

(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2016-179113

(P2016-179113A)

(43) 公開日 平成28年10月13日(2016.10.13)

(51) Int.Cl.
A61B 8/08 (2006.01)F1
A61B 8/08テーマコード(参考)
4C601

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2015-61945(P2015-61945)
(22) 出願日 平成27年3月25日(2015.3.25)(71) 出願人 000005108
株式会社日立製作所
東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(74) 代理人 110001210
特許業務法人YK I 国際特許事務所
(72) 発明者 井上 敬章
東京都三鷹市牟礼6丁目22番1号 日立
アロカメディカル株式会社内
(72) 発明者 園山 輝幸
東京都三鷹市牟礼6丁目22番1号 日立
アロカメディカル株式会社内
Fターム(参考) 4C601 DD19 DD20 DD23 EE09 EE10
JC37 KK02

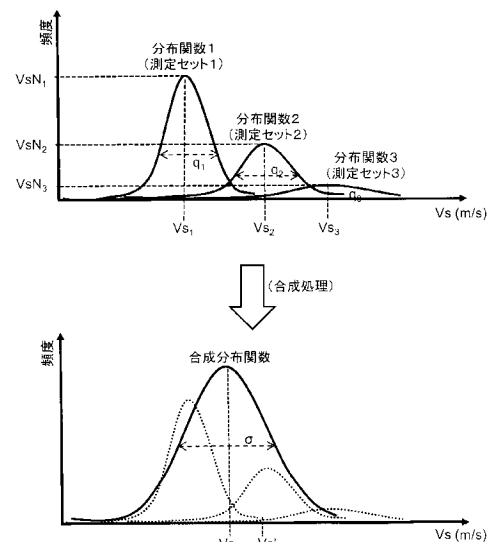
(54) 【発明の名称】 超音波診断装置

(57) 【要約】

【課題】超音波により測定されたせん断波の測定値を統計的に評価する改良技術を提供する。

【解決手段】統計処理部は、各測定セットごとに、その測定セットに関する複数の測定値に基づいて、各測定値とその測定値の頻度の対応関係をモデル化した分布関数1～3を導出する。統計処理部は、複数の測定セットに対応した複数の分布関数1～3に基づいて、各測定値ごとに複数の分布関数1～3から得られる各測定値の頻度を加算した加算頻度を算出することにより、各測定値とその測定値の加算頻度とを対応付けた合成分布関数を導出する。統計処理部は、合成分布関数に基づいて測定値(伝搬速度)の平均値 V_s や標準偏差などの統計値を算出する。

【選択図】図9



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

超音波のプッシュ波を送波して被検体内にせん断波を発生させ、当該被検体に対して超音波のトラッキング波を送波する超音波探触子と、

前記トラッキング波を送波して得られた受信信号に基づいて前記せん断波を測定することにより、複数の測定セットについて各測定セットごとに複数の測定値を得るせん断波測定部と、

前記各測定セットごとに当該測定セットの複数の測定値に関する統計モデルを得ることにより、前記複数の測定セットから得られる複数の統計モデルに基づいて合成統計モデルを導出する統計処理部と、

を有する、

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において、

前記統計処理部は、前記合成統計モデルに基づいて、前記複数の測定セットに及ぶ複数の測定値に関する統計値を算出する、

ことを特徴とする超音波診断装置。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載の超音波診断装置において、

前記統計処理部は、前記各測定セットの統計モデルとして、当該測定セットの複数の測定値に基づいて各測定値と当該測定値の頻度の対応関係をモデル化した分布関数を得る、

ことを特徴とする超音波診断装置。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の超音波診断装置において、

前記統計処理部は、前記複数の測定セットに対応した複数の分布関数に基づいて、各測定値ごとに複数の分布関数から得られる当該測定値の頻度を加算した加算頻度を得ることにより、前記合成統計モデルとして、各測定値と当該測定値の加算頻度とを対応付けた合成分布関数を導出する、

ことを特徴とする超音波診断装置。

【請求項 5】

請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の超音波診断装置において、

前記統計処理部は、前記各測定セットごとに、当該測定セットの複数の測定値から棄却条件を満たす測定値を除いた複数の有効測定値に基づいて前記統計モデルを導出する、

ことを特徴とする超音波診断装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、超音波診断装置に関し、特に、せん断波を測定する技術に関する。

【背景技術】**【0002】**

被検体内における組織の変位を測定してその被検体内から診断情報を得る超音波診断装置が知られている。例えば、超音波を送波して被検体内にせん断波を発生させ、せん断波の伝搬に伴う組織の変位を超音波で測定し、せん断波の伝搬速度等の計測値に基づいて被検体内における組織の硬さ等の診断情報を得ることができる（特許文献 1，2 参照）。

【先行技術文献】**【特許文献】****【0003】**

【特許文献 1】特開 2014 - 260 号公報

【特許文献 2】特表 2012 - 531937 号公報

【発明の概要】

10

20

30

40

50

【発明が解決しようとする課題】**【0004】**

超音波によるせん断波の測定では、一般に、組織内の複数箇所において各箇所ごとにせん断波の測定値（伝播速度など）が測定され、例えば、複数の測定箇所から得られる複数の測定値に関する統計量（平均値や標準偏差など）に基づいて、その組織の性状（硬さなど）が評価される。

【0005】

例えば、肝臓においては、肝炎などの病状が進むに従い肝臓内の組織が線維化し、正常な組織と線維化した組織が混在する場合がある。線維化により組織は硬くなるため、複数箇所におけるせん断波の伝播速度に基づいて各箇所ごとに硬さを評価し、複数箇所における硬さを統計的に評価して、線維化の進行状態などが診断される。

10

【0006】

ところが、超音波を利用して得られる組織内におけるせん断波の測定値（伝播速度など）には、例えば、測定状態の不安定さ等に伴う信頼性の低い測定値（外れ値）が含まれてしまう場合がある。信頼性の低い特異な測定値をそれ以外の測定値と同列に取り扱って統計量を得てしまうと、その統計量の信頼性が損なわれてしまう可能性がある。

