

(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2018-677

(P2018-677A)

(43) 公開日 平成30年1月11日(2018.1.11)

(51) Int.Cl.

A61B 8/14 (2006.01)

F1

A61B 8/14

テーマコード(参考)

4C601

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 31 頁)

(21) 出願番号 特願2016-133382 (P2016-133382)  
 (22) 出願日 平成28年7月5日(2016.7.5)

(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 BB02 EE02 EE08 HH38 JB04  
 KK12 LL04

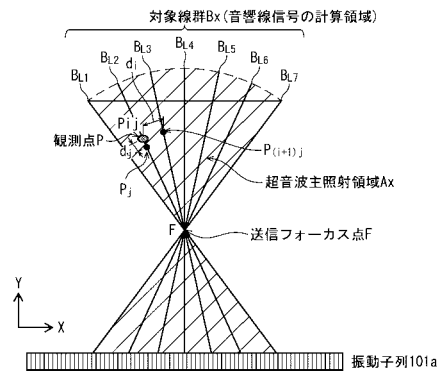
(54) 【発明の名称】 超音波信号処理装置、超音波信号処理方法、及び、超音波診断装置

(57) 【要約】

【課題】 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比の低下を抑制しながら整相加算の演算量を削減することのできる超音波信号処理装置を提供する。

【解決手段】 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、被検体内に超音波ビームを送信イベントごとに前記超音波プローブに送信させる送信部と、送信イベントごとに、フォーカス点を通過する複数の対象線からなる対象線群上に存在す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受信信号列を整相加算してサブフレーム音響線信号を生成する整相加算部とを備える超音波信号処理装置において、各対象線は直線であり、対象線上の1つの観測点について、同一の対象線上にある最近接の観測点との距離は、隣接する対象線上に存在する最近接の観測点との距離より小さい。

【選択図】 図5



## 【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、受波した反射超音波に基づいて生成される複数の音響線信号を合成して合成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、被検体内に超音波ビームを送信イベントごとに前記超音波プローブに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被検体から受波した反射超音波に基づいて、前記超音波プローブの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過する複数の対象線からなる対象線群上に存在す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サブフレーム音響線信号を生成する整相加算部と、

前記整相加算部が生成した前記複数のサブフレーム音響線信号に基づき、前記フレーム音響線信号を合成する合成部と

を備え、

前記対象線群に含まれる各対象線は直線であり、1つの対象線上であって前記フォーカス点からの距離が所定距離以上である1つの観測点について、前記1つの対象線上にある最近接の観測点との距離は、前記1つの対象線に隣接する対象線上に存在する最近接の観測点との距離より小さい

ことを特徴とする超音波信号処理装置。

## 【請求項 2】

前記対象線群は、前記超音波プローブの振動子が並ぶ方向に対して直交する対象線を含む

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、前記超音波プローブに列設された複数の振動子から前記超音波ビームを送信するための送信振動子列を選択し、

前記対象線群は、前記送信振動子列の一端を通過する対象線と、前記送信振動子列の他端を通過する対象線とを含む

ことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の超音波信号処理装置。

## 【請求項 4】

前記対象線は全て、前記送信振動子列を通過する

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】

同じ深さにおける複数の観測点は、前記超音波プローブの振動子が並ぶ方向に対して等間隔に並ぶ

ことを特徴とする請求項 1 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】

前記対象線群に含まれる2つの隣接する対象線がなす角は一定である

ことを特徴とする請求項 1 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 7】

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

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

20

30

40

50

## 【請求項 8】

前記対象線群に含まれる対象線の数、3以上であることを特徴とする請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の超音波信号処理装置。

## 【請求項 9】

超音波プローブと、  
請求項 1 から 7 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 10】

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、受波した反射超音波に基づいて生成される複数の音響線信号を合成して合成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、被検体内に超音波ビームを送信イベントごとに前記超音波プローブに送信させ、

各送信イベントに同期して、前記超音波プローブが前記被検体から受波した反射超音波に基づいて、前記超音波プローブの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過する複数の対象線からなる対象線群上に存在す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サブフレーム音響線信号を生成し、

前記整相加算部が生成した前記複数のサブフレーム音響線信号に基づき、前記フレーム音響線信号を合成する

方法であり、

前記対象線群に含まれる各対象線は直線であり、1つの対象線上であって前記フォーカス点からの距離が所定距離以上である1つの観測点について、前記1つの対象線上にある最近接の観測点との距離は、前記1つの対象線に隣接する対象線上に存在する最近接の観測点との距離より小さい

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、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】

従来の超音波診断装置では、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、複数の振動子によって行われる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、図14(a)に示すように、送信超音波ビームの中心軸上に観測点を設定する。そのため、1回の超音波送信イベントでは送信超音波ビームの中心軸上にある1本若しくは少数本の音響線信号しか生成することができず、超音波の利用効率が悪い。また、観測点が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。

10

20

30

40

50

## 【 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、1回の超音波送信イベントから超音波主照射領域全体に対して音響線信号を生成することができる。なお、超音波主照射領域とは、領域内のすべての点において、送信振動子列を構成する各振動子から送波される超音波の位相が揃っている領域を指す。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 】

## 【 非特許文献 】

## 【 0 0 0 5 】

【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

20

## 【 発明の概要 】

## 【 発明が解決しようとする課題 】

## 【 0 0 0 6 】

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。一方で、単純に対象領域における振動子の並ぶ方向の幅を小さくしてその面積を削減すると、空間分解能及びS/N比が十分に向上しないことがある。

30

## 【 0 0 0 7 】

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比の低下を抑制しながら整相加算の演算量を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 8 】

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、受波した反射超音波に基づいて生成される複数の音響線信号を合成して合成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、被検体内に超音波ビームを送信イベントごとに前記超音波プローブに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被検体から受波した反射超音波に基づいて、前記超音波プローブの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過する複数の対象線からなる対象線群上に存在す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

40

50

前記受信信号列を整相加算してサブフレーム音響線信号を生成する整相加算部と、前記整相加算部が生成した前記複数のサブフレーム音響線信号に基づき、前記フレーム音響線信号を合成する合成部とを備え、前記対象線群に含まれる各対象線は直線であり、1つの対象線上であって前記フォーカス点からの距離が所定距離以上である1つの観測点について、前記1つの対象線上にある最近接の観測点との距離は、前記1つの対象線に隣接する対象線上に存在する最近接の観測点との距離より小さいことを特徴とする。

【発明の効果】

【0009】

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、フレーム音響線信号の空間分解能及びS/N比の低下を抑止しながら観測点の数を削減することができ、送信と受信の遅延を加味した整相加算の演算量を削減することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】実施の形態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。

【図2】実施の形態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。

20

【図5】実施の形態に係る対象線群 $B_x$ を示す模式図である

【図6】実施の形態に係る受信開口設定部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7】実施の形態に係る、送信開口 $T_x$ から観測点 $P_{ij}$ を經由して受信振動子 $R_k$ に到達する超音波の伝播経路を示す模式図である。

【図8】実施の形態に係る合成部1140の構成を示す機能ブロック図である。

【図9】実施の形態に係る加算処理部11401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。

【図10】実施の形態に係る、合成音響線信号における最大重畳数と、増幅処理部11402における増幅処理の概要を示す模式図である。

30

【図11】実施の形態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動作を示すフローチャートである。

【図12】実施の形態に係る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生成動作を示すフローチャートである。

【図13】実施の形態に係る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生成動作を説明するための模式図である。

【図14】(a)～(c)は、比較例1～3の対象領域の形状を示す模式図である。

【図15】(a)～(d)は、実施例及び比較例1～3の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16】(a)～(d)は、実施例及び比較例1～3における超音波ビームの進行方向と観測点の関係を示す模式図である。

40

【図17】変形例1に係る $T_x$ 受信開口設定部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18】変形例1に係る超音波診断装置の受信ビームフォーマ部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。

【図19】変形例1に係る受信ビームフォーマ部における観測点 $P_{ij}$ 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20】実施の形態に係る対象線群 $B_x$ の他の例を示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

50

#### 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。

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、「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個分から数個分程度にフォーカスした領域に集束するだけの場合もあるが、この場合、超音波主照射領域はフォーカス深さまでは列方向の幅が狭まり、フォーカス深さでフォーカス領域の列方向の幅となり、フォーカス深さより深い領域では再び列方向が広がる形状となる。なお、この場合においては、フォーカス深さにおける、フォーカス領域の中心点を便宜上「フォーカス点」と規定する。すなわち、超音波主照射領域は、1点フォーカスであるか否かにかかわらず、フォーカス深さではフォーカス点またはその近傍に集束し、それ以外の深さでは、フォーカス深さまでの距離が遠いほど列方向（素子の並び方向）の幅が広がる形状となる。

10

20

#### 【0012】

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、空間解像度や信号S/N比の向上のために好ましい。

#### 【0013】

しかしながら、対象領域に含まれる観測点の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、時間解像度の低下や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止するためには、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。

30

40

#### 【0014】

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。観測点の数を削減する方法としては、対象領域の面積を小さくする方法と、対象領域における観測点の密度を低下させる方法とが考えられる。しかしながら、深さ方向に対象領域を小さくする（狭くする）と超音波画像の生成できる領域が対象領域の面積に比例して小さくなり、また、深さ方向に観測点密度を低下させると、深さ方向の空間解像度である距離分解能が観測点密度に比例して低下する。そこで、発明者は、音響線信号の品質の低下を抑止しながら、振動子の並び方向に観測点の数を削減する方法を模索し、対象領域として、フォーカス点またはその近傍を通過する複数の対象線からなる対象線群を設定し、これによって対象線と交わる向きの観測点の密度を低下させるという着想を得た。このよう

50

にすることで、観測点の数を削減できる一方で、深さ方向には観測点の数も密度も低下していないため、距離分解能や超音波画像の生成範囲の縮小も発生しない。さらに、プローブの振動子の並ぶ方向に対象領域の幅を減少する場合と比べて、連続する2つの送信イベントの対象領域の重複面積が小さくなることに起因する音響線信号の深さ方向の解像度及びS/N比の低下を抑止することができる。これは、連続する2つの送信イベントの対象線群において、重複する観測点の数そのものは減少するものの、1の観測点に関して、フォーカス点Fおよび受信開口との位置関係のバリエーションが小さくならないためである。

