

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載
 【部門区分】第5部門第1区分
 【発行日】令和3年4月1日(2021.4.1)

【公開番号】特開2019-183805(P2019-183805A)
 【公開日】令和1年10月24日(2019.10.24)
 【年通号数】公開・登録公報2019-043
 【出願番号】特願2018-78907(P2018-78907)
 【国際特許分類】

F 0 1 D 5/18 (2006.01)

F 0 1 D 9/02 (2006.01)

F 0 2 C 7/18 (2006.01)

【F I】

F 0 1 D 5/18

F 0 1 D 9/02 1 0 2

F 0 2 C 7/18 A

【手続補正書】

【提出日】令和3年2月17日(2021.2.17)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

翼高さ方向における両端部である第1端部と、第2端部とを有する翼体と、
 前記翼体の内部において前記翼高さ方向に沿って延在する冷却通路と、
 前記冷却通路の内壁面に設けられ、前記冷却通路に沿って配列された複数のタービュレータと、を備え、

前記第2端部における前記翼体の背腹方向における前記冷却通路の通路幅は、前記第1端部における前記冷却通路の前記通路幅よりも大きく、

前記複数のタービュレータの高さは、前記翼高さ方向において前記第1端部側から前記第2端部側に向かうにつれて高くなることを特徴とするタービン翼。

【請求項2】

前記複数のタービュレータの高さ e と、該複数のタービュレータの前記翼高さ方向の位置における前記冷却通路の前記背腹方向における通路幅 D との比 (e/D) と、前記複数のタービュレータについての前記比 (e/D) の平均 $(e/D)_{AVE}$ との関係は、 $0.5 < (e/D) / (e/D)_{AVE} < 2.0$ を満たす

請求項1に記載のタービン翼。

【請求項3】

前記複数のタービュレータのうち、前記翼高さ方向において最も前記第1端部側に位置するタービュレータの位置における前記冷却通路の前記通路幅を D_1 とし、前記翼高さ方向において最も前記第2端部側に位置するタービュレータの位置における前記冷却通路の前記通路幅を D_2 としたとき、前記通路幅 D_1 と前記通路幅 D_2 との比 (D_2/D_1) は、 $1.5 < (D_2/D_1)$ の関係を満たす

請求項1又は2に記載のタービン翼。

【請求項4】

前記翼高さ方向において隣り合う一対のタービュレータの前記翼高さ方向におけるピッチは、前記翼高さ方向において前記第1端部から前記第2端部に向かうにつれて増大する

請求項 1 乃至 3 の何れか一項に記載のタービン翼。

【請求項 5】

前記複数のタービュレータのうち、前記翼高さ方向において隣り合う一対のタービュレータ間のピッチ P と、該一対のタービュレータの高さの平均 e_a との比 (P/e_a) と、前記複数のタービュレータについての前記比 (P/e_a) の平均 $(P/e_a)_{AVE}$ との関係は、 $0.5 < (P/e_a) / (P/e_a)_{AVE} < 2.0$ を満たす

請求項 1 乃至 4 の何れか一項に記載のタービン翼。

【請求項 6】

前記冷却通路は、

前記翼体の内部に形成されたサーペントイン流路を構成する複数のパスのうちの 1 つである請求項 1 乃至 5 の何れか一項に記載のタービン翼。

【請求項 7】

前記冷却通路は、前記サーペントイン流路を構成する前記複数のパスのうち、最も後縁側に位置する最終パス以外のパスであり、

前記最終パスの背側及び腹側の内壁面に設けられ、前記翼高さ方向に沿って配列された複数の最終パスタービュレータを備え、

前記タービュレータ又は前記最終パスタービュレータの高さを e とし、該タービュレータ又は最終パスタービュレータの前記翼高さ方向の位置における前記冷却通路又は前記最終パスの前記背腹方向における通路幅を D としたとき、

前記複数のタービュレータのうち、前記翼高さ方向において最も前記第 1 端部側に位置するタービュレータについての前記高さ e と前記通路幅 D との比 $(e/D)_{E1}$ と、前記複数のタービュレータについての前記高さ e と前記通路幅 D との比 (e/D) の平均 $(e/D)_{AVE}$ と、前記複数の最終パスタービュレータのうち、前記翼高さ方向において最も前記第 1 端部側に位置する最終パスタービュレータについての前記高さ e と前記通路幅 D との比 $(e/D)_{TE1}$ と、及び、前記複数の最終パスタービュレータについての前記高さ e と前記通路幅 D との比 $(e/D)_T$ の平均 $(e/D)_{T_{AVE}}$ との関係は、

$$[(e/D)_{E1} / (e/D)_{AVE}] < [(e/D)_{TE1} / (e/D)_{T_{AVE}}]$$

を満たす

請求項 6 に記載のタービン翼。

【請求項 8】

前記冷却通路は、前記サーペントイン流路を構成する前記複数のパスのうち、最も後縁側に位置する最終パス以外のパスであり、

前記最終パスの背側及び腹側の内壁面に設けられ、前記翼高さ方向に沿って配列された複数の最終パスタービュレータを備え、

前記最終パスの前記第 2 端部を基準にした翼高さ方向における前記最終パスタービュレータの高さは、冷却流体の流れ方向の上流側に位置する他のパスの翼高さ方向の同じ位置におけるタービュレータの高さ以下である

請求項 1 乃至 7 のいずれか一項に記載のタービン翼。

【請求項 9】

前記冷却通路は、前記サーペントイン流路を構成する前記複数のパスのうち、最も後縁側に位置する最終パス以外のパスであり、

前記最終パスの背側及び腹側の内壁面に設けられ、前記翼高さ方向に沿って配列された複数の最終パスタービュレータを備え、

前記最終パスの前記最終パスタービュレータの高さは、前記複数のパスのうち、前記最終パスに対して冷却流体の流れ方向の上流側に隣接して位置するとともに前記最終パスと相互に連通する上流側冷却通路の前記タービュレータの高さ以下である請求項 1 乃至 8 の何れか一項に記載のタービン翼。

【請求項 10】

前記冷却通路よりも前記翼体の前縁側において前記翼体の内部に設けられ、前記翼高さ

方向に沿って延在する前縁側通路と、

前記前縁側通路の内壁面に設けられ、前記翼高さ方向に沿って配列された複数の前縁側タービュレータと、をさらに備え、

前記タービュレータ又は前記前縁側タービュレータの高さを e とし、該タービュレータ又は前縁側タービュレータの前記翼高さ方向の位置における前記冷却通路又は前記前縁側通路の前記背腹方向における通路幅を D としたとき、

前記複数のタービュレータのうち、前記翼高さ方向において最も前記第 2 端部側に位置するタービュレータについての前記高さと同記通路幅との比 $(e/D)_{E2}$ と、前記複数のタービュレータについての前記高さと同記通路幅との比 e/D の平均 $(e/D)_{AVE}$ と、前記複数の前縁側タービュレータのうち、前記翼高さ方向において最も前記第 2 端部側に位置する前縁側タービュレータについての前記高さと同記通路幅との比 $(e/D)_{L-E2}$ と、及び、前記複数の前縁側タービュレータについての前記高さと同記通路幅との比 $(e/D)_L$ の平均 $(e/D)_{L-AVE}$ との関係は、

$$[(e/D)_{E2} / (e/D)_{AVE}] > [(e/D)_{L-E2} / (e/D)_{L-AVE}]$$

を満たす

請求項 1 乃至 9 の何れか一項に記載のタービン翼。

【請求項 1 1】

前記冷却通路の流路断面積は、前記翼高さ方向において前記第 1 端部から前記第 2 端部に向かうにつれて増大する

請求項 1 乃至 10 の何れか一項に記載のタービン翼。

【請求項 1 2】

前記冷却通路における冷却流体の流れ方向に対する前記複数のタービュレータの傾き角と、前記複数のタービュレータについての前記傾き角の平均 $_{AVE}$ との関係は、 $0.5 / _{AVE} > 2.0$ を満たす請求項 1 乃至 11 の何れか一項に記載のタービン翼。

【請求項 1 3】

前記タービン翼は動翼であり、

前記第 1 端部は、前記第 2 端部の径方向外側に位置する

請求項 1 乃至 12 の何れか一項に記載のタービン翼。

【請求項 1 4】

前記タービン翼は静翼であり、

前記第 1 端部は、前記第 2 端部の径方向内側に位置する

請求項 1 乃至 12 の何れか一項に記載のタービン翼。

【請求項 1 5】

請求項 1 乃至 14 の何れか一項に記載のタービン翼と、

前記タービン翼が設けられる燃焼ガス流路を流れる燃焼ガスを生成するための燃焼器と

を備えるガスタービン。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【発明の詳細な説明】

【発明の名称】タービン翼及びガスタービン

【技術分野】

【0001】

本開示は、タービン翼及びガスタービンに関する。

【背景技術】

【0002】

ガスタービン等のタービン翼において、タービン翼の内部に形成された冷却通路に冷却流体を流すことにより、高温のガス流れ等に曝されるタービン翼を冷却することが知られている。このような冷却通路の内壁面には、冷却通路における冷却流体の流れの乱れを促進させて冷却流体とタービン翼との間の熱伝達率を向上させるために、リブ状のタービュレータが設けられることがある。

【0003】

例えば、特許文献1には、翼高さ方向に沿って延びる冷却通路の内壁面に、冷却流体の流れ方向に沿って複数のタービュレータが設けられたタービン翼が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2004-225690号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、近年、例えばガスタービンにおいては高出力化に伴い、タービン翼に作用する負荷が大きくなる傾向にある。このように増大傾向にある負荷に耐え得る強度をタービン翼にもたせるため、タービンの径方向（すなわちタービン翼の翼高さ方向）の一方側においてタービン翼の背腹方向の翼幅を、他方側に比べて大きくすることがある。

このように、径方向の一方側においてタービン翼の背腹方向の翼幅を大きくする場合、タービン翼の内部に形成される冷却通路の幅（又は流路断面積）も、径方向において該一方側のほうが大きくなる場合がある。

【0006】

タービン翼の翼幅の変化に対応させて、適正なタービュレータを選択して、冷却通路の内部冷却が最適化された冷却通路を備えた翼構造が望まれる。

【0007】

上述の事情に鑑みて、本発明の少なくとも一実施形態は、効率的な冷却が可能なタービン翼及び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】

