

(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2015-47345  
(P2015-47345A)

(43) 公開日 平成27年3月16日(2015.3.16)

(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 10 O L (全 34 頁)

(21) 出願番号 特願2013-181105 (P2013-181105)  
(22) 出願日 平成25年9月2日(2013.9.2)

(71) 出願人 00002369  
セイコーエプソン株式会社  
東京都新宿区西新宿2丁目4番1号  
(74) 代理人 100095728  
弁理士 上柳 雅誉  
(74) 代理人 100116665  
弁理士 渡辺 和昭  
(72) 発明者 新垣 匠  
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内  
Fターム(参考) 4C601 DE08 DE13 DE14 EE01 HH08  
HH12 HH16 JB31 JB37 JB45

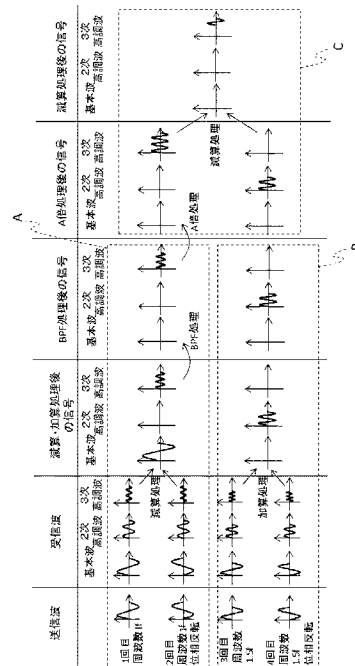
(54) 【発明の名称】 超音波測定装置、超音波画像装置及び超音波測定方法

(57) 【要約】

【課題】ハーモニクイメージングを行う場合に、生成される画像の距離分解能を高くすることができる。

【解決手段】対象物に対して送信された所定の周波数の超音波及び前記所定の周波数より高い周波数の超音波についての超音波エコーの受信波を取得し、当該取得した前記所定の周波数の超音波についての超音波エコーの受信波と、当該取得した前記所定の周波数より高い周波数の超音波についての超音波エコーの受信波とに基づいて、超音波エコーの受信波に含まれる所定の周波数のN次高調波成分(Nは3以上の自然数)を1波抽出する。そして、抽出した高調波成分1波に基づいて画像を生成する。

【選択図】図7



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

対象物に対して送信された所定の周波数の超音波及び前記所定の周波数より高い周波数の超音波についての超音波エコーの受信波を取得する受信処理部と、

前記取得した前記所定の周波数の超音波についての超音波エコーの受信波と、前記取得した前記所定の周波数より高い周波数の超音波についての超音波エコーの受信波とに基づいて、前記超音波エコーの受信波に含まれる前記所定の周波数の $N$ 次高調波成分 ( $N$ は3以上の自然数)を1波抽出するハーモニック処理部と、

前記抽出した $N$ 次高調波成分1波に基づいて画像を生成する画像生成部と、  
を備えることを特徴とする超音波測定装置。

10

## 【請求項 2】

請求項 1 に記載の超音波測定装置であって、

前記受信処理部は、対象物に対して送信された所定の周波数の超音波1波及び前記所定の周波数の $x / (x - 1)$ 倍の周波数の超音波1波についての超音波エコーの受信波を取得し、

前記ハーモニック処理部は、前記所定の周波数についての超音波エコーの受信波から前記所定の周波数の $N$ 次高調波成分である第1の高調波成分を抽出し、前記所定の周波数の $x / (x - 1)$ 倍の周波数についての超音波エコーの受信波から前記所定の周波数の $x / (x - 1)$ 倍の周波数の $n - 1$ 次高調波成分である第2の高調波成分を抽出し、前記第1の高調波成分から前記第2の高調波成分を減算処理することで、前記所定の周波数の $N$ 次高調波成分を1波抽出する

ことを特徴とする超音波測定装置。

20

## 【請求項 3】

請求項 2 に記載の超音波測定装置であって、

前記受信処理部は、前記所定の周波数及び前記所定の周波数の $x / (x - 1)$ 倍 ( $x$ は3以上の自然数)の周波数のそれぞれに対して、位相差が $180^\circ$ の2つの超音波についての超音波エコーの受信波を取得し、

前記ハーモニック処理部は、前記所定の周波数における位相差が $180^\circ$ の2つの超音波についての超音波エコーの受信波を減算処理又は加算処理することで前記第1の高調波成分を抽出し、前記所定の周波数の $x / (x - 1)$ 倍の周波数における位相差が $180^\circ$ の2つの超音波についての超音波エコーの受信波を減算処理又は加算処理することで前記第2の高調波成分を抽出する

ことを特徴とする超音波測定装置。

30

## 【請求項 4】

請求項 2 又は 3 に記載の超音波測定装置であって、

前記ハーモニック処理部は、前記第1の高調波成分から前記第2の高調波成分を減算処理するとき、前記第1の高調波成分に対して、前記第1の高調波成分の信号強度の最大値と前記第2の高調波成分の信号強度の最大値とが同じとなるような増幅処理を行う

ことを特徴とする超音波測定装置。

## 【請求項 5】

請求項 1 に記載の超音波測定装置であって、

前記受信処理部は、前記対象物に対して送信された所定の周波数の超音波1波及び前記所定の周波数の $x$ 倍 ( $x$ は3以上の自然数)の周波数の超音波 $x - 1$ 波についての超音波エコーの受信波を取得し、

前記ハーモニック処理部は、前記所定の周波数についての超音波エコーの受信波から前記所定の周波数の $N$ 次高調波成分である第1の高調波成分を抽出し、前記所定の周波数の $x$ 倍の周波数についての超音波エコーの受信波から前記所定の周波数の $x$ 倍の周波数の基本波成分である第1の基本波を抽出し、前記第1の高調波成分から前記第1の基本波成分を減算処理することで、前記所定の周波数の $N$ 次高調波成分を1波抽出する

ことを特徴とする超音波測定装置。

40

50

**【請求項 6】**

請求項 5 に記載の超音波測定装置であって、

前記受信処理部は、前記所定の周波数に対して、位相差が  $180^\circ$  の 2 つの超音波についての超音波エコーの受信波を取得し、

前記ハーモニック処理部は、前記所定の周波数における位相差が  $180^\circ$  の 2 つの超音波についての超音波エコーの受信波を減算処理又は加算処理することで前記第 1 の高調波成分を抽出する

ことを特徴とする超音波測定装置。

**【請求項 7】**

請求項 5 又は 6 に記載の超音波測定装置であって、

前記ハーモニック処理部は、前記第 1 の高調波成分から前記第 1 の基本波成分を減算処理するとき、前記第 1 の高調波成分に対して、前記第 1 の高調波成分の信号強度の最大値と前記第 1 の基本波成分の信号強度の最大値とが同じとなるような増幅処理を行う

ことを特徴とする超音波測定装置。

**【請求項 8】**

請求項 2 から 7 のいずれか一項に記載の超音波測定装置であって、

前記ハーモニック処理部は、フィルター処理を行うことにより前記第 1 の高調波成分を抽出する

ことを特徴とする超音波測定装置。

**【請求項 9】**

対象物に対して送信された所定の周波数の超音波及び前記所定の周波数より高い周波数の周波数の超音波についての超音波エコーの受信波を取得する受信処理部と、

前記取得した前記所定の周波数の超音波についての超音波エコーの受信波と、前記取得した前記所定の周波数より高い周波数の超音波についての超音波エコーの受信波とに基づいて、前記超音波エコーの受信波に含まれる前記所定の周波数の  $N$  次高調波成分 ( $N$  は 3 以上の自然数) を 1 波抽出するハーモニック処理部と、

前記抽出した  $N$  次高調波成分 1 波に基づいて画像を生成する画像生成部と、

前記生成された画像を表示する表示部と、

を備えたことを特徴とする超音波画像装置。

**【請求項 10】**

対象物に対して送信された所定の周波数の超音波及び前記所定の周波数より高い周波数の周波数の超音波についての超音波エコーの受信波を取得するステップと、

前記取得した前記所定の周波数の超音波についての超音波エコーの受信波と、前記取得した前記所定の周波数より高い周波数の超音波についての超音波エコーの受信波とに基づいて、前記超音波エコーの受信波に含まれる前記所定の周波数の  $N$  次高調波成分 ( $N$  は 3 以上の自然数) を 1 波抽出するステップと、

前記抽出した  $N$  次高調波成分 1 波に基づいて画像を生成するステップと、

を有することを特徴とする超音波測定方法。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本発明は、超音波測定装置、超音波画像装置及び超音波測定方法に関する。

**【背景技術】****【0002】**

特許文献 1 には、被検体に超音波を送波しそのエコーの第 2 高調波成分を利用する超音波撮像装置において、被検体に第 1 の位相の超音波と第 1 の位相とは実質的に  $180^\circ$  異なる第 2 の位相の超音波とを交互に送波し、第 1 の位相で送波した超音波に基づくエコーと第 2 の位相で送波した超音波に基づくエコーとを受信し、第 1 の位相で送波した超音波に基づくエコー受信信号と第 2 の位相で送波した超音波に基づくエコー受信信号との和の信号を求める超音波画像診断装置が記載されている。

10

20

30

40

50

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2004-113818号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ここで、特許文献1に記載の発明のように、ハーモニック成分（以下、高調波成分という）による超音波画像の生成、すなわちハーモニックイメージングを行うと、距離分解能より方位分解能が高くなる場合がある。

10

【0005】

距離分解能と方位分解能について説明する。距離分解能は、数式(1)に示すように、波長及び波数、すなわちパルス幅に比例する。パルス幅とは、1以上の波数によって構成される1個のパルスの長さである。それに対し、方位分解能は、数式(2)に示すように、波長に比例する。ここで、 $n$ は波数であり、 $\lambda$ は波長であり、 $\tau$ はパルス幅であり、 $x$ は深さ方向の距離、 $D$ は超音波振動子の直径である。

【0006】

距離分解能  $x = n \lambda / 2 \dots (1)$

方位分解能  $y = (\lambda / D) x \dots (2)$

【0007】

高調波成分は、基本波に対して波長が短くなる。しかしながら、高調波成分のパルス幅は、基本波と同一である。したがって、高調波成分による超音波画像の生成を行うと、波長に比例する方位分解能は高くなるが、パルス幅に比例する距離分解能は高くない。

20

【0008】

そのため、特許文献1に記載の発明のように、高調波成分による超音波画像の生成（以下、ハーモニックイメージングという）を行うことにより、画像に分解能の異方性が生じるという問題がある。分解能の異方性によりが生じると、画像の方向（例えば、縦方向と横方向）によって画像のぼやけ方が異なることとなり、これは画質の劣化となって現れる。

【0009】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、ハーモニックイメージングを行う場合に、生成される画像の距離分解能を高くすることができる超音波測定装置、超音波画像装置及び超音波測定方法を提供することを目的とする。

30

## 【課題を解決するための手段】

【0010】

上記の課題を解決するための本発明の第一の態様は、超音波測定装置であって、対象物に対して送信された所定の周波数の超音波及び前記所定の周波数より高い周波数の超音波についての超音波エコーの受信波を取得する受信処理部と、前記取得した前記所定の周波数の超音波についての超音波エコーの受信波と、前記取得した前記所定の周波数より高い周波数の超音波についての超音波エコーの受信波とに基づいて、前記超音波エコーの受信波に含まれる前記所定の周波数の $N$ 次高調波成分（ $N$ は3以上の自然数）を1波抽出するハーモニック処理部と、前記抽出した $N$ 次高調波成分1波に基づいて画像を生成する画像生成部と、を備えることを特徴とする。

40

【0011】

第一の態様によれば、対象物に対して送信された所定の周波数の超音波及び所定の周波数より高い周波数の周波数の超音波についての超音波エコーの受信波に基づいて、超音波エコーの受信波に含まれる所定の周波数の $N$ 次高調波成分（ $N$ は3以上の自然数）を1波抽出して画像を生成する。これにより、ハーモニックイメージングを行う場合に、生成される画像の距離分解能を高くすることができる。したがって、分解能の異方性を解消し、高品質な画像を得ることができる。

50

## 【0012】

ここで、前記受信処理部は、対象物に対して送信された所定の周波数の超音波1波及び前記所定の周波数の $x/(x-1)$ 倍の周波数の超音波1波についての超音波エコーの受信波を取得し、前記ハーモニック処理部は、前記所定の周波数についての超音波エコーの受信波から前記所定の周波数の $N$ 次高調波成分である第1の高調波成分を抽出し、前記所定の周波数の $x/(x-1)$ 倍の周波数についての超音波エコーの受信波から前記所定の周波数の $x/(x-1)$ 倍の周波数の $n-1$ 次高調波成分である第2の高調波成分を抽出し、前記第1の高調波成分から前記第2の高調波成分を減算処理することで、前記所定の周波数の $N$ 次高調波成分を1波抽出してもよい。これにより、所定の周波数の $N$ 次高調波成分を1波抽出するときに用いる2つの受信波のビーム幅の差を小さくし、方位方向に対するアーチファクトを低減することができる。

10

## 【0013】

ここで、前記受信処理部は、前記所定の周波数及び前記所定の周波数の $x/(x-1)$ 倍の周波数のそれぞれに対して、位相差が $180^\circ$ の2つの超音波についての超音波エコーの受信波を取得し、前記ハーモニック処理部は、前記所定の周波数における位相差が $180^\circ$ の2つの超音波についての超音波エコーの受信波を減算処理又は加算処理することで前記第1の高調波成分を抽出し、前記所定の周波数の $x/(x-1)$ 倍の周波数における位相差が $180^\circ$ の2つの超音波についての超音波エコーの受信波を減算処理又は加算処理することで前記第2の高調波成分を抽出してもよい。これにより、第1の高調波成分の信号成分が増えるため、 $S/N$ 比 (signal - noise ratio) を上げることができる。また、複数の周波数領域で重複している部分を分離することができるため、広帯域送受信が可能となり、距離分解能を向上させ、高品質な画像を得ることができる。

20

## 【0014】

ここで、前記ハーモニック処理部は、前記第1の高調波成分から前記第2の高調波成分を減算処理するときに、前記第1の高調波成分に対して、前記第1の高調波成分の信号強度の最大値と前記第2の高調波成分の信号強度の最大値とが同じとなるような増幅処理を行ってもよい。これにより、加算処理、減算処理という簡単な処理で所定の周波数の $N$ 次高調波成分1波を抽出することができる。その結果、処理時間を短くすることができる。

## 【0015】

ここで、前記受信処理部は、前記対象物に対して送信された所定の周波数の超音波1波及び前記所定の周波数の $x$ 倍 ( $x$ は3以上の自然数)の周波数の超音波 $x-1$ 波についての超音波エコーの受信波を取得し、前記ハーモニック処理部は、前記所定の周波数についての超音波エコーの受信波から前記所定の周波数の $N$ 次高調波成分である第1の高調波成分を抽出し、前記所定の周波数の $x$ 倍の周波数についての超音波エコーの受信波から前記所定の周波数の $x$ 倍の周波数の基本波成分である第1の基本波を抽出し、前記第1の高調波成分から前記第1の基本波成分を減算処理することで、前記所定の周波数の $N$ 次高調波成分を1波抽出してもよい。これにより、 $S/N$ 比の良い基本波を利用するため、3次高調波成分のうちの1波を抽出するときに、ノイズの影響により発生する残留成分を低くすることができる。その結果、距離方向のアーチファクトを低減することができる。

