

(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2015-27346

(P2015-27346A)

(43) 公開日 平成27年2月12日(2015.2.12)

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

F1  
A61B 8/00

テーマコード(参考)  
4C601

審査請求 未請求 請求項の数 30 O L (全 36 頁)

(21) 出願番号 特願2013-157656 (P2013-157656)  
(22) 出願日 平成25年7月30日(2013.7.30)

(71) 出願人 306037311  
富士フイルム株式会社  
東京都港区西麻布2丁目26番30号  
(74) 代理人 100079049  
弁理士 中島 淳  
(74) 代理人 100084995  
弁理士 加藤 和詳  
(74) 代理人 100099025  
弁理士 福田 浩志  
(72) 発明者 勝山 公人  
神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地  
富士フイルム株式会社内  
Fターム(参考) 4C601 EE08 EE16 FF03 HH28 HH31  
JB05 JC21

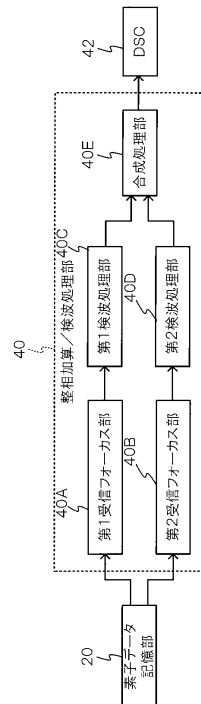
(54) 【発明の名称】 超音波診断装置、超音波診断方法、及び超音波診断プログラム

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】フレームレートを下げることなく、組織以外の針等の反射体を描出可能にする超音波診断装置を提供する。

【解決手段】超音波ビームの送信方向に対して、予め記憶されている複数の受信遅延パターンの中から1つの受信遅延パターンを選択し、選択された受信遅延パターンに基づいて、素子データにそれぞれの遅延を与えて加算することにより、受信フォーカスを行う第1受信フォーカス部40Aと、超音波ビームの送信方向に対して角度だけ傾けて受信フォーカスを行う第2受信フォーカス部40Bと、それぞれの画像を合成する処理を行う合成処理部40Eと、を備える。

【選択図】 図4



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

超音波を発生して送信すると共に、検査対象から反射した超音波を受信する複数の素子を備えた探触子と、

予め定めた第 1 の方向に送信焦点を形成して超音波ビームを送信するように前記複数の素子から超音波を送信させる送信部と、

前記探触子の各素子によって受信した各々の受信信号に対して、前記送信部によって検査対象内に送信された前記超音波ビームの送信波経路のうち、前記第 1 の方向以外の第 2 の方向の経路上の反射に合わせて受信フォーカスを行う第 2 受信フォーカス部と、

を備えた超音波診断装置。

10

**【請求項 2】**

前記第 1 の方向の経路上の反射に合わせて受信フォーカスを行う第 1 受信フォーカス部を更に備えた請求項 1 に記載の超音波診断装置。

**【請求項 3】**

前記第 1 受信フォーカス部及び第 2 受信フォーカス部のそれぞれの受信フォーカス結果を合成する合成部を更に備えた請求項 2 に記載の超音波診断装置。

**【請求項 4】**

前記送信部は、前記探触子の異なる 2 つ以上の開口の各々で前記第 1 の方向に送信焦点を形成して超音波ビームを送信するように前記複数の素子から超音波を送信させ、

前記第 2 受信フォーカス部は、各々の開口に対する前記受信信号に対して、前記第 2 の方向の共通する反射点に合わせて受信フォーカスを行う請求項 1 ~ 3 の何れか 1 項に記載の超音波診断装置。

20

**【請求項 5】**

前記第 2 受信フォーカス部は、前記送信焦点より浅い領域及び深い領域において送信波が球面波状に収束・発散することを仮定して設定した遅延時間に基づき受信フォーカスを行う請求項 1 ~ 4 の何れか 1 項に記載の超音波診断装置。

**【請求項 6】**

前記第 2 受信フォーカス部は、前記第 2 の方向の各点に対して、各点における鏡面反射を仮定して、該点とは異なる点に音源を仮定して、仮定した音源に対する遅延時間に基づき受信フォーカスを行う請求項 1 ~ 4 の何れか 1 項に記載の超音波診断装置。

30

**【請求項 7】**

前記第 2 受信フォーカス部による受信フォーカスを行った結果に基づいて、針の方向を判定する判定部を更に備えた請求項 1 ~ 6 の何れか 1 項に記載の超音波診断装置。

**【請求項 8】**

前記第 2 の方向を指定する指定部を更に備えた請求項 1 ~ 6 の何れか 1 項に記載の超音波診断装置。

**【請求項 9】**

前記指定部は、針を固定する固定部から得られる方向に関する情報に基づいて前記第 2 の方向を指定する請求項 8 に記載の超音波診断装置。

**【請求項 10】**

前記指定部は、第 2 受信フォーカス部による前回の受信フォーカスを行った結果に基づいて前記第 2 の方向を指定する請求項 8 に記載の超音波診断装置。

40

**【請求項 11】**

超音波を発生して送信すると共に、検査対象から反射した超音波を受信する複数の素子を備えた探触子の前記複数の素子から、予め定めた第 1 の方向に送信焦点を形成して超音波ビームを送信するように超音波を送信する送信ステップと、

前記探触子の各素子によって受信した各々の受信信号に対して、前記送信ステップで検査対象物内に送信した前記超音波ビームの送信波経路のうち、前記第 1 の方向以外の第 2 の方向の経路上の反射に合わせて受信フォーカスを行う第 2 受信フォーカスステップと、

を備えた超音波診断方法。

50

**【請求項 1 2】**

前記第 1 の方向の経路上の反射に合わせて受信フォーカスを行う第 1 受信フォーカスステップを更に備えた請求項 1 1 に記載の超音波診断方法。

**【請求項 1 3】**

前記第 1 受信フォーカスステップ及び第 2 受信フォーカスステップのそれぞれの受信フォーカス結果を合成する合成ステップを更に備えた請求項 1 2 に記載の超音波診断方法。

**【請求項 1 4】**

前記送信ステップは、前記探触子の異なる 2 つ以上の開口の各々で前記第 1 の方向に送信焦点を形成して超音波ビームを送信するように前記複数の素子から超音波を送信させ、

前記第 2 受信フォーカスステップは、各々の開口に対する前記受信信号に対して、前記第 2 の方向の共通する反射点に合わせて受信フォーカスを行う請求項 1 1 ~ 1 3 の何れか 1 項に記載の超音波診断方法。

10

**【請求項 1 5】**

前記第 2 受信フォーカスステップは、前記送信焦点より浅い領域及び深い領域において送信波が球面波状に収束・発散することを仮定して設定した遅延時間に基づき受信フォーカスを行う請求項 1 1 ~ 1 4 の何れか 1 項に記載の超音波診断方法。

**【請求項 1 6】**

前記第 2 受信フォーカスステップは、前記第 2 の方向の各点に対して、各点における鏡面反射を仮定して、該点とは異なる点に音源を仮定して、仮定した音源に対する遅延時間に基づき受信フォーカスを行う請求項 1 1 ~ 1 4 の何れか 1 項に記載の超音波診断方法。

20

**【請求項 1 7】**

前記第 2 受信フォーカスステップで受信フォーカスを行った結果に基づいて、針の方向を判定する判定ステップを更に備えた請求項 1 1 ~ 1 6 の何れか 1 項に記載の超音波診断方法。

**【請求項 1 8】**

前記第 2 の方向を指定する指定ステップを更に備えた請求項 1 1 ~ 1 6 の何れか項に記載の超音波診断方法。

**【請求項 1 9】**

前記指定ステップは、針を固定する固定部から得られる方向に関する情報に基づいて前記第 2 の方向を指定する請求項 1 8 に記載の超音波診断方法。

30

**【請求項 2 0】**

前記指定ステップは、第 2 受信フォーカスステップの前の受信フォーカスを行った結果に基づいて前記第 2 の方向を指定する請求項 1 8 に記載の超音波診断方法。

**【請求項 2 1】**

超音波を発生して送信すると共に、検査対象から反射した超音波を受信する複数の素子を備えた探触子の前記複数の素子から、予め定めた第 1 の方向に送信焦点を形成して超音波ビームを送信するように超音波を送信する送信ステップと、

前記探触子の各素子によって受信した各々の受信信号に対して、前記送信ステップで検査対象物内に送信した前記超音波ビームの送信波経路のうち、前記第 1 の方向以外の第 2 の方向の経路上の反射に合わせて受信フォーカスを行う第 2 受信フォーカスステップと、  
を含む処理をコンピュータに実行させるための超音波診断プログラム。

40

**【請求項 2 2】**

前記処理は、前記第 1 の方向の経路上の反射に合わせて受信フォーカスを行う第 1 受信フォーカスステップを更に含む請求項 2 1 に記載の超音波診断プログラム。

**【請求項 2 3】**

前記処理は、前記第 1 受信フォーカスステップ及び第 2 受信フォーカスステップのそれぞれの受信フォーカス結果を合成する合成ステップを更に含む請求項 2 2 に記載の超音波診断プログラム。

**【請求項 2 4】**

前記送信ステップは、前記探触子の異なる 2 つ以上の開口の各々で前記第 1 の方向に送

50

信焦点を形成して超音波ビームを送信するように前記複数の素子から超音波を送信させ、前記第 2 受信フォーカスステップは、各々の開口に対する前記受信信号に対して、前記第 2 の方向の共通する反射点に合わせて受信フォーカスを行う請求項 2 1 ~ 2 3 の何れか 1 項に記載の超音波診断プログラム。

【請求項 2 5】

前記第 2 受信フォーカスステップは、前記送信焦点より浅い領域及び深い領域において送信波が球面波状に収束・発散することを仮定して設定した遅延時間に基づき受信フォーカスを行う請求項 2 1 ~ 2 4 の何れか 1 項に記載の超音波診断プログラム。

【請求項 2 6】

前記第 2 受信フォーカスステップは、前記第 2 の方向の各点に対して、各点における鏡面反射を仮定して、該点とは異なる点に音源を仮定して、仮定した音源に対する遅延時間に基づき受信フォーカスを行う請求項 2 1 ~ 2 4 の何れか 1 項に記載の超音波診断プログラム。

10

【請求項 2 7】

前記第 2 受信フォーカスステップで受信フォーカスを行った結果に基づいて、針の方向を判定する判定ステップを更に備えた請求項 2 1 ~ 2 6 の何れか 1 項に記載の超音波診断プログラム。

【請求項 2 8】

前記第 2 の方向を指定する指定ステップを更に備えた請求項 2 1 ~ 2 6 の何れか項に記載の超音波診断方法。

20

【請求項 2 9】

前記指定ステップは、針を固定する固定部から得られる方向に関する情報に基づいて前記第 2 の方向を指定する請求項 2 8 に記載の超音波診断方法。

【請求項 3 0】

前記指定ステップは、第 2 受信フォーカスステップの前の受信フォーカスを行った結果に基づいて前記第 2 の方向を指定する請求項 2 8 に記載の超音波診断方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波診断装置、超音波診断方法、及び超音波診断プログラムに関する

30

【背景技術】

【0002】

超音波の送受信によって針を描出する場合、針の角度が鋭角になると、図 18 (A) に示すように、その反射が受信開口から外れてしまい、針による反射波を受信することができない。そこで、図 18 (B) に示すように、送信ビームが針と垂直になるように傾けて送信することにより、針による反射波を受信する方法が知られている。

【0003】

しかしながら、送信ビームを傾けて生成した画像はサイドローブの影響などにより画質が劣化して組織を見るには適さない。

【0004】

40

そこで、特許文献 1 では、第 1 の方向に超音波送信を行って第 1 の超音波画像を生成し、針撮影を目的として複数の方向に超音波を送信して第 2 の超音波画像群を生成し、第 1 の画像と第 2 の画像群または第 2 の画像群の輝度分布を解析して針が描出された針画像を生成して、第 1 の画像と針画像を合成することが提案されている。

【0005】

また、針画像を描出する方法としては、特許文献 1 の他に、特許文献 2 に記載の技術なども提案されている。

【0006】

特許文献 2 では、第 1 群の超音波トランスデューサから第 1 の方向を中心とする強度分布を有する超音波ビームを送信して、第 2 群の超音波トランスデューサが超音波エコー信

50

号を受信した受信信号に基づいて第1の方向とは異なる第2の方向の超音波画像を生成することが提案されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2012-213606号公報

【特許文献2】特開2010-51379号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかしながら、特許文献1に記載の技術では、1回の組織撮像と、複数回の針撮像が必要であるため、フレームレートが低下してしまう。

【0009】

また、特許文献2に記載の技術では、送信フォーカスをしていない平面波を用いるため、針の角度によっては全く反射波を得ることができず、針を描出することができない場合がある。

【0010】

本発明は、上記事実を考慮して成されたもので、フレームレートを下げることなく、組織以外の針等の反射体を描出可能にすることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0011】

上記目的を達成するために本発明の放射線信号処理装置は、超音波を発生して送信すると共に、検査対象から反射した超音波を受信する複数の素子を備えた探触子と、予め定めた第1の方向に送信焦点を形成して超音波ビームを送信するように複数の素子から超音波を送信させる送信部と、探触子の各素子によって受信した各々の受信信号に対して、送信部によって検査対象内に送信された超音波ビームの送信波経路のうち、第1の方向以外の第2の方向の経路上の反射に合わせて受信フォーカスを行う第2受信フォーカス部と、を備えている。

【0012】

本発明の放射線信号処理装置によれば、探触子は、超音波を発生して送信すると共に、検査対象から反射した超音波を受信する複数の素子を備えている。

【0013】

送信部は、予め定めた第1方向に送信焦点を形成して超音波ビームを送信するように複数の素子から超音波を送信させる。

【0014】

そして、第2受信フォーカス部は、探触子の各素子によって受信した各々の受信信号に対して、送信部によって検査対象内に送信された超音波ビームの送信経路のうち、第1の方向以外の第2の方向の経路上の反射に合わせて受信フォーカスを行う。

【0015】

このように、送信部によって送信フォーカスが行われることにより、第1の方向以外の反射点からの反射によって発生する超音波エコーも複数の素子で受信されるので、第2受信フォーカス部が、第2の方向の経路上の反射に合わせて受信フォーカスを行うことにより、針等の反射体を描出することが可能となる。また、受信フォーカス方向を第1の方向に対して行えば、組織の描出も可能であるため、フレームレートを下げることなく、針等の反射体を描出することが可能となる。すなわち、請求項2に記載の発明のように、第1の方向の経路上の反射に合わせて受信フォーカスを行う第1受信フォーカス部を更に備えることにより、フレームレートを下げることなく、組織を描出すると共に、針等の反射体を描出することができる。このとき、請求項3に記載の発明のように、第1受信フォーカス部及び第2受信フォーカス部のそれぞれの受信フォーカス結果を合成する合成部を更に備えるようにしてもよい。

