

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5165571号
(P5165571)

(45) 発行日 平成25年3月21日(2013.3.21)

(24) 登録日 平成24年12月28日(2012.12.28)

(51) Int. Cl.	F I
A 6 1 B 8/00 (2006.01)	A 6 1 B 8/00
B 0 6 B 3/04 (2006.01)	B 0 6 B 3/04
G 0 1 N 29/09 (2006.01)	G 0 1 N 29/16
G 0 1 N 29/44 (2006.01)	G 0 1 N 29/22 5 0 1
G 0 1 N 29/04 (2006.01)	G 0 1 N 29/10

請求項の数 45 (全 56 頁)

(21) 出願番号	特願2008-530631 (P2008-530631)	(73) 特許権者	507088749
(86) (22) 出願日	平成17年9月16日(2005.9.16)		インナー ビジョン メディカル テクノ
(65) 公表番号	特表2009-508552 (P2009-508552A)		ロジーズ インコーポレイテッド
(43) 公表日	平成21年3月5日(2009.3.5)		I N N E R V I S I O N M E D I C A
(86) 国際出願番号	PCT/IB2005/003674		L T E C H N O L O G I E S I N C .
(87) 国際公開番号	W02007/031818		カナダ国 T 2 S 3 C 2 アルバータ州
(87) 国際公開日	平成19年3月22日(2007.3.22)		カルガリー セカンド ストリート エ
審査請求日	平成20年8月8日(2008.8.8)		スタブリュ ビー100-2204
(31) 優先権主張番号	11/226,957	(74) 代理人	100068755
(32) 優先日	平成17年9月15日(2005.9.15)		弁理士 恩田 博宣
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100105957
			弁理士 恩田 誠
		(74) 代理人	100142907
			弁理士 本田 淳

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波を使用して属性を判定する装置および方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

音響エネルギーを使用して動物組織の少なくとも2つの属性を判定する装置であって、前記装置は、

前記動物組織から反射された音響エネルギーを受信し、受信した音響エネルギーに基づいて電気信号を出力する音響受信器モジュールと、

表示要素と、

ユーザインタフェースと、

前記動物組織の属性値のセットである属性値セットを生成すべく、前記電気信号を処理するように構成されたプロセッサであって、前記プロセッサは、前記音響エネルギーの少なくとも2つの特性値を判定するように構成され、前記少なくとも2つの特性値はいずれも空間特性であるか、もしくは前記少なくとも2つの特性値は前記空間特性である1つとオフセット付き振幅変動特性、信号トレース特性、およびスペクトル分解特性のグループから選択される1つを含むことと、

前記動物組織の少なくとも2つの属性値を格納するように構成されたコンピュータ記憶装置と

を備え、

前記オフセット付き振幅変動特性は、前記音響エネルギーの反射の角度依存性を示し、前記動物組織中で前記音響エネルギーが散乱位置において反射角 で散乱したとすると、前記角度依存性は前記受信した音響エネルギーから得られる値と前記反射角 との関係から

なり、

前記信号トレース特性は、前記音響エネルギーの電気信号を信号トレース解析することによって得られ、前記信号トレース解析は、測定された前記電気信号の或る形式への変形を行うことと、前記電気信号の特性を記述するために前記変形の結果を、変形されていない前記電気信号と組み合わせることに基づいて行われ、

前記空間特性は、時間的情報から拡張される空間の情報からなり、前記空間特性は前記電気信号の受信信号の伝搬数 k によって表される情報であり、 $\omega(t)$ は電気信号の周波数とし、 v は電気信号の伝搬速度とし、加速度 $a(t) = d^2 \omega(t) / dt^2$ とすると、前記伝搬数 k は $k = a / v$ として求められ、

前記スペクトル分解特性は、互いに異なる周波数範囲での一つまたは少なくとも2つの電気信号の解析であるスペクトル解析によって得られ、

前記プロセッサは、前記特性値に基づき前記属性値セットを生成し、前記動物組織の興味有る領域でボクセルに前記属性値セットを関連付け、前記属性値セットに対応するデータポイントの第1表示を前記表示要素で表示し、前記第1表示は対応する前記属性値セットによって決まる位置に表示され、前記データポイントのサブセットであるデータポイントサブセットを選択する入力を前記ユーザインタフェースで受取り、前記選択されたデータポイントサブセットに対応する前記属性値のサブセットである属性値サブセットに対応するボクセルについての後の解析を処理するように構成され、

前記第1表示は、多次元であるか、ヒストグラムであるか、散乱プロットであるか、等高線図であるか、クロスプロットであるか、共通のボクセルに対応する第1属性と第2属性に対する値の注文された対に対応する2次元表示とデータポイントとであり、

前記空間特性は、

前記伝播数 k の縦方向成分 $k_z = (\omega / v) \cos \theta$ と、

横方向成分 $k_r = (\omega / v) \sin \theta$ と

を更に含み、

は、前記受信した音響エネルギーに関連した到来角を表わす、装置。

【請求項2】

前記空間特性は、選択された横方向 x に沿った時間勾配 $d\omega / dx$ を更に含む、請求項1記載の装置。

【請求項3】

前記時間勾配 $d\omega / dx$ は、 $\sin \theta / v$ に比例する、請求項2記載の装置。

【請求項4】

前記時間勾配 $d\omega / dx$ は、 k_x / v に比例し、

は、前記受信した音響エネルギーに関連した周波数を表わす、請求項2記載の装置。

【請求項5】

前記周波数 ω は、前記受信した音響エネルギーに関連した重心周波数 ω_c によって推定される、

請求項4記載の装置。

【請求項6】

前記周波数 ω は、前記受信した音響エネルギーに関連した自己相関関数 $A(\tau)$ によって推定され、或る時間遅れで推定され、

その結果、 $\omega = \arg |A(\tau)|$ である、

請求項4記載の装置。

【請求項7】

前記空間特性は、方向 x に垂直である選択された横方向 y に沿った時間勾配 $d\omega / dy$ を更に含む、

請求項2記載の装置。

10

20

30

40

50

【請求項 8】

前記空間特性は、 $\theta = \arctan(dt/dy, dt/dx)$ として表現される方位角時間勾配を更に含む、

請求項 7 記載の装置。

【請求項 9】

前記空間特性は、 $T = \sqrt{(dt/dx)^2 + (dt/dy)^2}$ として表現される横方向時間勾配を更に含む、

請求項 7 記載の装置。

【請求項 10】

前記空間特性は、 $T^2 = \sqrt{(d^2t/dx^2)^2 + (d^2t/dy^2)^2}$ として推定される横方向連続性を更に含む、

請求項 9 記載の装置。

【請求項 11】

音響エネルギーを使用して動物組織の少なくとも 2 つの属性を判定する装置であって、前記装置は、

前記動物組織から反射された音響エネルギーを受信し、受信した音響エネルギーに基づいて電気信号を出力する音響受信器モジュールと、

表示要素と、

ユーザインタフェースと、

前記動物組織の属性値のセットである属性値セットを生成すべく、前記電気信号を処理するように構成されたプロセッサであって、前記プロセッサは、前記音響エネルギーの少なくとも 2 つの特性値を判定するように構成され、前記特性値は、オフセット付き振幅変動特性、信号トレース特性、空間特性、およびスペクトル分解特性からなるグループから選択されることと、

前記動物組織の少なくとも 2 つの属性値を格納するように構成されたコンピュータ記憶装置と

を備え、

前記オフセット付き振幅変動特性は、前記音響エネルギーの反射の角度依存性を示し、前記動物組織中で前記音響エネルギーが散乱位置において反射角 θ で散乱したとすると、前記角度依存性は前記受信した音響エネルギーから得られる値と前記反射角 θ との関係からなり、

前記信号トレース特性は、前記音響エネルギーの電気信号を信号トレース解析することによって得られ、前記信号トレース解析は、測定された前記電気信号の或る形式への変形を行うことと、前記電気信号の特性を記述するために前記変形の結果を、変形されていない前記電気信号と組み合わせることとに基づいて行われ、

前記空間特性は、時間的情報から拡張される空間の情報からなり、前記空間特性は前記電気信号の受信信号の伝搬数 k によって表される情報であり、 $\omega(t)$ は電気信号の周波数とし、 v は電気信号の伝搬速度とし、加速度 $a(t) = d^2\omega(t)/dt^2$ とすると、前記伝搬数 k は $k = a/v$ として求められ、

前記スペクトル分解特性は、互いに異なる周波数範囲での一つまたは少なくとも 2 つの電気信号の解析であるスペクトル解析によって得られ、

前記プロセッサは、前記特性値に基づき前記属性値セットを生成し、前記動物組織の興味有る領域でボクセルに前記属性値セットを関連付け、前記属性値セットに対応するデータポイントの第 1 表示を前記表示要素で表示し、前記第 1 表示は対応する前記属性値セットによって決まる位置に表示され、前記データポイントのサブセットであるデータポイントサブセットを選択する入力を前記ユーザインタフェースで受取り、前記選択されたデータポイントサブセットに対応する前記属性値のサブセットである属性値サブセットに対応するボクセルについての後の解析を処理するように構成され、

前記後の解析の処理は、前記選択されたデータポイントサブセットに対応するボクセルの属性に対応する前記データポイントの第 2 表示を前記表示要素で表示することを含み、

10

20

30

40

50

前記第 2 表示は、前記第 1 表示には含まれない属性値のセットに基づき、

前記第 1 表示は、2 次元プロットのうちの第 1 属性値に対応する第 1 次元で表示され、

前記第 2 表示は、2 次元プロットのうちの第 2 属性値に対応する第 2 次元で表示される

装置。

【請求項 12】

音響エネルギーを使用して動物組織の少なくとも 2 つの属性を判定する装置であって、前記装置は、

前記動物組織から反射された音響エネルギーを受信し、受信した音響エネルギーに基づいて電気信号を出力する音響受信器モジュールと、

表示要素と、

ユーザインタフェースと、

前記動物組織の属性値のセットである属性値セットを生成すべく、前記電気信号を処理するように構成されたプロセッサであって、前記プロセッサは、前記音響エネルギーの少なくとも 2 つの特性値を判定するように構成され、前記少なくとも 2 つの特性値はいずれもオフセット付き振幅変動特性であるか、もしくは前記少なくとも 2 つの特性値は前記オフセット付き振幅変動特性である 1 つと、信号トレース特性、空間特性、およびスペクトル分解特性のグループから選択される 1 つとを含むことと、

前記動物組織の少なくとも 2 つの属性値を格納するように構成されたコンピュータ記憶装置と

を備え、

前記オフセット付き振幅変動特性は、前記音響エネルギーの反射の角度依存性を示し、前記動物組織中で前記音響エネルギーが散乱位置において反射角 θ で散乱したとすると、前記角度依存性は前記受信した音響エネルギーから得られる値と前記反射角 θ との関係からなり、

前記信号トレース特性は、前記音響エネルギーの電気信号を信号トレース解析することによって得られ、前記信号トレース解析は、測定された前記電気信号の或る形式への変形を行うことと、前記電気信号の特性を記述するために前記変形の結果を、変形されていない前記電気信号と組み合わせることとに基づいて行われ、

前記空間特性は、時間的情報から拡張される空間の情報からなり、前記空間特性は前記電気信号の受信信号の伝搬数 k によって表される情報であり、 $\omega(t)$ は電気信号の周波数とし、 v は電気信号の伝搬速度とし、加速度 $a(t) = d^2 \omega(t) / dt^2$ とすると、前記伝搬数 k は $k = a / v$ として求められ、

前記スペクトル分解特性は、互いに異なる周波数範囲での一つまたは少なくとも 2 つの電気信号の解析であるスペクトル解析によって得られ、

前記プロセッサは、前記特性値に基づき前記属性値セットを生成し、前記動物組織の興味有る領域でボクセルに前記属性値セットを関連付け、前記属性値セットに対応するデータポイントの第 1 表示を前記表示要素で表示し、前記第 1 表示は対応する前記属性値セットによって決まる位置に表示され、前記データポイントのサブセットであるデータポイントサブセットを選択する入力を前記ユーザインタフェースで受取り、前記選択されたデータポイントサブセットに対応する前記属性値のサブセットである属性値サブセットに対応するボクセルについての後の解析を処理するように構成され、

前記オフセット付き振幅変動特性は、[前記受信した音響エネルギーの反射振幅 R に対応する複数の値] 対 [前記反射振幅の反射角 θ に対応する値] のプロットを含み、

前記オフセット付き振幅変動特性は、 R 対 θ のプロットから推定される機能的関係 R を含み、

前記機能的関係 R は、関係式 $R(\theta) = A + B \sin^2 \theta + C \sin^2 \theta \tan^2 \theta$ を含み、

パラメータ A 、 B 、および C は、前記 R 対 θ のプロットから推定できる定数である、

装置。

10

20

30

40

50

【請求項 13】

前記プロセッサは、
 前記受信した音響エネルギーの圧縮要素の零オフセット反射率と、
 前記受信した音響エネルギーの剪断要素の零オフセット反射率と
 にそれぞれ対応する値 R_{p0} および R_{s0} を推定するように更に構成される、
 請求項 12 記載の装置。

【請求項 14】

R_{p0} および R_{s0} は、前記圧縮要素の速度 V_p が前記動物組織中の前記剪断要素の速度 V_s の 3 倍であると仮定して、 $R_{p0} = A$ および $R_{s0} = (4A - 9B + 5C) / 8$ として近似される、

請求項 13 記載の装置。

【請求項 15】

音響エネルギーを使用して動物組織の少なくとも 2 つの属性を判定する装置であって、前記装置は、

前記動物組織から反射された音響エネルギーを受信し、受信した音響エネルギーに基づいて電気信号を出力する音響受信器モジュールと、

表示要素と、

ユーザインタフェースと、

前記動物組織の属性値のセットである属性値セットを生成すべく、前記電気信号を処理するように構成されたプロセッサであって、前記プロセッサは、前記音響エネルギーの少なくとも 2 つの特性値を判定するように構成され、前記少なくとも 2 つの特性値はいずれもオフセット付き振幅変動特性であるか、もしくは前記少なくとも 2 つの特性値は前記オフセット付き振幅変動特性である 1 つと、信号トレース特性、空間特性、およびスペクトル分解特性のグループから選択される 1 つとを含むことと、

前記動物組織の少なくとも 2 つの属性値を格納するように構成されたコンピュータ記憶装置と
 を備え、

前記オフセット付き振幅変動特性は、前記音響エネルギーの反射の角度依存性を示し、前記動物組織中で前記音響エネルギーが散乱位置において反射角 θ で散乱したとすると、前記角度依存性は前記受信した音響エネルギーから得られる値と前記反射角 θ との関係からなり、

前記信号トレース特性は、前記音響エネルギーの電気信号を信号トレース解析することによって得られ、前記信号トレース解析は、測定された前記電気信号の或る形式への変形を行うことと、前記電気信号の特性を記述するために前記変形の結果を、変形されていない前記電気信号と組み合わせることとに基づいて行われ、

前記空間特性は、時間的情報から拡張される空間の情報からなり、前記空間特性は前記電気信号の受信信号の伝搬数 k によって表される情報であり、 $\omega(t)$ は電気信号の周波数とし、 v は電気信号の伝搬速度とし、加速度 $a(t) = d^2 \omega(t) / dt^2$ とすると、前記伝搬数 k は $k = a / v$ として求められ、

前記スペクトル分解特性は、互いに異なる周波数範囲での一つまたは少なくとも 2 つの電気信号の解析であるスペクトル解析によって得られ、

前記プロセッサは、前記特性値に基づき前記属性値セットを生成し、前記動物組織の興味有る領域でボクセルに前記属性値セットを関連付け、前記属性値セットに対応するデータポイントの第 1 表示を前記表示要素で表示し、前記第 1 表示は対応する前記属性値セットによって決まる位置に表示され、前記データポイントのサブセットであるデータポイントサブセットを選択する入力を前記ユーザインタフェースで受取り、前記選択されたデータポイントサブセットに対応する前記属性値のサブセットである属性値サブセットに対応するボクセルについての後の解析を処理するように構成され、

前記オフセット付き振幅変動特性は、[前記受信した音響エネルギーの反射振幅 R に対応する複数の値] 対 [前記反射振幅の反射角 θ に対応する値] のプロットを含み、

10

20

30

40

50

前記オフセット付き振幅変動特性は、 R 対 \sin^2 のプロットから推定される機能的
 関係を含む、
 装置。

【請求項 16】

前記機能的関係 R は、関係式 $R(\) = A + B \sin^2$ を含み、
 パラメータ A および B は、前記 R 対 \sin^2 のプロットから推定され、
 前記 A は、切片を表わし、
 B は、 R と \sin^2 との間で推定される線形関係の傾斜を表わす、
 請求項 15 記載の装置。

【請求項 17】

前記プロセッサは、
 前記受信した音響エネルギーの圧縮要素の零オフセット反射率と、
 前記受信した音響エネルギーの剪断要素の零オフセット反射率と
 にそれぞれ対応する値 R_{p0} および R_{s0} を推定するように更に構成される、
 請求項 16 記載の装置。

10

【請求項 18】

R_{p0} および R_{s0} は、前記圧縮要素の速度 V_p が前記動物組織中の剪断要素の速度 V_s
 の 2 倍であると仮定して、
 $R_{p0} = A$ および $R_{s0} = (A - B) / 2$ として近似される、
 請求項 17 記載の装置。

20

【請求項 19】

前記プロセッサは、前記動物組織の圧縮および剪断要素にそれぞれ対応するインピーダ
 ンス Z_p および Z_s の推定値を得るべく反射率値 R_{p0} および R_{s0} を逆数にするように
 更に構成される、
 請求項 17 記載の装置。

【請求項 20】

前記プロセッサは、前記推定インピーダンス値 Z_p および Z_s に基づいた前記動物組織
 の一または複数の弾性特性を推定するように更に構成される、
 請求項 19 記載の装置。

【請求項 21】

前記一または複数の弾性特性は、剪断変形に対する抵抗に対応する剛性パラメータ μ を
 含み、関係式 $\mu = Z_s^2 /$ によって推定され、
 は、前記動物組織の密度の推定値を表わす、
 請求項 20 記載の装置。

30

【請求項 22】

前記一または複数の弾性特性は、前記動物組織の液体内容物に影響を受ける弾性パラメ
 タ を更に含み、
 前記弾性パラメータ は、関係式 $= (Z_p^2 - 2Z_s^2) /$ によって推定される、
 請求項 21 記載の装置。

【請求項 23】

前記一または複数の弾性特性は、前記動物組織の非圧縮性または体積弾性率に対応する
 パラメータ を更に含み、
 前記パラメータ は、関係式 $= + (2 / 3) \mu$ によって推定される、
 請求項 22 記載の装置。

40

【請求項 24】

音響エネルギーを使用して動物組織の少なくとも2つの属性を判定する装置であって、前
 記装置は、
 前記動物組織から反射された音響エネルギーを受信し、受信した音響エネルギーに基づいて
 電気信号を出力する音響受信器モジュールと、
 表示要素と、

50

ユーザインタフェースと、

前記動物組織の属性値のセットである属性値セットを生成すべく、前記電気信号を処理するように構成されたプロセッサであって、前記プロセッサは、前記音響エネルギーの少なくとも2つの特性値を判定するように構成され、前記少なくとも2つの特性値はいずれも信号トレース特性であるか、もしくは前記少なくとも2つの特性値は前記信号トレース特性である1つと、オフセット付き振幅変動特性、空間特性、およびスペクトル分解特性のグループから選択される1つとを含むことと、

前記動物組織の少なくとも2つの属性値を格納するように構成されたコンピュータ記憶装置と
を備え、

前記オフセット付き振幅変動特性は、前記音響エネルギーの反射の角度依存性を示し、前記動物組織中で前記音響エネルギーが散乱位置において反射角 θ で散乱したとすると、前記角度依存性は前記受信した音響エネルギーから得られる値と前記反射角 θ との関係からなり、

前記信号トレース特性は、前記音響エネルギーの電気信号を信号トレース解析することによって得られ、前記信号トレース解析は、測定された前記電気信号の或る形式への変形を行うことと、前記電気信号の特性を記述するために前記変形の結果を、変形されていない前記電気信号と組み合わせることに基づいて行われ、

前記空間特性は、時間的情報から拡張される空間の情報からなり、前記空間特性は前記電気信号の受信信号の伝搬数 k によって表される情報であり、 $\omega(t)$ は電気信号の周波数とし、 v は電気信号の伝搬速度とし、加速度 $a(t) = d^2 \omega(t) / dt^2$ とすると、前記伝搬数 k は $k = a / v$ として求められ、

前記スペクトル分解特性は、互いに異なる周波数範囲での一つまたは少なくとも2つの電気信号の解析であるスペクトル解析によって得られ、

前記プロセッサは、前記特性値に基づき前記属性値セットを生成し、前記動物組織の興味有る領域でボクセルに前記属性値セットを関連付け、前記属性値セットに対応するデータポイントの第1表示を前記表示要素で表示し、前記第1表示は対応する前記属性値セットによって決まる位置に表示され、前記データポイントのサブセットであるデータポイントサブセットを選択する入力を前記ユーザインタフェースで受取り、前記選択されたデータポイントサブセットに対応する前記属性値のサブセットである属性値サブセットに対応するボクセルについての後の解析を処理するように構成され、

反射対象物からの反射エネルギーを検出した結果としての前記電気信号は、時間変動関数 $f(t)$ として表現され、

前記信号トレース特性は、複合関数 $F(t) = f(t) + i g(t)$ を含み、

$f(t)$ は $F(t)$ の実数部であり、前記動物組織中の所定領域に対応する前記電気信号を表わし、

$g(t)$ は $F(t)$ の虚数部であり、 $f(t)$ のヒルベルト変換を表わす、

装置。

【請求項25】

前記信号トレース特性は、 $E(t) = (f^2(t) + g^2(t))^{1/2}$ として表現される前記複合関数 $F(t)$ の係数 $E(t)$ を更に含む、

請求項24記載の装置。

【請求項26】

前記 $E(t)$ は、前記電気信号のエンベロープを表わす、

請求項25記載の装置。

【請求項27】

前記 $E(t)$ の二乗は、前記受信した音響エネルギーに関連した瞬間的なエネルギーに対応する値を表わす、

請求項25記載の装置。

【請求項28】

10

20

30

40

50

前記信号トレース特性は、時間に対する前記 $E(t)$ の変化率を更に含み、
 $d(E(t))/dt$ として表現される、
 請求項 27 記載の装置。

【請求項 29】

前記 $d(E(t))/dt$ は、前記動物組織中の吸収効果に関する情報を提供する、
 請求項 28 記載の装置。

【請求項 30】

前記信号トレース特性は、前記 $d(E(t))/dt$ の変化率を更に含み、
 $d^2(E(t))/dt^2$ として表現される、
 請求項 28 記載の装置。