【0007】

そのため、超音波によるせん断波の測定において、例えば、信頼性の低い特異な測定値による影響が低減または除去されることが望ましい。

【0008】

20

本発明は、上述した背景事情に鑑みて成されたものであり、その目的は、超音波により測定されたせん断波の測定値を統計的に評価する改良技術を提供することにある。

【課題を解決するための手段】**【0009】**

本発明の具体例として好適な超音波診断装置は、超音波のプッシュ波を送波して被検体内にせん断波を発生させ、当該被検体に対して超音波のトラッキング波を送波する超音波探触子と、前記トラッキング波を送波して得られた受信信号に基づいて前記せん断波を測定することにより、複数の測定セットについて各測定セットごとに複数の測定値を得るせん断波測定部と、前記各測定セットごとに当該測定セットの複数の測定値に関する統計モデルを得ることにより、前記複数の測定セットから得られる複数の統計モデルに基づいて合成統計モデルを導出する統計処理部と、を有することを特徴とする。

30

【0010】

上記装置によれば、例えば、合成統計モデルに基づいて、複数の測定セットに及ぶ複数の測定値を統計的に評価することができる。これにより、例えば、特異な測定値の影響が軽減された、望ましくは特異な測定値の影響を受けない統計的な評価が可能にある。例えば、各測定セットごとに統計値（平均値、標準偏差など）を算出してから、各測定セットの統計値に基づいて複数の測定セットに関する統計値を算出する場合に比べて、特異な測定値の影響を軽減することができる。

【0011】

また、上記装置では、各測定セットごとに統計モデルを得てから複数の測定セットに関する合成統計モデルを導出している。そのため、例えば、1つの測定セットに対応した複数の測定値を記憶できる程度のメモリを利用して各測定セットごとに統計モデルを得ることができ、複数の測定セットに対応した複数の測定値を一度に全て記憶しなくてもよい。

40

【0012】

望ましい具体例において、前記統計処理部は、前記合成統計モデルに基づいて、前記複数の測定セットに及ぶ複数の測定値に関する統計値を算出する、ことを特徴とする。

【0013】

望ましい具体例において、前記統計処理部は、前記各測定セットの統計モデルとして、当該測定セットの複数の測定値に基づいて各測定値と当該測定値の頻度の対応関係をモデル化した分布関数を得る、ことを特徴とする。

50

【 0 0 1 4 】

望ましい具体例において、前記統計処理部は、前記複数の測定セットに対応した複数の分布関数に基づいて、各測定値ごとに複数の分布関数から得られる当該測定値の頻度を加算した加算頻度を得ることにより、前記合成統計モデルとして、各測定値と当該測定値の加算頻度とを対応付けた合成分布関数を導出する、ことを特徴とする。

【 0 0 1 5 】

望ましい具体例において、前記統計処理部は、前記各測定セットごとに、当該測定セットの複数の測定値から棄却条件を満たす測定値を除いた複数の有効測定値に基づいて前記統計モデルを導出する、ことを特徴とする。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 6 】

本発明により、超音波により計測されたせん断波の測定値を統計的に評価する改良技術が提供される。例えば本発明の好適な態様によれば、特異な測定値の影響が軽減された、望ましくは特異な測定値の影響を受けない統計的な評価が可能になる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 7 】

【 図 1 】 本発明の実施において好適な超音波診断装置の全体構成を示す図である。

【 図 2 】 せん断波の発生と変位の測定に係る具体例を説明するための図である。

【 図 3 】 時空間マップの具体例を示す図である。

【 図 4 】 ゆらぎの具体例を示す図である。

【 図 5 】 ゆらぎの検出の具体例を説明するための図である。

【 図 6 】 せん断波測定における関心領域 (R O I) の設定例を示す図である。

【 図 7 】 各関心領域ごとに実行される測定セットの具体例を示す図である。

【 図 8 】 棄却条件の具体例を説明するための図である。

【 図 9 】 複数の分布関数とそれらに基づく合成分布関数の具体例を示す図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 8 】

図 1 は、本発明の実施において好適な超音波診断装置の全体構成を示す図である。プローブ 1 0 は、被検体 (生体) 内の組織、例えば臓器等の診断対象を含む領域に対して超音波を送受する超音波探触子である。プローブ 1 0 は、各々が超音波を送受または送波する複数の振動素子を備えており、複数の振動素子が送信部 1 2 により送信制御されて送信ビームが形成される。

【 0 0 1 9 】

また、プローブ 1 0 が備える複数の振動素子が、診断対象を含む領域内から超音波を受波し、これにより得られた信号が受信部 1 4 へ出力され、受信部 1 4 が受信ビームを形成して受信ビームに沿って受信信号 (エコーデータ) が収集される。なお、プローブ 1 0 は例えばコンベックス型が望ましいもののリニア型等であってもよい。

【 0 0 2 0 】

プローブ 1 0 は、診断対象となる組織を含む領域内においてせん断波を発生させる超音波 (プッシュ波) を送波する機能と、せん断波に伴う組織の変位を測定する超音波 (トラッキング波) を送受する機能と、画像形成用の超音波を送受する機能を備えている。

【 0 0 2 1 】

超音波の送波は、送信部 1 2 によって制御される。せん断波を発生させる場合、送信部 1 2 は、プッシュ波の送信信号をプローブ 1 0 が備える複数の振動素子へ出力し、これにより、プッシュ波の送信ビームが形成される。また、せん断波を測定する場合、送信部 1 2 は、トラッキング波の送信信号をプローブ 1 0 が備える複数の振動素子へ出力し、これによりトラッキング波の送信ビームが形成される。さらに、超音波画像を形成する場合、送信部 1 2 は、画像形成用の送信信号をプローブ 1 0 が備える複数の振動素子へ出力し、これにより、画像形成用の送信ビームが走査される。

【 0 0 2 2 】

また、受信部 14 は、プローブ 10 がトラッキング波を送受することにより複数の振動素子から得られる受波信号に基づいて、トラッキング波の受信ビームを形成し、その受信ビームに対応した受信信号を得る。さらに、受信部 14 は、プローブ 10 が画像形成用の超音波を送受することにより複数の振動素子から得られる受波信号に基づいて、画像形成用の受信ビームを形成しその受信ビームに対応した受信信号を生成する。

【0023】

画像形成用の超音波ビーム（送信ビームと受信ビーム）は、診断対象を含む二次元平面内において走査され、二次元平面内から画像形成用の受信信号が収集される。もちろん、画像形成用の超音波ビームが三次元空間内において立体的に走査され、三次元空間内から画像形成用の受信信号が収集されてもよい。

【0024】

画像形成部 20 は、受信部 14 において収集された画像形成用の受信信号に基づいて、超音波の画像データを形成する。画像形成部 20 は、例えば診断対象である臓器等の組織を含む領域の B モード画像（断層画像）の画像データを形成する。なお、画像形成用の受信信号が三次元的に収集されている場合に、画像形成部 20 は、三次元超音波画像の画像データを形成してもよい。

