

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2009-254462

(P2009-254462A)

(43) 公開日 平成21年11月5日(2009.11.5)

(51) Int.Cl.
A61B 8/00 (2006.01)

F I
A61B 8/00

テーマコード (参考)
4C601

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2008-105039 (P2008-105039)
(22) 出願日 平成20年4月14日 (2008. 4. 14)

(出願人による申告) 平成19年度、文部科学省、「先端融合領域イノベーション創出拠点の形成 (高次生体イメージング先端テクノハブ)」に係わる委託研究、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願

(71) 出願人 504132272
国立大学法人京都大学
京都府京都市左京区吉田本町36番地1
(71) 出願人 000001007
キヤノン株式会社
東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(74) 代理人 100085006
弁理士 世良 和信
(74) 代理人 100100549
弁理士 川口 嘉之
(74) 代理人 100106622
弁理士 和久田 純一
(74) 代理人 100131532
弁理士 坂井 浩一郎

最終頁に続く

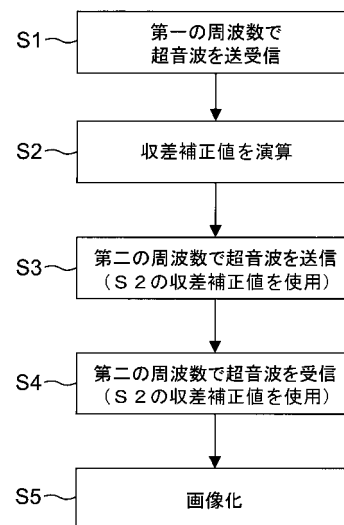
(54) 【発明の名称】 超音波による画像形成方法及び収差補正方法

(57) 【要約】

【課題】収差が大きく収差補正が困難である場合において、正確な収差補正値を導出し高分解能な超音波撮像を得る。

【解決手段】対象物に超音波を送信した際に該対象物から反射される信号を用いて画像を形成する画像形成方法であって、前記対象物に第1の超音波を送信した際に前記対象物から反射される第1の信号を受信する第1の工程と、前記受信した第1の信号に基づいて収差補正値を求める第2の工程と、前記収差補正値に基づいて補正した第2の超音波を前記対象物に送信した際に前記対象物から反射される第2の信号を受信する第3の工程と、前記収差補正値と前記第2の信号とから画像を形成する第4の工程と、を含み、前記第2の超音波の周波数は、0.5MHz以上20MHz以下であり、前記第1の超音波の中心周波数は、前記第2の超音波の中心周波数の3/16以上、9/20以下であることを特徴とする。

【選択図】 図6



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

対象物に超音波を送信した際に該対象物から反射される信号を用いて画像を形成する画像形成方法であって、

前記対象物に第 1 の超音波を送信した際に前記対象物から反射される第 1 の信号を受信する第 1 の工程と、

前記受信した第 1 の信号に基づいて収差補正値を求める第 2 の工程と、

前記収差補正値に基づいて補正した第 2 の超音波を前記対象物に送信した際に前記対象物から反射される第 2 の信号を受信する第 3 の工程と、

前記収差補正値と前記第 2 の信号とから画像を形成する第 4 の工程と、

を含み、

前記第 2 の超音波の中心周波数は、0.5 MHz 以上、20 MHz 以下であり、

前記第 1 の超音波の中心周波数は、前記第 2 の超音波の中心周波数の $3/16$ 以上、 $9/20$ 以下であることを特徴とする画像形成方法。

【請求項 2】

前記第 4 の工程において使用する前記収差補正値は、前記第 2 の工程で求めた収差補正値を前記第 2 の信号を用いてさらに補正した収差補正値であることを特徴とする請求項 1 に記載の画像形成方法。

【請求項 3】

前記第 3 の工程の前に、前記第 1 の工程と前記第 2 の工程とを複数回繰り返すことによって前記収差補正値を求める工程を含み、

当該繰り返し工程において、2 回目以降に使用する前記第 1 の超音波は、直前の前記第 2 の工程で求めた収差補正値を用いて補正したものであることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の画像形成方法。

【請求項 4】

前記第 1 の工程と前記第 2 の工程とを複数回繰り返す際に、前記第 1 の超音波の中心周波数を工程ごとに变化させ、

前記第 2 の超音波の中心周波数は、最後に使用した前記第 1 の超音波の中心周波数よりも高いことを特徴とする請求項 3 に記載の画像形成方法。

【請求項 5】

前記第 1 の超音波の中心周波数は、前記収差補正値を用いて補正した前記第 2 の超音波で形成したビームパターンについての以下の式 (1) で定義される値が所定の範囲の値となるように、定められることを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の画像形成方法。

【数 1】

$$E = \sum (I(x) - P_T) i(x) j(x) \Delta x / \sum (I(x) - P_T) i(x) \Delta x \quad \dots (1)$$

$$i(x) = \begin{cases} 1 & : I(x) > P_T \\ 0 & : \text{それ以外} \end{cases}$$

$j(x)$: 重み関数

$I(x)$: 送信ビームの電力を、電力の最大値で正規化したもの

P_T : 閾値

x : 位置

【請求項 6】

10

20

30

40

50

前記式(1)の重み関数は、以下の式(2)で定義された条件を満たすことを特徴とする請求項5に記載の画像形成方法。

【数2】

$$j(x) = \begin{cases} x^a & : \text{主ビーム領域} \\ bx^c & : \text{主ビーム領域以外} \end{cases} \dots (2)$$

a, b, c : 任意の実数

【請求項7】

前記式(2)の a 、 b 、 c が $a = 2$ 、 $b > 0$ 、 $c = 0$ のうち少なくとも1つを満たすことを特徴とする請求項6に記載の画像形成方法。

【請求項8】

対象物に超音波を送信した際に該対象物から反射される信号を用いて画像を形成する画像形成方法であって、

前記対象物に少なくとも中心周波数の異なる第1の超音波と第2の超音波とを含む超音波を送信した際に前記対象物から反射される信号を受信する第1の工程と、

前記受信した信号を前記第1の超音波の反射波である第1の信号と、前記第2の超音波の反射波である第2の信号とに分離する第2の工程と、

前記分離した第1の信号に基づいて収差補正值を求める第3の工程と、

前記収差補正值と前記第2の信号とから画像を形成する第4の工程と、

を含み、

前記第2の超音波の中心周波数は、0.5MHz以上、20MHz以下であり、

前記第1の超音波の中心周波数は、前記第2の超音波の中心周波数の3/16以上、9/20以下であることを特徴とする画像形成方法。

【請求項9】

前記第2の工程は、前記第1の信号を通過させる第1のフィルタと前記第2の信号を通過させる第2のフィルタとを用いて前記受信した信号を分離する工程であって、

前記第1のフィルタの通過域は、前記収差補正值を用いて補正した前記第2の超音波のビームパターンについての以下の式(3)で定義される値が所定の範囲の値となるように、設定されていることを特徴とする請求項8に記載の画像形成方法。

【数3】

$$E = \sum (I(x) - P_T) i(x) j(x) \Delta x / \sum (I(x) - P_T) i(x) \Delta x \dots (3)$$

$$i(x) = \begin{cases} 1 & : I(x) > P_T \\ 0 & : \text{それ以外} \end{cases}$$

$j(x)$: 重み関数

$I(x)$: 送信ビームの電力を、電力の最大値で正規化したもの

P_T : 閾値

x : 位置

【請求項10】

前記第1の工程において、中心周波数の異なる3以上の超音波を含む超音波を用い、

前記第2の工程において、前記3以上の超音波のそれぞれの周波数に対応する通過域をもつ複数のフィルタを用いて前記対象物からの反射波を3以上の信号に分離し、

10

20

30

40

50

前記第 3 の工程において、前記第 3 の工程で分離した 3 以上の信号のうち複数の信号を前記第 1 の信号として用い、

前記第 4 の工程において、前記第 3 の工程で分離した 3 以上の信号のうち最も高い周波数の信号を前記第 2 の信号として用いることを特徴とする請求項 9 に記載の画像形成方法。

