

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6185781号
(P6185781)

(45) 発行日 平成29年8月23日 (2017. 8. 23)

(24) 登録日 平成29年8月4日 (2017. 8. 4)

(51) Int. Cl.

F I

F O 4 D 29/56 (2006. 01)

F O 4 D 29/56 C

F O 2 C 7/042 (2006. 01)

F O 2 C 7/042

F O 2 C 7/143 (2006. 01)

F O 2 C 7/143

F O 2 C 7/28 (2006. 01)

F O 2 C 7/28 Z

F O 1 D 25/00 (2006. 01)

F O 1 D 25/00 M

請求項の数 6 (全 14 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2013-152807 (P2013-152807)
 (22) 出願日 平成25年7月23日 (2013. 7. 23)
 (65) 公開番号 特開2015-21477 (P2015-21477A)
 (43) 公開日 平成27年2月2日 (2015. 2. 2)
 審査請求日 平成28年5月25日 (2016. 5. 25)

(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 110001829
 特許業務法人開知国際特許事務所
 (74) 代理人 110000350
 ポレール特許業務法人
 (72) 発明者 高橋 康雄
 茨城県日立市大みか町七丁目1番1号
 株式会社日立製作所
 日立研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 軸流圧縮機

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

圧縮前または圧縮中の作動流体に対して液滴を供給する液滴供給装置と、
 ケーシングに設けた孔に挿入された回動軸を有し、当該回動軸が回動されることで前記
 ケーシングと相対摺動して迎え角が変更される可変静翼と、
 前記回動軸の回動時に前記ケーシングに対して相対摺動される部材と前記ケーシングと
 の摺動部に設けられたシール構造と、
 前記ケーシングの外周面上における前記回動軸の周囲に設けた座ぐり溝と、
 当該座ぐり溝に収納されたフランジ部とを備え、
 前記シール構造の1つである第1シール構造が、前記フランジ部が前記回動軸と相対摺
 動する摺動部に設けられていることを特徴とする軸流圧縮機。

10

【請求項 2】

請求項 1 に記載の軸流圧縮機において、
 前記回動軸と翼部の間に位置するように前記可変静翼に設けられ、前記ケーシングの内
 周面に対向配置される静翼台座をさらに備え、
 前記シール構造の1つである第2シール構造が、前記静翼台座と前記ケーシングとの摺
 動部に設けられていることを特徴とする軸流圧縮機。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の軸流圧縮機において、
 前記回動軸と翼部の間に位置するように前記可変静翼に設けられ、前記ケーシングの内

20

周面側に配置される静翼台座と、

当該静翼台座と前記ケーシングの内周面の間に位置するように前記回転軸に挿入されたワッシャとをさらに備え、

前記シール構造の1つである第3シール構造が、前記ケーシングにおいて、前記ワッシャにおけるロータ径方向外側の面が対向する場所に設けられていることを特徴とする軸流圧縮機。

【請求項4】

請求項1に記載の軸流圧縮機において、

前記回転軸と翼部の間に位置するように前記可変静翼に設けられ、前記ケーシングの内周面側に配置される静翼台座と、

当該静翼台座と前記ケーシングの内周面の間に位置するように前記回転軸に挿入されたワッシャとをさらに備え、

前記シール構造の1つである第4シール構造が、前記静翼台座において、前記ワッシャにおけるロータ径方向内側の面が対向する場所に設けられていることを特徴とする軸流圧縮機。

【請求項5】

請求項1に記載の軸流圧縮機において、

前記シール構造は、前記相対摺動される部材と前記ケーシングの下半側との摺動部に設けられていることを特徴とする軸流圧縮機。

【請求項6】

請求項1に記載の軸流圧縮機において、

前記シール構造は、作動媒体の圧力が前記ケーシングの近傍で大気圧より高圧になる部分に設けられていることを特徴とする軸流圧縮機。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明はガスタービン用または産業用の軸流圧縮機に関する。

【背景技術】

【0002】

夏期等におけるガスタービンの運転では、大気温度が高い場合に吸気密度が下がることでガスタービンの出力が低下する。この出力低下に対して、例えば、圧縮機の吸込み空気に水等の液滴を噴霧ノズルで噴霧させることで吸気密度を上昇させ、吸気冷却の効果によりガスタービン出力を向上させる方法がある。さらに、その液滴の噴霧量を増加させて液滴を圧縮機内部へ導入させた場合には、中間冷却の効果により圧縮動力を低減させることでガスタービンの効率が向上する。この気流とともに圧縮機内部へ搬送された微細な液滴は動翼列間、静翼列間を通過しながら段の飽和温度まで蒸発し、その蒸発潜熱により作動流体の温度を低下させる。

【0003】

多段軸流圧縮機では圧縮機の上流側から液滴は気化され主流の温度が低下していくので、圧縮機の上流側では翼列負荷が低減し、その反対に下流側で翼列負荷が増加するといった流れ方向に対して通常のドライ運転の負荷分布とは異なる分布になる。そのため、圧縮機内部に多量の液滴を噴霧する場合、予め下流側の翼列負荷を下げて、上流側の翼列負荷を増加させるように設計する必要がある。このように設計されたガスタービンの起動時など低回転数の運転域では、液滴は噴霧されないで、通常のシンプルサイクルガスタービン起動に比べて、下流側の翼列で流れがチョークすることに起因して上流側の翼列の流れが失速する非定常な流体现象、いわゆる旋回失速による剥離領域が大きくなる懸念がある。

【0004】

そこで、ガスタービンでは、圧縮機を安定に運転するために、迎え角（作動流体の流れの方向と翼弦がなす角）の変更が可能な可変機構を備えた静翼（可変静翼）が圧縮機の上

10

20

30

40

50

流側に配置されている。圧縮機の起動などの低回転数運転時には、吸込流量が低減するため可変静翼への流入角が大きくなり、それに伴い、流れを絞る方向に可変静翼を回転させ、流入角に合わせて可変静翼の迎え角を調整する必要がある。一方、高回転数運転時には、吸込流量が増加するため、流れを開く方向に可変静翼を回転する。

