

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7672738号  
(P7672738)

(45)発行日 令和7年5月8日(2025.5.8)

(24)登録日 令和7年4月25日(2025.4.25)

(51)国際特許分類		F I		
H 0 2 N	2/12 (2006.01)	H 0 2 N	2/12	
B 0 6 B	1/06 (2006.01)	B 0 6 B	1/06	Z
F 0 4 B	43/04 (2006.01)	F 0 4 B	43/04	B
F 0 4 D	11/00 (2006.01)	F 0 4 D	11/00	

請求項の数 10 (全30頁)

(21)出願番号	特願2023-545166(P2023-545166)	(73)特許権者	504190548 国立大学法人埼玉大学 埼玉県さいたま市桜区下大久保2 5 5
(86)(22)出願日	令和4年7月28日(2022.7.28)	(74)代理人	100079108 弁理士 稲葉 良幸
(86)国際出願番号	PCT/JP2022/029181	(74)代理人	100109346 弁理士 大貫 敏史
(87)国際公開番号	WO2023/032539	(74)代理人	100117189 弁理士 江口 昭彦
(87)国際公開日	令和5年3月9日(2023.3.9)	(74)代理人	100134120 弁理士 内藤 和彦
審査請求日	令和6年2月27日(2024.2.27)	(72)発明者	高 崎 正也 埼玉県さいたま市桜区下大久保2 5 5 国立大学法人埼玉大学内
(31)優先権主張番号	特願2021-140218(P2021-140218)	(72)発明者	中筋 勇樹
(32)優先日	令和3年8月30日(2021.8.30)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		
(31)優先権主張番号	特願2022-26548(P2022-26548)		
(32)優先日	令和4年2月24日(2022.2.24)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 回転装置、モータ、及びポンプ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

振動方向に対して垂直な振動面を有する振動子と、  
前記振動面に対向する対向面を有し、前記振動子の振動方向を軸に回転する対向子とを備え、  
前記対向子を支持する部材を有さず、

前記振動面及び前記対向面は、それぞれが互いに平行に対向する平行領域と、少なくとも一方に立体的に形成されたインペラ領域とを有し、前記対向子は前記振動子に接触することなく回転する、回転装置。

【請求項 2】

前記対向子は、前記対向面の端部に沿って前記対向面上に形成された凸部を有する、請求項 1 に記載の回転装置。

【請求項 3】

前記振動面と、前記対向面とにより、空間が形成される、請求項 2 に記載の回転装置。

【請求項 4】

前記振動面及び前記対向面は、それぞれ円形であり、前記振動面の端部は、前記対向面の端部と対向する、請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の回転装置。

【請求項 5】

前記対向面は、前記対向子における裏面に向かって形成された第 1 貫通孔を有する、請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の回転装置。

## 【請求項 6】

前記第 1 貫通孔は、前記対向面の中央部に形成されている、請求項 5 に記載の回転装置。

## 【請求項 7】

前記振動子の振動は、単振動である、請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の回転装置。

## 【請求項 8】

前記振動面には、前記振動子の内部を介して前記振動子の外界に向かって形成された第 2 貫通孔が設けられている、請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載の回転装置。

## 【請求項 9】

請求項 1 から 8 のいずれか一項に記載の回転装置を有する、モータ。

## 【請求項 10】

請求項 1 から 8 のいずれか一項に記載の回転装置を有する、ポンプ。

10

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、回転装置、モータ、及びポンプに関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

近年、超音波などの振動波が様々な用途で使用されている。特許文献 1 には、簡単な構造で超音波を用いてポンプ効果を得る技術が開示されている。非特許文献 1 には、振動子に物体を近づけると、当該物体が振動子に引き寄せられる現象が開示されている。

20

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0003】

【文献】特開 2013 - 068136 号公報

## 【非特許文献】

## 【0004】

【文献】T. Hatanaka, Y. Koike, K. Nakamura, S. Ueha, Y. Hashimoto, " Characteristics of Underwater Near-Field Acoustic Radiation Force Acting on a Planar Object ", Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 38 (1999), No. 11A, pp. L1284-L1285

30

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0005】

振動子を利用した様々な用途に適用可能な新規な技術が期待される。

## 【0006】

本発明は、振動子を利用して様々な用途に適用可能な新規な技術を提供することを目的とする。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0007】

本発明の一態様に係る回転装置は、振動方向に対して垂直な振動面を有する振動子と、前記振動面に対向する対向面を有し、前記振動子の振動方向を軸に回転する対向子とを備え、前記振動面及び前記対向面は、それぞれが互いに平行に対向する平行領域と、少なくとも一方に立体的に形成されたインペラ領域とを有する。

40

## 【発明の効果】

## 【0008】

本発明によれば、振動子を利用して様々な用途に適用可能な新規な技術を提供することができる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0009】

【図 1】一実施形態に係る回転装置の構成の一例を示す概念図である。

50



【図3 1】一実施形態に係る対向子の変形例を説明するための表である。

【図3 2】一実施形態に係る対向子の変形例を説明するための表である。

【図3 3】一実施形態に係る対向子の変形例を説明するためのグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、図面を参照して、本発明に係る一実施形態を説明する。図面の記載において、同一又は類似の部分には同一又は類似の符号を付している。図面は模式的なものであり、厚みと平面寸法との関係、各層の厚みの比率等は現実のものとは異なる場合がある。また、図面相互間においても互いの寸法の関係や比率が異なる部分が含まれていることがある。

【0011】

<装置構成>

図1を参照して、本実施形態に係る回転装置の一例を説明する。図1に示すように、回転装置1は、振動装置10及び対向子20を備える。振動装置10は、振動子11及びホーン12を備える。本実施形態において、振動装置10を振動子と称する場合もある。

【0012】

振動装置10は、固定具30により、振動装置10の振動方向である振動装置10の長手方向が重力方向になるように固定されている。振動装置10は、振動装置10の長手方向の一端(図1の例において下端)に、振動方向に対して垂直な平面かつ円形の振動面を有する。振動装置10は、図示しない電源に接続され、駆動電力を得る。振動装置10は、図示しないが、振動を発生し制御するための回路を制御部として有する。

【0013】

振動装置10の下端及び対向子20は、水槽50に満たされた水に浸水している。水槽50のZ軸方向の位置は、Z軸ステージ40により調節される。温度プローブ60は、水槽50内の水温を計測可能なように固定具30により固定されている。

【0014】

対向子20は、例えば、円盤状などの板形状である。対向子20は、円形の二つの面部を有する。対向子20の二つの円形の面部のうち、少なくとも一方の面部は、平面領域と、インペラ領域とを有する。対向子20の面部と振動装置10の振動面とが平行に対向する位置にあるときに、対向子20の面部(対向面)の平面領域は、振動装置10の振動面と平行するため、以降の説明において平行領域とも称される。インペラ領域は、立体的なインペラ形状が形成された領域である。インペラ領域には、インペラ形状ではない点対称な立体模様が形成されていてもよい。

【0015】

対向子20の面部の径と、振動装置10の上記振動面の径は、同径である。ここで、同径とは、必ずしも完全に同じ径であることを意味しない。例えば、対向子20の面部の径と、振動装置10の上記振動面の径との間に1%~5%の差異があってもよい。

【0016】

振動装置10の下端を水槽50の水に浸水させた状態で、振動装置10を振動させ、対向子20の平行領域及びインペラ領域を有する面部(対向面)を振動装置10の振動面に近づけると、対向子20の対向面が振動装置10の上記振動面に引き寄せられた状態で保たれる。回転装置1は、対向子20を支持する部材を有さない。振動装置10による振動は、限定はしないが、例えば、超音波振動であり、20kHz以上の周波数である。振動装置10による振動は、限定はしないが、例えば、単振動である。このように、振動子の振動面に物体が引き寄せられる現象の詳細な原理については解明されていないが、非特許文献1においてその現象が報告されている。

【0017】

振動装置10が振動し、対向子20が引き寄せられている際に、振動装置10の振動面と、対向子20の面部との間にセルフセンタリング効果が生じることにより、振動装置10の振動面の中心部の位置と、対向子20の面部の中心部の位置とが近傍位置になる。また、上記のとおり、対向子20の面部の径と、振動装置10の上記振動面の径は同径であ

10

20

30

40

50

る。その結果、振動装置 10 が振動し、振動装置 10 の上記振動面と、対向子 20 の面部とが対向しているとき、振動装置 10 の上記振動面の当該振動面上の端部は、対向子 20 の面部の当該面部上の端部と対向する。

【0018】

また、このとき、対向子 20 は、振動装置 10 の振動方向を軸に回転する。当該回転が生じる原理は明らかではないが、振動装置 10 の振動面の振動により発生する圧力により生じ、振動装置 10 と対向子 20 との間の隙間を介して流れる水流、及び振動面の振動により発生する音響流などが対向子 20 の面部に当たることにより、対向子 20 の回転が生じている可能性がある。対向子 20 の回転の詳細については、後述する。

【0019】

なお、本実施形態において、対向子 20 の面部が平行領域及びインペラ領域を有することとしたが、これに限定されない。変形例として、対向子 20 の面部ではなく、振動装置 10 の振動面が平行領域及びインペラ領域を有してもよい。以降に説明する実施形態においても同様である。

【0020】

以上のように本実施形態によれば、回転装置 1 は、振動装置 10（振動子）と、対向子 20 とを備える。振動装置 10 は、振動方向に対して垂直な振動面を有する。対向子 20 は、振動装置 10 の上記振動面に対向する対向面を有し、振動装置 10 の振動方向を軸に回転する。振動装置 10 の上記振動面及び対向子 20 の対向面は、それぞれが互いに平行に対向する平行領域と、少なくとも一方に立体的に形成されたインペラ領域とを有する。

【0021】

回転装置 1 は上記のような構成を有することにより、振動装置 10 を利用した新規な回転装置を実現することが可能である。特に、対向子 20 は、振動装置 10 に接触せずに回転するため、振動装置 10 との接触による摩耗や損傷が生じにくい。その結果、耐久性の高い回転装置 1 を実現することが可能である。

【0022】

以下に、本実施形態における振動装置 10 及び対向子 20 の例を詳しく説明する。

【0023】

<振動装置>

図 2 A 及び図 2 B を参照して、本実施形態における振動装置 10 の例示的な構成について説明する。振動装置 10 は、振動を発生するように構成されていればよく、その具体的な構成は、以下に説明する構成に限定されない。振動装置 10 の振動子 11 は、ドーナツ型の圧電セラミックと、電極板とを交互に挟み、その両端をさらに金属ブロックで挟み、貫通ボルトで締め合わせるることにより、構成される。振動子 11 は、その軸方向に分極されるように電極板に電圧が印加される。回路から交流電圧を電極板に印加することにより、逆圧電効果による伸縮が生じ、振動子 11 は、単方向の振動モードで振動する。振動子 11 は、貫通ボルトで締め合わせて構成されることにより、引張力に弱い圧電セラミックでも振動振幅に耐え、高出力振動子として動作する。

【0024】

振動子 11 の軸方向の一端には、ホーン 12 が接続されている。ホーン 12 は、形状、模様、孔の有無、及び材質など、振動装置 10 の振動面が所望の条件を満たすようにするために振動子 11 に接続される部材である。図 2 A に示す例において、ホーン 12 は、円柱形状で構成される。振動装置 10 の振動面となるホーン 12 の底面は、円形で構成される。ホーン 12 は、その軸が振動子 11 の軸と同軸になるように振動子 11 に接続されている。ホーン 12 は、任意の部材により構成されるが、例えば、ステンレスなどの金属部材により構成される。

【0025】

図 3 を参照して、本実施形態における振動装置 10 で使用した例示的な振動子 11 の振動特性の例を説明するが、振動特性はこれに限定されない。固定具 30 により固定した状態における振動装置 10 の振動特性をインピーダンスアナライザによって測定したときの

