

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5753633号  
(P5753633)

(45) 発行日 平成27年7月22日(2015.7.22)

(24) 登録日 平成27年5月29日(2015.5.29)

(51) Int.Cl. F 1  
**A 6 1 B 8/08 (2006.01)** A 6 1 B 8/08

請求項の数 14 (全 25 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2014-545027 (P2014-545027)</p> <p>(86) (22) 出願日 平成26年1月29日(2014.1.29)</p> <p>(86) 国際出願番号 PCT/JP2014/051950</p> <p>(87) 国際公開番号 W02014/136502</p> <p>(87) 国際公開日 平成26年9月12日(2014.9.12)</p> <p>審査請求日 平成26年12月26日(2014.12.26)</p> <p>(31) 優先権主張番号 特願2013-42991 (P2013-42991)</p> <p>(32) 優先日 平成25年3月5日(2013.3.5)</p> <p>(33) 優先権主張国 日本国(JP)</p> <p>早期審査対象出願</p>	<p>(73) 特許権者 390029791                  日立アロカメディカル株式会社                  東京都三鷹市牟礼6丁目2番1号</p> <p>(74) 代理人 110000888                  特許業務法人 山王坂特許事務所</p> <p>(72) 発明者 田原 麻梨江                  東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内</p> <p>(72) 発明者 吉川 秀樹                  東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内</p> <p>(72) 発明者 浅見 玲衣                  東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内</p>
---	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波診断装置、及び送受信方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

超音波探触子と、

被検体の内部を変位させ、せん断波を発生させる変位生成部と、

前記超音波探触子から前記被検体の第一の検出位置に第1の超音波ビームを送信して第一の反射信号を受信し、前記第一の反射信号に基づいて前記第一の検出位置における第一の変位を検出し、前記第一の変位の検出結果に基づいて、前記第1の超音波ビームを前記第一の検出位置より後に送信する前記被検体の第二の検出位置を動的に変更し、前記変更した第二の検出位置に前記第1の超音波ビームを送信して第二の反射信号を受信し、前記第二の反射信号に基づいて前記第二の検出位置における第二の変位を検出する検出部と、

前記第一の変位と前記第二の変位に基づき、前記せん断波の速度を算出し、前記被検体の硬さ情報を出力する制御部と、を備える、  
 ことを特徴とする超音波診断装置。

【請求項2】

請求項1に記載の超音波診断装置であって、前記検出部は、前記第一の検出位置において前記第一の変位のピーク値が検出されなかった場合、または、前記第一の変位が予め定めた閾値を超えない場合、前記第二の検出位置を変更することを特徴とする超音波診断装置。

【請求項3】

請求項1に記載の超音波診断装置において、前記検出部は、前記第一の検出位置におい

て前記第一の変位のピーク値を検出した後、前記第二の検出位置を指定することを特徴とする超音波診断装置。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の超音波診断装置であって、  
前記制御部は、前記せん断波のピーク値、もしくは、ゼロクロス値に基づき、前記せん断波の群速度を算出し、前記群速度に基づき前記硬さ情報を出力する、  
ことを特徴とする超音波診断装置。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の超音波診断装置であって、  
前記制御部は、前記せん断波のスペクトル値に基づき、前記せん断波の位相速度および 10  
粘性を算出し、前記位相速度および粘性に基づき前記硬さ情報を出力する、  
ことを特徴とする超音波診断装置。

【請求項 6】

請求項 1 に記載の超音波診断装置であって、  
前記制御部は、前記検出位置の間隔を設定可能である、  
ことを特徴とする超音波診断装置。

【請求項 7】

請求項 1 に記載の超音波診断装置であって、  
入力部を更に備え、  
前記入力部により、前記硬さ情報として、前記せん断波の群速度、或いは前記せん断波 20  
の位相速度および粘性を設定可能である、  
ことを特徴とする超音波診断装置。

【請求項 8】

請求項 1 に記載の超音波診断装置であって、  
入力部を更に備え、  
前記検出位置の間隔を前記入力部から設定可能である、  
ことを特徴とする超音波診断装置。

【請求項 9】

請求項 1 に記載の超音波診断装置であって、  
表示部を更に備え、 30  
前記表示部に、前記硬さ情報を表示する、  
ことを特徴とする超音波診断装置。

【請求項 10】

請求項 9 に記載の超音波診断装置であって、  
前記表示部に、前記硬さ情報の信頼度として、標準偏差、或いは 2 つ以上の前記せん断  
波の波形の相関関数を表示する、  
ことを特徴とする超音波診断装置。

【請求項 11】

請求項 9 に記載の超音波診断装置であって、  
前記表示部は、前記第 1 の超音波ビームのパルス繰返し周期 ( P R T ) もしくはパルス 40  
繰返し周波数 ( P R F ) を表示する、  
ことを特徴とする超音波診断装置。

【請求項 12】

請求項 1 に記載の超音波診断装置であって、  
前記検出部は、前記せん断波の進行波、または反射波を検出する、  
ことを特徴とする超音波診断装置。

【請求項 13】

請求項 1 に記載の超音波診断装置であって、  
前記変位生成部は、機械駆動、あるいは第 2 の超音波ビームの放射により前記被検体を  
変位させる、

ことを特徴とする超音波診断装置。

【請求項 14】

超音波ビームの送受信方法であって、

被検体の内部を変位させて、せん断波を発生させ、

超音波探触子から、前記被検体の第一の検出位置に第1の超音波ビームを送信して第一の反射信号を受信し、前記第一の反射信号に基づいて前記第一の検出位置における第一の変位を検出し、前記第一の変位の検出結果に基づいて、前記第1の超音波ビームを前記第一の検出位置より後に送信する前記被検体の第二の検出位置を動的に変更し、前記変更した第二の検出位置に前記第1の超音波ビームを送信して第二の反射信号を受信し、前記第二の反射信号に基づいて前記第二の検出位置における第二の変位を検出し、

10

前記第一の変位と前記第二の変位に基づき、前記せん断波の速度を算出し、前記被検体の硬さ情報を算出する

ことを特徴とする超音波ビームの送受信方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は超音波診断装置に係わり、特に、超音波の送受信によって被検体内のせん断波を検出する超音波技術に関するものである。

【背景技術】

【0002】

20

乳癌や肝硬変、血管障害などの診断方法として、医者の触診の代わりとして、超音波エコー信号から生体等の被検体内部の硬さを診断する方法（エラストグラフィ技術）がある。エラストグラフィ技術による被検体の硬さの診断では、従事者は超音波プローブを被検体表面に押し当てて圧迫し、被検体内部の組織に変位を生じさせる。圧迫による内部の組織の圧縮前後で変位検出用超音波ビームを照射してエコー信号を取得し、取得したエコー信号に基づいて圧縮方向の変位を推定し、変位の空間微分量である歪みを求める。さらに、歪みと応力から硬さに関する値、例えばヤング率が算出される。また、非特許文献1に記載されるように、超音波集束ビームを用いて被検体内部に放射圧を印加することにより、介在層の影響を抑えて対象組織を変位させて、変位検出用超音波ビームを照射してエコー信号を取得し、取得したエコー信号に基づいて生体等の被検体の硬さの診断をするエラストグラフィ技術がある。

30

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0003】

【非特許文献1】Jeremy J. Dahl他、“A Parallel Tracking Method for Acoustic Radiation Force Impulse Imaging”、IEEE transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control、Vol. 54、No. 2、2007、pp. 301 312.

【発明の概要】

40

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上記の超音波プローブを被検体表面に押し当てて圧迫する方法では、撮像対象が、体表からの圧迫が容易なところに存在する臓器に限られるという課題がある。例えば、体表と肝臓の間には、介在層としてすべり面が存在するため、肝臓に十分な変位を生じさせるように圧迫することは困難である。

【0005】

超音波集束ビームを用いて被検体内部に放射圧を印加する方法は、超音波によって組織を変位させるため、すべり面などの介在層の影響を低減でき、手技依存性が少ない。

【0006】

50

いずれの方法においても、圧迫や放射圧の印加により、被検体内にせん断波を生じさせ、せん断波の伝搬に伴う被検体内部の組織の変位を、変位検出用超音波ビームにより検出し、せん断波の速度等が推測され、被検体の硬さ等が推測される。せん断波速度の推定精度は、変位検出用超音波ビームによるせん断波の検出位置が多い程、高くなる。そこで、複数の検出位置で変位を検出するために、複数の検出位置に、変位検出用超音波ビームのパルスの時分割で並列に照射する動作を繰り返す方法（Parallel Tracking法）が知られている。しかしながら、この方法は、計測位置全体のせん断波計測の時間分解能が、変位検出用超音波ビームのPRT（Pulse Repetition Time、パルス繰り返し周期）によって制限される。すなわち、変位検出用超音波ビームを時分割で並列に照射する検出位置の数を増やすほど、同一の検出位置に変位検出用超音波ビームが照射される周期（時間間隔）は広がり、一カ所当たりの時間分解能が低下する。以上のように、検出位置の増加による空間分解能向上と、せん断波のピーク位置検出の時間分解能にはトレードオフの関係がある。

10

## 【0007】

非特許文献1には、Parallel tracking技術を用いて時間分解能を低下させずに複数の検出位置で同時にせん断波を検出するために、せん断波を検出するための超音波ビームのビーム径を大きくして、1カ所に超音波を照射し、その受信波形から複数位置の受信波形を生成する方法も開示されている。この場合、時間分解能を維持することは可能であるが、ビーム径を大きくすることにより、空間分解能が低下するという課題がある。

20

## 【0008】

本発明の目的は、上述したエラストグラフィ技術における課題を解決し、高い時間分解能と空間分解能でせん断波速度の計測が可能な超音波診断装置、および超音波ビームの送受信方法を提供することにある。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0009】

上記の目的を達成するため、本発明においては、超音波探触子と、被検体の内部を変位させ、せん断波を発生させる変位生成部と、超音波探触子から、被検体の複数の検出位置に順次第1の超音波ビームを送信して反射信号を受信し、受信した反射信号を用いて、検出位置の変位を検出することにより、せん断波を検出する検出部と、検出部の出力に基づき、せん断波速度を算出し、被検体の硬さ情報を出力する制御部とを備える構成の超音波診断装置を提供する。

30

## 【0010】

また、上記の目的を達成するため、本発明においては、超音波ビームの送受信方法であって、被検体の内部を変位させ、超音波探触子から、被検体の複数の検出位置の一つに第1の超音波ビームを送信して反射信号を受信し、受信した反射信号に基づき、検出位置を切り換え、複数の検出位置の変位によるせん断波速度を検出して被検体の硬さ情報を算出する超音波ビームの送受信方法を提供する。

