



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111503021 B

(45) 授权公告日 2021.07.16

(21) 申请号 202010017324.1

(51) Int.Cl.

(22) 申请日 2020.01.08

F04D 19/04 (2006.01)

F04D 29/38 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 111503021 A

审查员 常轩

(43) 申请公布日 2020.08.07

(30) 优先权数据

2019-014470 2019.01.30 JP

(73) 专利权人 株式会社岛津制作所

地址 日本京都府京都市中京区西之京桑原町1番地

(72) 发明人 二木敬一

(74) 专利代理机构 北京派特恩知识产权代理有

限公司 11270

代理人 薛恒 王琳

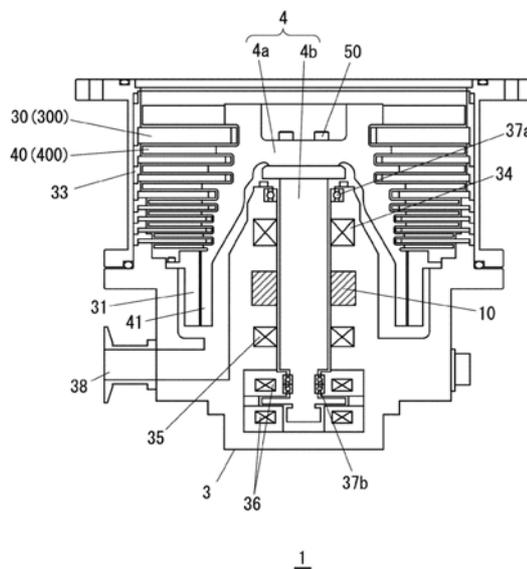
权利要求书1页 说明书13页 附图9页

(54) 发明名称

涡轮分子泵

(57) 摘要

本发明提供一种涡轮分子泵,其能够实现分子量小的氢气等的排气性能的提高。在涡轮分子泵的转子叶片(40)及定子叶片(30)的每一个,在圆周方向设置有多个扭曲叶片形状的浆叶(300、400),所述浆叶形成为放射状且内径侧叶片角度(θ_{in})与外径侧叶片角度(θ_{out})不同。关于叶片间距离(S)与浆叶长(b)的比即无因次参数(X_{in})、无因次参数(X_c)、无因次参数(X_{out}),多层转子叶片(40)及多层定子叶片(30)的至少一者构成为满足以下条件中的任一个:第一条件“ $X_{out} < X_c$ 且 $X_{in} < X_c$ ”、第二条件“ $\alpha \cdot X_c X_{in} > X_c > X_{out}$,其中 $\alpha = 1.04$ ”以及第三条件“ $X_{in} < X_c < X_{out} \beta \cdot X_c$,其中 $\beta = 1.04$ ”。



CN 111503021 B

1. 一种涡轮分子泵,从泵吸气口侧起,以转子叶片、定子叶片的顺序交替地配置有多层转子叶片及多层定子叶片,且

在所述转子叶片及所述定子叶片的每一个,在圆周方向设置有多个扭曲叶片形状的浆叶,所述浆叶形成为放射状且内径侧叶片角度与外径侧叶片角度不同,其中

关于所述浆叶与在圆周方向邻接的其它浆叶的圆周方向间隔即叶片间距离 S 、和所述浆叶的倾斜面的宽度方向尺寸即浆叶长 b 的比 $X=S/b$,当将所述浆叶的外径侧端部的所述比 X 的值设为 X_{out} ,将所述浆叶的内径侧端部的所述比 X 的值设为 X_{in} ,且将所述外径侧端部与所述内径侧端部的中间位置的所述比 X 的值设为 X_c 时,

所述多层转子叶片及所述多层定子叶片的至少一者构成为满足以下条件中的任一个:第一条件“ $X_{out} < X_c$ 且 $X_{in} < X_c$ ”、第二条件“ $\alpha \cdot X_c \cdot X_{in} > X_c > X_{out}$,其中 $\alpha=1.04$ ”以及第三条件“ $X_{in} < X_c < X_{out} \beta \cdot X_c$,其中 $\beta=1.04$ ”。

2. 根据权利要求1所述的涡轮分子泵,其中

所述多层定子叶片构成为满足以下六个条件中的任一个,所述六个条件除了包括所述第一条件、所述第二条件及所述第三条件以外,还包括第四条件“ $X_{in} < X_{out} < X_c$ ”、第五条件“ $X_{in} \cdot X_{out} < X_c$ ”以及第六条件“ $X_{out} \cdot X_{in} < X_c$ ”。

3. 一种涡轮分子泵,从泵吸气口侧起,以转子叶片、定子叶片的顺序交替地配置有多层转子叶片及多层定子叶片,且

在所述转子叶片及所述定子叶片的每一个,在圆周方向设置有多个扭曲叶片形状的浆叶,所述浆叶形成为放射状且内径侧叶片角度与外径侧叶片角度不同;其中

关于所述浆叶与在圆周方向邻接的其它浆叶的圆周方向间隔即叶片间距离 S 、和所述浆叶的倾斜面的宽度方向尺寸即浆叶长 b 的比 $X=S/b$,当将所述浆叶的外径侧端部的所述比 X 的值设为 X_{out} ,将所述浆叶的内径侧端部的所述比 X 的值设为 X_{in} ,且将所述外径侧端部与所述内径侧端部的中间位置的所述比 X 的值设为 X_c 时,

所述多层转子叶片及所述多层定子叶片包括:构成吸气段的转子叶片及定子叶片、构成中间段的转子叶片及定子叶片、以及构成排气段的转子叶片及定子叶片,

所述多层定子叶片构成为:

所述吸气段满足第一条件“ $X_{in} < X_c < X_{out}$ ”,

所述中间段满足第二条件“ $X_{in} < X_{out} < X_c$ ”,

所述排气段满足第三条件“ $\alpha \cdot X_c \cdot X_{in} > X_c > X_{out}$,其中 $\alpha=1.04$ ”、第四条件“ $X_{in} \cdot X_{out} < X_c$ ”以及第五条件“ $X_{out} \cdot X_{in} < X_c$ ”中的任一个。

涡轮分子泵

技术领域

[0001] 本发明涉及一种涡轮分子泵(turbo-molecular pump)。

背景技术

[0002] 涡轮分子泵包括多层定子叶片(stator vane)、以及形成有多层转子叶片(rotor vane)的旋转体。在定子叶片及转子叶片,在圆周方向设置有多个形成为放射状的浆叶(blade)。各浆叶相对于水平方向而倾斜,其倾斜角度称为叶片角度。

[0003] 作为浆叶的形状,已知叶片角度从内径侧至外径侧为一定的平板叶片,但专利文献1所记载的涡轮分子泵中,出于获得高效率的排气性能的目的,而使浆叶的叶片角度在内径部为最大且随着成为外径而连续或断续地减小。

[0004] [现有技术文献]

[0005] [专利文献]

[0006] [专利文献1]日本专利特开2000-110771号公报

发明内容

[0007] [发明所要解决的问题]

[0008] 然而,以前,为了在氩气或氮气中获得充分的排气性能而进行最优设计,因此存在对于分子量小的氢气等,无法获得充分的排气性能的问题。尤其在高温下的条件,进而在高温下大流量及高背压的条件下,存在关于氢气等的排气性能显著下降的缺点。

[0009] [解决问题的技术手段]

[0010] 本发明的优选形态的涡轮分子泵从泵吸气口侧起,以转子叶片、定子叶片的顺序交替地配置有多层转子叶片及多层定子叶片,且在所述转子叶片及所述定子叶片的每一个,在圆周方向设置有多个扭曲叶片(twisted vane)形状的浆叶,所述浆叶形成为放射状且内径侧叶片角度与外径侧叶片角度不同,所述涡轮分子泵中,关于所述浆叶与在圆周方向邻接的其它浆叶的圆周方向间隔即叶片间距离 S 、和所述浆叶的倾斜面的宽度方向尺寸即浆叶长 b 的比 $X=S/b$,当将所述浆叶的外径侧端部的所述比 X 的值设为 X_{out} ,将所述浆叶的内径侧端部的所述比 X 的值设为 X_{in} ,且将所述外径侧端部与所述内径侧端部的中间位置的所述比 X 的值设为 X_c 时,所述多层转子叶片及所述多层定子叶片的至少一者构成为满足以下条件中的任一个:第一条条件“ $X_{out} < X_c$ 且 $X_{in} < X_c$ ”、第二条条件“ $\alpha \cdot X_c < X_{in} < X_c < X_{out}$ ”,其中 $\alpha=1.04$ ”以及第三条条件“ $X_{in} < X_c < X_{out} \beta \cdot X_c$,其中 $\beta=1.04$ ”。

[0011] 在更优选的形态中,所述多层定子叶片构成为满足以下六个条件中的任一个,所述六个条件除了包括所述第一~第三条条件以外,还包括第四条条件“ $X_{in} < X_{out} < X_c$ ”、第五条条件“ $X_{in} < X_{out} < X_c$ ”以及第六条条件“ $X_{out} < X_{in} < X_c$ ”。

[0012] 本发明的优选形态的涡轮分子泵从泵吸气口侧起,以转子叶片、定子叶片的顺序交替地配置有多层转子叶片及多层定子叶片,且在所述转子叶片及所述定子叶片的每一个,在圆周方向设置有多个扭曲叶片形状的浆叶,所述浆叶形成为放射状且内径侧叶片角

度与外径侧叶片角度不同,所述涡轮分子泵中,关于所述浆叶与在圆周方向邻接的其它浆叶的圆周方向间隔即叶片间距离 S 、和所述浆叶的倾斜面的宽度方向尺寸即浆叶长 b 的比 $X = S/b$,当将所述浆叶的外径侧端部的所述比 X 的值设为 X_{out} ,将所述浆叶的内径侧端部的所述比 X 的值设为 X_{in} ,且将所述外径侧端部与所述内径侧端部的中间位置的所述比 X 的值设为 X_c 时,所述多层转子叶片及所述多层定子叶片包括:构成吸气段的转子叶片及定子叶片、构成中间段的转子叶片及定子叶片、以及构成排气段的转子叶片及定子叶片,所述多层定子叶片构成为:所述吸气段满足第一条条件“ $X_{in} < X_c < X_{out}$ ”,所述中间段满足第二条条件“ $X_{in} < X_{out} < X_c$ ”,所述排气段满足第三条条件“ $\alpha \cdot X_c \cdot X_{in} > X_c > X_{out}$,其中 $\alpha = 1.04$ ”、第四条条件“ $X_{in} \cdot X_{out} < X_c$ ”以及第五条条件“ $X_{out} \cdot X_{in} < X_c$ ”中的任一个。

