

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014 年 12 月 11 日(11.12.2014)



(10) 国際公開番号
WO 2014/196214 A1

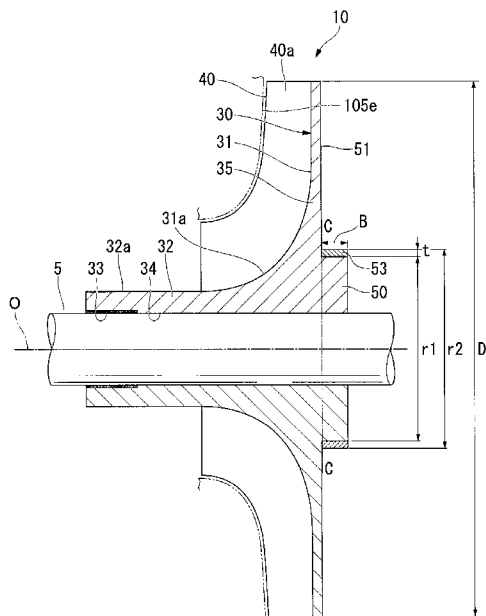
- (51) 国際特許分類:
F04D 29/28 (2006.01) *F04D 29/62* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/050444
- (22) 国際出願日: 2014 年 1 月 14 日(14.01.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2013-117596 2013 年 6 月 4 日(04.06.2013) JP
- (71) 出願人: 三菱重工業株式会社 (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒1088215 東京都港区港南二丁目 1 番 5 号 Tokyo (JP). 三菱重工業コンプレッサ株式会社 (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES COMPRESSOR CORPORATION) [JP/JP]; 〒1080014 東京都港区芝五丁目 3 番 6 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 八木 信頼 (YAGI Nobuyori); 〒1088215 東京都港区港南二丁目 1 番 5 号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 平田 大輔 (HIRATA Daisuke); 〒7338553 広島県広島市西区観音新町 4 丁目 6 番 2 号 三菱重工業コンプレッサ株式会社内 Hiroshima (JP).
- (74) 代理人: 森 隆一郎, 外 (MORI Ryuichirou et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目 9 番 2 号 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: IMPELLER, ROTATING MACHINE, AND METHOD FOR ASSEMBLING ROTATING MACHINE

(54) 発明の名称: インペラ、回転機械、および、回転機械の組立方法



(57) Abstract: An impeller is equipped with: a disk part (30), having a cylindrical part (32) into which a rotary shaft (5) that rotates around an axis line (O) is inserted, with a portion of the cylindrical part in the axis line (O) direction of the rotary shaft (5) being affixed to the rotary shaft (35) as a grip part (33), and a disk main body part (35) extending from the cylindrical part (32) outward in the radial direction of the rotary shaft (5); a blade part (40) protruding from the disk main body part (35) toward a side in a first direction in the axis line (O) direction; a reinforcing member attachment part (50) formed on the cylindrical part (32) and more to a side in a second direction in the axis line (O) direction than the disk main body part (35); and a reinforcing member (53) formed of material having a higher specific strength than the disk part (30), and attached so as to cover the reinforcing member attachment part (50) from the outside.

(57) 要約: 軸線 (O) 回りに回転される回転軸 (5) が挿通され、回転軸 (5) の軸線 (O) 方向の一部がグリップ部 (33) として回転軸 (5) に固定される筒部 (32) と、筒部 (32) から回転軸 (5) の径方向外側に向かって延びるディスク本体部 (35) と、を備えたディスク部 (30) と、ディスク本体部 (35) から軸線 (O) 方向の第一方向側に突出するブレード部 (40) と、ディスク本体部 (35) よりも軸線 (O) 方向の第二方向側の筒部 (32) に形成される補強部材取付部 (50) と、ディスク部 (30) よりも比強度の高い材料により形成され、補強部材取付部 (50) に外側から覆うように取り付けられる補強部材 (53) と、を備える。

明 細 書

発明の名称： インペラ、回転機械、および、回転機械の組立方法
技術分野

[0001] この発明は、インペラ、インペラが回転軸に固定されてなる回転機械、および、回転機械の組立方法に関する。

本願は、2013年6月4日に、日本に出願された特願2013-117596号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] ターボ冷凍機や小型ガスタービン等にあつては、遠心圧縮機などの回転機械を備えているものがある。遠心圧縮機は、回転軸に固定されたディスク部に複数のブレードが設けられたインペラを有している。遠心圧縮機は、これらインペラを回転させることで、ガスに圧力エネルギー及び速度エネルギーを与えている。

[0003] 例えば、水素などの軽い流体を圧縮する場合や、より高い過給圧を得る場合などには、上記遠心圧縮機のインペラを高速回転させる必要がある。より具体的には、水素を圧縮する場合には、例えば、インペラの回転数を数千rpmから数万rpmまで上昇させるなど、インペラを高速回転させる必要がある。特に、インペラの径方向中央部に形成された取付孔に回転軸が挿入されて、取付孔の内周面全体が回転軸にグリップされるものにおいては、インペラを高速回転させた場合、取付孔の内周面近傍の引っ張り応力が高くなり破損する可能性があった。

そこで、上記内周面近傍の引っ張り応力が高くなることを防止するために、取付孔の内周面に、応力低減窪みを形成することが提案されている（例えば、特許文献1参照）。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2005-002849号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 上記インペラには、回転軸への着脱を容易にしてメンテナンス性等を向上するために、筒部の前方に、回転軸に固定されるグリップ部を有したものである。

図12は、前方にグリップ部33を有したインペラ610において高速回転時に作用する応力のシミュレーション結果を示すコンタ図である。このインペラ610は、ディスク部30とブレード部40とからなる、いわゆるオープン型のインペラである。図13に示すように、ディスク部30は、回転軸5に対してこの回転軸5の軸線O方向前側のグリップ部（図13中、左側部）33が焼き嵌め等により固定される筒部32と、グリップ部33よりも軸線O方向後側に設けられて回転軸5の径方向外側に向かって延びるディスク本体部35とを備えている。

[0006] このように形成されたインペラ610において、回転軸5の高速回転時に作用する応力が最大となる箇所（応力が集中する箇所）は、上記グリップ部33とは反対側の、軸線O方向後方側の角部近傍となる。これは、回転時の遠心力や流路側とディスク後側面側とのガス圧差により生じるスラスト方向荷重（スラスト力）などによって、ディスク部30の角部が、図13中の破線に示す径方向外側に変位しようとするからである。この角部近傍における応力集中は、インペラ610の周方向に作用する引っ張り応力であるフープ応力が主体となる。図13において、フープ応力が集中する箇所を符号「f」で示している。

[0007] 上記ディスク部30の角部近傍におけるフープ応力の大きさは、高速回転になるほど増大する。そのため、例えば、意図しない高速回転となった場合には、ディスク部30が強度不足に陥る可能性がある。この強度不足を防止するためには、例えば、筒部32の内周全面で筒部32を回転軸5の外周面に固定させる方法が考えられる。更に、特許文献1のように複数個所で、筒部32を回転軸5の外周面に固定させる方法も考えられる。しかし、回転軸

5からインペラ610を取り外す際などに、ディスク部30の広範囲に亘り温度上昇させる必要があり、組立性及びメンテナンス性が悪くなってしまう。また、上述したように引張応力が大きくなってしまう。

[0008] 一方で、組立性及びメンテナンス性を悪化させずにディスク部30の角部近傍におけるフープ応力を低減させるためには、例えば、図14に示すインペラ710のように、ディスク部30の後側面側の肉厚を増加させることが考えられる。図15は、ディスク部30の後側面側の肉厚を増加させた場合のシミュレーション結果を示すコンタ図である。この図15に示すようにディスク部30の後側面側の肉厚を増加させて等応力状態に近い形状とすることで、上述した図12の場合よりもフープ応力の大きさが全体的に小さくなる。

しかしながら、図16に示すように、軸線O方向前側にグリップ部33を有する場合、軸線O方向の中央部に、図16中破線で示すように、曲げ戻しが発生して十分な応力低減を図ることができない可能性がある。また、インペラ610の重量が増加するとともに、インペラ610の軸線O方向のスパンが長くなることで、軸振動が増大してインペラ610を高速回転できない可能性がある。

[0009] この発明は、回転軸に対して容易に着脱可能であると共に回転時の応力を十分に低減可能であり、更なる高速回転が可能なインペラ、インペラを備える回転機械、および、回転機械の組立方法を提供する。

課題を解決するための手段

[0010] 本発明の第一態様によれば、インペラは、軸線回りに回動される回転軸が挿通され、前記回転軸の軸線方向の一部がグリップ部として前記回転軸に固定される筒部と、前記筒部から前記回転軸の径方向外側に向かって延びるディスク本体部と、を備えたディスク部と、前記ディスク本体部から軸線方向の第一方向側に突出するブレードと、前記ディスク本体部よりも前記軸線方向の第二方向側の前記筒部に形成される補強部材取付部と、前記ディスク部よりも比強度の高い材料により形成され、前記補強部材取付部に外側から覆

うように取り付けられる補強部材と、を備えている。

[0011] 本発明の第二態様によれば、インペラは、第一態様のインペラにおける前記補強部材取付部が、前記筒部と一体に形成される取付部本体と、前記取付部本体の線膨張率以上の線膨張率を有する材料により形成され、前記取付部本体に取り付けられるリング部材と、を備え、前記補強部材が、前記リング部材に取り付けられていてもよい。

[0012] 本発明の第三態様によれば、インペラは、第一又は第二態様のインペラにおいて、前記補強部材よりも前記軸線方向の第二方向側に前記グリップ部が配され、前記筒部の前記グリップ部が配される位置に取り付けられて前記グリップ部を補強するグリップ補強部材を備えていてもよい。

[0013] 本発明の第四態様によれば、インペラは、第一から第三態様の何れか一つのインペラにおいて、前記ディスク本体部の直径に対する前記補強部材の直径の比率が、0.35から0.8であってもよい。

[0014] 本発明の第五態様によれば、回転機械は、第一から第四態様の何れか一つのインペラを備えている。

[0015] 本発明の第六態様によれば、回転機械の組立方法は、第一態様のインペラを備える回転機械の組立方法であって、補強部材を前記補強部材取付部に取り付ける取付工程と、前記インペラを前記回転軸に取り付けるインペラ取付工程と、を備えている。

[0016] 本発明の第七態様によれば、回転機械の組立方法は、第二態様のインペラを備える回転機械の組立方法であって、前記補強部材を前記リング部材に取り付ける補強部材取付工程と、前記補強部材が取り付けられた前記リング部材を前記取付部本体に取り付けるリング部材取付工程と、前記インペラを前記回転軸に取り付けるインペラ取付工程と、を備えている。