30

40

## 【0016】

ここで、前記受信処理部は、前記所定の周波数に対して、位相差が $180^\circ$ の2つの超音波についての超音波エコーの受信波を取得し、前記ハーモニック処理部は、前記所定の周波数における位相差が $180^\circ$ の2つの超音波についての超音波エコーの受信波を減算処理又は加算処理することで前記第1の高調波成分を抽出してもよい。これにより、第1の高調波成分の信号成分が増えるため、 $S/N$ 比 (signal - noise ratio) を上げることができる。

## 【0017】

ここで、前記ハーモニック処理部は、前記第1の高調波成分から前記第1の基本波成分を減算処理するときに、前記第1の高調波成分に対して、前記第1の高調波成分の信号強

50

度の最大値と前記第 1 の基本波成分の信号強度の最大値とが同じとなるような増幅処理を行ってもよい。これにより、加算処理、減算処理という簡単な処理で所定の周波数の N 次高調波成分 1 波を抽出することができる。その結果、処理時間を短くすることができる。

【0018】

ここで、前記ハーモニック処理部は、フィルター処理を行うことにより前記第 1 の高調波成分を抽出してもよい。加算処理又は減算処理と、フィルター処理とを行う場合には、周波数領域との重複している部分を分離することができるため、広帯域送受信を可能とし、距離分解能が低下を防ぐことができる。また、フィルター処理のみを行う場合には、超音波パルスの送受信を回数を減らし、時間分解能（フレームレート）を向上させることができる。

10

【0019】

上記の課題を解決するための本発明の第二の態様は、超音波画像装置であって、対象物に対して送信された所定の周波数の超音波及び前記所定の周波数より高い周波数の周波数の超音波についての超音波エコーの受信波を取得する受信処理部と、前記取得した前記所定の周波数の超音波についての超音波エコーの受信波と、前記取得した前記所定の周波数より高い周波数の超音波についての超音波エコーの受信波とに基づいて、前記超音波エコーの受信波に含まれる前記所定の周波数の N 次高調波成分（N は 3 以上の自然数）を 1 波抽出するハーモニック処理部と、前記抽出した N 次高調波成分 1 波に基づいて画像を生成する画像生成部と、前記生成された画像を表示する表示部と、を備えることを特徴とする。これにより、距離分解能を高くした高品質な画像を表示することができる。

20

【0020】

上記の課題を解決するための本発明の第三の態様は、超音波測定方法であって、対象物に対して送信された所定の周波数の超音波及び前記所定の周波数より高い周波数の周波数の超音波についての超音波エコーの受信波を取得するステップと、前記取得した前記所定の周波数の超音波についての超音波エコーの受信波と、前記取得した前記所定の周波数より高い周波数の超音波についての超音波エコーの受信波とに基づいて、前記超音波エコーの受信波に含まれる前記所定の周波数の N 次高調波成分（N は 3 以上の自然数）を 1 波抽出するステップと、前記抽出した N 次高調波成分 1 波に基づいて画像を生成するステップと、を有することを特徴とする。これにより、ハーモニックイメージングを行う場合に、生成される画像の距離分解能を高くすることができる。したがって、分解能の異方性を解消し、高品質な画像を得ることができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図 1】本発明の第 1 の実施の形態に係る超音波画像装置 1 の概略構成を示す斜視図である。

【図 2】超音波トランスデューサー素子の概略構成の一例を示す図である。

【図 3】超音波トランスデューサーデバイス（素子チップ）の構成例を示す図である。

【図 4】超音波トランスデューサー素子群 UG（UG1～UG64）の例を示す図であり、（A）は素子列数が 4 列の場合を示し、（B）は素子列数が 1 列の場合を示す。

【図 5】制御部の機能構成の一例を示すブロック図である。

40

【図 6】制御部 22 の概略構成の一例を示す図である。

【図 7】超音波画像装置 1 が行うハーモニック処理を模式的に示す図である。

【図 8】超音波画像装置 1 がハーモニック成分を抽出して画像を表示する処理の流れを示すフローチャートである。

【図 9】超音波画像装置 1 がハーモニック成分を抽出して画像を表示する処理の流れを示すフローチャートである。

【図 10】超音波画像装置 1 がハーモニック成分を抽出して画像を表示する処理の流れを示すフローチャートである。

【図 11】超音波画像装置 1 がハーモニック成分を抽出して画像を表示する処理の流れを示すフローチャートである。

50

【図 1 2】超音波画像装置 1 がハーモニック成分を抽出して画像を表示する処理の流れを示すフローチャートである。

【図 1 3】超音波画像装置 1 がハーモニック成分を抽出して画像を表示する処理の流れを示すフローチャートである。

【図 1 4】本発明の第 2 の実施の形態に係る超音波画像装置 2 が行うハーモニック処理を模式的に示す図である。

【図 1 5】超音波画像装置 2 がハーモニック成分を抽出して画像を表示する処理の流れを示すフローチャートである。

【図 1 6】超音波画像装置 2 がハーモニック成分を抽出して画像を表示する処理の流れを示すフローチャートである。

【図 1 7】超音波画像装置 2 がハーモニック成分を抽出して画像を表示する処理の流れを示すフローチャートである。

【図 1 8】超音波画像装置 2 がハーモニック成分を抽出して画像を表示する処理の流れを示すフローチャートである。

【図 1 9】本発明の第 3 の実施の形態に係る超音波画像装置 3 が行うハーモニック処理を模式的に示す図である。

【図 2 0】超音波画像装置 3 がハーモニック成分を抽出して画像を表示する処理の流れを示すフローチャートである。

【図 2 1】超音波画像装置 3 がハーモニック成分を抽出して画像を表示する処理の流れを示すフローチャートである。

【図 2 2】超音波画像装置 3 がハーモニック成分を抽出して画像を表示する処理の流れを示すフローチャートである。

【図 2 3】超音波画像装置 3 がハーモニック成分を抽出して画像を表示する処理の流れを示すフローチャートである。

【図 2 4】本発明の第 4 の実施の形態に係る超音波画像装置 4 が行うハーモニック処理を模式的に示す図である。

【図 2 5】超音波画像装置 4 がハーモニック成分を抽出して画像を表示する処理の流れを示すフローチャートである。

【図 2 6】超音波画像装置 4 がハーモニック成分を抽出して画像を表示する処理の流れを示すフローチャートである。

【図 2 7】超音波画像装置 4 がハーモニック成分を抽出して画像を表示する処理の流れを示すフローチャートである。

【図 2 8】超音波画像装置 4 がハーモニック成分を抽出して画像を表示する処理の流れを示すフローチャートである。

【図 2 9】超音波画像装置 4 がハーモニック成分を抽出して画像を表示する処理の流れを示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0022】

本発明の各実施の形態について、図面を参照して説明する。

【0023】

< 第 1 の実施の形態 >

図 1 は、本発明の第 1 の実施の形態に係る超音波画像装置 1 の概観を示す図である。超音波画像装置 1 は、例えばハンディタイプの超音波測定装置である。超音波画像装置 1 は、位相反転法及びフィルター法を用いて画像を生成及び表示する。

【0024】

超音波画像装置 1 は、主として、超音波プローブ 10 と、超音波測定装置本体 20 とを有し、超音波プローブ 10 と超音波測定装置本体 20 とはケーブル 15 により接続される。なお、超音波画像装置 1 は、ハンディタイプには限定されず、例えば据え置きタイプでもよいし、超音波プローブが本体に内蔵された一体型でもよい。

【0025】

10

20

30

40

50

超音波プローブ10は、超音波トランスデューサーデバイス11を有する。超音波トランスデューサーデバイス11は、操作面に沿って対象物をスキャンしながら、対象物に対して超音波ビームを送信すると共に、超音波ビームによる超音波エコーを受信する。

【0026】

圧電素子を用いるタイプを例にとれば、超音波トランスデューサーデバイス11は、複数の超音波トランスデューサー素子12（超音波素子アレイ、図2等参照）と、複数の開口がアレイ状に配置された基板とを有する。

【0027】

図2は、超音波トランスデューサーデバイス11の超音波トランスデューサー素子12の構成例を示す。本実施の形態では、超音波トランスデューサー素子12として、薄手の圧電素子と金属板（振動膜）とを張り合わせたモノモルフ（ユニモルフ）構造を採用する。

10

【0028】

図2(A)～(C)に、超音波トランスデューサーデバイス11の超音波トランスデューサー素子12の構成例を示す。図2(A)は、基板（シリコン基板）60に形成された超音波トランスデューサー素子12の、素子形成面側の基板60に垂直な方向から見た平面図である。図2(B)は、図2(A)のA-A'に沿った断面を示す断面図である。図2(C)は、図2(A)のB-B'に沿った断面を示す断面図である。

【0029】

超音波トランスデューサー素子12は、圧電素子部と、振動膜（メンブレン、支持部材）50とを有する。圧電素子部は、主として、圧電体層（圧電体膜）30と、第1電極層（下部電極）31と、第2電極層（上部電極）32とを有する。

20

【0030】

圧電体層30は、例えばPZT（ジルコン酸チタン酸鉛）薄膜により形成され、第1電極層31の少なくとも一部を覆うように設けられる。なお、圧電体層30の材料は、PZTに限定されるものではなく、例えばチタン酸鉛（ $PbTiO_3$ ）、ジルコン酸鉛（ $PbZrO_3$ ）、チタン酸鉛ランタン（ $(Pb, La)TiO_3$ ）などを用いてもよい。

【0031】

第1電極層31は、振動膜50の上層に、例えば金属薄膜で形成される。この第1電極層31は、図2(A)に示すように素子形成領域の外側へ延長され、隣接する超音波トランスデューサー素子12に接続される配線であってもよい。

30

【0032】

第2電極層32は、例えば金属薄膜で形成され、圧電体層30の少なくとも一部を覆うように設けられる。この第2電極層32は、図2(A)に示すように、素子形成領域の外側へ延長され、隣接する超音波トランスデューサー素子12に接続される配線であってもよい。

【0033】

超音波トランスデューサー素子12の下部電極は、第1電極層31により形成され、上部電極は、第2電極層32により形成される。具体的には、第1電極層31のうちの圧電体層30に覆われた部分が下部電極を形成し、第2電極層32のうちの圧電体層30を覆う部分が上部電極を形成する。即ち、圧電体層30は、下部電極と上部電極に挟まれて設けられる。

40

【0034】

開口40は、基板60（シリコン基板）の裏面（素子が形成されない面）側から反応性イオンエッチング（RIE）等によりエッチングすることで形成される。この開口40のサイズによって超音波の共振周波数が決定され、その超音波は圧電体層30側（図2(A)において紙面奥から手前方向）に放射される。

【0035】

振動膜（メンブレン）50は、例えば $SiO_2$ 薄膜と $ZrO_2$ 薄膜との2層構造により開口40を塞ぐように設けられる。この振動膜50は、圧電体層30及び第1、第2電極

50

層 3 1、3 2 を支持すると共に、圧電体層 3 0 の伸縮に従って振動し、超音波を発生させる。

【0036】

図 3 に、超音波トランスデューサーデバイス（素子チップ）1 1 の構成例を示す。本構成例の超音波トランスデューサーデバイス 1 1 は、複数の超音波トランスデューサー素子群 U G 1 ~ U G 6 4、駆動電極線 D L 1 ~ D L 6 4（広義には第 1 ~ 第 n の駆動電極線。n は 2 以上の整数）、コモン電極線 C L 1 ~ C L 8（広義には第 1 ~ 第 m のコモン電極線。m は 2 以上の整数）を含む。なお、駆動電極線の本数（n）やコモン電極線の本数（m）は、図 3 に示す本数には限定されない。

【0037】

複数の超音波トランスデューサー素子群 U G 1 ~ U G 6 4 は、第 2 の方向 D 2（スキャン方向）に沿って 6 4 列に配置される。U G 1 ~ U G 6 4 の各超音波トランスデューサー素子群は、第 1 の方向 D 1（スライス方向）に沿って配置される複数の超音波トランスデューサー素子を有する。

【0038】

図 4（A）に、超音波トランスデューサー素子群 U G（U G 1 ~ U G 6 4）の例を示す。図 4（A）では、超音波トランスデューサー素子群 U G は第 1 ~ 第 4 の素子列により構成される。第 1 の素子列は、第 1 の方向 D 1 に沿って配置される超音波トランスデューサー素子 U E 1 1 ~ U E 1 8 により構成され、第 2 の素子列は、第 1 の方向 D 1 に沿って配置される超音波トランスデューサー素子 U E 2 1 ~ U E 2 8 により構成される。第 3 の素子列（U E 3 1 ~ U E 3 8）、第 4 の素子列（U E 4 1 ~ U E 4 8）も同様である。これらの第 1 ~ 第 4 の素子列には、駆動電極線 D L（D L 1 ~ D L 6 4）が共通接続される。また、第 1 ~ 第 4 の素子列の超音波トランスデューサー素子 U E 1 1 ~ U E 4 8 にはコモン電極線 C L 1 ~ C L 8 が接続される。

【0039】

そして図 4（A）の超音波トランスデューサー素子群 U G が、超音波トランスデューサーデバイス 1 1 の 1 チャンネルを構成する。即ち、駆動電極線 D L が 1 チャンネルの駆動電極線に相当し、送信回路からの 1 チャンネルの送信信号は駆動電極線 D L に入力される。また駆動電極線 D L らの 1 チャンネルの受信信号は駆動電極線 D L から出力される。なお、1 チャンネルを構成する素子列数は図 4（A）に示すような 4 列には限定されず、4 列よりも少なくともよいし、4 列よりも多くてもよい。例えば図 4（B）に示すように、素子列数は 1 列であってもよい。

【0040】

図 3 の説明に戻る。駆動電極線 D L 1 ~ D L 6 4（第 1 ~ 第 n の駆動電極線）は、第 1 の方向 D 1 に沿って配線される。駆動電極線 D L 1 ~ D L 6 4 のうちの第 j（j は 1 ~ j n である整数）の駆動電極線 D L j（第 j のチャンネル）は、第 j の超音波トランスデューサー素子群 U G j の超音波トランスデューサー素子 1 2 が有する第 1 電極層 3 1 に接続される。

【0041】

超音波を出射する送信期間には、送信信号 V T 1 ~ V T 6 4 が駆動電極線 D L 1 ~ D L 6 4 を介して超音波トランスデューサー素子 1 2 に供給される。また、超音波エコー信号を受信する受信期間には、超音波トランスデューサー素子からの受信信号 V R 1 ~ V R 6 4 が駆動電極線 D L 1 ~ D L 6 4 を介して出力される。

【0042】

コモン電極線 C L 1 ~ C L 8（第 1 ~ 第 m のコモン電極線）は、第 2 の方向 D 2 に沿って配線される。超音波トランスデューサー素子 1 2 が有する第 2 電極層 3 2 は、コモン電極線 C L 1 ~ C L 8 のうちのいずれかに接続される。具体的には、例えば図 3 に示すように、コモン電極線 C L 1 ~ C L 8 のうちの第 i（i は 1 ~ i m である整数）のコモン電極線 C L i は、第 i 行に配置される超音波トランスデューサー素子が有する第 2 電極層 3 2 に接続される。