10

20

30

40

50

## 【0016】

なお、本発明は、請求項4に記載の発明のように、送信部は、探触子の異なる2つ以上の開口の各々で第1の方向に送信焦点を形成して超音波ビームを送信するように複数の素子から超音波を送信させ、第2受信フォーカス部は、各々の開口に対する受信信号に対して、第2の方向の共通する反射点に合わせて受信フォーカスを行うようにしてもよい。

## 【0017】

また、第2受信フォーカス部は、請求項5に記載の発明のように、送信焦点より浅い領域及び深い領域において送信波が球面波状に収束・発散することを仮定して設定した遅延時間に基づき受信フォーカスを行うようにしてもよいし、請求項6に記載の発明のように、第2の方向の各点に対して、各点における鏡面反射を仮定して、該点とは異なる点に音源を仮定して、仮定した音源に対する遅延時間に基づき受信フォーカスを行うようにしてもよい。

10

## 【0018】

また、本発明は、請求項7に記載の発明のように、第2受信フォーカス部による受信フォーカスを行った結果に基づいて、針の方向を判定する判定部を更に備えるようにしてもよい。

## 【0019】

また、請求項8に記載の発明のように、第2の方向を指定する指定部を更に備えるようにしてもよい。この場合、指定部は、請求項9に記載の発明のように、針を固定する固定部から得られる方向に関する情報に基づいて第2の方向を指定するようにしてもよいし、請求項10に記載の発明のように、第2受信フォーカス部による前回の受信フォーカスを行った結果に基づいて第2の方向を指定するようにしてもよい。

20

## 【0020】

一方、本発明の超音波診断方法は、超音波を発生して送信すると共に、検査対象から反射した超音波を受信する複数の素子を備えた探触子の複数の素子から、予め定めた第1の方向に送信焦点を形成して超音波ビームを送信するように超音波を送信する送信ステップと、探触子の各素子によって受信した各々の受信信号に対して、送信ステップで検査対象物内に送信した超音波ビームの送信波経路のうち、第1の方向以外の第2の方向の経路上の反射に合わせて受信フォーカスを行う第2受信フォーカスステップと、を備えている。

## 【0021】

本発明の超音波診断方法によれば、送信ステップでは、超音波を発生して送信すると共に、検査対象から反射した超音波を受信する複数の素子を備えた探触子の複数の素子から、予め定めた第1の方向に送信焦点を形成して超音波ビームを送信するように超音波を送信する。

30

## 【0022】

そして、第2受信フォーカスステップでは、探触子の各素子によって受信した各々の受信信号に対して、送信ステップで検査対象物内に送信した超音波ビームの送信波経路のうち、第1の方向以外の第2の方向の経路上の反射に合わせて受信フォーカスを行う。

## 【0023】

このように、送信ステップで送信フォーカスを行うことにより、第1の方向以外の反射点からの反射によって発生する超音波エコーも複数の素子で受信されるので、第2受信フォーカスステップで、第2の方向の経路上の反射に合わせて受信フォーカスを行うことにより、針等の反射体を描出することが可能となる。また、受信フォーカス方向を第1の方向に対して行えば、組織の描出も可能であるため、フレームレートを下げることなく、針等の反射体を描出することが可能となる。すなわち、請求項12に記載の発明のように、第1の方向の経路上の反射に合わせて受信フォーカスを行う第1受信フォーカスステップを更に備えることにより、フレームレートを下げることなく、組織を描出すると共に、針等の反射体を描出することができる。このとき、請求項13に記載の発明のように、第1受信フォーカスステップ及び第2受信フォーカスステップのそれぞれの受信フォーカス結果を合成する合成ステップを更に備えるようにしてもよい。

40

50

## 【 0 0 2 4 】

なお、本発明は、請求項 1 4 に記載の発明のように、送信ステップは、探触子の異なる 2 つ以上の開口の各々で第 1 の方向に送信焦点を形成して超音波ビームを送信するように複数の素子から超音波を送信させ、第 2 受信フォーカスステップは、各々の開口に対する受信信号に対して、第 2 の方向の共通する反射点に合わせて受信フォーカスを行うようにしてもよい。

## 【 0 0 2 5 】

また、第 2 受信フォーカスステップは、請求項 1 5 に記載の発明のように、送信焦点より浅い領域及び深い領域において送信波が球面波状に収束・発散することを仮定して設定した遅延時間に基づき受信フォーカスを行うようにしてもよいし、請求項 1 6 に記載の発明のように、第 2 の方向の各点に対して、各点における鏡面反射を仮定して、該点とは異なる点に音源を仮定して、仮定した音源に対する遅延時間に基づき受信フォーカスを行うようにしてもよい。

10

## 【 0 0 2 6 】

また、本発明は、請求項 1 7 に記載の発明のように、第 2 受信フォーカスステップで受信フォーカスを行った結果に基づいて、針の方向を判定する判定ステップを更に備えるようにしてもよい。

## 【 0 0 2 7 】

また、請求項 1 8 に記載の発明のように、第 2 の方向を指定する指定ステップを更に備えるようにしてもよい。この場合、指定ステップは、請求項 1 9 に記載の発明のように、針を固定する固定部から得られる方向に関する情報に基づいて第 2 の方向を指定するようにしてもよいし、請求項 2 0 に記載の発明のように、第 2 受信フォーカスステップの前の受信フォーカスを行った結果に基づいて第 2 の方向を指定するようにしてもよい。

20

## 【 0 0 2 8 】

また、本発明の超音波診断プログラムは、超音波を発生して送信すると共に、検査対象から反射した超音波を受信する複数の素子を備えた探触子の複数の素子から、予め定めた第 1 の方向に送信焦点を形成して超音波ビームを送信するように超音波を送信する送信ステップと、探触子の各素子によって受信した各々の受信信号に対して、送信ステップで検査対象物内に送信した超音波ビームの送信波経路のうち、第 1 の方向以外の第 2 の方向の経路上の反射に合わせて受信フォーカスを行う第 2 受信フォーカスステップと、を含む処理をコンピュータに実行させる。

30

## 【 0 0 2 9 】

本発明の超音波診断装置の音線信号生成プログラムによれば、送信ステップでは、超音波を発生して送信すると共に、検査対象から反射した超音波を受信する複数の素子を備えた探触子の複数の素子から、予め定めた第 1 の方向に送信焦点を形成して超音波ビームを送信するように超音波を送信する。

## 【 0 0 3 0 】

そして、第 2 受信フォーカスステップでは、探触子の各素子によって受信した各々の受信信号に対して、送信ステップで検査対象物内に送信した超音波ビームの送信波経路のうち、第 1 の方向以外の第 2 の方向の経路上の反射に合わせて受信フォーカスを行う。

40

## 【 0 0 3 1 】

このように、送信ステップで送信フォーカスを行うことにより、第 1 の方向以外の反射点からの反射によって発生する超音波エコーも複数の素子で受信されるので、第 2 受信フォーカスステップで、第 2 の方向の経路上の反射に合わせて受信フォーカスを行うことにより、針等の反射体を描出することが可能となる。また、受信フォーカス方向を第 1 の方向に対して行えば、組織の描出も可能であるため、フレームレートを下げることなく、針等の反射体を描出することが可能となる。すなわち、請求項 2 2 に記載の発明のように、第 1 の方向の経路上の反射に合わせて受信フォーカスを行う第 1 受信フォーカスステップを更に備えることにより、フレームレートを下げることなく、組織を描出すると共に、針等の反射体を描出することができる。このとき、請求項 2 3 に記載の発明のように、第 1

50

受信フォーカスステップ及び第2受信フォーカスステップのそれぞれの受信フォーカス結果を合成する合成ステップを更に備えるようにしてもよい。

【0032】

なお、本発明は、請求項24に記載の発明のように、送信ステップは、探触子の異なる2つ以上の開口の各々で第1の方向に送信焦点を形成して超音波ビームを送信するように複数の素子から超音波を送信させ、第2受信フォーカスステップは、各々の開口に対する受信信号に対して、第2の方向の共通する反射点に合わせて受信フォーカスを行うようにしてもよい。

【0033】

また、第2受信フォーカスステップは、請求項25に記載の発明のように、送信焦点より浅い領域及び深い領域において送信波が球面波状に収束・発散することを仮定して設定した遅延時間に基づき受信フォーカスを行うようにしてもよいし、請求項26に記載の発明のように、第2の方向の各点に対して、各点における鏡面反射を仮定して、該点とは異なる点に音源を仮定して、仮定した音源に対する遅延時間に基づき受信フォーカスを行うようにしてもよい。

10

【0034】

また、本発明は、請求項27に記載の発明のように、第2受信フォーカスステップで受信フォーカスを行った結果に基づいて、針の方向を判定する判定ステップを更に備えるようにしてもよい。

【0035】

また、請求項28に記載の発明のように、第2の方向を指定する指定ステップを更に備えるようにしてもよい。この場合、指定ステップは、請求項29に記載の発明のように、針を固定する固定部から得られる方向に関する情報に基づいて第2の方向を指定するようにしてもよいし、請求項30に記載の発明のように、第2受信フォーカスステップの前回の受信フォーカスを行った結果に基づいて第2の方向を指定するようにしてもよい。

20

【発明の効果】

【0036】

以上説明した如く本発明では、フレームレートを下げることなく、組織以外の針等の反射体を描出することが可能となる、という優れた効果を有する。

【図面の簡単な説明】

30

【0037】

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

【図2】送信焦点の深さ毎の針による正反射を説明するための図であり、(A)は送信焦点が針よりも浅い位置の場合を示し、(B)は送信焦点が針よりも深い位置の場合を示し、(C)は送信焦点が開口の後方の場合を示す図である。

【図3】送信ビーム方向以外の方向の経路上の反射に合わせた受信フォーカスを行う例を示す図であり、(A)は送信焦点が針よりも浅い位置の場合を示す図であり、(B)は送信焦点が開口の後方の場合を示す図である。

【図4】本発明の第1実施形態に係る超音波診断装置における整相加算/検波処理部の概略構成を示すブロック図である。

40

【図5】本発明の第1実施形態に係る超音波診断装置における第2受信フォーカス部で行われる受信フォーカスを説明するための図である。

【図6】本発明の第1実施形態に係る超音波診断装置の要部で行われる処理の流れの一例を示すフローチャートである。

【図7】本発明の第1実施形態に係る超音波診断装置における第2受信フォーカス部で行われる受信フォーカス(針を鏡面反射面としてその対称位置に音源がある場合と等価な音波となることを考慮した場合)を説明するための図である。

【図8】本発明の第2実施形態に係る超音波診断装置における第2受信フォーカス部で行われる、複数走査線の素子信号を用いた方向の受信フォーカスを説明するための図であ

50

る。

【図 9】本発明の第 2 実施形態に係る超音波診断装置における第 2 受信フォーカス部で行われる、複数走査線の素子信号を用いた 方向の受信フォーカス（針を鏡面反射面としてその対称位置に音源がある場合と等価な音波となることを考慮した場合）を説明するための図である。

【図 10】本発明の第 2 実施形態に係る超音波診断装置 10 の要部で行われる処理の流れの一例を示すフローチャートである。

【図 11】本発明の第 3 実施形態に係る超音波診断装置における第 2 受信フォーカス部で行われる受信フォーカスを説明するための図である。

【図 12】本発明の第 3 実施形態に係る超音波診断装置における第 2 受信フォーカス部で行われる受信フォーカス（針を鏡面反射面としてその対称位置に音源がある場合と等価な音波となることを考慮した場合）を説明するための図である。

【図 13】本発明の第 3 実施形態に係る超音波診断装置の要部で行われる処理の流れの一例を示すフローチャートである。

【図 14】本発明の第 3 実施形態に係る超音波診断装置において送信焦点を共有する 1 つの各素子受信信号を用いて 1 走査線の RF 信号を生成する場合の処理の流れの一例を示すフローチャートである。

【図 15】発明の第 3 実施形態に係る超音波診断装置における第 2 受信フォーカス部で行われる受信フォーカスを説明するための図である。

【図 16】発明の第 3 実施形態に係る超音波診断装置における第 2 受信フォーカス部で行われる受信フォーカス（針を鏡面反射面としてその対称位置に音源がある場合と等価な音波となることを考慮した場合）を説明するための図である。

【図 17】図 16 における DX2、DY2 の求め方を説明するための図である。

【図 18】(A) 針の反射が受信開口から外れる様子を示す図であり、(B) は送信ビームを傾けて送信することにより針による反射を受信する例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0038】

以下、各図面を参照して本発明の実施の形態の一例について説明する。

(第 1 実施形態)

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

【0039】

図 1 に示すように、超音波診断装置 10 は、超音波プローブ 12 と、超音波プローブ 12 に接続される送信部 14 及び受信部 16 と、A/D 変換部 18 と、素子データ記憶部 20 と、画像生成部 24 と、表示制御部 26 と、表示部 28 と、制御部 30 と、操作部 32 と、格納部 34 とを備えている。

【0040】

超音波プローブ 12 は、通常の超音波診断装置に用いられる探触子 36 を有する。探触子 36 は、1 次元又は 2 次元アレイ状に配列された複数の素子、すなわち超音波トランスデューサを有している。これらの超音波トランスデューサは、被検体の超音波画像の撮像の際に、それぞれ送信部 14 から供給される駆動信号に従って超音波ビームを被検体に送信すると共に、被検体からの超音波エコーを受信して受信信号を出力する。本実施の形態では、探触子 36 の複数の超音波トランスデューサの内の一組を成す所定数の超音波トランスデューサの各々は、1 つの超音波ビームの各成分を発生し、一組の所定数の超音波トランスデューサは、被検体に送信する 1 つの超音波ビームを発生する。

【0041】

各超音波トランスデューサは、例えば、PZT（チタン酸ジルコン酸鉛）に代表される圧電セラミックや、PVDf（ポリフッ化ビニリデン）に代表される高分子圧電素子、PMN-PT（マグネシウムニオブ酸・チタン酸鉛固溶体）に代表される圧電単結晶等からなる圧電体の両端に電極を形成した素子（振動子）によって構成される。すなわち、探触

10

20

30

40

50

子 3 6 は、複数の超音波素子として複数の振動子が 1 次元又は 2 次元アレイ状に配列された振動子アレイとされている。

【 0 0 4 2 】

このような振動子の電極に、パルス状又は連続波状の電圧を印加すると、圧電体が伸縮し、それぞれの振動子からパルス状又は連続波状の超音波が発生して、それらの超音波の合成により超音波ビームが形成される。また、それぞれの振動子は、伝搬する超音波を受信することにより伸縮して電気信号を発生し、それらの電気信号は、超音波の受信信号として出力される。

【 0 0 4 3 】

送信部 1 4 は、例えば、複数のパルサを含んでおり、制御部 3 0 からの制御信号に応じて選択された送信遅延パターンに基づいて、探触子 3 6 の複数の超音波トランスデューサ（以下、超音波素子という）から送信される超音波ビーム成分が 1 つの超音波ビームを形成するようにそれぞれの駆動信号の遅延量を調節して組を成す複数の超音波素子に供給する。これにより複数の超音波素子から超音波が送信されて、送信フォーカスが行われて超音波ビームが発生して送信される。

