

(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2010-29241  
(P2010-29241A)

(43) 公開日 平成22年2月12日(2010.2.12)

(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	4 C 0 3 8
G 0 1 S	15/42 (2006.01)	G 0 1 S 15/42	4 C 6 0 1
A 6 1 B	5/107 (2006.01)	A 6 1 B 5/10 3 0 0 A	5 J 0 8 3
G 0 1 S	15/89 (2006.01)	G 0 1 S 15/89 B	

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 35 頁)

(21) 出願番号 特願2008-191695 (P2008-191695)  
(22) 出願日 平成20年7月25日 (2008.7.25)

(71) 出願人 000166247  
古野電気株式会社  
兵庫県西宮市芦原町9番52号  
(74) 代理人 100089196  
弁理士 梶 良之  
(74) 代理人 100104226  
弁理士 須原 誠  
(72) 発明者 魚留 篤  
兵庫県西宮市芦原町9番52号 古野電気株式会社内  
(72) 発明者 末利 良一  
兵庫県西宮市芦原町9番52号 古野電気株式会社内

最終頁に続く

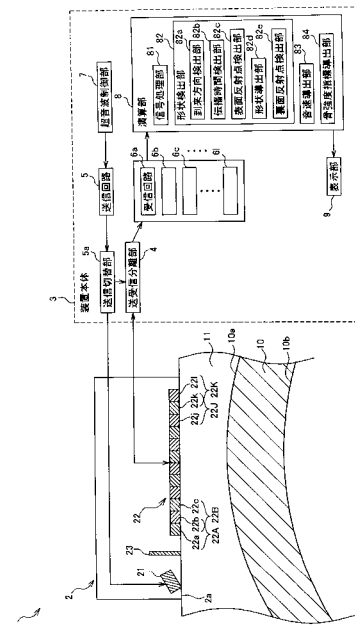
(54) 【発明の名称】 形状検出装置、形状検出方法、及び形状検出装置を用いた骨強度診断装置

(57) 【要約】

【課題】超音波の送波を行うための構成が簡易であって、測定時間の短い形状検出装置を提供する。

【解決手段】形状検出装置は、対象物10に対して複数の振動子22a~22から同時に超音波を送波する送波部と、対象物の表面10aからの表面反射波を複数の振動子22a~22により受波する受波部と、到来方向検出部82aと伝播時間検出部82bと表面反射点検出部82cと形状導出部82dとを備える。到来方向検出部82aは、複数の振動子22a~22のうち隣接する2つの振動子を1組の振動子組として、各振動子組に到達する表面反射波の到来方向を検出し、伝播時間検出部82bは、各振動子組に到達する表面反射波の伝播時間を検出する。表面反射点検出部82eは、各振動子組に到達する表面反射波の到来方向及び伝播時間を用いて、超音波の表面10a上の反射点を検出し、形状導出部82dは、検出された複数の反射点を用いて表面10aの形状を導出する。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

対象物に対して、複数の送波振動子から同時に超音波を送波する送波部と、  
前記送波部から送波された前記超音波の、前記対象物の表面からの表面反射波を、複数の受波振動子により受波する受波部と、

前記複数の受波振動子のうち近接する 2 つの受波振動子を 1 組の振動子組として、各振動子組を構成する前記 2 つの受波振動子がそれぞれ前記表面反射波を受波した時刻の時間差を用いて、前記各振動子組に対する前記表面反射波の到来方向を検出する到来方向検出部と、

前記各振動子組を構成する前記 2 つの受波振動子のうち少なくとも 1 つの受波振動子の前記表面反射波の受波信号を用いて、各振動子組に到達する前記表面反射波の伝播時間を検出する伝播時間検出部と、

前記到来方向検出部及び前記伝播時間検出部により、前記各振動子組について検出された、前記表面反射波の前記到来方向及び前記伝播時間に基づいて、前記超音波の前記対象物の表面における反射点を検出する表面反射点検出部と、

前記表面反射点検出部により、構成振動子の異なる複数の前記振動子組についてそれぞれ検出された、前記対象物の表面における複数の前記反射点を用いて、前記対象物の表面の形状を導出する形状導出部と

を備えることを特徴とする形状検出装置。

## 【請求項 2】

前記送波振動子が、前記受波振動子を兼ねていることを特徴とする請求項 1 に記載の形状検出装置。

## 【請求項 3】

前記複数の送波振動子及び前記複数の受波振動子が、1 列に配列されていることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の形状検出装置。

## 【請求項 4】

前記複数の送波振動子及び前記複数の受波振動子が、格子状に配列されていることを特徴とする請求項 1 又 2 に記載の形状検出装置。

## 【請求項 5】

対象物に対して、1 つの送波振動子から超音波を送波する送波部と、  
前記送波部から送波された前記超音波の、前記対象物の表面からの表面反射波を、複数の受波振動子により受波する受波部と、

前記複数の受波振動子のうち近接する 2 つの受波振動子を 1 組の振動子組として、各振動子組を構成する前記 2 つの受波振動子がそれぞれ前記表面反射波を受波した時刻の時間差を用いて、前記各振動子組に対する前記表面反射波の到来方向を検出する到来方向検出部と、

前記各振動子組を構成する前記 2 つの受波振動子のうち少なくとも 1 つの受波振動子の前記表面反射波の受波信号を用いて、各振動子組に到達する前記表面反射波の伝播時間を検出する伝播時間検出部と、

前記到来方向検出部及び前記伝播時間検出部により、前記各振動子組について検出された、前記表面反射波の前記到来方向及び前記伝播時間に基づいて、前記超音波の前記対象物の表面における反射点を検出する表面反射点検出部と、

前記表面反射点検出部により、構成振動子の異なる複数の前記振動子組についてそれぞれ検出された、前記対象物の表面における複数の前記反射点を用いて、前記対象物の表面の形状を導出する形状導出部と

を備えることを特徴とする形状検出装置。

## 【請求項 6】

前記送波振動子と前記複数の受波用振動子が、1 列に配列されており、

前記送波振動子から送波される超音波の中心周波数が、1 ~ 10 MHz であって、

前記送波振動子の配列方向に関する長さが、10 ~ 100 mm であることを特徴とする

10

20

30

40

50

請求項 5 に記載の形状検出装置。

【請求項 7】

前記受波部が、前記表面反射波の受波に加えて、前記表面反射波よりも遅れて前記複数の受波振動子に到達する、前記対象物の裏面からの裏面反射波の受波を行い、

前記到来方向検出部が、前記表面反射波の前記到来方向の検出に加えて、前記各振動子組を構成する前記 2 つの受波振動子がそれぞれ前記裏面反射波を受波した時刻の時間差を用いて、前記各振動子組に対する前記裏面反射波の到来方向の検出を行い、

前記伝播時間検出部が、前記各振動子組に到達する前記表面反射波の前記伝播時間の検出に加えて、前記各振動子組を構成する前記 2 つの受波振動子のうち少なくとも 1 つの受波振動子の前記裏面反射波の受波信号を用いて、各振動子組に到達する前記裏面反射波の伝播時間の検出を行い、

さらに、前記到来方向検出部及び前記伝播時間検出部により、前記各振動子組について検出された、前記裏面反射波の前記到来方向及び前記伝播時間と、前記形状導出部により導出された前記対象物の表面の形状とに基づいて、前記超音波の前記対象物の裏面における反射点を検出する裏面反射点検出部を備え、

前記形状導出部が、前記裏面反射点検出部により、構成振動子の異なる複数の前記振動子組についてそれぞれ検出された、前記対象物の裏面における複数の前記反射点を用いて、前記対象物の裏面の形状を導出することを特徴とする請求項 1 ~ 6 の何れかに記載の形状検出装置。

【請求項 8】

前記対象物が骨である請求項 7 に記載の形状検出装置を用いた骨強度診断装置であって、

前記形状導出部が、導出された前記骨の表面及び裏面の形状に基づいて、前記骨の厚みを導出し、

前記骨の厚みから骨強度を診断する骨強度診断部を備えることを特徴とする骨強度診断装置。

【請求項 9】

複数層からなる対象物に対して、複数の送波振動子から、同時に超音波を送波する送波部と、

前記送波部から送波された前記超音波の、前記対象物の表面及び前記対象物の各層の裏面からの反射波を、複数の受波振動子により受波する受波部と、

前記複数の受波振動子のうち近接する 2 つの受波振動子を 1 組の振動子組として、各振動子組を構成する前記 2 つの受波振動子の受波信号の時間差を用いて、前記各振動子組に対する前記対象物の表面及び前記各層の裏面からの反射波の到来方向を検出する到来方向検出部と、

前記各振動子組を構成する前記 2 つの受波振動子のうち少なくとも 1 つの受波振動子の各反射波の受波信号を用いて、各振動子組に到達する前記各反射波の伝播時間を検出する伝播時間検出部と、

前記到来方向検出部及び前記伝播時間検出部により、前記各振動子組について検出された、前記対象物の表面からの反射波の前記到来方向及び前記伝播時間に基づいて、前記超音波の前記対象物の表面における反射点を検出して、前記対象物の表面の形状を導出する最外層表面形状検出部と、

前記到来方向検出部及び前記伝播時間検出部により、前記各振動子組について検出された、前記各層の裏面からの反射波の前記到来方向及び前記伝播時間と、前記最外層表面形状検出部により検出された前記対象物の表面の形状とに基づいて、前記対象物の表面側の層から順に前記各層の裏面の形状を検出する裏面形状検出部と

を備えることを特徴とする形状検出装置。

【請求項 10】

対象物に対して、格子状に配列された複数の送波振動子から同時に超音波を送波する送波部と、

前記送波部から送波された前記超音波の、前記対象物の表面からの表面反射波を、複数の受波振動子により受波する受波部と、

前記複数の受波振動子のうち、交差する2つの列上に配置されている近接する3つ又は4つの受波振動子を1組の振動子組として、前記各振動子組を構成する、一方の列上に配置されている2つの受波振動子の前記表面反射波の受波時刻の時間差を用いて、第1到来方向を検出し、さらに、他方の列上に配置されている2つの受波振動子の前記表面反射波の受波時刻の時間差を用いて、第2到来方向を検出して、前記第1到来方向と前記第2到来方向とから前記各振動子組に対する前記表面反射波の到来方向を検出する到来方向検出部と、

前記各振動子組を構成する前記3つ又は4つの受波振動子のうち少なくとも1つの受波振動子の前記表面反射波の受波信号を用いて、各振動子組に到達する前記表面反射波の伝播時間を検出する伝播時間検出部と、

前記到来方向検出部及び前記伝播時間検出部により、前記各振動子組について検出された、前記表面反射波の前記到来方向及び前記伝播時間に基づいて、前記超音波の前記対象物の表面における反射点を検出する表面反射点検出部と、

前記表面反射点検出部により、構成振動子の異なる複数の前記振動子組についてそれぞれ検出された、前記対象物の表面における複数の前記反射点を用いて、前記対象物の表面の形状を導出する形状導出部と

を備えることを特徴とする形状検出装置。

【請求項11】

対象物に対して、複数の送波振動子から同時に超音波を送波する送波ステップと、

前記送波ステップにより送波された前記超音波の、前記対象物の表面からの表面反射波を、複数の受波振動子により受波する受波ステップと、

前記複数の受波振動子のうち近接する2つの受波振動子を1組の振動子組として、各振動子組を構成する前記2つの受波振動子がそれぞれ前記表面反射波を受波した時刻の時間差を用いて、前記各振動子組に対する前記表面反射波の到来方向を検出する到来方向検出ステップと、

前記各振動子組を構成する前記2つの受波振動子のうち少なくとも1つの受波振動子の前記表面反射波の受波信号を用いて、各振動子組に到達する前記表面反射波の伝播時間を検出する伝播時間検出ステップと、

前記到来方向検出ステップ及び前記伝播時間検出ステップにより、前記各振動子組について検出された、前記表面反射波の前記到来方向及び前記伝播時間に基づいて、前記超音波の前記対象物の表面における反射点を検出する表面反射点検出ステップと、

前記表面反射点検出ステップにより、構成振動子の異なる複数の前記振動子組についてそれぞれ検出された、前記対象物の表面における複数の前記反射点を用いて、前記対象物の表面の形状を導出する形状導出ステップと

を備えることを特徴とする形状検出方法。

【請求項12】

前記受波ステップにおいて、前記表面反射波の受波に加えて、前記表面反射波よりも遅れて前記複数の受波振動子に到達する、前記対象物の裏面からの裏面反射波の受波を行い

、前記到来方向検出ステップにおいて、前記表面反射波の前記到来方向の検出に加えて、前記各振動子組を構成する前記2つの受波振動子がそれぞれ前記裏面反射波を受波した時刻の時間差を用いて、前記各振動子組に対する前記裏面反射波の到来方向の検出を行い、

前記伝播時間検出ステップにおいて、前記各振動子組に到達する前記表面反射波の前記伝播時間の検出に加えて、前記各振動子組を構成する前記2つの受波振動子のうち少なくとも1つの受波振動子の前記裏面反射波の受波信号を用いて、各振動子組に到達する前記裏面反射波の伝播時間の検出を行い、

さらに、前記到来方向検出ステップ及び前記伝播時間検出ステップにより、前記各振動子組について検出された、前記裏面反射波の前記到来方向及び前記伝播時間と、前記形状

10

20

30

40

50

導出ステップにより導出された前記対象物の表面の形状とに基づいて、前記超音波の前記対象物の裏面における反射点を検出する裏面反射点検出ステップを備え、

前記形状導出ステップにおいて、前記裏面反射点検出ステップにより、構成振動子の異なる複数の前記振動子組についてそれぞれ検出された、前記対象物の裏面における複数の前記反射点を用いて、前記対象物の裏面の形状を導出することを特徴とする請求項 1 に記載の形状検出方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波を用いて対象物の形状を検出する形状検出装置、形状検出方法、及び形状検出装置を用いて骨強度診断装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来から、超音波を用いて対象物の形状を検出する装置として、1列に配列された複数の振動子を備えた以下のような装置がよく知られている（例えば、特許文献1参照）。

この従来形状検出装置は、複数の振動子の端から順に対象物に対して超音波をそれぞれ送受して、対象物の表面からの反射波を送波と同一の振動子によって受波する。各振動子から対象物の表面までの距離は異なっているので、各振動子で超音波を送波してから反射波を受波するまでの時間は異なる。複数の振動子の反射波の受波信号の位相の差（送波から受波までの伝播時間の差）を用いることにより、対象物の形状を検出することができる。

【0003】

【特許文献1】特開平4-317641号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

一般的に、振動子は、送信回路に接続されており、この送信回路から電気信号を受けることにより微小振動して超音波を発生させるようになっている。複数の振動子を順に駆動させるには、振動子ごとに時間をずらして電気信号を送信する必要がある。従って、上述したような従来形状検出装置の送波部は、複数の振動子にそれぞれ接続される複数の送信回路を備えるか、もしくは、複数の振動子のうち送信回路に接続される振動子を切り替えるための切替回路を備える必要がある。そのため、回路構成が複雑となり、且つ、コストが高くなる。

【0005】

また、上述したような従来形状検出装置は、複数の振動子を順に駆動させて、その反射波を受波しているため、全ての振動子が超音波の送受波を終えるまでにある程度の時間を要する。そのため、例えば測定対象が生体の骨などの場合には、被検者が測定中に動いてしまい、検出精度が低くなる場合がある。

【0006】

そこで、本発明は、超音波の送波を行うための構成が簡易であって、測定時間の短い形状検出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及び発明の効果】

【0007】

請求項1の形状検出装置は、対象物に対して、複数の送波振動子から同時に超音波を送波する送波部と、前記送波部から送波された前記超音波の、前記対象物の表面からの表面反射波を、複数の受波振動子により受波する受波部と、前記複数の受波振動子のうち近接する2つの受波振動子を1組の振動子組として、各振動子組を構成する前記2つの受波振動子がそれぞれ前記表面反射波を受波した時刻の時間差を用いて、前記各振動子組に対する前記表面反射波の到来方向を検出する到来方向検出部と、前記各振動子組を構成する