10

【請求項 31】

前記 $d^2(E(t))/dt^2$ は、前記動物組織中の反射界面に関する情報を提供する、
 請求項 30 記載の装置。

【請求項 32】

前記信号トレース特性は、前記動物組織中の前記所定領域に関連した前記受信した音響
 エネルギの瞬間的な位相を更に含み、

前記位相は、 $(t) = \arctan(g(t)/f(t))$ として表現される、
 請求項 24 記載の装置。

【請求項 33】

20

前記位相 (t) は、 $F(t)$ の振幅から独立し、前記動物組織中の前記所定領域から
 の前記音響エネルギの伝播位相に関する情報を提供する、

請求項 32 記載の装置。

【請求項 34】

前記信号トレース特性は、前記動物組織中の前記所定領域に関連した前記受信した音響
 エネルギの瞬間的な周波数を更に含み、

前記周波数は、 $(t) = d(\quad(t))/dt$ として表現される、
 請求項 32 記載の装置。

【請求項 35】

前記信号トレース特性は、前記動物組織中の前記所定領域に関連した前記受信した音響
 エネルギの瞬間的な加速度を更に含み、

前記加速度は、 $a(t) = d(\quad(t))/dt$ として表現される、
 請求項 34 記載の装置。

30

【請求項 36】

前記信号トレース特性は、前記動物組織中の前記所定領域に関連した前記受信した音響
 エネルギの平均周波数 $m e a n(t)$ を更に含み、

前記平均周波数は、

前記関数 $F(t)$ のフーリエ変換 $F(\quad)$ を判定することと、

関係式 $P(\quad) = F(\quad) F^*(\quad)$ による自己相関関数 $P(\quad)$ を判定することであ
 って、 $F^*(\quad)$ が $F(\quad)$ の複素共役を含むことと、

40

関係式

【数 1】

$$A(t) = \int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega) \exp(i\omega t) d\omega / \int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega) d\omega$$

によって標準化された自己相関関数 $A(t)$ を判定することと、および
 関係式

50

【数 2】

$$\omega_{\text{mean}}(t) = dA(t)/dt = -i \int_{\omega=0}^{\infty} \omega P(\omega) \exp(i\omega t) d\omega / \int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega) d\omega$$

によって前記平均周波数 ω_{mean} を判定することと
を含む方法によって得られる、

請求項 3 4 記載の装置。

10

【請求項 3 7】

前記信号トレース特性は、関係式 $(t) - \omega_{\text{mean}}(t)$ によって判定される薄層
指標パラメータを更に含む、

請求項 3 6 記載の装置。

【請求項 3 8】

前記信号トレース特性は、前記動物組織中の前記所定領域に関連した前記受信した音響
エネルギーの加速度を更に含み、

前記加速度は、関係式 $|d^2 A(t) / dt^2|$ によって判定される、

請求項 3 6 記載の装置。

【請求項 3 9】

前記信号トレース特性は、関係式

20

【数 3】

$$\omega_c = \int_{\omega=0}^{\infty} \omega P(\omega) d\omega / \int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega) d\omega$$

によるパワー・スペクトルの重心周波数 ω_c を更に含む、

請求項 3 6 記載の装置。

30

【請求項 4 0】

前記信号トレース特性は、関係式

【数 4】

$$\omega_v = \int_{\omega=0}^{\infty} (\omega - \omega_c)^2 P(\omega) d\omega / \int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega) d\omega$$

による前記重心周波数 ω_c に対する分散 ω_v を更に含む、

請求項 3 6 記載の装置。

40

【請求項 4 1】

前記信号トレース特性は、関係式

【数 5】

$$\omega_{\text{RMS}} = \text{sqrt} \left[\int_{\omega=0}^{\infty} \omega^2 P(\omega) d\omega / \int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega) d\omega \right]$$

50

による二乗平均周波数 $R_{M S}$ を更に含む、
請求項 3 6 記載の装置。

【請求項 4 2】

コンピュータに以下の手順を実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ読取可能な記録媒体であって、音響エネルギーを使用して動物組織の属性を判定するために、

前記動物組織から反射された音響エネルギーを受信する手順と、

前記受信した音響エネルギーから電気信号を生成する手順と、

前記動物組織の属性値のセットである属性値セットを生成するように前記電気信号を処理する手順であって、前記音響エネルギーの少なくとも2つの特性値を判定するように構成され、前記少なくとも2つの特性値はいずれも空間特性であるか、もしくは前記少なくとも2つの特性値は前記空間特性である1つとオフセット付き振幅変動特性、信号トレース特性、およびスペクトル分解特性のグループから選択される1つとを含む手順と、

前記特性値に基づき前記属性値セットを生成する手順と、

前記動物組織の興味有る領域でボクセルに前記属性値セットを関連付ける手順と、

前記属性値セットに対応するデータポイントの第1表示を表示要素で表示する手順であって、前記第1表示は対応する前記属性値セットによって決まる位置に表示される手順と、

前記データポイントのサブセットであるデータポイントサブセットを選択する入力をユーザインタフェースで受取る手順と、

前記選択されたデータポイントサブセットに対応する前記属性値のサブセットである属性値サブセットに対応するボクセルについての後の解析を処理する手順と、

少なくとも2つの属性値をコンピュータ記憶装置に登録する手順と
を含み、

前記オフセット付き振幅変動特性は、前記音響エネルギーの反射の角度依存性を示し、前記動物組織中で前記音響エネルギーが散乱位置において反射角 θ で散乱したとすると、前記角度依存性は前記受信した音響エネルギーから得られる値と前記反射角 θ との関係からなり、

前記信号トレース特性は、前記音響エネルギーの電気信号を信号トレース解析する手順によって得られ、前記信号トレース解析は、測定された前記電気信号の或る形式への変形を行う手順と、前記電気信号の特性を記述するために前記変形の結果を、変形されていない前記電気信号と組み合わせる手順とに基づいて行われ、

前記空間特性は、時間的情報から拡張される空間の情報からなり、前記空間特性は前記電気信号の受信信号の伝搬数 k によって表される情報であり、 ω (t) は電気信号の周波数とし、 v は電気信号の伝搬速度とし、加速度 a (t) = d^2 (t) / $d t^2$ とすると、前記伝搬数 k は $k = a / v$ として求められ、

前記スペクトル分解特性は、互いに異なる周波数範囲での一つまたは少なくとも2つの電気信号の解析であるスペクトル解析によって得られ、

前記第1表示は、多次元であるか、ヒストグラムであるか、散乱プロットであるか、等高線図であるか、クロスプロットであるか、共通のボクセルに対応する第1属性と第2属性に対する値の注文された対に対応する2次元表示とデータポイントとであり、

前記空間特性は、

前記伝播数 k の縦方向成分 $k_z = (\omega / v) \cos \theta$ と、

横方向成分 $k_t = (\omega / v) \sin \theta$ と

を更に含む、

は、前記受信した音響エネルギーに関連した到来角を表わす、

コンピュータ読取可能な記録媒体。

【請求項 4 3】

音響エネルギーを使用して動物組織の属性を判定する方法であって、前記方法は、

前記動物組織から反射された音響エネルギーを受信することと、

前記受信した音響エネルギーから電気信号を生成することと、

10

20

30

40

50

前記動物組織の属性値のセットである属性値セットを生成するように前記電気信号を処理することであって、前記音響エネルギーの少なくとも2つの特性値を判定するように構成され、前記少なくとも2つの特性値はいずれも空間特性であるか、もしくは前記少なくとも2つの特性値は前記空間特性である1つとオフセット付き振幅変動特性、信号トレース特性、およびスペクトル分解特性のグループから選択される1つとを含むことと、

前記特性値に基づき前記属性値セットを生成することと、

前記動物組織の興味有る領域でボクセルに前記属性値セットを関連付けることと、

前記属性値セットに対応するデータポイントの第1表示を表示要素で表示することであって、前記第1表示は対応する前記属性値セットによって決まる位置に表示されることと、

10

前記データポイントのサブセットであるデータポイントサブセットを選択する入力をユーザインタフェースで受取ることと、

前記選択されたデータポイントサブセットに対応する前記属性値のサブセットである属性値サブセットに対応するボクセルについての後の解析を処理することであって、前記後の解析の処理は、前記選択されたデータポイントサブセットに対応するボクセルの属性に対応する前記データポイントの第2表示を前記表示要素で表示することを含み、前記第2表示は、前記第1表示には含まれない属性値のセットに基づくことと、

少なくとも2つの属性値をコンピュータ記憶装置に登録することと
を含み、

前記オフセット付き振幅変動特性は、前記音響エネルギーの反射の角度依存性を示し、前記動物組織中で前記音響エネルギーが散乱位置において反射角 θ で散乱したとすると、前記角度依存性は前記受信した音響エネルギーから得られる値と前記反射角 θ との関係からなり、

20

前記信号トレース特性は、前記音響エネルギーの電気信号を信号トレース解析することによって得られ、前記信号トレース解析は、測定された前記電気信号の或る形式への変形を行うことと、前記電気信号の特性を記述するために前記変形の結果を、変形されていない前記電気信号と組み合わせることとに基づいて行われ、

前記空間特性は、時間的情報から拡張される空間の情報からなり、前記空間特性は前記電気信号の受信信号の伝搬数 k によって表される情報であり、 $\omega(t)$ は電気信号の周波数とし、 v は電気信号の伝搬速度とし、加速度 $a(t) = d^2 \omega(t) / dt^2$ とすると、前記伝搬数 k は $k = a / v$ として求められ、

30

前記スペクトル分解特性は、互いに異なる周波数範囲での一つまたは少なくとも2つの電気信号の解析であるスペクトル解析によって得られ、

前記第1表示は、多次元であるか、ヒストグラムであるか、散乱プロットであるか、等高線図であるか、クロスプロットであるか、共通のボクセルに対応する第1属性と第2属性に対する値の注文された対に対応する2次元表示とデータポイントとであり、

前記空間特性は、

前記伝播数 k の縦方向成分 $k_z = (k / v) \cos \theta$ と、

横方向成分 $k_r = (k / v) \sin \theta$ と

を更に含み、

40

は、前記受信した音響エネルギーに関連した到来角を表わす、

方法。

【請求項44】

コンピュータに以下の手順を実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ読取可能な記録媒体であって、音響エネルギーを使用して動物組織の属性を判定するために、

前記動物組織から反射された音響エネルギーを受信する手順と、

前記受信した音響エネルギーから電気信号を生成する手順と、

前記動物組織の属性値のセットである属性値セットを生成するように前記電気信号を処理する手順であって、前記音響エネルギーの少なくとも2つの特性値を判定するように構成され、前記特性値は、オフセット付き振幅変動特性、信号トレース特性、空間特性、およ

50

びスペクトル分解特性からなるグループから選択される手順と、

前記特性値に基づき前記属性値セットを生成する手順と、

前記動物組織の興味有る領域でボクセルに前記属性値セットを関連付ける手順と、

前記属性値セットに対応するデータポイントの第1表示を表示要素で表示する手順であって、前記第1表示は対応する前記属性値セットによって決まる位置に表示される手順と

、

前記データポイントのサブセットであるデータポイントサブセットを選択する入力をユーザインタフェースで受取る手順と、

前記選択されたデータポイントサブセットに対応する前記属性値のサブセットである属性値サブセットに対応するボクセルについての後の解析を処理する手順と、

少なくとも2つの属性値をコンピュータ記憶装置に登録する手順とを含み、

前記オフセット付き振幅変動特性は、前記音響エネルギーの反射の角度依存性を示し、前記動物組織中で前記音響エネルギーが散乱位置において反射角 θ で散乱したとすると、前記角度依存性は前記受信した音響エネルギーから得られる値と前記反射角 θ との関係からなり、

前記信号トレース特性は、前記音響エネルギーの電気信号を信号トレース解析する手順によって得られ、前記信号トレース解析は、測定された前記電気信号の或る形式への変形を行う手順と、前記電気信号の特性を記述するために前記変形の結果を、変形されていない前記電気信号と組み合わせる手順とに基づいて行われ、

前記空間特性は、時間的情報から拡張される空間の情報からなり、前記空間特性は前記電気信号の受信信号の伝搬数 k によって表される情報であり、 $\omega(t)$ は電気信号の周波数とし、 v は電気信号の伝搬速度とし、加速度 $a(t) = d^2 \omega(t) / dt^2$ とすると、前記伝搬数 k は $k = a / v$ として求められ、

前記スペクトル分解特性は、互いに異なる周波数範囲での一つまたは少なくとも2つの電気信号の解析であるスペクトル解析によって得られ、

前記後の解析の処理は、前記選択されたデータポイントサブセットに対応するボクセルの属性に対応する前記データポイントの第2表示を前記表示要素で表示する手順を含み、

前記第2表示は、前記第1表示には含まれない属性値のセットに基づく手順であり、

前記第1表示は、2次元プロットのうちの第1属性値に対応する第1次元で表示され、

前記第2表示は、2次元プロットのうちの第2属性値に対応する第2次元で表示される

、

コンピュータ読取可能な記録媒体。

【請求項45】

音響エネルギーを使用して動物組織の属性を判定する方法であって、前記方法は、

前記動物組織から反射された音響エネルギーを受信することと、

前記受信した音響エネルギーから電気信号を生成することと、

前記動物組織の属性値のセットである属性値セットを生成するように前記電気信号を処理することであって、前記音響エネルギーの少なくとも2つの特性値を判定するように構成され、前記特性値は、オフセット付き振幅変動特性、信号トレース特性、空間特性、およびスペクトル分解特性からなるグループから選択されることと、

前記特性値に基づき前記属性値セットを生成することと、

前記動物組織の興味有る領域でボクセルに前記属性値セットを関連付けることと、

前記属性値セットに対応するデータポイントの第1表示を表示要素で表示することであって、前記第1表示は対応する前記属性値セットによって決まる位置に表示されることと

、

前記データポイントのサブセットであるデータポイントサブセットを選択する入力をユーザインタフェースで受取ることと、

前記選択されたデータポイントサブセットに対応する前記属性値のサブセットである属性値サブセットに対応するボクセルについての後の解析を処理することであって、前記後

10

20

30

40

50

の解析の処理は、前記選択されたデータポイントサブセットに対応するボクセルの属性に対応する前記データポイントの第2表示を前記表示要素で表示することを含み、前記第2表示は、前記第1表示には含まれない属性値のセットに基づくことと、

少なくとも2つの属性値をコンピュータ記憶装置に登録することとを含み、

前記オフセット付き振幅変動特性は、前記音響エネルギーの反射の角度依存性を示し、前記動物組織中で前記音響エネルギーが散乱位置において反射角 θ で散乱したとすると、前記角度依存性は前記受信した音響エネルギーから得られる値と前記反射角 θ との関係からなり、

前記信号トレース特性は、前記音響エネルギーの電気信号を信号トレース解析することによって得られ、前記信号トレース解析は、測定された前記電気信号の或る形式への変形を行うことと、前記電気信号の特性を記述するために前記変形の結果を、変形されていない前記電気信号と組み合わせることとに基づいて行われ、

前記空間特性は、時間的情報から拡張される空間の情報からなり、前記空間特性は前記電気信号の受信信号の伝搬数 k によって表される情報であり、 ω (t) は電気信号の周波数とし、 v は電気信号の伝搬速度とし、加速度 a (t) = d^2 (t) / $d t^2$ とすると、前記伝搬数 k は $k = a / v$ として求められ、

前記スペクトル分解特性は、互いに異なる周波数範囲での一つまたは少なくとも2つの電気信号の解析であるスペクトル解析によって得られ、

前記後の解析の処理は、前記選択されたデータポイントサブセットに対応するボクセルの属性に対応する前記データポイントの第2表示を前記表示要素で表示する手順を含み、前記第2表示は、前記第1表示には含まれない属性値のセットに基づき、

前記第1表示は、2次元プロットのうちの第1属性値に対応する第1次元で表示され、前記第2表示は、2次元プロットのうちの第2属性値に対応する第2次元で表示される

方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本教示は、概して超音波技術に関し、特に音響エネルギーとのその相互作用に基づいて対象物の属性を判定するシステムおよび方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来の超音波装置では、媒体中の反射対象物の画像は、反射された音響エネルギーの伝搬時間および振幅を解析することによって形成される。そのような装置は、典型的には、解像度、使い易さ、および他の画像化に関連する性能パラメータの或る組合せを最適化するように構成される。

【0003】

このように、従来の超音波装置は、対象物と周囲媒体との間の視覚的コントラストに基づいて媒体中の対象物を検出できる。コントラストにおけるそのような差は、一般に、媒体および対象物の反射特性の差に起因する。

【非特許文献1】Shuey, R. T., "A simplification of the Zoeppritz equations", *Geophysics*, 50, 609-614, 1985

【非特許文献2】Russell, B., Hampson, D., "A comparison of post-stack seismic inversion techniques", 61st Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 876-878, 1991

【非特許文献3】M. Turhanによる論文「Attributes Revisited」1992年(2000年改訂)、ウェブサイト「<http://www.rock>

10

20

30

40

50

solidimages.com/pdf/attrib_revisited.htm
」において入手可能

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

対象物が先の方法で検出されたとしても、対象物に関する情報は、通常、コントラスト画像の視覚的解釈に限定される。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本教示は、概して、超音波エネルギーを使用して属性を判定するシステムおよび方法に関する。動物組織のような媒体の様々な特性は、反射率の信号トレース解析および角度依存性解析のような技術を使用して推定できる。そのような技術は、スペクトル分解解析と共に行なわれることができる。属性は、ユーザ解析および媒体についてのより良い理解を容易にするようにクロス・プロットできる。先の方法で得られる属性は、特に媒体内の異常を検出および特徴づけようとするときに、必ずしも幾つかの標準値に一致する必要は無い。媒体内の属性値の相対的な差は、異常に関する情報を提供できる。異常に関する付加情報は、エキスパートによる異常についての観察によって提供できる。

【0006】

本教示の一実施形態は、音響エネルギーを使用して動物組織の属性を判定する方法に関する。本方法は、動物組織から反射された音響エネルギーを受信することを含む。本方法は、受信した音響エネルギーから電気信号を生成することを更に含む。本方法は、動物組織の属性値を生成するように電気信号を処理することを更に含み、前記属性は、オフセット付き振幅変動特性および信号トレース特性からなるグループから選択される。本方法は、前記属性値をコンピュータ記憶装置に登録することを更に含む。

【0007】

一実施形態において、前記組織属性は、オフセット付き振幅変動特性を含む。一実施形態において、前記組織属性は、信号トレース特性を含む。一実施形態において、前記組織属性は、空間特性を更に含む。

【0008】

前記組織属性がオフセット付き振幅変動特性を含む一実施形態において、前記オフセット付き振幅変動特性は、[受信した音響エネルギーの反射振幅Rに対応する複数の値]対[反射振幅のそれぞれの反射角]に対応する値]のプロットを含み、前記反射角は、動物組織中の層に対する。

【0009】

一実施形態において、前記オフセット付き振幅変動特性は、R対 のプロットから推定される機能的関係Rを含む。

一実施形態において、前記機能的関係Rは、関係式 $R(\theta) = A + B \sin^2 \theta + C \sin^2 \theta \tan^2 \theta$ を含み、パラメータA、B、およびCは、R対 のプロットから推定できる定数である。一実施形態において、本方法は、受信した音響エネルギーの圧縮要素の零オフセット反射率と、受信した音響エネルギーの剪断要素の零オフセット反射率とにそれぞれ対応する値 R_{p0} および R_{s0} を推定することを更に含む。一実施形態において、 R_{p0} および R_{s0} は、圧縮要素の速度 V_p が動物組織中の剪断要素の速度 V_s の約3倍であると仮定して、 $R_{p0} = A$ および $R_{s0} = (4A - 9B + 5C) / 8$ として近似される。

【0010】

別の実施形態において、前記オフセット付き振幅変動特性は、R対 $\sin^2 \theta$ のプロットから推定される機能的関係を含む。一実施形態において、前記機能的関係Rは、関係式 $R(\theta) = A + B \sin^2 \theta$ を含み、パラメータAおよびBは、R対 $\sin^2 \theta$ のプロットから推定され、Aは、切片を表わし、Bは、Rと $\sin^2 \theta$ との間で推定される線形関係の傾斜を表わす。一実施形態において、本方法は、受信した音響エネルギーの圧縮要素の

10

20

30

40

50

零オフセット反射率と、受信した音響エネルギーの剪断要素の零オフセット反射率とにそれぞれ対応する値 R_{p0} および R_{s0} を推定することを更に含む。一実施形態において、 R_{p0} および R_{s0} は、圧縮要素の速度 V_p が動物組織中の剪断要素の速度 V_s の約2倍であると仮定して、 $R_{p0} = A$ および $R_{s0} = (A - B) / 2$ として近似される。

【0011】

一実施形態において、本方法は、動物組織の圧縮および剪断要素にそれぞれ対応するインピーダンス Z_p および Z_s の推定値を得るように反射率値 R_{p0} および R_{s0} を逆数にすることを更に含む。一実施形態において、本方法は、推定インピーダンス値 Z_p および Z_s に基づいて動物組織の一または複数の弾性特性を推定することを更に含む。一実施形態において、前記一または複数の弾性特性は、剪断変形に対する抵抗に対応し、関係式 $\mu = Z_s^2 / \rho$ によって推定される剛性パラメータ μ を含み、 ρ は、動物組織の密度の推定値を表わす。一実施形態において、前記一または複数の弾性特性は、動物組織の液体内容物に影響を受ける弾性パラメータ λ を更に含み、前記弾性パラメータ λ は、関係式 $\lambda = (Z_p^2 - 2Z_s^2) / 2\rho$ によって推定される。一実施形態において、前記一または複数の弾性特性は、動物組織の非圧縮性または体積弾性率に対応するパラメータ K を更に含み、前記パラメータ K は、関係式 $K = \lambda + (2/3)\mu$ によって推定される。

10

【0012】

前記組織属性が信号トレース特性を含む一実施形態において、前記信号トレース特性は、複合関数 $F(t) = f(t) + ig(t)$ を含み、 $f(t)$ は、 $F(t)$ の実数部を含み、動物組織中の所定領域に対応する電気信号を表わし、 $g(t)$ は、 $F(t)$ の虚数部を含み、 $f(t)$ のヒルベルト変換を表わす。

