

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2019年1月10日(10.01.2019)



(10) 国際公開番号

WO 2019/009331 A1

- (51) 国際特許分類:
F01D 5/18 (2006.01) *F01D 25/12* (2006.01)
F01D 9/02 (2006.01) *F02C 7/18* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/025385
- (22) 国際出願日: 2018年7月4日(04.07.2018)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2017-134101 2017年7月7日(07.07.2017) JP
- (71) 出願人: 三菱日立パワーシステムズ株式会社(MITSUBISHI HITACHI POWER SYSTEMS, LTD.) [JP/JP]; 〒2208401 神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者: 辻 良史(TSUJI, Yoshifumi); 〒2208401 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 Kanagawa (JP). 伊藤 竜太(ITO, Ryuta); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号

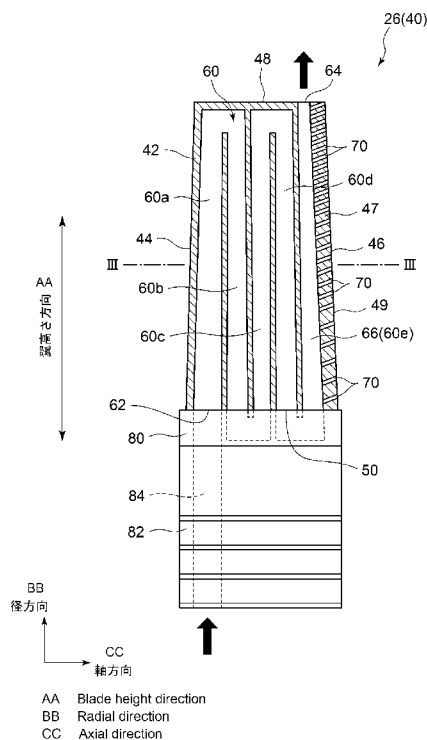
三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 大友 宏之(OTOMO, Hiroyuki); 〒2208401 神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 三菱日立パワーシステムズ株式会社内 Kanagawa (JP). 羽田 哲(HADA, Satoshi); 〒2208401 神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 三菱日立パワーシステムズ株式会社内 Kanagawa (JP). 若園 進(WAKAZONO, Susumu); 〒2208401 神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 三菱日立パワーシステムズ株式会社内 Kanagawa (JP).

(74) 代理人: 誠真 I P 特許業務法人(SEISHIN IP PATENT FIRM, P.C.); 〒1080073 東京都港区三田三丁目13番16号 三田43MTビル13階 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,

(54) Title: TURBINE BLADE AND GAS TURBINE

(54) 発明の名称: タービン翼及びガスタービン



(57) Abstract: This turbine blade comprises: a blade part; a cooling passage that extends along a blade height direction on the inside of the blade part; a plurality of cooling holes that are formed in a trailing edge part of the blade part so that the cooling holes are arranged along the blade height direction, and that communicate with the cooling passage and open on a surface of the blade part in the trailing edge part. When an index that indicates an opening density of the cooling holes in a center region including an intermediate position between a first end and a second end of the blade part in the blade height direction is d_{mid} , the index in a region positioned more toward the upstream side of a cooling medium flow within the cooling passage than the center region in the blade height direction is d_{up} , and the index in a region positioned more toward the downstream side of the cooling medium flow than the center region in the blade height direction is d_{down} , the relationship $d_{up} < d_{mid} < d_{down}$ is satisfied.



HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: タービン翼は、翼部と、前記翼部の内部において翼高さ方向に沿って延在する冷却通路と、前記翼高さ方向に沿って配列するように前記翼部の後縁部に形成され、前記冷却通路に連通するとともに前記後縁部における前記翼部の表面に開口する複数の冷却孔と、を備え、前記翼高さ方向における前記翼部の第1端と第2端との中間位置を含む中央領域における前記冷却孔の開口密度を示す指標を d_{mid} とし、前記翼高さ方向において前記中央領域よりも前記冷却通路内における冷却媒体流れの上流側に位置する領域における前記指標を d_{up} とし、前記翼高さ方向において前記中央領域よりも前記冷却媒体流れの下流側に位置する領域における前記指標を d_{down} としたとき、 $d_{up} < d_{mid} < d_{down}$ の関係を満たす。

明 細 書

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媒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。

[0003] 例えば、特許文献 1 には、ガスタービンの燃焼ガス流路に配列され、内部に冷却媒体が流れる内部流路が設けられたタービン動翼が開示されている。このタービン動翼の後縁部には、翼根と翼先端とを結ぶ方向に沿って複数の吹出口が配列されており、これらの吹出口は後縁端に開口するように設けられている。タービン動翼の翼根部に設けられた供給口から内部流路に供給された冷却媒体は、該内部流路を通過しながら、その一部が後縁部に設けられた複数の吹出口から吹き出されるようになっている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開 2 0 0 4 - 2 2 5 6 9 0 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、本発明者らの検討によれば、タービン翼内部に形成された冷却通路内において温度分布及び／又は圧力分布が生じ得る。このため、冷却通路内における温度分布及び／又は圧力分布に応じた冷却を行うことにより、より効果的に翼を冷却可能であると考えられる。

しかしながら、特許文献 1 には、冷却通路内における温度分布及び／又は圧力分布に応じたタービン翼の冷却を行うことについて、具体的に開示されていない。

[0006] 上述の事情に鑑みて、本発明の少なくとも一実施形態は、タービン翼を効果的に冷却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

[0007] (1) 本発明の少なくとも一実施形態に係るタービン翼は、
翼部と、
前記翼部の内部において翼高さ方向に沿って延在する冷却通路と、
前記翼高さ方向に沿って配列するように前記翼部の後縁部に形成され、前記冷却通路に連通するとともに前記後縁部における前記翼部の表面に開口する複数の冷却孔と、
を備え、
前記後縁部における前記複数の冷却孔の形成領域は、
前記翼高さ方向における前記翼部の第1端と第2端との中間位置を含み、且つ、複数の前記冷却孔の開口密度を示す指標が d_{mid} で一定である中央領域と、
前記翼高さ方向において前記中央領域よりも前記冷却通路内における冷却媒体流れの上流側に位置し、且つ、複数の前記冷却孔の開口密度を示す指標が d_{up} で一定である上流側領域と、
前記翼高さ方向において前記中央領域よりも前記冷却媒体流れの下流側に位置し、且つ、複数の前記冷却孔の開口密度を示す指標が d_{down} で一定である下流側領域と、を含み、 $d_{up} < d_{mid} < d_{down}$ の関係を満たす。

[0008] 翼部の内部に形成された冷却通路内では、冷却媒体は翼部を冷却しながら流れるため、冷却媒体流れの下流側ほど高温となる温度分布が生じる場合がある。この点、上記(1)の構成では、冷却通路における冷却媒体流れの下流側の位置において、より上流側の位置に比べて冷却孔の開口密度を大きくしたので、冷却媒体温度が相対的に高くなる下流側において、冷却孔を介した冷却媒体の供給流量を増やすことができる。これにより、冷却通路の温度

分布に応じて、タービン翼の後縁部を適切に冷却することができる。

[0009] (2) 本発明の少なくとも一実施形態に係るタービン翼は、

翼部と、

前記翼部の内部において翼高さ方向に沿って延在する冷却通路と、

前記翼高さ方向に沿って配列して前記翼部の後縁部を対流冷却するように前記後縁部に形成され、前記冷却通路に連通するとともに前記後縁部を貫通して後縁端面に開口する複数の冷却孔と、を備え、

前記翼高さ方向における前記翼部の第1端と第2端との中間位置を含む中央領域における前記冷却孔の開口密度を示す指標を d_{mid} とし、

前記翼高さ方向において前記中央領域よりも前記冷却通路内における冷却媒体流れの上流側に位置する領域における前記指標を d_{up} とし、

前記翼高さ方向において前記中央領域よりも前記冷却媒体流れの下流側に位置する領域における前記指標を d_{down} としたとき、 $d_{up} < d_{down} < d_{mid}$ の関係を満たすとともに、

前記後縁部における前記複数の冷却孔の形成領域は、

前記翼高さ方向における前記翼部の第1端と第2端との中間位置を含み、且つ、複数の前記冷却孔の開口密度を示す指標が d_{mid} で一定である中央領域と、

前記翼高さ方向において前記中央領域よりも前記冷却通路内における冷却媒体流れの上流側であって前記形成領域における前記冷却媒体流れの最上流側に位置し、且つ、複数の前記冷却孔の開口密度を示す指標が d_{up} で一定である最上流側領域と、

前記翼高さ方向において前記中央領域よりも前記冷却媒体流れの下流側であって前記形成領域における前記冷却媒体流れの最下流側に位置し、且つ、複数の前記冷却孔の開口密度を示す指標が d_{down} で一定である最下流側領域と、を含む。

[0010] タービン翼が配置される燃焼ガス流路を流通するガスの温度は、翼高さ方向において、翼部の両端部（第1端及び第2端）側の領域に比べて、中央領

域において高くなる傾向がある。一方、翼部の内部に形成された冷却通路内では、冷却媒体は翼部を冷却しながら流れるため、冷却媒体流れの下流側ほど高温となる温度分布が生じる場合がある。このような場合には、後縁部を適切に冷却するためには、翼高さ方向の中央領域における冷却孔を介した冷却媒体流量を最大とし、且つ、冷却通路の冷却媒体流れの下流側に位置する領域の方において上流側に位置する領域よりも冷却孔を介した冷却媒体流量が大きくすることが望ましい。

この点、上記（２）の構成によれば、中央領域における冷却孔の開口密度を、該中央領域よりも上流側に位置する領域（上流側領域）及び下流側に位置する領域（下流側領域）における冷却孔の開口密度よりも大きくしたので、燃焼ガス流路を流通するガス温度が相対的に高くなる中央領域において、冷却孔を介した冷却媒体の供給流量を増やすことができる。また、上記（２）の構成では、上述の下流側領域において、上述の上流側領域に比べて冷却孔の開口密度を大きくしたので、冷却媒体温度が上流側領域よりも高くなる下流側領域において、冷却孔を介した冷却媒体の供給流量を増やすことができる。こうして、冷却通路の温度分布に応じて、タービン翼の後縁部を適切に冷却することができる。

[0011] （３）本発明の少なくとも一実施形態に係るタービン翼は、

翼部と、

前記翼部の内部において翼高さ方向に沿って延在する冷却通路と、

前記翼高さ方向に沿って配列するように前記翼部の後縁部に形成され、前記冷却通路に連通するとともに前記後縁部における前記翼部の表面に開口する複数の冷却孔と、

を備えるタービン翼であって、

前記タービン翼は動翼であり、

前記翼高さ方向における前記翼部の先端と基端との中間位置を含む中央領域における前記冷却孔の開口密度を示す指標を d_{mid} とし、前記翼高さ方向において前記中央領域よりも前記先端側に位置する領域における前記指

標を d_tip とし、

前記翼高さ方向において前記中央領域よりも前記基端側に位置する領域における前記指標を d_root としたとき、 $d_tip < d_mid < d_root$ の関係を満たすとともに、

前記開口密度を示す指標 d_tip 、 d_mid 及び d_root は、前記後縁部を貫通するように設けられる前記冷却孔の貫通孔径 D の、前記翼高さ方向に隣り合う前記冷却孔間のピッチ P に対する比 D/P であり、前記後縁部における前記複数の冷却孔の形成領域は、

前記翼高さ方向における前記翼部の先端と基端との中間位置を含み、且つ、複数の前記冷却孔の開口密度を示す指標が d_mid で一定である中央領域と、

前記翼高さ方向において前記中央領域よりも前記先端側であって前記形成領域のうち最も前記先端寄りに位置し、且つ、複数の前記冷却孔の開口密度を示す指標が d_tip で一定である先端側領域と、

前記翼高さ方向において前記中央領域よりも前記基端側であって前記形成領域のうち最も前記基端寄りに位置し、且つ、複数の前記冷却孔の開口密度を示す指標が d_root で一定である基端側領域と、を含む。

[0012] タービンの運転時、動翼の翼部の内部に形成された冷却通路内の冷却媒体には遠心力が作用するため、該冷却通路内において翼部の先端側ほど高圧となる圧力分布が生じる場合がある。この点、上記（３）の構成では、翼部の先端側の位置において、より基端側の位置に比べて冷却孔の開口密度を小さくしたので、上述の圧力分布がある場合であっても、冷却孔を介した冷却媒体の供給流量の翼高さ方向におけるばらつきを小さくすることができる。これにより、冷却通路の圧力分布に応じて、タービン翼の後縁部を適切に冷却することができる。

[0013] （４）本発明の少なくとも一実施形態に係るタービン翼は、
翼部と、

前記翼部の内部において翼高さ方向に沿って延在する冷却通路と、

前記翼高さ方向に沿って配列して前記翼部の後縁部を対流冷却するように前記後縁部に形成され、前記冷却通路に連通するとともに前記後縁部を貫通して後縁端面に開口する複数の冷却孔と、

を備えるタービン翼であって、

前記タービン翼は動翼であり、

前記翼高さ方向における前記翼部の先端と基端との中間位置を含む中央領域における前記冷却孔の開口密度を示す指標を d_mid とし、前記翼高さ方向において前記中央領域よりも前記先端側に位置する領域における前記指標を d_tip とし、前記翼高さ方向において前記中央領域よりも前記基端側に位置する領域における前記指標を d_root としたとき、 $d_tip < d_root < d_mid$ の関係を満たし、

前記後縁部における前記複数の冷却孔の形成領域は、

前記翼高さ方向における前記翼部の先端と基端との中間位置を含み、且つ、複数の前記冷却孔の開口密度を示す指標が d_mid で一定である中央領域と、

前記翼高さ方向において前記中央領域よりも前記先端側であって前記形成領域のうち最も前記先端寄りに位置し、且つ、複数の前記冷却孔の開口密度を示す指標が d_tip で一定である先端側領域と、

前記翼高さ方向において前記中央領域よりも前記基端側であって前記形成領域のうち最も前記基端寄りに位置し、且つ、複数の前記冷却孔の開口密度を示す指標が d_root で一定である基端側領域と、

を含む。

[0014] 動翼（タービン翼）が配置される燃焼ガス流路を流通するガスの温度は、翼高さ方向において、翼部の両端部（先端及び基端）側の領域に比べて、中央領域において高くなる傾向がある。一方、タービンの運転時、動翼の翼部の内部に形成された冷却通路内の冷却媒体には遠心力が作用するため、該冷却通路内において翼部の先端側ほど高圧となる圧力分布が生じる場合がある。このような場合には、後縁部を適切に冷却するためには、翼高さ方向の中

中央領域における冷却孔を介した冷却媒体流量を最大とし、且つ、翼高さ方向における先端側に位置する領域と基端側に位置する領域とで、冷却孔を介した冷却媒体の供給流量のばらつきを小さくすることが望ましい。

この点、上記（４）の構成によれば、中央領域における冷却孔の開口密度を、該中央領域よりも先端側に位置する領域（先端側領域）及び基端側に位置する領域（基端側領域）における冷却孔の開口密度よりも大きくしたので、燃焼ガス流路を流通するガス温度が相対的に高くなる中央領域において、冷却孔を介した冷却媒体の供給流量を増やすことができる。また、上記（４）の構成では、上述の先端側領域において、上述の基端側領域に比べて冷却孔の開口密度を小さくしたので、上述の圧力分布がある場合であっても、先端側領域と基端側領域とで冷却孔を介した冷却媒体の供給流量のばらつきを小さくすることができる。こうして、冷却通路の圧力分布に応じて、タービン翼の後縁部を適切に冷却することができる。

[0015] （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、

前記中央領域は、同一径の複数の冷却孔を含み、
前記中央領域より前記翼部の先端側に位置する先端側領域及び前記中央領域より前記翼部の基端側に位置する基端側領域は、前記中央領域における冷却孔と同一径の複数の冷却孔を含む。

[0016] （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、前記翼部の前記表面が前記後縁部の端面である。

[0017] （７）幾つかの実施形態では、上記（１）乃至（６）の何れかの構成において、前記複数の冷却孔は、前記翼高さ方向に直交する平面に対して傾きをもって形成されている。

[0018] 上記（７）の構成によれば、複数の冷却孔が、翼高さ方向に直行する平面に対して傾きをもって形成されるので、該冷却孔を翼高さ方向に直交する平面と平行に形成する場合に比べて、冷却孔を長くすることができる。これにより、タービン翼の後縁部を効果的に冷却することができる。

[0019] (8) 幾つかの実施形態では、上記(1)乃至(7)の何れかの構成において、前記複数の冷却孔は、互いに平行に形成されている。

[0020] 上記(8)の構成によれば、複数の冷却孔は互いに平行に形成されるので、複数の冷却孔が互いに平行でない場合に比べて、より多くの冷却孔を翼部に形成することができる。これにより、タービン翼の後縁部を効果的に冷却することができる。

[0021] (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、前記翼部の内部に形成されたサーペンタイン流路のうちの最終パスである。

[0022] 上記(9)の構成によれば、サーペンタイン流路の最終パスに連通する複数の冷却孔を、後縁部における翼部の表面に開口させることで、タービン翼の後縁部を適切に冷却することができる。

[0023] (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、

前記タービン翼は動翼であり、

前記翼部の先端側に、前記冷却通路の出口開口が形成されている。

[0024] 上記(10)の構成によれば、タービン翼としての動翼が上記(1)～(9)の何れかの構成を有するので、タービン翼としての動翼の後縁部を適切に冷却することができる。

[0025] (11) 幾つかの実施形態では、上記(1)又は(2)の何れかの構成において、

前記タービン翼は静翼であり、

前記翼部の内側シュラウド側に、前記冷却通路の出口開口が形成されている。

[0026] 上記(11)の構成によれば、タービン翼としての静翼が上記(1)又は(2)の構成を有するので、タービン翼としての静翼の後縁部を適切に冷却することができる。

[0027] (12) 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（１１）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。

[0028] 上記（１２）の構成によれば、タービン翼が上記（１）～（１１）の何れかの構成を有するので、タービン翼の後縁部を適切に冷却することができる。

発明の効果

[0029] 本発明の少なくとも一実施形態によれば、タービン翼を効果的に冷却可能なタービン翼及びガスタービンが提供される。

図面の簡単な説明

[0030] [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]一実施形態に係るタービン翼である動翼の部分断面図である。

