

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-65666

(P2010-65666A)

(43) 公開日 平成22年3月25日(2010.3.25)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
FO1D 5/22 (2006.01)	FO1D 5/22	3G002
FO1D 5/16 (2006.01)	FO1D 5/16	

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2008-235556 (P2008-235556)	(71) 出願人	000003078
(22) 出願日	平成20年9月12日 (2008. 9. 12)		株式会社東芝
			東京都港区芝浦一丁目1番1号
		(74) 代理人	100078765
			弁理士 波多野 久
		(74) 代理人	100078802
			弁理士 関口 俊三
		(74) 代理人	100077757
			弁理士 猿渡 章雄
		(74) 代理人	100130731
			弁理士 河村 修
		(74) 代理人	100136504
			弁理士 山田 毅彦

最終頁に続く

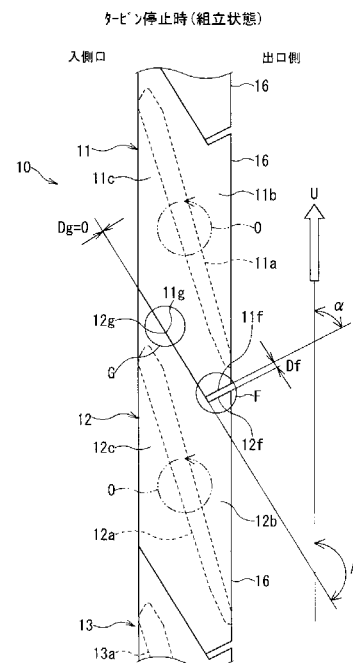
(54) 【発明の名称】 タービン動翼組立体およびこれを備えるタービン

(57) 【要約】

【課題】 タービンの高回転数域及び低回転数域における振動を抑制できると共に、隣接するタービン動翼における結合手段間の接触反力が過大になることを防止でき、これらによりタービン動翼の信頼性を向上できること。

【解決手段】 相隣接するタービン動翼11、12…のシェラウド16は、タービンの回転方向Uに対し鋭角 α をなし相対する平坦な接触面11f、12f…を備えた第1接触面部Fと、タービンの回転方向に対し鈍角 β をなし相対する平坦な接触面11g、12g…を備えた第2接触面部Gとを有し、タービン回転数の上昇過程で、第2接触面部が接触状態から分離状態に移行して第1接触面部及び第2接触面部が分離状態となり、その後、第1接触面部が分離状態から接触状態へ移行し得るよう構成されたものである。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

断面形状が根元から先端に向かって捻れて形成された翼部と、前記翼部の翼部先端に一体に形成されたシュラウドとを備えるタービン動翼を回転軸の周方向に複数配設し、各前記タービン動翼の前記翼部先端と前記シュラウドとを含む先端部に設けられた結合手段を用いて、これらの周方向に配設された複数の前記タービン動翼を一群に結合可能としたタービン動翼組立体であって、

相隣接する前記タービン動翼のそれぞれの前記先端部に設けられる前記結合手段は、前記回転軸の軸方向下流側へ向かってタービンの回転方向に対し鋭角をなし、周方向に隣接する前記タービン動翼の前記先端部と相対する平坦な接触面を備えた第 1 接触面部と、前記回転軸の軸方向下流側へ向かってタービンの回転方向に対し鈍角をなし、周方向に隣接する前記タービン動翼の前記先端部と相対する平坦な接触面を備えた第 2 接触面部とを有し、

前記タービンが停止した状態で前記タービン動翼それぞれの前記第 2 接触面が、周方向に隣接する前記タービン動翼の第 2 接触面部と接触状態におかれるとともに、

前記タービンの回転数の上昇過程で、前記タービン動翼のそれぞれの前記第 2 接触面部が接触状態から分離状態に移行して前記第 1 接触面部及び第 2 接触面部が分離状態となり、その後前記第 1 接触面部が分離状態から、周方向に隣接する前記タービン動翼の前記第 1 接触面部との接触状態へ移行し得るよう構成されたことを特徴とするタービン動翼組立体。

【請求項 2】

前記第 1 接触面部は、前記第 2 接触面部に対して前記回転軸の軸方向下流側に設けられたことを特徴とする請求項 1 に記載のタービン動翼組立体。

【請求項 3】

前記第 1 接触面部は、前記第 2 接触面部に対して前記回転軸の軸方向上流側に設けられたことを特徴とする請求項 1 に記載のタービン動翼組立体。

【請求項 4】

前記タービン回転数の上昇過程で、第 1 接触面部が接触状態へ移行する接触開始回転数は定格回転数の 60% から 75% の回転数に設定され、また、第 2 接触面部が接触状態から分離状態に移行する分離回転数は、前記第 1 接触面部の前記接触開始回転数よりも、定格回転数の 5% から 20% 低く設定されたことを特徴とする請求項 1 に記載のタービン動翼組立体。

【請求項 5】

前記タービン動翼のそれぞれにおける前記シュラウドは、前記翼部先端の背側から突出する前縁スナップと、腹側から突出する後縁スナップとを備え、

前記第 1 接触面部は、前記前縁スナップの前縁側と後縁スナップの後縁側に設けられ、

前記第 2 接触面部は、前記前縁スナップに設けられた前記第 1 接触面部における前記回転軸の軸方向下流側と、前記翼部先端の後縁側における腹側に設けられたことを特徴とする請求項 3 に記載のタービン動翼組立体。

【請求項 6】

前記タービン動翼のそれぞれにおける前記シュラウドは、前記翼部先端の背側から突出する前縁スナップと、腹側から突出する後縁スナップとを備え、

前記後縁スナップに設けられた前記第 1 接触面部の前記回転軸の軸方向上流側には、周方向に隣接する前記タービン動翼の前記先端部と間隙を有して相対する隣接翼近接面部が設けられたことを特徴とする請求項 3 または 5 に記載のタービン動翼組立体。

【請求項 7】

ケーシングと、

前記ケーシング内に回転可能に収納される回転軸であるタービンロータとを備え、

前記タービンロータに請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載のタービン動翼組立体を設けたことを特徴とするタービン。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、蒸気タービン等において特に中圧部から低圧部に使用され、翼長が比較的長く、且つ翼部の断面形状が根元から先端に向かって捻れて形成された捻れ翼を備えるタービン動翼を回転軸の周方向に複数配設してなるタービン動翼組立体であって、特に各タービン動翼の振動を抑制するタービン動翼組立体、およびこれを備えるタービンに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、多くの発電プラントでは、その形式を問わず、高負荷高稼働率運転が強く要求されるようになっており、その主要機器であるタービンは、定格運転状態のみならず、任意の各負荷での運転、負荷変化時等における安定運転時の外に、起動停止のような大きな過渡運転状態の繰り返しにも耐えなければならない。従って、タービンを構成する全ての部品に、以前よりも増して十分な運転信頼性が要求されることになる。このようなタービンの構成部品のうちで最も重要なものとしては、タービン動翼、中でも極めて大きな遠心力を受ける最終段落のタービン長翼が代表例として挙げられる。

【0003】

タービンの起動停止過程におけるタービン動翼（タービン長翼）の運転信頼性上の重要な課題は、タービン回転数の変化と共に励振周波数が変化するが、この励振周波数と、一般的には数多く存在するタービン動翼の固有振動数との共振現象をいかにして低く抑えるかという点にある。

【0004】

タービン最終段落以外にも広く適用されている捻れ翼からなるタービン動翼（タービン長翼）の場合、回転上昇に伴い捻り戻り（以下、アンツイストともいう）力が作用するので、このアンツイスト力を利用して、タービン定格回転数においてタービン動翼相互間を連結させることにより、振動モードを変化させて振動抑制効果を高める種々の形状のスナッパ翼が、図16及び図17に示すように広く使用されている。

【0005】

図16に示すように、複数のタービン動翼1、2、3…は、タービンロータ4の周方向に沿って複数枚配設されて組み付けられる。このタービン動翼1、2、3…は、それぞれ、翼部5の断面形状が根元5bから先端5aへ向かって捻れて形成された捻れ翼である。

【0006】

これらのタービン動翼1、2…における翼部5の先端5a（即ち図17の翼部先端1a、2a…）に、それぞれシュラウド6が一体に形成される。タービン動翼1、2…の各シュラウド6は、図17に示すように、翼部先端1a、2a…の前縁背側から突出する前縁スナッパ1b、2b…と、翼部先端1a、2a…の後縁腹側から突出する後縁スナッパ1c、2c…とを備えてなる。

【0007】

これらの前縁スナッパ1b、2b…、後縁スナッパ1c、2c…をそれぞれ備えた複数のシュラウド6によって、タービン動翼1、2…を結合可能とするタービン動力結合装置が構成される。尚、シュラウド6が帯状形状でないのは、前縁スナッパ1b、2b…、後縁スナッパ1c、2c…をタービン動翼1、2…の翼部先端1a、2a…から最小の形状で突出させることで、前縁スナッパ1b、2b…、後縁スナッパ1c、2c…に作用する遠心力を低減させるためである。

【0008】

タービン動翼1、2…の組付け時、即ち、図17（A）のタービン停止状態においては、例えばタービン動翼1の後縁スナッパ1cとタービン動翼2の前縁スナッパ2bとの間に間隙（組付け間隙）Dが設定されている。タービン回転数の上昇に伴い、タービン動翼1、2…に作用する遠心力が大きくなると、タービン動翼1、2…の翼部5にアンツイスト力が作用して、間隙Dが徐々に狭まり、特定の回転数即ち接触開始回転数Rcで、後縁

10

20

30

40

50

スナッパ 1 c の接触面 1 f と前縁スナッパ 2 b の接触面 2 f が接触を開始して図 17 (B) の状態となる。

【0009】

接触面 1 f 及び 2 f が一旦接触すると、タービン回転数がそれ以上上昇しても、後縁スナッパ 1 c と前縁スナッパ 2 b との相互間の位置関係は変化せず、両接触面 1 f 及び 2 f において接触反力が増大する。

【0010】

前縁スナッパ 2 b と後縁スナッパ 1 c の間隙 D が大き過ぎると、所定のアンツイスト力が作用しても接触面 1 f 及び 2 f は接触せず、タービン定格回転数において振動抑制効果が発揮されなくなる。反対に、間隙 D が小さ過ぎると、所定のアンツイスト力が作用したときに接触反力が大きくなり過ぎ、例えばタービン動翼 1 においては、前縁スナッパ 1 b あるいは後縁スナッパ 1 c が翼部先端 1 a から突出する根元部分に過大な応力が生ずることになる。

【0011】

従って、前縁スナッパ 2 b と後縁スナッパ 1 c が接触し始める接触開始回転数 R_c は、タービン定格回転数あるいはオーバースピード回転数における接触面 1 f 及び 2 f に作用する接触反力の大きさ、惹いては前縁スナッパ 1 b、2 b … と後縁スナッパ 1 c、2 c … が翼部先端 1 a、2 a … から突出する根元部分の応力の大きさを考慮して強度的に決定されねばならない。

【0012】

接触開始回転数 R_c を特定の値に設定した場合、図 18 に示すように、単翼モードのアンツイスト特性曲線 100 (破線表示) に対して、例えば後縁スナッパ 1 c と前縁スナッパ 2 b が接触した後のタービン動翼 1、2 … のアンツイスト特性は曲線 101 (実線表示) に示すように、接触開始回転数 R_c 以上の回転数でアンツイスト力が一定となり、接触開始回転数 R_c 以降の回転数上昇に対応する接触反力特性は曲線 102 のように増加する。

