしくは一部に当たる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 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 1 0 4 と送信ビームフォーマ部 1 0 6 とを含む構成をプッシュパルス送信部 1 0 4 1 とし、送信ビームフォーマ部 1 0 6 と検出波パルス発生部 1 0 5 とを含む構成を検出波パルス送信部 1 0 5 1 とする。

【 0 0 2 8 】

図 4 は、送信ビームフォーマ部 1 0 6 の構成を示す機能ブロック図である。図 4 に示すように、送信ビームフォーマ部 1 0 6 は、駆動信号発生部 1 0 6 1、遅延プロファイル生成部 1 0 6 2、駆動信号送信部 1 0 6 3 を含む。

40

(1) 駆動信号発生部 1 0 6 1

駆動信号発生部 1 0 6 1 は、プッシュ波パルス発生部 1 0 4 又は検出波パルス発生部 1 0 5 からの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 とパルス幅を示す情報とに基づき、プローブ 1 0 1 に存する振動子 1 0 1 a 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 s p を発生する回路である。

【 0 0 2 9 】

(2) 遅延プロファイル生成部 1 0 6 2

50

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。

【0030】

(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。

10

【0031】

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が送信させる。

20

【0032】

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。

【0033】

図 6 (a) (b) は、検出波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振動子列 (101a) を含む平面内の領域を、以後、検出波照射領域 A_x とする。検出波照射領域 A_x において、振動子列 (101a) と平行な方向を x 方向、振動子列 (101a) と垂直な方向を z 方向とする。

30

送信ビームフォーマ部 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。

【0034】

40

5. 受信ビームフォーマ部 108

受信ビームフォーマ部 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、受信ビームフォーマ部 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

50

波信号（RF信号）を整相加算処理した信号である。

【0035】

図7は、受信ビームフォーマ部108の構成を示す機能ブロック図である。受信ビームフォーマ部108は、入力部1081、受波信号保持部1082、整相加算部1083、主加算部1084を備える。

5.1 入力部1081

入力部1081は、マルチプレクサ部107を介してプローブ101と接続され、プローブ101において反射波に基づき受波信号（RF信号）を生成する回路である。ここで、受波信号 $r f k$ （ 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。

10

【0036】

入力部1081は、SWSシーケンスに同期して選択される受波振動子 $r w k$ 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、SWSシーケンスごとに制御部112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、整相加算したときの音響線信号の信号S/Nを向上することができる。

20

【0037】

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。

5.2 受波信号保持部1082

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

30

【0038】

なお、受波信号保持部1082は、例えば、ハードディスク、MO、DVD、DVD-RAM等を用いることができる。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。また、データ格納部111の一部であってもよい。

5.3 整相加算部1083

整相加算部1083は、複数の振動子101aからなる振動子列（101a）を列方向に分割した複数の部分振動子列101ao（ o は、1から q までの自然数である。番号を区別しない場合は101aoとする）毎にモジュールを分割し、各モジュールごとに音響線信号サブフレームデータ $d s o$ （番号を区別しない場合は音響線信号サブフレームデータ $d s o$ とする）を生成する複数の部分振動子列101aoに対応したサブ整相加算部1083ao（番号を区別しない場合は1083aoとする）から構成される。サブ整相加算部1083aoは、受波信号 $r f k$ に対する遅延処理を行うための遅延処理部10831ao、遅延処理部10831aoの出力を加算して観測点 $P i j$ に対する整相加算された音響線信号 $d s i j$ を生成するサブ加算部10832aoをそれぞれ備える。

40

【0039】

本実施の形態では、 n 個の振動子101aからなる振動子列（101a）を、 n/q 個の振動子ずつ q 個の部分振動子列101aoに分割し、整相加算部1083が q 個のサブ整相加算部1083aoより構成され、部分振動子列101aoがサブ整相加算部1083aoに対しそれぞれ接続される q 分割構成であって、部分振動子列101aoは列方向に沿って順番に並設され、かつ、サブ整相加算部1083aoと1対1の関係で接続される構成としてもよい。

50

【0040】

例えば、192個の振動子101aからなる振動子列(101a)を、96振動子ずつ2つの部分振動子列101a1、a2に分割し、整相加算部1083が2つのサブ整相加算部1083a1、a2より構成され、部分振動子列101a1がサブ整相加算部1083a1に、部分振動子列101a2がサブ整相加算部1083a2に対しそれぞれ接続される、2分割として構成してもよい。

【0041】

サブ整相加算部1083a0ごとに音響線信号サブフレームデータdsoを生成すべき範囲は、検出波照射領域Axにおける部分振動子列101a0に対して被検体深さ方向に位置する範囲である。この範囲に存在する観測点Pijについて、部分振動子列101a0に含まれる振動子各々が被検体から受波した反射波に基づく受波信号列rfkを整相加算することにより音響線信号dsijを生成し、検出波照射領域Axにおける部分振動子列101a0に対して被検体深さ方向に位置する複数の観測点Pijについて音響線信号dsijを生成して音響線信号サブフレームデータdsoを生成する。

【0042】

以上のとおり、整相加算部1083は、全体として、送信イベントに同期して検出波照射領域Ax内の観測点Pijから、検出波受信振動子列Rxに含まれる受波振動子Rwkが受信した受波信号rfkに遅延処理を施した後、それらを加算して音響線信号dsijを生成する回路である。

(1) 遅延処理部10831a0

遅延処理部10831a0は、部分振動子列101a0に含まれる振動子各々が被検体から受波した反射波に基づく受波信号列rfkから、観測点Pijと受波振動子Rwk各々との間の距離の差を音速値で除した受波振動子Rwk各々への反射波の到達時間差(遅延量)により補償して、観測点Pijからの反射波に基づく受波振動子Rwkに対応する受波信号として同定する回路である。

【0043】

図8(a)(b)は、整相加算部1083における、整相加算処理の概要を示す模式図である。同図では、簡単のために、振動子列(101a)を2つの部分振動子列101a1、a2に分割し、整相加算部1083が2つのサブ整相加算部1083a1、a2より構成される場合を示した。

図8(a)(b)に示すように、サブ整相加算部1083a0では、検出波照射領域Axにおける部分振動子列101a0に対して被検体深さ方向(z方向)に位置する範囲に存在する複数の観測点Pijについて整相加算処理が行われる。サブ整相加算部1083a0における上記観測点Pijについて、整相加算処理の対象となる受波信号参照範囲は、部分振動子列101a0に含まれる受波振動子rwkが被検体から受波した反射波に基づく受波信号列rfkである。

【0044】

ここで、観測点Pijについての整相加算処理において、検出波送信振動子列Txから放射され観測点Pijにおいて反射され検出波受信振動子列Rxに含まれる受波振動子Rwk各々に到達するまでの伝播時間は以下のように算出される。

a) 送信時間の算出

検出波送信振動子列Tx(振動子列(101a)全体)から送信される検出波pwlは上述のとおり平面波である。したがって、遅延処理部10831a0は、送信イベントに対応して、観測点Pijまでの送信経路を、検出波送信振動子列Txから振動子列に垂直に発された検出波pwlが観測点Pijに到達するまでの最短経路801として算出し、これを音速で除して送信時間を算出する。

【0045】

b) 受信時間の算出

遅延処理部10831a0は、送信イベントに対応して、観測点Pijについて、観測点Pijで反射され検出波受信振動子列Rxに含まれる受波振動子Rwkに到達するまで

の受信経路を算出する。サブ整相加算部 1083a0 では、検出波受信振動子列 Rx とし
て部分振動子列 101a0 が適用される。観測点 Pij での反射波が受波振動子 Rwk に
戻っていくときの受信経路は、任意の観測点 Pij から各受波振動子 Rwk までの経路 8
02 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。

【0046】

c) 遅延量の算出

次に、遅延処理部 10831a0 は、送信時間と受信時間とから部分振動子列 101a
o 内の各受波振動子 Rwk への総伝播時間を算出し、当該総伝播時間に基づいて、各受波
振動子 Rwk に対する受波信号列 rfk に適用する遅延量を算出する。すなわち、送信さ
れた超音波が観測点 Pij を経由して各受波振動子 Rwk へ到達するまでの総伝播時間の
差異により、各受波振動子 Rwk に対する受波信号の列に適用する遅延量を算出する。

10

【0047】

d) 遅延処理

次に、遅延処理部 10831a0 は、部分振動子列 101a0 内の各受波振動子 Rwk
に対する受波信号列 rfk から、遅延量に相当する受波信号 rfk (遅延量を差引いた時
間に対応する受波信号) を、観測点 Pij からの反射波に基づく受波振動子 Rwk に対応
する信号として同定する。

【0048】

遅延処理部 10831a0 は、送信イベントに対応して、受波信号保持部 1082 から
受波信号 rfk を入力として、検出波照射領域 Ax における部分振動子列 101a0 に対
して z 方向に位置する全ての観測点 Pij について上記処理を行う。

20

(2) サブ加算部 10832a0

サブ加算部 10832a0 は、遅延処理部 10831a0 から出力される受波振動子 R
wk に対応して同定された受波信号 rfk を入力として、それらを加算して、観測点 Pij
に対する整相加算された音響線信号 dsij を生成する回路である。

【0049】

さらに、各受波振動子 Rwk に対応して同定された受波信号 rfk に対し、受信アポダ
イゼーション(重み数列)を乗じた後加算して、観測点 Pij に対する音響線信号 dsij
を生成してもよい。受信アポダイゼーションは、検出波受振動子列 Rx 内の受波振動子
Rwk に対応する受信信号に適用される重み係数の数列である。受信アポダイゼーション
は、検出波受振動子列 Rx の列方向の中心に位置する振動子に対する重みが最大となるよ
う設定され、受信アポダイゼーションの分布の中心軸は検出波受振動子列中心軸 Rxo と
一致し、分布は中心軸に対し対称な形状をなす。分布の形状は特に限定されない。

30

【0050】

図9(a)(b)は、整相加算部 1083 における、音響線信号サブフレームデータの
構成を示す模式図である。(a)はサブ整相加算部 1083a1、(b)はサブ整相加算
部 1083a2 による整相加算処理における、受波信号列 rfk の参照範囲と音響線信号
dsij を生成すべき観測点 pij の存在範囲を示したものである。サブ整相加算部 10
83a1、サブ整相加算部 1083a2 での整相加算方法は、受信アポダイゼーションに
よる重み係数を ap、受波信号の強度を rf、複数の振動子 101a の総数を n としたと
き、それぞれ、次式により示される。

40

【0051】

【数1】

$$k=0 \sim \frac{n}{2} - 1$$

$$ds1(i, j) = \sum_k ap(k, j) \times rf(k, j + \Delta j(i, j, k))$$

【0052】

【数 2】

$$k = \frac{n}{2} \sim n-1$$

$$ds2(i, j) = \sum_k ap(k, j) \times rf(k, j + \Delta j(i, j, k))$$

サブ加算部 10832a は、検出波照射領域 A x における部分振動子列 101a を対して z 方向に位置する全ての観測点 P i j について音響線信号 d s i j を生成して音響線信号サブフレームデータ d s o を生成する。

【0053】

10

5.4 主加算部 1084

主加算部 1084 は、生成された複数の音響線信号サブフレームデータ d s o を観測点 P i j の位置を基準に加算して音響線信号フレームデータ d s l を生成する回路である。

図 9 (c) は、音響線信号フレームデータ d s l の生成方法の概要を示す模式図である。同図に示すように、主加算部 1084 は、音響線信号サブフレームデータ d s o を観測点 P i j の位置を基準に加算して音響線信号フレームデータ d s l を生成し、検出波照射領域 A x 内に存在する全ての観測点 P i j について音響線信号 d s i j を含む音響線信号フレームデータ d s l が生成される。主加算部 1084 での加算処理は、次式により示される。

【0054】

20

【数 3】

$$ds(i, j) = \begin{cases} ds1(i, j) \dots \text{if } i = 0 \sim \frac{n}{2} - 1 \\ ds2(i, j) \dots \text{if } i = \frac{n}{2} \sim n - 1 \end{cases}$$

そして、送信イベントに同期して検出波パルス p w p 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 d s l を生成する。生成された音響線信号フレームデータ d s l は、送信イベントごとにデータ格納部 111 に出力され保存される。

30

【0055】

6. 変位検出部 109

変位検出部 109 は、音響線信号フレームデータ d s 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。

図 10 は、変位検出部 109、弾性率算出部 110 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 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 d s 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 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 112 を介してデータ格納部 111 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 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 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 l 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 l 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) を検出し、変位を観測点 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 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、制御部 112 を介してデータ格納部 111 に出力する。

40

【0056】

7. 弾性率算出部 110

弾性率算出部 110 は、伝播解析部 1101、合成部 1102 とから構成される。

50

7.1 伝播解析部 1101

伝播解析部 1101 は、SWS シーケンスごとに、変位量フレームデータ $p t l$ のシーケンスから、複数回の検出波パルス $p w p l$ 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し、複数の波面フレームデータ $w f l$ 間の波面位置の変化量とフレーム間の時間間隔とに基づき、検出波照射領域 $A x$ 内のせん断波の伝播速度、又は、弾性率のフレームデータを算出する回路である。

【0057】

具体的には、伝播解析部 1101 は、変位量フレームデータ $p t l$ を、制御部 112 を介してデータ格納部 111 から取得する。伝播解析部 1101 は、変位量データ $p t i$ から、変位量データ $p t i$ を取得した各時刻における、せん断波の波面の位置、進行方向および速度を検出し、波面フレームデータ $w f l$ のシーケンスを生成する。伝播解析部 1101 は、波面フレームデータ $w f l$ のシーケンスが示すせん断波の波面の位置、進行方向および速度から、変位量フレームデータ $p t l$ の検出波照射領域 $A x$ 内の観測点 $P i j$ に対応する被検体組織の弾性率データを算出し、弾性率フレームデータ $e l l$ のシーケンスを生成する。伝播解析部 1101 は、生成した波面フレームデータ $w f l$ と弾性率フレームデータ $e l l$ とをデータ格納部 111 に、制御部 112 を介してそれぞれ出力する。

【0058】

7.2 合成部 1102

合成部 1102 は、SWS シーケンスに含まれる複数の送信イベントに対応するせん断波の伝播速度、又は、弾性率フレームデータ $e l l$ のシーケンスを合成して、SWS シーケンスに対応する 1 フレームのせん断波の伝播速度、又は、合成弾性率フレームデータ $e m$ を算出する。合成部 1102 は、生成した 1 フレームのせん断波の伝播速度、又は、合成弾性率フレームデータ $e m$ とをデータ格納部 111 に、制御部 112 を介してそれぞれ出力する。

