

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6111870号
(P6111870)

(45) 発行日 平成29年4月12日(2017.4.12)

(24) 登録日 平成29年3月24日(2017.3.24)

(51) Int.Cl.

F I

A 6 1 B 8/00 (2006.01)

A 6 1 B 8/00 Z DM

請求項の数 14 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2013-116175 (P2013-116175)	(73) 特許権者	000002369
(22) 出願日	平成25年5月31日(2013.5.31)		セイコーエプソン株式会社
(65) 公開番号	特開2014-233415 (P2014-233415A)		東京都新宿区新宿四丁目1番6号
(43) 公開日	平成26年12月15日(2014.12.15)	(74) 代理人	100104710
審査請求日	平成28年5月27日(2016.5.27)		弁理士 竹腰 昇
		(74) 代理人	100090479
			弁理士 井上 一
		(74) 代理人	100124682
			弁理士 黒田 泰
		(72) 発明者	長谷川 英之
			宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号
			国立大学法人東北大学内
		(72) 発明者	金井 浩
			宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号
			国立大学法人東北大学内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波測定装置、超音波画像装置及び超音波画像の処理方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

超音波トランスデューサーデバイスと、
 超音波ビームの送信処理を行う送信部と、
 前記超音波ビームが被検体により反射されたものである超音波エコーの受信処理を行う
 受信部と、
 前記受信部からの受信信号に基づいて処理を行う処理部とを含み、
 前記処理部は、
 前記被検体の第1の箇所へ出射された超音波ビームの超音波エコーに対応する第1の受
 信信号と、前記被検体の第2の箇所へ出射された超音波ビームの超音波エコーに対応する
 第2の受信信号と、前記被検体の前記第1の箇所と前記第2の箇所との間の第3の箇所へ
 出射された超音波ビームの超音波エコーに対応する第3の受信信号と、に基づいて前記超
 音波トランスデューサーデバイス及び前記被検体についての伝達関数を特定し、
 前記伝達関数を含むデコンボリューションフィルタによるフィルタ処理を、前記受
 信信号に対して行うことを含む超音波画像の生成処理を行うことを特徴とする超音波測定
 装置。

【請求項 2】

請求項 1 において、

前記処理部は、

前記第1の受信信号の第1のパワースペクトル、前記第2の受信信号の第2のパワース

10

20

ペクトル及び前記第 3 の受信信号の第 3 のパワースペクトルを求め、

前記第 1 のパワースペクトル、前記第 2 のパワースペクトル及び前記第 3 のパワースペクトルから、前記伝達関数の振幅を求めることを特徴とする超音波測定装置。

【請求項 3】

請求項 2 において、

前記超音波トランスデューサデバイスについての伝達関数の位相特性の情報を記憶する特性情報記憶部を含み、

前記処理部は、

前記特性情報記憶部に記憶された前記超音波トランスデューサデバイスについての伝達関数の位相特性の情報と、

前記第 1 の受信信号、前記第 2 の受信信号及び前記第 3 の受信信号から求められた前記伝達関数の前記振幅と、

を用いて、前記デコンボリューションフィルタによるフィルタ処理を行うことを特徴とする超音波測定装置。

【請求項 4】

請求項 3 において、

角周波数を ω 、前記伝達関数の前記振幅を $|H(\omega)|$ 、前記伝達関数の複素共役を $H^*(\omega)$ 、受信信号の雑音成分のパワースペクトルを $P_n(\omega)$ 、受信信号の信号成分のパワースペクトルを $P_f(\omega)$ 、調整係数値を β 、前記デコンボリューションフィルタを $M(\omega)$ とした場合に、

$$M(\omega) = H^*(\omega) / (|H(\omega)|^2 + \beta \times P_n(\omega) / P_f(\omega))$$

であることを特徴とする超音波測定装置。

【請求項 5】

請求項 4 において、

前記特性情報記憶部は、

前記調整係数値 β をさらに記憶し、

前記処理部は、

前記特性情報記憶部に記憶された前記調整係数値 β を用いて、前記デコンボリューションフィルタによるフィルタ処理を行うことを特徴とする超音波測定装置。

【請求項 6】

請求項 5 において、

前記特性情報記憶部は、

前記調整係数値 β として、前記超音波トランスデューサデバイス又は前記被検体ごとに異なる値を記憶することを特徴とする超音波測定装置。

【請求項 7】

請求項 6 において、

前記処理部は、

前記超音波トランスデューサデバイス又は前記被検体ごとに異なる前記調整係数値 β を用いて、前記デコンボリューションフィルタによるフィルタ処理を行うことを特徴とする超音波測定装置。

【請求項 8】

請求項 4 乃至 7 のいずれかにおいて、

前記調整係数値 β は、0.2 以下であることを特徴とする超音波測定装置。

【請求項 9】

請求項 4 乃至 8 のいずれかにおいて、

前記調整係数値 β の情報の入力を受け付ける入力受付部を含み、

前記処理部は、

前記入力受付部が受け付けた前記調整係数値 β の情報を用いて、前記デコンボリューションフィルタによるフィルタ処理を行うことを特徴とする超音波測定装置。

【請求項 10】

請求項 4 乃至 9 のいずれかにおいて、

前記処理部は、

異なる時刻に測定された複数の受信信号のパワースペクトルの時間平均値に基づいて、前記信号成分のパワースペクトル $P_f(\omega)$ を求め、

前記異なる時刻に測定された前記複数の受信信号のパワースペクトルの分散値に基づいて、前記雑音成分のパワースペクトル $P_n(\omega)$ を求めることを特徴とする超音波測定装置。

【請求項 11】

請求項 1 乃至 10 のいずれかにおいて、

前記処理部は、

前記被検体における深さが互いに異なる第 1 の領域～第 n (n は 2 以上の整数) の領域に対する第 1 の伝達関数～第 n の伝達関数を特定して、

前記第 1 の領域～前記第 n の領域に対応する 前記第 1 の伝達関数～前記第 n の伝達関数を含む第 1 のデコンボリューションフィルター～第 n のデコンボリューションフィルター を用いて前記フィルター処理を行うことを特徴とする超音波測定装置。

【請求項 12】

請求項 1 乃至 11 のいずれかにおいて、

前記被検体の前記第 1 の箇所は、前記超音波画像の第 1 の端部に対応する箇所であり、

前記被検体の前記第 2 の箇所は、前記超音波画像の前記第 1 の端部の反対側の端部である第 2 の端部に対応する箇所であり、

前記被検体の前記第 3 の箇所は、前記超音波画像の前記第 1 の端部と前記第 2 の端部との間に対応する箇所であることを特徴とする超音波測定装置。

【請求項 13】

請求項 1 乃至 12 のいずれかに記載の超音波測定装置と、

前記超音波画像を表示する表示部とを含むことを特徴とする超音波画像装置。

【請求項 14】

超音波トランスデューサーデバイスと、超音波ビームの送信処理を行う送信部と、前記超音波ビームが被検体により反射されたものである超音波エコーの受信処理を行う受信部と、前記受信部からの受信信号に基づいて処理を行う処理部とを含む超音波測定装置において、前記処理部により実行される超音波画像の処理方法であって、

前記被検体の第 1 の箇所へ出射された超音波ビームの超音波エコーに対応する第 1 の受信信号と、前記被検体の第 2 の箇所へ出射された超音波ビームの超音波エコーに対応する第 2 の受信信号と、前記被検体の前記第 1 の箇所と前記第 2 の箇所との間の第 3 の箇所へ出射された超音波ビームの超音波エコーに対応する第 3 の受信信号と、に基づいて前記超音波トランスデューサーデバイス及び前記被検体についての伝達関数を特定し、

前記伝達関数を含むデコンボリューションフィルターによるフィルター処理を前記受信信号に対して行うことを特徴とする超音波画像の処理方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波測定装置、超音波画像装置及び超音波画像の処理方法等に関する。

【背景技術】

【0002】

超音波診断装置において、超音波トランスデューサーから超音波を送信し、対象物から反射した反射波を再び超音波トランスデューサーで受信した信号には、超音波トランスデューサーの狭帯域特性が畳み込まれているため、たとえ対象物が点であったとしても、反射信号のパルス幅が広がってしまい、超音波画像では対象物が広がったような像となってしまう。

【0003】

この課題に対して、超音波画像の分解能を向上するために、受信信号の中に畳み込まれ

10

20

30

40

50

ている超音波トランスデューサーの狭帯域特性をフィルター（デコンボリューションフィルター）で除去することで、受信信号の広がりを低減し、空間分解能の高い超音波画像を得る技術が知られている。

【 0 0 0 4 】

例えば特許文献 1 には、個別の走査線について伝達関数を求める際に、受信信号のパワースペクトルに含まれるディップを消すために、パワースペクトルのケプストラムを求めてその低周波成分のみを取り出す手法が開示されている。しかしながらこの手法では、膨大な計算時間とメモリーを必要とし、また、伝達関数に位相特性が含まれていないために、受信信号の広がりを低減しきれていないという課題がある。

【 先行技術文献 】

10

【 特許文献 】

【 0 0 0 5 】

【 特許文献 1 】 特表 2 0 1 1 - 5 2 1 7 3 0 号公報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 6 】

本発明の幾つかの態様によれば、高い空間分解能を有する超音波画像を効率よく生成することができる超音波測定装置、超音波画像装置及び超音波画像の処理方法等を提供できる。

【 課題を解決するための手段 】

20

【 0 0 0 7 】

本発明の一態様は、超音波トランスデューサーデバイスと、超音波ビームの送信処理を行う送信部と、前記超音波ビームが被検体により反射されたものである超音波エコーの受信処理を行う受信部と、前記受信部からの受信信号に基づいて処理を行う処理部とを含み、前記処理部は、前記被検体の第 1 の箇所へ出射された超音波ビームの超音波エコーに対応する第 1 の受信信号と、前記被検体の第 2 の箇所へ出射された超音波ビームの超音波エコーに対応する第 2 の受信信号と、前記被検体の前記第 1 の箇所と前記第 2 の箇所との間の第 3 の箇所へ出射された超音波ビームの超音波エコーに対応する第 3 の受信信号と、に基づいて前記超音波トランスデューサーデバイス及び前記被検体についての伝達関数を特定し、前記伝達関数を含むデコンボリューションフィルターによるフィルター処理を、前記受信信号に対して行うことを含む超音波画像の生成処理を行う超音波測定装置に係する。

