



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104350381 A

(43) 申请公布日 2015. 02. 11

(21) 申请号 201380029536. X

(74) 专利代理机构 北京林达刘知识产权代理事务所 (普通合伙) 11277

(22) 申请日 2013. 06. 06

代理人 刘新宇 张会华

(30) 优先权数据

2012-150685 2012. 07. 04 JP

(51) Int. Cl.

G01N 29/04 (2006. 01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2014. 12. 04

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2013/065753 2013. 06. 06

(87) PCT国际申请的公布数据

W02014/007023 JA 2014. 01. 09

(71) 申请人 新日铁住金株式会社

地址 日本东京都

(72) 发明人 永田泰昭 佐藤雄伍

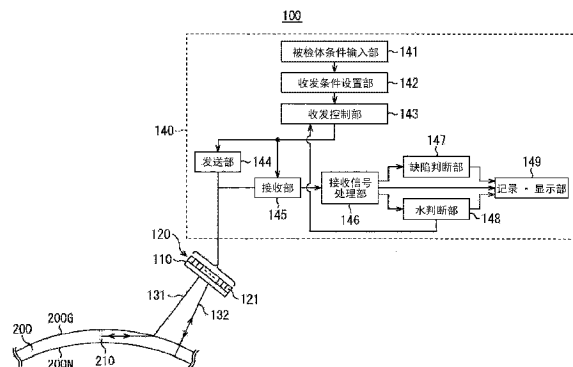
权利要求书4页 说明书18页 附图14页

(54) 发明名称

缺陷检测装置、缺陷检测方法、程序以及存储介质

(57) 摘要

缺陷检测装置 (100) 包括:相位阵列探头 (120),其设置于电阻焊接钢管 (200) 的外表面 (200G) 的外侧,排列有多个超声波振子 (121);发送部 (144),其从由排列于相位阵列探头 (120) 的多个超声波振子 (121) 中的一部分的多个超声波振子构成的探伤用超声波振子组与电阻焊接钢管 (200) 的外表面 (200G) 呈斜角向电阻焊接钢管 (200) 的外表面 (200G) 输出探伤用超声波束 (131);接收部 (145),其借助探伤用超声波振子组接收反射后的探伤用超声波束 (131);以及缺陷判断部 (147),其基于接收部 (145) 所接收的探伤用超声波束 (131) 判断焊接部 (210) 是否存在缺陷。发送部 (144) 以自焊接钢管 (200) 的外表面 (200G) 入射到焊接钢管 (200) 内的探伤用超声波束 (131) 不在焊接钢管 (200) 的内表面处反射就直接与焊接面大致垂直地向焊接面入射且聚焦于焊接面的方式发送探伤用超声波束 (131)。



1. 一种缺陷检测装置,其用于对存在于沿着焊接钢管的管轴线方向形成的焊接面的缺陷进行检测,其中,

该缺陷检测装置包括:

相位阵列探头,其设置于上述焊接钢管的外表面的外侧,排列有多个超声波振子;

发送部件,其自包含上述多个超声波振子中的一部分或全部的探伤用超声波振子组以自上述焊接钢管的外表面入射到上述焊接钢管内的探伤用超声波束不在上述焊接钢管的内表面处反射就直接与上述焊接面大致垂直地向上述焊接面入射且会聚于上述焊接面的方式发送上述探伤用超声波束;

接收部件,其借助上述探伤用超声波振子组接收反射后的上述探伤用超声波束;以及

缺陷判断部件,其基于上述接收部件所接收的上述探伤用超声波束,判断上述焊接面是否存在缺陷。

2. 根据权利要求 1 所述的缺陷检测装置,其中,

上述焊接钢管是管径 5 英寸以下、管厚度 7.5mm 以下的小径的电阻焊接钢管。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的缺陷检测装置,其中,

在上述相位阵列探头和上述焊接钢管的外表面之间存在有作为传播上述探伤用超声波束的介质的水,

上述发送部件还自包含上述多个超声波振子中的一部分或全部的水判断用超声波振子组与上述焊接钢管的外表面大致垂直地向上述焊接钢管的外表面发送水判断用超声波束,

上述接收部件还借助上述水判断用超声波振子组接收反射后的上述水判断用超声波束,

上述缺陷检测装置还包括:水判断部件,其基于上述接收部件所接收的上述水判断用超声波束,判断在上述相位阵列探头和上述焊接钢管的外表面之间是否填满水。

4. 根据权利要求 3 所述的缺陷检测装置,其中,

在用上述水判断部件判断为在上述相位阵列探头和上述焊接钢管的外表面之间填满水的情况下,上述发送部件自上述探伤用超声波振子组发送上述探伤用超声波束。

5. 根据权利要求 1 至 4 中任一项所述的缺陷检测装置,其中,

上述缺陷检测装置还包括:聚焦透镜,其与上述相位阵列探头相对应地设置在上述相位阵列探头和上述焊接钢管的外表面之间,并用于使上述探伤用超声波束聚焦于上述管轴线方向。

6. 根据权利要求 1 至 4 中任一项所述的缺陷检测装置,其中,

上述缺陷检测装置还包括:

设定部件,其基于上述焊接钢管的管厚度和上述焊接面上的上述探伤用超声波束的有效束径设定上述焊接面上的上述管厚度的方向的区域的分区数 N ;以及

分割部件,其根据由上述设定部件所设定的分区数 N 将包含于上述探伤用超声波振子组的多个超声波振子分割为 N 个组,

上述发送部件以向上述焊接面的分区后的各区域依次入射探伤用超声波束的方式自被上述分割部件分割而成的各组依次发送探伤用超声波束。

7. 根据权利要求 6 所述的缺陷检测装置,其中,

上述缺陷检测装置还包括：聚焦透镜，其与上述相位阵列探头相对应地设置在上述相位阵列探头和上述焊接钢管的外表面之间，并用于使上述探伤用超声波束聚焦于上述管轴线方向，

上述聚焦透镜的沿着上述管轴线方向的曲面的曲率半径沿着上述多个超声波振子的排列方向发生变化，上述曲率半径朝向上述探伤用超声波束的自上述相位阵列探头到上述焊接面为止的传播距离变大的方向去而变大。

8. 根据权利要求 1 至 5 中任一项所述的缺陷检测装置，其中，

上述缺陷检测装置还包括：设定部件，其基于上述焊接钢管的管厚度和上述焊接面上的上述探伤用超声波束的有效束径设定上述焊接面上的上述管厚度的方向的分区数 N，

上述发送部件以上述探伤用超声波束依次向上述焊接面的分区后的各区域入射的方式自包含上述多个超声波振子的一部分的单个探伤用超声波振子组依次切换发送方向来发送上述探伤用超声波束。

9. 根据权利要求 3 或 4 所述的缺陷检测装置，其中，

上述缺陷检测装置还包括：设定部件，其基于上述焊接钢管的管厚度和上述焊接面上的上述探伤用超声波束的有效束径设定上述焊接面上的上述管厚度的方向的分区数 N，

上述发送部件以上述探伤用超声波束依次向上述焊接面的分区后的各区域入射的方式自包含上述多个超声波振子的全部的探伤用超声波振子组依次切换发送方向来发送上述探伤用超声波束，并且，自包含上述多个超声波振子的一部分的水判断用超声波振子组向上述焊接钢管的外表面发送上述水判断用超声波束。

10. 根据权利要求 9 所述的缺陷检测装置，其中，

上述缺陷检测装置还包括：聚焦透镜，其与上述相位阵列探头相对应设置在上述相位阵列探头和上述焊接钢管的外表面之间，用于使上述探伤用超声波束聚焦于上述管轴线方向。

11. 根据权利要求 6 至 10 中任一项所述的缺陷检测装置，其中，

上述设定部件将用上述焊接钢管的管厚度除以上述焊接面上的上述探伤用超声波束的有效束径得到的值中的小数第 1 位以下的部分进位所得到的值设定为上述分区数 N。

12. 根据权利要求 6 至 11 中任一项所述的缺陷检测装置，其中，

在将由上述探伤用超声波束的振动产生的上述焊接钢管的内部的位移的最大值设为 1 的情况下，上述有效束径与该位移为 0.5 以上的范围相对应。

13. 一种缺陷检测方法，该缺陷检测方法是由缺陷检测装置来进行的，在该缺陷检测方法中使用被设置于焊接钢管的外表面的外侧并排列有多个超声波振子的相位阵列探头，该缺陷检测装置用于对存在于沿着上述焊接钢管的管轴线方向形成的焊接面的缺陷进行检测，其中，

该缺陷检测方法包括以下步骤：

第 1 发送步骤，在该第 1 发送步骤中，自包含上述多个超声波振子中的一部分或全部的探伤用超声波振子组，以自上述焊接钢管的外表面入射到上述焊接钢管内的探伤用超声波束不在上述焊接钢管的内表面处反射就直接与上述焊接面大致垂直地向上述焊接面入射且聚焦于上述焊接面的方式，发送上述探伤用超声波束；

第 1 接收步骤，在该第 1 接收步骤中，借助上述探伤用超声波振子组接收反射后的上述

探伤用超声波束 ;以及

缺陷判断步骤,在该缺陷判断步骤中,基于在上述第 1 接收步骤中所接收的上述探伤用超声波束,判断上述焊接面是否存在缺陷。

14. 根据权利要求 13 所述的缺陷检测方法,其中,

上述焊接钢管是管径 5 英寸以下、管厚度 7.5mm 以下的小径的电阻焊接钢管。

15. 根据权利要求 13 或 14 所述的缺陷检测方法,其中,

在上述相位阵列探头与上述焊接钢管的外表面之间存在有作为传播上述探伤用超声波束的介质的水,

上述缺陷检测方法还包括以下步骤:

第 2 发送步骤,在该第 2 发送步骤中,自包含上述多个超声波振子中的一部分或全部的水判断用超声波振子组与上述焊接钢管的外表面大致垂直地向上述焊接钢管的外表面发送水判断用超声波束;

第 2 接收步骤,在该第 2 接收步骤中,借助上述水判断用超声波振子组接收反射后的上述水判断用超声波束 ;以及

水判断步骤,在该水判断步骤中,基于在上述第 2 接收步骤中所接收的上述水判断用超声波束,判断在上述相位阵列探头与上述焊接钢管的外表面之间是否填满水。

16. 一种程序,其用于使计算机执行由缺陷检测装置进行的缺陷检测方法,在该缺陷检测方法中使用被设置于焊接钢管的外表面的外侧并排列有多个超声波振子的相位阵列探头,该缺陷检测装置用于对存在于沿着上述焊接钢管的管轴线方向形成的焊接面的缺陷进行检测,其中,

该程序包括以下步骤:

第 1 发送步骤,在该第 1 发送步骤中,自包含上述多个超声波振子中的一部分或全部的探伤用超声波振子组,以自上述焊接钢管的外表面入射到上述焊接钢管内的探伤用超声波束不在上述焊接钢管的内表面处反射就直接与上述焊接面大致垂直地向上述焊接面入射且聚焦于上述焊接面的方式,发送上述探伤用超声波束 ;

第 1 接收步骤,在该第 1 接收步骤中,借助上述探伤用超声波振子组接收反射后的上述探伤用超声波束 ;以及

缺陷判断步骤,在该缺陷判断步骤中,基于在上述第 1 接收步骤中所接收的上述探伤用超声波束,判断上述焊接面是否存在缺陷。

17. 根据权利要求 16 所述的程序,其中,

在上述相位阵列探头与上述焊接钢管的外表面之间存在有作为传播上述探伤用超声波束的介质的水,

上述程序还包括以下步骤:

第 2 发送步骤,在该第 2 发送步骤中,自包含上述多个超声波振子中的一部分或全部的水判断用超声波振子组与上述焊接钢管的外表面大致垂直地向上述焊接钢管的外表面发送水判断用超声波束 ;

第 2 接收步骤,在该第 2 接收步骤中,借助上述水判断用超声波振子组接收反射后的上述水判断用超声波束 ;以及

水判断步骤,在该水判断步骤中,基于在上述第 2 接收步骤中所接收的上述水判断用

超声波束,判断在上述相位阵列探头与上述焊接钢管的外表面之间是否填满水。

18. 一种存储介质,其能够存储权利要求 16 或 17 所述的程序并且计算机能够读取。

缺陷检测装置、缺陷检测方法、程序以及存储介质

技术领域

[0001] 本发明涉及用于对存在于沿着焊接钢管的管轴线方向形成的焊接面的缺陷进行检测的缺陷检测装置和缺陷检测方法、用于使计算机执行该缺陷检测方法的程序、存储该程序的计算机能够读取的存储介质。另外,在本说明书中,以对管径为 5 英寸以下、管厚度为 7.5mm 以下的小径的电阻焊接钢管进行缺陷检测的情况为例进行说明,但是本发明并不限于此,也可以将例如电弧焊接钢管等其它焊接钢管作为缺陷检测的对象。

背景技术

[0002] 首先,说明电阻焊接钢管的通常的制造方法。图 18A 和图 18B 是表示通常的电阻焊接钢管的制造方法的一个例子的示意图。如图 18A 所示,对于通常的电阻焊接钢管的制造方法,一边将带状的钢板(带钢)201 朝向方向 202 连续地输送一边利用多个辊组(未图示)成型为管状,利用高频线圈 204 的感应加热或接触片(未图示)的直接通电加热将其对接端面 203 熔融,并且,通过利用挤压辊 205 对对接端面 203 施加按压,从而对对接端面 203 进行焊接而形成焊接部 210。像这样,如图 18B 所示,制造成沿着管轴线方向 220 形成有焊接部 210(焊接面)的电阻焊接钢管 200。另外,在本说明书中,焊接面是指通过对成形为开放管状的热轧钢板端部进行加热而使其熔融、对熔融部施加按压而排出从而完成了接合时的接合面。焊接面有时也被称作焊接对接面。

[0003] 在电阻焊接钢管 200 中焊接部 210 的品质非常重要,在电阻焊接钢管 200 的制造工序中,通常利用超声波斜角探伤进行焊接部 210 是否存在缺陷的在线探伤。

[0004] 图 19 是表示以往的斜角探伤法的一个例子的示意图。在图 19 中,示出了图 18B 所示的电阻焊接钢管 200 的截面(更详细地说,电阻焊接钢管 200 的截面中的焊接部 210 附近)。并且,用于进行超声波束的收发的阵列探头 250 设置于电阻焊接钢管 200 的外表面 200G 的外侧。在这样的状态下,在图 19 所示的以往的斜角探伤法中,自阵列探头 250 向电阻焊接钢管 200 的外表面 200G 输出超声波束,使该超声波束在电阻焊接钢管 200 的内表面 200N 处进行一次反射而向焊接部 210(焊接面)照射,阵列探头 250 接收反射后的超声波束,对接收到的超声波束进行分析来检测焊接部 210(焊接面)是否存在缺陷。

[0005] 在日本特许第 4544240 号公报中公开有将超声波束的发送用阵列探头与接收用阵列探头独立设置的、所谓的串联探伤法的技术。

发明内容

[0006] 发明要解决的问题

[0007] 然而,在上述的图 19 所示的以往的斜角探伤法中,由于使超声波束在电阻焊接钢管 200 的内表面 200N 处进行一次反射而向焊接部 210(焊接面)照射,因此不能与焊接部 210(焊接面)大致垂直地向焊接部 210(焊接面)照射超声波束,其结果,在焊接部 210(焊接面)存在缺陷的情况下,到达阵列探头 250 的来自该缺陷的镜面反射的超声波束变弱。因此,存在有例如难以检测像灰斑(日文:ベネトレータ)那样的微小缺陷(0.2mm 左右)这

样的问题。

[0008] 此外,在上述的日本特许第 4544240 号公报的技术中,在对厚度较薄的(7.5mm 左右以下)管径 5 英寸以下的小径的电阻焊接钢管进行探伤的情况下,存在有来自存在于焊接部 210(焊接面)的缺陷的反射超声波束的 SN 比降低这样的问题。