【0013】

図 19 は、上述のようなタービン動翼 1、2 … におけるキャンベル線図の一例を示すものであり、タービン回転数の変化に伴い変化するタービン動翼 1、2 … の翼モード (単翼モード、全周一群モード) における固有振動数の変化と回転倍数励振成分との関係を示している。例えば、T を、タービン動翼 1、2 … の単翼モードでの低次振動成分である接線方向 (タービン回転方向) の固有振動数とすると、タービン回転数の 2 倍励振成分、3 倍励振成分、4 倍励振成分と t_1 、 t_2 、 t_3 で共振し、これらの共振点で振動が増大する可能性がある。また、A は、タービン動翼 1、2 … の単翼モードでの低次振動成分である軸方向 (タービン軸方向) の固有振動数であり、この場合には、タービン回転数の 4 倍励振成分と a_1 で、3 倍励振成分と a_2 でそれぞれ共振することになる。これらの共振点 t_1 、 t_2 、 t_3 、 a_1 、 a_2 での運転が危険かどうかは、これらの共振点での励振力の大きさとタービン動翼 1、2 … の振動応答特性に依存する。一般的に、励振力は回転倍数励振成分が低いほど高く、タービン回転数が高いほど高い。また、振動応答特性は、振動成分が低次であるほど高くなる。

【0014】

また、タービン動翼 1、2 … では、タービン回転数が前縁スナッパ 1 b、2 b … と後縁スナッパ 1 c、2 c … の接触開始回転数 R_c を越えると、タービン動翼 1、2 … の振動特性が単翼モードから全周一群モードに移行する。この全周一群モードの振動は、翼群としての軸方向振動 GA モードであるため、共振点での振動レベルが低くなる上に、タービン定格回転数 R_o では、この軸方向振動 GA モードの固有振動数と回転数倍数励振成分が充分に離調されている。従って、全周一群モードではタービン動翼 1、2 … の振動が抑制されることになる。

【0015】

ここで、図 19 に示す単翼モードでの共振点 a_1 、 a_2 、 t_1 、 t_2 、 t_3 のいずれか

10

20

30

40

50

で振動レベルが高い場合には、その振動増大を抑制するために、タービン低回転数域での単翼モードを全周一群モードに移行させるタービン動翼結合装置が特許文献1に記載されている。これらを図20～図22に示す。いずれも、タービン高回転数域でアンツイスト力を利用して、前縁スナッパ1b、2b…と後縁スナッパ1c、2c…により、隣接するタービン動翼1、2…を結合させて全周一群モードに移行させることを技術の中心としているが、前記スナッパの接触面の形状を変形させて、タービン低回転数域でも接触を可能とする接触部を構成することによって、低回転数域と高回転数域での2段階での全周一群化を実現している。

【0016】

タービン低回転数域からタービン高回転数域までの接触を1つの接触面で実現しようとすると、図18の接触反力特性曲線102から明らかなように、接触開始回転数 R_c が低回転数域に設定されることになるが、この場合にはタービン高回転数域での接触反力が過大になって、タービン動翼1、2…の翼部先端1a、1b…から前縁スナッパ1b、2b…、後縁スナッパ1c、2c…が突出する根元部分の強度が低下してしまう。

【0017】

そこで、特許文献1においては、図20に示すように、後縁スナッパ1c、2c…の接触面1f、1g、2f、2g…に段差を設け、タービン低回転数域で、例えば後縁スナッパ1cの接触面1gと前縁スナッパ2bの接触面2fとを接触させ、タービン高回転数域で、例えば後縁スナッパ1cの接触面1fと前縁スナッパ2bの接触面2fとを接触させる方式としている。図21は、段差を有する接触面の位置を図20の場合と入れ替え、タービン低回転数域で、例えば後縁スナッパ1cの接触面1fと前縁スナッパ2bの接触面2gとを接触させ、タービン高回転数域で、例えば後縁スナッパ1cの接触面1fと前縁スナッパ2bの接触面2fとを接触させる方式である。また、図22は、このような段差の代わりに、一方の接触面（例えば後縁スナッパ1cの接触面1f）に、タービン低回転数域で他方の接触面（例えば前縁スナッパ2bの接触面2f）に接触する突起1mを設けた方式である。

【0018】

このような構成では、それぞれの接触面（突起）での接触反力は、接触面間の間隙を適正に選択した場合には、図18の接触反力特性曲線102を基準として、図23のようになる。即ち、タービン低回転数域での接触反力は、接触反力特性曲線103に従い、タービン回転数 r_1 で接触を開始し、タービン回転数 r_2 で分離するが、さらにタービン回転数が上昇すると、タービン高回転数域での接触反力は、接触反力特性曲線104に従って、タービン回転数 R_c で接触を開始し、接触反力を増大させながら、その接触状態を、タービン定格回転数 R_o を越えて維持する。このようにいずれかの接触面（突起）が接触しているタービン回転数領域では、基本的には全周一群モードでの運用となる。

【0019】

尚、これら図20～図22に示すタービン動翼1、2…のキャンベル線図は、図24に示すように、図19で示したキャンベル線図にも示されているタービン高回転数域における全周一群モードの他に、タービン低回転数域にさらにもう1つの全周一群モードが追加されることになる。

【特許文献1】特開平2-16303号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0020】

ここまでの説明により、スナッパを採用したタービン動翼1、2…の信頼性向上のための基本的要求事項は、従来（背景）技術でほぼ満足されることが分かる。即ち、第1に、前縁スナッパ1b、2b…と後縁スナッパ1c、2c…の形状は、遠心力を抑えて安全性を高めるために、長翼であるほど翼部先端1a、2a…からの突出量を小さくする。

【0021】

第2に、前縁スナッパ1b、2b…と後縁スナッパ1c、2c…間のタービン停止時の

10

20

30

40

50

間隙（組付け間隙）を小さくすると、これらの前縁スナッパ 1 b、2 b…と後縁スナッパ 1 c、2 c…をタービン低回転数域で接触させることができるが、タービン定格回転数に到達した時点での接触反力が過大になり、翼部先端 1 a、2 a…から前記スナッパが突出する根元部分での応力が過大になるので、適度な大きさの組付け間隙を設定する。

【0022】

第3に、タービン低回転数域での単翼モードに拘束を加えて全周一群モードを得るためには、タービン高回転数域での正規接触面以外に、タービン低回転数域でも接触する接触面（突起）を設ける。

【0023】

しかしながら、現実的には、タービン動翼の初期組付け状態、タービン回転数の上昇に伴い増大するタービン動翼 1、2…の翼部 5 のアンツイスト力、前縁スナッパ 1 b、2 b…と後縁スナッパ 1 c、2 c…の接触などに関しては、接触開始時期や、接触後の接触面積等が個々のタービン動翼 1、2…によって微妙に異なるのが普通であり、ばらつきが存在する。従って、タービン動翼 1、2…の信頼性を向上させるためには、上述の基本的要求事項を満足した上で、前記ばらつきによる悪影響を軽減させるための工夫が必要となる。

【0024】

このようなばらつきが、図 17 に示すタービン動翼 1、2…の前縁スナッパ 1 b、2 b…と後縁スナッパ 1 c、2 c…との間隙 D に発生した場合を考察する。このとき、図 25 に示すように、まず、タービン動翼 2 がタービン回転方向に、即ちタービン動翼 1 側に僅かに傾いて組み付けられて、前記間隙 D が異なっていたとする。

【0025】

この場合には、タービン動翼 1 の後縁スナッパ 1 c とタービン動翼 2 の前縁スナッパ 2 b との間隙 D_1 よりも、タービン動翼 2 の後縁スナッパ 2 c とタービン動翼 3 の前縁スナッパ 3 b との間隙 D_2 の方が大きくなり、設計組付け間隙を D_0 としたとき、 $D_2 > D_0 > D_1$ となる。この状態でタービン回転数を上昇させると、図 26 に示すように、間隙 D_1 を構成する後縁スナッパ 1 c と前縁スナッパ 2 b が先に接触を開始し（間隙 $D_1 = 0$ ）、間隙 D_2 を構成する後縁スナッパ 2 c と前縁スナッパ 3 b とは間隙 D_2' （ $< D_2$ ）となる。これらの後縁スナッパ 2 c と前縁スナッパ 3 b とが接触を開始するまでは、タービンの回転上昇と共に、間隙 D_1 側の後縁スナッパ 1 c と前縁スナッパ 2 b の接触面における接触反力が増大することになる。このような状態では、タービン動翼 2 の前縁スナッパ 3 b の接触面 2 f には、この接触面 2 f に垂直な方向に、タービン動翼 1 の後縁スナッパ 1 c の接触面 1 f から接触反力 F_c が作用し、そのうちのタービンロータ（回転軸）の軸方向成分 F_a はタービン動翼 2 を回転軸の軸方向下流側（出口側）に倒す方向に作用する。

【0026】

また、図 25 および図 26 に示した例とは逆に、タービン動翼 2 がタービンの反回転方向に、即ちタービン動翼 3 側に僅かに傾いて組み付けられて、前記間隙 D が $D_1 > D_0 > D_2$ のように異なっていた場合には、間隙 D_2 側の後縁スナッパ 2 c と前縁スナッパ 3 b が先に接触を開始する。この場合、タービン動翼 2 の後縁スナッパ 2 c の接触面 2 f には、この接触面 2 f に垂直な方向に、タービン動翼 3 から接触反力が作用し、そのうちのタービンロータ（回転軸）の軸方向成分は、タービン動翼 2 を回転軸の軸方向上流側（入口側）に倒す方向に作用する。

【0027】

即ち、タービン動翼 1、2…の前縁スナッパ 1 b、2 b…と後縁スナッパ 1 c、2 c…との間隙（組付け間隙）D にばらつきがあると、個々のタービン動翼 1、2…での接触開始回転数 R_c にばらつきを生じ、その結果、回転中のタービン動翼 1、2…は、回転軸に対する軸方向上流側（タービンロータ軸方向前側）または下流側（タービンロータ軸方向後側）に倒れるものが混在するようになる。このように、前縁スナッパ 1 b、2 b…と後縁スナッパ 1 c、2 c…における同一方向の接触面間の摩擦力を利用してタービン動翼 1

10

20

30

40

50

、２…に拘束力を与えるような構造では、一旦拘束を与えると、タービン動翼１、２…相互間の位置関係を変えることは極めて難しく、初期に発生した相互位置関係が、そのままタービン定格運転状態まで維持されることになる。その結果、タービン動翼１、２…の回転軸に対する軸方向上流側または下流側の倒れが著しく大きな場合には、翼列の性能に悪影響が出るばかりではなく、タービン動翼１、２…の浸食に偏りが生じて、タービン性能が低下する恐れがある。

【００２８】

本発明の目的は、上述の事情を考慮してなされたものであり、タービンの高回転数域及び低回転数域における振動を抑制できると共に、隣接するタービン動翼における結合手段間の接触反力が過大になることを防止でき、これらによりタービン動翼の信頼性を向上できるタービン動翼組立体およびこれを備えるタービンを提供することにある。

10

【００２９】

また、本発明の他の目的は、隣接するタービン動翼における結合手段間の間隙のばらつきに起因するタービン動翼の軸方向への倒れ現象を抑制して、タービン性能の低下を防止できるタービン動翼組立体およびこれを備えるタービンを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【００３０】