30

【 0 0 0 8 】

本発明の一態様によれば、処理部は、第 1、第 2、第 3 の受信信号に基づいて、超音波トランスデューサーデバイス及び被検体についての伝達関数を特定することができるから、短い処理時間で精度の高いデコンボリューションフィルターによるフィルター処理を行うことができる。その結果、高い空間分解能を有する超音波画像を効率よく生成することができる。フィルター処理の対象となる受信信号は、超音波画像の生成に用いられる受信信号であって、第 1、第 2、第 3 の受信信号を含んでもよいし、含まなくてもよい。

【 0 0 0 9 】

40

また本発明の一態様では、前記処理部は、前記第 1 の受信信号の第 1 のパワースペクトル、前記第 2 の受信信号の第 2 のパワースペクトル及び前記第 3 の受信信号の第 3 のパワースペクトルを求め、前記第 1 のパワースペクトル、前記第 2 のパワースペクトル及び前記第 3 のパワースペクトルから、前記伝達関数の振幅を求めてもよい。

【 0 0 1 0 】

このようにすれば、処理部は、短い処理時間で、超音波トランスデューサーデバイス及び被検体についての伝達関数の振幅を求めることができる。

【 0 0 1 1 】

また本発明の一態様では、前記超音波トランスデューサーデバイスについての伝達関数の位相特性の情報を記憶する特性情報記憶部を含み、前記処理部は、前記特性情報記憶部

50

に記憶された前記超音波トランスデューサーデバイスについての伝達関数の位相特性の情報と、前記第1の受信信号、前記第2の受信信号及び前記第3の受信信号から求められた前記伝達関数の前記振幅と、を用いて、前記デコンボリューションフィルタによるフィルタ処理を行ってもよい。

【0012】

このようにすれば、処理部は、振幅及び位相特性の両方を含む伝達関数を用いて、デコンボリューションフィルタによるフィルタ処理を行うことができるから、より精度の高い超音波画像を生成することができる。

【0013】

また本発明の一態様では、角周波数を ω 、前記伝達関数の前記振幅を $|H(\omega)|$ 、前記伝達関数の複素共役を $H^*(\omega)$ 、受信信号の雑音成分のパワースペクトルを $P_n(\omega)$ 、受信信号の信号成分のパワースペクトルを $P_f(\omega)$ 、調整係数値を β 、前記デコンボリューションフィルタを $M(\omega)$ とした場合に、 $M(\omega) = H^*(\omega) / (|H(\omega)|^2 + \beta \times P_n(\omega) / P_f(\omega))$ であってもよい。

【0014】

このようにすれば、処理部は、デコンボリューションフィルタ $M(\omega)$ によるフィルタ処理を行うことができる。

【0015】

また本発明の一態様では、前記特性情報記憶部は、前記調整係数値 β をさらに記憶し、前記処理部は、前記特性情報記憶部に記憶された前記調整係数値 β を用いて、前記デコンボリューションフィルタによるフィルタ処理を行ってもよい。

【0016】

このようにすれば、特性情報記憶部は、例えば水中での超音波測定などにより決定された調整係数値 β を記憶することができる。そして処理部は、特性情報記憶部に記憶された調整係数値 β を用いて、デコンボリューションフィルタによるフィルタ処理を行うことができる。

【0017】

また本発明の一態様では、前記特性情報記憶部は、前記調整係数値 β として、前記超音波トランスデューサーデバイス又は前記被検体ごとに異なる値を記憶してもよい。

【0018】

このようにすれば、特性情報記憶部は、超音波トランスデューサーデバイスごとに決定された調整係数値 β 、或いは被検体ごとに決定された調整係数値 β を記憶することができる。

【0019】

また本発明の一態様では、前記処理部は、前記超音波トランスデューサーデバイス又は前記被検体ごとに異なる前記調整係数値 β を用いて、前記デコンボリューションフィルタによるフィルタ処理を行ってもよい。

【0020】

このようにすれば、処理部は、超音波トランスデューサーデバイス又は被検体に対応して異なる調整係数値 β を用いてデコンボリューションフィルタによるフィルタ処理を行うことができるから、より精度の高い超音波画像を生成することができる。

【0021】

また本発明の一態様では、前記調整係数値 β は、0.2以下であってもよい。

【0022】

このようにすれば、処理部は、雑音の増幅を抑制しつつ、高い空間分解能を有する超音波画像を生成することができる。

【0023】

また本発明の一態様では、前記調整係数値 β の情報の入力を受け付ける入力受付部を含み、前記処理部は、前記入力受付部が受け付けた前記調整係数値 β の情報を用いて、前記デコンボリューションフィルタによるフィルタ処理を行ってもよい。

【 0 0 2 4 】

このようにすれば、処理部は、ユーザーが入力した調整係数値 β を用いてデコンボリューションフィルタによるフィルタ処理を行うことができる。

【 0 0 2 5 】

また本発明の一態様では、前記処理部は、異なる時刻に測定された複数の受信信号のパワースペクトルの時間平均値に基づいて、前記信号成分のパワースペクトル $P_f(\omega)$ を求め、前記異なる時刻に測定された前記複数の受信信号のパワースペクトルの分散値に基づいて、前記雑音成分のパワースペクトル $P_n(\omega)$ を求めてもよい。

【 0 0 2 6 】

このようにすれば、処理部は、短い処理時間で信号成分のパワースペクトル $P_f(\omega)$ 及び雑音成分のパワースペクトル $P_n(\omega)$ を求めることができるから、高い空間分解能を有する超音波画像を効率よく生成することができる。

【 0 0 2 7 】

また本発明の一態様では、前記処理部は、前記被検体における深さが互いに異なる第1の領域～第 n (n は2以上の整数)の領域に対する第1の伝達関数～第 n の伝達関数を特定して、前記第1の領域～前記第 n の領域に対応する第1のデコンボリューションフィルタ～第 n のデコンボリューションフィルタを用いて前記フィルタ処理を行ってもよい。

【 0 0 2 8 】

このようにすれば、処理部は、被検体における深さが互いに異なる複数の領域について、各領域に対応するデコンボリューションフィルタを用いてフィルタ処理を行うことができるから、より高い空間分解能を有する超音波画像を生成することができる。

【 0 0 2 9 】

また本発明の一態様では、前記被検体の前記第1の箇所は、前記超音波画像の第1の端部に対応する箇所であり、前記被検体の前記第2の箇所は、前記超音波画像の前記第1の端部の反対側の端部である第2の端部に対応する箇所であり、前記被検体の前記第3の箇所は、前記超音波画像の前記第1の端部と前記第2の端部との間に対応する箇所であってもよい。

【 0 0 3 0 】

このようにすれば、処理部は、超音波画像の2つの端部とその中間とに対応する箇所からの超音波エコーによる受信信号に基づいて伝達関数を特定することができる。

【 0 0 3 1 】

本発明の他の態様は、上記いずれかに記載の超音波測定装置と、前記超音波画像を表示する表示部とを含む超音波画像装置に係する。

【 0 0 3 2 】

本発明の他の態様は、超音波トランスデューサーデバイスと、超音波ビームの送信処理を行う送信部と、前記超音波ビームが被検体により反射されたものである超音波エコーの受信処理を行う受信部と、前記受信部からの受信信号に基づいて処理を行う処理部とを含む超音波測定装置において、前記処理部により実行される超音波画像の処理方法であって、前記被検体の第1の箇所へ出射された超音波ビームの超音波エコーに対応する第1の受信信号と、前記被検体の第2の箇所へ出射された超音波ビームの超音波エコーに対応する第2の受信信号と、前記被検体の前記第1の箇所と前記第2の箇所との間の第3の箇所へ出射された超音波ビームの超音波エコーに対応する第3の受信信号と、に基づいて前記超音波トランスデューサーデバイス及び前記被検体についての伝達関数を特定し、前記伝達関数を含むデコンボリューションフィルタによるフィルタ処理を前記受信信号に対して行う超音波画像の処理方法に係する。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 3 3 】

【図1】超音波測定装置及び超音波画像装置の基本的な構成例。

【図2】図2(A)、図2(B)は、伝達関数の振幅を求めるための第1、第2、第3の

10

20

30

40

50

受信信号を説明する図。

【図 3】図 3 (A) は、第 1、第 2、第 3 の受信信号のパワースペクトルの一例。図 3 (B) は、第 1、第 2、第 3 の受信信号から求めた伝達関数の振幅の一例。

【図 4】水中のワイヤーに対する超音波測定の実例。

【図 5】伝達関数の位相特性の一例。

【図 6】図 6 (A) は、調整係数 β の一例。図 6 (B) は、フィルター処理前と処理後の信号電圧及び半値幅。

【図 7】前処理のフローチャートの一例。

【図 8】本処理のフローチャートの一例。

【図 9】図 9 (A)、図 9 (B) は、超音波測定装置の第 2 の構成例による伝達関数の特定を説明する図。

10

【図 10】図 10 (A)、図 10 (B) は、超音波トランスデューサー素子の基本的な構成例。

【図 11】超音波トランスデューサーデバイスの構成例。

【図 12】薄膜圧電型超音波トランスデューサー素子から出射された超音波のパワースペクトルの一例。

【図 13】第 3 の構成例における前処理のフローチャートの一例。

【図 14】図 14 (A)、図 14 (B) は、超音波画像装置の具体的な構成例。図 14 (C) は、超音波プローブの具体的な構成例。

【発明を実施するための形態】

20

【 0 0 3 4 】

以下、本発明の好適な実施の形態について詳細に説明する。なお以下に説明する本実施形態は特許請求の範囲に記載された本発明の内容を不当に限定するものではなく、本実施形態で説明される構成の全てが本発明の解決手段として必須であるとは限らない。

【 0 0 3 5 】

1. 超音波測定装置の基本的な構成例

図 1 に本実施形態の超音波測定装置 100 及び超音波画像装置 400 の基本的な構成例を示す。本実施形態の超音波測定装置 100 は、超音波トランスデューサーデバイス 200、送信部 110、受信部 120、処理部 130、記憶部 140、特性情報記憶部 150 及び入力受付部 160 を含む。また、超音波画像装置 400 は、超音波測定装置 100 及び表示部 410 を含む。なお、本実施形態の超音波測定装置 100 及び超音波画像装置 400 は図 1 の構成に限定されず、その構成要素の一部を省略したり、他の構成要素に置き換えたり、他の構成要素を追加するなどの種々の変形実施が可能である。

30

【 0 0 3 6 】

超音波トランスデューサーデバイス 200 は、超音波トランスデューサー素子を有する。超音波トランスデューサー素子は、電気信号である送信信号を超音波に変換し、また対象物（被検体）からの超音波エコーを電気信号に変換する。超音波トランスデューサー素子は、例えば薄膜圧電型超音波トランスデューサー素子やバルク圧電型超音波トランスデューサー素子であってもよいし、或いは容量性微細加工超音波トランスデューサー素子（CMUT：Capacitive Micromachined Ultrasonic Transducer）であってもよい。

