

(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2017-169635

(P2017-169635A)

(43) 公開日 平成29年9月28日(2017.9.28)

(51) Int.Cl.
A61B 8/06 (2006.01)F I
A61B 8/06テーマコード (参考)
4C601

審査請求 未請求 請求項の数 14 O L (全 36 頁)

(21) 出願番号 特願2016-56225 (P2016-56225)
(22) 出願日 平成28年3月18日 (2016.3.18)(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
Fターム(参考) 4C601 DD03 DE04 EE04 EE08 HH14
HH28 JB05

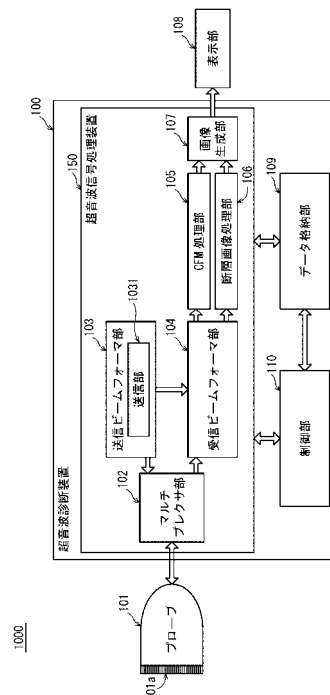
(54) 【発明の名称】 超音波信号処理装置、超音波信号処理方法、及び、超音波診断装置

(57) 【要約】

【課題】 フレームレートの向上とアンサンブル数の増加を両立させ、さらに、カラードプラ画像の品質を向上させる。

【解決手段】 超音波プローブに列設された複数の振動子を選択的に駆動して被検体に対して超音波送受信を実行し、カラーフローマッピング法による速度解析を行う超音波診断装置において、1回の送信イベントセットに含まれる複数の送信サブイベントごとに超音波を送信し、受信信号列を送信イベントごとに生成し、送信イベントごとに主対象領域と副対象領域とに含まれる複数の観測点について、各観測点から得られた反射超音波に基づく前記受信信号列を整相加算して音響線信号を生成し、観測点ごとに平均速度を算出する超音波診断装置において、送信された超音波が観測点に到達する送信時間の算出方法を観測点の深さに応じて変更する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

超音波プローブに列設された複数の振動子を選択的に駆動して被検体に対する超音波送受信を実行してカラーフローマッピング法による速度解析を行う超音波信号処理装置であって、

前記複数の振動子から送信振動子列を選択し、1回の送信イベントセットに含まれる複数の送信サブイベントごとに、前記送信振動子列から超音波が被検体中で集束するように送信する送信部と、

前記複数の振動子から選択した受信振動子列の振動子各々に対する受信信号列を、前記送信イベントごとに、当該振動子が受波した反射超音波に基づいて生成する受信部と、

前記送信イベントごとに、前記被検体内で超音波が集束するエリアに対応する領域を含む主対象領域と前記主対象領域に対して列方向に隣接する副対象領域とに含まれる複数の観測点について、各観測点から得られた反射超音波に基づく前記受信信号列を整相加算して音響線信号を生成する整相加算部と、

前記送信サブイベントごとに前記音響線信号を直交検波して複素音響線信号を生成し、観測点ごとに、前記複素音響線信号の位相の時間変化に基づいて平均速度を算出する速度演算部と

を備え、

前記整相加算部は、前記主対象領域と前記副対象領域との少なくとも一方において、送信された超音波が観測点に到達する送信時間の算出方法を前記観測点の深さに応じて変更する遅延処理を行う

ことを特徴とする超音波信号処理装置。

【請求項 2】

前記送信部は、送信イベントセットに同期して、超音波を送信する振動子列が列方向に、振動子複数個分のピッチで移動するように、前記送信イベントセットごとに前記複数の振動子から前記送信振動子列を選択し、

前記主対象領域と前記副対象領域との列方向における幅は、それぞれ、少なくとも前記ピッチ以上である

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】

前記送信部は、送信イベントセットに同期して、超音波を送信する振動子列が列方向に、振動子複数個分のピッチで移動するように、前記送信イベントセットごとに前記複数の振動子から前記送信振動子列を選択し、

前記副対象領域は第 1 副対象領域と第 2 副対象領域とからなり、送信イベントセットにおいて、列方向に、前記第 1 副対象領域、前記主対象領域、前記第 2 副対象領域の順に並び、

前記主対象領域、前記第 1 副対象領域、前記第 2 副対象領域の列方向におけるそれぞれの幅は、少なくとも前記ピッチ以上である

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 4】

前記整相加算部は、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の場合と前記フォーカス深さ未満の場合とで、前記送信時間の算出方法が異なる

ことを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の超音波信号処理装置。

【請求項 5】

前記整相加算部は、前記観測点が、前記送信振動子列を底辺とし、前記被検体内で超音波が集束するフォーカス深さに対応する前記列方向の幅が最も小さく、前記フォーカス深さとの差が大きい深さに対応する前記列方向の幅ほど幅が大きくなる領域に含まれる場合と含まれない場合とで、前記送信時間の算出方法が異なる

ことを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の超音波信号処理装置。

【請求項 6】

前記整相加算部は、前記主対象領域内の第 1 の観測点と、前記副対象領域内に存在し、前記第 1 の観測点と同じ深さの第 2 の観測点とで、前記送信時間の算出方法が異なることを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の超音波信号処理装置。

【請求項 7】

前記速度演算部は、前記送信イベントセットごとに、前記主対象領域に含まれる観測点について平均速度を第 1 速度として算出し、前記副対象領域に含まれる観測点について平均速度を第 2 速度として算出し、さらに、被検体内の同一位置に対応する観測点について、当該観測点の前記第 1 速度と、当該観測点の前記第 2 速度とから、当該観測点の平均速度を算出する

ことを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の超音波信号処理装置。

10

【請求項 8】

前記速度算出部は、複数の送信イベントセットで取得した、被検体内の同一位置に対応する観測点における前記複素音響線信号の位相の時間変化量の平均から、当該観測点の平均速度を算出する

ことを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の超音波信号処理装置。

【請求項 9】

前記整相加算部は、前記送信時間の算出方法の 1 つとして、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超音波が集束するエリア内の基準点に達するまでの第 1 時間と、前記基準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

20

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、前記送信時間の算出方法の 1 つとして、送信された超音波が前記送信振動子列の列中心から前記観測点に到達する時間を前記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 9 のいずれか 1 項に記載の超音波信号処理装置。

【請求項 11】

前記整相加算部は、前記送信時間の算出方法の 1 つとして、送信された超音波が前記送信振動子列から前記観測点に到達する最短時間を前記送信時間として算出する

30

ことを特徴とする請求項 1 から 10 のいずれか 1 項に記載の超音波信号処理装置。

【請求項 12】

前記整相加算部は、前記送信時間の算出方法の 1 つとして、(1) 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超音波が集束するエリア内の基準点に達するまでの第 1 時間と、前記基準点から前記観測点に到達する第 2 時間との合計、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下である場合には、前記第 1 時間から前記第 2 時間を減算した結果、(2) 送信された超音波が前記送信振動子列の列中心から前記観測点に到達する時間、(3) 送信された超音波が前記送信振動子列から前記観測点に到達する最短時間、のうち、2 以上を用いて算出した値を前記送信時間として算出する

40

ことを特徴とする請求項 1 から 11 のいずれか 1 項に記載の超音波信号処理装置。

【請求項 13】

前記超音波プローブが接続可能に構成された、

請求項 1 乃至 12 のいずれか 1 項に記載の超音波信号処理装置を備えた超音波診断装置。

【請求項 14】

超音波プローブに列設された複数の振動子を選択的に駆動して被検体に対する超音波送受信を実行し、カラーフローマッピング法による速度解析を行う超音波信号処理方法であって、

前記複数の振動子から送信振動子列を選択し、1 回の送信イベントセットに含まれる複

50

数の送信サブイベントごとに、前記送信振動子列から超音波が被検体中で集束するように送信し、

前記複数の振動子から選択した受信振動子列の振動子各々に対する受信信号列を、前記送信イベントごとに、当該振動子が受波した反射超音波に基づいて生成し、

前記送信イベントごとに、前記被検体内で超音波が集束するエリアに対応する領域を含む主対象領域と前記主対象領域に対して列方向に隣接する副対象領域とに含まれる複数の観測点について、前記主対象領域と前記副対象領域との少なくとも一方において、送信された超音波が観測点に到達する送信時間の算出方法を前記観測点の深さに応じて変更する遅延処理を行うことで、各観測点から得られた反射超音波に基づく前記受信信号列を整相加算して音響線信号を生成し、

前記送信サブイベントごとに前記音響線信号を直交検波して複素音響線信号を生成し、観測点ごとに、前記複素音響線信号の位相の時間変化に基づいて平均速度を算出する

ことを特徴とする超音波信号処理方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波信号処理装置、超音波信号処理方法、及び、それを備えた超音波診断装置に関し、特に、カラーフローマッピング法を用いる超音波信号処理装置における受信ビームフォーミング処理方法、および、カラーフローマッピング演算処理に関する。

【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画像を生成し、モニタ（以後、「表示部」とする）上に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】

近年、多くの超音波診断装置には、カラーフローマッピング（CFM；Color Flow Mapping）法が具備されている。CFM法では、血流等の体内組織の動きによるエコーに発生するドプラシフト（周波数偏移）を検出し、速度情報を二次元画像として、二次元断層画像（Bモード断層画像）に重畳表示を行う。ドプラシフトの検出を行うためには、被検体内の同一の位置に繰り返し超音波を送受信する必要がある。以下、超音波が同一の位置に送受信される回数を「アンサンブル数」とよび、CFM法で生成された画像を「カラードプラ画像」と表記する。

【0004】

カラードプラ画像においては、アンサンブル数が大きくなるほど画質が向上する反面、必要な超音波の送受信回数が増加するためフレームレートが低下する課題が知られている。そのため、例えば、特許文献1や特許文献3に開示されている技術のように、アンサンブル数によらずカラードプラ画像の品質を向上する技術が検討されている。また、例えば、特許文献2に開示されている技術のように、アンサンブル数だけ同一の領域に繰り返し超音波の送受信を行わないことで、フレームレートを向上する技術が検討されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特表2011-500261号公報

【特許文献2】特開2002-224107号公報

【特許文献3】特開2005-177338号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

20

30

40

50

【0006】

しかしながら、アンサンブル数を増加させて画質を向上しようとしたときには、特許文献1や特許文献3に記載の技術を適用させるのが困難である。また、特許文献2に記載の技術では、さらなるフレームレートの向上を図ろうとすると、カラードプラ画像の品質を維持できない課題が存在する。

本発明は、上記課題に鑑みてなされたものであり、フレームレートを落とさず維持したままアンサンブル数を増加させ、さらに、カラードプラ画像の品質を向上させることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の一態様に係る超音波信号処理装置は、超音波プローブに列設された複数の振動子を選択的に駆動して被検体に対する超音波送受信を実行してカラーフローマッピング法による速度解析を行う超音波信号処理装置であって、前記複数の振動子から送信振動子列を選択し、1回の送信イベントセットに含まれる複数の送信サブイベントごとに、前記送信振動子列から超音波が被検体中で集束するように送信する送信部と、前記複数の振動子から選択した受信振動子列の振動子各々に対する受信信号列を、前記送信イベントごとに、当該振動子が受波した反射超音波に基づいて生成する受信部と、前記送信イベントごとに、前記被検体内で超音波が集束するエリアに対応する領域を含む主対象領域と前記主対象領域に対して列方向に隣接する副対象領域とに含まれる複数の観測点について、各観測点から得られた反射超音波に基づく前記受信信号列を整相加算して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音響線信号を直交検波して複素音響線信号を生成し、観測点ごとに、前記複素音響線信号の位相の時間変化に基づいて平均速度を算出する速度演算部とを備え、前記整相加算部は、前記主対象領域と前記副対象領域との少なくとも一方において、送信された超音波が観測点に到達する送信時間の算出方法を前記観測点の深さに応じて変更する遅延処理を行うことを特徴とする。

【発明の効果】

【0008】

本発明の一態様に係る超音波信号処理装置、超音波信号処理方法、及び、それを用いた超音波診断装置によれば、主対象領域、副対象領域に含まれる観測点について受信ビームフォーミングを切り替えることにより音響線信号の品質を向上させることができ、これにより、送信イベントセットの回数を削減するという手段によりフレームレートを向上させることができる。したがって、アンサンブル数の増加による送信イベントの回数増加を送信イベントセットの回数削減で相殺することが可能となり、フレームレートを維持したままアンサンブル数を増加させてカラードプラ画像の品質を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】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】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を示す模式図である。

【図6】実施の形態1に係る受信開口R_xと送信開口T_xとの関係を示す模式図である。

【図7】(a)は観測点P_{ij}の深さが送信フォーカス点F以上の場合、(b)は観測点P_{ij}の深さが送信フォーカス点F未満の場合のそれぞれにおける、送信時間の算出方法を説明するための模式図である。

【図8】実施の形態1に係る、CFM処理部105、断層画像処理部106、画像生成部107の構成を示す機能ブロック図である。

【図9】実施の形態1に係る、速度推定部1053における送信イベントセット間の合成

10

20

30

40

50

の動作を示す模式図である。

【図 10】実施の形態 1 に係る超音波診断装置 100 の動作を示すフローチャートである。

【図 11】受信ビームフォーマ部 104 における観測点 P_{ij} についての音響線信号の生成動作を示すフローチャートである。

【図 12】(a)、(b) はいずれも、観測点 P_{ij} の深さが送信フォーカス点 F 以上の場合における、送信時間の他の算出方法を説明するための模式図である。

【図 13】(a)、(b) はいずれも、観測点 P_{ij} の深さが送信フォーカス点 F 未満の場合における、送信時間の他の算出方法を説明するための模式図である。

