

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6506549号
(P6506549)

(45) 発行日 平成31年4月24日 (2019. 4. 24)

(24) 登録日 平成31年4月5日 (2019. 4. 5)

(51) Int. Cl.	F I
FO1D 5/18 (2006.01)	FO1D 5/18
FO2C 7/18 (2006.01)	FO2C 7/18 A

請求項の数 12 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2014-261434 (P2014-261434)	(73) 特許権者	390041542
(22) 出願日	平成26年12月25日 (2014. 12. 25)		ゼネラル・エレクトリック・カンパニー
(65) 公開番号	特開2015-127541 (P2015-127541A)		アメリカ合衆国、ニューヨーク州 1 2 3
(43) 公開日	平成27年7月9日 (2015. 7. 9)		4 5、スケネクタデイ、リバーロード、1
審査請求日	平成29年12月12日 (2017. 12. 12)		番
(31) 優先権主張番号	14/143, 564	(74) 代理人	100137545
(32) 優先日	平成25年12月30日 (2013. 12. 30)		弁理士 荒川 聡志
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100105588
			弁理士 小倉 博
		(74) 代理人	100129779
			弁理士 黒川 俊久
		(74) 代理人	100113974
			弁理士 田中 拓人

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 タービンプレード内の構造構成および冷却回路

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

凹形状をした加圧側外壁および凸形状をした吸引側外壁であり、前縁および後縁に沿って接続し、前記外壁の間に冷却剤の流れを受けるための半径方向に延びるチャンバを形成する、加圧側外壁および吸引側外壁によって画定されるエーロfoilを備えるタービンプレードであって、

第1の流路および第2の流路を含む半径方向に延びる流路へと前記チャンバを仕切るリブ構成と、

前記第1の流路内に形成された入口を前記第2の流路内に形成された出口へと流体接続する交差通路と

をさらに備え、

前記交差通路が前記第2の流路に対して傾斜した構成を含み、

前記第2の流路は、前記交差通路の前記出口が形成される第1の面および前記交差通路が狙いを定める第2の面を含む半径方向に延びる面によって画定され、

前記第1の面および前記第2の面が、前記第2の流路の隣接する面を備え、

前記第1の面がカンバ線リブを含み、前記第2の面がトラバースリブを含む、

タービンプレード。

【請求項 2】

前記傾斜した構成は、前記交差通路の中心軸が前記交差通路の前記出口を囲む表面に垂直な方向に対してある角度に向けられる構成を含む、請求項1記載のタービンプレード。

【請求項 3】

前記傾斜した構成は、前記交差通路の前記中心軸および前記出口を囲む前記表面に垂直な前記方向が 20° よりも大きい鋭角を形成する構成を含む、請求項 2 記載のタービンプレード。

【請求項 4】

前記交差通路がほぼ直線であり、

前記傾斜した構成は、前記交差通路が前記交差通路の前記出口を囲む表面に対してある角度に向けられる構成を含む、

請求項 1 記載のタービンプレード。

【請求項 5】

前記傾斜した構成は、前記交差通路および前記交差通路の前記出口を囲む前記表面が 70° よりも小さい角度を形成する構成を含む、請求項 4 記載のタービンプレード。

【請求項 6】

前記傾斜した構成は、前記交差通路および前記交差通路の前記出口の前記周囲の表面が 50° よりも小さい角度を形成する構成を含む、請求項 4 記載のタービンプレード。

【請求項 7】

前記傾斜した構成は、前記交差通路が前記第 2 の流路の中心軸に対して接線方向に向けられる構成を含み、

前記交差通路が湾曲する、

請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載のタービンプレード。

【請求項 8】

前記交差通路の前記傾斜した構成が、半径方向傾きを含み、

前記傾斜した構成の前記半径方向傾きが、少なくとも 20° の角度を含む、請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載のタービンプレード。

【請求項 9】

前記交差通路が、湾曲したプロファイルを含む、請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載のタービンプレード。

【請求項 10】

前記第 2 の面が、タービュレータを含み、前記タービュレータが、急峻な面を有し、ほぼ半径方向に向いた細長い突起を含む、請求項 1 乃至 9 のいずれかに記載のタービンプレード。