40

【 0 0 3 7 】

送信部 110 は、超音波ビームの送信処理を行う。具体的には、送信部 110 が処理部 130 の制御に基づいて超音波トランスデューサーデバイス 200 に対して電気信号である送信信号（駆動信号）を出力し、超音波トランスデューサーデバイス 200 が電気信号である送信信号を超音波に変換して、超音波を送信する。

【 0 0 3 8 】

受信部 120 は、超音波ビームが被検体により反射されたものである超音波エコーの受信処理を行う。具体的には、超音波トランスデューサーデバイス 200 が対象物からの超音波エコーを電気信号に変換して、受信部 120 に対して出力する。受信部 120 は、超音波トランスデューサーデバイス 200 からの電気信号である受信信号（アナログ信号）

50

に対して増幅、検波、A/D変換、位相合わせなどの受信処理を行い、受信処理後の信号である受信信号（デジタルデータ）を処理部130に対して出力する。

【0039】

処理部130は、送信部110及び受信部120の制御処理や受信部120からの受信信号に基づいて超音波画像を生成する処理を行う。具体的には、処理部130は、受信信号に対して周波数解析処理、デコンボリューションフィルタによるフィルタ処理、絶対値化処理、包絡線検波処理、輝度変調処理などを行う。デコンボリューションフィルタの詳細については後述する。

【0040】

処理部130は、例えば専用のデジタルシグナルプロセッサ（DSP）で構成してもよいし、汎用のマイクロプロセッサ（MPU）で構成してもよい。或いは、処理部130が実行する処理の一部をパーソナルコンピュータ（PC）で実行させてもよい。

【0041】

記憶部140は、例えばDRAMなどの記憶装置で構成され、受信信号や受信信号のワースペクトルに基づいて特定された伝達関数の振幅の情報などを記憶する。伝達関数の振幅の情報とは、伝達関数の振幅を特定できる情報であって、例えば伝達関数の振幅と周波数の関係を表すテーブルや関数であってもよいし、或いはパラメータであってもよい。

【0042】

特性情報記憶部150は、例えばフラッシュメモリなどの不揮発性記憶装置で構成され、超音波トランスデューサデバイス200についての伝達関数の位相特性の情報及びデコンボリューションフィルタに含まれる調整係数値 β の情報を記憶する。伝達関数の位相特性の情報とは、伝達関数の位相特性を特定できる情報であって、例えば位相と周波数の関係を表すテーブルや関数であってもよいし、或いは位相特性を決定するパラメータであってもよい。調整係数値 β の情報とは、調整係数値 β を特定できる情報であって、例えば調整係数値 β そのものであってもよいし、調整係数値 β を求めるための関数やパラメータなどであってもよい。

【0043】

後述するように、伝達関数の位相特性及び調整係数値 β は、水中のワイヤー（点散乱体）に対する超音波測定により決定することができる。決定された伝達関数の位相特性及び調整係数値 β は、特性情報記憶部150に記憶しておくことができる。また、特性情報記憶部150は、調整係数値 β として、超音波トランスデューサデバイス200又は被検体ごとに異なる値を記憶してもよい。そして処理部130は、超音波トランスデューサデバイス200又は被検体ごとに異なる調整係数値 β を用いて、デコンボリューションフィルタによるフィルタ処理を行ってもよい。ここで「被検体ごとに異なる」とは、例えば測定対象となる人体の測定部位ごとに異なる場合を含む。

【0044】

入力受付部160は、例えばキーボードやタッチパネルなどの入力デバイスであって、ユーザーによる調整係数値 β の入力を受け付ける。処理部130は、入力受付部160が受け付けた調整係数値 β を用いて、デコンボリューションフィルタによるフィルタ処理を行うことができる。

【0045】

表示部410は、例えば液晶ディスプレイ等の表示デバイスであって、処理部130により生成された超音波画像（例えばBモード画像）を表示する。

【0046】

2. 伝達関数の特定

本実施形態の超音波測定装置100の第1の構成例による伝達関数の振幅の特定について説明する。図2(A)、図2(B)は、伝達関数の振幅を求めるための第1、第2、第3の受信信号を説明する図である。第1の受信信号RS1とは、図2(A)に示すように、被検体の第1の箇所P1へ出射された超音波ビームBM1の超音波エコーEC1に対応

10

20

30

40

50

する受信信号であり、被検体の第1の箇所P1とは、図2(B)に示すように、超音波画像(の1フレーム画像)の第1の端部E1に対応する箇所である。即ち、第1の受信信号RS1とは、超音波画像の第1の端部E1にある1つの走査線SC1に対応する受信信号である。

【0047】

超音波画像の端部とは、1フレームの超音波画像(例えばBモード画像)において、超音波ビームのスキヤンの始点側又は終点側の領域であって、複数の走査線を含む。走査線とは、1フレームの超音波画像において、深さ方向に延びる1本の直線に沿って整列するピクセルの集合である。なお、超音波画像の第1の端部E1にある1つの走査線SC1とは、第1の端部E1にある複数の走査線のうちの1本であって、例えば図2(A)において最左端にある走査線でなくてもよい。

10

【0048】

同様に、第2の受信信号RS2とは、被検体の第2の箇所P2へ出射された超音波ビームBM2の超音波エコーEC2に対応する受信信号であり、被検体の第2の箇所P2とは、超音波画像の第1の端部E1の反対側の端部である第2の端部E2に対応する箇所である。即ち、第2の受信信号RS2とは、超音波画像の第2の端部E2にある1つの走査線SC2に対応する受信信号である。

【0049】

また、第3の受信信号RS3とは、被検体の第1の箇所P1と第2の箇所P2との間の第3の箇所P3へ出射された超音波ビームBM3の超音波エコーEC3に対応する受信信号であり、被検体の第3の箇所P3とは、超音波画像の第1の端部E1と第2の端部E2との間に対応する箇所である。即ち、第3の受信信号RS3とは、超音波画像の第1の端部E1と第2の端部E2との間にある1つの走査線(例えば超音波画像の中央の走査線)SC3に対応する受信信号である。

20

【0050】

処理部130は、第1、第2、第3の受信信号から、以下のようにして伝達関数の振幅を求める。

【0051】

処理部130は、第1、第2、第3の受信信号RS1、RS2、RS3の周波数解析を行って、第1、第2、第3のパワースペクトルを求める。そして第1、第2、第3のパワースペクトルから、超音波トランスデューサデバイス200及び被検体についての伝達関数の振幅を求める。具体的には、処理部130は、第1、第2、第3のパワースペクトルを加算平均し、加算平均されたパワースペクトルの平方根を伝達関数の振幅とする。

30

【0052】

なお、上記の説明では、第1、第2、第3の受信信号RS1、RS2、RS3は、超音波画像の走査線SC1、SC2、SC3に対応する受信信号であるとして説明したが、必ずしも超音波画像の走査線に対応する受信信号でなくてもよい。例えば被検体の第1、第2、第3の箇所P1、P2、P3からの超音波エコーによるAモード波形であってもよい。

【0053】

なお、伝達関数の振幅を求めるための受信信号として、被検体の4以上の箇所へ出射された超音波ビームの超音波エコーに対応する4以上の受信信号を用いてもよい。この場合には、第1～第n(nは4以上の整数)の受信信号RS1～RSnのパワースペクトルPS1(f)～PSn(f)を加算平均し、加算平均されたパワースペクトルの平方根を伝達関数の振幅 $|H(f)|$ とする。

40

【0054】

図3(A)に、第1、第2、第3の受信信号RS1、RS2、RS3のパワースペクトルPS1(f)、PS2(f)、PS3(f)の一例を示す。ここでfは周波数である。

【0055】

各パワースペクトルPS1(f)、PS2(f)、PS3(f)は、図3(A)から分

50

かるように、被検体からの多数の反射波の干渉によるディップを含んでいる。このディップが発生する周波数は、被検体内にある多数の散乱体間の位置関係に依存する。散乱体の配置は計測位置ごとに異なるため、ディップが発生する周波数も第1、第2、第3の受信信号RS1、RS2、RS3ごとに異なる。そこで、第1、第2、第3のパワースペクトルPS1(f)、PS2(f)、PS3(f)を加算平均し、さらに平方根を求めることで、ディップを平滑化して所望の伝達関数の振幅、即ち超音波トランスデューサデバイス200及び被検体についての伝達関数の振幅 $|H(f)|$ を求めることができる。

【0056】

図3(B)に、第1、第2、第3の受信信号RS1、RS2、RS3から求めた伝達関数の振幅 $|H(f)|$ の一例を示す。図3(B)から分かるように、ディップが平滑化され、ディップの影響が除去されている。

10

【0057】

上述した方法で求めた伝達関数の振幅 $|H(f)|$ は、超音波トランスデューサデバイス200の伝達特性だけでなく、被検体(生体組織)も含めた伝達特性を表している。従って、伝達関数の振幅 $|H(f)|$ は、被検体の測定部位によって異なる特性を有する。このため実際の超音波測定では、処理部130は超音波測定ごとに被検体の測定部位に対応する伝達関数の振幅 $|H(f)|$ を求めて、この伝達関数の振幅 $|H(f)|$ を用いてデコンボリューションフィルタによるフィルタ処理を行う。こうすることで、被検体の測定部位の伝達特性も含めた高い精度の振幅 $|H(f)|$ を得ることができる。

【0058】

20

次に、伝達関数の位相特性 $H(f)$ の特定について説明する。伝達関数の位相特性 $H(f)$ は、水中のワイヤー(点散乱体)に対する超音波測定により求めることができる。生体組織中では、超音波の振幅は周波数に依存して減衰するが、位相特性は振幅に比べて周波数に依存した減衰の影響がほとんどない。従って、水中で測定した超音波トランスデューサデバイスの伝達関数の位相特性が、そのまま生体組織中における伝達関数の位相特性と同一であるとみなすことができる。

【0059】

図4に、水中のワイヤーに対する超音波測定の一例を示す。図4に示すように、水中に設けられた細径ワイヤー(例えば直径13 μm)に対して超音波トランスデューサデバイス200から超音波を出射して超音波測定を行う。超音波トランスデューサデバイス200は、Y方向がスキャン方向となるように設けられ、ワイヤーはX方向に沿うように設けられる。超音波ビームはY方向にスキャンされるから、ワイヤーは点散乱体とみなすことができる。

30

【0060】

図5に、水中のワイヤーに対する超音波測定から求められた伝達関数の位相特性 $H(f)$ の一例を示す。図5の破線は、実測された位相データであるが、折り返しが発生している。図5の一点鎖線は、アンラップして折り返しの影響を除去した位相データである。さらに伝搬遅延による位相変化分を除去して、図5の実線で示す所望の伝達関数の位相特性 $H(f)$ を得る。