本発明は以下のように、断面形状が根元から先端に向かって捻れて形成された翼部と、前記翼部の翼部先端に一体に形成されたシュラウドとを備えるタービン動翼を回転軸の周方向に複数配設し、各前記タービン動翼の前記翼部先端と前記シュラウドとを含む先端部に設けられた結合手段を用いて、これらの周方向に配設された複数の前記タービン動翼を一群に結合可能としたタービン動翼組立体であって、相隣接する前記タービン動翼のそれぞれの前記先端部に設けられる前記結合手段は、前記回転軸の軸方向下流側へ向かってタービンの回転方向に対し鋭角をなし、周方向に隣接する前記タービン動翼の前記先端部と相対する平坦な接触面を備えた第１接触面部と、前記回転軸の軸方向下流側へ向かってタービンの回転方向に対し鈍角をなし、周方向に隣接する前記タービン動翼の前記先端部と相対する平坦な接触面を備えた第２接触面部とを有し、前記タービンが停止した状態で前記タービン動翼それぞれの前記第２接触面部が、周方向に隣接する前記タービン動翼の第２接触面部と接触状態におかれるとともに、前記タービンの回転数の上昇過程で、前記タービン動翼のそれぞれの前記第２接触面部が接触状態から分離状態に移行して前記第１接触面部及び第２接触面部が分離状態となり、その後前記第１接触面部が分離状態から、周方向に隣接する前記タービン動翼の前記第１接触面部との接触状態へ移行し得るよう構成されたことを特徴とするものである。

20

30

【発明の効果】

【００３１】

本発明によれば、第２接触面部の接触状態から分離状態への移行特性と、第１接触面部の分離状態から接触状態への移行特性とを比較的自由に選択できるので、タービン回転数域におけるタービン動翼の全周一群モードと単翼モードとの最適な使い分けが可能となる。このため、タービンの高回転数域及び低回転数域における振動を抑制できると共に、隣接するタービン動翼における結合手段間の接触反力が過大になることを防止でき、これらによりタービン動翼の信頼性を向上させることができる。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【００３２】

以下、本発明を実施するための最良の形態を、図面に基づき説明する。但し、本発明は、これらの実施の形態に限定されるものではない。

【００３３】

〔Ａ〕第１の実施の形態（図１～図９）

図１は、本発明に係るタービン動翼組立体における第１の実施の形態の一部を拡大し、各タービン動翼の組付け状態を示す一部拡大斜視図である。図２は、図１のタービン動翼組立体のうち、複数のシュラウドにおけるタービン停止状態を半径方向外側から見た正面

50

図である。図 3 は、図 1 のタービン動翼組立体のうち、複数のシュラウドにおけるタービン回転数上昇中の状態を半径方向外側から見た正面図である。図 4 は、図 1 のタービン動翼組立体のうち、複数のシュラウドにおけるタービン定格回転状態を半径方向外側から見た正面図である。

【0034】

図 1 に示すように、本実施の形態に係るタービン動翼組立体 10 は、翼部 15 とシュラウド 16 を備える複数のタービン動翼 11、12、13…が、回転軸としてのタービンロータ 14 の周方向に沿って複数枚配設されて組み付けられて構成される。このとき、タービン動翼 11、12、13…のそれぞれの植込部 17 がタービンロータ 14 の溝 18 に埋め込まれて、図示しないピンにより固定される。タービン動翼 11、12、13…は、それぞれの翼部 15 の断面形状が根元 15b から先端 15a へ向かって振れて形成された振れ翼である。そして、このタービン動翼組立体 10 がタービンロータ 14 とともに、図示しないケーシング内に回転可能に収納されてタービンを構成している。尚、図 1 中の符号 19 は、タービン動翼 11、12、13…の中央部を連結する振れ止め部材である。

【0035】

これらのタービン動翼 11、12…における翼部 15 の先端 15a（即ち図 2 の翼部先端 11a、12a…）に、前記シュラウド 16 がそれぞれ一体に形成される。タービン動翼 11、12…の各シュラウド 16 は、図 2 に示すように、翼部先端 11a、12a…の背側から突出する前縁スナッパ 11b、12b…と、翼部先端 11a、12a…の腹側から突出する後縁スナッパ 11c、12c、…とを備えてなる。これらの前縁スナッパ 11b、12b…、後縁スナッパ 11c、12c…をそれぞれ備えた複数のシュラウド 16 が結合手段となり、このシュラウド 16 によってタービン動翼 11、12…を一群に結合可能とする。

【0036】

図 2 に示すように、タービン動翼 11、12…のうち、任意の例えばタービン動翼 12 のシュラウド 16 における前縁スナッパ 12b の前縁側端面（接触面 12f 及び 12g）と、このタービン動翼 12 の前縁側に隣接する例えばタービン動翼 11 のシュラウド 16 における後縁スナッパ 11c の後縁側端面（接触面 11f 及び接触面 11g）との間に第 1 接触面部 F 及び第 2 接触面部 G が形成される。

【0037】

つまり、第 1 接触面部 F は、半径方向外側から見て、タービンロータ 14（回転軸）の軸方向上流側から下流側（入口側から出口側）へ向かって、タービンの回転方向 U に対し鋭角 α を成し、相対する平坦な接触面、例えば接触面 11f、12f…により形成される。また、第 2 接触面部 G は、半径方向外側から見て、タービンロータ 14（回転軸）の軸方向上流側から下流側（入口側から出口側）へ向かって、タービンの回転方向 U に対し鈍角 β を成し、相対する平坦な接触面、例えば接触面 11g、12g…により形成される。ここで、第 1 接触面部 F は、第 2 接触面部 G に対してタービンロータ 14 の軸方向下流側（出口側）に設けられる。なお、図 2 において、回転軸（タービンロータ 14）の軸方向は回転方向 U と直交する方向である。

【0038】

タービン停止時であるタービン動翼 11、12…の組付け状態で、第 1 接触面部 F を構成する接触面 11f と接触面 12f との間に間隙 Df が設けられて、両接触面 11f、12f は分離状態に設定される。また、第 2 接触面部 G を構成する接触面 11g と接触面 12g とは、タービン動翼 11、12…の組付け状態で接触状態に設けられ、接触面 11g と接触面 12g との間の間隙 Dg は $Dg = 0$ に設定される。更に、このタービン動翼 11、12…の組付け状態で、接触面 11g と接触面 12g は押し付けられて構成され、両接触面 11g、12g に接触反力が生ずる。

【0039】

そして、タービン回転数の上昇過程で、タービン動翼 11、12…に作用する遠心力による、図 2 及び図 4 に示す矢印 O に示す翼部 15 の捻り戻り力（アンツイスト力）によ

10

20

30

40

50

て、図 3 及び図 4 に示すように、第 2 接触面部 G は接触状態から分離状態へ移行して、第 2 接触面部 G 及び第 1 接触面部 F が分離状態となり、その後、第 1 接触面部 F は分離状態から接触状態へ移行する。また、タービン回転数の下降過程では、タービン動翼 1 1、1 2 … に作用する翼部 1 5 の捻り力によって、第 1 接触面部 F は接触状態から分離状態へ移行して、第 1 接触面部 F 及び第 2 接触面部 G が分離状態となり、その後、第 2 接触面部 G は分離状態から接触状態へ移行する。

【0040】

ここで、タービン回転数の上昇過程で翼部 1 5 のアンツイスト力によって、第 1 接触面部 F を構成する例えば接触面 1 1 f と接触面 1 2 f は、回転軸（タービンロータ 1 4）の軸方向下流側へ向かってタービン回転方向 U に対し鋭角 α に設定されているので、図 5（A）に示すように、離反する方向（矢印 Q f）に移動し、また、第 2 接触面部 G を構成する例えば接触面 1 1 g と接触面 1 2 g は、回転軸（タービンロータ 1 4）の軸方向下流側へ向かってタービン回転方向 U に対し鈍角 β に設定されているので、図 5（B）に示すように、接近する方向（矢印 Q g）に移動する。

【0041】

具体的には、タービン動翼 1 1、1 2 … の組付け時において、第 1 接触面部 F では図 2 に示すように、互いに相対し平坦な平行面をなす、例えばタービン動翼 1 1 の後縁スナッパ 1 1 c の接触面 1 1 f と、タービン動翼 1 1 に対し後縁側に隣接するタービン動翼 1 2 の前縁スナッパ 1 2 b の接触面 1 2 f とが、予め定められた間隙（組付け間隙）D f を保つように組み付けられる。一方、第 2 接触面部 G では、例えばタービン動翼 1 2 の前縁スナッパ 1 2 b の接触面 1 2 g は、タービン動翼 1 2 に対し前縁側に隣接するタービン動翼 1 1 の後縁スナッパ 1 1 c の接触面 1 1 g に接触されて、初期接触反力を持たせた状態で組み付けられる。

【0042】

タービンの回転数が上昇を開始すると、第 2 接触面部 G では、互いに接触している前縁スナッパ 1 2 b の接触面 1 2 g と後縁スナッパ 1 1 c の接触面 1 1 g との接触反力が徐々に低下し、予め定められたある回転数において接触反力がゼロになり、接触面 1 2 g と接触面 1 1 g とが分離し始める。一方、第 1 接触面部 F では、予め定められたある回転数において、接触面 1 1 f と接触面 1 2 f が接触を開始し、第 1 接触面部 F における拘束が始まる。このとき、図 4 に示すように、第 2 接触面部 G では、間隙 D g が第 1 接触面部 F の拘束（摩擦力）によって一定の値となる。それ以降の回転数上昇において、第 1 接触面部 F では接触反力が増大して拘束力が増すが、第 2 接触面部 G での間隙 D g は一定の値に維持される。尚、タービン回転数の下降時には、上述の説明と逆の動作が行われる。

【0043】

タービン回転数の変化に対する第 1 接触面部 F 及び第 2 接触面部 G の各接触反力における変化の様相を、図 6 の曲線 1 0 5 と曲線 1 0 7 に示す。この図は、背景（従来）技術における図 2 3 の接触反力特性曲線 1 0 3 と接触反力特性曲線 1 0 4 にそれぞれ相当するものである。本実施形態の第 1 接触面部 F における接触反力特性曲線 1 0 7 の特性は、本質的には、背景技術における接触反力特性曲線 1 0 4 と同一と考えられる。

【0044】

しかしながら、本実施形態では、接触反力特性曲線 1 0 7 の接触開始回転数 R_c の位置は、第 2 接触面部 G が第 1 接触面部 F とは離反接近の動作方向が異なり、第 2 接触面部 G の接触反力がタービン回転数の上昇過程で低下するので、第 1 接触面部 F の接触開始回転数 R_c と、第 2 接触面部 G の分離回転数 r_2 とをより自由に設定できる。すなわち、図 6 において、第 2 接触面部 G での組付け時押付力 E を変化させることにより、分離回転数 r_2 を任意に選定することが可能となる。これは、第 2 接触面部 G の接触反力特性が曲線群 1 0 6 のように表されることを意味する。また、第 1 接触面部 F でも、組付け時の間隙 D f を調整することにより、接触開始点回転数 R_c を自由に設定できるので、第 1 接触面部 F の接触反力特性は図 6 の曲線群 1 0 8 で表されることになる。これらの分離回転数 r_2 と接触開始点回転数 R_c の設定値に関しては後に詳説する。