【請求項 11】

前記第 1 の面および前記第 2 の面のうちの一方が、波形プロファイルを有するカンバ線リブのセグメントを含み、

前記波形プロファイルが、少なくとも 1 つの前後への「S 字」形状を有するプロファイルを含み、

前記タービンプレードが、タービン回転子ブレードを含み、

前記交差通路が、前記通路を通る加圧した冷却剤の流れを衝突させるように構成されたくびれ構成を含む、

請求項 1 乃至 10 のいずれかに記載のタービンプレード。

【請求項 12】

凹形状をした加圧側外壁および凸形状をした吸引側外壁であり、前縁および後縁に沿って接続し、前記外壁の間に冷却剤の流れを受けるための半径方向に延びるチャンバを形成する、加圧側外壁および吸引側外壁によって画定されるエーロfoilを備えるタービンプレードであって、

第 1 の流路および第 2 の流路を含む半径方向に延びる流路へと前記チャンバを仕切るリブ構成と、

前記第 1 の流路内に形成された入口を前記第 2 の流路内に形成された出口へと流体接続する交差通路と

をさらに備え、

10

20

30

40

50

前記交差通路が、前記第２の流路に対して傾斜し、

前記第２の流路は、前記交差通路の前記出口が形成される第１の面および前記交差通路が狙いを定める第２の面を含む半径方向に延びる面によって画定され、

前記第１の面および前記第２の面が、前記第２の流路の隣接する面を備え、

前記第１の面がトラバースリップを含み、前記第２の面がカンバ線リップを含む、タービンブレード。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、タービンエーロfoilに関し、より詳細には、エーロfoilを冷却するために空気などの流体を通すための内部導管を有する回転子ブレードまたは固定子ブレードなどの中空タービンエーロfoilに関する。

【背景技術】

【０００２】

燃焼タービンエンジンまたはガスタービンエンジン（以降「ガスタービン」）は、圧縮機、燃焼器、およびタービンを含む。本分野において良く知られているように、圧縮機において圧縮された空気は、燃料と混合され、燃焼器において点火され、その後タービンを通して膨張して、動力を生み出す。タービン内部の構成要素、特に円周方向に配列した回転子ブレードおよび固定子ブレードは、それらによって消費される燃焼生成物の極端に高い温度および圧力によって特徴付けられる好ましくない環境に曝される。繰り返し熱サイクルならびにこの環境の極端な温度および機械的応力に耐えるために、エーロfoilは、堅固な構造を有し、能動的に冷却されなければならない。

【０００３】

認識されるように、タービン回転子ブレードおよび固定子ブレードは、冷却システムを形成する内部通路または回路を多くの場合を含み、内部通路または回路を通して冷却剤を、典型的には圧縮機から流れ出る空気を循環する。このような冷却回路は内部リップによって典型的には形成され、内部リップは、エーロfoilに対して要求される構造的な支持を与え、許容可能な温度プロファイル内にエーロfoilを維持するように設計された複数の流路を含む。これらの冷却回路を通過する空気を、エーロfoilの前縁、後縁、吸引側、および加圧側に形成した膜冷却アパーチャを介して多くの場合に放出する。

【０００４】

ガスタービンの効率は着火温度が上昇するにつれて向上することを認識するであろう。このために、タービンブレードがこれまでにない高い温度に耐えることを可能にする技術的な進歩が絶えず求められている。これらの進歩は、時には高温に耐えることができる新材料を含むが、同時に多くの場合に、これらの進歩は、ブレード構造および冷却能力を高めるようにエーロfoilの内部構成を改善することを含む。しかしながら、冷却剤を使用することがエンジンの効率を低下させるという理由で、冷却剤使用量のレベルの増加に余りに強く依存する新しい配列は、１つの非効率性をもう１つのものに単に交換するにすぎない。その結果として、内部エーロfoil構成および冷却剤効率を向上させる冷却剤循環を提供する新しいエーロfoil設計に対する要求が継続している。

