

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6712873号  
(P6712873)

(45) 発行日 令和2年6月24日 (2020.6.24)

(24) 登録日 令和2年6月4日 (2020.6.4)

(51) Int. Cl.

F 1

F O 1 D 11/08 (2006.01)

F O 1 D 11/08

F O 2 C 7/28 (2006.01)

F O 2 C 7/28

A

F 1 6 J 15/447 (2006.01)

F 1 6 J 15/447

請求項の数 16 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2016-38047 (P2016-38047)  
 (22) 出願日 平成28年2月29日 (2016.2.29)  
 (65) 公開番号 特開2017-155625 (P2017-155625A)  
 (43) 公開日 平成29年9月7日 (2017.9.7)  
 審査請求日 平成31年2月22日 (2019.2.22)

(73) 特許権者 514030104  
 三菱日立パワーシステムズ株式会社  
 神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3  
 番1号  
 (74) 代理人 100092978  
 弁理士 真田 有  
 (72) 発明者 松本 和幸  
 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重  
 工業株式会社内  
 (72) 発明者 藤川 健一  
 神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3  
 番1号 三菱日立パワーシステムズ株式会  
 社内

審査官 小林 勝広

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 シール構造及びターボ機械

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

軸心線周りに所定方向に回転する回転構造体と、前記回転構造体の外周側に隙間を空けて径方向に対向する静止構造体との間の前記隙間から、作動流体のリーク流の流れを抑制する、シール構造であって、

前記静止構造体には、前記回転構造体を収容するキャビティが備えられると共に、

前記キャビティの内周面には、前記内周面から内周側に向かって延在するシールフィンが設けられると共に、前記内周面から外周側に向かって前記リーク流の流れ方向に沿って複数の静止側凹所が設けられ、

前記静止側凹所は、前記内周面の全周に亘って形成されており、

前記流れ方向で最上流側の第1静止側凹所よりも、前記流れ方向で前記第1静止側凹所の直下流側に配置された第2静止側凹所のほうが、深さ寸法を小さく設定されたことを特徴とするシール構造。

【請求項 2】

前記静止構造体はタービンケーシングであり、

前記回転構造体は、軸方向に沿って複数設置され、動翼の先端に取り付けられたチップシュラウドであって、

前記シールフィンは、前記チップシュラウドに対して前記径方向に対向して配置されたことを特徴とする、請求項1に記載のシール構造。

【請求項 3】

10

20

前記静止側凹所が前記流れ方向に沿って3つ以上備えられ、前記深さ寸法が、前記流れ方向で下流側になるほど小さく設定されたことを特徴とする、請求項1又は2に記載のシール構造。

【請求項4】

前記シールフィンが前記流れ方向に沿って複数設けられ、

前記流れ方向で最上流側の第1シールフィンと、前記流れ方向で前記第1シールフィンの直下流側に配置された第2シールフィンとの相互間に、前記第1静止側凹所が設けられた

ことを特徴とする請求項1～3の何れか一項に記載のシール構造。

【請求項5】

前記第1静止側凹所の前記深さ寸法は、前記第1シールフィンと前記第2シールフィンとの間のピッチの2倍よりも大きく設定された

ことを特徴とする請求項4に記載のシール構造。

【請求項6】

前記シールフィンの相互間のピッチは互いに同一に設定された

ことを特徴とする請求項1～5の何れか一項に記載のシール構造。

【請求項7】

前記シールフィンの少なくとも1つは、隣接する前記静止側凹所から軸方向に所定の距離をあけて設けられた

ことを特徴とする請求項1～6の何れか一項に記載のシール構造。

【請求項8】

前記第1静止側凹所と前記第2静止側凹所との少なくとも一方が、前記径方向に延設された

ことを特徴とする請求項1～7の何れか一項に記載のシール構造。

【請求項9】

前記静止側凹所の少なくとも一つに、軸方向に延設された軸方向凹所が連設された

ことを特徴とする請求項8に記載のシール構造。

【請求項10】

前記静止側凹所は、前記シールフィンの相互間に設けられ、

前記軸方向に関する寸法であって前記静止側凹所と前記軸方向凹所とのトータルの寸法が、前記シールフィンの相互間のピッチよりも大きく設定された

ことを特徴とする請求項9に記載のシール構造。

【請求項11】

前記静止側凹所に対向して前記回転構造体に回転側凹所が設けられ、

前記回転側凹所として、少なくとも、前記第1静止側凹所に対向して設けられた第1回転側凹所、又は、前記第2静止側凹所に対向して設けられた第2回転側凹所が設けられたことを特徴とする請求項1～10の何れか一項に記載のシール構造。

【請求項12】

前記回転構造体に前記第1回転側凹所及び前記第2回転側凹所が設けられ、

前記第1静止側凹所の底面と前記第1回転側凹所の底面との距離よりも、前記第2静止側凹所の底面と前記第2回転側凹所の底面との距離のほうが短く設定された

ことを特徴とする請求項11に記載のシール構造。

【請求項13】

軸心線周りに所定方向に回転する回転構造体と、

前記回転構造体の外周側に隙間を空けて径方向に対向する静止構造体と、

請求項1～12の何れか一項に記載のシール構造と、を備えた

ことを特徴とする、ターボ機械。

【請求項14】

前記回転構造体として、軸方向に複数設けられたチップシュラウドを備えると共に、前記静止構造体として、前記複数のチップシュラウドを囲うタービンケーシングを備え、

10

20

30

40

50

前記複数のチップシュラウドの内の、少なくとも一つのチップシュラウドに対し、前記シール構造を備えたタービンであることを特徴とする、請求項 13 に記載のターボ機械。