【図 14】(a)、(b)、(c) はいずれも、送信時間の他の算出方法を説明するための模式図である。

10

【図 15】(a)、(b) はいずれも、他の形態の対象領域 B_x を示す模式図である。

【図 16】実施の形態 2 に係る、CFM 処理部 105A、断層画像処理部 106、画像生成部 107 の構成を示す機能ブロック図である。

【図 17】実施の形態 2 に係る、速度合成部 1054A における平均速度を合成する処理を示す模式図である。

【図 18】実施の形態 2 に係る超音波診断装置の動作を示すフローチャートである。

【図 19】(a)、(b) は、従来のカラーフローマッピング法における受信ビームフォーミングと対象領域を示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

20

【0010】

《発明を実施するための形態に至った経緯》

発明者は、カラードプラ画像を生成する超音波診断装置において、アンサンブル数とフレームレートを両立させるために各種の検討を行った。

C FM法を行う超音波診断装置において、従来、以下に示されるような送信ビームフォーミングおよび受信ビームフォーミングがなされている。図 19 (a) に模式図を示す。送信ビームフォーミングにおいては、被検体のある点（以下、「送信フォーカス点」とする）で超音波ビームがフォーカスを結ぶよう、波面を集束させる送信ビームフォーミングがなされている。一方、受信ビームフォーミングにおいては、送信フォーカス領域を列方向の中央とする領域から、2～4 素子分の音響線信号を生成することが、一般的に行われている。そして、送信フォーカス領域と音響線信号を生成する対象領域とが同一である超音波の送受信を複数回行い、送信フォーカス点と音響線信号を生成する対象領域とを対象領域の列方向の幅だけ移動させて超音波の送受信を行う。すなわち、同一の観測点から取得された複数の音響線信号において、送信フォーカス点の位置は一定である。一方で、1 フレームのカラードプラ画像の列方向の幅が 192 素子分であったとすると、1 フレーム分の画像を生成するには、送信フォーカス点を少なくとも 48 か所設ける必要がある。したがって、アンサンブル数が 10 である場合、1 フレームのカラードプラ画像を生成するために、B モード断層画像の取得を除いても、少なくとも、送信フォーカス点の数とアンサンブル数の積である 480 回は、超音波の送受信を行う必要がある。すなわち、フレームレートはアンサンブル数と反比例することとなる。

30

40

【0011】

そこで、フレームレートを向上させるため、例えば、引用文献 1 や引用文献 3 に開示されているように、アンサンブル数によらずカラードプラ画像の品質を向上する技術が検討されている。しかしながら、これらの技術は、アンサンブル数を増加させたい場合に、アンサンブル数増加による画質向上の利益と、当該技術による画質向上の利益とを共存させることが困難である。

【0012】

一方、アンサンブル数の増加とフレームレートの向上を両立させる手段としては、送信フォーカス領域と音響線信号を生成する対象領域との制御方法を変更するという手段が検討されている。もっとも単純な手段としては、1 つの送信フォーカス点に対して音響線を

50

生成する領域を拡大することが挙げられる。この手段によれば、1フレームのカラードブラ画像を生成するために必要な送信フォーカス点を削減することができるため、フレームレートを向上させることができる。反面、観測点と送信フォーカス点までの距離が音響線ごとに異なるため、送信フォーカス点に近い音響線信号と送信フォーカス点から遠い音響線信号との間で品質に差が生じ、列方向においてカラードブラ画像の品質ムラが生じる課題がある。そこで、引用文献2の技術では、送信フォーカス領域と音響線信号を生成する対象領域との移動ピッチを対象距離の列方向の幅より小さくすることで、アンサンブル数を維持したまま超音波送受信の回数の削減を図っている。具体的には、図19(b)の模式図のように、送信フォーカス点F1に対しては対象領域G1、送信フォーカス点F2に対しては対象領域G2、送信フォーカス点F3に対しては対象領域G3、送信フォーカス点F4に対しては対象領域G4を用いることで、音響線信号801を4種類の送信フォーカス点と対象領域とで取得している。しかしながら、この方法においても、対象領域を引用文献2に開示されている程度から拡大させると、送信フォーカス点から遠い音響線信号の品質劣化により、アンサンブル数を増加させた効果が十分に得られないことが判明した。

10

【0013】

従来、受信ビームフォーミングにおいては、観測点の深さを基準として整相加算を行っている。すなわち、図19(a)に示しているように、観測点Pと振動子列との最短経路701を超音波が通過する時間を、振動子列から送信された超音波が観測点Pに到達した送信時間とする。そして、観測点Pと受信振動子との経路702を超音波が通過する時間を、観測点Pから反射された超音波が受信振動子に到達した受信時間とする。そして、送信時間と受信時間の和を総伝播時間とし、総伝播時間を用いて各受信振動子が生成した受信信号列に遅延処理を行うことで、整相加算を行っている。これは、カラードブラ画像を生成するための演算量が少なくなく、1回の超音波送受信に係る信号処理に長時間かけることができないため、演算を単純化するためである。また、対象領域の幅が2～4素子分程度と小さい場合には、振動子列から送信された超音波が観測点Pに到達する実際の所要時間と、計算上の送信時間との誤差が小さいため、この誤差を無視してもカラードブラ画像の品質には大きく劣化しない。しかしながら、対象領域を拡大した場合には、送信フォーカス点から列方向の位置が遠くなるほど、すなわち、対象領域の列方向における中央から遠ざかるほど、振動子列から送信された超音波が観測点Pに到達する実際の所要時間と、計算上の送信時間との誤差が大きくなる。その結果、この誤差による音響線信号の品質劣化により、アンサンブル数を増加させた効果が十分に得られないことになってしまう。

20

30

【0014】

そこで、発明者は、上記課題に鑑み、受信ビームフォーミングにおける送信時間の計算方法を改善することで上記誤差の発生を抑制するという、実施の形態に係る超音波信号処理方法及びそれを用いた超音波診断装置に想到するに至ったものである。

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。

【0015】

《実施の形態1》

40

＜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。

図1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を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108を有する。プローブ101、表示部108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108が接続された状態を示して

50

いる。なお、プローブ101と、表示部108とは、超音波診断装置100の内部にあってもよい。

【0016】

＜超音波診断装置100の構成＞

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からの出力信号を周波数解析しカラーフロー情報を生成するCFM処理部105、受信ビームフォーマ部104からの出力信号に基づいて断層画像（Bモード画像）に対応するフレーム音響線信号を生成する断層画像生成部106、フレーム音響線信号をBモード断層画像に変換しカラーフロー情報を重畳してカラードプラ画像を生成、表示部108に表示させる画像生成部107、受信ビームフォーマ部104が出力する音響線信号、CFM処理部105が出力するフレームCFM信号、及び断層画像生成部106が出力するフレーム音響線信号を保存するデータ格納部109と、各構成要素を制御する制御部110を備える。

10

【0017】

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、CFM処理部105、断層画像処理部106、画像生成部107は、超音波信号処理装置150を構成する。

20

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、CFM処理部105、断層画像処理部106、画像生成部107、制御部110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。

【0018】

データ格納部109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109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。

30

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。

40

【0019】

＜各構成要素の説明＞

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信開口Txに含ま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。

【0020】

送信部1031は、制御部110からの送信制御信号に基づき、プローブ101に存す

50

る複数の振動子101a中、送信開口Txに含まれる各振動子に超音波ビームを送信させるための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。

【0021】

送信部1031は、一連の超音波送信ごとに送信開口Txを列方向に、所定の移動ピッチ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に存する全ての振動子101aから超音波送信を行う。ここで、移動ピッチMpは、振動子の列方向の幅に2以上の整数を乗算したものであり、本実施の形態では、一例として、振動子の列方向の幅の4倍である。また、一連の超音波送信は、少なくとも2回以上であり、本実施の形態では、一例として、10回である。すなわち、本実施の形態では、10回の超音波送信ごとに、送信開口Txが4素子分ずつ移動していく。送信開口Txに含まれる振動子の位置を示す情報は制御部110を介してデータ格納部109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、送信開口Tx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、超音波送信毎に移動ピッチMpだけ移動させる構成としてもよい。以後、送信部1031により同一の送信開口Txから行われる一連の超音波送信を「送信イベントセット」と総称し、送信イベントセットを構成する個々の超音波送信をそれぞれ「送信イベント」と称呼する。1回の送信でカバーできる領域は、高々数本分なので、1フレーム分のカラードプラ画像を構成するには、観測点をシフトし、1面をカバーできるように「送信イベント」および「送信イベントセット」を実施する必要がある。本実施の形態では、1の送信イベントセットに10の送信イベントが含まれる。すなわち、同一の送信開口Txを用いた超音波送信が10回行われた後、送信開口Txが4素子分移動し、同一の送信開口Txを用いた超音波送信が10回行われ、送信開口Txが4素子分移動し、が繰り返されることになる。

【0022】

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。ある送信イベントセットにおいて、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）を送信開口Txとして図示している。また、送信開口Txの列長を送信開口長と呼ぶ。

送信ビームフォーマ部103において、送信開口Tx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、送信開口Tx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）（以下、「送信フォーカス深さ」とする）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、送信開口Tx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、送信開口Tx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。言い換えれば、砂時計型の領域は、フォーカス深さより遠い深さほど、その幅が大きくなる。この砂時計型の領域が超音波主照射領域Axである。なお、送信ビームフォーマ部103は、送信フォーカス深さにおいて、波面がある領域、すなわち送信フォーカス領域に超音波が集束するように制御してもよい。

【0023】

なお、超音波主照射領域Axは、送信振動子列の各振動子から送波された超音波の位相が揃っている領域であり、超音波主照射領域Axの外部にも超音波送信波は伝播している

。もつとも、超音波主照射領域 A_x の外部においては、送信振動子列の各振動子から送波された超音波の位相が揃っていないため、超音波主照射領域 A_x 内部と比べて超音波送信波が劣化しており、特に、超音波主照射領域 A_x から遠ざかるほど劣化が顕著となる。逆に言えば、超音波主照射領域 A_x から振動子数個分離れた程度の近傍であれば、有意な音響線が生成できる程度には超音波送信波が到達している。

【0024】

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 で受波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サブフレーム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 1041 を備える。

10

【0025】

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、送信イベントセットに同期してプローブ 101 での超音波反射波の受波から得た電気信号を増幅した後 A/D 変換した受信信号 (RF 信号) を生成する回路である。送信イベントセットの順に時系列に受信信号を生成しデータ格納部 109 に出力し、データ格納部 109 に受信信号を保存する。

20

【0026】

ここで、受信信号 (RF 信号) とは、各振動子にて受波された反射超音波から変換された電気信号を増幅して A/D 変換したデジタル信号であり、各振動子にて受波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、送信開口 T_x 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波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。受波振動子の数は、送信開口 T_x に含まれる振動子の数よりも多いことが好ましい。また、受波振動子の数はプローブ 101 に存する振動子 101a の全数としてもよい。

30

【0027】

送信部 1031 は、送信イベントセットに同期して送信開口 T_x を列方向に移動ステップ M_p 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 109 に保存される。

【0028】

(2) 整相加算部 1041

整相加算部 1041 は、送信イベントセットに同期して、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 B_x を図 5 に示すように設定する。次に、対象領域 B_x 内に存する複数の観測点 P_{ij} 各々について、観測点から各受信振動子 R_k が受信した受信信号列を整相加算する。そして、各観測点における音響線信号の列を算出することによりサブフレーム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、受信開口設定部 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、及び加算部 1049 を備える。

40

50

【0029】

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B_xを図5に示すように設定する。「対象領域」とは、送信イベントセッ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B_x内の観測点P_{i j}について音響線信号が生成される。対象領域B_x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回の送信イベントセットに同期して計算の便宜上設定される。

【0030】

ここで、「サブフレーム音響線信号」とは、1回の送信イベントセットから生成される対象領域B_x内に存在する全ての観測点P_{i j}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回の送信イベントセットで得られ、対象領域B_x内に存在する全ての観測点P_{i j}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。

【0031】

対象領域設定部1042は、送信イベントセットに同期して、送信ビームフォーマ部103から取得する送信開口T_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の範囲は、送信フォーカス点Fを含み、列方向の幅が送信ピッチM_pの3倍となるように設定される。本実施の形態では、送信フォーカス点Fを中心とし、列方向の幅が12素子分である長方形の形状である。なお、送信ピッチM_pが例えば6素子分であれば、対象領域B_xの列方向の幅は、18素子分となる。なお、対象領域B_xは、列方向に主対象領域B_{x1}、副対象領域B_{x2}、B_{x3}の3領域に区分される。すなわち、主対象領域B_{x1}は、送信フォーカス点Fを含む4素子分の幅の領域である。また、副対象領域B_{x2}、B_{x3}は主対象領域B_{x1}Aを挟むように主対象領域B_{x1}に対して列方向に隣接する。さらに、主対象領域B_{x1}、副対象領域B_{x2}、B_{x3}のそれぞれは、送信フォーカス点Fの深さを基準に2領域に区分される。つまり、主対象領域B_{x1}は、深さが送信フォーカス点F以上である領域B_{x1}A、深さが送信フォーカス点F未満である領域B_{x1}Bに区分される。同様に、副対象領域B_{x2}は、深さが送信フォーカス点F以上である領域B_{x2}A、深さが送信フォーカス点F未満である領域B_{x2}Bに区分される。同様に、副対象領域B_{x3}は、深さが送信フォーカス点F以上である領域B_{x3}A、深さが送信フォーカス点F未満である領域B_{x3}Bに区分される。

【0032】

なお、深さが送信フォーカス深さの観測点は主対象領域B_{x1}A、副対象領域B_{x2}A、B_{x3}Aのいずれかに含まれるとしたが、深さが送信フォーカス点Fより深い領域を主対象領域B_{x1}A、副対象領域B_{x2}A、B_{x3}Aとし、深さが送信フォーカス点F以下である領域を主対象領域B_{x1}B、副対象領域B_{x2}B、B_{x3}Bとしてもよい。

