

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6432110号
(P6432110)

(45) 発行日 平成30年12月5日(2018.12.5)

(24) 登録日 平成30年11月16日(2018.11.16)

(51) Int.Cl.	F 1
FO2C 7/18 (2006.01)	FO2C 7/18 E
FO2C 6/08 (2006.01)	FO2C 7/18 A
FO1D 25/12 (2006.01)	FO2C 6/08
FO1D 5/08 (2006.01)	FO1D 25/12 E
FO1D 5/18 (2006.01)	FO1D 5/08

請求項の数 7 (全 24 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2014-175185 (P2014-175185)
 (22) 出願日 平成26年8月29日 (2014.8.29)
 (65) 公開番号 特開2016-50494 (P2016-50494A)
 (43) 公開日 平成28年4月11日 (2016.4.11)
 審査請求日 平成29年7月6日 (2017.7.6)

(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 100134544
 弁理士 森 隆一郎
 (74) 代理人 100064908
 弁理士 志賀 正武
 (74) 代理人 100108578
 弁理士 高橋 詔男
 (74) 代理人 100126893
 弁理士 山崎 哲男
 (74) 代理人 100149548
 弁理士 松沼 泰史

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】ガスタービン

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

空気を圧縮する圧縮機と、

前記圧縮機で圧縮された空气中で燃料を燃焼させて燃焼ガスを生成する燃焼器と、

前記燃焼ガスにより駆動するタービンと、

中圧抽気管と、

を備え、

前記圧縮機は、前記圧縮機の中間段から空気を冷却空気として抽気する抽気ポートを有し、

前記タービンは、ロータ軸と、前記ロータ軸の外周に取り付けられた複数の動翼を備えて前記ロータ軸の軸方向に並ぶ複数の動翼列と、複数の前記動翼列毎の軸方向上流側に配置されている複数の静翼列と、を有し、

前記中圧抽気管は、前記抽気ポートに接続されている中圧抽気本管と、前記中圧抽気本管に接続されている静翼用中圧抽気管及び動翼用中圧抽気管と、を有し、

前記ロータ軸には、

前記動翼用中圧抽気管に連通し、前記軸方向に延びる軸方向通路と、

前記軸方向通路に接続され、前記軸方向通路との接続部から前記ロータ軸の径方向外側に延びる強制渦通路と、

前記強制渦通路における径方向外側の端部に接続され、複数の前記動翼列のうちの第一動翼列に前記冷却空気を導く第一翼列通路と、

10

20

前記強制渦通路における径方向外側の端部に接続され、複数の前記動翼列のうちの第二動翼列に前記冷却空気を導く第二翼列通路と、
が形成され、

複数の前記静翼列のうち、前記軸方向における前記第一動翼列と前記第二動翼列との間の静翼列には、前記静翼用中圧抽気管が接続されている、
ガスタービン。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のガスタービンにおいて、
前記強制渦通路は、複数の前記動翼列のうちで、前記軸方向における燃焼ガスの流れの最も下流側に配置されている第三動翼列の下流側に形成されている、
ガスタービン。 10

【請求項 3】

請求項 1 に記載のガスタービンにおいて、
前記第二翼列通路を通る前記冷却空気の圧力を調節する手段を有する、
ガスタービン。

【請求項 4】

請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載のガスタービンにおいて、
前記ロータ軸には、前記強制渦通路における径方向外側の端部に接続され、複数の前記動翼列のうちで、前記軸方向における燃焼ガスの流れの最も下流側に配置されている第三動翼列に前記冷却空気を導く第三翼列通路が形成されている、
ガスタービン。 20

【請求項 5】

請求項 4 に記載のガスタービンにおいて、
前記第三翼列通路を通る前記冷却空気の圧力を調節する手段を有する、
ガスタービン。

【請求項 6】

空気を圧縮する圧縮機と、
前記圧縮機で圧縮された空气中で燃料を燃焼させて燃焼ガスを生成する燃焼器と、
前記燃焼ガスにより駆動するタービンと、
を備え、 30

前記圧縮機は、前記圧縮機の中間段から空気を冷却空気として抽気する抽気ポートを有し、

前記タービンは、ロータ軸と、前記ロータ軸の外周に取り付けられた複数の動翼を備えて前記ロータ軸の軸方向に並ぶ複数の動翼列と、を有し、

前記ロータ軸には、

前記抽気ポートに接続され、前記軸方向に延びる軸方向通路と、
前記軸方向通路に接続され、前記軸方向通路との接続部から前記ロータ軸の径方向外側に延びる強制渦通路と、

前記強制渦通路における径方向外側の端部に接続され、複数の前記動翼列のうちの第一動翼列に前記冷却空気を導く第一翼列通路と、 40

前記強制渦通路における径方向外側の端部に接続され、複数の前記動翼列のうちの第二動翼列に前記冷却空気を導く第二翼列通路と、
が形成され、
さらに、

前記抽気ポートと前記軸方向通路とを接続する抽気管と、
前記抽気管に接続された抽気分岐管と、
前記抽気分岐管に接続され、前記抽気分岐管を流れてきた前記冷却空気に前記ロータ軸の回転方向の速度成分を付与する予旋回ノズルと、
を備え、
前記ロータ軸には、複数の前記動翼列のうちで、前記軸方向における燃焼ガスの流れの 50

最も下流側に配置されている第三動翼列に前記予旋回ノズルを通過した前記冷却空気を導く第三翼列通路が形成されている、
ガスタービン。

【請求項 7】

空気を圧縮する圧縮機と、

前記圧縮機で圧縮された空気中で燃料を燃焼させて燃焼ガスを生成する燃焼器と、

前記燃焼ガスにより駆動するタービンと、

を備え、

前記圧縮機は、前記圧縮機の中間段から空気を冷却空気として抽気する第一抽気ポートと、前記第一抽気ポートよりも、前記圧縮機内の前記空気の流れの上流側における中間段から空気を冷却空気として抽気する第二抽気ポートと、を有し、

前記タービンは、ロータ軸と、前記ロータ軸の外周に取り付けられた複数の動翼を備えて前記ロータ軸の軸方向に並ぶ複数の動翼列と、を有し、

前記ロータ軸には、

前記第一抽気ポートに接続され、前記軸方向に延びる第一軸方向通路と、

前記第一軸方向通路に接続され、前記第一軸方向通路との接続部から前記ロータ軸の径方向外側に延びる第一強制渦通路と、

前記第一強制渦通路における径方向外側の端部に接続され、複数の前記動翼列のうちの第一動翼列に前記冷却空気を導く第一翼列通路と、

前記第一強制渦通路における径方向外側の端部に接続され、複数の前記動翼列のうちの第二動翼列に前記冷却空気を導く第二翼列通路と、

前記第二抽気ポートに接続され、前記第一軸方向通路よりも径方向外側で、前記軸方向に延びる第二軸方向通路と、

前記第二軸方向通路に接続され、複数の前記動翼列のうちで、前記軸方向における燃焼ガスの流れの最も下流側に配置されている第三動翼列よりも下流側で、前記第二軸方向通路との接続部から径方向外側に延びる第二強制渦通路と、

前記第二強制渦通路における径方向外側の端部に接続され、前記第三動翼列に前記冷却空気を導く第三翼列通路と、

が形成されている、

ガスタービン。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ガスタービンに関する。

【背景技術】

【0002】

ガスタービンは、大気を圧縮して圧縮空気を生成する圧縮機と、この圧縮空気中で燃料を燃焼させて燃焼ガスを生成する燃焼器と、燃焼ガスにより駆動するタービンと、を備えている。タービンは、軸線を中心として回転するタービンロータと、タービンロータを覆うタービン車室と、を有している。タービンロータは、軸線を中心として、軸線が延びる軸方向に延在するロータ軸と、このロータ軸に固定されている複数の動翼列と、を有する。複数の動翼列は、軸方向に並んでいる。動翼列は、軸線を基準とした周方向に並ぶ複数の動翼を有している。

【0003】

タービンの動翼は、高温の燃焼ガスに接するため、なんらかの方法で冷却することが多い。例えば、以下の特許文献1では、圧縮機から抽気した空気を、動翼の冷却空気として利用している。この特許文献1に記載のロータ軸には、圧縮機からの冷却空気が流れ込む軸方向に長い空洞であるロータボアチューブと、第一段動翼列と第二段動翼列との間の軸方向の位置でロータボアチューブから径方向外側に向かって延びる第一強制渦流発生用通路と、第二段動翼列と第三段動翼列との間の軸方向の位置でロータボアチューブから径方

10

20

30

40

50

向外側に向かって延びる第二強制渦流発生用通路と、第一強制渦発生用通路を通過した冷却空気を第一段動翼列に導く第一通路と、第二強制渦発生用通路を通過した冷却空気を第二段動翼列に導く第二通路と、が形成されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2009-275705号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上記特許文献1に記載の技術では、圧縮機からの冷却空気を供給する複数の動翼列毎に、径方向外側に延びる通路を形成している。このため、上記特許文献1に記載の技術では、ロータ軸が伸長化し、タービンロータの振動特性が低下すると共に、タービンの空力性能が低下する、という問題点がある。

【0006】

そこで、本発明は、圧縮機からの冷却空気で動翼を冷却しつつも、ロータの振動特性の低下を抑えることができるガスタービン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】

【0007】

前記問題点を解決するための発明に係る一態様としてのガスタービンは、
空気を圧縮する圧縮機と、前記圧縮機で圧縮された空气中で燃料を燃焼させて燃焼ガスを生成する燃焼器と、前記燃焼ガスにより駆動するタービンと、中圧抽気管と、を備え、前記圧縮機は、前記圧縮機の中間段から空気を冷却空気として抽気する抽気ポートを有し、

前記タービンは、ロータ軸と、前記ロータ軸の外周に取り付けられた複数の動翼を備えて前記ロータ軸の軸方向に並ぶ複数の動翼列と、複数の前記動翼列毎の軸方向上流側に配置されている複数の静翼列と、を有し、前記中圧抽気管は、前記抽気ポートに接続されている中圧抽気本管と、前記中圧抽気本管に接続されている静翼用中圧抽気管及び動翼用中圧抽気管と、を有し、前記ロータ軸には、前記動翼用中圧抽気管に連通し、前記軸方向に延びる軸方向通路と、前記軸方向通路に接続され、前記軸方向通路との接続部から前記ロータ軸の径方向外側に延びる強制渦通路と、前記強制渦通路における径方向外側の端部に接続され、複数の前記動翼列のうちの第一動翼列に前記冷却空気を導く第一翼列通路と、