20

【0013】

一実施形態において、前記信号トレース特性は、 $E(t) = (f^2(t) + g^2(t))^{1/2}$ として表現される複合関数 $F(t)$ の係数 $E(t)$ を更に含む。一実施形態において、 $E(t)$ は、電気信号のエンベロープを表わす。一実施形態において、 $E(t)$ の二乗は、受信した音響エネルギーに関連した実質的に瞬間的なエネルギーに対応する値を表わす。一実施形態において、前記信号トレース特性は、時間に対する $E(t)$ の変化率を更に含み、 $d(E(t))/dt$ として表現される。一実施形態において、 $d(E(t))/dt$ は、動物組織中の吸収効果に関する情報を提供する。一実施形態において、前記信号トレース特性は、 $d(E(t))/dt$ の変化率を更に含み、 $d^2(E(t))/dt^2$ として表現される。一実施形態において、 $d^2(E(t))/dt^2$ は、動物組織中の反射界面に関する情報を提供する。

30

【0014】

一実施形態において、前記信号トレース特性は、動物組織中の所定領域に関連した受信した音響エネルギーの実質的に瞬間的な位相を更に含み、前記位相は、 $\phi(t) = \arctan(g(t)/f(t))$ として表現される。一実施形態において、前記位相 $\phi(t)$ は、 $F(t)$ の振幅から実質的に独立し、動物組織中の所定領域からの音響エネルギーの伝播位相に関する情報を提供する。一実施形態において、前記信号トレース特性は、動物組織中の所定領域に関連した受信した音響エネルギーの実質的に瞬間的な周波数を更に含み、前記周波数は、 $\omega(t) = d(\phi(t))/dt$ として表現される。一実施形態において、前記信号トレース特性は、動物組織中の所定領域に関連した受信した音響エネルギーの実質的に瞬間的な加速度を更に含み、前記加速度は、 $a(t) = d(\omega(t))/dt$ として表現される。

40

【0015】

一実施形態において、前記信号トレース特性は、動物組織中の所定領域に関連した受信した音響エネルギーの平均周波数 $\omega_{mean}(t)$ を更に含み、前記平均周波数は、関数 $F(t)$ のフーリエ変換 $F(\omega)$ を判定することと、関係式 $P(\omega) = F(\omega)F^*(\omega)$ による自己相関関数 $P(\omega)$ を判定することと、 $F^*(\omega)$ が $F(\omega)$ の複素共役を含むことと、関係式

【0016】

50

【数 1】

$$A(t) = \frac{\int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega)\exp(i\omega t)d\omega}{\int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega)d\omega}$$

【0017】

によって標準化された自己相関関数 $A(t)$ を判定することと、および関係式

【0018】

【数 2】

10

$$\omega_{\text{mean}}(t) = dA(t)/dt = -i \frac{\int_{\omega=0}^{\infty} \omega P(\omega)\exp(i\omega t)d\omega}{\int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega)d\omega}$$

【0019】

によって平均周波数 ω_{mean} を判定することを含む方法によって得られる。

一実施形態において、前記信号トレース特性は、関係式 $A(t) - \omega_{\text{mean}}(t)$ によって判定される薄層指標パラメータを更に含む。一実施形態において、前記信号トレース特性は、動物組織中の所定領域に関連した受信した音響エネルギーの加速度を更に含み、前記加速度は、関係式 $|d^2 A(t)/dt^2|$ によって判定される。一実施形態において、前記信号トレース特性は、関係式

20

【0020】

【数 3】

$$\omega_c = \frac{\int_{\omega=0}^{\infty} \omega P(\omega)d\omega}{\int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega)d\omega}$$

【0021】

によるパワー・スペクトルの重心周波数 ω_c を更に含む。一実施形態において、前記信号トレース特性は、関係式

30

【0022】

【数 4】

$$\omega_v = \frac{\int_{\omega=0}^{\infty} (\omega - \omega_c)^2 P(\omega)d\omega}{\int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega)d\omega}$$

【0023】

による重心周波数 ω_c に対する分散 ω_v を更に含む。一実施形態において、前記信号トレース特性は、関係式

40

【0024】

【数 5】

$$\omega_{\text{RMS}} = \text{sqrt}\left[\frac{\int_{\omega=0}^{\infty} \omega^2 P(\omega)d\omega}{\int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega)d\omega}\right]$$

【0025】

50

による二乗平均周波数 f_{RMS} を更に含む。

前記組織属性が空間特性を含む一実施形態において、前記空間特性は、受信した音響エネルギーに関連した伝播数 k に関する情報を含む。一実施形態において、前記空間特性は、伝播数 k の縦方向成分 $k_z = (k / v) \cos \theta$ および横方向成分 $k_t = (k / v) \sin \theta$ を更に含み、 θ は、受信した音響エネルギーに関連した到来角を表わす。

【0026】

一実施形態において、前記空間特性は、選択された横方向 x に沿った時間勾配 dt/dx を更に含む。一実施形態において、前記時間勾配 dt/dx は、 $\sin \theta / v$ に比例する。一実施形態において、前記時間勾配 dt/dx は、 k_x / v に比例し、 θ は、受信した音響エネルギーに関連した周波数を表わす。一実施形態において、前記周波数 f は、受信した音響エネルギーに関連した重心周波数 f_c によって推定される。一実施形態において、前記周波数 f は、受信した音響エネルギーに関連した自己相関関数 $A(t)$ によって推定され、或る時間遅れで推定され、その結果、 $f = \arg |A(l)|$ である。

10

【0027】

一実施形態において、前記空間特性は、方向 x に実質的に垂直である選択された横方向 y に沿った時間勾配 dt/dy を更に含む。一実施形態において、前記空間特性は、 $\theta = \arctan(dt/dy, dt/dx)$ として表現される方位角時間勾配を更に含む。一実施形態において、前記空間特性は、 $T = \sqrt{(dt/dx)^2 + (dt/dy)^2}$ として表現される横方向時間勾配を更に含む。一実施形態において、前記空間特性は、 $T^2 = \sqrt{(d^2t/dx^2)^2 + (d^2t/dy^2)^2}$ として推定される横方向連続性を更に含む。

20

【0028】

一実施形態において、本方法は、電気信号に関連した周波数の一または複数の範囲で電気信号の処理を行なうことを更に含む。一実施形態において、前記周波数の複数の範囲で処理することは、スペクトル分解解析を含む。一実施形態において、本方法は、動物の対象領域を超音波で画像化することであって、対象領域が複数のボクセルを有し、前記ボクセルの各々が周波数の一または複数の範囲の選択された1つでの属性値を有すること、複数のボクセルの各々に対する属性値を判定すること、および、複数のボクセルに対する属性値をディスプレイ上に同時に表示することを更に含む。

【0029】

一実施形態において、本方法は、前記属性をその値に基づいて分類することを更に含む。一実施形態において、本方法は、前記属性を分類することに基づいた結果値を生成することを更に含む。一実施形態において、前記属性を分類すること、および、前記結果を生成することは、実質的に自動的に行なわれる。

30

【0030】

前記動物組織に対する先の特徴は、材料に適用することもでき、ここで、本教示の別の実施形態は、音響エネルギーを使用して材料の属性を判定する方法に関する。本方法は、材料から反射された音響エネルギーを受信することを含む。本方法は、受信した音響エネルギーから電気信号を生成することを更に含む。本方法は、材料の属性値を生成するように電気信号を処理することを更に含み、前記属性は、オフセット付き振幅変動特性および信号トレース特性からなるグループから選択される。本方法は、前記属性値をコンピュータ記憶装置に登録することを更に含む。

40

【0031】

本教示の別の実施形態は、音響エネルギーを使用して動物組織の属性を判定する装置に関する。本装置は、動物組織から反射された音響エネルギーを受信し、受信した音響エネルギーに基づいて電気信号を出力する音響受信器モジュールを備える。本装置は、前記信号を処理し、動物組織の属性値を生成するように構成されたプロセッサを更に備え、前記属性は、オフセット付き振幅変動特性および信号トレース特性のうち少なくとも1つを有する。本装置は、動物組織の属性値を格納するように構成されたコンピュータ記憶装置を更に備える。

50

【 0 0 3 2 】

一実施形態において、前記組織属性は、オフセット付き振幅変動特性を含む。一実施形態において、前記組織属性は、信号トレース特性を含む。一実施形態において、前記組織属性は、空間特性を更に含む。

【 0 0 3 3 】

前記組織属性がオフセット付き振幅変動特性を含む一実施形態において、前記オフセット付き振幅変動特性は、[受信した音響エネルギーの反射振幅 R に対応する複数の値] 対 [前記反射振幅のそれぞれの反射角 に対応する値] のプロットを含み、前記反射角 は、動物組織中の層に対する。

【 0 0 3 4 】

一実施形態において、前記オフセット付き振幅変動特性は、R 対 のプロットから推定される機能的関係 R を含む。

一実施形態において、前記機能的関係 R は、関係式 $R(\theta) = A + B \sin^2 \theta + C \sin^2 \theta \tan^2 \theta$ を含み、パラメータ A、B、および C は、R 対 のプロットから推定できる定数である。一実施形態において、前記処理は、受信した音響エネルギーの圧縮要素の零オフセット反射率と、受信した音響エネルギーの剪断要素の零オフセット反射率とにそれぞれ対応する値 R_{p0} および R_{s0} を推定するように更に構成される。一実施形態において、 R_{p0} および R_{s0} は、圧縮要素の速度 V_p が動物組織中の剪断要素の速度 V_s の約 3 倍であると仮定して、 $R_{p0} = A$ および $R_{s0} = (4A - 9B + 5C) / 8$ として近似される。

【 0 0 3 5 】

別の実施形態において、前記オフセット付き振幅変動特性は、R 対 $\sin^2 \theta$ のプロットから推定される機能的関係を含む。一実施形態において、前記機能的関係 R は、関係式 $R(\theta) = A + B \sin^2 \theta$ を含み、パラメータ A および B は、R 対 $\sin^2 \theta$ のプロットから推定され、A は、切片を表わし、B は、R と $\sin^2 \theta$ との間で推定される線形関係の傾斜を表わす。一実施形態において、前記プロセッサは、受信した音響エネルギーの圧縮要素の零オフセット反射率と、受信した音響エネルギーの剪断要素の零オフセット反射率とにそれぞれ対応する値 R_{p0} および R_{s0} を推定するように更に構成される。一実施形態において、 R_{p0} および R_{s0} は、圧縮要素の速度 V_p が動物組織中の剪断要素の速度 V_s の約 2 倍であると仮定して、 $R_{p0} = A$ および $R_{s0} = (A - B) / 2$ として近似される。

【 0 0 3 6 】

一実施形態において、前記プロセッサは、動物組織の圧縮および剪断要素にそれぞれ対応するインピーダンス Z_p および Z_s の推定値を得るべく反射率値 R_{p0} および R_{s0} を逆数にするように更に構成される。一実施形態において、前記プロセッサは、推定インピーダンス値 Z_p および Z_s に基づいて動物組織の一または複数の弾性特性を推定するように更に構成される。一実施形態において、前記一または複数の弾性特性は、剪断変形に対する抵抗に対応し、関係式 $\mu = Z_s^2 / \rho$ によって推定される剛性パラメータ μ を含み、

ρ は、動物組織の密度の推定値を表わす。一実施形態において、前記一または複数の弾性特性は、動物組織の液体内容物に影響を受ける弾性パラメータ λ を更に含み、前記弾性パラメータ λ は、関係式 $\lambda = (Z_p^2 - 2Z_s^2) / \rho$ によって推定される。一実施形態において、前記一または複数の弾性特性は、動物組織の非圧縮性または体積弾性率に対応するパラメータ ν を更に含み、前記パラメータ ν は、関係式 $\nu = \lambda / (\lambda + 2\mu)$ によって推定される。

【 0 0 3 7 】

前記組織属性が信号トレース特性を含む一実施形態において、前記信号トレース特性は、複合関数 $F(t) = f(t) + i g(t)$ を含み、 $f(t)$ は、 $F(t)$ の実数部を含み、動物組織中の所定領域に対応する電気信号を表わし、 $g(t)$ は、 $F(t)$ の虚数部を含み、 $f(t)$ のヒルベルト変換を表わす。

【 0 0 3 8 】

10

20

30

40

50

一実施形態において、前記信号トレース特性は、 $E(t) = (f^2(t) + g^2(t))^{1/2}$ として表現される複合関数 $F(t)$ の係数 $E(t)$ を更に含む。一実施形態において、 $E(t)$ は、電気信号のエンベロープを表わす。一実施形態において、 $E(t)$ の二乗は、受信した音響エネルギーに関連した実質的に瞬間的なエネルギーに対応する値を表わす。一実施形態において、前記信号トレース特性は、時間に対する $E(t)$ の変化率を更に含み、 $d(E(t))/dt$ として表現される。一実施形態において、 $d(E(t))/dt$ は、動物組織中の吸収効果に関する情報を提供する。一実施形態において、前記信号トレース特性は、 $d(E(t))/dt$ の変化率を更に含み、 $d^2(E(t))/dt^2$ として表現される。一実施形態において、 $d^2(E(t))/dt^2$ は、動物組織中の反射界面に関する情報を提供する。

10

【0039】

一実施形態において、前記信号トレース特性は、動物組織中の所定領域に関連した受信した音響エネルギーの実質的に瞬間的な位相を更に含み、前記位相は、 $\phi(t) = \arctan(g(t)/f(t))$ として表現される。一実施形態において、前記位相 $\phi(t)$ は、 $F(t)$ の振幅から実質的に独立し、動物組織中の所定領域からの音響エネルギーの伝播位相に関する情報を提供する。一実施形態において、前記信号トレース特性は、動物組織中の所定領域に関連した受信した音響エネルギーの実質的に瞬間的な周波数を更に含み、前記周波数は、 $\omega(t) = d\phi(t)/dt$ として表現される。一実施形態において、前記信号トレース特性は、動物組織中の所定領域に関連した受信した音響エネルギーの実質的に瞬間的な加速度を更に含み、前記加速度は、 $a(t) = d\omega(t)/dt$ として表現される。

20

【0040】

一実施形態において、前記信号トレース特性は、動物組織中の所定領域に関連した受信した音響エネルギーの平均周波数 $\omega_{mean}(t)$ を更に含み、前記平均周波数は、関数 $F(t)$ のフーリエ変換 $F(\omega)$ を判定することと、関係式 $P(\omega) = F(\omega)F^*(\omega)$ による自己相関関数 $P(\omega)$ を判定することと、 $F^*(\omega)$ が、 $F(\omega)$ の複素共役を含むことと、関係式

【0041】

【数6】

$$A(t) = \frac{\int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega)\exp(i\omega t)d\omega}{\int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega)d\omega}$$

30

【0042】

によって標準化された自己相関関数 $A(t)$ を判定することと、および関係式

【0043】

【数7】

$$\omega_{mean}(t) = dA(t)/dt = -i \frac{\int_{\omega=0}^{\infty} \omega P(\omega)\exp(i\omega t)d\omega}{\int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega)d\omega}$$

40

【0044】

によって平均周波数 ω_{mean} を判定することを含む方法によって得られる。

一実施形態において、前記信号トレース特性は、関係式 $\omega_{mean}(t) - \omega_{mean}(t)$ によって判定される薄層指標パラメータを更に含む。一実施形態において、前記信号トレース特性は、動物組織中の所定領域に関連した受信した音響エネルギーの加速度を更に含み、前記加速度は、関係式 $|d^2A(t)/dt^2|$ によって判定される。一実施形態において、前記信号トレース特性は、関係式

50

【 0 0 4 5 】

【数 8】

$$\omega_c = \int_{\omega=0}^{\infty} \omega P(\omega) d\omega / \int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega) d\omega$$

【 0 0 4 6 】

によるパワー・スペクトルの重心周波数 ω_c を更に含む。一実施形態において、前記信号トレース特性は、関係式

10

【 0 0 4 7 】

【数 9】

$$\omega_v = \int_{\omega=0}^{\infty} (\omega - \omega_c)^2 P(\omega) d\omega / \int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega) d\omega$$

【 0 0 4 8 】

による重心周波数 ω_c に対する分散 ω_v を更に含む。一実施形態において、前記信号トレース特性は、関係式

20

【 0 0 4 9 】

【数 10】

$$\omega_{RMS} = \sqrt{\int_{\omega=0}^{\infty} \omega^2 P(\omega) d\omega / \int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega) d\omega}$$

【 0 0 5 0 】

による二乗平均周波数 ω_{RMS} を更に含む。

前記組織属性が空間特性を含む一実施形態において、前記空間特性は、受信した音響エネルギーに関連した伝播数 k に関する情報を含む。一実施形態において、前記空間特性は、伝播数 k の縦方向成分 $k_z = (k/v) \cos \theta$ および横方向成分 $k_t = (k/v) \sin \theta$ を更に含み、 θ は、受信した音響エネルギーに関連した到来角を表わす。

30

【 0 0 5 1 】

一実施形態において、前記空間特性は、選択された横方向 x に沿った時間勾配 dt/dx を更に含む。一実施形態において、前記時間勾配 dt/dx は、 $\sin \theta / v$ に比例する。一実施形態において、前記時間勾配 dt/dx は、 k_x / v に比例し、 θ は、受信した音響エネルギーに関連した周波数を表わす。一実施形態において、前記周波数 ω は、受信した音響エネルギーに関連した重心周波数 ω_c によって推定される。一実施形態において、前記周波数 ω は、受信した音響エネルギーに関連した自己相関関数 $A(t)$ によって推定され、或る時間遅れで推定され、その結果、 $\theta = \arg |A(l)|$ である。

40

【 0 0 5 2 】

一実施形態において、前記空間特性は、方向 x に実質的に垂直である選択された横方向 y に沿った時間勾配 dt/dy を更に含む。一実施形態において、前記空間特性は、 $\theta = \arctan(dt/dy, dt/dx)$ として表現される方位角時間勾配を更に含む。一実施形態において、前記空間特性は、 $T = \sqrt{(dt/dx)^2 + (dt/dy)^2}$ として表現される横方向時間勾配を更に含む。一実施形態において、前記空間特性は、 $T^2 = \sqrt{(d^2t/dx^2)^2 + (d^2t/dy^2)^2}$ として推定される横方向連続性を更に含む。

【 0 0 5 3 】

50

一実施形態において、前記プロセッサは、電気信号に関連した周波数の一または複数の範囲で電気信号の処理を行なうように更に構成される。一実施形態において、前記周波数の複数の範囲で処理することは、スペクトル分解解析を含む。一実施形態において、本装置は、動物の対象領域内に含まれる複数のボクセルに対応する属性値を同時に表示するように構成された表示要素を更に備える。

【0054】

一実施形態において、前記プロセッサは、属性をその値に基づいて分類するように更に構成される。一実施形態において、前記プロセッサは、属性を分類することに基づいた結果値を生成するように更に構成される。一実施形態において、前記属性を分類すること、および、前記結果を生成することは、実質的に自動的に行なわれる。

10

【0055】

前記動物組織に対する先の特徴は、材料に適用することもでき、ここでは、本教示の別の実施形態は、音響エネルギーを使用して材料の属性を判定する装置に関する。本装置は、材料から反射された音響エネルギーを受信し、受信した音響エネルギーに基づいて電気信号を出力する音響受信器モジュールを備える。本装置は、前記信号を処理し、材料の属性値を生成するように構成されたプロセッサを更に備え、前記属性は、オフセット付き振幅変動特性の少なくとも1つおよび信号トレース特性を有する。本装置は、動物組織の属性値を格納するように構成されたコンピュータ記憶装置を更に備える。

【0056】

本教示の更に別の実施形態は、音響エネルギーを使用して動物組織の属性を判定する方法に関する。本方法は、動物組織から反射された音響エネルギーを受信することを含む。本方法は、受信した音響エネルギーから電気信号を生成することを更に含む。本方法は、動物組織の少なくとも2つの属性値を生成するように電気信号を処理することを更に含み、前記属性は、オフセット付き振幅変動特性、信号トレース特性、およびスペクトル分解特性からなるグループから選択される。本方法は、前記少なくとも2つの属性値をコンピュータ記憶装置に登録することを更に含む。

20

【0057】

一実施形態において、前記少なくとも2つの属性は、オフセット付き振幅変動特性から得られる少なくとも2つの属性を含む。一実施形態において、前記少なくとも2つの属性は、信号トレース特性から得られる少なくとも2つの属性を含む。一実施形態において、前記少なくとも2つの属性は、スペクトル分解特性から得られる少なくとも2つの属性を含む。一実施形態において、前記少なくとも2つの属性は、オフセット付き振幅変動特性からの少なくとも1つの属性および信号トレース特性からの少なくとも1つの属性を含む。一実施形態において、前記少なくとも2つの属性は、オフセット付き振幅変動特性からの少なくとも1つの属性およびスペクトル分解特性からの少なくとも1つの属性を含む。一実施形態において、前記少なくとも2つの属性は、信号トレース特性からの少なくとも1つの属性およびスペクトル分解特性からの少なくとも1つの属性を含む。

30

【0058】

一実施形態において、前記少なくとも2つの属性は、空間特性からの少なくとも1つの属性を更に含む。一実施形態において、前記少なくとも2つの属性は、オフセット付き振幅変動特性からの少なくとも1つの属性および空間特性からの少なくとも1つの属性を含む。一実施形態において、前記少なくとも2つの属性は、信号トレース特性からの少なくとも1つの属性および空間特性からの少なくとも1つの属性を含む。一実施形態において、前記少なくとも2つの属性は、空間特性からの少なくとも1つの属性およびスペクトル分解特性からの少なくとも1つの属性を含む。

40

【0059】

一実施形態において、前記少なくとも2つの属性値に登録することは、各々の属性に対する索引を提供することを含み、前記索引は、動物組織中の対象領域中の複数のボクセルに関する情報を有する。一実施形態において、本方法は、前記登録値に基づいた少なくとも2つの属性のうちの2つの第1組に対応する値のプロットを表示することを更に含む。

50

一実施形態において、本方法は、2つの属性の第1組に対応する一または複数の値を選択するように、表示されたプロットの一部を選択することを更に含み、選択された一または複数の値は、対応する索引を有する。一実施形態において、本方法は、少なくとも2つの属性のうち2つの第2組に対応する値のプロットを表示することを更に含み、第2組の値は、2つの属性の第1組から選択された一または複数の値の索引に対応する。