10

【 0 0 4 4 】

受信部 1 6 は、制御部 3 0 からの制御信号に応じて、探触子 3 6 の各超音波素子によって超音波ビームと被検体との間の相互作用によって発生された超音波エコーを被検体から受信して、受信信号、即ち超音波素子毎のアナログ素子信号を増幅して出力し、増幅されたアナログ素子信号を A / D 変換部 1 8 に供給する。

20

【 0 0 4 5 】

A / D 変換部 1 8 は、受信部 1 6 に接続され、受信部 1 6 から供給されたアナログ素子信号を、デジタル素子データに変換する。A / D 変換部 1 8 は、A / D 変換されたデジタル素子データを素子データ記憶部 2 0 に供給する。

【 0 0 4 6 】

素子データ記憶部 2 0 は、A / D 変換部 1 8 から出力されるデジタル素子データを順次格納する。また、素子データ記憶部 2 0 は、制御部 3 0 から入力されるフレームレートに関する情報（例えば、超音波の反射位置の深度、走査線の密度、視野幅を示すパラメータ）を上記のデジタル素子データ（以下、単に素子データという）に関連付けて格納する。

30

【 0 0 4 7 】

画像生成部 2 4 は、制御部 3 0 による制御下で、素子データ記憶部 2 0 に記憶された素子データから音線信号（受信データ）を生成し、この音線信号から超音波画像を生成する。具体的には、画像生成部 2 4 は、整相加算 / 検波処理部 4 0、D S C 4 2、画像作成部 4 4、及び、画像メモリ 4 6 を有する。

【 0 0 4 8 】

整相加算 / 検波処理部 4 0 は、制御部 3 0 において設定された受信方向に応じて、予め記憶されている複数の受信遅延パターンの中から 1 つの受信遅延パターンを選択し、選択された受信遅延パターンに基づいて、素子データにそれぞれの遅延を与えて加算することにより、受信フォーカス処理を行う。この受信フォーカス処理により、超音波エコーの焦点が絞り込まれた受信データ（音線信号）が生成される。

40

【 0 0 4 9 】

また、整相加算 / 検波処理部 4 0 は、受信フォーカス処理により生成された受信データに対し、超音波の反射位置の深度に応じて距離による減衰の補正を施した後、包絡線検波処理を施すことにより、被検体内の組織に関する断層画像情報である B モード画像データを生成する。

【 0 0 5 0 】

D S C (digital scan converter) 4 8 は、検波処理部 4 0 で生成された B モード画像データを通常のテレビジョン信号の走査方式に従う画像データに変換（ラスタ変換）する。

【 0 0 5 1 】

50

画像作成部 44 は、DSC 42 から入力される B モード画像データに階調処理等の各種の必要な画像処理を施して検査や表示に供するための B モード画像データを作成した後、作成された検査用又は表示用 B モード画像データを表示のために表示制御部 26 に出力する、或いは画像メモリ 46 に格納する。

【0052】

画像メモリ 46 は、画像作成部 44 で作成された検査用 B モード画像データを一旦格納する。画像メモリ 46 に格納された検査用 B モード画像データは、必要に応じて、表示部 28 で表示するために表示制御部 26 に読み出される。

【0053】

表示制御部 26 は、画像作成部 44 によって画像処理が施された検査用 B モード画像信号に基づいて、表示部 28 に超音波画像を表示させる。

10

【0054】

表示部 28 は、例えば、LCD 等のディスプレイ装置を含んでおり、表示制御部 26 の制御の下で、超音波画像を表示する。

【0055】

制御部 30 は、操作者により操作部 32 から入力された指令に基づいて超音波診断装置 10 の各部の制御を行う。

【0056】

制御部 30 は、操作者によって操作部 32 を介して種々の情報、特に、画像生成部 24 の整相加算部 38 で用いられる遅延時間算出に必要な情報の入力が行われた際に、操作部 32 から入力された上述の種々の情報を、必要に応じて、送信部 14、受信部 16、素子データ記憶部 20、画像生成部 24 及び表示制御部 26 等の各部に供給する。

20

【0057】

操作部 32 は、操作者が入力操作を行うためのものであり、キーボードや、マウス、トラックボール、タッチパネル等からなる。

【0058】

また、操作部 32 は、操作者が必要に応じて各種の情報、特に上述の遅延時間算出に用いられるプローブ 12 の探触子 36 の複数の超音波素子、被検体の検査対象領域の音速、超音波ビームの焦点位置、探触子 36 の送信開口及び受信開口等に関する情報等を入力操作するための入力装置を備えている。

30

【0059】

格納部 34 は、操作部 32 から入力された各種の情報、特に、上述のプローブ 12、音速、焦点位置、送信開口及び受信開口等に関する情報等や、送信部 14、受信部 16、素子データ記憶部 20、画像生成部 24 及び表示制御部 26 等の制御部 30 で制御される各部の処理や動作に必要な情報、並びに、各部の処理や動作を実行させるための動作プログラムや処理プログラム等を格納するもので、ハードディスク、フレキシブルディスク、MO、MT、RAM、CD-ROM、DVD-ROM 等の記録媒体を用いることができる。

【0060】

なお、整相加算/検波処理部 40、DSC 42、画像作成部 44、及び表示制御部 26 は、CPU と、CPU に各種の処理を行わせるための動作プログラムにより構成するようにしてもよいし、デジタル回路等のハードウェア構成としてもよい。

40

【0061】

ところで、上述のように構成された超音波診断装置 10 では、送信フォーカスを行うことによって超音波ビームを送信するようにしているが、送信フォーカスによって形成される音波（超音波ビーム）は、送信焦点より浅いまたは深い領域において種々の方向に伝搬している。これにより、送信ビーム方向の針による正反射が受信開口から外れる場合でも、図 2 (A) ~ (C) の一点鎖線で示すように、送信ビーム方向以外の方向への音波の針による正反射は受信開口に捉えられる。送信フォーカスにより形成される音波の針による反射は、送信フォーカスにより形成される焦点に対して針を鏡面反射面としてその対称位置に焦点がある場合と等価となる。従って、送信焦点を擬似的に音源と見なすと、図 2 (

50

A)、(C)に示すように、針に対して送信焦点と対称位置に擬似的な音源がある場合の音波と等価の反射が受信開口に捉えられる。なお、図2(B)の場合は、実際に音源が形成されることになる。但し、反射が広がる範囲は素子の指向性や、送信開口と深さ、周波数などによって決まり、全方向に広がるわけではないので、上述の擬似音源や音源と等価の反射波を必ず捉えられるわけではない。つまり、送信開口と深さや、周波数などによって送信焦点より浅い又は深い領域における音波の拡がりの範囲が決まり、その両端における方向の針による正反射方向に挟まれる範囲にのみ反射は広がる。送信ビーム方向の正反射はこの反射の一部と見なすことができる。

【0062】

そこで、本実施形態に係る超音波診断装置10では、送信フォーカスにより形成される超音波ビームの音波が送信ビーム方向以外の方向にも伝播することに着目して、図3(A)、(B)に示すように、探触子36の各超音波素子によって受信した各々の受信信号に対して、送信ビーム方向以外の方向の経路上の反射に合わせて受信フォーカスを行うことにより、針等の組織以外の反射体を良好に描出するものである。本実施形態では、送信焦点より浅い領域及び深い領域において送信波が球面波状に収束・発散することを仮定して設定した遅延時間に基づき受信フォーカスを行う。

10

【0063】

本実施形態では、整相加算/検波処理部40において、送信ビーム方向以外の方向の経路上の反射に合わせて受信フォーカスを行うようになっている。図4は、本発明の第1実施形態に係る超音波診断装置10における整相加算/検波処理部40の概略構成を示すブロック図である。

20

【0064】

具体的には、整相加算/検波処理部40は、図4に示すように、第1受信フォーカス部40A、第2受信フォーカス部40B、第1検波処理部40C、及び第2検波処理部40D、及び合成処理部40Eを備えている。

【0065】

第1受信フォーカス部40Aは、超音波ビームの送信方向(本実施形態では垂直方向)に対して、予め記憶されている複数の受信遅延パターンの中から1つの受信遅延パターンを選択し、選択された受信遅延パターンに基づいて、素子データにそれぞれの遅延を与えて加算することにより、受信フォーカスを行う。

30

【0066】

第2受信フォーカス部40Bは、超音波ビームの送信方向(垂直方向)に対して送信焦点を通過して角度 $\theta$ だけ傾けて受信フォーカスを行う。

【0067】

ここで、送信方向に対して角度 $\theta$ だけ傾けた受信フォーカスについて図5に基づいて説明する。

【0068】

図5(A)に示すように、送信ビームが垂直の場合、反射点の深さは $V \times T0/2$ で与えられる。これを $\theta$ だけ傾けた方向の反射点の深さも $V \times T0/2$ で与えられる。ここで、 $T0$ は垂直方向または $\theta$ だけ傾けた方向の往復の超音波伝播時間、 $V$ は音速を表す。

40

【0069】

次に、 $\theta$ 方向の反射点の送信焦点からの距離 $DX$ 、 $DY$ は図5(B)から以下の式で与えられることが分かる。ここで、 $FD$ は送信焦点の深さを表す。

【0070】

$$DX=(V \times Tt-FD) \times \sin(\theta)$$

$$DY=(V \times Tt-FD) \times \cos(\theta)$$

$$Tt=T0/2$$

【0071】

次に開口の中心から $j$ 番目の素子から反射点の距離 $X$ 、 $Y$ は図5(C)から以下の式で与えられることが分かる。

50

## 【 0 0 7 2 】

$$X=DX-j \times EP$$

$$Y=DY+FD$$

ここで、EPは素子の間隔で、jは中心の素子を0として正負の値を取る。

## 【 0 0 7 3 】

従って、反射点からj番目の素子に帰ってくる音波の伝搬時間は以下の式で与えられることが分かる。

## 【 0 0 7 4 】

$$Tr=\sqrt{X^2+Y^2}/V$$

## 【 0 0 7 5 】

この開口から送信された超音波はTt後に反射点で反射されて、更にTr後にj番目の素子に帰ってくることになる。つまりこの反射点からの反射波は送信されてからT=Tt+Tr後にj番目の素子に帰ってくる。

## 【 0 0 7 6 】

従って、以下の式によって各素子の信号を加算することで、この反射点からの反射波を抽出、つまり受信フォーカスすることができる。

## 【 0 0 7 7 】

$$RF(i,T0)=ELE(i,j,T)$$

ここで、iはこの開口が対応する走査線、ELE(i,j,T)は走査線iの素子jの時間Tにおける信号を表し、RF(i,T0)は受信フォーカス後の走査線iの方向の時間T0(深さに相当)のRF信号を表す。

## 【 0 0 7 8 】

すなわち、送信方向に対して角度 $\theta$ だけ傾けた受信フォーカスは、以下の式を満たすように行う。

## 【 0 0 7 9 】

$$RF(i,T0)=ELE(i,j,T)$$

$$T=Tt+Tr$$

$$Tr=\sqrt{X^2+Y^2}/V$$

$$X=DX-j \times EP$$

$$Y=DY+FD$$

$$DX=(V \times Tt - FD) \times \sin(\theta)$$

$$DY=(V \times Tt - FD) \times \cos(\theta)$$

$$Tt=T0/2$$

ここで、

RF(i,T0)：i番目の走査線の時間T0におけるRF信号。但し、送信の瞬間の時間を0とする。

ELE(i,j,T)：i番目の走査線に対応する送信により取得した素子信号のj番目の素子の時間Tにおけるデータ。但し、jはi番目の走査線位置に相当する素子を0とし、正負の値をとる。

：jに関する加算

Tt：送信波が反射点に到達する間での時間

Tr：反射波が素子に到達するまでの時間

V：音速

EP：素子間隔

FD：送信焦点の深さ

：送信方向に対して傾けた受信フォーカス方向の角度

## 【 0 0 8 0 】

なお、図3(B)に示すように、送信焦点を送信開口の後方に形成する場合には、送信焦点の深さFDを負とする。

## 【 0 0 8 1 】

10

20

30

40

50

一方、第1検波処理部40Cは、第1受信フォーカス部40Aによって生成した受信データに対し、超音波の反射位置の深度に応じて距離による減衰の補正を施した後、包絡線検波処理を施すことにより、被検体内の組織に関する断層画像情報であるBモード画像データを生成する。

【0082】

同様に、第2検波処理部40Dは、第2受信フォーカス部40Bによって生成した受信データに対し、超音波の反射位置の深度に応じて距離による減衰の補正を施した後、包絡線検波処理を施すことにより、針等の反射体に関する画像情報であるBモード画像データを生成する。

【0083】

そして、合成処理部40Eは、第1検波処理部40Cによって生成されたBモード画像データ(画像A)と、第2検波処理部40Dによって生成されたBモード画像データ(画像B)とを合成する処理を行う。詳細には、上記式により生成したRF(i, T0)は垂直方向に対して角度だけ傾いているため、画像Aと画像Bの座標を合わせるように座標変換(スキャンコンバート)すると共に、画像Aと画像Bを所定比率で足し合わせて表示用画像を生成する。なお、このとき、画像Bの高輝度画素ほど強調されるように階調変換を行ったり、高輝度画素のみを針として抽出したり、予め定めた範囲のみの画素を抽出したり、Hough変換等により直線を検出して、検出した直線周辺の画素のみを抽出するように処理を行うようにしてもよい。また、画像Aと画像Bの輝度に応じて色調や彩度変換等を行う処理を更に行うようにしてもよい。

【0084】

ここで、第2受信フォーカス部40Bによる受信フォーカスの方向が必ずしも針と垂直でなくても、受信フォーカスの方向の針による正反射方向が受信開口を外れない限りは針を描出することができる。つまり、針からの正反射は針上の各点からの反射を積算した結果であるので、積算した結果がゼロ(正反射が受信開口を外れる)にならない限りは、針上の点反射に合わせた受信フォーカスにより針による正反射の一部を捉えて描出することができる。このことは、送信ビーム方向、及び受信ビーム方向共に垂直方向として生成した超音波画像において針が水平でなくても描出可能な理由と同じである。

【0085】

なお、第1受信フォーカス部40A及び第2受信フォーカス部40Bの各々の受信フォーカス方向は、操作部32等を操作することによって指定するようにしてもよいし、針を固定する治具から得られる方向に関する情報を取得することによって指定するようにしてもよい。或いは、前回の受信フォーカスを行った結果に基づいて、今回の受信フォーカス方向を指定するようにしてもよい。

【0086】

続いて、本発明の第1実施形態に係る超音波診断装置10の動作、作用及び超音波画像の作成方法について説明する。

【0087】

図6は、本発明の第1実施形態に係る超音波診断装置10の要部で行われる処理の流れの一例を示すフローチャートである。

【0088】

ステップ100では、走査線nがリセット( $n = 0$ )されてステップ102へ移行して走査線nが1インクリメント( $n = n + 1$ )されてステップ104へ移行する。

