



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104603457 B

(45)授权公告日 2018.02.27

(21)申请号 201480001928.X

(22)申请日 2014.05.28

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104603457 A

(43)申请公布日 2015.05.06

(30)优先权数据
2013-112137 2013.05.28 JP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2015.01.23

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2014/002824 2014.05.28

(87)PCT国际申请的公布数据
W02014/192297 JA 2014.12.04

(73)专利权人 泰拉尔株式会社
地址 日本国广岛县

(72)发明人 刘浩 藤井武夫

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

代理人 王艳江 董敏

(51)Int.Cl.
F03B 3/04(2006.01)
F03B 3/12(2006.01)
F03D 1/06(2006.01)
F03D 3/06(2006.01)

(56)对比文件
CN 101619708 A, 2010.01.06,
CN 101619708 A, 2010.01.06,
WO 2009/098340 A1, 2009.08.13,
CN 201461226 U, 2010.05.12,

审查员 赵银凤

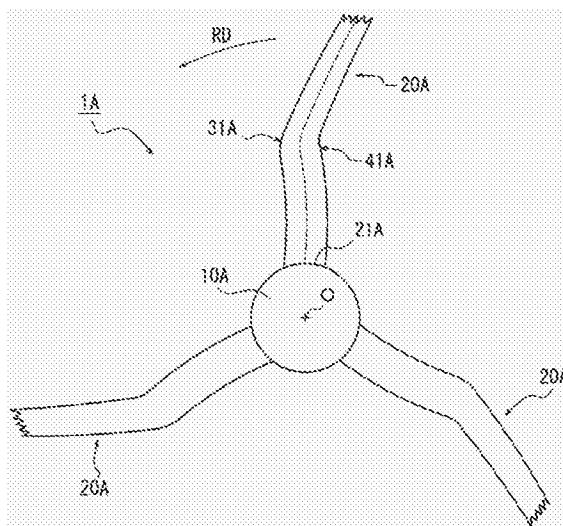
权利要求书2页 说明书14页 附图6页

(54)发明名称

转子

(57)摘要

提供了用于风力/水力机械的转子,该转子可以减小流体阻力。转子(1A)设置有毂部(10A)和叶片(20A)。在垂直于转子的旋转中心轴线的投影面中,叶片的前缘(31A)相对于第一线段L_{1A}沿转子的旋转方向至少部分地向前突出;叶片的前缘突出顶端(32A)设置在沿转子的径向方向向外与毂部的外周边缘分开为叶片长度的0.4至0.6倍的长度的位置处;并且叶片的前缘的从转子的径向方向上的内侧端延伸至前缘突出顶端的部分(34A)相对于第二线段L_{2A}沿转子的旋转方向至少部分地向后凸地弯曲或屈曲。



1. 一种用于风力或水力机械的转子,所述转子包括毂部和叶片,所述毂部由主轴支撑,所述叶片的根端连接至所述毂部,其中,

在垂直于所述转子的旋转中心轴线的投影面中,

所述叶片的前缘的至少一部分相对于第一线段沿所述转子的旋转方向向前突出,所述第一线段连接所述前缘的在所述转子的径向方向上的内侧端和所述前缘的在所述转子的径向方向上的外侧端,

所述叶片的所述前缘的从所述前缘的在所述转子的径向方向上的内侧端延伸至前缘突出部的顶端的部段的至少一部分相对于第二段弯曲或屈曲成沿所述转子的旋转方向向前凸,所述第二线段连接所述前缘的在所述转子的径向方向上的内侧端和所述前缘突出部的顶端,

所述叶片的后缘全部相对于第三线段沿所述转子的旋转方向向前突出,所述第三线段连接所述后缘的在所述转子的径向方向上的内侧端和所述后缘的在所述转子的径向方向上的外侧端,

所述叶片的所述后缘的从所述后缘的在所述转子的径向方向上的内侧端延伸至后缘突出部的顶端的部段全部相对于第四线段弯曲或屈曲成沿所述转子的旋转方向向前凸,所述第四线段连接所述后缘的在所述转子的径向方向上的内侧端和所述后缘突出部的顶端,

所述叶片的所述前缘的从所述前缘突出部的顶端延伸至所述前缘的在所述转子的径向方向上的外侧端的部段的至少一部分相对于第五线段沿所述转子的旋转方向向后突出,所述第五线段连接所述前缘突出部的顶端和所述前缘的在所述转子的径向方向上的外侧端,并且

所述叶片的所述后缘的从所述后缘突出部的顶端延伸至所述后缘的在所述转子的径向方向上的外侧端的部段全部相对于第六线段沿所述转子的旋转方向向后突出,所述第六线段连接所述后缘突出部的顶端和所述后缘的在所述转子的径向方向上的外侧端。

2. 根据权利要求1所述的转子,其中,

在垂直于所述转子的旋转中心轴线的投影面中,

所述叶片的在所述转子的径向方向上的外侧的顶端部包括多个分支部,

所述分支部中的每个分支部沿所述转子的径向方向向外逐渐变细,并且

所述叶片的所述前缘的沿着所述分支部的一部分和所述叶片的后缘的沿着所述分支部的一部分沿着所述前缘和所述后缘的在所述分支部的分支开始位置处的相应的切线延伸。

3. 根据权利要求1所述的转子,其中,

在垂直于所述转子的旋转中心轴线的投影面中,

沿着所述前缘设置有多个延伸部,所述延伸部沿所述转子的旋转方向从所述叶片的所述前缘向前延伸并且沿所述转子的旋转方向向前逐渐变细,并且

所述叶片的在所述转子的径向方向上的外侧的顶端部沿所述转子的径向方向向外逐渐变细。

4. 根据权利要求1所述的转子,其中,

在所述叶片的位于所述转子的正面侧的表面的至少前缘侧上的区域中形成有多个突起部,所述突起部中的每个具有5mm或更小的高度和直径。

5. 根据权利要求4所述的转子,其中,
所述叶片的至少位于所述转子的所述正面侧的所述表面上的每单位面积的所述突起部的数量从所述叶片的所述前缘朝向所述叶片的所述后缘减小。

转子

技术领域

[0001] 本发明涉及用于风力或水力机械的转子,该转子包括毂部和叶片,毂部由主轴支撑,并且叶片的根端连接至毂部。

背景技术

[0002] 在用于风力发电机的转子的常规示例中,叶片的前缘形成跨越前缘的几乎全长的直线状(例如,专利文献1)。

[0003] 引文列表

[0004] 专利文献

[0005] 专利文献1:JP 2006-132542A

发明内容

[0006] (技术问题)

[0007] 通常,当用于风力发电机的转子旋转时,由于风(空气)——即,流体——在叶片的表面附近的流动并且由于离心力,在叶片的前缘附近产生了涡流。该涡流在叶片的整个前缘上从前缘的在转子的径向方向上的内侧的端部附近向转子的径向方向上的外侧流动。在专利文献1公开的转子中,这种涡流在叶片的整个前缘上从前缘的在转子的径向方向上的内侧的端部附近向转子的径向方向上的外侧流动,然而,涡流有时候与叶片的表面分开,并且在刚要到达在转子的径向方向上的外侧的端部附近之前分解。由于涡流的这种分解,流体阻力增大,从而引起了噪音增大和发电效率降低的问题。

[0008] 构思了本发明以解决这些问题并且提供了一种用于风力或水力机械的转子,该转子减小了叶片承受的流体阻力。

[0009] (问题的解决方案)

[0010] 本发明的用于解决这些问题的主要结构如下。

[0011] 根据本发明的转子用于风力或水力机械,该转子包括毂部和叶片,毂部由主轴支撑,叶片的根端连接至毂部,其中,在垂直于转子的旋转中心轴线的投影面中,叶片的前缘的至少一部分相对于第一线段沿转子的旋转方向向前突出,其中第一线段连接前缘的在转子的径向方向上的内侧端和前缘的在转子的径向方向上的外侧端,并且前缘突出部的顶端沿转子的径向方向向外定位在距毂部的外周边缘为叶片的长度的0.4至0.6倍的距离处,并且叶片的前缘的从前缘的在转子的径向方向上的内侧端延伸至前缘突出部的顶端的部段的至少一部分相对于第二线段弯曲或屈曲成沿转子的旋转方向向后凸,其中第二线段连接前缘的在转子的径向方向上的内侧端和前缘突出部的顶端。

[0012] 根据本发明的转子,当转子旋转时,在叶片的前缘附近产生的涡流在前缘的整个长度上沿着前缘产生,并且在前缘突出部的顶端附近,涡流可以分成作用为彼此抵消的两部分。因此,可以减弱在前缘附近产生的涡流,并且可以减小叶片承受的流体阻力。

[0013] 在本发明中,“风力或水力机械”指的是使用通过流体力例如风力、水力等获得的

原动力的任何机械,比如风力发电机(包括使用空气流等的波力发电机;上述解释同样适用于后文)、水力发电机(包括潮汐发电机、洋流发电机等;上述解释同样适用于后文)等。

[0014] 本发明中的“叶片的长度”指的是转子的半径减去毂部的半径。“转子的半径”指的是从转子的旋转中心轴线到叶片的在转子的径向方向上的最外侧边缘的距离。当毂部在垂直于转子的旋转中心轴线的投影面中不具有圆形形状时,“毂部的半径”指的是毂部在投影面中的外接圆的半径。