【0060】

一実施形態において、前記組織属性は、オフセット付き振幅変動特性を含む。一実施形態において、前記組織属性は、信号トレース特性を含む。一実施形態において、前記組織属性は、空間特性を含む。一実施形態において、前記組織属性は、スペクトル分解特性を含む。

10

【0061】

前記組織属性がオフセット付き振幅変動特性を含む一実施形態において、前記オフセット付き振幅変動特性は、[受信した音響エネルギーの反射振幅Rに対応する複数の値]対[前記反射振幅のそれぞれの反射角に対応する値]のプロットを含み、前記反射角は、動物組織中の層に対する。

【0062】

一実施形態において、前記オフセット付き振幅変動特性は、R対 のプロットから推定される機能的関係Rを含む。

一実施形態において、前記機能的関係Rは、関係式 $R(\theta) = A + B \sin^2 \theta + C \sin^2 \theta \tan^2 \theta$ を含み、パラメータA、B、およびCは、R対 のプロットから推定できる定数である。一実施形態において、本方法は、受信した音響エネルギーの圧縮要素の零オフセット反射率と、受信した音響エネルギーの剪断要素の零オフセット反射率とにそれぞれ対応する値 R_{p0} および R_{s0} を推定することを更に含む。一実施形態において、 R_{p0} および R_{s0} は、圧縮要素の速度 V_p が動物組織中の剪断要素の速度 V_s の約3倍であると仮定して、 $R_{p0} = A$ および $R_{s0} = (4A - 9B + 5C) / 8$ として近似される。

20

【0063】

別の実施形態において、前記オフセット付き振幅変動特性は、R対 $\sin^2 \theta$ のプロットから推定される機能的関係を含む。一実施形態において、前記機能的関係Rは、関係式 $R(\theta) = A + B \sin^2 \theta$ を含み、パラメータAおよびBは、R対 $\sin^2 \theta$ のプロットから推定され、Aは、切片を表わし、Bは、Rと $\sin^2 \theta$ との間で推定される線形関係の傾斜を表わす。一実施形態において、本方法は、受信した音響エネルギーの圧縮要素の零オフセット反射率と、受信した音響エネルギーの剪断要素の零オフセット反射率とにそれぞれ対応する値 R_{p0} および R_{s0} を推定することを更に含む。一実施形態において、 R_{p0} および R_{s0} は、圧縮要素の速度 V_p が動物組織中の剪断要素の速度 V_s の約2倍であると仮定して、 $R_{p0} = A$ および $R_{s0} = (A - B) / 2$ として近似される。

30

【0064】

一実施形態において、本方法は、動物組織の圧縮および剪断要素にそれぞれ対応するインピーダンス Z_p および Z_s の推定値を得るように反射率値 R_{p0} および R_{s0} を逆数にすることを更に含む。一実施形態において、本方法は、推定インピーダンス値 Z_p および Z_s に基づいて動物組織の一または複数の弾性特性を推定することを更に含む。一実施形態において、前記一または複数の弾性特性は、剪断変形に対する抵抗に対応し、関係式 $\mu = Z_s^2 / \rho$ によって推定される剛性パラメータ μ を含み、 ρ は、動物組織の密度の推定値を表わす。一実施形態において、前記一または複数の弾性特性は、動物組織の液体内容物に影響を受ける弾性パラメータ λ を更に含み、前記弾性パラメータ λ は、関係式 $\lambda = (Z_p^2 - 2Z_s^2) / \rho$ によって推定される。一実施形態において、前記一または複数の弾性特性は、動物組織の非圧縮性または体積弾性率に対応するパラメータ ν を更に含み、前記パラメータ ν は、関係式 $\nu = \lambda / (2\lambda + 3\mu)$ によって推定される。

40

【0065】

前記組織属性が信号トレース特性を含む一実施形態において、前記信号トレース特性は

50

、複合関数 $F(t) = f(t) + i g(t)$ を含み、 $f(t)$ は、 $F(t)$ の実数部を含み、動物組織中の所定領域に対応する電気信号を表わし、 $g(t)$ は、 $F(t)$ の虚数部を含み、 $f(t)$ のヒルベルト変換を表わす。

【0066】

一実施形態において、前記信号トレース特性は、 $E(t) = (f^2(t) + g^2(t))^{1/2}$ として表現される複合関数 $F(t)$ の係数 $E(t)$ を更に含む。一実施形態において、 $E(t)$ は、電気信号のエンベロープを表わす。一実施形態において、 $E(t)$ の二乗は、受信した音響エネルギーに関連した実質的に瞬間的なエネルギーに対応する値を表わす。一実施形態において、前記信号トレース特性は、時間に対する $E(t)$ の変化率を更に含み、 $d(E(t))/dt$ として表現される。一実施形態において、 $d(E(t))/dt$ は、動物組織中の吸収効果に関する情報を提供する。一実施形態において、前記信号トレース特性は、 $d(E(t))/dt$ の変化率を更に含み、 $d^2(E(t))/dt^2$ として表現される。一実施形態において、 $d^2(E(t))/dt^2$ は、動物組織中の反射界面に関する情報を提供する。

10

【0067】

一実施形態において、前記信号トレース特性は、動物組織中の所定領域に関連した受信した音響エネルギーの実質的に瞬間的な位相を更に含み、前記位相は、 $\phi(t) = \arctan(g(t)/f(t))$ として表現される。一実施形態において、前記位相 $\phi(t)$ は、 $F(t)$ の振幅から実質的に独立し、動物組織中の所定領域からの音響エネルギーの伝播位相に関する情報を提供する。一実施形態において、前記信号トレース特性は、動物組織中の所定領域に関連した受信した音響エネルギーの実質的に瞬間的な周波数を更に含み、前記周波数は、 $\omega(t) = d\phi(t)/dt$ として表現される。一実施形態において、前記信号トレース特性は、動物組織中の所定領域に関連した受信した音響エネルギーの実質的に瞬間的な加速度を更に含み、前記加速度は、 $a(t) = d\omega(t)/dt$ として表現される。

20

【0068】

一実施形態において、前記信号トレース特性は、動物組織中の所定領域に関連した受信した音響エネルギーの平均周波数 $\omega_{mean}(t)$ を更に含み、前記平均周波数は、関数 $F(t)$ のフーリエ変換 $F(\omega)$ を判定することと、関係式 $P(\omega) = F(\omega) F^*(\omega)$ による自己相関関数 $P(\omega)$ を判定することと、関係式

30

【0069】

【数11】

$$A(t) = \int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega)\exp(i\omega t)d\omega / \int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega)d\omega$$

【0070】

によって標準化された自己相関関数 $A(t)$ を判定することと、および、関係式

40

【0071】

【数12】

$$\omega_{mean}(t) = dA(t)/dt = -i \int_{\omega=0}^{\infty} \omega P(\omega)\exp(i\omega t)d\omega / \int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega)d\omega$$

【0072】

によって平均周波数 ω_{mean} を判定することを含む方法によって得られる。

一実施形態において、前記信号トレース特性は、関係式 $\phi(t) = \omega_{mean}(t)$ に

50

よって判定される薄層指標パラメータを更に含む。一実施形態において、前記信号トレース特性は、動物組織中の所定領域に関連した受信した音響エネルギーの加速度を更に含み、前記加速度は、関係式 $|d^2 A(t) / dt^2|$ によって判定される。一実施形態において、前記信号トレース特性は、関係式

【0073】

【数13】

$$\omega_c = \int_{\omega=0}^{\infty} \omega P(\omega) d\omega / \int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega) d\omega$$

10

【0074】

によるパワー・スペクトルの重心周波数 ω_c を更に含む。一実施形態において、前記信号トレース特性は、関係式

【0075】

【数14】

$$\omega_v = \int_{\omega=0}^{\infty} (\omega - \omega_c)^2 P(\omega) d\omega / \int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega) d\omega$$

20

【0076】

による重心周波数 ω_c に対する分散 ω_v を更に含む。一実施形態において、前記信号トレース特性は、関係式

【0077】

【数15】

$$\omega_{RMS} = \text{sqrt} \left[\int_{\omega=0}^{\infty} \omega^2 P(\omega) d\omega / \int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega) d\omega \right]$$

30

【0078】

による二乗平均周波数 ω_{RMS} を更に含む。

前記組織属性が空間特性を含む一実施形態において、前記空間特性は、受信した音響エネルギーに関連した伝播数 k に関する情報を含む。一実施形態において、前記空間特性は、伝播数 k の縦方向成分の $k_z = (k / v) \cos \theta$ および横方向成分 $k_t = (k / v) \sin \theta$ を更に含み、 θ は、受信した音響エネルギーに関連した到来角を表わす。

【0079】

一実施形態において、前記空間特性は、選択された横方向 x に沿った時間勾配 dt / dx を更に含む。一実施形態において、前記時間勾配 dt / dx は、 $\sin \theta / v$ に比例する。一実施形態において、前記時間勾配 dt / dx は、 k_x / v に比例し、 k_x は、受信した音響エネルギーに関連した周波数を表わす。一実施形態において、前記周波数 ω は、受信した音響エネルギーに関連した重心周波数 ω_c によって推定される。一実施形態において、前記周波数 ω は、受信した音響エネルギーに関連した自己相関関数 $A(t)$ によって推定され、或る時間遅れで推定され、その結果、 $\theta = \text{arg} |A(l)|$ である。

40

【0080】

一実施形態において、前記空間特性は、方向 x に実質的に垂直である選択された横方向 y に沿った時間勾配 dt / dy を更に含む。一実施形態において、前記空間特性は、 $\theta = \text{arctan}(dt / dy, dt / dx)$ として表現される方位角時間勾配を更に含む。一実施形態において、前記空間特性は、 $T = \text{sqrt}[(dt / dx)^2 + (dt /$

50

$d y)^2]$ として表現される横方向時間勾配を更に含む。一実施形態において、前記空間特性は、 $T = \text{sqr t}[(d^2 t / d x^2)^2 + (d^2 t / d y^2)^2]$ として推定される横方向連続性を更に含む。

【0081】

一実施形態において、本方法は、電気信号に関連した周波数の一または複数の範囲で電気信号の処理を行なうことを更に含む。一実施形態において、前記周波数の複数の範囲で処理することは、スペクトル分解解析を含む。一実施形態において、本方法は、動物の対象領域を超音波で画像化することであって、対象領域が複数のボクセルを有し、前記ボクセルの各々が周波数の一または複数の範囲の選択された1つでの属性値を有すること、複数のボクセルの各々に対する属性値を判定すること、および、複数のボクセルに対する属性値をディスプレイ上に同時に表示することを更に含む。

10

【0082】

一実施形態において、本方法は、前記属性をその値に基づいて分類することを更に含む。一実施形態において、本方法は、前記属性を分類することに基づいた結果値を生成することを更に含む。一実施形態において、前記属性を分類すること、および、前記結果を生成することは、実質的に自動的に行なわれる。

【0083】

前記動物組織に対する先の特徴は、材料に適用することもでき、ここで、本教示の別の実施形態は、音響エネルギーを使用して材料の属性を判定する方法に関する。本方法は、材料から反射された音響エネルギーを受信することを含む。本方法は、受信した音響エネルギーから電気信号を生成することを更に含む。本方法は、材料の少なくとも2つの属性値を生成するように電気信号を処理することを更に含み、前記属性は、オフセット付き振幅変動特性、信号トレース特性、およびスペクトル分解特性からなるグループから選択される。本方法は、前記少なくとも2つの属性値をコンピュータ記憶装置に登録することを更に含む。

20

【0084】

本教示の更に別の実施形態は、音響エネルギーを使用して動物組織の少なくとも2つの属性を判定する装置に関する。本装置は、動物組織から反射された音響エネルギーを受信し、受信した音響エネルギーに基づいて電気信号を出力する音響受信器モジュールを備える。本装置は、動物組織の少なくとも2つの属性値を生成すべく信号を処理するように構成されたプロセッサを更に備え、前記属性は、オフセット付き振幅変動特性、信号トレース特性、およびスペクトル分解特性からなるグループから選択される。本装置は、動物組織の少なくとも2つの属性値を格納するように構成されたコンピュータ記憶装置を更に備える。

30

【0085】

一実施形態において、前記少なくとも2つの属性は、オフセット付き振幅変動特性から得られる少なくとも2つの属性を含む。一実施形態において、前記少なくとも2つの属性は、信号トレース特性から得られる少なくとも2つの属性を含む。一実施形態において、前記少なくとも2つの属性は、スペクトル分解特性から得られる少なくとも2つの属性を含む。一実施形態において、前記少なくとも2つの属性は、オフセット付き振幅変動特性からの少なくとも1つの属性および信号トレース特性からの少なくとも1つの属性を含む。一実施形態において、前記少なくとも2つの属性は、オフセット付き振幅変動特性からの少なくとも1つの属性およびスペクトル分解特性からの少なくとも1つの属性を含む。一実施形態において、前記少なくとも2つの属性は、信号トレース特性からの少なくとも1つの属性およびスペクトル分解特性からの少なくとも1つの属性を含む。

40

【0086】

一実施形態において、前記少なくとも2つの属性は、空間特性からの少なくとも1つの属性を更に含む。一実施形態において、前記少なくとも2つの属性は、オフセット付き振幅変動特性からの少なくとも1つの属性および空間特性からの少なくとも1つの属性を含む。一実施形態において、前記少なくとも2つの属性は、信号トレース特性からの少なくとも1つの属性および空間特性からの少なくとも1つの属性を含む。一実施形態において

50

、前記少なくとも2つの属性は、空間特性からの少なくとも1つの属性およびスペクトル分解特性からの少なくとも1つの属性を含む。

【0087】

一実施形態において、前記少なくとも2つの属性値は、各々の属性の索引に関する情報を含み、前記索引は、動物組織中の対象領域中の複数のボクセルに関する情報を有する。一実施形態において、本装置は、前記登録値に基づいた少なくとも2つの属性のうち2つの第1組に対応する値をプロットするように構成された表示要素を更に備える。一実施形態において、前記表示要素は、2つの属性の第1組に対応する一または複数の値を選択すべく、表示されたプロットの一部の選択を可能にするようにさら構成され、選択された一または複数の値は、対応する索引を有する。一実施形態において、前記表示要素は、少なくとも2つの属性のうち2つの第2組に対応する値のプロットを表示するようにさら構成され、前記第2組の値は、2つの属性の第1組から選択された一または複数の値の索引に対応する。

10

【0088】

一実施形態において、前記組織属性は、オフセット付き振幅変動特性を含む。一実施形態において、前記組織属性は、信号トレース特性を含む。一実施形態において、前記組織属性は、空間特性を含む。一実施形態において、前記組織属性は、スペクトル分解特性を含む。

【0089】

前記組織属性がオフセット付き振幅変動特性を含む一実施形態において、前記オフセット付き振幅変動特性は、[受信した音響エネルギーの反射振幅Rに対応する複数の値]対[前記反射振幅のそれぞれの反射角に対応する値]のプロットを含み、前記反射角は、動物組織中の層に対する。

20

【0090】

一実施形態において、前記オフセット付き振幅変動特性は、R対 のプロットから推定される機能的関係Rを含む。

一実施形態において、前記機能的関係Rは、関係式 $R(\theta) = A + B \sin^2 \theta + C \sin^2 \theta \tan^2 \theta$ を含み、パラメータA、B、およびCは、R対 のプロットから推定できる定数である。一実施形態において、前記処理は、受信した音響エネルギーの圧縮要素の零オフセット反射率と、受信した音響エネルギーの剪断要素の零オフセット反射率とにそれぞれ対応する値 R_{p0} および R_{s0} を推定するように更に構成される。一実施形態において、 R_{p0} および R_{s0} は、圧縮要素の速度 V_p が動物組織中の剪断要素の速度 V_s の約3倍である仮定して、 $R_{p0} = A$ および $R_{s0} = (4A - 9B + 5C) / 8$ として近似される。

30

【0091】

別の実施形態において、前記オフセット付き振幅変動特性は、R対 $\sin^2 \theta$ のプロットから推定される機能的関係を含む。一実施形態において、前記機能的関係Rは、関係式 $R(\theta) = A + B \sin^2 \theta$ を含み、パラメータAおよびBは、R対 $\sin^2 \theta$ のプロットから推定され、Aは、切片を表わし、Bは、Rと $\sin^2 \theta$ との間で推定される線形関係の傾斜を表わす。一実施形態において、前記プロセッサは、受信した音響エネルギーの圧縮要素の零オフセット反射率と、受信した音響エネルギーの剪断要素の零オフセット反射率とにそれぞれ対応する値 R_{p0} および R_{s0} を推定するように更に構成される。一実施形態において、 R_{p0} および R_{s0} は、圧縮要素の速度 V_p が動物組織中の剪断要素の速度 V_s の約2倍であると仮定して、 $R_{p0} = A$ および $R_{s0} = (A - B) / 2$ として近似される。

40

【0092】

一実施形態において、前記プロセッサは、動物組織の圧縮および剪断要素にそれぞれ対応するインピーダンス Z_p および Z_s の推定値を得るべく反射率値 R_{p0} および R_{s0} を逆数にするように更に構成される。一実施形態において、前記プロセッサは、推定インピーダンス値 Z_p および Z_s に基づいて動物組織の一または複数の弾性特性を推定するよう

50

に更に構成される。一実施形態において、前記一または複数の弾性特性は、剪断変形に対する抵抗に対応し、関係式 $\mu = Z_s^2 /$ によって推定される剛性パラメータ μ を含み、
 は、動物組織の密度の推定値を表わす。一実施形態において、前記一または複数の弾性特性は、動物組織の液体内容物に影響を受ける弾性パラメータ を更に含み、前記弾性パラメータ は、関係式 $= (Z_p^2 - 2Z_s^2) /$ によって推定される。一実施形態において、前記一または複数の弾性特性は、動物組織の非圧縮性または体積弾性率に対応するパラメータ を更に含み、前記パラメータ は、関係式 $= + (2/3) \mu$ によって推定される。

【0093】

前記組織属性が信号トレース特性を含む一実施形態において、前記信号トレース特性は、複合関数 $F(t) = f(t) + i g(t)$ を含み、 $f(t)$ は、 $F(t)$ の実数部を含み、動物組織中の所定領域に対応する電気信号を表わし、 $g(t)$ は、 $F(t)$ の虚数部を含み、 $f(t)$ のヒルベルト変換を表わす。

10

【0094】

一実施形態において、前記信号トレース特性は、 $E(t) = (f^2(t) + g^2(t))^{1/2}$ として表現される複合関数 $F(t)$ の係数 $E(t)$ を更に含む。一実施形態において、 $E(t)$ は、電気信号のエンベロープを表わす。一実施形態において、 $E(t)$ の二乗は、受信した音響エネルギーに関連した実質的に瞬間的なエネルギーに対応する値を表わす。一実施形態において、前記信号トレース特性は、時間に対する $E(t)$ の変化率を更に含み、 $d(E(t))/dt$ として表現される。一実施形態において、 $d(E(t))/dt$ は、動物組織中の吸収効果に関する情報を提供する。一実施形態において、前記信号トレース特性は、 $d(E(t))/dt$ の変化率を更に含み、 $d^2(E(t))/dt^2$ として表現される。一実施形態において、 $d^2(E(t))/dt^2$ は、動物組織中の反射界面に関する情報を提供する。

20

【0095】

一実施形態において、前記信号トレース特性は、動物組織中の所定領域に関連した受信した音響エネルギーの実質的に瞬間的な位相を更に含み、前記位相は、 $(t) = \arctan(g(t)/f(t))$ として表現される。一実施形態において、前記位相 (t) は、 $F(t)$ の振幅から実質的に独立し、動物組織中の所定領域からの音響エネルギーの伝播位相に関する情報を提供する。一実施形態において、前記信号トレース特性は、動物組織中の所定領域に関連した受信した音響エネルギーの実質的に瞬間的な周波数を更に含み、前記周波数は、 $(t) = d((t))/dt$ として表現される。一実施形態において、前記信号トレース特性は、動物組織中の所定領域に関連した受信した音響エネルギーの実質的に瞬間的な加速度を更に含み、前記加速度は、 $a(t) = d((t))/dt$ として表現される。

30

【0096】

一実施形態において、前記信号トレース特性は、動物組織中の所定領域に関連した受信した音響エネルギーの平均周波数 $m e a n(t)$ を更に含み、前記平均周波数は、関数 $F(t)$ のフーリエ変換 $F(\omega)$ を判定することと、関係式 $P(\omega) = F(\omega) F^*(\omega)$ による自己相関関数 $P(\omega)$ を判定することとであって、 $F^*(\omega)$ が、 $F(\omega)$ の複素共役を含むことと、関係式

40

【0097】

【数16】

$$A(t) = \int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega) \exp(i\omega t) d\omega / \int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega) d\omega$$

【0098】

によって標準化された自己相関関数 $A(t)$ を判定することと、および、関係式

50

【 0 0 9 9 】

【 数 1 7 】

$$\omega_{\text{mean}}(t) = dA(t)/dt = -i \int_{\omega=0}^{\infty} \omega P(\omega) \exp(i\omega t) d\omega / \int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega) d\omega$$

【 0 1 0 0 】

によって平均周波数 ω_{mean} を判定することを含む方法によって得られる。

一実施形態において、前記信号トレース特性は、関係式 $(t) - \omega_{\text{mean}}(t)$ によって判定される薄層指標パラメータを更に含む。一実施形態において、前記信号トレース特性は、動物組織中の所定領域に関連した受信した音響エネルギーの加速度を更に含み、前記加速度は、関係式 $|d^2 A(t) / dt^2|$ によって判定される。一実施形態において、前記信号トレース特性は、関係式

10

【 0 1 0 1 】

【 数 1 8 】

$$\omega_c = \int_{\omega=0}^{\infty} \omega P(\omega) d\omega / \int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega) d\omega$$

20

【 0 1 0 2 】

によるパワー・スペクトルの重心周波数 ω_c を更に含む。一実施形態において、前記信号トレース特性は、更に、関係式

【 0 1 0 3 】

【 数 1 9 】

$$\omega_v = \int_{\omega=0}^{\infty} (\omega - \omega_c)^2 P(\omega) d\omega / \int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega) d\omega$$

30

【 0 1 0 4 】

による重心周波数 ω_c に対する分散 ω_v を含む。一実施形態において、前記信号トレース特性は、関係式

【 0 1 0 5 】

【 数 2 0 】

$$\omega_{\text{RMS}} = \text{sqrt} \left[\int_{\omega=0}^{\infty} \omega^2 P(\omega) d\omega / \int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega) d\omega \right]$$