## 【発明の効果】

## 【0011】

本発明によれば、高い時間分解能かつ空間分解能でせん断波の計測が可能となる。

40

## 【図面の簡単な説明】

## 【0012】

【図1】実施例1における超音波診断装置のシステム構成の一例を示すブロック図である。

【図2】実施例1に係わる、超音波探触子により超音波集束ビームを焦点Fに集束させ、せん断波を発生させる状態を示す説明図である。

【図3】実施例1に係わる、超音波のビームフォーミングを説明する図である。

【図4】実施例1に係わる、超音波ビーム送受信のシーケンスを説明する図である。

【図5A】実施例1に係わる、各検出位置におけるせん断波の伝搬による変位の時間変化

50

波形を示すグラフである。

【図5B】実施例1に係わる、せん断波の変位がピークとなる時刻と検出位置との関係を示すグラフである。

【図6】従来の検出位置X1、X2、X3におけるせん断波の検出タイミングのシーケンスを説明する図である。

【図7】実施例1に係わる、検出位置X1、X2、X3におけるせん断波の検出タイミングのシーケンスを説明する図である。

【図8】実施例1、2に係わる、せん断波検出の動作を示すフローチャートである。

【図9】実施例1において、表示部5の硬さ計測結果の表示画面の例を示す説明図である。

10

【図10】実施例1の応用例に係わる、検出位置X1、X2、X3におけるせん断波の検出タイミングのシーケンスを説明する図である。

【図11A】実施例1に係わる、各検出位置におけるせん断波の粒子速度の時間変化波形を示すグラフである。

【図11B】実施例1に係わる、各検出位置におけるせん断波の粒子速度の時間変化波形の別の例を示すグラフである。

【図12A】実施例1に係わる、減衰比が1または1より小さい場合のせん断波の変位の時間波形と、閾値THとの関係を説明する図である。

【図12B】実施例1に係わる、減衰比が1より大きい場合のせん断波の変位の時間波形と、閾値TH、-THとの関係を説明する図である。

20

【図13】実施例2に係わる、検出位置X1、X2、X3におけるせん断波の検出タイミングのシーケンスを説明する図である。

【図14A】実施例2に係わる、せん断波の相関関数の一例を説明する図である。

【図14B】実施例2に係わる、せん断波の相関関数の一例を説明する図である。

【図15】実施例3に係わる、境界がある場合のせん断波の伝搬方向について説明する図である。

【図16】実施例3に係わる、検出位置X1、X2、X3におけるせん断波の検出タイミングのシーケンスを説明する図である。

【図17】実施例3に係わる、せん断波検出の動作を示すフローチャートである。

【図18】実施例3に係わる、表示部5の計測結果の表示画面の例を示す説明図である。

30

【図19A】実施例3に係わる、せん断波の変位(振幅)の減数特性の一例(境界がない場合)を説明する図である。

【図19B】実施例3に係わる、せん断波振幅の減数特性の他の例(境界がある場合)を説明する図である。

【図20】実施例4に係わる、機械駆動源を用いてせん断波を発生する超音波診断装置のシステム構成の一例を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、図面に従い、本発明の種々の実施の形態を説明する。まず、実施例1~3に共通の超音波診断装置の構成例を説明する。本実施形態の超音波診断装置は、被検体組織にせん断波を生じさせ、せん断波の伝搬により生じる被検体組織の変位を、複数の検出位置で検出し、例えば、せん断波速度を推定する。せん断波速度は、検出位置とせん断波の到来時刻との線形近似によって算出、推定される。また、せん断波の到来時刻は、例えば、せん断波の時間波形のピーク値を検出することによって推定される。

40

【0014】

図1に実施例1~3に係わる超音波診断装置の一例の全体構成を示す。超音波診断装置は、生体等の被検体に向かって超音波ビームの送受信をする超音波探触子1、超音波探触子1に接続された送受切替スイッチ2、被検体内に変位を生じさせる変位生成部10、被検体内に生じた変位を検出する検出部20、および、変位生成部10と検出部20を制御するための制御部3を備えている。更には、超音波診断装置は、検出部20の出力が入力

50

されるデジタルスキャンコンバータ 4、その出力を表示する表示部 5、制御部 3 に接続され、後で説明する各種の入力がなされる入力部 6 とを備える。変位生成部 10 は、後で説明するように変位生成用送波波形生成部 11、焦点位置設定部 12、変位生成用送波ビーム生成部 13、および、ビーム周波数設定部 14 を含む。検出部 20 は、変位検出用送波波形生成部 21、変位検出用送波ビーム生成部 22、変位検出用受波ビーム演算部 23、および、検波部 25 を含んでいる。なお、本明細書において、変位検出用超音波ビームを第 1 の超音波ビームと呼び、変位生成用超音波ビームを第 2 の超音波ビームと呼ぶ場合がある。

#### 【0015】

制御部 29 は、検出部 25 の出力を受け、その波形解析をおこなう波形解析部 26、および、波形解析部 26 の出力を受け、被検体の硬さ情報を算出する硬さ情報算出部 28 を含む。また、制御部 29 には、波形解析部 26 と、情報算出部 28 と、変位生成部 10 と、検出部 20 とを制御する中央制御部 29 を含んでいる。超音波探触子 1 は、送受切替スイッチ 2 を介して、変位生成用送波ビーム生成部 13、変位検出用送波ビーム生成部 22、および、変位検出用受波ビーム演算部 23 に接続されている。図 1 において、白抜き矢印はその接続関係を示したものである。

#### 【0016】

まず、図 1 の超音波診断装置の変位生成部 10 について説明する。変位生成部 10 内の変位生成用送波ビーム生成部 13 は、中央制御部 29 の制御下で、変位生成用送波波形生成部 11 で作られた波形を用いて、焦点位置設定部 12 で設定された位置に超音波ビームが集束するように、遅延時間や重みを与えた超音波探触子 1 の素子毎の送波信号を生成する。変位生成用送波ビーム生成部 13 からの送波信号は、超音波探触子 1 において超音波信号に変換され、生体等の被検体に向かって照射される。これにより、変位生成用超音波ビームである第 2 の超音波ビームが照射される。変位生成用超音波ビームの照射開始時間と終了時間はビーム周波数設定部 14 で設定される。ここで、ビーム周波数とは、変位生成用超音波ビームの照射の繰り返し周波数のことを示している。

#### 【0017】

次に、図 1 の検出部 20 について説明する。変位生成用送波ビーム生成部 13 からの電気信号（送波信号）に基づく変位生成用超音波ビームの照射後、被検体内組織の変位を検出するための第 1 の超音波ビームである変位検出用超音波ビームが、超音波探触子 1 から照射される。変位生成用送波ビーム生成部 13 と同様に、変位検出用送波ビーム生成部 22 は、中央制御部 29 の制御下で、変位検出用送波波形生成部 21 で作られた波形を用いて、所望の位置に変位検出用超音波ビームが集束するように、遅延時間や重みを与えた超音波探触子 1 の素子毎の送波信号を生成する。

#### 【0018】

被検体内で反射して超音波探触子 1 に戻ってきた反射信号であるエコー信号は、超音波探触子 1 において電気信号に変換され、送受切替スイッチ 2 経由で変位検出用受波ビーム演算部 23 に送られる。変位検出用受波ビーム演算部 23 の出力は、検波部 25 において、包絡線検波、log 圧縮、バンドパスフィルタ処理およびゲインコントロールなどの信号処理の後、制御部 3 内の波形解析部 26 に、せん断波の伝搬に伴う被検体組織の変化を示す信号として出力される。波形解析部 26 では、入力された信号に基づき、せん断波による被検体組織の変位を求める演算や、せん断波に関する解析を行う。せん断波に関する解析としては、例えばせん断波の時間波形のピーク値を検出し、ピークとなる時刻が算出する演算を行う。

#### 【0019】

波形解析部 26 の出力は、中央制御部 29 を経由して検出部 20 の変位検出用送波ビーム生成部 22 に送られ、せん断波の検出位置や検出時刻の設定に用いられる。すなわち、本実施例の超音波診断装置にあっては、検出部 20 の出力に基づき、複数の検出位置のうち変位検出用超音波ビーム（第 1 の超音波ビーム）が照射される検出位置を切り換えるよう制御する。また、検出部 20 の出力に基づき、複数の検出位置の検出時刻を制御する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 0 】

また、波形解析部 26 の出力信号として、検出位置と解析結果が硬さ情報算出部 28 に送られる。この解析結果は、例えば、せん断波による被検体組織の変位のピークとなる時刻を示す信号である。硬さ情報算出部 28 では、入力された信号から被検体組織の硬さ情報を表す、せん断波速度およびヤング率等を算出して出力する。硬さ情報算出部 28 から出力された硬さ情報を示す信号は、スキャンコンバータ 4 において画像信号に変換され、表示部 5 において、硬さ情報を示す数値や画像として表示される。

## 【 0 0 2 1 】

なお、図 1 に示すブロックの一部である中央制御部 29、波形解析部 26、および、硬さ情報算出部 28 等は、例えば、中央処理部 (Central Processing Unit: CPU) と、プログラムやデータを記憶するメモリ等を含む通常のコンピュータが、CPU においてプログラムを実行することにより実現することができる。このプログラムは、当該コンピュータ構成のメモリ等に記憶される。あるいは、波形解析部 26、硬さ情報算出部 28 の少なくとも一方を専用のハードウェアで構成することも可能である。

10

## 【 実施例 1 】

## 【 0 0 2 2 】

実施例 1 は、被検体内のせん断波を測定する複数の検出位置における検出時刻を切替え、せん断波の速度を求め、被検体の硬さ情報を推定することが可能な超音波診断装置の実施例である。なお、以下の説明においては、被検体の硬さ情報として、せん断波速度を求める場合を例に説明するが、これに限定するものでなく、ヤング率等の他の硬さ情報であっても良い。

20

## 【 0 0 2 3 】

本実施例の超音波診断装置は、図 1 に示すように、超音波探触子 1 と、被検体の内部を変位させる変位生成部 10 と、超音波探触子 1 から被検体の複数の検出位置に順次第 1 の超音波ビームを送信して反射信号を受信し、受信した反射信号を用いて検出位置における被検体組織の変位を検出することにより、せん断波の伝搬を検出する検出部 20 と、検出部 20 の出力に基づきせん断波速度を算出し、せん断波速度を被検体の硬さ情報として出力する制御部 3 とを備える。また、本実施例の超音波ビームの送受信方法は、被検体の内部を変位させ、超音波探触子から、被検体の複数の検出位置の一つに第 1 の超音波ビームを送信してエコー信号 (反射信号) を受信し、受信した反射信号に基づき、検出位置を切り換え、複数の検出位置の変位によるせん断波速度を検出して被検体の硬さ情報を算出する超音波ビームの送受信方法の実施例である。

30

## 【 0 0 2 4 】

変位生成部 10 は、第 1 の超音波ビーム (変位検出用超音波ビーム) の照射の前に、第 2 の超音波ビームである変位生成用超音波ビームを放射して被検体組織を変位させ、せん断波を発生させる。検出部 20 が、せん断波の検出のために第 1 の超音波ビームを照射する検出位置および検出時刻の切り換えは、複数の検出位置各々への第 1 の超音波ビームの送信時間を切替えることにより実現される。

## 【 0 0 2 5 】

図 2 に示すように、本実施例の超音波診断装置は、超音波探触子 1 の各素子 100 から送出される超音波集束ビーム (変位生成用超音波ビーム = 第 2 の超音波ビーム) を用いて被検体内部に放射圧を印加する方法を用いる装置である。リニアアレイ型の超音波探触子 1 を被検体である生体の体表面に接触させ、変位生成部 10 の変位生成用送波ビーム生成部 13 の出力に基づき、体内の所望の断層面に、超音波探触子 1 から照射される第 2 の超音波ビーム (変位生成用超音波ビーム) を焦点に集束させる場合について以下説明する。ここでは、所望の断層面内において、変位生成用超音波ビームの伝搬方向は体表に対して垂直な方向とする。図 2 において、白抜き矢印で示すのがせん断波伝搬方向、実線矢印が変位の方向である。

40

## 【 0 0 2 6 】

50

変位生成用超音波ビームのビームフォーミングは、図3の上段に示すように、超音波ビームを集束させる焦点と超音波探触子1の各素子100との位置の間の距離を求め、素子100間での距離差を対象物の音速で割って算出した時間を、遅延時間として素子100毎の送波信号に与えることにより実現する。焦点に集束ビームが照射されると、伝搬に伴う超音波の吸収や散乱に応じて放射圧が生じる。通常、焦点において放射圧が最大となり、焦点領域の生体組織に変位が生じる。この放射圧の生成によって、図2に示すように、集束点を起点として被検体表面と平行方向にせん断波が発生する。また、集束ビームの照射が止められると、変位量が緩和される。なお、図3の下段は、超音波探触子1の素子100への駆動パルスの遅延時間を制御することにより、焦点位置の変更を行った場合を  
10