10

20

30

40

50

## 【0043】

コモン電極線CL1～CL8には、コモン電圧VCOMが供給される。このコモン電圧VCOMは一定の直流電圧であればよく、0V、即ちグランド電位（接地電位）でなくてもよい。

## 【0044】

そして送信期間では、送信信号電圧とコモン電圧との差の電圧が超音波トランスデューサー素子に印加され、所定の周波数の超音波が放射される。

## 【0045】

なお、超音波トランスデューサー素子の配置は、図3に示すマトリックス配置に限定されず、隣接する2列の素子が互い違いにジグザグに配置されるいわゆる千鳥配置等であってもよい。また図4(A)、(B)では、1つの超音波トランスデューサー素子が送信素子及び受信素子の両方に兼用される場合について示したが、本実施の形態はこれに限定されない。例えば、送信素子用の超音波トランスデューサー素子、受信素子用の超音波トランスデューサー素子を別々に設けて、アレイ状に配置してもよい。

10

## 【0046】

また、超音波トランスデューサー素子12は、圧電素子を用いる形態に限定されない。例えば、c-MUT(Capacitive Micro-machined Ultrasonic Transducers)等の容量性素子を用いるトランスデューサーを採用してもよいし、バルクタイプのトランスデューサーを採用してもよい。

## 【0047】

図1の説明に戻る。超音波測定装置本体20には、表示部21が設けられる。表示部21は、制御部22(図5参照)により生成された表示用画像データを表示する。表示部21は、例えば、液晶ディスプレイ、有機ELディスプレイ、電子ペーパー等を用いることができる。

20

## 【0048】

図5は、超音波測定装置本体20内に設けられた制御部22の機能構成の一例を示すブロック図である。制御部22は、送信処理部110と、受信処理部120と、処理部130と、送信受信切り替えスイッチ140と、DSC(Digital Scan Converter)150と、制御回路160とを含む。なお、本実施の形態では、制御部22は超音波測定装置本体20に設けられているが、超音波プローブ10内に設けられていてもよい。

30

## 【0049】

送信処理部110は、対象物に対して超音波を送信する処理を行う。送信処理部110は、送信パルス発生器111と、送信遅延回路113とを含む。

## 【0050】

送信パルス発生器111は、送信パルス電圧を印加して超音波プローブ10を駆動させる。

## 【0051】

送信遅延回路113は、送波フォーカシング制御を行い、送信パルス電圧に対応する超音波ビームを超音波プローブ10から対象物に対して出射する。そのために、送信遅延回路113は、送信パルス電圧の印加タイミングに関して、チャンネル間で時間差を与え、複数の振動素子から発生した超音波を集束させる。このように、遅延時間を変化させることにより、焦点距離を任意に変化させることが可能である。

40

## 【0052】

送信受信切り替えスイッチ140は、超音波の送受信の切り替え処理を行う。送信受信切り替えスイッチ140は、送信時の振幅パルスが受信回路に入力されないように保護し、受信時の信号を受信回路に通す。

## 【0053】

受信処理部120は、送信した超音波に対する超音波エコーの受信波(以下、受信波という)を受信する(受信処理)。受信処理部120は、受信遅延回路121と、フィルタ

50

一回路 123 と、メモリー 125 とを含む。

【0054】

受信遅延回路 121 は、受波ビームをフォーカシングする。ある反射体からの反射波は球面上に広がるため、受信遅延回路 121 は、各振動子に到達する時間が同じになるように遅延時間を与え、遅延時間を考慮して反射波を加算する。

【0055】

フィルター回路 123 は、受信信号に対して帯域通過フィルターによりフィルター処理を行い、雑音を除去する。

【0056】

メモリー 125 は、フィルター回路 123 から出力された受信信号を記憶するもので、その機能は RAM 等のメモリーや HDD 等により実現できる。

10

【0057】

処理部 130 は、受信処理部 120 から出力された受信信号に対して処理を行う。処理部 130 は、ハーモニック処理部 131 と、検波処理部 133 と、対数変換処理部 135 と、ゲイン・ダイナミックレンジ調整部 137 と、STC (Sensitivity Time Control) 139 とを含む。なお、検波処理部 133 と、対数変換処理部 135 と、ゲイン・ダイナミックレンジ調整部 137 と、STC 139 とは、本発明の画像生成部として機能する。

【0058】

ハーモニック処理部 131 は、後に詳述する高調波成分の抽出処理を行う。

20

【0059】

検波処理部 133 は、抽出されたハーモニック成分に対して、絶対値（整流）処理を行い、その後低域通過フィルターをかけて、非変調信号を抽出する。

【0060】

対数変換処理部 135 は、抽出された非変調信号に対し Log 圧縮を行い、受信信号の信号強度の最大部分と最小部分を同時に確認しやすいように、表現形式を変換する。

【0061】

ゲイン・ダイナミックレンジ調整部 137 は、信号強度及び関心領域を調整する。具体的に、ゲイン調整処理では、Log 圧縮後の入力信号に対して、直流成分を加える。また、ダイナミックレンジ調整処理では、Log 圧縮後の入力信号に対して、任意の数を乗算する。

30

【0062】

STC 139 は、深さに応じて増幅度（明るさ）を補正し、画面全体で一様な明るさの画像を取得する。

【0063】

なお、処理部 130 の機能は、各種プロセッサ（CPU 等）、ASIC（ゲートアレイ等）などのハードウェアや、プログラムなどにより実現できる。

【0064】

DSC 150 は、Bモード画像データに走査変換処理を行う。例えば、DS 150 は、バイリニアなどの補間処理により、ライン信号を画像信号に変換する。DSC 150 は、画像信号を表示部 21 に出力する。これにより、画像が表示部 21 に表示される。

40

【0065】

制御回路 160 は、送信パルス発生器 111 と、送信遅延回路 113 と、受信遅延回路 121 と、送信受信切り替えスイッチ 140 と、ハーモニック処理部 131 との制御を行う。

【0066】

以上の超音波画像装置 1 の構成は、本実施の形態の特徴を説明するにあたって主要構成を説明したのであって、上記の構成に限られない。構成要素の分類の仕方や名称によって、本願発明が制限されることはない。超音波画像装置 1 の構成は、処理内容に応じて、さらに多くの構成要素に分類することもできる。また、1つの構成要素がさらに多くの処理

50

を実行するように分類することもできる。また、各構成要素の処理は、1つのハードウェアで実行されてもよいし、複数のハードウェアで実行されてもよい。

【0067】

図6は、制御部22の少なくとも一部の概略構成の一例を示すブロック図である。図示するように、制御部22は、演算装置であるCPU(Central Processing Unit)221と、揮発性の記憶装置であるRAM(Random Access Memory)222と、不揮発性の記憶装置であるROM(Read Only Memory)223と、ハードディスクドライブ(HDD)224と、制御部22と他のユニットを接続するインターフェイス(I/F)回路225と、外部の装置と通信を行う通信装置226と、これらを互いに接続するバス227と、を備える。

10

【0068】

上記の各機能部は、例えば、CPU221がROM223に格納された所定のプログラムをRAM222に読み出して実行することにより実現される。なお、所定のプログラムは、例えば、予めROM223にインストールされてもよいし、通信装置226を介してネットワークからダウンロードされてインストール又は更新されてもよい。

【0069】

次に、本実施の形態における、上記構成からなる超音波画像装置1の処理について説明する。本実施の形態では、超音波エコーの画像の高分解能を実現するために、ハーモニクイメーキング(ハーモニクイメーキング法)を用いる。

【0070】

ハーモニクイメーキングとは、後述するハーモニク成分(高調波成分)を映像化する手法のことをいう。ここで、媒質中を伝搬する超音波(粗密波)の速度は、音圧の高い部分は早く、低い部分では遅くなるという性質がある。したがって、単純な正弦波であっても伝搬過程で徐々に歪みが生じて波形が変化し、基本波には含まれなかった基本周波数の整数倍の高調波成分(非線形成分とも言う)が含まれるようになる(非線形効果)。この非線形効果は、超音波の基本波成分の音圧の2乗に比例して大きくなり、また伝搬距離に比例して蓄積する。

20

【0071】

ハーモニクイメーキングは、超音波が組織を伝搬する時に組織自身から発生する高調波成分を映像化するティッシュハーモニクイメーキングと、超音波造形剤の微小気泡が共振、崩壊する時に発生する高調波成分を映像化する造影ハーモニクイメーキングの二つに大別される。本実施の形態では、ティッシュハーモニクイメーキングを用いる。

30

【0072】

また、ハーモニクイメーキングには2つの利点がある。高調波成分の振幅は送信超音波の振幅の2乗に比例するという特徴があることから、高調波成分の振幅は、音圧の高い送信ビーム中央では強いが、ビーム中央から端になるほど急激に弱くなる。これにより、ハーモニクイメーキングでは、非線形効果の生じる範囲はビーム中央に制限され、結果的に他の手法に比べて方位分解能が向上する。これが第1の利点である。

【0073】

超音波画像に現れる主なノイズの原因には、多重反射によるノイズとサイドローブによるノイズとがある。ここで、反射した超音波エコーは音圧が低く、高調波成分自体が発生しない。そのため、多重反射によるノイズが低減される。さらに、サイドローブは音圧が低く、サイドローブでも高調波成分自体が発生しない。そのため、サイドローブによるノイズも低減される。このように、ハーモニクイメーキングでは、多重反射によるノイズもサイドローブによるノイズも低減することができる。これが第2の利点である。

40

【0074】

高調波成分を抽出するには、フィルター法及び位相反転法の少なくとも1つが用いられる。

【0075】

フィルター法とは、周波数フィルター(ハイパスフィルター)により基本波成分と高調

50

波成分とを分離し、2次高調波成分だけを抽出し、映像化する手法である。例えば、2次高調波成分を分離、抽出する場合を説明する。基本波帯域の中心周波数が $f_0$ であり、2次高調波帯域の中心周波数が $2f_0$ であるとする、受信する基本波成分と2次高調波成分はそれぞれある帯域幅を有しているため、基本波成分と2次高調波成分とが重複して両者を分離できなくなる。その結果、画像が劣化する。この基本波成分と2次高調波成分との重複を少なくするためには、パルス幅を長くする必要がある。しかし、パルス幅が長くなると距離分解能が低下する。なぜならば、距離分解能は、数式(1)に示すようにパルス幅に比例するからである。

#### 【0076】

位相反転法は、フィルター法の欠点を改善するために開発された手法である。この手法は、同一方向に続けて2回の超音波の送信を行う。2回目の送信波は、1回目の送信波に対して位相が $180^\circ$ 異なるという特徴がある。そして、生体や造影剤から反射して戻ってくる受信波は、その非線形な伝播特性により高調波成分を含むため、歪んだ波形となる。送信波を1回目と2回目とで反転させているために基本波成分は反転しているが、2次高調波成分は反転していない(同相)という関係がある。結果として、2回の受信波を加算すると、基本波成分は除去され、2次高調波成分は振幅が2倍になって残るため、2次高調波成分のみを映像化することが可能となる。また、2次高調波成分のみが抽出できるため、広帯域送受信が可能となり、フィルター法の欠点である距離分解能の低下も改善する。

10

#### 【0077】

しかしながら、高調波成分のパルス幅 $n$ (波数 $\times$ 波長)は基本波と同じとなるため、高調波成分をそのまま使用する場合には、距離分解能を向上させることはできない。そのため、高調波成分を1波だけ抽出することで、より距離分解能の向上を図ることができる。さらに、高調波成分の次数をより高くすることで、より波長を短くし、より距離分解能の向上を図ることができる。例えば、2次高調波成分の波長は基本波の $1/2$ であるのに対し、3次高調波成分の波長は基本波の $1/3$ と短くなる。

20

#### 【0078】

本実施の形態は、2次より高い次数の高調波成分(例えば、3次高調波成分)を1波だけ抽出してハーモニックイメージングを行う点に特徴がある。以下、超音波画像装置1の特徴的な処理について説明する。

30

#### 【0079】

図7~13は、第1の実施の形態における超音波画像装置1が高調波成分を抽出して画像を表示する(ハーモニックイメージング)処理について説明する。図7は、高調波成分の抽出を模式的に示す図であり、図8~13は、ハーモニックイメージングの処理の流れを示すフローチャートである。

#### 【0080】

まず、図7を用いて、高調波成分の抽出について説明する。

周波数 $1f$ の第1の超音波パルス(1波)と、周波数 $1f$ であり第1の超音波パルスに対して位相が $180^\circ$ 異なる(位相が反転された)第2の超音波パルス(1波)とを送信し、第1の超音波パルスの受信信号と第2の超音波パルスの受信信号とを減算処理することで、基本波と3次高調波成分とを抽出する。基本波と3次高調波成分とが抽出された結果に対して周波数フィルター処理(バンドパスフィルター)を行い、3次高調波成分を抽出する。この3次高調波成分の周波数は $3f$ であり、波数は3である(図7(A)参照)。

40

#### 【0081】

また、周波数 $1.5f$ の第3の超音波パルス(1波)と、周波数 $1.5f$ であり第3の超音波パルスに対して位相が $180^\circ$ 異なる(位相が反転された)第4の超音波パルス(1波)とを送信し、第3の超音波パルスの受信信号と第4の超音波パルスの受信信号とを加算処理し、2次高調波成分を抽出する。この2次高調波成分の周波数は $3f$ であり、波数は2である(図7(B)参照)。

50

## 【0082】

そして、第1の超音波パルスと第2の超音波パルスとに基づく3次高調波成分（振幅をA倍処理したもの。後に詳述）と、第3の超音波パルスと第4の超音波パルスとに基づく2次高調波成分を減算処理する。この結果、周波数 $3f$ の1波が抽出される（図7（C）参照）。

## 【0083】

次に、図8～13を用いて、3次高調波成分のうちの1波に基づくハーモニックイメージングの処理の流れについて説明する。

## 【0084】

制御回路160は、走査線番号 $m$ を1に初期設定（ $m=1$ ）する（ステップS100）。走査線番号 $m$ は、図3に示すような超音波トランスデューサーデバイスを構成する超音波トランスデューサー素子群UG1～UG64のうちどの素子群であるかを示す番号である。例えば、任意の端に設けられた素子群、ここでは超音波トランスデューサー素子群UG1の走査線番号 $m$ を1とする。また、走査線番号1の素子群に隣接する素子群、ここでは超音波トランスデューサー素子群UG2の走査線番号 $m$ を2とする。このようにして、全ての素子群に走査線番号 $m$ を付与する。超音波トランスデューサー素子群UG1～UG64と走査線番号 $m$ との関係は、ROM等のメモリーに記憶しておけばよい。

## 【0085】

制御回路160は、送信処理部110、受信処理部120等を介して、ステップS100で初期設定された走査線番号 $m$ 又は後述するステップS138で更新された走査線番号 $m$ の超音波トランスデューサー素子群UGから周波数 $1f$ で位相が $0^\circ$ の超音波パルスを送信し、その超音波エコーの受信波を超音波トランスデューサー素子群UGで受信する（ステップS101～ステップS106）。

