

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6708101号
(P6708101)

(45) 発行日 令和2年6月10日(2020.6.10)

(24) 登録日 令和2年5月25日(2020.5.25)

(51) Int.Cl. F 1
A 6 1 B 8/14 (2006.01) A 6 1 B 8/14

請求項の数 12 (全 36 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2016-227156 (P2016-227156) (22) 出願日 平成28年11月22日 (2016.11.22) (65) 公開番号 特開2018-82835 (P2018-82835A) (43) 公開日 平成30年5月31日 (2018.5.31) 審査請求日 平成31年3月27日 (2019.3.27)</p>	<p>(73) 特許権者 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 審査官 森口 正治</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波信号処理装置、超音波診断装置、および、超音波信号処理方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の振動子を備えた超音波プローブを用いて被検体に集束型の超音波ビームを送信する送信イベントを複数回繰り返すとともに、各送信イベントに同期して被検体から反射超音波を受波して受信信号列を生成し、受波した反射超音波に基づいて生成される複数のサブフレーム音響線信号を合成して音響線信号を得る超音波信号処理装置であって、

超音波ビームが集束する位置を規定するフォーカス点を送信イベントごとに変更しながら、送信イベントごとに、前記超音波プローブに列設された複数の振動子から送受信振動子列を選択して当該送受信振動子列から被検体内の対象領域に超音波ビームを送信させる送信部と、

各送信イベントに同期して、前記超音波プローブが前記対象領域から受波した反射超音波に基づいて、前記送受信振動子列に含まれる振動子各々に対する受信信号列を生成する受信部と、

前記送信イベントごとに、前記フォーカス点を通る直線上に存在する複数の観測点について、観測点と前記フォーカス点との距離および前記フォーカス点と振動子との距離に基づく遅延処理と第1重みづけプロファイルに基づく重みづけ処理とを含む重みづけ整相加算により、前記受信信号列から線領域音響線信号を生成する整相加算部と、

前記送信イベントごとに、前記対象領域内の各観測点について、前記フォーカス点との距離が当該観測点と同一であり前記直線上に存在する観測点の前記線領域音響線信号を割り当てて当該観測点の音響線信号とすることでサブフレーム音響線信号を生成する音響線

信号展開部と、

第2重みづけプロファイルを用いて、観測点の位置を基準に複数の送信イベントに係る複数のサブフレーム音響線信号を重みづけ合成しフレーム音響線信号を合成する合成部とを備え、

前記第1重みづけプロファイルと前記第2重みづけプロファイルの少なくとも一方において、前記フォーカス点より深い第1の観測点に対する第1重み数列は、前記フォーカス点より浅い第2の観測点に対する第2重み数列より、分散が大きい

ことを特徴とする超音波信号処理装置。

【請求項2】

前記第2重み数列における、素子列方向における中心の重み付け係数に対する素子列方向における端部の重み付け係数の比は、前記第1重み数列における、素子列方向における中心の重み付け係数に対する素子列方向における端部の重み付け係数の比よりも小さい

ことを特徴とする請求項1に記載の超音波信号処理装置。

【請求項3】

前記第1重み数列は、素子列方向における中心から遠ざかるほど重み付け係数が小さくなる

ことを特徴とする請求項2に記載の超音波信号処理装置。

【請求項4】

前記第1重み数列は、ハミング窓である

ことを特徴とする請求項3に記載の超音波信号処理装置。

【請求項5】

前記第2重み数列は、重み付け係数の値が素子列方向に変化しない矩形窓である

ことを特徴とする請求項2から4のいずれか1項に記載の超音波信号処理装置。

【請求項6】

前記第1重みづけプロファイルは、前記フォーカス点より深い第1の観測点に対してはハミング窓であって前記フォーカス点より浅い第2の観測点に対しては矩形窓であり、

前記第2重みづけプロファイルは、矩形窓である

ことを特徴とする請求項5に記載の超音波信号処理装置。

【請求項7】

前記第1重みづけプロファイルと前記第2重みづけプロファイルの少なくとも一方において、前記フォーカス点近傍の第3の観測点に対し、素子列方向における中心からの距離に依存して重み付け係数が小さくなる第3重み数列を用いる

ことを特徴とする請求項1から6のいずれか1項に記載の超音波信号処理装置。

【請求項8】

前記第3重み数列は、重み付け係数の値が、素子列方向における中心で最大となり端部で0となる三角窓である

ことを特徴とする請求項7に記載の超音波信号処理装置。

【請求項9】

前記整相加算部は、送信された超音波が各観測点に到達する送信時間を、前記観測点の深さが前記被検体内で超音波が集束するフォーカス深さ以上である場合には、送信された超音波が前記送信振動子列から前記フォーカス点に到達するまでの第1時間と、前記フォーカス点から前記観測点に到達する第2時間との合計を送信時間として算出し、前記観測点の深さが前記被検体内で超音波が集束するフォーカス深さ未満である場合には、前記第1時間から前記第2時間を減算した結果を送信時間として算出する

ことを特徴とする請求項1から8のいずれか1項に記載の超音波信号処理装置。

【請求項10】

前記整相加算部は、各観測点からの反射波が各振動子に到達する受信時間を、前記観測点から前記観測点に最近接する振動子に到達するまでの時間を、前記観測点に最近接する振動子に対応する受信時間として算出し、超音波が前記フォーカス点から振動子に到達するまでの時間と前記フォーカス点から前記観測点に最近接する振動子に到達するまでの時

10

20

30

40

50

間との差を、前記観測点に最近接する振動子に対応する受信時間に加算することで、当該振動子に対応する受信時間として算出する

ことを特徴とする請求項 1 から 9 のいずれか 1 項に記載の超音波信号処理装置。

【請求項 1 1】

超音波プローブと、

請求項 1 から 1 0 のいずれか 1 項に記載の超音波信号処理装置と

を備えることを特徴とする超音波診断装置。

【請求項 1 2】

複数の振動子を備えた超音波プローブを用いて被検体に集束型の超音波ビームを送信する送信イベントを複数回繰り返すとともに、各送信イベントに同期して被検体から反射超音波を受波して受信信号列を生成し、受波した反射超音波に基づいて生成される複数のサブフレーム音響線信号を合成して音響線信号を得る超音波信号処理方法であって、

超音波ビームが集束する位置を規定するフォーカス点を送信イベントごとに変更しながら、送信イベントごとに、前記超音波プローブに列設された複数の振動子から送受信振動子列を選択して当該送受信振動子列から被検体内の対象領域に超音波ビームを送信させ、

各送信イベントに同期して、前記超音波プローブが前記対象領域から受波した反射超音波に基づいて、前記送受信振動子列に含まれる振動子各々に対する受信信号列を生成し、

前記送信イベントごとに、前記フォーカス点を通る直線上に存在する複数の観測点について、観測点と前記フォーカス点との距離および前記フォーカス点と振動子との距離に基づく遅延処理と第 1 重みづけプロファイルに基づく重みづけ処理とを含む重みづけ整相加算により、前記受信信号列から線領域音響線信号を生成し、

前記送信イベントごとに、前記対象領域内の各観測点について、前記フォーカス点との距離が当該観測点と同一であり前記直線上に存在する観測点の前記線領域音響線信号を割り当てて当該観測点の音響線信号とすることでサブフレーム音響線信号を生成し、

第 2 重みづけプロファイルを用いて、観測点の位置を基準に複数の送信イベントに係る複数のサブフレーム音響線信号を重みづけ合成しフレーム音響線信号を合成する方法であり、

前記第 1 重みづけプロファイルと前記第 2 重みづけプロファイルの少なくとも一方において、前記フォーカス点より深い第 1 の観測点に対する第 1 重み数値は、前記フォーカス点より浅い第 2 の観測点に対する第 2 重み数値より、分散が大きい

ことを特徴とする超音波信号処理方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、超音波信号処理装置、及び、それを備えた超音波診断装置に関し、特に、超音波信号処理装置における送受信ビームフォーミング処理方法に関する。

【背景技術】

【0002】

超音波診断装置は、超音波プローブ（以後、「プローブ」とする）により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）を受信する。さらに、この受信から得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ものである。超音波診断装置は、被検体への侵襲が少なく、リアルタイムに体内組織の状態を断層画像などで観察できるため、生体の形態診断に広く用いられている。

【0003】

従来、受信した反射超音波に基づく信号の受信ビームフォーミング方法として、一般的に整相加算法と呼ばれる方法が使用されている（例えば、非特許文献 1）。この方法では、一般に、被検体への超音波送信が行われる際、被検体のある深さで超音波ビームがフォーカスを結ぶよう送信ビームフォーミングがなされる。また、送信超音波ビームの中心軸上またはその近傍に観測点を設定する。そのため、超音波主照射領域の面積に比べて観測

10

20

30

40

50

点数が少なく超音波の利用効率が悪い。また、観測点が送信フォーカス点近傍から離れた位置にある場合には、得られる音響線信号の空間分解能及び信号 S / N 比が低くなる課題も有している。なお、超音波主照射領域とは、超音波ビームが伝播する領域を指す。

【 0 0 0 4 】

これに対して、合成開口法(Synthetic Aperture Method)により、送信フォーカス点近傍以外の領域においても空間分解能の高い、高画質な画像を得る受信ビームフォーミング方法が考案されている(例えば、非特許文献2)。この方法によれば、超音波送信波の伝播経路と、その伝播経路による反射波の振動子への到達時間の両方を加味した遅延制御を行うことで、送信フォーカス点近傍以外に位置する超音波主照射領域からの反射超音波も反映した受信ビームフォーミングを行うことができる。その結果、送信超音波ビームの中心軸のみならず超音波主照射領域全体に対して音響線信号(受信ビームフォーミングにより生成される、観測点からの反射超音波に基づく信号)を生成することができる。また、合成開口法では、複数の送信イベントから得た同一観測点に対する複数の受信信号をもとに仮想的に送信フォーカスを合わせることで、非特許文献1記載の受信ビームフォーミング方法と比較して、空間分解能及び S / N 比の高い超音波画像を得ることが可能となる。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 5 】

【特許文献1】特開2008-536578号公報

【非特許文献】

20

【 0 0 0 6 】

【非特許文献1】伊東正安、望月剛共著「超音波診断装置」コロナ社出版、2002年8月26日(P42 - P45)

【非特許文献2】"Virtual ultrasound sources in high resolution ultrasound imaging", S.I.Nikolov and J.A.Jensen, in Proc, SPIE - Progress in biomedical optics and imaging, vol. 3, 2002, P. 395 - 405

【非特許文献3】"Synthetic Aperture Sequential Beamforming", Jacob Kortbek, et al., IEEE Ultrasonics Symposium, 2 - 5 Nov. 2008 pp 966 - 969

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

30

【 0 0 0 7 】

一方で、合成開口法においては、超音波利用効率と解像度向上の観点から、1回の超音波送信イベントで音響線信号を生成する領域(以下、「対象領域」と呼ぶ)の面積が大きいことが好ましく、超音波主照射領域全域を対象領域とすることがより好ましい。しかしながら、対象領域の面積が大きくなると、その内部に存在する観測点(受信ビームフォーミングの演算対象となる場所)の数が対象領域の面積に比例して増加するため、送信と受信の遅延を考慮した整相加算の演算量が増加する。そのため、超音波主照射領域の面積が大きくなると、整相加算の演算処理を高速に行うため演算処理能力の高いハードウェアが必要となり、超音波診断装置のコストが増加する課題が発生する。しかしながら、演算量の削減のため観測点数を削減すると、超音波画像の解像度や S / N 比が低下する。

40

【 0 0 0 8 】

本発明は、上記課題に鑑みてなされたものであり、集束型の送信ビームフォーミングを用いた合成開口法において、空間分解能及び S / N 比の向上という合成開口法の効果を享受しつつ、演算量を大きく削減することのできる超音波信号処理装置、及び、それを用いた超音波診断装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 9 】

本発明の一態様に係る超音波信号処理装置は、複数の振動子を備えた超音波プローブを用いて被検体に集束型の超音波ビームを送信する送信イベントを複数回繰り返すとともに、各送信イベントに同期して被検体から反射超音波を受波して受信信号列を生成し、受波

50

した反射超音波に基づいて生成される複数のサブフレーム音響線信号を合成して音響線信号を得る超音波信号処理装置であって、超音波ビームが集束する位置を規定するフォーカス点を送信イベントごとに変更しながら、送信イベントごとに、前記超音波プローブに列設された複数の振動子から送受信振動子列を選択して当該送受信振動子列から被検体内の対象領域に超音波ビームを送信させる送信部と、各送信イベントに同期して、前記超音波プローブが前記対象領域から受波した反射超音波に基づいて、前記送受信振動子列に含まれる振動子各々に対する受信信号列を生成する受信部と、前記送信イベントごとに、前記フォーカス点を通る直線上に存在する複数の観測点について、観測点と前記フォーカス点との距離に基づく遅延処理と第1重みづけプロファイルに基づく重みづけ処理とを含む重みづけ整相加算により、前記受信信号列から線領域音響線信号を生成する整相加算部と、前記送信イベントごとに、前記対象領域内の各観測点について、前記フォーカス点との距離が当該観測点と同一であり前記直線上に存在する観測点の前記線領域音響線信号を当該観測点のサブフレーム音響線信号とすることでサブフレーム音響線信号を生成する音響線信号展開部と、第2重みづけプロファイルを用いて、観測点を指標として複数の送信イベントに係る複数のサブフレーム音響線信号を重みづけ合成しフレーム音響線信号を合成する合成部とを備え、前記第1重みづけプロファイルと前記第2重みづけプロファイルの少なくとも一方において、前記フォーカス点より深い第1の観測点に対する第1重み数列は、前記フォーカス点より浅い第2の観測点に対する第2重み数列より、分散が大きいことを特徴とする。

10

【発明の効果】

20

【0010】

本発明の一態様に係る超音波信号処理装置、及び、それを用いた超音波診断装置によれば、合成開口法により仮想的に送信フォーカスを行った効果による空間分解能と信号S/N比との向上の効果を享受しながら、観測点の一部である代表点でのみ整相加算を行うことで演算量を大きく削減することができる。また、整相加算および音響線信号展開における重み付けを本願の構成で適切に制御することで、空間分解能と信号S/N比のバランスを調整でき、結果、高画質な超音波断層画像を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】実施の形態1に係る超音波診断装置100の構成を示す機能ブロック図である。

30

【図2】実施の形態1に係る送信ビームフォーマ部103による超音波送信波の伝播経路を示す模式図である。

【図3】実施の形態1に係る受信ビームフォーマ部104の構成を示す機能ブロック図である。

【図4】実施の形態1に係る整相加算部1041の構成を示す機能ブロック図である。

【図5】実施の形態1に係る対象領域 B_x と観測線 B_L 、観測点 P_{ij} と代表点 Q_k を示す模式図である。

【図6】(a)、(b)はいずれも、実施の形態1に係る、送受信開口 TR_x から代表点 Q_k を経由して受信振動子 R_m に到達する超音波の伝播経路を示す模式図である。

