

(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  
2016年3月24日(24.03.2016)

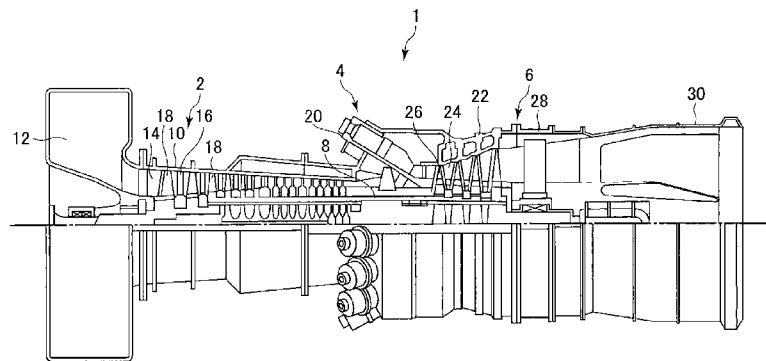


(10) 国際公開番号  
WO 2016/042787 A1

- (51) 国際特許分類:  
F23R 3/14 (2006.01) F23R 3/30 (2006.01)  
F23R 3/28 (2006.01)
  - (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/051797
  - (22) 国際出願日: 2015年1月23日(23.01.2015)
  - (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 2014-192017 2014年9月19日(19.09.2014) JP
  - (71) 出願人: 三菱重工業株式会社 (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒1088215 東京都港区港南二丁目1番5号 Tokyo (JP).
  - (72) 発明者: 永井 尚教 (NAGAI, Naonori); 〒1088215 東京都港区港南二丁目1番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 多田 勝義 (TADA, Katsuyoshi); 〒1088215 東京都港区港南二丁目1番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 井上 慶 (INOUE, Kei); 〒1088215 東京都港区港南二丁目1番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 斉藤 圭司郎 (SAITO, Keijiro); 〒1088215 東京都港区港南二丁目1番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (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1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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, 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))

(54) Title: COMBUSTION BURNER, COMBUSTOR AND GAS TURBINE

(54) 発明の名称: 燃烧バーナ及び燃焼器、並びにガスタービン



(57) Abstract: The present invention is provided with a nozzle and a swirler vane that is provided in an axial-direction flow channel that extends along the axial direction of the nozzle in the periphery of the nozzle, wherein the swirler vane includes a distal-end part for making a gas that flows through a region on an outer circumferential side of the axial-direction flow channel swirl in a swirling direction and a basal part that is positioned on radially inner side of the nozzle when viewed from the distal-end part and that has a notched part on the rear edge side, and wherein, in the axial-direction flow channel, at least in an area in the axial direction in which the swirler vane is provided, the region on the outer circumferential side and a region on an inner circumferential side are in communication with each other without being partitioned, and a downstream-side region of the ventral surface of the basal part of the swirler vane is defined by the notch as a curved surface in which a section thereof closer to the rear edge is directed in the opposite direction from the swirling direction.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2016/042787 A1



---

ノズルと、前記ノズルの周囲において前記ノズルの軸方向に沿って延在する軸方向流路に設けられるスワラベーンとを備え、前記スワラベーンは、前記軸方向流路のうち外周側の領域を流通する気体を旋回方向に旋回させるための先端部と、前記先端部からみて前記ノズルの径方向における内側に位置し、後縁側に切欠き部を有する根本部と、を含み、前記軸方向流路は、少なくとも前記スワラベーンが設けられた軸方向範囲において、前記外周側の領域と内周側の領域とが仕切られずに互いに連通しており、前記スワラベーンの前記根本部の腹面の下流側領域は、前記切欠きによって、前記後縁に近づくにつれて前記旋回方向の逆に向かう湾曲面として画定されている。

## 明 細 書

発明の名称： 燃焼バーナ及び燃焼器、並びにガスタービン

### 技術分野

[0001] 本開示は、ノズルの周囲の軸方向流路にスワラベーンが設けられた燃焼バーナ、並びに該燃焼バーナを備えた燃焼器及びガスタービンに関する。

### 背景技術

[0002] 一般に、燃焼ガスを生成するための燃焼器は、空気等の酸化剤や燃料を燃焼空間に供給して火炎を形成する燃焼バーナを備えている。例えばガスタービンの燃焼器には予混合燃焼バーナを備えたものがある。予混合燃焼バーナは、ノズルの外周側に、圧縮空気及び燃料を含む予混合気の流れる軸方向流路が形成される。この種の燃焼バーナにおいては、通常、予混合促進のために軸方向流路にスワラが設けられることが多い。

[0003] ところで、燃焼バーナで形成される火炎の位置は、火炎の伝播速度である燃焼速度と、軸方向流路を流れる気体の軸流速度とのバランスによって決定することが知られている。適正な燃焼においては、燃焼バーナから所定距離だけ下流側に離れた位置に火炎が維持される。ところが、燃焼バーナがスワラを備える場合、火炎が燃焼バーナ側に遡上するフラッシュバック（逆火）が発生することがある。これは、スワラによって形成された旋回流の渦中心側にその周囲よりも軸流速度の遅い領域が形成され、この領域において燃焼速度が軸流速度を上回って火炎が燃焼バーナ側に過剰に伝播してしまうことによる。フラッシュバックが頻繁に発生すると、燃焼バーナの焼損等の不具合の発生につながる。

[0004] そこで、フラッシュバックの防止を目的として、例えば特許文献1に記載される予混合燃焼バーナは、スワラベーンの内周側後縁部に切欠部を設けている。この予混合燃焼バーナによれば、スワラベーンの外周側では湾曲面に沿って旋回空気流が形成されるが、スワラベーンの内周側では圧縮空気が切欠部を通して燃焼バーナの軸方向下流側に流れるので、スワラベーンの内周

側（旋回流の渦中心側）における軸流速度が増加する。また、これに関連した技術として、特許文献2には、半径方向内側の空気路域と半径方向外側の空気路域とを仕切る仕切り壁と、半径方向外側の空気路域に設けられたスワラベーンと、を備えたバーナが記載されている。このバーナによれば、半径方向内側の空気路域では空気に旋回を与えず、内側における軸流速度の増大を図っている。

## 先行技術文献

### 特許文献

- [0005] 特許文献1：特開2007-285572号公報  
特許文献2：特開2010-223577号公報

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

- [0006] しかしながら、特許文献1に記載される燃焼バーナは、切欠部によるスワラ内周側の軸流成分の増加によりフラッシュバックをある程度は抑制可能であるが、実際には、切欠部の後流において流れが剥離して乱流が発生し、軸流速度の時間的な変動が大きくなる。そのため、十分な軸流速度を安定的に維持することは難しく、フラッシュバックが起きてしまうことがある。

具体的には、乱流に起因した軸流速度の変動成分が正であるときには、切欠部後流における軸流速度は大きくなるが、軸流速度の変動成分が負であるときには切欠部後流における軸流速度は減少する。このため、軸流速度の変動成分が負になったとき、瞬間的に、切欠部後流における軸流速度は小さくなり、フラッシュバックが起きやすくなる。

- [0007] 特許文献2に記載されるバーナは、半径方向内側の空気路域と半径方向外側の空気路域とが仕切り壁によって仕切られているので、これらの空気路域内の空気又は燃料が互いに混合されるのは仕切り壁よりも下流側となり、混合が不十分となるおそれがある。

- [0008] 上述の事情に鑑みて、本発明の少なくとも一実施形態は、ノズル周囲の軸

方向流路における混合性を良好に維持しながら、スワラ内周側におけるフラッシュバック耐性を向上し得る燃焼バーナ及び燃焼器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

- [0009] 本発明の少なくとも一実施形態に係る燃焼バーナは、  
ノズルと、  
前記ノズルの周囲において前記ノズルの軸方向に沿って延在する軸方向流路に設けられるスワラベーンとを備え、  
前記スワラベーンは、  
前記軸方向流路のうち外周側の領域を流通する気体を旋回方向に旋回させるための先端部と、  
前記先端部からみて前記ノズルの径方向における内側に位置し、後縁側に切欠きを有する根本部と、を含み、  
前記軸方向流路は、少なくとも前記スワラベーンが設けられた軸方向範囲において、前記外周側の領域と内周側の領域とが仕切られずに互いに連通しており、  
前記スワラベーンの前記根本部の腹面の下流側領域は、前記切欠きによって、前記後縁に近づくにつれて前記旋回方向の逆に向かう湾曲面として画定されたことを特徴とする。  
なお、前記スワラベーンの前記根本部の後縁は、前記先端部の後縁に比べて、前記軸方向の上流側、且つ、前記旋回方向の上流側に位置していてもよい。

- [0010] 上記燃焼バーナによれば、スワラベーン先端部において、軸方向流路のうち外周側の領域（以下、外周側流路領域と称する）を流通する気体を旋回させるようになっている。これにより、先端部で形成された旋回流によって、軸方向流路に供給される燃料と気体との予混合を促進できる。一方、スワラベーン根本部は下流側に切欠きが形成されており、この切欠きによって、根本部の腹面の下流側領域には、後縁に近づくにつれて旋回方向の逆に向

かう湾曲面が形成されている。そのため、軸方向流路のうち内周側の領域（以下、内周側流路領域と称する）においては、コアンダ効果によって気体が湾曲面に引き寄せられて旋回方向とは逆の方向に整流される。その結果、根本部の腹面の上流側領域で気体に与えられた旋回成分が根本部の腹面の下流側領域において弱まり、内周側流路領域における平均軸流速度が増加し、フラッシュバック耐性を向上させることができる。さらに根本部の腹面の下流側領域の湾曲面に沿って気体流れるため、切欠き後流において流れの剥離による乱流の発生を抑制でき、乱流に起因した負の変動成分により軸流速度が不安定になることを防止できる。このため、内周側流路領域における軸流速度の変動を抑制し、フラッシュバック耐性を向上させることができる。

また、燃焼バーナの軸方向流路は、少なくともスワラベーンが設けられた軸方向範囲において、外周側流路領域と内周側流路領域とが仕切られずに互いに連通している。これにより、外周側流路領域を流れる気体と内周側流路領域を流れる気体との混合が促進される。よって、軸方向流路に供給される燃料の濃度分布が燃焼バーナの径方向において均一化される。

[0011] 幾つかの実施形態において、前記スワラベーンの前記先端部の腹面は、後縁に近づくにつれて前記旋回方向に向かう湾曲面を有し、

前記スワラベーンの腹面は、前記先端部の前記湾曲面と前記根本部の前記湾曲面との間で段差を有する。

上記実施形態によれば、スワラベーンの腹面に形成された段差において、先端部の湾曲面に沿う旋回方向の流れと、根本部の湾曲面に沿う旋回方向とは逆の流れとの間にせん断層が形成される。そして、このせん断層で渦が発生し、外周側流路領域を流れる気体と内周側流路領域を流れる気体との混合が促進される。そのため、スワラベーン上流側で燃料が供給される場合には、燃焼バーナの径方向における燃料濃度分布をより一層均一にすることができる。

[0012] 幾つかの実施形態において、前記根本部の翼型は、上流側領域において前記先端部の翼型と形状が一致しており、下流側領域において前記切欠きに相

当する部位が前記先端部の翼型から切り欠かれた形状を有する。

これにより、翼高さの全長にわたって翼型が実質的に同一である翼部材を形成し、この翼部材の根本部の下流側領域に切欠きを設けることで、旋回方向の逆に向かう湾曲面が根本部に設けられたスワラベーンを容易に製造することができる。

[0013] 一実施形態において、前記スワラベーンの前記根本部の後縁は、前記ノズルの周方向における位置が前記根本部の前縁と一致している。

上記実施形態によれば、スワラベーンの前記根本部の後縁が前縁に対して旋回方向下流側にずれている場合に比べて、旋回方向の逆に向かう湾曲によって根本部の後縁が前縁と同じ周方向位置まで戻っているため、内周側流路領域における流れの旋回成分を十分に弱めて平均軸流速度を確実に増大できる。

[0014] 一実施形態において、前記スワラベーンの前記根本部の翼型は、少なくとも後縁側において、前記後縁を通り前記軸方向に平行な直線に対して線対称である形状を有する。

これにより、内周側流路領域における平均軸流速度の増大が図れるとともに、根本部の断面形状を簡素化することもでき、その場合スワラベーンの製造性の向上が可能となる。

[0015] 他の実施形態において、前記スワラベーンの前記根本部の後縁は、前記ノズルの周方向において、前記前縁を通り前記軸方向に平行な直線を挟んで、前記先端部の後縁とは反対側に位置する。