[0015] 在所述投影面中,本发明中的“前缘突出部的顶端”指的是下述点:在叶片的前缘上的相对于第一线段位于转子的旋转方向上的前方的点中,获得该点与交点——第一线段与从该点到第一线段的垂线的交点——之间的最大距离的点。

[0016] 此外,本发明中的“弯曲或屈曲”指的是以一个或多个圆弧和/或直线连接所呈的形状延伸。

[0017] 在根据本发明的转子中,在垂直于转子的旋转中心轴线的投影面中,叶片的后缘的至少一部分优选地相对于第三线段沿转子的旋转方向向前突出,其中第三线段连接后缘的在转子的径向方向上的内侧端和后缘的在转子的径向方向上的外侧端,并且后缘突出部的顶端优选地沿转子的径向方向向外定位在距毂部的外周边缘为叶片长度的0.4至0.6倍的距离处,并且叶片的后缘的从后缘的在转子的径向方向上的内侧端延伸至后缘突出部的顶端的部段的至少一部分优选地相对于第四线段弯曲或屈曲成沿转子的旋转方向向后凸,第四线段连接后缘的在转子的径向方向上的内侧端和后缘突出部的顶端。

[0018] 根据该结构,叶片的后缘的形状可以形成为依循前缘的形状,从而防止叶片的表面上的摩擦阻力在位于叶片的宽度中心线处的至少一部分中变得过大。

[0019] 在所述投影面中,本发明中的“后缘突出部的顶端”指的是下述点:在叶片的后缘上的相对于第三线段位于转子的旋转方向上的前方的点中,获得该点与交点——第三线段与从该点到第三线段的垂线的交点——之间的最大距离的点。

[0020] 在根据本发明的转子中,在垂直于转子的旋转中心轴线的投影面中,叶片的前缘的从前缘突出部的顶端延伸至前缘的在转子的径向方向上的外侧端的部段的至少一部分优选地相对于第五线段沿转子的旋转方向向前突出,其中第五线段连接前缘突出部的顶端和前缘的在转子的径向方向上的外侧端。

[0021] 这种结构可以进一步减小空气阻力。

[0022] 根据本发明的另一转子是用于风力或水力机械的转子,该转子包括毂部和叶片,毂部由主轴支撑,叶片的根端连接至毂部,其中,在垂直于转子的旋转中心轴线的投影面中,叶片的前缘的至少一部分相对于第一线段沿转子的旋转方向向前突出,其中第一线段连接前缘的在转子的径向方向上的内侧端和前缘的在转子的径向方向上的外侧端,叶片的前缘的从前缘的在转子的径向方向上的内侧端延伸至前缘突出部的顶端的部段的至少一部分相对于第二线段弯曲或屈曲成沿转子的旋转方向向前凸,其中第二线段连接前缘的在转子的径向方向上的内侧端和前缘突出部的顶端,并且叶片的前缘的从前缘突出部的顶端延伸至前缘的在转子的径向方向上的外侧端的部段的至少一部分相对于第五线段沿转子的旋转方向向后突出,其中第五线段连接前缘突出部的顶端和前缘的在转子的径向方向上的外侧端。

[0023] 根据本发明的转子,可以减小叶片承受的流体阻力。

[0024] 在根据本发明的另一转子中,在垂直于转子的旋转中心轴线的投影面中,叶片的后缘的至少一部分优选地相对于第三线段沿转子的旋转方向向前突出,其中第三线段连接后缘的在转子的径向方向上的内侧端和后缘的在转子的径向方向上的外侧端。

[0025] 根据该结构,叶片的后缘的形状可以形成为依循前缘的形状,从而防止叶片的表面上的摩擦阻力在位于叶片的宽度中心线处的至少一部分中变得过大。

[0026] 在根据本发明的转子或另一转子中,在垂直于转子的旋转中心轴线的投影面中,叶片的在转子的径向方向上的外侧的顶端部优选地包括多个分支部,分支部中的每个分支部优选地沿转子的径向方向向外逐渐变细,并且叶片的前缘的沿着分支部的一部分和叶片的后缘的沿着分支部的一部分优选地沿着前缘和后缘的在分支部的分支开始位置处的相应的切线延伸。

[0027] 根据该结构,在使得发生层流的使用状况下,可以减弱当转子旋转时在叶片的顶端部附近产生的涡流,从而进一步减小流体阻力。

[0028] 在根据本发明的转子或另一转子中,在垂直于转子的旋转中心轴线的投影面中,沿着前缘优选地设置有多个延伸部,延伸部沿转子的旋转方向从叶片的前缘向前延伸并且沿转子的旋转方向向前逐渐变细,并且叶片的在转子的径向方向上的外侧的顶端部优选地沿转子的径向方向向外逐渐变细。

[0029] 根据该结构,主要在使得发生紊流的使用状况下,可以抑制叶片的前缘附近的紊流的发生,并且还可以抑制叶片的顶端部附近的涡流的发生。因此,在上述情况中,可以进一步减小流体阻力。

[0030] 在根据本发明的转子或另一转子中,在叶片的位于转子的正面侧的表面的至少前缘侧上的区域中形成有多个突起部,突起部中的每个具有5mm或更小的高度和直径。

[0031] 根据该结构,可以使主要发生在叶片的在转子的正面侧的表面的前缘侧上的区域附近的紊流减弱,并且可以进一步减小叶片承受的流体阻力。

[0032] 本发明中的突起部的“直径”指的是每个突起部的在垂直于转子的旋转中心轴线的投影面中的外接圆的直径。

[0033] 在根据本发明的转子或另一转子中,叶片的至少位于转子的正面侧的表面的每单位面积的突起部的数量优选地从叶片的前缘朝向叶片的后缘减小。

[0034] 根据该结构,在使主要发生在叶片的位于转子的正面侧的表面的前缘侧上的区域附近的紊流减弱的同时,如果紊流也发生在叶片的另一表面区域附近或前进至叶片的另一表面区域,则可以减弱这种紊流,从而进一步减小叶片承受的流体阻力。

[0035] 在本发明中,声明叶片的表面上的每单位面积的突起部的数量从叶片的前缘朝向叶片的后缘“减小”指的是叶片的表面上的每单位面积的突起部的数量从叶片的前缘朝向叶片的后缘以一个或多个位置为边界减小或从叶片的前缘朝向叶片的后缘逐渐地减小。

[0036] (发明的有益效果)

[0037] 根据本发明,能够提供用于风力或水力机械的转子,该转子可以减小叶片承受的流体阻力。

附图说明

[0038] 下面将参照附图进一步描述本发明,其中:

- [0039] 图1是示出了根据本发明的转子的第一实施方式的主视图；
- [0040] 图2是示出了图1中的转子的主要部分的主视图；
- [0041] 图3是在图2中的叶片的宽度方向上沿线A-A截取的截面图；
- [0042] 图4是示出了根据本发明的另一转子的第一实施方式的主视图；
- [0043] 图5是示出了根据本发明的第二实施方式的转子的主要部分的主视图；以及
- [0044] 图6是示出了根据本发明的另一转子的第二实施方式的主视图。

具体实施方式

- [0045] 下面将参照附图详细地描述本发明的实施方式。
- [0046] (根据本发明的转子的第一实施方式)
- [0047] 参照图1至图3描述本发明的第一实施方式。图1是示出了根据本发明的转子的第一实施方式的主视图。图2是示出了图1中的转子1A的主要部分的主视图。图1中的转子1A用于风力发电机。转子1A的直径 ϕ_A 是2m,在5m/s至20m/s的风速下的转数是10rpm至50rpm,并且输出是1kW至2kW。假设转子1A在具有100,000或更小的雷诺数的层流区域中使用。然而,根据本实施方式的转子1A可以不仅用于风力发电机,而且可以用于水力发电机或其他风力或水力机械。转子1A的直径 ϕ_A 优选为5m或更小,更优选地为0.2m或更大,并且甚至更优选地为0.5m或更大。
- [0048] 转子1A包括毂部10A和三个叶片20A,毂部10A由主轴(未示出)支撑,每个叶片20A的根端21A连接至毂部10A。当参见图1时,在该示例中,未示出的主轴从毂部10A的背侧向后延伸,并且水平地设置。毂部10A以主轴与转子1A的旋转中心轴线O对准的方式由主轴支撑。
- [0049] 叶片20A的数量不限于三个并且可以是任何数量。
- [0050] 图2和图3所示的叶片用作转子1A的每个叶片20A,然而也能够将图2和图3所示的叶片用作叶片20A的仅仅一部分。
- [0051] 在图2的示例中,在垂直于转子1A的旋转中心轴线O的投影面中(即,在图2的平面中),叶片20A的前缘31A在前缘31A的整个长度上相对于第一线段 L_{1A} 沿转子1A的旋转方向RD(图2中的逆时针方向)向前突出,第一线段 L_{1A} 连接前缘31A的在转子1A的径向方向上的内侧端33A和前缘31A的在转子1A的径向方向上的外侧端35A。尽管未示出,但在该投影面中,叶片20A的前缘31A可以替代性地在图2的示例中,叶片20A的前缘31A中的相对于第一线段 L_{1A} 的前缘突出部的顶端32A在转子1A的径向方向上向外定位在距毂部10A的外周边缘为叶片20A的长度 BL_A 的0.4至0.6倍的距离处。换句话说,如图2所示,前缘突出部的顶端32A定位在转子1A的距毂部10A的外周边缘为叶片20A的长度 BL_A 的0.4至0.6倍的径向方向区域 C_A 内。在这种情况下,如上所述,叶片20A的长度 BL_A 指的是转子1A的半径($\phi_A/2$)减去毂部10A的半径 r_A 。转子1A的半径($\phi_A/2$)指的是从毂部10A的旋转中心轴线O到叶片20A的在转子1A的径向方向上的最外侧边缘的距离。在本示例中,前缘突出部的顶端32A优选地沿转子1A的径向方向向外定位在距毂部10A的外周边缘为叶片20A的长度 BL_A 的0.47至0.57倍的距离处,并且更优选地为叶片20A的长度 BL_A 的0.51至0.53倍的距离处。
- [0053] 根据前缘31A的这种结构,当转子1A旋转并且在叶片20A的前缘31A附近产生涡流