【図7】受信振動子 R_m ごとの遅延時間の関係を示す模式図である。

40

【図8】実施の形態1に係る、代表点 Q_k の位置と重み算出部1047が算出する重み数列との関係を示す模式図である。

【図9】実施の形態1に係る、合成部1140の構成を示す機能ブロック図である。

【図10】実施の形態1に係る、音響線信号展開部11401におけるサブフレーム音響線信号生成処理を示す模式図である。

【図11】実施の形態1に係る、重みづけ合成部11402における重みづけ合成処理と重み数列を示す模式図である。

【図12】実施の形態1に係る、音響線信号における最大重畳数と、重みづけ合成部11402における増幅処理の概要を示す模式図である。

【図13】実施の形態1に係る受信ビームフォーマ部104のビームフォーミング処理を

50

示すフローチャートである。

【図14】実施の形態1に係る受信ビームフォーマ部104における線領域音響線信号の生成動作を示すフローチャートである。

【図15】実施の形態1に係る受信ビームフォーマ部104における代表点 Q_k についての音響線信号生成動作を説明するための模式図である。

【図16】変形例1に係る、代表点 Q_k の位置と重み算出部が算出する重み数列との関係を示す模式図である。

【図17】実施の形態2に係る、重みづけ加算部における重みづけ合成処理と重み数列を示す模式図である。

【図18】実施の形態2に係る、重みづけ加算部における他の重み数列の例を示す模式図である。

10

【図19】実施の形態3に係る、重み算出部が算出する重み数列を示す模式図である。

【図20】実施の形態3に係る、重みづけ加算部における重み数列を示す模式図である。

【図21】比較例1～4に係る受信ビームフォーミングにより得た超音波画像である。

【図22】実施の形態1および比較例2、3に係る受信ビームフォーミングにより得た超音波画像である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

発明を実施するための形態に至った経緯

発明者は、合成開口法を用いる超音波診断装置において、音響線信号の空間分解能及びS/N比(以下、「音響線信号の品質」と呼ぶ)の低下を抑止しながら演算量を削減するために各種の検討を行った。

20

一般に、集束型の送信ビームフォーミングでは、被検体のある深さ(以下、「送信フォーカス深さ」と呼ぶ)で超音波ビームがフォーカスを結ぶよう波面を集束させる。そのため、1度の超音波の送信(送信イベント)によって、超音波送信に用いられる複数の振動子(以下、「送信振動子列」とする)から、超音波主照射領域に主として超音波が照射される。送信フォーカス点が1点である場合には、超音波主照射領域は、送信振動子列を底辺とし、底辺の両端のそれぞれから送信フォーカス点を通る2つの直線で囲まれる砂時計形状の領域となり、波面は、送信フォーカス点を中心とした円弧状となる。なお、必ずしも超音波ビームが1点でフォーカスを結ぶとは限らず、例えば、振動子1.5個分から数

30

【0013】

合成開口法では、1回の送信イベントにおいて、超音波主照射領域の全域に対して観測点を設定できるため、超音波主照射領域全域を、対象領域とするのが好ましい。1つの送信イベントでは超音波画像を生成する領域(以下、「着目領域」と呼ぶ)全体を対象領域とすることができないために、1フレームの超音波画像を生成するためには、対象領域の異なる複数の送信イベントを行う。そのため、超音波の利用効率の観点から、1つの送信イベントにおける対象領域は超音波主照射領域内における面積を大きくすることが好ましい。また、一般的には連続する2つの送信イベントの対象領域の重複面積が大きいほうが、対象領域が移動しない静的な条件下においては、空間解像度や信号S/N比の向上のために好ましい。

40

【0014】

しかしながら、対象領域に含まれる観測点の数、つまり、受信ビームフォーミングの演

50

算対象の点数は対象領域の面積に比例するため、必然的に、整相加算の演算量および整相加算後の音響線信号を格納するために必要なメモリ量は、対象領域の面積に比例することとなる。したがって、対象領域の面積の増大は、そのまま、超音波診断装置が必要とする演算量とメモリ量の増大に直結することとなる。また、整相加算の演算量に対して超音波診断装置の演算能力が不足すると、演算能力に見合ったフレームレートを超えることができないことから、超音波画像のフレームレートの低下による、時間解像度の低下と、それに伴うユーザビリティの低下が起こりうる。したがって、時間解像度の低下やユーザビリティの低下を抑制するためには、整相加算の演算を高速に行えるような処理能力の高いプロセッサ、例えば高性能のGPUなどが必要となり、超音波診断装置のコスト増加を招くこととなる。

10

【0015】

演算量を削減するには、対象領域に含まれる観測点の数を削減することが考えられる。しかしながら、演算量の削減のためむやみに観測点数を削減すると、超音波画像の解像度やS/N比が演算量に連動して低下する。さらに、観測点の数を削減するだけでは、抜本的な演算量の削減が困難な場合がある。そこで、発明者は、合成開口法の利点を享受しつつ演算量の削減を図るため、一部の観測点でのみ整相加算を行い、その結果を用いて着目領域全体の音響線信号を生成する方法を検討した。この手順によれば、例えば、非特許文献3に開示されているように、整相加算の演算量を抜本的に削減することができる。さらに、その上で、音響線信号の品質のバランスを最適化する方法を模索し、観測点が送信フォーカス深さより深いか否かで、整相加算において受信素子列に対する重み数列を変更する、および/または、音響線合成において音響線信号に対する重み数列を変更する、という着想を得た。より具体的には、観測点が送信フォーカス深さより深い場合には重みの変化が大きい重み数列を用い、観測点が送信フォーカス深さより浅い場合には平坦な重み数列を用いる。このようにすることで、送信フォーカス深さより浅い領域についてはS/N比の低下を抑止することで超音波画像のスペックルの粗さによる品質が低い印象をユーザが抱くことを抑止し、送信フォーカス深さより深い領域については空間解像度を高く保つことができる。

20

【0016】

以下、実施の形態に係る超音波画像処理方法及びそれを用いた超音波診断装置について図面を用いて詳細に説明する。

30

実施の形態1

<全体構成>

以下、実施の形態1に係る超音波診断装置100について、図面を参照しながら説明する。

【0017】

図1は、実施の形態に係る超音波診断システム1000の機能ブロック図である。図1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複数の振動子101aを有するプローブ101、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、超音波画像を画面上に表示する表示部106を有する。プローブ101、表示部106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、表示部106が接続された状態を示している。なお、プローブ101と、表示部106とは、超音波診断装置100の内部にあってよい。

40

【0018】

超音波診断装置100は、プローブ101の複数ある振動子101aのうち、送信又は受信の際に用いる振動子を各々に選択し、選択された振動子に対する入出力を確保するマルチプレクサ部102、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103と、プローブ101で受信した超音波の反射波に基づき、複数の振動子101aで得られた電気信号を増幅

50

し、A/D変換し、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104を有する。また、受信ビームフォーマ部104からの出力信号に基づいて超音波画像(Bモード画像)を生成する超音波画像生成部105、受信ビームフォーマ部104が出力する音響線信号及び超音波画像生成部105が出力する超音波画像を保存するデータ格納部107と、各構成要素を制御する制御部108を備える。

【0019】

このうち、マルチプレクサ部102、送信ビームフォーマ部103、受信ビームフォーマ部104、超音波画像生成部105は、超音波信号処理装置150を構成する。

超音波診断装置100を構成する各要素、例えば、マルチプレクサ部102、送信ビームフォーマ部103、受信ビームフォーマ部104、超音波画像生成部105、制御部108は、それぞれ、例えば、FPGA(Field Programmable Gate Array)、ASIC(Application Specific Integrated Circuit)などのハードウェア回路により実現される。あるいは、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。プロセッサとしてはCPU(Central Processing Unit)やGPUを用いることができ、GPUを用いる構成はGPGPU(General-Purpose computing on Graphics Processing Unit)と呼ばれる。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。

【0020】

データ格納部107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、BD、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107は、超音波診断装置100に外部から接続された記憶装置であってもよい。

なお、本実施の形態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102がなく、送信ビームフォーマ部103と受信ビームフォーマ部104とが直接、プローブ101の各振動子101aに接続されていてもよい。また、プローブ101に送信ビームフォーマ部103や受信ビームフォーマ部104、またその一部などが内蔵される構成であってもよい。これは、本実施の形態に係る超音波診断装置100に限られず、後に説明する他の実施の形態や変形例に係る超音波診断装置でも同様である。

【0021】

<超音波診断装置100の主要部の構成>

実施の形態1に係る超音波診断装置100は、プローブ101の各振動子101aから超音波送信を行わせる送信ビームフォーマ部103と、プローブ101での超音波反射波の受信から得た電気信号を演算して超音波画像を生成するための音響線信号を生成する受信ビームフォーマ部104に特徴を有する。そのため、本明細書では、主に、送信ビームフォーマ部103及び受信ビームフォーマ部104について、その構成及び機能を説明する。なお、送信ビームフォーマ部103及び受信ビームフォーマ部104以外の構成については、公知の超音波診断装置に使われるものと同じ構成を適用可能であり、公知の超音波診断装置のビームフォーマ部に本実施の形態に係るビームフォーマ部を置き換えて使用することが可能である。

【0022】

以下、送信ビームフォーマ部103と、受信ビームフォーマ部104の構成について説明する。

1. 送信ビームフォーマ部103

送信ビームフォーマ部103は、マルチプレクサ部102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送信振動子列からなる送受信開口TRxに含ま

10

20

30

40

50

れる複数の振動子の各々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 103 は送信部 1031 から構成される。

【0023】

送信部 1031 は、制御部 108 からの送信制御信号に基づき、プローブ 101 に存する複数の振動子 101a 中、送受信開口 TRx 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パルス状の送信信号を供給する送信処理を行う。具体的には、送信部 1031 は、例えば、クロック発生回路、パルス発生回路、遅延回路を備えている。クロック発生回路は、超音波ビームの送信タイミングを決定するクロック信号を発生させる回路である。パルス発生回路は、各振動子を駆動するパルス信号を発生させるための回路である。遅延回路は、超音波ビームの送信タイミングを振動子毎に遅延時間を設定し、遅延時間だけ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ための回路である。

10

【0024】

送信部 1031 は、超音波送信ごとに送受信開口 TRx を列方向に固定長の送信ピッチ Mp ずつ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 101a から超音波送信を行う。本実施の形態では、送信ピッチ Mp は振動子 1 つ分である。すなわち、本実施の形態では、超音波送信ごとに、送受信開口 TRx が振動子 1 つずつ移動していく。なお、送信ピッチ Mp は上述の例に限らず、例えば、振動子 0.5 個分であってもよい。送受信開口 TRx に含まれる振動子の位置を示す情報は制御部 108 を介してデータ格納部 107 に出力される。例えば、プローブ 101 に存する振動子 101a 全数を 192 としたとき、送受信開口 TRx を構成する振動子列の数として、例えば 20 ~ 100 を選択してもよく、送信ピッチ Mp を振動子 1 つ分としてもよい。以後、送信部 1031 により同一の送受信開口 TRx から行われる超音波送信を「送信イベント」と称呼する。

20

【0025】

図 2 は、送信ビームフォーマ部 103 による超音波送信波の伝播経路を示す模式図である。ある送信イベントにおいて、超音波送信に寄与するアレイ状に配列された振動子 101a の列（送信振動子列）を送受信開口 TRx として図示している。また、送受信開口 TRx を送受信開口長と呼ぶ。

送信ビームフォーマ部 103 において、送受信開口 TRx の中心に位置する振動子ほど送信タイミングを遅らせるように各振動子の送信タイミングを制御する。これにより、送受信開口 TRx 内の振動子列から送信された超音波送信波は、被検体のある深度（Focal depth）において、波面がある一点、すなわち送信フォーカス点 F（Focal point）で、フォーカスがあう（集束する）状態となる。送信フォーカス点 F の深さ（Focal depth）は、任意に設定することができる。送信フォーカス点 F で合焦した波面は、再び拡散し、送受信開口 TRx を底とし送信フォーカス点 F を節とする交差する 2 つの直線で区切られた砂時計型の空間内を超音波送信波が伝播する。すなわち、送受信開口 TRx で放射された超音波は、次第にその空間上での幅（図中の横軸方向）を小さくし、送信フォーカス点 F でその幅を最小化し、それよりも深部（図中では上部）に進行するにしたがって、再び、その幅を大きくしながら拡散し、伝播することとなる。この砂時計型の領域が超音波主照射領域 Ax である。なお、上述したように、超音波主照射領域 Ax は、1 点の送信フォーカス点 F の近傍に集束するように超音波送信波を送信してもよい。

30

40

【0026】

2. 受信ビームフォーマ部 104 の構成

受信ビームフォーマ部 104 は、プローブ 101 で受信した超音波の反射波に基づき、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。なお、「音響線信号」とは、ある観測点に対する、整相加算処理がされた後の信号である。整相加算処理については後述する。図 3 は、受信ビームフォーマ部 104 の構成を示す機能ブロック図である。図 3 に示すように、受信ビームフォーマ部 104 は、受信部 1040、整相加算部

50

1041、合成部1140を備える。

【0027】

以下、受信ビームフォーマ部104を構成する各部の構成について説明する。

(1) 受信部1040

受信部1040は、マルチプレクサ部102を介してプローブ101と接続され、送信イベントに同期してプローブ101での超音波反射波の受信から得た電気信号を増幅した後AD変換した受信信号(RF信号)を生成する回路である。送信イベントの順に時系列に受信信号を生成しデータ格納部107に出力し、データ格納部107に受信信号を保存する。

【0028】

ここで、受信信号(RF信号)とは、各振動子にて受信された反射超音波から変換された電気信号をA/D変換したデジタル信号であり、各振動子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を形成している。

送信イベントでは、上述のとおり、送信部1031は、プローブ101に存する複数の振動子101a中、送受信開口TRxに含まれる複数の振動子の各々に超音波ビームを送信させる。これに対し、受信部1040は、送信イベントに同期して送受信開口TRxに含まれる複数の振動子の各々が得た反射超音波に基づいて、各振動子に対する受信信号の列を生成する。ここで、反射超音波を受波する振動子を「受波振動子」と称呼する。本実施の形態では、送信振動子列に含まれる全ての振動子を受波振動子として用いる。したがって、受波振動子の数は、送信開口Txに含まれる振動子の数と同じになる。

【0029】

送信部1031は、送信イベントに同期して送受信開口TRxを列方向に送信ピッチMPだけ移動させながら超音波送信を繰り返し、プローブ101に存する複数の振動子101a全体から超音波送信を行う。受信部1040は、送信イベントに同期して各受波振動子に対する受信信号の列を生成し、生成された受信信号はデータ格納部107に保存される。

【0030】

(2) 整相加算部1041

整相加算部1041は、送信イベントに同期して、被検体内においてサブフレーム音響線信号の生成を行う対象領域Bxを設定する。次に、対象領域Bx内に、送信フォーカス点Fを通過する観測線BLを設定する。本実施の形態では、観測線BLは送信フォーカス点Fと送受信開口TRxの中心線とを通過する直線であり、振動子列に直交している。なお、観測線BLは送信フォーカス点Fと送受信開口TRx内の任意の点を通過していればよく、上述の場合に限られない。次に、観測線BL上に存在する複数の代表点Qkの各々について、代表点Qkから各受信振動子Rmが受信した受信信号列を整相加算する。そして、各代表点Qkにおける音響線信号の列を算出することにより線領域音響線信号を生成する回路である。図4は、整相加算部1041の構成を示す機能ブロック図である。図4に示すように、整相加算部1041は、対象領域設定部1042、送信時間算出部1043、受信時間算出部1044、遅延量算出部1045、遅延処理部1046、重み算出部1047、及び加算部1048を備える。

【0031】

以下、整相加算部1041を構成する各部の構成について説明する。

i) 対象領域設定部1042

対象領域設定部1042は、被検体内においてサブフレーム音響線信号の生成を行う対象領域Bxを設定する。「対象領域」とは、送信イベントに同期して被検体内においてサブフレーム音響線信号の生成が行われるべき信号上の領域であり、対象領域Bx内の観測点Pijについて音響線信号が生成される。対象領域Bxは、音響線信号の生成が行われる観測対象点の集合として、1回の送信イベントに同期して計算の便宜上設定される。