これにより、前縁よりも旋回方向上流側に根本部の後縁が位置するので、内周側流路領域の流れを旋回方向とは逆に確実に向かわせることができ、内周側流路領域における旋回成分をより効果的に低減することができ、よって、内周側流路領域の平均軸流速度を確実に増加させることができる。

[0016] 幾つかの実施形態において、前記根本部の前記湾曲面は、前記軸方向流路の前記内周側の領域を流通する前記気体を前記旋回方向とは逆方向に旋回させるように構成されている。

これにより、内周側流路領域において外周側流路領域の旋回方向とは逆方

向に気体が旋回するので、より一層効果的に内周側流路領域における旋回成分を弱めることができる。

[0017] 幾つかの実施形態において、前記根本部の前記後縁を通る腹面の接線と前記根本部の前記後縁を通る背面の接線とで形成される角の二等分線は、前記後縁よりも下流側において、前記軸方向に対して前記旋回方向とは逆に傾斜している。

上記実施形態によれば、外周側流路領域では気体が旋回方向に旋回しているのに対して、内周側流路領域では、気体が前記旋回方向とは逆に向かうこととなる。これにより、内周側流路領域における旋回成分をより効果的に弱めることができる。

[0018] 幾つかの実施形態において、前記スワラベーンの前縁は、少なくとも先端部側において、前記ノズルの径方向において外側に近づくにつれて前記軸方向の上流側に向かうように前記径方向に対して傾斜している。

これにより、スワラベーンの翼面上における径方向の圧力勾配に沿って、気体の流れは内周側流路領域に寄っていくため、内周側流路領域における流量が相対的に増加し、その結果内周側流路領域における平均軸流速度が増大する。

[0019] 幾つかの実施形態において、前記先端部は、前記先端部の下流側領域において、前記切欠きによって形成される切欠き空間に対して前記径方向の外側に位置して該切欠き空間に面する切欠き空間形成面を有し、

前記切欠き空間形成面は、下流に向かうほど前記切欠き空間の前記径方向における幅が広がるような形状を有する。

これにより、外周側流路領域における旋回流を主とした流れと、内周側流路領域の切欠きを通過する軸流を主とした流れとが混合する幅を大きくとることができ、軸方向流路よりも下流側における流速分布を均一化できる。保炎位置における流速分布が均一なほど、火炎面形状が平坦に近づき、火炎面を上流遡上させる *baroclinic torque* は小さくなる。よって、軸方向流路よりも下流側における流速分布が均一化されることで、内周



側流路領域におけるフラッシュバック耐性を効果的に向上させることができる。

なお、前記切欠き空間形成面は、下流に向かうほど前記切欠き空間の前記径方向における幅が広がるように前記軸方向に対して直線状に傾斜した平坦面であってもよい。

[0020] 本発明の少なくとも一実施形態に係る燃焼バーナは、  
ノズルと、

前記ノズルの周囲において前記ノズルの軸方向に沿って延在する軸方向流路に設けられ、前記軸方向流路を流通する気体の少なくとも一部を旋回方向に旋回させるように構成されたスワラベーンとを備え、

前記スワラベーンの前縁は、少なくとも先端部側において、前記ノズルの径方向において外側に近づくにつれて前記軸方向の上流側に向かうように前記径方向に対して傾斜していることを特徴とする。

[0021] 上記実施形態によれば、スワラベーンの前縁上における径方向の圧力勾配に沿って、気体の流れは内周側流路領域に寄っていくため、内周側流路領域における流量が相対的に増加し、その結果内周側流路領域における平均軸流速が増大する。よって、フラッシュバック耐性を向上させることができる。

[0022] 本発明の少なくとも一実施形態に係る燃焼バーナは、  
ノズルと、

前記ノズルの周囲において前記ノズルの軸方向に沿って延在する軸方向流路に設けられるスワラベーンとを備え、

前記スワラベーンは、

前記軸方向流路のうち外周側の領域を流通する気体を旋回方向に旋回させるための先端部と、

前記先端部からみて前記ノズルの径方向における内側に位置し、後縁側に切欠きを有する根本部と、を含み、

前記軸方向流路は、少なくとも前記スワラベーンが設けられた軸方向範囲

において、前記外周側の領域と内周側の領域とが仕切られずに互いに連通しており、

前記先端部は、前記先端部の下流側領域において、前記切欠きによって形成される切欠き空間に対して前記径方向の外側に位置して該切欠き空間に面する切欠き空間形成面を有し、

前記切欠き空間形成面は、下流に向かうほど前記切欠き空間の前記径方向における幅が広がるような形状を有することを特徴とする。

[0023] 上記燃焼バーナによれば、外周側流路領域における旋回流を主とした流れと、内周側流路領域の切欠きを通過する軸流を主とした流れとが混合する幅を大きくとることができ、軸方向流路よりも下流側における流速分布を均一化できる。保炎位置における流速分布が均一なほど、火炎面形状が平坦に近づき、火炎面を上流遡上させる *baroclinic torque* は小さくなる。よって、軸方向流路よりも下流側における流速分布が均一化されることで、内周側流路領域におけるフラッシュバック耐性を効果的に向上させることができる。

また、燃焼バーナの軸方向流路は、少なくともスワラベーンが設けられた軸方向範囲において、外周側流路領域と内周側流路領域とが仕切られずに互いに連通している。これにより、外周側流路領域を流れる気体と内周側流路領域を流れる気体との混合が促進される。よって、軸方向流路に供給される燃料の濃度分布が燃焼バーナの径方向において均一化される。

[0024] 本発明の少なくとも一実施形態に係る燃焼器は、  
上記実施形態のいずれかに記載の燃焼バーナと、  
前記燃焼バーナからの燃焼ガスを導く流路を形成するための燃焼器ライナと、を備えることを特徴とする。

[0025] 本発明の少なくとも一実施形態に係るガスタービンは、  
圧縮空気を生成するための圧縮機と、  
前記圧縮機からの前記圧縮空気により燃料を燃焼させて燃焼ガスを発生させるように構成された上記燃焼器と、

前記燃焼器からの前記燃焼ガスによって駆動されるように構成されたタービンと、を備えることを特徴とする。

### 発明の効果

[0026] 本発明の少なくとも一実施形態によれば、軸方向流路の内周側流路領域における平均軸流速度を増大させることができ、フラッシュバック耐性を効果的に向上させることができる。

### 図面の簡単な説明

- [0027] [図1]一実施形態に係るガスタービンを示す概略構成図である。  
[図2]一実施形態に係る燃焼器を示す断面図である。  
[図3]一実施形態に係る燃焼器の要部を示す断面図である。  
[図4]一実施形態に係る燃焼バーナの断面図である。  
[図5]図4に示される燃焼バーナのA方向矢視図である。  
[図6]一実施形態におけるノズル及びスワラを示す側面図である。  
[図7]スワラの一構成例を示す平面図である。  
[図8]比較例におけるノズル及びスワラを示す側面図である。  
[図9]実施形態および比較例の延長管出口における半径方向距離と平均軸流速度との関係を示すグラフである。  
[図10]一実施形態におけるスワラの斜視図である。  
[図11]他の実施形態におけるノズル及びスワラの側面図である。  
[図12]図11に示したスワラベーンの構成例を示す平面図である。  
[図13]図11に示したスワラベーンの他の構成例を示す平面図である。  
[図14]他の実施形態におけるノズル及びスワラの側面図である。  
[図15]実施形態および比較例の延長管出口における半径方向距離と平均軸流速度との関係を示すグラフである。  
[図16]他の実施形態におけるノズル及びスワラの側面図である。

### 発明を実施するための形態

[0028] 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。

[0029] 最初に、本実施形態に係る燃焼バーナ及び燃焼器の適用先の一例であるガスタービンについて、図1を参照して説明する。なお、図1は、一実施形態に係るガスタービン1を示す概略構成図である。

[0030] 図1に示すように、一実施形態に係るガスタービン1は、酸化剤としての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、タービン6の回転エネルギーによって発電が行われるようになっている。

[0031] ガスタービン1における各部位の具体的な構成例について説明する。

圧縮機2は、圧縮機車室10と、圧縮機車室10の入口側に設けられ、空気を取り込むための空気取入口12と、圧縮機車室10及び後述するタービン車室22を共に貫通するように設けられたロータ8と、圧縮機車室10内に配置された各種の翼と、を備える。各種の翼は、空気取入口12側に設けられた入口案内翼14と、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。なお、圧縮機2は、不図示の抽気室等の他の構成要素を備えていてもよい。このような圧縮機2において、空気取入口12から取り込まれた空気は、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。そして、高温高圧の圧縮空気は圧縮機2から後段の燃焼器4に送られる。

[0032] 燃焼器4は、ケーシング20内に配置される。図1に示すように、燃焼器4は、ケーシング20内にロータ8を中心として環状に複数配置されていてもよい。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、燃料を燃焼させることによって、タービン6の作動流体である燃焼ガスを発生させる。そして、燃焼ガスは燃焼器4から後段のタービン6に送られる。

なお、燃焼器 4 の詳細な構成例については後述する。

[0033] タービン 6 は、タービン車室 22 と、タービン車室 22 内に配置された各種の翼と、を備える。各種の翼は、タービン車室 22 側に固定された複数の静翼 24 と、静翼 24 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 26 と、を含む。なお、タービン 6 は、出口案内翼等の他の構成要素を備えていてもよい。タービン 6 においては、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 が回転駆動する。これにより、ロータ 8 に連結された発電機が駆動されるようになっている。

タービン車室 22 の下流側には、排気車室 28 を介して排気室 30 が連結されている。タービン 6 を駆動した後の燃焼ガスは、排気車室 28 及び排気室 30 を介して外部へ排出される。

[0034] 次に、図 2 及び図 3 を参照して、一実施形態に係る燃焼器 4 の詳細な構成について説明する。なお、図 2 は、一実施形態に係る燃焼器を示す断面図である。図 3 は、一実施形態に係る燃焼器の要部を示す断面図である。

[0035] 図 2 及び図 3 に示すように、一実施形態に係る燃焼器 4 は、ロータ 8 を中心として環状に複数配置されている（図 1 参照）。各燃焼器 4 は、ケーシング 20 により画定される燃焼器車室 40 に設けられた燃焼器ライナ 46 と、燃焼器ライナ 46 内にそれぞれ配置されたパイロット燃焼バーナ 50 及び複数の予混合燃焼バーナ（メイン燃焼バーナ）60 と、を含む。なお、燃焼器 4 は、燃焼ガスをバイパスさせるためのバイパス管（不図示）等の他の構成要素を備えていてもよい。

[0036] 例えば、燃焼器ライナ 46 は、パイロット燃焼バーナ 50 及び複数の予混合燃焼バーナ 60 の周囲に配置される内筒 46a と、内筒 46a の先端部に連結された尾筒 46b と、を有している。

パイロット燃焼バーナ 50 は、燃焼器ライナ 46 の中心軸に沿って配置されている。そして、パイロット燃焼バーナ 50 を囲むように、複数の予混合燃焼バーナ 60 が互いに離間して配列されている。

パイロット燃焼バーナ 50 は、燃料ポート 52 に連結されたパイロットノ

ズル（ノズル）54と、パイロットノズル54を囲むように配置されたパイロットコーン56と、パイロットノズル54の外周に設けられたスワラ58と、を有している。

予混合燃焼バーナ60は、燃料ポート62に連結されたメインノズル（ノズル）64と、ノズル64を囲むように配置されたバーナ筒66と、バーナ筒66と燃焼器ライナ46（例えば内筒46a）をつなぐ延長管65と、ノズル64の外周に設けられたスワラ70と、を有している。なお、予混合燃焼バーナ60の具体的な構成については後述する。

なお、図3に示すように、延長管65は、バーナ筒66に接続される上流側端面から下流側端面（延長管出口65a）まで延在している。また、図3には、延長管出口65aの中心位置を通過する流路中心線O'を示している。

[0037] 上記構成を有する燃焼器4において、圧縮機2で生成された高温高圧の圧縮空気は車室入口42から燃焼器車室40内に供給され、さらに燃焼器車室40からバーナ筒66内に流入する。そして、この圧縮空気と、燃料ポート62から供給された燃料とがバーナ筒66内で予混合される。この際、予混合気はスワラ70により主として旋回流を形成し、燃焼器ライナ46内に流れ込む。また、圧縮空気と、燃料ポート52を介してパイロット燃焼バーナ50から噴射された燃料とが燃焼器ライナ46内で混合され、図示しない種火により着火されて燃焼し、燃焼ガスが発生する。このとき、燃焼ガスの一部が火炎を伴って周囲に拡散することで、各予混合燃焼バーナ60から燃焼器ライナ46内に流れ込んだ予混合気に着火されて燃焼する。すなわち、パイロット燃焼バーナ50から噴射されたパイロット燃料によるパイロット火炎によって、予混合燃焼バーナ60からの予混合気（予混合燃料）の安定燃焼を行うための保炎を行うことができる。その際、燃焼領域は例えば内筒46aに形成される。

