(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第6251015号
(P6251015)
(45)発行日　平成29年12月20日(2017.12.20)　(24)登録日　平成29年12月1日(2017.12.1)

(51)Int.Cl.　F I
A61B 8/14 (2006.01)　A61B 8/14

請求項の数 6　(全 34 頁)

(21)出願番号　特願2013-239077(P2013-239077)
(22)出願日　平成25年11月19日(2013.11.19)
(65)公開番号　特開2015-97655(P2015-97655A)
(43)公開日　平成27年5月28日(2015.5.28)
審査請求日　平成28年11月16日(2016.11.16)

(73)特許権者　594164542
東芝メディカルシステムズ株式会社
栃木県大田原市下石上１３８５番地
(74)代理人　110001771
特許業務法人虎ノ門知的財産事務所
(72)発明者　深澤　雄志
栃木県大田原市下石上１３８５番地　東芝メディカルシステムズ株式会社内
(72)発明者　川岸　哲也
栃木県大田原市下石上１３８５番地　東芝メディカルシステムズ株式会社内
(72)発明者　掛江　明弘
栃木県大田原市下石上１３８５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

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
各走査線において同一周波数の超音波パルスを４回以上送信する際に、第１の位相での第１送信と、前記第１の位相とは位相が１８０度異なる第２の位相での第２送信と、前記第１の位相とは位相が９０度異なる第３の位相での第３送信と、前記第１の位相とは位相が２７０度異なる第４の位相での第４送信との１セットの送信を、各走査線で所定の順番により、少なくとも１回実行させ、前記超音波パルス各々に対応する複数の受信信号を生成する送受信部と、
前記１セットの送信で得られた４つの受信信号の合成処理において、前記第１送信の受信信号と前記第２送信の受信信号とを加算した加算信号と、前記第３送信の受信信号と前記第４送信の受信信号とを加算した加算信号との差分信号を生成することにより、前記複数の受信信号を合成して合成信号を生成する信号処理部と、
前記合成信号に基づいて超音波画像データを生成する画像生成部と、
を備えたことを特徴とする超音波診断装置。
【請求項２】
各走査線において第１周波数成分と第２周波数成分との２周波を混合した合成パルスを４回以上送信する際に、前記第１周波数成分の位相を第１の位相とし、前記第２周波数成分の位相を第２の位相とした合成パルスによる第１送信と、前記第１周波数成分の位相を前記第１の位相と１８０度異なる位相とし、前記第２周波数成分の位相を前記第２の位相と１８０度異なる位相とした合成パルスによる第２送信と、前記第１周波数成分の位相を

前記第１の位相と９０度異なる位相とし、前記第２周波数成分の位相を前記第２の位相と２７０度異なる位相とした合成パルスによる第３送信と、前記第１周波数成分の位相を前記第１の位相と２７０度異なる位相とし、前記第２周波数成分の位相を前記第２の位相と９０度異なる位相とした合成パルスによる第４送信との１セットの送信を、各走査線で所定の順番により、少なくとも１回実行させ、前記合成パルス各々に対応する複数の受信信号を生成する送受信部と、

前記１セットの送信で得られた４つの受信信号の合成処理において、前記第１送信の受信信号と前記第２送信の受信信号とを加算した加算信号と、前記第３送信の受信信号と前記第４送信の受信信号とを加算した加算信号との差分信号を生成することにより、前記複数の受信信号を合成して合成信号を生成する信号処理部と、

前記合成信号に基づいて超音波画像データを生成する画像生成部と、

を備えたことを特徴とする超音波診断装置。

【請求項３】

各走査線において同一周波数の超音波パルスを３回以上送信する際に、第１の位相での第１送信と、前記第１の位相とは位相が１８０度異なる第２の位相での第２送信と、前記第１の位相とは位相が９０度異なる第３の位相での第３送信との１セットの送信を、各走査線で所定の順番により、少なくとも１回実行させ、前記超音波パルス各々に対応する複数の受信信号を生成する送受信部と、

前記１セットの送信で得られた３つの受信信号の合成処理において、前記第１送信の受信信号から前記第３送信の受信信号を減算し、該減算した信号に前記第３送信の受信信号を９０度位相回転させた信号を加算し、該加算した信号から前記第２送信の受信信号を９０度位相回転させた信号を減算した信号を生成することにより、前記複数の受信信号を合成して合成信号を生成する信号処理部と、

前記合成信号に基づいて超音波画像データを生成する画像生成部と、

を備えたことを特徴とする超音波診断装置。

【請求項４】

第１の位相で送信される少なくとも１つの周波数成分を含む第１の超音波パルスと、前記第１の位相と異なる第２の位相で送信される前記周波数成分を含む第２の超音波パルスと、前記第１の位相及び前記第２の位相と異なる第３の位相で送信される前記周波数成分を含む第３の超音波パルスと、前記第１の位相と９０度異なる第４の位相で送信される前記周波数成分を含む第４の超音波パルスと、前記第２の位相と９０度異なる第５の位相で送信される前記周波数成分を含む第５の超音波パルスと、前記第３の位相と９０度異なる第６の位相で送信される前記周波数成分を含む第６の超音波パルスと、を含む少なくとも６つの超音波パルスを各走査線で送信させ、前記超音波パルス各々に対応する複数の受信信号を生成する送受信部と、

前記複数の受信信号を合成して合成信号を生成する信号処理部と、

前記合成信号に基づいて超音波画像データを生成する画像生成部と、

を備えたことを特徴とする超音波診断装置。

【請求項５】

前記信号処理部は、前記複数の受信信号から基本波成分と二次の非線形伝搬で発生する低周波成分とを除去する合成処理を行なう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】

前記画像生成部は、前記合成信号に対してフィルタ処理が行なわれた信号を用いて、前記超音波画像データを生成することを特徴する請求項１～５のいずれか１つに記載の超音波診断装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明の実施形態は、超音波診断装置に関する。

【背景技術】
【０００２】
従来、組織ハーモニックイメージング（Tissue Harmonic Imaging：ＴＨＩ）法は、通常のＢモード撮影より空間分解能の高いＢモード画像を得る方法として、広く用いられている。ＴＨＩ法は、受信信号に含まれる非線形成分（例えば、２次高調波成分等の高調波成分）を用いて映像化を行なう方法である。
【０００３】
ＴＨＩ法では、例えば、位相変調（ＰＭ：Phase Modulation）法や、振幅変調（ＡＭ：Amplitude Modulation）法、ＡＭ法及びＰＭ法を組み合わせたＡＭＰＭ法等、様々な信号処理法が行なわれる。ＰＭ法では、位相を反転させた同一振幅の超音波が各走査線で２回送信され、これにより得られた２つの受信信号が加算される。この加算処理により、基本波成分が相殺され、且つ、２次の非線形伝播で発生する２次高調波成分が主に残存した信号が得られる。ＰＭ法では、この信号を用いて２次高調波成分を映像化した画像を得ている。
【０００４】
また、ＴＨＩ法では、受信信号に含まれる２次高調波成分と差音成分との広帯域なハーモニック成分を用いて、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、２周波を混合した超音波、すなわち、中心周波数の異なる２つの基本波を合成した波形の超音波を、各走査線で位相反転しながら２回送信し、これにより得られた２つの受信信号を合成する。この合成信号は、低い周波数側の２次高調波成分と、２次の非線形伝播で発生する差音成分とを含む合成ハーモニック信号となり、上記のＴＨＩ法で得られる信号より広帯域なハーモニックエコーとなる。
【０００５】
ところで、２次の非線形伝播で発生する高調波成分には、映像化対象となる高調波成分（例えば、２次高調波成分）の他に、０（ゼロ）次の高調波成分がある。０次高調波成分は、直流を中心とする低域のハーモニック成分であり、ＤＣハーモニック成分とも呼ばれる。ここで、例えば、送信超音波が広帯域であると、０次高調波成分は、２次高調波成分と重なり合う場合がある。また、例えば、送信超音波が広帯域であると、０次高調波成分は、差音成分と重なり合う場合がある。
【０００６】
かかる場合、送信位置から深くなるほど周波数依存性の減衰による影響で中心周波数が低くなるため、０次高調波成分は、深部において無視できないレベルとなる。その結果、画像の深部分解能は、劣化する。また、０次高調波成分をフィルタ処理等で低減させると、２次高調波成分の低域側、或いは、差音成分の低域側も併せて低減してしまうことになり、ペネトレーション不足により深さ方向に不均一な画像となってしまう。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００７】
【特許文献１】特開２００２－３０１０６８号公報
【特許文献２】特許第４５５７５７３号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００８】
本発明が解決しようとする課題は、深部分解能の劣化を回避することができる超音波診断装置、画像処理装置及び画像処理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】
【０００９】
実施形態の超音波診断装置は、送受信部と、信号処理部と、画像生成部とを備える。送受信部は、各走査線において同一周波数の超音波パルスを４回以上送信する際に、第１の位相での第１送信と、前記第１の位相とは位相が１８０度異なる第２の位相での第２送信

と、前記第１の位相とは位相が９０度異なる第３の位相での第３送信と、前記第１の位相とは位相が２７０度異なる第４の位相での第４送信との１セットの送信を、各走査線で所定の順番により、少なくとも１回実行させ、前記超音波パルス各々に対応する複数の受信信号を生成する。信号処理部は、前記１セットの送信で得られた４つの受信信号の合成処理において、前記第１送信の受信信号と前記第２送信の受信信号とを加算した加算信号と、前記第３送信の受信信号と前記第４送信の受信信号とを加算した加算信号との差分信号を生成することにより、前記複数の受信信号を合成して合成信号を生成する。画像生成部は、前記合成信号に基づいて超音波画像データを生成する。

【図面の簡単な説明】

【００１０】

【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示すブロック図である。

【図２】図２は、図１に示すＢモード処理部の構成例を示すブロック図である。

【図３】図３は、ＴＨＩ法を説明するための図である。

【図４】図４は、第１の実施形態において第１送信で得られた受信信号のスペクトラムを示す図である。

【図５】図５は、第１の実施形態において第１送信で得られた受信信号と第２送信で得られた受信信号との加算信号のスペクトラムを示す図である。

【図６】図６は、第１の実施形態において得られる合成信号のスペクトラムを示す図である。

【図７】図７は、第１の実施形態の効果を説明するための図である。

【図８】図８は、第４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】

【００１１】

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。

【００１２】

（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示すブロック図である。図１に例示するように、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。

【００１３】

超音波プローブ１は、複数の圧電振動子を有し、これら複数の圧電振動子は、後述する装置本体１０が有する送受信部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が有する複数の圧電振動子は、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、圧電振動子に設けられる整合層と、圧電振動子から後方への超音波の伝播を防止するバッキング材等を有する。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。

【００１４】

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が有する複数の圧電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、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。

【００１５】

なお、第１の実施形態は、超音波プローブ１が、被検体Ｐを２次元で走査する１Ｄアレイプローブであっても、被検体Ｐを３次元で走査するメカニカル４Ｄプローブや２Ｄアレイプローブであっても適用可能である。

【００１６】
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する。入力装置３は、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、受け付けた各種設定要求を装置本体１０へ転送する。
【００１７】
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。
【００１８】
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る。図１に示す装置本体１０は、２次元の反射波信号に基づいて２次元の超音波画像データを生成可能であり、３次元の反射波信号に基づいて３次元の超音波画像データを生成可能な装置である。ただし、第１の実施形態は、装置本体１０が、２次元データ専用の装置である場合であっても適用可能である。
【００１９】
装置本体１０は、図１に例示するように、送受信部１１と、信号処理部１２と、画像生成部１３と、画像メモリ１４と、内部記憶部１５と、制御部１６とを有する。
【００２０】
送受信部１１は、後述する制御部１６の指示に基づいて、超音波プローブ１が行なう超音波送受信を制御する。送受信部１１は、パルス発生器、送信遅延部、パルサ等を有し、超音波プローブ１に駆動信号を供給する。パルス発生器は、所定のパルス繰り返し周波数（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。また、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、かつ送信指向性を決定するために必要な圧電振動子ごとの遅延時間を、パルス発生器が発生する各レートパルスに対し与える。また、パルサは、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。
【００２１】
すなわち、送信遅延部は、各レートパルスに対し与える遅延時間を変化させることで、圧電振動子面から送信される超音波の送信方向を任意に調整する。また、送信遅延部は、各レートパルスに対し与える遅延時間を変化させることで、超音波送信の深さ方向における集束点（送信フォーカス）の位置を制御する。
【００２２】
なお、送受信部１１は、後述する制御部１６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。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、又は、複数の電源ユニットを電気的に切り替える機構によって実現される。
【００２３】
また、送受信部１１は、アンプ回路、Ａ／Ｄ（Analog／Digital）変換器、受信遅延回路、加算器、直交検波回路等を有し、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って受信信号（反射波データ）を生成する。アンプ回路は、反射波信号をチャンネル毎に増幅してゲイン補正処理を行う。Ａ／Ｄ変換器は、ゲイン補正された反射波信号をＡ／Ｄ変換する。受信遅延回路は、デジタルデータに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。加算器は、受信遅延回路により受信遅延時間が与えられた反射波信号の加算処理を行う。加算器の加算処理により、反射波信号の受信指向性に応じた方向からの反射成分が強調される。そして、直交検波回路は、加算器の出力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）とに変換する。そして、直交検波回路は、Ｉ信号及びＱ信号（以下、ＩＱ信号と記載する）を受信信号（反射波データ）として図示しないフレームバッファに格納する。なお、直交検波回路は、加算器の出力信号を、ＲＦ（Radio Frequency）信号に変換した上で

、図示しないフレームバッファに格納してもよい。ＩＱ信号及びＲＦ信号は、位相情報を有する受信信号となる。

【００２４】

送受信部１１は、被検体Ｐを２次元走査する場合、超音波プローブ１から２次元の超音波ビームを送信させる。そして、送受信部１１は、超音波プローブ１が受信した２次元の反射波信号から２次元の反射波データを生成する。また、送受信部１１は、被検体Ｐを３次元走査する場合、超音波プローブ１から３次元の超音波ビームを送信させる。そして、送受信部１１は、超音波プローブ１が受信した３次元の反射波信号から３次元の反射波データを生成する。

【００２５】

信号処理部１２は、送受信部１１が反射波信号から生成した受信信号（反射波データ）に対して、各種の信号処理を行なう処理部である。信号処理部１２は、図１に示すように、Ｂモード処理部１２１及びドプラ処理部１２２を有する。Ｂモード処理部１２１は、送受信部１１から受信信号（反射波データ）を受信し、対数増幅処理、包絡線検波処理、対数圧縮処理等を行なって、信号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。また、ドプラ処理部１２２は、送受信部１１から受信した受信信号（反射波データ）から速度情報を周波数解析し、ドプラ効果による速度、分散、パワー等の移動体情報を多点について抽出したデータ（ドプラデータ）を生成する。ここで、移動体とは、例えば、血流や心壁等の組織、造影剤である。Ｂモード処理部１２１やドプラ処理部１２２は、上述したフレームバッファを介して受信信号（反射波データ）を取得する。