40

【 0 1 0 6 】

による二乗平均周波数 ω_{RMS} を更に含む。

前記組織属性が空間特性を含む一実施形態において、前記空間特性は、受信した音響エネルギーに関連した伝播数 k に関する情報を含む。一実施形態において、前記空間特性は、伝播数 k の縦方向成分の $k_z = (/ v) \cos$ および横方向成分 $k_t = (/ v) \sin$ を更に含み、 θ は、受信した音響エネルギーに関連した到来角を表わす。

【 0 1 0 7 】

一実施形態において、前記空間特性は、選択された横方向 x に沿った時間勾配 dt / dx を更に含む。一実施形態において、前記時間勾配 dt / dx は、 \sin / v に比例す

50

る。一実施形態において、前記時間勾配 dt/dx は、 $k_x /$ に比例し、 θ は、受信した音響エネルギーに関連した周波数を表わす。一実施形態において、前記周波数は、受信した音響エネルギーに関連した重心周波数 f_c によって推定される。一実施形態において、前記周波数は、受信した音響エネルギーに関連した自己相関関数 $A(t)$ によって推定され、或る時間遅れで推定され、その結果、 $\theta = \arg |A(l)|$ である。

【0108】

一実施形態において、前記空間特性は、方向 x に実質的に垂直である選択された横方向 y に沿った時間勾配 dt/dy を更に含む。一実施形態において、前記空間特性は、 $\theta = \arctan(dt/dy, dt/dx)$ として表現される方位角時間勾配を更に含む。一実施形態において、前記空間特性は、 $T = \sqrt{(dt/dx)^2 + (dt/dy)^2}$ として表現される横方向時間勾配を更に含む。一実施形態において、前記空間特性は、 T^2 として推定される横方向連続性を更に含む。

10

【0109】

一実施形態において、前記プロセッサは、電気信号に関連した周波数の一または複数の範囲で電気信号の処理を行なうように更に構成される。一実施形態において、前記周波数の複数の範囲で処理することは、スペクトル解析を含む。一実施形態において、本装置は、動物の対象領域内に含まれる複数のボクセルに対応する属性値を同時に表示するように構成された表示要素を更に備える。

【0110】

一実施形態において、前記プロセッサは、属性をその値に基づいて分類するように更に構成される。一実施形態において、前記プロセッサは、属性を分類することに基づいた結果値を生成するように更に構成される。一実施形態において、前記属性を分類すること、および、前記結果を生成することは、実質的に自動的に行なわれる。

20

【0111】

前記動物組織に対する先の特徴は、材料に適用することもでき、ここで、本教示の別の実施形態は、音響エネルギーを使用して、材料の少なくとも2つの属性を判定する装置に関する。本装置は、材料から反射された音響エネルギーを受信し、受信した音響エネルギーに基づいて電気信号を出力する音響受信器モジュールを備える。本装置は、属性は、オフセット付き振幅変動特性、信号トレース特性、およびスペクトル分解特性からなるグループから選択される材料の少なくとも2つの属性値を生成すべく信号を処理するように構成されたプロセッサを更に備える。本装置は、材料の少なくとも2つの属性値を格納するように構成されたコンピュータ記憶装置を更に備える。

30

【0112】

本教示の更に別の実施形態は、音響エネルギーを使用して動物組織の属性を判定する装置に関する。本装置は、動物組織から反射された音響エネルギーを受信する手段を備える。本装置は、受信した音響エネルギーに基づいて電気信号を出力する手段を更に備える。本装置は、動物組織の属性値を生成するように信号を処理する手段を更に備え、前記属性は、オフセット付き振幅変動特性、信号トレース特性、空間特性、およびスペクトル分解特性の少なくとも1つを有する。本装置は、動物組織の属性値をコンピュータ読取可能な媒体に格納する手段を更に備える。

40

【0113】

一実施形態において、前記組織属性は、オフセット付き振幅変動特性を含む。一実施形態において、前記組織属性は、信号トレース特性を含む。一実施形態において、前記組織属性は、空間特性を含む。一実施形態において、前記組織属性は、スペクトル分解特性を含む。

【0114】

前記動物組織に対する先の特徴は、材料に適用することもでき、ここで、本教示の別の実施形態は、音響エネルギーを使用して材料の属性を判定する装置に関する。本装置は、材料から反射された音響エネルギーを受信する手段を備える。本装置は、受信した音響エネルギーに基づいて電気信号を出力する手段を更に備える。本装置は、材料の属性値を生成する

50

ように信号を処理する手段を更に備え、前記属性は、オフセット付き振幅変動特性、信号トレース特性、空間特性、およびスペクトル分解特性の少なくとも1つを有する。本装置は、材料の属性値をコンピュータ読取可能な媒体に格納する手段を更に備える。

【0115】

本教示の更に別の実施形態は、動物組織の少なくとも2つの属性値を生成すべく信号を処理するように構成され、コンピュータ実行可能な指示を有したコンピュータ読取可能な媒体に関し、前記少なくとも2つの属性は、オフセット付き振幅変動特性、信号トレース特性、空間特性、およびスペクトル分解特性からなるグループから選択される。前記信号は、動物組織から反射された音響エネルギーに基づく。

【0116】

一実施形態において、前記少なくとも2つの属性は、オフセット付き振幅変動特性から得られる少なくとも2つの属性を含む。一実施形態において、前記少なくとも2つの属性は、信号トレース特性から得られる少なくとも2つの属性を含む。一実施形態において、前記少なくとも2つの属性は、スペクトル分解特性から得られる少なくとも2つの属性を含む。一実施形態において、前記少なくとも2つの属性は、オフセット付き振幅変動特性からの少なくとも1つの属性および信号トレース特性からの少なくとも1つの属性を含む。一実施形態において、前記少なくとも2つの属性は、オフセット付き振幅変動特性からの少なくとも1つの属性およびスペクトル分解特性からの少なくとも1つの属性を含む。一実施形態において、前記少なくとも2つの属性は、信号トレース特性からの少なくとも1つの属性およびスペクトル分解特性からの少なくとも1つの属性を含む。

【0117】

一実施形態において、前記少なくとも2つの属性は、空間特性からの少なくとも1つの属性を更に含む。一実施形態において、前記少なくとも2つの属性は、オフセット付き振幅変動特性からの少なくとも1つの属性および空間特性からの少なくとも1つの属性を含む。一実施形態において、前記少なくとも2つの属性は、信号トレース特性からの少なくとも1つの属性および空間特性からの少なくとも1つの属性を含む。一実施形態において、前記少なくとも2つの属性は、空間特性からの少なくとも1つの属性およびスペクトル分解特性からの少なくとも1つの属性を含む。

【0118】

一実施形態において、前記少なくとも2つの属性値は、各々の属性の索引に関する情報を含み、前記索引は、動物組織中の対象領域中の複数のボクセルに関する情報を有する。

一実施形態において、前記組織属性は、オフセット付き振幅変動特性を含む。一実施形態において、前記組織属性は、信号トレース特性を含む。一実施形態において、前記組織属性は、空間特性を含む。一実施形態において、前記組織属性は、スペクトル分解特性を含む。

【0119】

前記組織属性がオフセット付き振幅変動特性を含む一実施形態において、前記オフセット付き振幅変動特性は、[受信した音響エネルギーの反射振幅Rに対応する複数の値]対[前記反射振幅のそれぞれの反射角に対応する値]のプロットを含み、前記反射角は、動物組織中の層に対する。

【0120】

一実施形態において、前記オフセット付き振幅変動特性は、R対 のプロットから推定される機能的関係Rを含む。

一実施形態において、前記機能的関係Rは、関係式 $R(\theta) = A + B \sin^2 \theta + C \sin^2 \theta \tan^2 \theta$ を含み、パラメータA、B、およびCは、R対 のプロットから推定できる定数である。一実施形態において、前記処理は、受信した音響エネルギーの圧縮要素の零オフセット反射率と、受信した音響エネルギーの剪断要素の零オフセット反射率とにそれぞれ対応する値 R_{p0} および R_{s0} を推定するように更に構成される。一実施形態において、 R_{p0} および R_{s0} は、圧縮要素の速度 V_p が動物組織中の剪断要素の速度 V_s の約3倍であると仮定して、 $R_{p0} = A$ および $R_{s0} = (4A - 9B + 5C) / 8$ として近

10

20

30

40

50

似される。

【0121】

別の実施形態において、前記オフセット付き振幅変動特性は、 R 対 \sin^2 のプロットから推定される機能的関係を含む。一実施形態において、前記機能的関係 R は、関係式 $R(\) = A + B \sin^2$ を含み、パラメータ A および B は、 R 対 \sin^2 のプロットから推定され、 A は、切片を表わし、 B は、 R と \sin^2 との間で推定される線形関係の傾斜を表わす。一実施形態において、前記コンピュータ実行可能な指示は、受信した音響エネルギーの圧縮要素の零オフセット反射率と、受信した音響エネルギーの剪断要素の零オフセット反射率とにそれぞれ対応する値 R_{p0} および R_{s0} を推定するように更に構成される。一実施形態において、 R_{p0} および R_{s0} は、圧縮要素の速度 V_p が動物組織中の剪断要素の速度 V_s の約2倍であると仮定して、 $R_{p0} = A$ および $R_{s0} = (A - B) / 2$ として近似される。

10

【0122】

一実施形態において、前記コンピュータ実行可能な指示は、動物組織の圧縮および剪断要素にそれぞれ対応するインピーダンス Z_p および Z_s の推定値を得るべく反射率値 R_{p0} および R_{s0} を逆数にするように更に構成される。一実施形態において、前記コンピュータ実行可能な指示は、推定インピーダンス値 Z_p および Z_s に基づいて動物組織の一または複数の弾性特性を推定するように更に構成される。一実施形態において、前記一または複数の弾性特性は、剪断変形に対する抵抗に対応し、関係式 $\mu = Z_s^2 /$ によって推定される剛性パラメータ μ を含み、 ρ は、動物組織の密度の推定値を表わす。一実施形態において、前記一または複数の弾性特性は、動物組織の液体内容物に影響を受ける弾性パラメータ λ を更に含み、前記弾性パラメータ λ は、関係式 $\lambda = (Z_p^2 - 2Z_s^2) /$ によって推定される。一実施形態において、前記一または複数の弾性特性は、動物組織の非圧縮性または体積弾性率に対応するパラメータ ν を更に含み、前記パラメータ ν は、関係式 $\nu = \lambda / (2 + 3\mu)$ によって推定される。

20

【0123】

前記組織属性が信号トレース特性を含む一実施形態において、前記信号トレース特性は、複合関数 $F(t) = f(t) + i g(t)$ を含み、 $f(t)$ は、 $F(t)$ の実数部を含み、動物組織中の所定領域に対応する電気信号を表わし、 $g(t)$ は、 $F(t)$ の虚数部を含み、 $f(t)$ のヒルベルト変換を表わす。

30

【0124】

一実施形態において、前記信号トレース特性は、 $E(t) = (f^2(t) + g^2(t))^{1/2}$ として表現される複合関数 $F(t)$ の係数 $E(t)$ を更に含む。一実施形態において、 $E(t)$ は、電気信号のエンベロープを表わす。一実施形態において、 $E(t)$ の二乗は、受信した音響エネルギーに関連した実質的に瞬間的なエネルギーに対応する値を表わす。一実施形態において、前記信号トレース特性は、時間に対する $E(t)$ の変化率を更に含み、 $d(E(t)) / dt$ として表現される。一実施形態において、 $d(E(t)) / dt$ は、動物組織中の吸収効果に関する情報を提供する。一実施形態において、前記信号トレース特性は、 $d(E(t)) / dt$ の変化率を更に含み、 $d^2(E(t)) / dt^2$ として表現される。一実施形態において、 $d^2(E(t)) / dt^2$ は、動物組織中の反射界面に関する情報を提供する。

40

【0125】

一実施形態において、前記信号トレース特性は、動物組織中の所定領域に関連した受信した音響エネルギーの実質的に瞬間的な位相を更に含み、前記位相は、 $\phi(t) = \arctan(g(t) / f(t))$ として表現される。一実施形態において、前記位相 $\phi(t)$ は、 $F(t)$ の振幅から実質的に独立し、動物組織中の所定領域からの音響エネルギーの伝播位相に関する情報を提供する。一実施形態において、前記信号トレース特性は、動物組織中の所定領域に関連した受信した音響エネルギーの実質的に瞬間的な周波数を更に含み、前記周波数は、 $\omega(t) = d(\phi(t)) / dt$ として表現される。一実施形態において、前記信号トレース特性は、動物組織中の所定領域に関連した受信した音響エネルギーの実

50

質的に瞬間的な加速度を更に含み、前記加速度は、 $a(t) = d^2(t) / dt^2$ として表現される。

【0126】

一実施形態において、前記信号トレース特性は、動物組織中の所定領域に関連した受信した音響エネルギーの平均周波数 $\omega_{mean}(t)$ を更に含み、前記平均周波数は、関数 $F(t)$ のフーリエ変換 $F(\omega)$ を判定することと、関係式 $P(\omega) = F(\omega) F^*(\omega)$ による自己相関関数 $P(\omega)$ を判定することとであって、 $F^*(\omega)$ が、 $F(\omega)$ の複素共役を含むことと、関係式

【0127】

【数21】

10

$$A(t) = \frac{\int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega) \exp(i\omega t) d\omega}{\int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega) d\omega}$$

【0128】

によって標準化された自己相関関数 $A(t)$ を判定することと、関係式

【0129】

【数22】

20

$$\omega_{mean}(t) = dA(t)/dt = -i \frac{\int_{\omega=0}^{\infty} \omega P(\omega) \exp(i\omega t) d\omega}{\int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega) d\omega}$$

【0130】

によって平均周波数 ω_{mean} を判定することを含む方法によって得られる。

一実施形態において、前記信号トレース特性は、関係式 $\omega_{mean}(t) - \omega_{mean}(t)$ によって判定される薄層指標パラメータを更に含む。一実施形態において、前記信号トレース特性は、動物組織中の所定領域に関連した受信した音響エネルギーの加速度を更に含み、前記加速度は、関係式 $|d^2 A(t) / dt^2|$ によって判定される。一実施形態において、前記信号トレース特性は、関係式

30

【0131】

【数23】

$$\omega_c = \frac{\int_{\omega=0}^{\infty} \omega P(\omega) d\omega}{\int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega) d\omega}$$

【0132】

によるパワー・スペクトルの重心周波数 ω_c を更に含む。一実施形態において、前記信号トレース特性は、関係式

40

【0133】

【数24】

$$\omega_v = \frac{\int_{\omega=0}^{\infty} (\omega - \omega_c)^2 P(\omega) d\omega}{\int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega) d\omega}$$

【0134】

による重心周波数 ω_c に対する分散 ω_v を更に含む。一実施形態において、前記信号トレ

50

ース特性は、関係式

【 0 1 3 5 】

【 数 2 5 】

$$\omega_{RMS} = \sqrt{\int_{\omega=0}^{\infty} \omega^2 P(\omega) d\omega / \int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega) d\omega}$$

【 0 1 3 6 】

による二乗平均周波数 ω_{RMS} を更に含む。

10

前記組織属性が空間特性を含む一実施形態において、前記空間特性は、受信した音響エネルギーに関連した伝播数 k に関する情報を含む。一実施形態において、前記空間特性は、伝播数 k の縦方向成分 $k_z = (c/v) \cos \theta$ および横方向成分 $k_t = (c/v) \sin \theta$ を更に含み、 θ は、受信した音響エネルギーに関連した到来角を表わす。

【 0 1 3 7 】

一実施形態において、前記空間特性は、選択された横方向 x に沿った時間勾配 dt/dx を更に含む。一実施形態において、前記時間勾配 dt/dx は、 $\sin \theta / v$ に比例する。一実施形態において、前記時間勾配 dt/dx は、 k_x / c に比例し、 θ は、受信した音響エネルギーに関連した周波数を表わす。一実施形態において、前記周波数 f は、受信した音響エネルギーに関連した重心周波数 f_c によって推定される。一実施形態において、前記周波数 f は、受信した音響エネルギーに関連した自己相関関数 $A(t)$ によって推定され、或る時間遅れで推定され、その結果、 $\theta = \arg |A(l)|$ である。

20

【 0 1 3 8 】

一実施形態において、前記空間特性は、方向 x に実質的に垂直である選択された横方向 y に沿った時間勾配 dt/dy を更に含む。一実施形態において、前記空間特性は、 $\theta = \arctan(dt/dy, dt/dx)$ として表現される方位角時間勾配を更に含む。一実施形態において、前記空間特性は、 $T = \sqrt{(dt/dx)^2 + (dt/dy)^2}$ として表現される横方向時間勾配更に含む。一実施形態において、前記空間特性は、 $T = \sqrt{(d^2t/dx^2)^2 + (d^2t/dy^2)^2}$ として推定される横方向連続性を更に含む。

30

【 0 1 3 9 】

一実施形態において、前記コンピュータ実行可能な指示は、電気信号に関連した周波数の一または複数の範囲で電気信号の処理を行なうように更に構成される。一実施形態において、前記周波数の複数の範囲で処理することは、スペクトル分解解析を含む。

【 0 1 4 0 】

一実施形態において、前記コンピュータ実行可能な指示は、属性をその値に基づいて分類するように更に構成される。一実施形態において、前記コンピュータ実行可能な指示は、属性を分類することに基づいた結果値を生成するように更に構成される。一実施形態において、前記属性を分類すること、および、前記結果を生成することは、実質的に自動的に行なわれる。

40

【 0 1 4 1 】

前記動物組織に対する先の特徴は、材料に適用することもでき、本教示の別の実施形態は、コンピュータ実行可能な指示を有し、材料の少なくとも2つの属性値を生成すべく信号を処理するように構成されたコンピュータ読取可能な媒体に関し、前記少なくとも2つの属性は、オフセット付き振幅変動特性、信号トレース特性、空間特性、およびスペクトル分解特性からなるグループから選択される。前記信号は、材料から反射された音響エネルギーに基づく。

【 0 1 4 2 】

本教示のこれらおよび他の態様、利点、および新規な特徴は、次の詳細な記述を読む際に、および、添付の図面を参照する際に明白になるであろう。図面において、同様の要素

50

は、同様の参照符号を有する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0143】

本教示は、概して、対象物に関連した複数の属性を判定するために超音波を使用するシステムおよび方法に関する。このような技術は、原油および鉱床のような地下の特色を特徴づけるために地震学の用途において用いられる。しかしながら、属性を判定する超音波技術は、医療用途および材料試験用途のような地震学以外の用途においては使用されていない。本教示では、医療用または非医療用の目的に使用できる属性判定のための様々な技術を取り扱う。材料用途は、本教示の非医療的な使用の一例である。音響エネルギーを使用した動物組織の属性の判定は、医療的な使用であっても非医療的な使用であることが可能である。非医療的な使用は、たとえば動物医療用途、解剖学的用途、および動物生検用途を含むことが可能である。

10

【0144】

従来の使用では、超音波システムは、媒体中の対象物の画像または或る種の視覚的表現を得るために使用される。画像は、典型的には、複数の画素（一般に「ピクセル」と呼ばれる）によって媒体から反射される信号を特徴づけることによって形成される。従って、所定の1つのピクセルは、典型的には媒体の所定の1つの領域を表わす。本教示においては、画像は、対象物の属性のうちの一つであることが可能である。他の属性は、「画像状」の形で表現されることがある特性を有していてもいなくてもよい。従って、ここでは、媒体の3次元要素を表わす目的で「ボクセル」または「複数のボクセル」（体積要素）と

20

【0145】

図1は、媒体106に音響エネルギー108を送信し、そこからの散乱エネルギー110を検出するように構成可能な音響装置102を備えた超音波システム100の一実施形態の概観を示す。散乱エネルギー110は、音響エネルギー108と媒体106中の対象物104との相互作用に起因することが可能である。

【0146】

図1に示されるような一実施形態において、音響装置102は、対象物104に関連した複数の属性（a1、a2...などとして示される）を判定するように、または、判定を容易にするように、更に構成可能である。そのような属性の判定は、ここに説明された様々な方法による散乱エネルギー110の解析に基づいて行うことができる。

30

【0147】

図2は、図1の超音波システム100によって行なわれることができる処理120の一実施形態を示す。処理120は、開始状態122で開始され、処理ブロック124においては、音響エネルギーが、媒体中の選択された位置または領域に送信される。処理ブロック126においては、散乱された音響エネルギーが、媒体から受信される。処理ブロック128においては、受信エネルギーに基づいて、選択された位置または領域に関連した複数の属性が判定される。説明の目的のため、複数の属性の判定は、或る順序で、しかし必ずしも並行してではなく、属性を判定する動作のモードを含むことが可能である。

40

【0148】

図3Aは、1つの適用例130において、図1と図2に示すように構成された超音波システム132が、非地震用途媒体140の一部である、たとえば組織のような対象物または領域138の属性の状態分析に使用できることを示す。説明の目的のため、「地震」とは、地殻を形成する物理的な地面を意味するが、海洋、川、および湖のような水域を含まない。従って、媒体140は、人間の一部、人間を模するもの（たとえば死骸、試験媒体、人体模型など）、任意の生物およびそれを模することが可能である。媒体140は、人工の構造物のような非地震構造であることも可能である。

【0149】

一実施形態においては、図3Aに更に示すように、超音波システム132は、非地震媒体140へ音響エネルギー134を送信し、散乱エネルギー136を検出するように構成でき

50

る。システム 132 は、ここに示されるような複数の属性を判定するための散乱エネルギーを解析できる。

【0150】

図 3 B は、1 つの適用例 700 において、図 1 と図 2 に記述されるように構成された超音波システム 702 が、非破壊材料試験の一部として材料 710 における対象物または領域 708 の属性の状態分析に使用できることを示す。

【0151】

一実施形態において、図 3 B に更に示すように、超音波システム 702 は、音響エネルギー 704 を材料 710 に送信し、割れや空隙のような特徴 708 と音響エネルギー 704 との相互作用に起因する散乱エネルギー 706 を検出するように構成できる。そして、システム 702 は、ここに示されるような複数の属性を判定するための散乱エネルギーを解析できる。