【０００５】

内部冷却型エーロfoilの設計をさらに複雑にする検討事項は、動作中にエーロfoil内部構造と外部構造との間に現れる温度差である。すなわち、高温ガス通路に露出するという理由で、エーロfoilの外壁は、例えば、典型的に、内部リップの各々の側に画定される通路を通して流れる冷却剤を有することができる内部リップの多くよりも動作中にはるかに高い温度にある。事実、一般的なエーロfoil構成は、長い内部リップが加圧側外壁および吸引側外壁に平行に延びる「四重壁（four-wall）」配置を含む。四重壁配置内に形成された壁に近い流路によって高い冷却効率を達成することができるが、外壁は、内壁よりも著しく大きなレベルの熱膨張を経験することが知られている。この不

10

20

30

40

50

均衡な膨張は、内部リブと外壁とが接触する点のところで応力を発達させ、これがブレードの寿命を短くすることがある低サイクル疲労を引き起こすことがある。したがって、より効率的に冷却剤を使用する一方で、内部領域と外部領域との間での不均衡な熱膨張によって引き起こされる応力をやはり減少させるエーロfoil構造の開発には、重大な技術産業上の難題が残されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】米国特許第8251660号公報

【発明の概要】

10

【課題を解決するための手段】

【0007】

本出願は、したがって、凹形状をした加圧側外壁および凸形状をした吸引側外壁であり、前縁および後縁に沿って接続し、外壁の間に冷却剤の流れを受けるための半径方向に延びるチャンバを形成する加圧側外壁および吸引側外壁によって画定されるエーロfoilを備えるタービンブレードを記述する。タービンブレードは、第1の流路および第2の流路を含む半径方向に延びる流路へとチャンバを仕切るリブ構成と、第1の流路内に形成された入口を第2の流路内に形成された出口へと流体接続する交差通路とをさらに含む。交差通路は、第2の流路に対して傾斜した構成を含む。ある種の実施形態では、交差通路は、直線的であってもよく、出口を囲む表面と少なくとも20°の鋭角を形成するように構成されることがある。第2の流路は、交差通路の出口が形成される第1の面および交差通路が狙いを定める第2の面を含む半径方向に広がる面によって画定されることがある。第2の面は、タービュレータを含むことができる。

20

【0008】

本出願のこれらの特徴および他の特徴は、図面および特許請求の範囲とともに検討すると好ましい実施形態の下記の詳細な説明を精査することで明らかになるであろう。

【0009】

本発明のこれらの特徴および他の特徴は、添付した図面とともに検討して本発明の例示的な実施形態の下記のより詳細な説明を注意深く吟味することによって、より完全に理解され、認識されるであろう。

30

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】本出願のある種の実施形態を使用することができる例示的なタービンエンジンの模式図である。

【図2】図1の燃焼タービンエンジンの圧縮機部の断面図である。

【図3】図1の燃焼タービンエンジンのタービン部の断面図である。

【図4】本発明の実施形態を利用することができるタイプのタービン回転子ブレードの斜視図である。

【図5】従来型の設計による内壁構成またはリブ構成を有するタービン回転子ブレードの断面図である。

40

【図6】本発明の実施形態による内壁構成を有するタービン回転子ブレードの断面図である。

【図7】本発明のある種の態様による、内壁構成および流路連通を有するタービン回転子ブレードの吸引側の断面図である。

【図8】本発明のある種の態様による、内壁構成および流路連通を有するタービン回転子ブレードの加圧側の断面図である。

【図9】本発明の代替実施形態による、エーロfoilの外壁の断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

初期事項として、現在の発明を明確に記述するために、ガスタービン内部の関係する機

50

械部品を呼ぶときおよび記述するときに、ある種の用語を選択することが必要になるであろう。これを行うときに、可能な場合には、一般的な産業用語を、認められている意味と整合する様式で使用し利用するであろう。別段述べない限り、このような用語は、本出願の文脈および別記の特許請求の範囲の範囲と整合する幅広い解釈を与えるはずである。多くの場合に、特定の構成要素を、いくつかの異なる用語または重なる用語を使用して呼ぶことがあることを当業者なら認識するであろう。単一部品であるとして本明細書において記述することができるものは、複数の構成要素から構成されるもう1つの状況を含むことができ、もう1つの状況において参照されることがある。あるいは、複数の構成要素を含むとして本明細書において記述することができるものが、どこかでは単一部品として呼ばれることがある。したがって、本発明の範囲を理解する際に、本明細書において提供される用語および記述だけでなく、構成要素の構造、構成、機能、および/または使用にも注意を払うべきである。