10

20

30

40

50

測定結果を図 3 に示す。図 3 は、振動装置 10 の回路の交流電圧の周波数と、アドミタンスのコンダクタンス（実部 G）及びサセプタンス（虚部 B）との間の関係を示している。図 3（1）は、空中における振動装置 10 の振動特性を測定した結果を示す。図 3（2）は、水中における振動装置 10 の振動特性を測定した結果を示している。実部 G が極大値（単位 [ S ]）をとるときの周波数が振動装置 10 の共振周波数である。図 3 によれば、空中及び水中において振動装置 10 は周波数 26.5 ~ 26.6 kHz で共振する。アドミタンスの位相計測を利用して、振動装置 10 の共振周波数の追従は可能である。図 3 によれば、水中における実部 G の極大値は空中における実部 G の極大値の約半分程度である。従って、図 3 は、水中と空気中で同じ振動振幅を得るためには、水中では空中での約 2 倍の電圧を印加する必要があることを示している。

10

【0026】

< 対向子 >

図 4 A から図 4 E を参照して、本実施形態における対向子 20 の形状の複数の例を説明する。図 4 A に示す例において、対向子 20 a は、円盤形状である。対向子 20 a の二つの対向する円形の面部のうち少なくとも一方の面部は、インペラ領域と、当該インペラ領域を囲む平面領域 203 とを有する。インペラ領域は、複数の傾斜面 201 と、複数の垂直面 202 とを有する。傾斜面 201 は、平面領域 203 に対して傾斜した扇形状の面である。傾斜面 201 は、平面領域 203 と放射線との接点を頂点とし、傾斜面 201 の他方の放射線に向かって傾斜する。当該傾斜の角度は、限定はしないが、例えば、平面領域 203 に対して 10° である。垂直面 202 は、平面領域 203 に対して垂直な面であり、二つの傾斜面 201 の端部間に延在する平面である。インペラ領域において、傾斜面 201 と垂直面 202 とが接する複数の接線（以下、「放射線」とも称する。）が、インペラ領域の中心部から平面領域 203 まで放射状に延在する。

20

【0027】

また、図 4 A に示す例において、対向子 20 a は、面部の端部に沿って、面部上に形成され、平面領域 203 を上面とする凸部を有する。当該凸部は、インペラ領域に比して高度の高い領域を有するため、本実施形態において、対向子 20 a の当該凸部は縁（へり）とも称され、インペラ領域において平面領域 203 よりも窪んだ部位は凹部とも称される。

【0028】

振動装置 10 の振動面と、対向子 20 a の凸部及び凹部を有する面部（対向面）とが対向していることにより、振動装置 10 の振動面と、対向子 20 a の対向面とにより、空間が形成される。この場合において、振動装置 10 の振動面は、対向子 20 a の凸部に接触した状態ではなく、振動装置 10 の振動面と対向子 20 a の凸部との間に所定距離の間隔が存在する。

30

【0029】

さらに、図 4 A に示す例において、限定はしないが、対向子 20 a の円形状の面部の直径は、40 mm であり、平面領域 203 の上面の短手方向の幅は 1.5 mm である。対向子 20 a の厚さは、2.5 mm である。

【0030】

上記のとおり、対向子 20 a の面部及び振動装置 10 の振動面は、円形であり、対向子 20 a の面部の径と、振動装置 10 の振動面の径は同径である。その結果、振動装置 10 が振動し、振動装置 10 の振動面と、対向子 20 a の面部とが対向しているとき、振動装置 10 の振動面の端部は、対向子 20 a の面部の端部と対向する。

40

【0031】

図 4 B から図 4 E に示す対向子 20 の例は、図 4 A に示した対向子 20 a 又は他の対向子 20 の例との違いを中心に説明する。

【0032】

図 4 B に示す対向子 20 b の傾斜面 201 は、傾斜の方法が対向子 20 a と異なる。対向子 20 b の傾斜面 201 は、傾斜面 201 の一方の放射線の位置を最高とし、他方の放射線と平面領域 203 との接点に向かって傾斜する。

50

## 【 0 0 3 3 】

図 4 C に示す対向子 2 0 c は、面部の中央部に貫通孔 2 0 4 c を有する点で、対向子 2 0 b と異なる。詳細には、対向子 2 0 c は、対向子 2 0 c に平行して対向する二つの面部のうち一方の面部の中央部から、他方の面部（対向子 2 0 c における裏面）に向かって形成された貫通孔 2 0 4 c を有する。貫通孔 2 0 4 c の直径は、限定はしないが、3 mm である。後述するように、インペラ領域の中央部に貫通孔 2 0 4 c を有することにより、対向子 2 0 c の回転がより安定する。

## 【 0 0 3 4 】

図 4 D に示す対向子 2 0 d は、面部の中央部ではなく、放射線と平面領域 2 0 3 との接点に貫通孔 2 0 4 c を有する点で、対向子 2 0 c と異なる。

10

## 【 0 0 3 5 】

図 4 E に示す対向子 2 0 e の垂直面 2 0 2 e は、対向子 2 0 a の垂直面 2 0 2 は平面であるのとは異なり、湾曲している。図 4 E に示す例において、垂直面 2 0 2 e は、上面視で窪みを形成するように湾曲している。また、対向子 2 0 e は、面部の中央部に貫通孔 2 0 4 e を有する点で、対向子 2 0 a とは異なる。

## 【 0 0 3 6 】

< 計測結果 >

図 1 に示した回転装置 1 を構成し、回転装置 1 の対向子 2 0 として、図 4 A から図 4 E に示した対向子 2 0 a から対向子 2 0 e を採用した場合における対向子 2 0 の回転特性の計測結果について以下に説明する。

20

## 【 0 0 3 7 】

対向子 2 0 の回転特性の計測のために、ファンクションジェネレータにより交流電圧を発生させ、ハイスピードアンプにより電圧を増幅して振動装置 1 0 の振動子 1 1 に印加し、振動子 1 1 を励振させた。印加する交流電圧の周波数は、振動子 1 1 の共振周波数であった 26.5 kHz である。振動装置 1 0 の下端及び対向子 2 0 が浸された水槽 5 0 内の水の水温は、20 から 30 の範囲に保った。対向子 2 0 の回転速度は、低速回転時には肉眼でストップウォッチにより計測し、高速回転時にはビデオ撮影した動画から計測した。

## 【 0 0 3 8 】

図 5 A から図 5 E に、対向子 2 0 a から対向子 2 0 e のそれぞれについて、振動装置 1 0 の振動振幅 (Amplitude) に対する対向子の回転速度 (Rotational speed) の計測結果を示す。計測結果は、大気圧の条件ごとに示されている。

30

## 【 0 0 3 9 】

図 6 に示すように、対向子 2 0 のインペラ領域の上面視で反時計回りを対向子 2 0 の正方向の回転とし、図 5 A から図 5 E に回転速度をプラスの値で示している。一方、時計回りを対向子 2 0 の負方向の回転とし、図 5 A から図 5 E に回転速度をマイナスの値で示している。

## 【 0 0 4 0 】

対向子 2 0 の形状によって、それぞれ異なる回転特性を示すことが図 5 A から図 5 E から把握できる。例えば、対向子 2 0 b、2 0 c、2 0 e は、振動装置 1 0 の振動振幅の上昇に従って回転速度がより上昇する傾向にある。また、面部（インペラ領域）の中央部に貫通孔を有する対向子 2 0 c、2 0 e は、他の対向子 2 0 と比較して測定結果のばらつきが小さい。従って、面部の中央部に貫通孔を有することにより、対向子 2 0 c の回転がより安定することが把握できる。

40

## 【 0 0 4 1 】

本実施形態の変形例を説明する。以下に説明する複数の変形例のそれぞれの内容は、適宜、上記実施形態及び他の変形例に適用可能である。以下の変形例の説明において、上記実施形態と同様の構成については、適宜、同じ符号を付してその説明を省略あるいは簡略化する。

## 【 0 0 4 2 】

50

## &lt; 変形例 1 &gt;

上記実施形態では、回転装置 1 が一つの振動装置を有したが、変形例 1 では、回転装置 1 が二つの振動装置を有する。

## 【 0 0 4 3 】

図 7 A 及び図 7 B を参照して、変形例 1 における回転装置 1 の概略構成を説明する。回転装置 1 は、振動装置 1 0 1、振動装置 1 0 2、及び対向子 2 1 1 を備える。振動装置 1 0 1 及び振動装置 1 0 2 は、振動装置 1 0 と同様に構成される。

## 【 0 0 4 4 】

振動装置 1 0 1 は、振動方向に対して垂直な第 1 振動面を有する。振動装置 1 0 2 は、振動方向に対して垂直な第 2 振動面を有する。変形例 1 における回転装置 1 において、第 1 振動面と、第 2 振動面とが対向するように、振動装置 1 0 1 及び振動装置 1 0 2 が設置される。第 1 振動面と、第 2 振動面との間に、対向子 2 1 1 が置かれる。対向子 2 1 1 は、例えば、円盤状などの板形状である。対向子 2 1 1 は、円形の二つの面部を有する。

## 【 0 0 4 5 】

図 7 A に示すように、第 1 振動面、第 2 振動面、及び対向子 2 1 1 は、水槽 5 0 1 に満たされた水に浸水している。

## 【 0 0 4 6 】

図 7 B に示すように、対向子 2 1 1 の第 1 面部 2 1 1 a 及び第 2 面部 2 1 1 b はそれぞれ、上記実施形態と同様の平面領域及びインペラ領域を有する。第 1 振動面と、第 2 振動面との間に対向子 2 1 1 が置かれているとき、第 1 面部 2 1 1 a は第 1 振動面の対向面となり、第 2 面部 2 1 1 b は第 2 振動面の対向面となる。第 1 面部 2 1 1 a 及び第 2 面部 2 1 1 b の径と、第 1 振動面及び第 2 振動面の径は同径である。なお、インペラ領域は、第 1 面部 2 1 1 a 及び第 2 面部 2 1 1 b ではなく、第 1 振動面及び第 2 振動面に形成されていてもよい。

## 【 0 0 4 7 】

振動装置 1 0 1 及び振動装置 1 0 2 が振動している際に、第 1 振動面及び第 2 振動面と、第 1 面部 2 1 1 a 及び第 2 面部 2 1 1 b との間にセルフセンタリング効果が生じることにより、第 1 振動面及び第 2 振動面の中心部の位置と、第 1 面部 2 1 1 a 及び第 2 面部 2 1 1 b の中心部の位置とが近傍位置になる。このとき、対向子 2 1 1 は、振動装置 1 0 1 及び振動装置 1 0 2 の振動方向を軸に回転する。

## 【 0 0 4 8 】

なお、水流及び音響流等が第 1 面部 2 1 1 a に当たることにより生じる回転力と、水流及び音響流等が第 2 面部 2 1 1 b に当たることにより生じる回転力とが反発しあわないような形状で、第 1 面部 2 1 1 a 及び第 2 面部 2 1 1 b のインペラ領域は形成される。

## 【 0 0 4 9 】

変形例 1 の回転装置 1 によれば、振動装置 1 0 1 は、振動方向に対して垂直な第 1 振動面を有する。振動装置 1 0 2 は、振動方向に対して垂直な第 2 振動面を有する。対向子 2 1 1 は、第 1 振動面に対向する第 1 面部 2 1 1 a と、第 2 振動面に対向する第 2 面部 2 1 1 b とを有する。第 1 振動面及び第 1 面部 2 1 1 a (第 1 対向面) は、それぞれが互いに平行に対向する第 1 平行領域と、少なくとも一方に立体的に形成された第 1 インペラ領域とを有する。第 2 振動面及び第 2 面部 2 1 1 b (第 2 対向面) は、それぞれが互いに平行に対向する第 2 平行領域と、少なくとも一方に立体的に形成された第 2 インペラ領域とを有する。対向子 2 1 1 は、振動装置 1 0 1 及び振動装置 1 0 2 の振動方向を軸に回転する。