【請求項 15】

前記少なくとも一つのチップシュラウドが、前記作動流体の入口の最も近くに配置されたチップシュラウドである

ことを特徴とする、請求項 14 に記載のターボ機械。

【請求項 16】

前記少なくとも一つのチップシュラウドが、軸方向中央に配置されたチップシュラウドである

ことを特徴とする、請求項 14 又は 15 に記載のターボ機械。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、不安定振動を抑制するのに好適な、相対回転する二つ構造体の相互間から作動流体がリークすることを抑制するシール構造及びそれを使用したターボ機械に関する。

【背景技術】

【0002】

蒸気タービン、ガスタービン及びターボ圧縮機などのターボ機械においては、静止構造体と回転構造体との間にできる隙間から蒸気などの作動流体が漏洩（リーク）すると、この作動流体のリークがタービンにおける効率の損失（リーク損失）を引き起こす。このため、ターボ機械では、作動流体のリークを防止するために、当該隙間にシール用フィン

20

【0003】

ところで、ターボ機械においては、不安定振動と考えられる低周波振動が発生することがある。不安定振動が発生すると動作不良に繋がるおそれがあるためターボ機械を停止しなければならない。不安定振動が発生する大きな要因の一つとして考えられているのが、シール励振力である。何らかの原因により発生した回転構造体の微小振動に対して、シール励振力は、回転構造体の振れ回りを助長させるように回転構造体に作用し、ひいては不安定振動を引き起こす。

シール励振力についてさらに説明すると、シール部分（シール用フィンが設けられた部分）を流れる作動流体は、軸方向（流れ方向）速度成分だけでなく、周方向速度成分を持って流れており、（以下、この周方向に向かう流れを「旋回流」と呼ぶ）、シール励振力は、この旋回流が原因となり生じる。

30

つまり、回転構造体が径方向へ微小に変位すると（偏心すると）、回転構造体とシール用フィンとの間の流路が狭まって静圧が高くなる部分と、当該流路が広がって静圧が低くなる部分とが発生すると共に、リークした作動流体の旋回流に起因してシール用フィンの上流側と下流とで静圧分布に位相差が生じ、このような静圧の不均一性に起因した力が回転体に作用してシール励振力が生じる。

【0004】

このようなタービンの不安定振動を抑制する技術として特許文献 2 に開示された技術がある。以下、特許文献 2 に開示された技術を説明する。その説明では、参考に、特許文献 2 で使用されている符号を括弧付きで示す。

40

特許文献 2 に開示された技術では、動翼（11）の頂部に設けられたシュラウド（12）に対向して複数のシールフィン（42）がロータ軸心線方向（L）に沿って複数設けられ、これらのシールフィン（42）が取り付けられたシールリング（41）には、シールフィン（42）の各相互間において同一深さ（D2）の溝部（43）が設けられている。溝部（43）の深さ（D2）は、シールフィン（42）を支持する強度を低下させない程度に設定されている。溝部（43）を設けることにより、シールフィン（42）の相互間の空間を、溝部が無い従来の蒸気タービンのシール構造の場合と比べて実質的に大きくすることができ、スチームホワール（不安定振動）の発生を抑制することができるとしてい

50

る（段落[0025]～[0028]、図4など参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2011-208602号公報

【特許文献2】特開2013-076341号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、特許文献2に開示された技術では、溝部(43)の深さ(D2)は、シールフィン(42)を支持する強度を低下させない程度に制限されてしまう。このため、シールフィン(42)の相互間の空間を実質的に拡大できる範囲、ひいては不安定振動の発生を抑制する効果も制限されてしまう。

10

【0007】

本発明は、上記のような課題に鑑み創案されたもので、不安定振動を効果的に抑制できるようにした、シール構造及びターボ機械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】

【0008】

(1)上記の目的を達成するために、本発明のシール構造は、軸心線周りに所定方向に回転する回転構造体と、前記回転構造体の外周側に隙間を空けて径方向に対向する静止構造体との間の前記隙間から、作動流体のリーク流の流れを抑制する、シール構造であって、前記静止構造体には、前記回転構造体を収容するキャビティが備えられると共に、前記キャビティの内周面には、前記内周面から内周側に向かって延在するシールフィンが設けられると共に、前記内周面から外周側に向かって前記リーク流の流れ方向に沿って複数の静止側凹所が設けられ、前記静止側凹所は、前記内周面の全周に亘って形成されており、前記流れ方向で最上流側の第1静止側凹所よりも、前記流れ方向で前記第1静止側凹所の直下流側に配置された第2静止側凹所のほうが、深さ寸法を小さく設定されたことを特徴としている。

20

【0009】

(2)前記静止構造体はタービンケーシングであり、前記回転構造体は、軸方向に沿って複数設置され、動翼の先端に取り付けられたチップシュラウドであって、前記シールフィンは、前記チップシュラウドに対して前記径方向に対向して配置されることが好ましい。

30

【0010】

(3)前記静止側凹所が前記流れ方向に沿って3つ以上備えられ、前記深さ寸法が、前記流れ方向で下流側になるほど小さく設定されることが好ましい。

【0011】

(4)前記シールフィンが前記流れ方向に沿って複数設けられ、前記流れ方向で最上流側の第1シールフィンと、前記流れ方向で前記第1シールフィンの直下流側に配置された第2シールフィンとの相互間に、前記第1静止側凹所が設けられることが好ましい。

40

【0012】

(5)前記第1静止側凹所の前記深さ寸法は、前記第1シールフィンと前記第2シールフィンとの間のピッチの2倍よりも大きく設定されることが好ましい。

【0013】

(6)前記シールフィンの相互間のピッチは互いに同一に設定されることが好ましい。

【0014】

(7)前記シールフィンの少なくとも1つは、隣接する前記静止側凹所から軸方向に所定の距離をあけて設けられることが好ましい。

【0015】

(8)前記第1静止側凹所と前記第2静止側凹所との少なくとも一方が、前記径方向に

50

延設されることが好ましい。

【0016】

(9) 前記静止側凹所の少なくとも一つに、軸方向に延設された軸方向凹所が連設されたことが好ましい。

【0017】

(10) 前記静止側凹所は、前記シールフィンの相互間に設けられ、前記軸方向に関する寸法であって前記静止側凹所と前記軸方向凹所とのトータルの寸法が、前記シールフィンの相互間のピッチよりも大きく設定されることが好ましい。