前記強制渦通路における径方向外側の端部に接続され、複数の前記動翼列のうちの第二動翼列に前記冷却空気を導く第二翼列通路と、が形成され、複数の前記静翼列のうち、前記軸方向における前記第一動翼列と前記第二動翼列との間の静翼列には、前記静翼用中圧抽気管が接続されている。

【0008】

当該ガスタービンでは、ロータ軸に形成され、径方向に延びる強制渦通路の数を少なくすることができる。このため、当該ガスタービンでは、強制渦通路の形成に伴うロータ軸の伸長化を抑えることができ、ロータの振動特性の悪化を抑えることができる。また、当該ガスタービンでは、強制渦通路の形成に伴う複数の段間の距離の伸張化を抑えることができ、タービンの空力性能の低下を抑えることができる。

【0009】

また、前記問題点を解決するための発明に係る第二態様としてのガスタービンは、前記強制渦通路は、複数の前記動翼列のうちで、前記軸方向における燃焼ガスの流れの最も下流側に配置されている第三動翼列の下流側に形成されてもよい。この場合、前記第一動翼列及び前記第二動翼列は、複数の前記動翼列のうちで最も下流側の第三動翼列よりも上流側に設けられている。

【0010】

当該ガスタービンでは、全ての段間の距離の伸張化を抑えることができる。また、当該

10

20

30

40

50

ガスタービンでは、ロータ軸を分解しなくても、強制渦通路の径方向外側端部にアクセスすることができる。よって、当該ガスタービンでは、強制渦通路の径方向外側端部にゴミ等の異物が溜ましても、これを容易に回収することができる。

【0011】

前記問題点を解決するための発明に係る他の態様としてのガスタービンは、
空気を圧縮する圧縮機と、前記圧縮機で圧縮された空气中で燃料を燃焼させて燃焼ガスを生成する燃焼器と、前記燃焼ガスにより駆動するタービンと、を備え、前記圧縮機は、前記圧縮機の中間段から空気を冷却空気として抽氣する抽気ポートを有し、前記タービンは、ロータ軸と、前記ロータ軸の外周に取り付けられた複数の動翼を備えて前記ロータ軸の軸方向に並ぶ複数の動翼列と、を有し、前記ロータ軸には、前記抽気ポートに接続され、前記軸方向に延びる軸方向通路と、前記軸方向通路に接続され、前記軸方向通路との接続部から前記ロータ軸の径方向外側に延びる強制渦通路と、前記強制渦通路における径方向外側の端部に接続され、複数の前記動翼列のうちの第一動翼列に前記冷却空気を導く第一翼列通路と、前記強制渦通路における径方向外側の端部に接続され、複数の前記動翼列のうちの第二動翼列に前記冷却空気を導く第二翼列通路と、が形成されている。さらに、前記抽気ポートと前記軸方向通路とを接続する抽気管と、前記抽気管に接続された抽気分岐管と、前記抽気分岐管に接続され、前記抽気分岐管を流れてきた前記冷却空気前記ロータ軸の回転方向の速度成分を付与する予旋回ノズルと、を備え、前記ロータ軸には、複数の前記動翼列のうちで、前記軸方向における燃焼ガスの流れの最も下流側に配置されている第三動翼列に前記予旋回ノズルを通過した前記冷却空気を導く第三翼列通路が形成されている。10

【0012】

当該ガスタービンでは、第一動翼列及び第二動翼列を冷却する冷却空気を強制渦通路に流入させて昇圧させているものの、第三動翼列を冷却する冷却空気に関しては、強制渦通路に流入させずに予旋回ノズルを通過させることで旋回させ、タービンロータの回転抵抗を減らしている。よって、当該ガスタービンでは、単一の抽気ポートからの抽気を冷却空気として用いることで冷却空気系統を簡略化しつつ、タービンロータの回転抵抗が小さくなり、ガスタービンの効率を高めることができる。20

【0013】

前記問題点を解決するための発明に係るさらに他の態様としてのガスタービンは、
空気を圧縮する圧縮機と、前記圧縮機で圧縮された空气中で燃料を燃焼させて燃焼ガスを生成する燃焼器と、前記燃焼ガスにより駆動するタービンと、を備え、前記圧縮機は、前記圧縮機の中間段から空気を冷却空気として抽氣する第一抽気ポートと、前記第一抽気ポートよりも、前記圧縮機内の前記空気の流れの上流側における中間段から空気を冷却空気として抽氣する第二抽気ポートと、を有し、前記タービンは、ロータ軸と、前記ロータ軸の外周に取り付けられた複数の動翼を備えて前記ロータ軸の軸方向に並ぶ複数の動翼列と、を有し、前記ロータ軸には、前記第一抽気ポートに接続され、前記軸方向に延びる第一軸方向通路と、前記第一軸方向通路に接続され、前記第一軸方向通路との接続部から前記ロータ軸の径方向外側に延びる第一強制渦通路と、前記第一強制渦通路における径方向外側の端部に接続され、複数の前記動翼列のうちの第一動翼列に前記冷却空気を導く第一翼列通路と、前記第一強制渦通路における径方向外側の端部に接続され、複数の前記動翼列のうちの第二動翼列に前記冷却空気を導く第二翼列通路と、前記第二抽気ポートに接続され、前記第一軸方向通路よりも径方向外側で、前記軸方向に延びる第二軸方向通路と、前記第二軸方向通路に接続され、複数の前記動翼列のうちで、前記軸方向における燃焼ガスの流れの最も下流側に配置されている第三動翼列よりも下流側で、前記第二軸方向通路との接続部から径方向外側に延びる第二強制渦通路と、前記第二強制渦通路における径方向外側の端部に接続され、前記第三動翼列に前記冷却空気を導く第三翼列通路と、が形成されている。3040

【0014】

複数の動翼列のうちで最下流に配置されている第三動翼列には、第一動翼列や第二動翼50

列に供給する冷却空気の圧力よりも低い圧力の冷却空気でも供給することができる。しかも、当該ガスタービンでは、圧縮機から抽気した空気を回転するロータ軸に流入させ、このロータ軸中で冷却空気の強制渦を発生させることで、冷却空気の圧力を高めてから、第三動翼列に空気供給している。このため、当該ガスタービンでは、第一抽気ポートからの空気よりも低圧の空気を第二抽気ポートから冷却空気として抽気し、これを第三動翼列の冷却空気として利用することができる。よって、当該ガスタービンでは、圧縮機で第三動翼列の冷却用の空気の圧縮比を小さくできる結果、圧縮機の駆動力を抑え、ガスタービンの効率を高めることができる。

【発明の効果】

【0015】

本発明では、圧縮機からの冷却空気で動翼を冷却しつつも、ロータ軸の伸長化を抑えてロータの振動特性の低下を抑えることができる。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】本発明に係る第一実施形態におけるガスタービンの要部切欠全体側面図である。

【図2】本発明に係る第一実施形態におけるガスタービンの要部断面図である。

【図3】本発明に係る第一実施形態における冷却空気の流れ及びその状態量を示す説明図である。

【図4】強制渦通路が形成されている回転体を示し、同図(A)は回転体の正面図であり、同図(B)は同図(A)におけるB-B線断面図である。

【図5】本発明に係る第二実施形態におけるガスタービンの要部断面図である。

【図6】本発明に係る第二実施形態における予旋回ノズルの要部斜視図である。

【図7】本発明に係る第二実施形態における冷却空気の流れ及びその状態量を示す説明図である。

【図8】本発明に係る第三実施形態におけるガスタービンの要部断面図である。

【図9】図8におけるVIII線断面図である。

【図10】本発明に係る第三実施形態における冷却空気の流れ及びその状態量を示す説明図である。

【図11】本発明に係る第三実施形態の変形例におけるガスタービンの要部断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0017】

以下、本発明に係るガスタービンの各種実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。

【0018】

「第一実施形態」

本発明に係るガスタービンの第一実施形態について、図1～図4を参照して説明する。

【0019】

本実施形態のガスタービンは、図1に示すように、空気を圧縮する圧縮機10と、圧縮機10で圧縮された空气中で燃料を燃焼させて燃焼ガスを生成する燃焼器20と、燃焼ガスにより駆動するタービン30と、圧縮機10から抽気した空気を冷却空気としてタービン30に送る抽気ライン80と、を備えている。

【0020】

圧縮機10は、図1及び図2に示すように、軸線Arを中心として回転する圧縮機ロータ11と、圧縮機ロータ11を覆う圧縮機車室15と、複数の静翼列14と、を有する。なお、以下では、軸線Arが延びる方向を軸方向Da、この軸方向Daの一方側を上流側、他方側を下流側とする。この上流側は、圧縮機10内の空気の流れの上流側でもり、タービン内の燃焼ガスの流れの上流側でもある。よって、この下流側は、圧縮機10内の空気の流れの下流側でもり、タービン30内の燃焼ガスの流れの下流側でもある。また、この軸線Arを中心とした周方向を単に周方向Dcとし、軸線Arに対して垂直な方向を径

10

20

30

40

50

方向 D r とする。圧縮機ロータ 1 1 は、その軸線 A r を中心として軸方向 D a に延びるロータ軸 1 2 と、このロータ軸 1 2 に取り付けられている複数の動翼列 1 3 と、を有する。複数の動翼列 1 3 は、軸方向 D a に並んでいる。各動翼列 1 3 は、いずれも、周方向 D c に並んでいる複数の動翼で構成されている。複数の動翼列 1 3 の各下流側には、静翼列 1 4 が配置されている。各静翼列 1 4 は、圧縮機車室 1 5 の内側に設けられている。各静翼列 1 4 は、いずれも、周方向 D c に並んでいる複数の静翼で構成されている。ロータ軸 1 2 の径方向外周側と圧縮機車室 1 5 の径方向内周側との間であって、軸方向 D a で静翼列 1 4 及び動翼列 1 3 が配置されている領域の環状の空間は、空気が流れつつ圧縮される空気圧縮流路 1 9 を成す。すなわち、この圧縮機 1 0 は、軸流多段圧縮機である。圧縮機車室 1 5 で、中間段に対応する位置には中圧抽気ポート 1 6 が形成されている。

10

【 0 0 2 1 】

タービン 3 0 は、軸線 A r を中心として回転するタービンロータ 3 1 と、タービンロータ 3 1 を覆うタービン車室 3 5 と、複数の静翼列 3 4 と、を有する。燃焼器 2 0 は、このタービン車室 3 5 の上流側の部分に固定されている。タービンロータ 3 1 は、その軸線 A r を中心として軸方向 D a に延びるロータ軸 3 2 と、このロータ軸 3 2 に取り付けられている複数の動翼列 3 3 と、を有する。複数の動翼列 3 3 は、軸方向 D a に並んでいる。各動翼列 3 3 は、いずれも、周方向 D c に並んでいる複数の動翼で構成されている。複数の動翼列 3 3 の各上流側には、静翼列 3 4 が配置されている。各静翼列 3 4 は、タービン車室 3 5 の内側に設けられている。各静翼列 3 4 は、いずれも、周方向 D c に並んでいる複数の静翼で構成されている。ロータ軸 3 2 の外周側とタービン車室 3 5 の内周側との間であって、軸方向 D a で静翼列 3 4 及び動翼列 3 3 が配置されている領域の環状の空間は、燃焼器 2 0 からの燃焼ガス G が流れる燃焼ガス流路 3 9 を成す。

