

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5901431号
(P5901431)

(45) 発行日 平成28年4月13日(2016. 4. 13)

(24) 登録日 平成28年3月18日(2016. 3. 18)

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

請求項の数 7 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2012-120244 (P2012-120244)	(73) 特許権者	306037311
(22) 出願日	平成24年5月25日(2012. 5. 25)		富士フイルム株式会社
(65) 公開番号	特開2013-244223 (P2013-244223A)		東京都港区西麻布2丁目26番30号
(43) 公開日	平成25年12月9日(2013. 12. 9)	(74) 代理人	100079049
審査請求日	平成26年10月6日(2014. 10. 6)		弁理士 中島 淳
前置審査		(74) 代理人	100084995
			弁理士 加藤 和詳
		(74) 代理人	100099025
			弁理士 福田 浩志
		(72) 発明者	勝山 公人
			神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地
			富士フイルム株式会社内
		審査官	右▲高▼ 孝幸

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】超音波診断装置、音速導出方法およびプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

駆動信号に応じて被検体内に超音波を送信するとともに前記超音波の反射波に応じて受信信号を生成する複数の電気音響変換素子と、

前記被検体内の着目領域の指定入力を受け付ける受付手段と、

前記受付手段によって受け付けられた前記着目領域内の互いに異なる深さ位置に複数の送信焦点を配置するように、且つ送信F値が焦点距離に応じて変化する深さ領域において送信焦点の深さ位置が深くなるに従って焦点距離が等比級数的に増していくように、前記複数の送信焦点の各々の深さ位置を導出する送信フォーカス制御手段と、

前記送信フォーカス制御手段によって導出された深さ位置の各々に送信焦点を形成するように前記駆動信号を生成する駆動信号生成手段と、

前記送信フォーカス制御手段によって導出された深さ位置の各々に送信フォーカスを実施して得られた受信信号に基づいて前記着目領域の音速の推定値を導出する音速導出手段と、

を含み、

前記送信フォーカス制御手段は、任意の送信焦点 $f[i]$ に対応する所定の品質の受信信号が得られる有効領域の半分に相当する長さを $w[i]$ とし、当該送信焦点 $f[i]$ の焦点距離を $D[i]$ とし、 $w[i]/D[i]$ に相当する値を k としたとき、 $(1+k)/(1-k)$ に相当する値 α を等比級数の公比として定め、前記有効領域が、互いに隣接する送信焦点間で連続するように前記複数の送信焦点の各々の深さ位置を導出する

10

20

超音波診断装置。

【請求項 2】

前記送信フォーカス制御手段は、送信 F 値が焦点距離に応じて変化する深さ領域とは異なる送信 F 値が一定に維持される深さ領域において、各送信焦点を等間隔に配置するように前記複数の送信焦点の各々の深さ位置を導出する請求項 1 に記載の超音波診断装置。

【請求項 3】

前記送信フォーカス制御手段は、前記受付手段によって受け付けられた着目領域の深さ方向の幅と予め定められた公比に相当する係数 α とに基づいて、送信焦点の数 n を導出し、焦点距離が等比級数的に増加するように前記送信焦点の数 n に対応する n 個の送信焦点の各々の深さ位置を導出する請求項 1 または請求項 2 に記載の超音波診断装置。

10

【請求項 4】

前記送信フォーカス制御手段は、前記受付手段によって受け付けられた着目領域の深さ方向の幅と予め定められた送信焦点の数 n とに基づいて、公比に相当する係数 α を導出し、前記係数 α に基づいて焦点距離が等比級数的に増加するように前記送信焦点の数 n に対応する n 個の送信焦点の各々の深さ位置を導出する請求項 1 または請求項 2 に記載の超音波診断装置。

【請求項 5】

送信 F 値が所定値となるように送信される超音波の送信焦点の深さ位置に応じて前記電気音響変換素子の開口径を制御するとともに、送信される超音波の送信焦点の深さ位置が送信 F 値を前記所定値とすることができない深さ位置となる場合、前記開口径を最大値に設定する開口径制御手段を更に有する請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の超音波診断装置。

20

【請求項 6】

被検体内の着目領域の指定入力を受け付けるステップと、

入力された前記着目領域内の互いに異なる深さ位置に複数の送信焦点を配置するように、且つ送信 F 値が焦点距離に応じて変化する深さ領域において送信焦点の深さ位置が深くなるに従って焦点距離が等比級数的に増していくように、前記複数の送信焦点の各々の深さ位置を導出するステップと、

導出された深さ位置の各々に送信フォーカスを実施して得られた受信信号に基づいて前記着目領域の音速の推定値を導出するステップと、

30

を含み、

前記複数の送信焦点の各々の深さ位置を導出するステップにおいて、任意の送信焦点 $f[i]$ に対応する所定の品質の受信信号が得られる有効領域の半分に相当する長さを $w[i]$ とし、当該送信焦点 $f[i]$ の焦点距離を $D[i]$ とし、 $w[i]/D[i]$ に相当する値を k としたとき、 $(1+k)/(1-k)$ に相当する値 α を等比級数の公比として定め、前記有効領域が、互いに隣接する送信焦点間で連続するように前記複数の送信焦点の各々の深さ位置を導出する

音速導出方法。

【請求項 7】

コンピュータを

40

入力された着目領域内の互いに異なる深さ位置に複数の送信焦点を配置するように、且つ送信 F 値が焦点距離に応じて変化する深さ領域において送信焦点の深さ位置が深くなるに従って焦点距離が等比級数的に増していくように、前記複数の送信焦点の各々の深さ位置を導出する送信フォーカス制御手段であって、任意の送信焦点 $f[i]$ に対応する所定の品質の受信信号が得られる有効領域の半分に相当する長さを $w[i]$ とし、当該送信焦点 $f[i]$ の焦点距離を $D[i]$ とし、 $w[i]/D[i]$ に相当する値を k としたとき、 $(1+k)/(1-k)$ に相当する値 α を等比級数の公比として定め、前記有効領域が、互いに隣接する送信焦点間で連続するように前記複数の送信焦点の各々の深さ位置を導出する送信フォーカス制御手段と、

前記送信フォーカス制御手段において導出された深さ位置の各々に送信フォーカスを実

50

施して得られた受信信号に基づいて前記着目領域の音速の推定値を導出する音速導出手段と、

として機能させるプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波の送受信によって被検体の断層画像を生成する超音波診断装置、音速導出方法およびプログラムに関する。

【背景技術】

10

【0002】

超音波プローブから被検体に超音波を送信し、被検体内部からの反射波に基づいて被検体の断層画像を生成する超音波診断装置が知られている。電子スキャン方式の超音波診断装置においては、超音波を送信する際には超音波プローブの各電気音響変換素子にそれらの配置に応じた遅延時間差を有する駆動パルス信号を供給して素子間で超音波の送信タイミングをずらす送信フォーカスが行われる。一方、反射波を受信する際には、各電気音響変換素子によって生成された受信信号の各々に対して各電気音響変換素子の配置に応じた遅延時間を与えて各受信信号の時相を揃える受信フォーカスが行われている。これにより、超音波画像の方位分解能を向上させることができる。

【0003】

20

超音波の送信および受信の際に各信号に与えられる遅延時間は、各電気音響変換素子から焦点までの距離と伝播媒質の音速に基づいて設定される。伝播媒質の音速としては通常、仮定した仮定音速を用いる。しかし、伝播媒質となる生体組織はその部位によって音速が異なるので、遅延時間を設定するために用いた仮定音速と実際の音速との間に誤差が生じると送信および受信の双方において適切に焦点を形成できずに画質劣化を招来することとなる。この課題に対して、下記の特許文献には、受信信号に基づいて実際の音速を推定して超音波画像の画質を向上させる技術が開示されている

例えば、特開2007-7045号公報には、整相加算されたエコー信号から、設定音速が相違する複数のビームプロファイルを生成し、生成した複数のビームプロファイルを同一画面に重ねて表示し、そのうち最小ビーム幅を有するものに対応する音速を生体音速として選択することが記載されている。

30

【0004】

また、特開2001-252276号公報には、平均音速に対応した遅延時間で生体内へ超音波の試し打ちを行い、その受信信号を遅延制御した各チャンネルの信号から遅延時間誤差を演算により求め、この求めたデータを予め記憶された音速をパラメータとした複数の音速の遅延時間誤差データと比較し、それらのうち一致した遅延時間誤差に応じた音速を生体内の音速として求めることが記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

40

【特許文献1】特開2007-7045号公報

【特許文献2】特開2001-252276号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

上記の特許文献に記載の技術では、送信フォーカスの深さと設定音速とを固定して受信信号を取得している。このため、実際の音速を求めるために使用される受信信号の着目深さと送信フォーカスの深さとの間にずれが生じ、高精度で最適設定音速を算出するのが困難である。すなわち、受信焦点P1、P2を最適設定音速を求める着目点と見ると、各着目点と送信焦点Tとの深さは異なっている。着目点が送信焦点T近傍であれば高い精度で

50

最適設定音速を求めることができるが、着目点と送信焦点Tとの距離が離れると最適設定音速の測定精度が低下してしまう。特にスペックルの場合、送信フォーカスの深さと異なる深さにおける受信信号は干渉によって歪むため最適設定音速の精度は著しく低下する。