【0018】

(11) 前記静止側凹所に対向して前記回転構造体に回転側凹所が設けられ、前記回転側凹所として、少なくとも、前記第1静止側凹所に対向して設けられた第1回転側凹所、又は、前記第2静止側凹所に対向して設けられた第2回転側凹所が設けられことが好ましい。

10

【0019】

(12) 前記回転構造体に前記第1回転側凹所及び前記第2回転側凹所が設けられ、前記第1静止側凹所の底面と前記第1回転側凹所の底面との距離よりも、前記第2静止側凹所の底面と前記第2回転側凹所の底面との距離のほうが短く設定されることが好ましい。

【0020】

(13) 上記の目的を達成するために、本発明のターボ機械は、軸心線周りに所定方向に回転する回転構造体と、前記回転構造体の外周側に隙間を空けて径方向に対向する静止構造体と、(1)～(12)の何れかに記載のシール構造と、を備えたことを特徴とすることを特徴としている。

20

【0021】

(14) 前記回転構造体として、軸方向に複数設けられたチップシュラウドを備えると共に、前記静止構造体として、前記複数のチップシュラウドを囲うタービンケーシングを備え、前記複数のチップシュラウドの内の、少なくとも一つのチップシュラウドに対し、前記シール構造を備えたタービンであることが好ましい。

【0022】

(15) 前記少なくとも一つのチップシュラウドが、前記作動流体の入口の最も近くに配置されたチップシュラウドであることが好ましい。

30

【0023】

(16) 前記少なくとも一つのチップシュラウドが、軸方向中央に配置されたチップシュラウドであることが好ましい。

【発明の効果】

【0024】

本発明では、回転構造体とシールフィンとを収容する静止構造体のキャビティの内周面に、静圧分布の不均一性を緩和する静止側凹所として、上流側から、第1静止側凹所と、第2静止側凹所とがこの順に設けられると共に、第1静止側凹所よりも第2静止側凹所のほうが、深さ寸法を小さく設定されている。

第1静止側凹所と第2静止側凹所とで深さ寸法を同じにするよりも、前記不均一性の小さな下流側の第2静止側凹所の深さ寸法を小さく設定して静止構造体の強度の低下を抑制し、その分、前記不均一性の大きな上流側の第1静止側凹所の深さ寸法を、静止構造体の強度を確保しつつ大きく設定することができる。

40

したがって、本発明によれば、凹所を設けることによる静止構造体の強度の低下を抑制しつつ、不安定振動を効果的に抑制できる。

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】本発明の各実施形態に係る蒸気タービンの全体構成を示す模式的な縦断面図である。

【図2】本発明の第1実施形態に係るシール構造の構成を示す模式図であって径方向に沿

50

って切断した断面図である。

【図３】本発明の第２実施形態に係るシール構造の構成を示す模式図であって径方向に沿って切断した断面図である。

【図４】本発明の第３実施形態に係るシール構造の構成を示す模式図であって径方向に沿って切断した断面図である。

【発明を実施するための形態】

【００２６】

以下、図面を参照して、本発明の実施の形態について説明する。

本実施形態では、本発明のシール構造及びターボ機械を蒸気タービンに適用した例を説明する。

10

なお、以下に示す各実施形態はあくまでも例示に過ぎず、以下の各実施形態で明示しない種々の変形や技術の適用を排除する意図はない。以下の各実施形態の各構成は、それらの趣旨を逸脱しない範囲で種々変形して実施することができると共に、必要に応じて取捨選択することができ、あるいは適宜組み合わせることが可能である。

【００２７】

以下の説明では上流、下流と記載した場合は、特段の説明がない限り、リーク蒸気ＳＬの軸方向Ａに関する流れ成分に対しての上流、下流を意味するものとする。すなわち、図１～図４における左側を上流側、右側を下流側とする。

また、蒸気タービンのロータ軸心線（以下、「軸心線」とも呼ぶ）ＣＬに向く方向を内周側又は内側とし、その反対側、軸心線ＣＬから離れる方向を外周側又は外側として説明する。

20

また、以下の説明で周方向と記載した場合は、特段の説明がない限り、軸心線ＣＬを中心とした周方向を意味するものとする。

【００２８】

[１．第１実施形態]

[１－１．蒸気タービンの全体構成]

本実施形態の蒸気タービン１について図１を参照して説明する。

本実施形態の蒸気タービン１は、図１に示すように、タービンケーシング（静止構造体、以下「ケーシング」とも呼ぶ）１０と、ケーシング１０の内部に回転自在に設けられ、動力を図示しない発電機等の機械に伝達するロータ軸３０と、ケーシング１０に設けられた静翼６０と、ロータ軸３０に設けられた動翼５０と、軸心線ＣＬを中心にロータ軸３０を回転可能に支持する軸受部７０とを備えて構成されている。静翼６０及び動翼５０はロータ軸３０の径方向Ｒに延びるブレードである。

30

ケーシング１０は静止しているのに対し、動翼５０は軸心線ＣＬを中心に回転する。つまり、ケーシング１０と動翼５０（後述のチップシュラウド４を含む）とは相対回転する。

【００２９】

蒸気（流体）Ｓは、図示しない蒸気供給源と接続された蒸気供給管２０を介して、ケーシング１０に形成された主流入口２１から導入され、蒸気タービン１の下流側に接続された蒸気排出管２２から排出される。