时,可以抑制在叶片20A的在转子1A的径向方向上的外侧端附近的涡流的分解,并且涡流可以在前缘31A的整个长度上沿着前缘31A产生。沿着叶片20A的前缘31A产生的涡流在前缘突出部的顶端32A附近分成两部分。因此,比前缘突出部的顶端32A在转子1A的径向方向上更向内的涡流和比前缘突出部的顶端32A在转子1A的径向方向上更向外的涡流作用成彼此抵消。因此,可以减弱前缘31A附近产生的涡流,并且可以减小叶片20A承受的空气阻力。

[0054] 从减弱上述在前缘31A附近产生的涡流的角度来看,第二线段L_{2A}与第五线段L_{5A}之间的角度 θ_{1A} 优选地为145度至155度并且更优选地为147度至153度,其中,第二线段L_{2A}连接前缘31A的在转子1A的径向方向上的内侧端33A和前缘突出部的顶端32A,第五线段L_{5A}连接前缘31A的在转子1A的径向方向上的外侧端35A和前缘突出部的顶端32A。

[0055] 在图2的示例中,在垂直于转子1A的旋转中心轴线O的投影面中,叶片20A的前缘31A的从前缘31A的在转子1A的径向方向上的内侧端33A延伸至前缘突出部的顶端32A的部段34A(也称为“前缘31A的在转子1A的径向方向上的内侧的部段”)的大部分部段相对于第二线段L_{2A}弯曲成沿转子1A的旋转方向RD向后凸,其中,第二线段L_{2A}连接前缘31A的在转子1A的径向方向上的内侧端33A和前缘突出部的顶端32A。然而,前缘31A的在转子1A的径向方向上的内侧的部段34A的至少一部分相对于第二线段L_{2A}沿转子1A的旋转方向RD向后弯曲或屈曲就足够了。部段34A还可以在部段34A的整个长度上类似地弯曲或屈曲。

[0056] 与部段34A沿着第二线段L_{2A}延伸时相比,根据前缘31A的在转子1A的径向方向上的内侧的部段34A的这种结构,由于当转子1A旋转时部段34A附近的风的流动并且由于离心力,能够产生更好地沿着部段34A流动的涡流。因此,可以减小叶片20A承受的空气阻力。

[0057] 在图2的示例中,叶片20A的后缘41A也具有与上述前缘31A相同的结构。换句话说,在垂直于转子1A的旋转中心轴线O的投影面中,叶片20A的后缘41A的至少一部分(在所述示例中为全部)相对于第三线段L_{3A}沿转子1A的旋转方向RD向前突出,其中,第三线段L_{3A}连接后缘41A的在转子1A的径向方向上的内侧端43A和后缘41A的在转子1A的径向方向上的外侧端45A。此外,后缘41A中的相对于第三线段L_{3A}的后缘突出部的顶端42A沿转子1A的径向方向向外定位在距毂部10A的外周边缘为叶片20A的长度BL_A的0.4至0.6倍的距离处,优选为0.47至0.57倍的距离处并且更优选地为0.51至0.53倍的距离处。

[0058] 如图2所示,当从叶片20A的前缘31A的在转子1A的径向方向上的内侧端33A延伸至前缘突出部的顶端32A的部段34A的至少一部分相对于第二线段L_{2A}弯曲或屈曲成沿转子1A的旋转方向向后凸时,从后缘41A的在转子1A的径向方向上的内侧端43A延伸至后缘突出部的顶端42A的部段44A的至少一部分(在所示示例中为全部)优选地相对于第四线段L_{4A}弯曲或屈曲成沿转子1A的旋转方向RD向后凸,其中,第四线段L_{4A}连接后缘41A的在转子1A的径向方向上的内侧端43A和后缘突出部的顶端42A。根据叶片20A的后缘41A的这种结构,后缘41A可以形成为依循前缘31A的形状。因此,在垂直于转子1A的旋转中心轴线O的投影面中,可以防止叶片20A的宽度在叶片20A的宽度中心线(图1中的长短交替的虚线)处的至少一部分中变得过大。因而,防止了叶片20A的表面上的摩擦阻力在叶片20A的宽度中心线处的至少一部分中变得过大。

[0059] 类似于前缘31A,从减小空气阻力的角度来看,第四线段L_{4A}与第六线段L_{6A}之间的角度 θ_{2A} 优选地为145度至155度并且更优选地为147度至153度,其中,第四线段L_{4A}连接后缘41A的在转子1A的径向方向上的内侧端43A和后缘突出部的顶端42A,第六线段L_{6A}连接后缘

41A的在转子1A的径向方向上的外侧端45A和后缘突出部的顶端42A。

[0060] 如图2所示,在垂直于转子1A的旋转中心轴线O的投影面中,当从叶片20A的前缘31A的在转子1A的径向方向上的内侧端33A延伸至前缘突出部的顶端32A的部段34A的至少一部分相对于第二线段L_{2A}弯曲或屈曲成沿转子1A的旋转方向向后凸时,从前缘突出部的顶端32A延伸至转子1A的径向方向上的外侧端35A的部段37A的至少一部分(在所示例中为全部)优选地相对于第五线段L_{5A}弯曲或屈曲成沿转子1A的旋转方向RD向前凸,其中,第五线段L_{5A}连接前缘突出部的顶端32A和前缘31A的在转子1A的径向方向上的外侧端35A。根据该结构,由于当转子1A旋转时部段37A附近的风的流动并且由于离心力,能够产生更好地沿部段37A流动的涡流。因此,可以进一步减小空气阻力。

[0061] 当从叶片20A的前缘突出部的顶端32A延伸至转子1A的径向方向上的外侧端35A的部段37A的至少一部分(在所示例中为全部)相对于第五线段L_{5A}弯曲或屈曲成沿转子1A的旋转方向RD向前凸时,从减小空气阻力的角度来看,从后缘突出部的顶端42A延伸至后缘41A的在转子1A的径向方向上的外侧端45A的部段47A的至少一部分(在所示例中为全部)优选地相对于第六线段L_{6A}弯曲或屈曲成沿转子1A的旋转方向RD向前凸,其中,第六线段L_{6A}连接后缘突出部的顶端42A和后缘41A的在转子1A的径向方向上的外侧端45A。

[0062] 在图2的示例中,在垂直于转子1A的旋转中心轴线O的投影面中,叶片20A的在转子1A的径向方向上的外侧的顶端部分成多个分支部51A。分支部51A中的每个分支部沿转子1A的径向方向向外逐渐变细。

[0063] 此外,在图2的示例中,沿着分支部51A,叶片20A的前缘31A和后缘41A的沿着分支部51A的部分36A、46A沿着前缘31A和后缘41A的在分支部51A的分支开始位置R、S处的相应的切线l₁、l₂延伸。

[0064] 分支部51A的在前缘31A上的分支开始位置R指的是多个分支部51A中定位在转子1A的旋转方向RD上的最前侧的分支部51A的在转子1A的旋转方向RD上的后端P至前缘31A的垂线与前缘31A的交点。前缘的沿着分支部51A的部分36A指的是从前缘31A的分支开始位置R直线状地延伸至转子1A的径向方向上的外侧端35A的部分。

[0065] 类似地,分支部51A的在后缘41A上的分支开始位置Q指的是多个分支部51A中定位在转子1A的旋转方向RD上的最后侧的分支部51A的在转子1A的旋转方向RD上的前端Q至后缘41A的垂线与后缘41A的交点。后缘的沿着分支部51A的部分46A指的是从后缘41A的分支开始位置S直线状地延伸至在转子1A的径向方向上的外侧端45A的部分。

[0066] 根据叶片20A的在径向方向上的外侧的顶端部的这种结构,当转子1A旋转时,可以减弱在叶片20A的顶端部附近产生的涡流。因此,可以进一步减小空气阻力。

[0067] 在图2的示例中,在垂直于转子1A的旋转中心轴线O的投影面中,分支部51A中的每个分支部的形状、延伸方向和延伸长度几乎相同,然而,分支部51A可以具有不同的延伸方向和/或延伸长度。

[0068] 分支部51A的延伸方向和延伸长度指的是连接分支部51A的在转子1A的径向方向上的外侧端和分支部51A的在转子1A的旋转方向RD上的前端与后端之间的中点的线段的延伸方向和延伸长度。然而,在转子1A的旋转方向RD上的最前侧和最后侧的分支部51A的延伸方向和延伸长度指的是前缘31A和后缘41A的沿着分支部51A的部分36A和46A的延伸方向和延伸长度。