## 【 0 0 5 0 】

変形例 1 において、二つの振動装置の振動により対向子 2 1 1 の回転力が生じるため、対向子 2 1 1 の回転トルクを増加させることが可能である。

## 【 0 0 5 1 】

## &lt; 変形例 2 &gt;

変形例 2 では、回転装置 1 の振動装置の振動面に、振動装置の内部を介して外界に向かって形成された貫通孔を設け、当該貫通孔から流体を吸い上げる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 5 2 】

図 8 A に示すように、変形例 2 において、回転装置 1 は、振動装置 1 0 3 を備える。振動装置 1 0 3 において、振動方向に対して垂直な振動面には、振動装置 1 0 3 の内部を介して振動装置 1 0 3 の外界に向かって形成された貫通孔 1 2 1 が設けられている。回転装置 1 は、振動装置 1 0 3 に貫通孔 1 2 1 が設けられていること以外は、上記実施形態の回転装置 1 と同様に構成されている。

## 【 0 0 5 3 】

振動面を含む振動装置 1 0 3 の下端を水槽 5 0 の水に浸水させた状態で、振動装置 1 0 3 を振動させ、対向子 2 0 の平行領域及びインペラ領域を有する面部（対向面）を振動装置 1 0 3 の振動面に近づけると、対向子 2 0 の対向面が振動装置 1 0 の上記振動面に引き寄せられた状態で保たれる。このとき、振動装置 1 0 3 の振動面の振動により発生する圧力によって、振動装置 1 0 3 と対向子 2 0 との間の隙間を介して流れる水流が発生する。また、振動面の振動により音響流が発生する。上記水流及び音響流などが対向子 2 0 の面部に当たることにより、対向子 2 0 の回転が生じる。また、上記水流、音響流、及び対向子 2 0 の回転などにより、振動装置 1 0 3 の振動面と、対向子 2 0 の面部との間に形成された空間内に負圧が生じ、流体（水）が空間内に吸い込まれる。その結果、ポンプ効果が生じ、上記空間内に流れ込んだ流体が振動面の貫通孔 1 2 1 に吸い込まれ、振動装置 1 0 3 の内部を通り外界へ吐き出される。

10

## 【 0 0 5 4 】

変形例 2 において、回転装置 1 は、変形例 1 と同様に二つの振動装置を有し、当該二つの振動装置のそれぞれに貫通孔を設けてもよい。

20

## 【 0 0 5 5 】

図 8 B を参照して、変形例 2 において、回転装置 1 が二つの振動装置を有する場合の概略構成を説明する。回転装置 1 は、振動装置 1 0 3 及び振動装置 1 0 4 を有する。振動装置 1 0 4 は、振動装置 1 0 3 と同様に構成されており、振動方向に対して垂直な振動面には、振動装置 1 0 4 の内部を介して振動装置 1 0 4 の外界に向かって形成された貫通孔 1 2 2 が設けられている。

## 【 0 0 5 6 】

図 8 B に示す回転装置 1 は、貫通孔 1 2 1 及び貫通孔 1 2 2 が設けられていること以外は、変形例 1 の回転装置 1 と同様に構成されている。図 8 B に示す回転装置 1 において、振動装置 1 0 3 及び振動装置 1 0 4 の振動面、並びに対向子 2 1 1 の二つの面部により形成されたそれぞれの空間内にポンプ効果が生じ、当該空間内に流れ込んだ流体が振動面の貫通孔 1 2 1 及び貫通孔 1 2 2 のそれぞれに吸い込まれ、振動装置 1 0 3 及び振動装置 1 0 4 の内部を通り外界へ吐き出される。

30

## 【 0 0 5 7 】

< 変形例 3 >

上記実施形態及び変形例では、振動装置の振動面、及び対向子を水中で動作させたが、変形例 3 では、これらを空中で動作させる。

## 【 0 0 5 8 】

図 9 A に示すように、回転装置 1 は、振動装置 1 0 2 及び対向子 2 1 2 を備える。振動装置 1 0 2 は、振動方向に対して垂直な振動面を有し、振動装置 1 0 2 は、当該振動面が鉛直方向上を向くように設置される。

40

## 【 0 0 5 9 】

図 9 B に示すように、振動装置 1 0 2 の振動面に対向する対向子 2 1 2 の面部 2 1 2 a は、振動装置 1 0 2 の振動面と平行する平面である平面領域 2 1 2 2 と、当該平面領域 2 1 2 2 を囲む立体的なインペラ形状が形成されたインペラ領域 2 1 2 1 とを有する。上記の実施形態のように、対向子を水中で回転させる場合、例えば、平面領域 2 0 3 のように、平面領域は縁である（面部の外周に設けられている）ことが好ましい。一方で、空中で回転させる場合、図 9 B に示すように、平面領域 2 1 2 2 は、対向子 2 1 2 の面部 2 1 2 a の中央部に設けてもよく、対向子 2 1 2 の面部 2 1 2 a に縁として面部 2 1 2 a の外周

50

に設けられいてもよい。

【 0 0 6 0 】

振動装置 1 0 2 の振動面上に対向子 2 1 2 を置き、振動装置 1 0 2 を超音波振動などの高周波振動で振動させることにより、振動装置 1 0 2 の振動面にスクイーズ膜効果が生じ、対向子 2 1 2 が浮上する。スクイーズ膜効果により生じる正の圧力がインペラ領域 2 1 2 1 に加わることにより回転力が生じ、対向子 2 1 2 は、振動装置 1 0 2 の振動方向を軸に回転する。またこのとき、振動装置 1 0 2 の振動面と、対向子 2 1 2 の面部 2 1 2 a との間にセルフセンタリング効果が生じることにより、振動装置 1 0 2 の振動面の中心部の位置と、対向子 2 0 の面部 2 1 2 a の中心部の位置とが近傍位置になる。

【 0 0 6 1 】

図 9 C に示すように、変形例 3 における回転装置 1 は、変形例 1 のように二つの振動装置を有してもよい。図 9 C に示す例において、回転装置 1 は、振動装置 1 0 1、振動装置 1 0 2、及び対向子 2 1 3 を備える。振動装置 1 0 1 は、振動方向に対して垂直な第 1 振動面を有する。振動装置 1 0 2 は、振動方向に対して垂直な第 2 振動面を有する。第 1 振動面と、第 2 振動面とが対向するように、振動装置 1 0 1 及び振動装置 1 0 2 が設置される。第 1 振動面と、第 2 振動面との間に、対向子 2 1 3 が置かれる。対向子 2 1 3 は、例えば、円盤状などの板形状である。対向子 2 1 1 は、円形の二つの面部を有する。二つの面部のそれぞれは、図 9 B に示した面部 2 1 2 a と同様の形状で形成される。

【 0 0 6 2 】

なお、対向子 2 1 3 の二つの面部のそれぞれに加わる圧力により生じる回転力が反発しあわないような形状で、対向子 2 1 3 のそれぞれの面部のインペラ領域は形成される。

【 0 0 6 3 】

変形例 3 において、二つの振動装置の振動により対向子 2 1 3 の回転力を生じさせることができ、対向子 2 1 3 の回転トルクを増加させることが可能である。

【 0 0 6 4 】

さらに、図 9 D 及び図 9 E に示すように、変形例 3 において、変形例 2 と同様に、回転装置の振動装置の振動面に、振動装置の内部を介して外界に向かって形成された貫通孔を設け、当該貫通孔から流体を吸い上げてよい。

【 0 0 6 5 】

図 9 D 及び図 9 E には、振動装置 1 0 3 に設けられた貫通孔 1 2 1、及び振動装置 1 0 4 に設けられた貫通孔 1 2 2 が示されている。振動装置 1 0 3 及び振動装置 1 0 4 の振動面と、対向子 2 1 2 又は対向子 2 1 3 との間に生じたスクイーズ膜効果により、及び対向子 2 1 2 又は対向子 2 1 3 の回転により、正の圧力が生じる。その結果、ポンプ効果が生じ、対向子 2 1 2 又は対向子 2 1 3 付近に流れ込んだ流体（空気）が振動面の貫通孔 1 2 1 又は貫通孔 1 2 2 に吸い込まれ、振動装置 1 0 3 及び振動装置 1 0 4 の内部を通り外界へ吐き出される。

【 0 0 6 6 】

< 変形例 4 >

変形例 4 では、立体的なインペラ形状が形成された領域であるインペラ領域を振動装置の振動面に設ける。振動面の当該インペラ領域は、上記実施形態及び上記変形例で説明した対向子の面部のインペラ領域の代わりに設けられてもよいし、対向子の面部のインペラ領域と共に設けられてもよい。

【 0 0 6 7 】

図 1 0 A 及び図 1 0 B を参照して、振動装置の振動面に設けられるインペラ領域を説明する。図 1 0 A は、振動装置 1 0 5 の振動面 1 0 5 a の正面図である。図 1 0 B は、振動装置 1 0 5 の側面図である。振動装置 1 0 5 の振動面 1 0 5 a は円形であり、直径は対向子と同径となるように形成され、例えば、30 mm である。振動装置 1 0 5 の振動面 1 0 5 a の円周から中心方向には複数の切込みが形成されることにより、振動面 1 0 5 a には立体的なインペラ形状が形成されている。当該切込みの底辺は振動面 1 0 5 a の平面方向に対して傾斜しており、当該傾斜の角度は、例えば 2 ° である。また、振動面 1 0 5 a に

10

20

30

40

50

は、振動面 105 a の中心を頂点とする円錐形状の凹部が形成されており、当該円錐の側面の傾きは、振動面 105 a の平面方向に対して、例えば、5°である。

【0068】

振動面 105 a に対向子を近づけ、振動装置 105 を振動させることにより、上記実施形態及び上記変形例と同様に、対向子が回転する。

【0069】

<変形例 5>

上記実施形態及び変形例において、対向子の面部には、立体的形状として、インペラ形状が形成されていた。インペラ形状は一般的に流体の圧力を受けて回転子を回転させる羽根車形状であるが、一般的に広くインペラと認識される形状以外の立体形状が対向子に設けられている場合であっても、当該立体形状によっては対向子が回転子として機能することが本出願人の検証により明らかになった。変形例 5 は、対向子の面部には、インペラ形状とは一般的には認識されにくい立体的形状が形成される例である。変形例 5 において、対向子以外の構成は、上記実施形態及び変形例において説明された構成が適用されてもよい。

【0070】

変形例 5 において、例えば、対向子は、振動子の振動面に対向する対向面を有し、当該対向面は、振動子の振動面と平行に対向する平行領域と、当該対向面の端部に向かって延在するように形成された立体形状を複数有する。すなわち、上記振動面及び上記対向面は、それぞれ互いに平行に対向する平行領域を有してもよい。また、上記平行領域は、平面であってよい。対向面の端部に向かって延在するように形成される上記立体形状の形成の起点は、当該対向面の内側、特に、当該対向面の中心部であってもよい。すなわち、上記立体形状は、対向面の内側又は対向面の内側の中心部から、対向面の端部に向かって形成されてもよい。また、上記立体形状は、同幅で形成されてもよい。平行領域は、水中の場合、振動子の振動面との間の吸着力を生じさせ、空中の場合、上述のスクイズ膜効果による対向子の浮上力（つまり、対向面と振動面との間の反発力）が生じると考えられる領域である。立体形状は、流体の作用を受けて対向子の回転力を生じさせると考えられる領域である。

【0071】

対向面の端部に向かって延在するように形成された立体形状は、例えば、一つ又は複数の溝又は孔を有して形成される。上記溝は、凹部と称されてもよい。また、上記孔は、貫通孔と称されてもよい。対向面に形成される立体形状は、凸部を有して形成されてもよい。

【0072】

なお、対向面に形成された立体形状の数は、限定はしないが、当該対向面に 4 以上であることが、対向子の回転速度の観点で好ましい。さらに、対向面に形成された立体形状の数は、限定はしないが、当該対向面に 4 以上、10 以下であることが、対向子の回転速度の観点で好ましい。