【0008】

(1) 本発明の少なくとも一実施形態に係るタービン翼は、

翼高さ方向における両端部である第1端部と、第2端部とを有する翼体と、

前記翼体の内部において前記翼高さ方向に沿って延在する冷却通路と、

前記冷却通路の内壁面に設けられ、前記冷却通路に沿って配列された複数のタービュレータと、を備え、

前記第2端部における前記翼体の前記冷却通路の通路幅は、前記第1端部における前記冷却通路の前記通路幅よりも大きく、

前記複数のタービュレータの高さは、前記翼高さ方向において前記第1端部側から前記第2端部側に向かうにつれて高くなることを特徴とする。

【0009】

上記(1)の構成では、翼高さ方向において冷却通路の通路幅が比較的小さい第1端部側から冷却通路の通路幅が比較的大きい第2端部側に近づくにつれて、タービュレータの高さが高くなるようにしたので、第2端部側において、タービュレータによる熱伝達率の向上効果を、第1端部側と同程度に得ることができる。また、上記(1)の構成では、翼高さ方向において第1端部側においてタービュレータ高さが比較的低いので、冷却通路の通路幅が比較的小さい第1端部側においてタービュレータ高さが比較的低いので、冷却通路の通路幅が比較的小さい第1端部側においてタービュレータの存在による圧力損失を抑制することができる。よって、上記(1)の構成によれば、翼高さ方向において冷却通路の通路幅が変化するタービン翼を効率的に冷却することができる。

【0010】

(2) 幾つかの実施形態では、上記(1)の構成において、

前記複数のタービュレータの高さ e と、該複数のタービュレータの前記翼高さ方向の位置における前記冷却通路の前記背腹方向における通路幅 D との比 (e/D) と、前記複数のタービュレータについての前記比 (e/D) の平均 $(e/D)_{AVE}$ との関係は、 $0.5 < (e/D) / (e/D)_{AVE} < 2.0$ を満たす。

【0011】

上記(2)の構成によれば、冷却通路に設けられた複数のタービュレータのうちのあるタービュレータに関するタービュレータの高さ e と通路幅 D との比 (e/D) が、該冷却通路に設けられた複数のタービュレータに関する (e/D) の平均である $(e/D)_{AVE}$ に近い値となるようにしたので、翼高さ方向における熱伝達率の低下や冷却流体の圧力損失の増加の極端な変化を抑制することができる。よって、効果的にタービン翼を冷却することができる。

【0012】

(3) 幾つかの実施形態では、上記(1)又は(2)の構成において、

前記複数のタービュレータのうち、前記翼高さ方向において最も前記第1端部側に位置するタービュレータの位置における前記冷却通路の前記通路幅を D_1 とし、前記翼高さ方向において最も前記第2端部側に位置するタービュレータの位置における前記冷却通路の前記通路幅を D_2 としたとき、前記通路幅 D_1 と前記通路幅 D_2 との比 (D_2/D_1) は、 $1.5 < (D_2/D_1)$ の関係を満たす。

【0013】

上記(3)の構成によれば、第2端部側の冷却通路の通路幅 D_2 が、第1端部側の冷却通路の通路幅 D_1 よりも大幅に大きいタービン翼において、冷却通路の通路幅が大きい第2端部側の翼高さ方向位置においてタービュレータの高さが高くなるようにしたので、上記(1)で述べたように、タービン翼を効率的に冷却することができる。

【0014】

(4) 幾つかの実施形態では、上記(1)乃至(3)の何れかの構成において、

前記翼高さ方向において隣り合う一対のタービュレータの前記翼高さ方向におけるピッチは、前記翼高さ方向において前記第1端部から前記第2端部に向かうにつれて増大する。

【0015】

タービュレータによる熱伝達率の向上効果は、翼高さ方向において隣り合うタービュレータ間のピッチに応じて変化し、高い熱伝達率が得られるタービュレータのピッチと高さの比が存在する。この点、上記(4)の構成によれば、翼高さ方向において第1端部から第2端部に近づくにつれて、すなわち、タービュレータの高さが高くなるにつれて、翼高さ方向において隣り合うタービュレータ間のピッチが増大するようにしたので、冷却通路内でタービュレータが設けられた翼高さ方向範囲において高い熱伝達率を得ることができる。

【0016】

(5) 幾つかの実施形態では、上記(1)乃至(4)の何れかの構成において、

前記複数のタービュレータのうち、前記翼高さ方向において隣り合う一対のタービュレータ間のピッチ P と、該一対のタービュレータの高さの平均 e_a との比 (P/e_a) と、前記複数のタービュレータについての前記比 (P/e_a) の平均 $(P/e_a)_{AVE}$ との関係は、 $0.5 < (P/e_a) / (P/e_a)_{AVE} < 2.0$ を満たす。

【0017】

上記(5)の構成によれば、冷却通路に設けられた複数のタービュレータのうちのある一対のタービュレータに関する P/e_a が、該冷却通路に設けられた複数のタービュレータに関する P/e_a の平均である $(P/e_a)_{AVE}$ に近い値となるようにしたので、翼高さ方向において第1端部から第2端部に近づくにつれて、すなわち、タービュレータの高さが高くなるにつれて、隣り合うタービュレータ間のピッチが増大する傾向となる。よって、 P/e_a 又は $(P/e_a)_{AVE}$ を適切に設定することで、冷却通路内でタービュ

レータが設けられた翼高さ方向範囲において高い熱伝達率を得ることができる。

【0018】

(6) 幾つかの実施形態では、上記(1)乃至(5)の何れかの構成において、

前記冷却通路は、前記翼体の内部に形成されたサーペンタイン流路を構成する複数のパスのうちの1つである。

【0019】

上記(6)の構成では、冷却流体が流れる内部流路としてサーペンタイン流路が設けられたタービン翼において、サーペンタイン流路を構成するパスが上記(1)で述べた構成を有する冷却通路である。よって、上述のパス(冷却通路)の第2端部側において、タービュレータによる熱伝達率の向上効果を、第1端部側と同程度に得ることができるとともに、上述のパス(冷却通路)の通路幅が比較的狭く圧力損失が大きくなる傾向にある第1端部側において、タービュレータの存在による圧力損失を抑制することができる。よって、上記(6)の構成によれば、翼高さ方向においてサーペンタイン流路のパス(冷却通路)の通路幅が変化するタービン翼を効率的に冷却することができる。

【0020】

(7) 幾つかの実施形態では、上記(6)の構成において、

前記冷却通路は、前記サーペンタイン流路を構成する前記複数のパスのうち、最も後縁側に位置する最終パス以外のパスであり、

前記タービン翼は、前記最終パスの背側及び腹側の内壁面に設けられ、前記翼高さ方向に沿って配列された複数の最終パスタービュレータを備え、

前記タービュレータ又は前記最終パスタービュレータの高さを e とし、該タービュレータ又は最終パスタービュレータの前記翼高さ方向の位置における前記冷却通路又は前記最終パスの前記背腹方向における通路幅を D としたとき、

前記複数のタービュレータのうち、前記翼高さ方向において最も前記第1端部側に位置するタービュレータについての前記高さ e と前記通路幅 D との比 $(e/D)_{E1}$ と、前記複数のタービュレータについての前記高さ e と前記通路幅 D との比 (e/D) の平均 $(e/D)_{AVE}$ と、前記複数の最終パスタービュレータのうち、前記翼高さ方向において最も前記第1端部側に位置する最終パスタービュレータについての前記高さ e と前記通路幅 D との比 $(e/D)_{T-E1}$ と、及び、前記複数の最終パスタービュレータについての前記高さ e と前記通路幅 D との比 $(e/D)_T$ の平均 $(e/D)_{T-AVE}$ との関係は、

$$[(e/D)_{E1} / (e/D)_{AVE}] < [(e/D)_{T-E1} / (e/D)_{T-AVE}]$$

を満たす。

【0021】

上記(1)で述べたように、最終パス以外のパス(冷却通路)に設けられたタービュレータについては、冷却通路の通路幅が比較的狭い第1端部側から冷却通路の通路幅が比較的広い第2端部側に向かうにつれてタービュレータの高さが高くなるため、タービュレータの高さ e と通路幅 D との比 (e/D) が一定に近くなる傾向となる(すなわち、上記関係式の左辺が1に近くなる)。このことから、上述の関係式は、最終パスでは、翼高さ方向において第2端部側から第1端部側に向かうにつれて、最終パスの通路幅 D が減少するのに対し、最終パスタービュレータの高さ e は、上記通路幅 D ほど減少しないことを意味する。

すなわち、上記(7)の構成によれば、サーペンタイン流路の最終パスでは、複数の最終パスタービュレータの高さ e が、翼高さ方向においてそれほど変化しない。よって、サーペンタイン流路において冷却流体が比較的高温となる最終パスにおいて、冷却流体の流れの下流側に通常位置する第1端部側における冷却流体の流速を増大させることができる。これにより、最終パスを流れる冷却流体によってタービン翼をより効果的に冷却することができる。

【0022】

(8) 幾つかの実施形態では、上記(1)乃至(7)の構成において、

前記冷却通路は、前記サーペンタイン流路を構成する前記複数のパスのうち、最も後縁側に位置する最終パス以外のパスであり、

前記タービン翼は、前記最終パスの背側及び腹側の内壁面に設けられ、前記翼高さ方向に沿って配列された複数の最終パスタービュレータを備え、

前記最終パスの前記第2端部を基準にした翼高さ方向における前記最終パスタービュレータの高さは、冷却流体の流れ方向の上流側に位置する他のパスの翼高さ方向の同じ位置におけるタービュレータの高さ以下である。

【0023】

上記(8)の構成によれば、最終タービュレータと他のパスのタービュレータについて、翼高さ方向の同じ位置におけるタービュレータの高さを比べた場合、最終タービュレータの高さが、他のパスのタービュレータの高さ以下となるので、最終タービュレータの高い熱伝達率を維持しつつ、最終パスを流れる冷却流体に与える過大な圧力損失の発生を抑制できる。

【0024】

(9)幾つかの実施形態では、上記(1)乃至(8)の何れかの構成において、

前記冷却通路は、前記サーペンタイン流路を構成する前記複数のパスのうち、最も後縁側に位置する最終パス以外のパスであり、

前記タービン翼は、前記最終パスの背側及び腹側の内壁面に設けられ、前記翼高さ方向に沿って配列された複数の最終パスタービュレータを備え、

前記最終パスの前記最終パスタービュレータの高さは、前記複数のパスのうち、前記最終パスに対して冷却流体の流れ方向の上流側に隣接して位置するとともに前記最終パスと相互に連通する上流側冷却通路の前記タービュレータの高さ以下である。

【0025】

上記(9)の構成によれば、サーペンタイン流路において最も後縁側に位置する最終パスのタービュレータ(最終パスタービュレータ)の高さが、該最終パスに隣接して連通する上流側冷却通路のタービュレータの高さ以下となるようにしたので、サーペンタイン流路を構成する複数のパスのうち、流路面積が比較的狭いとともに、冷却流体が比較的高温となる最終パスにおいて、より多数のタービュレータを設けることができる。これにより、最終パスを流れる冷却流体によってタービン翼をより効果的に冷却することができる。

【0026】

(10)幾つかの実施形態では、上記(1)乃至(9)の何れかの構成において、

前記タービン翼は、

前記冷却通路よりも前記翼体の前縁側において前記翼体の内部に設けられ、前記翼高さ方向に沿って延在する前縁側通路と、

前記前縁側通路の内壁面に設けられ、前記翼高さ方向に沿って配列された複数の前縁側タービュレータと、をさらに備え、

前記タービュレータ又は前記前縁側タービュレータの高さを e とし、該タービュレータ又は前縁側タービュレータの前記翼高さ方向の位置における前記冷却通路又は前記前縁側通路の前記背腹方向における通路幅を D としたとき、