【００２６】

なお、図１に例示するＢモード処理部１２１及びドプラ処理部１２２は、２次元の反射波データ及び３次元の反射波データの両方について処理可能である。すなわち、Ｂモード処理部１２１は、２次元の反射波データから２次元のＢモードデータを生成し、３次元の反射波データから３次元のＢモードデータを生成する。また、ドプラ処理部１２２は、２次元の反射波データから２次元のドプラデータを生成し、３次元の反射波データから３次元のドプラデータを生成する。図２は、図１に示すＢモード処理部の構成例を示すブロック図である。

【００２７】

ここで、図２に例示するように、Ｂモード処理部１２１は、合成部１２１ａとＢモードデータ生成部１２１ｂとを有する。Ｂモードデータ生成部１２１ｂは、受信信号（反射波データ）に対して、対数増幅処理、包絡線検波処理、対数圧縮処理等を行なって、Ｂモードデータを生成する。通常のＢモード撮影が行なわれている場合、合成部１２１ａによる処理は実行されず、Ｂモードデータ生成部１２１ｂは、送受信部１１から受信した受信信号（反射波データ）からＢモードデータを生成する。

【００２８】

一方、位相変調法(ＰＭ：Phase Modulation)や、振幅変調法(ＡＭ：Amplitude Modulation)、位相振幅変調法(ＡＭＰＭ)によるハーモニックイメージング、或いは、差音成分を用いた映像化法によるハーモニックイメージングが行なわれている場合、Ｂモードデータ生成部１２１ｂは、合成部１２１ａが出力したデータ（合成信号）からＢモードデータを生成する。なお、合成部１２１ａの処理については、後に詳述する。

【００２９】

画像生成部１３は、信号処理部１２（Ｂモード処理部１２１及びドプラ処理部１２２）が生成したデータから超音波画像データを生成する。画像生成部１３は、Ｂモード処理部１２１が生成した２次元のＢモードデータから反射波の強度を輝度で表した２次元Ｂモード画像データを生成する。また、画像生成部１３は、ドプラ処理部１２２が生成した２次元のドプラデータから移動体情報を表す２次元ドプラ画像データを生成する。２次元ドプラ画像データは、速度画像データ、分散画像データ、パワー画像データ、又は、これらを組み合わせた画像データである。

【００３０】

ここで、画像生成部１３は、一般的には、超音波走査の走査線信号列を、テレビ等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１３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１３は、スキャンコンバート以外に、種々の画像処理として、例えば、スキャンコンバート後の複数の画像フレームを用いて、輝度の平均値画像を再生成する画像処理（平滑化処理）や、画像内で微分フィルタを用いる画像処理（エッジ強調処理）等を行なう。また、画像生成部１３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。

【００３１】

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１３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。画像生成部１３は、スキャンコンバート処理前の２次元超音波画像データから、表示用の２次元超音波画像データを生成する。

【００３２】

更に、画像生成部１３は、Ｂモード処理部１２１が生成した３次元のＢモードデータに対して座標変換を行なうことで、３次元Ｂモード画像データを生成する。また、画像生成部１３は、ドプラ処理部１２２が生成した３次元のドプラデータに対して座標変換を行なうことで、３次元ドプラ画像データを生成する。画像生成部１３は、「３次元のＢモード画像データや３次元ドプラ画像データ」を「３次元超音波画像データ（ボリュームデータ）」として生成する。

【００３３】

更に、画像生成部１３は、ボリュームデータをモニタ２にて表示するための２次元画像データを生成するために、ボリュームデータに対して各種レンダリング処理を行なう。画像生成部１３が行なうレンダリング処理としては、例えば、断面再構成法（ＭＰＲ：Multi Planer Reconstruction）を行なってボリュームデータからＭＰＲ画像データを生成する処理がある。また、画像生成部１３が行なうレンダリング処理としては、例えば、３次元の情報を反映した２次元画像データを生成するボリュームレンダリング（ＶＲ：Volume Rendering）処理がある。

【００３４】

画像メモリ１４は、画像生成部１３が生成した表示用の画像データを記憶するメモリである。また、画像メモリ１４は、Ｂモード処理部１２１やドプラ処理部１２２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１４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１３を経由して表示用の超音波画像データとなる。また、画像メモリ１４は、送受信部１１が出力した受信信号（反射波データ）を記憶することも可能である。

【００３５】

内部記憶部１５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。また、内部記憶部１５は、必要に応じて、画像メモリ１４が記憶する画像データの保管等にも使用される。また、内部記憶部１５が記憶するデータは、図示しないインターフェースを経由して、外部装置へ転送することができる。また、内部記憶部１５は、外部装置から図示しないインターフェースを経由して転送されたデータを記憶することも可能である。

【００３６】

制御部１６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１６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１５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、送受信部１１、信号処理部１２（Ｂモード処理部１２１及びドプラ処理部１２２）及び画像生成部１３の処理を制御する。また、制御

部１６は、画像メモリ１４や内部記憶部１５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。

【００３７】

なお、装置本体１０に内蔵される送受信部１１等は、集積回路等のハードウェアで構成されることもあるが、ソフトウェア的にモジュール化されたプログラムである場合もある。

【００３８】

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、例えば、組織ハーモニックイメージング（Tissue Harmonic Imaging：ＴＨＩ）法を、パルスインバージョン（Pulse Inversion）法とも呼ばれるＰＭ法により行なう。或いは、第１の実施形態に係る超音波診断装置は、例えば、ＴＨＩ法を、差音成分を用いた映像化法により行なう。図３は、ＴＨＩ法を説明するための図である。図３の（Ａ）及び図３の（Ｂ）において、横軸は、周波数（単位：ＭＨｚ）を示し、縦軸は、受信信号の強度（単位：ｄＢ）を示す。

【００３９】

例えば、送受信部１１は、制御部１６が設定したスキャンシーケンスにより、中心周波数が「ｆ１」である基本波の超音波パルスを、位相を反転させながら各走査線で２回送信させる。すなわち、送受信部１１は、１本の走査線において中心周波数が「ｆ１」の超音波を２回送信させる際に、１回目の送信超音波の位相極性と２回目の送信超音波の位相極性とを反転させる。これにより、送受信部１１は、１本の走査線にて、２つの受信信号を生成する。ここで、１回目の送信「＋１」により得られる受信信号を「ｒ（＋１）」とし、２回目の送信「－１」により得られる受信信号を「ｒ（－１）」とする。

【００４０】

かかる場合、基本波に由来する基本波成分の極性は、「ｒ（＋１）」と「ｒ（－１）」とで反転している。一方、中心周波数が「２ｆ」である２次高調波に由来する２次高調波成分の極性は、「ｒ（＋１）」と「ｒ（－１）」と同じである。そこで、合成部１２１ａは、「ｒ（＋１）」と「ｒ（－１）」とを加算して、合成信号を生成する。ここで、「ｒ（＋１）」と「ｒ（－１）」とは、位相情報を有するＩＱ信号やＲＦ信号であることから、合成部１２１ａが行なう加算処理は、コヒーレント加算処理となる。

【００４１】

かかる加算処理により、中心周波数が「ｆ１」の基本波に由来する基本波成分（図３の（Ａ）に示す「ｆ１」を参照）は、相殺され、中心周波数が「２ｆ１」の２次高調波に由来する２次高調波成分（図３の（Ａ）に示す「２ｆ１」を参照）は、倍化される。すなわち、合成信号は、基本波成分が除去され、２次高調波成分が主に残存したハーモニック信号となる。Ｂモードデータ生成部１２１ｂは、合成部１２１ａが生成した合成信号からＢモードデータを生成し、画像生成部１３は、この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。高調波成分を用いた映像化は、超音波ビームの中心部分を用いた映像化となる。また、メーンビームに対してサイドローブは、音圧が低いため、高調波の発生が少ない。このようなことから、上記の方法で得られるＢモード画像データの方位分解能は、通常のＢモード画像データより高くなる。

【００４２】

しかし、高調波成分の帯域幅が狭いため、或いは、高調波受信により深部領域における「penetration」が不足するため、上記の方法では、距離分解能は、改善されない場合がある。そこで、近年、方位分解能及び距離分解能の高いＢモード画像データを得るＴＨＩ法として、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、中心周波数の異なる２つの基本波を混合して合成した波形の超音波パルスを、各走査線で位相反転しながら複数回送信し、これらの受信信号を合成する。

【００４３】

例えば、差音成分を用いた映像化法で用いられる２つの基本波を、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基本波とする。送受信部１１は、第１基本波の波形と第２基本波の波形とを合成した合成波形の超音波パルスを、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。この位相条件は、制御部１６により調整される。以下、２次高調波成分と同一の極性を持つ差音成分を発生させるための位相条件を、同一極性位相条件と記載する。

【００４４】

第１基本波と第２基本波との合成波形の送信超音波による受信信号には、図３の（Ｂ）に示すように、中心周波数が「ｆ１」である第１基本波に由来する第１基本波成分と、中心周波数が「ｆ２」である第２基本波に由来する第２基本波成分とが含まれる。また、受信信号には、図３の（Ｂ）に示すように、中心周波数が「２ｆ１」である２次高調波に由来する２次高調波成分と、中心周波数が「２ｆ２」である２次高調波に由来する２次高調波成分とが含まれる。そして、中心周波数の異なる２つの基本波を用いた場合、受信信号には、図３の（Ｂ）に示すように、第２基本波と第１基本波との差音「ｆ２－ｆ１」に由来する差音成分とが含まれる。なお、図３の（Ｂ）には示していないが、受信信号には、第２基本波と第１基本波との和音「ｆ１＋ｆ２」に由来する和音成分も含まれる。

【００４５】

ここで、送受信部１１は、合成波形の送信超音波を、位相を反転させながら複数回（例えば、２回）送信させる。例えば、送受信部１１は、１本の走査線で、合成波形の送信超音波を２回送信させる際に、１回目の送信超音波の極性と２回目の送信超音波の極性とを反転させる。これにより、送受信部１１は、１本の走査線にて、２つの反射波データを生成する。ここで、１回目の送信「＋１」により得られる反射波データを「Ｒ（＋１）」とし、２回目の送信「－１」により得られる反射波データを「Ｒ（－１）」とする。

【００４６】

かかる場合、第１基本波成分の極性と、第２基本波成分の極性とは、「Ｒ（＋１）」と「Ｒ（－１）」とで反転している。一方、２次高調波「２ｆ１」に由来する２次高調波成分の極性と、２次高調波「２ｆ２」に由来する２次高調波成分の極性と、差音「ｆ２－ｆ１」に由来する差音成分の極性とは、「Ｒ（＋１）」と「Ｒ（－１）」とで同じである。そこで、合成部１２１ａは、「Ｒ（＋１）」と「Ｒ（－１）」とを加算（コヒーレント加算）して、合成信号を生成する。この合成信号は、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ハーモニック信号となる。

【００４７】

また、合成部１２１ａは、２次高調波「２ｆ２」に由来する２次高調波成分を、フィルタ処理により合成信号（合成データ）から除去する。或いは、例えば、制御部１６は、２次高調波「２ｆ２」に由来する２次高調波成分の周波数帯域を、超音波プローブ１が受信可能な周波数帯域外となるように設定する。これにより、合成部１２１ａは、「ｆ２－ｆ１」の差音成分と、「２ｆ１」の２次高調波成分とが抽出された合成信号（合成ハーモニック信号）を生成する。

【００４８】

そして、合成部１２１ａが出力した合成データからＢモードデータを生成し、画像生成部１３は、この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。合成部１２１ａが出力した合成データは、低い周波数側の２次高調波成分と差音成分とを含む合成ハーモニック信号となり、従来のＴＨＩ法で得られる信号より広帯域なハーモニックエコーとなる。差音成分を用いた映像化法では、この合成ハーモニック信号を用いて映像化を行なうことで、空間分解能（方位分解能及び距離分解能）が高いＢモード画像データを得ることができる。

【００４９】

なお、差音成分を用いた映像化法では、「ｆ１」及び「ｆ２」の値は、映像化される周波数帯域に応じて、制御部１６により調整される。例えば、「ｆ１＝ｆ」として、「２ｆ

」を中心とする広帯域な周波数帯域での映像化を行なう場合、「ｆ２」の値は、「ｆ２＝３×ｆ」に調整される。また、例えば、「ｆ１＝ｆ」として、「２ｆ」より高周波側の周波数を中心とする広帯域な周波数帯域での映像化を行なう場合、「ｆ２」の値は、「３×ｆ」より大きい値、例えば、「ｆ２＝３．５×ｆ」に調整される。また、例えば、「ｆ１＝ｆ」として、「２ｆ」より低周波側の周波数を中心とする広帯域な周波数帯域での映像化を行なう場合、「ｆ２」の値は、「３×ｆ」より小さい値、例えば、「ｆ２＝２．５×ｆ」に調整される。

【００５０】

ところで、２次の非線形伝播で発生する高調波成分には、映像化対象となる高調波成分（例えば、２次高調波成分）の他に、０（ゼロ）次の高調波成分がある。０次の高調波成分は、直流を中心とする低域のハーモニック成分であり、ＤＣハーモニック成分とも呼ばれる。図３の（Ａ）及び図３の（Ｂ）では、０次高調波成分を「ＤＣ」として模式的に示している。図３の（Ａ）及び図３の（Ｂ）に示す「ＤＣ」は、受信信号の非線形成分（高調波成分）の中で、「０次」の項に対応する成分である。

【００５１】

ここで、例えば、送信超音波が広帯域であると、０次高調波成分は、２次高調波成分と重なり合う場合がある。或いは、例えば、送信超音波が広帯域であると、０次高調波成分は、差音成分と重なり合う場合がある。

【００５２】

かかる場合、送信位置から深くなるほど周波数依存性の減衰による影響で中心周波数が低くなるため、０次高調波成分は、深部において無視できないレベルとなる。その結果、画像の深部分解能は、劣化する。ここで、合成部１２１ａは、フィルタ処理により、０次高調波成分を除去することができる。しかし、０次高調波成分をフィルタ処理等で低減させると，２次高調波成分の低域側、或いは、差音成分の低域側も併せて低減してしまうことになり、ペネトレーション不足により深さ方向に不均一な画像となってしまう。

【００５３】

そこで、第１の実施形態に係る超音波診断装置は、深部分解能の劣化を回避するために、制御部１６の制御のもと、送受信部１１及び信号処理部１２（合成部１２１ａ）が以下に説明する処理を行なう。

【００５４】

すなわち、送受信部１１は、少なくとも１つの周波数成分の位相が、レート間、又は、セット間において９０度単位で異なる超音波パルスを各走査線で少なくとも３回送信させ、各超音波パルスの受信信号を生成する。第１の実施形態では、送受信部１１は、レート間において、９０度単位で位相が異なる超音波パルスを各走査線で少なくとも３回送信させ、各超音波パルスの受信信号を生成する。そして、信号処理部１２の合成部１２１ａは、各走査線で得られた少なくとも３つの受信信号を合成した合成信号を生成する。具体的には、合成部１２１ａは、上記の少なくとも３つの受信信号から基本波成分とゼロ次高調波成分とを除去する合成処理を行なう。そして、画像生成部１３は、各走査線で得られた合成信号を用いて超音波画像データを生成する。具体的には、画像生成部１３は、各走査線で得られた合成信号を用いてＢモードデータ生成部１２１ｂが生成したＢモードデータから、Ｂモード画像データを生成する。