【0007】

この問題を解決するためには、送信フォーカスの深さを着目深さに合わせる必要がある。この時、送信フォーカスの深さと共に設定音速も最適設定音速に合わせないと、着目深さと送信フォーカス深さは、ずれてしまう事となる。従って、着目深さにおける高品質な受信信号を取得して高い精度で最適設定音速を求めるためには、着目深さに対して受信フォーカスのみならず送信フォーカスの設定音速を振って送信フォーカスの深さを着目深さに合わせる必要がある。しかしながら、この場合、膨大な送信回数が必要となる。

10

【0008】

この問題に対して、本発明者は特願2010-080595において、予め設定された仮定設定音速に基づいて送信遅延時間を算出して複数の深さ位置に送信フォーカスを実施した後に、各送信フォーカスの実際の深さを判定し、着目深さに最も近い送信フォーカスを実施して得られた受信信号を用いて最適設定音速を求める方法を提案している。かかる手法によれば、高品質な受信信号を取得できるように、細密な間隔で送信フォーカスを実施する必要がある。例えば深さ2cm程度ではリニアプローブで4mm以下、コンベックスプローブで8mm以下の間隔で送信フォーカスを行うことが望ましい。すなわち、ある一定の深さ範囲の任意の深さで最適設定音速を求めるためには、その深さ範囲全域をカバーするように複数の送信フォーカスを行う必要があるので、最適設定音速を求めようと

20

【0009】

しかしながら、送信に費やすことができる時間および取得可能な受信信号の容量には上限があるため送信回数を際限なく増加させることは困難であり、従って、比較的広い深さ範囲の全域に亘って高品質な受信信号を取得することが困難な場合がある。

【0010】

本発明は、上記の点に鑑みてなされたものであり、超音波の送信回数を抑えつつ高精度な最適設定音速を導出することが可能な超音波診断装置、音速導出方法およびプログラム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】

30

【0011】

上記の目的を達成するために、本発明に係る超音波診断装置は、駆動信号に応じて被検体内に超音波を送信するとともに前記超音波の反射波に応じて受信信号を生成する複数の電気音響変換素子と、前記被検体内の着目領域の指定入力を受け付ける受付手段と、前記受付手段によって受け付けられた前記着目領域内の互いに異なる深さ位置に複数の送信焦点を配置するように、且つ送信F値が焦点距離に応じて変化する深さ領域において送信焦点の深さ位置が深くなるに従って焦点距離が等比級数的に増していくように、前記複数の送信焦点の各々の深さ位置を導出する送信フォーカス制御手段と、前記送信フォーカス制御手段によって導出された深さ位置の各々に送信焦点を形成するように前記駆動信号を生成する駆動信号生成手段と、前記送信フォーカス制御手段によって導出された深さ位置の各々に送信フォーカスを実施して得られた受信信号に基づいて前記着目領域の音速の推定値を導出する音速導出手段と、を含み、前記送信フォーカス制御手段は、任意の送信焦点 $f[i]$ に対応する所定の品質の受信信号が得られる有効領域の半分に相当する長さを $w[i]$ とし、当該送信焦点 $f[i]$ の焦点距離を $D[i]$ とし、 $w[i]/D[i]$ に相当する値を k としたとき、 $(1+k)/(1-k)$ に相当する値 α を等比級数の公比として定め、前記有効領域が、互いに隣接する送信焦点間で連続するように前記複数の送信焦点の各々の深さ位置を導出する。

40

【0013】

前記送信フォーカス制御手段は、送信F値が焦点距離に応じて変化する深さ領域とは異

50

なる送信 F 値が一定に維持される深さ領域において、各送信焦点を等間隔に配置するように前記複数の送信焦点の各々の深さ位置を導出してもよい。

【0014】

前記送信フォーカス制御手段は、前記受付手段によって受け付けられた着目領域の深さ方向の幅と予め定められた公比に相当する係数 α とに基づいて、送信焦点の数 n を導出し、焦点距離が等比級数的に増加するように前記送信焦点の数 n に対応する n 個の送信焦点の各々の深さ位置を導出してもよい。

【0015】

前記送信フォーカス手段は、前記受付手段によって受け付けられた着目領域の深さ方向の幅と予め定められた送信焦点の数 n とに基づいて、公比に相当する係数 α を導出し、前記係数 α に基づいて焦点距離が等比級数的に増加するように前記送信焦点の数 n に対応する n 個の送信焦点の各々の深さ位置を導出してもよい。

【0016】

また、上記の超音波診断装置は、送信 F 値が所定値となるように送信される超音波の送信焦点の深さ位置に応じて前記電気音響変換素子の開口径を制御するとともに、送信される超音波の送信焦点の深さ位置が送信 F 値を前記所定値とすることができない深さ位置となる場合、前記開口径を最大値に設定する開口径制御手段を更に含んでもよい。

【0017】

また、上記の目的を達成するために、本発明に係る音速導出方法は、被検体内の着目領域の指定入力を受け付けるステップと、入力された前記着目領域内の互いに異なる深さ位置に複数の送信焦点を配置するように、且つ送信 F 値が焦点距離に応じて変化する深さ領域において送信焦点の深さ位置が深くなるに従って焦点距離が等比級数的に増していくように、前記複数の送信焦点の各々の深さ位置を導出するステップと、導出された深さ位置の各々に送信フォーカスを実施して得られた受信信号に基づいて前記着目領域の音速の推定値を導出するステップと、を含み、前記複数の送信焦点の各々の深さ位置を導出するステップにおいて、任意の送信焦点 $f[i]$ に対応する所定の品質の受信信号が得られる有効領域の半分に相当する長さを $w[i]$ とし、当該送信焦点 $f[i]$ の焦点距離を $D[i]$ とし、 $w[i] / D[i]$ に相当する値を k としたとき、 $(1+k) / (1-k)$ に相当する値 α を等比級数の公比として定め、前記有効領域が、互いに隣接する送信焦点間で連続するように前記複数の送信焦点の各々の深さ位置を導出する。

【0018】

また、上記の目的を達成するために、本発明に係るプログラムは、コンピュータを入力された着目領域内の互いに異なる深さ位置に複数の送信焦点を配置するように、且つ送信 F 値が焦点距離に応じて変化する深さ領域において送信焦点の深さ位置が深くなるに従って隣接する送信焦点との距離が等比級数的に増していくように、前記複数の送信焦点の各々の深さ位置を導出する送信フォーカス制御手段であって、任意の送信焦点 $f[i]$ に対応する所定の品質の受信信号が得られる有効領域の半分に相当する長さを $w[i]$ とし、当該送信焦点 $f[i]$ の焦点距離を $D[i]$ とし、 $w[i] / D[i]$ に相当する値を k としたとき、 $(1+k) / (1-k)$ に相当する値 α を等比級数の公比として定め、前記有効領域が、互いに隣接する送信焦点間で連続するように前記複数の送信焦点の各々の深さ位置を導出する送信フォーカス制御手段と、前記送信フォーカス制御手段において導出された深さ位置の各々に送信フォーカスを実施して得られた受信信号に基づいて前記着目領域の音速の推定値を導出する音速導出手段と、として機能させる。

【発明の効果】

【0019】

本発明に係る超音波診断装置によれば、超音波の送信回数を抑えつつ高精度な最適設定音速を導出することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】本発明の実施形態に係る超音波診断装置の構成を示すブロック図である。

【図2】本発明の実施形態に係る超音波診断装置による画像生成処理の流れを示すフローチャートである。

【図3】図3(a)は送信F値が比較的小さい超音波ビームの形状を示す図、図3(b)は送信F値が比較的大きい超音波ビームの形状を示す図である。

【図4】本発明の実施形態に係る送信フォーカス制御部によって導出された、送信F値を一定に維持できる深さ位置に送信フォーカスを実施する場合における各送信焦点の配置を示す図である。

10

【図5】本発明の実施形態に係る送信フォーカス制御部によって導出された、送信F値を一定に維持できない深さ位置に送信フォーカスを実施する場合における各送信焦点の配置を示す図である。

【図6】本発明の実施形態に係る送信フォーカス制御部による送信回数および送信焦点位置の導出処理の流れを示すフローチャートである。

【図7】本発明の実施形態に係る超音波診断装置による最適設定音速の導出処理の流れを示すフローチャートである。

【図8】超音波画像を構成するラインを示す図である。

【図9】取得された超音波画像の処理方法を示す図である。

【図10】暫定最適設定音速の取得方法を示す図である。

20

【図11】送信焦点の深さ位置毎の暫定最適設定音速分布を示す図である。

【図12】深さ位置に対する暫定最適設定音速分布の標準偏差の推移を示す図である。

【図13】実際の送信焦点位置の各々に対応する有効領域の範囲を示す図である。

【図14】最適設定音速の取得方法を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0021】

以下、本発明の実施形態について図面を参照しつつ説明する。なお、各図面において、実質的に同一又は等価な構成要素又は部分には同一の参照符号を付している。

【0022】

図1は、本発明の実施形態に係る超音波診断装置1の概略構成を示すブロック図である。

30

【0023】

超音波プローブ10は、被検体の診断部位に向けて超音波を送信するとともに被検体の内部で反射した超音波を受信するものである。超音波プローブ10は、例えば直線状に配列された電気音響変換素子としての複数の圧電素子10aを含んで構成されている。超音波の1回の送受信は、複数の圧電素子10aの中から選択された圧電素子群を使用して行われる。超音波の送受信に使用する圧電素子群を順次シフトさせることにより、被検体内の診断部位が超音波ビームによってスキャンされる。なお、超音波プローブ10は、リニア型、コンベックス型、セクタ型のいずれの走査方式を有するものであってもよい。