[図3]図２に示す動翼（タービン翼）のⅠⅠⅠーⅠⅠⅠ断面である。

[図4]図２に示す動翼（タービン翼）の模式的な断面図である。

[図5]一実施形態に係るタービン翼である静翼の模式的な断面図である。

[図6]一実施形態における動翼（タービン翼）の後縁部の開口密度の分布の一例を示すグラフである。

[図7]一実施形態における動翼（タービン翼）の後縁部の開口密度の分布の一例を示すグラフである。

[図8]一実施形態における動翼（タービン翼）の後縁部の開口密度の分布の一例を示すグラフである。

[図9]翼高さ方向における燃焼ガスの温度分布の一例を示すグラフである。

[図10]一実施形態における静翼（タービン翼）の後縁部の開口密度の分布の一例を示すグラフである。

[図11]一実施形態における静翼（タービン翼）の後縁部の開口密度の分布の一例を示すグラフである。

[図12]一実施形態における静翼（タービン翼）の後縁部の開口密度の分布の

一例を示すグラフである。

[図13]翼高さ方向における燃焼ガスの温度分布の一例を示すグラフである。

[図14]一実施形態における動翼（タービン翼）の後縁部の開口密度の分布の一例を示すグラフである。

[図15]一実施形態における動翼（タービン翼）の後縁部の開口密度の分布の一例を示すグラフである。

[図16]一実施形態に係るタービン翼の後縁部における翼高さ方向に沿った断面図である。

[図17]一実施形態に係るタービン翼の後縁部を、翼部の後縁から前縁に向かう方向に視た図である。

[図18]一実施形態におけるタービン動翼の冷却通路の構成を示す模式図である。

[図19]一実施形態におけるタービュレータの構成を示す模式図である。

[図20A]本発明の基本構成を説明するタービン動翼の模式図である。

[図20B]従来翼の冷却孔の開口密度分布を示す図である。

[図20C]本発明の基本構成の冷却孔の開口密度分布の一例を示す図である。

[図20D]本発明の基本構成の冷却孔の開口密度分布を修正した例を示す図である。

[図20E]クリープ限界曲線を示す図である。

[図20F]本発明の基本構成の冷却孔の開口密度分布を示す他の例である。

発明を実施するための形態

[0031] 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。

[0032] 本発明の基本的な考え方について、タービン動翼を代表例に以下に説明する。

ガスタービンの動翼26は、高速回転するロータ8に固定され（図1参照

）、高温の燃焼ガス雰囲気中で稼働するため、冷却媒体を用いて翼部42を冷却している。図20Aに示すように、動翼26の翼部42の内部には冷却通路66が形成され、基端50側から供給された冷却媒体は、冷却通路66内を流れて翼部42を冷却し、後縁46側の最終パス60eの先端48から燃焼ガス中に排出される。また、冷却媒体は、最終パス60eを流れ、後縁部47のロータ8の軸方向下流側に形成され後縁46に開口を有する複数の冷却孔70に供給される。冷却媒体は、冷却孔70を流れ燃焼ガス中に排出する過程で、後縁部47を対流冷却している。また、特許文献1に開示された冷却孔は、図20Bに示すように、後縁部47の翼高さ方向の全長に渡って、同一孔径の冷却孔70を同一のピッチで配置して、冷却孔70の開口密度を翼高さ方向に均一としている。この例が、従来の冷却孔の配置の一例である。

[0033] 冷却媒体は、最終パス60eより上流側の冷却通路66を流れる過程で翼部42から加熱され、後縁46側の最終パス60eに流入する。冷却媒体は、最終パス60eの流れ方向の入口側の基端50から出口側の先端48まで流れる過程で、翼部42から熱を受けて更にヒートアップされる。従って、最終パス60eを流れる冷却媒体の先端側領域の翼部42の温度は高温となり、厳しい使用条件となる場合がある。動翼26の場合、翼部42の翼高さ方向外側（径方向外側）の先端側領域は、酸化減肉許容量から定める使用限界温度に近いメタル温度になり、使用限界温度を越えないように翼部42を冷却する必要がある。前述の従来の翼構造の場合、冷却媒体のヒートアップにより、翼部42の最終パス60eの先端側領域が最もメタル温度が高くなり、翼部42の中央領域は先端側領域より低く、基端側領域は中央領域より更に低くなる。従って、冷却媒体のヒートアップによる翼部42の過熱の観点からは、各領域のメタル温度のばらつきを大きくすることなく、均一なメタル温度の分布となるように、翼高さ方向に配列された冷却孔70の開口密度を選定することが望ましい。すなわち、動翼26の翼高さ方向外側の先端側領域であって、冷却媒体の流れ方向の下流側領域の冷却孔70の開口密度

を、最も密な分布とし、中央領域の冷却孔 70 の開口密度を中間の分布とし、基端側領域の冷却孔 70 で最も疎な分布とすることが望ましい。上記の考え方に基づき、本発明に係る一実施態様としての冷却孔の模式図の一例を、図 20C に示す。

[0034] 一方、最終パス 60e の中央領域及び基端側領域は、遠心力によるクリープ強度も併せて考慮する必要がある。動翼 26 の場合、回転するロータ 8 に固定され一体として高速回転するため、翼部 42 には遠心力が作用して、翼壁の翼高さ方向に引張応力が発生する。図 20E は、翼材料のクリープ限界曲線の一例を示す。縦軸は許容応力を示し、横軸はメタル温度を示す。メタル温度の増加と共に許容応力が低下する下向きの曲線になる。クリープ限界曲線より下方の応力が小さい領域であれば、翼部 42 のクリープ破断は発生しないが、曲線より上方の応力が大きい領域であれば、クリープ破断により翼部 42 が損傷する可能性がある。翼部 42 の先端側領域は作用する遠心力が小さいため、クリープ破断は生じないが、翼部 42 の中央領域と基端側領域は、先端側領域よりメタル温度が低くてもクリープ破断の可能性を考慮する必要がある。

[0035] 図 20D 及び図 20E に示す例は、中央領域及び基端側領域のクリープ強度がクリティカルになる場合の一例を示す。図 20E において、中央領域の A1 点と基端側領域の B1 点を例に挙げて説明する。この例は、A1 点はクリープ限界を越えている状態を示し、B1 点はクリープ限界内に納まっている状態を示す。クリープ限界に納まるか否かは、該当部位における翼の大きさ、壁厚、メタル温度等に左右される。本実施形態に示す例の場合、中央領域にある A1 点の位置では、クリープ限界を越えているため、メタル温度を下げる必要がある。つまり、中央領域の冷却孔 70 の開口密度を更に密にして冷却を強化し、A2 点の位置のメタル温度を下げる。一方、中央領域の冷却孔 70 の開口密度を大きくすると、中央領域の冷却孔 70 を流れる冷却媒体の流量が増加して、基端側領域の冷却孔 70 を流れる冷却媒体の流量が低下する可能性がある。従って、中央領域の冷却を強化した場合は、基端側領

域のメタル温度がB 2 点に上昇するが、B 2 点の位置が図 2 0 E に示すようにクリープ限界内であれば、この開口密度を選定すればよい。先端側領域も同様に調整できる。つまり、先端側領域の冷却孔 7 0 の開口密度を小さくすれば、先端側領域の冷却孔 7 0 を流れる冷却媒体の流量を絞ることが出来る。先端側領域のメタル温度が、前述した使用限界温度を越えない範囲で冷却媒体の流量を減ずることにより、中央領域の冷却孔 7 0 を流れる冷却媒体の流量を増加させ、中央領域の冷却を強化出来る。このような手順で、冷却孔 7 0 の開口密度を修正した例が、図 2 0 D に示されている。実線が調整後の開口密度であり、破線が調整前の開口密度を示す。各領域のいずれもが、使用限界温度又はクリープ限界内にあることを確認し、各領域の冷却孔の適切な開口密度が決定できる。

[0036] 次に、先端 4 8 側のメタル温度が使用限界温度よりも低く、先端 4 8 側のメタル温度に比較的余裕がある動翼 2 6 の場合、最終パス 6 0 e を流れる冷却媒体に作用する遠心力が冷却孔 7 0 の配置に影響する場合がある。その一例を以下に説明する。図 2 0 A に示すように、翼部 4 2 の最終パス 6 0 e を流れる冷却媒体には、冷却媒体の流れ方向と同じ方向に遠心力が作用する。すなわち、遠心力の作用により、冷却媒体には基端 5 0 側から先端 4 8 側に向かって圧力が上昇する圧力勾配が生ずる。従って、図 2 0 B に示す均一な開口密度を有する冷却孔の配置では、翼部 4 2 の先端 4 8 の出口開口 6 4 又は先端側領域の冷却孔 7 0 から燃焼ガス中に排出する冷却媒体の流量が専ら増加し、中央領域及び基端側領域の冷却孔 7 0 に供給される冷却媒体の流量が減少して、中央領域及び基端側領域が冷却不足となる場合がある。このような場合は、基端側領域から先端側領域に向かってステップ状に開口密度を小さくして、先端 4 8 側の出口開口 6 4 又は先端側領域の冷却孔 7 0 から燃焼ガス中に排出する冷却媒体の流量を絞り、中央領域及び基端側領域の冷却孔 7 0 に供給される冷却媒体量を増加させる必要がある。このような適切な冷却孔の開口密度の選定により、各領域のメタル温度を均一にすることができる。図 2 0 F は、遠心力の影響を考慮した冷却孔 7 0 の開口密度分布の一

例を示す。

[0037] 上記の考え方にに基づき各領域の開口密度を決定することにより、後縁部の酸化減肉及びクリープ破断等に伴う翼の損傷が回避され、翼の信頼性が向上する。なお、上記の説明は、タービン動翼を例に挙げて説明したが、遠心力の作用がない点を除き、タービン静翼にも適用できる。次に、本発明の具体的な実施形態について説明する。

[0038] 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。

[0039] 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。

[0040] 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压の圧縮空気となる。

[0041] 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において燃料が燃焼され、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てもよい。

[0042] 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 2 6 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 2 8 に流れ込んだ燃焼器 4 からの燃焼ガスが複数の静翼 2 4 及び複数の動翼 2 6 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 3 0 を介して外部へ排出される。

[0043] 幾つかの実施形態において、タービン 6 の動翼 2 6 又は静翼 2 4 の少なくとも一方は、以下に説明するタービン翼 4 0 である。

[0044] 図 2 は、一実施形態に係るタービン翼 4 0 である動翼 2 6 の部分断面図である。なお、図 2 には、動翼 2 6 のうち、翼部 4 2 の部分の断面が示されている。図 3 は、図 2 に示すタービン翼 4 0 の | | | - | | | 断面である。図 4 は、図 2 に示す動翼 2 6 (タービン翼 4 0) の模式的な断面図である。また、図 5 は、一実施形態に係るタービン翼 4 0 である静翼 2 4 の模式的な断面図である。なお、図 4 及び図 5 においては、タービン翼 4 0 の一部の構成について図示を省略している。なお、図中の矢印は、冷却媒体の流れの向きを示す。

[0045] 図 2 及び図 4 に示すように、一実施形態に係る動翼 2 6 であるタービン翼 4 0 は、翼部 4 2 と、プラットフォーム 8 0 と、翼根部 8 2 と、を備えている。翼根部 8 2 は、ロータ 8 (図 1 参照) に埋設され、動翼 2 6 は、ロータ 8 と共に回転する。プラットフォーム 8 0 は、翼根部 8 2 と一体的に構成されている。翼部 4 2 は、ロータ 8 の径方向 (以下、単に「径方向」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 8 0 に固定される基端 5 0 と、径方向において基端 5 0 とは反対側に位置する先端 4 8 と、を有する。

[0046] 幾つかの実施形態では、タービン翼 4 0 は静翼 2 4 であってもよい。

図 5 に示すように、静翼 2 4 であるタービン翼 4 0 は、翼部 4 2 と、翼部

４２に対して径方向内側に位置する内側シュラウド８６と、翼部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。翼部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。

[0047] 図２～図５に示すように、タービン翼４０の翼部４２は、動翼２６の場合は基端５０から先端４８にかけて（図２～図４参照）、静翼２４の場合は外側端５２から内側端５４にかけて（図５参照）、前縁４４及び後縁４６を有する。また、翼部４２の翼面は、動翼２６の場合は基端５０と先端４８との間において、静翼２４の場合は外側端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（図３参照）とによって形成される。

[0048] 翼部４２の内部には、翼高さ方向に沿って延在する冷却通路６６が形成されている。冷却通路６６は、タービン翼４０を冷却するための冷却媒体（例えば空気等）を流すための流路である。

[0049] 図２～図５に示す例示的な実施形態では、冷却通路６６は、翼部４２の内部に設けられたサーペンタイン流路６０の一部を形成している。

図２～図５に示すサーペンタイン流路６０は、それぞれ翼高さ方向に沿って延在する複数のパス６０ａ～６０ｅを含み、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。これらの複数のパス６０ａ～６０ｅのうち互いに隣り合うパス（例えばパス６０ａとパス６０ｂ）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、冷却媒体流れの方向が翼高さ方向において逆向きに折り返るリターン流路のようになっており、サーペンタイン流路６０全体として蛇行した形状を有している。

[0050] 図２～図５に示す例示的な実施形態では、冷却通路６６は、サーペンタイン流路６０のうちの最終パス６０ｅである。典型的には、最終パス６０ｅは、サーペンタイン流路６０を構成する複数のパス６０ａ～６０ｅのうち冷却

媒体流れ方向の最も下流側の後縁４６側に設けられる。

[0051] タービン翼４０が動翼２６である場合、冷却媒体は、例えば翼根部８２の内部に形成された内部流路８４及び翼部４２の基端５０側に設けられた入口開口６２（図２及び図４参照）を介してサーペンタイン流路６０に導入され、複数のパス６０ａ～６０ｅを順に流れる。そして、複数のパス６０ａ～６０ｅのうち、冷却媒体流れ方向の最も下流側の最終パス６０ｅを流れる冷却媒体は、翼部４２の先端４８側に設けられた出口開口６４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。

[0052] タービン翼４０が静翼２４である場合、冷却媒体は、例えば外側シュラウド８８の内部に形成された内部流路（不図示）及び翼部４２の外側端５２側に設けられた入口開口６２（図５参照）を介してサーペンタイン流路６０に導入され、複数のパス６０ａ～６０ｅを順に流れる。そして、複数のパス６０ａ～６０ｅのうち、冷却媒体流れ方向の最も下流側の最終パス６０ｅを流れる冷却媒体は、翼部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。

[0053] タービン翼４０を冷却するための冷却媒体として、例えば、圧縮機２（図１参照）で圧縮された圧縮空気の一部が冷却通路６６に導かれるようになっていてもよい。圧縮機２からの圧縮空気は、冷熱源との熱交換により冷却された後、冷却通路６６に供給されるようになっていてもよい。

[0054] なお、サーペンタイン流路６０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の翼部４２の内部に、複数のサーペンタイン流路が形成されていてもよい。あるいは、サーペンタイン流路６０は、該サーペンタイン流路６０上の分岐点において複数の流路に分岐していてもよい。

[0055] 図２及び図３に示すように、翼部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、翼部４２の内部に形成された冷却通路６６（図

示する例においてはサーペンタイン流路 60 の最終パス 60 e) に連通するとともに、翼部 42 の後縁部 47 における翼部 42 の表面に開口している。

[0056] 冷却通路 66 を流れる冷却媒体の一部は、冷却孔 70 を通過して、翼部 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媒体が冷却孔 70 を通過することにより、翼部 42 の後縁部 47 が対流冷却される。

[0057] なお、翼部 42 の後縁部 47 の表面は、翼部 42 の後縁 46 を含む表面であってもよく、あるいは、後縁 46 近傍の翼面の表面であってもよく、後縁端面 49 の表面であってもよい。翼部 42 の後縁部 47 における翼部 42 の表面は、前縁 44 と後縁 46 とを結ぶコード方向（図 3 参照）において、翼部 42 のうち、後縁 46 を含む後縁 46 側 10% の部分における翼部 42 の表面であってもよい。後縁端面 49 とは、正圧面（腹側）56 と負圧面（背側）とが、ロータ 8 の軸方向下流側の後縁 46 の末端で交わり、ロータ 8 の軸方向下流側を向く端面を言う。

[0058] 複数の冷却孔 70 は、翼高さ方向において一定でない不均一な開口密度の分布を有する。

以下、幾つかの実施形態に係る複数の冷却孔 70 の開口密度の分布について説明する。

図 6～図 8、図 14 及び図 15 は、それぞれ、一実施形態における動翼 26（タービン翼 40）の後縁部 47 の翼高さ方向における開口密度の分布の一例を示すグラフである。図 9 及び図 13 は、それぞれ、翼高さ方向における燃焼ガスの温度分布の一例を示すグラフである。図 10～図 12 は、それぞれ、一実施形態における静翼 24（タービン翼 40）の後縁部 47 の翼高さ方向における開口密度の分布の一例を示すグラフである。図 16 は、一実施形態に係るタービン翼 40 の後縁部 47 における翼高さ方向に沿った断面図であり、図 17 は、一実施形態に係るタービン翼 40 の後縁部 47 を、翼部の後縁から前縁に向かう方向に視た図である。

[0059] 以下の説明において、「上流側」及び「下流側」とは、それぞれ、「冷却

通路 6 6 内における冷却媒体流れの上流側」及び「冷却通路 6 6 内における冷却媒体流れの上流側」のことである。

[0060] 幾つかの実施形態では、翼高さ方向における翼部 4 2 の両端である第 1 端と第 2 端の中間位置 P_m を含む中央領域における冷却孔 7 0 の開口密度を示す指標（以下、開口密度指標とも称する） d_{mid} と、中央領域よりも上流側に位置する上流側領域における冷却孔 7 0 の開口密度指標 d_{up} と、中央領域 R_m よりも下流側に位置する下流側領域における冷却孔 7 0 の開口密度指標 d_{down} とが、 $d_{up} < d_{mid} < d_{down}$ の関係を満たす。

[0061] また、幾つかの実施形態では、上述の中央領域における冷却孔 7 0 の開口密度指標 d_{mid} と、上述の上流側領域における冷却孔 7 0 の開口密度指標 d_{up} と、上述の下流側領域における冷却孔 7 0 の開口密度指標 d_{down} とが、 $d_{up} < d_{down} < d_{mid}$ の関係を満たす。

[0062] これらの実施形態について、タービン翼 4 0 が動翼 2 6 である場合と、タービン翼 4 0 が静翼 2 4 である場合のそれぞれについて説明する。

[0063] まず、上述の実施形態のうち、タービン翼 4 0 が動翼 2 6 である幾つかの実施形態について図 4 及び図 6 ～図 9 を参照して説明する。

タービン翼 4 0 が動翼 2 6 である場合、冷却媒体は、冷却通路 6 6（サーペンタイン流路 6 0 の最終パス 6 0 e）を基端 5 0 側から先端 4 8 側に向かって流れるので（図 2 及び図 4 参照）、冷却通路 6 6 内における冷却媒体流れの「上流側」及び「下流側」は、それぞれ、冷却通路 6 6 における翼部 4 2 の基端 5 0 側及び先端 4 8 側に相当する。また、翼高さ方向における翼部 4 2 の両端である第 1 端及び第 2 端は、それぞれ先端 4 8 及び基端 5 0 に相当する。

[0064] 幾つかの実施形態では、例えば図 6 及び図 7 のグラフに示すように、翼高さ方向における翼部 4 2 の先端 4 8 と基端 5 0 の中間位置 P_m を含む中央領域 R_m における冷却孔 7 0 の開口密度指標 d_{mid} と、中央領域 R_m よりも上流側（基端 5 0 側）に位置する上流側領域 R_{up} における冷却孔 7 0 の

開口密度指標 d_{up} と、中央領域 R_m よりも下流側（先端 48 側）に位置する下流側領域 R_{down} における冷却孔 70 の開口密度指標 d_{down} とが、 $d_{up} < d_{mid} < d_{down}$ の関係を満たす。

[0065] 図 6 のグラフに係る実施形態では、翼部 42 の翼高さ方向領域が、中央領域 R_m と、基端 50 を含み中央領域 R_m よりも基端 50 側に位置する上流側領域 R_{up} と、先端 48 を含み中央領域 R_m よりも先端 48 側に位置する下流側領域 R_{down} と、を含む 3 つの領域に分割されている。そして、3 つの各領域において冷却孔 70 の開口密度が均一で一定であり、開口密度は翼高さ方向においてステップ状に変化している。

すなわち、中央領域 R_m における冷却孔 70 の開口密度指標 d_{mid} は、中間位置 P_m における開口密度指標 d_m で一定であり、上流側領域 R_{up} における冷却孔 70 の開口密度指標 d_{up} は、中間位置 P_m よりも基端 50 側の位置 P_r における開口密度指標 d_r （ただし $d_r < d_m$ ）で一定であり、下流側領域 R_{down} における冷却孔 70 の開口密度指標 d_{down} は、中間位置 P_m よりも先端 48 側の位置 P_t における開口密度指標 d_t （ただし $d_m < d_t$ ）で一定である。