[0038] 以下、本実施形態に係る燃焼バーナの構成について、一例として上述した予混合燃焼バーナ60を用いて詳細に説明する。

なお、本実施形態に係る燃焼バーナは、予混合燃焼バーナ60に限定されるものではなく、ノズルの周囲の軸方向流路にスワラ（スワラベーン）が設けられた燃焼バーナであればどのタイプの燃焼バーナに対しても本実施形態の構成を適用可能である。例えば、燃焼バーナは、ガスタービン1の燃焼器4に設けられるパイロット燃焼バーナ50のように主として拡散燃焼するタイプの燃焼バーナであってもよいし、ガスタービン1以外の機器に設けられる燃焼バーナであってもよい。

[0039] 一実施形態に係る燃焼バーナ（予混合燃焼バーナ）60の概略構成を図4及び図5に示す。ここで、図4は一実施形態に係る燃焼バーナ60のノズル軸方向に沿った断面図であり、図5は図4に示される燃焼バーナのA方向矢視図である。

一実施形態に係る燃焼バーナ60は、ノズル（燃料ノズル）64と、バーナ筒66と、スワラ70と、を備えている。

[0040] ノズル64は、例えば上述したように燃料ポート62（図2及び図3参照）に連結され、燃料ポート62から燃料が供給される。燃料は、気体であっても液体であってもよく、その種類も特に限定されない。また、パイロットノズル54に供給される燃料とノズル64に供給される燃料とを異ならせてもよく、例えば、パイロットノズル54に油燃料が供給され、ノズル64に天然ガス等のガス燃料が供給されてもよい。

[0041] バーナ筒66は、ノズル64に対して同心状に、且つノズル64を囲むように配置されている。すなわち、バーナ筒66の軸はノズル64の軸Oと略一致し、且つバーナ筒66の径はノズル64の径よりも大きい。

そして、ノズル64の外周面とバーナ筒66の内周面との間には、ノズル64の軸方向に沿って環状の軸方向流路68が形成されている。この軸方向流路68には、その上流側（図4において左側）から下流側（図4において右側）に向かって、圧縮空気等の気体Gが流通する。

[0042] スワラ70は、軸方向流路68を流通する気体を旋回させるように構成され、少なくとも一枚のスワラベーン72を備える。なお、図4及び図5に示

すスワラ70は、ノズル64を中心として放射状に6枚のスワラベーン72が設けられた場合を例示している。ただし、図4では、便宜上、周方向に沿う角度0度と角度180度の位置に配置した2枚のスワラベーン72のみを示している（図4の状態では、実際には合計で4枚のスワラベーン72が見える）。

[0043] スワラベーン72は、ノズル64の周囲においてノズル64の軸方向（軸0方向）に沿って延在する軸方向流路68に設けられ、軸方向流路68を流通する気体に旋回力を付与するように構成されている。スワラベーン72は、圧力面である腹面81と、負圧面である背面82と、気体の流通方向（ノズル64の軸方向）における上流側の端部である前縁83と、気体の流通方向（ノズル64の軸方向）における下流側の端部である後縁84と、を有している。

[0044] また、スワラベーン72には、複数の噴射孔74～77が形成されている。本実施形態では一例として、スワラベーン72の腹面81に2個の噴射孔74、75が形成され、スワラベーン72の背面82に2個の噴射孔76、77が形成された構成を示している。複数の噴射孔74～77はスワラベーン72の前縁83側に設けられていてもよい。また、同一面に開口する2個の噴射孔74及び75、又は噴射孔76及び77は、ノズル64の軸方向や径方向に対して互いに位置をずらして設けられていてもよい。これらの噴射孔74～77は、スワラベーン72の内部において互いに連通しており、さらにノズル64内の燃料通路にも連通している。そして、噴射孔74～77から噴射された燃料は、気体（例えば酸化剤としての圧縮空気）と混合されて予混合気（燃料ガス）となり、燃焼器ライナ46に送られて燃焼することとなる。

[0045] さらにまた、スワラベーン72は、軸方向流路68のうち内周側の領域（以下、内周側流路領域と称する）68bに位置する後縁84に切欠き90が形成されている。すなわち、スワラベーン72は、軸方向流路68のうち外周側の領域（以下、外周側流路領域と称する）68aでは主として旋回流を



形成し、内周側流路領域 68 b では切欠き 90 によって主として軸流を形成するように構成されている。なお、切欠き 90 の具体的な構成については後述する。

[0046] ここで、図 6～図 17 に示す実施形態を参照して、スワラベーン 72 の具体的な構成例について説明する。ただし、図 8 は比較例におけるスワラベーンを示している。なお、図 6～図 17 において、同一の部位については同一の符号を付している。

[0047] 図 6～図 17 に示すスワラベーン 72 a～72 d は、外周側流路領域 68 a (図 4 参照) を流通する気体を旋回方向に旋回させるための先端部 85 と、先端部 85 からみてノズル 64 の径方向における内側、すなわち内周側流路領域 68 b (図 4 参照) に位置し、切欠き 90 a～90 d によって後縁 93 が画定される根本部 86 と、を有している。

[0048] スワラベーン 72 a～72 d の先端部 85 の腹面 81 には、主として軸方向流路 68 を流通する気体に旋回力を付与するように、上流側から下流側に向かうにしたがって湾曲する湾曲面 91 が形成されている。具体的に、スワラベーン 72 a～72 d の先端部 85 の腹面 81 は、上流側から下流側に向かうにしたがって、そのキャンパーライン C (図 7 参照) と気体の流れ方向 (すなわちノズル 64 の軸方向) とのなす角度  $\theta$  が徐々に大きくなるように構成されている。スワラベーン 72 a～72 d の先端部 85 の下流側領域において、キャンパーライン C と気体の流れ方向とのなす角度  $\theta$  は、 $20^\circ$  以上  $30^\circ$  以下の範囲であってもよい。このように構成された先端部 85 の腹面 81 の湾曲面 91 によって、外周側流路領域 68 a を流通する気体は、旋回方向に向けて旋回する旋回流 D を形成する。

[0049] 一方、スワラベーン 72 a～72 d の根本部 86 の腹面 81 の下流側領域は、切欠き 90 a～90 d によって、根本部 86 の後縁 93 に近づくにつれて旋回方向の逆に向かう湾曲面 92 a～92 d として画定されている。すなわち、根本部 86 の下流側領域は、先端部 85 とは逆の方向に湾曲している。このように構成された根本部 86 の腹面 81 の湾曲面 92 a～92 d によ

って、内周側領域では気体流れE, Fが形成される。

スワラベーン72a~72dの根本部86の後縁93は、先端部85の後縁に比べて、軸方向の上流側、且つ、旋回方向の上流側に位置していてもよい。

[0050] また、少なくともスワラベーン72a~72dが設けられた軸方向範囲において、軸方向流路68は外周側流路領域68aと内周側流路領域68bとが仕切られずに互いに連通している。なお、軸方向範囲とは、ノズル64の軸Oに沿った範囲をいう。

すなわち、既に説明した図5に示すようにノズル64の先端部からみて、複数の軸方向流路68は、隣接するスワラベーン72(72a~72d)の間に、軸Oを中心としてノズル64の外周側に放射状に形成されている。そして、各々の軸方向流路68において、外周側流路領域68aと内周側流路領域68bとが連通しており、ノズル64の径方向に一つの空間が形成されるようになっている。なお、軸方向流路68は、外周側流路領域68aと内周側流路領域68bとの間に他の部位が存在せず、外周側流路領域68aと内周側流路領域68bとが連通した構成(図示される構成)であってもよいし、外周側流路領域68aと内周側流路領域68bとの間に他の部位(図示しない部位)は存在するが外周側流路領域68aと内周側流路領域68bとが一部連通した構成であってもよい。

[0051] 上記構成によれば、スワラベーン72a~72dの先端部85において、軸方向流路68のうち外周側流路領域68aを流通する気体を旋回させるようになっているので、先端部85で形成された旋回流Dによって、軸方向流路68に供給される燃料と気体との予混合を促進できる。一方、スワラベーン72a~72dの根本部86は下流側に切欠き90a~90dが形成されており、この切欠き90a~90dによって、根本部86の腹面81の下流側領域には、後縁93に近づくにつれて旋回方向の逆に向かう湾曲面92a~92dが形成されている。そのため、軸方向流路68のうち内周側流路領域68bにおいては、コアンダ効果によって気体が湾曲面92a~92dに

引き寄せられて旋回方向とは逆の方向に整流される。その結果、根本部 86 の腹面 81 の上流側領域で気体に与えられた旋回成分が根本部 86 の腹面 81 の下流側領域において弱まり、内周側流路領域 68b における平均軸流速度が増加し、フラッシュバック耐性を向上させることができる。さらに根本部 86 の腹面 81 の下流側領域の湾曲面 92a~92d に沿って気体が行れるため、切欠き 90a~90d の後流において流れの剥離による乱流の発生を抑制でき、乱流に起因した負の変動成分により軸流速度が不安定になることを防止できる。このため、内周側流路領域 68b における軸流速度の変動を抑制し、フラッシュバック耐性を効果的に向上させることができる。

また、燃焼バーナ 60 の軸方向流路 68 は、少なくともスワラベーン 72a~72d が設けられた軸方向範囲において、外周側流路領域 68a と内周側流路領域 68b とが仕切られずに互いに連通している。これにより、外周側流路領域 68a を流れる気体と内周側流路領域 68b を流れる気体との混合が促進される。よって、軸方向流路 68 に供給される燃料の濃度分布が燃焼バーナ 60 の径方向において均一化される。

[0052] ここで、図 9 を参照して、本実施形態における燃焼バーナと比較例における燃焼バーナとのフラッシュバック耐性を比較する。なお、図 9 は、実施形態および比較例の延長管出口における半径方向距離と平均軸流速度との関係を示すグラフである。同図では、実施形態として、図 6 及び図 7 に示すノズル 64 及びスワラ 70a を含む燃焼バーナが用いられ、比較例として、図 8 に示すノズル 120 及びスワラ 102 を含む燃焼バーナが用いられた場合の夫々の平均軸流速度を示している。

なお、図 8 に示す比較例において、スワラ 102 は、ノズル 120 の周囲に放射状に設けられた複数のスワラベーン 104 を備える。スワラベーン 104 は、外周側の先端部 116 と、内周側の根本部 118 とを有する。また、スワラベーン 104 は、圧力面である腹面 106 と、負圧面である背面 108 と、前縁 110 及び後縁 112 とを有する。これらの構成（例えばスワラベーンの数や配置）において比較例は本実施形態の構成と略同一である。さ

らにスワラベーン104は、本実施形態とは構成が異なる切欠き115を有している。切欠き115は、スワラベーン104の根本部118の下流側領域に形成されており、この切欠き115によって、根本部118の後縁114が、ノズル120の軸Oに対して直交する平面状に画定されている。すなわち、根本部118の後縁114は、根本部118の腹面106と背面108との間に、ノズル120の軸Oに対して直交する端面によって形成される。

[0053] 上述したように、本発明者らの知見によって、燃焼バーナにおいて発生するフラッシュバック（特に渦芯フラッシュバック）は、燃焼バーナの平均軸流速度が内周側流路領域68bにおいて極端に低下した際に起こりやすいことがわかっている。そこで、本実施形態における燃焼バーナ及び比較例における燃焼バーナのそれぞれにおいて、流体解析（CFD；Computational Fluid Dynamics）を用いて、ノズル64，120の半径方向距離に対する平均軸流速度を算出した。ここでいう平均軸流速度とは、ノズル64，120の下流側の延長管出口における軸流速度を、規定時間で平均した値である。

[0054] その結果、比較例における燃焼バーナでは、内周側流路領域においては、外周側流路領域よりも大幅に平均軸流速度が小さくなり、延長管出口における平均軸流速度分布（図9の点線）において、流路中心軸O'における平均軸流速度が低下した。その理由として、比較例におけるスワラベーン104は、根本部118の後縁114がノズル120の軸Oに対して直交する端面によって形成されているので、根本部118の上流側領域に沿って流れてきた気体は後縁114において根本部118から剥離し、切欠き115の下流側で乱流が発生するためと考えられる。

[0055] 一方、本実施形態における燃焼バーナでは、内周側流路領域68bにおける平均軸流速度が比較例よりも大きくなったため、延長管出口65aにおける平均軸流速度分布（図9の実線）において、流路中心軸O'における平均軸流速度の低下が抑制された。すなわち、本実施形態によれば、延長管出口