【0061】

40

このように水中での測定から求めた伝達関数の位相特性 $H(f)$ は、超音波トランスデューサデバイス200の伝達特性に依存する。従って、予め水中での測定により個々の超音波トランスデューサデバイス200の伝達関数の位相特性 $H(f)$ を求めておき、その位相特性 $H(f)$ を特性情報記憶部150に記憶することができる。こうすることで、超音波トランスデューサデバイス200の特性ばらつきも含めた精度の高い位相特性 $H(f)$ を得ることができる。

【0062】

本実施形態の超音波測定装置100によれば、被検体の少なくとも3箇所からの受信信号に基づいて伝達関数の振幅を求めることができる。さらに、受信信号のパワースペクトルに含まれるディップを除去するためにケプストラムを求めるなどの処理が不要であるか

50

ら、短い処理時間で伝達関数の振幅を求めることができる。さらに、振幅だけでなく位相特性も含めた伝達関数を用いることができるから、より高い空間分解能を有する超音波画像を効率よく生成することができる。

【 0 0 6 3 】

3 . デコンボリューションフィルター

本実施形態の超音波測定装置 1 0 0 は、上述した方法で求めた伝達関数の振幅 $|H(f)|$ と位相特性 $H(f)$ を用いて、デコンボリューションフィルターによるフィルター処理を行う。

【 0 0 6 4 】

デコンボリューションフィルターは、例えば以下に示すウィーナーフィルター $M(\omega)$ である。

【 0 0 6 5 】

【 数 1 】

$$M(\omega) = \frac{H(\omega)^*}{|H(\omega)|^2 + \beta \cdot P_n(\omega)/P_f(\omega)} \quad (1)$$

ここで、 ω は角周波数、 $H^*(\omega)$ は伝達関数 $H(\omega)$ の複素共役、 $|H(\omega)|$ は伝達関数 $H(\omega)$ の振幅、 $P_n(\omega)$ は受信信号の雑音成分のパワースペクトル、 $P_f(\omega)$ は受信信号の信号成分のパワースペクトル、 β は調整係数値である。

【 0 0 6 6 】

式 (1) における $P_n(\omega)/P_f(\omega)$ は、 S/N 比 (信号 / 雑音比) の逆数に対応する。即ち、 S/N 比が高い場合には $P_n(\omega)/P_f(\omega)$ は 0 に近づき、 S/N 比が低い場合には $P_n(\omega)/P_f(\omega)$ は無限大に近づく。従って、式 (1) で与えられるウィーナーフィルター $M(\omega)$ は、

$$M(\omega) \rightarrow 1/H(\omega) \quad (S/N \text{ 比が高い場合}) \quad (2)$$

$$M(\omega) \rightarrow 0 \quad (S/N \text{ 比が低い場合}) \quad (3)$$

となる。

【 0 0 6 7 】

式 (2)、式 (3) から分かるように、ウィーナーフィルター $M(\omega)$ は S/N 比が高い周波数領域で有効に働く。即ち、ウィーナーフィルター $M(\omega)$ は、雑音の増幅を抑制する効果がある。

【 0 0 6 8 】

信号成分のパワースペクトル $P_f(\omega)$ 及び雑音成分のパワースペクトル $P_n(\omega)$ は、異なる時刻に測定された 2 以上の超音波画像 (B モード画像) から求めることができる。

【 0 0 6 9 】

例えば、時刻 t_1 、 t_2 、 t_3 に測定された 1 フレーム分の画像 IM_1 、 IM_2 、 IM_3 のそれぞれについて、第 1、第 2、第 3 の走査線に対応する受信信号のパワースペクトル $PS_1(\omega)$ 、 $PS_2(\omega)$ 、 $PS_3(\omega)$ を求める。次に、画像 IM_1 から求めたパワースペクトル $PS_1(\omega)$ と画像 IM_2 から求めたパワースペクトル $PS_1(\omega)$ と画像 IM_3 から求めたパワースペクトル $PS_1(\omega)$ との平均値を求める。即ち、パワースペクトル $PS_1(\omega)$ の時刻 t_1 、 t_2 、 t_3 についての時間平均値 $Av_PS_1(\omega)$ を求める。同様に、パワースペクトル $PS_2(\omega)$ 、 $PS_3(\omega)$ の時刻 t_1 、 t_2 、 t_3 についての時間平均値 $Av_PS_2(\omega)$ 、 $Av_PS_3(\omega)$ を求める。そして、さらに 3 つの時間平均値 $Av_PS_1(\omega)$ 、 $Av_PS_2(\omega)$ 、 $Av_PS_3(\omega)$ の平均値を求めて、これを信号成分のパワースペクトル $P_f(\omega)$ とする。

【 0 0 7 0 】

また、雑音成分のパワースペクトル $P_n(\omega)$ は次のようにして求めることができる。パワースペクトル $PS_1(\omega)$ の時刻 t_1 、 t_2 、 t_3 についての分散値 $Dp_PS_1(\omega)$

ω) を求める。同様にして、パワースペクトル $PS_2(\omega)$ 、 $PS_3(\omega)$ の時刻 t_1 、 t_2 、 t_3 についての分散値 $Dp_PS_2(\omega)$ 、 $Dp_PS_2(\omega)$ を求める。そして、さらに3つの分散値 $Dp_PS_1(\omega)$ 、 $Dp_PS_2(\omega)$ 、 $Dp_PS_2(\omega)$ の平均値を求めて、これを雑音成分のパワースペクトル $P_n(\omega)$ とする。

【0071】

時刻 t_1 、 t_2 、 t_3 に測定された1フレーム分の画像 IM_1 、 IM_2 、 IM_3 において、対象物が動いている場合、或いは超音波プローブが動いている場合には、時間平均値 $Av_PS_1(\omega)$ 、 $Av_PS_2(\omega)$ 、 $Av_PS_3(\omega)$ が適正に算出されない。そこで対象物又は超音波プローブが動いていない状態で測定することが望ましい。なお、トラッキング技術を用いて対象物又は超音波プローブが動いていない状態であることを検出してよいし、対象物又は超音波プローブの動きを相殺してもよい。

10

【0072】

なお、上記の説明では、異なる時刻に測定された3つの画像(フレーム)に基づいて信号成分及び雑音成分のパワースペクトル $P_f(\omega)$ 、 $P_n(\omega)$ を求める例を示したが、画像の数は3に限定されない。画像の数(フレーム数)は、異なる時刻に測定されたものであれば、2つであってもよいし、4以上であってもよい。

【0073】

調整係数 β は、雑音の増幅を抑制する効果の度合いを調整するために設けられる。式(1)から分かるように、調整係数 β が大きい場合には、フィルター処理後の信号波形の広帯域化が抑制され、雑音の増幅も抑制される。一方、調整係数 β が小さい場合には、フィルター処理後の信号波形の広帯域化が優先されるが、雑音も増幅されてしまう。

20

【0074】

本実施形態の超音波測定装置100では、水中のワイヤーに対して超音波測定を行い、調整係数 β を決定することができる。具体的には、得られた受信信号に対して、水中における超音波トランスデューサーデバイス200の伝達関数 $H(\omega)$ 、雑音成分のパワースペクトル $P_n(\omega)$ 及び信号成分のパワースペクトル $P_f(\omega)$ を用いて、デコンボリューションフィルター(ウィナーフィルター)のフィルター処理を行う。そして処理後の信号振幅の半値幅が最小になるように調整係数 β を決める。調整係数値 β は、例えば0.2以下である。

【0075】

30

特性情報記憶部150は、予め水中での測定結果に基づいて決定された調整係数値 β を記憶することができる。こうすることで、処理部130は、特性情報記憶部150に記憶された調整係数値 β を用いて、デコンボリューションフィルターによるフィルター処理を行うことができる。

【0076】

また、特性情報記憶部150は、調整係数値 β として、超音波トランスデューサーデバイス200又は被検体ごとに異なる値を記憶することができる。こうすることで、処理部130は、超音波トランスデューサーデバイス200又は被検体ごとに異なる調整係数値 β を用いて、デコンボリューションフィルターによるフィルター処理を行うことができる。

40

【0077】

また、処理部130は、入力受付部160が受け付けた調整係数値 β を用いて、デコンボリューションフィルターによるフィルター処理を行うこともできる。このようにすれば、ユーザーが調整係数値 β を設定することができる。

【0078】

本実施形態の超音波測定装置100に用いられるデコンボリューションフィルターとしては、上述したウィナーフィルターに限定されず、例えばLucy-Richardson法、又は正則化フィルターなどを用いてもよい。

【0079】

図6(A)、図6(B)に、調整係数 β の一例を示す。図6(A)は、フィルター処理

50

後の信号振幅の半値幅と調整係数 β との関係を示す。図6(B)は、フィルター処理前と処理後について、信号電圧及び信号振幅の半値幅を示す。

【0080】

図6(A)から分かるように、調整係数 β が小さいほど半値幅は小さくなるが、 β が0に近づきすぎると半値幅は大きくなってしまふ。図6(A)に示す例では、 $\beta = 0.01706$ で半値幅が最小になる。そして図6(B)に示すように、処理後の信号振幅は処理前と比較して半値幅が減少している。

【0081】

4. フィルター処理のフロー

本実施形態の超音波測定装置100の第1の構成例によるデコンボリューションフィルターによるフィルター処理のフローについて説明する。以下に示す処理のフローは、処理部130により実行される。処理部130は、前処理においてデコンボリューションフィルターを決定する処理を行い、本処理において受信信号に対するフィルター処理を行って、処理後の信号に基づいて画像データを生成する処理を行う。

【0082】

図7は、処理部130による前処理のフローチャートの一例である。最初に、処理部130は、超音波測定を行って、異なる時刻 t_1 、 t_2 、 $\dots$ 、 t_m (m は2以上の整数)において m 個の超音波画像を取得する(ステップS1)。次に、処理部130は、 m 個の超音波画像を比較して、対象物又は超音波プローブが動いているか否かを判断する(ステップS2、S3)。例えば、処理部130は、 m 個の超音波画像の各々から特徴点を抽出し、抽出された特徴点を対応づける処理を行うことで、対象物又は超音波プローブが動いているか否かを判断することができる。処理部130が、対象物又は超音波プローブが動いていると判断した場合には、ステップS1に戻って超音波測定をやり直す。対象物又は超音波プローブが動いていないと判断した場合には、ステップS4に進む。