[0066] なお、図 6 において、上流側領域 R_{up} 及び中央領域 R_m 並びに下流側領域 R_{down} のそれぞれの領域について、各領域における全ての冷却孔 70 の開口密度を同一で一定として、各領域における径方向の領域中間位置における冷却孔 70 の開口密度指標をそれぞれ d_{up} 及び d_{mid} 並びに d_{down} として、 $d_{up} < d_{mid} < d_{down}$ の関係を満たすこともよい。各領域における領域中間位置は、上流側領域 R_{up} 及び中央領域 R_m 並びに下流側領域 R_{down} のそれぞれについて、 P_{dm} 、 P_{cm} 、 P_{um} で表示される。ここで、 P_{dm} 、 P_{cm} 及び P_{um} は、各領域における径方向の最も外側に配置された冷却孔 70 の位置と径方向の最も内側に配置された冷却孔 70 の位置との間の径方向長さの中間位置であってもよい。また、各領域における冷却孔の径方向に配列された冷却孔数の中間に相当する位置に配置された冷却孔の位置であってもよい。また、冷却孔 70 の孔径 D

は、先端48側から基端50側まで同一孔径Dでもよく、異なる孔径Dの冷却孔70の組合せであってもよい。また、上流側領域R_{up}及び中央領域R_m並びに下流側領域R_{down}のそれぞれの領域について、開口密度の異なる冷却孔70が含まれている場合、それぞれの領域における平均開口密度指標が、 $d_{up} < d_{mid} < d_{down}$ の関係を満たすことでもよい。ここで各領域における平均開口密度指標とは、各領域における全ての冷却孔70の開口密度の平均値を示す指標を意味する。

[0067] なお、上流側領域R_{up}の領域中間位置P_{um}は、翼高さ方向の先端48から基端50の間の全長Lに対して、基端50から $1/4L$ まで長さの位置を含み、基端50側に寄った位置に配置することが望ましい。中央領域R_mの領域中間位置P_{cm}は、基端50から $1/4L$ の長さの位置から $3/4L$ の長さの位置までの間に配置することが望ましい。また、下流側領域R_{down}の領域中間位置P_{dm}は、基端50から $3/4L$ の長さの位置を含み、先端48までの間の位置に配置することが望ましい。

[0068] 図7のグラフに係る実施形態では、翼部42の翼高さ方向において、冷却孔70の開口密度が、基端50側から先端48側に向かうにしたがい大きくなるように連続的に変化している。

すなわち、中央領域R_mにおける冷却孔70の開口密度指標 d_{mid} は、中間位置P_mにおける開口密度指標 d_m を含む範囲の値であり、上流側領域R_{up}における冷却孔70の開口密度指標 d_{up} は、基端50側の位置P_rにおける開口密度指標 d_r 以上かつ中間位置P_mにおける開口密度指標 d_m 未満の値であり、下流側領域R_{down}における冷却孔70の開口密度指標 d_{down} は、先端48側の位置P_tにおける開口密度指標 d_t 以下かつ中間位置P_mにおける開口密度指標 d_m よりも大きい値である。

[0069] 動翼26（タービン翼40）の翼部42の内部に形成された冷却通路66内では、冷却媒体は翼部42を冷却しながら流れるため、冷却媒体流れの下流側（先端48側）ほど高温となる温度分布、すなわち、前述したヒートアップが生じる場合がある。この点、上述の実施形態に係る動翼26（タービ

ン翼40)のように、冷却通路66における冷却媒体流れの下流側(先端48側)の位置において、より上流側(基端50側)の位置に比べて冷却孔70の開口密度を大きくすることにより、冷却媒体の温度が相対的に高くなる下流側(先端48側)において、冷却孔70を介した冷却媒体の供給流量を増やすことができる。これにより、冷却通路66の温度分布に応じて、動翼26(タービン翼40)の後縁部47を適切に冷却することができる。

[0070] また、翼部42の翼高さ方向における一部の領域において、他の領域よりも冷却孔70の開口密度を小さくすることにより、翼部42全体として冷却孔70の開口密度を比較的小さくすることができる。これにより、冷却通路66の圧力を高く維持しやすいので、冷却通路66と、タービン翼40外部(例えば、ガスタービン1の燃焼ガス流路28)の圧力との差圧を適切に維持して、冷却媒体を効果的に冷却孔70に供給しやすくなる。

[0071] なお、翼高さ方向における冷却孔70の開口密度の分布は、上述の開口密度指標 d_{mid} 、 d_{up} 及び d_{down} が $d_{up} < d_{mid} < d_{down}$ の関係を満たすものであればよく、図6又は図7のグラフに示すものに限定されない。

例えば、翼部42における翼高さ方向の領域を3つよりも多い領域に分割し、各領域における冷却孔70の開口密度が、基端50側から先端48側に向かうにしたがい徐々に大きくなるように、ステップ状に変化するようにしてもよい。

また、例えば、翼部42における翼高さ方向の領域において、一部の領域では冷却孔70の開口密度が連続的に変化するとともに、他の一部の領域では冷却孔70の開口密度が一定であってもよい。

[0072] 幾つかの実施形態では、例えば図8のグラフに示すように、中央領域における冷却孔70の開口密度指標 d_{mid} と、中央領域よりも上流側(基端50側)に位置する上流側領域における冷却孔70の開口密度指標 d_{up} と、中央領域よりも下流側(先端48側)に位置する下流側領域における冷却孔70の開口密度指標 d_{down} とが、 $d_{up} < d_{down} < d_{mid}$

m i d の関係を満たす。

[0073] 図8のグラフに係る実施形態では、翼部42の翼高さ方向領域が、中央領域R mと、基端50を含み中央領域R mよりも基端50側に位置する上流側領域R u pと、先端48を含み中央領域R mよりも先端48側に位置する下流側領域R d o w nと、を含む3つの領域に分割されている。そして、3つの各領域において冷却孔70の開口密度が一定であり、開口密度は翼高さ方向においてステップ状に変化している。

すなわち、中央領域R mにおける冷却孔70の開口密度指標 $d_m i d$ は、中間位置P mにおける $d m$ で一定であり、上流側領域R u pにおける冷却孔70の開口密度指標 $d_u p$ は、中間位置P mよりも基端50側の位置P rにおける開口密度指標 $d r$ （ただし $d r < d m$ ）で一定であり、下流側領域R d o w nにおける冷却孔70の開口密度指標 $d_d o w n$ は、中間位置P mよりも先端48側の位置P tにおける開口密度指標 $d t$ （ただし $d r < d t < d m$ ）で一定である。

[0074] 動翼26（タービン翼40）が配置される燃焼ガス流路28（図1参照）を流通するガスの温度は、例えば図9のグラフに示すような分布となっており、翼高さ方向において、翼部42の先端48側の領域及び基端50側の領域に比べて、先端48と基端50との中間位置P mを含む中央領域において高くなる傾向がある。

一方、翼部42の内部に形成された冷却通路66内では、冷却媒体は翼部42を冷却しながら流れるため、冷却媒体流れの下流側（先端48側）ほど高温となる温度分布が生じる場合がある。このような場合には、後縁部47を適切に冷却するためには、翼高さ方向の中央領域R mにおける冷却孔70を介した冷却媒体流量を最大とし、且つ、上述の下流側領域R d o w nの方において上流側領域R u pよりも冷却孔70を介した冷却媒体流量が大きくなるようにすることが望ましい。

[0075] すなわち、前述したように、冷却媒体が最終パス60e内を流れる過程でヒートアップされ、最終パス60eの先端48又は下流側領域R d o w nに

おける冷却孔 70 のメタル温度が、最も高くなる。しかし、メタル温度が、酸化減肉許容量から定める使用限界温度を越えない範囲内に抑えられる翼の場合は、図 20C 及び図 6 に示す冷却孔 70 の開口密度分布を選定することにより翼の損傷が抑制できる。一方、図 9 に示す燃焼ガス温度分布を示す燃焼ガスの雰囲気稼働する翼の場合、中央領域 R_m における翼部 42 が燃焼ガスから受ける入熱が大きく、図 20C 及び図 6 に示す中央領域 R_m の冷却孔 70 の開口密度指標では、中央領域 R_m の冷却孔 70 のメタル温度が、使用限界温度を越える場合がある。このような場合は、中央領域 R_m の冷却孔 70 の開口密度指標を更に大きくして、冷却を強化する必要がある。つまり、下流側領域 R_{down} の冷却孔 70 の開口密度指標を小さく、中央領域 R_m の冷却孔 70 の開口密度指標を大きくして、下流側領域 R_{down} の冷却孔 70 を流れる冷却媒体の供給流量を絞ることにより、中央領域 R_m の冷却孔 70 を流れる冷却媒体の供給流量を増加させることができる。メタル温度によっては、更に、上流側領域 R_{up} の冷却孔 70 の開口密度指標を小さくして、最終パス 60e の先端 48 及び下流側領域 R_{down} における冷却孔 70 のメタル温度並びに中央領域 R_m におけるメタル温度が使用限界温度内に納まる開口密度分布を選定してもよい。また、併せて、中央領域 R_m 及び上流側領域 R_{up} における前述したクリープ強度がクリープ限界内に納まることを確認して、本実施形態における各領域の冷却孔 70 の開口密度分布を選定してもよい。

[0076] 上述の実施形態に係る動翼 26（タービン翼 40）のように、中央領域 R_m における冷却孔 70 の開口密度指標 d_{mid} を、上述の上流側領域 R_{up} 及び下流側領域 R_{down} における冷却孔 70 の開口密度指標 d_{up} , d_{down} よりも大きくすることにより、燃焼ガス流路 28 を流通するガス温度が相対的に高くなる中央領域 R_m において、冷却孔 70 を介した冷却媒体の供給流量を増やすことができる。また、上述の実施形態に係る動翼 26（タービン翼 40）のように、下流側領域 R_{down} における冷却孔 70 の開口密度指標 d_{down} を上流側領域 R_{up} における冷却孔 70 の開口密

度指標 d_{up} に比べて大きくすることにより、冷却媒体温度が上流側領域 R_{up} よりも高くなる下流側領域 R_{down} において、冷却孔 70 を介した冷却媒体の供給流量を増やすことができる。こうして、冷却通路 66 の温度分布に応じて、動翼 26（タービン翼 40）の後縁部 47 を適切に冷却することができる。

[0077] なお、図 8 において、上流側領域 R_{up} 及び中央領域 R_m 並びに下流側領域 R_{down} のそれぞれの領域について、各領域における全ての冷却孔 70 の開口密度を同一で一定として、各領域における径方向の領域中間位置における冷却孔 70 の開口密度指標をそれぞれ d_{up} 及び d_{mid} 並びに d_{down} として、 $d_{up} < d_{down} < d_{mid}$ の関係を満たすことでもよい。また、上流側領域 R_{up} 及び中央領域 R_m 並びに下流側領域 R_{down} のそれぞれの領域について、開口密度の異なる冷却孔 70 が含まれている場合、それぞれの領域における平均開口密度指標が、 $d_{up} < d_{down} < d_{mid}$ の関係を満たすことでもよい。ここで各領域における領域中間位置及び平均開口密度指標の考え方及は、前述の通りである。また、冷却孔 70 の孔径 D は、先端 48 側から基端 50 側まで同一孔径 D でもよく、異なる孔径 D の冷却孔 70 の組合せであってもよい。

[0078] なお、翼高さ方向における冷却孔 70 の開口密度の分布は、上述の開口密度指標 d_{mid} 、 d_{up} 及び d_{down} が $d_{up} < d_{down} < d_{mid}$ の関係を満たすものであればよく、図 8 のグラフに示すものに限定されない。

例えば、翼部 42 における翼高さ方向の領域を 3 つよりも多い領域に分割し、各領域における冷却孔 70 の開口密度が上述の関係を満たすように、ステップ状に変化するようにしてもよい。

また、例えば、翼部 42 における翼高さ方向の領域において、少なくとも一部の領域において冷却孔 70 の開口密度が連続的に変化していてもよい。この場合、翼部 42 の翼高さ方向における他の一部の領域において冷却孔 70 の開口密度が一定であってもよい。

[0079] 次に、上述の実施形態のうち、タービン翼40が静翼24である幾つかの実施形態について図5及び図10～図13を参照して説明する。

タービン翼40が静翼24である場合、冷却媒体は、冷却通路66（サーペンタイン流路60の最終パス60e）を外側端52側から内側端54側に向かって流れるので（図5参照）、冷却通路66内における冷却媒体流れの「上流側」及び「下流側」は、それぞれ、冷却通路66内における翼部42の外側端52側及び内側端54側に相当する。また、翼高さ方向における翼部42の両端である第1端及び第2端は、それぞれ外側端52及び内側端54に相当する。

[0080] 幾つかの実施形態では、例えば図10及び図11のグラフに示すように、翼高さ方向における翼部42の外側端52と内側端54の中間位置 P_m を含む中央領域における冷却孔70の開口密度指標 d_{mid} と、中央領域よりも上流側（外側端52側）に位置する上流側領域における冷却孔70の開口密度指標 d_{up} と、中央領域よりも下流側（内側端54側）に位置する下流側領域における冷却孔70の開口密度指標 d_{down} とが、 $d_{up} < d_{mid} < d_{down}$ の関係を満たす。

[0081] 図10のグラフに係る実施形態では、翼部42の翼高さ方向領域が、中央領域 R_m と、外側端52を含み中央領域 R_m よりも外側端52側に位置する上流側領域 R_{up} と、内側端54を含み中央領域 R_m よりも内側端54側に位置する下流側領域 R_{down} と、を含む3つの領域に分割されている。そして、3つの各領域において冷却孔70の開口密度が一定であり、開口密度は翼高さ方向においてステップ状に変化している。

すなわち、中央領域 R_m における冷却孔70の開口密度指標 d_{mid} は、中間位置 P_m における開口密度指標 d_m で一定であり、上流側領域 R_{up} における冷却孔70の開口密度指標 d_{up} は、中間位置 P_m よりも外側端52側の位置 P_o における開口密度指標 d_o （ただし $d_o < d_m$ ）で一定であり、下流側領域 R_{down} における冷却孔70の開口密度指標 d_{down} は、中間位置 P_m よりも内側端54側の位置 P_i における開口密度指標 d_i

i (ただし $d_m < d_i$) で一定である。

[0082] 図11のグラフに係る実施形態では、翼部42の翼高さ方向において、冷却孔70の開口密度が、外側端52側から内側端54側に向かうにしたがい大きくなるように連続的に変化している。

すなわち、中央領域 R_m における冷却孔70の開口密度指標 d_{mid} は、中間位置 P_m における開口密度指標 d_m を含む範囲の値であり、上流側領域 R_{up} における冷却孔70の開口密度指標 d_{up} は、外側端52側の位置 P_o における開口密度指標 d_o 以上かつ中間位置 P_m における開口密度指標 d_m 未満の値であり、下流側領域 R_{down} における冷却孔70の開口密度指標 d_{down} は、内側端54側の位置 P_i における開口密度指標 d_i 以下かつ中間位置 P_m における開口密度指標 d_m よりも大きい値である。

[0083] 静翼24（タービン翼40）の翼部42の内部に形成された冷却通路66内では、冷却媒体は翼部42を冷却しながら流れるため、冷却媒体流れの下流側（内側端54側）ほど高温となる温度分布、すなわち、前述したヒートアップが生じる場合がある。この点、上述の実施形態に係る静翼24（タービン翼40）のように、冷却通路66における冷却媒体流れ方向の下流側（内側端54側）の位置において、より上流側（外側端52側）の位置に比べて冷却孔70の開口密度を大きくすることにより、冷却媒体の温度が相対的に高くなる下流側（内側端54側）において、冷却孔70を介した冷却媒体の供給流量を増やすことができる。これにより、冷却通路66の温度分布に応じて、静翼24（タービン翼40）の後縁部47を適切に冷却することができる。

[0084] なお、図10において、上流側領域 R_{up} 及び中央領域 R_m 並びに下流側領域 R_{down} のそれぞれの領域について、各領域における全ての冷却孔70の開口密度を同一で一定として、各領域における径方向の領域中間位置における冷却孔70の開口密度指標をそれぞれ d_{up} 及び d_{mid} 並びに d_{down} として、 $d_{up} < d_{mid} < d_{down}$ の関係を満たすことでもよい。また、上流側領域 R_{up} 及び中央領域 R_m 並びに下流側領域

R d o w nのそれぞれの領域について、開口密度の異なる冷却孔 7 0が含まれている場合、それぞれの領域における平均開口密度指標が、 $d_up < d_mid < d_down$ の関係を満たすことでもよい。ここで各領域における領域中間位置及び平均開口密度指標の考え方は、前述の通りである。また、冷却孔 7 0の孔径Dは、先端 4 8側から基端 5 0側まで同一孔径Dでもよく、異なる孔径Dの冷却孔 7 0の組合せであってもよい。

[0085] なお、翼高さ方向における冷却孔 7 0の開口密度の分布は、上述の開口密度指標 d_mid 、 d_up 及び d_down が $d_up < d_mid < d_down$ の関係を満たすものであればよく、図 1 0 又は図 1 1 のグラフに示すものに限定されない。

例えば、翼部 4 2 における翼高さ方向の領域を 3 つよりも多い領域に分割し、各領域における冷却孔 7 0 の開口密度が、内側端 5 4 側から外側端 5 2 側に向かうにしたがい徐々に大きくなるように、ステップ状に変化するようにしてもよい。

また、例えば、翼部 4 2 における翼高さ方向の領域において、一部の領域では冷却孔 7 0 の開口密度が連続的に変化するとともに、他の一部の領域では冷却孔 7 0 の開口密度が一定であってもよい。

[0086] 幾つかの実施形態では、例えば図 1 2 のグラフに示すように、中央領域における冷却孔 7 0 の開口密度指標 d_mid と、中央領域よりも上流側（外側端 5 2 側）に位置する上流側領域における冷却孔 7 0 の開口密度指標 d_up と、中央領域よりも下流側（内側端 5 4 側）に位置する下流側領域における冷却孔 7 0 の開口密度指標 d_down とが、 $d_up < d_down < d_mid$ の関係を満たす。

[0087] 図 1 2 のグラフに係る実施形態では、翼部 4 2 の翼高さ方向領域が、中央領域 R_m と、外側端 5 2 を含み中央領域 R_m よりも外側端 5 2 側に位置する上流側領域 R_{up} と、内側端 5 4 を含み中央領域 R_m よりも内側端 5 4 側に位置する下流側領域 R_{down} と、を含む 3 つの領域に分割されている。そして、3 つの各領域において冷却孔 7 0 の開口密度が一定であり、開口密度

は翼高さ方向においてステップ状に変化している。

すなわち、中央領域 R_m における冷却孔 70 の開口密度指標 $d_{m \text{ i d}}$ は、中間位置 P_m における d_m で一定であり、上流側領域 $R_{u p}$ における冷却孔 70 の開口密度指標 $d_{u p}$ は、中間位置 P_m よりも外側端 52 側の位置 P_o における開口密度指標 d_o (ただし $d_o < d_m$) で一定であり、下流側領域 $R_{d o w n}$ における冷却孔 70 の開口密度指標 $d_{d o w n}$ は、中間位置 P_m よりも内側端 54 側の位置 P_i における開口密度指標 d_i (ただし $d_o < d_i < d_m$) で一定である。

[0088] 静翼 24 (タービン翼 40) が配置される燃焼ガス流路 28 (図 1 参照) を流通するガスの温度は、例えば図 13 のグラフに示すような分布となっており、翼高さ方向において、翼部 42 の外側端 52 側の領域及び内側端 54 側の領域に比べて、外側端 52 と内側端 54 との中間位置 P_m を含む中央領域において高くなる傾向がある。

一方、翼部 42 の内部に形成された冷却通路 66 内では、冷却媒体は翼部 42 を冷却しながら流れるため、冷却媒体流れの下流側 (内側端 54 側) ほど高温となる温度分布が生じる場合がある。このような場合には、後縁部 47 を適切に冷却するためには、翼高さ方向の中央領域 R_m における冷却孔 70 を介した冷却媒体流量を最大とし、且つ、上述の下流側領域 $R_{d o w n}$ の方において上流側領域 $R_{u p}$ よりも冷却孔 70 を介した冷却媒体流量が大きくなるようにすることが望ましい。

