

(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2016-158922

(P2016-158922A)

(43) 公開日 平成28年9月5日(2016.9.5)

(51) Int.Cl.

A61B 8/08 (2006.01)

F I

A 6 1 B 8/08

テーマコード (参考)

4C601

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 42 頁)

(21) 出願番号 特願2015-41242 (P2015-41242)

(22) 出願日 平成27年3月3日(2015.3.3)

(71) 出願人 000001270

コニカミノルタ株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目7番2号

(74) 代理人 110001900

特許業務法人 ナカジマ知的財産総合事務所

(72) 發明者 進 泰彰

東京都千代田区丸の内二丁目7番2号 コ
ニカミノルタ株式会社内

F ターム (参考) 4C601 BB06 DD19 DD20 DD23 EE01

EE09 HH31 JC16 JC19 JC37

KK31 KK45

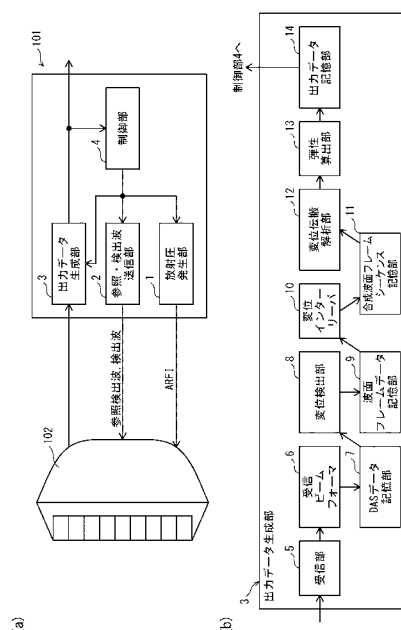
(54) 【発明の名称】 超音波処理装置

(57)【要約】 (修正有)

【課題】SWS (Shear Wave Speed) 取得の手法における超音波イメージングの分解能を向上させ、弾性率を算出する際の誤差を小さくすることができる超音波処理装置を提供する。

【解決手段】得られた複数の波面フレームシーケンスを対象としたインターリーブ処理を実行して合成波面フレームシーケンスを得るインターリーブ１０、合成波面フレームシーケンスに現れるせん断波の波面位置の変化量と、フレーム時間間隔とを用いることで、前記被検体内部におけるせん断波の速度、又は、弾性率を算出する算出部１３とを備える。前記インターリーブ１０によるインターリーブ処理は、フレーム間インターリーブ、及び／又は、素子配列方向インターリーブである。

【選択図】図5



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

音響素子を複数配してなる音響素子配列に集束超音波を送信させ、当該集束超音波の放射圧により生じたせん断波の速度を算出する超音波処理装置であって、

音響素子に集束超音波を送信させることで、被検体内部に放射圧を発生させる放射圧発生部と、

集束超音波の送信が複数回なされた際、それぞれの前記集束超音波の放射圧によって生じるせん断波の伝搬を検出して、時間軸上の複数時点におけるせん断波の波面位置を表した複数の波面フレームデータを生成することで、複数回の集束超音波送信のそれぞれに対応する波面フレームシーケンスを得る生成部と、

得られた複数の波面フレームシーケンスを対象としたインターリーブ処理を実行して合成波面フレームシーケンスを得るインターリーバと、

合成波面フレームシーケンスに現れるせん断波の波面位置の変化量と、フレーム時間間隔とを用いることで、前記被検体内部におけるせん断波の速度、又は、弾性率を算出する算出部とを備え、

前記インターリーバによるインターリーブ処理は、

何れかの波面フレームシーケンスに帰属する複数の波面フレームデータのうち、時間軸方向に連続する2以上のものの間に、他の波面フレームシーケンスにおける波面フレームを挿入するというフレーム間インターリーブ、及び/又は、何れかの波面フレームシーケンスにおける波面フレームデータを構成する複数のデータ要素のうち、素子配列方向に並ぶ2以上のものの間に、他の波面フレームシーケンスにおける波面フレームデータを構成するデータ要素を挿入して合成波面フレームデータを得るという素子配列方向インターリーブである

ことを特徴とする超音波処理装置。

【請求項 2】

前記超音波処理装置は、集束超音波が送信される前に、参照超音波の送信を行うと共に、集束超音波が送信された後に、検出波の送信を複数回行う送信部を備え、

前記生成部によるせん断波の伝搬の検出は、

参照超音波に対応する反射超音波から得られる反射超音波信号と、検出超音波に対応する反射超音波から得られる反射超音波信号とを比較することで被検体組織の位置変化を抽出することでなされる

ことを特徴とする請求項 1 記載の超音波処理装置。

【請求項 3】

前記生成部は、

音線位置を各音響素子の所定の位置に設定した上で、複数の音響素子のそれぞれから入力される信号波形を整相し、整相後の信号波形を合成して、波面フレームの音響線波形をフォーミングするビームフォーミングを含み、

前記フレーム間インターリーブを実行する場合、第 1 の集束超音波を送信してから最初の検出超音波を送信するまでの時間と第 2 の集束超音波を送信してから最初の検出超音波を送信するまでの時間とが異なり、

前記素子配列方向インターリーブを実行する場合、音響線波形をフォーミングするために定められる音線位置は、第 1 の集束超音波の送信後のビームフォーミング時と、第 2 の集束超音波送信の送信後のビームフォーミング時とで異なる

ことを特徴とする請求項 2 記載の超音波処理装置。

【請求項 4】

インターリーバにより合成波面フレームシーケンスが得られた場合、当該合成波面フレームシーケンスに対するコンパウンド処理を実行するコンパウンド部を備え、

前記コンパウンド部によるコンパウンド処理は、

前記フレーム間インターリーブで得られた合成波面フレームシーケンスにおいて、時間軸方向に存在する複数の波面フレームデータを対象としたコンパウンド演算を行い、当

10

20

30

40

50

該複数の波面フレームデータをコンパウンド演算で得られたコンパウンド化波面フレームデータに置き換えるという処理、

及び / 又は、

前記素子配列方向インターリーブで得られた合成波面フレームデータにおいて、素子列方向に存在するデータ要素に対してコンパウンド演算を行い、前記合成波面フレームシーケンスにおける個々の波面フレームデータの素子配列方向のデータ要素を、コンパウンド演算で得られたコンパウンド化データ要素に置き換えるという処理を含む

ことを特徴とする請求項 1 ~ 3 の何れかに記載の超音波処理装置

【請求項 5】

前記合成波面フレームシーケンスのフレーム時間間隔は、所定のパルス繰返時間に従った値であり、

前記インターリーバは、被検体の弾性率がとりうる数値範囲のうち、操作者の操作によって定められたものに従い、パルス繰返時間を定めて、合成波面フレームシーケンスにおける波面フレームデータのフレーム時間間隔が、定められたパルス繰返時間になるようにインターリーブ処理を行う

ことを特徴とする請求項 2 ~ 4 の何れかに記載の超音波処理装置。

【請求項 6】

前記超音波処理装置は、集束超音波の送信から、波面フレームデータシーケンスの作成、波面フレームデータシーケンスに対するインターリーブ、弾性率算出までの一連の観測手順を実行するよう、放射圧発生部、生成部、インターリーバ、算出部を制御する制御部と、

観測手順の一回の実行により、弾性率が算出された場合、算出された弾性率に従い弾性率画像を生成して、表示部に表示させることで、ユーザ操作による領域指定に供する表示制御部とを備え、

弾性率画像に対する領域指定がなされた場合、前記インターリーバは、N回目の観測手順で得られた波面フレームデータシーケンスにおける波面フレームデータのうち、ユーザ操作で指定された領域を構成する2以上のデータ要素の間に、N+1回目の観測手順で得られた波面フレームデータシーケンスに帰属する波面フレームデータにおけるデータ要素を挿入することで素子配列方向インターリーブを実行する

ことを特徴とする請求項 1 に記載の超音波処理装置。

【請求項 7】

前記超音波処理装置は、集束超音波の送信から、波面フレームデータシーケンスの作成、波面フレームデータシーケンスに対するインターリーブ、弾性率算出までの一連の観測手順を実行するよう、放射圧発生部、生成部、インターリーバ、算出部を制御する制御部と、

観測手順が一回実行され、被検体の複数位置について弾性率が算出された場合、当該複数の位置の中に、弾性率の算出が不能となったものが何個存在するかの計数を行う計数部とを備え、

弾性率の測定が不能になった測定不能位置の個数が所定の閾値を上回る場合、前記インターリーバは、N回目の観測手順で得られた波面フレームデータシーケンスにおける波面フレームデータのうち、測定不能位置が所定の閾値以上存在するとされた部分領域を構成する2以上のデータ要素の間に、N+1回目の観測手順で得られた波面フレームデータシーケンスに帰属する波面フレームデータにおけるデータ要素を挿入することで素子配列方向インターリーブを実行する

ことを特徴とする請求項 1 に記載の超音波処理装置。

【請求項 8】

前記超音波処理装置は、

集束超音波の送信から、波面フレームデータシーケンスの作成、波面フレームデータシーケンスに対するインターリーブ、弾性率算出までの一連の観測手順を繰り返し実行するよう、放射圧発生部、生成部、インターリーバ、算出部を制御する制御部と、

観測手順が一回実行され、被検体の複数位置について弾性率が算出された場合、当該複数の位置の中に、弾性率の算出が不能となったものが何個存在するかの計数を行う計数部とを備え、

前記制御部による観測手順の実行は、弾性率の測定が不能になった測定不能位置の個数が所定の閾値を下回るまで繰り返される

ことを特徴とする請求項 1 ～ 5 の何れかに記載の超音波処理装置。

【請求項 9】

音響素子を複数配してなる音響素子配列に集束超音波を送信させ、当該集束超音波の放射圧により生じたせん断波の速度から、被検体内の複数の位置について弾性率を算出する超音波処理装置であって、

10

音響素子の配列に集束超音波を送信させることで、被検体内部に放射圧を発生させる放射圧発生部と、

集束超音波の送信がなされた際、当該集束超音波の放射圧によって生じるせん断波の伝搬を複数時点で検出して、複数時点の検出内容を異なるデータ化条件でデータ化することにより、第 1 波面フレームデータシーケンス、第 2 波面フレームデータシーケンスを得る生成部と、

第 1 波面フレームデータシーケンス及び第 2 波面フレームデータシーケンスを対象としたインターリーブ処理を実行して合成波面フレームシーケンスを得るインターリーブと、

合成波面フレームシーケンスに現れるせん断波伝搬位置の変化量を用いた演算を行うことで、前記被検体内部におけるせん断波の速度、及び、弾性率を算出する算出部とを備え、

20

前記データ化条件とは、

複数音響素子のそれぞれから入力されてくる信号波形を整相し、整相後の信号波形を合成して、データ要素に対応する音響線波形をフォーミングする際の、それぞれの音響素子に対する音線位置の設定であり、

前記第 1 波面フレームシーケンスは、音線位置を各音響素子の所定の位置に設定して、音響線波形をフォーミングすることで生成された複数の波面フレームデータからなり、

前記第 2 波面フレームシーケンスは、音線位置を各音響素子の異なる位置に設定して、音響線波形をフォーミングすることで生成された複数の波面フレームデータからなり、

前記インターリーブによるインターリーブ処理は、

30

第 1 波面フレームシーケンスの波面フレームデータを構成する複数のデータ要素のうち、素子配列方向に並ぶ 2 以上のものの間に、第 2 フレームシーケンスの波面フレームデータを構成するデータ要素を挿入するという素子配列方向インターリーブである

ことを特徴とする超音波処理装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波処理装置に関し、超音波を用いた弾性評価の改良に関する。

【背景技術】

【0002】

40

弾性評価とは、被検体に超音波を送信することで、被検体の内部組織において、硬い部分 / 柔らかい部分がどのように分布しているかという空間分布を取得し、評価する技術である。癌検診においては、癌組織の早期発見の重要性が叫ばれて久しい。しかし、生体内で広い空間を占める健常組織の中から、微小な癌組織を探し出すことは困難を極める。そのため従来から、超音波処理装置を用いた様々な弾性評価技術が確立されている。以下、超音波処理装置によるせん断波速度 (Shear Wave Speed) 取得について説明する。このせん断波速度に基づき、弾性率評価が可能となる。

【0003】

SWS 取得の手法は、「せん断波励起」の工程、「せん断波計測」の工程、「組織の変位検出」の工程、「せん断波伝搬解析」の工程から構成される。

50

「せん断波励起」では、被検体内に被検体内の関心領域 (ROI ; Region of Interest) を定めると共に、超音波プローブを構成する複数の音響素子のそれぞれから、被検体内の一ヶ所に向けて、超音波を一斉に送信する。かかる一斉送信で送信される超音波は、“集束超音波、又は、ARFI (Acoustic Radiation Force Impulse)” と呼ばれる。この集束超音波により、生体内の一ヶ所にエネルギーが集中し、大きな放射圧が発生する。この放射圧によるせん断力を受けて、周辺の組織は大きく変形し、超音波プローブの素子配列方向に向かう横波が発生する。この横波が“せん断波”である。

【 0 0 0 4 】

「組織の変位検出」では、超音波プローブを構成する複数の音響素子により検出用の超音波を送信させる。検出用超音波としては、例えば平面波を用いる。組織変位の検出に平面波を用いれば、関心領域内の広い範囲の空間の状態が一度にまとめて取得される。所定のサンプリングレートで、かかる内部組織の状態取得を複数回行う。そうして取得した組織状態間の変位からせん断波の波面位置を抽出する。そうすると、せん断波の波面が大きく進行した領域、せん断波の進行が僅かとなる領域の双方を得ることができる。

10

【 0 0 0 5 】

波面位置の変化の大小は、せん断波の速度の高低を意味し、当該せん断波速度の二乗値の高低は平面波が反射した内部組織の硬さ / 柔らかさを表す。せん断波の進行量が小さい領域は健常部位であり、かかる領域には健常組織、例えば脂肪組織などが存在すると判断される。対照的にせん断波の進行量が大きい領域には癌組織の存在が疑われる。以上の過程で得られたせん断波速度を、組織弾性の硬さ / 柔らかさに置き換えて画像に変換すれば、組織弾性の硬さ / 柔らかさの空間分布を視覚的に表現することができる。

20

【 0 0 0 6 】

組織弾性を得る手法として例えば特許文献 1 が挙げられる。特許文献 1 は、超音波フレームのインターリーブを実行するフレーム間隔適応装置を開示する。特許文献 1 においては、1つのフレームからの一群のビーム 30 と、別のフレームからの一群のビーム 32 とがインターリーブされて、両方のフレームからのビームがフレーム間隔 24 中に走査される (図 5、0021)。平均歪みの履歴を使用して、ビーム・エコー取得と、周期的な歪み変化とが同期するように、超音波走査フレーム間隔を選択することで歪み情報の取得を容易にしている。

30

【 0 0 0 7 】

また、別の一例として特許文献 2 は、歪み量を入力して、この歪み量に応じたフレーム間隔数を算出する超音波診断装置を開示している。この超音波診断装置は、変位計測部 109 及び圧力計測部 110 からそれぞれ出力される移動量 (変位) 及び圧力に基づいて断層像上の各点の歪み及び弾性率を演算して、歪み量に応じたフレーム間隔数を算出している。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 8 】

【 特許文献 1 】 特許 5087378 号公報

【 特許文献 2 】 特許 5555286 号公報

【 発明の概要 】

40

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 9 】

しかしながら従来の超音波による SWS 取得の手法における分解能は充分高いとはいえない。SWS 取得の際の分解能が低いと、SWS 算出の精度が低下してしまう。

分解能が制限される原因として、例えば、サンプリングレートを高くすることの困難性が挙げられる。せん断波の速度は、硬い組織を通過する期間だけ速くなり、当該組織の通過後、元の速度に戻る。その通過時間は僅かであるから、その通過の直前に検出用の超音波を送信して、せん断波により振動する組織に当該超音波を衝突させ、その反射波を受信し、被検体内の組織状態を取得する。SWS 算出のためのサンプリングレートは、この超音波送信から、反射波受信までの往復時間に従い定められる。ここで硬化組織が音響素子が

50

ら遠い位置に存在する場合、検出用超音波を送信して反射波を受信するまでの往復時間が長くなり、サンプリングレートを高くすることが困難になる。結果として時間分解能は低い水準に留まる。

【0010】

また、分解能が制限される別の原因の一例として、空間分解能を高くすることの困難性が挙げられる。素子間隔を狭めるには物理的な限界がある。しかし、硬化組織が音響素子から遠い位置にある場合、硬化組織が音響素子近辺に存在する場合と比較して、一つの音響素子には広い空間的範囲からの反射波が到達するため、ノイズが発生しやすくなり、SWS算出の精度が低下してしまう。

【0011】

弾性評価の先行技術である特許文献1の開示(ビームエコーの取得と、歪み変化とを同期させるための超音波走査フレーム間隔の選択)や、特許文献2の開示(歪み量や弾性率に応じたフレーム間隔数の適正化)には、時間分解能又は空間分解能などの分解能の低さを補うような術はなく、更なる改良が望まれている。

本発明の目的は、SWS取得の手法における分解能を向上させ、せん断波の速度を算出する際の誤差を小さくすることができる超音波処理装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0012】

上記課題は、音響素子を複数配してなる音響素子配列に集束超音波を送信させ、当該集束超音波の放射圧により生じたせん断波の速度を算出する超音波処理装置であって、

音響素子に集束超音波を送信させることで、被検体内部に放射圧を発生させる放射圧発生部と、

集束超音波の送信が複数回なされた際、それぞれの前記集束超音波の放射圧によって生じるせん断波の伝搬を検出して、時間軸上の複数時点におけるせん断波の波面位置を表した複数の波面フレームデータを生成することで、複数回の集束超音波送信のそれぞれに対応する波面フレームシーケンスを得る生成部と、

得られた複数の波面フレームシーケンスを対象としたインターリーブ処理を実行して合成波面フレームシーケンスを得るインターリーブ部と、

合成波面フレームシーケンスに現れるせん断波の波面位置の変化量と、フレーム時間間隔とを用いることで、前記被検体内部におけるせん断波の速度、又は、弾性率を算出する算出部とを備え、

前記インターリーブによるインターリーブ処理は、

何れかの波面フレームシーケンスに帰属する複数の波面フレームデータのうち、時間軸方向に連続する2以上のものの間に、他の波面フレームシーケンスにおける波面フレームを挿入するというフレーム間インターリーブ、及び/又は、何れかの波面フレームシーケンスにおける波面フレームデータを構成する複数のデータ要素のうち、素子配列方向に並ぶ2以上のものの間に、他の波面フレームシーケンスにおける波面フレームデータを構成するデータ要素を挿入して合成波面フレームデータを得るという素子配列方向インターリーブである

ことを特徴とした超音波処理装置により解決される。

【発明の効果】

【0013】

上記課題解決手段を具備した超音波処理装置によるインターリーブ処理は、何れかの波面フレームシーケンスに帰属する複数の波面フレームデータのうち、時間軸方向に連続する2以上のものの間に、他の波面フレームシーケンスにおける波面フレームを挿入するというフレーム間インターリーブ、及び/又は、何れかの波面フレームシーケンスにおける波面フレームデータを構成する複数のデータ要素のうち、素子配列方向に並ぶ2以上のものの間に、他の波面フレームシーケンスにおける波面フレームデータを構成するデータ要素を挿入して合成波面フレームデータを得るという素子配列方向インターリーブを含むので、みかけ上の分解能を向上させることができ、SWS算出の精度を向上させることができ

10

20

30

40

50

る。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】超音波処理装置を含む超音波診断システムの外觀構成を示す図である。

【図2】2以上のせん断波追跡工程と、総合工程とを示す。

【図3】図3(a)は、伝搬解析で得られるせん断波伝搬解析結果である立体形状を示す。図3(b)、(c)は、立体形状の別の一例を示す。

【図4】図4(a)は、検査対象となる被検体を示す。図4(b)は、複数の波面フレームデータからなるSWSシーケンスを示す。

【図5】図5(a)は、超音波処理装置101の内部構成を示す。図5(b)は、出力データ生成部3の内部構成を示す。 10

【図6】図6(a)は、非インターリーブ、図6(b)は時間方向インターリーブ、図6(c)は素子配列方向インターリーブ、図6(d)は時間方向・素子配列方向インターリーブを示す。