[0013] [发明的效果]

[0014] 根据本发明,能够实现对分子量小的氢气等的排气性能的提高。

附图说明

[0015] 图1是表示涡轮分子泵的一例的剖面图。

[0016] 图2是从泵吸气口侧来看第一层转子叶片的图。

[0017] 图3是对叶片设计参数进行说明的示意图。

[0018] 图4(a)及图4(b)是表示排气性的计算结果的一部分的图。

[0019] 图5是表示将叶片枚数设为38枚,使外径侧的叶片角度 θ_{out} 以及内径侧的叶片角度 θ_{in} 变化的情况下的性能提高率的图。

[0020] 图6(a)及图6(b)是表示背压5Pa下的基准叶片及最优解(optimum solution)的体积流量 Q_v 与压力比 P_r 的关系的图。

[0021] 图7(a)及图7(b)是表示背压2Pa下的基准叶片及最优解的体积流量 Q_v 与压力比 P_r 的关系的图。

[0022] 图8是表示与最优解、最优解候选A及最优解候选B以及准候选F、准候选G有关的无因次参数 X 的变化的图。

[0023] 图9是表示与最优解候选C、最优解候选D及最优解候选E以及准候选H有关的无因次参数 X 的变化的图。

[0024] 图10是表示与准候选I、准候选J及准候选K有关的无因次参数 X 的变化的图。

[0025] [符号的说明]

[0026] 1:涡轮分子泵

[0027] 4a:泵转子

[0028] 30:定子叶片

[0029] 40:转子叶片

[0030] 300、400:浆叶

[0031] b:浆叶长

[0032] S:空间

[0033] X、 X_{in} 、 X_c 、 X_{out} :无因次参数

[0034] θ 、 θ_{in} 、 θ_{out} :叶片角度

具体实施方式

[0035] 以下,参照图,对用以实施本发明的形态加以说明。

[0036] -第一实施方式-

[0037] 图1是表示涡轮分子泵1的一例的剖面图。此外,本实施方式中,以磁轴承(magnetic bearing)式的涡轮分子泵为例进行说明,但本发明并不限于磁轴承式,可应用多种涡轮分子泵。涡轮分子泵1包括:包含定子叶片30及转子叶片40的涡轮泵段、以及包含圆筒部41及定子31的螺纹槽泵(thread groove pump)段。

[0038] 图1所示的例中,涡轮泵段包括8层的定子叶片30及9层的转子叶片40。螺纹槽泵段中,在定子31或圆筒部41形成有螺纹槽。转子叶片40及圆筒部41形成于泵转子4a。泵转子4a利用多个螺栓50而紧固于作为转子轴的轴(shaft)4b。通过将泵转子4a与轴4b以螺栓50来紧固为一体,从而形成旋转体4。

[0039] 相对于在泵转子4a的轴方向配置的多层转子叶片40,交替地配置有多层定子叶片30。各定子叶片30经由间隔环(spacer ring)33而层叠于泵轴方向。轴4b由设置于基座3的磁轴承34、磁轴承35、磁轴承36来非接触支撑。详细的图示省略,但各磁轴承34~磁轴承36包括电磁石及位移传感器(displacement sensor)。利用位移传感器来检测轴4b的浮起位置。

[0040] 将泵转子4a与轴4b进行螺栓紧固的旋转体4通过马达10而旋转驱动。当磁轴承不运行时,轴4b由应急用的机械轴承(mechanical bearing)37a、机械轴承37b所支撑。若利用马达10来使旋转体4高速旋转,则泵吸气口侧的气体通过涡轮泵段(转子叶片40、定子叶片30)以及螺纹槽泵段(圆筒部41、定子31)而依次排气,从排气口(exhaust port)38排出。在排气口38连接后泵(back pump)。

[0041] 图2是表示转子叶片40的叶片形状的一例的示意图,是从泵吸气口侧来看第一层转子叶片40的图。转子叶片40的每一个包括从吊钟形状的泵转子4a的外周面形成放射状的多个浆叶400。通常,浆叶400的形状有:叶片角度从浆叶400的内径侧至外径侧为一定的平板叶片、叶片角度根据浆叶400的直径方向位置而不同的扭曲叶片、浆叶宽度随着接近前端而变细的尖头叶片等。本实施方式中,采用扭曲叶片。

[0042] 点划线401所表示的线是通过浆叶400的前端的圆,点划线402所表示的线是通过浆叶400的内径侧(根部附近)的圆。另外,点划线403所表示的线是通过浆叶400的前端与内径侧的中间位置(平均位置)的圆。此外,图示虽省略,但多层定子叶片30的每一个也与转子叶片40的情况同样,包括形成为放射状的多个浆叶300。

[0043] 图3是对定子叶片30及转子叶片40的叶片设计参数进行说明的示意图,是表示设置于转子叶片40的邻接的两个浆叶400的圆周方向剖面(例如沿着图2的点划线403的剖面图)。

[0044] 叶片设计参数有:浆叶400的圆周方向的间隔(叶片间距离)即空间S、浆叶400的斜面的从吸气侧端部至排气侧端部的长度(以下称为浆叶长)b、浆叶400的转子轴方向的高度即叶片高度H、浆叶400的厚度即叶片厚度t、浆叶400相对于转子轴正交面的倾斜角度即叶片角度 θ 、以及浆叶400的转子轴方向端面的圆周方向宽度即叶片上表面宽度W。关于这些叶片设计参数,对排气性能影响最大的参数为空间S与浆叶长b的比,即无因次参数 $X=S/b$ (也称为间隔线比(spacing cord ratio))。

[0045] 定子叶片30及转子叶片40所使用的叶片形状有如上所述的平板叶片、尖头叶片及扭曲叶片等。在平板叶片的情况下,设置为放射状的浆叶的浆叶长 b 从内径侧至外径侧设定为一定。因此,图2的沿着点划线402的剖面的内径侧的无因次参数 X_{in} 、沿着点划线403的剖面的平均位置(内径侧与外径侧的中间位置)的无因次参数 X_c 以及沿着点划线401的剖面的外径侧的无因次参数 X_{out} 成为如条件(1)那样的大小关系。

[0046] $X_{in} < X_c < X_{out}$ ……条件(1)

[0047] 通常,涡轮分子泵中,以氩气或氮气的排气性能最优化(最大化)的方式来设定叶片设计参数。在此种情况下,在内径侧与外径侧的叶片角度不同的扭曲叶片中,也如所述条件(1)那样设定为:随着从浆叶的内径侧接近外径侧,无因次参数 $X=S/b$ 增大。

[0048] 然而,以氩气或氮气的排气性能最优化的方式来设定的涡轮分子泵中,存在对氢气等分子量小的气体无法获得充分的排气性能的问题。尤其在高温下的条件,进而在高温下大流量及高背压的条件下,存在对氢气等的排气性能显著下降的问题。

[0049] 本实施方式中,除了所述条件(1)以外,还将定子叶片30及转子叶片40的无因次参数 X 设定为以下所说明的条件,由此能够更提高氢气等分子量小的气体的排气性能。以下,作为分子量小的气体,以氢气为例进行说明。

[0050] 本实施方式的定子叶片30及转子叶片40的最优化时,首先,以氩气或氮气的排气性能最优化的方式来设定定子叶片及转子叶片的叶片设计参数。以下,将所述经设定的定子叶片及转子叶片称为基准叶片。然后,变更基准叶片的叶片设计参数,以氢气的排气性能提高的方式进行叶片设计参数的最优化。即,以基准叶片为基座,以氢气排气性能提高的方式实现叶片设计参数的最优化。

[0051] 因此,除了叶片设计参数以外,对排气性能造成影响的以下构成设为与基准叶片的涡轮分子泵相同的条件。即,关于转子转速、转子外径、涡轮泵段的整体高度、转子叶片层数及定子叶片层数,设为与作为比较对象的基准叶片的涡轮分子泵相同的条件。另外,对叶片的强度产生影响的叶片厚度 t 也设为同一条件。

[0052] 在此种前提条件下,若还考虑到参数间存在 $H/b = \sin\theta$ 、 $t/W = \sin\theta$ 等的关系(参照图3),则无因次参数 $X=S/b$ 的变更是通过使叶片角度 θ 及叶片枚数 n 变化而进行。

[0053] (最优条件的导出)

[0054] 图1所示的涡轮分子泵1中,涡轮泵段包括8层的定子叶片30及9层的转子叶片40。涡轮泵段成为从吸气口侧起包括吸气段、中间段及排气段的构成,每一段的叶片设计参数不同。具体而言,从吸气口侧起数第1层~第2层(转子叶片40的第1层、定子叶片30的第1层)为吸气段,第3层~第6层(转子叶片40的第2层~第3层、定子叶片30的第2层~第3层)为中间段,第7层~第17层(转子叶片40的第4层~第9层、定子叶片30的第4层~第8层)为排气段。此外,实施例的基准叶片的泵转子的转子外径为304mm,相当于VG300(日本工业标准(Japanese Industrial Standards, JIS)规格)的涡轮分子泵的泵转子。

[0055] 表1(a)及表1(b)是表示比较例及实施例的叶片角度与叶片枚数的一例。

[0056] 表1(a)基准叶片(氩最优)

	叶片种类	叶片角度 (deg) (内径侧)	叶片角度 (deg) (外径侧)	叶片枚数
[0057]	吸气段	50	30	16
	中间段	50	30	36
	排气段	20	15	34

[0058] 表1 (b) 实施方式的叶片 (氢最优)

	叶片种类	叶片角度 (deg) (内径侧)	叶片角度 (deg) (外径侧)	叶片枚数
[0059]	吸气段	43	23	14
	中间段	50	30	38
	排气段	23	15	38

[0060] 表1 (a) 表示在以氩气的排气性能最优化的方式设定叶片设计参数的基准叶片的情况下, 定子叶片30及转子叶片40的叶片角度 (内径侧叶片角度、外径侧叶片角度) 与叶片枚数 (浆叶的枚数) 的一例。叶片形状为扭曲叶片, 内径侧的叶片角度设定为大于外径侧的叶片角度。此外, 叶片角度 θ 是以沿着直径方向而以一定的比例变化的方式来设定。吸气段、中间段及排气段的叶片角度及叶片枚数设定为与各段相应的值。