[0089] すなわち、前述したように、冷却媒体が最終パス 60 e 内を流れる過程でヒートアップされ、最終パス 60 e の内側端 54 又は下流側領域 $R_{d o w n}$ における冷却孔 70 のメタル温度が、最も高くなる。しかし、酸化減肉許容量から定める使用限界温度を越えない範囲内に抑えられる翼の場合は、図 10 に示す冷却孔 70 の開口密度分布を選定することにより翼の損傷を抑制できる。一方、図 13 に示す燃焼ガス温度分布を示す燃焼ガスの雰囲気稼働する翼の場合、中央領域 R_m における翼部 42 が燃焼ガスから受ける入熱が大きく、図 10 に示す中央領域 R_m の冷却孔 70 の開口密度指標では、中央

領域 R_m の冷却孔 70 のメタル温度が、使用限界温度を越える場合がある。このような場合は、中央領域 R_m の冷却孔 70 の開口密度指標を更に大きくして、冷却を強化する。つまり、下流側領域 R_{down} の冷却孔 70 の開口密度指標を小さく、中央領域 R_m の冷却孔 70 の開口密度指標を大きくして、下流側領域 R_{down} の冷却孔 70 を流れる冷却媒体の供給流量を絞ることにより、中央領域 R_m の冷却孔 70 を流れる冷却媒体の供給流量を増加させることができる。メタル温度によっては、更に、上流側領域 R_{up} の冷却孔 70 の開口密度指標を小さくして、最終パス 60 e の内側端 54 及び下流側領域 R_{down} における冷却孔 70 のメタル温度並びに中央領域 R_m におけるメタル温度が使用限界温度内に納まる開口密度分布を選定してもよい。

[0090] 上述の実施形態に係る静翼 24（タービン翼 40）のように、中央領域 R_m における冷却孔 70 の開口密度指標 d_{mid} を、上述の上流側領域 R_{up} 及び下流側領域 R_{down} における冷却孔 70 の開口密度指標 d_{up} 、 d_{down} よりも大きくすることにより、燃焼ガス流路 28 を流通するガス温度が相対的に高くなる中央領域 R_m において、冷却孔 70 を介した冷却媒体の供給流量を増やすことができる。また、上述の実施形態に係る静翼 24（タービン翼 40）のように、下流側領域 R_{down} における冷却孔 70 の開口密度指標 d_{down} を上流側領域 R_{up} における冷却孔 70 の開口密度指標 d_{up} に比べて大きくすることにより、冷却媒体温度が上流側領域 R_{up} よりも高くなる下流側領域 R_{down} において、冷却孔 70 を介した冷却媒体の供給流量を増やすことができる。こうして、冷却通路 66 の温度分布に応じて、静翼 24（タービン翼 40）の後縁部 47 を適切に冷却することができる。

[0091] なお、図 12 において、上流側領域 R_{up} 及び中央領域 R_m 並びに下流側領域 R_{down} のそれぞれの領域について、各領域における全ての冷却孔 70 の開口密度を同一で一定として、各領域における径方向の領域中間位置における冷却孔 70 の開口密度指標をそれぞれ d_{up} 及び d_{mid} 並びに d_{down} として、 $d_{up} < d_{down} < d_{mid}$ の関係を満たす

ことでもよい。また、上流側領域 R_{up} 及び中央領域 R_m 並びに下流側領域 R_{down} のそれぞれの領域について、開口密度の異なる冷却孔 70 が含まれている場合、それぞれの領域における平均開口密度指標が、 $d_{up} < d_{down} < d_{mid}$ の関係を満たすことでもよい。ここで各領域における領域中間位置及び平均開口密度指標の考え方は、前述の通りである。また、冷却孔 70 の孔径 D は、先端 48 側から基端 50 側まで同一孔径 D でもよく、異なる孔径 D の冷却孔 70 の組合せであってもよい。

[0092] なお、翼高さ方向における冷却孔 70 の開口密度の分布は、上述の開口密度指標 d_{mid} 、 d_{up} 及び d_{down} が $d_{up} < d_{down} < d_{mid}$ の関係を満たすものであればよく、図 13 のグラフに示すものに限定されない。

例えば、翼部 42 における翼高さ方向の領域を 3 つよりも多い領域に分割し、各領域における冷却孔 70 の開口密度が上述の関係を満たすように、ステップ状に変化するようにしてもよい。

また、例えば、翼部 42 における翼高さ方向の領域において、少なくとも一部の領域において冷却孔 70 の開口密度が連続的に変化していてもよい。この場合、翼部 42 の翼高さ方向における他の一部の領域において冷却孔 70 の開口密度が一定であってもよい。

[0093] 次に、他の幾つかの実施形態について図 4、図 14 及び図 15 を参照して説明する。これらの実施形態において、タービン翼 40 は動翼 26 (図 4 参照) である。

[0094] 幾つかの実施形態では、例えば図 14 のグラフに示すように、翼高さ方向における翼部 42 の先端 48 と基端 50 との中間位置 P_m を含む中央領域における冷却孔 70 の開口密度指標 d_{mid} と、中央領域よりも先端 48 側に位置する先端側領域における開口密度指標 d_{tip} と、中央領域よりも基端 50 側に位置する基端側領域における開口密度指標 d_{root} とが、 $d_{tip} < d_{mid} < d_{root}$ の関係を満たす。

[0095] 図 14 のグラフに係る実施形態では、翼部 42 の翼高さ方向領域が、中央

領域 R_m と、先端 48 を含み中央領域 R_m よりも先端 48 側に位置する先端側領域 R_{tip} と、基端 50 を含み中央領域 R_m よりも基端 50 側に位置する基端側領域 R_{root} と、を含む 3 つの領域に分割されている。そして、3 つの各領域において冷却孔 70 の開口密度が一定であり、開口密度は翼高さ方向においてステップ状に変化している。

すなわち、中央領域 R_m における冷却孔 70 の開口密度指標 d_{mid} は、中間位置 P_m における開口密度指標 d_m で一定であり、先端側領域 R_{tip} における冷却孔 70 の開口密度指標 d_{tip} は、中間位置 P_m よりも先端 48 側の位置 P_t における開口密度指標 d_t (ただし $d_t < d_m$) で一定であり、基端側領域 R_{root} における冷却孔 70 の開口密度指標 d_{root} は、中間位置 P_m よりも基端 50 側の位置 P_r における開口密度指標 d_r (ただし $d_m < d_r$) で一定である。

[0096] ガスタービン 1 の運転時、動翼 26 の翼部 42 の内部に形成された冷却通路 66 内の冷却媒体には遠心力が作用するため、該冷却通路 66 内において翼部 42 の先端 48 側ほど高圧となる圧力分布が生じる場合がある。この点、上述の実施形態に係る動翼 26 (タービン翼 40) のように、翼部 42 の先端 48 側の位置において、より基端 50 側の位置に比べて冷却孔 70 の開口密度を小さくすることにより、上述の圧力分布がある場合であっても、冷却孔 70 を介した冷却媒体の供給流量の翼高さ方向におけるばらつきを小さくすることができる。これにより、冷却通路 66 の圧力分布に応じて、動翼 26 (タービン翼 40) の後縁部 47 を適切に冷却することができる。

[0097] なお、図 14 において、基端側領域 R_{root} 及び中央領域 R_m 並びに先端側領域 R_{tip} のそれぞれの領域について、各領域における全ての冷却孔 70 の開口密度を同一で一定として、各領域における径方向の領域中間位置における冷却孔 70 の開口密度指標をそれぞれ d_{root} 及び d_{mid} 並びに d_{tip} として、 $d_{tip} < d_{mid} < d_{root}$ の関係を満たすことでもよい。各領域における領域中間位置は、基端側領域 R_{root} 及び中央領域 R_m 並びに先端側領域 R_{tip} のそれぞれについて、 P_{rm}

、 P_{cm} 、 P_{tm} で表示される。また、基端側領域 R_{root} 及び中央領域 R_m 並びに先端側領域 R_{tip} のそれぞれの領域について、開口密度の異なる冷却孔70が含まれている場合、それぞれの領域における平均開口密度指標が、 $d_{tip} < d_{mid} < d_{root}$ の関係を満たすことでもよい。ここで各領域における領域中間位置及び平均開口密度指標の考え方は、前述の通りである。また、冷却孔70の孔径 D は、先端48側から基端50側まで同一孔径 D でもよく、異なる孔径 D の冷却孔70の組合せであってもよい。

[0098] なお、翼高さ方向における冷却孔70の開口密度の分布は、上述の開口密度指標 d_{mid} 、 d_{tip} 及び d_{root} が $d_{tip} < d_{mid} < d_{root}$ の関係を満たすものであればよく、図14のグラフに示すものに限定されない。

例えば、翼部42における翼高さ方向の領域を3つよりも多い領域に分割し、各領域における冷却孔70の開口密度が上述の関係を満たすように、ステップ状に変化するようにしてもよい。

また、例えば、翼部42における翼高さ方向の領域において、少なくとも一部の領域において冷却孔70の開口密度が連続的に変化していてもよい。この場合、翼部42の翼高さ方向における他の一部の領域において冷却孔70の開口密度が一定であってもよい。

[0099] また、幾つかの実施形態では、例えば図15のグラフに示すように、上述の中央領域における冷却孔70の開口密度指標 d_{mid} と、中央領域よりも先端48側に位置する先端側領域における開口密度指標 d_{tip} と、中央領域よりも基端50側に位置する基端側領域における開口密度指標 d_{root} とが、 $d_{tip} < d_{root} < d_{mid}$ の関係を満たす。

[0100] 図15のグラフに係る実施形態では、翼部42の翼高さ方向領域が、中央領域 R_m と、先端48を含み中央領域 R_m よりも先端48側に位置する先端側領域 R_{tip} と、基端50を含み中央領域 R_m よりも基端50側に位置する基端側領域 R_{root} と、を含む3つの領域に分割されている。そして、

3つの各領域において冷却孔70の開口密度が一定であり、開口密度は翼高さ方向においてステップ状に変化している。

すなわち、中央領域 R_m における冷却孔70の開口密度指標 d_{mid} は、中間位置 P_m における開口密度指標 d_m で一定であり、先端側領域 R_{tip} における冷却孔70の開口密度指標 d_{tip} は、中間位置 P_m よりも先端48側の位置 P_t における開口密度指標 d_t （ただし $d_t < d_m$ ）で一定であり、基端側領域 R_{root} における冷却孔70の開口密度指標 d_{root} は、中間位置 P_m よりも基端50側の位置 P_r における開口密度指標 d_r （ただし $d_t < d_r < d_m$ ）で一定である。

[0101] 動翼26（タービン翼40）が配置される燃焼ガス流路28（図1参照）を流通するガスの温度は、例えば図9のグラフに示すような分布となっており、翼高さ方向において翼部42の先端48側の領域及び基端50側の領域に比べて、先端48と基端50との中間位置 P_m を含む中央領域において高くなる傾向がある。

一方、ガスタービン1の運転時、動翼26の翼部42の内部に形成された冷却通路66内の冷却媒体には遠心力が作用するため、該冷却通路66内において翼部42の先端48側ほど高圧となる圧力分布が生じる場合がある。このような場合には、後縁部47を適切に冷却するためには、翼高さ方向の中央領域における冷却孔70を介した冷却媒体流量を最大とし、且つ、翼高さ方向における先端48側に位置する領域と基端50側に位置する領域とで、冷却孔を介した冷却媒体の供給流量のばらつきを小さくすることが望ましい。

[0102] この点、上述の実施形態に係る動翼26（タービン翼40）のように、中央領域 R_m における冷却孔70の開口密度指標 d_{mid} を、上述の先端側領域 R_{tip} 及び基端側領域 R_{root} における冷却孔70の開口密度指標 d_{tip} 、 d_{root} よりも大きくすることにより、燃焼ガス流路28を流通するガス温度が相対的に高くなる中央領域 R_m において、冷却孔70を介した冷却媒体の供給流量を増やすことができる。また、上述の実施形態

に係る動翼 26（タービン翼 40）のように、先端側領域 R_{tip} における冷却孔 70 の開口密度指標 d_{tip} を基端側領域 R_{root} における冷却孔 70 の開口密度指標 d_{root} に比べて小さくすることにより、上述の圧力分布がある場合であっても、先端側領域 R_{tip} と基端側領域 R_{root} とで冷却孔 70 を介した冷却媒体の供給流量のばらつきを小さくすることができる。こうして、冷却通路 66 の圧力分布に応じて、動翼 26（タービン翼 40）の後縁部 47 を適切に冷却することができる。

[0103] なお、図 15 において、基端側領域 R_{root} 及び中央領域 R_m 並びに先端側領域 R_{tip} のそれぞれの領域について、各領域における全ての冷却孔 70 の開口密度を同一で一定として、各領域における径方向の領域中間位置における冷却孔 70 の開口密度指標をそれぞれ d_{root} 及び d_{mid} 並びに d_{tip} として、 $d_{tip} < d_{root} < d_{mid}$ の関係を満たすことでもよい。各領域における領域中間位置は、基端側領域 R_{root} 及び中央領域 R_m 並びに先端側領域 R_{tip} のそれぞれについて、 P_{rm} 、 P_{cm} 、 P_{tm} で表示される。また、基端側領域 R_{root} 及び中央領域 R_m 並びに先端側領域 R_{tip} のそれぞれの領域について、開口密度の異なる冷却孔 70 が含まれている場合、それぞれの領域における平均開口密度指標が、 $d_{tip} < d_{root} < d_{mid}$ の関係を満たすことでもよい。ここで各領域における領域中間位置及び平均開口密度指標の考え方は、前述の通りである。また、冷却孔 70 の孔径 D は、先端 48 側から基端 50 側まで同一孔径 D でもよく、異なる孔径 D の冷却孔 70 の組合せであってもよい。

[0104] なお、翼高さ方向における冷却孔 70 の開口密度の分布は、上述の開口密度指標 d_{mid} 、 d_{tip} 及び d_{root} が $d_{tip} < d_{root} < d_{mid}$ の関係を満たすものであればよく、図 15 のグラフに示すものに限定されない。

例えば、翼部 42 における翼高さ方向の領域を 3 つよりも多い領域に分割し、各領域における冷却孔 70 の開口密度が上述の関係を満たすように、ス

テップ状に変化するようにしてもよい。

また、例えば、翼部42における翼高さ方向の領域において、少なくとも一部の領域において冷却孔70の開口密度が連続的に変化していてもよい。この場合、翼部42の翼高さ方向における他の一部の領域において冷却孔70の開口密度が一定であってもよい。

[0105] なお、例えば上述した図6、図8、図10、図12、図14及び図15のグラフに係る実施形態では、翼部42の翼高さ方向における各領域（中央領域R_m、上流側領域R_{up}及び下流側領域R_{down}、又は、先端側領域R_{tip}及び基端側領域R_{root}）における冷却孔70の開口密度がそれぞれ一定であるので、各領域における冷却孔の加工がしやすくなる。

[0106] 上述したタービン翼40の冷却孔70の開口密度の指標として、例えば、翼高さ方向における冷却孔70のピッチP（図16参照）と、冷却孔70の直径D（図16参照）との比 P/D を採用してもよい。なお、冷却孔70の直径Dとして、冷却孔70の最大径、最小径又は平均径を用いてもよい。

あるいは、上述の開口密度指標として、冷却孔70の翼部42の表面への開口端72（図17参照）における濡れ縁長さS（即ち、翼部42表面における開口端72の周長）と、翼高さ方向における冷却孔70のピッチP（図17参照）との比 S/P を採用してもよい。

あるいは、上述の開口密度指標として、翼部42の後縁部47における翼部42の表面の単位面積あたり（又は単位長さあたり）の冷却孔70の個数を採用してもよい。

[0107] タービン翼40の翼部42の後縁部47に形成される冷却孔70は、以下のような特徴を有していてもよい。

[0108] 幾つかの実施形態では、冷却孔70は、翼高さ方向に直交する平面に対して傾きをもって形成されていてもよい。

このように、冷却孔70が、翼高さ方向に直行する平面に対して傾きをもって形成されることにより、該冷却孔70を翼高さ方向に直交する平面と平行に形成する場合に比べて、冷却孔70を長くすることができる。これによ

り、タービン翼40の後縁部を効果的に冷却することができる。

[0109] 幾つかの実施形態では、冷却孔70の延在する方向と、翼高さ方向に直交する平面とのなす角度A（図16参照）が、 15° 以上 45° 以下、又は、 20° 以上 40° 以下であってもよい。前記角度Aが上述の範囲であれば、冷却孔70の加工のしやすさを維持しながら、あるいは、翼部42の後縁部47の強度を維持しながら、比較的長い冷却孔70を形成することができる。

[0110] また、幾つかの実施形態では、冷却孔70は、互いに平行に形成されていてもよい。

このように、複数の冷却孔70が互いに平行に形成されることにより、複数の冷却孔70が互いに平行でない場合に比べて、より多くの冷却孔70を翼部42の後縁部47に形成することができる。これにより、タービン翼40の後縁部47を効果的に冷却することができる。

[0111] 次に、最終パス60eと後縁部47の冷却孔70の開口密度の関係について、以下に説明する。一般に、サーペンタイン流路60の翼内面には、冷却媒体との間の熱伝達を促進するため、タービュレータ90が設けられている。図18には、後縁部47近傍に形成された冷却孔70の配置と、後縁部47に隣接して冷却媒体の流れ方向の上流側に配置された冷却通路66の最終パス60eの構成が示されている。最終パス60eには基端50から先端48まで、翼部42の圧力面（腹側）56と負圧面（背側）58の各内壁面68に、乱流促進材としてのタービュレータ90が配置されている。同様に、最終パス60eより冷却媒体の流れ方向の上流側のサーペンタイン流路60にも、タービュレータ（不図示）が配置されている。

[0112] サーペンタイン流路60に配置されるタービュレータ90は、図19に示すように、各パス60a～60eの少なくとも1つのパスの圧力面（腹側）56と負圧面（背側）58の内壁面68に設けられており、タービュレータ90の内壁面68を基準に高さeに形成されている。また、各パス60a～60eの背腹方向の通路幅はHで形成され、各流路において、径方向に隣接

して配置された複数のタービュレータ 90 は、ピッチ PP の間隔で設けられている。タービュレータ 90 は、タービュレータ 90 のピッチ PP と高さ e の比 (PP/e) 及びタービュレータ 90 の高さ e と背腹方向の通路幅 H との比 (e/H) 並びに冷却媒体の流れ方向に対するタービュレータ 90 の傾き角が、基端 50 から先端 48 まで大略一定となるように形成され、冷却媒体との間で最適な熱伝達が得られるように配置されている。

[0113] しかし、最終パス 60 e においては、最終パス 60 e の通路幅 H が、最終パス 60 e 以外の他のパス 60 a ~ 60 d より狭くなる。そのため、前述の適正な熱伝達を得る冷却通路 66 のタービュレータ 90 の高さ e と通路幅 H との適正な比 (e/H) に対応させたタービュレータ高さ e を選定することが困難な場合がある。すなわち、最終パス 60 e の場合、他のパス 60 a ~ 60 d と比較して、タービュレータ 90 の高さ e と通路幅 H との適正な比 (e/H) を維持するためには、タービュレータ 90 の高さ e が小さくなり過ぎて、タービュレータ 90 の加工が困難になる場合がある。特に、基端 50 側と比較して先端 48 側の方がより通路幅 H が狭くなるため、タービュレータ 90 の適正な高さ e の選定がより困難になる場合がある。

[0114] また、サーペントイン流路 60 の最終パス 60 e に流入する冷却媒体は、最終パス 60 e より上流側の各パス 60 a ~ 60 d を流下する過程で翼部 42 の内壁面 68 から加熱され、最終パス 60 e に供給される。従って、最終パス 60 e のメタル温度は高温化され易く、特に最終パス 60 e の先端 48 側近傍は、高温化され易い。そのため、最終パス 60 e のメタル温度が使用限界温度を越えないような手段が採用される。例えば、最終パス 60 e の翼高さ方向の中間位置から先端 48 の出口開口 64 に向けて通路幅 H を徐々に狭め、通路断面積を減少させ、冷却媒体の流速を上げる通路構造を選定する場合がある。最終パス 60 e の通路断面積を出口開口 64 に向けて減少させて、冷却媒体の流速を早め、最終パス 60 e との間の熱伝達を促進させ、最終パス 60 e のメタル温度を使用限界温度以下に抑制することが可能になる。このような構造を適用する場合、最終パス 60 e の先端 48 近傍の通路幅