[0009] 本发明是鉴于上述那样的问题点而做成的,目的在于提供一种也能够检测微小缺陷并且即使是厚度较薄的小径的焊接钢管也能够实现缺陷的检测精度的提高的结构。

[0010] 用于解决问题的方案

[0011] 本发明人反复进行了专心研究的结果,想到了以下所示的发明的各技术方案。

[0012] 采用本发明的第 1 技术方案,提供一种缺陷检测装置,其用于对存在于沿着焊接钢管的管轴线方向形成的焊接面的缺陷进行检测,其中,该缺陷检测装置包括:相位阵列探头,其设置于上述焊接钢管的外表面的外侧,排列有多个超声波振子;发送部件,其自包含上述多个超声波振子中的一部分或全部的探伤用超声波振子组以自上述焊接钢管的外表面入射到上述焊接钢管内的探伤用超声波束不在上述焊接钢管的内表面处反射就直接与上述焊接面大致垂直地向上述焊接面入射且会聚于上述焊接面的方式发送上述探伤用超声波束;接收部件,其借助上述探伤用超声波振子组接收反射后的上述探伤用超声波束;以及缺陷判断部件,其基于上述接收部件所接收的上述探伤用超声波束,判断上述焊接面是否存在缺陷。

[0013] 采用本发明的第 2 技术方案,根据第 1 技术方案提供一种缺陷检测装置,其中,上述焊接钢管是管径 5 英寸以下、管厚度 7.5mm 以下的小径的电阻焊接钢管。

[0014] 采用本发明的第 3 技术方案,根据第 1 或第 2 技术方案提供一种缺陷检测装置,其中,在上述相位阵列探头和上述焊接钢管的外表面之间存在有作为传播上述探伤用超声波束的介质的水,上述发送部件还自包含上述多个超声波振子中的一部分或全部的水判断用超声波振子组与上述焊接钢管的外表面大致垂直地向上述焊接钢管的外表面发送水判断用超声波束,上述接收部件还借助上述水判断用超声波振子组接收反射后的上述水判断用超声波束,上述缺陷检测装置还包括:水判断部件,其基于上述接收部件所接收的上述水判断用超声波束,判断在上述相位阵列探头和上述焊接钢管的外表面之间是否填满水。

[0015] 采用本发明的第 4 技术方案,根据第 3 技术方案提供一种缺陷检测装置,其中,在用上述水判断部件判断为在上述相位阵列探头和上述焊接钢管的外表面之间填满水的情况下,上述发送部件自上述探伤用超声波振子组发送上述探伤用超声波束。

[0016] 采用本发明的第 5 技术方案,根据第 1 至第 4 技术方案中任一项提供一种缺陷检测装置,其中,上述缺陷检测装置还包括:聚焦透镜,其与上述相位阵列探头相对应地设置于上述相位阵列探头和上述焊接钢管的外表面之间,并用于使上述探伤用超声波束聚焦于上述管轴线方向。

[0017] 采用本发明的第 6 技术方案,根据第 1 至第 4 技术方案中任一项提供一种缺陷检测装置,其中,上述缺陷检测装置还包括:设定部件,其基于上述焊接钢管的管厚度和上述焊接面上的上述探伤用超声波束的有效束径设定上述焊接面的上述管厚度的方向的区域的分区数 N ;以及分割部件,其根据由上述设定部件设定的分区数 N 将包含于上述探伤用超声波振子组的多个超声波振子分割为 N 个组,上述发送部件以向上述焊接面的分区后的各区域依次入射探伤用超声波束的方式自被上述分割部件分割而成的各组依次发送探伤用

超声波束。

[0018] 采用本发明的第 7 技术方案,根据第 6 技术方案提供一种缺陷检测装置,其中,上述缺陷检测装置还包括:聚焦透镜,其与上述相位阵列探头相对应地设置在上述相位阵列探头和上述焊接钢管的外表面之间,并用于使上述探伤用超声波束聚焦于上述管轴线方向,上述聚焦透镜的沿着上述管轴线方向的曲面的曲率半径沿着上述多个超声波振子的排列方向发生变化,上述曲率半径朝向自上述相位阵列探头到上述焊接面为止的上述探伤用超声波束的传播距离变大的方向去而变大。

[0019] 采用本发明的第 8 技术方案,根据第 1 至第 5 技术方案中任一项提供一种缺陷检测装置,其中,上述缺陷检测装置还包括:设定部件,其基于上述焊接钢管的管厚度和上述焊接面上的上述探伤用超声波束的有效束径设定上述焊接面的上述管厚度的方向的分区数 N ,上述发送部件以上述探伤用超声波束依次向上述焊接面的分区后的各区域入射的方式自包含上述多个超声波振子的一部分的单个探伤用超声波振子组依次切换发送方向来发送上述探伤用超声波束。

[0020] 采用本发明的第 9 技术方案,根据第 3 或第 4 技术方案提供一种缺陷检测装置,其中,上述缺陷检测装置还包括:设定部件,其基于上述焊接钢管的管厚度和上述焊接面上的上述探伤用超声波束的有效束径设定上述焊接面的上述管厚度的方向的分区数 N ,上述发送部件以上述探伤用超声波束依次向上述焊接面的分区后的各区域入射的方式自包含上述多个超声波振子的全部的探伤用超声波振子组依次切换发送方向来发送上述探伤用超声波束,并且,自包含上述多个超声波振子的一部分的水判断用超声波振子组向上述焊接钢管的外表面发送上述水判断用超声波束。

[0021] 采用本发明的第 10 技术方案,根据第 9 技术方案提供一种缺陷检测装置,其中,上述缺陷检测装置还包括:聚焦透镜,其与上述相位阵列探头相对应设置在上述相位阵列探头和上述焊接钢管的外表面之间,用于使上述探伤用超声波束聚焦于上述管轴线方向。

[0022] 采用本发明的第 11 技术方案,根据第 6 至第 10 技术方案中任一项提供一种缺陷检测装置,其中,上述设定部件将用上述焊接钢管的管厚度除以上述焊接面的上述探伤用超声波束的有效束径得到的值中的小数第 1 位以下的部分进位所得到的值设定为上述分区数 N 。

[0023] 采用本发明的第 12 技术方案,根据第 6 至第 11 技术方案中任一项提供一种缺陷检测装置,其中,在将由上述探伤用超声波束的振动产生的上述焊接钢管的内部的位移的最大值设为 1 的情况下,上述有效束径与该位移为 0.5 以上的范围相对应。

[0024] 采用本发明的第 13 技术方案,提供一种缺陷检测方法,该缺陷检测方法是由缺陷检测装置进行的,在该缺陷检测方法中使用被设置于焊接钢管的外表面的外侧并排列有多个超声波振子的相位阵列探头,该缺陷检测装置用于对存在于沿着上述焊接钢管的管轴线方向形成的焊接面的缺陷进行检测,其中,该缺陷检测方法包括以下步骤:第 1 发送步骤,在该第 1 发送步骤中,自包含上述多个超声波振子中的一部分或全部的探伤用超声波振子组以自上述焊接钢管的外表面入射到上述焊接钢管内的探伤用超声波束不在上述焊接钢管的内表面处反射就直接与上述焊接面大致垂直地向上述焊接面入射且聚焦于上述焊接面的方式发送上述探伤用超声波束;第 1 接收步骤,在该第 1 接收步骤中,借助上述探伤用超声波振子组接收反射后的上述探伤用超声波束;以及缺陷判断步骤,在该缺陷判断步骤

中,基于在上述第 1 接收步骤中所接收的上述探伤用超声波束判断上述焊接面是否存在缺陷。

[0025] 采用本发明的第 14 技术方案,根据第 13 技术方案提供一种缺陷检测方法,其中,上述焊接钢管是管径 5 英寸以下、管厚度 7.5mm 以下的小径的电阻焊接钢管。

[0026] 采用本发明的第 15 技术方案,根据第 13 或第 14 技术方案提供一种缺陷检测方法,其中,在上述相位阵列探头与上述焊接钢管的外表面之间存在有作为传播上述探伤用超声波束的介质的水,上述缺陷检测方法还包括以下步骤:第 2 发送步骤,在该第 2 发送步骤中,自包含上述多个超声波振子中的一部分或全部的水判断用超声波振子组与上述焊接钢管的外表面大致垂直地向上述焊接钢管的外表面发送水判断用超声波束;第 2 接收步骤,在该第 2 接收步骤中,借助上述水判断用超声波振子组接收反射后的上述水判断用超声波束;水判断步骤,在该水判断步骤中,基于在上述第 2 接收步骤中所接收的上述水判断用超声波束判断在上述相位阵列探头与上述焊接钢管的外表面之间是否填满水。

[0027] 采用本发明的第 16 技术方案,提供一种程序,其用于使计算机执行由缺陷检测装置进行的缺陷检测方法,在该缺陷检测方法中使用被设置于焊接钢管的外表面的外侧并排列有多个超声波振子的相位阵列探头,该缺陷检测装置用于对存在于沿着上述焊接钢管的管轴线方向形成的焊接面的缺陷进行检测,其中,该程序包括以下步骤:第 1 发送步骤,在该第 1 发送步骤中,自包含上述多个超声波振子中的一部分或全部的探伤用超声波振子组以自上述焊接钢管的外表面入射到上述焊接钢管内的探伤用超声波束不在上述焊接钢管的内表面处反射就直接与上述焊接面大致垂直地向上述焊接面入射且聚焦于上述焊接面的方式发送上述探伤用超声波束;第 1 接收步骤,在该第 1 接收步骤中,借助上述探伤用超声波振子组接收反射后的上述探伤用超声波束;以及缺陷判断步骤,在该缺陷判断步骤中,基于上述第 1 接收步骤所接收的上述探伤用超声波束判断上述焊接面是否存在缺陷。

[0028] 采用本发明的第 17 技术方案,根据第 16 技术方案提供一种程序,其中,在上述相位阵列探头与上述焊接钢管的外表面之间存在有作为传播上述探伤用超声波束的介质的水,上述程序还包括以下步骤:第 2 发送步骤,在该第 2 发送步骤中,自包含上述多个超声波振子中的一部分或全部的水判断用超声波振子组与上述焊接钢管的外表面大致垂直地向上述焊接钢管的外表面发送水判断用超声波束;第 2 接收步骤,在该第 2 接收步骤中,借助上述水判断用超声波振子组接收反射后的上述水判断用超声波束;以及水判断步骤,在该水判断步骤中,基于在上述第 2 接收步骤中所接收的上述水判断用超声波束判断在上述相位阵列探头与上述焊接钢管的外表面之间是否填满水。

[0029] 采用本发明的第 18 技术方案,提供一种存储介质,其能够存储第 16 或 17 技术方案所述的程序并且计算机能够读取。

[0030] 发明的效果

[0031] 采用本发明,也能够检测微小缺陷且即使是厚度较薄的小径的焊接钢管也能够实现缺陷的检测精度的提高。

附图说明

[0032] 图 1 是表示本发明的第 1 实施方式的缺陷检测装置的概略结构的一个例子的图。

[0033] 图 2 表示本发明的第 1 实施方式,是表示图 1 所示的探伤用超声波束的收发的一

个例子的图。

[0034] 图 3 表示本发明的第 1 实施方式,是表示图 1 所示的声透镜的一个例子的图。

[0035] 图 4 表示本发明的第 1 实施方式,是图 1 所示的相位阵列探头的概略图。

[0036] 图 5 表示本发明的第 1 实施方式,是表示图 4 所示的相位阵列探头的开口直径与缺陷检测的 SN 比之间的相关性的一个例子的图。

[0037] 图 6 表示本发明的第 1 实施方式,是用于模拟的电阻焊接钢管的剖视图。

[0038] 图 7A 是比较例 1 的探伤方法中的模拟模型的概要图。

[0039] 图 7B 是本发明的探伤方法中的模拟模型的概要图。

[0040] 图 7C 是比较例 2 的探伤方法中的模拟模型的概要图。

[0041] 图 7D 是比较例 3 的探伤方法中的模拟模型的概要图。

[0042] 图 8 是表示基于图 7A ~ 图 7D 所示的本发明的探伤方法与比较例的探伤方法中的各探伤方法的模拟模型的分析结果的图。

[0043] 图 9A 表示本发明的第 1 实施方式,是表示探伤用超声波束的焦点处的有效束径的分析模型的图。

[0044] 图 9B 表示本发明的第 1 实施方式,是表示探伤用超声波束的焦点处的有效束径的分析结果的图。

[0045] 图 10 是表示本发明的第 1 实施方式的相位阵列探头的概略结构的一个例子的图。

[0046] 图 11 表示本发明的第 1 实施方式,是用于说明耦合检查的图。

[0047] 图 12 表示本发明的第 1 实施方式,是反射后的耦合检查用超声波束的接收波形的一个例子的图。

[0048] 图 13 表示本发明的第 1 实施方式,是用于说明图 1 和图 3 所示的声透镜的图。

[0049] 图 14 表示本发明的第 1 实施方式,是表示图 1 和图 3 所示的声透镜的曲率半径与相位阵列探头的阵列长度(阵列位置)之间的关系的图。

[0050] 图 15 是表示由本发明的第 1 实施方式的缺陷检测装置进行的缺陷检测方法的处理顺序的一个例子的流程图。

[0051] 图 16A 表示本发明的第 1 实施方式,是表示反射后的探伤用超声波束的接收波形的一个例子的图。

[0052] 图 16B 表示本发明的第 1 实施方式,是表示反射后的探伤用超声波束的接收波形的一个例子的图。

[0053] 图 17 表示本发明的第 1 实施方式,是表示二维映射的一个例子的图。

[0054] 图 18A 是表示通常的电阻焊接钢管的制造方法的一个例子的示意图。

[0055] 图 18B 是表示通常的电阻焊接钢管的制造方法的一个例子的示意图。

[0056] 图 19 是表示以往的斜角探伤法的一个例子的示意图。

具体实施方式

[0057] 以下一边参照附图一边说明用于实施本发明的方式(实施方式)。

[0058] (第 1 实施方式)

[0059] 图 1 是表示本发明的第 1 实施方式的缺陷检测装置 100 的概略结构的一个例子的图。该缺陷检测装置 100 是用于检测沿着作为一种焊接钢管的电阻焊接钢管 200 的管轴线

方向（图 18B 的 220）形成的焊接部 210（焊接面）所包含的缺陷的装置。此外，图 1 示出了图 18B 所示的电阻焊接钢管 200 的截面（更详细地说，电阻焊接钢管 200 的截面中的焊接部 210 附近）。

[0060] 如图 1 所示，本实施方式的缺陷检测装置 100 包含声透镜 110、相位阵列探头 120 以及控制处理装置 140。此外，控制处理装置 140 包含被检体条件输入部 141、收发条件设定部 142、收发控制部 143、发送部 144、接收部 145、接收信号处理部 146、缺陷判断部 147、水判断部 148 以及记录·显示部 149。

[0061] 声透镜 110 与相位阵列探头 120 相对应地设置在相位阵列探头 120 和电阻焊接钢管 200 的外表面 200G 之间。声透镜 110 是用于使自相位阵列探头 120 输出的探伤用超声波束 131 聚焦于上述管轴线方向的聚焦透镜。在此，在电阻焊接钢管 200 的焊接部 210 存在缺陷的情况下，为了检测该缺陷而发送探伤用超声波束 131。

[0062] 相位阵列探头 120 设置于电阻焊接钢管 200 的外表面 200G 的外侧，并形成有排列有多个超声波振子 121。在本实施方式的相位阵列探头 120 中，用于输出探伤用超声波束 131 的探伤用超声波振子组和用于输出耦合检查用超声波束（水判断用超声波束）132 的耦合检查用超声波振子组（水判断用超声波振子组）由互不相同的超声波振子构成。即、在本实施方式的情况下，探伤用超声波振子组由排列于相位阵列探头 120 的多个超声波振子 121 中的一部分的多个超声波振子构成，耦合检查用超声波振子组由排列于相位阵列探头 120 的多个超声波振子 121 中的一部分的多个超声波振子且与构成探伤用超声波振子组的多个超声波振子不同的超声波振子构成。

[0063] 在相位阵列探头 120（严格地说是声透镜 110）与电阻焊接钢管 200 的外表面 200G 之间存在有作为用于高效地传播探伤用超声波束 131 的介质的水。耦合检查是指用于确认在相位阵列探头 120（声透镜 110）与电阻焊接钢管 200 的外表面 200G 之间是否是没有空气等而填满水来正常进行探伤用超声波束 131 的收发的环境的处理。