[0061] 例如, 构成中间段的转子叶片40的第2层~第3层以及定子叶片30的第2层~第3层的叶片枚数为36枚, 内径侧的叶片角度 θ_{in} 设定为50度 (deg), 外径侧的叶片角度 θ_{out} 设定为30deg。表1 (a) 中虽未记载, 但如上所述, 叶片角度 θ 是以沿着直径方向而以一定的比例变化的方式来设定, 因此内径侧与外径侧的中间位置即平均位置的叶片角度 θ 设定为40deg ($= (50deg+30deg)/2$)。

[0062] 另一方面, 表1 (b) 示出本实施方式的扭曲叶片的叶片角度与叶片枚数。在吸气段中, 将叶片枚数从基准叶片的16枚减少为14枚, 使内径侧及外径侧的两者的叶片角度较基准叶片的情况而言更小。在中间段中, 将叶片枚数从36枚增加至38枚, 且叶片角度设为与基准叶片相同。在排气段中, 使叶片枚数从34枚增加至38枚, 并且使内径侧的叶片角度大于基准叶片。外径侧的叶片角度与基准叶片相同。

[0063] 表2是表示实施例的无因次参数 (dimensionless parameter) X_{in} 、无因次参数 X_c 、无因次参数 X_{out} 的一例的表格。

[0064] 表2

	叶片种类	内径侧 X_{in}	平均 X_c	外径侧 X_{out}
[0065]	吸气段	0.925	1.25	1.24
	中间段	0.960	1.18	1.19
	排气段	1.06	1.12	1.04

[0066] 表2示出将叶片角度及叶片枚数设定为如表1 (b) 所述的情况下的无因次参数 X_{in} 、无因次参数 X_c 、无因次参数 X_{out} 。如表1 (b) 所示, 在吸气段中, 以通过将叶片枚数从16枚减少为14枚而使空间S增大的方式来调整, 且以通过减小叶片角度 θ 而使浆叶长b变长的方式来调整。由此, 使吸气段的无因次参数 X_{in} 、无因次参数 X_c 、无因次参数 X_{out} 的值变化为与表

1 (a) 的吸气段不同的值。

[0067] 在中间段中,虽将叶片枚数从36枚增加至38枚,但叶片角度 θ 设定为与表1 (a) 的情况相同,因此随着叶片枚数的增加,空间S减小。其结果为,无因次参数 X_{in} 、无因次参数 X_c 、无因次参数 X_{out} 的值较表1 (a) 的中间段的情况而言减少。

[0068] 在排气段中,如表1 (b) 所示,使叶片枚数从34枚增加至38枚,并且使内径侧的叶片角度 θ_{in} 较表1 (a) 的情况而言增大。在此情况下,在外径侧中,浆叶长b并未变化,空间S减小。因此,无因次参数 $X_{out} (=S/b)$ 较表1 (a) 的情况而言减小。在内径侧中,由于叶片角度 θ_{in} 从20deg增大至23deg,故而空间S减小,并且浆叶长b也减小。

[0069] 表1 (b) 所示的各段的叶片设计参数(叶片枚数及叶片角度)是以表1 (a) 所示的对应的段的叶片设计参数为基准来变更叶片角度及叶片枚数,通过探索排气性能较基准叶片(表1 (a) 的情况)的排气性能而言提高的最优解而获得。以下,作为一例,对排气段的定子叶片30的叶片设计参数的探索结果进行说明。

[0070] 在通过模拟,对由叶片设计参数的变更所引起的定子叶片30单层的排气性能进行评估的情况下,使用包含经变更的定子叶片30、配置于所述定子叶片30的吸气侧的转子叶片40以及配置于排气侧的转子叶片40的三段来计算排气性能。配置于定子叶片30的吸气侧及排气侧的转子叶片40的叶片设计参数中使用作为基准叶片的表1 (a) 所记载的叶片设计参数。由此,能够对将定子叶片30最优化的情况下的相对于基准叶片而言的性能提高进行评估。此外,高温条件下的叶片温度的标准为:定子叶片温度为80℃,转子叶片温度为100℃。因此,在将排气性进行模拟计算的情况下,在定子叶片30的情况下以温度=80℃进行计算,在转子叶片的情况下以温度=100℃进行计算。

[0071] 图4 (a) 及图4 (b) 是表示与排气段的定子叶片有关的排气性能的计算结果的一部分的图,纵轴为压力比 P_r ,横轴为背压[Pa]。排气性能是使用排气侧压力与吸气侧压力的比(排气侧压力 P_{out} /吸气侧压力 P_{in})即压力比 P_r 来进行评估。此外,所排出的氢气的流量在300sccm(标准cc/min,1atm)下设为一定,关于背压(三段的排气侧的压力),在所假定的运行压力范围2Pa~8Pa中的3点(3Pa、5Pa、8Pa)求出排气性能。

[0072] 在图4 (a) 及图4 (b) 中,将各线的叶片设计参数 θ_{out} 、叶片设计参数 θ_{in} 以及叶片枚数表示为(15-20、34枚)。(15-20、34枚)表示:外径侧的叶片角度 θ_{out} 为15deg,内径侧的叶片角度 θ_{in} 为20deg,叶片枚数为34枚。线(15-20、34枚)表示表1 (a) 的排气段所记载的叶片设计参数(叶片角度及叶片枚数)的情况下的压力比 P_r ,此线成为探索最优解时的基准。

[0073] 图4 (a) 中示出:基准叶片的线(15-20、34枚)以及变更叶片设计参数的线(14-21、34枚)、线(14-24、38枚)、线(15-20、36枚)、线(16-23、38枚)及线(14-23、38枚)。图4 (b) 中,示出基准叶片的线(15-20、34枚)以及变更叶片设计参数的线(16-24、38枚)、线(15-24、38枚)及线(15-23、38枚)。

[0074] 图5表示将叶片枚数设为38枚,使外径侧的叶片角度 θ_{out} 及内径侧的叶片角度 θ_{in} 变化为各种值的情况下的性能提高率。所谓性能提高率,是指与基准叶片的线(15-20、34枚)相比较,压力比 P_r 提高了多少百分比。图5中,若将叶片角度 θ_{out} 及叶片角度 θ_{in} 的情况表述为叶片角度($\theta_{out}-\theta_{in}$),则例如在叶片角度(12-23)的栏中记载为1.3~7.7。这表示,与基准叶片的线(15-20、34枚)相比较,性能提高率最小为1.3%,最大为7.7%。

[0075] 在图5中,还记载了在叶片枚数为38时,与图4 (a) 及图4 (b) 所示的叶片角度($\theta_{out}-$

θ_{in}) 以外的组合有关的性能提高率。如后所述,叶片角度(15-23)成为压力比相对于基准叶片的提高率(即性能提高率)成为最大的最优解。以下,将标注有符号A~E的叶片角度($\theta_{out}-\theta_{in}$)称为最优解近旁的最优解候选,进而将标注有符号F~K的叶片角度($\theta_{out}-\theta_{in}$)称为存在于最优解候选A~最优解候选E的周边的准候选。

[0076] 此外,在通过压铸(die cast)来形成定子叶片的情况下,定子叶片的内径侧的叶片角度 θ_{in} 不可任意设定,取决于定子叶片的内径尺寸。定子叶片的内径尺寸也取决于转子直径,因此转子直径越小,且定子叶片的内径尺寸越小,则可加工的内径侧的叶片角度 θ_{in} 越大。在具有与基准叶片的情况相同的叶片内径及叶片外径的本实施例的定子叶片的情况下,当叶片枚数为38枚时,难以通过压铸来对内径侧的叶片角度 θ_{in} 为 $\theta_{in} 22deg$ 的叶片形状进行加工。然而,即便是难以加工的叶片形状,也可进行模拟计算,因此图5中关于 $\theta_{in} 22deg$ 的叶片形状,也作为参考而记载性能提高率。

[0077] 参照图4(a)及图4(b)、图5,首先,将不改变叶片角度 θ 而仅使叶片枚数 n 变化的情况下的压力比 Pr 进行比较。若将叶片角度 θ_{out} 、叶片角度 θ_{in} 与基准叶片(15-20、34枚)相同的情况下的压力比 Pr 进行比较,则可知,将叶片枚数增加至比基准叶片的叶片枚数34更多的36枚及38枚的一方,即,减小 $X=S/b$ 的空间 S 的一方的压力比 Pr 大。而且,若在图4(a)及图4(b)中将叶片枚数36枚及38枚的情况下的性能提高率进行比较,则38枚的情况下的性能提高率显著提高。

[0078] 另外,若观察图5的性能提高率,则在叶片角度($\theta_{out}-\theta_{in}$)为(14-21)、(14-22)、(15-22)的附近,性能提高率的最小值大于3,且最大值也以8.5%~9.0%的方式增大。另一方面,根据图4(a)及图4(b)而获知,在叶片枚数为34的情况下,也比叶片角度(15-20)的情况,叶片角度(14-21)的情况下的性能提高率增大,性能提高率达到(1%~3%)左右。如此一来推测,即便在改变叶片枚数的情况下,也在相同的叶片角度($\theta_{out}-\theta_{in}$)附近出现排气性能的波峰。其中,关于波峰附近的排气性能,较叶片枚数34而言,38枚的排气性能升高。此外,在本实施例的定子叶片的情况下,根据与定子叶片内径的关系,若将叶片枚数进而增加至40枚,则叶片加工变得困难,因此在此将叶片枚数的上限设为38枚。

[0079] 根据以上可知,在图5所示的叶片枚数38枚的情况下获得最优解。此外,在通过压铸来形成定子叶片的情况下,如上所述,在本实施例的定子叶片的情况下,根据定子叶片内径尺寸的关系,叶片枚数为38枚时,在叶片角度 θ_{in} 为 $22deg$ 以下时难以进行加工。因此,在此对可加工的 $\theta_{in} 23deg$ 的叶片角度 θ_{in} 探索最优解。其结果为, $\theta_{out}=15deg$ 、 $\theta_{in}=23deg$ 、叶片枚数38枚的情况作为最优解而获得。此外,性能提高率虽较最优解而言稍小,但关于最优解附近的叶片设计参数(叶片角度及叶片枚数)也获得充分的性能提高率。

[0080] 此外,图5所示的例中,在可加工的 $\theta_{in} 23deg$ 的范围内将最优解设为 $\theta_{out}=15deg$ 、 $\theta_{in}=23deg$,但例如在可加工的范围为 $\theta_{in} 22deg$ 的情况下, $\theta_{out}=15deg$ 且 $\theta_{in}=22deg$ 的情况、或者 $\theta_{out}=14deg$ 且 $\theta_{in}=22deg$ 的情况成为最优解。在此情况下,也能够应用以下所说明的探索方法。