40

【００３０】

ケーシング１０は、内部空間が気密に封止されていると共に、蒸気Ｓの流路とされている。このケーシング１０の内壁面にはリング状の仕切板外輪１１が強固に固定されている。

軸受部７０は、ジャーナル軸受装置７１及びスラスト軸受装置７２を備えており、ロータ軸３０を回転自在に支持している。

【００３１】

静翼６０は、ケーシング１０から内周側に向かって伸び、ロータ軸３０を囲繞するように放射状に多数配置される環状静翼群を構成しており、それぞれ上述した仕切板外輪１１に保持されている。

50

## 【 0 0 3 2 】

これら複数の静翼 6 0 からなる環状静翼群は、ロータ軸 3 0 の軸方向 A に間隔を空けて複数形成されており、蒸気 S の圧力エネルギーを速度エネルギーに変換して、下流側に隣接する動翼 5 0 に流入させる。

## 【 0 0 3 3 】

動翼 5 0 は、ロータ軸 3 0 のロータ軸本体 3 1 の外周部に形成されたディスク 3 2 に強固に取り付けられ、各環状静翼群の下流側において、放射状に多数配置されて環状動翼群を構成している。

これら環状静翼群と環状動翼群とは、一組一段とされている。各動翼群を構成する複数の動翼 5 0 の先端部同士は、リング状のチップシュラウド（回転構造体）4 により連結されている。

10

## 【 0 0 3 4 】

## [ 1 - 2 . シール構造 ]

本実施形態のシール構造について、図 2 を参照して説明する。

複数の仕切板外輪 1 1 の各相互間には、図 2 に示すように、仕切板外輪 1 1 の内周面から窪んだキャビティ 1 2 が形成されている。キャビティ 1 2 は、軸心線 C L を中心とする円環状の空間であり、ケーシング 1 0 の内周面（以下、「キャビティ底面 1 3 」とも表記する）1 3 を底面とする。

キャビティ 1 2 には、チップシュラウド 4 が収容され、キャビティ底面 1 3 は、チップシュラウド 4 と隙間（以下、「空間」とも呼ぶ）G d を介して径方向 R に対向している。

20

## 【 0 0 3 5 】

蒸気 S のうち大部分の蒸気 S M は、動翼 5 0 に流入し、そのエネルギーが回転エネルギーに変換され、この結果、ロータ軸 3 0 に回転が付与される。その一方、蒸気 S のうち一部（例えば、約数 %）の蒸気の流れ（リーク流、以下「リーク蒸気」とも呼ぶ）S L は、動翼 5 0 に流入せずに隙間 G d にリークする。リーク蒸気 S L のエネルギーは回転エネルギーに変換されないで、リーク蒸気 S L は、蒸気タービン 1 の効率を低下させるリーク損失を招く。

## 【 0 0 3 6 】

そこで、ケーシング 1 0 と各チップシュラウド 4 との間の各隙間 G d には、それぞれ、本発明の第 1 実施形態としてのシール構造 2 が設けられている。換言すれば、各チップシュラウド 4 に対して本発明の第 1 実施形態としてのシール構造 2 がそれぞれ設けられている。

30

以下、シール構造 2 について説明する。

チップシュラウド 4 は、上述したようにリング状のものであり、図 2 に示すような軸方向 A に長い矩形の横断面形状を、全周に亘って一定に有している。

キャビティ底面 1 3 には、チップシュラウド 4 に向かって内周側に延在するシールフィン 6 A , 6 B , 6 C が設けられている（図 1 では省略）。これらのシールフィン 6 A , 6 B , 6 C は同一形状に設定されており、軸心線 C L を中心としたリング状であって、図 2 に示す径方向 R に長い矩形の横断面形状を全周に亘って一定に有している。

また、シールフィン 6 A , 6 B , 6 C は、軸方向 A に沿って所定のピッチ B 1 , B 2 で配設されており、本実施形態では、シールフィン 6 A とシールフィン 6 B とのピッチ B 1 と、シールフィン 6 B とシールフィン 6 C とのピッチ B 2 とは同一寸法に設定されている（B 1 = B 2）。つまり、シールフィン 6 A , 6 B , 6 C は等ピッチで配置されている。

40

ここでいうピッチ B 1 , B 2 とは、シールフィン 6 A , 6 B , 6 C の厚さ方向（換言すれば軸方向 A）中心線の相互間距離をいう。

以下、シールフィン 6 A , 6 B , 6 C を区別しない場合には、シールフィン 6 と表記する。

なお、シールフィン 6 A , 6 B , 6 C は同一形状である必要はなく、異なる形状であってもよい。

## 【 0 0 3 7 】

50

キャビティ底面 13 には、シールフィン 6A, 6B, 6C の各相互間において、外周側に向かって径方向 R に延設されたケーシング凹所（以下、「凹所」又は「径方向凹所」とも呼ぶ）14A, 14B が形成されている。以下、凹所 14A, 14B を区別しない場合には凹所 14 と表記する。凹所 14 は、本実施形態では、軸心線 CL を中心としてキャビティ底面 13 の全周に亘って形成されたリング状の凹所であり、互いに対向し径方向 R に幅を持ったリング状の側面 14a, 14b と、これらの側面 14a, 14b の外周縁を繋ぎ軸方向 A に幅を持ったリング状の底面 14c とにより画成されている。

凹所 14 は、下流側になるほど浅く設定されており、上流側の凹所 14A の深さ寸法 L1 よりも下流側の凹所 14B の深さ寸法 L2 のほうが小さく（浅く）設定されている（ $L2 < L1$ ）。

10

ここで、キャビティ底面 13、及び、凹所 14A, 14B を画成する底面 14c はそれぞれ軸心線 CL を中心とした円周面であり、凹所 14A, 14B の深さ L1, L2 とは、キャビティ底面 13 と底面 14c との径方向 R に関する距離である。