10

20

30

40

50

前記 2 つの受波振動子のうち少なくとも 1 つの受波振動子の前記表面反射波の受波信号を用いて、各振動子組に到達する前記表面反射波の伝播時間を検出する伝播時間検出部と、前記到来方向検出部及び前記伝播時間検出部により、前記各振動子組について検出された、前記表面反射波の前記到来方向及び前記伝播時間に基づいて、前記超音波の前記対象物の表面における反射点を検出する表面反射点検出部と、前記表面反射点検出部により、構成振動子の異なる複数の前記振動子組についてそれぞれ検出された、前記対象物の表面における複数の前記反射点を用いて、前記対象物の表面の形状を導出する形状導出部とを備えることを特徴とする。

【 0 0 0 8 】

複数の送波振動子から同時に送波された超音波は、平面波として伝播して対象物の表面で反射し、これにより生じた表面反射波は複数の受波振動子により受波される。従って、各受波振動子で受波される表面反射波は、どの送波振動子から送波されたものであるか特定されない。複数の受波振動子のうち近接する 2 つの受波振動子を 1 組の振動子組として、この 1 組の振動子組に到達する表面反射波の到来方向及び伝播時間を検出して、これらの値を用いて、対象物の表面上の反射点を検出する。複数の送波振動子から送波される超音波（平面波）の伝播方向が予めわかっているため、この表面反射波がどの送波振動子から送波されたものであるか特定されていなくても、検出された到来方向と伝播時間とを用いることにより反射点の位置を検出することができる。他の振動子組についても同様に、対象物の表面上の反射点をそれぞれ検出することにより、複数の反射点の位置が検出され、対象物の表面の形状を導出することができる。

10

20

【 0 0 0 9 】

複数の送波振動子から同時に超音波を送波するには、複数の送波振動子に対して同じ電気信号（送波信号）を送信すればよい。従って、複数の送波振動子から送波時間をずらして超音波を送波する場合、即ち、複数の送波振動子に対して時間をずらして電気信号を送る場合に比べて、送波部の構成を簡易化することができる。

また、複数の送波振動子から同時に超音波を送波して、その反射波を受波しているため、複数の送波振動子から送波時間をずらして超音波をそれぞれ送波し、それにより生じた複数の反射波を受波する場合に比べて、測定時間を短縮することができる。

【 0 0 1 0 】

請求項 2 の形状検出装置は、請求項 1 において、前記送波振動子が、前記受波振動子を兼ねていることを特徴とする。この構成により、超音波の送受波に用いる振動子の数を少なくすることができ、コストを低減できる。

30

【 0 0 1 1 】

請求項 3 の形状検出装置は、請求項 1 又は 2 において、前記複数の送波振動子及び前記複数の受波振動子が、1 列に配列されていることを特徴とする。この構成により、対象物の表面の断面形状を検出することができる。

【 0 0 1 2 】

請求項 4 の形状検出装置は、請求項 1 又は 2 において、前記複数の送波振動子及び前記複数の受波振動子が、格子状に配列されていることを特徴とする。この構成により、対象物の表面の 3 次元の形状を検出することができる。

40

【 0 0 1 3 】

請求項 5 の形状検出装置は、対象物に対して、1 つの送波振動子から超音波を送波する送波部と、前記送波部から送波された前記超音波の、前記対象物の表面からの表面反射波を、複数の受波振動子により受波する受波部と、前記複数の受波振動子のうち近接する 2 つの受波振動子を 1 組の振動子組として、各振動子組を構成する前記 2 つの受波振動子がそれぞれ前記表面反射波を受波した時刻の時間差を用いて、前記各振動子組に対する前記表面反射波の到来方向を検出する到来方向検出部と、前記各振動子組を構成する前記 2 つの受波振動子のうち少なくとも 1 つの受波振動子の前記表面反射波の受波信号を用いて、各振動子組に到達する前記表面反射波の伝播時間を検出する伝播時間検出部と、前記到来方向検出部及び前記伝播時間検出部により、前記各振動子組について検出された、前記表

50

面反射波の前記到来方向及び前記伝播時間に基づいて、前記超音波の前記対象物の表面における反射点を検出する表面反射点検出部と、前記表面反射点検出部により、構成振動子の異なる複数の前記振動子組についてそれぞれ検出された、前記対象物の表面における複数の前記反射点を用いて、前記対象物の表面の形状を導出する形状導出部とを備えることを特徴とする。

【0014】

1つの送波振動子から送波された超音波は、対象物の表面で反射し、これにより生じた表面反射波は複数の受波振動子により受波される。複数の受波振動子のうち近接する2つの受波振動子を1組の振動子組として、この1組の振動子組に到達する表面反射波の到来方向及び伝播時間を検出して、これらの値を用いて、対象物の表面上の反射点を検出する。1つの送波振動子から送波される超音波の伝播方向が予めわかっているため、この表面反射波が送波振動子のどの位置から送波されたものであるか特定されていなくても、検出された到来方向と伝播時間とを用いることにより反射点の位置を検出することができる。他の振動子組についても同様に、対象物の表面上の反射点をそれぞれ検出することにより、複数の反射点の位置が検出され、対象物の表面の形状を導出することができる。

10

【0015】

1つの送波振動子から超音波を送波しているため、複数の送波振動子から送波時間をずらして超音波を送波する場合に比べて、送波部の構成を簡易化することができる。また、1つの送波振動子から超音波を送波して、その反射波を受波しているため、複数の送波振動子から送波時間をずらして超音波をそれぞれ送波し、これにより生じた複数の反射波を受波する場合に比べて、測定時間を短縮することができる。

20

【0016】

請求項6の形状検出装置は、請求項5において、前記送波振動子と前記複数の受波用振動子が、1列に配列されており、前記送波振動子から送波される超音波の中心周波数が、1～10MHzであって、前記送波振動子の配列方向に関する長さが、10～100mmであることを特徴とする。

【0017】

請求項7の形状検出装置は、請求項1～6の何れかにおいて、前記受波部が、前記表面反射波の受波に加えて、前記表面反射波よりも遅れて前記複数の受波振動子に到達する、前記対象物の裏面からの裏面反射波の受波を行い、前記到来方向検出部が、前記表面反射波の前記到来方向の検出に加えて、前記各振動子組を構成する前記2つの受波振動子がそれぞれ前記裏面反射波を受波した時刻の時間差を用いて、前記各振動子組に対する前記裏面反射波の到来方向の検出を行い、前記伝播時間検出部が、前記各振動子組に到達する前記表面反射波の前記伝播時間の検出に加えて、前記各振動子組を構成する前記2つの受波振動子のうち少なくとも1つの受波振動子の前記裏面反射波の受波信号を用いて、各振動子組に到達する前記裏面反射波の伝播時間の検出を行い、さらに、前記到来方向検出部及び前記伝播時間検出部により、前記各振動子組について検出された、前記裏面反射波の前記到来方向及び前記伝播時間と、前記形状導出部により導出された前記対象物の表面の形状とに基づいて、前記超音波の前記対象物の裏面における反射点を検出する裏面反射点検出部を備え、前記形状導出部が、前記裏面反射点検出部により、構成振動子の異なる複数の前記振動子組についてそれぞれ検出された、前記対象物の裏面における複数の前記反射点を用いて、前記対象物の裏面の形状を導出することを特徴とする。

30

40

【0018】

送波部から送波された超音波の一部は、対象物中を伝播して、対象物の裏面で反射する。これにより生じた裏面反射波は、表面反射波よりも遅れて複数の受波振動子で受波される。各振動子組に到達する裏面反射波の到来方向及び伝播時間を検出し、検出されたこれらの値と、予め導出された対象物の表面の形状とを用いて、対象物の裏面上の反射点を検出する。複数の振動子組についてそれぞれ検出された複数の反射点を用いることにより、対象物の裏面の形状を導出することができる。但し、対象物中の音速は、仮定した値又は予め測定した値を用いる。

50

このように、裏面反射波の受波信号と、予め導出された対象物の表面の形状とを用いることにより、対象物の裏面の形状を導出することができる。

【0019】

請求項8の骨強度診断装置は、前記対象物が骨である請求項7に記載の形状検出装置を用いた骨強度診断装置であって、前記形状導出部が、導出された前記骨の表面及び裏面の形状に基づいて、前記骨の厚みを導出するものであって、前記骨の厚みから骨強度を診断する骨強度診断部を備えることを特徴とする。

【0020】

この構成によると、骨に対して超音波を送波して、骨の表面及び裏面からの反射波を受波し、その受波信号を用いることにより、骨の厚みを導出することができる。骨の厚みは、骨強度を決定する要因の一つであるため、骨厚みから骨強度を診断することができる。

10

【0021】

請求項9の形状検出装置は、複数層からなる対象物に対して、複数の送波振動子から、同時に超音波を送波する送波部と、前記送波部から送波された前記超音波の、前記対象物の表面及び前記対象物の各層の裏面からの反射波を、複数の受波振動子により受波する受波部と、前記複数の受波振動子のうち近接する2つの受波振動子を1組の振動子組として、各振動子組を構成する前記2つの受波振動子の受波信号の時間差を用いて、前記各振動子組に対する前記対象物の表面及び前記各層の裏面からの反射波の到来方向を検出する到来方向検出部と、前記各振動子組を構成する前記2つの受波振動子のうち少なくとも1つの受波振動子の各反射波の受波信号を用いて、各振動子組に到達する前記各反射波の伝播時間を検出する伝播時間検出部と、前記到来方向検出部及び前記伝播時間検出部により、前記各振動子組について検出された、前記対象物の表面からの反射波の前記到来方向及び前記伝播時間に基づいて、前記超音波の前記対象物の表面における反射点を検出して、前記対象物の表面の形状を導出する最外層表面形状検出部と、前記到来方向検出部及び前記伝播時間検出部により、前記各振動子組について検出された、前記各層の裏面からの反射波の前記到来方向及び前記伝播時間と、前記最外層表面形状検出部により検出された前記対象物の表面の形状とに基づいて、前記対象物の表面側の層から順に前記各層の裏面の形状を検出する裏面形状検出部とを備えることを特徴とする。

20

【0022】

複数の送波振動子から同時に送波された超音波は、平面波として伝播して、その一部が、対象物の表面（最外層の表面）で反射し、また、最外層を通過した超音波の一部が、対象物の表面側から順に各層の裏面で反射する。これにより生じる複数の反射波は、複数の振動子によって受波される。複数の受波振動子のうち近接する2つの受波振動子を1組の振動子組として、各振動子組に到達する各反射波の到来方向及び伝播時間を検出する。各振動子組に到達する対象物の表面からの反射波の到来方向と伝播時間とを用いて、対象物の表面上の複数の反射点を検出して、対象物の表面の形状を検出する。また、各振動子組に到達する対象物の各層の裏面からの反射波の到来方向と、予め検出された対象物の表面の形状とを用いて、対象物の表面側の層から順に各層の裏面の形状を検出する。

30

このように、対象物の表面側の層から順に各層の形状を検出することにより、複数層からなる対象物の形状を検出することができる。

40

【0023】

また、複数の送波振動子から同時に超音波を送波するには、複数の送波振動子に対して同じ電気信号（送波信号）を送信すればよい。従って、複数の送波振動子から送波時間をずらして超音波を送波する場合、即ち、複数の送波振動子に対して時間をずらして電気信号を送る場合に比べて、送波部の構成を簡易化することができる。

また、複数の送波振動子から同時に超音波を送波して、その反射波を受波しているため、複数の送波振動子から送波時間をずらして超音波をそれぞれ送波し、それにより生じた複数の反射波を受波する場合に比べて、測定時間を短縮することができる。

【0024】

請求項10の形状検出装置は、対象物に対して、格子状に配列された複数の送波振動子

50

から同時に超音波を送波する送波部と、前記送波部から送波された前記超音波の、前記対象物の表面からの表面反射波を、複数の受波振動子により受波する受波部と、前記複数の受波振動子のうち、交差する2つの列上に配置されている近接する3つ又は4つの受波振動子を1組の振動子組として、前記各振動子組を構成する、一方の列上に配置されている2つの受波振動子の前記表面反射波の受波時刻の時間差を用いて、第1到来方向を検出し、さらに、他方の列上に配置されている2つの受波振動子の前記表面反射波の受波時刻の時間差を用いて、第2到来方向を検出して、前記第1到来方向と前記第2到来方向とから前記各振動子組に対する前記表面反射波の到来方向を検出する到来方向検出部と、前記各振動子組を構成する前記3つ又は4つの受波振動子のうち少なくとも1つの受波振動子の前記表面反射波の受波信号を用いて、各振動子組に到達する前記表面反射波の伝播時間を検出する伝播時間検出部と、前記到来方向検出部及び前記伝播時間検出部により、前記各振動子組について検出された、前記表面反射波の前記到来方向及び前記伝播時間に基づいて、前記超音波の前記対象物の表面における反射点を検出する表面反射点検出部と、前記表面反射点検出部により、構成振動子の異なる複数の前記振動子組についてそれぞれ検出された、前記対象物の表面における複数の前記反射点を用いて、前記対象物の表面の形状を導出する形状導出部とを備えることを特徴とする。

10

**【0025】**

この構成によると、対象物の表面の形状が、たとえ球面状であっても、その3次元の形状を検出することができる。

また、複数の送波振動子から同時に超音波を送波するには、複数の送波振動子に対して同じ電気信号（送波信号）を送信すればよい。従って、複数の送波振動子から送波時間をずらして超音波を送波する場合、即ち、複数の送波振動子に対して時間をずらして電気信号を送る場合に比べて、送波部の構成を簡易化することができる。

20

また、複数の送波振動子から同時に超音波を送波して、その反射波を受波しているため、複数の送波振動子から送波時間をずらして超音波をそれぞれ送波し、それにより生じた複数の反射波を受波する場合に比べて、測定時間を短縮することができる。

**【0026】**

請求項11の形状検出方法は、複数の送波振動子から同時に超音波を送波する送波ステップと、前記送波ステップにより送波された前記超音波の、前記対象物の表面からの表面反射波を、複数の受波振動子により受波する受波ステップと、前記複数の受波振動子のうち近接する2つの受波振動子を1組の振動子組として、各振動子組を構成する前記2つの受波振動子がそれぞれ前記表面反射波を受波した時刻の時間差を用いて、前記各振動子組に対する前記表面反射波の到来方向を検出する到来方向検出ステップと、前記各振動子組を構成する前記2つの受波振動子のうち少なくとも1つの受波振動子の前記表面反射波の受波信号を用いて、各振動子組に到達する前記表面反射波の伝播時間を検出する伝播時間検出ステップと、前記到来方向検出ステップ及び前記伝播時間検出ステップにより、前記各振動子組について検出された、前記表面反射波の前記到来方向及び前記伝播時間に基づいて、前記超音波の前記対象物の表面における反射点を検出する表面反射点検出ステップと、前記表面反射点検出ステップにより、構成振動子の異なる複数の前記振動子組についてそれぞれ検出された、前記対象物の表面における複数の前記反射点を用いて、前記対象物の表面の形状を導出する形状導出ステップとを備えることを特徴とする。

30

40

**【0027】**

複数の送波振動子から同時に送波された超音波は、平面波として伝播して対象物の表面で反射し、これにより生じた表面反射波は複数の受波振動子により受波される。従って、各受波振動子で受波される表面反射波は、どの送波振動子から送波されたものであるか特定されない。複数の受波振動子のうち近接する2つの受波振動子を1組の振動子組として、この1組の振動子組に到達する表面反射波の到来方向及び伝播時間を検出して、これらの値を用いて、対象物の表面上の反射点を検出する。複数の送波振動子から送波される超音波（平面波）の伝播方向が予めわかっているため、この表面反射波がどの送波振動子から送波されたものであるか特定されていなくても、検出された到来方向と伝播時間とを用