20

【 0 0 2 2 】

本実施形態のタービン 3 0 の段数は、4 段である。このため、本実施形態のタービン 3 0 は、静翼列 3 4 として、第一段静翼列 3 4 a、第二段静翼列 3 4 b、第三段静翼列 3 4 c、第四段静翼列 3 4 d がある。また、本実施形態のタービン 3 0 は、動翼列 3 3 としては、第一段動翼列 3 3 a、第二段動翼列 3 3 b、第三段動翼列 3 3 c、第四段動翼列 3 3 d がある。

【 0 0 2 3 】

燃焼器 2 0 は、タービン車室 3 5 の上流側の部分に固定されている。この燃焼器 2 0 は、高温高圧の燃焼ガス G をタービン 3 0 の燃焼ガス流路 3 9 内に送る燃焼筒（又は尾筒）2 1 と、この燃焼筒 2 1 内に圧縮機 1 0 で圧縮された空気と共に燃料を噴射する燃料噴射器 2 2 と、を有する。

30

【 0 0 2 4 】

圧縮機ロータ 1 1 とタービンロータ 3 1 とは、同一軸線 A r 上に位置して互いに連結されてガスタービンロータ 1 を成す。また、圧縮機車室 1 5 とタービン車室 3 5 とは、互いに連結されてガスタービン車室 5 を成す。

【 0 0 2 5 】

抽気ライン 8 0 は、中圧抽気管 8 1 と、この中圧抽気管 8 1 に設けられている冷却器 8 6、空気調節弁 8 7、空気調節器 8 4 と、を有する。中圧抽気管 8 1 は、圧縮機 1 0 の中圧抽気ポート 1 6 に接続されている中圧抽気本管 8 2 と、中圧抽気本管 8 2 に接続されている静翼用中圧抽気管 8 3 及び動翼用中圧抽気管 8 5 と、を有する。

40

【 0 0 2 6 】

静翼用中圧抽気管 8 3 は、タービン車室 3 5 で、タービン 3 0 の中間段に対応する位置に接続されている。この静翼用中圧抽気管 8 3 には、ここを通る空気の圧力及び流量を調節するためのオリフィス等の空気調節器 8 4 が設けられている。なお、この空気調節器は、調節弁であってもよい。動翼用中圧抽気管 8 5 は、ロータ軸 3 2 に接続されている。この動翼用中圧抽気管 8 5 に、前述の冷却器 8 6 及び空気調節弁 8 7 が設けられている。冷却器 8 6 は、この動翼用中圧抽気管 8 5 を通る空気を冷却する。空気調節弁 8 7 は、この動翼用中圧抽気管 8 5 を通る空気の流量を調節する。なお、冷却器 8 6 は、中圧抽気本管

50

82に設けられていてもよい。

【0027】

タービンロータ31のロータ軸32は、図2に示すように、複数のロータディスク42を有する。複数のロータディスク42は、軸方向D_aに並び、これらを軸方向D_aに貫通するスピンドルボルト41により相互に連結されている。本実施形態のタービン30は、ロータディスク42として、第一ディスク42a、第二ディスク42b、第三ディスク42c、第四ディスク42dがある。複数のロータディスク42のそれぞれには、一の動翼列33が取り付けられている。すなわち、第一ディスク42aには第一段動翼列33aが取り付けられ、第二ディスク42bには第二段動翼列33bが取り付けられ、第三ディスク42cには第三段動翼列33cが取り付けられ、第四ディスク42dには第四段動翼列33dが取り付けられている。10

【0028】

ロータ軸32は、軸受70で支持される小径部43と、小径部43の外径よりも大きな外径で外周に複数の動翼列33が取り付けられている大径部44と、を有する。小径部43は、大径部44の下流側に設けられている。軸受70は、その外周側が軸受カバー71で覆われている。この軸受カバー71の内周側であって、軸受70よりも上流側にはロータ軸32の小径部43との間をシールする上流側シール部材72aが設けられ、軸受70よりも下流側にはロータ軸32の小径部43との間をシールする下流側シール部材72bが設けられている。20

【0029】

ロータ軸32の大径部44の下流側であって、小径部43の外周側には、軸線A_rを中心として円筒状の内側ディフューザ77が配置され、この内側ディフューザ77の外周側には、軸線A_rを中心として円筒状の外側ディフューザ78が配置されている。内側ディフューザ77及び外側ディフューザ78は、いずれも、タービン車室35に直接又は間接的に固定されている。内側ディフューザ77の外周側と外側ディフューザ78の内周側との間の環状の空間は、燃焼ガス流路39から流れ出た燃焼ガスが流れる燃焼ガス排気流路79を成す。30

【0030】

ロータ軸32には、中圧抽気ポート16からの冷却空気が流入し、軸方向D_aに延びる軸方向通路45と、軸方向通路45に接続され径方向外側に延びる強制渦通路46と、強制渦通路46を通過した冷却空気を第二段動翼列33b（第一動翼列）に導く第二段翼列通路47（第一翼列通路）と、強制渦通路46を通過した冷却空気を第三段動翼列33c（第二動翼列）に導く第三段翼列通路48（第二翼列通路）と、強制渦通路46を通過した冷却空気を第四段動翼列33d（第三動翼列）に導く第四段翼列通路49（第三翼列通路）と、が形成されている。軸方向通路45は、小径部43の下流端で開口し、大径部44の下流部の位置まで軸方向D_aに延びている。この軸方向通路45は、軸線A_rを中心とした円柱状の通路である。第二段翼列通路47、第三段翼列通路48、第四段翼列通路49、強制渦通路46は、いずれも、ロータ軸32の大径部44に形成されている。強制渦通路46は、大径部44中で最下流の第四段動翼列33dよりも下流側の位置に形成されている。第二段翼列通路47、第三段翼列通路48、第四段翼列通路49は、いずれも、強制渦通路46の径方向外側の端部に接続されている。40

【0031】

なお、本願の明細書及び請求の範囲で「AとBとが接続されている。」とは、AからBへ、又はBからAへ空気が流れるように構成されている状態をいう。

【0032】

また、本願の明細書及び請求の範囲で「強制渦通路（Forced Vortex Passage）」とは、回転体に設けられた流体の通路であって、流体を回転体と同じ周速で旋回させながら径方向外側または内側に送る流路をいう。このような流路としては、図4に示すような、ロータディスク等の回転体Rの径方向に直線状に設けられて、径方向で異なる位置相互を接続する孔Hが一般的である。しかし、強制渦通路はこれに限られる50

ものではなく、孔が湾曲した形状であってもよいし、ディスクに取り付けられて径方向に延びる筒状部材や、遠心圧縮機のようにディスクから軸方向に突出した羽根部材で、強制渦通路を形成してもよい。

【0033】

ロータ軸32の大径部44中の通路について、より詳細に説明する。

第一ディスク42aと第二ディスク42bとの間には、第一キャビティ52aが形成され、第二ディスク42bと第三ディスク42cとの間には、第二キャビティ52bが形成され、第三ディスク42cと第四ディスク42dとの間には、第三キャビティ52cが形成され、第四ディスク42d中の下流側の部分には、第四キャビティ52dが形成されている。第一キャビティ52a、第二キャビティ52b、第三キャビティ52c及び第四キャビティ52dは、いずれも軸線Arを中心とした環状の空間である。第四キャビティ52dは、軸方向Daで強制渦通路46が形成されている位置に形成されており、この強制渦通路46の径方向外側の端部と接続されている。第四ディスク42dには、軸方向Daに延びて第四キャビティ52dと第三キャビティ52cとを連通させる第四ディスク通路53dと、第四キャビティ52dと第四段動翼列33dの取付位置とを連通させる第四段連通路57とが形成されている。第三ディスク42cには、軸方向Daに延びて、第二キャビティ52bと第三キャビティ52cとを連通させる第三ディスク通路53cと、第二キャビティ52bと第三段動翼列33cの取付位置とを連通させる第三段連通路56と、が形成されている。第二ディスク42bには、第二キャビティ52bと第二段動翼列33bの取付位置とを連通させる第二段連通路55が形成されている。

10

20

【0034】

第四段翼列通路49は、第四キャビティ52dと第四段連通路57とで形成されている。第三段翼列通路48は、第四キャビティ52dと第四ディスク通路53dと第三キャビティ52cと第三ディスク通路53cと第二キャビティ52bと第三段連通路56とで形成されている。第二段翼列通路47は、第四キャビティ52dと第四ディスク通路53dと第三キャビティ52cと第三ディスク通路53cと第二キャビティ52bと第二段連通路55とで形成されている。

30

【0035】

よって、第四キャビティ52dは、第四段翼列通路49、第三段翼列通路48、及び第二段翼列通路47の共通通路を形成する。また、第四ディスク通路53dと第三キャビティ52cと第三ディスク通路53cと第二キャビティ52bとは、第三段翼列通路48、及び第二段翼列通路47の共通通路を形成する。

【0036】

ロータ軸32の下流端には、ロータ軸32と軸方向Daで間隔をあけて対向する軸端フランジ74が配置されている。この軸端フランジ74は、軸受カバー71に固定されている。この軸端フランジ74には、動翼用中圧抽気管85の端部が固定されている。この軸端フランジ74には、動翼用中圧抽気管85の内部とロータ軸32に形成されている軸方向通路45とを連通させるための貫通孔が形成されている。

【0037】

次に、以上で説明したガスタービンの動作について説明する。

40

【0038】

圧縮機10は、外気を吸い込んでこれを圧縮して圧縮空気を生成する。圧縮機10が生成した圧縮空気の一部は、燃焼器20の燃料噴射器22を介して燃焼筒21内に噴出される。また、燃焼筒21内には、燃料噴射器22からの燃料が噴射される。この燃料は、燃焼筒21内の圧縮空气中で燃焼する。この燃焼の結果、燃焼ガスGが生成され、この燃焼ガスGが燃焼筒21からタービン30の燃焼ガス流路39内に流入する。この燃焼ガスGが燃焼ガス流路39を通ることで、タービンロータ31は回転する。

