

(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4月10日(10.04.2014)



(10) 国際公開番号

WO 2014/054440 A1

- (51) 国際特許分類:
F04D 29/10 (2006.01) F04D 29/16 (2006.01)
F01D 11/02 (2006.01) F16J 15/447 (2006.01)
F04D 17/12 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/075497
- (22) 国際出願日: 2013年9月20日(20.09.2013)
- (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 2012-222142 2012年10月4日(04.10.2012) JP
- (71) 出願人: 株式会社日立製作所(HITACHI, LTD.)
[JP/JP]; 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目
6番6号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 三浦 治雄(MIURA Haruo); 〒1008280 東京
都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社
日立製作所内 Tokyo (JP). ▲高▼橋 直彦(TAKA-
HASHI Naohiko); 〒1008280 東京都千代田区丸の
内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内

Tokyo (JP). 成田 光裕(NARITA Mitsuhiro); 〒
1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
株式会社日立製作所内 Tokyo (JP).

- (74) 代理人: ポレール特許業務法人(POLAIRE I.P.C.);
〒1040032 東京都中央区八丁堀二丁目7番1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,
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

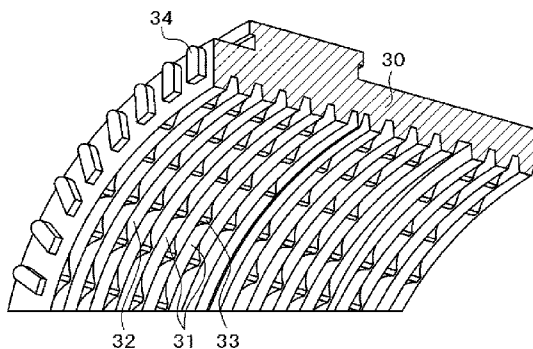
[続葉有]

(54) Title: CENTRIFUGAL COMPRESSOR

(54) 発明の名称: 遠心圧縮機

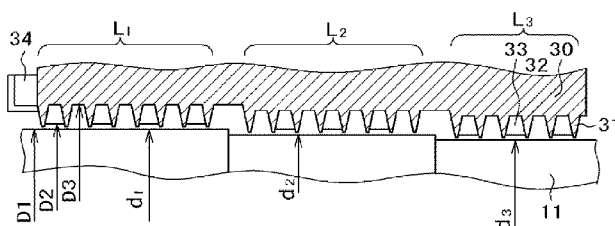
[図2]

図2



[図3]

図3



(57) Abstract: In order to reduce leakage from the seal part of a centrifugal compressor and to improve the damping characteristic at the seal part, this centrifugal compressor is equipped with: a casing; a rotor which is held in this casing in a rotatable manner and to which an impeller is attached; and a labyrinth seal which is attached to the casing and is arranged opposing the rotor. A gas is compressed as the impeller rotates. The labyrinth seal is provided on at least the intake part of the final-stage of the impeller or a balance piston that balances the thrust of the rotor. The diameter of the rotor opposing the labyrinth seal increases or decreases in a stepwise manner. Furthermore, the labyrinth seal is formed from multiple grooves in the axial direction, and multiple pockets are formed in the circumferential direction in each groove.

(57) 要約: 遠心圧縮機のシール部から漏れ低減と、シール部でのダンピング特性の向上の両立を図る。そのため、遠心圧縮機は、ケーシングと、このケーシングに回転可能に保持され羽根車を取り付けたロータと、ケーシングに取り付けられ、ロータに対向して配置されるラビリンスシールとを備え、羽根車が回転して気体を圧縮する。ラビリンスシールは少なくとも最終段羽根車の吸込み部もしくは前記ロータの推力をバランスさせるバランスピストンのいずれかに設けられている。ラビリンスシールに対向するロータの径を、階段状に増加または減少させる。また、ラビリンスシールは軸方向に複数個の溝から形成されており、各溝とも周方向に複数のポケットが形成されている。



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))

明 細 書

発明の名称：遠心圧縮機

技術分野

[0001] 本発明は、遠心圧縮機に係り、特に、高速・高圧で運転される遠心圧縮機に好適なダンパシールに関する。

背景技術

[0002] 遠心圧縮機の羽根車で圧縮されたガスは、ディフューザと呼ばれる静止流路で更に圧縮され、多段に形成される場合には、リターンチャンネルで流れ角を転向しながら内向きの軸方向流れになって次段羽根車に吸い込まれる。ここで、羽根車で圧縮されたガスが羽根車の側板側の側面に形成される空間を通して再びその羽根車の吸込み側に戻ると、内部圧縮仕事が増え、有効な圧縮仕事ではなくエネルギー損失を発生する。そこで、この漏れ量を低減するために、羽根車吸込み部の側板とケーシング間にラビリンスシールを設けている。

[0003] また、最終段の羽根車においては、圧縮ガスの一部が、心板の側面空間を経てバランスピストンラビリンスに流入し、その後圧縮機吸込み部へ漏る流れを形成する。この吸込み側へ戻る流れの漏れ量は、全羽根車で再圧縮される内部循環ガスであり、エネルギー損失になる。そのため、ラビリンスシールでできる限り漏れ量を低減している。

[0004] ところで、ラビリンスシールに流入する漏れ流れは、回転軸と連れ回るので、回転方向の円周成分流速を有している。そのため、回転軸を含むロータが径方向に変位すると、ロータとラビリンスシール間に体積変化が生じ、ラビリンスシール内の漏れガスの円周方向圧力分布に不平衡が生じる。この不平衡は、ロータの不安定振動を引き起こす流体力（以下、不安定流体力とも称す）を発生させる。

[0005] 特に、ロータが高速回転する場合や、ラビリンスシールの入口と出口との

差圧が大きい場合、羽根車の取り扱いガスの密度が大きい場合等には、漏れガスの不安定流体力が増大する。そして最悪の場合には、ロータの不安定振動を引き起こす。そこで、この不安定流体力を低減するため、従来、種々の提案がなされている。

[0006] 特許文献1では、その図1に特徴的に示されているように、ラビリンスシールの溝間に周方向にセグメントを配置して、ラビリンスシールに流入する漏れガスの円周方向成分を減じている。なお、この特許文献1では、周方向にセグメントを分割し、櫛歯高さの異なるセグメントを組み合わせ、旋回流れを低減し、ロータの不安定振動も防止している。また、特許文献2では、ラビリンスフィンに相当するシールブレードと回転体との隙間を、上流側に対して下流側を広げることによって、ダンパー効果を増加させている。

