

(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2009-268622

(P2009-268622A)

(43) 公開日 平成21年11月19日(2009.11.19)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
A 6 1 B 8/08 (2006.01)	A 6 1 B 8/08	2 F 0 6 8
G 0 1 S 15/89 (2006.01)	G 0 1 S 15/89	2 G 0 4 7
G 0 1 N 29/00 (2006.01)	G 0 1 N 29/00	4 C 6 0 1
G 0 1 B 17/04 (2006.01)	G 0 1 B 17/04	5 J 0 8 3

審査請求 未請求 請求項の数 14 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2008-120326 (P2008-120326)	(71) 出願人	504171134
(22) 出願日	平成20年5月2日 (2008.5.2)		国立大学法人 筑波大学
			茨城県つくば市天王台一丁目1番1
		(71) 出願人	000001007
			キヤノン株式会社
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号
		(74) 代理人	100085006
			弁理士 世良 和信
		(74) 代理人	100100549
			弁理士 川口 嘉之
		(74) 代理人	100106622
			弁理士 和久田 純一
		(74) 代理人	100131532
			弁理士 坂井 浩一郎

最終頁に続く

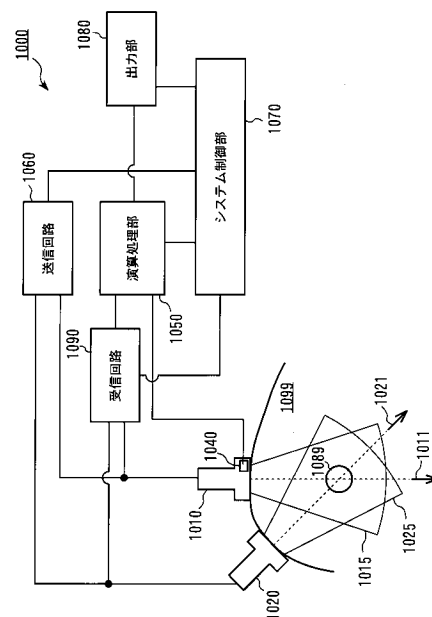
(54) 【発明の名称】 超音波測定装置

(57) 【要約】

【課題】測定対象物に関して、一方向の変位や歪みに関する情報のみならず、複数方向の歪みに関する情報を出力することのできる超音波測定装置を提供する。

【解決手段】超音波測定装置は第1及び第2の超音波プローブを有する。情報取得部が、測定対象物に加わる力もしくは測定対象物の変形量の時間変化が増加期間であるか減少期間であるかに関する情報を取得する。第1の超音波プローブは、2つのプローブの超音波送信領域の重複箇所に位置する測定対象物によって反射された超音波を受信して、第1の受信データを生成する。第2の超音波プローブは、同様に第2の受信データを生成する。演算処理部は、第1の受信データの内、増加期間あるいは減少期間のいずれか一方の期間におけるデータを用いて、測定対象物の第1の方向に関する第1の変位関連情報を演算し、第2の受信データの内、第1の変位関連情報を演算するために用いた期間と同じ期間におけるデータを用いて、測定対象物の第2の方向に関する第2の変位関連情報を演算する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

超音波測定装置であって、

第 1 の超音波プローブと第 2 の超音波プローブを少なくとも含む複数の超音波プローブと、

測定対象物に加わる力もしくは測定対象物の変形量の時間変化が、増加傾向を示す増加期間であるか、または前記時間変化が減少傾向を示す減少期間であるかに関する情報を取得する情報取得部と、

前記第 1 及び第 2 の超音波プローブに、超音波を送信するための信号を入力する送信回路と、

前記第 1 及び第 2 の超音波プローブが超音波を受信することにより生成する信号を受信する受信回路と、

演算処理部と、

出力部と、

前記送信回路と前記受信回路と前記演算処理部と前記出力部とを制御するシステム制御部と、を備え、

前記第 1 の超音波プローブは、該第 1 の超音波プローブの超音波送信領域と前記第 2 の超音波プローブの超音波送信領域との重複箇所に位置する前記測定対象物によって反射された超音波を受信して、第 1 の受信データを生成し、

前記第 2 の超音波プローブは、前記重複箇所に位置する前記測定対象物によって反射された超音波を受信して、第 2 の受信データを生成し、

前記演算処理部は、

前記第 1 の受信データの内、前記増加期間あるいは前記減少期間のいずれか一方の期間におけるデータを用いて、前記測定対象物の第 1 の方向に関する第 1 の変位関連情報を演算し、且つ

前記第 2 の受信データの内、前記第 1 の変位関連情報を演算するために用いた期間と同じ期間におけるデータを用いて、前記測定対象物の第 2 の方向に関する第 2 の変位関連情報を演算し、

前記出力部は、前記第 1 及び第 2 の変位関連情報を用いて前記測定対象物の情報を出力することを特徴とする超音波測定装置。

【請求項 2】

前記情報取得部は、圧力センサ、速度センサ、加速度センサ、あるいは位置センサによって、前記測定対象物に加わる力もしくは前記測定対象物の変形量の時間変化を検知することを特徴とする請求項 1 に記載の超音波測定装置。

【請求項 3】

前記情報取得部は、前記第 1 の受信データあるいは前記第 2 の受信データから、前記測定対象物の変形量の時間変化を算出することを特徴とする請求項 1 に記載の超音波測定装置。

【請求項 4】

前記測定対象物に対して力を加える圧迫手段を有する請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の超音波測定装置。

【請求項 5】

前記圧迫手段は、前記第 1 及び第 2 の超音波プローブの間、若しくは前記複数の超音波プローブの形成する多角形の内側に位置することを特徴とする請求項 4 に記載の超音波測定装置。

【請求項 6】

前記複数の超音波プローブは治具により相対的に固定されており、且つ前記圧迫手段は前記第 1 及び第 2 の超音波プローブの中間、または前記多角形の中心若しくは重心に位置することを特徴とする請求項 5 に記載の超音波測定装置。

【請求項 7】

前記変位関連情報とは、前記測定対象物の変位、歪みあるいは弾性係数に関する情報のことである請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の超音波測定装置。

【請求項 8】

前記第 1 の超音波プローブの超音波送信領域と前記第 2 の超音波プローブの超音波送信領域とが前記重複箇所を有しているか否かの情報を出力する手段を有することを特徴とする請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の超音波測定装置。

【請求項 9】

前記第 1 の超音波プローブの超音波の音線と前記第 2 の超音波プローブの超音波の音線とが、互いに交差しているか否かの情報を出力する手段を有することを特徴とする請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の超音波測定装置。

10

【請求項 10】

前記システム制御部は、前記第 1 及び第 2 の超音波プローブが交互に超音波を送受信するように、前記送信回路及び前記受信回路を制御することを特徴とする請求項 1 から 9 のいずれか 1 項に記載の超音波測定装置。

【請求項 11】

前記システム制御部は、前記第 1 及び第 2 の超音波プローブが互いに異なる周波数の超音波を送受信するように、前記送信回路及び前記受信回路を制御することを特徴とする請求項 1 から 9 のいずれか 1 項に記載の超音波測定装置。

【請求項 12】

前記演算処理部は、前記第 1 の方向と前記第 2 の方向の相対関係に基づいて、前記第 1 及び第 2 の変位関連情報から多次元の変位関連情報を生成し、前記出力部に出力することを特徴とする請求項 1 から 11 のいずれか 1 項に記載の超音波測定装置。

