



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103476344 B

(45) 授权公告日 2015. 09. 23

(21) 申请号 201280017094. 2  
 (22) 申请日 2012. 04. 05  
 (30) 优先权数据  
 2011-086512 2011. 04. 08 JP  
 (85) PCT国际申请进入国家阶段日  
 2013. 10. 08  
 (86) PCT国际申请的申请数据  
 PCT/JP2012/059952 2012. 04. 05  
 (87) PCT国际申请的公布数据  
 W02012/137983 EN 2012. 10. 11  
 (73) 专利权人 佳能株式会社  
 地址 日本东京  
 (72) 发明人 及川克哉 长永兼一 山川诚  
 椎名毅  
 (74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专  
 利商标事务所 11038  
 代理人 康建忠

(56) 对比文件  
 EP 2272435 A1, 2011. 01. 12, 说明书第  
 [0015] 段、第 [0023] 段、第 [0040] 段、第 [0047]  
 段、第 [0052]-[0054] 段, 附图 1.  
 US 2010/0160778 A1, 2010. 06. 24, 说明书第  
 [0004] 段、第 [0032] 段.  
 EP 1762180 A1, 2007. 03. 14, 全文.  
 CN 101431943 A, 2009. 05. 13, 全文.  
 JP 特開 2005-66041 A, 2005. 03. 17, 全文.

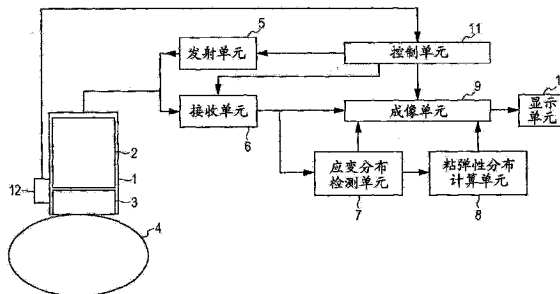
审查员 赵秋芬

(51) Int. Cl.  
 A61B 8/00(2006. 01)  
 G01S 7/52(2006. 01)

权利要求书1页 说明书16页 附图3页

(54) 发明名称  
 被检体信息获取装置

(57) 摘要  
 被检体中的粘弹性特性通过简单的方法被成像。在超声波发射 / 接收探测器与被检体之间包含弹性模量和粘度系数已知的粘弹性测量参照层, 并且, 从根据施加到被检体的随时间改变的的压力在粘弹性测量参照层和被检体中产生的应变的随时间的变化和粘弹性测量参照层的已知的弹性模量和粘度系数, 计算被检体内的弹性模量和粘度系数的分布。



1. 一种被检体信息获取装置, 该被检体信息获取装置用于向被检体发射弹性波、接收从被检体内部反射的弹性波并且获取被检体内部的信息, 该被检体信息获取装置包括:  
转换设备, 被配置为接收弹性波并将弹性波转换成电信号;  
参照层, 设置在转换设备与被检体之间, 并且该参照层的粘度系数和弹性模量是已知的;

测量单元, 被配置为通过使用所述电信号测量当向被检体和参照层施加压力时产生的被检体的应变和参照层的应变; 和

计算单元, 被配置为通过使用参照层的粘度系数和弹性模量、被检体的应变以及参照层的应变, 计算被检体的粘度系数。

2. 根据权利要求 1 的被检体信息获取装置, 其中, 向被检体和参照层施加的压力是包含释放压力的周期性压力施加, 并且,

计算单元通过使用通过所述周期性压力施加而产生的被检体的应变值的随时间的变化和参照层的应变值的随时间的变化, 计算被检体的粘度系数。

3. 根据权利要求 2 的被检体信息获取装置, 其中, 计算单元通过使用由通过周期性压力产生的被检体的应变值和参照层的应变值绘制的滞后回线的面积, 计算被检体的粘度系数。

4. 根据权利要求 2 的被检体信息获取装置, 其中, 计算单元通过使用通过所述周期性压力施加产生的被检体的应变值的随时间的变化和参照层的应变值的随时间的变化之间的延迟时间, 计算被检体的粘度系数。

5. 根据权利要求 1 的被检体信息获取装置, 其中,

向被检体和参照层施加的压力瞬间增加到一定压力, 然后该一定压力被保持一定时间段, 并且,

计算单元通过使用在施加到被检体和参照层的压力瞬间增加到一定压力之后的被检体的应变值和参照层的应变值, 计算被检体的粘度系数。

## 被检体信息获取装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及被检体信息获取装置,特别是涉及用于将被检体的粘弹性特性成像的被检体信息获取装置。

### 背景技术

[0002] 超声诊断装置作为被检体信息获取装置是已知的。超声诊断装置以非侵害的方式将被检体内的信息成像,使得超声诊断装置被广泛用于医疗领域中。

[0003] 在超声诊断装置中,常规上使用超声断面图像和多普勒超声图像,在超声断面图像中,生物体内的结构从由组织的反射性差异产生的反射回声被成像,而在多普勒超声图像中,血液流动速度等通过利用由血液流动产生的超声多普勒效应被成像。

[0004] 此外,近年来,通过超声波测量组织的硬度,并且,该硬度被用于诊断组织。这是由于组织的硬度与病理状态密切相关。例如,已知诸如乳腺癌和甲状腺癌的硬化性癌比正常组织和良性肿瘤硬。

[0005] 近年来,据报道,癌与良性肿瘤之间的粘度不同,使得对于组织诊断,不仅需要组织硬度测量,而且需要包含粘度特性评价的粘弹性特性评价。因此,需要通过使用超声波测量生物体内的粘弹性特性的分布、将该分布形成图像、组合该图像与组织结构的常规图像,并且使用组合的图像以诊断组织内的癌等。

[0006] 作为用于计算被检体的粘度的超声诊断装置,PTL1 公开了如下这样的装置,该装置利用发射和接收超声波的其中在换能器的表面上设置压力传感器的超声探测器、通过超声波测量应变分布、通过压力传感器测量向被检体施加的压力分布,并且从应变分布和压力分布计算弹性和粘度的值。

[0007] 作为用于测量压力的方法,PTL2 公开了其中弹性模量已知的压力测量变形部分被夹在超声探测器和生物组织之间以测量压力的超声诊断装置。超声诊断装置通过超声波测量压力测量变形部分的变形,从弹性模量与应变之间的关系计算施加到压力测量变形部分的压力(应力),从被检体中的应力和应变分布计算被检体中的弹性模量分布,并且显示弹性模量分布。

[0008] 但是,在 PTL1 中描述的配置中,超声探测器的结构复杂。而且,一般地,在通过使用超声波测量组织中的应变分布时,施加的压力非常小,使得通常的压力传感器难以测量压力。并且,如果压力传感器紧接在超声探测器下面被插入,那么发射和接收超声波的效率和灵敏度劣化,使得存在不能执行深部测量的问题。

[0009] 在 PTL2 中,虽然装置的配置简单,但是仅显示被检体中的弹性分布,并且,没有公开用于测量被检体中的粘度分布的方法。因此,需要具有简单的配置并且可计算被检体的粘度的装置。

[0010] 引文列表

[0011] 专利文献 1

[0012] PTL1 日本专利公开 No. 2007-222605

[0013] PTL2 日本专利公开 No. 2005-66041

## 发明内容

[0014] 可解决以上问题的本发明是一种被检体信息获取装置,该装置用于向被检体发射弹性波、接收从被检体内反射的弹性波并且获取被检体内的信息。被检体信息获取装置包括:转换设备,其接收弹性波并将弹性波转换成电信号;参照层,其设置在转换设备与被检体之间,并且该参照层的粘度系数( $\eta_c$ )和弹性模量( $E_c$ )是已知;测量单元,其通过使用电信号测量当向被检体和参照层施加压力时产生的被检体的应变( $\epsilon$ )和参照层的应变( $\epsilon_c$ );和计算单元,其通过使用参照层的粘度系数( $\eta_c$ )和弹性模量( $E_c$ )、被检体的应变( $\epsilon$ )和参照层的应变( $\epsilon_c$ )计算被检体的粘度系数( $\eta$ )。

[0015] 本发明的有利效果

[0016] 本发明可提供诸如超声诊断装置的如下这样的被检体信息获取装置,该被检体信息获取装置即使具有简单的装置配置仍可测量高灵敏性和高分辨率的应变分布、从基于应变分布的应力分布的测量计算杨氏模量和粘度系数的分布、并且将生物体内的粘弹性特性的分布成像。

## 附图说明

[0017] 图 1 是示出作为本发明的被检体信息获取装置的超声诊断装置的框图。

[0018] 图 2A 和图 2B 是示出本发明的粘弹性测量的原理的示图。

[0019] 图 3A ~ 3C 是用于解释根据本发明的滞后回线(hysteresis loop)的面积的正图。

[0020] 图 4 是用于解释根据本发明的粘弹性分布测量的示图。

## 具体实施方式

[0021] 以下,将参照附图详细描述本实施例的实施例。

[0022] 图 1 是示出作为本实施例的被检体信息获取装置的超声诊断装置的框图。连同使用超声波获得的被检体的诊断区域的断层图像一起,超声诊断装置显示基于生物组织的粘弹性分布、特别是除了基于弹性模量分布以外还基于粘度系数分布的图像。特别地,在图 1 所示的例子中,通过由使用后面描述的手持型探测器的操作员利用探测器周期性地按压被检体,测量粘弹性测量参照层和被检体的应变。通过使用粘弹性测量参照层的应变、被检体的应变以及粘弹性测量参照层的已知的弹性模量和粘度系数计算被检体的粘弹性分布,并且显示计算结果。