発明の効果

[0017] この発明によれば、回転軸に対して容易に着脱可能であると共に回転時のフープ応力を十分に低減可能であり、更なる高速回転が可能となる。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]この発明の実施形態における遠心圧縮機の縦断面図である。

[図2]この発明の第一実施形態におけるインペラの縦断面図である。

[図3]この発明の第一実施形態における補強部材の斜視図である。

[図4A]上記補強部材の取付位置が $r_2/D = 1.0$ の場合の説明図である。

[図4B]上記補強部材の取付位置が $r_2/D = 0.66$ の場合の説明図である。

。

[図4C]上記補強部材の取付位置が $r_2/D = 0.49$ の場合の説明図である。

。

[図4D]上記補強部材の取付位置が $r_2/D = 0.35$ の場合の説明図である。

。

[図5]上記 r_2/D に対するディスク部の最大応力を示すグラフである。

[図6]上記インペラのシミュレーション結果を示す図である。

[図7A]上記インペラの取付手順において補強部材が未装着の状態を示す図である。

[図7B]上記インペラの取付手順において補強部材をインペラに装着した状態を示す図である。

[図7C]上記インペラの取付手順においてインペラを回転軸に固定した状態を示す図である。

[図8]この発明の第二実施形態における図2に相当する縦断面図である。

[図9]上記第二実施形態のインペラの取付手順を示すフローチャートである。

[図10]この発明の第三実施形態における図2に相当する縦断面図である。

[図11]上記第三実施形態のインペラに補強部材53を取り付けた状態を示す縦断面図である。

[図12]一般的なインペラにおける図6に相当する図である。

[図13]一般的なインペラにおけるフープ応力の説明図である。

[図14]インペラのディスク部後側面側の肉厚を増加させたインペラの縦断面図である。

[図15]インペラのディスク部後側面側の肉厚を増加させたインペラにおける

図 1 2 に相当する図である。

[図16]インペラのディスク部後側面側の肉厚を増加させたインペラにおけるフープ応力および引張応力の説明図である。

発明を実施するための形態

[0019] 次に、この発明の第一実施形態における回転機械およびインペラについて図面を参照して説明する。

図 1 は、第一実施形態の回転機械である遠心圧縮機 100 の概略構成を示す構成図である。

図 1 に示すように、遠心圧縮機 100 のケーシング 105 には、ジャーナル軸受 105 a およびスラスト軸受 105 b を介して回転軸 5 が回転可能に支持されている。回転軸 5 は、軸線 O 回りに回転可能とされている。この回転軸 5 には、軸線 O 方向に複数のインペラ 10 が並んで取り付けられている。各インペラ 10 は、回転軸 5 の回転による遠心力を利用してケーシング 105 に形成された上流側の流路 104 から供給されるガス G を下流側の流路 104 へと段階的に圧縮して流す。

[0020] ケーシング 105 には、回転軸 5 の軸線 O 方向の前方側（図 1 における左側）に、外部からガス G を流入させるための吸込口 105 c が形成されている。ケーシング 105 には、軸線 O 方向の後方側（図 1 における右側）に、外部へガス G を流出させるための排出口 105 d が形成されている。以下の説明においては、紙面左側を「前方側」、紙面右側を「後方側」と称する。

[0021] 上記遠心圧縮機 100 によれば、回転軸 5 が回転すると、吸込口 105 c からガス G が流路 104 に流入して、このガス G がインペラ 10 によって段階的に圧縮されて排出口 105 d から排出される。ここで、図 1 においては、回転軸 5 にインペラ 10 が直列に 6 個設けられた一例を示しているが、回転軸 5 に対して少なくとも 1 個のインペラ 10 が設けられていればよい。以下の説明では、説明を簡単化するため、回転軸 5 にインペラ 10 が 1 個設けられている場合を一例にして説明する。

[0022] 図 2 に示すように、上記インペラ 10 は、回転軸 5 に対して固定されるデ

ィスク部３０と、このディスク部３０の軸線Ｏ方向の前側面３１から突出して設けられた複数のブレード部４０と、を備えている。インペラ１０は、いわゆるオープン型のインペラである。

[0023] ディスク部３０は、回転軸５に対して嵌め合いにより固定される円筒状の筒部３２を備えている。筒部３２は、グリップ部３３と非グリップ部３４とを備えている。

グリップ部３３は、軸線Ｏ方向の第一方向側となる前方側に設けられている。グリップ部３３は、回転軸５の外周面に固定される。

非グリップ部３４は、グリップ部３３よりも軸線Ｏ方向の第二方向側となる後方側に設けられている。非グリップ部３４は、回転軸５の外径よりも僅かに大径に形成されて回転軸５の外周面との間に隙間を有している。つまり、ディスク部３０は、軸線Ｏ方向の一部がグリップ部３３として回転軸に固定されている。このグリップ部３３は、回転軸５に固定されていない状態では回転軸５よりも小径となるように形成されている。グリップ部３３は、回転軸５に対して焼き嵌め等による嵌め合いにより固定されている。

[0024] ディスク部３０は、グリップ部３３よりも軸線Ｏ方向の後方側にディスク本体部３５を備えている。ディスク本体部３５は、筒部３２の非グリップ部３４から径方向外側に向かって延びる円板状に形成されている。ディスク本体部３５は、径方向内側に向かうほど厚肉に形成されている。

ディスク部３０は、前側面３１と、筒部３２の外周面３２ａとを滑らかに繋ぐ凹状の曲面３１ａを備えている。

[0025] ブレード部４０は、ディスク部３０の前側面３１から軸線Ｏ方向前側に向かって突出している。ブレード部４０は、一定の板厚を有している。ブレード部４０は、側面視で径方向外側に向かってやや先細り形状とされている。また、ブレード部４０は、ディスク本体部３５の周方向に所定の間隔をあけて複数配列されている。ここで、上述した流路１０４は、インペラ１０が配置される箇所において、インペラ１０の前側面３１と、曲面３１ａと、外周面３２ａと、周方向に互いに対向するブレード部４０の面４０ａと、前側面

31 および曲面31aに対向するケーシング105の壁面105eとにより形成されている。

[0026] 上述したディスク部30は、ディスク本体部35よりも軸線O方向の後側に、筒部32の一部を構成する円筒状の補強部材取付部50を備えている。この補強部材取付部50の外径は、上述したグリップ部33における筒部32の外径よりも大径に形成されている。図2中、ディスク本体部35の基部側における最も軸線O方向後側の位置をC-C線で示している。このC-C線よりも軸線O方向後側に形成されている部分が補強部材取付部50となっている。

[0027] 補強部材取付部50には、補強部材53が外側から覆うようにして取り付けられている。

図2、図3に示すように、補強部材53は、補強部材取付部50の径方向外側への変形を規制する。補強部材53は、補強部材取付部50の外径よりも僅かに小さい内径を有した円筒状に形成されている。この補強部材53は、ディスク部30よりも比強度が高い材料により構成されている。また、補強部材53は、その片方の端面が、後側面51に当接した状態で補強部材取付部50に取り付けられる。ここで、上述した比強度とは、言い換えれば、降伏応力／密度である。補強部材53を形成する材料の比剛性は、ディスク部30を形成する材料の比剛性よりも高くなっている。

[0028] 上述したインペラ10は、例えば、ステンレスやチタン合金などの合金により形成されている。一方で、補強部材53を構成する材料としては、上記ステンレスやチタン合金などのインペラ10を形成する材料よりも比強度が高い炭素繊維強化プラスチック（以下、単にCFRPと称する）、セラミック、マグネシウム合金などを用いることができる。これら、CFRP、セラミック、マグネシウム合金などは、さらにステンレスやチタン合金などの合金よりも比剛性が高いものを用いることが好ましい。例えば、炭素繊維強化プラスチックを補強部材53として用いる場合、図3に矢印で示すように強化材として用いられる炭素繊維は、少なくとも補強部材取付部50に巻回さ

れるように周方向に延びる炭素繊維を含んでいる。このように炭素繊維が周方向に延びることで、径方向への変形がし難くなっている。

[0029] 補強部材 53 の材料は、インペラ 10 の材料である合金のヤング率に対して、1～2.5 倍のヤング率とすることが好ましい。例えば、チタン合金のヤング率は 113 GPa 程度である。上記補強部材 53 のヤング率を上記のように設定することで、回転時の遠心力によるフープ応力によって補強部材取付部 50 が径方向外側に変形することを、補強部材取付部 50 よりもヤング率が高い補強部材 53 によって抑えることが可能となる。

[0030] 補強部材 53 は、軽量化の観点から、回転軸 5 における回転数の最大値（インペラ 10 に作用するフープ応力の最大値）と、最小限の長さ B や厚さ t に設定されるのが好ましい。インペラ 10 に作用するフープ応力の最大値は、補強部材 53 の厚さ t の値が大きいほど低減される。ここで、上記補強部材 53 の厚さ「t」は、インペラ 10 の直径を「D」とすると、補強部材 53 の重量増大を可能な限り抑制する上で、 $t/D = 0.015 \sim 0.06$ とすることが好ましい。また、補強部材 53 の幅「B」は、インペラ 10 の軸線 O 方向のスパンを抑制する上で、 $B/D = 0.01 \sim 0.03$ とすることが好ましいが、 $B/D > 0.03$ としてもよい。

[0031] ディスク本体部 35 の直径 D に対する補強部材 53 の直径 r2 の比率は、0.35 から 0.8 とされる。より好ましくは、0.42 から 0.66 とされる。上述したように、補強部材取付部 50 の外径 r1 は、補強部材 53 の内径に対して僅かに大きいだけであり、補強部材 53 の直径 r2 は、 $(r1 + 2t)$ と同等の値となる。

[0032] 図 4A～図 4D は、補強部材 53 の直径 r2 を、ディスク本体部 35 の直径 D の範囲内でそれぞれ変化させた一例を示している。また、図 5 は、ディスク本体部 35 の直径に対する補強部材 53 の内径の比率（補強部材の取り付け位置（直径） $r2/\text{ディスク直径 } D$ ）を変化させた場合の、インペラ 10 における局所的な応力の大きさ（ディスクの最大応力）の変化を示すグラフである。図 5 のグラフ中、「a1」は、インペラ 10 における許容応力の