Hは更に狭くなる方向である。

[0115] そこで、最終パス60e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Hに対するタービュレータ90の適正な高さeに対して、相対的に高さeが大きいタービュレータ90を選定する場合がある。すなわち、最終パス60eに形成されるタービュレータ90は、最終パス60e以外の他のパス60a～60dのタービュレータ90より高さeが小さくなるが、タービュレータ90の高さeを基端50から先端48まで変えることなく一定の同じ高さeを選定する場合がある。その結果、最終パス60eのタービュレータ90の高さeと通路幅Hとの比(e/H)は、他のパス60a～60dに適用される高さeと通路幅Hとの比(e/H)より大きくなる。このように、最終パス60eにおいて、適正值より相対的に高さeが大きいタービュレータ90を選定することにより、最終パス60eの冷却媒体の乱流の発生が促進され、他のパス60a～60dと比較して最終パス60eにおける冷却媒体との間の熱伝達が更に促進される。その結果、最終パス60eのメタル温度が、使用限界温度以下に抑制される。

[0116] 一方、上述のように最終パス60eにおける熱伝達が促進された場合、最終パス60eのメタル温度は低下するものの、最終パス60eを流れる冷却媒体の温度は更に上昇する。温度上昇を伴った冷却媒体が後縁部47に配置された冷却孔70に供給されるため、後縁部47の開口密度の分布に影響する場合がある。すなわち、最終パス60eにおける通路幅Hを先端48側に向けて減少させたり、最終パス60eのタービュレータ90の高さeを他のパス60a～60dより相対的に大きくすること等により、最終パス60eの冷却が強化され、熱応力の発生等が改善される。一方、後縁部47に供給される冷却媒体の温度上昇に対しては、最終パス60eの翼高さ方向の中間位置から先端48の出口開口64までの後縁部47の冷却孔70の開口密度を大きくして、流入する冷却媒体の温度上昇を吸収し、後縁部47のメタル温度の上昇を抑制して、最終パス60eを含めた後縁部47の適正な冷却が可能になる。

[0117] 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。

[0118] 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

[0119]	1	ガスタービン
	2	圧縮機
	4	燃焼器
	6	タービン
	8	ロータ
	10	圧縮機車室
	12	空気取入口
	16	静翼
	18	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
3 0	排気室
4 0	タービン翼
4 2	翼部
4 4	前縁
4 6	後縁
4 7	後縁部
4 8	先端
4 9	後縁端面
5 0	基端
5 2	外側端
5 4	内側端
5 6	圧力面
5 8	負圧面
6 0	サーペンタイン流路
6 0 a ~ 6 0 e	パス
6 0 e	最終パス
6 2	入口開口
6 4	出口開口
6 6	冷却通路
6 8	内壁面
7 0	冷却孔
7 2	開口端
8 0	プラットフォーム

8 2	翼根部
8 4	内部流路
8 6	内側シュラウド
8 8	外側シュラウド
9 0	タービュレータ
P m	中間位置
P c m	中央領域中間位置
P u m	上流側領域中間位置
P d m	下流側領域中間位置
P t m	先端側領域中間位置
P r m	基端側領域中間位置
R t i p	先端側領域
R m	中央領域
R r o o t	基端側領域
R u p	上流側領域
R d o w n	下流側領域

請求の範囲

[請求項1]

翼部と、
前記翼部の内部において翼高さ方向に沿って延在する冷却通路と、
前記翼高さ方向に沿って配列するように前記翼部の後縁部に形成され、
前記冷却通路に連通するとともに前記後縁部における前記翼部の表面に開口する複数の冷却孔と、
を備え、
前記後縁部における前記複数の冷却孔の形成領域は、
前記翼高さ方向における前記翼部の第1端と第2端との中間位置を含み、
且つ、複数の前記冷却孔の開口密度を示す指標が d_mid で一定である中央領域と、
前記翼高さ方向において前記中央領域よりも前記冷却通路内における冷却媒体流れの上流側に位置し、
且つ、複数の前記冷却孔の開口密度を示す指標が d_up で一定である上流側領域と、
前記翼高さ方向において前記中央領域よりも前記冷却媒体流れの下流側に位置し、
且つ、複数の前記冷却孔の開口密度を示す指標が d_down で一定である下流側領域と、
を含み、
 $d_up < d_mid < d_down$ の関係を満たすタービン翼。

[請求項2]

翼部と、
前記翼部の内部において翼高さ方向に沿って延在する冷却通路と、
前記翼高さ方向に沿って配列して前記翼部の後縁部を対流冷却するように前記後縁部に形成され、
前記冷却通路に連通するとともに前記後縁部を貫通して後縁端面に開口する複数の冷却孔と、
を備え、
前記翼高さ方向における前記翼部の第1端と第2端との中間位置を含む中央領域における前記冷却孔の開口密度を示す指標を d_mid とし、
前記翼高さ方向において前記中央領域よりも前記冷却通路内における

冷却媒体流れの上流側に位置する領域における前記指標を d_up とし、

前記翼高さ方向において前記中央領域よりも前記冷却媒体流れの下流側に位置する領域における前記指標を d_down としたとき、

$d_up < d_down < d_mid$ の関係を満たすとともに前記後縁部における前記複数の冷却孔の形成領域は、

前記翼高さ方向における前記翼部の第1端と第2端との中間位置を含み、且つ、複数の前記冷却孔の開口密度を示す指標が d_mid で一定である中央領域と、

前記翼高さ方向において前記中央領域よりも前記冷却通路内における冷却媒体流れの上流側であって前記形成領域における前記冷却媒体流れの最上流側に位置し、且つ、複数の前記冷却孔の開口密度を示す指標が d_up で一定である最上流側領域と、

前記翼高さ方向において前記中央領域よりも前記冷却媒体流れの下流側であって前記形成領域における前記冷却媒体流れの最下流側に位置し、且つ、複数の前記冷却孔の開口密度を示す指標が d_down で一定である最下流側領域と、を含むタービン翼。

[請求項3]

翼部と、

前記翼部の内部において翼高さ方向に沿って延在する冷却通路と、

前記翼高さ方向に沿って配列するように前記翼部の後縁部に形成され、前記冷却通路に連通するとともに前記後縁部における前記翼部の表面に開口する複数の冷却孔と、

を備えるタービン翼であって、

前記タービン翼は動翼であり、

前記翼高さ方向における前記翼部の先端と基端との中間位置を含む中央領域における前記冷却孔の開口密度を示す指標を d_mid とし、前記翼高さ方向において前記中央領域よりも前記先端側に位置する領域における前記指標を d_tip とし、前記翼高さ方向において前

記中央領域よりも前記基端側に位置する領域における前記指標を d_root としたとき、

$d_tip < d_mid < d_root$ の関係を満たすとともに、
前記開口密度を示す指標 d_tip 、 d_mid 及び d_root は、前記後縁部を貫通するように設けられる前記冷却孔の貫通孔径 D の、前記翼高さ方向に隣り合う前記冷却孔間のピッチ P に対する比 D/P であり、

前記後縁部における前記複数の冷却孔の形成領域は、

前記翼高さ方向における前記翼部の先端と基端との中間位置を含み、
且つ、複数の前記冷却孔の開口密度を示す指標が d_mid で一定である中央領域と、

前記翼高さ方向において前記中央領域よりも前記先端側であって前記形成領域のうち最も前記先端寄りに位置し、且つ、複数の前記冷却孔の開口密度を示す指標が d_tip で一定である先端側領域と、

前記翼高さ方向において前記中央領域よりも前記基端側であって前記形成領域のうち最も前記基端寄りに位置し、且つ、複数の前記冷却孔の開口密度を示す指標が d_root で一定である基端側領域と、
を含むタービン翼。

[請求項4]

翼部と、

前記翼部の内部において翼高さ方向に沿って延在する冷却通路と、

前記翼高さ方向に沿って配列して前記翼部の後縁部を対流冷却するように前記後縁部に形成され、前記冷却通路に連通するとともに前記後縁部を貫通して後縁端面に開口する複数の冷却孔と、
を備えるタービン翼であって、

前記タービン翼は動翼であり、

前記翼高さ方向における前記翼部の先端と基端との中間位置を含む中央領域における前記冷却孔の開口密度を示す指標を d_mid とし、
前記翼高さ方向において前記中央領域よりも前記先端側に位置する

領域における前記指標を d_tip とし、前記翼高さ方向において前記中央領域よりも前記基端側に位置する領域における前記指標を d_root としたとき、

$d_tip < d_root < d_mid$ の関係を満たし、

前記後縁部における前記複数の冷却孔の形成領域は、

前記翼高さ方向における前記翼部の先端と基端との中間位置を含み、且つ、複数の前記冷却孔の開口密度を示す指標が d_mid で一定である中央領域と、

前記翼高さ方向において前記中央領域よりも前記先端側であって前記形成領域のうち最も前記先端寄りに位置し、且つ、複数の前記冷却孔の開口密度を示す指標が d_tip で一定である先端側領域と、

前記翼高さ方向において前記中央領域よりも前記基端側であって前記形成領域のうち最も前記基端寄りに位置し、且つ、複数の前記冷却孔の開口密度を示す指標が d_root で一定である基端側領域と、を含むタービン翼。

[請求項5] 前記中央領域は、同一径の複数の冷却孔を含み、前記中央領域より前記翼部の先端側に位置する先端側領域及び前記中央領域より前記翼部の基端側に位置する基端側領域は、前記中央領域における冷却孔と同一径の複数の冷却孔を含む、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] 前記翼部の前記表面が前記後縁部の端面である請求項1乃至5の何れか一項に記載のタービン翼。

[請求項7] 前記複数の冷却孔は、前記翼高さ方向に直交する平面に対して傾きをもって形成された請求項1乃至6の何れか一項に記載のタービン翼。

[請求項8] 前記複数の冷却孔は、互いに平行に形成された請求項1乃至7の何れか一項に記載のタービン翼。

[請求項9] 前記冷却通路は、前記翼部の内部に形成されたサーペンタイン流路

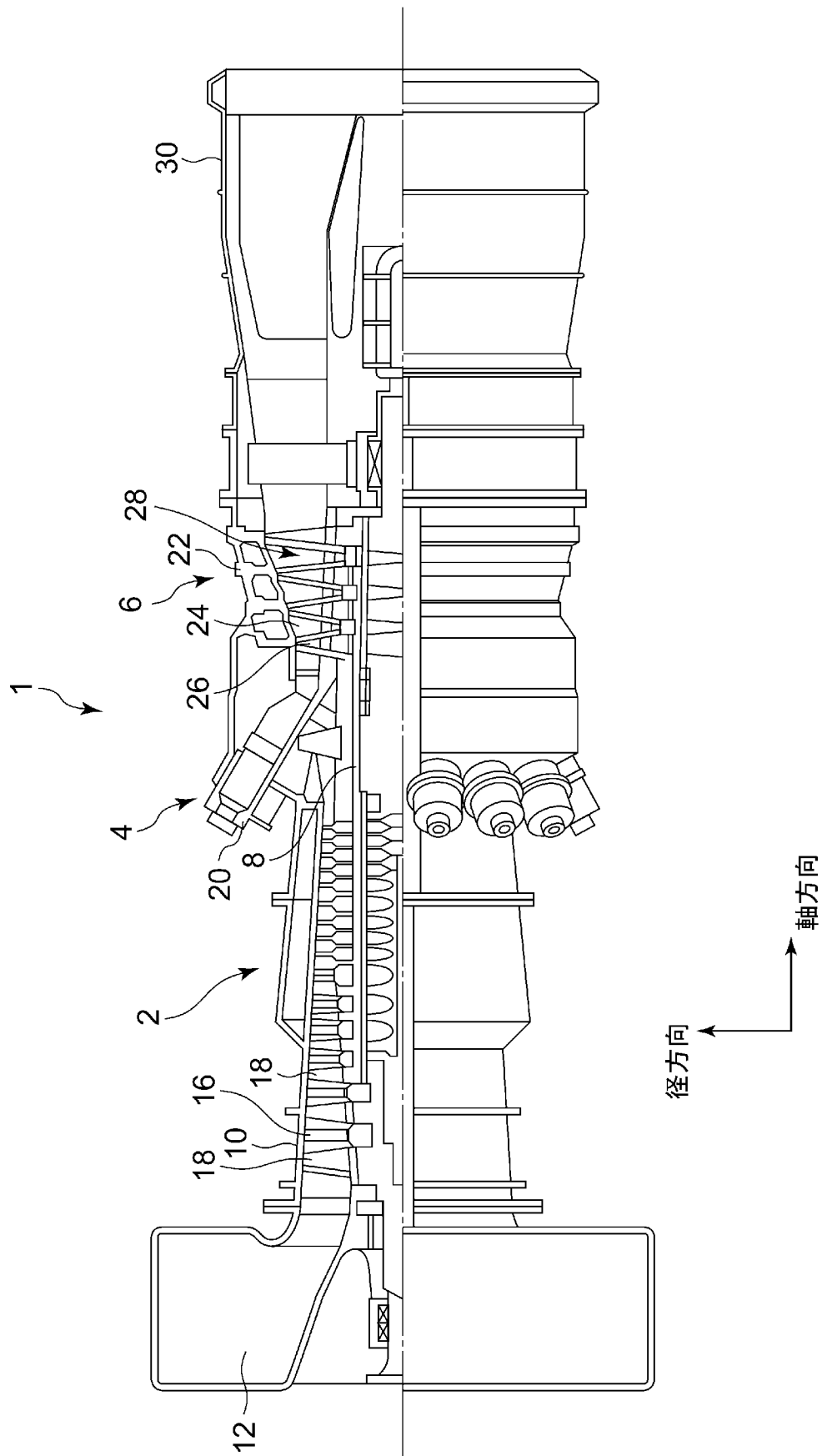
のうちの最終パスである請求項 1 乃至 8 の何れか一項に記載のタービン翼。

[請求項10] 前記タービン翼は動翼であり、
前記翼部の先端側に、前記冷却通路の出口開口が形成されている
請求項 1 乃至 9 の何れか一項に記載のタービン翼。

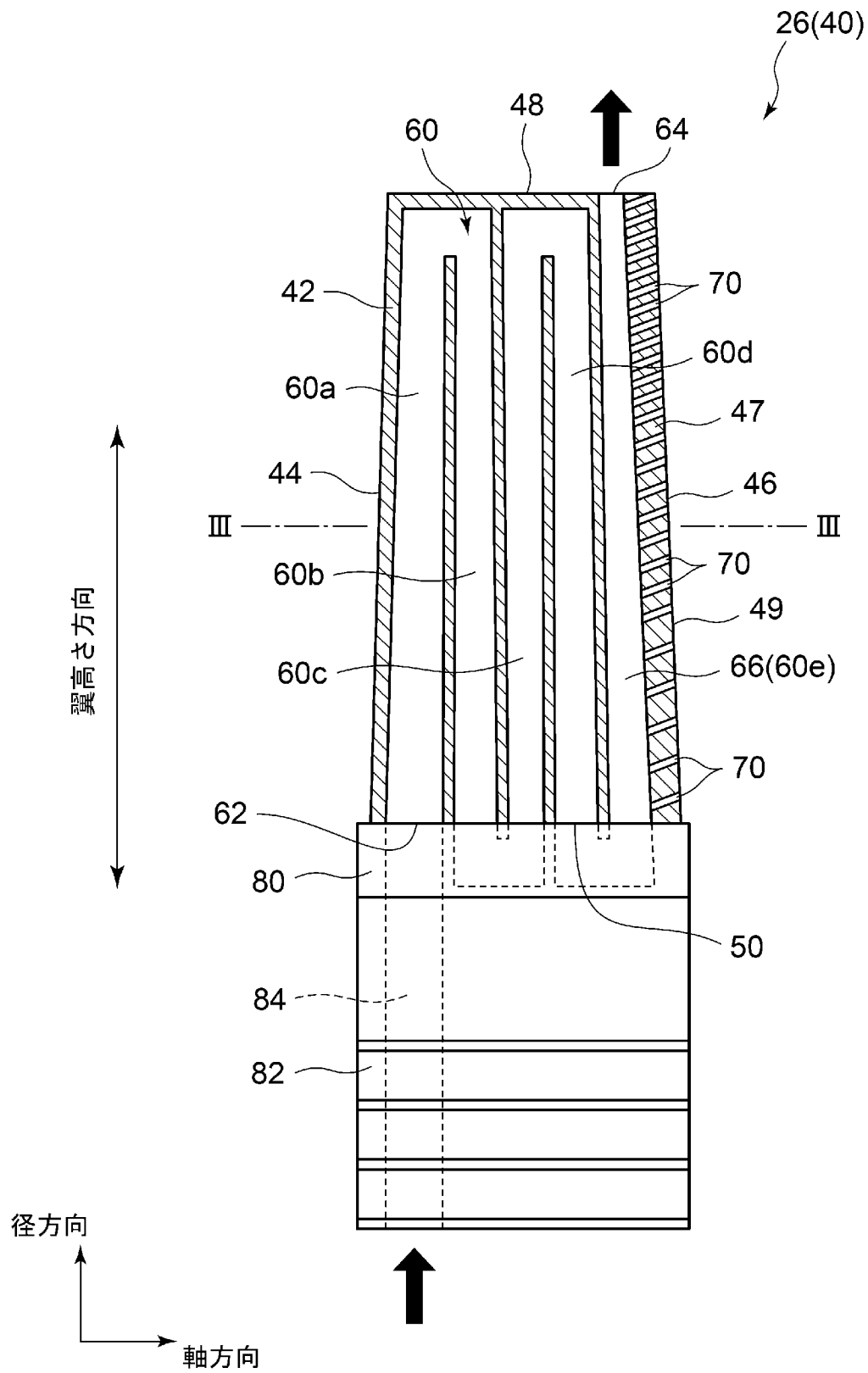
[請求項11] 前記タービン翼は静翼であり、
前記翼部の内側シュラウド側に、前記冷却通路の出口開口が形成されている
請求項 1 又は 2 に記載のタービン翼。