【００５５】

第１の実施形態では、図３の（Ａ）等を用いて説明したＰＭ法で生成されるＢモード画像データにおける深部分解能の劣化を回避するための処理方法について説明する。

【００５６】

第１の実施形態に係る送受信部１１は、各走査線において同一周波数の超音波パルスを４回以上送信する。この際、送受信部１１は、第１位相での第１送信と、第１位相とは位相が１８０度異なる第２位相での第２送信と、第１位相とは位相が９０度異なる第３位相での第３送信と、第１位相とは位相が２７０度異なる第４位相での第４送信との１セットの送信を、各走査線で任意の順番により、少なくとも１回実行させる。

【００５７】
そして、第１の実施形態に係る合成部１２１ａは、１セットの送信で得られた４つの受信信号の合成処理において、第１送信の受信信号と第２送信の受信信号とを加算した加算信号と、第３送信の受信信号と第４送信の受信信号とを加算した加算信号との差分信号を合成信号として生成する。
【００５８】
以下、上記の処理の一例について、数式等を用いて説明する。以下の一例では、超音波送信が、第１送信、第２送信、第３送信、第４送信の順で、同一走査線上で１セット行なわれ、この１セットの送信により得られた４つの受信信号の加減算処理により、１本の受信ビーム（合成信号）が形成される場合について説明する。以下、第１送信の初期位相を「φ（ファイ）」で表わす。かかる場合、第２送信の初期位相は、「φ＋π」となり、第３送信の初期位相は、「φ＋π／２」となり、第４送信の初期位相は、「φ－π／２」となる。
【００５９】
すなわち、第１送信で送信される超音波パルスと第２送信で送信される超音波パルスとは、位相極性が反転している。また、第３送信で送信される超音波パルスと第４送信で送信される超音波パルスとは、位相極性が反転している。また、第３送信で送信される超音波パルスの位相は、第１送信で送信される超音波パルスの位相より９０度進んでいる。また、第４送信で送信される超音波パルスの位相は、第２送信で送信される超音波パルスの位相より９０度進んでいる。
【００６０】
仮に、第１送信の超音波パルスを「ｓｉｎθ」で示すと、第２送信の超音波パルスは、「－ｓｉｎθ」となり、第３送信の超音波パルスは「ｃｏｓθ」となり、第４送信の超音波パルスは「－ｃｏｓθ」となる。
【００６１】
ここで、時間を「ｔ」とし、振幅を示す包絡線信号を「ｐ（ｔ）」とし、中心周波数である角周波数を「ω」とすると、送信信号（超音波パルス）である「S_{TX}（ｔ）＝ｐ（ｔ）ｃｏｓ（ωｔ＋φ）」は、オイラーの公式により、以下の式（１）で表わすことができる。なお、式（１）に示す「ｊ」は、虚数を示す。
【００６２】
【数１】

$$S_{TX}(t)=p(t)\cos(\omega t+\varphi)$$
$$=\frac{1}{2}p(t)\{\exp(j\omega t+j\varphi)+\exp(-j\omega t-j\varphi)\} \quad \cdots(1)$$

【００６３】
そして、式（１）に示す「S_{TX}（ｔ）」が組織内を伝播中に発生する２次の非線形成分である２次高調波成分「S_H（ｔ）＝S_{TX}^2（ｔ）＝p^2（ｔ）ｃｏｓ^2（ωｔ＋φ）」は、オイラーの公式により、以下の式（２）で表わすことができる。
【００６４】
【数２】

$$S_H(t)=S_{TX}^2(t)=p^2(t)\cos^2(\omega t+\varphi)$$
$$=\frac{1}{4}p^2(t)\{2+\exp(j2\omega t+j2\varphi)+\exp(-j2\omega t-j2\varphi)\}$$
$$=\frac{1}{2}p^2(t)+\frac{1}{4}p^2(t)\{\exp(j2\omega t+j2\varphi)+\exp(-j2\omega t-j2\varphi)\} \quad \cdots(2)$$

【００６５】
式（１）に示す基本波と、式（２）に示す２次の非線形成分とが加算された信号は、被

検体Ｐのターゲットに到達して反射される。ここで、「基本波」対「２次非線形項」の比を「α」とすると、基本波と、２次の非線形成分とが加算された信号は、以下の式（３）で表わされる。

【００６６】

【数３】

$$S(t)=\frac{1}{2}p(t)\{\exp(j\omega t+j\varphi)+\exp(-j\omega t-j\varphi)\}+\frac{\alpha}{2}p^2(t)+\frac{\alpha}{4}p^2(t)\{\exp(j2\omega t+j2\varphi)+\exp(-j2\omega t-j2\varphi)\} \quad \cdots(3)$$

【００６７】

制御部１６の指示により、送受信部１１は、第１回目の送信を、第１初期位相「φ」により行なう。そして、送受信部１１は、第１送信の反射波信号に対して増幅処理や受信遅延加算処理等を行なって、受信信号「Ｓ１」を生成出力する。深さ方向を示す時間「ｔ」をパラメータとする受信信号「Ｓ１（ｔ）」は、以下の式（４）で表わすことができる。なお、式（４）は、送信経路の伝播で発生した高調波が受信経路中に略減衰しないとして示したものであり、式（３）と等価である。

【００６８】

【数４】

$$S1(t)=\frac{1}{2}p(t)\{\exp(j\omega t+j\varphi)+\exp(-j\omega t-j\varphi)\}+\frac{\alpha}{2}p^2(t)+\frac{\alpha}{4}p^2(t)\{\exp(j2\omega t+j2\varphi)+\exp(-j2\omega t-j2\varphi)\} \quad \cdots(4)$$

【００６９】

信号処理部１２（合成部１２１ａ）は、受信遅延加算により得られた受信信号「Ｓ１」を、自装置内のメモリに格納する。図４は、第１の実施形態において第１送信で得られた受信信号のスペクトラムを示す図である。図４において、横軸は、周波数（単位：ＭＨｚ）を示し、縦軸は、受信信号の強度（単位：ｄＢ）を示す。図４に示すように、受信信号「Ｓ１」の周波数特性は、基本波成分が支配的なスペクトラムとなる。

【００７０】

次に、制御部１６の指示により、送受信部１１は、第２回目の送信を、第２初期位相「φ＋π」により行なう。そして、送受信部１１は、第２送信の反射波信号に対して増幅処理や受信遅延加算処理等を行なって、受信信号「Ｓ２」を生成出力する。受信信号「Ｓ２（ｔ）」は、以下の式（５）で表わすことができる。

【００７１】

【数５】

$$S2(t)=-\frac{1}{2}p(t)\{\exp(j\omega t+j\varphi)+\exp(-j\omega t-j\varphi)\}+\frac{\alpha}{2}p^2(t)+\frac{\alpha}{4}p^2(t)\{\exp(j2\omega t+j2\varphi)+\exp(-j2\omega t-j2\varphi)\} \quad \cdots(5)$$

【００７２】

信号処理部１２（合成部１２１ａ）は、受信信号「Ｓ１」をメモリから読み出し、受信信号「Ｓ２」と加算する。そして、合成部１２１ａは、加算信号「Ｓ１＋Ｓ２」をメモリに格納する。加算信号「Ｓ１（ｔ）＋Ｓ２（ｔ）」は、以下の式（６）で表わすことができる。

【００７３】

【数６】

$$S1(t)+S2(t)=\alpha\cdot p^2(t)+\frac{\alpha}{2}p^2(t)\{\exp(j2\omega t+j2\varphi)+\exp(-j2\omega t-j2\varphi)\} \quad \cdots(6)$$

【００７４】

ここで、式（４）の右辺及び式（５）の右辺それぞれにおいて、第１項は、基本波成分であり、第２項は、０次高調波成分であり、第３項は、２次高調波成分である。０次高調波成分は、式（４）及び式（５）に示すように、「α」と「ｐ（ｔ）」とのみで表わすことができる。

【００７５】

また、式（４）の右辺の第１項と式（５）の右辺の第１項とは、符号が反対であり、式（４）の右辺の第２項と式（５）の右辺の第２項とは、符号が同一であり、式（４）の右

辺の第３項と式（５）の右辺の第３項とは、符号が同一である。従って、加算信号「Ｓ１（ｔ）＋Ｓ２（ｔ）」は、式（６）に示すように、基本波成分が相殺され、０次高調波成分及び２次高調波成分が２倍になった信号となる。

【００７６】

図５は、第１の実施形態において第１送信で得られた受信信号と第２送信で得られた受信信号との加算信号のスペクトラムを示す図である。図５において、横軸は、周波数（単位：ＭＨｚ）を示し、縦軸は、受信信号の強度（単位：ｄＢ）を示す。図５に示すように、加算信号「Ｓ１＋Ｓ２」の周波数特性は、基本波成分が除去され、０次高調波成分及び２次高調波成分が出現したスペクトラムとなる。

【００７７】

次に、制御部１６の指示により、送受信部１１は、第３回目の送信を、第３初期位相「φ＋π／２」により行なう。そして、送受信部１１は、第３送信の反射波信号に対して増幅処理や受信遅延加算処理等を行なって、受信信号「Ｓ３」を生成出力する。受信信号「Ｓ３（ｔ）」は、以下の式（７）で表わすことができる。

【００７８】

【数７】

$$S3(t)=\frac{j}{2}p(t)\{\exp(j\omega t+j\varphi)-\exp(-j\omega t-j\varphi)\}+\frac{\alpha}{2}p^2(t)-\frac{\alpha}{4}p^2(t)\{\exp(j2\omega t+j2\varphi)+\exp(-j2\omega t-j2\varphi)\} \quad \cdots(7)$$

【００７９】

信号処理部１２（合成部１２１ａ）は、加算信号「Ｓ１＋Ｓ２」をメモリから読み出し、受信信号「Ｓ３」にマイナスを乗算した信号と「Ｓ１＋Ｓ２」とを加算する。換言すると、合成部１２１ａは、「Ｓ１＋Ｓ２」から「Ｓ３」を減算する。そして、合成部１２１ａは、信号「Ｓ１＋Ｓ２－Ｓ３」をメモリに格納する。

【００８０】

最後に、制御部１６の指示により、送受信部１１は、第４回目の送信を、第４初期位相「φ－π／２」により行なう。そして、送受信部１１は、第４送信の反射波信号に対して増幅処理や受信遅延加算処理等を行なって、受信信号「Ｓ４」を生成出力する。受信信号「Ｓ４（ｔ）」は、以下の式（８）で表わすことができる。

【００８１】

【数８】

$$S4(t)=-\frac{j}{2}p(t)\{\exp(j\omega t+j\varphi)-\exp(-j\omega t-j\varphi)\}+\frac{\alpha}{2}p^2(t)-\frac{\alpha}{4}p^2(t)\{\exp(j2\omega t+j2\varphi)+\exp(-j2\omega t-j2\varphi)\} \quad \cdots(8)$$

【００８２】

信号処理部１２（合成部１２１ａ）は、信号「Ｓ１＋Ｓ２－Ｓ３」をメモリから読み出し、受信信号「Ｓ４」にマイナスを乗算した信号と「Ｓ１＋Ｓ２－Ｓ３」とを加算する。換言すると、合成部１２１ａは、「Ｓ１＋Ｓ２－Ｓ３」から「Ｓ４」を減算する。そして、合成部１２１ａは、信号「Ｓ１＋Ｓ２－Ｓ３－Ｓ４」、すなわち、信号「Ｓ１＋Ｓ２－（Ｓ３＋Ｓ４）」を、合成信号とする。深さ方向を示す時間「ｔ」を用いて、信号「Ｓ１（ｔ）＋Ｓ２（ｔ）－Ｓ３（ｔ）－Ｓ４（ｔ）」は、以下の式（９）で表わすことができる。

【００８３】

【数９】

$$\begin{aligned}S1(t)+S2(t)-S3(t)-S4(t)&=\alpha\cdot p^2(t)\{\exp(j2\omega t+j2\varphi)+\exp(-j2\omega t-j2\varphi)\}\\&=2\alpha\cdot p^2(t)\cos(2\omega t+2\varphi)\end{aligned} \quad \cdots(9)$$

【００８４】

ここで、式（７）の右辺及び式（８）の右辺それぞれにおいて、第１項は、基本波成分であり、第２項は、０次高調波成分であり、第３項は、２次高調波成分である。また、式（７）の右辺の第１項と式（８）の右辺の第１項とは、符号が反対であり、式（７）の右辺の第２項と式（８）の右辺の第２項とは、符号が同一であり、式（７）の右辺の第３項

と式（８）の右辺の第３項とは、符号が同一である。従って、信号「Ｓ３（ｔ）＋Ｓ４（ｔ）」は、基本波成分が相殺され、０次高調波成分及び２次高調波成分が２倍になった信号となる。

【００８５】

また、「Ｓ１＋Ｓ２」の０次高調波成分の符号と、「Ｓ３＋Ｓ４」の０次高調波成分の符号とは、同一となる。一方、「Ｓ１＋Ｓ２」の２次高調波成分の符号と、「Ｓ３＋Ｓ４」の２次高調波成分の符号とは、反対となる。従って、「Ｓ１＋Ｓ２－（Ｓ３＋Ｓ４）」の合成処理を行なうと、式（９）に示すように、基本波成分に加えて０次高調波成分が相殺され、２次高調波成分のみを抽出することができる。換言すると、「Ｓ１＋Ｓ２－（Ｓ３＋Ｓ４）」は、４つの受信信号に含まれる２次高調波成分が加算された信号となる。例えば、「Ｓ１＋Ｓ２－（Ｓ３＋Ｓ４）」は、「Ｓ１」に含まれる２次高調波成分が４倍の強度に増幅された信号となる。

【００８６】

図６は、第１の実施形態において得られる合成信号のスペクトラムを示す図である。図６において、横軸は、周波数（単位：ＭＨｚ）を示し、縦軸は、受信信号の強度（単位：ｄＢ）を示す。図６に示すように、信号「Ｓ１＋Ｓ２－Ｓ３－Ｓ４」の周波数特性は、０次高調波成分が除去され，２次高調波成分が増幅されたスペクトラムとなる。

【００８７】

送受信部１１は、１フレーム分（或いは、１ボリューム分）の走査範囲を形成する各走査線において、上記の１セットの４回送信を１回行なう。そして、合成部１２１ａは、送受信部１１が生成出力した４つの受信信号（Ｓ１、Ｓ２、Ｓ３、Ｓ４）の合成信号「Ｓ１＋Ｓ２－Ｓ３－Ｓ４」を、各走査線で生成する。そして、Ｂモードデータ生成部１２１ｂは、合成部１２１ａが出力した各走査線の合成信号「Ｓ１＋Ｓ２－Ｓ３－Ｓ４」に対して、包絡線検波処理、対数圧縮処理等を行なって、１フレーム分（或いは、１ボリューム分）のＢモードデータを生成する。