10

【0012】

加えて、いくつかの説明的な用語を、本明細書においては定常的に使用することがあり、この項のはじめにこれらの用語を定義することは役立つはずである。これらの用語およびその定義は、別段述べない限り、次の通りである。本明細書において使用するように、「下流(downstream)」および「上流(upstream)」は、タービンエンジンを通る作動流体などの流体の流れ、または例えば、燃焼器を通る空気の流れもしくはタービンの構成要素システムのうちの1つを通る冷却剤の流れに対して相対的な方向を示す用語である。「下流」という用語は、流体の流れの方向に対応し、「上流」という用語は、流れに反対の方向を呼ぶ。「前方(forward)」および「後(aft)」という用語は、何らかのさらなる特定がない場合、「前方」が前またはエンジンの圧縮機端を呼び、「後」が後方またはエンジンのタービン端を呼ぶことをともなう方向を呼ぶ。中心軸に関して異なる半径方向位置にある部品を説明することが、しばしば必要である。「半径方向(radial)」という用語は、軸に対して垂直な動きまたは位置を呼ぶ。このようなケースでは、第1の構成要素が第2の構成要素よりも軸の近くに存在する場合には、第1の構成要素は、第2の構成要素の「半径方向の内側(radially inward)」または「内側寄り(inboard)」であることを、本明細書においては述べるであろう。その一方で、第1の構成要素が第2の構成要素よりも軸から遠くに存在する場合には、第1の構成要素は、第2の構成要素の「半径方向の外側(radially outward)」または「外側寄り(outboard)」であることを、本明細書においては述べるができる。「軸方向(axial)」という用語は、軸に平行な動きまたは位置を呼ぶ。最後に、「円周方向(circumferential)」という用語は、軸の周りの動きまたは位置を呼ぶ。このような用語を、タービンの中心軸に関連して適用することができることを認識するであろう。

20

30

【0013】

背景として、ここで図を参照して、図1から図4は、本出願の実施形態をその中で使用することができる例示的な燃焼タービンエンジンを図示する。本発明がこの特定のタイプの使用に限定されないことを、当業者なら理解するであろう。本発明を、発電において使用するものなどの燃焼タービンエンジン、航空機、ならびに他のエンジンタイプにおいて使用することができる。提供する例は、別段述べない限り限定することを意味しない。

40

【0014】

図1は、燃焼タービンエンジン10の模式的な表示である。一般に、燃焼タービンエンジンは、圧縮された空気の流れの中で燃料を燃焼させることによって生成される高温ガスの加圧された流れからエネルギーを取り出すことによって動作する。図1に図示したように、燃焼タービンエンジン10を、軸流圧縮機11を用いて構成することができ、軸流圧縮機を、下流タービン部またはタービン13および圧縮機11とタービン13との間に位置する燃焼器12へ共通シャフトまたは回転子によって機械的に連結する。

【0015】

図2は、図1の燃焼タービンエンジンにおいて使用することができる例示的な多段軸流

50

圧縮機 11 の図を例示する。示したように、圧縮機 11 は、複数の段を含むことができる。各段は、圧縮機回転子ブレード 14 の列に続いて圧縮機固定子ブレード 15 の列を含むことができる。このように、第 1 の段は、中央シャフトの周りを回転する圧縮機回転子ブレード 14 の列に続いて動作中には静止したままである圧縮機固定子ブレード 15 の列を含むことができる。