【請求項 1 1】

対象物に異なる周波数を有する 2 以上の超音波を送信した際に該対象物から反射される信号を用いて収差補正を行う収差補正方法であって、

前記対象物に第 1 の超音波を送信した際に前記対象物から反射される第 1 の信号を受信する第 1 の工程と、

前記受信した第 1 の信号に基づいて収差補正值を求める第 2 の工程と、
を含み、

前記第 2 の超音波の中心周波数は、0.5 MHz 以上、20 MHz 以下であり、

前記第 1 の超音波の中心周波数は、前記第 2 の超音波の中心周波数の $3/16$ 以上、 $9/20$ 以下であることを特徴とする収差補正方法。

【請求項 1 2】

対象物に異なる周波数を有する 2 以上の超音波を送信した際に該対象物から反射される信号を用いて収差補正を行う収差補正方法であって、

前記対象物に少なくとも中心周波数の異なる第 1 の超音波と第 2 の超音波とを含む超音波を送信した際に前記対象物から反射される信号を受信する第 1 の工程と、

前記受信した信号を前記第 1 の超音波の反射波である第 1 の信号と、前記第 2 の超音波の反射波である第 2 の信号とに分離する第 2 の工程と、
を含み、

前記第 2 の超音波の中心周波数は、0.5 MHz 以上、20 MHz 以下であり、

前記第 1 の超音波の中心周波数は、前記第 2 の超音波の中心周波数の $3/16$ 以上、 $9/20$ 以下であることを特徴とする収差補正方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波を用いて試料の断層像もしくは三次元像を取得する画像形成方法に関する。また試料内で生ずる音響光学的な収差を補正する超音波の収差補正方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来一般的な超音波を用いて断層像を得る装置（画像形成装置）は、超音波を試料（例えば生体等の被検体）に送信する送信部と、反射波を受信する受信部と、送受信波を走査する走査手段と、受信した反射信号を輝度信号に変換、可視化するための手段によって構成されている。このように構成された画像形成装置によって得られた時系列断層画像を用いて試料の内部を観察することが行われている。また、上記装置の一つの形態においては、上記走査手段によって超音波を上下左右に走査し三次元像を得ることも行われている。

【0003】

ところで、特許文献 1 に示されているように、超音波信号（単に超音波と記す場合もある）を生体等の被検体に送信した場合、当該超音波信号は被検体内を伝播して被検体内部に存在する反射体で反射される。そして、再び被検体内を伝播して超音波探触子で受波される工程においては、伝播する媒体である被検体内の各組織は一般に均質ではないため、超音波探触子に到達する段階で、各音波間に位相差を生じる。その結果、受波超音波による画像が歪んでしまう現象（位相相殺効果と呼ばれる）が発生する。この位相相殺効果により超音波探触子の超音波信号を発信又は受信する面（開口又は開口面ともいう）での反射波の遅延分布が理論値とのずれが生じる。このため、単に開口（開口面）を大きくしても、分解能は大きくは向上せず、従って画質の向上も困難になる。

10

20

30

40

50

【0004】

この問題を解決するために、位相共役送受信という方法がある。位相共役送受信というのは、一般的には入射波面の受波開口面上での位相分布に基づきその入射波の到来する方向に自動的に指向性が向くような整相加算処理（ビームフォーミングともいう）をすることをいう。前述の課題に対しては、その性質を入射波面の受波開口面上での位相分布が途中の経路の音速の分布により歪んでいる場合でも目的波源（エコー源ともいう）に正しく収差補正されるようにするために利用する。即ち受波アレイ（受波プローブともいう）が受信した受波信号の中から2つの受波信号を選択してそのチャンネル間位相差を求める。次いで当該チャンネル間位相差に含まれる非理想成分を求めて位相補正量を定め、その位相補正量により受波信号の位相を補正する。2つの受波信号としては、受波アレイを構成する超音波エレメントの各隣接エレメントからの2信号、又は、全エレメントからの信号の平均値と、各エレメントからの信号の2信号が選択される。位相補正量の演算には特許文献2にも示されているように相互相関演算が用いられる。ここで上記「エレメント」とは超音波を送受信する際の1つまたは複数の超音波変換素子からなる単位ユニットを意味する。

10

【0005】

また特許文献3によれば別の収差補正の形態として、アレイ探触子から第一の波面を送信するステップと、得られた波面を用いて収差補正值を用いるステップを有する。さらに、アレイ探触子から収差補正值に対応した第二の波面を送信するステップと、得られた第二の波面より画像を形成するステップを有する。そして、第一の波面は位相の精度を高める為に狭いビームを、第二の波面は走査スピードを高める為に広いビームを用いる方法がある。

20

【0006】

一方、非特許文献1によれば特許文献1の方法を反復処理することによって補正精度を高めることが試みられている。また特許文献4、5では基本周波数、ハーモニック周波数のいずれか一方で収差補正を行い、他方で画像化を行う方法について言及されている。

【特許文献1】特開平5 - 237104号公報

【特許文献2】特開平7 - 79972号公報

【特許文献3】特開2006 - 142026号公報

【特許文献4】米国特許第6,023,997号明細書

【特許文献5】米国特許第6,223,599号明細書

【非特許文献1】"Estimation of ultrasound wave aberration with signals from random scatterers", J. Acoust. Soc. Am. 115(6),2004.

30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

従来の方法においては、点ターゲットからの反射のように反射強度が所定レベル以上の強度を有する対象物（測定対象物ともいう）からの信号（反射波）では補正が可能である。しかし、微小な散乱体からの反射のように反射強度の弱いくが所定レベル以下である対象物からの信号（反射波）では、各反射波の相関性が低いため、補正が困難であるという課題を有していた。つまり、特許文献1に述べられているように従来の収差補正方法においては収差補正の対象となる音線を含む信号（反射波）を発する対象物の近傍に存在する媒体が発する弱く不均一な反射波（エコー）のスペックル成分も位相誤差計測の対象としなければならない。しかし、スペックル成分（微小散乱体からの信号）は統計的性質でしか論ぜられない不安定な存在であり、点ターゲットによる位相計測とは異なり、あるエコーの区間長について積分しなければならない。また超音波探触子が有する測定の対象となる信号（メインプローブともいう）の位相計測の障害となる周囲の信号（サイドプローブともいう）のため、対象を通る円周上にある目標物以外の反射点からのエコーが受波される場合がある。そしてこのようなエコーの受波は収差補正の誤差の原因となっている。

40

【0008】

50

特に上記特許文献 1 においてはドブラ成分を有する目標からのエコーに限定してデータを収集することによって前記のサイドローブによる位相補正誤差はある程度低減できる。しかし、例えば被検体が生体等の場合には、血流や動きのある部分でしか使用できず、適用範囲が大きく制限されていた。