【００８８】

そして、画像生成部１３は、このＢモードデータから、Ｂモード画像データを生成し、モニタ２は、制御部１６の制御により、Ｂモード画像データを生成する。これにより、基本波成分及び０次高調波成分が相殺され、２次高調波成分のみが増幅された信号により形成された画像が得られることになる。図７は、第１の実施形態の効果を説明するための図である。

【００８９】

図７の左図に示す画像データ１００は、従来のＰＭ法により生成されたＢモード画像データを示す。例えば、図７の左図に示す画像データ１００は、上記の第１送信と第２送信とを各走査線で行なうことで生成されたＢモード画像データを示す。また、図７の右図に示す画像データ２００は、上記の４回送信により生成されたＢモード画像データを示す。図７に示すように、画像データ１００では、深部領域において、０次高調波成分に起因するアーチファクトが発生して深部分解能が低下している。一方、図７に示すように、画像データ２００では、深部領域におけるアーチファクトが消失し、深部分解能が向上している。

【００９０】

上述したように、第１の実施形態では、ＰＭ法を用いたＴＨＩ法を行なう際に、１本の走査線において、例えば、正弦波の超音波パルスを位相反転させて２回送信して得られた受信信号の加算信号と、余弦波の超音波パルスを位相反転させて２回送信して得られた受信信号の加算信号との差分を取った合成信号を映像化に用いる。上記の送信波形の制御により、合成信号は、基本波成分及び０次高調波成分が相殺され、２次高調波成分のみが増幅された信号となる。従って、第１の実施形態では、ＰＭ法を用いたＴＨＩ法により得られる画像データの深部分解能の劣化を回避することができる。

【００９１】

なお、上記では、第１回目から第４回目の送信の初期位相をそれぞれ「φ、φ＋π、φ

＋π／２、φ－π／２」としたが，この送信の順番に制約は無く、各位相の関係及び加減算処理の関係が遵守されていれば、送信の順番は、任意の順番に変更することができる。また、上記では、第１送信～第４送信の１セットを各走査線で１回実行する場合について説明した。しかし、本実施形態は、第１送信～第４送信の１セットを各走査線で複数セット実行する場合であっても良い。第１送信～第４送信の１セットを各走査線で複数セット実行しても、第１の実施形態では、ＰＭ法を用いたＴＨＩ法により得られる画像データの深部分解能の劣化を回避することができる。

【００９２】

（第２の実施形態）

第２の実施形態では、差音成分を用いたＴＨＩ法により得られる画像データの深部分解能の劣化を回避するための処理について説明する。

【００９３】

第２の実施形態に係る超音波診断装置は、図１や図２に示す第１の実施形態に係る超音波診断装置と同様に構成される。ただし、第２の実施形態では、送受信部１１及び信号処理部１２は、以下の処理を行なう。

【００９４】

すなわち、第２の実施形態に係る送受信部１１は、少なくとも１つの周波数成分の位相が、レート間において９０度単位で異なる超音波パルスを各走査線で少なくとも３回送信させる。具体的には、第２の実施形態に係る送受信部１１は、各走査線において第１周波数成分（第１周波数の第１超音波パルス）と第２周波数成分（第２周波数の第２超音波パルス）との２周波を混合した合成パルスを４回以上送信する。この際、送受信部１１は、以下に説明する「第１送信と第２送信と第３送信と第４送信との１セットの送信」を、各走査線で任意の順番により、少なくとも１回実行させる。

【００９５】

第２の実施形態に係る第１送信は、第１周波数成分を第１位相とし、第２周波数成分を第２位相とした合成パルスによる送信である。また、第２の実施形態に係る第２送信は、第１周波数成分を第１位相と１８０度異なる位相とし、第２周波数成分を第２位相と１８０度異なる位相とした合成パルスによる送信である。

【００９６】

また、第２の実施形態に係る第３送信は、第１周波数成分を第１位相と９０度異なる位相とし、第２周波数成分を第２位相と２７０度異なる位相とした合成パルスによる送信である。また、第２の実施形態に係る第４送信は、第１周波数成分を第１位相と２７０度異なる位相とし、第２周波数成分を第２位相と９０度異なる位相とした合成パルスによる送信である。

【００９７】

そして、第２の実施形態に係る信号処理部１２（合成部１２１ａ）は、上記１セットの送信で得られた４つの受信信号の合成処理において、第１送信の受信信号と第２送信の受信信号とを加算した加算信号と、第３送信の受信信号と第４送信の受信信号とを加算した加算信号との差分信号を合成信号として生成する。この合成処理は、基本波成分と０次高調波成分とを除去する合成処理となる。そして、画像生成部１３は、各走査線で得られた合成信号を用いて超音波画像データを生成する。具体的には、画像生成部１３は、各走査線で得られた合成信号を用いてＢモードデータ生成部１２１ｂが生成したＢモードデータから、Ｂモード画像データを生成する。

【００９８】

以下、上記の処理の一例について、数式を用いて説明する。以下の一例では、２周波（角周波数「ω_0」の単周波及び角周波数「ω_1」の単周波）を混合した超音波パルス（合成パルス）の超音波送信が、第１送信、第２送信、第３送信、第４送信の順で、同一走査線上で１セット行なわれ、この１セットの送信により得られた４つの受信信号の加減算処理により、１本の受信ビーム（合成信号）が形成される場合について説明する。以下、「ω_0」で設定される第１の送信信号の初期位相を「ϕ_0」で表わし、「ω_1」で設定され

る第２の送信信号の初期位相を「φ１」で表わす。（φ０、φ１）は、２次高調波成分と同一の極性を持つ差音成分を発生させるための位相条件により設定される。

【００９９】

かかる場合は、第１送信では（ω０、ω１）の初期位相が（φ０、φ１）で混合された超音波パルスが送信され、第２送信では（ω０、ω１）の初期位相が（φ０＋π、φ１＋π）で混合された超音波パルスが送信される。また、第３送信では（ω０、ω１）の初期位相が（φ０＋π／２、φ１－π／２）で混合された超音波パルスが送信され、第４送信では（ω０、ω１）の初期位相が（φ０－π／２、φ１＋π／２）で混合された超音波パルスが送信される。

【０１００】

ここで、時間を「ｔ」とし、中心周波数である角周波数「ω０」の単周波の振幅を示す包絡線信号を「ｐ０（ｔ）」とし、中心周波数である角周波数「ω１」の単周波の振幅を示す包絡線信号を「ｐ１（ｔ）」とすると、２つの単周波信号を初期位相（φ０、φ１）で混合加算した送信信号「Ｓ$_{TX}$（ｔ）」は、以下の式（１０）で表わすことができる。

【０１０１】

【数１０】

$$S_{TX}(t)=p_0(t)\cos(\omega_0 t+\varphi_0)+p_1(t)\cos(\omega_1 t+\varphi_1) \quad \cdots(10)$$

【０１０２】

ここで、式（１０）において、「ω０ｔ＋φ０」を「θ０」とし、「ω１ｔ＋φ１」を「θ１」とすると、第１送信の超音波パルスの送信波形は、「ｐ０（ｔ）ｃｏｓθ０＋ｐ１（ｔ）ｃｏｓθ１」となる。また、第２送信の超音波パルスの送信波形は、初期位相が（φ０＋π、φ１＋π）となることから、「－（ｐ０（ｔ）ｃｏｓθ０＋ｐ１（ｔ）ｃｏｓθ１）」となる。また、第３送信の超音波パルスの送信波形は、初期位相が（φ０＋π／２、φ１－π／２）となることから、「－ｐ０（ｔ）ｓｉｎθ０＋ｐ１（ｔ）ｓｉｎθ１」となる。また、第４送信の超音波パルスの送信波形は、初期位相が（φ０－π／２、φ１＋π／２）となることから、「ｐ０（ｔ）ｓｉｎθ０－ｐ１（ｔ）ｓｉｎθ１」（＝「－（－ｐ０（ｔ）ｓｉｎθ０＋ｐ１（ｔ）ｓｉｎθ１）」）となる。すなわち、第１送信の超音波パルスと第２送信の超音波パルスは、同じ送信波形であるが位相極性が反転している。また、第３送信の超音波パルスと第４送信の超音波パルスは、同じ送信波形であるが位相極性が反転している。

【０１０３】

そして、式（１０）に示す「Ｓ$_{TX}$（ｔ）」が組織内を伝播中に発生する２次の非線形成分である２次高調波成分「Ｓ$_{H}$（ｔ）＝Ｓ$_{TX}^{2}$（ｔ）」は、オイラーの公式により、以下の式（１１）で表わすことができる。なお、式（１１）に示す「ｊ」は、虚数を示す。

【０１０４】

【数１１】

$$S_H(t)=S^2_{TX}(t)=\{p_o(t)\cos(\omega_0 t+\varphi_0)+p_1(t)\cos(\omega_1 t+\varphi_1)\}^2$$
$$=\frac{1}{2}p_0^2(t)+\frac{1}{4}p_0^2(t)\{\exp(j2\omega_0 t+j2\varphi_0)+\exp(-j2\omega_0 t-j2\varphi_0)\}$$
$$+\frac{1}{2}p_1^2(t)+\frac{1}{4}p_1^2(t)\{\exp(j2\omega_1 t+j2\varphi_1)+\exp(-j2\omega_1 t-j2\varphi_1)\}$$
$$+\frac{1}{2}p_0^2(t)p_1^2(t)\{\exp(j2\omega_0 t+j2\varphi_0)+\exp(-j2\omega_0 t-j2\varphi_0)\}\{\exp(j2\omega_0 t+j2\varphi_0)+\exp(-j2\omega_0 t-j2\varphi_0)\}$$
$$=\frac{1}{2}p_0^2(t)+\frac{1}{4}p_0^2(t)\{\exp(j2\omega_0 t+j2\varphi_0)+\exp(-j2\omega_0 t-j2\varphi_0)\}$$
$$+\frac{1}{2}p_1^2(t)+\frac{1}{4}p_1^2(t)\{\exp(j2\omega_1 t+j2\varphi_1)+\exp(-j2\omega_1 t-j2\varphi_1)\}$$
$$+\frac{1}{2}p_0^2(t)p_1^2(t)\{\exp(j2(\omega_1+\omega_0)t+j2(\varphi_1+\varphi_0))+\exp(-j(\omega_1+\omega_0)2t-j2(\varphi_1+\varphi_0))\}$$
$$+\frac{1}{2}p_0^2(t)p_1^2(t)\{\exp(j2(\omega_1-\omega_0)t+j2(\varphi_1-\varphi_0))+\exp(-j(\omega_1-\omega_0)2t-j2(\varphi_1-\varphi_0))\}\quad\cdots(11)$$

【０１０５】

ここで、式（１１）の右辺において、第１項は、「ω_0」の０次高調波成分であり、第２項は、「ω_0」の２次高調波成分である。また、式（１１）の右辺において、第３項は、「ω_1」の０次高調波成分であり、第４項は、「ω_1」の２次高調波成分である。また、式（１１）の右辺において、第５項は、「ω_0」と「ω_1」との和音成分（和周波数成分）であり、第６項は、「ω_0」と「ω_1」との差音成分（差周波数成分）である。

【０１０６】

式（１０）に示す基本波と、式（１１）に示す２次の非線形成分とが加算された信号は、被検体Ｐのターゲットに到達して反射される。ここで、「基本波」対「２次非線形項」の比を「α」とすると、基本波と、２次の非線形成分とが加算された信号は、以下の式（１２）で表わされる。

【０１０７】

【数１２】

$$S(t)=\frac{1}{2}p_0(t)\{\exp(j\omega_0 t+j\varphi_0)+\exp(-j\omega_0 t-j\varphi_0)\}$$
$$+\frac{1}{2}p_1(t)\{\exp(j\omega_1 t+j\varphi_1)+\exp(-j\omega_1 t-j\varphi_1)\}$$
$$+\frac{\alpha}{2}p_0^2(t)+\frac{\alpha}{4}p_0^2(t)\{\exp(j2\omega_0 t+j2\varphi_0)+\exp(-j2\omega_0 t-j2\varphi_0)\}$$
$$+\frac{\alpha}{2}p_1^2(t)+\frac{\alpha}{4}p_1^2(t)\{\exp(j2\omega_1 t+j2\varphi_1)+\exp(-j2\omega_1 t-j2\varphi_1)\}$$
$$+\frac{\alpha}{2}p_0^2(t)p_1^2(t)\{\exp(j(\omega_1+\omega_0)t+j(\varphi_1+\varphi_0))+\exp(-j(\omega_1+\omega_0)t-j(\varphi_1+\varphi_0))\}$$
$$+\frac{\alpha}{2}p_0^2(t)p_1^2(t)\{\exp(j(\omega_1-\omega_0)t+j(\varphi_1-\varphi_0))+\exp(-j(\omega_1-\omega_0)t-j(\varphi_1-\varphi_0))\}\quad\cdots(12)$$

【０１０８】

制御部１６の指示により、送受信部１１は、（ω_0、ω_1）の初期位相を（Φ_0、Φ_1）とする第１回目の送信を行なう。そして、送受信部１１は、第１送信の反射波信号に対して増幅処理や受信遅延加算処理等を行なって、受信信号「Ｓ１」を生成出力する。深さ方向を示す時間「ｔ」をパラメータとする受信信号「Ｓ１（ｔ）」は、以下の式（１３）で表わすことができる。

【０１０９】

【数１３】

$$S1(t)=\frac{1}{2}p_0(t)\{\exp(j\omega_0 t+j\varphi_0)+\exp(-j\omega_0 t-j\varphi_0)\}$$
$$+\frac{1}{2}p_1(t)\{\exp(j\omega_1 t+j\varphi_1)+\exp(-j\omega_1 t-j\varphi_1)\}$$
$$+\frac{\alpha}{2}p_0^2(t)+\frac{\alpha}{4}p_0^2(t)\{\exp(j2\omega_0 t+j2\varphi_0)+\exp(-j2\omega_0 t-j2\varphi_0)\}$$
$$+\frac{\alpha}{2}p_1^2(t)+\frac{\alpha}{4}p_1^2(t)\{\exp(j2\omega_1 t+j2\varphi_1)+\exp(-j2\omega_1 t-j2\varphi_1)\}$$
$$+\frac{\alpha}{2}p_0^2(t)p_1^2(t)[\exp\{j(\omega_1+\omega_0)t+j(\varphi_1+\varphi_0)\}+\exp\{-j(\omega_1+\omega_0)t-j(\varphi_1+\varphi_0)\}]$$
$$+\frac{\alpha}{2}p_0^2(t)p_1^2(t)[\exp\{j(\omega_1-\omega_0)t+j(\varphi_1-\varphi_0)\}+\exp\{-j(\omega_1-\omega_0)t-j(\varphi_1-\varphi_0)\}] \quad \cdots(13)$$

【０１１０】

以下、制御部１６の指示により、送受信部１１は、（ω_0、ω_1）の初期位相を（$\varphi_0+\pi$、$\varphi_1+\pi$）とする第２回目の送信を行ない、受信信号「Ｓ２」を生成出力する。また、送受信部１１は、（ω_0、ω_1）の初期位相を（$\varphi_0+\pi/2$、$\varphi_1-\pi/2$）とする第３回目の送信を行ない、受信信号「Ｓ３」を生成出力する。また、送受信部１１は、（ω_0、ω_1）の初期位相を（$\varphi_0-\pi/2$、$\varphi_1+\pi/2$）とする第４回目の送信を行ない、受信信号「Ｓ４」を生成出力する。