[0007] 特許文献3では、回転軸を大径部と小径部の段付形状とし、大径部にはハニカム構造または多孔構造の低摩耗のダンパーを配置し、小径部にはラビリンスフィンを配置することが記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：特開2010-7611号公報

特許文献2：米国特許第5,794,942号明細書

特許文献3：米国特許出願公開第2007/0069477号明細書

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] 遠心圧縮機の内部のシール部には流体不安定力が生じる恐れがあるので、遠心圧縮機用シールには、以下に記載のような特性が要求される。すなわち、

(1) シール本来の作用として、漏れ量が可能な限り少ない。

(2) 不安定流体力が少ない、または不安定流体力を安定力に変えることができる。

(3) 万一、ロータと接触してもロータ側の損傷を軽微にできる。

(4) 製作性が高く、作りやすい。

そのため、上記特許文献1に記載の従来のラビリンスシールでは、周方向に多数分割してセグメントを形成してラビリンスに流入した漏れ流れが周方向に流出するのを防止している。しかしながら、ラビリンスシールの軸方向形状は従来多用されている形状であり、ダンピングと漏れ量低減を両立させるためにロータ径を階段状に減少させることについては、考慮されていない。しかも多数のセグメントに分割した結果、微小なシール隙間を確保して精度良く製作するためには、工数が増加する。

[0010] 特許文献2では、周方向流れを抑制するためにラビリンスフィンで周方向に区画することが記載されている。しかしながらこの特許文献2においてもダンピング効果を向上させることを目的とするため、漏れ量の低下のためにロータ径を階段状に減少させることについては、考慮されていない。また、特許文献1同様、製作に多大な工数を要する。

[0011] 特許文献3に記載の複合シールでは、ラビリンスシールにおけるダンピング性能を向上させるため、ラビリンスフィン間の底部（フィン間溝）にダンパー構造を形成しており、フィン間ピッチが広がっている。すなわち、上記特許文献1等に記載のラビリンスシールに比べるとフィン数が少なくなり、ラビリンスシール本来の目的である漏れ量の低減を犠牲にしている。

[0012] 本発明は上記従来技術の不具合に鑑みなされたものであり、その目的は、遠心圧縮機のシール部から漏れ低減と、シール部でのダンピング特性の向上の両立を図ることにある。本発明の他の目的は、上記目的に加え、万一ロータが接触してもロータの損傷がないまたは軽微であることと、シール部の製作性を向上させることにある。

課題を解決するための手段

[0013] 上記目的を達成する本発明の特徴は、ケーシングと、このケーシングに回転可能に保持され羽根車を取り付けたロータと、前記ケーシングに取り付けられ、前記ロータに対向して配置されるラビリンスシールとを備え、前記羽

根車が回転して気体を圧縮する遠心圧縮機において、前記ラビリンスシールは少なくとも最終段羽根車の吸込み部もしくは前記ロータの推力をバランスさせるバランスピストンのいずれかに設けられたものであり、このラビリンスシールに対向する前記ロータの径を階段状に増加または減少させ、前記ラビリンスシールは軸方向に複数の溝から形成されており、各溝とも周方向に複数のポケットが形成されていることにある。

[0014] そしてこの特徴において、前記ラビリンスシールの複数の溝に形成したポケットの周方向位置を、溝ごとに異ならせているのがよく、前記ラビリンスシールの溝形状は子午面断面において台形状をしており、各溝に形成するポケットは、旋削用刃物をこの溝の周方向に移動させて旋削加工して製作されたものであってもよい。また、前記ラビリンスシールの上流側の端面に、放射状の突起を形成するのが好ましい。

[0015] さらに、上記特徴において、前記ラビリンスシールは複数のほぼ平行に形成されたラビリンスフィンにより前記複数の溝が形成されており、この複数のラビリンスフィンの最内径は前記ポケットの内径側端部径より小さく形成されており、複数の前記ポケットは半径方向外側に行くにつれその周方向幅が狭まる形状が望ましい。

[0016] また、前記ラビリンスシールチップ径と前記ポケットの内径側端部の径との差は、このラビリンスシールに対向する前記ロータとの間で形成するシール隙間の10倍以内であり、前記ポケットの深さはこのシール隙間の10～30倍程度であり、前記ラビリンスシールのラビリンスフィン高さはシール隙間の10～30倍程度であってもよい。

発明の効果

[0017] 本発明によれば、ラビリンスシールに対向するロータ部分の径を階段状に変化させ、ラビリンスシールの溝部に複数のポケットを構成したので、ラビリンスシールとロータとの半径方向隙間をほぼ一定にしてラビリンスシールからの漏れ量を低減すると共に、ロータ変位時にポケット内に流れ込んだガスが周方向に逃げる量を低減するので、ラビリンスシールのダンピング特性

が向上する。

[0018] また、ポケットを構成する突起部の先端をラビリンスフィンの径より大径としたので、ラビリンスフィンが先にロータと接触するので、ロータの損傷を防止できる。さらに、ポケットは、ラビリンス内径に比べてはるかに小径の旋削用刃物で旋削加工可能なので、ポケットの製作に要する費用および工数を低減できる。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]本発明に係る遠心圧縮機の一実施例の要部切り欠き縦断面図である。

[図2]図1の遠心圧縮機が備えるダンパシールの部分斜視図である。

[図3]図1の遠心圧縮機が備えるダンパシールの部分縦断面図である。

[図4]ダンパシールを説明する横断面図である。

[図5]ダンパシールのロータ振動安定化効果を説明するグラフである。

[図6]従来のバランスピストンラビリンスシールのロータ振動特性を説明するグラフである。

[図7]本発明に係る遠心圧縮機の実施例における要部の縦断面図である。

[図8]図7に示した遠心圧縮機が備えるダンパシールの縦断面図である。

[図9]本発明に係るダンパシールを製作するのに用いる切削用刃物の例を示す平面図である。

発明を実施するための形態

[0020] 以下、本発明に係る遠心圧縮機の一実施例を、図面を用いて説明する。図1は、一軸多段型の遠心圧縮機20について、要部切り欠き縦断面図で示した図である。遠心圧縮機20は、その機体の外郭を形成する静止体のケーシング1と、ケーシング1内に回転可能に設けられたロータ4とを備える。ロータ4は、回転軸2と、回転軸2に装着され回転によって気体を圧縮する複数段の羽根車3（本図の例では7段、3a～3g）を有する。

