

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7380846号
(P7380846)

(45)発行日 令和5年11月15日(2023.11.15)

(24)登録日 令和5年11月7日(2023.11.7)

(51)国際特許分類 F I
 F 0 1 D 11/08 (2006.01) F 0 1 D 11/08
 F 0 1 D 9/04 (2006.01) F 0 1 D 9/04
 F 0 2 C 7/28 (2006.01) F 0 2 C 7/28 A

請求項の数 4 (全10頁)

| | | | |
|-------------------|-----------------------------|----------|--|
| (21)出願番号 | 特願2022-511623(P2022-511623) | (73)特許権者 | 000000099 株式会社 I H I 東京都江東区豊洲三丁目1番1号 |
| (86)(22)出願日 | 令和3年2月12日(2021.2.12) | (74)代理人 | 100083806 弁理士 三好 秀和 |
| (86)国際出願番号 | PCT/JP2021/005338 | (74)代理人 | 100101247 弁理士 高橋 俊一 |
| (87)国際公開番号 | WO2021/199718 | (74)代理人 | 100095500 弁理士 伊藤 正和 |
| (87)国際公開日 | 令和3年10月7日(2021.10.7) | (74)代理人 | 100098327 弁理士 高松 俊雄 |
| 審査請求日 | 令和4年5月6日(2022.5.6) | (72)発明者 | 西井 大亮 東京都江東区豊洲三丁目1番1号 株式 会社 I H I 内 |
| (31)優先権主張番号 | 特願2020-60319(P2020-60319) | (72)発明者 | 浜辺 正昭 |
| (32)優先日 | 令和2年3月30日(2020.3.30) | | |
| (33)優先権主張国・地域又は機関 | 日本国(JP) | | |

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 二次流れ抑制構造

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

外側シュラウドを有するタービン動翼と、
 前記タービン動翼の後方に位置し、外側バンドを有するタービン静翼と、
 前記外側シュラウドの径方向外方において、前記外側シュラウドに面する環状のシール面と、
 前記シール面の後端と前記外側バンドとの間の範囲に形成され、後方に伸びる前記シール面の仮想面において作動流体の漏れ流れが流入するように径方向内方に開口する開口部を含み、且つ、周方向に延伸する環状に形成されるキャビティとを備え、

前記外側シュラウドは、前記シール面に向けて突出して前記シール面との間に狭小部を形成するフィンを含み、

前記キャビティは前記シール面を構成する部材に形成され、
前記シール面は前記フィンとの間に前記狭小部を形成した位置から前記後端まで環状に延伸する

二次流れ抑制構造。

【請求項2】

前記外側バンドの前端は、径方向において前記仮想面と同じ高さに位置する、或いは、前記仮想面よりも径方向内方に位置する、
 請求項1に記載の二次流れ抑制構造。

【請求項 3】

前記キャビティの前記開口部は、前記フィンと前記シール面が対向する位置よりも後方に位置する

請求項 1 または 2 に記載の二次流れ抑制構造。

【請求項 4】

前記シール面の支持部材と前記外側バンドの支持部材との間に間隙が形成され、

前記間隙は前記キャビティに連通し、且つ、前記キャビティと連通する部分において前記キャビティよりも短い幅を有する、

請求項 1 または 2 に記載の二次流れ抑制構造。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本開示は軸流タービンにおける二次流れ抑制構造に関する。

【背景技術】**【0002】**

ジェットエンジン等のガスタービンエンジンは、コンプレッサを回転駆動する軸流タービンを搭載している。軸流タービンは、軸方向に交互に配置され、少なくとも 1 つの段を構成する複数の動翼及び複数の静翼を有する。動翼は所定の間隔をおいて周方向に配列し、動翼列を構成する。同様に、静翼は所定の間隔をおいて周方向に配列し、静翼列を構成する。

【0003】

動翼のチップには外側シュラウドが設けられ、静翼のチップには外側バンドが設けられている。同様に、動翼のハブには内側シュラウドが設けられ、静翼のハブには内側バンドが設けられている。外側シュラウド及び外側バンドは、動翼列および静翼列を通過する作動流体の流路（主流路）を構成する外壁であり、内側シュラウド及び内側バンドは、作動流体の流路を構成する内壁である。