65 aにおける平均軸流速度分布が、比較例に比べて、均一化された。これは、上述したように、内周側流路領域68 bにおいて切欠き90 aによって気体が旋回方向とは逆の方向に整流され、根本部86の腹面81の上流側領域で気体に与えられた旋回成分が根本部86の腹面81の下流側領域において弱まり、内周側流路領域68 bにおける平均軸流速度が増加したものと考えられる。

このように、本実施形態によれば、内周側流路領域68 bにおける軸流速度の変動を抑制し、フラッシュバック耐性を向上させることができるものである。

[0056] 上述した本実施形態における燃焼バーナの基本的な構成に加えて、本実施形態における燃焼バーナは、以下のいずれかの構成をさらに備えていてもよい。なお、一実施形態においては、異なる図に示される複数の構成を組み合わせてもよいことは勿論である。

[0057] 図6は、一実施形態におけるノズル64及びスワラ70 aを示す側面図である。図7は、スワラ70 aの一構成例を示す平面図である。

図6及び図7に示すように、スワラベーン72 aにおいて、根本部86の翼型（ノズル64の径方向と直交する平面で見た断面形状。以下、同様）は、上流側領域において先端部85の翼型と形状が一致しており、下流側領域において切欠き90 aに相当する部位が先端部85の翼型から切り欠かれた形状を有する。なお、この構成は、2次元翼において好適に用いられる。

これにより、スワラベーン72 aの翼高さの全長にわたって翼型が実質的に同一である翼部材を形成し、この翼部材の根本部86の下流側領域に切欠き90 aを設けることで、旋回方向の逆に向かう方向の湾曲面が根本部86に設けられたスワラベーン72 aを容易に製造することができる。

[0058] 図7に示すように、スワラベーン72 aの根本部86の後縁93は、ノズル64の周方向における位置が根本部86の前縁83と一致していてもよい。すなわち、スワラベーン72 aの前縁83を通過してノズル64の軸Oに沿った直線L<sub>1</sub>上に、根本部86の後縁93が位置している。

上記実施形態によれば、スワラベーン72aの根本部86の後縁93が前縁83に対して旋回方向下流側にずれている場合に比べて、旋回方向の逆に向かう湾曲によって根本部86の後縁93が前縁83と同じ周方向位置まで戻っているため、内周側流路領域68bにおける流れの旋回成分を十分に弱めて平均軸流速度を確実に増大できる。

[0059] また、スワラベーン72aの根本部86の翼型は、少なくとも後縁93側において、後縁93を通り軸方向に平行な直線 $L_1$ に対して線対称である形状を有していてもよい。例えば、スワラベーン72aの根本部86の翼型は、楕円形状、涙型形状、長円形状などが挙げられる。なお、上記構成に加えて根本部86の翼型は、前縁83側と後縁93側とが、軸方向に直交する直線に対して線対称であってもよい（例えば楕円形状や長円形状）。

これにより、内周側流路領域68bにおける平均軸流速度の増大が図れるとともに、根本部86の断面形状を簡素化することもでき、その場合スワラベーン72aの製造性の向上が可能となる。

[0060] 図10は、一実施形態におけるスワラの斜視図である。

図10に示すように、一実施形態において、スワラベーン72aの先端部85の腹面81は、後縁84に近づくにつれて旋回方向に向かう湾曲面91を有しているとともに、スワラベーン72aの腹面81は、先端部85の湾曲面91と根本部86の湾曲面92aとの間で段差95を有する。

上記実施形態によれば、スワラベーン72aの腹面81に形成された段差95において、先端部85の湾曲面91に沿う旋回方向の流れDと、根本部86の湾曲面92aに沿う旋回方向とは逆の流れEとの間にせん断層が形成される。そして、このせん断層で渦が発生し、外周側流路領域68aを流れる気体と内周側流路領域68bを流れる気体との混合が促進される。そのため、スワラベーン72aの上流側で燃料が供給される場合には、燃焼バーナ60の径方向における燃料濃度分布をより一層均一にすることができる。

[0061] 図11は、他の実施形態におけるノズル及びスワラの側面図である。図12は、図11に示したスワラベーンの構成例を示す平面図である。図13は

、図 1 1 に示したスワラベーンの他の構成例を示す平面図である。

図 1 1 に示すように、他の実施形態におけるスワラ 7 0 b において、根本部 8 6 の湾曲面 9 2 b は、軸方向流路の内周側流路領域 6 8 b を流通する気体を旋回方向とは逆方向に旋回させるように構成されていてもよい。これにより、内周側流路領域 6 8 b において外周側流路領域 6 8 a の旋回方向とは逆方向に気体が旋回するので、より一層効果的に内周側流路領域 6 8 b における旋回成分を弱めることができる。

[0062] 図 1 1 及び図 1 2 に示すように、他の実施形態において、スワラベーン 7 2 b の根本部 8 6 の後縁 9 3 は、ノズル 6 4 の周方向において、前縁 8 3 を通り軸方向に平行な直線  $L_2$  を挟んで、先端部 8 5 の後縁 8 4 とは反対側に位置してもよい。これにより、前縁 8 3 よりも旋回方向上流側に根本部 8 6 の後縁 9 3 が位置するので、内周側流路領域 6 8 b (図 5 参照) の流れを旋回方向とは逆に確実に向かわせることができ、内周側流路領域 6 8 b における旋回成分をより効果的に低減することができ、よって、内周側流路領域 6 8 b の平均軸流速度を確実に増加させることができる。

[0063] 図 1 1 及び図 1 3 に示すように、他の実施形態において、スワラベーン 7 2 b の根本部 8 6 の後縁 9 3 を通る背面 8 2 の接線  $L_3$  と、根本部 8 6 の後縁 9 3 を通る腹面 8 1 の接線  $L_4$  と、で形成される角  $\alpha$  の二等分線  $L_5$  は、根本部 8 6 の後縁 9 3 よりも下流側において、軸方向に対して旋回方向とは逆に傾斜していてもよい。

上記実施形態によれば、外周側流路領域 6 8 a (図 5 参照) では気体が旋回方向に旋回しているのに対して、内周側流路領域 6 8 b (図 5 参照) では、気体が旋回方向とは逆に向かうこととなる。これにより、内周側流路領域 6 8 b における旋回成分をより効果的に弱めることができる。

[0064] 図 1 4 は、他の実施形態におけるノズル及びスワラの側面図である。

図 1 4 に示すように、他の実施形態では、スワラベーン 7 2 c の先端部 8 5 は、先端部 8 5 の下流側領域において、切欠き 9 0 c によって形成される切欠き空間に対して径方向の外側に位置して、切欠き空間に面する切欠き空

間形成面 96 を有している。この切欠き空間形成面 96 は、下流に向かうほど切欠き空間の径方向における幅が広がるような形状を有する。具体的には、切欠き空間の径方向における幅、すなわち切欠き空間形成面 96 とノズル 64 の外周面との距離に関して、切欠き 90c の上流側（例えば根本部 86 の後縁 93 の軸方向位置）の距離  $H_1$  よりも、下流側（例えば先端部 85 の後縁 84 の軸方向位置）の距離  $H_2$  が大きい。さらに、上流側の距離  $H_1$  から下流側の距離  $H_2$  まで徐々に大きくなるように、切欠き空間形成面 96 が形成されていてもよい。あるいは、切欠き空間形成面 96 は、下流に向かうほど切欠き空間の径方向における幅が広がるように軸方向に対して直線状に傾斜した平坦面であってもよい。また、上流側の距離  $H_1$  から下流側の距離  $H_2$  まで、スワラベーン 72c の径方向高さ  $H$  の 3% 以上 20% 以下であってもよい。例えば、下限値である上流側の距離  $H_1$  は 3% 以上であり、上限値である下流側の距離  $H_2$  は 20% 以下とする。

[0065] 上記実施形態によれば、外周側流路領域 68a における旋回流を主とした流れと、内周側流路領域 68b の切欠き 90c を通過する軸流を主とした流れとが混合する幅を大きくとることができ、軸方向流路 68 よりも下流側における流速分布を均一化できる。保炎位置における流速分布が均一なほど、火炎面形状が平坦に近づき、火炎面を上流遡上させる *baroclinic torque* は小さくなる。よって、軸方向流路 68 よりも下流側における流速分布が均一化されることで、内周側流路領域 68b におけるフラッシュバック耐性を効果的に向上させることができる。

[0066] なお、図 14 に示す他の実施形態におけるスワラ 70c において、スワラベーン 72c では、根本部 86 の後縁 93 が湾曲面 92c を有する場合について例示しているが、根本部 86 の後縁 93 が湾曲面 92c を有していない構成としてもよい。すなわち、スワラベーン 72c は、切欠き空間形成面 96 が、下流に向かうほど切欠き空間の径方向における幅が広がるような形状を有するとともに、根本部 86 の後縁 93 が比較例の後縁 114 と同様に平面状に形成された構成となっている。具体的には、スワラベーン 72c は、



軸方向流路68のうち外周側流路領域68aを流通する気体を旋回方向に旋回させるための先端部85と、先端部85からみてノズル64の径方向における内側に位置し、後縁側に切欠き90cを有する根本部86と、を含む。また、軸方向流路68は、少なくともスワラベーン72cが設けられた軸方向範囲において、外周側流路領域68aと内周側流路領域68bとが仕切られずに互いに連通している。さらに、先端部85は、先端部85の下流側領域において、切欠き90cによって形成される切欠き空間に対して径方向の外側に位置して該切欠き空間に面する切欠き空間形成面96を有し、切欠き空間形成面96は、下流に向かうほど切欠き空間の径方向における幅が広がるような形状を有する。

[0067] ここで、図15を参照して、本実施形態における燃焼バーナと比較例における燃焼バーナとのフラッシュバック耐性を比較する。なお、図15は、実施形態および比較例の延長管出口における半径方向距離と平均軸流速度との関係を示すグラフである。同図では、実施形態として、図14に示すノズル64及びスワラ70cを含む燃焼バーナが用いられ、比較例として、図8に示すノズル及びスワラを含む燃焼バーナが用いられた場合の夫々の平均軸流速度を示している。

なお、図14では、根本部86の後縁93が湾曲面92cを有する場合について例示しているが、以下の解析においては、根本部86の後縁93が湾曲面92cを有しないスワラベーンを用いている。すなわち、本実施形態における燃焼バーナとして、切欠き空間形成面96が、下流に向かうほど切欠き空間の径方向における幅が広がるような形状を有するとともに、根本部86の後縁93が比較例と同様に平面状に形成されている燃焼バーナを用いる。

[0068] 本実施形態における燃焼バーナ及び比較例における燃焼バーナのそれぞれにおいて、流体解析(CFD; Computational Fluid Dynamics)を用いて、ノズル64, 120の半径方向距離に対する平均軸流速度を算出した。

その結果、比較例における燃焼バーナでは、内周側流路領域においては、外周側流路領域よりも大幅に平均軸流速度が小さくなり、延長管出口における平均軸流速度分布（図15の点線）において、流路中心軸O'における平均軸流速度が低下した。

一方、本実施形態における燃焼バーナでは、内周側流路領域68bにおける平均軸流速度が比較例よりも大きくなったため、延長管出口65aにおける平均軸流速度分布（図15の実線）において、流路中心軸O'における平均軸流速度の低下が抑制された。すなわち、本実施形態によれば、延長管出口65aにおける平均軸流速度分布が、比較例に比べて、均一化された。これは、上述したように、外周側流路領域68aにおける旋回流を主とした流れと、内周側流路領域68bの切欠き90cを通過する軸流を主とした流れとが混合する幅を大きくとることができるので、軸方向流路68よりも下流側における流速分布を均一化できるものと考えられる。

このように、本実施形態によれば、軸方向流路68よりも下流側における流速分布が均一化されることで、内周側流路領域68bにおけるフラッシュバック耐性を効果的に向上させることができる。

[0069] 図16は、他の実施形態におけるノズル及びスワラの側面図である。

図16に示すように、スワラベーン72dの前縁83'は、少なくとも先端部85側において、ノズル64の径方向において外側に近づくにつれて軸方向の上流側に向かうように径方向に対して傾斜している。前縁83'の傾斜は、ノズル64の径方向におけるスワラベーン72dの前縁83'の全ての領域に設けられてもよい。あるいは、前縁83'の傾斜は、ノズル64の径方向における少なくとも一部の領域に設けられてもよく、特に、ノズル64の径方向における外周側（外周側流路領域68aに相当する部位）に設けられてもよい。

これにより、スワラベーン72dの翼面上における径方向の圧力勾配に沿って、気体の流れは内周側流路領域68b（図5参照）に寄っていくため、内周側流路領域68bにおける流量が相対的に増加し、その結果内周側流路