[0023] 在图 1 中,附图标记 1 表示探测器,该探测器包含转换元件阵列 2 和粘弹性测量参照层 3,该转换元件阵列 2 是兼作向被检体 4 发射作为弹性波的超声波的单元和接收作为由被检体 4 反射的弹性波的超声波并将超声波转换成电信号的单元两者的转换设备,该粘弹性测量参照层 3 设置在转换元件阵列 2 与被检体 4 之间并且其粘度系数( $\eta_c$ )和弹性模量( $E_c$ )是已知的。附图标记 4 表示被检体,附图标记 5 表示向探测器 1 发射控制信号的发射单元,附图标记 6 表示从包含于探测器 1 中的转换设备接收电信号的接收单元。附图标记 7 是作为如下测量单元的应变分布检测单元,该测量单元通过使用来自包含于探测器 1 中的转换设备的电信号来测量当向被检体 4 和粘弹性测量参照层 3 施加压力时产生的被检体 4

的应变和粘弹性测量参照层 3 的应变。附图标记 8 是作为如下计算单元的粘弹性分布计算单元,该计算单元通过使用粘弹性测量参照层 3 的测量应变、被检体 4 的测量应变以及粘弹性测量参照层 3 的已知的粘度系数和弹性模量计算被检体 4 的粘度系数。此外,作为实施例,图 1 的配置包括成像单元 9、显示单元 10 和控制单元 11。探测器 1 还包括控制计算粘弹性分布的操作的控制开关 12。以下,将描述通过上述的超声诊断装置计算被检体 4 的粘度系数的原理。

[0024] 在本发明的实施例中,探测器 1 通过手动操作或机械驱动向被检体周期性地施加压力,同时,探测器 1 通过其弹性模量和粘度系数已知的粘弹性测量参照层 3 向被检体发射以及从被检体接收作为弹性波的超声波,使得粘弹性测量参照层 3 中的应变分布和被检体 4 中的应变分布被测量。

[0025] 当组织没有粘性时,当向被检体 4 周期性地施加压力时在被检体 4 的组织中周期性地产生的应变振幅值由下式表示。

[0026] [数学式 1]

$$[0027] \quad \varepsilon = \frac{\sigma_0}{E} \quad (\text{式 1})$$

[0028] 这里,E 是组织的弹性常数(杨氏模量), $\sigma_0$ 是周期性地施加的应力(压力)的振幅。因此,当组织不具有粘性时,可从应变振幅值获得组织的弹性。相反,当粘弹性测量参照层 3 没有粘性时,可从应变变量获得应力。

[0029] 另一方面,例如,当组织具有粘性时,例如,如果施加关于时间具有三角波形的周期压力,那么在组织中产生的周期应变的振幅值由下式表示。

[0030] [数学式 2]

$$[0031] \quad \varepsilon = \frac{2\tau\sigma_0}{ET} \left[ 2 \ln \left( e^{\frac{T}{2\tau}} + 1 \right) - \frac{T}{2\tau} - 2 \ln 2 \right] \quad (\text{式 2})$$

[0032] 这里, $\tau$  是组织的粘度系数与杨氏模量的比,T 是被周期性地施加的压力的周期。如上所述,从应变的测量获得的值是杨氏模量与粘度系数的比,使得不能分别获得杨氏模量与粘度系数。因此,必需在测量通过周期性地按压被检体 4 而导致的在时间序列上随时间改变的应变和应力的变化的同时,通过使用应变和应力的测量值计算被检体 4 的粘弹性。此时,由于粘弹性测量参照层 3 中的粘度,粘弹性测量参照层 3 的应变的周期性振幅由下式代表。

[0033] [数学式 3]

$$[0034] \quad \varepsilon_c = \frac{2\tau_c\sigma_0}{E_c T} \left[ 2 \ln \left( e^{\frac{T}{2\tau_c}} + 1 \right) - \frac{T}{2\tau_c} - 2 \ln 2 \right] \quad (\text{式 3})$$

[0035] 可以理解,当周期非常大( $T \rightarrow \infty$ )时,即,当通过花费足够的时间执行测量时,(式 2)和(式 3)两者都大致逼近(式 1)。(因此,如果压力的周期被设为足够长,那么至少可通过使用(式 1)测量杨氏模量)。但是,对于正常的组织和粘弹性测量参照层 3,杨氏模量与粘度系数的比  $\tau$  和  $\tau_c$  是从几秒到几十秒的时间的。如果使用充分大于该时间的周期,那么测量周期变为诸如几分钟的长时间,使得难以对于实际的测量使用(式 1)。(并且,在这种情

况下,不能测量粘度系数)。

[0036] 下面,将描述通过使用在 PTL2 中描述的技术暂时计算被检体的粘弹性的情况以及基于本实施例的被检体 4 的粘弹性的计算,同时比较这两个计算。图 2A 和图 2B 示出基于 PTL2 测量被检体的粘弹性的情况和基于本实施例的粘弹性测量的情况的原理。图 2A 是基于 PTL2 的被检体的粘弹性测量的动态模型。图 2B 是基于本发明的被检体 4 的粘弹性测量的动态模型。在图 2A 中,粘弹性测量参照层的粘度不被考虑,使得通过如(式 1)所示将测量的应变乘以粘弹性测量参照层的已知的杨氏模量  $E_c$ , 获得施加到被检体的应力  $\sigma$ 。如果如 PTL2 所描述的,当在经过诸如几分钟到大于十几分钟的长时间之后时间变化收敛时仅测量被检体的弹性,那么通过使用粘弹性测量参照层的测量应变获得的应力和通过使用该应力获得的被检体的杨氏模量是根据(式 1)的值。但是,由于测量时间太长,实际上难以通过使用手持探测器的超声诊断装置执行这种长时间的测量。此外,作为本质的问题,为了获得被检体的粘度,必须测量应变和应力随时间的变化。具体而言,在经过长时间之后的应变和应力中,不仅粘弹性测量参照层的粘弹性的影响而且被检体的粘弹性的影响消失,使得必须以短的时间间隔测量随时间的变化。在这种情况下,被检体和粘弹性测量参照层各自分别基于它们的粘弹性随时间变化,使得必须根据图 2B 所示的动态模型执行测量。特别地,当使用具有优异的超声传播特性以及具有为了抑制边界处的反射而与被检体相同的声学特性的部件作为粘弹性测量参照层时,如果粘弹性测量参照层的粘度被忽略,那么在实际的测量中出现大的误差。因此,当使用由实际部件形成的粘弹性测量参照层时,难以仅从粘弹性测量参照层的杨氏模量独立地获得应力。

[0037] 另一方面,如本实施例中那样,当粘弹性测量参照层 3 的杨氏模量  $E_c$  和杨氏模量与粘度系数的比  $\tau_c$  已知时,通过使用(式 3)从粘弹性测量参照层 3 的周期应变的振幅  $\varepsilon_c$  获得应力振幅  $\sigma_0$ 。具体地,在粘弹性测量参照层 3 的位置上测量粘弹性测量参照层 3 的应变。通过测量应变的最大值和最小值获得应变振幅  $\varepsilon_c$ , 并且从(式 3)获得应力振幅  $\sigma_0$ 。

[0038] 当施加更一般的压力时,向组织施加的应力随时间的变化由下式表示。

[0039] [ 数学式 4]

$$[0040] \quad \sigma(t) = E_c \varepsilon_c(t) + \eta_c \frac{d\varepsilon_c(t)}{dt} \quad (\text{式 4})$$

[0041] 这里,  $\sigma(t)$  和  $\varepsilon_c(t)$  是粘弹性测量参照层 3 的应力和应变的随时间的变化。 $E_c$  和  $\eta_c$  是粘弹性测量参照层 3 的已知的杨氏模量和粘度系数。

[0042] 因此,能够通过使用(式 4)从在至少一个压力周期上测量的粘弹性测量参照层 3 的应变获得应力的变化,并且从应力的变化的振幅获得应力振幅  $\sigma_0$ 。

[0043] 在本实施例的例子中,在时间序列上测量被检体 4 和粘弹性测量参照层 3 中的应变分布。由此,比较被检体 4 中的特定组织的应变量和粘弹性测量参照层 3 中的按压该组织的区域的应变量的随时间的变化,并且计算这两个应变变量之间的时间偏移(延迟时间)。此时,这两个应变变量之间的延迟时间可由下式表示。

[0044] [ 数学式 5]

$$[0045] \quad \Delta t = (\tau - \tau_c) \ln 2 - \tau \ln \left( e^{\frac{T}{2\tau}} + 1 \right) + \tau_c \ln \left( e^{\frac{T}{2\tau_c}} + 1 \right) \quad (\text{式 } 5)$$

[0046] 这里,  $\tau$  是被检体 4 中的组织的粘度系数与杨氏模量的比,  $\tau_c$  是粘弹性测量参照层 3 的粘度系数与杨氏模量的比。当粘弹性测量参照层 3 的粘度系数和杨氏模量已知时, 从(式 5) 获得组织的粘度系数和杨氏模量的比  $\tau$ , 并且, 通过使用(式 2), 从在以上的描述中获得的应力振幅  $\sigma_0$  和测量的被检体 4 的应变振幅, 计算被检体 4 的杨氏模量 E。此外, 从被检体 4 的杨氏模量 E 和粘度系数与杨氏模量的比  $\tau$ , 计算被检体 4 的粘度系数。