【0024】

40

圧電素子10aの各々は、複数チャンネルの信号線を介して受信信号処理部16および送信制御部12に接続されている。圧電素子10aの各々は、送信制御部12から供給される駆動パルス信号に応じて超音波を発生させる。また、圧電素子10aの各々は、被検体内で反射された反射波を受信して電気信号である受信信号を生成し、これを受信信号処理部16に出力する。

【0025】

送信制御部12は、圧電素子10aの各々に供給する駆動パルス信号を生成する。送信制御部12は、送信フォーカス制御部14によって導出される送信焦点の深さ位置に超音波ビームを収束するべく超音波の送受信に使用される圧電素子10aの各々に供給すべき駆動パルス信号の各々に遅延時間を与える。また、送信制御部12は、送信焦点の深さ位

50

置に応じて開口径を制御する。より具体的には、送信制御部 12 は、送信 F 値が一定となるように送信焦点の深さ位置が深くなる程開口径が大きくなるように開口径を制御する。開口径とは、超音波の送信に使用される圧電素子 10a の個数と圧電素子 10a の配列間間隔を乗じた値に相当するものである。送信 F 値とは、焦点距離 D を開口径 A で割った値 ($F \text{ 値} = D / A$) である。開口径は、超音波の送信に使用される圧電素子 10a の最大数によって制限されるので、超音波の送信焦点がある深さ以上となると、送信 F 値を一定とすることができない。送信制御部 12 は、送信される超音波の送信焦点が、所定の送信 F 値を維持できない深さ位置となる場合、開口径を最大値 (最大開口径 A_{max}) に設定する。

【0026】

10

送信フォーカス制御部 14 は、ユーザによって指定される被検体内の着目領域に所謂多段フォーカスを実施するべく、着目領域の範囲に応じた超音波の送信回数 n (送信焦点の数) を導出するとともに各送信焦点の深さ位置を導出する。すなわち、送信フォーカス制御部 14 は、着目領域内における複数の送信焦点の各々の配置を設定する。

【0027】

受信信号処理部 16 は、超音波の送受信に使用される圧電素子 10a の各々に対応して設けられた複数の増幅器および複数の A/D 変換器を備えている。各圧電素子 10a において生成される受信信号の各々は、増幅器において増幅され、A/D 変換器によってデジタル信号に変換される。

【0028】

20

受信信号メモリ 17 は、受信信号処理部 16 によってデジタル信号に変換された受信信号を受信データとして記憶する記憶媒体である。

【0029】

受信制御部 18 は、主制御部 30 から指定される設定音速に基づいて受信遅延時間を算出し、受信信号処理部 16 または受信信号メモリ 17 から供給される各チャンネルの受信信号に算出した受信遅延時間を与えて整相する。その後、整相した各チャンネルの受信信号を積算することにより整相加算信号を生成する。

【0030】

画像生成部 20 は、受信制御部 18 から供給される整相加算信号に対してフィルタリング処理、Log 圧縮処理、包絡線検波処理、STC (Sensitivity Time Control) 処理、補間処理、走査変換処理などを施して、整相加算信号の信号強度を輝度に変換した超音波画像信号を生成する。

30

【0031】

焦点位置導出部 21 は、複数の設定音速に基づいて整相された受信信号から生成された複数の超音波画像を解析することにより、超音波プローブ 10 から送信された超音波の各送信焦点の実際の深さ位置を導出する。

【0032】

有効領域導出部 22 は、焦点位置導出部 21 によって導出された各送信焦点の実際の深さ位置の各々に対応する有効領域を導出する。なお、有効領域とは送信焦点を中心とする比較的高品質な受信信号を得ることができる領域である。

40

【0033】

最適設定音速導出部 24 は、着目領域内における各点が有効領域導出部 22 によって導出された有効領域のいずれに存在するかを判定し、その判定結果に基づいて超音波画像を選択する。そして、選択した超音波画像を解析することにより、各点の実際の音速の推定値である最適設定音速を導出する。

【0034】

モニタ 28 は、例えば液晶表示パネル等の表示装置であり、画像生成部 20 によって生成された超音波画像信号に応じた超音波画像を表示する。

【0035】

主制御部 30 は、送信制御部 12、送信フォーカス制御部 14 および受信制御部 18 に

50

制御信号を与えることにより超音波の送受信を統括的に制御する。

【0036】

操作入力部40は、ユーザによる着目領域の指定入力などを受け付けるキーボード、マウスなどのポインティングデバイスによって構成されるものである。

【0037】

なお、送信制御部12、送信フォーカス制御部14、受信信号処理部16、受信制御部18、画像生成部20、焦点位置導出部21、有効領域導出部22、最適設定音速導出部24および主制御部30は、図2に示される後述の画像生成処理ルーチンにおける各処理を記述した画像生成プログラムを格納したROMと、このプログラムを実行するためのCPUと、CPUにおける処理内容を一時的に記憶しておくためのRAM等を備えたコンピュータで構成され得る。

10

【0038】

次に、本実施形態の超音波診断装置1が、最適設定音速を導出して被検体の断層画像を生成する画像生成処理の概要について図2に示すフローチャートを参照しつつ説明する。

【0039】

ステップS1において、ユーザが操作入力部40から被検体内の着目領域の範囲を指定すると、主制御部30は、これを受信し、指定された着目領域の範囲を示す制御信号を送信フォーカス制御部14に供給する。

【0040】

ステップS2において、送信フォーカス制御部14は、上記の制御信号によって示される着目領域の全域に亘って高品質な受信信号を得るために必要とされる送信焦点の数、すなわち、送信回数 n を導出し、導出結果を主制御部30に供給する。なお、送信回数 n の導出方法については後述する。

20

【0041】

ステップS3において、主制御部30は、導出された送信回数 n が所定の上限値 n_{max} 以下であるか否かを判断する。送信回数の上限値 n_{max} は、処理時間や取得可能な受信信号の容量などを勘案して予め設定された値であり、ユーザによって任意に設定される値であってもよい。送信フォーカス制御部14によって導出された送信回数 n が上限値 n_{max} 以下であると判定された場合には処理はステップS4に移行する。一方、送信フォーカス制御部14によって導出された送信回数 n が上限値 n_{max} よりも大であると判定された場合には処理はステップS7に移行する。

30

【0042】

ステップS7において、主制御部30は、モニタ28にエラーメッセージを表示させ、本ルーチンが終了する。エラーメッセージの表示は、予め定められた送信回数 n_{max} に対して着目領域の範囲が広すぎる故に一定の画質を維持できないことを意味する。このとき、着目領域の再指定を促すメッセージを表示させることとしてもよい。

【0043】

ステップS4において、主制御部30は、導出された送信回数 n が上限値 n_{max} 以下であると判定した旨の制御信号を送信フォーカス制御部14に供給する。これに応じて送信フォーカス制御部14は、ステップS2において導出した送信回数 n に対応する n 個の送信焦点の各々の深さ位置を導出する。なお、送信焦点の深さ位置の導出方法については後述する。

40

【0044】

ステップS5において、ステップS4にて導出された各送信焦点の深さ位置に送信フォーカスが実施される。これによって得られた超音波画像が焦点位置導出部21、有効領域導出部22および最適設定音速導出部24によって解析され、着目領域内の各点の最適設定音速が導出される。導出された着目領域内の各点における最適設定音速は、主制御部30が備えるメモリに格納される。本ステップにおける処理内容の詳細については後述する。

【0045】

50

ステップS6において、主制御部30はステップS5において導出された最適設定音速に基づいて受信信号の整相加算処理を実施すべき制御信号を受信制御部18に供給する。受信制御部18は、主制御部30から着目領域内の各点の最適設定音速を取得するとともに受信信号メモリ17から取得済みの受信信号を読み出す。受信制御部18は、着目領域内の各点の最適設定音速に基づき算出される遅延時間を受信信号メモリ17から読み出した受信信号に与えることによって各チャンネルの受信信号を整相した後、これらを積算して整相加算信号を生成する。画像生成部20は、受信制御部18において生成された整相加算信号から超音波画像信号を生成し、これをモニタ28に供給して超音波画像を表示させる。以上の各ステップを経ることにより、本ルーチンが終了する。

【0046】

10

次に、超音波プローブ10から超音波ビームが送信され、その反射波に基づいて画像生成部20が超音波画像を生成する動作について説明する。

【0047】

被検体内に超音波ビームを送信する際、送信制御部12は、超音波プローブ10の複数の圧電素子10aに対してそれぞれ駆動パルス信号を供給する。このとき、送信制御部12は、各圧電素子10aから送信される超音波が送信フォーカス制御部14によって導出された送信焦点の深さ位置に収束するように、各チャンネルの駆動パルス信号に対して遅延時間を与える。圧電素子10aの各々は、駆動パルス信号を受信すると機械的に振動して超音波を発生させ、これを被検体内に向けて送信する。