領域 68b における平均軸流速度が増大する。

[0070] なお、図 16 に示す他の実施形態におけるスワラ 70d において、スワラベーン 72d は、根本部 86 の下流側に切欠き 90d が形成された構成について例示したが、切欠き 90d が形成されていなくてもよい。また、図 16 に示す他の実施形態におけるスワラベーン 72d は、図 14 の実施形態にて説明したように、下流に向かうほど切欠き空間の径方向における幅が広がるような切欠き空間形成面を有する切欠きを備えていてもよい。

[0071] 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。

例えば、上記実施形態では一例として予混合燃焼方式の燃焼バーナについて説明した。予混合燃焼方式の燃焼バーナは、燃焼温度が局所的に上昇することを抑制できるため、 $\text{NO}_x$  の生成抑制に有効である。ただし、本発明の実施形態は、拡散燃焼方式の燃焼バーナに対しても適用可能である。その場合、スワラベーンは燃料噴射孔を有しておらず、軸方向流路には燃料が殆ど存在しない形態も含む。

また、上記実施形態では、主として 2 次元翼を例示しているが、本発明の実施形態は、3 次元翼にも適用可能である。

[0072] なお、上記実施形態において、例えば、「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。

例えば、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。

一方、一の構成要素を「備える」、「具える」、「具備する」、「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

[0073]	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
	22	タービン車室
	28	排気車室
	40	燃焼器車室
	46	燃焼器ライナ
	46 a	内筒
	46 b	尾筒
	50	燃焼バーナ（パイロット燃焼バーナ）
	52	燃料ポート
	54	ノズル（パイロットノズル）
	56	パイロットコーン
	58	スワラ
	60	燃焼バーナ（予混合燃焼バーナ）
	62	燃料ポート
	64	ノズル（メインノズル）
	65	延長管
	65 a	延長管出口
	66	バーナ筒
	68	軸方向流路

68 a	外周側流路領域
68 b	内周側流路領域
70, 70 a~70 d	スワラ
72, 72 a~72 d	スワラベーン
74~77	噴射孔
81	腹面
82	背面
83, 83'	前縁
84	後縁
85	先端部
86	根本部
86 a	外周側流路領域
86 b	内周側流路領域
90, 90 a~90 d	切欠き
91	湾曲面
92 a~92 d	湾曲面
93	後縁
95	段差
96	切欠き空間形成面

## 請求の範囲

- [請求項1] ノズルと、  
前記ノズルの周囲において前記ノズルの軸方向に沿って延在する軸方向流路に設けられるスワラベーンとを備え、  
前記スワラベーンは、  
前記軸方向流路のうち外周側の領域を流通する気体を旋回方向に旋回させるための先端部と、  
前記先端部からみて前記ノズルの径方向における内側に位置し、後縁側に切欠き部を有する根本部と、を含み、  
前記軸方向流路は、少なくとも前記スワラベーンが設けられた軸方向範囲において、前記外周側の領域と内周側の領域とが仕切られずに互いに連通しており、  
前記スワラベーンの前記根本部の腹面の下流側領域は、前記切欠きによって、前記後縁に近づくにつれて前記旋回方向の逆に向かう湾曲面として画定されたことを特徴とする燃焼バーナ。
- [請求項2] 前記スワラベーンの前記先端部の腹面は、後縁に近づくにつれて前記旋回方向に向かう湾曲面を有し、  
前記スワラベーンの腹面は、前記先端部の前記湾曲面と前記根本部の前記湾曲面との間で段差を有することを特徴とする請求項1又は2に記載の燃焼バーナ。
- [請求項3] 前記根本部の翼型は、上流側領域において前記先端部の翼型と形状が一致しており、下流側領域において前記切欠きに相当する部位が前記先端部の翼型から切り欠かれた形状を有することを特徴とする請求項1又は2に記載の燃焼バーナ。
- [請求項4] 前記スワラベーンの前記根本部の後縁は、前記先端部の後縁に比べて、前記軸方向の上流側、且つ、前記旋回方向の上流側に位置することを特徴とする請求項1乃至3のいずれか一項に記載の燃焼バーナ。
- [請求項5] 前記スワラベーンの前記根本部の後縁は、前記ノズルの周方向にお

ける位置が前記根本部の前縁と一致していることを特徴とする請求項4に記載の燃焼バーナ。

[請求項6] 前記スワラベーンの前記根本部の翼型は、少なくとも後縁側において、前記後縁を通り前記軸方向に平行な直線に対して線対称である形状を有することを特徴とする請求項1乃至5のいずれか一項に記載の燃焼バーナ。

[請求項7] 前記スワラベーンの前記根本部の後縁は、前記ノズルの周方向において、前記前縁を通り前記軸方向に平行な直線を挟んで、前記先端部の後縁とは反対側に位置することを特徴とする請求項4に記載の燃焼バーナ。

[請求項8] 前記根本部の前記湾曲面は、前記軸方向流路の前記内周側の領域を流通する前記気体を前記旋回方向とは逆方向に旋回させるように構成されたことを特徴とする請求項1乃至4のいずれか一項に記載の燃焼バーナ。

[請求項9] 前記根本部の前記後縁を通る腹面の接線と前記根本部の前記後縁を通る背面の接線とで形成される角の二等分線は、前記後縁よりも下流側において、前記軸方向に対して前記旋回方向とは逆に傾斜していることを特徴とする請求項請求項1乃至4のいずれか一項に記載の燃焼バーナ。

[請求項10] 前記スワラベーンの前縁は、少なくとも先端部側において、前記ノズルの径方向において外側に近づくにつれて前記軸方向の上流側に向かうように前記径方向に対して傾斜していることを特徴とする請求項1乃至9のいずれか一項に記載の燃焼バーナ。

[請求項11] 前記先端部は、前記先端部の下流側領域において、前記切欠きによって形成される切欠き空間に対して前記径方向の外側に位置して該切欠き空間に面する切欠き空間形成面を有し、

前記切欠き空間形成面は、下流に向かうほど前記切欠き空間の前記径方向における幅が広がるような形状を有することを特徴とする請求

項1乃至10のいずれか一項に記載の燃焼バーナ。

[請求項12] 前記切欠き空間形成面は、下流に向かうほど前記切欠き空間の前記径方向における幅が広がるように前記軸方向に対して直線状に傾斜した平坦面であることを特徴とする請求項11に記載の燃焼バーナ。

[請求項13] ノズルと、  
前記ノズルの周囲において前記ノズルの軸方向に沿って延在する軸方向流路に設けられ、前記軸方向流路を流通する気体の少なくとも一部を旋回方向に旋回させるように構成されたスワラベーンとを備え、  
前記スワラベーンの前縁は、少なくとも先端部側において、前記ノズルの径方向において外側に近づくにつれて前記軸方向の上流側に向かうように前記径方向に対して傾斜していることを特徴とする燃焼バーナ。

[請求項14] ノズルと、  
前記ノズルの周囲において前記ノズルの軸方向に沿って延在する軸方向流路に設けられるスワラベーンとを備え、  
前記スワラベーンは、  
前記軸方向流路のうち外周側の領域を流通する気体を旋回方向に旋回させるための先端部と、  
前記先端部からみて前記ノズルの径方向における内側に位置し、後縁側に切欠き部を有する根本部と、を含み、  
前記軸方向流路は、少なくとも前記スワラベーンが設けられた軸方向範囲において、前記外周側の領域と内周側の領域とが仕切られずに互いに連通しており、  
前記先端部は、前記先端部の下流側領域において、前記切欠きによって形成される切欠き空間に対して前記径方向の外側に位置して該切欠き空間に面する切欠き空間形成面を有し、  
前記切欠き空間形成面は、下流に向かうほど前記切欠き空間の前記径方向における幅が広がるような形状を有することを特徴とする燃焼

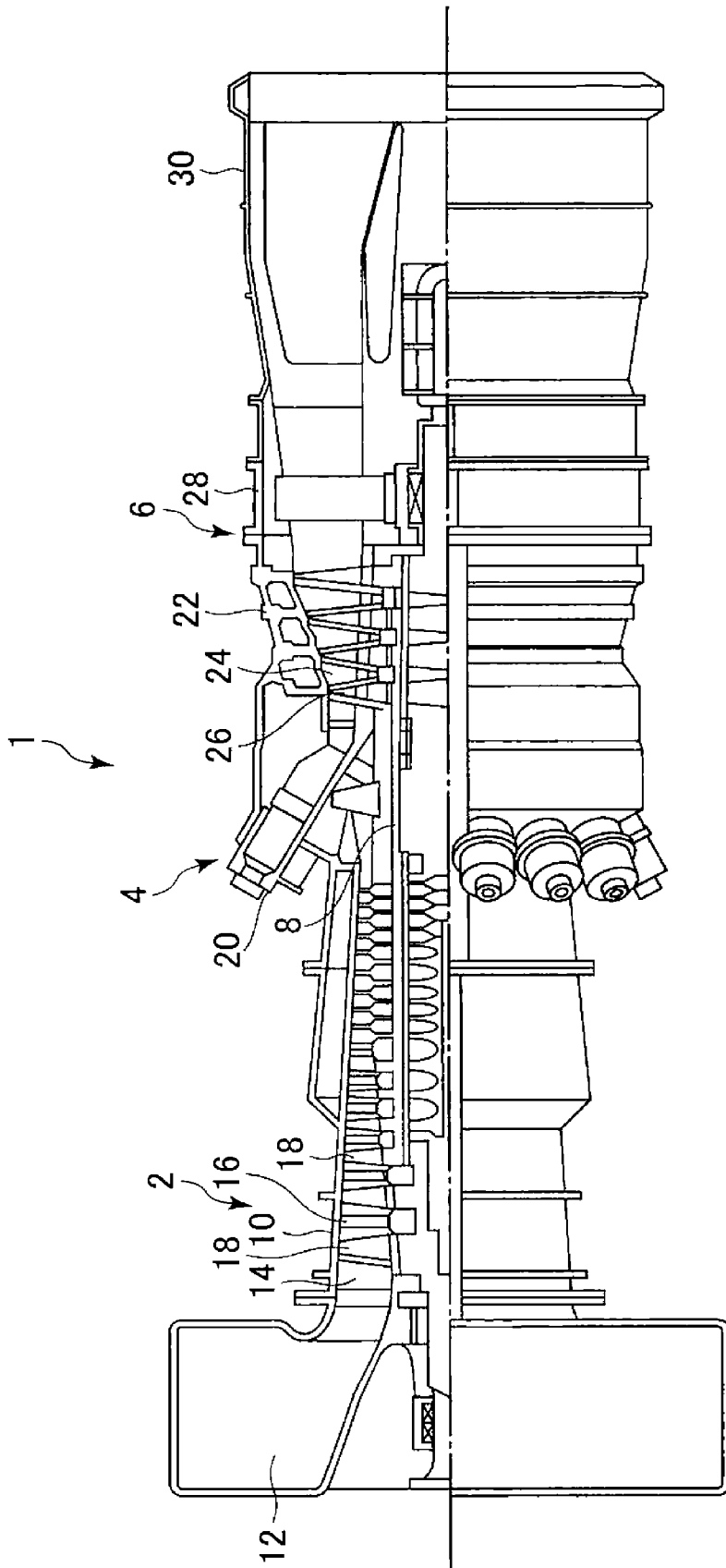


バーナ。

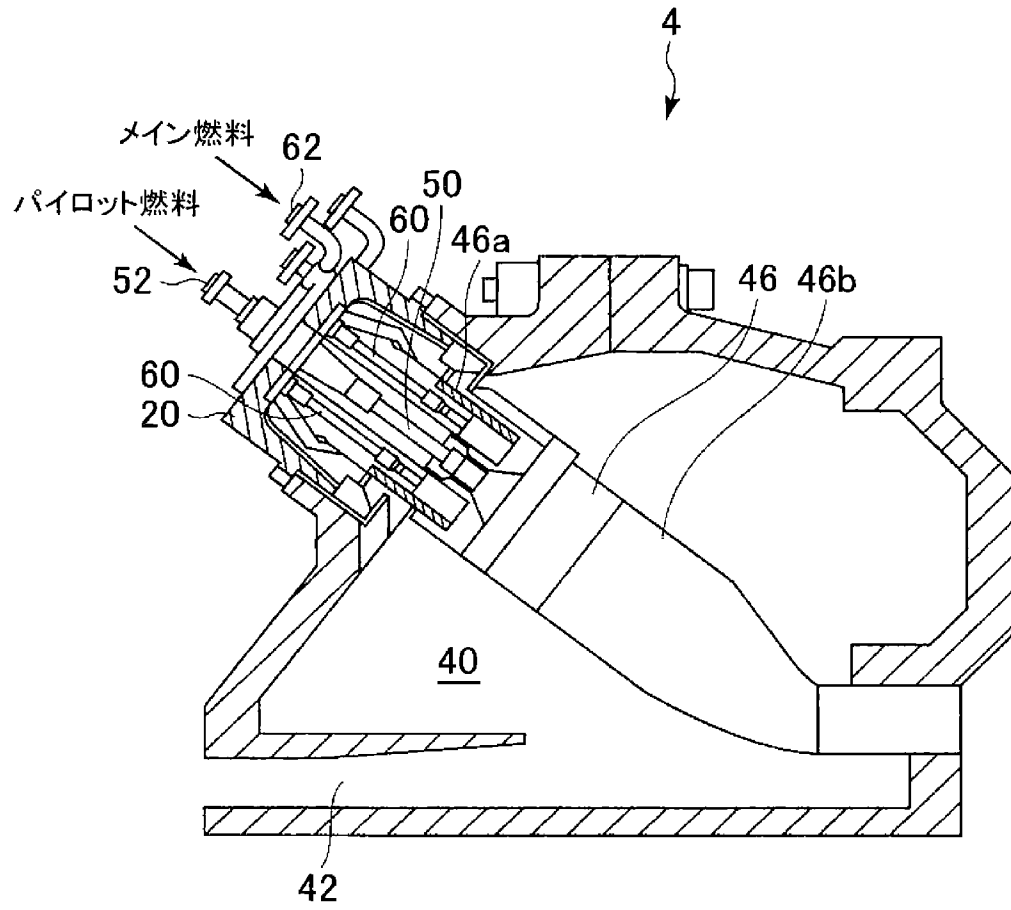
[請求項15] 請求項1乃至14のいずれか一項に記載の燃焼バーナと、  
前記燃焼バーナからの燃焼ガスを導く流路を形成するための燃焼器  
ライナと、を備えることを特徴とする燃焼器。