【0073】

図 11 から図 28 に、変形例 5 において適用される対向子の形状の例を示す。また、図 11 から図 22 には、図 1 から図 3 を参照して説明した回転装置 1 に、図 11 から図 22 に示した対向子を適用した場合における、振動装置 10 の振動振幅 (Amplitude) に対する対向子の回転速度 (Rotational speed) の計測結果が示されている。以降に説明する図面に示された符号について、対向子の符号に「a」を付加したものが平行領域の符号であり、「b」を付加したものが立体形状の符号である。例えば、対向子 601 の対向面には、平行領域 601 a と、立体形状 601 b とが形成されている。

【0074】

変形例 5 の対向子の実現のために特に限定はしないが、変形例 5 の後述する説明で示した計測に使用した対向子に関し、特筆する場合を除き、素材はアルミニウム製であり、対向面の直径は 40 mm であり、厚さは 2.5 mm である。また、対向面に溝が設けられている場合は、当該溝の深さは、1.5 mm である。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 7 5 】

図 1 1 に示す対向子 6 0 1 の対向面の外周形状は、上記で説明した振動子の振動面と同様に、円形である。また、当該対向面は、その端部が上記振動面の端部と対向するように形成されている。例えば、当該対向面の外周円と、当該振動面の外周円は、同じ形状及びサイズで形成される。

## 【 0 0 7 6 】

対向子 6 0 1 の対向面は、平行領域 6 0 1 a と、複数の立体形状 6 0 1 b とを有する。対向子 6 0 1 は、その対向面の端部に立体形状 6 0 1 b である孔が形成されている。対向子 6 0 1 は、対向面の端部に立体形状 6 0 1 b である孔が形成されていることにより、端部が解放されている。すなわち、対向子 6 0 1 に形成された立体形状 6 0 1 b は、対向面にスリットを形成している。

10

## 【 0 0 7 7 】

また、対向子 6 0 1 において、対向面に形成された立体形状 6 0 1 b は、対向面の中心部から端部へ向かう複数の放射曲線に沿って形成されている。当該放射曲線の外周から当該放射曲線の曲率円の中心までの距離は、限定はしないが、例えば、21 mm である。立体形状 6 0 1 b の短手方向の幅は、例えば、2 mm である。変形例 5 で以降に説明する対向子においても、別途説明する場合を除き、放射曲線の外周から当該放射曲線の曲率円の中心までの距離、及び立体形状の短手方向の幅は、図 1 1 に示した例と同じであってもよい。

## 【 0 0 7 8 】

対向子 6 0 1 において、対向面の中心部には、上記平行領域が形成されている。当該平行領域の外周は、対向面の外周円と同心円を規定するように形成されている。換言すれば、対向子 6 0 1 の対向面に形成された立体形状 6 0 1 b (又は当該立体形状 6 0 1 b の端部) は、当該対向面の外周円と同心の同心円に沿って形成されている。図 1 1 に示す例において、限定はしないが、上記平行領域の外周円の半径は、27 mm である。

20

## 【 0 0 7 9 】

対向面の中心部に形成された上記平行領域の外周円の半径は、対向面の外周円の半径の 60% から 80% であってもよい。より好ましくは、上記平行領域の外周円の半径は、対向面の外周円の半径の 70% から 80% であってもよい。

## 【 0 0 8 0 】

上記のとおり、対向子 6 0 1 において、立体形状 6 0 1 b は、対向面の中心部から端部へ向かう複数の放射曲線に沿って形成されている。その結果、隣接する立体形状 6 0 1 b は、対向面の半径方向に対して互いに対称ではない。すなわち、対向面に形成された複数の立体形状 6 0 1 b は、対向面の半径方向に対して互いに対称ではない隣り合う複数の立体形状 6 0 1 b を含む。

30

## 【 0 0 8 1 】

なお、後述する例のように、対向面の中心部には、上記平行領域ではなく、孔が形成されていてもよい。

## 【 0 0 8 2 】

図 1 1 に示す対向子 6 0 1 の回転速度の計測結果のグラフにおいて、同図に示す対向子の面を振動子の振動面と対向させた(すなわち、上に向けた)ときの結果を「front」で示し、同図に示す対向子の面の裏面を振動子の振動面と対向させたときの結果を「reverse」で示した。また、回転速度の計測は複数回行い、1 回目、2 回目、及び 3 回目をそれぞれ、「1st time」、「2nd time」、及び「3rd time」で示した。図 1 2 から図 2 2 に示したグラフにおいても上記と同様である。

40

## 【 0 0 8 3 】

図 1 1 のグラフに示すように、図 1 から図 3 を参照して説明した回転装置 1 に、対向子 6 0 1 を適用した場合に、対向子 6 0 1 の回転が確認された。

## 【 0 0 8 4 】

図 1 2 に示す対向子 6 0 2 の対向面は、平行領域 6 0 2 a と、複数の立体形状 6 0 2 b

50

とを有する。対向子 6 0 2 において、図 1 1 に示した対向子 6 0 1 と同様に、対向面に形成された立体形状 6 0 2 b は、対向面の中心部から端部へ向かう複数の放射曲線に沿って形成されている。対向子 6 0 2 において、当該放射曲線の外周から当該放射曲線の曲率円の中心までの距離は、限定はしないが、例えば、1 6 m m である。対向子 6 0 2 の他の構成は、対向子 6 0 1 と同様である。

【 0 0 8 5 】

図 1 2 のグラフに示すように、回転装置 1 に対向子 6 0 2 を適用した場合に、対向子 6 0 2 の回転が確認された。図 1 1 及び図 1 2 のグラフから把握できるように、高い振動振幅において、対向子 6 0 1 の方が対向子 6 0 2 よりも高い回転速度が確認された。

【 0 0 8 6 】

図 1 3 に示す対向子 6 0 3 の対向面は、平行領域 6 0 3 a と、複数の立体形状 6 0 3 b とを有する。立体形状 6 0 3 b は、孔及び溝を有して形成される。立体形状 6 0 3 b は、対向面の中心部から端部へ向かう複数の放射曲線に沿って孔により形成されているが、立体形状 6 0 3 b は、対向面における外周側端部では、溝により形成されている。その結果、対向子 6 0 3 の対向面には、対向子 6 0 1 と異なり、スリットは形成されていない。平行領域 6 0 3 a において、対向面の中心部には、円形の平行領域が形成されている。当該円形の直径は、限定はしないが、6 . 5 m m である。

【 0 0 8 7 】

立体形状 6 0 3 b は、対向面の中心部から端部へ向かう複数の放射曲線に沿って形成されている。当該放射曲線の外周から当該放射曲線の曲率円の中心までの距離（曲率半径）は、限定はしないが、例えば、2 0 m m である。図 1 4 から図 2 2 を参照して説明する対向子においても、当該曲率半径は同様であってもよい。

【 0 0 8 8 】

図 1 3 のグラフに示すように、回転装置 1 に対向子 6 0 3 を適用した場合に、対向子 6 0 3 の回転が確認された。

【 0 0 8 9 】

図 1 4 から図 2 2 に示す対向子についても、回転装置 1 に対向子 6 0 3 を適用した場合に、対向子の回転が確認された。

【 0 0 9 0 】

図 1 4 に示す対向子 6 0 4 において、立体形状 6 0 4 b は、溝により形成されている。立体形状 6 0 4 b は、対向面の中心部から端部へ向かう複数の放射曲線に沿って形成されている。

【 0 0 9 1 】

図 1 5 に示す対向子 6 0 5 において、立体形状 6 0 5 b は、孔により形成されている。立体形状 6 0 5 b は、対向面の中心部から端部へ向かう複数の放射曲線に沿って形成されているが、立体形状 6 0 5 b は、対向面における外周側端部には形成されていない。

【 0 0 9 2 】

図 1 6 に示す対向子 6 0 6 において、立体形状 6 0 6 b は、溝により形成されている。立体形状は、対向面の中心部から端部へ向かう複数の放射曲線に沿って形成されているが、立体形状は、対向面における外周側端部には形成されていない。

【 0 0 9 3 】

図 1 7 に示す対向子 6 0 7 において、立体形状 6 0 7 b は、溝及び孔により形成されている。立体形状 6 0 7 b は、対向面の中心部から端部へ向かう複数の放射曲線に沿って、溝により形成されているが、立体形状 6 0 7 b は、対向面における外周側端部には形成されていない。対向面の中心部には、立体形状 6 0 7 b が孔により円形に形成されている。

【 0 0 9 4 】

図 1 8 に示す対向子 6 0 8 において、立体形状 6 0 8 b は、孔及び溝を有して形成される。立体形状 6 0 8 b は、対向面の中心部から端部へ向かう複数の放射曲線に沿って孔により形成されているが、立体形状 6 0 8 b は、対向面における外周側端部では、溝により形成されている。対向子 6 0 8 は、対向子 6 0 3 と異なり、対向面の中心部に平行領域が

10

20

30

40

50

設けられていない。

【 0 0 9 5 】

図 1 9 に示す対向子 6 0 9 において、立体形状 6 0 9 b は、溝を有して形成される。立体形状 6 0 9 b は、対向面の中心部から端部へ向かう複数の放射曲線に沿って溝により形成されている。

【 0 0 9 6 】

図 2 0 に示す対向子 6 1 0 において、立体形状 6 1 0 b は、孔及び溝を有して形成される。立体形状 6 1 0 b は、対向面の中心部から端部へ向かう複数の放射曲線に沿って溝により形成されている。また、対向面の中心部には、立体形状 6 1 0 b が、孔により円形で形成されている。

10

【 0 0 9 7 】

図 2 1 に示す対向子 6 1 1 において、立体形状 6 1 1 b は、孔により形成される。立体形状 6 1 1 b は、対向面の中心部から端部へ向かう複数の放射曲線に沿って孔により形成されている。立体形状 6 1 1 b は、対向面における外周側端部には形成されていない。また、対向面の中心部には、平行領域が円形で設けられている。

【 0 0 9 8 】

図 2 2 に示す対向子 6 1 2 において、立体形状 6 1 2 b は、溝により形成される。立体形状 6 1 2 b は、対向面の中心部から端部へ向かう複数の放射曲線に沿って溝により形成されている。立体形状 6 1 2 b は、対向面における外周側端部には形成されていない。また、対向面の中心部には、平行領域 6 1 2 a が円形で設けられている。

20

【 0 0 9 9 】

図 2 3 から図 2 8 に示す対向子 6 1 3 から対向子 6 3 4 についても、計測結果は示さないが、図 1 から図 3 を参照して説明した回転装置 1 に、対向子を適用した場合に、対向子の回転の有無を確認した。対向子 6 1 4、対向子 6 1 7 及び対向子 6 3 3 では、明確な回転を確認できなかったが、他の対向子では、回転が確認された。また、対向子 6 1 8 から対向子 6 2 0 の回転はわずかであった。回転がわずかであった対向子については、対向子に回転の初動トルクを別途与えることにより、より回転することが考えられる。

【 0 1 0 0 】

以下に、対向子 6 1 3 から対向子 6 3 4 のうち、特筆すべきものについてその形状を説明する。なお、図 2 3 から図 2 8 において、左側は対向子の写真図であり、右側は模式図である。写真図に示された黒色の立体形状は孔であり、他の立体形状は溝である。

30

【 0 1 0 1 】

対向子 6 1 3 及び対向子 6 1 4 の対向面において、隣接する立体形状は、対向面の半径方向に対して互いに対称に形成されている。

【 0 1 0 2 】

対向子 6 1 5 と対向子 6 2 4 の違いは、対向子 6 1 5 の立体形状は孔で形成されているのに対し、対向子 6 2 4 の立体形状 6 2 4 b は、溝で形成されている点である。