【0048】

20

各圧電素子10aから送信された超音波は被検体内を伝播し、その途中にある音響インピーダンスの不連続面で次々と反射し、反射波が複数の圧電素子10aによって受信される。圧電素子10aの各々は、反射波を受信すると電気信号を生成し、この電気信号を受信信号として受信信号処理部16に供給する。なお、送信焦点の近傍において反射された反射波からは歪みの少ない高品質な受信信号を得ることができる。

【0049】

受信信号処理部16は、複数の圧電素子10aの各々から供給された受信信号を増幅した後、デジタル信号に変換する。デジタル信号に変換された受信信号は、受信データとして受信信号メモリ17に格納されるとともに受信制御部18に供給される。

【0050】

30

受信制御部18は、受信信号処理部16または受信信号メモリ17から供給される各チャンネルの受信信号に対して、主制御部30から指定された設定音速値に基づき算出した受信遅延時間を与えることによって整相処理を施す。そして、受信制御部18は、整相された各チャンネルの受信信号を積算することにより整相加算信号を生成する。生成された整相加算信号は、画像生成部20に順次供給される。

【0051】

画像生成部20は、整相加算信号に対してフィルタリング処理、Log圧縮処理、包絡線検波処理、STC (Sensitivity Time Control) 処理、補間処理、走査変換処理などを施して、整相加算信号の信号強度を輝度に変換した超音波画像信号を生成する。生成された超音波画像信号は、自身が備える画像メモリに記憶されるとともに、モニタ28に供給される。モニタ28は、超音波画像信号に基づいて被検体の断層画像を表示する。

40

【0052】

次に、図2に示すフローチャートのステップS2およびS4に対応する送信フォーカス制御部14による超音波ビームの送信回数nの導出処理および各送信焦点の深さ位置の導出処理について説明する。

【0053】

一般的に、歪みの小さい高品質な受信信号を得るためには、超音波ビームのビーム幅を小さくすればよく、ビーム幅を小さくするためには、送信F値を小さくすればよい。ここで、図3(a)に送信F値が比較的小さい超音波ビームのビーム形状を示し、図3(b)に送信F値が比較的大きい超音波ビームのビーム形状を示す。図3(a)に示すように、

50

送信F値が小さい超音波ビームは、送信焦点fにおけるビーム幅は小さく、焦点近傍において高品質な受信信号を得ることができ、分解能の高い超音波画像を生成することができる。しかしながら、送信焦点fから離れるにつれてビーム幅は急激に大きくなり、得られる超音波画像においても送信焦点fから離れるにつれて分解能が急激に低下する。このように、送信F値が小さい超音波ビームは、高品質な受信信号を得ることができる送信焦点を中心とする有効領域の範囲（深さ方向の幅）は比較的狭い。

【0054】

一方、図3（b）に示すように、送信F値が大きい超音波ビームは、送信焦点fにおけるビーム幅は広く、焦点近傍における分解能はそれほど高くないものの、焦点位置から離れた深さ位置におけるビーム幅は、小F値の超音波ビームより小さい。すなわち、送信F値が大きい超音波ビームにおいては、送信焦点fから離れた位置でも比較的高品質な受信信号を得ることができる。つまり、送信F値が大きい超音波ビームは、送信焦点を中心とする有効領域の範囲（深さ方向の幅）は比較的広い。このように、高品質な受信信号を得ることができる送信焦点を中心とする有効領域の範囲（深さ方向の幅）は、送信F値が大きい程広くなる。有効領域の範囲は、送信F値に概ね比例する。

10

【0055】

送信フォーカス制御部14は、高品質な受信信号を得ることができる送信焦点を中心とする有効領域の範囲が送信F値に比例するという性質を利用して、着目領域内において送信焦点の深さ位置を以下のように導出する。

【0056】

20

送信フォーカス制御部14は、ユーザによって指定された着目領域の範囲が、体表から比較的近い領域（浅い領域）であり、予め定められた所定の送信F値を維持できる範囲内である場合には、図4に示すように、多段フォーカスを実施する際の各送信焦点f[1]～f[n]を等間隔に配置するように各送信焦点f[1]～f[n]の深さ位置を導出する。

【0057】

すなわち、予め定められた送信F値をXとすると、送信フォーカス制御部14は、着目領域の下端の深さ位置に送信焦点を設定した場合の焦点距離 D_{max} を最大開口径 A_{max} で割った値 D_{max}/A_{max} とXとを比較する。送信フォーカス制御部14は、 D_{max}/A_{max} がX以下であると判定した場合、予め定められた送信F値を維持することができると判断する。この場合、送信制御部12によって送信F値が所定値Xとなるように送信焦点の深さ位置に応じて開口径が制御される。

30

【0058】

送信フォーカス制御部14は、着目領域内において、各送信焦点の有効領域r[1]～r[n]が連続するように送信回数（送信焦点の数）nおよび送信焦点の配置間隔を導出する。有効領域の範囲（深さ方向の幅z）は、送信F値に比例することから、送信F値が一定に維持される場合、互いに等しい。図4に示すように、送信フォーカス制御部14は、各送信焦点f[1]～f[n]の配置間隔が、有効領域r[1]～r[n]の深さ方向の幅zと一致するように、各送信焦点f[1]～f[n]の深さ位置を導出する。尚、有効領域の深さ方向の幅zは、要求される画質に応じて任意に設定することが可能である。送信回数nは、例えば着目領域の深さ方向の全長をLとすると L/z により導出することができる。送信焦点f[1]～f[n]の各深さ位置は、例えば最も深い位置に配置される送信焦点f[n]を着目領域の下端に固定することにより一義的に定めることができる。なお、最も浅い位置に配置される送信焦点f[1]を着目領域の上端に固定することにより送信焦点f[1]～f[n]の各々の深さ位置を導出することも可能である。

40

【0059】

送信フォーカス制御部14は、ユーザによって指定された着目領域の範囲が、体表から比較的深い領域を含んでおり、予め定められた一定の送信F値を維持できないと判断した場合には、図5に示すように、各送信焦点の深さが深くなるにつれて（焦点距離が大きくなるにつれて）隣接する送信焦点との間隔が増していくように各送信焦点f[1]～f[n]

50

n] の深さ位置を導出する。

【0060】

すなわち、予め定められた送信F値をXとすると、送信フォーカス制御部14は、着目領域の下端の深さ位置に送信焦点を設定した場合の焦点距離 D_{max} を最大開口径 A_{max} で割った値 D_{max}/A_{max} とXとを比較する。送信フォーカス制御部14は、 D_{max}/A_{max} がXよりも大であると判定した場合、予め定められた送信F値を維持することができないと判断する。この場合、開口径は、送信制御部12によって最大開口径 A_{max} に固定される。開口径が一定の場合、送信F値は、焦点距離Dに比例する。また、上記したように、高品質な受信信号を得ることができる送信焦点を中心とする有効領域の範囲（深さ方向の幅）は、送信F値に比例する。従って、開口径が一定の場合、有効領域の幅は、焦点距離Dに比例することとなる。すなわち、開口径が一定とされ送信F値が焦点距離に応じて変化する場合、送信焦点の深さ位置が深くなるにつれて送信焦点を中心とする有効領域の幅は広がる。

10

【0061】

送信焦点 $f[1] \sim f[n]$ は、それぞれ開口径が固定された条件下で形成されているので、対応する各送信F値は、それぞれ焦点距離 $D[1] \sim D[n]$ に応じた値となっている。従って、送信焦点 $f[1] \sim f[n]$ の各々に対応する有効領域 $r[1] \sim r[n]$ の幅は、互いに異なる。ここで、有効領域 $r[1] \sim r[n]$ の幅の半分に相当する長さをそれぞれ $w[1] \sim w[n]$ とすると、送信フォーカス制御部14は、各送信焦点の深さ位置を下記の式(1)および(2)を満たすように導出する。

20

【0062】

$$w[i]/D[i] = k < 1 \dots (1)$$

$$D[i] = D[i-1] + w[i-1] + w[i] \dots (2)$$

(ただし、iは1～nの整数)

【0063】

すなわち、送信フォーカス制御部14は、ある送信焦点 $F[i]$ に対応する焦点距離 $D[i]$ と、送信焦点 $F[i]$ を中心とする有効領域 $r[i]$ の幅の比を一定とし、互いに隣接する送信焦点間の有効領域が連続するように各送信焦点の深さ位置を設定する。上記の式(1)および(2)より下記の式(3)が導かれる。

【0064】

$$D[i] = D[i-1] \times (1+k)/(1-k) \dots (3)$$

30

【0065】

ここで、 $(1+k)/(1-k)$ を α とすると、

$$D[i] = \alpha \times D[i-1] = \alpha^{i-1} \times D[1] \dots (4)$$

【0066】

と表すことができる。すなわち、着目領域の範囲が、予め定められた一定の送信F値を維持できる範囲内には、送信フォーカス制御部14は、焦点距離が等比級数的に増加するように各焦点位置を設定する。なお、係数 $\alpha (= (1+k)/(1-k))$ は、1よりも大きい値であり、得ようとする画質に応じて任意に設定することができる値であり、上記等比級数の公比に相当する値である。