[0081] 图6(a)及图6(b)、图7(a)及图7(b)表示基准叶片(15-20、34枚)的情况及最优解(15-23、38枚)的情况下的体积流量 Q_v 与压力比 Pr 的关系。图6(a)表示将背压固定为5Pa,且使流量在 $100sccm\sim 500sccm$ 之间变化时的压力比 Pr 的变化,图6(b)表示此情况下的 $Pr(max)$ 及 $Q_v(max)$ 。另外,图7(a)表示将背压固定为2Pa,且使流量在 $100sccm\sim 500sccm$ 之间

变化时的压力比 Pr 的变化,图7 (b) 表示此情况下的 Pr (max) 及 Q_v (max)。

[0082] 此外,图6 (a)、图7 (a) 的横轴的体积流量 Q_v 表示压力与吸气侧压力相同的气体的流量。若压力比 Pr 不同,则此情况下的吸气侧压力不同,因此即便体积流量 Q_v 的值相同,只要压力比 Pr 不同,则以流量单位sccm来测定的流量也不同。图6 (a)、图7 (a) 中,还分别示出表示流量100sccm的线、表示流量200sccm的线以及表示流量500sccm的线。

[0083] 此处,由于 $1\text{sccm}=1.69\times 10^{-3}(\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s})$,故而若设为 $\gamma=1.69\times 10^{-3}$,则 y sccm 转变为 $y\times\gamma(\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s})$ 。若将吸气侧压力表示为 $P_{in}(\text{Pa})$,则流量为 $Q_v\times P_{in}(\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s})$ 。若所述流量等于 y sccm,则等式 $Q_v\times P_{in}=y\times\gamma$ 成立。由于 $Pr=P_{out}/P_{in}$,故而体积流量 Q_v 成为 $Q_v=y\cdot\gamma\cdot(Pr/P_{out})$ 。因此,表示 y sccm的线在图6 (a)、图7 (a) 中是由 $Pr=(P_{out}/y\gamma)Q_v$ 的直线所表示。

[0084] 在背压5Pa(= P_{out})的情况下,100sccm的线是由 $Pr=(P_{out}/y\gamma)Q_v=(5/0.169)Q_v=29.6Q_v$ 的式子所表示。同样地,200sccm的线表示为 $Pr=14.8Q_v$,500sccm的线表示为 $Pr=5.92Q_v$ 。另外,在背压2Pa的情况下,表示100sccm的线表示为 $Pr=(P_{out}/y\gamma)Q_v=(2/0.169)Q_v=11.8Q_v$,表示200sccm的线表示为 $Pr=5.92Q_v$,表示500sccm的线表示为 $Pr=2.37Q_v$ 。

[0085] 图6 (a)、图7 (a) 中,线L21、线L31是根据基准叶片的计算数据来推测的 Q_v - Pr 线,线L22、线L32是根据最优解的计算数据来推测的 Q_v - Pr 线。线L21~线L32与纵轴相交的点的压力比 Pr 是在体积流量 Q_v 为零的情况下的压力比,表示压力比的最大值 Pr (max)。另一方面,线L21~线L32与横轴相交的点的体积流量 Q_v 是在压力比为1的情况下的流量,表示体积流量 Q_v 的最大值 Q_v (max)。

[0086] 在图6 (a) 及图6 (b) 所示的背压5Pa的情况下,由线L21所表示的基准叶片中 Pr (max) =2.44、 Q_v (max) =1.01,由线L22所表示的最优解中 Pr (max) =2.60、 Q_v (max) =0.99。另外,在图7 (a) 及图7 (b) 所示的背压2Pa的情况下,由线L31所表示的基准叶片中 Pr (max) =2.85、 Q_v (max) =1.09,由线L32所表示的最优解中 Pr (max) =3.12、 Q_v (max) =1.06。

[0087] 在背压为5Pa的情况下,关于 Pr (max),最优解比基准叶片大10%左右,关于 Q_v (max),基准叶片显示出较最优解的情况稍大的值。在实际的运行点的流量100sccm~200sccm下,可知最优解较基准叶片而言,性能优6%左右。另外,在背压为2Pa的情况下,在运行点的流量100sccm~200sccm下,最优解较基准叶片而言,性能优7%左右。另外,即便是在流量100sccm~500sccm的范围内进行比较的情况下,在背压为5Pa及2Pa中的任一者时,最优解的叶片形状均高于基准叶片的性能。

[0088] 表3是表示无因次参数 X_{in} 、无因次参数 X_c 、无因次参数 X_{out} 的一例的表格。

[0089] 表3

	叶片种类	内径侧 Xin	平均 Xc	外径侧 Xout
[0090]	最优解	1.06	1.12	1.04
	最优解候选 A	1.06	1.08	0.938
	最优解候选 B	1.06	1.15	1.14
	最优解候选 C	1.12	1.16	1.04
	最优解候选 D	1.12	1.12	0.938
	最优解候选 E	1.12	1.21	1.14
	准候选 F	1.06	1.03	0.839
[0091]	准候选 G	1.06	1.20	1.23
	准候选 H	1.12	1.24	1.23
	准候选 I	1.19	1.20	1.04
	准候选 J	1.19	1.24	1.14
	准候选 K	1.19	1.28	1.23
	基准叶片	1.03	1.17	1.22

[0092] 表3是表示叶片设计参数为基准叶片(15-20、34枚)、图5所示的最优解(15-23、38枚)、最优解候选A~最优解候选E以及准候选F~准候选K的情况下的无因次参数Xin、无因次参数Xc、无因次参数Xout。

[0093] 另外,图8~图10是表示沿着叶片直径方向的无因次参数X的变化的情况的图,纵轴表示无因次参数X(Xin、Xc、Xout),横轴表示叶片直径方向位置。图8表示与内径侧的叶片角度 θ_{in} 为23deg的最优解(线L0)、最优解候选A及最优解候选B(线LA、线LB)以及准候选F及准候选G(线LF、线LG)有关的无因次参数X的变化。图9表示与内径侧的叶片角度 θ_{in} 为24deg的最优解候选C、最优解候选D及最优解候选E(线LC、线LD及线LE)以及准候选H(线LH)有关的无因次参数X的变化。图10表示与内径侧的叶片角度 θ_{in} 为25deg的准候选I、准候选J及准候选K(线LI、线LJ及线LK)有关的无因次参数X的变化。

[0094] 在图8的表示最优解(15-23、38枚)的线L0上,无因次参数Xin、无因次参数Xc、无因次参数Xout的大小关系成为“ $X_{in} < X_c$ 且 $X_{out} < X_c$ ”。即,线L0的形状成为如下的山形的线形状:平均位置高,且其两侧的内径侧及外径侧低于平均位置。

[0095] 与此相对,内径侧的叶片角度 θ_{in} 为与最优解相同的23deg的最优解候选A是将最优解(15-23、38枚)的外径侧的叶片角度 θ_{out} 从15deg变更为14deg而成。若叶片角度减少,则浆叶长b增加,因此在此情况下,外径侧及平均位置的浆叶长b增加,无因次参数Xout、无因次参数Xc减少。其结果为,若与线L0进行比较,则线LA的从平均位置至外径侧的倾斜度变得更大,从平均位置至内径侧的倾斜度变得更小。而且,若如 $\theta_{out} = 13deg$ 的线LF那样进一步减小叶片角度 θ_{out} ,则无因次参数X的大小关系成为 $X_{in} > X_c > X_{out}$ 。

[0096] 相反,若如线LB那样使外径侧的叶片角度 θ_{out} 从15deg增加至16deg,则从平均位置至外径侧的线的倾斜度变得更小,从平均位置至内径侧的线的倾斜度变得更大。进而,若使叶片角度 θ_{out} 增加而如线LG那样设为 $\theta_{out} = 17deg$,则与设为 $\theta_{out} = 13deg$ 的情况(线LF的情况)相反,无因次参数X的大小关系成为 $X_{in} < X_c < X_{out}$ 。

[0097] 图9是使内径侧的叶片角度 θ_{in} 从23deg增加至24deg的情况。在此情况下,随着内径侧的叶片角度 θ_{in} 的增加,内径侧及平均位置的浆叶长b减少,无因次参数Xin、无因次参

数 X_c 变大。即,在与 θ_{out} 同样为14deg的图8的线LA进行比较的情况下,叶片角度 θ_{in} 更大的线LD的无因次参数 X_{in} 、无因次参数 X_c 大于线LA的无因次参数 X_{in} 、无因次参数 X_c 。在线LC、线LE、线LH的情况下,与外径侧的叶片角度 θ_{out} 相同的图8的L0、LB、LG进行比较,无因次参数 X_{in} 、无因次参数 X_c 也变得更大。因此,图8的线LG中为 $X_{in} < X_c < X_{out}$,但图9的线LH中,大小关系变化为 $X_{in} < X_c$ 且 $X_c > X_{out}$ 。

[0098] 进而,若如图10的线LI、线LJ、线LK那样,使内径侧的叶片角度 θ_{in} 增加至25deg,则与所对应的表3的线LC、线LE、线LH相比,内径侧及平均位置的无因次参数 X_{in} 、无因次参数 X_c 变得更大。

[0099] 如上所述,根据图8~图10所示的线L0、线LA~线LK的叶片角度 θ_{in} 、 θ_{out} 与无因次参数 X_{in} 、无因次参数 X_c 、无因次参数 X_{out} 的关系,能够以如下方式那样解释。即,若从图5所示的表的最优解(15-23,38枚)至表的上侧,使叶片角度 θ_{out} 减少为14deg、13deg,则如图8所示,无因次参数 X_{in} 、无因次参数 X_c 、无因次参数 X_{out} 的大小关系在 $\theta_{out} = 14deg$ 的情况下,与 $\theta_{out} = 15deg$ 的情况同样为“ $X_{in} < X_c$ 且 $X_{out} < X_c$ ”,但在 $\theta_{out} = 13deg$ 的情况下变化为“ $X_{in} > X_c > X_{out}$ ”。相反,若从最优解(15-23)至图5的表的下侧,使叶片角度 θ_{out} 增加至16deg、17deg,则无因次参数 X_{in} 、无因次参数 X_c 、无因次参数 X_{out} 的大小关系在 $\theta_{out} = 16deg$ 的情况下,与 $\theta_{out} = 15deg$ 的情况同样为“ $X_{in} < X_c$ 且 $X_{out} < X_c$ ”,但在 $\theta_{out} = 17deg$ 的情况下变化为“ $X_{in} < X_c < X_{out}$ ”。