[0047] 此外, 将参照图 3A、图 3B 和图 3C 描述获得被检体 4 中的组织的粘度系数与杨氏模量的比  $\tau$  的另一方法。

[0048] 当在施加周期性压力的同时测量应变和应力并且在曲线图上绘制应变和应力的值时, 示出图 3A 所示的滞后回线。滞后回线的面积 S0 是粘度系数与杨氏模量的比  $\tau$  的函数。因此, 可从滞后回线的面积获得粘度。此外, 可以使用通过粘弹性测量参照层 3 和被检体 4 的应变的周期性变化形成的滞后回线, 以避免繁琐的应力的随时间的变化的计算。图 3B 示出在施加周期性压力时绘制粘弹性测量参照层 3 和被检体 4 的应变的曲线图。在这种情况下也形成滞后回线, 并且, 例如, 当如上面描述的那样施加关于时间具有三角波形的周期性压力时, 滞后回线的面积 S1 由下式表示。

[0049] [ 数学式 6]

$$[0050] \quad S1 = \frac{4\sigma_0}{EE_c T^2} \left\{ (\tau_c - \tau)T + 4 \frac{\tau_c - \tau}{\tau_c + \tau} \tau \tau_c + 4(\tau^2 - \tau_c^2) + \frac{8}{\tau_c + \tau} \left[ \frac{\tau_c^3}{e^{\frac{T}{2\tau_c}} + 1} - \frac{\tau^3}{e^{\frac{T}{2\tau}} + 1} \right] \right\}$$

[0051] (式 6)

[0052] 当将(式 2) 和(式 3) 应用于上式时, 建立下式。

[0053] [ 数学式 7]

$$[0054] \quad S1 = \frac{\varepsilon \varepsilon_c \left\{ (\tau_c - \tau)T + 4 \frac{\tau_c - \tau}{\tau_c + \tau} \tau \tau_c + 4(\tau^2 - \tau_c^2) + \frac{8}{\tau_c + \tau} \left[ \frac{\tau_c^3}{e^{\frac{T}{2\tau_c}} + 1} - \frac{\tau^3}{e^{\frac{T}{2\tau}} + 1} \right] \right\}}{\left[ 2 \ln \left( e^{\frac{T}{2\tau}} + 1 \right) - \frac{T}{2\tau} - 2 \ln 2 \right] \left[ 2 \ln \left( e^{\frac{T}{2\tau_c}} + 1 \right) - \frac{T}{2\tau_c} - 2 \ln 2 \right]}$$

[0055] (式 7)

[0056] 这里, T 是周期性压力的周期,  $\varepsilon$  和  $\varepsilon_c$  分别是通过测量获得的粘弹性测量参照层 3 的应变振幅和被检体 4 的应变振幅, 并且,  $\tau_c$  是粘弹性测量参照层 3 的已知的粘度系数与杨氏模量的比。因此, 可通过除  $\tau$  以外测量应变来测量左手侧的滞后回线的面积 S1 和右手侧的各变量的值。因此, 可通过逆求解该式以获得  $\tau$  的值。

[0057] 特别地, 如果周期 T 被设为约几秒的短时间并且施加周期性压力, 那么可使用以下的近似式。

[0058] [数学式 8]

$$[0059] \quad SI = \frac{\varepsilon \varepsilon_c \left\{ (\tau_c - \tau)T + 4 \frac{\tau_c - \tau}{\tau_c + \tau} \tau \tau_c + 4(\tau^2 - \tau_c^2) + \frac{8}{\tau_c + \tau} \left[ \frac{\tau_c^3}{\frac{T}{2\tau_c} + 2} - \frac{\tau^3}{\frac{T}{2\tau} + 2} \right] \right\}}{\left[ 2 \ln \left( \frac{T}{2\tau} + 2 \right) - \frac{T}{2\tau} - 2 \ln 2 \right] \left[ 2 \ln \left( \frac{T}{2\tau_c} + 2 \right) - \frac{T}{2\tau_c} - 2 \ln 2 \right]}$$

[0060]

(式 8)

[0061] 并且,可以使用在(参考文献 1)Nitta, Shiina, Ueno, "Hysteresis Parameter Imaging of Soft Tissue under Quasi-Static Deformation", 2003 IEEE International Ultrasonics Symposium Proceedings, pp. 1606-1609, 2003 中描述的滞后参数。

[0062] 图 3C 是示出如何获得用于计算滞后参数的基准面积 S2 的示图。

[0063] 图 3C 是以与图 3B 相同的方式在施加周期性压力的同时绘制粘弹性测量参照层 3 和被检体 4 的应变的曲线图。计算由被检体 4 的应变的最大值和最小值包围的面积 S2。可通过如下式所示的那样计算滞后回线的面积与基准面积 S2 的比来获得滞后参数 HP。

[0064] [数学式 9]

$$[0065] \quad HP = \frac{S1}{S2} \quad (\text{式 9})$$

[0066] 可通过与上述的方式相同的方式使用滞后参数 HP 获得  $\tau$  的值。当使用该滞后参数时,通过基准面积将计算标准化,使得存在测量中的误差影响不大的优点。并且,当通过逆求解该式获得  $\tau$  的值时,存在一般难以产生多值函数并且过程简单的优点。

[0067] 在这里的描述中,为了简化描述,示出与施加关于时间具有三角波形的周期性压力的情况有关的等式。但是,按压方法可以是周期性重复按压和释放的方法,并且,对于基于图 2B 所示的模型的解析式和通过模拟获得的拟合表,可使用根据随时间的变化模式在以上的计算中使用的等式。此外,可以使用通过实际测量粘弹性测量参照层获得的拟合表。

[0068] 作为本发明的另一实施例的测量方法,能够作为周期性地施加压力的替代以阶段状方式施加压力,并且在时间序列中测量被检体 4 和粘弹性测量参照层 3 中的应变分布。瞬时施加压力,然后在时间序列中测量被检体 4 和粘弹性测量参照层 3 中的应变分布。即使当压力被瞬时施加时,粘弹性测量参照层 3 的粘度的影响仍在经过足够的时间之后被去除。但是,由于测量时间太长,因此这是不现实的。因此,以与周期性地施加压力的情况相同的方式在短的时间间隔内测量应变值的随时间的变化。

[0069] 此时,在图 2B 所示的模型中,粘弹性测量参照层 3 的应变的随时间的变化  $\varepsilon'(t)$  和被检体 4 中的应变的随时间的变化  $\varepsilon_c'(t)$  由下式表示。

[0070] [数学式 10]

$$[0071] \quad \varepsilon_c'(t) = \frac{\sigma_0}{E_c} \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau_c}} \right) \quad (\text{式 10})$$

[0072] [数学式 11]

$$[0073] \quad \varepsilon'(t) = \frac{\sigma_0}{E} \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (\text{式 } 11)$$

[0074] 通过使用(式 10),从粘弹性测量参照层 3 的测量应变以及已知的杨氏模量和粘度系数,获得应力振幅  $\sigma_0$ 。此外,从测量的被检体 4 的应变变化获得粘度系数与杨氏模量的比  $\tau$ 。具体地,通过下式计算被检体 4 的应变的时间微分的对数。

[0075] [数学式 12]

$$[0076] \quad \ln \left[ \frac{d}{dt} \varepsilon'(t) \right] = -\frac{t}{\tau} + \ln \left( \frac{\sigma_0}{\tau E} \right) \quad (\text{式 } 12)$$

[0077] 因此,从时间微分的对数,求得作为在多个不同时间点的被检体 4 的应变的时间微分的对数的斜率的粘度系数与杨氏模量的比  $\tau$  的倒数。当比  $\tau$  的倒数被应用于(式 11)时,获得被检体 4 的杨氏模量,并且,从杨氏模量和比  $\tau$  计算被检体 4 的粘度系数。

[0078] 将参照图 4 描述用于将杨氏模量和粘度系数的测量(计算)应用于被检体 4 的粘弹性分布测量(计算)的方法。在图 4 中,附图标记 3 指示粘弹性测量参照层,附图标记 4 指示被检体,附图标记 13 指示对于测量而施加的压力。压力 13 被基本上垂直地施加到粘弹性测量参照层 3 与被检体 4 之间的边界,并且,在粘弹性测量参照层 3 与被检体 4 中的组织中出现图 4 中的垂直方向(压力 13 的方向)上出现应变。在粘弹性测量参照层 3 中,沿边界出现  $\varepsilon_{c1}$ 、 $\varepsilon_{c2}$  和  $\varepsilon_{c3}$  等的应变分布,并且,在被检体 4 中,出现  $\varepsilon_{11}$ 、 $\varepsilon_{12}$  和  $\varepsilon_{13}$  等的应变分布。通过作为弹性波的超声波,测量这些应变分布的随时间的变化。在图 4 中的垂直方向上施加压力 13,使得从同一应力产生在垂直方向上对准的粘弹性测量参照层 3 的应变  $\varepsilon_{c1}$  以及被检体 4 的应变  $\varepsilon_{11}$ 、 $\varepsilon_{12}$  和  $\varepsilon_{13}$  等。图 2B 的模型被应用于粘弹性测量参照层 3 的应变  $\varepsilon_{c1}$  和被检体 4 的应变  $\varepsilon_{11}$  的随时间的变化,使得如上面描述的那样计算应变  $\varepsilon_{11}$  的位置处的杨氏模量和粘度系数。此外,从粘弹性测量参照层 3 的应变  $\varepsilon_{c1}$  和应变  $\varepsilon_{12}$  的随时间的变化,计算应变  $\varepsilon_{12}$  的位置处的杨氏模量和粘度系数。以相同的方式,计算在垂直方向上与粘弹性测量参照层 3 的应变  $\varepsilon_{c1}$  对准的位置处的杨氏模量和粘度系数。通过使用在垂直方向上与粘弹性测量参照层 3 的应变  $\varepsilon_{c1}$ 、 $\varepsilon_{c2}$  和  $\varepsilon_{c3}$  等的应变分布的各位置对准的被检体 4 的应变的值执行相同的方法,使得可计算断面的粘度系数和杨氏模量。