【0025】

変位測定部 30 は、受信部 14 から得られるトラッキング波の受信ビームに対応した受信信号に基づいて、被検体内のせん断波発生後における組織の変位を測定する。ゆらぎ検出部 40 は、変位測定部 30 から得られる変位の測定結果に基づいて周期的な変位を検出する。せん断波速度算出部 50 は、変位測定部 30 から得られる測定結果に基づいて、被検体内におけるせん断波の伝搬速度を算出する。統計処理部 60 は、せん断波速度算出部 50 において算出された伝搬速度を統計的に評価する。その評価において、ゆらぎ検出部 40 から得られる検出結果も参照される。変位測定部 30 とゆらぎ検出部 40 とせん断波速度算出部 50 と統計処理部 60 における処理については後に詳述する。

【0026】

表示処理部 70 は、画像形成部 20 から得られる超音波画像の画像データと、せん断波速度算出部 50 において得られる速度情報と、変位測定部 30 から得られる測定結果と、統計処理部 60 から得られる評価結果に基づいて表示画像を形成する。表示処理部 70 において形成された表示画像は表示部 72 に表示される。

【0027】

制御部 80 は、図 1 に示す超音波診断装置内を全体的に制御する。図 1 の超音波診断装置は、例えば、マウス、キーボード、トラックボール、タッチパネル、その他のスイッチ類等で構成される操作デバイスを備えていることが望ましい。そして、制御部 80 による全体的な制御には、操作デバイス等を介してユーザから受け付けた指示も反映される。

【0028】

図 1 に示す構成（符号を付された各機能ブロック）のうち、送信部 12，受信部 14，画像形成部 20，変位測定部 30，ゆらぎ検出部 40，せん断波速度算出部 50，統計処理部 60，表示処理部 70 の各部は、例えば電気電子回路やプロセッサ等のハードウェアを利用して実現することができ、その実現において必要に応じてメモリ等のデバイスが利用されてもよい。なお、上記各部に対応した機能が、CPU やプロセッサやメモリ等のハードウェアと、CPU やプロセッサの動作を規定するソフトウェア（プログラム）との協働により実現されてもよい。また、表示部 72 の好適な具体例は液晶ディスプレイ等である。そして、制御部 80 は、例えば、CPU やプロセッサやメモリ等のハードウェアと、CPU やプロセッサの動作を規定するソフトウェア（プログラム）との協働により実現することができる。

【0029】

図 1 の超音波診断装置の全体構成は以上のとおりである。次に、図 1 の超音波診断装置によるせん断波の発生と変位の測定等について詳述する。なお、図 1 に示した各構成（各機能ブロック）については、以下の説明において図 1 の符号を利用する。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 0 】

図 2 は、せん断波の発生と変位の測定に係る具体例を説明するための図である。図 2 (A) には、プローブ 1 0 を利用して形成されるプッシュ波の送信ビーム P と、トラッキング波の超音波ビーム T 1 , T 2 の具体例が図示されている。

【 0 0 3 1 】

図 2 (A) において、プッシュ波の送信ビーム P は、X 方向の位置 p を通るように深さ Y 方向に沿って形成される。例えば、図 2 (A) に示す X 軸上の位置 p を焦点としてプッシュ波の送信ビーム P が形成される。位置 p は、例えば、表示部 7 2 に表示される生体内の診断対象に関する超音波画像を確認した医師または検査技師等のユーザ (検査者) により、所望の位置に設定される。

10

【 0 0 3 2 】

位置 p を焦点として送信ビーム P が形成されてプッシュ波が送波されると、生体内において、位置 p とその近傍において比較的強いせん断波が発生する。図 2 (A) は、位置 p において発生するせん断の X 方向における伝搬速度を測定する具体例を示している。

【 0 0 3 3 】

図 2 (A) の具体例では、トラッキング波の 2 本の超音波ビーム T 1 , T 2 が形成される。超音波ビーム (送信ビームと受信ビーム) T 1 は、例えば図 2 (A) に示す X 軸上の位置 x 1 を通るように形成され、超音波ビーム (送信ビームと受信ビーム) T 2 は、例えば図 2 (A) に示す X 軸上の位置 x 2 を通るように形成される。位置 x 1 と位置 x 2 は、例えば、表示部 7 2 に表示される診断対象の超音波画像を確認したユーザにより所望の位置に設定されてもよいし、図 1 の超音波診断装置が、位置 p から X 方向に沿って所定の距離だけ離れた個所に位置 x 1 と位置 x 2 を設定してもよい。

20

【 0 0 3 4 】

図 2 (B) は、プッシュ波の送信ビーム P とトラッキング波の超音波ビーム T 1 , T 2 の生成タイミングの具体例を示している。図 2 (B) の横軸は時間軸 t である。

【 0 0 3 5 】

図 2 (B) において、期間 P は、プッシュ波の送信ビーム P が形成される期間であり、期間 T 1 , T 2 は、それぞれ、トラッキング波の超音波ビーム T 1 , T 2 が形成される期間である。

【 0 0 3 6 】

期間 P 内においては、多数波のプッシュ波が送波される。例えば、期間 P 内において連続波の超音波が送波される。そして、例えば期間 P が終了した直後から位置 p においてせん断波が発生する。

30

【 0 0 3 7 】

期間 T 1 , T 2 においては、1 波から数波程度のいわゆるパルス波のトラッキング波が送波され、そのパルス波に伴う反射波が受波される。例えば位置 x 1 , x 2 を通る超音波ビーム T 1 , T 2 が形成され、位置 x 1 , x 2 を含む複数の深さにおいて受信信号が得られる。つまり、超音波ビーム T 1 , T 2 の各々について、複数の深さから受信信号が得られる。

【 0 0 3 8 】

トラッキング波の送受は、複数の期間に亘って繰り返し行われる。つまり、図 2 (B) に示すように、期間 T 1 , T 2 が交互に、例えばせん断波に伴う組織の変位が確認されるまで繰り返される。

40

【 0 0 3 9 】

変位測定部 3 0 は、トラッキング波の超音波ビーム T 1 の受信信号に基づいて、超音波ビーム T 1 に関する時空間マップを形成し、トラッキング波の超音波ビーム T 2 の受信信号に基づいて、超音波ビーム T 2 に関する時空間マップを形成する。