上限値であって、「 a_2 」は、インペラ 10 におけるより好適な応力の上限値を示している。

[0033] 図 4 A は、 $r_2/D = 1$ の場合を示している。すなわち、ディスク本体部 35 の先端部とほぼ同じ位置に補強部材 53 が取り付けられている。図 5 に示すように、図 4 A の場合、上限値 a_1 よりも高い応力が発生してしまう。これは、補強部材 53 の内側のインペラ 10 のマスが増大し、補強部材 53 により補強部材取付部 50 の遠心力による変形を十分に抑えられなくなったためと考えられる。

[0034] 図 4 B、図 4 C は、それぞれ $r_2/D = 0.66$ と、 $r_2/D = 0.49$ の場合を示している。これら図 4 B、図 4 C の場合、インペラ 10 にかかる応力が、上限値 a_1 、および、上限値 a_2 を下回る応力に抑えられている。

[0035] 一方で、図 4 D は、 $r_2/D = 0.35$ の場合を示している。図 5 に示すように、図 4 D の場合、インペラ 10 の応力は、上限値 a_2 よりも高く、上限値 a_1 と同等の値となる。これは、補強部材取付部 50 の外径 r_1 が小さくなり過ぎたことにより、補強部材取付部 50 の強度が不足して、補強部材取付部 50 とディスク本体部 35 との接続部分が変形して、変形箇所におけるフープ応力が増大してしまうためと考えられる。

[0036] すなわち、ディスク本体部 35 の直径に対する補強部材 53 の直径の比率は、インペラ 10 にかかる応力が上限値 a_1 を下回る 0.42 から 0.66 とされることが好ましい。さらに、インペラ 10 にかかる応力が上限値 a_2 を下回る 0.35 から 0.8 とされることがより好ましい。

[0037] 図 6 は、この実施形態のインペラ 10 における、高速回転時の応力分布のシミュレーション結果を示すコンタ図である。なお、図 6 においては、高い応力が作用している箇所ほど濃色で示している。ここで、一般に、補強部材 53 を備えていないインペラ 10 が回転している時の遠心力は、ディスク本体部 35 の後側面 51 に沿う C-C 線上またはその近傍で最大値となる。そのため、フープ応力は C-C 線と非グリップ部 34 の最内径部が交差する箇所またはその近傍で最大応力を示す。

[0038] 図6に示すように、この実施形態におけるインペラ10の場合、回転時にかかる応力が高くなる範囲は、補強部材53を備えていないインペラ（例えば図12参照）の場合よりも、軸線O方向に広がりを見せている。しかし、その最大値は低減されている。これは、補強部材53によって遠心力による径方向への筒部32の剛性を高めることで、インペラ10が軸線O方向の後方側において径方向外側に浮き上がるように変形することが抑制されるためである。つまり、インペラ10において、径方向に変形することにより生じるフープ応力の局所的な増大が抑制されている。

[0039] 図7A～図7Cは、上記遠心圧縮機100の組立方法として、特にインペラ10を回転軸5へ取り付ける手順の一例を示している。

まず、図7A、図7Bに示すように、インペラ10の補強部材取付部50に補強部材53を取り付ける（取付工程）。この補強部材53を取り付ける方法としては、冷し嵌めや、焼嵌め等を用いることができる。補強部材53がCFRPで、焼嵌めにより補強部材53を補強部材取付部50に取り付ける場合には、CFRPへの熱的負荷を軽減するために、例えば緩い締め代とするとともに100℃以下で焼嵌めを行うことが好ましい。また、補強部材53がCFRPの場合には、所定張力をかけた状態で補強部材53を補強部材取付部50に取り付けるようにしても良い。

[0040] 次に、図7Cに示すように、回転軸5に対してインペラ10を冷し嵌めや、焼嵌めにより取り付ける（インペラ取付工程）。補強部材53がCFRPであってインペラ10を回転軸5に焼嵌めする場合、CFRPへの熱的負荷を軽減するために、グリップ部33を局部的に加熱することで、補強部材53が100℃を超えないようにすることが好ましい。

[0041] したがって、上述した第一実施形態のインペラ10によれば、軸線O方向の後方側の筒部32に形成された補強部材取付部50に、インペラ10よりも比強度の高い材料からなる補強部材53が取り付けられていることで、遠心力による筒部32の径方向外側への変形に対する剛性を高めることができる。そのため、インペラ10が軸線O方向の後方側において径方向に浮き上

がるように変形することを抑制して、フープ応力の増大を抑制することができる。また、図14に示すディスク本体部35の後側面51の肉厚を増加させる場合と比較して、ディスク部30の軸線O方向の長さを短縮できるとともに、この軸線O方向の長さが短縮されることでインペラ10の軽量化を図ることができる。

その結果、回転軸5に対して容易に着脱可能な構成としつつ、回転時の応力を十分に低減可能である。さらに、軸線O方向のインペラ10のスパンを短縮できるとともに、軽量化を図ることができるため、軸振動を抑制してインペラ10を十分に高速回転させることが可能となる。さらに、グリップ部33が、軸線O方向の前方側の一部にのみ形成されるので、回転軸5に対してインペラ10を容易に着脱することができる。その結果、メンテナンス性を向上することができる。

[0042] また、ディスク本体部35の直径Dに対する補強部材53の直径 r_2 の比率が0.8よりも大きい場合には、径方向における筒部32の厚さが増加して筒部32にかかる遠心力が大きくなり、補強部材53が大型化する。一方で、ディスク本体部35の直径Dに対する補強部材53の直径 r_2 の比率が0.35よりも小さい場合には、筒部32の厚さが減少しすぎて筒部32の強度不足により筒部32の変形を抑えられなくなる。しかし、上述した実施形態のように、ディスク本体部35の直径Dに対する補強部材53の直径 r_2 の比率が、0.35から0.8であることで、遠心力によるフープ応力を効率よく抑制することができる。

[0043] 次に、この発明の第二実施形態におけるインペラ210を図面に基づき説明する。この第二実施形態のインペラ210は、上述した第一実施形態のインペラ10に対して、補強部材取付部の構成が異なるだけである。そのため、上述した第一実施形態と同一部分には同一符号を付して説明し、詳細説明を省略する。

[0044] 図8に示すように、この第二実施形態のインペラ210は、上述した第一実施形態のインペラ10と同様に、ディスク部30とブレード部40とを有

するオープン型のインペラである。ディスク部 30 は、ディスク本体部 35 と、筒部 32 とを備えている。

[0045] ディスク本体部 35 は、非グリップ部 34 から径方向外側に向かって延びる円板状に形成されている。ディスク本体部 35 は、径方向内側ほど厚肉に形成されている。

ディスク部 30 は、前側面 31 と、筒部 32 の外周面 32 a とを滑らかに繋ぐ凹状の曲面 31 a を備えている。ブレード部 40 は、ディスク部 30 の前側面 31 から突出するように形成されている。

[0046] 上述したディスク部 30 は、ディスク本体部 35 よりも軸線 O 方向の後方側に、筒部 32 の一部を構成する円筒状の補強部材取付部 250 を備えている。

補強部材取付部 250 は、取付部本体 54 と、リング部材 55 とを備えている。取付部本体 54 は、上述した筒部 32 と一体に形成されている。

リング部材 55 は、筒部 32 と分割して形成されている。リング部材 55 は、取付部本体 54 に取り付けられている。リング部材 55 は、取付部本体 54 を形成する材料、すなわち筒部 32 を形成する材料の線膨張率以上の線膨張率を有した材料により形成されている。リング部材 55 を形成する材料としては、例えば、ステンレスやチタン合金などの合金や、マグネシウム合金などを用いることができる。

[0047] リング部材 55 には、その外周面に収容溝部 55 a が形成されている。この収容溝部 55 a は、リング部材 55 の外周面の全周に渡るように環状に形成されている。収容溝部 55 a には、補強部材 53 が収容される。

補強部材 53 は、上述した第一実施形態と同様に形成され、例えば、CFRP などにより円筒状に形成されている。この補強部材 53 を形成する材料としては、取付部本体 54 やリング部材 55 よりも比強度の高い材料、より具体的には比強度および比剛性の高い材料が用いられている。補強部材 53 は、リング部材 55 に取り付けられ、このリング部材 55 が、取付部本体 54 に取り付けられている。

[0048] 次に、上記インペラ 210 を備える遠心圧縮機 100 の組立方法として、特にインペラ 210 を回転軸 5 へ取り付け手順について説明する。

図 9 に示すように、まず、補強部材 53 をリング部材 55 に取り付ける補強部材取付工程（ステップ S01）を行う。ここで、補強部材 53 が CFRP である場合は、強化材として用いられる炭素繊維が周方向を向くものが含まれるようにして、所定張力をかけた状態でリング部材 55 に巻き付ける。

[0049] 次に、補強部材 53 が取り付けられたリング部材 55 を取付部本体 54 に取り付けるリング部材取付工程（ステップ S02）を行う。この際、リング部材 55 は、冷し嵌め、焼嵌め等により取付部本体 54 に固定される。第一実施形態と同様に、補強部材 53 が CFRP である場合には、焼嵌めを行う際に、リング部材 55 を加熱して CFRP が 100℃ 以下の状態で取り付ける。

さらに、リング部材 55 が取り付けられたインペラ 210 を回転軸 5 に対して、冷し嵌め、焼嵌め等による嵌め合いにより固定するインペラ取付工程（ステップ S03）を行う。

[0050] 上述した第二実施形態においては、補強部材 53 を、リング部材 55 の収容溝部 55a に収容する場合を一例に説明した。しかし、リング部材 55 に収容溝部 55a を設けずにリング部材 55 の外周に補強部材 53 を所定張力で巻き付けることで、補強部材 53 をリング部材 55 に取り付けるようにしても良い。

[0051] したがって、上述した第二実施形態のインペラ 210 によれば、リング部材 55 を取付部本体 54 の線膨張率以上の線膨張率を有する材料により形成することで、リング部材 55 を加熱して取付部本体 54 から取り外す際に、取付部本体 54 とリング部材 55 との温度差がより小さい状態で、リング部材 55 を取付部本体 54 から取り外すことができる。

その結果、温度上昇による補強部材 53 の熱的負荷を抑制しつつ補強部材 53 を取付部本体 54 から容易に取り外すことができる。

[0052] また、補強部材 53 をリング部材 55 に取り付けた後に、リング部材 55

を筒部３２に取り付けることで、補強部材５３を取付部本体５４に取り付けることができる。そのため、補強部材５３を取付部本体５４に対して容易に装着することができる。

[0053] 次に、この発明の第三実施形態におけるインペラ３１０を図面に基づき説明する。なお、この第三実施形態のインペラ３１０は、上述した第二実施形態のインペラ２１０に対して、グリップ部３３の構成が異なるだけである。そのため、上述した第二実施形態と同一部分には同一符号を付して説明し、詳細説明を省略する。