【図7】せん断波励起から弾性率算出までの過程を示すタイミングチャートである。

【図8】せん断波の動きがどのように伝えられるかを示す。

【図9】横軸を弾性率とし、縦軸をPRTとした弾性率変化を示す弾性率特性曲線を示す図である。

【図10】素子配列方向インターリーブを行う場合のタイミングチャートである。

【図11】図11(a)は、ROI内の一つのフォーカス点について、音線信号を求める過程を示す。図11(b)は、N回目のせん断波追跡工程の整相加算時において設定される音線位置を示す。図11(c)は、N+1回目のせん断波追跡工程の整相加算時において設定される音線位置を示す。 20

【図12】倍密度化がなされた波面フレームデータの拡大図である。

【図13】図13(a)は、インターリーブを複数回繰り返す場合の時間オフセットの設定を示す。図13(b)は、素子配列方向のインターリーブの繰り返しで設定されるべき素子方向オフセットを示す。

【図14】図14(a)は、弾性率 $E(i, j)$ の対象になっている位置を示す。図14(b)は、歪みをもったフレーム時間間隔を含む変位伝搬データを示す図である。図14(c)は、この時間方向のずれ量 l を導くための導出過程を示す。図14(d)は、 C_{fg} を算出する算出過程を示す。 30

【図15】超音波処理装置101による制御の全体手順を示すフローチャートである。

【図16】せん断波追跡工程の詳細手順を示すフローチャートである。

【図17】インターリーブ処理の詳細を示すフローチャートである。

【図18】出力データ作成手順を示すフローチャートである。

【図19】第2実施形態に係る出力データ生成部3の内部構成を示す図である。

【図20】図20(a)は、非偏向コンパウンド法で送信される検出波を示し、図20(b)は、偏向コンパウンド法で送信される偏向検出波を示す。図20(c)は第2実施形態に係る超音波処理装置101の処理内容のタイミングチャートを示す。

【図21】第2実施形態に係る超音波処理装置101の処理内容のタイミングチャートを示す。 40

【図22】コンパウンド処理を組み入れたSW追跡工程の処理手順を示すフローチャートである。

【図23】第2実施形態に係るインターリーブ処理の処理手順を示すフローチャートである。

【図24】第3実施形態に係る出力データ生成部3の内部構成を示す図である。

【図25】被検体と、この被検体を対象として得られた3つの弾性率画像を示す。

【図26】弾性率画像における、一部の部位を対象として生成されたヒストグラムを示す。

【図27】弾性率画像における、一部の部位を対象として生成されたヒストグラムを示す 50

。

【図 28】第 4 実施形態に係る全体手順を示すフローチャートである。

【図 29】図 29 (a) は、表示部 103 に表示された弾性率画像に対する領域指定操作を受け付ける際の使用状況を示す。図 29 (b) は、領域指定操作で指定された弾性率画像の部分領域を示す。

【図 30】第 5 実施形態に係る全体手順を示すフローチャートである。

【図 31】第 5 実施形態における素子配列方向インターリーブの過程を示すタイミングチャートである。

【図 32】検出波の送信後に、参照 DAS データ生成のための整相加算、検出 DAS データ生成のための整相加算を行うとの改変がなされたフローチャートである。

10

【発明を実施するための形態】

【0015】

(第 1 実施形態)

以下、図面を参照しながら、本発明に係る超音波処理装置の実施形態について説明する。以下の説明に係る実施の形態は、本発明の構成上の特徴および当該特徴的構成から得られる作用効果を分かりやすく説明するための 1 つの例示としての役割が与えられている。よって、本発明は、その本質的な特徴部分を除き、以下の形態に何ら限定を受けるものではない。

【0016】

本実施の形態に係る超音波処理装置が使用される使用環境について説明する。超音波処理装置は、医療現場における診断システムで用いられる。図 1 は、超音波処理装置を含む超音波診断システムの外観構成を示す図である。本図に示すように、超音波診断システム 100 は、超音波処理装置 101、超音波プローブ 102、表示部 103 から構成される、本図に示すように、超音波プローブ 102、表示部 103 は、超音波処理装置 101 から独立した構成要件になっている。

20

【0017】

超音波処理装置 101 は、超音波診断システムにおいて中核的な役割を果たす機器(ハブ機器)であり、超音波プローブ 102 からの出力信号を受け付けて、診断処理を行い、処理結果を表示部 103 に表示させる。

超音波プローブ 102 は、音響素子の配列を用いて送信波を放出する。放出された超音波は、音響インピーダンスが異なる部分で、その音響インピーダンスの差に応じて反射される。

30

【0018】

表示部 103 は、LCD (Liquid crystal display、液晶ディスプレイ) などであり、SWS 画像や弾性率画像、グラフ、数値表等を表示する。SWS 画像は、せん断波の伝播を示す図などである。弾性率画像は、例えば、横軸を素子配列方向、縦軸を深さ方向とした座標系において、カラーリングされた画素を配置することで、被検体の内部組織における弾性率の空間分布を示す。

【0019】

以上の超音波診断システム 100 についての説明である。図 2 は、超音波処理装置 101 による手順の概略を示す。超音波処理装置 101 の概略手順は、背景技術の欄で述べた SWS 取得の過程を踏襲しつつ、更なる改良を加えたものになっている。背景技術の SWS 取得との差異は以下の通りである。

40

第 1 に実行回数が異なる。これは、超音波処理装置 101 による手順では、「せん断波励起」の工程、「せん断波計測」の工程、「変位検出」の工程がせん断波追跡工程(以下、SW 追跡工程と記載する)という手続きに包括され、N+1 回(N は 1 つ以上の整数であり、少なくとも 2 回となる)実行されるというものである。

【0020】

第 2 に新規の工程が追加されている点異なる。これは、超音波処理装置 101 による手順では、「せん断波伝搬解析」の工程、「弾性率算出」の工程は、総合処理の工程に包

50

括され、この「せん断波伝搬解析」の工程の前に「変位インターリーブ」が実行されるというものである。

「せん断波励起」の工程では、被検体の部位に超音波プローブ102を押し当てて、せん断波観測の基準となる参照検出波の送信操作を行い、続いてARFIの送信操作を行う。更に、ARFIの送信後、検出波の送信操作を行う。図中のPushは、せん断波励起工程における集束超音波の送信を示す。ARF1は、集束超音波の送信により発生する音響放射圧を示す。

【0021】

参照検出波、検出波について説明する。参照検出波、検出波としては、1音響線ごとに送信される超音波や平面波を用いることができる。両者を比較すると、平面波のほうが一度にデータ取得できるというメリットがある。よって、以降の説明では、検出波の一例として平面波を用いるがこの平面波を、他の種別の検出波に置き換え得ることはいうまでもない。図2におけるPW1は、せん断波計測工程において、各音響素子から深さ方向に出力される検出波(平面波)を示す。上向きの矢印ec1,ec2,ec3,ec4は、検出波(平面波)の送信により、音響素子に入力してくる反射超音波を示す。

【0022】

「変位検出」の工程では、参照検出波、検出波から波面フレームデータを生成する。「波面フレームデータ」とは、時間軸上の一時点におけるせん断波の波面を表したデータであり、複数のデータ要素から構成される。複数のデータ要素から構成されることで、波面フレームデータは、所定の音線密度をもっている。各データ要素は、ROI内の複数の観測位置について生成される数値データであり、その観測位置における組織状態の変位量を示し、主に変位伝搬データの計算に使用される。説明の便宜のため、波面フレームデータを画像の形式で表現している。図2におけるseq1は、変位検出工程で生成される波面フレームデータのシーケンスを示す。

【0023】

図中のiv1は、2つの波面フレームデータのシーケンスを用いた変位インターリーブを示す。

shp1は、せん断波波面の時間的進行を立体的に示す。imgは、弾性率算出工程で算出された弾性率を変換することで得られた出力データの一例である弾性率画像を示す。以上が、SW追跡工程と、総合工程についての説明である。

【0024】

図3(a)は、せん断波伝搬解析による解析結果を示す。せん断波伝搬解析による解析結果は、X軸を時間方向、Y軸を素子配列方向(図では、「素子方向」との略記を用いる。以降の図も同様)、Z軸を変位量とした三次元座標系において、立体的に表現される。具体的にいうと図3(a)の立体形状は、軟性組織を主成分とする被検体の下側にプローブ102を押し当て、集束超音波を送信するという状況を想定して描かれている。集束超音波による放射圧で、被検体の主成分である軟性組織は上向きに大きく揺さぶられ、その余波は、集束超音波の送信後のしばらくの間継続する。この立体形状の山頂pt1は、集束超音波の放射圧で組織が大きく変動した部分である。山頂から滑らかに流れる山腹pt2は、せん断波が素子配列方向に進行している部分である。

【0025】

図3(b)、(c)は、立体形状の別の一例を示す。図3(a)と異なり、図3(b)、(c)では、集束超音波による放射圧で生じた山頂部分が2つ存在する(pt3,pt4)。しかし、時間の進行につれ、素子配列方向にせん断波波面が進行している点は、図3(a)と同じである。

尚、かかる立体形状を対象とすることは説明の複雑化を招くので、以降の説明では簡略化された変位伝搬データ(複数の深さ位置における断面形状を示すもの)を使用する。図4(a)は、検査対象となる被検体を示す。この図4(a)の被検体は、10~25kPaの弾性率をもつ軟性組織の中心に、50~100kPaの弾性率をもつ硬性組織が存在するというものである。

【0026】

図4(b)の第1段目は、複数の波面フレームからなるSWSシーケンスを示す。“SWSシーケンス”とは、一般的なShear Wave Speed算出の過程で得られる波面フレームデータ(変位データとも呼ばれる)の連続列のことである。当該複数の波面フレームデータは、せん断波の波面が、素子配列方向に、硬性組織を通過する過程を示す。図4(b)の2段目は、ある深さ位置をもつ変位伝搬データを示す。2段目のgap1は、せん断波が、硬性組織を通過したことに伴い、せん断波の速度が局所的に上昇する局所上昇区間を捉えたものである。引き出し線cu1は、局所上昇区間の構成をクローズアップしている。ここで、波面フレームデータのフレーム時間間隔は100μsecであるのに対し、局所上昇区間の時間幅は50~74.5μsecの数値範囲になっている。図4(b)の変位伝搬データは、横軸を時間方向、縦軸を素子配列方向としている。図中の直線は、波面フレームデータの極大点を連ねたものであり、この直線の傾きがせん断波波面の速度を示す。図4(b)の変位伝搬データに表れている3つの区間(pd1, pd2, pd3)について説明する。まず、局所上昇区間の前の区間pd1について説明する。集束超音波の送信により放射圧が発生すると、2つのせん断波が、素子配列方向の両端に向けて進行を開始する。このうち一方のせん断波が、音響素子配列の手前を横切るように進行することになる。被検体の内部が、均一の材質(軟性組織)で満たされていると、その進行速度はほぼ一定速度となる。この進行期間が、図4(b)の局所上昇区間の直前区間である。

10

【0027】

局所上昇区間pd2について説明する。せん断波の進行方向に硬性組織が存在する場合、通常であればこの硬性組織の表面でせん断波は全反射する。しかし、硬性組織の弾性率は、軟性組織の2~10倍程度であり、また大きさが小さいことから、せん断波の一部が、硬性組織の内部を通過すると共に、硬性組織の外表面に沿ってせん断波が進行する。このように、せん断波の一部が硬性組織の内部を進行するため、せん断波の速度が変わる区間が局所上昇区間である。

20

【0028】

局所上昇区間より後の区間pd3について説明する。透過波が硬性組織を抜け出ると、硬性組織の表面に沿って進行していたせん断波の一部と、透過波とが合流して、再び1つの波となり、合流後のせん断波は元の速度に戻る。これが、局所上昇区間の後の区間である。

30

下記の式1は、SWS局所上昇を考慮しない場合のSWSの算出式を示し、式2は、SWSの局所上昇を考慮しない場合の弾性率の算出式を示す。かかる式の分子の素子方向の波面位置の変化量は、2段目の格子の縦幅、式の分母の伝搬時間は、格子の横幅である。図4(b)の格子のような分解能では、式1、式2の伝搬時間、変化量が正しく算出されないから、SWS、弾性率の精度は低いものになる。

【0029】

【数1】

$$\text{せん断波速度} = \frac{\text{素子方向の波面位置の変化量}}{\text{変位伝搬時間}} \quad \dots(\text{式1})$$

40

$$\text{弾性率} = 3 \times (\text{せん断波の速度})^2 \quad \dots(\text{式2})$$

硬性組織の通過時にせん断波速度が局所的に上昇しているため、素子配列方向の空間分解能又は時間分解能が小さいと、特に硬性組織通過時のせん断波の速度の算出精度を高くすることが困難となる。変動部分の時間幅、波面位置の変化量を高い精度で表すことができないため、せん断波速度の誤差が大きくなる。弾性率算出にあたっては、このせん断波速度の二乗値が基礎になるため、かかる誤差が顕著化する。そこで本実施形態では、かかる誤差の減少を図る。

【0030】

(超音波処理装置101の内部構成)

50

図5(a)は、超音波処理装置101の内部構成を示す。以下、図5(a)を参照しながら、超音波処理装置101の概略構成について説明する。図5(a)に示すように、超音波処理装置101は、放射圧発生部1、参照・検出波送信部2、出力データ生成部3、制御部4から構成される。

【0031】

放射圧発生部1は、被検体内の関心領域(ROI)内の特定位置を焦点とした集束超音波を超音波プローブ102に送信させる。集束超音波とは波数が多いパルス状の超音波である。図2に示すようにSW追跡工程を複数回実行する場合、放射圧発生部1は同一の位置を対象として集束超音波を送信する。これはインターリーブを実行するにあたって、同一条件の放射圧を被検体内に発生させるためである。

10

【0032】

参照・検出波送信部2は、放射圧発生部1による集束超音波送信に先立ち、参照検出波の送信を行い、ARFIの送信後に、複数の検出波の送信を行う。複数検出波の送信間隔は、PRT(Pulse Repeat Time)により規定される。PRTは、測定の対象となる組織の堅さ/柔らかさに応じて設定することができる。ARFIの送信から、最初の検出波の送信までの時間間隔については、時間オフセットの設定が可能である。時間オフセットの設定により集束超音波の送信から、最初の検出波の送信までを、PRTの半分の長さだけ遅らせることができる。

【0033】

出力データ生成部3は、SWS取得における受信処理を実行して、受信信号に基づき出力データの生成を行う。かかる受信処理は、参照検出波の反射により発生した反射超音波の受信(1)、複数の検出波の反射により生じた反射超音波の受信(2)がある。超音波プローブ102により送信される超音波として平面波を用いる場合、上記の受信時には、複数の音線位置に対応する反射超音波が、超音波プローブ102の音響素子に入力されることになる。

20

【0034】

制御部4は、SW追跡工程のための必要な制御を放射圧発生部1、参照・検出波送信部2、出力データ生成部3に指示する。これは、放射圧発生部1、参照・検出波送信部2に対して、集束超音波の送信、参照検出波、検出波の送信を命じると共に、出力データ生成部3に対して、せん断波の反射で生じた反射超音波の受信を実行させるというものである。

30

図5(b)は、出力データ生成部3の構成を示す。本図に示すように、出力データ生成部3は、受信部5、受信ビームフォーマ6、DASデータ記憶部7、変位検出部8、波面フレームデータ記憶部9、変位インターリーブ10、合成波面フレームシーケンス記憶部11、変位伝搬解析部12、弾性算出部13、出力データ記憶部14から構成される。

【0035】

受信部5は、反射超音波の受信時に、音響素子から入力されてくる信号を復調し、A/D変換することで高周波信号(RF信号)である素子入力信号を得る。

受信ビームフォーマ6は、参照検出波、検出波の反射波の受信時に、複数の音響素子のそれぞれから入力されてくる素子入力信号(RF信号)に対してマルチフォーカスのビームフォーミングを行う。「マルチフォーカスのビームフォーミング」とは、複数の音響素子のそれぞれの素子領域の中心に、音線位置を設定すると共に、それぞれの音線位置の延長線に観測点を複数設定する。音線位置が p 個存在し、音線位置の延長線上に観測点が q 個存在するとなると、 $p \times q$ 個の観測点が、ROI内に設定されることになる。この場合、受信ビームフォーマ6は、 $p \times q$ 個の観測点のそれぞれを受信フォーカス点として選んで、複数の音響素子からの素子入力信号の整相加算を実行する。一個の観測点を対象とした整相加算では、当該観測点における素子入力信号に対する遅延量を小さくし、周辺の音響素子に向かうにつれ、素子入力信号に対する遅延量を増加させる。遅延量をこのように定めた受信プロファイル曲線に従い、各音響素子から出力される素子入力信号に対して、遅延加算を施す。かかる遅延加算により音響線信号が得られる。参照検出波、検出波の反射超音波の受信時に、ROI内の各観測点のそれぞれについて、上記整相加算を実行することで、参照DAS

40

50

データ、検出DASデータを得る。また本実施形態における受信ビームフォーマ6は、特徴的な処理として、整相加算時における音線位置に、素子配列方向のオフセットを設定する。ここで、整相加算時には、素子領域の中心に、音線位置を設定する。素子配列方向オフセットの設定時には、この音線位置を、素子と、素子との間隔に変更する。このようにして素子配列方向オフセットを設定した上、整相加算を行えば、通常の整相加算時と比較して、位相が異なる参照DASデータ、検出DASデータを得ることができる。参照DASデータ、検出DASデータは、複数のデータ要素から構成されることで、所定の音線密度をもっている。

【0036】

DASデータ記憶部7は、ビームフォーマ6による整相加算で得られたDASデータを記憶する。DASデータには、参照検出波に対応する参照DASデータ、検出波に対応する検出DASデータがある。参照DASデータ、検出DASデータは、時間軸上の一時点における組織状態を示すデータであり、ROI内における複数の観測位置のそれぞれに対応付けられたデータ要素により構成される。各データ要素は、対応する観測位置をフォーカス点として定めて、ビームフォーミングを行うことで形成された音響線波形の振幅・位相を示す。

【0037】

変位検出部8は、複数検出DASデータと、参照DASデータとを対象にして、複数検出DASデータと、参照DASデータとの、データ要素間の差分を算出することで、複数検出DASデータのそれぞれに対応する波面フレームデータを作成する。ここで、データ要素間の差分は、参照DASデータを構成する個々のデータ要素に示される音響線波形の振幅・位相と、検出DASデータを構成するデータ要素であって、位置的に対応するものにより示される音響線波形の振幅・位相との差分を算出し、かかる算出で得られた差分値を波面フレームデータの対応する位置のデータ要素とすることで得られる。かかる処理を、ROI内の全ての測定位置について繰り返す。続いて変位検出部8は、線分補間を実行する。線分補間は、波面フレームデータにおいて離散的に存在するデータ要素を線分で補間して、せん断波における波面の存在を強調することでなされる。

【0038】

波面フレームデータ記憶部9は、変位検出部8により作成された複数の波面フレームデータからなるSWSシーケンスを記憶する。

変位インターリーバ10は、N回目のSW追跡工程で得られたSWSシーケンス(SWSシーケンスNという)に帰属する複数の波面フレームデータ、N+1回目のSW追跡工程で得られたSWSシーケンス(SWSシーケンスN+1という)に帰属する複数の波面フレームデータを対象にして、インターリーブ処理を実行し、インターリーブがなされたSWSシーケンス(合成波面フレームシーケンス)を変位伝搬解析部12による処理に供する

合成波面フレームシーケンス記憶部11は、変位インターリーバ10によるインターリーブで得られた波面フレームデータシーケンス(合成波面フレームシーケンス)を記憶する。