[0100] 另外,将使内径侧的叶片角度 θ_{in} 从23deg增大至24deg的情况下的图8的线L0、线LB与图9的线LC、线LE进行比较。在线L0、线LB的情况以及线LC、线LE的情况下均成为“ $X_{in} < X_c$ 且 $X_{out} < X_c$ ”,但叶片角度 θ_{in} 更大的线LC、线LE的 X_c 与 X_{in} 的差更小,且 X_c 与 X_{out} 的差更大。而且,若将 $\theta_{out} = 17deg$ 的线LG与线LH进行比较,则通过使 θ_{in} 从23deg增大至24deg, X_{in} 、 X_c 、 X_{out} 的大小关系从“ $X_{in} < X_c < X_{out}$ ”变化为“ $X_{in} < X_c$ 且 $X_{out} < X_c$ ”。若将 $\theta_{out} = 14deg$ 的线LA与线LD进行比较,则通过 θ_{in} 变大, X_{in} 、 X_c 、 X_{out} 的大小关系从“ $X_{in} < X_c$ 且 $X_{out} < X_c$ ”变化为“ $X_{in} = X_c > X_{out}$ ”。

[0101] 此外,如图5所示,可知越从最优解向周边(表的上下方向或者左右方向)远离,则性能提高率变得越小。例如,若在 $\theta_{in} = 23deg$ 的条件下将最优解候选A~最优解候选G的性能提高率加以比较,则最优解候选A~最优解候选E中,性能提高率的最小值为3左右,但与它们的外周侧邻接的最优解候选F、最优解候选G中,性能提高率的最小值成为2左右。当 $\theta_{out} = 12deg$ 及18deg时,最小值减少至1左右。

[0102] 此处,若考虑到定子叶片或转子叶片的浆叶加工时的加工误差,则为了不会由于加工误差而使性能提高率的最小值达到1以下,最小值必需为2左右的大小。由于在叶片角度 θ_{in} 、叶片角度 θ_{out} 与无因次参数 X_{in} 、无因次参数 X_c 、无因次参数 X_{out} 之间存在如图8~图10所示的关系,故而在如图8的线LF那样成为“ $X_{in} > X_c > X_{out}$ ”的情况下的 X_{in} 的上限成为图5所示的叶片角度(13-23)的情况下的 X_{in} 。在将此时的 X_{in} 表示为 $X_{in} = \alpha \cdot X_c$ 的情况下,无因次参数 X_{in} 、无因次参数 X_c 、无因次参数 X_{out} 的大小关系表示为“ $\alpha \cdot X_c > X_c > X_{out}$ ”。

[0103] 另外,如图8的线LG那样成为“ $X_{in} < X_c < X_{out}$ ”的情况下的 X_{out} 的上限成为图5所示的叶片角度(17-23)的情况下的 X_{out} 。在将此时的 X_{out} 表示为 $X_{out} = \beta \cdot X_c$ 的情况下,无因次参数 X_{in} 、无因次参数 X_c 、无因次参数 X_{out} 的大小关系表示为“ $X_{in} < X_c < \beta \cdot X_c$ ”。此外,

图5所示的排气段的例中,α及β成为1.03~1.04左右。

[0104] 若将以上加以总结,则性能提高率的最小值成为2以上的最优解候选(包含所述最优解以及最优解候选A~最优解候选E)满足以下的条件(2)、条件(3)、条件(4)。即,通过将无因次参数X_{in}、无因次参数X_c、无因次参数X_{out}设定为满足条件(2)、条件(3)、条件(4),能够获得氢气的排气性能优异的涡轮分子泵。此外,关于最优解,也考虑到是否能进行叶片加工来设定。例如,图5所示的例中,叶片角度(14-21)、叶片角度(14-22)较选定为最优解的叶片角度(14-23)而言,性能提高率上升,但本实施例的定子叶片的情况下,作为叶片加工困难而除外。

[0105] “X_{in}<X_c且X_{out}<X_c”……条件(2)

[0106] “X_{in}<X_c<X_{out}β·X_c,其中β=1.04”……条件(3)

[0107] “α·X_c X_{in}>X_c>X_{out},其中α=1.04”……条件(4)

[0108] 所述图4(a)及图4(b)至图10的说明中,已对排气段的定子叶片的最优化进行说明。进而,对于吸气段及中间段的定子叶片,也能够通过与排气段的情况相同的处理来探索最优解。而且,关于吸气段及中间段的定子叶片,也能够通过将无因次参数X_{in}、无因次参数X_c、无因次参数X_{out}设定为满足条件(2)~条件(4)所表示的条件,从而获得对氢气等分子量小的气体的排气性能优异的涡轮分子泵。此外,对吸气段、中间段及排气段的各定子叶片应用条件(2)~条件(4)中的哪一个,优选为考虑各段的叶片高度或压力条件等来适当选择。

[0109] 表4是关于吸气段、中间段及排气段的各自的最优解,表示定子叶片单层的氢气的性能提高率的表格。

[0110] 表4

[0111]

	H ₂ (100sccm)	H ₂ (300sccm)
吸气段	4.0~4.6%	4.2~8.5%
中间段	3.4~5.7%	2.5~5.8%
排气段	1.7~4.6%	3.5~8.2%

[0112] 表4是关于吸气段、中间段及排气段的各自的最优解,表示定子叶片单层的氢气的性能提高率。此外,假定为高温条件下,且定子叶片的温度设为80℃。根据表4可知,氢气的流量更大的200sccm的一方的性能提高率增大。

[0113] 表4中,示出关于定子叶片单层的性能提高率,但通过对吸气段、中间段及排气段的各自的整段应用各个段的最优解,能够实现进一步的性能提高。

[0114] 表5是表示对定子叶片所有层应用最优解的情况下的氢气的性能提高率的表格。

[0115] 表5

[0116]

H ₂ 气流量	性能提高率
100sccm	16.0%
200sccm	24.6%

[0117]

300sccm	19.3%
---------	-------

[0118] 表5表示对定子叶片全层应用最优解的情况下的氢气的性能提高率。流量越大,性能提高率越大。此外,定子叶片的温度是在80℃下进行计算。

[0119] 所述说明中,已对在最优解的定子叶片的上下配置有基准叶片的转子叶片的情况下的性能提高进行说明,但在将转子叶片设为最优化解的叶片形状且将定子叶片设为基准叶片的叶片形状的情况下,也能够通过将无因次参数 X_{in} 、无因次参数 X_c 、无因次参数 X_{out} 设定为满足条件(2)~条件(4)的条件,来实现氢气排气性能的提高。

[0120] 在对转子叶片应用最优化解的情况下,并不限于氢气,在氩气中也看到性能提高。

[0121] 表6是表示转子叶片单层的氩气的性能提高率的表格。

[0122] 表6

	Ar (500sccm)
吸气段	3.3~7.5%
中间段	3.4~11.5%
排气段	2.7~3.4%

[0124] 表6表示转子叶片单层(以在最优化解的转子叶片的上下配置有基准叶片的定子叶片的三段构成来进行模拟)的氩气的性能提高率。此外,在转子叶片的情况下,将温度设为100°C来进行计算。

[0125] 以上所说明的第一实施方式中,通过将多层转子叶片及多层定子叶片的至少一者构成为满足所述条件(2)、条件(3)及条件(4)中的任一个,与以往包括条件(1)的平板叶片或扭曲叶片的涡轮分子泵相比,能够实现氢气排气时的大流量以及高背压条件下的排气性能的提高。

[0126] -第二实施方式-

[0127] 所述第一实施方式中记载有,作为实现氢气的排气特性提高的无因次参数 $X=S/b$ 的条件,发现如上所述的条件(2)~条件(4)。第二实施方式中,多层转子叶片40及多层定子叶片30的至少一者构成为满足以下六个条件中的任一个,所述六个条件除了包括条件(2)~条件(4)以外,还包括以下所示的条件(5)~条件(7)。

[0128] $X_{in} < X_{out} < X_c$ ……条件(5)

[0129] $X_{in} X_{out} < X_c$ ……条件(6)

[0130] $X_{out} X_{in} < X_c$ ……条件(7)

[0131] 通过设为此种构成,能够进一步实现氢气排气时的大流量及高背压条件下的排气性能的提高,通过较第一实施方式的情况而言,更减少定子叶片30及转子叶片40的层数,能够使涡轮分子泵更小型化。

[0132] -第三实施方式-

[0133] 第三实施方式中,多层转子叶片40及多层定子叶片30包括:构成吸气段的转子叶片40及定子叶片30、构成中间段的转子叶片40及定子叶片30、以及构成排气段的转子叶片40及定子叶片30,多层转子叶片40及所述多层定子叶片30的至少一者构成为:吸气段满足现有的条件(1),中间段满足条件(5),排气段满足条件(4)、条件(6)及条件(7)中的任一个。

[0134] $X_{in} < X_c < X_{out}$ ……条件(1)

[0135] $X_{in} < X_{out} < X_c$ ……条件(5)

[0136] “ $\alpha \cdot X_c X_{in} > X_c > X_{out}$,其中 $\alpha=1.04$ ”……条件(4)

[0137] $X_{in} X_{out} < X_c$ ……条件(6)

[0138] $X_{out} X_{in} < X_c$ ……条件(7)

[0139] 通过如上所述划分为吸气段、中间段及排气段此三段,且根据各个段来设定为最优的条件,则与所述第二实施方式相比较,能够进而实现大流量及高背压条件下的氢气排气性能的提高。