【0059】

8. その他の構成

データ格納部 111 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、弾性率フレームデータ $e l l$ のシーケンス、合成弾性率フレームデータ $e m$ を逐次記録する記録媒体である。

【0060】

制御部 112 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 112 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 $p p p$ を送信することなく、送信ビームフォーマ部 106 及び受信ビームフォーマ部 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 111 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ビームフォーマ部 106 及び受信ビームフォーマ部 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 111 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。

【0061】

また、伝播解析部 1101 は、弾性率フレームデータ $e l l$ 又は合成弾性率フレームデータ $e m$ の示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

10

20

30

40

50

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。伝播解析部 1101 は、生成した弾性率フレームデータ e11 又は合成弾性率フレームデータ em と弾性画像とをデータ格納部 111 に出力し、制御部 112 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。

【0062】

<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。

10

1. 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。

【0063】

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、送信ビームフォーマ部 106 及び受信ビームフォーマ部 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。

20

【0064】

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。

[ステップ S100 ~ S140]

ステップ S100 では、表示部 114 にプローブ 101 によりリアルタイムに取得された被検体の断層画像である B モード画像が表示されている状態において、関心領域設定部 103 は、操作入力部 102 から操作者により指定された情報を入力として、被検体内の解析対象範囲をあらわす関心領域 roi をプローブ 101 の位置を基準に設定し、制御部 112 に出力する。

【0065】

30

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 111 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、トラックボールなどの入力部（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 の指定方法はこの場合に限られず、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を関心領域 roi としてもよい。本実施の形態では、関心領域 roi をその最大範囲である B モード画像の全域、すなわち、検出波照射領域 Ax 全体に設定した場合を例に、以後の説明を行う。

【0066】

40

ステップ S120 では、プッシュ波パルス発生部 104 は、制御部 112 から関心領域 roi を示す情報を入力し、プッシュ波パルス ppp の送信焦点 F の位置とプッシュ波送信振動子列 Px 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 fx は検出波照射領域 Ax の列方向中心位置 wc と一致し、深さ方向送信焦点位置 fz は検出波照射領域 Ax 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列 Px 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 Ax 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。

【0067】

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 ppp のパルス幅とともに、送信制御信号として送信ビームフォーマ部 106 に出力される

50

。

ステップ S 1 3 0 では、送信ビームフォーマ部 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 w p 0 を送信し、被検体内に向けて検出波 p w 0 をさせ、受信ビームフォーマ部 1 0 8 は、検出波 p w 0 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 s 0 を生成する。基準音響線信号フレームデータ d s 0 はデータ格納部 1 1 1 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 0 6 8 】

ステップ S 1 4 0 では、送信ビームフォーマ部 1 0 6 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 p p 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。

10

具体的には、送信ビームフォーマ部 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 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 p p 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 s p と遅延時間 t p k 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 p p 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

【 0 0 6 9 】

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 0 7 0 】

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 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。

30

【 0 0 7 1 】

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。

すると、図 1 2 (d) の模式図に示すように、振動が組織 6 3 1 ~ 6 3 3 に隣接する、組織 6 2 1 ~ 6 2 3 および組織 6 4 1 ~ 6 4 3 に伝播する。

【 0 0 7 2 】

さらに、図 1 2 (e) の模式図に示すように、振動がさらに組織 6 1 1 ~ 6 6 3 および組織 6 5 1 ~ 6 5 3 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。

40

[ステップ S 1 5 0]

図 1 1 に戻って説明を続ける。

【 0 0 7 3 】

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 1 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 1 のシーケンスを保存する。具体的には、送信ビームフォーマ部 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 1 を送信させ、受信ビームフォーマ部 1 0 8 は、検出波パルス受信振動子

50

列 $R \times$ 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_{s1} 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 $A \times$ 内の音響線信号フレームデータ d_{s1} 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_{s1} のシーケンスはデータ格納部 111 に出力され保存される。

【0074】

ステップ S150 における、音響線信号フレームデータ d_{s1} の生成方法の詳細は後述する。

[ステップ S171]

ステップ S171 では、変位検出部 109 は、各送信イベントにおける検出波照射領域 $A \times$ 内の観測点 p_{ij} の変位を検出する。

【0075】

具体的には、変位検出部 109 は、ステップ S130 でデータ格納部 111 に保存された基準音響線信号フレームデータ d_{s0} 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_{s0} 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。

次に、変位検出部 109 は、ステップ S150 でデータ格納部 111 に保存された各音響線信号フレームデータ d_{s1} に対し、基準音響線信号フレームデータ d_{s0} との差分から、当該音響線信号フレームデータ d_{s1} が取得された時刻における、各画素の変位を検出する。具体的には、例えば、音響線信号フレームデータ d_{s1} 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_{s0} 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_{s1} の各画素の変位を検出する。

【0076】

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_{s0} 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。

【0077】

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_{s1} の各観測点 P_{ij} 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。

【0078】

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_{s1} と基準音響線信号フレームデータ d_{s0} との相関処理など、2 つの音響線信号フレームデータ d_{s1} 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_{s1} に係る各観測点の変位を当該観測点の座標と対応付けることで各フレームデータの変位を生成し、生成した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 111 に出力する。

【0079】

[ステップ S172]

ステップ S172 では、伝播解析部 1101 は、各送信イベントにおける検出波照射領域 $A \times$ 内の観測点 p_{ij} の変位量フレームデータ p_{t1} から波面を検出して、弾性率フレームデータ e_{l1} のシーケンスを生成する。さらに、波面フレームデータ w_{f1} と断層画像との関係から、断層画像の各画素について複数の波面フレームデータ w_{f1} におけるセ

10

20

30

40

50

ん断波の最大速度から弾性率を算出し、断層画像の各画素と弾性率とを対応付けて弾性率フレームデータ e_{11} を生成する。

【0080】

ステップ S_{172} における、弾性率フレームデータ e_{11} の生成方法の詳細は後述する。

[ステップ $S_{173} \sim S_{182}$]

伝播解析部 1101 は、生成した弾性率フレームデータ e_{11} のシーケンスをデータ格納部 111 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 $S_{171} \sim S_{173}$ の処理が完了したか否かを判定し(ステップ S_{174})、完了していない場合にはステップ S_{171} に戻り、次の検出波パルス p_{wpl} 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_{181} に進む。

10

【0081】

次に、合成部 1102 は、 $SW S$ シーケンスに含まれる複数の送信イベントに対応するせん断波の弾性率フレームデータ e_{11} を観測点 P_{ij} を基準に加算して、 $SW S$ シーケンスに対応する合成弾性率フレームデータ e_m を算出し(ステップ S_{181})、データ格納部 111 に保存する(ステップ S_{182})。同時に又は替わりに、 $SW S$ シーケンスに対応する合成せん断波伝播速度のフレームデータを算出してもよい。

【0082】

以上により、図 11 に示した統合 $SW S$ 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、 $SW S$ シーケンスによる合成弾性率フレームデータ e_{1m} を算出することができる。

20

2. ステップ S_{150} における処理の詳細について

ステップ S_{150} 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。

【0083】

図 12 は、受信ビームフォーマ部 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。

まず、検出波の識別番号 l を 1 に設定し(ステップ S_{151})、送信ビームフォーマ部 106 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_{152})。

30

【0084】

次に、受信ビームフォーマ部 108 は、プローブ 101 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 111 に出力し、データ格納部 111 に受波信号 r_{fk} を保存する(ステップ S_{153})。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_{154})。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_{155})してステップ S_{152} 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_{156} に進む。

40

【0085】

次に、検出波の識別番号 l を 0 に初期化し(ステップ S_{156})、受信ビームフォーマ部 108 は、データ格納部 111 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 111 に出力し、データ格納部 111 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_{157})。ステップ S_{157} 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。

【0086】

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_{159})、完了していな

50

い場合には 1 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。

以上により、図 1 2 におけるステップ S 1 5 0 の処理を終了する。

【0087】

3. 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 $d s 1$ の生成処理の詳細について説明する。

図 1 3 は、受信ビームフォーマ部 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。

【0088】

まず、部分振動子列 1 0 1 a o の識別番号 o を 1 に設定し (ステップ S 1 5 7 1)、検出波照射領域 $A x$ 内の観測点 $P i j$ の位置を示す j を最小値に初期化し (ステップ S 1 5 7 2)、 i を部分振動子列 1 0 1 a o 内の最小値に初期化する (ステップ S 1 5 7 3)。次に、受信ビームフォーマ部 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 5)。ステップ S 1 5 7 5 における処理の詳細については後述する。

【0089】

次に、部分振動子列 1 0 1 a o 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 7)、検出波照射領域 $A x o$ 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 9) 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 8、S 1 5 8 0) 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 5)、完了している場合にはステップ S 1 5 8 1 に進む。

【0090】

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 $A x$ における部分振動子列 1 0 1 a o に対して被検体深さ方向に位置する観測点 $P i j$ (図 8 (a) 又 (b) 中の「・」) について音響線信号 $d s i j$ が生成されており、音響線信号サブフレームデータ $d s o$ が生成されている。ステップ S 1 5 8 1 では、生成された音響線信号サブフレームデータ $d s o$ をデータ格納部 1 1 1 に出力され保存されている。

【0091】

次に、全ての部分振動子列 1 0 1 a o について、検出波パルス $p w p 1$ について音響線信号サブフレームデータ $d s o$ の生成が完了したか否かを判定し (ステップ S 1 5 8 2)、完了していない場合には o をインクリメント (ステップ S 1 5 8 3) してステップ S 1 5 7 2 に戻り、完了している場合にはステップ S 1 5 8 4 に進む。

この段階では、1 回の送信イベントに伴う全ての部分振動子列 1 0 1 a o に対して音響線信号サブフレームデータ $d s o$ が生成されている。

【0092】

ステップ S 1 5 8 4 では、主加算部 1 0 8 4 は、生成された複数の音響線信号サブフレームデータ $d s o$ を観測点 $P i j$ の位置を基準に加算して音響線信号フレームデータ $d s 1$ を生成し、音響線信号フレームデータ $d s 1$ をデータ格納部 1 1 1 に出力して保存する。

以上により、図 1 3 におけるステップ S 1 5 7 の処理を終了する。

【0093】

4. ステップ S 1 5 7 5 における処理の詳細について

次に、ステップ S 1 5 7 5 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 4 は、受信ビームフォーマ部 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 5 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された検出波 $p w 1$ が観測点 $P i$

10

20

30

40

50

j に到達するまでの最短経路 8 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。

【0094】

次に、部分振動子列 1 0 1 a o を検出波受信振動子列 R_x に設定する（ステップ S 1 5 7 5 2 ）。

次に、部分振動子列 1 0 1 a o の振動子識別番号に基づき、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 S 1 5 7 5 3 ）、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 S 1 5 7 5 4 ）。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 8 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_{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 S 1 5 7 5 5 ）、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 S 1 5 7 5 6 ）。

10

【0095】

ステップ S 1 5 7 5 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 S 1 5 7 5 8 ）。サブ加算部 1 0 8 3 2 a o 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 S 1 5 0 1 5 9 ）。

【0096】

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 S 1 5 7 6 0 ）、完了していない場合には k をインクリメント（ステップ S 1 5 7 6 1 ）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 S 1 5 7 5 9 ）、完了している場合にはステップ S 1 5 7 6 2 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 1 1 1 に出力され保存される（ステップ S 1 5 7 6 2 ）。

30

【0097】

以上により、図 1 4 におけるステップ S 1 5 7 5 の処理を終了する。

5. ステップ S 1 7 2 における処理の詳細について

ステップ S 1 7 2 では、伝播解析部 1 1 0 1 は、各送信イベントにおける検出波照射領域 A_x 内の観測点 p_{ij} の変位量フレームデータ p_{t1} から波面を検出する。

40

詳しくは、図 1 6 のフローチャートを用いて説明する。図 1 6 は、せん断波の伝播解析の動作を示すフローチャートである。図 1 7 (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。

【0098】

まず、データ格納部 1 1 1 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 7 2 1 ）。

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 7 2 2 ）。伝播解析部 1 1 0 1 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。

【0099】

50

以下、図 17 の模式図を用いて説明する。

図 17 (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“○”は検出波照射領域 A_x 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 p_p 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。伝播解析部 1101 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 17 (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 δ が閾値より大きな変位領域 730 が抽出できる。

10

20

30

40

50

【0100】

次に、伝播解析部 1101 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 S1723）。図 17 (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 S1722 において変位領域 730 として抽出された領域である。伝播解析部 1101 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 17 (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 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。伝播解析部 1101 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 111 に出力する。

【0101】

次に、伝播解析部 1101 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 S1724）。例えば、ステップ S1723 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 17 (c) の波面画像に示すように、波面 761 ~ 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。

【0102】

伝播解析部 1101 は、ステップ S1721 ~ S1724 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 S1725）。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。

次に、伝播解析部 1101 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 S1726）。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。

【0103】

伝播解析部 1101 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 17 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 7 7 2 が波面 7 8 3 の位置に、波面 7 7 3 が波面 7 8 2 の位置に、それぞれ移動したことを検出する。

【 0 1 0 4 】

波面画像 7 8 0 と波面画像 7 9 0 との間でも同様の処理を行い、波面 7 8 1 が波面 7 9 1 の位置に、波面 7 8 2 が波面 7 9 7 の位置に、波面 7 8 3 が波面 7 9 3 の位置に、それぞれ移動したことを検出する。ここで、波面 7 7 3、波面 7 8 2、波面 7 9 2 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 1 7 (e) の波面フレームデータ 3 0 0 に示すように、波面 8 0 1、8 0 2 が検出できる。

10

【 0 1 0 5 】

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。伝播解析部 1 1 0 1 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 1 1 1 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 1 1 1 へ出力してもよい。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 7 7 2 が波面 7 8 3 の位置に移動したことが検出された場合、波面 7 8 3 と波面 7 7 2 とが同一の波面であるという情報である。

【 0 1 0 6 】

次に、伝播解析部 1 1 0 1 は、弾性率フレームデータ e l l のシーケンスを生成する（ステップ S 1 7 2 7）。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、速度を検出する。さらに、波面フレームデータ w f l と断層画像との関係から、断層画像の各画素について複数の波面フレームデータ w f l におけるせん断波の最大速度から弾性率を算出し、断層画像の各画素と弾性率とを対応付けて弾性率フレームデータ e l l のシーケンスを生成する。