【0039】

変位伝搬解析部12は、複数の波面フレームデータを複数の変位伝搬データに変換する。かかる変換は、以下の過程を経てなされる。始めに、ある深さ位置でのデータ要素のラインを、複数の波面フレームデータのそれぞれから抽出する。複数波面フレームデータのそれぞれから、データ要素が抽出されれば、抽出されたデータ要素を所定の座標系(横軸を時間軸とし、縦軸を素子配列方向としたもの)にプロットする。こうすることで、一個の深さ位置に対応する、変位伝搬データを得る。深さ方向の複数位置について、かかるデータ要素ライン抽出及びプロットを行うことで、被検体の所定の深さ範囲を網羅した、複数の変位伝搬データを得る。

【0040】

弾性算出部13は、変位伝搬解析部12により変位伝搬データが生成されれば、ROI内部の複数の位置におけるSWSや弾性率を算出する。そして、ROI内の複数の位置について得られたSWSや弾性率を数値や画素に変換することでSWS画像、弾性率画像、グラフ、数値表

10

20

30

40

50

等を得て、出力データ記憶部 14 に記憶させる。

出力データ記憶部 14 は、弾性算出部 13 が生成したSWS画像、弾性率画像、グラフ、数値表等を格納し、表示部 103 による表示に供する。尚、出力データ記憶部 14 は省略が可能であり、弾性算出部 13 が生成したSWS画像、弾性率画像、グラフ、数値表等を直接、表示部 103 に引き渡してもよい。

【0041】

以上が、出力データ生成部 3 の構成要素についての説明である。

(インターリーブの詳細)

変位インターリーバ 10 によるインターリーブについて、以下、詳細に説明する。

(波面フレームデータの選び方)

変位インターリーバ 10 のインターリーブの対象となる波面フレームデータの選び方について説明する。変位インターリーバ 10 が、インターリーブを実行するにあたっては、複数のSW追跡工程で得られた波面フレームデータの中から任意のものを選んで、インターリーブの対象とする。その選び方の中で特に有効となるのは、連続する 2 回のSW追跡工程で得られる波面フレームデータ(N回目のSW追跡工程で得られる波面フレームデータ、N+1回目のSW追跡工程で得られる波面フレームデータ)をインターリーブの対象にするという選び方である。N回目のSW追跡工程で得られた波面フレームデータ、N+1回目のSW追跡工程で得られた波面フレームデータをインターリーブの対象にすると分解能がより高くできて望ましいからである。以降、特に断らない限り、N回目のSW追跡工程で得られた波面フレームデータ、N+1回目のSW追跡工程で得られた波面フレームデータをインターリーブの対象にする。

10

20

【0042】

次に、変位インターリーバ 10 によるインターリーブ種別について説明する。本実施形態のインターリーブには、時間方向インターリーブ、素子配列方向インターリーブ、時間方向・素子配列方向インターリーブがある。

時間方向インターリーブは、SWSシーケンスN+1のシーケンスの処理時において、最初の検出波の送信時に時間方向オフセットを設けつつも、素子配列方向オフセットを設けることなく検出波の送受信を実行して、その整相加算後に得られた検出DASデータについて波面フレームデータの生成を行い、そうして生成されたSWSシーケンスN+1の時間軸上の複数の波面フレームデータの間に、SWSシーケンスNの波面フレームデータを差し込んでSWSシーケンスN+1の波面フレームデータとSWSシーケンスNの波面フレームデータとが交互に並ぶようにするというものである。

30

【0043】

素子配列方向インターリーブは、SWSシーケンスN+1のシーケンスの処理時において、時間方向オフセットを設けることなく検出波の送信を行うと共に、複数の音響素子から出力されるRF信号に対して素子配列方向オフセットを設けた上で整相加算を実行して、その整相加算後に得られた検出DASデータについて波面フレームデータの生成を行い、そうして生成されたSWSシーケンスNの波面フレームデータのデータ要素と、SWSシーケンスN+1の波面フレームデータのデータ要素とを、交互に配置するというものである。ここで、一つの波面フレームシーケンスに帰属する一つの波面フレームデータと他の波面フレームシーケンスに帰属する一つの波面フレームデータとを用いて素子配列方向インターリーブを実行することで生成され、音線密度が倍になった一つの波面フレームデータを「合成波面フレームデータ」と呼ぶ。

40

【0044】

時間方向・素子配列方向インターリーブは、SWSシーケンスN+1のシーケンスの処理時において、時間方向オフセットを設けた上で最初の検出波の送信を行うと共に、複数の音響素子から出力される素子入力信号に対して素子配列方向オフセットを設けた上で整相加算を実行して、その整相加算後に得られた検出DASデータについて波面フレームデータの生成を行い、そうして生成されたSWSシーケンスN+1の波面フレームデータと、SWSシーケンスNの波面フレームデータとを時間軸上で、交互に配置すると共に、SWSシーケンスN+1に

50

おける波面フレームデータのデータ要素と、SWSシーケンスNにおける波面フレームデータのデータ要素とを、交互に配置するというものである。

【 0 0 4 5 】

図 6 (a) ~ (d) は、インターリーブを行わない場合と、時間方向インターリーブ、素子配列方向インターリーブ、素子配列・時間方向インターリーブを行う場合とで、せん断波波面の伝搬位置が、どのような分解能でサンプリングされるかを示す。図 6 (a) は、何れのインターリーブを行わない場合において、せん断波波面の伝搬位置をサンプリングするための分解能、図 6 (b) は、時間方向インターリーブを行う場合における、せん断波波面の伝搬位置のサンプリングのための分解能、図 6 (c) は素子配列方向インターリーブを行う場合におけるせん断波波面の伝搬位置のサンプリングのための分解能、図 6 (d) は素子配列・時間方向インターリーブを行う場合における、せん断波波面の伝搬位置のサンプリングのための分解能を示す。この図 6 (a) ~ (d) では、横軸を時間方向、縦軸を素子配列方向としている。時間方向、素子配列方向における一つの格子の大きさが、単位時間、単位量を示す。図 6 (a) ~ 図 6 (d) における破線の太枠は、SWSの局所の上昇区間を囲むものである。この破線の太枠で囲まれる範囲が小さければ小さい程、時間分解能、空間分解能が高いことを意味する。図 6 (a) では局所上昇区間は、横 2 × 縦 2 個の格子で表現されているのに対し、図 6 (b) では、局所上昇区間が横 1 × 縦 1 個の格子で表現されており、精度が高まっていることがわかる。図 6 (c) でも、横 1 × 縦 3 個の格子で表現されており、精度が高まっている。図 6 (d) では、局所上昇区間が横 1 × 縦 1 個の格子で表現されており、また個々の格子の幅も小さくなっていることから、局所上昇区間における速度上昇が、より詳細に表現されていることがわかる。

10

20

【 0 0 4 6 】

図 6 (a) の sm1,2,3,4,5 は、非インターリーブ方式の分解能で、ROI 内の組織状態を取得する際のサンプリング点を示す。これらのうちもっとも局所上昇区間に近いもの(サンプリング点 sm1, sm2) でも、局所上昇区間 pd2 における 2 点を取得されないため、硬性組織通過時のせん断波速度を正確に算出することができない。変動部分における波面位置の変化量や時間間隔が正確に表現されていないため、音響素子間隔をフレーム時間間隔で割ったとしても、せん断波速度が大きく違ってしまう。

【 0 0 4 7 】

図 6 (b) の sm11,12,13,14,15 は、時間方向インターリーブ方式の分解能で取得サンプリング点を示す。これらのうちサンプリング点 sm11, sm12 では、局所上昇区間 pd2 における始点、終点が正しく取得されているため、硬性組織通過時のせん断波速度を正確に算出することはできる。よって図 6 (b) の時間方向インターリーブでは、素子配列方向の間隔は変動部分よりも広いが、横軸の時間方向の格子の幅は、短くなっている。よって、時間方向インターリーブにおいて、波面位置の変化量 / フレーム時間間隔の計算で得られるせん断波の速度の精度は、非インターリーブ時と比較してより高まっている。

30

【 0 0 4 8 】

図 6 (c) の sm21,22,23,24,25 は、素子配列方向インターリーブのサンプリングレートの分解能で取得されたサンプリング点を示す。このうち、サンプリング点 sm21 は局所上昇区間の始点を使用しているものの、sm22 は、局所上昇区間 pd2 における終点を正しくプロットしていない。しかし、素子配列・時間方向インターリーブでは、局所上昇区間を含む期間の素子配列方向の変位量として、3 つの単位量が計数されているため、図 6 (a) の非インターリーブ方式時と比較して、波面の変位量の精度が高まっている。よって、素子配列方向インターリーブにおいても、 $v = \text{素子配列方向の波面位置の変化量} / \text{フレーム時間間隔}$ の計算で得られるせん断波の速度は、素子配列方向の空間分解能が向上するので非インターリーブ時と比較して精度が高まっている。

40

【 0 0 4 9 】

図 6 (d) の sm31,32,33,34,35 は、素子配列・時間方向インターリーブの分解能でプロットされたサンプリング点を示す。かかるサンプリング点では、局所上昇区間 pd2 における始点、終点が正しくプロットされているから、硬性組織通過時のせん断波速度を正確に

50

算出することはできる。図 6 (d) の素子配列・時間方向インターリーブでは、格子の横幅、縦幅が、局所上昇区間の横幅、縦幅よりも小さいものになるから、 $v =$ 素子配列方向の波面位置の変化量 / フレーム時間間隔の計算で得られるせん断波の速度の精度がより高いものとなる。

【 0 0 5 0 】

図 6 (e) は、一回目のインターリーブによりフレーム時間間隔がどのように短くなっているかを示す。大きい格子に示されるフレーム時間間隔は $100 \mu \text{sec}$ である。これに対して、小さい格子に示されるフレーム時間間隔は、 $50 \sim 75 \mu \text{sec}$ である。(f) は、2 回以上のインターリーブで得られるフレーム時間間隔を示す。この 2 回以上のインターリーブにより、フレーム時間間隔は、 $29.8 \mu \text{sec}$ にまで短縮されることがわかる。

10

【 0 0 5 1 】

時間方向インターリーブを実行する場合、時間分解能の低さに起因する技術的課題は解消されることになり、素子配列方向インターリーブを実行する場合、空間分解能の低さに起因する技術的課題は解消されることになり。素子配列・時間方向インターリーブを実行する場合、時間分解能の低さに起因する技術的課題、及び、空間分解能の双方を解決することができる。本願において時間分解能の低さに起因する技術的課題、及び、空間分解能の双方を解決することは必須事項ではない。時間分解能の低さに起因する技術的課題、及び、空間分解能に起因する技術的課題のうちいずれかを解決すればよい。

【 0 0 5 2 】

(時間方向インターリーブの詳細)

20

以下、時間方向インターリーブを行う場合における、超音波処理装置 1 0 1 の構成要素の詳細な動作について説明する。

図 7 は、せん断波励起から弾性率算出までの過程を示すタイミングチャートである。先ず、N 回目の SW 追跡工程について説明する。

【 0 0 5 3 】

第 1 段目は、N 回目の SW 追跡工程において、放射圧発生部 1、参照・検出波検出波送信部 2 により送信される超音波の列を示す。この第 1 段目に示すように、N 回目の SW 追跡工程で送信される超音波群は、集束超音波 (ARF1) と、これに先行する参照検出波検出波 (RP1)、後続する検出波検出波 (DP1, DP2, DP3, DP4, DP5) から構成される。

30

第 2 段目は、第 1 段目の N 回目の SW 追跡工程において、出力データ生成部 3 により生成された DAS データの系列を示す。この DAS データ系列は、参照検出波の反射超音波に対してビームフォーミングを行うことで得られた参照 DAS データ (RI0)、検出波の反射超音波に対してビームフォーミングを行うことで得られた検出 DAS データ (DI1, 2, 3, 4, 5) から構成される。これらの参照 DAS データ、検出 DAS データは、参照検出波、検出波が元になっているから、参照 DAS データ、検出 DAS データの作成タイミングは、時間軸において参照検出波の送信タイミング、検出波の送信タイミングより僅かに遅れたものである。

【 0 0 5 4 】

第 3 段目は、第 2 段目の参照 DAS データを基に、検出 DAS データのせん断波波面を変位検出部 8 が抽出することで得られた、複数の波面フレームデータ DP1, DP2, DP3, DP4, DP5 からなる SWS シーケンス N を示す。これらの波面フレームデータは、検出 DAS データが基になっているから、これら波面フレームデータの作成タイミングは、各波面フレームデータの作成タイミングより少し遅れたものになっている。

40

【 0 0 5 5 】

以上が N 回目の SW 追跡工程についての説明である。続いて、N+1 回目の SWS シーケンスについて説明する。

第 1 段目において N+1 回目の SW 追跡工程で、放射圧発生部 1、参照・検出波送信部 2 により送信される超音波群は、集束超音波と (ARF2)、これに先行する参照検出波 (RP11)、後続する検出波 (DP11, DP12, DP13, DP14, DP15) から構成される。

【 0 0 5 6 】

第 2 段目は、出力データ生成部によって生成された N+1 回目の SW 追跡工程の DAS データ系

50

列を示す。このDASデータ系列は、参照検出波の反射超音波に対してビームフォーミングを行うことで得られた参照DASデータ(RI10)、検出波の反射超音波に対してビームフォーミングを行うことで得られた検出DASデータ(DI11,12,13,14,15)から構成される。これらを基にして、N+1回目のSW追跡工程に対応するSWSシーケンスN+1が得られる。

【0057】

N+1回目のSW追跡工程と、N回目のSW追跡工程との違いは、以下の通りである。

第1に、第1段目に示される集束超音波送信から1回目の検出波送信とのフレーム時間間隔が異なる。これは、N回目のSW追跡工程における1つ目の検出波の送信タイミングが、集束超音波の送信から時間 t_1 の経過であるのに対し、N+1回目のSW追跡工程では時間方向オフセット($=t_2/2$)が設定されていて、1つ目の検出波の送信タイミングは、集束超音波の送信から $t_1' (=t_1+t_2/2)$ の経過時点であるという違いである。しかし、1回目の検出波送信と、2回目の検出波送信との時間間隔(t_2)は変わらない。

【0058】

第2に、波面フレームデータ生成後の処理が異なる。これは、N回目のSW追跡工程では第3段目のSWSシーケンスの処理までになっているのに対し、N+1回目のSW追跡工程では、これ移行のインターリーブ処理や弾性率画像の生成がなされているというものである。N+1回目のSW追跡工程では、波面フレームデータが生成された際、第4段目に示すようにSWSシーケンスNを用いることで、SWSシーケンスN+1を対象とした時間方向インターリーブが、変位インターリーブ10により実行される。この時間方向インターリーブにより、SWSシーケンスのフレーム時間間隔は詰められ、 $t_2/2$ になっている。

【0059】

第5段目は、第4段目の波面フレームデータに基づいて得られた、変位伝搬データを示す。波面フレームデータは、SWSシーケンスにおける複数の波面フレームデータが基になっているから、変位伝搬データの作成タイミングは、最後の波面フレームデータの作成時点から少し遅れたものになっている。第6段目は、出力データの生成を示す。出力データ生成は、変位伝搬データが基になっているので、出力データの生成時期は、変位伝搬データの生成から僅かに遅れている。

【0060】

本実施形態では、参照DASデータと、検出DASデータとの差分に基づいて得られた波面フレームデータをインターリーブの対象としている。これは、インターリーブにより時間分解能を向上させるにあたって、素子配列方向にせん断波が伝搬する過程を明確にしているという趣旨である。つまり参照DASデータは、放射圧が存在しない時点で送信された参照検出波の反射超音波を基に生成されており、検出波面フレームデータは、かかる参照DASデータと、検出DASデータとの差分により生成されているから、N回目のSW追跡工程で得られた波面フレームデータ、N+1回目のSW追跡工程で得られた波面フレームデータには、せん断波が素子配列方向に沿って進行する際の伝搬の過程が明確に示されている。時間方向インターリーブではこれらの波面フレームデータを交互に配置するため、時間分解能が向上し、せん断波の動きがより正確に算出されることになる。

【0061】

以上の時間方向インターリーブにより、せん断波の動きがどのように捉えられるかについて説明する。

図8は、せん断波の動きがどのように伝えられるかを示す。第1段目は、SWSシーケンスNの波面フレームデータに描かれるせん断波波面を示す。本図の複数フレームに描かれているのは、せん断波が硬性組織に到達する前(frame1)、せん断波が硬性組織にあたり、透過波が発生した瞬間(frame2)、透過波が硬性組織を通り抜けた状態(frame3)である。

【0062】

第2段目は、SWSシーケンスN+1の波面フレームデータで捉えられたせん断波の動きを示す。SWSシーケンスN+1の波面フレームデータで描かれているのは、せん断波が硬性組織に到達する前(frame11)、せん断波から分離した透過波が硬性組織を通り抜けている状態(frame12)、透過波が通り抜けた状態(frame13)である。シーケンスN,N+1の波面フレームデ

ータは、せん断波が硬化組織を通過している期間の始点、終点を捉えているのではないから、かかるフレームを元にして速度を算出した場合、高い精度で弾性率を求めることが困難である。

【 0 0 6 3 】

第 3 段目は、合成波面フレームシーケンスにより捉えられたせん断波波面を示す。合成波面フレームシーケンスでは、SWSシーケンスNのフレームが偶数フレーム、シーケンスN+1のフレームが奇数フレームになっているから、SWSシーケンスNのフレームと、SWSシーケンスN+1のフレームとが時間的に交互に表れる。これらの偶数フレーム、奇数フレームの波面フレームデータに表れているせん断波の動き(even0,odd1~odd5,even6)について説明する。組織の硬さがほぼ一定である場合、せん断波の伝搬速度がほぼ一定であるため、せん断波SW1は形状がほぼ変化せずに伝搬する(even0,odd1)。一方、せん断波が硬性組織の表面に到達すると(even2)、一方、せん断波が硬性組織の表面に到達すると、硬性組織の内部にせん断透過波tw1が進行する(odd3)。本図では、硬性組織は円形であり、波面がその内部を進行する距離が異なるため、せん断透過波の波面は進行方向に凸な形状となっている。せん断波及びせん断透過波が再び硬性組織の外にまで進行すれば(even4)、せん断波の伝搬速度は一定となり、元の形状のまま進行する(odd5,even6)。

10

【 0 0 6 4 】

図 8 から以下のことがいえる。第 1 段目のSWSシーケンスN、第 2 段目のSWSシーケンスN+1においては、せん断波速度の変動部分の始点・終点の双方、または、少なくとも一方が、格子の外にあるので、かかる格子の時間分解能、空間分解能で速度を求めた場合、精度の高いせん断波の速度を求めることは困難である。しかし、第 3 段目の合成波面フレームシーケンスにおいては、硬性組織への到達時点、通過時点、硬性組織からの離脱時点のうち、少なくとも2つを時間軸上に定義することができるので、これを手掛かりにして、精度の高いせん断波速度を算出することができる。

20

【 0 0 6 5 】

(PRTの設定)

合成波面フレームシーケンスのフレーム時間間隔となるPRTは、弾性率特性曲線の数値範囲に基づき定められる。図 9 は、横軸を弾性率とし、縦軸をPRTとした弾性率変化を示す弾性率特性曲線を示す図である。かかるグラフでは、弾性率が低い範囲ではPRTが極めて高く、弾性率が大きくなると、PRTが小さくなっていることがわかる。具体的に言うと、ht1のハッチングがなされた10~25kPaの範囲ではPRTは74.5~150 μ sec、ht2のハッチングがなされた50~100kPaの範囲では50~74.5 μ sec、ht3のハッチングがなされた200~300 kPaの範囲では0~29.8 μ secになる。rf1は10~25kPaの弾性率数値範囲に適応したPRTを導くための弾性率特性曲線の参照を示し、rf2は50~75Kpaの弾性率数値範囲に適応したPRTを導くための弾性率特性曲線の参照を示す。rf3は、200~300Kpaの弾性率数値範囲に適応したPRTを導くための弾性率特性曲線の参照を示す。

30

【 0 0 6 6 】

set1は弾性率が10~25kPaである場合のフレーム時間間隔の設定を示す。set2は弾性率が50~100kPaである場合のフレーム時間間隔の設定を示す。目標とする弾性率に対応するフレーム時間間隔を、かかる弾性率特性曲線から選ぶことで、時間方向オフセットを導き出すことができる。以上が時間方向インターリーブについての説明である。続いて、素子配列方向インターリーブの詳細について説明する。