## 【0086】

送信パルス発生器111は、周波数 $1f$ で位相が $0^\circ$ の超音波パルスを送信するためのパルス電圧を生成する（ステップS101）。送信遅延回路113は、送波フォーカシング制御を行い（ステップS102）、超音波プローブ10は、ステップS101で生成されたパルス電圧に対応する超音波ビームを対象物に対して出射する（ステップS103）。

## 【0087】

制御回路160は、送信受信切り替えスイッチ140を介して送受信の切り替え処理を行う。超音波プローブ10は、出射した超音波ビームが対象物で反射し、帰ってきた受信波を受信して、受信した信号を受信処理部120に入力する。受信遅延回路121は、受信処理部120に入力された受信時の信号に対して遅延時間を与えて加算することで、受波ビームをフォーカシングする（ステップS104）。

## 【0088】

フィルター回路123は、受信信号に対してバンドパスフィルター処理を行う（ステップS105）。制御回路160は、フィルター回路123から出力された信号をメモリー125に保存する（ステップS106）。

## 【0089】

次に、制御回路160は、制御回路160は、送信処理部110、受信処理部120等を介して、ステップS100で初期設定された走査線番号 $m$ 又は後述するステップS138で更新された走査線番号 $m$ の超音波トランスデューサー素子群UGから周波数 $1f$ で位相が $180^\circ$ の超音波パルスを送信し、その超音波エコーの受信波を超音波トランスデューサー素子群UGで受信する（ステップS111～ステップS116、図9参照）。すなわち、ステップS111～ステップS116では、制御回路160は、ステップS101～ステップS106で送受信した超音波パルスに対して位相が $180^\circ$ 異なる（位相が反転された）の超音波パルスを送受信する。

## 【0090】

送信パルス発生器111は、周波数 $1f$ で位相が $180^\circ$ の超音波パルスを送信するた

10

20

30

40

50

めのパルス電圧を生成する（ステップS 1 1 1）。送信遅延回路 1 1 3 は、送波フォーカシング制御を行い（ステップS 1 1 2）、超音波プローブ 1 0 は、ステップS 1 1 1 で生成されたパルス電圧に対応する超音波ビームを対象物に対して出射する（ステップS 1 1 3）。ステップS 1 1 4 の処理はステップS 1 0 4 と同じであり、ステップS 1 1 5 の処理はステップS 1 0 5 と同じであり、ステップS 1 1 6 の処理はステップS 1 0 6 と同じであるため、説明を省略する。

**【 0 0 9 1 】**

次に、制御回路 1 6 0 は、送信処理部 1 1 0、受信処理部 1 2 0 等を介して、ステップS 1 0 0 で初期設定された走査線番号  $m$  又は後述するステップS 1 3 8 で更新された走査線番号  $m$  の超音波トランスデューサー素子群  $UG$  から周波数  $1.5f$  で位相が  $0^\circ$  の超音波パルスを送信し、その超音波エコーの受信波を超音波トランスデューサー素子群  $UG$  で受信する（ステップS 1 2 1 ~ ステップS 1 2 6、図 1 0 参照）。

10

**【 0 0 9 2 】**

送信パルス発生器 1 1 1 は、周波数  $1.5f$  で位相が  $0^\circ$  の超音波パルスを送信するためのパルス電圧を生成する（ステップS 1 2 1）。送信遅延回路 1 1 3 は、送波フォーカシング制御を行い（ステップS 1 2 2）、超音波プローブ 1 0 は、ステップS 1 2 1 で生成されたパルス電圧に対応する超音波ビームを対象物に対して出射する（ステップS 1 2 3）。ステップS 1 2 4 の処理はステップS 1 0 4 と同じであり、ステップS 1 2 5 の処理はステップS 1 0 5 と同じであり、ステップS 1 2 6 の処理はステップS 1 0 6 と同じであるため、説明を省略する。

20

**【 0 0 9 3 】**

次に、制御回路 1 6 0 は、送信処理部 1 1 0、受信処理部 1 2 0 等を介して、ステップS 1 0 0 で初期設定された走査線番号  $m$  又は後述するステップS 1 3 8 で更新された走査線番号  $m$  の超音波トランスデューサー素子群  $UG$  から周波数  $1.5f$  で位相が  $180^\circ$  の超音波パルスを送信し、その超音波エコーの受信波を超音波トランスデューサー素子群  $UG$  で受信する（ステップS 1 3 1 ~ ステップS 1 3 6、図 1 1 参照）。すなわち、ステップS 1 3 1 ~ ステップS 1 3 6 では、制御回路 1 6 0 は、ステップS 1 2 1 ~ ステップS 1 2 6 で送受信した超音波パルスに対して位相が  $180^\circ$  異なる（位相が反転された）超音波パルスを送受信する。

30

**【 0 0 9 4 】**

送信パルス発生器 1 1 1 は、周波数  $1.5f$  で位相が  $180^\circ$  の超音波パルスを送信するためのパルス電圧を生成する（ステップS 1 3 1）。送信遅延回路 1 1 3 は、送波フォーカシング制御を行い（ステップS 1 3 2）、超音波プローブ 1 0 は、ステップS 1 3 1 で生成されたパルス電圧に対応する超音波ビームを対象物に対して出射する（ステップS 1 3 3）。ステップS 1 3 4 の処理はステップS 1 0 4 と同じであり、ステップS 1 3 5 の処理はステップS 1 0 5 と同じであり、ステップS 1 3 6 の処理はステップS 1 0 6 と同じであるため、説明を省略する。

40

**【 0 0 9 5 】**

制御回路 1 6 0 は、ステップS 1 0 1 ~ S 1 3 6 で超音波パルスの送受信を行った超音波トランスデューサー素子群の走査線番号  $m$  が、走査線数  $M$  より小さいか否かを判断する（ステップS 1 3 7）。走査線数  $M$  は、図 3 に示すような超音波トランスデューサーデバイスを構成する超音波トランスデューサー素子群  $UG 1 \sim UG 6 4$  の数であり、図 3 に示す例では  $M$  は 6 4 である。

**【 0 0 9 6 】**

ステップS 1 0 1 ~ S 1 3 6 で超音波パルスの送受信を行った超音波トランスデューサー素子群  $UG$  の走査線番号  $m$  が、走査線数  $M$  より小さい場合（ステップS 1 3 7 で YES）は、制御回路 1 6 0 は、ステップS 1 0 1 ~ S 1 3 6 で超音波パルスの送受信を行った超音波トランスデューサー素子群の走査線番号  $m$  に 1 を追加して、走査線番号  $m$  を更新する（ステップS 1 3 8）。これにより、ステップS 1 0 1 に処理が戻る。

**【 0 0 9 7 】**

50

一方、ステップ S 1 0 1 ~ S 1 3 6 で超音波パルスの送受信を行った超音波トランスデューサー素子群 U G の走査線番号 m が、走査線数 M より小さくない場合（ステップ S 1 3 7 で N O ）は、走査線番号 m が走査線数 M と一致する場合、すなわちすべての超音波トランスデューサー素子群 U G において超音波パルスの送受信が終了した場合である。したがって、制御回路 1 6 0 は処理部 1 3 0 に指示を出し、処理部 1 3 0 はハーモニック処理を行う（ステップ S 1 4 1 ~ S 1 5 6、図 1 2、1 3 参照）。

【 0 0 9 8 】

ハーモニック処理部 1 3 1 は、高調波成分を抽出する（ステップ S 1 4 1）。図 1 3 は、高調波成分を抽出する処理（ステップ S 1 4 1）の流れを示すフローチャートである。

【 0 0 9 9 】

ハーモニック処理部 1 3 1 は、ステップ S 1 0 6 でメモリー 1 2 5 に保存された受信信号（周波数  $1 f$  で位相が  $0^\circ$  の超音波パルスに基づく受信信号）と、ステップ S 1 1 6 でメモリー 1 2 5 に保存された受信信号（周波数  $1 f$  で位相が  $180^\circ$  の超音波パルスに基づく受信信号）とをメモリー 1 2 5 から取得し、これらを減算処理することにより、周波数  $1 f$  の基本波成分と 3 次高調波成分を抽出する（ステップ S 1 4 1 1）。

【 0 1 0 0 】

ハーモニック処理部 1 3 1 は、ステップ S 1 4 1 1 で抽出した基本波成分と 3 次高調波成分に対して周波数フィルター処理（バンドパスフィルター処理）を行い、周波数  $1 f$  の 3 次高調波成分を抽出する（ステップ S 1 4 1 2）。

【 0 1 0 1 】

一方、ハーモニック処理部 1 3 1 は、ステップ S 1 2 6 でメモリー 1 2 5 に保存された受信信号（周波数  $1.5 f$  で位相が  $0^\circ$  の超音波パルスに基づく受信信号）と、ステップ S 1 3 6 でメモリー 1 2 5 に保存された受信信号（周波数  $1.5 f$  で位相が  $180^\circ$  の超音波パルスに基づく受信信号）とをメモリー 1 2 5 から取得し、これらを加算処理することにより、周波数  $1.5 f$  の 2 次高調波成分を抽出する（ステップ S 1 4 1 4）。

【 0 1 0 2 】

そして、ハーモニック処理部 1 3 1 は、ステップ S 1 4 1 2 で抽出した周波数  $1 f$  の 3 次高調波成分とステップ S 1 4 1 4 で抽出された周波数  $1.5 f$  の 2 次高調波成分との信号強度の最大値が同じとなるように、ステップ S 1 4 1 2 で抽出した周波数  $1 f$  の 3 次高調波成分を A 倍処理する（ステップ S 1 4 1 3）。ここで、A は、以下の数式（3）で算出される。

【 0 1 0 3 】

$A = \text{ステップ S 1 4 1 4 で抽出される周波数 } 1.5 f \text{ の 2 次高調波成分の信号強度の最大値} / \text{ステップ S 1 4 1 2 で抽出される周波数 } 1 f \text{ の 3 次高調波成分の信号強度の最大値}$   
 $\dots$ （3）

【 0 1 0 4 】

なお、ハーモニック処理部 1 3 1 がステップ S 1 4 1 1 ~ S 1 4 1 4 の処理を行う順番は任意である。例えば、ハーモニック処理部 1 3 1 は、ステップ S 1 4 1 4 の処理を、ステップ S 1 4 1 1 の処理の前に行ってもよいし、ステップ S 1 4 1 1 の処理とステップ S 1 4 1 2 の処理との間で行ってもよい。

【 0 1 0 5 】

ハーモニック処理部 1 3 1 はステップ S 1 4 1 3 で求められた周波数  $1 f$  の 3 次高調波成分と、ステップ S 1 4 1 4 で求められた周波数  $1.5 f$  の 2 次高調波成分とを減算処理する（ステップ S 1 4 1 5）。これにより、周波数  $1 f$  の 3 次高調波成分が 1 波だけ抽出される。

【 0 1 0 6 】

図 1 2 の説明に戻る。検波処理部 1 3 3 は、ステップ S 1 4 1 で抽出された高調波成分に対して、絶対値（整流）処理後に、低域通過フィルターをかけて、非変調信号を抽出する、すなわち包絡線検波を行う（ステップ S 1 5 1）。対数変換処理部 1 3 5 は、対数変換処理を行う（ステップ S 1 5 2）。

10

20

30

40

50

## 【0107】

ゲイン・ダイナミックレンジ調整部137は、信号強度及び関心領域を調整する（ステップS153）。STC139は、深さに応じて増幅度（明るさ）を補正する（ステップS154）。

## 【0108】

DSC150は、操作変換処理を行ってBモード画像データ（表示用画像データ）を生成して表示部21に出力する（ステップS155）。表示部21は、生成された表示用画像データを表示する（ステップS156）。これにより、図8～図13に示す処理が終了する。

## 【0109】

本実施の形態によれば、3次高調波成分のうちの1波のみを抽出することができる。その結果、パルス幅が小さくなり、距離分解能を向上させることができる。したがって、分解能の異方性を解消し、高品質な画像を得ることができる。

## 【0110】

なお、高調波成分は、対象物の内部で他の周波数の波の成分と合成されたものが受信されるため、3次高調波成分のうちの1波を抽出する処理は、本実施の形態のように、回路内部で加算処理、減算処理を行うことでしか抽出することはできない。そして、加算処理、減算処理という簡単な処理で3次高調波成分のうちの1波を抽出することで、高速な処理をすることができる、すなわち処理時間を短くすることができる。

## 【0111】

また、本実施の形態では、3次高調波成分を抽出するときに2つの受信信号を減算処理するため、3次高調波成分が加算されている。3次高調波成分は基本波より信号が弱くなるが、3次高調波成分を加算することにより、信号成分を増やし、S/N比（signal-noise ratio）を上げることができる。

## 【0112】

また、本実施の形態では、所定の周波数の3次高調波成分3波のうちの1波を抽出するときに、所定の周波数の1.5倍の周波数の2次高調波成分を用いるため、算出に用いる2つの受信波のビーム幅の差を小さくし、方位方向に対するアーチファクトを低減することができる。

## 【0113】

なお、本実施の形態では、3次高調波成分を例に高調波成分のうちの1波のみを抽出する処理について説明したが、3次以上の高調波成分全てに対して同様の処理を行うことができる。本実施の形態では、周波数 $f_1$ の超音波と、周波数 $1.5f_1$ の超音波との受信信号に基づいて3次高調波成分1波を抽出したが、これを3次以上の高調波成分に一般化する場合には、周波数 $f_1$ の超音波と、周波数 $f_1$ の $x/(x-1)$ 倍（周波数 $f_1$ より高い周波数）の周波数 $f_2$ の超音波との受信信号に基づいてN次高調波成分1波を抽出すればよい。なお、 $x$ は3以上の自然数である。

## 【0114】

具体的には、4次高調波成分のうちの1波を抽出するには、周波数 $f_1$ の超音波と、周波数 $f_1$ の $4/3$ 倍の超音波を送信し、周波数 $f_1$ の超音波の受信信号から4次高調波成分（波数は4）を抽出し、周波数 $4/3 \times f_1$ の超音波の受信信号から3次高調波成分（波数は3）を抽出し、4次高調波成分から3次高調波成分を減算することで4次高調波成分の1波のみが抽出される。また、4次高調波成分のうちの1波を抽出するには、周波数 $f_1$ の超音波と、周波数 $5/4 \times f_1$ の超音波を送信し、周波数 $f_1$ の超音波の受信信号から5次高調波成分（波数は5）を抽出し、周波数 $5/4 \times f_1$ の超音波の受信信号から4次高調波成分（波数は4）を抽出し、5次高調波成分から4次高調波成分を減算することで4次高調波成分の1波のみが抽出される。

## 【0115】

ただし、高調波成分の次数が高くなるにつれて振幅が小さくなる。例えば、基本波の振幅が0.88である場合に、2次高調波成分の振幅は0.35、3次高調波成分の振幅は

10

20

30

40

50

0.21である。したがって、3次以上の高調波成分全てに対して、高調波成分のうちの1波を抽出して画像を生成する処理を行うことができるが、3次高調波成分のうちの1波を抽出して画像を生成することがより望ましい。