【0039】

燃焼ガス流路39内に配置されているタービン30の動翼は、高温の燃焼ガスに晒される。このため、本実施形態では、第二段動翼列33b、第三段動翼列33c、第四段動翼

50

列 3 3 d を構成する動翼に、圧縮機 1 0 から抽気した空気を冷却空気として供給して、動翼を冷却する。さらに、本実施形態では、第三段静翼列 3 4 c を構成する静翼にも、冷却空気を供給して、静翼を冷却する。

【 0 0 4 0 】

図 3 に、ガスタービンにおける例示的な温度及び圧力バランスを示す。圧縮機 1 0 の中圧抽気ポート 1 6 における空気の圧力は 1 0 a t a である。また、燃焼ガス流路 3 9 中で第二段静翼列 3 4 b と第二段動翼列 3 3 b との間の圧力を 8 a t a 、燃焼ガス流路 3 9 中で第三段静翼列 3 4 c と第三段動翼列 3 3 c との間の圧力を 6 a t a 、燃焼ガス流路 3 9 中で第四段静翼列 3 4 d と第四段動翼列 3 3 d との間の圧力を 2 a t a とする。

【 0 0 4 1 】

圧縮機 1 0 の中圧抽気ポート 1 6 から抽気された冷却空気は、抽気ライン 8 0 の中圧抽気本管 8 2 を流れ、その一部が静翼用中圧抽気管 8 3 に流れ込み、残りの一部が動翼用中圧抽気管 8 5 に流れ込む。静翼用中圧抽気管 8 3 に流れ込んだ冷却空気は、空気調節器 8 4 を通る過程で、その圧力が 7 a t a になって、第三段静翼列 3 4 c を構成する複数の静翼に供給され、これら複数の静翼を冷却する。

【 0 0 4 2 】

動翼用中圧抽気管 8 5 に流れ込んだ冷却空気は、冷却器 8 6 を通過する過程で冷却され、空気調節弁 8 7 により流量調節された後、ロータ軸 3 2 の軸方向通路 4 5 に流入する。軸方向通路 4 5 に流入する直前の冷却空気は、冷却器 8 6 や空気調節弁 8 7 を通過する過程等での圧力損失により、その圧力が 8 a t a 程度にまで低下している。また、軸方向通路 4 5 に流入する直前の冷却空気は、冷却器 8 6 により冷却された結果、その温度が低下している。

【 0 0 4 3 】

軸方向通路 4 5 に流入した冷却空気は、この軸方向通路 4 5 から径方向外側に向かって延びる強制渦通路 4 6 を経て、第四キャビティ 5 2 d 内に流入する。冷却空気は、径方向外側に向かって延びる強制渦通路 4 6 を通る過程で、軸線 A r を中心として回転するロータ軸 3 2 から遠心力を受けて加圧される。この結果、第四キャビティ 5 2 d 内に至った冷却空気の圧力は 9 a t a になる。なお、第四キャビティ 5 2 d 内の冷却空気は、加圧により温度が上昇する。

【 0 0 4 4 】

第四キャビティ 5 2 d 内の冷却空気の一部は、第四段翼列通路 4 9 の一部を成す第四段連通路 5 7 を経て、第四段動翼列 3 3 d を構成する複数の動翼中の冷却空気通路内に流入する。この冷却空気は、第四段連通路 5 7 を通る過程で、圧力及び流量が調節される。この結果、第四段連通路 5 7 から第四段動翼列 3 3 d の動翼中に流入する直前の冷却空気は、その圧力が 3 a t a になる。この冷却空気は、第四段動翼列 3 3 d を構成する複数の動翼中の冷却空気通路を通って、動翼を冷却した後、燃焼ガス流路 3 9 中に排出される。

【 0 0 4 5 】

第四キャビティ 5 2 d 内の冷却空気の残りの一部は、第四ディスク通路 5 3 d 、第三キャビティ 5 2 c 、第三ディスク通路 5 3 c を経て、第二キャビティ 5 2 b 内に流入する。第二キャビティ 5 2 b 内の冷却空気の圧力は、第四キャビティ 5 2 d 内の冷却空気の圧力とほぼ同じで 9 a t a である。

【 0 0 4 6 】

第二キャビティ 5 2 b 内に流入した冷却空気の一部は、第三段翼列通路 4 8 の一部を成す第三段連通路 5 6 を経て、第三段動翼列 3 3 c を構成する複数の動翼中の冷却空気通路内に流入する。この冷却空気は、第三段連通路 5 6 を通る過程で、圧力及び流量が調節され、第三段連通路 5 6 から第三段動翼列 3 3 c の動翼中に流入する直前には、その圧力がほぼ 7 a t a になる。この冷却空気は、第三段動翼列 3 3 c を構成する複数の動翼中の冷却空気通路を通って、動翼を冷却した後、燃焼ガス流路 3 9 中に排出される。

【 0 0 4 7 】

第二キャビティ 5 2 b 内に流入した冷却空気の残りの一部は、第二段翼列通路 4 7 の一

10

20

30

40

50

部を成す第二段連通路 5 5 を経て、第二段動翼列 3 3 b を構成する複数の動翼中の冷却空気通路内に流入する。この冷却空気は、第二段連通路 5 5 を通る過程で、圧力及び流量が調節される。この結果、第二段連通路 5 5 から第二段動翼列 3 3 b の動翼中に流入する直前の冷却空気は、その圧力がほぼ 9 a t a になる。この冷却空気は、第二段動翼列 3 3 b を構成する複数の動翼中の冷却空気通路を通って、動翼を冷却した後、燃焼ガス流路 3 9 中に排出される。

【 0 0 4 8 】

第四キャビティ 5 2 d から第四段連通路 5 7 を経て第四段動翼列 3 3 d の動翼中に流入する冷却空気、第二キャビティ 5 2 b から第三段連通路 5 6 を経て第三段動翼列 3 3 c の動翼中に流入する冷却空気、第二キャビティ 5 2 b から第二段連通路 5 5 を経て第二段動翼列 3 3 b の動翼中に流入する冷却空気は、いずれも、各連通路 5 7 , 5 6 , 5 5 を通る過程で圧力損失する一方で、ロータ軸 3 2 からの遠心力を受けて加圧される。第四キャビティ 5 2 d から第四段連通路 5 7 を経て第四段動翼列 3 3 d の動翼中に流入する冷却空気は、第四段連通路 5 7 を通る過程で、遠心力による加圧効果よりも、連通路 5 7 を通過するときの圧力損失が高められるため、結果として減圧される。また、第二キャビティ 5 2 b から第三段連通路 5 6 を経て第三段動翼列 3 3 c の動翼中に流入する冷却空気も、遠心力による加圧効果よりも、連通路 5 6 を通過するときの圧力損失が高められるため、結果として減圧される。一方、第二キャビティ 5 2 b から第二段連通路 5 5 を経て第二段動翼列 3 3 b の動翼中に流入する冷却空気は、第二段連通路 5 5 を通る過程での圧力損失が抑えられる。

10

20

【 0 0 4 9 】

以上のように、本実施形態では、圧縮機 1 0 から抽気した空気により、タービン 3 0 の動翼を冷却することができる。しかも、本実施形態では、圧縮機 1 0 から抽気した空気を回転するロータ軸 3 2 に流入させ、このロータ軸 3 2 中で冷却空気の強制渦を発生させることで、冷却空気の圧力を高めてから、各動翼列 3 3 に空気供給している。このため、本実施形態では、圧縮機 1 0 からは、低い圧力の空気を抽気することができる結果、圧縮機 1 0 の駆動力を抑えることができる。よって、本実施形態では、圧縮機 1 0 から抽気した空気によりタービン 3 0 の動翼を冷却しつつも、ガスタービンの効率の低下を抑えることができる。

【 0 0 5 0 】

30

また、本実施形態では、圧縮機 1 0 から抽気する空気の圧力を抑えるため、ロータ軸 3 2 中に径方向に延びる強制渦通路 4 6 を形成し、ここに圧縮機 1 0 から抽気した空気を流入させてこの空気を昇圧した後、各動翼列 3 3 の動翼に分配している。ところで、複数の動翼列 3 3 毎に、強制渦通路 4 6 を形成することも可能である。しかしながら、この場合、ロータ軸 3 2 中に、軸方向 D a で互いに異なる位置に複数の強制渦通路 4 6 を形成することになり、結果として、軸方向 D a のロータ軸 3 2 の長さが長くなり、タービンロータ 3 1 の振動特性が低下する。さらに、タービン 3 0 の段間距離も長くなり、タービン 3 0 の空力性能も低下する。

【 0 0 5 1 】

一方、本実施形態では、前述したように、強制渦通路 4 6 で空気を昇圧した後、これを複数の動翼列 3 3 每に分配しているので、軸方向 D a のロータ軸 3 2 の伸長化が抑えられ、タービンロータ 3 1 の振動特性の悪化を抑えることができる。さらに、強制渦通路 4 6 は、最下流の第四段動翼列 3 3 d よりも下流側に形成され、複数の段間のいずれの箇所にも存在しないため、タービン 3 0 の段間距離の伸長化も抑えられ、タービン 3 0 の空力性能の低下も抑えることができる。

40

【 0 0 5 2 】

また、強制渦通路 4 6 の径方向外側端部には、ここを流れる空気中に含まれているゴミ等の異物が溜まることが予想される。本実施形態では、この強制渦通路 4 6 が最下流の第四段動翼列 3 3 d よりも下流側の位置に形成されているため、ロータ軸 3 2 を複数のロータディスク 4 2 に分解しなくとも、この強制渦通路 4 6 の径方向外側端部にアクセスする

50

ことができる。よって、本実施形態では、強制渦通路46の径方向外側端部にゴミ等の異物が溜まつても、これを容易に回収することができる。

【0053】

「第二実施形態」

本発明に係るガスタービンの第二実施形態について、図5～図7を参照して説明する。

【0054】

第一実施形態のガスタービンでは、圧縮機10の中圧抽気ポート16から抽気した冷却空気を、タービン30のロータ軸32中で、第二段動翼列33b用の空気と第三段動翼列33c用の空気と第四段動翼列33d用の空気とに分けている。

【0055】

本実施形態のガスタービンでは、図5及び図7に示すように、圧縮機10の中圧抽気ポート16からの抽気した冷却空気を、タービン30のロータ軸32外で、まず、第二及び第三段動翼列33b, 33c用の空気と第四段動翼列33d用の空気とに分け、ロータ軸32中で、第二及び第三段動翼列33b, 33c用の空気を第二段動翼列33b用の空気と第三段動翼列33c用の空気とに分ける。