20

【請求項 13】

前記第 1 及び第 2 の超音波プローブの相対的な位置と向きに関する情報を取得するセンサを備え、

前記演算処理部は、該センサから取得される情報を用いて、前記第 1 の方向と前記第 2 の方向との相対関係を取得することを特徴とする請求項 12 に記載の超音波測定装置。

【請求項 14】

前記演算処理部は、前記第 1 及び第 2 の方向から構成される座標系から直交座標系へと、前記第 1 及び第 2 の変位関連情報を座標変換することにより、前記多次元の変位関連情報を生成することを特徴とする請求項 12 または 13 に記載の超音波測定装置。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波を用いて測定対象物の断層像若しくは三次元像を取得する超音波測定装置に関し、特に、試料の歪特性や弾性特性を取得する超音波測定装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来一般的な超音波を用いて断層像を得る装置は、超音波を測定対象物（試料）に送信する送信部と、反射波を受信する受信部と、送受信波を走査するための走査手段と、受信した反射信号を輝度信号に変換、可視化するための手段によって構成されている。そして、これらの手段により取得された時系列断層画像を用いて試料の内部を観察することが行われている。また、上記装置の一つの形態においては、上記走査手段によって超音波を上下左右に走査し三次元像を得ることも行われている。

40

【0003】

最近では、試料の表面を圧迫することによって人為的に試料内部に歪を生じさせ、超音波信号の処理によって歪を計測する方法や、ヤング率等の弾性係数を画像化する方法も検討されてきている。

【0004】

特許文献 1 においては、試料を縦方向に圧迫し各点の相対位置変化を測定することによ

50

って試料の弾性特性を測定することが記載されている。また、弾性体である試料が自ら動きを持つ場合には、上記圧迫動作を行うことなく超音波信号の処理のみによって歪を計測することが可能となっている。

【０００５】

また、特許文献２には、心筋の厚み変動を心臓壁の２点の相対位置変動に基づいて計測する方法が開示されている。

【特許文献１】米国特許第５，１７８，１４７号明細書

【特許文献２】特開平９－３１３４８６号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

10

【０００６】

前記特許文献１及び２において開示されている技術の共通する点は、一つの超音波プローブによって得られた超音波信号を演算することにより試料内各点の位置ずれ量（変位）を測定していることである。そして、前述の文献によれば、試料の圧迫及び超音波信号の測定は一方向に関してのみ行われている。

【０００７】

試料の変位や歪が、圧迫方向（例えば、超音波の送受信方向）にのみ生ずる場合には、前述のように一つの超音波プローブによる測定で精度の高い情報が得られるが、実際には、試料は圧迫方向と異なる方向にも変位したり、歪む場合が多い。

【０００８】

20

従って、上記従来例を用いて圧迫方向と異なる方向にも歪む試料を測定した場合等には、当該試料の変位や歪みに関して十分な情報が得られていなかった。

【０００９】

そこで、本発明は、測定対象物に関して、一方向の変位や歪みに関する情報のみならず、複数方向の歪みに関する情報を出力することのできる超音波測定装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【００１０】

上記目的を達成するために本発明は、以下の構成を採用する。

【００１１】

30

本発明の超音波測定装置は、

第１の超音波プローブと第２の超音波プローブを少なくとも含む複数の超音波プローブと、

測定対象物に加わる力もしくは測定対象物の変形量の時間変化が増加傾向を示す増加期間であるか、または前記時間変化が減少傾向を示す減少期間であるかに関する情報を取得する情報取得部と、

前記第１及び第２の超音波プローブに、超音波を送信するための信号を入力する送信回路と、

前記第１及び第２の超音波プローブが超音波を受信することにより生成する信号を受信する受信回路と、

40

演算処理部と、

出力部と、

前記送信回路と前記受信回路と前記演算処理部と前記出力部とを制御するシステム制御部と、を備え、

前記第１の超音波プローブは、該第１の超音波プローブの超音波送信領域と前記第２の超音波プローブの超音波送信領域との重複箇所に位置する前記測定対象物によって反射された超音波を受信して、第１の受信データを生成し、

前記第２の超音波プローブは、前記重複箇所に位置する前記測定対象物によって反射された超音波を受信して、第２の受信データを生成し、

前記演算処理部は、

50

前記第 1 の受信データの内、前記増加期間あるいは前記減少期間のいずれか一方の期間におけるデータを用いて、前記測定対象物の第 1 の方向に関する第 1 の変位関連情報を演算し、且つ

前記第 2 の受信データの内、前記第 1 の変位関連情報を演算するために用いた期間と同じ期間におけるデータを用いて、前記測定対象物の第 2 の方向に関する第 2 の変位関連情報を演算し、

前記出力部は、前記第 1 及び第 2 の変位関連情報を用いて前記測定対象物の情報を出力する超音波測定装置である。

【発明の効果】

【0012】

10

本発明によれば、複数方向の変位や歪みに関する情報を出力することのできる超音波測定装置が提供される。

【0013】

特に、本発明は、第 1 及び第 2 の変位関連情報を共に増加期間のデータ（あるいは共に減少期間のデータ）から算出するため、測定対象物の弾性特性をより正確に反映した情報を得ることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0014】

まず、本発明の実施形態を説明するに際して、使用単語を定義する。

【0015】

20

「変位関連情報」とは、測定対象物の変位（位置の変化）そのもの、あるいは変位から算出される情報であり、「変位から算出される情報」には、たとえば、測定対象物の歪み、弾性係数、硬さ（柔らかさ）などが含まれる。これらの変位関連情報は、測定対象物の硬さ（変形しにくさ）に依存する量ということもできる。

【0016】

次に、本発明の実施形態に係る超音波測定装置を図面を用いて説明する。

【0017】

本実施形態では超音波測定装置の一例として、医用超音波診断装置の例を示しているが、本発明は、医用超音波診断装置に限らず、弾性体計測のための探傷用装置などのその他の装置にも適用できることはいうまでもない。

30

【0018】

図 1 は、本実施形態に係る超音波測定装置 1000 を説明するための模式図である。

【0019】

1010 は第 1 の超音波プローブであり、1020 は第 2 の超音波プローブである。各超音波プローブは複数の振動子を含み構成される。1015 は第 1 の超音波プローブ 1010 の超音波送信領域を示し、1011 は第 1 の超音波プローブ 1010 の超音波の音線方向を示している。また、1025 は第 2 の超音波プローブ 1020 の超音波送信領域を示し、1021 は第 2 の超音波プローブ 1020 の超音波の音線方向を示している。図 1 の例では、音線が交差し、且つ超音波送信領域 1015 と 1025 とが一部で重複するように、第 1 及び第 2 の超音波プローブ 1010、1020 が配置されている。超音波測定装置 1000 は、超音波送信領域 1015 と 1025 の重複箇所に位置する測定対象物 1089（たとえば、腫瘍、しこり、臓器など）について、変位関連情報を測定することができる。

40

【0020】

1040 は、測定対象物 1089 に加わる力あるいは測定対象物の変形量の時間変化が増加傾向を示す増加期間であるか、あるいは前記時間変化が減少傾向を示す減少期間であるかに関する情報を取得する情報取得部である。

【0021】

図 2 は、情報取得部が出力する情報（信号）の一例を示している。図 2 の縦軸は測定対象物に加わる力もしくは測定対象物の変形量を示し、横軸は時間を示している。なお、測