【0004】

動翼は、内側シュラウドの径方向内方にダブテイルを有し、このダブテイルはシャフトに連結されたロータに取り付けられている。一方、静翼のチップは、当該静翼の支持部材を介してケーシングに固定されている。

【0005】

動翼の回転を許容するため、外側シュラウドはケーシングの内側に設置されたシール面から離隔している。この空間を介した作動流体の通過を抑制するため、外側シュラウドの外面にはフィンが設けられている。

【先行技術文献】**【特許文献】****【0006】**

【文献】特開 2015 - 108340 号公報

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0007】**

上述の通り、動翼の外側シュラウドとシール面の間には、フィンが設けられている。しかしながら、フィンの先端はシール面に極力近接しているものの接触してはいない。従って、作動流体の一部は漏れ流れとして、主流路から動翼の外側シュラウドとシール面の間に流入する。漏れ流れは外側シュラウドとシール面の間を通過し、その後、動翼の外側シュラウドと静翼の外側バンドの間から主流路に戻る。

【0008】

上述の漏れ流れは、静翼の前縁及びその近傍の背側への衝突によって静翼の腹側における作動流体の剥離を誘発する。この剥離は比較的大きいため、静翼のチップ近傍の二次流れを増大させる。この二次流れの増大は、結果的にタービン効率を低下させる。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 9 】

本開示は上述の状況を鑑みて成されたものである。即ち、本開示は、軸流タービンにおいて、漏れ流れによる二次流れの増大を抑制することが可能な二次流れ抑制構造の提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 0 】

本開示に係る二次流れ抑制構造は、外側シュラウドを有するタービン動翼と、前記タービン動翼の後方に位置し、外側バンドを有するタービン静翼と、前記外側シュラウドの径方向外方において、前記外側シュラウドに面する環状のシール面と、前記シール面の後端と前記外側バンドとの間の範囲に形成され、後方に伸びる前記シール面の仮想面において作動流体の漏れ流れが流入するように径方向内方に開口する開口部を含み、且つ、周方向に延伸する環状に形成されるキャビティとを備え、前記外側シュラウドは、前記シール面に向けて突出して前記シール面との間に狭小部を形成して前記シール面との間に狭小部を形成するフィンを含み、前記キャビティは前記シール面を構成する部材に形成され、前記シール面は前記フィンとの間に前記狭小部を形成した位置から前記後端まで環状に延伸する。

10

【 0 0 1 1 】

前記外側バンドの前端は、径方向において前記仮想面と同じ高さにも位置してもよく、或いは、前記仮想面よりも径方向内方に位置してもよい。前記キャビティの前記開口部は、前記フィンと前記シール面が対向する位置よりも後方に位置してもよい。前記シール面の支持部材と前記外側バンドの支持部材との間に間隙が形成されてもよく、前記間隙は前記キャビティに連通し、且つ、前記キャビティと連通する部分において前記キャビティよりも短い幅を有してもよい。

20

【発明の効果】

【 0 0 1 2 】

本開示によれば、軸流タービンにおいて、漏れ流れによる二次流れの増大を抑制することが可能な二次流れ抑制構造を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 3 】

【図 1】本開示の実施形態に係る二次流れ抑制構造を示す概念図である。

【図 2】周方向に沿った動翼列及び静翼列の展開図である。

【図 3】キャビティによる二次流れの変化を示す側面図である。

【図 4】静翼のチップ近傍における二次流れの分布を示す斜視図であり、(a)はキャビティが存在しないときの分布を示し、(b)はキャビティが存在するときの分布を示す。

【図 5】二次流れ抑制構造を適用した軸流タービンの一例の一部を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 4 】

以下、いくつかの例示的な実施形態について、図面を参照して説明する。なお、各図において共通する部分には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。本実施形態に係る二次流れ抑制構造 10 は、航空機用又は発電機用ガスタービンエンジンの軸流タービンに適用される。以下、説明の便宜上、軸流タービンにおける動翼 12 の回転中心軸の延伸方向を軸方向 AD とし、この回転中心軸を中心として周方向 CD 及び径方向 RD を定義する。また、前方及び後方は、作動流体 WF の流れにおける上流側及び下流側をそれぞれ示す。