10

【0056】

このため、本実施形態では、ロータ軸32の下流端に接続されている動翼用中圧抽気管85には、動翼用中圧抽気管85を流れてきた冷却空気の一部を第四段動翼列33d用の空気として第四段動翼列33dに導く抽気分岐管88が接続されている。この抽気分岐管88は、ロータ軸32の大径部44の下流端に接続されている。

20

【0057】

本実施形態のロータ軸32には、第一実施形態のロータ軸32と同様、中圧抽気ポート16からの冷却空気が動翼用中圧抽気管85を介して流入する軸方向通路45と、軸方向通路45に接続された強制渦通路46と、強制渦通路46を通過した冷却空気を第二段動翼列33b（第一動翼列）に導く第二段翼列通路47（第一翼列通路）と、強制渦通路46を通過した冷却空気を第三段動翼列33c（第二動翼列）に導く第三段翼列通路48（第二翼列通路）と、が形成されている。

【0058】

ロータ軸32の大径部44には、第一実施形態のロータ軸32の大径部44と同様、第一キャビティ52a、第二キャビティ52b、第三キャビティ52c、第四キャビティ52dが形成されている。第四キャビティ52dは、強制渦通路46の径方向外側の端部と接続されている。第四キャビティ52dと第三キャビティ52cとは、第四ディスク通路53dで接続され、第三キャビティ52cと第二キャビティ52bとは、第三ディスク通路53cで接続されている。第二キャビティ52bと第三段動翼列33cとは、第三段連通路56で接続され、第二キャビティ52bと第二段動翼列33bとは、第二段連通路55で接続されている。

30

【0059】

よって、本実施形態でも、第三段翼列通路48は、第四キャビティ52dと第四ディスク通路53dと第三キャビティ52cと第三ディスク通路53cと第二キャビティ52bと第三段連通路56とで形成されている。また、第二段翼列通路47は、第四キャビティ52dと第四ディスク通路53dと第三キャビティ52cと第三ディスク通路53cと第二キャビティ52bと第二段連通路55とで形成されている。

40

【0060】

本実施形態のロータ軸32の大径部44には、さらに、第四キャビティ52dの径方向外側の位置に、大径部44の下流側端から上流側に向って凹む第五キャビティ52eが形成されている。この第五キャビティ52eと第四段動翼列33dとは、第四段連通路57aで接続されている。よって、本実施形態において、予旋回ノズル67を通過した冷却空気を第四段動翼列33dに導く第四段翼列通路49a（第三翼列通路）は、第五キャビティ52eと第四段連通路57aとを有して形成されている。

【0061】

50

大径部44の下流側には、大径部44の下流端に対して軸方向D_aに間隔をあけて対向し、軸線A_rを中心として円板状の軸端板61が配置されている。軸端板61の径方向内側端は、軸受カバー71の上流端に固定されている。この軸端板61と大径部44との間には、大径部44の下流端に対して軸方向D_aに間隔をあけて大径部端カバー62が配置されている。この大径部端カバー62の径方向内側の端は軸端板61に固定されている。また、この大径部端カバー62の径方向外側の端は内側ディフューザ77の上流端に固定されている。大径部端カバー62の径方向外側の部分には、大径部44の下流側の外周面と間隔をあけて対向するシール取付部63が形成されている。このシール取付部63には、大径部44と大径部端カバー62との間をシールするシール部材64が設けられている。

10

【0062】

大径部端カバー62と大径部44との間には、第五キャビティ52eと連通し、軸線A_rを中心とした環状の空間である大径部端キャビティ65が形成されている。また、大径部端カバー62と軸端板61との間であって、径方向D_rで第五キャビティ52eが形成されている領域には、軸線A_rを中心とした環状の空間である空気受入空間66が形成されている。この空気受入空間66は、大径部端カバー62と軸端板61で囲まれた空間である。

【0063】

軸端板61には、抽気分岐管88の端部が固定されている。このため、動翼用中圧抽気管85を流れてきた冷却空気の一部は、抽気分岐管88を介して、軸端板61と大径部端カバー62とで形成されている空気受入空間66に流入する。大径部端カバー62で、大径部44の第五キャビティ52eと対向する位置には、空気受入空間66に流入した冷却空気にロータ軸32の回転方向の速度成分を付与する予旋回ノズル67が設けられている。対径部端カバー62で、予旋回ノズル67が設けられている位置よりも径方向内側で、大径部44と径方向で対向している位置には、大径部44と大径部端カバー62との間をシールするシール部材64bが設けられている。

20

【0064】

予旋回ノズル67は、図6に示すように、周方向D_cに並ぶ複数の旋回翼68を有する。この旋回翼68は、下流側から上流側に向うに連れて次第にロータ軸32の回転方向R_r側に傾いている。この予旋回ノズル67は、下流側の空気受入空間66内に流入した冷却空気の圧力の一部を、ロータ軸32の回転方向R_rへの運動エネルギーに変換して、冷却空気に回転方向R_rの速度成分を付与するノズルである。

30

【0065】

次に、以上で説明したガスタービンにおける冷却空気の流れについて説明する。

【0066】

圧縮機10の中圧抽気ポート16から抽気されて動翼用中圧抽気管85に流れ込んだ冷却空気は、第一実施形態と同様、冷却器86を通過する過程で冷却され、空気調節弁87により流量調節された後、その一部がロータ軸32の軸方向通路45に流入する。軸方向通路45に流入する直前の冷却空気は、図7に示すように、その圧力が8atm程度まで低下しており、その温度も低下している。

40

【0067】

軸方向通路45に流入した冷却空気は、第一実施形態と同様、この軸方向通路45から径方向外側に向かって延びる強制渦通路46を経て、第四キャビティ52d内に流入する。冷却空気は、径方向外側に向かって延びる強制渦通路46を通る過程で、軸線A_rを中心として回転するロータ軸32から遠心力を受けて加圧される。この結果、第四キャビティ52d内に至った冷却空気の圧力は9atmになる。なお、第四キャビティ52d内の冷却空気は、加圧により温度が上昇する。

【0068】

第四キャビティ52d内の冷却空気は、第四ディスク通路53d、第三キャビティ52c、第三ディスク通路53cを経て、第二キャビティ52b内に流入する。第二キャビテ

50

イ 5 2 b 内の冷却空気の圧力は、第四キャビティ 5 2 d 内の冷却空気の圧力とほぼ同じで 9 a t a であり、この冷却空気の温度は、第四キャビティ 5 2 d 内の冷却空気の温度とほぼ同じである。

【 0 0 6 9 】

第二キャビティ 5 2 b 内に流入した冷却空気の一部は、第一実施形態と同様、第三段翼列通路 4 8 の一部を成す第三段連通路 5 6 を経て、第三段動翼列 3 3 c を構成する複数の動翼中の冷却空気通路内に流入する。この冷却空気は、第三段連通路 5 6 を通る過程で、圧力及び流量が調節され、第三段連通路 5 6 から第三段動翼列 3 3 c の動翼中に流入する直前には、その圧力がほぼ 7 a t a になる。この冷却空気は、第三段動翼列 3 3 c を構成する複数の動翼中の冷却空気通路を通って、動翼を冷却した後、燃焼ガス流路 3 9 中に排出される。

10

【 0 0 7 0 】

第二キャビティ 5 2 b 内に流入した冷却空気の残りの一部は、第一実施形態と同様、第二段翼列通路 4 7 の一部を成す第二段連通路 5 5 を経て、第二段動翼列 3 3 b を構成する複数の動翼中の冷却空気通路内に流入する。この冷却空気は、第二段連通路 5 5 を通る過程で、圧力及び流量が調節される。この結果、第二段連通路 5 5 から第二段動翼列 3 3 b の動翼中に流入する直前の冷却空気は、その圧力がほぼ 9 a t a になる。この冷却空気は、第二段動翼列 3 3 b を構成する複数の動翼中の冷却空気通路を通って、動翼を冷却した後、燃焼ガス流路 3 9 中に排出される。

【 0 0 7 1 】

20

動翼用中圧抽気管 8 5 を流れる冷却空気の一部は、抽気分岐管 8 8 に流れ込む。抽気分岐管 8 8 に流れ込んだ冷却空気は、その圧力が 8 a t a 程度である。

【 0 0 7 2 】

冷却空気は、抽気分岐管 8 8 から空気受入空間 6 6 に流入した後、予旋回ノズル 6 7 を経て、大径部端キャビティ 6 5 内に流入する。冷却空気は、予旋回ノズル 6 7 を通過する過程で、圧力の一部がロータ軸 3 2 の回転方向 R r への運動エネルギーに変換されて、回転方向 R r の速度成分が付与される。予旋回ノズル 6 7 を通過した後の冷却空気は、その圧力が 5 a t a 程度まで低下する。また、予旋回ノズル 6 7 を通過した後の冷却空気の軸線 A r を基準にした周速度は、ロータ軸 3 2 中の第五キャビティ 5 2 e の位置における周速度とほぼ同じになる。すなわち、大径部端キャビティ 6 5 内の冷却空気は、ロータ軸 3 2 中の第五キャビティ 5 2 e とほぼ同じ周速度で、環状の大径部端キャビティ 6 5 内を旋回する。このため、大径部端キャビティ 6 5 内の冷却空気は、ロータ軸 3 2 中の第五キャビティ 5 2 e 内に流入するにあたり、ロータ軸 3 2 の回転を妨げる抵抗にならない。

30

【 0 0 7 3 】

第五キャビティ 5 2 e 内に流入した冷却空気の圧力は、ほぼ 5 a t a である。

【 0 0 7 4 】

第五キャビティ 5 2 e 内の冷却空気は、第四段翼列通路 4 9 a の一部を成す第四段連通路 5 7 a を経て、第四段動翼列 3 3 d を構成する複数の動翼中の冷却空気通路内に流入する。この冷却空気は、第四段連通路 5 7 a を通る過程で、圧力及び流量が調節される。この結果、第四段連通路 5 7 a から第四段動翼列 3 3 d の動翼中に流入する直前の冷却空気は、その圧力が 3 a t a になる。この冷却空気は、第四段動翼列 3 3 d を構成する複数の動翼中の冷却空気通路を通って、動翼を冷却した後、燃焼ガス流路 3 9 中に排出される。

40

【 0 0 7 5 】

以上のように、本実施形態でも、第一実施形態と同様、圧縮機 1 0 から抽気した空気により、タービン 3 0 の動翼を冷却することができる。さらに、本実施形態でも、圧縮機 1 0 の駆動力を抑えることができ、ガスタービンの効率の低下を抑えることができる。

【 0 0 7 6 】

また、本実施形態でも、第一実施形態と同様に、最下流の動翼列 3 3 よりも下流側に形成した強制渦通路 4 6 で空気を昇圧した後、これを複数の動翼列 3 3 毎に分配しているので、タービンロータ 3 1 の振動特性の悪化及びタービン 3 0 の空力性能の低下を抑えるこ