50

定対象物の変形量は、測定対象物上に設定された点（たとえば重心、端点など）や境界線の変位量として捉えてもよいし、測定対象物の高さや幅の変化量として捉えることもできる。図2における t_0 から t_1 が増加期間、 t_1 から t_2 が減少期間、 t_2 から t_3 が増加期間である。変位関連情報を測定する際は、超音波プローブあるいは別途設けられた圧迫手段によって、人体1099の外側から測定対象物1089に対し間接的に周期的な力を加えることで、測定対象物1089を周期的に変形させる。ただし、心臓の心筋運動などのように外部からの加圧力が無くても周期的な変形をしている物を測定する場合には、外部から力を加える必要はない。

【0022】

1060は、第1及び第2の超音波プローブ1010、1020に、超音波を送信するための信号を入力する送信回路である。1090は、第1及び第2の超音波プローブ1010、1020が超音波を受信することにより生成する信号を受信する受信回路である。受信回路1090は、超音波プローブで受信した反射信号を増幅し、各素子の信号に対して適当な遅延量制御を行った後、整相加算を行う。1050は、後述する演算処理を行なうための演算処理部である。1080は、演算処理部1050により得られた情報を出力するための出力部であり、例えばディスプレイである。1070は、送信回路1060と受信回路1090と演算処理部1050と出力部1080とを制御するためのシステム制御部である。システム制御部1070は、例えば送信回路1060と受信回路1090の送受信タイミングの制御や送受信周波数の制御を行うものである。

【0023】

第1の超音波プローブ1010は、超音波送信領域1015、1025の重複箇所に位置する測定対象物1089によって反射された超音波を受信して、第1の受信データを生成する。また、第2の超音波プローブ1020は、測定対象物1089によって反射された超音波を受信して、第2の受信データを生成する。第1及び第2の受信データは演算処理部1050にそれぞれ入力される。

【0024】

演算処理部1050は、前記第1の受信データの内、増加期間あるいは減少期間のいずれか一方の期間におけるデータを用いて、測定対象物1089の第1の方向に関する第1の変位関連情報を演算する。更に、演算処理部1050は、第2の受信データの内、第1の変位関連情報を演算するために用いた期間と同じ期間におけるデータを用いて、測定対象物1089の第2の方向に関する第2の変位関連情報を演算する。たとえば、演算処理部1050は、図2の t_0 から t_1 の増加期間において得られた受信データを用いて第1の変位関連情報を演算したら、第2の変位関連情報も t_0 から t_1 の増加期間において得られた受信データから演算するのである。具体的には、時刻 t_0 から t_1 の範囲内の互いに異なる時刻に受信した受信データから変位を求めることができる。そして、必要に応じて、変位から歪みを求めたり、当該測定対象物に加わる力が分かれば弾性係数を求めることもできる。ここで、第1の方向は、第1の超音波プローブ1010から発信される超音波の進行方向であり、典型的には音線方向1011に一致する。また、第2の方向は、第2超音波プローブ1020から発信される超音波の進行方向であり、典型的には音線方向1021に一致する。なお、前記第1及び第2の変位関連情報は互いに共通する傾向を示す期間内同士で求めることができる。つまり、「第1の変位関連情報を演算するために用いた期間と同じ期間におけるデータ」には、前記第1の変位関連情報を時刻 t_0 から t_1 の範囲で求めて、前記第2の変位関連情報を時刻 t_0 から t_1 に含まれる期間の一部のデータを用いて取得する場合をも含む。また、増加期間と減少期間との境界に位置する時刻は、両方の期間に含まれるものとする。

【0025】

そして、出力部1090は、前記第1及び第2の変位関連情報を用いて測定対象物1089の情報を出力する。具体的には、出力部1090は、第1及び第2の変位関連情報を同時に出力することもできるし、選択的に一方の変位関連情報のみを出力することもできる。さらに、出力部1090は、第1及び第2の変位関連情報に基づき生成した多次元の

変位関連情報を出力することもできる。変位関連情報は、数値データの形式で出力することもできるし、画像情報の形式で出力することも可能である。また、出力部 1090 は、変位関連情報を、受信データから生成された超音波断層像（B モード像など）に合成（オーバーラップ）表示することができる。たとえば、超音波断層像中の測定対象物 1089 の該当位置に数値データを表示したり、変位、歪み、弾性係数などの数値の大きさを擬似色で表した超音波断層像を表示したりすることができる。このような出力結果により、人体 1099 の内部にある測定対象物 1089（腫瘍など）の歪特性や弾性特性を容易に検査でき、診断に役立てることができる。

【0026】

第 1 の超音波プローブ 1010 の送受信と第 2 の超音波プローブ 1020 の送受信が異なるタイミングで行われる場合、厳密には異なる時刻に受信した第 1 及び第 2 の受信データを用いざるを得ない。このような場合に、本実施形態では、増加期間に得られた受信データと減少期間に得られた受信データとを混在して用いることを禁止し、必ず同じ（もしくは同じ種類の）期間において得られた受信データから変位関連情報を演算する。これにより、測定対象物 1089 の変形状態や挙動が共通する受信データから各方向の変位を算出することができ、極めて有用性の高い、高精度な歪情報及び弾性パラメータ情報が得られる。

【0027】

なお、不図示の治具で予め第 1 及び第 2 の超音波プローブが固定され、両者の位置関係（プローブの相対位置と向き）が分かっている場合には、特定の二方向に関する歪み情報が得られることになる。勿論、超音波プローブが治具により固定されていない場合であっても、例えばそれぞれの超音波プローブに、その位置や向きに関する情報を出力するセンサを備えさせておけば、当該センサからの情報を用いて、所定方向に関する歪み情報に変換することができる。詳細は後述する。

【0028】

なお、増加期間の受信データのみを用いる場合に、各プローブからの超音波の送信は以下のように行うことが可能である。i) 増加期間か減少期間かにかかわらず、常時、超音波信号の送信及び受信を行う。そして、演算処理部 1050 が増加期間の受信データのみを処理の対象として抽出する。ii) 増加期間か減少期間かにかかわらず、常時、超音波信号は送信する。ただし、受信は、前記第 1 及び第 2 の超音波プローブ共に、増加期間でしか行わない。iii) 増加期間においてしか、第 1 及び第 2 の超音波プローブによる超音波信号の送信及び受信を行わない。なお、減少期間の受信データのみを用いる場合についても、同様に考えることができる。勿論、本発明は、これら i)、ii)、iii) に記載した超音波信号の送受制御に限定されるものではない。

【0029】

（第 1 及び第 2 の超音波プローブ）

本発明においては、2 以上の複数の超音波プローブを備えていれば良く、使用する周波数帯域としては、例えば 1 MHz から 15 MHz である。

【0030】

超音波プローブ同士が治具などで相対的に固定されている構成では、プローブ同士の相対的な位置関係情報（相対位置とプローブの向きに関する情報）は、予めわかっている。ただし、プローブの配置に関して高い自由度を確保するという点からは、プローブにセンサを設けておき、当該センサからの情報を用いて前述の位置関係情報を取得することが望ましい。ここでいうセンサには、6 軸方向の情報を取得できる磁気センサや光学センサやエンコーダなどが含まれる。特に、センサの精度は 1 mm 以下であることが好ましい。