前記複数のタービュレータのうち、前記翼高さ方向において最も前記第2端部側に位置するタービュレータについての前記高さ e と前記通路幅 D との比 $(e/D)_{E2}$ と、前記複数のタービュレータについての前記高さ e と前記通路幅 D との比 e/D の平均 $(e/D)_{AVE}$ と、前記複数の前縁側タービュレータのうち、前記翼高さ方向において最も前記第2端部側に位置する前縁側タービュレータについての前記高さ e と前記通路幅 D との比 $(e/D)_{L-E2}$ と、及び、前記複数の前縁側タービュレータについての前記高さ e と前記通路幅 D との比 $(e/D)_L$ の平均 $(e/D)_{L-AVE}$ との関係は、

$$[(e/D)_{E2} / (e/D)_{AVE}] > [(e/D)_{L-E2} / (e/D)_{L-AVE}]$$

を満たす。

【0027】

上記(1)で述べたように、冷却通路に設けられたタービュレータについては、冷却通路の通路幅が比較的狭い第1端部側から冷却通路の通路幅が比較的広い第2端部側に向かうにつれてタービュレータの高さが高くなるため、タービュレータの高さ e と通路幅 D との比 (e/D) が一定に近くなる傾向となる(すなわち、上記関係式の左辺が1に近くなる)。このことから、上述の関係式は、翼高さ方向において第1端部側から第2端部側に向かうにつれて、最終パスの通路幅 D が増大するのに対し、前縁側タービュレータの高さ e は、上記通路幅 D ほど増大しないことを意味する。

すなわち、上記(10)の構成によれば、前縁側通路では、複数の前縁側タービュレータの高さ e が、翼高さ方向においてそれほど変化しない。よって、比較的低温の冷却流体が供給される前縁側通路において、冷却流体の流れの上流側に位置する第2端部側でのタービュレータによる熱伝達率の向上効果を抑制して、第1端部側に向けて流れる冷却流体の温度上昇を抑制することができる。これにより、タービン翼をより効果的に冷却することができる。

【0028】

(11)幾つかの実施形態では、上記(1)乃至(10)の何れかの構成において、前記冷却通路の流路断面積は、前記翼高さ方向において前記第1端部から前記第2端部に向かうにつれて増大する。

【0029】

上記(11)の構成によれば、翼高さ方向において冷却通路の流路断面積が比較的小さい第1端部から冷却通路の流路断面積が比較的大きい第2端部に近づくにつれて、タービュレータの高さが高くなるようにしたので、第2端部側において、タービュレータによる熱伝達率の向上効果を、第1端部側と同程度に得ることができる。また、上記(11)の構成では、翼高さ方向において第1端部側においてタービュレータ高さが比較的低いので、流路断面積が比較的狭く圧力損失が大きくなる傾向にある第1端部側において、タービュレータの存在による圧力損失を抑制することができる。よって、上記(11)の構成によれば、翼高さ方向において冷却通路の流路断面積が変化するタービン翼を効率的に冷却することができる。

【0030】

(12)幾つかの実施形態では、上記(1)乃至(11)の何れかの構成において、前記冷却通路における冷却流体の流れ方向に対する前記複数のタービュレータの傾き角と、前記複数のタービュレータについての前記傾き角の平均 A_{VE} との関係は、 $0.5 / A_{VE} \geq 2.0$ を満たす。

【0031】

タービュレータによる熱伝達率の向上効果は、冷却通路における冷却流体の流れ方向に対するタービュレータの傾き角に応じて変化し、高い熱伝達率が得られるタービュレータの傾き角が存在する。この点、上記(12)の構成によれば、翼高さ方向にタービュレータの傾き角がほぼ一定となるようにしたので、冷却通路内でタービュレータが設けられた翼高さ方向範囲において高い熱伝達率を得ることができる。

【0032】

(13)幾つかの実施形態では、上記(1)乃至(12)の何れかの構成において、前記タービン翼は動翼であり、前記第1端部は、前記第2端部の径方向外側に位置する。

【0033】

上記(13)の構成によれば、タービン翼としてのガスタービンの動翼が上記(1)乃至(12)の何れかの構成を有するので、動翼を効率的に冷却することができるため、ガスタービンの熱効率を向上させることができる。

【0034】

(14)幾つかの実施形態では、上記(1)乃至(12)の何れかの構成において、前記タービン翼は静翼であり、前記第1端部は、前記第2端部の径方向内側に位置する。

【0035】

上記(14)の構成によれば、タービン翼としてのガスタービンの静翼が上記(1)乃至(12)の何れかの構成を有するので、静翼を効率的に冷却することができるため、ガスタービンの熱効率を向上させることができる。

【0036】

(15)本発明の少なくとも一実施形態に係るガスタービンは、
上記(1)乃至(14)の何れかに記載のタービン翼と、
前記タービン翼が設けられる燃焼ガス流路を流れる燃焼ガスを生成するための燃焼器と、
を備える。

【0037】

上記(15)の構成によれば、タービン翼が上記(1)～(14)の何れかの構成を有するので、タービン翼の冷却のために蛇行流路に供給する冷却流体の量を削減できるため、ガスタービンの熱効率を向上させることができる。

【発明の効果】

【0038】

本発明の少なくとも一実施形態によれば、タービン翼の冷却通路の最適化が図られ、冷却流体量が低減され、タービンの熱効率が向上する。

【図面の簡単な説明】

【0039】

【図1】一実施形態に係るタービン翼が適用されるガスタービンの概略構成図である。

【図2】一実施形態に係る動翼(タービン翼)の翼高さ方向に沿った部分断面図である。

【図3】図2のB-B断面を示す図である。

【図4A】図2のA-A断面における動翼の断面図である。

【図4B】図2のB-B断面における動翼の断面図である。

【図4C】図2のC-C断面における動翼の断面図である。

【図5】一実施形態に係るタービュレータの構成を説明するための模式図である。

【図6】一実施形態に係るタービュレータの構成を説明するための模式図である。

【図7】図2～図4Cに示す動翼(タービン翼)の模式的な断面図である。

【図8】図7のD-D断面を示す模式図である。

【図9】一実施形態に係る静翼(タービン翼)の模式的な断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0040】

以下、添付図面を参照して本発明の幾つかの実施形態について説明する。ただし、実施形態として記載されている又は図面に示されている構成部品の寸法、材質、形状、その相対的配置等は、本発明の範囲をこれに限定する趣旨ではなく、単なる説明例にすぎない。

【0041】

まず、幾つかの実施形態に係るタービン翼が適用されるガスタービンについて説明する。

【0042】

図1は、一実施形態に係るタービン翼が適用されるガスタービンの概略構成図である。図1に示すように、ガスタービン1は、圧縮空気を生成するための圧縮機2と、圧縮空気及び燃料を用いて燃焼ガスを発生させるための燃焼器4と、燃焼ガスによって回転駆動されるように構成されたタービン6と、を備える。発電用のガスタービン1の場合、タービン6には不図示の発電機が連結される。

【0043】

圧縮機2は、圧縮機車室10側に固定された複数の静翼16と、静翼16に対して交互に配列されるようにロータ8に植設された複数の動翼18と、を含む。

圧縮機2には、空気取入口12から取り込まれた空気が送られるようになっており、この空気は、複数の静翼16及び複数の動翼18を通過して圧縮されることで高温高圧の圧

縮空気となる。

【0044】

燃焼器4には、燃料と、圧縮機2で生成された圧縮空気とが供給されるようになっており、該燃焼器4において燃料と圧縮空気が混合され、燃焼され、タービン6の作動流体である燃焼ガスが生成される。燃焼器4は、図1に示すように、ケーシング20内にロータを中心として周方向に沿って複数配置されている。

【0045】

タービン6は、タービン車室22内に形成される燃焼ガス流路28を有し、該燃焼ガス流路28に設けられる複数の静翼24及び動翼26を含む。

静翼24はタービン車室22側に固定されており、ロータ8の周方向に沿って配列される複数の静翼24が静翼列を構成している。また、動翼26はロータ8に植設されており、ロータ8の周方向に沿って配列される複数の動翼26が動翼列を構成している。静翼列と動翼列とは、ロータ8の軸方向において交互に配列されている。

タービン6では、燃焼ガス流路28に流れ込んだ燃焼器4からの燃焼ガスが複数の静翼24及び複数の動翼26を通過することでロータ8が回転駆動され、これにより、ロータ8に連結された発電機が駆動されて電力が生成されるようになっている。タービン6を駆動した後の燃焼ガスは、排気室30を介して外部へ排出される。

【0046】

幾つかの実施形態において、タービン6の動翼26又は静翼24の少なくとも一方は、以下に説明するタービン翼40である。

以下においては、主としてタービン翼40としての動翼26の図を参照しながら説明するが、タービン翼40としての静翼24についても、基本的には同様の説明が適用できる。

【0047】

図2は、一実施形態に係る動翼26（タービン翼40）の翼高さ方向に沿った部分断面図であり、図3は、図2のB-B断面を示す図である。なお、図中の矢印は、冷却流体の流れの向きを示す。また、図4A～図4Cは、それぞれ、翼高さ方向において異なる3つの位置における動翼26の断面図であり、図4Aは図2の先端48近傍のA-A断面を示す図であり、図4Bは図2の翼高さ方向の中間領域近傍のB-B断面を示す図（即ち図3と同等の図）であり、図4Cは図2の基端50近傍のC-C断面を示す図である。

【0048】

図2及び図3に示すように、一実施形態に係るタービン翼40である動翼26は、翼体42と、プラットフォーム80と、翼根部82と、を備えている。翼根部82は、ロータ8（図1参照）に埋設され、動翼26は、ロータ8と共に回転する。プラットフォーム80は、翼根部82と一体的に構成されている。

【0049】

翼体42は、ロータ8の径方向（以下、単に「径方向」又は「スパン方向」ということがある。）に沿って延在するように設けられており、プラットフォーム80に固定される基端50と、翼高さ方向（ロータ8の径方向）において基端50とは反対側（径方向外側）に位置し、翼体42の頂部を形成する天板49からなる先端48と、を有する。

また、動翼26の翼体42は、基端50から先端48にかけて前縁44及び後縁46を有し、該翼体42の翼面は、基端50と先端48との間において翼高さ方向に沿って延在する翼面が凹状に形成された圧力面（腹面）56と翼面が凸状に形成された負圧面（背面）58とを含む。

【0050】

翼体42の内部には、タービン翼40を冷却するための冷却流体（例えば空気）を流すための冷却流路が設けられている。図2及び図3に示す例示的な実施形態では、翼体42には、冷却流路として、2つのサーペントイン流路（蛇行流路）61A、61Bと、サーペントイン流路61A、61Bよりも前縁44側に位置する前縁側通路36とが形成されている。サーペントイン流路61A、61B及び前縁側通路36には、内部流路84A、