【0083】

ステップS4では、処理部130は、各超音波画像について n (n は3以上の整数)本の走査線に対応する受信信号 $RS_1 \sim RS_n$ の高速フーリエ変換を行ってパワースペクトル $PS_1 \sim PS_n$ を求める。次に、処理部130は、パワースペクトル $PS_1 \sim PS_n$ について、時刻 $t_1 \sim t_m$ での時間平均値と分散値とを求める(ステップS5)。そしてパワースペクトル $PS_1 \sim PS_n$ の時間平均値と分散値を n 本の走査線について平均して、信号成分のパワースペクトル $P_f(\omega)$ と雑音成分のパワースペクトル $P_n(\omega)$ とを求める(ステップS6)。

【0084】

次に、処理部130は、パワースペクトル $PS_1 \sim PS_n$ を加算平均し平方根をとって、伝達関数の振幅 $|H(f)|$ を求める(ステップS7)。そして処理部130は、特性情報記憶部150から伝達関数の位相特性 $H(f)$ と調整係数 β を読み出す(ステップS8)。処理部130は、以上のようにして求めた伝達関数の振幅 $|H(f)|$ と位相特性 $H(f)$ 、信号成分のパワースペクトル $P_f(\omega)$ と雑音成分のパワースペクトル $P_n(\omega)$ 、及び調整係数 β を用いてデコンボリューションフィルター $M(\omega)$ を決定する(ステップS9)。

【0085】

なお、1フレーム画像ごとに前処理を行ってもよいし、複数のフレーム画像ごとに前処理を行ってもよい。複数のフレーム画像ごとに前処理を行う場合には、前処理で決定されたデコンボリューションフィルターを用いて、複数のフレーム画像に対応する受信信号に対してフィルター処理を行う。

【0086】

図8は、処理部130による本処理のフローチャートの一例である。最初に、処理部130は、走査線の番号を表す変数 i を初期値1に設定する(ステップS11)。次に、処理部130は、記憶部140から、測定した第 i の走査線に対応する受信信号 RS_i を読み出す(ステップS12)。そして処理部130は、受信信号 RS_i に対して、前処理で

10

20

30

40

50

決定したデコンボリューションフィルタ $M(\omega)$ を用いてフィルタ処理を行う(ステップS13)。

【0087】

次に、処理部130は、フィルタ処理後の受信信号に対して絶対値化処理を行い(ステップS14)、続いて包絡線検波処理を行い(ステップS15)、次に輝度変調処理を行って第 i の走査線に対応する画像データを生成する(ステップS16)。そして処理部130は、第 i の走査線に対応する画像データを記憶部140の画像データ用メモリの第 i の走査線に対応するメモリ領域に記憶する(ステップS17)。

【0088】

次に、処理部130は、超音波画像の全ての走査線についてフィルタ処理と画像データ生成処理を行ったか否かを判断する(ステップS18)。全ての走査線について処理を完了していない場合には、処理部130は、変数 i をインクリメントして(ステップS19)、次の走査線に対応する受信信号について処理を行う(ステップS12~S17)。全ての走査線について処理を完了した場合には、1フレーム分の画像データを表示部410に表示する処理を行う(ステップS20)。

【0089】

5. 第2の構成例による伝達関数の特定

図9(A)、図9(B)は、本実施形態の超音波測定装置100の第2の構成例による伝達関数の特定を説明する図である。第2の構成例では、処理部130は、被検体における深さが互いに異なる第1~第 n (n は2以上の整数)の領域 $DP1 \sim DPn$ に対する第1~第 n の伝達関数 $H1(\omega) \sim Hn(\omega)$ を特定することができる。そして、第1~第 n の領域に対応する第1~第 n のデコンボリューションフィルタ $M1(\omega) \sim Mn(\omega)$ を用いてフィルタ処理を行う。

【0090】

図9(A)、図9(B)では、例として、被検体における深さが互いに異なる第1、第2、第3の領域 $DP1$ 、 $DP2$ 、 $DP3$ に対する第1、第2、第3の伝達関数 $H1(\omega)$ 、 $H2(\omega)$ 、 $H3(\omega)$ を特定する場合について説明する。

【0091】

図9(A)には、図2(A)と同様に、被検体の第1、第2、第3の箇所 $P1$ 、 $P2$ 、 $P3$ へ出射された超音波ビーム $BM1$ 、 $BM2$ 、 $BM3$ と、それらに対応する超音波エコー $EC1$ 、 $EC2$ 、 $EC3$ とを示す。また、図9(B)には、図2(B)と同様に、1フレームの超音波画像における第1、第2、第3の走査線 $SC1$ 、 $SC2$ 、 $SC3$ を示す。第1、第2、第3の受信信号 $RS1$ 、 $RS2$ 、 $RS3$ は、超音波画像の第1、第2、第3の走査線 $SC1$ 、 $SC2$ 、 $SC3$ に対応する受信信号である。

【0092】

処理部130は、第1、第2、第3の受信信号 $RS1$ 、 $RS2$ 、 $RS3$ のうち、第1の領域 $DP1$ に対応する時間領域波形について周波数解析を行って、パワースペクトル $PS1(f)$ 、 $PS2(f)$ 、 $PS3(f)$ を求める。そして、パワースペクトル $PS1(f)$ 、 $PS2(f)$ 、 $PS3(f)$ を加算平均し、加算平均されたパワースペクトルの平方根を第1の領域 $DP1$ に対する伝達関数の振幅 $|H1(f)|$ とする。

【0093】

同様に、処理部130は、第1、第2、第3の受信信号 $RS1$ 、 $RS2$ 、 $RS3$ のうち、第2の領域 $DP2$ に対応する時間領域波形について周波数解析を行って、パワースペクトル $PS1(f)$ 、 $PS2(f)$ 、 $PS3(f)$ を求める。そして、パワースペクトル $PS1(f)$ 、 $PS2(f)$ 、 $PS3(f)$ を加算平均し、加算平均されたパワースペクトルの平方根を第2の領域 $DP2$ に対する伝達関数の振幅 $|H2(f)|$ とする。第3の領域 $DP3$ についても同様にして、第3の領域 $DP3$ に対する伝達関数の振幅 $|H3(f)|$ を求める。

【0094】

処理部130は、以上のようにして特定した伝達関数 $H1(\omega)$ 、 $H2(\omega)$ 、 $H3(\omega)$

10

20

30

40

50

ω)を含むデコンボリューションフィルター $M1(\omega)$ 、 $M2(\omega)$ 、 $M3(\omega)$ を用いてフィルター処理を行う。具体的には、第1の領域 $DP1$ については、第1のデコンボリューションフィルター $M1(\omega)$ を用いてフィルター処理を行い、第2の領域 $DP2$ については、第2のデコンボリューションフィルター $M2(\omega)$ を用いてフィルター処理を行い、第3の領域 $DP3$ については、第3のデコンボリューションフィルター $M3(\omega)$ を用いてフィルター処理を行う。

【0095】

処理部130は、信号成分のパワースペクトル $Pf(\omega)$ 及び雑音成分のパワースペクトル $Pn(\omega)$ についても、第1、第2、第3の領域 $DP1$ 、 $DP2$ 、 $DP3$ ごとに決定することができる。例えば、第1の領域 $DP1$ に対応する信号成分のパワースペクトル $Pf(\omega)$ は、異なる時刻に測定された2以上の超音波画像の第1の領域 $DP1$ に対応する受信信号のパワースペクトルから求めることができる。

10

【0096】

なお、フィルター処理の対象となる受信信号は、超音波画像の生成に用いられる受信信号であって、前処理において測定された受信信号 $RS1 \sim RSn$ を含んでもよいし、含まなくてもよい。

【0097】

このように超音波測定装置100の第2の構成例によれば、被検体における深さが互いに異なる複数の領域について、各領域に対応するデコンボリューションフィルターを用いてフィルター処理を行うことができるから、より精度の高い超音波画像を得ることができる。

20

【0098】

6. 超音波測定装置の第3の構成例

超音波トランスデューサー素子として例えば薄膜圧電型素子を用いる場合に、素子から出射される超音波のパワースペクトルに、バックプレートの材質や厚みに依存する特定な周波数においてディップが生じることがある。本実施形態の超音波測定装置100の第3の構成例では、処理部130がこのディップの有無を検出することで、伝達関数の振幅を特定する前処理が適正に実行されたか否かを判断することができる。

【0099】

図10(A)、図10(B)に、超音波トランスデューサーデバイス200が有する超音波トランスデューサー素子10(薄膜圧電型超音波トランスデューサー素子)の基本的な構成例を示す。超音波トランスデューサー素子10は、振動膜42と、圧電素子部とを有する。圧電素子部は、第1電極層21、圧電体膜30、第2電極層22を有する。なお、本実施形態の超音波トランスデューサー素子10は図10(A)、図10(B)の構成に限定されず、その構成要素の一部を省略したり、他の構成要素に置き換えたり、他の構成要素を追加するなどの種々の変形実施が可能である。

30

【0100】

図10(A)は、基板60(シリコン基板)に形成された超音波トランスデューサー素子10の、基板の素子形成面側に垂直な方向から見た平面図である。図10(B)は、図10(A)のA-A'に沿った断面を示す断面図である。

40

【0101】

第1電極層21(下部電極)は、振動膜42の上層に例えば金属薄膜で形成される。この第1電極層21は、図10(A)に示すように素子形成領域の外側へ延長され、隣接する超音波トランスデューサー素子10に接続される配線であってもよい。

【0102】

圧電体膜30(圧電体層)は、例えばPZT(ジルコン酸チタン酸鉛)薄膜により形成され、第1電極層21の少なくとも一部を覆うように設けられる。なお、圧電体膜30の材料は、PZTに限定されるものではなく、例えばチタン酸鉛($PbTiO_3$)、ジルコン酸鉛($PbZrO_3$)、チタン酸鉛ランタン($(Pb, La)TiO_3$)などを用いてもよい。

50

【 0 1 0 3 】

第2電極層22（上部電極）は、例えば金属薄膜で形成され、圧電体膜30の少なくとも一部を覆うように設けられる。この第2電極層22は、図10（A）に示すように素子形成領域の外側へ延長され、隣接する超音波トランスデューサー素子10に接続される配線であってもよい。

【 0 1 0 4 】

振動膜42（メンブレン）は、例えばSiO₂薄膜とZrO₂薄膜との2層構造により開口45を塞ぐように設けられる。この振動膜42は、圧電体膜30及び第1、第2電極層21、22を支持すると共に、圧電体膜30の伸縮に従って振動し、超音波を発生させることができる。

10

【 0 1 0 5 】

開口45は、基板60に配置される。開口45による空洞領域40は、基板60の裏面（素子が形成されない面）側から反応性イオンエッチング（RIE：Reactive Ion Etching）等によりエッチングすることで形成される。この空洞領域40の形成によって振動可能になった振動膜42のサイズによって超音波の共振周波数が決定され、その超音波は圧電体膜30側（図10（A）において紙面奥から手前方向）に放射される。

