

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6469746号
(P6469746)

(45) 発行日 平成31年2月13日 (2019. 2. 13)

(24) 登録日 平成31年1月25日 (2019. 1. 25)

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

請求項の数 25 (全 43 頁)

(21) 出願番号	特願2017-58249 (P2017-58249)	(73) 特許権者	594164542
(22) 出願日	平成29年3月23日 (2017. 3. 23)		キヤノンメディカルシステムズ株式会社
(62) 分割の表示	特願2013-100514 (P2013-100514) の分割		栃木県大田原市下石上1 3 8 5番地
原出願日	平成25年5月10日 (2013. 5. 10)	(74) 代理人	110001771
(65) 公開番号	特開2017-104726 (P2017-104726A)		特許業務法人虎ノ門知的財産事務所
(43) 公開日	平成29年6月15日 (2017. 6. 15)	(72) 発明者	阿部 康彦
審査請求日	平成29年3月23日 (2017. 3. 23)		栃木県大田原市下石上1 3 8 5番地 東芝
			メディカルシステムズ株式会社内
		(72) 発明者	平間 信
			栃木県大田原市下石上1 3 8 5番地 東芝
			メディカルシステムズ株式会社内
		(72) 発明者	本庄 泰徳
			栃木県大田原市下石上1 3 8 5番地 東芝
			メディカルシステムズ株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波診断装置及び制御プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

受信ビームを形成する走査線の方角に対して、受信開口の位置を非対称に設定する設定部と、

受信位置に応じた受信遅延時間をかけて、前記受信開口で受信された反射波信号群を出力する受信遅延部と、

前記受信遅延部が出力した前記受信開口の反射波信号群に基づいて、各振動子から得られるチャンネル信号に与える重み付けを決定し、決定した重み付けを用いて前記反射波信号群を重み付け加算するアダプティブアレイ処理を行なって、前記走査線の反射波データを生成するアダプティブアレイ処理部と、

前記反射波データを用いて超音波画像データを生成する画像生成部と、

を備え、

前記アダプティブアレイ処理部は、前記反射波信号群としてハーモニック成分が抽出された反射波信号群を用いて前記アダプティブアレイ処理を行なうことを特徴とする超音波診断装置。

【請求項 2】

受信ビームを形成する走査線の方角に対して非対称な複数の受信開口を設定する設定部と、

受信位置に応じた受信遅延時間をかけて、前記複数の受信開口それぞれで受信された反射波信号群を出力する受信遅延部と、

10

20

前記受信遅延部が出力した前記複数の受信開口それぞれの反射波信号群に対して独立に、各反射波信号群に基づいて、各振動子から得られるチャンネル信号に与える重み付けを決定し、決定した重み付けを用いて各反射波信号群を第1重み付け加算するアダプティブアレイ処理を行なって、前記複数の受信開口それぞれの反射波データを生成し、生成した前記複数の受信開口それぞれの反射波データを第2重み付け加算して、前記走査線の反射波データを生成するアダプティブアレイ処理部と、

前記反射波データを用いて超音波画像データを生成する画像生成部と、

を備え、

前記アダプティブアレイ処理部は、前記反射波信号群としてハーモニック成分が抽出された反射波信号群を用いて前記アダプティブアレイ処理を行なうことを特徴とする超音波診断装置。

10

【請求項3】

前記アダプティブアレイ処理部は、前記アダプティブアレイ処理をA P E S (Amplitude and Phase Estimation) 法に基づいて行なうことを特徴とする請求項1又は2に記載の超音波診断装置。

【請求項4】

前記アダプティブアレイ処理部は、前記複数の受信開口それぞれに含まれる振動子の素子数から決まる信号の振幅比により、前記第2重み付け加算を行なうことを特徴とする請求項2に記載の超音波診断装置。

【請求項5】

20

前記アダプティブアレイ処理部は、前記アダプティブアレイ処理が定義されたプログラムをソフトウェア処理により実行するプロセッサにより構成されることを特徴とする請求項1～4のいずれか1つに記載の超音波診断装置。

【請求項6】

前記プロセッサは、超音波走査の実行中に、前記超音波画像データが略リアルタイムで生成される速度で前記アダプティブアレイ処理を実行することを特徴とする請求項5に記載の超音波診断装置。

【請求項7】

前記アダプティブアレイ処理を実行可能なデータセット群を記憶する記憶部、

を更に備え、

30

前記アダプティブアレイ処理部は、入力部を用いて操作者が入力した選択指示に対応する少なくとも1フレーム分のデータセット群を前記記憶部から取得し、取得したデータセット群を用いて前記アダプティブアレイ処理を行なうことを特徴とする請求項1～5のいずれか1つに記載の超音波診断装置。

【請求項8】

前記アダプティブアレイ処理を実行可能なデータセット群を記憶する記憶部、

を更に備え、

前記アダプティブアレイ処理部は、入力部を用いて操作者が処理開始指示を入力した時点で、前記記憶部に格納されたデータセット群を用いて前記アダプティブアレイ処理を行なうことを特徴とする請求項1～5のいずれか1つに記載の超音波診断装置。

40

【請求項9】

前記入力部を介して前記操作者の指示を受け付ける際に、前記記憶部に格納されるデータセット群に対して遅延加算法を行なって生成された超音波画像データ群を表示部に表示させる制御部、

を更に備えることを特徴とする請求項7又は8に記載の超音波診断装置。

【請求項10】

前記アダプティブアレイ処理部は、走査範囲に設定された関心領域に限定して、前記アダプティブアレイ処理を行なうことを特徴とする請求項1～9のいずれか1つに記載の超音波診断装置。

【請求項11】

50

受信ビームを形成する走査線の方向に対して非対称な複数の受信開口を設定する設定部と、

受信位置に応じた受信遅延時間をかけて、前記複数の受信開口それぞれで受信された反射波信号群を出力する受信遅延部と、

前記受信遅延部が出力した前記複数の受信開口それぞれの反射波信号群に対して独立に、各反射波信号群に基づいて、各振動子から得られるチャンネル信号に与える重み付けを決定し、決定した重み付けを用いて各反射波信号群を第1重み付け加算するアダプティブアレイ処理を行なって、前記複数の受信開口それぞれの反射波データを生成し、生成した前記複数の受信開口それぞれの反射波データを第2重み付け加算して、前記走査線の反射波データを生成するアダプティブアレイ処理部と、

10

前記反射波データを用いて超音波画像データを生成する画像生成部と、
を備え、

前記アダプティブアレイ処理部は、前記複数の受信開口それぞれに含まれる振動子の素子数から決まる信号の振幅比により、前記第2重み付け加算を行ない、

前記設定部は、振動子列内で受信開口を移動して超音波走査を行なう超音波プローブが用いられる場合、各受信開口を2つに分割し、且つ、走査中心位置では受信開口を対称な大きさに2分割し、且つ、走査中心位置以外の位置では当該位置に基づいて、受信開口を非対称性が最大となる大きさに2分割することを特徴とする超音波診断装置。

【請求項12】

受信ビームを形成する走査線の方向に対して非対称な複数の受信開口を設定する設定部と、

20

受信位置に応じた受信遅延時間をかけて、前記複数の受信開口それぞれで受信された反射波信号群を出力する受信遅延部と、

前記受信遅延部が出力した前記複数の受信開口それぞれの反射波信号群に対して独立に、各反射波信号群に基づいて、各振動子から得られるチャンネル信号に与える重み付けを決定し、決定した重み付けを用いて各反射波信号群を第1重み付け加算するアダプティブアレイ処理を行なって、前記複数の受信開口それぞれの反射波データを生成し、生成した前記複数の受信開口それぞれの反射波データを第2重み付け加算して、前記走査線の反射波データを生成するアダプティブアレイ処理部と、

前記反射波データを用いて超音波画像データを生成する画像生成部と、
を備え、

30

前記アダプティブアレイ処理部は、前記複数の受信開口それぞれに含まれる振動子の素子数から決まる信号の振幅比により、前記第2重み付け加算を行ない、

前記設定部は、振動子列内で受信開口の位置を一定として走査方向を偏向して超音波走査を行なう超音波プローブが用いられる場合、受信開口を2等分に分割することを特徴とする超音波診断装置。

【請求項13】

前記設定部は、振動子列端部においては受信開口の位置を一定として走査方向を偏向して超音波走査を行なう場合、振動子列端部での受信開口を2等分に分割することを特徴とする請求項11に記載の超音波診断装置。

40

【請求項14】

前記設定部は、複数の振動子が2次元で配置された超音波プローブにより3次元で超音波走査を行なう場合、受信ビームを形成する走査線の方

【請求項15】

前記設定部は、前記複数の受信開口を設定する際に、各受信開口を構成する複数の振動子の一部が受信開口間で共有させるように設定することを特徴とする請求項2に記載の超音波診断装置。

【請求項16】

前記アダプティブアレイ処理部は、前記複数の受信開口それぞれの反射波データを、位

50

相情報を含まない状態で加算することを特徴とする請求項 2 に記載の超音波診断装置。

【請求項 17】

受信ビームを形成する走査線の方向に対して非対称な複数の受信開口を設定する設定部と、

受信位置に応じた受信遅延時間をかけて、前記複数の受信開口それぞれで受信された反射波信号群を出力する受信遅延部と、

前記受信遅延部が出力した前記複数の受信開口それぞれの反射波信号群に対して独立に、各反射波信号群に基づいて、各振動子から得られるチャンネル信号に与える重み付けを決定し、決定した重み付けを用いて各反射波信号群を第 1 重み付け加算するアダプティブアレイ処理を行なって、前記複数の受信開口それぞれの反射波データを生成し、生成した前記複数の受信開口それぞれの反射波データを第 2 重み付け加算して、前記走査線の反射波データを生成するアダプティブアレイ処理部と、

前記反射波データを用いて超音波画像データを生成する画像生成部と、
を備え、

前記アダプティブアレイ処理部は、前記受信遅延部が出力した前記複数の受信開口それぞれの反射波信号群を、送信超音波ビームに含まれる複数の周波数帯域に分割し、各帯域の反射波信号群に対して独立にアダプティブアレイ処理を行ない、アダプティブアレイ処理後の複数の周波数帯域それぞれの信号を加算して、前記走査線の反射波データを生成することを特徴とする超音波診断装置。

【請求項 18】

前記設定部は、前記複数の受信開口を設定する際に、各受信開口を構成する複数の振動子の一部が受信開口間で共有させるように設定し、

前記アダプティブアレイ処理部は、前記複数の受信開口それぞれの反射波データを、位相情報を含まない状態で加算することを特徴とする請求項 2 に記載の超音波診断装置。

【請求項 19】

受信ビームを形成する走査線の方向に対して非対称な複数の受信開口を設定する設定部と、

受信位置に応じた受信遅延時間をかけて、前記複数の受信開口それぞれで受信された反射波信号群を出力する受信遅延部と、

前記受信遅延部が出力した前記複数の受信開口それぞれの反射波信号群に対して独立に、各反射波信号群に基づいて、各振動子から得られるチャンネル信号に与える重み付けを決定し、決定した重み付けを用いて各反射波信号群を第 1 重み付け加算するアダプティブアレイ処理を行なって、前記複数の受信開口それぞれの反射波データを生成し、生成した前記複数の受信開口それぞれの反射波データを第 2 重み付け加算して、前記走査線の反射波データを生成するアダプティブアレイ処理部と、

前記反射波データを用いて超音波画像データを生成する画像生成部と、
を備え、

前記設定部は、前記複数の受信開口を設定する際に、各受信開口を構成する複数の振動子の一部が受信開口間で共有させるように設定し、

前記アダプティブアレイ処理部は、前記受信遅延部が出力した前記複数の受信開口それぞれの反射波信号群を、送信超音波ビームに含まれる複数の周波数帯域に分割し、各帯域の反射波信号群に対して独立にアダプティブアレイ処理を行ない、アダプティブアレイ処理後の複数の周波数帯域それぞれの信号を加算して、前記走査線の反射波データを生成することを特徴とする超音波診断装置。

【請求項 20】

前記アダプティブアレイ処理部は、前記加算を、位相情報を含まない状態で行なうことを特徴とする請求項 17 又は 19 に記載の超音波診断装置。

【請求項 21】

前記設定部及び前記アダプティブアレイ処理部は、操作者が選択した方法に基づいて処理を行なうことを特徴とする請求項 15 ～ 20 のいずれか 1 つに記載の超音波診断装置。

【請求項 2 2】

前記アダプティブアレイ処理部は、アレイを分割して得られるサブアレイを用いて処理を行ない、

前記設定部は、前記複数の受信開口間で共有させる振動子数を、前記サブアレイで構成される開口の略半分の大きさに対応する数に設定することを特徴とする請求項 1 5 に記載の超音波診断装置。

【請求項 2 3】

前記設定部は、操作者が選択した振動子数により、受信開口間で共有させる振動子数を決定することを特徴とする請求項 1 5 に記載の超音波診断装置。

【請求項 2 4】

受信ビームを形成する走査線の方角に対して、受信開口の位置を非対称に設定する設定手順と、

受信位置に応じた受信遅延時間をかけて、前記受信開口で受信された反射波信号群を出力する受信遅延手順と、

前記受信遅延手順が出力した前記受信開口の反射波信号群に基づいて、各振動子から得られるチャンネル信号に与える重み付けを決定し、決定した重み付けを用いて前記反射波信号群を重み付け加算するアダプティブアレイ処理を行なって、前記走査線の反射波データを生成するアダプティブアレイ処理手順と、

前記反射波データを用いて超音波画像データを生成する画像生成手順と、

をコンピュータに実行させ、

前記アダプティブアレイ処理手順は、前記反射波信号群としてハーモニック成分が抽出された反射波信号群を用いて前記アダプティブアレイ処理を行なうことを特徴とする制御プログラム。

【請求項 2 5】

受信ビームを形成する走査線の方角に対して非対称な複数の受信開口を設定する設定手順と、

受信位置に応じた受信遅延時間をかけて、前記複数の受信開口それぞれで受信された反射波信号群を出力する受信遅延手順と、

前記受信遅延手順が出力した前記複数の受信開口それぞれの反射波信号群に対して独立に、各反射波信号群に基づいて、各振動子から得られるチャンネル信号に与える重み付けを決定し、決定した重み付けを用いて各反射波信号群を第 1 重み付け加算するアダプティブアレイ処理を行なって、前記複数の受信開口それぞれの反射波データを生成し、生成した前記複数の受信開口それぞれの反射波データを第 2 重み付け加算して、前記走査線の反射波データを生成するアダプティブアレイ処理手順と、

前記反射波データを用いて超音波画像データを生成する画像生成手順と、

をコンピュータに実行させ、

前記アダプティブアレイ処理手順は、前記反射波信号群としてハーモニック成分が抽出された反射波信号群を用いて前記アダプティブアレイ処理を行なうことを特徴とする制御プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、超音波診断装置及び制御プログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

超音波画像（例えば B モード画像）の映像法では、受信指向性を有する受信ビームを形成するビームフォーミングが行なわれる。現在の超音波診断装置では、D A S（Delay And Sum）を用いた受信ビームフォーミングが主流である。D A S は、各振動子が受信し

10

20

30

40

50

た反射波信号に遅延時間をかけた後に加算を行なってビーム形成を行なう方法である。

【0003】

一方、従来、無線通信等の分野では、所望の対象物からの希望波を出力するアダプティブアレイ (Adaptive Array) 法が広く用いられている。アダプティブアレイ法は、複数のアンテナ素子を配列したアレイアンテナを設け、各アンテナ素子に与える重み付けを伝播環境に応じて適応的に制御することで、受信信号に指向性を与える方法である。

【0004】

また、近年、より高画質なBモード画像を得るために、超音波画像の映像法にアダプティブアレイ法を適用した超音波画像の映像法が開発されている。かかる方法では、例えば、MV (Minimum Variance) 法や、APES (Amplitude and Phase Estimation) 法

10

【0005】

上記の方法を行なうと、メインビームによる信号成分に対して方向の異なるサイドローブによる信号成分は、ノイズと見なされて軽減される。その結果、超音波診断装置は、診断の妨げとなるサイドローブが低減されたBモード画像を生成することができる。一方、診断の妨げとなるBモード画像のアーチファクトには、サイドローブの他に、多重反射がある。しかし、多重反射成分は、メインビームの信号成分と方向が同じであるため、アダプティブアレイ処理を用いても、十分に低減することができなかった。

【先行技術文献】

【非特許文献】

20

【0006】

【非特許文献1】Blomberg et al., “APES Beamforming Applied to Medical Ultrasound Imaging”, IEEE International Ultrasonics Symposium Proceedings 2009, 2347-2350

【非特許文献2】Park et al, “Adaptive beamforming for photoacoustic imaging using linear array transducer”, IEEE International Ultrasonics Symposium Proceedings 2008, 1088-1091

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

30

本発明が解決しようとする課題は、アダプティブアレイを用いて、サイドローブとともに多重反射が低減された高画質な超音波画像を生成することができる超音波診断装置及び制御プログラムを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

実施形態の超音波診断装置は、設定部と、受信遅延部と、アダプティブアレイ処理部と、画像生成部とを備える。設定部は、受信ビームを形成する走査線の方

向に対して、受信開口の位置を非対称に設定する。受信遅延部は、受信位置に応じた受信遅延時間をかけて、前記受信開口で受信された反射波信号群を出力する。アダプティブアレイ処理部は、前記受信遅延部が出力した前記受信開口の反射波信号群に基づいて、各振動子から得られるチャンネル信号に与える重み付けを決定し、決定した重み付けを用いて前記反射波信号群を重み付け加算するアダプティブアレイ処理を行なって、前記走査線の反射波データを生成する。画像生成部は、前記反射波データを用いて超音波画像データを生成する。前記アダプティブアレイ処理部は、前記反射波信号群としてハーモニック成分が抽出された反射波信号群を用いて前記アダプティブアレイ処理を行なう。