[0021] ケーシング1は、矢印 α 1で示したように1段目の羽根車3aに作動気体を導入する吸込み流路5と、最終段の羽根車3gから遠心力によって流出した作動気体を、矢印 α 2で示したように吐出する吐出流路8とを備えている。

。ケーシング 1 には、各段の羽根車 3 (3 a ~ 3 g) で圧縮され羽根車 3 (3 a ~ 3 g) の外周部から流出する作動ガスを下流側に導くディフューザ 6 及び戻り流路 7 が設けられている。ディフューザ 6 は、羽根車 3 (3 a ~ 3 g) の回転により作動気体に付与された運動エネルギーを圧力エネルギーに変換する。戻り流路 7 は、ディフューザ 6 から流出した作動気体を、次段の羽根車 3 の吸込み側へ滑らかに導く。

[0022] ロータ 4 は、回転軸 2 の吸込み側端部および吐出側端部に配置され、ケーシング 1 に保持されたラジアル荷重を支えるラジアル軸受 9 により回転可能に支持されている。回転軸 2 の吸込み側端部には、スラスト荷重を支持するスラスト軸受 10 が設けられている。回転軸 2 の軸方向反対端である吐出側端部には、最終段の圧力を端面で支持してスラスト荷重を相殺するバランスピストン 11 が設けられている。回転軸 2 の吐出側端には、図示しないモータ等の駆動機がカップリングで連結されており、駆動機によりロータ 4 が回転駆動される。

[0023] このように構成した遠心圧縮機 20 では、ロータ 4 が回転すると作動気体が矢印 α 1 で示したように吸込み流路 5 から吸い込まれ、初めに第 1 段羽根車 3 a の回転により圧縮される。次いで作動ガスは、ディフューザ 6 で運動エネルギーが圧力エネルギーに変換されて静圧が上昇し、戻り流路 7 を経て次段羽根車 3 b の内部に吸い込まれる。このように順次複数段の羽根車 3 a ~ 3 g、およびディフューザ 6 で気体が圧縮され、最終的に吐出流路 8 から矢印 α 2 で示したように機外へ吐出される。

[0024] 以下、図 2 ~ 図 4 を用いて、バランスピストン 11 部のラビリンスシール 30 について詳細に説明する。図 2 は、図 1 に示した遠心圧縮機 20 が有するバランスピストン 11 部のラビリンスシール 30 の一部を示す斜視図である。図 3 は、図 2 に示したラビリンスシール 30 部の子午面断面図（縦断面図）である。図 4 は、ラビリンスシール 30 部の軸直角断面（横断面）図である。図 2、3 では、左側が漏れ流れの上流側であり、右側が漏れ流れの下流側である。

- [0025] ロータ4のバランスピストン11に対向してラビリンスシール30が回転軸2に同心状に配置されている。ラビリンスシール30に対向するバランスピストン11の部分は、その外径を階段状に3段階に変化させている。すなわち、上流側のバランスピストン径 d_1 が最も大であり、下流側のバランスピストン径 d_3 が最も小であり、中間のバランスピストン径 d_2 はその中間の値になっている。
- [0026] バランスピストン11の径が一定の部分、例えば d_1 に対応して、ラビリンスシール段、例えば L_1 が形成されている。各ラビリンスシール段 $L_1 \sim L_3$ では、リング状の平行歯（ラビリンスフィン）31により、複数の溝が形成されている。例えばラビリンスシール段 L_1 では、ラビリンスフィン31が8個、軸方向に等間隔で形成されており、これにより軸方向に7個のラビリンス溝が形成される。
- [0027] ラビリンスフィン31間に形成される溝は、図4に示すように周方向にその深さを変化させており、仕切り部33により、複数のポケット32が形成されている。なおこの図4ではラビリンスシール30を複数個の分割形状で示しているが、円筒形状に一体に形成されていてもよい。
- [0028] 図2に戻り、ラビリンスシールフィン31の最内径はポケット32を形成する仕切り部33の内径側端部よりも僅かに内径側に突出している。また、ポケット32は半径方向外側に行くに従い、周方向距離が狭くなっている。さらに、ポケット32の軸方向位置は、ラビリンスフィン31が形成する溝が、軸方向に一段移動するごとに周方向に約 $1/2$ ピッチずつずれている。
- [0029] 図3に示すように、ポケット32の子午面断面形状は台形状をしている。ここで、ラビリンスシール段 L_1 を例にとり説明すると、ラビリンスシール段 L_1 に対向するバランスピストン11部では、バランスピストン11の外径が d_1 である。一方ラビリンスシール段 L_1 を構成するラビリンスフィン31の内径は D_1 である。したがって、シール隙間 Δc は、 $\Delta c = (D_1 - d_1) / 2$ となる。
- [0030] 本実施例では、ポケット32の深さを、このシール隙間 Δc の $10 \sim 30$

倍程度としている。すなわち、ポケット32の最大径を D_3 として、 $(D_3 - D_1) / 2 \div (10 \sim 30) \times \Delta c$ としている。この理由は、ポケット32に流入する漏れ気体の量を抑制しながら、一旦ポケット32内に入った気体が周方向に流れずにポケット32内に留まってロータ4の半径方向変位に応じて圧縮され、ダンピング効果を発揮できるようにするためである。

[0031] また、ポケット32を形成する仕切り部33の内径 D_2 を、シール隙間 Δc の1～5倍以内、すなわち $(D_2 - D_1) / 2 = (1 \sim 5) \times \Delta c$ としている。これは、ラビリンスフィン31の子午面断面形状を三角形状にしてラビリンスフィン31の強度が低い部分を設けることにより、万一バランスピストン11にラビリンスフィン31が接触してもラビリンスフィン31だけが消耗し、ポケット32や仕切り部33に影響しないと共にロータ4に損傷を及ぼさないようにするためである。仕切り部33の内径をこれ以上大きくすると、ポケット32間の連通領域が増大し、ダンピング効果が減少する恐れが生じる。

[0032] さらに、ラビリンスシール段 $L_1 \sim L_3$ を3段設け、漏れ流れの下流側に行くにつれ、対向するバランスピストン11の径を小さくしている。そして、ラビリンスフィン31とバランスピストン11との間のシール隙間 Δc を、どのラビリンス段 $L_1 \sim L_3$ でもほぼ同一にしている。これにより、下流側のラビリンス段に行くにつれ、シール隙間 Δc にバランスピストン11の全周長(πd)を乗じたシール面積が下流側に行くにつれ小さくなるので、漏れ量を抑制する効果とともに、流体安定力を増加させる効果が生じる。