[0069] 在投影面中,每个分支部51A的形状在图2中是近似三角形的,然而,只要分支部51A沿转子1A的径向方向向外逐渐变细,分支部51A就可以是任何形状,比如近似高斯曲线或近似梯形。在投影面中,分支部51A不限于如图2的示例中那样地彼此连接。尽管未示出,但分支部51A可以彼此分开。

[0070] 从减小空气阻力的角度来看,优选的是,分支部51A的延伸方向在转子1A的旋转方向RD上的前端分支部51A与后端分支部51A之间从一个分支部51A向下一个分支部51A逐渐地且平滑地改变。

[0071] 在图2的示例中,分支部51A的延伸方向近似地彼此平行。然而,替代图2的示例中的结构,随着沿转子1A的径向方向向外具有增大的距离,从在转子1A的旋转方向RD上最向前的分支部51A到最向后的分支部51A的各分支部51A的延伸方向更优选地沿彼此分开的方向延伸并且从一个分支部51A向下一个分支部51A逐渐地且平滑地改变。通过该结构,当转子1A旋转时,可以使得在叶片20A的顶端部附近产生的涡流沿转子1A的径向方向向外且沿旋转方向RD向后更平滑地流动。因而,可以进一步减小空气阻力。

[0072] 在垂直于转子1A的旋转中心轴线O的投影面中,前缘31A的在转子1A的径向方向上的外侧端35A和后缘41A的在转子1A的径向方向上的外侧端45A不需要位于以转子1A的旋转中心轴线O为中心的同一圆上。

[0073] 图3是在图2中的叶片20A的宽度方向上沿着线A-A截取的截面图。尽管在图1和图2中未示出,但如图3所示,在叶片20A的表面上形成有多个突起部50,从而提供了具有与粗糙皮肤的不平度类似的不平度的叶片20A的表面。在这里,叶片20A的表面指的是叶片20A的在转子1A的正面侧(即,图1的正面)的表面和叶片20A的在转子1A的背面侧(即,图1的背面)的表面二者。

[0074] 图3的局部放大图所示的突起部50的高度h和直径d各自优选地为5mm或更小并且更优选地为3mm或更小。考虑到用于叶片20A的表面处理的成本,每个突起部50的高度h和直径d优选地为至少0.001mm并且更优选地为至少0.01mm。

[0075] 在图3的示例中,突起部50形成在叶片20A的几乎整个表面上。叶片20A在转子1A的正面侧的表面的每单位面积的突起部50的数量从叶片20A的前缘31A朝向后缘41A减少。具体地,在图3的示例中,叶片20A的在转子1A的正面侧的表面的每单位面积的突起部50的数量从叶片20A的前缘31A朝向叶片20A的后缘41A以一个位置(图3中的一长两短交替的虚线的位置)为边界减小。因此,在叶片20A的位于转子1A的正面侧的表面上,前缘31A侧的区域中的每单位面积的突起部50的数量大于后缘41A侧的区域中的每单位面积的突起部50的数量。

[0076] 尽管未示出,但在叶片20A的位于转子1A的正面侧的表面的每单位面积的突起部50的数量可以从叶片20A的前缘31A朝向后缘41A以多个位置为边界减少或者可以从叶片20A的前缘31A朝向叶片20A的后缘41A逐渐地减小。

[0077] 此外,在图3的示例中,叶片20A的在转子1A的背面侧的表面的每单位面积的突起部50的数量从叶片20A的前缘31A到后缘41A几乎不变,并且等于转子1A的正面侧的表面的后缘41A侧的区域中的数量。然而,类似于叶片20A的在转子1A的正面侧的表面,转子1A的背面侧的表面的每单位面积的突起部50的数量也可以从叶片20A的前缘31A朝向后缘41A减小。

[0078] 根据叶片20A的表面的这种结构,在使主要发生在叶片20A的位于转子1A的正面侧的表面的前缘31侧上的区域附近的紊流减弱的同时,如果紊流还发生在叶片20A的另一表面区域附近或前进到叶片20A的另一表面区域,则这种紊流也可以被减弱。当取决于叶片20A的尺寸、三维形状等情况而使得紊流不仅在叶片20A的位于转子1A的正面侧的表面的前缘31A侧上的区域附近发生而且还在叶片20A的另一表面区域附近发生或前进到叶片20A的另一表面区域时,这种结构是特别有利的。

[0079] 至少在叶片20A的位于转子1A的正面侧的表面的前缘31A侧的区域上形成突起部50获得了使主要至少发生在叶片20A的位于转子1A的正面侧的表面的前缘侧31A上的区域附近的紊流减弱的效果。因此,尽管未示出,但突起部50可以替代性地仅形成在叶片20A的位于转子1A的正面侧的表面的前缘31A侧上的区域中。

[0080] 各个突起部50的尺寸和形状可以不同。例如,在垂直于叶片20A的表面的截面中(即,在图3的平面中),每个突起部50的截面形状为在图3的示例中的近似高斯曲线,也可以采用任何形状,比如近似半弧形或近似矩形的形状,并且各个形状可以是相同的或不同的。类似地,在垂直于转子1A的旋转中心轴线O的投影面中(即,在图2的平面中),每个突起部50的投影形状是在图3的示例中的近似圆形,也可以采用任何形状,比如近似椭圆形、近似矩形、近似三角形等之类的形状,并且各个形状可以是相同的或不同的。

[0081] 如图3所示,在沿着叶片20A的宽度方向的截面中,突起部50在叶片20A的表面的分布可以与在沿着叶片20A的宽度中心线(图1中的长短交替的虚线)的每个点处的叶片20A的类似截面大致相同或不同。

[0082] 有关叶片20A的表面的突起部50的分布的上述结构不限于在沿着叶片20A的宽度中心线的每个点处沿着叶片20A的宽度方向的截面中的结构的情况,并且还包包括使突起部50在沿着叶片20A的宽度中心线的每个点处的截面中的分布平均化时的结构的情况。

[0083] 根据第一实施方式,当在风力发电机中使用该转子1A时,可以减小在发生层流的使用状况下转子1A旋转时的空气阻力,从而减小噪声并且提高发电效率。类似地,当在水力发电机中使用该转子1A时,可以减小转子1A旋转时的水的阻力,从而提高了发电效率。

[0084] (根据本发明的另一转子的第一实施方式)

[0085] 接下来,参照图4描述根据本发明的另一转子的第一实施方式。注意,省略了与参照图1至图3描述的实施方式相同的部分的结构和效果的描述。相反,本实施方式的描述将着重于不同之处。在图4所示的实施方式中,在垂直于转子1A的旋转中心轴线O的投影面中,叶片20A的前缘31A的从前缘31A的在转子1A的径向方向上的内侧端33A延伸至前缘突出部的顶端32A的部段34A的至少一部分(在所示示例中为全部)相对于第二线段L_{2A}弯曲或屈曲(在所示出的示例中为弯曲)成沿转子1A的旋转方向RD向前凸,其中,第二线段L_{2A}连接前缘31A的在转子1A的径向方向上的内侧端33A和前缘突出部的顶端32A。

[0086] 根据关于前缘31A的在转子1A的径向方向上的内侧的部段34A的这种结构,与部段34A沿第二线段L_{2A}延伸时相比,能够减小叶片20A承受的空气阻力。

[0087] 此外,在本实施方式中,从前缘突出部的顶端32A延伸至叶片20A的前缘31A的在转子1A的径向方向上的外侧端35A的部段37A的至少一部分(在所示示例中为全部)相对于第五线段L_{5A}弯曲或屈曲(在所示出的示例中为弯曲)成沿转子1A的旋转方向RD向后凸,其中,第五线段L_{5A}连接前缘突出部的顶端32A和前缘31A的在转子1A的径向方向上的外侧端35A。

[0088] 与部段37A沿第五线段 L_{5A} 延伸时相比,该结构可以进一步减小空气阻力。

[0089] 在本实施方式中,在垂直于转子1A的旋转中心轴线O的投影面中,叶片20A的前缘31A中的相对于第一线段 L_{1A} 的前缘突出部的顶端32A沿转子1A的径向方向向外定位在距毂部10A的外周边缘的任何距离处。然而,从减小空气阻力的角度来看,相对于第一线段 L_{1A} 的前缘突出部的顶端32A优选地沿转子1A的径向方向向外地定位在距毂部10A的外周边缘为叶片20A的长度 BL_A 的0.35至0.65倍的距离处。

[0090] 当如本实施方式中那样从叶片20A的前缘31A的在转子1A的径向方向上的内侧端33A延伸至前缘突出部的顶端32A的部段34A的至少一部分相对于第二线段 L_{2A} 弯曲或屈曲成沿转子1A的旋转方向向前凸时,从减小空气阻力的角度来看,从后缘41A的在转子1A的径向方向上的内侧端43A延伸至后缘突出部的顶端42A的部段44A的至少一部分(在所示示例中为全部)优选地相对于第四线段 L_{4A} 弯曲或屈曲成沿转子1A的旋转方向RD向前凸。