【0116】

<第2の実施の形態>

第1の実施の形態に係る超音波画像装置1は、位相反転法及びフィルター法を用いて3次高調波成分のうちの1波を抽出したが、3次高調波成分のうちの1波を抽出するのに位相反転法及びフィルター法の両方を用いなくてもよい。

【0117】

第2の実施の形態に係る超音波画像装置2は、位相反転法を用いず、フィルター法を用いて3次高調波成分のうちの1波を抽出するものである。以下、超音波画像装置2について説明する。なお、超音波画像装置2の構成は超音波画像装置1の構成(図1~6参照)と同一であるため、超音波画像装置2の構成についての説明を省略し、超音波画像装置2がハーモニック成分を抽出して画像を表示する処理についてのみ説明する。また、超音波画像装置1の処理と同一の部分については、同一の符号を付し、詳細な説明を省略する。

【0118】

まず、図14を用いて、超音波画像装置2における高調波成分の抽出について説明する。

周波数 $1f$ の超音波パルス(1波)を送信し、この超音波パルスの受信信号に対して周波数フィルター処理(バンドパスフィルター)を行い、3次高調波成分を抽出する。この3次高調波成分の周波数は $3f$ であり、波数は3である(図14(A)参照)。

【0119】

また、周波数 $1.5f$ の超音波パルス(1波)を送信し、この超音波パルスの受信信号に対して周波数フィルター処理(バンドパスフィルター)を行い、2次高調波成分を抽出する。この2次高調波成分の周波数は $3f$ であり、波数は2である(図14(B)参照)。

【0120】

そして、周波数 $1f$ の超音波パルスに基づく3次高調波成分(振幅をA倍処理したもの、後に詳述)と、周波数 $1.5f$ の超音波パルスに基づく2次高調波成分を減算処理する。この結果、周波数 $3f$ が1波だけ抽出される(図14(C)参照)。

【0121】

次に、図15~18を用いて、3次高調波成分のうちの1波に基づくハーモニックイメージングの処理の流れについて説明する。

【0122】

制御回路160は、走査線番号 $m$ を1に初期設定( $m=1$ )する(ステップS100)。制御回路160は、送信処理部110、受信処理部120等を介して、ステップS100で初期設定された走査線番号 $m$ 又はステップS138で更新された走査線番号 $m$ の超音波トランスデューサー素子群UGから周波数 $1f$ で位相が $0^\circ$ の超音波パルスを送信し、その超音波エコーの受信波を超音波トランスデューサー素子群UGで受信する(ステップS101~ステップS106、図15参照)。

【0123】

制御回路160は、送信処理部110、受信処理部120等を介して、ステップS100で初期設定された走査線番号 $m$ 又は後述するステップS138で更新された走査線番号 $m$ の超音波トランスデューサー素子群UGから周波数 $1.5f$ で位相が $0^\circ$ の超音波パルスを送信し、その超音波エコーの受信波を超音波トランスデューサー素子群UGで受信する(ステップS121~ステップS126、図16参照)。

【0124】

制御回路160は、ステップS101~S126で超音波パルスの送受信を行った超音波トランスデューサー素子群の走査線番号 $m$ が、走査線数 $M$ より小さいか否かを判断する(ステップS137)。ステップS101~S126で超音波パルスの送受信を行った超

10

20

30

40

50

音波トランスデューサー素子群UGの走査線番号mが、走査線数Mより小さい場合（ステップS137でYES）は、制御回路160は、ステップS101～S136で超音波パルスの送受信を行った超音波トランスデューサー素子群の走査線番号mに1を追加して、走査線番号mを更新する（ステップS138）。これにより、処理がステップS101に戻る。

【0125】

ステップS101～S126で超音波パルスの送受信を行った超音波トランスデューサー素子群UGの走査線番号mが、走査線数Mより小さくない場合（ステップS137でNO）は、走査線番号mが走査線数Mと一致する場合、すなわちすべての超音波トランスデューサー素子群UGにおいて超音波パルスの送受信が終了した場合である。したがって、制御回路160は処理部130に指示を出し、処理部130はハーモニック処理を行う（ステップS142～S156、図17、18参照）。

10

【0126】

ハーモニック処理部131は、高調波成分を抽出する（ステップS142）。図18は、高調波成分を抽出する処理（ステップS142）の流れを示すフローチャートである。

【0127】

ハーモニック処理部131は、ステップS106でメモリー125に保存された受信信号（周波数1fで位相が0°の超音波パルスに基づく受信信号）に対して周波数フィルター処理（バンドパスフィルター処理）を行い、周波数1fの3次高調波成分を抽出する（ステップS1421）。

20

【0128】

一方、ハーモニック処理部131は、ステップS126でメモリー125に保存された受信信号（周波数1.5fで位相が0°の超音波パルスに基づく受信信号）に対して周波数フィルター処理（バンドパスフィルター処理）を行い、周波数1.5fの2次高調波成分を抽出する（ステップS1423）。

【0129】

そして、ハーモニック処理部131は、ステップS1421で抽出した3次高調波成分とステップS1423で抽出された2次高調波成分との信号強度の最大値が同じとなるように、ステップS1421で抽出した3次高調波成分をA倍処理する（ステップS1422）。ここで、Aは、以下の数式（4）で算出される。

30

【0130】

$A = \text{ステップS1423で抽出される周波数1.5fの2次高調波成分の信号強度の最大値} / \text{ステップS1421で抽出される周波数1fの3次高調波成分の信号強度の最大値}$   
 ……（4）

【0131】

なお、ハーモニック処理部131がステップS1421～S1423の処理を行う順番は任意である。例えば、ハーモニック処理部131は、ステップS1423の処理を、ステップS1421の処理の前に行ってもよいし、ステップS1421の処理の後に行ってもよい。

【0132】

ハーモニック処理部131はステップS1422で求められた周波数1fの3次高調波成分と、ステップS1423で求められた周波数1.5fの2次高調波成分とを減算処理する（ステップS1424）。これにより、周波数1fの3次高調波成分の1波が抽出される。

40

【0133】

図17の説明に戻る。検波処理部133は、ステップS142で抽出された高調波成分に対して、絶対値（整流）処理後に、低域通過フィルターをかけて、非変調信号を抽出する、すなわち包絡線検波を行う（ステップS151）。対数変換処理部135は、対数変換処理を行う（ステップS152）。

【0134】

50

ゲイン・ダイナミックレンジ調整部 137 は、信号強度及び関心領域を調整する（ステップ S153）。STC139 は、深さに応じて増幅度（明るさ）を補正する（ステップ S154）。

【0135】

DESC150 は、操作変換処理を行って B モード画像データ（表示用画像データ）を生成して表示部 21 に出力する（ステップ S155）。表示部 21 は、生成された表示用画像データを表示する（ステップ S156）。これにより、図 15 ~ 18 に示す処理が終了する。

【0136】

本実施の形態によれば、第 1 の実施の形態と同様、3 次高調波成分から基本波の 2 倍の波数を打ち消し、1 波を抽出することができる。そして、抽出する波数を 1 つにするため、距離分解能の低下を改善し、高品質な画像を得ることができる。

【0137】

また、本実施の形態によれば、2 回の送受信で 1 ラインのデータが生成できる（第 1 の実施の形態では、4 回の送受信が必要）ため、時間分解能（フレームレート）を向上させることができる。

【0138】

なお、本実施の形態は、第 1 の実施の形態と同様に、3 次以上の高調波成分全てに対して適用することができる。

【0139】

< 第 3 の実施の形態 >

第 2 の実施の形態に係る超音波画像装置 2 は、周波数  $1f$  の超音波パルスと、周波数  $1.5f$  の超音波パルスとに基づいて、周波数  $1f$  の超音波パルスの 3 次高調波成分のうちの 1 波を抽出したが、周波数  $1f$  の超音波パルスの 3 次高調波成分のうちの 1 波を抽出する方法はこれに限られない。

【0140】

第 3 の実施の形態に係る超音波画像装置 3 は、周波数  $1f$  の超音波パルスと、周波数  $3f$  の超音波パルスとに基づいて、周波数  $1f$  の超音波パルスの 3 次高調波成分のうちの 1 波を抽出するものである。以下、超音波画像装置 3 について説明する。なお、超音波画像装置 3 の構成は超音波画像装置 1 の構成（図 1 ~ 6 参照）と同一であるため、超音波画像装置 3 の構成についての説明を省略し、超音波画像装置 3 がハーモニック成分を抽出して画像を表示する処理についてのみ説明する。また、超音波画像装置 1 及び超音波画像装置 2 の処理と同一の部分については、同一の符号を付し、詳細な説明を省略する。

【0141】

まず、図 19 を用いて、超音波画像装置 3 における高調波成分の抽出について説明する。

周波数  $1f$  の超音波パルス（1 波）を送信し、この超音波パルスの受信信号に対して周波数フィルター処理（バンドパスフィルター）を行い、3 次高調波成分を抽出する。この 3 次高調波成分の周波数は  $3f$  であり、波数は 3 である（図 19（A）参照）。

【0142】

また、周波数  $3f$  の超音波パルス（2 波）を送信し、この超音波パルスの受信信号に対して周波数フィルター処理（バンドパスフィルター）を行い、基本波成分を抽出する。この基本波成分の周波数は  $3f$  であり、波数は 2 である（図 19（B）参照）。

【0143】

そして、周波数  $1f$  の超音波パルスに基づく 3 次高調波成分（振幅を A 倍処理したもの、後に詳述）と、周波数  $3f$  の超音波パルスの基本波成分を減算処理する。この結果、周波数  $3f$  の超音波が 1 波だけ抽出される（図 19（C）参照）。

【0144】

次に、図 20 ~ 23 を用いて、3 次高調波成分のうちの 1 波に基づくハーモニックイメージングの処理の流れについて説明する。

10

20

30

40

50

## 【 0 1 4 5 】

制御回路 1 6 0 は、送信処理部 1 1 0、受信処理部 1 2 0 等を介して、走査線番号  $m$  を 1 に初期設定 ( $m = 1$ ) する (ステップ S 1 0 0)。制御回路 1 6 0 は、ステップ S 1 0 0 で初期設定された走査線番号  $m$  又は後述するステップ S 1 6 8 で更新された走査線番号  $m$  の超音波トランスデューサー素子群 U G から周波数  $1 f$  で位相が  $0^\circ$  の超音波パルスを送信し、その超音波エコーの受信波を超音波トランスデューサー素子群 U G で受信する (ステップ S 1 0 1 ~ ステップ S 1 0 6、図 2 0 参照)。

## 【 0 1 4 6 】

次に、制御回路 1 6 0 は、送信処理部 1 1 0、受信処理部 1 2 0 等を介して、ステップ S 1 0 0 で初期設定された走査線番号  $m$  又は後述するステップ S 1 6 8 で更新された走査線番号  $m$  の超音波トランスデューサー素子群 U G から周波数  $3 f$  で位相が  $0^\circ$  の超音波 2 波を送信し、その超音波エコーの受信波を超音波トランスデューサー素子群 U G で受信する (ステップ S 1 6 1 ~ ステップ S 1 6 6、図 2 1 参照)。

10

## 【 0 1 4 7 】

送信パルス発生器 1 1 1 は、周波数  $3 f$  で位相が  $0^\circ$  の超音波パルス (2 波) を送信するためのパルス電圧を生成する (ステップ S 1 6 1)。送信遅延回路 1 1 3 は、送波フォーカシング制御を行い、超音波プローブ 1 0 は、ステップ S 1 6 1 で生成されたパルス電圧に対応する超音波ビームを対象物に対して出射する (ステップ S 1 6 2)。ステップ S 1 6 3 の処理はステップ S 1 0 3 と同じであり、ステップ S 1 6 4 の処理はステップ S 1 0 4 と同じであり、ステップ S 1 6 5 の処理はステップ S 1 0 5 と同じであり、ステップ S 1 6 6 の処理はステップ S 1 0 6 と同じであるため、説明を省略する。

20

## 【 0 1 4 8 】

制御回路 1 6 0 は、ステップ S 1 0 1 ~ S 1 6 6 で超音波パルスの送受信を行った超音波トランスデューサー素子群の走査線番号  $m$  が、走査線数  $M$  より小さいか否かを判断する (ステップ S 1 6 7)。当該処理は、ステップ S 1 3 7 と同じである。

## 【 0 1 4 9 】

一方、ステップ S 1 0 1 ~ S 1 6 6 で超音波パルスの送受信を行った超音波トランスデューサー素子群 U G の走査線番号  $m$  が、走査線数  $M$  より小さい場合 (ステップ S 1 6 7 で Y E S) は、制御回路 1 6 0 は、ステップ S 1 0 1 ~ S 1 6 6 で超音波パルスの送受信を行った超音波トランスデューサー素子群の走査線番号  $m$  に 1 を追加して、走査線番号  $m$  を更新する (ステップ S 1 6 8)。当該処理は、ステップ S 1 3 8 と同じである。

30

## 【 0 1 5 0 】

ステップ S 1 0 1 ~ S 1 6 6 で超音波パルスの送受信を行った超音波トランスデューサー素子群 U G の走査線番号  $m$  が、走査線数  $M$  より小さくない場合 (ステップ S 1 6 7 で N O) は、走査線番号  $m$  が走査線数  $M$  と一致する場合、すなわちすべての超音波トランスデューサー素子群 U G において超音波パルスの送受信が終了した場合である。したがって、制御回路 1 6 0 は処理部 1 3 0 に指示を出し、処理部 1 3 0 はハーモニック処理を行う (ステップ S 1 7 1 ~ S 1 8 6、図 2 2、2 3 参照)。

## 【 0 1 5 1 】

ハーモニック処理部 1 3 1 は、高調波成分を抽出する (ステップ S 1 7 1)。図 2 3 は、高調波成分を抽出する処理 (ステップ S 1 7 1) の流れを示すフローチャートである。

40

## 【 0 1 5 2 】

ハーモニック処理部 1 3 1 は、ステップ S 1 0 6 でメモリー 1 2 5 に保存された受信信号 (周波数  $1 f$  で位相が  $0^\circ$  の超音波パルスに基づく受信信号) に対して周波数フィルター処理 (バンドパスフィルター処理) を行い、周波数  $1 f$  の 3 次高調波成分を抽出する (ステップ S 1 7 1 1)。ステップ S 1 7 1 1 の処理は、ステップ S 1 4 2 1 の処理と同一である。

## 【 0 1 5 3 】

一方、ハーモニック処理部 1 3 1 は、ステップ S 1 6 6 でメモリー 1 2 5 に保存された受信信号 (周波数  $3 f$  で位相が  $0^\circ$  の超音波パルスに基づく受信信号) に対して周波数フ

50

ィルター処理（バンドパスフィルタ処理）を行い、周波数  $3f$  の基本波成分を抽出する（ステップ S 1 7 1 3）。

【0154】

ハーモニック処理部 1 3 1 は、ステップ S 1 7 1 1 で抽出した周波数  $1f$  の 3 次高調波成分と、ステップ S 1 7 1 3 で抽出した周波数  $3f$  の基本波成分との信号強度の最大値が同じとなるように、ステップ S 1 4 2 1 で抽出した 3 次高調波成分を  $A$  倍処理する（ステップ S 1 7 1 2）。ここで、 $A$  は、以下の数式（5）で算出される。

【0155】

$A =$  ステップ S 1 7 1 3 で抽出される周波数  $3f$  の基本波成分の信号強度の最大値 / ステップ S 1 7 1 1 で抽出される周波数  $1f$  の 3 次高調波成分の信号強度の最大値 . . .