【0009】

また、非特許文献 1 では同様の方法を反復改良することによって補正精度を高めることが試みられているが、同様に相関性の低いデータにおける課題が指摘されている。

【0010】

一方、特許文献 3 に述べられている如く第一の波面に狭いビーム（音線の束）を用いる場合には一般に高周波数領域を使用する。また第二の波面に広いビームを用いる場合には一般に低周波数領域を使用するか、周波数は変化せずに遅延、開口制御等にてビーム径を制御する。これは狭いビームを用いる場合に高周波数領域を使用すると位相に対する感度が高くなる一方、一周期以上の位相変化を生じ波面が揃わないという問題（エイリアシングともいう）がある。また一方エイリアシングを避けるために低周波数を用いた場合には十分な解像度が得られないという問題があった。

10

【0011】

また一方特許文献 4、5 で述べられている方法では基本周波数、もしくはハーモニック周波数で収差補正が可能であることを前提としているものの、収差が大きく収差補正が困難である場合の解決法が示されていない。また、本発明者らの知見によれば、単に異なる 2 つの周波数を有する超音波を用いるのみでは、必ずしも精度の高い収差補正值が得られるものではなく、例えば周波数の組み合わせによっては、補正効果が小さいか、むしろ悪くなる場合がある。

20

【0012】

一般に超音波の指向性は横軸に方位もしくは位置、縦軸に信号強度を用いて評価されるが、指向性が強い一方サイドローブの高いビームと、指向性がそれほど鋭敏でない一方サイドローブの少ないビームの評価は定量的には困難であった。これは上記特許文献 4、5 に述べられている収差補正を行う際にも同様であるが、上記特許文献では収差の評価およびその周波数に関しては注意が払われていなかった。

【0013】

本発明は上記課題を鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、収差が大きく収差補正が困難である場合において、正確な収差補正值を導出する方法及び当該収差補正值を用いて高分解能な超音波撮像を得る方法を提供することにある。

30

【課題を解決するための手段】

【0014】

上記課題を解決する為、本発明者らが鋭意検討を行った結果、本発明の完成に至ったものである。本発明は、低周波数による送受信の場合に各受信素子における相関がとりやすくなり収差補正の精度が上がるという知見と、超音波のイメージングにおいては高周波による送受信は低周波の送受信に比較して解像度が良いという知見に基づくものである。さらに本発明は、収差補正量は周波数依存性が低いという知見と、収差補正に採用する低周波、高周波には最適値が存在するという知見に基づくものである。

40

【0015】

本発明は上記の知見に基づくものであり、その骨子とするところは、対象物に超音波を送信した際に該対象物から反射される信号を用いて画像を形成する画像形成方法であって、

前記対象物に第 1 の超音波を送信した際に前記対象物から反射される第 1 の信号を受信する第 1 の工程と、

前記受信した第 1 の信号に基づいて収差補正值を求める第 2 の工程と、

前記収差補正值に基づいて補正した第 2 の超音波を前記対象物に送信した際に前記対象物から反射される第 2 の信号を受信する第 3 の工程と、

前記収差補正值と前記第 2 の信号とから画像を形成する第 4 の工程と、

50

を含み、

前記第2の超音波の中心周波数は、 0.5MHz 以上 20MHz 以下であり、

前記第1の超音波の中心周波数は、前記第2の超音波の中心周波数の $3/16$ 以上、 $9/20$ 以下であることを特徴とするものである。

【0016】

また本発明は、対象物に超音波を送信した際に該対象物から反射される信号を用いて画像を形成する画像形成方法であって、

前記対象物に少なくとも中心周波数の異なる第1の超音波と第2の超音波とを含む超音波を送信した際に前記対象物から反射される信号を受信する第1の工程と、

前記受信した信号を前記第1の超音波の反射波である第1の信号と、前記第2の超音波の反射波である第2の信号とに分離する第2の工程と、

前記分離した第1の信号に基づいて収差補正値を求める第3の工程と、

前記収差補正値と前記第2の信号とから画像を形成する第4の工程と、

を含み、

前記第2の超音波の中心周波数は、 0.5MHz 以上、 20MHz 以下であり、

前記第1の超音波の中心周波数は、前記第2の超音波の中心周波数の $3/16$ 以上、 $9/20$ 以下であることを特徴とするものである。

【0017】

また本発明は、対象物に異なる周波数を有する2以上の超音波を送信した際に該対象物から反射される信号を用いて収差補正を行う収差補正方法であって、

前記対象物に第1の超音波を送信した際に前記対象物から反射される第1の信号を受信する第1の工程と、

前記受信した第1の信号に基づいて収差補正値を求める第2の工程と、

を含み、

前記第2の超音波の中心周波数は、 0.5MHz 以上 20MHz 以下であり、

前記第1の超音波の中心周波数は、前記第2の超音波の中心周波数の $3/16$ 以上、 $9/20$ 以下であることを特徴とするものである。

【0018】

また本発明は、対象物に異なる周波数を有する2以上の超音波を送信した際に該対象物から反射される信号を用いて収差補正を行う収差補正方法であって、

前記対象物に少なくとも中心周波数の異なる第1の超音波と第2の超音波とを含む超音波を送信した際に前記対象物から反射される信号を受信する第1の工程と、

前記受信した信号を前記第1の超音波の反射波である第1の信号と、前記第2の超音波の反射波である第2の信号とに分離する第2の工程と、

を含み、

前記第2の超音波の中心周波数は、 0.5MHz 以上、 20MHz 以下であり、

前記第1の超音波の中心周波数は、前記第2の超音波の中心周波数の $3/16$ 以上、 $9/20$ 以下であることを特徴とするものである。

【発明の効果】

【0019】

以上説明したように本発明によれば、収差が大きく収差補正が困難である場合において、収差補正を行う最適な周波数を選択し、正確な収差補正値を導出することにより高分解能な超音波撮像を実現することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0020】

本発明においては、収差補正に使用する超音波を第1の超音波と定義し、周波数画像化に用いる超音波を第2の超音波と定義する。

【0021】

また本発明においては、画像形成は必須ではなく、本発明の収差補正方法により得た収差補正データのみを解析データ等として活用することもできる。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 2 】

本発明においては、好適な収差補正を行うには、収差補正用の周波数および画像化の周波数を適切に選択する必要があることと、ビーム特性の評価を行う必要があることに配慮した。これは従来の方法では収差補正を行った際に、当該収差が補正できているのか、補正できていないのかが必ずしも明確に判断できる指標が存在しないために本発明者らが検討の結果求めたものである。

【 0 0 2 3 】

具体的には次の評価関数を定義し、ビーム特性の評価を行うことが好ましい。

【数 1】

$$E = \sum (I(x) - P_T) i(x) j(x) \Delta x / \sum (I(x) - P_T) i(x) \Delta x \quad \dots (1)$$

$$i(x) = \begin{cases} 1 & : I(x) > P_T \\ 0 & : \text{それ以外} \end{cases}$$

$j(x)$: 重み関数

$I(x)$: 送信ビームの電力を、電力の最大値で正規化したもの

P_T : 閾値

x : 位置

10

20

【 0 0 2 4 】

また、重み関数は次のように定義された条件を満たす。

【数 2】

$$j(x) = \begin{cases} x^a & : \text{主ビーム領域} \\ bx^c & : \text{主ビーム領域以外} \end{cases} \quad \dots (2)$$

a, b, c : 任意の実数

30

【 0 0 2 5 】

重み関数のパラメータを $a = c = 2$ 、 $b = 1$ とした場合の評価関数を等価半値幅と定義する。

【 0 0 2 6 】

本発明において、画像形成に用いる超音波（第 2 の超音波）の周波数（第 2 の周波数）の好ましい範囲は、0.5 MHz 以上、20 MHz 以下である。より好ましい範囲は 0.7 MHz 以上、15 MHz 以下である。最適には 1 MHz 以上、12 MHz 以下である。当該画像形成に用いる第 2 の超音波の中心周波数は、形成する画像に求められる精度、解像度、精細度等に基づいて決定することが好ましい。