#### 【0015】

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。

##### 実施の形態

##### <全体構成>

以下、実施の形態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。

#### 【0016】

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の内部にあってもよい。

#### 【0017】

##### <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。

#### 【0018】

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GPGPU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

10

20

30

40

50

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つ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。

#### 【0019】

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。

#### 【0020】

< 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。

#### 【0021】

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。

#### 【0022】

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。

#### 【0023】

送信部1031は、超音波送信ごとに送信開口Tx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。すなわち、本実施の形態では、超音波送信ごとに、送信開口Txが振動子1つ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、送信開口Txを構成する振動子列の数として、例えば20~100を

10

20

30

40

50

選択してもよく、超音波送信毎に振動子1つ分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から行われる超音波送信を「送信イベント」と称呼する。

#### 【0024】

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、フォーカスが合う(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、「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。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。

#### 【0025】

##### 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1041、合成部1140を備える。

#### 【0026】

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。

#### 【0027】

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、送信開口Tx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。受波振動子の数は、送信開口Tx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。

## 【0028】

送信部1031は、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。

## (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線群 $B_x$ を設定する。次に、対象線群 $B_x$ 上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、対象線群設定部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。

10

## 【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) 対象線群設定部1042

対象線群設定部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線群 $B_x$ を設定する。「対象線群」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、対象線群 $B_x$ 上の観測点 $P_{ij}$ について音響線信号が生成される。対象線群 $B_x$ 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回の送信イベントに同期して計算の便宜上設定される。

20

## 【0030】

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

## 【0031】

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

30

図5は、対象線群 $B_x$ を示す模式図である。図5に示すように、対象線群 $B_x$ は、超音波主照射領域 $A_x$ 内に存在し、複数の対象線 $BL_1 \sim BL_7$ からなる。各対象線は、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、対象線 $BL_1$ および $BL_7$ は、それぞれ超音波主照射領域 $A_x$ の外郭線に該当し、対象線 $BL_4$ は送信開口中心軸 $T_xo$ 上に存在する。なお、超音波主照射領域 $A_x$ の外郭線は便宜上、送信開口 $T_x$ の一端とフォーカス点 $F$ とを通過する直線、および、送信開口 $T_x$ の他端とフォーカス点 $F$ とを通過する直線、の2つであるものとする。また、各対象線 $BL_1 \sim BL_7$ において、隣接する対象線がなす角は概ね等しい。すなわち、フォーカス点 $F$ を中心とする円弧上に存在する観測点は等間隔に並ぶ。また、 $P_{ij}$ とフォーカス点 $F$ との距離が所定距離未満である場合を除き、同一の対象線 $BL_2$ 上の隣接する観測点 $P_{ij}$ と $P_{i(j+1)}$ との間の距離 $d_j$ は、隣接する対象線 $BL_2$ 、 $BL_3$ 上のそれぞれの観測点 $P_{ij}$ と $P_{(i+1)j}$ との間の距離 $d_i$ よりも小さい。なお、距離 $d_j$ は、少なくとも距離 $d_i$ の2倍であり、好ましくは4倍以上、より好ましくは8倍以上である。このようにすることで、観測点は深さ方向に高密度、振動子の並ぶ方向(フォーカス点 $F$ を中心とした円周方向)には低密度となるように、超音波主照射領域 $A_x$ のほぼ全域に均等に配置される。ここで、所定距離とは、対象線上の点と隣接する対象線上の点との距離が、対象線に沿った観測点の間隔より小さくなる範囲を示す。例えば、隣接する対象線のなす角を $\theta$ とした場合、所定距離 $d_p$ は以下の式を満たす。

40

## 【0032】

50

$$d_i = 2 \cdot d_p \cdot \sin(\theta / 2)$$

なお、対象線群  $B_x$  の形状は、上述の場合に限られず、例えば、各対象線  $B_{L1} \sim B_{L7}$  において、送信振動子列と接する位置の距離が等間隔である、としてもよい。また、対象線群  $B_x$  は 7 本の対象線からなるが、これは一例であり、対象線の数は、3 以上の範囲内であれば、任意に設定してよい。

#### 【0033】

また、各観測点  $P_{ij}$  は対象線群  $B_x$  上に存在するとしたが、例えば、観測点の一部または全部が、対象線に近接する位置に設定されてもよい。例えば、観測点  $P_{ij}$  は、振動子の並ぶ方向 ( $x$  方向) と深さ方向 ( $y$  方向) とで示され、各振動子の中心を格子点とする直交座標における格子点上に存在する、とすることができる。このようにすることで、各観測点  $P_{ij}$  に対して  $x$  座標が同一となる振動子が必ず存在するため、音響線信号の品質を向上させることができるからである。この場合、対象線は必ずしも  $y$  方向と平行でないため、観測点を設けようとする位置で、対象線が格子点を通過しないことがある。このような場合、観測点は対象線の直上ではなく、対象線に近接する格子点上に設ける。例えば、対象線上に設けるべき観測点の座標について、所定の桁数において四捨五入などの丸め処理を行うことで、観測点の実際の座標を規定する。具体的には、以下のように観測点を定める。振動子の並ぶ方向 ( $x$  方向) について、プローブの振動子の数を 192、プローブの振動子列の一端の振動子の位置を  $x = 0$ 、他端の振動子の位置を  $x = 191$  とする。深さ方向について、振動子列の位置を  $y = 0$  とし、プローブの振動子 1 つ分だけ深い点を  $y = 1$  とする。フォーカス点  $F$  の座標を  $(64, 1000)$  とし、座標  $(31, 0)$  を通る対象線を設定すると、対象線は以下の数式で示される。

$$y = (1000 / 33) \cdot (x - 31)$$

この時、例えば、 $y = 1500$  の深さに観測点を設けようすると、 $(80.5, 1500)$  となる。この場合、観測点を  $(81, 1500)$  としてもよい。このようにすることで、整相加算において  $x = 81$  の振動子を基準とすることができ、音響線信号の品質を向上させることができる。なお、観測点を実際に設ける位置は上述した場合に限られず、対象線群  $B_x$  上に設けるべき観測点について、その座標の値を丸めて計算上好ましい近接点を実際の観測点とする限りにおいて、任意に行ってもよい。

#### 【0034】

設定された対象線群  $B_x$  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。

#### i i) 受信開口設定部 1043

受信開口設定部 1043 は、制御部 108 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、列中心が送信開口  $T_x$  に含まれる振動子列の列中心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。

#### 【0035】

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。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  $R_k$  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。

#### 【0036】

また、超音波主照射領域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。

受信開口Rxの設定は、送信イベントに対応して、少なくとも送信イベントと同じ回数だけ行われる。また、受信開口Rxの設定は、送信イベン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が終了した後に、各送信イベントに対応した受信開口Rxの設定が送信イベントの回数分まとめて行われる構成であってもよい。

#### 【0037】

選択された受信開口Rx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。

データ格納部107は、受信開口Rx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。

10

#### 【0038】

iii)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。送信イベントに対応して、データ格納部107から取得した、送信開口Txに含まれる振動子の位置を示す情報と、対象線群設定部1042から取得した超音波主照射領域Axを含む対象線群Bxの位置を示す情報とに基づき対象線群Bx上に存在する任意の観測点Pijについて、送信された超音波が被検体中の観測点Pijに到達する送信時間を算出する。

#### 【0039】

20

図7は、送信開口Txから放射され対象線群Bx上の任意の位置にある観測点Pijにおいて反射され受信開口Rx内に位置する受信振動子Rk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7(a)は観測点Pijの深さがフォーカス深さ以上の場合、図7(b)は観測点Pijがフォーカス深さより浅い場合を示している。

送信開口Txから放射された送信波は、経路401を通過し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観測点Pijに到達し、観測点Pij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における受信開口Rx内の受信振動子Rk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と任意の観測点Pij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。

30

#### 【0040】

送信時間の算出方法を、以下、さらに詳細に説明する。

まず、観測点Pijの深さがフォーカス深さ以上の場合について、図7(a)を用いて説明する。観測点Pijの深さがフォーカス深さ以上の場合、送信開口Txから放射された送信波が、経路401を通過し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を通過して観測点Pijに到達したものと算出する。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の長さから経路402の長さ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。

#### 【0041】

40

一方、観測点Pijがフォーカス深さより浅い場合について、図7(b)を用いて説明する。観測点Pijがフォーカス深さより浅い場合は、送信開口Txから放射された送信波が、経路401を通過して送信フォーカス点Fに到達する時刻と、経路404を通過して観測点Pijに到達した後、観測点Pijから経路402を通過し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401を通過する時間から、経路402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401の長さから経路402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。

#### 【0042】

なお、観測点Pijがフォーカス深さである場合の送信時間は、観測点Pijがフォー

50

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401を通過する時間と、経路402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、観測点  $P_{ij}$  が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401を通過する時間から、経路402を通過する時間を差し引く計算方法を用いてもよい。経路402の長さが0となるため、いずれで算出しても経路401を通過する時間と一致するためである。

#### 【0043】

送信時間算出部1044は、1回の送信イベントに対し、対象線群  $B_x$  上の全ての観測点  $P_{ij}$  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。

10

#### 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  $R_x$  に含まれる受信振動子  $R_k$  の各々に到達する受信時間を算出する回路である。送信イベントに対応して、データ格納部107から取得した受信振動子  $R_k$  の位置を示す情報と、対象線群設定部1042から取得した対象線群  $B_x$  の位置を示す情報とに基づき対象線群  $B_x$  上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。

#### 【0044】

上述のとおり、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  $R_x$  内の各受信振動子  $R_k$  に戻っていく。受信開口  $R_x$  内の各受信振動子  $R_k$  の位置情報はデータ格納部107から取得されるので、任意の観測点  $P_{ij}$  から各受信振動子  $R_k$  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。