20

【 0 1 0 7 】

図 1 7 (e) を用いて弾性率フレームデータ e l l の生成について説明する。図 1 7 (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 + Δ 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 8 1 0 として合成したものである。ここで、時刻 t における波面 8 1 1 と、時刻 t + Δ t における波面 8 1 2 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。伝播解析部 1 1 0 1 は、対応情報から、波面 8 1 1 上の座標 (x_t、z_t) に対応する波面 8 1 2 上の座標 (x_{t+Δt}、z_{t+Δt}) 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 + Δ t に座標 (x_{t+Δt}、z_{t+Δt}) に到達していると推定できる。したがって、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+Δt}、z_{t+Δt}) との間の距離 m を所要時間 Δ t で割った値と推定できる。すなわち、

30

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

となる。伝播解析部 1 1 0 1 は、全ての波面に対して上述の処理を行い、波面が通過した全座標についてせん断波の速度を取得し、せん断波の速度を基に、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、

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

40

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。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 0 8 】

< 効 果 >

1. 受信ビームフォーマ部 1 0 8 による演算負荷の軽減

本実施形態に係る受信ビームフォーマ部 1 0 8 により実現される演算負荷の軽減について説明する。

上述のとおり、超音波弾性率計測では、プッシュ波を送信した後、検出波の送受信を複数回繰り返してせん断波の伝播解析を行うために、単一又は少数の検出波の送受信により B モード断層画像を生成する処理に比べて演算量及びデータ転送量が大きい。例えば、一

50

一般的なプローブ（5 cm 幅程度）で生体内を伝播するせん断波を計測するためには100 us 程度の間隔（約 10^4 回/sec）で検出波pwlの送受信を行う必要がある。他方、例えば超音波弾性率計測において、時間平均において約1200回/sec（プッシュ波の送信12回/sec、検出波の送信100回/sec）の検出波pwl送受信を行う場合、30フレーム/secでのBモード断層画像生成とを比較すると、超音波弾性率計測はBモード断層画像生成に比べて、演算量、データ転送量ともに約40倍となる。超音波弾性率計測を、市販のPC Iバスを用いてデータ転送を行った場合、PCI Express 3.0（Gen3）規格×16レーン（双方向32GB/sec（理論値））を2セット以上のハードウェアを用いることが必要となる。

【0109】

したがって、リアルタイムに近い超音波弾性率計測実現に向けて、弾性画像における時間分解能又は/及び空間分解能を向上するためには、使用可能なハードウェア規模の制限のなかで、より一層の受信信号処理能力の向上もしくは、計測性能を落とさないように演算の処理量を削減することが必要となる。

本実施形態に係る受信ビームフォーマ部108により実現される演算量と、従来の整相加算処理における演算量との違いについて説明する。

【0110】

図18（a）～（c）、図19（a）～（c）は、従来の整相加算処理の概要を示す模式図である。（a）はプローブの振動子列を2つの部分振動子列の一方に対応するサブ整相加算部A、（b）は他の一方に対応するサブ整相加算部Bによる処理である。それぞれ、上段は整相加算処理の対象となる受波信号参照範囲、下段は整相加算により生成すべき音響線信号サブフレームデータの範囲を示す。（c）は、音響線信号フレームデータの生成方法と範囲を示したものである。

【0111】

図18（a）から（c）に示した従来の例では、（a）（b）に示すように、それぞれ整相加算処理の対象となる受波信号参照範囲、整相加算により生成すべき音響線信号サブフレームデータの範囲ともにフレーム全体とした構成であり、図9（a）（b）に示した実施の形態1に係るサブ整相加算部1083aにおける処理と比較して、音響線信号サブフレームデータ生成のための演算量が約2倍に増加する。また、音響線信号フレームデータを生成する加算処理のために転送されるデータ量も、図19（c）に示した主加算部1084に比べて約2倍に増加する。

【0112】

図19（a）から（c）に示した従来の例は、音響線信号サブフレームデータから、音響線信号フレームデータを生成するために整相加算処理を行う特許文献1に示された構成である。その構成では、図19（a）（b）に示すように、それぞれサブ整相加算部A、Bにおける、整相加算処理の対象となる受波信号参照範囲、整相加算により生成すべき音響線信号サブフレームデータの範囲は、図9（a）（b）に示した実施の形態1に係るサブ整相加算部1083aと同じであり、両者の演算量も同じである。しかしながら、図19（c）に示すように、生成された音響線信号サブフレームデータを整相加算により音響線信号フレームデータが生成されるので、図9（c）に示した実施の形態1に係る主加算部1084よりも演算量が約2倍以上に増加する。

【0113】

したがって、実施の形態1に係る受信ビームフォーマ部108を用いることにより、超音波弾性率計測における演算量を、例えば、半分に削減することができ、使用可能なハードウェア規模の制限のなかで、信号取得時間分解能又は/及び弾性画像の空間分解能を改善することができる。

2．受信ビームフォーマ部108による音響線信号に基づく画質

受信ビームフォーマ部108による画像の品質について説明する。

【0114】

図20は、検出波パルスから生成した音響線信号に基づくBモード画像である。（b）

に示される従来の受信ビームフォーマ部によるBモード画像では、サブ整相加算部A、Bに対応するBモード画像上の境界部分Bにおいて画像の連続性は低下していない。これに対し、(a)に示される受信ビームフォーマ部108に基づく音響線信号フレームデータds1によるBモード画像では、サブ整相加算部A、Bに対応するBモード画像上の境界部分Aにおいて画像の連続性が低下していることがわかる。

【0115】

これは、受信ビームフォーマ部108では、整相加算処理における受波信号列rfkの参照範囲と音響線信号dsijを生成すべき観測点pijの存在範囲とが、サブ整相加算部1083aoごとに分離していることに起因している。図21は、受信ビームフォーマ部108に基づく音響線信号フレームデータds1からBモード画像フレームデータを生成する処理の一例を示す模式図である。図21に示すように、整相加算処理においてサブ整相加算部1083ao間で相互に受波信号列rfkの参照がなされないために、サブ整相加算部に対応するBモード画像上の境界部分Aに画像の不連続部が生じるものと考えられる。

10

【0116】

受信ビームフォーマ部108による音響線信号に基づく弾性率フレームデータe11では、サブ整相加算部1083aoに対応する境界部分における画像の連続性低下は抑制される。

図22は、変位検出部109、弾性率算出部110における、弾性率フレームデータを算出する処理の一例を示す模式図である。図22に示すように、上述のとおり、弾性率フレームデータe11が依拠する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との観測点pijごとの信号の差分に基づき生成される。そのため、仮に、サブ整相加算部1083ao間に対応する音響線信号フレームデータds1上の境界部分において信号強度の不連続部があったとしても、その不連続部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との両方に生じている。そのため、それらの差分により得られる変位量フレームデータpt1には境界部分における信号強度の不連続部が残存せず、整相加算処理においてサブ整相加算部1083ao間で相互に受波信号列rfkの参照がなされないBモード断層画像における連続性低下の主要因は解消される。

20

【0117】

図23は、変位検出部109、弾性率算出部110における、弾性率フレームデータを算出する処理の他の一例を示す模式図である。図23に示すように、変位量フレームデータpt1が、連続する音響線信号フレームデータds1間での観測点pijごとの信号の差分に基づき生成される場合も同様である。サブ整相加算部1083ao間に対応する音響線信号フレームデータds1上の信号強度の不連続部は、連続する音響線信号フレームデータds1全てに生じているため、それらを差分したとき変位量フレームデータpt1に信号強度の不連続部は残存せず、連続性低下の主要因は解消される。

30

【0118】

したがって、受信ビームフォーマ部108による音響線信号に基づく弾性率フレームデータe11では、サブ整相加算部1083aoに対応する境界部分における画像の連続性低下は抑制される。その結果、合成弾性率フレームデータemの示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表示する場合でも、上記境界部分における画像の連続性が問題となることはない。

40

【0119】

すなわち、音響線信号フレームデータds1に基づき生成したBモード画像では、サブ整相加算部の境界に対応するBモード画像上の輝度等の連続性低下が生じるが、音響線信号フレームデータds1に基づき生成した弾性画像では、サブ整相加算部の境界に対応する弾性画像上の連続性低下は抑制される。

< 小 括 >

以上、説明したように本実施の形態1に係る構成によれば、超音波弾性率計測を行う超

50

音波診断装置 100 において、受信ビームフォーマ部 108 は、複数の振動子 101a からなる振動子列 (101a) を列方向に分割した複数の部分振動子列 101ao の各々について、検出波照射領域 Ax における各部分振動子列 101ao の被検体深さ方向に位置する複数の観測点 Pij についてその部分振動子列 101ao に含まれる振動子 rwk 各々が被検体から受波した反射波に基づく受波信号列 rfk を整相加算することにより音響線信号 dsij を生成して、複数の部分振動子列 101ao の各々に対応する音響線信号サブフレームデータ dso を生成する複数のサブ整相加算部 1083ao と、生成された複数の音響線信号サブフレームデータ dso を観測点 Pij の位置を基準に加算して音響線信号フレームデータ dsl を生成する主加算部 1084 とを有する備えた構成を採る。

【0120】

係る構成により、被検体内の特定部位に超音波を集束させたプッシュ波 pp を用いた超音波弾性率計測において、演算量と、サブ整相加算部 1083ao から主加算部 1084 へのデータ転送量を削減することができ、使用可能なハードウェア規模の制限のなかで、信号取得時間分解能又は/及び弾性画像の空間分解能を改善することができる。その結果、超音波弾性率計測において、信号取得時間分解能又は/及び弾性画像の空間分解能を改善することができる。

【0121】

また、音響線信号フレームデータ dsl に基づき生成した弾性画像では、サブ整相加算部の境界に対応する弾性画像上の連続性低下は抑制される。

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、図 5 に示すように、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 は複数の振動子 101a 全部とし、送信焦点 F の位置のうち、列方向送信焦点位置 fx は関心領域 roi の中心付近とし、SSS シーケンスにおいて、送信焦点 F の位置及びプッシュ波送信振動子列 Px は固定されている構成とした。

【0122】

しかしながら、プッシュ波パルス ppp を構成する送信焦点 F の位置及びプッシュ波送信振動子列 Px の構成は関心領域 roi の位置や大きさに応じて変化させてもよい。

実施の形態 2 に係る超音波診断装置 100A では、SSS 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、SSS 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 (p = 1 ~ N0) を合成して関心領域 roi 全体に対する統合 SSS シーケンス合成弾性率 elm を算出する点で実施の形態 1 と相違する。

【0123】

以下、超音波診断装置 100A について説明する。

図 24 は、実施の形態 2 に係る超音波診断装置 100A における複数の SSS シーケンスから構成される統合 SSS 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 100A による組織の弾性率計測は、統合 SSS シーケンスは複数 (N0 回) の SSS シーケンスから構成される。本例では、一例として、N0 = 4 とした。

【0124】

SSS シーケンス (1 ~ N0) は、プッシュ波 pp を集束させる関心領域 roi 中の送信焦点 F に対応する被検体部位をシーケンス毎に列方向に漸次移動させて被検体内にプッシュ波 pp を送信してせん断波励起するプッシュ波送信工程 pa (p = 1 ~ 4)、関心領域 roi に対応する被検体の領域に対し検出波 pw1 の送受信を複数回繰り返す検出波送受信工程 pb、関心領域 roi の一部領域についてせん断波伝搬解析を行いせん断波の伝播速度と合成弾性率フレームデータ emp を算出する弾性率算出工程 pc、SSS シーケンス (1 ~ 4) で算出された関心領域 roi の一部領域に対する合成弾性率フレームデータ emp を加算して関心領域 roi 全体に対する統合弾性率フレームデータ elm を算出するシーケンス統合処理工程 d から構成される。

10

20

30

40

50

【 0 1 2 5 】

< 構 成 >

実施の形態 2 に係る超音波診断装置 1 0 0 A を含む超音波診断システム 1 0 0 0 A について、図面を参照しながら説明する。

図 2 5 は、実施の形態 1 に係る超音波診断システム 1 0 0 0 A の機能ブロック図である。超音波診断装置 1 0 0 A では、プッシュ波パルス発生部 1 0 4 A、受信ビームフォーマ部 1 0 8 A、弾性率算出部 1 1 0 A が実施の形態 1 の構成と相違するため、これらの構成について説明する。他の構成については、超音波診断装置 1 0 0 と同じであり説明を省略する。また、マルチプレクサ部 1 0 7、送信ビームフォーマ部 1 0 6、受信ビームフォーマ部 1 0 8 A、関心領域設定部 1 0 3、プッシュ波パルス発生部 1 0 4 A、検出波パルス発生部 1 0 5、変位検出部 1 0 9、弾性率算出部 1 1 0 A は、超音波信号処理回路 1 5 0 A を構成する。

10

【 0 1 2 6 】

プッシュ波パルス発生部 1 0 4 では、制御部 1 1 2 から関心領域 roi を示す情報を入力し、関心領域 roi 内の所定位置に送信焦点 F を設定し、複数の振動子 1 0 1 a に送信ビームフォーマ部 1 0 6 からプッシュ波パルス ppp を送信させて、複数の振動子 1 0 1 a に送信焦点 F に対応する被検体部位に超音波ビームが集束するプッシュ波 pp を送信させる。このとき、関心領域 roi 中の送信焦点 F をシーケンス毎に列方向に漸次移動させてプッシュ波 pp が収束する被検体中の位置を列方向に漸次移動させる。例えば、図 2 4 のプッシュ波送信工程 pa ($p = 1 \sim 4$) に示されるように、関心領域 roi を列方向に

20

【 0 1 2 7 】

なお、図 2 5 に示すように、プッシュ波パルス発生部 1 0 4 A と送信ビームフォーマ部 1 0 6 とを含む構成をプッシュパルス送信部 1 0 4 1 A とする。

図 2 6 は、受信ビームフォーマ部 1 0 8 A の構成を示す機能ブロック図である。対象観測点選択部 1 0 8 5 A の構成が実施の形態 1 と相違するため、その構成について説明する。他の構成については、超音波診断装置 1 0 0 と同じであり説明を省略する。