[請求項16] 圧縮空気を生成するための圧縮機と、  
前記圧縮機からの前記圧縮空気により燃料を燃焼させて燃焼ガスを  
発生させるように構成された請求項15に記載の燃焼器と、  
前記燃焼器からの前記燃焼ガスによって駆動されるように構成され  
たタービンと、を備えることを特徴とするガスタービン。

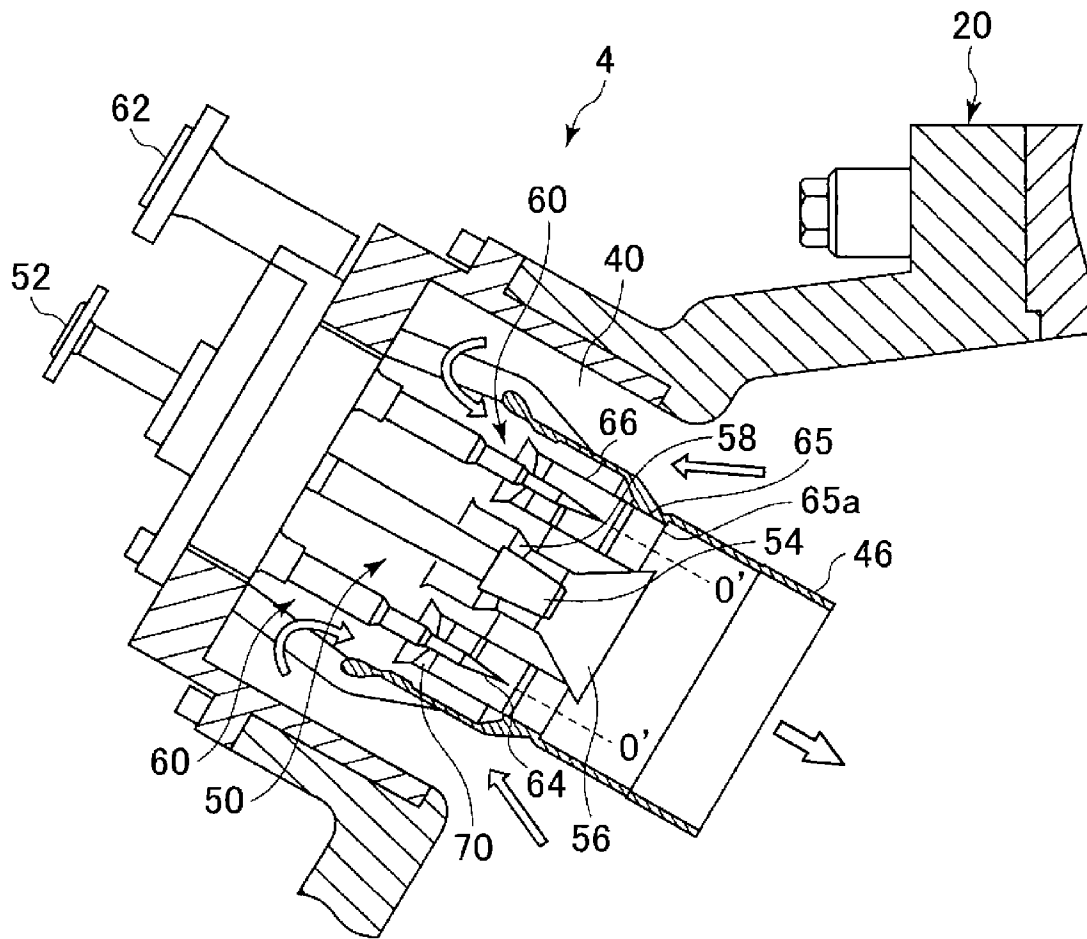
[図1]



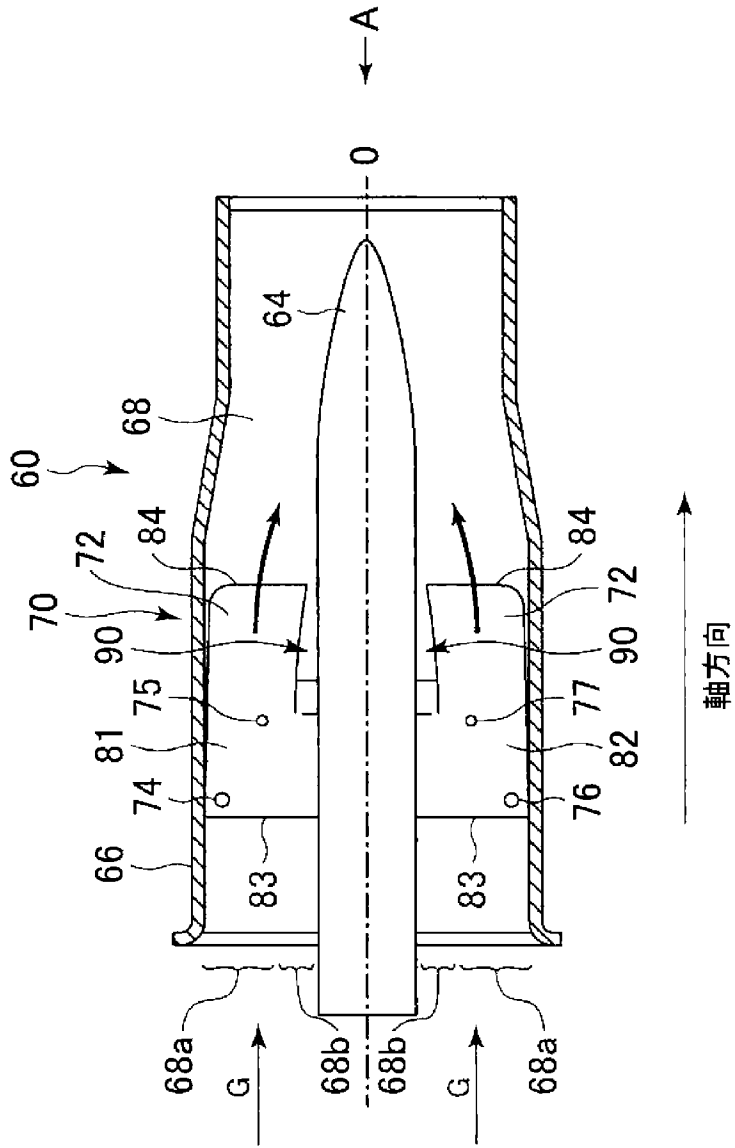
[図2]



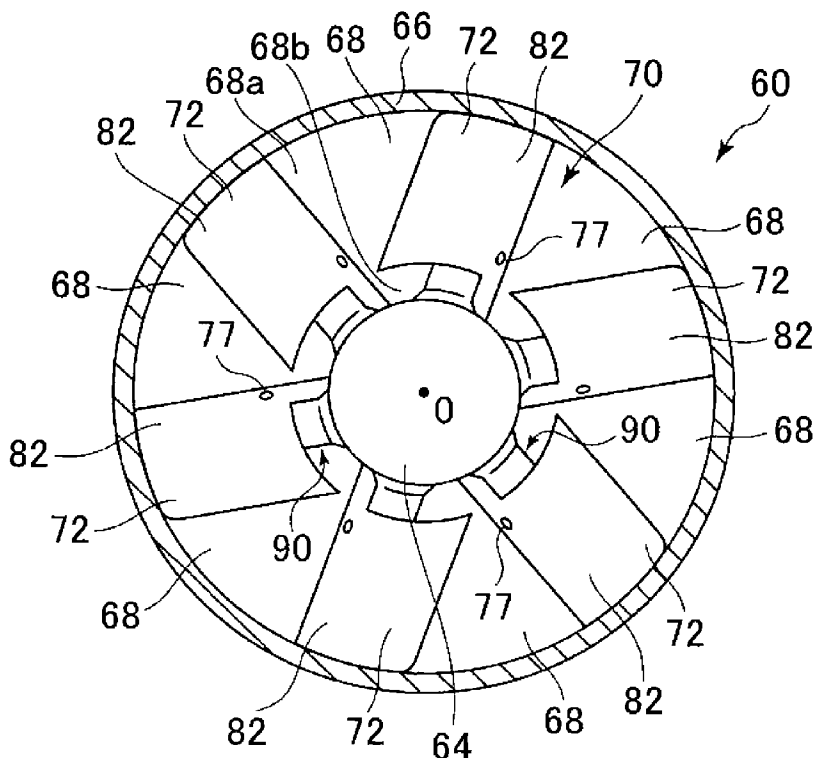
[図3]



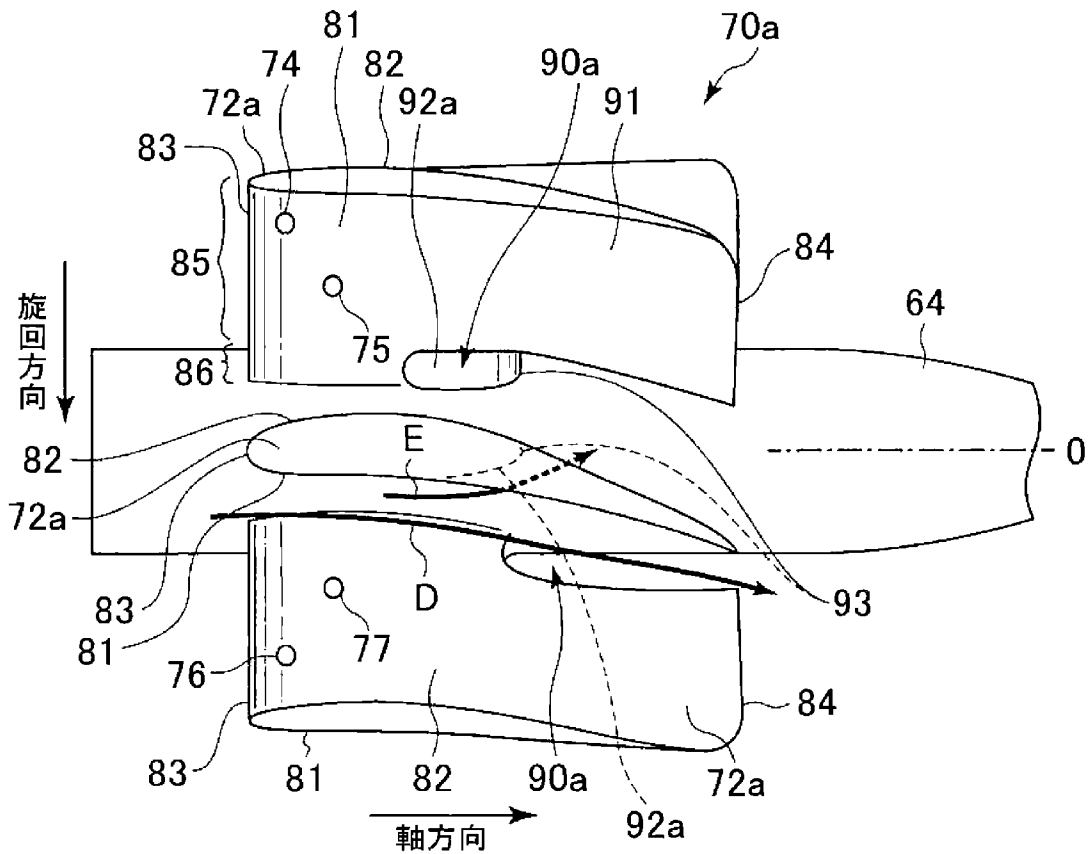
[図4]