【 0 0 1 6 】

図 3 は、図 1 の燃焼タービンエンジンにおいて使用することができる例示的なタービン部またはタービン 13 の部分図を例示する。タービン 13 は、複数の段を含むことができる。3 つの例示的な段を図示するが、より多くの段またはより少ない段が、タービン 13 内に存在する場合がある。第 1 の段は、動作中にシャフトの周りを回転する複数のタービンバケットまたはタービン回転子ブレード 16、および動作中には静止したままである複数のノズルまたはタービン固定子ブレード 17 を含む。タービン固定子ブレード 17 は、一般的に、相互に円周方向に間隔を空けて設置され、回転軸の周りに固定される。タービン回転子ブレード 16 を、シャフト（図示せず）の周りの回転用のタービンホイール（図示せず）上に載置することができる。タービン 13 の第 2 の段をやはり図示する。第 2 の段は、同様に、複数の円周方向に間隔を空けて設置されたタービン固定子ブレード 17 に続いて回転用のタービンホイール上にやはり載置され、複数の円周方向に間隔を空けて設置されたタービン回転子ブレード 16 を含む。第 3 の段をやはり図示し、同様に複数のタービン固定子ブレード 17 および回転子ブレード 16 を含む。タービン固定子ブレード 17 およびタービン回転子ブレード 16 がタービン 13 の高温ガス通路内に置かれることを認識するであろう。高温ガス通路を通る高温ガスの流れの方向を、矢印によって示す。当業者なら認識するように、タービン 13 は、図 3 に図示したものよりも多くの段、またはいくつかのケースでは少ない段を有することができる。各々の追加の段は、タービン固定子ブレード 17 の列に続いてタービン回転子ブレード 16 の列を含むことができる。

【 0 0 1 7 】

動作の一例では、軸流圧縮機 11 内部の圧縮機回転子ブレード 14 の回転は、空気の流れを圧縮することができる。燃焼器 12 では、圧縮空気を燃料と混合し、点火すると、エネルギーを放出することができる。燃焼器 12 からの得られた高温ガス、これを作動流体と呼ぶことができる、の流れを、次に、タービン回転子ブレード 16 の上方に向け、作動流体の流れがシャフトの周りのタービン回転子ブレード 16 の回転を引き起こす。これにより、作動流体の流れのエネルギーを、回転するブレード、および回転ブレードとシャフトとの間の接続によって回転するシャフトの機械的エネルギーへと変換する。シャフトの機械的エネルギーを、次に、圧縮機回転子ブレード 14 を回転させるために使用することができ、その結果、圧縮空気の必要な供給を作り、そしてやはり、例えば、発電機を回転させて電力を作るために使用することができる。

【 0 0 1 8 】

図 4 は、本発明の実施形態を利用することができるタイプのタービン回転子ブレード 16 の斜視図である。タービン回転子ブレード 16 は、付け根 21 を含み、これによって回転子ブレード 16 を回転子ディスクに取り付ける。付け根 21 は、回転子ディスクの周囲の対応するダブテールスロット内に載置するために構成されたダブテールを含むことができる。付け根 21 は、ダブテールとプラットフォーム 24 との間に延びるシャンクをさらに含むことができ、プラットフォームは、エーロフォイル 25 と付け根 21 との接合部のところに配置され、タービン 13 を通る流路の内側寄り境界の一部を画定する。エーロフォイル 25 が、作動流体の流れを途中で捕え、回転子ディスクを回転させる回転子ブレード 16 の能動部品であることを認識するであろう。この例のブレードはタービン回転子ブレード 16 であるが、タービン固定子ブレード 17 を含むタービンエンジン 10 内部の他のタイプのブレードに本発明をやはり適用することができることを認識するであろう。回転子ブレード 16 のエーロフォイル 25 が、対向する前縁 28 と後縁 29 との間で軸方向にそれぞれ延びる凹型加圧側外壁 26 および円周方向にまたは横方向に対向する凸型吸引側外壁 27 を含むことを理解するであろう。側壁 26 および 27 は、プラットフォーム 2

4 から外側寄り先端 3 1 まで半径方向にやはり延びる。(本発明の用途は、タービン回転子ブレードに限定されないだけでなく、固定子ブレードにもやはり適用可能であり得ることを認識するであろう。本明細書において説明するいくつかの実施形態における回転子ブレードの使用は、別段述べない限り例示的である。)