[0033] 図4を参照して、ポケット32について説明する。上述したように、ポケット32の深さ $(D_3 - D_2) / 2$ は、概略シール隙間 Δc の10～30倍であり、仕切り部33の内径とラビリンスフィン31の先端部の差 $(D_2 - D_1) / 2$ は、概略シール隙間 Δc の1～5倍である。ポケット32の円周方向長さは周方向角度で θ であり、ポケット32は、仕切り部33の内径側先端周方向長さ B を間に挟んで、周方向にほぼ等分配置されている。

[0034] ここでポケット32は、図4に一点鎖線で示したように、旋削用刃物50

の回転軸 51 を回転させながら、ラビリンスシール 30 の周方向に移動させることにより、形成される。旋削用刃物 50 の半径は R であるから、ポケット 32 の周方向両側の形状は、旋削用刃物 50 の半径とほぼ同じ曲率半径 R を有している。このようなポケット 32 の形状とすれば、NC 工作機械に旋削用刃物 50 を取り付けすることで、周方向に複数のポケット 32 を有するラビリンスシール 30 を機械加工で製作できる。この図 4 で破線で示したのは、現在示した溝よりも軸方向に 1 溝だけ手前もしくは後ろ側に形成した溝におけるポケット 32 の形状である。ほぼ周方向に半ピッチだけ、ポケット 32 の位置が異なっている。

[0035] なお、図 3 に示した実施例では、放射状のリブ 34 をラビリンスシール 30 の上流側に設けている。これは、作動ガスが羽根車出口では強い旋回速度成分を有するので、その作動ガスの一部がラビリンスシール 30 に漏れ流れとして流入する際に、旋回速度成分が残ったままラビリンスシールに流入するのを防止するためである。ラビリンスシールに流入する漏れ流れに旋回速度成分が多いと、前回り振動と通称される不安定振動を生じやすくなる。この不安定振動を抑制するため、ラビリンスシールに流入する漏れ流れの周方向速度成分を減じて、可能な限りゼロにする。

[0036] ポケット 32 の加工に用いる旋削用刃物 50 の種々の例を、図 9 に平面図で示す。図 9(a) はラビリンスシール 30 を 1 溝ごと加工するための旋削用刃物 50 であり、左右の傾斜面 52、53 の間に平坦部 54 が形成されている。左右の傾斜面 52、53 は、ラビリンスシール 30 の溝の子午面断面形状に応じた傾斜となっている。一方、平坦部 54 は同じ溝の子午面形状におけるポケット 32 の底部の形状に応じた平行面となっている。

[0037] 図 9(b) は、製作性を向上させるために、同時に 2 本の溝を加工することのできる旋削用刃物 50a の例である。軸方向に隣り合う溝では、ポケット 32 の位置が周方向に異なっているので、加工する溝に隣り合う溝の部分は、未加工となるよう溝間部 55 が形成されている。図 9(c) は、製作性を向上させる他の例であり、同時に 2 本の溝を加工することのできる旋削用刃物

50bの例である。この刃物では隣り合う2本の溝を同時に加工する。したがって、溝2本単位でしかポケット32の周方向位置を変化させることができない。

[0038] 図9(b)に示した旋削用刃物50aを用いると、図9(a)に示した旋削用刃物50の場合に比べ加工負荷が2倍になるうえ、旋削用刃物50aのチャッキング位置から加工位置までが長くなり、旋削用刃物50aに大きな片持ち荷重が作用する。本実施例の場合には、溝間部が不要となるので、旋削用刃物50bに加わる片持ち荷重を図9(b)の旋削刃物50aを使用した場合よりも低減できる。

[0039] 上記のように構成した本発明に係るラビリンスシールの、特性を実験した結果を次に説明する。図5は、高圧遠心圧縮機に、上記ラビリンスシール30をバランスピストン11部に組み込んで、ロータ4の振動を計測した結果である。この図5では、ロータ4の振動安定性を減衰率で評価している。横軸に運転回転数、縦軸にロータ固有振動（曲げ一次）に対する減衰率 δ を示す。

[0040] 本発明に係るラビリンスシール30の効果を示すために、比較例として図6に、バランスピストン部に従来多用されているポケットなしのラビリンスシールを組み込んだときの減衰率を示す。

[0041] 供試遠心圧縮機の定格回転速度は 14100 min^{-1} である。定格回転速度での曲げ一次ロータ固有振動に対する減衰率は、本発明に係るラビリンスシール30が約1.4であったのに対し、従来のラビリンスシールでは約0.6であった。本発明のラビリンスシールを用いることにより、減衰率が向上し、従ってダンピング特性が向上していることが分かる。なお、ラビリンスシールからの漏れは、シール隙間 Δc を従来型および本発明に係るラビリンスシールのいずれでも同じ値に設定しているので、漏れ量は軸径を3段階に変化させた分だけ本発明に係る場合の方が少なくなった。

[0042] 図7及び図8に、図1に示す一軸多段型遠心圧縮機20が備える他のラビリンスシールが複数のポケットを有する場合を子午面断面図（縦断面図）で示

す。上記実施例ではバランスピストン 11 部に取り付けたラビリンスシールが複数のポケットを有していたが、本実施例ではバランスピストン部だけではなく、図 1 の A 部で示した最終段羽根車 3 g の吸込み部に設けアイラビリンスシール 12 も複数のポケットを有している。

[0043] 図 7 に示すように、最終段の羽根車 3 g の側板入口口金 C 2 とケーシング 1 の間には、複数の環状のラビリンスフィン 12 h とこの環状のラビリンスフィン 12 h で形成される環状並行溝 12 m を有するアイラビリンスシール 12 が設けられている。これにより、羽根車 3 g から矢印 β 1 のように流出する圧縮気体の一部が、低圧側の羽根車 3 g の入口側へ、隙間（クリアランス）c 1 を通って戻ることを抑制している。

[0044] また、図 8 に示すように周方向に間隔をおいて形成した複数の放射状突起 12 R を羽根車 3 g に対向する側に設けることにより、羽根車出口 3 g で圧縮気体が有する旋回速度成分を取り除くまたは低減することが可能になる。なお、この側板入口口金 c 2 の子午面断面形状も入口側に向かって小径となる階段状段差形状である。これにより、シール面積（ $\Delta c \times \pi d$ ）を下流側ほどを小さくでき、シール効果を増大させることができる。