[請求項12] 請求項 1 乃至 11 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。

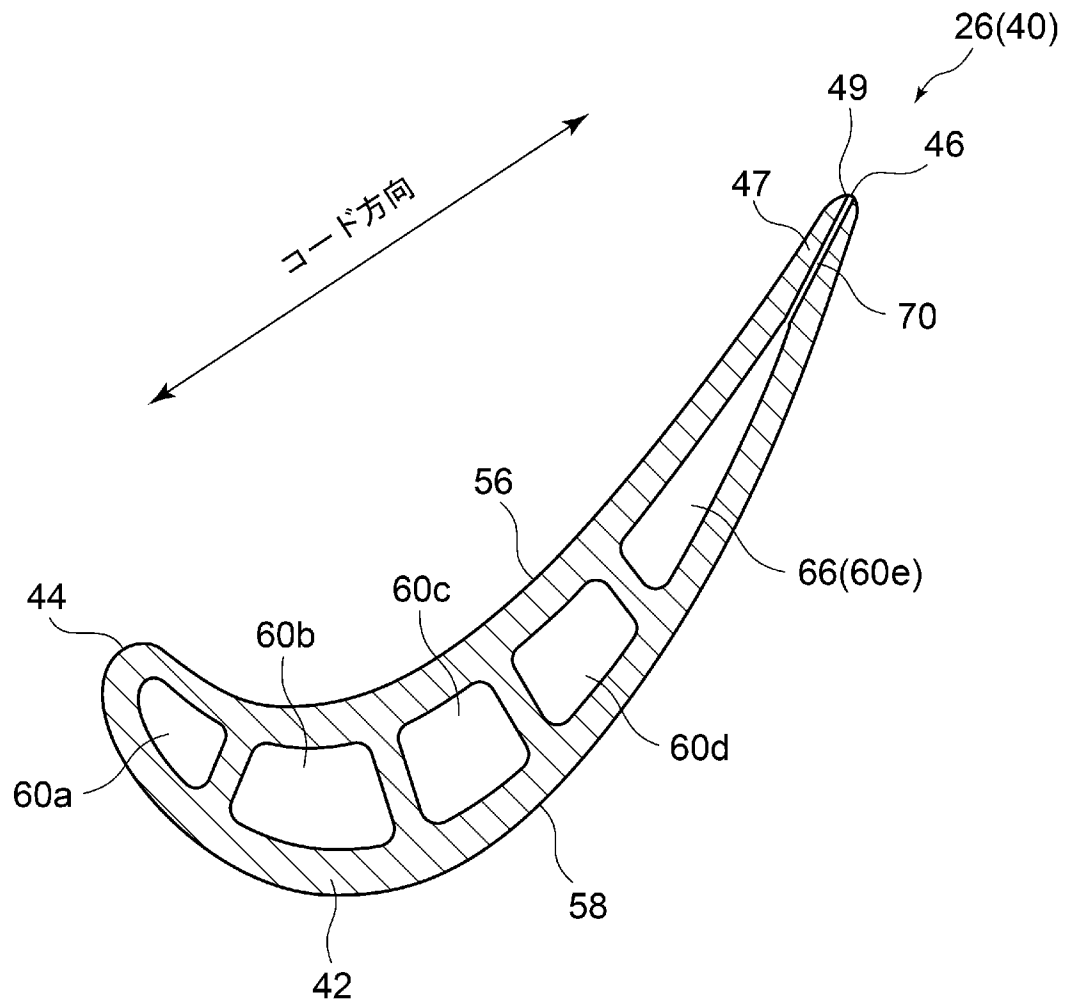
[図1]



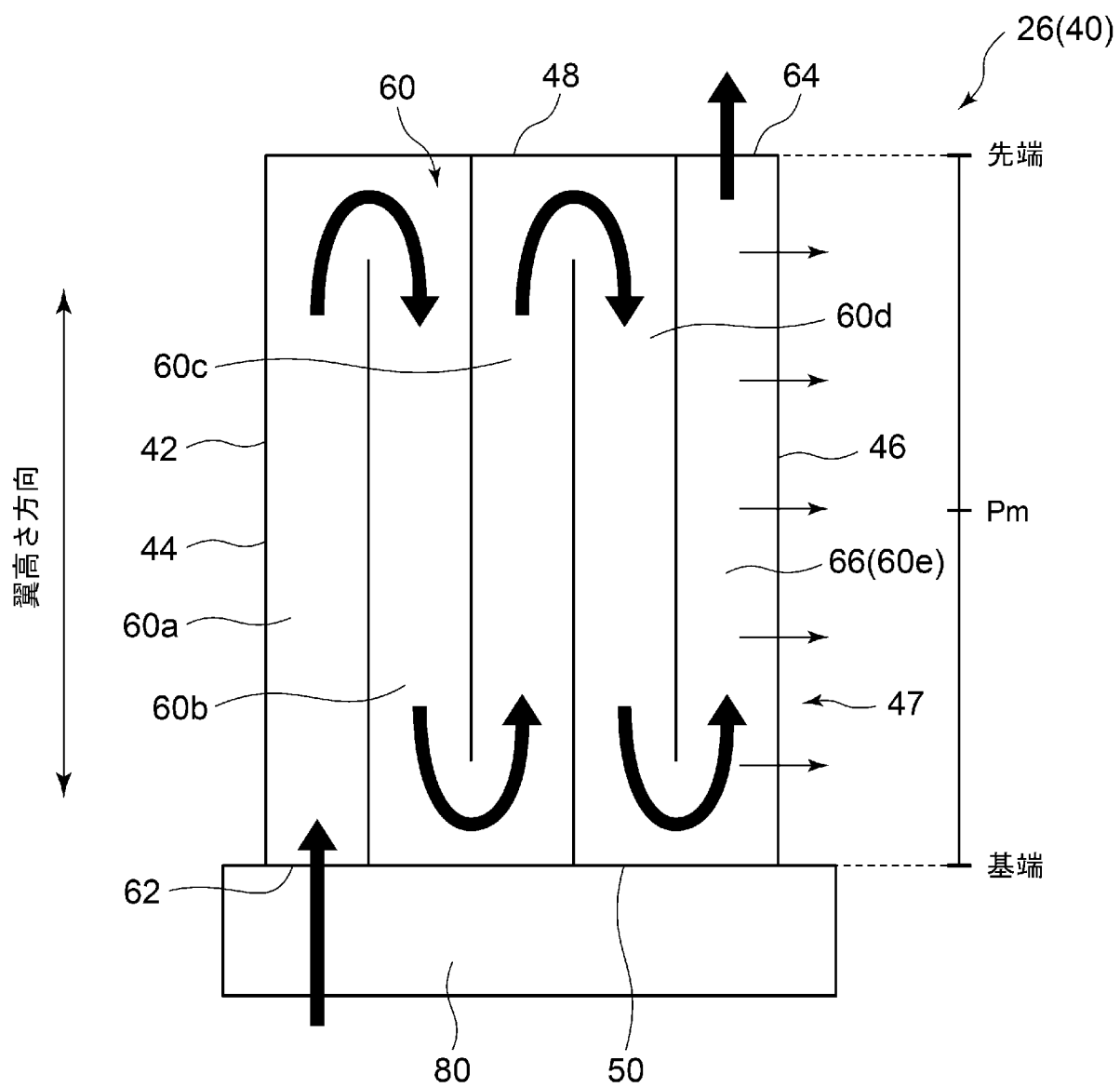
[図2]



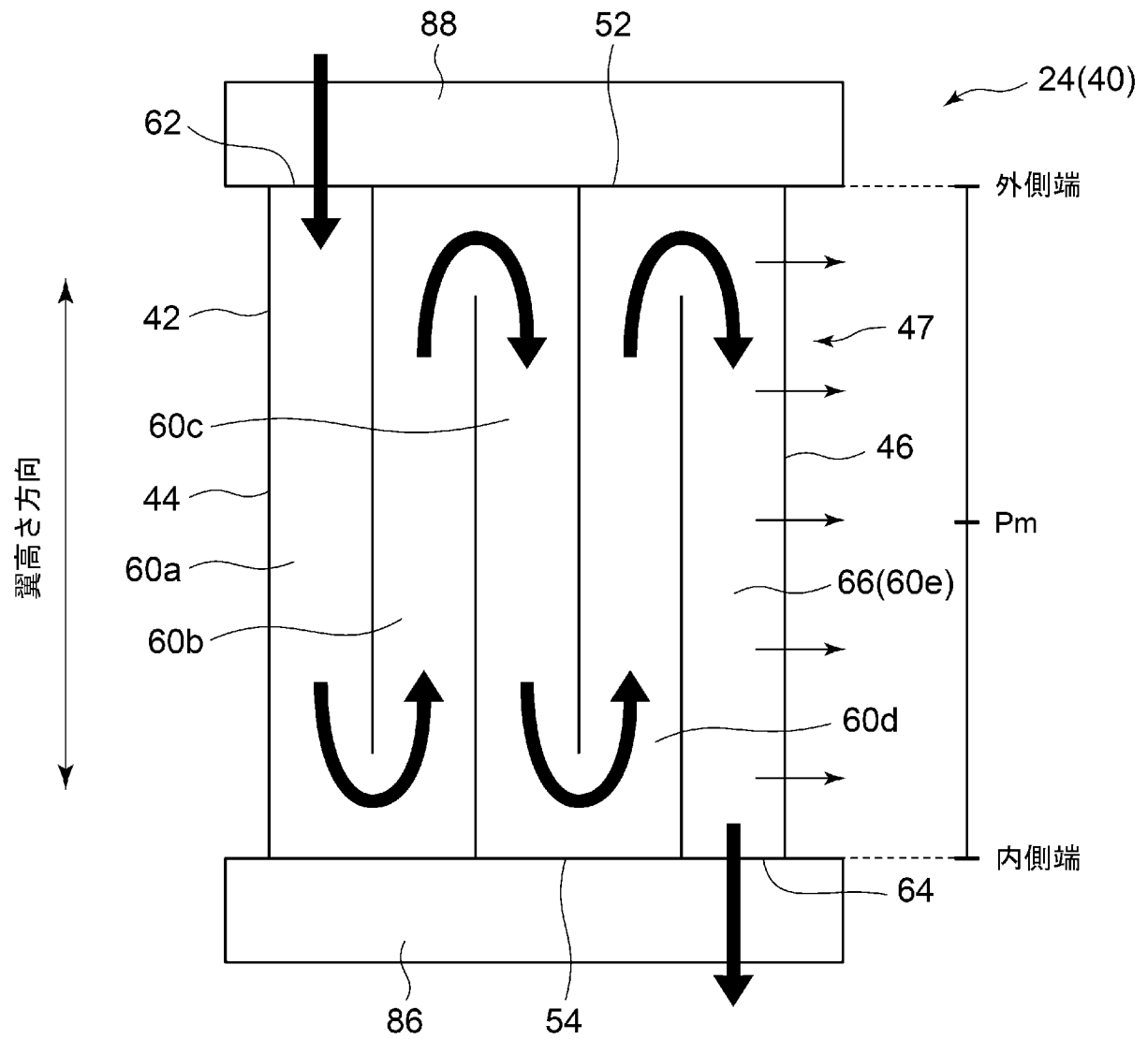
[図3]



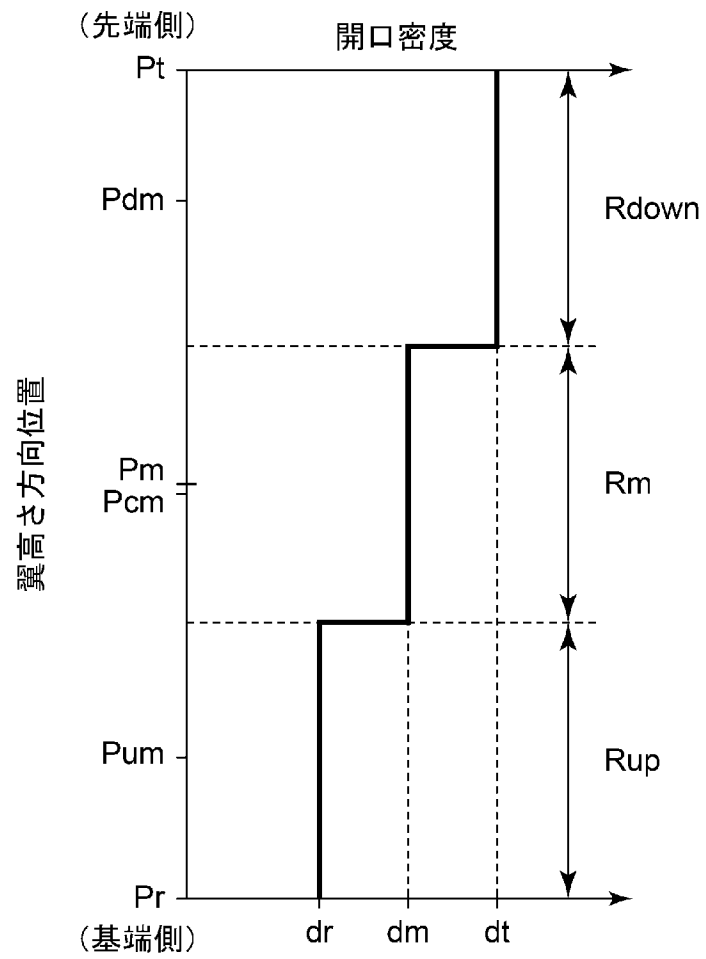
[図4]



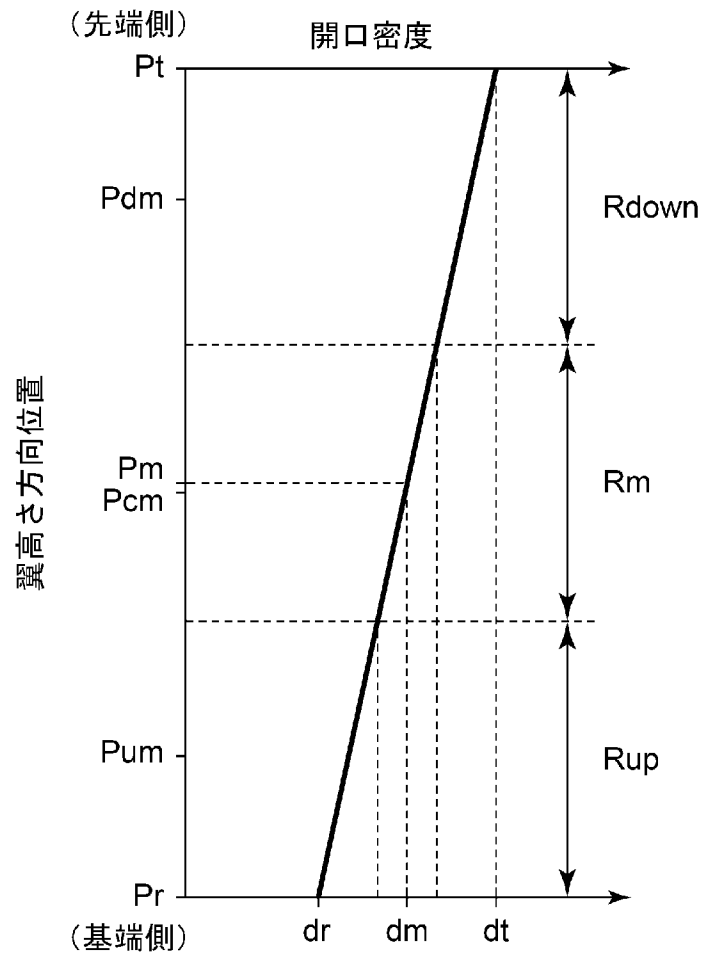
[図5]



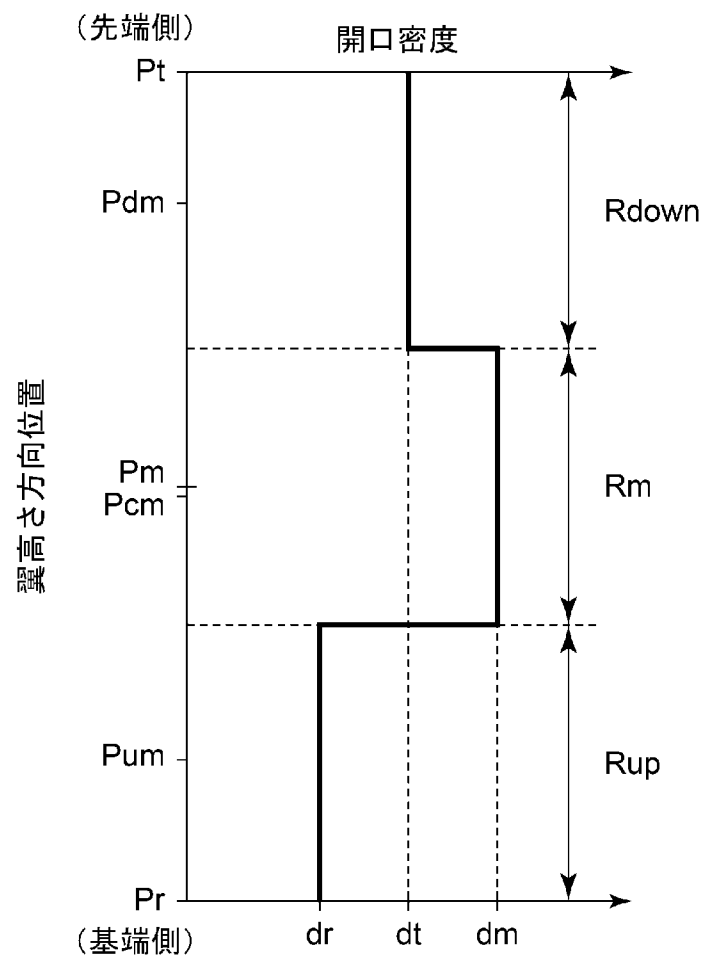
[図6]



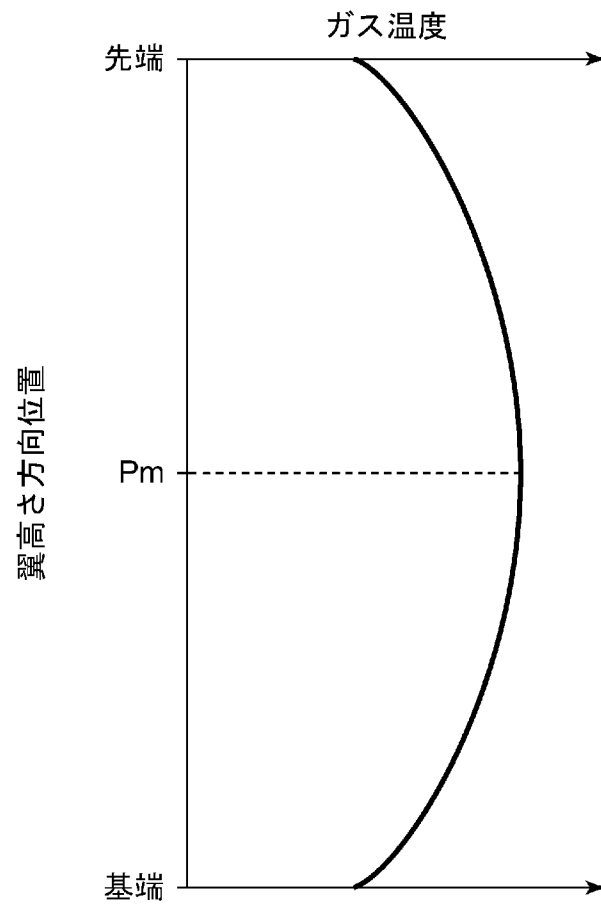
[図7]



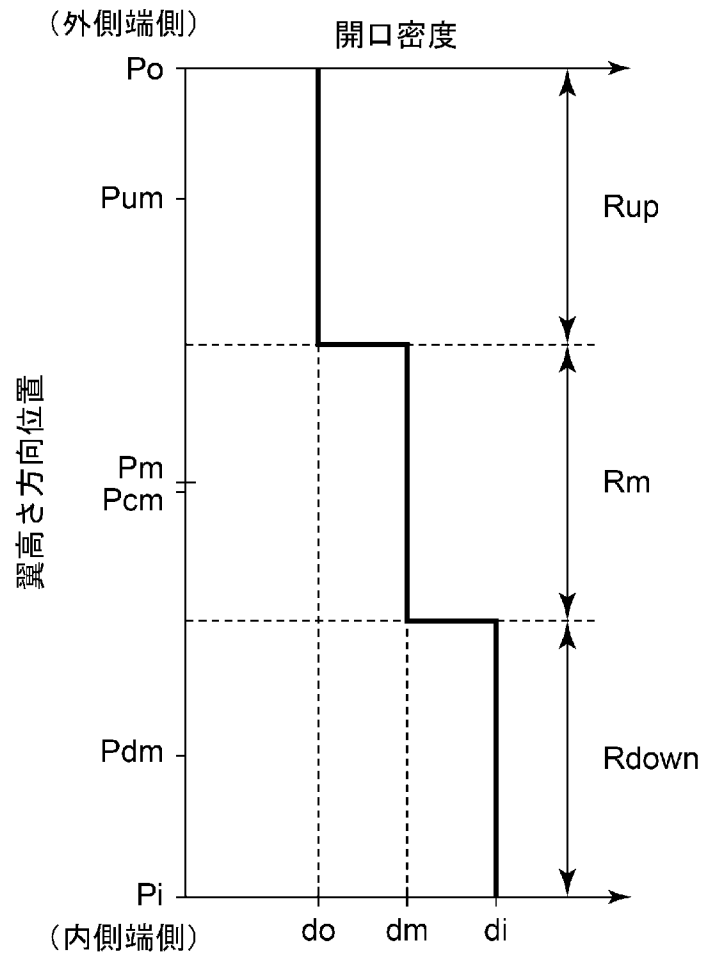
[図8]