50

いることにより反射点の位置を検出することができる。他の振動子組についても同様に、対象物の表面上の反射点をそれぞれ検出することにより、複数の反射点の位置が検出され、対象物の表面の形状を導出することができる。

【0028】

複数の送波振動子から同時に超音波を送波するには、複数の送波振動子に対して同じ電気信号（送波信号）を送信すればよい。従って、複数の送波振動子から送波時間をずらして超音波を送波する場合、即ち、複数の送波振動子に対して時間をずらして電気信号を送る場合に比べて、送波部の構成を簡易化することができる。

また、複数の送波振動子から同時に超音波を送波して、その反射波を受波しているため、複数の送波振動子から送波時間をずらして超音波をそれぞれ送波し、それにより生じた複数の反射波を受波する場合に比べて、測定時間を短縮することができる。

【0029】

請求項12の形状検出方法は、請求項11において、前記受波ステップにおいて、前記表面反射波の受波に加えて、前記表面反射波よりも遅れて前記複数の受波振動子に到達する、前記対象物の裏面からの裏面反射波の受波を行い、前記到来方向検出ステップにおいて、前記表面反射波の前記到来方向の検出に加えて、前記各振動子組を構成する前記2つの受波振動子がそれぞれ前記裏面反射波を受波した時刻の時間差を用いて、前記各振動子組に対する前記裏面反射波の到来方向の検出を行い、前記伝播時間検出ステップにおいて、前記各振動子組に到達する前記表面反射波の前記伝播時間の検出に加えて、前記各振動子組を構成する前記2つの受波振動子のうち少なくとも1つの受波振動子の前記裏面反射波の受波信号を用いて、各振動子組に到達する前記裏面反射波の伝播時間の検出を行い、さらに、前記到来方向検出ステップ及び前記伝播時間検出ステップにより、前記各振動子組について検出された、前記裏面反射波の前記到来方向及び前記伝播時間と、前記形状導出ステップにより導出された前記対象物の表面の形状とに基づいて、前記超音波の前記対象物の裏面における反射点を検出する裏面反射点検出ステップを備え、前記形状導出ステップにおいて、前記裏面反射点検出ステップにより、構成振動子の異なる複数の前記振動子組についてそれぞれ検出された、前記対象物の裏面における複数の前記反射点を用いて、前記対象物の裏面の形状を導出することを特徴とする。

【0030】

送波ステップにおいて送波された超音波の一部は、対象物中を伝播して、対象物の裏面で反射する。これにより生じた裏面反射波は、表面反射波よりも遅れて複数の受波振動子で受波される。各振動子組に到達する裏面反射波の到来方向及び伝播時間を検出し、検出されたこれらの値と、予め導出された対象物の表面の形状とを用いて、対象物の裏面上の反射点を検出する。複数の振動子組についてそれぞれ検出された複数の反射点を用いることにより、対象物の裏面の形状を導出することができる。

このように、裏面反射波の受波信号と、予め導出された対象物の表面の形状とを用いることにより、対象物の裏面の形状を導出することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0031】

以下、本発明の実施の形態について説明する。

本実施形態では、骨強度診断装置の一部に、本発明の形状検出装置を適用した場合を例に挙げて説明する。本実施形態の骨強度診断装置1は、骨の形状を検出し、この骨の形状を用いて、骨の表面に沿って伝搬する超音波の音速を導出して、骨強度を診断する装置である。

【0032】

骨強度診断装置1は、例えば、脛骨などの長管状の骨の皮質骨を診断対象とするが、診断対象となる部位は、これに限定されるものではない。通常、骨は、皮質骨と、皮質骨の内側に存在する網目状の海綿骨とから構成されている。図1に示すように、皮質骨（以下、単に骨という）10の表面10aは、筋肉や脂肪などの軟組織11に覆われている。図1は、骨10の長軸方向に直交する断面（円周断面）を示しており、骨表面10aの形状

は、軟組織 11 側に膨らんだ緩やかな曲面状となっている。なお、図示は省略するが、骨 10 の長軸方向の断面の表面は、ほぼ平坦状であって、軟組織 11 の表面に対して傾いている場合がある。本実施形態の骨強度診断装置 1 は、骨表面 10 a を円周方向に伝播する超音波の音速（以下、円周方向の音速という）、及び、骨表面 10 a を長軸方向に沿って伝播する超音波の音速（以下、長軸方向の音速という）を導出して、これら 2 方向の音速を用いて、骨強度を診断する装置である。

#### 【0033】

図 1 に示すように、本実施形態の骨強度診断装置 1 は、超音波送受波器 2 と、装置本体 3 とから構成されている。装置本体 3 は、送受信分離部 4 と、送信回路 5 と、送信切替部 5 a と、複数の受信回路 6 a ~ 6 l と、超音波制御部 7 と、演算部 8 と、表示部 9 とを有する。

10

#### 【0034】

超音波送受波器 2 は、超音波の送波及び受波を行うものであって、軟組織 11 の表面に当接される。軟組織 11 の表面に当接される面を当接面 2 a とする。超音波送受波器 2 は、送波専用振動子 2 1 と、一列に配列された複数（本実施形態では 12 個）の振動子 2 2 a ~ 2 2 l からなるアレイ振動子 2 2 と、遮音材 2 3 とを有する。振動子とは、電気信号を与えられると振動してその表面（振動面）から超音波を発射し、また、その表面に超音波を受けて振動すると電気信号を生成するものである。

#### 【0035】

送波専用振動子 2 1 と遮音材 2 3 とアレイ振動子 2 2 とは、アレイ振動子 2 2 の配列方向に沿って並んで配置されている。なお、円周方向の音速を測定する場合には、図 1 に示すように、骨超音波送受波器 2 は、アレイ振動子 2 2 の配列方向が骨 10 の円周方向にほぼ一致するように、軟組織 11 に当接される。また、長軸方向の音速を測定する場合には、超音波送受波器 2 は、アレイ振動子 2 2 の配列方向が骨 10 の長軸方向にほぼ一致するように当接される。

20

#### 【0036】

送波専用振動子 2 1 は、その表面（振動面）が当接面 2 a に対して傾くように設置されている。送波専用振動子 2 1 としては、指向性の広い超音波を送波するもの（言換えると、放射する超音波の角度範囲の広いもの）が用いられる。振動面の面積が小さいほど指向性は広くなる。超音波の感度と指向性とはトレードオフの関係にあるので、測定対象に合わせて、送波専用振動子 2 1 の設置角度と振動面の寸法は適宜設計される。

30

#### 【0037】

また、アレイ振動子 2 2 を構成する 12 個の振動子 2 2 a ~ 2 2 l は、その表面（振動面）が当接面 2 a と平行になるように設置されている。なお、アレイ振動子 2 2 を構成する振動子の数は、本実施形態では 12 個であるが、この数に制限されるものではない。アレイ振動子 2 2 の図 1 中の左右方向長さは、例えば 24 mm である。

#### 【0038】

遮音材 2 3 は、板状に形成されており、送波専用振動子 2 1 とアレイ振動子 2 2 との間に配置されている。遮音材 2 3 の材料としては、例えば、コルクや、合成ゴムや、多孔質材（例えば発泡樹脂材）などの吸音作用を有する材料が用いられる。遮音材 2 3 は、送波専用振動子 2 1 から送波された超音波が、超音波送受波器 2 内を伝播してアレイ振動子 2 2 に直接到達するのを防止する。つまり、骨中の音速を導出するのに不要な超音波がアレイ振動子 2 2 に受波されるのを防止することができる。

40

#### 【0039】

なお、当接面 2 a と軟組織 11 の表面との間には、図示しないカップリング材が介在している。カップリング材は、当接面 2 a と軟組織 11 の表面との間に隙間が生じるのを防止するとともに、振動子 2 2 a ~ 2 2 l と軟組織 11 の音響インピーダンスを整合させて、送波専用振動子 2 1 又はアレイ振動子 2 2 から送波された超音波が、軟組織 11 の表面で反射するのを抑制するためのものである。

#### 【0040】

50

送波専用振動子 2 1 は、送信切替部 5 a を介して、送信回路 5 に接続されている。また、複数の振動子 2 2 a ~ 2 2 1 は、送受信分離部 4 及び送信切替部 5 a を介して、送信回路 5 に接続されている。送信回路 5 は、電気パルス信号を生成するとともに、この電気パルス信号を送信切替部に送信するものである。なお、電気パルス信号の代わりに、チャープ信号を用いてもよい。電気パルス振動の中心周波数は、例えば 1 ~ 1 0 M H z である。

【 0 0 4 1 】

送信切替部 5 a は、送信回路 5 から送信される電気パルス信号を、送波専用振動子 2 1 及びアレイ振動子 2 2 の何れかに送信するものである。つまり、送信切替部 5 a により、超音波の送波を行う振動子が切り替えられる。

【 0 0 4 2 】

また、アレイ振動子 2 2 を構成する 1 2 個の振動子 2 2 a ~ 2 2 1 は、送受信分離部 4 を介して、1 2 個の受信回路 6 a ~ 6 1 にそれぞれ接続されている。受信回路 6 a ~ 6 1 は、振動子 2 2 a ~ 2 2 1 からそれぞれ送信される電気信号（受波信号）に対して、増幅処理や、フィルタ処理、デジタル変換処理などを施し、演算部 8 に送信するものである。

【 0 0 4 3 】

送受信分離部 4 は、送信回路 5 からアレイ振動子 2 2 に送られる送波信号（電気パルス信号）が受信回路 6 a ~ 6 1 に直接流れるのを防止するとともに、アレイ振動子 2 2 から受信回路 6 a ~ 6 1 に送られる受波信号が送信回路 5 に流れるのを防止するためのものである。

【 0 0 4 4 】

超音波制御部 7 は、送信回路 5 に接続されており、1 2 個の振動子 2 2 a ~ 2 2 1 から超音波を送波させるための信号を送信回路 5 に送信する。

【 0 0 4 5 】

なお、本発明の形状検出装置の送波振動子及び受波振動子は、アレイ振動子 2 2 を構成する 1 2 個の振動子 2 2 a ~ 2 2 1 に相当する。従って、本実施形態では、送波振動子が、受波振動子を兼ねている。そのため、超音波の受波を行う振動子の数が少なくても済む。

【 0 0 4 6 】

また、本発明の形状検出装置の送波部は、アレイ振動子 2 2 と送信回路 5 から構成され、本発明の形状検出装置の受波部は、アレイ振動子 2 2 と 1 2 個の受信回路 6 a ~ 6 1 とから構成されている。

【 0 0 4 7 】

以下、超音波送受波器 2 の動作について説明する。

【 0 0 4 8 】

< アレイ振動子 2 2 により超音波の送波を行う場合 >

送信切替部 5 a により、超音波の送波を行う振動子として、アレイ振動子 2 2 が決定された場合、送信回路 5 からアレイ振動子 2 2 に電気パルス信号が送られ、アレイ振動子 2 2 を構成する振動子 2 2 a ~ 2 2 1 は、同時に同位相の超音波（入射波）を骨 1 0 に対して送波する。図 2（a）に示すように、アレイ振動子 2 2 から送波された入射波は、平面波として軟組織 1 1 中を伝播する。この平面波は、当界面 2 a に直交する方向に進行する。

【 0 0 4 9 】

図 2（b）に示すように、入射波の一部は、骨表面 1 0 a で反射する。これにより生じた表面反射波は、振動子 2 2 a ~ 2 2 1 に受波される。また、骨表面 1 0 a で反射せず骨 1 0 中を伝播した入射波の一部は、骨 1 0 の裏面 1 0 b で反射する。これにより生じた裏面反射波は、表面反射波よりも遅れて振動子 2 2 a ~ 2 2 1 に受波される。従って、各振動子 2 2 a ~ 2 2 1 で受波される表面反射波又は裏面反射波は、どの振動子から送波されたものであるか特定されない。

【 0 0 5 0 】

なお、アレイ振動子 2 2 から骨表面 1 0 a までの位置関係は、アレイ振動子 2 2 から送波された平面波が、拡散することなく骨表面 1 0 a まで伝播するような近距離音場である

10

20

30

40

50

ことが好ましい。これにより、骨表面 10 a の形状をより正確に検出精度が高くなる。また、アレイ振動子 22 から骨裏面 10 b までの距離も近いことが好ましい。

【0051】

振動子 22 a ~ 22 l は、表面反射波又は裏面反射波を受波すると、音波を電気信号に変換し、この電気信号（受波信号）を、送受信分離部 4 を介して受信回路 6 a ~ 6 l にそれぞれ送信する。このように、表面反射波及び裏面反射波の受波は、振動子 22 a ~ 22 l より独立して行なわれる。図 3 は、振動子 22 a ~ 22 l の受波信号の一例を示している。図 3 の横軸は、入射波を送波してからの時間を示している。図 3 中の波形 M a は、表面反射波を示し、波形 M b は、裏面反射波を示している。裏面反射波は、音響インピーダンスが密（皮質骨）から疎（海綿骨）の反射でもあるため位相が反転する。

10

【0052】

<送波専用振動子 21 により超音波の送波を行う場合>

送信切替部 5 a により、超音波の送波を行う振動子として、送波専用振動子 21 が決定された場合、送信回路 5 から送波専用振動子 21 に電気パルス信号が送られ、送波専用振動子 21 は、骨 10 に対して超音波を送波する。図 4 に示すように、送波専用振動子 21 からは、指向性の広い超音波（入射波）が送波される。入射波は、当接面 2 a に対して斜め方向に軟組織 11 中を伝播する。

【0053】

送波専用振動子 21 から送波された超音波は、複数の伝播ルートを経由してアレイ振動子 22 に受波される。振動子 22 a ~ 22 l は、アレイ振動子 22 から超音波を送波した場合と同様に、超音波を受波すると、受波信号を受信回路 6 a ~ 6 l にそれぞれ送信する。

20

【0054】

送波専用振動子 21 から送波されてアレイ振動子 22 に到達する超音波の伝播ルートには、以下の 3 種類が存在する。軟組織 11 の表面に沿って伝播して、アレイ振動子 22 に直接到達する伝播ルートと、骨表面 10 a で反射してアレイ振動子 22 に到達する伝播ルート（図 4 中の反射波 31 又は反射波 32 を含む伝播ルート）と、骨表面 10 a に沿って伝播した後、骨 10 から軟組織 11 側に出てアレイ振動子 22 に到達する伝播ルートである。さらに、この 3 つ目の伝播ルートには、以下に説明する 2 種類がある。

【0055】

入射波の一部が骨表面 10 a に対して臨界角付近で入射すると、骨表面 10 a に表面波が発生する。表面波は、軟組織 11 側の所定方向（骨表面 10 a に対して臨界角付近の方向）に漏洩表面波を放射しつつ、骨表面 10 a に沿って伝播する。この漏洩表面波がアレイ振動子 22 により受波される。図 4 中の超音波 33 は、漏洩表面波の一例である。臨界角は、軟組織 11 中の音速と、骨 10 中の音速とによって決定される角度である。送波専用振動子 21 として指向性の広い振動子を用いているため、たとえ被検者によって骨表面 10 a の傾きが異なっても、骨表面 10 a に対して臨界角付近で入射させることが可能となる。

30

【0056】

入射波の一部が臨界角よりも小さい角度で骨表面 10 a に入射すると、骨表面 10 a で屈折し、骨 10 中の骨表面 10 a 近傍を伝播した後、骨 10 と軟組織 11 との界面 10 a で再び屈折する。この屈折波（以下、骨表面屈折波という）がアレイ振動子 22 に受波される。図 4 中の超音波 34 は、骨表面屈折波の一例である。骨表面屈折波は、骨表面 10 a の形状が平坦でない場合にのみ発生する。