40

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】図1は、第1の実施形態に係る超音波診断装置の構成例を説明するための図である。

【図2】図2は、アダプティブアレイ法を説明するための図である。

50

【図 3】図 3 は、従来技術の課題を説明するための図である。

【図 4】図 4 は、第 1 の実施形態に係る受信部の構成例を説明するための図である。

【図 5】図 5 は、第 1 の実施形態に係る受信開口の設定例を示す図 (1) である。

【図 6】図 6 は、第 1 の実施形態に係る受信開口の設定例を示す図 (2) である。

【図 7】図 7 は、第 1 の実施形態に係る受信開口の設定例を示す図 (3) である。

【図 8】図 8 は、第 1 の実施形態に係る受信開口の設定法の課題を説明するための図 (1) である。

【図 9】図 9 は、第 1 の実施形態に係る受信開口の設定法の課題を説明するための図 (2) である。

【図 10】図 10 は、第 2 の実施形態を説明するための図 (1) である。

10

【図 11】図 11 は、第 2 の実施形態を説明するための図 (2) である。

【図 12】図 12 は、第 2 の実施形態を説明するための図 (3) である。

【図 13】図 13 は、第 2 の実施形態を説明するための図 (4) である。

【図 14】図 14 は、第 2 の実施形態を説明するための図 (5) である。

【図 15】図 15 は、第 4 の実施形態に係る受信部の構成例を説明するための図である。

【図 16】図 16 は、第 4 の実施形態に係る超音波診断装置の処理の一例を示すフローチャートである。

【図 17】図 17 は、第 5 の実施形態に係る超音波診断装置の処理の一例を示すフローチャートである。

【図 18】図 18 は、第 6 の実施形態を説明するための図 (1) である。

20

【図 19】図 19 は、第 6 の実施形態を説明するための図 (2) である。

【図 20】図 20 は、第 6 の実施形態を説明するための図 (3) である。

【図 21】図 21 は、2 分割 A P E S 法の課題を説明するための図 (1) である。

【図 22】図 22 は、2 分割 A P E S 法の課題を説明するための図 (2) である。

【図 23】図 23 は、第 7 の実施形態を説明するための図 (1) である。

【図 24】図 24 は、第 7 の実施形態を説明するための図 (2) である。

【図 25】図 25 は、第 7 の実施形態を説明するための図 (3) である。

【図 26】図 26 は、第 8 の実施形態を説明するための図 (1) である。

【図 27】図 27 は、第 8 の実施形態を説明するための図 (2) である。

【図 28】図 28 は、第 9 の実施形態を説明するための図 (1) である。

30

【図 29】図 29 は、第 9 の実施形態を説明するための図 (2) である。

【図 30】図 30 は、第 10 の実施形態を説明するための図である。

【図 31】図 31 は、第 11 の実施形態を説明するための図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、添付図面を参照して、超音波診断装置の実施形態を詳細に説明する。

【0011】

(第 1 の実施形態)

まず、第 1 の実施形態に係る超音波診断装置の構成について説明する。図 1 は、第 1 の実施形態に係る超音波診断装置の構成例を説明するための図である。図 1 に示すように、第 1 の実施形態に係る超音波診断装置は、超音波プローブ 1 と、モニタ 2 と、入力装置 3 と、装置本体 10 とを有する。

40

【0012】

超音波プローブ 1 は、複数の振動子 (例えば、振動子) を有し、これら複数の振動子は、後述する装置本体 10 が有する送信部 11 から供給される駆動信号に基づき超音波を発生する。また、超音波プローブ 1 が有する複数の振動子は、被検体 P からの反射波を受信して電気信号に変換する。また、超音波プローブ 1 は、振動子に設けられる整合層と、振動子から後方への超音波の伝播を防止するバックング材等を有する。

【0013】

超音波プローブ 1 から被検体 P に超音波が送信されると、送信された超音波は、被検体

50

Pの体内組織における音響インピーダンスの不連続面で次々と反射され、反射波信号として超音波プローブ1が有する複数の振動子にて受信される。受信される反射波信号の振幅は、超音波が反射される不連続面における音響インピーダンスの差に依存する。なお、送信された超音波パルスが、移動している血流や心臓壁等の表面で反射された場合の反射波信号は、ドプラ効果により、移動体の超音波送信方向に対する速度成分に依存して、周波数偏移を受ける。

【0014】

なお、超音波プローブ1は、装置本体10と着脱自在に接続される。装置本体10に接続される超音波プローブ1には、一列に配置された複数の振動子（振動子列）を有するリニア型超音波プローブ、コンベックス型超音波プローブ、セクタ型超音波プローブ等がある。リニア型超音波プローブやコンベックス型超音波プローブは、振動子列内で開口（送信開口及び受信開口）を移動して超音波走査を行なうプローブである。セクタ型超音波プローブは、振動子列内で開口（送信開口及び受信開口）の位置を一定として走査方向を偏向して超音波走査を行なうプローブである。

10

【0015】

入力装置3は、マウス、キーボード、ボタン、パネルスイッチ、タッチコマンドスクリーン、フットスイッチ、トラックボール、ジョイスティック等を有し、超音波診断装置の操作者からの各種設定要求を受け付け、装置本体10に対して受け付けた各種設定要求を転送する。

【0016】

モニタ2は、超音波診断装置の操作者が入力装置3を用いて各種設定要求を入力するためのGUI（Graphical User Interface）を表示したり、装置本体10において生成された超音波画像データ等を表示したりする。

20

【0017】

装置本体10は、超音波プローブ1が受信した反射波信号に基づいて超音波画像データを生成する装置であり、図1に示すように、送信部11と、受信部12と、Bモード処理部13と、ドプラ処理部14と、画像生成部15と、画像メモリ16と、内部記憶部17と、制御部18と、設定部19とを有する。

【0018】

送信部11は、超音波送信における送信指向性を制御する。すなわち、送信部11は、送信ビームフォーマーである。具体的には、送信部11は、レートパルス発生器、送信遅延部、送信パルス等を有し、超音波プローブ1に駆動信号を供給する。レートパルス発生器は、所定のレート周波数（PRF：Pulse Repetition Frequency）で、送信超音波を形成するためのレートパルスを繰り返し発生する。レートパルスは、送信遅延部を通過することで異なる送信遅延時間を有した状態で送信パルスへ電圧を印加する。すなわち、送信遅延部は、超音波プローブ1から発生される超音波をビーム状に集束して送信指向性を決定するために必要な振動子ごとの送信遅延時間を、レートパルス発生器が発生する各レートパルスに対し与える。送信パルスは、かかるレートパルスに基づくタイミングで、超音波プローブ1に駆動信号（駆動パルス）を印加する。

30

【0019】

駆動パルスは、送信パルスからケーブルを介して超音波プローブ1内の振動子まで伝達した後に、振動子において電気信号から機械的振動に変換される。この機械的振動は、生体内部で超音波として送信される。振動子ごとに異なる送信遅延時間を持った超音波は、収束されて、所定方向に伝搬していく。送信遅延部は、各レートパルスに対し与える送信遅延時間を変化させることで、振動子面からの送信方向を任意に調整する。送信部11は、超音波ビームの送信に用いる振動子の数及び位置（送信開口）と、送信開口を構成する各振動子の位置に応じた送信遅延間とを制御することで、送信指向性を与える。

40

【0020】

なお、送信部11は、後述する制御部18の指示に基づいて、所定のスキャンシーケンスを実行するために、送信周波数、送信駆動電圧等を瞬時に変更可能な機能を有している

50

。特に、送信駆動電圧の変更は、瞬間にその値を切り替え可能なリニアアンプ型の発信回路、または、複数の電源ユニットを電氣的に切り替える機構によって実現される。

【0021】

超音波プローブ1が送信した超音波の反射波は、超音波プローブ1内部の振動子まで到達した後、振動子において、機械的振動から電氣的信号（反射波信号）に変換され、受信部12に入力される。

【0022】

受信部12は、超音波受信における受信指向性を制御する。すなわち、受信部12は、受信ビームフォーマーである。具体的には、受信部12は、プリアンプ、A/D変換部、受信遅延部等を有し、超音波プローブ1が受信した反射波信号に対して各種処理を行なっ

10

【0023】

プリアンプは、反射波信号をチャンネルごとに増幅してゲイン調整を行なう。A/D変換部は、ゲイン補正された反射波信号をA/D変換することでゲイン補正された反射波信号をデジタルデータに変換する。受信遅延部は、受信指向性を決定するのに必要な受信遅延時間を与える。受信部12は、反射波の受信に用いる振動子の数及び位置（受信開口）と、受信開口を構成する各振動子の位置に応じた受信遅延時間とを制御することで、受信指向性を与える。なお、受信遅延時間は、振動子の位置とともに、受信フォーカスの位置に応じて異なる。また、受信部12は、DVAF（Dynamic Variable Aperture Focus）法を実行可能である。DVAF法を行なう場合、受信部12は、近くから返ってくる信号を受信する場合は、受信開口幅を小さくして、近距離の受信ビームを細くする。また、DVAF法を行なう場合、受信部12は、遠くから返ってくる信号を受信する場合は、受信開口幅が大きいほど強いフォーカスをかけられるので、距離に応じて受信開口幅を大きくする。なお、受信部12は、DVAF法を行なう場合、受信開口幅の調整とともに、受信感度の補正を行なう。

20

【0024】

ここで、受信遅延部から出力される信号は、位相情報を有している信号であり、例えば、後述するIQ信号である。この場合、受信部12は、まず、直交検波処理により、ゲイン補正された反射波信号をベースバンド帯域の同相信号（I信号、I：In-phase）と直交信号（Q信号、Q：Quadrature-phase）とに変換し、A/D変換部に出力する。或いは、受信部12は、まず、直交検波処理により、A/D変換後のデジタルデータをI信号とQ信号とに変換し、次に、各チャンネルのIQ信号に対して必要な受信遅延時間処理を行なう。これにより、受信遅延部は、遅延をかけたIQ信号を出力する。

30

【0025】

ここで、従来構成では、受信部12は、受信遅延時間が与えられたデジタルデータを加算することで、予め設定された受信指向性に応じた方向からの反射成分が強調された反射波データを生成する遅延加算（DAS：Delay And Sum）法を行なっている。一方、本実施形態に係る受信部12は、DAS法に基づく受信指向性を有する反射波データを生成可能であるとともに、アダプティブアレイ（Adaptive Array）法に基づく受信指向性を有する反射波データを生成可能である。アダプティブアレイ法とは、指向性を形成するために、チャンネル信号に遅延をかけ、遅延をかけたチャンネル信号を適応的に重み付け加算するアレイ映像系のモデルに適用される方法である。より具体的には、複数の振動子を配列したアレイ振動子群を設け、各振動子から得られるチャンネル信号に与える重み付け（一般的には複素数係数となる）を伝播環境に応じて適応的に制御することで、環境に応じて最適化された指向性を受信信号に与える。図2は、アダプティブアレイ法を説明するための図である。

40

【0026】

図2では、受信開口を構成する振動子群（チャンネル群）を、M個の素子（ $i = 0, 1, \dots, m, m+1, \dots, M$ ）で例示している。また、図2では、振動子群の配列面から同一の深さに位置する反射源（サンプル点）を、P個の音源（ $0, 1, \dots, p$ 、

50

$p+1$ 、 $\dots$ 、 $P-1$)で例示している。

【0027】

アダプティブアレイ法を行なう受信部12は、受信遅延部により遅延がかけられた状態の各素子の受信信号(IQ信号)を入力とし、遅延後の各素子の受信信号同士の相関行列「 R_x 」を算出する。そして、受信部12は、相関行列「 R_x 」から、最適な重み係数 w (w_0 、 w_1 、 $\dots$ 、 w_m 、 w_{m+1} 、 $\dots$ 、 w_M)を、各点(各素子)で決定する。具体的には、受信部12は、相関行列「 R_x 」の固有値「 λ 」を算出し、固有値「 λ 」を用いて、最適な重み係数を決定する。或いは、行列の固有値から求める方法だけでなく、等価な方法ならば反復法等を用いても良い。なお、入力データセットがIQ信号であることから、受信部12が決定する重み係数は、複素数となる。また、重み係数は、振動子及びサンプル点ごとに決定される。

10

【0028】

ここで、図2に示すように、偏向角「 θ 」は、音源の位置と素子の位置とにより変化する。このため、固有値「 λ 」は、偏向角「 θ 」により変化する。また、相関行列「 R_x 」は、入力信号の状態にも依存する。このため、受信部12は、伝播環境に応じて適応的に変化する重み係数 w を、各振動子で決定することになる。なお、受信部12は、相関行列「 R_x 」から重み係数 w を決定する設計方法として、例えば、MV(Minimum Variance)法、又は、APES(Amplitude and Phase Estimation)法を用いる。或いは、受信部12は、適応的にサイドローブを低減する方法であれば他の設計方法を用いても良い。

20

【0029】

MV法は、映像化したい方向のアレイゲインを「1」とし、それ以外の方向からの信号のエネルギーを最小化するように重み係数を決定する方法である。例えば、MV法では、有限個の音源の場合、映像化したい方向の音源への応答がゲイン「1」で、それ以外の音源方向への指向性を「0(Null点)」とするように重み係数が決定される。また、APES法では、映像化したい方向からの平面波との誤差を最小とするように重み係数が決定される。以下の各実施形態では、受信部12が、アダプティブアレイ処理をAPES法に基づいて行なう場合について説明する。ただし、以下の各実施形態で説明する内容は、受信部12が、アダプティブアレイ処理をMV法に基づいて行なう場合であっても適用可能である。

30

【0030】

上記の様な設計方法に基づくアダプティブアレイ法を行なうことで、受信部12は、環境、すなわち、生体の状況に応じて受信信号に含まれるサイドローブに由来する反射波成分が最小化され、且つ、メインローブに由来する反射波成分が最大化された状態で、反射波データを生成することができる。なお、超音波診断装置で用いられるアダプティブアレイ法では、相関行列を求める際に必要となるアンサンブル処理(統計的なランク低減)を行なう代わりに、受信開口の振動子群を複数のサブアレイに分割し、各サブアレイの信号系列を用いたランク低減処理により、重み係数の決定が行なわれるのが一般的である。この際に、複数のサブアレイは、互いの振動子群が重複するように設定されても良い。

【0031】

40

図1に戻って、Bモード処理部13は、受信部12が生成した反射波データに対して、対数増幅、包絡線検波処理、対数圧縮などを行なって、サンプル点ごとの信号強度(振幅強度)が輝度の明るさで表現されるデータ(Bモードデータ)を生成する。

【0032】

ドブラ処理部14は、受信部12が生成した反射波データを周波数解析することで、走査範囲内にある移動体のドブラ効果に基づく運動情報を抽出したデータ(ドブラデータ)を生成する。具体的には、ドブラ処理部14は、移動体の運動情報として、平均速度、分散値、パワー値などを多点に渡り抽出したドブラデータを生成する。

【0033】

画像生成部15は、Bモード処理部13及びドブラ処理部14が生成したデータから超

50

音波画像データを生成する。すなわち、画像生成部 15 は、B モード処理部 13 が生成した B モードデータから反射波の強度を輝度にて表した B モード画像データを生成する。また、画像生成部 15 は、ドプラ処理部 14 が生成したドプラデータから移動体情報を表す平均速度画像、分散画像、パワー画像、又は、これらの組み合わせ画像としてのカラードプラ画像データを生成する。

【0034】

ここで、画像生成部 15 は、一般的には、超音波走査の走査線信号列を、テレビなどに代表されるビデオフォーマットの走査線信号列に変換（スキャンコンバート）し、表示用の超音波画像データを生成する。具体的には、画像生成部 15 は、超音波プローブ 1 による超音波の走査形態に応じて座標変換を行なうことで、表示用の超音波画像データを生成する。また、画像生成部 15 は、超音波画像データに、種々のパラメータの文字情報、目盛り、ボディーマーク等を合成する。

10

【0035】

すなわち、B モードデータ及びドプラデータは、スキャンコンバート処理前の超音波画像データであり、画像生成部 15 が生成するデータは、スキャンコンバート処理後の表示用の超音波画像データである。なお、B モードデータ及びドプラデータは、生データ（Raw Data）とも呼ばれる。

【0036】

画像メモリ 16 は、画像生成部 15 が生成した画像データを記憶するメモリである。また、画像メモリ 16 は、B モード処理部 13 やドプラ処理部 14 が生成したデータを記憶することも可能である。画像メモリ 16 が記憶する B モードデータやドプラデータは、例えば、診断の後に操作者が呼び出すことが可能となっており、画像生成部 15 を経由して表示用の超音波画像データとなる。

20

【0037】

内部記憶部 17 は、超音波送受信、画像処理及び表示処理を行なうための制御プログラムや、診断情報（例えば、患者 ID、医師の所見等）や、診断プロトコルや各種ボディーマーク等の各種データを記憶する。例えば、内部記憶部 17 は、ハーモニクイメージングを行なうためのスキャンシーケンス等を記憶する。また、内部記憶部 17 は、必要に応じて、画像メモリ 16 が記憶するデータの保管等にも使用される。

【0038】

設定部 19 は、受信開口を設定し、設定した受信開口を受信部 12 に通知する。受信部 12 は、設定部 19 から通知された受信開口の設定情報に基づいて、超音波受信に用いる受信開口を制御する。なお、第 1 の実施形態に係る設定部 19 の処理内容については、後に詳述する。