【0089】

ステップ104では、送信フォーカスを実施して各素子受信信号が取得されてステップ106へ移行する。すなわち、操作者が、超音波プローブ12を被検体の表面に当接し、測定を開始すると、送信部14から供給される駆動信号に従って探触子36から超音波ビームが送信される。そして、送信された超音波ビームと被検体との間の相互作用によって発生された超音波エコーを探触子36が受信し、受信部16によってアナログ素子信号を増幅してA/D変換部18によってアナログ素子信号をデジタル素子データに変換して素子デ

10

20

30

40

50

ータ記憶部 20 に記憶保持される。

【0090】

ステップ 106 では、各素子の受信信号に対して送信ビームと同一方向に受信フォーカスを実施して組織撮像用の画像 A が生成されてステップ 108 へ移行する。すなわち、第 1 受信フォーカス部 40A が、各素子受信信号を素子データ記憶部 20 から取得して垂直方向の受信フォーカスを実施して受信データ（音線信号）を生成し、第 1 検波処理部 40C が音線信号を処理して組織撮像用の画像 A の B モード画像信号を生成する。

【0091】

ステップ 108 では、各素子の受信信号に対して送信ビームに対して角度 傾いた方向に受信フォーカスを実施して針撮像用の画像 B が生成されてステップ 110 へ移行する。すなわち、第 2 受信フォーカス部 40B が、各素子受信信号を素子データ記憶部 20 から取得して垂直方向に対して角度 傾いた方向の受信フォーカスを実施して受信データ（音線信号）を生成し、第 2 検波処理部 40D が音線信号を処理して針撮像用の画像 B の B モード画像信号を生成する。

【0092】

ステップ 110 では、 $n = N$  が否か判定される。すなわち、全走査線について上記処理を終了したか否か判定され、該判定が否定された場合にはステップ 102 へ移行し、上述の処理が繰り返され、判定が肯定されたところでステップ 112 へ移行する。

【0093】

ステップ 112 では、上述のようにして生成された画像 A と画像 B を各々スキャンコンパートし合成して 1 フレームの表示画像が合成処理部 40E によって生成されて一連の処理を終了し、ステップ 100 の処理からの処理を行うことで次ぎのフレームの表示画像が生成される。

【0094】

このように本発明の第 1 実施形態に係る超音波診断装置 10 は、送信フォーカスを行って超音波ビームを発生して超音波信号を受信し、送信方向の受信フォーカスを行うことにより組織撮像用の画像を生成し、送信方向とは異なる方向の受信フォーカスを行うことにより組織以外の反射体（針）撮像用の画像を生成するので、1 回の超音波送信で組織以外の反射体を描出することができる。

【0095】

上記の第 1 実施形態では、第 2 受信フォーカス部 40B が、垂直方向に対して角度 傾いた方向に受信フォーカスを行うようにしたが、更に、図 2 (A) ~ (C) に示すように、針からの反射波が、針を鏡面反射面としてその対称位置に音源がある場合と等価な音波となることを考慮して受信フォーカスを行うようにしてもよい。

【0096】

ここで、針を鏡面反射面としてその対称位置に音源がある場合と等価な音波となることを考慮して受信フォーカスを行う場合について図 7 に基づいて説明する。

【0097】

まず、図 7 (A) から以下式で DX、DY を求めることは、上記と同様である。

【0098】

$$DX = (V \times T_t - FD) \times \sin(\theta)$$

$$DY = (V \times T_t - FD) \times \cos(\theta)$$

$$T_t = T_0 / 2$$

【0099】

次に図 7 (B) のように反射点を通る針を仮定して、送信焦点の対称位置に擬似的に音源を仮定する。送信焦点から、この音源までの距離 DX2、DY2 は以下の式で与えられる。

【0100】

$$DX2 = 2 \times DX$$

$$DY2 = 2 \times DY$$

【0101】

10

20

30

40

50

そしてj番目の素子から音源の距離X、Yは以下式で与えられるため

【0102】

$$X = DX2 - j \times EP$$

$$Y = DY2 + FD$$

【0103】

音源からj番目の素子に帰ってくる音波の伝播時間は以下式で与えられる。

【0104】

$$Tr = \sqrt{X^2 + Y^2} / V$$

【0105】

この開口から超音波が送信されてから送信焦点を形成するまでの時間がFD/Vで、その瞬間に擬似的な音源からj番目の素子への伝播がスタートすると考えられるため、結局、この開口から超音波送信されてから $T = FD/V + Tr$ 後に反射点からの反射波がj番目の素子に帰ってくると考えられる。

10

【0106】

従って以下の式によって各素子の信号を加算することで、この反射点からの反射波を抽出、つまり受信フォーカスを行うことができる。

【0107】

$$RF(i, T0) = ELE(i, j, T)$$

【0108】

すなわち、針を鏡面反射面としてその対称位置に音源がある場合と等価な音波となることを考慮して受信フォーカスを行う場合には、以下の式を満たすように行う。

20

【0109】

$$RF(i, T0) = ELE(i, j, T)$$

$$T = FD/V + Tr$$

$$Tr = \sqrt{X^2 + Y^2} / V$$

$$X = DX2 - j \times EP$$

$$Y = DY2 + FD$$

$$DX2 = 2 \times DX$$

$$DY2 = 2 \times DY$$

$$DX = (V \times Tt - FD) \times \sin(\quad)$$

$$DY = (V \times Tt - FD) \times \cos(\quad)$$

$$Tt = T0/2$$

30

【0110】

上記の第1実施形態の第2受信フォーカス部40Bにおける受信フォーカスの式との違いは、反射点に対して、該反射点を角度と垂直方向に通る針を仮定して、針に対して送信焦点の対称位置としてDX2、DY2を設定して音源を仮定し、仮定した音源から各素子に伝播する時間を算出することと、その際に送信焦点が形成されると同時に仮定した音源が形成されると見なして、送信焦点が形成されるまでの時間FD/Vを加えることである。

【0111】

このように受信フォーカスを行うことにより、針からの正反射に合わせて受信フォーカスすることができるため第1実施形態よりも良好に針を描出することができる。しかしながら、着目反射のみでなく周囲反射との積算結果である正反射に合わせて受信フォーカスすることにより、周囲反射にも受信フォーカスすることになるため、着目反射が針上の点を外れても周囲反射に針上の点が含まれると針を描出することになり、針の先端の描出性能は、第1実施形態よりも低下することになる。

40

【0112】

(第2実施形態)

続いて、本発明の第2実施形態に係る超音波診断装置について説明する。なお、基本的な構成は第1実施形態と同一であるため、詳細な説明を省略し、差異について説明する。

【0113】

50

第1実施形態では、角度  $\theta$  だけ傾けた方向の1走査線のRF信号を生成するために送信焦点を共有する1つの各素子受信信号を用いたが、第2実施形態では、1走査線のRF信号を生成するために送信焦点を共有する各素子受信信号のみでなく、周囲を含めて複数の各素子受信信号を用いる例を説明する。

【0114】

すなわち、第2実施形態では、送信部14が、探触子36の異なる2つ以上の開口の各々で第1の方向に送信焦点を形成して超音波ビームを送信するように複数の超音波素子から超音波を送信させ、第2受信フォーカス部40Bが、素子データ処理部22によって得られる素子データを用いて、垂直方向に対して角度  $\theta$  傾いた方向の受信フォーカスを実施して受信データ(音線信号)を生成する際に、複数走査線の各素子受信信号を用いて受信フォーカスを行う。

10

【0115】

ここで、複数走査線の素子信号を用いた  $\theta$  方向の受信フォーカスについて図8を参照して説明する。

【0116】

まず、鏡面反射を仮定しない方法について図8に基づいて説明する。

走査線  $i$  の  $\theta$  方向の反射点の送信焦点からの距離  $DX$ 、 $DY$  は前述の通り以下式で与えられる。

【0117】

$$DX = (V \times T_t - FD) \times \sin(\theta)$$

$$DY = (V \times T_t - FD) \times \cos(\theta)$$

$$T_t = T_0/2$$

20

【0118】

次に、この反射点の走査線  $(i+k)$  の送信焦点からの距離を求める。

走査線  $(i+k)$  は走査線  $i$  に対して  $k \times EP$  だけ離れているから、 $DX_2$  は以下のように表される。

【0119】

$$DX_2 = DX - k \times EP$$

ここで  $k$  は  $i$  番目の走査線を0として正・負の値をとる。

【0120】

また、距離は以下で与えられる。

30

【0121】

$$\text{sign}(DY) \times \sqrt{DX_2^2 + DY^2}$$

ここで  $DY$  が負の場合には、距離も負の値とするために  $\text{sign}(DY)$  を掛ける。

【0122】

走査線  $(i+k)$  の開口から送信した音波が反射点に到着するまでの時間は以下となること分かる。

【0123】

$$T_{t2} = (FD + \text{sign}(DY) \times \sqrt{DX_2^2 + DY^2}) / V$$

【0124】

一方、反射点から走査線  $(i+k)$  の開口の  $j$  番目の素子(走査線  $(i+k)$  の位置に相当する素子を0として正負の値をとる)に帰ってくる音波の伝播時間は以下となる事が分かる。

40

【0125】

$$T_r = \sqrt{X^2 + Y^2} / V$$

但し、

$$X = DX - (k + j) \times EP$$

$$Y = DY + FD$$

となる。

【0126】

従って、以下の式によって各走査線の各素子の信号を加算することで、この反射点から

50

の反射波を抽出、つまり受信フォーカスすることができる。

$$RF(i, T_0) = \text{ELE}(i+k, j, T)$$

$$T = T_{t2} + T_r$$

ここで、 $i+k$ が走査線、 $j$ が素子を表し、二つの は一方が $k$ に関する積算、他方が $j$ に関する積算を表す。

【0127】

すなわち、複数走査線の素子信号を用いた 方向の受信フォーカス（鏡面反射を仮定しない方法）は、以下の式を満たすように行う。

【0128】

$$RF(i, T_0) = \text{ELE}(i+k, j, T)$$

$$T = T_{t2} + T_r$$

$$T_r = \sqrt{X^2 + Y^2} / V$$

$$X = DX - (k + j) \times EP$$

$$Y = DY + FD$$

$$T_{t2} = (FD + \text{sign}(DY) \times \sqrt{DX^2 + DY^2}) / V$$

$$DX_2 = DX - k \times EP$$

$$DX = (V \times T_t - FD) \times \sin(\quad)$$

$$DY = (V \times T_t - FD) \times \cos(\quad)$$

$$T_t = T_0/2$$

10

【0129】

20

このように複数走査線の各素子受信信号を用いて受信フォーカスを行うことによって、第1実施形態と比べて組織以外の針等の反射体の描出を向上することができる。

【0130】

次に、針からの反射波が、針を鏡面反射面としてその対称位置に音源があると等価な音波となることを考慮して受信フォーカスを行う場合について図9を参照して説明する。

【0131】

まず走査線 $i$ の 方向の反射点の送信焦点からの距離 $DX$ 、 $DY$ は前述の通り以下式で与えられる（図9（A））。

【0132】

$$DX = (V \times T_t - FD) \times \sin(\quad)$$

$$DY = (V \times T_t - FD) \times \cos(\quad)$$

$$T_t = T_0/2$$

30

【0133】

次に、走査線 $i+k$ の送信焦点の針に対する対称位置に擬似的に音源を仮定し、走査線 $i+k$ の送信焦点からそこまでの距離 $DX_3$ 、 $DY_3$ を求める。

【0134】

まず、図9（B）において $DX_2$ は以下式で与えられる事が分かる（ここで $k$ は $i$ 番目の走査線を0として正・負の値をとる）。

【0135】

$$DX_2 = DX - k \times EP \times \sin(\quad) \times \sin(\quad)$$

また $DY_2$ は以下式で与えられる事が分かる。

$$DY_2 = DY - k \times EP \times \sin(\quad) \times \cos(\quad)$$

$DX_3$ 、 $DY_3$ はそれぞれ $DX_2$ 、 $DY_2$ を2倍したものである。以下のように表される。

$$DX_3 = 2 \times DX_2$$

$$DY_3 = 2 \times DY_2$$

40

$DX_3$ 、 $DY_3$ が分かれば、音源から走査線 $(i+k)$ の開口の $j$ 番目の素子（走査線 $(i+k)$ の位置に相当する素子を0として正負の値をとる）に帰ってくる音波の伝播時間は以下となる事が分かる。

$$T_r = \sqrt{X^2 + Y^2} / V$$

但し、

50

$$X = DX3 - j \times EP$$

$$Y = DY3 + FD$$

【 0 1 3 6 】

従って、以下の式によって各走査線の各素子の信号を加算することで、この反射点からの反射波を抽出、つまり受信フォーカスすることができる。

【 0 1 3 7 】

$$RF(i, T0) = \text{ELE}(i+k, j, T)$$

$$T = FD/V + Tr$$

ここで、 $i+k$ が走査線、 $j$ が素子を表し、二つの は一方が $k$ に関する積算、他方が $j$ に関する積算を表す。

10

【 0 1 3 8 】

すなわち、第2受信フォーカス部40Bにおける受信フォーカスは、以下の式を満たすように行う。

【 0 1 3 9 】

$$RF(i, T0) = \text{ELE}(i+k, j, T)$$

$$T = FD/V + Tr$$

$$Tr = \sqrt{X^2 + Y^2} / V$$

$$X = DX3 - j \times EP$$

$$Y = DY3 + FD$$

$$DX3 = 2 \times DX2$$

$$DY3 = 2 \times DY2$$

$$DX2 = DX - k \times EP \times \sin(\ ) \times \sin(\ )$$

$$DY2 = DY - k \times EP \times \sin(\ ) \times \cos(\ )$$

$$DX = (V \times Tt - FD) \times \sin(\ )$$

$$DY = (V \times Tt - FD) \times \cos(\ )$$

$$Tt = T0/2$$

20

【 0 1 4 0 】

続いて、本発明の第2実施形態に係る超音波診断装置の動作、作用及び超音波画像の作成方法について説明する。

【 0 1 4 1 】

図10は、本発明の第2実施形態に係る超音波診断装置10の要部で行われる処理の流れの一例を示すフローチャートである。

30

【 0 1 4 2 】

ステップ200では、走査線 $n$ がリセット( $n = 0$ )されてステップ202へ移行して走査線 $n$ が1インクリメント( $n = n + 1$ )されてステップ204へ移行する。

【 0 1 4 3 】

ステップ204では、送信フォーカスを実施して各素子受信信号が取得されてステップ206へ移行する。すなわち、操作者が、超音波プローブ12を被検体の表面に当接し、測定を開始すると、送信部14から供給される駆動信号に従って探触子36から超音波ビームが送信される。そして、送信された超音波ビームと被検体との間の相互作用によって発生された超音波エコーを探触子36が受信し、受信部16によってアナログ素子信号を増幅してA/D変換部18によってアナログ素子信号をデジタル素子データに変換して素子データ記憶部20に記憶保持される。