【 0 0 0 5 】

このような可変機構を有する静翼を備えた軸流圧縮機としては、例えば、特開平 2 - 2 9 4 5 0 1 号公報や特開 2 0 1 2 - 7 2 7 6 3 号公報に開示されるものがある。特開平 2 - 2 9 4 5 0 1 号公報には、可変静翼の内周側先端部とロータディスクの外周部のテーパ面間のギャップを小さくした構造が開示されている。また、特開 2 0 1 2 - 7 2 7 6 3 号公報には、可変機構の摺動部の耐摩耗性を考慮した構造が開示されている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 6 】

【特許文献 1】特開平 2 - 2 9 4 5 0 1 号公報

【特許文献 2】特開 2 0 1 2 - 7 2 7 6 3 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 7 】

通常、シンプルサイクルガスタービンに用いられる可変静翼は、ガスタービンの起動時や部分負荷運転時に回転され、その迎え角が変更される。また、可変静翼は、ケーシングの軸方向および周方向に複数配置されており、同一周方向に配置された複数の可変静翼の迎え角（回転角度）を流れに合わせて同時に変更する必要があるため、高精度な角度制御が重要となる。そのため、可変静翼の回転軸にメタルブッシュを採用したり、可変静翼のケーシング側の端面とケーシング内周面間にスラストワッシャーを採用したりして、可変静翼の摺動性の向上を図った技術はある。

20

【 0 0 0 8 】

しかし、可変静翼とケーシングの摺動部におけるシール性の向上についてはあまり考慮されていないのが実情である。そのため、特に、可変静翼を備える圧縮機の内部に水などの液滴を噴霧する場合には、ケーシングの内外の圧力差に起因して可変静翼機構からケーシング外に液滴がリークすることに加えて、長期的には、可変静翼の回転軸とケーシング面間の摺動部で腐食による錆が発生するおそれがあり、可変静翼の機器信頼性が低下する懸念がある。

30

【 0 0 0 9 】

そこで、本発明の目的は、可変静翼とケーシングの摺動部からの流体のリークが抑制可能な軸流圧縮機を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 0 】

上記目的を達成するために、本発明では、圧縮前または圧縮中の作動流体に対して液滴を供給する液滴供給装置と、ケーシングに設けた孔に挿入された回動軸を有し、当該回動軸が回動されることで前記ケーシングと相対摺動して迎え角が変更される可変静翼と、前記回動軸の回動時に前記ケーシングに対して相対摺動される部材と前記ケーシングとの摺動部に設けられたシール構造とを備えることを特徴とする。

40

【発明の効果】

【 0 0 1 1 】

本発明によれば、可変静翼とケーシングの摺動部からの流体のリークが抑制でき、軸流圧縮機の信頼性を向上できる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 2 】

【図 1】本発明の実施形態の一つである吸気噴霧機構を有するガスタービンシステムの構成図。

50

【図 2】本発明の実施形態の一つである軸流圧縮機の子午面断面図。

【図 3】本発明の実施形態の一つである可変静翼構造の断面図。

【図 4】本発明の実施形態の一つである可変静翼構造の断面図。

【図 5】本発明の実施形態の一つである可変静翼構造の断面図。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、本発明の実施の形態について図面を用いて説明する。まず、図 1 を用いて吸気噴霧機構を備えるガスタービンシステムの構成例について説明する。図 1 は吸気噴霧機構を備えるガスタービンシステムの概略全体構成図である。

【0014】

この図に示したガスタービンシステムは、空気を圧縮して高圧空気を生成する圧縮機 1 と、圧縮空気と燃料を混合して燃焼させる燃焼器 2 と、高温の燃焼ガスにより回転駆動するタービン 3 を備えている。圧縮機 1 とタービン 3 は回転軸を介して発電機 4 と機械的に接続されている。

【0015】

次に、図 1 のガスタービンシステムにおける作動流体の流れについて説明する。作動流体である空気 11 は圧縮機 1 へ流入し、圧縮機 1 で圧縮されながら高圧空気 12 として燃焼器 2 に流入する。燃焼器 2 では、高圧空気 12 と燃料 13 が混合燃焼され、高温燃焼ガス 14 が生成される。燃焼ガス 14 はタービン 3 を回転させた後、排気ガス 15 として系外部へ放出される。発電機 4 は、圧縮機 1 とタービン 3 を連結する回転軸 5 を通じて伝えられるタービンの回転動力により駆動される。

【0016】

ところで、ガスタービンシステムにおいて一般的に用いられる体積流量一定の定回転数の圧縮機では、夏場など吸気温度が高くなった場合、空気密度が小さくなり吸入空気質量流量が低減するため、これに合せて燃焼器での燃料流量も低減せざるを得ない。つまり、圧縮機の吸気温度が高くなるほどガスタービンの出力は低下する問題がある。

【0017】

そのため、圧縮機の吸気に水などの液滴を噴霧することで吸気冷却効果によりガスタービン出力を向上させる方法がある。吸気冷却の方法としては、吸気ダクトにメディア式の吸気冷却器を設置し、吸い込み空気が吸気冷却器を通過することで吸気温度を低下させる方法がある。

【0018】

また、他の吸気冷却の方法としては、図 1 に示すように吸気ダクト 31 内に液滴噴霧ノズル（液滴供給装置）32 を配置して、吸気ダクト 31 内に取り込んだ圧縮前の空気に対して微細液滴を噴霧して気流中で蒸発させることで、液滴の蒸発潜熱を利用して吸気温度を低下させるものがある。このように液滴を噴霧する方法の場合、液滴量を増加すると吸気ダクト内で液滴が蒸発する吸気冷却効果に加えて、圧縮機内部にも液滴が供給され、圧縮機内部で液滴を気化させることで中間冷却効果が期待できる。これにより、ガスタービンの出力向上と圧縮動力低減によるガスタービンの高効率化に寄与できる。