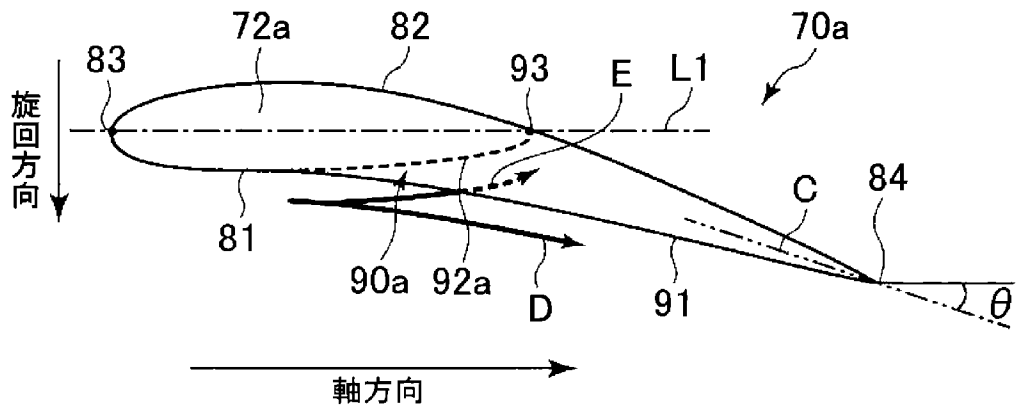
[図5]



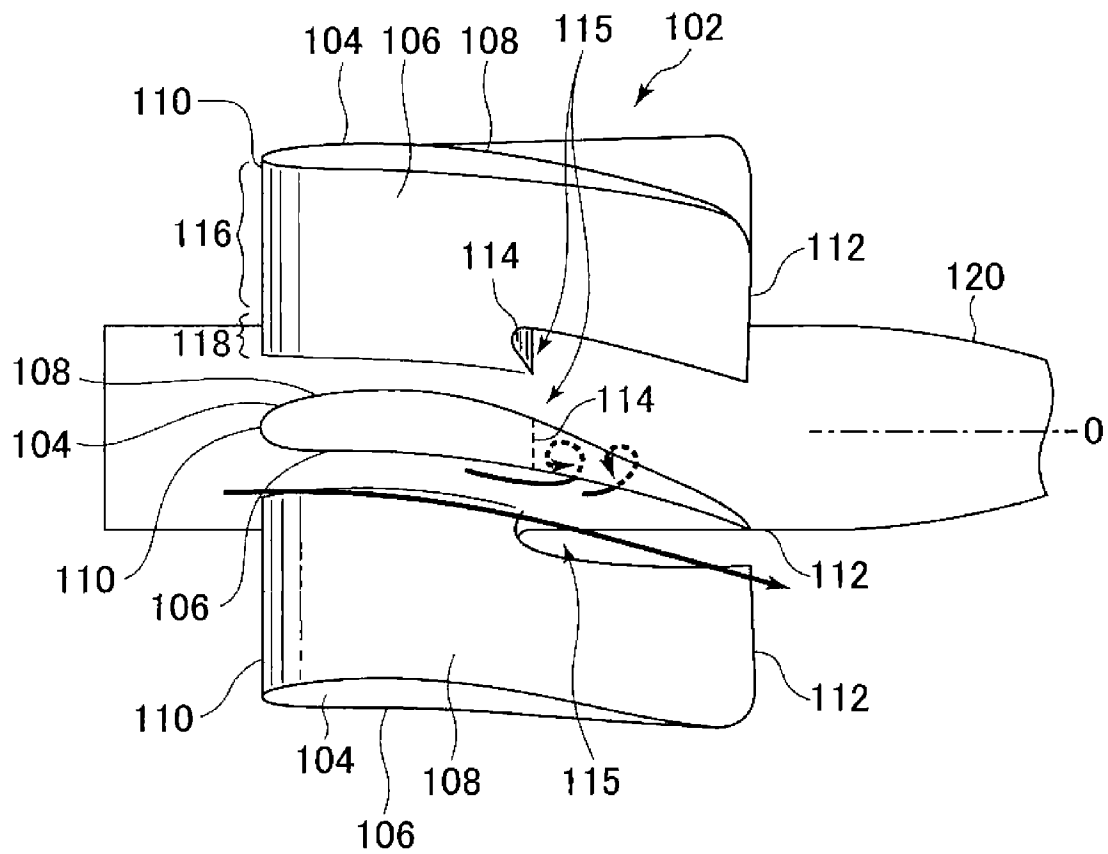
[図6]



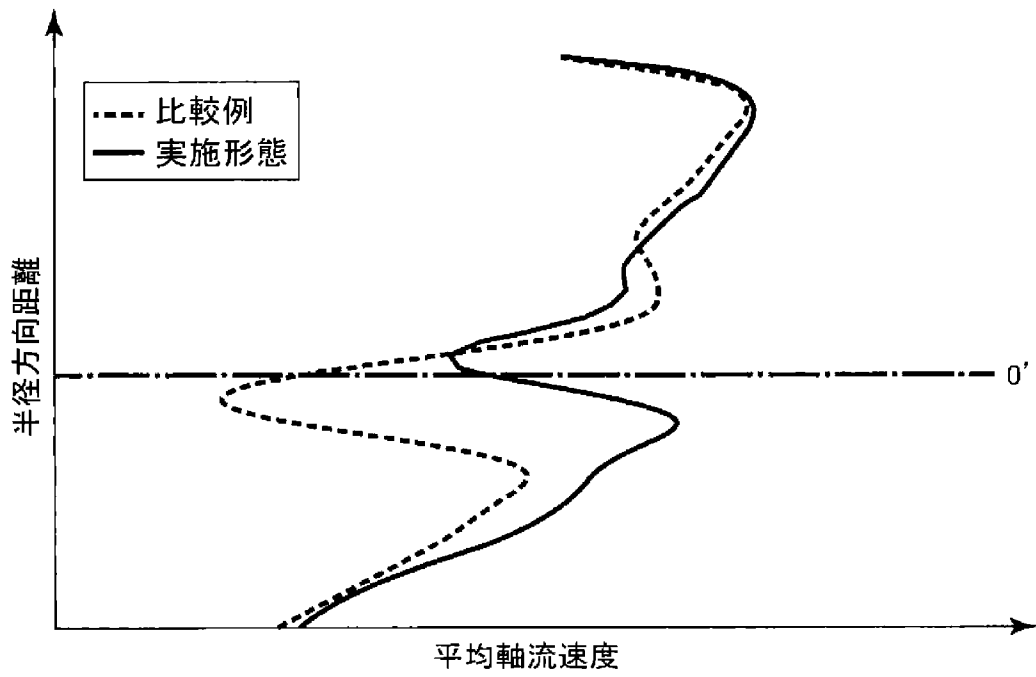
[図7]



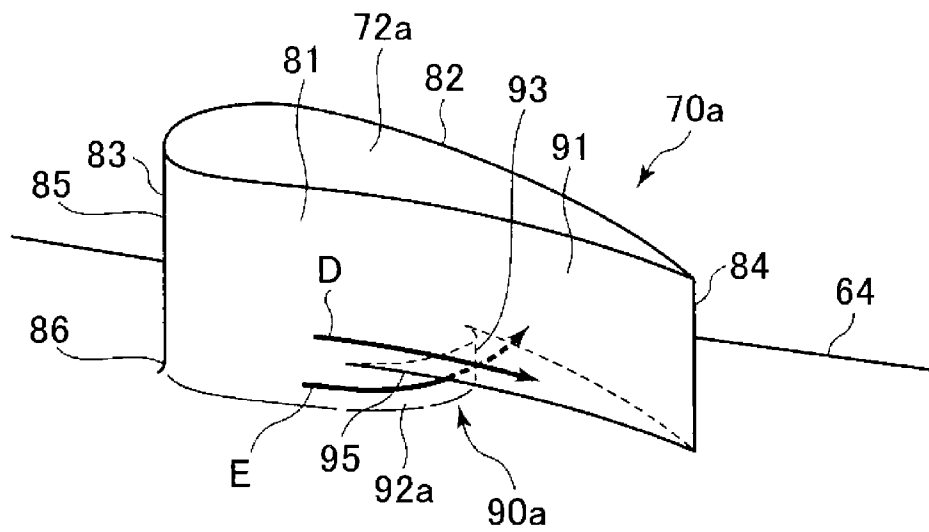
[図8]



[図9]

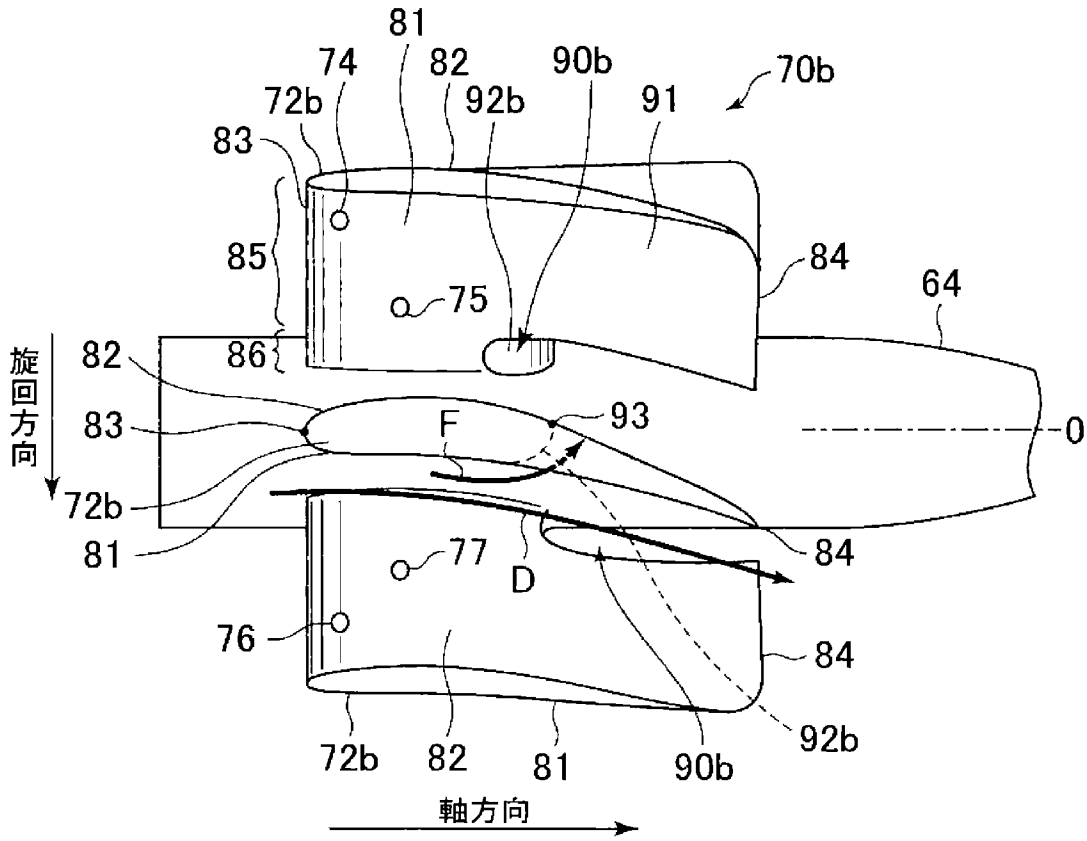


[図10]