#### 【0027】

次に、図4を用いて、本実施例の超音波診断装置の超音波ビームの送受波方法について説明する。図4は、本実施例の超音波診断装置の第2の超音波ビームである変位生成用送波ビーム7、第1の超音波ビームである変位検出用送波ビーム8、変位検出用受波ビーム9の照射/受信シーケンスを模式的に示す。図4において、縦軸の1をON、0をオフと呼ぶ。変位生成用送波ビーム7および変位検出用送波ビーム8は、ONのときに、それぞれ焦点Fおよび検出位置に照射される。一方、変位検出用受波ビーム9をONにすると  
20

は、送受波切替スイッチ2により、変位検出用送波ビーム生成部22と超音波探触子1との接続を切り離し、変位検出用受波ビーム演算部23と超音波探触子1との接続を行い、エコー信号(反射信号)である受波信号の取得し、ビームフォーミングのための整相加算演算を行うことである。ON/OFFの切り替えは、送受切替スイッチ2を例えば電圧の振幅値で制御することによって行う。図4のように、まず、変位検出用送波ビーム8、変位検出用受信ビーム9の順にONし、せん断波による被検体組織の変位およびせん断波速度を検出する際の演算に使用する参照信号を得る。

#### 【0028】

参照信号を得た後、図2の焦点Fに第2の超音波ビームである変位生成用送波ビーム7を照射し、被検体組織にせん断波を発生させる。このとき、変位生成用送波ビーム7の照射(ON)および非照射(OFF)を所定の周波数PRFpで繰り返す。周波数PRFpの値は、変位生成部10のビーム周波数設定部14で設定する。これにより、変位生成用送波ビーム7のONとOFFの周波数PRFpを制御して、測定することができる。前記変位生成用送波ビーム7の送信周波数(繰り返し周波数であるPRFpではなく、送波ビーム自体の周波数)は、超音波探触子1にて高感度な送受信が実現する中心周波数付近で実施する。  
30

#### 【0029】

図4では、一例として変位生成用送波ビーム7の照射(ON)の回数を3回としているが、照射回数は、3回には限られない。照射回数が多い方が、被検体組織の変位は大きくなる。変位生成用送波ビーム7の照射後、せん断波による被検体組織の変位を検出位置で  
40

検出するため、変位検出用送波ビーム8と変位検出用受波ビーム9が順にONとなる。変位検出用送受波ビームによって得られた信号には、検出部20の検波部25においてバンドパスフィルタ等の信号処理および演算処理が行われ、PRFpに相当する信号がせん断波に関する信号として抽出され、出力される。

#### 【0030】

検出位置における変位検出の演算は、波形解析部26において、先に得た参照信号と変位検出用送受波ビームによって得られた信号とを用いて行われる。波形解析部26で実行される変位検出の演算には、周知技術である相関演算、位相検波などが用いられる。変位検出用送受波ビームを、繰り返し周波数PRFdで繰り返しONとし、せん断波による変位の時間波形を検出する。PRFdは、せん断波の周期Tに対して十分に測定できるサン  
50

プリング間隔、例えば  $(1/10) \times T$  とする。この P R F d は、検出部 20 の変位検出用送波波形生成部 21 で設定する。

#### 【0031】

本実施例においては、変位の検出位置は、被検体表面と平行方向なせん断波の伝搬方向に沿っており、かつ、等間隔に並ぶ複数位置  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$  とする。ここで、図 2 の焦点 F の位置を  $x = 0$  とし、 $x_1 < x_2 < x_3$  とする。図 5 A に変位の検出位置  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$  におけるせん断波変位 (= せん断波の伝搬による被検体組織の変位の振幅値) の時間波形  $W_1$ 、 $W_2$ 、 $W_3$  の例を示す。図 5 A では、せん断波速度は  $3 \text{ m/s}$ 、 $x_1 = 1.2 \text{ mm}$ 、 $x_2 = 2.5 \text{ mm}$ 、 $x_3 = 3.8 \text{ mm}$  の場合の測定値を示している。図 5 A から、検出位置が焦点から遠くなるほど、せん断波の変位がピークとなる時刻が遅くなること  
10  
10

がわかる。そして、制御部 3 の硬さ情報算出部 28 は、波形解析部 26 の出力に基づき、図 5 B に示すようにピークとなる時刻と検出位置とのグラフで、ピークとなる時刻とせん断波の検出位置との線形近似した近似直線 50 の傾きを算出することによって、硬さを表わすパラメータであるせん断波速度を算出する。

#### 【0032】

なお、後で説明するように、ここでのピーク値やゼロクロス値を用いて算出されるせん断波速度は、群速度である。すなわち、本実施例における制御部 3 は、せん断波のピーク値、もしくは、ゼロクロス値に基づき、せん断波の群速度を算出し、この群速度に基づき被検体の硬さ情報を算出する。後で説明するように、せん断波のスペクトル値に基づき、せん断波の位相速度および粘性を算出し、この位相速度および粘性に基づき前記硬さ情報  
20  
20

を算出することもできる。術者は、入力部 6 により、求める硬さ情報として、せん断波の群速度、せん断波の位相速度および粘性を設定 (選択) することが可能である。

#### 【0033】

図 6 を用いて、従来の、複数の検出位置  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$  のせん断波による変位を同時に検出する技術 (Parallel tracking 技術) を説明する。この技術は、複数の検出位置  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$  に変位検出用超音波ビームを時分割して並列に照射する動作を全計測期間において繰り返すことにより、複数の検出位置の変位を同時に全計測期間において検出する。すなわち、各検出位置  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ 、 $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ 、 $\dots$  の順に変位検出用超音波ビームを照射する動作を計測時間中繰り返す。図 6 中の縦軸は検出位置とその検出位置における変位を示し、横軸は計測時間を示す。点線は、時間方向  
30  
30

のせん断波の検出ライン (変位検出用超音波ビームの照射タイミング) を示す。また、図 6 において、せん断波  $W_1$ 、 $W_2$ 、 $W_3$  を示す曲線は、検出位置  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$  にそれぞれ到来するせん断波の波形 (変位) を示す。したがって、図 6 に示す、検出ラインとせん断波  $W_1$ 、 $W_2$ 、 $W_3$  の曲線が交差する位置であり、全計測期間においてせん断波の変位量が検出されていることがわかる。図 6 に示すとおり、各検出位置  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$  において、等時間間隔  $PRT'$  でせん断波の変位を検出している。

#### 【0034】

せん断波変位検出の時間分解能について説明する。せん断の変位検出の時間分解能は、変位検出用超音波ビームの PRT (Pulse Repetition Time、パルス繰り返し周期) によって制限される。すなわち、変位検出用超音波ビームの PRT よりも  
40  
40

細かい周期では、せん断波の変位は検出できないため、最小時間分解能は、PRT となる。図 4 に示すように、変位検出用超音波ビームの PRT は、 $1/P R F d$  であり、せん断波の検出位置が一カ所のみの場合には、その検出位置に PRT により変位検出用超音波ビームを照射できるため、最小時間分解能は PRT に等しい。しかしながら、図 6 に示すように、3 つの検出位置  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$  に並列に変位検出用超音波ビームを照射する場合には、検出位置は 3 カ所あるため、一つの検出位置に変位検出用超音波ビームが照射可能な周期は、PRT の 3 倍になる。したがって、各検出位置における最小時間分解能  $PRT'$  は  $PRT * 3$  となる。

#### 【0035】

次に、図 7 を用いて、本実施例における複数の検出位置におけるせん断の検出シーケン  
50  
50

スについて説明する。本実施例の超音波診断装置においては、複数の検出位置にせん断波の到来する時刻に差があることを利用し、検出位置ごとに計測期間を割り当て、一つの計測期間においては、一つの検出位置についてのみせん断波を検出する。せん断波を計測する検出位置の切り替えは、波形解析部26の出力に基づいて行うように制御する。具体的には、まず、検出位置x1のみに第1の超音波ビームである変位検出用超音波ビームを照射可能な最小の周期(PRT)で送出し、検出位置x1におけるせん断波W1の変位を検出する(検出位置x1の計測期間)。このとき、他の検出位置x2とx3では検出を行わない。検出位置x1でせん断波W1の変位の時間波形のピーク値が検出されると、検出位置x1での検出を終了し、同時に、検出位置x2に第1の超音波ビームである変位検出用超音波ビームを、照射可能な最小の周期(PRT)で送出し、検出位置x2におけるせん断波W2の検出を行う(検出位置x2の計測期間)。同様に検出位置x2において、せん断波W2の変位のピーク値が検出されると、検出位置x2でのせん断波検出を終了し、同時に検出位置x3に第1の超音波ビームである変位検出用超音波ビームを、照射可能な最小の周期(PRT)で送出し、検出位置x3におけるせん断波W3の検出を行う(検出位置x3の計測期間)。検出位置x3において、せん断波W3のピーク値が検出されると、せん断波W3の検出は終了する。

10

## 【0036】

本実施例におけるせん断波の変位のピーク値の検出は、例えば、HPF(High Pass Filter:ハイパスフィルタ)等の既存技術を用いて、制御部3の波形解析部26、例えばCPUで検出される。上記の説明では、検出位置の数は3つとしているが、検出位置の数はこれに限らない。

20

## 【0037】

本実施例の複数の検出位置におけるせん断の検出シーケンスは、複数の検出位置にそれぞれせん断波の到来する時刻に差があることを利用し、一つの検出位置でせん断波の変位のピークが検出されるまで、その検出位置のみに変位検出用超音波ビームを照射し続けるように制御するため、せん断の変位検出の時間分解能PRT'はPRTに等しい。そして、ピークが検出されたタイミングで次の検出位置に、変位検出用超音波ビームの照射位置を移動させることにより、各検出位置でせん断波の変位のピークを検出することができる。したがって、複数の検出位置でのせん断波の検出を可能にしながら、せん断波検出の時間分解能を低下させることなく、また空間分解能も低下させることなく、複数位置で検出したせん断波変位からせん断波速度を求めることができ、硬さ情報の算出が可能となる。

30

## 【0038】

次に、図8を用いて実施例1の超音波診断装置の制御部3の波形解析部26、硬さ情報算出部28、中央制御部29における、せん断波速度算出の処理フローについて説明する。まず、図8のフローチャートにおいて、ステップS00で計測を開始する。ここでは、表示部5に表示される断層像、例えばBモード像やストレイン画像を見て、術者が固さを測定する範囲(ROI:Region of Interest)を設定し、表示部5の表示画面上のGUI(Graphical User Interface)中の開始スイッチ、或いは入力部6の開始スイッチを押す。範囲の設定は例えば、表示部5の表示画面や、トラックボール、マウス、キーボード、タッチパネルなどの入力部6を介して決定してもよいし、また、制御部3が図示しない記憶装置であるメモリ等から肝臓や乳腺等の測定部位に応じた位置を読み出し、決定してもよい。開始スイッチは超音波診断装置の入力部6であるパネル上に配置されている。検出位置x1、x2、x3・・・xnは、術者が設定したROI内に設定される。検出位置の間隔等、検出位置の具体的な位置は、制御部3が自動で設定することも可能であるし、入力部6から術者が設定することも可能である。

40

## 【0039】

次に、ステップS10において、図7に示した検出位置x1でのせん断波W1の検出を開始する。変位検出用送波ビーム生成部22において、検出位置x1の位置に第1の超音波ビームである変位検出用超音波ビームをPRTの時間間隔で照射し、変位検出用受波ビーム演算部23が被検体からの反射波を受波し、検波部25を介して波形解析部26で変