【０１１１】

受信信号「Ｓ２（ｔ）」は、以下の式（１４）で表わすことができ、受信信号「Ｓ３（ｔ）」は、以下の式（１５）で表わすことができ、受信信号「Ｓ４（ｔ）」は、以下の式（１６）で表わすことができる。

【０１１２】

【数１４】

$$S2(t)=-\frac{1}{2}p_0(t)\{\exp(j\omega_0 t+j\varphi_0)+\exp(-j\omega_0 t-j\varphi_0)\}$$
$$-\frac{1}{2}p_1(t)\{\exp(j\omega_1 t+j\varphi_1)+\exp(-j\omega_1 t-j\varphi_1)\}$$
$$+\frac{\alpha}{2}p_0^2(t)+\frac{\alpha}{4}p_0^2(t)\{\exp(j2\omega_0 t+j2\varphi_0)+\exp(-j2\omega_0 t-j2\varphi_0)\}$$
$$+\frac{\alpha}{2}p_1^2(t)+\frac{\alpha}{4}p_1^2(t)\{\exp(j2\omega_1 t+j2\varphi_1)+\exp(-j2\omega_1 t-j2\varphi_1)\}$$
$$+\frac{\alpha}{2}p_0^2(t)p_1^2(t)[\exp\{j(\omega_1+\omega_0)t+j(\varphi_1+\varphi_0)\}+\exp\{-j(\omega_1+\omega_0)t-j(\varphi_1+\varphi_0)\}]$$
$$+\frac{\alpha}{2}p_0^2(t)p_1^2(t)[\exp\{j(\omega_1-\omega_0)t+j(\varphi_1-\varphi_0)\}+\exp\{-j(\omega_1-\omega_0)t-j(\varphi_1-\varphi_0)\}] \quad \cdots(14)$$

【０１１３】

【数１５】

$$S3(t)=\frac{j}{2}p_0(t)\{\exp(j\omega_0 t+j\varphi_0)-\exp(-j\omega_0 t-j\varphi_0)\}$$
$$-\frac{j}{2}p_1(t)\{\exp(j\omega_1 t+j\varphi_1)-\exp(-j\omega_1 t-j\varphi_1)\}$$
$$+\frac{\alpha}{2}p_0^2(t)-\frac{\alpha}{4}p_0^2(t)\{\exp(j2\omega_0 t+j2\varphi_0)+\exp(-j2\omega_0 t-j2\varphi_0)\}$$
$$+\frac{\alpha}{2}p_1^2(t)-\frac{\alpha}{4}p_1^2(t)\{\exp(j2\omega_1 t+j2\varphi_1)+\exp(-j2\omega_1 t-j2\varphi_1)\}$$
$$+\frac{\alpha}{2}p_0^2(t)p_1^2(t)[\exp\{j(\omega_1+\omega_0)t+j(\varphi_1+\varphi_0)\}+\exp\{-j(\omega_1+\omega_0)t-j(\varphi_1+\varphi_0)\}]$$
$$-\frac{\alpha}{2}p_0^2(t)p_1^2(t)[\exp\{j(\omega_1-\omega_0)t+j(\varphi_1-\varphi_0)\}+\exp\{-j(\omega_1-\omega_0)t-j(\varphi_1-\varphi_0)\}] \quad \cdots(15)$$

【０１１４】

【数１６】

$$
\begin{aligned}
S4(t) &= -\frac{j}{2}p_0(t)\{\exp(j\omega_0 t + j\varphi_0) - \exp(-j\omega_0 t - j\varphi_0)\} \\
&+ \frac{j}{2}p_1(t)\{\exp(j\omega_1 t + j\varphi_1) - \exp(-j\omega_1 t - j\varphi_1)\} \\
&+ \frac{\alpha}{2}p_0^2(t) - \frac{\alpha}{4}p_0^2(t)\{\exp(j2\omega_0 t + j2\varphi_0) + \exp(-j2\omega_0 t - j2\varphi_0)\} \\
&+ \frac{\alpha}{2}p_1^2(t) - \frac{\alpha}{4}p_1^2(t)\{\exp(j2\omega_1 t + j2\varphi_1) + \exp(-j2\omega_1 t - j2\varphi_1)\} \\
&+ \frac{\alpha}{2}p_0^2(t)p_1^2(t)[\exp\{j(\omega_1 + \omega_0)t + j(\varphi_1 + \varphi_0)\} + \exp\{-j(\omega_1 + \omega_0)t - j(\varphi_1 + \varphi_0)\}] \\
&- \frac{\alpha}{2}p_0^2(t)p_1^2(t)[\exp\{j(\omega_1 - \omega_0)t + j(\varphi_1 - \varphi_0)\} + \exp\{-j(\omega_1 - \omega_0)t - j(\varphi_1 - \varphi_0)\}] \qquad \cdots(16)
\end{aligned}
$$

【０１１５】

信号処理部１２（合成部１２１ａ）は、「Ｓ１＋Ｓ２－Ｓ３－Ｓ４」の演算処理を行なって、合成信号を生成する。すなわち、合成部１２１ａは、「Ｓ１＋Ｓ２－（Ｓ３＋Ｓ４）」の演算処理を行なう。深さ方向を示す時間「ｔ」をパラメータとする合成信号「Ｓ１（ｔ）＋Ｓ２（ｔ）－Ｓ３（ｔ）－Ｓ４（ｔ）」は、以下の式（１７）で表わすことができる。

【０１１６】

【数１７】

$$
\begin{aligned}
&S1(t) + S2(t) - S3(t) - S4(t) = \alpha p_0^2(t)\{\exp(j2\omega_0 t + j2\varphi_0) + \exp(-j2\omega_0 t - j2\varphi_0)\} \\
&+ \alpha p_0^2(t)\{\exp(j2\omega_0 t + j2\varphi_0) + \exp(-j2\omega_0 t - j2\varphi_0)\} \\
&+ 2\alpha p_0^2(t)p_1^2(t)[\exp\{j(\omega_1 - \omega_0)t + j(\varphi_1 - \varphi_0)\} + \exp\{-j(\omega_1 - \omega_0)t - j(\varphi_1 - \varphi_0)\}] \\
&= 2\alpha p_0^2(t)\cos(2\omega_0 t + \varphi_0) + 2\alpha p_1^2(t)\cos(2\omega_1 t + \varphi_1) + 4\alpha p_0^2 p_1^2 \cos\{(\omega_1 - \omega_0)t + (\varphi_1 - \varphi_0)\} \qquad \cdots(17)
\end{aligned}
$$

【０１１７】

式（１７）に示す合成信号では、基本波成分と、０次高調波成分と、「ω_0」及び「ω_1」の和音成分（和周波数成分）とが除去されている。そして、式（１７）に示す合成信号では、「ω_0」の２次高調波成分（第１項）と、「ω_1」の２次高調波成分（第２項）と、「ω_0」及び「ω_1」の差音成分（第３項）が増強されて残存している。なお、「$\omega_0 < \omega_1$」の場合、「ω_1」の２次高調波成分は、超音波プローブ１の受信可能帯域外となるように設定される場合がある。或いは、「ω_1」の２次高調波成分は、フィルタ処理により除去される場合がある。

【０１１８】

送受信部１１は、１フレーム分（或いは、１ボリューム分）の走査範囲を形成する各走査線において、上記の１セットの４回送信を１回行なう。そして、合成部１２１ａは、送受信部１１が生成出力した４つの受信信号（Ｓ１、Ｓ２、Ｓ３、Ｓ４）の合成信号「Ｓ１＋Ｓ２－Ｓ３－Ｓ４」を、各走査線で生成する。そして、Ｂモードデータ生成部１２１ｂは、合成部１２１ａが出力した各走査線の合成信号「Ｓ１＋Ｓ２－Ｓ３－Ｓ４」に対して、包絡線検波処理、対数圧縮処理等を行なって、１フレーム分（或いは、１ボリューム分）のＢモードデータを生成する。そして、画像生成部１３は、このＢモードデータから、Ｂモード画像データを生成し、モニタ２は、制御部１６の制御により、Ｂモード画像データを生成する。

【０１１９】

これにより、基本波成分及び０次高調波成分が相殺され、２次高調波成分及び差音成分（差周波数成分）が増幅された信号により形成されたＢモード画像データを生成表示することができる。

【０１２０】

上述したように、第２の実施形態では、差音成分を用いたＴＨＩ法を行なう際に、合成処理により基本波成分及び０次高調波成分が除去され２次高調波成分及び差音成分（差周

波数成分）が増幅された信号が得られるように、位相を調整しながら２周波を混合した超音波パルスを４回送信する。従って、第２の実施形態では、差音成分を用いたＴＨＩ法により得られる画像データの深部分解能の劣化を回避することができる。

【０１２１】

なお、上記では、第１回目から第４回目の送信の初期位相をそれぞれ「（ϕ_0、ϕ_1）、（$\phi_0+\pi$、$\phi_1+\pi$）、（$\phi_0+\pi/2$、$\phi_1-\pi/2$）、（$\phi_0-\pi/2$、$\phi_1+\pi/2$）」としたが、この送信の順番に制約は無く、各位相の関係及び加減算処理の関係が遵守されていれば、送信の順番は、任意の順番に変更することができる。また、上記では、第１送信～第４送信の１セットを各走査線で１回実行する場合について説明した。しかし、本実施形態は、第１送信～第４送信の１セットを各走査線で複数セット実行する場合であっても良い。第１送信～第４送信の１セットを各走査線で複数セット実行しても、第２の実施形態では、差音成分を用いたＴＨＩ法により得られる画像データの深部分解能の劣化を回避することができる。

【０１２２】

（第３の実施形態）

第３の実施形態では、第１の実施形態で説明した方法とは異なる方法で、ＰＭ法を用いたＴＨＩ法で得られる画像データの深部分解能の劣化を回避する場合について説明する。

【０１２３】

第１の実施形態では、ＰＭ法を用いたＴＨＩ法で得られる画像データの深部分解能を維持するために、同一周波数の超音波パルスを、位相条件を変更しながら同一走査線上で４回送信する１セット送受信を、少なくとも１回行なう。しかし、第１の実施形態では、例えば、１走査線の受信ビームを得るために４回の送受信を行なう必要があるために、フレームレートが低下する場合があり、また、４回送受信の期間中の体動によりモーションアーチファクトが発生する場合がある。

【０１２４】

そこで、第３の実施形態では、第１の実施形態より少ない送受信回数で、ＰＭ法を用いたＴＨＩ法で得られる画像データの深部分解能の劣化を回避する場合について説明する。

【０１２５】

第３の実施形態に係る超音波診断装置は、図１や図２に示す第１の実施形態に係る超音波診断装置と同様に構成される。ただし、第３の実施形態では、送受信部１１及び信号処理部１２は、以下の処理を行なう。

【０１２６】

すなわち、第３の実施形態に係る送受信部１１は、各走査線において同一周波数の超音波パルスを３回以上送信する。この際、送受信部１１は、以下に説明する「第１送信と第２送信と第３送信との１セットの送信」を、各走査線で任意の順番により、少なくとも１回実行させる。

【０１２７】

第３の実施形態に係る送受信部１１は、１セットの送信として、第１位相での第１送信と、第１位相とは位相が９０度異なる第２位相での第２送信と、第１位相とは位相が１８０度異なる第３位相での第３送信とを実行させる。

【０１２８】

そして、第３の実施形態に係る信号処理部１２（合成部１２１ａ）は、上記１セットの送信で得られた３つの受信信号の合成処理において、第１送信の受信信号から第２送信の受信信号を減算する。そして、合成部１２１ａは、この減算した信号に、第２送信の受信信号を９０度位相回転させた信号を加算する。そして、合成部１２１ａは、この加算した信号から、第３送信の受信信号を９０度位相回転させた信号を減算した信号を合成信号として生成する。この合成処理は、基本波成分と０次高調波成分とを除去する合成処理となる。そして、画像生成部１３は、各走査線で得られた合成信号を用いて超音波画像データを生成する。具体的には、画像生成部１３は、各走査線で得られた合成信号を用いてＢモードデータ生成部１２１ｂが生成したＢモードデータから、Ｂモード画像データを生成す

る。

【０１２９】

以下、上記の処理の一例について、数式を用いて説明する。以下の一例では、角周波数「ω」の超音波パルスの超音波送信が、第１送信、第２送信、第３送信の順で、同一走査線上で１セット行なわれ、この１セットの送信により得られた３つの受信信号の加減算処理等により、１本の受信ビーム（合成信号）が形成される場合について説明する。

【０１３０】

「基本波」対「２次非線形項」の比を「α」とすると、基本波と、２次の非線形成分とが加算された信号が、ターゲットに到達して反射して得られる受信信号は、以下の式（１８）で表わされる。

【０１３１】

【数１８】

$$S(t)=\frac{1}{2}p(t)\{\exp(j\omega t+j\varphi)+\exp(-j\omega t-j\varphi)\}+\frac{\alpha}{2}p^2(t)+\frac{\alpha}{4}p^2(t)\{\exp(j2\omega t+j2\varphi)+\exp(-j2\omega t-j2\varphi)\} \quad \cdots(18)$$

【０１３２】

ここで、第１送信の初期位相を「φ」とすると、第２送信の初期位相は、「φ＋π／２」となり、第３送信の初期位相は、「φ＋π」となる。かかる場合、第１送信で得られる受信信号「Ｓ１」は、「ｔ」により以下の式（１９）で表わされ、第２送信で得られる受信信号「Ｓ２」は、「ｔ」により以下の式（２０）で表わされ、第３送信で得られる受信信号「Ｓ３」は、「ｔ」により以下の式（２１）で表わされる。

【０１３３】

【数１９】

$$S1(t)=\frac{1}{2}p(t)\{\exp(j\omega t+j\varphi)+\exp(-j\omega t-j\varphi)\}+\frac{\alpha}{2}p^2(t)+\frac{\alpha}{4}p^2(t)\{\exp(j2\omega t+j2\varphi)+\exp(-j2\omega t-j2\varphi)\} \quad \cdots(19)$$

【０１３４】

【数２０】

$$S2(t)=\frac{1}{2}p(t)\{j\exp(j\omega t+j\varphi)-j\exp(-j\omega t-j\varphi)\}+\frac{\alpha}{2}p^2(t)-\frac{\alpha}{4}p^2(t)\{\exp(j2\omega t+j2\varphi)+\exp(-j2\omega t-j2\varphi)\} \quad \cdots(20)$$

【０１３５】

【数２１】

$$S3(t)=-\frac{1}{2}p(t)\{\exp(j\omega t+j\varphi)+\exp(-j\omega t-j\varphi)\}+\frac{\alpha}{2}p^2(t)+\frac{\alpha}{4}p^2(t)\{\exp(j2\omega t+j2\varphi)+\exp(-j2\omega t-j2\varphi)\} \quad \cdots(21)$$