20

#### 【0045】

受信時間算出部1045は、1回の送信イベントに対し、対象線群  $B_x$  上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  $P_{ij}$  で反射して各受信振動子  $R_k$  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  $R_x$  内の各受信振動子  $R_i$  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  $R_k$  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  $P_{ij}$  で反射して各受信振動子  $R_k$  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信振動子  $R_k$  へ到達するまでの総伝播時間を算出し、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  $R_k$  に対する遅延量を算出する。遅延量算出部1046は、対象線群  $B_x$  上に存在する全ての観測点  $P_{ij}$  について、各受信振動子  $R_i$  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。

30

#### 【0046】

#### v i) 遅延処理部1047

遅延処理部1047は、受信開口  $R_x$  内の受信振動子  $R_k$  に対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信振動子  $R_k$  に対応する受信信号として同定する回路である。

40

遅延処理部1047は、送信イベントに対応して、受信開口設定部1043から受信振動子  $R_k$  の位置を示す情報、データ格納部107から受信振動子  $R_k$  に対応する受信信号、対象線群設定部1042から取得した対象線群  $B_x$  の位置を示す情報、遅延量算出部1046から各受信振動子  $R_k$  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、各受信振動子  $R_k$  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】

50

## v i i ) 重み算出部 1 0 4 8

重み算出部 1 0 4 8 は、受信開口  $R \times$  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（受信アポダイゼーション）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  $R \times$  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、ハンニング窓、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  $R \times$  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  $R \times o$  と一致する。重み算出部 1 0 4 8 は、受信開口設定部 1 0 4 3 から出力される受信振動子  $R_k$  の位置を示す情報を入力として、各受信振動子  $R_k$  に対する重み数列を算出し加算部 1 0 4 9 に出力する。

## 【 0 0 4 8 】

## v i i i ) 加算部 1 0 4 9

加算部 1 0 4 9 は、遅延処理部 1 0 4 7 から出力される各受信振動子  $R_k$  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 1 0 4 8 から出力される各受信振動子  $R_k$  に対する重み数列を入力として、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する構成としてもよい。遅延処理部 1 0 4 7 において受信開口  $R \times$  内に位置する各受信振動子  $R_k$  が検出した受信信号の位相を整えて加算部 1 0 4 9 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信振動子  $R_k$  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。

## 【 0 0 4 9 】

1 回の送信イベントとそれに伴う処理から、対象線群  $B \times$  上の全ての観測点  $P_{ij}$  について音響線信号を生成することができる。そして、送信イベントに同期して送信開口  $T \times$  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 1 0 1 に存する全ての振動子 1 0 1 a 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。

## 【 0 0 5 0 】

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 1 0 4 9 により、送信イベントに同期して対象線群  $B \times$  上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 1 0 7 に出力され保存される。

## 【 0 0 5 1 】

## ( 5 ) 合成部 1 1 4 0

合成部 1 1 4 0 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からフレーム音響線信号を合成する回路である。図 8 は、合成部 1 1 4 0 の構成を示す機能ブロック図である。図 8 に示すように、合成部 1 1 4 0 は、加算処理部 1 1 4 0 1、増幅処理部 1 1 4 0 2 を備える。

## 【 0 0 5 2 】

以下、合成部 1 1 4 0 を構成する各部の構成について説明する。

## i ) 加算処理部 1 1 4 0 1

加算処理部 1 1 4 0 1 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 1 0 7 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

10

20

30

40

50

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。

【 0 0 5 3 】

図 9 は、加算処理部 1 1 4 0 1 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（送信開口  $T \times$ ）に用いる振動子を振動子列方向に振動子 1 つ分だけ異ならせて超音波送信が順次行われる。そのため、異なる送信イベントに基づく対象線群  $B \times$  も送信イベントごとに同一方向に振動子 1 つ分だけ位置が異なる。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が取得された観測点  $P_{ij}$  の位置を指標として加算することにより、全ての対象線群  $B \times$  を網羅したフレーム音響線信号が合成される。

10

【 0 0 5 4 】

また、位置の異なる複数の対象線群  $B \times$  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  $P_{ij}$  が異なる対象線群  $B \times$  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。

【 0 0 5 5 】

また、本実施の形態では、対象線群  $B \times$  は砂時計形状の領域内に存在する。そのため、図 10 ( 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。但し、本実施例の形態では対象線群の数が例えば 1 1 の場合、最大重畳数は結果的に高々 1 1 に制限される。

20

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  $P_{ij}$  の位置を指標として加算する際に、観測点  $P_{ij}$  の位置を指標として重みづけしながら加算してもよい。

【 0 0 5 6 】

合成されたフレーム音響線信号は増幅処理部 1 1 4 0 2 に出力される。

i i ) 増幅処理部 1 1 4 0 2

上述のとおり、合成音響線信号の値は被検体の深さ方向において変化するので、これを補うために、増幅処理部 1 1 4 0 2 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

30

【 0 0 5 7 】

図 10 ( b ) は、増幅処理部 1 1 4 0 2 における増幅処理の概要を示す模式図である。図 10 ( 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。

【 0 0 5 8 】

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。

40

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。

【 0 0 5 9 】

< 動作 >

以上の構成からなる超音波診断装置 1 0 0 の動作について説明する。

図 1 1 は、受信ビームフォーマ部 1 0 4 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。

50

先ず、ステップ S 1 0 1 において、送信部 1 0 3 1 は、プローブ 1 0 1 に存する複数の振動子 1 0 1 a 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。

【 0 0 6 0 】

次に、ステップ S 1 0 2 において、受信部 1 0 4 0 は、プローブ 1 0 1 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 1 0 7 に出し、データ格納部 1 0 7 に受信信号を保存する。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する（ステップ S 1 0 3 ）。そして、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 を列方向に振動子 1 つ分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 S 2 0 1 に進む。

10

【 0 0 6 1 】

次に、ステップ S 2 1 0 において、対象線群設定部 1 0 4 2 は、送信イベントに同期して、送信開口 T x の位置を示す情報に基づき対象線群 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信開口 T x から求められる対象線群 B x 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 S 2 2 0 ( S 2 2 1 ~ S 2 2 8 ) ) に進む。ステップ S 2 2 0 では、まず、観測点 P i j の位置を示す座標 i j を対象線群 B x 上の最小値に初期化し（ステップ S 2 2 1、S 2 2 2 ）、受信開口設定部 1 0 4 3 は、列中心が観測点 P i j 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 S 2 2 3 ）。

20

【 0 0 6 2 】

次に、観測点 P i j について音響線信号を生成する（ステップ S 2 0 4 ）。

ここで、ステップ S 2 0 4 における、観測点 P i j 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 1 2 は、受信ビームフォーマ部 1 0 4 における観測点 P i j についての音響線信号生成動作を示すフローチャートである。図 1 3 は、受信ビームフォーマ部 1 0 4 における観測点 P i j についての音響線信号生成動作を説明するための模式図である。

【 0 0 6 3 】

まず、ステップ S 2 2 4 1 において、送信時間算出部 1 0 4 4 は、対象線群 B x 上に存在する任意の観測点 P i j について、送信された超音波が被検体中の観測点 P i j に到達する送信時間を算出する。送信時間は、( 1 ) 観測点 P i j の深さがフォーカス深さ以上の場合には、幾何学的に定まる受信開口 R x 内の受信振動子 R k から送信フォーカス点 F を経由して観測点 P i j に至る経路 ( 4 0 1 + 4 0 2 ) 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 i j がフォーカス深さより浅い場合には、幾何学的に定まる、受信開口 R x 内の受信振動子 R k から送信フォーカス点 F に至る経路と観測点 P i j からフォーカス点に至る経路との差分 ( 4 0 1 - 4 0 2 ) の長さを、超音波の音速 c s で除することにより、算出できる。

30

【 0 0 6 4 】

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 S 2 2 4 2 ）、送信された超音波が被検体中の観測点 P i j 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 S 2 2 4 3 ）。受信時間は、幾何学的に定まる観測点 P i j から受信振動子 R k までの経路 4 0 3 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 i j 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 S 2 2 4 4 ）、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 k に対する遅延量を算出する（ステップ S 2 2 4 5 ）。

40

【 0 0 6 5 】

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 S 2 2 4 6 ）、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 S 2 2 4 7 ）、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

50

S 2 2 4 3 )、完了している場合にはステップ S 2 2 4 8 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。

#### 【 0 0 6 6 】

ステップ S 2 2 4 8 において、遅延処理部 1 0 4 7 は、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 1 0 4 8 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 S 2 2 4 9)。加算部 1 0 4 9 は、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 S 2 2 5 0)、生成された観測点  $P_{ij}$  について音響線信号はデータ格納部 1 0 7 に出力され保存される (ステップ S 2 2 5 1)。

10

#### 【 0 0 6 7 】

次に、図 1 1 に戻り、座標  $ij$  をインクリメントしてステップ S 2 0 7 を繰り返すことにより、対象線群  $B_x$  上の座標  $ij$  に位置する全ての観測点  $P_{ij}$  (図 1 3 中の「・」) について音響線信号が生成される。対象線群  $B_x$  上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 S 2 2 5、S 2 2 7)、完了していない場合には座標  $ij$  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 回の送信イベントに伴う対象線群  $B_x$  上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、データ格納部 1 0 7 に出力され保存されている。

20

#### 【 0 0 6 8 】

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 S 2 3 0)、終了していない場合には、ステップ S 2 1 0 に戻り、観測点  $P_{ij}$  の位置を示す座標  $ij$  を、次の送信イベントでの送信開口  $T_x$  から求められる対象線群  $B_x$  上の最小値に初期化し (ステップ S 2 2 1、S 2 2 2)、受信開口  $R_x$  を設定する (ステップ S 2 2 3) し、完了している場合にはステップ S 3 0 1 に進む。

#### 【 0 0 6 9 】

次に、ステップ S 3 0 1 において、加算処理部 1 1 4 0 1 は、データ格納部 1 0 7 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し、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、増幅処理部 1 1 4 0 2 は、フレーム音響線信号に含まれる各合成音響線信号の加算回数に応じて決定された増幅率を各合成音響線信号に乘じ (ステップ S 3 0 2)、増幅されたフレーム音響線信号を、超音波画像生成部 1 0 5 及びデータ格納部 1 0 7 に出力し (ステップ S 3 0 3) 処理を終了する。