[0140] 表7是表示第二实施方式的构成及第三实施方式的构成的情况下的排气性能的模拟结果。

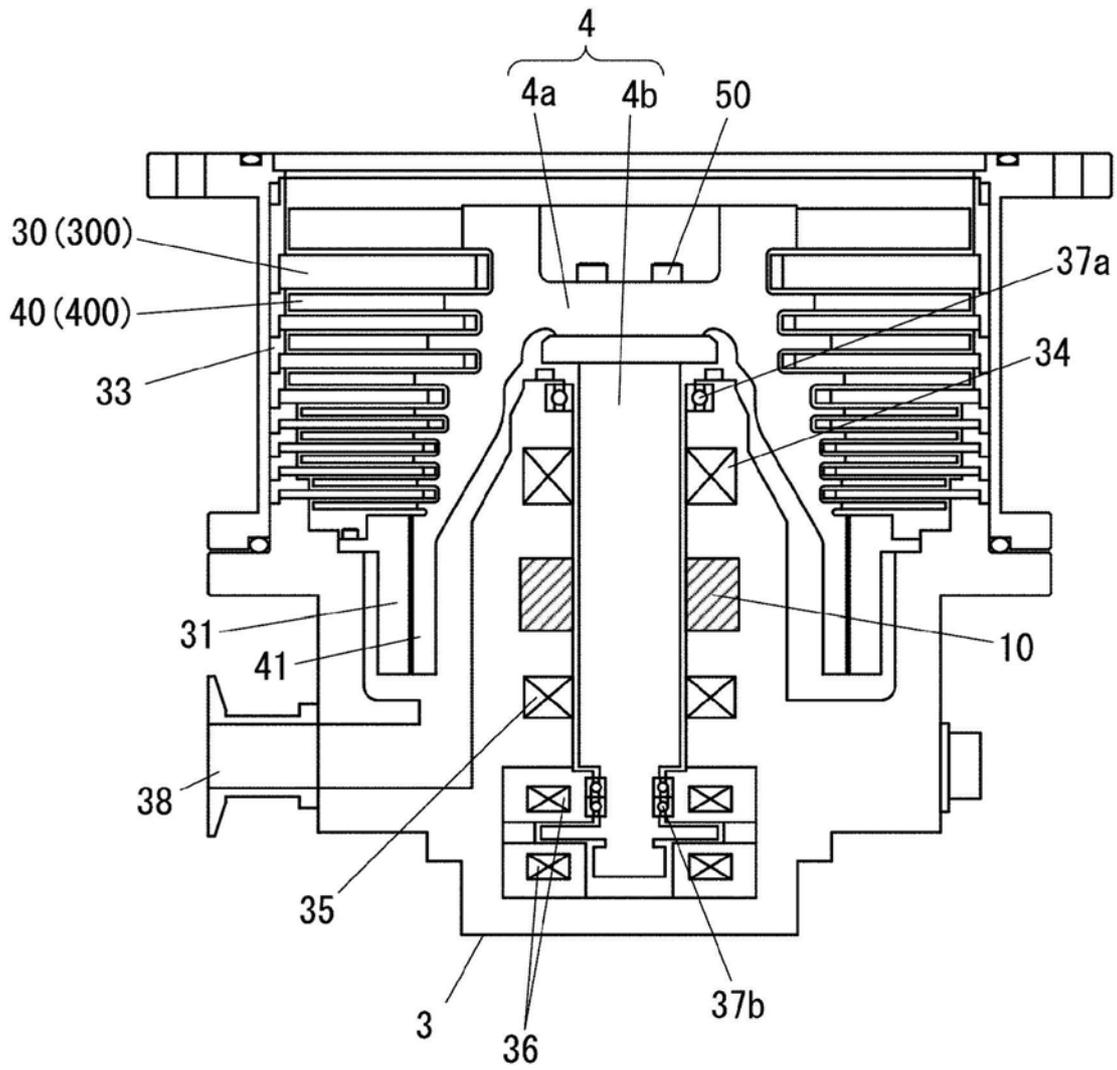
叶片形状的构成	吸气口压	低压化率	压缩比
平板叶片	1		1
第二实施方式	0.790	+21.0%	1.171
第三实施方式	0.753	+24.7%	1.229

[0142] 表7示出第二实施方式的构成及第三实施方式的构成的情况下的排气性能的模拟结果,将氢气流量=1500sccm的条件下的吸气口压及压缩比,以将现有的平板叶片的排气性能设为1的比来表示。模拟中,对定子叶片为14层、转子叶片为15层、合计为29层的构成算出排气性能,但在其它层数时也同样实现性能提高。

[0143] 如表7所示,关于吸气高压,第二实施方式中实现21.0%的低压化,第三实施方式中实现24.7%的低压化。另外,关于压缩比,第二实施方式中提高至1.171倍,第三实施方式中提高至1.229倍。

[0144] 第二实施方式及第三实施方式的情况也与所述第一实施方式的情况同样,代替定子叶片30而对转子叶片40应用与无因次参数 X_{in} 、无因次参数 X_c 、无因次参数 X_{out} 有关的所述条件的情况也能够实现氢气排气性能的提高。进而,对定子叶片及转子叶片的全部层应用所述条件的情况也能够实现对氢气的性能提高。

[0145] 此外,本发明并不限定于所述内容,在本发明的技术性思想的范围内所考虑的其他形态也包含于本发明的范围内。例如,所述实施方式中虽以磁轴承式且具有螺纹槽泵段的涡轮分子泵为例进行说明,但本发明能够不局限于磁轴承式来应用,而且也能应用于不具有螺纹槽泵段而仅有涡轮泵段的涡轮分子泵。



1

图1

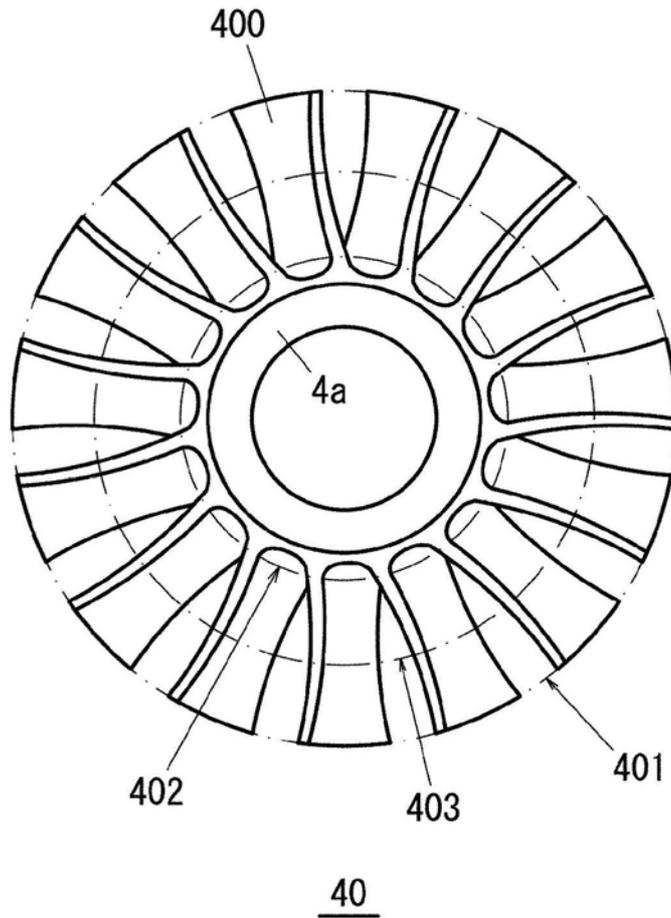


图2

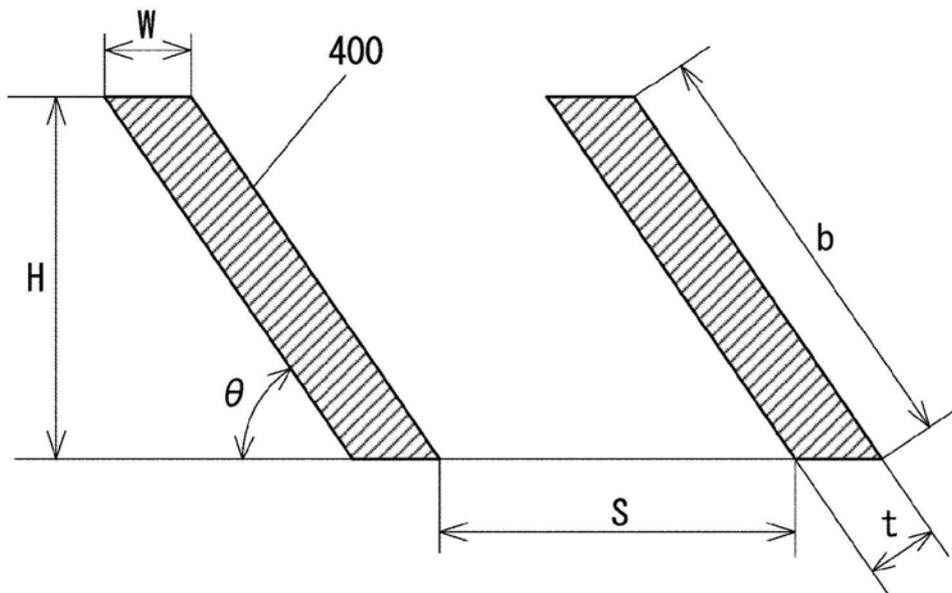


图3

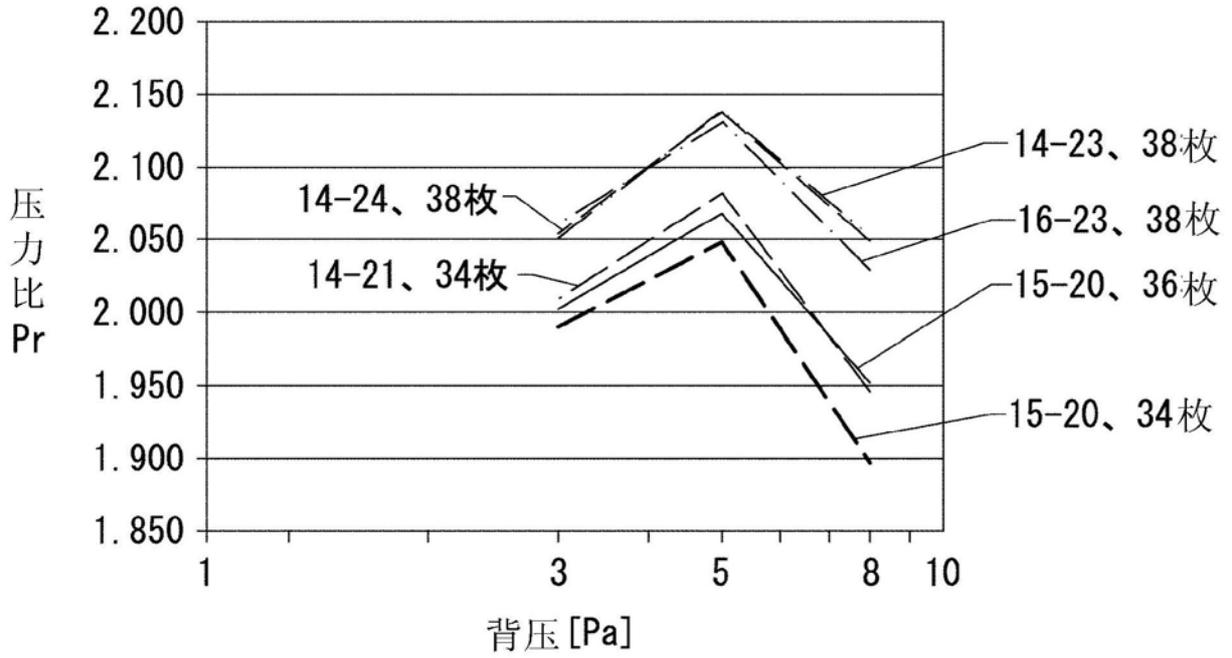


图4 (a)