【0031】

また、超音波プローブ同士が治具により固定されていない場合は、両者の測定領域（図 1 の 1015, 1025）や音線方向が交差していることを前述のセンサを用いて確認したりすることは望ましい形態である。

【0032】

10

20

30

40

50

超音波プローブ同士を治具により固定する場合には、複数のプローブは各々、 n 回対称（ n は2以上の整数）な位置に配置されているのがよい。非対称配置はプローブの位置精度に対する非対称性を招き、誤差論上不利だからである。

【0033】

また、複数のプローブの相対位置は、例えば10mm以上（400mm以下）離れているように固定しておくことも望ましい形態である。相対位置が近すぎると精度上の問題が生じるためである。また複数のプローブを用いる効果が薄れるからである。

【0034】

これらの超音波プローブを用いることにより、同定された方向に関する測定対象の変位情報、歪み情報の取得が可能となる。なお、測定対象に対して加える圧力の情報を用いれば、変位情報と圧力情報とから弾性係数に関する情報の取得も可能である。

【0035】

複数の超音波プローブを使用する超音波測定装置においては、受信時の混信などを防ぐために、それぞれのプローブから出力される超音波の周波数を異ならせることもできる。受信信号から周波数分離により、いずれのプローブから出力された超音波により生じた信号であるかを同定できれば、誤った信号処理が回避できるからである。このように互いに異なる周波数で超音波の送受を行うことは、予め設定しておいてもよい。あるいはシステム制御部1070が、第1及び第2の超音波プローブが互いに異なる周波数の超音波を送受信するように、送信回路1060及び受信回路1090を制御することもできる。

【0036】

また、受信時の混信は、プローブ同士の超音波送信領域が重複している場合に生じると考えられ、当該混信回避の為に、超音波プローブによる超音波の送受信を図10に示すように、交互に行うことが考えられる。一方、それぞれのプローブで取得された受信信号を元に測定対象物の断層像を生成し表示している場合には、複数のプローブ間の信号の送受を図10のように交互に行うと、必然的にフレームレートを落とさざるを得ず、滑らかな画像表示が難しい。そのため、複数の超音波プローブを使って多次元の歪みに関する情報を取得する時、即ち、プローブ同士の測定領域を重複させて信号の送受を行う際に、選択的に図10のようにプローブ間で交互の信号送受を行う構成にすることも可能である。そして、多次元の歪みに関する情報を取得する必要が無い場合や、プローブ同士の超音波送信領域が重複していない場合には、フレームレートを高めるべく、一つのプローブのみで、フレームレートの高い画像情報を取得することができる。具体的なフローを図11に示す。まず、第1の及び第2の超音波プローブの相対位置と向きに関する情報を取得する（S1）。そして、第1及び第2の超音波プローブの送信領域を入力し（S2）、互いの超音波送信領域が重複しているか否かを判断する（S3）。重複している場合には（S3；YES）、2本のプローブを送信タイミングをずらして用いる（S4）。一方、重複していない場合には（S3；NO）、2本のプローブの一方を用いて送受信する（S5）。各プローブによる超音波の送信タイミングは、システム制御部1070によって制御可能である。

【0037】

演算処理部1050が、前記第1の方向と前記第2の方向の相対関係に基づいて、前記第1及び第2の変位関連情報から多次元の変位関連情報を生成し、出力部1080に出力することができる。前述のように第1及び第2の超音波プローブ1010、1020の相対的な位置と向きに関する情報を取得するセンサを備えている場合、演算処理部1050は、該センサから取得される情報を用いて、第1の方向と第2の方向との相対関係を取得できる。演算処理部1050は、前記第1及び第2の方向から構成される座標系（斜行座標系）から直交座標系へと、第1及び第2の変位関連情報を座標変換することにより、多次元の変位関連情報を生成することができる。なお、第1及び第2の超音波プローブが、後述する実施例のように、プローブの位置と向きに関する情報を出力するためのセンサを備えていることは好ましい形態である。

【0038】

なお、第1の超音波プローブ1010の超音波送信領域1015と第2の超音波プローブ1020の超音波送信領域1025とが重複箇所を有しているか否かの情報を出力する手段（例えば、画面表示や通知音である）を有することも好ましい形態である。また、第1の超音波プローブ1010の超音波の音線1011と第2の超音波プローブ1020の超音波の音線1021とが、互いに交差しているか否かの情報を出力する手段（例えば、画面表示や通知音である）を有することも好ましい形態である。このような情報を出力することで、プローブの位置や向きが、多次元の変位関連情報を測定するのに適切か否かを操作者に知らせることができ、操作性の向上を図ることができる。なお、超音波送信領域が重複しているか否か、及び、音線が交差しているか否かは、演算処理部1050が、プローブの位置と向きに関する情報に基づいて判定することができる。

10

【0039】

（情報取得部）

情報取得部1040は、圧力センサ、速度センサ、加速度センサ、あるいは位置センサで構成可能である。たとえばプローブ（あるいは圧迫手段）に圧力センサを設けることで、プローブ等が人体1099を押圧する力を検知することができるため、測定対象物1089に加わる力の時間変化を間接的に検知可能となる。同様に、プローブ等に速度センサ、加速度センサ、位置センサなどを設けることで、プローブ等の変位を検知でき、測定対象物1089の変形量の時間変化を間接的に検知することができる。

【0040】

なお、情報取得部は、第1の受信データあるいは第2の受信データから、測定対象物の変形量の時間変化を算出することも可能である。すなわち、異なる時刻の受信データを解析することにより、測定対象物の変位量（変形量）を取得することができる。あるいは、受信データから生成された画像情報（エコー像）を解析してもよい。たとえば、時系列画像の差分をとることで、測定対象物の変位量（変形量）を求めることができる。このように受信データに基づき増加期間か減少期間かを判断する場合、情報取得部は、演算処理部1050の一機能として実現される。

20

【0041】

（圧迫手段）

測定対象物1089に対して力を加える為の圧迫手段を、第1及び第2の超音波プローブ1010、1020とは別に設けることができる。勿論、圧迫手段として、第1及び第2の超音波プローブ1010、1020の一方あるいは両方を利用することもできる。

30

【0042】

圧迫手段を前記超音波プローブとは別に設ける場合には、第1及び第2の超音波プローブ1010、1020の間に配置することができる。3つ以上の超音波プローブを用いる場合には、それらの超音波プローブの形成する多角形の内側に圧迫手段を配置することが好ましい形態である。斯かる配置は、圧迫による各プローブの測定変位量がほぼ等しくなり、測定精度を向上させる効果がある。

【0043】

また、複数の超音波プローブが治具により相対的に固定されている場合には、前記圧迫手段は前記第1及び第2の超音波プローブの中間、または上記3つ以上の超音波プローブで構成される多角形の中心若しくは重心に配置することができる。勿論、圧迫手段は、複数具備されていてもよい。

40

【0044】

次に、具体的な実施例を詳細に説明する。

【0045】

（実施例1）

以下、実施例1では試料（測定対象物）を圧迫することによって試料の弾性特性を計測する方法について説明する。

【0046】

図3は実施例1の超音波測定装置の概略図である。図3を使用し信号の流れを以下説明

50

する。超音波測定装置は、複数の超音波プローブ 1 a、1 b、1 c、送信回路系 6、受信回路系 7、プローブ位置処理系 8、断層信号処理系 9、変位信号処理系 10、画像処理系 11、画像表示装置 12、システム制御部 13、圧迫データ処理部 17 を備える。なお、図 3 における変位信号処理系 10 が、上述の実施形態における演算処理部に該当する。