【 0 1 0 6 】

超音波トランスデューサー素子10の下部電極は、第1電極層21により形成され、上部電極は、第2電極層22により形成される。具体的には、第1電極層21のうちの圧電体膜30に覆われた部分が下部電極を形成し、第2電極層22のうちの圧電体膜30を覆う部分が上部電極を形成する。即ち、圧電体膜30は、下部電極と上部電極に挟まれて設けられる。

20

【 0 1 0 7 】

圧電体膜30は、下部電極と上部電極との間、即ち第1電極層21と第2電極層22との間に電圧が印加されることで、面内方向に伸縮する。超音波トランスデューサー素子10は、薄手の圧電素子部と振動膜42を貼り合わせたモノモルフ（ユニモルフ）構造を用いており、圧電素子部が面内で伸び縮みすると貼り合わせた振動膜42の寸法はそのままであるため反りが生じる。従って、圧電体膜30に交流電圧を印加することで、振動膜42が膜厚方向に対して振動し、この振動膜42の振動により超音波が放射される。圧電体膜30に印加される電圧は、例えば10～30Vであり、周波数は例えば1～10MHzである。

30

【 0 1 0 8 】

バルクの超音波トランスデューサー素子の駆動電圧がピークからピークで100V程度であるのに対して、図10（A）、図10（B）に示すような薄膜圧電型超音波トランスデューサー素子では、駆動電圧をピークからピークで10～30V程度に小さくすることができる。

【 0 1 0 9 】

超音波トランスデューサー素子10は、出射された超音波が対象物で反射されて戻ってくる超音波エコーを受信する受信素子としても動作する。超音波エコーにより振動膜42が振動し、この振動によって圧電体膜30に圧力が加わり、下部電極と上部電極との間に電圧が発生する。この電圧を受信信号として取り出すことができる。

40

【 0 1 1 0 】

基板60の裏面（素子が形成されない面）には、図示していないバックプレート（補強部材）が設けられる。このバックプレートは機械的な衝撃に対して基板60を補強するための部材である。このバックプレートに超音波の一部が吸収されるために、バックプレートの材質や厚みに依存する特定な周波数においてディップが生じる。

【 0 1 1 1 】

図11に、本実施形態の超音波トランスデューサーデバイス200の構成例を示す。本構成例の超音波トランスデューサーデバイス200は、アレイ状に配置された複数の超音波トランスデューサー素子10、第1～第n（nは2以上の整数）の駆動電極線DL1～

50

D L n、第 1 ~ 第 m (m は 2 以上の整数) のコモン電極線 C L 1 ~ C L m を含む。図 1 1 では、例として m = 8、n = 1 2 の場合を示すが、これ以外の値であってもよい。なお、本実施形態の超音波トランスデューサーデバイス 2 0 0 は図 1 1 の構成に限定されず、その構成要素の一部を省略したり、他の構成要素に置き換えたり、他の構成要素を追加するなどの種々の変形実施が可能である。

【 0 1 1 2 】

複数の超音波トランスデューサー素子 1 0 は、m 行 n 列のマトリックス状に配置される。例えば図 1 1 に示すように、X 方向に 8 行、そして X 方向に交差する Y 方向に 1 2 列に配置される。超音波トランスデューサー素子 1 0 は、例えば図 1 0 (A)、図 1 0 (B) に示した構成とすることができる。

10

【 0 1 1 3 】

第 1 ~ 第 1 2 (広義には第 n) の駆動電極線 D L 1 ~ D L 1 2 は、X 方向に配線される。第 1 ~ 第 1 2 の駆動電極線 D L 1 ~ D L 1 2 のうちの第 j (j は 1 ~ 1 2 である整数) の駆動電極線 D L j は、第 j 列に配置される各超音波トランスデューサー素子 1 0 が有する第 1 の電極に接続される。

【 0 1 1 4 】

超音波を出射する送信期間には、後述する送信部 1 1 0 が出力する第 1 ~ 第 1 2 の送信信号 V T 1 ~ V T 1 2 が駆動電極線 D L 1 ~ D L 1 2 を介して各超音波トランスデューサー素子 1 0 に供給される。また、超音波エコー信号を受信する受信期間には、超音波トランスデューサー素子 1 0 からの受信信号 V R 1 ~ V R 1 2 が駆動電極線 D L 1 ~ D L 1 2 を介して後述する受信部 1 2 0 に出力される。

20

【 0 1 1 5 】

第 1 ~ 第 8 (広義には第 m) のコモン電極線 C L 1 ~ C L 8 は、Y 方向に配線される。超音波トランスデューサー素子 1 0 が有する第 2 の電極は、第 1 ~ 第 m のコモン電極線 C L 1 ~ C L m のうちのいずれかに接続される。具体的には、例えば図 1 1 に示すように、第 1 ~ 第 8 のコモン電極線 C L 1 ~ C L 8 のうちの第 i (i は 1 ~ 8 である整数) のコモン電極線 C L i は、第 i 列に配置される各超音波トランスデューサー素子 1 0 が有する第 2 の電極に接続される。

【 0 1 1 6 】

第 1 ~ 第 8 のコモン電極線 C L 1 ~ C L 8 には、コモン電圧 V C O M が供給される。このコモン電圧は一定の直流電圧であればよく、0 V 即ちグランド電位 (接地電位) でなくてもよい。

30

【 0 1 1 7 】

例えば第 1 行第 1 列の超音波トランスデューサー素子 1 0 については、第 1 の電極が駆動電極線 D L 1 に接続され、第 2 の電極が第 1 のコモン電極線 C L 1 に接続される。また、例えば第 4 行第 6 列の超音波トランスデューサー素子 1 0 については、第 1 の電極が第 6 の駆動電極線 D L 6 に接続され、第 2 の電極が第 4 のコモン電極線 C L 4 に接続される。

【 0 1 1 8 】

なお、超音波トランスデューサー素子 1 0 の配置は、図 1 1 に示す m 行 n 列のマトリックス配置に限定されない。例えば奇数番目の列に m 個の超音波トランスデューサー素子 1 0 が配置され、偶数番目の列に m - 1 個の超音波トランスデューサー素子 1 0 が配置される、いわゆる千鳥配置であってもよい。

40

【 0 1 1 9 】

なお、出射される超音波の周波数特性にバックプレートに起因するディップが生じる素子としては、上述した薄膜圧電型素子に限定されず、例えば容量性微細加工超音波トランスデューサー素子 (C M U T : Capacitive Micromachined Ultrasonic Transducer) など他の薄膜型素子も含まれる。

【 0 1 2 0 】

図 1 2 に、薄膜圧電型超音波トランスデューサー素子から出射された超音波のパワース

50

ペクトルの一例を示す。図 12 から分かるように、特定の周波数において顕著なディップが発生している。このディップが現れる周波数は、バックプレートの材質又は厚みなどに依存する。

【0121】

図 3 (A)、図 3 (B) に示したように、受信信号のパワースペクトルは被検体からの多数の反射波の干渉によるディップを含んでいるが、このようなディップはパワースペクトルを加算平均することで平滑化することができる。図 12 に示すようなバックプレートに起因するディップの場合においても、パワースペクトルを加算平均するとディップは除去される。従って、伝達関数の振幅を求める処理（例えば図 7 のステップ S7）において、パワースペクトル $PS1 \sim PSn$ を加算平均した結果にディップが現れる場合は、超音波測定に何らかの不具合が生じたか、或いは受信信号の解析に何らかの問題が生じた可能性がある。

10

【0122】

図 13 は、第 3 の構成例における前処理のフローチャートの一例である。図 13 に示す処理は、処理部 130 により実行される。図 13 のステップ S21 ~ S27 は、既に説明した第 1 の構成例におけるフロー（図 7 のステップ S1 ~ S7）と同じであるから、ここでは詳細な説明を省略する。

【0123】

処理部 130 は、パワースペクトル $PS1 \sim PSn$ を加算平均した結果について、ディップの有無を判断する（ステップ S28）。具体的には、例えば各周波数でのパワー値 P_{dip} とピークのパワー値 P_{peak} との比 P_{dip} / P_{peak} が所定値 P_a より小さい場合には、処理部 130 は、ディップが有ると判断する。一方、比 P_{dip} / P_{peak} が所定値 P_a 以上である場合には、処理部 130 は、ディップが無いと判断する。

20

【0124】

処理部 130 は、ディップが無いと判断した場合には、特性情報記憶部 150 から伝達関数の位相特性 $H(f)$ と調整係数値 β を読み出し（ステップ S29）、デコンボリューションフィルタ $M(\omega)$ を決定する（ステップ S30）。一方、処理部 130 は、ディップが有ると判断した場合には、エラーと判定して（ステップ S31）、エラーが発生したことをユーザーに報知する画面を表示部 410 に表示する処理などを行う。

【0125】

30

このように本実施形態の超音波測定装置 100 の第 3 の構成例によれば、処理部 130 がバックプレート等に起因するディップの有無を検出することで、前処理が適正に実行されたか否かを判断することができるから、信頼性の高い超音波測定を行うことができる。

【0126】

7. 超音波画像装置

図 14 (A)、図 14 (B) に、本実施形態の超音波画像装置 400 の具体的な構成例を示す。図 14 (A) は携帯型の超音波画像装置 400 を示し、図 14 (B) は据置型の超音波画像装置 400 を示す。

【0127】

携帯型及び据置型の超音波画像装置 400 は共に、超音波測定装置 100、超音波プローブ 300、ケーブル 350 及び表示部 410 を含む。超音波プローブ 300 は、超音波トランスデューサデバイス 200 を含み、ケーブル 350 により超音波測定装置 100 に接続される。表示部 410 は、表示用画像データを表示する。

40

【0128】

超音波測定装置 100 が有する送信部 110、受信部 120 及び処理部 130 の少なくとも一部を超音波プローブ 300 に設けることもできる。

【0129】

図 14 (C) に、本実施形態の超音波プローブ 300 の具体的な構成例を示す。超音波プローブ 300 はプローブヘッド 315 及びプローブ本体 320 を含み、図 14 (C) に示すように、プローブヘッド 315 はプローブ本体 320 と脱着可能である。

50

【 0 1 3 0 】

プローブヘッド 3 1 5 は、超音波トランスデューサーデバイス 2 0 0、プローブ基体 3 1 1、プローブ筐体 3 1 2、プローブヘッド側コネクタ 3 1 3 を含む。