[0079] 基于上述的原理,其粘度系数和弹性模量已知的粘弹性测量参照层 3 被设置在转换元件阵列 2 与被检体 4 之间,该转换元件阵列 2 为接收由被检体 4 反射的弹性波并将弹性波转换成电信号的转换设备,并且,基于由被检体 4 反射的弹性波,测量当向被检体 4 和参照层 3 施加压力时产生的被检体 4 的应变和参照层 3 的应变。能够通过使用参照层 3 的测量应变、被检体 4 的测量应变以及参照层 3 的已知的粘度系数和弹性模量计算被检体的粘度系数。

[0080] 如上所述,向被检体 4 和参照层 3 施加的压力是包含压力的释放的周期性压力,使得作为计算单元的粘弹性分布计算单元 8 可通过使用通过该周期性压力产生的被检体 4 的应变值的随时间的变化和参照层 3 的应变值的随时间的变化计算被检体 4 的粘度系数 ( $\eta$ )。

[0081] 具体地,例如,如上式 6 ~ 8 所示,作为计算单元的粘弹性分布计算单元 8 可通过使用通过周期性压力产生的被检体 4 的应变值和参照层 3 的应变值绘制的滞后回线的面积或者如上式 5 描述的那样通过使用被检体 4 的应变值的随时间的变化与参照层 3 的应变值的随时间的变化之间的延迟时间,计算被检体的粘度系数( $\eta$ )。

[0082] 如上所述,向被检体 4 和参照层 3 施加的压力瞬时增加到一定压力,然后,该一定压力被保持一定时间段,使得作为计算单元的粘弹性分布计算单元 8 可通过使用在向被检体 4 和参照层 3 施加的压力瞬时增加到一定压力之后的被检体 4 的应变值和参照层 3 的应变值,计算被检体 4 的粘度系数( $\eta$ )。

[0083] 虽然在以上的实施例中使用杨氏模量作为弹性特性并且使用粘度系数作为粘度特性,但是,可以使用诸如刚度系数和压力弹性系数的弹性系数和诸如粘度和粘度系数的粘性系数。此外,这里,将描述使用作为弹性特性的存储弹性模量以及作为粘度特性的损失弹性模量的粘度特性的计算方法。当向具有粘弹性特性的材料施加应力  $\sigma(t)$  时,应变  $\varepsilon(t)$  的相位相对于应变的相位延迟。

$$[0084] \quad \sigma(t) = \sigma_0 \sin \omega t$$

$$[0085] \quad \varepsilon(t) = \varepsilon_0 \sin(\omega t - \delta)$$

[0086]  $\delta$  表示相位的延迟。此时,存储弹性模量  $G'$ 、损失弹性模量  $G''$  和绝对动态弹性模量  $|G|$  可由下式表示。

$$[0087] \quad G' = |G| \cos \delta$$

$$[0088] \quad G'' = |G| \sin \delta$$

$$[0089] \quad |G| = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} = \sqrt{G'^2 + G''^2}$$

[0090] 这里,当粘弹性测量参照层的应变振幅为  $\varepsilon_{c0}$ 、被检体的应变振幅为  $\varepsilon_{t0}$  且粘弹性测量参照层的应变与被检体的应变之间的相位差为  $\delta_{t-c}$  时,可通过超声波测量这三个值。粘弹性测量参照层的存储弹性模量  $G'_c$ 、粘弹性测量参照层的损失弹性模量  $G''_c$ 、绝对动态弹性模量  $|G_c|$  和粘弹性测量参照层的应变的相位  $\delta_c$  被分别测量,使得这些值变为已知的参数。当使用可通过超声波测量的值和已知的参数时,可通过下式计算被检体的应变的相位  $\delta_t$ 、被检体的存储弹性模量  $G'_t$ 、被检体的损失弹性模量  $G''_t$ 。

$$[0091] \quad \delta_t = \delta_{t-c} + \delta_c$$

$$[0092] \quad G'_t = |G_c| \frac{\varepsilon_{c0}}{\varepsilon_{t0}} \cos(\delta_{t-c} + \delta_c)$$

$$[0093] \quad G''_t = |G_c| \frac{\varepsilon_{c0}}{\varepsilon_{t0}} \sin(\delta_{t-c} + \delta_c)$$

[0094] 换句话说,可通过使用粘弹性测量参照层的弹性特性(存储弹性模量)、粘弹性测量参照层的粘度特性(损失弹性模量)和粘弹性测量参照层和被检体的应变,计算被检体的粘度特性(损失弹性模量)。如上面描述的那样计算的存储弹性模量和损失弹性模量是可通过通常的粘弹性特性测量设备测量的值。例如,可直接将这些值与通过使用提取的组织测量的粘弹性的机械测量结果相比较。

[0095] 下面,将基于例子 1 连同以上的实施例的配置要素描述本发明的例子。

[0096] 例子 1

[0097] 以下,将参照附图描述本发明的例子 1。图 1 是示出根据本发明的超声诊断装置的例子的框图。配置要素将连同它们的操作一起被依次描述。

[0098] [粘弹性测量参照层的特定配置例]

[0099] 粘弹性测量参照层 3 由如下这样的材料形成,该材料传播但是不吸收或者散射作为弹性波的超声波并且具有保形性、柔性和适当的弹性。由于通过粘弹性测量参照层 3 发射和接收超声波形成图像,因此超声波的传播性能重要。如果超声波传播由于吸收或散射而衰减,那么发射和接收的效率劣化。因此,粘弹性测量参照层 3 由对于超声波透明并且具有小的衰减常数以及被检体 4 中的平均声速附近的传播速度(声速)的均匀材料形成。如果粘弹性测量参照层 3 的声学阻抗与被检体 4 明显不同,那么在边界表面上出现反射,并且,用于产生图像的发射和接收的效率劣化,使得粘弹性测量参照层 3 的声学阻抗与被检体 4 的声学阻抗的差异不那么大。但是,如果粘弹性测量参照层 3 的声学阻抗与被检体 4 的声学阻抗相同,那么如后面描述那样难以检测边界表面,使得粘弹性测量参照层 3 与被检体 4 的声学阻抗相差适量的声学阻抗。粘弹性测量参照层 3 具有保形性、柔性和适当的弹性,以通过利用粘弹性测量参照层 3 的变形量测量应力(压力)的分布。作为具有以上特性的材料,可以使用诸如聚乙烯醇、聚亚安酯的含水凝胶和橡胶材料。但是,可以使用具有以上特性的任何材料。但是,使用诸如杨氏模量、刚度系数和压力弹性系数的弹性系数和诸如粘度和粘度系数的粘性系数已知的材料。从传播超声波的观点看,粘弹性测量参照层 3 的厚度应薄。但是,粘弹性测量参照层 3 应适当地变形以测量应力(压力)的分布。此外,粘弹性测量参照层 3 必须被置于应变分布被检测到的区域中。因此,粘弹性测量参照层 3 的厚度为 0.1mm ~ 50mm、优选为 1mm ~ 10mm。

[0100] [产生接收束信号并显示 B 模式图像]

[0101] 探测器 1 以机械或电子的方式执行射束扫描,并且向被检体 4 发射以及从被检体 4 接收超声波。转换元件阵列 2 是在其中布置由来自发射单元 5 的驱动波形驱动并产生超声波的转换元件的转换设备。发射单元 5 生成用于转换元件阵列 2 的各转换元件的驱动波形,并基于来自控制单元 11 的控制调整各转换元件的驱动定时。通过合成通过调整转换元件的驱动定时从各转换元件产生的超声波而获得的合成超声波形成会聚于预定点的超声波发射束。换句话说,控制单元 11 控制发射单元 5,使得从探测器 1 发射具有在希望的深度的会聚点以及在希望的方向上的方向性的超声波发射束。控制单元 11 执行在其中摆动超声波发射束的方向并执行射束扫描的扇形扫描。或者,在转换元件阵列 2 上被驱动的转换元件被限制以形成发射开口并且发射开口移动,使得执行其中超声波发射束基本上平行地扫描的线性扫描。