図 5 は、従来型の設計を有する回転子ブレードエロfoil 2 5 に見出すことができるような内部壁構成を示す。示したように、エロfoil 2 5 の外側表面を、比較的薄い加圧側外壁 2 6 および吸引側外壁 2 7 によって画定することができ、これらの外壁を、複数の半径方向に延び交差するリブ 6 0 を介して接続することができる。リブ 6 0 は、エロfoil 2 5 に対する構造的支持を与える一方で、複数の半径方向に延び実質的に分離された流路 4 0 をやはり画定するように構成される。典型的には、リブ 6 0 は、エロfoil 2 5 の半径方向の高さの大部分にわたり流路を仕切るように半径方向に延びるが、下記により詳細に論じるように、冷却回路を画定するように、流路をエロfoil の周辺に沿って接続することができる。すなわち、流路 4 0 は、エロfoil 2 5 の外側寄り端部または内側寄り端部のところで、ならびに多数の小さな交差通路または交差通路の間に位置することができるインピンジメントアパーチャ (図示せず) を介して流体連通することができる。このようにして、流路 4 0 のうちのあるものは一緒に、曲がりくねったまたは蛇行する冷却回路を形成することができる。加えて、冷却剤を流路 4 0 からエロfoil 2 5 の外側表面上へと通して放出する出口を形成する膜冷却ポート (図示せず) を含むことができる。

【 0 0 1 9 】

リブ 6 0 は、2 つの異なるタイプを含むことができ、これらを次に、本明細書において行うように、さらに細分割することができる。第 1 のタイプ、カンバ線リブ 6 2 は、典型的には、エロfoil のカンバ線に平行またはほぼ平行に延びる長いリブであり、カンバ線は、前縁 2 8 から後縁 2 9 まで伸び、加圧側外壁 2 6 と吸引側外壁 2 7 との間の中間点を接続する基準線である。しばしばあるように、図 5 の従来型構成は、2 つのカンバ線リブ 6 2、すなわち加圧側外壁 2 6 からオフセットし、近接する様式で与えられる加圧側内壁ともやはり呼ばれることがある加圧側カンバ線リブ 6 3、吸引側外壁 2 7 からオフセットし、近接する様式で与えられる吸引側内壁ともやはり呼ばれることがある吸引側カンバ線リブ 6 4 を含む。述べたように、このタイプの設計は、2 つの側壁 2 6、2 7 および 2 つのカンバ線リブ 6 3、6 4 を含む行きわたる 4 つの主要な壁のために、「四重壁」構成を有するとしばしば呼ばれる。外壁 2 6、2 7 およびカンバ線リブ 6 2 は、一体型構成部品として鋳造されることを認識するであろう。

【 0 0 2 0 】

第 2 のタイプのリブは、本明細書においてはトラバースリブ 6 6 と呼ばれる。トラバースリブ 6 6 は、四重壁構成の壁および内部リブを接続するように示された短いリブである。示したように、4 つの壁を、多数のトラバースリブ 6 6 によって接続することができ、トラバースリブ 6 6 を、どの壁を各々が接続するかにしたがってさらに分類することができる。本明細書において使用するように、加圧側外壁 2 6 を加圧側カンバ線リブ 6 3 に接続するトラバースリブ 6 6 は、加圧側トラバースリブ 6 7 と呼ばれる。吸引側外壁 2 7 を吸引側カンバ線リブ 6 4 に接続するトラバースリブ 6 6 は、吸引側トラバースリブ 6 8 と呼ばれる。最後に、加圧側カンバ線リブ 6 3 を吸引側カンバ線リブ 6 4 に接続するトラバースリブ 6 6 は、中央トラバースリブ 6 9 と呼ばれる。

【 0 0 2 1 】

一般的に、エロfoil 2 5 内の四重壁内部構成の目的は、効率的な壁に近い冷却を与えることであり、この中では、冷却空気が、エロfoil 2 5 の外壁 2 6、2 7 に隣接する導管内を流れる。冷却空気がエロfoil の熱い外側表面のすぐそばにあり、狭い導管を通る流れを制約することによって実現される大きな流速のために、得られる熱伝達係数が大きいという理由で、壁に近い冷却が有利であることを認識するであろう。しかしながら、このような設計は、エロfoil 2 5 内で経験する異なるレベルの熱膨張のために低サイクル疲労を経験しがちであり、これが結局は、回転子ブレードの寿命を短く