40

【 0 0 6 7 】

数値範囲のうち、50 μ sec以下については、超音波を送受信し得ないレベルであるから、本実施形態では、時間方向インターリーブにより、「みかけ上」のPRTを短くする。「みかけ上」のPRTとは、2回以上のSW追跡工程で得られた波面フレームデータを交互に配置することで、フレーム時間間隔を狭くするという意味である。

制御部 4 は、SW追跡工程を実行するにあたって、図 9 の弾性率特性曲線の数値範囲を表示部 1 0 3 に表示させ、弾性率の何れかの数値範囲の選択を受け付ける。数値範囲が選択されれば、合成波面フレームシーケンスのフレーム時間間隔が、この数値範囲の弾性率に

50

対応するPRTになるよう、変位インターリーブ10に指示する。尚、弾性率の数値範囲の選択は一例であり、SW追跡工程の対象となる被検体の選択をユーザから受け付けて、選択された被検体に応じてPRTを決定してもよい。

【0068】

(素子配列方向インターリーブの詳細)

図10は、素子配列方向インターリーブを行う場合のタイミングチャートである。本図は、図7をベースにしているが、以下の点に差異が存在する。

第1に、検出波の送信時における時間オフセットの設定について差異が存在する。図7では、1つ目の検出波の送信にあたって時間オフセットとして $t2/2$ が指定されていたのに対し、図10では、かかる時間オフセットが存在しない。時間オフセットが存在しないため、時間分解能に変化はない。

10

【0069】

第2に、図10では、第4段目において、SWSシーケンスN+1を対象として、SWSシーケンスNを用いた素子配列方向インターリーブが実行されている。かかる素子配列方向インターリーブにより、SWSシーケンスN+1における個々の波面フレームデータの音線密度を倍にしている。図中のus11,us12は、素子配列方向インターリーブにおけるSWSシーケンスN、N+1の利用を模式的に示す。また、素子配列方向インターリーブでは、整相加算時に素子配列方向オフセットが設定される。以上が素子配列方向インターリーブにおけるタイミングチャートについての説明である。

【0070】

20

次に、素子配列方向オフセットが設定された場合のビームフォーマ6による整相加算処理について説明する。図11(a)は、ROI内の一つのフォーカス点について、音響線信号を求める過程を示す。図中のec10は、受信フォーカス点における反射超音波で各音響素子に入力される反射超音波を示す。音響素子から下方向に向かう波形wv1,2,3,4は、各音響素子から出力されるRF信号を示す。pf1は、音響素子から超音波処理装置101への入力である素子入力信号に対する受信遅延プロファイル曲線である。pf1は、受信遅延プロファイル曲線の頂点位置の音響線信号を生成するために各RF信号のどの位置の信号を積算するかを示す。sg1は、かかる受信遅延プロファイルによる整相加算で生成される音響線信号である。かかる受信遅延プロファイルによる整相加算を、ROI内の複数の位置について行うことで、深さ方向の複数の位置について、音響線信号を得ることができる。

30

【0071】

図11(b)は、N回目のSW追跡工程の整相加算時において設定される音線位置を示す。sp1,2,3,4は、かかる音線位置である。本図では、 $i=P-2, P-1, P, P+1, P+2$ で指定される音響素子の並びを示す。図11(c)は、N+1回目のSW追跡工程の整相加算時に設定される音線位置を示す。sp11,12,13,14は、かかる音線位置であり、N+1回目の整相加算時において、かかる音線位置は、音響素子と、隣りの音響素子との間の中心位置の延長線上に設定される。pf2は、N+1回目のSW追跡工程で設定された音線位置に基づき生成された受信プロファイル曲線を示す。N+1回目の整相加算時では、受信プロファイル曲線のピークは、素子配列において、音響素子の半分の大きさだけずれる。曲線の極大点の位置が素子配列方向においてズレることから、音響線信号の位相にズレが発生する。

40

【0072】

図12は、音線の倍密度化がなされた波面フレームデータの拡大図である。真ん中は、素子配列方向インターリーブで得られた波面フレームデータを構成するデータ要素の配列を示す。このデータ要素配列のうち、薄いハッチングのものは偶数ライン、濃いハッチングのものは奇数ラインである。前図までの過程により、音線位置を、音響素子の中心位置に設定することで得られたDASフレームを基とする波面フレームデータのデータ要素ラインは、インターリーブ波面フレームデータの偶数ラインとなる。

【0073】

音線位置を、音響素子の素子間位置に設定することで得られたDASフレームを基とする波面フレームデータのデータ要素ラインは、インターリーブ波面フレームデータの奇数ラ

50

インとなる。このようにSWSシーケンスNのデータ要素、SWSシーケンスN+1のデータ要素が、偶数ライン、奇数ラインにおいて交互に配置されるので、素子配列方向インターリーブでは空間分解能が高められる。尚、SWSシーケンスNのデータ要素、SWSシーケンスN+1のデータ要素を、偶数ライン、奇数ラインに配置するというのは一例に過ぎず、SWSシーケンスNのデータ要素、SWSシーケンスN+1のデータ要素を、奇数ライン、偶数ラインに配置してもよい。

【 0 0 7 4 】

(インターリーブの繰り返し)

図 1 3 (a) は、インターリーブを複数回繰り返す場合の時間オフセットの設定を示す。t2/2は、1回目のインターリーブ時に設定される時間オフセットであり、かかる時間オフセットは、図 7 に示したものと同一である。t2/4は、2回目のインターリーブ時に設定される時間オフセット、t2/8は、3回目のインターリーブ時に設定される時間オフセット、t2/16は、4回目のインターリーブ時に設定される時間オフセットである。以上のように、u回目のインターリーブでは、(t2/2のu乗)の時間方向オフセットが設定されることがわかる。

10

【 0 0 7 5 】

図 1 3 (b) は、素子配列方向のインターリーブの繰り返しで設定されるべき素子方向オフセットを示す。素子方向オフセットとは、音線位置を素子方向にずらす量を示す。spot1,2,3,4は、素子の中心位置であり、音線位置の初期位置である。kは、素子中心位置から、隣の素子の中心位置までの間隔である。k/2は1回目のインターリーブ時に設定される素子方向オフセットである。k/4は、2回目のインターリーブで設定される素子方向オフセット、k/8は、3回目のインターリーブで設定されるべき素子方向オフセット、k/16は4回目のインターリーブで設定される素子配列方向オフセットである。以上のように、u回目のインターリーブでは、k/(2のu乗)の時間方向オフセットが設定されることがわかる。インターリーブを繰り返すだけ、時間方向オフセット、素子方向オフセットは小さくなるから、時間軸方向、素子配列方向の網目の間隔は狭まってゆく。以上が時間方向インターリーブ、素子配列方向インターリーブについての説明である。これらの時間方向インターリーブ、素子配列方向インターリーブの何れか一方、又は、双方(素子配列・時間方向インターリーブとなる)を実行することで、素子配列方向、深さ方向の分解能を自在に変化させることができる。以上が時間方向インターリーブ、素子配列方向インターリーブについての説明である。

20

30

【 0 0 7 6 】

(局所的に増加したせん断波速度の算出)

続いて、硬性組織を通過したために、局所的に増加したせん断波速度を算出するための詳細手順について説明する。

【 0 0 7 7 】

【数 2】

$$E(i, j) = 3v(i, j)^2 \quad \cdots (式3)$$

$$v(i, j) = \frac{k}{(\tau T)} \quad \cdots (式4)$$

$$\tau = l \cdot \max \{R_{fg}\} \quad \cdots (式5)$$

$$R_{fg}(l) = \frac{C_{fg}}{\sqrt{C_{ff}} \sqrt{C_{gg}}} \quad \cdots (式6)$$

$$C_{fg}(l) = \frac{1}{n-m} \sum_{t=1}^{n-m} \tilde{f}_i(t) \cdot \tilde{g}_{i+1}(t+l) \quad \cdots (式7)$$

(l=1, 2, 3, \dots, m)

10

20

上記の式 3 ~ 7 のうち、式 3 は、弾性率 $E(i, j)$ を算出するための算出式である。 $v(i, j)$ は局所的に高くなった際のせん断波の速度を示す。このせん断波速度 $v(i, j)$ を二乗し、3 を乗じること、弾性率 $E(i, j)$ を導きだすことができる。式 4 は、この変動部分におけるせん断波速度を求めるための算出式である。この式 4 に示すように、せん断波の速度 $v(i, j)$ は、音響素子の素子間隔 k を、歪みをもった時間間隔 τT で割ることにより得られる。この τT の歪み量 τ は、素子位置 i と、素子位置 $i+1$ とで、せん断波の波面が時間方向にどれだけずれるかのずれ量 l から定まる。式 5 は、 $f_i(t)$ と、 $g_{i+1}(t)$ との相関係数から、ずれ量 τ を導くための算出式を示す。 $\max[R_{fg}]$ は、複数の相関係数の中から一番大きいものを導きだす関数である。ずれ量 τ は、かかる $\max[R_{fg}]$ に、ずれ量 l を乗じることによって算出される。式 6 は、相関係数正規化のための算出式を示す。この式は、 $f_i(t)$ と、 $g_{i+1}(t)$ との相関係数 C_{fg} を、 $f_i(t)$ の自己相関値の平方根と、 $g_{i+1}(t)$ の自己相関値の平方根とで割ることにより算出される。式 7 における $f_i(t)$ 、 $g_{i+1}(t+l)$ は、何れかの時点における $f_i(t)$ と、 $g_{i+1}(t+l)$ との相関値を示す。かかる相関値を時間軸上の全ての時点について算出して、 Σ 演算子による積和演算を行うので、 C_{fg} は、ある深さ位置における変位伝搬データ全体を対象とした値となる。

30

40

【0078】

図 14 (a) は、弾性率 $E(i, j)$ の対象になっている位置を示す。図 14 (b) は、歪みをもったフレーム時間間隔を含む変位伝搬データを示す図である。 τT がその歪みをもった変動部分の時間間隔である。 $f_i(t)$ は、素子位置 (i) における時間軸方向の波面位置の変化量を示し、 $g_{i+1}(t)$ は、素子位置 $(i+1)$ における時間軸方向の波面位置の変化量を示す。図 14 (c) の $l=1, l=2, l=3, l=4$ は、素子位置 $i+1$ の時間方向において、ずれ量がとりえる値を示す。 $R_{fg}(1), (2), (3), (4) \dots$ は、これら l が 1, 2, 3, 4, 5 の何れかの値に設定された際の $f_i(t)$ と、 $g_{i+1}(t)$ との正規化された相関係数を示す。この図 14 (c) から理解されるように、 l の値が増えるにつれ、 $f_i(t)$ 、 $g_{i+1}(t)$ を結ぶ直線の傾きが大きくなり、距離が長くなっていることがわかる。 R_{fg} の値は、この l の値の違いによる距離、傾きの変化を示す。(c) では、丁度 $l=2$ のときの傾きが変動部分の傾きと合致することになり、 $l \cdot \max[R_{fg}]$ の計算では、破線枠で囲むこの $l=2$ が導きだされる。

【0079】

図 14 (d) は、 C_{fg} を算出する算出過程を示す。 $cl1, 2, 3, 4, 5$ は、時点 t が、 $t=1, 2, 3, 4, 5$ の値をとる際の $f_i(t)$ と、 $g_{i+1}(t+l)$ との相関性を模式的に示す。

50

本実施形態では、せん断波速度算出の根拠となり、また相関値算出の基礎となる時間間隔が、インターリーブにより短くなるため、局所的なせん断波速度の精度が高くなる。

(フローチャートによる実現)

これまでに述べた、超音波処理装置 101 の構成要素の処理内容は、様々な外部事象や装置の内部パラメータに応じた、ハードウェア資源に対する処理手続きとして一般化することができる。そのような一般化された処理手続きを示すのが、図 15 ~ 図 18 のフローチャートである。

【0080】

図 15 ~ 図 18 のフローチャートからなる処理階層の最上位に位置するのが、図 15 のフローチャートである。図 15 は、超音波処理装置 101 による制御の全体手順を示すフローチャートである。まず図 15 のフローチャートについて説明する。図 15 のフローチャートでは、先ず、弾性率の数値範囲の選択入力をユーザから受け付ける(ステップ S 1)。数値範囲が選択されれば、PRT 特性曲線に従い、選択された数値範囲に応じた目標 PRT を決定し(ステップ S 2)、現実 PRT / 目標 PRT の計算により、インターリーブ必要繰返数を定める(ステップ S 3)。その後、集束超音波の送信回数を示す変数 N、インターリーブ回数を示すカウンタ変数 u を、1 で初期化して(ステップ S 4)、N 回目の SW 追跡工程を実行し(ステップ S 5)、その後、ステップ S 6 ~ ステップ S 9 でインターリーブの初期設定を行う。ここで時間方向オフセット、素子配列方向オフセットは、ゼロ値に設定される。そのためステップ S 5 ~ ステップ S 9 の手順を経ることで有意な値が設定される。

10

【0081】

20

この初期設定は、時間方向インターリーブを行うかどうかを判定し(ステップ S 6)、行う場合、時間方向オフセットを $t2/(2 \times u)$ の値に指定し(ステップ S 7)、また、素子配列方向インターリーブを行うかどうかを判定し(ステップ S 8)、行う場合、素子配列方向オフセットを $k/(2 \times u)$ に設定する(ステップ S 9)というものである。

続いて、N+1 回目の ARFI 送信に依拠した SW 追跡工程を実行し(ステップ S 10)、SWS シーケンス N と、SWS シーケンス N+1 とでインターリーブを行う(ステップ S 11)。ステップ S 12 では、必要な回数だけインターリーブを行ったかどうかを判断する。インターリーブ回数が必要回数に満たない場合(ステップ S 12 で No)、シーケンス N+1 のフレーム群を、シーケンス N のフレーム群とし(ステップ S 13)、変数 u をインクリメントして(ステップ S 14)、ステップ S 6 に戻る。インターリーブが必要回数行われれば(ステップ S 12 で Yes)、ステップ S 15 においてある深さ位置の波面フレームデータを用いて、変位伝搬データを生成する。ステップ S 16 では、波面フレームデータの深さ位置の数と、変位伝搬データの個数とが一致するかを判定する。一致すれば、ステップ S 17 に進み、変位伝搬データを用いて弾性率画像を作成する。

30

【0082】

上記ステップ S 5、ステップ S 10 のせん断波(SW)追跡工程はサブルーチン化されており、より詳細な処理手順に展開できる。図 16 は、SW 追跡工程の詳細手順を示すフローチャートである。この図 16 のフローチャートは、N 回目の SW 追跡工程の実行(ステップ S 5)、N+1 回目の SW 追跡工程の実行(ステップ S 10)の双方からコールされる。

先ず、参照検出波の送信を行って反射超音波を受信し(ステップ S 30)、整相加算を行って参照 DAS データを生成する(ステップ S 31)。ステップ S 32 は、ROI 内の全てのフォーカス点について、処理がなされたかの判定であり、未処理のフォーカス点が残っていればステップ S 31 に戻る。未処理のフォーカス点が存在しなければ、ステップ S 33 において、必要な送受信回数に達したかどうかを判定する。必要な送受信回数に到達していなければステップ S 30 に戻る。必要な送受信回数に到達すれば、ステップ S 34 において、ARFI の送信を行う。

40

【0083】

ステップ S 35 では、時間方向オフセットが有効かどうかの判定を行う。時間方向オフセットが有効であれば、ステップ S 36 において、検出波の送信タイミングを時間方向オフセットの時間間隔だけずらすよう設定する(ステップ S 36)。時間方向オフセットが

50

有効でなければ、ステップ S 3 6 をスキップしてステップ S 3 7 に進む。ステップ S 3 7 では、超音波信号を取得する。

【 0 0 8 4 】

ステップ S 3 8 は、素子配列方向オフセットが有効かどうかの判定である。有効であれば、ステップ S 3 9 において、ビームフォーマにおける音線位置設定を、素子配列方向オフセットに示される量だけずらす。素子配列方向オフセットが有効でなければ、ステップ S 3 9 をスキップする。その後、素子配列方向オフセットが設定された音線位置、又は、素子配列方向オフセットが設定されなかった音線位置に従い、整相加算を行い、一つのフォーカス点について検出 DAS データを得る(ステップ S 4 0)。

【 0 0 8 5 】

以下、ステップ S 3 6、ステップ S 3 9 について更に詳しく解説する。「時間方向オフセット、素子配列方向オフセットが有効である」とは、ゼロではない値が、時間方向オフセット、素子配列方向オフセットとして設定されていることを意味する。具体的にいうと、図 1 5 のフローチャートにおいて、時間方向オフセット、素子配列方向オフセットはゼロ値に設定されており、ステップ S 5 ~ ステップ S 9 の手順を経て有意な値が設定される。

【 0 0 8 6 】

N 回目の SW 追跡工程の実行(ステップ S 5)のための図 1 6 のコールは、時間方向オフセット、素子配列方向オフセットの初期化(ステップ S 6 ~ ステップ S 9)の前になされるから、図 1 6 のフローチャートのステップ S 3 5、ステップ S 3 8 は何れも No になり、検出波の送信タイミングや参照検出波の送信タイミングをずらすことなく、検出波による超音波信号の取得や検出 DAS データの生成を実行する(ステップ S 3 7、ステップ S 4 0)。

【 0 0 8 7 】

対照的に、N+1 回目の SW 追跡工程の実行(ステップ S 1 0)のための図 1 6 のコールは、時間方向オフセット、素子配列方向オフセットの初期化(ステップ S 6 ~ ステップ S 9)の後になされるから、時間方向オフセット、素子配列方向オフセットのどちらかが有効となり、図 1 6 のフローチャートのステップ S 3 5、ステップ S 3 8 のうち、どちらかが Yes になる。よってステップ S 3 7、ステップ S 4 0 では、検出波の送信タイミングや参照検出波の送信タイミングのどちらかをずらした上で、検出波による超音波信号の取得や検出 DAS データの生成を実行する。

【 0 0 8 8 】

ステップ S 4 1 は、ROI 内の全てのフォーカス点について DAS データが算出されたかの判定であり、未算出の DAS データが残っていれば、ステップ S 4 1 が No になりステップ S 3 8 にまで戻る。残っていなければ、ステップ S 4 2 に移行する。

ステップ S 4 2 は、予め定められた送受信回数に達したかどうかの判定である。達していなければ、ステップ S 3 5 にまでもどる。達していれば、ステップ S 4 3 において、参照 DAS データ、検出 DAS データを用いて波面フレームデータを生成する。その後、ステップ S 4 4 において ROI 内の全てのフォーカス点について参照 DAS データ、検出 DAS データを算出したかどうかの判定を行う。未算出であれば、次のフォーカス点に処理対象を変更してステップ S 4 3 に戻る。ステップ S 4 5 は、波面フレームデータの生成数が、予め定められた個数に達したかどうかの判定である。達していなければ 4 3 に戻る。達すれば、本フローチャートの処理を終了し、上位のルーチンに戻る。

【 0 0 8 9 】

図 1 5 のステップ S 1 1 のインターリーブ処理もサブルーチン化されており、より詳細な処理手順に展開できる。図 1 7 は、インターリーブ処理の詳細を示すフローチャートである。ステップ S 5 1 は、時間方向オフセットが有効かどうかの判定である。有効な時間方向オフセットが指定されている場合、ステップ S 5 2 ~ ステップ S 5 4 で素子配列方向インターリーブを行う。この素子配列方向インターリーブは、SWS シーケンス N の各フレームを合成波面フレームデータの偶数フレームに配置し(ステップ S 5 2)、SWS シーケンス N+1 の各フレームを合成波面フレームデータの奇数フレームに配置して(ステップ S 5