10

【0156】

なお、ハーモニック処理部 1 3 1 がステップ S 1 7 1 1 ~ S 1 7 1 3 の処理を行う順番は任意である。例えば、ハーモニック処理部 1 3 1 は、ステップ S 1 7 1 3 の処理を、ステップ S 1 7 1 1 の処理の前に行ってもよいし、ステップ S 1 7 1 1 の処理の後に行ってもよい。

【0157】

ハーモニック処理部 1 3 1 はステップ S 1 7 1 2 で求められた周波数  $1f$  の 3 次高調波成分と、ステップ S 1 7 1 3 で求められた周波数  $3f$  の基本波成分とを減算処理する（ステップ S 1 7 1 4）。これにより、周波数  $1f$  の 3 次高調波成分が 1 波だけ抽出される。

20

【0158】

図 2 2 の説明に戻る。検波処理部 1 3 3 は、ステップ S 1 7 1 で抽出された高調波成分に対して、絶対値（整流）処理後に、低域通過フィルタをかけて、非変調信号を抽出する、すなわち包絡線検波を行う（ステップ S 1 8 1）。対数変換処理部 1 3 5 は、対数変換処理を行う（ステップ S 1 8 2）。

【0159】

ゲイン・ダイナミックレンジ調整部 1 3 7 は、信号強度及び関心領域を調整する（ステップ S 1 8 3）。S T C 1 3 9 は、深さに応じて増幅度（明るさ）を補正する（ステップ S 1 8 4）。

【0160】

D S C 1 5 0 は、操作変換処理を行って B モード画像データ（表示用画像データ）を生成して表示部 2 1 に出力する（ステップ S 1 8 5）。表示部 2 1 は、生成された表示用画像データを表示する（ステップ S 1 8 6）。なお、ステップ S 1 8 1 ~ S 1 8 6 の処理は、ステップ S 1 5 1 ~ S 1 5 6 と同一である。これにより、図 2 0 ~ 2 3 に示す処理が終了する。

30

【0161】

本実施の形態によれば、第 1 の実施の形態及び第 2 の実施の形態と同様、3 次高調波成分から基本波の 2 倍の波数を打ち消し、1 波を抽出することができる。その結果、距離分解能の低下を改善し、高品質な画像を得ることができる。

【0162】

また、本実施の形態によれば、2 次高調波より振幅が高い、つまり  $S/N$  比の良い基本波を利用するため、3 次高調波成分のうちの 1 波を抽出するときに、ノイズの影響により発生する残留成分を低くすることができる。その結果、距離方向のアーチファクトを低減することができる。

40

【0163】

また、本実施の形態によれば、第 2 の実施の形態と同様、2 回の送受信で 1 ラインのデータが生成できる（第 1 の実施の形態では、4 回の送受信が必要）ため、時間分解能（フレームレート）を向上させることができる。

【0164】

なお、本実施の形態は、第 1 の実施の形態と同様に、3 次以上の高調波成分全てに対し

50

て適用することができる。本実施の形態では、周波数  $1f$  の超音波と、周波数  $3f$  の超音波との受信信号に基づいて 3 次高調波成分 1 波を抽出したが、これを 3 次以上の高調波成分に一般化する場合には、周波数  $f$  の超音波 1 波と、周波数  $f$  の  $x$  倍（周波数  $f$  より高い周波数）の周波数  $f$  の超音波  $x - 1$  波との受信信号に基づいて  $N$  次高調波成分 1 波を抽出すればよい。なお、 $x$  は 3 以上の自然数である。

【0165】

具体的には、4 次高調波成分のうちの 1 波を抽出するには、周波数  $f$  の超音波 1 波と、周波数  $f$  の 4 倍の周波数  $f$  の超音波 3 波とを送信し、周波数  $f$  の超音波の受信信号から 4 次高調波成分（波数は 4）を抽出し、周波数  $f$  の超音波 3 波の受信信号から基本波成分（波数は 3）を抽出し、4 次高調波成分から基本波成分を減算することで 4 次高調波成分の 1 波のみが抽出される。5 次高調波成分のうちの 1 波を抽出するには、周波数  $f$  の超音波 1 波と、周波数  $f$  の 5 倍の周波数  $f$  の超音波 4 波とを送信し、周波数  $f$  の超音波の受信信号から 5 次高調波成分（波数は 5）を抽出し、周波数  $f$  の超音波 4 波の受信信号から基本波成分（波数は 4）を抽出し、5 次高調波成分から基本波成分を減算することで 5 次高調波成分の 1 波のみが抽出される。

10

【0166】

< 第 4 の実施の形態 >

第 3 の実施の形態に係る超音波画像装置 3 は、周波数  $1f$  の超音波パルスと、周波数  $3f$  の超音波パルスとに基づいて、フィルター法を用いて周波数  $1f$  の超音波パルスの 3 次高調波成分のうちの 1 波を抽出したが、周波数  $1f$  の超音波パルスの 3 次高調波成分のうちの 1 波を抽出する方法はこれに限られない。

20

【0167】

第 4 の実施の形態に係る超音波画像装置 3 は、周波数  $1f$  の超音波パルスと、周波数  $3f$  の超音波パルスとに基づいて、フィルター法及び位相反転法を用いて周波数  $1f$  の超音波パルスの 3 次高調波成分のうちの 1 波を抽出するものである。以下、超音波画像装置 4 について説明する。なお、超音波画像装置 4 の構成は超音波画像装置 1 の構成（図 1 ~ 6 参照）と同一であるため、超音波画像装置 4 の構成についての説明を省略し、超音波画像装置 4 がハーモニック成分を抽出して画像を表示する処理についてのみ説明する。また、超音波画像装置 1 及び超音波画像装置 2 及び超音波画像装置 3 の処理と同一の部分については、同一の符号を付し、詳細な説明を省略する。

30

【0168】

まず、図 2 4 を用いて、超音波画像装置 4 における高調波成分の抽出について説明する。

周波数  $1f$  の第 1 の超音波パルス（1 波）と、周波数  $1f$  であり第 1 の超音波パルスに対して位相が  $180^\circ$  異なる（位相が反転された）第 2 の超音波パルス（1 波）とを送信し、第 1 の超音波パルスの受信信号と第 2 の超音波パルスの受信信号とを減算処理することで、基本波と 3 次高調波成分とを抽出する。基本波と 3 次高調波成分とが抽出された結果に対して周波数フィルター処理（バンドパスフィルター）を行い、3 次高調波成分を抽出する。この 3 次高調波成分の周波数は  $3f$  であり、波数は 3 である（図 2 4（A）参照）。

40

【0169】

また、周波数  $3f$  の超音波パルス（2 波）を送信し、この超音波パルスの受信信号に対して周波数フィルター処理（バンドパスフィルター）を行い、基本波成分を抽出する。この基本波成分の波長は  $3f$  であり、波数は 2 である（図 2 4（B）参照）。

【0170】

そして、周波数  $1f$  の超音波パルスに基づく 3 次高調波成分（振幅を  $A$  倍処理したもの、後に詳述）と、周波数  $3f$  の超音波パルスの基本波成分を減算処理する。この結果、周波数  $3f$  の超音波が 1 波だけ抽出される（図 2 4（C）参照）。

【0171】

次に、図 2 5 ~ 2 9 を用いて、3 次高調波成分のうちの 1 波に基づくハーモニックイメ

50

ージングの処理の流れについて説明する。

【0172】

次に、制御回路160は、走査線番号 $m$ を1に初期設定( $m=1$ )する(ステップS100)。制御回路160は、送信処理部110、受信処理部120等を介して、ステップS100で初期設定された走査線番号 $m$ 又は後述するステップS168で更新された走査線番号 $m$ の超音波トランスデューサー素子群UGから周波数 $1f$ で位相が $0^\circ$ の超音波パルスを送信し、その超音波エコーの受信波を超音波トランスデューサー素子群UGで受信する(ステップS101~ステップS106、図25参照)。

【0173】

それから、制御回路160は、送信処理部110、受信処理部120等を介して、ステップS100で初期設定された走査線番号 $m$ 又は後述するステップS168で更新された走査線番号 $m$ の超音波トランスデューサー素子群UGから周波数 $1f$ で位相が $180^\circ$ の超音波パルス(1波)を送信し、その超音波エコーの受信波を超音波トランスデューサー素子群UGで受信する(ステップS111~ステップS116、図26参照)。

【0174】

制御回路160は、送信処理部110、受信処理部120等を介して、ステップS100で初期設定された走査線番号 $m$ 又は後述するステップS138で更新された走査線番号 $m$ の超音波トランスデューサー素子群UGから周波数 $3f$ で位相が $0^\circ$ の超音波パルス(2波)を送信し、その超音波エコーの受信波を超音波トランスデューサー素子群UGで受信する(ステップS161~ステップS166、図27参照)。

【0175】

制御回路160は、ステップS101~S166で超音波パルスの送受信を行った超音波トランスデューサー素子群の走査線番号 $m$ が、走査線数 $M$ より小さいか否かを判断する(ステップS167)。当該処理は、ステップS137と同じである。

【0176】

ステップS101~S166で超音波パルスの送受信を行った超音波トランスデューサー素子群UGの走査線番号 $m$ が、走査線数 $M$ より小さい場合(ステップS167でYES)は、制御回路160は、ステップS101~S166で超音波パルスの送受信を行った超音波トランスデューサー素子群の走査線番号 $m$ に1を追加して、走査線番号 $m$ を更新する(ステップS168)。当該処理は、ステップS138と同じである。

【0177】

一方、ステップS101~S166で超音波パルスの送受信を行った超音波トランスデューサー素子群UGの走査線番号 $m$ が、走査線数 $M$ より小さくない場合(ステップS167でNO)は、走査線番号 $m$ が走査線数 $M$ と一致する場合、すなわちすべての超音波トランスデューサー素子群UGにおいて超音波パルスの送受信が終了した場合である。したがって、制御回路160は処理部130に指示を出し、処理部130はハーモニック処理を行う(ステップS172~S186、図28、29参照)。

【0178】

ハーモニック処理部131は、高調波成分を抽出する(ステップS172)。図29は、高調波成分を抽出する処理(ステップS172)の流れを示すフローチャートである。

【0179】

ハーモニック処理部131は、ステップS106でメモリー125に保存された受信信号(周波数 $1f$ で位相が $0^\circ$ の超音波パルスに基づく受信信号)と、ステップS116でメモリー125に保存された受信信号(周波数 $1f$ で位相が $180^\circ$ の超音波パルスに基づく受信信号)をメモリー125から取得し、これらを減算処理することにより、周波数 $1f$ の基本波成分と3次高調波成分とを抽出する(ステップS1721)。ステップS1721の処理は、ステップS1411の処理と同一である。

【0180】

ハーモニック処理部131は、ステップS1411で抽出した周波数 $1f$ の基本波成分と3次高調波成分とに対して周波数フィルター処理(バンドパスフィルター処理)を行い

10

20

30

40

50

、周波数  $1f$  の 3 次高調波成分を抽出する（ステップ S 1 7 2 2）。ステップ S 1 7 2 2 の処理は、ステップ S 1 4 1 2 の処理と同一である。

【0181】

一方、ハーモニク処理部 1 3 1 は、ステップ S 1 6 6 でメモリー 1 2 5 に保存された受信信号（周波数  $3f$  で位相が  $0^\circ$  の超音波パルスに基づく受信信号）に対して周波数フィルター処理（バンドパスフィルター処理）を行い、周波数  $3f$  の基本波成分を抽出する（ステップ S 1 7 2 4）。

【0182】

ハーモニク処理部 1 3 1 は、ステップ S 1 7 2 2 で抽出した周波数  $1f$  の 3 次高調波成分とステップ S 1 7 2 4 で抽出された周波数  $3f$  の基本波成分との信号強度の最大値が同じとなるように、ステップ S 1 7 2 2 で抽出した 3 次高調波成分を A 倍処理する（ステップ S 1 7 2 3）。ここで、A は、以下の数式（6）で算出される。

【0183】

A = ステップ S 1 7 2 4 で抽出される周波数  $3f$  の基本波成分の信号強度の最大値 / ステップ S 1 7 2 2 で抽出される周波数  $1f$  の 3 次高調波成分の信号強度の最大値 . . .  
（6）

【0184】

なお、ハーモニク処理部 1 3 1 がステップ S 1 7 2 1 ~ S 1 7 2 4 の処理を行う順番は任意である。例えば、ハーモニク処理部 1 3 1 は、ステップ S 1 7 2 4 の処理を、ステップ S 1 7 2 1 の処理の前に行ってもよいし、ステップ S 1 7 2 1 の処理の後で行ってもよい。

【0185】

ハーモニク処理部 1 3 1 はステップ S 1 4 1 3 で求められた周波数  $1f$  の 3 次高調波成分と、ステップ S 1 7 1 1 で求められた周波数  $3f$  の基本波成分とを減算処理する（ステップ S 1 7 2）。これにより、周波数  $1f$  の 3 次高調波成分の 1 波が抽出される。

【0186】

図 2 8 の説明に戻る。検波処理部 1 3 3 は、ステップ S 1 7 1 で抽出された高調波成分に対して、絶対値（整流）処理後に、低域通過フィルターをかけて、非変調信号を抽出する、すなわち包絡線検波を行う（ステップ S 1 8 1）。対数変換処理部 1 3 5 は、対数変換処理を行う（ステップ S 1 8 2）。

【0187】

ゲイン・ダイナミックレンジ調整部 1 3 7 は、信号強度及び関心領域を調整する（ステップ S 1 8 3）。S T C 1 3 9 は、深さに応じて増幅度（明るさ）を補正する（ステップ S 1 8 4）。

【0188】

D S C 1 5 0 は、操作変換処理を行って B モード画像データ（表示用画像データ）を生成して表示部 2 1 に出力する（ステップ S 1 8 5）。表示部 2 1 は、生成された表示用画像データを表示する（ステップ S 1 8 6）。なお、ステップ S 1 8 1 ~ S 1 8 6 の処理は、ステップ S 1 5 1 ~ S 1 5 6 と同一である。これにより、図 2 5 ~ 2 9 に示す処理が終了する。

【0189】

本実施の形態によれば、2 次高調波成分の周波数領域と 3 次高調波成分の周波数領域とで重複している部分を分離することができるため、広帯域送受信が可能となる。その結果、距離分解能を向上させ、高品質な画像を得ることができる。

【0190】

また、本実施の形態によれば、第 3 の実施の形態と同様に、2 次高調波より振幅が高い、つまり S / N 比の良い基本波を利用するため、3 次高調波成分のうちの 1 波を抽出するときに、ノイズの影響により発生する残留成分を低くすることができる。その結果、距離方向のアーチファクトを低減することができる。

【0191】

10

20

30

40

50

また、本実施の形態によれば、3回の送受信で1ラインのデータが生成できる（第1の実施の形態では、4回の送受信が必要）ため、時間分解能（フレームレート）を向上させることができる。

【0192】

また、本実施の形態によれば、位相反転法により3次高調波成分を抽出するときに、2回分の受信信号を加算しているため、第3の実施の形態と比較して、S/N比を上げることができる。