【 0 1 0 3 】

対向子 6 2 6 の対向面は、平行領域 6 2 6 a と、複数の立体形状 6 2 6 b を有する。溝で形成された立体形状 6 2 6 b は、対向子 6 0 1 から対向子 6 1 2 などの他の対向子と比較して、広い面積で形成されている。平行領域 6 2 6 a のうち、対向子 6 2 6 の対向面の中心部は、略円形で形成されている。対向子 6 2 7 の対向面も対向子 6 2 6 と同様に立体形状 6 2 7 b が広い面積で形成されている。対向子 6 2 7 の対向面は、中心部が孔で形成された立体形状である点で、対向子 6 2 6 と異なる。

40

【 0 1 0 4 】

対向子 6 2 8 の対向面は、平行領域 6 2 8 a と、複数の立体形状 6 2 8 b を有する。立体形状 6 2 8 b は、凸部により形成されている。

【 0 1 0 5 】

対向子 6 2 9 の対向面は、平行領域 6 2 9 a と、複数の立体形状 6 2 9 b を有する。立体形状 6 2 9 b は、複数の孔により形成されている。立体形状 6 2 9 b は、複数の溝によ

50

り、又は孔及び溝の組み合わせにより形成されてもよい。

【0106】

対向子631は、後述の変形例6でも使用される対向子である。変形例5において、対向子631の回転が確認された。

【0107】

対向子633の対向面の外周形状は、矩形である。対向子633の対向面の外周形状は、振動子の振動面の外周形状と異なる。従って、対向子633の対向面は、その端部が上記振動面の端部と対向するように形成されていない。上記のとおり、対向子633の明確な回転は確認できなかった。

【0108】

対向子634の対向面は、平行領域634aと、立体形状634bとを有する。立体形状634bは、対向子634の対向面の中心部から端部へ向かう螺旋曲線に沿って形成されている。立体形状634bは、アルキメデスの螺旋形状であってもよい。この場合、限定はしないが、立体形状634bの短手方向の幅は、5mmであってもよい。対向子634の対向面に形成された立体形状は1つである。上記のとおり、対向子634の回転が確認された。

【0109】

<変形例6>

変形例5では、インペラ形状以外の立体的形状が形成された対向子を図1から図3を参照して説明した回転装置1に適用して回転させる例(すなわち、水中で対向子を回転させる例)について説明した。変形例6では、インペラ形状以外の立体的形状が形成された対向子を空中で回転させる例を説明する。変形例6は、変形例3における対向子とは異なる対向子を使用すること以外、変形例3と同様である。特に、回転装置としては、図9Aを参照して説明された回転装置1が使用される。

【0110】

変形例6において、例えば、対向子は、振動子の振動面に対向する対向面を有し、当該対向面は、振動子の振動面と平行に対向する平行領域と、当該対向面の端部に向かって延在するように形成された立体形状を複数有する。すなわち、上記振動面及び上記対向面は、それぞれ互いに平行に対向する平行領域を有してもよい。また、上記平行領域は、平面であってもよい。対向面の端部に向かって延在するように形成される上記立体形状の形成の起点は、当該対向面の内側、特に、当該対向面の中心部であってもよい。すなわち、上記立体形状は、対向面の内側又は対向面の内側の中心部から、対向面の端部に向かって形成されてもよい。平行領域は、振動子の振動面との間に、空中の場合、上述のスクイーズ膜効果による対向子の浮上力(つまり、対向面と振動面との間の反発力)が生じと考えられる領域である。立体形状は、流体の作用を受けて対向子の回転力を生じさせると考えられる領域である。

【0111】

図29及び図30に、変形例6において適用される対向子の形状の例として、対向子701から708を示す。変形例6における対向子の製造方法は限定はしないが、図29及び図30に示す対向子は、ABS樹脂製であり、3Dプリンタを使用して製造された。以降に説明する図面に示された符号について、対向子の符号に「a」を付加したものが平行領域の符号であり、「b」を付加したものが立体形状の符号である。例えば、対向子701の対向面には、平行領域701aと、立体形状701bとが形成されている。

【0112】

対向子701の対向面は、平行領域701aと、立体形状702bとを有する。平行領域701aは、中心部701a1、梁701a2、及び外周部701a3を有する。中心部701a1は、対向面の中心部分の領域である。外周部701a3は、対向面の外周部分の領域である。梁701a2は、中心部701a1と、外周部701a3とをつなぐ領域である。立体形状702bは、孔により形成されている。対向子702から708についても、平行領域と、立体形状とを有する。また、当該平行領域は、中心部と、梁と、外

10

20

30

40

50

周部とを有する。対向子 701 から 708 は、有する梁の数がそれぞれ異なり、当該梁の数は、2 から 9 である。

【0113】

梁において、対向面の中心部と、外周部とをつなぐ 2 つの側面は、互いに平行であっても、平行ではなくてもよい。平行ではない場合、例えば、対向子 704 の梁 704a2 における上記 2 つの側面の長手方向の交点がなす角度は、 $10^\circ$  である。また、対向子 704 の中心部 704a1 の直径は、 $10.5\text{ mm}$  である。対向子 704 の外周部 704a3 の外周円の直径は、 $40\text{ mm}$  であり、内周円の直径は、 $30\text{ mm}$  である。

【0114】

図 31 は、図 29 に示した対向子の梁の本数、質量、孔の面積、及び全体に対する孔の面積の比率の関係を示している。

10

【0115】

図 32 は、図 29 に示した対向子の梁の本数、全体に対する孔の面積の比率、対向子の回転速度、振動子の後端振幅の関係を示している。

【0116】

図 33 は、図 29 に示した対向子の梁の本数と、回転速度との関係を示している。図 32 及び図 33 によれば、梁の本数が 6 である対向子（すなわち、対向子 708）の回転速度が、他の対向子と比較して早い。

【0117】

< その他の変形例 >

20

上記実施形態及び上記変形例における回転装置 1 を有するモータを構成してもよい。この場合において、上記対向子を回転させることにより、当該モータを駆動させてもよい。

【0118】

上記実施形態及び上記変形例における回転装置 1 を有するポンプを構成し、上記対向子を回転させることにより、当該ポンプを駆動させてもよい。この場合において、回転装置 1 の振動装置に設けられた上記の貫通孔より流体を吸い込み、振動装置の外部に送り出すことにより、回転装置 1 はポンプの機能を提供してもよい。

【0119】

上記実施形態における回転装置 1 の対向子 20 は、振動装置 10 の振動方向を軸に回転するように構成されていたが、変形例として、対向子 20 は、回転しないように固定されていてもよい。例えば、図 1 に示す、振動装置 10（振動子）と、対向子 20 とを有する回転装置 1 の変形例として、対向子 20 は、振動面に対向する対向面を有し、上記振動面と上記対向面とが離間して対向するように固定されてもよい。ここで、固定とは、対向子 20 が所定位置で回転せず、不動であることを意味してもよい。対向子 20 は、例えば、支持部材を介して、又は固定された部材と一体的に形成されることにより、固定されてもよい。対向子 20 は固定されることにより、上記振動面の中心部の位置と、対向子 20 の面部の中心部の位置とが近傍位置になるように設けられてもよい。対向子 20 は固定されることにより、上記振動面と上記対向面との間の距離は限定はしないが、 $10 \sim 500\text{ }\mu\text{m}$  になるように設けられてもよい。上記振動面と上記対向面は、同形状（例えば、円形）であってもよい。また、当該変形例における回転装置 1 は、図 1 に示す例と同様に、上記振動面及び上記対向面は、それぞれが互いに平行に対向する平行領域と、少なくとも一方に立体的に形成されたインペラ領域とを有してもよい。また、当該変形例における回転装置を有するポンプが構成されてもよい。当該ポンプは、例えば、図 8A の例のように、振動装置に貫通孔が設けられることにより、形成されてもよい。当該変形例において、対向子は固定されているため、対向子が回転する場合と比較して、振動面と、対向子 20 の面部との間に形成された空間内に生じるポンプ効果による圧力の低減を抑えることが可能である。