【0019】

なお、図 1 に示した例では、液滴噴霧ノズル 32 を吸気ダクト 31 内の 1 箇所だけに配置しているが、吸気ダクト 31 以外の他の場所に配置しても良いし、その設置箇所は 2 箇所以上でも良い。例えば、吸気ダクト 31 内と、圧縮機入口の吸気プレナム 33 内の 2 箇所に液滴噴霧ノズル 32 を設置し、2 段階に分けて吸気噴霧を実施しても良い。さらに、圧縮機 1 の内部に液滴噴霧ノズルを設置し、圧縮前の作動流体だけでなく、圧縮中の作動流体に対して液滴噴霧を行っても良い。

【0020】

次に、図 2 の圧縮機 1 の子午面断面の概略図を用いて、圧縮機 1 の詳細な構造について説明する。図 2 に示すように、軸流圧縮機 1 は、複数の動翼列 51, 57 が取り付けられ、駆動源（タービン 3）から与えられる軸駆動力によって回転されるロータ 52 と、複数

10

20

30

40

50

の静翼列 5 6 , 5 3 が内周面に取り付けられたケーシング 5 4 を備えており、ロータ 5 2 の外周面とケーシング 5 4 の内周面により環状流路が形成されている。

【 0 0 2 1 】

動翼列 5 1 , 5 7 と静翼列 5 6 , 5 3 はロータ軸方向に沿って交互に配列されており、1 組の動翼列と静翼列とで段が構成されている。初段動翼 5 1 の上流側には、吸込み流量を制御してガスタービン負荷を調整するための入口案内翼 (I G V) 5 5 が設けられている。入口案内翼 5 5 は、その迎え角を変更するための可変機構 7 1 が取り付けられている。可変機構 7 1 は薄板レバー 8 5 を介してコントロールリング 9 1 に連結されており、コントロールリング 9 1 を回転させることで入口案内翼 5 5 が回転して迎え角が変更される。

10

【 0 0 2 2 】

初段動翼列 5 1 と 2 段動翼列 5 1 の間に配置された前段側静翼列 (初段静翼列) 5 6 は、可変静翼列であり、ガスタービン起動時などに迎え角を変更するための可変機構 7 0 をそれぞれ備える。例えばガスタービン起動時に可変静翼 5 6 の迎え角を変更すると、旋回失速を抑制できる。詳細は後述するが、可変機構 7 0 は、可変機構 7 1 と同様に、薄板レバー 8 5 を介してコントロールリング 9 1 に連結されている。

【 0 0 2 3 】

なお、図 2 に示した圧縮機 1 では、ロータ軸方向に間隔を介して配列された複数の静翼列 5 6 , 5 3 のうち、初段静翼列 5 6 にのみ可変機構 7 0 を備えたが、2 段目以降の静翼列 (例えば、2 段静翼列 5 3) にも可変機構 7 0 を備えても良い。特に、液滴噴霧ノズルを備える吸気噴霧の圧縮機では、前段側の翼負荷が増加されるので、安定起動を確保するために複数の段落にわたる静翼を可変静翼とするメリットがある。

20

【 0 0 2 4 】

吸気ダクト (図示しない) から流入した空気 1 1 は、圧縮機 1 の上流側に位置する吸気プレナム 3 3 で流通方向を 9 0 度転向して圧縮機 1 内部へ供給される。水などの液滴は、吸気ダクト内部に配設された噴霧ノズル 3 2 から噴射され、微細な液滴は気流中で蒸発し、その蒸発潜熱により圧縮機 1 へ流入する気体の温度を低下させると同時に吸気の密度を上昇させる。

【 0 0 2 5 】

気流と伴に搬送される微細な液滴のうち、吸気プレナム 3 3 で飽和まで気化しきれなかった液滴は、液滴のまま圧縮機 1 内部へ流入する。圧縮機 1 の内部で液滴は動翼列間、静翼列間を通過しながら飽和温度まで蒸発し、圧縮途中の作動流体の温度を低下させる。この中間冷却効果によって圧縮特性が等温圧縮に近づくため、圧縮機 1 の動力は低減される。理想的には、圧縮機 1 内へ導入されたすべての液滴が、圧縮機 1 の吐出口までに完全に気流中で蒸発させることが望ましい。

30

【 0 0 2 6 】

しかし、噴霧ノズル 3 2 から噴射された液滴の一部は、主流空気の冷却に寄与せずに、圧縮機 1 内の各部に液膜として堆積し、ドレインになるものが発生することがある。

【 0 0 2 7 】

ここで、圧縮機 1 の主流空気の冷却に寄与しない液滴挙動について説明する。噴霧ノズル 3 2 で噴霧された液滴の一部は、吸気プレナム 3 3 の壁面に衝突して液膜として堆積する。また、噴霧後に液滴同士が干渉して粒径の大きな液滴が生成した場合、その液滴は気流と伴に搬送されずに壁面へ衝突し液膜として堆積する。さらに、圧縮機 1 の入口に位置するストラット 5 8 や I G V 5 5 に衝突して一部は翼面に付着して液膜となる。

40

【 0 0 2 8 】

この翼面に付着した液膜の一部は、分裂して粒径の大きい二次液滴となり、圧縮機 1 の内部へ流入する。圧縮機 1 の内部では粒径の大きい液滴は、動翼 5 1 , 5 7 に衝突し、ロータ 5 2 の遠心力によりロータ径方向外側に吹き飛ばされ、ケーシング 5 4 の内周面で液膜となって堆積する。

【 0 0 2 9 】

50

このケーシング 5 4 の内周面の液膜の一部は、ケーシング 5 4 の熱伝導により蒸発するほか、再度、分裂して二次液滴となり下流段へ飛翔する。二次液滴は粒径が大きくなるため、下流の動静翼に衝突して液膜となる可能性が高くなる。