30

【0039】

制御部 18 は、超音波診断装置の処理全体を制御する。具体的には、制御部 18 は、入力装置 3 を介して操作者から入力された各種設定要求や、内部記憶部 17 から読込んだ各種制御プログラム及び各種データに基づき、送信部 11、受信部 12、B モード処理部 13、ドプラ処理部 14、画像生成部 15 及び設定部 19 の処理を制御する。また、制御部 18 は、画像メモリ 16 が記憶する表示用の超音波画像データをモニタ 2 にて表示するように制御する。

40

【0040】

以上、第 1 の実施形態に係る超音波診断装置の全体構成について説明した。かかる構成のもと、第 1 の実施形態に係る超音波診断装置は、受信部 12 がアダプティブアレイ処理を用いて生成した反射波データを用いて、超音波画像データ（B モード画像データ）を生成表示する。

【0041】

上述したように、アダプティブアレイ処理が行なわれることで、メインビームによる信号成分に対して方向の異なるサイドローブによる信号成分は、ノイズと見なされて軽減される。その結果、図 1 に示す超音波診断装置は、診断の妨げとなるサイドローブが低減さ

50

れたBモード画像データを生成することができる。一方、診断の妨げとなるBモード画像データのアーチファクトには、サイドローブの他に、多重反射がある。しかし、多重反射成分は、メインビームの信号成分と方向が同じであるため、アダプティブアレイ処理を用いても、十分に低減することができなかった。これについて、図3を用いて説明する。図3は、従来技術の課題を説明するための図である。

【0042】

図3に示す「Aperture」は、受信開口である。図3では、受信開口の幅を両矢印線で示している。図3は、リニア走査、又は、セクタ走査で受信開口直下の反射源から反射波を受信した場合における、受信開口と走査線（ビーム）方向（図中の「Receiving direction」を参照）との位置関係を表している。また、図3に示すP1は、走査線方向に位置する反射源であり、図3に示すP2は、走査線方向に位置し、反射源P1より受信開口に近い場所に位置する反射源である。図3では、反射源P1と受信開口との距離が、反射源P2と受信開口との距離の2倍となっている。また、図3に示すWF1は、反射源P1からの反射波の波面（wave front）であり、図3に示すWF2は、反射源P2からの反射波の波面である。

10

【0043】

仮に、反射源P2で反射された反射波が超音波プローブ1の表面で1回反射して生体内に再入射し、更に、再入射した反射波が反射源P2で反射されて反射波信号として受信されたとする。かかる場合、多重反射無しで反射源P1から反射された反射波が受信開口に到達する時間と、1回多重反射で反射源P2から反射された反射波が受信開口に到達する時間とは、同じである。このため、1回多重反射で反射源P2から反射された反射波は、Bモード画像データにおいては、反射源P1で反射された反射波と同じ位置として描出される。すなわち、多重反射が発生すると、Bモード画像データでは、反射波の最終出発点は、実際の位置より深い位置で描出される。

20

【0044】

ここで、到達する時間が同じでも、最終出発点の位置が異なるため、多重反射無しで反射源から反射された反射波の波面と、多重反射で反射源から反射された反射波の波面とは、異なる。例えば、図3に示すように、反射源P1を中心として広がるWF1と、反射源P2を中心として広がるWF2とは、異なる。ここで、従来、受信開口の位置は、図3に示すように、ビーム形成を行なう走査線（受信走査線）方向に対して対称に設定されている。すなわち、従来、受信走査線の位置は、受信開口の中心となっている。

30

【0045】

しかし、受信開口を、ビーム形成を行なう走査線方向に対して非対称に開けば、多重反射成分の方向は、メインビームの信号成分の方向とは異なる方向となる。すなわち、ビーム形成を行なう走査線方向に対して受信開口を非対称に開けば、メインビームの信号成分の方向とは異なる方向の多重反射成分は、APES法やMV法によるアダプティブアレイ処理により、サイドローブ成分と見なされて除去することが可能となる。

【0046】

そこで、第1の実施形態に係る設定部19は、アダプティブアレイを用いて、サイドローブとともに多重反射が低減された高画質な超音波画像データを生成するために、受信ビームを形成する走査線方向に対して、受信開口の位置を非対称に設定する。

40

【0047】

そして、第1の実施形態に係る受信部12は、設定部19が設定した受信開口に基づいて、反射波データを生成する。図4は、第1の実施形態に係る受信部の構成例を説明するための図である。

【0048】

図4に示すように、第1の実施形態に係る受信部12は、プリアンプ121と、A/D変換部122と、受信遅延部123と、アダプティブアレイ処理部124とを有する。プリアンプ121と、A/D変換部122と、受信遅延部123とは、図1を用いた説明で上述したプリアンプと、A/D変換部と、受信遅延部とにそれぞれ対応する。また、アダ

50

プティブアレイ処理部124は、図2を用いて説明したアダプティブアレイ処理を行なう処理部である。なお、図4に例示するアダプティブアレイ処理部124は、アダプティブアレイ処理が定義されたプログラムをソフトウェア処理により実行するプロセッサで構成される。具体的には、図4に例示するアダプティブアレイ処理部124として機能するプロセッサは、超音波走査の実行中に、超音波画像データが略リアルタイムで生成される速度でアダプティブアレイ処理を実行可能なプロセッサである。例えば、アダプティブアレイ処理部124は、GPU (Graphics Processing Unit) により構成される。

【0049】

受信遅延部123は、受信位置に応じた受信遅延時間をかけて、設定部19が設定した受信開口で受信された反射波信号群を出力する。受信遅延部123が出力する信号群は、例えば、受信開口で受信された「位相情報を含むIQ信号群」である。

10

【0050】

そして、アダプティブアレイ処理部124は、受信遅延部123が出力した受信開口の反射波信号群に対してアダプティブアレイ処理を行なって、走査線の反射波データを生成する。アダプティブアレイ処理部124は、アダプティブアレイ処理を1フレーム分の全走査線で行なって、1フレーム分の反射波データを生成する。そして、図4に示すBモード処理部13は、アダプティブアレイ処理部124が出力した1フレーム分の反射波データから1フレーム分のBモードデータを生成する。そして、図4に示す画像生成部15は、1フレーム分のBモードデータを用いて、超音波画像データ (Bモード画像データ) を生成する。

20

【0051】

以下、図5～図7を用いて、第1の実施形態に係る設定部19により設定される受信開口について具体的に説明する。図5～図7は、第1の実施形態に係る受信開口の設定例を示す図である。

【0052】

受信ビームを形成する走査線の方向に対して、受信開口の位置を非対称に開くには、受信開口の中心位置を、受信走査線位置からずらせば良い。そこで、例えば、設定部19は、図5に示す受信開口「Aperture1」を設定する。図5では、受信開口「Aperture1」の幅を両矢印線で示している。また、図5では、図3と同様に、受信ビームを形成する走査線方向を「Receiving direction」で示している。

30

【0053】

図5に示す一例では、設定部19は、図3に示す受信開口「Aperture」の左側半分を受信開口から除外して、右側半分とすることで、「Aperture1」を設定している。すなわち、図5に示す「Aperture1」の開口幅は、図3に示す受信開口「Aperture」の開口幅の半分となる。図5に示す一例では、設定部19は、「Aperture1」の左端が、受信ビームの中心に位置する走査線の位置となるように設定する。図5に示す「Aperture1」を用いることで、走査線を斜め方向から観察することになるので、反射源P1からの反射波の波面WF1と、反射源P2からの反射波の波面WF2とを異なる波面として観察することができる。その結果、アダプティブアレイ処理部124は、アダプティブアレイ処理により、多重反射成分が除去された反射波データを生成することができる。

40

【0054】

或いは、例えば、設定部19は、図6に示す受信開口「Aperture1'」を設定する。図6では、受信開口「Aperture1'」の幅を両矢印線で示している。また、図6では、図3と同様に、受信ビームを形成する走査線方向を「Receiving direction」で示している。

【0055】

図6に示す一例では、設定部19は、図3に示す受信開口「Aperture」の右側半分を受信開口から除外して、左側半分とすることで、「Aperture1'」を設定している。すなわち、図6に示す「Aperture1'」の開口幅は、図3に示す受信開口「Aperture」の開口幅の半分となる。図6に示す一例では、設定部19は、「Aperture1'」の右端が、受信ビームの中心に位置する走査線の位置となるように設定する。図6に示す「Aperture1'」

50

を用いた場合でも、反射源 P 1 からの反射波の波面 W F 1 と、反射源 P 2 からの反射波の波面 W F 2 とを異なる波面として観察することができる。その結果、アダプティブアレイ処理部 1 2 4 は、アダプティブアレイ処理により、多重反射成分が除去された反射波データを生成することができる。

【0056】

或いは、例えば、設定部 1 9 は、図 7 に示す受信開口「Aperture1'」を設定する。図 7 では、受信開口「Aperture1'」の幅を両矢印線で示している。また、図 7 では、図 3 と同様に、受信ビームを形成する走査線方向を「Receiving direction」で示している。図 7 に示す一例では、設定部 1 9 は、図 3 に示す受信開口「Aperture」の開口幅と同じ開口幅であり、且つ、図 3 に示す受信開口「Aperture」の左端が受信ビームの中心に位置する走査線の位置となる「Aperture1'」を設定する。図 7 に示す「Aperture1'」を用いた場合でも、波面 W F 1 と、波面 W F 2 とを異なる波面として観察することができる。その結果、アダプティブアレイ処理部 1 2 4 は、アダプティブアレイ処理により、多重反射成分が除去された反射波データを生成することができる。なお、例えば、設定部 1 9 は、図 3 に示す受信開口「Aperture」の開口幅と同じ開口幅であり、且つ、図 3 に示す受信開口「Aperture」の右端が受信ビームの中心に位置する走査線の位置となる受信開口を設定しても良い。

【0057】

一般的なリニア走査及びコンベックス走査では、超音波プローブ 1 が有する振動子群のうち、受信開口の位置を移動することで B モード画像データが撮像される。このような走査形態では、図 5 ～図 7 で例示した「受信走査線位置と受信開口の位置との位置関係」を保った状態で受信開口の位置を移動して、例えば、A P E S 法を用いたアダプティブアレイ処理を行なうことで、B モード画像データ中の多重反射成分を効果的に除去することができる。

【0058】

上述したように、第 1 の実施形態では、受信ビームを形成する走査線の方角に対して、受信開口の位置を非対称に設定して、アダプティブアレイ処理を行なう。その結果、第 1 の実施形態では、アダプティブアレイを用いて、サイドローブとともに多重反射が低減された高画質な超音波画像データを生成することができる。

【0059】

また、第 1 の実施形態では、アダプティブアレイ処理部 1 2 4 を、例えば、GPU により構成することで、サイドローブとともに多重反射が低減された高画質な超音波画像データを略リアルタイムで生成表示することができる。

【0060】

(第 2 の実施形態)

第 2 の実施形態では、第 1 の実施形態とは異なる方法で、受信開口が設定される場合について説明する。

【0061】

超音波プローブ 1 が有する振動子の数が有限であるため、図 5 ～図 7 で例示した「受信走査線位置と受信開口の位置との位置関係」で単純に超音波走査を行なうと、全体の走査範囲が制限されることになる。すなわち、第 1 の実施形態で説明した受信開口の設定法では、視野幅が狭くなる。更に、第 1 の実施形態で説明した受信開口の設定法では、常に斜め方向から走査線位置を見込むことになるために、B モード画像に、走査対象のスペックルパターンが、開口位置をずらした方向である左右のどちらか一方に常に斜めに描出されてしまう場合がある。図 8 及び図 9 は、第 1 の実施形態に係る受信開口の設定法の課題を説明するための図である。

【0062】

図 8 は、図 5 に例示した「Aperture1」を用いて、A P E S 法でアダプティブアレイ処理を行なったシミュレーションにより得られた点物体のイメージング結果である。図 8 に示すイメージング結果では、受信走査線位置に対して右側にずらした受信開口を用いた結

果、左上から右下に向かって斜め方向のスペックルパターンが出現している。また、図9は、図6に例示した「Aperture1」を用いて、A P E S法でアダプティブアレイ処理を行なったシミュレーションにより得られた点物体のイメージング結果である。図9に示すイメージング結果では、受信走査線位置に対して左側にずらした受信開口を用いた結果、右上から左下に向かって斜め方向のスペックルパターンが出現している。

【0063】

すなわち、第1の実施形態に係る設定法では、視野幅が狭くなるという課題に加え、多重軽減効果を得るために非対称に開けた受信開口の開口幅を大きくする必要がある。しかし、第1の実施形態に係る設定法では、受信開口幅を大きくすると、斜め方向のスペックルパターンの傾斜が大きくなるというトレードオフが生じる。

10

【0064】

そこで、第2の実施形態に係る設定部19は、上述した第1の実施形態の課題を解消可能であり、且つ、多重軽減効果を得られるように、以下に説明するように、受信開口を設定する。

【0065】

すなわち、第2の実施形態に係る設定部19は、受信ビームを形成する走査線の方向に対して非対称な複数の受信開口を設定する。そして、第2の実施形態に係る受信遅延部123は、受信位置に応じた受信遅延時間をかけて、複数の受信開口それぞれで受信された反射波信号群を出力する。すなわち、受信遅延部123は、各受信開口の遅延後のI Q信号群を出力する。

20

【0066】

そして、第2の実施形態に係るアダプティブアレイ処理部124は、受信遅延部123が出力した複数の受信開口それぞれのI Q信号群に対して独立にアダプティブアレイ処理を行なって、複数の受信開口それぞれの反射波データを生成する。そして、第2の実施形態に係るアダプティブアレイ処理部124は、生成した複数の受信開口それぞれの反射波データを重み付け加算して、走査線の反射波データを生成する。アダプティブアレイ処理部124は、上記の処理を1フレーム分の全走査線で行なって、1フレーム分の反射波データを生成する。そして、Bモード処理部13は、アダプティブアレイ処理部124が出力した1フレーム分の反射波データから1フレーム分のBモードデータを生成する。そして、画像生成部15は、1フレーム分のBモードデータを用いて、超音波画像データ（Bモード画像データ）を生成する。

30

【0067】

なお、第2の実施形態に係るアダプティブアレイ処理部124は、第1の実施形態と同様に、アダプティブアレイ処理が定義されたプログラムをソフトウェア処理により実行するプロセッサ、例えば、GPUにより構成される。また、以下では、第2の実施形態に係るアダプティブアレイ処理部124がA P E S法を用いたアダプティブアレイ処理を行なうとして説明する。ただし、第2の実施形態に係るアダプティブアレイ処理部124は、M V法を用いたアダプティブアレイ処理を行なっても良い。

【0068】

以下、第2の実施形態について、図10～図14及び数式を用いて具体的に説明する。図10～図14は、第2の実施形態を説明するための図である。

40

【0069】

例えば、設定部19は、図10に示すように、受信開口を、左右の2つの受信開口（Ap1及びAp2）に分割する。なお、図10では、Ap1及びAp2それぞれの幅を2つの両矢印線で示している。また、図10では、図3と同様に、受信ビームを形成する走査線方向を「Receiving direction」で示している。

【0070】

アダプティブアレイ処理部124は、Ap1での受信信号「R（Ap1）」にA P E S法によるアダプティブアレイ処理を行なって、第1受信信号から多重反射を除去した受信信号「R'（Ap1）」を得る。すなわち、Ap1での受信信号「R（Ap1）」は、受

50

信ビームを形成する走査線を左側から斜め方向に観察することになるので、波面WF1と、波面WF2とを異なる波面として観察することができる。

【0071】

また、アダプティブアレイ処理部124は、Ap2での受信信号「R(Ap2)」にAPES法によるアダプティブアレイ処理を行なって、多重反射を除去した受信信号「R'(Ap2)」を得る。すなわち、Ap2での受信信号「R(Ap2)」は、受信ビームの形成する走査線を右側から斜め方向に観察することになるので、波面WF1と、波面WF2とを異なる波面として観察することができる。

【0072】

そして、アダプティブアレイ処理部124は、図10に示すように、重み係数「w1」と重み係数「w2」とを用いて「R'(Ap1)」と「R'(Ap2)」と重み付け加算してBモードデータを生成するための反射波データを生成する。具体的には、アダプティブアレイ処理部124は、複数の受信開口それぞれに含まれる振動子の素子数から決まる信号の振幅比により、重み付け加算を行なう。

【0073】

上記の処理を行なう際に、重み付け加算の対象となる信号を、IQ信号のように位相情報を有している信号を用いることで、全ての受信開口(Ap1+Ap2)に相当する受信感度と方位分解能とを維持しつつ、多重除去効果の両立が可能となる。また、アダプティブアレイ処理本来のサイドローブ低減効果も得られる。なお、以下では、「受信開口を2分割して、各受信開口でAPES法によるアダプティブアレイ処理を行なった後に重み付け加算を行なう方法」を「2分割APES法」と記載する。

【0074】

図11の(A)は、振動子列内で受信開口を移動して超音波走査を行なうリニア走査の走査形態を示している。また、図11の(B)は、振動子列内で受信開口を移動して超音波走査を行なうコンベックス走査の走査形態を示している。

【0075】

リニア走査及びコンベックス走査を行なう場合の2分割APES法において、設定部19が行なう受信開口の分割設定処理及びアダプティブアレイ処理部124が行なう重み付け加算処理は、例えば、以下の処理となる。