[0054] 図１０に示すように、この第三実施形態のインペラ３１０は、上述した第二実施形態のインペラ２１０と同様に、ディスク部３０とブレード部４０とを有するオープン型のインペラである。ディスク部３０は、ディスク本体部３５と、筒部３２と、を備えている。

上述した第二実施形態と同様に、筒部３２は、ディスク本体部３５よりも軸線Ｏ方向の後方側に、筒部３２の一部を構成する円筒状の補強部材取付部２５０を備えている。

補強部材取付部２５０は、取付部本体５４とリング部材５５とを備えている。補強部材取付部２５０には、補強部材５３が外側から覆うように取り付けられている。

[0055] 筒部３２は、回転軸５の外周面に固定されるグリップ部３３を備えている。このグリップ部３３は、ディスク本体部３５よりも軸線Ｏ方向の後方側に配されている。より具体的には、グリップ部３３は、補強部材取付部５０よりも軸線Ｏ方向で後方側に配されている。筒部３２は、軸線方向の第一方向側となる前方側に、非グリップ部３４を備えている。

[0056] 筒部３２には、グリップ押え部材５６が取り付けられている。このグリップ押え部材５６は、グリップ部３３を径方向外側から押さえることでグリップ部３３における筒部３２を補強する。グリップ押え部材５６は、その軸線Ｏ方向における長さが、グリップ部３３の長さよりも十分に短く形成されている。グリップ押え部材５６は、筒部３２のグリップ部３３が配される位置

に取り付けられている。より具体的には、グリップ押え部材５６は、グリップ部３３の最も前方側の位置に取り付けられている。

[0057] グリップ押え部材５６は、グリップリング部材５７とグリップ補強部材５８とを備えている。グリップリング部材５７は、上述したリング部材５５と同様の材料により形成され、筒部３２に取り付けられていない状態で、その内径が、被取り付け箇所の筒部３２の外径よりも僅かに小さく形成されている。さらに、グリップリング部材５７には、上述した収容溝部５５aと同様に、リング状の収容溝部５９が形成されている。収容溝部５９には、上述した補強部材５３と同様の材料により形成された円筒状のグリップ補強部材５８が収容されている。

[0058] 図１１に示すように、グリップ押え部材５６は、上述したリング部材５５を取付部本体５４に取り付けた後に、上述したリング部材５５と同様に、冷し嵌めや焼嵌めで筒部３２に取り付けられる。この実施形態においては、上記グリップ押え部材５６がグリップリング部材５７を備える場合について説明したが、グリップリング部材５７を省略してグリップ補強部材５８を筒部３２に直接取り付けるようにしても良い。図１０、図１１中、リング部材５５の内径と、グリップリング部材５７の外径とが同等となっているが、グリップリング部材５７の径方向の厚さは図１０、図１１の厚さに限られず、筒部３２の強度や剛性に応じて最適な厚さに設定される。例えば、リング部材５５の内径よりも、グリップリング部材５７の外径が小さい場合には、グリップリング部材５７を筒部３２に装着した後に、リング部材５５を取付部本体５４に取り付けるようにしても良い。

[0059] したがって、上述した第三実施形態のインペラ３１０によれば、グリップ補強部材５８によって、遠心力に起因するグリップ部３３の径方向外側への変形を規制することができる。そのため、グリップ部３３近傍の筒部３２にかかるフープ応力の低減を図ると同時に、回転軸５に対してインペラ３１０をより強固に固定することができる。

[0060] この発明は上述した各実施形態の構成に限られるものではなく、その要旨

を逸脱しない範囲で設計変更可能である。

例えば、上述した各実施形態では、ディスク部 30 とブレード部 40 のみを有するオープン型インペラを例に説明したが、この発明はこの場合に限定されない。ディスク部 30 とブレード部 40 に対して更にカバー部を有するクローズ型インペラにおいても同様に適用できる。

[0061] 更に、上述した各実施形態では、回転機械として遠心圧縮機 100 の一例を説明したが、遠心圧縮機 100 に限られず、例えば、各種産業用圧縮機やターボ冷凍機、小型ガスタービンにもこの発明のインペラを適用可能である。

産業上の利用可能性

[0062] この発明によれば、回転軸に対して容易に着脱可能であると共に回転時のフープ応力を十分に低減可能であり、更なる高速回転が可能となる。

符号の説明

- [0063] 5 回転軸
- 10 インペラ
 - 30 ディスク部
 - 31 前側面
 - 31a 曲面
 - 32 筒部
 - 32a 外周面
 - 33 グリップ部
 - 34 非グリップ部
 - 35 ディスク本体部
 - 40 ブレード部
 - 40a 面
 - 50 補強部材取付部
 - 51 後側面
 - 53 補強部材

- 5 4 取付部本体
- 5 5 リング部材
- 5 5 a 収容溝部
- 5 6 グリップ押え部材
- 5 7 グリップリング部材
- 5 8 グリップ補強部材
- 5 9 収容溝部
- 1 0 0 遠心圧縮機
- 1 0 4 流路
- 1 0 5 ケーシング
- 1 0 5 a ジャーナル軸受
- 1 0 5 b スラスト軸受
- 1 0 5 c 吸込口
- 1 0 5 d 排出口
- 1 0 5 e 壁面
- 2 1 0 インペラ
- 2 5 0 補強部材取付部
- 3 1 0 インペラ
- 6 1 0 インペラ
- 7 1 0 インペラ
- a 1 上限値
- a 2 上限値
- D 直径
- G ガス
- O 軸線
- r 1 外径
- r 2 直径

請求の範囲

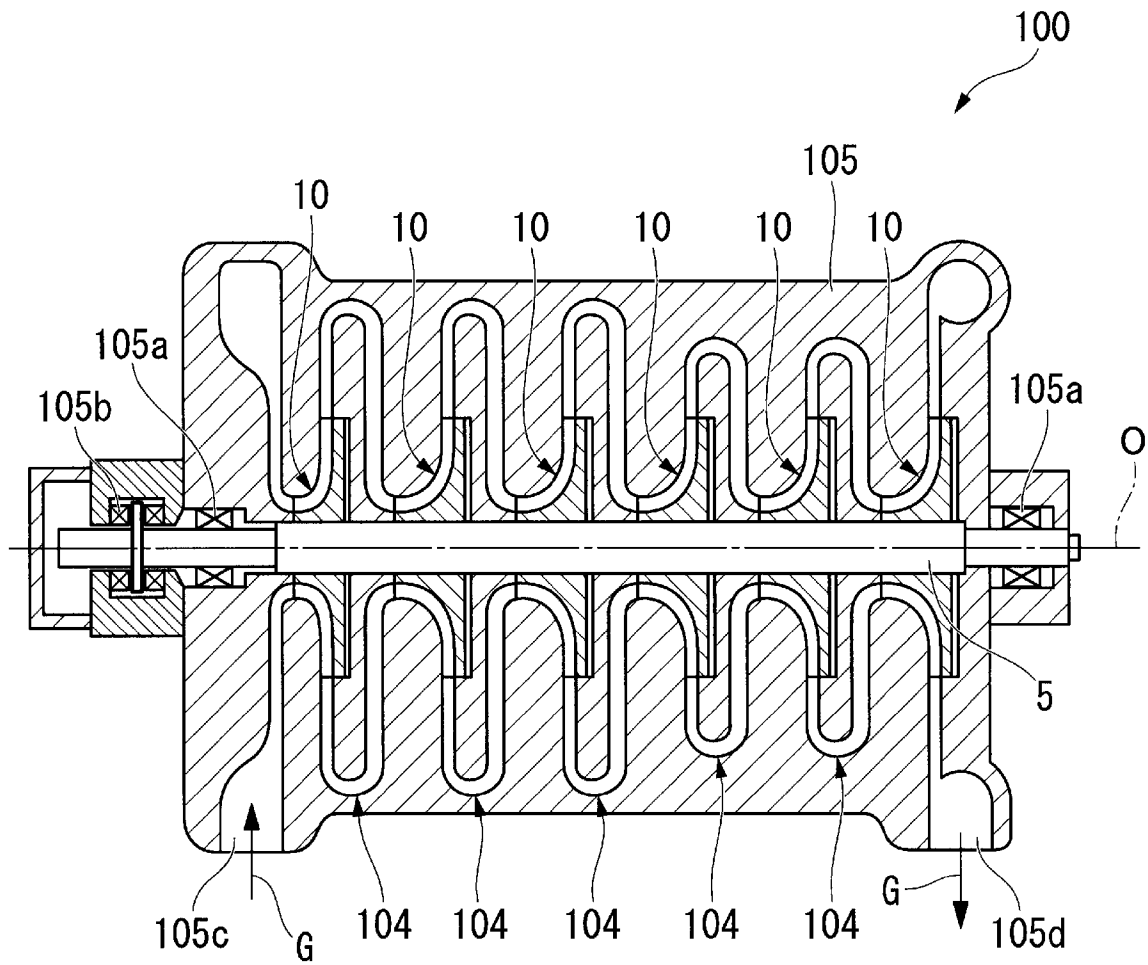
- [請求項1] 軸線回りに回動される回転軸が挿通され、前記回転軸の軸線方向の一部がグリップ部として前記回転軸に固定される筒部と、前記筒部から前記回転軸の径方向外側に向かって延びるディスク本体部と、を備えたディスク部と、
- 前記ディスク本体部から軸線方向の第一方向側に突出するブレードと、
- 前記ディスク本体部よりも前記軸線方向の第二方向側の前記筒部に形成される補強部材取付部と、
- 前記ディスク部よりも比強度の高い材料により形成され、前記補強部材取付部を外側から覆うように取付けられる補強部材と、を備えるインペラ。
- [請求項2] 前記補強部材取付部は、
- 前記筒部と一体に形成される取付部本体と、
- 前記取付部本体の線膨張率以上の線膨張率を有する材料により形成され、前記取付部本体に取り付けられるリング部材と、を備え、
- 前記補強部材は、前記リング部材に取り付けられている請求項1に記載のインペラ。
- [請求項3] 前記補強部材よりも前記軸線方向の第二方向側に前記グリップ部が配され、前記筒部の前記グリップ部が配される位置に取付けられて前記グリップ部を補強するグリップ補強部材を備える請求項1又は2に記載のインペラ。
- [請求項4] 前記ディスク本体部の直径に対する前記補強部材の直径の比率が、0.35から0.8である請求項1から3の何れか一項に記載のインペラ。
- [請求項5] 請求項1から請求項4の何れか一項に記載のインペラを備える回転機械。
- [請求項6] 請求項1に記載のインペラを備える回転機械の組立方法であって、