40

【0067】

また、着目領域の深さ方向の全長をL、超音波の送信回数（送信焦点の数）をnとすると、

$$L = D[n] - D[1] = (\alpha^n - 1) \times D[1] \dots (5)$$

と表すことができる。式(5)より、着目領域の深さ方向の全長L、最も浅い深さ位置に配置される送信焦点 $f[1]$ に対応する焦点距離 $D[1]$ 、係数 α 、送信焦点の数（超音波の送信回数）nのうち、3変数を既知の変数とすることにより、残りの1変数を求めることができる。送信焦点 $f[1] \sim f[n]$ の各深さ位置は、例えば最も深い位置に配置される送信焦点 $f[n]$ を着目領域の下端に固定することにより一義的に定めることがで

50

きる。なお、最も浅い位置に配置される送信焦点 $f[1]$ を着目領域の上端に固定することにより送信焦点 $f[1] \sim f[n]$ の各深さ位置を導出することも可能である。

【0068】

図6は、上記した送信フォーカス制御部14による送信回数および各送信焦点の深さ位置の導出処理の手順を示したフローチャートである。

【0069】

ステップS10において、送信フォーカス制御部14は、主制御部30から着目領域の範囲を示す制御信号を受信することにより着目領域の深さ方向の全長 L および着目領域の下端の深さ位置 D_{max} を取得する。

10

【0070】

ステップS11において、送信フォーカス制御部14は、 D_{max} / A_{max} が予め定められた送信F値である X 以下であるか否かを判定することにより、着目領域の範囲が所定の送信F値 X を維持できる範囲内にあるか否かを判定する。

【0071】

送信フォーカス制御部14は、着目領域の範囲が所定の送信F値 X を維持できる範囲内にあると判定した場合、ステップS12において、着目領域の深さ方向の全長 L を所定の送信F値 X に対応する有効領域の幅 z で割ることにより送信回数 n を導出する。次に、ステップS13において、送信フォーカス制御部14は、例えば最も深い位置に配置される送信焦点 $f[n]$ を着目領域の下端に固定するとともに各送信焦点の間隔を z に設定することにより送信焦点 $f[1] \sim f[n]$ の各々の深さ位置を導出する。

20

【0072】

このように、送信フォーカス制御部14は、着目領域の範囲が所定の送信F値を維持できる範囲内にあると判定した場合には、各送信焦点を等間隔に配置する。このとき、各送信においてF値が一定となるように開口径が制御される。各送信において送信F値が一定とされ且つ有効領域の幅 z に相当する間隔に各送信焦点が配置されるので、着目領域の全域に亘り均質な超音波画像を取得することができる。

【0073】

一方、送信フォーカス制御部14は、ステップS11において、着目領域の範囲が所定の送信F値 X を維持できる範囲内にはないと判定した場合、ステップS14において $L = (\alpha^n - 1) \times D[1]$ (上記の式(5))に基づいて送信回数 n を導出する。このとき、 $D[1]$ として着目領域の上端の深さ位置を用いることとしてもよい。なお、係数 α は、予め定められているものとする。

30

【0074】

次に、ステップS15において、送信フォーカス制御部14は、 $D[i] = \alpha^{i-1} \times D[1]$ (上記の式(4))に基づいて各送信焦点の深さ位置を導出する。このとき、 $D[1]$ として着目領域の上端の深さ位置を用いることとしてもよい。このように、送信フォーカス制御部14は、着目領域の範囲が所定の送信F値を維持できる範囲内にはないと判定した場合には、焦点距離が等比級数的に増加するように各送信焦点を配置する。この場合、各送信において開口径は最大開口径 A_{max} に固定される。

40

【0075】

このように、送信フォーカス制御部14は、送信F値を一定に維持することができない深さ領域、すなわち、送信F値が焦点距離に応じて変化する深さ領域において、送信焦点の深さが深くなるに従って(焦点距離が大きくなるに従って)焦点間の距離が増すように各送信焦点の深さ位置を設定する。これにより、複数の送信焦点を等間隔に配置する場合と比較して少ない送信回数で各送信において高品質な受信信号を得ることが可能となる。また、焦点距離が等比級数的に増加するように各送信焦点を配置することにより、送信焦点の配置を有効領域の範囲に対応させることができ、効率的な配置とすることができる。

50

【0076】

なお、本実施形態においては、焦点距離を等比級数的に増加させる場合を例示したが、各送信焦点に対応する有効領域が連続していればよい。換言すれば、互いに隣り合う有効領域がオーバーラップしていてもよい。すなわち、送信焦点の深さが深くなるに従って焦点間の距離が増すように各送信焦点の深さ位置を設定する場合において、 $D[i] < \alpha \times D[i-1]$ となっていなくてもよい。

【0077】

また、本実施形態においては、係数 α を固定値として式(5)に基づいて送信回数 n を導出することとした。係数 α は、得ようとする超音波画像の画質に影響を与える係数であるので、係数 α を固定値とすることで得られる超音波画像の画質が担保される。一方、送信回数 n を固定値として、式(5)に基づいて係数 α を導出することも可能である。この場合、着目領域の範囲に応じて α が変動することとなるので、着目領域の範囲が広すぎると得られる超音波画像の画質が低下するおそれがある。しかしながら、 n 個の送信焦点を式(4)に基づいて配置することにより、各送信焦点を等間隔に配置する場合と比較して分解能が著しく低い領域が発生することを防止することができる。

【0078】

また、着目領域が所定の送信F値を維持できる範囲と維持できない範囲の双方を含む場合、所定の送信F値を維持できる範囲については送信F値を一定に制御して送信焦点を等間隔に配置する一方、所定の送信F値を維持できない範囲については開口径を最大値に固定して焦点距離が等比級数的に増加するように各送信焦点を配置することとしてもよい。また、所定の送信F値を維持できる範囲と維持できない範囲を区別することなく、着目領域の全体に亘り開口径を最大値に固定して焦点距離が等比級数的に増加するように各送信焦点を配置することとしてもよい。

【0079】

次に、図2に示すフローチャートのステップS5に係る処理内容の詳細について図7に示すフローチャートを参照しつつ説明する。

【0080】

上記のように送信フォーカス制御部14によって各送信焦点の深さ位置が導出されると、主制御部30は、超音波プローブ10から送信される超音波の送信焦点の深さ位置が送信フォーカスNo. 1に対応する深さ位置に設定すべき制御信号を送信制御部12に供給する。これにより、送信制御部12は、送信焦点 $f[1]$ の深さ位置に応じた送信遅延時間を各チャンネルの駆動パルス信号に与え、遅延時間が付与された各チャンネルの駆動パルス信号を各圧電素子10aに供給する。なお、ここでの送信遅延時間は、予め被検体内の音速を仮定して設定された仮定設定音速に基づいて導出された値である。超音波プローブ10は、送信焦点 $f[1]$ に収束するように被検体内に超音波を送信する(ステップS20)。

【0081】

超音波プローブ10の各圧電素子10aから送信された超音波の反射によるエコーは、複数の圧電素子10aによって受信される。反射エコーを受信した圧電素子10aの各々は、電気信号である受信信号を生成してこれを受信信号処理部16に出力する。受信信号処理部16は、各チャンネルの受信信号に対して増幅およびA/D変換を含む信号処理を施し、信号処理を施した受信信号を受信データとして受信信号メモリ17に格納する(ステップS22)。

【0082】

受信制御部18は、主制御部30から供給される制御信号に基づいて、受信信号メモリ17からラインNo. j の受信信号を抽出すると共に、主制御部30から供給される設定音速No. k に対応する設定音速に基づいて受信遅延時間を算出する。そして、受信制御部18は、抽出したラインNo. j の受信信号に算出した受信遅延時間を与えて受信フォーカス処理を施して整相加算信号を生成し、これを画像生成部20に供給する。画像生成部20は、受信制御部18において生成された整相加算信号から超音波画像信号を生成し

、自身に備える画像メモリに生成した超音波画像信号を蓄積する（ステップS 2 4）。

【0083】

なお、本実施形態においては、受信制御部18が受信フォーカス処理を行うための複数の設定音速が、設定音速ナンバー k （ k は1～251の整数）に対応付けられて受信制御部18内に備えられたメモリに格納されている。設定音速No. 1～No. 251は、例えば設定音速1400m/s～1650m/sにそれぞれ対応している。また、各設定音速は例えば1m/s間隔で設定されている。なお、設定音速の範囲および設定間隔は上記したものに限定されるものではなく、適宜変更することが可能である。

【0084】

また、図8に示すように、超音波プローブ10の所定の開口中心Cの圧電素子10aを中心とした例えば±8ライン幅のラインに対し、それぞれラインナンバー j （ j は1～17の整数）が割り当てられている。

10

【0085】

次に、主制御部30は、設定音速ナンバーをインクリメントした後（ステップS 2 6）、当該設定音速ナンバーが最大値251よりも大であるか否かを判定する（ステップS 2 8）。ステップS 2 8において肯定判定がなされた場合、処理はステップS 3 0に進み、否定判定がなされた場合は、処理はステップS 2 4に戻される。

【0086】

主制御部30が設定音速ナンバーを順次インクリメントすることにより、受信制御部18によって、受信信号メモリ17から読み出されたラインの受信信号に対して、各設定音速に基づき受信フォーカス処理が実施され、設定音速毎に整相加算信号が生成される。そして、生成された設定音速毎の整相加算信号は、画像生成部20によって、設定音速毎の超音波画像信号が生成され、生成された超音波画像信号が画像メモリに蓄積される。