【0076】

設定部19は、振動子列内で受信開口を移動して超音波走査を行なう超音波プローブ1が用いられる場合、各受信開口を2つに分割する。そして、設定部19は、走査中心位置では受信開口を対称な大きさに2分割する。更に、設定部19は、走査中心位置以外の位置では当該位置に基づいて、受信開口を非対称性が最大となる大きさに2分割する。

【0077】

すなわち、設定部19は、リニア走査及びコンベックス走査における2分割APES法では、左右開口幅を受信走査線位置ごとに変える。そして、アダプティブアレイ処理部124は、開口振幅比で重み付け係数を決め、APES法を用いたアダプティブアレイ処理後の各受信開口の受信信号を重み付け加算するようにする。

【0078】

以下では、1本の受信走査線の受信ビームを形成するための受信開口の幅を一定とし、その幅が振動子数に対応するとする。また、最大受信開口「Aperture」を「Aperture=Ap1+Ap2」とし、Ap1側の重み係数を「w1」とし、Ap2側の重み係数を「w2」とする。開口に含まれる素子数の振幅比で重み係数を決めることで、各受信走査線位置での受信感度を同一にすることが可能である。このことから、アダプティブアレイ処理部124は、w1及びw2を以下の式(1)により算出する。

【0079】

10

20

30

40

【数 1】

$$\left. \begin{aligned} w1 &= Ap1 / \sqrt{Ap1^2 + Ap2^2} \\ w2 &= Ap2 / \sqrt{Ap1^2 + Ap2^2} \end{aligned} \right\} \quad \dots(1)$$

【0080】

また、受信用の走査線位置を（x）と定義する。設定部 19 は、超音波プローブ 1 が有する振動子群の左端部（x = 0）に（x）が位置する場合、「Ap1 = 0、Ap2 = Aperture」と設定する。また、設定部 19 は、振動子群の中央に（x）が位置する場合、「Ap1 = Ap2 = Aperture / 2」と設定する。また、設定部 19 は、振動子群の右端部（x = L）に「x」が位置する場合、「Ap1 = Aperture、Ap2 = 0」と設定する。なお、「L」は、超音波プローブ 1 が有する振動子群の幅であり、「Aperture ≤ L」となる。

10

【0081】

このように、設定部 19 は、（x）に応じて、連続的に左右開口の幅を制御する。上記の内容を（x）の関数として示すと、「Ap1：左側の受信開口の幅」は、以下の式（2）、式（3）及び式（4）となる。なお、式（2）は、「0 ≤（x） < Aperture / 2」の場合に設定される「Ap1」を求める式である。また、式（3）は、「Aperture / 2 ≤（x） < L - Aperture / 2」場合に設定される「Ap1」を求める式である。

【0082】

【数 2】

$$\left. \begin{aligned} Ap1 &= (x) \\ (0 \leq (x) < Aperture / 2) \end{aligned} \right\} \quad \dots(2)$$

20

【0083】

【数 3】

$$\left. \begin{aligned} Ap1 &= Aperture / 2 \\ (Aperture / 2 \leq (x) < L - Aperture / 2) \end{aligned} \right\} \quad \dots(3)$$

30

【0084】

【数 4】

$$\left. \begin{aligned} Ap1 &= Aperture / 2 + (x) - (L - Aperture / 2) \\ &= Aperture + (x) - L \\ (L - Aperture / 2 \leq (x) \leq L) \end{aligned} \right\} \quad \dots(4)$$

【0085】

なお、「Ap2：右側の受信開口の幅」は、以下の式（5）となる。

【0086】

【数 5】

$$Ap2 = Aperture - Ap1 \quad \dots(5)$$

40

【0087】

リニア走査の 2 分割 APES 法では、有効開口幅一定の制約下において、視野幅の中央では、左右の受信開口それぞれで受信走査線を見込む角度が最も小さくなるが、有効開口幅を左右で半分に分割すれば、多重成分の方向とメインローブ成分の方向との角度差を最大とすることができる。その結果、視野中央部位でも多重軽減効果が高められると期待される。

【0088】

50

また、上記の設定を行なうことで、視野幅を従来同等の視野幅に維持しつつ、左端部及び右端部のプローブ端部では多重軽減効果を最大限に保ち、プローブ中央付近では左右開口のバランスの取れた２分割ＡＰＥＳ法の効果が得られる。従って、上記の設定を行なうことで、全ての視野内で視野中央に対して左右で対称性のあるＢモード画像データを得ることができる。

【００８９】

次に、セクタ走査に２分割ＡＰＥＳ法を適用する場合について説明する。図１２は、振動子列内で受信開口の位置を一定として走査方向を偏向して超音波走査を行なうセクタ走査の走査形態を示している。セクタ走査を行なう場合の２分割ＡＰＥＳ法において、設定部１９が行なう受信開口の分割設定処理及びアダプティブアレイ処理部１２４が行なう重み付け加算処理は、例えば、以下の処理となる。

10

【００９０】

まず、設定部１９は、セクタ走査型の超音波プローブ１が用いられる場合、受信開口を２等分に分割する。すなわち、一般的なセクタ走査では、超音波プローブ１が有する振動子群（振動子列）の幅「 L 」が、「最大受信開口：Aperture」に等しくなり、電子的な遅延制御で走査する偏向角を変えることで、Ｂモード画像データの撮像が行なわれる（図１２を参照）。かかる走査形態では、設定部１９は、左右の受信開口の開口幅は、常に、「 $Aperture/2$ 」に設定され、２分割ＡＰＥＳ法が行なわれる。すなわち、セクタ走査型の超音波プローブ１が用いられる場合、設定部１９が設定する「 $Ap1$ ：左側の受信開口の幅」は、以下の式（６）となる。また、設定部１９が設定する「 $Ap2$ ：右側の受信開口の幅」は、以下の式（７）となる。

20

【００９１】

【数６】

$$Ap1 = Aperture/2 \quad \dots(6)$$

【００９２】

【数７】

$$\left. \begin{aligned} Ap2 &= Aperture - Ap1 \\ &= Aperture/2 \end{aligned} \right\} \quad \dots(7)$$

30

【００９３】

また、アダプティブアレイ処理部１２４は、「 $Ap1 = Ap2$ 」を式（１）に代入することで、 $w1$ 及び $w2$ を以下の式（８）により算出する。

【００９４】

【数８】

$$\left. \begin{aligned} w1 &= 1/\sqrt{2} \\ w2 &= 1/\sqrt{2} \end{aligned} \right\} \quad \dots(8)$$

40

【００９５】

上記の設定を行なうことで、セクタ走査の場合でも、多重軽減効果を最大限に保ち、左右開口でバランスの取れた２分割ＡＰＥＳ法の効果が得られる。従って、上記の設定を行なうことで、セクタ走査の場合でも、全ての視野内で視野中央に対して左右で対称性のあるＢモード画像データを得ることができる。

【００９６】

ところで、従来、リニア走査を行なう際に、視野幅を拡大するために、図１３に示す走査を行なう場合がある。図１３に例示する走査形態は、ベクタ走査と呼ばれる。ベクタ走査では、図１３に示すように、プローブ中央部では受信開口の位置を変えることで走査線

50

の位置を変えるリニア走査を行なうとともに、プローブ端部では受信開口の位置を固定して走査方向を偏向するセクタ走査を行なう。

【0097】

このように、振動子列端部においては受信開口の位置を一定として走査方向を偏向して超音波走査を行なうベクタ走査では、設定部19は、振動子列端部での受信開口を2等分に分割する。すなわち、設定部19は、リニア走査を行なうプローブ中央部では、上述した式(2)～式(5)を用いて左右の受信開口を設定し、アダプティブアレイ処理部124は、上述した式(1)を用いた重み付け加算を行なう。

【0098】

そして、設定部19は、プローブ端部を含む外部でのセクタ走査を行なう場合には、上述した式(6)及び式(7)を用いて左右の受信開口を等しい幅に設定し、アダプティブアレイ処理部124は、上述した式(8)を用いた重み付け加算を行なう。

【0099】

上記の設定を行なうことで、ベクタ走査を行なう場合でも、多重軽減効果を最大限に保ち、左右開口でバランスの取れた2分割APES法の効果が得られる。従って、上記の設定を行なうことで、ベクタ走査の場合でも、全ての視野内で視野中央に対して左右で対称性のあるBモード画像データを得ることができる。

【0100】

なお、上述したように、走査形態に応じた受信開口の設定を行なう場合、設定部19は、装置本体10に接続された超音波プローブ1により行なわれる走査形態を、操作者が検査開始時に入力した情報から取得する。或いは、制御部18は、装置本体10に接続された超音波プローブ1のIDを取得し、取得したIDに対応する走査形態を設定部19に通知する。かかる処理により、設定部19は、上記の走査形態に応じた複数の受信開口の設定を行ない、アダプティブアレイ処理部124は、設定部19により設定された複数の受信開口の開口幅に基づいて、重み付け係数を決定する。

【0101】

図14は、上述した2分割APES法の効果を示す図である。図14に示す画像100～103は、ファントムを用いたシミュレーションにより得られたイメージング結果である。図14に示す画像100～103は、中心周波数7.5MHzのリニア走査により、視野幅の中央部位で深さ10mm～50mmの範囲で再構成されたBモード画像データである。このファントムでは、深さ10mm～22mmの範囲にのう胞を模擬した直径約3mmの穴が開いており、深さ25mm～30mmの範囲に点音源部位となる複数のワイヤが配置されている。

【0102】

図14に示す画像100は、従来のDAS法を用いて、多重信号を加えていないオリジナルの状態のファントムで得られたイメージング結果である。一方、図14に示す画像101～103は、送受信信号に一律8mmの伝搬の遅延を掛けて発生させた多重信号を加えた状態のファントムで得られたイメージング結果である。図14に示す画像101は、DAS法を用いて、多重信号を加えた状態のファントムで得られたイメージング結果である。図14に示す画像102は、従来のAPES法を用いて、多重信号を加えた状態のファントムで得られたイメージング結果である。図14に示す画像103は、2分割APES法を用いて、多重信号を加えた状態のファントムで得られたイメージング結果である。

【0103】

多重信号を加えた状態でDAS法を行なった画像101では、多重信号を加えていない状態でDAS法を行なった画像100と比較して、散乱体の多重成分が混入したことで、のう胞を模擬した穴の抜けが悪くなっている。また、画像101では、画像100と比較して、深さ25mm～30mmの点音源部位に散乱体の多重成分が重畳し、深さ30mm～40mmにも多重成分が重畳している。

【0104】

また、多重信号を加えた状態でAPES法を用いたアダプティブアレイ処理を行なった

10

20

30

40

50

画像102では、画像101と比較して、点音源部位は、アダプティブアレイ処理の効果で、方位方向にシャープに描出されている。しかし、画像102では、画像101と同様に、多重成分は殆んど軽減されてない。

【0105】

これに対して、多重信号を加えた状態で2分割APES法を行なった画像103では、画像102と同様に、点音源部位は、アダプティブアレイ処理の効果で、方位方向にシャープに描出されている。しかも、画像103では、点音源部位のシャープさを維持しながら、画像101及び画像102と比較して、大幅な多重成分の低減効果が認められる。特に、画像103では、のう胞を模擬した穴の抜けが、多重信号を加える前のレベルに近づいている。

10

【0106】

上述したように、第2の実施形態では、受信ビームを形成する走査線の方角に対して非対称な複数の受信開口を設定し、複数の受信開口の遅延後の位相情報を含む信号群に対して独立にアダプティブアレイ処理を行なって、各受信開口の反射波データを生成する。そして、第2の実施形態では、複数の受信開口それぞれの反射波データを、重み付け加算することで、受信走査線位置での反射波データを生成する。

【0107】

これにより、第2の実施形態では、例えば、画像103からも明らかなように、視野幅が確保され、サイドローブとともに多重反射が低減された高画質な超音波画像を生成することができる。

20

【0108】

(第3の実施形態)

第1の実施形態及び第2の実施形態では、アダプティブアレイを用いて、サイドローブとともに多重反射が低減された高画質なBモード画像データを生成する場合について説明した。ここで、第1の実施形態及び第2の実施形態で説明した処理は、ハーモニック成分が抽出されたBモード画像データを生成する場合にも適用可能である。

【0109】

すなわち、第3の実施形態に係るアダプティブアレイ処理部124は、ハーモニックイメージングが行なわれる場合、ハーモニック成分が抽出された反射波信号群を用いてアダプティブアレイ処理を行なう。

30

【0110】

ハーモニックイメージングとしては、組織ハーモニックイメージング (THI : Tissue Harmonic Imaging) や、コントラストハーモニックイメージング (CHI : Contrast Harmonic Imaging) が知られている。

【0111】

例えば、アダプティブアレイ処理部124は、フィルタ処理により、受信遅延時間が与えられたデジタルデータからTHI成分やCHI成分を抽出した後、アダプティブアレイ処理を行なう。

【0112】

或いは、ハーモニックイメージングでは、振幅変調 (AM : Amplitude Modulation) 法や位相変調 (PM : Phase Modulation) 法、AM法及びPM法を組み合わせたAMP法と呼ばれる映像法が行なわれる。AM法、PM法及びAMP法では、同一の走査線に対して振幅や位相が異なる超音波送信を複数回行なう。かかる場合、例えば、アダプティブアレイ処理部124は、受信遅延時間が与えられた複数回の送信超音波に対応する受信信号群を、変調法に応じた加減算処理することで、THI成分やCHI成分を抽出した後、アダプティブアレイ処理を行なう。

40

【0113】

或いは、THIでは、受信信号に含まれる2次高調波成分と差音成分とを用いて映像化を行なう方法が実用化されている。差音成分を用いた映像化法では、例えば、中心周波数が「f1」の第1基本波と、中心周波数が「f1」より大きい「f2」の第2基本波とを

50

合成した合成波形の送信超音波を、超音波プローブ1から送信させる。この合成波形は、2次高調波成分と同一の極性を持つ差音成分が発生するように、互いの位相が調整された第1基本波の波形と第2基本波の波形とを合成した波形である。送信部11は、合成波形の送信超音波を、位相を反転させながら、例えば、2回送信させる。かかる場合、例えば、アダプティブアレイ処理部124は、受信遅延時間が与えられた2回分の送信超音波に対応する2つの受信信号群を加算することで、基本波成分が除去され、差音成分及び2次高調波成分が主に残存したTHI成分を抽出した後、アダプティブアレイ処理を行なう。

【0114】

上述したように、第3の実施形態では、第1の実施形態で説明した受信開口の設定を用いたアダプティブアレイ処理や、第2の実施形態で説明した複数の受信開口の設定及び各受信開口に対する重み付けを用いたアダプティブアレイ処理を、ハーモニックイメージングに適用する。これにより、第3の実施形態では、サイドローブとともに多重反射が低減された高画質なTHI法によるBモード画像データや、造影画像データを生成することができる。

【0115】

なお、第1の実施形態で説明したアダプティブアレイ処理や、第2の実施形態で説明したアダプティブアレイ処理は、カラードプラ画像データやパワードプラ画像データに重畳されるBモード画像データ、Mモードの計測データとともに表示されるBモード画像データ、ドプラ波形とともに表示されるBモード画像データに対しても適用可能である。

【0116】

(第4の実施形態)

第1～第3の実施形態では、アダプティブアレイ処理部124によるアダプティブアレイ処理が、超音波送受信中に略リアルタイムで行なわれる場合について説明した。しかし、アダプティブアレイ処理は、重み付け係数を適応的に決定するために、複雑な演算を全ての受信チャンネルに対して関心領域内の全点で行なう必要があるため、従来のDAS法と比較して、演算量が極端に増大する。

【0117】

アダプティブアレイ処理をリアルタイムで行なうために、アダプティブアレイ処理部124を例えばGPUを用いたソフトウェア系で実現する場合、製造コストが大幅に増大する。また、アダプティブアレイ処理をリアルタイムで行なうために、アダプティブアレイ処理部124をハードウェアで構成する場合でも、処理能力の高いハードウェアを用いる必要があり、製造コストが大幅に増大する。

【0118】

そこで、第4の実施形態では、第1～第3の実施形態で説明したアダプティブアレイ処理を少ない演算量で実行可能なように受信部12を構成する。受信部12を以下に説明するように構成することで、第4の実施形態では、アダプティブアレイ処理で必要とされる演算量を少なくして、比較的安価なCPUやハードウェアによりアダプティブアレイ処理部124を構成可能とする。これにより、第4の実施形態では、比較的少ないコストで、第1～第3の実施形態で説明したアダプティブアレイ処理を実行可能な超音波診断装置を製造可能とする。図15は、第4の実施形態に係る受信部の構成例を説明するための図である。

【0119】

図15に示すように、第4の実施形態に係る受信部12は、図4に示す受信部12と比較して、CHデータ記憶部125とDAS処理部126とを更に備える。DAS処理部126は、従来から用いられているDAS法を行なう処理部である。DAS処理部126は、ハードウェアにより実現される場合であっても、ソフトウェアにより実現される場合であっても良い。

【0120】

DAS処理部126は、受信遅延部123から出力されたデータセットを加算して、反射波データを受信走査線ごとに生成する。受信遅延部123から出力されたデータセット

10

20

30

40

50

とは、「受信走査線ごとに設定部 19 が設定した受信開口の全チャンネル分の遅延後のデータセット」である。ここで、設定部 19 が設定する受信開口は、例えば、第 1 の実施形態で説明したように、受信走査線に対して右側、又は、左側に非対称に開いた受信開口である。また、設定部 19 が設定する受信開口は、例えば、第 2 の実施形態で説明したように、受信走査線に対して非対称に設定された複数の受信開口である。