【0045】

このように、第1接触面部Fと第2接触面部Gの接触反力特性を自由に選択できるために、タービン回転数域における全周一群モードと単翼モードの最適な使い分けが可能になる。特に、第1接触面部Fにおける分離と接触の特性を、図6に示す本実施形態と図23に示す背景技術とで比較する。背景技術における図23の接触反力特性曲線103は、回転数 r_1 で接触が開始してから徐々に接触反力が増大し、分離回転数 r_2 で最大値になることを示している。これに対して、本実施形態の図6における接触反力特性曲線105では、組付け時の押付力Eが接触反力の最大値となるが、この接触反力は最大値から徐々に減少し、分離回転数 r_2 ではゼロになっている。

【0046】

これは、背景技術では、摩擦力の作用の下で、分離回転数 r_2 において接触反力が最大の状態からゼロの状態に移行できない場合があるのに対して、本実施形態では、第2接触面部Gに作用する接触反力を、一旦ゼロにした上で、第1接触面部Fが分離状態から接触を開始するので、より信頼性のある特性になっていることを示している。

【0047】

図7に、本実施形態において上述のタービン動翼結合装置10を備えたタービン動翼1、12…のキャンベル線図の一例を示す。図17に示す背景技術のタービン動翼1、2…のキャンベル線図（図19）と比較すると、本実施形態では、低回転数域にも、全周一群モードでの運転領域がタービン停止時から広範囲に加わっており、タービン起動は、第2接触面部Gの接触状態下での全周一群モードで行われることになる。

【0048】

尚、図20～図22のタービン動翼1、2…の場合のキャンベル線図は、図24に示すように、図19のキャンベル線図において高回転数域における全周一群モードの他に、低回転数域に更にもう1つの全周一群モードが部分的に追加されることになるが、タービン停止時を全周一群モードの領域とすることは不可能である。

【0049】

図7において、単翼モードでの軸方向の固有振動数Aに対する共振点 a_1 は、低回転数域の全周一群モード領域に近いので、図6の接触反力特性曲線106において組付け時押付力Eを大きくし、即ち、図2の第2接触面部Gで接触面11gと接触面12gの接触反力を高くして組み付けることにより、図6上で第2接触面部Gでの分離回転数 r_2 を高回転数側に移動させて、図7上の共振点 a_1 を共振点 t_2 、 t_3 と共に、第2接触面部Gによる全周一群モードに含めることができ、この共振点 a_1 を、共振点 t_2 、 t_3 と共に消滅させることが可能となる。

【0050】

また、図19では存在していた単翼モードでの共振点 a_2 は、図7では、第1接触面部Fでの接触による高回転数域での全周一群モードの運転域に含まれており消滅している。この状態は、図2及び図6において、第1接触面部Fの間隙（組付け間隙）Dfの調整により、接触開始回転数 R_c を下げることによって得られる。同様に、共振点 t_1 についても、第1接触面部Fの間隙Dfの調整により、接触開始点回転数 R_c を下げることで消滅させることが可能になる。

【0051】

このように、図6に示す第1接触面部Fと第2接触面部Gの接触反力特性、即ち翼モードの変換特性を利用して、危険性の高い固有振動数との共振を回避したり抑制することが可能になるので、タービン動翼11、12…の信頼性を高めることが可能となる。

【0052】

第1接触面部Fにおける接触開始回転数 R_c と第2接触面部Gの分離回転数 r_2 をどのような値に設定するかについて、以下に詳説する。

【0053】

第1接触面部Fによる接触の目的は、タービン動翼11、12…の翼部先端11a、12a…側での拘束を強化して全周一群モードを構成し、タービン高回転数域においてター

10

20

30

40

50

ピン動翼 1 1、1 2…の単翼モードでの固有振動数との共振を避けることにある。このとき、第 1 接触面部 F での接触反力が過大にならないようにする。この接触反力が過大になると、前述の如く、翼部先端 1 1 a、1 2 a…から前縁スナッパ 1 1 b、1 2 b…、後縁スナッパ 1 1 c、1 2 c…が突出する根元部分の応力が増大してしまうからである。

【0054】

また、第 2 接触面部 G による接触の目的は、低回転数域においてタービン動翼 1 1、1 2…の単翼モードでの固有振動数との共振を避けるために、単翼モードを軽度の拘束力による全周一群モードに変換することにある。

【0055】

このタービン高回転数域とタービン低回転数域での 2 つの接触形態の使い分けは、図 6 に示す接触反力特性曲線群 1 0 6 及び 1 0 8 で示すように、希望する拘束度合いを得るために、前述の如く、ある程度の範囲で自由に選定することが可能である。

【0056】

ここで重要なことは、接触反力特性曲線群 1 0 6 及び 1 0 8 から選択された接触反力特性曲線を曲線 1 0 5 と曲線 1 0 7 とすると、この両者の間にはタービン回転数に関する隙間（回転数間隙 R_w ：後述）が必要になることである。言い換えると、第 2 接触面部 G での接触が分離回転数 r_2 に到達して分離した後、第 1 接触面部 F が接触開始回転数 R_c に到達して接触を開始、即ち接触状態へ移行するようにしなければならない。これは、第 2 接触面部 G での拘束がなされている状態で第 1 接触面部 F での拘束が始まると、摩擦力の作用の下では、第 2 接触面部 G はそのままの位置で拘束され、タービン定格回転数においても、図 4 に示す設計状態の間隙 D_g に到達しないことになり、第 2 接触面部 G において衝突による摩耗が発生し易くなってしまいうからである。

【0057】

このように、第 2 接触面部 G の接触状態を、第 1 接触面部 F が接触開始回転数 R_c に到達する以前に完全に分離させるためには、ばらつき等を考慮して、回転数間隙 R_w （分離回転数 r_2 から接触開始回転数 R_c までの回転数域）を、タービン定格回転数の 5 % 程度以上の回転数に設ける必要があることが経験的に知られている。

【0058】

また、回転数間隙 R_w を狭くした場合（サフィックス： x ）と、広くした場合（サフィックス： y ）との比較の一例を図 8 に示す。第 1 接触面部 F の間隙（組付け間隙）を D_{f_y} と D_{f_x} （ $D_{f_y} > D_{f_x}$ ）、第 2 接触面部 G のタービン定格回転時における間隙を D_{g_y} と D_{g_x} （ $D_{g_y} > D_{g_x}$ ）としたとき、回転数間隙 R_w は、それぞれに対応して図示の如く、 R_{w_y} （分離回転数 r_{2_y} から接触開始回転数 R_{c_y} までの回転数域）と、 R_{w_x} （分離回転数 r_{2_x} から接触開始回転数 R_{c_x} までの回転数域）になる。この回転数間隙 R_w においては、接触による拘束力がない単翼モードによる運転になるので、第 1 接触面部 F の間隙 D_{f_y} 、 D_{f_x} と第 2 接触面部 G の間隙 D_{g_y} 、 D_{g_x} のうち、小さい方の間隙の最大値で決まる振動振幅制限幅 V_y と V_x は、回転数間隙 R_w の広さに比例して大きくなることが分かる。従って、振動による振れ幅を抑制するためには、回転数間隙 R_w は小さい方がよいことになる。このため、回転数間隙 R_w の上限は、例えばタービン定格回転数の 20 % の回転数に設定される。

【0059】

一方、第 1 接触面部 F での接触開始回転数 R_c は、タービン最高回転数においてタービン動翼 1 1、1 2…の翼部先端 1 1 a、1 2 a…に発生する、タービン動翼 1 1、1 2…の構造によって定まる応力と、このタービン動翼 1 1、1 2…の材料で決まる許容応力の大きさの比が制限要因となり、最高許容接触圧力から、図 6 の接触反力特性曲線群 1 0 8 を用いて定めることができる。従って、接触開始回転数 R_c の上限は、通常、タービン定格回転数の 75 % の回転数に設定される。

【0060】

図 9 には、第 1 接触面部 F における間隙（組付け間隙） D_f をタービン低回転数域で選択した場合とタービン高回転数域で選択した場合を比較している。この図 9 において、間

10

20

30

40

50

隙 D_f のばらつきの許容値を m とするとき、それに対応する接触開始回転数 R_c のばらつき n は、曲線 109 の特性によって、タービン高回転数域での n_1 の方が、タービン低回転数域での n_2 より小さく抑えることが可能である。これらの第 1 接触面部 F における間隙 D_f と接触開始回転数 R_c のばらつきを考慮して、接触開始回転数 R_c の下限はタービン定格回転数の 60% の回転数に設定される。

【0061】

従って、接触開始回転数 R_c は、通常、タービン定格回転数の 60%～75% の回転数に設定される。このように接触開始回転数 R_c を設定することで、第 2 接触面部 G における分離回転数 r_2 の最適値は、回転数間隙 R_w が前述の如くタービン定格回転数の 5%～20% の回転数であることから、接触開始回転数 R_c よりもタービン定格回転数の 5%～20% 低い回転数に設定され、例えば、タービン定格回転数の 50%～65% の回転数に設定される。

【0062】

従って、本実施の形態によれば、次の効果 (1)～(4) を奏する。

【0063】

(1) 第 2 接触面部 G の接触状態から分離状態への移行特性（即ち図 6 の接触反力特性曲線 105）と、第 1 接触面部 F の分離状態から接触状態への移行特性（即ち図 6 の接触反力特性曲線 107）とを比較的自由に選択できるので、タービン回転数域におけるタービン動翼 11、12…の全周一群モードと単翼モードとの最適な使い分けが可能となる。このため、タービンの高回転数域及び低回転数域における振動を抑制できると共に、隣接するタービン動翼 11、12…における前縁スナッパ 11b、12b…と後縁スナッパ 11c、12c…間の接触反力が過大なことを防止でき、これらによりタービン動翼 11、12…の信頼性を向上させることができる。

【0064】

(2) 特に、図 6 に示す翼モードの変換特性、及び図 7 に示すキャンベル線図を利用して、第 1 接触面部 F での間隙 D_f あるいは接触開始回転数 R_c 、及び第 2 接触面部 G における初期（組付け時）押付力 E を適正に選択することにより、タービン動翼 11、12…における危険性の高い固有振動数との共振を回避したり抑制する操作が可能になるので、より信頼性の高いタービン動翼 11、12…を実現できる。これは、異なった振動特性を有するタービン動翼 11、12…でも、若干の調整を加えるだけで、同一のシュラウド 16 構成を適用できることを意味する。

【0065】

(3) 第 2 接触面部 G では、タービン動翼 11、12…の組付け時に間隙 D_g がゼロに設定されるので、タービン動翼組付け時の点検項目として有効である。更に第 2 接触面部 G は、タービン低回転数域で間隙 D_g が微小間隙となるので、このときタービン動翼 11、12…が共振現象を生じた場合にも、例えば接触面 11g と接触面 12g が衝突することで制振効果を発揮できる。

【0066】

(4) タービン回転数の上昇過程で第 1 接触面部 F が接触を開始する接触開始回転数 R_c が、タービン定格回転数の 60%～75% の回転数に設定されたので、タービン高回転数域で全周一群モードを構成して、タービン動翼 11、12…の固有振動数との共振を回避でき、振動を抑制できる。また、タービン回転数の上昇過程で第 2 接触面部 G が接触状態から分離状態へ移行する分離回転数 r_2 が、第 1 接触面部 F の接触開始回転数 R_c よりも、タービン定格回転数の 5%～20% 低い回転数に設定され、例えばタービン定格回転数の 50%～65% の回転数に設定されたので、タービン低回転数域においても起動時を含む広い範囲に全周一群モードを構成して、タービン動翼 11、12…の固有振動数との共振を回避し、振動を抑制することができる。