前記補強部材を前記補強部材取付部に取り付ける取付工程と、
前記インペラを前記回転軸に取り付けるインペラ取付工程と、を備える回転機械の組立方法。

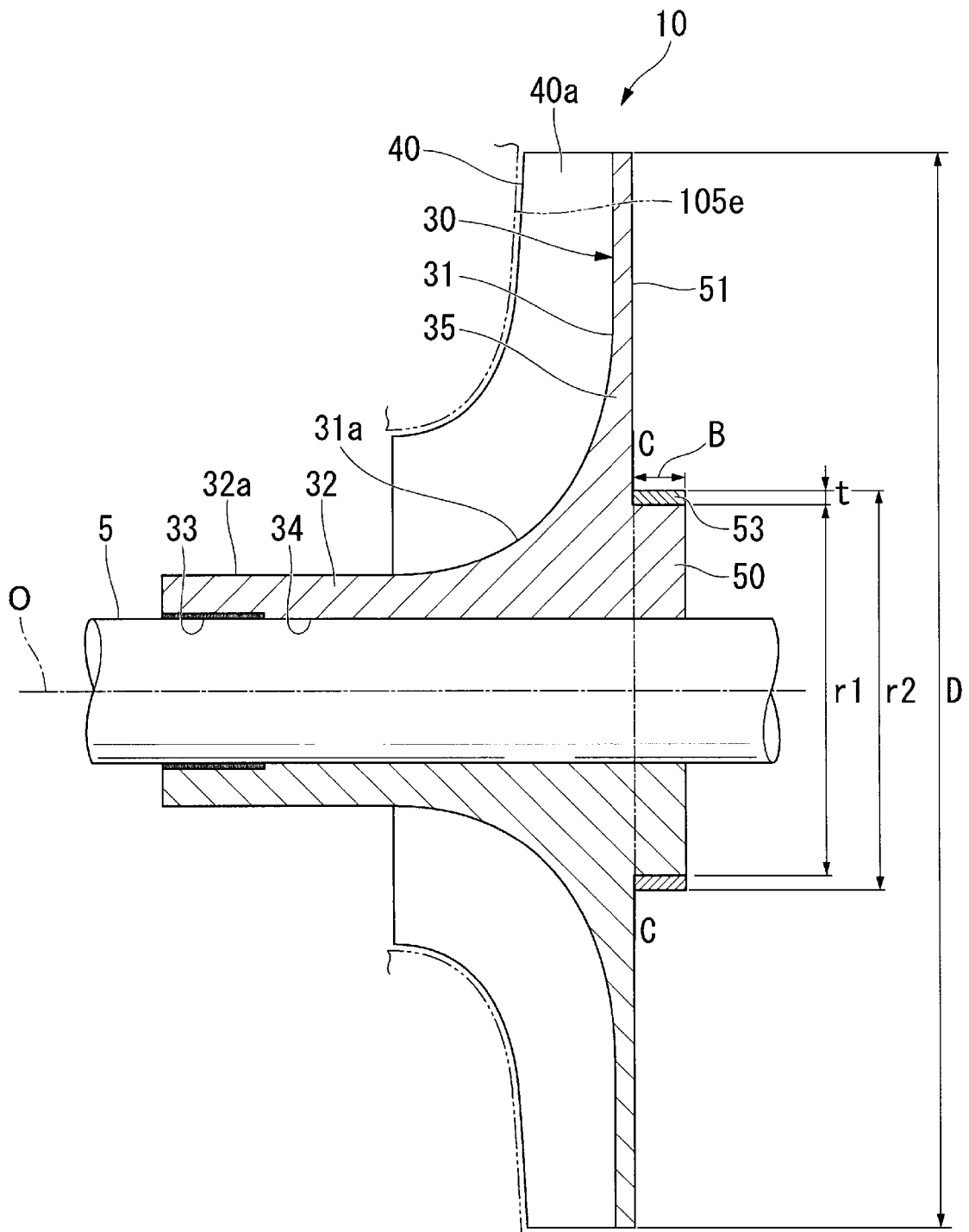
[請求項7]

請求項2に記載のインペラを備える回転機械の組立方法であって、
前記補強部材を前記リング部材に取り付ける補強部材取付工程と、
前記補強部材が取り付けられた前記リング部材を前記取付部本体に取り付けるリング部材取付工程と、
前記インペラを前記回転軸に取り付けるインペラ取付工程と、を備える回転機械の組立方法。

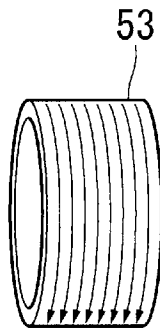
[図1]



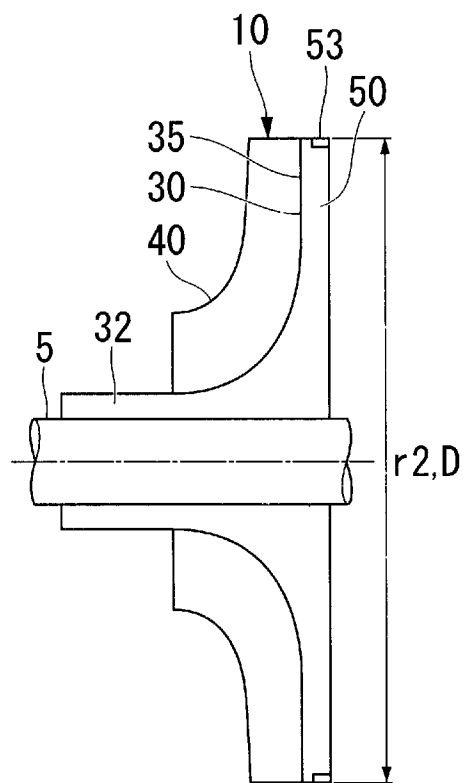
[図2]



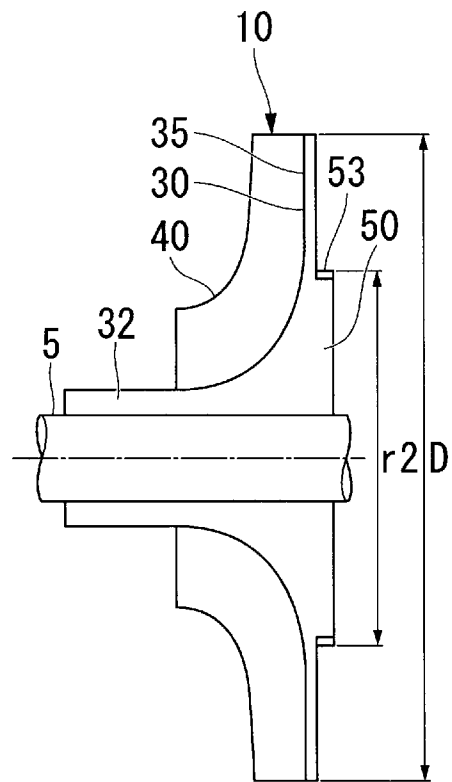
[図3]



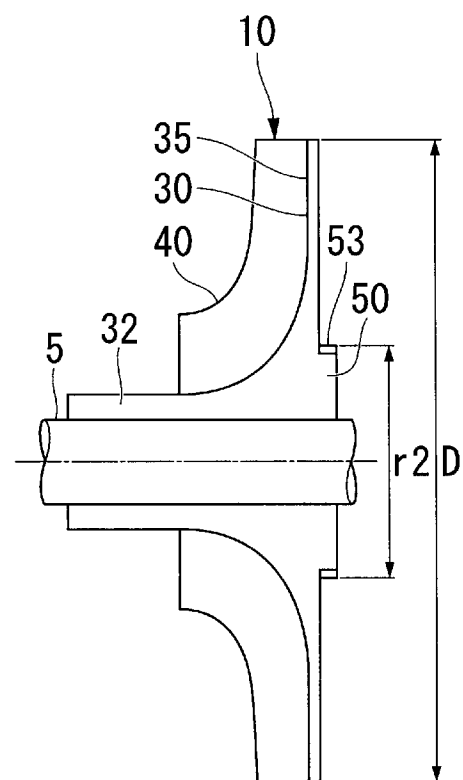
[図4A]



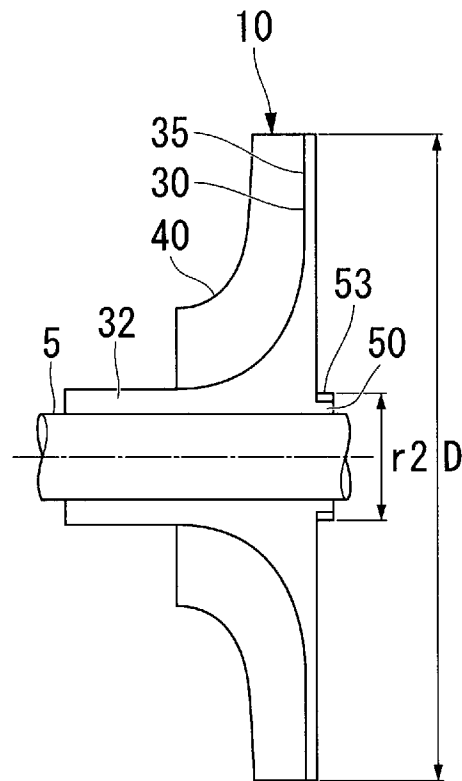
[図4B]