10

20

30

40

50

3)、その後、偶数フレーム、奇数フレームのフレーム番号に応じたタイムスタンプを、各フレームに付すことでなされる(ステップS54)。

【0090】

ステップS55は、素子配列方向オフセットが有効かどうかの判定である。もし有効でなければ、本フローチャートを終了し、呼出側ルーチンの直後のステップに戻る。素子配列方向オフセットが有効であれば、ステップS56、ステップS57の処理により、ライン位置を変更する。具体的には、SWSシーケンスNの各フレームの素子配列方向におけるデータ要素ラインを、合成波面フレームデータにおける各フレームの偶数ラインに変換し(ステップS56)、SWSシーケンスN+1の波面フレームデータにおけるデータ要素ラインを合成波面フレームデータにおける波面フレームデータの奇数ラインに変換する(ステップS57)。

10

【0091】

時間方向オフセットが有効ではないが(ステップS51でNo)、素子配列方向オフセットが有効であれば(ステップS58でYes)、ステップS59、ステップS60の処理を行う。これは、SWSシーケンスNの波面フレームデータの各データ要素ラインを、合成波面フレームシーケンスにおける各波面フレームデータの偶数ラインとし(ステップS59)、SWSシーケンスN+1の波面フレームデータの各データ要素ラインを、合成波面フレームシーケンスにおける各波面フレームデータの奇数ラインとする(ステップS60)ものである。

【0092】

図18は、出力データ作成手順を示すフローチャートである。本フローチャートは、変数lについてのループ、変数iについてのループ、変数jについてのループが多重化されている、多重ループ構造になっている。変数lについてのループは、素子位置iにおける波面の到達時間と、素子位置i+1における波面の到達時間とのずれを意味する変数lについてのループであり、変数lがとり得る様々な値について、Rfg、Cfgを算出するためのループである。変数iについてのループは、1つの深さ位置における複数素子位置のそれぞれについて、弾性率を算出するためのループである。変数jについてのループは、深さ位置のそれぞれについて、E(i,j)を繰り返すためのループである

20

ステップS71では、深さ方向のそれぞれの位置を示す変数jを1に初期化し、ステップS72では、素子配列方向のそれぞれの位置を示す変数iを1で初期化する。ステップS73は、変数lを1で初期化する。ステップS74では、変数初期化又は変数更新により一個の値が設定された変数lについて、式5の積和演算を行い、 $f_i(t)$ と、 $g_{i+1}(t+l)$ との相関値Cfgを算出する。ステップS75では、式4に従い、相関値Cfgを正規化して、正規化された相関値Rfgを得る。ステップS76は、変数lについての終了要件であり、lが最大値maxに達していなければ、変数lをインクリメントして(ステップS70)、ステップS74に戻る。変数lが最大値maxに達するまで、変数lのインクリメントと、Cfgの算出、正規化が繰り返される。lが最大値maxに達すると、ステップS76がYesになり、ステップS77に移行する。ステップS77は、 $l=1,2,3,4,5\cdots n$ のそれぞれの値についてのRfgのうち、最小のものに変数lを乗ずることで、時間方向のずれ量 τ を算出する。そしてステップS78では、 $v-k/(\tau T)$ の計算によりせん断波速度の局所値を算出して、ステップS79において、vの2乗に3を掛けるという計算を行うことで、座標(i,j)における弾性率E(i,j)を得る。

30

40

【0093】

ステップS80は、変数iが最大値maxに達したかどうかの判定であり、達していなければ、変数iをインクリメントして(ステップS81)、ステップS73に戻る。ステップS82は、変数jのループの終了要件であり、達していなければ、ステップS82がNoになり、ステップS83で変数jをインクリメントして、ステップS72に戻る。変数jが最大値maxに達すれば、ループを抜ける。ステップS84は、全てのループが終了した後の後処理であり、各素子位置、深さ位置についての $v(i,j)$ 又は弾性率E(i,j)をカラーリング画素又は数値に変換することで出力データを得る。

【0094】

50

以上のように本実施形態によれば、2回以上の集束超音波の送信で得られたSWSシーケンスにおける波面フレームデータを互いに入り子にすることで、みかけ上の時間分解能、空間分解能を高めることができる。これにより、硬性組織の通過で局所的に上昇した瞬間のせん断波の速度を算出して、弾性率計算の基礎とすることができるので、弾性評価を高精度に行うことができる。

【0095】

(第2実施形態)

第1実施形態では、反射超音波を受信して、整相加算を施し、参照DASデータとの差分をとることで得られた波面フレームデータをインターリーブの対象にしていた。本実施形態では、インターリーブがなされたSWSシーケンスにおける波面フレームデータに対してコンパウンド処理を施す改良に関する。かかる改良のため、第2実施形態の超音波処理装置101には、コンパウンド処理部が追加されている。図19は、第2実施形態に係る出力データ生成部3の内部構成を示す図である。本図の出力データ生成部3には、第1実施形態の図5(b)にはない新規の構成要素として、コンパウンド処理部15が追加されている。以下、第2実施形態で新規に追加されたコンパウンド処理部15について説明する。

10

【0096】

コンパウンド処理部15は、整相加算で得られた複数の参照DASデータ、検出DASデータに対してコンパウンドを行い、DASデータ記憶部7に記憶されている参照DASデータ、検出DASデータを、コンパウンド化が施された参照DASデータ、検出DASデータを用いて上書きすることで、コンパウンド化が施された参照DASデータ、検出DASデータを波面フレームデータ生成の対象とする。波面フレームデータについても、複数の波面フレームデータについてコンパウンドを行い、合成波面フレームシーケンス記憶部11に記憶されている波面フレームデータを、コンパウンド処理が施された波面フレームデータで上書きすることで、コンパウンド後の波面フレームデータを変位伝搬データ生成の対象とする。一般にコンパウンド処理は、対象となる2以上の画像フレームのデータ要素に対して、平均化演算を行うことで、平均値のデータ要素からなる画像フレームを得て、コンパウンドの対象となった2以上の波面フレームデータを、平均化データ要素からなる波面フレームデータで上書きし、置き換える処理である。ここで、DASデータに対するコンパウンドは、非偏向コンパウンド、偏向コンパウンドの双方を対象とする。波面フレームデータのコンパウンドは、非偏向コンパウンドのみを対象とする。

20

30

【0097】

以上が、本実施形態で追加された構成要素(コンパウンド処理部15)についての説明である。次に、かかる構成要素の追加に伴う、既存の構成要素(放射圧発生部1)の処理内容の変更について説明する。

放射圧発生部1は、複数の参照DASデータ、複数の検出DASデータをコンパウンドの対象とするため、参照検出波、検出波を多く送信する。参照検出波については、3~4個送信し、非検出波については、2~3個多く送信する。また偏向コンパウンドの実行時には、偏向波、非偏向コンパウンドの実行時には、非偏向波を送信する。

【0098】

以上が構成要素の追加に伴う、既存の構成要素の処理内容の変更についての説明である。図20(a)は、通常コンパウンド法で送信される検出波を示し、図20(b)は、偏向コンパウンド法で送信される偏向検出波を示す。

40

非偏向コンパウンド法は、固定のステアリング角度で複数の検出波を送信し、当該複数の検出波の反射で得られた複数の反射超音波に対応する波面フレームデータのデータ要素を対象として平均演算を行って、目的の波面フレームデータを得る。図中のdw1,2,3,3は、素子配列方向に対する傾きが、同じ角度に設定されている検出波である。

【0099】

偏向コンパウンド法は、複数のステアリング角度で複数の検出波を送信し、当該複数の検出波の反射で得られた複数の反射超音波に対応する波面フレームデータを対象として平

50

均演算を行って、目的の波面フレームデータを得る。図中のdw5,6,7,8は、素子配列方向に対する傾きが、それぞれ異なる角度に設定されている検出波である。

第2実施形態に係る超音波処理装置の処理内容の時間的遷移を、図20(c)、図21のタイミングチャート参照しながら説明する。

【0100】

図20(c)の第1段目～第2段目、図21の第3段目～第6段目は、第2実施形態に係るタイミングチャートである。第1実施形態と比較すると、以下の差異が存在する。

第1に、第1実施形態と、第2実施形態とは、参照検出波、検出波の個数が異なる。第1実施形態の図7の第7段目では、参照検出波が1つだけであったのに対し、図20(c)の第1段目では、参照検出波が3個になっていて、また、検出波の個数も、2個程増えているというものである。加えて、これら参照検出波、検出波が、非偏向検出波、偏向検出波のどちらかであるという違いである。

【0101】

第2に、検出DASデータが異なる。第1実施形態の図7の検出DASデータでは、参照検出波、検出波の反射超音波に対する整相加算後に得られた参照DASデータ、検出DASデータが第2段目の時間軸上に存在していたのに対し、第2実施形態の図20(c)では、連続する3つの参照DASデータに対してコンパウンドが施された参照DASデータ(参照DASc)、連続する3つの検出DASデータに対してコンパウンドが施された検出DASデータ(検出DASc)が時間軸上に配置されているというものである。第2段目の上側には、参照検出波の反射超音波の整相加算で得られた3つの参照DASデータ、検出波の反射超音波の整相加算で得られた複数のDASデータを示す。真ん中の矢印cp1,2,3,4,5,6は、連続する3つの参照DASデータ、検出DASデータに対するコンパウンド処理を示す。上記参照DAScデータ、検出DAScデータは、第2段目の下側に存在していて、この矢印のコンパウンド処理で得られる。

【0102】

第3に、変位伝搬データ生成の対象が異なる。これは、第1実施形態の図7では、参照DASデータ、検出DASデータから得られ、インターリーブが施された波面フレームデータが変位伝搬データ生成の対象になっているのに対し、第2実施形態の図20では、インターリーブが施され、尚且つ、コンパウンド処理が施されたコンパウンド化波面フレームデータが変位伝搬データ生成の対象になっているという違いである。図21における第5段目の上段は、インターリーブが施された合成波面フレームシーケンスを示す。第5段目の中段は、合成波面フレームシーケンスにおいて、連続する4つの波面フレームデータを対象としたコンパウンドを示す。下側は、それぞれの波面フレームデータに対してコンパウンドが施された合成波面フレームシーケンスが、コンパウンドの対象になっていることを示す。

【0103】

この図20(c)、図21は、時間方向インターリーブを対象にしたものだが、時間方向インターリーブの代りに、又は、時間方向インターリーブに加え、素子配列方向インターリーブを実行することで、素子配列方向の分解能を高めることができる。

次に、フローチャートの変更点について説明する。図22は、コンパウンドを組み入れたSW追跡工程の処理手順を示すフローチャートである。図16との違いは、コンパウンドに関するステップ(ステップS91、ステップS92、ステップS93、ステップS94)が、要所に組み入れられている点である。

【0104】

ステップS91は、参照DASデータに対してコンパウンドを行い、コンパウンド化が施された参照DASデータを得て、対象となった参照DASデータを参照DASデータに置き換えるものであり、ステップS31、ステップS32の間に挿入される。

ステップS93は、検出DASデータに対してコンパウンドを行って、検出DASデータを得て、コンパウンドの対象となった複数の検出DASデータを、検出DAScデータに置き換えるものであり、ステップS40、S41の間に挿入される。

【0105】

10

20

30

40

50

図 2 3 は、第 2 実施形態に係るインターリーブ処理の処理手順を示すフローチャートである。本図は、図 1 7 をベースとして作図されており、このベースとなる図 1 7 と比較して、ステップ S 9 5、ステップ S 9 6 が追加されている点異なる。このステップ S 9 5 は、ステップ S 5 2 ~ ステップ S 5 4 で、時間方向インターリーブが実行された後、素子配列方向オフセットが有効でないと判定された場合に実行されるものであり、合成波面フレームデータの偶数フレーム、奇数フレームに対して、コンパウンド処理を行い、合成波面フレームデータの偶数フレーム、奇数フレームを、コンパウンド化がなされた偶数フレーム、奇数フレームに置き換えるというものである。

【0106】

ステップ S 9 6 は、ステップ S 5 5 で素子配列方向オフセットが有効であると判定され、時間方向インターリーブに加え素子配列方向インターリーブが実行された場合(ステップ S 5 5、ステップ S 5 6)、又は、ステップ S 5 8 で素子配列方向オフセットが有効であると判定され、時間方向インターリーブは実行されていないが素子配列方向インターリーブが実行された場合(ステップ S 5 9、ステップ S 6 0)に実行されるものであり、合成波面フレームデータの偶数ライン、奇数ラインに対してコンパウンド処理を行い、合成波面フレームデータの偶数ライン、奇数ラインを、コンパウンド処理がなされたデータ要素ラインに置き換えるというものである。

【0107】

以上の過程を経ることで、合成波面フレームデータの偶数フレーム及び奇数フレーム、合成波面フレームデータの偶数ライン及び奇数ラインは、コンパウンド処理の演算結果に置き換えられることになる。

インターリーブの対象となる N 回目の SW 追跡工程の SWS シーケンス、N+1 回目の SW 追跡工程の SWS シーケンスは、別々の時間軸に存在するもので、波面フレームデータ間の相関がない。かかる波面フレームデータをインターリーブで交互に配置すると、高周波ノイズの発生が顕著になる。しかし、インターリーブに先立ち、コンパウンドを行うことで、時間的に連続する複数の波面フレームデータにおける高周波ノイズの発生は抑制されるから、画質向上を図ることができる。

【0108】

以上のように本実施形態によれば、コンパウンド処理によりインターリーブの対象となる SWS シーケンス N、SWS シーケンス N+1 が別々の時間軸に存在することに起因するノイズを低減することができる。これにより画質低下を防ぎつつ、素子配列方向の分解能、時間方向の分解能を高めることができる。

(第 3 実施形態)

第 1 実施形態では、弾性率画像の生成までで処理が完結していたが、本実施形態では、SW 追跡工程による計測結果を評価するための構成要素として、データ計数部を超音波処理装置 1 0 1 に設ける改良に関する。図 2 4 は、第 3 実施形態に係る出力データ生成部 3 の内部構成を示す図である。第 1 実施形態の図 5 (b) における出力データ生成部 3 の内部構成と比較すると、図 2 4 には、データ計数部 1 6、ヒストグラム記憶部 1 7、測定不能データ記憶部 1 8 が追加されている点が、第 1 実施形態と異なる。

【0109】

以下、本実施形態特有の構成要素(データ計数部 1 6、ヒストグラム記憶部 1 7、測定不能データ記憶部 1 8)について説明する。

データ計数部 1 6 は、弾性率画像が生成された際、素子配列方向、深さ方向における複数位置のそれぞれについて得られた弾性率を、複数の数値範囲に分類する。そして、かかる分類に従い、弾性率の複数の数値範囲に、データ要素の出現度数を対応付けたヒストグラムを作成する。この際、ヒストグラムに示される何れの数値範囲にも分類され得ない観測位置が ROI 内に現れることがある。何れの弾性率の数値範囲に属さない観測位置について算出されたデータ要素を、“測定不能データ”という。

【0110】

ヒストグラム記憶部 1 7 は、データ計数部 1 6 により生成されたヒストグラムを記憶し

、制御部 4 による処理に供する。制御部 4 に供されることで、ヒストグラムは、表示部 103 に表示されることになる。

測定不能データ記憶部 18 は、データ計数部 16 により発見された測定不能データを記憶する。

【0111】

以上が第 3 実施形態特有の構成要素(データ計数部 16、ヒストグラム記憶部 17、測定不能データ記憶部 18)についての説明である。続いて、構成要素の追加に伴う、既存の構成要素(制御部 4、変位インターリーバ 10)の処理内容の変更について説明する。

本実施形態における制御部 4 は、測定不能データの個数が多い場合、素子配列方向オフセットを変えてインターリーブを繰り返し、弾性率画像を得て、弾性率画像における測定不能データの数をカウントする。測定不能データの数が閾値以下であれば、インターリーブの繰り返しを終える。インターリーブの再試行時には、時間方向オフセット、素子配列方向オフセットの双方、及び/又は、一方を変化させる。

【0112】

変位インターリーバ 10 は、シーケンス N+1 のシーケンスの処理時において、複数の音響素子から出力される RF 信号に対して素子配列方向オフセットを設けた上で整相加算を実行して、その整相加算後に得られた検出 DAS について波面フレームデータの生成を行い、そうして生成された波面フレームデータ N の波面画像のうち、測定不能データが多いとされた領域を構成するデータ要素のうち、連続する 2 以上のものの間に、SWS シーケンス N+1 の波面画像のデータ要素のデータ要素を挿入する。

【0113】

図 25 は、被検体と、この被検体を対象として得られた 3 つの弾性率画像を示す。図 25 の上側における被検体は、軟性組織の中に、2 つの硬性組織 sd11, sd12 が並んで配されている。

図 25 の下段は、3 つの弾性率画像 im11, 12, 13 を示す。この弾性率画像は共通の構成になっていて、左横に、深さ方向のゲージ(0~100mm)、下側に、素子配列方向のゲージ(-15~-0~+15mm)が存在している。また右脇には、カラーグラディエーション gra1 が存在する。このカラーグラディエーション gra1 には、0kPa から 100kPa までの、10kPa 刻みの範囲を示す弾性率ゲージが存在していて、弾性率と、カラー画素との対応関係が把握できるように構成されている。左端の弾性率画像は、波面フレームデータに対するインターリーブを施さずに得られたもの、真ん中の弾性率画像は、素子配列・時間方向インターリーブ(簡単にインターリーブ方式という)を施すことで得られた弾性率画像、右端の弾性率画像は、第 2 実施形態のコンパウンドを伴うインターリーブ(インターリーブ方式変位コンパウンドという)を施すことで得られたものである。左端の弾性率画像と比較すると、真ん中の弾性率画像は、硬性組織 sd11 の周辺が綺麗になっていて画像品位が向上していることがわかる。更に、真ん中と、右端とを比較すると、右端の弾性率画像では、硬性組織の形状が更に鮮明になっていて更なる高画質化が実現していることがわかる。

【0114】

図 26 は、弾性率画像における、一部の部位を対象として生成されたヒストグラムを示す。上側の弾性率画像における白枠は、ヒストグラム生成の対象として指定された部位を示す。本図では、硬性組織の上側、下側がヒストグラム生成の対象として指定されていることがわかる。下側の 3 つのヒストグラムは、非インターリーブにより生成された弾性率画像を対象として生成されたヒストグラム、インターリーブ方式の弾性率画像を対象として生成されたヒストグラム、インターリーブ方式変位コンパウンドを対象として生成されたヒストグラムを示す。3 つのヒストグラムは、何れも共通の構成になっており、横軸は 10~25kPa の弾性率、縦軸は、弾性率画像における画素の出現頻度を示す。この 10~25kPa という数値範囲は、軟性組織の弾性率を意味する。横軸のうち、破線枠で囲まれた範囲が、10~25kPa の範囲の弾性率となる。これら 3 つのヒストグラムを比較すると、非インターリーブと、インターリーブ方式とでは、インターリーブ方式のヒストグラムの方が、度数が密集しており、分解能が向上していることがわかる。更に、インターリーブ方式と、

インターリーブ方式変位コンパウンドとを比較すると、インターリーブ方式変位コンパウンドのヒストグラムの方が、度数の密度が高くなっていることがわかる。

【0115】

図27は、弾性率画像における、別の部位を対象として生成されたヒストグラムを示す。図27は、図26をベースにしつつも、白枠による領域指定の対象が異なる。つまり図27では、被検体の硬性組織がヒストグラム生成の対象になっている。この白枠を対象にして生成された3つのヒストグラムが下段に存在する点も、図25と同じである。

しかし、硬性組織を対象にしていることから、ヒストグラムに描かれる度数分布は異なったものとなる。下段の各弾性率画像における破線は、硬性組織の弾性率である50~100kPaという数値範囲を明示している。3つのヒストグラムにおける50~100kPaの数値範囲を比較すると、非インターリーブと、インターリーブ方式とでは、インターリーブ方式のヒストグラムの方が、度数が密集しており、分解能が向上していることがわかる。更に、インターリーブ方式と、インターリーブ方式変位コンパウンドとを比較すると、インターリーブ方式変位コンパウンドの方が、度数の密度が高くなっていることがわかる。

【0116】

図28は、第3実施形態に係る超音波処理装置の全体手順を示すフローチャートである。この図28は、第1実施形態の図15をベースとして作図されており、このベースとなるフローチャートと比較して、以下の点が異なる。