【 0 0 4 0 】

図 3 は、時空間マップの具体例を示す図である。変位測定部 3 0 は、トラッキング波の超音波ビーム T 1 の受信信号に基づいて、複数の深さ (深さ方向の複数箇所) において、

50

受信信号の位相変位を算出する。変位測定部 30 は、各深さごとに複数の時刻に亘って受信信号の位相変位（位相の微分値）を算出する。そして、変位測定部 30 は、横軸を時刻（時間軸）とし縦軸を深さとして、受信信号の位相変位をマッピングした時空間マップを形成する。

【0041】

図 3 に示す時空間マップの具体例では、時空間マップ内の輝度により受信信号の位相変位が表現されている。例えば、位相変位が正方向で絶対値が大きいほど高輝度（白）として、位相変位が負方向で絶対値が大きいほど低輝度（黒）とする。図 3 の具体例では、時刻 0（ゼロ）から 10ms（ミリ秒）の期間において、位相変位が高輝度（白）から低輝度（黒）に比較的大きく変化しており、この期間にせん断波が通過している。

10

【0042】

なお、図 3 の時空間マップは、あくまでも具体例の一つに過ぎず、輝度以外の表示態様により、例えば色により受信信号の位相変位が表現されてもよい。例えば、位相変位が正方向で絶対値が大きいほど赤を基調とした色とし、位相変位がゼロに近いほど緑を基調とした色とし、位相変位が負方向で絶対値が大きいほど青を基調とした色としてもよい。

【0043】

このように、変位測定部 30 は、トラッキング波の超音波ビーム T1 の受信信号に基づいて、超音波ビーム T1 に関する時空間マップを形成する。さらに、変位測定部 30 は、トラッキング波の超音波ビーム T2 の受信信号に基づいて、複数の深さにおいて受信信号の位相変位を算出して、超音波ビーム T2 に関する時空間マップを形成する。

20

【0044】

図 2 に戻り、せん断波速度算出部 50 は、位置 p において発生したせん断波の影響により変化する位置 x1 と位置 x2 における位相変位に基づいてせん断波の X 軸方向の伝搬速度 Vs を算出する。例えば、位置 x1 における位相変位が最大となる時刻 t1 と、位置 x2 における位相変位が最大となる時刻 t2 と、位置 x1 と位置 x2 の距離 x と、に基づいて、せん断波の X 軸方向の伝搬速度 $Vs = x / (t2 - t1)$ が算出される。なお、せん断波の伝搬速度は、他の公知の手法を利用して算出されてもよい。

【0045】

せん断波速度算出部 50 は、例えば、超音波ビーム T1 と超音波ビーム T2 の時空間マップ（図 3）に基づいて、複数深さの各深さごとに伝搬速度 Vs を算出する。さらに、せん断波の伝搬速度 Vs に基づいて、せん断波が測定された組織の弾性値などの弾性情報が算出されてもよいし、組織の情報として、粘弾性パラメータ、減衰、周波数特性などが導出されてもよい。

30

【0046】

図 2（B）に示す測定シーケンスは、プッシュ波の送波が開始されてから、せん断波の伝搬速度が算出されるまでの期間である。測定シーケンスの終了後には、プローブ 10 をクーリングするための休止期間を設けることが望ましい。また、休止期間の後に、さらに次の測定シーケンスが開始されてもよい。

【0047】

なお、図 2 の具体例においては、プッシュ波の送信ビーム P に対して、X 軸の正方向側に、トラッキング波の超音波ビーム T1、T2 を形成しているが、プッシュ波の送信ビーム P に対して、X 軸の負方向側にトラッキング波の超音波ビーム T1、T2 を形成して、X 軸の負方向側に伝搬するせん断波を測定するようにしてもよい。もちろん、プッシュ波の送信ビーム P の位置 p や、トラッキング波の超音波ビーム T1、T2 の位置 x1、x2 は、診断対象や診断状況等に応じて適切に設定されることが望ましい。

40

【0048】

ところで、せん断波の伝搬速度の測定においては、測定領域（関心領域）内における微小血管の動きや血流により、組織の変位が周期的にゆらいでしまい、この周期的なゆらぎがせん断波の伝搬速度の測定に影響を及ぼす場合がある。

【0049】

50

図 4 は、ゆらぎの具体例を示す図である。図 4 には、ゆらぎが発生した場合に得られる時空間マップの具体例が図示されている。図 3 に示す時空間マップと比較して、図 4 に示す時空間マップにおいては、深さ 4 5 mm (ミリメートル) 付近において、ゆらぎが発生している。つまり、深さ 4 5 mm 付近において、比較的長い期間 (0 ~ 3 0 ms 以上) に亘り、受信信号の位相変位が低輝度 (黒) と高輝度 (白) を周期的に繰り返しており、位相変位が周期的にゆらいでいる。

【 0 0 5 0 】

そのため、深さ 4 5 mm 付近においては、せん断波の通過に伴う位相変位の変化を特定することが困難であり、せん断波の伝搬速度を測定することができない。仮に、ゆらぎが発生している領域 (深さ) においてせん断波の伝搬速度が測定できたとしても、測定結果の信頼性が懸念される。

10

【 0 0 5 1 】

そこで、ゆらぎ検出部 4 0 は、変位測定部 3 0 における変位の測定結果に基づいて、周期的な変位であるゆらぎを検出する。

【 0 0 5 2 】

図 5 は、ゆらぎの検出の具体例を説明するための図である。ゆらぎ検出部 4 0 は、変位測定部 3 0 から得られる時空間マップに基づいて、各深さにおける位相変位の時間的な変化を周波数解析し、ゆらぎに相当する周波数成分があるかどうかを確認する。

【 0 0 5 3 】

図 5 には、位相変位の時間的な変化を周波数解析した結果が図示されている。図 5 において、横軸は周波数 (Hz : ヘルツ) であり、縦軸はパワースペクトルの強度、つまり各周波数成分の強度 (dB : デシベル) である。

20

【 0 0 5 4 】

図 5 には、ゆらぎが発生している深さにおける「位相ゆらぎ」の周波数スペクトル (実線) と、ゆらぎが発生していない深さにおける「せん断波」の周波数スペクトル (破線) が示されている。