50

とができる。

【0077】

また、第一実施形態では、第二段動翼列33b及び第三段動翼列33cを冷却する冷却空気の全てを強制渦通路46に流入させ、ここでタービンロータ31の回転により生じる遠心力を利用して冷却空気を昇圧させている。一方、本実施形態では、第二段動翼列33b及び第三段動翼列33cを冷却する冷却空気のみを強制渦通路46に流入させて昇圧させ、第四段動翼列33dを冷却する冷却空気に関しては、強制渦通路46に流入させずに予旋回ノズル67を通過させることで旋回させ、タービンロータ31の回転抵抗を減らしている。よって、本実施形態では、第一実施形態よりもタービンロータ31の回転抵抗が小さくなり、ガスタービンの効率を高めることができる。

10

【0078】

また、本実施形態では、第四段動翼列33d用の冷却空気は、ロータ軸32外に設けられている抽気分岐管88内を通るので、この抽気分岐管88に空気調節弁や冷却器を設けることで、この第四段動翼列33d用の冷却空気の流量、圧力、温度を容易に調節することができる。

【0079】

「第三実施形態」

本発明に係るガスタービンの第三実施形態について、図8～図10を参照して説明する。

【0080】

第一及び第二実施形態のガスタービンでは、いずれも、圧縮機10の中圧抽気ポート16からの抽気した冷却空気を第二、第三及び第四段動翼列33b, 33c, 33d用の冷却空気として利用している。

20

【0081】

本実施形態のガスタービンでは、図8及び図10に示すように、圧縮機10の中圧抽気ポート16（第一抽気ポート）からの抽気した冷却空気を第二及び第三段動翼列33b, 33c用の冷却空気として利用し、圧縮機10の低圧抽気ポート17（第二抽気ポート）からの抽気した冷却空気を第四段動翼列33d用の冷却空気として利用する。

【0082】

本実施形態の圧縮機車室15の中間段に対応する位置には、中圧抽気ポート16と低圧抽気ポート17とが形成されている。低圧抽気ポート17は、中圧抽気ポート16が形成されている位置よりも上流側に形成されている。このため、低圧抽気ポート17から抽気される空気の圧力は、中圧抽気ポート16から抽気される空気の圧力よりも低く、例えば、6 atmである。

30

【0083】

本実施形態の抽気ライン80bは、第一実施形態と同様、中圧抽気管81と、この中圧抽気管81に設けられている冷却器86、空気調節弁87、空気調節器84と、を有する。中圧抽気管81は、第一実施形態と同様に、圧縮機10の中圧抽気ポート16に接続されている中圧抽気本管82と、中圧抽気本管82に接続されている静翼用中圧抽気管83及び動翼用中圧抽気管85と、を有する。静翼用中圧抽気管83には、前述の空気調節器84が設けられ、動翼用中圧抽気管85には、前述の冷却器86及び空気調節弁87が設けられている。

40

【0084】

本実施形態の抽気ライン80bは、さらに、低圧抽気管91と、この低圧抽気管91に設けられている冷却器96、空気調節弁97、空気調節器94と、を有する。低圧抽気管91は、圧縮機10の低圧抽気ポート17に接続されている低圧抽気本管92と、低圧抽気本管92に接続されている静翼用低圧抽気管93及び動翼用低圧抽気管95と、を有する。

【0085】

静翼用低圧抽気管93は、タービン車室35で、タービン30の中間段に対応する位置

50

に接続されている。より具体的には、タービン車室35で、静翼用中圧抽気管83が接続されている位置よりも下流側に接続されている。この静翼用低圧抽気管93には、ここを通る空気の圧力及び流量を調節するためのオリフィス等の空気調節器94が設けられている。動翼用低圧抽気管95は、ロータ軸32に接続されている。この動翼用低圧抽気管95に、前述の冷却器96及び空気調節弁97が設けられている。冷却器96は、この動翼用低圧抽気管95を通る空気を冷却する。空気調節弁97は、この動翼用低圧抽気管95を通る空気の流量を調節する。この動翼用低圧抽気管95の端部は、軸受カバー71に固定されている。

【0086】

本実施形態のロータ軸32には、第一及び第二実施形態と同様、中圧抽気ポート16からの冷却空気が流入し、軸方向D_aに延びる第一軸方向通路45と、第一軸方向通路45に接続され径方向外側に延びる第一強制渦通路46と、第一強制渦通路46を通過した冷却空気を第二段動翼列33b（第一動翼列）に導く第二段翼列通路47（第一翼列通路）と、第一強制渦通路46を通過した冷却空気を第三段動翼列33c（第二動翼列）に導く第三段翼列通路48（第二翼列通路）と、が形成されている。さらに、本実施形態のロータ軸32には、低圧抽気ポート17からの冷却空気が流入し、軸方向D_aに延びる第二軸方向通路45bと、第二軸方向通路45bに接続され径方向外側に延びる第二強制渦通路46bと、第二強制渦通路46bを通過した冷却空気を第四段動翼列33d（第三動翼列）に導く第四段翼列通路49b（第三翼列通路）と、が形成されている。

【0087】

ロータ軸32の大径部44には、第一及び第二実施形態のロータ軸32の大径部44と同様、第一キャビティ52a、第二キャビティ52b、第三キャビティ52c、第四キャビティ52dが形成されている。第四キャビティ52dは、第一強制渦通路46の径方向外側の端部と接続されている。第四キャビティ52dと第三キャビティ52cとは、第四ディスク通路53dで接続され、第三キャビティ52cと第二キャビティ52bとは、第三ディスク通路53cで接続されている。第二キャビティ52bと第三段動翼列33cとは、第三段連通路56で接続され、第二キャビティ52bと第二段動翼列33bとは、第二段連通路55で接続されている。

【0088】

よって、本実施形態でも、第三段翼列通路48は、第四キャビティ52dと第四ディスク通路53dと第三キャビティ52cと第三ディスク通路53cと第二キャビティ52bと第三段連通路56とで形成されている。また、第二段翼列通路47は、第四キャビティ52dと第四ディスク通路53dと第三キャビティ52cと第三ディスク通路53cと第二キャビティ52bと第二段連通路55とで形成されている。

【0089】

第二軸方向通路45bは、図8及び図9に示すように、軸線A_rを中心として軸方向D_aに延びている第一軸方向通路45の径方向外側の位置に形成されている。第二軸方向通路45bの下流端には、この下流端から径方向外側に延び、小径部43の外周面で開口する低圧空気受入通路45cが形成されている。

【0090】

軸受カバー71中で、軸方向D_aで低圧空気受入通路45cの開口と実質的に同じ位置には、外周側から内周側に向かって貫通する貫通孔が形成されている。動翼用低圧抽気管95の端部は、この貫通孔が形成されている位置に固定されている。軸受カバー71の内周側と小径部43の外周側との間であって、軸受カバー71の貫通孔を基準にして上流側及び下流側のそれぞれはシール部材72b, 72cでシールされている。

【0091】

大径部44の下流側であって径方向外側は、大径部端カバー62bで覆われている。この大径部端カバー62bと大径部44との間には、軸線A_rを中心として環状の第五キャビティ52fが形成されている。

【0092】

10

20

30

40

50

第二軸方向通路 4 5 b の上流端には、この上流端から径方向外側に延び、第五キャビティ 5 2 f に連通する第二強制渦通路 4 6 b が接続されている。この第二強制渦通路 4 6 b は、大径部 4 4 中で第一強制渦通路 4 6 よりも下流側の位置に形成されている。大径部 4 4 には、第五キャビティ 5 2 f と第四段動翼列 3 3 d の取付位置とを連通させる第四段連通路 5 7 b が形成されている。

【0093】

よって、本実施形態の第四段翼列通路 4 9 b は、第五キャビティ 5 2 f と第四段連通路 5 7 b とで形成されている。

【0094】

次に、以上で説明したガスタービンにおける冷却空気の流れについて説明する。

10

【0095】

圧縮機 1 0 の中圧抽気ポート 1 6 から抽気されて動翼用中圧抽気管 8 5 に流れ込んだ冷却空気は、第一及び第二実施形態と同様、冷却器 8 6 を通過する過程で冷却され、空気調節弁 8 7 により流量調節された後、ロータ軸 3 2 の第一軸方向通路 4 5 に流入する。第一軸方向通路 4 5 に流入する直前の冷却空気は、図 1 0 に示すように、その圧力が 8 a t a 程度にまで低下しており、その温度も低下している。

【0096】

第一軸方向通路 4 5 に流入した冷却空気は、第一及び第二実施形態と同様、この第一軸方向通路 4 5 から径方向外側に向かって延びる第一強制渦通路 4 6 を経て、第四キャビティ 5 2 d 内に流入する。冷却空気は、径方向外側に向かって延びる強制渦通路 4 6 を通る過程で、軸線 A r を中心として回転するロータ軸 3 2 から遠心力を受けて加圧される。この結果、第四キャビティ 5 2 d 内に至った冷却空気の圧力は 9 a t a になる。なお、第四キャビティ 5 2 d 内の冷却空気は、加圧により温度が上昇する。

20

【0097】

第四キャビティ 5 2 d 内の冷却空気は、第四ディスク通路 5 3 d、第三キャビティ 5 2 c、第三ディスク通路 5 3 c を経て、第二キャビティ 5 2 b 内に流入する。第二キャビティ 5 2 b 内の冷却空気の圧力は、第四キャビティ 5 2 d 内の冷却空気の圧力とほぼ同じで 9 a t a であり、この冷却空気の温度は、第四キャビティ 5 2 d 内の冷却空気の温度とほぼ同じである。

【0098】

30

第二キャビティ 5 2 b 内に流入した冷却空気の一部は、第一及び第二実施形態と同様、第三段翼列通路 4 8 の一部を成す第三段連通路 5 6 を経て、第三段動翼列 3 3 c を構成する複数の動翼中の冷却空気通路内に流入する。この冷却空気は、第三段連通路 5 6 を通る過程で、圧力及び流量が調節される。この結果、第三段連通路 5 6 から第三段動翼列 3 3 c の動翼中に流入する直前の冷却空気は、その圧力がほぼ 7 a t a になる。この冷却空気は、第三段動翼列 3 3 c を構成する複数の動翼中の冷却空気通路を通って、動翼を冷却した後、燃焼ガス流路 3 9 中に排出される。