[0045] 最終段の羽根車 3 g の上流側には、前段の羽根車 3 f が配置されており（図 1 参照）、前段の羽根車 3 f と最終段の羽根車 3 g との段間には、段間ラビリンスシール 13 が設けられている。段間ラビリンスシール 13 は、ケーシング 1 に保持されており、ロータ 4 にシール隙間 Δc の間隔をおいて対向する。段間ラビリンスシール 13 は、複数の環状フィン 13 h とこの複数の環状フィン 13 h により形成される複数の環状溝 13 m とから構成され、戻り流路 7 を流通する気体が、段間ラビリンスシール 13 の隙間 c 3 を通って前段の羽根車 3 f の出口側 3 f 2 に戻るのを抑制している。

[0046] さらに、図 1 で示した実施例同様に、バランスピストン 11 とケーシング 1 の間には、多数の環状ラビリンスフィン 14 h を有するラビリンスシール 14 が配置されている。最終段の羽根車 3 g から吐出された圧縮気体が、ケーシング 1 とバランスピストン 11 の間から低圧部に漏れるのを抑制してい

る。

[0047] なお、ラビリンスシール 14 には、ケーシング 1 側から連通するシャントホール 27 が設けられている。シャントホール 27 は、バランスピストン 11 部に設けたラビリンスシール 14 において、圧縮機内部寄りのラビリンスフィン間 24 に連通する周方向溝 25 に、羽根車出口の静圧よりも高い圧力を吹き込む。これにより、バランスラビリンス間 24 ～羽根車 3g の出口に向かう流れを生じさせることができ、ラビリンスシール 14 内に生じる流体力を安定化できるので、ロータ 4 の前回り振動を安定化させるものである。このようなシャントホールを有するラビリンスシール 14 の場合でも、ポケット 32 の構造およびバランスピストン径の階段状低下構造を採用することが可能になり、ラビリンスシールのダンピング増加及び漏れ低減に有効である。

[0048] 上記各実施例では、バランスピストン部のラビリンスシール、最終段羽根車の吸込み側のラビリンスシールについて本発明を適用する場合を例示したが、各段の羽根車の吸込み側や段間シール 13 に対しても、本発明のシール構造を適用することができる。いずれの場合においても漏れ流れの低減とダンピング効果の増大を同時に達成可能である。

[0049] 以上説明したように、本発明の各実施例によれば、ラビリンスシールが、内径側に突き出ており子午面形状が先端窄まり形状のフィンを設けているので、万一ロータがラビリンスシールに接触してもロータの損傷を軽微にできる。またシールだけが損耗するので、シール隙間をロータが最大変位したときに接する程度まで小さくすることができるので、圧縮気体の漏れを従来に比べ格段に低減できる。

[0050] さらに、ラビリンスシールに複数のポケットを形成し、それらを単独又は複数列で千鳥に配置したので、ダンピング効果を向上できる。すなわち、周方向に配置した複数のポケットの仕切り部分が、漏れ流体がポケットから周方向に漏出するのを抑制または低減するように作用するので、ロータが半径方向に変位したときポケット部に留まる漏れガスが圧縮されて、ダンパとし

て作用する。その結果、ロータの回転方向の変位を抑制する効果が得られ、ラビリンスシール部に流体安定力が生じる。

[0051] さらに、複数のポケットは半径方向外側に行くにつれその周方向幅が狭まり、且つ軸方向縦断面形状を大径形状としたので、ポケットの半径方向共鳴周波数を高くすることができるので、シール定数に及ぼす周波数特性の影響を極力排除できる。

[0052] 上記各実施例によれば、ポケットの子午面断面形状（縦断面形状）をラビリンスシールの溝と同じ台形形状としたので、断面形状が台形の旋削用刃物を準備して、NC加工機等で加工するようにしたので、ポケットを旋削加工だけで製作でき、ポケットの加工性が向上する。

[0053] また、ラビリンスシールを段構造にし、ラビリンスシールの各段に応じてロータ側の径を漏れ流れの下流側ほど小径としたので、漏れ量を低減できるのみならず、下流に向かって流路面積を絞れば流体安定力を増加させることができる。

[0054] 以上述べたように、本発明によれば、シールの漏れを抑制しつつ、ロータの不安定振動を防止して、高速・高圧条件下でも安定した運転が可能な遠心圧縮機を実現できる。

符号の説明

[0055] 1…ケーシング、2…回転軸、3、3a～3g…羽根車、4…ロータ、11…バランスピストン、12…アイラビリンスシール（羽根車口金ラビリンスシール）、13…段間ラビリンスシール、14…バランスピストン(部)ラビリンスシール、30…バランスピストンラビリンス、31…平行歯（ラビリンスフィン）、32…ポケット、33…仕切り部、34…径方向リブ（突起）、35…仕切り部、50…旋削用刃物、51…軸部、52、53…傾斜面、54…平坦部、55…溝間部。