84B, 85をそれぞれ介して外部からの冷却流体が供給されるようになっている。

このように、サーペンタイン流路61A, 61Bや前縁側通路36等の冷却流路に冷却流体を供給することにより、タービン6の燃焼ガス流路28に設けられて高温の燃焼ガスに曝される翼体42を翼体42の内壁面側から対流冷却するようになっている。

【0051】

2つのサーペンタイン流路は、前縁44側に位置するサーペンタイン流路61Aと、後縁46側に位置するサーペンタイン流路61Bと、を含み、これらのサーペンタイン流路61A, 61Bは、翼体42の内部に設けられ、翼高さ方向に沿って延びるリブ(隔壁)31によって仕切られている。

また、前縁側に位置するサーペンタイン流路61Aと、前縁側通路36とは、翼体42の内部に設けられ、翼高さ方向に沿って延びるリブ29によって仕切られている。

【0052】

また、2つのサーペンタイン流路61A, 61Bは、翼高さ方向に沿って延びる複数のパス60(パス60a~60c, 60d~60f)をそれぞれ有している。

【0053】

各サーペンタイン流路61A, 61Bにおいて互いに隣り合うパス60は、翼体42の内部に設けられ、翼高さ方向に沿って延びるリブ32によって仕切られている。

また、各サーペンタイン流路61A, 61Bにおいて互いに隣り合うパス60は、先端48側又は基端50側において互いに接続され、この接続部において、冷却流体の流れの方向が翼高さ方向において逆向きに折り返すリターン流路33が形成され、サーペンタイン流路61A, 61B全体として径方向に蛇行した形状を有している。すなわち、複数のパス60a~60c及び複数のパス60d~60fは、それぞれ、互いにリターン流路33を介して連通してサーペンタイン流路61A, 61Bを形成している。

【0054】

図2及び図3に示す例示的な実施形態では、前縁側のサーペンタイン流路61Aは、3本のパス60a~60cを含み、これらのパス60a~60cは後縁46側から前縁44側に向かってこの順に配列されている。また、後縁側のサーペンタイン流路61Bは、3本のパス60d~60fを含み、これらのパス60d~60fは前縁44側から後縁46側に向かってこの順に配列されている。

【0055】

サーペンタイン流路61A, 61Bを形成する複数のパス60は、冷却流体の流れの最下流側に位置する最終パス66を含む。すなわち、サーペンタイン流路61Aにおいては、最も前縁44側に位置するパス60cが最終パス66であり、サーペンタイン流路61Bにおいては、最も後縁46側に位置するパス60fが最終パス66である。

【0056】

上述したサーペンタイン流路61A, 61Bを有するタービン翼40では、冷却流体は、例えば翼根部82の内部に形成された内部流路84A, 84Bを介してサーペンタイン流路61A, 61Bの最上流側のパス(図2及び図3に示す例ではパス60a及びパス60d)に導入され、サーペンタイン流路61A, 61Bの各々を構成する複数のパス60を下流側に向かって順に流れる。そして、複数のパス60のうち、冷却流体流れ方向の最も下流側の最終パス66を流れる冷却流体は、翼体42の先端48側に設けられた出口開口64A, 64Bを介してタービン翼40の外部の燃焼ガス流路28に流出するようになっている。出口開口64A, 64Bは天板49に形成される開口である。最終パス66を流れる冷却流体の少なくとも一部が、出口開口64Bから排出される。後縁46側の最終パス66に出口開口64Bを設けることにより、最終パス66の天板49付近の空間に冷却流体のよどみ空間が発生し、天板49の内壁面が過熱されるのを抑制できる。

【0057】

なお、サーペンタイン流路61A, 61Bの形状は、図2及び図3に示される形状に限定されるものではない。例えば、1つのタービン翼40の翼体42の内部に形成されるサーペンタイン流路の数は、2つに限定されず、1つ又は3つ以上であってもよい。あるいは

は、サーペンタイン流路は、該サーペンタイン流路上の分岐点において複数の流路に分岐していてもよい。いずれの場合も、サーペンタイン流路を構成するパスのうち、最も後縁側に位置するパスは、通常、該サーペンタイン流路の最終パスである。

【0058】

また、前縁側通路36は、最も前縁44に近接して配置された冷却通路59であり、最も熱負荷の高くなる通路である。前縁側通路36は、基端50側で内部流路85に連通し、先端48側の天板49に形成された出口開口38に連通している。内部流路85を介して前縁側通路36に供給された冷却流体は、一方向通路である前縁側通路36を基端50側から先端48側に流れ、出口開口38から燃焼ガス流路28に排出される。冷却流体は、前縁側通路36を流れる過程で、前縁側通路36の内壁面を対流冷却している。

【0059】

幾つかの実施形態では、図2に示すように、翼体42の後縁部47（後縁46を含む部分）には、翼高さ方向に沿って配列するように複数の冷却孔70が形成されている。複数の冷却孔70は、翼体42の内部に形成された冷却流路（図示する例においては後縁側のサーペンタイン流路61Bの最終パス66であるパス60f）に連通するとともに、翼体42の後縁部47における表面に開口している。なお、図3においては、冷却孔70の図示を省略している。

【0060】

冷却流路を流れる冷却流体の一部は、該冷却流路に連通する上述の冷却孔70を通過して、翼体42の後縁部47の開口からタービン翼40の外部の燃焼ガス流路28に流出する。このようにして冷却流体が冷却孔70を通過することにより、翼体42の後縁部47が対流冷却されるようになっている。

【0061】

動翼26の翼体42は、翼高さ方向における両端部である第1端部101及び第2端部102を有する。このうち第1端部101は、翼体42の先端48側の端部であり、第2端部102は、翼体42の基端50側の端部である。すなわち、動翼26において、第1端部101は、第2端部102の径方向外側に位置する。

【0062】

図4A～図4Cに示すように、翼体42の背腹方向における翼幅は、第2端部102側（基端50側）において、第1端部101側（先端48側）よりも大きくなっている。即ち、翼体42において、第2端部102のほうが、第1端部に比べて背腹方向の翼幅が大きくなっている。

【0063】

また、図4A～Cに示すように、動翼26において、第2端部102（即ち基端50側）における翼体42の背腹方向におけるサーペンタイン流路61A、61Bの各パス60及び前縁側通路36の通路幅D2（図4Cに示すDL2、Da2、Db2...等；以下、まとめて「D2」とも表記する。）は、第1端部101（即ち先端48側）における冷却流路の通路幅D1（図4Aに示すDL1、Da1、Db1...等；以下、まとめて「D1」とも表記する。）よりも大きい。

【0064】

ここで、翼体42の背腹方向における冷却流路の通路幅D（DL、Da、Db...等；以下、まとめて「D」とも表記する。）は、各通路（各パス60及び前縁側通路36）において、翼体42の圧力面56側の内壁面63P（図4B参照）から計測した、該内壁面63Pと負圧面58側の内壁面63S（図4B参照）との間の距離の最大値として定義される。

【0065】

なお、冷却流路の通路幅Dは、矩形状断面ではなく、例えば、菱形状断面、台形状断面、三角形断面のように変形した通路形状の場合を考慮して、下記式（I）に示す等価直径EDにより表す場合もある。等価直径EDが、上述の通路幅Dに相当する。

【0066】

$$ED = 4A / L \quad \dots (I)$$

上記式 (I) において、ED は等価直径を示し、A は通路断面積を示し、L は通路断面の濡れ長さ (一つの通路断面の全周の長さ) を示す。従って、以下の説明では、通路幅 D は、等価直径 ED と読み替えてもよい。

【0067】

例えば、翼体 42 に設けられた複数の通路 (サーペンタイン流路 61A, 61B の各パス 60 及び前縁側通路 36) のうち、前縁 44 側から数えて 3 つ目の通路であるパス 60b に着目した場合、第 1 端部 101 側 (先端 48 側) の通路幅 D_{b1} と、第 2 端部 102 側 (基端 50 側) の通路幅 D_{b2} とは、 $D_{b1} < D_{b2}$ の関係を満たす。また、他の通路についても同様の関係が成り立つ。

【0068】

なお、通路幅 D は、翼高さ方向において第 1 端部 101 側から第 2 端部 102 側に向かうにつれて、徐々に増大するようになっていてもよい。

また、パス 60 の各々の流路断面積は、翼高さ方向において前記第 1 端部から前記第 2 端部に近づくにつれて増大するようになっていてもよい。

【0069】

サーペンタイン流路 61A, 61B を構成する複数のパス 60 のうち少なくとも幾つかの内壁面 63 (圧力面 56 側の内壁面 63P 及び / 又は負圧面 58 側の内壁面 63S) には、リブ状のタービュレータ 34 が設けられている。図 2 ~ 図 4C に示す例示的な実施形態では、複数のパス 60 の各々の圧力面 56 側の内壁面 63P 及び負圧面 58 側の内壁面 63S に、翼高さ方向に沿って複数のタービュレータ 34 が設けられている。

【0070】

また、幾つかの実施形態では、図 2 ~ 図 4C に示すように、前縁側通路 36 の内壁面にも、翼高さ方向に沿って複数のタービュレータ 35 (前縁側タービュレータ 35) が設けられている。

【0071】

ここで、図 5 及び図 6 は、それぞれ、一実施形態に係るタービュレータ 34 の構成を説明するための模式図であり、図 5 は、図 2 ~ 図 4C に示すタービン翼 40 の翼高さ方向 (ロータ 8 の径方向) 及び背腹方向 (略ロータ 8 の周方向) を含む平面に沿った部分的な断面の模式図であり、図 6 は、図 2 ~ 図 4C に示すタービン翼 40 の翼高さ方向 (ロータ 8 の径方向) 及びロータ 8 の軸方向を含む平面に沿った部分的な断面の模式図である。

【0072】

図 5 に示すように、各タービュレータ 34 は、パス 60 の内壁面 63 に設けられており、該タービュレータ 34 の該内壁面 63 を基準とした高さは e である。また、図 5 及び図 6 に示すように、パス 60 において、複数のタービュレータ 34 は、ピッチ P の間隔で設けられている。また、図 6 に示すように、パス 60 における冷却流体の流れ方向 (図 6 の矢印 LF) と、各タービュレータ 34 との間のなす角度 (ただし鋭角; 以下、「傾き角」ともいう。) は、傾き角 θ である。

【0073】

パス 60 に上述のタービュレータ 34 が設けられていると、冷却流体がパス 60 を流れるときに、タービュレータ 34 近傍で渦の発生等の流れの乱れが促進される。すなわち、タービュレータ 34 を乗り越えた冷却流体は、下流側に配置された隣接のタービュレータ 34 の間に渦流を形成する。これにより、冷却流体の流れ方向において隣り合うタービュレータ 34 同士の間位置付近では、冷却流体の乱流を形成する渦流がパス 60 の内壁面 63 に付着し、冷却流体と、翼体 42 との間の熱伝達率を増大させることができ、タービン翼 40 を効果的に冷却することができる。