【 0 1 3 1 】

プローブ本体 3 2 0 は、プローブ本体側コネクタ 3 2 3 を含む。プローブ本体側コネクタ 3 2 3 は、プローブヘッド側コネクタ 3 1 3 と接続される。プローブ本体 3 2 0 は、ケーブル 3 5 0 により超音波測定装置 1 0 0 に接続される。なお、超音波測定装置 1 0 0 が有する送信部 1 1 0、受信部 1 2 0 の少なくとも一部をプローブ本体 3 2 0 に設けることもできる。

【 0 1 3 2 】

10

なお、以上のように本実施形態について詳細に説明したが、本発明の新規事項および効果から実体的に逸脱しない多くの変形が可能であることは当業者には容易に理解できるであろう。従って、このような変形例はすべて本発明の範囲に含まれるものとする。例えば、明細書又は図面において、少なくとも一度、より広義または同義な異なる用語と共に記載された用語は、明細書又は図面のいかなる箇所においても、その異なる用語に置き換えることができる。また超音波測定装置、超音波画像装置の構成、動作及び超音波画像の処理方法も本実施形態で説明したものに限定されず、種々の変形実施が可能である。

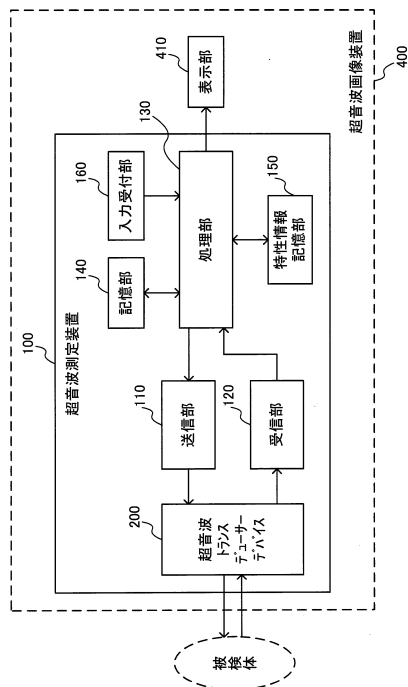
【 符号の説明 】

【 0 1 3 3 】

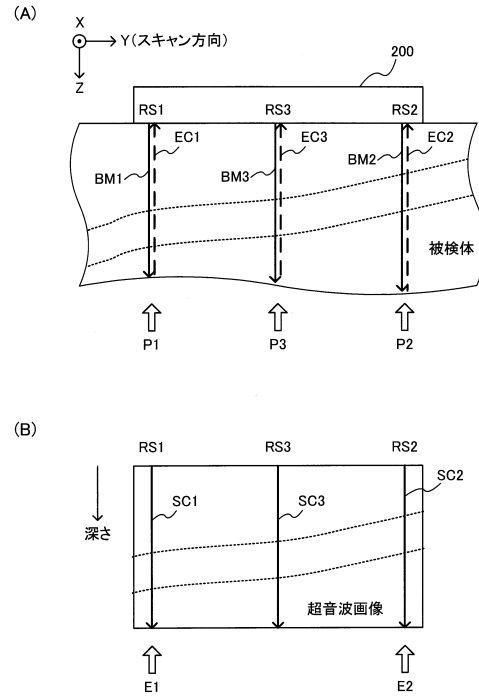
20

1 0 超音波トランスデューサー素子、 2 1 第 1 電極層（下部電極）、
 2 2 第 2 電極層（上部電極）、 3 0 圧電体膜（圧電体層）、 4 0 空洞領域、
 4 2 振動膜、 4 5 開口、 6 0 基板、
 1 0 0 超音波測定装置、 1 1 0 送信部、 1 2 0 受信部、 1 3 0 処理部、
 1 4 0 記憶部、 1 5 0 特性情報記憶部、 1 6 0 入力受付部、
 2 0 0 超音波トランスデューサーデバイス、
 3 0 0 超音波プローブ、 3 1 1 プローブ基体、 3 1 2 プローブ筐体、
 3 1 3 プローブヘッド側コネクタ、 3 1 5 プローブヘッド、
 3 2 0 プローブ本体、 3 2 3 プローブ本体側コネクタ、
 3 5 0 ケーブル、 4 0 0 超音波画像装置、 4 1 0 表示部

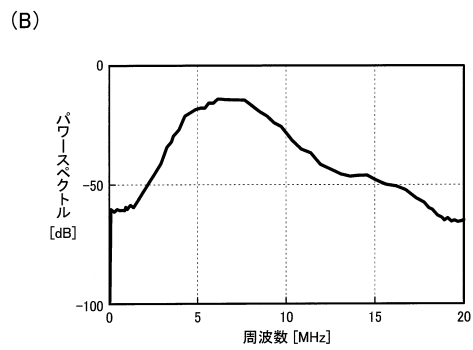
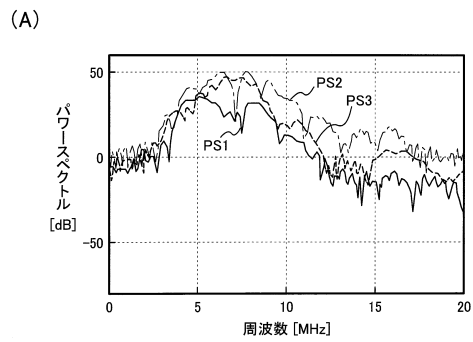
【図 1】