【 0 0 5 5 】

「位相ゆらぎ」の周波数スペクトルには、特定の周波数、図 5 の具体例では 1 0 0 Hz 付近に、強度の突出したピーク (極大) が現れる。これに対し、ゆらぎを含んでいない「せん断波」の周波数スペクトルには「位相ゆらぎ」のような突出したピークは現れない。そこで、ゆらぎ検出部 4 0 は、各深さにおける位相変化の周波数スペクトル内に、強度の突出したピークが存在する場合に、その深さにおける変位が周期的であり、その深さにゆらぎが発生していると判定する。ゆらぎ検出部 4 0 は、例えば、各深さにおける位相変化の周波数スペクトル内に、閾値を超える強度のピークが存在する場合に、その深さにゆらぎが発生していると判定する。

30

【 0 0 5 6 】

なお、ゆらぎ検出部 4 0 は、周波数解析とは異なる処理でゆらぎを検出してもよい。例えば、時空間マップ内において、各深さごとに複数時刻に亘って位相変位の絶対値を加算し、各深さごとに得られる加算結果に基づいて、ゆらぎが発生している深さを特定してもよい。図 4 に例示したように、ゆらぎが発生している深さでは、比較的長い期間に亘って受信信号の位相変位が周期的に変動しているため、位相変位の絶対値の加算結果が比較的大きくなり、逆に、ゆらぎが発生していない深さでは受信信号の位相変位が 0 (ゼロ) となる期間が支配的であるため、位相変位の絶対値の加算結果が比較的小さくなる。そこでゆらぎ検出部 4 0 は、例えば、各深さごとに複数時刻に亘って位相変位の絶対値を加算して、各深さごとに得られる加算結果が判定閾値を超える場合に、その深さにおいてゆらぎが発生していると判定してもよい。また、時空間マップに対する画像解析処理により、ゆらぎが発生している画像部分 (深さ) が判定されてもよい。

40

【 0 0 5 7 】

ゆらぎ検出部 4 0 は、超音波ビーム T 1 の時空間マップと超音波ビーム T 2 の時空間マップのそれぞれにおいて、ゆらぎが発生している深さを検出する。そして、超音波ビーム

50

T 1 と超音波ビーム T 2 の時空間マップの少なくとも一方にゆらぎが発生している深さが統計処理部 6 0 に伝えられる。

【 0 0 5 8 】

次に、図 1 の超音波診断装置によるせん断波計測の具体例を説明する。図 6 は、せん断波測定における関心領域 (R O I) の設定例を示す図である。図 6 には、測定対象となる組織 (例えば肝臓など) の断層像を映し出した B モード画像が図示されている。医師または検査技師などのユーザ (検査者) は、表示部 7 2 に表示される B モード画像を参照しつつ、トラックボール等の操作デバイスを利用して、測定対象となる組織に関心領域 (R O I) を設定する。関心領域 (R O I) は複数設定されることが望ましい。図 6 に示す具体例では、3 つの関心領域 (R O I 1 , R O I 2 , R O I 3) が設定されている。必要に応じて、2 つ以下または 4 つ以上の関心領域 (R O I) が設定されてもよい。

10

【 0 0 5 9 】

せん断波の測定においては、各関心領域ごとに、図 2 を利用して説明した測定シーケンスにより、せん断波の伝搬速度 V_s が測定される。せん断波速度算出部 5 0 は、トラッキング波の超音波ビーム T 1 と超音波ビーム T 2 に関する時空間マップ (図 3 参照) に基づいて、各関心領域内の各深さごとにせん断波の伝搬速度 V_s を算出する。これにより、各関心領域ごとに、複数深さに対応した複数の伝搬速度 V_s からなる測定値列が得られる。さらに、各関心領域ごとに、図 2 を利用して説明した測定シーケンスが複数回実行され、複数回の測定シーケンスからなる測定セットが実行され、複数回の測定シーケンスに対応した複数の測定値列が得られる。

20

【 0 0 6 0 】

図 7 は、各関心領域ごとに実行される測定セットの具体例を示す図である。図 7 には、複数の関心領域 (R O I 1 , R O I 2 , R O I 3 , . . .) について、各関心領域ごとに 4 回の測定シーケンスにより得られる伝搬速度 V_s の測定値列が図示されている。図 7 に示す具体例では、例えば、関心領域 1 (R O I 1) に対応した測定セット 1 において、1 回目の測定シーケンス (1) により、複数深さ $r_1 , r_2 , . . .$ に対応した複数の伝搬速度 $V_s (1 , 1) , V_s (1 , 2) , . . .$ からなる測定値列が得られ、2 回目の測定シーケンス (2) により、複数深さ $r_1 , r_2 , . . .$ に対応した複数の伝搬速度 $V_s (2 , 1) , V_s (2 , 2) , . . .$ からなる測定値列が得られる。もちろん、5 回以上又は 3 回以下の測定シーケンスからなる測定セットが実行されてもよい。

30

【 0 0 6 1 】

他の関心領域 (R O I 2 , R O I 3 , . . .) においても、測定セット 1 と同様に、複数回 (例えば 4 回) の測定シーケンスにより得られる伝搬速度 V_s の測定値列で構成される測定セットが得られる。

【 0 0 6 2 】

各関心領域 (R O I) ごとに複数回の測定シーケンスからなる測定セットが実行され、せん断波速度算出部 5 0 により測定セットを構成する複数の測定値 (複数の伝播速度 V_s) が算出されると、統計処理部 6 0 は、それら複数の測定値の中から、棄却条件を満たす少なくとも一つの測定値を特定する。棄却条件としては、例えば、測定値 (伝播速度 V_s) の大きさに基づく条件や、被検体内における組織状態に基づく条件などが好適である。

40

【 0 0 6 3 】

図 8 は、棄却条件の具体例を説明するための図である。図 8 には、せん断波速度算出部 5 0 において算出された伝搬速度 V_s に係る速度マップが図示されている。図 8 に示す速度マップは、1 回の測定シーケンスにより得られる伝搬速度 V_s に対応しており、縦軸は深さであり横軸が伝搬速度 V_s である。そして、図 8 には、棄却条件の具体例として、条件 1 から条件 3 が図示されている。

【 0 0 6 4 】

条件 1 では、符号がマイナス (逆方向) である伝搬速度 V_s が棄却の対象とされる。例えば、図 2 を利用して説明したせん断波の測定では、プッシュ波の送信ビーム P が送波された位置 p とその近傍において比較的強いせん断波が発生し、そのせん断波がトラッキン