40

【0057】

また、アレイ振動子 22 を構成する 1 つの振動子に骨表面屈折波と漏洩表面波の両方が受波される場合がある。骨表面屈折波は漏洩表面波よりも先に受波される場合があるが、後に受波される場合もある。

【0058】

なお、骨幅（図 1 の左右方向の骨 10 の長さ）が小さい場合には、送波専用振動子 21

50

から離れた位置には、漏洩表面波が到達しない場合がある。つまり、骨幅が短いほど、漏洩表面波を受波可能な範囲が短くなる。また、当界面 2 a に対する骨表面 1 0 a の傾きにもよるが、軟組織 1 1 の厚みが大きいほど、漏洩表面波を受波できる振動子のうち最も送波専用振動子 2 1 に近い振動子と送波専用振動子 2 1 との距離は長くなる。本実施形態では、複数の振動子 2 2 a ~ 2 2 l により漏洩表面波の受波を行っているため、たとえ骨幅や軟組織 1 1 の厚みに個人差があっても、複数の振動子 2 2 a ~ 2 2 l のうち少なくとも何れかの複数の振動子によって漏洩表面波を確実に受波することが可能となる。

【 0 0 5 9 】

上述したように、漏洩表面波は、送波専用振動子 2 1 からある程度離れた位置でしか受波できないのに対して、骨面 1 0 a からの反射波は、送波専用振動子 2 1 に近接した位置にでも受波できる。図 4 の場合を例に挙げると、漏洩表面波は振動子 2 2 d 以降の振動子に受波されるが、骨面 1 0 a からの反射波は振動子 2 2 a 以降の振動子に受波される。このように、アレイ振動子 2 2 の送波専用振動子 2 1 側の振動子は、反射波のみを受波して漏洩表面波を受波しない場合がある。

10

【 0 0 6 0 】

また、アレイ振動子 2 2 を構成する 1 つの振動子に、漏洩表面波と骨表面 1 0 a からの反射波の両方が受波される場合には、漏洩表面波が反射波より先に受波される。これは、骨 1 0 中の音速の方が、軟組織 1 1 中の音速よりも速いからである。

【 0 0 6 1 】

また、軟組織 1 1 の表面に沿って伝播して、アレイ振動子 2 2 に直接到達する超音波（以下、直接波という）は、送波専用振動子 2 1 に近い振動子に対しては、漏洩表面波よりも先に到達するが、送波専用振動子 2 1 から離れた振動子に対しては、漏洩表面波の後に到達する場合がある。なお、直接波の振幅は、遮音材 2 3 があるため、漏洩表面波や反射波の振幅に比べて極めて小さくなるように設計されている。

20

【 0 0 6 2 】

また、演算部 8 は、CPU、RAM、ROM 等から構成されており、信号処理部 8 1 と、形状検出部 8 2 と、音速導出部 8 3 と、骨強度指標導出部 8 4 とを有する。

【 0 0 6 3 】

信号処理部 8 1 は、記憶部と信号処理回路とから構成されている。信号処理部 8 1 は、受信回路 6 a ~ 6 l から送信される受波信号を受信し、超音波の送波から一定時間内の受波信号を記憶部に記憶するとともに、この受波信号のピーク値等を信号処理回路により検出し、形状検出部 8 2 と音速導出部 8 3 に送信する。

30

【 0 0 6 4 】

形状検出部 8 2 は、アレイ振動子 2 2 から超音波を送波したときの、アレイ振動子 2 2 の表面反射波及び裏面反射波の受波信号を用いて、骨表面 1 0 a 及び骨裏面 1 0 b の形状を検出する。形状検出部 8 2 は、到来方向検出部 8 2 a と、伝播時間検出部 8 2 b と、表面反射点検出部 8 2 c と、形状導出部 8 2 d と、裏面反射点検出部 8 2 e とから構成されている。

【 0 0 6 5 】

到来方向検出部 8 2 a は、1 2 個の振動子 2 2 a ~ 2 2 l のうち隣接する 2 つの振動子を 1 組の振動子組として、1 1 個の振動子組 2 2 A ~ 2 2 K（図 1 参照）を決定し、各振動子組 2 2 A ~ 2 2 K に到達する表面反射波及び裏面反射波の到来方向を検出する。

40

【 0 0 6 6 】

伝播時間検出部 8 2 b は、各振動子組 2 2 A ~ 2 2 K に到達する表面反射波の伝播時間と裏面反射波の伝播時間を検出する。

【 0 0 6 7 】

表面反射点検出部 8 2 c は、到来方向検出部 8 2 a 及び伝播時間検出部 8 2 b により検出された、1 1 個の振動子組 2 2 A ~ 2 2 K にそれぞれ到達する表面反射波の到来方向及び伝播時間に基づいて、骨表面 1 0 a 上の 1 1 個の反射点（表面反射点）を検出する。

【 0 0 6 8 】

50

形状導出部 8 2 d は、表面反射点検出部 8 2 c により検出された 1 1 個の表面反射点を用いて、骨表面 1 0 a の形状を導出する。また、形状導出部 8 2 d は、後述する裏面反射点検出部 8 2 e により検出された 1 1 個の裏面反射点を用いて、骨裏面 1 0 b の形状を導出し、さらに、骨表面 1 0 a 及び骨裏面 1 0 b の形状とから、骨（皮質骨）1 0 の厚みを導出する。

【0069】

裏面反射点検出部 8 2 e は、到来方向検出部 8 2 a 及び伝播時間検出部 8 2 b により検出された、1 1 個の振動子組 2 2 A ~ 2 2 K にそれぞれ到達する裏面反射波の到来方向及び伝播時間に基づいて、骨裏面 1 0 b 上の 1 1 個の反射点（裏面反射点）を検出する。

【0070】

音速導出部 8 3 は、送波専用振動子 2 1 から超音波を送波したときの、アレイ振動子 2 2 の漏洩表面波又は骨表面屈折波の受波信号と、形状導出部 8 2 d により導出された骨表面 1 0 a の形状とに基づいて、骨表面 1 0 a に沿って伝播する超音波の音速を導出する。

【0071】

骨強度指標導出部 8 4 は、音速導出部 8 3 により導出された骨 1 0 中の 2 方向の音速と、形状導出部 8 2 d により導出された骨 1 0 の厚みとを用いて、骨強度に関する指標を導出する。

【0072】

また、表示部 9 は、演算部 8 に接続されており、形状導出部 8 2 d により導出された骨表面 1 0 a 及び裏面 1 0 b の形状や、骨強度指標導出部 8 4 により導出された骨強度の診断指標を表示するものである。

【0073】

以下、骨強度診断装置 1 の動作について、特に演算部 8 の動作を中心に説明する。図 5 は、骨強度診断装置 1 の動作を示すフローチャートである。

【0074】

図 5 に示すように、アレイ振動子 2 2 による超音波の送波及び受波を行った後（S 1）、超音波送波器 2 の位置を動かさずに、送波専用振動子 2 1 から超音波を送波して、アレイ振動子 2 2 により超音波の受波を行う（S 2）。

【0075】

<形状検出ステップ>

アレイ振動子 2 2 から超音波を送波したときのアレイ振動子 2 2 の受波信号を用いて、形状検出部 8 2 が骨表面 1 0 a の形状を導出する。先ず、到来方向検出部 8 2 a が、1 1 個の振動子組 2 2 A ~ 2 2 K について、それぞれ表面反射波の到来方向を検出する（S 1 1）。

【0076】

各振動子組を構成する隣接する 2 つの振動子（例えば、振動子 2 2 a、2 2 b）に対する表面反射波の 2 つの到来方向は近似している。そのため、到来方向検出部 8 2 a では、上記 2 つの到来方向を同一とみなして、1 つの振動子組ごとに、1 つの到来角度を検出する。

以下、振動子組 2 2 A に対する到来角度を検出する方法について説明する。

【0077】

図 6（a）に示すように、振動子組 2 2 A に到達する表面反射波 4 2 の到来角度を  $\alpha$  とすると、図 6（b）に示すように、2 つの振動子 2 2 a、2 2 b に到達する表面反射波の到来角度が  $\alpha$  であるため、表面反射波 4 2 の波面 4 2 a は、アレイ振動子 2 2 の配列方向（図 6 中の x 軸方向）対して角度  $\alpha$  傾いている。そのため、振動子 2 2 b には、振動子 2 2 a に到達した後、さらに距離 D だけ進んだ表面反射波 4 2 が到達する。つまり、振動子 2 2 b は、振動子 2 2 a よりも遅れて表面反射波 4 2 を受波している。2 つの振動子 2 2 a、2 2 b がそれぞれ表面反射波 4 2 を受波した時刻の時間差を  $t$  とする。

【0078】

$t$  は、振動子 2 2 a、2 2 b の受波信号を基にして、以下の方法で導出することがで

10

20

30

40

50

きる。例えば、2つの振動子22a、22bの受波信号の最大ピークの時間差を用いてもよい。また、2つの振動子22a、22bの受波信号の最大ピークの立ち上がり部分と、振幅が0のラインとの交点の時間差を用いる、いわゆるゼロクロス法を用いてもよい。また、予め演算部8に記憶しておいた波形との相関処理を行い、時間差 $t$ を導出してもよい。また、直交検波法などにより2つの振動子22a、22bの受波信号の位相差を求め、得られた位相差と入射波の周波数により時間差 $t$ を導出してもよい。なお、この方法は、2つの振動子22a、22bの受波信号の位相差が $180^\circ$ 以内である場合にのみ用いることができる。

【0079】

軟組織11中の音速を $V_s$ とすると、伝播経路の差 $D$ は、 $D = V_s \cdot t$ により算出される。また、図6(b)に示すように、2つの振動子22a、22bの間隔を $W$ とすると、伝播経路の差 $D$ は、 $D = W \cdot \sin \alpha$ で表される。従って、到来角度 $\alpha$ は、 $\alpha = \arcsin(V_s \cdot t / W)$ により算出される。なお、軟組織11中の音速 $V_s$ は、測定したものをを用いてもよいが、仮定値を用いてもよい。

【0080】

以上、振動子組22Aに対する表面反射波42の到来角度 $\alpha$ の検出方法について説明したが、他の10個の振動子組22B~22Kに対する到来角度 $\alpha$ も同様の手順により検出することができる。

【0081】

なお、到来方向を検出する際、振動子組を構成する2つの振動子の受波信号の受波信号の位相差から直接到来角度を検出してもよい。本発明の到来方向検出部の「受波振動子がそれぞれ前記表面反射波を受波した時刻の時間差を用いて」とは、位相差を用いる場合も含むものとする。

【0082】

次に、伝播時間検出部82bが、アレイ振動子22により超音波が送波されてから、振動子組22A~22Kに表面反射波が到達するまでの伝播時間 $T_a$ を、2つの振動子22a、22bの受波信号を用いて検出する(S12)。伝播時間 $T_a$ は、例えば、アレイ振動子22により超音波が送波されてから、振動子22a、22bに表面反射波42がそれぞれ到達するまでの時間の平均値を用いてもよいが、平均値以外の値を用いてもよい。平均値を用いると、検出される骨表面10aの形状の誤差を少なくすることができる。

【0083】

次に、表面反射点検出部82cが、各振動子組22A~22Kに到達する表面反射波の到来角度 $\alpha$ 及び伝播時間 $T_a$ とを用いて、骨表面10a上の表面反射点を検出する(S14)

以下、振動子組22Aに対する到来角度 $\alpha$ を用いて、骨表面10a上の1つの表面反射点の位置を検出する方法について説明する。

【0084】

図6(a)に示すように、振動子組22Aに対する表面反射波42の到来角度が $\alpha$ の場合、この表面反射波42は、振動子22a~22lの表面上の点Eaから送波されて図6(a)中のy軸方向に進行する入射波41が、x軸方向に対して $\alpha/2$ 傾いた骨表面10a上の点(表面反射点)Raで反射したものである。

【0085】

ここで、図6(a)に示すように、x軸方向に関する振動子組22Aから表面反射点Raまでの距離を $X$ とし、y軸方向に関する振動子組22Aから表面反射点Raまでの距離を $Y$ とする。

【0086】

入射波41の伝播方向がy軸方向であるため、点Eaから表面反射点Raまでの距離は $Y$ である。また、表面反射点Raから振動子組22Aまでの距離が $Y / \cos \alpha$ で表されるため、点Eaから入射波41が送波されてから振動子組22Aに表面反射波42が到達するまでの伝播距離 $L_a$ は、 $L_a = Y + Y / \cos \alpha$ で表される。また、伝播時間 $T_a$ と

10

20

30

40

50

軟組織中の音速  $V_s$  とから、伝播距離  $L_a$  は  $L_a = V_s \cdot T_a$  により算出される。従って、 $Y$  は、 $Y = V_s \cdot T_a \cdot \cos \alpha / (1 + \cos \alpha)$  により算出される。また、 $X$  は、 $X = V_s \cdot T_a \cdot \sin \alpha / (1 + \cos \alpha)$  により算出される。これにより、表面反射点  $R_a$  の位置が検出される。

【0087】

このように、アレイ振動子 22 から送波される超音波（平面波）の伝播方向が予めわかっているため、振動子組 22 A で受波される表面反射波 42 がどの振動子から送波されたものであるか特定されていなくても、検出された到来角度  $\alpha$  と伝播時間  $T_a$  を用いることにより表面反射点  $R_a$  の位置を検出することができる。

【0088】

以上、振動子組 22 A に到達する表面反射波の到来角度  $\alpha$  と伝播時間  $T_a$  とを用いて、1つの表面反射点  $R_a$  の位置を検出する方法について説明したが、他の10個の振動子組 22 B ~ 22 K についても同様の手順により表面反射点  $R_a$  の位置をそれぞれ検出することができる。

【0089】

なお、上述した方法では、振動子組を構成する2つの振動子に受波された表面反射波の伝播時間の平均値を伝播時間  $T_a$  としているが、2つの振動子のうちの一方の振動子で受波された表面反射波の伝播時間をそのまま伝播時間  $T_a$  としてもよい。この場合、各振動子組を構成する2つの振動子のうち、同じ位置関係にある振動子の表面反射波の受波信号を用いることが望ましい。例えば、振動子組 22 A で振動子 22 b の受波信号を用いる場合には、振動子組 22 B では振動子 22 c の受波信号を用いる。

【0090】

また、振動子組を構成する2つの振動子で受波された表面反射波の伝播時間と、到来角度  $\alpha$  を用いて、1組の振動子組に対して、2つの反射点を検出してもよい。本発明の伝播時間検出部の「各振動子組に到達する前記表面反射波の伝播時間」とは、2つの振動子に受波された表面反射波の伝播時間をそのまま、「各振動子組に到達する前記表面反射波の伝播時間」とする場合を含む。

【0091】

形状導出部 82 d は、表面反射点検出部 82 c により検出された11個の表面反射点  $R_a$  を直線又は曲線で結び、図7に示すような  $x$   $y$  軸平面上の骨表面ライン  $I_a$  を導出する (S13)。骨表面ライン  $I_a$  は、後に導出する骨裏面ライン  $I_b$  と合わせて表示部 9 に表示される。骨表面ライン  $I_a$  を用いることにより、骨 10 の大きさ（外径）を推定することができる。なお、本発明の形状導出部による「複数の反射点を用いて、骨の表面の形状を導出する」とは、複数の反射点を結んで表面ラインを導出することに限定されず、複数の反射点の位置関係を取得するだけでもよい。