[0064] 被检体条件输入部 141 进行输入作为被检体的电阻焊接钢管 200 的条件（被检体条件）的处理。例如，被检体条件输入部 141 进行将由用户操作输入的被检体条件输入到控制处理装置 140 内的处理。在此，作为被检体条件，能够列举出例如电阻焊接钢管 200 的外径、管厚度、管轴线方向 220 的长度、造管速度等。

[0065] 收发条件设定部 142 基于由被检体条件输入部 141 所输入的被检体条件进行设定收发条件的处理。在此，作为收发条件能够列举出，例如探伤用超声波束 131 的收发定时和耦合检查用超声波束 132 的收发定时、上述超声波束的发送频率、用于上述超声波束的收发的超声波振子 121（之后，根据需要称作“信道（ch）”）、探伤用超声波振子组为了使探伤用超声波束 131 在焊接部 210（焊接面）处聚焦的各信道的发送定时的延迟时间等。

[0066] 收发控制部 143 基于收发条件设定部 142 所设定的收发条件控制发送部 144 和接收部 145。

[0067] 发送部 144 基于收发控制部 143 的控制进行自相位阵列探头 120 的探伤用超声波振子组发送探伤用超声波束 131、自相位阵列探头 120 的耦合检查用超声波振子组发送耦合检查用超声波束 132 的处理。具体地说，发送部 144 以自相位阵列探头 120 的探伤用超声波振子组朝与电阻焊接钢管 200 的外表面 200G 呈斜角向电阻焊接钢管 200 的外表面 200G 输出探伤用超声波束 131、自电阻焊接钢管 200 的外表面 200G 入射的该探伤用超声波

束 131 不会在电阻焊接钢管 200 的内表面 200N 处反射就直接与焊接部 210(焊接面)大致垂直地向焊接部 210(焊接面)入射且聚焦于焊接面的方式(以在焊接面形成焦点的方式)发送探伤用超声波束 131。此外,发送部 144 自相位阵列探头 120 的耦合检查用超声波振子组与电阻焊接钢管 200 的外表面 200G 大致垂直地向电阻焊接钢管 200 的外表面 200G 发送耦合检查用超声波束 132。

[0068] 接收部 145 基于收发控制部 143 的控制进行借助探伤用超声波振子组接收反射后的探伤用超声波束 131、并且借助耦合检查用超声波振子组接收反射后的耦合检查用超声波束 132 的处理。

[0069] 接收信号处理部 146 处理接收部 145 接收到的超声波束(接收信号)。

[0070] 缺陷判断部 147 基于接收部 145 接收到的探伤用超声波束 131 进行判断电阻焊接钢管 200 的焊接部 210 是否存在缺陷的处理。而且,在焊接部 210 存在缺陷的情况下,缺陷判断部 147 也进行判断缺陷的位置、大小的处理。

[0071] 水判断部 148 基于接收部 145 接收到的耦合检查用超声波束 132 进行判断在相位阵列探头 120(严格地说是声透镜 110)与电阻焊接钢管 200 的外表面 200G 之间是否没有空气等而填满水的处理。

[0072] 记录·显示部 149 进行记录或显示接收信号处理部 146 的处理的结果、缺陷判断部 147 以及水判断部 148 的判断结果的处理。而且,记录·显示部 149 根据需要进行记录或显示各种数据、各种信息的处理。

[0073] 另外,在耦合检查的结果为耦合不存在问题的情况下(即、用水判断部 148 判断为在相位阵列探头 120(严格地说是声透镜 110)与电阻焊接钢管 200 的外表面 200G 之间填满水的情况下),发送部 144 进行自相位阵列探头 120 的探伤用超声波振子组发送探伤用超声波束 131 的处理。

[0074] 接着,说明探伤用超声波束 131 的收发。图 2 表示本发明的第 1 实施方式,是表示图 1 所示的探伤用超声波束 131 的收发的一个例子的图。在此,图 2 仅图示有图 1 所示的电阻焊接钢管 200 和相位阵列探头 120。

[0075] 在本实施方式中,用于输出探伤用超声波束 131 的相位阵列探头 120 的探伤用超声波振子组由多个超声波振子 121 构成。并且,在本实施方式中,自探伤用超声波振子组发送探伤用超声波束 131,使该探伤用超声波束 131 相对于电阻焊接钢管 200 的外表面 200G 的入射方向约成 70° 折射,并使该探伤用超声波束 131 在电阻焊接钢管 200 的内表面 200N 处不反射就直接与焊接部 210(焊接面)大致垂直地向焊接部 210(焊接面)照射。之后,将由像这样的探伤用超声波束 131 进行的探伤方法称作“ 70° 探伤法”。

[0076] 此外,在本实施方式中,以提高存在于焊接部 210(焊接面)的缺陷 211 的检测灵敏度为目的,使聚焦束与焊接部 210(焊接面)大致垂直地向焊接部 210(焊接面)入射。这取决于:能够通过使聚焦束与焊接部 210(焊接面)大致垂直地向焊接部 210(焊接面)入射,而能够不产生由多重反射导致的超声波能量的损失就在镜面反射方向直接接收来自缺陷 211 的反射超声波束。另外,能够使用通常的单个聚焦探头形成一定程度的聚焦束,但是,因电阻焊接钢管 200 的曲率的影响而难以使束良好地聚焦于电阻焊接钢管 200 内的目标位置。因此,在本实施方式中,为了不受电阻焊接钢管 200 的曲率的影响地使束良好地聚焦于电阻焊接钢管 200 内的目标位置而采用了相位阵列探头 120。只要采用相位阵列探头

120,通过选择探伤用超声波振子组、控制各超声波振子的超声波发送的延迟时间,就能够形成考虑了电阻焊接钢管 200 的曲率的聚焦束,因此,与单个聚焦探头相比能够实现更高的缺陷检测性能。

[0077] 图 3 表示本发明的第 1 实施方式,是表示图 1 所示的声透镜 110 的一个例子的图。如上所述,该声透镜 110 与相位阵列探头 120 相对应地设置在相位阵列探头 120 与电阻焊接钢管 200 的外表面 200G 之间。声透镜 110 使自相位阵列探头 120 输出的探伤用超声波束 131 聚焦于电阻焊接钢管 200 的管轴线方向 220。像这样,通过设置声透镜 110,不仅能够使探伤用超声波束 131 由相位阵列探头 120 聚焦于电阻焊接钢管 200 的管厚度方向,而且还能够聚焦于电阻焊接钢管 200 的管轴线方向 220。

[0078] <基于二维模拟的评价>

[0079] 接着,说明基于二维模拟(有限元法)的评价结果。在以下的表 1 中示出模拟的条件。

[0080] [表 1]

[0081]

元素尺寸: 0.01 (mm)	
频率: 5MHz	
水的物理属性值 {	纵波声速: 1.48E+6 (mm/s)
	横波声速: 0
	密度: 1E-6 (kg/mm ³)
钢的物理属性值 {	纵波声速: 5.9E+6 (mm/s)
	横波声速: 3.2E+6 (mm/s)
	密度: 7.8E-6 (kg/mm ³)

[0082] 首先,进行最佳的相位阵列探头 120 的分析。此时,将电阻焊接钢管 200 的管厚度设为 3.4mm,将外径设为 101.6mm,将设定于焊接部的深度方向的中央部的缺陷尺寸设为高度 0.2mm、宽度 0.1mm。

[0083] 图 4 表示本发明的第 1 实施方式,是图 1 所示的相位阵列探头 120 的概略图。此外,图 5 表示本发明的第 1 实施方式,是表示图 4 所示的相位阵列探头 120 的开口直径与缺陷检测的 SN 比之间的相关性的一个例子的图。

[0084] 在这次的分析中,将发送的超声波的频率设为 5MHz 和 10MHz,使各超声波振子 121 的宽度(图 4 的元件宽度 e)、相邻的超声波振子 121 的间隔(图 4 的间距 p)变化,将管厚度方向的 0.2mm 的微小缺陷中的信号与噪声之比(SN 比)进行比较。将其结果示出在图 5 中。此时,将信号设为来自缺陷的超声波的最大振幅的大小,将噪声设为紧挨着来自缺陷的超声波的前一超声波的振幅的大小,以它们的比来定义 SN 比。

[0085] 如图 5 所示,分析的结果是,当发送的超声波的频率为 5MHz、超声波振子 121 的间距 p 为 0.5mm、开口直径为 8mm 时,SN 比为 200,成为最大的结果。如图 4 所示,表现为开口

直径 \approx 间距 \times 元件数,所以该 SN 比成为最大时的超声波振子 121 的元件数(信道数)为 16 个元件(16ch)。在本实施方式中,将该 SN 比成为最大的规格用于相位阵列探头 120。

[0086] 接着,通过模拟分析进行了本发明的探伤方法与其它的探伤方法的比较。

[0087] 图 6 表示本发明的第 1 实施方式,是用于模拟的电阻焊接钢管 200 的剖视图。在图 6 所示的电阻焊接钢管 200 中,将管厚度设为 3.4mm,在焊接部 210 上设置了 3 个缺陷 211G、211C、211N。具体地说,设置了自电阻焊接钢管 200 的外表面 200G 到深度 0.2mm \sim 0.4mm 的范围内的厚度 0.2mm 的外表面附近缺陷 211G、以电阻焊接钢管 200 的厚度方向的中央部为中心的厚度 0.2mm 的中央部附近缺陷 211C、自电阻焊接钢管 200 的内表面 200N 到深度 0.2mm \sim 0.4mm 的范围内的厚度 0.2mm 的内表面附近缺陷 211N。

[0088] 图 7A \sim 图 7D 是本发明的探伤方法和比较例的探伤方法的各探伤方法中的模拟模型的概要图。图 7A 示出了超声波探头为单个聚焦探头、基于 70° 探伤法的比较例 1 的模型概要图,图 7B 示出了超声波探头为阵列探头、基于 70° 探伤法本发明的模型概要图,图 7C 示出了超声波探头为阵列探头、基于图 19 所示的以往的斜角探伤法的比较例 2 的模型概要图,图 7D 示出了超声波探头为阵列探头、基于日本特愿第 4544240 号公报所示的串联探伤法的比较例 3 的模型概要图。

[0089] 具体地说,图 7A \sim 图 7D 所示的各超声波探头的规格如以下所示。图 7A 所示的单个聚焦探头采用了频率为 5MHz、振子直径 13mm、焦距 51mm 的探头。图 7B 和图 7C 所示的阵列探头采用了频率为 5MHz、间距 p 为 0.5mm、元件宽度 e 为 0.4mm、元件数为 16 个(16ch)的探头。即、采用了在图 5 所示的相关性图中 SN 比成为最大(200)的条件的探头。图 7D 所示的阵列探头采用了频率为 5MHz、间距 p 为 0.5mm、元件宽度 e 为 0.4mm、元件数为 64 个(64ch)的探头。此时,如图 7D 所示,将发送元件数设为 20 个(20ch),将接收元件数设为 24 个(24ch)。

[0090] 此外,图 7A \sim 图 7D 所示的各探伤法如以下所示。在图 7A 和图 7B 所示的 70° 探伤法中,将水距离、超声波的入射点、以及焊接部 210 的位置固定,向图 6 所示的深度不同的 3 个缺陷(211G、211C、211N)分别垂直地照射超声波束。准确地说,未向外表面附近缺陷 211G 和内表面附近缺陷 211N 垂直地照射超声波束,但由于电阻焊接钢管 200 的管厚度薄达 3.4mm,因此,近似于大致垂直。此外,超声波束的焦点在计算上以聚焦于焊接部 210 的方式设定。在图 7C 所示的以往的斜角探伤法中,将水距离、超声波的入射点、以及焊接部 210 的位置固定为与 70° 探伤法同样的设定,设为使超声波束在内表面 200N 处进行一次反射就向外表面附近缺陷 211G 和中央部附近缺陷 211C 入射的一次反射法。此外,对于内表面附近缺陷 211N,由于是与 70° 探伤法大致同样的目标,因此,被省略。在图 7D 所示的串联探伤法中,仿照日本特愿第 4544240 号公报所记载的方式制作了模型。具体地说,如图 7D 所示,将超声波束的折射角设为 45°、水距离设为 22.6mm(阵列探头中心轴)、发送元件数设为 20ch、接收元件数设为 24ch,仅对中央部附近缺陷 211C 进行了分析。

[0091] 图 8 是表示基于图 7A \sim 图 7D 所示的由本发明的探伤方法与比较例的探伤方法的各探伤方法中的模拟模型的分析结果的图。在图 8 中,自左起依次表示图 7A 所示的比较例 1 的模型的分析结果、图 7B 所示的本发明的模型的分析结果、图 7C 所示的比较例 2 的模型的分析结果、图 7D 所示的比较例 3 的模型的分析结果。此外,在图 8 中,将以外表面附近缺陷 211G 为目标的超声波束的接收波形示出在“外表面附近”的栏中,将以中央部附近缺

陷 211C 为目标的超声波束的接收波形示出在“中央部附近”的栏中,将以内表面附近缺陷 211N 为目标的超声波束的接收波形示出在“内表面附近”的栏中。

[0092] 此外,在图 8 所示的接收波形中, S_1 表示来自电阻焊接钢管 200 的外表面 200G 的反射超声波, F_1 表示来自各缺陷的反射超声波。即、如果焊接部 210(焊接面)不存在缺陷,则 F_1 不会被检测出来。此外,如上述那样,将信号设为来自缺陷的超声波 (F_1) 的最大振幅的大小,将噪声设为紧挨着来自缺陷的超声波的前一超声波的振幅的大小,以它们的比来定义 S/N(SN 比)。

[0093] 当用图 8 所示的 S/N(SN 比)进行比较时,能够综合性地确认基于本发明的模型的探伤方法(基于阵列探头的 70° 探伤法)较好。

[0094] 接着,为了确定电阻焊接钢管 200 的管厚度方向的超声波扫描次数,进行了在超声波束的焦点处的有效束径的分析。

[0095] 图 9A 和图 9B 表示本发明的第 1 实施方式,是表示探伤用超声波束 131 的焦点处的有效束径的分析模型和其分析结果的图。在该分析中,在厚度 3.4mm 的焊接部 210(焊接面)未设置缺陷 211,如图 9A 所示在焊接部 210(焊接面)的厚度方向设定波形获取点,读取由探伤用超声波束 131 的振动导致的电阻焊接钢管 200 的内部的位移分布,求得 -6dB 宽度。此时,如图 9A 所示,探伤用超声波束 131 的目标设为焊接部 210(焊接面)的厚度方向的中央,此外,相位阵列探头 120 的规格设为频率为 5MHz、间距 p 为 0.5mm、元件数为 16 个元件(16ch)。将该情况的分析结果示出在图 9B 中。

[0096] 如图 9B 所示,得到以下结果:将由探伤用超声波束 131 的振动导致的电阻焊接钢管 200 的内部的位移的最大值设为 1,被定义成位移成为 0.5 的 -6dB 宽度(即、该位移成为 0.5 以上的范围)的有效束径为 1.6mm。根据该结果可知,例如,在电阻焊接钢管 200 的管厚度为 3.4mm 的情况下,为了进行精度优良的超声波探伤,需要将超声波束沿管厚度方向至少扫描 3 次。在此,在本实施方式的收发条件设定部 142 中,基于焊接钢管 200 的管厚度(焊接部 210 的厚度)和焊接部 210(焊接面)上的探伤用超声波束 131 的有效束径设定将焊接部 210(焊接面)中的管厚度的方向的区域分区为 N 个(N 为 1 以上的整数)的分区数 N 。该分区数 N 相当于上述的扫描次数。在本例的情况下,将作为焊接钢管 200 的管厚度的 3.4mm 除以作为有效束径的 1.6mm 得到的值 2.125 的小数第 1 位以下的部分进位,从而收发条件设定部 142 将“3”设定为上述分区数 N 。并且,在本实施方式中,对于焊接部 210(焊接面)的管厚度的方向的区域,自外周面 200G 侧起以升序定义为第 1 区域~第 N 区域(在本例中,第 1 区域~第 3 区域)。此时,在本实施方式中,将焊接部 210(焊接面)的管厚度的方向的区域 N 等分,设定第 1 区域~第 N 区域(在本例中,第 1 区域~第 3 区域)。