請求の範囲

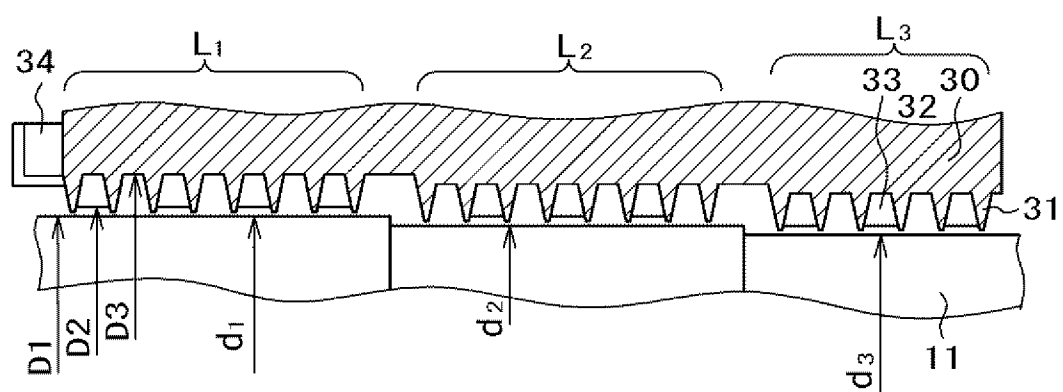
- [請求項1] ケーシングと、このケーシングに回転可能に保持され羽根車を取り付けたロータと、前記ケーシングに取り付けられ、前記ロータに対向して配置されるラビリンスシールとを備え、前記羽根車が回転して気体を圧縮する遠心圧縮機において、
- 前記ラビリンスシールは少なくとも羽根車の吸込み部もしくは前記ロータの推力をバランスさせるバランスピストンのいずれかに設けられたものであり、このラビリンスシールに対向する前記ロータの径を階段状に増加または減少させ、前記ラビリンスシールは軸方向に複数個の溝から形成されており、各溝とも周方向に複数のポケットが形成されていることを特徴とする遠心圧縮機。
- [請求項2] 請求項1記載の遠心圧縮機において、前記ラビリンスシールの複数の溝に形成したポケットの周方向位置を、溝ごとに異ならせていることを特徴とする遠心圧縮機。
- [請求項3] 請求項1または2に記載の遠心圧縮機において、前記ラビリンスシールの溝形状は子午面断面において台形状をしており、各溝に形成するポケットは、旋削用刃物をこの溝の周方向に移動させて旋削加工して製作されたものであることを特徴とする遠心圧縮機。
- [請求項4] 請求項1ないし3のいずれか1項に記載の遠心圧縮機において、前記ラビリンスシールの上流側の端面に、放射状の突起を形成したことを特徴とする遠心圧縮機。
- [請求項5] 請求項1に記載の遠心圧縮機において、前記ラビリンスシールは複数のほぼ平行に形成されたラビリンスフィンにより前記複数の溝が形成されており、この複数のラビリンスフィンの最内径は前記ポケットの内径側端部径より小さく形成されており、複数の前記ポケットは半径方向外側に行くにつれその周方向幅が狭まる形状を有することを特徴とする遠心圧縮機。
- [請求項6] 請求項5に記載の遠心圧縮機において、前記ラビリンスシールチッ

プ径と前記ポケットの内径側端部の径との差は、このラビリンスシールが対向する前記ロータとの間で形成するシール隙間の10倍以内であり、前記ポケットの深さはこのシール隙間の10～30倍程度であり、前記ラビリンスシールのラビリンスフィン高さはシール隙間の10～30倍程度であることを特徴とする遠心圧縮機。

图 2

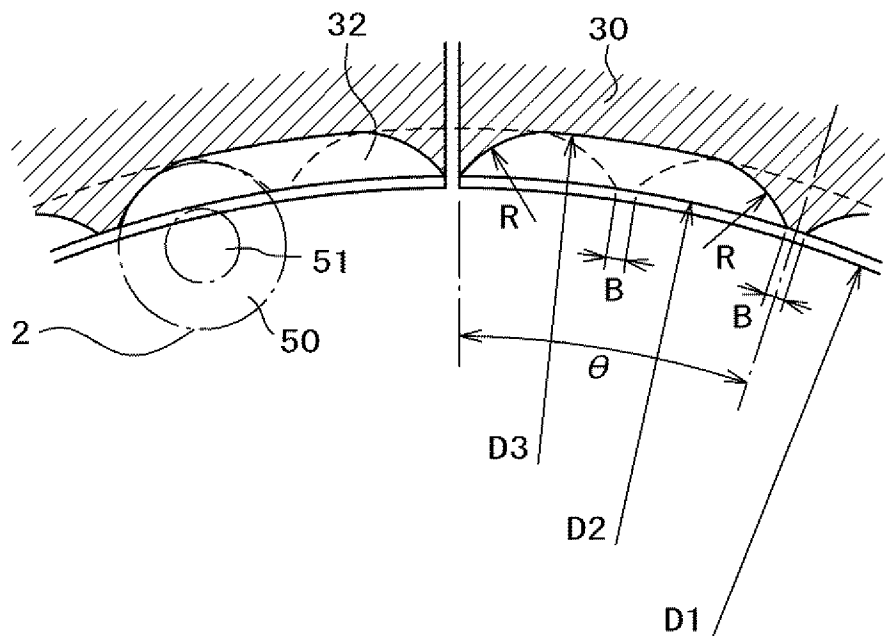


图 3



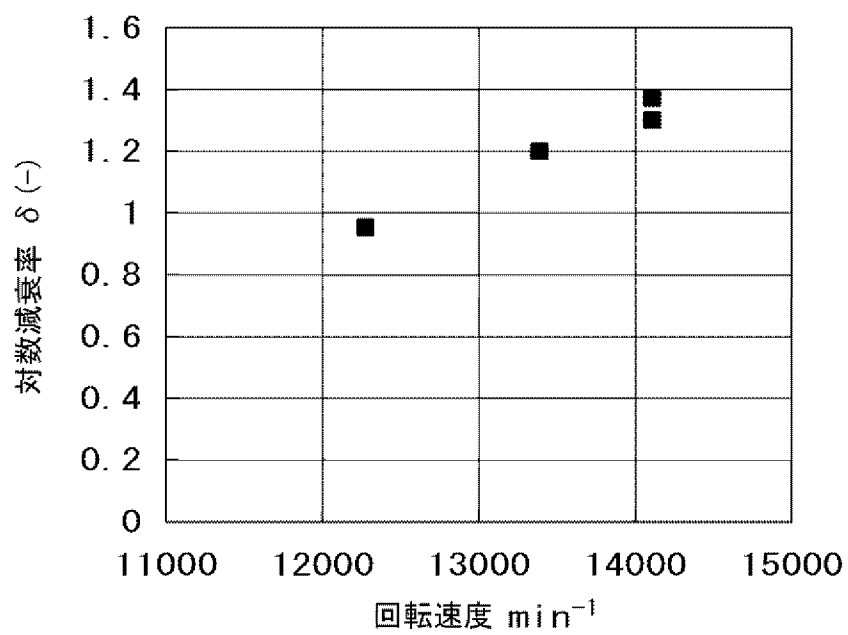
[図4]