【0032】

ここで、「サブフレーム音響線信号」とは、1回の送信イベントから生成される対象領

10

20

30

40

50

域 B_x 内に存在する全ての観測点 P_{ij} に対する音響線信号の集合である。なお、「サブフレーム」とは、1回の送信イベントで得られ、対象領域 B_x 内に存在する全ての観測点 P_{ij} に対応するまとまった信号を形成する単位をさす。取得時間の異なる複数のサブフレームを合成したものがフレームとなる。

【0033】

対象領域設定部 1042 は、送信イベントに同期して、送信ビームフォーマ部 103 から取得する送受信開口 TR_x の位置を示す情報に基づき対象領域 B_x を設定する。

図5は、対象領域 B_x を示す模式図である。図5に示すように、対象領域 B_x は、超音波主照射領域 A_x 内に存在する任意の領域であり、本実施の形態では、超音波主照射領域 A_x の全域である。

10

【0034】

さらに、対象領域設定部 1042 は、対象領域 B_x の内部に、線領域音響線信号の生成を行う対象線 BL を設定する。対象線 BL は、フォーカス点 F またはその近傍を通過する直線である。なお、本実施の形態では、対象線 BL は送受信開口 TR_x の中心を通過するものとしたが、対象線 BL はフォーカス点 F またはその近傍と、送受信開口 TR_x 上の任意の点とを通過する直線上の領域であればよい。そして、この対象線 BL 上に設定される代表点 Q_k に対し、線領域音響線信号が生成される。

【0035】

設定された対象領域 B_x および対象線 BL 、および、送信ビームフォーマ部 103 から取得した送受信開口 TR_x は、送信時間算出部 1043、受信時間算出部 1044、遅延処理部 1046、重み算出部 1047 に出力される。

20

ii) 送信時間算出部 1043

送信時間算出部 1043 は、送信された超音波が被検体中の観測点 P に到達する送信時間を算出する回路である。送信イベントに対応して、対象領域設定部 1042 から取得した、送受信開口 TR_x に含まれる振動子の位置を示す情報と、対象線 BL の位置を示す情報とに基づき対象線 BL 上に存在する任意の代表点 Q_k について、送信された超音波が被検体中の代表点 Q_k に到達する送信時間を算出する。

【0036】

図6は、送受信開口 TR_x から放射され対象線 BL 上の任意の位置にある代表点 Q_k において反射され送受信開口 TR_x 内に位置する受信振動子 R_m に到達する超音波の伝播経路を説明するための模式図である。なお、図6(a)は代表点 Q_k の深さが送信フォーカス深さ以上の場合、図6(b)は代表点 Q_k が送信フォーカス深さより浅い場合を示している。

30

【0037】

送受信開口 TR_x から放射された送信波は、経路 401 を通って送信フォーカス点 F にて波面が集束し、再び、拡散する。送信波が集束または拡散する途中で代表点 Q_k に到達し、代表点 Q_k で音響インピーダンスに変化があれば反射波を生成し、その反射波がプロンプ 101 における送受信開口 TR_x 内の受信振動子 R_m に戻っていく。送信フォーカス点 F は送信ビームフォーマ部 103 の設計値として規定されているので、送信フォーカス点 F と任意の代表点 Q_k との間の経路 402 の長さは幾何学的に算出することができる。

40

【0038】

送信時間の算出方法を、以下、さらに詳細に説明する。

まず、代表点 Q_k の深さが送信フォーカス深さ以上の場合について、図6(a)を用いて説明する。代表点 Q_k の深さが送信フォーカス深さ以上の場合は、送受信開口 TR_x から放射された送信波が、経路 401 を通って送信フォーカス点 F に到達し、送信フォーカス点 F から経路 402 を通って代表点 Q_k に到達したものととして算出する。したがって、送信波が経路 401 を通過する時間と、経路 402 を通過する時間を合算した値が、送信時間となる。具体的な算出方法としては、例えば、経路 401 の長さとお経路 402 の長さとを加算した全経路長を、被検体内における超音波の伝搬速度で除算することで求められる。

50

【 0 0 3 9 】

一方、代表点 Q k が送信フォーカス深さより浅い場合について、図 6 (b) を用いて説明する。代表点 Q k が送信フォーカス深さより浅い場合は、送受信開口 R x から放射された送信波が、経路 4 0 1 を通って送信フォーカス点 F に到達する時刻と、経路 4 0 4 を通って代表点 Q k に到達した後、代表点 Q k から経路 4 0 5 を通って送信フォーカス点 F に到達する時刻とが同一であるものとして算出する。つまり、送信波が経路 4 0 1 を通過する時間から、経路 4 0 5 を通過する時間を差し引いた値が、送信時間となる。具体的な算出方法としては、例えば、経路 4 0 1 の長さから経路 4 0 5 の長さを減算した経路長差を、被検体内における超音波の伝搬速度で除算することで求められる。

【 0 0 4 0 】

なお、代表点 Q k が送信フォーカス深さである場合の送信時間は、代表点 Q k が送信フォーカス深さより深い場合と同じ算出方法、すなわち、送信波が経路 4 0 1 を通過する時間と、経路 4 0 2 を通過する時間を合算する計算方法を用いるとした。しかしながら、代表点 Q k が送信フォーカス深さより浅い場合と同じ算出方法、すなわち、送信波が経路 4 0 1 を通過する時間から、経路 4 0 5 を通過する時間を差し引く計算方法を用いるとしてもよい。経路 4 0 2 の長さから経路 4 0 5 の長さがいずれも 0 となるため、いずれで算出しても経路 4 0 1 を通過する時間と一致するためである。

【 0 0 4 1 】

送信時間算出部 1 0 4 3 は、1 回の送信イベントに対し、対象線 B L 上の全ての代表点 Q k について、送信された超音波が被検体中の観測点 Q k に到達する送信時間を算出して遅延量算出部 1 0 4 5 に出力する。また、送信時間算出部 1 0 4 3 は、1 回の送信イベントに対し、対象線 B L 上の全ての代表点 Q k について、経路 4 0 2 または経路 4 0 5 の長さを、受信時間算出部 1 0 4 4 に出力する。

【 0 0 4 2 】

i i i) 受信時間算出部 1 0 4 4

受信時間算出部 1 0 4 4 は、代表点 Q からの反射波が、送受信開口 T R x に含まれる受信振動子 R m の各々に到達する受信時間を算出する回路である。送信イベントに対応して、対象領域設定部 1 0 4 2 から取得した受信振動子 R k の位置を示す情報と、対象線 B L の位置を示す情報とに基づき対象線 B L 上に存在する任意の代表点 Q k について、送信された超音波が被検体中の代表点 Q k で反射され送受信開口 T R x の各受信振動子 R m に到達する受信時間を算出する。

【 0 0 4 3 】

上述のとおり、代表点 Q k に到達した送信波は、代表点 Q k で音響インピーダンスに変化があれば反射波を生成し、その反射波がプローブ 1 0 1 における送受信開口 T R x 内の各受信振動子 R m に戻っていく。このとき、受信時間算出部 1 0 4 4 は、送信超音波ビームと同様、送信フォーカス点 F を基準として代表点 Q k から受信振動子 R m までの経路を算出する。

【 0 0 4 4 】

受信時間の算出方法について、まず、図 6 を用いて概念を説明する。但し、算出に当たっては、後述するように、単純化を行うことができる。

まず、代表点 Q k の深さが送信フォーカス深さ以上の場合について、図 6 (a) を用いて説明する。代表点 Q k の深さが送信フォーカス深さ以上の場合、代表点 Q k が反射した反射波が、経路 4 0 2 を通って送信フォーカス点 F に到達し、送信フォーカス点 F から経路 4 0 3 を通って受信振動子 R m に到達したのとして算出する。したがって、経路 4 0 2 を通過する時間と、経路 4 0 3 を通過する時間を合算した値が、受信時間となる。

【 0 0 4 5 】

一方、代表点 Q k が送信フォーカス深さより浅い場合について、図 6 (b) を用いて説明する。代表点 Q k が送信フォーカス深さより浅い場合は、送信フォーカス点 F が反射した反射波が、経路 4 0 5 を通って代表点 Q k に到達した後経路 4 0 6 を通って受信振動子 R m に到達する時刻と、経路 4 0 3 を通って直接受信振動子 R m に到達する時刻とが同一

10

20

30

40

50

であるものとして算出する。言い換えると、代表点 Q k が反射した反射波が受信振動子 R m に到達する時間は、送信フォーカス点 F が反射した反射波が経路 4 0 3 を通って受信振動子 R m に到達する時間より、経路 4 0 5 の通過に必要な時間だけ短い、とする。したがって、経路 4 0 3 を通過する時間から経路 4 0 5 を通過する時間を差し引いた値が、受信時間となる。

【 0 0 4 6 】

ここで、代表点 Q k ごとの経路 4 0 2 または経路 4 0 5 の長さは、送信時間算出部 1 0 4 3 が送信時間の一部として算出する代表点 Q k ごとの経路 4 0 2 または経路 4 0 5 の長さと同じとなる。そのため、本実施の形態では、送信時間算出部 1 0 4 3 が算出した代表点 Q k ごとの経路 4 0 2 または経路 4 0 5 の長さを取得し、受信時間の算出に用いる。また、経路 4 0 3 の長さは送信フォーカス点 F と受信振動子 R m との位置関係のみに依存する。言い換えると、2 つの受信振動子 R m₁、R m₂ における受信時間の差は、代表点 Q k₁ に対しても、代表点 Q k₂ に対しても、代表点 Q k₃ に対しても、一定となる。

10

【 0 0 4 7 】

以下、図 7 を用いてより詳細に説明する。経路 4 0 3 の長さは、受信振動子 R m と送信フォーカス点 F との位置関係によって定まる。受信振動子 R m の受信時間と送受信開口 T x の中心に位置する受信振動子 R c の受信時間との差は、送信フォーカス点 F を中心として受信振動子 R c に接する円弧 4 1 0 と、受信振動子 R m との距離 4 1 2 を超音波が伝播するのに要する時間である。

【 0 0 4 8 】

したがって、受信時間算出部 1 0 4 4 は、受信振動子 R c の経路 4 0 3 の長さに対応する経路 4 0 1 の長さと、送信時間算出部 1 0 4 3 が算出した代表点 Q k ごとの経路 4 0 2 または経路 4 0 5 の長さをを用いて、受信振動子 R c に対する代表点 Q k ごとの受信時間を算出する。さらに、受信振動子 R m ごとの距離 4 1 2 を超音波の伝播速度で除することで、受信振動子 R m ごとの受信振動子 R c に対する受信時間差を算出する。そして、受信振動子 R c に対する代表点 Q k ごとの受信時間と、受信振動子 R m ごとの受信振動子 R c に対する受信時間差を、遅延量算出部 1 0 4 5 に出力する。

20

【 0 0 4 9 】

i v) 遅延量算出部 1 0 4 5

遅延量算出部 1 0 4 5 は、送信時間と受信時間とから送受信開口 T R x 内の各受信振動子 R m 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 m に対する受信信号の列に適用する遅延量を算出する回路である。遅延量算出部 1 0 4 5 は、送信された超音波が代表点 Q k に到達する送信時間と、代表点 Q k で反射して受信振動子 R c に到達する受信時間と、受信振動子 R c と各受信振動子 R m との受信時間差とを取得する。そして、送信された超音波が各受信振動子 R m へ到達するまでの総伝播時間を算出し、各受信振動子 R m に対する総伝播時間の差異により、各受信振動子 R m に対する遅延量を算出する。代表点 Q k ごとの受信振動子 R c に対する総伝播時間は、代表点 Q k に対する送信時間と、受信振動子 R c に対する受信時間との合計として得ることができる。また、各受信振動子 R m に対する総伝播時間は、同一の代表点 Q k に対する受信振動子 R c の総伝播時間に、受信振動子 R c と各受信振動子 R m との受信時間差を加算することで得ることができる。遅延量算出部 1 0 4 5 は、対象線 B L 上に存在する全ての代表点 Q k について、受信振動子 R c に対する受信信号の列に適用する遅延量を算出し、受信振動子 R c と各受信振動子 R m との受信時間差と併せて遅延処理部 1 0 4 6 に出力する。

30

40

【 0 0 5 0 】

v) 遅延処理部 1 0 4 6

遅延処理部 1 0 4 6 は、送受信開口 T R x 内の受信振動子 R m に対する受信信号の列から、各受信振動子 R m に対する遅延量に相当する受信信号を、代表点 Q k からの反射超音波に基づく各受信振動子 R m に対応する受信信号として同定する回路である。

遅延処理部 1 0 4 6 は、送信イベントに対応して、対象領域設定部 1 0 4 2 から受信振動子 R m の位置および対象線 B L の位置を示す情報、データ格納部 1 0 7 から受信振動子

50

R_mに対応する受信信号、遅延量算出部1045から各受信振動子R_mに対する受信信号の列に適用する遅延量を入力として取得する。そして、各受信振動子R_mに対応する受信信号の列から、各受信振動子R_mに対する遅延量を差引いた時間に対応する受信信号を代表点Q_kからの反射波に基づく受信信号として同定し、加算部1048に出力する。

【0051】

より具体的には、遅延処理部1046は、各受信振動子R_mに対する受信信号の列に対し、受信振動子R_cと各受信振動子R_mとの受信時間差を打ち消すように遅延処理を行う。遅延処理後の受信信号の列から同一の時刻に対応する受信信号を取り出すことで、同一の代表点Q_kからの反射超音波に基づく受信信号の集合を取り出すことができる。

v i) 重み算出部1047

重み算出部1047は、各受信振動子R_mに対する重み数列（受信アポダイゼーション）を算出する回路である。

【0052】

図8に示すように、重み数列は送受信開口TR_x内の各振動子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。重み数列は、送信フォーカス点Fを中心として対称な分布をなす。重み数列は、送受信開口TR_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に設定され、重みの分布の中心軸は、送受信開口中心軸TR_oと一致する。

【0053】

重み数列は、代表点Qの深さが送信フォーカス深さ以上である場合と、代表点Qの深さが送信フォーカス深さ未満である場合とで異なる。より具体的には、深さが送信フォーカス深さ以上である代表点Q_aに対しては、分布形状がハミング窓である、重み数列501を用いる。一方で、深さが送信フォーカス深さ未満である代表点Q_bに対しては、分布形状が矩形窓である、重み数列502を用いる。

【0054】

これは、以下の理由による。代表点の深さが送信フォーカス深さ以上である場合、空間解像度を向上させることが好ましい。したがって、代表点Qと最も近い受信振動子、すなわち、送受信開口TR_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に設定し、代表点Qから遠い受信振動子ほど重みが小さくなるように、すなわち、送受信開口TR_xの端に近づくほど重みが小さくなるように設定する。重み数列の各重みは、送受信開口中心軸TR_oからの距離に依存して減少することが好ましい。重み数列の形状としては、例えば、ハミング窓、ハニング窓が好ましい。

【0055】

一方、代表点Qの深さが送信フォーカス深さ未満である場合、信号のS/N比を向上させることが好ましい。超音波診断装置のユーザは深さが浅いほど超音波画像（Bモード画像）のS/N比が高いことを期待するため、空間解像度が高いか低いかにかわらず、S/N比が小さいとユーザが直ちに超音波画像の品質が低いと誤認しがちであるからである。したがって、送受信開口TR_xの列方向の中心に位置する振動子に対する重みと、送受信開口TR_xの端に位置する振動子に対する重みとの比が小さくなるように、すなわち、重み数列の形状が平坦となるように設定する。重み数列の各重みは、送受信開口中心軸TR_oからの距離に依存しない形状であることが好ましい。重み数列の形状としては、例えば、矩形窓が好ましい。