40

【 0 0 2 7 】

本発明において収差補正に用いる超音波（第 1 の超音波）の周波数（第 1 の周波数）の好ましい範囲は、前記第 2 の超音波の中心周波数の $3/16$ （18%）以上、 $9/20$ （45%）以下の中心周波数である。

【 0 0 2 8 】

以下に本発明にかかる超音波撮像における収差補正のための方法を説明する。撮像にあ

50

たつては、二段階の超音波送受信プロセスを有する。まず第一段階においては低周波領域においての超音波（第1の超音波）送受信によって収差量の測定を行う。つまり、低周波数の超音波（第1の信号）がマルチエレメントトランスデューサ（複数のエレメントを有する超音波送受信器）から送信され、反射した超音波（第1の信号）は各エレメントによって受波される（第1の工程）。そして各エレメント間のフォーカス、ステアリングに伴う遅延量補正がなされた後、エレメント間の位相差の計測が相互相関演算によって行われる。相互相関演算は特許文献2と同様の方法を用いて行う。すなわち、各受信信号の一部を相関計算領域として切り出し（抽出し）、この切り出された各受信信号のうち、互いに隣接する2つの受信信号間で相互相関演算が行われ、求められた相互相関関数のピーク値の存在する位置から隣接素子間の時間ずれが求められる。この時間ずれが互いに隣接する2つの受信信号の全てについて求められ、この求められた各時間ずれが例えば1番目の素子に対応する受信信号の到達時刻を基準にして順次積算される。これにより基準の受信信号に対する他の受信信号の各時間ずれ t が求められる。そして各時間ずれ t が素子毎の時間遅延量（収差補正值）として装置に記憶される（第2の工程）。

10

【0029】

上記第3の工程の前に、第1の工程と第2の工程とを複数回繰り返すことによって、一旦求めた補正值を再補正して、補正值の精度をより高めることができる。当該繰り返し工程において、2回目以降に使用する前記第1の超音波は、直前の前記第2の工程で求めた収差補正值を用いて補正したものである。

20

【0030】

またこの際に使用する超音波の周波数は1つの周波数（中心周波数）に固定する必要はなく、工程毎に変化（増加又は減少）させても良い。本発明者らの知見によれば徐々に（例えば前の工程で使用した超音波の周波数の5～50%の範囲）で増加させることにより、より精度の高い補正值を求めることができる。またこの際毎回増加させる必要はなく、得られた信号に応じて前回の超音波の周波数を維持する、或いは減少させる工程を含んでも良い。そして画像形成に用いる超音波（第2の超音波）の中心周波数は、最後に使用した前記第1の超音波の中心周波数よりも高いことが補正值の精度を向上する上で好ましい。これは周波数が高いほど分解能が高いことが理由と考えられる。

【0031】

次に第二段階においては収差補正が行われた超音波（第2の超音波）の送受信によって撮像を行う。つまり第一段階において計測された遅延量だけ補正された超音波の送信を行い、また対象物から反射され受信された超音波信号（第2の信号）も同様の遅延補正を行う（第3の工程）。これにより適正な収差補正が行われた状態にて超音波の送受信を行うことができる。そして、収差補正後の第2の信号に基づいて画像が形成される（第4の工程）。なお画像形成に用いる第2の超音波は、前記第1の超音波よりも高周波数のものが用いられる。

30

【0032】

収差補正に用いる第一の周波数と画像形成に用いる第二の周波数の組み合わせは、上記の等価半値幅が所定の範囲の値となるように次のように決定することが好ましい。図1に0.5MHzから4MHzの第一の周波数を送信して収差補正值を求め、それぞれの収差補正值を用いて4MHzの第二の周波数で形成した送信ビームの等価半値幅を示す。図1において、横軸は画像形成用の超音波（第2の超音波）の周波数として0.5MHzから4MHzの超音波を用いる場合の収差補正に用いる超音波（第1の超音波）の周波数である。横軸は等価半値幅である。等価半値幅は、その値が小さいほど目標位置に焦点形成されていることを意味する。

40

【0033】

本発明者らの知見によれば、より高精細な画像を形成するためには、等価半値幅を所定のレベル以下に小さくすること、及びサイドロープの影響を所定のレベル以下に抑制する必要がある。本発明者らの知見によれば、メインロープのみを収差補正の半値幅として評価する場合には閾値 - 10dBとなる。そして、図1において閾値 - 10dBの曲線が変

50

化を開始し始める等価半値幅は 8 mm である。従って等価半値幅を 8 mm 以下、閾値を -10 dB 以下とすることが好ましい。

【0034】

等価半値幅 8 mm、閾値 -10 dB を目標とする場合には、0.75 MHz から 1.8 MHz が収差補正値を求めるための第一の周波数として適しているが、2 MHz 以上や 0.6 MHz 以下は適さないことがわかる。これは、高周波数では収差補正値に数波長分のずれが生じやすく、低周波数では補正値の精度が下がるためであると推測できる。媒質の状態や閾値によってもある程度は変化するが、上記の目標の場合、最適な第一の周波数は第二の周波数の 3/16 以上、9/20 以下であると考えられる。

【0035】

上記検討結果は、第 2 の超音波の中心周波数として、4 MHz の超音波を使用し、第 1 の超音波の中心周波数として 0.5 MHz から 4 MHz の周波数を用いた際の実験結果を示すものである。本発明者らの知見によれば、この関係は上記周波数範囲に限定されるものではなく、少なくとも第 2 の超音波として、0.5 MHz から 20 MHz の周波数を使用する際の補正値を求める第 1 の超音波の周波数の範囲にも有効である。これは以下の理由によるものと考えられる。第一の周波数と第二の周波数の関係はそれぞれの位相測定精度によって決定されることが主な要因であるため、同じ位相測定精度を求める場合には、他の周波数であっても、その比率は適用できるものと考えられる。例えば、第二の周波数を 20 MHz にて使用した場合には最適な第一の周波数は 3.75 MHz から 9 MHz である。

【0036】

等価半値幅は焦点形成の目標点を中心とした送信電力の分散を評価関数としているため、より高精細な画像を形成するためには目標点からの送信電力のばらつきが少ないものを選択する必要がある。等価半値幅は主ビームの幅、ビーム形成位置のずれの両者を評価できるが、目標点から離れた位置に形成されるサイドローブほど評価値に与える影響が大きくなるという問題点がある。そこで以下に説明するように評価関数を決定することによって最適な補正を行うことも可能である。図 2 は 1.33 MHz、1 MHz、0.8 MHz のそれぞれの送信周波数で収差補正値を求めたときの、4 MHz での送信ビームパターンである。図 2 において横軸は x 座標、縦軸は送信ビーム電力を示す。1 MHz で収差補正したビームパターンは主ビーム幅、サイドローブレベルの点で他の 2 つより優れているが、周辺部におけるサイドローブの電力のため、閾値を -15 dB、-20 dB としたとき 1.33 MHz と比較し等価半値幅が広がっていると考えられる。このように、等価半値幅を用いた場合には最適な第一の周波数の選択が困難な場合がある。そこで等価半値幅だけでは評価が不十分な場合には以下のような関数を選択することもできる。つまりサイドローブは形成位置にかかわらずその電力が問題となるため、サイドローブの評価には形成位置に関するパラメータが不要である。そのため、主ビーム領域とそれ以外で重み関数として異なる関数を用い、特に主ビーム領域（メインローブともいう）以外では位置の関数を含まないよう $c = 0$ とする。図 3、4 は重み関数を $a = 2$ 、 $c = 0$ とし、 b をそれぞれ 1 または 10 としたときの、図 2 に示した各送信ビームパターンの評価値である。いずれの評価関数を用いた場合でも第一の周波数を 1 MHz に選択でき、等価半値幅を用いる場合と比較し改善が認められる。このように、主ビーム領域と主ビーム領域以外で異なる重み関数を用い、主ビーム領域以外では位置の関数を含まない、という評価関数を選択することもビームパターンの評価には有効である。