また、各凹所 14 は、軸方向 A に関して、隣接するシールフィン 6 に対して所定の距離 B（ $B > 0$ ）をあけて形成されている。

【0038】

[1-3. 作用・効果]

本発明の第 1 実施形態としてのシール構造 2 の作用・効果を、図 2 を参照して説明する。

「発明が解決しようとする課題」の欄に記載したように、キャビティ底面 13 やチップシュラウド 4 の周辺の静圧分布が、周方向に対して不均一になることがある。しかし、キャビティ底面 13 には、凹所 14A, 14B が設けられていることから、隙間 Gd を実質的に拡大することとなり、周方向の静圧分布のばらつきを緩和することができる。つまり、凹所 14A, 14B は、静圧分布の不均一性（非一様性）を緩和するアブソーバとしての機能（以下、「アブソーバ機能」と呼ぶ）を有している。

20

【0039】

また、静圧分布の不均一性は、上流側ほど大きく、下流側になるほど小さくなる傾向を有している。そこで、シール構造 2 では、静圧分布の不均一性が相対的に大きな上流側には、相対的に深さ寸法が大きく容積の大きな（アブソーバ機能が相対的に高い）凹所 14A を設け、静圧分布の不均一性が相対的に小さな下流側には、相対的に深さ寸法が小さく容積の小さな（アブソーバ機能が相対的に低い）凹所 14B を設けるようにしている。

30

【0040】

凹所 14A, 14B を深くするほど、アブソーバ機能を向上させることができる一方、ケーシング 10 の強度を低下させることとなる。しかし、このシール構造 2 では、静圧分布の不均一性の小さな下流側では、凹所 14B の深さ寸法 L2 を小さく設定してケーシング 10 の強度を必要以上に低下させることを抑制している。そして、凹所 14B の深さ寸法 L2 を小さくした分だけ、静圧分布の不均一性の大きな上流側では、凹所 14A の深さ寸法 L1 を大きく設定してアブソーバ機能を向上させることができる。

したがって、凹所 14A, 14B の深さ寸法 L1, L2 を同一寸法に設定する場合に比べて、ケーシング 10 の強度の低下を抑制しつつタービンの不安定振動を効果的に抑制できる。

40

【0041】

さらに、シールフィン 6A とシールフィン 6B との間の凹所 14A、すなわち最上流側の凹所 14A の深さ寸法 L1 を、シールフィン 6A とシールフィン 6B とのピッチ B1 の 2 倍よりも大きく設定したので（ $L1 > B1 \times 2$ ）、静圧分布の均一化ひいてはタービンの不安定振動の抑制を一層効果的に行うことができる。

【0042】

また、各凹所 14 は、軸方向 A に関して、隣接するシールフィン 6 に対して所定の距離 B をあけて形成されている（ $B > 0$ ）。換言すれば、各シールフィン 6 には、その付け根部（シールフィン 6 とキャビティ底面 13 との接続部）を支持する支持部が、凹所 1

50



4 から所定の距離  $B$  に亘って形成されている。したがって、シールフィン 6 を、凹所 14 の側面 14 a や側面 14 b と面一に設ける場合 ( $B = 0$ ) に比べて、シールフィン 6 の付け根の強度を向上させることができる。

【0043】

[ 2 . 第 2 実施形態 ]

以下、図 3 を参照して本発明の第 2 実施形態について説明する。なお、第 1 実施形態と同一要素については同一の符号を付し、その説明を省略する。

【0044】

[ 2 - 1 . シール構造 ]

本発明の第 2 実施形態のシール構造 2 A は、図 2 に示す第 1 実施形態のシール構造 2 に対して、径方向凹所 14 A に、その外周端から下流側に向かって軸方向 A に延在する軸方向凹所 14 A を連設し、径方向凹所 14 B に、その外周端から下流側に向かって軸方向 A に延在する軸方向凹所 14 B を連設したものである。

軸方向凹所 14 A , 14 B は、径方向凹所 14 A , 14 B 側が開口すると共に軸心線 CL を中心としてリング状に形成された凹所である。軸方向凹所 14 A , 14 B は、外周側底面 14 d , 内周側底面 14 f 及び側面 14 e により画成されている。外周側底面 14 d , 内周側底面 14 f は、互いに対向し、それぞれ軸方向 A に幅を持ったリング状の面である。また、外周側底面 14 d は、径方向凹所 14 の底面 14 c に面一に形成されている。側面 14 e は、これらの底面 14 d , 14 f の下流縁を繋ぎ径方向 R に幅を持ったリング状の面である。

【0045】

軸方向凹所 14 A を設けることにより径方向凹所 14 A を実質的に拡大することができ、本実施形態では、径方向凹所 14 A と軸方向凹所 14 A とのトータルの軸方向寸法  $D1$  を、フィン 6 A とフィン 6 B とのピッチ  $B1$  よりも大きく設定している ( $D1 > B1$ )。同様に、軸方向凹所 14 B を設けることにより径方向凹所 14 B を実質的に拡大することができ、本実施形態では、凹所 14 B と軸方向凹所 14 B とのトータルの軸方向寸法  $D2$  を、フィン 6 B とフィン 6 C とのピッチ  $B2$  よりも大きく設定している ( $D2 > B2$ )。

その他の構造は第 1 実施形態のシール構造 2 と同様であるので説明を省略する。

【0046】

[ 2 - 2 . 作用・効果 ]

本発明の第 2 実施形態によれば、径方向凹所 14 A , 14 B に加えて軸方向凹所 14 A , 14 B を設けることにより、静圧分布の不均一性 (非一様性) を緩和する凹所の容積を増加させることができるので、タービンの不安定振動を、第 1 実施形態よりも効果的に抑制することができる。