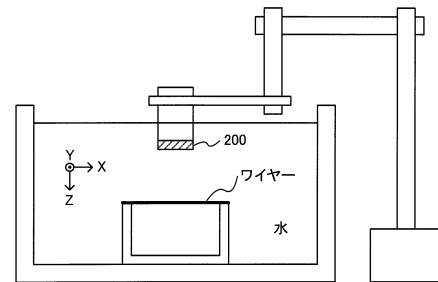
【図 2】



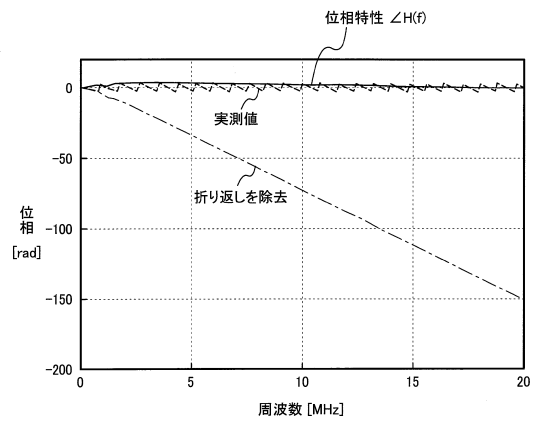
【図 3】



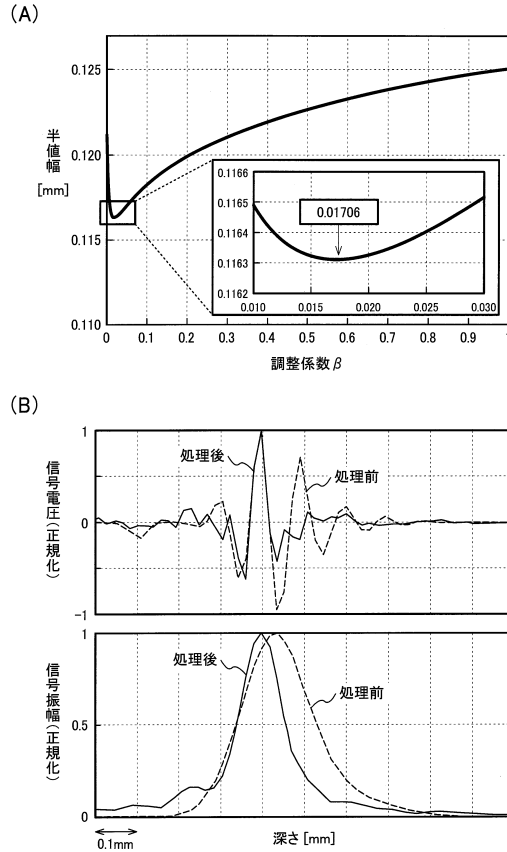
【図 4】



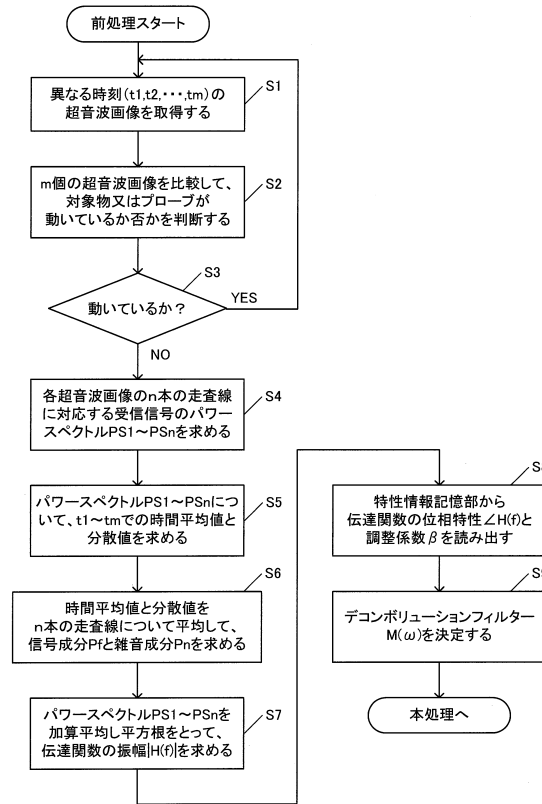
【図 5】



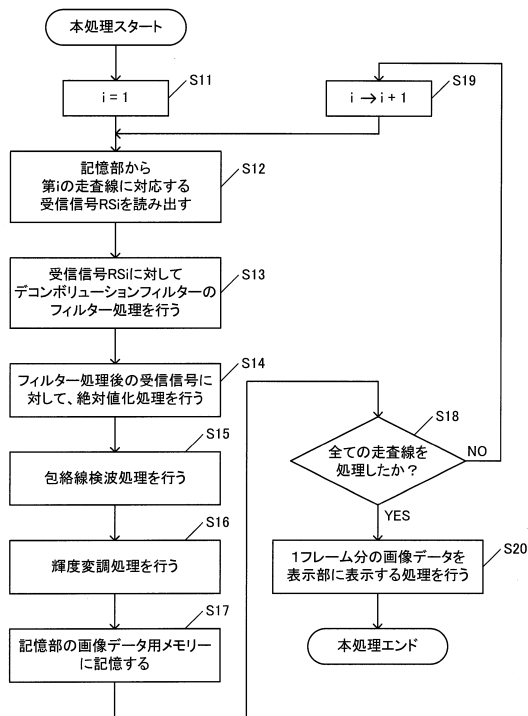
【図 6】



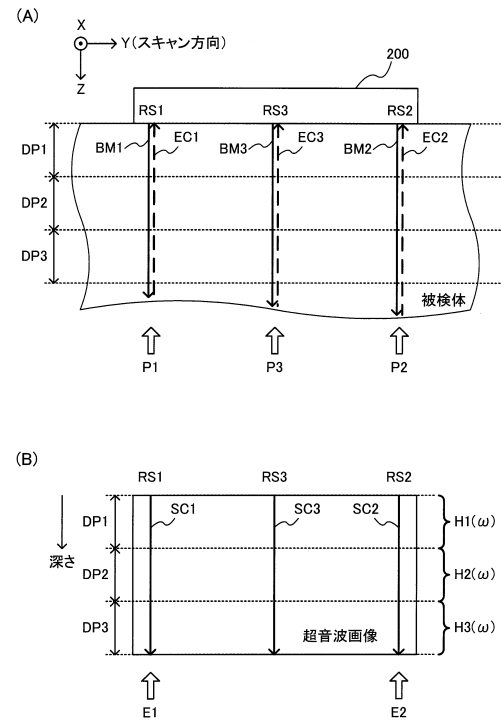
【図 7】



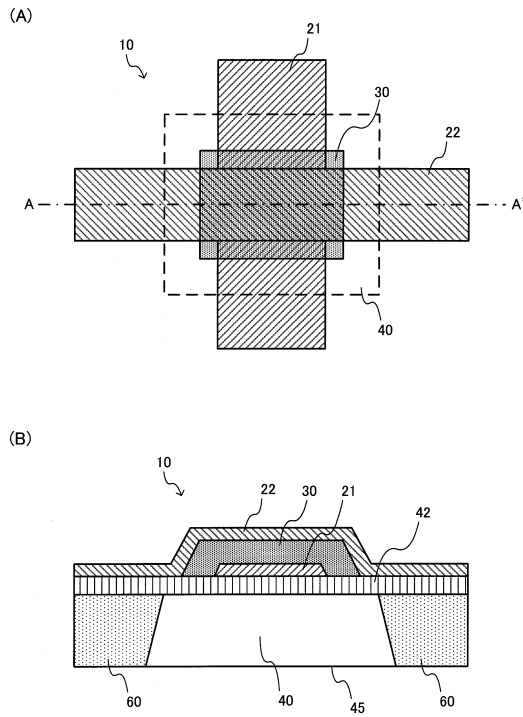
【図 8】



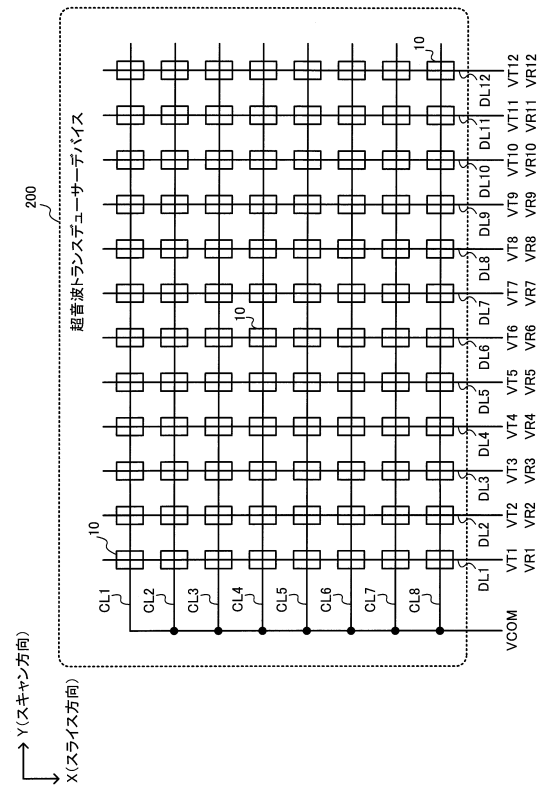
【図 9】



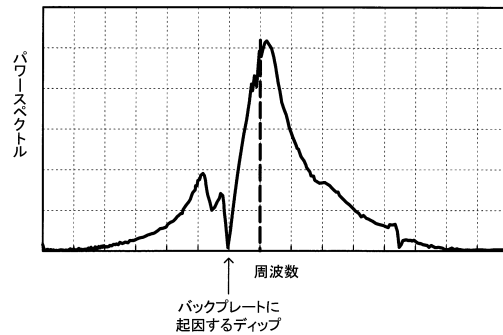
【図 10】



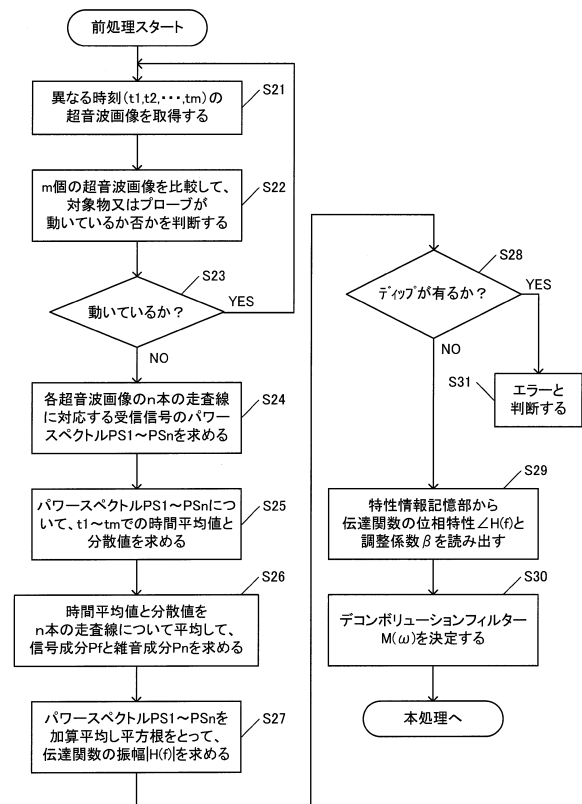
【図 11】



【図 12】

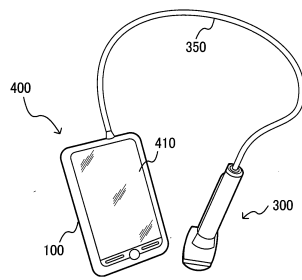


【図 13】

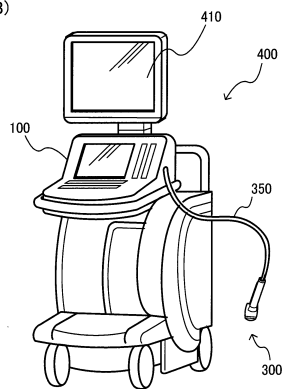


【図 14】

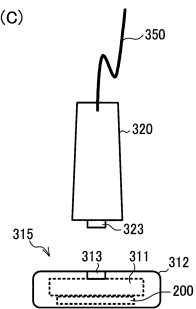
(A)



(B)



(C)



フロントページの続き

(72)発明者 鶴野 次郎

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

審査官 宮川 哲伸

(56)参考文献 特開平3-90856(JP,A)

特開2012-135462(JP,A)

特開昭59-171540(JP,A)

特開平7-111992(JP,A)

特開2009-206458(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A61B 8/00 - 8/15

专利名称(译)	超声波测量装置，超声波成像装置和超声波图像处理方法		
公开(公告)号	JP6111870B2	公开(公告)日	2017-04-12
申请号	JP2013116175	申请日	2013-05-31
[标]申请(专利权)人(译)	精工爱普生株式会社		
申请(专利权)人(译)	精工爱普生公司		
当前申请(专利权)人(译)	精工爱普生公司		
[标]发明人	長谷川英之 金井浩 鶴野次郎		
发明人	長谷川 英之 金井 浩 鶴野 次郎		
IPC分类号	A61B8/00		
CPC分类号	G01N29/11 A61B8/4405 A61B8/4427 A61B8/4483 A61B8/4494 G01N29/4472 G01N29/46 G01N29/52 G01N2291/02475 G01N2291/044		
FI分类号	A61B8/00.ZDM A61B8/00		
F-TERM分类号	4C601/EE01 4C601/EE07 4C601/HH15 4C601/HH29 4C601/JB41 4C601/JB49 4C601/JB51		
代理人(译)	井上 一 黒田靖		
其他公开文献	JP2014233415A JP2014233415A5		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

要解决的问题：提供能够有效地生成具有高空间分辨率的超声图像的超声波测量装置，超声波成像装置，超声波图像的处理方法等。 解决方案：超声波测量装置100包括超声波换能器装置200，执行超声波束的发送处理的发送单元110，接收通过由对象反射超声波束而获得的超声波回波的接收单元执行处理的接收单元120和基于接收的信号执行处理的处理单元130。处理单元130将对应于发射到对象的第一和第二部分以及对象的第一和第二部分的超声波束的超声回波对应的第一和第二接收信号进行比较。并且对接收信号执行对应于发射到第一和第二位置之间的第三位置的超声波束的超声回波的第三接收信号，以及通过包括传递函数的去卷积滤波器的滤波处理。并且执行包括对超声图像执行的超声图像的生成处理。 点域1

(19) 日本国特許庁 (JP)	(12) 特 許 公 報 (B2)	(11) 特許番号 特許第6111870号 (P6111870)
(45) 発行日 平成29年4月12日 (2017. 4. 12)	(24) 登録日 平成29年3月24日 (2017. 3. 24)	
(51) Int. Cl. A 6 1 B 8 / 0 0 (2006. 01)	F I A 6 1 B 8 / 0 0 Z D M	
請求項の数 14 (全 24 頁)		
(21) 出願番号 特願2013-116175 (P2013-116175)	(73) 特許権者 000002369 セイコーエプソン株式会社	
(22) 出願日 平成25年5月31日 (2013. 5. 31)	東京都新宿区新宿四丁目 1 番 6 号	
(65) 公開番号 特開2014-233415 (P2014-233415A)	(74) 代理人 100104710 弁理士 竹腰 昇	
(43) 公開日 平成26年12月15日 (2014. 12. 15)	(74) 代理人 100090479 弁理士 井上 一	
審査請求日 平成28年5月27日 (2016. 5. 27)	(74) 代理人 100124682 弁理士 黒田 泰	
	(72) 発明者 長谷川 英之 宮城県仙台市青葉区片平二丁目 1 番 1 号 国立大学法人 東北大学内	
	(72) 発明者 金井 浩 宮城県仙台市青葉区片平二丁目 1 番 1 号 国立大学法人 東北大学内	
最終頁に続く		
(54) 【発明の名称】 超音波測定装置、超音波画像装置及び超音波画像の処理方法		