【0056】

重み算出部1047は、対象領域設定部1042から出力される送受信開口TR_xの位置を示す情報を入力として各受信振動子R_mに対する重み数列を算出し、算出した代表点Q_kごとの重み数列（以下、深さごとの重み数列の集合を「重みづけプロファイル」と呼ぶ）を加算部1048に出力する。

v i i) 加算部1048

加算部1048は、遅延処理部1046から出力される各受信振動子R_mに対応して同定された受信信号と、重み算出部1047から出力される重みづけプロファイルを入力と

10

20

30

40

50

して、各受信振動子 R_m に対応して同定された受信信号に、各受信振動子 R_m に対する重みを乗じて加算して、代表点 Q_k に対する音響線信号を生成する。遅延処理部 1046 において送受信開口 T_{Rx} 内に位置する各受信振動子 R_m が検出した受信信号の位相を整えて加算部 1048 にて加算処理をすることにより、代表点 Q_k からの反射波に基づいて各受信振動子 R_m で受信した受信信号を重ね合わせてその信号 S/N 比を増加し、代表点 Q_k からの受信信号を抽出することができる。

【0057】

以上の処理をまとめると以下のようなになる。受信振動子 R_m に対する受信信号列を $R_f(m, t)$ とする。ここで、 m は受信振動子を指す識別子であり、 t は代表点 Q_k からの反射超音波を受信振動子 R_c が受信した時刻である。また、受信振動子 R_m に対する重み係数を $A(m)$ とする。さらに、受信振動子 R_m と受信振動子 R_c との受信時間差を $d(m)$ とする。このとき、代表点 Q_k に対する音響線信号 $Das(k)$ は、以下の式で与えられることとなる。

【0058】

【数1】

$$Das(k) = \sum_m \{A(m) \times Rf(m, t + d(m))\}$$

以上の処理により、1回の送信イベントに係る対象線 BL 上の全ての代表点 Q_k について音響線信号を生成することができる。そして、代表点 Q_k に対する音響線信号に基づいて対象領域 B_x 内の全ての観測点 P_{ij} について、音響線信号を生成する（詳細は後述する）。そして、送信イベントに同期して送信開口 T_x を列方向に順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 101a から超音波送信を行うことにより1フレームの合成された音響線信号であるフレーム音響線信号を生成する。

【0059】

また、フレーム音響線信号を構成する観測点ごとの合成された音響線信号を、以後、「合成音響線信号」と称呼する。

加算部 1048 により、送信イベントに同期して対象線 BL 上に存在する全ての代表点 Q_k に対する線領域の音響線信号が生成される。生成された線領域の音響線信号は、データ格納部 107 に出力され保存される。

【0060】

(3) 合成部 1140

合成部 1140 は、送信イベントに同期して生成される線領域音響線信号からサブフレーム音響線信号を生成し、生成したサブフレーム音響線信号からフレーム音響線信号を合成する回路である。図9は、合成部 1140 の構成を示す機能ブロック図である。図9に示すように、合成部 1140 は、音響線信号展開部 11401、重みづけ合成部 11402 を備える。

【0061】

以下、合成部 1140 を構成する各部の構成について説明する。

i) 音響線信号展開部 11401

音響線信号展開部 11401 は、フレーム音響線信号を合成するための一連の線領域音響線信号の生成が終了したのち、データ格納部 107 に保持されている複数の線領域音響線信号を読み出す。そして、線領域音響線信号のそれぞれについて、観測点 P_{ij} と代表点 Q_k との位置関係に基づいて、線領域音響線信号からフレーム音響線信号を生成する。

【0062】

図10は、音響線信号展開部 11401 におけるフレーム音響線信号を生成する処理を示す模式図である。まず、代表点 Q_k の深さと、観測点 P_{ij} の深さがいずれも送信フォ

10

20

30

40

50

ーカス深さより深い場合を想定する。上述の通り、代表点 Q_k の送信時間は、送受信開口 TR_x から送信フォーカス点 F までの距離と、送信フォーカス点 F から代表点 Q_k までの距離との合算値に依存する。すなわち、送信フォーカス点 F から代表点 Q_k と観測点 P_{ij} とが等距離に存在した場合、代表点 Q_k の送信時間と、観測点 P_{ij} の送信時間とは等しい。同様に、代表点 Q_k の受信時間は、観測点 Q_k から送信フォーカス点 F までの距離と、送信フォーカス点 F から受信振動子 R_m までの距離との合算値に依存する。すなわち、送信フォーカス点 F から代表点 Q_k と観測点 P_{ij} とが等距離に存在した場合、代表点 Q_k の受信時間と、観測点 P_{ij} の受信時間とは等しい。したがって、代表点 Q_k に対する音響線信号は、送信フォーカス点 F までの距離が等しい複数の観測点 P_{ij} に対する音響線信号を含んでいる。言い換えれば、送信フォーカス点 F までの距離が等しい複数の観測点 P_{ij} に対する音響線信号の総和を、代表点 Q_k に対する音響線信号として取得している。この関係は、代表点 Q_k の深さと、観測点 P_{ij} の深さがいずれも送信フォーカス深さより浅い場合であっても成立する。

10

【0063】

したがって、音響線信号展開部11401は、代表点 Q_k の音響線信号を、(1)送信フォーカス深さに対し、代表点 Q_k の深さと観測点 P_{ij} の深さは、いずれも深い、または、いずれも浅い、(2)代表点 Q_k と送信フォーカス点 F との距離と、観測点 P_{ij} と送信フォーカス点 F との距離とは等しい、の2条件を満たす観測点 P_{ij} の音響線信号の値として適用する。具体的には、対象領域 B_x 内に、送信フォーカス点 F を中心として代表点 Q_k を通過する円弧を設定し、円弧上に存在する全ての観測点 P_{ij} に対し、当該観測点 P_{ij} に対応する音響線信号の値として、当該円弧上に存在する代表点 Q_k の音響線信号の値を適用する。例えば、円弧514上の全ての観測点 P_{ij} に対し、当該観測点 P_{ij} に対応する音響線信号の値として、円弧514に存在する代表点 Q_k の音響線信号の値を適用する。このような処理により、音響線信号展開部11401は、線領域音響線信号からフレーム音響線信号を生成する。

20

【0064】

音響線信号展開部11401は、生成したフレーム音響線信号を、重みづけ合成部11402に出力する。

ii) 重みづけ合成部11402

図11は、重みづけ合成部11402における合成音響線信号を合成する処理を示す模式図である。上述のとおり、送信イベントに同期して送信振動子列(送受信開口 TR_x)に用いる振動子を振動子列方向に移動ピッチ M_p だけ異ならせて超音波送受信が順次行われる。そのため、異なる送信イベントに基づく対象領域 B_x も送信イベントごとに同一方向に移動ピッチ M_p だけ位置が異なる。複数のサブフレーム音響線信号を、各サブフレーム音響線信号に含まれる音響線信号と対応する観測点 P_{ij} の位置を指標として加算することにより、全ての対象領域 B_x を網羅したフレーム音響線信号が合成される。

30

【0065】

このとき、重みづけ合成部11402は、観測点 P_{ij} の位置を指標としてサブフレーム音響線信号に対する重みづけを行う。重み数列は、観測点 P_{ij} に対応する各サブフレーム音響線信号に適用される重み係数の数列である。重み数列は、サブフレーム音響線信号に対応する送信イベントにおける送信フォーカス点 F の位置によって規定される。重み数列は、観測点 P_{ij} を中心として対称な分布をなす。重み数列は、観測点 P_{ij} と同じ X 座標(振動子の並び方向における位置)に送信フォーカス点 F が設定される送信イベントにおけるサブフレーム音響線信号に対する重みが最大となるように設定される。重みの分布の中心軸は、観測点 P_{ij} を通り振動子列に直交する直線 $P_{ij}o$ と一致する。重み数列の形状としては、例えば、ハミング窓、ハニング窓が好ましい。本実施の形態では、重み数列は、観測点 P_{ij} の深さに関わらず、分布形状がハミング窓である、重み数列511を用いる。すなわち、重みづけプロファイルは1つだけの重み数列からなる。なお、重み数列の形状は、例えば、重みの分布を有さない矩形窓であってもよい。

40

【0066】

50

重みづけ合成部 11402 は、各観測点 P_{ij} について、観測点 P_{ij} に対応する各サブフレーム音響線信号を重みづけ加算することで、フレーム音響線信号を合成する。

また、位置の異なる複数の対象領域 B_x にまたがって存在する観測点 P_{ij} については、各サブフレーム音響線信号における音響線信号の値が加算されるので、合成音響線信号は、跨りの程度に応じて大きな値を示す。以後、観測点 P_{ij} が異なる対象領域 B_x に含まれる回数を「重畳数」、振動子列方向における重畳数の最大値を「最大重畳数」と称する。

【0067】

また、本実施の形態では、対象領域 B_x は砂時計形状の領域内に存在する。そのため、図 12 (a) に示すように、重畳数及び最大重畳数は被検体の深さ方向において変化する
10
ので、合成音響線信号の値も同様に深さ方向において変化する。これを補うため、重みづけ合成部 11402 は、フレーム音響線信号に含まれる合成音響線信号の合成において、加算が行われた回数に応じて決定した増幅率を各合成音響線信号に乗じる増幅処理を行う。

【0068】

図 12 (b) は、重みづけ合成部 11402 における増幅処理の概要を示す模式図である。図 12 (b) に示すように、最大重畳数は被検体の深さ方向において変化する
20
ので、この変化を補うように、最大重畳数に応じて決定された被検体深さ方向において変化する増幅率が合成音響線信号に乗じられる。これにより、深さ方向における重畳数の変化に伴う合成音響線信号の変動要因は解消され、増幅処理後の合成音響線信号の値は深さ方向において均一化が図られる。

【0069】

また、重畳数に応じて決定された振動子列方向において変化する増幅率を合成音響線信号に乗じる処理を行ってもよい。振動子列方向において重畳数が変化する場合に、その変動要因を解消し、振動子列方向において増幅処理後の合成音響線信号の値の均一化が図られる。

なお、生成した各観測点に対する合成音響線信号に増幅処理を施した信号をフレーム音響線信号としてもよい。

【0070】

<動作>

以上の構成からなる超音波診断装置 100 の動作について説明する。

図 13 は、受信ビームフォーマ部 104 のビームフォーミング処理動作を示すフローチャートである。

まず、ステップ S101 において、送信部 1031 は、プローブ 101 に存する複数の振動子 101a 中送信開口 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送信信号を供給する送信処理（送信イベント）を行う。

【0071】

次に、ステップ S102 において、受信部 1040 は、プローブ 101 での超音波反射波の受信から得た電気信号に基づき受信信号を生成しデータ格納部 107 に出力し、データ格納部 107 に受信信号を保存する。プローブ 101 に存する全ての振動子 101a から超音波送信が完了したか否かを判定する（ステップ S103）。そして、完了していない場合にはステップ S101 に戻り、送受信開口 $T_R x$ を列方向に移動ピッチ M_p だけ移動させながら送信イベントを行い、完了している場合にはステップ S201 に進む。
40

【0072】

次に、ステップ S201 において、対象領域設定部 1042 は、送信イベントに同期して、送受信開口 $T_R x$ の位置を示す情報に基づき対象領域 B_x を設定する。1 回目のループでは初回の送信イベントにおける送受信開口 $T_R x$ から求められる対象領域 B_x が設定される。

次に、ステップ S202 において、対象領域設定部 1042 は、設定した対象領域 B_x 内に、対象線 B_L を設定する。対象線 B_L は対象領域 B_x 内部に存在し、かつ、送信フォ
50

ーカス点Fを通過する直線状の領域である。

【0073】

次に、ステップS210において、代表点Qkについて音響線信号を生成する。

ここで、ステップS210における、代表点Qkについて音響線信号を生成する動作について説明する。図14は、受信ビームフォーマ部104における代表点Qk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15は、受信ビームフォーマ部104における代表点Qkについての音響線信号生成動作を説明するための模式図である。

【0074】

まず、ステップS2111において、送信時間算出部1043は、送信された超音波が送信フォーカス点Fに到達する第1時間を算出する。第1時間は、幾何学的に定まる送受信開口TRxから送信フォーカス点Fに至る経路(401)の長さを超音波の音速csで除することにより、算出できる。

10

次に、ステップS2112において、送信時間算出部1043は、送信フォーカス点Fから代表点Qkに到達する第2時間を算出する。第2時間は、幾何学的に定まる送信フォーカス点Fから代表点Qkに至る経路(402または405)の長さを超音波の音速csで除することにより、算出できる。なお、代表点Qkの深さが送信フォーカス深さより浅い場合には、算出した値を絶対値とする負の値を、第2時間とする。すなわち、送信フォーカス点から等距離の2つの代表点Qx、Qyに対し、深さが送信フォーカス深さより深い代表点Qxの第2時間を $1.5\mu s$ と仮定すると、深さが送信フォーカス深さより浅い代表点Qyの第2時間を $-1.5\mu s$ とする。

20

【0075】

送信時間算出部1043は、第1時間と第2時間の和を代表点Qkに対する送信時間として遅延量算出部1045に出力し、第2時間を受信時間算出部1044に出力する。

次に、送受信開口TRxから求められる受信振動子Rmの位置を示す座標mを送受信開口TRx内の最小値に初期化し(ステップS2113)、送信された超音波が被検体中の代表点Qkで反射され送受信開口TRxの受信振動子Rmに到達する受信時間を算出する。ここで、代表点Qkで反射された超音波が送信フォーカス点Fまでに到達する時間はすでに第2時間としてステップS2112で算出されている。そこで、受信時間算出部1044は、反射された超音波が送信フォーカス点Fから送受信開口TRxの受信振動子Rmに到達する第3時間を算出する(ステップS2114)。第3時間は、幾何学的に定まる送信フォーカス点Fから受信振動子Rmまでの経路403の長さを超音波の音速csで除することにより算出できる。そして、受信時間算出部1044は、第2時間と第3時間との和を、受信時間として遅延量算出部1045に出力する。さらに、遅延量算出部1045は、送信時間と受信時間の合計から、送受信開口TRxから送信された超音波が代表点Qkで反射して受信振動子Rmに到達するまでの総伝播時間を算出し(ステップS2115)、送受信開口TRx内の各受信振動子Rmに対する総伝播時間の差異により、各受信振動子Rmに対する遅延量を算出する(ステップS2116)。

30

【0076】

送受信開口TRx内に存在する全ての受信振動子Rmについて遅延量の算出を完了したか否かを判定し(ステップS2117)、完了していない場合には座標mをインクリメント(ステップS2118)して、更に受信振動子Rmについて遅延量の算出を行い(ステップS2114)、完了している場合にはステップS2121に進む。この段階では、送受信開口TRx内に存在する全ての受信振動子Rmについて代表点Qkからの反射波到達の遅延量が算出されている。

40

【0077】

ステップS2121において、遅延処理部1046は、送受信開口TRx内の受信振動子Rmに対応する受信信号の列に対し、各受信振動子Rmに対する遅延量に基づいた遅延処理を行い、代表点Qkからの反射波に基づく受信信号の時刻(タイミング)を同期させる。上述したように、総伝播時間のうち、第1時間は送信フォーカス点Fと送受信開口TRxとの位置関係によって一意に決まり、第2時間は送信フォーカス点Fと代表点Qkと