【0074】

すなわち、ガスタービンの高出力化に伴い、タービン翼にかかる熱負荷が増大するので、タービン翼を支持する基端 50 側の第 2 端部 102 における背腹方向の翼幅を大きくしつつ、先端 48 側の第 1 端部 101 を小型化したい場合がある。その場合、第 1 端部 10

1側の翼幅を小さく、第2端部102側の翼幅を大きくする翼形状を選定するため、翼体の内部に配置された冷却流路は、第1端部101側の冷却流路の流路断面積は小さく、第2端部102側の冷却流路の流路断面積は大きく選定することになる。タービュレータ34は、冷却流路の内壁面の熱伝達を増大させるための乱流促進部材であり、冷却流路の流路断面積の変化に応じて、適正なタービュレータの高さ e 、ピッチ P 、傾き角 θ を選択して、翼体に対して最大限の冷却性能を発揮させることが重要である。

【0075】

タービュレータ34による熱伝達率の向上効果は、タービュレータの高さ e 、ピッチ P 、傾き角 θ 、及び、パス(通路)の通路幅 D に応じて変化する。

例えば、タービュレータ34の傾き角 θ により、冷却流体の渦流の発生状態が変化し、翼内壁との間の熱伝達率に影響する。また、タービュレータ34のピッチ P と比較して、タービュレータの高さ e が高すぎる場合、渦流が内壁面63に付着しない場合がある。従って、熱伝達率とタービュレータ34の傾き角 θ 並びに熱伝達率とピッチ P と高さ e との比率 P/e との間には、後述のように適正な範囲が存在する。また、タービュレータ34の高さ e が通路幅 D と比較して高すぎると、冷却流体の圧力損失を増大させる。一方、タービュレータ34の高さ e と比較して背腹方向におけるパス(通路)の通路幅 D が広すぎたりすると、渦流による熱伝達率の増大効果が期待できず、熱伝達率を低下させ、冷却性能を低下させる原因になる。すなわち、冷却流路の形状の変化に応じて、高い熱伝達率が得られるタービュレータ34の適正な高さ e 、ピッチ P 、傾き角 θ が存在する。

【0076】

なお、前縁側通路36に設けられるタービュレータ35(前縁側タービュレータ)による熱伝達率の向上効果も、上述のタービュレータ34の場合と同様に、タービュレータ35の傾き角、ピッチ、高さ、及び背腹方向における前縁側通路36の通路幅に応じて変化する。

【0077】

以下、図2~図4C、及び図7~9を参照して、幾つかの実施形態に係るタービン翼40の特徴について、タービュレータ34の特徴も含めてより詳細に説明するが、その前に、図9を参照して、一実施形態に係る静翼24(タービン翼40)の構成について説明する。

ここで、図7は、図2~図4Cに示す動翼26(タービン翼40)の模式的な断面図であり、図8は、図7のD-D断面を示す模式図である。また、図9は、一実施形態に係る静翼24(タービン翼40)の模式的な断面図である。図中の矢印は、冷却流体の流れの向きを示す。

【0078】

図9に示すように、一実施形態に係る静翼24(タービン翼40)は、翼体42と、翼体42に対して径方向内側に位置する内側シュラウド86と、翼体42に対して径方向外側に位置する外側シュラウド88と、を備えている。外側シュラウド88はタービン車室22(図1参照)に支持され、静翼24は外側シュラウド88を介してタービン車室22に支持される。翼体42は、外側シュラウド88側(すなわち径方向外側)に位置する外側端52と、内側シュラウド86側(すなわち径方向内側)に位置する内側端54と、を有する。

【0079】

静翼24の翼体42は、外側端52から内側端54にかけて前縁44及び後縁46を有し、翼体42の翼面は、外側端52と内側端54との間において、翼高さ方向に沿って延在する圧力面(腹面)56と負圧面(背面)58を含む。

【0080】

静翼24の翼体42の内部には、複数のパス60により形成されるサーペンタイン流路61が形成される。図9に示す例示的な実施形態では、5本のパス60a~60eによりサーペンタイン流路61が形成されている。パス60a~60eは、前縁44側から後縁46側に向かってこの順に配列されている。

【0081】

図9に示す静翼24(タービン翼40)では、冷却流体は、外側シュラウド88の内部に形成された内部流路(不図示)を介してサーペンタイン流路61に導入され、複数のパス60を下流側に向かって順に流れる。そして、複数のパス60のうち、冷却流体の流れ方向の最も下流側の最終パス66(パス60e)を流れる冷却流体は、翼体42の内側端54側(内側シュラウド86側)に設けられた出口開口64を介して静翼24(タービン翼40)の外部の燃焼ガス流路28に流出するか、又は後述する後縁部47の冷却孔70から燃焼ガス中に排出されるようになっている。

【0082】

静翼24において、複数のパス60のうち少なくとも幾つかの内壁面には、上述したタービュレータ34が設けられている。図9に示す例示的な実施形態では、複数のパス60の各々の内壁面に、複数のタービュレータ34が設けられている。

【0083】

静翼24において、翼体42の後縁部47には、翼高さ方向に沿って配列するように、複数の冷却孔70が形成されていてもよい。

【0084】

静翼24の翼体42は、翼高さ方向における両端部である第1端部101及び第2端部102を有する。このうち第1端部101は、翼体42の内側端54側の端部であり、第2端部102は、翼体42の外側端52側の端部である。すなわち、静翼24において、第1端部101は、第2端部102の径方向内側に位置する。

【0085】

静翼24(タービン翼40)における翼体42の背腹方向の翼幅は、外側端52側(第2端部102側)において、内側端54側(第1端部101側)よりも大きくなっている。即ち、翼体42において、第2端部102のほうが、第1端部101に比べて翼幅が大きくなっている。

【0086】

また、特に図示しないが、パス60の通路幅Dについては、上述した動翼26の場合と同様に、第2端部102(即ち外側端52側)における翼体42の背腹方向におけるサーペンタイン流路61の各パス60の通路幅D2は、第1端部101(即ち内側端54側)における通路幅D1よりも大きい。

通路幅Dは、翼高さ方向において第1端部101側から第2端部102側に向かうにつれて、徐々に増大するようになっているてもよい。

また、パス60の各々の流路断面積は、翼高さ方向において前記第1端部から前記第2端部に近づくにつれて増大するようになっているてもよい。なお、前述した等価直径EDの考え方は、静翼24の通路幅Dにも適用できる。

【0087】

次に、図2～図4C、及び、図7～図9を参照して幾つかの実施形態に係るタービン翼40のより具体的な特徴について説明する。

【0088】

幾つかの実施形態に係るタービン翼40(動翼26又は静翼24)では、パス60a～60fの少なくとも1つである冷却通路59に設けられた複数のタービュレータ34の高さは、翼高さ方向において第1端部101側(動翼26における先端48側、静翼24における内側端54側)から第2端部102(動翼26における基端50側、静翼24における外側端52側)側に向かうにつれて高くなることを特徴とする。すなわち、翼高さ方向において、第1端部101側から第2端部102側に向かうにつれて、冷却通路59の通路幅Dが増大するのに従い、タービュレータ34の高さeが高くなる。あるいは、翼高さ方向において、第1端部101側から第2端部102側に向かうにつれて、冷却通路59の流路断面積が増大するのに従い、タービュレータ34の高さe(冷却通路59の内壁面63を基準とした高さ)が高くなる。

【0089】

複数のタービュレータ34の高さは、翼高さ方向において、タービュレータ34毎に徐々に変化ようになっていてもよい。すなわち、翼高さ方向位置が異なる任意の2つのタービュレータ34のうち、第2端部102に近いほうの一方のタービュレータ34の高さ e が、他方のタービュレータ34（すなわち第1端部101に近いほうのタービュレータ34）の高さよりも高くなるように、該冷却通路59に設けられた複数のタービュレータ34の各々の高さ e が設定されていてもよい。

【0090】

あるいは、複数のタービュレータ34の高さは、翼高さ方向の領域毎に段階的に変化ようになっていてもよい。すなわち、冷却通路59を翼高さ方向の複数の領域に区分けして、各翼高さ方向領域に属するタービュレータ34は同一の高さ e となるようにしたうえで、第2端部102により近い翼高さ方向領域に属するタービュレータ34の高さ e が、それよりも第1端部101により近い翼高さ方向領域に属するタービュレータ34の高さ e よりも高くなるように、複数のタービュレータ34の各々の高さ e が設定されていてもよい。

【0091】

このように、複数のタービュレータ34の高さが翼高さ方向の領域毎に変化する場合の一例について、図8を参照して説明する。ここで、図8は、サーペンタイン流路61を構成する冷却通路59のうちの一つ（ここでは動翼26のサーペンタイン流路61Aのパス60b）の断面を示す図である。

【0092】

図8に示す例示的な冷却通路59は、翼高さ方向に3つの領域に区分けされている。そして、この冷却通路59に設けられた複数のタービュレータ34は、上述の3つの領域のうち、最も第1端部101に近い領域（先端48側の領域）に属するタービュレータ34aと、最も第2端部102に近い領域（基端50側の領域）に属するタービュレータ34cと、これら2つの間の領域（中間領域）に属するタービュレータ34bと、を含む。

【0093】

先端48側の領域に属するタービュレータ34aの位置における冷却通路59の背腹方向における代表的な通路幅 D_a 、中間領域に属するタービュレータ34bの位置における冷却通路59の背腹方向における代表的な通路幅 D_b 、及び、基端50側の領域に属するタービュレータ34cの位置における冷却通路59の背腹方向における代表的な通路幅 D_c とは、 $D_a < D_b < D_c$ の関係を満たす。

なお、各領域における冷却通路59の背腹方向における代表的な通路幅 D とは、該領域に属するタービュレータ34の各々の翼高さ方向の位置における冷却通路59の通路幅 D の平均値であってもよい。

【0094】

また、各翼高さ方向の領域に属する複数のタービュレータ34a、34b、34cは、それぞれ同じ高さを有し、先端48側の領域に属するタービュレータ34aの高さ e_a 、中間領域に属するタービュレータ34bの高さ e_b 、及び、基端50側の領域に属するタービュレータ34cの高さ e_c とは、 $e_a < e_b < e_c$ の関係を満たす。

【0095】

このように、冷却通路59に設けられた複数のタービュレータ34の高さ e は、翼高さ方向の領域毎に段階的に変化ようになっていてもよい。

なお、図7に示すタービン翼40（動翼26）及び図9に示すタービン翼40（静翼24）では、サーペンタイン流路61を構成するパス60a～60fのうち、最終パス66（図7におけるパス60f、及び、図9におけるパス60e）以外の冷却通路59について、図8の例と同様に、複数のタービュレータ34は、翼高さ方向の領域毎に段階的に変化ようになっていている。

【0096】

なお、図8に示す例では、冷却通路59は翼高さ方向において3つの領域に区分けされ、タービュレータ34の高さは3段階で変化ようになっていたが、他の例では（他の

冷却通路 59 では)、冷却通路 59 は翼高さ方向において n 個の領域に区分けされ、タービュレータ 34 の高さは n 段階で変化するようにもよい(ただし n は 2 以上の整数)。