することがある。例えば、動作では、吸引側外壁 27 は、吸引側カンバ線リブ 64 よりも大きく熱膨張する。この膨張差は、エーロfoil 25 のカンバ線の長さを増加させる傾向にあり、これによって、これらの構造のそれぞれの間に、ならびにこれらを接続するこれらの構造間に応力を生じさせる。加えて、加圧側外壁 26 は、より冷たい加圧側カンバ線リブ 63 よりもやはり大きく熱膨張する。このケースでは、差は、エーロfoil 25 のカンバ線の長さを減少させる傾向にあり、これによって、これらの構造の各々の間に、ならびにこれらを接続するこれらの構造間に応力を生じさせる。1つのケースではエーロfoilカンバ線を減少させる傾向があり、他方ではこれを増加させるエーロfoil内の反対の力が、さらなる応力集中をもたらすことがある。エーロfoilの特定の構造的構成が与えられるとこれらの力が現れる様々な形態、および力がその後つり合い補償される様式は、回転子ブレード 16 の部品寿命の重要な決定的要因になる。

10

【0022】

より具体的に、一般的なシナリオでは、高温ガス通路の高温に曝すことが吸引側外壁を熱膨張させるので、吸引側外壁 27 は、その湾曲の頂点のところで外側にたわむ傾向がある。内部壁である吸引側カンバ線リブ 64 が、同じレベルの熱膨張を経験せず、これゆえ、外方にたわむ同じ傾向を有することがないことを認識するであろう。カンバ線リブ 64 は、次に、外壁 27 の熱膨張に抗する。従来型の設計が、ほとんどまたはまったくコンプライアンスのない硬い幾何学的形状で形成されたカンバ線リブ 62 を有するという理由で、この抗性およびこれからもたらされる応力集中を、実体的なものとする場合がある。問題を悪化させると、カンバ線リブ 62 を外壁 27 に接続するために使用するトラバースリブ 66 は、直線プロファイルで形成され、一般に、トラバースリブが接続する壁に対して直角に向けられる。こういう状況であれば、加熱された構造が著しく異なる速度で膨張するので、トラバースリブ 66 は、外壁 27 とカンバ線リブ 64 との間の「冷たい」空間の関係を基本的に早く保持するように動作する。したがって、「弾力性」が構造中にほとんどまたはまったく作れないと、従来型の配列は、構造のある領域に集中する応力を取り除くことに不適当である。差異のある熱膨張パスは、構成要素寿命を短くする低サイクル疲労問題を結果としてもたらす。

20

【0023】

多くの異なる内部エーロfoil冷却システムおよび構造的構成を、過去に評価してきており、この問題を直すための試みを行ってきた。1つのそのような取り組みは、外壁 26、27 を過冷却することを提案し、その結果、温度差および、これによって熱膨張差を減少させる。とはいえ、これを典型的に達成する方法は、エーロfoilを通して循環する冷却剤の量を増加させることであることを認識するであろう。冷却剤が典型的には圧縮機から流れ出る空気であるという理由で、冷却剤の使用量の増加は、エンジンの効率への負の影響を有し、したがって、好ましくは避ける解決策である。製造方法の改善および/または同じ量の冷却剤を使用するが冷却剤をより効率的に使用するさらに複雑な内部冷却構成を使用する他の解決策が、提案されている。これらの解決策がいくぶんか効率的であることを証明しているとはいえ、それぞれが、エンジンの動作または部品の製造のいずれかに追加コストをもたらす、動作中にエーロfoilがどのように熱膨張するかの観点から従来型の設計の幾何学形状の欠点である根本問題に直接対処することに対して何も行わない。

30

40

【0024】

本発明は、全体として、タービンブレードのエーロfoil内にしばしば生じる熱応力の不均衡を緩和するある種の湾曲したまたは気泡を形成したまたはサイン波形のまたは波形の内部リブ（以降「波形リブ」）を教示する。この一般的なアイデア内で、本出願は、このアイデアを実現することができるいくつかの方法を記述し、これらの方法は、波形のカンバ線リブ 62 および/またはトラバースリブ 66、ならびにこれらの間のあるタイプの角度を付けた接続部を含む。これらの新規な構成 - これを、別記の特許請求の範囲に正確に記述したように、別々にまたは組み合わせて利用することができる - は、目標とする柔軟性を与えるようにエーロfoil 25 の内部構造の硬さを減少させ、これによって、