図 4



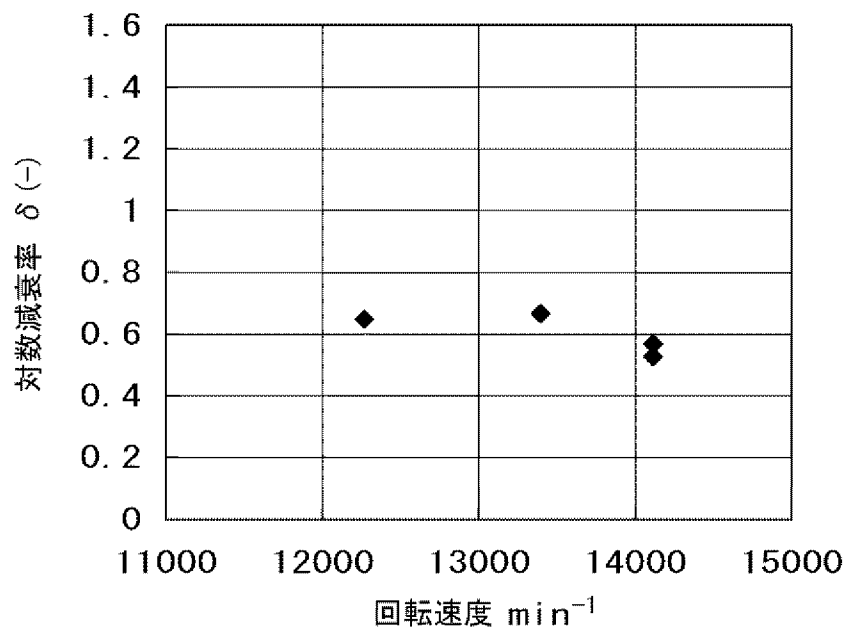
[図5]

図 5



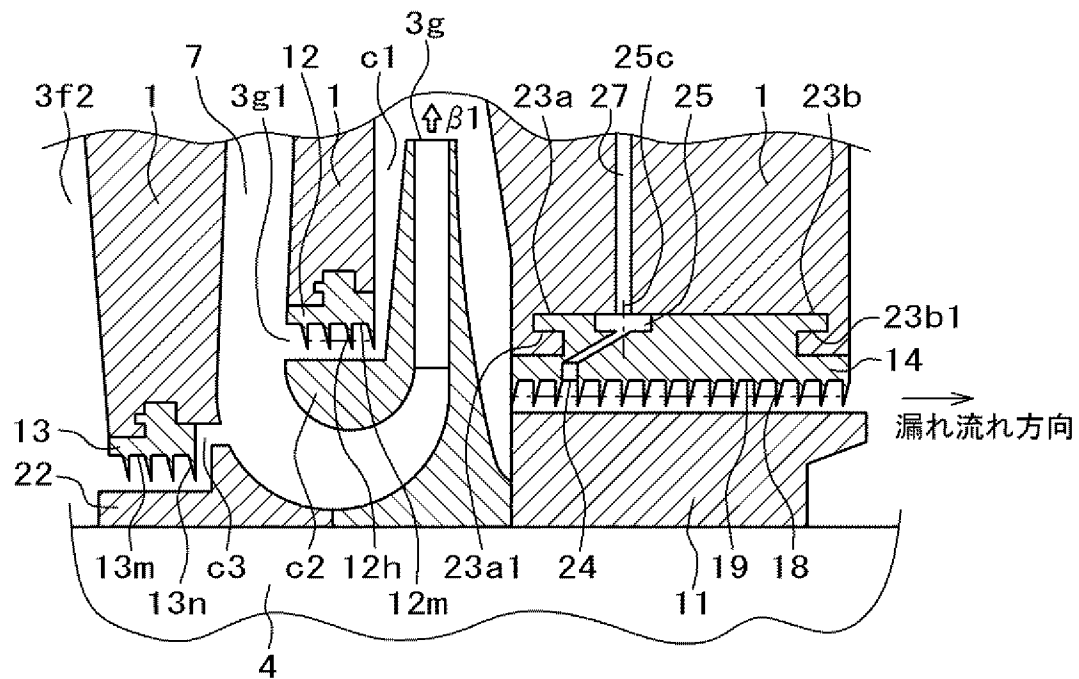
[図6]

図 6



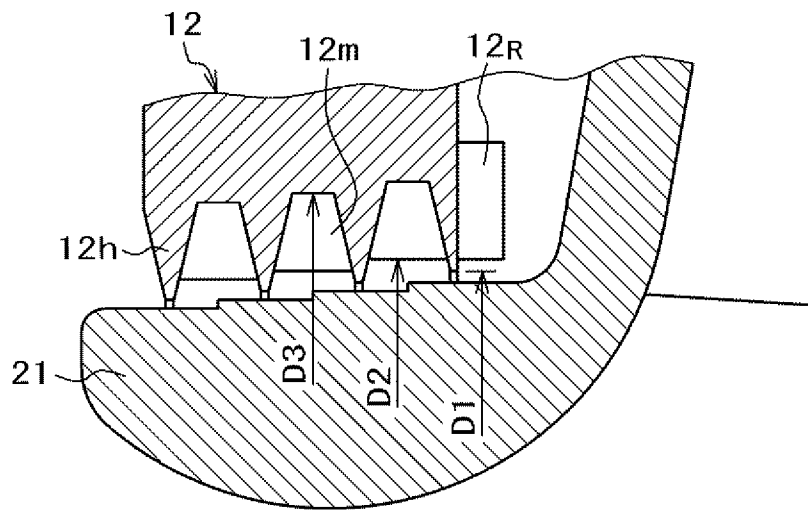
[図7]