30

#### 【 0 0 7 0 】

< 受信ビームフォーミングの効果 >

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 3 つの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。

40

( 1 ) 受信ビームフォーミング

実施例では、対象線群  $B_x$  が複数の対象線からなる。また、対象線の 1 つは送信開口中心軸  $T_x$  上にあり、超音波主照射領域  $A_x$  の外郭上に 2 つの対象線がある。また、隣接する 2 つの対象線のなす角は全て所定の角度  $d$  である。

#### 【 0 0 7 1 】

図 1 4 ( a ) に示す比較例 1 では、対象領域  $B_x 1$  は、フォーカス点  $F$  を通過しプロローブの振動子の並ぶ方向と直交する直線のみからなる。すなわち、合成開口法を用いない受信ビームフォーミングである。なお、比較例 1 において、観測点の深さのみに基づいて送信時間を算出するとしてもよい。なお、比較例 1 に示す対象領域  $B_x 1$  上の観測点におい

50

ては、実施の形態に係る送信時間と、従来の観測点の深さのみに基づく従来技術による送信時間とは完全に一致するため、得られる超音波画像に算出方法の違いによる影響は発生しない。なお、観測点の数は、実施例における1つの対象線上の観測点数と同一であるので、整相加算の演算量は実施例の0.1倍より多く、0.4倍より少ない。

【0072】

図14(b)に示す比較例2では、対象領域 $B \times 2$ は、フォーカス点Fを含む、超音波主照射領域 $A \times$ よりプローブの振動子の並ぶ方向(x方向)に幅が狭い領域である。なお、対象領域 $B \times 2$ の観測点密度は、対象線群 $B \times$ における対象線に沿う向きの観測点密度と等しく、対象領域 $B \times 2$ に含まれる観測点 $P_{ij}$ の数は、実施例の対象線群 $B \times$ に含まれる観測点 $P_{ij}$ の数と等しい。言い換えれば、対象領域 $B \times 2$ の角度範囲と超音波主照射領域 $A \times$ の角度範囲の比は、対象線群 $B \times$ における、対象線に直交する向きの観測点密度と対象線に沿う向きの観測点密度との比に等しい。観測点の数は実施例と等しいため、整相加算の演算量も実施例と全く同じである。

10

【0073】

図14(c)に示す比較例3では、対象領域 $B \times 3$ は、超音波主照射領域 $A \times$ の全域である。なお、対象領域 $B \times 3$ の観測点密度は、対象領域 $B \times 2$ の観測点密度および対象線群 $B \times$ における対象線に沿う向きの観測点密度と等しい。すなわち、対象線群 $B \times$ および対象領域 $B \times 2$ の観測点の数と、対象領域 $B \times 3$ の観測点の数との比は、対象領域 $B \times 2$ の角度範囲と超音波主照射領域 $A \times$ の角度範囲の比に等しく、また、対象線群 $B \times$ における、対象線に直交する向きの観測点密度と対象線に沿う向きの観測点密度との比に等しい。なお、観測点の数は、実施例において、対象線に直交する向きの観測点密度を、対象線に沿う向きの観測点密度と同じとなるように増加させた状態に一致するため、整相加算の演算量は実施例の約3倍以上である。

20

【0074】

#### (2) 超音波画像の品質

図15に、実施例および比較例1~3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。図15(c)は実施例、図15(a)、(b)、(d)はそれぞれ比較例1~3に対応する。なお、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。

【0075】

図15(a)に示すように、比較例1では、フォーカス深さ(円形となっている輝点の深さ)から遠ざかるほど、円形となるべき輝点が振動子の並ぶ方向に滲んでおり、また、深度が大きくなるほどノイズが多く不鮮明な画像となっている。これは、フォーカス点Fから遠ざかるほど超音波ビームのフォーカスが甘くなって送信超音波の振幅が低下し位相の乱れが大きくなることが考えられる。

30

【0076】

一方、図15(d)に示すように、比較例3では、最深部で像が暗くなっているものの、円形の輝点の滲みがほとんどなく、全域で像が鮮明となっている。これは、複数の送信イベントで取得したフレーム音響線信号を合成する仮想ビームフォーミングにより、音響線信号が強め合っただけでノイズ成分が打ち消しあい、音響線信号の解像度およびS/N比が向上したことが考えられる。

40

【0077】

なお、比較例2と実施例では次のような結果が得られた。比較例2に係る超音波画像は図15(b)であり、実施例に係る超音波画像は図15(c)である。図15(c)に示すように、実施例では比較例3より深部のノイズが多いものの、円形の輝点の滲みがほとんどなく、全域で明瞭な像を得ている。これに対し、図15(b)に示すように、比較例2では比較例1より深度のノイズが弱いものの、フォーカス深さから遠ざかるほど円形となるべき輝点が振動子の並ぶ方向に滲んでおり、深度が大きくなるほどノイズが多く不鮮明な画像となっている。つまり、観測点の数が同一であり整相加算の演算量が同一であるにもかかわらず、比較例3と比べて、比較例2では目立った劣化をしているのに対し、実

50

施例では目立った劣化をしていない。

【0078】

(3) 結果の考察

実施例も比較例2も同じだけ比較例3より演算量を削減しているにもかかわらず、音響線信号の品質に大きく差が発生したのは、以下の理由によるものと考えられる。図16に、実施例および各比較例における、合成後のフレーム音響線における1つの観測点 $P_{ij}$ に対する、各送信イベントで用いた対象線を示した模式図である。

【0079】

比較例1では、図16(a)に示すように、1つの観測点 $P_{ij}$ に対し、直線 $S_{12}$ を対象線とする送信イベントにおいて取得された音響線信号のみを用いてフレーム音響線信号が生成される。このとき、他の直線 $S_{11}$ または $S_{13}$ を対象線とする送信イベントで取得されたサブフレーム音響線信号は、観測点 $P_{ij}$ を含まないため使用できない。したがって、フレーム音響線信号は、互いに空間座標が重複しないサブフレーム音響線信号を、振動子の並ぶ方向に並べただけにすぎず、複数の送信イベントで取得したフレーム音響線信号を合成する仮想ビームフォーミングが行われない。したがって、フレーム音響線信号の距離分解能や $S/N$ 比はサブフレーム音響線信号の距離分解能や $S/N$ 比と同一であり、フォーカス深さから離れるほど超音波ビームのフォーカスの甘さや信号強度の低下による音響線信号の品質劣化が顕著となる。

【0080】

一方、比較例3では、図16(c)に示すように、1つの観測点 $P_{ij}$ に対し、直線 $S_{31}$ を対象線とする送信イベントにおいて取得された音響線信号、直線 $S_{32}$ を対象線とする送信イベントにおいて取得された音響線信号、...、直線 $S_{3n}$ を対象線とする送信イベントにおいて取得された音響線信号、と、超音波ビームの進行方向の異なる多数の音響線信号を用いてフレーム音響線信号が生成される。これにより、進行方向の異なる超音波ビームに対する音響線信号が合成され、フレーム音響線信号の空間分解能や $S/N$ 比が向上する。

【0081】

ここで、比較例2と実施例における、観測点 $P_{ij}$ の重畳数を5であるとする。このとき、比較例2においても実施例においても、観測点 $P_{ij}$ に係るフレーム音響線信号は、いずれも5つの送信イベントで取得したサブフレーム音響線信号を合成することとなる。ところが、この5つの送信イベントにおけるそれぞれの超音波ビームの進行方向は、比較例2と実施例とで異なる。比較例2では、図16(b)に示すように、観測点 $P_{ij}$ に対し、直線 $S_{21}$ を対象線とする送信イベントにおいて取得された音響線信号、直線 $S_{22}$ を対象線とする送信イベントにおいて取得された音響線信号、...、直線 $S_{25}$ を対象線とする送信イベントにおいて取得された音響線信号が使用される。これに対し、実施例では、図16(d)に示すように、直線 $S_{41}$ を対象線とする送信イベントにおいて取得された音響線信号、直線 $S_{4p}$ を対象線とする送信イベントにおいて取得された音響線信号、直線 $S_{4m}$ を対象線とする送信イベントにおいて取得された音響線信号、直線 $S_{4q}$ を対象線とする送信イベントにおいて取得された音響線信号、直線 $S_{4n}$ を対象線とする送信イベントにおいて取得された音響線信号が使用される。比較例2では、直線 $S_{21} \sim S_{25}$ が高密度に存在しているため、直線 $S_{21}$ と $S_{25}$ のなす角は比較例3の $S_{31}$ と $S_{3n}$ のなす角より小さいのに対し、実施例では、直線 $S_{41}$ と $S_{4n}$ のなす角は比較例3の $S_{31}$ と $S_{3n}$ のなす角に等しい。複数の送信イベントで取得したフレーム音響線信号を合成する仮想ビームフォーミングにより音響線信号の空間解像度や $S/N$ 比が向上する理由としては、(1)距離分解能と方位分解能は超音波ビームの進行方向に依存するため、進行方向の異なる超音波ビームで得た音響線信号を合成することで補完により空間解像度および $S/N$ 比が向上する、(2)観測点とフォーカス点 $F$ および受信開口との位置関係が異なることにより、観測点周囲の影響によるノイズのパターンが異なり、合成によってノイズが打ち消され $S/N$ 比が向上する、の2つが考えられる。したがって、(1)および(2)の効果を高めるには、合成に用いる音響線信号が取得された送信イベントの対象

10

20

30

40

50

線の角度差が大きいほうがよい。したがって、比較例 2 では、実施例や比較例 3 と比べ、(1) 超音波ビームの進行方向の範囲が狭く、進行方向の異なる超音波ビームで得た音響線信号を合成することによる補完の効果が小さい、(2) 観測点とフォーカス点 F および受信開口との位置関係の変化にも乏しいため、超音波ビームの進行方向に直交する向きの虚像(アーチファクト)がどの送信イベントにも類似した方向に発生し、振動子の並ぶ方向の虚像として残った、ということが考えられる。これに対し、実施例では、比較例 3 と比べ、(1) 重畳数は低下しているものの超音波ビームの進行方向の範囲が同程度に広く、進行方向の異なる超音波ビームで得た音響線信号を合成することによる補完の効果が十分に得られる、(2) 観測点とフォーカス点 F および受信開口との位置関係の変化の幅は同程度に広いため、S/N 比が向上する、ということになったと考えられる。すなわち、複数の送信イベントで取得したフレーム音響線信号を合成する仮想ビームフォーミングの効果は、重畳数による影響は小さく、超音波ビームの進行方向の範囲や観測点とフォーカス点 F および受信開口との位置関係のパリエーションの広さに大きく影響されるものと考えられる。