特に、シールフィン 6 A , 6 B , 6 C の各相互間において径方向 R に延在する径方向凹所 14 A , 14 B だけでは、軸方向 A の寸法を、シールフィン 6 A , 6 B , 6 C のピッチ  $B1$  ,  $B2$  よりも大きな寸法とすることはできないが、軸方向凹所 14 A , 14 B を設けることで、部分的にはあるが、径方向凹所 14 A , 14 B の軸方向 A の寸法を、ピッチ  $B1$  よりも長くすることができる。

また、上流側の径方向凹所 14 A よりも下流側の径方向凹所 14 B が浅く形成されているので、径方向凹所 14 A の外周部下流側には空きスペースが形成されることとなる。この空きスペースを利用して径方向凹所 14 A の外周部下流側に軸方向凹所 14 A を形成することができ、効率的に凹所を配置することができる。

【0047】

[ 2 - 3 . その他 ]

( 1 ) 上記第 2 実施形態では、軸方向凹所 14 A , 14 B を、径方向凹所 14 A , 14 B の外周端に設けたが、径方向凹所 14 A , 14 B の外周端に設けることは必須ではない。例えば、図 3 に二点鎖線で示すように、径方向凹所 14 A の径方向 R に関する中間部に軸方向凹所 14 A を接続するようにしてもよい。

## 【 0 0 4 8 】

( 2 ) 上記第 2 実施形態では、軸方向凹所 1 4 A , 1 4 B を、径方向凹所 1 4 A , 1 4 B の下流側に設けたが、軸方向凹所 1 4 A , 1 4 B を、径方向凹所 1 4 A , 1 4 B の上流側に設けてもよい。

## 【 0 0 4 9 】

## [ 3 . 第 3 実施形態 ]

以下、図 4 を参照して本発明の第 3 実施形態について説明する。なお、第 1 実施形態と同一要素については同一の符号を付し、その説明を省略する。

## 【 0 0 5 0 】

## [ 3 - 1 . シール構造 ]

本発明の第 3 実施形態のシール構造 2 B は、図 2 に示す第 1 実施形態のシール構造 2 に対して、チップシュラウド 4 に形成されたシュラウド凹所 ( 以下、「凹所」とも呼ぶ ) 4 1 A , 4 1 B が追加されたものである。シュラウド凹所 4 1 A ( 第 1 回転側凹所 ) はケーシング凹所 1 4 A に対向して配置され、シュラウド凹所 4 1 B ( 第 2 回転側凹所 ) はケーシング凹所 1 4 B に対向して配置されている。以下、凹所 4 1 A , 4 1 B を区別しない場合には凹所 4 1 と表記する。

凹所 4 1 は、本実施形態では、軸心線 C L を中心として、シュラウド 4 の外周面 ( 以下、「シュラウド外周面」とも呼ぶ ) 4 2 の全周に亘って形成されたリング状の凹所である。凹所 4 1 は、チップシュラウド 4 の外周面から内周側に凹んでおり ( すなわち径方向 R に沿って延設されており )、互いに対向し径方向 R に幅を持ったリング状の側面 4 1 a , 4 1 b と、これらの側面 4 1 a , 4 1 b の内周縁を繋ぎ軸方向 A に幅を持ったリング状の底面 4 1 c とにより画成されている。

## 【 0 0 5 1 】

上述した通り、シュラウド凹所 4 1 A と対向して配置されるケーシング凹所 1 4 A の深さ寸法 L 1 よりも、シュラウド凹所 4 1 B と対向して配置されるケーシング凹所 1 4 B の深さ寸法 L 2 のほうが小さく設定されている。加えて、上流側のシュラウド凹所 4 1 A の深さ寸法 L 1 よりも、下流側のシュラウド凹所 4 1 B の深さ寸法 L 2 は小さく ( 浅く ) 設定されている (  $L 2 < L 1$  ) 。

したがって、凹所 1 4 A , 4 1 A の相互間の空間 1 0 0 A の高さ寸法 ( すなわち、「ケーシング凹所 1 4 A の底面 1 4 c」と「シュラウド凹所 4 1 A の底面 4 1 c」との距離 ) H 1 よりも、凹所 1 4 B , 4 1 B の相互間の空間 1 0 0 B の高さ寸法 ( すなわち、「ケーシング凹所 1 4 B の底面 1 4 c」と「シュラウド凹所 4 1 B の底面 4 1 c」との距離 ) H 2 のほうが小さく設定されていることとなる (  $H 1 > H 2$  ) 。

## 【 0 0 5 2 】

空間 1 0 0 A , 1 0 0 B は、キャピティ底面 1 3 とチップシュラウド 4 との間の隙間 G d を実質的に拡大して静圧分布の不均一性を緩和するものであり、第 1 実施形態と同様に、相対的に不均一性の大きな上流側ほど大きな空間 1 0 0 A を設け、相対的に不均一性の小さな下流側ほど小さな空間 1 0 0 B を設けている。以下、空間 1 0 0 A と空間 1 0 0 B とを区別しない場合には空間 1 0 0 と呼ぶ。

## 【 0 0 5 3 】

ここで、チップシュラウド 4 の外周面 4 2 及び凹所 4 1 A , 4 1 B を画成する底面 4 1 c はそれぞれ軸心線 C L を中心とした円周面であり、シュラウド凹所 4 1 A , 4 1 B の深さ L 1 , L 2 とは、チップシュラウド 4 の外周面 4 2 と底面 4 1 c との径方向 R に関する距離である。また、空間高さ寸法 H 1 とは、ケーシング凹所 1 4 A の底面 1 4 c と、シュラウド凹所 4 1 A の底面 4 1 c との径方向 R に関する距離であり、空間高さ寸法 H 2 とは、ケーシング凹所 1 4 B の底面 1 4 c と、シュラウド凹所 4 1 B の底面 4 1 c との径方向 R に関する距離である。