【0047】

図 3 において、システム制御部 13 によって送信回路系 6 に超音波送信の命令が転送され、送信回路系 6 から超音波プローブ 1 a、1 b、1 c に超音波信号が送信される。超音波プローブ 1 a、1 b、1 c は試料 2 に超音波を照射し、反射した超音波を受信する。この際、超音波プローブ 1 a、1 b、1 c それぞれの 6 軸位置は各超音波プローブ 1 a、1 b、1 c に取り付けられた位置センサ 5 a、5 b、5 c によって随時検出されている。受信された超音波信号及び超音波プローブ位置信号はそれぞれ受信回路系 7、プローブ位置処理系 8 によって処理される。また、プローブ位置処理系 8 によって処理された各プローブ位置は受信回路系 7 に入力され、超音波信号の補正に使用される。さらに、プローブ 1 a には圧力センサ 16 が取付けられており、プローブ 1 a に加えられる力の状態をモニタできるようにになっている。この圧力センサ 16 と圧迫データ処理部 17 が、上述した実施形態の情報取得部に該当する。

【0048】

次に受信信号は断層信号処理系 9 及び変位信号処理系 10 に入力され、断層信号生成処理、変位信号処理がなされる。断層信号処理系 9 は、得られた超音波信号を包絡線検波し、その強度を輝度信号として画像処理系 11 に入力する。変位信号処理系 10 は試料中の各点に対応する超音波信号の時間変動を変位信号として演算処理し、輝度信号もしくは色信号として画像処理系 11 に入力する。これら処理結果は画像処理系 11 に入力され画像表示装置 12 によって断層信号及び変位信号が表示される。

【0049】

次に試料の弾性特性を計測するプロセス及び変位信号処理系 10 の処理プロセスについて説明する。図 4 は本実施例にかかる超音波測定装置のプローブ部分を拡大した図である。本実施例の超音波測定装置は、3 つのプローブ 1 a、1 b、1 c を有しており、これらプローブより試料 2 に超音波の照射を行っている。試料の弾性特性の計測は、試料に歪を生じさせることによって実現される。本実施例においては、プローブ 1 a により試料を圧迫し、圧迫前及び圧迫後の試料中各点の移動を測定することによって試料の変位や歪を演算する。さらに圧力センサ 16 によって測定された圧力を圧迫データ処理部 17 によって解析することによって、加えられた圧力が増加傾向にあるか減少傾向にあるかを判別している。

【0050】

試料中各点の歪量は、3 本の超音波プローブ 1 a、1 b、1 c によって取得された試料からの反射超音波信号を処理することによって求めることができる。信号処理の概念を図 5 を用いて説明する。図 5 では圧迫動作前後の試料の動きと、各々の超音波信号を示している。試料中に 2 a の如く周囲と音響インピーダンス、弾性パラメータの異なる物質が存在する場合、超音波プローブ 1 a によって得られる信号は 15 a の如く物質界面にて強い反射信号を伴う。試料圧迫前と圧迫後に其々の超音波信号 15 a、15 b を取得すると、界面間の距離 L 、 L' を測定することができる。従って超音波プローブ 1 a によって得られる歪量は $(L - L')$ のように求めることができる。同様にプローブ 1 b、1 c についても同様の演算によって各軸方向の歪を求めることができる。

【0051】

実際の信号処理においては信号の位相変化もしくは得られた画像の処理によって歪量を演算するが、本実施例では信号処理方法としては自己相関法と呼ばれる方法を用いて説明する。空間相関法もしくはその他の演算処理を用いてもほぼ同様の結果を得ることができる。自己相関法は異なる二つの時間における超音波信号の位相差を計測するものであり、特開平 5-161647 号公報によれば下記の原理による。

【0052】

10

20

30

40

50

散乱体から反射してくる超音波受信信号 $S_1(t)$ は、次の(1)式で表される。ここに、 $A_1(t)$ は振幅、 $\phi_1(t)$ は位相、 ω_0 は送信信号の角周波数を示す。

$$S_1(t) = A_1(t) \exp[-j(\omega_0 t + \phi_1(t))] \quad \dots (1)$$

【0053】

散乱媒質全体が x だけ変位したときの受信信号を $S_2(t)$ とすると、これは次の(2)式で表される。

$$S_2(t) = S_1(t - t) = A_1(t - t) \exp[-j(\omega_0 \cdot (t - t) + \phi_1(t - t))] \quad \dots (2) \quad 10$$

【0054】

ここで、 t は散乱媒質が x だけ変位したときの伝搬時間差(変位時間)であり、次の(3)式で表される。ただし、 c は音速である。

$$t = 2 \cdot x / c \quad \dots (3)$$

【0055】

この受信信号 $S_1(t)$ 、 $S_2(t)$ を角周波数 ω_0 で直交検波した出力をそれぞれ $I_1(t)$ 、 $Q_1(t)$ 、 $I_2(t)$ 、 $Q_2(t)$ とすると、位相 $\phi_1(t)$ 、 $\phi_2(t)$ は次の(4)、(5)式で与えられる。

$$\begin{aligned} \phi_1(t) &= \phi_1(t) \\ &= \tan^{-1}(Q_1(t) / I_1(t)) \quad \dots (4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi_2(t) &= \phi_1(t - t) + \omega_0 t \\ &= \tan^{-1}(Q_2(t) / I_2(t)) \quad \dots (5) \end{aligned}$$

【0056】

従って、変位前後の両者の位相差 $\Delta\phi$ は、次の(6)式で与えられる。

$$\begin{aligned} \Delta\phi &= \phi_2(t) - \phi_1(t) \\ &= \phi_1(t - t) - \phi_1(t) + \omega_0 t \\ &= \tan^{-1}(Q_1(t) / I_1(t)) \\ &\quad - \tan^{-1}(Q_2(t) / I_2(t)) \quad \dots (6) \end{aligned}$$

【0057】

ここで、 $\phi_1(t - t)$ は $\phi_1(t)$ にほぼ等しいことから、(6)式は次の(7)式となる。

$$\begin{aligned} x &= (c / 2 \omega_0) \\ &= (c / 2 \omega_0) \{ \tan^{-1}(Q_1(t) / I_1(t)) - \tan^{-1}(Q_2(t) / I_2(t)) \} \quad \dots (7) \end{aligned}$$

【0058】

従って、変位量 x は超音波信号を(7)式を用いた処理を行うことによって容易に求められる。

【0059】

次に試料中各点の移動より歪量を求める方法について説明する。圧迫による試料中各点

20

30

40

50

の移動は3本の超音波プローブ1a, 1b, 1cによって計測される。図6は図4における、超音波プローブ面と各プローブの視野及びある計測点を模式的に示したものである。超音波プローブ1a, 1b, 1cの各プローブ面を3a, 3b, 3c、一つの計測点を4aとする。各超音波プローブ面から試料中の1点に向かう音線によって形成される座標系は斜交座標系であり、各プローブによって計測される点の三次元的な移動は上記(1)～(7)式の演算を用いて斜交座標系上の射影として記録される。ここで、各プローブの相対位置が6軸センサ5a, 5b, 5cによって随時計測されている為、座標変換によって直交座標系に変換することができる。また、変換の容易さ及び使い勝手を考慮すると斜交座標系、直交座標系の一つの軸が圧迫手段の圧迫方向、もしくはいずれかのプローブの中心軸に一致することが望ましい。