40

【 0 0 1 5 】

二次流れ抑制構造 10 の構成について説明する。

図 1 は、二次流れ抑制構造 10 を示す概念図である。図 2 は、周方向 CD に沿った動翼列 15 及び静翼列 25、25F の展開図である。本実施形態に係る二次流れ抑制構造 10 は、動翼(タービン動翼) 12 と、静翼(タービン静翼) 22 と、シール面 32 と、キャビティ 42 とを備えている。なお、図 1 は、二次流れ抑制構造 10 の構成を端的に示すため、シール面 32 及び静翼 22 の外側バンド 24 を一枚の壁面 W で表している。従って、この図に例において、キャビティ 42 はこの壁面 W に形成されている。

50

【 0 0 1 6 】

動翼 1 2 は、翼型部 1 3 と、翼型部 1 3 の（動翼 1 2 の）チップ 1 3 t に設けられた外側シュラウド 1 4 とを有する。外側シュラウド 1 4 は、作動流体 W F の流路 5 2 を画成する外壁である。外側シュラウド 1 4 は、翼型部 1 3 と一体化されている。図 2 に示すように、動翼 1 2 は周方向 C D に配列し、動翼列 1 5 を構成する。

【 0 0 1 7 】

静翼 2 2 は、動翼列 1 5 の後方に位置する。静翼 2 2 は、翼型部 2 3 と、翼型部 2 3 の（静翼 2 2 の）チップ 2 3 t に設けられる外側バンド 2 4 とを有する。外側バンド 2 4 は、外側シュラウド 1 4 と共に、作動流体 W F の流路 5 2 を画成する外壁である。外側バンド 2 4 は、翼型部 2 3 と一体化されている。図 2 に示すように、静翼 2 2 は周方向 C D に配列し、静翼列 2 5 を構成する。

10

【 0 0 1 8 】

径方向 R D に沿った外側バンド 2 4 の前端 2 4 a の位置（高さ）は、仮想面 3 4 に対して任意に設定できる。即ち、径方向 R D において、前端 2 4 a は、仮想面 3 4 よりも径方向外方に位置してもよく、同じ高さに位置してもよく、或いは、仮想面 3 4 よりも径方向内方に位置してもよい。但し、前端 2 4 a を仮想面 3 4 と同位置又は径方向内方に位置させることによって、前端 2 4 a が仮想面 3 4 よりも径方向外方に位置する場合よりも、後述する漏れ流れ L F が静翼 2 2 の背側 2 2 s に衝突することを緩和させることが可能である。

【 0 0 1 9 】

シール面 3 2 は、外側シュラウド 1 4 の径方向外方に位置する。シール面 3 2 は外側シュラウド 1 4 の外面 1 4 a に面し、動翼列 1 5 を外側から囲むように周方向 C D に延伸する環状に形成されている。シール面 3 2 は、例えば、周知の構造を有するハニカムシール、或いは研磨材料を含んだ所定の厚みを有する層状体である。

20

【 0 0 2 0 】

外側シュラウド 1 4 は、少なくとも 1 つのフィン 1 6 を含む。フィン 1 6 は、外側シュラウド 1 4 の外面 1 4 a と一体に形成され、シール面 3 2 に向けて外面 1 4 a から突出する。また、フィン 1 6 は、周方向 C D における外側シュラウド 1 4 の一端側から他方側まで、周方向 C D に延伸する。フィン 1 6 は、軸方向 A D に所定の幅を有する。この幅は、外側シュラウド 1 4 の幅よりも十分に狭い。従って、フィン 1 6 は、外側シュラウド 1 4 の外面 1 4 a 上で、周方向 C D に隣接する他の動翼のフィンと共に環状の壁を形成する（図 2 参照）。なお、フィン 1 6 の数は 1 つでも複数でもよい。ただし、複数のフィン 1 6 が外側シュラウド 1 4 に設けられる場合、最下流のフィンが、二次流れ抑制構造 1 0 を構成する。