【0121】

DAS 処理部 126 は、図 15 に示すように、受信遅延部 123 の後段に設置され、B モード処理部 13 の前段に設置される。B モード処理部 13 は、DAS 処理部 126 が生成した 1 フレーム分の反射波データから、1 フレーム分の B モードデータを生成し、画像生成部 15 は、1 フレーム分の B モードデータから超音波画像データ（B モード画像データ）を生成する。

10

【0122】

一方、CH データ記憶部 125 は、アダプティブアレイ処理を実行可能なデータセット群を記憶する。アダプティブアレイ処理を実行可能なデータセット群とは、受信遅延部 123 から出力されたデータセット群である。また、受信遅延部 123 から出力されたデータセット群を構成する各データセットは、上述したように、受信走査線ごとに設定部 19 が設定した受信開口の全チャンネル分の遅延後のデータセットである。CH データ記憶部 125 は、アダプティブアレイ処理により複数フレーム分の反射波データセットを生成可能なデータセット群を記憶する。

20

【0123】

CH データ記憶部 125 は、図 15 に示すように、受信遅延部 123 の後段に設置され、アダプティブアレイ処理部 124 の前段に設置される。また、アダプティブアレイ処理部 124 は、図 15 に示すように、B モード処理部 13 の前段に設置される。

【0124】

すなわち、第 4 の実施形態では、受信遅延部 123 が出力したデータセットは、DAS 法を行なう系統と、アダプティブアレイ処理を行なう系統との 2 系統に分配される。なお、CH データ記憶部 125 は、A/D 変換部 122 と受信遅延部 123 との間に設置されても良い。

【0125】

図 15 に例示するように構成された受信部 12 では、DAS 処理部 126 を用いた DAS モードによりリアルタイムで B モード画像データを生成可能である。また、図 15 に例示するように構成された受信部 12 では、CH データ記憶部 125 に記憶されたデータセット群を用いて、アダプティブアレイ処理（以下、AA 処理）により B モード画像データを生成可能である。

30

【0126】

第 4 の実施形態では、図 15 に例示する受信部 12 を用いて、AA 処理可能なデータセット群を収集後、操作者が、AA 処理の対象となるデータセットを選択する。そして、第 4 の実施形態に係るアダプティブアレイ処理部 124 は、入力装置 3 を用いて操作者が入力した選択指示に対応する少なくとも 1 フレーム分のデータセット群を CH データ記憶部 125 から取得する。そして、第 4 の実施形態に係るアダプティブアレイ処理部 124 は、取得したデータセット群を用いて AA 処理を行なう。換言すると、第 4 の実施形態では、AA 処理を「retrospective モード」で行なう。

40

【0127】

「retrospective モード」では、データ収集と並行して、記憶容量に応じたフレーム分のデータセット群の格納処理及び更新処理が CH データ記憶部 125 で行なわれる。そして、「retrospective モード」では、データ収集と並行して、DAS モードでの B モード画像データの生成及び表示がリアルタイムで行なわれる。すなわち、制御部 18 は、入力装置 3 を介して操作者の指示を受け付ける際に、CH データ記憶部 125 に格納されるデータセット群に対して遅延加算法を行なって生成された超音波画像データ群をモニタ 2 に表示させる。

50

【0128】

操作者は、モニタ2で更新表示されるDASモードのBモード画像データを参照して、十分なデータ収集が行なわれたと判断した時点で、Freezeボタンを押下する。Freezeボタンが押下されたことに連動して、制御部18は、画像メモリ16に蓄積されていたDASモードのBモード画像データ群をモニタ2に表示させる。例えば、モニタ2は、画像メモリ16に蓄積されていたDASモードのBモード画像データ群をサムネイル表示したり、動画表示したりする。

【0129】

そして、操作者は、モニタ2を参照して、AA処理の対象画像となるDASモードのBモード画像データを、入力装置3を用いて選択し、AAモードの画像化開始要求を行なう。例えば、操作者は、入力装置3として設置されたAAモードの開始ボタンを押下する。なお、操作者が選択する対象画像は、1フレームの静止画であっても、複数フレームの動画画像であっても良い。ただし、選択可能なフレーム範囲は、CHデータ記憶部125の記憶容量により定まる。第4の実施形態では、選択可能なフレーム範囲を増やすためには、CHデータ記憶部125の記憶容量を大容量とする必要がある。

【0130】

そして、入力装置3を用いた操作者の指示により、対象画像が選択され、開始ボタンが押下されると、制御部18は、アダプティブアレイ処理部124を起動する。そして、アダプティブアレイ処理部124は、対象画像に対応するデータセット群をCHデータ記憶部125から取得してAA処理を行なう。これにより、対象画像に対応するフレーム分のAAモードの反射波データセットが生成され、Bモード処理部13は、対象画像に対応するフレーム分のAAモードのBモードデータセットを生成し、画像生成部15は、対象画像に対応するフレーム分のAAモードのBモード画像データセットを生成する。

【0131】

なお、第4の実施形態では、AAモードのBモード画像データセットを参照した操作者が、新たな対象画像を選択した場合には、上記の処理が繰り返される。また、上記の処理は、操作者がAAモードの画像化終了要求を行なった時点で終了する。例えば、AAモードの画像化終了要求は、操作者が、開始ボタンを再度押下することで、入力される。

【0132】

次に、図16を用いて、第4の実施形態に係る超音波診断装置の処理の一例について説明する。図16は、第4の実施形態に係る超音波診断装置の処理の一例を示すフローチャートである。なお、以下では、データ収集が開始されて、DASモードのBモード画像データの生成表示が開始された後の処理について、図16を用いて説明する。

【0133】

図16に例示するように、第4の実施形態に係るアダプティブアレイ処理部124は、AA処理の対象画像が選択され、AAモードの画像化開始要求を受け付けたか否かを判定する（ステップS101）。ここで、対象画像が選択されておらず、AAモードの画像化開始要求を受け付けない場合（ステップS101否定）、アダプティブアレイ処理部124は、受け付けるまで待機する。

【0134】

一方、AA処理の対象画像が選択され、AAモードの画像化開始要求を受け付けた場合（ステップS101肯定）、アダプティブアレイ処理部124は、対象画像に対応するデータセット群をCHデータ記憶部125から取得する（ステップS102）。そして、アダプティブアレイ処理部124は、取得したデータセット群に対してAA処理を行なって、対象画像に対応するフレーム分のAAモードの反射波データセットを生成する（ステップS103）。

【0135】

そして、Bモード処理部13は、対象画像に対応するフレーム分のAAモードのBモードデータセットを生成し（ステップS104）、画像生成部15は、対象画像に対応するフレーム分のAAモードのBモード画像データセットを生成する（ステップS105）。

そして、モニタ 2 は、A A モードの B モード画像データセットを表示する（ステップ S 1 0 6）。

【0 1 3 6】

そして、アダプティブアレイ処理部 1 2 4 は、A A モードの画像化終了要求を受け付けたか否かを判定する（ステップ S 1 0 7）。ここで、A A モードの画像化終了要求を受け付けていない場合（ステップ S 1 0 7 否定）、アダプティブアレイ処理部 1 2 4 は、ステップ S 1 0 1 に戻って、再度、A A 処理の対象画像が選択され、A A モードの画像化開始要求を受け付けたか否かを判定する。

【0 1 3 7】

一方、A A モードの画像化終了要求を受け付けた場合（ステップ S 1 0 7 肯定）、制御部 1 8 は、アダプティブアレイ処理部 1 2 4 の動作を停止して、処理を終了する。

【0 1 3 8】

上述したように、第 4 の実施形態では、C H データ記憶部 1 2 5 を受信部 1 2 に設置して、設定部 1 9 が設定した受信開口により受信された反射波のデータセット群を記憶する。そして、第 4 の実施形態では、アダプティブアレイ処理部 1 2 4 に加えて、D A S 処理部 1 2 6 を受信部 1 2 に設置して、設定部 1 9 が設定した受信開口により受信された反射波のデータセット群から D A S モードの B モード画像データを順次生成表示する。

【0 1 3 9】

そして、第 4 の実施形態では、D A S モードの B モード画像データセットから操作者が選択した対象画像に限定して A A 処理を行なって、A A モードの B モード画像データセットを生成する。従って、第 4 の実施形態では、A A 処理に要する演算量を大幅に低減することができる。その結果、第 4 の実施形態では、比較的少ないコストで、第 1 ～第 3 の実施形態で説明したアダプティブアレイ処理を実行可能な超音波診断装置を製造することができる。

【0 1 4 0】

（第 5 の実施形態）

第 5 の実施形態では、A A 処理に要する演算量を大幅に低減するために、第 4 の実施形態で説明した処理とは異なる処理が、図 1 5 に例示した受信部 1 2 を用いて行なわれる場合について説明する。

【0 1 4 1】

第 5 の実施形態では、操作者は、最初に、例えば、入力装置 3 として設置された A A モードの起動ボタンを押下して、A A 処理を実行可能な状態にアダプティブアレイ処理部 1 2 4 を起動させておく。そして、操作者は、生体に当接させた超音波プローブ 1 の位置を固定した状態で、各受信チャンネルの反射波のデータセットを収集し、収集したデータセットを、所定フレーム数分のデータを記憶可能な C H データ記憶部 1 2 5 に保存させる。また、アダプティブアレイ処理部 1 2 4 が起動されたことを契機として、制御部 1 8 の指示により、D A S モードによる B モード画像データの生成表示が行なわれる。なお、C H データ記憶部 1 2 5 は、記憶容量を超えた場合は、最も古いデータを破棄して、最新のデータに更新して記憶する。

【0 1 4 2】

そして、第 5 の実施形態では、操作者は、所定のタイミングで、A A モードの画像化を開始する旨の指示を行なう。例えば、操作者は、画像診断に適した D A S モードの B モード画像データであって、多重反射を低減したい D A S モードの B モード画像データが収集された場合、A A モードの画像化が実行可能なデータセット群が収集保存されたと判断する。そして、例えば、操作者は、第 4 の実施形態で説明した開始ボタンを押下することで、A A モードの画像化開始要求を入力する。これにより、A A モードの B モード画像データの生成表示が行なわれる。なお、第 5 の実施形態では、操作者は、新たな A A モードの B モード画像データを生成したい場合には、例えば、再度、A A モードの起動ボタンを押下する。これにより、上記の処理が繰り返される。また、上記の処理は、操作者が A A モードの画像化終了要求を行なった時点で終了する。例えば、A A モードの画像化終了要求

10

20

30

40

50

は、操作者が、開始ボタンを再度押下することで、入力される。

【0143】

ただし、第5の実施形態に係る制御部18は、AAモードの画像化終了要求を受け付けない場合、操作者が新たなAAモードの画像化の開始要求を行なう可能性がある判断して、再度、DASモードを再開し、操作者が開始ボタンを押下するまで待機しても良い。

【0144】

このように、第5の実施形態に係るアダプティブアレイ処理部124は、入力装置3を用いて操作者が処理開始指示を入力した時点で、CHデータ記憶部125に格納されたデータセット群を用いてAA処理を行なう。また、第5の実施形態でも、第4の実施形態と同様に、制御部18は、入力装置3を介して操作者の指示を受け付ける際に、CHデータ記憶部125に格納されるデータセット群に対して遅延加算法を行なって生成された超音波画像データ群をモニタ2に表示させる。換言すると、第5の実施形態では、AA処理は、「prospectiveモード」で行なわれる。

10

【0145】

次に、図17を用いて、第5の実施形態に係る超音波診断装置の処理の一例について説明する。図17は、第5の実施形態に係る超音波診断装置の処理の一例を示すフローチャートである。なお、以下では、AAモードの起動用ボタンが押下されて、DASモードのBモード画像データがリアルタイムで生成表示されている状態で行なわれる処理について、図17を用いて説明する。

【0146】

20

図17に例示するように、第5の実施形態に係るアダプティブアレイ処理部124は、DASモードのBモード画像データを参照する操作者から、AAモードの画像化開始要求を受け付けたか否かを判定する(ステップS201)。ここで、AAモードの画像化開始要求を受け付けない場合(ステップS201否定)、アダプティブアレイ処理部124は、AAモードの画像化開始要求を受け付けるまで待機する。

【0147】

一方、AAモードの画像化開始要求を受け付けた場合(ステップS201肯定)、アダプティブアレイ処理部124は、AAモードの画像化開始要求を受け付けた時点でCHデータ記憶部125に格納されたデータセット群を取得する(ステップS202)。そして、アダプティブアレイ処理部124は、取得したデータセット群に対してAA処理を行なって、AAモードの反射波データセットを生成する(ステップS203)。

30

【0148】

そして、Bモード処理部13は、AAモードのBモードデータを生成し(ステップS204)、画像生成部15は、AAモードのBモード画像データを生成する(ステップS205)。そして、モニタ2は、AAモードのBモード画像データを表示する(ステップS206)。

【0149】

そして、アダプティブアレイ処理部124は、AAモードの画像化終了要求を受け付けたか否かを判定する(ステップS207)。ここで、AAモードの画像化終了要求を受け付けていない場合(ステップS207否定)、制御部18は、DASモードを再開させ(ステップS208)、アダプティブアレイ処理部124は、ステップS201に戻って、再度、AAモードの画像化開始要求を受け付けたか否かを判定する。

40

【0150】

一方、AAモードの画像化終了要求を受け付けた場合(ステップS207肯定)、制御部18は、アダプティブアレイ処理部124の動作を停止して、処理を終了する。

【0151】

上述したように、第5の実施形態では、第4の実施形態と比較して、操作者が指示を行なう手間が増すものの、CHデータ記憶部125に必要とされる記憶容量は、例えば、1フレーム分のデータと最小限に抑えることができ、且つ、データ選択の自由度も維持される。従って、第5の実施形態では、第4の実施形態より少ないコストで、第1～第3の実

50

施形態で説明したアダプティブアレイ処理を実行可能な超音波診断装置を製造することができる。なお、第5の実施形態では、CHデータ記憶部125の記憶容量が、例えば、3フレーム分の容量である場合、操作者が処理開始指示を入力した時点で、CHデータ記憶部125に格納されている3フレーム分のデータセット群を用いたAA処理を行なわれて、AAモードのBモード画像データが3フレーム分、生成表示されても良い。

【0152】

また、第5の実施形態では、DASモードのBモード画像データをリアルタイムで生成表示することで、操作者は、データ取得時に被検体Pに発生した呼吸動や体動の程度、並びに、超音波プローブ1を保持している箇所の適切さを観察して、良好なデータ収集が成されたか否かを容易に判断して、適切なタイミングでAAモードに移行することができる。その結果、第5の実施形態では、不適切なデータをAA処理するといった無駄な演算処理が行なわれることを回避できる。

10

【0153】

(第6の実施形態)

第6の実施形態では、第1～第5の実施形態の変形例について、図18～図20を用いて説明する。図18～図20は、第6の実施形態を説明するための図である。

【0154】

上述した第1～第5の実施形態では、走査範囲全体で、AA処理が行なわれる場合について説明した。しかし、上述した第1～第5の実施形態において、アダプティブアレイ処理部124は、走査範囲に設定された関心領域(ROI:Region Of Interest)に限定して、AA処理を行なっても良い。具体的には、操作者は、図18に示すように、DASモードのBモード画像データに、ROIを設定する。

20

【0155】

図18に示すROIが設定されると、アダプティブアレイ処理部124は、ROIに限定してAA処理を行なう。また、アダプティブアレイ処理部124、又は、DAS処理部126は、ROI以外の領域については、DAS法を行なう。これにより、画像生成部15は、ROIの多重成分が軽減されたBモード画像データを生成することができる。

【0156】

上記の変形例は、局所的な多重反射が画像診断の妨げとなる場合に有効な処理である。すなわち、操作者は、局所的な多重反射が発生している領域にROIを設定する。これにより、アダプティブアレイ処理部124は、リアルタイム処理で、又は、データ収集後の処理により、ROIに限定した少ない演算処理により、AA処理を行なう。上記の変形例では、リアルタイム処理、非リアルタイム処理に関わらず、演算範囲を限定することで必要最小限の演算時間にとどめ、演算の待ち時間を軽減することで、診断時間を増やさないようにすることができる。また、上記の変形例では、非リアルタイム処理を行なう場合には、演算範囲を限定することで、CHデータ記憶部125に必要な記憶容量を削減することができる。

30

【0157】

また、上述した第2の実施形態等では、受信走査線に対して非対称に2つの受信開口を設定する2分割APES法を中心に説明した。しかし、設定部19は、受信走査線に対して非対称に3つ以上の受信開口を設定しても良い。例えば、設定部19は、図19に示すように、受信走査線に対して非対称に4つの受信開口を設定する場合であっても良い。なお、アダプティブアレイ処理部124は、3つ以上の受信開口それぞれに含まれる振動子の素子数から決まる信号の振幅比により、重み付け加算を行なう。

40

【0158】

図19に例示する4つの受信開口を用いたAA処理を行なう場合でも、各受信開口で受信されるメインローブ成分の信号方向と、多重成分の信号方向とは、互いに異なる方向となるため、多重反射を軽減することができる。なお、図19に例示する変形例が行なわれる場合でも、図18を用いて説明したROIに限定したAA処理が行なわれても良い。

【0159】

50

また、上述した第1～第5の実施形態では、2次元走査により、サイドローブとともに多重反射が低減された高画質な2次元の超音波画像データを生成する場合について説明した。しかし、上述した第1～第5の実施形態で説明した内容は、3次元走査可能な超音波プローブ1を用いて、サイドローブとともに多重反射が低減された高画質な3次元の超音波画像データ（ボリュームデータ）を生成する場合にも適用可能である。