## [ 3 - 2 . 作用・効果 ]

本発明の第 3 実施形態によれば、ケーシング凹所 1 4 に加えてシュラウド凹所 4 1 を設けると共に、凹所 1 4 , 4 1 の相互間に形成される空間 1 0 0 を下流側になるほど小さく

10

20

30

40

50

設定しているので、第1実施形態よりも効果的に、ケーシング10の強度の低下を抑制しつつタービンの不安定振動を抑制することができる。

【0054】

[3-3. その他]

(1) 上記第3実施形態では、シュラウド凹所41Aの深さ寸法L1よりもシュラウド凹所41Bの深さ寸法L2を小さく設定したが、上流側の空間100Aの高さ寸法H1よりも下流側の空間100Bの高さ寸法H2のほうが小さければ、深さ寸法L1よりも深さ寸法L2を小さく設定する必要はない。例えば、上記第3実施形態において、深さ寸法L1と深さ寸法L2とを同じ寸法としてもよい。

【0055】

(2) 上記第3実施形態では、ケーシング凹所14と、このケーシング凹所14に対向配置されたシュラウド凹所41とを一組として、二組を一つのチップシュラウド4に対して設けたが、一つのチップシュラウド4に対して三組以上設けてもよい。この場合、下流になるほど、ケーシング凹所14とシュラウド凹所41との間に形成される空間100の高さ寸法を小さくするのが好ましいが、最上流側の空間100Aの高さ寸法H1よりも、上流側から二番目の空間100Bの高さ寸法H2が小さければ、これに限定されない。例えば、上流側から二番目の空間100Bの高さ寸法H2と、上流側から三番目以降の(凹所14と凹所41との間の)空間の高さ寸法とを同じ寸法としてもよい。

【0056】

(3) 上記第3実施形態においても、第2実施形態と同様に、凹所14A及び凹所14Bの少なくとも一方に軸方向凹所を設けても良い。

【0057】

[4. その他]

(1) 上記各実施形態では、各チップシュラウド4に対し、シールフィン6を3個設け、ケーシング凹所14をシールフィン6の各相互間に計2個設けたが、一つのチップシュラウド4に対して設けるシールフィン6の個数及びケーシング凹所14の個数はこれらの個数に限定されない。一つのチップシュラウド4に対してケーシング凹所14を3個以上設ける場合は、下流側になるほどケーシング凹所14の深さ寸法を短くするのが好ましいが、最上流側のケーシング凹所14Aの深さ寸法L1よりも、上流側から二番目のケーシング凹所14Bの深さ寸法L2が小さければ、これに限定されない。例えば、上流側から二番目のケーシング凹所14の深さ寸法と、上流側から三番目以降のケーシング凹所14の深さ寸法とを同じ寸法としてもよい。

【0058】

(2) 上記各実施形態の蒸気タービンでは、各チップシュラウド4に対し本発明のシール構造を適用したが、一部の(少なくとも一つの)チップシュラウド4に対し本発明のシール構造を適用するだけでもよい。

一部のチップシュラウド4に本発明のシール構造を適用する場合には、静圧の不均一性が最大となることから、蒸気Sの入口である主流入口21に最も近い(換言すれば最も高圧側)のチップシュラウド4A(図1参照)に本発明のシール構造を適用するのが好ましい。

または、ロータ軸30の一次モードでの不安定振動が発生した場合、振幅は、軸方向Aで中央において最大になるので、軸方向Aで中央のチップシュラウド4B(図1参照)に本発明のシール構造を適用するのが好ましい。

蒸気タービンが、軸方向Aで中央から蒸気が供給される場合には、軸方向Aで中央のチップシュラウドが主流入口21に最も近いチップシュラウドになるので、この軸方向Aで中央且つ主流入口21に最も近いチップシュラウドに本発明のシール構造を適用すると相乗的な効果が得られる。