40

【 0 1 4 4 】

ステップ206では、 $n = N$ か否かが判定される。すなわち、全走査線について上記処理を終了したか否かが判定され、該判定が否定された場合にはステップ202に戻って上述の処理が繰り返され、判定が肯定されたところでステップ208へ移行する。

【 0 1 4 5 】

ステップ208では、走査線 $n$ がリセット( $n = 0$ )されてステップ210へ移行して走査線 $n$ が1インクリメント( $n = n + 1$ )されてステップ212へ移行する。

50

## 【 0 1 4 6 】

ステップ 2 1 2 では、各素子受信信号に対して送信ビームと同一方向に受信フォーカスを実施して組織撮像用の画像 A が生成されてステップ 2 1 4 へ移行する。すなわち、第 1 受信フォーカス部 4 0 A が、各素子受信信号を素子データ記憶部 2 0 から取得して垂直方向の受信フォーカスを実施して受信データ（音線信号）を生成し、第 1 検波処理部 4 0 C が音線信号を処理して組織撮像用の画像 A の B モード画像信号を生成する。

## 【 0 1 4 7 】

ステップ 2 1 4 では、各素子受信信号に対して送信ビームと角度 だけ傾いた方向に受信フォーカスを実施して針撮像用の画像 B が生成されてステップ 2 1 6 へ移行する。すなわち、第 2 受信フォーカス部 4 0 B が、各素子受信信号を素子データ記憶部 2 0 から取得して垂直方向に対して角度 だけ傾いた方向の受信フォーカスを実施して受信データ（音線信号）を生成し、第 2 検波処理部 4 0 D が音線信号を処理して針撮像用の画像 B の B モード画像信号を生成する。

10

## 【 0 1 4 8 】

ステップ 2 1 6 では、 $n = N$  が否か判定される。すなわち、全走査線について上記処理を終了したか否か判定され、該判定が否定された場合にはステップ 2 1 0 に戻って上述の処理が繰り返され、判定が肯定されたところでステップ 2 1 8 へ移行する。

## 【 0 1 4 9 】

ステップ 2 1 8 では、上述のようにして生成された画像 A と画像 B を各々スキャンコンバートし合成して 1 フレームの表示画像が合成処理部 4 0 E によって生成されて一連の処理を終了し、ステップ 2 0 0 の処理からの処理を行うことで次のフレームの表示画像が生成される。

20

## 【 0 1 5 0 】

このように処理を行うことで、複数走査線の各素子受信信号を用いた受信フォーカスが可能となり、これにより、第 1 実施形態よりも組織以外の針等の反射体の描出性能を向上することができる。

## 【 0 1 5 1 】

（第 3 実施形態）

続いて、本発明の第 3 実施形態に係る超音波診断装置について説明する。

## 【 0 1 5 2 】

針からの反射は針を鏡面反射面としてその対称位置に音源がある場合の音波と等価となるが、その範囲は送信開口、深さ、周波数などによって決まり限定されるため、針が鋭角だと上記の各実施形態では描出できない場合がある。

30

## 【 0 1 5 3 】

そこで、本実施形態では、送信ビーム方向を傾けて針と垂直に近づけた上で、送信ビームより更に傾けて受信フォーカスを行うようにしたものである。

## 【 0 1 5 4 】

基本的な構成は、第 1、2 実施形態と同一であり、処理が異なるのみであるため、以下では、差異みを説明する。

## 【 0 1 5 5 】

第 3 実施形態に係る超音波診断装置は、送信ビームを傾けるので、第 2 受信フォーカス部 4 0 B による受信フォーカスを以下のようにして行う。

40

## 【 0 1 5 6 】

まず、図 1 1 を参照して鏡面反射を仮定しない場合について説明する。

走査線  $i$  が角度 だけ傾いているとして、更に角度 だけ傾けた方向の反射点の送信焦点からの距離  $DX$ 、 $DY$  は以下式で与えられる。

## 【 0 1 5 7 】

$$DX=(V \times Tt-FD) \times \sin( \quad + \quad )$$

$$DY=(V \times Tt-FD) \times \cos( \quad + \quad )$$

$$Tt=T0/2$$

50

## 【 0 1 5 8 】

次に、この反射点の走査線(i+k)の送信焦点からの距離を求める。

走査線(i+k)は走査線iに対してk×EPだけ離れているので、DX2は以下で表される。

## 【 0 1 5 9 】

$$DX2 = DX - k \times EP$$

## 【 0 1 6 0 】

また、距離は以下で与えられる。

## 【 0 1 6 1 】

$$\text{sign}(DY) \times \sqrt{DX2^2 + DY^2}$$

## 【 0 1 6 2 】

ここでDYが負の場合には、距離も負の値とするためにsign(DY)を掛ける。

走査線(i+k)の開口から送信した音波が反射点に到着するまでの時間は以下となることが分かる。

## 【 0 1 6 3 】

$$Tt2 = (FD + \text{sign}(DY) \times \sqrt{DX2^2 + DY^2}) / V$$

## 【 0 1 6 4 】

一方、反射点から走査線(i+k)の開口のj番目の素子(走査線(i+k)の位置に相当する素子を0として正負の値をとる)に帰ってくる音波の伝播時間は以下となる事が分かる。

## 【 0 1 6 5 】

$$Tr = \sqrt{X^2 + Y^2} / V$$

但し、

$$X = DX + FD \times \sin(\theta) - (k+j) \times EP$$

$$Y = DY + FD \times \cos(\theta)$$

## 【 0 1 6 6 】

従って以下の式によって各走査線の各素子の信号を加算することで、この反射点からの反射波を抽出、つまり受信フォーカスすることができる。

## 【 0 1 6 7 】

$$RF(i, T0) = \sum_k \sum_j ELE(i+k, j, T)$$

$$T = Tt2 + Tr$$

ここで、i+kが走査線、jが素子を表し、二つの $\sum$ は一方がkに関する積算、他方がjに関する積算を表す。

## 【 0 1 6 8 】

すなわち、角度 $\theta$ だけ傾けた送信ビームに対して更に角度 $\theta$ だけ傾けた方向に受信フォーカスを行う場合には、第2受信フォーカス部40Bによる受信フォーカスは、以下の式を満たすように行われる。

## 【 0 1 6 9 】

$$RF(i, T0) = \sum_k \sum_j ELE(i+k, j, T)$$

$$T = Tt2 + Tr$$

$$Tr = \sqrt{X^2 + Y^2} / V$$

$$X = DX + FD \times \sin(\theta) - (k+j) \times EP$$

$$Y = DY + FD \times \cos(\theta)$$

$$Tt2 = (FD + \text{sign}(DY) \times \sqrt{DX2^2 + DY^2}) / V$$

$$DX2 = DX - k \times EP$$

$$DX = (V \times Tt - FD) \times \sin(\theta + \theta)$$

$$DY = (V \times Tt - FD) \times \cos(\theta + \theta)$$

$$Tt = T0/2$$

なお、kに関する積算を実施しなければ、送信焦点を共有する一つの各素子受信信号を用いることになる。

## 【 0 1 7 0 】

次に、針を鏡面反射面としてその対称位置に音源がある場合と等価な音波となることを

10

20

30

40

50

考慮して受信フォーカスを行う場合について図 1 2 ( A )、( B )を参照して説明する。

【 0 1 7 1 】

走査線  $i$  が角度  $\theta_i$  だけ傾いているとして、更に角度  $\theta_k$  だけ傾けた方向の反射点の送信焦点からの距離  $DX$ 、 $DY$  は以下式で与えられる ( 図 1 2 ( A ) )。

【 0 1 7 2 】

$$DX = (V \times T_t - FD) \times \sin(\theta_i + \theta_k)$$

$$DY = (V \times T_t - FD) \times \cos(\theta_i + \theta_k)$$

$$T_t = T_0/2$$

【 0 1 7 3 】

次に、走査線  $i+k$  の送信焦点の針に対する対称位置に擬似的に音源を仮定し、走査線  $i+k$  の送信焦点からそこまでの距離  $DX_3$ 、 $DY_3$  を求める。 10

そのために、まず図 1 2 ( B ) において  $DX_2$ 、 $DY_2$  を求める。以下式で与えられる事が分かる ( ここで  $k$  は  $i$  番目の走査線を 0 として正・負の値をとる )。

【 0 1 7 4 】

$$DX_2 = DX - k \times EP \times \sin(\theta_i + \theta_k) \times \sin(\theta_i + \theta_k)$$

$$DY_2 = DY - k \times EP \times \sin(\theta_i + \theta_k) \times \cos(\theta_i + \theta_k)$$

$DX_3$ 、 $DY_3$  はそれぞれ  $DX_2$ 、 $DY_2$  を 2 倍したものである。以下のようになる。

$$DX_3 = 2 \times DX_2$$

$$DY_3 = 2 \times DY_2$$

$DX_3$ 、 $DY_3$  が分かれば、音源から走査線  $(i+k)$  の開口の  $j$  番目の素子 (走査線  $(i+k)$  の位置に相当する素子を 0 として正負の値をとる) に帰ってくる音波の伝播時間は以下となる事が分かる。 20

$$Tr = \sqrt{X^2 + Y^2} / V$$

但し、

$$X = DX_3 + FD \times \sin(\theta_i + \theta_k) - j \times EP$$

$$Y = DY_3 + FD \times \cos(\theta_i + \theta_k)$$

【 0 1 7 5 】

従って以下の式によって各走査線の各素子の信号を加算することで、この反射点からの反射波を抽出、つまり受信フォーカスすることができる。

【 0 1 7 6 】

$$RF(i, T_0) = \sum_k ELE(i+k, j, T)$$

$$T = FD/V + Tr$$

ここで、 $i+k$  が走査線、 $j$  が素子を表し、二つの  $\sum$  は一方が  $k$  に関する積算、他方が  $j$  に関する積算を表す。

【 0 1 7 7 】

すなわち、針を鏡面反射面としてその対称位置に音源がある場合と等価な音波となることを考慮して、角度  $\theta_i$  だけ傾けた送信ビームに対して更に角度  $\theta_k$  だけ傾けた方向に受信フォーカスを行う場合には、第 2 受信フォーカス部 4 0 B は、以下の式を満たすように受信フォーカスを行う。

【 0 1 7 8 】

$$RF(i, T_0) = \sum_k ELE(i+k, j, T)$$

$$T = FD/V + Tr$$

$$Tr = \sqrt{X^2 + Y^2} / V$$

$$X = DX_3 + FD \times \sin(\theta_i + \theta_k) - j \times EP$$

$$Y = DY_3 + FD \times \cos(\theta_i + \theta_k)$$

$$DX_3 = 2 \times DX_2$$

$$DY_3 = 2 \times DY_2$$

$$DX_2 = DX - k \times EP \times \sin(\theta_i + \theta_k) \times \sin(\theta_i + \theta_k)$$

$$DY_2 = DY - k \times EP \times \sin(\theta_i + \theta_k) \times \cos(\theta_i + \theta_k)$$

$$DX = (V \times T_t - FD) \times \sin(\theta_i + \theta_k)$$

10

20

30

40

50

$$DY = (V \times Tt - FD) \times \cos( + )$$

$$Tt = T0/2$$

なお、kに関する積算を実施しなければ、送信焦点を共有する一つの各素子受信信号を用いることとなる。

【0179】

図13は、本発明の第3実施形態に係る超音波診断装置の要部で行われる処理の流れの一例を示すフローチャートである。なお、第2実施形態と同一処理については同一符号を付して説明する。

【0180】

ステップ200では、走査線nがリセット( $n = 0$ )されてステップ202へ移行して走査線nが1インクリメント( $n = n + 1$ )されてステップ203へ移行する。

10

【0181】

ステップ203では、送信ビームを傾けずに送信フォーカスを実施して各素子受信信号が取得されてステップ205へ移行する。すなわち、操作者が、超音波プローブ12を被検体の表面に当接し、測定を開始すると、送信部14から供給される駆動信号に従って探触子36から超音波ビームが送信される。そして、送信された超音波ビームと被検体との間の相互作用によって発生された超音波エコーを探触子36が受信し、受信部16によってアナログ素子信号を増幅してA/D変換部18によってアナログ素子信号をデジタル素子データに変換して素子データ記憶部20に記憶保持される。

20

【0182】

ステップ205では、送信ビームを傾けて送信フォーカスを実施して各素子受信信号が取得されてステップ206へ移行する。すなわち、送信部14から供給される駆動信号に従って探触子36から超音波ビームが送信される。このとき、ステップ203とは異なり、送信ビームが傾いて送信される。そして、送信された超音波ビームと被検体との間の相互作用によって発生された超音波エコーを探触子36が受信し、受信部16によってアナログ素子信号を増幅してA/D変換部18によってアナログ素子信号をデジタル素子データに変換して素子データ記憶部20に記憶保持される。

【0183】

ステップ206では、 $n = N$ か否か判定される。すなわち、全走査線について上記処理を終了したか否か判定され、該判定が否定された場合にはステップ202に戻って上述の処理が繰り返され、判定が肯定されたところでステップ208へ移行する。

30

【0184】

ステップ208では、走査線nがリセット( $n = 0$ )されてステップ210へ移行して走査線nが1インクリメント( $n = n + 1$ )されてステップ213へ移行する。

【0185】

ステップ213では、送信ビームを傾けずに取得した各素子受信信号に対して送信ビームと同一方向に受信フォーカスを実施して組織撮像用の画像Aが生成されてステップ215へ移行する。すなわち、第1受信フォーカス部40Aが、ステップ203で取得した各素子受信信号を素子データ記憶部20から取得して垂直方向の受信フォーカスを実施して受信データ(音線信号)を生成し、第1検波処理部40Cが音線信号を処理して組織撮像用の画像AのBモード画像信号を生成する。

40

【0186】

ステップ215では、送信ビームを傾けて取得した各素子受信信号に対して送信ビームと角度だけ傾いた方向に受信フォーカスを実施して針撮像用の画像Bが生成されてステップ216へ移行する。すなわち、第2受信フォーカス部40Bが、ステップ205で取得した各素子受信信号を素子データ記憶部20から取得して送信ビームに対して更に角度だけ傾いた方向の受信フォーカスを実施して受信データ(音線信号)を生成し、第2検波処理部40Dが音線信号を処理して針撮像用の画像BのBモード画像信号を生成する。

【0187】

ステップ216では、 $n = N$ か否か判定される。すなわち、全走査線について上記処理

50

を終了したか否か判定され、該判定が否定された場合にはステップ 210 に戻って上述の処理が繰り返され、判定が肯定されたところでステップ 218 へ移行する。

【0188】

ステップ 218 では、上述のようにして生成された画像 A と画像 B を各々スキャンコンバートし合成して 1 フレームの表示画像が合成処理部 40E によって生成されて一連の処理を終了し、ステップ 200 の処理からの処理を行うことで次ぎのフレームの表示画像が生成される。