30

【 0 0 2 1 】

フィン 1 6 の先端 1 6 a は、所定のクリアランスをもってシール面 3 2 と対向する。このクリアランスは、外側シュラウド 1 4 の外面 1 4 a とシール面 3 2 の間隔よりも十分に小さい。従って、フィン 1 6 とシール面 3 2 は狭小部 3 6 を形成する。狭小部 3 6 は、外側シュラウド 1 4 の外面 1 4 a とシール面 3 2 によって画成される空間を径方向 R D に狭くする。つまり、フィン 1 6 は、動翼 1 2 の回転を許容するクリアランスを規定しつつ、シール面 3 2 と共に漏れ流れ L F の流れを抑制、或いは、漏れ流れ L F の量を制御する。

40

【 0 0 2 2 】

キャビティ 4 2 は、軸方向 A D におけるシール面 3 2 と静翼 2 2 との間に形成される。例えば、キャビティ 4 2 は、シール面 3 2 を構成するハニカムシール等の部材に形成される。また、キャビティ 4 2 は、シール面 3 2 の後端 3 2 a と外側バンド 2 4 の前端 2 4 a との間の範囲 4 8 に位置する。キャビティ 4 2 は、当該キャビティ 4 2 の内部空間を形成する内周面 4 3 と、シール面 3 2 から後方に伸びる仮想面 3 4 において径方向内方に開口する開口部 4 4 とを含む。内周面 4 3 は、例えば、互いに平行且つ対向すると共に、周方向 C D に延伸する環状の側面と、この側面の径方向外方に位置する底面とを含む。この場合、キャビティ 4 2 は矩形の断面を有し、周方向 C D に延伸する環状に形成される。換言

50

すれば、キャビティ 4 2 は、径方向内方に開口する溝あるいは凹部である。なお、キャビティ 4 2 は、シール面 3 2 の後端 3 2 a と外側バンド 2 4 の前端 2 4 a との間の全域に形成されてもよく、その一部でもよい。

【 0 0 2 3 】

図 1 に示すように、キャビティ 4 2 の開口部 4 4 は、狭小部 3 6 よりも後方に位置する。複数のフィン 1 6 によって狭小部 3 6 が複数形成されている場合、開口部 4 4 は、複数の狭小部 3 6 のうちの最も後方に位置するものよりも後方に位置する。換言すれば、開口部 4 4 は、フィン 1 6 の先端 1 6 a とシール面 3 2 が対向する位置よりも外側バンド 2 4 の前端 2 4 a に近接している。つまり、キャビティ 4 2 は、狭小部 3 6 による流れの狭窄に対して干渉しない位置（領域 4 8）に形成される。

10

【 0 0 2 4 】

キャビティ 4 2 の幅及び深さは、キャビティ 4 2 の存在によって流れ L F の本来の流れ（即ち、キャビティ 4 2 が存在しないときの流れ）が変化する値に設定される。発生する流れの変化とは、例えばキャビティ 4 2 内及びその近傍での旋回、転向（偏向）、減速（淀み）等である。これらの値は、C F D（数値流体力学）等による数値解析で求めることができる。なお、キャビティ 4 2 の幅とは軸方向 A D に沿ったキャビティ 4 2 の最大長であり、実質的には、軸方向 A D に沿った開口部 4 4 の長さである。また、キャビティ 4 2 の深さとは径方向 R D に沿ったキャビティ 4 2 の開口部 4 4（仮想面 3 4）から内周面 4 3 の底面 4 3 b までの長さである。

【 0 0 2 5 】

また、周方向 C D に直交するキャビティ 4 2 の断面形状は、例えば図 1 に示す矩形である。ただし、キャビティ 4 2 が流れ L F の本来の流れを変化させることが可能である限り、キャビティ 4 2 の断面形状は矩形に限られない。

20

【 0 0 2 6 】

作動流体 W F、流れ L F 及び二次流れ S F の各流れについて説明する。

図 3 は、キャビティ 4 2 による二次流れ S F の変化を示す側面図である。図 4 は、静翼 2 2 のチップ 2 3 t の近傍における二次流れ S F の分布を示す斜視図であり、図 4（a）はキャビティ 4 2 が存在しないときの分布を示し、図 4（b）はキャビティ 4 2 が存在するときの分布を示す。灰色は、二次流れ S F が流れている空間を示し、この空間内の矢印は二次流れ S F の流れ方向を示している。なお、これらの分布は C F D による解析結果に基づいている。