【0160】

例えば、3次元走査可能な超音波プローブ1は、一列に配置された複数の振動子を所定の角度（揺動角度）で揺動させることで、被検体Pを3次元走査するメカニカル4Dプローブである。メカニカル4Dプローブでは、複数断面を2次元走査することで、3次元の超音波走査が行なわれる。従って、メカニカル4Dプローブを用いる場合には、設定部19は、第1の実施形態で説明した受信開口の設定法や、第2の実施形態で説明した受信開口の設定法を、各断面で行なう。これにより、アダプティブアレイ処理部124は、メカニカル4Dプローブを用いる場合に、サイドローブとともに多重反射が低減された高画質なボリュームデータを生成するための3次元の反射波データを生成することができる。

10

【0161】

或いは、例えば、3次元走査可能な超音波プローブ1として、複数の振動子が2次元で配置された2Dアレイプローブを用いる場合、設定部19は、図20に示すように、受信開口を設定する。具体的には、第1の実施形態に係る設定法を2Dアレイプローブに適用する場合、設定部19は、例えば、図20の（A）に示すように、受信走査線に対して、2方向で受信開口をずらすことで、非対称な位置に受信開口を設定する。或いは、第2の実施形態に係る設定法を2Dアレイプローブに適用する場合、設定部19は、受信走査線に対して、2方向で非対称な複数の受信開口を設定する。例えば、設定部19は、図20の（B）に示すように、受信走査線に対して非対称に設定された4つの受信開口を設定する。これにより、アダプティブアレイ処理部124は、2Dアレイプローブを用いる場合に、サイドローブとともに多重反射が低減された高画質なボリュームデータを生成するための3次元の反射波データを生成することができる。

20

【0162】

なお、図20に例示する変形例が行なわれる場合でも、AA処理に要する演算量を低減するために、図18を用いて説明したROIに限定したAA処理が行なわれても良い。

【0163】

（第7の実施形態）

第7の実施形態では、第2の実施形態で説明した設定法、すなわち、受信走査線に対して非対称に複数の受信開口を設定する場合に生じる課題を解決する方法の一例について説明する。

30

【0164】

図8や図9を用いて説明したように、第1の実施形態で説明した受信開口が設定された場合、スペックルが左右に傾いたアーチファクトが発生する。かかるアーチファクトの発生を抑制するため、第2の実施形態では、複数個に分割した受信開口それぞれの位相情報を含む受信信号に対してAPES法やMV法を用いたAA処理を行ない、その後、複数の受信開口それぞれの受信信号を、コヒーレント（coherent）に加算する。これにより、第2の実施形態では、視野幅が確保され、且つ、高画質な超音波画像を生成することが可能となった。しかし、第2の実施形態で説明した方法では、以下に説明するように、方位方向で点音源の二重化が発生する場合があった。図21及び図22は、2分割APES法の課題を説明するための図である。

40

【0165】

例えば、図10等を用いて説明した2分割APES法では、左右に分割した信号（IQ信号）を加算する。すなわち、図10等を用いて説明した2分割APES法では、コヒーレント加算が行なわれる。しかし、コヒーレント加算を行なうと、位相が合致する方向が左右の受信開口で異なるため、分割した左右の信号のメインビーム同士が位相干渉を起こす。その結果、2分割APES法では、図21に示すように、方位方向に沿って、点音源

50

部位の近傍に2つの高輝度点が発生する。

【0166】

かかる点音源の二重化は、図22に示す二峰性の重み関数に起因すると考えられる。すなわち、2分割APES法では、図22に示すように、アレイ（受信走査線のビームを形成するための受信開口全体）の中央で分割した左側の開口と右側の開口とを用いる。2分割APES法では、図22に示すように、左側の開口で複数のサブアレイ（SA0、SA1、SA2、・・・）を用いた処理により、サブアレイごとの重み関数が決定される。また、2分割APES法では、図22に示すように、右側の開口で複数のサブアレイ（SA0、SA1、SA2、・・・）を用いた処理により、サブアレイごとの重み関数が決定される。これらの重み関数を、簡易的に矩形の一樣重みの振幅特性を持つものとして畳み込むと、図22に示すように、左右の開口で独立した二峰性の重みを持つ振幅分布関数（以下、単に、二峰性の重み関数と称する）となる。かかる二峰性の重み関数により、2分割APES法では、メインローブ近傍でのサイドローブが上昇して、点広がり関数（PSF：Point Spread Function）の二重化が起これると考えられる。

10

【0167】

また、第2の実施形態で説明した方法では、受信開口全体を複数の分割しているため、個々の開口幅が狭くなってコヒーレント加算で生じる位相干渉によるメインビーム幅が増加する。その結果、第2の実施形態で説明した方法では、AA処理で向上する方位方向の分解能が、逆に低下してしまうという課題も発生する。

20

【0168】

そこで、第7の実施形態に係る設定部19は、受信走査線に対して複数の受信開口を設定する際に、各受信開口を構成する複数の振動子の一部が受信開口間で共有されるように設定する。図23～図25は、第7の実施形態を説明するための図である。

【0169】

すなわち、第7の実施形態では、2分割APES法における受信開口をオーバーラップさせることで、PSFの二重化を抑制する。以下、第2の実施形態で説明した2分割APES法と区別するために、第7の実施形態で行なわれる2分割APES法を、「重複2分割APES法」と記載する。すなわち、重複2分割APES法は、2分割APES法のようにアレイの中央で分割するのではなく、図23に示すように、適当な数の振動子を、左側の開口及び右側の開口それぞれでオーバーラップさせる。その結果、重複2分割APES法では、独立した二峰性の重み関数の間を埋めることができる。すなわち、重複2分割APES法では、図23において、黒枠で示す「上が底辺の二等辺三角形」の領域Tを小さくすることができる。その結果、重複2分割APES法では、左右で独立した二峰性の重み関数を、1つの台形のような重み関数と等価な重み関数に近づけることができ、PSFの二重化を抑制することができる。

30

【0170】

図24は、重複2分割APES法の処理の一例を示す図である。図24に示すように、設定部19は、受信走査線Lに対する受信開口を左側の開口と右側の開口とに分割する際に、複数の振動子（重複振動子群O）を重複させる。そして、アダプティブアレイ処理部124は、図24に示すように、左側の開口で、サブアレイそれぞれのチャンネル（1ch、・・・、L_Rch）でAA処理を行ない、全てのサブアレイのAA処理結果を加算（コヒーレント加算）して、左側の開口の反射波データを得る。また、アダプティブアレイ処理部124は、図24に示すように、右側の開口で、サブアレイそれぞれのチャンネル（1ch、・・・、L_Lch）でAA処理を行ない、全てのサブアレイのAA処理結果を加算（コヒーレント加算）して、右側の開口の反射波データを得る。そして、アダプティブアレイ処理部124は、図24の「加算処理S1」において、左側の開口の反射波データと右側の開口の反射波データとをコヒーレント加算して、受信走査線Lの反射波データを生成する。

40

【0171】

かかる処理により得られる効果について、図25を用いて説明する。図25は、中心周

50

波数 3.5 MHz のコンベックス走査で、深さ 0 mm ～ 90 mm の範囲で再構成した 2 つの B モード画像データ（画像 200 及び画像 201）を示している。画像 200 は、2 分割 A P E S 法により得られた B モード画像データであり、画像 201 は、重複 2 分割 A P E S 法により得られた B モード画像データである。また、画像 200 A は、画像 200 の深さ 70 mm ～ 90 mm に位置する点物体を拡大した画像である。また、また、画像 201 A は、画像 201 の深さ 70 mm ～ 90 mm に位置する点物体を拡大した画像である。

【0172】

画像 200 A と画像 201 A とを比較すると、2 分割 A P E S 法の画像 200 A では、点物体が二重化しているのに対して、重複 2 分割 A P E S 法の画像 201 A では、点物体の二重化が抑制されて、方位分解能が向上している。

10

【0173】

上述したように、第 7 の実施形態では、複数の受信開口間で、振動子を重複させることで、スペックルの二重化抑制が得られ、方位分解能を向上させることができる。

【0174】

なお、第 7 の実施形態で説明した方法による効果は、単純にオーバーラップさせる振動子数を増やす程、高くなる訳ではない。すなわち、オーバーラップさせる振動子数を増大させて最大とすると、同じ位置の 2 つの開口で A P E S 法を 2 回行なったことと等価になるからである。すなわち、第 7 の実施形態（重複 2 分割 A P E S 法）の効果である二重化抑制効果と、第 2 の実施形態（2 分割 A P E S 法）の効果である多重信号除去効果とは、オーバーラップさせる振動子数によりトレードオフの関係がある。このため、オーバーラップさせる振動子数は、かかるトレードオフを考慮して、適切に調整を行なう必要がある。この点については、第 11 の実施形態で後述する。

20

【0175】

（第 8 の実施形態）

第 8 の実施形態では、第 7 の実施形態とは異なる方法を用いて、二重化抑制を行なう場合について、図 26 及び図 27 と数式とを用いて説明する。図 26 及び図 27 は、第 8 の実施形態を説明するための図である。

【0176】

上述したように、2 分割 A P E S 法で発生する P S F の二重化は、振動子分割による位相干渉により発生する。第 7 の実施形態では、振動子を受信開口間で重複させることで、2 分割 A P E S 法で発生する P S F の二重化を抑制した。ここで、P S F の二重化が発生する要因は、二峰性の重み関数の他に、コヒーレント加算による位相干渉がある。そこで、第 8 の実施形態では、振動子分割による位相干渉を起こさないインコヒーレント（incoherent）加算を行なって、二重化を抑制する。

30

【0177】

すなわち、第 8 の実施形態に係るアダプティブアレイ処理部 124 は、複数の受信開口それぞれの反射波データを、位相情報を含まない状態で加算する。

【0178】

まず、2 分割 A P E S 法におけるコヒーレント加算（位相情報を含めた加算）について説明する。2 分割 A P E S 法で分割された左側の開口の振動子アレイ「 L_L 」で行なわれた A A 処理後の左側のアレイ信号を「 x_L 」とする。また、2 分割 A P E S 法で分割された右側の開口の振動子アレイ「 L_R 」で行なわれた A A 処理後の左側のアレイ信号を「 x_R 」とする。また、「 x_L 」と「 x_R 」とを加算した信号を「 x_m 」とする。かかる場合、コヒーレント加算は、以下の式（9）及び式（10）で表される。なお、式（9）及び式（10）において、「 $x_L \cdot re$ 」は、「 x_L 」の実部を表し、「 $x_L \cdot im$ 」は、「 x_L 」の虚部を表し、「 $x_R \cdot re$ 」は、「 x_R 」の実部を表し、「 $x_R \cdot im$ 」は、「 x_R 」の虚部を表わす。

40

【0179】

【数 9】

$$X_m = \sqrt{(x_L.re + x_R.re)^2 + (x_L.im + x_R.im)^2} \quad \cdots(9)$$

【0180】

【数 10】

$$\theta = \arctan^{-1}\left(\frac{Re}{Im}\right) = \arctan^{-1}\left\{\frac{(x_L.re + x_R.re)}{(x_L.im + x_R.im)}\right\} \quad \cdots(10)$$

10

【0181】

コヒーレント加算は、式(10)に示す位相項「 θ 」に影響を及ぼす。2分割APES法は、受信走査線を斜めから見込むように、受信開口を左右の2つの開口に分割するため、各開口と受信走査線とで方向が異なる。このため、振動子アレイ「 L_L 」と振動子アレイ「 L_R 」とで、位相が合致する方向が異なるため、双方のメインビームが位相干渉を起こしてPSFの二重化が生じる。

【0182】

一方、インコヒーレント加算を行うと、位相情報を含むことはなくなる。第8の実施形態に係るアダプティブアレイ処理部124は、振幅で加算するインコヒーレント加算、又は、振幅を対数変換した後に加算するインコヒーレント加算を行なう。振幅で加算するインコヒーレント加算を行なう場合、アダプティブアレイ処理部124は、以下の式(11)を用いる。

20

【0183】

【数 11】

$$x_m = \left(\sqrt{x_L.re^2 + x_L.im^2}\right)^2 + \left(\sqrt{x_R.re^2 + x_R.im^2}\right)^2 \quad \cdots(11)$$

【0184】

一方、振幅を対数変換した後に加算するインコヒーレント加算を行なう場合、アダプティブアレイ処理部124は、以下の式(12)を用いる。

30

【0185】

【数 12】

$$x_m = \log\left(\sqrt{x_L.re^2 + x_L.im^2}\right)^2 + \log\left(\sqrt{x_R.re^2 + x_R.im^2}\right)^2 \quad \cdots(12)$$

【0186】

以下、第8の実施形態で行なわれる2分割APES法を、「インコヒーレント2分割APES法」と記載する。換言すると、第2の実施形態で行なわれる2分割APES法は、「コヒーレント2分割APES法」であり、第7の実施形態で説明した重複2分割APES法は、「コヒーレント重複2分割APES法」となる。

40

【0187】

図26は、コヒーレント2分割APES法の処理の一例を示す図である。図26に示すように、設定部19は、受信走査線Lを中心として、受信開口を左側の開口と右側の開口とに分割する。そして、アダプティブアレイ処理部124は、図26に示すように、左側の開口で、サブアレイそれぞれのチャンネル(1ch、・・・、 L_L ch)でAA処理を行ない、全てのサブアレイのAA処理結果を加算(コヒーレント加算)して、左側の開口の反射波データを得る。また、アダプティブアレイ処理部124は、図26に示すように、右側の開口で、サブアレイそれぞれのチャンネル(1ch、・・・、 L_R ch)でAA処理を行ない、全てのサブアレイのAA処理結果を加算(コヒーレント加算)して、右側の開口の反射波データを得る。そして、アダプティブアレイ処理部124は、図26の「

50

加算処理 S 2」において、左側の開口の反射波データと右側の開口の反射波データとをインコヒーレント加算して、受信走査線 L の反射波データを生成する。

【0188】

第 8 の実施形態の処理により得られる効果について、図 27 を用いて説明する。図 27 では、図 25 の画像 200（画像 200A）とともに、「インコヒーレント 2 分割 APES 法」により得られた B モード画像データである画像 202 を示している。なお、画像 202 は、振幅で加算するインコヒーレント加算を行なった結果である。また、画像 202 A は、画像 202 の深さ 70 mm ～ 90 mm に位置する点物体を拡大した画像である。

【0189】

画像 200A と画像 202A とを比較すると、2 分割 APES 法の画像 200A では、点物体が二重化しているのに対して、インコヒーレント 2 分割 APES 法の画像 202A では、点物体の二重化が抑制されている。また、画像 200A では、二重化が原因で、PSF 内にスパイク状のノイズが存在する。一方、画像 202A では、かかるノイズが解消されている。

【0190】

上述したように、第 8 の実施形態では、インコヒーレント加算を行なうことで、PSF の二重化を抑制することができる。

【0191】

（第 9 の実施形態）

第 9 の実施形態では、第 7 の実施形態で説明した方法や第 8 の実施形態で説明した方法とは異なる方法により二重化抑制を行なう場合について、図 28 及び図 29 を用いて説明する。図 28 及び図 29 は、第 9 の実施形態を説明するための図である。

【0192】

第 9 の実施形態に係るアダプティブアレイ処理部 124 は、受信遅延部 123 が出力した複数の受信開口それぞれの反射波信号群を、送信超音波ビームに含まれる複数の周波数帯域に分割する。そして、アダプティブアレイ処理部 124 は、各帯域の反射波信号群に対して独立にアダプティブアレイ処理を行なう。そして、アダプティブアレイ処理部 124 は、アダプティブアレイ処理後の複数の周波数帯域それぞれの信号を加算して、受信走査線の反射波データを生成する。

【0193】

すなわち、第 9 の実施形態では、AA 処理を行なうに際し、送信部 11 は、複数の周波数帯域が含まれる超音波ビーム（パルス波）を超音波プローブ 1 に送信させる。そして、アダプティブアレイ処理部 124 は、各振動子で受信した信号に複数の帯域通過フィルタをかけて、複数の周波数帯域の信号を取得（以下、周波数解析と呼ぶ）する。そして、アダプティブアレイ処理部 124 は、アダプティブアレイ処理後の複数の周波数帯域それぞれの信号を加算して、受信走査線の反射波データを生成する。

【0194】

これは、メインビーム幅が周波数に依存する（中心周波数の逆数に比例する）ことを利用して、メインビーム幅の異なる複数の周波数帯域の信号を合成することで PSF の二重化を軽減することを意図したものである。このような処理は周波数コンパウンドと呼ばれており、第 9 の実施形態では、2 分割 APES 法に、周波数コンパウンドを適用する。

【0195】

ここで、第 9 の実施形態で行なわれる 2 分割 APES 法を、「コンパウンド 2 分割 APES 法」と記載する。図 28 及び図 29 では、「重複 2 分割 APES 法」で設定された左右の開口を用いて、「コンパウンド 2 分割 APES 法」を行なう場合を例示している。ただし、第 9 の実施形態は、通常の 2 分割 APES 法で設定された左右の開口を用いて「コンパウンド 2 分割 APES 法」を行なっても良い。

【0196】

図 28 及び図 29 に示す周波数解析 F では、アダプティブアレイ処理部 124 は、左側の開口で、サブアレイそれぞれのチャンネル（1ch、・・・、L_Lch）からの信号を

10

20

30

40

50

周波数解析して、各帯域 (f_1 、 f_2 、 $\dots$ 、 f_n) の信号を取得する。そして、アダプティブアレイ処理部 124 は、各帯域の信号に対して AA 処理を行なう。