【 0 0 3 0 】

なお、上記のような液膜が存在する範囲は、軸流圧縮機 1 の最前段から圧縮機の内部で液滴が完全に蒸発する段（以降、蒸発完了段）までであり、発明者らは、特に、上流側から中間段で液膜が発生していることを確認した。また、蒸発完了段付近の主流温度は 3 0 0 以上であり、仮に液滴がケーシング 5 4 の内周面に衝突したとしても瞬時に蒸発すると考えられる。

【 0 0 3 1 】

次に図 2 を用いて可変静翼 5 6 の概略構造について説明する。可変静翼 5 6 は、圧縮機 1 内の特定の段（図 2 の例では初段静翼）においてケーシング 5 4 の周方向に所定の間隔で複数配置されている。

【 0 0 3 2 】

可変静翼 5 6 は、翼部 7 2 と、可変静翼 5 6 の回動軸である略円柱状のステム部 9 4 と、ステム部 9 4 と翼部 7 2 の間に位置するように可変静翼 5 6 に設けられた略円盤状の静翼台座 8 1 を備えている。静翼台座 8 1 は、ケーシング 5 4 の内周面に対向配置されている。9 4 には、薄板レバー 8 5 の一端が連結されており、薄板レバー 8 5 の他端は、コントロールリング 9 1 と回動可能に連結されている。なお、図 2 中に表れているのは、コントロールリング 9 1 の断面の一部である。

【 0 0 3 3 】

コントロールリング 9 1 は、環状に形成されており、その中心軸がロータ 5 2 の中心軸に一致するように支持されている。コントロールリング 9 1 の支持態様の一例としては、コントロールリング 9 1 をケーシング 5 4 と複数箇所（図示せず）で接触させるものがある。コントロールリング 9 1 には、ロータ 5 2 の中心軸を中心にしてコントロールリング 9 1 を回転するためのアクチュエータ（図示せず）が取り付けられており、当該アクチュエータを駆動すると、コントロールリング 9 1 がロータ 5 2 の周方向に沿って時計回りまたは反時計回りに回転される。このようにコントロールリング 9 1 をロータ周方向に回転させると、コントロールリング 9 1 とともに薄板レバー 8 5 のコントロールリング 9 1 側の端部もロータ周方向に移動し、薄板レバー 8 5 の他端がステム部 9 4 を回転させるので、可変静翼 5 6 の迎え角が変更される。

【 0 0 3 4 】

次に、図 3 を用いて、本発明の第 1 の実施の形態に係る圧縮機における可変静翼 5 6 の詳細構造について説明する。図 3 において、可変静翼 5 6 は、翼部 7 2 と、静翼台座 8 1 と、ステム部 9 4 と、ボルト付ステム部 8 9 を備えている。翼部 7 2、静翼台座 8 1、ステム部 9 4 およびボルト付ステム部 8 9 は鋳造などを利用して一体成型することが好ましい。

【 0 0 3 5 】

ステム部 9 4 は、円柱形状を有しており、ケーシング 5 4 に対してロータ径方向に設けた円柱状の貫通孔 7 3 の内部に挿入されている。ステム部 9 4 は可変静翼 5 6 の回動軸であり、ステム部 9 4 をその軸心を中心に回動させると翼部 7 2 の迎え角が変更される。

【 0 0 3 6 】

図 3 に示した例では、ステム部 9 4 は、スラストワッシャー 8 2 を挿入した後にケーシング 5 4 内の貫通孔 7 3 に挿入されており、静翼台座 8 1 とケーシング 5 4 の内周面の間にはスラストワッシャー 8 2 が位置している。スラストワッシャー 8 2 は、低摩擦係数と耐摩耗性を備えており、可変静翼 5 6 およびケーシング 5 4 と無潤滑で摺動できる。

【 0 0 3 7 】

ケーシング 5 4 の貫通孔 7 3 に挿入されたステム部 9 4 の外周には、ケーシング 5 4 の貫通孔 7 3 との間に間隙が形成されるが、当該間隙におけるロータ径方向の両端には、ステム部 9 4 の外周に位置するように、無潤滑での摺動性に優れたメタルブッシュ 8 3 が配

10

20

30

40

50

置されている。ステム部 9 4 には当該 2 つのメタルブッシュ 8 3 間に位置するようにチューブ 8 4 が挿入されており、チューブ 8 4 は 2 つのメタルブッシュ 8 3 を支持している。なお、図 3 の例ではステム部 9 4 の周囲の隙間に 2 つのメタルブッシュ 8 3 を配置したが、ステム部 9 4 の周囲に 1 つのメタルブッシュ 8 3 を配置することも可能である。

【 0 0 3 8 】

ステム部 9 4 におけるロータ径方向における外側の端部にはボルト付きステム部 8 9 が設けられている。ボルト付きステム部 8 9 は、ステム部 9 4 をケーシング 5 4 の貫通孔 7 3 に挿入した際にケーシング 5 4 の外部に突出し、薄板レバー 8 5 に設けられた貫通孔（図示せず）に挿入される部分であり、当該部分の外周面上にはボルト 9 0 を取り付けるためのネジ溝が切られている。図 3 に示したボルト付きステム部 8 9 は、ステム部 9 4 における他の部分よりも径が小さくなっている。

10

【 0 0 3 9 】

図 3 に示した例では、皿バネ 8 6、下ワッシャ 8 8、薄板レバー 8 5 および上ワッシャ 8 7 をこの順番でボルト付きステム部 8 9 に挿入し、最後にボルト付きステム部 8 9 にナット 9 0 を締結することでステム部 9 4（ボルト付きステム部 8 9）と薄板レバー 8 5 を連結している。これにより、上ワッシャ 8 7 と下ワッシャ 8 8 で薄板レバー 8 5 を挟み込みこんで、ステム部 9 4 と薄板レバー 8 5 を連結する構造になっている。

【 0 0 4 0 】

また、図 3 では、ロータ径方向における下ワッシャ 8 8 とケーシング 5 4 の間には皿バネ 8 6 が位置している。皿バネ 8 6 は、コントロールリング 9 1 の回転時に薄板レバー 8 5 の剛性によって可変静翼 5 6 がロータ径方向内側に向かって押し下げられたときに、バネ反力によって可変静翼 5 6 をロータ径方向外側に押し上げることで、ロータ 5 2 の外周面と可変静翼 5 6 の先端（チップ）が干渉することを防止している。