[0091] 类似地,当如本实施方式中那样从前缘突出部的顶端32A延伸至叶片20A的前缘31A的在转子1A的径向方向上的外侧端35A的部段37A的至少一部分(在图示的示例中为全部)相对于第五线段 L_{5A} 弯曲或屈曲成沿转子1A的旋转方向RD向后凸时,从减小空气阻力的角度来看,从后缘突出部的顶端42A延伸至后缘41A的在转子1A的径向方向上的外侧端45A的部段47A的至少一部分(在所示示例中为全部)优选地相对于第六线段 L_{6A} 弯曲或屈曲成沿转子1A的旋转方向RD向后凸,其中,第六线段 L_{6A} 连接后缘突出部的顶端42A和后缘41A的在转子1A的径向方向上的外侧端45A。

[0092] (根据本发明的转子的第二实施方式)

[0093] 通常,当转子的直径超过5m时,除了涡流之外,当转子旋转时还在叶片的前缘附近产生紊流。这种紊流会引起升力的减小和流体阻力的增大。此外,当转子的直径超过5m时,与转子的直径为5m或更小时相比,叶片的在转子的径向方向上的外侧的顶端部的移动速度趋于增大。因此,如果叶片的顶端部具有如上述第一实施方式中那样的多个分支部,那么顶端部附近的涡流可能增大。第二实施方式解决了这种问题。

[0094] 参照图5描述本发明的第二实施方式。图5是根据本发明的第二实施方式的用于风力或水力发电机的转子1B的主要部分的主视图。注意,省略了与参照图1至图3描述的实施方式相同的部分的结构和效果的描述。相反,本实施方式的描述将着重于不同之处。图5中的转子1B用于风力发电机。转子1B的直径 ϕ_B 是10m,在5m/s至20m/s的风速下的转数是10rpm至50rpm,并且输出是15kW。假设转子1B在具有超过100,000的雷诺数的紊流区域(包括层流与紊流之间的过渡区域)中使用。然而,根据本实施方式的转子1B可以不仅用于风力发电机,而且可以用于水力发电机或其他风力或水力机械。转子1B的直径 ϕ_B 优选地大于5m。从机械强度的角度来看,直径 ϕ_B 还优选地为250m或更小并且更优选地为200m或更小。

[0095] 在图5所示的第二实施方式中,与第一实施方式不同,在垂直于转子1B的旋转中心轴线O的投影面中(即,在图5的平面中),沿着前缘31B设置有多多个延伸部60。延伸部60中的每个延伸部60从叶片20B的前缘31B沿转子1B的旋转方向RD向前延伸并且沿转子1B的旋转方向RD向前逐渐变细。如图所示,在该投影面中,在每个延伸部60的基部(位于转子1B的旋转方向上的后侧)处的边缘邻近前缘31B,即,形成前缘31B的轮廓线的一部分。

[0096] 设置在叶片20B的前缘31B上的这些延伸部60可以抑制叶片20B的前缘31B附近的紊流的发生。因此,可以增大转子1B的升力并且可以减小空气阻力。

[0097] 在垂直于转子1B的旋转中心轴线O的投影面中(即,在图5的平面中),各延伸部60的形状、延伸方向以及延伸长度可以彼此不同。

[0098] 延伸部60的延伸方向和延伸长度指的是连接延伸部60的在转子1B的旋转方向RD上的前顶端与延伸部60的在转子1B的径向方向上的内侧端和外侧端之间的中点的线段的延伸方向和延伸长度。

[0099] 在投影面中,每个延伸部60的形状在图5中是近似三角形的,然而,只要延伸部60沿转子1B的旋转方向RD向前逐渐变细,延伸部60就可以是任何形状,比如近似高斯曲线或近似梯形。在投影面中,延伸部60不限于如图5的示例中那样彼此连接。尽管未示出,但延伸部60可以彼此分开。从减小空气阻力的角度来看,优选的是如图5中所示,不将延伸部60设置在前缘突出部的顶端32B附近或前缘31B的在转子1B的径向方向上的内侧端33B和外侧端35B附近。

[0100] 接下来,图5的第二实施方式中的叶片20B不同于第一实施方式之处在于叶片20B的在转子1B的径向方向上的外侧的顶端部沿转子1B的径向方向向外逐渐变细。

[0101] 与包括如第一实施方式中那样的多个分支部的结构相比,根据叶片20B的在转子1B的径向方向上的外侧的顶端部的这种结构,可以抑制在叶片20B的顶端部附近发生涡流。

[0102] 从使前缘31B附近产生的涡流减弱的角度来看,与第一实施方式不同,第二线段L_{2B}与第五线段L_{5B}之间的角度 θ_{1B} 优选地为160度至175度,其中,第二线段L_{2B}连接前缘31B的在转子1B的径向方向上的内侧端33B和前缘突出部的顶端32B,第五线段L_{5B}连接前缘31B的在转子1B的径向方向上的外侧端35B和前缘突出部的顶端32B。

[0103] 当对后缘41B采用与前缘31B相同的结构时,从减小空气阻力的角度来看,第四线段L_{4B}与第六线段L_{6B}之间的角度 θ_{2B} 优选地为160度至175度,其中,第四线段L_{4B}连接后缘41B的在转子1B的径向方向上的内侧端43B和后缘突出部的顶端42B,并且第六线段L_{6B}连接后缘41B的在转子1B的径向方向上的外侧端45B和后缘突出部的顶端42B。

[0104] 尽管未示出,但从使在叶片20B的表面附近产生的紊流减弱的角度来看,如第一实施方式中那样,在叶片20B的表面上形成有参照图3描述的多个突起部50,从而提供了具有与粗糙皮肤的不平度类似的不平度的叶片20B的表面。突起部50的细节与第一实施方式中相同并且因而在此省略。

[0105] 从减小空气阻力的角度来看,突起部50优选地不设置在上述延伸部60的表面上。

[0106] 根据第二实施方式,当转子1B用于风力发电机时,可以减小在发生紊流的使用状况下转子1B旋转时的空气阻力,从而减小噪声并且提高发电效率。类似地,当转子1B用于水力发电机时,可以减小转子1B旋转时的水的阻力,从而提高了发电效率。

[0107] (根据本发明的另一转子的第二实施方式)

[0108] 如图6所示,在参照图4描述的实施方式中的前缘31A和后缘41A的结构可以在参照图5描述的实施方式的转子1B中使用。

[0109] 实施例

[0110] 接下来,通过如下所述的分析来评价根据本发明的转子和根据本发明的另一转子的性能。比较例的转子1至3和实施例的转子1至8各自具有0.50m的叶片长度BL_A、0.10m的毂部半径r_A以及1.20m的转子直径 Φ_A 。对转子的分析条件如下:5m/s的风速、6.67的叶片的纵横比、1.59Hz的频率、1.20的叶尖速比、25,000的雷诺数以及35度的叶片螺旋角。

[0111] 在垂直于转子的旋转中心轴线的投影面中,叶片的纵横比是叶片长度的平方与叶片面积的比值。

[0112] 频率是叶片每秒的转数。

[0113] 叶尖速比是叶片的在转子的径向方向上的外侧端的速度与风速的比值。

[0114] 叶片的螺旋角是垂直于转子的旋转中心轴线的平面与穿过叶片的前缘和后缘的平面之间的角度。

[0115] 对于每个转子的其他特定分析条件列于表1和表2中。

[0116] [比较例的转子1]

[0117] 在垂直于转子1A的旋转中心轴线0的投影面中,比较例的转子1中的叶片的前缘和后缘各自直线状地延伸,即,沿着连接转子的径向方向上的内侧端与转子的径向方向上的外侧端的第一线段和第三线段延伸。

[0118] [比较例的转子2和3、实施例的转子1至3]

[0119] 在上述投影面中,比较例的转子2和3以及实施例的转子1至3中的每个转子中的叶片的前缘和后缘各自相对于第一线段和第三线段沿转子的旋转方向向前突出。此外,在投影面中,在比较例的转子2和3以及实施例的转子1至3中的每个转子中的叶片的前缘具有图2所示的凹凸形状。换句话说,前缘相对于第二线段弯曲成沿转子的旋转方向向后凸,其中,第二线段连接前缘的在转子的径向方向上的内侧端和前缘突出部的顶端,并且前缘相对于第五线段弯曲成沿转子的旋转方向向前凸,其中,第五线段连接前缘突出部的顶端和前缘的在转子的径向方向上的外侧端。在投影面中,比较例的转子2和3以及实施例的转子1至3中的每个转子中的叶片的后缘沿着第四线段延伸,其中,第四线段连接后缘的在转子的径向方向上的内侧端和后缘突出部的顶端,并且该后缘还沿着第六线段延伸,其中,第六线段连接后缘突出部的顶端和后缘的在转子的径向方向上的外侧端。

[0120] [实施例的转子4至8]

[0121] 在投影面中,实施例的转子4至8中的每个转子中的叶片的前缘和后缘各自相对于第一线段和第三线段沿转子的旋转方向向前突出。此外,在投影面中,实施例的转子4至8中的每个转子中的叶片的前缘具有图4所示的凹凸形状。换句话说,前缘相对于第二线段弯曲成沿转子的旋转方向向前凸并且相对于第五线段弯曲成沿转子的旋转方向向后凸。在投影面中,实施例的转子4至8中的每个转子中的叶片的后缘沿第四线段并且沿第六线段延伸。