【0067】

[B] 第 2 の実施の形態（図 10～図 15）

図 10 は、本発明に係るタービン動翼組立体における第 2 の実施の形態のうち、複数の

10

20

30

40

50

シュラウドのタービン停止状態を半径方向外側から見た正面図である。図 11 は、図 10 の複数のシュラウドにおけるタービン定格回転状態を半径方向外側から見た正面図である。この第 2 の実施の形態において、前記第 1 の実施の形態と同様な部分については、同一の符号を付すことにより説明を簡略化し、または省略する。

【0068】

本実施の形態におけるタービン動翼組立体 20 が前記実施の形態のタービン動翼組立体 10 と異なる点は、タービン動翼 11、12…の各翼部 15 において、翼部先端 11a、12a…の背側におけるタービン回転方向 U 側部分のみに前縁スナッパ 21b、22b…が突出して一体に形成され、且つ翼部先端 11a、12a…の腹側におけるタービン回転方向 U と反対側部分のみに後縁スナッパ 21c、22c…が突出して一体に形成され、これらの前縁スナッパ 21b、22b…と後縁スナッパ 21c、22c…と翼部先端 11a、12a…とからなる結合手段に第 1 接触面部 F 及び第 2 接触面部 G が形成されると共に、隣接翼近接面部 H が形成された点である。

【0069】

すなわち、第 1 の実施の形態においては、結合手段である第 1 接触面部 F を構成する接触面 11f、12f と第 2 接触面部 G を構成する接触面 11g、12g はそれぞれシュラウド部分に設けられていたが、本実施の形態においては、結合手段のうち後縁側の第 2 接触面部 G を構成する接触面が、シュラウド部分ではなく翼部先端 11a、12a…の後縁腹側に設けられている。すなわち、本実施の形態においては、結合手段である第 1 接触面部 F と第 2 接触面部 G を、前縁スナッパ 21b、22b や後縁スナッパ 21c、22c などのシュラウド 16 および翼部先端 11a、12a…を含む翼先端部に設け、各接触面が周方向に隣接するタービン動翼 11、12、13 の翼先端部（すなわち、シュラウド 16 および翼部先端 11a、12a…を含む部分）と相対させるようにしている。

【0070】

更に、第 1 の実施の形態においては、翼先端部である前縁スナッパ 21b、22b および後縁スナッパ 21c、22c に設けられた第 1 接触面部 11f、12f は、第 2 接触面部 11g、12g よりもタービンロータ 14（回転軸）の軸方向下流側に設けられているが、本実施の形態においては、翼先端部に設けられた第 1 接触面部 F を構成する接触面がそれぞれ、第 2 接触面部 G を構成する接触面よりもタービンロータ 14（回転軸）の軸方向上流側（入口側）にそれぞれ設けられている。

【0071】

詳述すると、第 1 接触面部 F は、タービン動翼 11、12…のうち、任意の例えばタービン動翼 12 における前縁スナッパ 22b の前縁側端面である接触面 22f と、このタービン動翼 12 の前縁側に隣接する例えばタービン動翼 11 の後縁スナッパ 21c の後縁側端面である接触面 21f により形成される（図 12（B））。これらの接触面 22f 及び 21f は、半径方向外側から見て、タービンロータ 14（回転軸）の軸方向上流側から下流側（入口側から出口側）へ向かって、タービンの回転方向 U に対し鋭角 α を成し、相対して平坦な形状に形成される。

【0072】

なお、本実施の形態においては更に、例えば第 1 接触面部 F を構成する前縁スナッパ 22b の接触面 22f の翼部先端 12a 側と、後縁スナッパ 21c の接触面 21f の翼部先端 11a 側に、接触面 21f、22f の接触によって作用する接触反力に伴う応力集中を緩和するための凹部 22r、21r がそれぞれ設けられている。

【0073】

また、第 2 接触面部 G は、タービン動翼 11、12…のうち、任意の例えばタービン動翼 12 における前縁スナッパ 22b の、接触面 22f よりもタービンロータ 14（回転軸）の軸方向下流側に設けられた突出部先端面 22g と、このタービン動翼 12 の前縁側に隣接する例えばタービン動翼 11 の翼部先端 11a の後縁腹側面 21ga とにより形成される（図 12（C））。これらの接触面としての突出部先端面 22g 及び後縁腹側面 21ga は、半径方向外側から見て、タービンロータ 14（回転軸）の軸方向上流側から下流

側（入口側から出口側）へ向かって、タービンの回転方向Uに対し鈍角 β を成し、相対して平坦な形状に形成される。なお、図11、12において、回転軸（タービンロータ14）の軸方向は回転方向Uと直交する方向である。

【0074】

タービン停止時であるタービン動翼11、12…の組付け状態で、第1接触面部Fを構成する接触面21fと接触面22fとの間に間隙Dfが設けられて、両接触面21fと接触面22fは分離状態に設定される。また、第2接触面部Gを構成する後縁腹側面21gaと突出部先端面22gとは、タービン動翼11、12…の組付け時に接触して設けられ、後縁腹側面21gaと突出部先端面22gとの間の間隙Dgは、 $Dg = 0$ に設定される。更に、このタービン動翼11、12…の組付け状態で、後縁腹側面21gaと突出部先端面22gは押し付けられて構成され、これらの後縁腹側面21ga、突出部先端面22gに接触反力が生ずる。

10

【0075】

そして、タービン回転数の上昇過程で、タービン動翼11、12…に作用する遠心力による翼部15の捻り戻り力（アンツイスト力）によって、図11に示すように、第2接触面部Gは接触状態から分離状態へ移行して、第2接触面部G及び第1接触面部Fが分離状態となり、その後、第1接触面部Fは分離状態から接触状態へ移行する。また、タービン回転数の下降過程では、タービン動翼11、12…に作用する翼部15の捻り力によって、第1接触面部Fは接触状態から分離状態へ移行して、第1接触面部F及び第2接触面部Gが分離状態となり、その後、第2接触面部Gは分離状態から接触状態へ移行する。

20

【0076】

具体的には、タービン動翼11、12…の組付け時において、第1接触面部Fでは、図12（A）及び（B）に示すように、互いに相対する平坦な平行面をなす、例えばタービン動翼11の後縁スナッパ21cの接触面21fと、タービン動翼11に対し後縁側に隣接するタービン動翼12の前縁スナッパ22bの接触面22fが、予め定められた間隙Dfを保つように組み付けられる。一方、第2接触面部Gでは、図12（A）及び（C）に示すように、例えばタービン動翼12の前縁スナッパ22bの突出部先端面22gを、タービン動翼11の翼部先端11aの後縁腹側面21gaに接触させて、初期接触反力を持たせた状態で組み付けられる。

【0077】

タービン回転数が上昇を開始すると、第2接触面部Gでは、互いに接触している前縁スナッパ22bの突出部先端面22gとタービン動翼11の翼部先端11aの後縁腹側面21gaとの接触反力が徐々に低下し、予め定められたある回転数において、接触反力がゼロになり、これらの突出部先端面22gと後縁腹側面21gaは分離し始める。一方、第1接触面部Fでは、予め定められたある回転数において、図13（A）及び（B）に示すように、後縁スナッパ21cの接触面21fと前縁スナッパ22bの接触面22fとが接触を開始し、第1接触面部Fによる拘束が始まる。このとき、図13（A）及び（C）に示すように、第2接触面部Gでは、この第1接触面部Fの拘束によって間隙Dgの値が一定に保持される。タービン回転数のそれ以降の上昇過程では、第1接触面部Fでは接触反力が増大して行くが、第2接触面部Gの間隙Dgは一定の値に維持される。尚、タービン回転数の下降時は、上述の説明と逆の動作となる。

30

40

【0078】

ところで、タービン動翼11、12…を含むタービン部品の製作・組付け・運転の各段階においては、理想状態からある程度のばらつきが発生することは避けられない。例えば、タービン動翼11、12…の製作時における僅かな曲げや捻り変形の発生は、タービン動翼11、12…の組付け時に隣接部品間の間隙のばらつきとなって現れる。

【0079】

このようなばらつきが、タービン動翼11、12…の組付け時の第1接触面部Fで発生した場合を考察する。即ち、図14に示すように、タービン動翼11、12…の組付け状態のばらつきによって、例えばタービン動翼12がタービン動翼11側に僅かに傾き、タ

50

ービン動翼 1 2 の前縁側の第 1 接触面部 F の間隙 Df_1 よりも、タービン動翼 1 2 の後縁側の第 1 接触面部 F の間隙 Df_2 の方が大きくなっているとす。

【0080】

このままタービン回転数が上昇すると、図 1 5 に示す回転中の状態において、間隙 Df_1 側の第 1 接触面部 F が接触を開始して、タービン動翼 1 2 の前縁スナッパ 2 2 b における接触面 2 2 f に接触反力 F_c が作用し、この接触反力 F_c の軸方向成分 F_a は、タービン動翼 1 2 を軸方向後側（出口側）に倒す方向に作用する。しかし、この場合、第 2 接触面部 G を構成する前縁スナッパ 2 2 b の突出部先端面 2 2 g がタービン動翼 1 1 の翼部先端 1 1 a の後縁腹側面 2 1 g a に接触しているので、タービン動翼 1 2 が軸方向後側に倒れる前に、後縁腹側面 2 1 g a から突出部先端面 2 2 g に接触反力 f_c が作用し、この接触反力 f_c の軸方向成分 f_a は、前記軸方向成分 F_a を相殺する方向に働く。即ち、第 1 接触面部 F の間隙 Df の組付け時に生ずるばらつきによって発生するタービン動翼 1 1、1 2 … の軸方向後側の倒れは、第 2 接触面部 G の、最初はゼロに設定されている間隙 Dg によって抑制されることになる。

10

【0081】

更に詳説すると、図 1 4 に示すように、タービン動翼 1 1、1 2 … の組付け時には、例えばタービン動翼 1 2 の前縁スナッパ 2 2 b の突出部先端面 2 2 g が、前縁側に隣接する例えばタービン動翼 1 1 の翼部先端 1 1 a における後縁腹側 2 1 g a に押し付けられた状態となっている。従って、図 1 4 のタービン停止状態では、突出部先端面 2 2 g と後縁腹側 2 1 g a との間には、接触反力 f_c が図 1 5 に示すように、これらの面 2 2 g、2 1 g a に垂直方向に既に作用していることになる。この接触反力 f_c の周方向成分 f_t は、タービン動翼 1 2 を反回転方向に押すが、軸方向成分 f_a は、タービン動翼 1 2 を軸方向上流側（入口側）に倒す成分となる。

20

【0082】

このタービン停止時からタービン回転数が上昇すると、図 1 5 のように、間隙 Df_1 側の第 1 接触面部 F が接触を開始して、タービン動翼 1 2 の前縁スナッパ 2 2 b は、タービン動翼 1 1 の後縁スナッパ 2 1 c からの接触反力 F_c を受け、その軸方向成分 F_a は、タービン動翼 1 2 を軸方向下流側（出口側）に倒す方向に作用する。ところが、第 2 接触面部 G に作用する前記接触反力 f_c の軸方向成分 f_a が、回転上昇開始時から軸方向成分 F_a を相殺するように作用することになる。このとき、タービン動翼 1 2 の前縁側の第 1 接触面部 F の間隙 Df_2' はタービン停止時の間隙 Df_2 よりも小さな値となる。尚、タービン動翼 1 1、1 2 … の組付け時に第 2 接触面部 G の押付力 E を大きく設定すれば、軸方向成分 f_a による軸方向成分 F_a の相殺効果を更に高めることが可能になる。