なお、図 7 に示す動翼 26 におけるパス 60 a ~ 60 e (冷却通路)、及び、図 9 に示す静翼 24 におけるパス 60 a ~ 60 d (冷却通路)は、それぞれ、翼高さ方向において n 個(ただし n は 2 以上 5 以下)の領域に区分けされ、タービュレータ 34 の高さは、翼高さ方向において n 段階で変化するようにもよい。

【0097】

冷却通路 59 の内壁面 63 にタービュレータ 34 を設けることにより、該内壁面 63 が平滑面である場合に比べて冷却流体とタービン翼 40 との間の熱伝達率が向上する。しかしながら、冷却通路 59 の通路幅 D が翼高さ方向において変化する場合において、タービュレータ 34 の高さ e を一定として同じ高さとしてしまうと、冷却通路 59 の通路幅 D が比較的広い翼高さ方向の位置においては、冷却通路 59 の通路幅 D が比較的狭い翼高さ方向の位置に比べて、熱伝達率を向上させる効果が低下してしまう。これは、冷却通路 59 の通路幅 D に対してタービュレータ 34 の高さが相対的に低くなると、相対的に幅広の冷却通路 59 を流れる冷却流体において乱流を形成する渦流を効果的に生成することが難しくなるためである。

【0098】

この点、上述した実施形態では、冷却通路 59 の通路幅 D が、翼高さ方向に変化しても、翼面における熱伝達率が維持されるように、タービュレータ 34 の高さ e を選定するのが望ましい。翼高さ方向において冷却通路 59 の通路幅 D が比較的小さい第 1 端部 101 から冷却通路 59 の通路幅 D が比較的大きい第 2 端部 102 に近づくにつれて、翼面における熱伝達率が維持されるように、タービュレータ 34 の高さが高くなるようにした。その結果、第 2 端部 102 側において、タービュレータ 34 により渦流を効果的に生成でき、タービュレータ 34 による熱伝達率の向上効果を、第 1 端部 101 側と同程度に得ることができる。

一方、通路幅 D の大きい第 2 端部 102 側と比較して、通路幅 D の小さい第 1 端部側のタービュレータ高さ e を適正な高さより高くするのは、冷却流体の圧力損失の増大の点から望ましくない。上述した実施形態では、翼高さ方向の第 1 端部 101 側において、冷却通路 59 の通路幅 D が小さくなると共に、タービュレータ 34 の高さ e を低く設定している。そのため、冷却流路を流れる冷却流体の圧力損失の点から、冷却通路 59 の通路幅 D が比較的狭くなるため圧力損失が大きくなる傾向にある第 1 端部 101 側において、タービュレータ 34 の存在による圧力損失の増加を抑制することができる。

よって、上述の実施形態によれば、翼高さ方向において冷却通路 59 の通路幅 D が変化するタービン翼 40 を効率的に冷却することができる。

【0099】

幾つかの実施形態では、上述の冷却通路(パス 60 a ~ 60 f の少なくとも 1 つ)に設けられた複数のタービュレータ 34 のうち、任意の 1 つのタービュレータ 34 高さ e と、該タービュレータ 34 の翼高さ方向の位置における該冷却通路 59 の背腹方向における通路幅 D との比 (e/D) と、該冷却通路 59 に設けられた複数のタービュレータ 34 (すなわち、該冷却通路 59 に設けられた全てのタービュレータ 34) についての前記比 (e/D) の平均 $(e/D)_{AVE}$ とは、 $0.5 (e/D) / (e/D)_{AVE} \geq 2.0$ の関係を満たす。

また、幾つかの実施形態では、上述の e/D と $(e/D)_{AVE}$ とは、 $0.9 (e/D) / (e/D)_{AVE} \geq 1.1$ を満たしていてもよい。

あるいは、幾つかの実施形態では、上述の (e/D) と $(e/D)_{AVE}$ とは、 $(D1/D2) (e/D) / (e/D)_{AVE} \geq (D2/D1)$ を満たしていてもよい。ここで、 $D1$ は、複数のタービュレータ 34 のうち、翼高さ方向において最も第 1 端部 101 側に位置するタービュレータ 34 の位置における冷却通路 59 の通路幅である。 $D2$ は、翼高さ方向において最も第 2 端部 102 側に位置するタービュレータ 34 の位置における

冷却通路 59 の通路幅である。

なお、上述の冷却通路 59 に設けられた複数のタービュレータ 34 の各々（全て）について、上記関係式の関係が成立するようになっていてもよい。

【0100】

上述の実施形態では、冷却通路 59 に設けられた複数のタービュレータ 34 のうちの任意のタービュレータ 34 に関する (e/D) が、該冷却通路に設けられた全ての複数のタービュレータの (e/D) の平均である $(e/D)_{AVE}$ に近い値となるように設定している。あるいは、翼高さ方向において第 1 端部 101 から第 2 端部 102 に向けて、上記 (e/D) の変化が冷却通路の通路幅 D の変化よりも小さくなるように設定している。従って、翼高さ方向における熱伝達率の極端な低下や圧力損失の極端な増大を抑制することができ、翼壁のメタル温度の不均一分布を抑制しながら、効果的にタービン翼 40 を冷却することができる。

【0101】

幾つかの実施形態では、上述の冷却通路 59（パス 60a ~ 60f の少なくとも 1 つ）に設けられた複数のタービュレータ 34 のうち、翼高さ方向において最も第 1 端部 101 側に位置するタービュレータ 34 の位置における冷却通路 59 の通路幅 D を D_1 とし、翼高さ方向において最も第 2 端部 102 側に位置するタービュレータ 34 の位置における冷却通路 59 の通路幅 D を D_2 としたとき、前記通路幅 D_1 と前記通路幅 D_2 との比 (D_2/D_1) は、 1.5 (D_2/D_1) の関係を満たす。

あるいは、前記通路幅 D_1 と前記通路幅 D_2 とは、 2.0 (D_2/D_1) の関係を満たしていてもよい。

あるいは、前記通路幅 D_1 と前記通路幅 D_2 とは、 2.5 (D_2/D_1) の関係を満たしていてもよい。

【0102】

上述の実施形態では、第 2 端部 102 側の冷却通路 59 の通路幅 D_2 が、第 1 端部 101 側の冷却通路 59 の通路幅 D_1 よりも大幅に大きいタービン翼 40 において、冷却通路 59 の通路幅 D が大きい第 2 端部 102 側の翼高さ方向位置においてタービュレータ 34 の高さが高くなるようにしたので、翼高さ方向において冷却通路 59 の通路幅 D が変化するタービン翼 40 を効率的に冷却することができる。

【0103】

幾つかの実施形態では、上述の冷却通路 59（パス 60a ~ 60f の少なくとも 1 つ）に設けられた複数のタービュレータ 34 のうち、翼高さ方向において隣り合う一対のタービュレータ 34 の翼高さ方向におけるピッチ P は、翼高さ方向において第 1 端部 101 から第 2 端部 102 に近づくにつれて増大する。

【0104】

タービュレータ 34 による熱伝達率の向上効果は、翼高さ方向において隣り合うタービュレータ 34 間のピッチ P に応じて変化し、高い熱伝達率が得られるタービュレータ 34 のピッチ P と高さ e の比が存在する。この点、上述の実施形態によれば、翼高さ方向において第 1 端部 101 から第 2 端部 102 に近づくにつれて、すなわち、タービュレータ 34 の高さ e が高くなるにつれて、翼高さ方向において隣り合うタービュレータ 34 間のピッチ P が増大するようにしている。そのため、該冷却通路 59 内でタービュレータ 34 が設けられた翼高さ方向の第 1 端部 101 から第 2 端部 102 までの全範囲において高い熱伝達率を得ることができる。

【0105】

なお、上述の実施形態において、翼高さ方向において隣り合う一対のタービュレータ 34 の翼高さ方向におけるピッチ P は、翼高さ方向において、一対のタービュレータ 34 毎に徐々に変化するようになっていてもよい。すなわち、翼高さ方向位置が異なる任意の 2 組の一対のタービュレータ 34 のうち、第 2 端部 102 に近いほうの一方の一対のタービュレータ 34 のピッチ P が、他方の一対のタービュレータ 34（すなわち第 1 端部 101 に近いほうの一対のタービュレータ 34）のピッチ P よりも大きくなるように、該冷却通

路 5 9 に設けられた複数のタービュレータ 3 4 の各々のピッチ P が設定されていてもよい。

【 0 1 0 6 】

あるいは、翼高さ方向において隣り合う一对のタービュレータ 3 4 の翼高さ方向におけるピッチ P は、翼高さ方向の領域毎に段階的に変化するようになっていてもよい。すなわち、冷却通路 5 9 を翼高さ方向の複数の領域に区分けして、各翼高さ方向領域に属する複数のタービュレータ 3 4 については同一のピッチ P となるようにしたうえで、第 2 端部 1 0 2 により近い翼高さ方向領域に属する複数のタービュレータ 3 4 のピッチ P が、それよりも第 1 端部 1 0 1 により近い翼高さ方向領域に属するタービュレータ 3 4 のピッチ P よりも大きくなるように、該冷却通路 5 9 に設けられた複数のタービュレータ 3 4 の各々のピッチ P が設定されていてもよい。

【 0 1 0 7 】

例えば、図 8 に示す例示的な冷却通路 5 9 は、上述したように、翼高さ方向に 3 つの領域に区分けされており、この冷却通路 5 9 に設けられた複数のタービュレータ 3 4 は、最も第 1 端部 1 0 1 に近い領域（先端 4 8 側の領域）に属するタービュレータ 3 4 a と、最も第 2 端部 1 0 2 に近い領域（基端 5 0 側の領域）に属するタービュレータ 3 4 c と、これら 2 つの間の領域（中間領域）に属するタービュレータ 3 4 b と、を含む。

【 0 1 0 8 】

先端 4 8 側の領域に属する複数のタービュレータ 3 4 a のピッチ P a、中間領域に属する複数のタービュレータ 3 4 b のピッチ P b、及び、基端 5 0 側の領域に属する複数のタービュレータ 3 4 c のピッチ P c は、 $P a < P b < P c$ の関係を満たす。

【 0 1 0 9 】

このように、冷却通路 5 9 に設けられた複数のタービュレータ 3 4 のピッチ P は、翼高さ方向の領域毎に段階的に変化するようになっていてもよい。

すなわち、ある冷却通路 5 9 において、該冷却通路 5 9 は翼高さ方向において n 個の領域に区分けされ、タービュレータ 3 4 のピッチ P は n 段階で変化するようになっていてもよい（ただし n は 2 以上の整数）。