【0059】

(3) 上記実施形態では、蒸気タービンに本発明を適用した例を説明したが、本発明は、ガスタービンやターボ圧縮機など、蒸気タービン以外のターボ機械のシールにも適用す

10

20

30

40

50

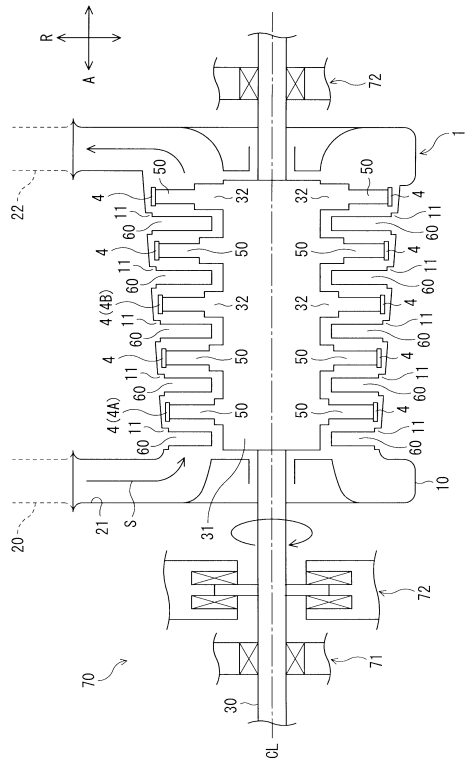
ることができる。

【符号の説明】

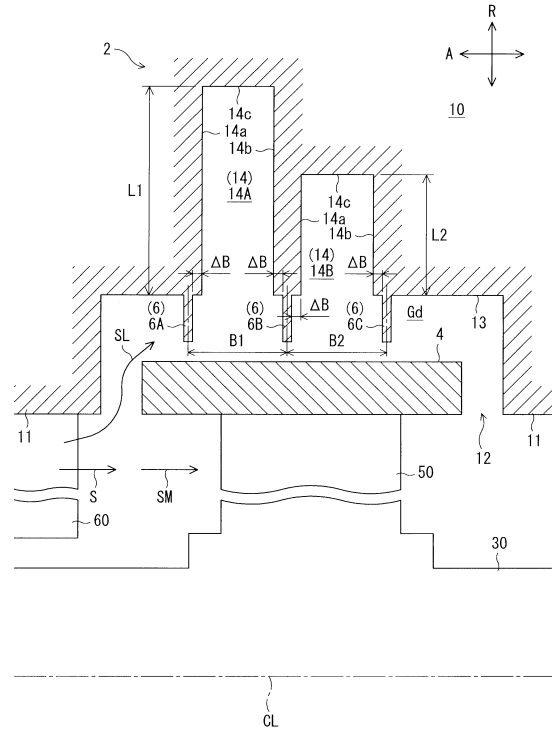
【0060】

1	蒸気タービン（ターボ機械）	
2, 2 A, 2 B	シール構造	
4	チップシュラウド（回転構造体）	
4 A	最も上流側に配置されたチップシュラウド	
4 B	リーク蒸気 S L の流れ方向で中央に配置されたチップシュラウド	
6, 6 A, 6 B, 6 C	シールフィン	
10	タービンケーシング（静止構造体）	10
12	キャピティ	
13	キャピティ底面（内周面）	
14	ケーシング凹所（静止側凹所）	
14 A	ケーシング凹所（第1静止側凹所）	
14 B	ケーシング凹所（第2静止側凹所）	
14 A, 14 B	軸方向凹所	
14 a, 14 b	凹所 14, 14 A, 14 B を画成する側面	
14 c	凹所 14, 14 A, 14 B を画成する底面	
14 d, 14 f	軸方向凹所 14 A, 14 B を画成する底面	
14 e	軸方向凹所 14 A, 14 B を画成する側面	20
20	蒸気供給管	
21	主流入口	
30	ロータ軸	
31	ロータ軸本体	
50	動翼	
41	シュラウド凹所	
41 A	シュラウド凹所（第1回転側凹所）	
41 B	シュラウド凹所（第2回転側凹所）	
42	シュラウド4の外周面	
60	静翼	30
100, 100 A, 100 B	ケーシング凹所 14 とシュラウド凹所 41 との相互間の空間	
A	軸方向	
B1	シールフィン 6 A, 6 B の軸方向 A に関するピッチ	
D1, D2	最大寸法	
B2	シールフィン 6 B, 6 C の軸方向 A に関するピッチ	
C L	ロータ軸心線（軸心線）	
G d	隙間	
L1	凹所 14 A の深さ寸法	
L2	凹所 14 B の深さ寸法	40
R	径方向	
S	蒸気（作動流体）	
S L	リーク蒸気（リーク流）	
B	シールフィン 6 と凹所 14 との距離	

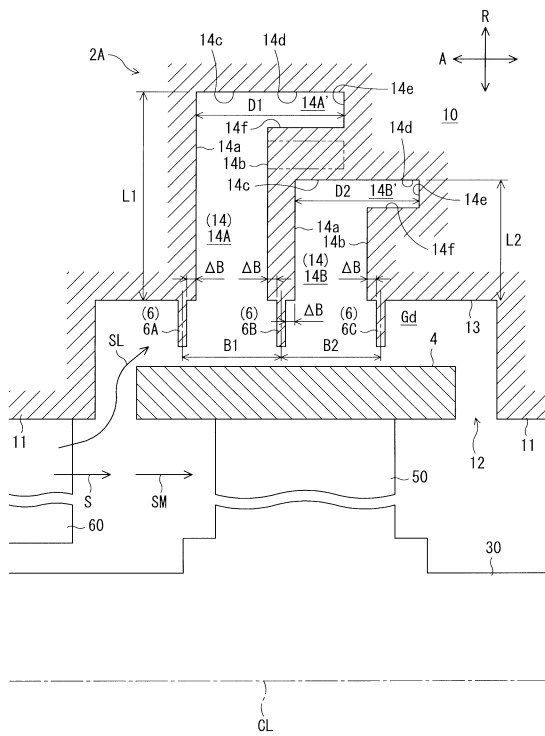
【 図 1 】



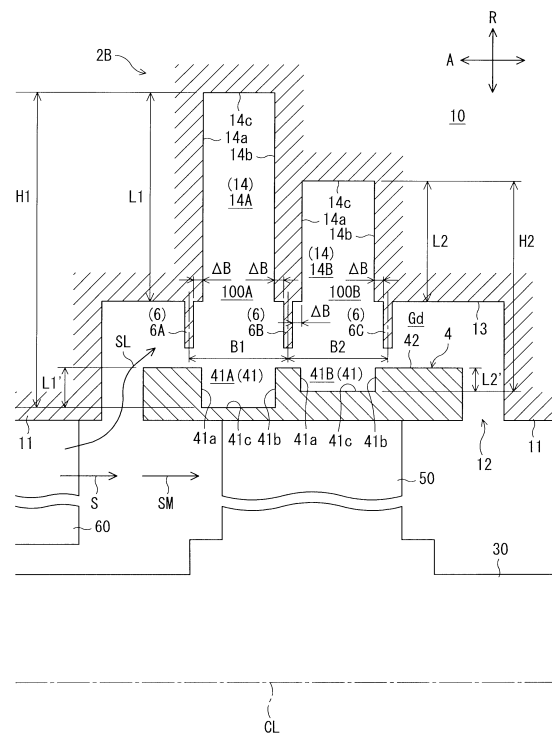
【 図 2 】



【 図 3 】



【圖 4】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第2014/077058(WO,A1)  
米国特許第05632598(US,A)  
国際公開第2014/010052(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

F01D	11/08
F02C	7/28
F16J	15/447