10

【0060】

従って本実施例によれば、試料中各点の移動を3次的に計測することができ、それに伴い歪量Sも以下の式にて求めることができる。

【数1】

$$S = \begin{bmatrix} \partial/\partial x & 0 & 0 \\ 0 & \partial/\partial y & 0 \\ 0 & 0 & \partial/\partial z \\ 0 & \partial/\partial z & \partial/\partial y \\ \partial/\partial z & 0 & \partial/\partial x \\ \partial/\partial y & \partial/\partial x & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \end{bmatrix} \quad \dots (8)$$

20

u_x, u_y, u_z は試料中各点の変位量を示す。つまり式(8)の処理を試料中の必要な領域に対して行うことによって、領域の歪量分布を精確に知ることが可能となる。

【0061】

試料の弾性係数分布は下式の通り試料内部の歪分布と応力分布から求められる。

$$T = C : S \quad \dots (9)$$

30

【0062】

しかしながら試料内部の応力分布Tを直接計測することは現状では困難である為、歪分布と試料圧縮の際の境界条件から逆問題的に弾性係数分布を計算することとなる。また、幾つかの仮定を置くことにより弾性係数分布を計算する方法も試みられている。以下に弾性係数分布を求める手法の一例を示す。

【0063】

応力分布を求める際に無限均質媒体の無限一様応力場を仮定した場合には、以下の式が成り立つ。

【数2】

$$\begin{bmatrix} T_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = C : S \quad \dots (10)$$

40

【0064】

T_1 は超音波プローブに圧力センサを付加することにより測定可能である。従って弾性

50

係数 C も求めることが可能である。また応力場が有限長である場合においても均質媒体である場合には応力分布式を理論的に計算することができる。つまり式 (10) において 0 とした $T_2 \sim T_6$ は T_1 の関数となる為、同様に応力場を計算することが可能である。

【0065】

以上の計算によって弾性係数 C を求めることができた為、ヤング率 E 、ポアソン比などの弾性パラメータは以下の式を用いて導くことが可能となる。

【数3】

$$E = C_{11} - \frac{2C_{12}^2}{C_{11} + C_{12}} \quad \dots (11)$$

10

$$\sigma = \frac{C_{12}}{C_{11} + C_{12}} \quad \dots (12)$$

【0066】

以上の方式に限らず、歪から弾性係数を導出する方法は試料が非圧縮であることを仮定する方法、有限要素法を用いた方法等考案されているが、何れの方法を用いても同様の演算によって弾性パラメータを導出できる。

【0067】

次に超音波信号の取得タイミングについて詳述する。超音波データの取得は圧迫動作中に取得される。取得可能な超音波データには、プローブ 1a, 1b, 1c の3種類及び圧迫前後の時系列データが存在する。本実施例では、データの取得は圧力の増加期間、もしくは減少期間のいずれかの期間でなされる。この状態を説明したものが図9である。図9では横軸に時間、縦軸に圧迫圧力を示している。図示するように、プローブ 1a, 1b, 1c の超音波データが交互に取得されていく。本方式の原理上、圧迫方向が反転する時点（つまり増加期間と減少期間が切り替わる時点）の前後のデータでは歪量の差が非常に小さく、有意なデータを取得することができない。よって、圧迫データ処理部 17 によって圧迫方向の判別を行い、圧迫方向が反転する際にはデータ取得を行わない。これにより常に良好な歪量計測が可能となる。

20

【0068】

以上述べたように本実施例によれば、超音波信号から試料の変位、歪、弾性パラメータを導出することが可能となる。

30

【0069】

上記方法を用いて歪及び弾性分布を求める場合には各超音波プローブの配置によって得られる精度が異なることに注意する必要がある。これは上に述べたように各超音波プローブの音線が形成される座標系は斜交座標系であるためであり、各超音波プローブの間隔が狭い場合大きな誤差を伴う。医用超音波診断装置であることを考慮した場合には、試料は人体であり観察深さは数mm～数十cm程度であるため、最大深さを20cm、精度の悪化を直交座標の5%までとすると、プローブ間隔は約10mm以上離れていることが好ましい。また、センサ 5a, 5b, 5c に要求される精度も同様に測定点の測定精度より小さいことが必要である。医用超音波装置の解像度が1mm以下であることから、センサ精度も1mm以下であることが望ましい。さらに各超音波プローブの計測誤差を最も小さくするには超音波プローブは3回対称であることが好ましい。

40

【0070】

以上の方法による歪及び弾性分布を求める方法では圧迫手段は一つのプローブであるが、二本、もしくは三本のプローブを同時もしくは交互に圧迫し、各々の圧迫によって得られた歪量から演算によって歪量を推定しても良い。平均値、最大、最小値、中央値等、対象に応じた演算結果を出力することが可能である。

【0071】

また、本実施例においては、増加期間か減少期間かを判定する目的にて圧力センサを用

50

いている。しかし、圧力センサに限らず速度センサ、加速度センサ、位置センサ等のセンサ、プローブ1a, 1b, 1cによる超音波信号の解析、ディスプレイ出力の解析等の方法によって圧迫方向を演算することによっても同様の効果を得ることができる。あるいは、プローブ間の位置及び向きを計測する目的にて配置されている位置センサ5a, 5b, 5cの出力を解析して、増加期間か減少期間かを判定することもできる。

【0072】

なお、本実施例においては超音波プローブが3本である場合について説明したが、4本またそれ以上の複数のプローブを用いた場合においても同様の類比演算によって同様の効果を得ることができる。プローブが2本である場合についても精度は落ちるものの等方性などの仮定を入れることによって同様の効果を得ることができる。また、各精度及び対称性に関しては本実施例から外れた場合には精度が落ちることとなるが同様の効果を得ることが出来る。

【0073】

(実施例2)

実施例2においては実施例1と異なる方法にて試料の歪を計測する方法を説明する。実施例1では試料を圧迫することによって試料の歪計測を行ったが、試料が自ら動く場合には測定点の移動を伴うため圧迫動作を行うことなく歪計測を行うことができる。たとえば、心臓や心臓周辺の部位は、心筋運動によって周期的に変形しているため、外部からの圧迫動作は不要である。このような場合、図3において超音波プローブ1a, 1b, 1cを動かすことなく歪計測を行う。また計測方法及び演算も実施例1と全く同じ方式であり、同様の効果を得ることが出来る。

【0074】

(実施例3)

実施例3においては実施例1と異なる圧迫手段を用いて弾性係数分布計測を行った例について説明する。図7に本実施例を用いた試料周辺の図を示す。実施例1と同様に超音波プローブ1a, 1b, 1c、位置センサ5a, 5b, 5c及び試料2が配置されているが、本実施例においてはプローブ以外に圧迫手段14が配置されている。超音波装置の全体システムは実施例1(図3)と同様である。測定時は、圧迫手段14で試料を圧迫し、圧迫前及び圧迫後の超音波信号を超音波プローブ1a, 1b, 1cによって取得する。また、各超音波プローブ1a, 1b, 1c及び圧迫手段14は対称性を持つことが最も測定精度が高くなる。よって、図8の上面図に示す如く、超音波プローブ1a, 1b, 1cを圧迫手段14を対称軸とする3回対称性を持つ配置とするのがよい。本実施例によっても実施例1と同様の歪量及び弾性量を取得することが可能となる。