【0193】

なお、本実施の形態は、第3の実施の形態と同様に、3次以上の高調波成分全てに対して適用することができる。

10

【0194】

以上、本発明を実施の形態を用いて説明した。第1の実施の形態～第4の実施の形態は、それぞれ、他の実施の形態に対して以下に示すようなメリットがある。

【0195】

第1の実施の形態は、第2の実施の形態～第4の実施の形態に対して、2次高調波成分の周波数領域と3次高調波成分の周波数領域とで重複している部分を分離することができるため、広帯域送受信が可能となり、距離分解能が高くなるというメリットがある。

【0196】

第1の実施の形態は、第2の実施の形態に対して、加算処理をするために抽出される3次高調波の振幅が高いというメリットがある。

20

【0197】

第1の実施の形態及び第2の実施の形態は、第3の実施の形態及び第4の実施の形態に対して、（1）減算処理に基本波成分を用いないため、送信する2つの周波数の差、つまりビーム幅の差が小さく、方位方向のアーチファクトが発生しにくい、（2）減算処理に用いる基本波成分の基となる超音波パルスの波長が長いため、周波数帯域が広い超音波トランスデューサー素子が必要ない、というメリットがある。

【0198】

第2の実施の形態は、第1の実施の形態に対して、超音波の送受信の回数が少なく、時間分解能が向上する、というメリットがある。

【0199】

第3の実施の形態は、第1の実施の形態及び第4の実施の形態に対して、超音波の送受信の回数が少なく、時間分解能が向上する、というメリットがある。

30

【0200】

第3の実施の形態及び第4の実施の形態は、第1の実施の形態及び第2の実施の形態に対して、S/N比の良い基本波を利用することで、3次高調波成分のうちの1波を抽出するときにノイズの影響により発生する残留成分を低くし、距離方向のアーチファクトを低減することができる、というメリットがある。

【0201】

第4の実施の形態は、第3の実施の形態に対して、（1）加算処理をするためにS/N比をよくすることができる、（2）広帯域送受信が可能となり、距離分解能を向上させ、高品質な画像を得ることができる、というメリットがある。

40

【0202】

したがって、第1の実施の形態～第4の実施の形態を、場合によって使い分けることで、より良いハーモニック処理を行うことができる。

【0203】

以上、本発明を実施の形態を用いて説明したが、本発明の技術的範囲は上記実施の形態に記載の範囲には限定されない。上記実施の形態に多様な変更または改良を加えることが可能であることが当業者には明らかである。また、そのような変更または改良を加えた形態も本発明の技術的範囲に含まれ得ることが、特許請求の範囲の記載から明らかである。また、本発明は、超音波測定装置に限らず、超音波測定装置において行う画像処理方法、

50

超音波測定装置に画像処理方法を行わせるプログラム、プログラムが格納された記憶媒体等として提供することもできる。

【0204】

特に、上記実施の形態では、超音波測定装置本体20の内部に表示部21が設けられた超音波画像装置1、2、3、4を例に本発明を説明したが、表示部21は超音波画像装置1、2、3、4に設けられていなくてもよい。例えば、表示部を有さず、生成した表示用画像データを外部の表示装置へ出力する超音波測定装置として本発明に係る装置を提供してもよい。

【符号の説明】

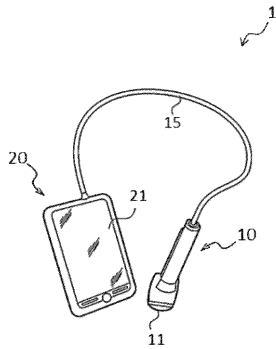
【0205】

1、2、3、4：超音波画像装置、10：超音波プローブ、11：超音波トランスデューサーデバイス、12：超音波トランスデューサー素子、15：ケーブル、20：超音波測定装置本体、21：表示部、22：制御部、30：圧電体層、31：第1電極層、32：第2電極層、40：開口、50：振動膜、60：基板、110：送信処理部、111：送信パルス発生器、113：送信遅延回路、120：受信処理部、121：受信遅延回路、123：フィルター回路、125：メモリー、130：処理部、131：ハーモニック処理部、133：検波処理部、135：対数変換処理部、137：ダイナミックレンジ調整部、140：送信受信切り替えスイッチ、160：制御回路、221：CPU、222：RAM、223：ROM、225：I/F回路、226：通信装置、227：バス、CLi：コモン電極線、DL：駆動電極線、UE：超音波トランスデューサー素子、UG：超音波トランスデューサー素子群