50

位計算およびピーク検出が行われる。

【0040】

図8のステップS12において、検出位置x1でせん断波W1のピーク値を検出するまで、検出位置x1での変位検出用ビームの送受信は継続する。本実施例の構成にあっては、制御部3の波形解析部26でせん断波のピーク値が検出されると、波形解析部26から変位検出用超音波ビーム生成部22に直接、或いは中央制御部29経由で、次の変位の検出位置をx2に設定するための信号が出力される。

【0041】

すなわち、本実施例の装置によれば、制御部3の波形解析部26からの信号で、検出部20の変位検出用送波ビーム生成部22は、複数の検出位置x1、x2、x3・・・の各々に変位検出用超音波ビームを送信する検出時刻を切替える、言い換えるなら検出部20の出力に従い、変位を検出する検出位置を動的に切替えることが可能となる。また、図7に示す第一の検出位置x1とピーク値となった時刻T1が、中央制御部29により図示しないメモリに記録される。検出部20は、第一の検出位置におけるせん断波の解析結果に応じて、第二の検出位置x2に変位検出用超音波ビームを送信する時刻、すなわち、第二の検出位置x2に動的に切替える時刻を設定可能である。

【0042】

次に、ステップS20において、ステップS10と同様に、検出位置x2でせん断波の検出が開始される。また、ステップS22において、ステップS12と同様の処理が、検出位置x2で検出されたせん断波W2に対して実行される。検出位置x2でピーク値が検出された場合、検出位置x2とピーク値となった時刻T2が制御部3を介して、図示しないメモリに記録される。硬さ情報算出部28におけるせん断波速度の算出には、図5Bから明らかのように、少なくとも2カ所の検出位置とピーク値となる時刻が必要である。2カ所で計測を終了する場合には、ステップS50において、せん断波速度の算出を行う。せん断波速度の算出は、波形解析部26で得られたピーク時刻と検出位置を使って、硬さ情報算出部28で行う。硬さ情報算出部28で算出する値は、せん断波速度の他、せん断粘性、ヤング率、せん断波弾性係数等の硬さ情報である。硬さ情報算出部28における、せん断波速度などの硬さ情報の算出が終了すると、ステップS60において、計測が終了し、表示部5に硬さ情報に関する値や画像が表示される。

【0043】

硬さ情報であるせん断波速度の算出を高精度に行うには、検出位置の数を増やして計測を行う。この場合には、検出位置x2におけるピーク値を検出した後、ステップS24において、次の検出位置が指定される。ここでは、波形解析部26において、検出番号である $n=3$ に相当する、検出位置 $x_n$  ( $n=3$ )を変位検出用送波ビーム生成部22に出力することを意味する。ステップS30では、変位検出用送波ビーム生成部22から送出する変位検出用超音波ビームによる検出位置を動的に切り換えて、検出位置x3でのせん断波W3のピークの検出を開始する。ステップS40において、検出位置x3でピークを検出できない、もしくは、x3が計測可能な位置の限界に達した場合には、ステップS50においてせん断波速度の推定が行われ、ステップS60において計測が終了する。

【0044】

なお、ここでピークを検出できないとは、波形解析部26において相関演算して得られた位相や変位量が、脈波などの影響によるノイズを下回る場合を意味する。また、計測可能な位置の限界とは、超音波探触子1で生成させる変位検出用ビームの位置であるか、もしくは、予め指定された位置である。位置の指定は、入力部6を介して術者が入力するか、もしくは、制御部3の中央制御部29が図示しないメモリから読みだして行う。ステップS40において、検出位置x3でピークを検出できない、もしくは、x3が計測可能な位置の限界に達した場合のいずれにも該当しない場合には、ステップS32において、波形解析部26により図5Bに示した近似直線50等を用いて次の検出位置 $x_n$  ( $n=n+1$ )が指定され、ステップS30において、検出位置 $x_n$ でのせん断波の検出が開始される。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 4 5 】

図 9 に、本実施例の装置の硬さ情報算出部 2 8 で計測され、表示部 5 に出力される硬さ計測結果の表示画面の例を示す。表示部 5 は、硬さ情報を表示する。また、表示部 5 は、硬さ情報の信頼度を表示可能であり、この信頼度として、標準偏差、或いは 2 つ以上のせん断波の波形の相関関数等を表示可能である。更に、表示部 5 には、第 1 の超音波ビームのパルス繰返し周期 ( P R T ) もしくはパルス繰返し周波数 ( P u l s e R e p e t i t i o n F r e q u e n c y 、パルス繰返し周波数) を表示可能である。

## 【 0 0 4 6 】

図 9 は、リニアアレイ型探触子でせん断波を検出した場合の、せん断波のピーク位置 5 1 と波面 5 2 を示している。表示部 5 には、併せて R O I 内で推定されたせん断波速度の値や、その値の信頼度を示す標準偏差等の値が表示される。また、図 9 の表示画面の右側には、ピーク位置と検出位置との関係を示すグラフが表示される。この図 9 より、正しく計測が行えているか、術者が目で見て確認することが可能になる。また、表示部 5 の表示画面には、せん断波計測の時間分解能である実効的な P R T 、もしくは、P R T の逆数である P R F を表示してもよい。複数回計測した結果を元にせん断波速度の違いをカラー値で表わし、カラーマッピング表示してもよい。この場合、図 1 に示す超音波診断装置の構成にカラースケール機能を追加すれば良い。

## 【 0 0 4 7 】

図 9 に示すように、本実施例における表示部 5 の表示画面には、制御部 3 が算出して出力する被検体の硬さ情報であるせん断波速度、その信頼度を示す標準偏差、P R T 、P R F 、P a r a l l e l t r a c k i n g 法を適用の有無 ( O N 、 O F F ) 、せん断波の波面 5 2 、せん断波のピーク位置 5 1 等を表示することにより、利用者の便宜を図ることができる。

## 【 0 0 4 8 】

続いて、本実施例の超音波診断装置における、検出位置  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3 \cdots x_n$  の間隔の設定方法について説明する。本実施例の装置においては、制御部 3 は、検出位置の間隔を設定可能である。また、検出位置の間隔を入力部 6 から術者が設定可能である。例えば、この検出位置の間隔は、せん断波の波長を  $\lambda$  とすると、 $\lambda/2 \sim \lambda$  の値とする。ただし、波長は計測対象部位で想定されるせん断波速度と変位生成用集束ビームの照射時間情報から決定される。例えば、肝臓の計測を行う場合、肝臓のせん断波速度はおよそ  $1 \sim 5 \text{ m/s}$  である。集束ビームの照射時間を  $0.5 \text{ ms}$  とすると、集束ビームの周期は  $2 \times 0.5 = 1 \text{ ms}$  となる。このとき、波長はせん断波速度と周期との積で計算でき、 $1 \sim 5 \text{ mm}$  程度である。したがって、制御部 3 は、せん断波の検出位置の間隔を、 $0.5 \text{ mm} \sim 5 \text{ mm}$  の範囲で設定する。

## 【 0 0 4 9 】

また、上述の通り、この検出位置の間隔は、術者が入力部として機能可能な表示部 5 や、入力部 6 を介して入力してもよい。すなわち、図 1 に示した表示部 5、入力部 6 は、検出位置の間隔を設定可能である。この場合、術者は、計測結果を踏まえてマニュアルで検出位置の間隔をフレキシブルに変更することが可能になる。もしくは、自動で検出位置の間隔を設定してもよい。この場合、検出位置の間隔の設定は、制御部 3 の波形解析部 2 6 である処理部が行う。検出位置の間隔を変更して硬さを計測し、変更した検出位置の間隔に対する硬さの平均値や分散値等を表示部 5 に表示するようにしてもよい。

## 【 0 0 5 0 】

続いて、図 1 0 を用いて、本実施例の変形例について説明する。本変形例は、第一の検出位置における検出部 2 の出力であるせん断波の検出結果に基づき、第二の検出位置に第 1 の超音波ビームを送信する時刻を設定する。先に説明した図 7 では、検出位置  $x_1$  でピークを検出すると同時に検出位置  $x_2$  で検出を開始した。図 1 0 では、検出位置  $x_1$  とピークとなる時刻  $T_1$ 、および、変位生成用集束ビームの照射時間情報を基に、検出位置  $x_2$  においてピークとなる時刻  $T_2$  を予測する。ここで、照射時間情報は、照射開始時刻、照射時間、または、照射終了時刻である。そして、検出位置  $x_2$  に対し、 $t = T_2 - N \times$

10

20

30

40

50

P R T ( N は任意の正の整数 ) から変位検出を開始する。この変形例では、せん断波の検出ラインを少なくすることができるため、計算処理コストを低減することが可能である。

【 0 0 5 1 】

以上説明した実施例 1 では、せん断波の変位の波形のピーク値を検出する方法について説明したが、変位その他、粒子速度、粒子加速度、位相、位相速度を用いてもよい。図 1 1 A、図 1 1 B に、図 5 A に示したせん断波の粒子速度 ( V e l o c i t y )、すなわち、せん断波の変位 / P R T を示している。ただし、粒子速度は、計測したい値であるせん断波の伝搬速度とは異なることに注意する。粒子速度の場合には、検出位置 1 カ所あたり、正のピーク、負のピーク、およびゼロクロス値の 3 つのパラメータが存在する。これらのパラメータのうち、1 つもしくは複数のパラメータを用いてせん断波速度としてせん断波の群速度の推定が可能である。

10

【 0 0 5 2 】

図 1 1 A に、せん断波の粒子速度波形 W 1 1、W 1 2、W 1 3、W 1 4 において、正のピークとなる時刻 T 1 1、T 1 2、T 1 3、T 1 4 を示している。また、図 1 1 B に、ゼロクロスとなる時刻 T 2 2、T 2 3、T 2 4 を示している。粒子速度を用いる場合の利点は、正のピークを検出した場合には、変位からピークを検出した場合に比べて、検出できる数が増えることである。また、せん断波の波形がより急峻になるため、体動などによる変動に対してロバストにピークの検出が可能である。

【 0 0 5 3 】

なお、粒子速度や粒子加速度は、せん断波の時間波形に対する信号処理において周知の技術である、傾きや輪郭を検出するフィルタ、例えば、グラディエントフィルタ処理、ラプラシアンフィルタ処理などを用いて検出してもよい。

20

【 0 0 5 4 】

このように粒子速度や粒子加速度を用いてせん断波を検出する場合には、図 8 の計測フローにおいて検出する値は、ピーク値その他、ゼロクロス値等を用いることも可能である。

【 0 0 5 5 】

以上説明した、実施例 1 の超音波診断装置によれば、高い時間分解能かつ空間分解能でせん断波の計測が可能である。これにより、高精度なせん断波速度の推定および硬さの評価が実現可能である。また、各計測位置において、せん断波の検出に必要な時間を最小限に抑えられるので計算コストを下げることができる。更に、任意の一カ所の計測位置において観測されるせん断波の波形から、次の検出位置や時刻を決定することができるため、一カ所あたりの P R T を最大にすることができる。

30

【 実施例 2 】

【 0 0 5 6 】

次に、第 2 の実施例を説明する。実施例 2 は、せん断波の周波数依存性を評価することが可能な超音波診断装置の実施例である。なお、実施例 2 の超音波診断装置の構成は図 1 に示す実施例 1 の装置構成と同様である。

【 0 0 5 7 】

実施例 1 では、せん断波のピークの位置とピークとなる時刻のみを用いて硬さ情報を測定した。その場合に得られるせん断波速度は、群速度に関する値である。一方で、硬さ情報の周波数依存パラメータとして粘性がある。ここでいう周波数とはせん断波の周波数を意味する。一般的に生体組織は粘性を持つため、せん断波速度は周波数依存性を持つ。せん断波速度の周波数依存性を評価するには、せん断波の波形全体を検出し、スペクトル解析してスペクトル値を算出する。スペクトル解析を行うためには、周知技術である F F T 解析等を用いる。本実施例の検出部 2 0 は、このせん断波のスペクトル値に基づき、せん断波の位相速度および粘性を算出し、位相速度および粘性に基づき被検体の硬さ情報を推定することができる。