10

#### 【0082】

以上の理由から、実施例では演算量が比較例 3 と比べて大きく削減されているにもかかわらず、音響線信号の解像度および S/N 比の劣化が抑止されたものと考えられる。

なお、ここでは実施例の演算量は比較例 3 の演算量の約 1/3 以下であるとしたが、本実施の形態に係る観測点の数および演算量は、比較例 3 と比べて 20% 程度、または、それ以下であることがより好ましい。これにより、演算量を約 80% 削減することができ、演算能力の低いプロセッサにより超音波診断装置を低コストで実現する、あるいは、プロセッサの演算能力を着目領域の拡大やフレームレートの向上に振り分けることが可能となる。

20

#### 【0083】

<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。

30

#### 【0084】

また、超音波診断装置 100 では、サブフレーム音響線信号の生成されるべき対象領域を、フォーカス点 F またはその近傍を通過する複数の対象線からなるように設定される。これにより、観測点の存在領域自体を縮小することなく、かつ、観測点の深さ方向の密度を低下させることなく、観測点の数を削減することができる。そのため、整相加算の演算量を大きく削減できるのに対し、深さ方向の空間解像度、信号 S/N 比の向上効果を維持することができる。さらに、振動子の並ぶ方向においても、空間解像度、信号 S/N 比が大きく低下しない。これは、観測点の存在する領域が狭くならないため、各振動子と観測点との間の超音波の各径路の向きの取りうる範囲が狭くならず、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である。したがって、従来の合成開口法を用いる超音波診断装置と比較して、音響線信号の品質劣化を抑止しつつ演算量を大きく削減することができ、プロセッサのコスト削減に奏功する。

40

#### 【0085】

また、超音波診断装置 100 では、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 振動子列を選択し、送信イベントに依存せず観測点 P の位置に基づいて、観測点 P を中心として対称な受信開口を用いて受信ビームフォーミングを行う。そのため、送信フォーカス点 F を横軸方向に変化(移動)させる送信イベントに同期せず、受信開口の位置が一定となり、異なる送信イベントにおいても同一の観測点 P に対して同一の受信開口にて整相加算を行うことができる。併せて

50

、観測点 P からの反射波を、観測点 P から距離が小さい振動子ほど大きな重み数列が適用されることができるので、超音波が伝播距離に依存して減衰することを鑑みても、観測点 P に対して最も感度よく反射波を受信することができる。その結果、局所的に高い空間分解能と信号 S / N 比を実現できる。

【 0 0 8 6 】

変形例 1

実施の形態 1 に係る超音波診断装置 1 0 0 では、受信開口設定部 1 0 4 3 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 を選択する構成とした。しかしながら、受信開口 R x の構成は、送信開口 T x から送信された超音波が送信フォーカス点 F を経由して対象線群 B x 上の観測点 P i j で反射され受信開口 R x の受信振動子 R k に到達するまでの総伝播時間を算出して総伝播経路に基づく遅延制御を行なうことで、対象線群 B x 上の全ての観測点 P i j についての音響線信号を生成するものであればよく、受信開口 R x の構成は適宜変更することができる。

10

【 0 0 8 7 】

変形例 1 では、列中心が送信開口 T x 振動子列の列中心と合致する受信開口 R x 振動子列を選択する送信同期型受信開口設定部（以後、「T x 受信開口設定部」）を備えた点で実施の形態 1 と相違する。T x 受信開口設定部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。

図 1 7 は、T x 受信開口設定部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。変形例 1 では、受信開口 R x 振動子列の列中心が送信開口 T x 振動子列の列中心と合致するように受信開口 R x 振動子列が選択される。受信開口 R x の中心軸 R x o の位置は、送信開口 T x の中心軸 T x o の位置と同一であり、受信開口 R x は、送信フォーカス点 F を中心として対称な開口である。したがって、送信イベントにごとに列方向に移動する送信開口 T x の位置変化に同期して、受信開口 R x の位置も移動する。

20

【 0 0 8 8 】

また、受信開口 R x の中心軸 R x o 及び送信開口 T x の中心軸 T x o 上に位置する振動子に対する重みが最大となるよう受信開口 R x の各受信振動子 R k に対する重み数列（受信アポダイゼーション）は算出される。重み数列は、振動子 X k 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。

30

【 0 0 8 9 】

< 動作 >

図 1 8 は、変形例 1 に係る超音波診断装置の受信ビームフォーマ部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。本フローチャートでは、図 1 1 における観測点同期型ビームフォーミング処理（ステップ S 2 2 0（S 2 2 1 ~ S 2 2 8））に替えて送信同期型ビームフォーミング処理（ステップ S 4 2 0（S 4 2 1 ~ S 4 2 8））を行う点にて相違する。ステップ S 4 2 0 以外の処理については、図 1 1 と同じであり、同じ部分については説明を省略する。

【 0 0 9 0 】

ステップ S 4 2 0 の処理において、まず、ステップ S 4 2 1 では、T x 受信開口設定部は、送信イベントに対応して列中心が送信開口 T x に含まれる振動子列の列中心と合致する振動子列を受信振動子 R k として選択して受信開口 R x を設定する。

40

次に、ステップ S 2 1 0 で算出した対象線群 B x 上の観測点 P i j の位置を示す座標 i j を対象線群 B x 上の最小値に初期化し（ステップ S 4 2 2、S 4 2 3）、観測点 P i j について音響線信号を生成する（ステップ S 4 2 4）。図 1 9 は、変形例 1 に係る受信ビームフォーマ部における観測点 P i j についての音響線信号生成動作を説明するための模式図である。実施の形態 1 に関する図 1 3 とは、送信開口 T x と受信開口 R x との位置関係が異なる。ステップ S 4 2 4 における処理方法については、図 1 1 におけるステップ S 2 2 4（図 1 2 におけるステップ S 2 2 4 1 ~ ステップ S 2 2 5 1）と同じである。

【 0 0 9 1 】

50

座標  $i j$  をインクリメントしてステップ S 4 2 4 を繰り返すことにより、対象線群  $B x$  上の座標  $i j$  に位置する全ての観測点  $P i j$  ( 図 1 9 中の「・」) について音響線信号が生成される。対象線群  $B x$  上に存在する全ての観測点  $P i j$  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 S 4 2 5、S 4 2 7)、完了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 4 2 6、S 4 2 8)して、観測点  $P i j$  について音響線信号を生成し(ステップ S 4 2 4)、完了している場合にはステップ S 2 3 0 に進む。この段階で、1 回の送信イベントに伴う対象線群  $B x$  上に存在する全ての観測点  $P i j$  のサブフレームの音響線信号が生成されデータ格納部 1 0 7 に出力され保存されている。

【 0 0 9 2 】

< 効果 >

以上説明した、変形例 1 に係る超音波診断装置では、実施の形態 1 において示した効果のうち観測点同期型の受信開口に関する部分を除いた効果に変えて、以下の効果を奏する。すなわち、変形例 1 では、 $T x$  受信開口設定部は送信イベントに対応して列中心が送信開口  $T x$  に含まれる振動子列の列中心と合致する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。そのため、受信開口  $R x$  の中心軸  $R x o$  の位置は、送信開口  $T x$  の中心軸  $T x o$  の位置と同一であり、送信イベントにごとに列方向に移動する送信開口  $T x$  の位置変化に同期して、受信開口  $R x$  の位置も変化(移動)する。よって、送信イベントに同期してそれぞれ異なる受信開口にて整相加算を行うことができ、複数の送信イベントにわたって受信時刻は異なるものの、結果としてより一層広い受信開口を用いた受信処理 4 の効果が得られ、広い観測領域で空間分解能を均一にすることができる。

【 0 0 9 3 】

実施の形態に係るその他の変形例

( 1 ) 実施の形態及び変形例では、対象線群  $B x$  が、7 本の対象線を等角度に配置した場合を例示したが、対象線群  $B x$  の対象線の本数は 3 以上であればよい。図 2 0 ( a ) に対象線の本数が 9 である場合について例示する。また、対象線の位置関係は、隣接する 2 本の対象線のなす角が一定である場合に限られず、例えば、同じ深さにおいて、対象線上の観測点の間隔が等間隔である、としてもよい。図 2 0 ( b ) に、1 1 本の対象線からなる場合の対象線群  $B x$  を示す。ここで、直線  $L$  は振動子の並ぶ方向と平行な直線であり、直線  $L$  と各対象線の交点の間隔  $d 1 \sim d 1 0$  は一定である。

【 0 0 9 4 】

なお、対象線群  $B x$  は上述の例に限られず、送信フォーカス点  $F$  を通過する複数の対象線からなり、隣接する 2 つの対象線上にあり、フォーカス点  $F$  から等しい距離にある、または、同じ深さにある、2 つの観測点の間の距離が、同一の対象線上にある 2 つの隣接する観測点の間の距離より大きい限り、任意の形状でよい。なお、対象線の本数は、3 以上であることが好ましい。ただし、上述したように、対象線の向きは互いに類似しないほうが好ましいため、角度または振動子の並ぶ方向に均等であることが好ましい。また、2 つの対象線がなす角の最大値は大きいことが好ましく、2 つの対象線が超音波主照射領域  $A x$  の外郭線に一致していることが好ましい。さらに、1 つの対象線が送信開口中心軸  $T x o$  上にあることが好ましい。これは、最も信号強度の高い音響線信号を取得することができるからである。