【０１３６】

合成部１２１ａは、受信信号「Ｓ１」から受信信号「Ｓ２」を減算する。すなわち、合成部１２１ａは、「Ｓ１－Ｓ２」を得る。そして、合成部１２１ａは、受信信号「Ｓ２」を９０度位相回転して「ｊＳ２」を得て、「Ｓ１－Ｓ２」と「ｊＳ２」とを加算する。すなわち、合成部１２１ａは、「Ｓ１－（１－ｊ）Ｓ２」を得る。

【０１３７】

そして、合成部１２１ａは、受信信号「Ｓ３」を９０度位相回転して「ｊＳ３」を得て、「Ｓ１－（１－ｊ）Ｓ２」から「ｊＳ３」を減算する。合成部１２１ａは、「Ｓ１－（１－ｊ）Ｓ２－ｊＳ３」を、該当する走査線の合成信号（受信ビーム）として出力する。

【０１３８】

「Ｓ１－（１－ｊ）Ｓ２－ｊＳ３」、すなわち、「Ｓ１＋ｊＳ２－（Ｓ２＋ｊＳ３）」は、時間「ｔ」を用いると、以下の式（２２）で表わされる。

【０１３９】

【数２２】

$$\begin{aligned}S1(t)-(1-j)S2(t)-jS3(t)&=\alpha\frac{1-j}{2}p^2(t)\{\exp(j2\omega t+j2\varphi)+\exp(-j2\omega t-j2\varphi)\}\\&=\alpha p^2(t)\cos(2\omega t+2\varphi)+\alpha p^2(t)\sin(2\omega t+2\varphi)\end{aligned} \quad \cdots(22)$$

【０１４０】
上記の「Ｓ１」は、第１の実施形態で説明した「Ｓ１」と同じ信号であり、上記の「ｊＳ２」は、第１の実施形態で説明した「Ｓ２」に相当する信号である。また、上記の「Ｓ２」は、第１の実施形態で説明した「Ｓ３」と同じ信号であり、上記「ｊＳ３」は、第１の実施形態で説明した「Ｓ４」に相当する信号である。その結果、式（２２）に示す合成信号では、基本波成分及び０次高調波成分が除去され、２次高調波成分が増幅している。
【０１４１】
送受信部１１は、１フレーム分（或いは、１ボリューム分）の走査範囲を形成する各走査線において、上記の１セットの３回送信を１回行なう。そして、合成部１２１ａは、送受信部１１が生成出力した３つの受信信号（Ｓ１、Ｓ２、Ｓ３）の合成信号「Ｓ１－（１－ｊ）Ｓ２－ｊＳ３」を、各走査線で生成する。そして、Ｂモードデータ生成部１２１ｂは、合成部１２１ａが出力した各走査線の合成信号「Ｓ１－（１－ｊ）Ｓ２－ｊＳ３」に対して、包絡線検波処理、対数圧縮処理等を行なって、１フレーム分（或いは、１ボリューム分）のＢモードデータを生成する。そして、画像生成部１３は、このＢモードデータから、Ｂモード画像データを生成し、モニタ２は、制御部１６の制御により、Ｂモード画像データを生成する。
【０１４２】
これにより、基本波成分及び０次高調波成分が相殺され、２次高調波成分が増幅された信号により形成されたＢモード画像データを生成表示することができる。
【０１４３】
上述したように、第３の実施形態では、３回送信で得られる受信信号の一部を位相回転処理により、基本波成分及び０次高調波成分を除去可能な４つの受信信号に変換して、基本波成分及び０次高調波成分を除去するための合成処理を行なう。これにより、第３の実施形態では、ＰＭ法を用いたＴＨＩ法により得られる画像データの深部分解能の劣化を回避することができるとともに、フレームレートを向上させ、且つ、モーションアーチファクトが発生する可能性を、第１の実施形態と比較して低減することができる。
【０１４４】
なお、上記では、第１回目から第３回目の送信の初期位相をそれぞれ「φ、φ＋π／２、φ＋π」としたが、この送信の順番に制約は無く、各位相の関係及び加減算処理の関係が遵守されていれば、送信の順番は、任意の順番に変更することができる。また、上記では、第１送信～第３送信の１セットを各走査線で１回実行する場合について説明した。しかし、本実施形態は、第１送信～第３送信の１セットを各走査線で複数セット実行する場合であっても良い。第１送信～第３送信の１セットを各走査線で複数セット実行しても、第３の実施形態では、深部分解能の劣化を回避することができる。
【０１４５】
（第４の実施形態）
第４の実施形態では、第１の実施形態で説明した方法の変形例として、第１の実施形態より広帯域な高調波成分を用いた映像化を可能とする場合について説明する。
【０１４６】
第４の実施形態に係る超音波診断装置は、図１や図２に示す第１の実施形態に係る超音波診断装置と同様に構成される。ただし、第４の実施形態では、送受信部１１及び信号処理部１２は、以下の処理を行なう。
【０１４７】
第４の実施形態に係る送受信部１１は、９０度単位で位相が異なり、且つ、周波数が異なる超音波パルスを各走査線で少なくとも４回送信させる。具体的には、第４の実施形態に係る送受信部１１は、各走査線において第１周波数（例えば、角周波数「ω_0」）の第１超音波パルスと第２周波数（例えば、角周波数「ω_1」）の第２超音波パルスとを４回以上送信する。この際、送受信部１１は、以下に説明する「第１送信と第２送信と第３送信と第４送信との１セットの送信」を、各走査線で任意の順番により、少なくとも１回実行させる。

【０１４８】
第４の実施形態に係る第１送信では、第１超音波パルスが第１位相（例えば、初期位相φ）で送信される。また、第４の実施形態に係る第２送信では、第１超音波パルスが第１位相とは位相が１８０度異なる第２初期位相「φ＋π」で送信される。また、第４の実施形態に係る第３送信では、第２超音波パルスが第１位相とは位相が９０度異なる第３初期位相「φ＋π／２」で送信される。また、第４の実施形態に係る第４送信では、第２超音波パルスが第１位相とは位相が２７０度異なる第４初期位相「φ－π／２」で送信される。

【０１４９】
そして、第４の実施形態に係る信号処理部１２（合成部１２１ａ）は、上記１セットの送信で得られた４つの受信信号の合成処理において、第１送信の受信信号と第２送信の受信信号とを加算した加算信号と、第３送信の受信信号と第４送信の受信信号とを加算した加算信号との差分信号を合成信号として生成する。この合成処理は、基本波成分と０次高調波成分とを除去する合成処理となる。そして、画像生成部１３は、各走査線で得られた合成信号を用いて超音波画像データを生成する。具体的には、画像生成部１３は、各走査線で得られた合成信号を用いてＢモードデータ生成部１２１ｂが生成したＢモードデータから、Ｂモード画像データを生成する。

【０１５０】
すなわち、第１の実施形態で説明したように、基本波成分は、第１送信の受信信号と第２送信の受信信号との加算により除去され、また、第３送信の受信信号と第４送信の受信信号との加算により除去される。すなわち、基本波成分の除去は、第１送信と第２送信との中心周波数が同一であり、且つ、第３送信と第４送信との中心周波数が同一であれば可能である。更に、第１の実施形態では、０次高調波成分は、第１送信の受信信号と第２送信の受信信号との加算信号から、第３送信の受信信号と第４送信の受信信号との加算信号を減算することで除去される。ここで、０次高調波成分は、中心周波数には依存しない。

【０１５１】
従って、各位相の関係及び加減算処理の関係が遵守されていれば、第１位相での第１送信と第２位相での第２送信とで中心周波数が同一であり、第３位相での第３送信と第４位相での第４送信とで中心周波数が同一であれば、基本波成分及び０次高調波成分の除去を行なうことができる。そこで、第４の実施形態では、第１送信と第２送信とを第１周波数で行ない、第３送信と第４送信とを第２周波数で行なうことで、２次高調波の帯域を広げた合成信号を得る。

【０１５２】
例えば、上記の超音波送信が、第１送信、第２送信、第３送信、第４送信の順で、同一走査線上で１セット行なわれ、この１セットの送信により得られた４つの受信信号の加減算処理により形成される１本の受信ビーム（合成信号）は、以下の式（２３）で表わされる。

【０１５３】
【数２３】
$$S(t)=\frac{\alpha}{2}p^2(t)\{\exp(j2\omega_0 t+j2\varphi)+\exp(-j2\omega_0 t-j2\varphi)\}+\frac{\alpha}{2}p^2(t)\{\exp(j2\omega_1 t+j2\varphi)+\exp(-j2\omega_1 t-j2\varphi)\} \quad \cdots(23)$$

【０１５４】
式（２３）に示す合成信号では、基本波成分及び０次高調波成分が除去され、中心周波数の異なる２次高調波成分のみの信号となる。図８は、第４の実施形態を説明するための図である。図８において、点線は、基本波成分を示し、一点鎖線は、０次高調波成分を示し、実線は、２次高調波成分を示す。また、図８の左上図は、「ω_0」の受信信号のスペクトラムを示し、図８の右上図は、「ω_1」の受信信号のスペクトラムを示し、図８の下図は、上記の合成信号のスペクトラムを示す。

【０１５５】
第４の実施形態では、「（第１送信の受信信号＋第２送信の受信信号）－（第３送信の

受信信号＋第４送信の受信信号）」の合成処理により、図８に示すように、中心周波数の異なる２つの２次高調波が合わさった広帯域なスペクトラムの合成信号を得ることができる。これにより、第４の実施形態では、基本波成分及び０次高調波成分が相殺され、広帯域な２次高調波成分の信号により形成されたＢモード画像データを生成表示することができる。

【０１５６】

上述したように、第４の実施形態では、第１の実施形態と同様のフレームレートではあるが、第１の実施形態と比較して、広帯域なハーモニック成分による映像化を行なうことができる。すなわち、第４の実施形態では、第１の実施形態より高画質なＢモード画像データを生成表示することができる。

【０１５７】

なお、上記で説明した送信の順番に制約は無く、各超音波パルスの中心周波数、各超音波パルスの位相の関係及び加減算処理の関係が遵守されていれば、送信の順番は、任意の順番に変更することができる。また、上記では、第１送信～第４送信の１セットを各走査線で１回実行する場合について説明した。しかし、本実施形態は、第１送信～第４送信の１セットを各走査線で複数セット実行する場合であっても良い。第１送信～第４送信の１セットを各走査線で複数セット実行しても、第４の実施形態では、上記の効果を得ることができる。

【０１５８】

更に、第４の実施形態において、上記の１セットの超音波送受信を同一走査線で複数回行なう場合、各セットの２つの中心周波数を、セットごとに変更しても良い。例えば、第４の実施形態は、第１セットを「ω０、ω１」で行ない、第２セットを「ω２、ω３」で行なって、４種類の中心周波数の２倍の周波数の高調波成分を合わせた合成信号を得る場合であっても良い。かかる場合、上記の一例より、更に、高画質なＢモード画像データを生成表示することができる。

【０１５９】

また、広帯域なハーモニック成分を得る観点では、第３の実施形態で説明した３回送信を１セットとする超音波送受信を、中心周波数を変更しながら複数回行なっても良い。かかる第３の実施形態に係る変形例では、例えば、中心周波数「ω_0」での３回送信を第１セットとして行ない、中心周波数「ω_1」での３回送信を第２セットとして行なう。そして、第３の実施形態に係る変形例では、第１セット及び第２セットそれぞれで第３の実施形態で説明した合成処理を行ない、これにより得られた２つの合成信号を更に加算して、広帯域な２次高調波成分のみの最終的な合成信号を得る。これにより、フレームレートが低下するものの、第３の実施形態より高画質なＢモード画像データを生成表示することができる。

【０１６０】

（第５の実施形態）

第５の実施形態では、基本波成分及び０次高調波成分が除去された信号を得るために、セット間において９０度単位で位相が異なる超音波パルスを各走査線で少なくとも３回送信させ、各超音波パルスの受信信号を生成する場合について説明する。

【０１６１】

第５の実施形態に係る送受信部１１は、同一周波数の超音波パルスを各走査線において６回以上送信する。この際、送受信部１１は、第１セットの送信と第２セットの送信とによる２セットの送信を、各走査線で任意の順番により、少なくとも１回実行させる。ここで、上記の第１セットの送信は、第１位相での第１送信と、第１位相とは位相が１２０度異なる第２位相での第２送信と、第１位相とは位相が２４０度異なる第３位相での第３送信との３回送信となる。また、上記の第２セットの送信は、第１位相とは位相が９０度異なる第４位相での第４送信と、第２位相とは位相が９０度異なる第５位相での第５送信と、第３位相とは位相が９０度異なる第６位相での第６送信との３回送信となる。すなわち、第２セットの送信で行なわれる第４～第６送信それぞれの位相は、第１セットの送信で

行なわれる第１～第３送信それぞれの位相を９０度進めた位相となる。

【０１６２】

そして、第５の実施形態に係る合成部１２１ａは、上記２セットの送信で得られた６つの受信信号の合成処理において、第１送信の受信信号と第２送信の受信信号と第３送信の受信信号とを加算した加算信号と、第４送信の受信信号と第５送信の受信信号と第６送信の受信信号とを加算した加算信号との差分信号を合成信号として生成する。

【０１６３】

以下、上記の処理の一例について、数式等を用いて説明する。以下の一例では、超音波送信が、第１送信、第２送信、第３送信の順で第１セットの送信が１回行なわれ、その後、第４送信、第５送信、第６送信の順で第２セットの送信が１回行なわれ、その結果、同一走査線上で得られた６つの受信信号の加減算処理により、１本の受信ビーム（合成信号）が形成される場合について説明する。以下、第１送信の初期位相を「φ（ファイ）」とする。かかる場合、第２送信の初期位相は、「φ＋２π／３」となり、第３送信の初期位相は、「φ＋４π／３」となる。また、第４送信の初期位相は、「φ＋π／２」となり、第５送信の初期位相は、「（φ＋２π／３）＋π／２＝φ＋７π／６」となり、第６送信の初期位相は、「（φ＋４π／３）＋π／２＝φ＋１１π／６」となる。

【０１６４】

ここで、時間を「ｔ」とし、振幅を示す包絡線信号を「ｐ（ｔ）」とし、中心周波数である角周波数を「ω_0」とすると、送信信号（超音波パルス）の基本波である「S_{TXC}（ｔ）＝ｐ（ｔ）ｃｏｓ（ω_0ｔ＋φ）」は、オイラーの公式により、以下の式（２４）で表わすことができる。なお、式（２４）に示す「ｊ」は、虚数を示す。

【０１６５】

【数２４】

$$S_{TXC}(t)=p(t)\cos(\omega_0 t+\varphi)$$
$$=\frac{1}{2}p(t)\left\{\exp(j\omega_0 t+j\varphi)+\exp(-j\omega_0 t-j\varphi)\right\} \quad \cdots(24)$$

【０１６６】

そして、式（２４）に示す「S_{TXC}（ｔ）」が組織内を伝播中に発生する２次の非線形成分（０次高調波成分及び２次高調波成分）である「S_{TXC}^{2}（ｔ）＝ｐ^{2}（ｔ）ｃｏｓ^{2}（ω_0ｔ＋φ）」は、オイラーの公式により、以下の式（２５）で表わすことができる。