50

の位置関係によって一意に決まり、第3時間は送信フォーカス点Fと受信振動子 R_m との位置関係によって一意に決まる。ここで、1つの送信イベントにおいて送信フォーカス点Fの位置と送受信開口 TR_x の位置とはいずれも一定であるから、第1時間は全ての代表点 Q_k 、全ての受信振動子 R_m に対して一定である。また、第2時間は受信振動子 R_m の位置に依存しないから、1つの受信振動子 R_m において代表点 Q_k と代表点 $Q(k+1)$ との総伝播時間の差は、座標 m に依存しない。すなわち、同一の受信振動子に対応する受信信号の列において、代表点 Q_k からの反射波に基づく受信信号と代表点 $Q(k+1)$ からの反射波に基づく受信信号との時差は代表点 Q_k と代表点 $Q(k+1)$ との間の距離のみに依存し、受信振動子 R_m に対応する信号と受信振動子 $R(m+1)$ に対応する信号との間で差はない。一方、第3時間は代表点 Q_k の位置には依存しないから、受信振動子 R_m に対応する受信信号の列における代表点 Q_k からの反射波に基づく受信信号と、受信振動子 $R(m+1)$ に対応する受信信号の列における代表点 Q_k からの反射波に基づく受信信号との時差は受信振動子 R_m 、受信振動子 $R(m+1)$ 、送信フォーカス点Fの3つの位置関係のみに依存し、代表点 Q_k からの反射波に基づく受信信号と代表点 $Q(k+1)$ からの反射波に基づく受信信号との間で差はない。したがって、各受信振動子 R_m に対応する受信信号の列のそれぞれに対して第3時間の差を打ち消す遅延処理を行うと、受信信号の列の間で、代表点 Q_k からの反射波に基づく受信信号の時刻が揃うだけでなく、代表点 $Q(k+1)$ からの反射波に基づく受信信号の時刻も、代表点 $Q(k-1)$ からの反射波に基づく受信信号の時刻も、それぞれ揃うことになる。したがって、代表点 Q_k ごとに総伝播時間に基づいて受信信号を同定する必要はなく、各受信信号の列に対して第3時間に基づいた遅延処理を行うことで、第1時間と第2時間に基づいて代表点 Q_k ごとの受信信号を振動子列方向の受信信号列として同定することができる。

10

20

【0078】

次に、重み算出部1047は、各受信振動子 R_m に対する重み数列を算出する(ステップS2122)。上述したように、重み算出部1047は、深さが送信フォーカス深さ以上である代表点 Q_k に対しては、送受信開口 TR_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ハミング窓を適用し、深さが送信フォーカス深さ未満である代表点 Q_k に対しては、矩形窓を適用する。加算部1048は、各受信振動子 R_m に対応して同定された受信信号列に、各受信振動子 R_m に対する重みを乗じて加算して、代表点 Q_k に対する音響線信号を生成し(ステップS2123)、生成された代表点 Q_k に対応する音響線信号はデータ格納部107に出力され保存される(ステップS2124)。

30

【0079】

次に、図13に戻り、ステップS220において、音響線信号展開部11401は、代表点 Q_k に対する音響線信号に基づいて、対象領域 B_x 内の観測点 P_{ij} (図15中の「 \cdot 」)について音響線信号を生成する。上述したように、音響線信号展開部11401は、観測点 P_{ij} について、送信フォーカス点Fとの距離が同一である代表点 Q_k のうち、観測点 P_{ij} が送信フォーカス深さより深い場合は送信フォーカス深さより深い代表点 Q_k 、観測点 P_{ij} が送信フォーカス深さより浅い場合は送信フォーカス深さより浅い代表点 Q_k を特定し、特定した代表点 Q_k に対する音響線信号を当該観測点 P_{ij} に対する音響線信号とする。この段階では、1回の送信イベントに伴う対象領域 B_x 内に存在する全ての観測点 P_{ij} についてのサブフレームの音響線信号が生成されている。

40

【0080】

次に、全ての送信イベントについて、サブフレームの音響線信号の生成が終了したか否かを判定し(ステップS230)、終了していない場合には、ステップS201に戻り、送受信開口 TR_x に基づいて対象領域 B_x を設定し(ステップS201)、終了している場合にはステップS301に進む。

次に、ステップS301において、重みづけ合成部11402は、観測点 P_{ij} の深さと、観測点 P_{ij} に対するサブフレーム音響線信号に対応する送信イベントにおける送信フォーカス点Fの位置とに基づいて、サブフレーム音響線信号に対する重みづけ数列を設定する。上述したように、重みづけ合成部11402は、送信フォーカス点Fの位置と観

50

測点 P_{ij} とが振動子列に直交する同一直線状に存在する送信イベントに対応するサブフレーム音響線信号に対する重みが最大となるハミング窓を適用する。

【 0 0 8 1 】

次に、ステップ $S302$ において、重みづけ合成部 11402 は、重み数列を用いて、観測点 P_{ij} の位置を指標として複数のサブフレーム音響線信号を重みづけ加算して各観測点 P_{ij} に対する合成音響線信号を生成してフレーム音響線信号を合成する。次に、重みづけ合成部 11402 は、フレーム音響線信号を、超音波画像生成部 105 及びデータ格納部 107 に出力し（ステップ $S303$ ）処理を終了する。

【 0 0 8 2 】

<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 100 によれば、合成開口法により、異なる送信イベントにより生成された同一位置にある観測点 P についての音響線信号を重ね合わせて合成する。これにより、複数の送信イベントに対して送信フォーカス点 F 以外の深度にある観測点 P においても、仮想的に送信フォーカスを行った効果が得られ空間分解能と信号 S/N 比を向上することができる。

【 0 0 8 3 】

また、超音波診断装置 100 では、サブフレーム音響線信号を生成する際に、全ての観測点 P_{ij} について整相加算を行うのではなく、送信フォーカス点 F を中心とする円弧状の領域のそれぞれに代表点 Q_k を 1 つずつ設け、代表点 Q_k に対してのみ整相加算を行う。これにより、整相加算の対象となる代表点 Q_k の数は対象領域 B_x の面積ではなく対象領域 B_x の深さ方向の長さ依存するため、整相加算の演算量を大きく削減することができる。さらに、送信時間のみならず受信時間も送信フォーカス点 F を基準とすることで、受信振動子 R_m ごとの受信時間算出処理を代表点 Q_k ごとに繰り返す必要がなくなる。したがって、総伝播時間の算出処理も整相加算処理も単純化することができる。この点においても整相加算の演算量を大きく削減することができる。一方で、同一の観測点について異なるサブフレーム音響線信号を合成することによる空間解像度、信号 S/N 比の向上効果を得ることができるため、演算量の低下度合いに対して空間解像度、信号 S/N 比の低下を抑えることができる。

【 0 0 8 4 】

また、超音波診断装置 100 では、代表点 Q_k の深さが送信フォーカス深さより深いか浅いかで適用する重み数列が異なる重みづけプロファイルを用いる。重みづけプロファイルにおいて、送信フォーカス深さより浅い領域では、重み数列の形状を、矩形窓など、平坦な、係数の変化に乏しいか全く変化しない重み数列とする。このようにすることで、送信フォーカス深さより浅い領域では、受信信号列の合成における信号 S/N 比の向上効果を十分に享受する。したがって、信号 S/N 比が高いことをユーザが期待する送信フォーカス深さより浅い領域において信号 S/N 比の低下を防ぎ、ユーザの期待を裏切ることによる超音波画像の品質の過小評価を避けることができる。一方で、送信フォーカス深さより深い領域では、重み数列の形状を、ハミング窓など、中心の重みが最大となるような重み数列とする。これにより、観測点 P_{ij} からの反射波を最も感度よく受信できる振動子、すなわち、送信フォーカス点 F に最近接する振動子に対して大きな重み数列が適用される。その結果、送信フォーカス深さより深い領域では、高い空間解像度を実現することができる。

【 0 0 8 5 】

変形例 1

実施の形態 1 に係る超音波診断装置 100 では、重み算出部 1047 が、深さが送信フォーカス深さ以上の代表点 Q_k に対してはハミング窓形状、深さが送信フォーカス深さ未満の代表点 Q_k に対しては矩形窓形状の重み数列を用いる重みづけプロファイルを使用した。しかしながら、重みづけプロファイルは、以下の条件を満たしていればよく、実施の形態 1 の例に限定されない。

【 0 0 8 6 】

10

20

30

40

50

整相加算の際の重みづけの方法としては、(A)送信フォーカス点Fに近づくほど重みを大きくする、という方針と、(B)どの振動子に対しても同じ重みづけをする、という方針が考えられる。(A)の方針によれば、送信フォーカス点Fに近い振動子が得た受信信号と、送信フォーカス点Fから遠い振動子が得た受信信号とに差があれば、送信フォーカス点Fに近い振動子が得た受信信号に近い結果を得ることになる。これにより、音響線信号は、主に被検体内の伝播劣化の影響が小さい受信信号で構成されることになるので、被検体内の伝播劣化の影響を小さくすることができ、音響線信号の空間解像度を向上させることができる。一方で、送受信開口TRxの両端または両端に近い振動子に対応する受信信号は音響線信号に対して寄与しなくなるため、特に送受信開口TRx内の受信振動子の数が少ない場合には、ノイズ成分の打ち消しによるS/N比向上の効果が十分でなくなる可能性がある。逆に、(B)の方針によれば、全ての振動子に対応する受信信号が音響線信号に対して寄与するため、ノイズ成分の打ち消しによるS/N比向上の効果を最大化することができる。反面、被検体内の伝播劣化の影響が小さい受信信号と大きい受信信号との間で重みづけを行わないため、伝播劣化した受信信号の影響を受け、音響線信号の空間解像度が十分に向上しないことがある。

10

【0087】

したがって、深さが送信フォーカス深さ以上の代表点Q1に対する重み数列Wdと、深さが送信フォーカス深さ未満の代表点Q2に対する重み数列Wsとの間において、重み数列Wsより重み数列Wdが(A)の傾向を有しており、重み数列Wdより重み数列Wsが(B)の傾向を有している重みづけプロファイルを用いれば、実施の形態1と同様の効果を得ることができる。つまり、重み数列Wsに対して重み数列Wdの方が、中央に位置する振動子に対する重みに対して周辺部に位置する振動子に対する重みが小さく、重みの分散が大きい傾向であればよい。例えば、図16に示すように、深さが送信フォーカス深さ以上の代表点Q1に対する重み数列がハミング窓503であり、深さが送信フォーカス深さ未満の代表点Q2に対する重み数列が重み数列504であってもよい。または、深さが送信フォーカス深さ以上の代表点Q1に対する重み数列が重み数列504であり、深さが送信フォーカス深さ未満の代表点Q2に対する重み数列が矩形窓502であってもよい。

20

【0088】

なお、実施の形態1および変形例では、深さが送信フォーカス深さである代表点Qkに対しては、深さが送信フォーカス深さ以上の代表点Qに対する重み数列と同じ重み数列を用いるとした。しかしながら、深さが送信フォーカス深さである代表点Qkに対しては、深さが送信フォーカス深さ未満の代表点Qに対する重み数列と同じ重み数列を用いてもよい。すなわち、代表点の深さが送信フォーカス深さより大きいか、送信フォーカス深さ以下であるかで重み数列を変更してもよい。

30

【0089】

実施の形態2

実施の形態1及び変形例1では、重み算出部1047が、深さが送信フォーカス深さ以上の代表点Qkに対し、深さが送信フォーカス深さ未満の代表点Qkよりも、送信フォーカス点Fに近づくほど重みを大きくする重みづけプロファイルを用い、重みづけ合成部11402では観測点Pijの深さに関わらず一定の重みづけを行うとした。しかしながら、深さに応じて重み数列を変更する処理は、サブフレーム音響線信号の生成の際に行う必要はなく、サブフレーム音響線信号の合成時に行ってもよい。

40

【0090】

実施の形態2に係る超音波診断装置では、重み算出部では、代表点Qkの深さに関わらず一定の重みづけを行い、重みづけ加算部において、深さが送信フォーカス深さ以上の観測点Pijに対し、深さが送信フォーカス深さ未満の観測点Pijよりも、観測点Pijに送信フォーカス点Fが近づくほどサブフレーム音響線信号に対する重みを大きくする重みづけプロファイルを用いる。

【0091】

実施の形態2に係る超音波診断装置では、重み算出部では、代表点Qkの深さに関わら

50

ず一定の重みづけを行う。したがって、実施の形態 1 とは異なり、重み算出部では、代表点 Q_k が送信フォーカス深さより深いか浅いかに関係なく、所定の重み数列を用いる。所定の重み数列は、送受信開口 TR_x の中心に位置する振動子に対する重みが最大であり、ハミング窓、ハニング窓など任意の形状でよい。または、所定の重み数列は、矩形窓であってもよい。

【0092】

一方、重みづけ加算部において、深さが送信フォーカス深さ以上の観測点 P_{ij} に対し、深さが送信フォーカス深さ未満の観測点 P_{ij} よりも、観測点 P_{ij} に送信フォーカス点 F が近づくほどサブフレーム音響線信号に対する重みを大きくする重み数列を用いる。具体的には、図 17 の模式図に示すように、深さが送信フォーカス深さ以上である観測点 P_1 に対しては、分布形状がハミング窓である、重み数列 601 を用いる。一方で、深さが送信フォーカス深さ未満である観測点 P_2 に対しては、分布形状が矩形窓である、重み数列 602 を用いる。

10

【0093】

なお、重みづけプロファイルは上述の例に限られない。観測点 P_{ij} の深さが送信フォーカス深さ以上である場合、観測点 P_{ij} と、サブフレーム音響線信号に対応する送信イベントにおける送信フォーカス点 F との距離に依存して減少することが好ましい。重み数列の形状としては、例えば、ハミング窓、ハニング窓が好ましい。また、観測点 P_{ij} の深さが送信フォーカス深さ未満である場合、サブフレーム音響線信号に対応する送信イベントにおける送信フォーカス点 F との距離に依存しない、平坦な形状が好ましい。重み数列の形状としては、例えば、矩形窓が好ましい。なお、変形例 1 同様、観測点 P_{ij} の深さが送信フォーカス深さ未満である場合に対する重み数列が矩形窓でない場合、図 18 に示すように、深さが送信フォーカス深さ以上の観測点 P_1 に対する重み数列がハミング窓 603 であり、深さが送信フォーカス深さ未満の観測点 P_2 に対する重み数列が重み数列 604 であってもよい。

20

【0094】

<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によれば、実施の形態 1 と同様、複数の送信イベントに対して送信フォーカス点 F 以外の深度にある観測点 P においても、仮想的に送信フォーカスを行った効果が得られ空間分解能と信号 S/N 比を向上することができる。さらに、整相加算の演算量を大きく削減することができる、演算量の低下度合いに対して空間解像度、信号 S/N 比の低下を抑えることができる。

30

【0095】

また、本実施の形態に係る超音波診断装置では、観測点 P_{ij} の深さが送信フォーカス深さ以上であるか未満であるかで、サブフレーム音響線信号に対する重み数列を変更する。送信フォーカス深さより浅い領域では、重み数列の形状を、矩形窓など、平坦な、係数の変化に乏しいか全く変化しない重み数列とする。これにより、サブフレーム音響線信号の合成における信号 S/N 比の向上効果を向上させる。これにより、信号 S/N 比が高いことをユーザが期待する送信フォーカス深さより浅い領域において信号 S/N 比の低下を防ぎ、ユーザの期待を裏切ることによる超音波画像の品質の過小評価を避けることができる。一方で、送信フォーカス深さより深い領域では、重み数列の形状を、ハミング窓など、中心の重みが最大となるような重み数列とする。これにより、観測点 P_{ij} からの反射波が最も大きい状況、すなわち、観測点 P_{ij} と送信フォーカス点 F が最近接する送信イベントにおけるサブフレーム音響線信号、に対して大きな重み数列が適用される。その結果、高い空間解像度を実現することができる。