30

40

【0120】

実施形態及び変形例を説明したが、当業者であれば当該本実施形態及び変形例に基づきさらに種々の変形や修正を行うことが可能であり、これらの変形や修正は本実施形態に含

50

まれる。各手段等に含まれる機能等は論理的に矛盾しないように再配置可能であり、複数の手段やステップ等を1つに組み合わせたり、或いは分割したりすることが可能である。

【符号の説明】

【 0 1 2 1 】

1 回転装置

1 0 振動装置

1 1 振動子

1 2 ホーン

2 0 , 2 1 1 , 2 1 2 , 2 1 3 対向子

3 0 固定具

4 0 Z軸ステージ

5 0 水槽

6 0 温度プローブ

1 0 1 , 1 0 2 , 1 0 3 , 1 0 4 , 1 0 5 振動装置

10

20

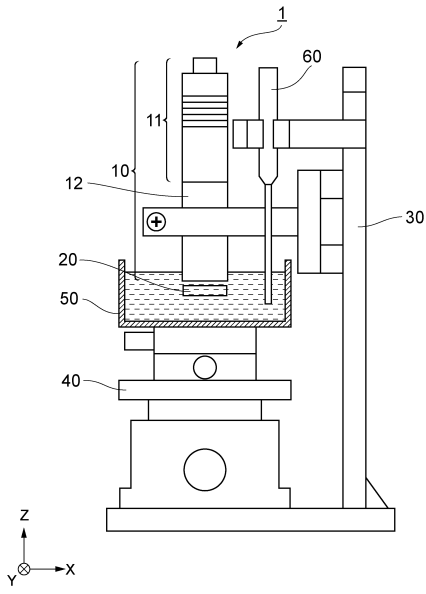
30

40

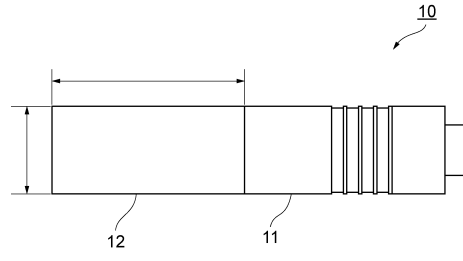
50

【図面】

【図 1】



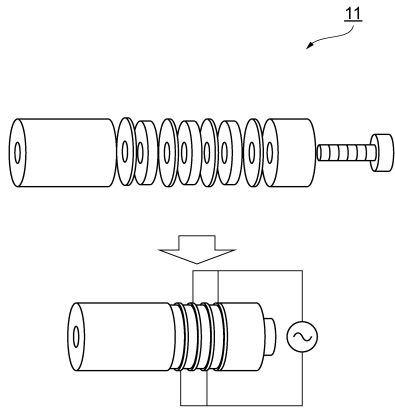
【図 2 A】



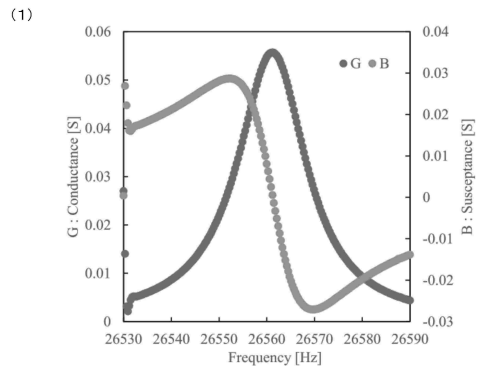
10

20

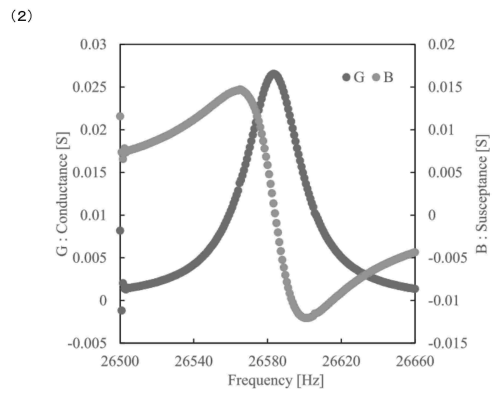
【図 2 B】



【図 3】



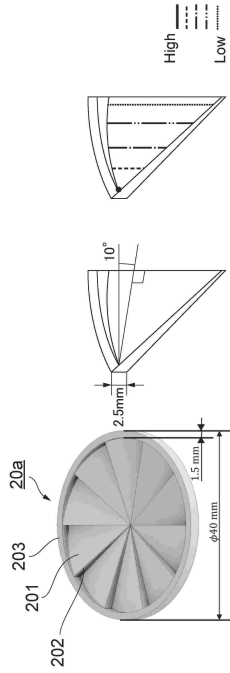
30



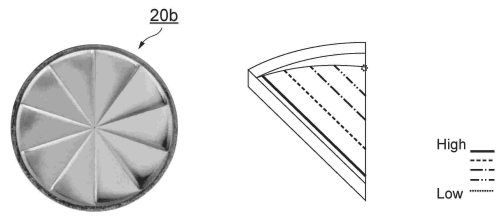
40

50

【 4 A 】



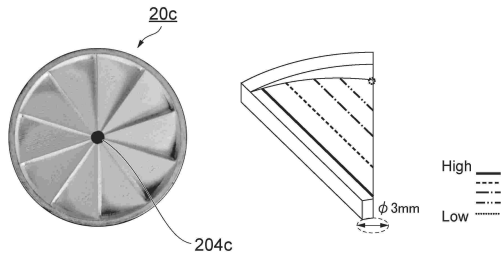
【 4 B 】



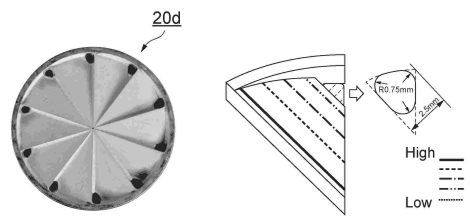
10

20

【 4 C 】



【 4 D 】

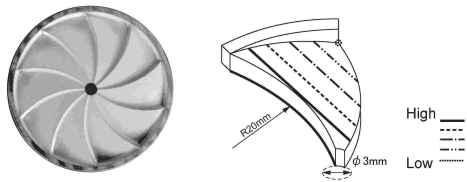


30

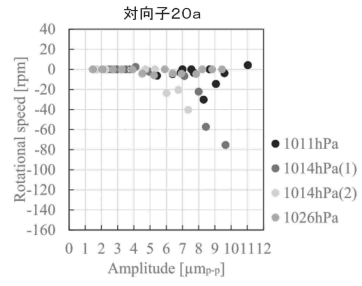
40

50

【 図 4 E 】

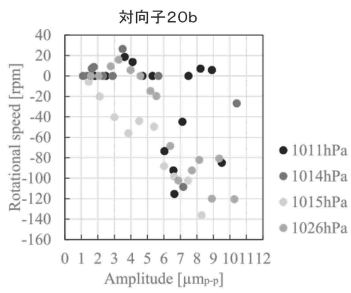


【 図 5 A 】

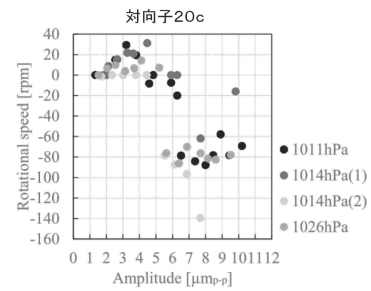


10

【 图 5 B 】

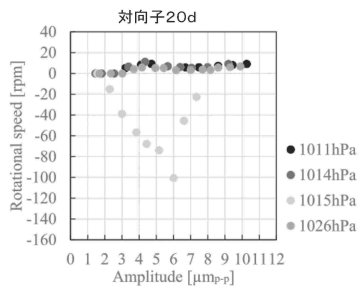


【 图 5 C 】

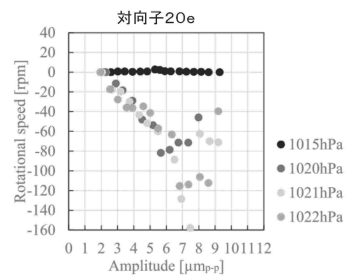


20

【 图 5 D 】



【 图 5 E 】

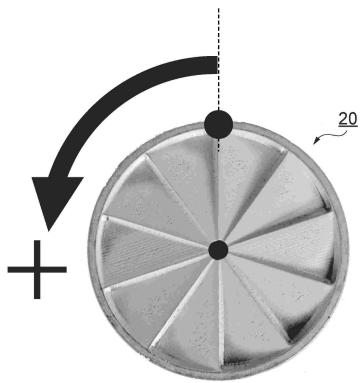


30

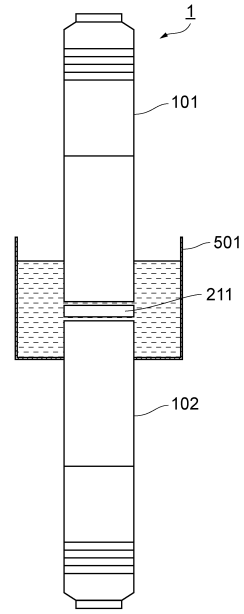
40

50

【図 6】



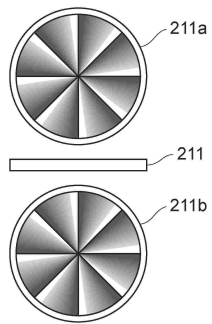
【図 7 A】



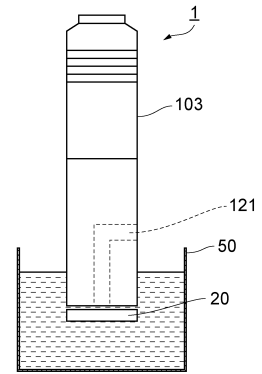
10

20