20

【0087】

次に、主制御部30は、ラインナンバーをインクリメントした後（ステップS 3 0）、当該ラインナンバーが最大値17よりも大であるか否かを判定する（ステップS 3 2）。ステップS 3 2において肯定判定がなされた場合、処理はステップS 3 4に進み、否定判定がなされた場合は、処理はステップS 2 4に戻される。

【0088】

主制御部30がラインナンバーを順次インクリメントすることにより、処理対象となるラインが順次変更され、変更されたラインについて、ステップS 2 4～S 3 2の処理が実施される。すなわち、受信制御部18は、ラインNo. 1～17の受信信号に対して、各設定音速に基づき算出した受信遅延時間を与えて受信フォーカス処理を実施して、設定音速毎の整相加算信号を生成する。生成された設定音速毎の整相加算信号は、画像生成部20に供給される。画像生成部20は、各ラインに対応する設定音速毎の超音波画像信号を生成し、これらを画像メモリに蓄積する。

30

【0089】

このようにして、図9に示すように、ラインNo. 1～ラインNo. 17の超音波画像信号からなる超音波画像が、1400m/s～1650m/sの設定音速毎に生成される。

【0090】

40

画像生成部20は、1400m/s～1650m/sの設定音速毎の超音波画像信号を焦点位置導出部21に出力する。焦点位置導出部21は、入力された設定音速毎の超音波画像信号に基づいて、送信フォーカスNo. 1に対応する実際の送信焦点の深さ位置を導出する（ステップS 3 4）。

【0091】

具体的には、焦点位置導出部21は、設定音速毎の超音波画像信号について、図9において破線で囲まれた単位深さのライン毎の画像強度の分布を取得し、そのライン毎の画像強度の加算値 $\Sigma a(k)$ を導出する。なお、上記単位深さとしては、例えば20 μ m～50 μ mである。この単位深さは、後述する最適設定音速を求める際に用いる深さよりも狭い範囲である。このように局所的な狭い範囲の画像強度に基づく暫定最適設定音速を用い

50

ることによって、他の深さの画像強度の影響を受けない最適設定音速として、深さに対するその変化を高精度に捉えることができる。また、暫定最適設定音速は短時間で求めることができる。

【0092】

焦点位置導出部21は、図10に示すように、1400m/s～1650m/sの設定音速毎の加算値 $\Sigma a(k)$ の分布を取得し、その加算値 $\Sigma a(k)$ のうちの最大値を求め、その最大値に対応する設定音速を被検体の暫定最適設定音速として取得する。

【0093】

そして、焦点位置導出部21は、単位深さを順次変更して、上記と同様の処理を行うことによって、単位深さ毎の暫定最適設定音速を取得し、図11の最上段に示すような、送信フォーカスNo. 1（送信焦点f[1]）に対応する暫定最適設定音速の分布を取得する。

10

【0094】

次に、焦点位置導出部21は、図11に示すような深さに対する暫定最適設定音速の分布において、単位深さ毎の暫定最適設定音速を取得して深さに対する暫定最適設定音速のバラつきを測定する。具体的には、図11に示す暫定最適設定音速の分布において、たとえば、所定の演算窓を深さ方向に順次走査してその演算窓内の暫定最適設定音速の標準偏差を順次取得する。このようにして深さ方向に対する暫定最適設定音速の標準偏差を順次取得することによって、図12に示すような深さ方向に対する標準偏差の分布を取得することができる。焦点位置導出部21は、図12に示す暫定最適設定音速の標準偏差が最小値のときの深さ位置F1を、送信フォーカスNo. 1（送信焦点f[1]）に対応する実際の焦点位置として取得する（ステップS34）。

20

【0095】

次に、主制御部30は、送信フォーカスナンバーをインクリメントした後（ステップS36）、当該送信フォーカスナンバーが送信フォーカス制御部14によって導出された送信回数nよりも大であるか否かを判定する（ステップS38）。送信フォーカスナンバーがnよりも小であると判定されると、処理は、ステップS20に戻される。送信フォーカスナンバーが順次インクリメントされることにより、超音波プローブ10から送信される超音波の送信焦点が、送信フォーカス制御部14によって設定された送信焦点f[2]～f[n]の深さ位置に順次設定される。そして、ステップS22～S34の処理が上記と同様にして行われ、送信焦点f[2]～f[n]に対応する実際の焦点位置F2～Fnが上記と同様に取得される。

30

【0096】

有効領域導出部22は、上述したようにして取得された各送信フォーカスにおける実際の送信焦点位置F1～Fnに対応する有効領域を求める（ステップS40）。具体的には、有効領域導出部22は、送信焦点f[1]～f[n]の各々の深さ位置を導出する際に用いた係数 α から係数kを算出する（ $k = (\alpha - 1) / (\alpha + 1)$ ）。そして係数kおよび実際の送信焦点F1～Fnの各焦点距離を上記の式（1）にあてはめて $w[i]$ （iは1～n）を算出し、 $w[i]$ を2倍することにより実際の送信焦点F1～Fnの各々に対応する有効領域R1～Rnを導出する（図13参照）。有効領域導出部22は、上述したようにして決定した有効領域R1～Rnの各範囲を示す情報を最適設定音速導出部24に供給する。

40

【0097】

最適設定音速導出部24は、入力された有効領域R1～Rnの各範囲に基づいて、ユーザによって指定された着目領域内の各点における被検体の最適設定音速を導出する（ステップS42）。具体的には、最適設定音速導出部24は、たとえば、着目領域内のある着目点がある有効領域R2の深さに存在する場合には、送信フォーカスNo. 2に対応する送信フォーカスを実施して取得した設定音速毎の超音波画像信号を画像生成部20に備えられた画像メモリから取得する。そして、最適設定音速導出部24は、各設定音速の超音波画像信号について上記着目点を中心に所定ライン幅、深さ幅の画像強度分布を取得し、その

50

加算値が最大となる設定音速をその点の最適設定音速として取得する。なお、上記所定の深さ幅としては、たとえば、3 mm～4 mmである。最適設定音速導出部 24 は、上記の処理を着目領域内の複数の点において実施することにより、当該複数の点の各々の最適設定音速を求める。

【0098】

以上の各ステップを経ることにより、着目領域内の各点の最適設定音速が導出され本ルーチンが終了する。

【0099】

受信制御部 18 は、以上のようにして導出された着目領域内の各点の最適設定音速に基づいて各点における受信遅延時間を算出し、算出した受信遅延時間を受信信号メモリ 17 から読み出した受信信号に与えることによって受信フォーカスを実施して整相加算信号を生成する。画像生成部 20 は、最適設定音速に基づいて生成された整相加算信号から超音波画像信号を生成し、これをモニタ 28 に供給する。モニタ 28 は、画像生成部 20 から供給される超音波画像信号に応じた超音波画像を表示する。

【0100】

このように、本実施形態に係る超音波診断装置 1 によれば、最適設定音速を取得しようとする各点が、送信焦点の有効領域内から抽出されるので、最適設定音速を高精度に導出することができる。また、着目領域内の各点の最適設定音速を用いて超音波画像を生成するので、着目領域の全域に亘り歪みのない超音波画像を得ることができる。

【0101】

また、送信フォーカス制御部 14 は、送信 F 値が焦点距離に応じて変化する深さ領域内の互いに異なる深さ位置に送信フォーカスを実施する際に、送信焦点の深さが深くなるに従って（焦点距離が大きくなるに従って）焦点間の距離が増すように各送信焦点の深さ位置を設定するので、超音波の送信回数を抑えつつも各送信に応じて得られる受信信号の品質を維持することが可能となる。

【0102】

なお、本実施形態においては、設定音速毎の超音波画像信号の画像強度の加算値を用いて最適設定音速を取得するようにしたが、最適設定音速を取得するための指標値は加算値に限らず、たとえば、設定音速毎の着目領域の超音波画像信号の空間周波数スペクトルを取得し、その半値幅に基づいて環境音速を取得するようにしてもよい。最適設定音速を求めるために、画像強度や空間周波数スペクトルに基づく公知の指標値を用いることができる。

【0103】

また、本実施形態においては、送信フォーカス位置を設定する度にその送信フォーカス位置に対する実際の焦点位置を取得するようにしたが、これに限らず、予め各送信焦点位置の受信信号を全て取得しておき、その後、各送信焦点位置に対する実際の焦点位置を取得するようにしてもよい。このように、各送信フォーカス位置の受信信号を連続的に短時間で取得することで、被検体の動きによる誤差を低減する事ができる。

【0104】

また、受信フォーカスを施す受信信号は、その焦点が属する有効域に対応する送信フォーカスのときに取得されたものであることが望ましいが、有効域の境界においては、使用する受信信号を切り替えることによる不連続を生ずる。そこで、例えば、各座標に関して、それを挟む送信焦点を形成する 2 つの送信フォーカス No のときに取得された 2 つの受信信号に対して、その座標を焦点とする受信フォーカス処理を施してそれぞれの超音波画像を生成し、それらをその受信焦点とそれを挟む 2 つの送信焦点との距離または受信焦点と有効域との距離に応じて、たとえば重みづけなどして合成しても良い。

【0105】

また、最適設定音速の取得方法については、各送信フォーカスの実際の焦点位置が分かれば、上述した実施形態の方法に限らず、その他の方法でも高精度に最適設定音速を取得することができる。