40

【0096】

本開示による効果

以下、実施例に係る受信ビームフォーミングと、比較例となる受信ビームフォーミングとの間で超音波画像の品質を比較し、実施の形態に係る効果を説明する。

図 21 は、比較例に係る受信ビームフォーミングにおける超音波画像を比較したもので

50

ある。図 2 1 (a) ~ (d) は、それぞれ、比較例 1 ~ 4 の受信ビームフォーミングにより、同一の擬似被検体（ファントム）を撮像した超音波画像（B モード断層画像）を示す。超音波ビームの進行方向は、図の上から下に向かう方向である。

【 0 0 9 7 】

比較例 1 ~ 4 は、重み算出部が用いる重み数列、重みづけ加算部が用いる重み数列を除き、実施の形態 1、2、および各変形例と同じ受信ビームフォーミング処理を行っている。一方、各比較例では、重み算出部が用いる重み数列、重みづけ加算部が用いる重み数列のいずれも、代表点 Q_k および観測点 P_{ij} の深さに関わらず、それぞれ所定の 1 種類のみを用いている。具体的には、重み算出部が整相加算時に用いる重み数列は、比較例 1、2 では矩形窓であり、比較例 3、4 ではハミング窓である。一方、重みづけ加算部がサブ

10

【 0 0 9 8 】

上述したように、分散が大きい重み数列を用いて、周辺部に対して中央部の重みが大きくなる強い重みづけを行うと、空間解像度の向上が図れる半面、S/N 比の向上が十分でないことがある。一方で、平坦な重み数列を用いたり重みづけを行わなかったりすると、S/N 比の向上が大きくなる半面、空間解像度の向上が十分でないことがある。したがって、図 2 1 に示しているように、空間解像度は図 2 1 (a)、(b)、(c)、(d) の順に高くなるが、S/N 比は、図 2 1 (d)、(c)、(b)、(a) の順に高くなる。したがって、送信フォーカス深さより浅い領域では、強い重み付けがなされている比較例 4 では S/N 比が十分でなく、図 2 1 (d) に示すようにスペckルが荒くなり、図 2 1 (a) ~ (c) と比べて X 方向（素子列方向）に強い滲みが発生している。一般に、ユーザは浅い領域ほど高い空間解像度と高い S/N 比を期待し、また、S/N 比の低い画像については空間解像度等の他の精度についても低いと感じがちである。そのため、浅い領域において S/N 比が低い図 2 1 (d) のような画像に接したユーザは、空間解像度までも低いと誤認識しがちで、品質の過小評価が発生する。一方、重み付けがなされていない比較例 1 では全域にわたって S/N 比が高いものの空間解像度が低く、特にフォーカス点より深い領域については X 方向（素子列方向）に滲みが発生している。したがって、全体の画質としては、送信フォーカス深さより浅い領域では重みづけを弱く、送信フォーカス深さより深い領域では重みづけを強くすることが好ましい。

20

30

【 0 0 9 9 】

図 2 2 は、実施の形態 1 と比較例 1、比較例 3 を比較したものであり、図 2 2 (a)、(b)、(c) がそれぞれ比較例 1、実施の形態 1、比較例 3 に相当する。但し、図 2 2 (b) では、重みづけ加算部が用いる重み数列を比較例 1、比較例 3 と同じく矩形窓に設定している。実施の形態 1 では、図 2 2 (b) に示すように、浅い領域では比較例 1 の高い S/N 比を、深い領域では比較例 3 の高い空間解像度をそれぞれ選択的に抽出することができ、いずれの比較例よりも S/N 比と空間解像度のバランスをよくすることができる。

【 0 1 0 0 】

実施の形態 3

実施の形態 1 では、重み算出部が整相加算時に用いる重み数列について、実施の形態 2 では、重みづけ加算部がサブフレーム合成時用いる重み数列について、送信フォーカス深さより浅いか深いかに応じてその窓形状を変更する場合について説明した。これに対し、本実施の形態では、送信フォーカス深さ近傍においてのみさらに重み数列の窓形状を変更する場合について説明する。

40

【 0 1 0 1 】

実施の形態 3 に係る超音波診断装置では、重み算出部および/または重みづけ加算部において、深さが送信フォーカス深さと同程度の代表点 Q_k または観測点 P_{ij} に対し、他の形状の重み数列を用いることに特徴がある。

重み算出部において重み数列を変更する場合について、図 1 9 を用いて説明する。図 1

50

9に示すように、深さが送信フォーカス深さと同程度である代表点 Q_c に対し、重み算出部は重み数列として、三角窓(パートレット窓)505を適用する。三角窓はハミング窓やハニング窓と同様に中央の振動子に対する重みが端部の振動子に対する重みより大きい。中央の振動子と中央付近の振動子との重みの差がハミング窓やハニング窓より大きい。したがって、三角窓を使用することで、送受信開口 RTx の中央の振動子の重みがより大きくなる。

【0102】

代表点 Q_c の深さが送信フォーカス深さと同程度であるということは、代表点 Q_c および音響線信号を共有する観測点 P_{ij} は送信フォーカス点 F の近傍に位置している。したがって、送信される超音波ビームは代表点 Q_c の近傍でフォーカスされており、代表点 Q_c に超音波の反射源があれば強い反射波が反射される。また、送受信開口 TRx の中央に位置する振動子は代表点 Q_c に最近接する振動子である。したがって、送受信開口 TRx の中央に位置する振動子が代表点 Q_c について得た受信信号の品質は非常に高いことが想定されるので、重みづけを大きくすることで空間解像度を最大化することができる。これにより、送信フォーカス深さ付近の信号品質を高くすることができる。

10

【0103】

なお、図20に示すように、重みづけ加算部において、深さが送信フォーカス深さと同程度の観測点 P_{ij} に対し、三角窓(パートレット窓)605を適用する、としてもよい。このようにすることで、観測点 P_{ij} と送信フォーカス点 F とが最近接する送信イベントにおけるサブフレーム音響線信号の重みが最大となる。したがって、最も品質の高いサブフレーム音響線信号の重みを最大化し、送信フォーカス深さ付近の信号品質を高くすることができる。

20

【0104】

実施の形態に係るその他の変形例

(1)各実施の形態及び各変形例では、送信時間算出部1043が送受信開口 TRx から送信フォーカス点 F までの到達時間である第1時間と送信フォーカス点 F から代表点 Q_k までの到達時間である第2時間とを加算し、受信時間算出部1044が送信フォーカス点 F から受信振動子 R_m までの到達時間である第3時間と第2時間とを加算し、遅延量算出部1045が送信時間と受信時間とを加算する、とした。しかしながら、例えば、送信時間算出部は第1時間と第2時間とをそれぞれ遅延量算出部に算出し、受信時間算出部は第3時間の算出のみを行って遅延量算出部に算出し、遅延量算出部が第1時間、第2時間、第3時間に基づいて総伝播時間を算出するとしてもよい。

30

【0105】

(2)各実施の形態及び各変形例では、整相加算部1041が送信イベントごとに線領域音響線信号を生成してデータ格納部107に保存し、合成部1140が送信イベントごとの線領域音響線信号を送信イベントごとのサブフレーム音響線信号に変換した後重みづけ合成を行う場合について説明した。しかしながら、例えば、音響線信号展開部は生成したサブフレーム音響線信号をデータ格納部に保存し、重みづけ加算部がデータ格納部からサブフレーム音響線信号を読み出すとしてもよい。または、例えば、音響線信号展開部を合成部ではなく整相加算部内に備え、整相加算部が送信イベントごとにサブフレーム音響線信号をデータ格納部に保存し、合成部がデータ格納部からサブフレーム音響線信号を読み出すとしてもよい。このような構成により、整相加算、サブフレーム音響線信号生成、音響線信号合成を異なるプロセッサを用いて並列処理で行うことが容易となり、演算速度を向上させるための構成の実現が容易になる。

40

【0106】

また、整相加算部1041は1フレームに係る複数の送信イベントの終了後に線領域音響線信号の生成を開始するとしたが、例えば、整相加算部1041は、送信イベントに係る受信処理の完了ごとに線領域音響線信号の生成を行ってもよいし、さらに、音響線信号展開部は線領域音響線信号が生成された直後にサブフレーム音響線信号を生成するとしてもよい。このような構成により、整相加算と音響線信号合成を異なるプロセッサを用いて

50

並列処理で行う際に超音波送信開始から超音波画像生成までの応答時間を短縮することができる。

【0107】

(3) 実施の形態1では重み算出部1047において、実施の形態2では重みづけ合成部において、それぞれフォーカス深さの前後で重み数列を変更するような重みづけプロファイルを作成する一方、実施の形態1では重みづけ合成部11402において、実施の形態2では重み算出部において、単一の重み数列を用いる構成とした。しかしながら、重み算出部と重みづけ合成部の両方において、フォーカス深さの前後で重み数列を変更するような重みづけプロファイルを作成するとしてもよい。このような構成により、フォーカス深さより浅い領域、フォーカス深さより深い領域のそれぞれについて、空間解像度とS/N比のバランスを最適化することが可能である。なお、重み算出部と重みづけ合成部の一方において単一の重み数列を用いる場合において、重み数列の係数は空間解像度とS/N比のバランスを所望の状態とするためにハミング窓、ハニング窓、矩形窓のほか任意の窓関数を用いてよいのは言うまでもない。

10

【0108】

(4) 各実施の形態および各変形例では、送信部1031が設定する送信開口と受信部1040が設定する送受信開口を送受信開口TRxとして完全一致させる場合について説明した。しかしながら、受信開口は必ずしも送信開口と完全一致しなくてもよい。例えば、受信開口は送信開口の一部であるとしてもよいし、逆に、受信開口は送信開口より幅が広くてもよい。但し、送信開口の中心軸と受信開口の中心軸が一致していることが好ましい。

20

【0109】

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

例えば、本発明は、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、本発明の超音波信号処理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。

30

【0110】

また、上記超音波診断装置の全部、もしくは一部、また超音波信号処理装置の全部又は一部を、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。

【0111】

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

40

50

る。

【0112】

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リCONFIGURABLE・プロセッサ(Reconfigurable Processor)を利用してもよい。

【0113】

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。

【0114】

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

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

【0115】

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。

【0116】

また、上記実施の形態においては、プローブは、複数の圧電素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、複数の圧電変換素子を二次元方向に配列した二次元配列振動子や、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、二次元に配列されたプローブを用いた場合、圧電変換素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。

【0117】

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、受信した反射超音波を受信電気信号に変換し、プローブ内で受信電気信号に基づき受信信号を生成する構成を採ることができる。

【0118】

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

10

20

30

40

50

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。

【0119】

まとめ

(1) 実施の形態に係る超音波信号処理装置は、複数の振動子を備えた超音波プローブを用いて被検体に集束型の超音波ビームを送信する送信イベントを複数回繰り返すとともに、各送信イベントに同期して被検体から反射超音波を受波して受信信号列を生成し、受波した反射超音波に基づいて生成される複数のサブフレーム音響線信号を合成して音響線信号を得る超音波信号処理装置であって、超音波ビームが集束する位置を規定するフォーカス点を送信イベントごとに変更しながら、送信イベントごとに、前記超音波プローブに列設された複数の振動子から送受信振動子列を選択して当該送受信振動子列から被検体内の対象領域に超音波ビームを送信させる送信部と、各送信イベントに同期して、前記超音波プローブが前記対象領域から受波した反射超音波に基づいて、前記送受信振動子列に含まれる振動子各々に対する受信信号列を生成する受信部と、前記送信イベントごとに、前記フォーカス点を通る直線上に存在する複数の観測点について、観測点と前記フォーカス点との距離および前記フォーカス点と振動子との距離に基づく遅延処理と第1重みづけプロファイルに基づく重みづけ処理とを含む重みづけ整相加算により、前記受信信号列から線領域音響線信号を生成する整相加算部と、前記送信イベントごとに、前記対象領域内の各観測点について、前記フォーカス点との距離が当該観測点と同一であり前記直線上に存在する観測点の前記線領域音響線信号を割り当てて当該観測点の音響線信号とすることでサブフレーム音響線信号を生成する音響線信号展開部と、第2重みづけプロファイルを用いて、観測点の位置を基準に複数の送信イベントに係る複数のサブフレーム音響線信号を重みづけ合成しフレーム音響線信号を合成する合成部とを備え、前記第1重みづけプロファイルと前記第2重みづけプロファイルの少なくとも一方において、前記フォーカス点より深い第1の観測点に対する第1重み数列は、前記フォーカス点より浅い第2の観測点に対する第2重み数列より、分散が大きいことを特徴とする。

10

20

【0120】

また、実施の形態に係る超音波信号処理方法は、複数の振動子を備えた超音波プローブを用いて被検体に集束型の超音波ビームを送信する送信イベントを複数回繰り返すとともに、各送信イベントに同期して被検体から反射超音波を受波して受信信号列を生成し、受波した反射超音波に基づいて生成される複数のサブフレーム音響線信号を合成して音響線信号を得る超音波信号処理方法であって、超音波ビームが集束する位置を規定するフォーカス点を送信イベントごとに変更しながら、送信イベントごとに、前記超音波プローブに列設された複数の振動子から送受信振動子列を選択して当該送受信振動子列から被検体内の対象領域に超音波ビームを送信させ、各送信イベントに同期して、前記超音波プローブが前記対象領域から受波した反射超音波に基づいて、前記送受信振動子列に含まれる振動子各々に対する受信信号列を生成し、前記送信イベントごとに、前記フォーカス点を通る直線上に存在する複数の観測点について、観測点と前記フォーカス点との距離および前記フォーカス点と振動子との距離に基づく遅延処理と第1重みづけプロファイルに基づく重みづけ処理とを含む重みづけ整相加算により、前記受信信号列から線領域音響線信号を生成し、前記送信イベントごとに、前記対象領域内の各観測点について、前記フォーカス点との距離が当該観測点と同一であり前記直線上に存在する観測点の前記線領域音響線信号を割り当てて当該観測点の音響線信号とすることでサブフレーム音響線信号を生成し、第2重みづけプロファイルを用いて、観測点の位置を基準に複数の送信イベントに係る複数のサブフレーム音響線信号を重みづけ合成しフレーム音響線信号を合成する方法であり、前記第1重みづけプロファイルと前記第2重みづけプロファイルの少なくとも一方において、前記フォーカス点より深い第1の観測点に対する第1重み数列は、前記フォーカス点より浅い第2の観測点に対する第2重み数列より、分散が大きいことを特徴とする。

30

40

【0121】

50

上記構成又は方法によれば、合成開口法により仮想的に送信フォーカスを行った効果による空間分解能と信号 S / N 比との向上の効果を享受しながら、観測点の一部である代表点でのみ整相加算を行うことで演算量を大きく削減することができる。また、整相加算および音響線信号展開における重み付けを本願の構成で適切に制御することで、空間分解能と信号 S / N 比のバランスを調整でき、結果、高画質な超音波断層画像を得ることができる。

【 0 1 2 2 】

(2) また、上記 (1) の超音波信号処理装置は、前記第 2 重み数列における、素子列方向における中心の重み付け係数に対する素子列方向における端部の重み付け係数の比は、前記第 1 重み数列における、素子列方向における中心の重み付け係数に対する素子列方向における端部の重み付け係数の比よりも小さい、としてもよい。