【図 7 B】



【図 8 A】

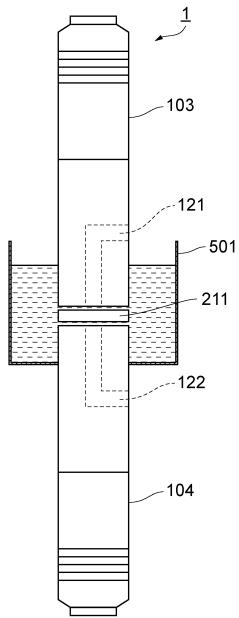


30

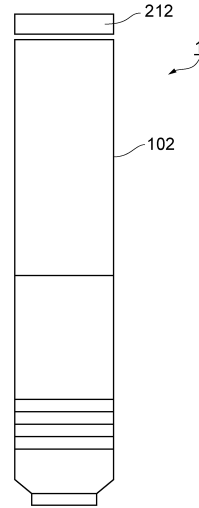
40

50

【 図 8 B 】



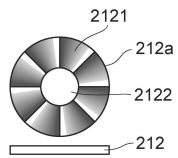
【 図 9 A 】



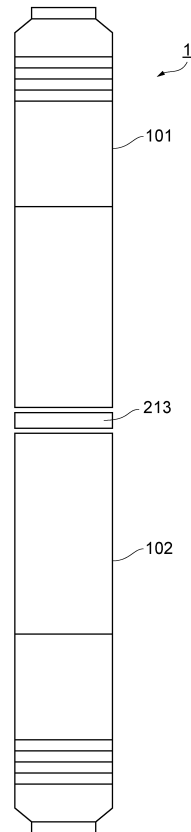
10

20

【 図 9 B 】



【 図 9 C 】

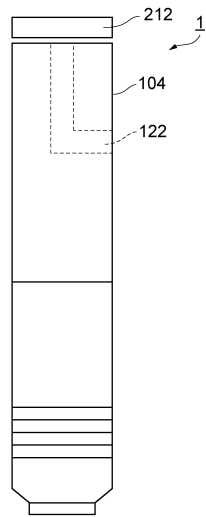


30

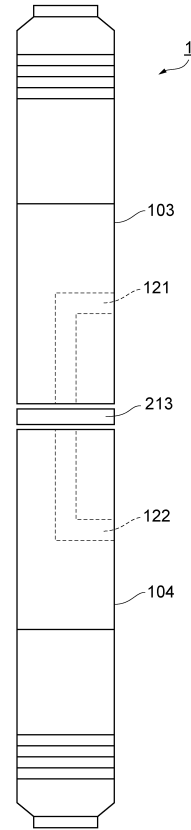
40

50

【 9 D 】



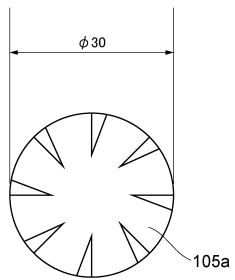
【 9 E 】



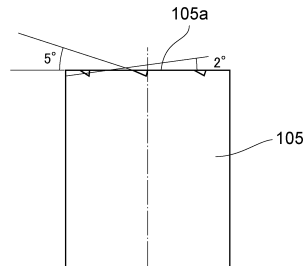
10

20

【 10 A 】



【 10 B 】

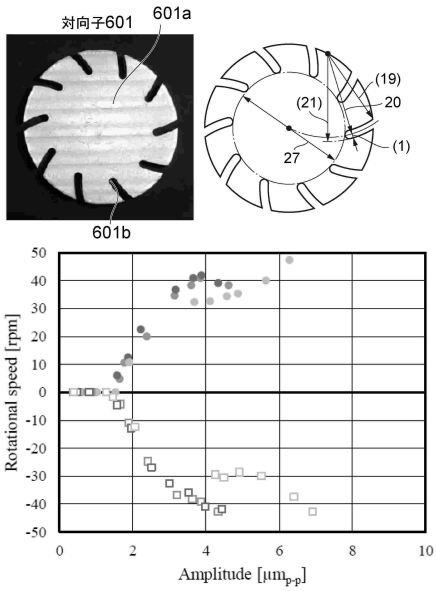


30

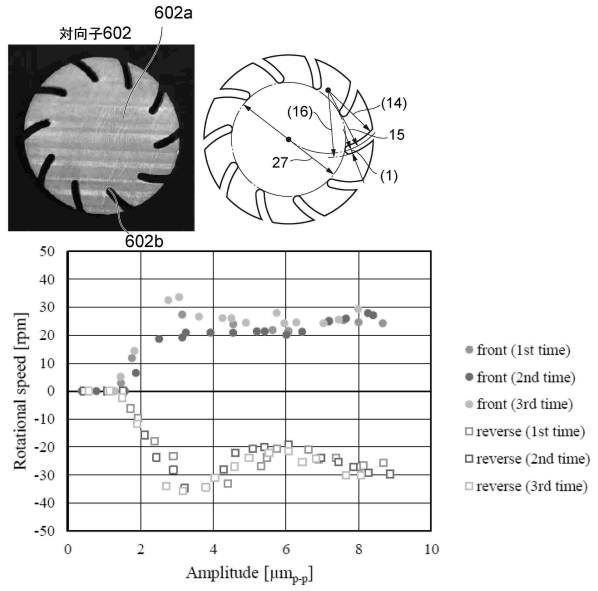
40

50

【 図 1 1 】

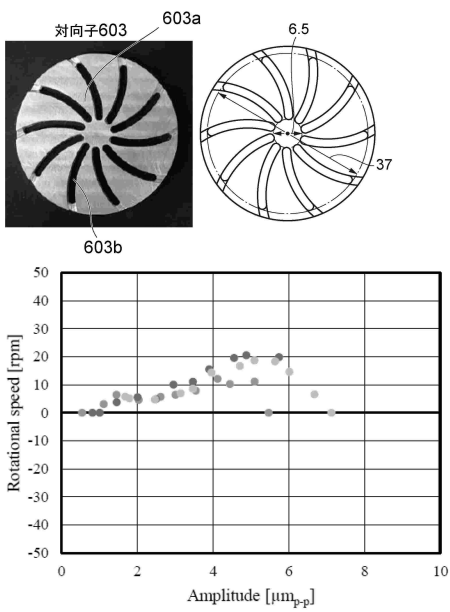


【 図 1 2 】

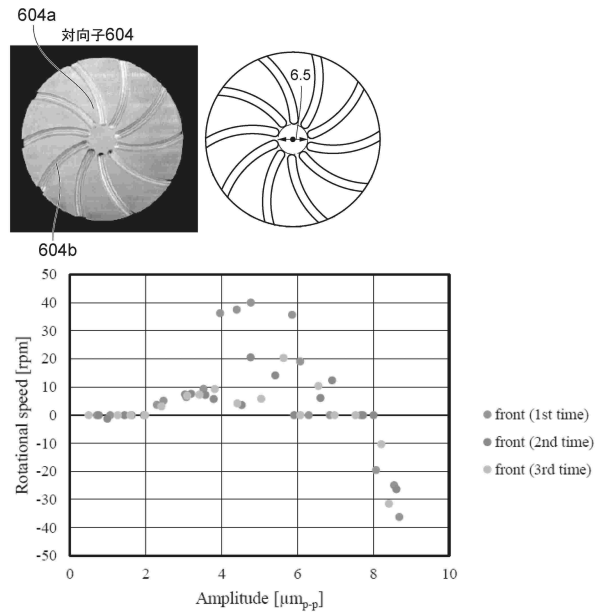


10

【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



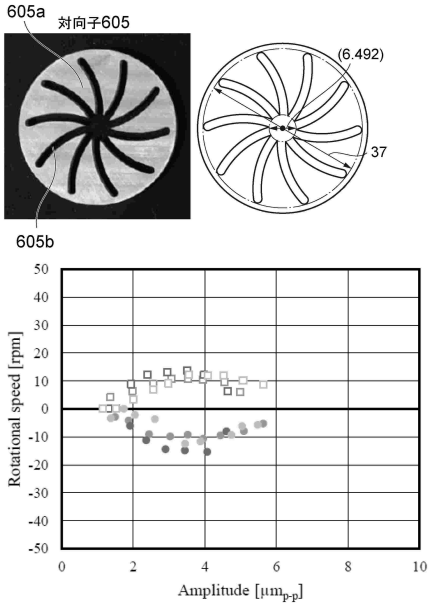
20

30

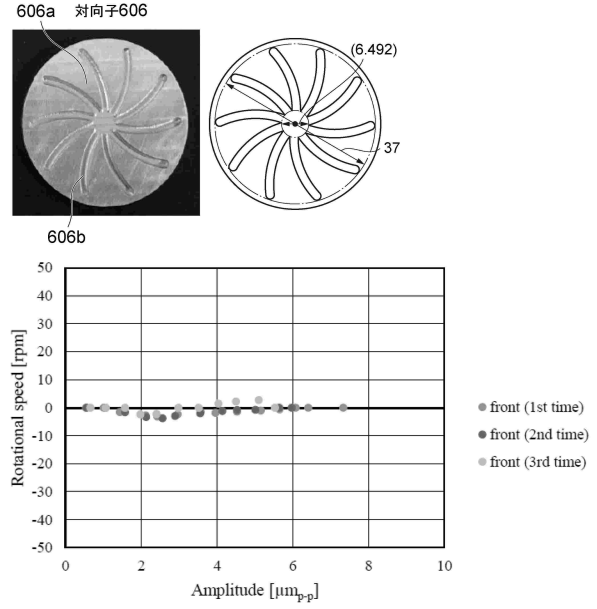
40

50

【 図 1 5 】

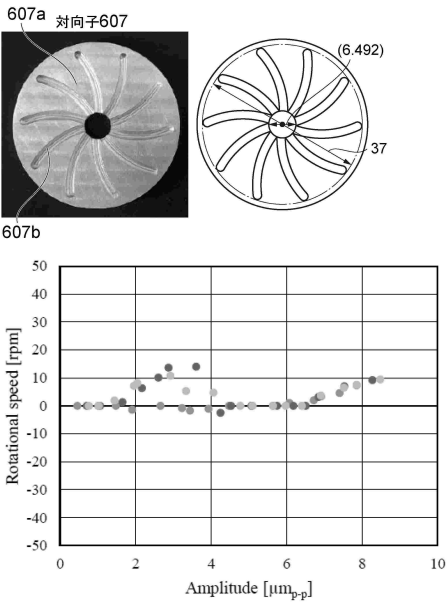


【 图 1 6 】



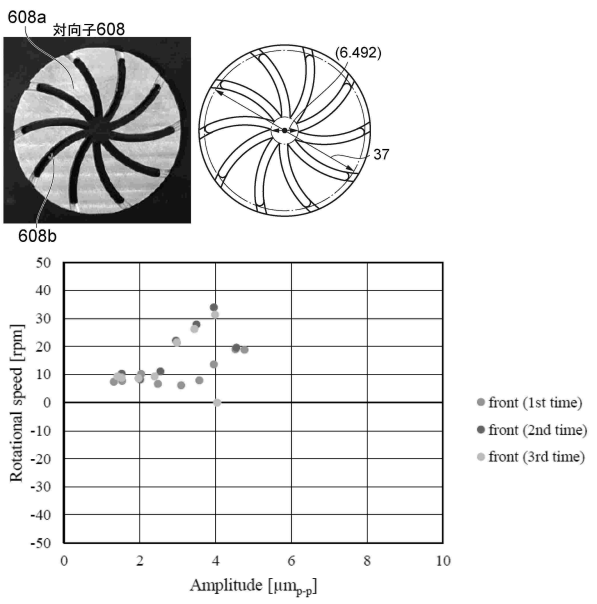
10

【 图 1 7 】



20

【 图 1 8 】

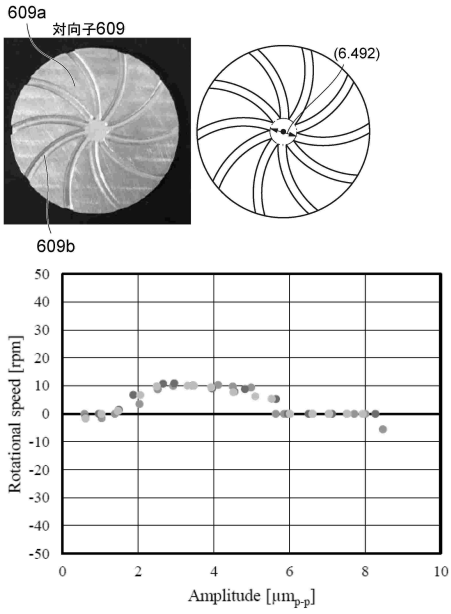


30

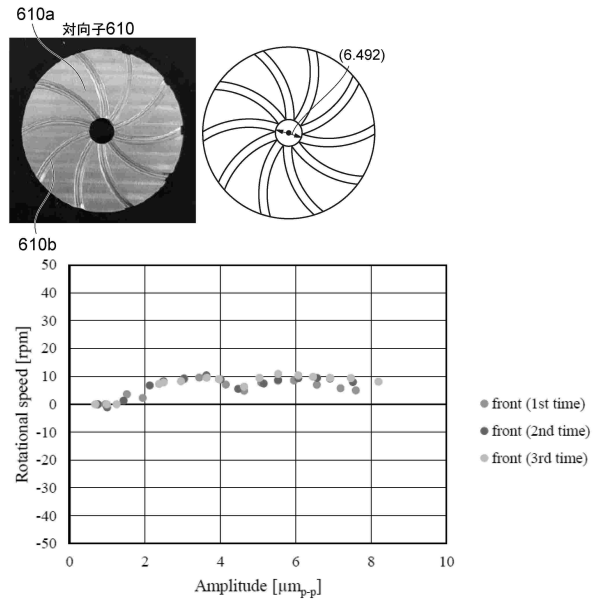
40

50

【 図 1 9 】

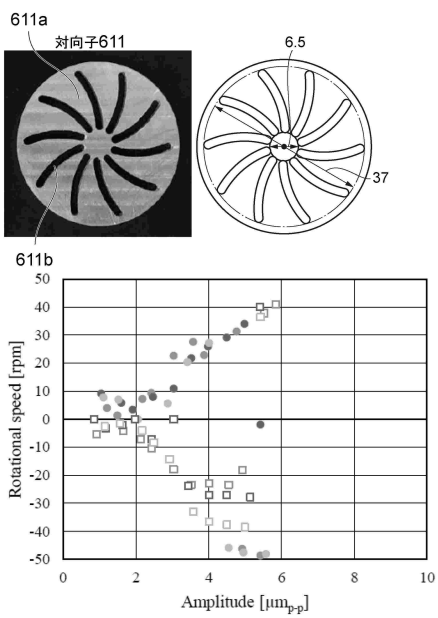


【 图 2 0 】



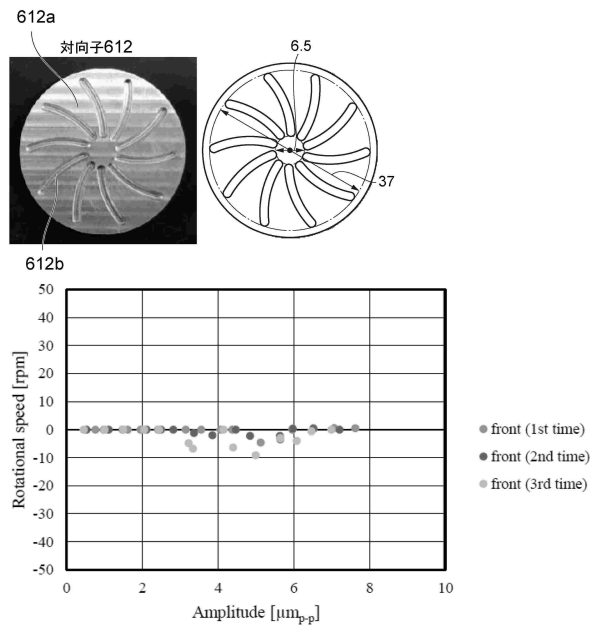
10

【 图 2 1 】



20

【 图 2 2 】

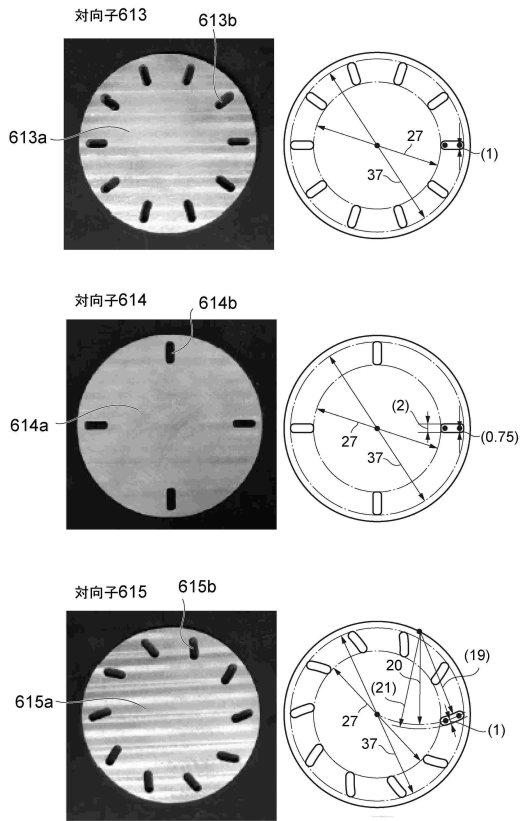


30

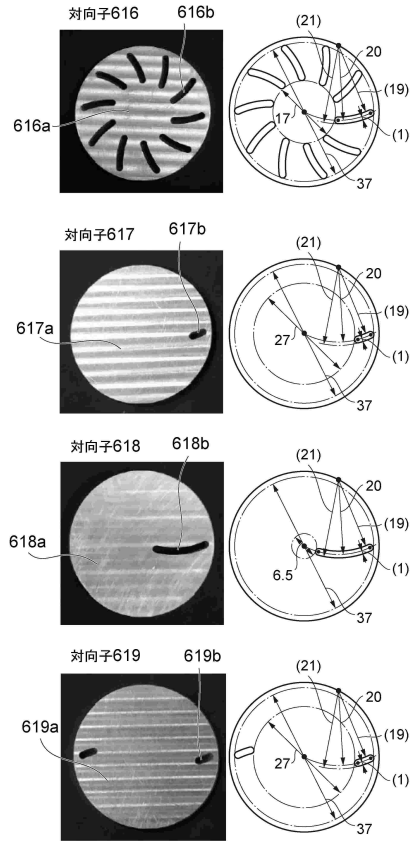
40

50

【 2 3 】



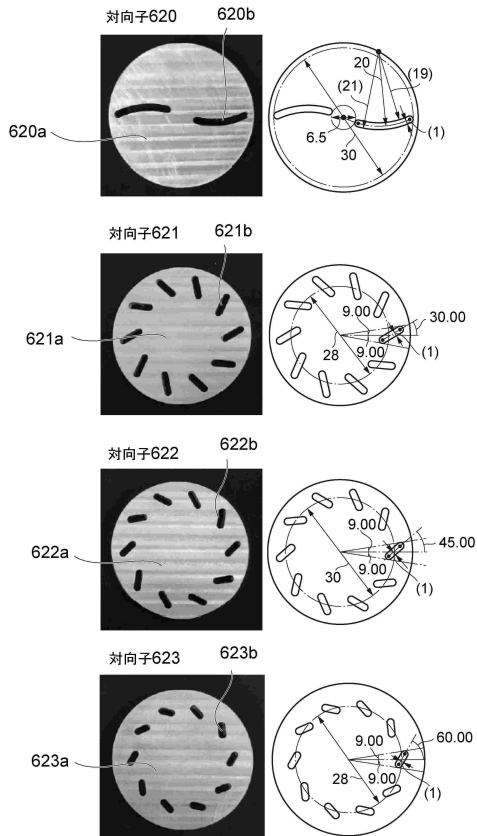
【 2 4 】



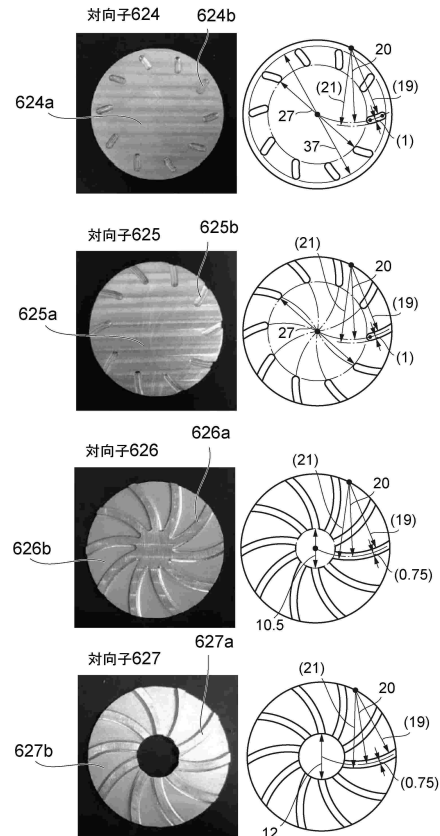