【0099】

第二キャビティ 5 2 b 内に流入した冷却空気の残りの一部は、第一実施形態と同様、第二段翼列通路 4 7 の一部を成す第二段連通路 5 5 を経て、第二段動翼列 3 3 b を構成する複数の動翼中の冷却空気通路内に流入する。この冷却空気は、第二段連通路 5 5 を通る過程で、圧力及び流量が調節される。この結果、第二段連通路 5 5 から第二段動翼列 3 3 b の動翼中に流入する直前の冷却空気は、その圧力がほぼ 9 a t a になる。この冷却空気は、第二段動翼列 3 3 b を構成する複数の動翼中の冷却空気通路を通って、動翼を冷却した後、燃焼ガス流路 3 9 中に排出される。

40

【0100】

圧縮機 1 0 の低圧抽気ポート 1 7 から抽気された冷却空気は、抽気ライン 8 0 b の低圧抽気本管 9 2 を流れ、その一部が静翼用低圧抽気管 9 3 に流れ込み、残りの一部が動翼用低圧抽気管 9 5 に流れ込む。静翼用低圧抽気管 9 3 に流れ込んだ冷却空気は、空気調節器 9 4 を通る過程で、その圧力が 4 a t a になって、第四段静翼列 3 4 d を構成する複数の

50

静翼に供給され、これら複数の静翼を冷却する。

【0101】

動翼用低圧抽気管95に流れ込んだ冷却空気は、冷却器96を通過する過程で冷却され、空気調節弁97により流量調節された後、ロータ軸32の第二軸方向通路45bに流入する。第二軸方向通路45bに流入する直前の冷却空気は、冷却器96や空気調節弁97を通過する過程等での圧力損失により、その圧力が4ata程度にまで低下している。また、第二軸方向通路45bに流入する直前の冷却空気は、冷却器86により冷却される。

【0102】

第二軸方向通路45bに流入した冷却空気は、この第二軸方向通路45bから径方向外側に向かって延びる第二強制渦通路46bを経て、第五キャビティ52f内に流入する。冷却空気は、径方向外側に向かって延びる第二強制渦通路46bを通る過程で、軸線Arを中心として回転するロータ軸32から遠心力を受けて加圧される。この結果、第五キャビティ52f内に至った冷却空気の圧力は5ataになる。

10

【0103】

第五キャビティ52f内の冷却空気は、第四段翼列通路49bの一部を成す第四段連通路57bを経て、第四段動翼列33dを構成する複数の動翼中の冷却空気通路内に流入する。この冷却空気は、第四段連通路57bを通る過程で、圧力及び流量が調節される。また、この冷却空気は、燃焼ガス流路39に近づくに連れて、燃焼ガスの熱との熱交換量が増えて、その温度が徐々に高まる。この結果、第四段連通路57bから第四段動翼列33dの動翼中に流入する直前の冷却空気は、その圧力が3ataになる。この冷却空気は、第四段動翼列33dを構成する複数の動翼中の冷却空気通路を通って、動翼を冷却した後、燃焼ガス流路39中に排出される。

20

【0104】

以上のように、本実施形態でも、第一及び第二実施形態と同様、圧縮機10から抽気した空気により、タービン30の動翼を冷却することができる。さらに、本実施形態でも、圧縮機10での駆動力を抑えることができ、ガスタービンの効率の低下を抑えることができる。

【0105】

また、本実施形態では、第一及び第二強制渦通路46, 46bを最下流の動翼列33よりも下流側に形成している上に、第一強制渦通路46で空気を昇圧した後、これを第二段動翼列33b及び第三段動翼列33cに分配している。このため、本実施形態でも、ロータ軸32の長さ及び段間距離の伸長化が抑えられ、ロータの振動特性の悪化及びタービン30の空力性能の低下を抑えることができる。

30

【0106】

本実施形態において、第四段動翼列33dには、第二段動翼列33bや第三段動翼列33cに供給する冷却空気の圧力よりも低い圧力の冷却空気でも供給することができる。しかも、本実施形態では、圧縮機10から抽気した空気を回転するロータ軸32に流入させ、このロータ軸32中で冷却空気の強制渦を発生させることで、冷却空気の圧力を高めてから、第四段動翼列33dに空気供給している。このため、本実施形態では、中圧抽気ポート16からの空気よりも低圧の空気を低圧抽気ポート17から冷却空気として抽気し、これを第四段動翼列33dの冷却空気として利用することができる。よって、本実施形態では、圧縮機10で第四段動翼列33dの冷却用の空気の圧縮比を小さくできる結果、圧縮機10の駆動力を抑えることができる。よって、本実施形態では、第一実施形態よりもガスタービンの効率を高めることができる。

40

【0107】

「第三実施形態の変形例」

第三実施形態の変形例について、図11を参照して説明する。

【0108】

第三実施形態では、第一強制渦通路46の径方向外側の端部が第四キャビティ52dに接続されている。第四キャビティ52dは、第四ディスク通路53d、第三キャビティ5

50

2 c 及び第三ディスク通路 5 3 c を介して、第二キャビティ 5 2 b と接続されている。この第二キャビティ 5 2 b は、第二段連通路 5 5 を介して、第二段動翼列 3 3 b に接続されると共に、第三段連通路 5 6 を介して、第三段動翼列 3 3 c に接続されている。

【0109】

本変形例では、スピンドルボルト 4 1 が挿通されるロータ軸 3 2 のボルト孔 4 1 c の断面形状を長円形状にし、スピンドルボルト 4 1 が挿通されたボルト孔 4 1 c 中の隙間を冷却空気の通路 5 3 e としている。この通路 5 3 e は、スピンドルボルト 4 1 と同様に、軸方向 D a に延びている。この通路 5 3 e の下流端には、第一強制渦通路 4 6 の径方向外側端部が接続されている。また、この通路 5 3 e の上流端には、第二キャビティ 5 2 b が接続されている。この第二キャビティ 5 2 b は、以上の各実施形態と同様、第二段連通路 5 5 を介して、第二段動翼列 3 3 b に接続されると共に、第三段連通路 5 6 を介して、第三段動翼列 3 3 c に接続されている。10

【0110】

また、本変形例では、第二強制渦通路 4 6 b の径方向外側の端部に第四キャビティ 5 2 d が接続されている。この第四キャビティ 5 2 d は、第四段連通路 5 7 を介して、第四段動翼列 3 3 d と接続されている。

【0111】

以上のように、強制渦通路と各動翼列とを接続する通路は、タービンロータの構造に応じて、適宜形成してよい。

【0112】

「他の変形例」

第一、第二及び第三実施形態の動翼用中圧抽気管 8 5 や、第三実施形態の動翼用低圧抽気管 9 5 には、空気調節弁 8 7 , 9 7 や冷却器 8 6 , 9 6 を設けているが、これらは必須のものではない。よって、これらの抽気管における空気調節弁 8 7 , 9 7 や冷却器 8 6 , 9 6 を適宜省略してもよい。

【0113】

また、以上の実施形態では、複数の動翼列 3 3 への冷却空気が通る強制渦通路 4 6 を最下流の動翼列 3 3 よりも下流側に配置している。しかしながら、ロータ軸 3 2 の大径部 4 4 におけるいずれかの段間に強制渦通路 4 6 を形成してもよい。この場合においても、強制渦通路 4 6 の径方向外側の端で、この通路 4 6 を複数の動翼列 3 3 毎に分岐させることで、強制渦通路 4 6 の数を少なくでき、結果として、ロータ軸 3 2 の長さの伸長化、複数段の段間距離の伸張化を抑えることができる。但し、強制渦通路 4 6 は、全ての段間距離の伸張化を抑える観点から、以上の実施形態のように、最下流の動翼列 3 3 よりも下流側に形成することが好ましい。30

【0114】

また、以上の実施形態では、いずれも、圧縮機車室 1 5 に抽気ポート 1 6 , 1 7 を形成し、圧縮機車室 1 5 外及びタービン車室 3 5 外に抽気ライン 8 0 を配置している。しかしながら、例えば、圧縮機ロータ 1 1 に抽気ポートを形成し、この抽気ポートに圧縮機ロータ 1 1 及びタービンロータ 3 1 内を軸方向 D a に延びる軸方向通路を接続してもよい。

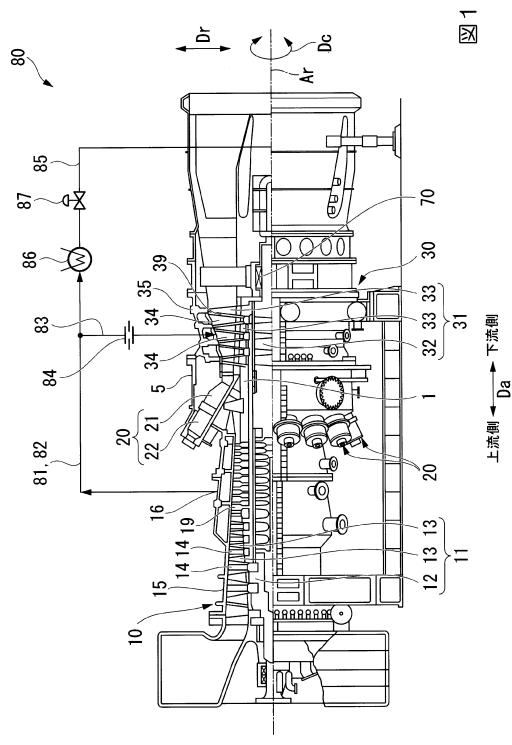
【符号の説明】

【0115】

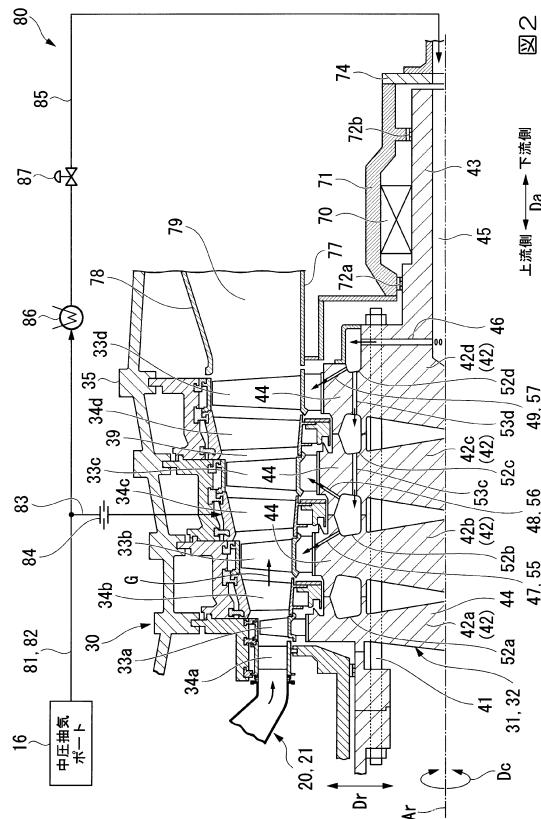
1 : ガスタービンロータ、5 : ガスタービン車室、1 0 : 圧縮機、1 1 : 圧縮機ロータ、1 2 : ロータ軸、1 3 : 動翼列、1 4 : 静翼列、1 5 : 圧縮機車室、1 6 : 中圧抽気ポート(第一抽気ポート)、1 7 : 低圧抽気ポート(第二抽気ポート)、1 9 : 空気圧縮流路、2 0 : 燃焼器、3 0 : タービン、3 1 : タービンロータ、3 2 : ロータ軸、3 3 : 動翼列、3 3 a : 第一段動翼列、3 3 b : 第二段動翼列(第一動翼列)、3 3 c : 第三段動翼列(第二動翼列)、3 3 d : 第四段動翼列(第三動翼列)、3 4 : 静翼列、3 5 : タービン車室、3 9 : 燃焼ガス流路、4 3 : 小径部、4 4 : 大径部、4 5 : 軸方向通路(第一軸方向通路)、4 5 b : 第二軸方向通路、4 6 : 強制渦通路(第一強制渦通路)、4 6 b : 第二強制渦通路、4 7 : 第二段翼列通路(第一翼列通路)、4 8 : 第三段翼列通路(第二翼列通路)4050