【 0 1 2 8 】

対象観測点選択部 1 0 8 5 A は、制御部 1 1 2 から関心領域 roi と送信焦点 F の位置とを示す情報を入力し、検出波照射領域 Ax 内の複数の観測点 Pij のうち、関心領域 roi 内に存在し、かつ評価対象となる対象観測点 Qij を選択する。対象観測点 Qij を示す情報はサブ整相加算部 1 0 8 3 a o に出力される。対象観測点 Qij の選択方法の詳細は後述する。

30

【 0 1 2 9 】

図 2 7 は、変位検出部 1 0 9、弾性率算出部 1 1 0 A の構成を示す機能ブロック図である。シーケンス統合部 1 1 0 3 A を備えた点が実施の形態 1 の弾性率算出部 1 1 0 と相違するため、その構成について説明し、他の構成については超音波診断装置 1 0 0 と同じであり説明を省略する。

シーケンス統合部 1 1 0 3 A は、複数の $SW S$ シーケンスに対応する関心領域 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、観測点 Pij の位置を基準に加算するシーケンス統合処理を行う。これより、統合 $SW S$ シーケンスに対応する関心領域 roi 全体に対する統合弾性率フレームデータ elm を算出する。算出された統合弾性率フレームデータ elm はデータ格納部 1 1 1 に出力され保存される。

40

【 0 1 3 0 】

< 動 作 >

超音波診断装置 1 0 0 A の統合 $SW S$ シーケンスの動作について説明する。

1. $SW S$ シーケンスの動作

図 2 8 は、超音波診断装置 1 0 0 A 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 1 における超音波診断装置 1 0 0 と同じ処理には同一の番号を付し概要

50

のみ説明し、異なる処理についてのみ説明する。

【0131】

ステップS100では、図11と同様に関心領域設定部103は、操作者により指定された情報を入力として、関心領域roiをプローブ101の位置を基準に設定し、制御部112に出力する。

ステップS110Aでは、プッシュ波パルス発生部104では、制御部112から関心領域roiを示す情報を入力し、関心領域roi内の所定位置にプッシュ波の送信焦点F及びプッシュ波送信振動子列Pxを決定する。以後のシーケンス毎に関心領域roi中の送信焦点Fを列方向に漸次移動させてプッシュ波ppが収束する被検体中の位置を列方向に漸次移動させる動作を行う。そのための送信焦点F及びプッシュ波送信振動子列Pxを
10

【0132】

ステップS120～S182(S10A)では、ステップS150Aを除き図11におけるステップS10と同じ処理が行われる。合成部1102により、SWSシーケンスに対応する合成弾性率フレームデータempが算出されデータ格納部111に保存される。ステップS150Aにおける処理については後述する。

規定されている全てのプッシュ波パルスpppについてステップS10Aの処理が完了したか否かを判定し(ステップS182A)、完了していない場合には、プッシュ波の送信焦点Fを列方向に漸次移動させるように、プッシュ波の送信焦点F及びプッシュ波送信振動子列Pxを変更して(ステップS183A)、ステップS130に戻り、次のSWS
20

【0133】

ステップS190Aでは、シーケンス統合部1103Aは、複数のSWSシーケンスに対応する関心領域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、観測点Pijの位置を基準に加算して関心領域roi全体に対する統合弾性率フレームデータelmとし、データ格納部111に保存する(ステップS191A)。

以上により、図28に示した統合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、統合SWSシーケンスによる統合弾性率フレームデータelmを算出することができる。
30

【0134】

2. ステップS150Aにおける処理の詳細について

ステップS150Aにおける、音響線信号フレームデータdslの生成処理の概要について説明する。

図29は、受信ビームフォーマ部108A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。ステップS1571～1584では、ステップS1571A、1574Aを除き図14と同じ処理が行われる。同じ処理には同一の番号を付し概要のみ説明し、異なる処理を含むステップについてのみ説明する。

【0135】

ステップS1571Aでは、対象観測点選択部1085Aは、制御部112から関心領域roiと送信焦点Fの位置とを示す情報を入力し、検出波照射領域Ax内の複数の観測点Pijのうち、関心領域roi内に存在し、かつ評価対象となる対象観測点Qijを選択し、サブ整相加算部1083aoに出力する。
40

対象観測点Qijの選択方法は以下のとおりである。

【0136】

図24のプッシュ波送信工程pa(p=1～4)に示されるように、SWSシーケンス1～4では、関心領域roiを列方向にプッシュ波の送信回数(4)に分割し、分割したroi1/4～4/4の中央に送信焦点Fを設定する。例えば、SWSシーケンス1では、roi1/4に送信焦点Fが設定される。図30から図33(各図(a)から(c))は、受信ビームフォーマ部108Aにおける、それぞれ、図24におけるSWSシーケン
50

ス 1 ~ 4 における、音響線信号サブフレームデータの生成方法の概要を示す模式図である。

【 0 1 3 7 】

ステップ S 1 5 7 1 A では、図 3 0 (a) (b) に示すように、対象観測点選択部 1 0 8 5 A は、検出波照射領域 A x 内の複数の観測点 P i j のうち、r o i 1 / 4 を除いた r o i 2 / 4 ~ 4 / 4 内に位置する観測点 P i j を対象観測点 Q i j として選択し、サブ整相加算部 1 0 8 3 a o に出力する。

図 3 0 (a) (b) に示すように、サブ整相加算部 1 0 8 3 a o は、r o i 1 / 4 における部分振動子列 1 0 1 a o に対して z 方向に位置する観測点 P i j については処理をスキップする (ステップ S 1 5 7 4 A)。そして、r o i 2 / 4 ~ 4 / 4 における部分振動子列 1 0 1 a o に対して z 方向に位置する全ての対象観測点 Q i j について整相加算処理を行う (ステップ S 1 5 7 5)。サブ整相加算部 1 0 8 3 a o において、整相加算処理の対象となる受波信号参照範囲は、部分振動子列 1 0 1 a o に含まれる受波振動子 r w k が被検体から受波した反射波に基づく受波信号列 r f k である。ステップ S 1 5 7 5 における処理の詳細は、図 1 5 に示した処理と同じである。

【 0 1 3 8 】

サブ加算部 1 0 8 3 2 a o は、それぞれ、対象観測点 Q i j について音響線信号 d s i j を生成して音響線信号サブフレームデータ d s o を生成する (ステップ S 1 5 8 1)。そして、図 3 0 (c) に示すように、主加算部 1 0 8 4 は、音響線信号サブフレームデータ d s o を対象観測点 Q i j の位置を基準に加算して、r o i 2 / 4 ~ 4 / 4 内に存在する全ての対象観測点 Q i j についての音響線信号 d s i j を含む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 1 に保存する (ステップ S 1 5 8 4)。

【 0 1 3 9 】

以上により、図 2 9 における処理を終了する。

次に、S W S シーケンス 2 では、r o i 2 / 4 に送信焦点 F が設定され、図 3 1 (a) (b) に示すように、対象観測点選択部 1 0 8 5 A は、検出波照射領域 A x 内の複数の観測点 P i j のうち、r o i 2 / 4 を除いた r o i 1 / 4、3 / 4、4 / 4 内に位置する観測点 P i j を対象観測点 Q i j に選択し、対象観測点 Q i j についての音響線信号 d s i j を含む音響線信号フレームデータ d s l が生成され、音響線信号フレームデータ d s l を生成する (図 3 1 (c))。

【 0 1 4 0 】

同様に、S W S シーケンス 3 では、r o i 3 / 4 に送信焦点 F が設定され、図 3 2 (a) (b) に示すように、r o i 1 / 4、2 / 4、4 / 4 内に位置する対象観測点 Q i j について音響線信号フレームデータ d s l が生成され、音響線信号フレームデータ d s l を生成する (図 3 2 (c))。

同様に、S W S シーケンス 4 では、r o i 4 / 4 に送信焦点 F が設定され、図 3 3 (a) (b) に示すように、r o i 1 / 4 ~ 3 / 4 内に位置する対象観測点 Q i j について音響線信号フレームデータ d s l が生成され、音響線信号フレームデータ d s l を生成する (図 3 3 (c))。

【 0 1 4 1 】

< 小 括 >

以上、説明したように本実施の形態 2 に係る構成によれば、検出波照射領域 A x 内の複数の観測点 P i j のうち、関心領域 r o i とプッシュ波の送信焦点 F の位置とに基づき評価対象となる対象観測点 Q i j を選択し、サブ整相加算部 1 0 8 3 a o は、複数の部分振動子列 1 0 1 a o の各々について、各部分振動子列 1 0 1 a o の被検体深さ方向に位置する対象観測点 Q i j について音響線信号 d s i j を生成して、音響線信号サブフレームデータ d s o を生成する構成を採る。

【 0 1 4 2 】

さらに、弾性率算出部 1 1 0 A は、検出波照射領域 A x 内の異なる位置を送信焦点 F とする複数のプッシュ波 p p に対応して合成弾性率フレームデータ e m p を算出し、さらに

10

20

30

40

50

、算出した複数の合成弾性率フレームデータ e_{mp} を対象観測点 Q_{ij} の位置を基準に加算して統合弾性率フレームデータ e_{lm} を生成する構成を採る。

係る構成により、関心領域 roi 内の整相加算の対象すべき観測点を選択することにより演算量を軽減し、信号取得時間分解能又は/及び弾性画像の空間分解能を改善することができる。また、被検体内において位置の異なる複数の特定部位に超音波を集束させた複数のプッシュ波を用いた超音波弾性率計測において、計測の精度を向上するとともに、使用可能なハードウェア規模の制限のなかで、信号取得時間分解能又は/及び弾性画像の空間分解能を改善することができる。

【0143】

< 変形例 1 >

実施の形態 2 に係る超音波診断装置 100 では、対象観測点選択部 1085 B は、関心領域 roi と送信焦点 F の位置とを示す情報に基づき、検出波照射領域 A_x 内の複数の観測点 P_{ij} のうち、関心領域 roi 内に存在し、かつ評価対象となる対象観測点 Q_{ij} を選択する構成とした。

【0144】

しかしながら、評価対象となる対象観測点 Q_{ij} を選択する方法は、上記に限られず、受信ビームフォーマ部の構成等により適宜変更してもよい。

以下、超音波診断装置 100 B について説明する。

< 構成 >

変形例 1 に係る超音波診断装置 100 B では、実施の形態 2 に係る超音波診断装置 100 A と受信ビームフォーマ部 108 B が相違するため、この構成について説明する。他の構成については、超音波診断装置 100 A と同じであり説明を省略する。図 34 は、変形例 1 に係る受信ビームフォーマ部 108 B の構成を示す機能ブロック図である。対象観測点選択部 1085 B、2 次整相加算部 1084 B の構成が実施の形態 2 と相違するため、その構成について説明する。他の構成については、超音波診断装置 100 A と同じであり説明を省略する。

【0145】

対象観測点選択部 1085 B は、制御部 112 から関心領域 roi 、送信焦点 F の位置を示す情報に加え、部分振動子列 101 a o の位置を示す情報を入力し、関心領域 roi 内の複数の観測点 P_{ij} のうち、関心領域 roi 、プッシュ波の送信焦点 F の位置とに基づき評価対象となる対象観測点 Q_{ij} を選択するとともに、各部分振動子列 101 a o の境界付近に位置する観測点 P_{ij} であって隣接する部分振動子列 101 a o 内の上記境界付近に先に選択された対象観測点 Q_{ij} が存在する場合には、当該観測点 P_{ij} をも対象観測点 Q_{ij} に拡張して選択し、サブ整相加算部 1083 a o は、複数の部分振動子列 101 a o の各々について、各部分振動子列 101 a o の被検体深さ方向に位置する対象観測点 Q_{ij} について音響線信号 ds_{ij} を生成して、音響線信号サブフレームデータ ds_o を生成する。

【0146】

2 次整相加算部 1084 B は、音響線信号サブフレームデータ ds_o を 2 次的な整相加算処理の対象として、拡張前に選択された対象観測点 Q_{ij} の位置を基準に加算して、関心領域 roi 内に存在する全ての対象観測点 Q_{ij} についての音響線信号 ds_{ij} を含む音響線信号フレームデータ ds_l を生成する。

< 動作 >

超音波診断装置 100 B の動作について説明する。

【0147】

超音波診断装置 100 B における超音波弾性率算出の動作では、図 28 のステップ S150 A を除き図 28 と同じ処理が行われるために、異なる処理についてのみ説明する。

図 35 は、超音波診断装置 100 B 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。ステップ S1571 B、1584 B を除き図 29 と同じ処理が行われる。同じ処理には同一の番号を付し概要のみ説明し、異なる処理を含むステップにつ

10

20

30

40

50

いてのみ説明する。

【0148】

ステップS1571Bでは、対象観測点選択部1085Aは、制御部112から関心領域roiと送信焦点Fの位置とを示す情報と、部分振動子列101aoの位置を示す情報とを入力し、検出波照射領域Ax内の複数の観測点Pijのうち、関心領域roi内に存在し、かつ評価対象となる対象観測点Qijを選択し、サブ整相加算部1083aoに出力する。

【0149】

対象観測点Qijの選択方法について説明する。超音波診断装置100Bにおいても、図24のプッシュ波送信工程pa(p=1~4)に示されるように、SSWシーケンス1~4では、関心領域roiを列方向にプッシュ波の送信回数(4)に分割し、分割したroi1/4~4/4の中央に送信焦点Fを設定する。

図36(a)(b)は、図24のSSWシーケンス3の場合において、音響線信号サブフレームデータの生成のために想定される条件を示す模式図である。音響線信号の精度を高めるために、対象観測点Qijに対し部分振動子列101aoと等価な受波信号参照範囲を想定した場合の模式図である。

【0150】

まず、ステップS1571Bでは、図36(a)(b)に示すように、対象観測点選択部1085Bが、検出波照射領域Ax内の複数の観測点Pijのうち、roi3/4を除いたroi1/4~2/4、4/4内に位置する観測点Pijを対象観測点Qijとして選択する。

図36(b)に示す、roi4/4中の対象観測点Qijに対する整相加算処理は、サブ整相加算部1083a2において行われる。ここでは、roi4/4の対象観測点Qijを中心として部分振動子列101a2と等価な大きさの受波信号参照範囲を想定した場合でも、対称な受波信号参照範囲は部分振動子列101a2の範囲に含まれ、必要な受波信号列rfkが取得することができる。