30

【 0 0 2 7 】

上述の通り、動翼 1 2 の外側シュラウド 1 4 は、シール面 3 2 に向けて突出するフィン 1 6 を含んでいる。フィン 1 6 の先端 1 6 a は、上述のクリアランスをもって、シール面 3 2 に極力近接しているものの、シール面 3 2 に接触してはいない。従って、流れ L F は、動翼 1 2 の外側シュラウド 1 4 とシール面 3 2 の間を通過し、その後、動翼 1 2 の外側シュラウド 1 4 と静翼 2 2 の外側バンド 2 4 の間から作動流体 W F の流路 5 2 に流出する（戻る）。

【 0 0 2 8 】

図 2 に示すように、作動流体 W F は、動翼列 1 5 に流入する前に、動翼列 1 5 の前方に設置された静翼列 2 5 F によって偏向されている。流れ L F は、静翼列 2 5 F を通過した作動流体 W F のうち、外側シュラウド 1 4 とシール面 3 2 の間に流入したものである。従って、流れ L F、作動流体 W F と同様の偏向を受けている。

40

【 0 0 2 9 】

作動流体 W F が動翼列 1 5 を通過するとき、作動流体 W F は動翼列 1 5 によって、静翼列 2 5 F が偏向した方向と逆方向に偏向され、動翼列 1 5 の後方に設置された静翼列 2 5 に流入する。一方、流れ L F は、動翼列 1 5 による偏向を受けず、その流れ方向を維持したまま流路 5 2 に流入する。従って、流れ L F は、静翼列 2 5 の静翼 2 2 の前縁 2 2 a とその近傍の背側 2 2 s に、作動流体 W F の流れ方向に対して大きな角度で衝突する。

50

【 0 0 3 0 】

この漏れ流れ L F の衝突は、静翼 2 2 の腹側 2 2 p のうちのチップ 2 3 t の近傍で作動流体 W F の剥離を誘発する、或いは、剥離を増長させる。腹側 2 2 p における作動流体 W F の剥離は比較的に大きいため、チップ 2 3 t の近傍の二次流れ S F を増大させ、結果的にタービン効率を低下させる。特に、チップ 2 3 t の近傍における二次流れ S F は、静翼 2 2 の背側 2 2 s (図 2 参照) よりも、静翼 2 2 の腹側 2 2 p (図 2 参照) において増大しやすい。

【 0 0 3 1 】

上述の通り、腹側 2 2 p における作動流体 W F の剥離は、前縁 2 2 a の近傍における漏れ流れ L F の背側 2 2 s への衝突に起因する。そこで、本実施形態では、静翼列 2 5 の前方に形成されたキャビティ 4 2 によって、キャビティ 4 2 内或いはその近傍における漏れ流れ L F の本来の流れを変化させる。

10

【 0 0 3 2 】

キャビティ 4 2 が形成されていない場合は、シール面 3 2 (或いは仮想面 3 4) に沿って流れることしかできない。即ち、漏れ流れ L F は本来の流れを維持する。一方、図 3 に示すように、キャビティ 4 2 が形成されている場合、狭小部 3 6 から流出した漏れ流れ L F はキャビティ 4 2 内に流入し、例えば図 3 に示す渦を形成する。この場合、キャビティ 4 2 は、静翼列 2 5 に向かう漏れ流れ L F を偏向あるいはその速度を緩和していると言える。

【 0 0 3 3 】

静翼 2 2 の前縁 2 2 a を含む静翼列 2 5 の前側の領域 (空間) 3 7 (図 2 参照) において、周方向 C D に沿ったポテンシャル (圧力場) は、静翼 2 2 の前縁 2 2 a で最も高く、前縁 2 2 a から離れるに従って減少する。従って、漏れ流れ L F は、静翼 2 2 の前縁 2 2 a から離れ、前縁 2 2 a よりもポテンシャルの低い静翼 2 2 と静翼 2 2 の間の空間を優先的に流れる。