【0106】

たとえば、着目点に対して、それを挟む送信焦点を形成する2つの送信フォーカス $No. n$, $No. n+1$ のときに取得された2つの受信信号に対して、図14に示すように、それぞれ各設定音速に基づく受信フォーカス処理を施して着目点を中心とした着目範囲の超音波画像信号を生成し、それぞれ各深さの単位深さ毎に指標値 $V1(n)$, $V2(n)$, $V3(n)$ ・・・と、 $V1(n+1)$, $V2(n+1)$, $V3(n+1)$ ・・・とを算出する。そして、設定音速毎に、各深さの指標値として、2つの超音波画像からそれぞれ求めた各深さの指標値を、その深さと2つの送信焦点との距離、または深さとその有効域との距離に応じて加算した値 $V1$, $V2$, $V3$ ・・・を算出する。そして各深さの指標値を着目範囲で加算した指標値を設定音速毎に算出し比較して最適設定音速を取得しても良い。

10

【0107】

また、以下の方法で最適設定音速を取得しても良い。

【0108】

各送信フォーカスは、予め設定した仮定音速の下では、被検体の予め設定した位置に焦点を形成するように実施されている。従って、予め設定した位置と実際の焦点位置とのずれから、被検体の実際の最適設定音速を取得する事ができる。

【0109】

たとえば、予め仮定音速および焦点位置を 1540 m/s および 20 mm として送信遅延時間を設定したとする。被検体の実際の音速が 1540 m/s より速い場合、その送信遅延時間によって形成される実焦点位置は 20 mm より浅くなる。また、実焦点位置からの反射波の受信時刻は実焦点位置までの往復の距離を実際の音速で割った時刻であるため、本受信時刻から音速 1540 m/s を仮定して換算される位置は実焦点位置より更に浅くなる。このように、被検体の実際の音速が 1540 m/s より速いと、実焦点位置が 20 mm より浅くなり、その受信信号から生成される超音波画像上の位置が更に浅くなる。

20

【0110】

逆に被検体の実際の音速が 1540 m/s より遅いと、実焦点位置が 20 mm より深くなり、その受信信号から生成される超音波画像上の位置が更に深くなる。このことを利用して、予め設定した焦点位置と実際の焦点位置とのずれから実際の音速を取得する事ができる。たとえば仮定音速および焦点位置を 1540 m/s 及び 30 mm として設定した送信遅延時間の各素子駆動によって形成された焦点からの反射波の受信信号から生成された超音波画像上の実焦点位置が 27 mm であった場合には、以下のようにして実際の音速を取得することができる。

30

【0111】

まず、焦点の深さを超音波伝播時間に換算する。具体的には、焦点位置は仮定音速 1540 m/s で生成した超音波画像上の 27 mm であることから $27[\text{mm}] / 1540000[\text{mm/s}]$ で伝播時間 $[s]$ に換算する。

【0112】

次に、各素子の送信遅延を求める。 1540 m/s で 30 mm の位置に送信焦点を形成するための送信遅延は一意に決まる。

40

【0113】

そして、次に、焦点から各素子への超音波伝播時間を求める。具体的には、上記で求めた超音波伝播時間と各素子の送信遅延とに基づいて、焦点から各素子への超音波伝播時間を取得する。

【0114】

そして、仮定の音速を設定し、その仮定の音速に基づいて焦点から各素子への仮超音波伝播時間を取得し、その仮超音波伝播時間と上記で求めた焦点から各素子への超音波伝播時間との誤差が最小となる仮定音速を実際の音速として取得する。

【0115】

上述した手順により、実際の音速（最適設定音速）として約 1620 m/s を取得する

50

ことができる。本方法では、実際の焦点位置における最適設定音速のみを取得できるが、任意の着目点に対しては近傍の実焦点位置の最適設定音速を割当てて、または補間するなどして取得する事ができる。

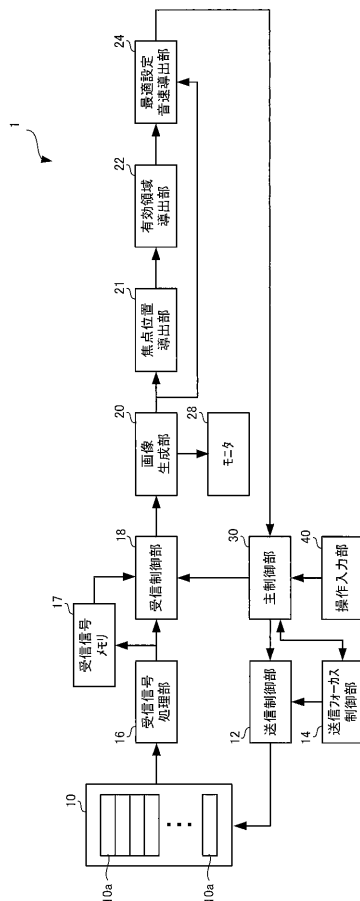
【符号の説明】

【 0 1 1 6 】

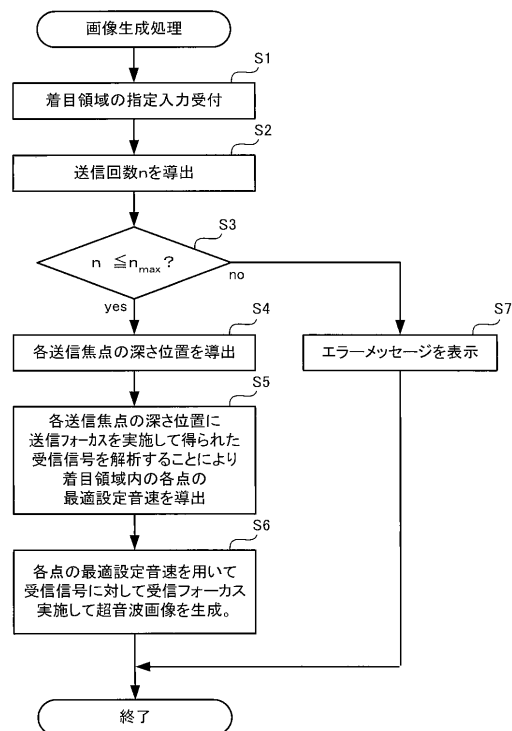
- 1 超音波診断装置
- 1 0 超音波プローブ
- 1 0 a 圧電素子
- 1 2 送信制御部
- 1 4 送信フォーカス制御部
- 1 6 受信信号処理部
- 1 7 受信信号メモリ
- 1 8 受信制御部
- 2 0 画像生成部
- 2 1 焦点位置導出部
- 2 2 有効領域導出部
- 2 4 最適設定音速導出部
- 3 0 主制御部
- 4 0 走査入力部