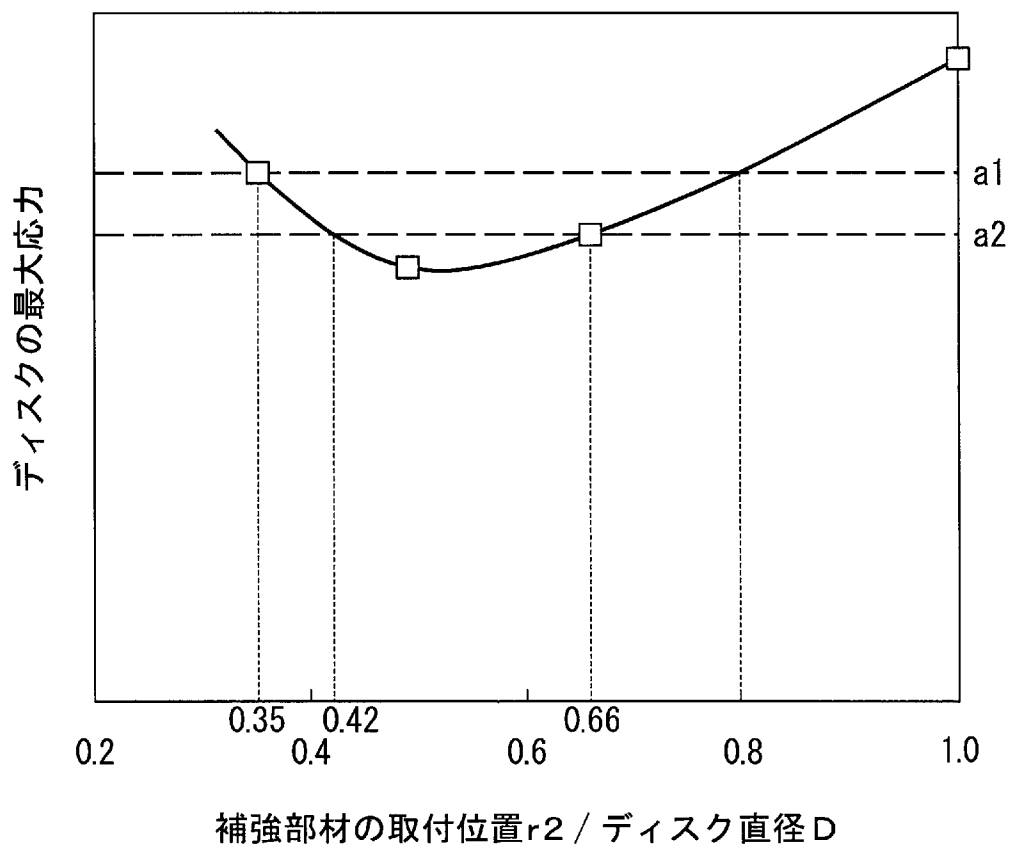
[図4C]



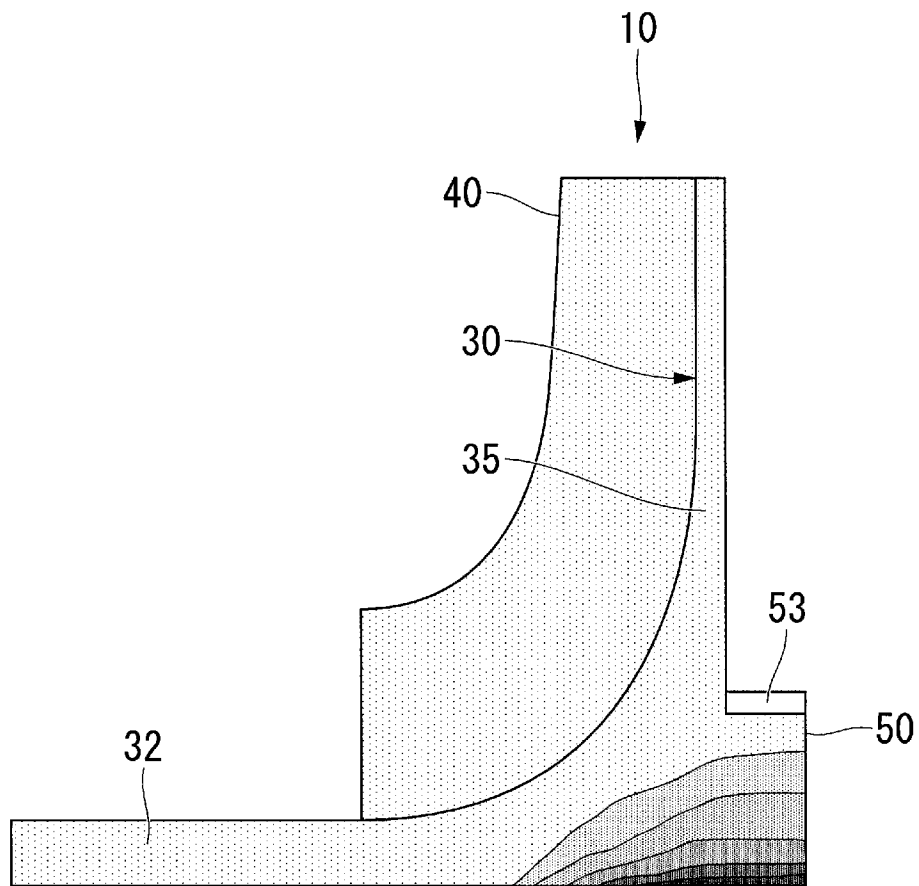
[図4D]



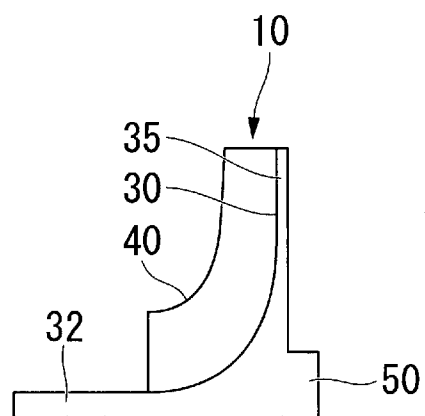
[図5]



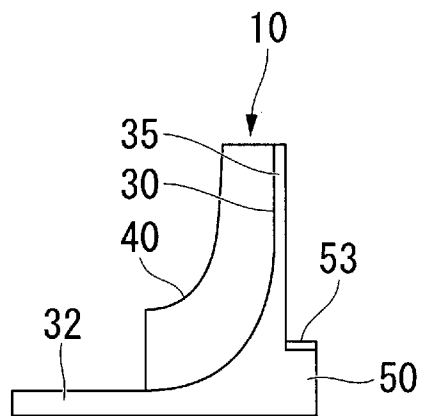
[図6]



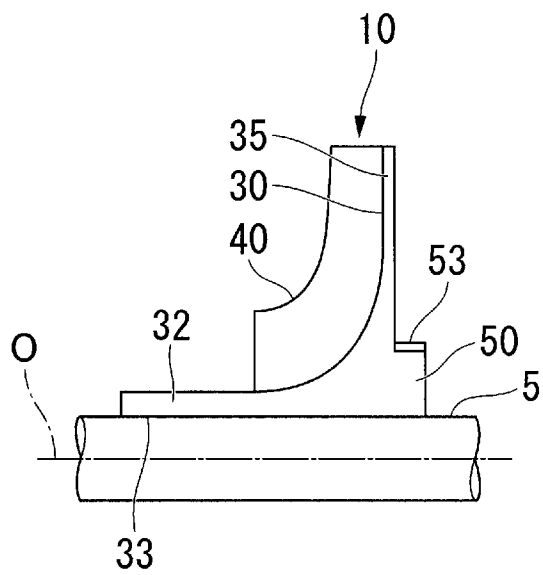
[図7A]



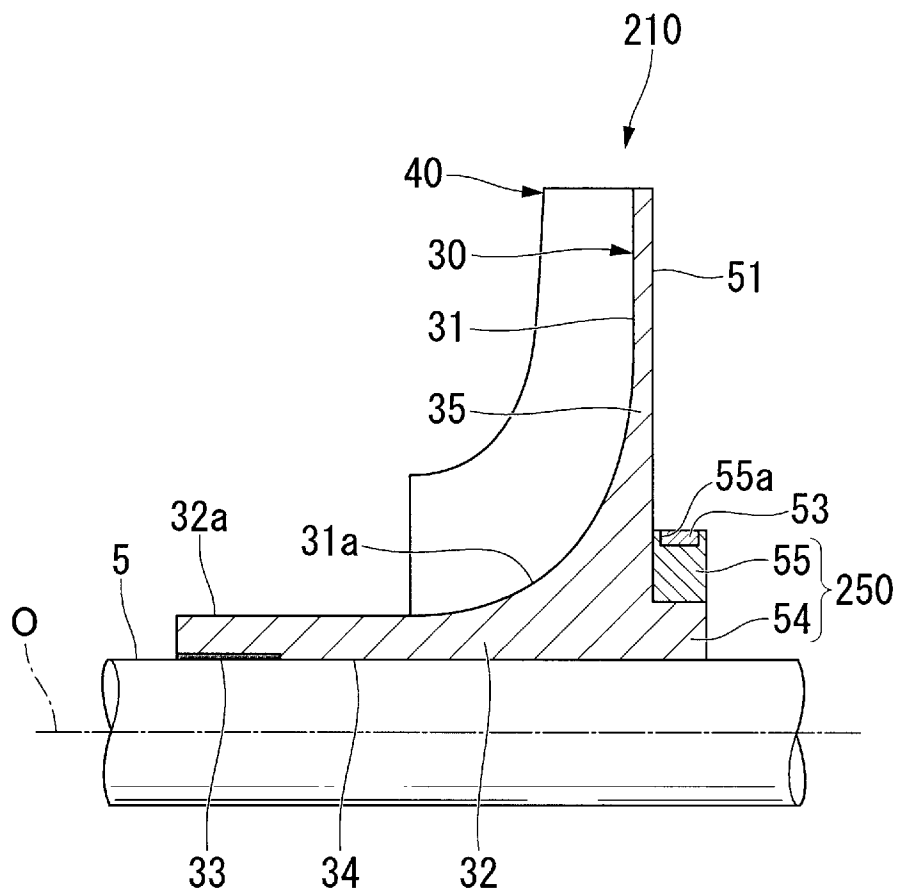
[図7B]



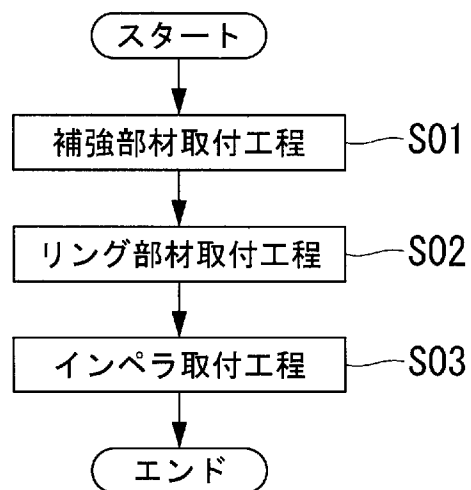
[図7C]