20

【 0 0 3 4 】

その結果、キャビティ 4 2 が存在する場合 (図 4 (b) 参照) の漏れ流れ L F は、キャビティ 4 2 が存在しない場合 (図 4 (a) 参照) の漏れ流れ L F の流れと比べて、静翼 2 2 の前縁 2 2 a 及び背側 2 2 s への衝突が緩和される。つまり、前縁 2 2 a 及びその近傍の背側 2 2 s への衝突に起因した腹側 2 2 p での作動流体 W F の剥離が抑制され、漏れ流れ L F による前縁 2 2 a の近傍での二次流れ S F の増大が抑制される。その結果、タービン効率の低下も抑制されることになる。

30

【 0 0 3 5 】

また、図 3 の実線で示すように、キャビティ 4 2 が存在する場合の二次流れ S F は、キャビティ 4 2 が存在しない場合の二次流れ S F (点線で示す) よりも、径方向内方への進入が抑制され、外側バンド 2 4 に沿って流れやすくなる。つまり、二次流れの増大が抑制されている。

【 0 0 3 6 】

上述した二次流れ抑制構造 1 0 を適用したタービン 6 0 の一例について説明する。

図 5 は、タービン 6 0 の一部を示す図である。なお、タービンシャフトなどの図示されていないタービン 6 0 の構成については、周知のものが適用できる。

40

【 0 0 3 7 】

図 5 に示すように、動翼 1 2 は、上述した翼型部 1 3 及び外側シュラウド 1 4 に加え、内側シュラウド 1 7 と、ダブテイル 1 8 とを有する。内側シュラウド 1 7 は翼型部 1 3 のハブ 1 3 h に設けられ、ダブテイル 1 8 は内側シュラウド 1 7 の径方向内方に設けられる。内側シュラウド 1 7 及びダブテイル 1 8 は、翼型部 1 3 と一体化されている。ダブテイル 1 8 は、ロータ 1 9 に嵌合され、ロータ 1 9 はコンプレッサ (図示せず) の動翼に接続したシャフト (図示せず) に結合される。

【 0 0 3 8 】

静翼 2 2 は、上述した翼型部 2 3 及び外側バンド 2 4 に加え、内側バンド 2 6 と、シー

50

ル部材 27 とを有する。内側バンド 26 は翼型部 23 のハブ 23h に設けられ、シール部材 27 は内側バンド 26 の径方向内方に設けられる。内側バンド 26 は、内側シュラウド 17 と共に、作動流体 WF の流路 52 を画成する内壁である。

【0039】

シール面 32 は、支持部材 35 によって支持されている。図 5 に示すように、支持部材 35 は、タービン 60 のケーシング 38 とシール面 32 との間に介在する構造体である。

【0040】

静翼の外側バンド 24 (即ち、静翼 22) は、その径方向外方に設けられるリング、フランジなどの支持部材 28 を介して、ケーシング 38 に固定される。支持部材 28 は、外側バンド 24 と一体化されていてもよい。

10

【0041】

なお、シール面 32 の支持部材 35 と外側バンド 24 の支持部材 28 との間に間隙 45 が形成されてもよい (図 1 参照)。この場合、間隙 45 は、キャビティ 42 に連通し、例えば内周面 43 の底面 43b に開口する。また、間隙 45 は、キャビティ 42 と連通する部分においてキャビティ 42 よりも短い幅 (軸方向 AD に沿った長さ) を有する。間隙 45 は、支持部材 35 と支持部材 28 の間の物理的干渉を防ぐためのものであり、間隙 45 の幅は、漏れ流れ LF に干渉しない値を有する。従って、間隙 45 が形成されている場合でも、キャビティ 42 による効果は失われない。