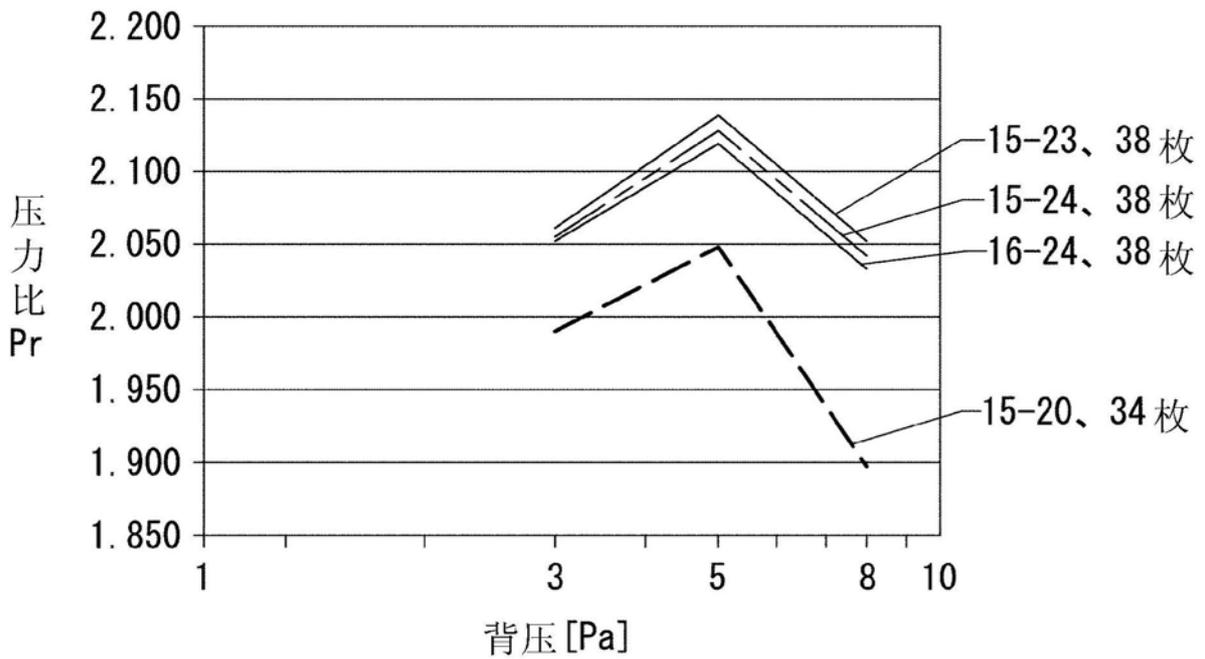


图4 (b)

叶片枚数38枚

		内径侧叶片角度 [deg]											
		19	20	21	22	23	24	25					
12						1.3~7.7							
13					1.7~8.8	F 2.2~8.6							
14				3.2~8.8	3.1~9.0	A 3.1~8.1	D 3.2~8.0						
15			2.4~8.5		4.2~8.5	3.5~8.2	C 3.3~7.7	I 3.0~6.7					
16					3.0~7.7	B 3.6~7.0	E 3.1~7.2	J 2.6~6.1					
17					2.8~6.4	G 2.5~5.9	H 2.6~5.2	K 2.5~5.3					
18						1.6~4.3							

加工困难
←———|

图5

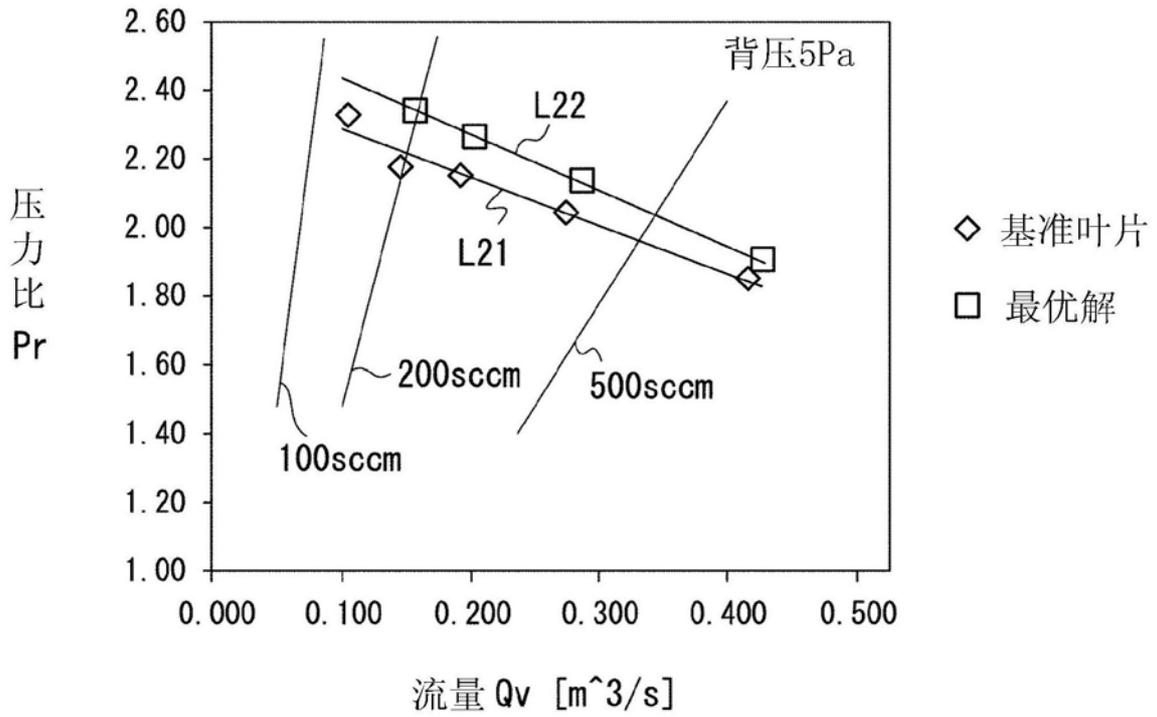


图6 (a)

	Pr (max)	Q_v (max)
◇ 基准叶片	2.44	1.01
□ 最优解	2.60	0.99

图6 (b)

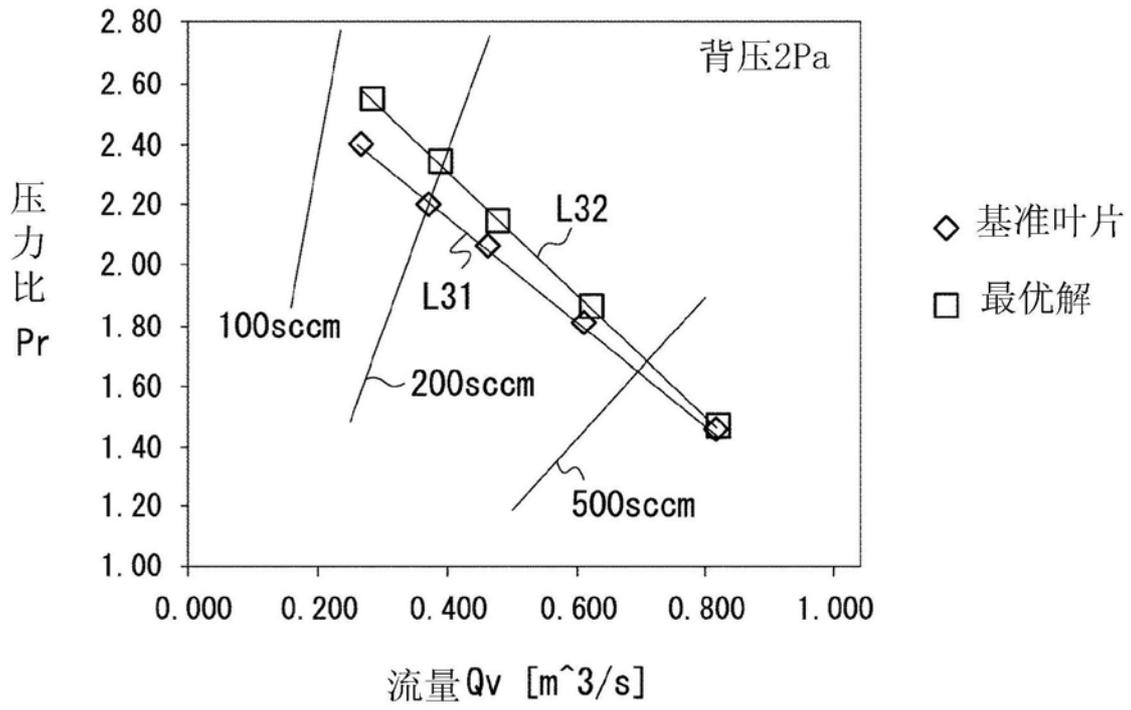


图7 (a)

	Pr (max)	Qv (max)
◇ 基准叶片	2.85	1.09
□ 最优解	3.12	1.06

图7 (b)