【0075】

さらに実施例1と同様に十分に精度の高い計測を行うにはプローブ間隔は約10mm以上離れていることが必要であり、センサの精度は1mm以下が必要である。

【0076】

以上の方法による歪及び弾性分布を求める方法では圧迫手段は一つの圧迫手段であるが、二本、もしくは三本以上の圧迫手段もしくはプローブを同時もしくは交互に圧迫し、各々の圧迫によって得られた歪量から演算によって歪量を推定しても良い。平均値、最大、最小値、中央値等、対象に応じた演算結果を出力することが可能である。

【0077】

なお、本実施例においては超音波プローブが3本である場合について説明したが、2本、4本またそれ以上の複数のプローブを用いた場合においても同様の類比演算によって同様の効果を得ることが出来る。また、各精度及び対称性に関しては本実施例から外れた場合には精度が落ちることとなるが同様の効果を得ることが出来る。

【図面の簡単な説明】

【0078】

【図1】本発明の実施形態に係る超音波測定装置の構成を示す図。

【図2】測定対象物に加わる力又は測定対象物の変形量の、増加期間と減少期間を説明す

10

20

30

40

50

るための図。

【図 3】本発明の実施例 1、2、3 に係る超音波測定装置の構成を示す図。

【図 4】実施例 1、2 における、プローブの構成を示す図。

【図 5】プローブの圧迫動作と取得信号を説明する図。

【図 6】プローブ面と視野、測定点の関係を表した図。

【図 7】実施例 3 における、プローブ及び圧迫手段の構成を示す図。

【図 8】実施例 3 における、プローブ及び圧迫手段の配置を示す図。

【図 9】実施例 1 における圧迫動作と超音波データの取得タイミングを説明するための図

。

【図 10】複数のプローブの送受信タイミングを説明する図。

10

【図 11】プローブの送信タイミングを切り替える制御のフロー図。

【符号の説明】

【0079】

1 a、1 b、1 c 超音波プローブ

2、2 a 試料

3 a、3 b、3 c 超音波プローブ面

4、4 a 超音波プローブの作る視野と測定点

5 a、5 b、5 c 位置センサ

6 送信回路系

7 受信回路系

8 プローブ位置処理系

9 断層信号処理系

10 変位信号処理系

11 画像処理系

12 画像表示装置

13 システム制御部

14 圧迫手段

15 a、15 b 超音波信号

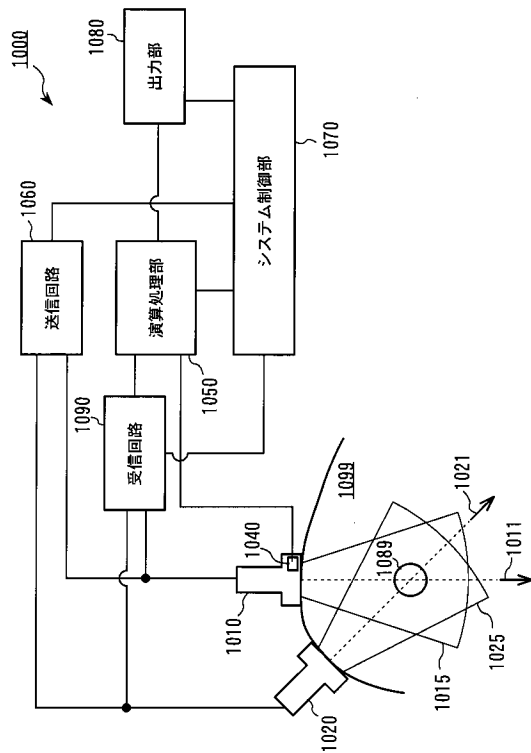
16 圧力センサ

17 圧迫データ処理部

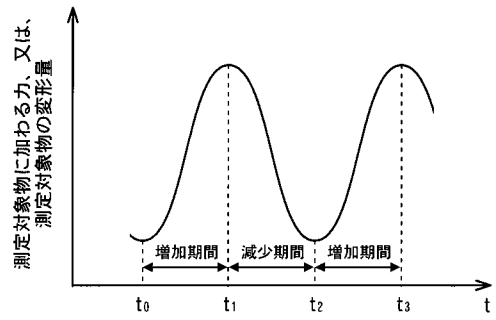
20

30

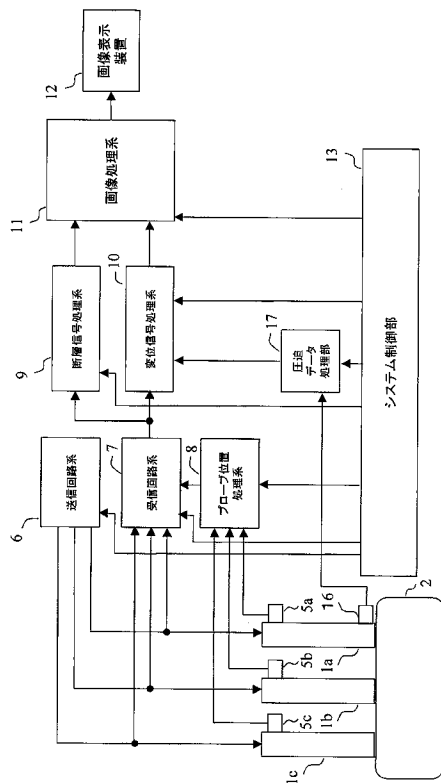
【図 1】



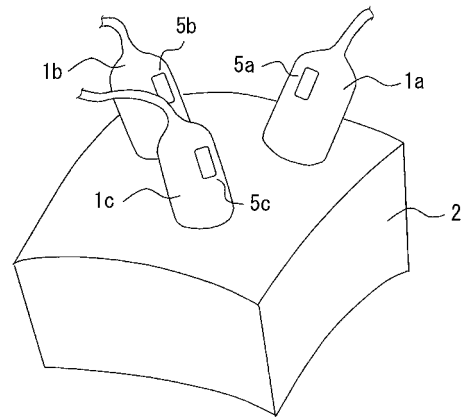
【図 2】



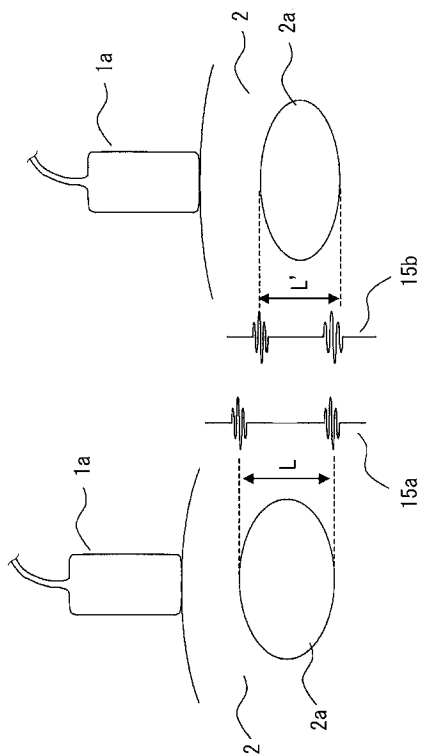
【図 3】



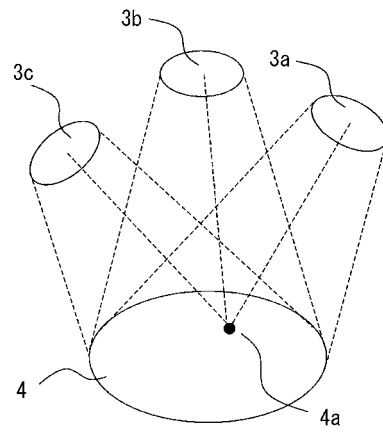
【図 4】



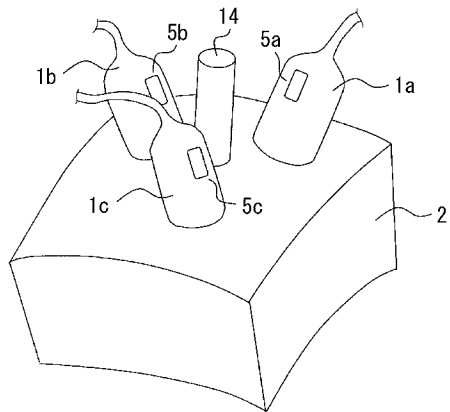
【図 5】



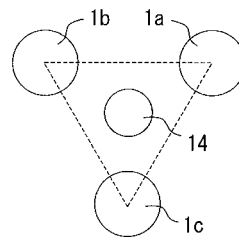
【図 6】



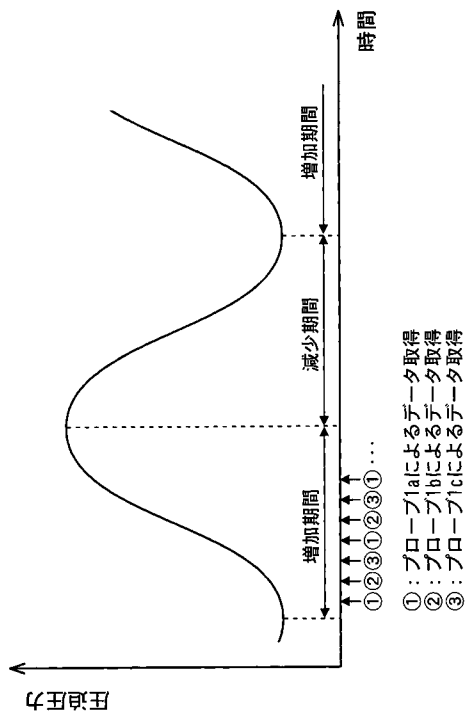
【図 7】



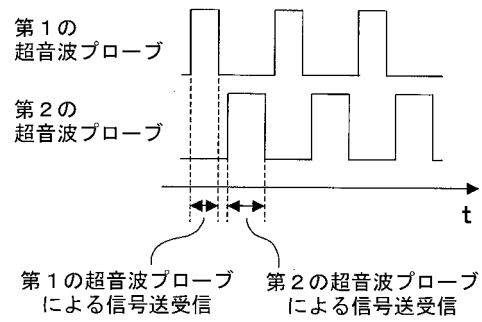
【図 8】



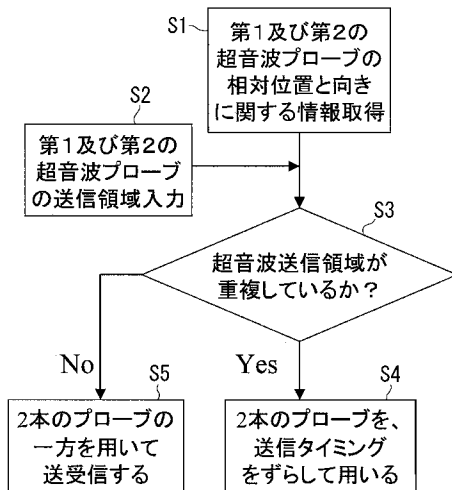
【図 9】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

(74)代理人 100125357

弁理士 中村 剛

(74)代理人 100131392

弁理士 丹羽 武司

(72)発明者 椎名 毅

茨城県つくば市天王台一丁目1番1 国立大学法人筑波大学内