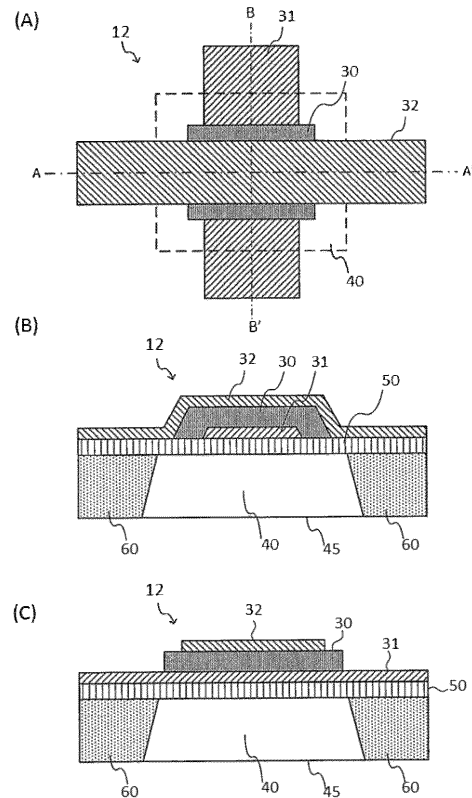
10

20

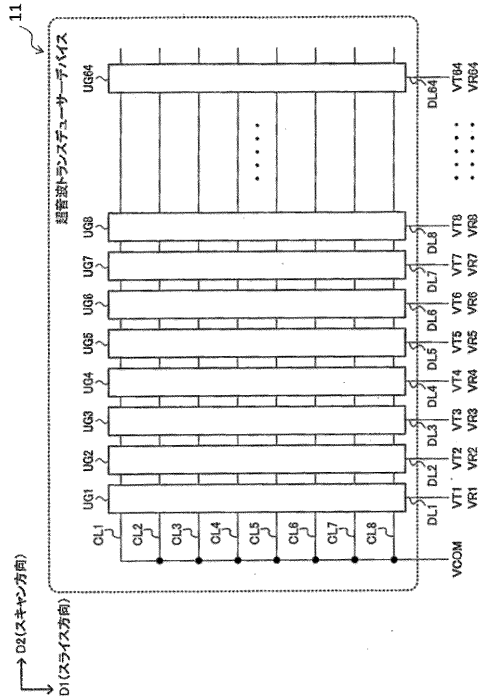
【図1】



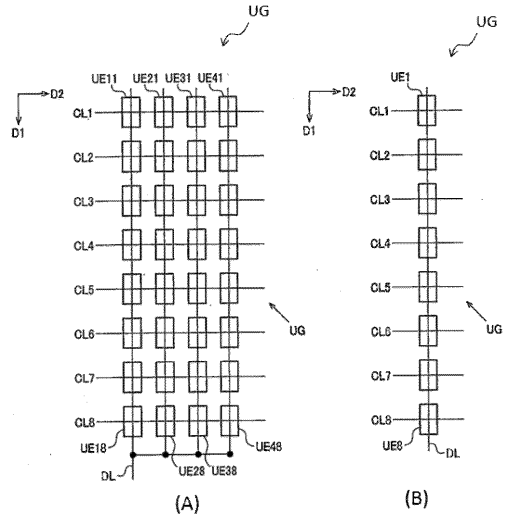
【図2】



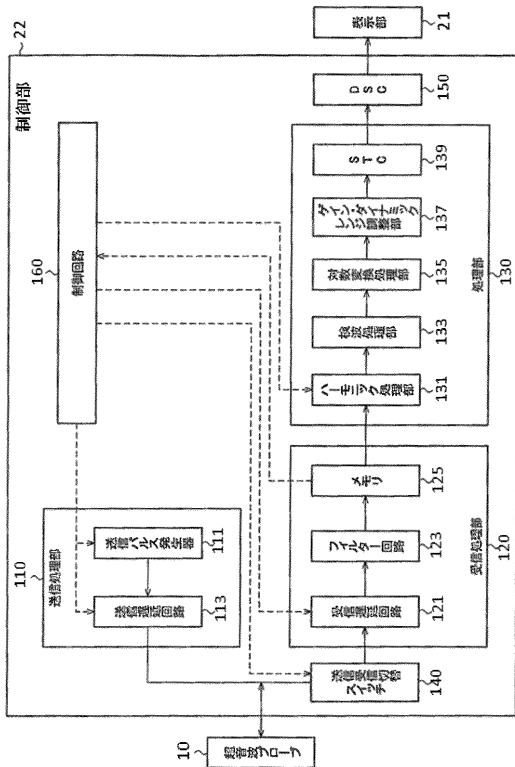
【 図 3 】



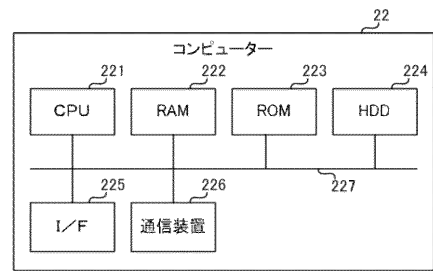
【 図 4 】



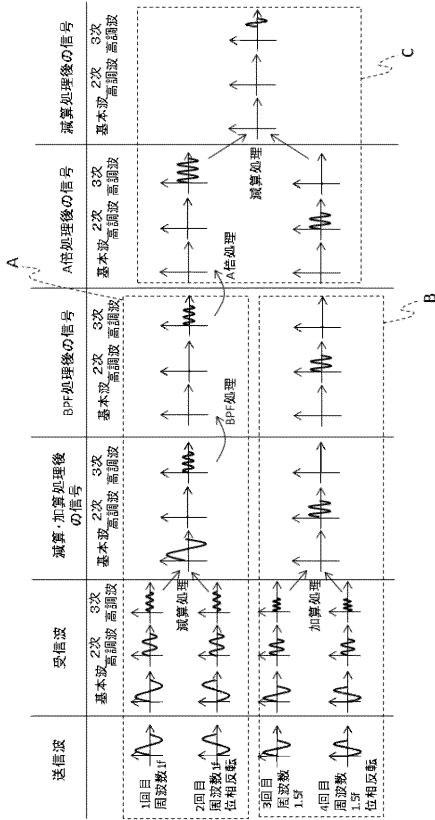
【 図 5 】



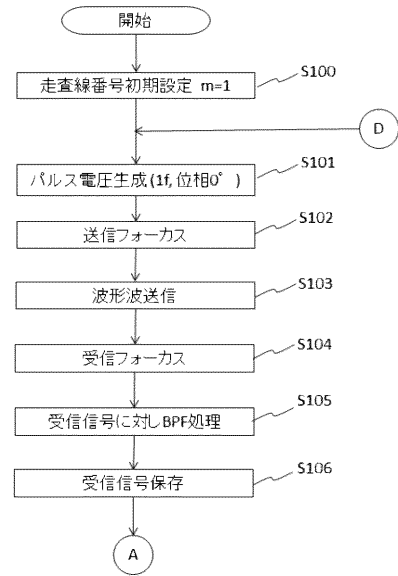
【 図 6 】



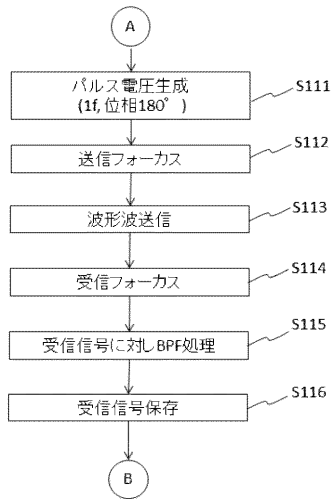
【 図 7 】



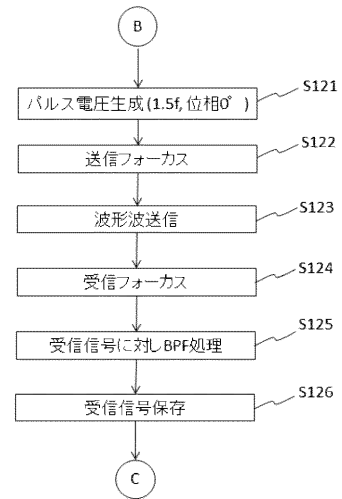
【 図 8 】



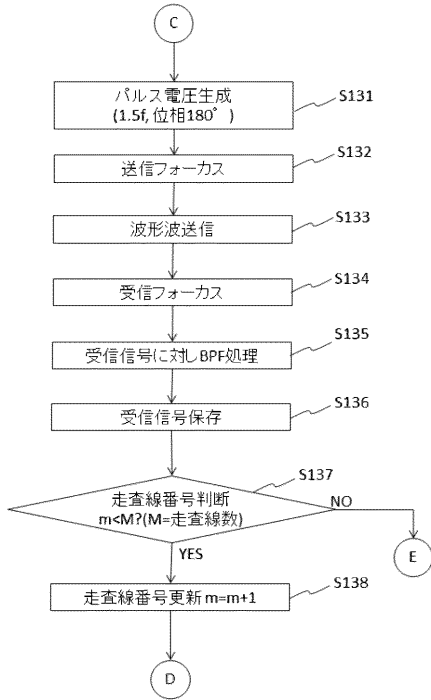
【 図 9 】



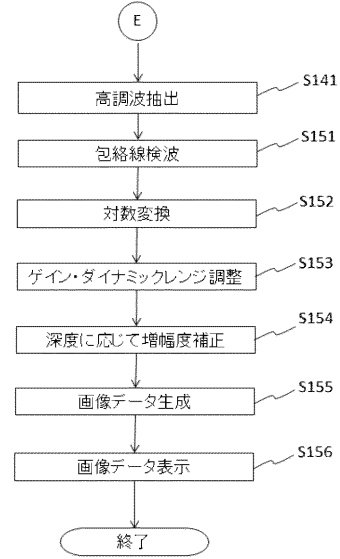
【 図 10 】



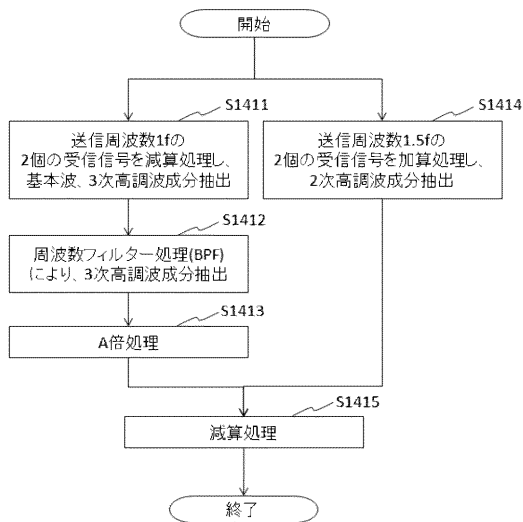
【 図 1 1 】



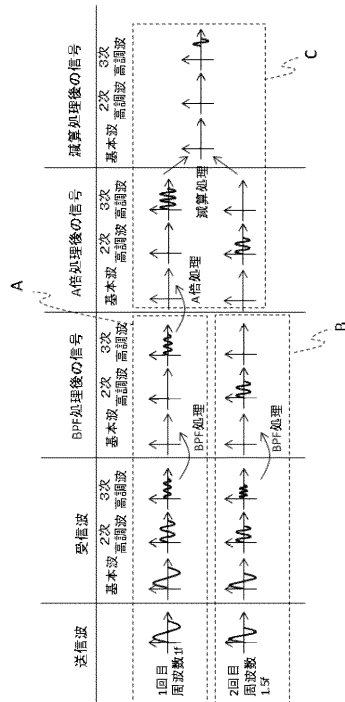
【 図 1 2 】



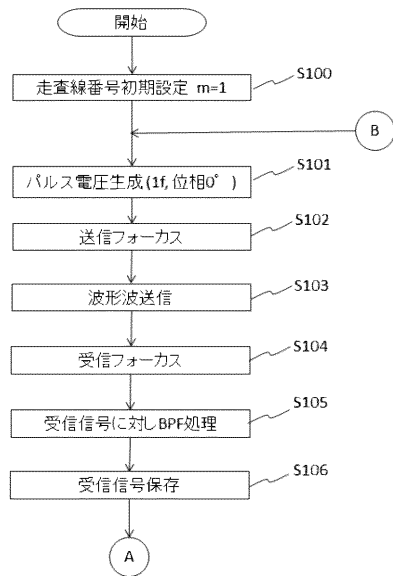
【 図 1 3 】



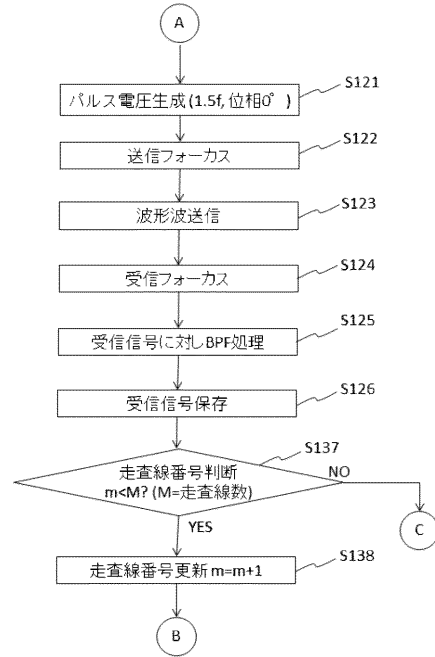
【 図 1 4 】



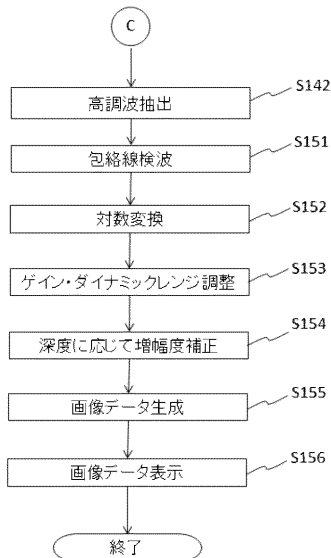
【 図 1 5 】



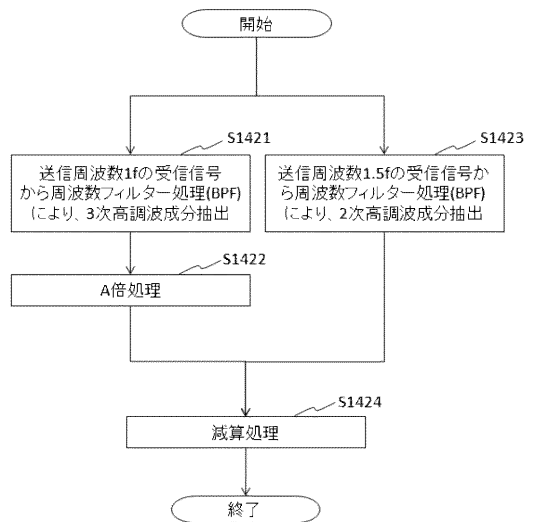
【 図 1 6 】



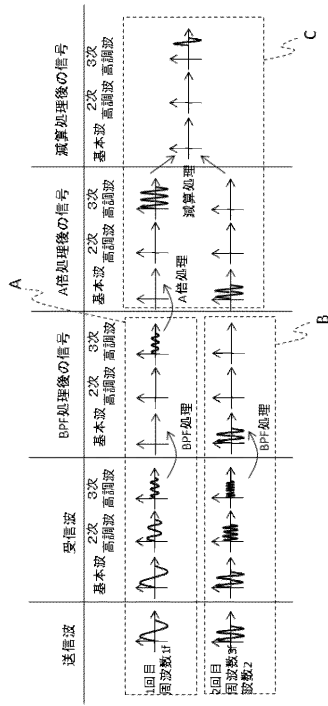
【 図 1 7 】



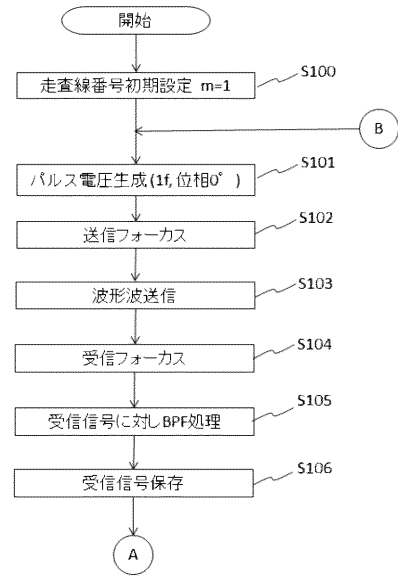
【 図 1 8 】



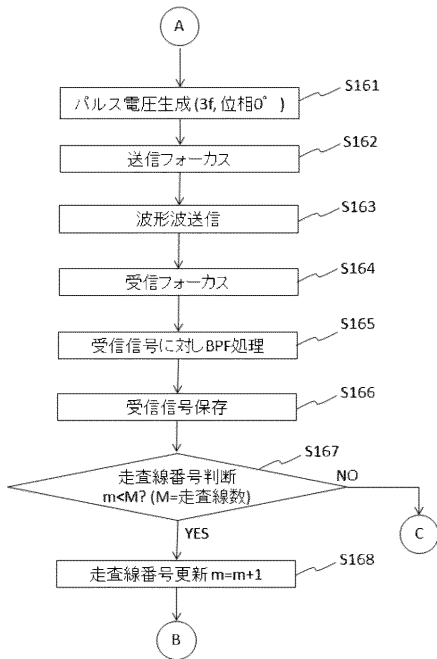
【図 19】



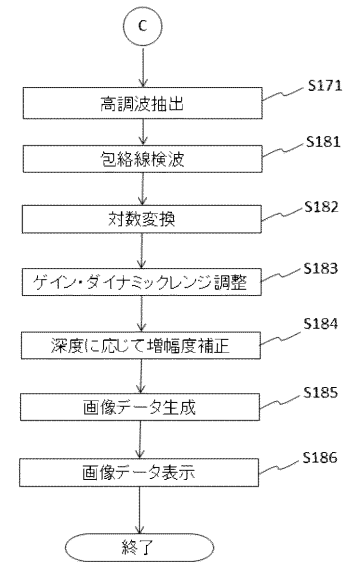
【図 20】



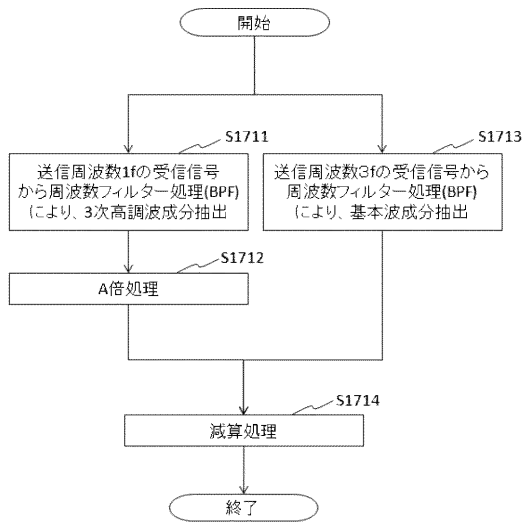
【図 21】



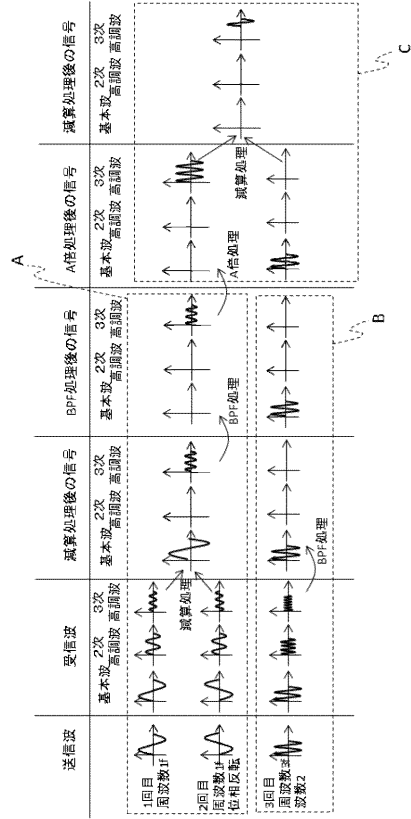
【図 22】



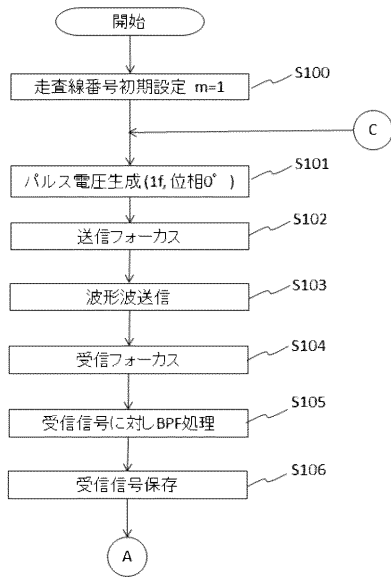
【 図 2 3 】



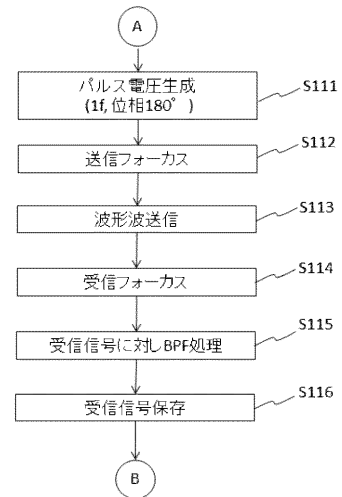
【 図 2 4 】



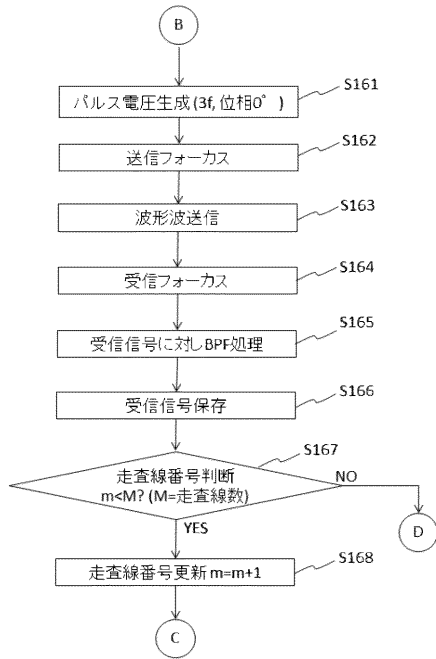
【 図 2 5 】



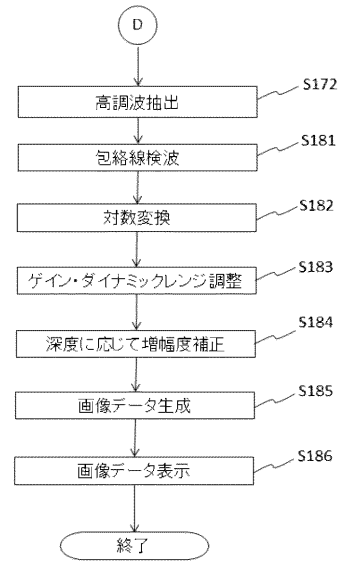
【 図 2 6 】



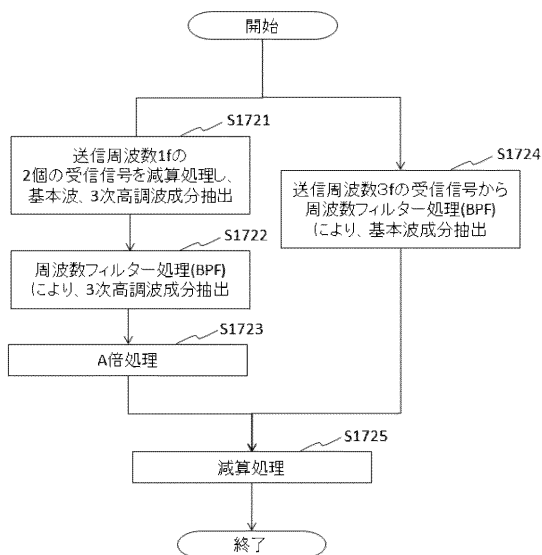
【 図 2 7 】



【 図 2 8 】



【 図 2 9 】



|                |   |         |            |
|----------------|---|---------|------------|
| 专利名称(译)        | <无法获取翻译>  |         |            |
| 公开(公告)号        | <a href="#">JP2015047345A5</a>  | 公开(公告)日 | 2016-10-20 |
| 申请号            | JP2013181105  | 申请日     | 2013-09-02 |
| [标]申请(专利权)人(译) | 精工爱普生株式会社   |         |            |
| 申请(专利权)人(译)    | 精工爱普生公司   |         |            |
| [标]发明人         | 新垣匠   |         |            |
| 发明人            | 新垣 匠  |         |            |
| IPC分类号         | A61B8/00  |         |            |
| FI分类号          | A61B8/00  |         |            |
| F-TERM分类号      | 4C601/DE08 4C601/DE13 4C601/DE14 4C601/EE01 4C601/HH08 4C601/HH12 4C601/HH16 4C601/JB31 4C601/JB37 4C601/JB45 |         |            |
| 代理人(译)         | 渡边和明  |         |            |
| 其他公开文献         | JP2015047345A<br>JP6237007B2  |         |            |

摘要(译)

解决的问题：提高执行谐波成像时生成的图像的距离分辨率。 解决方案：获取预定频率的超声波的回波接收波，该预定频率的超声波被传输到对象，该超声波的回波的接收频率和高于预定频率的频率的超声波被采集，并获取预定频率的超声波。 基于关于声波的超声波回波的接收波和关于频率高于所获取的预定频率的超声波的超声波回波的接收波，超声波回波的接收波中包括预定频率 提取一波N次谐波分量（N为3或更高的自然数）。 然后，基于提取的一个谐波分量波生成图像。 [选择图]图7