10

上記構成により、フォーカス点より浅い領域においては主に信号 S / N 比向上の効果を享受するとともに、フォーカス点より深い領域においては主に空間分解能向上の効果を享受することができる。

【 0 1 2 3 】

(3) また、上記 (2) の超音波信号処理装置は、前記第 1 重み数列は、素子列方向における中心から遠ざかるほど重み付け係数が小さくなる、としてもよい。

(4) また、上記 (3) の超音波信号処理装置は、前記第 1 重み数列は、ハミング窓である、としてもよい。

これら上記構成により、フォーカス点より深い領域においては空間分解能を向上することができる。

20

【 0 1 2 4 】

(5) また、上記 (2) ~ (4) の超音波信号処理装置は、前記第 2 重み数列は、重み付け係数の値が素子列方向に変化しない矩形窓である、としてもよい。

(6) また、上記 (5) の超音波信号処理装置は、前記第 1 重みづけプロファイルは、前記フォーカス点より深い第 1 の観測点に対してはハミング窓であって前記フォーカス点より浅い第 2 の観測点に対しては矩形窓であり、前記第 2 重みづけプロファイルは、矩形窓である、としてもよい。

【 0 1 2 5 】

これら上記構成により、フォーカス点より浅い領域では信号 S / N 比向上の効果を最大化し、超音波画像の品質が低いとユーザが誤認識することを抑止することができる。

30

(7) また、上記 (1) ~ (6) の超音波信号処理装置は、前記第 1 重みづけプロファイルと前記第 2 重みづけプロファイルの少なくとも一方において、前記フォーカス点近傍の第 3 の観測点に対し、素子列方向における中心からの距離に依存して重み付け係数が小さくなる第 3 重み数列を用いる、としてもよい。

【 0 1 2 6 】

(8) また、上記 (7) の超音波信号処理装置は、前記第 3 重み数列は、重み付け係数の値が、素子列方向における中心で最大となり端部で 0 となる三角窓である、としてもよい。

これら上記構成により、フォーカス点と同等の深さの領域について、空間分解能向上の効果を最大化することができる。

40

【 0 1 2 7 】

(9) また、上記 (1) ~ (8) の超音波信号処理装置は、前記整相加算部は、送信された超音波が各観測点に到達する送信時間を、前記観測点の深さが前記被検体内で超音波が集束するフォーカス深さ以上である場合には、送信された超音波が前記送信振動子列から前記フォーカス点に到達するまでの第 1 時間と、前記フォーカス点から前記観測点に到達する第 2 時間との合計を送信時間として算出し、前記観測点の深さが前記被検体内で超音波が集束するフォーカス深さ未満である場合には、前記第 1 時間から前記第 2 時間を減算した結果を送信時間として算出する、としてもよい。

【 0 1 2 8 】

50

上記構成により、各観測点について、遅延時間をより精度よく算出することができる。

(10)また、上記(1)～(9)の超音波信号処理装置は、前記観測点から前記観測点に最近接する振動子に到達するまでの時間を、前記観測点に最近接する振動子に対応する受信時間として算出し、超音波が前記フォーカス点から振動子に到達するまでの時間と前記フォーカス点から前記観測点に最近接する振動子に到達するまでの時間との差を、前記観測点に最近接する振動子に対応する受信時間に加算することで、当該振動子に対応する受信時間として算出する、としてもよい。

【0129】

上記構成により、各観測点について、遅延時間の算出をより単純にすることができ、演算量の削減に奏功する。また、上記(9)との組み合わせにより、整相加算演算をより単純化することが可能となり、演算量の削減にさらに奏功する。

10

【産業上の利用可能性】

【0130】

本開示にかかる超音波信号処理装置、超音波診断装置、超音波信号処理方法、プログラム、及びコンピュータ読み取り可能な非一時的な記録媒体は、従来の超音波診断装置の性能向上、特に、演算装置のコスト削減や演算負荷軽減によるフレームレート向上に有用である。また本開示は超音波への適用のみならず、複数のアレイ素子を用いたセンサ等の用途にも応用できる。

【符号の説明】

【0131】

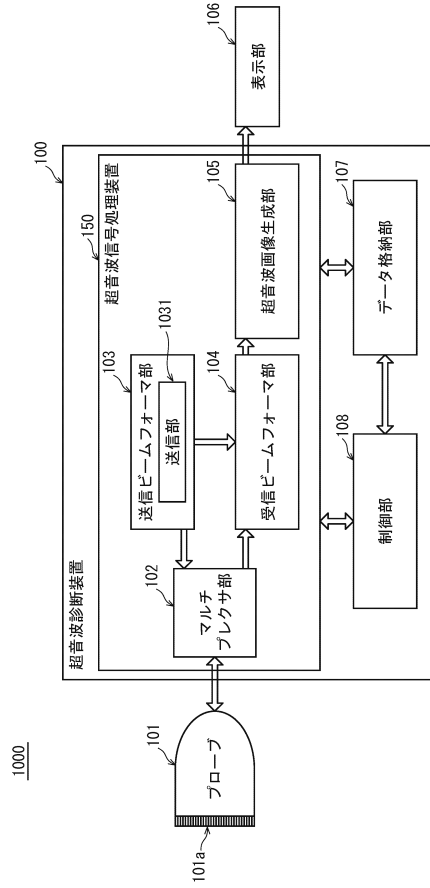
20

- 1000 超音波診断システム
- 100 超音波診断装置
- 101 プローブ
- 101a 振動子
- 102 マルチプレクサ部
- 103 送信ビームフォーマ部
- 1031 送信部
- 104 受信ビームフォーマ部
- 1040 受信部
- 1041 整相加算部
- 1042 対象領域設定部
- 1043 送信時間算出部
- 1044 受信時間算出部
- 1045 遅延量算出部
- 1046 遅延処理部
- 1047 重み算出部
- 1048 加算部
- 1140 合成部
- 11401 音響線信号展開部
- 11402 重みづけ合成部
- 105 超音波画像生成部
- 106 表示部
- 107 データ格納部
- 108 制御部
- 150 超音波信号処理装置

30

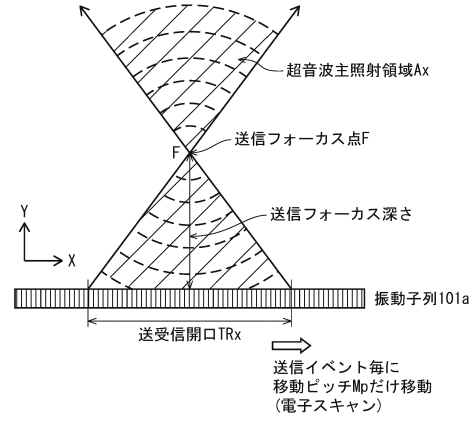
40

【図1】

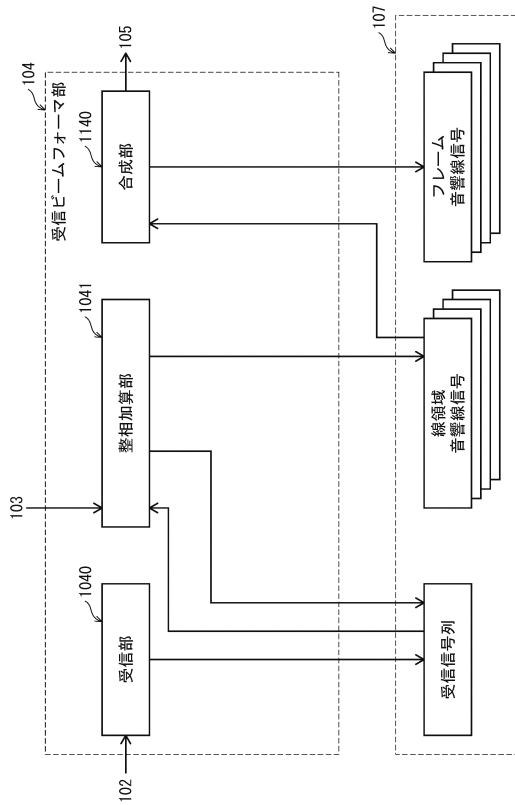


1000

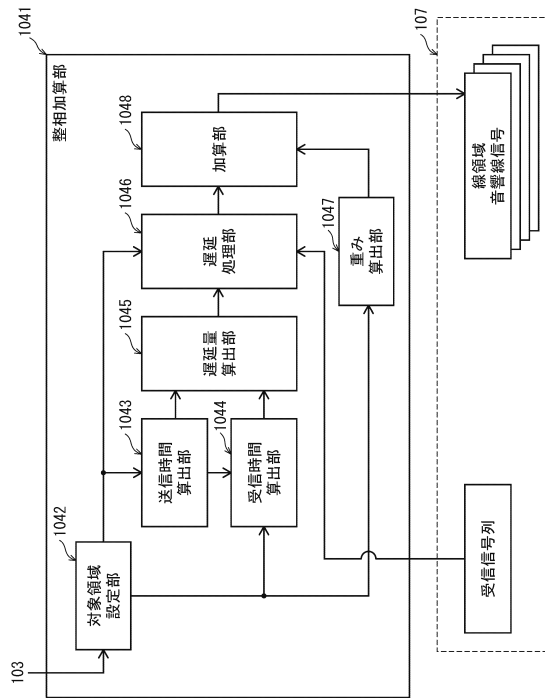
【図2】



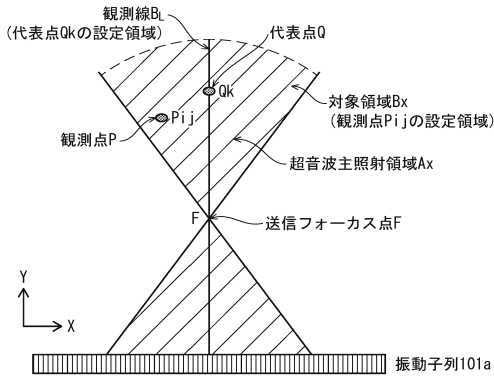
【図3】



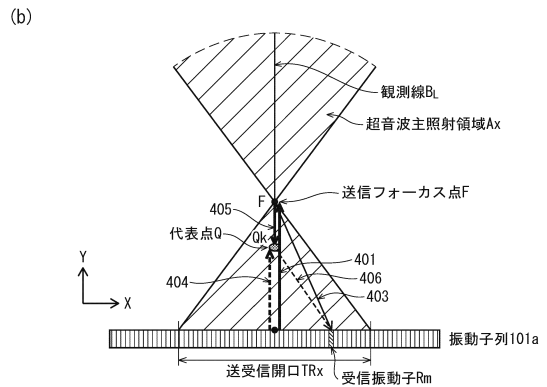
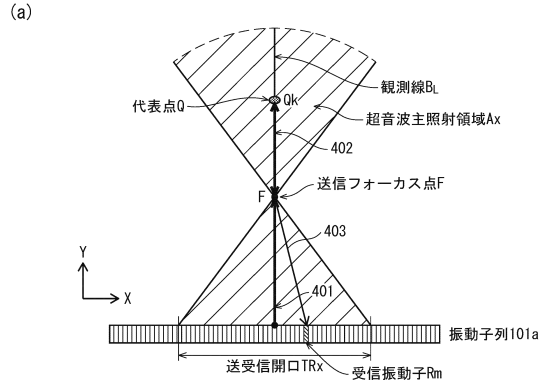
【図4】