40

【 0 0 5 8 】

更に、せん断波の時間応答は減衰比 ( D a m p i n g r a t i o ) によって異なる。図 1 2 A、図 1 2 B に、減衰比の違いによるせん断波の時間波形を示す。図 1 2 A は、減

50

衰比が  $< 1$  もしくは  $1$  の場合、図 1 2 B は減衰比が  $> 1$  の場合の時間応答波形である。

【 0 0 5 9 】

図 1 3 に実施例 2 における、せん断波の検出シーケンスを示す。この検出シーケンスも実施例 1 と同様、波形解析部 2 6、硬さ情報算出部 2 8、中央制御部 2 9 を構成する CPU のプログラム処理によって実現することができる。各検出位置  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$  において、せん断波  $W_{31}$ 、 $W_{32}$ 、 $W_{33}$  のピーク値が検出された時刻  $T_{31}$ 、 $T_{32}$ 、 $T_{33}$  の後も波形全体の計測が終了するまで変位の計測を続ける。波形全体の計測が終了したあとに計測位置を変更する。図 1 2 A、1 2 B に示すように、波形全体の終了時刻は、変位の絶対値が任意の閾値  $\pm TH$  の絶対値  $|TH|$  より小さくなった時刻とする。変位が正のとき閾値は正であり、変位が負のとき閾値は負である。この閾値としては、例えば、検出可能な最小変位置量、約  $0.05 \mu m$  を用いる。

10

【 0 0 6 0 】

図 1 2 A の波形の場合、せん断波の変位は、時刻  $T_{th}(1)$  において閾値  $TH$  より大きい値となり、その後、時間経過とともに変位は上昇し、最大値となった後に減衰し、時刻  $T_{th}(2)$  において閾値  $TH$  より小さくなる。このとき、時刻  $T_{th}(2)$  を計測終了時刻とする。

【 0 0 6 1 】

また、図 1 2 B の波形の場合、減衰比が  $1$  以上であり、変位は時間の経過に伴って正と負を繰り返す。この場合、計測終了の候補となる時刻は、時刻  $T_{th}(2)$ 、 $T_{th}(4)$ 、 $T_{th}(6)$  である。群速度を計測したい場合には、終了時刻は、候補となる時刻のうち、最も早い時刻を用いる。一方、周波数成分も含めて計測を行う場合には、波形全体が計測対象となるため、最も遅い時刻  $T_{th}(6)$  を用いる。このとき、最も遅い時刻  $T_{th}(6)$  は、その時刻  $T_{th}(6)$  から時刻  $T_{th}(=T_{th}(6) - T_{th}(5))$  と同じ時間が経過しても変位の絶対値が閾値の絶対値より大きくならない時刻に決定される。

20

【 0 0 6 2 】

なお、図 1 2 A、1 2 B の変位の正負が逆の場合も、同様に終了時刻を決定することが可能である。計測する対象が粒子速度、粒子加速度、位相、位相速度の場合には、設定する閾値は計測するパラメータに合わせて変更する。

【 0 0 6 3 】

一方、図 1 3 に示すように、せん断波の波形全体を計測するためには、2 つの検出位置で同時に計測を行う時間帯 ( $TD_2$ 、 $TD_3$ ) が存在する場合がある。すなわち、2 つの検出位置の計測期間が重なる時間帯がある。その場合、2 つの検出位置について同時に検出している時間帯 ( $TD_2$ 、 $TD_3$ ) のみ、周知技術である *Parallel tracking* 法 (非特許文献 1 参照) を適用する。このとき、 $PRT'$  は  $PRT * 2$  となる。その他の計測時間帯においては、実施例 1 と同様に  $PRT' = PRT$  で計測をする。なお、図 1 3 のように特定の計測時間帯 ( $D_2$ 、 $D_3$ ) についてのみ 2 つの検出位置について *Parallel tracking* 法を適用する本実施例は、従来の全計測時間帯に全検出位置に *Parallel tracking* 法を適用する方法に比べ、 $PRT$  の低下を最小限に抑えることができる。また、せん断波の検出位置の間隔を広げることによって、複数の位置で同時に検出するのを防ぐことも可能であり、この場合には、*Parallel tracking* 法を適用する時間帯が生じるのを避けることができる。検出位置の間隔は、実施例 1 で記述したように、術者が入力部 6 を使ってマニュアルで変更してもよいし、装置が自動的に設定してもよい。

30

40

【 0 0 6 4 】

実施例 2 におけるせん断波の計測フローは図 8 に示した実施例 1 の計測フローと同様である。ただし、図 8 のステップ  $S_{12}$ 、 $S_{22}$ 、 $S_{40}$  において、各検出値で計測を終了する時刻が、変位置量の絶対値が閾値  $TH$  を下回った場合となる。また、ステップ  $S_{50}$  では、せん断波のスペクトル解析が行われて、せん断波速度の周波数特性やせん断粘性等の粘性パラメータが推定される。

50

## 【0065】

実施例2の変形として、1回目は、実施例1の方法で群速度を計測し、2回目は粘性パラメータを計測する計測方法を行うことも可能である。この場合、ステップS60で表示部5に表示される値は、実施例1で記載した値の他、せん断粘性等の粘性パラメータである。また、せん断波速度と周波数との関係を示すグラフを表示してもよい。また、Parallel trackingを適用した場合には、表示部5の図9の表示例にParallel:ONと表示することが可能であり、術者がせん断波の検出手法を視覚的に確認することができる。

## 【0066】

更に、被検体である生体内の組織の硬さ情報の計測値の信頼度を評価する値として、実施例1で図9を用いて説明した標準偏差の他、異なる位置で検出された2つ以上のせん断波の波形の相関関数から信頼度を決定してもよい。理想的な均質媒質中をせん断波が伝搬する場合には、異なる検出位置においてせん断波の波形は類似の形である。しかし、せん断波が伝搬する領域内において、2種類以上の組織が存在し、それらの組織の音響パラメータ、例えば、せん断波速度、粘性等が異なる場合、伝搬とともに、せん断波の波形同士の類似性が失われる。類似性が高いほど、相関関数の最大値は大きくなり、相関関数の分散値もしくは標準偏差は小さくなる。そこで、表示部5に表示される信頼度として、2つ以上のせん断波の波形の類似度を示す値である、2つ以上のせん断波の波形の相関関数を用いることもできる。

## 【0067】

図14A、図14Bを用いて、この相関関数について説明する。相関関数は2つの異なるせん断波の時間波形やスペクトル値の波形を用いて計算することができる。図14Aにはせん断波の時間波形W11とW12を用いて計算した相関関数のグラフ、相関関数の最大値Aおよび分散値を示す。また、図14Bにはせん断波の変位の周波数スペクトルW11'とW12'を用いて計算した相関関数のグラフ、相関関数の最大値A'および分散値'を示す。最大値や分散値、もしくは両方の値を表示部5に表示させ、術者が計測結果の信頼度を評価することができる。相関関数の演算に用いる波形としては、せん断波の時間波形の他、せん断波の粒子速度、位相回転量、位相、加速度等の波形を用いてもよい。

## 【0068】

以上説明した実施例2の超音波診断装置によれば、実施例1の装置の効果に加え、せん断波の周波数依存性を評価することができ、また、計測結果の信頼度を評価することができるという効果を有する。

## 【実施例3】

## 【0069】

次に、第3の実施例を説明する。実施例3は、せん断波の反射波も考慮して、被検体の硬さを検出する超音波診断装置の実施例である。すなわち、実施例3の超音波診断装置における検出部20は、せん断波の進行波、または反射波を検出する構成の実施例である。なお、実施例3の超音波診断装置の構成は図1に示す実施例1の装置構成と同様であるが、その検出部20は、せん断波の進行波、または反射波を検出することができるものである。実施例1、2では、せん断波の伝搬方向は一方向のみを考慮しており、せん断波の反射については考慮していない。実施例3では、せん断波が反射する場合についての計測方法について説明する。ここでは、ピーク値のみを検出する場合について説明するが、粘性を計測する場合も同様に考えることができる。

## 【0070】

まず、図15を用いてせん断波の反射について説明する。ここでは、せん断波速度の異なる媒質1と2の境界をせん断波が通過するとする。図15は、垂直入射の場合、すなわち媒質の境界とせん断波の伝搬方向が直角の場合について説明している。境界53を通過する前のせん断波を入射波と呼ぶ。媒質1と2の密度は、生体の軟部と仮定すると、およそ $1000 \text{ kg/m}^3$ である。 $t = t_1$ の時刻に境界に入射する。入射した直後の時刻

10

20

30

40

50

、すなわち  $t = t + t$  において、入射波は、透過波と反射波にわかれる。媒質 1 と 2 それぞれのせん断波速度  $c_1$  と  $c_2$  によって、せん断波の反射波の振幅や位相は異なる。

【0071】

媒質 1 のせん断波速度  $c_1$  が媒質 2 のせん断波速度  $c_2$  よりも十分に大きい場合、すなわち  $c_1 \gg c_2$  の場合には、反射波の位相は反転しない。また、反射波の振幅値は入射波の 2 倍になる。 $c_1 \gg c_2$  のとき、透過波の振幅は反射波の振幅に対して十分に小さい値となる。一方、 $c_1 < c_2$  の場合には、反射の振幅値は入射波の振幅値よりも小さくなる。さらに  $c_1 < c_2$  のときには、反射波の位相は反転する。

【0072】

図 16 に、 $c_1 \gg c_2$  の場合におけるせん断波の反射波の検出シーケンスを示す。ここでは、検出位置  $x_2$  と  $x_3$  の間に境界があると想定する。反射波の検出をするには、 $x_2$  でピークを検出したあと、 $x_3$  でせん断波のピーク検出を開始する。実施例 1 や 2 のように境界が存在しない場合、検出位置  $x_3$  でせん断波がピークとなる時刻  $T_{43}$  は、検出位置  $x_1$  と  $x_2$ 、およびそれぞれの位置でピークとなった時刻  $T_{41}$ 、 $T_{42}$  から予想される。

10

【0073】

本実施例では、 $x_3$  におけるせん断波速度は、 $x_2$  におけるせん断波速度よりも遅い。そのため、好ましくは、検出位置  $x_1$  と  $x_2$ 、およびそれぞれの位置でピークとなった時刻  $T_{41}$ 、 $T_{42}$  から予想される時刻  $T_{43}$  に  $T$  だけ時間を増やした時刻を  $T_{43}' = T_{43} + T$  とする。 $T$  は、測定対象に応じて、せん断波速度の値を図示しない記憶媒体から中央制御部 29 が読みだして算出する。 $T_{43}'$  になっても変位が閾値  $T_H$  を超えない場合、検出位置を伝搬方向とは逆の方向にある位置、例えば  $x_r$  に変更する。検出位置  $x_r$  では、反射波のピークの検出を開始する。反射波を計測する位置として、好ましくは、 $x_r < x_1$  となる位置を設定する。さらに好ましくは、 $x_r = x_2 - 2x(x_2 - x_1)$  となる位置に設定する。 $x_r$  で検出されるせん断波のピークの符号は、 $x_1$  と  $x_2$  で検出されたピークの符号と同じ符号である。

20

【0074】

図 17 を用いて、実施例 3 におけるせん断波の検出フローについて説明する。このシーケンスも実施例 1、2 と同様、波形解析部 26、硬さ情報算出部 28、中央制御部 29 を構成する CPU のプログラム処理によって実現することができる。ここでは、実施例 1 で説明した図 8 の検出フローと異なるステップ S42、44、46、48、52、62 について説明する。