【0189】

なお、図 13 では、1 走査線の RF 信号を複数走査線の各素子受信信号を用いて生成する場合について説明したが、第 1 実施形態のように、1 走査線の RF 信号を生成するために送信焦点を共有する 1 つの各素子受信信号を用いる場合には、図 13 の代わりに図 14 に示す処理を行っても良い。

10

【0190】

図 14 は、本発明の第 3 実施形態に係る超音波診断装置において送信焦点を共有する 1 つの各素子受信信号を用いて 1 走査線の RF 信号を生成する場合の処理の流れの一例を示すフローチャートである。なお、第 1 実施形態と同一処理については同一符号を付して説明する。

【0191】

ステップ 100 では、走査線  $n$  がリセット ( $n = 0$ ) されてステップ 102 へ移行して走査線  $n$  が 1 インクリメント ( $n = n + 1$ ) されてステップ 103 へ移行する。

20

【0192】

ステップ 103 では、送信ビームを傾けずに垂直方向に送信フォーカスを実施して各素子受信信号が取得されてステップ 106 へ移行する。すなわち、操作者が、超音波プローブ 12 を被検体の表面に当接し、測定を開始すると、送信部 14 から供給される駆動信号に従って探触子 36 から超音波ビームが送信される。そして、送信された超音波ビームと被検体との間の相互作用によって発生された超音波エコーを探触子 36 が受信し、受信部 16 によってアナログ素子信号を増幅して A/D 変換部 18 によってアナログ素子信号をデジタル素子データに変換して素子データ記憶部 20 に記憶保持される。

【0193】

ステップ 106 では、各素子の受信信号に対して送信ビームと同一方向に受信フォーカスを実施して組織撮像用の画像 A が生成されてステップ 107 へ移行する。すなわち、第 1 受信フォーカス部 40A が、各素子受信信号を素子データ記憶部 20 から取得して垂直方向の受信フォーカスを実施して受信データ (音線信号) を生成し、第 1 検波処理部 40C が音線信号を処理して組織撮像用の画像 A の B モード画像信号を生成する。

30

【0194】

ステップ 107 では、送信ビームを傾けて送信フォーカスを実施して各素子受信信号が取得されてステップ 108 へ移行する。すなわち、送信部 14 から供給される駆動信号に従って探触子 36 から超音波ビームが送信される。このとき、ステップ 103 とは異なり、送信ビームが傾いて送信される。そして、送信された超音波ビームと被検体との間の相互作用によって発生された超音波エコーを探触子 36 が受信し、受信部 16 によってアナログ素子信号を増幅して A/D 変換部 18 によってアナログ素子信号をデジタル素子データに変換して素子データ記憶部 20 に記憶保持される。

40

【0195】

ステップ 108 では、各素子の受信信号に対して送信ビーム (傾いた送信ビーム) に対して角度 傾いた方向に受信フォーカスを実施して針撮像用の画像 B が生成されてステップ 110 へ移行する。すなわち、第 2 受信フォーカス部 40B が、傾いた送信ビームによって得られる各素子受信信号を素子データ記憶部 20 から取得して送信ビームに対して更に角度 傾いた方向の受信フォーカスを実施して受信データ (音線信号) を生成し、第 2 検波処理部 40D が音線信号を処理して針撮像用の画像 B の B モード画像信号を生成する。

50

## 【0196】

ステップ110では、 $n = N$ か否か判定される。すなわち、全走査線について上記処理を終了したか否か判定され、該判定が否定された場合にはステップ102へ移行し、上述の処理が繰り返され、判定が肯定されたところでステップ112へ移行する。

## 【0197】

ステップ112では、上述のようにして生成された画像Aと画像Bを各々スキャンコンバートし合成して1フレームの表示画像が合成処理部40Eによって生成されて一連の処理を終了し、ステップ100の処理からの処理を行うことで次ぎのフレームの表示画像が生成される。

## 【0198】

このように本発明の第3実施形態に係る超音波診断装置は、上記各実施形態と異なり2回の超音波送信が必要となるが、上記各実施形態で描出できない角度の針等の組織以外の反射体を確実に描出することができる。従って、確実に針等の反射体を描出できるので、上記各実施形態で針等の組織以外の反射体を検出できなかった場合にモード等を切り替えて行うことにより、上記各実施形態の欠点を補うことができる。

## 【0199】

(第4実施形態)

続いて、第4実施形態に係る超音波診断装置について説明する。

## 【0200】

第4実施形態では、第3実施形態において、コンベックス型の超音波プローブを使用する場合の第2受信フォーカス部40Bによる受信フォーカスについて説明する。

## 【0201】

コンベックス型の超音波プローブを用いて、送信ビームを角度 $\theta$ だけ傾けて送信したときの第2受信フォーカス部40Bの受信フォーカスについて説明する。

## 【0202】

まず、鏡面反射を仮定しない場合について図15を参照して説明する。

## 【0203】

走査線 $i$ が角度 $\theta$ だけ傾いているとして、更に角度 $\theta$ だけ傾けた方向の反射点の送信焦点からのX方向、Y方向の距離DX、DYは以下式で与えられる(図15(A))。

## 【0204】

$$DX = (V \times Tt - FD) \times \sin(\theta + \theta)$$

$$DY = (V \times Tt - FD) \times \cos(\theta + \theta)$$

$$Tt = T0/2$$

## 【0205】

次に、この反射点の走査線 $(i+k)$ の送信焦点からのX方向、Y方向距離を求める。

まず図15(B)から走査線 $(i+k)$ の送信焦点に対して走査線 $i$ の送信焦点のX方向、Y方向距離を求める。コンベックス中心を原点として走査線 $i$ の送信焦点の $x$ 、 $y$ 座標は以下のようになる。

## 【0206】

$$x_i = FD \times \sin(\theta)$$

$$y_i = R + FD \times \cos(\theta)$$

ここで、 $R$ はコンベックス型超音波プローブの半径を表す。

## 【0207】

走査線 $(i+k)$ は走査線 $i$ に対して角度 $k \times EP$ だけ傾いており、従って走査線 $i$ が $y$ 方向に対して角度 $\theta$ だけ傾いているのに対して、走査線 $(i+k)$ は $y$ 方向に対して $\theta + k \times EP$ だけ傾いている事が図15(B)から分かる(ここで $EP$ は走査線間の角度。 $k$ は $i$ 番目の走査線を0として正・負の値をとる)。従って、走査線 $(i+k)$ の送信焦点の $x$ 、 $y$ 座標は以下のように表される。

## 【0208】

$$x_{i+k} = R \times \sin(k \times EP) + FD \times \sin(\theta + k \times EP)$$

10

20

30

40

50

$$y_{i+k} = R \times \cos(k \times EP) + FD \times \cos(\theta + k \times EP)$$

【 0 2 0 9 】

上式に基づき、走査線(i+k)の送信焦点に対して走査線iの送信焦点のX方向、Y方向距離はそれぞれ以下式で求められる。

【 0 2 1 0 】

$$x_i - x_{i+k} = FD \times \sin(\theta) - R \times \sin(k \times EP) - FD \times \sin(\theta + k \times EP)$$

$$y_i - y_{i+k} = R + FD \times \cos(\theta) - R \times \cos(k \times EP) - FD \times \cos(\theta + k \times EP)$$

【 0 2 1 1 】

従って、走査線(i+k)の送信焦点に対して反射点のX方向距離DX2およびY方向距離DY2は以下式で求められる。

【 0 2 1 2 】

$$DX2 = DX + FD \times \sin(\theta) - FD \times \sin(\theta + k \times EP) - R \times \sin(k \times EP)$$

$$DY2 = DY + FD \times \cos(\theta) - FD \times \cos(\theta + k \times EP) + R - R \times \cos(k \times EP)$$

【 0 2 1 3 】

走査線(i+k)の開口から送信した音波が反射点に到着するまでの時間は以下のようになることが分かる。

【 0 2 1 4 】

$$Tt2 = ( FD + \text{sign}(DY) \times \sqrt{DX2^2 + DY2^2} ) / V$$

【 0 2 1 5 】

ここでDYが負の場合には、送信焦点を形成する前に反射点に到達することからsign(DY)を掛けている。

【 0 2 1 6 】

一方、図15(B)から、反射点から走査線(i+k)の開口のj番目の素子(走査線(i+k)の位置に相当する素子を0として正負の値をとる)に帰ってくる音波の伝播時間は以下となる事が分かる。

【 0 2 1 7 】

$$Tr = \sqrt{X^2 + Y^2} / V$$

但し

$$X = DX + FD \times \sin(\theta) - R \times \sin((k + j) \times EP)$$

$$Y = DY + FD \times \cos(\theta) + R - R \times \cos((k + j) \times EP)$$

ここで、EPは走査線間の角度であると共に、素子間の角度でもある。

【 0 2 1 8 】

従って以下の式によって各走査線の各素子の信号を加算することで、この反射点からの反射波を抽出、つまり受信フォーカスすることができる。

【 0 2 1 9 】

$$RF(i, T0) = \sum_j ELE(i+k, j, T)$$

$$T = Tt2 + Tr$$

ここでi+kが走査線、jが素子を表し、二つの和は一方がkに関する積算、他方がjに関する積算を表す。

【 0 2 2 0 】

すなわち、コンベックス型の超音波プローブを用いて、送信ビームを角度 $\theta$ だけ傾けて送信したときに、更に角度 $\theta$ だけ傾けた方向の受信フォーカスは、以下の式を満たすように行われる。

【 0 2 2 1 】

$$RF(i, T0) = \sum_j ELE(i+k, j, T)$$

$$T = Tt2 + Tr$$

$$Tr = \sqrt{X^2 + Y^2} / V$$

$$X = DX + FD \times \sin(\theta) - R \times \sin((k + j) \times EP)$$

$$Y = DY + FD \times \cos(\theta) + R - R \times \cos((k + j) \times EP)$$

$$Tt2 = ( FD + \text{sign}(DY) \times \sqrt{DX2^2 + DY2^2} ) / V$$

10

20

30

40

50

$$\begin{aligned}
 DX2 &= DX + FD \times \sin(\theta) - FD \times \sin(\theta + k \times EP) - R \times \sin(k \times EP) \\
 DY2 &= DY + FD \times \cos(\theta) - FD \times \cos(\theta + k \times EP) + R - R \times \cos(k \times EP) \\
 DX &= (V \times Tt - FD) \times \sin(\theta + \alpha) \\
 DY &= (V \times Tt - FD) \times \cos(\theta + \alpha) \\
 Tt &= T0/2
 \end{aligned}$$

次に、針を鏡面反射面としてその対称位置に音源がある場合と等価な音波となることを考慮して受信フォーカスを行う場合について図16及び図17(A)、(B)を参照して説明する。

【0222】

走査線*i*が角度 $\theta$ だけ傾いているとして、更に角度 $\theta$ だけ傾けた方向の反射点の送信焦点からの距離DX、DYは以下式で与えられる。

【0223】

$$\begin{aligned}
 DX &= (V \times Tt - FD) \times \sin(\theta + \alpha) \\
 DY &= (V \times Tt - FD) \times \cos(\theta + \alpha) \\
 Tt &= T0/2
 \end{aligned}$$

【0224】

次に、走査線*i+k*の送信焦点の針に対する対称位置に擬似的に音源を仮定し、走査線*i+k*の送信焦点からそこまでの距離DX3、DY3を求める。

そのために、まず図17(A)(または図17(B))においてDX2、DY2を求める。ここで図17(A)および図17(B)はDX2、DY2の求め方を説明するための図であり、図17(B)は図17(A)の点線で囲った部分の拡大図である。

【0225】

DX2、DY2を求めるために、まず図17(B)の矢印Aの距離を求める。そのために、まず走査線*i+k*の送信焦点と走査線*i*の送信焦点間の距離と、図17(B)の角度 $\theta$ を求める。

【0226】

走査線*i+k*の送信焦点と走査線*i*の送信焦点間の距離は、図17(A)を見るとコンベックス中心とそれぞれの送信焦点が形成する三角形はコンベックス中心を頂点とした2等辺三角形であることが分かる。その辺の長さをRbとすると余弦定理により以下式で与えられる事が分かる。

【0227】

$$Rb = \sqrt{R^2 + FD^2 + 2 \times R \times FD \times \cos(\theta)}$$

【0228】

そしてこの2等辺三角形の頂点(コンベックス中心)の角度が $k \times EP$ である事から走査線*i+k*の送信焦点と走査線*i*の送信焦点間の距離が以下式で与えられる事が分かる。

【0229】

$$2 \times Rb \times \sin(k \times EP / 2)$$

【0230】

次に図17(B)において $\theta$ を求めるために、まず $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\theta_3$ を求める。

1は上述した2等辺三角形の底角なので $90^\circ - (k \times EP / 2)$ である事が分かる。

2は図17(B)より $90^\circ - \theta_1$ である事が容易に分かる。

3は図17(A)の $\theta$ と等しいことが分かる。そして、図17(A)の $\theta_3$ は正弦定理により

$$Rb / \sin(180^\circ - \theta_3) = FD / \sin(\theta_3)$$

から、以下式で与えられる事が分かる。

$$\theta_3 = \arcsin(\sin(\theta) \times FD / Rb)$$

以上から $\theta$ は以下式で与えられる事が分かる。

$$\begin{aligned}
 \theta &= 180^\circ - \theta_1 - \theta_2 - \theta_3 \\
 &= (k \times EP / 2) + \theta_2 - \arcsin(\sin(\theta) \times FD / Rb)
 \end{aligned}$$

【0231】

10

20

30

40

50

以上から、図 17 ( B ) の矢印 A の距離は以下式で求められる事が分かる。

【 0 2 3 2 】

$$2 \times R_b \times \sin( k \times EP / 2 ) \times \sin( \quad )$$

以上から DX2、DY2 は以下式で与えられる。

$$DX2 = 2 \times R_b \times \sin( k \times EP / 2 ) \times \sin( \quad ) \times \sin( \quad + \quad ) + DX$$

$$DY2 = 2 \times R_b \times \sin( k \times EP / 2 ) \times \cos( \quad ) \times \sin( \quad + \quad ) + DY$$

但し、

$$= ( k \times EP / 2 ) + \quad + \quad - \arcsin( \sin( \quad ) \times FD / R_b )$$

$$R_b = \sqrt{ R^2 + FD^2 + 2 \times R \times FD \times \cos( \quad ) }$$

DX3、DY3 はそれぞれ DX2、DY2 を 2 倍したものである。 10

$$DX3 = 2 \times DX2$$

$$DY3 = 2 \times DY2$$

【 0 2 3 3 】

走査線 (i+k) は走査線 i に対して角度  $k \times EP$  だけ傾いており、従って走査線 i が y 方向に対して角度  $\quad$  だけ傾いているのに対して、走査線 (i+k) は y 方向に対して  $\quad + k \times EP$  だけ傾いている事が図 17 ( A ) から分かる (ここで k は i 番目の走査線を 0 として正・負の値をとる)。