【０１６７】

【数２５】

$$S_{TXC}^{2}(t)=p^{2}(t)\cos^{2}(\omega_0 t+\varphi)$$
$$=\frac{1}{4}p^{2}(t)\left\{2+\exp(j2\omega_0 t+j2\varphi)+\exp(-j2\omega_0 t-j2\varphi)\right\}$$
$$=\frac{1}{2}p^{2}(t)+\frac{1}{4}p^{2}(t)\left\{\exp(j2\omega_0 t+j2\varphi)+\exp(-j2\omega_0 t-j2\varphi)\right\} \quad \cdots(25)$$

【０１６８】

更に、式（２４）に示す「S_{TXC}（ｔ）」が組織内を伝播中に発生する３次の非線形成分（３次高調波成分）である「S_{TXC}^{3}（ｔ）＝ｐ^{3}（ｔ）ｃｏｓ^{3}（ω_0ｔ＋φ）」は、オイラーの公式により、以下の式（２６）で表わすことができる。

【０１６９】

【数２６】

$$S_{TXC}{}^{3}(t)=p^{3}(t)\cos^{3}(\omega_0 t+\varphi)$$
$$=\frac{1}{8}p^{3}(t)\{2+\exp(j2\omega_0 t+j2\varphi)+\exp(-j2\omega_0 t-j2\varphi)\}\{\exp(j\omega_0 t+j\varphi)+\exp(-j\omega_0 t-j\varphi)\}$$
$$=\frac{1}{8}p^{3}(t)\{\exp(j3\omega_0 t+j3\varphi)+\exp(-j3\omega_0 t-j3\varphi)+3\exp(j\omega_0 t+j\varphi)+3\exp(-j\omega_0 t-j\varphi)\} \quad \cdots(26)$$

【０１７０】

式（２４）に示す基本波と、式（２５）に示す２次の非線形成分と、式（２６）に示す３次の非線形成分とが加算された信号は、被検体Ｐのターゲットに到達して反射される。ここで、「基本波」対「２次非線形項」の比を「α」とし、「基本波」対「３次非線形項」の比を「β」とすると、基本波と、２次の非線形成分と、３次の非線形成分とが加算された信号「S_{TX}（ｔ）」は、以下の式（２７）で表わされる。

【０１７１】

【数２７】

$$S_{TX}(t)=\frac{1}{2}p(t)\{\exp(j\omega_0 t+j\varphi)+\exp(-j\omega_0 t-j\varphi)\}\frac{\alpha}{2}p^{2}(t)$$
$$+\frac{\alpha}{4}p^{2}(t)\{\exp(j2\omega_0 t+j2\varphi)+\exp(-j2\omega_0 t-j2\varphi)\}$$
$$+\frac{\beta}{8}p^{3}(t)\{\exp(j3\omega_0 t+j3\varphi)+\exp(-j3\omega_0 t-j3\varphi)\}+\frac{3\beta}{8}p^{3}(t)\{\exp(j\omega_0 t+j\varphi)+\exp(-j\omega_0 t-j\varphi)\}$$
$$=\frac{1}{8}\{4p(t)+3\beta p^{3}(t)\}\{\exp(j\omega_0 t+j\varphi)+\exp(-j\omega_0 t-j\varphi)\}+\frac{\alpha}{2}p^{2}(t)$$
$$+\frac{\alpha}{4}p^{2}(t)\{\exp(j2\omega_0 t+j2\varphi)+\exp(-j2\omega_0 t-j2\varphi)\}+\frac{\beta}{8}p^{3}(t)\{\exp(j3\omega_0 t+j3\varphi)+\exp(-j3\omega_0 t-j3\varphi)\}$$
$$\cdots(27)$$

【０１７２】

送信経路の伝播で発生した高調波が受信経路中に略減衰しないとすると、被検体Ｐのターゲットに到達した信号で得られる受信信号も、式（２７）の「S_{TX}（ｔ）」として表わすことができる。かかる場合、受信信号「S_{TX}（ｔ）」の基本波成分は、式（２７）の右辺の第１項となり、受信信号「S_{TX}（ｔ）」の０次高調波成分は、式（２７）の右辺の第２項となる。また、受信信号「S_{TX}（ｔ）」の２次高調波成分は、式（２７）の右辺の第３項となり、受信信号「S_{TX}（ｔ）」の３次高調波成分は、式（２７）の右辺の第４項となる。

【０１７３】

そして、１２０度ずつ位相をずらす第１セットの送信で、改めて、第１の初期位相を「φ＝－２π／３」とし、第２の初期位相を「φ＝０」とし、第３の初期位相を「φ＝２π／３」と表現する。かかる表現と、式（２７）とを用いると、第１送信で得られる受信信号「S_{TX0}（ｔ）」は、以下の式（２８）で表わされ、第２送信で得られる受信信号「S_{TX1}（ｔ）」は、以下の式（２９）で表わされ、第３送信で得られる受信信号「S_{TX2}（ｔ）」は、以下の式（３０）で表わされる。

【０１７４】

【数２８】

$$S_{TX0}(t)=\frac{1}{8}\left\{4p(t)+3\beta p^3(t)\right\}\left\{\exp\left(j\omega_0 t-j\frac{2\pi}{3}\right)+\exp\left(-j\omega_0 t-j\frac{2\pi}{3}\right)\right\}+\frac{\alpha}{2}p^2(t)$$
$$+\frac{\alpha}{4}p^2(t)\left\{\exp\left(j2\omega_0 t-j\frac{4\pi}{3}\right)+\exp\left(-j2\omega_0 t-j\frac{4\pi}{3}\right)\right\}$$
$$+\frac{\beta}{8}p^3(t)\left\{\exp(j3\omega_0 t)+\exp(-j3\omega_0 t)\right\} \quad \cdots(28)$$

【０１７５】

【数２９】

$$S_{TX1}(t)=\frac{1}{8}\left\{4p(t)+3\beta p^3(t)\right\}\left\{\exp(j\omega_0 t)+\exp(-j\omega_0 t)\right\}+\frac{\alpha}{2}p^2(t)$$
$$+\frac{\alpha}{4}p^2(t)\left\{\exp(j2\omega_0 t)+\exp(-j2\omega_0 t)\right\}+\frac{\beta}{8}p^3(t)\left\{\exp(j3\omega_0 t)+\exp(-j3\omega_0 t)\right\} \quad \cdots(29)$$

【０１７６】

【数３０】

$$S_{TX2}(t)=\frac{1}{8}\left\{4p(t)+3\beta p^3(t)\right\}\left\{\exp\left(j\omega_0 t+j\frac{2\pi}{3}\right)+\exp\left(-j\omega_0 t-j\frac{2\pi}{3}\right)\right\}+\frac{\alpha}{2}p^2(t)$$
$$+\frac{\alpha}{4}p^2(t)\left\{\exp\left(j2\omega_0 t+j\frac{4\pi}{3}\right)+\exp\left(-j2\omega_0 t-j\frac{4\pi}{3}\right)\right\}$$
$$+\frac{\beta}{8}p^3(t)\left\{\exp(j3\omega_0 t)+\exp(j3\omega_0 t)\right\} \quad \cdots(30)$$

【０１７７】

送受信部１１は、受信信号「S_{TX0}（ｔ）」、受信信号「S_{TX1}（ｔ）」及び受信信号「S_{TX2}（ｔ）」を生成し、合成部１２１ａは、これら３つの受信信号を加算する。加算信号「S_{TX0}（ｔ）＋S_{TX1}（ｔ）＋S_{TX2}（ｔ）」は、以下の式（３１）で表わされる。

【０１７８】

【数３１】

$$S_{TX0}(t)+S_{TX1}(t)+S_{TX2}(t)=\frac{3\alpha}{2}p^2(t)\frac{3\beta}{8}p^3(t)\exp(j3\omega_0 t) \quad \cdots(31)$$

【０１７９】

式（３１）の右辺に示すように、第１セットの送信で得られた３つの受信信号を加算することで、３つの受信信号に含まれる基本波成分及び２次高調波成分が相殺され、０次高調波成分及び３次高調波成分が増幅された加算信号が得られる。

【０１８０】

また、第１セットの送信を９０度ずらして行なう第２セットの送信では、上記の表現を用いると、第４の初期位相は、「φ＝－π／６」と定義され、第５の初期位相は、「φ＝π／２」と定義され、第６の初期位相は、「φ＝－５π／６」と表現される。かかる表現と、式（２７）とを用いると、第４送信で得られる受信信号「S_{TX3}（ｔ）」は、以下の式（３２）で表わされ、第５送信で得られる受信信号「S_{TX4}（ｔ）」は、以下の式（３３）で表わされ、第６送信で得られる受信信号「S_{TX5}（ｔ）」は、以下の式（３４）で表わされる。

【０１８１】

【数３２】

$$S_{TX3}(t)=\frac{1}{8}\left\{4p(t)+3\beta p^3(t)\right\}\left\{\exp\left(j\omega_0 t+j\frac{\pi}{6}\right)+\exp\left(-j\omega_0 t+j\frac{\pi}{6}\right)\right\}+\frac{\alpha}{2}p^2(t)$$
$$+\frac{\alpha}{4}p^2(t)\left\{\exp\left(j2\omega_0 t+j\frac{\pi}{3}\right)+\exp\left(-j2\omega_0 t-j\frac{\pi}{3}\right)\right\}$$
$$+\frac{\beta}{8}p^3(t)\left\{\exp\left(j3\omega_0 t-j\frac{\pi}{2}\right)+\exp\left(-j3\omega_0 t+j\frac{\pi}{2}\right)\right\} \quad \cdots(32)$$

【０１８２】

【数３３】

$$S_{TX4}(t)=\frac{1}{8}\left\{4p(t)+3\beta p^3(t)\right\}\left\{\exp\left(j\omega_0 t+\frac{\pi}{2}\right)+\exp\left(-j\omega_0 t-\frac{\pi}{2}\right)\right\}+\frac{\alpha}{2}p^2(t)$$
$$+\frac{\alpha}{4}p^2(t)\left\{\exp(j2\omega_0 t+\pi)+\exp(-j2\omega_0 t-\pi)\right\}$$
$$+\frac{\beta}{8}p^3(t)\left\{\exp\left(j3\omega_0 t-j\frac{\pi}{2}\right)+\exp\left(-j3\omega_0 t+j\frac{\pi}{2}\right)\right\} \quad \cdots(33)$$

【０１８３】

【数３４】

$$S_{TX5}(t)=\frac{1}{8}\left\{4p(t)+3\beta p^3(t)\right\}\left\{\exp\left(j\omega_0 t+j\frac{\pi}{6}\right)+\exp\left(-j\omega_0 t-j\frac{\pi}{6}\right)\right\}+\frac{\alpha}{2}p^2(t)$$
$$+\frac{\alpha}{4}p^2(t)\left\{\exp\left(j2\omega_0 t+j\frac{\pi}{3}\right)+\exp\left(-j2\omega_0 t-j\frac{\pi}{3}\right)\right\}$$
$$+\frac{\beta}{8}p^3(t)\left\{\exp\left(j3\omega_0 t-j\frac{\pi}{2}\right)+\exp\left(-j3\omega_0 t+j\frac{\pi}{2}\right)\right\} \quad \cdots(34)$$

【０１８４】

送受信部１１は、受信信号「$S_{TX3}(t)$」、受信信号「$S_{TX4}(t)$」及び受信信号「$S_{TX5}(t)$」を生成し、合成部１２１ａは、これら３つの受信信号を加算する。加算信号「$S_{TX3}(t)+S_{TX4}(t)+S_{TX5}(t)$」は、以下の式（３５）で表わされる。

【０１８５】

【数３５】

$$S_{TX3}(t)+S_{TX4}(t)+S_{TX5}(t)=\frac{3\alpha}{2}p^2(t)-\frac{3\beta j}{8}p^3(t)\left\{\exp(j3\omega_0 t)+\exp(-j3\omega_0 t)\right\} \quad \cdots(35)$$

【０１８６】

式（３５）の右辺に示すように、第２セットの送信で得られた３つの受信信号を加算することで、３つの受信信号に含まれる基本波成分及び２次高調波成分が相殺され、０次高調波成分及び３次高調波成分が増幅された加算信号が得られる。

【０１８７】

そして、合成部１２１ａは、例えば、加算信号「$S_{TX0}(t)+S_{TX1}(t)+S_{TX2}(t)$」から加算信号「$S_{TX3}(t)+S_{TX4}(t)+S_{TX5}(t)$」を差分した差分信号を、合成信号として生成する。かかる場合、合成信号「$S_{TX0}(t)+S_{TX1}(t)+S_{TX2}(t)-S_{TX3}(t)-S_{TX4}(t)-S_{TX5}(t)$」は、以下の式（３６）で表わされる。

【０１８８】
【数３６】

$$S_{TX0}(t)+S_{TX1}(t)+S_{TX2}(t)-S_{TX3}(t)-S_{TX4}(t)-S_{TX5}(t)$$
$$=\frac{3\beta}{4}(1+j)p^3(t)\{\exp(j3\omega_0 t)+\exp(-j3\omega_0 t)\} \quad \cdots(36)$$

【０１８９】
ここで、式（３１）に示す０次高調波成分と、式（３５）に示す０次高調波成分とは、符号が同じである。一方、式（３１）に示す３次高調波成分と、式（３５）に示す３次高調波成分とは、符号が反対である。従って、第５の実施形態で生成される合成信号は、式（３６）の右辺に示すように、第１セットの加算信号及び第２セットの加算信号に含まれる０次高調波成分が相殺され、第１セットの加算信号及び第２セットの加算信号に含まれる３次高調波成分が増幅されて抽出された信号となる。
【０１９０】
送受信部１１は、１フレーム分（或いは、１ボリューム分）の走査範囲を形成する各走査線において、上記の２セットの６回送信を１回行なう。そして、合成部１２１ａは、送受信部１１が生成出力した６つの受信信号の合成信号を、各走査線で生成する。そして、Ｂモードデータ生成部１２１ｂは、合成部１２１ａが出力した各走査線の合成信号に対して、包絡線検波処理、対数圧縮処理等を行なって、１フレーム分（或いは、１ボリューム分）のＢモードデータを生成する。
【０１９１】
そして、画像生成部１３は、このＢモードデータから、Ｂモード画像データを生成し、モニタ２は、制御部１６の制御により、Ｂモード画像データを生成する。これにより、基本波成分、０次高調波成分及び２次高調波成分が相殺され、３次高調波成分のみが増幅抽出された信号により形成された画像が得られることになる。
【０１９２】
上述したように、第５の実施形態では、３次高調波成分を映像化するＴＨＩ法を行なう際に、１本の走査線において、１２０度ずつ位相をずらした３回送信の第１セットの送信と、第１セットの３回送信それぞれとは位相が９０度ずつ異なる３回送信の第２セットの送信とを行なう。そして、第５の実施形態では、第１セットの送信で得られた受信信号の加算信号と、第２セットの送信で得られた受信信号の加算信号との差分を取った合成信号を映像化に用いる。上記の送信波形の制御により、合成信号は、基本波成分、０次高調波成分及び２次高調波成分が相殺され、３次高調波成分のみが増幅された信号となる。従って、第５の実施形態では、３次高調波成分を映像化するＴＨＩ法により得られる画像データの深部分解能の劣化を回避することができる。
【０１９３】
なお、上記では、第１回目から第６回目の送信の初期位相をそれぞれ「φ、φ＋２π／３、φ＋４π／３、φ＋π／２、φ＋７π／６、φ＋１１π／６」、又は、「－２π／３、０、２π／３、－π／６、π／２、－５π／６」としたが，この送信の順番に制約は無く、各位相の関係及び加減算処理の関係が遵守されていれば、送信の順番は、任意の順番に変更することができる。また、上記では、第１セット及び第２セットの２セット送信を各走査線で１回実行する場合について説明した。しかし、本実施形態は、第１セット及び第２セットの２セット送信を各走査線で複数回実行する場合であっても良い。第１セット及び第２セットの２セット送信を各走査線で複数回実行しても、第５の実施形態では、３次高調波成分を映像化するＴＨＩ法により得られる画像データの深部分解能の劣化を回避することができる。
【０１９４】
また、第５の実施形態では、広帯域なハーモニック成分を得るために、第４の実施形態で説明した概念と同様に、第１セット及び第２セットの２セット送信を各走査線で複数回行なう場合に、中心周波数を変更しながら複数回行なっても良い。