20

【 0 0 4 1 】

静翼台座 8 1 は、翼部 7 2 とステム部 9 4 を接続する略円盤状の部分であり、ケーシング 5 4 の内周面上に設けられた略円盤状の凹部（座ぐり穴）であるケーシング溝 9 8 内に収納されている。ケーシング溝 9 8 の径は、ステム部 9 4 が挿入される貫通孔 7 3 の径よりも大きい。静翼台座 8 1 のロータ径方向内側の面からはロータ径方向内側に向かって翼部 7 2 が突き出ており、静翼台座 8 1 のロータ径方向外側の面からはロータ径方向外側に向かってステム部 9 4 が突き出ている。

30

【 0 0 4 2 】

ステム部 9 4 の回動に伴ってケーシング 5 4 に対して相対摺動される部材（可変静翼 5 6 の一部またはその関連部品で、例えば、静翼台座 8 1、ステム部 9 4、ワッシャ 8 1 等）と、ケーシング 5 4 が相対摺動する部分（摺動部）には、シール構造（シール装置）が設けられている。本実施の形態では、ケーシング 5 4 に対してスラストワッシャ 8 2 が相対摺動する部分にシール構造が設けられている。当該シール構造は、ケーシング 5 4 において、スラストワッシャ 8 2 におけるロータ径方向外側の面が対向する場所に設けられており、ケーシング 5 4 のケーシング溝 9 8 の底部に設けたリング状のシール溝 9 3 と、シール溝 9 3 に収納されたリング状のシール部材 9 2（例えば、Ｏリング）によって構成されている。なお、図 3 に示したシール溝 9 3 は、ステム部 9 4 およびケーシング溝 9 8 の中心軸と同心のリング状に形成されており、その外径はケーシング溝 9 8 の径よりも小さい。

40

【 0 0 4 3 】

また、可変静翼 5 6 はケーシング外周面に設けた皿バネ 8 6 によって外周側に押付けられるので、本実施の形態のようにスラストワッシャ 8 2 のロータ径方向外側にシール構造を設けることでシール性能を向上させることが可能になる。

【 0 0 4 4 】

ここで、上記のシール構造（シール溝 9 3 およびシール部材 9 2）が無い場合に、液滴噴霧ノズル 3 2 によって圧縮機 1 の内部へ液滴が供給されたときに発生し得る課題について説明する。この場合、圧縮機 1 の内部では粒径の大きい液滴は、動翼 5 1 に衝突し、動

50

翼 5 1 の回転によって生じる遠心力によりロータ径方向外側へ吹き飛ばされて、ケーシング 5 4 の内壁面で液膜となる。そのケーシング 5 4 の内壁面に堆積した液滴は、ケーシング溝 9 8 とスラストワッシャー 8 2 の間隙に流入し、さらに、ケーシング 5 4 の貫通孔 7 3 とステム部 9 4 の隙間を伝わり、メタルプッシュ 8 3 等を通してケーシング 5 4 の外部へドレインとなって排出されるおそれがある。

【 0 0 4 5 】

このケーシング溝 9 8 とスラストワッシャー 8 2 の間隙に流入する液滴は、作動流体の流れを基準として上流側と下流側の双方から当該間隙に入り込むと考えられるが、上流側からに比して下流側からの方が液滴（ドレイン）の流入が顕著になると考えられる。これは、可変静翼 5 6 を含めて静翼では流れが減速されることで静圧が上昇するため、静翼の

10

【 0 0 4 6 】

また、ケーシング 5 4 の周方向では、可変静翼 5 6 は全周に渡って配置されている。そして、圧縮機 1 に内に導入された液滴は、重力の影響でケーシング 5 4 の下半側に堆積し易い。すなわち、ケーシング 5 4 の下半側の可変静翼機構 5 6 からのドレインの発生が顕著になり、ガスタービン運転時にガスタービンのベースにドレインが蓄積して機器信頼性を低下させるおそれがある。なお、ケーシング 5 4 の下半側とは、ロータ 5 2 の中心軸を通る水平面でケーシング 5 4 を 2 分割した場合の下半分の部分であり、ケーシング 5 4 の上半側とはその上半分の部分である。

20

【 0 0 4 7 】

このように液滴噴霧ノズルから噴霧される液滴に起因するドレインは、ガスタービンの機器信頼性を低下させるだけではない。短期的には、ダストが混入したドレインが可変静翼の摺動部へ流入することで、当該ダストの影響により可変静翼の制御精度が低下するおそれもある。例えば、ロータ周方向に配列された複数の可変静翼の各開度の間に大きな偏差が発生して、同一周上に配置された静翼列の一部に剥離が生じた場合には、多段軸流圧縮機では上流段の翼列の剥離は下流段の翼列に大きな影響を及ぼすため効率が低下する。また、上流段での部分的な剥離は、旋回失速やサージングといった流れの非定常現象により圧縮機翼の信頼性を低下させる。また、長期的には、可変静翼の摺動部に腐食による錆が発生することで、可変静翼の開度の精度が低下する可能性がある。例えば、可変静翼と

30

【 0 0 4 8 】

上記のように、圧縮機内部へ液滴が供給される場合には、可変静翼の摺動部から侵入した液滴がケーシング外部にドレインとなって排出され、圧縮機およびガスタービンの性能と信頼性に影響を及ぼすが、液滴を噴霧しない場合にも作動媒体がケーシング外部へある程度は流出すると考えられる。可変静翼は圧縮機の上流段に位置するため作動媒体の温度は低温であり、流出する空気量も微量であるので、ガスタービン運転の機器信頼性に対する影響はドレイン排出に比べて小さい。また、可変静翼の摺動部の腐食の懸念もないので、機器信頼性を低下させることはない。