設定された対象領域B_xは送信時間算出部1044、受信時間算出部1045、遅延処理部1047に出力される。

【0033】

i i) 受信開口設定部1043

受信開口設定部1043は、制御部110からの制御信号と、送信ビームフォーマ部103からの送信開口T_xの位置を示す情報とに基づき、プローブ101に存する複数の振動子の一部に当たり、列中心が観測点Pに最も空間的に近接する振動子と合致する振動子列（受信振動子列）を受信振動子として選択して受信開口R_xを設定する回路である。

【0034】

受信開口設定部1043は、列中心が観測点Pに最も空間的に近接する振動子と合致するよう受信開口R_x振動子列を選択する。図6は、受信開口設定部1043により設定された受信開口R_xと送信開口T_xとの関係を示す模式図である。図6に示すように、受信

10

20

30

40

50

開口 R_x 振動子列の列中心が、観測点 P_{ij} に最も空間的に近接する振動子 X_k と合致するように受信開口 R_x 振動子列が選択される。そのため、受信開口 R_x の位置は、観測点 P_{ij} の位置によって定まり、送信イベントセットに同期して変動する送信開口 T_x の位置に基づいては変化しない。すなわち、異なる送信イベントセットであっても、同一位置にある観測点 P_{ij} についての音響線信号を生成する処理においては、同一の受信開口 R_x 内の受信振動子 R_i によって取得された受信信号に基づき整相加算が行われる。

【0035】

また、対象領域 B_x 全体からの反射波を受信するために、受信開口 R_x に含まれる振動子の数は、対応する送信イベントセットにおける送信開口 T_x に含まれる振動子の数以上に設定することが好ましい。受信開口 R_x を構成する振動子列の数は、例えば 32、64、96、128、192 等としてもよい。

10

受信開口 R_x の設定は、送信イベントセットに対応して、少なくとも送信イベントセットと同じ回数だけ行われる。また、受信開口 R_x の設定は、送信イベントセットに同期して漸次行われる構成であってもよく、あるいは、全ての送信イベントセットが終了した後に、各送信イベントセットに対応した受信開口 R_x の設定が送信イベントセットの回数分まとめて行われる構成であってもよい。

【0036】

選択された受信開口 R_x の位置を示す情報は制御部 110 を介してデータ格納部 109 に出力される。

データ格納部 109 は、受信開口 R_x の位置を示す情報と受信振動子に対応する受信信号とを、送信時間算出部 1044、受信時間算出部 1045、遅延処理部 1047、重み算出部 1048 に出力する。

20

【0037】

i i i) 送信時間算出部 1044

送信時間算出部 1044 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。送信イベントセットに対応して、データ格納部 109 から取得した、送信開口 T_x に含まれる振動子の位置を示す情報と、対象領域設定部 1042 から取得した対象領域 B_x の位置を示す情報とに基づき、対象領域 B_x 内に存在する任意の観測点 P_{ij} について、送信された超音波が被検体中の観測点 P_{ij} に到達する送信時間を算出する。

30

【0038】

ここで、送信時間算出部 1044 は、主対象領域 B_{x1A} と B_{x1B} 、副領域 B_{x2A} と B_{x2B} 、 B_{x3A} と B_{x3B} の少なくとも 1 つの組み合わせにおいて、送信時間の算出方法を変更する。例えば、送信時間算出部 1044 は、主対象領域 B_{x1A} 、副領域 B_{x2A} 、 B_{x3A} と、主対象領域 B_{x1B} 、副領域 B_{x2B} 、 B_{x3B} との間で、送信時間の算出方法を変更する。

【0039】

図 7 は、送信開口 T_x から放射され対象領域 B_x 内の任意の位置にある観測点 P_{ij} において反射され受信開口 R_x 内に位置する受信振動子 R_k 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。ここで、図 7 (a) は観測点 P_{ij} が主対象領域 B_{x1A} 、副領域 B_{x2A} 、 B_{x3A} のいずれかに存在する場合、図 7 (b) は観測点 P_{ij} が主対象領域 B_{x1B} 、副領域 B_{x2B} 、 B_{x3B} のいずれかに存在する場合である。

40

【0040】

まず、観測点 P_{ij} が主対象領域 B_{x1A} 、副領域 B_{x2A} 、 B_{x3A} のいずれかに存在する場合について説明する。このとき、送信フォーカス点 F を基準とした算出方法を用いる。つまり、送信開口 T_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 を通って観測点 P_{ij} に到達したもののとして算出する。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 T_R となる。具体的な算出方法としては、例えば、経路 401 の長さ L_1 と経路 402 の長さ L_2 とを加算した全経路長を、被検体内における超音波

50

の伝搬速度で除算することで求められる。

【0041】

一方、観測点 P_{ij} が主対象領域 $B \times 1 B$ 、副領域 $B \times 2 B$ 、 $B \times 3 B$ のいずれかに存在する場合について、図7(b)を用いて説明する。このとき、送信開口 T_x から放射された送信波が、観測点 P_{ij} と同じ深さの参照点 R に到達した時刻に、観測点 P_{ij} にも到達したものとして算出する。したがって、送信波が送信開口 T_x 振動子列の中心から参照点 R までの経路404を通過する時間が、送信時間 T_p となる。具体的な算出方法としては、例えば、経路404の長さを、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。

【0042】

送信時間算出部1044は、1回の送信イベントセットに対し、対象領域 $B \times$ 内の全ての観測点 P_{ij} について、送信された超音波が被検体中の観測点 P_{ij} に到達する送信時間を算出して遅延量算出部1046に出力する。

i v) 受信時間算出部1045

受信時間算出部1045は、観測点 P からの反射波が、受信開口 R_x に含まれる受波振動子 R_k の各々に到達する受信時間を算出する回路である。送信イベントセットに対応して、データ格納部109から取得した受信振動子 R_k の位置を示す情報と、対象領域設定部1042から取得した対象領域 $B \times$ の位置を示す情報とに基づき対象領域 $B \times$ 内に存在する任意の観測点 P_{ij} について、送信された超音波が被検体中の観測点 P_{ij} で反射され受信開口 R_x の各受信振動子 R_k に到達する受信時間を算出する。

【0043】

観測点 P_{ij} に到達した送信波は、観測点 P_{ij} 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101における受信開口 R_x 内の各受波振動子 R_k に戻っていく。受信開口 R_x 内の各受波振動子 R_k の位置情報はデータ格納部109から取得されるので、任意の観測点 P_{ij} から各受波振動子 R_k までの経路403の長さは幾何学的に算出することができる。

【0044】

受信時間算出部1045は、1回の送信イベントセットに対し、対象領域 $B \times$ 内に存在する全ての観測点 P_{ij} について、送信された超音波が観測点 P_{ij} で反射して各受波振動子 R_k に到達する受信時間を算出して遅延量算出部1046に出力する。

v) 遅延量算出部1046

遅延量算出部1046は、送信時間と受信時間とから受信開口 R_x 内の各受波振動子 R_k への総伝播時間を算出し、当該総伝播時間に基づいて、各受波振動子 R_k 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1046は、送信時間算出部1044から送信された超音波が観測点 P_{ij} に到達する送信時間と、観測点 P_{ij} で反射して各受波振動子 R_k に到達する受信時間を取得する。そして、送信された超音波が各受波振動子 R_k へ到達するまでの総伝播時間を算出し、各受波振動子 R_k に対する総伝播時間の差異により、各受波振動子 R_k に対する遅延量を算出する。遅延量算出部1046は、対象領域 $B \times$ 内に存在する全ての観測点 P_{ij} について、各受波振動子 R_k に対する受信信号の列に適用する遅延量を算出して遅延処理部1047に出力する。

【0045】

v i) 遅延処理部1047

遅延処理部1047は、送信サブイベントごとに、取得した受信開口 R_x 内の受波振動子 R_k に対する受信信号の列から、各受波振動子 R_k に対する遅延量に相当する受信信号を、観測点 P_{ij} からの反射超音波に基づく各受波振動子 R_k に対応する受信信号として同定する回路である。

【0046】

遅延処理部1047は、送信イベントセットに対応して、受信開口設定部1043から受波振動子 R_k の位置を示す情報、対象領域設定部1042から取得した対象領域 $B \times$ の位置を示す情報、遅延量算出部1046から各受波振動子 R_k 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、送信サブイベントに対応して、データ格納部109から受波振動子 R_k に対応する受信信号を入力として取得し、各受波振動子 R_k に対応する受信信号の列から、各受波振動子 R_k に対する遅延量を差引いた時間に対応する受信信号を当該送信イベントにおける観測点 P_{ij} からの反射波に基づく受信信号として同定し、加算部1049に出力する。

【0047】

v i i) 重み算出部1048

重み算出部1048は、受信開口 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信振動子 R_k に対する重み数列（受信アボダイゼーション）を算出する回路である。

図6に示すように、重み数列は受信開口 R_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。重み数列の分布の形状は、ハミング窓、ハニング窓、矩形窓などを用いることができ、分布の形状は特に限定されない。重み数列は、受信開口 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に設定され、重みの分布の中心軸は、受信開口中心軸 R_{xo} と一致する。重み算出部1048は、受信開口設定部1043から出力される受波振動子 R_k の位置を示す情報を入力として、各受波振動子 R_k に対する重み数列を算出し加算部1049に出力する。

【0048】

v i i i) 加算部1049

加算部1049は、送信イベントごとに、遅延処理部1047から出力される各受波振動子 R_k に対応して同定された受信信号を入力として、それらを加算して、観測点 P_{ij} に対する整相加算された音響線信号を生成する回路である。あるいは、さらに、重み算出部1048から出力される各受波振動子 R_k に対する重み数列を入力として、各受波振動子 R_k に対応して同定された受信信号に、各受波振動子 R_k 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を生成する構成としてもよい。遅延処理部1047において受信開口 R_x 内に位置する各受波振動子 R_k が検出した受信信号の位相を整えて加算部1049にて加算処理をすることにより、観測点 P_{ij} からの反射波に基づいて各受波振動子 R_k 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、観測点 P_{ij} からの受信信号を抽出することができる。

【0049】

1回の送信イベントとそれに伴う処理から、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ことができる。そして、送信イベントセットに同期して送信開口 T_x を列方向に移動ピッチ M_p 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フレーム内のすべての観測点に対する音響線信号を含む、複数のサブフレーム音響線信号を生成する。

【0050】

加算部1049により、送信イベントセットに同期して対象領域 B_x 内に存在する全ての観測点 P_{ij} に対するサブフレームの音響線信号が生成される。生成されたサブフレームの音響線信号は、データ格納部109に出力され保存される。

3. CFM処理部105の構成

CFM処理部105は、複数の送信イベントセットのそれぞれで得た複数のサブフレーム音響線信号に基づき、周波数解析を行って、フレームCFM信号を生成する。なお、「CFM信号」とは、ある観測点に対する、速度情報を示す信号である。速度情報については後述する。図8は、CFM処理部105、断層画像処理部106、画像生成部107の構成を示す機能ブロック図である。図8に示すように、CFM処理部105は、直交検波部1051、フィルタ部1052、速度推定部1053を備える。

【0051】

以下、CFM処理部105を構成する各部の構成について説明する。

(1) 直交検波部1051

10

20

30

40

50

直交検波部 1051 は、送信イベントに同期して生成されるサブフレーム音響線信号のそれぞれに対して直交検波を行い、各観測点における受信信号の位相を示す複素音響線信号を生成する回路である。具体的には以下の処理が行われる。まず、送信超音波と周波数が同一である第 1 参照信号と、第 1 参照信号と周波数及び振幅が同一で位相のみ 90° 異なっている第 2 参照信号とを生成する。次に、音響線信号と第 1 参照信号を積算し、LPF により第 1 参照信号の約 2 倍の周波数を有する高周波成分を取り除き、第 1 成分とする。同様に、音響線信号と第 2 参照信号を積算し、LPF により第 2 参照信号の約 2 倍の周波数を有する高周波成分を取り除いて第 2 成分とする。最後に、第 1 成分を実部（I 成分；In Phase）、第 2 成分を虚部（Q 成分；Quadrature Phase）として、複素音響線信号を生成する。

10

【0052】

（2）フィルタ部 1052

フィルタ部 1052 は、複素音響線信号からクラッタを取り除くフィルタ回路である。クラッタとは、組織の動きのうち、画像化の対象としない成分のことであり、具体的には、血管壁、筋肉、臓器などの組織の動きを示す情報である。クラッタは血流を示す信号よりパワーが大きい、組織の動きは血流に比べて遅いため、血流を示す信号より周波数が低い。そのため、クラッタのみを選択的に取り除くことが可能である。フィルタ部 1052 は、既知のいわゆる「ウォールフィルタ」、「MTI（Moving Target Indicator）フィルタ」を適用することができる。

20

【0053】

（3）速度推定部 1053

速度推定部 1053 は、フィルタ処理された後の複素音響線信号から、各観測点に対応する被検体内の動き、具体的には血流を推定する回路である。速度推定部 1053 は、各観測点について、複数の送信イベントセットに係る複数の送信イベントに対応する各複素音響線信号から位相を推定し、位相の変化速度を算出する。このとき、同一の観測点に関する複素音響線信号であれば、どの送信イベントで取得したかに関わらず、区別なく使用する。図 9 は、速度推定部 1053 における送信イベントセット間の合成の動作を示す模式図である。図 9 に示す観測点 P_{ij} は、領域 451 を対象領域 B_x とする送信イベントセットにおいて、10 回の送信サブイベントにより、副対象領域 B_{x3A} の内部としての音響線信号が 10 個得られる。次の送信イベントセットでは対象領域 B_x が 4 素子分移動して領域 452 となるため、観測点 P_{ij} について、主対象領域 B_{x1A} の内部としての音響線信号が 10 個得られる。さらに次の送信イベントセットでは対象領域 B_x が 4 素子分移動して領域 453 となるため、観測点 P_{ij} について、副対象領域 B_{x2A} の内部としての音響線信号が 10 個得られる。これに対し、速度推定部 1053 は、当該観測点 P について、得られた複素音響線信号 30 個を区別することなくアンサンブルとして使用し、位相の変化速度を推定する。なお、速度推定部 1053 は、得られた 30 個の複素音響線信号の間で相関処理を行うことにより、位相の変化速度を推定するとしてもよい。