【0151】

他方、図36(a)に示す、roi1/4~2/4中の対象観測点Qijに対する整相加算処理は、サブ整相加算部1083a1において行われる。このとき、整相加算処理の対象となる受波信号参照範囲は、部分振動子列101a1に含まれる受波振動子rwkが被検体から受波した反射波に基づく受波信号列rfkである。図36(a)に示すように、roi1/4~2/4は、部分振動子列101a1の列方向の中央に位置していない。そのため、仮に、roi1/4~2/4の対象観測点Qijを中心として部分振動子列101a1と等価な大きさの受波信号参照範囲を想定したとき、受波信号参照範囲の一部が部分振動子列101a1の右方にはみ出た状態となる。これは、部分振動子列101a1から十分な受波信号列rfkが取得できないことを意味する。

【0152】

そこで、超音波診断装置100Bでは、対象観測点Qijの拡張が以下のように行われる。図37(a)から(c)は、超音波診断装置100Bにおける、図24のSSWシーケンス3の場合の音響線信号サブフレームデータの生成方法の概要を示す模式図である。

ステップS1571Bでは、図37(a)(b)に示すように、対象観測点選択部1085Bは、検出波照射領域Ax内の複数の観測点Pijのうち、roi1/4~2/4、4/4内に位置する観測点Pijのほか、roi3/4においてroi2/4との境界付近に位置する観測点Pijをも対象観測点Qijとして拡張して選択し、サブ整相加算部1083aoに出力する。

【0153】

すなわち、対象観測点選択部1085Bは、関心領域roi内の複数の観測点Pijのうち、関心領域roi、プッシュ波の送信焦点Fの位置とに基づき評価対象となる対象観測点Qijを選択するとともに、各部分振動子列101aoの境界付近に位置する観測点Pijであって隣接する部分振動子列101ao内の上記境界付近に対象観測点Qijが

10

20

30

40

50

存在する場合には、当該観測点 P_{ij} をも対象観測点 Q_{ij} に拡張して選択する構成を採る。

【0154】

ステップ S_{1574A} では、図 37 (a) (b) に示すように、サブ整相加算部 1083a0 は、対象観測点 Q_{ij} として選択されなかった観測点 P_{ij} については処理をスキップする。

次に、サブ整相加算部 1083a1 における整相加算処理では、図 37 (a) に示すように、 $roi_{1/4} \sim 2/4$ 中の対象観測点 Q_{ij} に対する音響線信号 ds_{ij} を生成する (ステップ S_{1575})。このとき、整相加算処理の対象となる受波信号参照範囲は、部分振動子列 101a1 に含まれる受波振動子 rw_k が被検体から受波した反射波に基づく受波信号列 rf_k である。

10

【0155】

また、サブ整相加算部 1083a2 における整相加算処理では、図 37 (b) に示すように、 $roi_{4/4}$ 内に位置する対象観測点 Q_{ij} のほか、 $roi_{3/4}$ において $roi_{2/4}$ との境界付近に位置する対象観測点 Q_{ij} に対する音響線信号 ds_{ij} をも生成する (ステップ S_{1575})。このとき、整相加算処理の対象となる受波信号参照範囲は、部分振動子列 101a2 に含まれる受波振動子 rw_k が被検体から受波した反射波に基づく受波信号列 rf_k である。ステップ S_{1575} における処理の詳細は、図 15 に示した処理と同じである。

20

【0156】

サブ加算部 10832a0 は、それぞれ、対象観測点 Q_{ij} について音響線信号 ds_{ij} を生成して音響線信号サブフレームデータ ds_o を生成する (ステップ S_{1581})。

次に、ステップ S_{1584B} では、図 37 (c) に示すように、2 次整相加算部 1084B は、音響線信号サブフレームデータ ds_o を対象として、当初設定した拡張前の対象観測点 Q_{ij} の位置を基準に加算して、 $roi_{1/4}$ 、 $2/4$ 、 $4/4$ 内に存在する全ての対象観測点 Q_{ij} について整相加算を行い、音響線信号 ds_{ij} を含む音響線信号フレームデータ ds_l を生成してデータ格納部 111 に保存する (ステップ S_{1584B})。

【0157】

以上により、図 35 における処理を終了する。

同様に、 SS シーケンス 2 では、 $roi_{2/4}$ に送信焦点 F が設定される。図 38 (a) (b) は、図 24 の SS シーケンス 2 の場合において、音響線信号サブフレームデータの生成のために想定される条件を示す模式図である。上記した SS シーケンス 3 と同様、図 38 (b) に示すように、 $roi_{3/4} \sim 4/4$ は、部分振動子列 101a1 の列方向の中央に位置していない。そのため、仮に、 $roi_{3/4} \sim 4/4$ の対象観測点 Q_{ij} を中心として部分振動子列 101a2 と等価な大きさの受波信号参照範囲を想定したとき、受波信号参照範囲の一部が部分振動子列 101a2 の左方にはみ出た状態となる。これは、部分振動子列 101a2 から十分な受波信号列 rf_k が取得できないことを意味する。

30

【0158】

そこで、超音波診断装置 100B では、図 39 (a) (b) (c) に示すように、対象観測点選択部 1085B は、検出波照射領域 A_x 内の複数の観測点 P_{ij} のうち、 $roi_{2/4}$ を除いた $roi_{1/4}$ 、 $3/4$ 、 $4/4$ 内に位置する観測点 P_{ij} を対象観測点 Q_{ij} に選択し、図 37 (a) (b) (c) と同様に、対象観測点 Q_{ij} についての音響線信号 ds_{ij} を含む音響線信号フレームデータ ds_l が生成される。

40

【0159】

他方、 SS シーケンス 1 では、 $roi_{1/4}$ に送信焦点 F が設定され、 $roi_{2/4} \sim 4/4$ 内に位置する対象観測点 Q_{ij} について音響線信号フレームデータ ds_l が生成される。同様に、 SS シーケンス 4 では、 $roi_{4/4}$ に送信焦点 F が設定され、 $roi_{1/4} \sim 3/4$ 内に位置する対象観測点 Q_{ij} について音響線信号フレームデータ ds_l が生成される。

50

【0160】

< 小 括 >

以上、説明したように変形例1に係る構成によれば、制御部112から関心領域 r_{oi} 、送信焦点 F の位置を示す情報に加え、部分振動子列101aの位置を示す情報を入力し、関心領域 r_{oi} 内の複数の観測点 P_{ij} のうち、関心領域 r_{oi} 、プッシュ波の送信焦点 F の位置とに基づき評価対象となる対象観測点 Q_{ij} を選択するとともに、各部分振動子列101aの境界付近に位置する観測点 P_{ij} であって隣接する部分振動子列101a内の前記境界付近に対象観測点 Q_{ij} が存在する場合には、当該観測点 P_{ij} を対象観測点 Q_{ij} に拡張して選択し、サブ整相加算部1083aは、複数の部分振動子列101aの各々について、各部分振動子列101aの被検体深さ方向に位置する対象観測点 Q_{ij} について音響線信号 ds_{ij} を生成して、音響線信号サブフレームデータ ds_o を生成する構成を採る。

10

【0161】

さらに、2次整相加算部1084Bは、音響線信号サブフレームデータ ds_o を整相加算処理の対象として、拡張前の対象観測点 Q_{ij} の位置を基準に加算して、関心領域 r_{oi} 内に存在する全ての対象観測点 Q_{ij} についての音響線信号 ds_{ij} を含む音響線信号フレームデータ ds_l を生成する構成を採る。

係る構成により、関心領域 r_{oi} 内の整相加算の対象すべき観測点を、関心領域 r_{oi} 、送信焦点 F の位置を示す情報に加え、部分振動子列101aの位置を示す情報に基づき拡張して選択することにより演算量を軽減し、信号取得時間分解能又は/及び弾性画像の空間分解能を改善するとともに、併せて、音響線信号の精度を向上することができる。

20

【0162】

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。

実施の形態に係る超音波診断装置100では、送信ビームフォーマ部106、受信ビームフォーマ部108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。

【0163】

例えば、部分振動子列101a1から4は、必ずしも各サブ整相加算部1083a1から4に対し、列方向に沿って順番に並設され、かつ、1対1の関係で接続されていなくてもよい。例えば、部分振動子列101a1はサブ整相加算部1083a1に接続され、部分振動子列101a2はサブ整相加算部1083a2に接続され、部分振動子列101a3はサブ整相加算部1083a1に接続され、部分振動子列101a4はサブ整相加算部1083a2に接続されるといった、交互に接続されて構成であってもよい。係る構成によっても、実施の形態1、2と同様の効果を得ることができる。

30

【0164】

また、送信ビームフォーマ部106は、実施の形態2では、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 P_x 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た。しかしながら、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。

40

【0165】

また、実施の形態1に係る超音波診断装置100では、関心領域 r_{oi} をその最大範囲である検出波照射領域 A_x 全体に設定した構成を示した。しかしながら、関心領域 r_{oi} 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 A_x 内の一部領域に設定される構成であってもよい。

また、実施の形態2に係る超音波診断装置100Aでは、関心領域 r_{oi} を、検出波照射領域 A_x 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

50

せてプッシュ波 $p p$ 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 $r o i$ 内の対象観測領域を異ならせて検出波 $p w l$ の送受信を複数回繰り返し、 $S W S$ シーケンスごとに関心領域 $r o i$ 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 $e m p$ を合成して関心領域 $r o i$ 全体に対する統合 $S W S$ シーケンス合成弾性率 $e l m$ を算出する構成とした。

【0166】

しかしながら、検出波照射領域 $A x$ 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 $P x$ を、例えば複数の振動子 101 a 全部とし、プッシュ波の送信焦点 F を関心領域 $r o i$ 内に単数設定する構成とし、関心領域 $r o i$ に検出波 $p w l$ の送受信を複数回繰り返す $S W S$ シーケンスを行い、1 回の $S W S$ シーケンスにより関心領域 $r o i$ 内に位置する観測点について合成弾性率フレームデータ $e m$ を算出する構成としてもよい。また、その場合、例えば、送信焦点 F の位置は関心領域 $r o i$ の中心付近としてもよい。

【0167】

また、送信ビームフォーマ部 106 は、実施の形態では、プローブ 101 に存する全ての振動子 101 a から検出波送信を行う構成とした。しかしながら、プローブ 101 に存する複数の振動子 101 a の一部に当たる振動子列からなる検出波送信振動子列 $T x$ を設定し、 $S W S$ シーケンスごとに検出波送信振動子列 $T x$ を列方向に漸次移動させながら超音波送信を繰り返し、プローブ 101 に存する全ての振動子 101 a から検出波の送信を行う構成としてもよい。関心領域 $r o i$ 内のプッシュ波パルス $p p p$ 集束部位近傍について検出波パルス $p w p l$ の送受信とそれに基づく弾性率の算出を行うことができ、1 回の送信イベントに伴う弾性率算出までの処理負担を軽減することができ、信号取得時間分解能を向上することができる。

【0168】

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。また、受信振動子列の列中心を通り振動子列と垂直であって単一振動子幅の直線状の領域とした。

【0169】

また、実施の形態では、検出波パルス $p w p l$ の送受信を行うためのプローブ 101 からプッシュ波パルス $p p p$ を送信してその音響放射圧により被検体内にせん断波を発生させる構成について説明したが、被検体内にせん断波を発生する手段は、プローブ 101 の振動子 101 a からのプッシュ波パルス $p p p$ 送信には限定されない。例えば、検出波パルス $p w p l$ の送受信を行うための振動子 101 a とは別に、プローブ 101 に音響放射圧発生用の超音波振動子を設けた構成であってもよい。または、プローブ 101 に放射圧発生用の機械的な外力発生手段、例えば、圧電素子等による振動機構等を設けた構成としてもよい。また、検出波パルス $p w p l$ の送受信を行うためのプローブ 101 とは別のプローブに音響放射圧発生用の超音波振動子や放射圧発生用の機械的な外力発生手段を備けて、超音波診断装置やプローブ 101 に接続可能にする構成としてもよい。

【0170】

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。

【0171】

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

10

20

30

40

50

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。

【0172】

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。

【0173】

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。

【0174】

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。

【0175】

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の機能ブロックに分割したり、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。

【0176】

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。

【 0 1 7 7 】

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。

【 0 1 7 8 】

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。

【 0 1 7 9 】

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。

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た超音波診断装置であって、

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に向けて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おいて受波された被検体からの反射波に基づき、被検体中において検出波が到達する範囲に対応する検出波照射領域内の複数の観測点について音響線信号を生成し、これらの信号を集約して音響線信号フレームデータを時系列に生成し、当該音響線信号フレームデータのシーケンスを生成する受信ビームフォーマ部と、

前記音響線信号フレームデータのシーケンスに基づき、前記複数の観測点について弾性率フレームデータを算出する弾性率算出部とを備え、

前記受信ビームフォーマ部は、前記複数の振動子からなる振動子列を列方向に分割した複数の部分振動子列の各々について、前記検出波照射領域における前記各部分振動子列の被検体深さ方向に位置する複数の観測点についてその部分振動子列に含まれる振動子各々が被検体から受波した反射波に基づく受波信号列を整相加算することにより音響線信号を生成して、前記複数の部分振動子列の各々に対応する音響線信号サブフレームデータを生成する複数のサブ整相加算部と、

生成された複数の前記音響線信号サブフレームデータを観測点の位置を基準に加算して前記音響線信号フレームデータを生成する主加算部とを有することを特徴とする。

【 0 1 8 0 】

係る構成により、超音波弾性率計測において、信号取得時間分解能又は/及び弾性画像の空間分解能を改善することができる。

また、別の態様では、上記何れかに記載の構成において、さらに、前記検出波照射領域中に特定点を設定し、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点に対応する被検体中の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を備え、前記検出波パルス送信部は、前記プッシュ波の送信に続き、前記検出波パルスを複数回供給し、前記弾性率算出部は、前記音響線信号フレームデータのシーケンスから、前記検出波照射領域内の複数の観測点について前記プッシュ波の音響放射圧により生じた組織の変位を検出して前記複数回の検出波パルスの各々に対

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を表した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間の波面位置の変化量と時間間隔とに基づき前記弾性率フレームデータを算出する構成であってもよい。

【0181】

係る構成により、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を用いた超音波弾性率計測において、信号取得時間分解能又は/及び弾性画像の空間分解能を改善することができる。

また、別の態様では、上記何れかに記載の構成において、前記検出波パルス送信部は、前記複数の振動子に位相が等しい検出波パルスを供給する構成であってもよい。

【0182】

係る構成により、超音波ビームが確実に関心領域全体を通過するように前記検出波パルス $p w p l$ を送信することができ、1回の検出波の送受信により関心領域全体にある観測点について音響線信号を生成することができる。