[0102] 接收单元 6 包含接收电路和整相相加电路(phasing addition circuit)。接收电路放大通过转换元件阵列 2 的各转换元件接收的接收信号,并且通过执行 AD 转换将接收信号转换成多个时间序列数字信号。整相相加电路是要形成超声波接收束。整相相加电路对于数字化的接收信号提供由控制单元 11 控制的延迟时间并进行相加(整相相加)以形成接收束信号。接收束信号是如下这样的信号,在该信号中通过转换元件接收的信号的接收定时被调整并且所接收的信号被求和,并且,能够形成关于接收器灵敏度具有方向性并具有一个或更多个收敛点的超声波接收束。控制单元 11 与超声波发射束同步地执行超声波接收束的射束扫描。作为结果,通过从探测器 1 将超声波发射束发射到被检体 4 中并接收从

被检体 4 的内部组织反射的超声反射回声信号在超声波接收束中获得接收束信号。通过控制单元 11 的射束扫描,获得与对于被检体 4 中的特定点或特定方向的超声反射回声信号对应的多个接收束信号。接收束信号与射束扫描对应地布置,使得获得与被检体 4 中的超声反射回声信号的强度对应的断面图像。控制单元 11 重复射束扫描,使得获得一天中的不同时间的断面图像。

[0103] 通过接收单元 6 产生的多个接收束信号被输入到成像单元 9 中。成像单元 9 从多个接收束信号形成反映被检体 4 中的断面结构的灰度级 B 模式断面图像。成像单元 9 根据射束扫描布置多个接收束信号并对于接收束信号执行诸如增益校正、滤波处理、包络解调和对数压缩的信号处理。此外,成像单元 9 可包含用于通过执行诸如轮廓强调(upsharp mask)和图像滤波的图像处理将信号转换成供给到显示单元 10 的显示信号以用于信号处理之后的图像显示的数字扫描转换电路和用于模拟视频信号的 DA 转换电路。成像单元 9 导致显示单元 10 根据来自控制单元 11 的显示控制显示 B 模式断面图像。

[0104] 显示单元 10 是诸如 CRT 和 LCD 的显示装置。显示单元 10 显示基于来自成像单元 9 的显示信号的图像。

[0105] [作为用于测量应变的测量单元的应变检测单元的特定配置例子]

[0106] 通过接收单元 6 产生的多个接收束信号还被输入到应变分布检测单元 7 中。作为用于测量应变的测量单元的应变分布检测单元 7 基于多个接收束信号检测被检体 4 和粘弹性测量参照层 3 中的应变分布。

[0107] 可通过以与已知的颜色流动多普勒方法和组织跟踪方法相同的方式执行在不同的射束扫描时段获得的在相同位置处的接收束信号之间的相关性计算以检测应变分布。

[0108] 应变分布检测单元 7 具有用于存储多个接收束信号的存储器电路和相关性计算电路。当控制单元 11 重复射束扫描时获得的多个接收束信号存储于存储器电路中。通过一个射束扫描获得的一组接收束信号形成与一定时间点的断面图像对应的帧接收束信号数据。不同的帧接收束信号数据与不同时间点的射束扫描对应(各帧接收信号数据包含来自多个不同的位置的接收束信号)。不同的帧接收束信号数据之间的相应位置处的接收束信号是在不同的时间点的射束扫描之间来自同一位置的超声反射回声信号。因此,可通过执行这些接收束信号的相关性计算测量在不同时间点的射束扫描之间产生的相应位置处的位移。通过获取沿射束深度方向的差值从位移分布计算应变分布。

[0109] 相关性计算电路在其输入部分具有 Hilbert 变换滤波器。相关性计算电路将与相同位置对应的不同时间点的射束扫描的两个接收束信号转换成解析信号,并执行这些信号的复相关性计算。或者,通过使用通过接收束信号的正交检测获得的 I-Q 信号,计算与相同位置对应的不同时间点的射束扫描的两个接收束信号之间的时间序列中的瞬时相位延迟,并且,可通过将瞬时相位延迟转换成声速来获得位移。此外,可通过使用在相关技术领域已知的组合自相关方法等提高应变测量的精度。

[0110] 作为存储器电路和相关性计算电路的具体配置,可以使用以下描述的配置。

[0111] 第一例子包括存储多个帧接收束信号数据的存储器单元和与在一次射束扫描中使用的射束位置对应的多个相关性计算电路。从存储于存储器电路中的多个帧接收束信号数据选择与不同的时间点的射束扫描对应的两个帧接收束信号数据,并且,与该两个帧接收束信号数据对应的接收束信号被输入到与各射束位置对应的相关性计算电路中。可通过

在相关性计算电路中执行相关性计算,获得对应束位置处的在射束深度方向上的位移量分布。在该配置中,重复执行射束扫描,并且,通过从多个获得的帧接收束信号数据选择帧接收束信号数据,执行相关性计算,使得能够测量任何两个时间点的射束扫描之间的位移。可通过计算深度方向上的应变之间的差异来测量应变变量。

[0112] 这里,使用对于各射束位置执行一维相关性计算的多个相关性电路。但是,能够使用对于射束扫描的不同时间点的帧接收束信号数据执行二维相关性计算的相关电路。

[0113] 另一例子包括与在射束扫描中使用的各射束位置对应的多个存储器电路和多个相关性计算电路。多个存储器电路中的每一个包含两个 FIFO 型存储器和用于初次存储相关性计算结果的 TMP 存储器。当重复执行射束扫描时,首先对于各射束位置在第一 FIFO 型存储器中存储接收束信号。第一 FIFO 型存储器的输出被输入到第二 FIFO 型存储器和相关性计算电路中。此外,第二 FIFO 型存储器的输出被输入到相关性计算电路中。两个 FIFO 型存储器中的每一个具有用于存储在与各射束扫描对应的射束位置处获得的接收束信号的存储容量。因此,在重复的射束扫描的某一时间点,存储与两个时间连续的射束扫描对应的射束位置处的两个接收束信号。通过相关性计算电路计算两个接收束信号,并且,获得相应的射束位置处的在射束深度方向上的位移量分布。在重复的射束扫描中的两个时间连续的射束扫描之间产生这里获得的位移量分布。为了获得在多个射束扫描之间产生的位移,累积相加相关性计算电路的计算结果。因此,相关性计算的计算结果与 TMP 存储器中的数据相加,并且,相加结果被存储于 TMP 存储器中。此外,通过计算深度方向上的位移分布的差异,计算应变分布。该配置适于通过适合于实时处理的流水线型处理来实现应变分布检测单元 7。特别地,在该配置中,存储器电路的容量可比上述的例子小。

[0114] 在上述的两个例子中,从与各射束位置对应的多个相关性计算电路获得在不同的射束扫描之间产生的在射束深度方向上的应变分布。应变分布被布置于各射束位置中,使得获得在不同的射束扫描之间产生的二维断面图像的应变分布。除了上述的两个例子以外,还能够通过使用在相关技术中已知的方法、使用在不同时间点的射束扫描获得的帧接收束信号数据,检测二维断面的应变分布。

[0115] 在本例子中,特别地,使用不仅包含被检体 4 而且包含粘弹性测量参照层 3 的区域以测量应变分布。更具体地,该区域被设定为使得测量被检体 4 与粘弹性测量参照层 3 之间的边界部分中的位移量。由此,计算粘弹性测量参照层 3 的应变分布。为了检测粘弹性测量参照层 3 中的位移量,切除接收束信号,使得接收束信号包含来自边界部分的超声波的反射回声,并且可执行上述的一系列的相关性计算。但是,可单独地设置以下描述的计算电路。

[0116] 一般地,在粘弹性测量参照层 3 内部基本上对于超声波透明,使得超声波的反射回声信号非常小,并且,接收束信号也非常小。因此,该区域中的接收束信号的相关性计算结果包含误差,并且结果可能不稳定。另一方面,由于被检体 4 与粘弹性测量参照层 3 之间的声学阻抗的差异,被检体 4 与粘弹性测量参照层 3 之间的边界部分在本地产生大的反射回声信号,使得可准确地检测接收束信号及其相关性计算结果。粘弹性测量参照层 3 由厚度方向上均匀的材料形成,并具有在厚度方向上恒定的应变分布,使得通过使用从边界部分中的位移获得的应变值获得层中的应变分布。

[0117] 因此,阈值电路被设置在相关性计算电路的输入部分,并且,其强度比一定值小的

接收束信号被设为 0,使得通过掩蔽各接收束信号的前部部分和与粘弹性测量参照层 3 的厚度对应的部分来执行相关性计算。因此,可以消除上述的不稳定。

[0118] 此外,接收束信号的振幅强度比一定值小的部分被确定为在粘弹性测量参照层 3 的内部,使得直接检测到接收束信号的边界部分,并且,可从射束扫描的帧接收束信号数据之间的差获得边界部分位置不同的射束扫描之间的边界部分中的位移。可通过沿深度方向取得差值从被检体 4 与粘弹性测量参照层 3 之间的边界部分的位移分布计算粘弹性测量参照层 3 的应变分布。

[0119] 如上所述,从各接收束信号的前部部分计算粘弹性测量参照层 3 的应变量,并且,从在该前部部分之后的部分计算沿深度方向的被检体 4 的应变分布。从接收束信号计算的沿深度方向的应变分布被布置于相应的射束位置处,使得测量被检体 4 的断面应变分布和粘弹性测量参照层 3 的沿粘弹性测量参照层 3 与被检体 4 之间的边界的应变分布。这些应变分布从应变分布检测单元 7 被输入到作为用于计算粘度系数的单元的粘弹性分布计算单元 8。

[0120] [作为用于计算粘度系数的单元的粘弹性分布计算单元]