30

【0054】

速度推定部 1053 は、位相の変化速度から各観測点で生じたドブラシフト量を算出し、ドブラシフト量から、平均速度を推定する。速度推定部 1053 は、平均速度を超音波の送信方向（被検体の深さ方向）に連なった信号の列としたフレーム CFM 信号を生成し、画像生成部 107 とデータ格納部 109 に出力する。なお、速度推定部 1053 は、ドブラシフト量のパワースペクトルを基に、速度の分散値やパワーをさらに算出するとしてもよい。

40

【0055】

4. 断層画像処理部 106 の構成

断層画像処理部 106 は、複数の送信イベントセットのそれぞれで得たサブフレーム音響線信号を合成し、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。図 8 に示すように、断層画像処理部 106 は、加算処理部 1061、増幅処理部 1062 を備える。

50

【0056】

以下、断層画像処理部106を構成する各部の構成について説明する。

(1) 加算処理部1061

加算処理部1061は、フレーム音響線信号を合成するための一連のサブフレーム音響線信号の生成が終了したのち、データ格納部109に保持されている複数のサブフレーム音響線信号を読み出す。そして、各サブフレーム音響線信号に含まれる音響線信号が取得された観測点 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加算することにより、各観測点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。そのため、複数のサブフレーム音響線信号に含まれる同一位置の観測点に対する音響線信号は加算されて合成音響線信号が生成される。

10

【0057】

また、位置の異なる複数の対象領域にまたがって存在する観測点については、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。

なお、各サブフレーム音響線信号に含まれる音響線信号が取得された観測点の位置を指標として加算する際に、観測点の位置を指標として重みづけしながら加算してもよい。

【0058】

合成されたフレーム音響線信号は増幅処理部1062に出力される。

(2) 増幅処理部1062

上述のとおり、合成音響線信号の値は動き量に応じて変化する。また、被検体の深さ方向においても変化する。これを補うために、増幅処理部1062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。

20

【0059】

増幅率は、最大重畳数が被検体の深さ方向において変化するもので、この変化を補うような値が用いられる。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。

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。

30

【0060】

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。

増幅処理部1062は、フレーム音響線信号を画像生成部107とデータ格納部109に出力する。

5. 画像生成部107の構成

画像生成部107は、断層画像生成部106が生成したフレーム音響線信号をBモード断層画像に変換し、CFM処理部105が生成したフレームCFM信号を色調変換して重畳することでカラードプラ画像を生成するための回路である。図8に示すように、画像生成部107は、カラーフロー生成部1071、断層画像生成部1072、画像合成部1073を備える。

40

【0061】

(1) カラーフロー生成部1071

カラーフロー生成部1071は、フレームCFM信号からカラードプラ画像を生成するための色調変換を行う回路である。具体的には、まず、フレームCFM信号の座標系を直交座標系に変換する。次に、各観測点の平均速度を色情報に変換してカラーフロー情報を生成する。このとき、例えば、(1)プローブに向かう向きは赤色、プローブから遠ざかる向きは青色、(2)速度の絶対値が大きいほど彩度が高く、絶対値が小さいほど彩度が

50

低い、のように変換を行う。より具体的には、プローブに向かう速度成分については速度の絶対値を赤色の輝度値に変換し、プローブから遠ざかる速度成分については速度の絶対値を青色の輝度値に変換する。

【0062】

なお、カラーフロー生成部1071は、CFM処理部105から速度分散を示す信号をさらに受信し、分散の値を緑の輝度値に変換してもよい。このようにすることで、乱流の発生位置を示すことができる。

カラーフロー生成部1071は、生成したカラーフロー情報を画像合成部1073に出力する。

【0063】

10

(2) 断層画像生成部1072

断層画像生成部1072は、フレーム音響線信号からBモード断層画像を生成する回路である。具体的には、まず、フレーム音響線信号の座標系を直交座標系に変換する。次に、各観測点の音響線信号の値を輝度に変換してBモード断層画像を生成する。具体的には、断層画像生成部1072は、音響線信号の値に対して包絡線検波を行い、対数圧縮を行うことで、輝度に変換する。断層画像生成部1072は、生成したBモード断層画像を画像合成部1073に出力する。

【0064】

(2) 画像合成部1073

画像合成部1073は、断層画像生成部1072が生成したBモード断層画像に、カラーフロー生成部1071が生成したカラーフロー情報を重畳してカラードブラ画像を生成し、表示部108に出力する回路である。これにより、Bモード断層画像上に血流の向きと速さ(速度の絶対値)を追加したカラードブラ画像が表示部108に表示される。

20

【0065】

<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10は、超音波診断装置100の動作を示すフローチャートである。

まず、ステップS10において、フレーム音響線信号の生成を行う。ここでは、後述の送信処理(ステップS101)と受信処理(ステップS102)を1つの対象領域に対して1回ずつ行い(すなわち、1の送信イベントのみを含む送信イベントセットを実施し)、ステップS220と同様の処理によりサブフレーム音響線を生成する。そして、断層画像生成部106が1のフレームに係る複数のサブフレーム音響線信号を合成してフレーム音響線信号を生成する。生成されたフレーム音響線信号は画像生成部107とデータ格納部109に出力される。

30

【0066】

次に、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Txに含まれる各振動子に超音波ビームを送信させるための送信信号を供給する送信処理(送信イベント)を行う。

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109に出力し、データ格納部109に受信信号を保存する。そして、1の送信イベントセットに含まれるすべての送信イベント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はステップS101に戻り、同一の送信開口を用いて送信サブイベントを行う。完了している場合はステップS210に進む。

40

【0067】

次に、ステップS210において、対象領域設定部1042は、送信イベントセットに同期して、送信開口Txの位置を示す情報と動き量とに基づき対象領域内Bxを設定する。送信フォーカス点Fの列方向の位置を列方向の中心軸とする対象領域Bxが設定される。

次に、観測点同期型ビームフォーミング処理(ステップS220(S221~S228

50

))に進む。ステップS220では、まず、観測点 P_{ij} の位置を示す座標 i, j を対象領域 B_x 内の最小値に初期化し(ステップS221、S222)、受信開口設定部1043は、列中心が観測点 P_{ij} に最も空間的に近接する振動子 X_k と合致するよう受信開口 R_x 振動子列を選択する(ステップS223)。

【0068】

次に、観測点 P_{ij} について音響線信号を生成する(ステップS224)。

ここで、ステップS224における、観測点 P_{ij} 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11は、受信ビームフォーマ部104における観測点 P_{ij} についての音響線信号の生成動作を示すフローチャートである。

まず、ステップS2241において、送信時間算出部1044は、対象領域 B_x 内に存在する任意の観測点 P_{ij} について、送信された超音波が被検体中の観測点 P_{ij} に到達する送信時間を算出する。送信時間は、(1)観測点 P_{ij} の深さがフォーカス深さ以上の場合には、幾何学的に定まる、送信開口 T_x の中心から送信フォーカス点 F を経由して観測点 P_{ij} に至る経路(401+402)の長さを超音波の音速 c_s で除することにより、(2)観測点 P_{ij} がフォーカス深さ未満である場合には、幾何学的に定まる、送信開口 T_x の中心から観測点 P_{ij} と同じ深さの参照点 R に至る経路404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。

【0069】

次に受信開口 R_x から求められる受信開口 R_x 内の受信振動子 R_k の位置を示す座標 k を受信開口 R_x 内の最小値に初期化し(ステップS2242)、送信された超音波が被検体中の観測点 P_{ij} で反射され受信開口 R_x の受信振動子 R_k に到達する受信時間を算出する(ステップS2243)。受信時間は、幾何学的に定まる観測点 P_{ij} から受信振動子 R_k までの経路403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、送信開口 T_x から送信された超音波が観測点 P_{ij} で反射して受信振動子 R_k に到達するまでの総伝播時間を算出し(ステップS2244)、受信開口 R_x 内の各受信振動子 R_k に対する総伝播時間の差異により、各受信振動子 R_i に対する遅延量を算出する(ステップS2245)。

【0070】

受信開口 R_x 内に存在する全ての受信振動子 R_k 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S2246)、完了していない場合には座標 k をインクリメント(ステップS2247)して、更に受信振動子 R_k について遅延量の算出を行い(ステップS2243)、完了している場合にはステップS2248に進む。この段階では、受信開口 R_x 内に存在する全ての受信振動子 R_k について観測点 P_{ij} からの反射波到達の遅延量が算出されている。

【0071】

ステップS2248において、遅延処理部1047は、それぞれの送信イベントにおける、受信開口 R_x 内の受信振動子 R_k に対応する受信信号の列から、各受信振動子 R_k に対する遅延量を差引いた時間に対応する受信信号を当該送信イベントにおける、観測点 P_{ij} からの反射波に基づく受信信号として同定する。

次に、重み算出部1048は、受信開口 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信振動子 R_k に対する重み数列を算出する(ステップS2249)。加算部1049は、各送信イベントに対して、各受信振動子 R_k に対応して同定された受信信号に、各受信振動子 R_k 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を生成し(ステップS2250)、生成された音響線信号はデータ格納部109に出力され保存される(ステップS2251)。

【0072】

図10に戻って説明を続ける。座標 i, j をインクリメントして上述のステップS223、S224を繰り返すことにより、対象領域 B_x 内の座標 i, j に位置する全ての観測点 P_{ij} について音響線信号が生成される。対象領域 B_x 内に存在する全ての観測点 P_{ij} について音響線信号の生成を完了したか否かを判定し(ステップS225、S227)、完

10

20

30

40

50

していない場合には座標 i, j をインクリメント（ステップ S 2 2 6、S 2 2 8）して、観測点 P_{ij} について音響線信号を生成し（ステップ S 2 2 4）、完了した場合にはステップ S 2 3 0 に進む。この段階では、1 回の送信イベントセットに伴う対象領域 B_x 内に存在する全ての観測点 P_{ij} について、送信サブイベントごとの音響線信号が生成され、データ格納部 1 0 9 に出力され保存されている。

【0073】

次に、プローブ 1 0 1 に存する全ての振動子 1 0 1 a から超音波送信が完了したか否かを判定し（ステップ 2 3 0）、完了していない場合にはステップ S 1 0 1 に戻り、送信開口 T_x を列方向に移動ステップ M_p だけ移動させた後送信イベントセットを行う。完了している場合にはステップ S 3 0 1 に進む。これにより、1 つの観測点について、主対象領域 B_{x1} の内部として取得した音響線信号、副対象領域 B_{x2} の内部として取得した音響線信号、副対象領域 B_{x3} の内部として取得した音響線信号がそれぞれ 1 0 ずつ、データ格納部 1 0 9 に保存されている。

【0074】

次に、ステップ S 3 0 1 において、CFM 処理部 1 0 5 は、データ格納部 1 0 9 に保持されている複数の音響線信号を読み出し、観測点 P_{ij} の位置を指標として、複素音響線信号の位相変化から平均速度を算出する。まず、直交検波部 1 0 5 1 は、読みだした音響線信号のそれぞれを直交検波し複素音響線信号に変換する。フィルタ部 1 0 5 2 は、各複素音響線信号からクラッタを除外または低減する。次に、速度推定部 1 0 5 3 は、同一の観測点 P_{ij} に係る複数の複素音響線信号に対して相関処理を行うことで、位相の変化速度を推定する。この時、上述したように、同一の観測点 P_{ij} に係る複素音響線信号であれば、どの送信イベントセットに係る音響線信号であるかの区別は行わない。さらに、速度推定部 1 0 5 3 は、推定した位相の変化速度からドブラシフト量を算出し、ドブラシフト量から速度を算出し、速度の平均値を算出する。なお、速度推定部 1 0 5 3 は、ドブラシフト量の平均値を基に平均速度を算出してもよいし、推定した位相の変化速度の平均値から平均ドブラシフト量を算出してもよい。最後に、速度推定部 1 0 5 3 は、算出した平均速度を観測点と対応付けてフレーム CFM 信号を生成し、画像生成部 1 0 7 とデータ格納部 1 0 9 に出力する。

【0075】

次に、ステップ S 3 0 2 において、画像生成部 1 0 7 は、カラードプラ画像を生成して表示する。カラーフロー生成部 1 0 7 1 はフレーム CFM 信号からカラーフロー情報を生成し、断層画像生成部 1 0 7 2 はフレーム音響線信号から B モード断層画像を生成する。最後に、画像合成部 1 0 7 3 は、B モード断層画像にカラーフロー情報を重畳してカラードプラ画像を生成し、表示部 1 0 8 に出力を行う。

【0076】

<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 1 0 0 によれば、異なる送信イベントセットにより生成された同一位置にある観測点 P についての複数の音響線信号に基づいてカラーフローマッピング法が行われる。これにより、同一の領域にアンサンブル数だけ繰り返し超音波を送受信する場合と比べ、アンサンブル数を保ったまま超音波の送受信回数を削減することができ、カラードプラ画像の品質を維持したままフレームレートを向上することができる。

【0077】

また、超音波診断装置 1 0 0 では、送信フォーカス点 F の深さを基準として受信ビームフォーミングの方法を異ならせる。これにより、深部に適したビームフォーミングと浅部に適したビームフォーミングとを使い分けることができるため、送信フォーカス点 F から遠い観測点 P についても、音響線信号の品質を向上させることができる。したがって、観測点 P が送信フォーカス点 F から遠いか近いかで、音響線信号の品質が大きく変動せず、対象領域を拡大してもカラードプラ画像の品質の低下を抑制することができる。したがって、フレームレートを向上させるために対象領域を広域化しても、カラードプラ画像の品

質低下を抑制することができる。

【0078】

《変形例1》

実施の形態1に係る超音波診断装置100では、整相加算部1041は、観測点Pの深さが送信フォーカス点Fの深さ以上か未満かで、2種類の送信時間の算出方法を切り替える構成とした。しかしながら、送信時間の算出方法は実施の形態1で説明した2種類に限られず、また、切り替えの基準は観測点Pの深さが送信フォーカス点Fの深さ以上か未満かにも限られず、適宜変更することができる。