【０１９５】
なお、画像生成部１３は、上記の第１～第５の実施形態で得られる合成信号に対してフィルタ処理が行なわれた信号を用いて、超音波画像データを生成しても良い。例えば、合成部１２１ａ、又は、Ｂモードデータ生成部１２１ｂは、合成信号に対して、４次高調波成分や５次高調波成分を抽出するためのフィルタ処理等、操作者が設定した映像化帯域に応じて、フィルタ処理を行なう。そして、Ｂモードデータ生成部１２１ｂは、フィルタ処理後の合成信号からＢモードデータを生成し、画像生成部１３は、このＢモードデータからＢモード画像データを生成する。上記の処理により、操作者が所望する映像化帯域により、深部分解能が維持されたＢモード画像データを生成表示することができる。
【０１９６】
また、上記の第１～第５の実施形態で説明した画像処理方法は、ハーモニックイメージングの別の一例であるＣＨＩ（Contrast Harmonic Imaging）法に適用される場合であっても良い。また、上記の第１～第５の実施形態で説明した画像処理方法は、フレームレートの低下を防止するために、並列同時受信を併用して行なっても良い。
【０１９７】
また、上記の第１～第５の実施形態で説明した画像処理方法は、超音波診断装置とは独立に設置された画像処理装置により実行されても良い。かかる画像処理装置は、例えば、送受信部１１が生成した受信信号群を、超音波診断装置や、記憶媒体等から取得する取得部と、信号処理部１２及び画像生成部１３と同等の機能を有する処理部とを有する。そして、かかる画像処理装置は、これら処理部により、上記の第１～第５の実施形態で説明した画像処理方法を実行する。これによっても、ハーモニックイメージングで得られる画像データの深部分解能の劣化を回避することができる。
【０１９８】
なお、上記の第１～第５の実施形態では、位相回転を含むスキャンシーケンスで得られた受信信号群を、基本波成分とゼロ次高調波成分とを除去する合成処理により、深部分解能の劣化を回避する場合について説明した。しかし、上記の様々なスキャンシーケンスで得られた受信信号群は、例えば、深部分解能の劣化を回避するために、逆に、ゼロ次高調波成分を際立たせる合成処理等、ユーザーの任意の観察目的に応じた合成処理が行なわれる場合であっても良い。
【０１９９】
また、上記の第１～第５の実施形態で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又は物理的に分散・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。
【０２００】
また、上記の第１～第５の実施形態で説明した画像処理方法は、予め用意された画像処理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。この画像処理プログラムは、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、この画像処理プログラムは、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非一時的な記録媒体に記録され、コンピュータによって非一時的な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。
【０２０１】
以上、説明したとおり、第１～第５の実施形態によれば、深部分解能の劣化を回避することができる。
【０２０２】
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

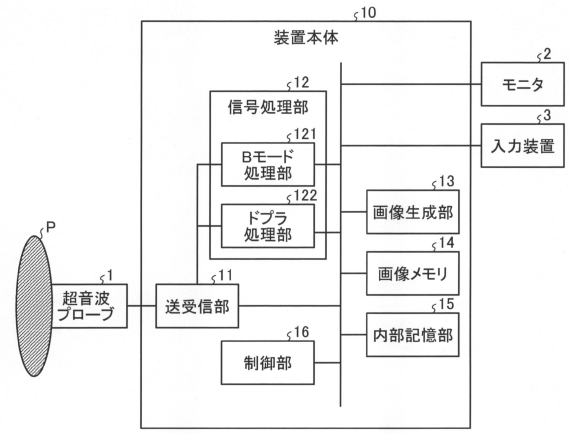
のであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれると同様に、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれるものである。

【符号の説明】

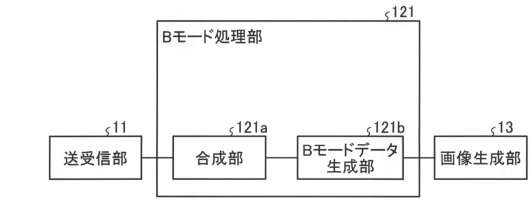
【０２０３】

１１　送受信部
１２　信号処理部
１２１　Ｂモード処理部
１２１ａ　合成部
１２１ｂ　Ｂモードデータ生成部
１３　画像生成部

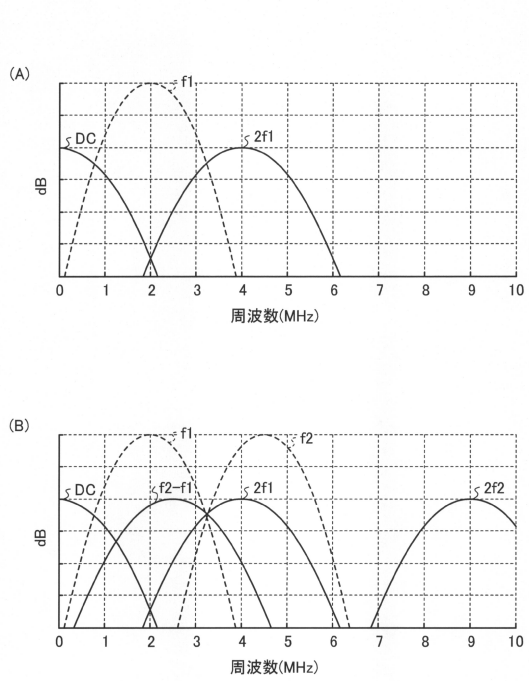
【図１】



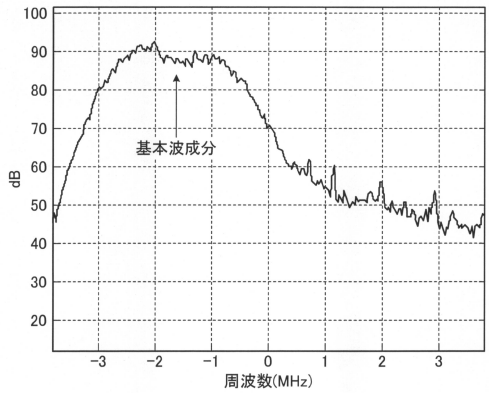
【図２】



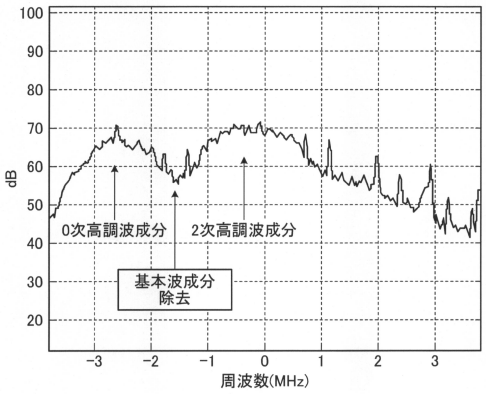
【図３】



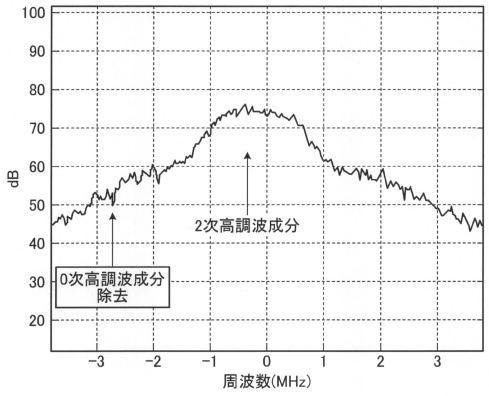
【図４】


100
90
80
70
60
50
40
30
20
dB
基本波成分
−3
−2
−1
0
1
2
3
周波数(MHz)

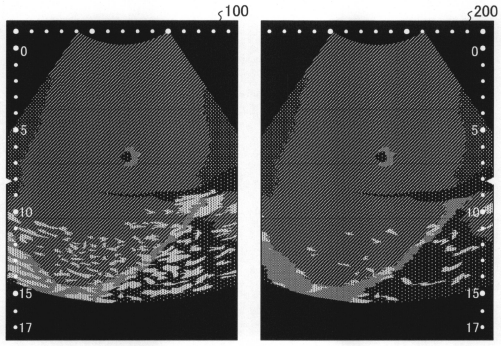
【図５】


100
90
80
70
60
50
40
30
20
dB
0次高調波成分
2次高調波成分
基本波成分
除去
−3
−2
−1
0
1
2
3
周波数(MHz)

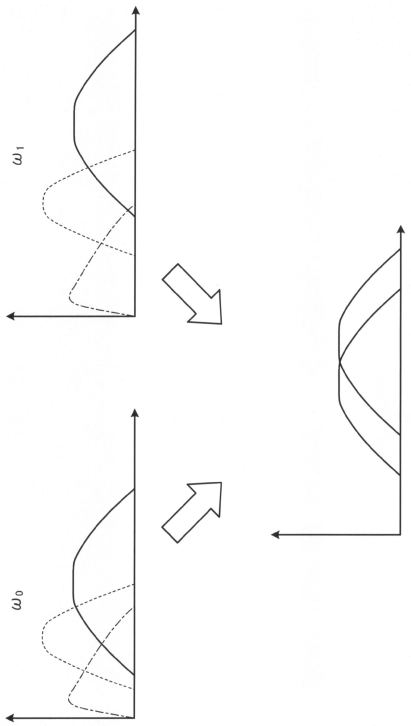
【図６】


100
90
80
70
60
50
40
30
20
dB
2次高調波成分
0次高調波成分
除去
−3
−2
−1
0
1
2
3
周波数(MHz)

【図７】


100
200
0
5
10
15
17
0
5
10
15
17

【図８】



フロントページの続き

(72)発明者　平間　信
栃木県大田原市下石上１３８５番地　東芝メディカルシステムズ株式会社内

審査官　森口　正治

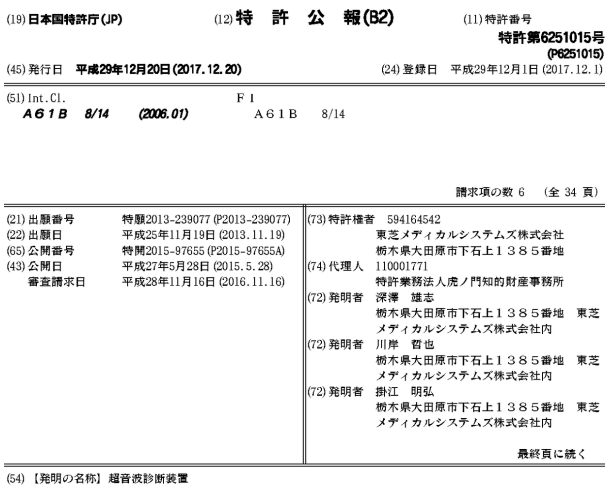
(56)参考文献　特表２００４－５１２８５７（ＪＰ，Ａ）
特開平１１－３４２１２９（ＪＰ，Ａ）
特表２００４－５１０５１４（ＪＰ，Ａ）

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

专利名称(译)	超声诊断设备		
公开(公告)号	JP6251015B2	公开(公告)日	2017-12-20
申请号	JP2013239077	申请日	2013-11-19
[标]申请(专利权)人(译)	株式会社东芝 东芝医疗系统株式会社		
申请(专利权)人(译)	东芝公司 东芝医疗系统有限公司		
当前申请(专利权)人(译)	东芝医疗系统有限公司		
[标]发明人	深澤雄志 川岸哲也 掛江明弘 平間信		
发明人	深澤 雄志 川岸 哲也 掛江 明弘 平間 信		
IPC分类号	A61B8/14		
CPC分类号	A61B8/5207 A61B8/145 A61B8/461 A61B8/467 A61B8/5253 G01S7/52038 G01S7/52077 G01S15/8952 G01S15/8963		
FI分类号	A61B8/14 A61B8/00		
F-TERM分类号	4C601/DE09 4C601/EE01 4C601/HH04 4C601/HH35 4C601/JB45		
其他公开文献	JP2015097655A5 JP2015097655A		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

根据实施例的超声诊断设备包括发送器/接收器（11），信号处理器（12）和图像生成器（13）。发送器/接收器（11）使超声波探头在每条扫描线上发送至少三个超声波脉冲，这三个超声波脉冲是：包括至少一个频率分量并以第一相位发送的第一超声波脉冲;第二超声脉冲，包括频率分量，并以不同于第一相180度的第二相传输;第三超声脉冲包括频率分量，并且以不同于第一相和第二相90度的第三相传输。发送器/接收器（11）还产生对应于各个超声脉冲的多个接收信号。信号处理器（12）组合多个接收信号并产生复合信号，从而从多个接收信号中去除由二阶非线性现象产生的基波分量和低频分量。图像生成器（13）基于复合信号生成超声图像数据。



(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号 特許第6251015号 (P6251015)

(45)発行日　平成29年12月20日(2017.12.20)　(24)登録日　平成29年12月1日(2017.12.1)

(51)Int.Cl.　A61B 8/14 (2006.01)　FI　A61B 8/14

請求項の数 6　(全 34 頁)

(21)出願番号　特願2013-239077(P2013-239077)
(22)出願日　平成25年11月19日(2013.11.19)
(65)公開番号　特開2015-97655(P2015-97655A)
(43)公開日　平成27年5月28日(2015.5.28)
審査請求日　平成28年11月16日(2016.11.16)

(73)特許権者　594164542
東芝メディカルシステムズ株式会社
栃木県大田原市下石上１３８５番地
(74)代理人　110001771
特許業務法人虎ノ門知的財産事務所
(72)発明者　深澤　雄志
栃木県大田原市下石上１３８５番地　東芝メディカルシステムズ株式会社内
(72)発明者　川岸　哲也
栃木県大田原市下石上１３８５番地　東芝メディカルシステムズ株式会社内
(72)発明者　掛江　明弘
栃木県大田原市下石上１３８５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