【0092】

次に、骨裏面 10 b の形状を導出する。

まず、到来方向検出部 82 a 及び伝播時間検出部 82 b が、表面反射波 42 の場合と同様の方法で、各振動子組 22 A ~ 22 K に到達する裏面反射波の到来方向  $\beta$  と伝播時間  $T_b$  をそれぞれ検出する (S15、S16)。なお、各振動子による表面反射波の受波信号と裏面反射波の受波信号は、図3に示すように、時間差があるため、容易に区別することができる。

【0093】

次に、裏面反射点検出部 82 e が、各振動子組 22 A ~ 22 K に到達する裏面反射波の到来方向  $\beta$  及び伝播時間  $T_b$  と、形状導出部 82 d によって導出された骨表面ライン  $I_a$  とを用いて、骨裏面 10 b 上の裏面反射点の位置を検出する (S17)。

以下、振動子組 22 A について、到来角度  $\beta$  及び伝播時間  $T_b$  とを用いて、骨裏面 10 b 上の1つの裏面反射点を検出する場合について説明する。

【0094】

図7に示すように、振動子組 22 A に到達する裏面反射波 54 の到来角度  $\beta$  と、骨表

10

20

30

40

50

面ライン I a とから、裏面反射波 5 4 の骨表面 1 0 a における屈折角  $\theta_1$  が算出される。

【0095】

骨 1 0 中の音速の仮定値を  $V_b'$ 、裏面反射波 5 4 の軟組織 1 1 への入射角を  $\theta_2$  とすると、スネルの法則により、 $\sin \theta_1 / \sin \theta_2 = V_s / V_b'$  の関係が成立する。この式より、入射角  $\theta_2$  が算出され、裏面反射波 5 4 の骨 1 0 中の伝播方向（図 7 中の z 軸）が導出される。

【0096】

また、振動子 2 2 a ~ 2 2 l の表面上の点 E b 1 から送波された入射波 5 1 の骨表面 1 0 a までの伝播方向（y 軸方向）と、骨表面ライン I a とから、入射波 5 1 の骨表面 1 0 a への入射角  $\theta_1$  が算出される。

10

【0097】

入射波 5 1 の骨表面 1 0 a における屈折角を  $\theta_2$  とすると、スネルの法則により、 $\sin \theta_1 / \sin \theta_2 = V_s / V_b'$  の関係が成立する。この式より、屈折角  $\theta_2$  が算出され、図 7 に示すように、入射波 5 1 の骨 1 0 中の伝播方向が導出される。入射波 5 1 の骨 1 0 中の伝播方向と、裏面反射波 5 4 の骨 1 0 中の伝播方向（z 軸）との交点を K 1 とする。

【0098】

交点 K 1 が骨裏面 1 0 b 上の反射点（裏面反射点）であると仮定すると、点 E b 1 から送波された入射波 5 1 が、骨裏面 1 0 b 上の点 K 1 で反射して、振動子組 2 2 A に到達していることになる。この仮定の伝播ルートにおける、送波から受波までの伝播時間の予測値を  $T_{b1}$  とする。 $T_{b1}$  は、点 E b 1 から振動子組 2 2 A までの超音波の伝播ルートと、軟組織 1 1 中の音速  $V_s$  と、骨 1 0 中の音速の仮定値  $V_b'$  とから算出される。

20

【0099】

また、振動子 2 2 a ~ 2 2 l の表面上の点 E b 2、E b 3 から送波された入射波 5 2、5 3 についても、入射波 5 1 と同様に、骨 1 0 中の伝播方向と z 軸との交点 K 2、K 3 をそれぞれ検出する。さらに、交点 K 2、K 3 をそれぞれ裏面反射点とした場合の、送波から受波までの伝播時間の予測値  $T_{b2}$ 、 $T_{b3}$  をそれぞれ算出する。

【0100】

図 8 は、z 軸上の裏面反射点の位置と、入射波の送波から振動子組 2 2 A に裏面反射波が到達するまでの伝播時間  $T_b$  との関係を示すグラフである。図 8 中の曲線は、交点 K 1、K 2、K 3 を裏面反射点と仮定したときの、伝播時間の予測値  $T_{b1}$ 、 $T_{b2}$ 、 $T_{b3}$  から得られる 3 つの点を曲線で結んだものである。この曲線と、 $T_b = T_{b0}$ （伝播時間の実測値）のラインの交点から、裏面反射点 R b の位置を検出することができる。

30

【0101】

なお、算出された伝播時間の予測値  $T_{b1}$ 、 $T_{b2}$ 、 $T_{b3}$  の何れかが、伝播時間の実測値  $T_{b0}$  とほぼ等しい場合には、図 8 のようなグラフを用いなくても、裏面反射点 R b を検出できる。

【0102】

以上、振動子組 2 2 A に到達する裏面反射波の到来角度  $\theta_b$  及び伝播時間  $T_{b0}$  とを用いて、1 つの裏面反射点 R b を検出する方法について説明したが、残りの 1 0 個の振動子組 2 2 B ~ 2 2 K についても同様の手順により裏面反射点 R b の位置をそれぞれ検出する。

40

【0103】

形状導出部 8 2 d は、検出された 1 1 個の裏面反射点 R b を直線又は曲線で結び、図 7 に破線で示すような x y 軸平面上の骨裏面ライン I b を導出する（S 1 8）。

【0104】

導出された骨裏面ライン I b は、骨表面ライン I a と共に表示部 9 に表示される。これにより骨のイメージング画像を得ることができる。また、形状導出部 8 2 d は、骨表面ライン I a と骨裏面ライン I b とを用いて、骨 1 0 の厚みを導出する（S 1 9）。

【0105】

以上説明したように、本実施形態の骨強度診断装置 1 では、アレイ振動子 2 2 を構成す

50

る複数の振動子 22a ~ 22l から同時に同位相の超音波を送波し、その反射波を利用して、骨表面 10a 及び裏面 10b の形状を導出している。ここで、複数の振動子から送波時間又は位相をずらして超音波を送波する場合、つまり、複数の振動子に対してそれぞれ時間又は位相をずらした電気信号を送る場合には、複数の送信回路又は切替回路を備える必要があるが、本実施形態では、複数の振動子 22a ~ 22l から同時に同位相の超音波を送波すればよいため、1つの送信回路 5 が、複数の振動子 22a ~ 22l に接続された構成にすることができる。従って、送信側の回路構成が比較的簡易になり、その結果、コストを低減できる。

#### 【0106】

また、複数の振動子 22a ~ 22l から同時に超音波を送波して骨の形状を検出しているため、複数の振動子から送波時間をずらして超音波を送波して骨の形状を検出する場合に比べて、形状検出に要する時間が短くて済む。そのため、超音波の送受波の途中に、超音波送受波器 2 の位置がずれることが少なくなり、骨の形状を精度良く検出することができる。

#### 【0107】

また、複数の振動子 22a ~ 22l が、超音波の送波と受波の両方を行うように構成されているため、骨 10 の形状を検出するための超音波の送受波に用いる振動子の数を少なくすることができ、コストを低減できる。

#### 【0108】

##### <音速導出ステップ>

次に、送波専用振動子 21 から超音波を送波したときのアレイ振動子 22 の受波信号と、形状導出部 82d により導出された骨表面 10a の形状とを用いて、音速導出部 83 が骨 10 中の音速を導出する。まず、骨表面 10a の形状に基づいて、複数の振動子 22a ~ 22l のうち、漏洩表面波を受波する振動子を特定する (S21)。以下、具体的に説明する。

#### 【0109】

図9に示すように、振動子 22a と送波専用振動子 21 と骨表面ライン Ia との位置関係とに基づき、フェルマーの原理を用いて、振動子 22a に到達する骨表面 10a からの反射波の伝搬経路を検出する。フェルマーの原理とは、2点を通る音波は伝播可能な経路のうち最短の経路を通過して伝播するというものである。このフェルマーの原理によると、振動子 22a に到達する反射波の伝播経路は、送波専用振動子 21 の指向性の範囲内で推定できる反射波の伝播経路のうち、送波専用振動子 21 から振動子 22a までの伝搬距離が最短の経路となる。

#### 【0110】

次に、振動子 22a に到達する反射波の伝播経路における、骨表面 10a に対する入射角  $\theta_1$  を算出する。また、骨 10 中の音速の仮定値  $V_b'$  と、軟組織 11 中の音速  $V_s$  とから、臨界角の仮定値  $C$  を算出し、この臨界角の仮定値  $C$  と入射角  $\theta_1$  とを比較する。入射角  $\theta_1$  が臨界角の仮定値  $C$  よりも小さい場合には、入射角が臨界角の仮定値  $C$  と同じ (又はそれ以上) になるまで、送波専用振動子 21 に近い順に振動子 22b 以降の各振動子について同様の演算を行う。振動子 22c に到達する反射波の伝播経路における入射角  $\theta_3$  が、臨界角の仮定値  $C$  と同じになったとする。入射角が臨界角と同じ場合、骨表面 10a では表面波が発生する。従って、振動子 22d が、漏洩表面波を受波する、送波専用振動子 21 に最も近い振動子と特定される。即ち、振動子 22d 以降の振動子が、漏洩表面波を受波する振動子と特定される。

#### 【0111】

なお、上述したように、骨幅 (図1の左右方向の骨 10 の径) が小さい場合には、送波専用振動子 21 から離れた位置の振動子 (例えば振動子 22k、22l) は、漏洩表面波が到達しない場合がある。この場合には、上述の方法により漏洩表面波を受波する、送波専用振動子 21 に最も近い振動子を特定するとともに、骨表面ライン Ia を用いて、どの振動子まで漏洩表面波が到達するのか特定 (即ち、送波専用振動子 21 から最も離れた、

10

20

30

40

50

漏洩表面波を受波できる振動子を特定)してもよい。

【0112】

次に、漏洩表面波を受波する振動子であると特定された振動子22d~22lの、送波から一定時間の受波信号の中から、漏洩表面波(又は骨表面屈折波)の波形を検出する(S22)。以下、具体的に説明する。

【0113】

振動子22d~22lの受波信号の中から、超音波の波形とノイズの波形を区別して、最も受波時刻の早い超音波の波形を検出する。具体的には、例えば、図10に示すように、一般的なノイズレベルより若干大きいノイズ閾値Nを決定しておき、振幅がn点(例えば3点)連続して閾値Nを超えた場合に、超音波の波形として認識する。

10

【0114】

上述したように、1つの振動子に漏洩表面波と骨表面10aからの反射波の両方が到達する場合、漏洩表面波は反射波よりも先に到達するため、最も受波時刻の早い超音波の波形を検出することにより、漏洩表面波又は骨表面屈折波の波形を検出することができる。この波形の最大ピーク値、ゼロクロス値などから、各振動子22d~22lに到達した漏洩表面波又は骨表面屈折波の伝播時間を導出することができる。なお、直接波の方が、反射波や漏洩表面波等よりも先に到達する場合もあるが、上述したように、直接波はこれらに比べて振幅が非常に小さくなるように設計されているため、ほとんど検出されない。

【0115】

次に、漏洩表面波を受波する振動子であると特定された振動子22d~22lの、最も受波時刻の早い超音波の受波信号(漏洩表面波又は骨表面屈折波の受波信号)と、骨表面10aの形状とを用いて、骨表面10aを円周方向の音速を算出する(S23)。

20

【0116】

まず、漏洩表面波を受波する振動子であると特定された複数の振動子22d~22lから、1つの振動子組を選択する。以下、図11に示すように、振動子22dと振動子22eからなる振動子組22Dを選択した場合を例に挙げて説明する。

【0117】

まず、振動子22d、22eの受波信号から検出された最も受波時刻の早い超音波の波形(漏洩表面波又は骨表面屈折波の波形)が、漏洩表面波の波形であると仮定する。骨表面屈折波の骨表面10aからの出射角は、漏洩表面波の骨表面10aからの出射角(臨界角と同じ角度)に非常に近い。そのため、たとえ最も受波時刻の早い超音波の波形が、骨表面屈折波の波形であったとしても、精度良く音速を導出することができる。

30

【0118】

2つの振動子22d、22eに到達する漏洩表面波の到来方向が近似すると仮定し、2つの振動子22d、22eの漏洩表面波の受波信号の時間差から、振動子組22Dに対する漏洩表面波35の到来角度c1を検出する。到来角度c1の具体的な検出方法は、到来角度検出部による到来角度a、bの検出方法と同様の方法を用いる(図6(b)参照)。

【0119】

到来角度c1と、骨表面ラインIaとから、骨表面10aにおける漏洩表面波35の発生点P1を検出する。骨表面ラインIaの点P1における法線方向と、到来角度c1とから、漏洩表面波35の骨表面10aからの出射角1を算出する。骨10中の音速をVbとすると、スネルの法則により、 $Vb = Vs / \sin 1$ の関係が成立する。この式から、骨表面10aを円周方向に伝播する超音波(より詳細に言うと表面波)の音速Vbが算出される。

40

【0120】

さらに、複数の振動子組22E~22Kのうち、全て又は選択された一部の振動子組について、同様に骨10中の音速Vbを算出し、複数の音速Vbの平均値を求める。これにより、骨10中の音速を精度良く導出することができる。なお、骨表面ラインIaに、振動子組22E~22Kについて導出された音速Vbをマッピングすることもできる。

50

## 【0121】

このように、骨表面10aの形状の情報を用いて、骨10中の音速を算出する。そのため、たとえ骨表面10aの形状が曲面状であったり、当接面2aに対して傾いていたりしても、骨10中の音速を精度良く導出することができる。その結果、骨強度の診断精度が向上する。

## 【0122】

以上により、円周方向の音速を導出したが、さらに、超音波送受波器2を、アレイ振動子22の配列方向が、骨10の長軸方向にほぼ一致するように設置して、長軸方向の音速も導出する。なお、骨10の厚みは、骨10の長軸方向に直交する断面形状を導出したときに導出された骨厚みを用いるため、この場合は骨裏面10bの形状を導出しなくてもよい。

10

## 【0123】

最後に、骨強度指標導出部84が、音速導出部83によって導出された円周方向の音速及び長軸方向の音速と、形状検出部82（形状導出部82d）によって検出された骨表面10a及び骨裏面10bの形状とを用いて、骨強度に関する指標を導出する（S24）。導出された指標は表示部9に表示される。

## 【0124】

以上のように、骨強度診断装置1では、骨強度の指標又は骨強度の指標を導出するための要素として、骨10の厚み、骨10のイメージング画像、円周方向の音速、長軸方向の音速を得ることができる。

20

## 【0125】

骨は異方性構造を有しており、荷重の作用する方向に強い構造をしている。マクロスケールにおいては、大腿骨や脛骨や橈骨などのように長管状形状をしており、荷重方向に強い構造をしている。ミクロスケールにおいては、数十から数百ミクロンの円柱形状に近い空隙が存在する。この空隙はほぼ荷重方向に伸びており、荷重方向に強い構造をしている。ナノスケールにおいては、コラーゲン繊維に生体アパタイト結晶が取り巻いた構造をしている。このコラーゲン繊維や生体アパタイト結晶のc軸は、荷重方向に配向したものが多く存在する。このように、骨の異方性構造を調べることは骨強度を診断する上で重要である。

## 【0126】

近年、骨強度は骨量と骨質の2つの要因からなると言われている。骨量である骨の大きさ（外径）や厚みに加えて、異方性構造を調べることは骨質の診断につながる。

30

## 【0127】

まず、骨強度において、皮質骨のマクロ構造である骨の大きさ（外径）や皮質骨厚みは重要な因子である。上述したように、形状導出部82dでは、検出された骨表面10a及び骨裏面10bの形状とから、皮質骨10の厚みを導出するとともに、骨10の大きさ（外径）を推定している。従って、皮質骨10の厚み及び骨10の大きさを用いることにより、骨量に関する指標を導出することができる。

## 【0128】

また、骨表面を円周方向に沿って伝播する超音波の音速は、皮質骨のミクロ構造である空隙率や空隙サイズや空隙連結性の影響を大きく受ける。これは皮質骨の骨密度と関係する因子である。そのため、円周方向の音速を用いることにより、骨密度に関する指標を導出することができる。