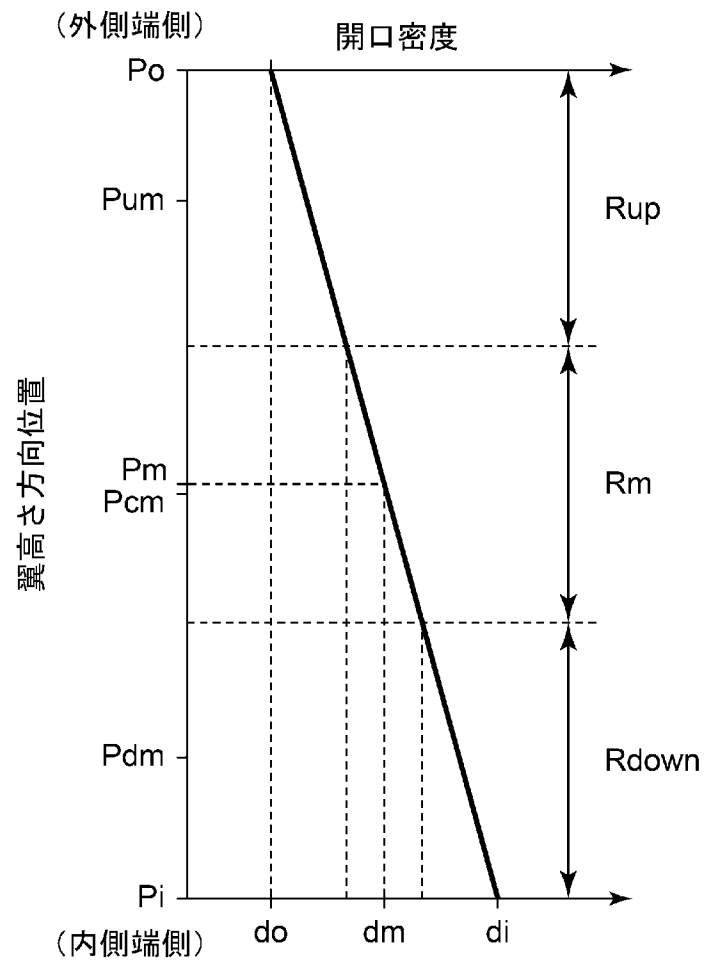
[図9]



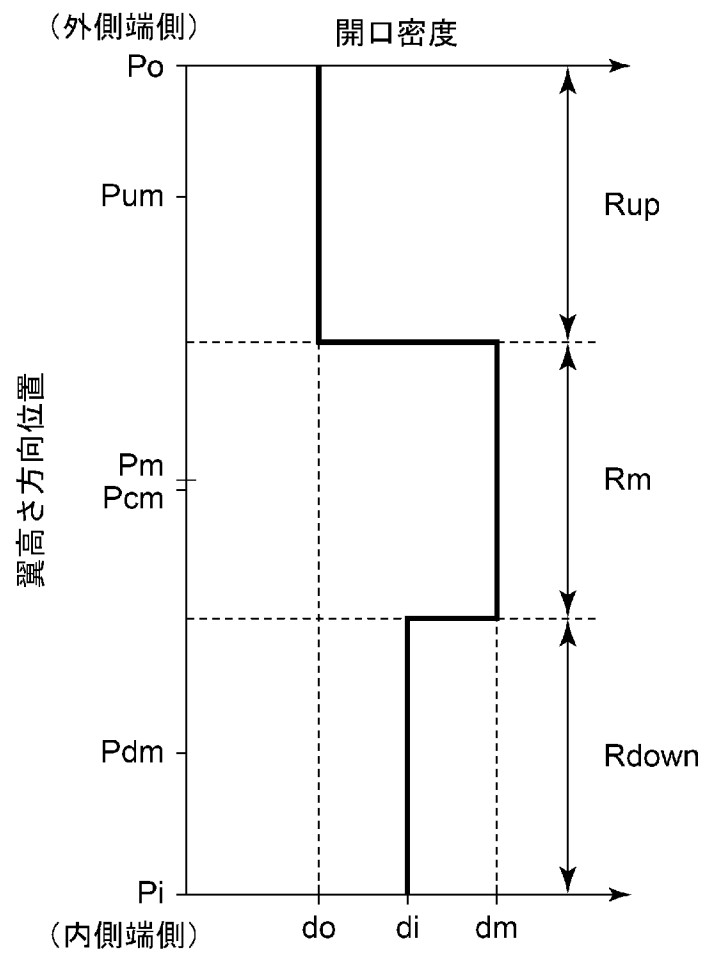
[図10]



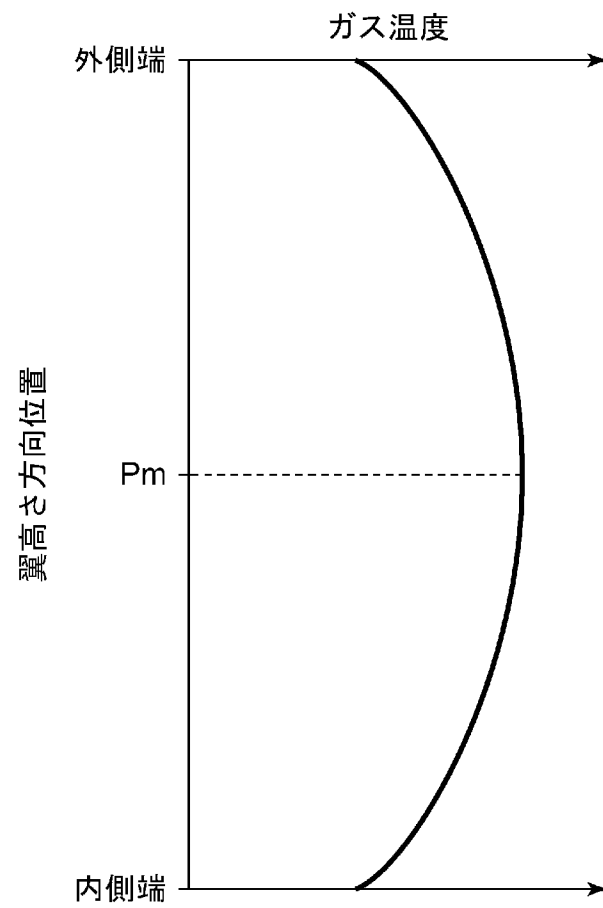
[図11]



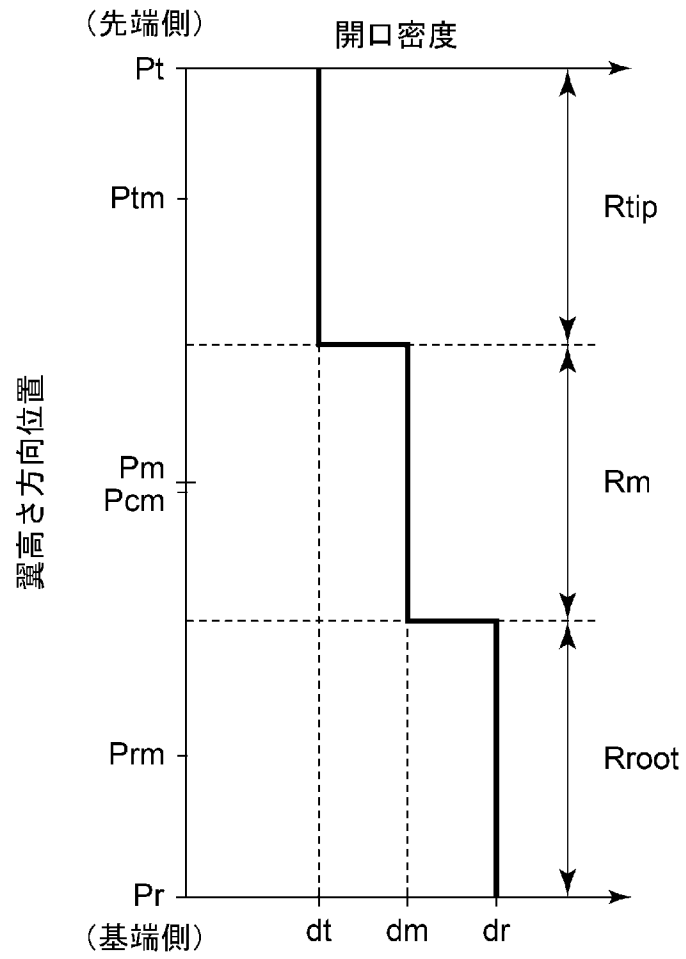
[図12]



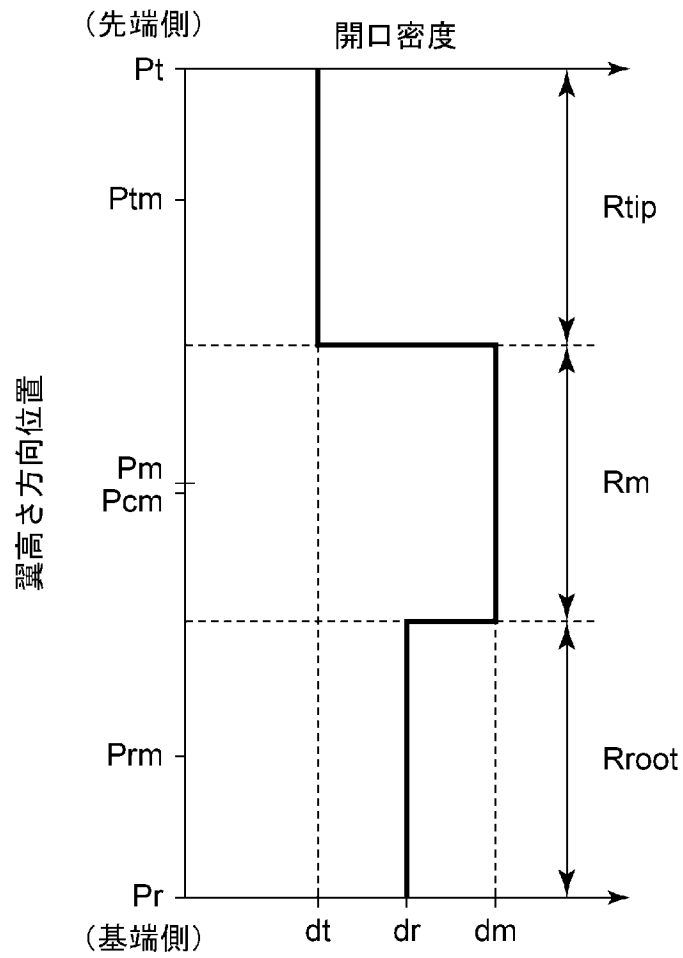
[図13]



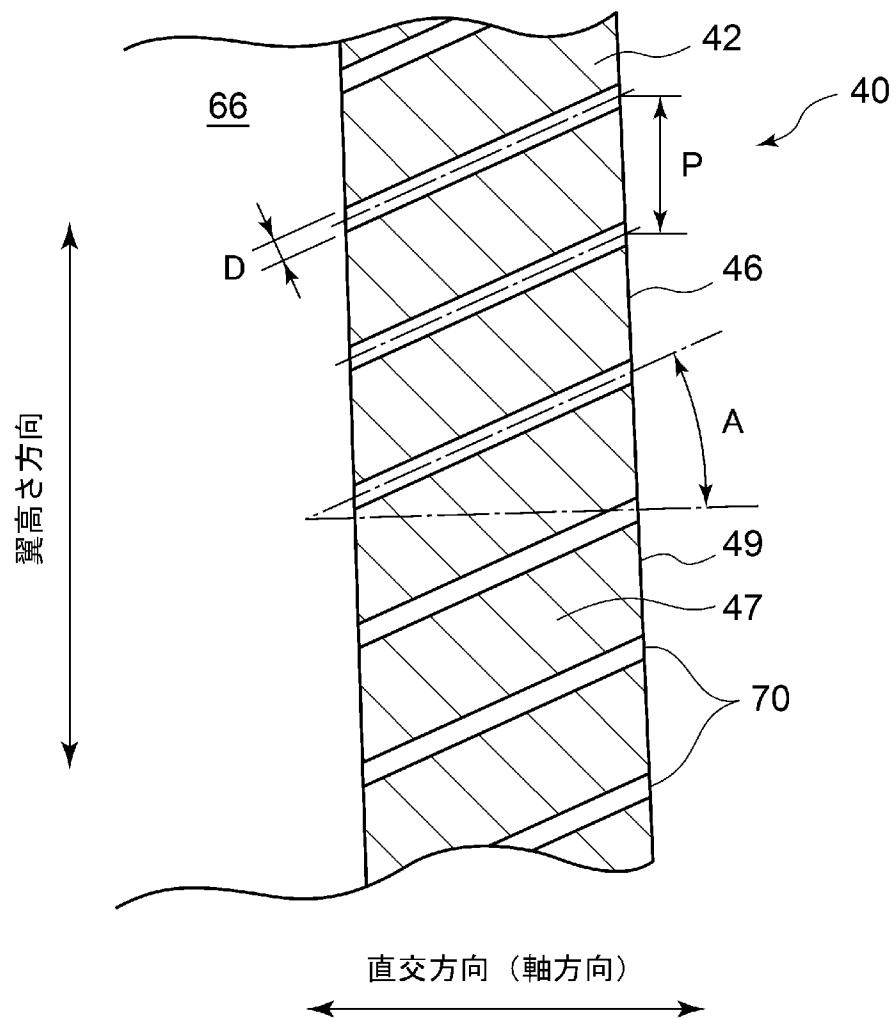
[図14]



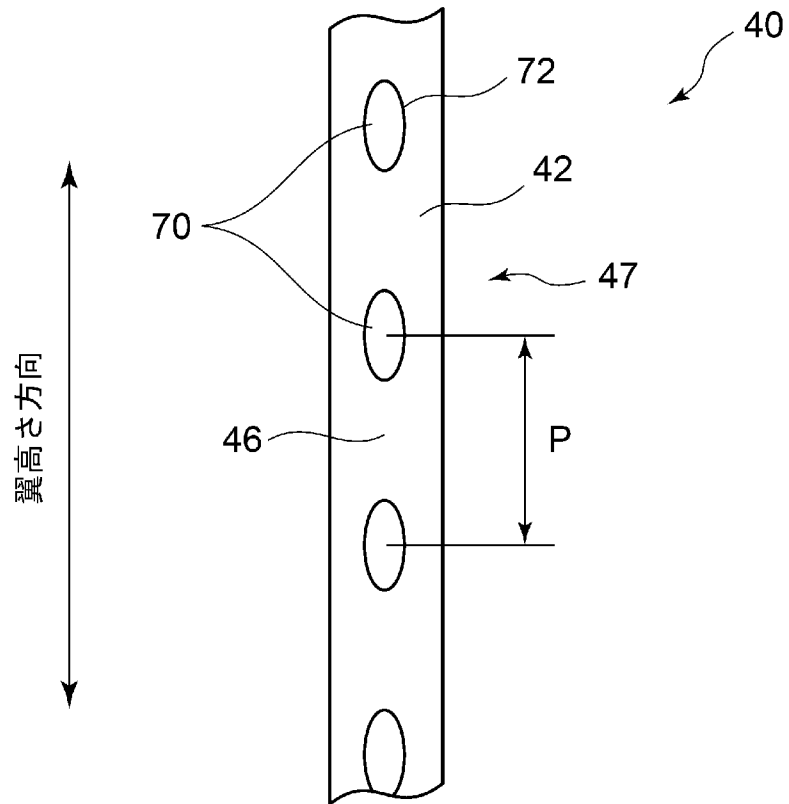
[図15]

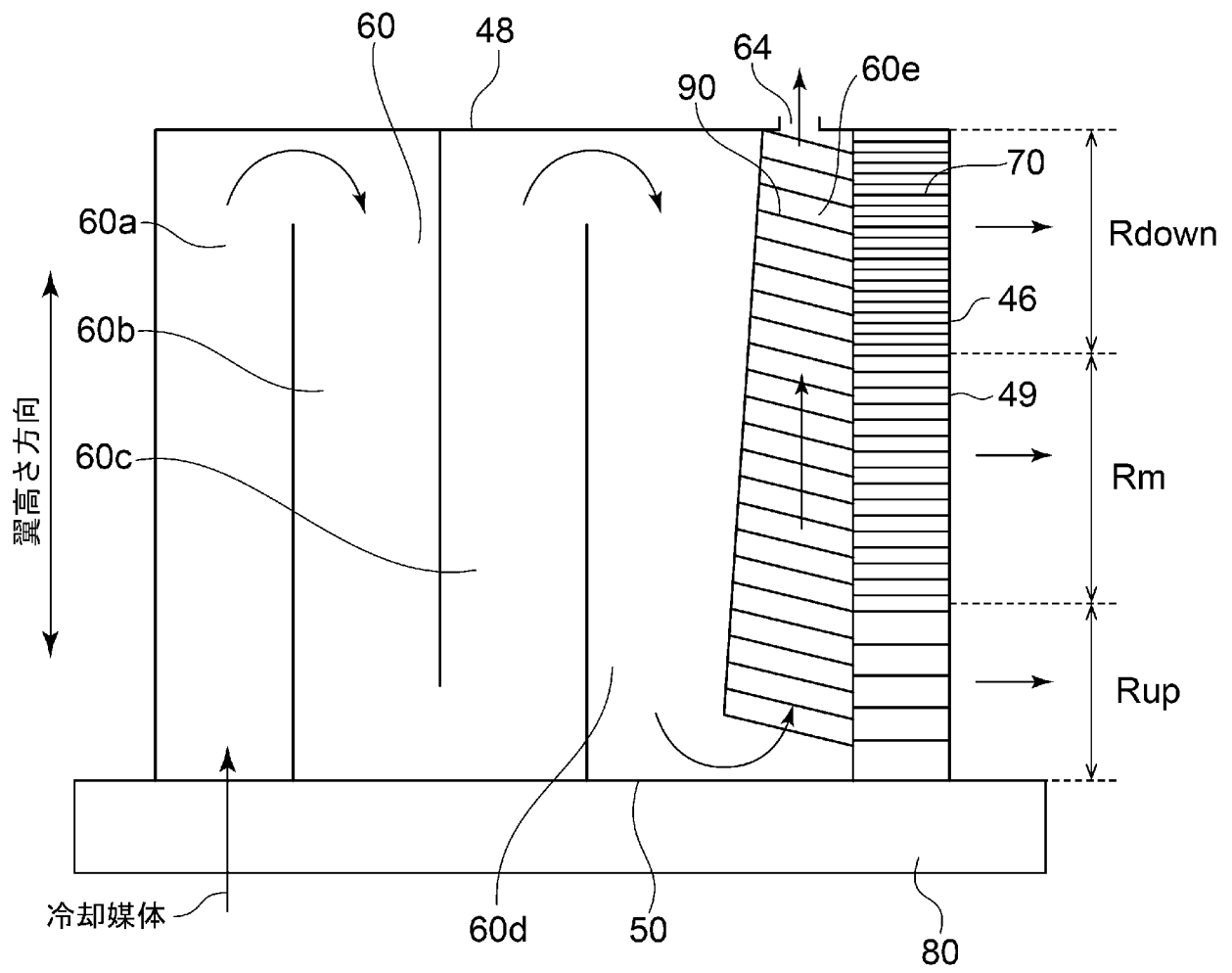


[図16]