10

20

【 2 5 】



【 2 6 】

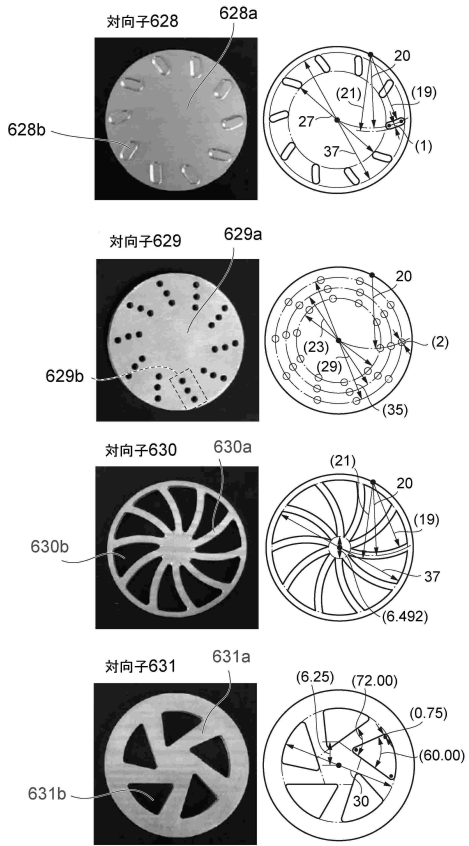


30

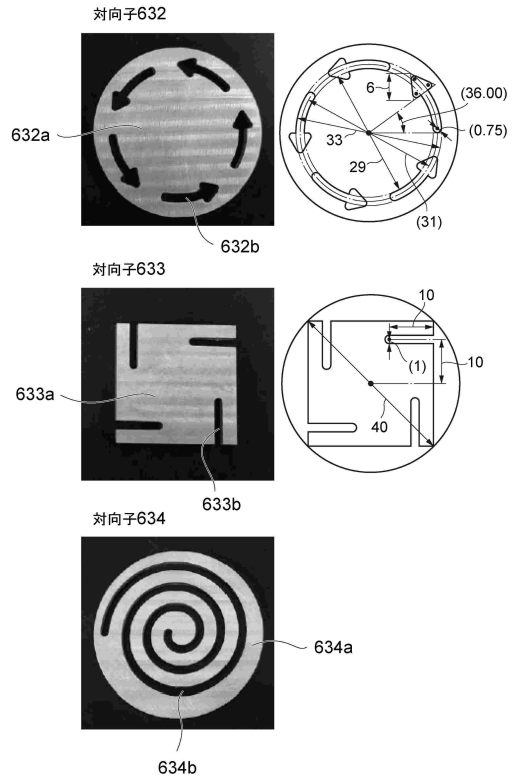
40

50

【图 2 7】



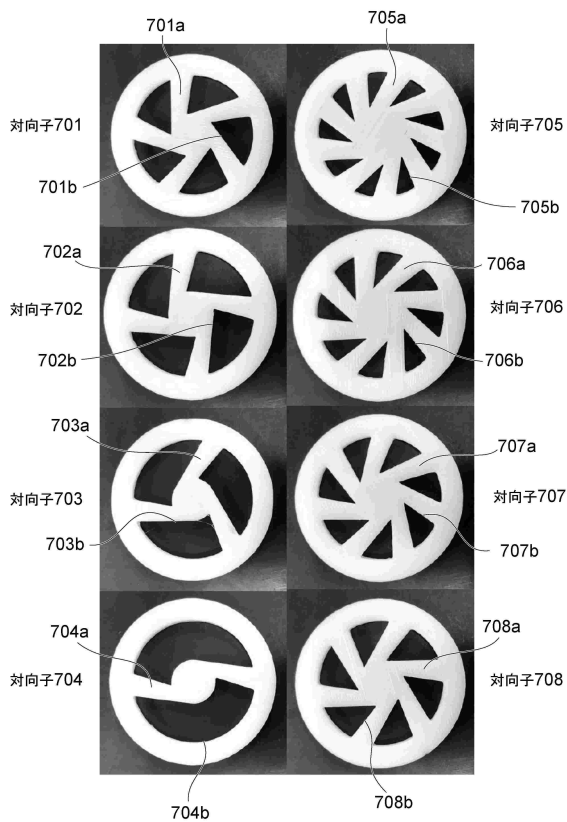
【图 2 8】



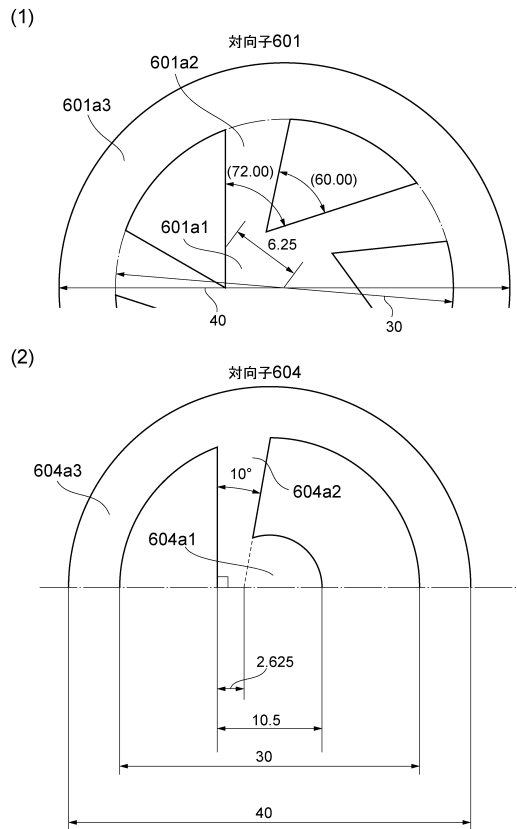
10

20

【图 2 9】



【图 3 0】



30

40

50

【 図 3 1 】

表1. 対向子の質量、全体に対する孔の面積の比率

梁の本数	質量[g]	孔の面積[mm <sup>2</sup> ]	全体に対する孔の比率[%]
2	1.4706	526.0476	41.861
3	1.5737	478.935	38.112
4	1.6429	431.824	34.363
5	1.7696	384.715	30.615
6	1.8333	337.788	26.880
7	1.9523	291.963	23.234
8	2.0128	247.869	19.727
9	2.1075	206.019	16.394

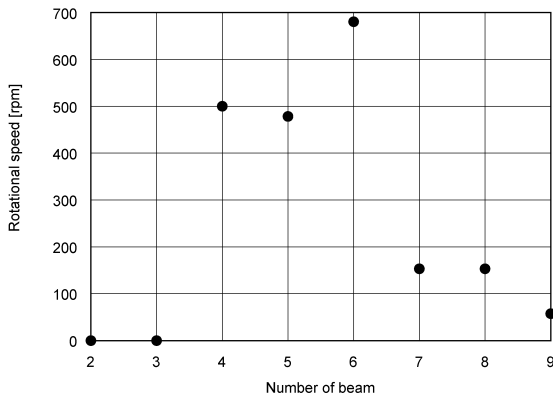
【 図 3 2 】

表2. 梁の本数と回転速度

梁の本数	全体に対する孔の比率[%]	回転数[rpm]	後端振幅[um <sub>p-p</sub> ]
2	41.861	回転不安定	11.996
3	38.112	回転不安定	12.137
4	34.363	500	12.140
5	30.615	482	12.152
6	26.880	682	11.920
7	23.234	155	12.035
8	19.727	153	11.882
9	16.394	62	11.934

10

【 図 3 3 】



梁の本数と回転速度

20

30

40

50

## フロントページの続き

- 埼玉県さいたま市桜区下大久保 2 5 5 国立大学法人埼玉大学内  
(72)発明者 柴田 隼杜
- 埼玉県さいたま市桜区下大久保 2 5 5 国立大学法人埼玉大学内  
(72)発明者 石田 健寛
- 埼玉県さいたま市桜区下大久保 2 5 5 国立大学法人埼玉大学内  
審査官 伊藤 秀行
- (56)参考文献 特開平 0 5 - 1 2 2 9 5 8 ( J P , A )  
特開平 0 6 - 1 5 4 7 0 7 ( J P , A )  
特開 2 0 1 1 - 1 0 9 7 8 7 ( J P , A )  
特開平 1 1 - 0 4 6 4 8 5 ( J P , A )  
特開平 0 5 - 2 0 7 7 6 2 ( J P , A )  
特開 2 0 1 4 - 0 0 5 7 5 8 ( J P , A )
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)  
H 0 2 N 2 / 1 2  
B 0 6 B 1 / 0 6  
F 0 4 B 4 3 / 0 4  
F 0 4 D 1 1 / 0 0