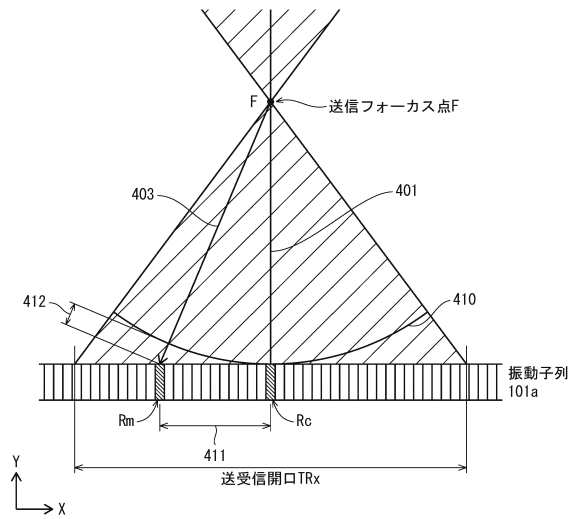
【図5】



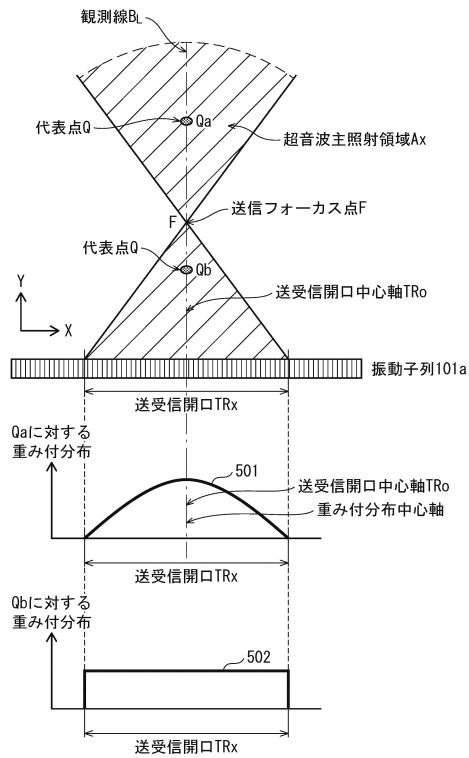
【図6】



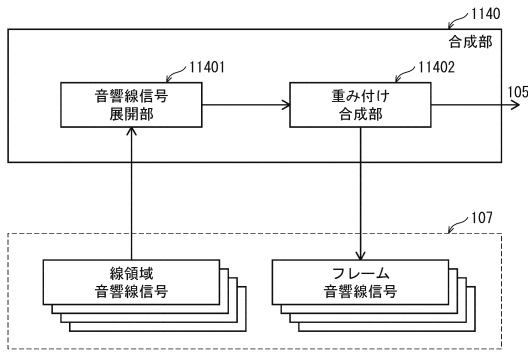
【図7】



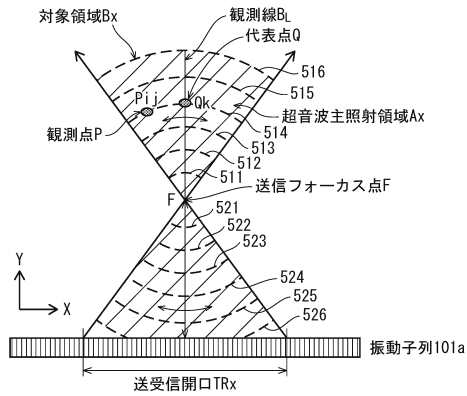
【図8】



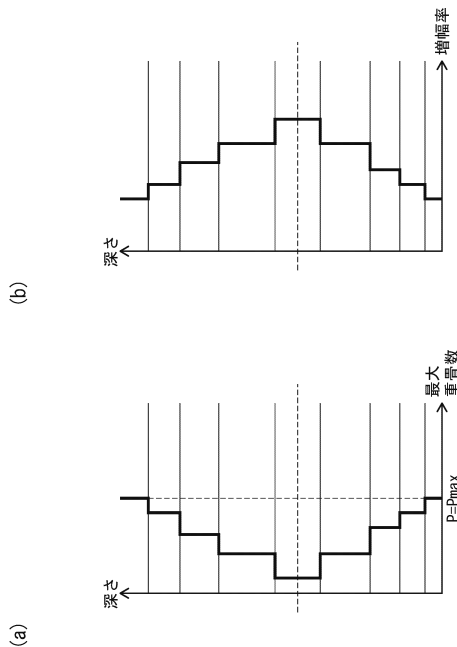
【図9】



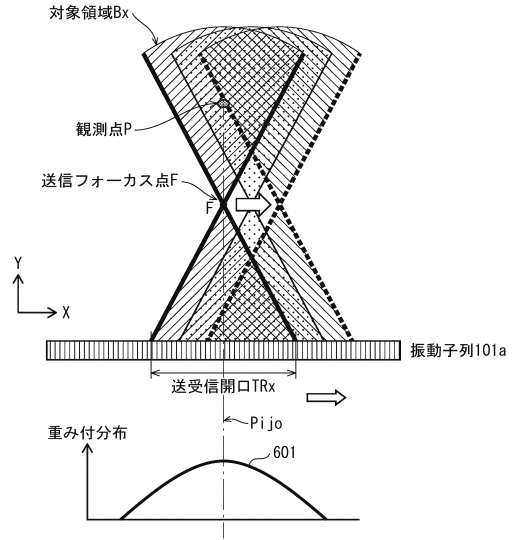
【図10】



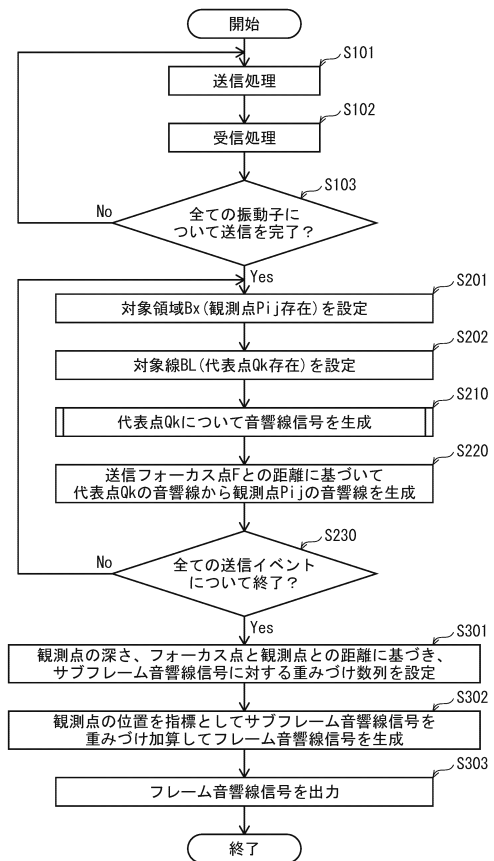
【図12】



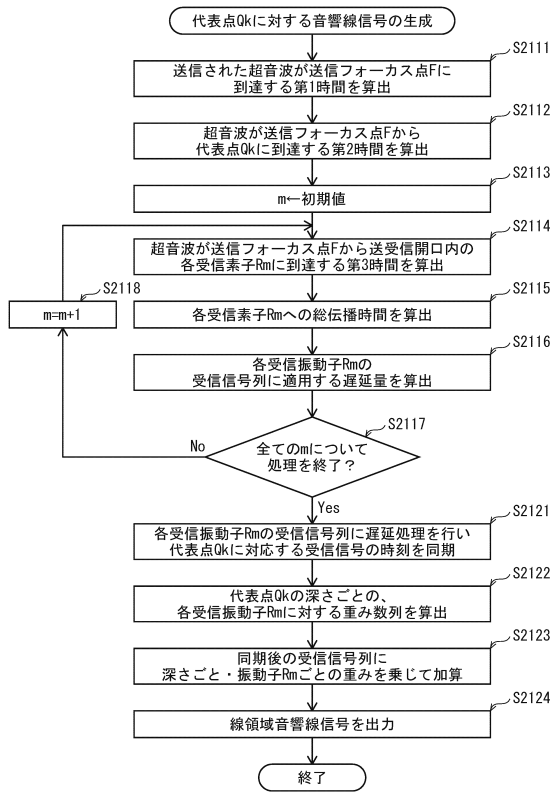
【図11】



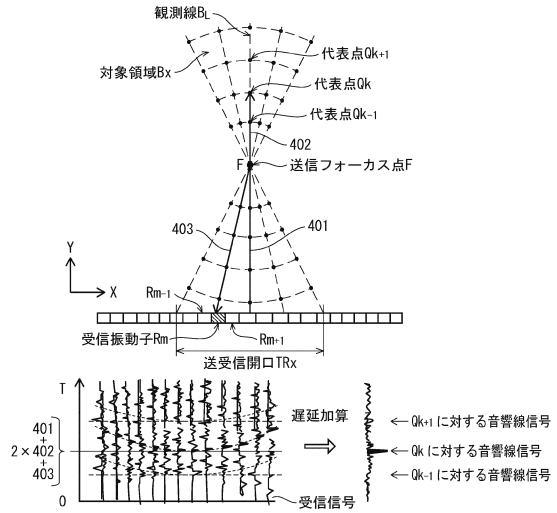
【図13】



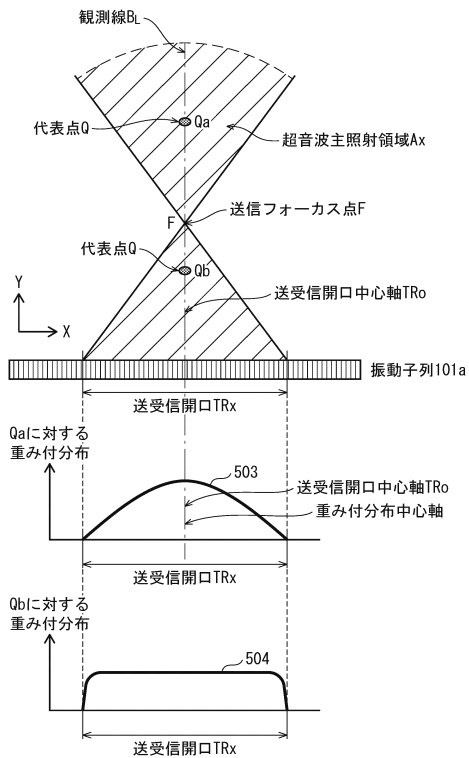
【図14】



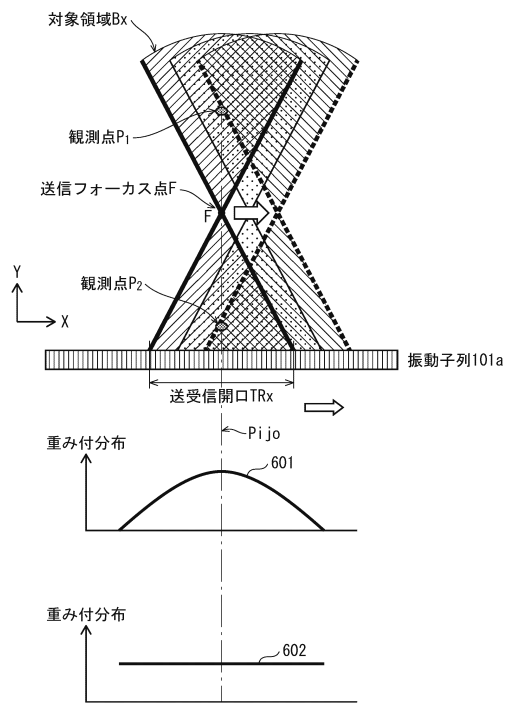
【図15】



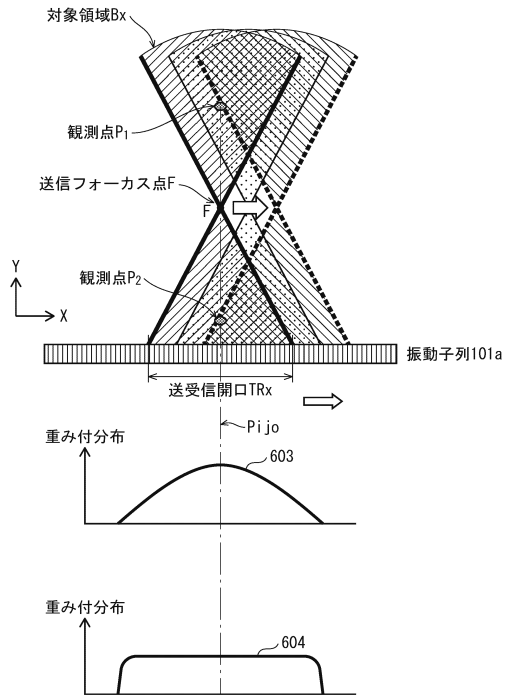
【図16】



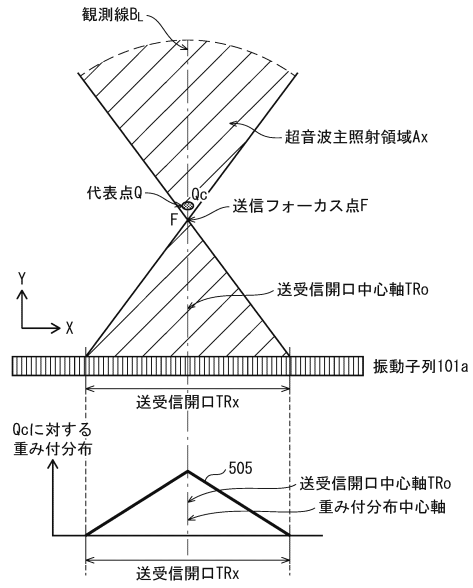
【図17】



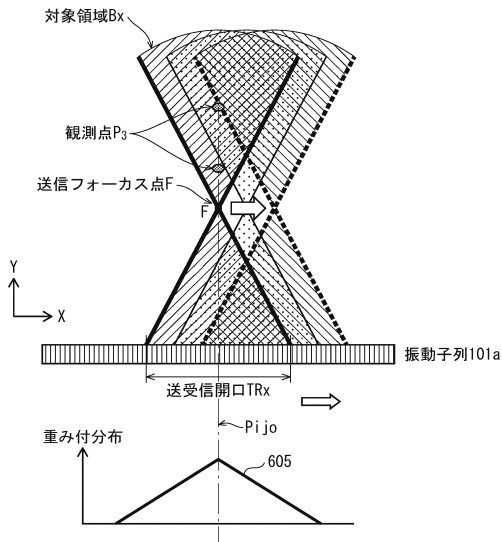
【図18】



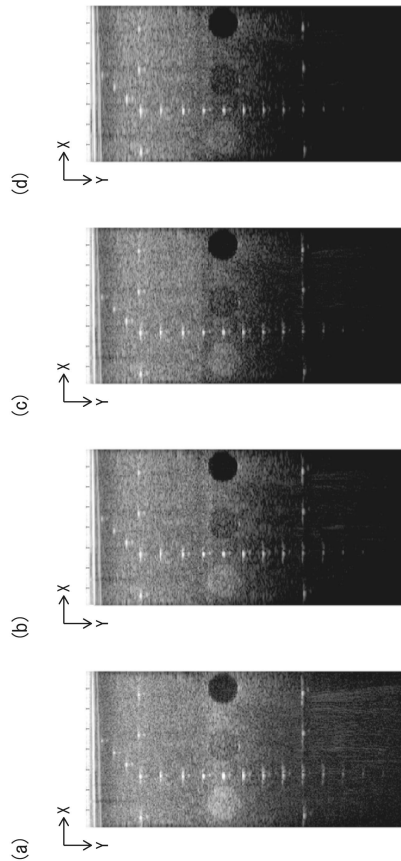
【図19】



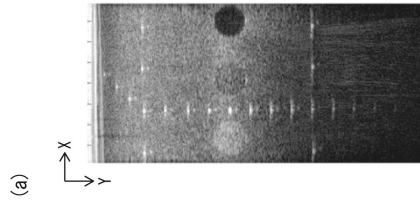
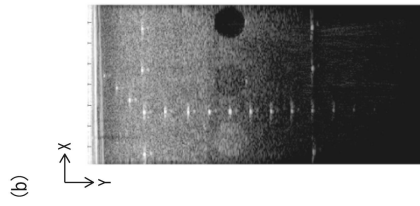
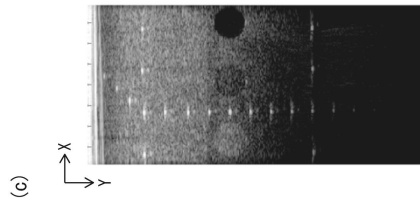
【図20】



【図21】



【 図 2 2 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2016-087453(JP,A)
米国特許出願公開第2016/0120503(US,A1)
国際公開第2015/025654(WO,A1)
特開昭62-047348(JP,A)
特開2004-283265(JP,A)
特表平10-506801(JP,A)
国際公開第1996/004588(WO,A1)
国際公開第2015/025655(WO,A1)
米国特許出願公開第2016/0174938(US,A1)
特開2016-185212(JP,A)
欧州特許出願公開第03073286(EP,A1)
国際公開第2016/060017(WO,A1)
欧州特許出願公開第03207878(EP,A1)
中国特許出願公開第105491954(CN,A)
中国特許出願公開第105997137(CN,A)
中国特許出願公開第107072641(CN,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A61B 8/00 - 8/15

专利名称(译)	超声波信号处理装置，超声波诊断装置以及超声波信号处理方法		
公开(公告)号	JP6708101B2	公开(公告)日	2020-06-10
申请号	JP2016227156	申请日	2016-11-22
[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		
当前申请(专利权)人(译)	柯尼卡美能达有限公司		
[标]发明人	津島峰生		
发明人	津島 峰生		
IPC分类号	A61B8/14		
CPC分类号	A61B8/145 A61B8/4444 A61B8/4488 A61B8/5207 G01S7/5202 G01S7/52025 G01S15/8927 G01S15/8997 G10K11/346 G01S15/8934		
FI分类号	A61B8/14		
F-TERM分类号	4C601/BB08 4C601/EE04 4C601/EE07 4C601/EE08 4C601/EE14 4C601/HH25 4C601/HH38 4C601/JB11 4C601/LL07		
其他公开文献	JP2018082835A		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

超声信号处理设备执行发送事件,接收反射的超声波,生成接收信号序列,并合成子帧声线信号以获得声线信号。该装置包括:发射器,其选择发射/接收振荡器阵列并且引导发射/接收振荡器阵列将超声束发射到目标区域;以及接收器,产生接收信号序列;产生线区域声线信号的定相加法器;声线信号显示器,其将线区域声线信号分配为声线信号以生成子帧声线信号;加权合成器,对子帧声线信号加权,并将子帧声线信号合成为帧声线信号,其中,在第一权重分布图和第二权重分布图之一中,第一权重序列具有较大的权重 湍流,而不是第二重物序列。

(19) 日本国特許庁 (JP)	(12) 特 許 公 報 (B2)	(11) 特許番号 特許第6708101号 (P6708101)
(45) 発行日 令和2年6月10日 (2020. 6. 10)	(24) 登録日 令和2年5月25日 (2020. 5. 25)	
(51) Int. Cl. A 6 1 B 8 / 1 4 (2006. 01)	F I A 6 1 B 8 / 1 4	
請求項の数 12 (全 36 頁)		
(21) 出願番号 特願2016-227156 (P2016-227156)	(73) 特許権者 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	
(22) 出願日 平成28年11月22日 (2016. 11. 22)	(74) 代理人 110001900 特許業務法人 ナカジマ知的財産総合事務所	
(65) 公開番号 特開2018-82835 (P2018-82835A)	(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	
(43) 公開日 平成30年5月31日 (2018. 5. 31)	審査官 森口 正治	
審査請求日 平成31年3月27日 (2019. 3. 27)		最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波信号処理装置、超音波診断装置、および、超音波信号処理方法