[0097] 依据以上的模拟分析的结果,进行了本实施方式的相位阵列探头 120 的设定。图 10 是表示本发明的第 1 实施方式中的相位阵列探头 120 的概略结构的一个例子的图。

[0098] 第 1 实施方式的相位阵列探头 120 的耦合检查用超声波振子组 122、内表面附近探伤用超声波振子组(第 3 探伤用超声波振子组(第 N 探伤用超声波振子组))123、中央部附近探伤用超声波振子组(第 2 探伤用超声波振子组)124 以及外表面附近探伤用超声波振子组(第 1 探伤用超声波振子组)125 由互不相同的超声波振子构成,其中,耦合检查用超声波振子组 122 用于发送耦合检查用超声波束 132,内表面附近探伤用超声波振子组 123 用于向电阻焊接钢管 200 的焊接部 210(焊接面)的内表面 200N 附近(即第 3 区域

(第 N 区域)) 发送内表面附近探伤用超声波束 (第 3 探伤用超声波束 (第 N 探伤用超声波束)) 131N, 中央部附近探伤用超声波振子组 124 用于向电阻焊接钢管 200 的焊接部 210 (焊接面) 的管厚度的中央部附近 (即第 2 区域) 发送中央部附近探伤用超声波束 (第 2 探伤用超声波束) 131C, 外表面附近探伤用超声波振子组 125 用于向电阻焊接钢管 200 的焊接部 210 (焊接面) 的外表面 200G 附近 (即第 1 区域) 发送外表面附近探伤用超声波束 (第 1 探伤用超声波束) 131G。即、在第 1 实施方式的相位阵列探头 120 中, 探伤用超声波振子组由根据焊接部 210 (焊接面) 的上述 N 个 (本例中为 3 个) 分区数被分区 (分割) 成的探伤用超声波振子组 (内表面附近探伤用超声波振子组 123、中央部附近探伤用超声波振子组 124 以及外表面附近探伤用超声波振子组 125) 构成。在本实施方式中, 例如, 将耦合检查用超声波振子组 122 的超声波振子 121 的元件数设为 4 个元件 (4ch), 将各探伤用超声波振子组 123 ~ 探伤用超声波振子组 125 的超声波振子 121 的元件数分别设为 16 个元件 (16ch), 相位阵列探头 120 至少由 52 个元件 (52ch) 构成。

[0099] 另外, 在图 10 所示的例子中, 超声波束的扫描顺序为耦合检查用超声波束 132、内表面附近探伤用超声波束 131N、中央部附近探伤用超声波束 131C、外表面附近探伤用超声波束 131G 的顺序, 但是在本发明中并不限于此。例如, 超声波束的扫描顺序也可以是耦合检查用超声波束 132、外表面附近探伤用超声波束 131G、中央部附近探伤用超声波束 131C、内表面附近探伤用超声波束 131N 的顺序。

[0100] 在本实施方式中, 通过逐个选择相位阵列探头 120 中的分区 (分割) 为 N 个 (本例中为 3 个) 组的探伤用超声波振子组, 来分别进行超声波束的收发, 从而向焊接部 210 (焊接面) 的管厚度方向扫描超声波束, 不遗漏地对焊接部 210 (焊接面) 进行探伤。此外, 在本实施方式中, 利用相位阵列探头 120 的端部 (在图 10 的例中为右端) 的数个元件, 向电阻焊接钢管 200 的外表面 200G 大致垂直地发送耦合检查用超声波束 132, 通过检测该反射超声波束来进行耦合检查。

[0101] 接着, 说明耦合检查的详细情况。图 11 表示本发明的第 1 实施方式, 是用于说明耦合检查的图。如上述那样, 在相位阵列探头 120 (严格地说是声透镜 110) 与电阻焊接钢管 200 的外表面 200G 之间存在有作为用于有效地传播探伤用超声波束 131 的介质的水。耦合检查是指用于确认在相位阵列探头 120 (声透镜 110) 与电阻焊接钢管 200 的外表面 200G 之间是否没有空气等而填满水来正常进行探伤用超声波束 131 的收发的环境的处理。在耦合检查中, 借助耦合检查用超声波振子组 122 收发耦合检查用超声波束 132。在图 11 所示的例子中, 将相位阵列探头 120 的右端的 4 个元件 (4ch) 用作耦合检查用超声波振子组 122。

[0102] 图 12 表示本发明的第 1 实施方式, 是表示反射后的耦合检查用超声波束 132 的接收波形的一个例子的图。在图 12 所示的例子中, 检测到在电阻焊接钢管 200 的外表面 200G 处反射后的外表面回波 (S_1)、在电阻焊接钢管 200 的内表面 200N 处反射后的内表面回波 (B_1)、在该内表面回波 (B_1) 之后外表面 200G 与内表面 200N 之间的多重回波 (B_2 、 B_3 、……)。例如, 在耦合检查中, 若在外表面回波 (S_1) 之前检测到反射回波, 则判断为: 在相位阵列探头 120 (严格地说是声透镜 110) 与电阻焊接钢管 200 的外表面 200G 之间存在有空气等, 不是能够正常进行探伤用超声波束 131 的收发的环境。相反, 如果在外表面回波 (S_1) 之前未检测到反射回波, 则判断为: 在相位阵列探头 120 (严格地说是声透镜 110) 与电阻焊接钢管 200 的外表面 200G 之间填满水, 是能够正常进行探伤用超声波束 131 的收发的环境。此外,

在耦合检查中,由于在内表面回波 (B_1) 之后检测多重回波 (B_2 、 B_3 、……),所以,在耦合检查后进行的 70° 探伤中的探伤用超声波束 131 的发送需要在耦合检查用超声波束 132 的发送后空开一定程度的时间。

[0103] <声透镜 110 的设计>

[0104] 接着,说明声透镜 110 的设计。

[0105] 相位阵列探头 120 将超声波束仅向电阻焊接钢管 200 的管厚度方向聚焦。在本实施方式中,为了使超声波束也聚焦于电阻焊接钢管 200 的管轴线方向 220,还在相位阵列探头 120 上安装有声透镜 110。

[0106] 图 13 表示本发明的第 1 实施方式,是用于说明图 1 和图 3 所示的声透镜 110 的图。

[0107] 声透镜 110 的关系式如以下的 (1) 式~ (2) 式所示。

$$[0108] \quad R = (1 - C_2/C_1) f \cdots \cdots (1)$$

$$[0109] \quad f = f_w + (C_3/C_2) F_s \cdots \cdots (2)$$

[0110] 在此, R 为声透镜 110 的曲率半径, F 为水中焦距, C_1 为声透镜 110 的纵波声速, C_2 为水中纵波声速, C_3 为钢管内横波声速, f_w 为水中路程, f_s 为钢管内路程。各参数的具体的数值如图 13 所示。

[0111] 如表 1 所示那样,在水中只有纵波传播,因此,自相位阵列探头 120 发送纵波的超声波束。并且,自相位阵列探头 120 发送出的纵波的超声波束在电阻焊接钢管 200 的外表面 200G 处与入射方向呈约 70° 进行折射并向电阻焊接钢管 200 的内部传播,因此,在电阻焊接钢管 200 的内部,传播大致横波的超声波束。

[0112] 图 14 表示本发明的第 1 实施方式,是表示图 1 和图 3 所示的声透镜 110 的曲率半径与相位阵列探头 120 的阵列长度(阵列位置)之间的关系图。图 14 是根据各自的超声波束路程对与焊接部 210(焊接面)的各深度相对应的超声波束中心轴和相位阵列探头 120 相交的点的声透镜 110 的曲率半径进行换算而求得的图。但是,将相位阵列探头 120 的间距 p 设为 0.5mm ,使向焊接部 210(焊接面)中心入射的超声波束成为相位阵列探头 120 的阵列中心。

[0113] 在此,如图 10 所示,本实施方式的相位阵列探头 120 采用具有耦合检查用超声波振子组 122、内表面附近探伤用超声波振子组(第 3 探伤用超声波振子组(第 N 探伤用超声波振子组))123、中央部附近探伤用超声波振子组(第 2 探伤用超声波振子组)124、外表面附近探伤用超声波振子组(第 1 探伤用超声波振子组)125 的结构。在此,在图 14 中,例如,阵列长度(阵列位置)为 $18.5\text{mm} \sim 10.0\text{mm}$ 的点相当于图 10 所示的外表面附近探伤用超声波振子组(第 1 探伤用超声波振子组)125,阵列长度(阵列位置)为 $10.0\text{mm} \sim 1.5\text{mm}$ 的点相当于图 10 所示的中央部附近探伤用超声波振子组(第 2 探伤用超声波振子组)124,阵列长度(阵列位置)为 $1.5\text{mm} \sim 0.5\text{mm}$ 的点相当于图 10 所示的内表面附近探伤用超声波振子组(第 3 探伤用超声波振子组(第 N 探伤用超声波振子组))123。即、声透镜 110 的曲率半径随着自与外表面附近探伤用超声波振子组(第 1 探伤用超声波振子组)125 相对应的区域向与内表面附近探伤用超声波振子组(第 3 探伤用超声波振子组(第 N 探伤用超声波振子组))123 相对应的区域去而变大。换句话说,声透镜 110 的沿着管轴线方向 220 的曲面的曲率半径沿着多个超声波振子的排列方向发生变化,曲率半径朝向自相位阵列探头 120 至焊接部 210(焊接面)为止的探伤用超声波束的传播距离变大的方向去而变大。在

本实施方式中,通过像这样设计声透镜 110,能够借助各探伤用超声波振子组合适地收发探伤用超声波束 131。

[0114] <关于探伤重复频率的研究>

[0115] 接着,在本实施方式的缺陷检测装置 100 中,对于电阻焊接钢管 200 的管轴线方向 220 进行是否能够不遗漏地进行焊接部 210(焊接面)的缺陷探伤的研究。

[0116] 通过由声透镜 110 进行的管轴线方向 220 的超声波束的聚焦,使管轴线方向的束聚焦径成为通常的 1mm。此外,假设切换焊接部 210(焊接面)的探伤深度进行探伤,如图 10 所示,进行 3 次探伤用超声波束 131 的收发和 1 次耦合检查用超声波束 132 的收发、共计 4 次超声波束的收发。

[0117] 此外,若将电阻焊接钢管 200 的造管速度设为作为通常的实际操作生产线的电阻焊接钢管 200 的移动速度的 40m/分左右时,则造管速度为 667mm/秒,因此,为了不遗漏地对管轴线方向 220 进行探伤,需要在 1 秒钟内进行 2668 次(4×677)的超声波束的收发。因而,缺陷检测装置 100 的探伤重复频率至少需要 2668Hz(约 2.7kHz)。

[0118] 另一方面,近年的使用了相位阵列探头 120 的缺陷探伤装置的最大重复频率为几十 kHz,因此,能够充分实现上述探伤重复频率(约 2.7kHz),只要将该最大重复频率用于本实施方式的缺陷检测装置 100,就能够不遗漏地对电阻焊接钢管 200 的管轴线方向 220 进行缺陷探伤。

[0119] <由缺陷检测装置进行的处理顺序>

[0120] 接着,说明由本实施方式的缺陷检测装置 100 进行的缺陷检测方法的处理顺序。

[0121] 图 15 是表示由本发明的第 1 实施方式的缺陷检测装置 100 进行的缺陷检测方法的处理顺序的一个例子的流程图。在该图 15 所示的流程图的说明中,使用图 1 所示的缺陷检测装置 100 的结构进行说明。

[0122] 首先,在步骤 S1 中,被检体条件输入部 141 进行输入作为被检体的电阻焊接钢管 200 的条件(被检体条件)的处理。例如,被检体条件输入部 141 进行将用户操作输入的被检体条件(例如,电阻焊接钢管 200 的外径、管厚度、管轴线方向 220 的长度、造管速度等)输入到控制处理装置 140 内的处理。在此,输入 101.6mm 作为电阻焊接钢管 200 的外径(图 13),输入 3.4mm 作为电阻焊接钢管 200 的管厚度(图 9、图 13),输入 40m/分作为电阻焊接钢管 200 的造管速度。

[0123] 接着,在步骤 S2 中,收发条件设定部 142 基于在步骤 S1 输入的被检体条件进行设定收发条件的处理。在此,例如,设定探伤用超声波束 131 的收发定时、耦合检查用超声波束 132 的收发定时、上述超声波束的发送频率、用于上述超声波束的收发的超声波振子 121、探伤用超声波振子组为了使探伤用超声波束 131 在焊接部 210(焊接面)处聚焦的各信道的发送定时的延迟时间等作为收发条件。

[0124] 在本实施方式中,电阻焊接钢管 200 的管厚度为 3.4mm,因此,在图 5 中采用 SN 比成为最大(200)的相位阵列探头 120(超声波振子 121 的间距 p 为 0.5mm、发送的超声波的频率为 5MHz 等)。此时,在本实施方式中,进一步地在步骤 S2 中,收发条件设定部 142 基于焊接钢管 200 的管厚度(焊接部 210(焊接面)的厚度)和探伤用超声波束 131 相对于焊接部 210(焊接面)的有效束径设定将焊接部 210(焊接面)的管厚度的方向上的区域分区为 N 个(N 为 1 以上的整数)的分区数 N 。该分区数 N 相当于焊接部 210(焊接面)的管厚

度的方向的超声波探伤的扫描次数。具体地说,在本实施方式中,焊接钢管 200 的管厚度为 3.4mm,探伤用超声波束相对于焊接部 210(焊接面)的有效束径为 1.6mm(图 9(b):已知),因此,“3”被设定为上述分区数 N。如图 10 所示,收发条件设定部 142 根据设定好的分区数“3”将相位阵列探头 120 中的探伤用超声波振子组分区(分割)为内表面附近探伤用超声波振子组(第 3 探伤用超声波振子组(第 N 探伤用超声波振子组))123、中央部附近探伤用超声波振子组(第 2 探伤用超声波振子组)124 以及外表面附近探伤用超声波振子组(第 1 探伤用超声波振子组)这 3 个组,并且,还设定由与构成探伤用超声波振子组的超声波振子不同的多个超声波振子构成的耦合检查用超声波振子组 122。

[0125] 接着,在步骤 S3 中,通过收发控制部 143 的控制,发送部 144 基于收发条件设定部 142 所设定的收发条件自相位阵列探头 120 的耦合检查用超声波振子组 122 与电阻焊接钢管 200 的外表面 200G 大致垂直地向电阻焊接钢管 200 的外表面 200G 发送耦合检查用超声波束 132。

[0126] 接着,在步骤 S4 中,通过收发控制部 143 的控制,接收部 145 基于收发条件设定部 142 所设定的收发条件借助耦合检查用超声波振子组 122 接收反射后的耦合检查用超声波束 132。其后,接收部 145 所接收的耦合检查用超声波束 132 由接收信号处理部 146 进行处理。

[0127] 接着,在步骤 S5 中,水判断部 148 基于在步骤 S4 中所接收的耦合检查用超声波束 132 判断耦合是否不存在问题。具体地说,水判断部 148 通过判断在相位阵列探头 120(严格地说是声透镜 110)与电阻焊接钢管 200 的外表面 200G 之间是否没有空气等而填满水,来判断耦合是否不存在问题。

[0128] 在步骤 S5 的判断的结果为:在耦合检查中判断为耦合存在问题的情况(S5/NO 的情况)下,进入步骤 S6。

[0129] 当进入步骤 S6 时,记录·显示部 149 进行耦合存在问题的主旨的警告显示。通过进行该警告显示,用户进行设备的维修,在设备维修之后,通过用户的操作自图 15 的流程图的最开始进行处理。

[0130] 另一方面,在步骤 S5 的判断的结果为:在耦合检查中判断为耦合不存在问题的情况(S5/YES 的情况)下,进入步骤 S7。在耦合不存在问题的情况下,开始焊接部 210 的缺陷探伤的处理。

[0131] 当进入步骤 S7 时,通过收发控制部 143 的控制,发送部 144 基于收发条件设定部 142 所设定的收发条件自相位阵列探头 120 的探伤用超声波振子组与电阻焊接钢管 200 的外表面 200G 呈斜角地向电阻焊接钢管 200 的外表面 200G 入射探伤用超声波束 131。发送部 144 以入射到电阻焊接钢管 200 内的该探伤用超声波束 131 不会在电阻焊接钢管 200 的内表面 200N 处反射就直接与焊接部 210(焊接面)大致垂直地向焊接部 210(焊接面)入射且会聚于焊接部 210(焊接面)的方式发送探伤用超声波束 131。