40

【 0 0 4 9 】

このような課題に対して、本実施の形態では、シール溝 9 3 およびシール部材 9 2 から成るシール構造を備えた。このように設けたシール構造によれば、可変静翼 5 6 のケーシング 5 4 の内壁面に液滴噴霧によるドレインが堆積しても、シール部材 9 2 の効果によりステム部 9 4 と貫通孔 7 3 の隙間への液滴の侵入を抑制でき、ケーシング 5 4 の外部へのドレインのリークが抑制できるので、機器信頼性を向上することができる。

【 0 0 5 0 】

また、スラストワッシャー 8 2 におけるロータ径方向の内側の面、つまり静翼台座 8 1

50

側の面には、摺動性と耐磨耗性を考慮したコーティングが施工されており、反対のロータ径方向の外側の面にはコーティングが施工されていない。そのため、スラストワッシャー 8 2 の接触面積はコーティング面（内側の面）の方が大きい。そこで、スラストワッシャー 8 2 においてロータ径方向の外側の面と内側の面とでドレインのリーク量（ステム部 9 4 と貫通孔 7 3 の間隙への浸水量）を比較すると、当該ドレインのリーク量はスラストワッシャー 8 2 の外側の面に比べて内側の面の方が少ないと考えられる。そのため、スラストワッシャー 8 2 の外側の面にシール構造を設けた本実施の形態によれば、特に顕著なドレイン漏洩抑制効果が得られる。

【 0 0 5 1 】

なお、ガスタービン起動時および部分負荷運転時などをはじめとして、可変静翼 5 6 の迎え角はステム部 9 4 を回転させることでしばしば変更されるため、スラストワッシャー 8 2 とシール部材 9 2 の摺動によってスラストワッシャー 8 2 の端面が磨耗して摺動性が損なわれることが懸念される。しかし、スラストワッシャー 8 2 の静翼台座 8 1 側の面は摺動性と耐磨耗性を考慮したコーティングが施されており、反対にケーシング内周面側の面はコーティングが施されていない。そのため、スラストワッシャー 8 2 のケーシング 5 4 の内周面側にシール部材 9 2 を配置しても、スラストワッシャー 8 2 のコーティング面には影響しないので、スラストワッシャー 8 2 の信頼性を維持することができると同時に、ドレイン発生を抑制することが可能になる。

【 0 0 5 2 】

なお、シール部材 9 2 の材質としては、メタルシールのほか、摺動性を考慮した樹脂性のシール部材を用いても同様の効果が得られるが、その場合には、シール部材の長期信頼性を考慮して、定期的にシール部材を交換する必要がある。なお、可変静翼 5 6 は圧縮機 1 の上流段に位置するため、液滴を噴霧しないときの作動流体の温度も低温であるので樹脂性のシール部材でも適用可能である。

【 0 0 5 3 】

次に、圧縮機 1 の内部の作動媒体の圧力による影響について説明する。通常、上記の迎え角の可変機構は、前段側の静翼（可変静翼 5 6）だけでなく、I G V 5 5 にも適用されている。しかし、I G V 5 5 は、減速翼列である静翼と異なり、流れを加速して初段動翼に旋回を与える増速翼列であるため、I G V 5 5 の出入口では負圧になる。そして、動翼で流れに運動エネルギーを与えることで全圧が上昇し、その下流側の第 1 段静翼で流れを減速させて静圧が上昇する。このように I G V 5 5 の近傍では負圧になるので、可変静翼 5 6 の場合とは反対に、ケーシング 5 4 の外部から貫通孔 7 3 を介して圧縮機 1 の内部に向かってリーク流れが発生する。なお、圧縮機 1 の内部に液滴を供給した場合、このリーク流れがドレイン流出に対するシール空気役割を担うため、ドレインの発生を抑制することができる。すなわち、I G V 5 5 のスラストワッシャー（図示せず）に面するケーシング 5 4 の内周面には、ドレイン抑制のためのシール溝 9 3 およびシール部材 9 2 を設置する必要性はない。

【 0 0 5 4 】

また、前段では段負荷が小さいため、圧縮機 1 の内部に液滴が供給される場合でも、液滴の噴霧量によっては第 1 段静翼の上下流でも負圧になることもある。その場合には、当該初段静翼のスラストワッシャー 8 2 に面するケーシング内周面にシール溝 9 3 およびシール部材 9 2 を適用する必要性は勿論ない。しかし、このような場合でも、当該第 1 段静翼より下流側に可変静翼列が存在する場合であって、当該可変静翼列によって作動流体が大気圧より高圧になるときは、当該可変静翼列に対して上記のシール溝 9 3 およびシール部材 9 2 を適用することが望ましい。このように、作動媒体の圧力がケーシング 5 4 の内周面の近傍で大気圧より高圧になる部分にだけシール溝 9 3 およびシール部材 9 2 を適用すれば、部品点数を削減でき、コストを低減できる。さらに、シール部材は寿命によりガスタービンの保守期間に交換する必要があるため、部品点数の削減は保守費用の削減にも効果がある。

【 0 0 5 5 】

また、先に述べたように、ドレインの発生は、重力の影響によりケーシング 5 4 の下半側の可変静翼 5 6 で顕著であるため、ケーシング 5 4 の下半側に位置する可変静翼 5 6 のみにシール溝 9 3 およびシール部材 9 2 を設置して、上半側にはこれらを設置しない構成を採用しても良い。

【 0 0 5 6 】

さらに、シール部材 9 2 は、O 型、C 型、E 型など様々な形状を適用することが可能である。作動媒体とケーシング 5 4 の外部との差圧を利用することで C 型や E 型を適用し、ドレインの流出に対するシール性能を向上することができる。

【 0 0 5 7 】

また、I G V 5 5 では作動媒体が負圧になるため、ケーシング 5 4 の外部との差圧を利用して C 型や E 型のシール部材を I G V 5 5 に適用して、外部から圧縮機 1 の内部へ流入するリーク流れを抑制することも可能である。これによりリーク流れが圧縮機 1 の内部の流れに及ぼす影響を軽減でき、圧縮機 1 の性能を向上させることができる。