【0042】

なお、本開示は上述の実施形態に限定されず、特許請求の範囲の記載によって示され、さらに特許請求の範囲の記載と均等の意味および範囲内でのすべての変更を含む。

20

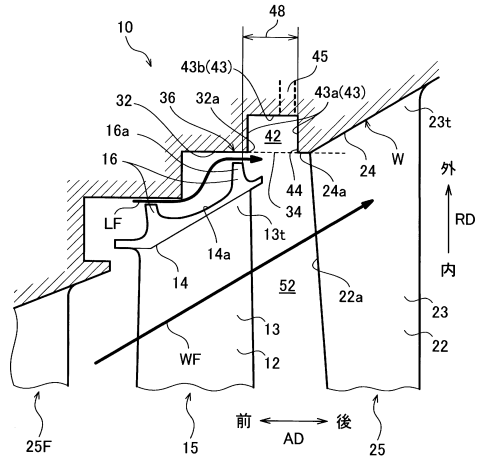
30

40

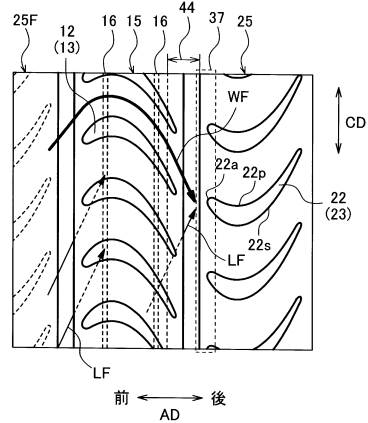
50

【図面】

【図 1】



【図 2】



10

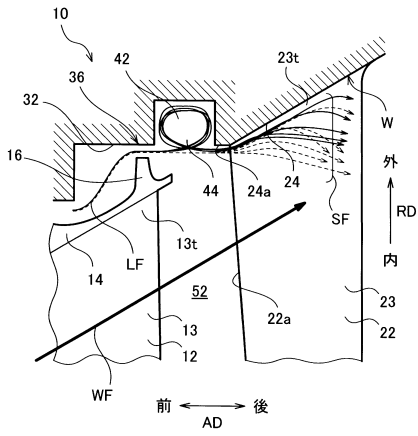
20

30

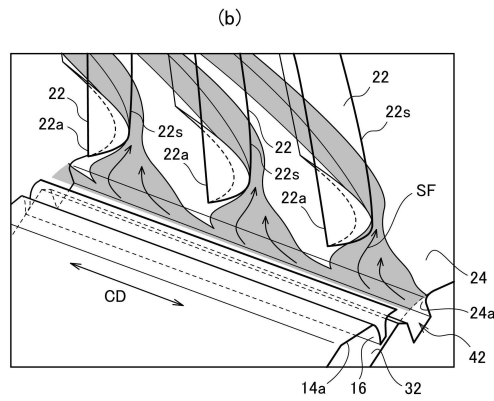
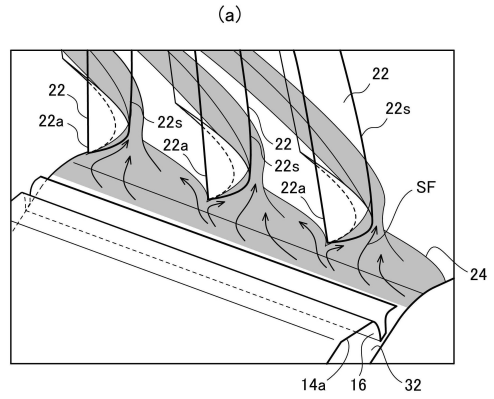
40

50

【 図 3 】



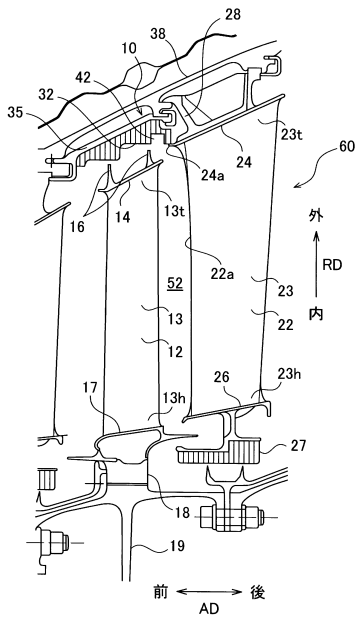
【 図 4 】



10

20

【 図 5 】



30

40

50

フロントページの続き

東京都江東区豊洲三丁目1番1号 株式会社IHI内

審査官 藤原 弘

- (56)参考文献 特開2013-194519(JP,A)
特開2019-203398(JP,A)
実開昭58-165201(JP,U)
米国特許出願公開第2004/0151582(US,A1)
米国特許第05632598(US,A)
特開2017-061898(JP,A)
特開2011-208602(JP,A)
特開2009-047043(JP,A)
特開2012-062863(JP,A)
特開昭57-008302(JP,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
F01D 1/00 - 11/24
F02C 1/00 - 9/58
F23R 3/00 - 7/00