[0132] 接着,当进入步骤 S8 时,通过收发控制部 143 的控制,接收部 145 基于收发条件设定部 142 所设定的收发条件借助该探伤用超声波振子组接收反射后的该探伤用超声波束 131。其后,接收部 145 所接收的探伤用超声波束 131 由接收信号处理部 146 进行处理。

[0133] 接着,在步骤 S9 中,例如收发控制部 143 判断是否对焊接部 210 的深度方向(管厚度方向)进行了所有缺陷探伤。

[0134] 在此,在本实施方式中,如图 10 所示,作为探伤用超声波振子组,内表面附近探伤用超声波振子组(第 3 探伤用超声波振子组(第 N 探伤用超声波振子组))123、中央部附近探伤用超声波振子组(第 2 探伤用超声波振子组)124、外表面附近探伤用超声波振子组(第 1 探伤用超声波振子组)125 由互不相同的超声波振子构成,其中,内表面附近探伤用超声波振子组 123 用于向电阻焊接钢管 200 的焊接部 210(焊接面)的内表面 200N 附近(即、第 3 区域(第 N 区域))发送内表面附近探伤用超声波束(第 3 探伤用超声波束(第 N 探伤用超声波束))131N,中央部附近探伤用超声波振子组 124 用于向电阻焊接钢管 200 的焊接部 210(焊接面)的管厚度的中央部附近(即、第 2 区域)发送中央部附近探伤用超声波束(第 2 探伤用超声波束)131C,外表面附近探伤用超声波振子组 125 用于向电阻焊接钢管 200 的焊接部 210(焊接面)的外表面 200G 附近(即、第 1 区域)发送外表面附近探伤用超声波束(第 1 探伤用超声波束)131G。因此,在本实施方式中,在步骤 S9 中,判断是否对焊接部 210(焊接面)的深度方向(管厚度方向)进行了由内表面附近探伤用超声波束 131N 进行的缺陷探伤、由中央部附近探伤用超声波束 131C 进行的缺陷探伤以及由外表面附近探伤用超声波束 131G 进行的缺陷探伤这所有缺陷探伤。

[0135] 在步骤 S9 的判断的结果为对焊接部 210(焊接面)的深度方向的各区域尚未进行所有的缺陷探伤的情况(S9/NO 的情况)下,为了进行尚未进行缺陷探伤的区域缺陷探伤,返回步骤 S7。

[0136] 另一方面,在步骤 S9 的判断的结果为对焊接部 210 的深度方向进行了所有缺陷探伤的情况(S9/YES 的情况)下,进入步骤 S10。

[0137] 当进入步骤 S10 时,例如收发控制部 143 判断是否对电阻焊接钢管 200 的管轴线方向 220 进行了所有缺陷探伤。

[0138] 在此,在本实施方式中,如上述那样,通过由声透镜 110 进行的管轴线方向 220 的超声波束的聚焦,管轴线方向束聚焦径为通常的 1mm。另一方面,在步骤 S1 中输入管轴线方向 220 的长度。因此,在本实施方式中,在步骤 S10 中,基于上述信息判断是否对电阻焊接钢管 200 的管轴线方向 220 的所有区域进行了缺陷探伤。

[0139] 在步骤 S10 的判断的结果为对电阻焊接钢管 200 的管轴线方向 220 的所有区域尚未进行缺陷探伤的情况(S10/NO)下,为了进行电阻焊接钢管 200 的管轴线方向 220 的尚未进行缺陷探伤的区域缺陷探伤,返回步骤 S7。

[0140] 另一方面,在步骤 S10 的判断的结果为对电阻焊接钢管 200 的管轴线方向 220 的所有区域进行了缺陷探伤的情况(S10/YES 的情况)下,进入步骤 S11。

[0141] 接着,在步骤 S11 中,缺陷判断部 147 基于在步骤 S8 中所接收的探伤用超声波束 131 进行判断在电阻焊接钢管 200 的焊接部 210(焊接面)是否存在缺陷的处理。而且,在焊接部 210(焊接面)判断为存在有缺陷的情况下,缺陷判断部 147 也进行确定该缺陷位置、大小的处理。

[0142] 另外,在由该缺陷判断部 147 进行的缺陷判断的前一阶段,例如接收信号处理部 146 对接收到的探伤用超声波束 131 的波形进行检测,分别将正的最大振幅设为 A、负的最大振幅设为 B(B 为负值),将 $A - B$ 作为在该波形检测位置的信号 C 进行处理。

[0143] 接着,在步骤 S12 中,记录·显示部 149 进行显示步骤 S11 的缺陷判断结果的处理。例如,作为缺陷判断结果,例如将 x 轴方向设为管轴线方向 220 的位置、将 y 轴方向设为焊

接部 210 的深度位置,记录·显示部 149 制作上述信号 C 的二维映射来进行显示。

[0144] 以下,说明二维映射的例子。首先,在说明二维映射之前,说明探伤用超声波束的接收波形的一个例子。

[0145] 图 16 表示本发明的第 1 实施方式,是表示反射后的探伤用超声波束的接收波形的一个例子的图。在此,图 16A 和图 16B 是为了提高电阻焊接钢管 200 的管厚度方向的分辨率而以将上述分区数 N 设为比 3 大的 5 的条件进行分析的图,管轴线方向的分辨率为 1mm,管厚度方向的分辨率为相当于管厚度 (3.4mm) 的 1/5 的 0.68mm。并且,图 16A 是以管厚度方向的中央部为中心设置厚度 0.2mm 的缺陷 211、使探伤用超声波束聚焦于分为 5 个分区中的中央部的缺陷 211 的情况下的反射超声波的接收波形的例子。此外,图 16B 是未在管厚度方向的中央部未设置缺陷 211、使探伤用超声波束聚焦于分为 5 分区中的中央部的情况下的反射超声波的接收波形的例子。在图 16A 和图 16B 所示的接收波形中, S_1 表示来自电阻焊接钢管 200 的外表面 200G 的反射超声波,在图 16A 所示的接收波形中, F_1 表示来自缺陷 211 的反射超声波。即、如图 16B 所示的接收波形那样,如果不存在缺陷 211,就不会检测到 F_1 。

[0146] 接着,说明二维映射的例子。图 17 表示本发明的第 1 实施方式,是表示二维映射的一个例子的图。该图 17 所示的二维映射是以与上述的图 16A 同样地将电阻焊接钢管 200 的管厚度方向分为 5 个分区进行探伤的条件进行分析的图,此时,在分为 5 个分区中的中央部设置了缺陷 211。并且,图 17 是将 x 轴方向设为管轴线方向 220 的位置、将 y 轴方向设为电阻焊接钢管 200 的管厚度方向的位置(焊接部 210 的深度位置)、将上述的信号 C 分为 7 级 ($6 < C$ 、……、 $C \leq 1$) 进行表示的二维映射的例子。例如,来自图 16A 所示的缺陷 211 的反射超声波 F_1 的正的最大振幅 A 为 3.2 左右,负的最大振幅 B 为 - 3.6 左右,因此,该情况下的信号 C 为 $C = A - B = 3.2 - (- 3.6) = 6.8$ 。因此,在图 17 中,将电阻焊接钢管 200 的管厚度方向分为 5 个分区中的中央部为 $6 < C$ 。通过显示像这样的二维映射,能够确定电阻焊接钢管 200 的焊接部 210 中的缺陷 211 的位置。

[0147] 当步骤 S12 的处理结束时,图 15 中的流程图的处理结束。

[0148] 采用本实施方式的缺陷检测装置 100,进行了使用了相位阵列探头 120 的 70° 探伤法,所以,也能够检测出 0.2mm 左右的微小缺陷,且即使是管厚度 7.5mm 以下、管径 5 英寸以下的小径的电阻焊接钢管 200 也能够实现缺陷的检测精度的提高(图 8)。

[0149] (第 2 实施方式)

[0150] 如图 10 所示,在上述的第 1 实施方式中,作为相位阵列探头 120 的探伤用超声波振子组,例示了内表面附近探伤用超声波振子组(第 3 探伤用超声波振子组(第 N 探伤用超声波振子组))123、中央部附近探伤用超声波振子组(第 2 探伤用超声波振子组)124、外表面附近探伤用超声波振子组(第 1 探伤用超声波振子组)125 由互不相同的超声波振子构成的情况,其中,内表面附近探伤用超声波振子组 123 用于向电阻焊接钢管 200 的焊接部 210(焊接面)的内表面 200N 附近(即、第 3 区域(第 N 区域))发送内表面附近探伤用超声波束(第 3 探伤用超声波束(第 N 探伤用超声波束))131N,中央部附近探伤用超声波振子组 124 用于向电阻焊接钢管 200 的焊接部 210(焊接面)的管厚度的中央部附近(即、第 2 区域)发送中央部附近探伤用超声波束(第 2 探伤用超声波束)131C,外表面附近探伤用超声波振子组 125 用于向电阻焊接钢管 200 的焊接部 210(焊接面)的外表面 200G 附近

(即、第 1 区域) 发送外表面附近探伤用超声波束(第 1 探伤用超声波束)131G。在本发明中,并不限于该方式,也能够适用如下方式:通过在相位阵列探头 120 设定 1 个探伤用超声波振子组,在该 1 个探伤用超声波振子组中依次切换超声波的发送方向,从而依次向焊接部 210 中的管厚度的方向的上述第 3 区域(第 N 区域)、上述第 2 区域以及上述第 1 区域分别发送作为第 3 探伤用超声波束(第 N 探伤用超声波束)的内表面附近探伤用超声波束 131N、作为第 2 探伤用超声波束的中央部附近探伤用超声波束 131C、以及作为第 1 探伤用超声波束的外表面附近探伤用超声波束 131G。在该情况下,借助该 1 个探伤用超声波振子组分别接收反射后的内表面附近探伤用超声波束 131N、反射后的中央部附近探伤用超声波束 131C、以及反射后的外表面附近探伤用超声波束 131G。

[0151] 在本实施方式的情况下,在相位阵列探头 120 上,设有 1 个探伤用超声波振子组(例如 16ch)和 1 个耦合检查用超声波振子组 122(例如 4ch)。

[0152] (第 3 实施方式)

[0153] 在上述的第 1 以及第 2 实施方式中,探伤用超声波振子组和耦合检查用超声波振子组 122 由互不相同的超声波振子构成。在本发明中,并不限于该方式,也能够适用如下方式:由排列于相位阵列探头 120 的多个超声波振子 121 中的全部的多个超声波振子构成探伤用超声波振子组,在该探伤用超声波振子组中形成包含耦合检查用超声波振子组 122 的结构。

[0154] 在本实施方式的情况下,例如在相位阵列探头 120 上设有 16 个超声波振子 121(16ch),将该 16 个超声波振子 121 全部设为探伤用超声波振子组,并且,将该 16 个超声波振子 121 的全部或一部分(例如 4ch)设为耦合检查用超声波振子组 122。

[0155] 即、在本实施方式的情况下,采用如下方式:通过依次切换超声波的发送方向,自相位阵列探头 120 向电阻焊接钢管 200 的外表面 200G 发送耦合检查用超声波束 132,并且,依次向焊接部 210(焊接面)的管厚度的方向的上述第 3 区域(第 N 区域)、上述第 2 区域、以及上述第 1 区域分别发送作为第 3 探伤用超声波束(第 N 探伤用超声波束)的内表面附近探伤用超声波束 131N、作为第 2 探伤用超声波束的中央部附近探伤用超声波束 131C、以及作为第 1 探伤用超声波束的外表面附近探伤用超声波束 131G。在该情况下,借助相位阵列探头 120 分别接收反射后的耦合检查用超声波束 132、反射后的内表面附近探伤用超声波束 131N、反射后的中央部附近探伤用超声波束 131C、以及反射后的外表面附近探伤用超声波束 131G。

[0156] (其它的实施方式)

[0157] 此外,本发明也能通过执行以下的处理来实现。即是如下处理:将用于实现上述的本发明的实施方式的控制处理装置 140 的功能的软件(程序)经由网络或各种存储介质供给至系统或装置、该系统或装置的计算机(或 CPU、MPU 等)读出并执行程序。该程序和存储了该程序的计算机能够读取的记录介质包含在本发明中。

[0158] 另外,上述的本发明的实施方式只不过是示出了实施本发明时的具体化的例子,并不是通过它们限定性地解释本发明的保护范围。即、本发明在不脱离其技术思想、或其主要的特征的情况下,能够以各种形式来实施。日本国专利申请、日本特愿 2012-150685 号的公开的全部内容通过参照而被引入本说明书。与具体且分别所记载有各文献、专利申请、以及技术标准通过参照而引入的内容的情况相同程度地本说明书所记载的所有文献、专利申

请、以及技术标准通过参照而引入本说明书。

[0159] 附图标记说明

[0160] 100 :缺陷检测装置、110 :声透镜、120 :相位阵列探头、121 :超声波振子、131 :探伤用超声波束、132 :耦合检查用超声波束(水判断用超声波束)、140 :控制处理装置、141 :被检体条件输入部、142 :收发条件设定部、143 :收发控制部、144 :发送部、145 :接收部、146 :接收信号处理部、147 :缺陷判断部、148 :水判断部、149 :记录·显示部、200 :电阻焊接钢管、200G :外表面、200N :内表面、210 :焊接部。