【 0 0 9 5 】

( 2 ) 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。

【 0 0 9 6 】

10

20

30

40

50

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。

【0097】

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

10

20

【0098】

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。

【0099】

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。

30

【0100】

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。

40

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。

【0101】

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、

50

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。

【0102】

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。

10

【0103】

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。

【0104】

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。

20

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。

【0105】

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、受波した反射超音波に基づいて生成される複数の音響線信号を合成して合成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、被検体内に超音波ビームを送信イベントごとに前記超音波プローブに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被検体から受波した反射超音波に基づいて、前記超音波プローブの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過する複数の対象線からなる対象線群上に存在す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サブフレーム音響線信号を生成する整相加算部と、前記整相加算部が生成した前記複数のサブフレーム音響線信号に基づき、前記フレーム音響線信号を合成する合成部とを備え、前記対象線群に含まれる各対象線は直線であり、1つの対象線上であって前記フォーカス点からの距離が所定距離以上である1つの観測点について、前記1つの対象線上にある最近接の観測点との距離は、前記1つの対象線に隣接する対象線上に存在する最近接の観測点との距離より小さいことを特徴とする。

30

40

【0106】

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、受波した反射超音波に基づいて生成される複数の音響線信号を合成して合成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、被検体内に超音波ビームを送信イベントごとに前記超音波プローブに送信させ、各送信イベントに同期して、前記超音波プローブが前記被検体から受波した反射超音波に基づいて、前記超音波プローブの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過する複数の対象線からなる対象線群上に存在す

50

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サブフレーム音響線信号を生成し、前記整相加算部が生成した前記複数のサブフレーム音響線信号に基づき、前記フレーム音響線信号を合成する方法であり、前記対象線群に含まれる各対象線は直線であり、1つの対象線上であって前記フォーカス点からの距離が所定距離以上である1つの観測点について、前記1つの対象線上にある最近接の観測点との距離は、前記1つの対象線に隣接する対象線上に存在する最近接の観測点との距離より小さいことを特徴とする。

【0107】

上記構成又は方法によれば、フレーム音響線信号の空間分解能及びS/N比の低下を抑止しながら観測点の数を削減することができ、整相加算の演算量を削減することができる。

10

(2)また、上記(1)の超音波信号処理装置は、前記対象線群は、前記超音波プローブの振動子が並ぶ方向に対して直交する対象線を含む、としてもよい。

【0108】

上記構成により、対象線群が最も信号強度の大きい音響線信号を取得できる対象線を含むため、フレーム音響線信号のS/N比を向上させることができる。

(3)また、上記(1)または(2)の超音波信号処理装置は、前記送信部は、前記超音波プローブに列設された複数の振動子から前記超音波ビームを送信するための送信振動子列を選択し、前記対象線群は、前記送信振動子列の一端を通過する対象線と、前記送信振動子列の他端を通過する対象線とを含む、としてもよい。

20

【0109】

上記構成により、振動子の並ぶ方向における対象線群の広がりを大きくすることができる。

(4)また、上記(3)の超音波信号処理装置は、前記対象線は全て、前記送信振動子列を通過する、としてもよい。

上記構成により、超音波ビームの位相の乱れが生じない範囲内で、振動子の並ぶ方向における対象線群の広がりを最大限に大きくすることができる。

【0110】

(5)また、上記(1)～(4)の超音波信号処理装置は、同じ深さにおける複数の観測点は、前記超音波プローブの振動子が並ぶ方向に対して等間隔に並ぶ、としてもよい。

30

上記構成により、振動子の並ぶ方向において観測点の密度を均一にすることができ、合成開口法によるフレーム音響線信号の空間分解能及びS/N比の向上効果を高めることができる。

【0111】

(6)また、上記(1)～(4)の超音波信号処理装置は、前記対象線群に含まれる2つの隣接する対象線がなす角は一定である、としてもよい。

上記構成により、フォーカス領域を中心とする同心円の円弧上において観測点の密度を均一にすることができ、合成開口法によるフレーム音響線信号の空間分解能及びS/N比の向上効果を高めることができる。

【0112】

40

(7)また、上記(1)～(6)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。

【0113】

上記構成により、サブフレーム音響線信号の合成において音響線信号の位置を精度よく同定することができ、合成開口法によるフレーム音響線信号の空間分解能及びS/N比の

50

向上効果を高めることができる。

(8) また、上記(1)～(7)の超音波信号処理装置は、前記対象線群に含まれる対象線の数は、3以上である、としてもよい。

【0114】

上記構成により、フレーム音響線信号の空間分解能及びS/N比の低下を抑止しながら、演算量を削減することができる。

【産業上の利用可能性】

【0115】

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】

【0116】

- 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、104A 受信ビームフォーマ部
- 1040 受信部
- 1041、1041A 整相加算部
- 1042、1042A 対象線群設定部
- 1043、1043A 受信開口設定部
- 1044 送信時間算出部
- 1045 受信時間算出部
- 1046 遅延量算出部
- 1047 遅延処理部
- 1048 重み算出部
- 1049 加算部
- 1140、1140A 合成部
- 11401、11401A 加算処理部
- 11402、11402A 増幅処理部
- 11403A 結合部
- 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