【 0 1 1 0 】

幾つかの実施形態では、上述の冷却通路 5 9（パス 6 0 a ~ 6 0 f の少なくとも 1 つ）に設けられた複数のタービュレータ 3 4 のうち、翼高さ方向において隣り合う任意の一对のタービュレータ 3 4 間のピッチ P と、該一对のタービュレータ 3 4 の高さの平均 $e a$ との比 $P / e a$ と、複数のタービュレータ 3 4 についての前記比 $P / e a$ の平均 $(P / e a)_{A V E}$ とは、 $0.5 < (P / e a) / (P / e a)_{A V E} < 2.0$ の関係を満たす。

また、幾つかの実施形態では、上述の $P / e a$ と $(P / e a)_{A V E}$ とは、 $0.9 < (P / e a) / (P / e a)_{A V E} < 1.1$ を満たしていてもよい。

【 0 1 1 1 】

上述の実施形態では、冷却通路 5 9 に設けられた複数のタービュレータ 3 4 のうちの任意の一对のタービュレータ 3 4 に関する $(P / e a)$ が、該冷却通路 5 9 に設けられた複数のタービュレータ 3 4（全てのタービュレータ 3 4）に関する $(P / e a)$ の平均である $(P / e a)_{A V E}$ に近い値となるようにしたので、翼高さ方向において第 1 端部 1 0 1 から第 2 端部 1 0 2 に近づくにつれて、すなわち、タービュレータ 3 4 の高さ e が高くなるにつれて、隣り合うタービュレータ 3 4 間のピッチ P が増大する傾向となる。よって、 $(P / e a)$ 又は $(P / e a)_{A V E}$ を適切に設定することで、該冷却通路 5 9 内でタービュレータ 3 4 が設けられた翼高さ方向範囲において高い熱伝達率を得ることができる。

【 0 1 1 2 】

幾つかの実施形態では、上述の冷却通路 5 9（パス 6 0 a ~ 6 0 f の少なくとも 1 つ）における冷却流体の流れ方向に対する任意のタービュレータ 3 4 の傾き角 θ と、複数のタービュレータ（該冷却通路 5 9 に設けられた全てのタービュレータ）についての傾き角の平均 $\theta_{A V E}$ とは、 $0.5 < \theta / \theta_{A V E} < 2.0$ の関係を満たす。

【0113】

タービュレータ34による熱伝達率の向上効果は、冷却通路59における冷却流体の流れ方向に対するタービュレータ34の傾き角に応じて変化し、高い熱伝達率が得られるタービュレータ34の傾き角が存在する。この点、上述の実施形態によれば、翼高さ方向にタービュレータ34の傾き角がほぼ一定となるようにしたので、冷却通路59内でタービュレータ34が設けられた翼高さ方向範囲において高い熱伝達率を得ることができる。

【0114】

幾つかの実施形態では、上述の冷却通路59は、サーペンタイン流路61を構成する複数のパス60a~60fのうち、最終パス(動翼26におけるパス60f(図7参照)、静翼におけるパス60e(図9参照))以外のパス60の少なくとも1つである。最終パス(図7のパス60f、図9のパス60e)の背側及び腹側の内壁面には、翼高さ方向に沿って配列された複数の最終パスタービュレータ37が設けられている。

そして、タービュレータ34又は最終パスタービュレータ37の高さを e とし、該タービュレータ34又は最終パスタービュレータ37の翼高さ方向の位置における冷却通路59又は最終パス66の背腹方向における通路幅を D としたとき、下記式(II)の関係が成り立つ。

$$\left[\left(\frac{e}{D} \right)_{E1} / \left(\frac{e}{D} \right)_{AVE} \right] < \left[\left(\frac{e}{D} \right)_{T-E1} / \left(\frac{e}{D} \right)_{T-AVE} \right] \quad \dots (II)$$

上記式(II)において、 $\left(\frac{e}{D} \right)_{E1}$ は、複数のタービュレータ34のうち、翼高さ方向において最も第1端部101側に位置するタービュレータ34T(図7及び図9参照)についての前記高さと同記通路幅との比であり、 $\left(\frac{e}{D} \right)_{AVE}$ は、複数のタービュレータ34についての前記高さと同記通路幅との比 $\left(\frac{e}{D} \right)$ の平均であり、 $\left(\frac{e}{D} \right)_{T-E1}$ は、複数の最終パスタービュレータ37のうち、翼高さ方向において最も第1端部101側に位置する最終パスタービュレータ37T(図7及び図9参照)についての前記高さと同記通路幅との比であり、 $\left(\frac{e}{D} \right)_{T-AVE}$ は、複数の最終パスタービュレータ37についての前記高さと同記通路幅との比 $\left(\frac{e}{D} \right)_T$ の平均である。

【0115】

既に述べたように、最終パス66以外のパス60である冷却通路59に設けられたタービュレータ34については、冷却通路59の通路幅 D が比較的狭い第1端部101側から冷却通路59の通路幅 D が比較的広い第2端部102側に向かうにつれてタービュレータ34の高さ e が高くなるため、タービュレータ34の高さ e と通路幅 D との比 $\left(\frac{e}{D} \right)$ が一定に近くなる傾向となる(すなわち、上記関係式の左辺が1に近くなる)。このことから、上述の関係式は、最終パス66では、翼高さ方向において第2端部102側から第1端部101側に向かうにつれて、最終パス66の通路幅 D が減少するのに対し、最終パスタービュレータ37の高さ e は、上記通路幅 D ほど減少しないことを意味する。

【0116】

すなわち、上述の実施形態では、サーペンタイン流路61の最終パス66では、複数の最終パスタービュレータ37の高さ e が、他のパス60と比較して翼高さ方向においてそれほど大きく変化しない。つまり、後縁部47近傍の最終パス66では、最終パス66の通路幅 D が狭くなり、前述の冷却通路59の通路幅 D に対応させたタービュレータ高さ e を選定することが難しい。すなわち、最終パス66の通路幅 D に対して最終タービュレータ37の高さ e が小さくなり過ぎて、タービュレータの加工が困難になる場合がある。そこで、最終パス66を流れる冷却流体の圧力損失が許容される範囲で、通路幅 D に対するタービュレータ34の適正な高さ e より相対的に高さ e が大きい最終タービュレータ37を選定する場合がある。最終パス66に形成される最終タービュレータ37は、最終パス66以外の他のパス60のタービュレータ34より高さ e が小さくなるものの、高さ e と通路幅 D との比 $\left(\frac{e}{D} \right)$ は、他のパス60に適用される高さ e と通路幅 D との比 $\left(\frac{e}{D} \right)$ より大きくなる。また、前述のように、最終タービュレータ37のピッチ P と高さ e

との比 (P/e) は、翼高さ方向に一定となるように選定される。最終タービュレータ 37 の高さ e は、他のパス 60 より小さくなるので、配置される最終タービュレータ 37 の数が他のパスより多くなる。従って、高さ e と通路幅 D との比 (e/D) とピッチ P と高さ e との比 (P/e) の両面から、最終パス 66 は他のパス 60 と比較して熱伝達率が高くなる。

【0117】

更に、サーペンタイン流路 61 において冷却流体が比較的高温となる最終パス 66 において、第 2 端部 102 から第 1 端部 101 に向かうと共に、最終パス 66 の流路断面積を小さくして、他のパス 60 より冷却流体の流速を増大させることができる。これにより、最終パス 66 においては、冷却通路 59 を流れる冷却流体の流速の増大効果と、最終タービュレータ 37 の高さ e と通路幅 D との比 (e/D) 及び最終タービュレータ 37 の設置数の増大効果が重疊的に作用して、他のパス 60 より熱伝達率が高い冷却通路 59 が形成される。従って、熱負荷の厳しい最終パス 66 を流れる冷却流体によってタービン翼 40 をより効果的に冷却することができる。

【0118】

幾つかの実施形態では、最終パス 66 に設けられた最終パスタービュレータ 37 の高さ e は、複数のパス 60 のうち、最終パス 66 に対して冷却流体の流れ方向の上流側に隣接して位置するとともに最終パス 66 と相互に連通する上流側冷却通路のタービュレータ 34 の高さ以下である。

【0119】

例えば、図 7 に示す動翼 26 に係る実施形態では、最終パス 66 (パス 60f) に対して冷却流体の流れ方向の上流側に隣接して位置し、最終パス 66 と相互に連通する上流側冷却通路は、パス 60e である。そして、最終パス 66 (パス 60f) に設けられた最終パスタービュレータ 37 の高さは、上流側冷却通路であるパス 60e に設けられたタービュレータ 34 の高さ以下である。

また、例えば、図 9 に示す静翼 24 に係る実施形態では、最終パス 66 (パス 60e) に対して冷却流体の流れ方向の上流側に隣接して位置し、最終パス 66 と相互に連通する上流側冷却通路は、パス 60d である。そして、最終パス 66 (パス 60e) に設けられた最終パスタービュレータ 37 の高さは、上流側冷却通路であるパス 60d に設けられたタービュレータ 34 の高さ以下である。

【0120】

また、第 2 端部 102 における基端 50 を基準にして、翼高さ方向に第 1 端部 101 の先端 48 までの間の高さが同じ位置における各パス 60 のタービュレータ高さ e を比較した場合、最終パス 66 の最終タービュレータ 37 の高さ e は、冷却流体の流れ方向の上流側に位置する他のパス 60 の同じ翼高さの位置におけるタービュレータ 34 の高さ e 以下になるように選定されている。その結果、最終タービュレータの高い熱伝達率を維持しつつ、最終パスを流れる冷却流体に与える過大な圧力損失の発生を抑制できる。

【0121】

上述の実施形態によれば、サーペンタイン流路 61 において最も後縁側に位置する最終パス 66 のタービュレータ (最終パスタービュレータ 37) の高さが、該最終パス 66 に隣接して連通する上流側冷却通路のタービュレータの高さ以下となるように選定したので、サーペンタイン流路 61 を構成する複数のパス 60 のうち、流路面積が比較的狭く、冷却流体が比較的高温となる最終パス 66 において、より多数のタービュレータ (最終パスタービュレータ 37) を設けることができる。これにより、最終パス 66 を流れる冷却流体によってタービン翼 40 をより効果的に冷却することができる。

【0122】

幾つかの実施形態では、冷却通路 59 に設けられたタービュレータ 34 又は前縁側通路 36 に設けられた前縁側タービュレータ 35 の高さを e とし、該タービュレータ 34 又は前縁側タービュレータ 35 の翼高さ方向の位置における冷却通路 59 又は前縁側通路 36 の背腹方向における通路幅を D としたとき、下記式 (III) が成り立つ。

$$\left[\left(\frac{e}{D} \right)_{E2} / \left(\frac{e}{D} \right)_{AVE} \right] > \left[\left(\frac{e}{D} \right)_{LE2} / \left(\frac{e}{D} \right)_{LAVE} \right]$$

・・・(III)