【0037】

次に、本発明の別の形態である、第 1 の超音波（成分）と第 2 の超音波（成分）とを同一の超音波信号に合成して送信する構成について説明する。広帯域超音波信号（複数の中心周波数の異なる超音波の合成波）を送信する場合の収差補正技術を用いた超音波撮像方法を説明する。収差が大きい場合には、撮像に用いる第二周波数成分と比較し十分低い第一周波数成分で収差補正値を求める。撮像にあたっては、中心周波数の異なる 2 以上の超音波を含む、広帯域の超音波送信ビームを測定空間全体に 1 回走査する（第 1 の工程）。

第一、第二帯域通過フィルタを用いて受信信号から第一周波数成分（第1の信号）、第二周波数成分（第2の信号）を分離する（第2の工程）。第一帯域通過フィルタの最適な通過域（通過させる周波数）は収差の大きさに依存するが、その好適な範囲は撮像に用いる第二帯域通過フィルタの通過域の $3/16$ （18%）以上 $9/20$ （45%）以下である。まず第一周波数成分を用いて収差補正値を計算し（第3の工程）、第二周波数成分を用いて第一周波数成分で計算した収差補正値をさらに補正（改良ともいう）した後、当該再補正後の補正値を使用して第二周波数成分から超音波画像を形成する（第4の工程）。この方法では、広帯域超音波信号を1回走査するだけで全測定方向の収差補正、画像化が可能であり、高い時間分解能が実現できる。

【0038】

超音波が伝播する媒質中に微小散乱体（弱散乱体ともいう）が存在する不均一媒質中の場合でも正確に収差補正値を計算するためには、第1の超音波と第2の超音波の周波数との関係は以下の関係を満たすように設定することが好ましい。即ち第1の超音波（収差補正に使用する超音波）の中心周波数は第2の超音波（画像形成に用いる超音波）の中心周波数の $3/16$ （18%）以上 $9/20$ （45%）以下とすることが好ましい。従って、超音波信号の送受信に用いる探触子の比帯域（帯域幅を中心周波数で割った値）は、上記第1の超音波と第2の超音波とを送受信する必要がある為、75.8%以上137%以下が必要である。上記の例に記されている収差補正に使用する周波数が1MHz、画像化に用いる周波数が4MHzの場合には比帯域は83%である。しかし、それぞれの中心周波数に対して十分な帯域幅を確保する必要がある。以上を考慮すると、例えば100%以上の帯域が確保されること、もしくは第1の超音波（例えば1MHz）、第2の超音波（例えば4MHz）のそれぞれの中心周波数に対して帯域が確保されていることが望ましい。

以上説明したように広帯域超音波信号を用いる場合であっても、第1の超音波と第2の超音波の周波数（中心周波数）の関係は、第1の超音波と第2の超音波とを独立に用いた場合と同じである。

【0039】

<実施例>

超音波装置の一例として、本実施形態では医用超音波診断装置の例を示すが、医用超音波診断装置に限らず超音波を用いたその他装置にも同様に適用できる。以下、図面を参照して本発明の実施例を詳細に説明するが、本発明はこれらの記載によって何ら限定されるものではない。

【0040】

（実施例1）

（第一の超音波送受信）

図5は本発明の実施例1の超音波装置のブロック図である。図において、1は超音波装置全体の制御を行うためのシステム制御部、2は送信超音波を発生する送信信号発生部である。送信信号発生部2はシステム制御部1より送信トリガを入力される。そして各素子に配置された送信遅延回路3に設定される遅延の後、送信パルス変調、電力増幅が行われ各素子の送信信号が探触子4へ送波される。探触子4は電気信号と超音波の変換を行う超音波探触子で、素子はn個の長方形に配列されている。

【0041】

送信された超音波は対象物で反射され、その反射された超音波は再び超音波探触子4によって受波され電気信号に変換される。受波された電気信号は初段アンプ5によって増幅され、アナログ-デジタル変換器6によってデジタル変換される。

【0042】

（収差量の測定）

そして位相差演算回路8によって素子間の超音波信号の位相差が演算される。具体的には得られた各素子の信号に対して送受信ビームの焦点、ビーム方向に対する遅延量補正を行い、残りの位相誤差を隣接素子間に対して相互相関を取ることによって素子間の相対位相誤差を求める。その後、全ての相対位相誤差の平均からの位相ずれ量が求められる。そ

10

20

30

40

50

して、位相ずれ量は遅延量に換算され、収差補正值（遅延量誤差を補正する量）として、システム制御部 1 に記憶される。

【 0 0 4 3 】

（第二の超音波送受信）

次に上に述べた超音波送受信と同様の送受信処理を行う。ただしこの際の送信周波数は第一回目の送受信より高くする。位相差演算回路 8 の動作は行わない。超音波の送信に際しては、先のシステム制御部 1 に記憶された収差補正值 9 が送信遅延回路 3 に入力される。また、送信遅延回路 3 には焦点、ビーム方向に対する遅延量も加算入力される。それらの遅延の後、送信パルス変調、電力増幅が行われ各素子の送信信号が探触子 4 へ送波される。

10

【 0 0 4 4 】

探触子 4 による試料への超音波送信の後、対象物から反射された超音波は探触子 4 によって受波され、第一回目の受信と同様に初段アンプ 5、アナログ - デジタル変換器 6 を通じて各素子のデジタル信号が出力される。

【 0 0 4 5 】

（収差量の補正）

次に受信遅延回路 10 に信号が入力される。受信遅延回路 10 には焦点、ビーム方向、及び第一回目の送受信によってシステム制御部 1 に記憶された収差補正值 11 が加算入力されており、各素子からの信号に対して適正な遅延が与えられる。

【 0 0 4 6 】

（信号処理、画像出力）

そして、遅延が与えられた各素子の信号に対して直交検波器 12 によって検波が行われ、信号処理、画像処理回路 13 によって I 信号、Q 信号の相乗平均及び輝度信号への変換が行われた後、画像表示部 14 に画像出力される。

20

【 0 0 4 7 】

以上のプロセスをフロー図に表したものが図 6 である。上に説明したように、まず第一の周波数にて第 1 の超音波を送信し、対象物から反射される第 1 の信号を受信する（S1）。S1 で受信した第 1 の信号に基づき位相差演算回路 8 によって収差補正值を演算し、システム制御部 1 に記憶する（S2）。次に第二の周波数にて第 2 の超音波の送信を行う（S3）。この際にはシステム制御部 1 に記憶された第一の送受信によって得られた収差補正值を適用する。そして対象物から反射される第 2 の信号を受信する（S4）。受信した第 2 の信号に対してもシステム制御部 1 に記憶された第一の送受信によって得られた収差補正值を適用する。収差補正した後の第 2 の信号から画像を形成する（S5）。