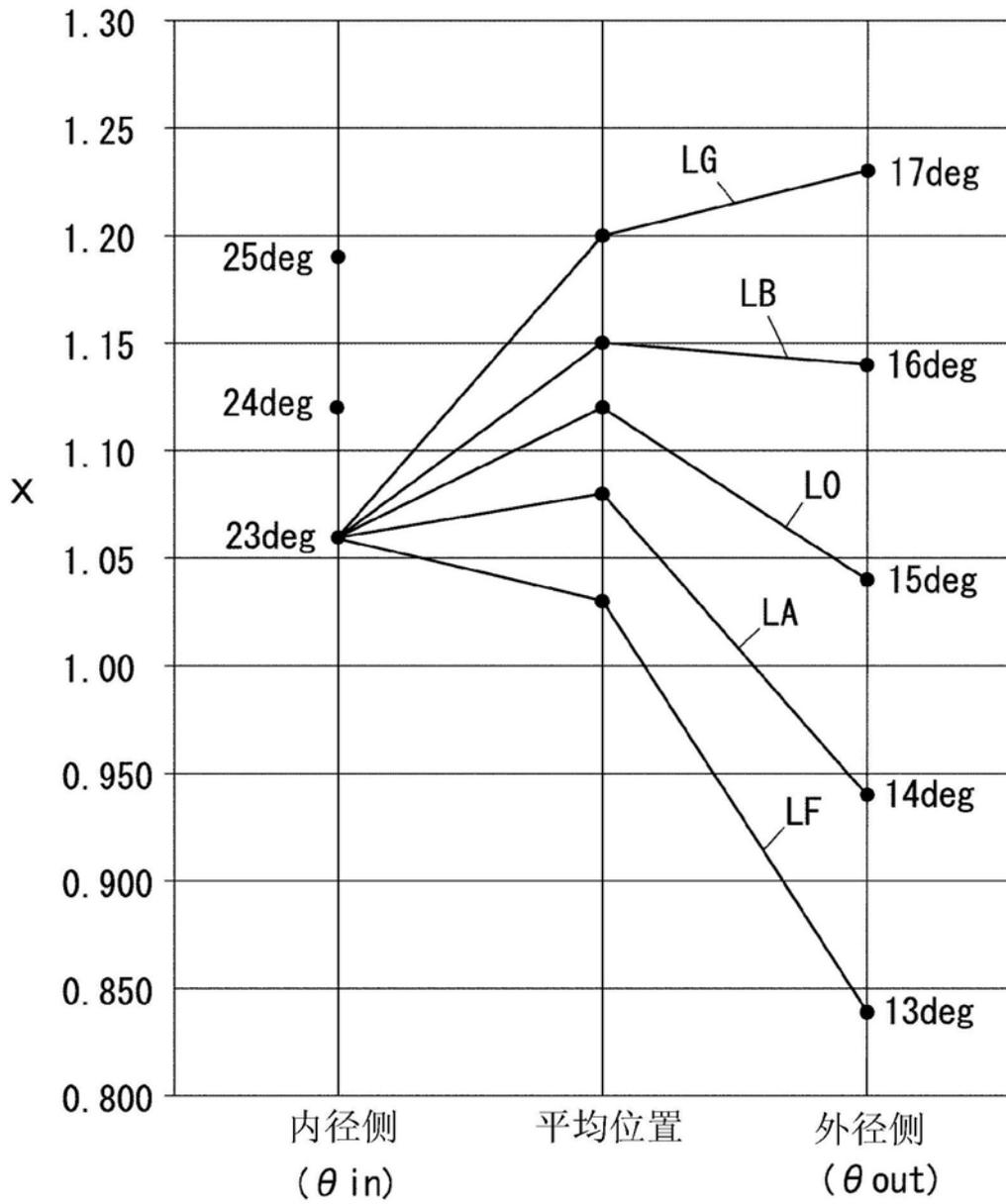


图8

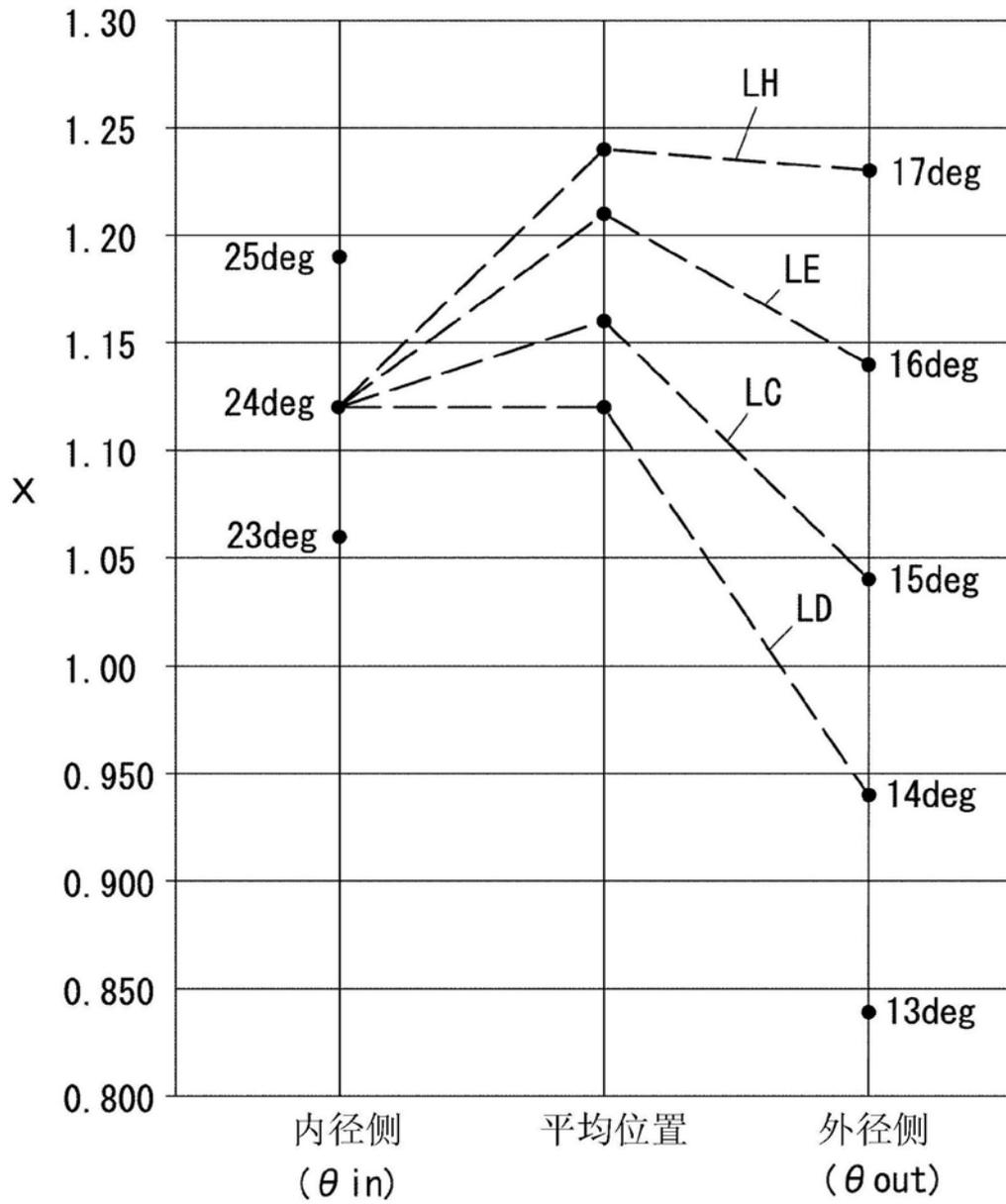


图9

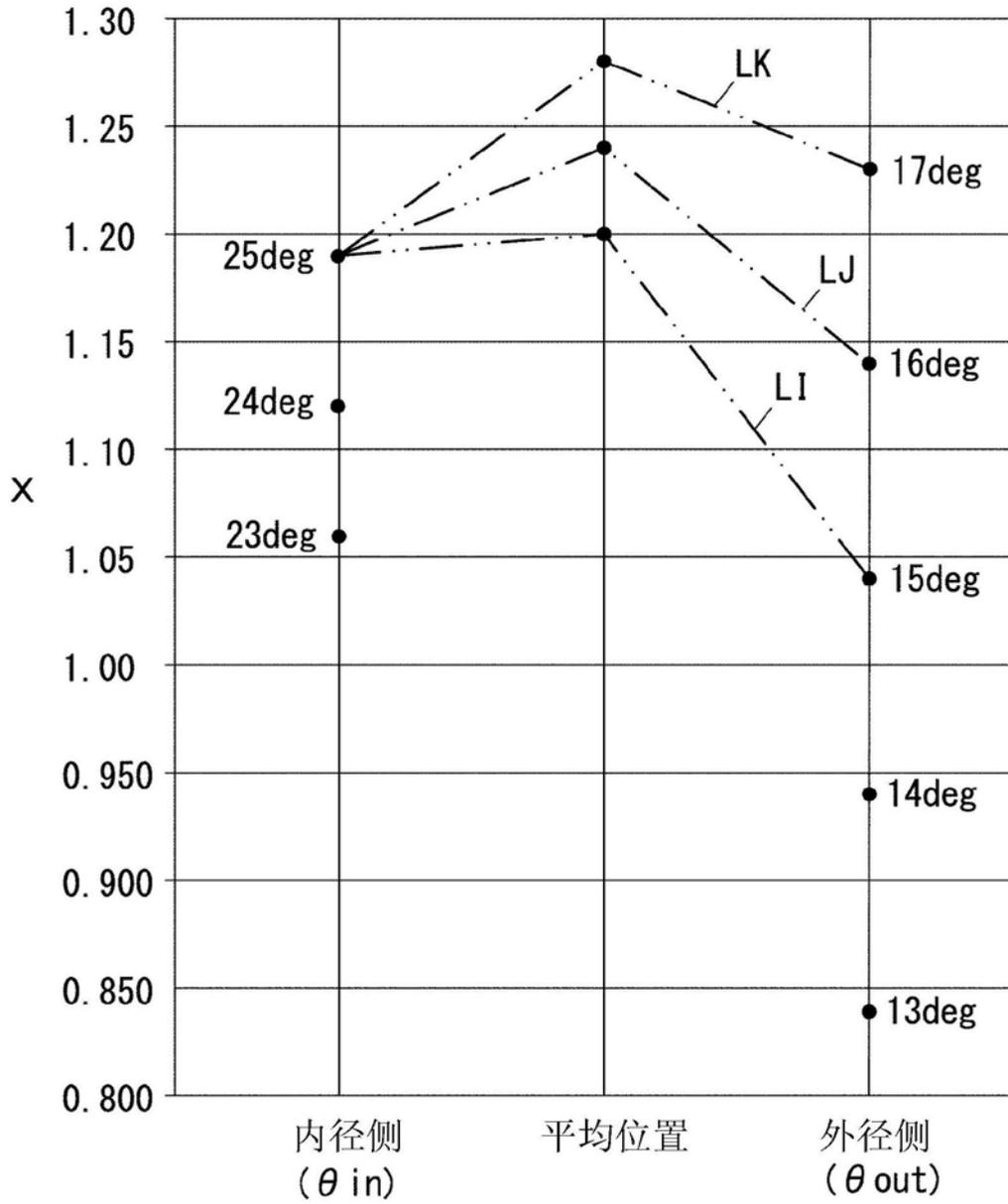


图10