【0079】

＜送信時間の算出方法＞

以下、実施の形態1で説明した方法以外に用いることができる、送信時間の算出方法を説明する。

図12(a)、(b)は、観測点Pの深さが送信フォーカス点Fの深さ以上において用いることのできる送信時間の算出方法を説明する模式図である。図12(a)に示す方法は、振動子列に対して垂直な直線611上の観測点Pijについて、送信開口Txの中心から観測点Pijまでの経路501を超音波が通過する時間を送信時間 T_D とする方法である。すなわち、経路501の長さを超音波の音速csで除した値が、送信時間 T_D となる。一方、図12(b)に示す方法は、振動子列に対して垂直な直線612上の観測点Pijについて、送信開口Txから観測点Pijと同じ深さの参照点Rまでの最短経路502を超音波が通過する時間を送信時間 T_p とする方法である。すなわち、経路502の長さを超音波の音速csで除した値が、送信時間 T_p となる。なお、上述した送信時間の算出方法に限らず、送信開口Tx上の任意の点と観測点Pijと同じ深さの任意の点までの経路に基づいて送信時間 T_N を算出してもよい。

【0080】

一方、図13(a)、(b)は、観測点Pの深さが送信フォーカス点Fの深さ未満において用いることのできる送信時間の算出方法を説明する模式図である。図13(a)に示す方法は、振動子列に対して垂直な直線613上の観測点Pijについて、送信開口Txから観測点Pijと同じ深さの参照点Rまでの最短経路511を超音波が通過する時間を送信時間 T_D とする方法である。すなわち、経路511の長さを超音波の音速csで除した値が、送信時間 T_D となる。なお、上述した送信時間の算出方法に限らず、送信開口Tx上の任意の点と観測点Pijと同じ深さの任意の点までの経路に基づいて送信時間 T_N を算出してもよい。一方、図13(b)に示す方法は、送信フォーカス点Fを基準とした算出方法である。つまり、振動子列に対して垂直な直線614上の観測点Pijについて、送信開口Txから送信フォーカス点Fに直接到達した超音波と、観測点Pijを經由して送信フォーカス点Fに到達した超音波とが同時に到着するとみなして送信時間 T_R を算出する方法である。すなわち、送信開口Txの中心から送信フォーカス点Fまでの経路521の距離が、送信開口Txの中心から観測点Pijまでの経路523と観測点Pijから送信フォーカス点Fまでの経路522との合計距離と同じとみなして経路523の距離を算出する。したがって、経路521の長さから経路522の長さを差し引いた差分を超音波の音速csで除した値が、送信時間 T_R となる。

【0081】

さらに、以下のような送信時間の算出方法を用いてもよい。すなわち、以上説明した各種の算出方法を組み合わせる方法である。例えば、以下のような算出方法 T_M を用いることができる。

図14(a)、(b)、(c)に概略を示す。図14(a)に示す、振動子列に対して垂直な直線530上の観測点Pijについて、以下のように算出を行う。まず、超音波主照射領域の内外の境界上にある観測点R1、R3、および、超音波主照射領域内の観測点については、送信フォーカス点Fを基準とした算出方法を使用する。すなわち、観測点R1については、経路531と経路532の合計に基づき送信時間 T_R を算出し、観測点R2については、経路531と経路535との差分に基づき送信時間 T_R を算出する。また

、同様に、観測点 R 1 より深い観測点 P については、経路 5 3 1 と、送信フォーカス点 F から当該観測点 P までの経路の合計に基づき、観測点 R 1 より浅い観測点 P については、経路 5 3 1 と、当該観測点 P から送信フォーカス点 F までの経路との差分に基づき、それぞれ送信時間 T_R を算出する。

【0082】

一方、送信フォーカス点 F と同じ深さの観測点 R 2 については、送信開口 T x の中心から観測点 R 2 までの経路 5 3 6 に基づき送信時間 T_D を算出する。

さらに、観測点 R 1 と観測点 R 2 の間にある観測点 P については、送信フォーカス点 F を基準とする送信時間 T_R と、送信開口 T x の中心から観測点 P までの経路 5 3 5 を基準とする送信時間 T_D とを重みづけ合成する。例えば、以下の式を用いることができる。

$$T_M = \alpha T_R + (1 - \alpha) T_D$$

ここで、図 1 4 (c) に示すように、 α の値は、 $D = D_f$ であるとき $\alpha = 0$ 、 $D = D_1$ または D_2 のとき $\alpha = 1$ 、の 2 条件を満たすことが好ましい。なお、 D_f 、 D_1 、 D_2 は、それぞれ、送信フォーカス点 F、観測点 R 1、観測点 R 2 のそれぞれの深さである。このようにすることで、図 1 4 (b) の直線 5 4 3 に示すように、送信時間が観測点 P i j の深さに対して、連続かつ単調増加の関係となるからである。なお、図 1 4 (b) において、直線 5 4 2 は送信時間 T_D を、不連続な 2 つの直線 5 4 1 は送信時間 T_R を示している。なお、 α の値は、例えば、 α は $|D - D_f|$ に比例するものとして、例えば、以下の式に示す値としてもよい。

$$\alpha = (D - D_f) / (D_1 - D_f) \quad (D_1 > D \geq D_f)$$

$$\alpha = (D_f - D) / (D_f - D_2) \quad (D_f > D > D_2)$$

すなわち、図 1 4 (c) の折れ線 5 5 1 で示される関係であってもよい。なお、 α の具体例は上述の例に限られず、送信時間が観測点 P i j の深さに対して、連続かつ単調増加の関係となっていればよく、曲線 5 5 2 や曲線 5 5 3 で示されるような値であってもよい。

【0083】

なお、

$$T_M = \alpha T_R + (1 - \alpha) T_P$$

$$T_M = \alpha T_R + (1 - \alpha) T_N$$

$$T_M = \alpha T_P + (1 - \alpha) T_D$$

$$T_M = \alpha T_P + (1 - \alpha) T_N$$

$$T_M = \alpha T_D + (1 - \alpha) T_P$$

$$T_M = \alpha T_D + (1 - \alpha) T_N$$

のいずれかであってもよい。

【0084】

または、以下のいずれかのような関係であってもよい。

$$T_M = T_R^\alpha \times T_D^{(1-\alpha)}$$

$$T_M = T_R^\alpha \times T_P^{(1-\alpha)}$$

$$T_M = T_R^\alpha \times T_N^{(1-\alpha)}$$

$$T_M = T_P^\alpha \times T_D^{(1-\alpha)}$$

$$T_M = T_P^\alpha \times T_N^{(1-\alpha)}$$

$$T_M = T_D^\alpha \times T_P^{(1-\alpha)}$$

$$T_M = T_D^\alpha \times T_N^{(1-\alpha)}$$

< 計算方法と対象領域との関係 >

実施の形態 1 では、対象領域 B x 1 A、B x 2 A、B x 3 A に対しては、送信時間 T_R を適用し、対象領域 B x 1 B、B x 2 B、B x 3 B に対して送信時間 T_D を適用した。しかしながら、計算方法はこの場合に限られず、領域ごとに適した計算方法が適用されていればよく、(1) 主対象領域 B x 1 A と主対象領域 B x 1 B で計算方法が異なる、でもよいし、(2) 副対象領域 B x 2 A、B x 3 A、B x 2 B、B x 3 B のうち、少なくとも 1 つにおいて計算方法が異なる、であってもよい。

【0085】

例えば、主対象領域 $B \times 1 A$ 、 $B \times 1 B$ では送信時間 T_R を適用し、副対象領域 $B \times 2 A$ 、 $B \times 3 A$ では送信時間 T_D 、副対象領域 $B \times 2 B$ 、 $B \times 3 B$ では送信時間 T_P を用いてもよい。または、例えば、主対象領域 $B \times 1 A$ 、 $B \times 1 B$ では送信時間 T_M を適用し、副対象領域 $B \times 2 A$ 、 $B \times 3 A$ では送信時間 T_D 、副対象領域 $B \times 2 B$ 、 $B \times 3 B$ では送信時間 T_D を用いてもよい。さらに、例えば、副対象領域 $B \times 2 B$ 、 $B \times 3 B$ では送信時間 T_D を用い、それ以外の全域で送信時間 T_R を用いるとしてもよい。

【0086】

さらに、主対象領域、副対象領域を深さで区切る方法は図5で示したようなフォーカス深さを基準とする例に限られない。例えば、送信フォーカス深さではなく、超音波主照射領域 $A \times$ の内外で領域を区切ってもよい。例えば、図15(a)に示すように、主対象領域 $B \times 1$ 、副対象領域 $B \times 2$ 、 $B \times 3$ のそれぞれを、超音波主照射領域 $A \times$ の内部であるか外部であるかによって区切ることができる。すなわち、主対象領域 $B \times 1$ を、超音波主照射領域 $A \times$ 外の $B \times 1 D$ 、超音波主照射領域 $A \times$ 内かつフォーカス深さより深い $B \times 1 C$ 、超音波主照射領域 $A \times$ 内かつフォーカス深さより浅い $B \times 1 E$ に区切り、同様に、副対象領域 $B \times 2$ を深い側から $B \times 2 C$ 、 $B \times 2 D$ 、 $B \times 2 E$ 、副対象領域 $B \times 3$ を深い側から $B \times 3 C$ 、 $B \times 3 D$ 、 $B \times 3 E$ と区切ってもよい。この場合、(1)主対象領域 $B \times 1 C$ 、 $B \times 1 D$ 、 $B \times 1 E$ の少なくとも1つにおいて計算方法が異なる、でもよいし、(2)副対象領域 $B \times 2 C$ 、 $B \times 3 C$ 、 $B \times 2 D$ 、 $B \times 3 D$ 、 $B \times 2 E$ 、 $B \times 3 E$ のうち、少なくとも1つにおいて計算方法が異なる、であってもよい。

【0087】

例えば、 $B \times 1 C$ 、 $B \times 2 C$ 、 $B \times 3 C$ 、 $B \times 1 E$ 、 $B \times 2 E$ 、 $B \times 3 E$ では送信時間 T_R を適用し、 $B \times 1 D$ 、 $B \times 2 D$ 、 $B \times 3 D$ では送信時間 T_M を適用するとしてもよい。また、例えば、 $B \times 1 C$ 、 $B \times 1 E$ では送信時間 T_R を適用して $B \times 1 D$ では送信時間 T_M を適用し、その他全域では送信時間 T_D を適用するとしてもよい。

さらに、図15(b)に示すように、主対象領域 $B \times 1$ と副対象領域 $B \times 2$ 、 $B \times 3$ とで、深さ方向に対する領域の区切り方を変更してもよい。

【0088】

なお、計算方法と対象領域との関係は上述の例に限られず、観測点 P_{ij} に適した受信ビームフォーミングが適用される限りにおいて、領域の区切り方は任意であり、各領域に対する受信ビームフォーミングの適用方法も任意である。

《実施の形態2》

実施の形態1では、速度推定部1053が、同一の観測点から取得した複数の複素音響線について、どの送信イベントセットで取得したかを区別せず、すべてアンサンブルとして使用する構成とした。一方、実施の形態2では、送信ビームフォーマ部と受信ビームフォーマ部の構成は実施の形態1と同様であるが、速度推定の処理が異なる。実施の形態1では、同一の観測点について、主対象領域 $B \times 1$ の内部として取得した複素音響線信号と、副対象領域 $B \times 2$ の内部として取得した複素音響線信号と、副対象領域 $B \times 3$ の内部として取得した複素音響線信号とを区別していない。一方で、主対象領域 $B \times 1$ と、副対象領域 $B \times 2$ と、副対象領域 $B \times 3$ とで受信ビームフォーミングの方法、具体的には、送信時間の算出方法が同一である必要がない。そうすると、主対象領域 $B \times 1$ の内部として取得した複素音響線信号と、副対象領域 $B \times 2$ の内部として取得した複素音響線信号とで受信ビームフォーミングの方法が異なる場合にすべてアンサンブルとして使用した場合に、送信時間の算出方法の違いが複素音響線信号の位相差として検出される場合がある。具体的に説明すると、主対象領域 $B \times 1$ の内部として取得した複素音響線信号と、副対象領域 $B \times 2$ の内部として取得した複素音響線信号とが10個存在することを想定する。上述したように、2つの複素音響線信号の相互の位相差は、一方が取得されてから他方が取得されるまでの平均速度に対応する。ところが、主対象領域 $B \times 1$ の内部として取得した複素音響線信号の1つと副対象領域 $B \times 2$ の内部として取得した複素音響線信号の1つとの位相差には、主対象領域 $B \times 1$ と副対象領域 $B \times 2$ との受信ビームフォーミングの方法の違

いに起因する影響が発生することがある。このような影響は、主対象領域 $B \times 1$ の内部として取得した2つの複素音響線信号の位相差、および、副対象領域 $B \times 2$ の内部として取得した2つの複素音響線信号の位相差には発生しない。そのため、受信ビームフォーミングの方法が異なる複数の複素音響線信号を1連のアンサンブルとして扱くと、平均速度の精度が十分に高まらないことがあり得る。

【0089】

実施の形態2に係る超音波診断装置では、送信イベントセットごとに対象領域 $B \times$ 内の各観測点について平均速度を推定し、送信イベントセット間で平均速度の合成を行ってカラードプラ画像を生成する点で、実施の形態1と相違する。

<構成>

以下、実施の形態2に係る超音波診断装置について、図面を参照しながら説明する。図16は、実施の形態2に係る超音波診断装置のCFM処理部105Aの構成を示す機能ブロック図である。実施の形態2に係るCFM処理部105Aは、送信イベントセットごとに、各観測点の平均速度を推定する速度推定部1053Aと、送信イベントセット間で推定された平均速度を合成する速度合成部1054Aとを備える。速度推定部1053A、速度合成部1054A以外の構成については、実施の形態1に示した各要素と同じであり、同じ部分については説明を省略する。