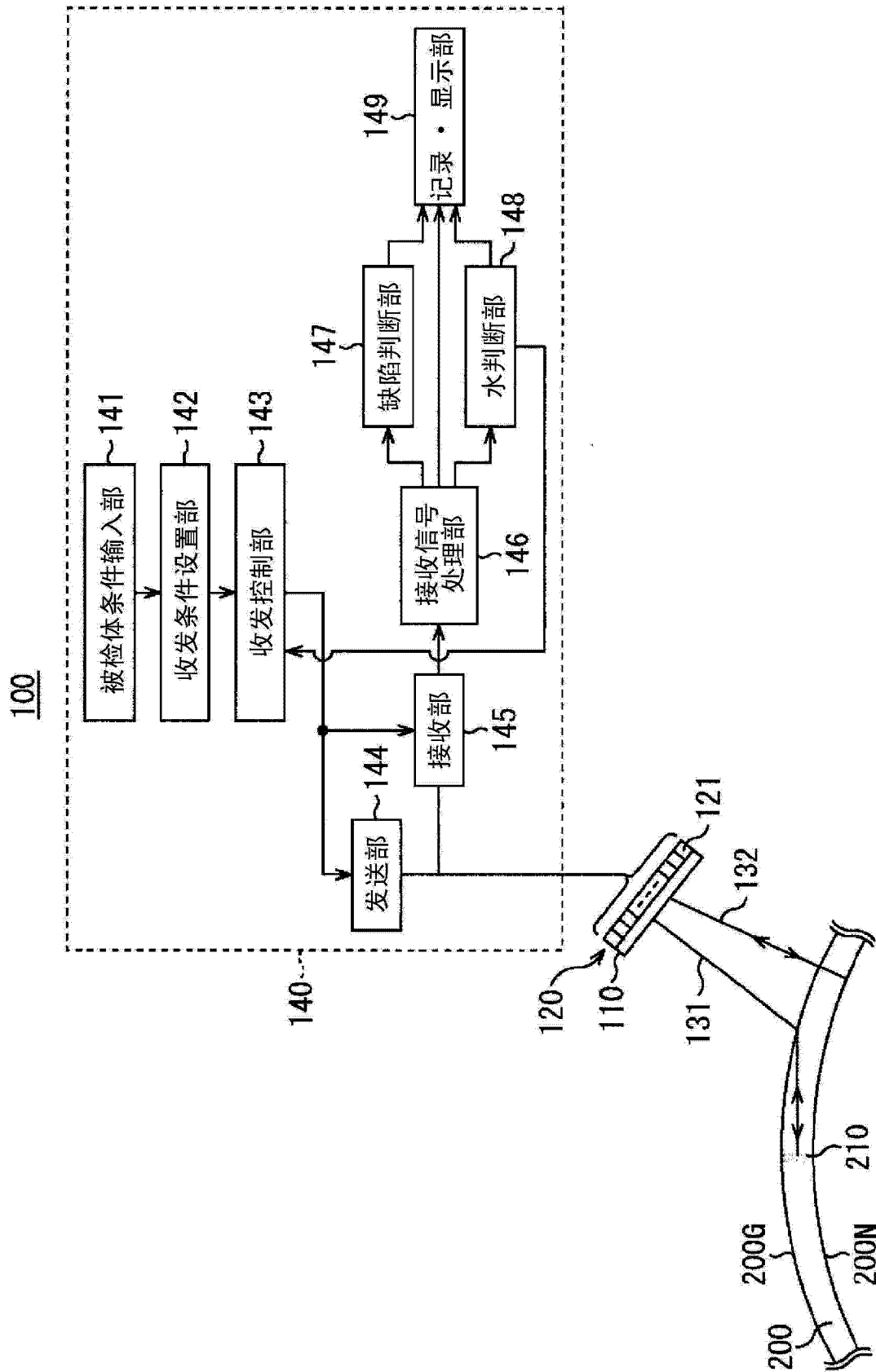


图 1

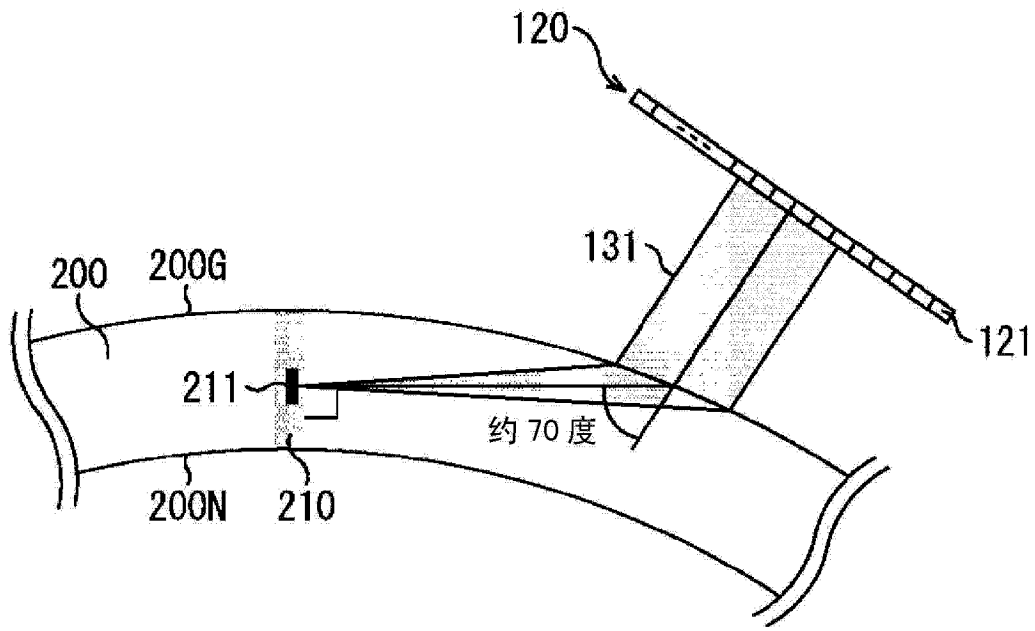


图 2

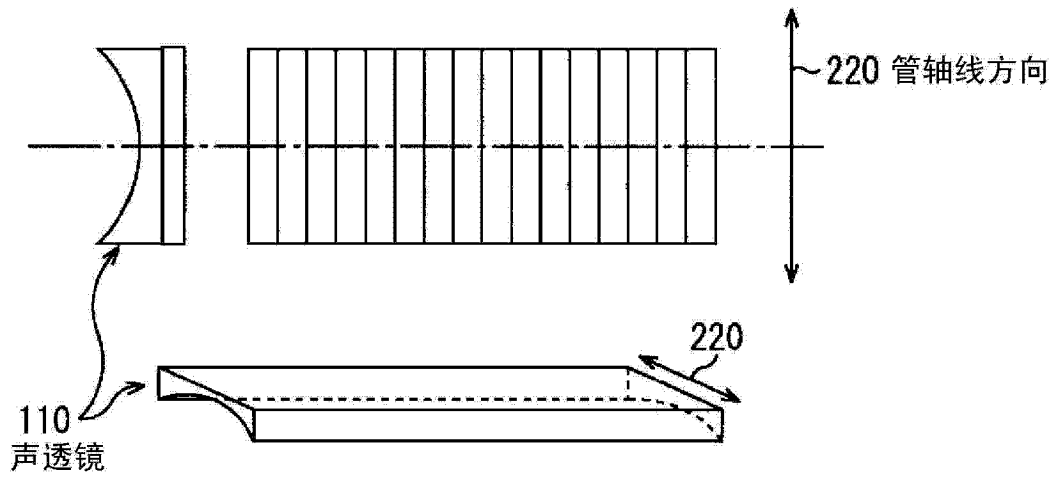


图 3

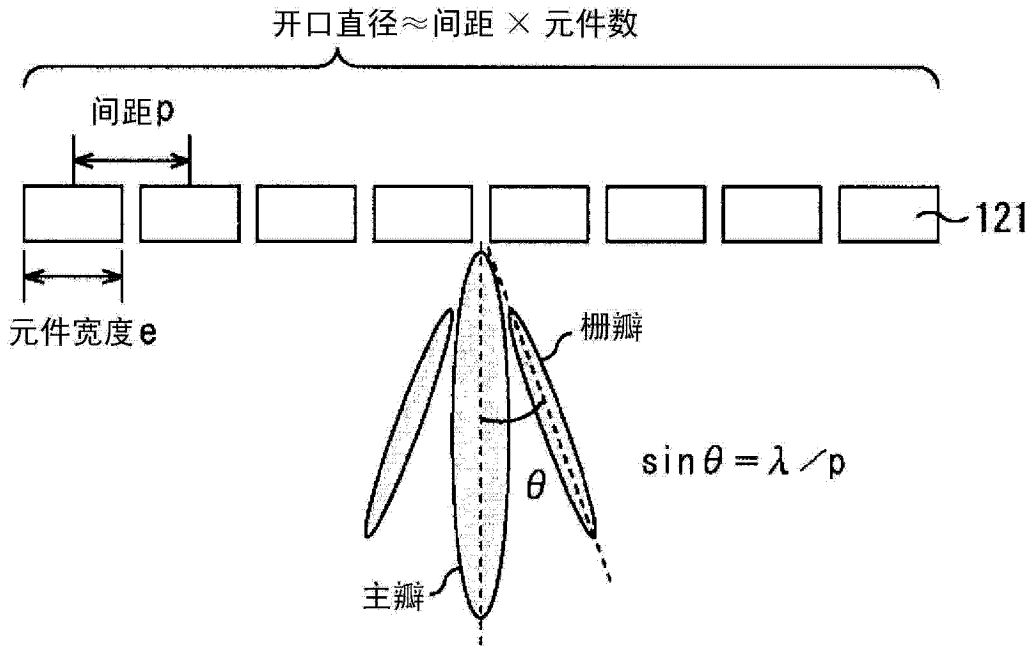


图 4

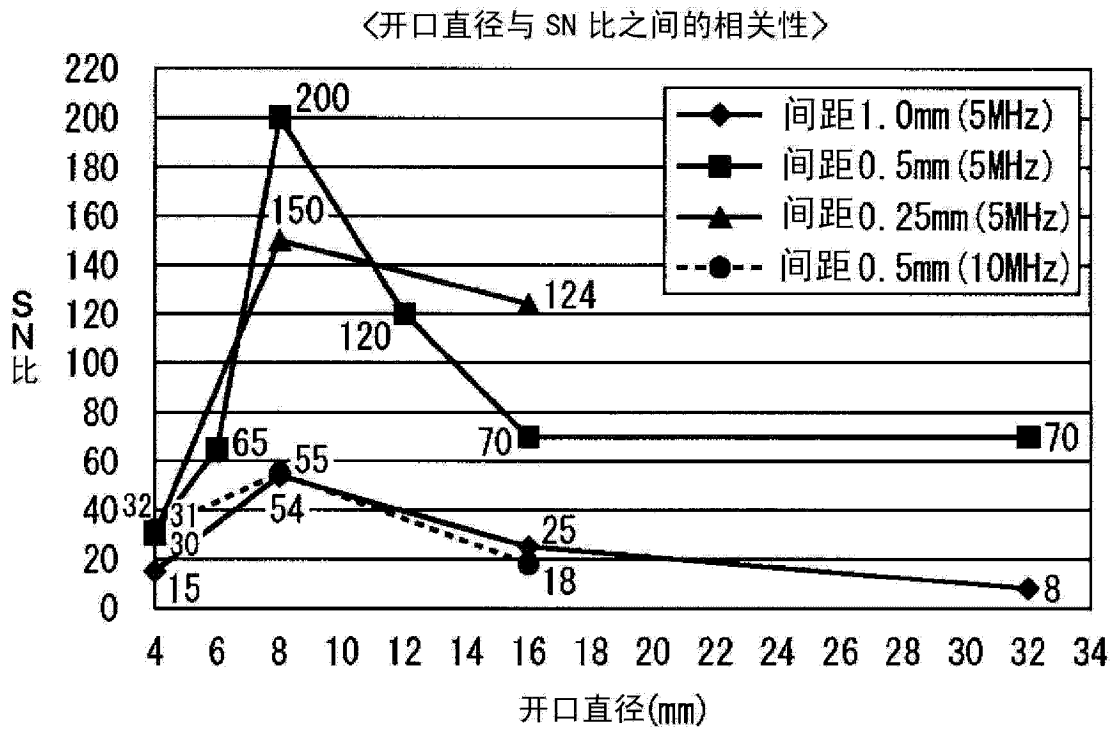


图 5

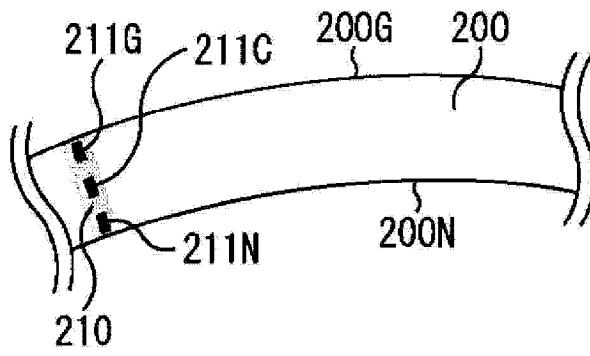


图 6

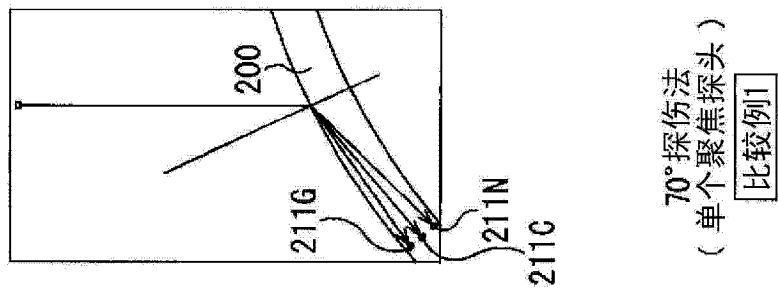


图 7A

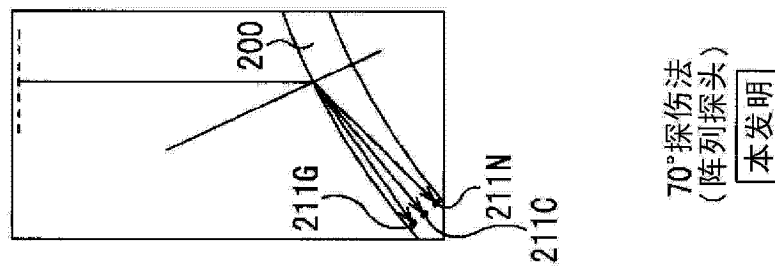


图 7B

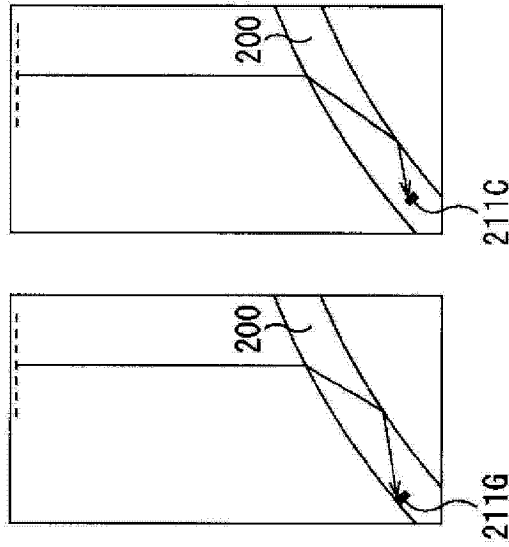


图 7C