50

グ波の 2 本の超音波ビーム T 1 , T 2 の方向に伝搬する。したがって、図 2 の具体例において、位置 p から位置 x 1 に向かう方向を正（プラス）方向とすると、せん断波の伝搬速度 V_s が正常であれば正（プラス）の値となる。ところが、せん断波の乱れなどによりせん断波を正常に検出できない場合などに、負（マイナス）方向の伝搬速度 V_s が算出されてしまう可能性がある。そこで、符号がマイナス（逆方向）である伝搬速度 V_s は、信頼性の低い結果であるとして、棄却の対象とされる。

【 0 0 6 5 】

また、図 8 に示す具体例において、条件 2 では、閾値範囲外である伝搬速度 V_s が棄却の対象とされる。せん断波の伝搬速度 V_s が取り得る値は、例えば診断対象となる組織等に応じて、臨床的にある程度の範囲内に収まる傾向にある。そこで、例えば多数の臨床結果などに基づいて閾値範囲を設定しておき、その閾値範囲外となる伝搬速度 V_s は、信頼性が低い結果であるとみなして、棄却の対象とされる。例えば、診断対象となる組織の種類、被検者の年齢、性別などに応じて、閾値範囲が決定されてもよいし、医師や検査技師などのユーザ（測定者）が閾値範囲を調整できるようにしてもよい。

10

【 0 0 6 6 】

そして、条件 3 では、ゆらぎが検出された各深さにおける伝搬速度 V_s が棄却の対象とされる。図 4 を利用して説明したように、せん断波の伝搬速度 V_s の測定においては、測定領域（関心領域）内における微小血管の動きや血流により、組織の変位が周期的にゆらいでしまい、この周期的なゆらぎがせん断波の伝搬速度 V_s の測定に影響を及ぼす場合がある。例えば、ゆらぎが発生している領域（深さ）では、せん断波の通過に伴う位相変位の変化を特定することが困難であり、せん断波の伝搬速度 V_s を測定することが難しい。仮に、ゆらぎが発生している領域（深さ）においてせん断波の伝搬速度 V_s が測定できたとしても、測定結果の信頼性が懸念される。そこで、ゆらぎが検出された各深さにおける伝搬速度 V_s は、信頼性の低い結果であるとして、棄却の対象とされる。なお、ゆらぎが発生している深さは、ゆらぎ検出部 40 において検出されることは既に説明したとおりである。棄却の対象となる伝搬速度 V_s は、統計処理部 60 により特定される。

20

【 0 0 6 7 】

統計処理部 60 は、せん断波速度算出部 50 により算出された伝搬速度 V_s 、例えば図 7 に示した各測定セット内の複数の伝搬速度 V_s のうち、棄却条件を満たす伝搬速度 V_s を棄却の対象とする。例えば、図 8 を利用して説明した条件 1 から条件 3 のいずれかに該当する伝搬速度 V_s が棄却の対象とされる。なお、棄却の対象とされた伝搬速度 V_s は、例えば図 7 に示す各測定セット内から削除されてもよいし、伝搬速度 V_s の値（データ）は削除せずに棄却対象であることを示すフラグ等が対応付けられてもよい。

30

【 0 0 6 8 】

そして、統計処理部 60 は、各測定セット内の複数の伝搬速度 V_s のうち、棄却条件を満たす伝搬速度 V_s を棄却し、棄却されずに残された複数の伝搬速度 V_s 、つまり有効な測定値とみなされた複数の伝搬速度 V_s に基づいて統計的な処理を実行する。統計処理部 60 は、各測定セットごとに、その測定セットの複数の測定値（有効な測定値）に関する統計モデルを得ることにより、複数の測定セットから得られる複数の統計モデルに基づいて合成統計モデルを導出する。各測定セットごとに得られる統計モデルの具体例は分布関数であり、複数の統計モデル（分布関数）に基づいて導出される合成統計モデルの具体例が合成分布関数である。

40

【 0 0 6 9 】

図 9 は、複数の分布関数とそれらに基づく合成分布関数の具体例を示す図である。統計処理部 60 は、各測定セットごとに、その測定セットに関する複数の測定値に基づいて、各測定値とその測定値の頻度の対応関係をモデル化した分布関数を導出する。図 9 には、測定セット 1 に対応した分布関数 1 と、測定セット 2 に対応した分布関数 2 と、測定セット 3 に対応した分布関数 3 が図示されている。各分布関数は、例えば次式に基づいて算出される。

【 0 0 7 0 】

50

【数 1】

$$G_m(x) = \frac{VsN_m}{q_m} \times \exp\left(\frac{-(x - Vs_m)^2}{2q_m^2}\right)$$

【0071】

数 1 式の $G_m(x)$ が各測定セット m に対応した分布関数の具体例である。数 1 式において、 x は測定値の大きさ、つまり伝搬速度 Vs の大きさであり、図 9 の横軸に対応している。 m は測定セットの番号である。例えば、関心領域 1 (ROI 1) に対応した測定セット 1 の場合に m は 1 となる。

10

【0072】

また、数 1 式において、 VsN_m は、各測定セット m に関する有効 Vs 割合である。統計処理部 60 は、各測定セット m (例えば図 7 の測定セット 1 ~ 3) 内の複数の伝搬速度 Vs のうち、棄却条件 (図 8 参照) を満たす伝搬速度 Vs を棄却し、棄却されずに残された複数の伝搬速度 Vs 、つまり、有効な測定値とみなされた複数の伝搬速度 Vs の割合である VsN_m (有効 Vs 割合) を算出する。

【0073】

そして、数 1 式の Vs_m は、各測定セット m (例えば図 7 の測定セット 1 ~ 3) 内の複数の伝搬速度 Vs のうち、棄却条件 (図 8 参照) により棄却されずに残された複数の伝搬速度 Vs 、つまり有効な測定値とみなされた複数の伝搬速度 Vs の平均値であり、 q_m は有効な測定値とみなされた複数の伝搬速度 Vs の標準偏差である。

20

【0074】

統計処理部 60 は、複数の測定セットに対応した複数の分布関数に基づいて、各測定値ごとに複数の分布関数から得られる各測定値の頻度を加算した加算頻度を算出することにより、各測定値とその測定値の加算頻度とを対応付けた合成分布関数を導出する。図 9 には、分布関数 1 と分布関数 2 と分布関数 3 に基づいて得られる合成分布関数が図示されている。合成分布関数は、例えば次式に基づいて算出される。