第1に、弾性率画像の生成の機会が異なる。これは第1実施形態の図15では、N回目のSW追跡工程の実行後、N+1回目のSW追跡工程を行ってインターリーブを実行し、その後弾性率画像を生成しているのに対し、図28では、SWSシーケンスN、SWSシーケンスN+1に対するインターリーブで合成波面フレームシーケンスを得た後に弾性率画像を生成すると共に(ステップS101)、合成波面フレームシーケンスをSWSシーケンスNとして(ステップS108)、N+1回目のSW追跡工程を実行し(ステップS106)、インターリーブを行った後(ステップS107)、再度、ステップS101に戻って弾性率画像を生成している点である。

【0117】

第2に、測定不能データの扱いが異なる。これは、図15では、測定不能データの計数になされていないのに対し、図28では、ステップS101で弾性率画像を生成した後に、測定不能データの計数になされている(ステップS102)という違いである。

第3に、インターリーブの対象が異なる。インターリーブ対象の差異とは、第1実施形態では、時間方向インターリーブ、素子配列方向インターリーブ、素子配列・時間方向インターリーブを、時間方向オフセット、素子配列方向オフセットに応じて実行しているのに対し、図28では、測定不能データの数が所定の閾値を上回っている波面フレームデータの部分領域を対象として(ステップS104)、素子配列方向オフセットを更新した後(ステップS105)、N+1回目のSW追跡工程を実行し(ステップS106)、当該実行で得られた波面フレームデータを用いた素子配列方向インターリーブを実行しているというものである(ステップS107)。また、そのインターリーブ後のSWSシーケンスを、N回目のSWSシーケンスとして(ステップS108)、新たにインターリーブを実行しているというものである。

【0118】

第4に、インターリーブの終了条件が異なる。この終了条件の差異とは、図15では、インターリーブの必要繰返回数を、PRTから算出し、このインターリーブ繰返回数だけ、実行しているのに対し、図28では、SW追跡工程の一回の実行後、弾性率画像を生成して、この弾性率画像における測定不能データの数が所定の閾値を下回ることを繰り返しの終了条件(ステップS103でNo)にしているというものである。

【0119】

以上のように本実施形態によれば、測定不能データの数が、閾値を下回るまで、測定不能データが閾値を上回る領域に対する素子配列方向インターリーブを実行するので、測定不能データが多く集中している領域における音線密度を高めることができる。

10

20

30

40

50

(第4実施形態)

先の実施形態では、弾性率画像における測定不能データの数进行计数して、この測定不能データの数が所定の閾値を下回る領域を素子配列方向インターリーブの対象としていた。これに対して本実施形態では、超音波診断装置101に指定操作機能をもたせ、この指定操作機能を通じて指定された領域を素子配列方向インターリーブの対象とする。

【0120】

以下、指定操作機能の実現のための、既存の構成要素(表示部103)の処理内容の変更について説明する。

本実施形態の表示部103は、タッチパネル機能を有している。そのためユーザは、弾性率画像が表示された際、インターリーブによる高精細化の対象となる領域を指先によるタッチで指定することができる。

10

【0121】

制御部4には、付随的な構成要素として表示制御部が付加されている。表示制御部は、N回目のSW追跡工程の実行により、弾性率画像が表示され、GUIを表示して、操作者の入力操作を受け付ける。表示部103に対する操作で、この弾性率画像における一部の領域が指定されると、表示制御部は、この領域に対して素子配列方向インターリーブを行うよう、N回目のSW追跡工程を実行させ、そうして得られたWSIシーケンスと、N回目のSW追跡工程により得られたSWSシーケンスとのインターリーブを変位インターリーブ10に行わせる。

【0122】

20

図29(a)は、表示部103に表示された弾性率画像に対する領域指定操作を受け付ける際の使用状況を示す。図中のdst1は、表示部103の画面を指先でドラッグすることにより描かれた閉曲線であり、この閉曲線内部が、インターリーブ対象領域として指定される。

図29(b)は、波面フレームデータの内部であって、指定された領域を示す。波面フレームデータのうち、指定された領域を対象として、素子配列方向インターリーブ、素子配列・時間方向インターリーブを行うことで、指定された領域の音線密度を倍にすることができる。

【0123】

図30は、第4実施形態に係る全体手順を示すフローチャートである。本図は、第3実施形態の図28のフローチャートをベースとしている。このベースとなるフローチャートと比較して、以下の点に差異が存在する。

30

第1に、弾性率画像生成後の処理が異なる。これは、先の実施形態の図28では、弾性率画像生成後に測定不能データの個数を计数しているのに対し、図30では、弾性率画像の生成後に(ステップS101)、GUIを表示して(ステップS111)、ユーザによる領域指定操作を受け付けている(ステップS112)というものである。

【0124】

第2に、インターリーブの対象が異なる。これは、先の実施形態の図28では、測定不能データが閾値を上回る領域をインターリーブの対象にしているのに対し、図30ではGUIを通じたユーザ操作により指定された領域(ステップS112で指定されたもの)をインターリーブの対象にしているというものである(ステップS104)。

40

第3に、インターリーブの終了条件が異なる。この終了条件の差異とは、図237では、SW追跡工程の一回の実行後、弾性率画像を生成して、この弾性率画像における測定不能データの数が所定の閾値を下回ることを繰り返しの終了条件(ステップS103でNo)にしているのに対し、図28では、GUIにおいて、終了操作がなされたことが、インターリーブの終了要件になっているという違いである(ステップS113)。

【0125】

上記のインターリーブでは、SWSシーケンスNの波面フレームデータの各データ要素ラインを、合成波面フレームシーケンスに属する波面フレームデータの指定された領域における偶数ラインとし、SWSシーケンスN+1の波面フレームデータの各部分ラインを、合成波

50

面フレームシーケンスに属する波面フレームデータの指定された領域において奇数ラインとする。

【0126】

以上のように本実施形態によれば、SW追跡工程が一回実行された後に生成された弾性率画像に対し、ユーザが指定した領域を対象とした素子配列方向インターリーブを実行するので、弾性評価の高精度化を図ることができる。

(第5実施形態)

第1実施形態では、素子配列方向インターリーブを実行する場合、ARFI送信を2回以上行い、2以上のSWSシーケンスを得て、素子配列方向インターリーブの対象とした。これに対して本実施形態は、一回のARFIの送信により2以上のSWSシーケンスを得て、これを素子配列方向インターリーブの対象にする改良に関する。

10

【0127】

一回のARFIの送信から2以上のSWSシーケンスを得るための既存の構成要素(受信ビームフォーマ6、変位検出部8、変位インターリーバ10)の処理について説明する。

本実施形態における受信ビームフォーマ6は、N回目のARFIの送信時に先立ち、参照検出波が送信され、その反射超音波が受信された際、音線位置の設定を変えたビームフォーミングを2回行う。こうすることで、SWSシーケンスNに帰属する参照DASデータ、SWSシーケンスN+1に帰属する参照DASデータを得る。

【0128】

同様に受信ビームフォーマ6は、N回目のARFIの送信後に、複数の検出波が送信され、その反射超音波が受信された際、音線位置の設定を変えたビームフォーミングを2回行う。こうすることで、SWSシーケンスNに帰属する検出DASデータ、SWSシーケンスN+1に帰属する検出DASデータを得る。上記ビームフォーミングを実行するのあたりの音線位置の設定変更は、一回目の参照検出波の送信時と、2回目の参照検出波の送信時とで素子配列方向オフセットを変更することでなされる。SWSシーケンスNに帰属する参照DASデータと、複数のDASデータとが得られ、SWSシーケンスN+1に帰属する参照DASデータと、複数のDASデータとが得られれば、これらのDASデータ記憶部7に書き込む。

20

【0129】

変位検出部8は、DASデータ記憶部7に書き込まれたDASデータのうち、SWSシーケンスNに帰属する参照DASデータと、複数のDASデータとからせん断波波面の変位部分を抽出することで、SWSシーケンスNを構成する複数の波面フレームデータを得て波面フレームデータ記憶部9に書き込む。それと共に、SWSシーケンスN+1に帰属する参照DASデータと、複数のDASデータとからせん断波波面の変位部分を抽出することで、SWSシーケンスN+1を構成する複数の波面フレームデータを得て波面フレームデータ記憶部9に書き込む。

30

【0130】

変位インターリーバ10は、波面フレームデータ記憶部9に書き込まれたSWSシーケンスNを構成する複数の波面フレームデータ、及び、SWSシーケンスN+1を構成する複数の波面フレームデータに対して素子配列方向インターリーブを行い、合成波面フレームシーケンスを得る。以上が第5実施形態における既存の構成要素の変更である。

図31は、第5実施形態における素子配列方向インターリーブの過程を示すタイミングチャートである。本図は図10をベースとして作図されており、このベースとなる図10と比較して、以下の点が異なる。

40

【0131】

第1にARFIの送信回数が異なる。これは、図10では、ARFIが2回送信されていたのに対し、図31では、ARFIが1回しか送信されていないというものである。

第2に、参照検出波と、参照DASデータとの割合が異なる。これは図10では、参照検出波と、参照DASデータとが1対1の比率で対応していたのに対し、図31では、参照検出波と、参照DASデータとが1対2の比率で対応しているという違いである。このように、参照検出波と、参照DASデータとが1対2の比率で対応しているのは、参照検出波の送信に対する反射超音波の受信時に、音線位置の設定を変えたビームフォーミングを2回行

50

い、2つの参照DASデータを生成しているからである。図中のBF1、BF2は、音線位置の設定を変えた2回のビームフォーミングを示す。

【0132】

第3に、検出波と、検出DASデータとの割合が異なる。これは図10では、複数の検出波のそれぞれと、複数の検出DASデータのそれぞれとが1対1の比率で対応していたのに対し、図31では、複数検出波のそれぞれと、複数の検出DASデータのそれぞれとが1対2の比率で対応しているという違いである。検出波と、検出DASデータとが1対2の比率で対応しているのも、検出波の送信に対する反射超音波の受信時に、音線位置の設定を変えたビームフォーミングを2回行い、2つの検出DASデータを生成しているからである。図中のBF3、BF4は、音線位置の設定を変えた2回のビームフォーミングを示す。

10

【0133】

このようにして生成した参照DASデータ、検出DASデータを基に波面フレームデータを生成し、SWSシーケンスN、N+1を得て、インターリーブの対象とする。

以上のように本実施形態によれば、一回のARFI送信により、素子配列方向インターリーブの対象となる複数のSWSシーケンスを生成するので、合成波面フレームシーケンスを得るためのARFIの送信回数を減らすことができ、ARFIの送信を受ける被検体の負担を減らすことができる。

【0134】

<備考>

以上、本願の出願時点において、出願人が知り得る最良の実施形態について説明したが、以下に示す技術的トピックについては、更なる改良や変更実施を加えることができる。

20

(非破壊検査装置への応用)

図1では、超音波処理装置が超音波診断システムに用いられるとの仮定下で超音波処理装置の実施形態を提示したが、これは一例に過ぎない。超音波処理装置は、機械や建造物の内部を超音波で検査するための非破壊検査システムで用いられてもよい。また、超音波信号の処理を行うものであれば、原子力施設の内部検査システムや海底探査システムで用いられてもよい。

【0135】

(参照DASデータ生成タイミングのバリエーション)

図16では、参照検出波の送信後に、参照DASデータ生成のための整相加算、検出波の送信後に検出DASデータ生成のための整相加算を行っていたが、検出波の送信後に、参照DASデータ生成のための整相加算、検出DASデータ生成のための整相加算を行うことができる。図32は、検出波の送信後に、参照DASデータ生成のための整相加算、検出DASデータ生成のための整相加算を行う(ステップS121)との改変がなされたフローチャートである。

30

【0136】

(インターリーブの対象)

第1実施形態では、せん断波減衰の把握のため、集束超音波送信前に送信された参照検出波の反射超音波を基準にして波面フレームデータを得た。しかしこれに限らず、参照DASデータ、検出DASデータを対象として、インターリーブを実行してもよい。

40

(被検体の対象)

各実施形態の超音波処理装置101は、乳腺領域における弾性評価に適している。生体組織の性状として、例えば乳腺領域においては、脂肪組織と癌組織の硬さの違いが数十倍にもなるという報告があり(特許文献2の段落0028)、癌組織の疑いのある硬化部を明確に検出することができるからである。しかし乳腺領域は一例であり、このように硬さの違いが明確に存在する被検体であれば、他のものを対象物にすることができる。例えば、食料品の製造工程において、異物が混入していないかの検査にも応用することができる

(ROI内の組織状態のための超音波)

ROI内の組織状態を取得するための超音波として平面波を使用した。これは一例に過ぎない。ROI内の情報を一度に取得できるのであれば、球面波を用いてもよい。この場合

50

、プローブの形状は曲面プローブであってもよい。また超音波プローブは、経食道探触子又は血管内探触子であってもよい。

【0137】

(弾性評価の適用範囲)

超音波処理装置101による弾性評価技術として、SWS取得を取り上げて説明を行ったが、せん断波速イメージング(Shear Wave Speed Imaging(SWSI))や弾性率計測(Shear Wave Speed Measurement(SWSM))による弾性評価を実行してもよい。

(各実施形態の組合せ)

第3実施形態、第4実施形態は、第1実施形態の超音波処理装置101の構成をベースにしていたが、第2実施形態に係る超音波処理装置101の構成(コンパウンドのための構成要素が追加されたもの)を第3実施形態、第4実施形態による改良のベースにしてもよい。また第4実施形態については、第3実施形態の超音波処理装置101の構成をベースにしてもよい。

10

【0138】

(超音波処理装置101のバリエーション)

超音波プローブ102と、表示部103とは、超音波処理装置101の内部にあってもよい。また、超音波プローブ102と、表示部103とがなくてもよい。超音波信号については、超音波プローブ102からの入力を超音波処理装置101が処理すれば足りるからである。表示部103については、弾性率画像を示す映像信号を超音波処理装置101が出力して表示部103が表示すれば足りるからである。各実施の形態における超音波処理装置に含まれる処理部の一部又は全部が、超音波プローブ102に含まれてもよい。

20

【0139】

(超音波プローブ102のバリエーション)

超音波プローブ102は、超音波振動子が1次元方向に配列されているプローブであってもよいし、超音波振動子がマトリックス状に配置された2次元アレイプローブであってもよい。

(コンピュータシステム上での実現)

上記の各装置の全部、もしくは一部を、マイクロプロセッサ、ROM、RAM、ハードディスクユニットなどから構成されるコンピュータシステムで構成した場合、前記RAM又はハードディスクユニットに、上記各装置と同様の動作を達成するコンピュータプログラムが記憶させることが望ましい。前記マイクロプロセッサが、前記コンピュータプログラムにしたがって動作することにより、各装置はその機能を達成する。

30

【0140】

(集積回路化)

上記の各装置を構成する構成要素の一部又は全部は、1つのシステムLSI(Large Scale Integration(大規模集積回路))から構成されているとしてもよい。システムLSIは、複数の構成部を1個のチップ上に集積して製造された超多機能LSIであり、具体的には、マイクロプロセッサ、ROM、RAMなどを含んで構成されるコンピュータシステムである。前記RAMには、上記各装置と同様の動作を達成するコンピュータプログラムが記憶されている。前記マイクロプロセッサが、前記コンピュータプログラムにしたがって動作することにより、システムLSIは、その機能を達成する。また、LSIに限るものではなく、専用回路又は汎用プロセッサで実現してもよい。LSI製造後にプログラムすることが可能なFPGA(Field Programmable Gate Array)、又はLSI内部の回路セルの接続や設定を再構成可能なりコンフィギュラブル・プロセッサを利用してもよい。

40

【0141】

(モジュール化)

上記の各装置を構成する構成要素の一部又は全部は、各装置に脱着可能なICカード又は単体のモジュールから構成されているとしてもよい。前記ICカード又は前記モジュールは、マイクロプロセッサ、ROM、RAMなどから構成されるコンピュータシステムである。前記ICカード又は前記モジュールは、上記の超多機能LSIを含むとしてもよい。マイクロプロ

50

セッサが、コンピュータプログラムにしたがって動作することにより、前記ICカード又は前記モジュールは、その機能を達成する。このICカード又はこのモジュールは、耐タンパ性を有するとしてもよい。

【0142】

(プログラム化)

本発明は、上記に示すコンピュータの処理で実現する方法であるとしてもよい。また、本発明は、これらの方法をCPU等のプロセッサが実行することで実現するコンピュータプログラムとしてもよいし、前記コンピュータプログラムからなるデジタル信号であるとしてもよい。

【0143】

また、本発明は、前記コンピュータプログラム又は前記デジタル信号をコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録したものとしてもよい。コンピュータ読み取り可能な記録媒体は例えば、フレキシブルディスク、ハードディスク、CD-ROM、MO、DVD、DVD-ROM、DVD-RAM、BD (Blu-ray (登録商標) Disc)、半導体メモリなどである。また、本発明は、これらの記録媒体に記録されている前記デジタル信号であるとしてもよい。前記コンピュータプログラム又は前記デジタル信号を、電気通信回線、無線又は有線通信回線、インターネットを代表とするネットワーク、データ放送等を経由して伝送するものとしてもよい。

【0144】

マイクロプロセッサとメモリを備えたコンピュータシステムであって、前記メモリは、上記コンピュータプログラムを記憶しており、前記マイクロプロセッサは、前記コンピュータプログラムにしたがって動作するとしてもよい。

また前記プログラム又は前記デジタル信号を前記記録媒体に記録して移送することにより、又は前記プログラム又は前記デジタル信号を、前記ネットワーク等を経由して移送することにより、独立した他のコンピュータシステムにより実施するとしてもよい。

【0145】

(実施形態の組合せ)

上記実施の形態及び上記変形例をそれぞれ組み合わせるとしてもよい。

また、上記で用いた数字は、全て本発明を具体的に説明するために例示するものであり、本発明は例示された数字に制限されない。

また、ブロック図における機能ブロックの分割は一例であり、複数の機能ブロックを一つの機能ブロックとして実現したり、一つの機能ブロックを複数に分割したり、一部の機能を他の機能ブロックに移してもよい。また、類似する機能を有する複数の機能ブロックの機能を単一のハードウェア又はソフトウェアが並列又は時分割に処理してもよい。

【0146】

また、上記のステップが実行される順序は、本発明を具体的に説明するために例示するためのものであり、上記以外の順序であってもよい。また、上記ステップの一部が、他のステップと同時(並列)に実行されてもよい。