また、別の態様では、上記何れかに記載の構成において、さらに、操作入力を受付ける操作入力部と、前記操作入力に基づき前記検出波照射領域内に、被検体内の解析対象範囲を表す関心領域を前記振動子列を基準に設定する関心領域設定部と、前記検出波照射領域内の複数の観測点のうち、前記関心領域内に存在し、かつ評価対象となる対象観測点を選択する対象観測点選択部とを備え、前記プッシュ波パルス送信部は、前記関心領域の位置に基づき前記特定点を設定し、前記対象観測点選択部は、前記関心領域と前記特定点の位置とに基づき前記対象観測点を選択し、前記サブ整相加算部は、前記複数の部分振動子列の各々について、前記検出波照射領域における前記各部分振動子列の被検体深さ方向に位置する前記対象観測点について前記音響線信号を生成して、前記音響線信号サブフレームデータを生成する構成であってもよい。

【0183】

係る構成により、関心領域 $r o i$ 内の整相加算の対象すべき観測点を選択することにより演算量を軽減し、信号取得時間分解能又は/及び弾性画像の空間分解能を改善することができる。

また、別の態様では、上記何れかに記載の構成において、前記プッシュ波パルス送信部は、前記検出波照射領域中の異なる位置に前記特定点を複数設定して、各々の前記特定点に対応する被検体中の特定部位に集束するプッシュ波を順次送信させ、前記検出波パルス送信部は、前記複数の振動子に、各々の前記プッシュ波の送信に続き、前記検出波を複数回送信させ、前記受信ビームフォーマ部は、各々の前記プッシュ波の送信に対応して前記音響線信号フレームデータのシーケンスを生成し、前記弾性率算出部は、各々の前記プッシュ波の送信に対応して前記合成弾性率フレームデータを算出し、さらに、算出した複数の合成弾性率フレームデータを観測点の位置を基準に加算して統合弾性率フレームデータを生成する構成であってもよい。

【0184】

係る構成により、被検体内において位置の異なる複数の特定部位に超音波を集束させた複数のプッシュ波を用いた超音波弾性率計測において、計測の精度を向上するとともに、使用可能なハードウェア規模の制限のなかで、信号取得時間分解能又は/及び弾性画像の空間分解能を改善することができる。

また、本実施の形態に係る超音波信号処理方法は、複数の振動子が列設されたプローブを用いる超音波信号処理方法であって、

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に向けて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おいて受波された被検体からの反射波に基づき、被検体中において検出波が到達する範囲に対応する検出波照射領域内の複数の観測点について音響線信号を生成し、これらの信号を集約して音響線信号フレームデータを時系列に生成して、当該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に基づき、前記複数の観測点について弾性

10

20

30

40

50

率フレームデータを算出し、

前記音響線信号フレームデータの生成では、前記複数の振動子からなる振動子列を列方向に分割した複数の部分振動子列の各々について、前記検出波照射領域における前記各部分振動子列の被検体深さ方向に位置する複数の観測点について、その部分振動子列に含まれる振動子各々が被検体から受波した反射波に基づく受波信号列を整相加算することにより音響線信号を生成して、前記複数の部分振動子列の各々に対応する音響線信号サブフレームデータを生成し、

生成された複数の前記音響線信号サブフレームデータを観測点の位置を基準に加算して前記音響線信号フレームデータを生成することを特徴とする。

【0185】

10

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、前記検出波の送信の前に、前記検出波照射領域中に特定点を設定し、前記複数の振動子にプッシュ波パルスを提供することにより、前記複数の振動子に前記特定点に対応する被検体中の特定部位に集束するプッシュ波を送信させ、前記プッシュ波の送信に続き、前記検出波を複数回送信させ、前記弾性率フレームデータを算出では、前記音響線信号フレームデータのシーケンスから、前記検出波照射領域内の複数の観測点について前記プッシュ波の音響放射圧により生じた組織の変位を検出して前記複数回の検出波パルスの各々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を表した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間の波面位置の変化量と時間間隔とに基づき前記弾性率フレームデータを算出する構成であってもよい。

20

【0186】

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供給では、前記複数の振動子に位相が等しい検出波パルスを提供する構成であってもよい。

係る構成により、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を用いた超音波弾性率計測において、信号取得時間分解能又は/及び弾性画像の空間分解能を改善することができる超音波信号処理方法を実現できる。

【0187】

補足

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

30

【0188】

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

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

40

【産業上の利用可能性】

【0189】

本開示にかかる超音波信号処理回路、超音波診断装置、及び超音波信号処理方法は、従来の超音波診断装置の性能向上、特に画質向上として有用である。また本開示は超音波への適用のみならず、複数のアレイ振動子を用いたセンサ等の用途にも応用できる。

【符号の説明】

【0190】

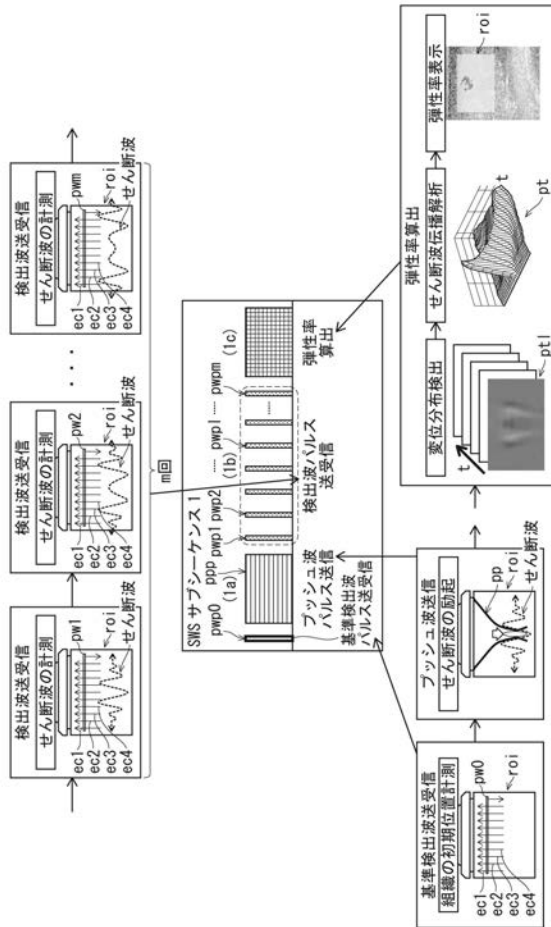
100、100A 超音波診断装置

101 プローブ

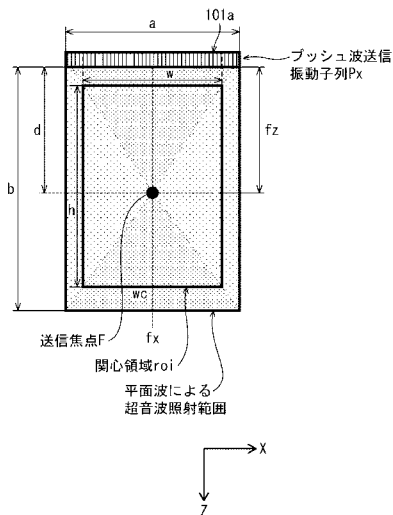
50

1 0 1 a	超音波振動子	
1 0 1 a o (o = 1 ~ q)	部分振動子列	
1 0 2	操作入力部	
1 0 3	関心領域設定部	
1 0 4	プッシュ波パルス発生部	
1 0 4 1、1 0 4 1 A	プッシュ波パルス送信部	
1 0 5	検出波パルス発生部	
1 0 5 1	検出波パルス送信部	
1 0 6	送信ビームフォーマ部	
1 0 6 1	駆動信号発生部	10
1 0 6 2	遅延プロファイル生成部	
1 0 6 3	駆動信号送信部	
1 0 7	マルチプレクサ部	
1 0 8、1 0 8 A、1 0 8 B	受信ビームフォーマ部	
1 0 8 1	入力部	
1 0 8 2	受波信号保持部	
1 0 8 3	整相加算部	
1 0 8 3 a o	サブ整相加算部	
1 0 8 3 1 a o	遅延処理部	
1 0 8 3 2 a o	サブ加算部	20
1 0 8 4	主加算部	
1 0 8 4 B	2 次整相加算部	
1 0 8 5 A、1 0 8 5 B	対象観測点特定部	
1 0 9	変位検出部	
1 1 0、1 1 0 A	弾性率算出部	
1 1 0 1	伝播解析部	
1 1 0 2	合成部	
1 1 0 3 A	シーケンス統合部	
1 1 1	データ格納部	
1 1 2	制御部	30
1 1 3	表示制御部	
1 1 4	表示部	
1 5 0、1 5 0 A	超音波信号処理回路	
1 0 0 0、1 0 0 0 A	超音波診断システム	