【 0 2 3 4 】

従って、走査線 (i+k) の起点 (開口の中心) に対して送信焦点の X 方向、Y 方向距離は以下のように表される。 20

【 0 2 3 5 】

$$FD \times \sin( \quad + k \times EP )$$

$$FD \times \cos( \quad + k \times EP )$$

【 0 2 3 6 】

そして、走査線 (i+k) の開口の j 番目の素子に対して走査線 (i+k) の起点 (開口の中心) の X 方向、Y 方向距離が以下となることも図 17 ( A ) から分かる。

【 0 2 3 7 】

$$R \times ( \sin( k \times EP ) - \sin( (k+j) \times EP ) )$$

$$R \times ( \cos( k \times EP ) - \cos( (k+j) \times EP ) )$$

【 0 2 3 8 】 30

以上から、音源から走査線 (i+k) の開口の j 番目の素子に帰ってくる音波の伝播時間は以下となる事が分かる。

【 0 2 3 9 】

$$Tr = \sqrt{ X^2 + Y^2 } / V$$

但し、

$$X = DX3 + FD \times \sin( \quad + k \times EP ) + R \times ( \sin( k \times EP ) - \sin( (k+j) \times EP ) )$$

$$Y = DY3 + FD \times \cos( \quad + k \times EP ) + R \times ( \cos( k \times EP ) - \cos( (k+j) \times EP ) )$$

【 0 2 4 0 】

従って、以下の式によって各走査線の各素子の信号を加算することで、この反射点からの反射波を抽出、つまり受信フォーカスすることができる。 40

【 0 2 4 1 】

$$RF(i, T_0) = \quad ELE(i+k, j, T)$$

$$T = FD/V + Tr$$

ここで、i+k が走査線、j が素子を表し、二つの  $\quad$  は一方が k に関する積算、他方が j に関する積算を表す。

【 0 2 4 2 】

すなわち、針を鏡面反射面としてその対称位置に音源がある場合と等価な音波となることを考慮して受信フォーカスを行う場合には、第 2 受信フォーカス部 40 B は、以下の式を満たすように受信フォーカスを行う。

【 0 2 4 3 】 50

$$RF(i, T_0) = \text{ELE}(i+k, j, T)$$

$$T = FD/V + T_r$$

$$T_r = \sqrt{X^2 + Y^2} / V$$

$$X = DX_3 + FD \times \sin(\theta + k \times EP) + R \times (\sin(k \times EP) - \sin((k+j) \times EP))$$

$$Y = DY_3 + FD \times \cos(\theta + k \times EP) + R \times (\cos(k \times EP) - \cos((k+j) \times EP))$$

$$DX_3 = 2 \times DX_2$$

$$DY_3 = 2 \times DY_2$$

$$DX_2 = 2 \times R_b \times \sin(k \times EP / 2) \times \sin(\theta) \times \sin(\theta + \alpha) + DX$$

$$DY_2 = 2 \times R_b \times \sin(k \times EP / 2) \times \cos(\theta) \times \sin(\theta + \alpha) + DY$$

$$DX = (V \times T_t - FD) \times \sin(\theta + \alpha)$$

$$DY = (V \times T_t - FD) \times \cos(\theta + \alpha)$$

但し、

$$\alpha = (\theta + k \times EP / 2) + \theta - \arcsin(\sin(\theta) \times FD / R_b)$$

【0244】

$$R_b = \sqrt{R^2 + FD^2 + 2 \times R \times FD \times \cos(\theta)}$$

【0245】

この場合には、リニア型の超音波プローブを使用する場合と同様に、針の描出性能を向上することができるが、針の先端の描出性能は低下することとなる。

【0246】

なお、第4実施形態に係る超音波診断装置の要部で行われる処理の流れについては、第3実施形態に対して超音波プローブがコンベックス型超音波プローブに代わるだけで同じ処理となるため、詳細な説明を省略する。

【0247】

また、第4実施形態の第2受信フォーカス部40Bの受信フォーカスを行う際の上記式において、 $\theta = 0$ とすることにより、送信ビームを傾けない場合に相当する。また、 $k$ に関する積算を実施しなければ、送信焦点を共有する一つの各素子受信信号を用いることとなる。

【0248】

コンベックス型の超音波プローブの場合、送信ビームの方向は走査線毎に異なる。つまり、 $n$ 素子分離した走査線の送信ビームの方向は角度 $n \times EP$ だけ異なる。この走査線毎の送信ビーム方向の違いを考慮して、上記式において走査線に依らず常に同一方向に受信フォーカスを実施するように各 $RF(i, T_0)$ の $\theta$ をずらすようにしてもよい。すなわち、 $RF(i-n, T_0) \dots$ 、 $RF(i-1, T_0)$ 、 $RF(i, T_0)$ 、 $RF(i+1, T_0) \dots$ 、 $RF(i+n, T_0)$ を生成するための受信フォーカスにおいて $\theta$ を各々 $\theta + n \times EP \dots$ 、 $\theta + EP$ 、 $\theta$ 、 $\theta - EP \dots$ 、 $\theta - n \times EP$ としてもよい。

【0249】

なお、上記の各実施形態においては受信フォーカスの方向を $\theta$ とした。針ガイドなどに針を固定して入射する場合には予め固定治具によって決まる $\theta$ を操作部32等を介して設定すればよい。また、フリーハンドで針を入射する場合には、複数の方向に受信フォーカスをして針画像を生成した後に、最も針描出の良い画像を選択するようにしてもよい。最も針描出の良い画像の判断方法としては、針が含まれると想定される所定領域の輝度分布において最高輝度が含まれる画像や平均輝度が最大となる画像、またはHough変換などにより直線検出し、該直線における輝度が最大となる画像などとしてもよい。

【0250】

また、描出する対象は、針のみでなく正反射を生ずる何れの反射体の描出にも有効である。つまり、正反射を生ずる反射体においては送信ビーム方向によって十分な正反射が受信開口に戻らずに描出が低下することがあるが、上述したように、送信フォーカスにより形成される音波が種々方向に伝播することを利用して、余分な送信をせずに反射体を良好に描出することができる。

【0251】

また、上記の各実施形態は、正反射を生じない反射体の描出にも有効である。つまり、

10

20

30

40

50

従来、反射体がプローブ下になく描出に送信ステア（送信ビームを傾けた送信）を要した場合でも、送信フォーカスにより形成される音波がプローブ下のみでなく該反射体にまで広がることを利用して、余分な種々方向の送信ステアを実施せずに描出することができる。この時、広がる音波を利用するため送信ステアに比べて画質低下するが、第2実施形態の様に複数の素子データを利用することで画質向上させることができる。

【0252】

また、上記の各実施形態では、針の画像を生成する場合を説明したが、針の画像生成のみでなく針の方向検出にも有効である。つまり、複数の方向に受信フォーカスをして針画像を生成した後に、最も針描出の良い画像となる方向に垂直な方向に針が入射していると判定することができる。または、針描出の良い画像においてHough変換などにより直線検出し、該直線の方法を針の方向と判定することもできる。

10

【0253】

さらに、上記の各実施形態では、Bモード画像の生成を説明したが、Bモード画像生成のみでなくドプラ画像生成にも有効である。

【0254】

また、上記の各実施形態における各部で行われる処理は、プログラムとして各種記憶媒体に記憶して流通するようにしてもよい。

【0255】

さらに、上記の各実施形態で説明した超音波診断装置の構成や動作等は一例であり、本発明の主旨を逸脱しない範囲内において状況に応じて変更可能であることは言うまでもない。

20

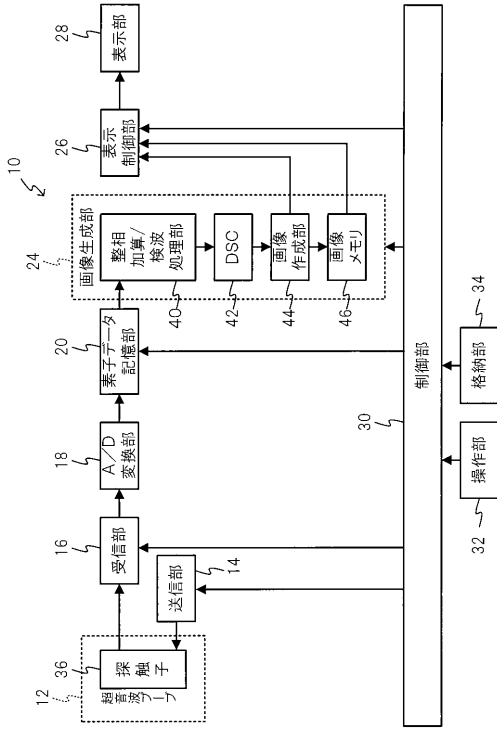
【符号の説明】

【0256】

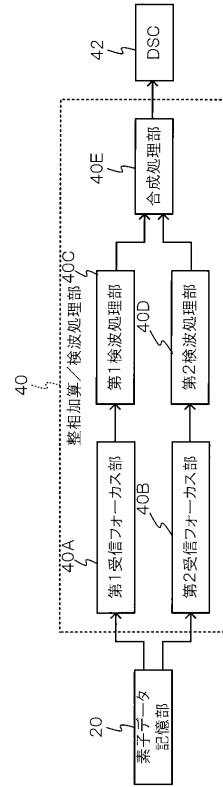
- 10 超音波診断装置
- 12 超音波プローブ
- 14 送信部
- 16 受信部
- 20 素子データ記憶部
- 22 素子データ処理部
- 24 画像生成部
- 30 制御部
- 34 格納部
- 36 探触子
- 40 整相加算/検波処理部
- 40A 第1受信フォーカス部
- 40B 第2受信フォーカス部
- 40C 第1検波処理部
- 40D 第2検波処理部
- 40E 合成処理部