30

【0083】

また、前記接触反力 F_c の周方向成分 F_t はタービン回転方向 U の反対方向に作用し、タービン動翼 1 2 の回転方向 U 側（つまりタービン動翼 1 1 側）への傾きを修正する方向となっている。更に、第 2 接触面部 G での接触反力 f_c の周方向成分 f_t が上記周方向成分 F_t に加算されるため、タービン動翼 1 2 の回転方向 U への傾きに対する修正力が更に大きくなる。

【0084】

一方、例えばタービン動翼 1 2 がタービン動翼 1 3 側に僅かに傾き、タービン動翼 1 2 の前縁側の第 1 接触面部 F の間隙 Df_1 が、タービン動翼 1 2 の後縁側の第 1 接触面部 F の間隙 Df_2 によりも大きくなっている場合には、タービン回転数が上昇すると、間隙 Df_2 側の第 1 接触面部 F が接触を開始し、タービン動翼 1 2 の後縁スナッパ 2 2 c にタービン動翼 1 3 の前縁スナッパ 2 3 b からの接触反力 F_c （図 1 5 の 1 点鎖線表示）が作用し、この接触反力 F_c の軸方向成分がタービン動翼 1 2 を軸方向前側（入口側）へ倒す方向に作用する。しかし、このとき、タービン動翼 1 3 の前縁スナッパ 2 3 b における突出部先端面 2 3 g とタービン動翼 1 2 の翼部先端 1 2 a における後縁腹側面 2 2 g a とが一旦は離反した後に接触して、突出部先端面 2 3 g から後縁腹側面 2 2 g a へ接触反力 f_c （図 1 5 の 1 点鎖線表示）が作用する。この接触反力 f_c の軸方向成分は前記接触反力 F

40

50

cの軸方向成分を相殺することになるので、タービン動翼12の軸方向前側（入口側）への倒れが抑制されることになる。

【0085】

ところで、図10及び図11に示す隣接翼近接面部Hは、任意のタービン動翼11、12…のうち、例えばタービン動翼11における第1接触面部Fを形成する後縁スナッパ21cの第1接触面部Fを構成する接触面21fよりもタービンロータ14（回転軸）の軸方向上流側に設けられた突出部先端面21h（図12（D）、図13（D））と、タービン動翼11に対し後縁側に隣接するタービン動翼12における翼部先端12aの前縁背側面22h（図12（D）、図13（D））とにより、間隙Dhを有して形成される。この隣接翼近接面部Hの相対する突出部先端面21hと前縁背側面22hにより形成される間隙Dhは、タービン動翼11、12…のタービン定格回転数において所定の値に設定されると共に、タービン組付け状態においても、ゼロ以外の値に設定される。

10

【0086】

この隣接翼近接面部Hは、例えばタービン動翼11の後縁スナッパ21cが遮蔽部材となって、図13（A）及び（D）のタービン動翼12の前縁スナッパ22bにおける突出部根元部22r（前述の凹部22rと同一）に生じ易い、周方向に飛来するドレン（図11の矢印W方向）による浸食の発生とその進行を抑制することが可能となる。この作用は、特に排気室スプレー作動中のようなタービン低負荷運転時において有効である

図10及び図12に示すように、タービン動翼11、12…の組付け状態においては、隣接翼近接面部Hは、第1接触面部F及び第2接触面部Gと共に、タービン動翼11、12…の外表面に表れているので、第1接触面部F、第2接触面部G、隣接翼近接面部Hのそれぞれの間隙値を簡単に測定でき、これらの第1接触面部F、第2接触面部G、隣接翼近接面部Hの組付け時のばらつきを容易に発見できる。その結果に基づいて修正作業を適正に行うことにより、第1接触面部F、第2接触面部G、隣接翼近接面部Hの各間隙のばらつきを最小に抑えた、より信頼性の高いタービンを提供することが可能となる。

20

【0087】

従って、本実施の形態によれば、前記第1実施の形態の効果（1）～（4）と同様な効果を奏するほか、次の効果（5）～（8）を奏する。

【0088】

（5）第2接触面部Gにおける接触面の一つが、タービン動翼11、12…における翼部先端11a、12a…の後縁腹側面、例えば翼部先端11aの後縁腹側面21gaであるため、前縁スナッパ21b、22b…及び後縁スナッパ21c、22c…を最小面積に構成できる。このため、前縁スナッパ21b、22b…及び後縁スナッパ21c、22c…に生ずる遠心力を大幅に低減できるので、タービン動翼11、12…の翼部先端11a、12a…から前記スナッパが突出する根元部分の応力を低減でき、この結果、信頼性の高いタービン動翼11、12…を実現できる。

30

【0089】

（6）第1接触面部Fが前縁スナッパ21b、22b…と後縁スナッパ21c、22c…間に形成され、第2接触面部Gが前縁スナッパ21b、22b…と翼部先端11a、12a…間に形成されたので、第1接触面部Fにおける接触面、例えば接触面22f、21fの接触長さを十分に確保できる。このため、第1接触面部Fの接触面に生ずる応力を低減できる。

40

【0090】

（7）第2接触面部Gは、タービン動翼11、12…の組付け状態で、相対する接触面である前縁スナッパ21b、22b…の突出部先端面（例えば突出部先端面22g）と、翼部先端11a、12a…の後縁腹側面（例えば後縁腹側面21ga）とが押し付けられて構成されている。このため、現実には避けがたい、第1接触面部Fにおけるタービン動翼11、12…組付け時の間隙Dfのばらつきを、第2接触面部Gの押付力（接触反力fc）による復元作用によって、タービン回転数の上昇前または上昇中に修正することができる。この結果、タービン定格回転数において、設計状態により近い翼列を実現できる。

50

【0091】

尚、この効果（7）は、前記第1の実施の形態においても、タービン動翼11、12…の組付け状態において第2接触面部Gの接触面（例えば接触面11g、12g）が押し付けられて構成されているので、同様に効果を奏する。

【0092】

（8）例えばタービン動翼11の、第1接触面部Fを構成する後縁スナッパ21cの突出部先端面21hと、タービン動翼11に対して後縁側に隣接するタービン動翼12の翼部先端12aの前縁背側22hとにより、間隙Dhを有する隣接翼近接面部Hが設けられる。この隣接翼近接面部Hは、後縁スナッパ21c、22c…の形状から、前縁スナッパ21b、22b…の突出部根元部（例えば突出部根元部22r）に生じる、図11の矢印W方向に飛来するドレンによる浸食の発生と進行を防止することができる。

10

【0093】

また、タービン動翼11、12…の組付け時における隣接翼近接面部Hの間隙Dhは、第1接触面部Fの間隙Df及び第2接触面部Gの間隙Dgと同様に、タービン動翼11、12…の組付け状態の良否の指標として有効であると共に、この狭い間隙Dhは、タービン回転数の上昇によってタービン動翼11、12…が異常に振動現象を起こした場合に、これらの突出部先端面21hと前縁背側22hが衝突することによって制振効果を発揮できる。

【図面の簡単な説明】

【0094】

20

【図1】本発明に係るタービン動翼組立体における第1の実施の形態の一部を拡大し、各タービン動翼の組付け状態を示す一部拡大斜視図。

【図2】図1のタービン動翼組立体のうち、複数のシュラウドにおけるタービン停止状態を半径方向外側から見た正面図。

【図3】図1のタービン動翼組立体のうち、複数のシュラウドにおけるタービン回転数上昇中の状態を半径方向外側から見た正面図。

【図4】図1のタービン動翼組立体のうち、複数のシュラウドにおけるタービン定格回転状態を半径方向外側から見た正面図。

【図5】図2～図4のシュラウドにおける各接触面部の接触面移動方向を説明する説明図。

30

【図6】図2～図4の各接触面部に作用する接触反力とタービン回転数との関係を示すグラフ。

【図7】図1のタービン動翼におけるキャンベル線図。

【図8】図2～図4の各接触面部の隙間とタービン回転数との関係を示すグラフ。

【図9】図2～図4の第1接触面部におけるタービン停止状態での間隙寸法と接触開始回転数との関係を示すグラフ。

【図10】本発明に係るタービン動翼組立体における第2の実施の形態のうち、複数のシュラウドのタービン停止状態を半径方向外側から見た正面図。

【図11】図10の複数のシュラウドにおけるタービン定格回転状態を半径方向外側から見た正面図。

40

【図12】（A）は、図10の一部を拡大して示す拡大図、（B）、（C）、（D）は、図12（A）における第1接触面部、第2接触面部、隣接翼近接面部を更に拡大して示す拡大図。

【図13】（A）は、図11の一部を拡大して示す拡大図、（B）、（C）、（D）は、図13（A）における第1接触面部、第2接触面部、隣接翼近接面部をそれぞれ拡大して示す拡大図。

【図14】第1接触面部の間隙が異なる場合を示す、図10（タービン停止状態）に対応する複数のシュラウドの正面図。

【図15】第1接触面部の間隙が異なる図14の場合において、タービン回転数が接触開始回転数近傍となった状態を示す複数のシュラウドの正面図。

50

【図 1 6】タービン動翼結合装置の第 1 従来（背景）技術を備えるタービン動翼の組付け状態を示す斜視図。

【図 1 7】図 1 6 の複数のシュラウドを示し、（A）がタービン停止状態、（B）がタービン定格回転状態のそれぞれ正面図。

【図 1 8】図 1 7 のシュラウドに作用する接触反力とアンツイスト力とタービン回転数との関係を示すグラフ。

【図 1 9】図 1 6 及び図 1 7 のタービン動翼におけるキャンベル線図。

【図 2 0】タービン動翼結合装置の第 2 従来（背景）技術を備える複数のシュラウドを示し、（A）はタービン停止状態、（B）はタービン低回転状態、（C）はタービン定格回転状態のそれぞれ正面図。

【図 2 1】タービン動翼結合装置の第 3 従来（背景）技術を備える複数のシュラウドを示し、（A）はタービン停止状態、（B）はタービン低回転状態、（C）はタービン定格回転状態のそれぞれ正面図。

【図 2 2】タービン動翼結合装置の第 4 従来（背景）技術を備える複数のシュラウド示し、（A）はタービン停止状態、（B）はタービン低回転状態、（C）はタービン定格回転状態のそれぞれ正面図。