更に、本発明の主旨を逸脱しない限り、本実施の形態に対して当業者が思いつく範囲内の変更を施した各種変形例も本発明に含まれる。

【産業上の利用可能性】

【0147】

本発明は、医療分野や検査機器分野に利用することができる。

【符号の説明】

【0148】

- 1 放射圧発生部
- 2 超音波送信部
- 3 出力データ生成部
- 4 制御部
- 5 受信部
- 6 受信ビームフォーマ

10

20

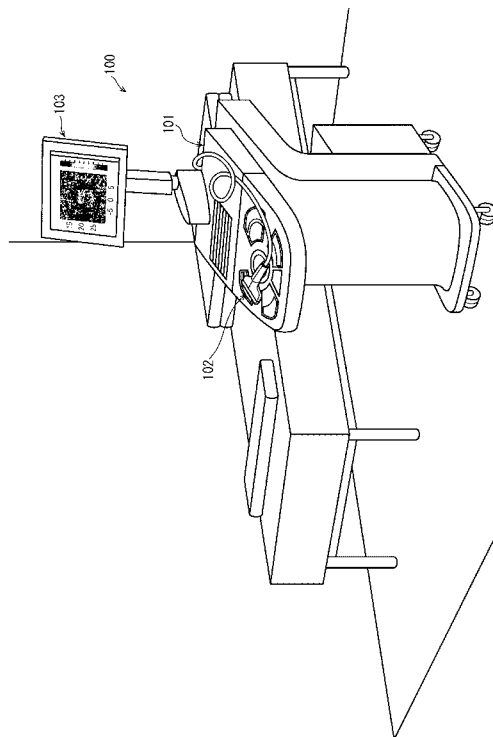
30

40

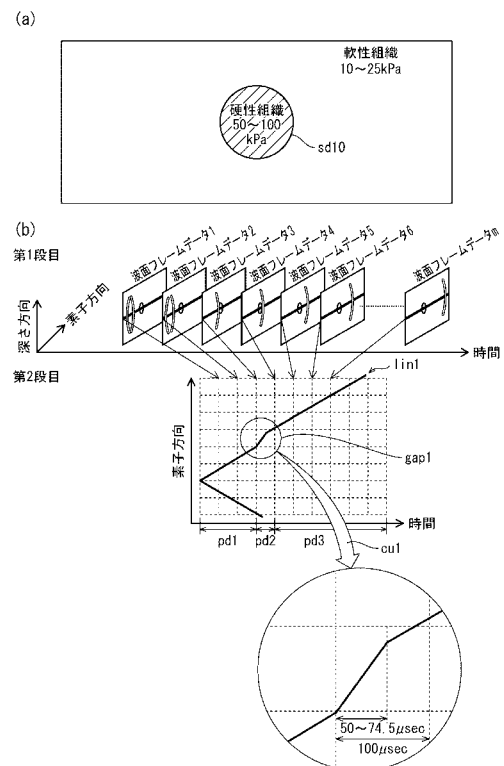
50

- 7 DASデータ記憶部
- 8 変位検出部
- 10 変位インターリーバ
- 12 変位伝搬解析部
- 13 弾性率算出部

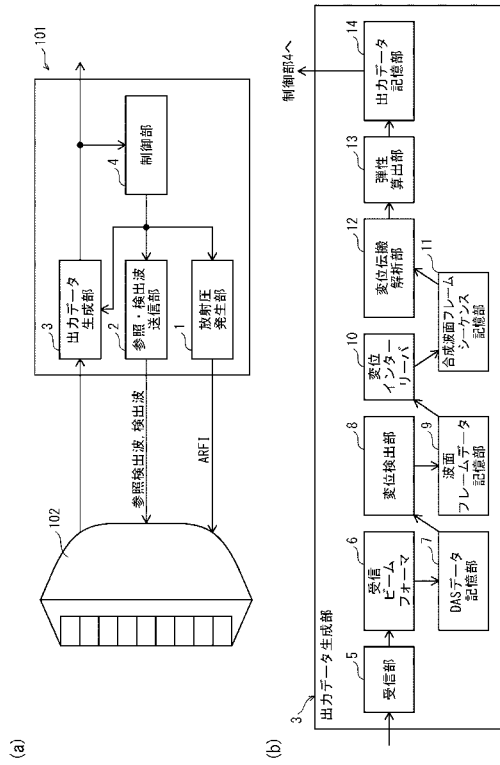
【図1】



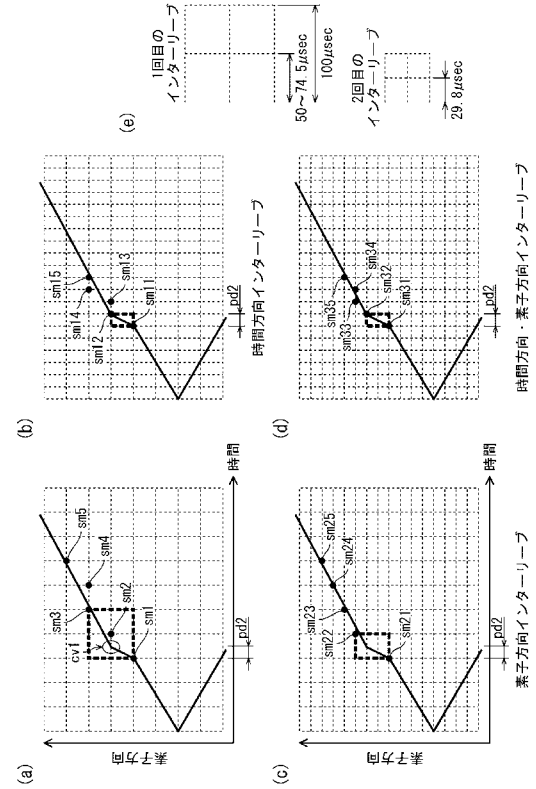
【図4】



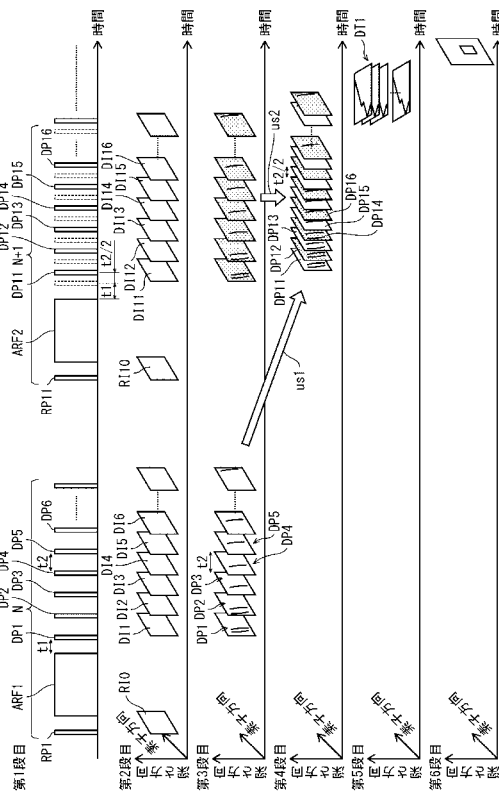
【図 5】



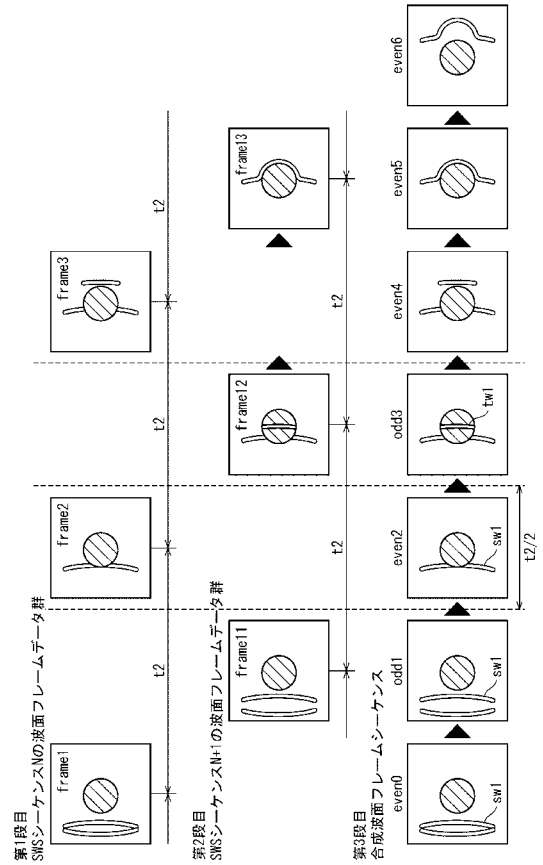
【図 6】



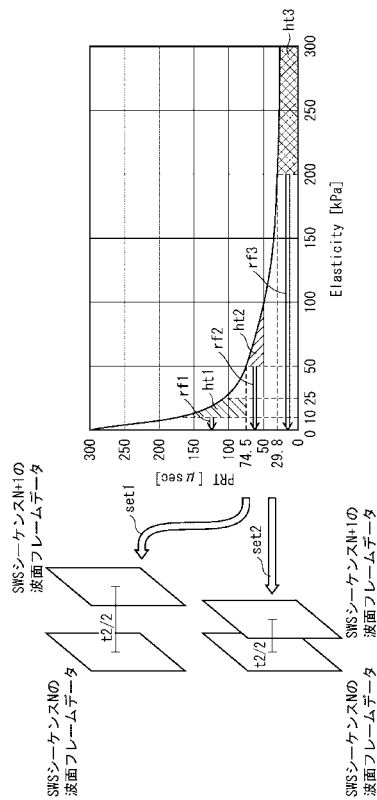
【図 7】



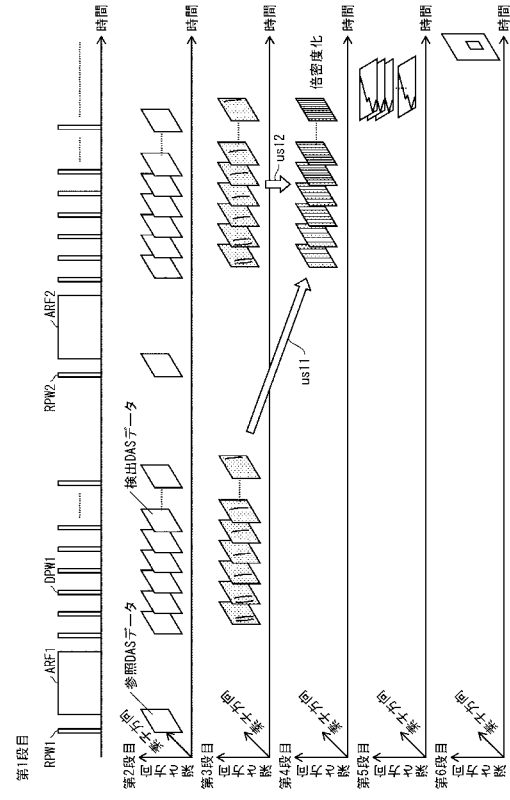
【図 8】



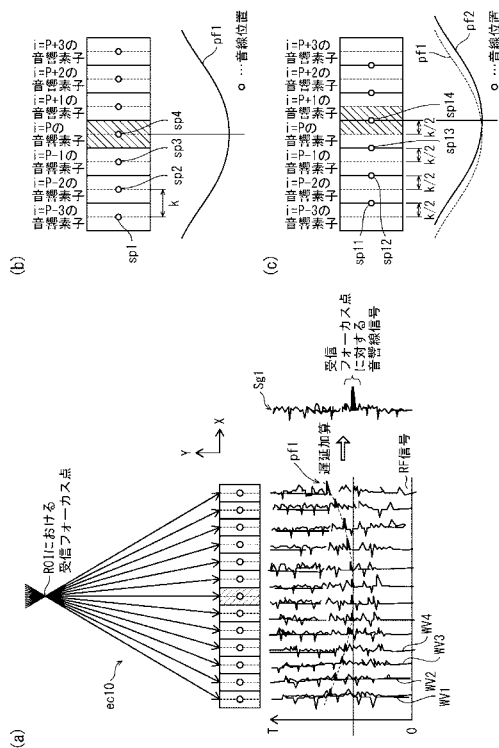
【図 9】



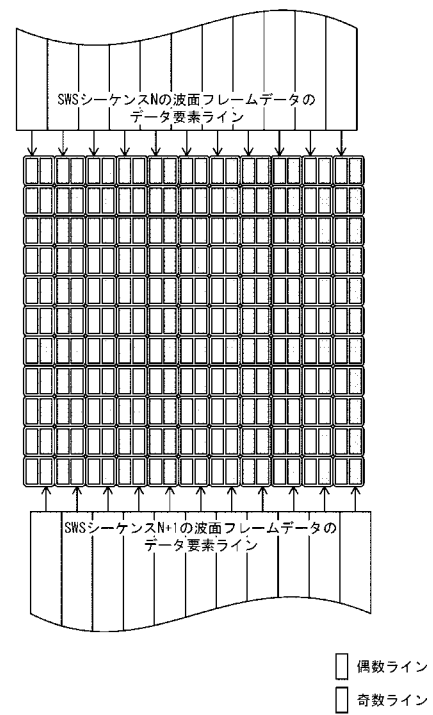
【図 10】



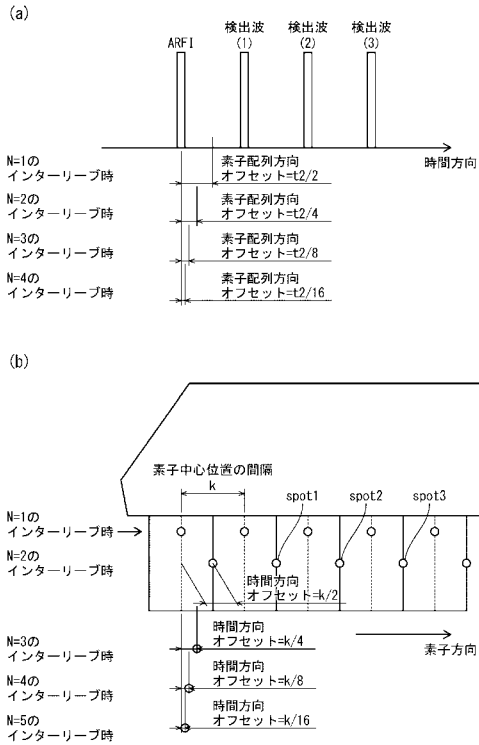
【図 11】



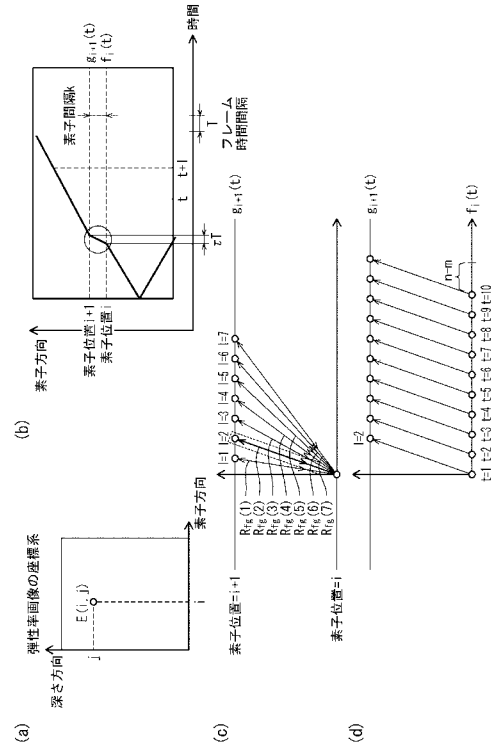
【図 12】



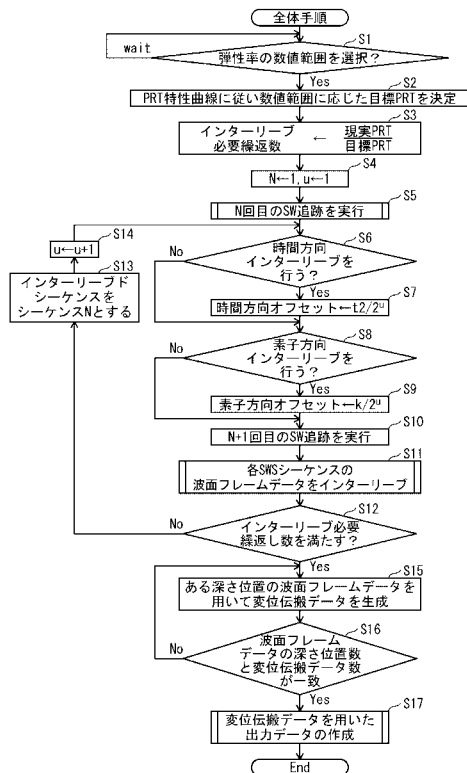
【図 13】



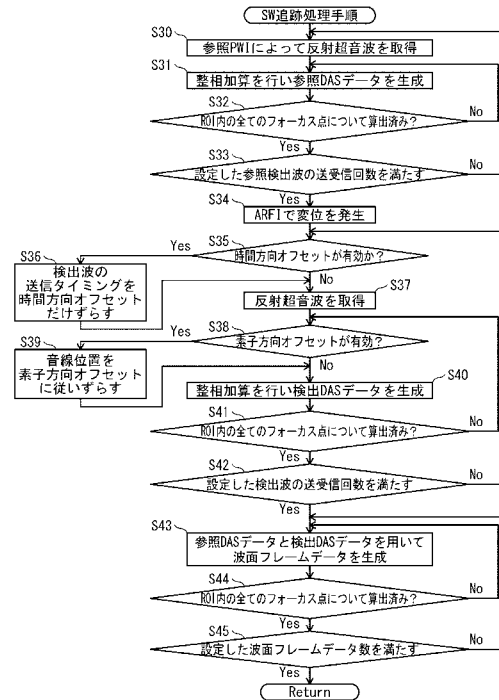
【図 14】



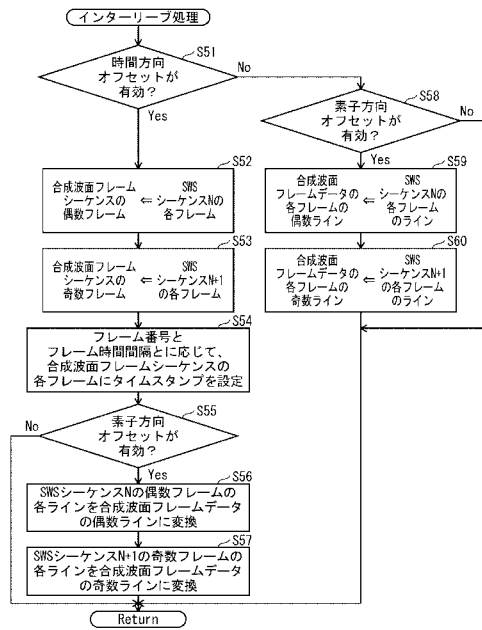
【図 15】



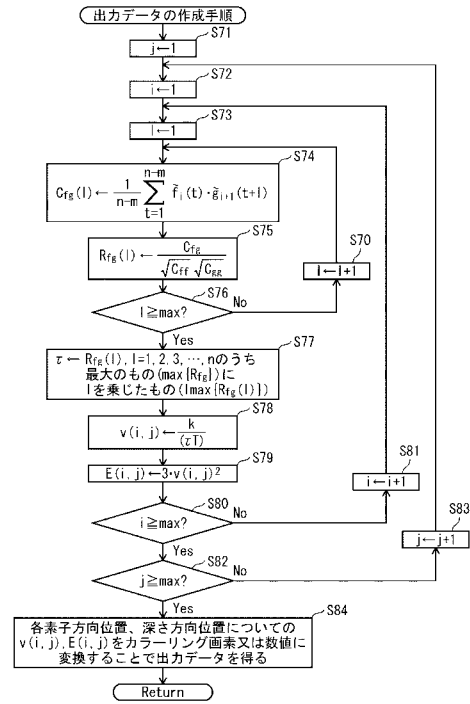
【図 16】



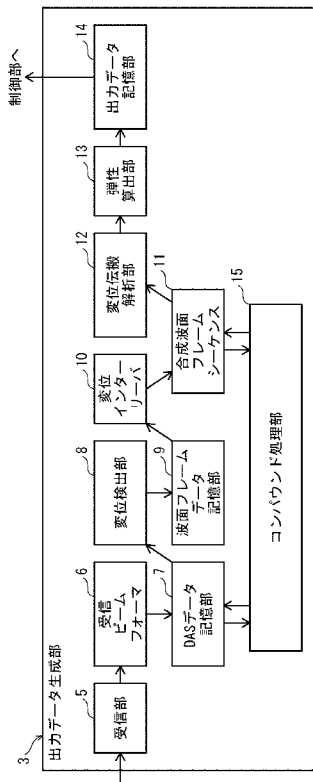
【図 17】



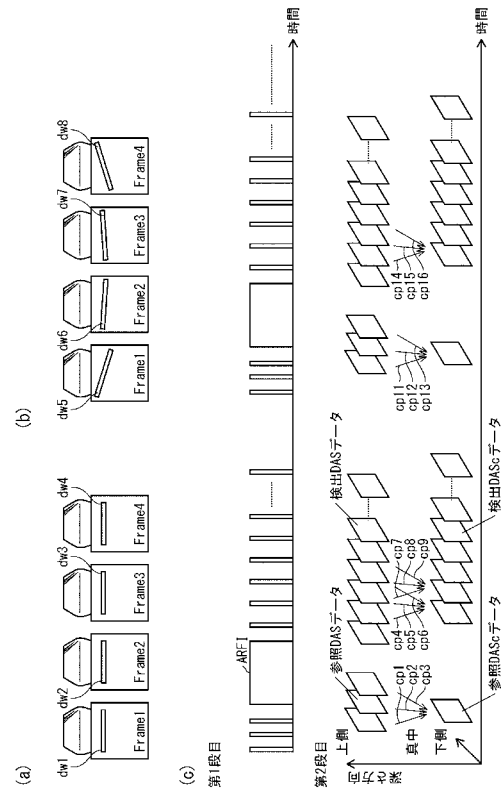
【図 18】



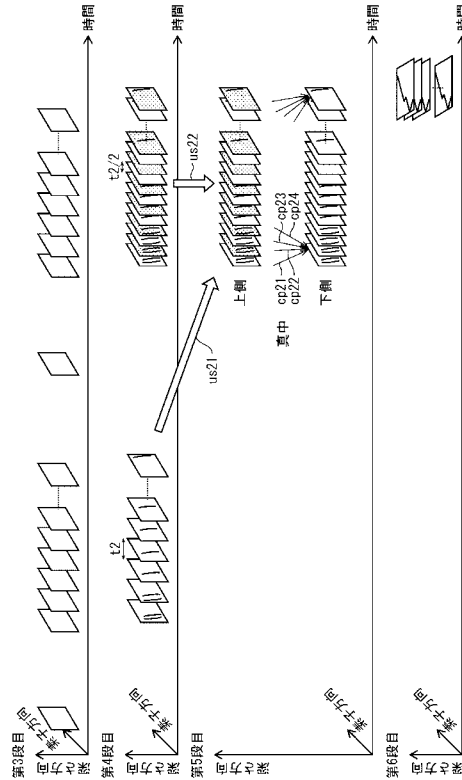
【図 19】



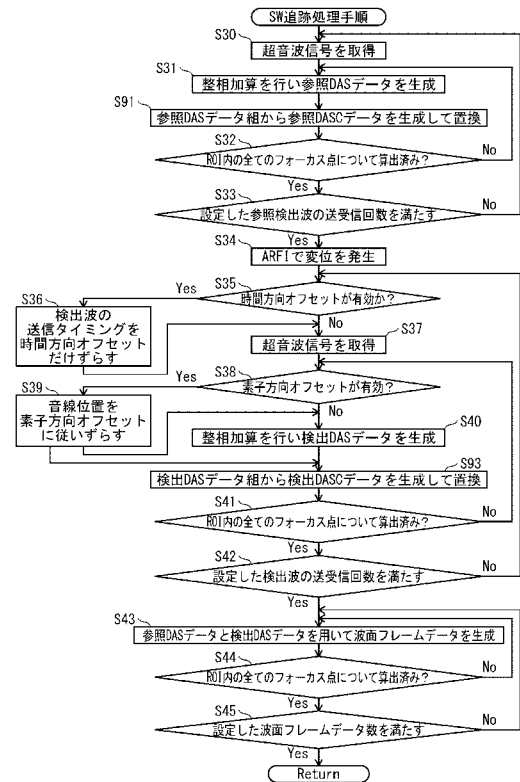
【図 20】



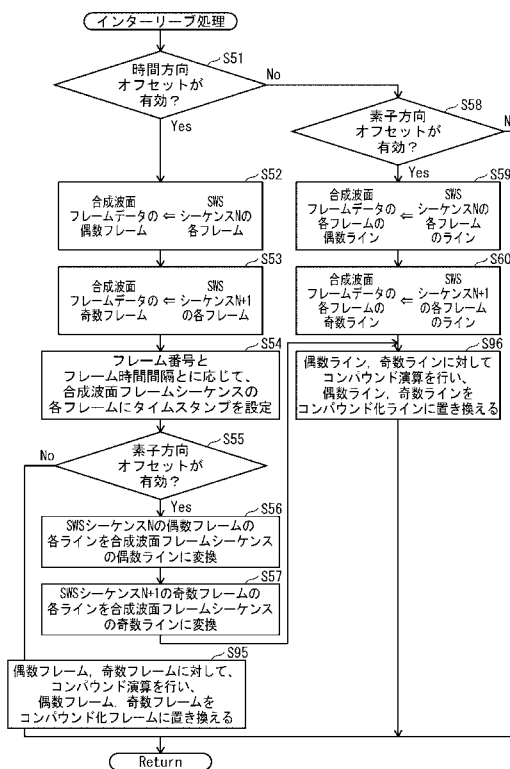
【図 2 1】