【0197】

そして、アダプティブアレイ処理部 124 は、AA 処理後の加算手順に関しては、様々な方法で行う事ができる。例えば、アダプティブアレイ処理部 124 は、図 28 に示す「加算処理 S3」を行なう。図 28 に示すように、アダプティブアレイ処理部 124 は、各々の周波数帯の信号に対して AA 処理を行なう。そして、アダプティブアレイ処理部 124 は、加算処理 S3 では、振動子ごとの信号をコヒーレントに加算した後、全ての周波数帯の信号をインコヒーレントに加算し、最後に分割した左右の開口同士の信号をインコヒーレントに加算する。

10

【0198】

或いは、例えば、アダプティブアレイ処理部 124 は、図 29 に示す「加算処理 S4」を行なう。図 29 に示すように、アダプティブアレイ処理部 124 は、各々の周波数帯の信号に対して AA 処理を行なう。そして、アダプティブアレイ処理部 124 は、加算処理 S4 では、振動子ごとの信号をコヒーレントに加算した後、左右に分割した開口それぞれの同じ周波数帯の信号をコヒーレント又はインコヒーレントに加算し、最後に全ての周波数帯の信号をインコヒーレントに加算する。

【0199】

すなわち、「コンパウンド 2 分割 APES 法」は、「インコヒーレント 2 分割 APES 法」と併用されても良い。

20

【0200】

上述したように、第 9 の実施形態では、周波数コンパウンドを行なうことで、インコヒーレント加算を行なう場合と同様に、PSF の二重化を抑制することができる。

【0201】

(第 10 の実施形態)

第 10 の実施形態では、第 7 ～ 第 9 の実施形態を組み合わせる場合について、図 30 等を用いて説明する。図 30 は、第 10 の実施形態を説明するための図である。

【0202】

すなわち、第 10 の実施形態に係る超音波診断装置は、重複 2 分割 APES 法とインコヒーレント 2 分割 APES 法とを組み合わせることで B モード画像データを生成することができる。かかる場合、設定部 19 は、複数の受信開口を設定する際に、各受信開口を構成する複数の振動子の一部が受信開口間で共有させるように設定する。そして、アダプティブアレイ処理部 124 は、複数の受信開口それぞれの反射波データを、位相情報を含まない状態で加算する。

30

【0203】

また、第 10 の実施形態に係る超音波診断装置は、重複 2 分割 APES 法とコンパウンド 2 分割 APES 法とを組み合わせることで B モード画像データを生成することができる。かかる場合、設定部 19 は、複数の受信開口を設定する際に、各受信開口を構成する複数の振動子の一部が受信開口間で共有させるように設定する。そして、アダプティブアレイ処理部 124 は、複数の受信開口それぞれの反射波信号群を、送信超音波ビームに含まれる複数の周波数帯域に分割する。そして、アダプティブアレイ処理部 124 は、各帯域の反射波信号群に対して独立にアダプティブアレイ処理を行ない、アダプティブアレイ処理後の複数の周波数帯域それぞれの信号を加算して、受信走査線の反射波データを生成する。

40

【0204】

また、第 10 の実施形態に係る超音波診断装置は、インコヒーレント 2 分割 APES 法とコンパウンド 2 分割 APES 法とを組み合わせることで B モード画像データを生成することができる。かかる場合、アダプティブアレイ処理部 124 は、複数の受信開口それぞれの反射波信号群を、送信超音波ビームに含まれる複数の周波数帯域に分割し、各帯域の反射波信号群に対して独立にアダプティブアレイ処理を行なう。そして、アダプティブアレイ処理部 124 は、アダプティブアレイ処理後の複数の周波数帯域それぞれの信号を、位相情

50

報を含まない状態で加算して、受信走査線の反射波データを生成する。

【0205】

また、第10の実施形態に係る超音波診断装置は、重複2分割APES法とインコヒーレント2分割APES法とコンパウンド2分割APES法とを組み合わせることでBモード画像データを生成することができる。かかる場合、設定部19は、複数の受信開口を設定する際に、各受信開口を構成する複数の振動子の一部が受信開口間で共有させるように設定する。そして、アダプティブアレイ処理部124は、複数の受信開口それぞれの反射波信号群を、送信超音波ビームに含まれる複数の周波数帯域に分割し、各帯域の反射波信号群に対して独立にアダプティブアレイ処理を行なう。そして、アダプティブアレイ処理部124は、アダプティブアレイ処理後の複数の周波数帯域それぞれの信号を、位相情報を含ま

10

【0206】

このように、第10の実施形態では、「通常の2分割APES法」、「重複2分割APES法」、「インコヒーレント2分割APES法」、「コンパウンド2分割APES法」、「重複2分割APES法+インコヒーレント2分割APES法」、「重複2分割APES法+コンパウンド2分割APES法」、「インコヒーレント2分割APES法+コンパウンド2分割APES法」、「重複2分割APES法+インコヒーレント2分割APES法+コンパウンド2分割APES法」という上記で説明した種々の効果を発現し得る複数の組み合わせによる処理手順の中から、操作者に求められる画質特性を提供する処理手順を選択可能とする。更に、第10の実施形態では、コンパウンド2分割APES法の加算

20

【0207】

かかる選択を、操作者が容易に行なうため、第10の実施形態では、入力装置3に選択用のボタンやスイッチを設置することが好適である。すなわち、第10の実施形態では、設定部19及びアダプティブアレイ処理部124は、操作者が選択した方法に基づいて処理を行なう。

【0208】

組み合わせによる効果について、以下説明する。インコヒーレント2分割APES法では、加算処理に位相情報を含まないように制御することで、二重化の抑制を実現したが、受信走査線を中心に左右に受信開口を分割しているため、視野幅が狭くなり、方位方向の分解能の向上は見込めない。そこで、開口幅を増やすことで、方位方向の分解能も向上できる重複2分割APES法をインコヒーレント2分割APES法と組み合わせる。

30

【0209】

例えば、アダプティブアレイ処理部124は、図24の「加算処理S1」において、左側の開口の反射波データと右側の開口の反射波データとをインコヒーレント加算して、受信走査線Lの反射波データを生成する。

【0210】

「重複2分割APES法+インコヒーレント2分割APES法」の処理により得られる効果について、図30を用いて説明する。図30では、図25の画像200（画像200A）とともに、「重複2分割APES法+インコヒーレント2分割APES法」により得られたBモード画像データである画像203を示している。また、画像203Aは、画像203の深さ70mm～90mmに位置する点物体を拡大した画像である。

40

【0211】

画像200Aと画像203Aとを比較すると、2分割APES法の画像200Aでは、点物体が二重化しているのに対して、「重複2分割APES法+インコヒーレント2分割APES法」の画像203Aでは、点物体の二重化が抑制されている。また、画像202Aと画像203Aとを比較すると、画像203Aでは、画像202Aより方位分解能が向上している。すなわち、画像203Aは、画像201Aと同様な方位分解能を有している。

50

【0212】

上述したように、第10の実施形態では、第7～第9の実施形態で説明した処理を組み合わせることで、更に高品質な超音波画像データを生成することができる。

【0213】

(第11の実施形態)

第11の実施形態では、第7の実施形態で重複させる振動子数を最適化する方法等について、図31等を用いて説明する。図31は、第11の実施形態を説明するための図である。

【0214】

例えば、重複2分割APES法を含む2分割APES法を行なう場合、第7の実施形態で説明したように、オーバーラップさせる振動子数に応じて、重複2分割APES法による二重化抑制効果と、通常の2分割APES法による多重信号除去効果とはトレードオフの関係がある。すなわち、多重信号除去効果を維持しつつ、二重化抑制効果を得るためには、オーバーラップさせる振動子数の基準値を、概ね決定しておく必要がある。上述したように、振動子をオーバーラップさせることで、独立した二峰性の重み関数の間(図23で示す領域T)が埋まり、PSFの二重化抑制につながる。

【0215】

オーバーラップさせる振動子数の増加にともない、領域Tが埋まっていき、ある振動子数を境にして、領域Tが埋まりきり、1つの重み関数(1つの台形のような重み関数)と等価とすることができる。ただし、更にオーバーラップさせる振動子数を増やすと、1つになった重み関数の形状のみ変化する。ここで、上記のトレードオフの関係から、領域Tが埋まりきった以降は、オーバーラップさせる振動子数を増やすことは無意味となる。領域Tが埋まりきる振動子数は、例えば、図31に示す考え方により決定可能である。

【0216】

ここで、図31に示すように、左右の受信開口数を同一の「 $AL = L + P$ 」とする。ここで、「P」は、左側の受信開口が受信走査線を超えて右側に飛び出している振動子数であり、右側の受信開口が受信走査線を超えて左側に飛び出している振動子数である。以下では、「P」をオーバーラップ数として定義する。また、サブアレイの幅を「 $subL$ 」とする。かかる場合、左右それぞれで設定されるサブアレイの数は、「シフト回数+1」により「 $AL - subAL + 1$ 」となる。また、重み(重み係数)は、畳み込みにより、以下の式(13)から求められる。

【0217】

【数13】

$$subL \otimes (AL - subAL + 1) \quad \cdots (13)$$

【0218】

ここで、独立した二峰性の重み関数それぞれの下底の長さは、「 AL 」であり、上底の長さは、図31に示すように、「 $(AL - subL + 1) - (subL)$ 」から、以下の式(14)となる。

【0219】

【数14】

$$AL - subL + 1 = AL - 2P \quad \cdots (14)$$

【0220】

そして、二重化抑制が可能なように、独立した二峰性の重み関数を1つの台形の重み関数とするには、図31に示す点E1と点E2とが同じ振動子に位置するPを求めることと等価となる。すなわち、「 $AL - subL = AL - 2P$ 」となる「P」が最適なオーバーラップ数となる。かかるPは、「 $AL - subL = AL - 2P$ 」を解くことで、以下の式(15)となる。

【0221】

【数15】

$$P = (\text{subL} - 1) / 2 \doteq \text{subL} / 2 \quad \cdots(15)$$

【0222】

すなわち、二重化抑制効果と多重信号低減効果とを兼ね備えた超音波画像データを出力させるためには、「 $P = \text{subL} / 2$ 」とすることが望ましい。このことから、設定部19は、受信開口間で共有させる振動子数を、サブアレイの略半分に設定する。すなわち、アダプティブアレイ処理部124は、アレイを分割して得られるサブアレイを用いて処理を行なうが、設定部19は、複数の受信開口間で共有させる振動子数を、上記のサブアレイで構成される開口の略半分の大きさに対応する数に設定する。

10

【0223】

ただし、上記の算出法は、実際に得られる窓関数の振幅分布形状を考慮していないため、完全に最適とは言えない。このことから、第11の実施形態は、オーバーラップ数をある程度絞るための指標として用いてもよい。かかる場合、例えば、超音波診断装置の管理者は、サブアレイの半分の振動子数を基準にした振動子数のテーブルを予め内部記憶部17に格納しておく。操作者は、かかるテーブルを読み出して、受信開口間で共有させる振動子数を選択する。

【0224】

20

そして、設定部19は、操作者が選択した振動子数により、受信開口間で共有させる振動子数を決定する。これにより、操作者は、自身の目的に応じた画像を得ることが可能となる。

【0225】

上述したように、第11の実施形態では、例えば、重複2分割APES法を行なう場合の基準となる最適なオーバーラップ数を予め決定しておき、決定したオーバーラップ数により受信開口を分割する。これにより、第11の実施形態では、二重化抑制効果と多重信号低減効果とが両立した高画質な超音波画像データを生成することができる。

【0226】

また、第11の実施形態では、最適なオーバーラップ数を含む振動子数のテーブルを参照して、操作者がオーバーラップ数を選択可能とすることもできる。これにより、第11の実施形態では、二重化抑制効果を重視するか、多重信号低減効果を重視するかを、操作者が任意に選択可能とすることができる。

30

【0227】

なお、第1～第11の実施形態において説明した各処理のうち、自動的に行なわれるものとして説明した処理の全部又は一部を手動的に行なうこともでき、或いは、手動的に行なわれるものとして説明した処理の全部又は一部を公知の方法で自動的に行なうこともできる。この他、上記文書中や図面中で示した処理手順、制御手順、具体的名称、各種のデータやパラメータを含む情報については、特記する場合を除いて任意に変更することができる。

40

【0228】

また、図示した各装置の各構成要素は機能概念的なものであり、必ずしも物理的に図示の如く構成されていることを要しない。すなわち、各装置の分散・統合の具体的形態は図示のものに限られず、その全部又は一部を、各種の負荷や使用状況等に応じて、任意の単位で機能的または物理的に分散・統合して構成することができる。更に、各装置にて行なわれる各処理機能は、その全部又は任意の一部が、CPU及び当該CPUにて解析実行されるプログラムにて実現され、或いは、ワイヤードロジックによるハードウェアとして実現され得る。

【0229】

また、第1～第11の実施形態で説明した超音波診断装置に対する制御方法は、予め用

50

意された制御プログラムをパーソナルコンピュータやワークステーション等のコンピュータで実行することによって実現することができる。この制御プログラムは、インターネット等のネットワークを介して配布することができる。また、この制御プログラムは、ハードディスク、フレキシブルディスク（FD）、CD-ROM、MO、DVD等のコンピュータで読み取り可能な記録媒体に記録され、コンピュータによって記録媒体から読み出されることによって実行することもできる。

【0230】

以上、説明したとおり、第1の実施形態～第11の実施形態によれば、アダプティブアレイを用いて、サイドローブとともに多重反射が低減された高画質な超音波画像を生成することができる。

10

【0231】

本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれると同様に、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれるものである。

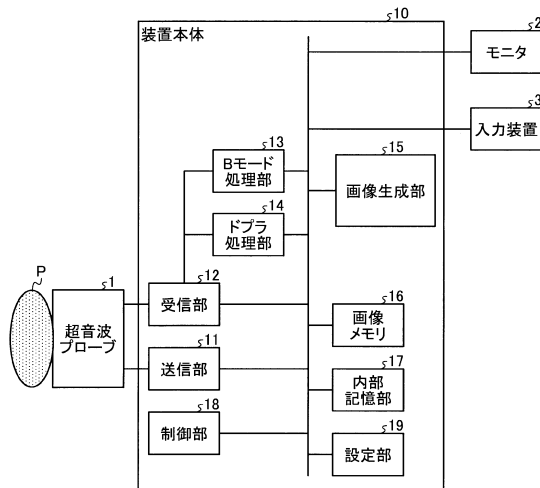
【符号の説明】

【0232】

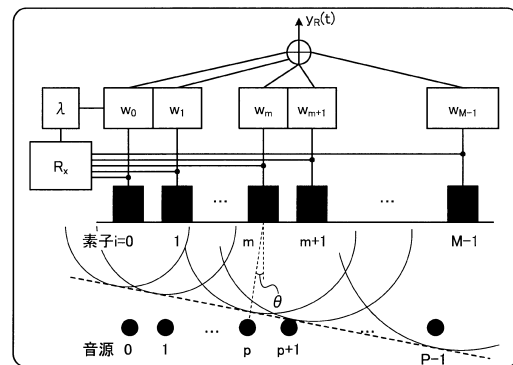
- 123 受信遅延部
- 124 アダプティブアレイ処理部
- 15 画像生成部
- 19 設定部