30

【 0 0 4 8 】

上記方法を用いて超音波の送受信シミュレーションを行った例を次に説明する。本実施例においては第 1 の超音波として中心周波数 1 MHz の超音波を使用し、第 2 の超音波として中心周波数 4 MHz の超音波を使用した。超音波の送受信には 16 素子、素子幅 0.5 mm、素子間隔 0.6 mm のアレイトランスデューサを用いた。シミュレーションモデルは図 7 に示すように厚さ 2 cm の脂肪層下に筋肉層を有し、深さ 5 cm に脂肪滴を有するモデルを採用した。また、効果を比較する為に、第 1 の超音波、第 2 の超音波共に中心周波数 4 MHz の超音波を使用した比較例についても同様のシミュレーションを行った。

40

【 0 0 4 9 】

計算結果を示したものが図 8 である。図 8 は実施例と比較例それぞれの送受信方法における、第 2 の超音波の送信ビームの指向性を示している。15 は本実施例（第 1 の超音波：1 MHz、第 2 の超音波：4 MHz）の結果、16 は比較例（第 1、第 2 の超音波：4 MHz）の結果である。各送受信方法におけるビーム半値幅を測定すると、本実施例の場合には 1.77 mm、比較例の場合には 3.51 mm であった。以上のシミュレーションにより本実施例の方法の効果を確認することができた。従って、本実施例の方法を用いて B モード画像の取得を行った場合は、比較例の方法と比較して約 1/2 の解像度を達成することができる。

50

【0050】

なお本実施例では相互相関演算を行うことによって位相差の演算を行ったが、直交検波出力から各信号の位相を求めることによって同様の効果を得ることができる。また本実施例ではビーム指向性とBモード画像について説明したが、本発明は超音波を利用する画像形成方法全般に応用可能である。たとえば、本発明は、Mモード、Cモード画像、3D画像の描出、多段フォーカス制御などの機能を有した超音波断層像を用いた診断装置全般に適用可能である。また本発明は、穿刺、HIFU (High-Intensity Focused Ultrasound)、術中超音波、超音波結石破砕などの治療、体腔内超音波にも適用可能である。さらに本発明は、診断装置以外の超音波探傷装置等超音波の集束が必要な装置にも適用可能である。

10

【0051】

また本実施例では、図6のS4及びS5において画像形成のための受信ビームを形成する際に、S3の送信時に用いた収差補正值と同じものを用いているが、その収差補正值をS4で受信した第2の信号を用いて改良(補正)したものをを用いてもよい。これにより、収差補正の精度がより向上する。また、S1及びS2の処理を複数回繰り返して、収差補正值を改良することも好ましい。S1及びS2の処理を複数回繰り返す場合には、S1で用いる第1の超音波の中心周波数を徐々に高くすることも好ましい。信号の相関をとりやすい低周波数で収差補正值の初期値を求めた後、画像形成に利用する第2の超音波の周波数に徐々に近づけながら補正值の改良を繰り返すことで、画像形成時の送受信波に対する収差補正に適した補正值を容易且つ精度良く得ることができる。なお、画像形成に利用する第2の超音波の中心周波数は、収差補正で最後に使用した第1の超音波の中心周波数よりも高いか同じものが用いられる。

20

【0052】

本発明において上記のように、より精度の高い収差補正值を求める為に第1の超音波の中心周波数を徐々に高くする場合、収差補正で最後に使用した第1の超音波の中心周波数と第2の超音波の中心周波数との関係は、上記関係を満たせばよい。即ち、画像形成に利用する第2の超音波の中心周波数は、収差補正で最後に使用した第1の超音波の中心周波数よりも高いか同じであれば良い。

【0053】

本発明において、「第1の超音波の中心周波数が第2の超音波の中心周波数の $3/16$ 以上、 $9/20$ 以下である」という条件を満たすことが必要であるのは、収差補正值を求めるために最初に送信する第1の超音波と、画像を形成する為の第2の超音波との関係である。

30

【0054】

(実施例2)

実施例1においては2回の超音波送受信によって収差補正を行う例を示したが、本実施例においては1回の超音波送受信によって収差補正を行う例を示す。図9は実施例2の超音波装置のブロック図である。超音波の送信、受信の処理は実施例1と同様であるが、実施例2では、広帯域の超音波を送信する点と、受信後の超音波信号を第1のフィルタ17、第2のフィルタ18にて弁別する点が実施例1と異なる。

40

【0055】

実施例1においては収差補正に使用する第1の超音波の中心周波数が1MHz、画像化に使用する第2の超音波の中心周波数が4MHzであった。本実施例でも同様の処理を行う為、少なくとも1MHzの第1の超音波と4MHzの第2の超音波とを含む広帯域の超音波を用いる。そして、第1のフィルタ17として、1MHzを通過させるバンドパスフィルタを用い、第2のフィルタ18として、4MHzを通過させるバンドパスフィルタを用いる。

【0056】

第1のフィルタ17を通過した信号(第1の超音波の反射波に相当する第1の信号)は、位相差演算回路8に入力される。実施例1と同様に位相差演算回路8によって収差補正

50

値の演算が行われる。演算された収差補正值は、システム制御部 1 を通じ焦点、ステアリングによる遅延量が考慮された後、受信遅延回路 10 に入力される。一方第 2 のフィルタ 18 を通過した画像表示に使用される信号（第 2 の超音波の反射波に相当する第 2 の信号）も受信遅延回路 10 に入力される。受信遅延回路 10 では、上記収差補正值を用いて第 2 の信号の収差補正が行われる。補正後の第 2 の信号に基づいて、直交検波器 12、信号処理、画像処理回路 13 によって画像が形成され、画像表示部 14 に表示される。従って、本実施例では一回の送受信によって収差の補正及び画像化が可能となる。

【0057】

なお本実施例では、2つのフィルタを用いているが、互いに通過域の異なる3以上のフィルタを用いて受信波を3以上の信号（周波数成分）に分離してもよい。このときは、分離した3以上の信号のうち複数の信号を用いて収差補正值の演算を行う。そして、画像の形成には、3以上の信号のうち最も高い周波数の信号を利用する。これにより収差補正の精度向上と分解能の向上を図ることができる。

【0058】

（実施例3）

実施例1及び2においては収差補正プロセスは1回であるが、本実施例では複数回行う場合の例を示す。図10は本実施例を説明する収差補正の手順である。本実施例にて使用する超音波システムは実施例1と同様、図5に示されている。

【0059】

図10は、まず第一の周波数にて第1の超音波を送信し、対象物から反射される第1の信号を受信する（S1）。S1で受信した第1の信号に基づき位相差演算回路8によって収差補正值1を演算し、システム制御部1に記憶する（S2）。次に第二の周波数にて第2の超音波の送受信を行う（S3）。この際超音波の送信にはシステム制御部1に記憶された第一の送受信によって得られた収差補正值1を適用する。

【0060】

そしてS3で受信した第2の信号に基づき位相差演算回路8によって収差補正值2を演算し、システム制御部1に記憶する（S4）そして対象物へ第3の信号を送受信する（S5）。受信した第3の信号に対してはシステム制御部1に記憶された第二の送受信によって得られた収差補正值2を適用する。そして収差補正した後の第2の信号から画像を形成する（S6）。

【0061】

以上の方法を用いることによって第一の周波数による超音波の送受信によって演算された収差補正量に誤差がある場合であっても再度第二の周波数による超音波の送受信を行うことによって高精度な補正が可能となる。