【0075】

30

【数 2】

$$P(x) = \frac{\sum_{m=1}^M G_m(x)}{S} \quad S = \sum_{m=1}^M \sum_{x=X_0}^{X_1} G_m(x)$$

【0076】

数 2 式の $P(x)$ が合成分布関数の具体例である。数 2 式の $P(x)$ は、 $m = 1 \sim M$ までの複数の (M 個) の分布関数 $G_m(x)$ に基づいて算出される。また、数 2 式の総面積 S により合成分布関数 $P(x)$ が確率密度 (総面積 = 1) 関数に規格化される。なお、総面積 S の算出式における X_0 と X_1 は、分布関数 $G_m(x)$ が取り得る x (Vs) の範囲である。

40

【0077】

そして、統計処理部 60 は、合成分布関数に基づいて、複数の測定セットに及ぶ複数の測定値に関する統計値を算出する。統計処理部 60 は、統計値として、例えば、図 9 に示す合成分布関数に関する Vs (平均値) と標準偏差を算出する。 Vs (平均値) と標準偏差は、例えば、次式に基づいて算出される。

【0078】

【数 3】

$$V_s = \sum_{x=X_0}^{X_1} \{P(x) \times x\} \quad \sigma = \sum_{x=X_0}^{X_1} \{P(x) \times (x - V_s)^2\}$$

【0079】

合成分布関数は、複数の測定セットに対応した分布関数を合成して得られたものであるため、複数の測定セットに対応した多数の測定値（伝搬速度）に関する統計的な情報となる。したがって、その合成分布関数に関する V_s （平均値）や標準偏差は、複数の測定セットに対応した多数の測定値（伝搬速度）に関する V_s （平均値）や標準偏差とみなすことができる。

10

【0080】

ちなみに、図9に示す V_s' は、分布関数1～3の平均値 V_{s1} 、 V_{s2} 、 V_{s3} をさらに平均化して得られる単純平均値である。単純平均値 V_s' は、例えば、分布関数1～3の平均値 V_{s1} 、 V_{s2} 、 V_{s3} のいずれかに信頼性の低い値が含まれていると、その信頼性の低い値の影響を比較的大きく受けてしまう。例えば、図9に示す具体例において、測定セット3の V_{sN} （有効 V_s 割合）が小さく、有効な V_s が少ない信頼性の低い結果である場合に、単純平均値 V_s' は測定セット3から得られる信頼性の低い平均値 V_{s3} の影響を大きく受けてしまう。

20

【0081】

これに対し、複数の測定セットに対応した分布関数を合成して合成分布関数を得ると、例えば、図9に示す具体例において、測定セット3の V_{sN} （有効 V_s 割合）が小さく、有効な V_s が少ないほど、合成分布関数内における測定セット3の影響が小さくなる。したがって、仮に、有効な V_s が少なく信頼性の低い測定セットが含まれていたとしても、合成分布関数を得ることにより、その信頼性の低い測定セットからの影響が軽減されるため、合成分布関数から比較的信頼性の高い平均値 V_s や標準偏差を得ることができる。

【0082】

統計処理部60は、合成分布関数に基づいて、平均値 V_s や標準偏差以外の統計値、例えば、 V_s の中央値やIQRなどを算出してもよい。算出された統計値は、例えば数値などにより表示部72に表示される。

30

【0083】

以上、本発明の好適な実施形態を説明したが、上述した実施形態は、あらゆる点で単なる例示にすぎず、本発明の範囲を限定するものではない。本発明は、その本質を逸脱しない範囲で各種の変形形態を包含する。

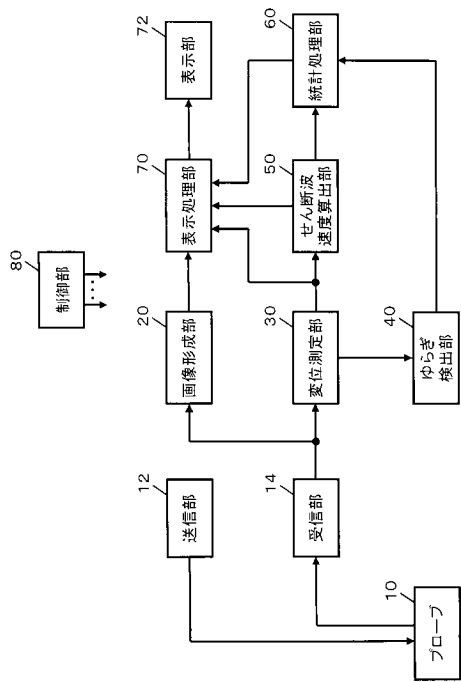
【符号の説明】

【0084】

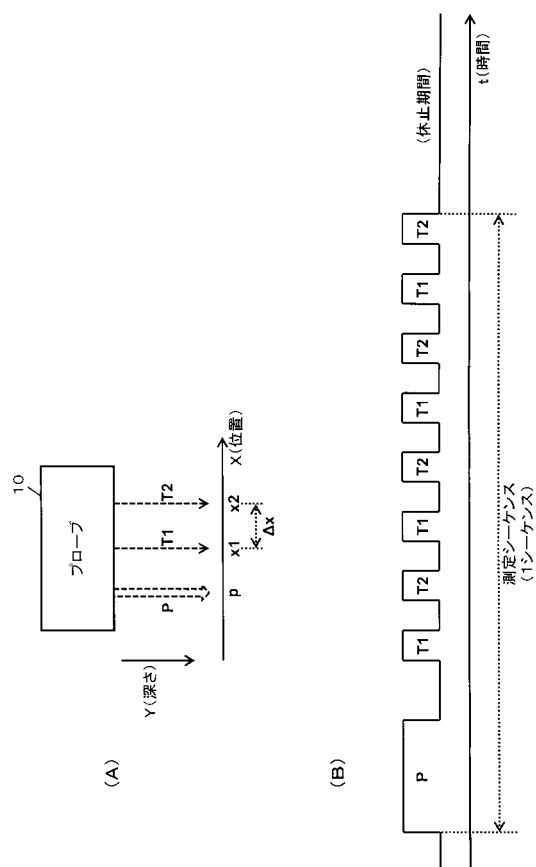
10 プローブ、12 送信部、14 受信部、20 画像形成部、30 変位測定部、40 ゆらぎ検出部、50 セン断波速度算出部、60 統計処理部、70 表示処理部、72 表示部、80 制御部。