図 7



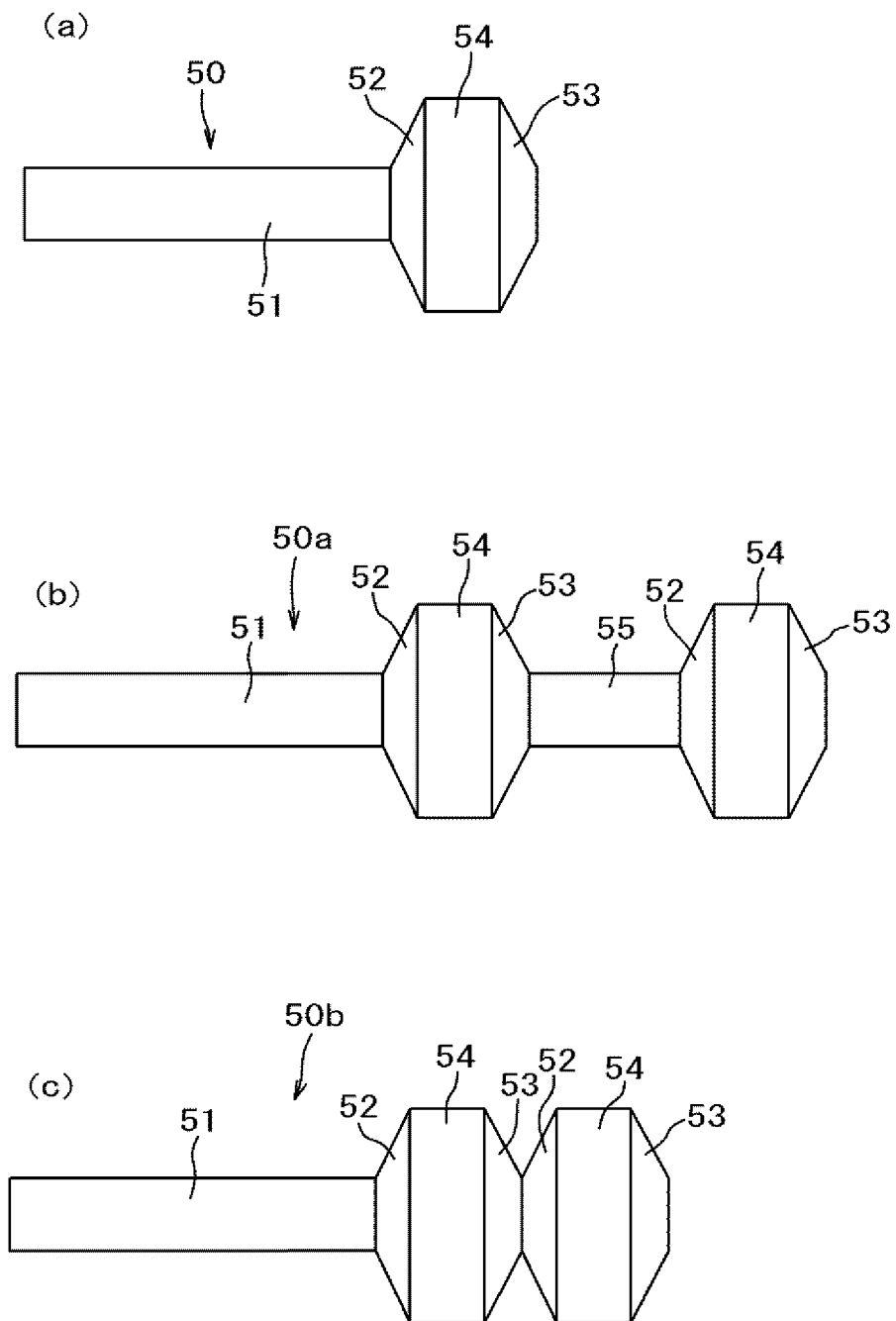
[図8]

図 8



[図9]

図 9



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/075497

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F04D29/10(2006.01)i, F01D11/02(2006.01)i, F04D17/12(2006.01)i, F04D29/16(2006.01)i, F16J15/447(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)

F04D29/10, F01D11/02, F04D17/12, F04D29/16, F16J15/447

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	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

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 2010-7611 A (Hitachi, Ltd.), 14 January 2010 (14.01.2010), paragraphs [0010] to [0019]; fig. 1 to 3 & US 2010/0166544 A1 & EP 2141363 A2	1 2-6
Y A	JP 2012-72736 A (Kobe Steel, Ltd.), 12 April 2012 (12.04.2012), paragraphs [0013] to [0025]; fig. 1 & CN 102434486 A	1 2-6
A	JP 2008-190487 A (Hitachi Plant Technologies, Ltd.), 21 August 2008 (21.08.2008), paragraphs [0015] to [0025]; fig. 1 to 3 (Family: none)	1-6

☒ 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
17 December, 2013 (17.12.13)

Date of mailing of the international search report
24 December, 2013 (24.12.13)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/075497

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 2002-228014 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 14 August 2002 (14.08.2002), entire text; all drawings (Family: none)	1-6
A	WO 2011/122092 A1 (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 06 October 2011 (06.10.2011), entire text; all drawings & JP 2011-208602 A & US 2012/0288360 A1 & EP 2554796 A1 & CN 102695849 A & KR 10-2012-0092161 A	1-6
A	JP 8-505462 A (THE TEXAS A & M UNIVERSITY SYSTEM), 11 June 1996 (11.06.1996), entire text; all drawings & US 5794942 A & US 5707064 A & US 5540447 A & EP 689650 A & WO 1994/016251 A1 & CA 2152789 A	1-6
A	JP 11-13688 A (Hitachi, Ltd.), 19 January 1999 (19.01.1999), entire text; all drawings & US 6039535 A & US 6302645 B1 & US 6435822 B1	1-6

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. F04D29/10(2006.01)i, F01D11/02(2006.01)i, F04D17/12(2006.01)i, F04D29/16(2006.01)i, F16J15/447(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. F04D29/10, F01D11/02, F04D17/12, F04D29/16, F16J15/447

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 3 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 3 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 3 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 A	JP 2010-7611 A（株式会社日立製作所） 2010.01.14, 段落【0010】－【0019】、【図1】－【図3】 & US 2010/0166544 A1 & EP 2141363 A2	1 2-6
Y A	JP 2012-72736 A（株式会社神戸製鋼所） 2012.04.12, 段落【0013】－【0025】、【図1】 & CN 102434486 A	1 2-6

☒ 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

1 7 . 1 2 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

2 4 . 1 2 . 2 0 1 3

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）

小河 了一

3 0

4 0 2 7

電話番号 03-3581-1101 内線 3358

C (続き) . 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
A	JP 2008-190487 A (株式会社日立プラントテクノロジー) 2008.08.21, 段落【0015】－【0025】, 【図1】－【図3】 (ファミリーなし)	1-6
A	JP 2002-228014 A (三菱重工業株式会社) 2002.08.14, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-6
A	WO 2011/122092 A1 (三菱重工業株式会社) 2011.10.06, 全文, 全図 & JP 2011-208602 A & US 2012/0288360 A1 & EP 2554796 A1 & CN 102695849 A & KR 10-2012-0092161 A	1-6
A	JP 8-505462 A (ザ、テクサス、エイアンドエム、ユニヴァーサテ ィ、システム) 1996.06.11, 全文, 全図 & US 5794942 A & US 5707064 A & US 5540447 A & EP 689650 A & WO 1994/016251 A1 & CA 2152789 A	1-6
A	JP 11-13688 A (株式会社日立製作所) 1999.01.19, 全文, 全図 & US 6039535 A & US 6302645 B1 & US 6435822 B1	1-6