10

【0152】

先の非破壊試験方法は、所定の材料中の割れや空隙のような不連続性を検出することと特徴づけることとのうちの少なくとも一つのために使用できる。更に、非破壊試験方法は、音響反射率や弾性率のような様々な物理的および機械的特性を特徴づけるために使用できる。ここで説明するように、非破壊検査方法は、音響信号の検出に基づいた様々な属性の状態分析を含むことができる。

【0153】

非破壊試験には、試験される材料が変形されない試験構成が含まれることがあることは理解されるであろう。特定の材料試験用途においては、試験材料は、変形されてもよいが、破壊されてはならない。そのような変形は、機械的性質に関する情報を生成できる。本教示の様々な実施形態では、少なくとも或る機械的特性を含む様々な属性を生じさせるために試験材料を変形する必要は無い。

20

【0154】

図 4 は、散乱エネルギー 142 を検出し、複数の属性 (a 1 、 a 2 、 など) を生成する超音波システム 140 の一実施形態のブロック図を示す。図 4 の説明の目的のため、散乱エネルギー 142 は、送信された音響エネルギー (図示略) の対象物 (図示略) との相互作用に起因するものと仮定される。散乱エネルギー 142 は、一または複数の受信器を有した受信器要素 144 によって検出されるように示される。受信器要素 144 は、複数の属性を生成する信号を処理する処理要素 146 に信号を供給するように示される。

30

【0155】

ここでは、説明の目的のため、「処理要素」は、単に「プロセッサ」と呼ばれることがある。「処理要素」または「プロセッサ」は、単一の要素であってもよいが、必ずしも単一の要素である必要がないことは理解されるであろう。

【0156】

一般に、プロセッサは、たとえばここで説明されるように動作するデータおよび指示を表わすコンピュータ、プログラム・ロジック、または他の基板配置を含むことができることが理解されるであろう。他の実施形態において、プロセッサは、コントローラ回路、プロセッサ回路、プロセッサ、汎用シングルチップまたはマルチチップ・マイクロプロセッサ、デジタル・シグナル・プロセッサ、埋込みマイクロプロセッサ、マイクロコントローラなどを含むことができる。

40

【0157】

更に、一実施形態において、プログラム・ロジックは、一または複数の要素として実現されると良いことが認識されるであろう。要素は、一または複数のプロセッサ上で実行されるように有利に構成可能である。要素は、特に限定されないが、ソフトウェアまたはハードウェア要素、ソフトウェア・モジュールのようなモジュール、オブジェクト指向のソフトウェア要素、クラス要素およびタスク要素、処理方法、機能、属性、プロシージャ、サブルーチン、プログラム・コードのセグメント、ドライバ、ファームウェア、マイクロコード、回路、データ、データベース、データ構造、テーブル、配列および変数などを含

50

む。

【 0 1 5 8 】

図5は、散乱エネルギー152（ここでも、送信されるエネルギーおよび対象物を図示略）の検出および解析に基づいた互いに異なる種類の属性を判定するように構成できる超音波システム150の一実施形態を示す。散乱エネルギー152は、受信器要素154によって検出されるように示され、受信器要素154は、プロセッサ156に信号を供給するように示される。

【 0 1 5 9 】

図5に示されるような一実施形態において、プロセッサ156は、以下に限定されないが、角度依存性解析（160）に基づいた属性、信号トレース解析（162）に基づいた属性、空間属性（164）、スペクトル解析（166）に基づいた属性、またはクロス・プロット解析（168）に基づいた属性を含む様々な種類の属性を生成するように、または、その生成を容易にするように構成できる。先の例の分類は、あくまで説明のためのものであって、所定の属性が、分類のうちの1つに属さなければならないと推論されるようには意図されていないことが理解すべきである。幾つかの属性は、2つ以上の解析の結果であることが可能である。また、先の属性の例は、同じシステムによって、または、別々に得られる画像ベースの属性と共に、あるいはその属性なしで、使用できると理解すべきである。

【 0 1 6 0 】

図6～図12は、音響エネルギーの反射の角度依存性に基づいて属性を得る方法およびシステムの様々な実施形態の例を示す。或る用途においては、角度依存性解析は、多くの場合、オフセット付き振幅変動（AVO）解析と呼ばれる。説明の目的のため、「AVO」解析および角度依存性解析は、同じ意味で用いられる。しかしながら、「AVO」という用語の使用は、振幅以外の量の角度依存性を妨げるものではないことが理解されるであろう。

【 0 1 6 1 】

図6に示される用途例170において、超音波システム178の一実施形態は、媒体中の対象物174に音響エネルギー172を送信し、対象物174からの散乱エネルギー176を検出するように構成できる。一実施形態において、送信された音響エネルギー172は、集中されず、矢印172は、単に少なくとも音響エネルギーの幾分か対象物174に達することを示すように対象物174を指し示すべく図示される。同様に、散乱エネルギー176は、超音波システム178のどの部分にも優先して向けられる必要は無い。

【 0 1 6 2 】

一実施形態において、超音波システム178は、上述の「無指向性の」音響エネルギーの例の「方向」を含む音響エネルギー172および散乱エネルギー176の伝播方向において、少なくとも幾つかの角度のパリエーションを導入できるように構成できる。一実施形態において、「指向性」におけるそのようなパリエーションは、対象物174に対する音響エネルギー172の送信および散乱エネルギー176の受信の相対的位置を変更することによって達成できる。

【 0 1 6 3 】

図7は、超音波システム192の或る実施形態が、システム192の選択された位置から対象物例202へ音響エネルギー194（反射を示す目的で矢印によって図示される）を送信することを示す用途例190を示す。対象物例202は、音響エネルギー194の少なくとも一部分を反射する一または複数の界面を定義できる。たとえば対象物202は、組織のような媒体において対象物202を定義する第1界面198と第2界面200を含むことができる。そのような界面によって、音響エネルギー194の少なくとも一部分が界面198、200で反射可能である。たとえば音響エネルギー194の一部分は、第1反射エネルギー196を生じさせるように第1界面198で反射できる。音響エネルギー194の一部分は、対象物202（音響エネルギー206としてのの）を通じて送信され、第2界面200に衝突できる。衝突したエネルギー206の一部分は、最終的に反射エネルギー204とな

10

20

30

40

50

ることができる反射エネルギー 208 を生じさせるように第 2 表面 200 で反射できる。

【0164】

図 7 に示される特定の用途例 190 において、検出器表面は、反射界面と概ね平行であるように示され、そこからの反射は、鏡面反射として示される。つまり入射角 θ_i は、反射角 θ_r と実質的に等しい。説明の目的のため、 θ_i および θ_r は、反射界面に垂直な線を基準に測定される。反射の鏡面性状のため、 θ_i および θ_r は、単に反射角と呼ばれることがある。

【0165】

ここで説明されるように、反射角は、音響エネルギーの反射が生じている対象物の一または複数の属性を判定する際の変数として使用できる。反射角に対してのそのような属性のバリエーションによって、更に追加の属性を生成できる。このように、第 1 反射界面 198 での音響エネルギー 194 の反射例は、入射媒体に対する対象物 202 の特性についての情報を提供できる。第 2 反射界面 200 での送信エネルギー 206 の反射例は、界面 200 を超えて媒体に対する対象物 202 の特性に関する情報を提供できる。

10

【0166】

図 8 は、超音波システムの反射角依存解析能力を提供するように構成できる検出器アセンブリ 210 の一実施形態を示す。図示されるように、検出器アセンブリ 210 は、互いに或る公知の方法で配置された一連の送信器 (T) および受信器 (R) を具備できる。そのような配置は、選択された体積要素 (ボクセル) 212 中のまたは近傍の界面 214 の反射特性を解析するために使用できる。

20

【0167】

このように、ボクセル例 212 に関して、法線 216 は、反射角 θ を判定するための基準を提供できる。つまり、そのような基準に対する送信器および受信器の位置は、反射角 θ についての情報を提供できる。たとえば送信器 T (i) から送信された音響エネルギー例 218 は、反射エネルギー 220 が受信器 R ($-i$) によって検出されるべく、ボクセル例 212 から反射されるように示される。受信器 R ($-i$) は、下によって詳細に記述される方法で、反射に関する情報を提供すべく処理できる電気信号 222 を生成するように示される。

【0168】

図 8 に示すように、互いに異なる反射角での互いに異なるデータ・セットを得ることができる。たとえば送信器 T ($i+1$) からの送信および受信器 R ($-i-1$) による受信によって、ボクセル例 212 に対してより大きい角度のデータ・セットを得ることができる。

30

【0169】

図 8 において (ボクセル例 212 に対して概ね対称である) 送信器および受信器の番号付けの設定は、説明の目的のためであると理解されるであろう。送信器および受信器は、任意の方法で索引付けでき、従って、図 8 における索引付けの例は、必要条件ではない。

【0170】

図 7 を参照して上述した用途例と同様に、図 8 の特定の例では、反射界面と概ね平行であるように検出器表面が図示される。しかしながら、属性の反射角依存を解析する目的からは、そのような仮定は必要ではない。

40

【0171】

図 9 は、選択された一または複数のボクセル 726, 736 に対して、検出器アセンブリ 722 の或る対称に基づいて、反射角を推定できる用途例 720 を示す。検出器アセンブリ 722 は、中心線 724 に対して対称に番号付けられた一連の送信器および受信器を有するように示される。勿論、このような番号付けは (対称であるか否かに拘わらず) 必要ではなく、単に説明上の目的で使用される。

【0172】

2 つのボクセル例 726, 736 は、中心線 724 に沿うように示される。所定のボクセルに対して概ね対称な一対の送信器および受信器からの送信および受信は、反射配置を

50

推定するために、従って、その所定のボクセルまたはその近傍に位置する特徴に対する反射角を推定するために使用できる。

【0173】

たとえば2つの反射配置が、ボクセル例726に対して示される。送信器T(+1)からの第1送信音響エネルギーは、矢印728aによって示され、ボクセル726からのそのエネルギーの反射は、矢印728bによって示される。反射728bは、信号750を生じさせるように受信器R(-1)によって受信されるように示される。信号750については、その反射角は、ボクセル726に関する矢印728aおよび728bによって定義される開口角732の半分であると推定できる。開口角732またはその対応する反射角は、反射配置に基づいて推定できる。たとえば中心線724に対するT(+1)およびR(-1)の距離、および検出器アレイ722とボクセル726との間の距離についての知識は、反射角を演算するために使用できる。伝播距離(矢印728a, 728bの長さ)が必要な場合には、それらは、伝搬時間と伝搬速度の推定値とを乗算することによって推定できる。そして、伝送距離(728a)および反射距離(728b)の各々は、その距離の約半分であると推定できる。

10

【0174】

図9に更に示すように、ボクセル例726に対して他の反射角データを得ることができる。たとえば送信器T(+2)からの送信730aおよび受信器R(-2)への反射730bは、ボクセル726に関する他の反射配置および信号752を生成できる。

【0175】

図9に更に示すように、中心線例724に沿って他のボクセルに対して同様の反射角データを得ることができる。たとえば送信器T(+3)からの送信738aおよび受信器R(-3)への反射738bは、ボクセル736に関する反射配置および対応する信号754を生成できる。同様に、送信器T(+6)からの送信740aおよび受信器R(-6)への反射740bは、ボクセル736に関する他の反射配置および対応する信号756を生成できる。

20

【0176】

図10は、図6~図8を参照して上述した超音波システムの様々な実施形態によって実行できる処理230の一実施形態を示す。処理230は、開始状態232で開始され、処理ブロック234において、音響エネルギーは、媒体中の対象物に対して互いに異なる角度方向を有する少なくとも2つの送信器から送信される。一実施形態において、そのような送信は、順に行なわれる。処理ブロック236においては、反射された信号は、少なくとも2つの送信機に対して対象物からの反射を受信するように、既知の方向に配置された受信器によって対象物から受信される。対象物に対する送信器および受信器の相対的な向きは、たとえば図9を参照して上述した方法での反射角の判定を可能にする。

30

【0177】

図10に更に示すように、処理ブロック238中の処理230は、受信信号の一または複数の特性を判定する。一実施形態において、受信信号の振幅が判定される。処理ブロック240においては、振幅の角度依存性が判定される。処理ブロック242においては、対象物の一または複数の属性が、少なくとも部分的に振幅の角度依存性に基づいて判定される。処理230は、終了状態244で終了する。

40

【0178】

以下、角度依存性解析の例を説明する。より詳細に説明されるように、そのような解析は、媒体中の対象物の或る機械的性質の推定値として使用できる属性を生成できる。

一実施形態において、角度依存性解析は、オフセット付き振幅変動(AVO)解析を含む。AVO法の一実施形態において、反射振幅Rは、多くの場合、下記のZoeppritz方程式に対するShueyの第3項近似として知られる関係式として表現される。

【0179】

$$R(\theta) = A + B \sin^2 \theta + C \sin^2 \theta \tan^2 \theta \dots (1)$$

ここで、 θ は、反射角を表わし、係数A、B、およびCは、定数である。関係式(1)に

50

についての詳細は、様々な文献（たとえば非特許文献1）に見出すことができる。受信器からの信号の複数の反射振幅を互いに異なる角度で得ることによって、方程式例（1）は、既知の多数の技術の1つによって、たとえば係数A、B、およびCの推定値を得るために適用できる。係数Aは、一般にAVO切片と呼ばれ、Bは、一般にAVO勾配と呼ばれ、また、Cは、一般にAVO曲率と呼ばれる。

【0180】

一実施形態において、量R、A、B、およびCは、反射が生じた対象物に関連した属性であるとみなされることができる。以下に述べるように、機械的性質の推定値は、これらの量のうちの幾つかの組合せから得られることができる。

【0181】

或る用途において、方程式（1）の第3項は、省略でき（たとえば反射角が比較的小さい、たとえば約30度未満の場合）、反射振幅は、下記のように推定できる。

$$R(\theta) = A + B \sin^2 \theta \dots (2)$$

そのような推定で、Rおよび $\sin^2 \theta$ の線形関係は、切片Aおよび傾斜Bを得る直線に適用されることできる。そのように単純化された式によって係数AおよびBは比較的より容易に判定できる。

【0182】

或る用途においては、たとえば $V_p / V_s = 2$ （つまり圧縮速度は、剪断速度の約2倍である）と仮定できる。このとき、零オフセット反射率パラメータ R_{p0} および R_{s0} は、 $R_{p0} = A$ 、 $R_{s0} = (A - B) / 2$ として得られ、表わされるものとして表示できる。

【0183】

動物組織の状態分析のような特定の用途において、 $V_p / V_s = 3$ と仮定できる。このとき、零オフセット反射率パラメータ R_{p0} および R_{s0} の推定値は、 $R_{p0} = A$ 、 $R_{s0} = (4A - 9B + 5C) / 8$ として得られ、表わされるものとして表示できる。十分に長いオフセットが得られる場合には、パラメータA、B、およびCは、関係式（1）（たとえば曲線の適用による）を用いて推定できる。あるいは、AおよびBは、方程式（2）から推定できる一方、Cは、Cが反射界面における平均速度に対する速度コントラストの比の約半分として得られる速度モデルから推定できる。

【0184】

これらの零オフセット反射率パラメータは、更に、圧縮インピーダンス Z_p および剪断インピーダンス Z_s の推定値を得るために、公知の技術（たとえば非特許文献2を参照）を用いて反転できる。 $Z_p = \rho V_p$ および $Z_s = \rho V_s$ （ここで、 ρ は、密度である）と定義されたインピーダンス・パラメータ Z_p および Z_s は、下に述べるような他の属性を得るために使用できる。

【0185】

或る用途において、対象物の一または複数の弾性特性（属性例）の値は、圧縮および剪断インピーダンス値 Z_p および Z_s に基づいて推定できる。例として、剪断変形に対する抵抗に対応する剛性パラメータ μ は、関係式 $\mu = Z_s^2 / \rho$ （ここで、 ρ は、反射対象物の密度の推定値を表わす）によって推定できる。他の例において、反射対象物の液体内容物に影響を受ける弾性パラメータ λ は、関係式 $\lambda = (Z_p^2 - 2Z_s^2) / \rho$ によって推定できる。更に他の例において、反射対象物の非圧縮性または体積弾性率に対応するパラメータ ν は、関係式 $\nu = 1/3 + (2/3)\mu$ によって推定できる。

【0186】

図11は、所定のボクセル274中のまたはその近傍の反射部276を解析する超音波システム270の一実施形態を示す。音響エネルギー280は、送信器272から送信され、反射部276に入射するように示される。或る状況では、反射部276は、理想的な反射表面を提供していてもよく、また、得られる散乱エネルギー286は、複数の受信器288に届いてもよい。入射角282は、概ね、その平均が散乱エネルギー286を受信する複数の受信器288の方向によって判定される平均反射角284と同じであるように示

10

20

30

40

50

される。

【0187】

図11に更に示すように、複数の受信器288によって受信される信号は、組合せ信号を生じさせるように組み合わせできる。そのような組合せは、たとえば係属中の特許出願(2004年9月20日出願の米国特許出願第10/945,459号「SYSTEMS AND METHODS FOR IMPROVED IMAGING」)に示す技術によって達成できる。

【0188】

図12は、図11を参照して上述したような反射信号の組合せを達成するために実行できる処理290の一実施形態を示す。処理ブロック292において、音響エネルギーは、選択された送信器から送信される。処理ブロック294において、散乱エネルギーは、その平均角度方向が選択された送信器に対する鏡面反射に実質的に対応する複数の受信器によって受信される。処理ブロック296において、受信信号は、反射振幅を平均角度方向で得るように組み合わせできる。

10

【0189】

図13は、散乱エネルギー502を受信する受信器要素504を有する超音波システム500の一実施形態のブロック図を示す。受信器要素504は、一または複数の受信器を具備できる。

【0190】

図13に更に示すように、更に、超音波システム500は、受信器要素504から得られる一または複数の電気信号の信号トレース解析を行なうように構成できる要素506を備える。

20

【0191】

一実施形態において、信号トレース解析は、測定された電気信号の或る形式への変形を行うこと、および、信号の特性を記述するためにその結果を変形されていない信号と組み合わせることに基づいて行うことができる。例として、受信器からの電気信号(反射対象物からの反射エネルギーを検出した結果としての)が時間変動関数 $f(t)$ として表現できる場合には、 $g(t)$ を生じさせるため、 $f(t)$ についてヒルベルト変換を行なうことができる。そして、信号は、複合関数複合関数 $F(t) = f(t) + i g(t)$ (ここで、 $f(t)$ は、 $F(t)$ の実数部を表し、 $g(t)$ は、 $F(t)$ の虚数部を表わす)として特性を記述できる。

30

【0192】

数多くの動作を、そのような信号の特性記述機能例で行なうことができる。そのような公知の動作は、たとえば非特許文献3を含む様々な文献において見出される。幾つかの代表的な動作は、以下のように要約される。

【0193】

1つの例において、属性は、 $E(t) = (f^2(t) + g^2(t))^{1/2}$ として表現される複合関数 $F(t)$ の係数 $E(t)$ であることが可能である。幾つかの用途において、関数 $E(t)$ は、受信器によって生成された電気信号のエンベロープを表わす。幾つかの用途において、関数 $E(t)$ は、受信した音響エネルギーに関連した実質的に瞬間的な振幅または反射強度に対応する値を表わす。

40

【0194】

1つの例において、属性は、 $d(E(t))/dt$ として表現される時間に対する属性 $E(t)$ の変化率であることが可能である。幾つかの用途において、属性 $d(E(t))/dt$ は、反射対象物中の吸収効果に関する情報を提供できる。

【0195】

1つの例において、属性は、 $d^2(E(t))/dt^2$ と表現される時間に対する属性 $d(E(t))/dt$ の変化率であることが可能である。幾つかの用途において、属性 $d^2(E(t))/dt^2$ は、反射対象物中のまたはその近傍の反射界面に関する情報を提供できる。

50

【0196】

1つの例において、瞬間的なエネルギーの合計は、 $E^2(t)$ 、つまりエンベロープ $E(t)$ の二乗として表示できる。属性は、 $d(E^2(t))/dt = 2E(t)d(E(t))/dt$ として表わされ、反射対象物中の吸収効果に関する情報を提供できる時間に対する合計エネルギーの変化率であることが可能である。属性は、 $d^2(E^2(t))/dt^2 = 2[d(E(t))/dt]^2 + 2[E(t)d^2(E(t))/dt^2]$ と表わされ、反射対象物中のまたはその近傍の反射界面に関する情報を提供できる合計エネルギーの第2時間微分であることが可能である。

【0197】

1つの例において、属性は、 $\phi(t) = \arctan(g(t)/f(t))$ として表現される反射対象物から受信した音響エネルギーの実質的に瞬間的な位相であることが可能である。幾つかの用途において、位相属性 $\phi(t)$ は、反射対象物からの音響エネルギーの伝播位相に関する情報を提供できる。

10

【0198】

1つの例において、属性は、 $\omega(t) = d(\phi(t))/dt$ として表現される反射対象物から受信した音響エネルギーの実質的に瞬間的な周波数であることが可能である。

1つの例において、属性は、 $a(t) = d\omega(t)/dt$ として表現される反射対象物から受信した音響エネルギーの実質的に瞬間的な加速度であることが可能である。

【0199】

1つの例において、属性は、反射対象物から受信した音響エネルギーの平均周波数 $\omega_{mean}(t)$ であることが可能である。平均周波数 $\omega_{mean}(t)$ は、(1) ; $F(t)$ のフーリエ変換 $F(\omega)$ を判定することと、(2) ; $P(\omega) = F(\omega)F^*(\omega)$ による自己相関関数 $P(\omega)$ を判定することと(ここで、 $F^*(\omega)$ は $F(\omega)$ の複素共役を表わす)、(3) ;

20

【0200】

【数26】

$$A(t) = \int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega)\exp(i\omega t)d\omega / \int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega)d\omega$$

30

【0201】

によって標準化された自己相関関数 $A(t)$ を判定することと、(4) ;

【0202】

【数27】

$$\omega_{mean}(t) = dA(t)/dt = -i \int_{\omega=0}^{\infty} \omega P(\omega)\exp(i\omega t)d\omega / \int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega)d\omega$$

40

【0203】

によって平均周波数 ω_{mean} を判定することによって求められる。

1つの例において、更に、平均周波数 ω_{mean} は、関係式

【0204】

【数28】

$$\omega_{mean}(t) = \int_{\omega=0}^{\infty} \omega P(\omega)LPF(t,\omega)d\omega / \int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega)d\omega$$