[0121] 作为用于计算粘度系数的单元的粘弹性分布计算单元 8 根据上述的原理从粘弹性测量参照层 3 和被检体 4 的应变分布以及粘弹性测量参照层 3 的弹性系数和粘性系数计算被检体 4 中的弹性模量分布和粘度系数分布。

[0122] 粘弹性分布计算单元 8 可通过使用微处理器、存储器、控制微处理器和存储器的控制电路以及传输数据的总线电路形成,或者可实现为诸如通用 PC 和 FPGA 的可编程处理电路上的处理软件。

[0123] 因此,以下将描述粘弹性分布计算单元 8 中的处理。当执行超声束的线性扫描以测量应变时,与各接收束信号对应的超声束的各位置基本上与施加压力的方向对应。因此,对于各接收束信号获得的粘弹性测量参照层 3 的应变量和被检体 4 的沿深度方向的应变分布与在图 4 中描述的垂直方向上对准的同一列中的应变对应。因此,可对于各接收束信号执行包含应变分布检测单元 7 的处理的处理。当执行超声束的扇形扫描时或者当执行另一扫描时,通过利用执行扫描时的超声束的位置与施加压力的方向之间的几何关系,对于在图 4 中描述的垂直方向上对准的各列,产生粘弹性测量参照层 3 的应变量和被检体 4 的沿深度方向的应变分布的布置。此时,通过内插计算从超声束的位置与在垂直方向上对准的列之间的位置关系产生被检体 4 的应变分布的布置。为了简化描述,以下将描述执行线性扫描的例子。但是,可通过由从以上的位置关系用在垂直方向上对准的数据串替代对于各接收束信号产生的粘弹性测量参照层 3 的应变量和被检体 4 的沿深度方向的应变分布的布置,对于其它的射束扫描方法执行相同的处理。

[0124] 对于通过一次射束扫描获得的各帧接收束信号数据,获得在射束扫描的帧时间的断面应变分布数据组。断面应变分布数据组包含从在对应于一次射束扫描的时间的各接收束信号获得的粘弹性测量参照层 3 的应变量和被检体 4 的沿深度方向的应变值的串。对于各接收束信号的粘弹性测量参照层 3 的应变量和被检体 4 的沿深度方向的应变值的数据组被称为束应变分布数据组。断面应变分布数据组包含与在各时间的各接收束信号对应的多个束应变分布数据组。在断面应变分布数据组中,各束应变分布数据组与射束扫描中的超声束位置对应。可通过重复射束扫描来获得与不同时间的扫描对应的多个断面应变分布数

据组。

[0125] 可通过在周期性地施加压力的同时重复射束扫描来获得在各时间的断面应变分布数据组。

[0126] 从在完成压力施加的一个循环或多个循环时获得的多个断面应变分布数据组,计算粘弹性测量参照层应变-被检体应变滞后回线的面积  $S_1$ 。对于各超声束位置从相应的束应变分布数据组计算粘弹性测量参照层 3 的最大应变  $\epsilon_{c_{max}}$  和最小应变  $\epsilon_{c_{min}}$ 。(从在压力施加的一个循环期间获得的各时刻的断面应变分布数据组提取与希望的超声束位置对应的束应变分布数据组,并且,获得数据组中的粘弹性测量参照层 3 的应变的最大值和最小值。对于各超声束位置执行以上的操作。可通过使用在压力施加的多个循环期间获得的断面应变分布数据组计算压力施加的一个循环中的粘弹性测量参照层 3 的应变值的平均值,并且可获得一个循环中的最大值和最小值。作为最大值和最小值,可以使用束应变分布数据组中的值,即,在各扫描获得数据的时刻所获得的值。或者,值可关于时间在这些值之间被内插,并且,在实际获得数据的时刻之间的时刻的内插值可被估计为最大值或最小值。)对于各超声束位置,从最大应变  $\epsilon_{c_{max}}$  和最小应变  $\epsilon_{c_{min}}$  之间的差值计算粘弹性测量参照层应变振幅  $\epsilon_c$ 。然后,对于各超声束位置的在深度方向上的各点计算粘弹性测量参照层应变-被检体应变滞后回线的面积  $S_1$ 。首先,从沿提供最小应变  $\epsilon_{c_{min}}$  时到提供最大应变  $\epsilon_{c_{max}}$  时的时刻的被检体的应变值和粘弹性测量参照层的应变值获得外出面积(outward area)。(对于束应变分布数据中的各深度的点提供被检体的应变值,并且,对于点所属于的各束应变分布数据提供粘弹性测量参照层的应变值。因此,获得束位置的各深度处的点的各时刻的一对被检体的应变值和粘弹性测量参照层的应变值。例如,从各时刻的这些值的对获得梯形积分近似或 Simpson 积分近似和面积  $S_1$ 。)然后,类似地,沿从提供最大应变  $\epsilon_{c_{max}}$  时到提供最小应变  $\epsilon_{c_{min}}$  时获得返回面积,并计算外出面积与返回面积之间的差,从而获得粘弹性测量参照层应变-被检体应变滞后回线的面积  $S_1$ 。同时,在各点计算被检体的最大应变  $\epsilon_{max}$  和最小应变  $\epsilon_{min}$ ,并且,从它们之间的差计算粘弹性测量参照层应变振幅  $\epsilon$ 。然后,通过逆求解(式 8) 计算各点的弹性模量和粘度系数。

[0127] 可通过重复压力施加的多个循环提高用于计算滞后回线面积的数据的精度。具体而言,通过使用在各点和各时间获得的所有的粘弹性测量参照层应变和被检体应变的对来计算面积。在这种情况下,使用在粘弹性测量参照层应变随时间增加的过程中获得的对来计算外出面积,并且,使用在粘弹性测量参照层应变随时间减小的过程中获得的对来计算返回面积。关于最大应变和最小应变,类似地,可以使用跨着整个测量时间被测量的应变的最大值和最小值。可对于各压力循环计算粘弹性测量参照层应变-被检体应变滞后回线的面积  $S_1$ ,并且,可使用面积  $S_1$  的平均值。

[0128] 此外,计算粘弹性测量参照层 3 的应变变量的一部分或束应变分布数据组中的平均应变值,并且,可通过测量平均应变值的随时间的变化来计算压力循环时间  $T$ 。换句话说,可通过计算在施加周期性压力的过程中随时间改变的平均应变值的最大值和最小值的时间点之间的时间差,获得压力循环时间  $T$ 。当施加多个压力循环时,可通过计算压力循环时间的平均值,获得压力循环时间  $T$ 。虽然粘弹性测量参照层 3 的应变变量的一部分或平均被用作平均应变值,但是可以使用被检体 4 中的特定位置的应变变量或被检体 4 中的应变变量的平均。

[0129] 通过对于超声束位置的深度方向上的所有点以及对于射束扫描中的所有超声束

位置执行以上的计算,计算被检体的断面中的弹性模量和粘度系数的分布。

[0130] 所计算的弹性模量和粘度系数的分布数据被输入到成像单元 9 中。成像单元 9 从多个的弹性模量和粘度系数的分布数据形成反映被检体 4 中的粘弹性的粘弹性断面图像。以与形成 B 模式断面图像相同的方式,成像单元 9 执行诸如增益校正和滤波处理的信号处理和诸如轮廓强调和图像滤波的图像处理以形成粘弹性断面图像。此外,成像单元 9 根据来自控制单元 11 的显示控制使得显示单元 10 通过诸如切换、同时并列和重叠合成的样式将粘弹性断面图像连同 B 模式断面图像一起显示。此外,成像单元 9 可基于由应变分布检测单元 7 产生的被检体 4 中的应变分布数据产生应变断面图像,并且根据来自控制单元 11 的显示控制使得显示单元 10 通过诸如切换、同时并列和重叠合成的样式将粘弹性断面图像连同 B 模式断面图像一起显示。弹性模量和粘度系数可分别被分配给色调、色度和亮度中的任一种并被显示。通过这种显示,能够直观地观察诸如弹性模量和粘度系数的这两种物理性能。并且,当在 B 模式断面图像上重叠弹性模量和粘度系数时,可设定和重叠反映弹性模量和粘度系数中的一个或两者的透明度。通过这种重叠,能够有效地观察具有明显的弹性模量或粘度系数的区域。

[0131] [粘弹性分布测量操作和粘弹性断面图像的显示]

[0132] 下面,将描述当执行粘弹性分布测量时由控制单元 11 执行的处理。如上所述,控制单元 11 执行超声波发射/接收扫描的控制,并导致显示单元 10 显示 B 模式断面图像。此时,根据输入,控制单元 11 可导致应变分布检测单元 7 操作,并且连同 B 模式断面图像一起或者作为其替代在显示单元 10 上显示应变断面图像。

[0133] 当用户在检查显示单元 10 上的 B 模式断面图像的同时在被检体 4 的预定部分上设置探测器 1 并且接通控制开关 12 时,控制单元 11 开始粘弹性分布计算单元 8 的处理,并且,粘弹性分布测量操作开始。当用户通过探测器 1 向被检体 4 施加周期性压力时,粘弹性分布计算单元 8 操作并且产生各时间点的断面应变分布数据组。当施加多个压力循环时,用户在循环的开始和循环的结束从控制开关 12 输入循环周期信号。控制单元 11 从循环周期信号的输入计算压力周期 T,并且将压力周期 T 输入到粘弹性分布计算单元 8 中。当完成周期性压力施加时,通过关断控制开关 12,粘弹性分布计算单元 8 中的断面应变分布数据组的产生结束,计算粘弹性测量参照层应变 - 被检体应变滞后回线的面积 S1,并且,计算弹性模量和粘度系数的分布。当完成计算处理时,控制单元导致成像单元 9 操作并且生成粘弹性断面图像,并且导致显示单元 10 根据事先输入的显示样式显示粘弹性断面图像。