【0062】

なお、本実施例では第二の周波数においても収差補正を行ったが、その他の類似した方法、例えば第一の周波数による収差補正を反復して繰り返す方法、第一の周波数による収差補正と第二の周波数による収差補正を反復して繰り返す方法、また、第一、第二の周波数による収差補正に加えさらに第三の周波数による収差補正もしくは画像化を行う等複数回周波数を変化させ、収差補正と画像化を行う方法などの方法を用いることによって同様の効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【0063】

【図1】本発明にかかる周波数と等価半値幅を説明する為の図。

【図2】本発明にかかる収差補正時の送信周波数とビームパターンを説明する為の図。

【図3】本発明にかかる収差補正時の送信周波数と評価関数を説明する為の図。

【図4】本発明にかかる収差補正時の送信周波数と評価関数を説明する為の図。

【図5】実施例1を説明する為の超音波装置の一例を示す図。

【図6】実施例1を説明する為の収差補正及び画像化の手順を示す図。

【図7】実施例1を説明する為のシミュレーション例を示す図。

10

20

30

40

50

【図8】実施例1を説明する為のビームパターンを示す図。

【図9】実施例2を説明する為の超音波装置の一例を示す図。

【図10】実施例3を説明する為の収差補正及び画像化の手順を示す図。

【符号の説明】

【0064】

- 1 システム制御部
- 2 送信信号発生部
- 3 送信遅延回路
- 4 超音波探触子
- 5 初段アンプ
- 6 アナログ-デジタル変換器
- 8 位相差演算回路
- 9、11 システム制御部に記憶された遅延補正量

10

10 受信遅延回路

12 直交検波器

13 信号処理、画像処理回路

14 画像表示部

15 実施例1(第1の超音波:1MHz、第2の超音波:4MHz)の送信ビームの指向性

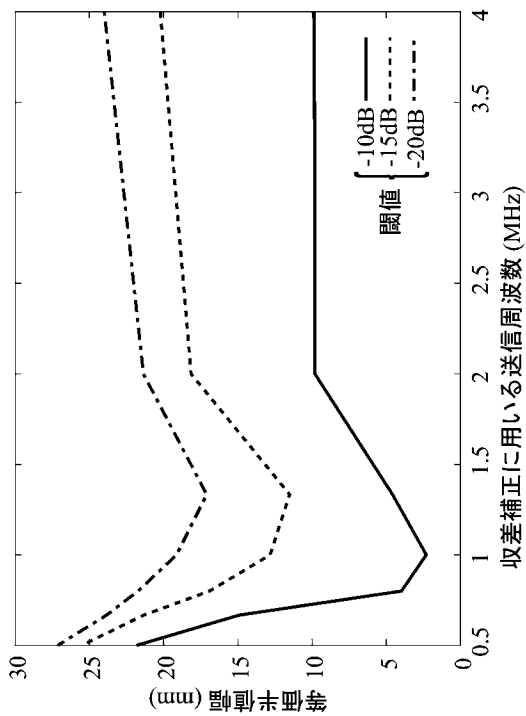
16 比較例(第1の超音波:4MHz、第2の超音波:4MHz)の送信ビームの指向性