[0122] 在表1和表2中,“ θ_{1A} ”表示第二线段与第五线段之间的角度。在投影面中,“ α ”表示穿过转子的旋转中心轴线和前缘的在转子的径向方向上的内侧端的线与穿过转子的旋转中心轴线和前缘的在转子的径向方向上的外侧端的线之间的角度。“前缘突出部的顶端的位置”指示沿着转子的径向方向从轂部的外周表面到叶片的前缘突出部的顶端的距离。该距离表示为叶片长度 BL_A 的倍数。“阻力转矩”是空气动力学阻力转矩的时间平均值。较小的值指示叶片所承受的空气阻力较小并且转子效率较高。“阻力转矩的增大率”指示i)与ii)的比值,其中i)为从每个转子的阻力转矩减去比较例的转子1的阻力转矩得到的值,ii)为比较例的转子1的阻力转矩。较小的增大率(较大的负值)指示叶片所承受的空气阻力较小并且转子效率较高。

[0123] [表1]

[0124]

	比较例的 转子 1	比较例的 转子 2	实施例的 转子 1	实施例的 转子 2	实施例的 转子 3	比较例的 转子 3
θ_{1A} [度]	-	150	150	150	150	150
α [度]	17.1	20.9	19.6	17.1	14.3	13.1
前缘突出 部的顶端 的位置	-	$0.35 BL_A$	$0.40 BL_A$	$0.50 BL_A$	$0.60 BL_A$	$0.65 BL_A$
前缘的形 状	直线状	凹凸状	凹凸状	凹凸状	凹凸状	凹凸状
阻力转矩 [牛·米]	0.0976	0.1057	0.0882	0.0847	0.0927	0.1120
阻力转矩 的增大率 [%]	0	8.3	-9.6	-13.3	-5.0	14.7

[0125] [表2]

[0126]

	比较例的 转子 1	实施例的 转子 4	实施例的 转子 5	实施例的 转子 6	实施例的 转子 7	实施例的 转子 8
θ_{1A} [度]	-	150	150	150	150	150
α [度]	17.1	20.9	19.6	17.1	14.3	13.1

[0127]

前缘突出部的顶端的位置	-	0.35 BL _A	0.40 BL _A	0.50 BL _A	0.60 BL _A	0.65 BL _A
前缘的形状	直线状	凸凹状	凸凹状	凸凹状	凸凹状	凸凹状
阻力转矩 [牛·米]	0.0976	0.0720	0.0762	0.0765	0.0777	0.0786
阻力转矩的增大率 [%]	0	-26.3	-21.9	-21.6	-20.4	-19.5

[0128] 从表1中可以清楚地看出,在前缘突出部的顶端为0.40BL_A至0.60BL_A的实施例的转子1至3中,阻力转矩比较例的转子1至3中的每个转子的阻力转矩更小。因而,减小了叶片承受的空气阻力,并且增大了转子效率。

[0129] 从表2中可以清楚地看出,不管前缘突出部的顶端的位置如何,在前缘具有凹凸形状的实施例的转子4至8中,阻力转矩比较例的转子1的阻力转矩更小。因而,减小了叶片承受的空气阻力,并且增大了转子效率。

[0130] 因此,显而易见的是,根据本发明的转子,可以减小叶片承受的空气阻力,并且可以提高效率。

[0131] 工业实用性

[0132] 根据本发明的转子可以在使用流体力比如风力、水力等作为原动力源的风力或水力机械中使用,比如在使用水平轴转子等的风力发电机或水力发电机中使用。

[0133] 附图标记列表

[0134] 1A,1B:转子

[0135] 10A,10B:毂部

[0136] 20A,20B:叶片

[0137] 21A,21B:叶片的根端

[0138] 31A,31B:前缘

[0139] 32A,32B:前缘突出部的顶端

[0140] 33A,33B:前缘的在转子的径向方向上的内侧端

[0141] 34A,34B:前缘的从前缘的在转子的径向方向上的内侧端延伸至前缘突出部的顶端的部段

[0142] 35A,35B:前缘的在转子的径向方向上的外侧端

[0143] 36A:叶片的前缘的沿着分支部的部分

[0144] 37A,37B:前缘的从前缘突出部的顶端延伸至前缘的在转子的径向方向上的外侧

端的部段

- [0145] 41A,41B:后缘
- [0146] 42A,42B:后缘突出部的顶端
- [0147] 43A,43B:后缘的在转子的径向方向上的内侧端
- [0148] 44A,44B:后缘的从后缘的在转子的径向方向上的内侧端延伸至后缘突出部的顶端

端的部段

- [0149] 45A,45B:后缘的在转子的径向方向上的外侧端
- [0150] 46A:叶片的后缘的沿着分支部的部分
- [0151] 47A,47B:后缘的从后缘突出部的顶端延伸至后缘的在转子的径向方向上的外侧端

端的部段

- [0152] 50:突起部
- [0153] 51A:分支部
- [0154] 60:延伸部
- [0155] BL_A, BL_B :叶片长度
- [0156] L_{1A}, L_{1B} :第一线段
- [0157] L_{2A}, L_{2B} :第二线段
- [0158] L_{3A}, L_{3B} :第三线段
- [0159] L_{4A}, L_{4B} :第四线段
- [0160] L_{5A}, L_{5B} :第五线段
- [0161] L_{6A}, L_{6B} :第六线段
- [0162] O:转子的旋转中心轴线
- [0163] R,S:分支开始位置
- [0164] RD:旋转方向
- [0165] d:突起部的直径
- [0166] h:突起部的高度
- [0167] l_1, l_2 :切线
- [0168] r_A, r_B :毂部的半径
- [0169] ϕ_A, ϕ_B :转子的直径
- [0170] $\theta_{1A}, \theta_{2A}, \theta_{1B}, \theta_{2B}$:角度