【 0 0 5 8 】

次に、図 4 を用いて、本発明の第 2 の実施の形態に係る圧縮機について説明する。図 4 は本発明の第 2 の実施の形態に係る圧縮機における可変静翼構造の断面図の概略図である。なお、先の図と同じ部分には同じ符号を付して説明を省略することがある（後の図も同様とする）。

【 0 0 5 9 】

本実施の形態に係る圧縮機が図 3 の第 1 の実施の形態のものと異なる点は、スラストワッシャー 8 2 におけるロータ径方向の内側の面と、静翼台座 8 1 におけるロータ径方向の外側の面との間にシール構造を備える点である。本実施の形態では、静翼台座 8 1 におけるロータ径方向外側の面（スラストワッシャー 8 2 におけるロータ径方向の内側の面が対向する面）に対して、ステム部 9 4 の回転軸を中心軸とするリング状のシール溝 9 3 A を設け、さらに、そのシール溝 9 3 A 内に、静翼台座 8 1 とスラストワッシャー 8 2 の間隙からのドレインの流出を抑制できるシール部材 9 2 を配置している。

【 0 0 6 0 】

シール溝 9 3 A を、第 1 の実施の形態のようにケーシング 5 4 の内周面ではなく、静翼台座 8 1 に設けることは、シール溝 9 3 A の加工性における利点がある。すなわち、ケーシング 5 4 の内周面にシール溝 9 3 を加工する場合には、鋳物でケーシング 5 4 を製造した後に、シール溝 9 3 を内周面に加工していくことになるが、各段の可変静翼 5 6 の枚数は数十枚以上（例えば、40 から 50 枚程度）にも及ぶため、その全周に渡ってシール溝 9 3 を加工するには相当の加工期間を要する。一方、本実施の形態のように静翼台座 8 1 にシール溝 9 3 A を加工する場合には、静翼一本ずつに加工できるため、静翼台座 8 1 にシール溝加工を追加することは容易である。したがって、加工コストを安価にすることができる。

【 0 0 6 1 】

なお、本実施の形態の場合、スラストワッシャー 8 2 において静翼台座 8 1 側に位置する耐摩耗性のコーティング面がシール部材 9 2 と接触することになる。そのためシール部材 9 2 が磨耗により損傷するリスクが少なくなり、ドレインが発生するリスクも低減することができる。また、シール部材 9 2 とスラストワッシャー 8 2 の摺動部の摩擦も小さくすることができ、可変静翼の開度の精度を維持することが可能となる。

【 0 0 6 2 】

また、図 3 および図 4 を用いて、第 1 および第 2 の実施の形態について説明したが、スラストワッシャー 8 2 におけるロータ径方向の内側の面と外側の面の両方にシール部材 9 2 を装着できるように、静翼台座 8 1 およびケーシング 5 4 の内周面の両方にシール溝 9 3 を設けることも可能である。

【 0 0 6 3 】

さらに、第 1 および第 2 の実施の形態では静翼台座 8 1 とケーシング 5 4 の内周面の間にスラストワッシャー 8 2 を配置したが、スラストワッシャー 8 2 を介さずに、静翼台座

10

20

30

40

50

８１とケーシング５４の内周面を直接的に摺動させ、当該摺動部にシール溝９３とシール部材９２を装着することでシール構造を構成することも可能である。

【００６４】

また、第１の実施の形態に係るシール構造は、上半側のケーシング５４のシール構造として利用することが好ましく、第２の実施の形態に係るシール構造は、下半側のケーシング５４のシール構造として利用することが好ましい。これは、重力の影響により、上半側のケーシング５４では、ケーシング５４とスラストワッシャー８２の間に隙間が形成され易く、反対に、下半側のケーシング５４では、スラストワッシャー８２と静翼台座８１の間に隙間が形成され易いためである。

【００６５】

次に、図５を用いて、本発明の第３の実施の形態に係る圧縮機について説明する。図５は本発明の第３の実施の形態に係る圧縮機における可変静翼構造の断面図の概略図である。本実施の形態に係る圧縮機が図３の第１の実施の形態のものと異なる点は、リング状のチューブ８４を挟むように配置した２つのメタルブッシュ８３のうちロータ径方向外側に位置するものの更に外側に位置するように、シール溝９３Ｂとシール部材９２Ｂを設置した点である。

【００６６】

この図に示す圧縮機は、ステム部９４の中心軸と同心の円盤をケーシング５４の外周面上にくり抜いて形成した座ぐり溝（凹部）１０１と、ステム部９４が挿入される孔を中心に有し、座ぐり溝１０１に嵌め込まれるリング状のフランジ部９６と、フランジ部９６における孔の周囲に設けられたリング状の座ぐり溝であるシール溝９３Ｂと、シール溝９３Ｂに収納され、ステム部９４と接触するリング状のシール部材９２Ｂを備えている。フランジ部９６は、複数のボルト１０２によってケーシング５４に締結されている。座ぐり溝１０１は、ケーシング５４の外周面上に、ステム部９４の周囲に位置するように設けられている。シール溝９３Ｂは、フランジ部９６がステム部９４と相対摺動する部分に設けられている。

【００６７】

図３や図４に示した圧縮機においてシール部材９２を交換する場合には、ケーシング５４の内周側から可変静翼５６、５６Ａを取り外さなければシール部材９２にアクセスできないので、ケーシング５４を分解・開放する必要がある。そのため、シール部材９２の交換は、ガスタービンの定期検査時に制限されていた。しかし、本実施の形態のように構成することで、ケーシング５４の外部からシール部材９２Ｂを着脱することが可能になるので、シール部材９２Ｂが磨耗により損傷した場合でも、ケーシング５４を開放せずにシール部材９２Ｂを交換することができ、保守性を向上することができる。

【００６８】

上記で説明した各実施の形態によれば、吸気に液滴を噴霧する中間冷却効果を有する軸流圧縮機の変静翼の摺動部から発生する液滴のリークを抑制でき、信頼性に優れた軸流圧縮機を提供することができる。