30

【0075】

ステップ S42 において、検出位置  $x_n$  でピーク値を検出できなかった場合、ステップ S44 で場所を  $n = r$  に変更する。波形解析部 26 から直接、或いは中央制御部 29 を介して、 $r$  に相当する位置を変位検出用送波ビーム生成部 22 に出力する。上記の例では、 $x_r = x_2 - 2x(x_2 - x_1)$  である。 $x_r$  の値は、ステップ S30 での検出位置に応じて最適な値を設定する。ステップ S46 では、検出位置  $x_r$  でせん断波の反射波の検出を開始する。

【0076】

ステップ S48 で、検出位置  $x_r$  でせん断波のピーク値を検出し、ピークとなる時刻  $T_{44}$  を硬さ情報算出部 28 に出力する。ステップ S52 では、検出位置とピーク値、ピークとなる時刻を用いてせん断波速度、反射係数等が計算される。

40

【0077】

ステップ S52 では、反射位置の推定も同時に行われる。反射位置の推定は、検出位置  $x_2$  と  $x_r$ 、およびこれらの位置においてピーク値となった時刻  $T_{42}$ 、 $T_{44}$  を用いて推定することが可能である。これらの計算は上述の硬さ情報算出部 28 で行われる。ステップ S62 で計測が終了すると、計測結果が表示される。

【0078】

図 18 に実施例 3 における表示部 5 の表示画面の一例を示す。表示部 5 には、せん断波

50

速度の他、反射係数が表示される。またせん断波の反射波の波面 5 5 や、境界位置 5 4 が表示される。さらには、検出位置に対するピーク位置として、進行波と反射波の位置を示すグラフを表示してもよい。表示部 5 を見て、術者は計測が正しく行われているか確認することが可能である。また、境界位置や反射係数等の情報から病変部の特定や症状を観察することが期待される。ステップ S 4 8 で反射波が検出されなかった場合には、硬さ情報算出部 2 8 の出力値は例えば反射係数 0 となる。

#### 【 0 0 7 9 】

ここでは、反射波の計測位置が 1 カ所の場合についてのみ説明したが、計測位置の数は 2 カ所以上とすることも可能である。また、反射波に対しても、波面全体を計測して、周波数特性や粘性パラメータを算出してもよい。

#### 【 0 0 8 0 】

$c_1 < c_2$  の場合における反射波の検出方法について説明する。この場合には、反射波の他、透過波も存在するため、閾値を用いて反射の有無を評価することができない。この場合には、 $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$  における変位の減衰特性から反射波の有無を判断する。以下、図 1 9 A、1 9 B を用いてせん断波の減衰特性について説明する。

#### 【 0 0 8 1 】

図 1 9 A のように境界がない場合、各検出位置におけるせん断波の変位の最大値  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$  と最大となった時刻は減衰関数で表わされる。図 1 9 A の例では、最大変位  $P$  は  $B * \exp(-t)$  で表わされる。 $B$  は減衰定数、 $t$  は時刻である。次に図 1 9 B を用いて、境界があり、かつ  $c_1 < c_2$  の場合について説明する。せん断波  $W 4 3$  が境界を透過後の変位波形であるとき、最大変位  $P_3'$  は境界がない場合よりも小さい値となる。減衰関数からの誤差、すなわち  $P_e = (P_3 - P_3') / P_3 * 100$  がある閾値よりも大きい場合、せん断波  $W 4 3$  を透過波であるとみなす。閾値は 1 0 % を用いる。例えば減衰関数はエクスポネンシャルの他、ハンケル関数等、一般的な波の減衰を表わす関数でもよい。検出されるせん断波のピークの符号は、 $x_1$  と  $x_2$  で検出されたピークの符号と同じ符号である。

#### 【 0 0 8 2 】

本実施例において、術者は反射波を検知するかどうかを、入力部 6 を用いて切り替えることができる。また、実施例 2 で説明した *Parallel tracking* 法を用いると、反射係数によらず透過波と反射波の両方を検出することが可能である。更に、本実施例は、境界とせん断波の伝搬方向が直角とはならない一般の場合に応用することも可能である。以上説明した実施例 3 の超音波診断装置によれば、実施例 1 の装置の効果に加え、せん断波の反射波を評価することができるという効果を有する。

#### 【 実施例 4 】

#### 【 0 0 8 3 】

上述した実施例 1 ~ 3 において、変位生成部 1 0 が第 2 の超音波ビームの放射することにより被検体を変位させる構成であった。すなわち、超音波集束ビームで放射圧を生成してせん断波を発生させたが、放射圧の他、機械駆動 ( D C モータ、振動ポンプ、など )、手動圧迫、電気パルスによる圧迫等の周知の方法を用いてもよい。第 4 の実施例として、機械振動により被検体を変位させる機械駆動を用いて超音波プローブを生体等の被検体表面に押し当て圧迫する超音波診断装置の実施例を説明する。すなわち、機械駆動式変位生成部が、機械駆動により被検体を変位させる構成の超音波診断装置の実施例である。図 2 0 に実施例 4 の機械駆動を用いて、せん断波を発生させて計測を行う場合の超音波診断装置の構成例を示す。ここでは、図 1 との違いのみについて説明する。

#### 【 0 0 8 4 】

図 2 0 に明らかのように、変位生成部 1 0 の代わりに機械駆動式変位生成部 3 0 で変位を生成する。また、変位生成用送波波形生成部 3 1 によって、機械駆動する際に用いる波形を生成し、変位生成用駆動部 3 3 に出力する。また、駆動周波数設定部 3 4 で、駆動周波数を設定する。変位生成用駆動部 3 3 は図示しないモータ等のアクチュエータを駆動させる。アクチュエータを生体の体表に接触させ、生体内に変位およびせん断波を生成する

10

20

30

40

50

。本実施例のように、機械駆動式を用いる利点は、機械駆動による生体内の温度上昇が無視できるため、計測時間や回数に制限がないことである。また、正弦波でアクチュエータを動作させることによって、特定の周波数成分の粘性パラメータを計測することが可能である。しかし、空間分解能は実施例 1～3 の放射圧を用いる場合に比べて低い。一方、放射圧を用いる場合には、生体内の温度上昇が制限値を超えない計測時間や計測間隔で計測を行わなければならないが、任意の位置に集束ビームを照射できるため、空間分解能は高い。

#### 【 0 0 8 5 】

なお、本発明は上記した実施例に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。例えば、上記した実施例は本発明のより良い理解のために詳細に説明したのであり、必ずしも説明の全ての構成を備えるものに限定されるものではない。また、ある実施例の構成の一部を他の実施例の構成に置き換えることが可能であり、また、ある実施例の構成に他の実施例の構成を加えることが可能である。また、各実施例の構成の一部について、他の構成の追加・削除・置換をすることが可能である。

10

#### 【 0 0 8 6 】

以上説明した各実施例は、送受信の ON、OFF の制御、および受信信号の処理方式と、更にその結果に基づく送受信制御へのフィードバックに関するものである。つまり、本実施例の実現においては、リニアアレイ型の探触子の代わりに、コンベックス型やセクター型の探触子を用いてもよいし、2次元探触子を使用してもよく、超音波の送受信が可能であれば、利用するデバイスの種類を限定しない。

20

#### 【 0 0 8 7 】

更に、上述した各構成、機能、処理部等は、それらの一部又は全部を実現するプログラムを作成する例を説明したが、それらの一部又は全部を例えば集積回路で設計する等によりハードウェアで実現しても良いことは言うまでもない。

#### 【 符号の説明 】

#### 【 0 0 8 8 】

- 1 超音波探触子
- 2 送受切替スイッチ
- 3 制御部
- 4 デジタルスキャンコンバータ
- 5 表示部
- 6 入力部
- 7 変位生成用超音波ビーム
- 8 変位検出用超音波ビーム
- 9 変位検出用受波ビーム
- 10 変位生成部
- 11 変位生成用送波波形生成部
- 12 焦点位置設定部
- 13 変位生成用送波ビーム生成部
- 14 ビーム周波数設定部
- 20 検出部
- 21 変位検出用送波波形生成部
- 22 変位検出用送波ビーム生成部
- 23 変位検出用受波ビーム演算部
- 25 検波部
- 26 波形解析部
- 28 硬さ情報算出部
- 29 中央制御部
- 30 機械駆動式変位生成部
- 31 変位生成用送波波形生成部

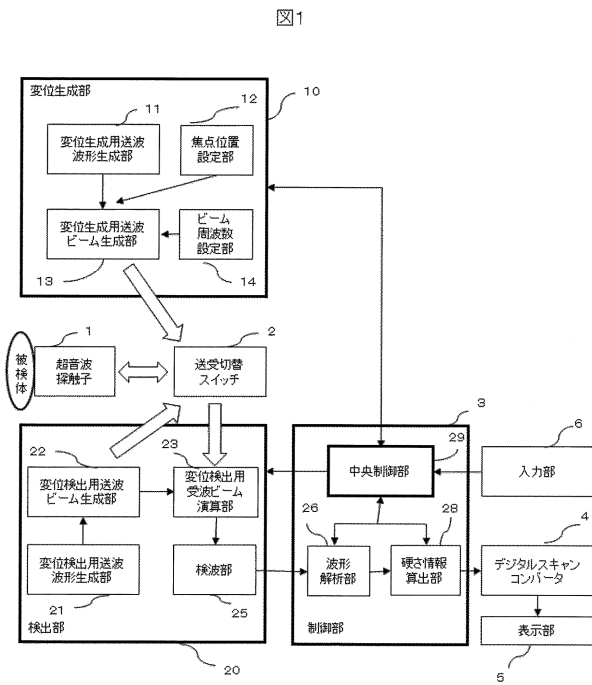
30

40

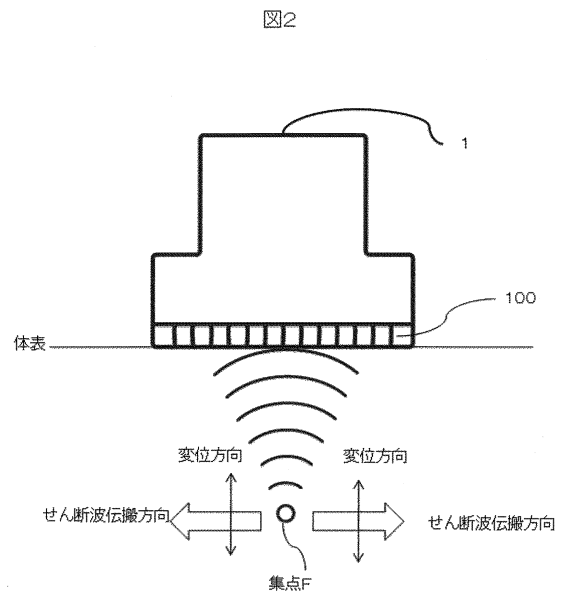
50

- 3 3 変位生成用駆動部
- 3 4 駆動周波数設定部
- 5 0 近似直線
- 5 1 ピーク位置
- 5 2 せん断波の波面
- 5 3 境界
- 5 4 境界位置
- 5 5 せん断波の反射波の波面
- 1 0 0 超音波探触子の素子