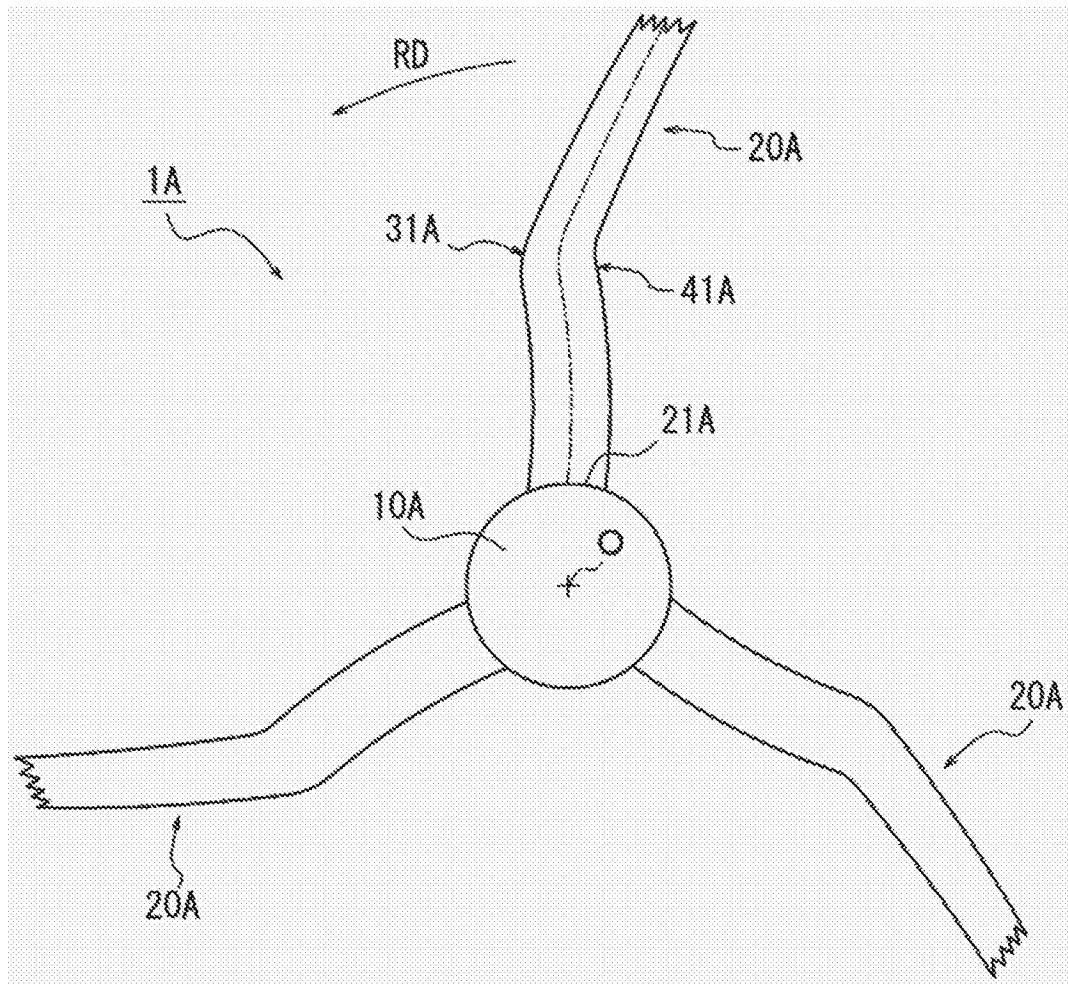


图1

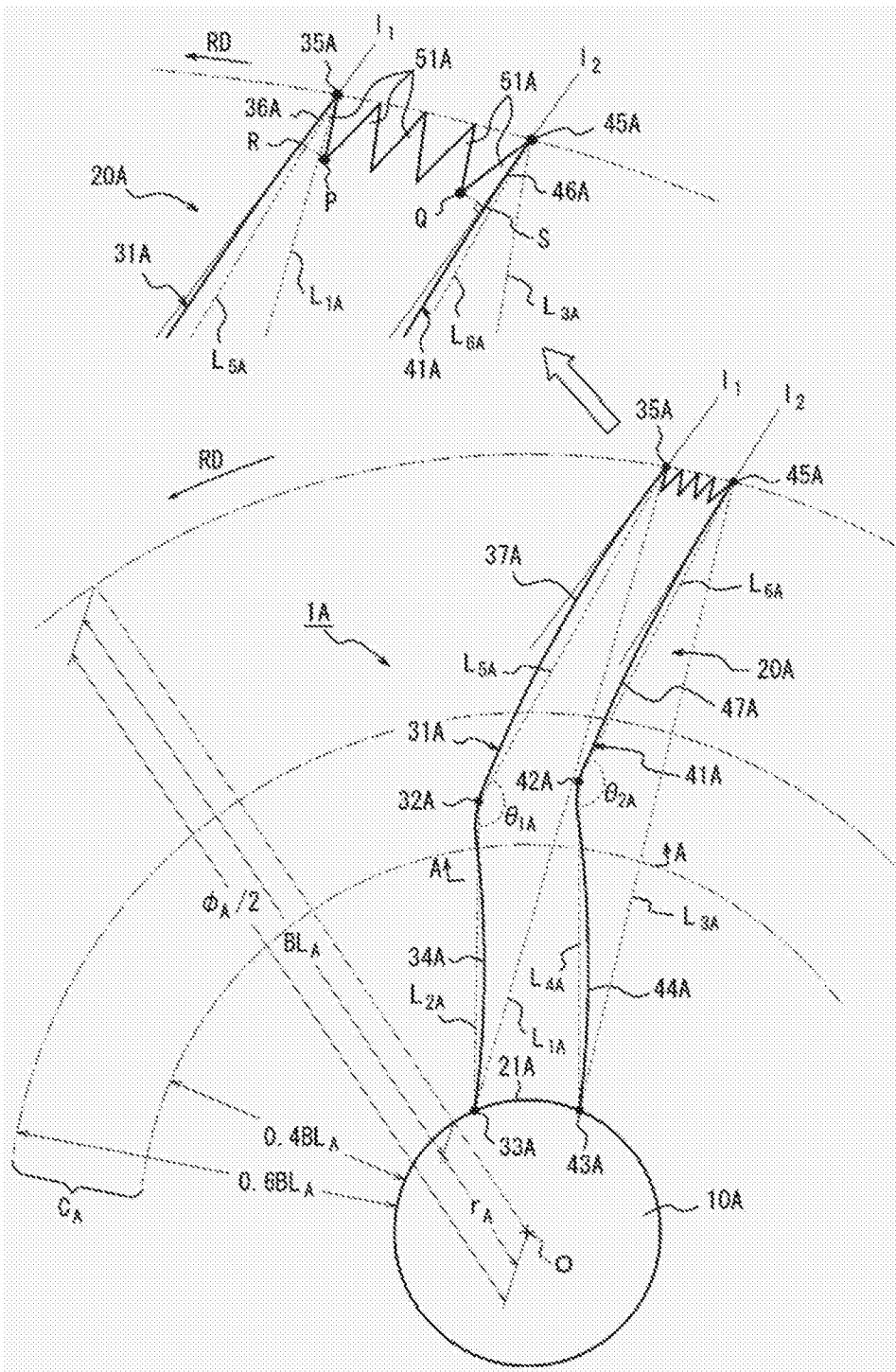


图2

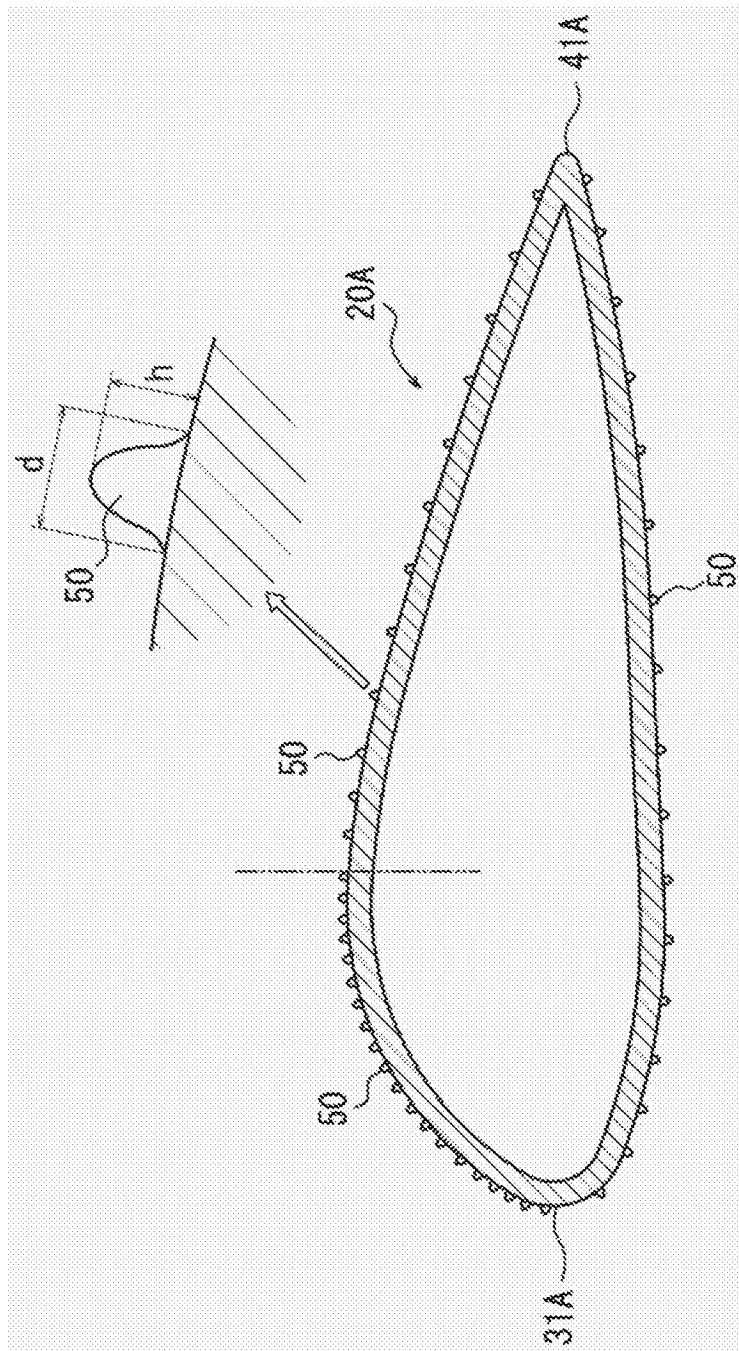


图3