50

【 0 2 0 5 】

によって判定できる（ここで、LPF (t ,) は、必要に応じて時間変化することがあるローパス・フィルタを表わす）。

1つの例において、属性は、関係式 (t) - m e a n (t) によって判定され得る薄層指標パラメータであることが可能である。

【 0 2 0 6 】

1つの例において、属性は、 $| d^2 A (t) / d t^2 |$ として表現される反射対象物から受信した音響エネルギーの加速度であることが可能である。

1つの例において、属性は、

【 0 2 0 7 】

【 数 2 9 】

$$\omega_c = \int_{\omega=0}^{\infty} \omega P(\omega) d\omega / \int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega) d\omega$$

【 0 2 0 8 】

として表現されるパワー・スペクトルの重心周波数 ω_c であることが可能である。

1つの例において、属性は、

【 0 2 0 9 】

【 数 3 0 】

$$\omega_v = \int_{\omega=0}^{\infty} (\omega - \omega_c)^2 P(\omega) d\omega / \int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega) d\omega$$

【 0 2 1 0 】

として表現される重心周波数 ω_c に対する分散 ω_v であることが可能である。

1つの例において、属性は、

【 0 2 1 1 】

【 数 3 1 】

$$\omega_{RMS} = \text{sqrt} \left[\int_{\omega=0}^{\infty} \omega^2 P(\omega) d\omega / \int_{\omega=0}^{\infty} P(\omega) d\omega \right]$$

【 0 2 1 2 】

として表現される二乗平均周波数 ω_{RMS} であることが可能である。

また、先の属性例は、単にその例示にすぎないことが理解すべきである。従って、これらの例は、本教示の範囲を限定するものとして解釈すべきではない。

【 0 2 1 3 】

図14は、散乱エネルギー772を受信する受信器要素774を有する超音波システム770の一実施形態のブロック図を示す。受信器要素774は、一または複数の受信器を具備できる。

【 0 2 1 4 】

図14に更に示すように、超音波システム770は、受信器要素774から得られる一または複数の電気信号に関する空間属性の解析を行なうように構成できる要素776を更に備える。

【 0 2 1 5 】

空間属性を得るために、数多くの動作を行なうことが可能である。そのような既知の動

10

20

30

40

50

作は、たとえば非特許文献 3 を含む様々な文献に見出される。幾つかの代表的な動作は、以下のように要約される。

【 0 2 1 6 】

図 1 3 を参照して上述した信号トレース解析の例は、特に、様々な属性に関する一時的な情報を提供できる。一実施形態において、空間属性は、時間的情報から拡張される空間の情報をもつ属性を含む。たとえば受信信号の伝播数 k は、周波数（図 1 3 を参照して上述したように判定される）に基づいて $k = a / v$ （ここで、 v は、反射信号の伝搬速度である）として求めることができる。ここでは、 Z 方向が反射位置を通過して受信検出器に垂直な線に沿うと定義される場合には、伝播数 k の縦方向および横方向成分は、それぞれ、 $k_z = (/ v) \cos$ 、および $k_t = (/ v) \sin$ と表現できる。ここで、 θ は、到達経路と受信検出器に垂直な線との間の角度として定義できる到来角を表わし、添字「 t 」は、 x 、 y 、または、それらの或る組合せであることがある横方向を示す。到来角の一例が、図 9 に示される。そのような実施形態の例において、到来角は、反射角と実質的に等しい。しかしながら、空間属性解析の目的では、そのような仮定（到来角が反射角と実質的に等しいという仮定）は、必要条件ではない。

10

【 0 2 1 7 】

空間属性の 1 つの例は、 \sin / v として表現できる x 方向に沿った時間勾配 dt / dx である。従って、 dt / dx は、 $dt / dx = k_x /$ として表現されることもできる。一実施形態において、瞬間的な周波数は、重心周波数 f_c （図 1 3 を参照して上述した）によって近似できる。あるいは、瞬間的な周波数は、1 つの時間遅れにおいて自己相関関数 $A(t)$ を評価することによって推定できる。つまり、 $\theta = \arg | A(1) |$ である。

20

【 0 2 1 8 】

一実施形態において、伝播数 k_x は、1 つの時間遅れにおいて自己相関関数 $A(t)$ を評価することによって推定でき、 x 方向に沿って演算できる。つまり、 $k_x = \arg | A_x(1) |$ である。

【 0 2 1 9 】

同様に、 y 方向に沿った時間勾配 dt / dy は、 $dt / dy = k_y /$ として表現でき、 $\theta = \arg | A(1) |$ および $k_y = \arg | A_y(1) |$ である。更に、横方向時間勾配は、 $T = \sqrt{ (dt / dx)^2 + (dt / dy)^2 }$ で表現でき、方位角時間勾配は、 $\theta = \arctan(dt / dy, dt / dx)$ として表現できる。属性 T および θ は、多くの場合、瞬間的な位相傾斜および瞬間的な方位角傾斜と呼ばれる。

30

【 0 2 2 0 】

空間属性の別の例は、反射界面の横方向連続性である。一実施形態において、横方向連続性は、位相傾斜 T の他の微分を $T^2 = \sqrt{ (d^2 t / dx^2)^2 + (d^2 t / dy^2)^2 }$ となるよう求めることによって推定できる。

【 0 2 2 1 】

空間属性の先の例は、複数の他の属性を求めるために使用できる。たとえば横方向類似属性およびそのような横方向類似と関係する属性を推定できる。

図 1 5 は、散乱エネルギー 5 2 2 を受信する受信器要素 5 2 4 を有する超音波システム 5 2 0 の一実施形態のブロック図を示す。受信器要素 5 2 4 は、一または複数の受信器を具備できる。

40

【 0 2 2 2 】

図 1 5 に更に示すように、超音波システム 5 2 0 は、受信器要素 5 2 4 から得られる一または複数の電気信号のスペクトル解析を行なうように構成できる要素 5 2 6 を更に備える。一実施形態において、スペクトル解析は、互いに異なる周波数範囲での一または複数の電気信号の解析を含む。たとえば少なくとも AVO 種類解析のうちの幾つかと、上述した信号トレース型の解析とのうちの少なくとも一つは、受信器要素 5 2 4 から得られる電気信号の互いに異なる周波数範囲に対して行なうことができる。そのようなスペクトル解析を行なうことによって、このように得られた属性のうちの幾つかの周波数依存性を明ら

50

かにできる。

【0223】

電気信号は、様々な既知の技術で、互いに異なる周波数範囲において解析できる。図16Aと図16Bは、そのような解析がどのように行われるかという例を示す。一実施形態において、図16Aに示すように、超音波システム530は、散乱エネルギー532を受信し、一または複数の未処理の電気信号を記憶要素536に出力する受信器要素534を含むことができる。システム530は、格納された未処理の信号の所望の周波数帯を検索し選択するように構成されるフィルタ要素538を更に具備できる。そのような希望の周波数帯を有し、フィルタを通過した信号は、解析器要素540によって解析できる。一実施形態において、解析器要素540は、ここに記述された機能（たとえばAVO解析と信号トレース解析のうちの少なくとも一つ）のうちのいずれかを含むことができる。

10

【0224】

一実施形態において、図16Bに示すように、超音波550は、散乱エネルギー552を受信し、一または複数の未処理の電気信号をその未処理の電気信号の一または複数の周波数帯を分離し生成するように構成できる要素556に出力する受信器要素554を具備できる。そのような周波数分離された信号は、解析器要素558によって解析できる。一実施形態において、解析器要素558は、ここに記述された機能（たとえばAVO解析と信号トレース解析のうちの少なくとも一つ）のうちのいずれかを含むことができる。

【0225】

図17は、散乱エネルギー572を受信する受信器要素574を有する超音波システム570の一実施形態のブロック図を示す。受信器要素574は、一または複数の受信器を具備できる。受信器要素574は、一または複数の電気信号を解析器要素576に供給できる。一実施形態において、解析器要素576は、ここに記述された機能（たとえばAVO解析と信号トレース解析のうちの少なくとも一つ）のうちのいずれかを含むことができる。解析器要素576は、図14～図15を参照して上述したスペクトル解析機能を更に含むことができる。

20

【0226】

図17に更に示すように、超音波システム570は、解析器要素576によって判定された一または複数の属性の対応付けと選択のうちの少なくとも一つを許容するように構成できる要素578を更に備えることが可能である。どのように対応付けと選択のうちの少なくとも一つが行われるかという例は、以下によって詳細に述べる。

30

【0227】

図18は、一または複数の属性に関する情報を有した解析データを受信するように構成できるデータベース要素582を備えた超音波システム580の一実施形態を示す。データベース要素582は、属性データをユーザ586と接続するユーザ・インタフェース要素584に機能的にリンクされるように示される。一実施形態において、インタフェース要素584は、コンピュータ・スクリーンのような視覚的なディスプレイを具備できる。一実施形態において、更に、インタフェース要素584は、ユーザ586が後の解析のために表示されたデータの一部を選択することを可能にするユーザ入力装置を具備できる。

40

【0228】

図19Aと図19Bは、ユーザが更なる解析のためにデータの或る部分を選択できるように、どのようにユーザに属性データを提示できるかという例を示す。属性データおよび選択のそのような提示は、図18を参照して上述したユーザ・インタフェース要素によって容易にできる。

【0229】

図19Aは、所定の属性の一次元的表現590の一例を示す。所定の属性は、解析器要素（図17においては576）によって得られた属性のうちの1つあるいは一または複数の属性に対する或る演算の結果であることが可能である。一次元的表現590は、たとえば所定の属性に関連した値の一次元のヒストグラムであることが可能である。

【0230】

50

図19Aに更に示すように、ユーザは、ヒストグラム例590を調査し、更なる解析のため、その一部分592を選択できる。たとえば選択された部分592のピーク構造は、解析される対象物の属性中の何らかの異常を示すことが可能である。そのようなデータを選択し、以降の解析をそれらの選択されたデータに対応する属性に限定することによって、残りの「無関係な」データと共に示された場合よりも、異常の条件がより明白に「際立つ」ようにしてもよい。

【0231】

一実施形態において、所定の属性の各々の値は、それに関連した何らかの形の索引を有することが可能である。たとえば索引は、属性値がどのボクセルに当てはまるかを示すことが可能である。従って、一実施形態において、ヒストグラム例の選択例592は、対象領域内の特定のボクセルを選択すると見なすことができる。選択されたボクセルは、画像化を含む他の属性で更に解析できる。

10

【0232】

図19Bは、2つの選択された属性の二次元的表現600の一例を示す。2つの選択された属性の各々は、解析器要素(図17においては576)によって得られた属性のうちの一つあるいは一または複数の属性に対するある演算の結果であることが可能である。二次元的表現600は、たとえば散乱プロット、輪郭プロットなどの二次元の表示であることが可能である。

【0233】

クロス・プロット例600は、ここではデータ点が、それぞれ何らかの形に関連した索引を有する複数のデータ点602を含むように示される。たとえば索引は、属性値がどのボクセルに当てはまるかを示してもよい。

20

【0234】

図19Bに更に示すように、ユーザは、クロス・プロット例600を調べ、604および606のような部分を選択できる。そのような選択は、「カット」線の例604および606によって区画できる。説明の目的のため、部分604が対象領域の公知の特性を表わすと仮定する。そして、既知の部分604内のデータ点は、必要であれば、更なる解析から省略できる。更に、部分606は、対象領域の興味深いが未知の特性を表わすと仮定する。クラスタ例606は、解析される対象物の属性中の或る異常を示すことが可能である。そのようなデータを選択し、以降の解析をそれらの選択されたデータに対応する属性に限定することによって、残りの「無関係な」データと共に示された場合よりも、異常の条件がより明白に「際立つ」ようにしてもよい。

30

【0235】

図20は、図16～図18を参照して上述したような様々な形式のクロス・プロット解析を行なうことができる処理610の一実施形態を示す。処理610は、開始状態612で開始され、処理ブロック614においては、対象領域に関連した幾つかの索引に関係する複数の属性が得られる。一実施形態においては、索引が、対象領域内のボクセルを表わし、ボクセルは、それぞれ、複数の属性によって特性を記述できる。処理ブロック616においては、一または複数の索引を付けられた属性の表現が得られる。一実施形態において、その表現は、互いに異なる索引に対応する選択された属性の一次元ヒストグラムであることが可能である。他の実施形態において、その表現は、互いに異なる索引に対応する選択された2つの属性の二次元プロットであることが可能である。処理ブロック618においては、一または複数の索引(つまりデータ点)が属性の表現に基づいて選択される。一実施形態において、そのような選択は、一次元ヒストグラムの一部分に作られたカットであることが可能である。他の実施形態において、そのような選択は、二次元プロットの一部分に作られたカットであることが可能である。処理ブロック620において、選択された索引に対応する一または複数の属性の表現は、選択された対象索引の更なる解析を可能にするように得られる。処理610は、終了状態622で終了する。

40

【0236】

図21Aと図21Bは、索引がボクセルに対応する一次元および二次元プロットに個別

50

に關係する処理例 6 3 0 , 6 5 0 を示す。一実施形態において、図 2 1 A に示すように、処理 6 3 0 は、開始状態 6 3 2 で開始する。処理ブロック 6 3 4 においては、複数のボクセルが、対象領域のために定義される。処理ブロック 6 3 6 においては、各々のボクセルに関連した一または複数の属性が得られる処理ブロック 6 3 8 においては、一次元のヒストグラムが第 1 属性に対応する値に対して得られる。処理ブロック 6 4 0 においては、一連の値が第 1 属性ヒストグラムから選択される。処理ブロック 6 4 2 においては、選択された値に対応するボクセルに関する情報が得られる。処理ブロック 6 4 4 においては、一または複数の属性の表現が、選択された値に対応するボクセルに対して作られる。その表現は、他の一次元ヒストグラムまたは二次元クロス・プロットであることが可能である。一実施形態において、新たな一次元ヒストグラムは、第 1 属性とは異なる第 2 属性に対してである。一実施形態において、新たな二次元クロス・プロットにおける 2 つの属性は、第 1 属性とは異なる少なくとも 1 つの属性を含む。処理 6 3 0 は、終了状態 6 4 6 で終了する。

10

【 0 2 3 7 】

一実施形態において、図 2 1 B に示すように、処理 6 5 0 は、開始状態 6 5 2 で開始する。処理ブロック 6 5 4 においては、複数のボクセルが、対象領域のために定義される。処理ブロック 6 5 6 においては、各々のボクセルに関連した複数の属性が得られる。処理ブロック 6 5 8 においては、二次元クロス・プロットが、第 1 属性と第 2 属性に対応する値に対して得られる。処理ブロック 6 6 0 においては、第 1 属性と第 2 属性に対応するデータ点の領域が、クロス・プロットから選択される。処理ブロック 6 6 2 においては、選択されたデータ点に対応するボクセルに関する情報が得られる。処理ブロック 6 6 4 においては、一または複数の属性の表現が、選択されたデータ点に対応するボクセルに対して作られる。その表現は、一次元ヒストグラム、または他の二次元クロス・プロットであることが可能である。一実施形態において、新たな一次元ヒストグラムは、第 1 属性と第 2 属性のいずれかを含む任意の属性に対してのことが可能である。一実施形態において、新たな二次元クロス・プロットにおける 2 つの属性は、第 1 属性または第 2 属性とは互いに異なる少なくとも 1 つの属性を含む。処理 6 5 0 は、終了状態 6 6 6 で終了する。

20

【 0 2 3 8 】

図 2 2 は、ここで説明されたように得られる様々な属性を使用する方法の一例を示す。一実施形態において、分類子 8 0 0 は、一または複数の属性（矢印 8 0 2 として示す）を受信し、入力属性に基づいた一または複数の結果を判定するように構成できる。そのような結果は、矢印 8 0 4 によって示すように出力できる。そのような属性入力に基づいた結果判定は、数多くの方法で使用できる。たとえば或る量の組織に対応する一または複数の属性を得ることができる。そのような属性は、対象の組織が、たとえば正常または異常であるとして分類され得るか否かを判定する分類子に供給できる。また他の例では、検査される材料に対応する属性が、分類子に供給できる。分類子は、入力属性に基づいて、材料が検査に通るか否かを判定できる。

30

【 0 2 3 9 】

図 2 3 A ~ 図 2 3 C は、図 2 2 を参照して上述した分類子 8 0 0 の幾つかの可能な実施形態を例として示す。図 2 3 A は、一または複数の属性 8 1 2 を受信し、エキスパートの解釈 8 1 4 を出力する分類子要素 8 1 0 の一実施形態を示す。そのような解釈は、エキスパート 8 1 8 へ入力属性を接続するように構成されるインタフェース要素 8 1 6 によって容易になされることができる。1 つの例において、インタフェース要素 8 1 6 は、対象の媒体の量に対応する属性の視覚的な表現（たとえば属性の一または複数のクロス・プロット）を表示するように構成されるディスプレイ装置を含むことができる。その視覚的な表現に基づいて、エキスパートは、対象の量が何らかの基準の範囲内にあるかまたは範囲外にあるかを判定できる。

40

【 0 2 4 0 】

図 2 3 B は、統計解析要素 8 2 0 を含む分類子要素の別の実施形態を示す。統計解析要素 8 2 0 は、一または複数の属性 8 2 2 の 1 つの入力に対して統計解析を行ない、確率値

50

814のような結果を出力するように構成できる。そのような確率値は、たとえば所定のクラスに分類される入力属性の尤度を示すことができる。たとえば2つの属性の「クロス・プロット」826（統計解析の目的のためには、必ずしもそのようなクロス・プロットを視覚的に示す必要は無い）が正常範囲例828および異常範囲830を定義すると仮定する。入力異常範囲830に対応づけられる場合には、異常状態の尤度を推定するために統計解析を行なうことができる。

【0241】

図23Cは、実質的に自動的に操作されるように構成でき、その結果、入力842として所定の一または複数の属性が与えられる場合には、自動分類子840が一または複数の結果844を判定および出力できるような分類子要素840の別の実施形態を示す。そのような分類の自動化は、たとえばパターン認識のような機能のために構成されたニューラルネットワーク型の処理によることを含む数多くの方法で達成できる。

10

【0242】

一実施形態において、分類子要素は、図23A～図23Cを参照して上述した機能例のうちの幾つかまたはすべてを含むことができる。たとえば分類子は、一般に、一旦「訓練され」且つ較正されると、自動的に動作するように構成できる。自動機能は、たとえばその正常/異常の判定と確率推定値のうちの少なくとも一つを含むことができる。

【0243】

図24は、図22および図23を参照して上述した分類子の様々な実施形態を訓練および較正するために使用できる適用例670を示す。適用例670は、エキスパートに基づく監視付き分類子として使用されることもできる。

20

【0244】

一実施形態において、ここに説明されるような属性判定およびクロス・プロット法は、対象領域の様々な特性についてのより良い理解を得るために利用できる。そこから得られる情報は、分類子が何を捜すか、どこを探すべきかのいずれかを訓練するために使用できる。そのような情報は、既存の知識の基礎を連続的に「微調整する」ために使用されることもでき、そのため、以降の分類動作（自動化または監視された）がより正確になることができる。

【0245】

例に従って上述したように、幾つかの属性は、直接物理的または機械的性質には必ずしも対応していない。更に、幾つかの属性は、完全には正確でないかもしれないという仮定を用いて推定可能である（たとえば圧縮速度が剪断速度の約2倍であるという仮定を用いて推定される反射率値 R_p および R_s ）。

30

【0246】

しかしながら、本教示の幾つかの実施形態において、得られる属性は必ずしも何らかの標準値と実質的に同一である必要は無い。たとえば剛性パラメータ μ および体積弾性率のような機械的なパラメータに対して得られる値は、必ずしも、既知の材料（動物組織のような）に対する何らかの標準値を満たす必要は無い。様々な用途において有用になり得るのは、属性の相対的値である。そのため、機械的性質の先の例では、 μ およびの値が標準値とは概して異なっている、対象領域内の自己矛盾のない値の差は、有用な情報を提供できる。たとえば対象領域の一部における機械的属性の異常値は、その部分に対する何らかの異常を示すことが可能である。互いに異なる属性を使用してそのような異常を判定できることによって、組織を特徴づけることができる方法を改善できる。

40

【0247】

先の組織の状態分析は、属性によって案内され、異常を経験的に見つけることができるエキスパートを導入することによって、更に強化できる。経験的観察は、得られる属性の意味を更新し改善するために使用できる。有用な知識の主要部のそうした増加は、分類子の訓練/較正に有益となり、更に、動物組織のような対象領域の以降の状態分析にも有益となることがある。

【0248】

50

このように、図24に示すように、適用例670は、属性の第1組を表示するクロス・プロット例672を含むように示される。一実施形態において、そのような属性は、データベース680から得られる。クロス・プロット672内において、既知のパターン例は、領域674として示され、異常を表わすパターンは、領域676として示される。異常の領域676は、属性の第2組が選択された異常領域676のボクセル索引に基づいて表示される第2のクロス・プロット686を通じ、曲線の矢印684によって示されるように、更に解析されるように示される。属性の第2組は、第1組と同じであってもなくてもよい。

【0249】

図24に更に示すように、エキスパート696は、第2クロス・プロット686（ここで最初のプロット672に基づく異常がデータ点688として表示される）および対象領域（直接であってもなくてもよい）の検査を解析するように示される。エキスパート696は、検査694から得られる情報に基づいて第2プロット686中の異常領域の「定義」を「更新する」ように示される。

【0250】

図24に更に示すように、先の方法における異常の更新された特徴は、データベース680を更新するように示される。そのような更新されたデータベースは、以降の解析で他の異常をより正確に特徴づけるために使用できる。そのような最新のデータベースは、分類子の様々な実施形態によって使用される様々な動作パラメータを改善するために使用することもできる。たとえば正常および異常組織の特性を定義する境界は、それ以降の正常/異常の判定がより正確になされるように改良できる。

【0251】

図25は、信号を処理し、一または複数の属性を生成するように構成できるコンピュータ実行可能な指示902を有したコンピュータ読取可能な媒体900の一実施形態を示す。一実施形態において、信号は、媒体から反射された音響エネルギーに基づく。一実施形態において、一または複数の属性は、動物組織に関連した属性である。ここで示すように、動物組織の属性は、医療用または非医療用の目的に使用可能である。一実施形態において、一または複数の属性は、非地震学的材料に関連した属性である。

【0252】

図26は、図25のコンピュータ実行可能な指示902を実施できる処理910の1つの例を示す。処理910は、開始状態912で開始される。処理ブロック914においては、処理910は、媒体から反射される音響エネルギーに基づいた信号を得る。媒体は、動物組織または他の非地震学的材料であることが可能である。処理ブロック916においては、処理910は、媒体に関連した一または複数の属性の一または複数の値を生成する。一実施形態において、処理910は、少なくとも2つの属性に関連した値を生成する。