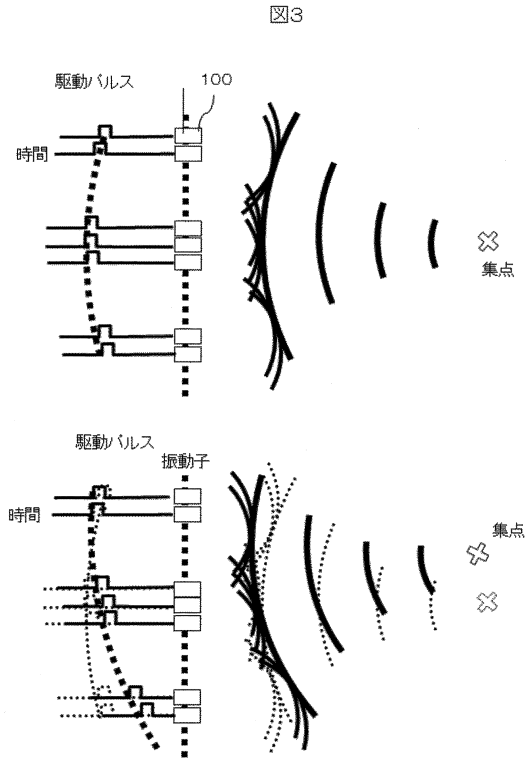
【図1】



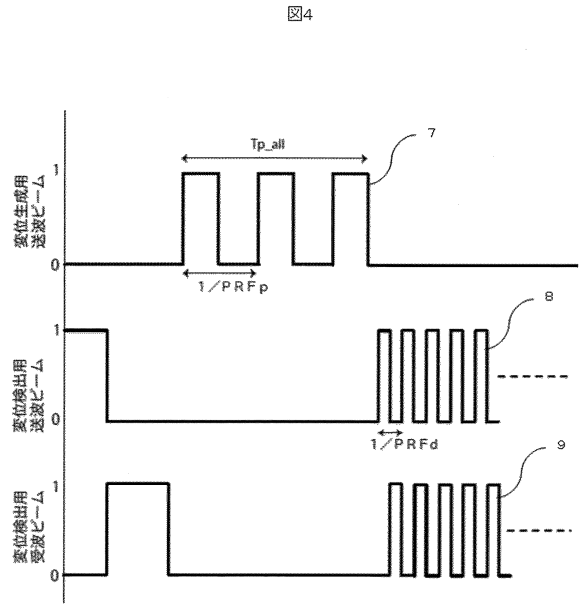
【図2】



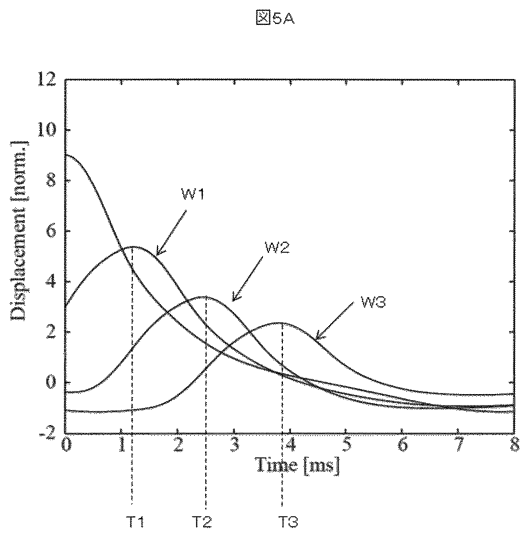
【 図 3 】



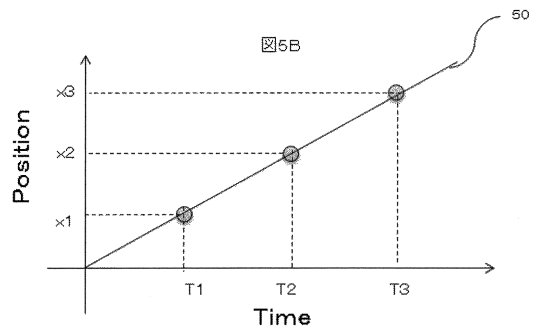
【 図 4 】



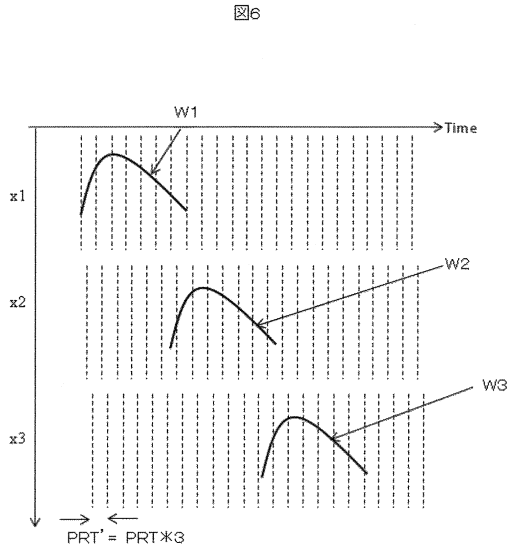
【 図 5 A 】



【 図 5 B 】

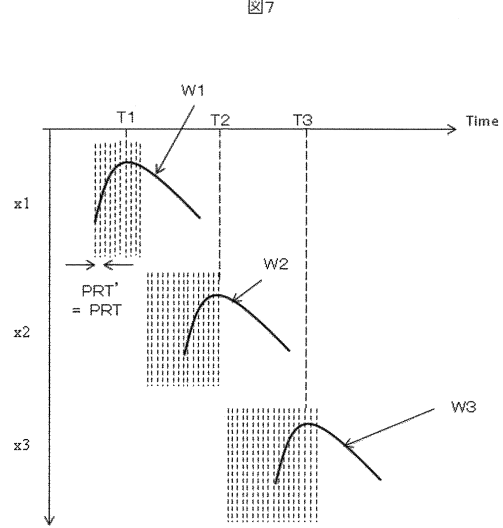


【図6】



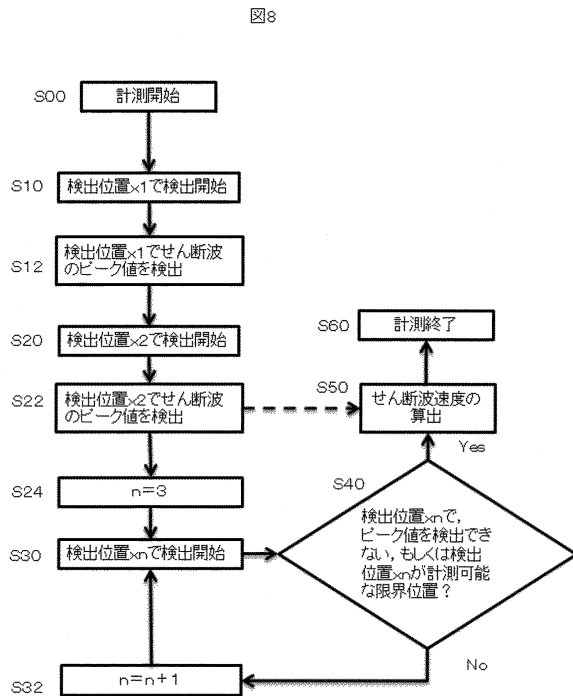
----- せん断波の検出ライン

【図7】

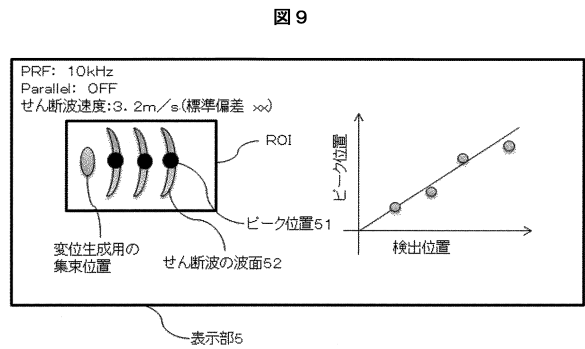


----- せん断波の検出ライン

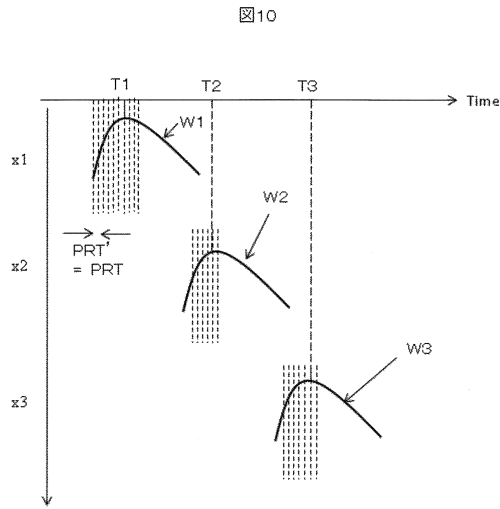
【図8】



【図9】

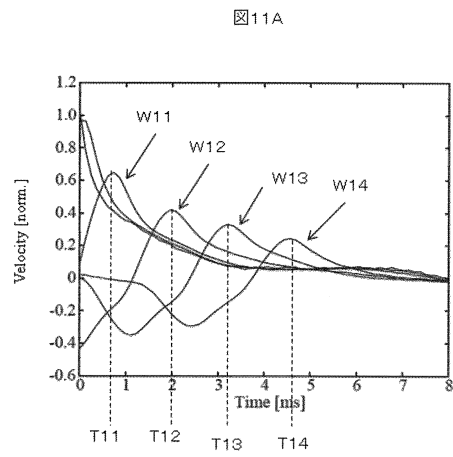


【 図 1 0 】

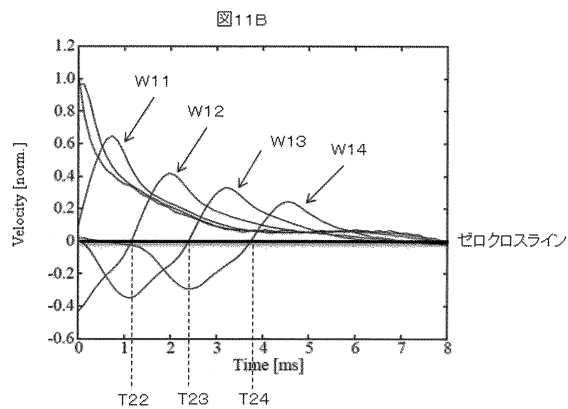


----- せん断波の検出ライン

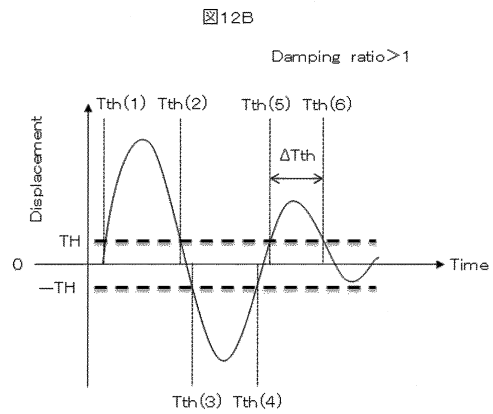
【 図 1 1 A 】



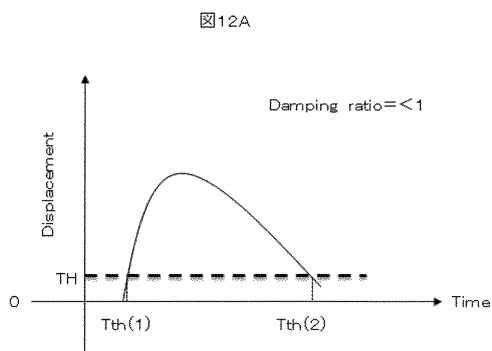
【 図 1 1 B 】



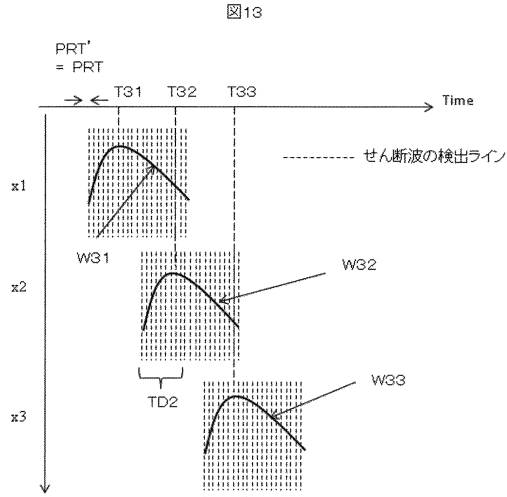
【 図 1 2 B 】



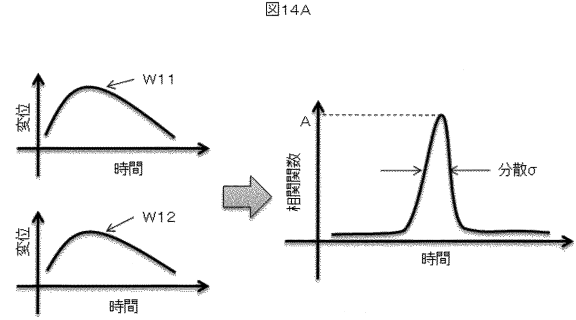
【 図 1 2 A 】



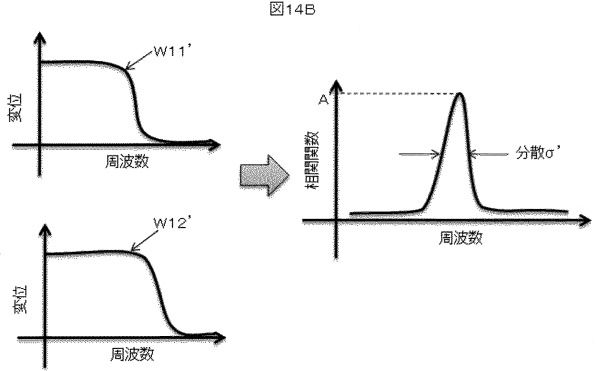
【図13】



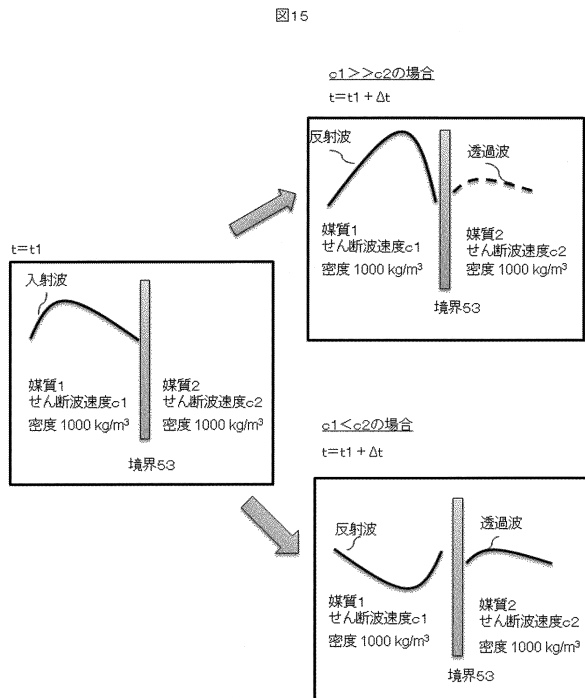
【図14A】



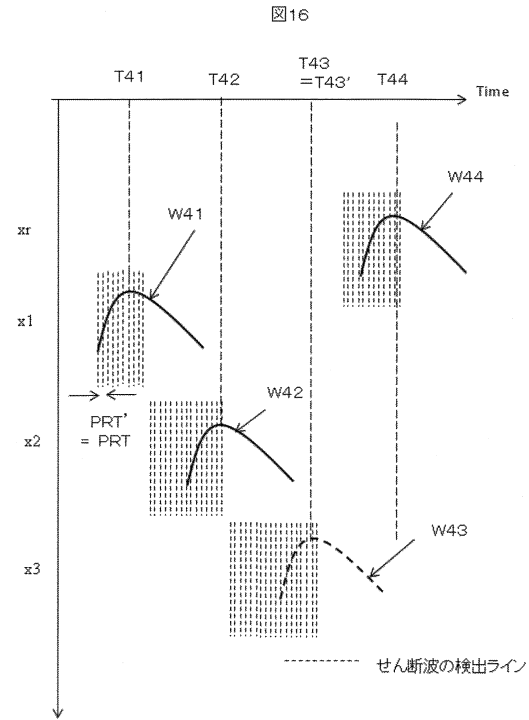
【図14B】



【図15】

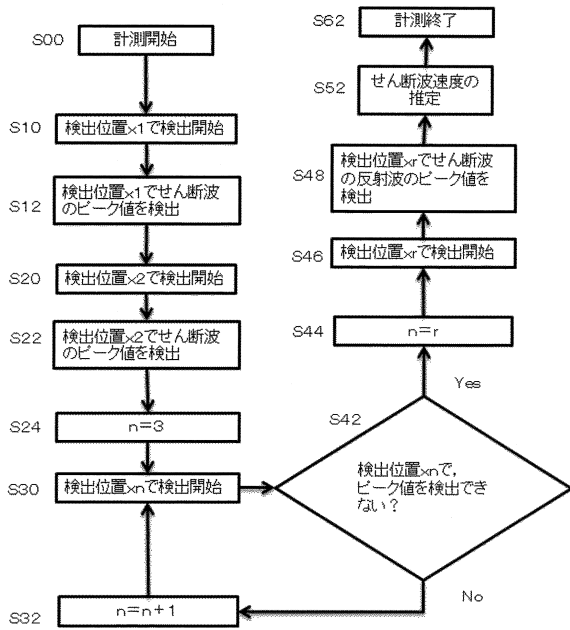


【図16】



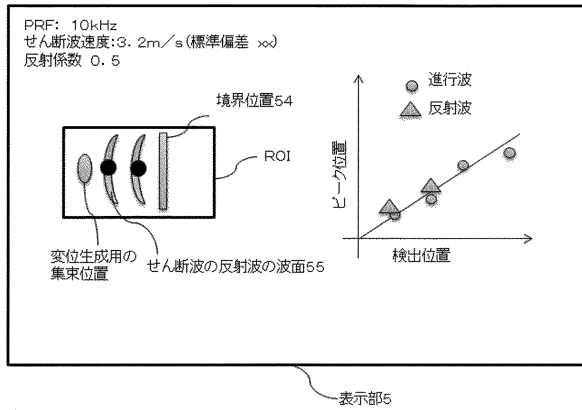
【図17】

図17



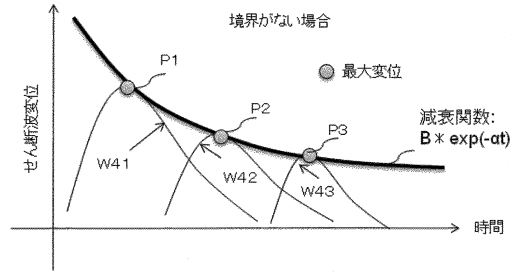
【図18】

図18



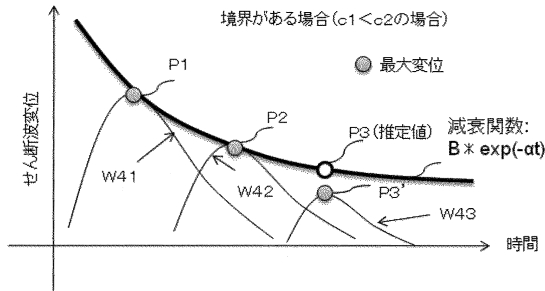
【図19A】

図19A



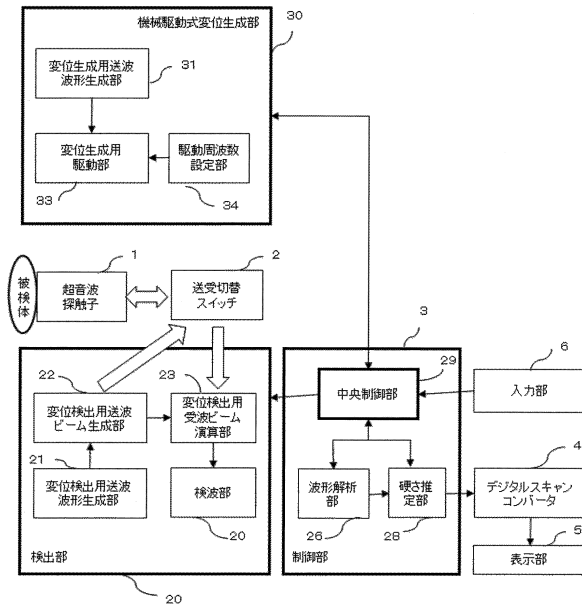
【図19B】

図19B



【図20】

図20



---

フロントページの続き

- (72)発明者 橋場 邦夫  
東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
- (72)発明者 鱒沢 裕  
東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内

審査官 樋熊 政一

- (56)参考文献 国際公開第2011/064688(WO, A1)  
特開2012-170823(JP, A)  
特表2013-500752(JP, A)  
国際公開第2007/083745(WO, A1)  