20

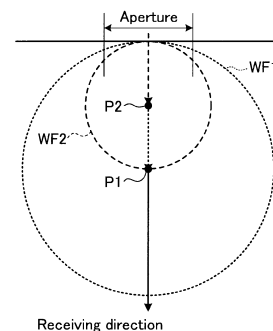
【図1】



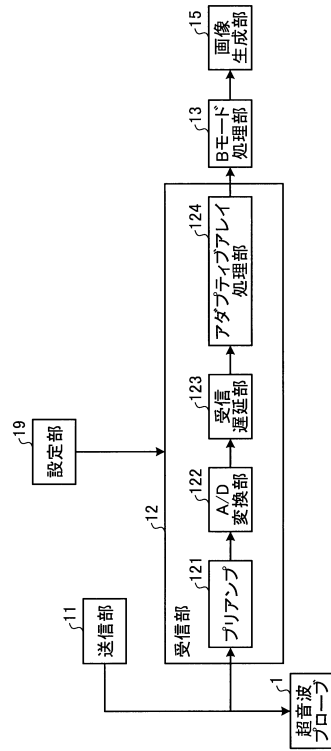
【図2】



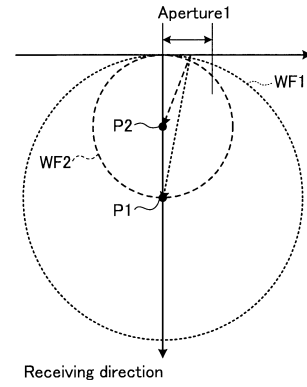
【図3】



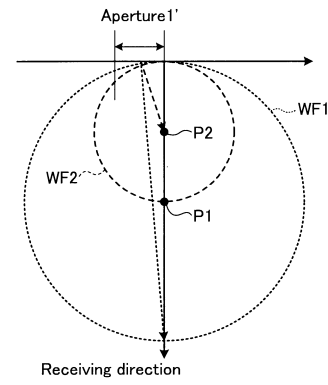
【図 4】



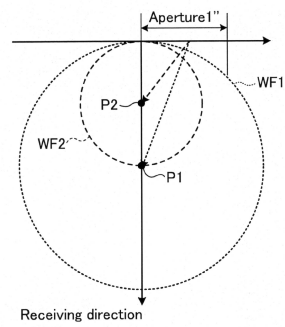
【図 5】



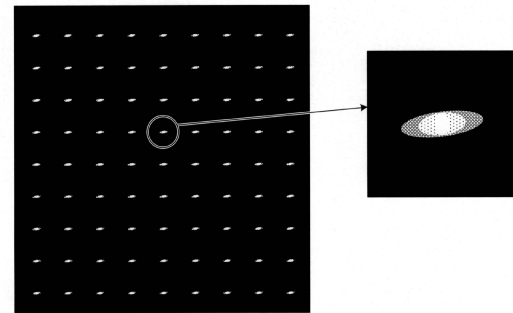
【図 6】



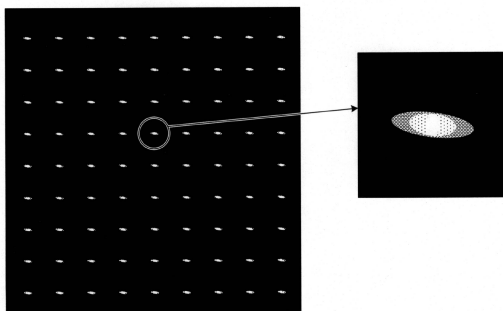
【図 7】



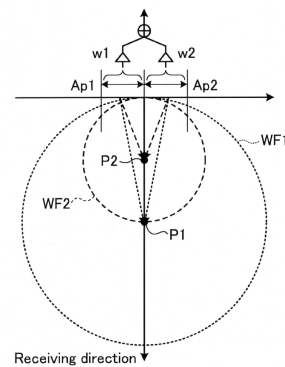
【図 9】



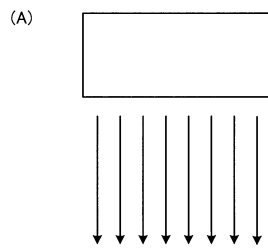
【図 8】



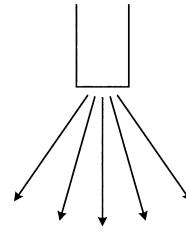
【図 10】



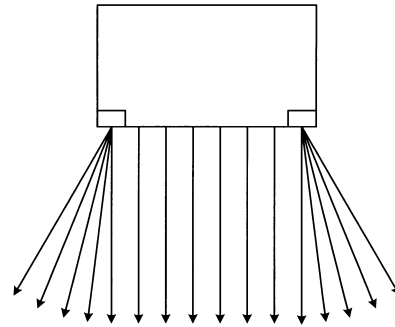
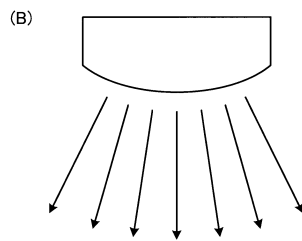
【図 1 1】



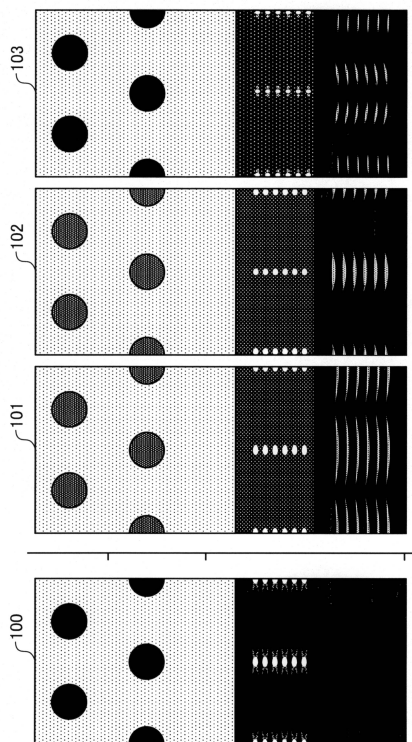
【図 1 2】



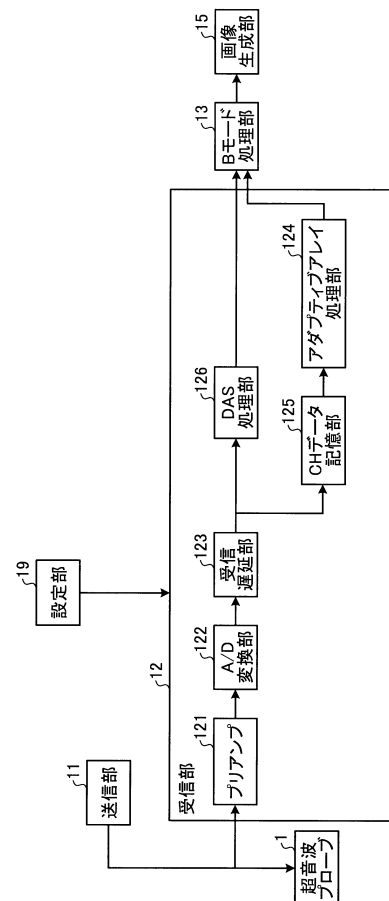
【図 1 3】



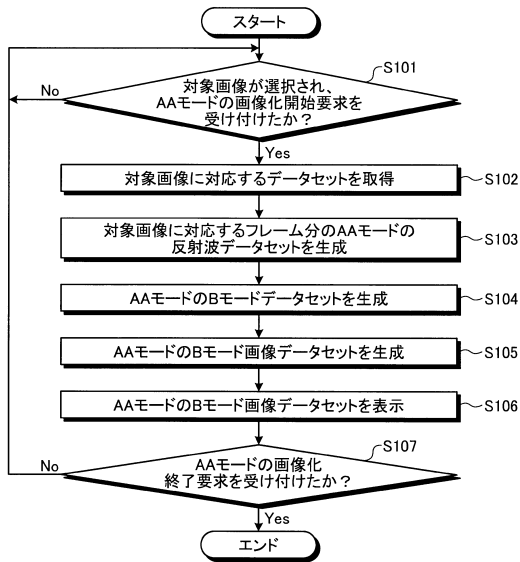
【図 1 4】



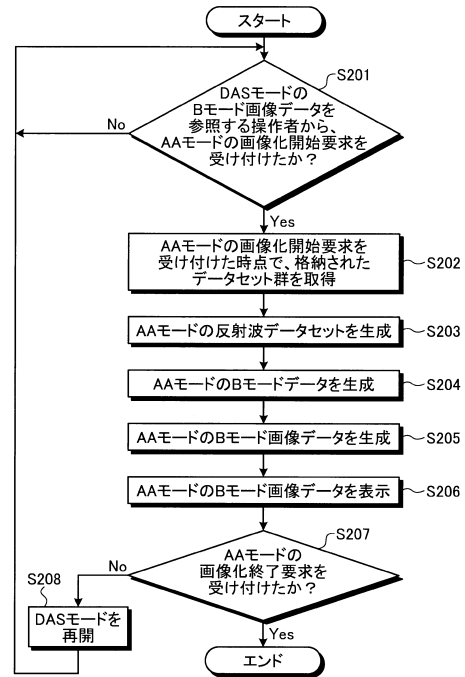
【図 1 5】



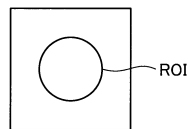
【図 16】



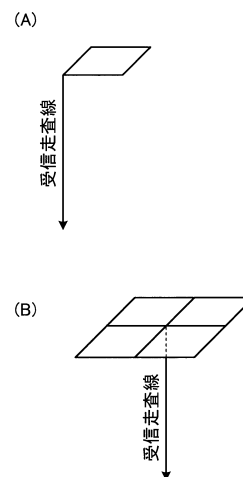
【図 17】



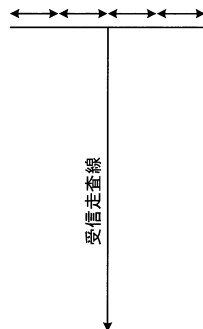
【図 18】



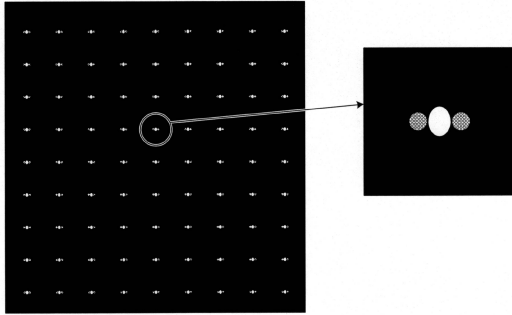
【図 20】



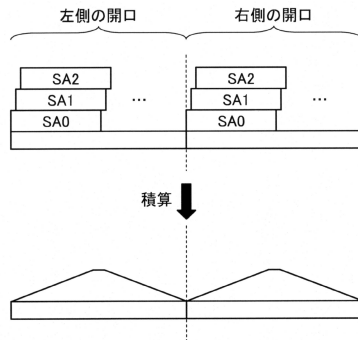
【図 19】



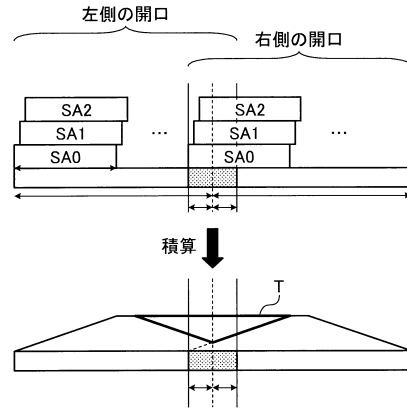
【図 2 1】



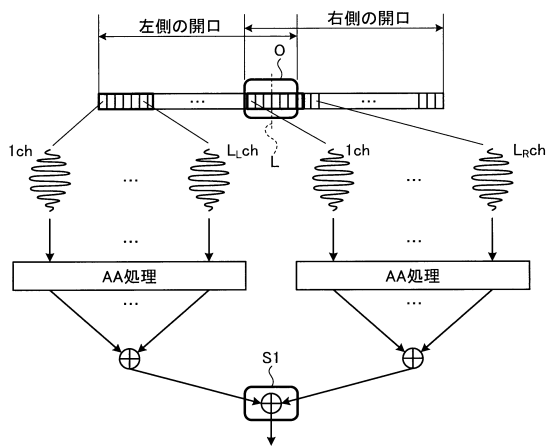
【図 2 2】



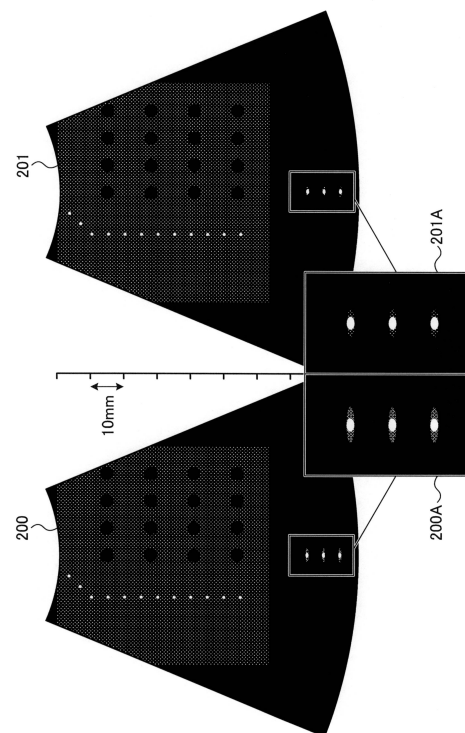
【図 2 3】



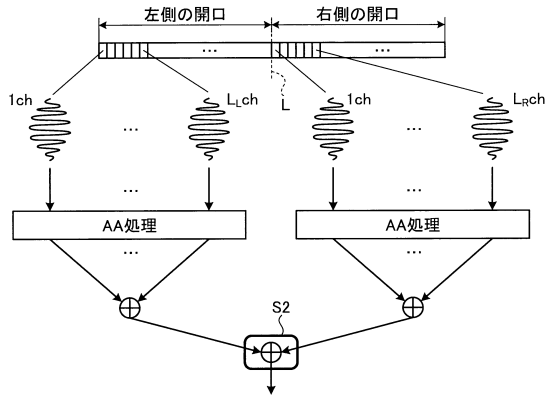
【図 2 4】



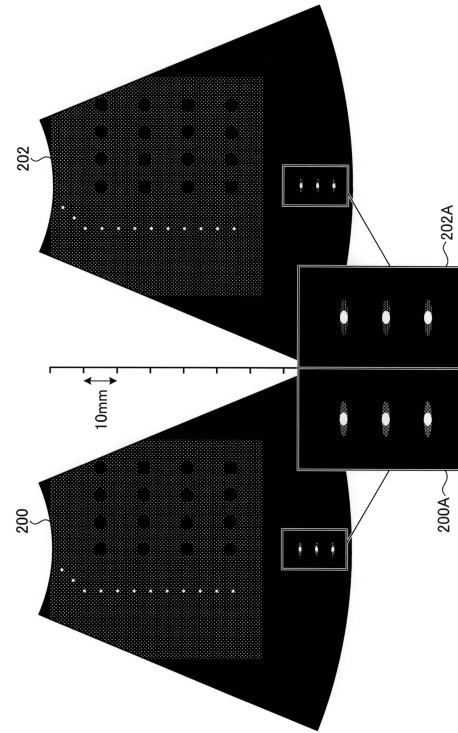
【図 2 5】



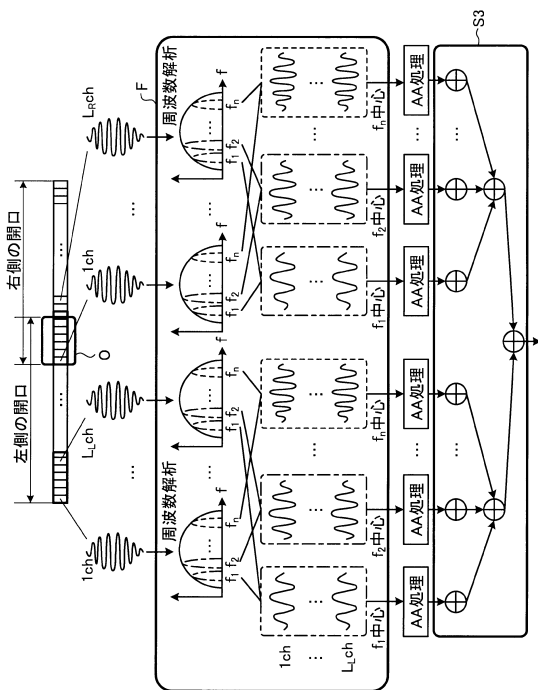
【図 26】



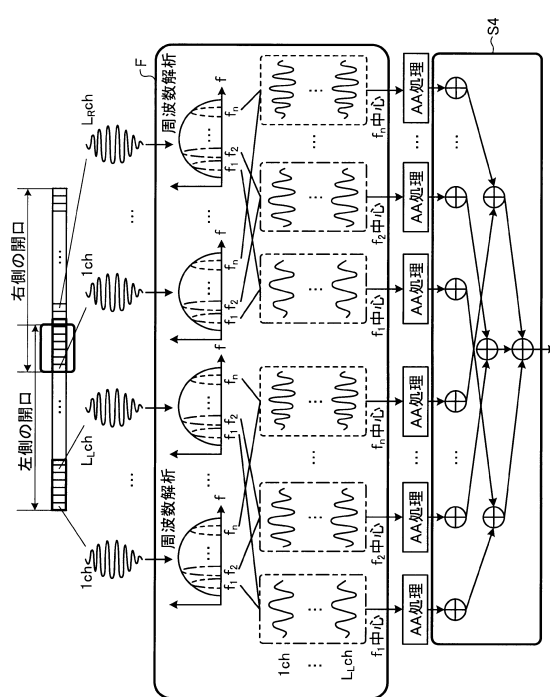
【図 27】



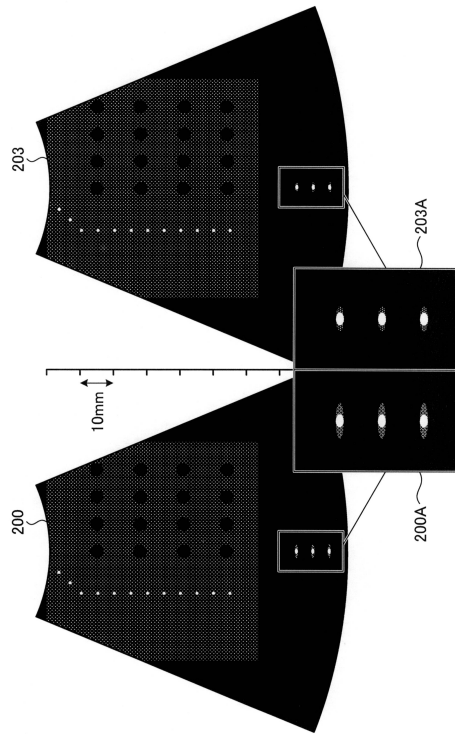
【図 28】



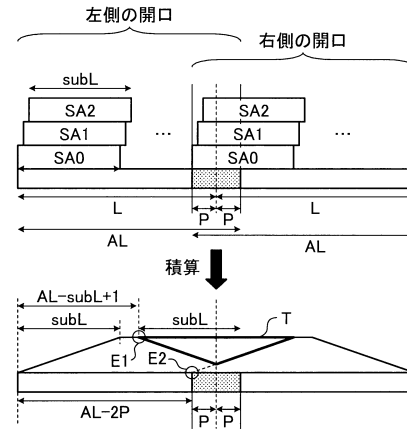
【図 29】



【図 30】



【図 31】



フロントページの続き

審査官 富永 昌彦

- (56)参考文献 特開昭62-034049 (JP, A)
国際公開第2013/038847 (WO, A1)
米国特許出願公開第2012/0296215 (US, A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
A61B 8/00 - 8/15