【００６９】

なお、上記の実施の形態では、合計３つのシール構造のみを紹介したが、ステム部９４（可変静翼５６）の回転時にケーシング５４に対して相対摺動される部材と、ケーシング５４との摺動部であれば、上記３つの場合以外の場所にもシール構造を設けても良い。すなわち、例えば、ステム部９４の外周にリング状のシール溝を設け、当該シール溝にシール部材を収納することでシール構造を構成しても良い。

【００７０】

また、上記の各実施の形態では、吸気噴霧を利用するガスタービン用軸流圧縮機を例に挙げて説明したが、本発明は産業用の軸流圧縮機にも広く適用可能である。

【００７１】

ところで、吸気噴霧がなされない軸流圧縮機では、可変静翼は、通常、作動温度が低い圧縮機の上流段側に採用されているため、可変静翼機構からケーシング外にリークする作

10

20

30

40

50

動流体は低温かつ微量と考えられ、機器信頼性への影響はないと考えられる。しかし、この種の圧縮機に対して本発明に係るシール構造を用いれば、圧縮機内部から外部への作動流体の漏れを抑制できるので、圧縮機の効率を向上できる可能性がある。

【 0 0 7 2 】

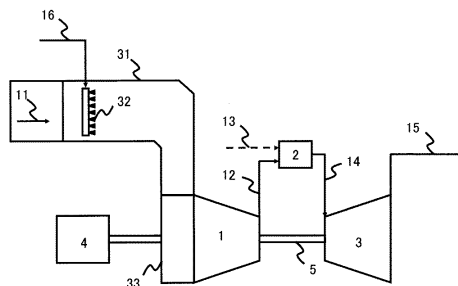
また、本発明は、上記の実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲内の様々な変形例が含まれる。例えば、本発明は、上記の実施の形態で説明した全ての構成を備えるものに限定されず、その構成の一部を削除したものも含まれる。また、ある実施の形態に係る構成の一部を、他の実施の形態に係る構成に追加又は置換することが可能である。

【 符号の説明 】

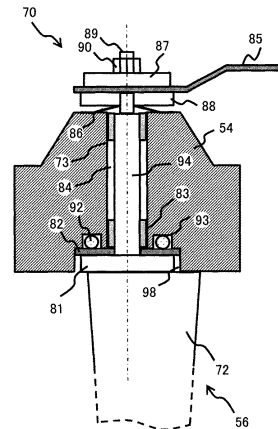
【 0 0 7 3 】

1 ... 圧縮機、2 ... 燃焼器、3 ... タービン、4 ... 発電機、5 ... 回転軸、11 ... 空気、12 ... 高圧空気、13 ... 燃料、14 ... 高温燃焼ガス、15 ... 排気ガス、31 ... 吸気ダクト、32 ... 噴霧ノズル、33 ... 吸気プレナム、51 ... 動翼列、52 ... ロータ、53 ... 静翼列、54 ... ケーシング、55 ... 入口案内翼、56 ... 可変静翼、57 ... 中間段動翼列、70 ... 可変機構、71 ... 可変機構、72 ... 翼部、73 ... 貫通孔、81 ... 静翼台座、82 ... スラストワッシャー、83 ... メタルブッシュ、84 ... チューブ、85 ... 薄板レバー、86 ... 皿バネ、87 ... 上ワッシャ、88 ... 下ワッシャ、89 ... ボルト付ステム、90 ... ナット、91 ... コントロールリング、92 ... シール部材、93 ... シール溝、94 ... ステム部、96 ... フランジ部、98 ... ケーシング溝、101 ... 座ぐり溝、102 ... ボルト

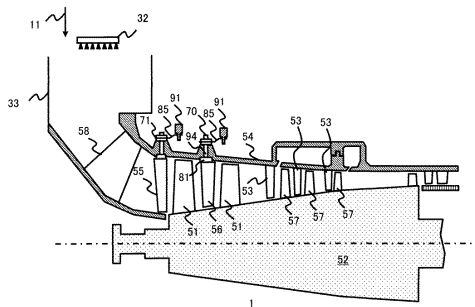
【 図 1 】



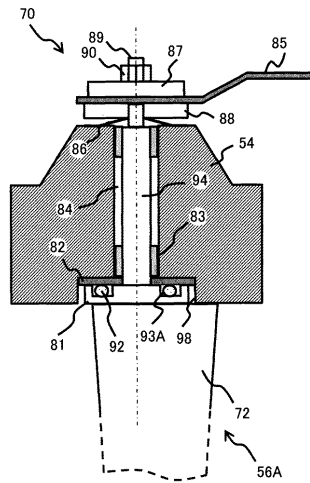
【 図 3 】



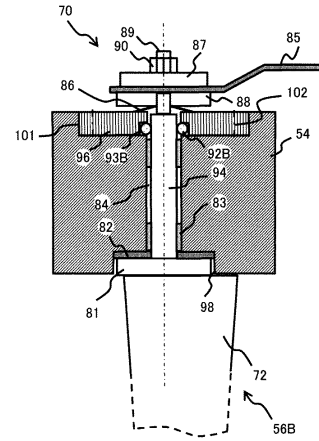
【 図 2 】



【図 4】



【図 5】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
F 1 6 J 15/06 (2006.01) F 1 6 J 15/06 H

(72)発明者 明連 千尋
茨城県日立市大みか町七丁目1番1号
内 株式会社日立製作所 日立研究所

(72)発明者 川村 康太
茨城県日立市大みか町七丁目1番1号
内 株式会社日立製作所 日立研究所

審査官 岩田 健一

(56)参考文献 米国特許出願公開第2010/0111677(US,A1)
特開2006-037877(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F 0 4 D 2 9 / 5 6
F 0 2 C 7 / 0 4 2
F 0 2 C 7 / 1 4 3
F 0 2 C 7 / 2 8
F 0 1 D 2 5 / 0 0
F 1 6 J 1 5 / 0 6