特開平06-319736(JP, A)  
特開2012-100997(JP, A)  
特開2012-183261(JP, A)

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

专利名称(译)	超声诊断设备和发送/接收方法		
公开(公告)号	<a href="#">JP5753633B2</a>	公开(公告)日	2015-07-22
申请号	JP2014545027	申请日	2014-01-29
[标]申请(专利权)人(译)	日立阿洛卡医疗株式会社		
申请(专利权)人(译)	日立アロカメディカル株式会社		
当前申请(专利权)人(译)	日立アロカメディカル株式会社		
[标]发明人	田原麻梨江 吉川秀樹 浅見玲衣 橋場邦夫 鱈沢裕		
发明人	田原 麻梨江 吉川 秀樹 浅見 玲衣 橋場 邦夫 鱈沢 裕		
IPC分类号	A61B8/08		
CPC分类号	A61B8/08 A61B8/085 A61B8/469 A61B8/485 A61B8/5207 A61B8/5223 G01S7/52042 G16H50/30 A61B8/463		
FI分类号	A61B8/08		
审查员(译)	棕熊正和		
优先权	2013042991 2013-03-05 JP		
其他公开文献	JPWO2014136502A1		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a>		

### 摘要(译)

提供一种能够以高时间分辨率和空间分辨率测量对象的硬度信息的超声波诊断装置。提供超声波探头1和位移产生单元10，用于移动被摄体的内部。位移检测超声波束从超声波探头1传输到被检体的多个检测位置，并且检测使用由部分20检测的反射信号，控制部分3基于多个检测位置的位移检测剪切波速度，并输出对象的硬度信息。用于位移检测的超声波束被发送到多个检测位置中的一个，并且控制单元3的波形分析单元26分析由位移引起的剪切波，并检测位移检测超声波并执行切换控制以传输声束。结果，可以以高时间分辨率和空间分辨率测量剪切波速度，并且可以高精度地获得对象的硬度信息。

(21) 出願番号	特願2014-545027 (P2014-545027)	(73) 特許権者	390029791 日立アロカメディカル株式会社 東京都三鷹市牟礼6丁目2番1号
(86) (22) 出願日	平成26年1月29日 (2014.1.29)	(74) 代理人	11000888 特許業務法人 山王坂特許事務所
(86) 国際出願番号	PCT/JP2014/051950	(72) 発明者	田原 麻梨江 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
(87) 国際公開番号	W02014/136502	(72) 発明者	吉川 秀樹 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
(87) 国際公開日	平成26年9月12日 (2014.9.12)	(72) 発明者	浅見 玲衣 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
審査請求日	平成26年12月26日 (2014.12.26)		
(31) 優先権主張番号	特願2013-42991 (P2013-42991)		
(32) 優先日	平成25年3月5日 (2013.3.5)		
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		
早期審査対象出願			