【図 2 3】タービン動翼結合装置の第 2 ～第 4 従来技術における接触反力とタービン回転数との関係を示すグラフ。

【図 2 4】図 2 0 乃至図 2 2 のタービン動翼におけるキャンベル線図。

【図 2 5】図 1 7 に示すタービン動翼結合装置の第 1 従来技術において、タービン停止状態における接触面間隙が異なる場合を示す複数のシュラウドの正面図。

【図 2 6】図 2 5 のタービン停止状態からタービン回転数が接触開始回転数近傍まで上昇したときの状態を示す複数のシュラウドの正面図。

【符号の説明】

【0095】

10 タービン動翼組立体

11、12…タービン動翼

11a、12a… 翼部先端

11b、12b… 前縁スナッパ

11c、12c… 後縁スナッパ

11f、12f… 接触面

11g、12g… 接触面

16 シュラウド

20 タービン動翼組立体

21b、22b… 前縁スナッパ

21c、22c、… 後縁スナッパ

21f、22f… 接触面

21ga 後縁腹側面

22g 突出部先端面

21h 突出部先端面

22h 前縁背側面

F 第 1 接触面部

G 第 2 接触面部

H 隣接翼近接面部

Df 間隙

Dg 間隙

Dh 間隙

Rc 接触開始回転数

r2 分離回転数

α 鋭角

10

20

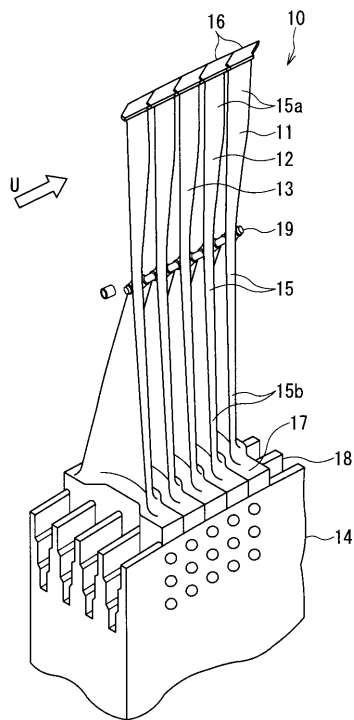
30

40

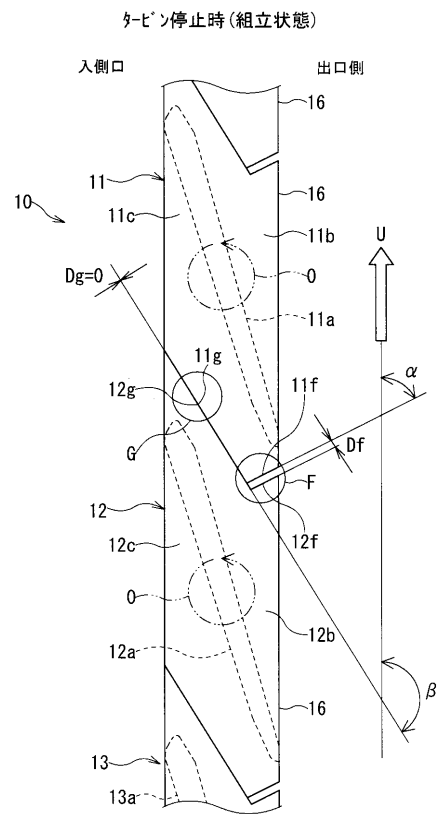
50

β 鈍角

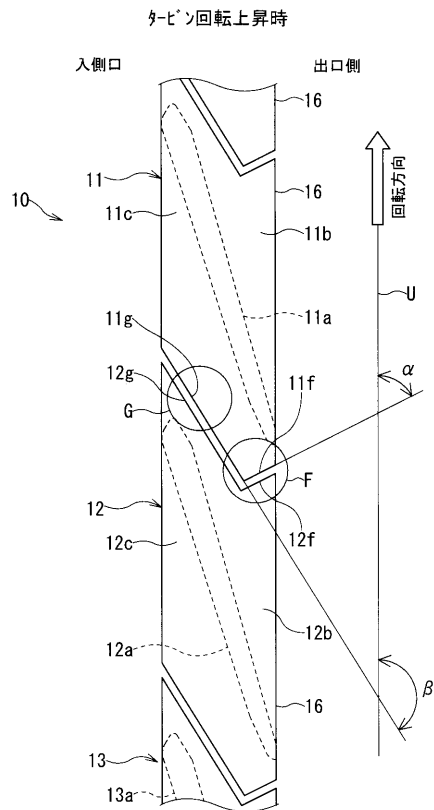
【図 1】



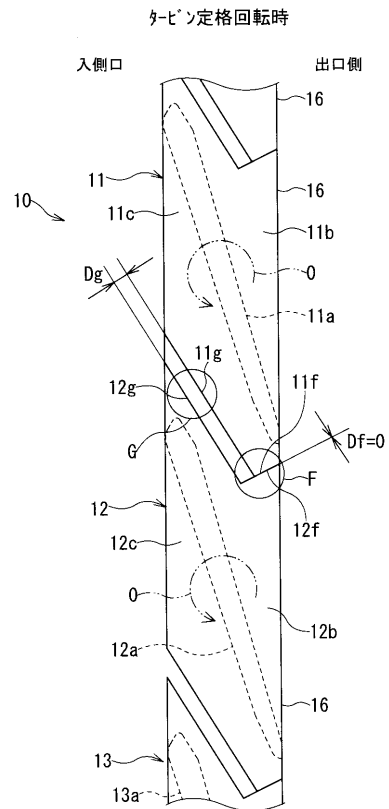
【図 2】



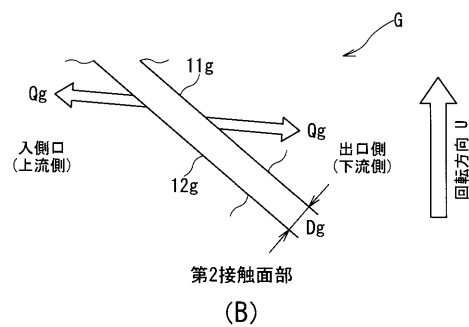
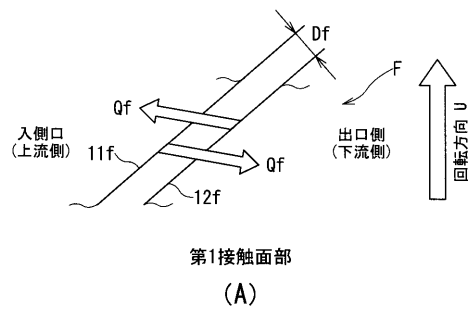
【図 3】