40

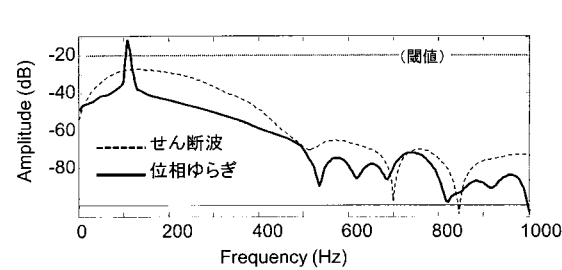
【 図 1 】



【 図 2 】



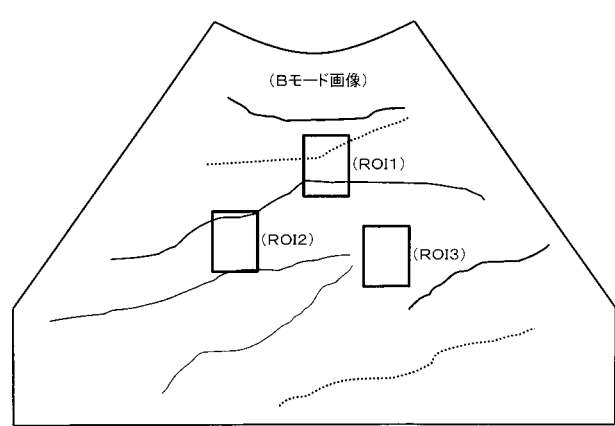
【 図 5 】



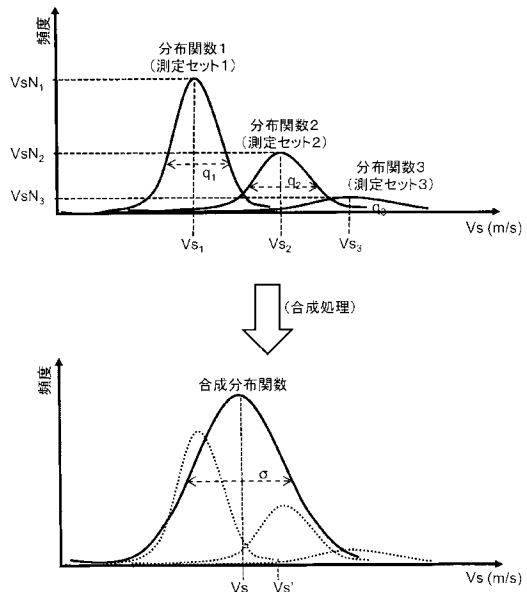
【 図 7 】

<測定セット3 (ROI3)>				
<測定セット2 (ROI2)>				
<測定セット1 (ROI1)>				
深さ	測定シーケンス (1)	測定シーケンス (2)	測定シーケンス (3)	測定シーケンス (4)
r1	Vs(1,1)	Vs(2,1)	Vs(3,1)	Vs(4,1)
r2	Vs(1,2)	Vs(2,2)	Vs(3,2)	Vs(4,2)
r3	Vs(1,3)	Vs(2,3)	Vs(3,3)	Vs(4,3)
r4	Vs(1,4)	Vs(2,4)	Vs(3,4)	Vs(4,4)
r5	Vs(1,5)	Vs(2,5)	Vs(3,5)	Vs(4,5)
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

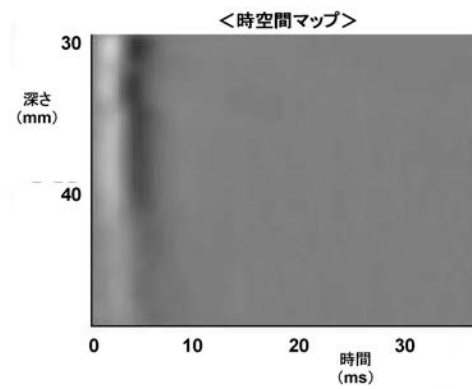
【 図 6 】



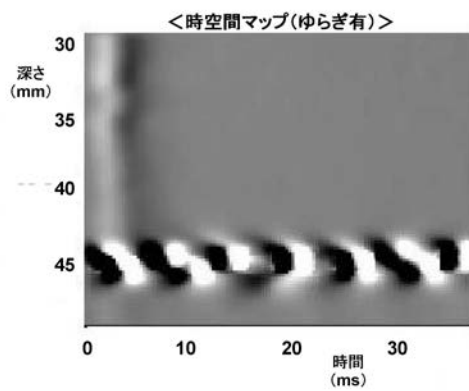
【図 9】



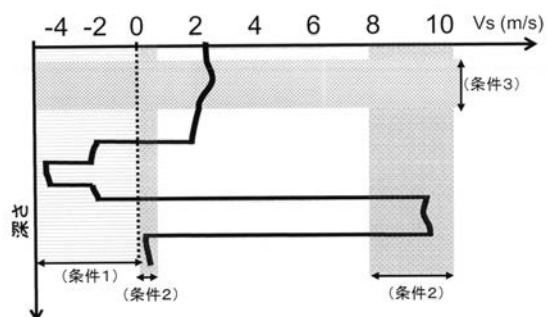
【図 3】



【図 4】



【図 8】



专利名称(译)	超声诊断设备		
公开(公告)号	JP2016179113A	公开(公告)日	2016-10-13
申请号	JP2015061945	申请日	2015-03-25
[标]申请(专利权)人(译)	株式会社日立制作所		
申请(专利权)人(译)	株式会社日立制作所		
[标]发明人	井上敬章 園山輝幸		
发明人	井上 敬章 園山 輝幸		
IPC分类号	A61B8/08		
FI分类号	A61B8/08		
F-TERM分类号	4C601/DD19 4C601/DD20 4C601/DD23 4C601/EE09 4C601/EE10 4C601/JC37 4C601/KK02		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

要解决的问题：提供一种改进的技术，用于统计评估通过超声波测量的剪切波的测量值。统计处理单元针对每个测量集导出分布函数1至3，该分布函数1至3基于与测量集相关的多个测量值来对每个测量值与测量值的频率之间的对应关系进行建模。要做。统计处理单元基于与多个测量集相对应的多个分布函数1至3，通过将针对每个测量值从多个分布函数1至3获得的每个测量值的频率相加来计算相加频率。通过这样做，导出了将每个测量值与测量值的相加频率相关联的复合分布函数。统计处理单元基于合成分布函数计算统计值，例如测量值的平均值 V_s （传播速度）和标准偏差 σ 。[选择图]图9