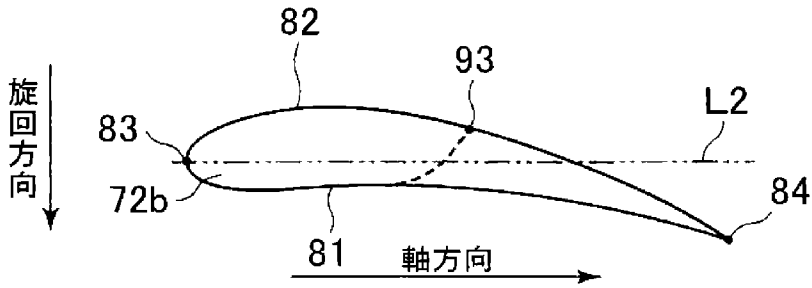




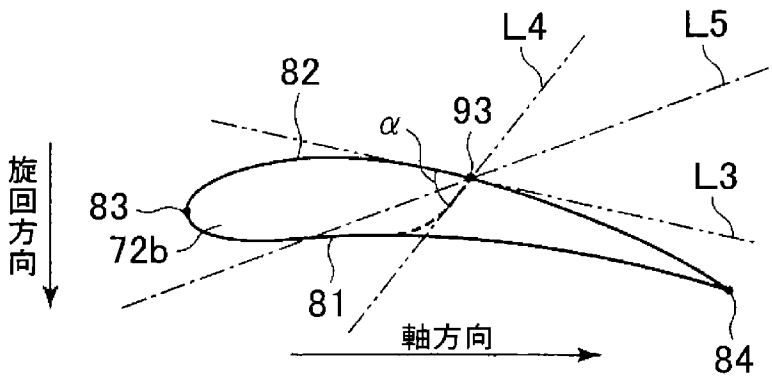
[図11]



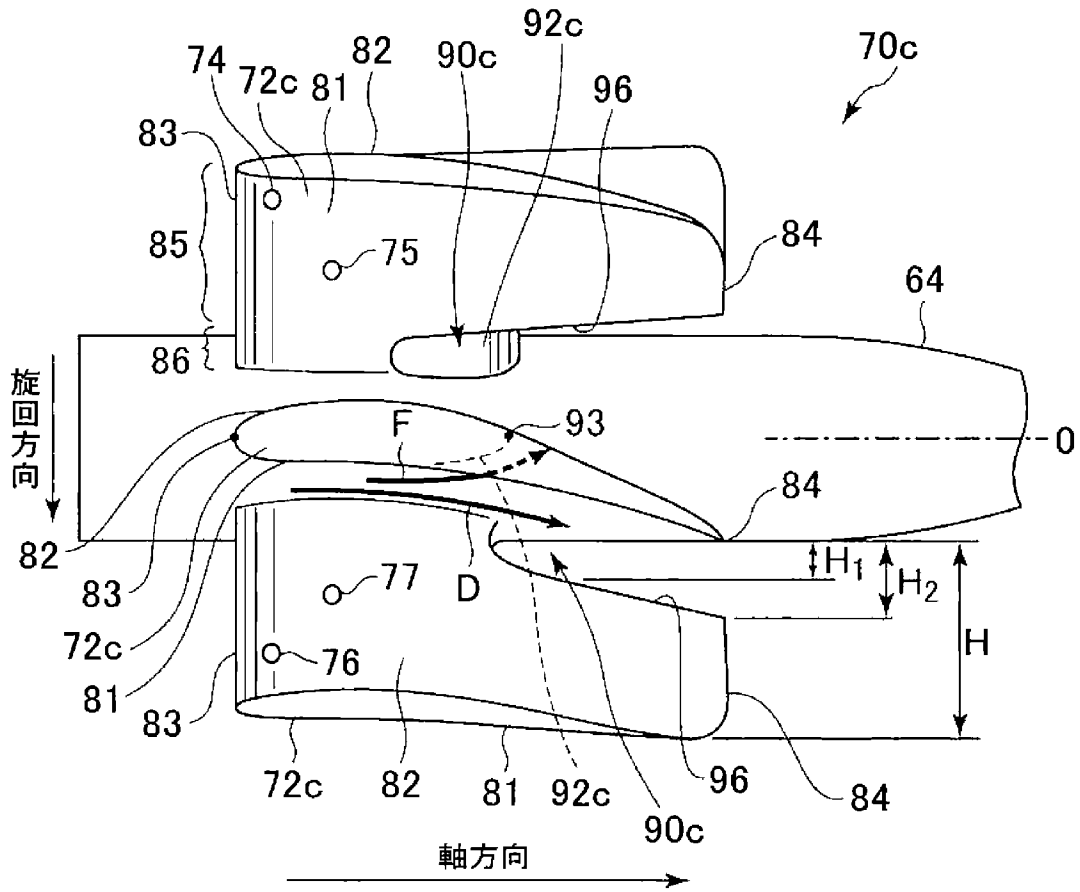
[図12]



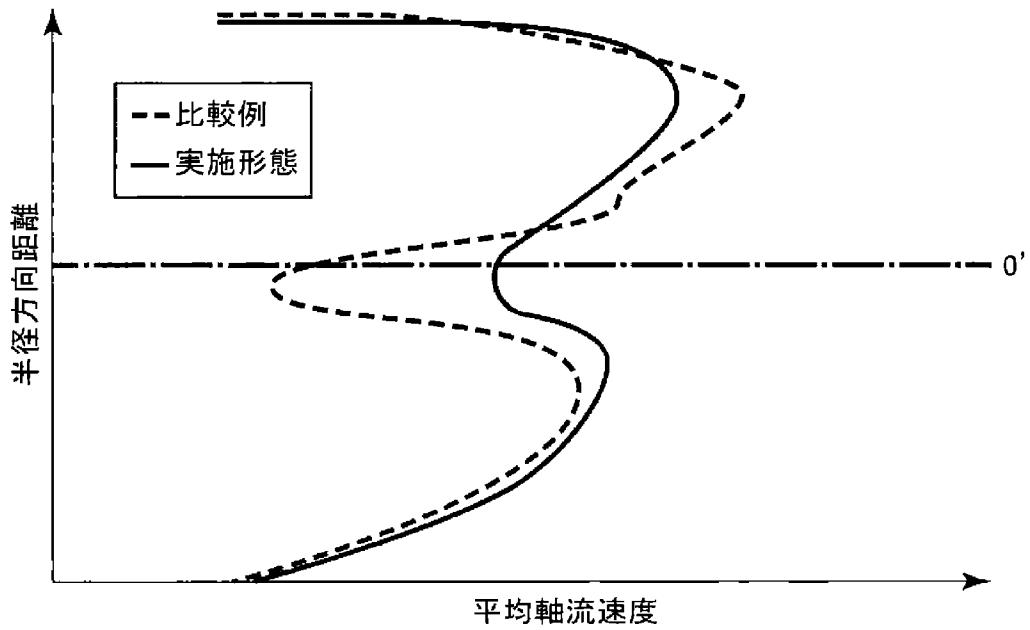
[図13]



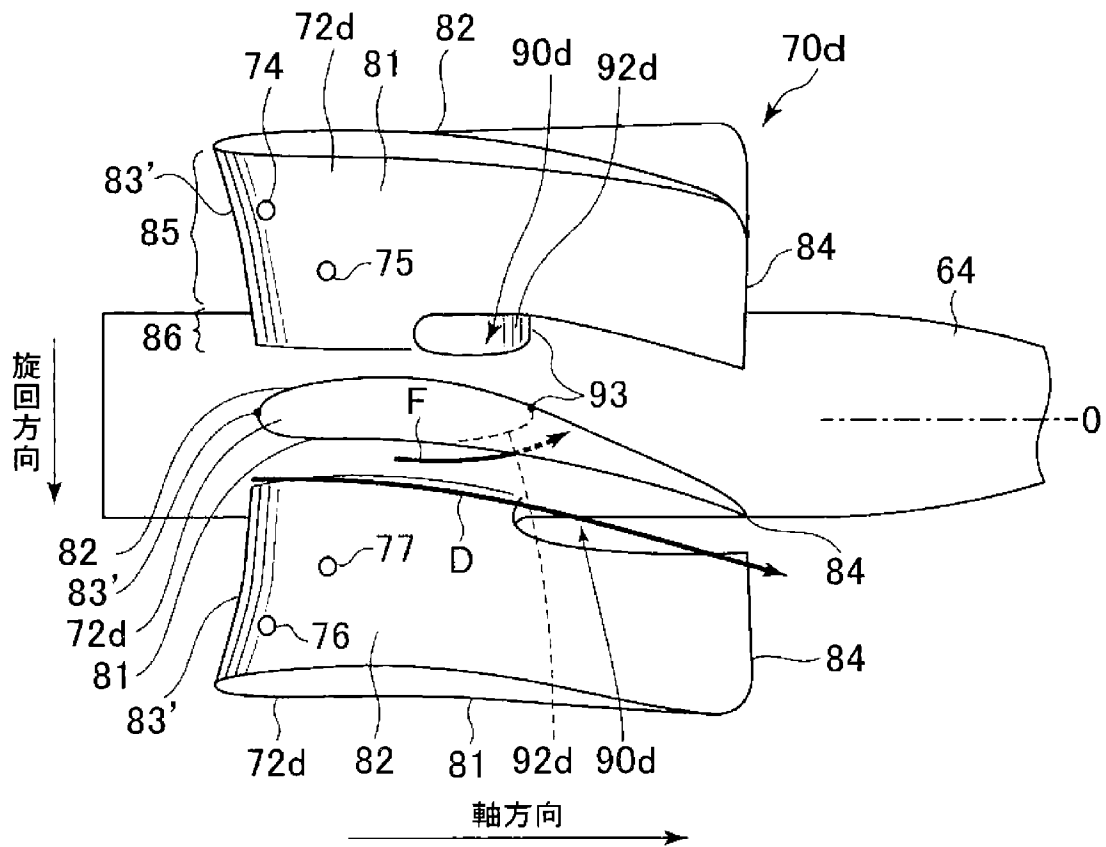
[圖14]



[圖15]



[図16]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.  
PCT/JP2015/051797

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
F23R3/14(2006.01)i, F23R3/28(2006.01)i, F23R3/30(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)  
F23R3/14, F23R3/28, F23R3/30

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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 Y A	JP 2009-133605 A (General Electric Co.), 18 June 2009 (18.06.2009), paragraphs [0012] to [0016], [0020]; fig. 1 to 6 & US 2009/0139236 A1 & DE 102008037381 A1 & CH 698098 A2 & CN 101446414 A	1, 3, 6, 11-12, 14-16 2, 10, 13 4-5, 7-9
Y A	JP 2007-285572 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 01 November 2007 (01.11.2007), paragraphs [0019] to [0024]; fig. 3 to 5 & US 2010/0263381 A1 & DE 102007004394 A1 & CN 101055093 A	2 4-5, 7-9

Further documents are listed in the continuation of Box C.  See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 21 April 2015 (21.04.15)	Date of mailing of the international search report 28 April 2015 (28.04.15)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer  Telephone No.
--	---

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/051797

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	US 2012/0312890 A1 (General Electric Co.), 13 December 2012 (13.12.2012), fig. 2 to 7 & EP 2532965 A2 & CN 102818290 A	10,13 4-5,7-9
Y A	JP 2003-83541 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 19 March 2003 (19.03.2003), fig. 8, 12, 24 & US 2004/0020210 A1	10,13 4-5,7-9
Y A	JP 2010-60275 A (General Electric Co.), 18 March 2010 (18.03.2010), paragraphs [0011] to [0013]; fig. 2 to 4 & US 2010/0058767 A1 & DE 102009043879 A1 & CN 101666501 A	10,13 4-5,7-9

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））  
 Int.Cl. F23R3/14(2006.01)i, F23R3/28(2006.01)i, F23R3/30(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. F23R3/14, F23R3/28, F23R3/30

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 1971-2015年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2015年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2015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	JP 2009-133605 A（ゼネラル・エレクトリック・カンパニー） 2009.06.18, 段落[0012]-[0016], [0020], 図 1-6	1, 3, 6, 11-12, 14-16
Y A	& US 2009/0139236 A1 & DE 102008037381 A1 & CH 698098 A2 & CN 101446414 A	2, 10, 13 4-5, 7-9
Y A	JP 2007-285572 A（三菱重工業株式会社）2007.11.01, 段落[0019]-[0024], 図 3-5 & US 2010/0263381 A1 & DE 102007004394 A1 & CN 101055093 A	2 4-5, 7-9

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 21.04.2015	国際調査報告の発送日 28.04.2015
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） 米澤 篤 電話番号 03-3581-1101 内線 3355

3 G 4 1 3 2

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
Y A	US 2012/0312890 A1 (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 2012. 12. 13, FIG. 2-7 & EP 2532965 A2 & CN 102818290 A	10, 13 4-5, 7-9
Y A	JP 2003-83541 A (三菱重工業株式会社) 2003. 03. 19, 図 8, 12, 24 & US 2004/0020210 A1	10, 13 4-5, 7-9
Y A	JP 2010-60275 A (ゼネラル・エレクトリック・カンパニー) 2010. 03. 18, 段落[0011]-[0013], 図 2-4 & US 2010/0058767 A1 & DE 102009043879 A1 & CN 101666501 A	10, 13 4-5, 7-9