上記式(III)において、 $\left(\frac{e}{D} \right)_{E2}$ は、複数のタービュレータ34のうち、翼高さ方向において最も第2端部102側に位置するタービュレータ34H(図7参照)についての前記高さ e と前記通路幅 D との比であり、 $\left(\frac{e}{D} \right)_{AVE}$ は、複数のタービュレータ34についての前記高さ e と前記通路幅 D との比 $\left(\frac{e}{D} \right)$ の平均であり、 $\left(\frac{e}{D} \right)_{LE2}$ は、複数の前縁側タービュレータ35のうち、翼高さ方向において最も第2端部102側に位置する前縁側タービュレータ35Hについての前記高さ e と前記通路幅 D との比であり、 $\left(\frac{e}{D} \right)_{LAVE}$ は、複数の前縁側タービュレータ35についての前記高さ e と前記通路幅 D との比 $\left(\frac{e}{D} \right)_L$ の平均である。

【0123】

既に述べたように、冷却通路59に設けられたタービュレータ34については、冷却通路59の通路幅 D が比較的狭い第1端部101側から冷却通路59の通路幅 D が比較的広い第2端部102側に向かうにつれてタービュレータの高さが高くなるため、タービュレータ34の高さ e と通路幅 D との比 $\left(\frac{e}{D} \right)$ が一定に近くなる傾向となる(すなわち、上記関係式の左辺が1に近くなる)。このことから、上述の関係式は、翼高さ方向において第1端部101側から第2端部102側に向かうにつれて、最終パス66の通路幅 D が増大するのに対し、前縁側タービュレータ35の高さ e は、上記通路幅 D ほど増大しないことを意味する。

すなわち、上述の実施形態によれば、前縁側通路36では、複数の前縁側タービュレータ35の高さ e が、翼高さ方向においてそれほど変化しない。よって、比較的低温の冷却流体が供給される前縁側通路36において、冷却流体の流れの上流側に位置する第2端部102側でのタービュレータ(前縁側タービュレータ35)による熱伝達率の向上効果を抑制して、第1端部101側に向けて流れる冷却流体の温度上昇を抑制することができる。これにより、タービン翼40をより効果的に冷却することができる。

【0124】

以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明は上述した実施形態に限定されることはなく、上述した実施形態に変形を加えた形態や、これらの形態を適宜組み合わせた形態も含む。

【0125】

本明細書において、「ある方向に」、「ある方向に沿って」、「平行」、「直交」、「中心」、「同心」或いは「同軸」等の相対的或いは絶対的な配置を表す表現は、厳密にそのような配置を表すのみならず、公差、若しくは、同じ機能が得られる程度の角度や距離をもって相対的に変位している状態も表すものとする。

例えば、「同一」、「等しい」及び「均質」等の物事が等しい状態であることを表す表現は、厳密に等しい状態を表すのみならず、公差、若しくは、同じ機能が得られる程度の差が存在している状態も表すものとする。

また、本明細書において、四角形状や円筒形状等の形状を表す表現は、幾何学的に厳密な意味での四角形状や円筒形状等の形状を表すのみならず、同じ効果が得られる範囲で、凹凸部や面取り部等を含む形状も表すものとする。

また、本明細書において、一の構成要素を「備える」、「含む」、又は、「有する」という表現は、他の構成要素の存在を除外する排他的な表現ではない。

【符号の説明】

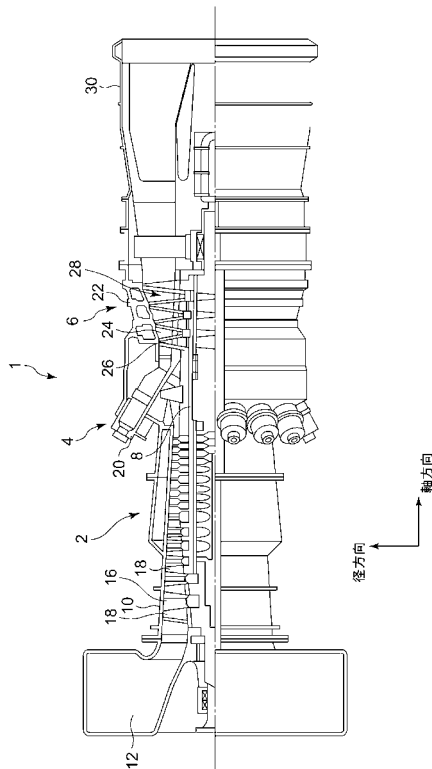
【0126】

- 1 ガスタービン
- 2 圧縮機
- 4 燃焼器
- 6 タービン
- 8 ロータ

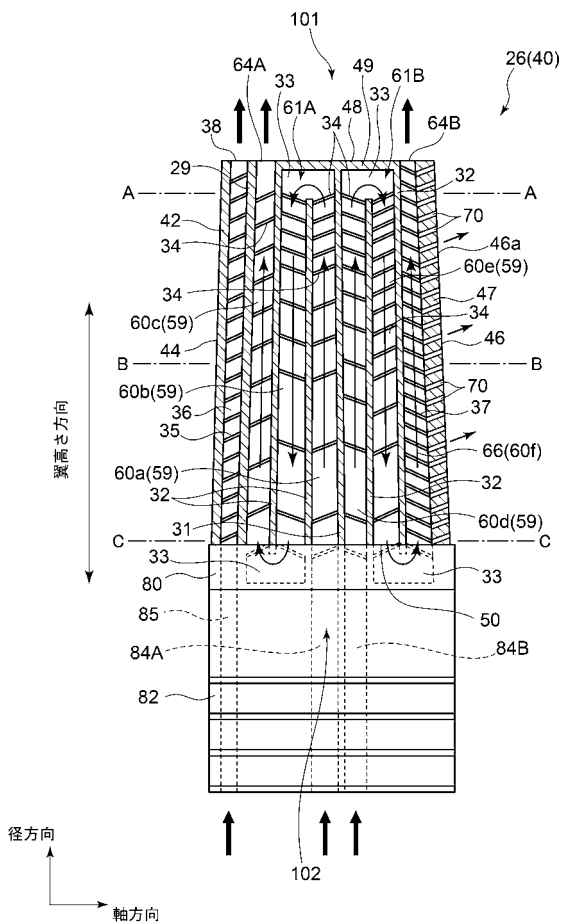
1 0	圧縮機車室
1 2	空気取入口
1 6	静翼
1 8	動翼
2 0	ケーシング
2 2	タービン車室
2 4	静翼
2 6	動翼
2 8	燃焼ガス流路
2 9	リブ
3 0	排気室
3 1	リブ
3 2	リブ
3 3	リターン流路
3 4	タービュレータ
3 5	前縁側タービュレータ
3 6	前縁側通路
3 8	出口開口
3 7	最終パスタービュレータ
4 0	タービン翼
4 2	翼体
4 4	前縁
4 6	後縁
4 7	後縁部
4 8	先端
4 9	天板
5 0	基端
5 2	外側端
5 4	内側端
5 6	圧力面
5 8	負圧面
5 9	冷却通路
6 0 , 6 0 a - 6 0 f	パス
6 1 , 6 1 A , 6 1 B	サーペンタイン流路
6 3	内壁面
6 4 , 6 4 A , 6 4 B	出口開口
6 6	最終パス
7 0	冷却孔
8 0	プラットフォーム
8 2	翼根部
8 4 A , 8 4 B	内部流路
8 5	内部流路
8 6	内側シュラウド
8 8	外側シュラウド
1 0 1	第 1 端部
1 0 2	第 2 端部
D	通路幅
P	タービュレータピッチ
e	タービュレータ高さ
	傾き角

【手続補正 3】
【補正対象書類名】図面
【補正対象項目名】全図
【補正方法】変更
【補正の内容】

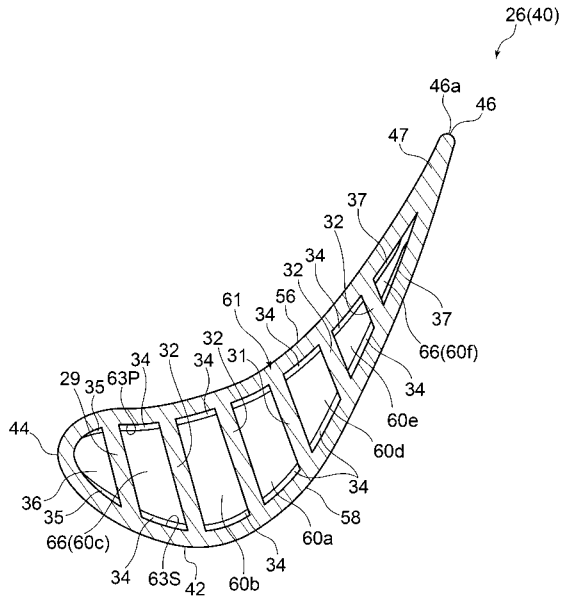
【図 1】



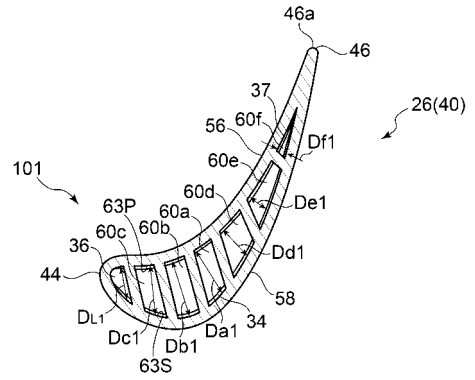
【図 2】



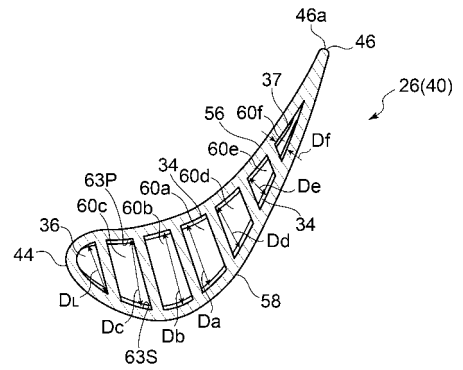
【 図 3 】



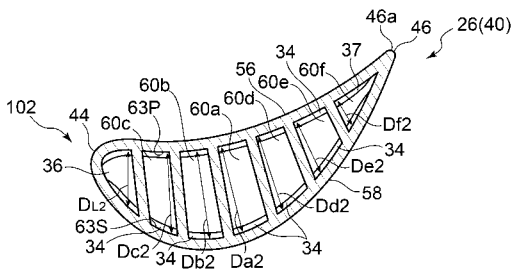
【 図 4 A 】



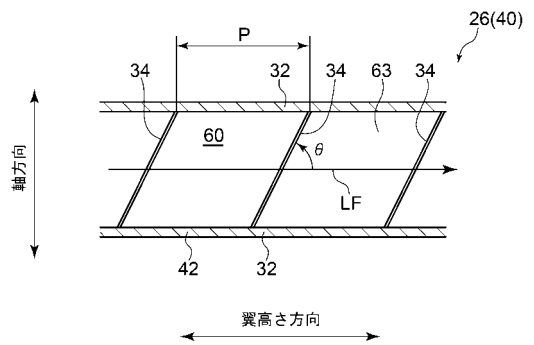
【 図 4 B 】



【 図 4 C 】



【 図 6 】



【 図 5 】