(72)発明者 染田 恭宏

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

(72)発明者 長永 兼一

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

(72)発明者 及川 克哉

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

F ターム(参考) 2F068 AA04 AA45 BB10 CC07 DD11 FF03 FF12 JJ02 KK04 PP11

QQ44 RR02

2G047 AA12 AD08 BA03 BB04 BC13 BC18 BC20 EA08 EA10 GA14

GF11 GF21 GG27 GG47

4C601 BB02 DD15 DD19 DD23 EE05 EE09 GA25 GA30 HH06 HH35

JB45 JC13 KK30

5J083 AA02 AB17 AC30 AE08 EA18

专利名称(译)	超声波测量装置及其控制方法		
公开(公告)号	JP2009268622A5	公开(公告)日	2011-06-16
申请号	JP2008120326	申请日	2008-05-02
[标]申请(专利权)人(译)	国立大学法人筑波 佳能株式会社		
申请(专利权)人(译)	国立大学法人筑波 佳能公司		
[标]发明人	椎名毅 染田恭宏 長永兼一 及川克哉		
发明人	椎名 毅 染田 恭宏 長永 兼一 及川 克哉		
IPC分类号	A61B8/08 G01S15/89 G01N29/00 G01B17/04		
CPC分类号	A61B8/08 A61B8/4477 A61B8/485 G01S7/52042 G01S7/5209 G01S15/8913 G01S15/8993		
FI分类号	A61B8/08 G01S15/89.B G01N29/00 G01B17/04		
F-TERM分类号	2F068/AA04 2F068/AA45 2F068/BB10 2F068/CC07 2F068/DD11 2F068/FF03 2F068/FF12 2F068/JJ02 2F068/KK04 2F068/PP11 2F068/QQ44 2F068/RR02 2G047/AA12 2G047/AD08 2G047/BA03 2G047/BB04 2G047/BC13 2G047/BC18 2G047/BC20 2G047/EA08 2G047/EA10 2G047/GA14 2G047/GF11 2G047/GF21 2G047/GG27 2G047/GG47 4C601/BB02 4C601/DD15 4C601/DD19 4C601/DD23 4C601/EE05 4C601/EE09 4C601/GA25 4C601/GA30 4C601/HH06 4C601/HH35 4C601/JB45 4C601/JC13 4C601/KK30 5J083/AA02 5J083/AB17 5J083/AC30 5J083/AE08 5J083/EA18		
代理人(译)	川口义行 中村刚		
其他公开文献	JP5294687B2 JP2009268622A		

摘要(译)

解决的问题：提供一种超声波测量装置，该超声波测量装置不仅能够输出关于一个测量对象的在一个方向上的位移和应变的信息，而且能够输出在多个方向上的关于应变的信息。 超声测量装置具有第一和第二超声探头。 信息获取单元获取关于施加到测量目标的力的时间变化或测量目标的变形量是增加时段还是减少时段的信息。 第一超声探头接收位于两个探头的超声波通过区域的重叠部分的被测定物反射的超声波，生成第一接收数据。 第二超声探头类似地产生第二接收数据。 算术处理单元通过使用在第一接收数据的增加周期和减少周期之一中的数据来计算关于测量对象的第一方向的第一位移相关信息，并且 使用与两个接收数据中用于计算第一位移相关信息的时间段相同的时间段的数据，来计算与测量目标的第二方向有关的第二位移相关信息。 [选型图]图1