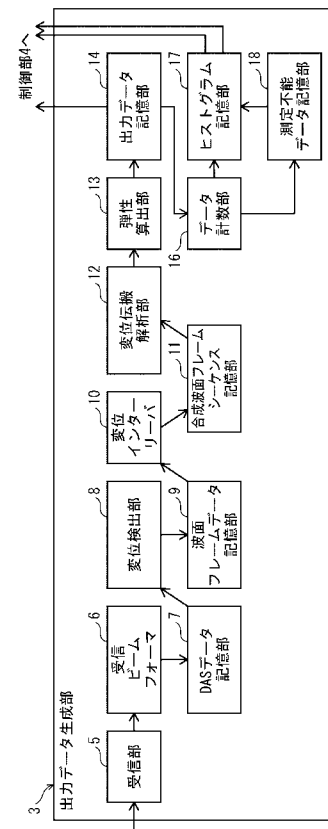
【図 2 2】



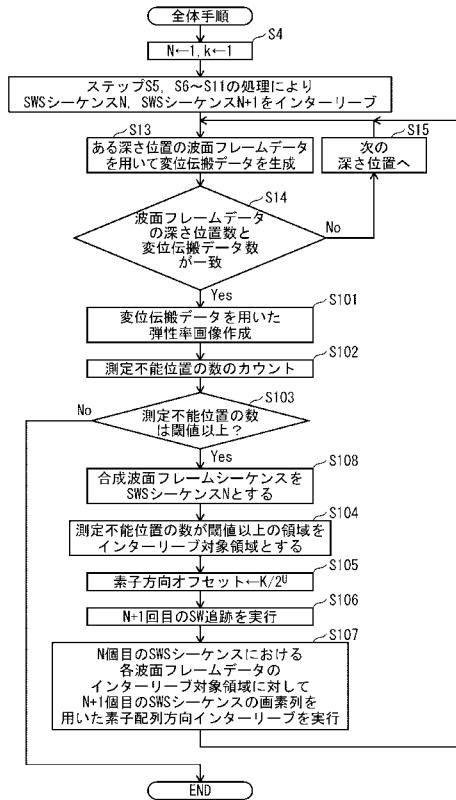
【図 2 3】



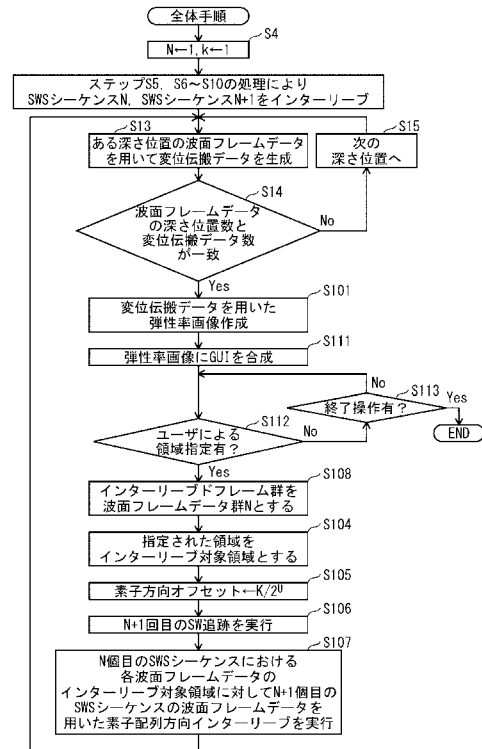
【図 2 4】



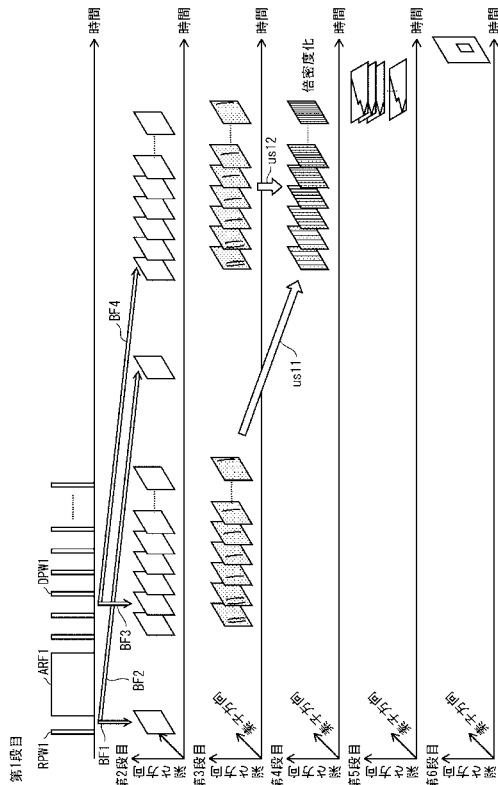
【図 28】



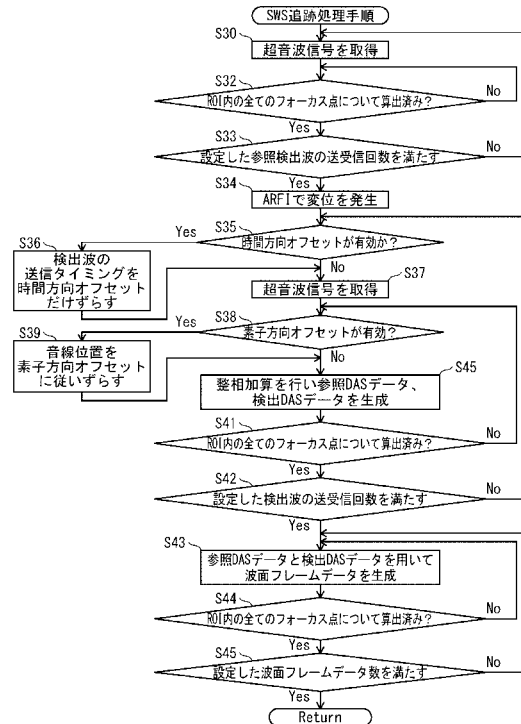
【図 30】



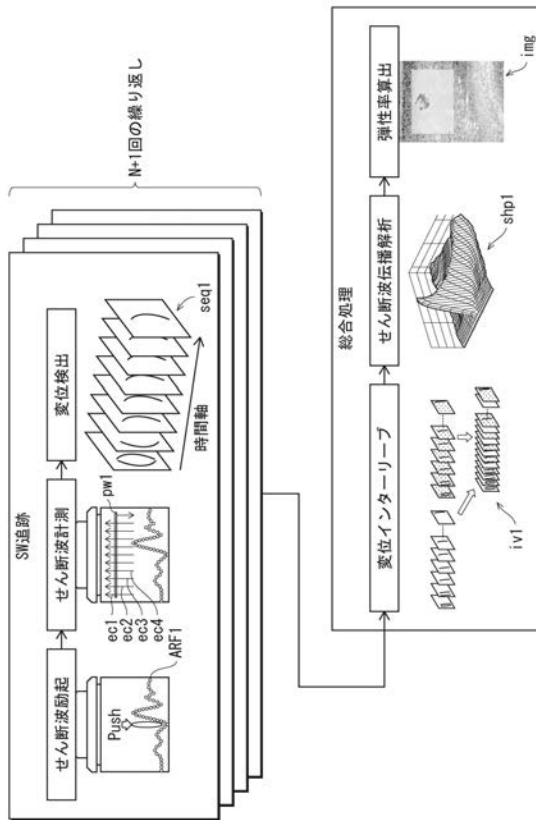
【図 31】



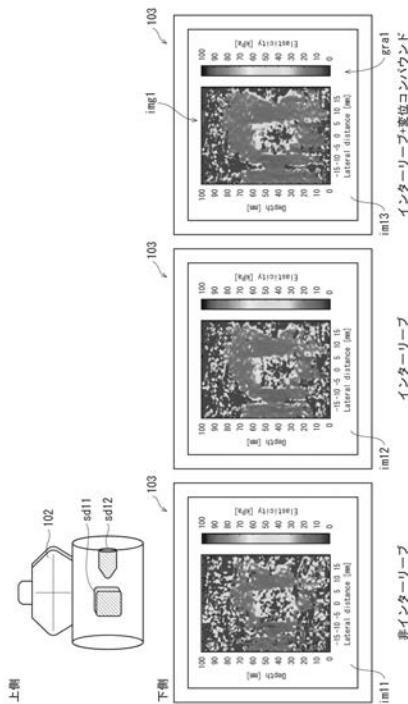
【図 32】



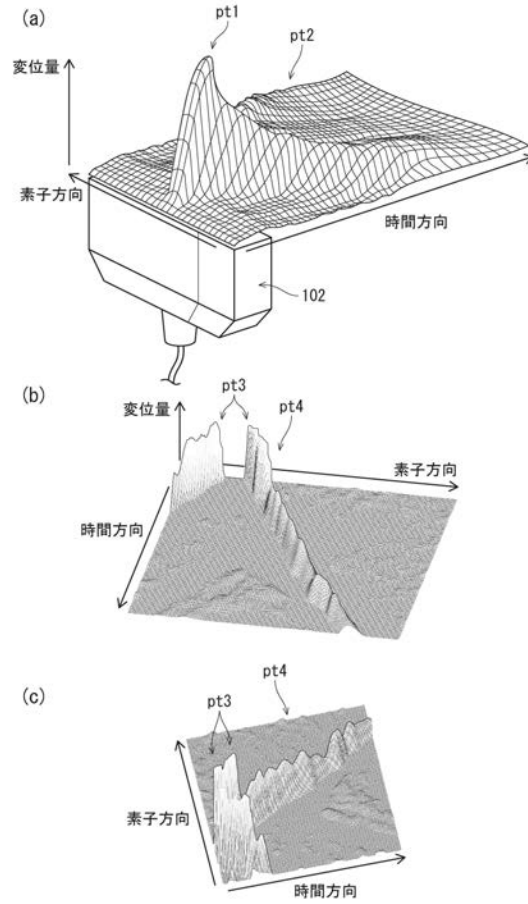
【図2】



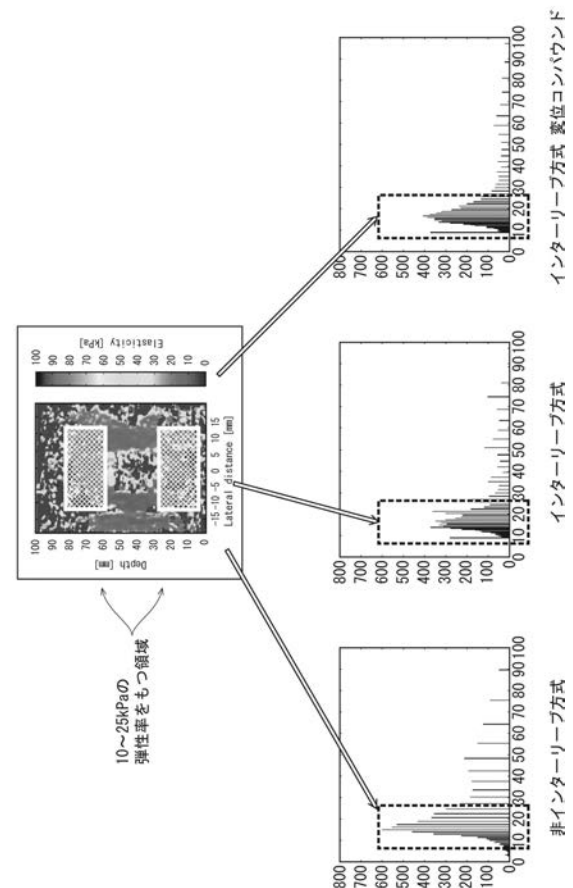
【図25】



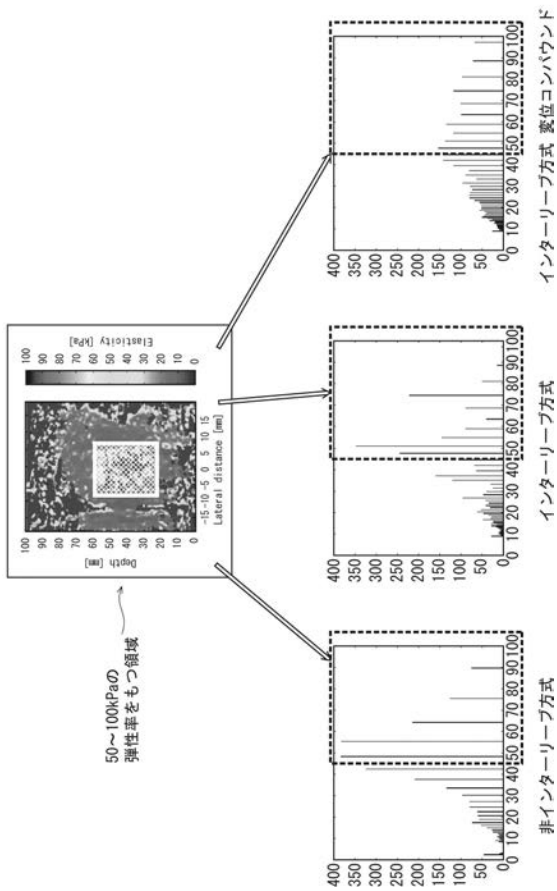
【図3】



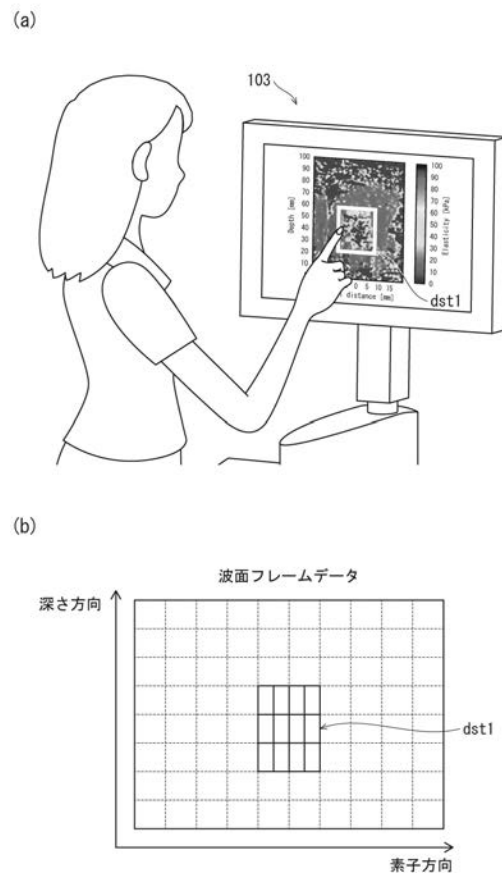
【図26】



【図 27】



【図 29】



专利名称(译)	超声波加工设备		
公开(公告)号	JP2016158922A	公开(公告)日	2016-09-05
申请号	JP2015041242	申请日	2015-03-03
[标]申请(专利权)人(译)	柯尼卡株式会社		
申请(专利权)人(译)	柯尼卡美能达有限公司		
[标]发明人	進泰彰		
发明人	進 泰彰		
IPC分类号	A61B8/08		
CPC分类号	A61B8/4405 A61B8/467 A61B8/485 A61B8/5207 A61B8/5223 A61B8/5253 A61B8/54 G01S7/52022 G01S7/52042 G01S7/52047 G01S7/52085 G16H50/30 G01S7/52095		
FI分类号	A61B8/08		
F-TERM分类号	4C601/BB06 4C601/DD19 4C601/DD20 4C601/DD23 4C601/EE01 4C601/EE09 4C601/HH31 4C601/JC16 4C601/JC19 4C601/JC37 4C601/KK31 4C601/KK45		
其他公开文献	JP6361528B2		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

解决的问题：提供一种超声处理装置，该超声处理装置能够在获取SWS（剪切波速）的方法中提高超声成像的分辨率并减小计算弹性模量的误差。交织器（10），通过对所获得的多个波阵面帧序列进行交织处理，出现在该复合波阵面帧序列中的剪切波的波阵面位置的变化量和帧时间，来获得复合波阵面帧序列。计算单元13通过使用该间隔来计算被检体内的剪切波的速度或弹性模量。交织器10进行的交织处理是帧间交织和/或元素阵列方向交织。[选择图]图5