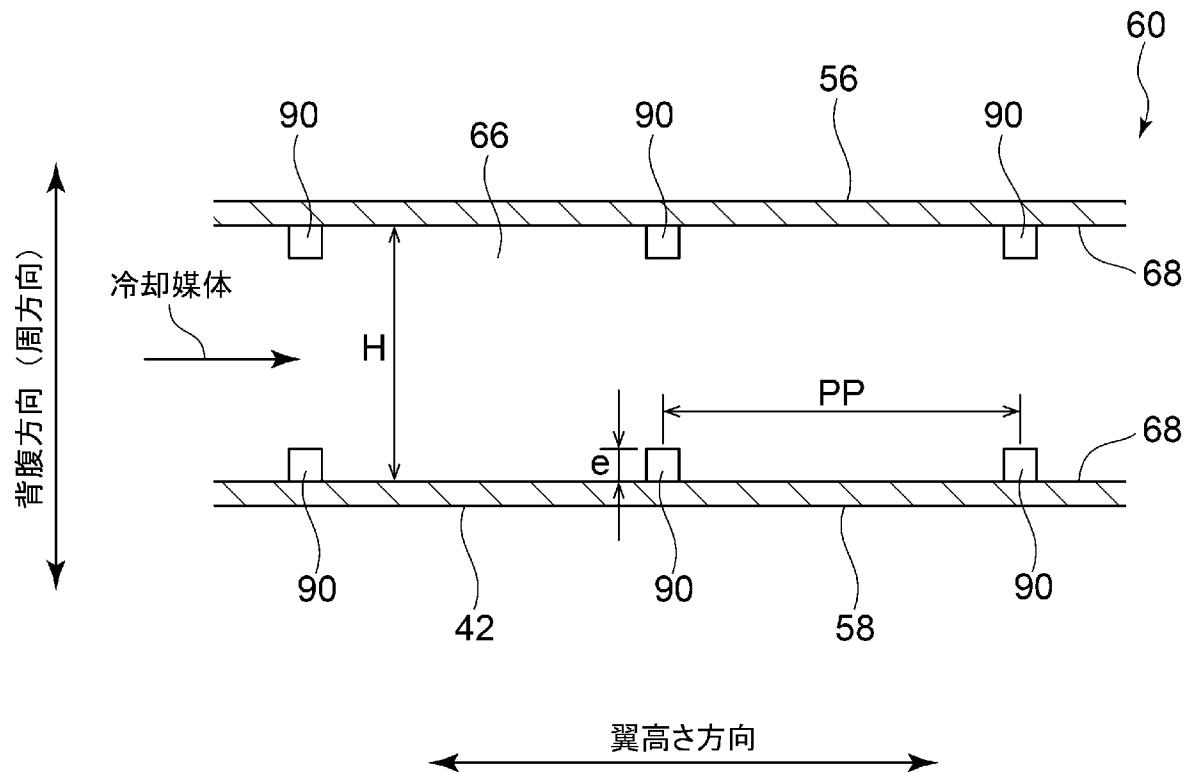


[図17]

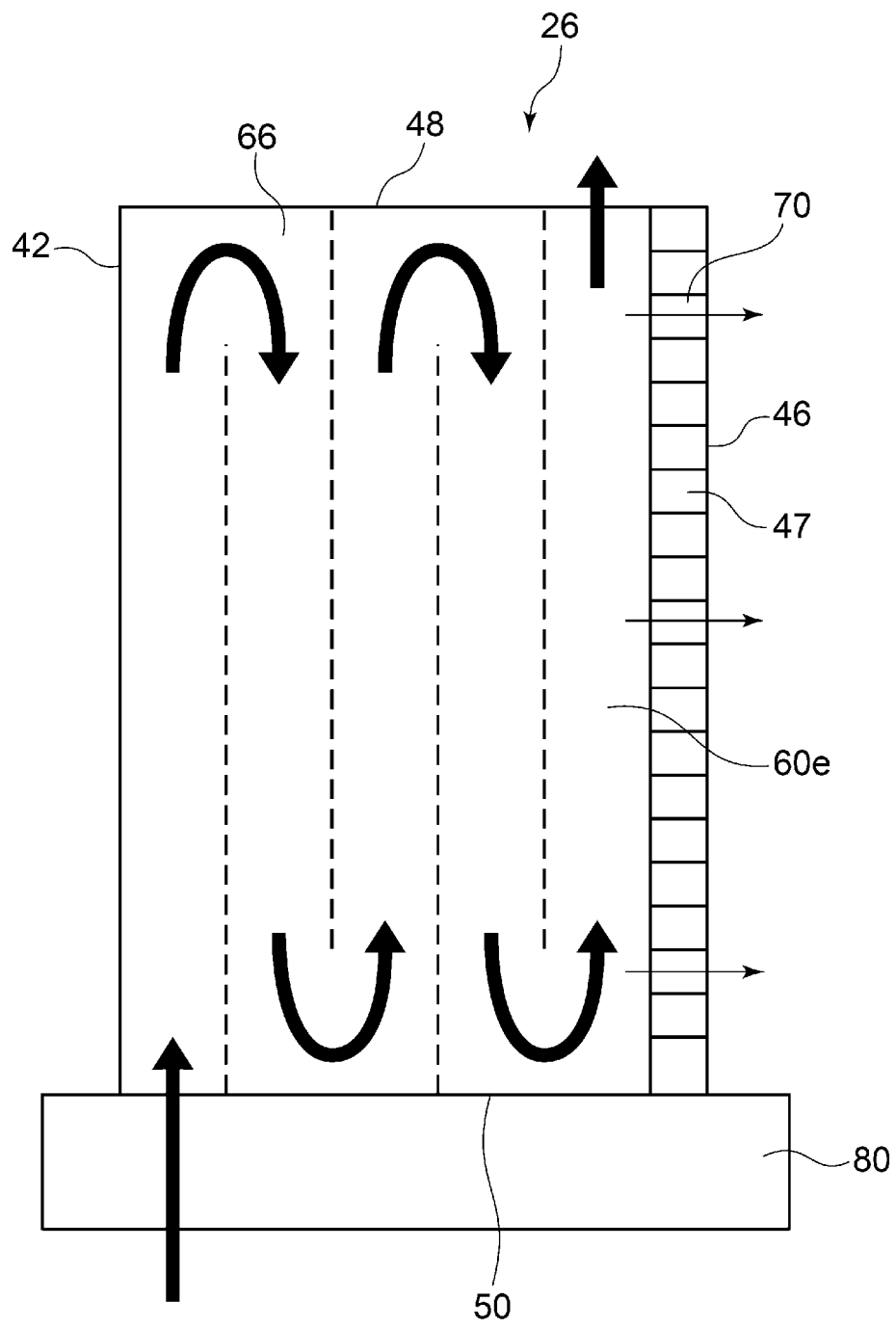




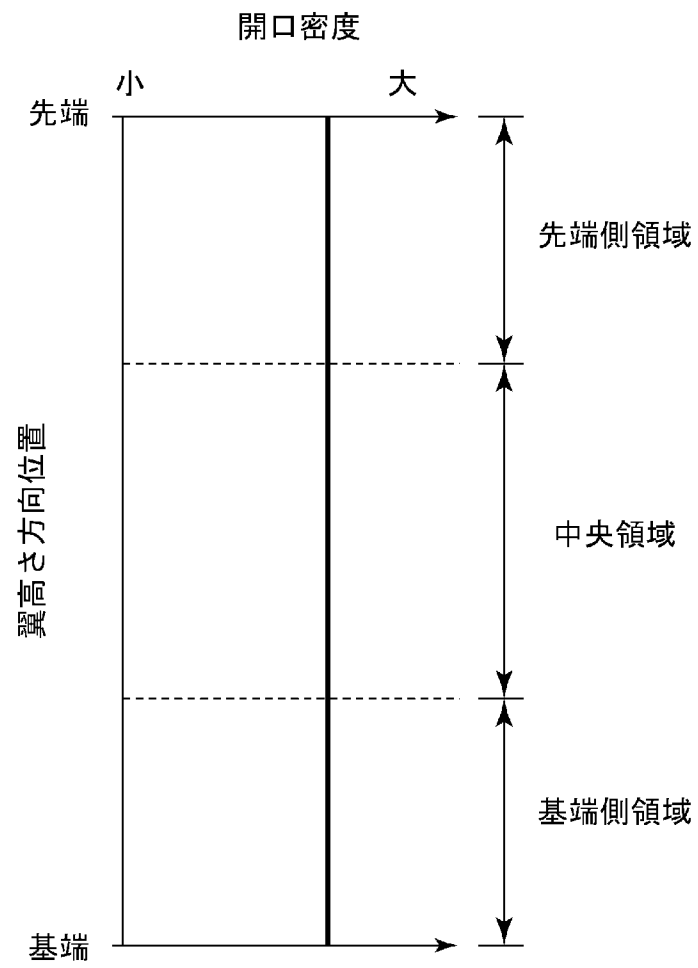
[図19]



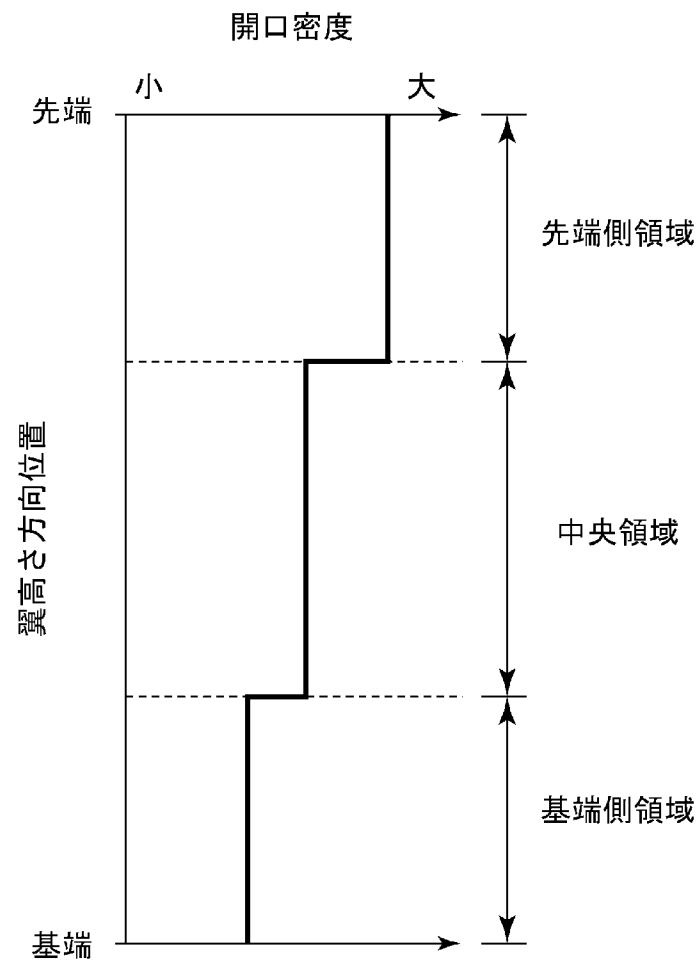
[図20A]



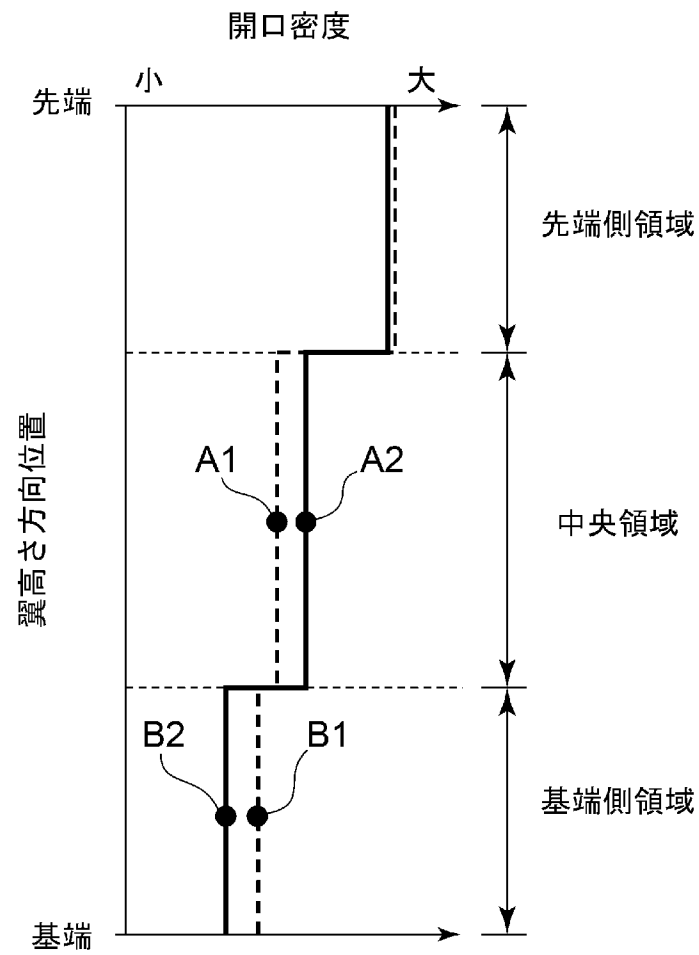
[図20B]



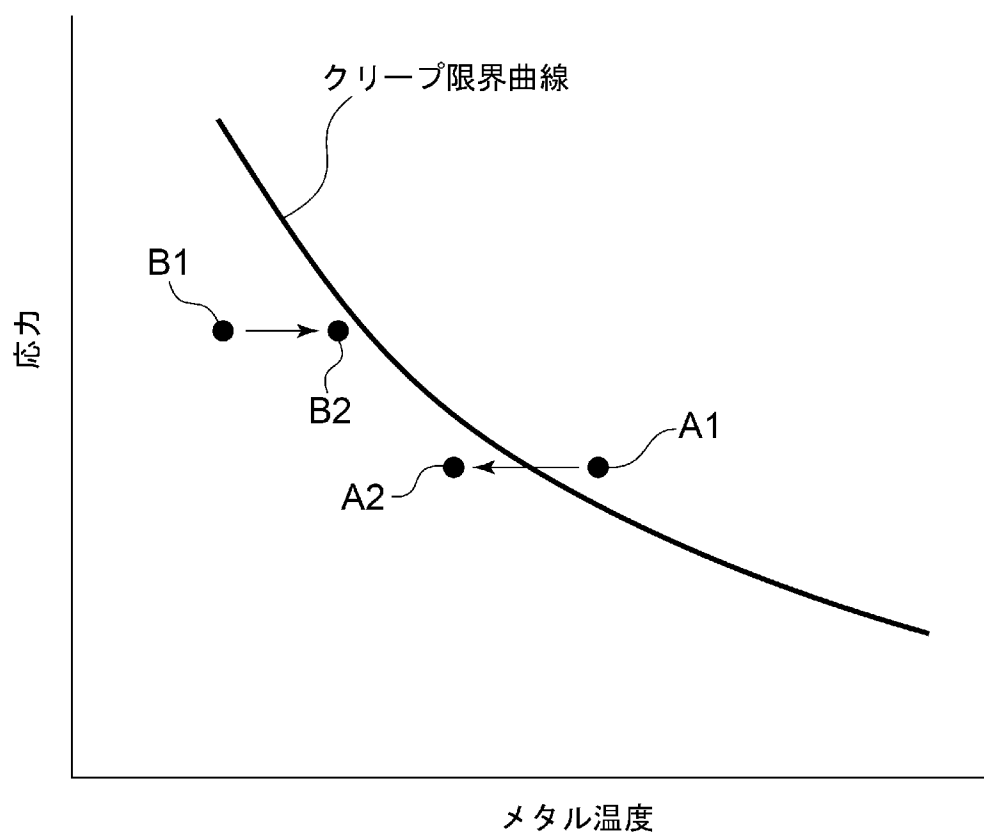
[図20C]



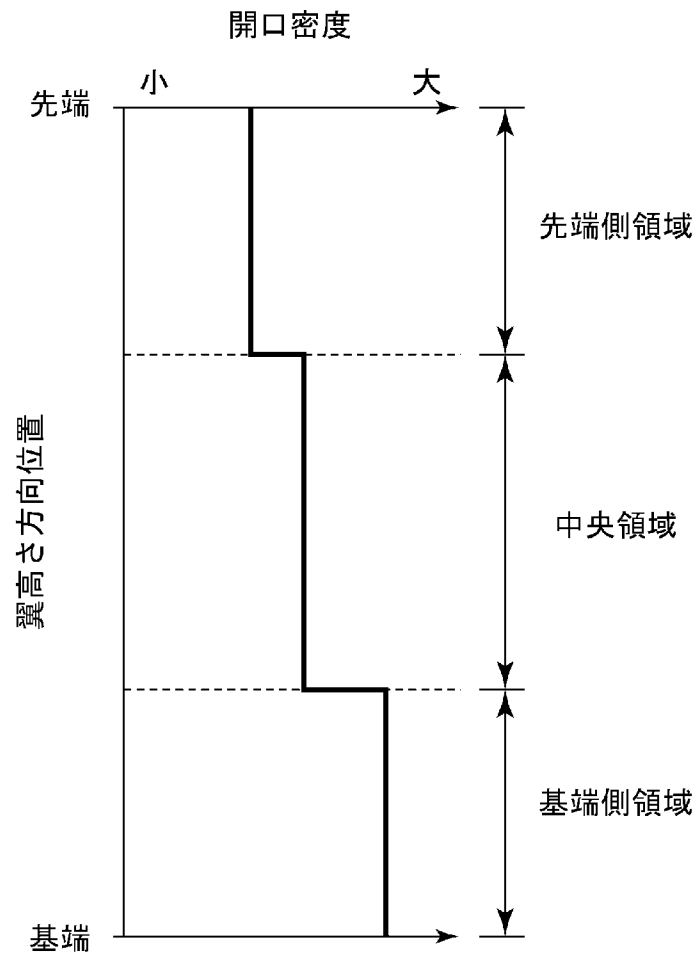
[図20D]



[図20E]



[図20F]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/025385

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. F01D5/18 (2006.01)i, F01D9/02 (2006.01)i, F01D25/12 (2006.01)i,
F02C7/18 (2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. F01D5/18, F01D9/02, F01D25/12, F02C7/18

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2018

Registered utility model specifications of Japan 1996-2018

Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2008/0273988 A1 (TIBBOTT, Ian) 06 November 2008,	1-4, 6-12
Y	paragraphs [0033]-[0062], fig. 5-9c & EP 1826361 A2	5-10, 12
Y	US 8807943 B1 (FLORIDA TUREINE TECHNOLOGIES, INC.) 19 August 2014, column 3, line 37 to column 5, line 3, fig. 8-9 (Family: none)	5-10, 12
A	US 9447692 B1 (S&J DESIGN LLC) 20 September 2016, entire text, drawings (Family: none)	1-12
A	US 2007/0031252 A1 (ROLLS-ROYCE PLC) 08 February 2007, entire text, drawings & GB 2428749 A & EP 1749972 A2 & EP 2320029 A1	1-12

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
05 September 2018 (05.09.2018)

Date of mailing of the international search report
18 September 2018 (18.09.2018)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. F01D5/18(2006.01)i, F01D9/02(2006.01)i, F01D25/12(2006.01)i, F02C7/18(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. F01D5/18, F01D9/02, F01D25/12, F02C7/18

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	US 2008/0273988 A1 (TIBBOTT, Ian)	1-4, 6-12
Y	2008.11.06, 段落0033-0062, 第5-9c図 & EP 1826361 A2	5-10, 12
Y	US 8807943 B1 (FLORIDA TURBINE TECHNOLOGIES, INC.) 2014.08.19, 第3欄第37行-第5欄第3行, 第8-9図 (ファミリーなし)	5-10, 12

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

05.09.2018

国際調査報告の発送日

18.09.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

山崎 孔徳

3S

4025

電話番号 03-3581-1101 内線 3391

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	US 9447692 B1 (S&J DESIGN LLC) 2016.09.20, 全文及び図面 (ファミリーなし)	1-12
A	US 2007/0031252 A1 (ROLLS-ROYCE PLC) 2007.02.08, 全文及び図面 & GB 2428749 A & EP 1749972 A2 & EP 2320029 A1	1-12