【0253】

上に示した実施形態は、上に示した実施形態に適用されるような本発明の新規な基本的特徴を記述、説明、および指摘したが、上に示す装置、システム、および方法のうち少なくとも一つにおいて、本発明の範囲から逸脱することなく様々な省略、代用、および変更が、当業者によってなされることが可能であると理解されなければならない。従って、本発明の範囲は、先の記述に限定すべきではなく、添付の請求の範囲によって定義すべきである。

【図面の簡単な説明】

【0254】

【図1】音響エネルギーを送信し、音響エネルギーを散乱した対象物に関連した複数の属性を判定するように散乱したエネルギーを検出する超音波システムの一実施形態を示す。

【図2】図1の超音波システムによって行なわれることができる処理の一実施形態を示す。

【図3A】一実施形態において、図1の超音波システムが、組織性状のような非地震用途において使用できることを示す。

10

20

30

40

50

【図3B】一実施形態において、図1の超音波システムが、非破壊材料特性のような非地震用途において使用できることを示す。

【図4】超音波システムの一実施形態の機能ブロック図を示す。

【図5】超音波システムによって判定できる属性の種類例を示す。

【図6】一実施形態において、超音波システムが、図5の属性の種類の中の1つの判定を可能にするように構成できることを示す（角度依存性を有した一または複数の属性）。

【図7】角度依存属性がどのように媒体中の材料層の特性を容易にできるかの例を示す。

【図8】図7の角度依存属性の判定を行なうことができる超音波システムの一実施形態を示す。

【図9】反射角がどのように媒体中の所定位置に対して推定できるかの例を示す。

10

【図10】図8の角度依存性判定を達成できる処理の一実施形態を示す。

【図11】一実施形態において、対象物からの散乱信号が、複数の受信器によって受信され、改善した解像度とSN比のうちの少なくとも一つを有した出力を生成するように組み合わせできることを示す。

【図12】図11の実施形態の機能を達成できる処理の一実施形態を示す。

【図13】一実施形態において、超音波システムが、図5の属性の種類の中の別の1つの判定を可能にするように構成できることを示す（トレース解析に基づいた一または複数の属性）。

【図14】一実施形態において、超音波システムが、図5の属性の種類の中の別の1つの判定を可能にするように構成できることを示す（一または複数の空間属性）。

20

【図15】一実施形態において、超音波システムが、図5の属性の種類の中の更に別の1つの判定を可能にするように構成できることを示す（スペクトル解析に基づいた一または複数の属性）。

【図16A】図15のスペクトル解析を行なうように構成された超音波システムの実施形態の例を示す。

【図16B】図15のスペクトル解析を行なうように構成された超音波システムの実施形態の例を示す。

【図17】一実施形態において、超音波システムが、一または複数の属性を提示するか、または、互いに異なる属性を相関させる要素を具備でき、その結果、そこから付加情報の判定を容易にすることを示す。

30

【図18】提示された、または、相関させた属性からの付加情報の判定が、ユーザ・インタフェースを介してユーザによって容易になることができることを示す。

【図19A】提示され且つ相関させた属性、およびそこから識別できる対象部分の例を示す。

【図19B】提示され且つ相関させた属性、およびそこから識別できる対象部分の例を示す。

【図20】一または複数の属性の第1組から付加情報を得て、第1組からの付加情報に基づいて一または複数の属性の第2組を解析する処理の一実施形態を示す。

【図21A】図20の処理の一次元例の一実施形態を示し、第1属性から得られる情報は、第2属性を解析するように使用される。

40

【図21B】図20の処理の二次元例の一実施形態を示し、第1二次元相関性から得られる情報は、第2二次元相関性を解析するように使用される。

【図22】一または複数の属性の入力に基づいて一または複数の結果出力を判定する分類子の一実施形態を示す。

【図23A】図22の分類子の幾つかの実施形態の一例を示す。

【図23B】図22の分類子の幾つかの実施形態の一例を示す。

【図23C】図22の分類子の幾つかの実施形態の一例を示す。

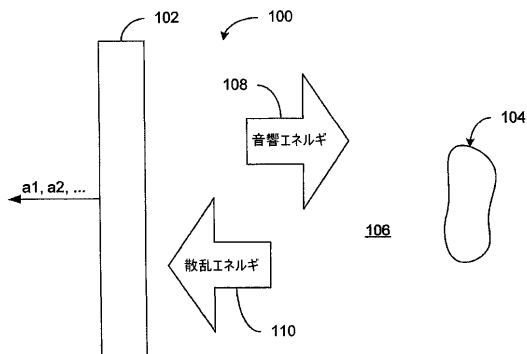
【図24】分類子のうちの幾つかが、どのように動作の自動モードまたは監視モードのいずれかに対してプログラムされ、較正され、および改良されるかのうちの少なくとも一つの例を示す。

50

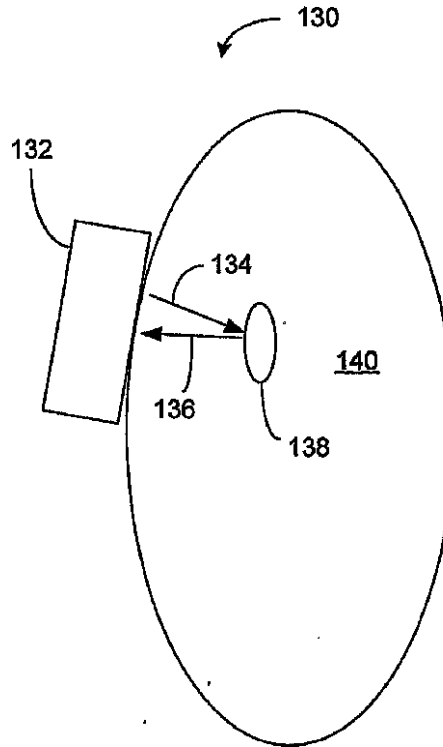
【図 2 5】信号を処理し、一または複数の属性を生成するように構成できる、コンピュータ実行可能な指示を有したコンピュータ読取可能な媒体の一実施形態を示す。

【図 2 6】図 2 5 のコンピュータ実行可能な指示の一実施形態を示す。

【図 1】



【図 3 A】



【図 2】

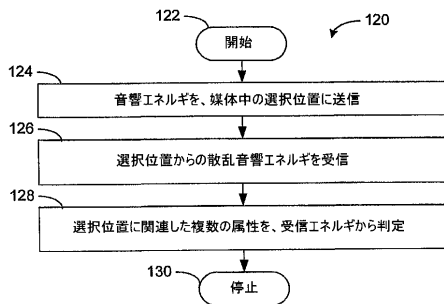


Fig. 3A

【図3B】

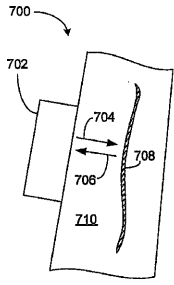
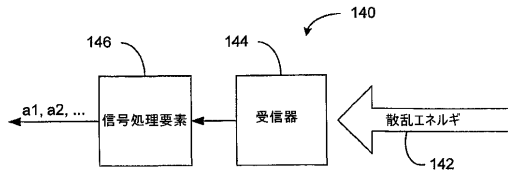
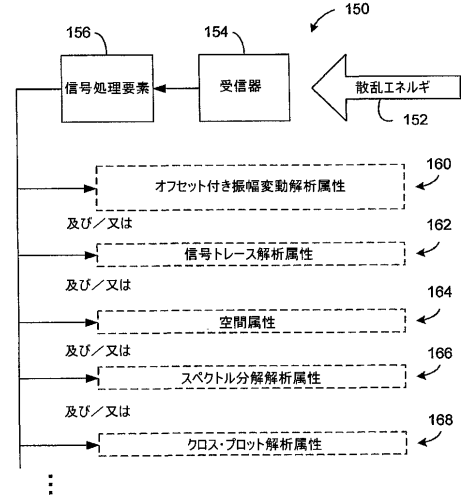


Fig. 3B

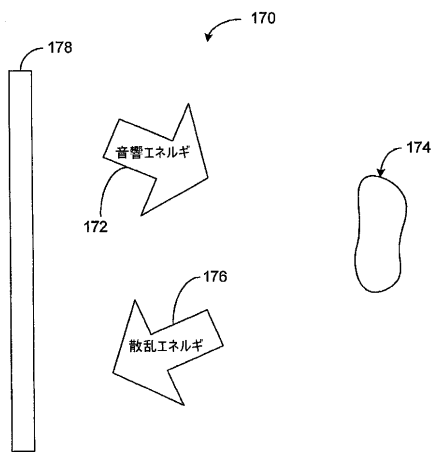
【図4】



【図5】



【図6】



【図7】

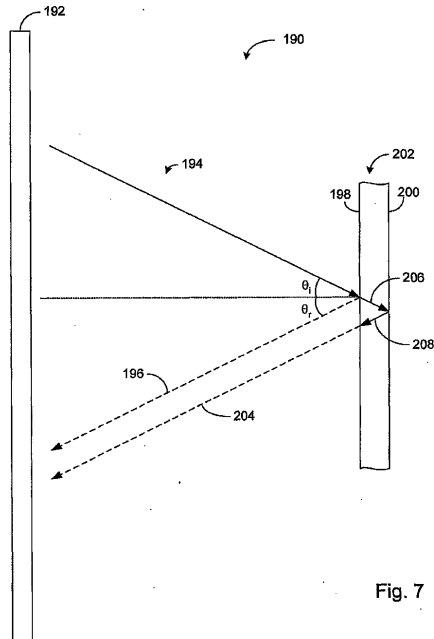


Fig. 7

【図8】

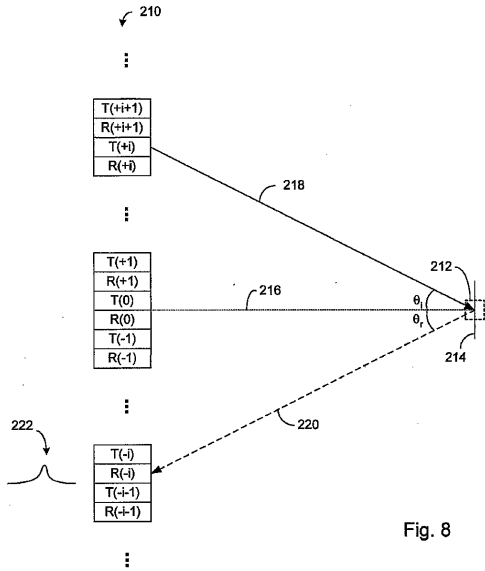
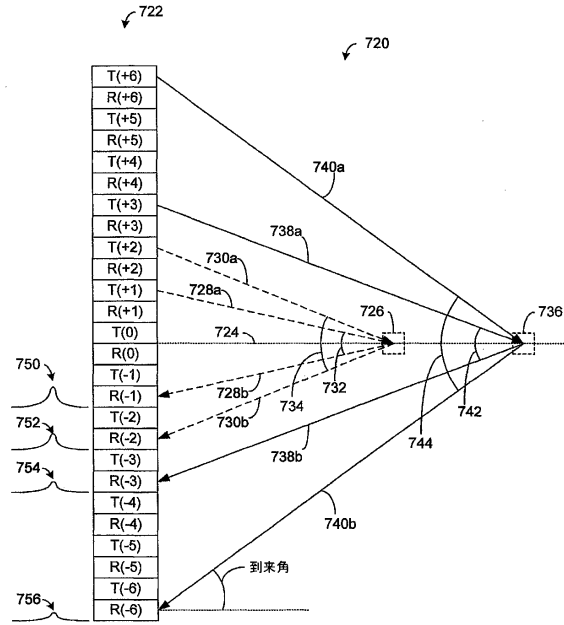
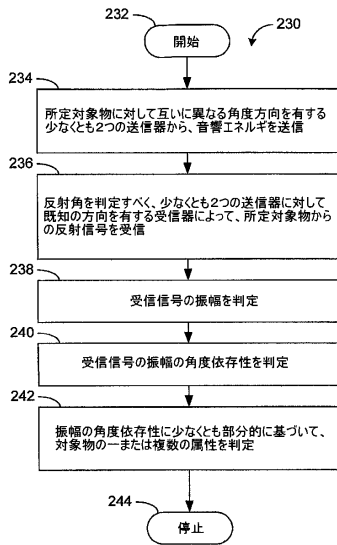


Fig. 8

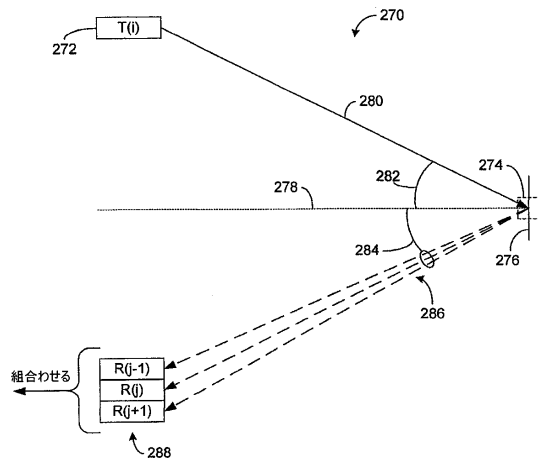
【図9】



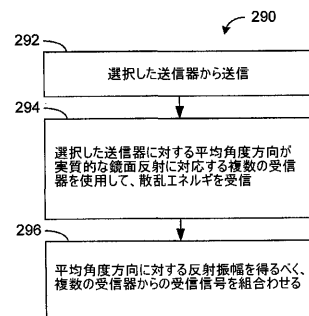
【図10】



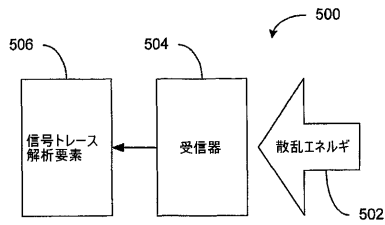
【図11】



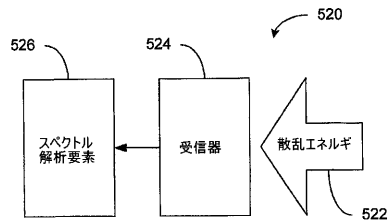
【図12】



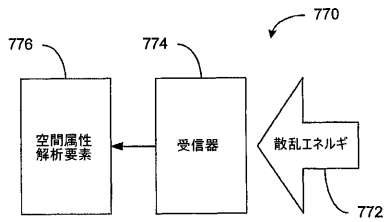
【図13】



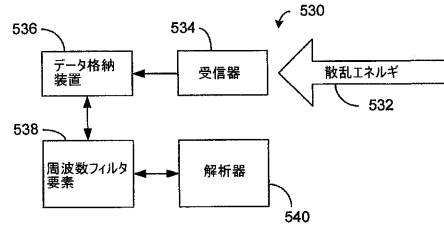
【図15】



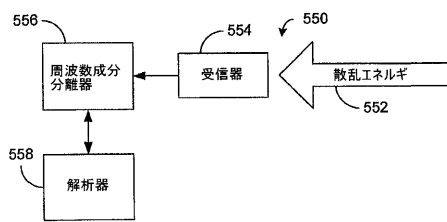
【図14】



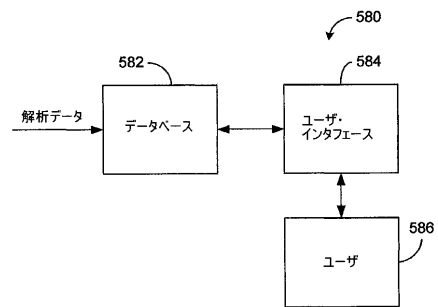
【図16A】



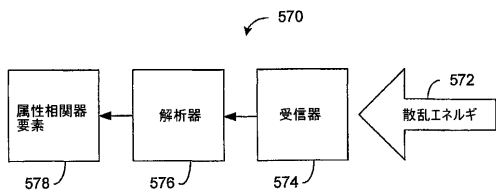
【図16B】



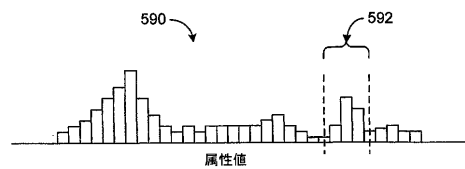
【図18】



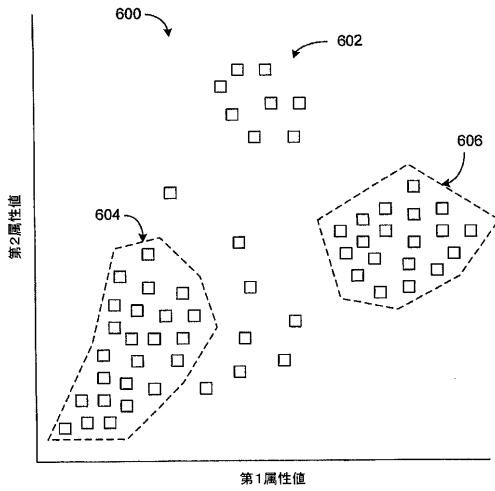
【図17】



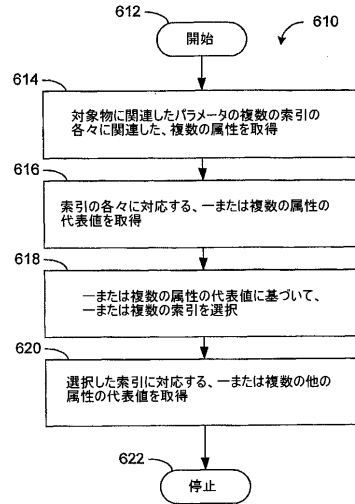
【図19A】



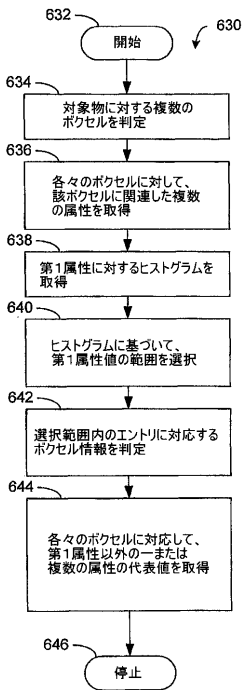
【図19B】



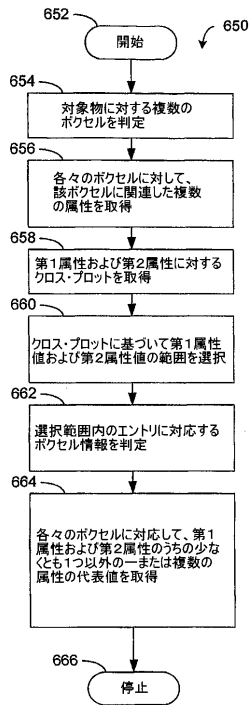
【図20】



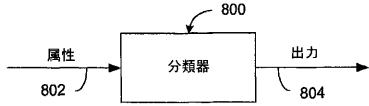
【図21A】



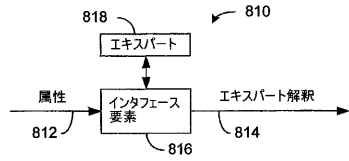
【図21B】



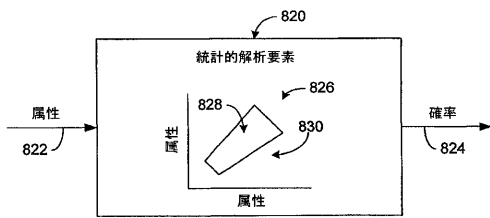
【図22】



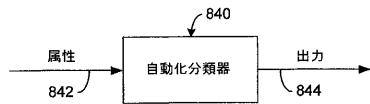
【図23A】



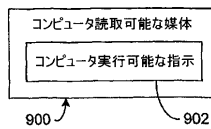
【図23B】



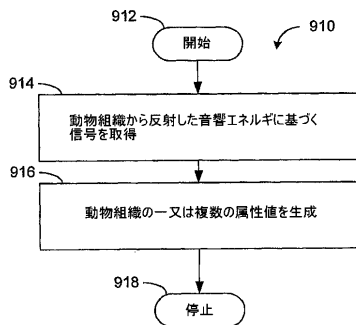
【図23C】



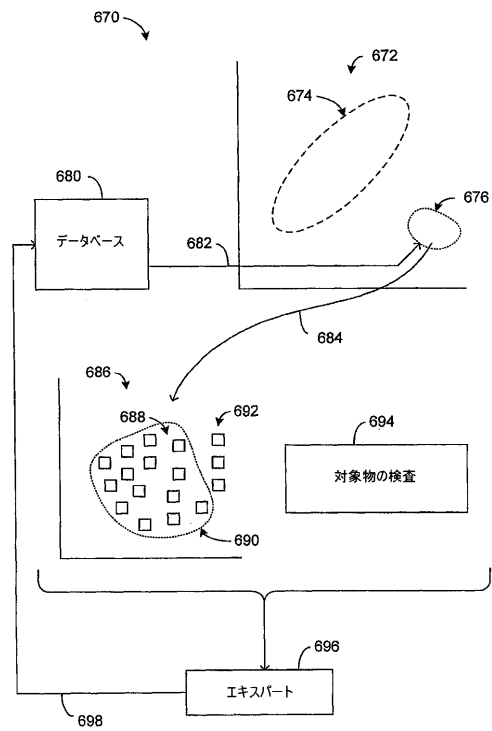
【図25】



【図26】



【図24】



フロントページの続き

(72)発明者 デイビス、ティム

カナダ国 T 2 S 3 C 2 アルバータ州 カルガリー セカンド ストリート エス・ダブリュ
. ビー 1 0 0 - 2 2 0 4

審査官 樋口 宗彦

(56)参考文献 国際公開第 9 3 / 0 1 2 4 4 4 (W O , A 1)

特開 2 0 0 4 - 3 3 7 4 5 7 (J P , A)

特開平 1 1 - 0 8 9 8 3 3 (J P , A)

特表 2 0 0 5 - 5 2 6 5 3 9 (J P , A)

国際公開第 2 0 0 5 / 0 0 9 2 4 5 (W O , A 1)

特開 2 0 0 4 - 2 1 5 9 8 7 (J P , A)

特表 2 0 0 4 - 5 2 5 7 1 5 (J P , A)

特開平 0 9 - 2 0 1 3 6 1 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

A61B8/00-8/15