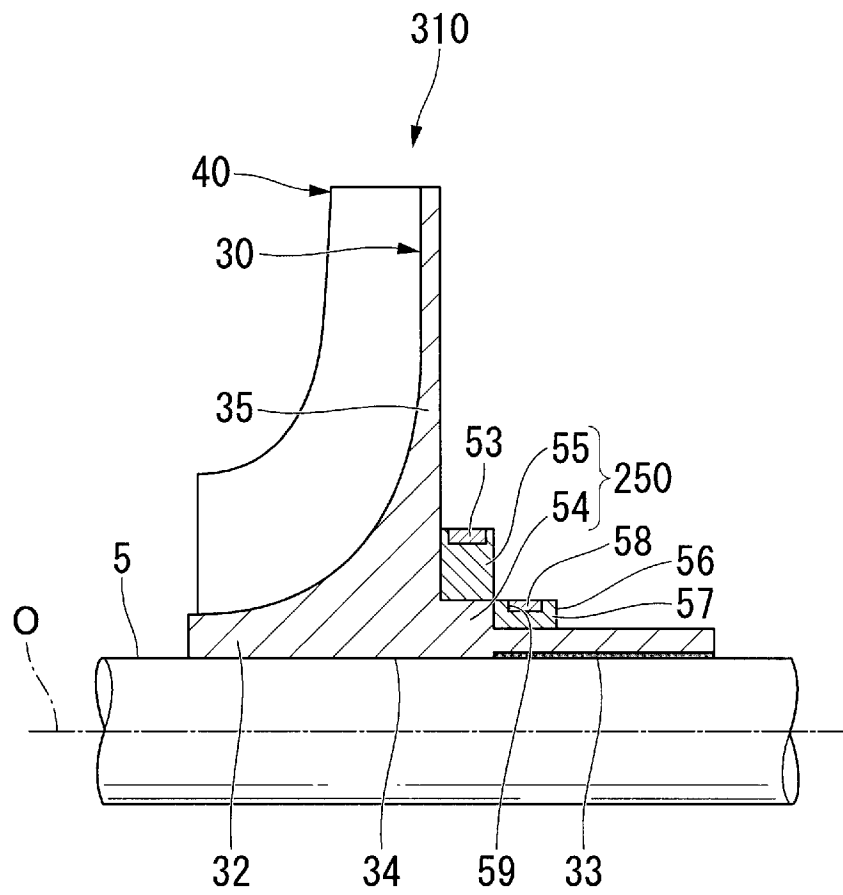
[図8]



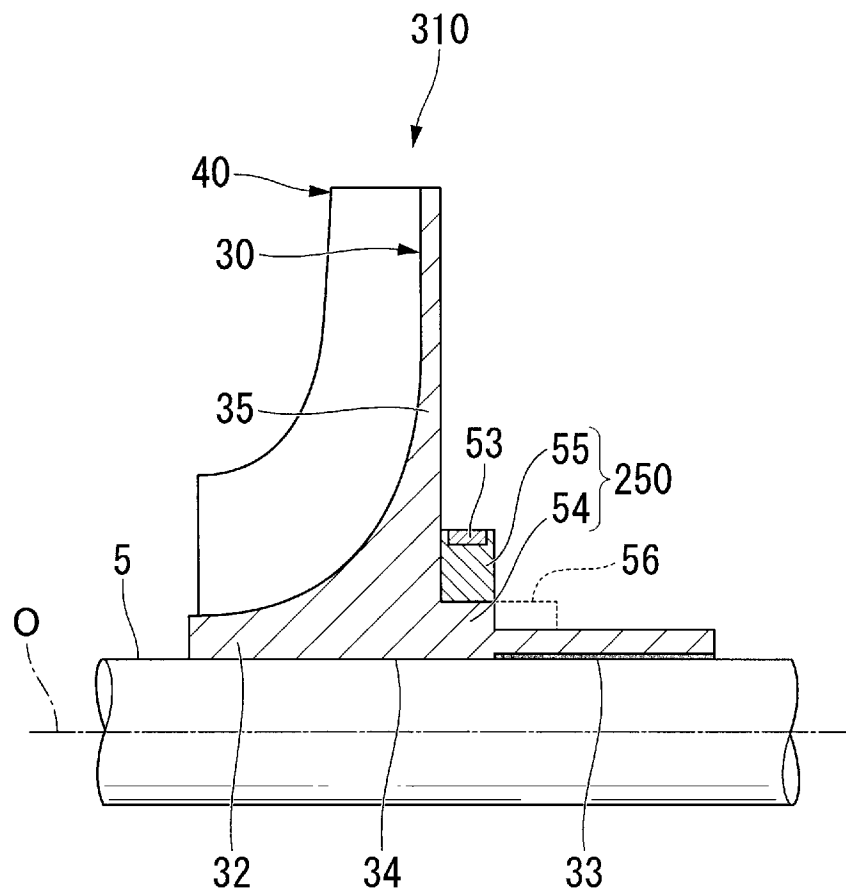
[図9]



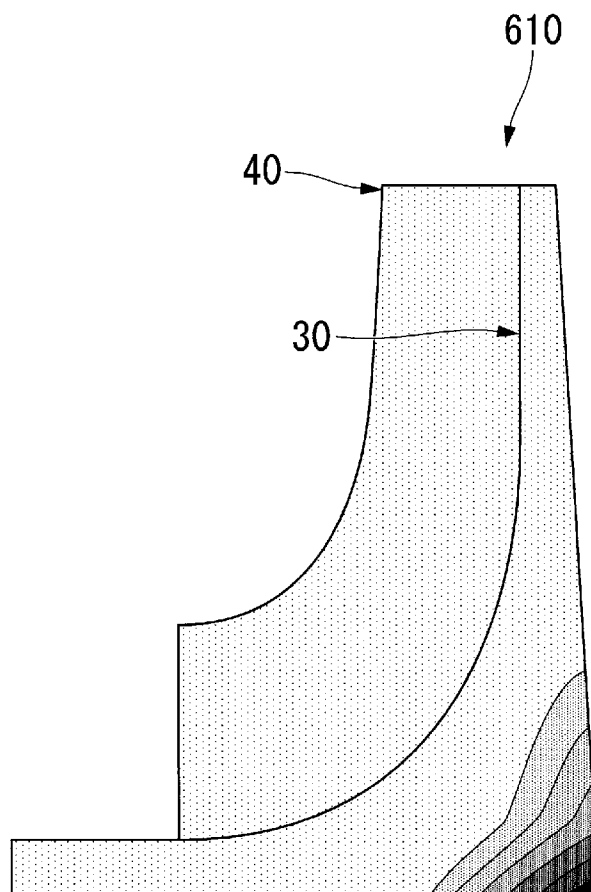
[図10]



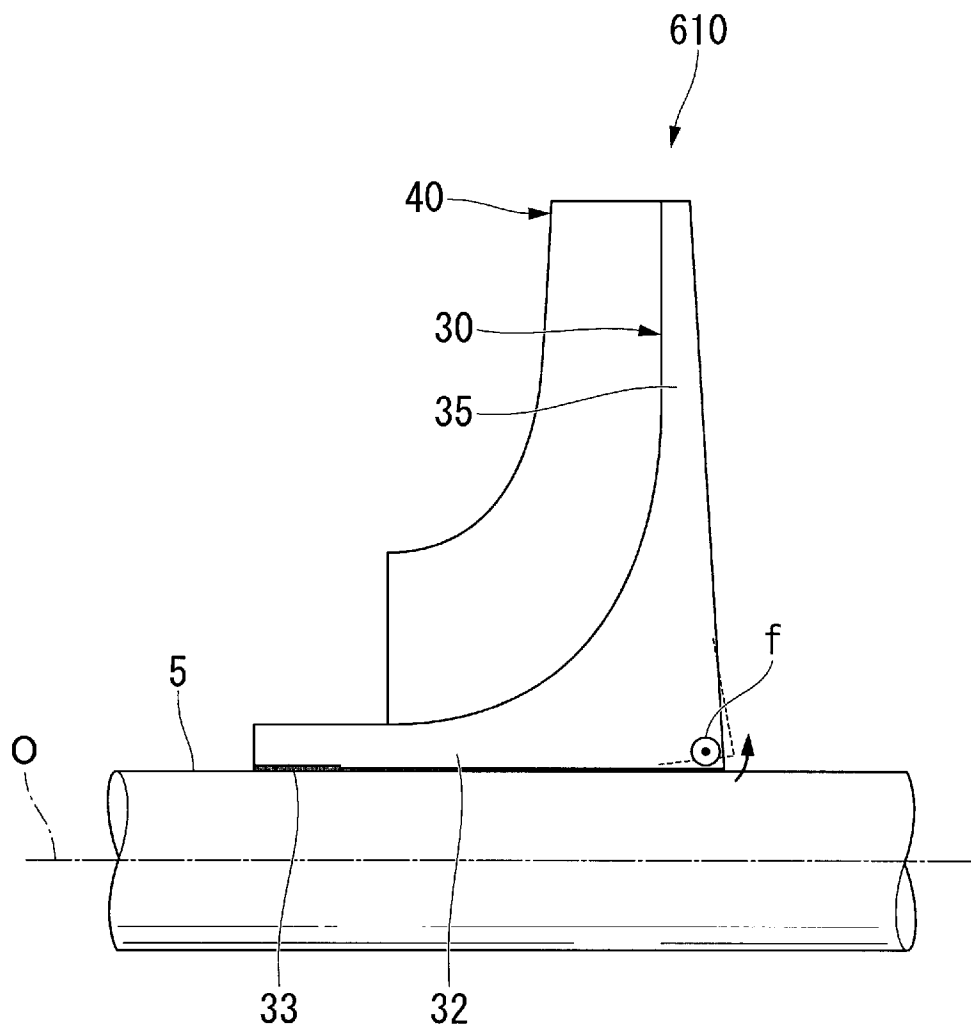
[図11]