30

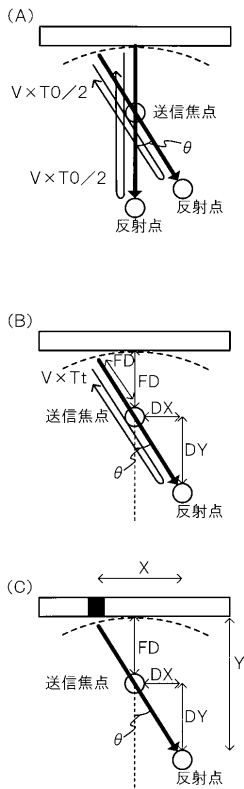
【図1】



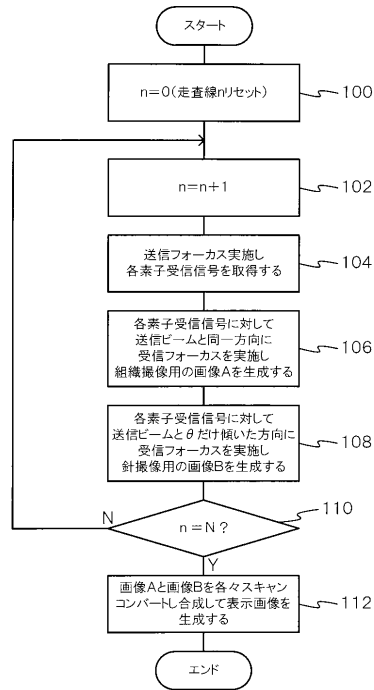
【図4】



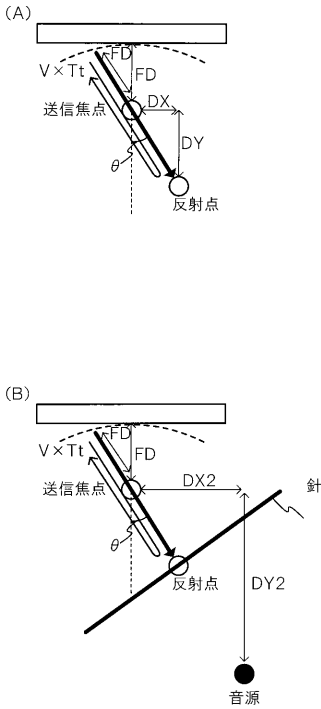
【図5】



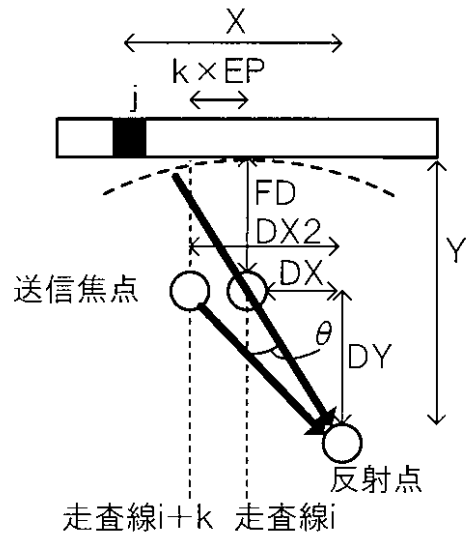
【図6】



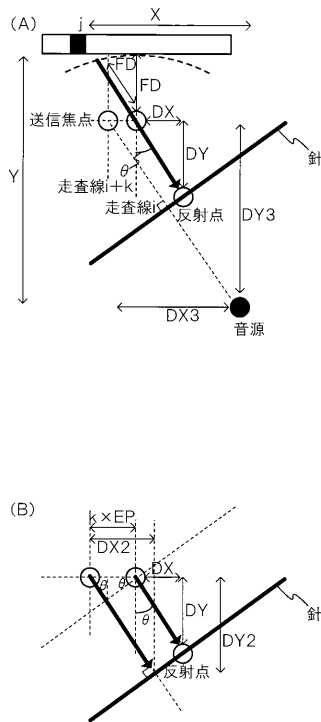
【図7】



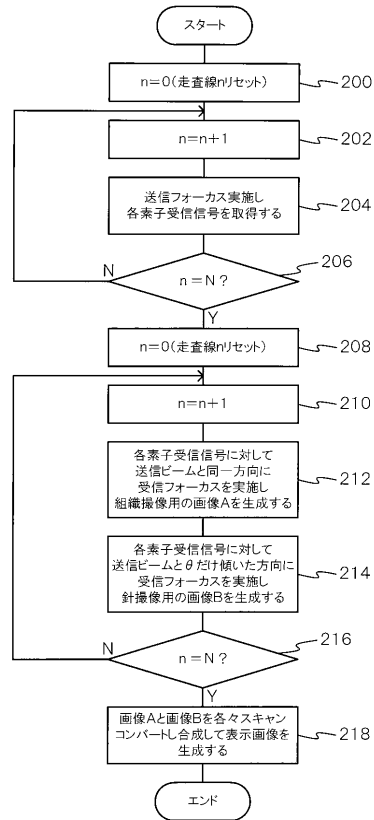
【図8】



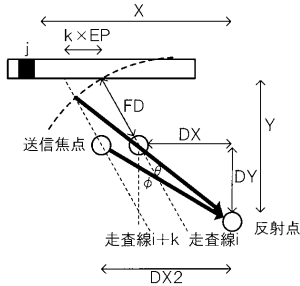
【図9】



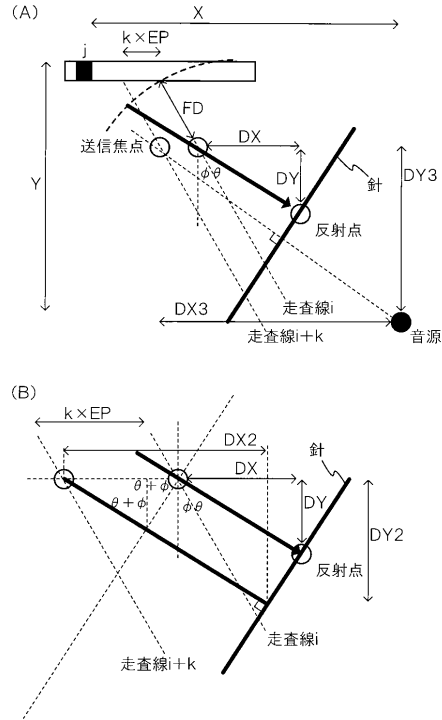
【図10】



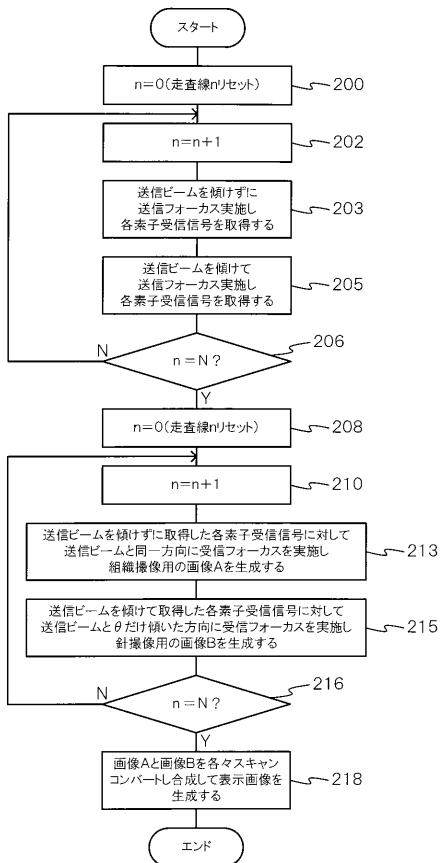
【図 1 1】



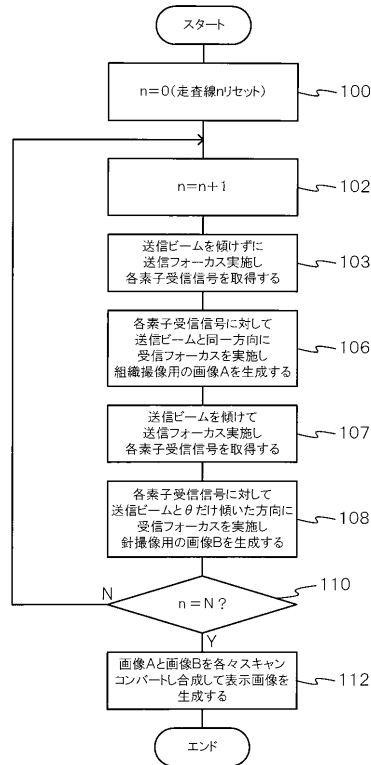
【図 1 2】



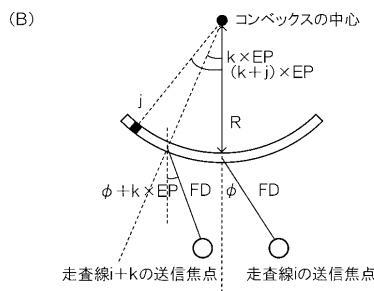
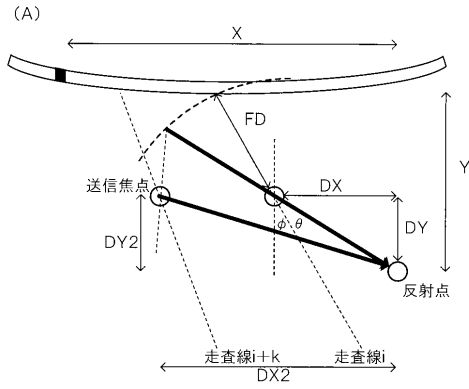
【図 1 3】



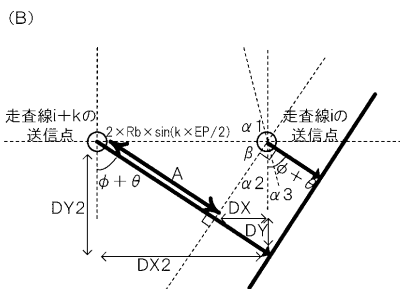
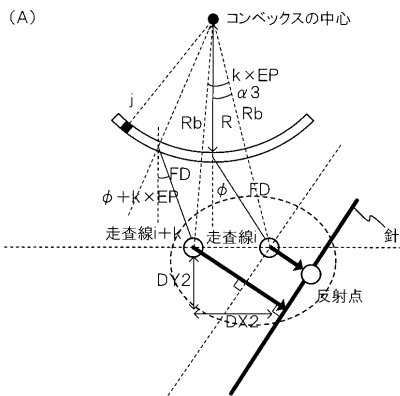
【図 1 4】



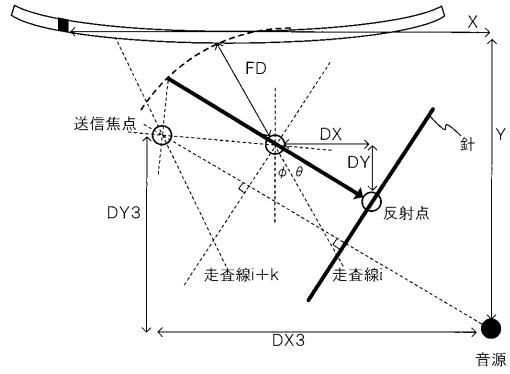
【図 15】



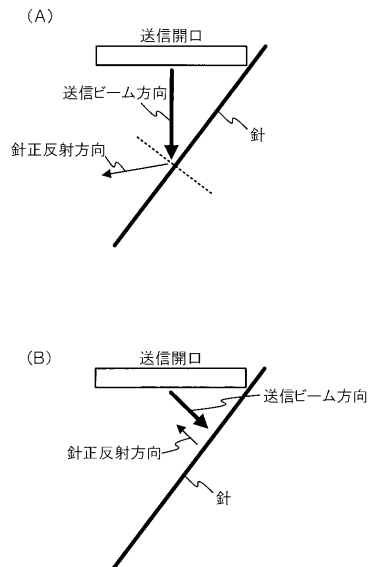
【図 17】



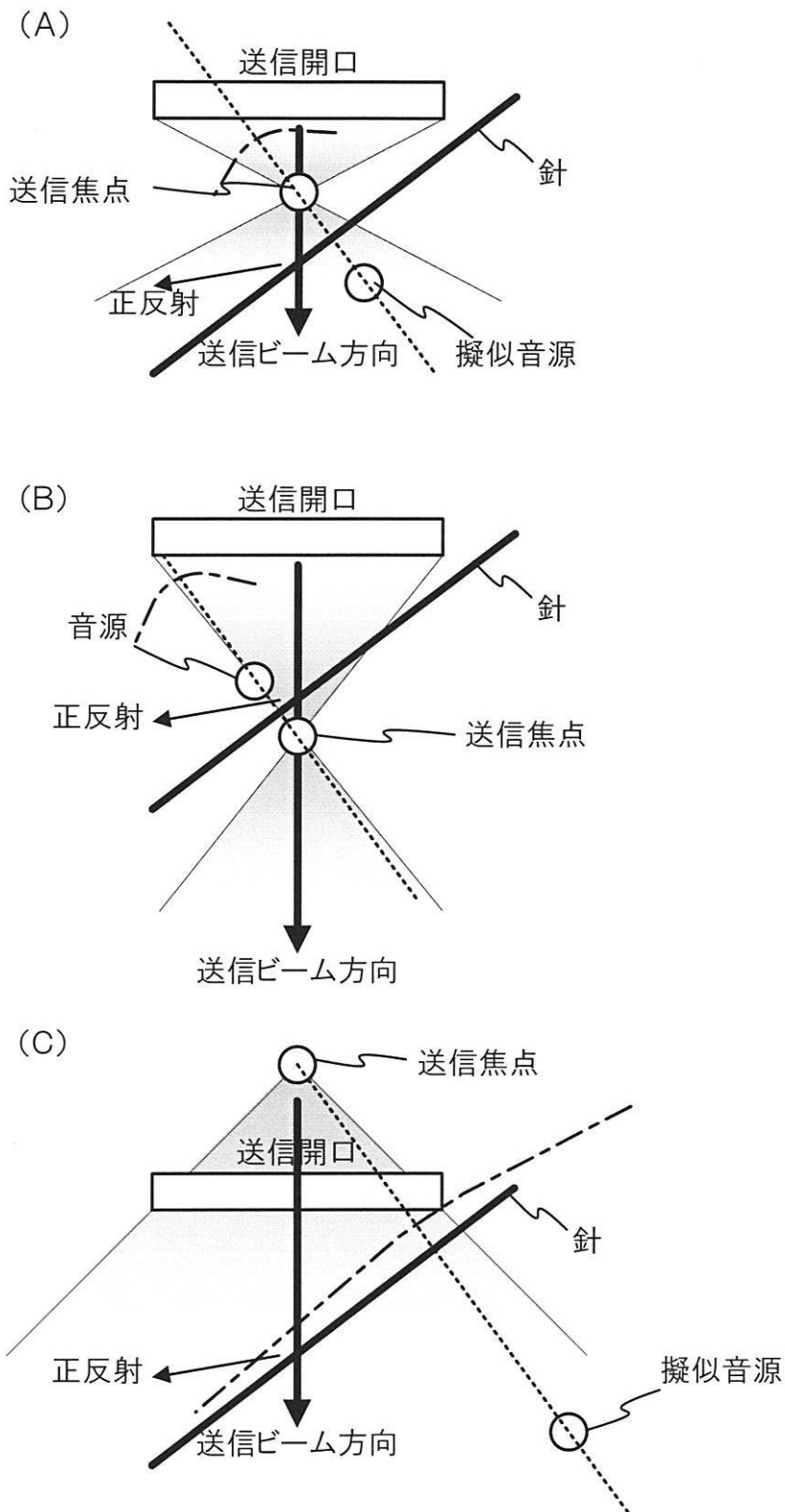
【図 16】



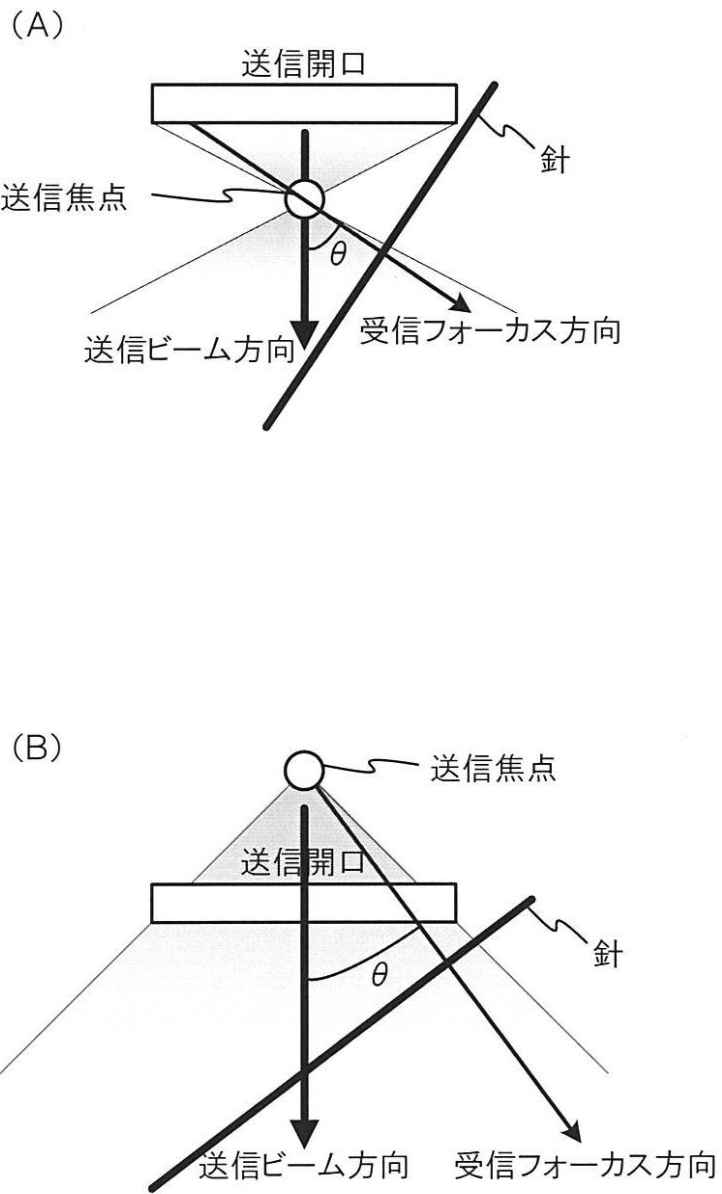
【図 18】



【図2】



【図3】



专利名称(译)	<无法获取翻译>		
公开(公告)号	<a href="#">JP2015027346A5</a>	公开(公告)日	2015-11-26
申请号	JP2013157656	申请日	2013-07-30
[标]申请(专利权)人(译)	富士胶片株式会社		
申请(专利权)人(译)	富士胶片株式会社		
[标]发明人	勝山公人		
发明人	勝山 公人		
IPC分类号	A61B8/00		
CPC分类号	A61B8/4483 A61B8/0841 A61B8/5207 G01S7/52028 G01S15/8915 G01S15/8995		
FI分类号	A61B8/00		
F-TERM分类号	4C601/EE08 4C601/EE16 4C601/FF03 4C601/HH28 4C601/HH31 4C601/JB05 4C601/JC21		
代理人(译)	中岛敦 福田浩		
其他公开文献	JP2015027346A JP6165542B2		

摘要(译)

解决的问题：提供一种超声波诊断装置，该超声波诊断装置能够在不降低帧率的情况下描绘除组织以外的诸如针的反射器。 解决方案：从多个预先存储的针对超声波束传输方向的接收延迟模式中选择一个接收延迟模式，并根据所选的接收延迟模式分别选择元素数据。 通过相加和延迟，执行接收聚焦的第一接收聚焦单元40A和通过相对于超声波束的发射方向倾斜角度 $\theta$ 分别执行接收聚焦的第二接收聚焦单元40B。 以及执行图像合成处理的合成处理单元40E。 [选择图]图4