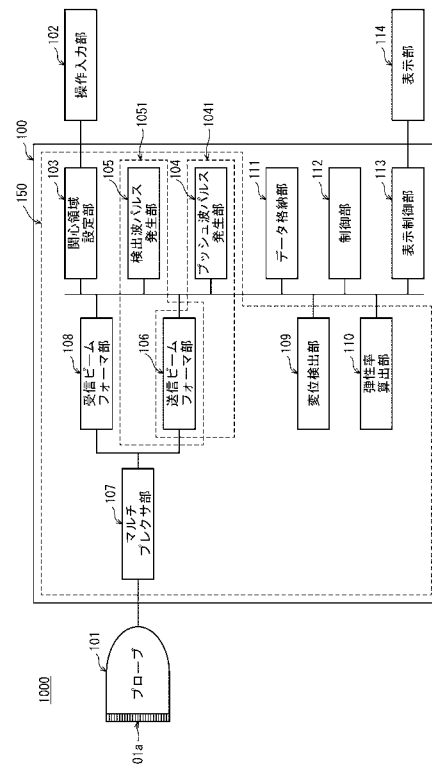
【図 1】



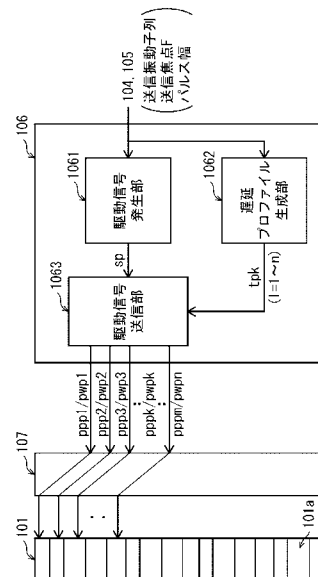
【図 3】



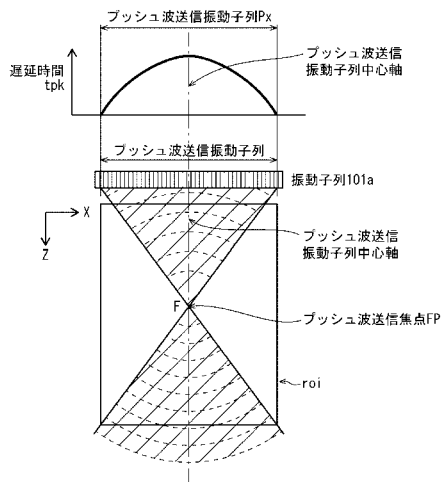
【図 2】



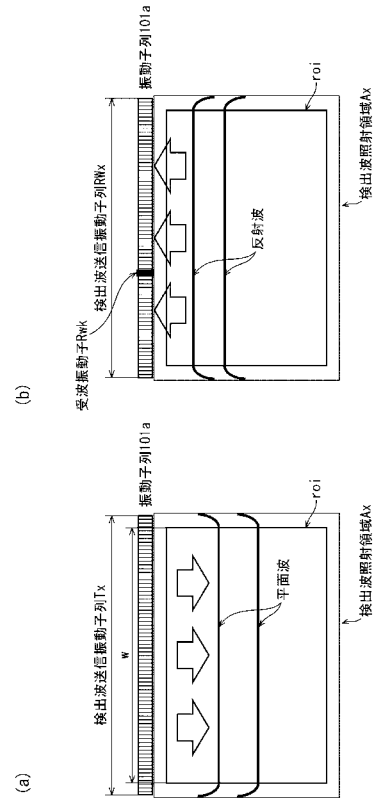
【図 4】



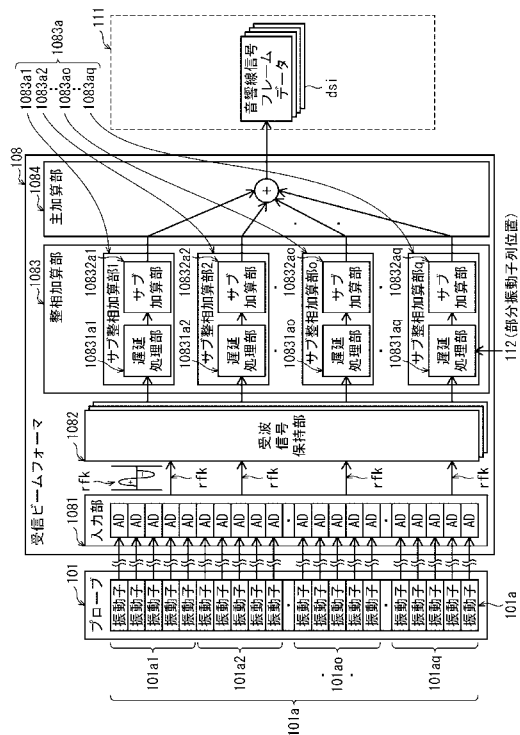
【図5】



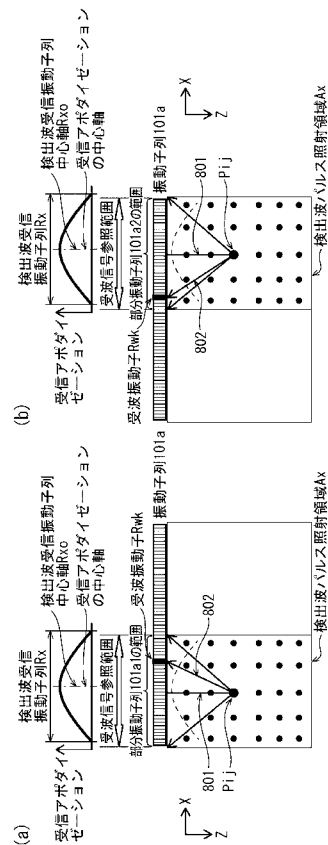
【図6】



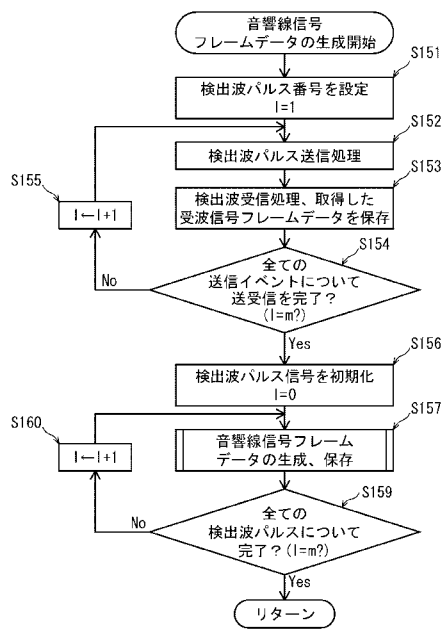
【図7】



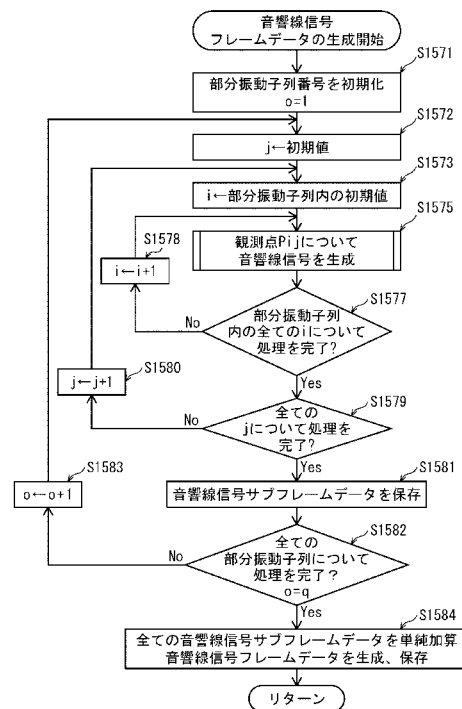
【図8】



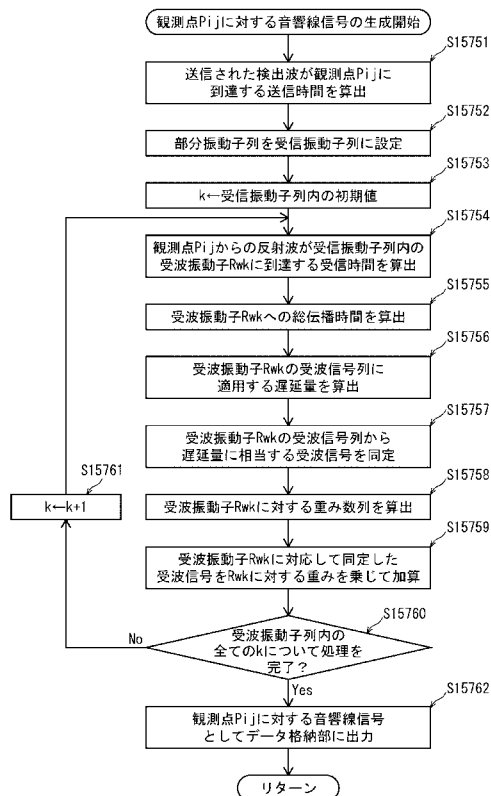
【図 13】



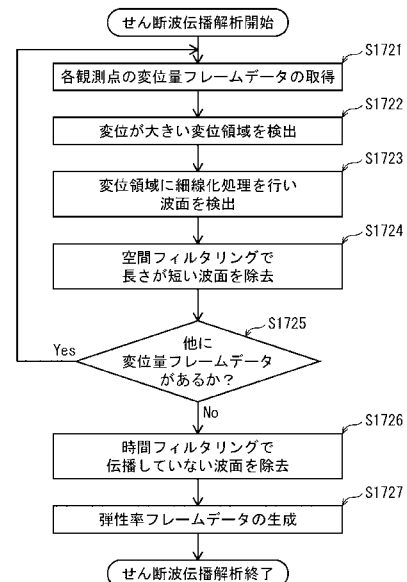
【図 14】



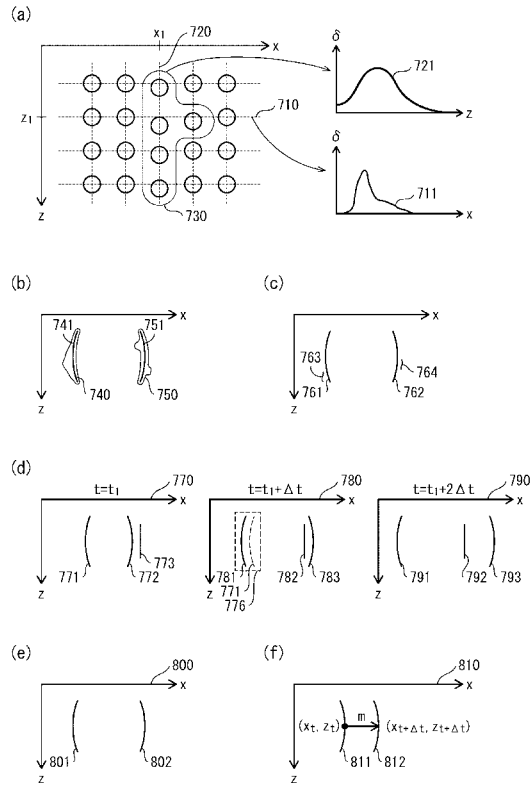
【図 15】



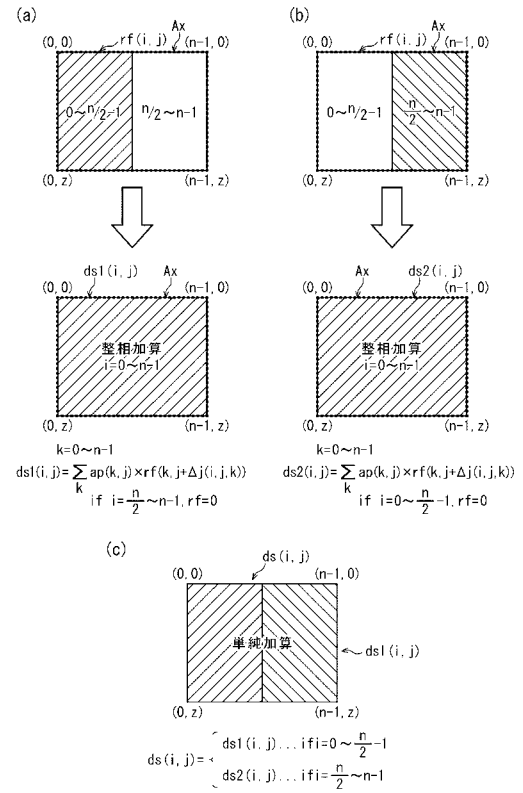
【図 16】



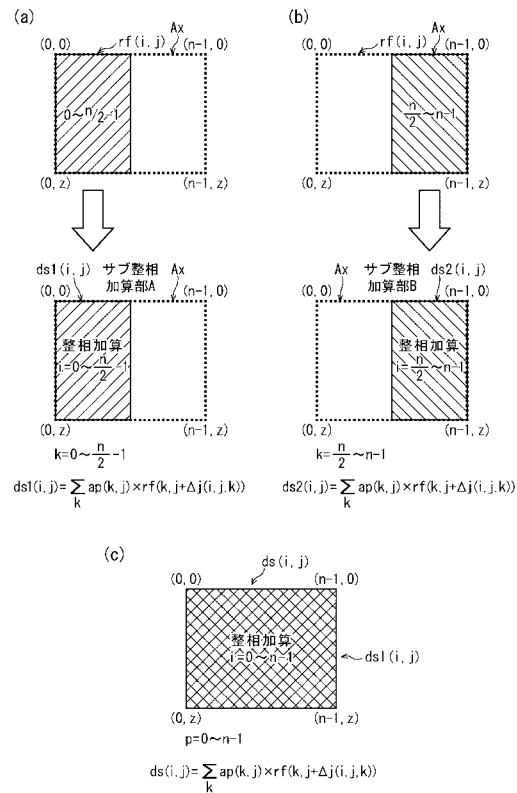
【図 17】



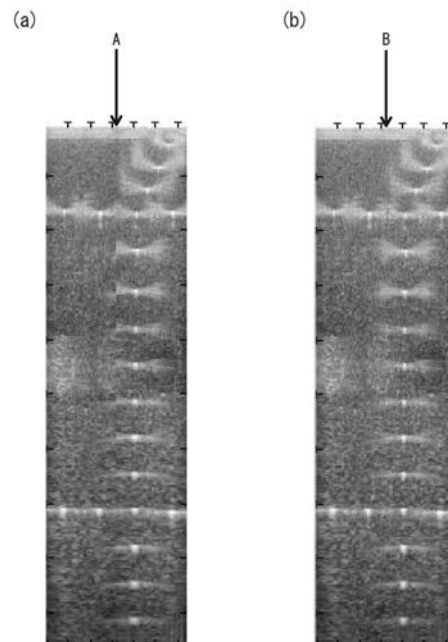
【図 18】



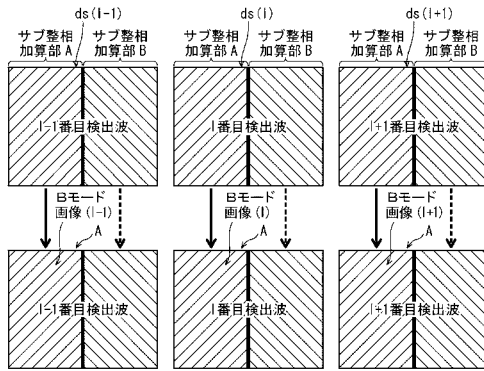
【図 19】



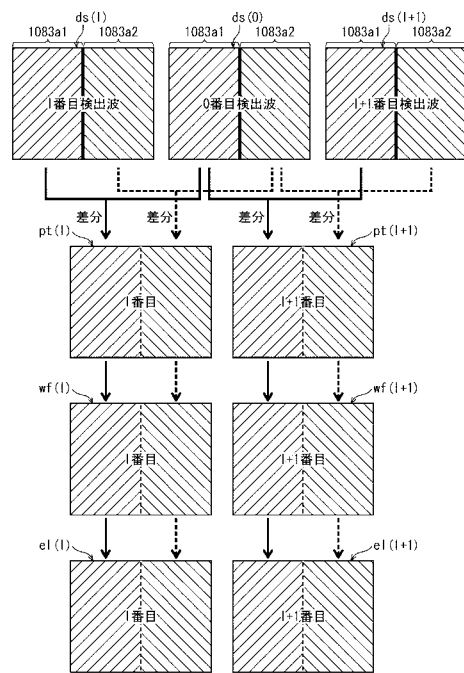
【図 20】



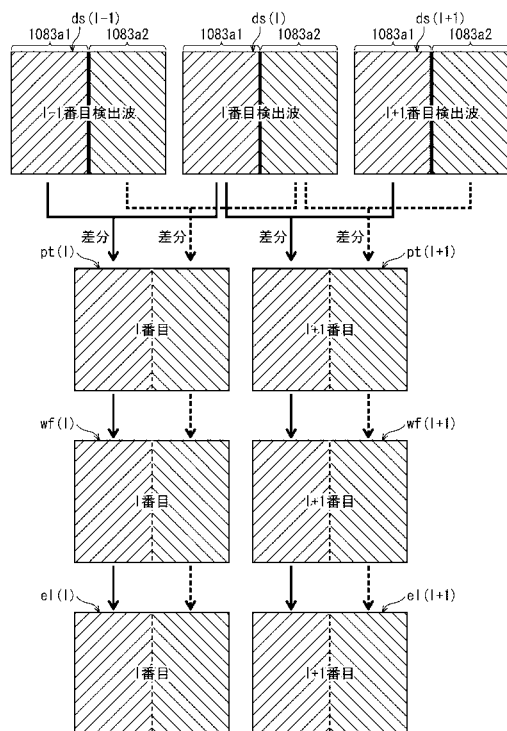
【図 2 1】



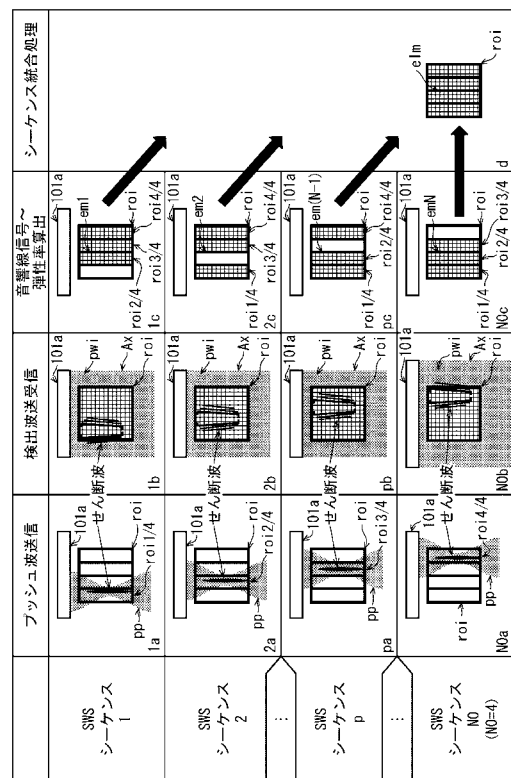
【図 2 2】



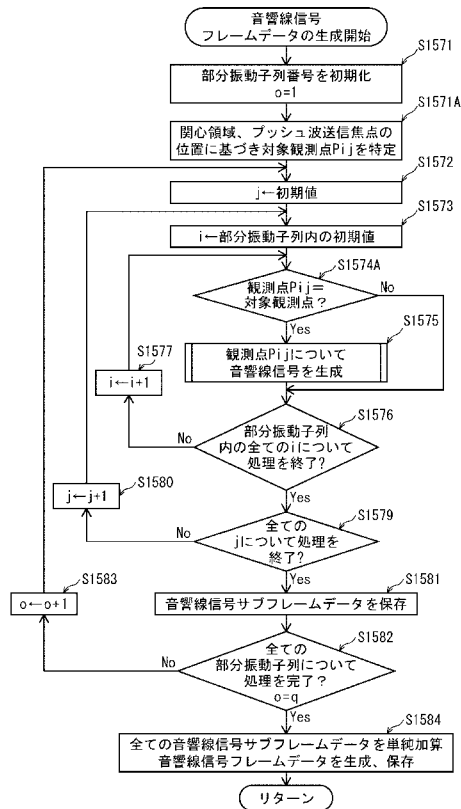
【図 2 3】



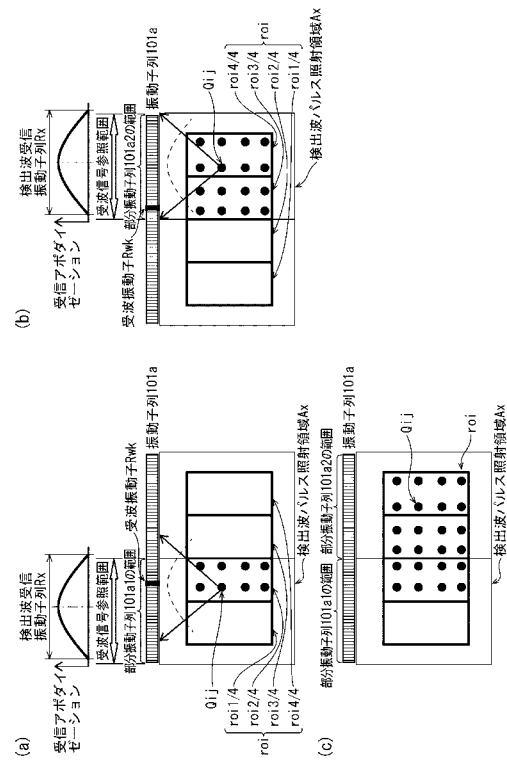
【図 2 4】



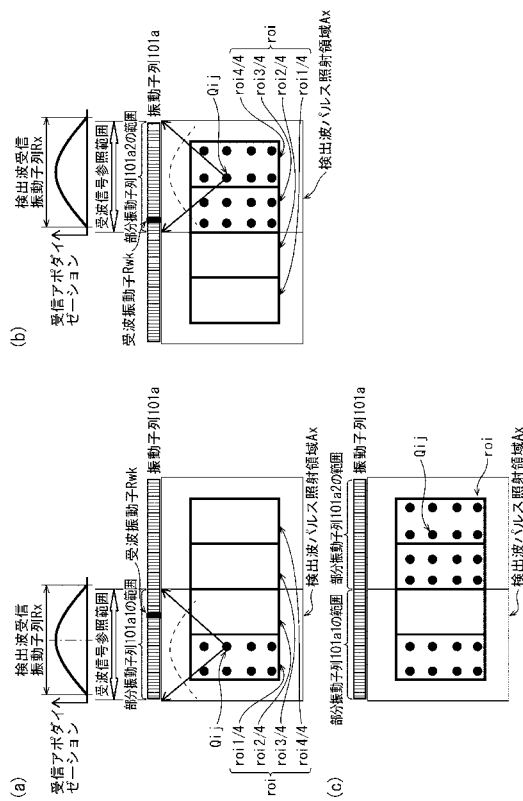
【図 29】



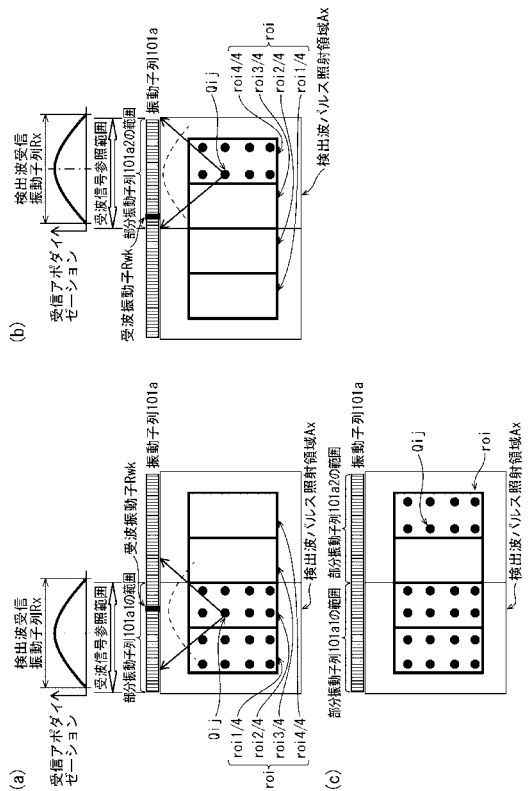
【図 30】