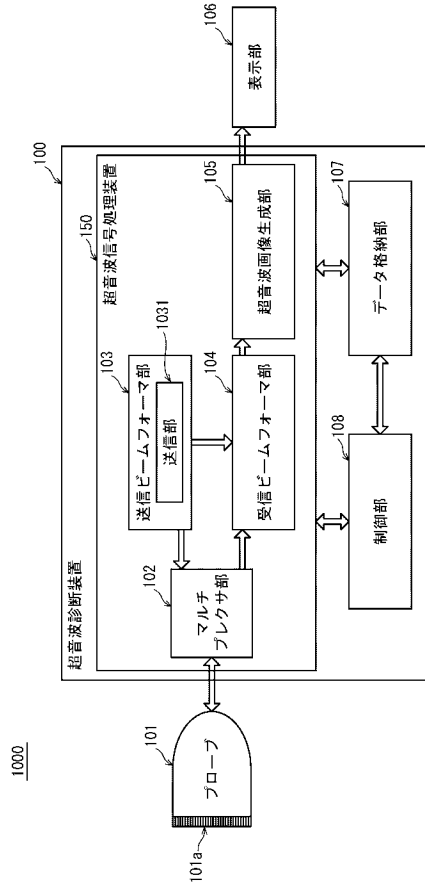
10

20

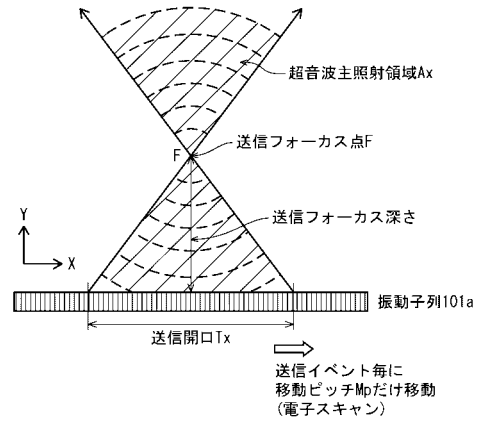
30

40

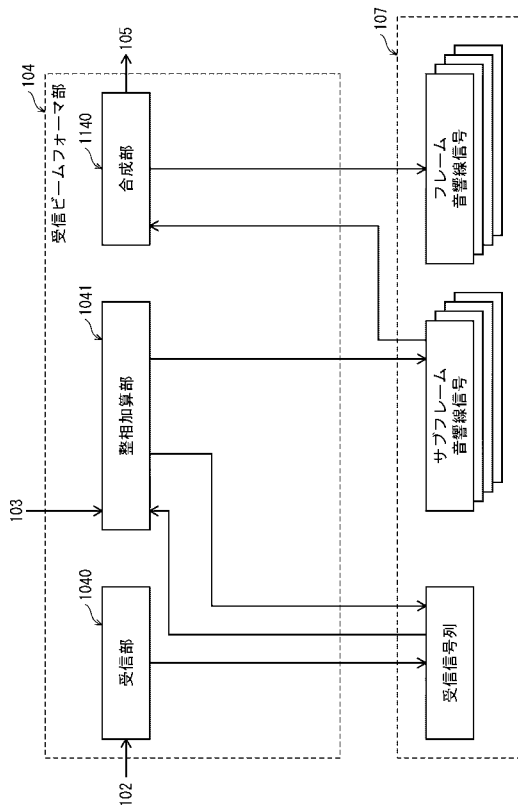
【図1】



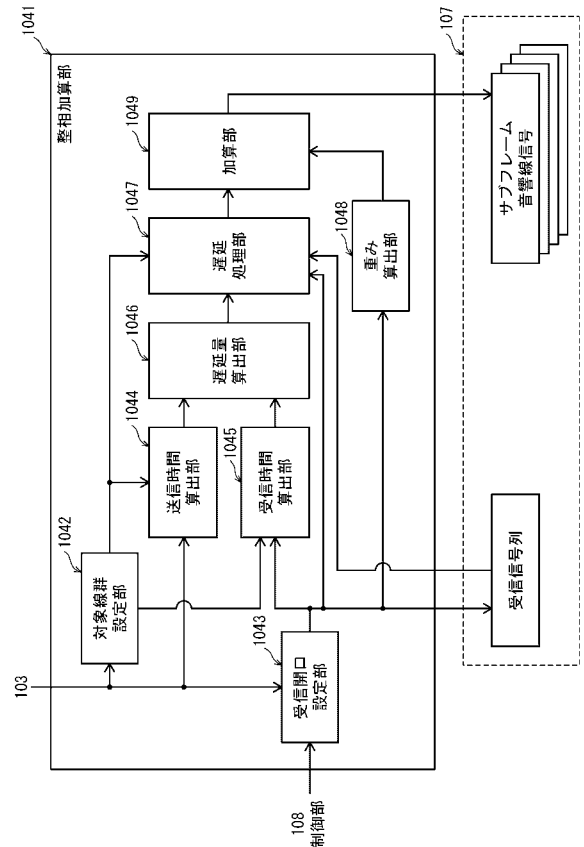
【図2】



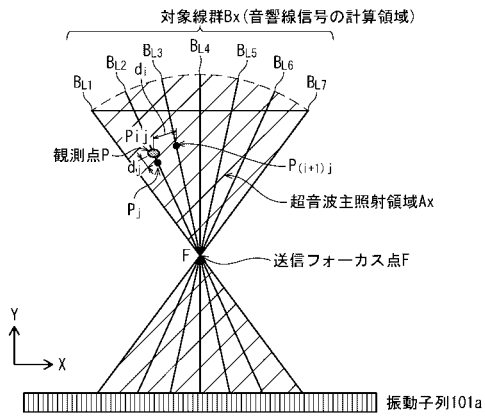
【図3】



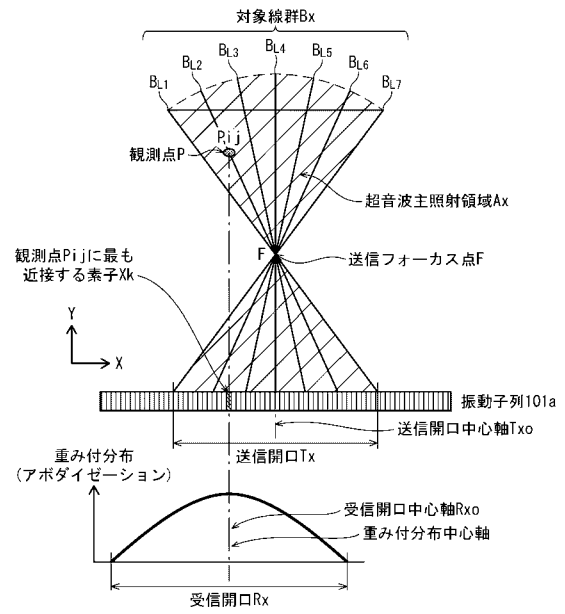
【図4】



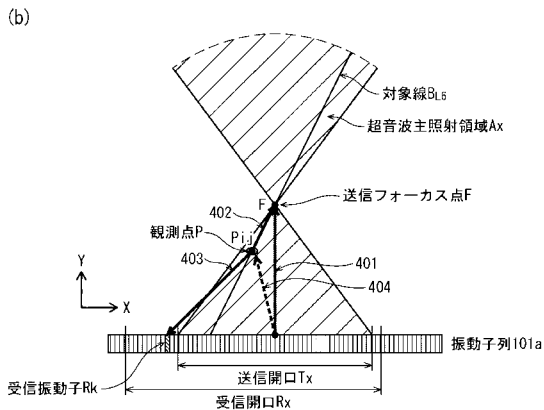
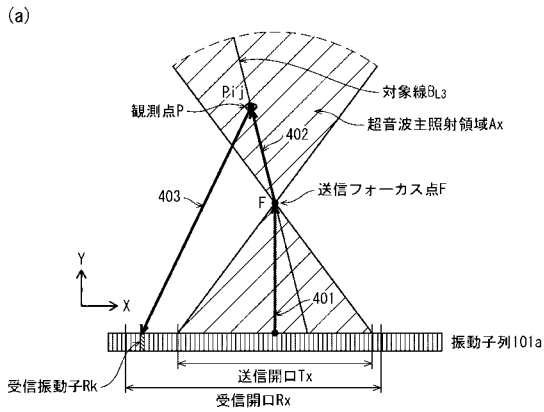
【 図 5 】