以往的斜角探伤法 (阵列探头)
 左图: 一次反射, 以外表面附近为目标
 右图: 一次反射, 以中央部附近为目标
 比较例2

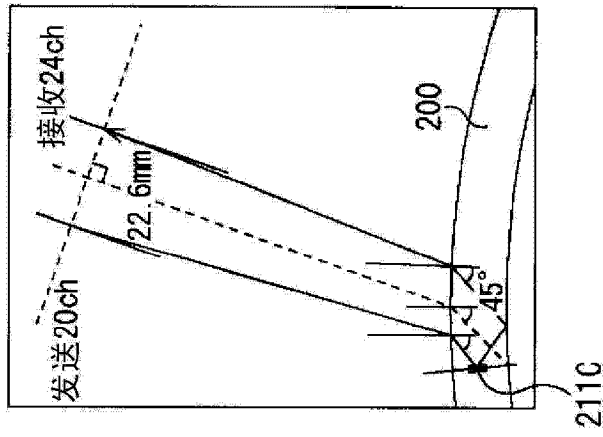


图 7D

串联探伤法
 (阵列探头)
 比较例3

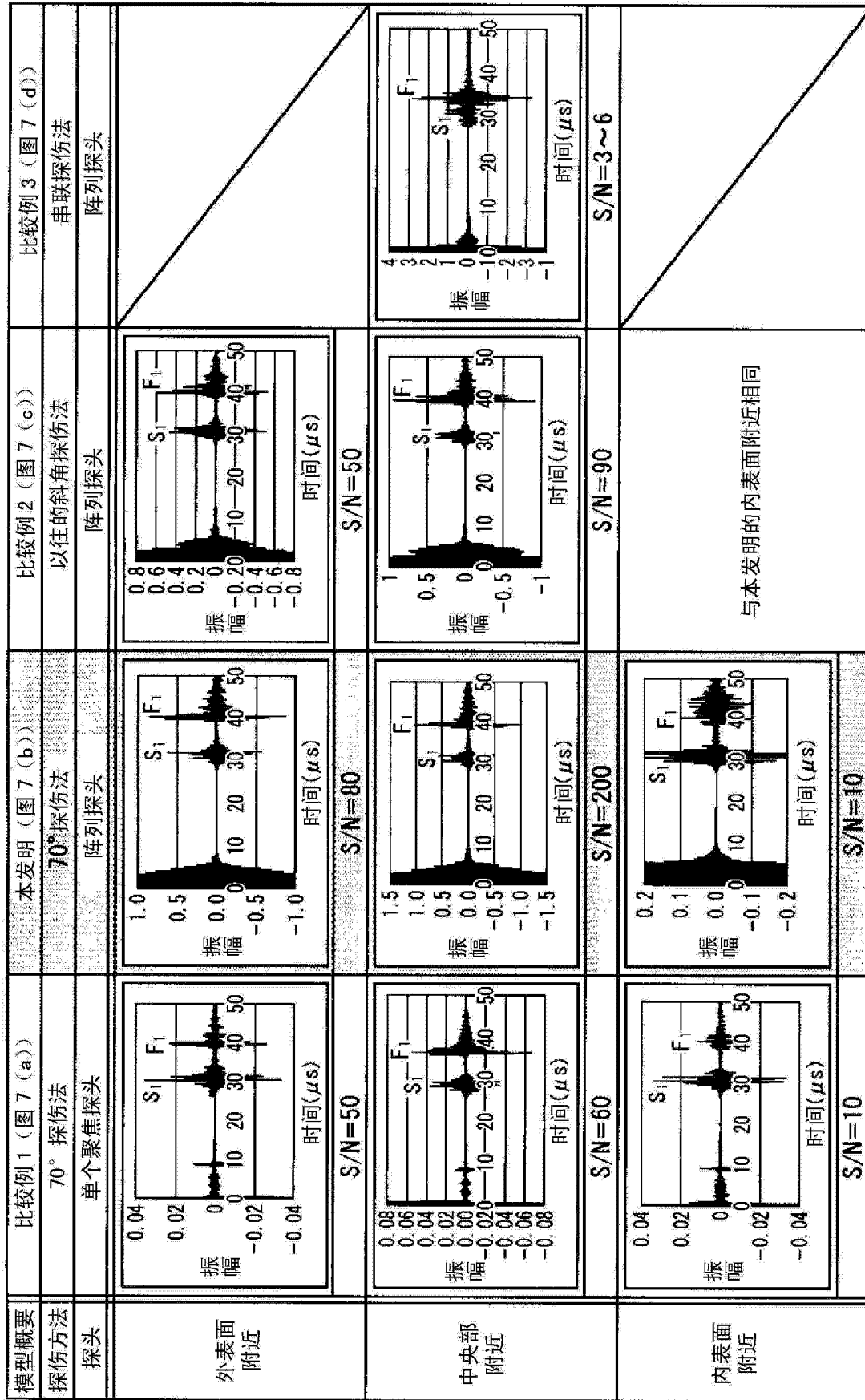


图 8

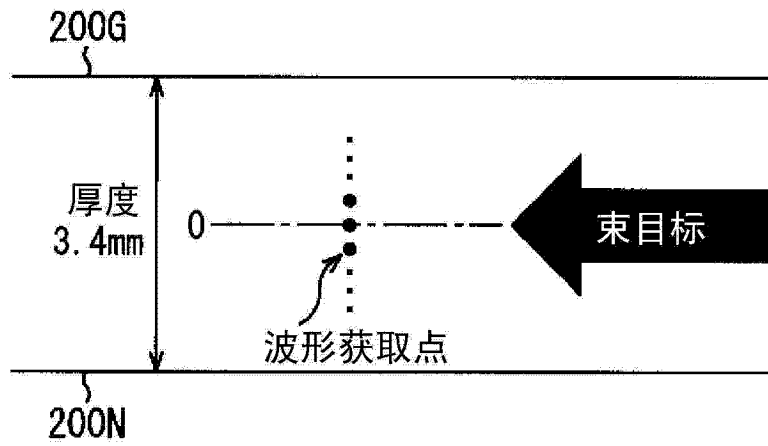


图 9A

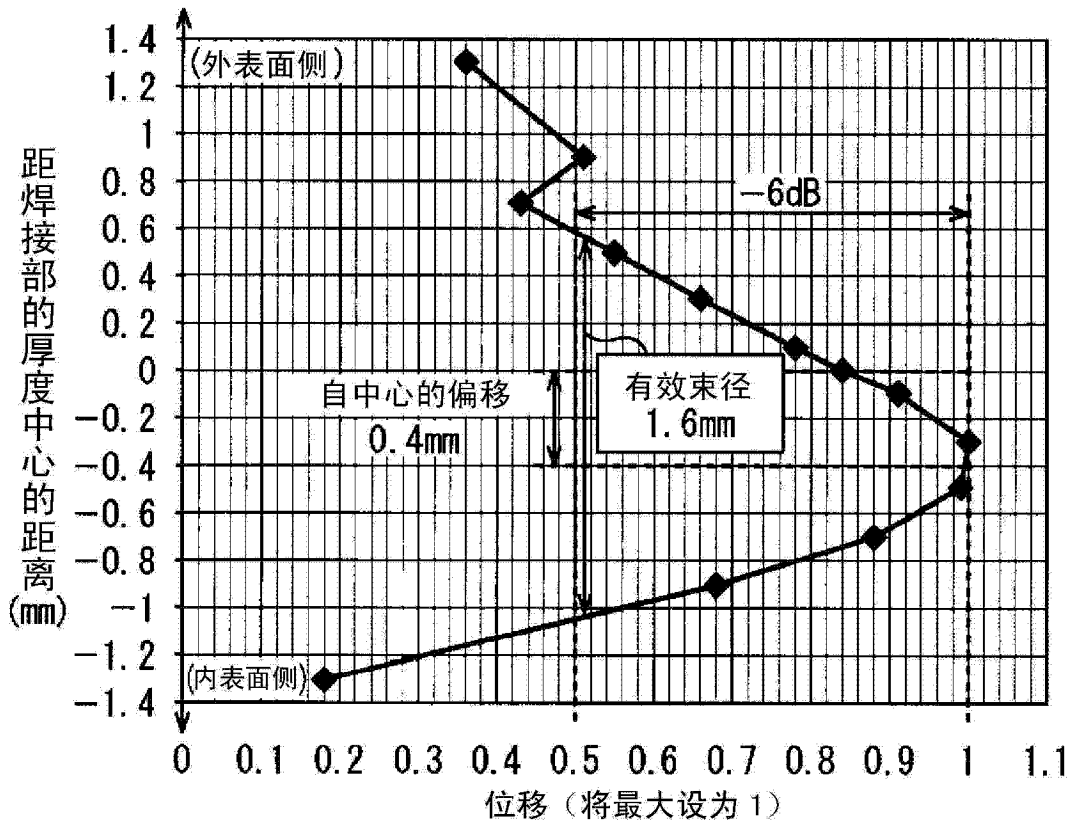


图 9B

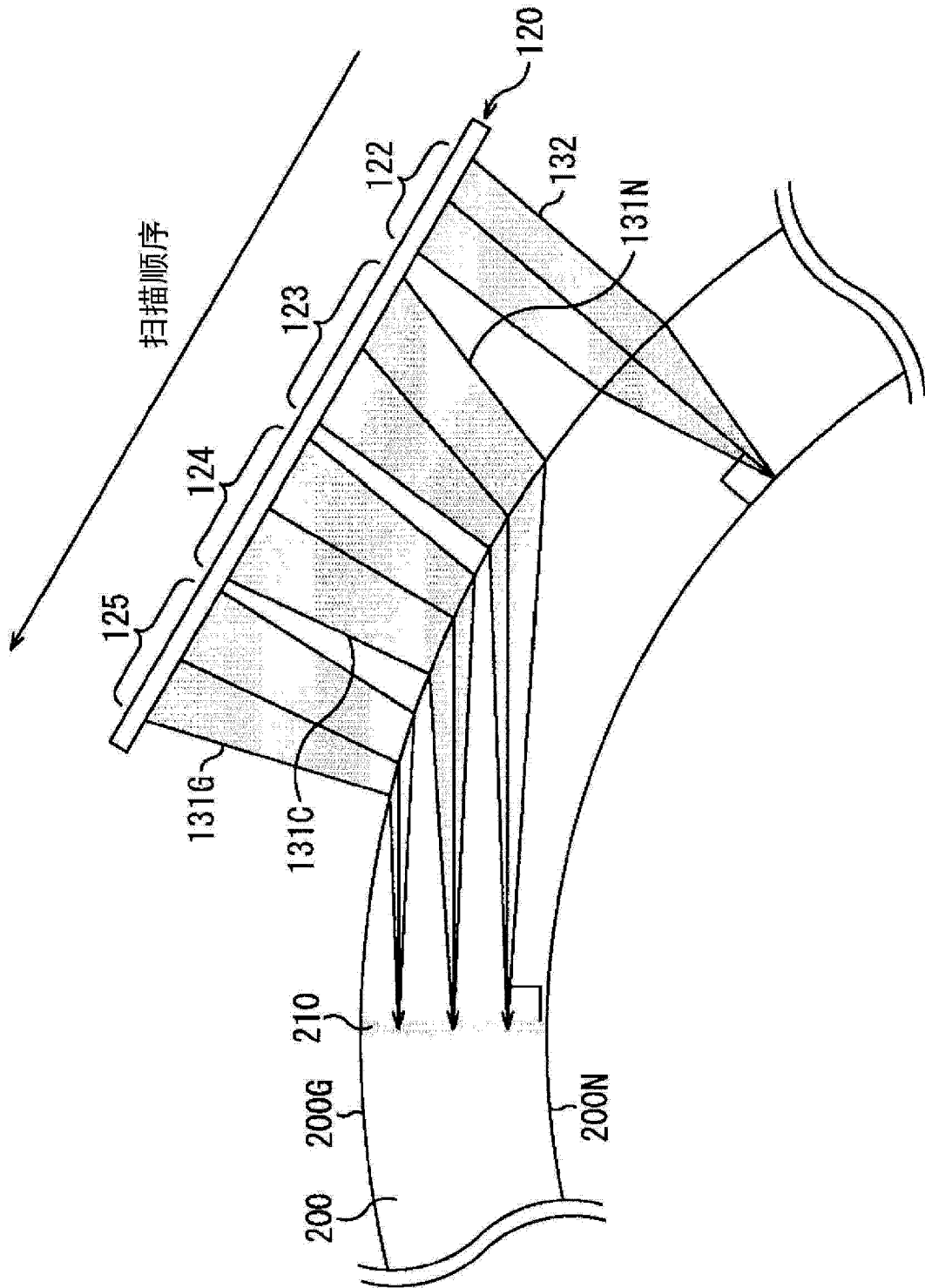


图 10

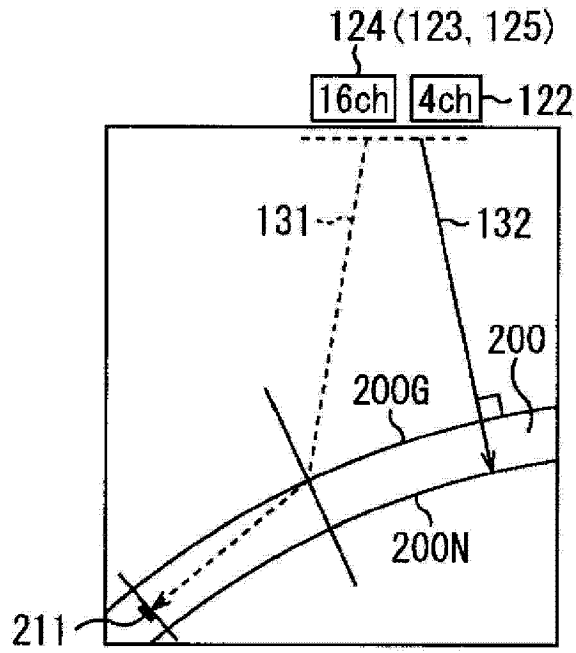


图 11

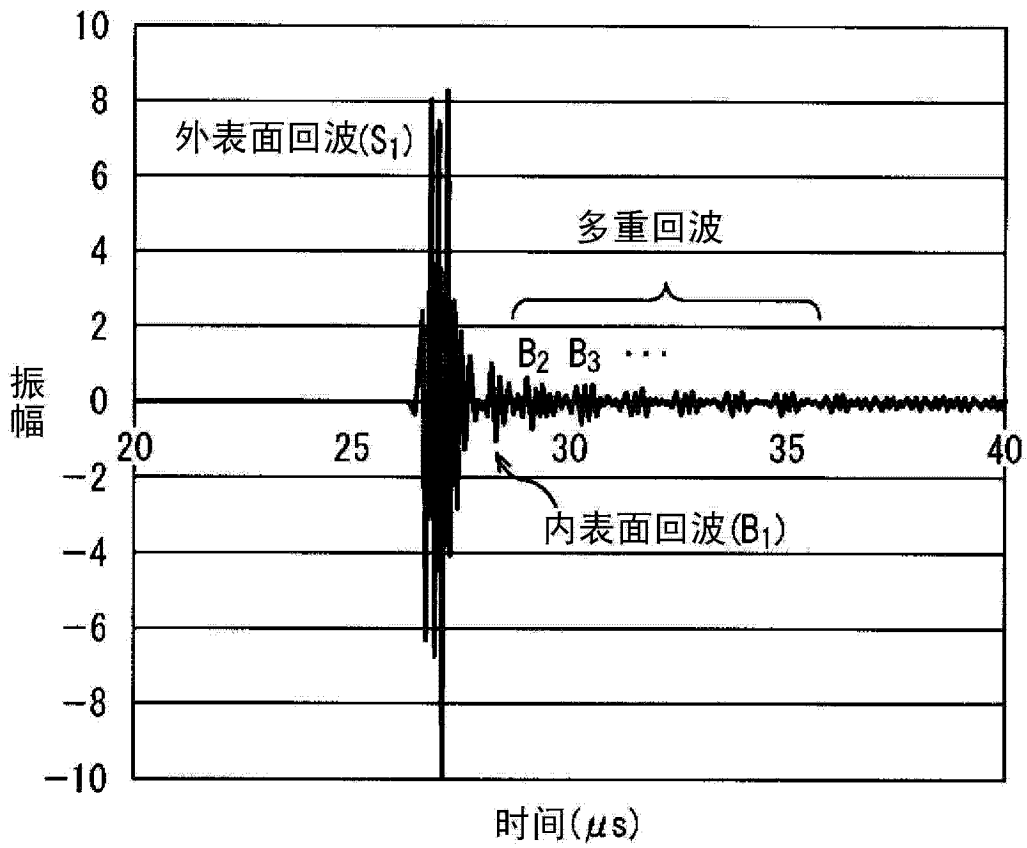


图 12