【0090】

(1) 速度推定部1053A

速度推定部1053Aは、送信イベントセットに同期して、フィルタ処理された後の複素音響線信号から、各観測点に対応する被検体内の動き、具体的には血流を推定する回路である。速度推定部1053Aは、各観測点について、各送信イベントセットに係る複数の送信イベントに対応する各複素音響線信号から位相を推定し、位相の変化速度を算出する。すなわち、同一の観測点に関する複素音響線信号であっても、異なる送信イベントセットに係る複素音響線信号を同時には用いない。例えば、ある送信イベントセットにおいて副対象領域 $B \times 3A$ 内の観測点Pについては、次の送信イベントセットにおいて主対象領域 $B \times 1A$ 内の観測点として、さらに次の送信イベントセットにおいて副対象領域 $B \times 2A$ 内の観測点として、送信イベントセットごとに複素音響線信号が10個得られる。このとき、当該観測点Pについては、最初の送信イベントセットに係る10個の複素音響線信号、2番目の送信イベントセットに係る10個の複素音響線信号、3番目の送信イベントセットに係る複素音響線信号、のそれぞれから平均速度を推定する。すなわち、同一の観測点に対し、3つの平均速度が推定されることになる。速度推定部1053Aは、平均速度を超音波の送信方向（被検体の深さ方向）に連なった信号の列としたサブフレームCFM信号を生成し、データ格納部109に出力する。

【0091】

(2) 速度合成部1054A

速度合成部1054Aは、複数のサブフレームCFM信号を合成し、フレームCFM信号を生成する回路である。速度合成部1054Aは、1フレームを構成する一連のサブフレームCFM信号を読み出す。そして、各サブフレームCFM信号に含まれる観測点 P_{ij} の位置を指標として平均速度を合成する。

【0092】

図17は、速度合成部1054Aにおける平均速度を合成する処理を示す模式図である。上述の通り、送信イベントセットに同期して送信開口Txに用いる振動子を振動子列方向に移動ピッチだけ異ならせて超音波送信が順次行われる。そのため、観測点 P_{ij} の平均速度は、対象領域 $B \times$ を領域601とする送信イベントセット、領域602とする送信イベントセット、領域603とする送信イベントセット、のそれぞれで推定される。これに対し、観測点 P_{ij} の位置を指標として複数の平均速度を合成することにより、1つのフレームCFM信号が合成される。

【0093】

複数の平均速度を合成する方法としては、単純に相加平均、相乗平均等の算術平均を用

10

20

30

40

50

いることができる。また、例えば、図17に示しているように、送信イベントセットにおいて主対象領域B_{x1}に属しているか副対象領域B_{x2}、B_{x3}に属しているかを指標として重みづけを行ってもよい。例えば、観測点P_{ij}に対して、P_{ij}が主対象領域B_{x1}に含まれている、対象領域B_xを領域602とする送信イベントセットについて、P_{ij}が副対象領域B_{x2}またはB_{x3}に含まれている、対象領域B_xを領域601または領域603とする送信イベントセットより重みづけを大きくする。より具体的には、観測点P_{ij}に対し、対象領域B_xを領域602とする送信イベントセットに係る平均速度の重みづけ係数を1/2、対象領域B_xを領域601および領域603とする送信イベントセットにおけるそれぞれの平均速度の重みづけ係数を1/4として、加算処理を行った結果を当該観測点P_{ij}の平均速度とする。このように、主対象領域B_{x1}の内部の観測点から推定した平均速度の重みづけ係数を、副対象領域B_{x2}、B_{x3}の内部の観測点から推定した平均速度の重みづけ係数より大きくすることで、各観測点について、送信フォーカス点Fが近い場合の送信イベントセットで取得した音響線信号に基づく平均速度に近づけることができ、平均速度の精度を向上させることができる。なお、重みづけ係数は上述の例に限られず、主対象領域内部の観測点から推定した平均速度の重みづけ係数が、副対象領域内部の観測点から推定した平均速度の重みづけ係数以上であればよい。

10

【0094】

速度合成部1054Aは、算出した合成後の平均速度を超音波の送信方向（被検体の深さ方向）に連なった信号の列としたフレームCFM信号を生成し、データ格納部109に出力する。

20

<動作>

図18は、実施の形態2に係る超音波診断装置の動作を示すフローチャートである。本フローチャートでは、図10における平均速度の算出処理（S302）に変えてステップS402を行い、さらに、ステップS230とステップS301の間にさらにステップS401を行う点で相違する。これ以外の処理については、図10と同じであり、同じ部分については説明を省略する。

【0095】

ステップS401の処理において、CFM処理部105Aの速度推定部1053Aは、送信イベントセットに同期して、データ格納部109に保持されている複数の音響線信号を読み出し、観測点P_{ij}の位置を指標として、複素音響線信号の位相変化から平均速度を算出する。まず、直交検波部1051は読み出された音響線信号のそれぞれを直交検波して複素音響線信号に変換し、フィルタ部1052は複素音響線信号からクラッタを除外または低減する。次に、速度推定部1053Aは、同一の観測点P_{ij}に係る1の送信イベントセットで取得した複数の複素音響線信号に対して相関処理を行うことで、位相の変化速度を推定する。さらに、速度推定部1053Aは、推定した位相の変化速度からドプラシフト量を算出し、ドプラシフト量から速度を算出し、速度の平均値を算出する。最後に、速度推定部1053Aは、算出した平均速度を観測点と対応付けてサブフレームCFM信号を生成し、データ格納部109に出力する。その後、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し（ステップ230）、完了していない場合にはステップS101に戻り、送信開口Txを列方向に移動ステップMpだけ移動させた後送信イベントセットを行う。完了している場合にはステップS401に進む。これにより、送信イベントセットごとに生成されたサブフレームCFM信号がデータ格納部109に保存されている。

30

40

【0096】

次に、サブフレームCFM信号を合成してフレームCFM信号を生成する（ステップS402）。速度合成部1054Aは、速度合成部1054Aは、1フレームを構成する一連のサブフレームCFM信号を読み出す。そして、各サブフレームCFM信号に含まれる観測点P_{ij}の位置を指標として平均速度を合成する。速度合成部1054Aは、算出した合成後の平均速度を超音波の送信方向（被検体の深さ方向）に連なった信号の列としたフレームCFM信号を生成し、データ格納部109に出力する。

50

【0097】

その後、フレームCFM信号およびフレーム音響線信号からパワードブラ画像を生成して表示し（ステップS303）、処理を終了する。

<効果>

以上、説明したように実施の形態2に係る超音波診断装置によれば、実施の形態1に係る超音波診断装置100と同様に、アンサンブル数を保ったまま超音波の送受信回数を削減することができ、カラードブラ画像の品質を維持したままフレームレートを向上することができる。

【0098】

さらに実施の形態2に係る超音波診断装置では、送信イベントセットに同期して平均速度を推定したあとに、送信イベントセット間の合成を行う。そのため、対象領域内の各領域における受信ビームフォーミングの方法の違いが平均速度に影響を与える可能性がなく、領域ごとに最適な受信ビームフォーミングを行いつつ、平均速度の精度をさらに向上させることができる。

【0099】

《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、整相加算部1041が観測点 P_{ij} について整相加算を行う際、観測点同期型受信ビームフォーカシング処理を行うとしたが、本発明は必ずしもこの場合に限定されない。例えば、送信開口同期型受信ビームフォーカシング処理を行ってもよい。送信開口同期型受信ビームフォーカシング処理では、受信開口 R_x の列中心と送信開口 T_x の列中心とが一致するように受信開口 R_x を制御し、また、送信開口 T_x の列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重み数列を算出する。このようにすることで、1の観測点 P_{ij} に対して、送信イベントセットごとに異なる受信開口 R_x を用いることができ、空間分解能を均一にすることができる。

【0100】

(2) 各実施の形態及び各変形例では、主対象領域 B_{x1} と2つの副対象領域 B_{x2} 、 B_{x3} のそれぞれの列方向の幅が移動ピッチと一致するとしたが、本発明は必ずしもこの場合に限定されない。例えば、主対象領域 B_{x1} と2つの副対象領域 B_{x2} 、 B_{x3} のそれぞれの列方向の幅は、移動ピッチより大きいとしてもよい。

また、主対象領域 B_{x1} と2つの副対象領域 B_{x2} 、 B_{x3} のそれぞれの列方向の幅は、同一である必要はない。例えば、主対象領域 B_{x1} の幅を6素子分、副対象領域 B_{x2} 、 B_{x3} の幅を4素子分としてもよい。

【0101】

さらに、副対象領域は2つの領域 B_{x2} 、 B_{x3} の両方である必要はなく、 B_{x2} のみ、または B_{x3} のみを副対象領域として用いてもよい。

(3) 各実施の形態及び各変形例では、カラーフロー生成部1071が各観測点の平均速度を色情報に変換することでカラードブラ画像を生成するとしたが、本発明は必ずしもこの場合に限定されない。例えば、速度推定部1053が、各観測点のパワースペクトルからパワーを算出してフレームパワー信号を生成し、カラーフロー生成部1071がパワー値を黄色の輝度値に変換することで、パワードブラ画像を生成するとしてもよい。

【0102】

(4) 各実施の形態及び各変形例では、Bモード断層画像を取得するための超音波の送受信をカラーフローマッピング法とは別に行うとしたが、例えば、断層画像処理部106は、カラーフローマッピング法のために取得した音響線信号を用いてフレーム音響線信号を生成してもよい。このとき、断層画像処理部106は、1の送信イベントセットに係る複数の送信イベントのそれぞれで取得した複数のサブフレーム音響線信号のうち1つを選択する動作を1フレームに係る複数のサブイベントに対して繰り返し、選択した複数のサブフレーム音響線信号を観測点 P_{ij} の位置を指標として合成してフレーム音響線信号を生成することができる。

【0103】

10

20

30

40

50

(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。

【0104】

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

【0105】

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。

【0106】

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。

【0107】

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。

【0108】

また、上記実施形態に係る超音波診断装置の各構成要素は、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。後者の構成は、いわゆるGPGPU（General-Purp

10

20

30

40

50

ose computing on Graphics Processing Unit)である。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。

【0109】

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。

【0110】

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。

【0111】

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、2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。

【0112】

また、プローブは、送受信部の一部の機能をプローブに含んでいてもよい。例えば、送受信部から出力された送信電気信号を生成するための制御信号に基づき、プローブ内で送信電気信号を生成し、この送信電気信号を超音波に変換する。併せて、受信した反射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。

【0113】

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。

【0114】

《まとめ》

(1) 実施の形態に係る超音波信号処理装置は、超音波プローブに列設された複数の振動子を選択的に駆動して被検体に対する超音波送受信を実行してカラーフローマッピング法による速度解析を行う超音波信号処理装置であって、前記複数の振動子から送信振動子列を選択し、1回の送信イベントセットに含まれる複数の送信サブイベントごとに、前記送信振動子列から超音波が被検体中で集束するように送信する送信部と、前記複数の振動子から選択した受信振動子列の振動子各々に対する受信信号列を、前記送信イベントごとに、当該振動子が受波した反射超音波に基づいて生成する受信部と、前記送信イベントごとに、前記被検体内で超音波が集束するエリアに対応する領域を含む主対象領域と前記主

10

20

30

40

50

対象領域に対して列方向に隣接する副対象領域とに含まれる複数の観測点について、各観測点から得られた反射超音波に基づく前記受信信号列を整相加算して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音響線信号を直交検波して複素音響線信号を生成し、観測点ごとに、前記複素音響線信号の位相の時間変化に基づいて平均速度を算出する速度演算部とを備え、前記整相加算部は、前記主対象領域と前記副対象領域との少なくとも一方において、送信された超音波が観測点に到達する送信時間の算出方法を前記観測点の深さに応じて変更する遅延処理を行うことを特徴とする。

【0115】

また、実施の形態に係る超音波信号処理方法は、超音波プローブに列設された複数の振動子を選択的に駆動して被検体に対する超音波送受信を実行し、カラーフローマッピング法による速度解析を行う超音波信号処理方法であって、前記複数の振動子から送信振動子列を選択し、1回の送信イベントセットに含まれる複数の送信サブイベントごとに、前記送信振動子列から超音波が被検体中で集束するように送信し、前記複数の振動子から選択した受信振動子列の振動子各々に対する受信信号列を、前記送信イベントごとに、当該振動子が受波した反射超音波に基づいて生成し、前記送信イベントごとに、前記被検体内で超音波が集束するエリアに対応する領域を含む主対象領域と前記主対象領域に対して列方向に隣接する副対象領域とに含まれる複数の観測点について、前記主対象領域と前記副対象領域との少なくとも一方において、送信された超音波が観測点に到達する送信時間の算出方法を前記観測点の深さに応じて変更する遅延処理を行うことで、各観測点から得られた反射超音波に基づく前記受信信号列を整相加算して音響線信号を生成し、前記送信サブイベントごとに前記音響線信号を直交検波して複素音響線信号を生成し、観測点ごとに、前記複素音響線信号の位相の時間変化に基づいて平均速度を算出することを特徴とする。

【0116】

本発明の一態様に係る超音波信号処理装置、超音波信号処理方法、及び、それを用いた超音波診断装置によれば、主対象領域、副対象領域に含まれる観測点について受信ビームフォーミングを切り替えることにより音響線信号の品質を向上させることができ、これにより、送信イベントセットの回数を削減するという手段によりフレームレートを向上させることができる。したがって、アンサンブル数の増加による送信イベントの回数増加を送信イベントセットの回数削減で相殺することが可能となり、フレームレートを維持したままアンサンブル数を増加させてカラードプラ画像の品質を向上させることができる。

【0117】

(2) また、上記(1)の超音波信号処理装置は、前記送信部は、送信イベントセットに同期して、超音波を送信する振動子列が列方向に、振動子複数個分のピッチで移動するように、前記送信イベントセットごとに前記複数の振動子から前記送信振動子列を選択し、前記主対象領域と前記副対象領域との列方向における幅は、それぞれ、少なくとも前記ピッチ以上である、としてもよい。