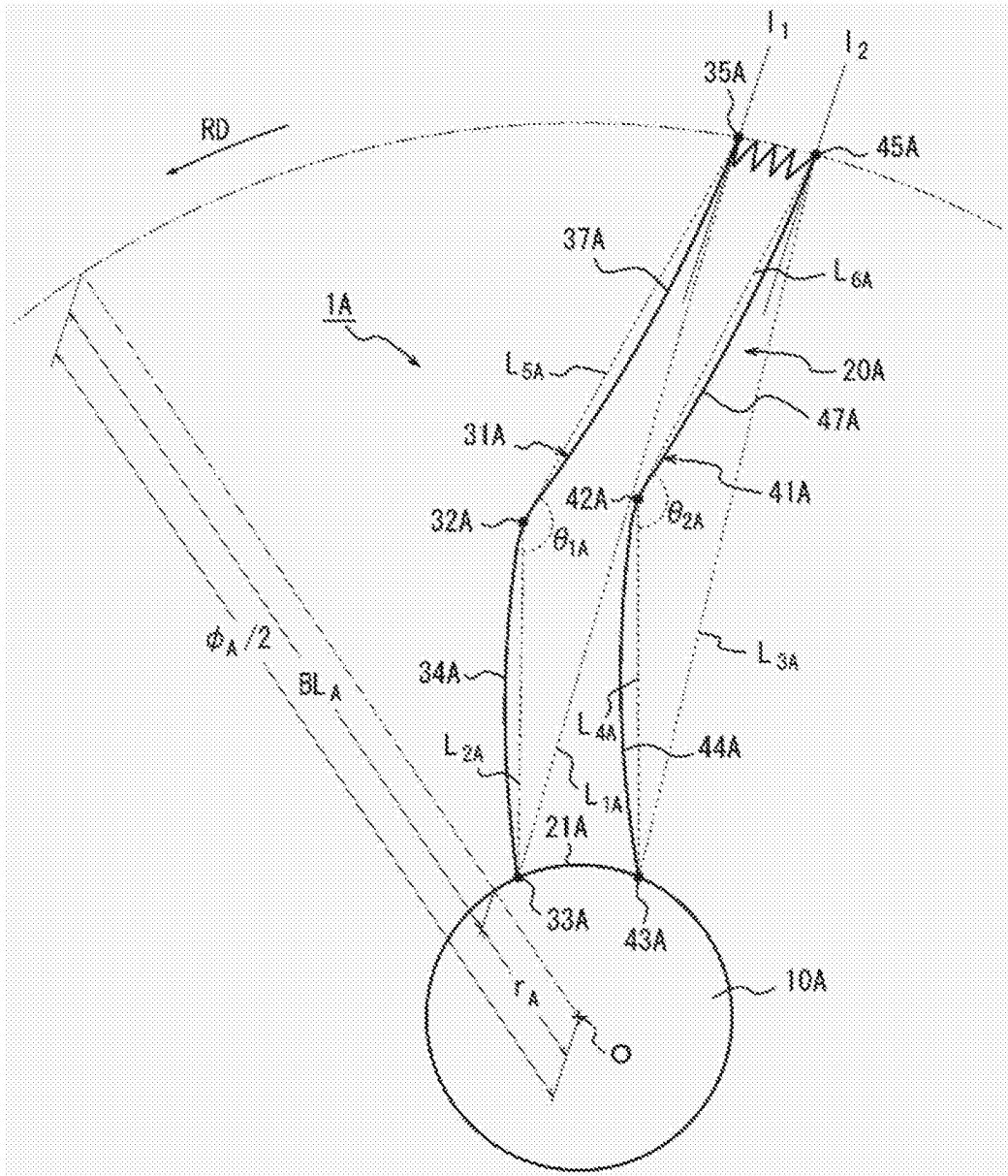


图4

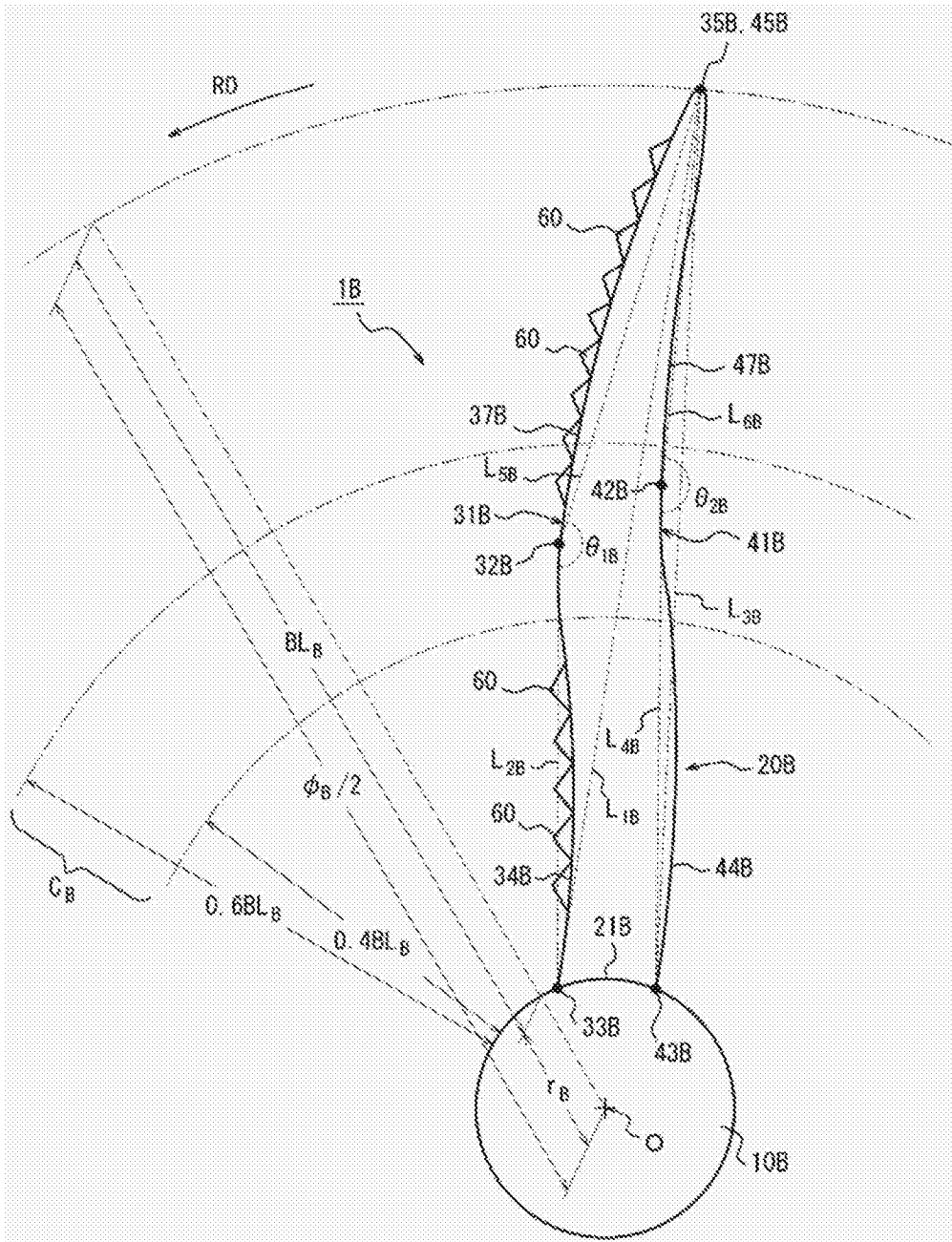


图5

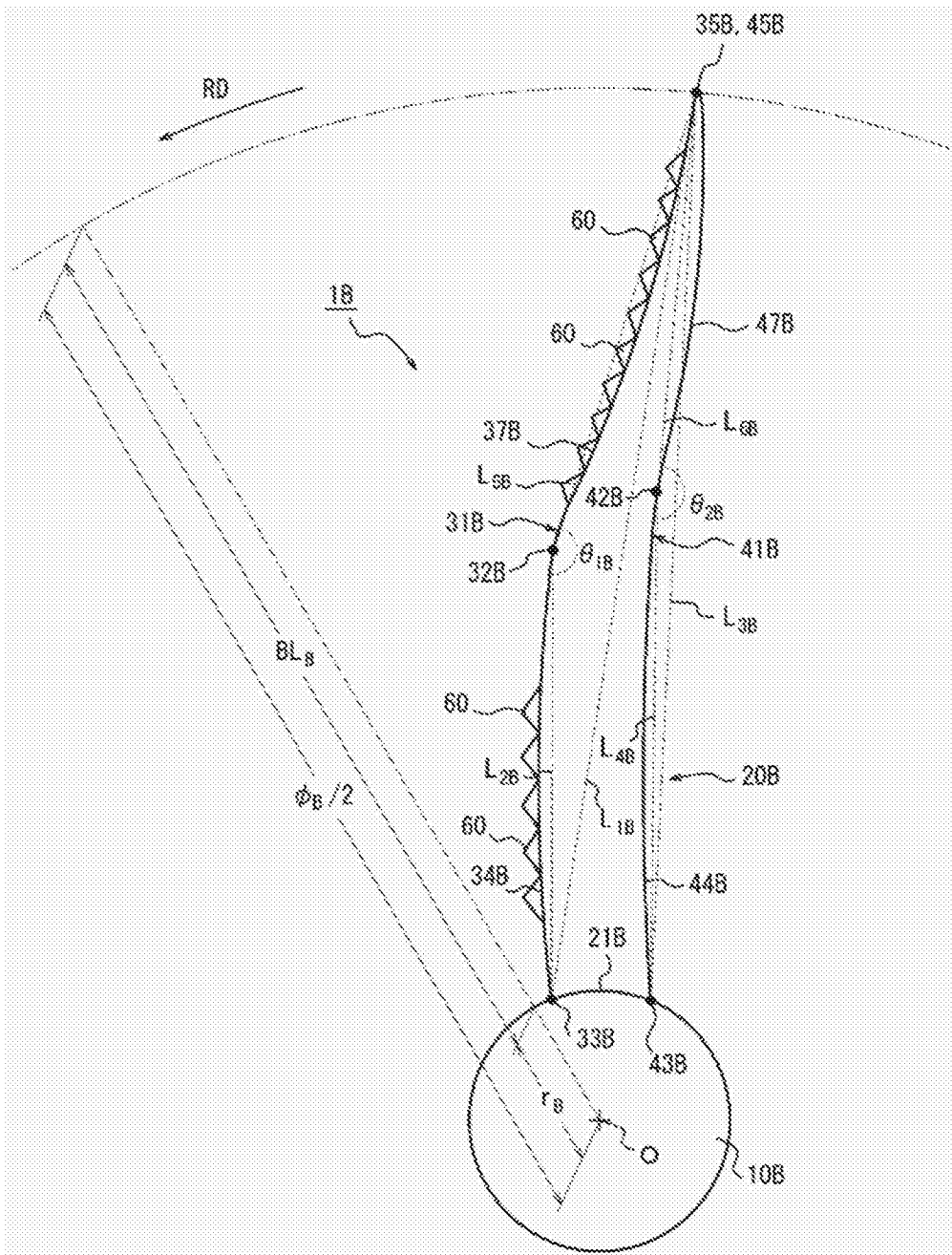


图6