[0134] 虽然这里从控制开关 12 输入压力循环的开始和结束,但是,如果从上述的粘弹性分布计算单元 8 中的获得的断面应变分布数据组中的应变中的一个的随时间的变化获得压力周期 T,那么不必须输入循环周期信号。

[0135] 此外,虽然在获得所有的断面应变分布数据组之后计算粘弹性测量参照层应变 - 被检体应变滞后回线的面积 S1,但是,能够规定数据获取压力循环的数量并在完成规定数量的压力循环之后开始计算粘弹性测量参照层应变 - 被检体应变滞后回线的面积 S1、弹性模量和粘度系数。在更新要使用的断面应变分布数据组的同时计算滞后回线的面积、弹性模量和粘度系数,使得可随时间计算弹性模量和粘度系数的分布,同时可对于各压力循环更新粘弹性断面图像。

[0136] 虽然在以上的描述中通过使用粘弹性测量参照层应变 - 被检体应变滞后回线的

面积  $S_1$  计算弹性模量和粘度系数,但是,可通过使用滞后参数计算弹性模量和粘度系数。

[0137] 能够计算粘弹性测量参照层应变振幅  $\varepsilon_0$  并通过使用(式 3) 计算与各束应变分布数据对应的束位置处的应力振幅  $\sigma_0$ 。然后,可从束位置处的粘弹性测量参照层应变和束位置中的深度方向上布置的被检体中的应变的随时间的变化计算各点处的粘弹性测量参照层应变的变化和被检体中的应变变化之间的延迟时间,并且可通过使用(式 5) 计算弹性模量和粘度系数。(可从被检体的应变值和粘弹性测量参照层的应变值分别达到最大值和/或最小值的时间差获得延迟时间。这里,对于被检体中的各点获得被检体的应变值,并且,使用关于点所属于的束位置获得的粘弹性测量参照层的应变值。)或者,可通过对关于各点改变的粘弹性测量参照层的应变和被检体的应变的时间序列数据执行互相关性计算,获得延迟时间。

[0138] 虽然在本例子中,用户通过使用手持型的探测器施加周期性压力,但能够通过将诸如微电动机的激励单元附接于手持型探测器或者设置用于按压探测器的单独的按压单元并从控制单元 11 驱动激励单元或单独的按压单元,自动施加周期性压力。在该配置中,能够精确地控制压力施加的随时间的变化,诸如周期性施加的压力周期  $T$ ,使得可以提高弹性模量和粘度系数的计算精度。

[0139] 此外,虽然在说明书中在探测器 1 中包含粘弹性测量参照层 3,但是,粘弹性测量参照层 3 可形成为与探测器 1 分开的可附接和可拆卸的耦合器。可根据要被诊断的区域选择耦合器的形状和粘弹性。在这种情况下,在控制单元 11 中,可根据耦合的类型输入或选择弹性模量和粘度系数,并且,粘弹性分布计算单元 8 可通过使用选择的值计算被检体的弹性模量和粘度系数的分布。

[0140] 例子 2

[0141] 在本例子中,不是周期性地施加压力,而是阶梯状地施加压力。与例子 1 的不同主要是粘弹性分布计算单元 8 的处理,从而将主要描述粘弹性分布计算单元 8 的处理,并且仅描述不同之处。

[0142] 当探测器 1 的控制开关 12 被接通时,控制单元 11 控制粘弹性分布计算单元 8,使得与射束扫描的各时间点对应地存储断面应变分布数据组。探测器 1 通过手动操作或者按压单元以阶梯状方式被瞬时按压到一定压力水平,并且,保持压力,直到完成数据获取。粘弹性分布计算单元 8 使用(式 10) 以及此后在不同的时间点获得的各束应变分布数据组的粘弹性测量参照层 3 的应变的随时间的变化,并计算相应的束位置的应力振幅  $\sigma_0$ 。(当使用式 10 时,可通过将根据阶梯状压力施加的在特定的时间间隔之后获得的粘弹性测量参照层 3 的应变值、粘弹性测量参照层 3 的已知的杨氏模量以及从杨氏模量和已知的粘度系数获得的  $\tau_0$  的值应用于式(10),获得应力振幅  $\sigma_0$ )。但是,希望通过使用多个点的时间间隔并拟合到(式 10) 来提高测量精度。

[0143] 通过使用在不同的时间点获得的多个断面应变分布数据组中的各束应变分布数据组中的被检体应变值,提取相应的束位置处的深度方向上的各位置处的被检体应变的随时间的变化。通过使用(式 12) 从各点的随时间的变化计算被检体中的各点处的杨氏模量和粘度系数的比  $\tau$ 。首先,为了计算被检体应变的微分,通过将各断面应变分布数据组对应的根据阶梯状压力施加的各特定的时间间隔的被检体应变的增量除以时间间隔,计算应变的近似时间微分值,并且,根据(式 12) 从应变的近似时间微分值的随时间的变化的斜率

获得  $1/\tau$ 。此外,此时,希望通过拟合从多个时间点的应变的近似微分值获得  $1/\tau$ 。同时,从应变的近似时间微分值的随时间的变化的截距(intercept)获得下式的值。

[0144] [数学式 13]

$$[0145] \quad \ln\left(\frac{\sigma_0}{\tau E}\right)$$

[0146] 然后,从在以上的计算中获得的  $\tau$  和应力振幅  $\sigma_0$  获得杨氏模量  $E$ 。

[0147] 通过对于超声束位置的深度方向上的所有点以及对于射束扫描中的所有超声束位置执行以上的计算,计算被检体的断面中的弹性模量和粘度系数的分布。

[0148] 所计算的弹性模量和粘度系数的分布以与例子 1 相同的方式被输入到成像单元 9 中,并且,在显示单元 10 上显示粘弹性断面图像。

[0149] 虽然这里通过将检体应变的增量除以时间间隔获得近似时间微分值,但可以使用高次中心差分、前向差分或后向差分。

[0150] 在本例子中,针对阶梯状压力施加从被检体和粘弹性测量参照层中的应变的随时间的变化获得被检体的杨氏模量和粘度系数。在这种情况下,关于必要的时间序列时间间隔,可通过使用几个到几十个时间点的数据(包含上述的对于拟合使用该数据的情况)执行足够精确的计算。由此,对于各时间点的断面应变分布数据组的必要数量是几个到几十个,并且,用于产生断面应变分布数据组的帧接收束信号数据包含几个到几十个帧。在一到几秒内完成用于产生这些数据的射束扫描,使得存在在短的时间段内获取用于产生粘弹性分布数据的数据的优点。并且,存在可在短的时间段内获取测量数据而无需执行在例子 1 中执行的压力施加和压力释放的优点。

[0151] 虽然已参照示例性实施例说明了本发明,但应理解,本发明不限于公开的示例性实施例。以下的权利要求的范围应被赋予最宽泛的解释以包含所有这样的变更方式和等同的结构和功能。