40

## 【0129】

一方、骨表面を長軸方向に沿って伝播する超音波の音速は、皮質骨のナノ構造である生体アパタイト結晶の配向性と、骨のミクロ構造による骨密度や空隙の両方の影響を受ける。そのため、長軸方向の音速だけでは、骨の異方性構造を評価することができず、骨強度の診断指標としては不十分である。長軸方向の音速と円周方向の音速の両方を用いることにより、骨の配向性に関する指標を導出することができる。

## 【0130】

50

また、物体中を通過する超音波の音速  $V$  は、下記の数式 1 で表されたため、弾性的な性質を表す。

【 0 1 3 1 】

【 数 1 】

$$V = \sqrt{c / \rho}$$

$c$  : 弾性ステイフネス、 $\rho$  : 密度

【 0 1 3 2 】

従って、円周方向と長軸方向の音速をそのまま骨強度の指標としても良い。この音速  $V$  は、ミクロ構造やナノ構造を全て含めた平均的な弾性的性質を表すことから、X線と比較して、骨強度に関係する骨質の指標を直接示することができるという特徴がある。

【 0 1 3 3 】

以上のように、骨強度診断装置 1 では、骨強度に関する複数の指標を導出することができるため、これらを用いることにより、骨強度をより詳細に診断することが可能となる。なお、実施の形態において、上述の全ての指標を骨強度の指標とせず、一部の指標のみを用いても良い。

【 0 1 3 4 】

次に、前記実施形態に種々の変更を加えた変更形態について説明する。但し、前記実施形態と同様の構成を有するものについては、同じ符号を用いて適宜その説明を省略する。

【 0 1 3 5 】

1 ] 前記実施形態では、円周方向の音速と、長軸方向の音速の両方を導出したが、円周方向の音速（及び皮質骨 10 の厚み）だけを導出して、骨強度を診断してもよい（変更形態 1）。

【 0 1 3 6 】

2 ] 演算部 8 は、送波専用振動子 2 1 の送波信号と各振動子 2 2 a ~ 2 2 l の受波信号とから、各振動子に受波される超音波の減衰係数を検出する減衰係数検出部を備えるものであってもよい（変更形態 2）。この変更形態における具体的な作用を以下説明する。

【 0 1 3 7 】

減衰特性検出部は、振動子 2 2 a ~ 2 2 l によりそれぞれ受波された漏洩表面波（又は骨表面屈折波）のスペクトルと、送波専用振動子 2 1 から送波された超音波のスペクトルとをフーリエ変換により算出し、送波信号に対する各振動子 2 2 a ~ 2 2 l の受波信号のスペクトル比を検出する。一般的に、生体中を伝播する超音波の減衰率は、低周波成分よりも高周波成分の方が大きくなるため、検出されたスペクトル比は傾きを有する。この傾きを算出することにより、減衰係数（BUA : Broadband Ultrasonic Attenuation [ dB/MHz ]）を検出できる。

【 0 1 3 8 】

検出された複数の振動子 2 2 a ~ 2 2 l の減衰係数（BUA）は、表示部 9 に表示される。複数の振動子 2 2 a ~ 2 2 l の減衰係数（BUA）を用いることにより、骨強度をより詳細に診断することができる。

【 0 1 3 9 】

3 ] 振動子 2 2 a ~ 2 2 l にそれぞれ受波された漏洩表面波（又は骨表面屈折波）の例えば最大振幅を表示部 9 に表示する。これらの値を用いて、骨強度を診断してもよい（変更形態 3）。

【 0 1 4 0 】

4 ] 骨 10 中の音速を導出する方法としては、以下の方法（変更形態 4 とする）を用いてもよい。まず、漏洩表面波を受波する振動子であると特定された複数の振動子から、2 つの振動子組を選択する。2 つの振動子組としては、構成する振動子が重複しないことが好ましい。以下、図 1 2 に示すように、振動子 2 2 d と振動子 2 2 e からなる振動子組 2 2

10

20

30

40

50

Dと、振動子22hと振動子22iからなる振動子組22Hとを選択した場合を例に挙げて説明する。

【0141】

前記実施形態と同様に、振動子22d、22e、22h、22iの受波信号から検出された漏洩表面波又は骨表面屈折波の波形が、漏洩表面波の波形であると仮定して、2つの振動子組22D、22Hに対する漏洩表面波36、37の到来角度  $c_2$ 、 $c_3$ をそれぞれ検出する。

【0142】

到来角度  $c_2$ 、 $c_3$ と、骨表面ラインIaとから、骨表面10aにおける漏洩表面波36の発生点P2、P3をそれぞれ検出する。そして、振動子組22Dから点P1までの距離  $d_1$ 、振動子組22Hから点P2までの距離  $d_2$ 、及び、点P1と点P2の間の距離  $d_3$ をそれぞれ算出する。

10

【0143】

2つの振動子組22D、22Hがそれぞれ漏洩表面波36を受波した時刻の時間差を  $T_c$ とすると、2つの振動子組22D、22Hに到達する超音波の伝播ルートの違いから、時間差  $T_c$ は、 $T_c = (d_3 / V_b) - \{ (d_1 - d_2) / V_s \}$ で表される。 $T_c$ は、4つの振動子22d、22e、22h、22iの漏洩表面波の受波時刻を用いて算出できる。従って、骨10中の音速  $V_b$ は、 $V_b = d_3 / \{ T_c + (d_1 - d_2) / V_s \}$ の式から算出される。

【0144】

5]また、骨10中の音速を導出する方法としては、以下の方法(変更形態5とする)を用いてもよい。まず、漏洩表面波を受波する振動子であると特定された複数の振動子から、1つの振動子組を選択する。以下、図13に示すように、振動子22dと振動子22eからなる振動子組22Dを選択した場合を例に挙げて説明する。

20

【0145】

振動子22d、22eの受波信号から検出された漏洩表面波又は骨表面屈折波の波形が、骨表面屈折波の波形であると仮定して、振動子組22Dに対する骨表面屈折波38の到来角度  $c_4$ を算出する。到来角度  $c_4$ と、骨表面ラインIaとから、骨表面10aにおける骨表面屈折波38の出射点(屈折点)P4を検出し、骨表面ラインIaの点P4における法線方向と、到来角度  $c_4$ とから、骨表面屈折波38の出射角(屈折角)  $\theta_4$ を算出する。

30

【0146】

骨表面屈折波38は、骨中を伝播する超音波39が、骨表面10aで屈折して発生したものである。超音波39の骨表面10aに対する入射角  $\theta$ とすると、スネルの法則により、骨10中の音速(詳細には超音波39の音速)  $V_b$ は、 $V_b = V_s \cdot \sin \theta / \sin \theta_4$ で表される。

【0147】

次に、送波専用振動子21から送波される超音波の角度範囲に基づいて、骨表面10a上の超音波の入射範囲のうち、図13中の左端部の位置P5を検出する。超音波39が、点P5から点P4まで伝播したと仮定した場合の入射角  $\theta_{min}$ を算出する。なお、点P5は、形状導出部82dにより導出された骨形状の範囲を超えた位置になる。そのため、形状導出部82dにより導出された範囲の骨形状から予測した骨形状を用いて、点P5を検出する。

40

【0148】

入射角  $\theta$ は、 $\theta_{min}$ から90度までの範囲内の角度である。音速  $V_b$ は、 $V_{min}$ ( $V_{min} = V_s \cdot \sin \theta_{min} / \sin \theta_4$ )から  $V_{max}$ ( $V_{max} = V_s / \sin \theta_4$ )の範囲内の速度である。図14は、入射角  $\theta$ と、送波から受波までの伝搬時間  $T_c$ との関係を示すグラフである。図14中の曲線は、入射角  $\theta$ を  $\theta_{min}$ から90度まで変化させたときの、各入射角の伝播経路での伝搬時間  $T_c$ を示している。ある入射角  $\theta$ での伝搬時間  $T_c$ は、入射角  $\theta$ に応じた伝搬経路長と、入射角  $\theta$ に応じた骨中の音速  $V_b$ と、軟組織中の音速  $V_s$ とから

50

算出される。

【0149】

また、振動子22d、22eの受波信号から、伝播時間の実測値 $T_{c0}$ を算出する。図14の曲線と、 $T_c = T_{c0}$ のラインの交点から、入射角 $\theta$ が求められる。この入射角 $\theta$ を用いて、骨10中の音速 $V_b$ が算出される。このようにして、骨10中を円周方向に沿って伝播する超音波（詳細には骨10中の骨表面10a近傍を伝播する超音波）の音速 $V_b$ を導出することができる。

【0150】

6]前記実施形態では、アレイ振動子22から超音波を送波してから、一定時間空けた後で、送波専用振動子21から超音波を送波しているが、アレイ振動子22と送波専用振動子21から同時に超音波を送波してもよい（変更形態6）。この場合、アレイ振動子22と送波専用振動子21にそれぞれ異なる送信回路を接続し、アレイ振動子22と送波専用振動子21から、互いに周波数の異なる超音波を送波させればよい。

10

【0151】

7]前記実施形態では、アレイ振動子22を構成する複数の振動子は、送波と受波の両方を行なっているが、12個の振動子22a~22lのうち一部の振動子のみが超音波の受波を行うように構成されていてもよい。具体的には、例えば、図15(a)に示すように、12個の振動子22a~22lのうち、8個の振動子22a、22b、22d、22e、22g、22h、22j、22kが、8個の受信回路にそれぞれ接続され、超音波の受波を行うように構成されていてもよい（変更形態7）。この場合、到来方向検出部82aは、隣接する2つの振動子を1つの振動子組として、4つの振動子組22L~22Oを決定してもよい。

20

【0152】

8]また、例えば、図15(b)に示すように、12個の振動子22a~22lのうち1つおきに配置されている振動子（例えば、振動子22a、22c、22e、・・・、22k）が、超音波の受波のみを行うように構成されていてもよい（変更形態8）。この場合、到来方向検出部82aは、1つおきに配置されている2つの振動子を1組の振動子組として、5組の振動子22P~22Tを決定してもよい。

変更形態7、8の構成によると、受信回路の数を前記実施形態よりも減らすことができ、回路構成が簡易になるとともに、コストを低減できる。

30

【0153】

9]受信回路とアレイ振動子22との間にアナログスイッチなどの切替回路が設けられ、12個の振動子22a~22lのうち、切替回路により受信回路に接続された一部の振動子のみが受波を行うように構成されていてもよい。例えば、図15(c)に示すように、切替回路106によって、12個の振動子22a~22lのうち1つの振動子のみが受信回路6aに接続される構成であってもよい（変更形態9）。超音波を1度送波するたびに、切替回路106によって、受信回路に接続される振動子を順に切り替える。超音波の送波を合計12回行うことにより、12個の振動子22a~22lの受波信号を取得することができる。なお、図15(c)中、送信側の回路構成は省略して表示している。

この構成によると、受信回路の数を前記実施形態よりも減らしてコストを低減しつつ、前記実施形態と同様に12個の振動子22a~22lの受波信号を取得することができる。

40

【0154】

10]前記実施形態では、アレイ振動子22を構成する複数の振動子22a~22lは、アレイ振動子22から送波された超音波の受波と、送波専用振動子21から送波された超音波の受波の両方を行っているが、この構成に現限定されない。例えば、送波専用振動子21側の4つの振動子22a~22dは、アレイ振動子22から送波された超音波の受波のみを行い、送波専用振動子21と反対側の4つの振動子22j~22lは、送波専用振動子21から送波された超音波の受波のみを行い、中央部の4つの振動子22e~22hは、どちらの送波の場合にも受波を行うように構成されていてもよい（変更形態10）。

50

この場合、受信回路を8個設け、この8個の受信回路とアレイ振動子22との間に切替回路を設けて、超音波の送波を行う振動子（送波専用振動子21又はアレイ振動子22）に応じて、受波を行う振動子を切り替える構成としてもよい。

この構成によると、受信回路の数を前記実施形態よりも減らすことができる。

【0155】

11]送波専用振動子21を設けずに、アレイ振動子22の端部の複数（例えば4つ）の振動子から位相を制御した超音波を送波することにより、当界面2aに対して斜めに超音波を送波してもよい（変更形態11）。

この構成によると、送波専用振動子21が必要ないため、超音波送受波器2の構成がアレイ振動子22のみとなり、簡易化される。また、送波専用振動子21を設けない分、アレイ振動子22を構成する振動子の数を増やすことができるため、骨形状を検出できる範囲が広がる。但し、送信回路が複数必要となり、回路構成が複雑でコストも高くなるため、この点においては、前記実施形態の方が好ましい。

10

【0156】

12]前記実施形態の超音波送受波器2では、送波専用振動子21の数は1つであるが、例えば、図16(a)に示すように、アレイ振動子22の配列方向に並んで配置された2つの送波専用振動子21を備える超音波送受波器202でもよい（変更形態12）。このでは、軟組織11の厚みや、骨表面10aの曲率の大きさに応じて、2つの送波専用振動子21から超音波を送波する振動子を選択するようにする。

この構成によると、アレイ振動子22に、漏洩表面波又は骨表面屈折波をより確実に受波させることができる。

20

【0157】

13]前記実施形態の超音波送受波器2は、アレイ振動子22と送波専用振動子21を1つずつ備えているが、例えば、図16(b)に示すように、互いに直交する方向に配置された2つのアレイ振動子22と、これら2つのアレイ振動子22の配列方向の一端側にそれぞれ配置された2つの送波専用振動子21とを備える超音波送受波器302でもよい（変更形態13）。図16(b)は、当界面2aと平行な面の断面図である。

この構成によると、超音波送受波器302の設置の向きを変えなく、骨の円周方向の断面形状と長軸方向の断面形状を検出できるとともに、円周方向の音速と長軸方向の音速を導出することができる。従って、測定時間を短縮することができる。

30

【0158】

14]また、例えば、図16(c)に示すように、6個×6個の格子状に配列された複数の振動子422aからなるアレイ振動子422と、アレイ振動子422の図16(c)中の上側に、左右方向に並んで配置された6個の送波専用振動子421aと、アレイ振動子422の図16(c)中の左側に、上下方向に並んで配置された6個の送波専用振動子421bとを備えた超音波送受波器402でもよい（変更形態14）。この構成によると、例えば、アレイ振動子422の右端から順に、上下方向に配列された6個の振動子422aと、これに対応する送波専用振動子421aとを用いて、前記実施形態と同様に、骨の形状を検出して、検出された骨形状を用いて骨中の音速を導出する。これにより、骨10の立体的形状を導出することができる。さらに、左右方向に並んだ6箇所における、上下方向に伝播する超音波の音速を導出することができる。従って、ある方向の音速を複数箇所

40

で測定できるため、骨中の超音波の音速をより精度よく導出することができる。また、アレイ振動子422の上端から順に、左右方向に配列された6個の振動子422aと、これに対応する送波専用振動子421bとを用いて、骨中の音速を導出することにより、上下方向に並んだ6箇所における、左右方向に伝播する超音波の音速を導出することができる。

【0159】

15]前記実施形態では、骨強度診断装置の一部に、本発明の形状検出装置を適用した場合を例に挙げて説明したが、本発明の形状検出装置は単独で実施することもできる（変更形態15）。図17に形状検出装置1'の構成の一例を示す。この場合、形状検出装置1

50

の測定対象は骨に限定されるものではなく、例えば、パイプの内周面の形状を検出する場合に用いてもよい。これにより、パイプ劣化の非破壊検査を行うことができる。また、測定対象が骨の場合、骨皮質骨の厚みを検出して、この皮質骨の厚みから骨強度を診断する骨強度診断装置に、本発明の形状検出装置を適用することもできる。