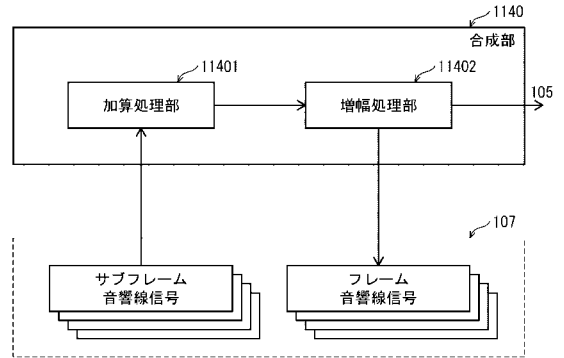
【 図 6 】



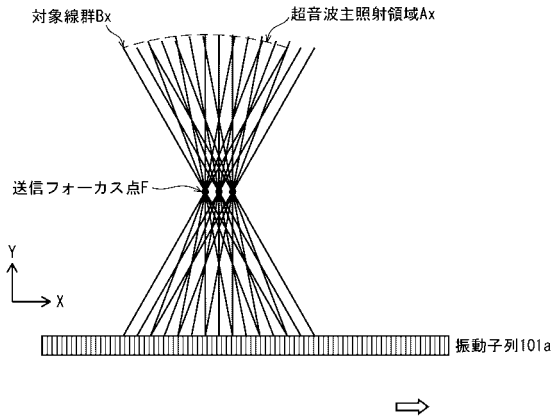
【 図 7 】



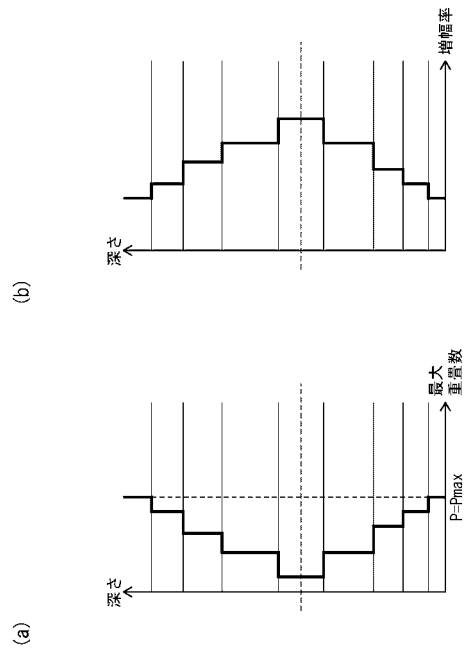
【 図 8 】



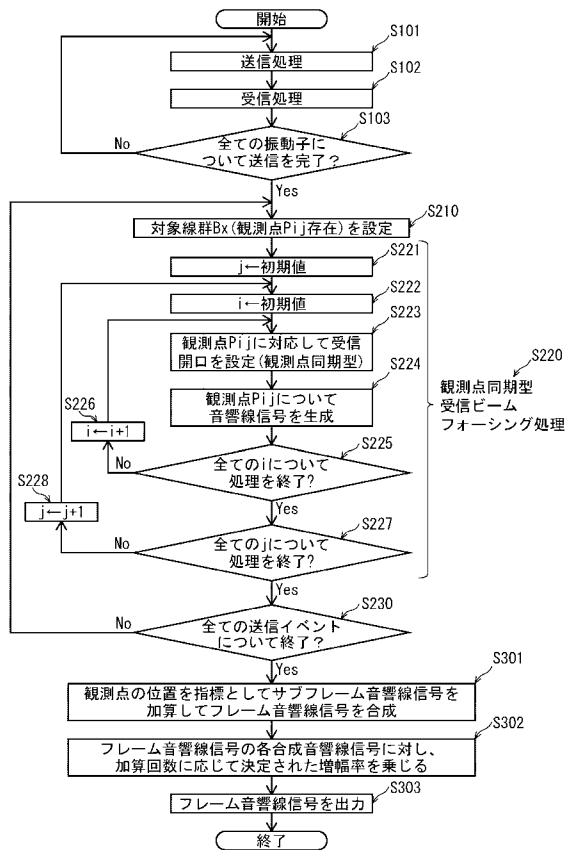
【 図 9 】



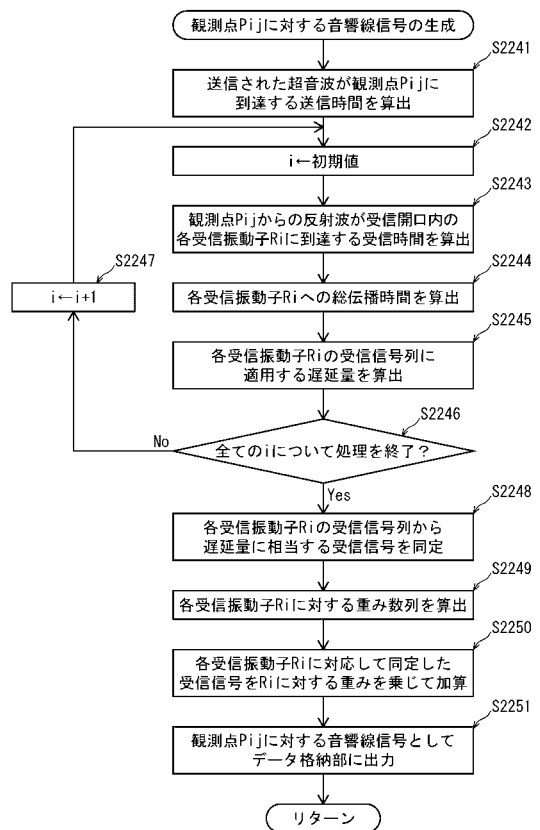
【 図 1 0 】



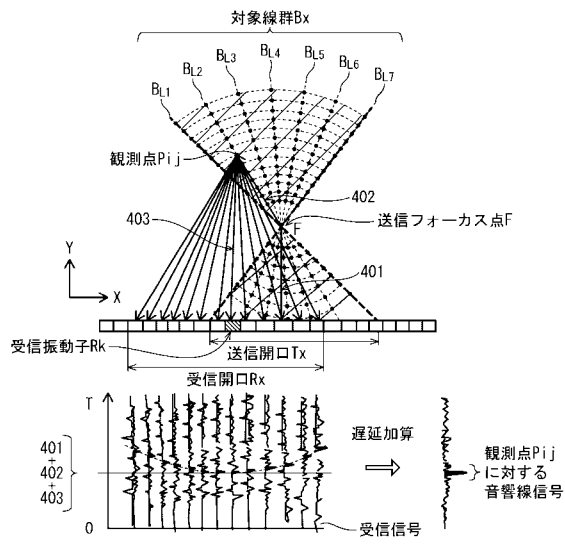
【 図 1 1 】



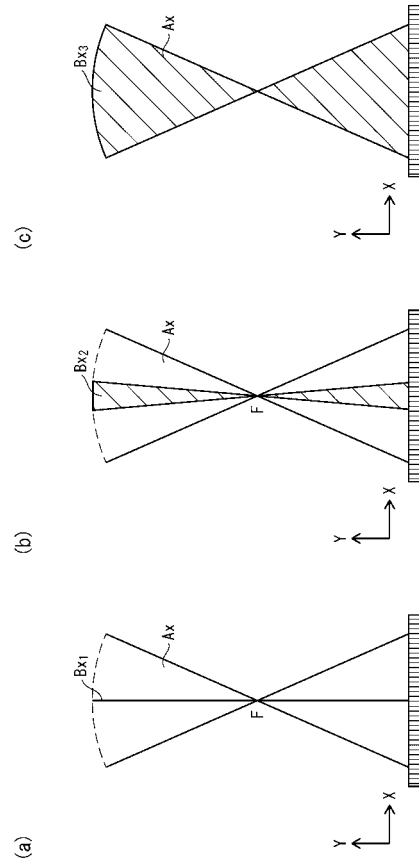
【 図 1 2 】



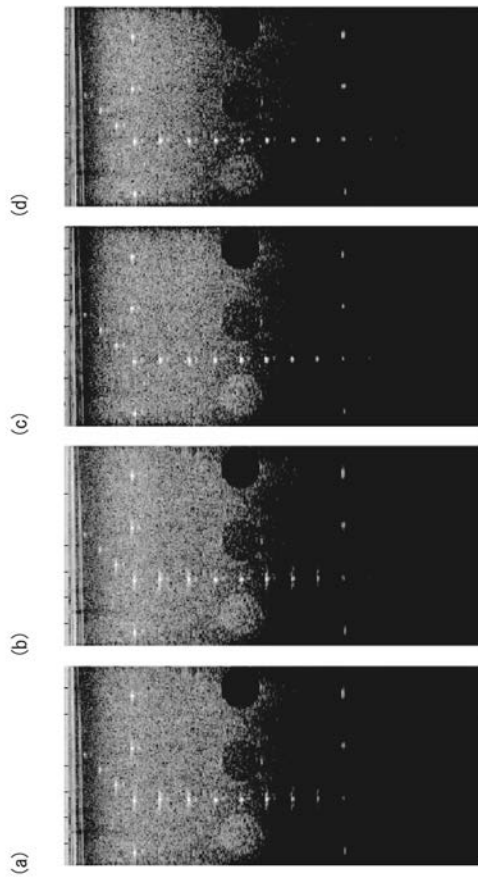
【 図 1 3 】



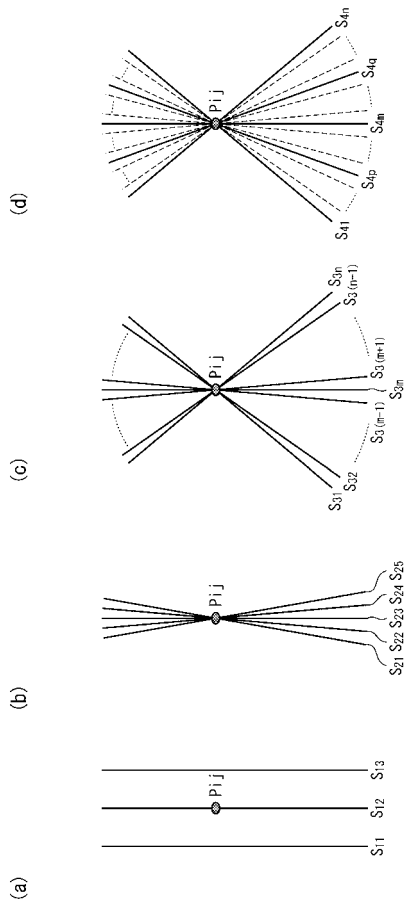
【 図 1 4 】



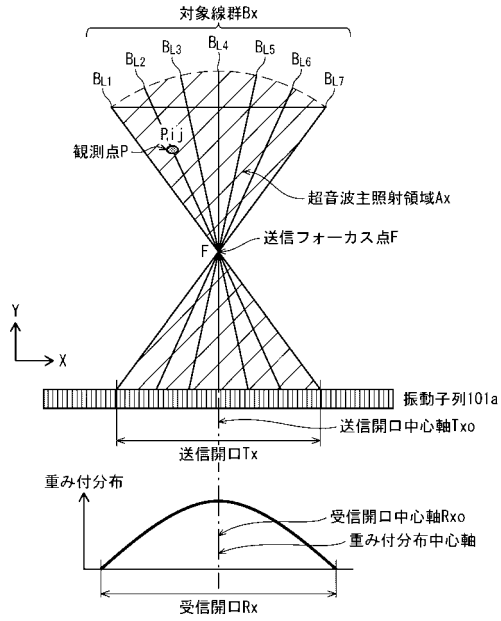
【 図 1 5 】



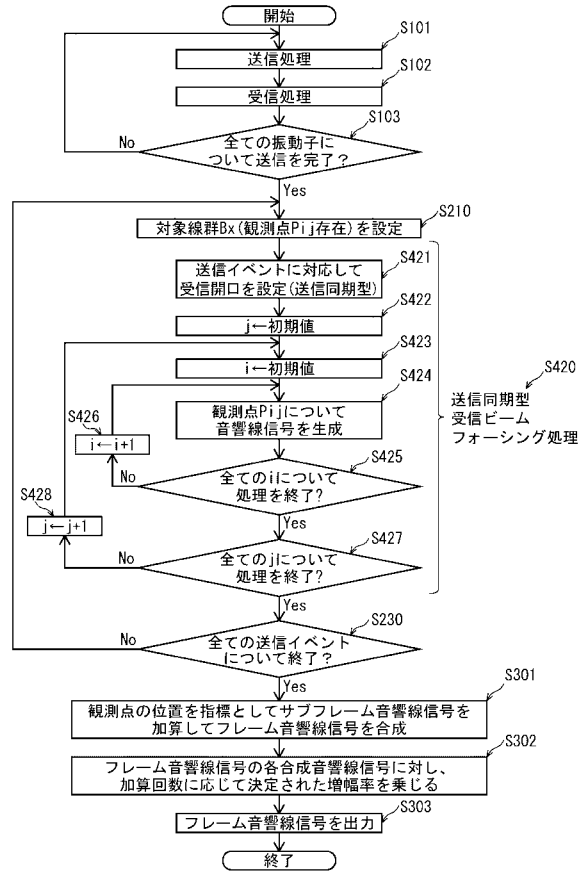
【 図 1 6 】



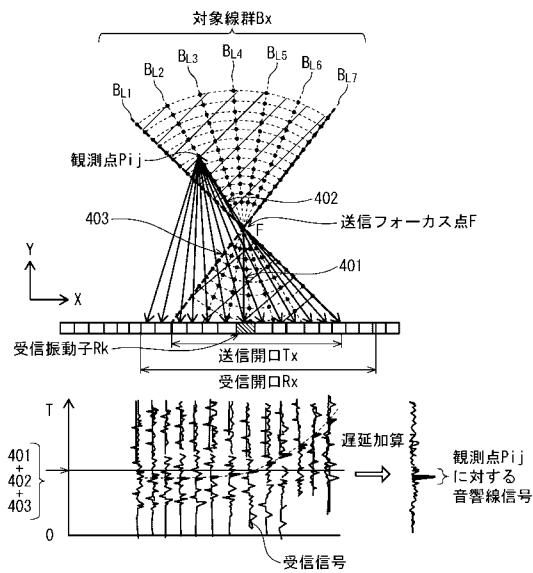
【図 17】



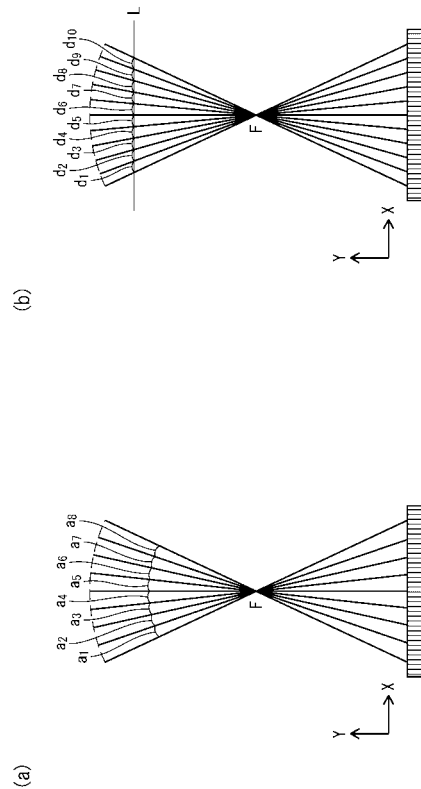
【図 18】



【図 19】



【図 20】



专利名称(译)	超声波信号处理装置，超声波信号处理方法和超声波诊断装置		
公开(公告)号	<a href="#">JP2018000677A</a>	公开(公告)日	2018-01-11
申请号	JP2016133382	申请日	2016-07-05
[标]申请(专利权)人(译)	柯尼卡株式会社		
申请(专利权)人(译)	柯尼卡美能达有限公司		
[标]发明人	津島峰生		
发明人	津島 峰生		
IPC分类号	A61B8/14		
CPC分类号	G01S7/52087 A61B8/14 A61B8/4477 A61B8/5207 G01S7/52026 G01S15/8915 G01S15/8997 G10K11/346		
FI分类号	A61B8/14		
F-TERM分类号	4C601/BB02 4C601/EE02 4C601/EE08 4C601/HH38 4C601/JB04 4C601/KK12 4C601/LL04		
其他公开文献	JP2018000677A5		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a>		

摘要(译)

公开的是会聚的发射波束形成合成孔径方法使用，以提供一种能够减少计算整相相加的量，同时抑制在空间分辨率和S / N比的降低的超声波信号处理装置。一种发送单元，其使得超声波探头针对每个发送事件将对象内的超声波束发送到超声波探头，同时改变定义超声波束针对每个发送事件聚焦的位置的焦点;存在于由穿过焦点的多个目标线组成的目标线组上对于多个观测点，超声波信号处理装置和用于基于由整相相加从各个观测点获得的反射超声波产生子帧的声线信号的接收信号串中的整相相加单元，每个受试者线是一条直线，对于对象线的一个观察点，最接近上同一主题行观察点该距离小于到相邻目标线上存在的最近观察点的距离。