【0118】

上記構成により、同一の観測点について、2以上の送信イベントセットで音響線信号を取得することができ、アンサンブル数を確実に増加させることが可能となる。

(3) また、上記(1)の超音波信号処理装置は、前記送信部は、送信イベントセットに同期して、超音波を送信する振動子列が列方向に、振動子複数個分のピッチで移動するように、前記送信イベントセットごとに前記複数の振動子から前記送信振動子列を選択し、前記副対象領域は第1副対象領域と第2副対象領域とからなり、送信イベントセットにおいて、列方向に、前記第1副対象領域、前記主対象領域、前記第2副対象領域の順に並び、前記主対象領域、前記第1副対象領域、前記第2副対象領域の列方向におけるそれぞれの幅は、少なくとも前記ピッチ以上である、としてもよい。

【0119】

上記構成により、同一の観測点について、3以上の送信イベントセットで音響線信号を取得することができ、かつ、アンサンブル数を確実に増加させることが可能となる。

(4) また、上記(1)～(3)の超音波信号処理装置は、前記整相加算部は、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の場合と前記フォーカス深さ未満の場合とで、前記送信時間の算出方法が異なる、としてもよい。

【0120】

上記構成により、送信フォーカス点を基準として観測点の深さに応じた受信ビームフォーミングの切り替えを行い、音響線信号の品質を向上して平均速度の精度を向上させることができる。

(5) また、上記(1)～(3)の超音波信号処理装置は、前記整相加算部は、前記観測点が、前記送信振動子列を底辺とし、前記被検体内で超音波が集束するフォーカス深さに対応する前記列方向の幅が最も小さく、前記フォーカス深さとの差が大きい深さに対応する前記列方向の幅ほど幅が大きくなる領域に含まれる場合と含まれない場合とで、前記送信時間の算出方法が異なる、としてもよい。

10

【0121】

上記構成により、送信超音波のビームフォーミングに合わせた受信ビームフォーミングの切り替えを行い、音響線信号の品質を向上して平均速度の精度を向上させることができる。

(6) また、上記(1)～(5)の超音波信号処理装置は、前記整相加算部は、前記主対象領域内の第1の観測点と、前記副対象領域内に存在し、前記第1の観測点と同じ深さの第2の観測点とで、前記送信時間の算出方法が異なる、としてもよい。

【0122】

上記構成により、観測点の列方向の位置に合わせた受信ビームフォーミングの切り替えを行い、音響線信号の品質を向上して平均速度の精度を向上させることができる。

20

(7) また、上記(1)～(6)の超音波信号処理装置は、前記速度演算部は、前記送信イベントセットごとに、前記主対象領域に含まれる観測点について平均速度を第1速度として算出し、前記副対象領域に含まれる観測点について平均速度を第2速度として算出し、さらに、被検体内の同一位置に対応する観測点について、当該観測点の前記第1速度と、当該観測点の前記第2速度とから、当該観測点の平均速度を算出する、としてもよい。

【0123】

上記構成により、観測点について、送信イベントセット間で受信ビームフォーミングが違っていても平均速度の精度を高く維持することができる。

30

(8) また、上記(1)～(6)の超音波信号処理装置は、前記速度算出部は、複数の送信イベントセットで取得した、被検体内の同一位置に対応する観測点における前記複素音響線信号の位相の時間変化量の平均から、当該観測点の平均速度を算出する、としてもよい。

【0124】

上記構成により、送信イベントセットに関わらず、観測点に関する全ての音響線信号をアンサンブルとして使用することができ、アンサンブル数の増加により平均速度の精度を向上させることができる。

(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、前記送信時間の算出方法の1つとして、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超音波が集束するエリア内の基準点に達するまでの第1時間と、前記基準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。

40

【0125】

上記構成により、送信フォーカス点を基準として送信時間を算出することが適切な領域について、音響線信号の品質を向上させ、平均速度の精度を向上させることができる。

(10) また、上記(1)～(9)の超音波信号処理装置は、前記整相加算部は、前記送信時間の算出方法の1つとして、送信された超音波が前記送信振動子列の列中心から前

50

記観測点に到達する時間を前記送信時間として算出する、としてもよい。

【0126】

上記構成により、観測点と送信振動子列の列中心との最短距離に基づいて送信時間を算出することが適切な領域について、音響線信号の品質を向上させ、平均速度の精度を向上させることができる。

(11) また、上記(1)～(10)の超音波信号処理装置は、前記整相加算部は、前記送信時間の算出方法の1つとして、送信された超音波が前記送信振動子列から前記観測点に到達する最短時間を前記送信時間として算出する、としてもよい。

【0127】

上記構成により、観測点と送信振動子列との最短距離に基づいて送信時間を算出することが適切な領域について、音響線信号の品質を向上させ、平均速度の精度を向上させることができる。

(12) また、上記(1)～(11)の超音波信号処理装置は、前記整相加算部は、前記送信時間の算出方法の1つとして、(1)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超音波が集束するエリア内の基準点に達するまでの第1時間と、前記基準点から前記観測点に到達する第2時間との合計、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下である場合には、前記第1時間から前記第2時間を減算した結果、(2)送信された超音波が前記送信振動子列の列中心から前記観測点に到達する時間、(3)送信された超音波が前記送信振動子列から前記観測点に到達する最短時間、のうち、2以上を用いて算出した値を前記送信時間として算出する、としてもよい。

【0128】

上記構成により、観測点と送信振動子列との最短距離に基づいて送信時間を算出することが適切な領域について、音響線信号の品質を向上させ、平均速度の精度を向上させることができる。

(13) また、実施の形態に係る超音波診断装置は、上記(1)～(11)の超音波信号処理装置を備える、としてもよい。

【0129】

このようにすることで、上記の特徴を備えた超音波診断装置を実現できる。

【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、超音波信号処理方法、超音波診断装置は、従来の超音波診断装置の性能向上、特にアンサンブル数増加とフレームレート向上を両立させ、さらに平均速度の精度を向上させたカラードプラ画像生成装置として有用である。

【符号の説明】

【0131】

- 1000 超音波診断システム
- 100 超音波診断装置
- 101 プロブ
- 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 受信開口設定部
- 1044 送信時間算出部
- 1045 受信時間算出部

10

20

30

40

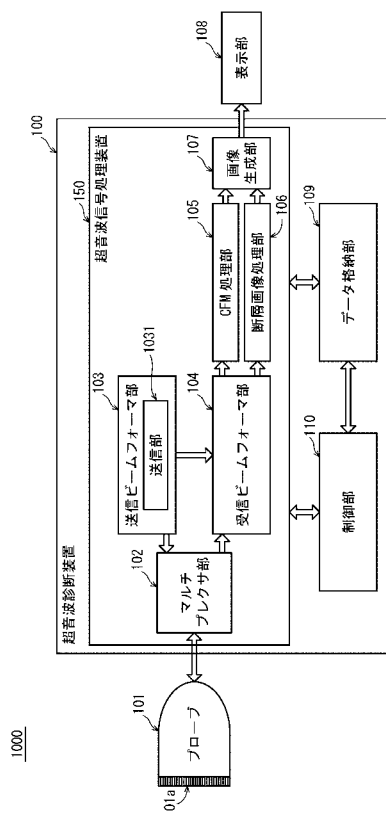
50

- 1046 遅延量算出部
- 1047 遅延処理部
- 1048 重み算出部
- 1049 加算部
- 105、105A CFM処理部
- 1051 直交検波部
- 1052 フィルタ部
- 1053、1053A 速度推定部
- 1054A 速度合成部
- 106 断層画像処理部
- 1061 加算処理部
- 1062 増幅処理部
- 107 画像生成部
- 1071 カラーフロー生成部
- 1072 断層画像生成部
- 1073 画像合成部
- 108 表示部
- 109 データ格納部
- 110 制御部
- 150 超音波信号処理装置