10

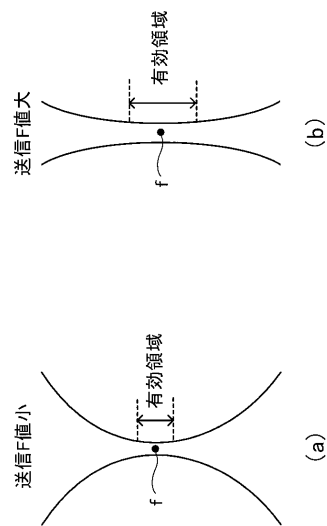
【図 1】



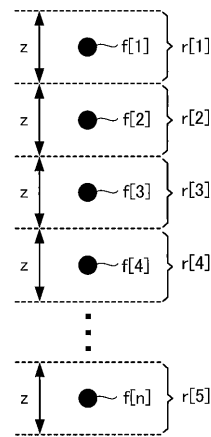
【図 2】



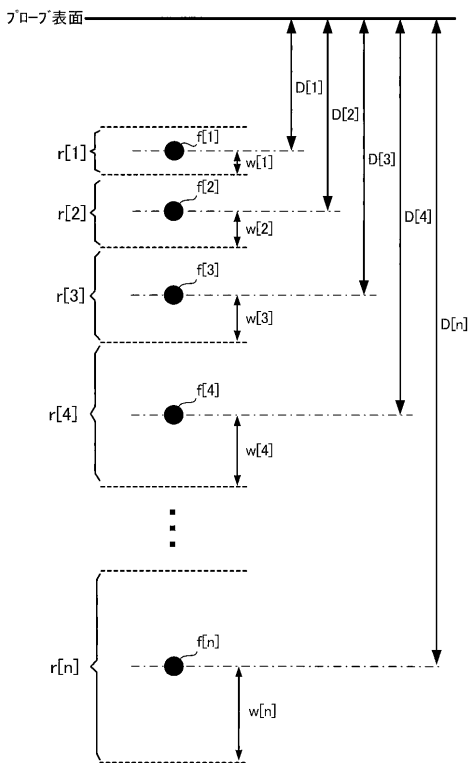
【図 3】



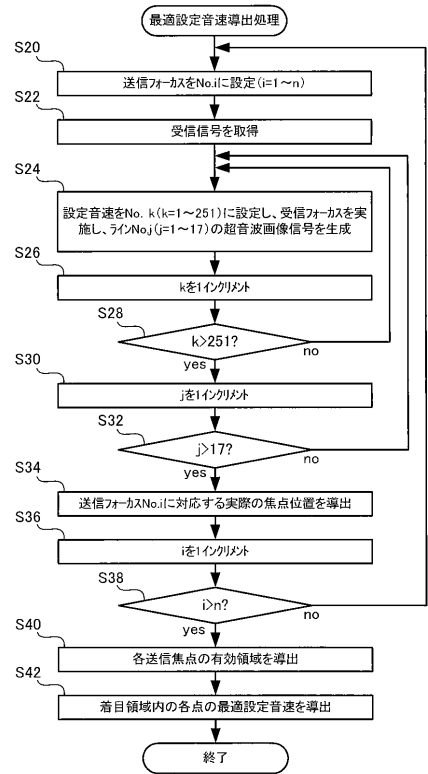
【図 4】



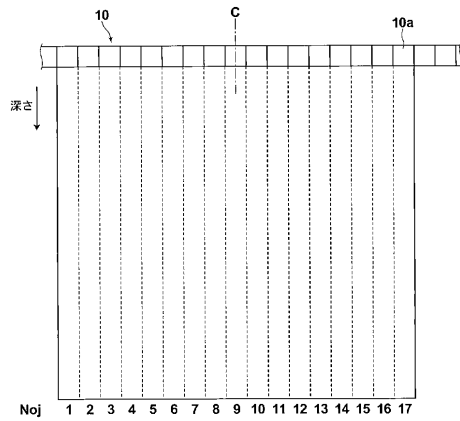
【図 5】



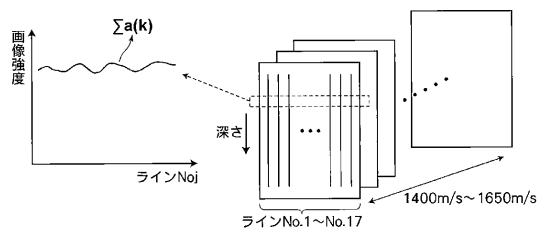
【図 7】



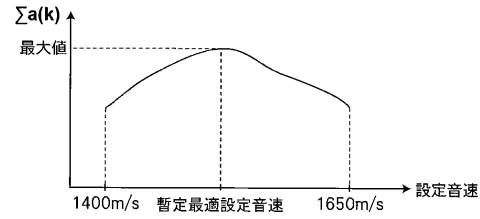
【図 8】



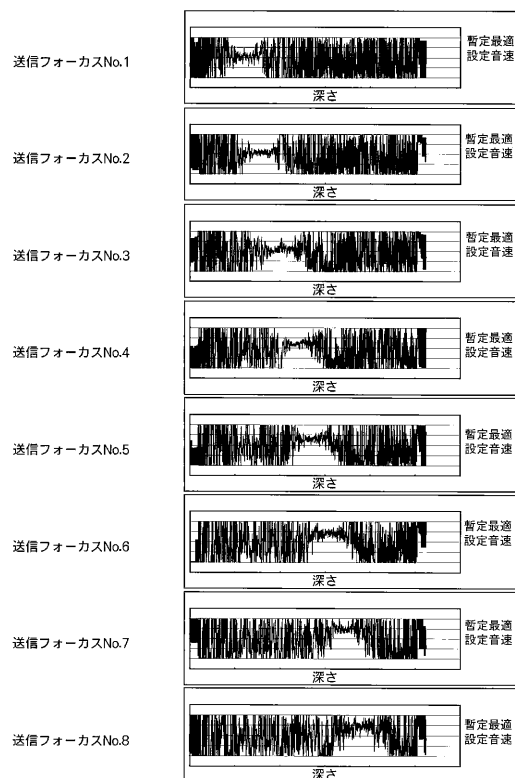
【図 9】



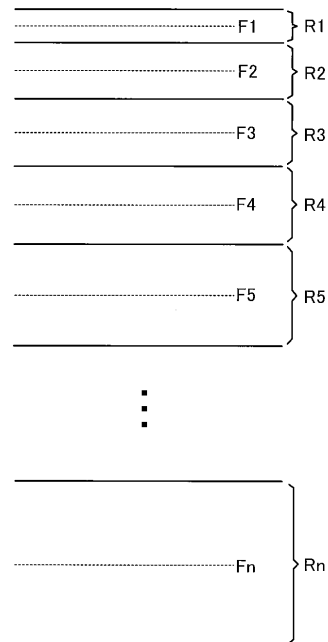
【図 10】



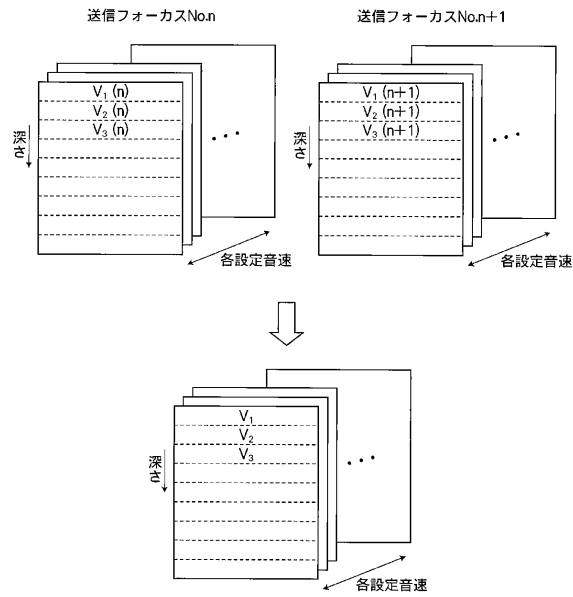
【図 11】



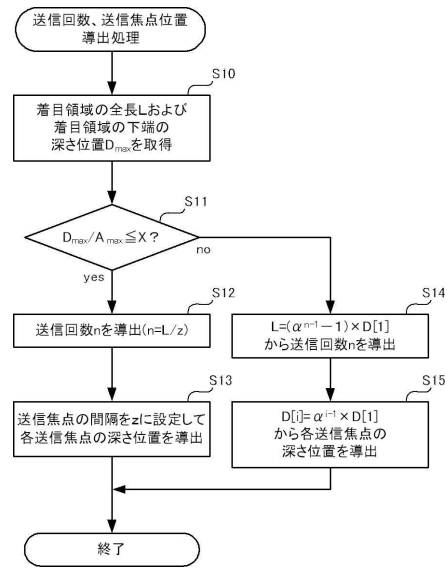
【図 13】



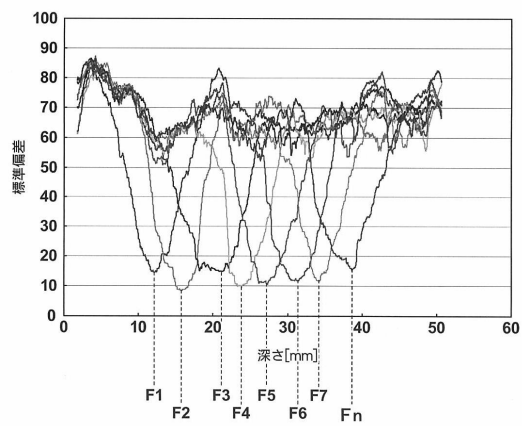
【図 1 4】



【図 6】



【図 1 2】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開昭63-99484 (J P, A)
特開平5-237115 (J P, A)
特開平6-189961 (J P, A)
特開平8-317924 (J P, A)
特開2007-7045 (J P, A)
特開2011-92686 (J P, A)
米国特許第4618628 (U S, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., D B名)
A 6 1 B 8 / 1 4

专利名称(译)	超声波诊断装置，声速导出方法和程序		
公开(公告)号	JP5901431B2	公开(公告)日	2016-04-13
申请号	JP2012120244	申请日	2012-05-25
[标]申请(专利权)人(译)	富士胶片株式会社		
申请(专利权)人(译)	富士胶片株式会社		
当前申请(专利权)人(译)	富士胶片株式会社		
[标]发明人	勝山 公人		
发明人	勝山 公人		
IPC分类号	A61B8/14		
FI分类号	A61B8/14		
F-TERM分类号	4C601/DD20 4C601/EE07 4C601/EE09 4C601/HH24 4C601/HH29 4C601/HH33 4C601/JC37 4C601/LL38		
代理人(译)	中島 敦 福田 浩		
其他公开文献	JP2013244223A		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

摘要：要解决的问题：在保持超声波传输次数较小的同时，获得高精度的最佳设定声速。解决方案：导出多个透射焦点中的每一个的深度位置，使得多个透射焦点可以在感兴趣的输入区域内的相互不同的深度位置中排列，并且使得透射焦点与相邻透射之间的距离在根据焦距改变透射F值的深度区域中，随着透射焦点的深度位置变得更深，可以增加焦点。基于通过对每个导出的深度位置应用发送聚焦而获得的接收信号，导出感兴趣区域中的声速的估计值作为最佳设置的声速。

(21) 出願番号	特願2012-120244 (P2012-120244)	(73) 特許権者	306037311
(22) 出願日	平成24年5月25日 (2012. 5. 25)		富士フイルム株式会社
(65) 公開番号	特開2013-244223 (P2013-244223A)		東京都港区西麻布2丁目2番30号
(43) 公開日	平成25年12月9日 (2013. 12. 9)	(74) 代理人	100079049
審査請求日	平成26年10月6日 (2014. 10. 6)		弁理士 中島 淳
前置審査		(74) 代理人	100084995
			弁理士 加藤 和洋
		(74) 代理人	100099025
			弁理士 福田 浩志
		(72) 発明者	勝山 公人
			神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地
			富士フイルム株式会社内
		審査官	右▲高▼ 孝幸

最終頁に続く