【0160】

16] 本発明の形状検出装置は、複数の送波用の振動子と、複数の受波用の振動子とがそれぞれ別の振動子からなる構成でもよい。例えば、図18(a)に示すように、アレイ振動子22の一端側の6つの振動子22a~22fが、超音波の送波のみを行い、アレイ振動子22の他端側の6つの振動子22g~22lが、超音波の受波のみを行う構成であってもよい(変更形態16)。この構成によると、当界面2aに対して、測定対象物の表面(又は裏面)が大きく傾いている場合であっても、表面からの反射波(又は裏面からの反射波)を受波することができる。なお、中央側の例えば2つの振動子22f、22gは送波と受波の両方を行うように構成されていてもよい。

10

【0161】

17] 本発明の形状検出装置は、図18(b)に示すように、振動面の大きな1つの送波用の振動子122から超音波を対象物に対して送波し、複数の受波用の振動子22a~22fにより測定対象物からの反射波を受波する構成でもよい(変更形態17)。振動子122の図18(b)中の左右方向長さは、例えば10~100mmである。この場合、振動子122から送波される超音波の中心周波数は例えば1~10MHzである。振動子122から送波される超音波は、平面波として伝播する。

20

この構成によると、変更形態16と同様に、測定対象物の表面(又は裏面)の傾斜がある場合であっても、その反射波を受波することができる。

【0162】

18] 本発明の形状検出装置は、前記実施形態のアレイ振動子22と、到来方向検出部82a及び伝播時間検出部82bとに代えて、図19に示すような、例えば6個×6個の格子状に配列された複数の振動子からなるアレイ振動子522と、以下に説明する到来方向検出部及び伝播時間検出部とを備えた構成であってもよい(変更形態18)。以下、変更形態18における、対象物の表面の形状の検出方法について説明する。

【0163】

まず、アレイ振動子522を構成する全ての振動子から同時に同位相の超音波を送波して、対象物の表面からの表面反射波を、アレイ振動子522を構成する全ての振動子により受波する。

30

到来方向検出部は、アレイ振動子522を構成する複数の振動子のうち、直交する2つの列上に配置されている近接する3つの受波振動子(例えば、図19中の501a、501b、502a)を1組の振動子組510として、複数の振動子組510を決定する。

【0164】

図19中の左右方向に並んだ(即ち、左右方向の列上に配置されている)2つの振動子501a、502aがそれぞれ表面反射波を受波した時刻の時間差を用いて、前記実施形態において到来角度 $\alpha$ を検出した場合と同様に、左右方向を含む平面での表面反射波の到来角度(第1到来角度) $\alpha_1$ を検出する。

40

【0165】

さらに、図19中の上下方向に並んだ(即ち、上下方向の列上に配置されている)2つの振動子501a、501bの表面反射波の受波時刻の時間差から、上下方向を含む平面での表面反射波の到来角度(第2到来角度) $\alpha_2$ を検出する。

【0166】

図19(b)に示すように、到来角度 $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ を用いて、3つの振動子501a、501b、502cからなる振動子組510に対する表面反射波の到来方向(図19中の矢印Fの方向)を検出する。他の振動子組510についても、同様に到来方向を検出する。

【0167】

50

次に、伝播時間検出部は、各振動子組 5 1 0 を構成する 3 つの振動子 ( 5 0 1 a、5 0 1 b、5 0 2 a ) の表面反射波の受波信号を用いて、各振動子組 5 1 0 に到達する表面反射波の伝播時間  $T_a$  を検出する。伝播時間  $T_a$  は、3 つの振動子に受波された表面反射波の伝播時間の平均値を用いてもよいが、3 つの振動子のうち 2 つの振動子に受波された表面反射波の伝播時間の平均値を用いてもよい。また、3 つの振動子のうちの 1 つの振動子に受波された表面反射波の伝播時間を、そのまま伝播時間  $T_a$  としてもよい。

【 0 1 6 8 】

表面反射点検出部は、到来方向検出部及び伝播時間検出部により検出された、各振動子組 5 1 0 に到達する表面反射波の到来方向  $F$  及び伝播時間  $T_a$  を用いて、前記実施形態と同様に、対象物の表面上の反射点を検出する。形状導出部は、検出された複数の反射点を用いて、対象物の表面の 3 次元の形状を導出する。

この構成によると、各振動子組に対する 3 次元での表面反射波の到来方向を検出することができるため、対象物の表面の形状が、たとえ球面状であっても、その 3 次元の形状を検出することができる。

【 0 1 6 9 】

1 9 ] また、図 1 9 ( c ) に示すように、アレイ振動子 5 2 2 を構成する複数の受波振動子のうち、直交する 2 つの列上に配置されている近接する 4 つの振動子 ( 例えば、5 0 1 e、5 0 2 d、5 0 2 f、5 0 3 e ) を 1 組の振動子組 5 1 0 として、変更形態 1 8 と同様の手順で、対象物の表面の形状を検出してよい ( 変更形態 1 9 ) 。

【 0 1 7 0 】

2 0 ] 測定対象物が複数層からなる場合、本発明の形状検出装置は、対象物の最外層の表面と裏面の形状だけでなく、内部の層の形状も検出することができる ( 変更形態 2 0 ) 。以下、図 2 0 に示すような 2 層構造の対象物 6 0 0 の、表面側から 2 番目の層 ( 以下、第 2 層という ) 6 0 2 の裏面 6 0 0 c の形状を検出する場合を例に挙げて説明する。

【 0 1 7 1 】

到来方向検出部 8 2 a により、振動子組 2 2 A に到達する第 2 層 6 0 2 の裏面 6 0 0 c からの反射波 6 1 4 の到来角度  $d$  を、前記実施形態と同様の方法により算出する。次に、裏面反射点検出部 8 2 e により、予め導出しておいた最外層 6 0 1 の表面ライン  $I_a$  を用いて、最外層 6 0 1 の表面 6 0 0 a における反射波 6 1 4 の屈折角  $\theta_1$  及び入射角  $\theta_2$  を、前記実施形態と同様の方法により算出した後、予め導出しておいた最外層 6 0 1 の裏面ライン  $I_b$  を用いて、最外層 6 0 1 の裏面 ( 第 2 層 6 0 2 の表面 ) 6 0 0 b における反射波 6 1 4 の屈折角  $\theta_3$  及び入射角  $\theta_4$  を算出し、第 2 層 6 0 2 中の反射波 6 1 4 の伝播方向 ( 図 2 0 中の  $z$  軸 ) を導出する。

【 0 1 7 2 】

また、図 2 0 中の点  $E_{c1}$  から送波される入射波 6 1 1 の、最外層 6 0 1 の表面 6 0 0 a における入射角  $\theta_1$  及び屈折角  $\theta_2$  を、前記実施形態と同様の方法により算出した後、最外層 6 0 1 の裏面 6 0 0 b における入射波 6 1 1 の入射角  $\theta_3$  及び屈折角  $\theta_4$  を算出し、入射波 6 1 1 の第 2 層 6 0 2 中の伝播方向を導出する。同様に、図 2 0 中の点  $E_{c2}$ 、 $E_{c3}$  から送波される入射波 6 1 2、6 1 3 の第 2 層 6 0 2 中の伝播方向も導出する。そして、入射波 6 1 1 ~ 6 1 3 の伝播方向と  $z$  軸との交点  $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$  を検出して、前記実施形態と同様の方法により、第 2 層 6 0 2 の裏面 6 0 0 c 上の反射点  $R_c$  を導出する。

【 0 1 7 3 】

他の 6 つの振動子組 2 2 A ~ 2 2 K についても同様の手順を行い、6 つの反射点  $R_c$  を検出する。形状導出部 8 2 d は、検出された 7 つの反射点  $R_c$  を曲線又は直線で結んで、第 2 層 6 0 2 の裏面ライン  $I_c$  を導出する。

【 0 1 7 4 】

また、対象物が 3 つ以上の層から構成されている場合には、対象物の表面側の層から順に各層の形状を導出することにより、3 番目以降の層の裏面の形状も検出することができる。

10

20

30

40

50

## 【図面の簡単な説明】

【0175】

【図1】本発明の実施形態に係る骨強度診断装置の構成を示す図である。

【図2】(a)はアレイ振動子から送波された超音波を説明するための図であり、(b)はアレイ振動子から送波された超音波の伝播経路を説明するための図である。

【図3】アレイ振動子の受波信号を示すグラフである。

【図4】送波専用振動子から送波された超音波の伝播経路を説明する図である。

【図5】骨強度診断装置の動作を示すフローチャートである。

【図6】(a)は表面反射点の検出方法を説明するための図であり、(b)は到来方向の検出方法を説明するための図である。

10

【図7】裏面反射点の検出方法を説明するための図である。

【図8】裏面反射点の検出の際に用いる、伝播時間と裏面反射点の位置との関係を示すグラフである。

【図9】漏洩表面波を受波する振動子を特定する方法を説明するための図である。

【図10】ノイズの波形と超音波の波形とを選別する方法を説明するための図である。

【図11】音速の導出方法を説明するための図である。

【図12】変更形態4の音速の導出方法を説明するための図である。

【図13】変更形態5の音速の導出方法を説明するための図である。

【図14】変更形態5による音速導出の際に用いる、入射角と伝播時間との関係を示すグラフである。

20

【図15】(a)は変更形態7のアレイ振動子を示す図であり、(b)は変更形態8のアレイ振動子を示す図であり、(c)は変更形態9のアレイ振動子と切替回路とを示す図である。超音波送受波器の構成を示す図である。

【図16】(a)は変更形態12の超音波送受波器の構成を示す図であり、(b)は変更形態13の超音波送受波器の構成を示す図であり、(c)は変更形態14の超音波送受波器の構成を示す図である。

【図17】変更形態15の形状検出装置の構成を示す図である。

【図18】(a)は変更形態16の振動子の構成を示す図であり、(b)は変更形態17の振動子の構成を示す図である。

【図19】(a)は変更形態18及び変更形態19の振動子の構成を示す図であり、(b)は変更形態18の反射波の到来方向の検出方法を説明するための図であり、(c)は変更形態19の反射波の到来方向の検出方法を説明するための図である。

30

【図20】変更形態20の反射点の検出方法を説明するための図である。

## 【符号の説明】

【0176】

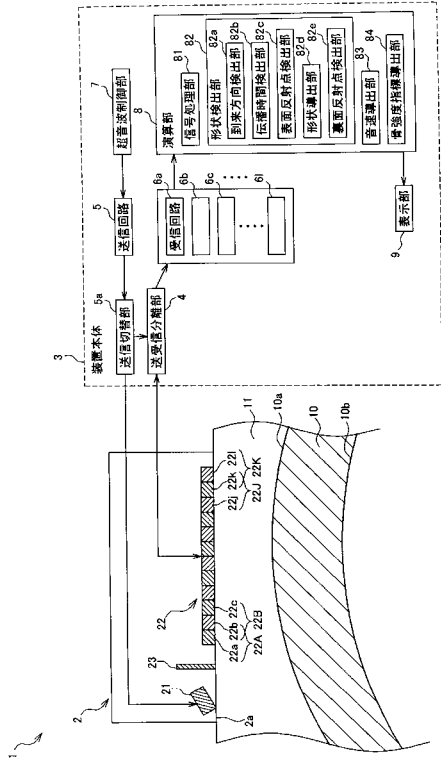
- 1 骨強度診断装置
- 2 超音波送受波器
- 22 アレイ振動子
- 22a ~ 22l 振動子(送波振動子、受波振動子)
- 22A ~ 22K 振動子組
- 23 遮音材
- 3 装置本体
- 5 送信回路
- 6a ~ 6l 受信回路
- 8 演算部
- 82 形状検出部
- 82a 到来方向検出部
- 82b 伝播時間検出部
- 82c 表面反射点検出部
- 82d 形状導出部

40

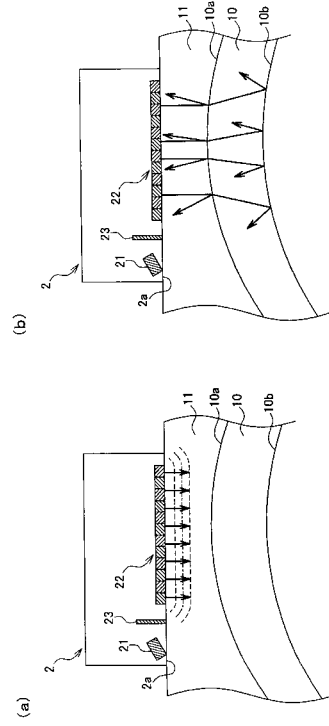
50

8 2 e	裏面反射点検出部	
8 3	音速導出部	
8 4	骨強度指標導出部	
1 0	骨	
1 0 a	骨表面	
1 0 b	骨裏面	
1 1	軟組織	
a	到来角度 (表面反射波の到来方向)	
b	到来角度 (裏面反射波の到来方向)	
T a	伝播時間	10
T b 0	伝播時間	
R a	表面反射点	
R b	裏面反射点	
2 2 L ~ 2 2 O、2 2 P ~ 2 2 T	振動子組	
1 0 6	切替回路	
2 0 2、3 0 2、4 0 2	超音波送受波器	
4 2 1 a、4 2 1 b	送波専用振動子	
4 2 2	アレイ振動子	
4 2 2 a	振動子 (送波振動子、受波振動子)	
1 2 2	振動子 (送波振動子)	20
5 2 2	アレイ振動子	
5 0 1 a ~ 5 0 1 f、5 0 2 a ~ . . . 5 0 6 f	振動子 (送波振動子、受波振動子)	
5 1 0	振動子組	
a 1	第 1 到来角度	
a 2	第 2 到来角度	
F	到来方向	
6 0 0	測定対象物	
6 0 0 a	最外層の表面	
6 0 0 b	最外層の裏面 (第 2 層の裏面)	
6 0 0 c	第 2 層の裏面	30
6 0 1	最外層	
6 0 2	第 2 層	
R c	第 2 層裏面の反射点	