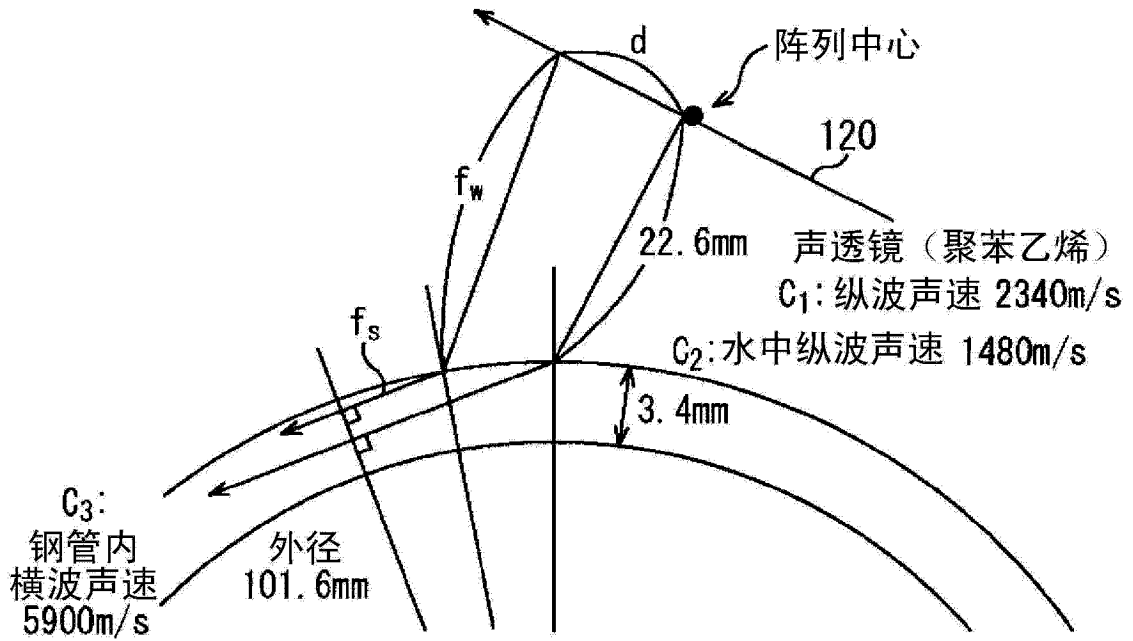


图 13

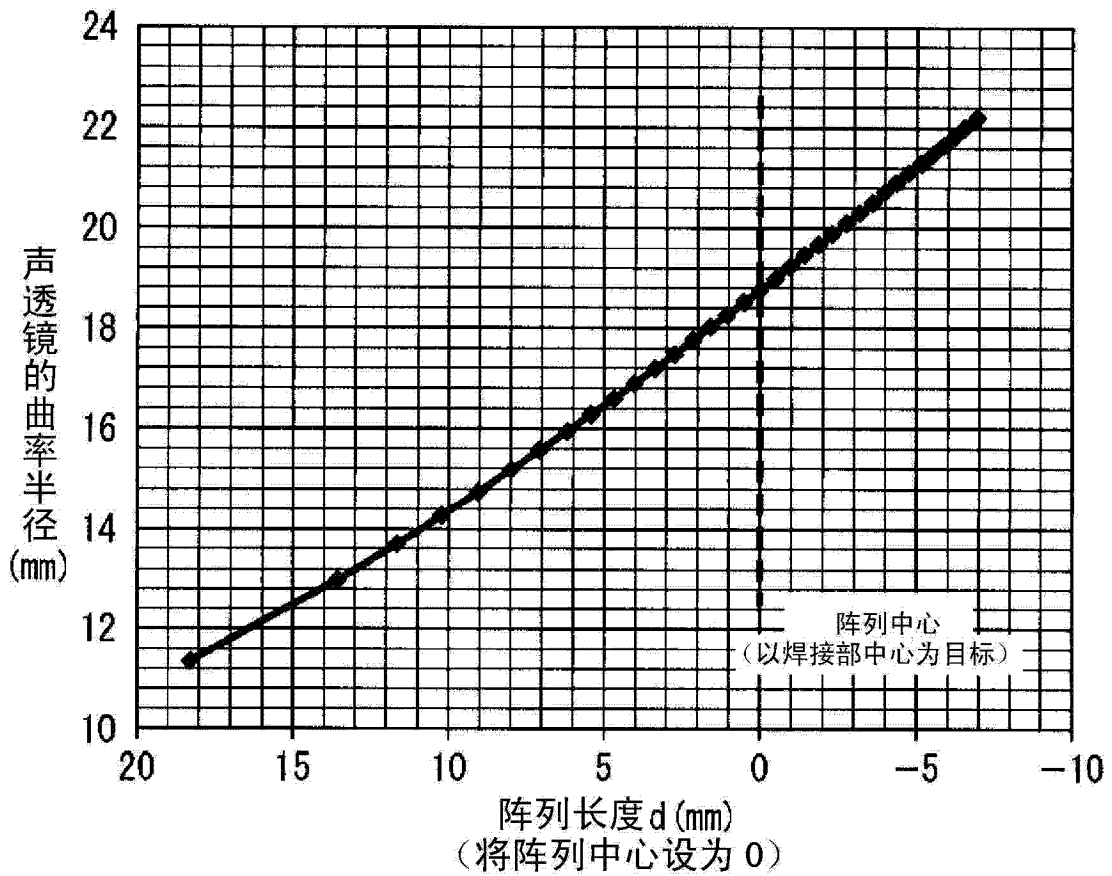


图 14

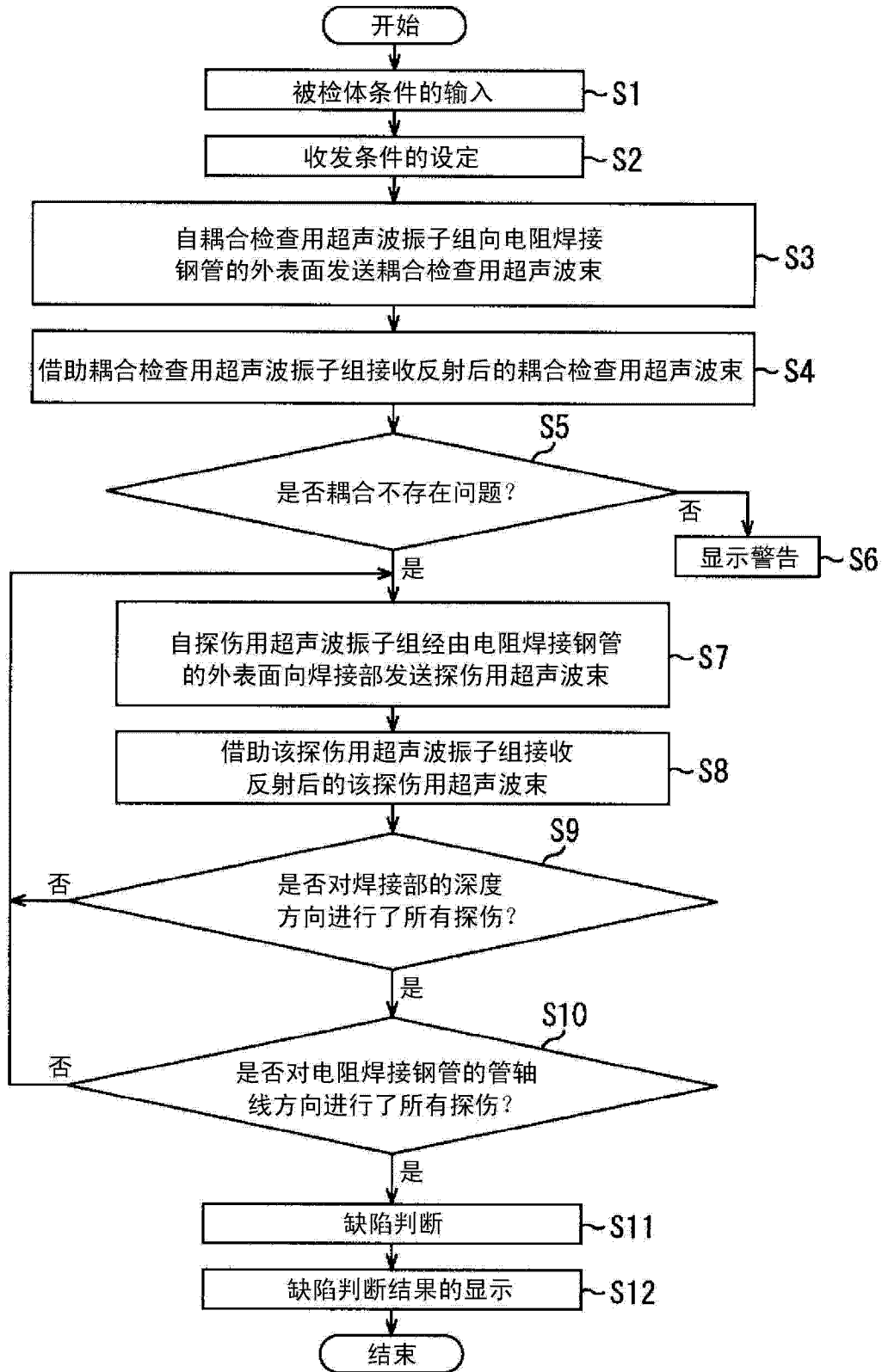


图 15

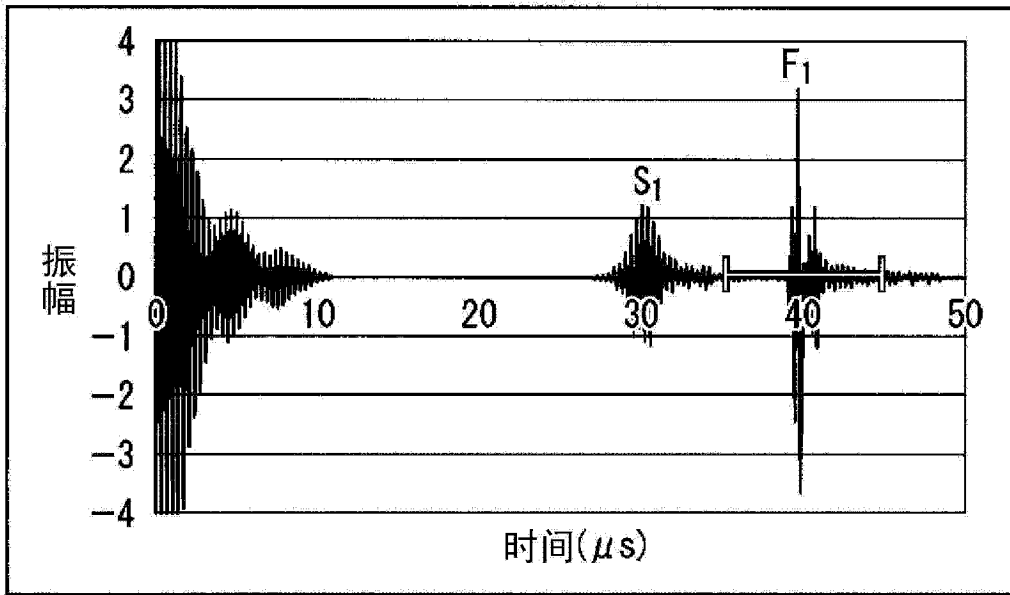


图 16A

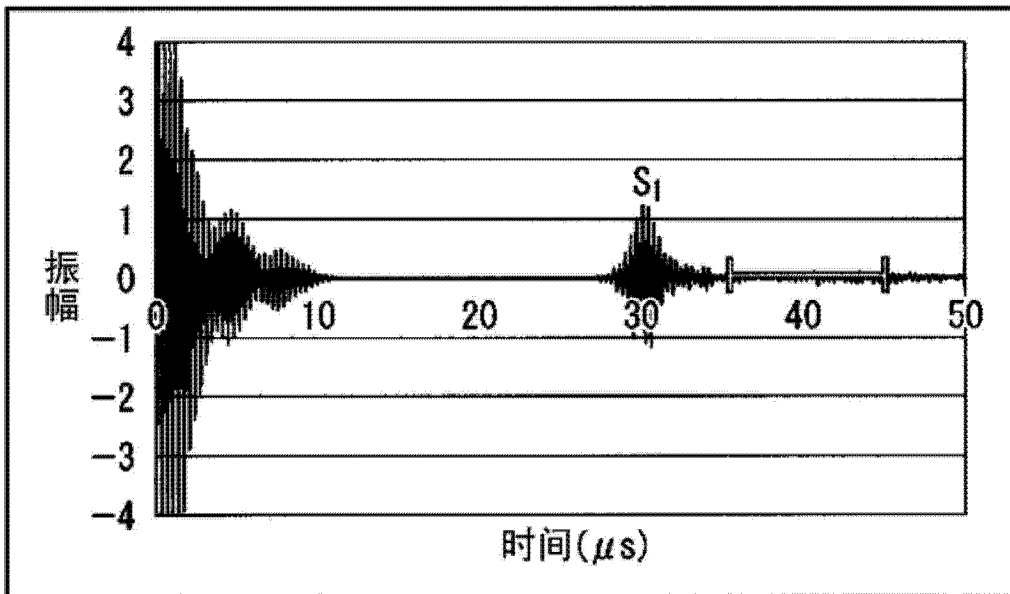


图 16B

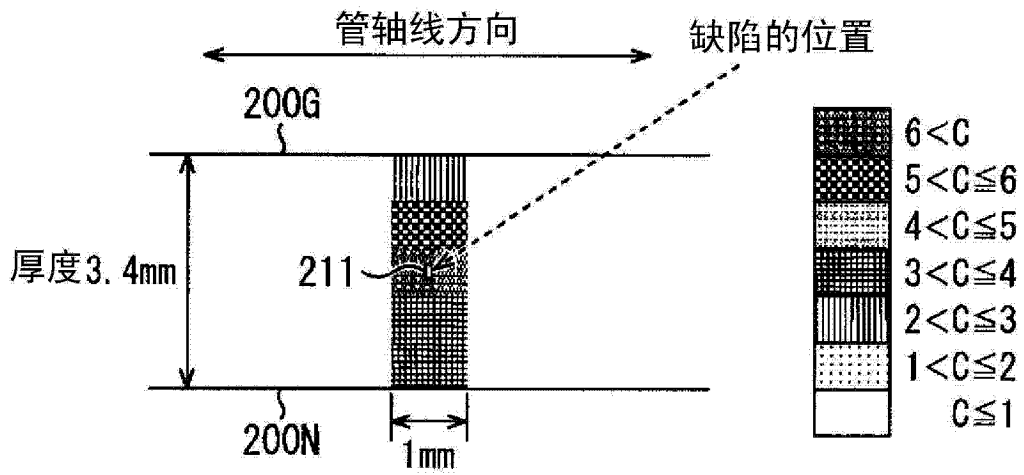


图 17

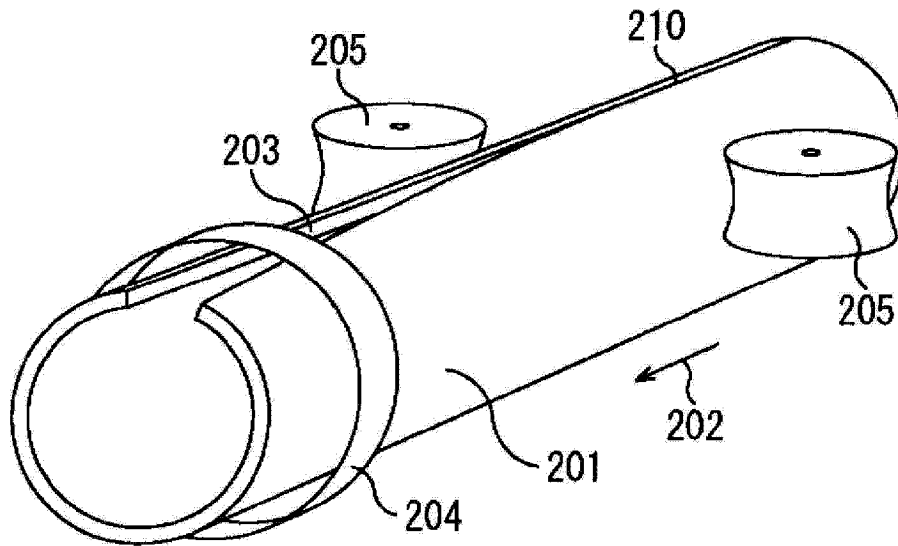


图 18A

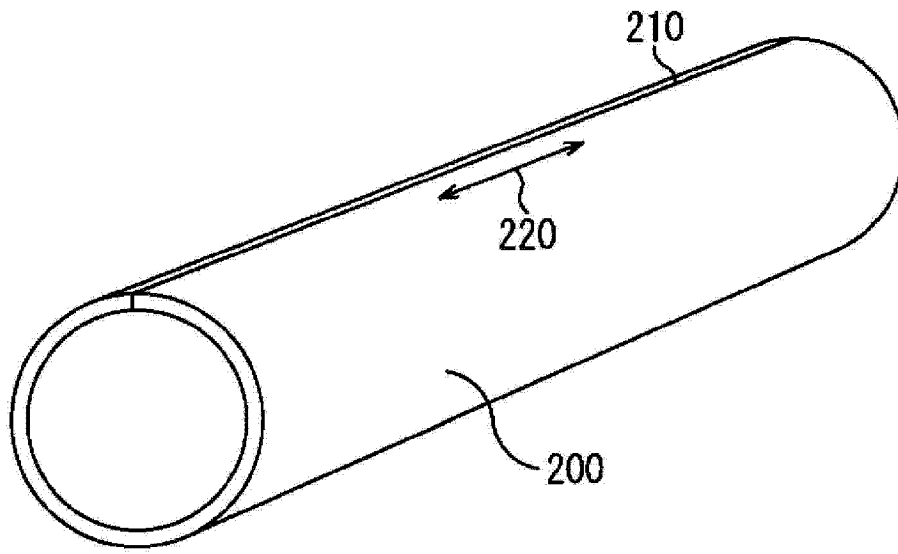


图 18B

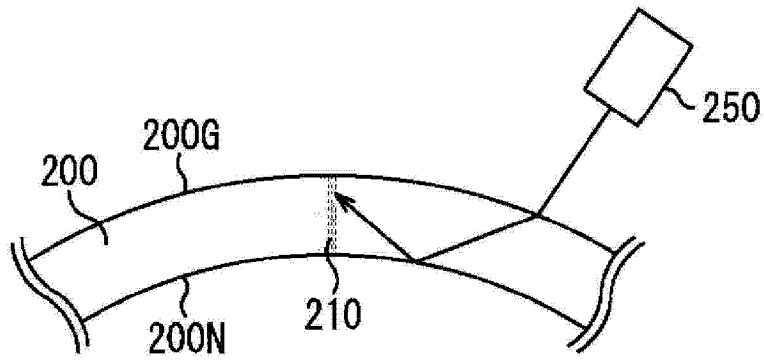


图 19