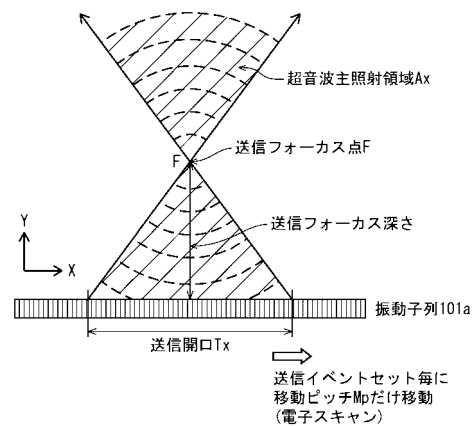
10

20

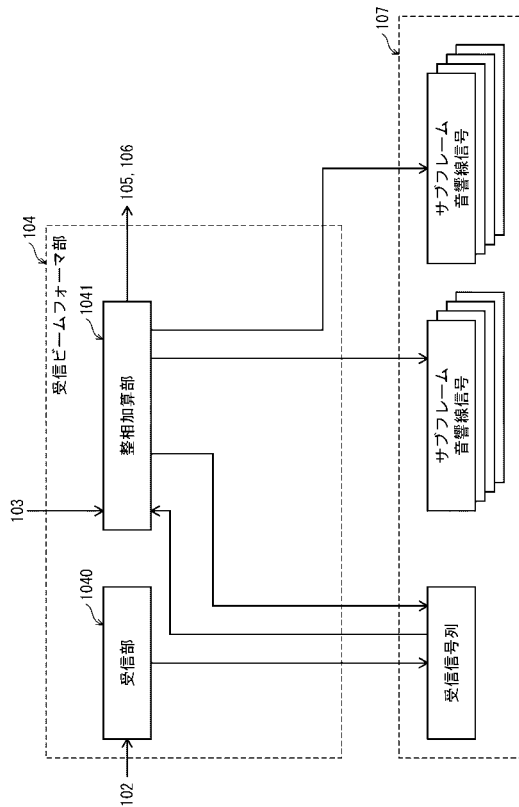
【図1】



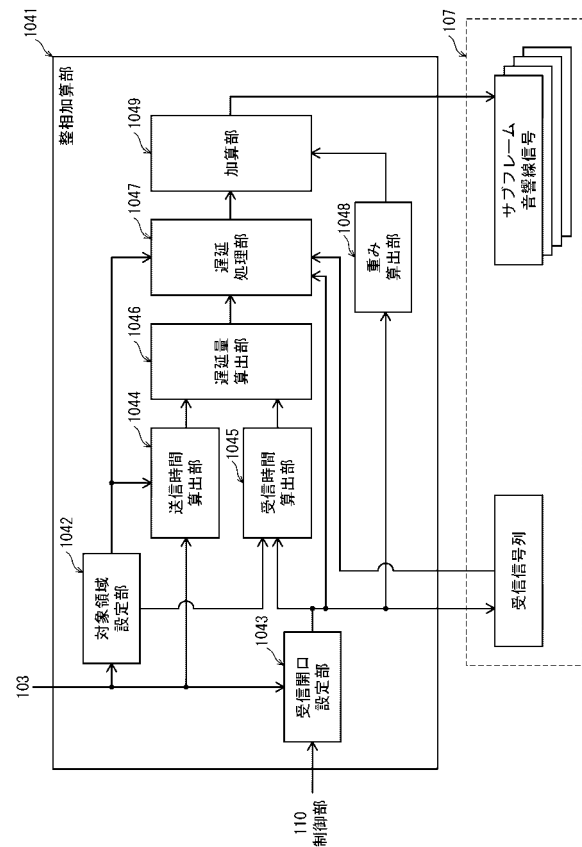
【図2】



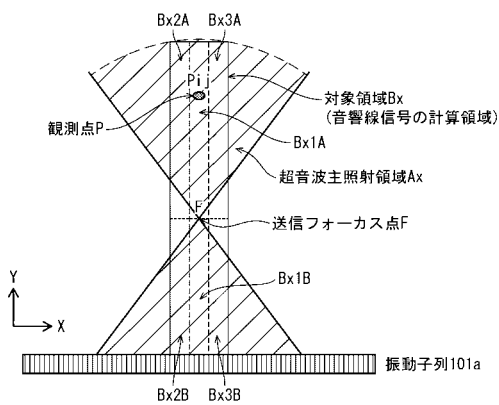
【図 3】



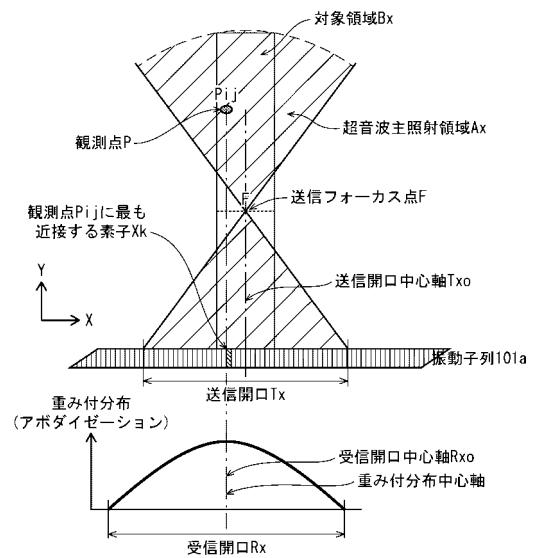
【図 4】



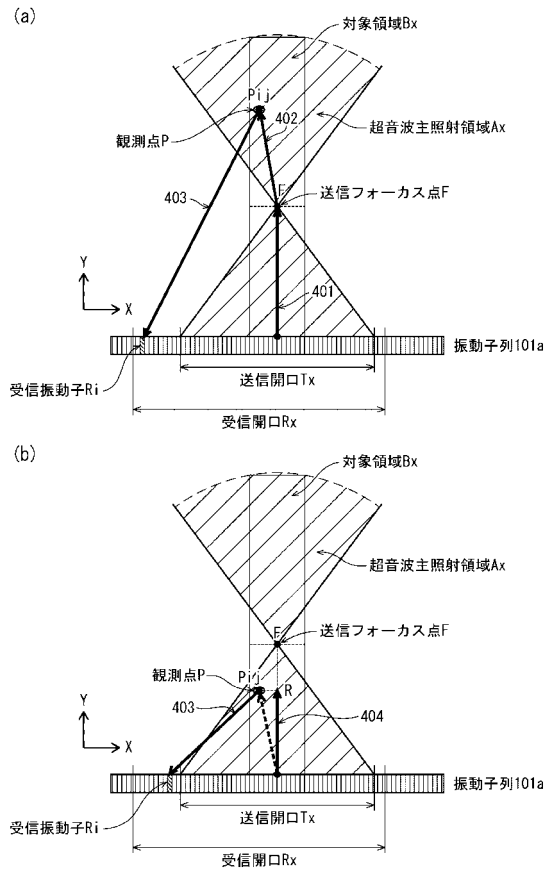
【図 5】



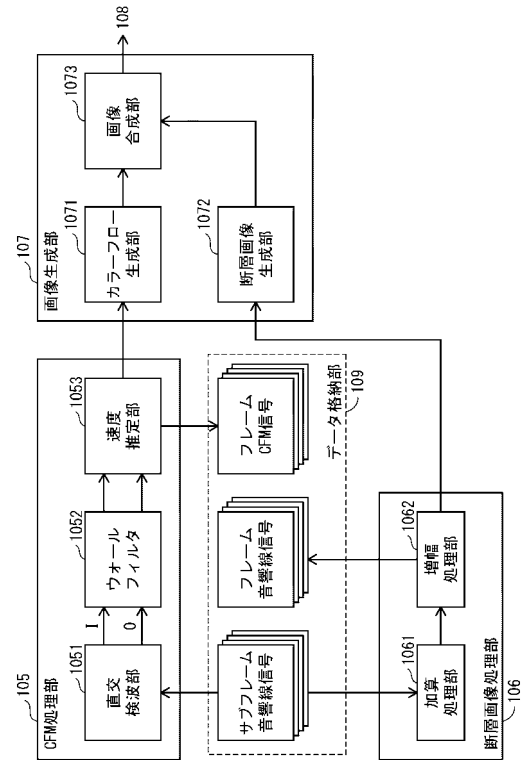
【図 6】



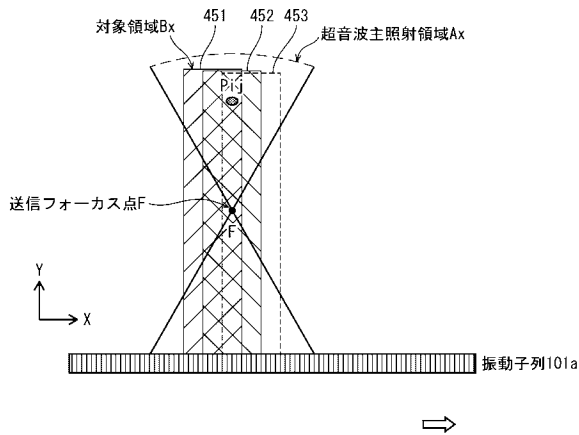
【図 7】



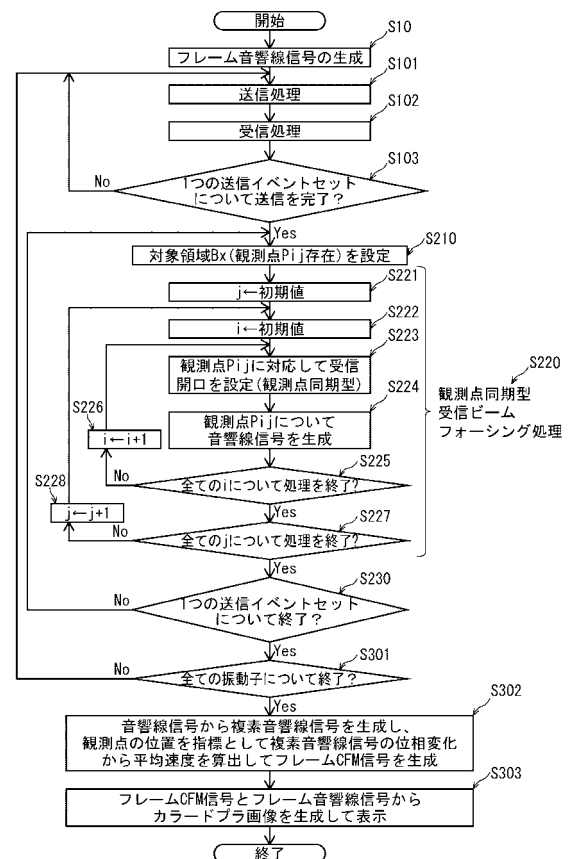
【図 8】



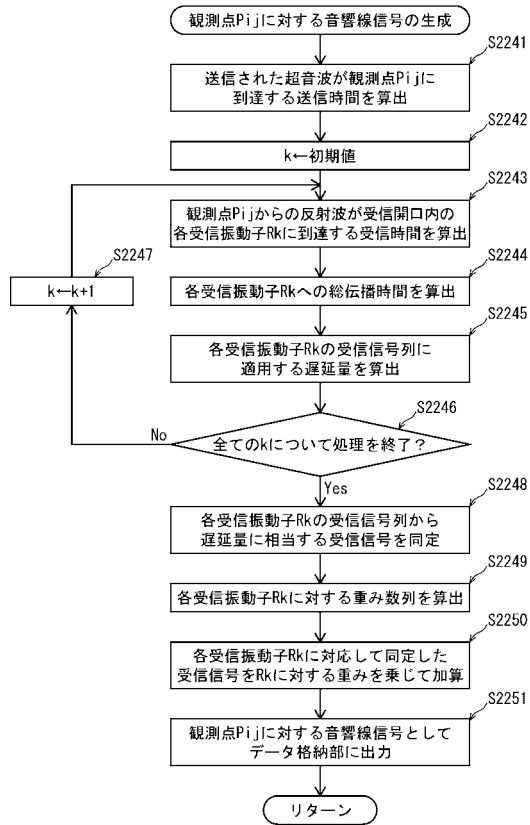
【図 9】



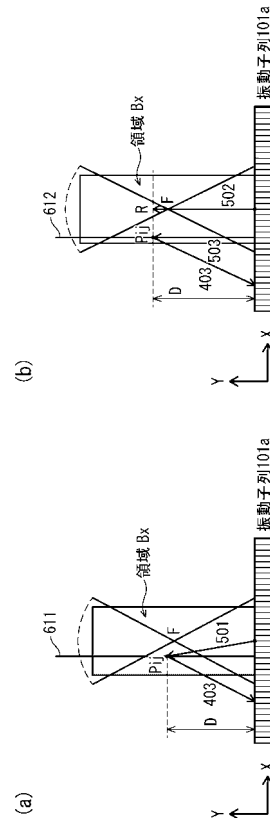
【図 10】



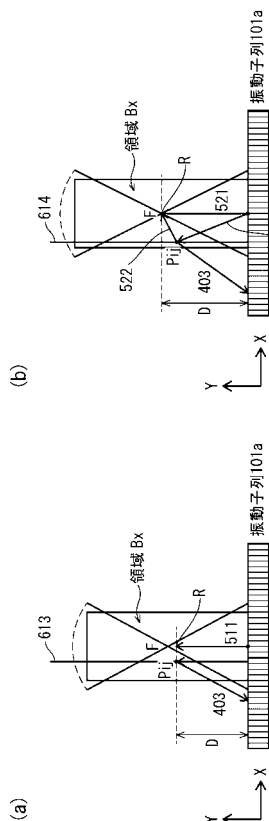
【図 1 1】



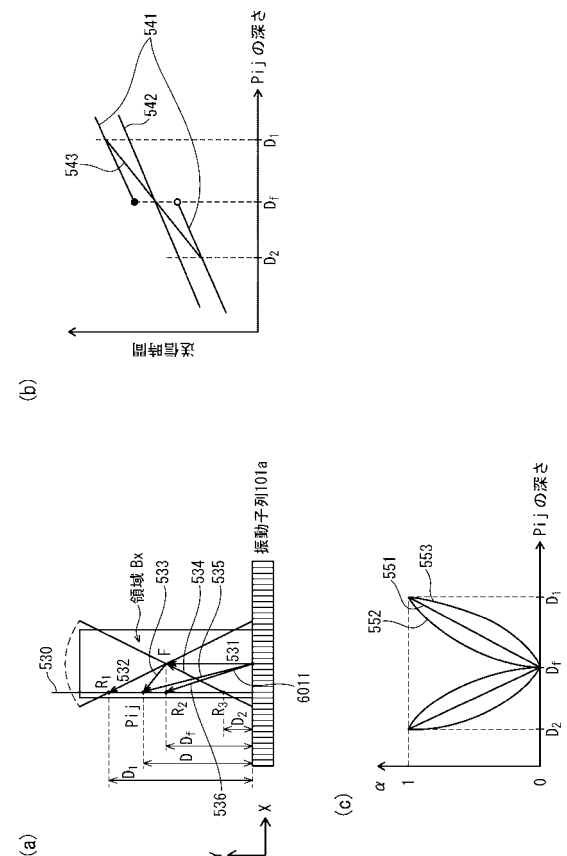
【図 1 2】



【図 1 3】

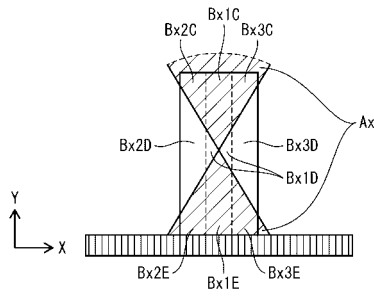


【図 1 4】

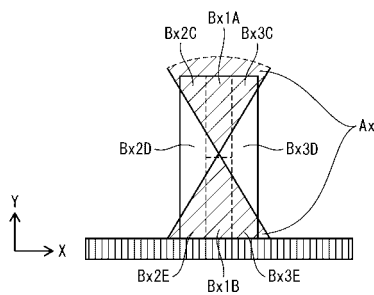


【図 15】

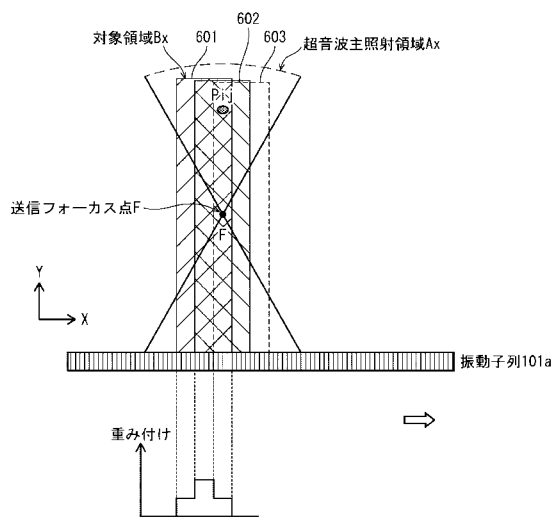
(a)



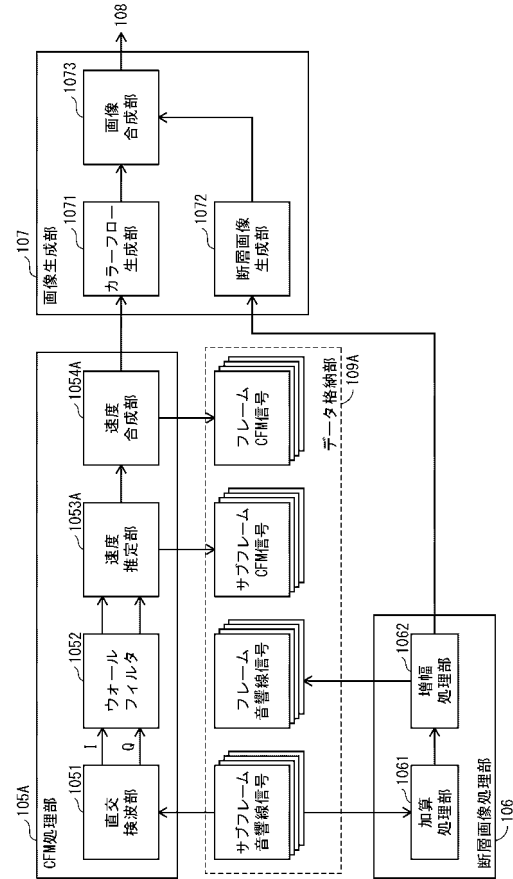
(b)



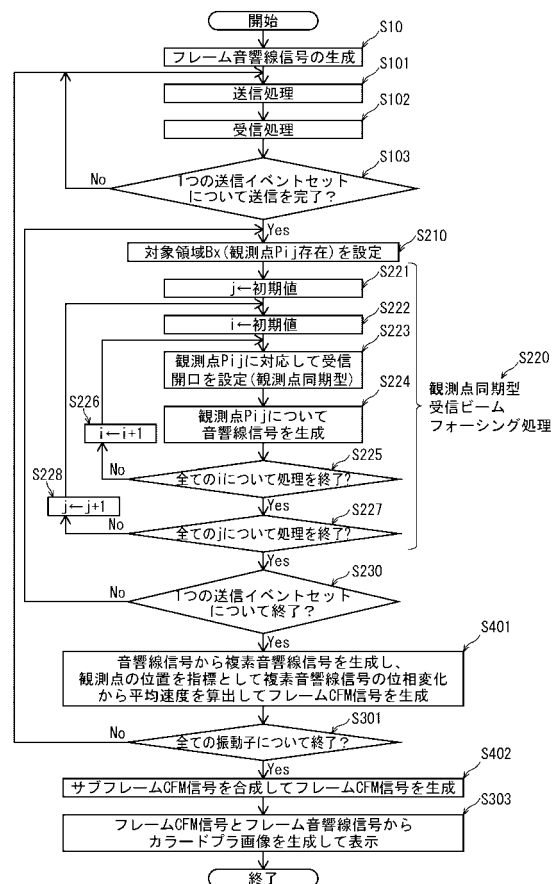
【図 17】



【図 16】

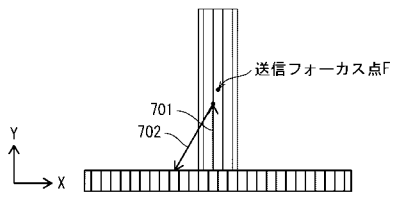


【図 18】



【図 19】

(a)



(b)