20

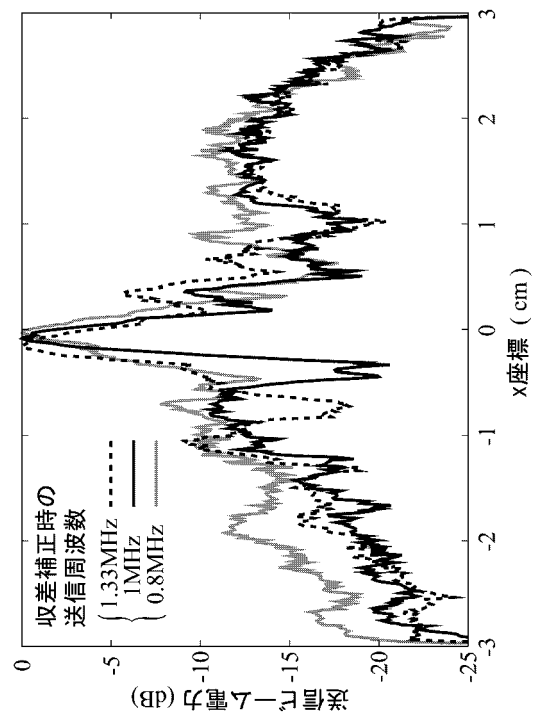
17 第1のフィルタ

18 第2のフィルタ

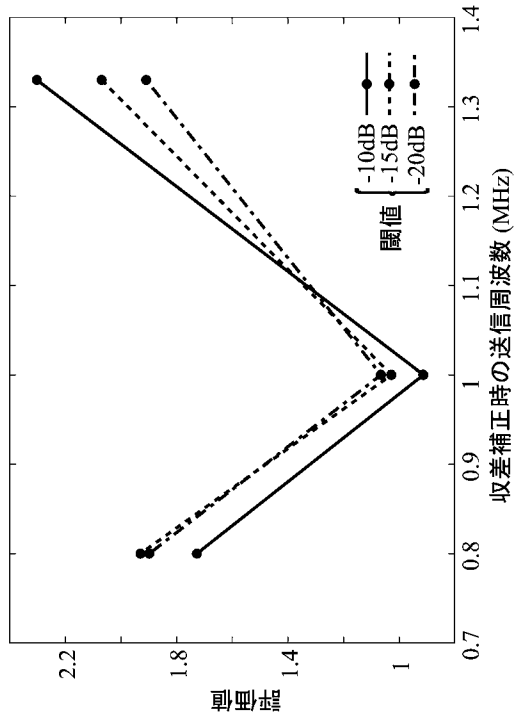
【図1】



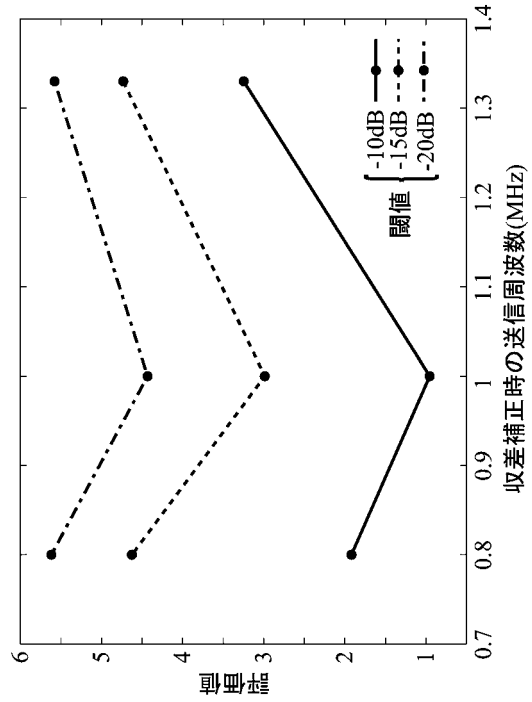
【図2】



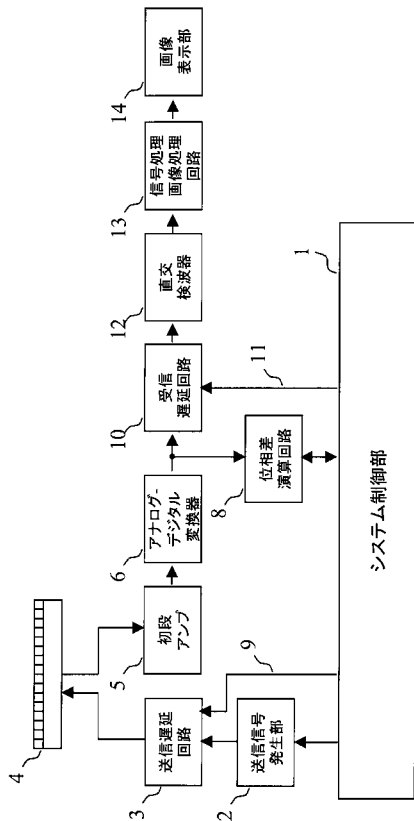
【 図 3 】



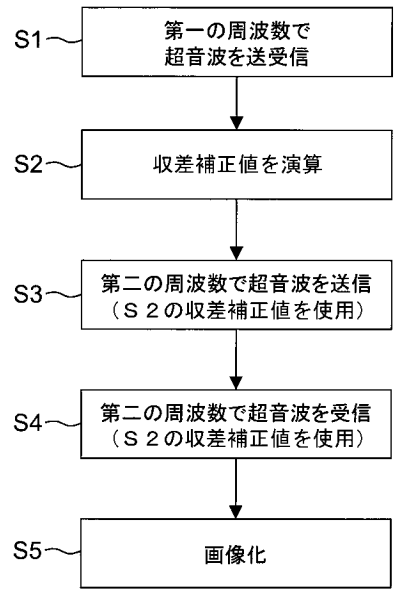
【 図 4 】



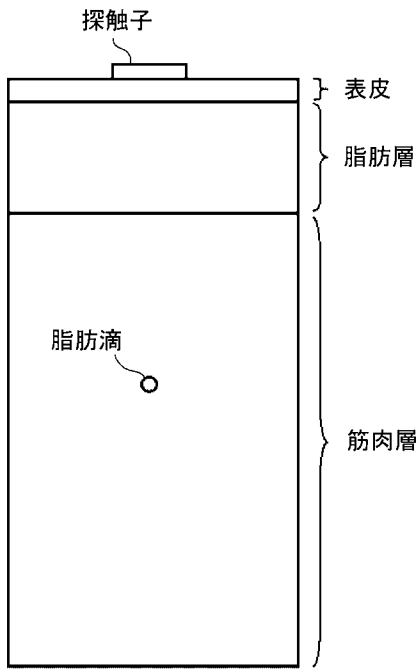
【 図 5 】



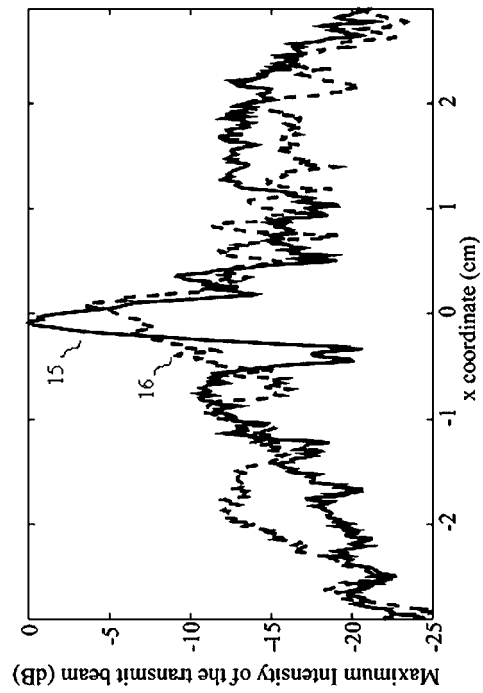
【 図 6 】



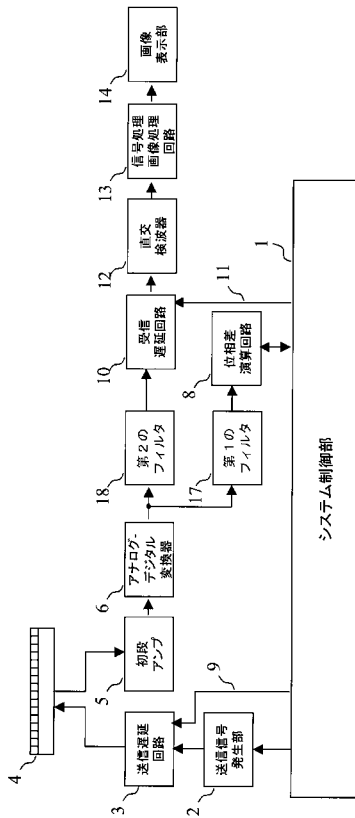
【 図 7 】



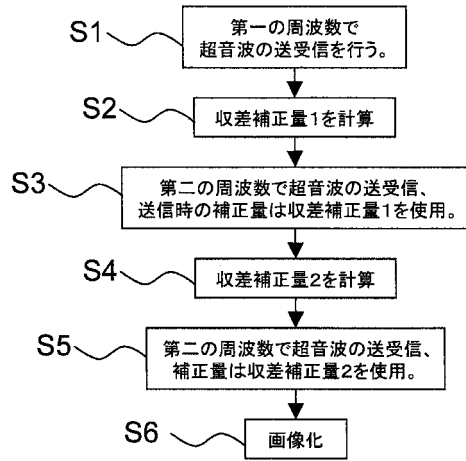
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



フロントページの続き

- (74)代理人 100125357
弁理士 中村 剛
- (74)代理人 100131392
弁理士 丹羽 武司
- (72)発明者 瀧 宏文
京都府京都市左京区吉田本町 国立大学法人京都大学大学院情報学研究科内
- (72)発明者 佐藤 亨
京都府京都市左京区吉田本町 国立大学法人京都大学大学院情報学研究科内
- (72)発明者 染田 恭宏
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
- (72)発明者 長永 兼一
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
- (72)発明者 及川 克哉
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
- (72)発明者 斉藤 恵志
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
- (72)発明者 高井 康好
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
- Fターム(参考) 4C601 BB02 BB03 BB06 BB07 EE01 EE09 HH33 JB41

专利名称(译)	通过超声波形成图像的方法和像差校正方法		
公开(公告)号	JP2009254462A	公开(公告)日	2009-11-05
申请号	JP2008105039	申请日	2008-04-14
[标]申请(专利权)人(译)	国立大学法人京都大学 佳能株式会社		
申请(专利权)人(译)	国立大学法人京都大学 佳能公司		
[标]发明人	瀧宏文 佐藤亨 染田恭宏 長永兼一 及川克哉 斉藤惠志 高井康好		
发明人	瀧 宏文 佐藤 亨 染田 恭宏 長永 兼一 及川 克哉 斉藤 惠志 高井 康好		
IPC分类号	A61B8/00		
CPC分类号	G01S7/52049 G01S15/8952		
FI分类号	A61B8/00 A61B8/14		
F-TERM分类号	4C601/BB02 4C601/BB03 4C601/BB06 4C601/BB07 4C601/EE01 4C601/EE09 4C601/HH33 4C601/ JB41		
代理人(译)	川口义行 中村刚		
其他公开文献	JP5235477B2 JP2009254462A5		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

要解决的问题：在像差大且像差校正困难的情况下，提供具有高分辨率的超声波图像以获得精确的像差校正。解决方案：用于在向对象发送超声波期间通过使用从对象反射的信号来形成图像的该方法包括：第一步骤，当第一超声波被发送到对象时，接收从对象反射的第一信号；第二步骤，基于所接收的第一信号的像差校正；第三步骤，当将基于像差校正值的第二超声波发送到物体时，接收从物体反射的第二信号；以及第四步骤，像差校正和第二信号。其特征在于，第二超声的频率在0.5MHz和20MHz之间，并且第一超声的中心频率在第二超声的中心频率的3/16和9/20之间。 Z