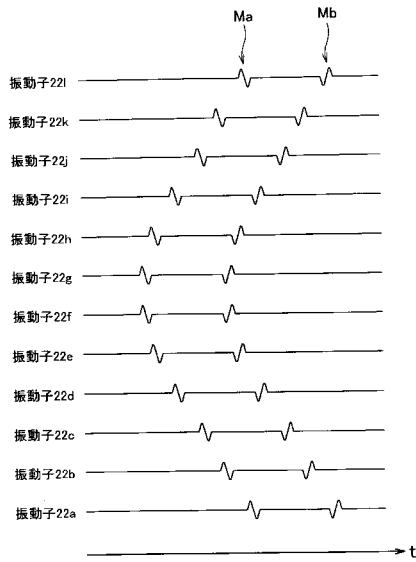
【 図 1 】



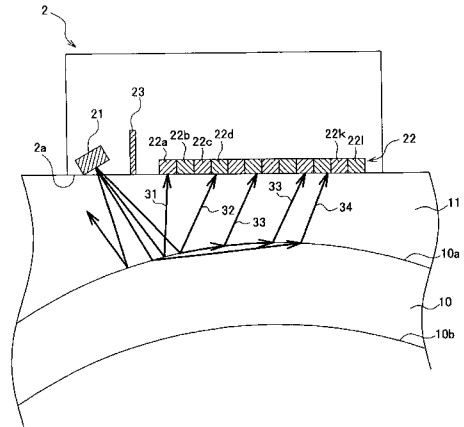
【 図 2 】



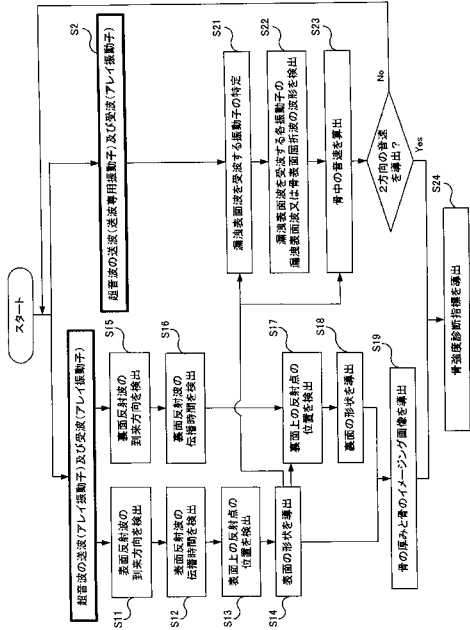
【 図 3 】



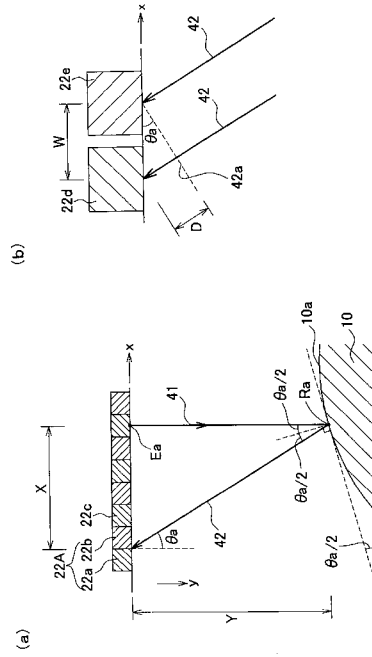
【 図 4 】



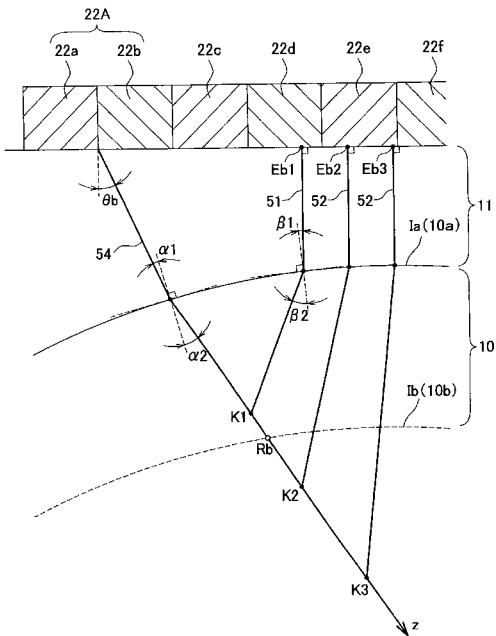
【 図 5 】



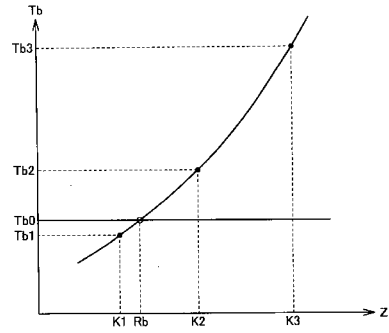
【 図 6 】



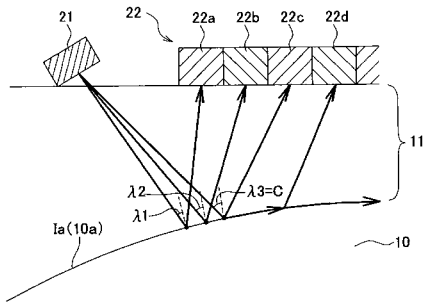
【 図 7 】



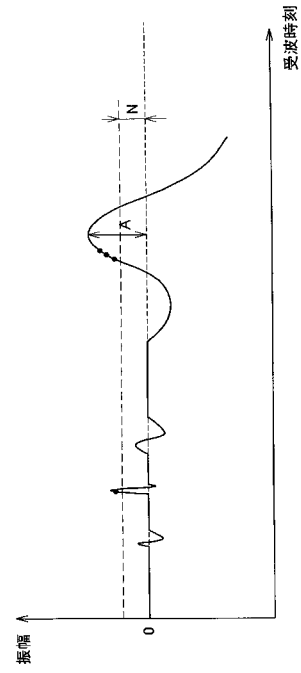
【 図 8 】



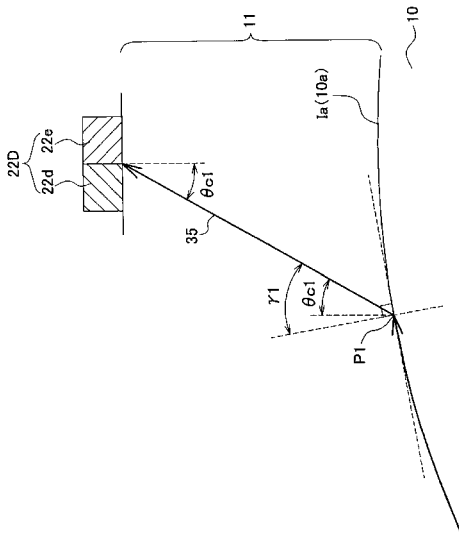
【 図 9 】



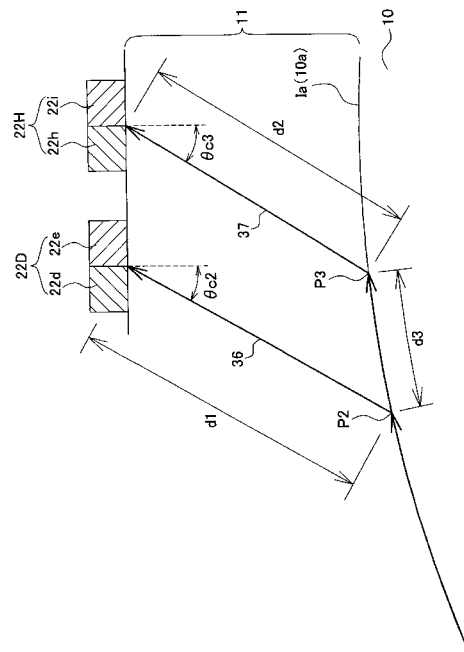
【 図 10 】



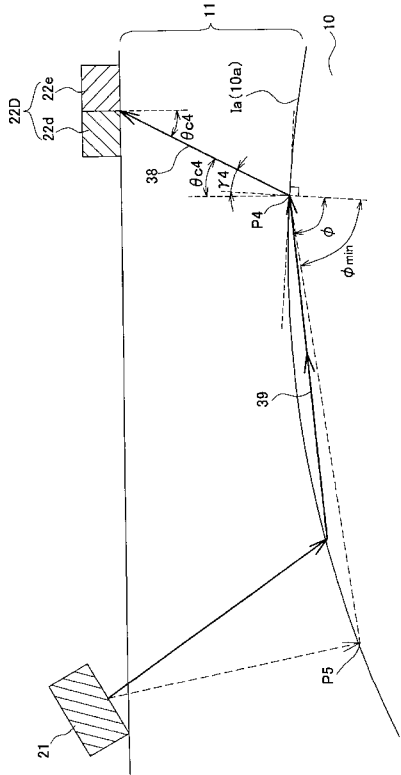
【 図 11 】



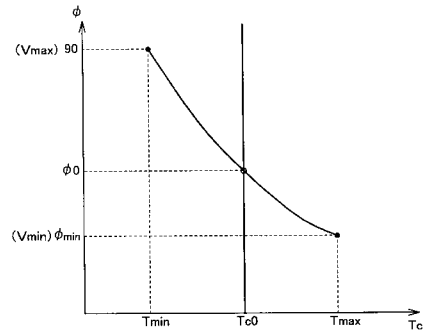
【 図 12 】



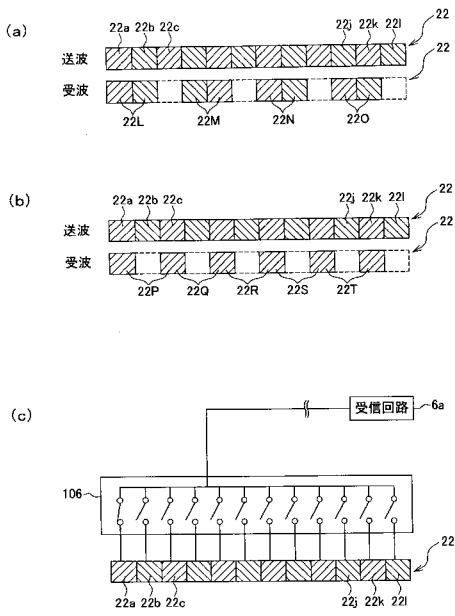
【 図 1 3 】



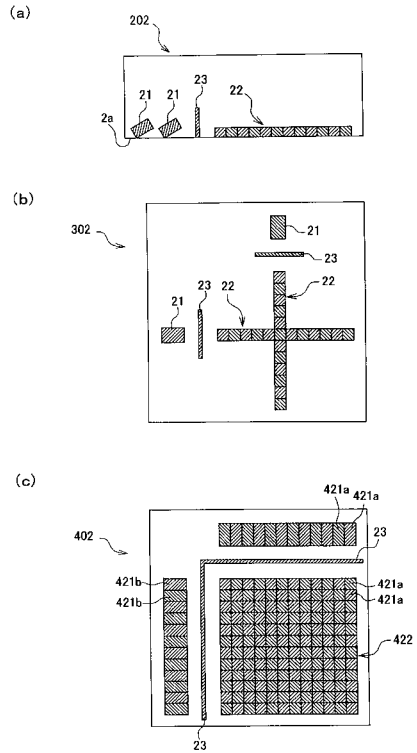
【 図 1 4 】



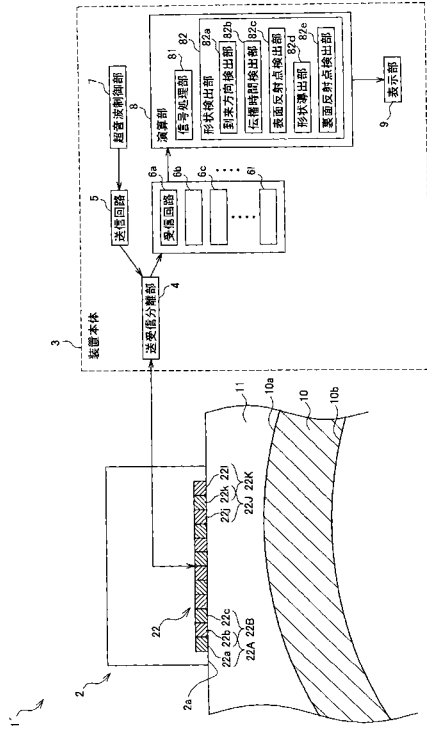
【 図 1 5 】



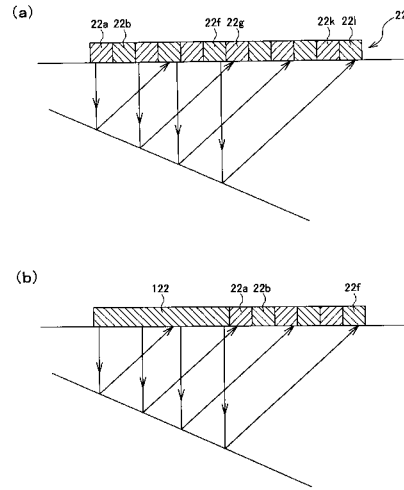
【 図 1 6 】



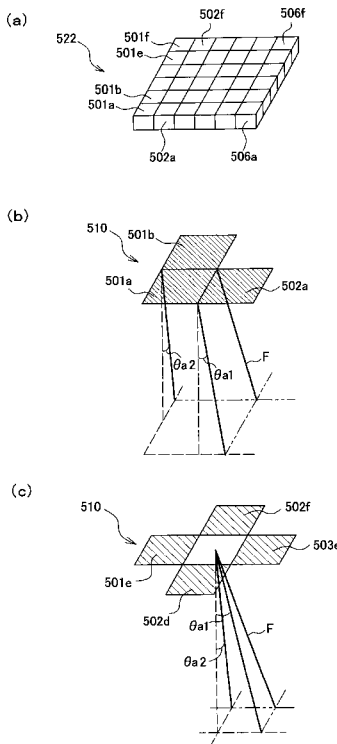
【 図 17 】



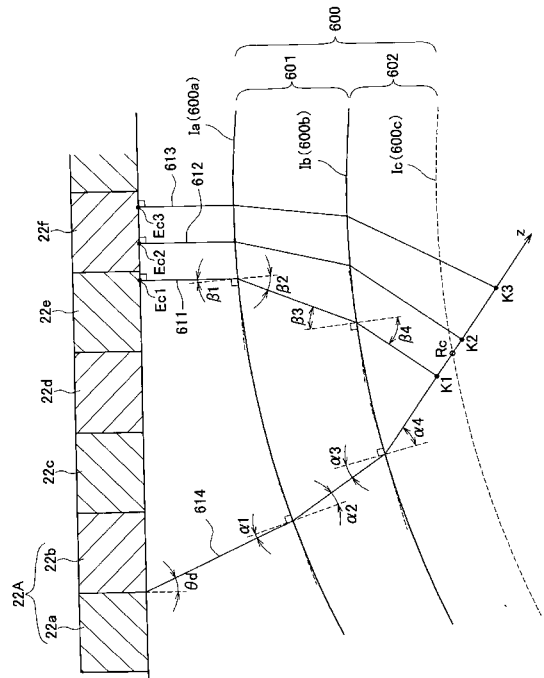
【 図 18 】



【 図 19 】



【 図 20 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 クレタン ドリアン

兵庫県西宮市芦原町9番52号 古野電気株式会社内

Fターム(参考) 4C038 VA04 VB01 VC14

4C601 DD10 EE07 EE09 EE12

5J083 AA02 AB17 AC30 AC32 AD13 AD30 AE08 BA01 BE17 CA01

CA12 CA13 CB15 CB16

专利名称(译)	形状检测装置，形状检测方法和使用形状检测装置的骨强度诊断装置		
公开(公告)号	<a href="#">JP2010029241A</a>	公开(公告)日	2010-02-12
申请号	JP2008191695	申请日	2008-07-25
申请(专利权)人(译)	古野电器有限公司		
[标]发明人	魚留篤 末利良一 クレタンドリアン		
发明人	魚留 篤 末利 良一 クレタンドリアン		
IPC分类号	A61B8/08 G01S15/42 A61B5/107 G01S15/89		
CPC分类号	A61B5/4509 A61B8/0875		
FI分类号	A61B8/08 G01S15/42 A61B5/10.300.A G01S15/89.B A61B5/107		
F-TERM分类号	4C038/VA04 4C038/VB01 4C038/VC14 4C601/DD10 4C601/EE07 4C601/EE09 4C601/EE12 5J083/AA02 5J083/AB17 5J083/AC30 5J083/AC32 5J083/AD13 5J083/AD30 5J083/AE08 5J083/BA01 5J083/BE17 5J083/CA01 5J083/CA12 5J083/CA13 5J083/CB15 5J083/CB16		
其他公开文献	JP5235112B2		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a>		

摘要(译)

要解决的问题：提供一种形状检测装置，其在用于传输超声波的配置中是简单的，并且测量时间短。解决方案：形状检测装置包括用于同时从多个换能器22a-22向对象10发送超声波的发送部分，用于通过多个换能器22a接收来自对象的表面10a的表面反射波的接收部分。-221，入射方向检测部分82a，传播时间检测部分82b，表面反射点检测部分82c和形状导出部分82d。入射方向检测部分82a检测到每个换能器组的表面反射波的入射方向，其中多个换能器22a-22i中的两个相邻换能器作为一个换能器组。传播时间检测部分82b检测到每个换能器组的表面反射波的传播时间。表面反射点检测部分82e利用到达每个换能器组的表面反射波的入射方向和传播时间来检测超声波的表面10a上的反射点。形状导出部分82使用多个检测到的反射点导出表面10a的形状。 Z