[0152] 本申请要求在 2011 年 4 月 8 日提交的日本专利申请 No. 2011-086512 的权益,通过引用将其全部内容并入此。

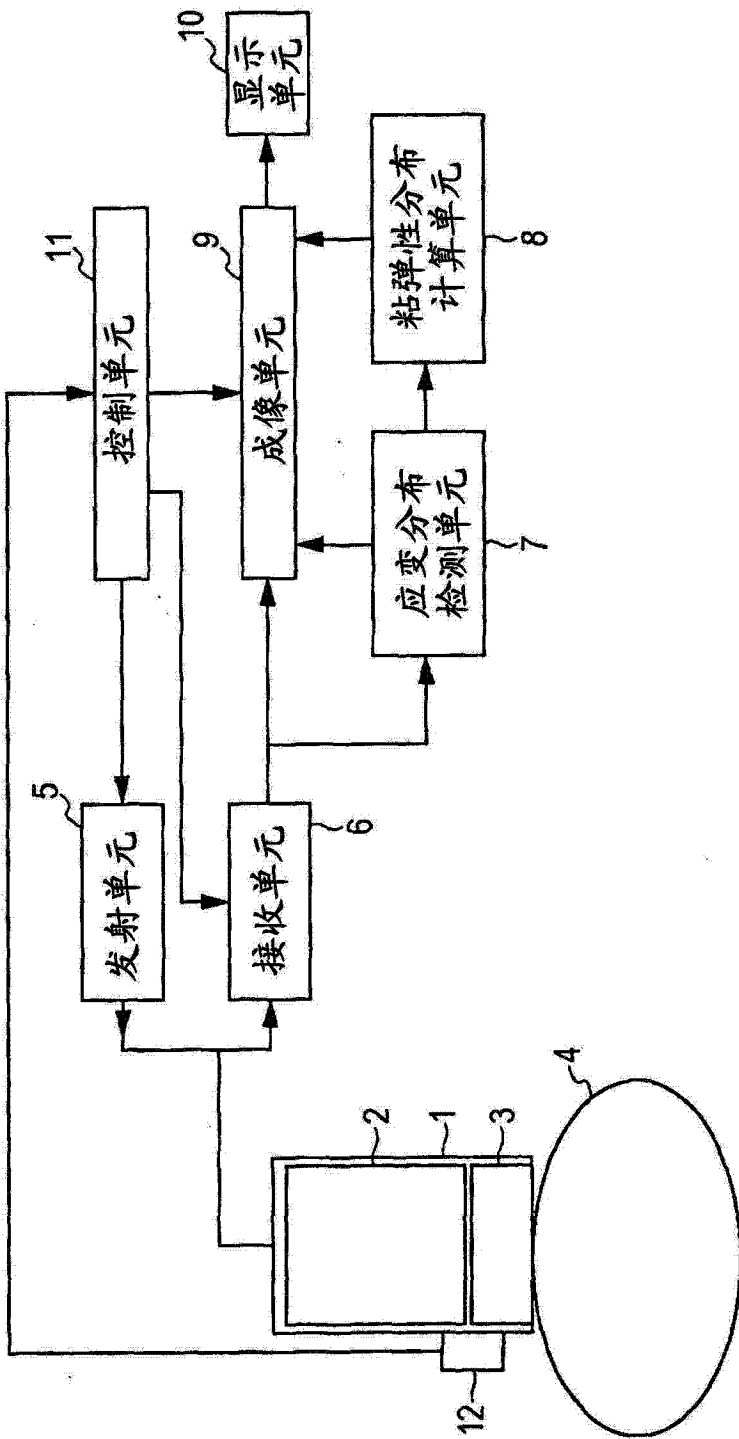


图 1

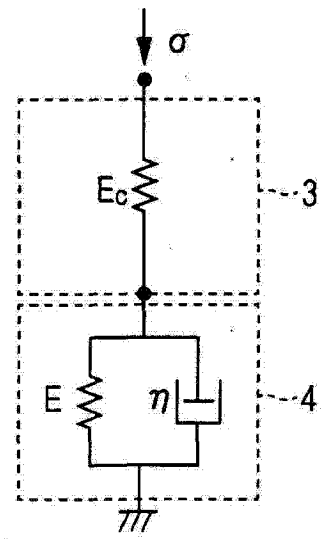


图 2A

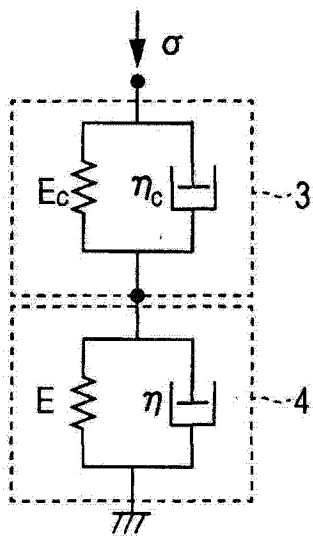


图 2B

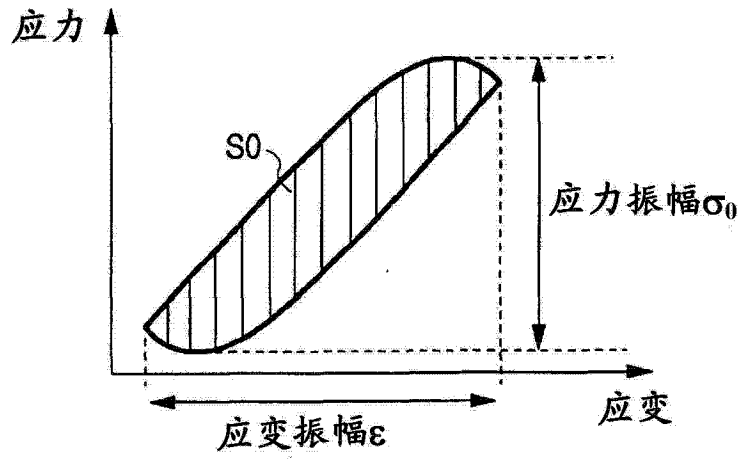


图 3A

粘弹性测量参照层中的应变

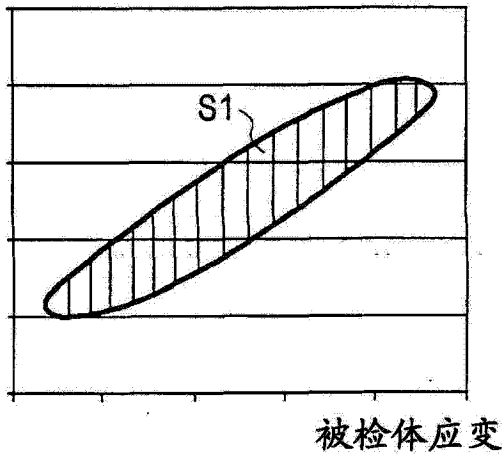


图 3B

粘弹性测量参照层中的应变

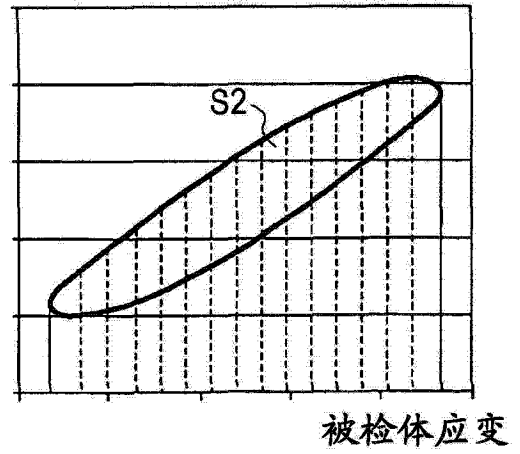


图 3C

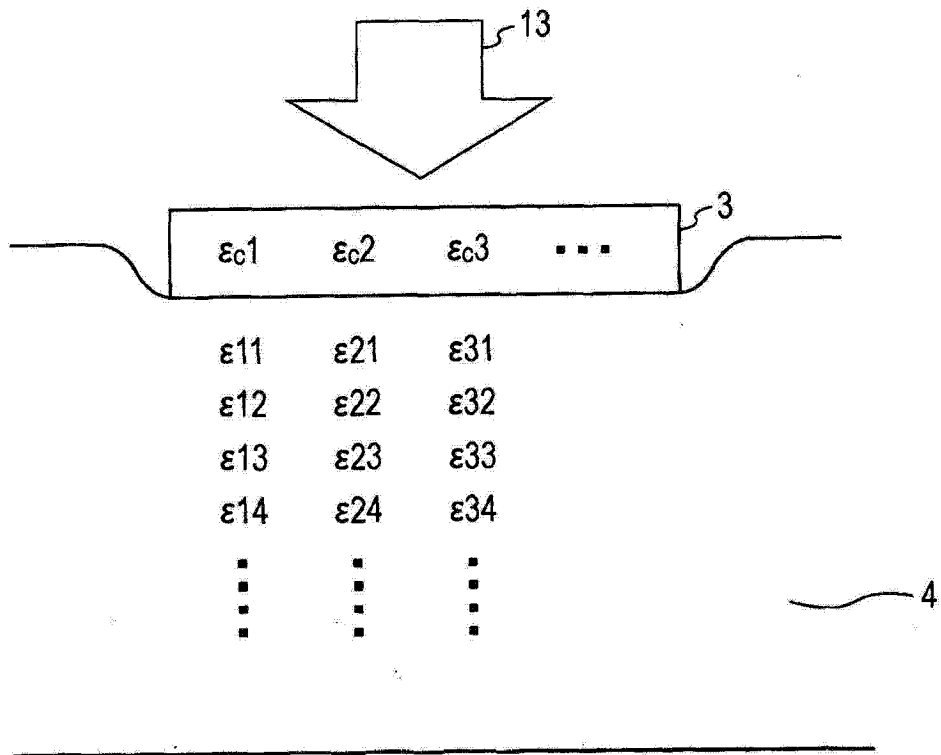


图 4

专利名称(译)	被检体信息获取装置		
公开(公告)号	<a href="#">CN103476344B</a>	公开(公告)日	2015-09-23
申请号	CN201280017094.2	申请日	2012-04-05
[标]申请(专利权)人(译)	佳能株式会社		
申请(专利权)人(译)	佳能株式会社		
当前申请(专利权)人(译)	佳能株式会社		
[标]发明人	及川克哉 长永兼一 山川诚 椎名毅		
发明人	及川克哉 长永兼一 山川诚 椎名毅		
IPC分类号	A61B8/00 G01S7/52		
CPC分类号	A61B8/085 A61B8/485 A61B8/5223 A61B8/585 G01S7/52042 G16H50/30 A61B8/0858 A61B8/4483		
代理人(译)	康建忠		
优先权	2011086512 2011-04-08 JP		
其他公开文献	CN103476344A		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a> <a href="#">SIPO</a>		

摘要(译)

被检体中的粘弹性特性通过简单的方法被成像。在超声波发射/接收探测器与被检体之间包含弹性模量和粘度系数已知的粘弹性测量参照层，并且，从根据施加到被检体的随时间改变的的压力在粘弹性测量参照层和被检体中产生的应变的随时间的变化和粘弹性测量参照层的已知的弹性模量和粘度系数，计算被检体内的弹性模量和粘度系数的分布。