)、49, 49a, 49b: 第四段翼列通路(第三翼列通路)、52a: 第一キャビティ
 、52b: 第二キャビティ、52c: 第三キャビティ、52d: 第四キャビティ、52e
 , 52f: 第五キャビティ、65: 大径部端キャビティ、66: 空気受入空間、67: 予
 旋回ノズル、70: 軸受、71: 軸受カバー、80, 80b: 抽気ライン、81: 中圧抽
 気管、88: 抽気分岐管、91: 低圧抽気管

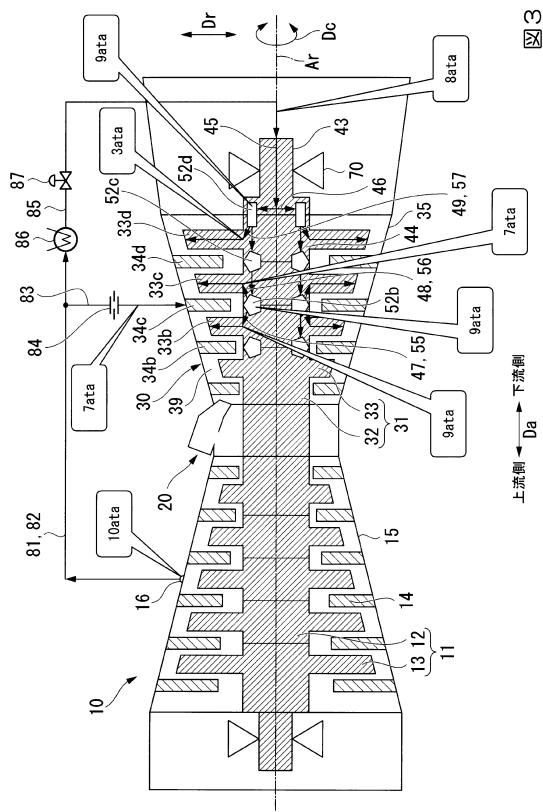
【図1】



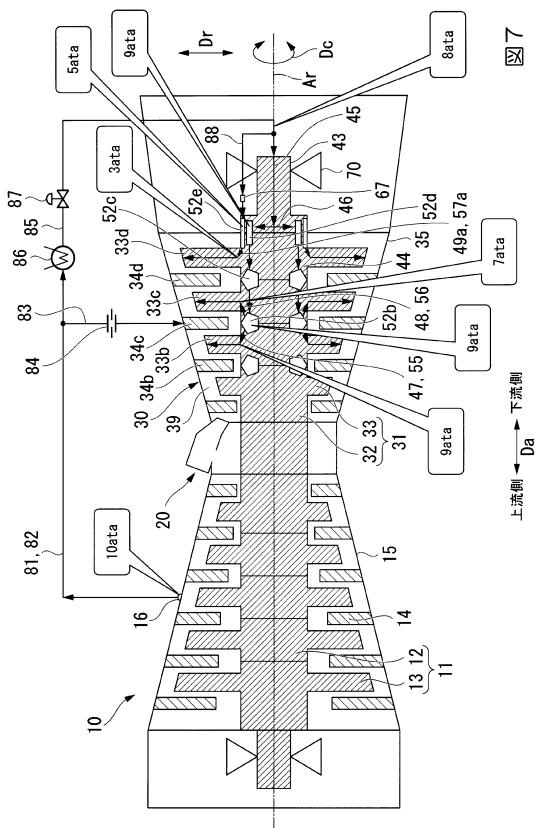
【図2】



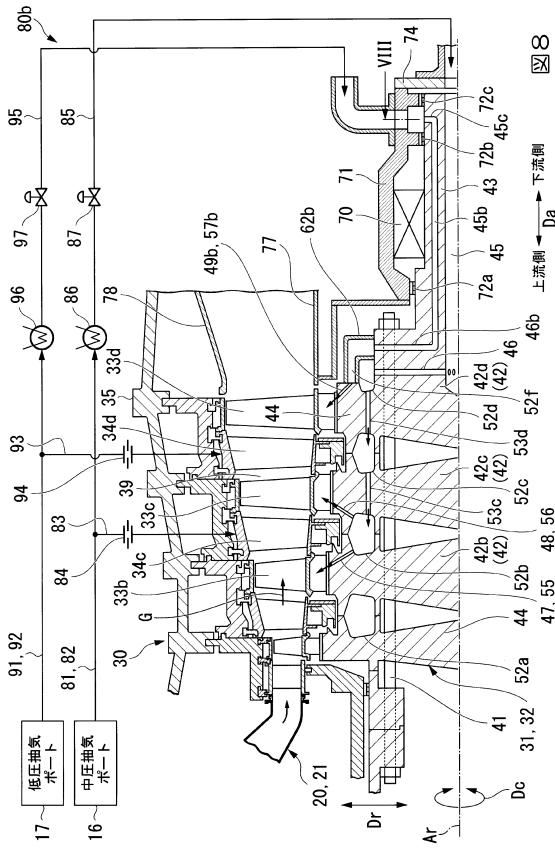
【図3】



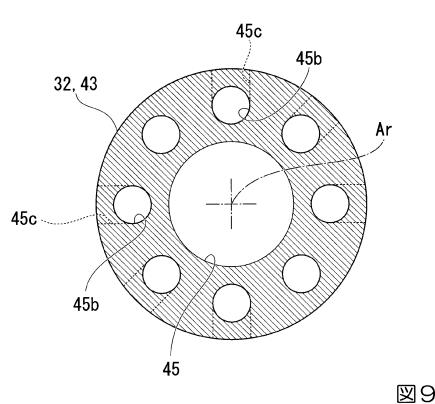
【 义 7 】



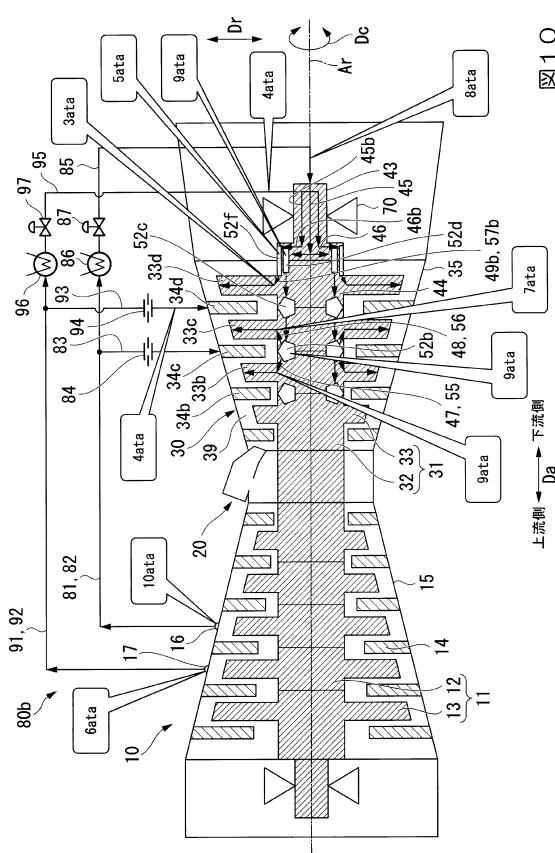
【 四 8 】



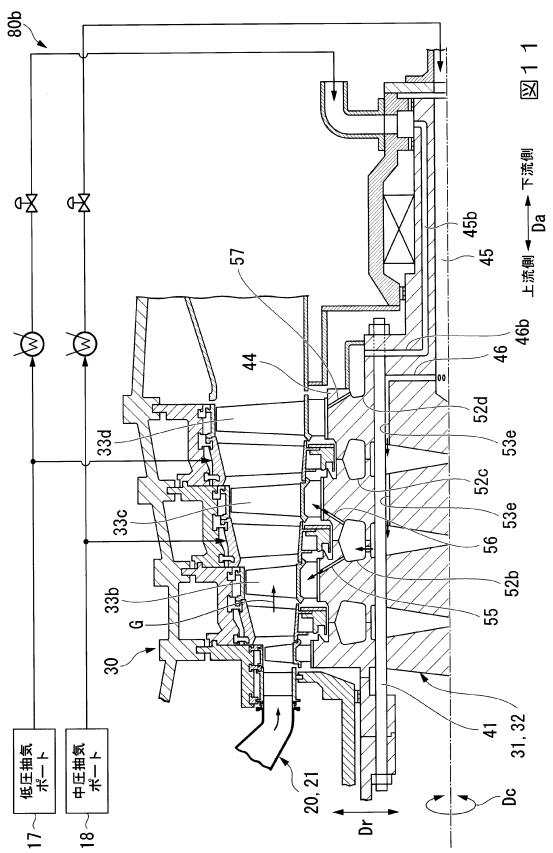
【図9】



【 図 1 0 】



【図 1 1】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

F 0 1 D 5/18

(72)発明者 高 村 啓太

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

(72)発明者 由里 雅則

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

(72)発明者 橋本 真也

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 齊藤 公志郎

(56)参考文献 国際公開第2010/001655 (WO, A1)

特開平11-081904 (JP, A)

特開2001-123851 (JP, A)

特開2004-239254 (JP, A)

特開平10-266802 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F 0 2 C 6 / 0 8

F 0 2 C 7 / 1 8

F 0 1 D 5 / 0 8、1 8

F 0 1 D 2 5 / 1 2