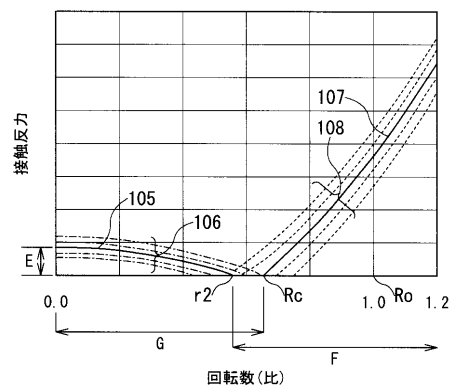
【図 4】



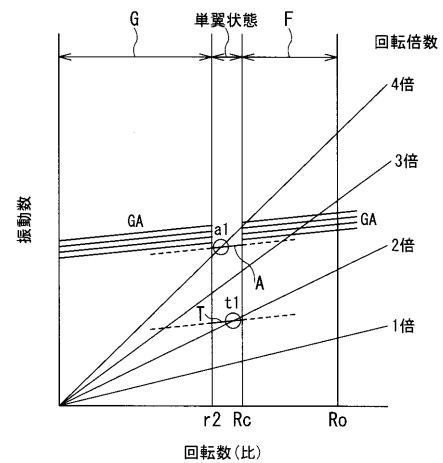
【図 5】



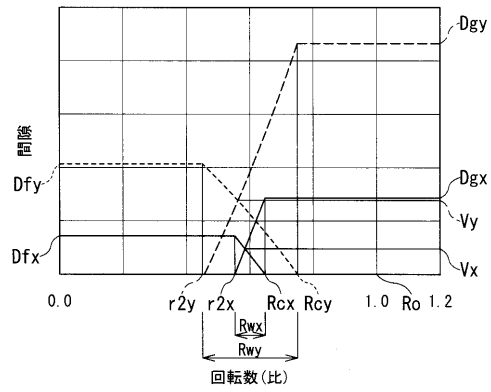
【図 6】



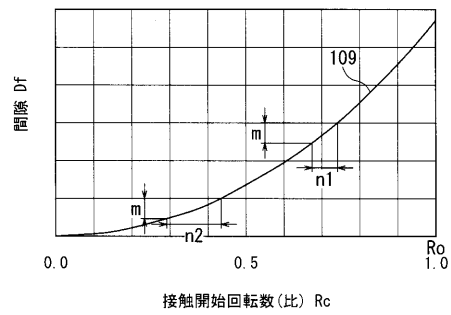
【図 7】



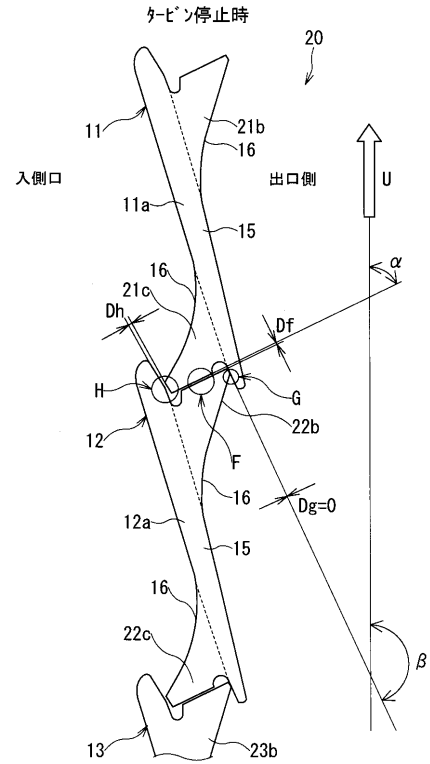
【図 8】



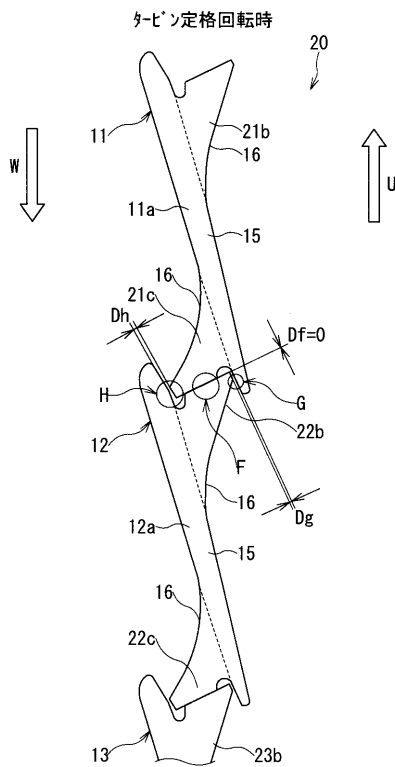
【図 9】



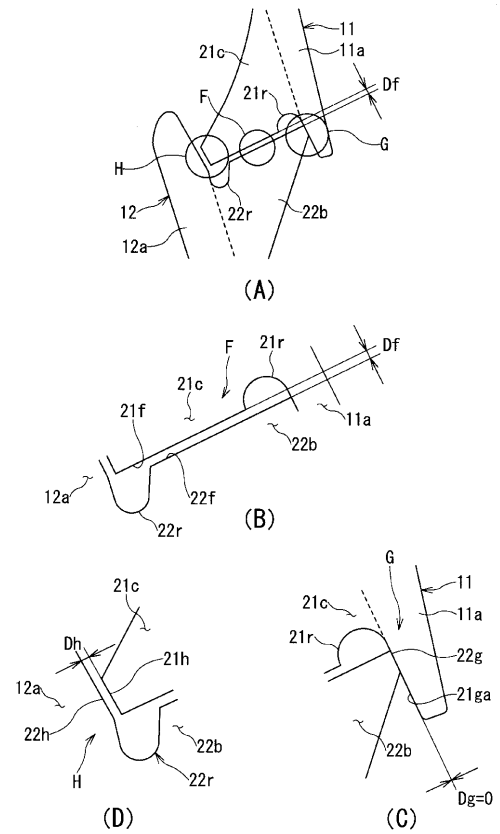
【図 10】



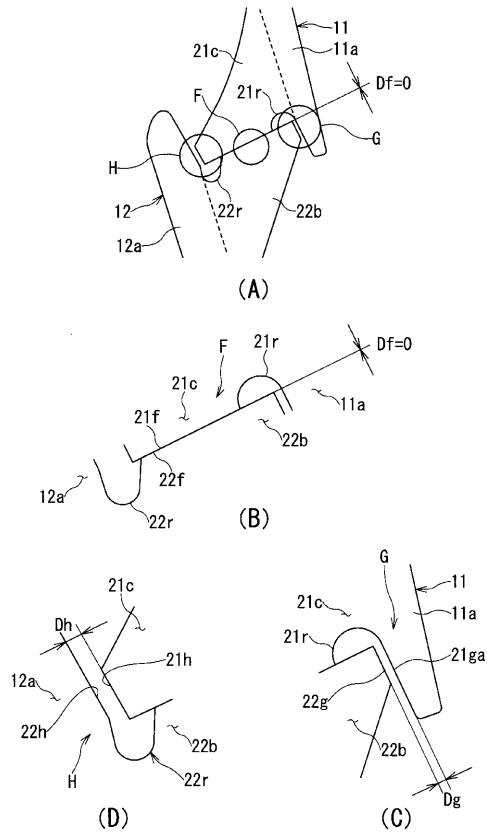
【図 11】



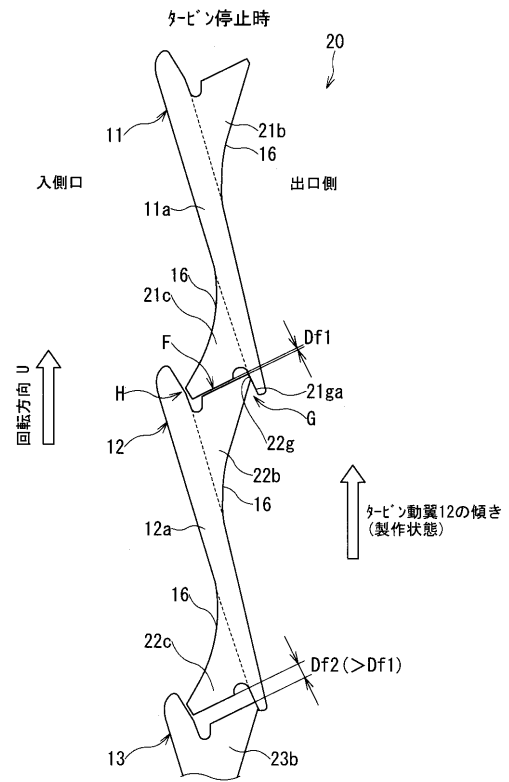
【図 12】



【図 13】

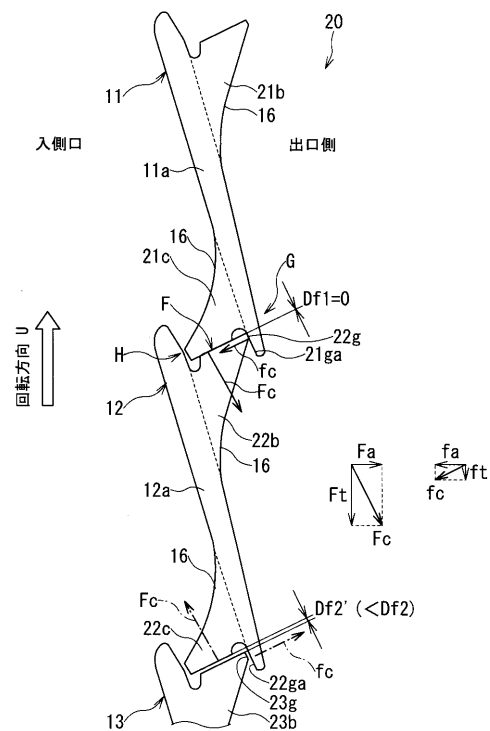


【図 14】

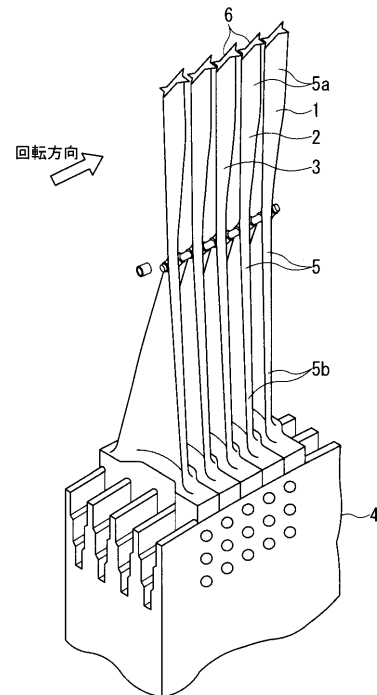


【図 15】

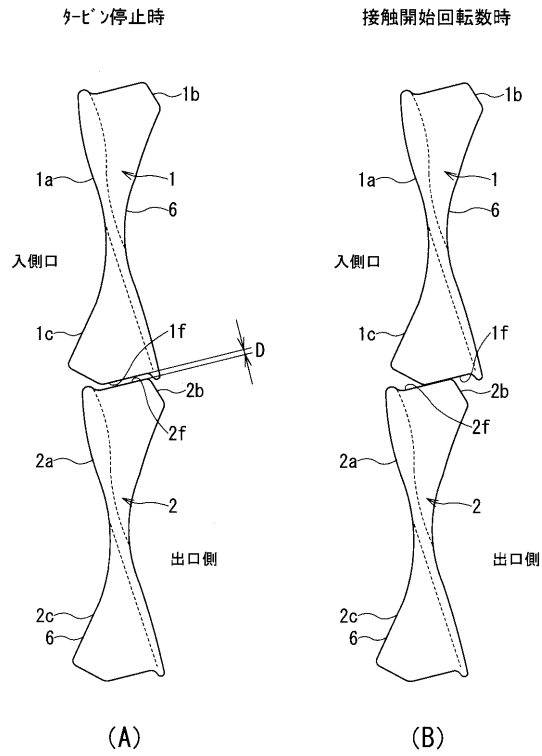
タービン回転中(第1接触面部の接触開始回転数近傍)



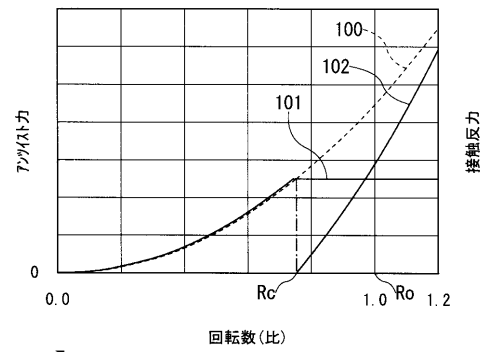
【図 16】



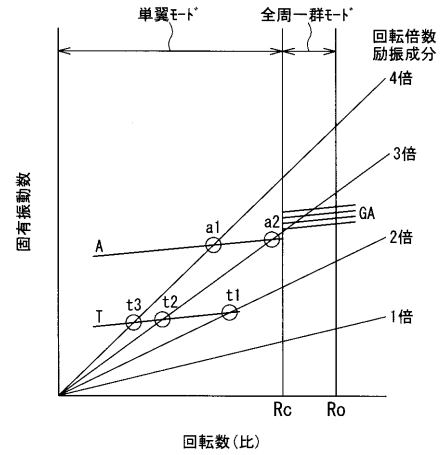
【図 17】



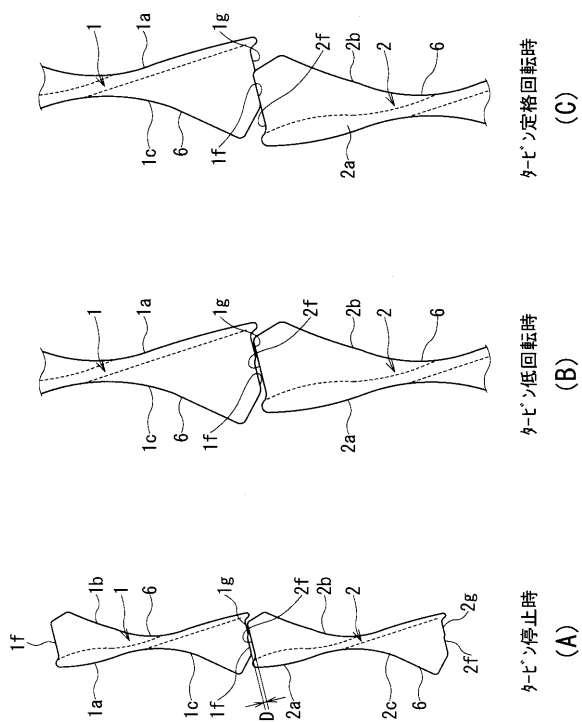
【図 18】



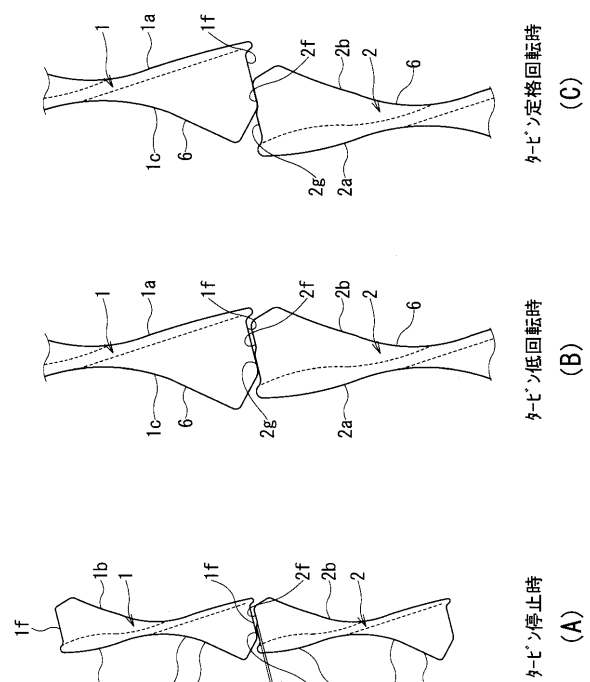
【図 19】



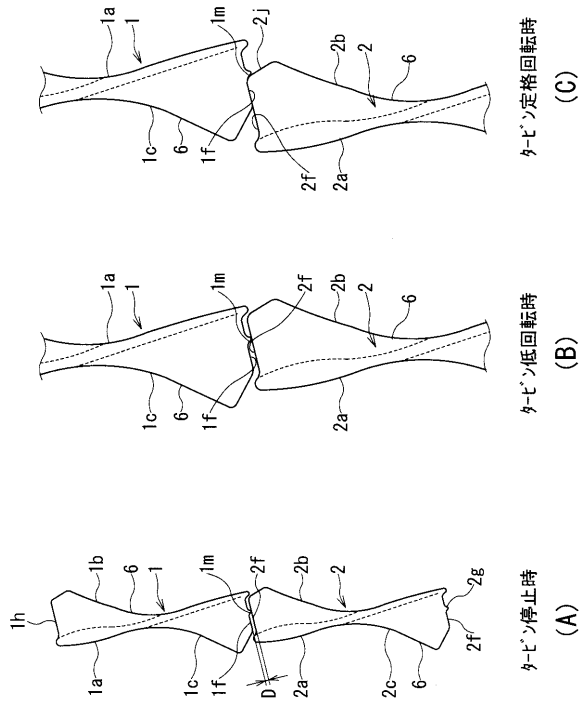
【図 20】



【図 21】



【図 2 2】



フロントページの続き

(72)発明者 岩井 昌彦

東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

Fターム(参考) 3G002 BA02 BB03 DA03