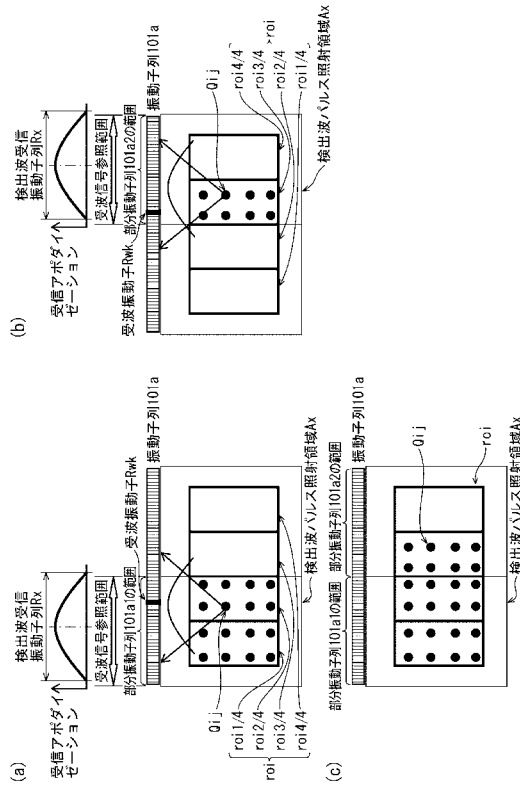
【図 31】



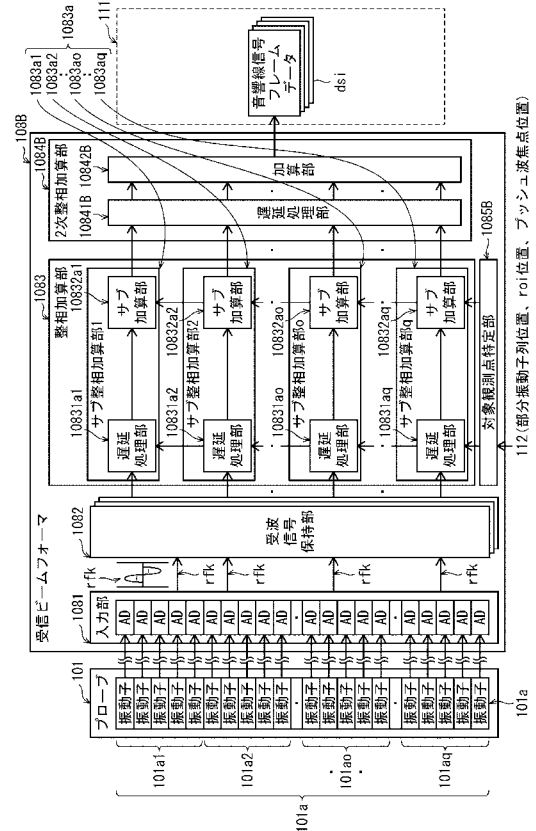
【図 32】



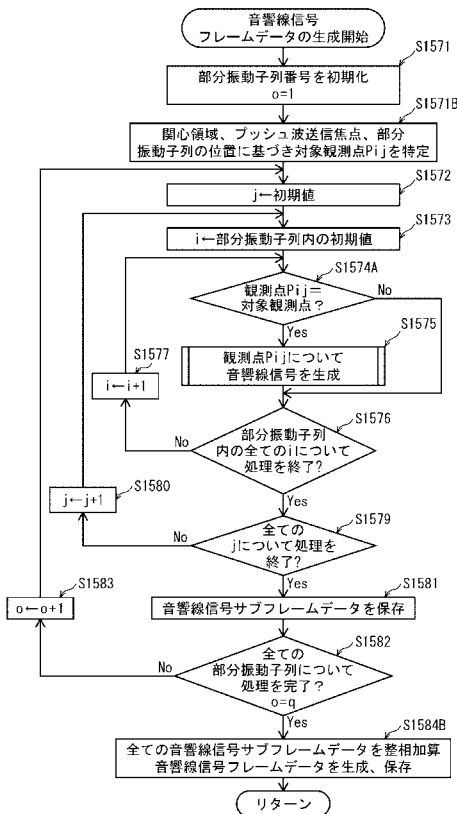
【図 3 3】



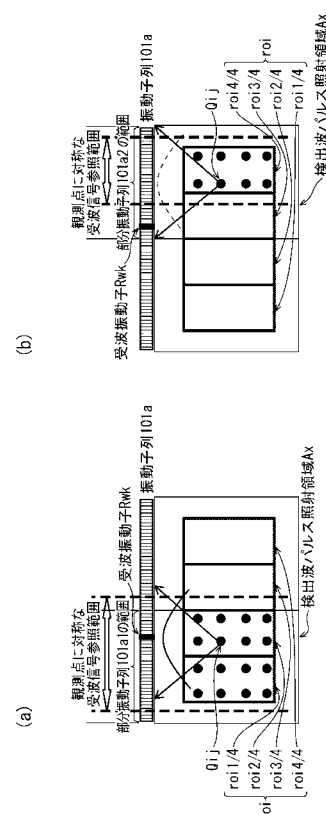
【図 3 4】



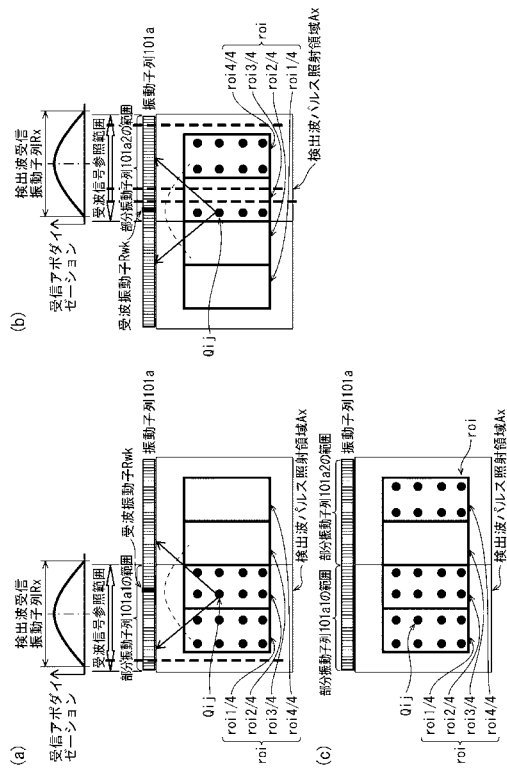
【図 3 5】



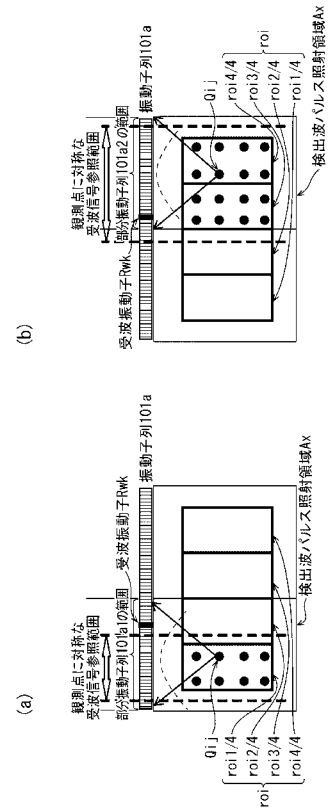
【図 3 6】



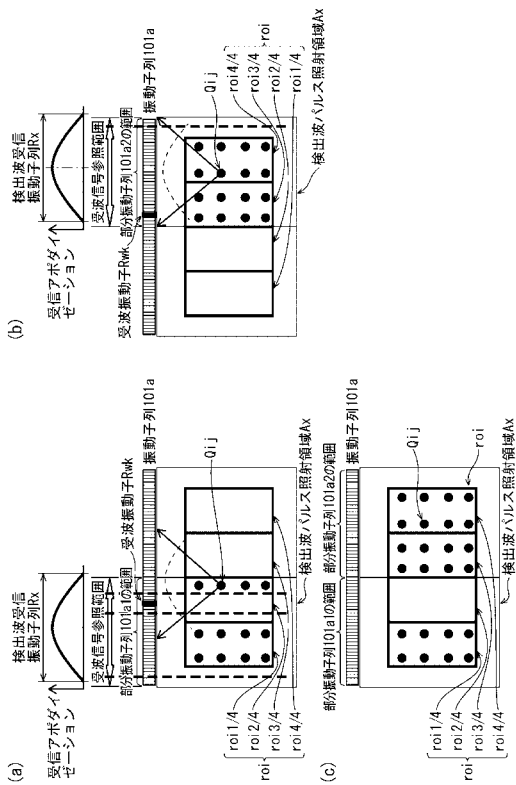
【図 37】



【図 38】



【図 39】



专利名称(译)	超声波诊断装置和超声波信号处理方法		
公开(公告)号	JP2017123994A	公开(公告)日	2017-07-20
申请号	JP2016004564	申请日	2016-01-13
[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	津島峰生 近藤敏志		
发明人	津島 峰生 近藤 敏志		
IPC分类号	A61B8/08		
CPC分类号	G01S15/8927		
FI分类号	A61B8/08 A61B8/08.ZDM		
F-TERM分类号	4C601/BB03 4C601/DD19 4C601/DD20 4C601/DD23 4C601/EE04 4C601/HH04 4C601/HH21 4C601/JB45 4C601/JC18 4C601/JC37		
其他公开文献	JP6672809B2		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

要解决的问题：提供具有改进的信号采集时间分辨率和/或超声弹性模量测量的空间分辨率的超声诊断设备。接收波束形成器单元108，对于每个多个由划分所述振荡器列车由多个在列方向上换能器101a的，每个换能器局部列101ao的检测波的照射区域获得的部分换能器柱101ao的由振荡器声线每一个都包括多个位于该部分振荡器柱101ao到定相和基于反射波将接收信号列RFK被摄体深度方向观察点从受试者接收波多个子相位加法器1083，用于产生信号并产生与多个部分振荡器串101ao中的每一个相对应的声线信号子帧数据，观察多个产生的声线信号子帧数据以及主加法器1084，用于通过将点的位置相加作为参考来添加声线信号帧数据。点域7