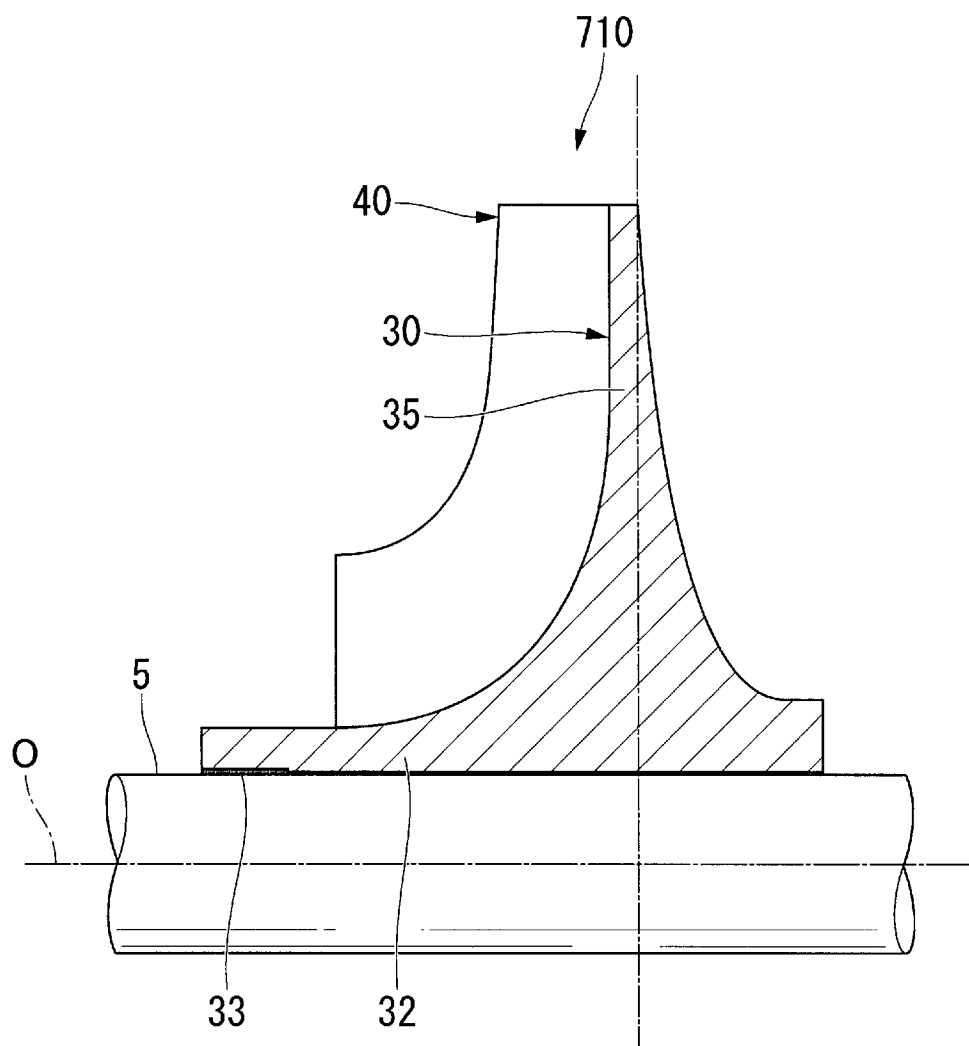
[図12]



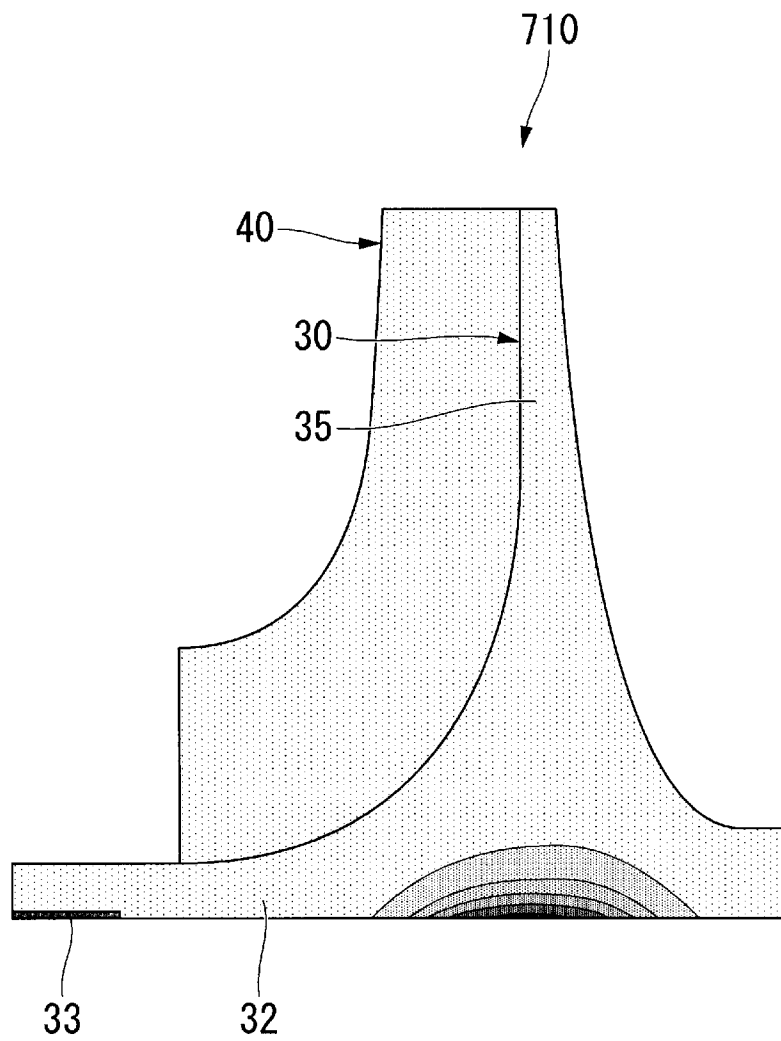
[図13]



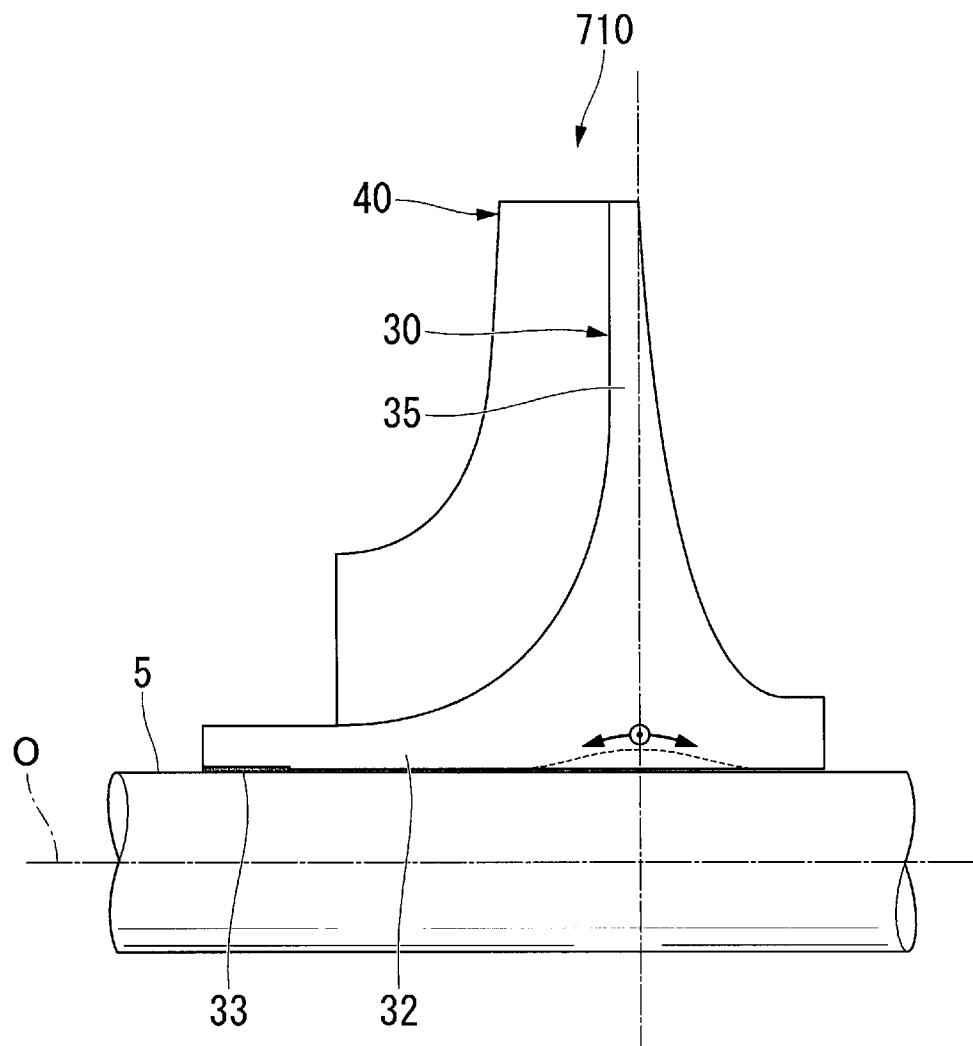
[図14]



[図15]



[図16]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/050444

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F04D29/28(2006.01)i, F04D29/62(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F04D29/28, F04D29/62

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2012-122398 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 28 June 2012 (28.06.2012), claim 1; paragraphs [0033] to [0037]; fig. 3, 5 & WO 2012/077422 A1	1, 5, 6 2-4, 7
Y A	JP 3129587 B2 (Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.), 31 January 2001 (31.01.2001), paragraphs [0018] to [0024]; fig. 1 (Family: none)	1, 5, 6 2-4, 7
Y A	JP 2006-214341 A (Shimadzu Corp.), 17 August 2006 (17.08.2006), paragraph [0023]; fig. 1, 2 (Family: none)	1, 5, 6 2-4, 7

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
14 April, 2014 (14.04.14)

Date of mailing of the international search report
22 April, 2014 (22.04.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/050444

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 8-232889 A (MAN B&W Diesel AG.), 10 September 1996 (10.09.1996), entire text; all drawings & DE 4445297 C1	1-7

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. F04D29/28(2006.01)i, F04D29/62(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. F04D29/28, F04D29/62

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2014年
日本国実用新案登録公報	1996-2014年
日本国登録実用新案公報	1994-2014年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2012-122398 A（三菱重工業株式会社）2012.06.28, 【請求項1】,	1, 5, 6
A	段落【0033】-【0037】, 第3, 5図 & W0 2012/077422 A1	2-4, 7
Y	JP 3129587 B2（石川島播磨重工業株式会社）2001.01.31, 段落【0	1, 5, 6
A	018】-【0024】, 第1図（ファミリーなし）	2-4, 7
Y	JP 2006-214341 A（株式会社島津製作所）2006.08.17, 段落【00	1, 5, 6
A	23】, 第1, 2図（ファミリーなし）	2-4, 7
A	JP 8-232889 A（エムアーエヌ、バーウントヴェー、デイーゼル、ア クチエンゲゼルシャフト）1996.09.10, 全文, 全図 & DE 4445297 C1	1-7

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

14.04.2014

国際調査報告の発送日

22.04.2014

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

30

8922

尾崎 和寛

電話番号 03-3581-1101 内線 3358