50

応力集中を分散させ、応力にさらに耐えることが可能な別の構造的な領域に歪を移動させることを認識するであろう。これは、例えば、大きな面積の全体にわたり歪を分散させる領域に移動させること、または、おそらく、引張り応力の代わりに、典型的にはより好ましい圧縮負荷に移動する構造を含むことができる。このようにして、寿命を短くする応力集中および歪を回避することができる。

【 0 0 2 5 】

図 6 は、本発明の実施形態による内壁構成を有するタービン回転子ブレード 16 の断面図を与える。具体的に、本発明の態様は、構造的支持体ならびに仕切りの両者として典型的に使用されるリブ 60 の構成を含み、仕切りは、中空のエーロfoil 25 を実質的に分離された半径方向に延びる流路 40 へと分割し、流路 40 を、冷却回路を作るために望むように相互接続することができる。特定の様式でエーロfoil 25 を通る冷却剤の流れを管理するために、これらの流路 40 および流路が形成する回路を使用し、その結果、冷却剤の使用は、的を絞られ、より効率的である。本明細書において提供する例を、タービン回転子ブレード 16 において使用されるように示すが、同じ概念をやはりタービン固定子ブレード 17 において利用することができることを認識するであろう。一実施形態では、本発明のリブ構成は、波形プロファイルを有するカンバ線リブ 62 を含む。(本明細書において使用するように、「プロファイル」という用語は、リブが図 6 の断面図において有する形状を呼ぶものとする。)カンバ線リブ 62 は、上に説明したように、典型的には、エーロfoil 25 の前縁 28 の近くの位置から後縁 29 に向かって延びる長い方のリブの 1 つである。カンバ線リブが描く経路が、エーロfoil 25 のカンバ線にほぼ平行であるという理由で、これらのリブを「カンバ線リブ」と呼び、カンバ線は、凹型加圧側外壁 26 と凸型吸引側外壁 27 との間の等距離である点の集合を通りエーロfoil 25 の前縁 28 と後縁 29 との間に延びる基準線である。本出願によれば、「波形プロファイル」は、示したように、形状で顕著に湾曲しているおよびサイン波形であるプロファイルを含む。言い換えると、「波形プロファイル」は、図 6 に示したように、前後への「S 字」プロファイルを示すプロファイルである。

【 0 0 2 6 】

波形プロファイルで構成されたカンバ線リブ 62 のセグメントまたは長さは、設計基準に依存して変わることがある。提供した例では、波形カンバ線リブ 62 は、典型的には、エーロfoil 25 の前縁 28 に近い位置からエーロfoil 25 のカンバ線の間接点を超える点まで延びる。カンバ線リブ 62 の波形部分は、長さが短くてもよいが、本明細書において論じた同じタイプの性能の長所を依然として与えることを認識するであろう。カンバ線リブ 62 の波形セグメントの湾曲の数ならびに長さを、最善の結果を実現するために変えることができる。ある種の実施形態では、本発明の波形カンバ線リブ 62 は、カンバ線リブが含む完全な前後への「S 字」形状の数によって定義される。このタイプの好ましい実施形態では、波形カンバ線リブ 62 は、少なくとも 1 つの途切れない前後への「S 字」形状を含む。別の一実施形態では、波形カンバ線リブ 62 は、少なくとも 2 つの連続的であり途切れない前後への「S 字」形状を含む。全体の長さに関して、カンバ線リブ 62 の波形セグメントは、エーロfoil 25 のカンバ線の長さのかなりの部分にわたり延びることができる。例えば、図 6 に示したように、好ましい実施形態では、カンバ線リブ 62 の波形部分は、エーロfoil 25 のカンバ線の長さの 50 % を超える。言い換えると、カンバ線リブ 62 の波形部分は、エーロfoil 25 の前縁 28 の近くで始まり、後方に延び、エーロfoil 25 の湾曲の頂点を十分に超える。カンバ線リブ 62 の長さの少なくとも 25 % の波形部分などのより短い長さを、性能利益のある状態でやはり利用することができることを認識するであろう。

【 0 0 2 7 】

曲がりくねったプロファイルを与えられると、波形カンバ線リブ 62 は、その進行方向が変わる経路を描くことを認識するであろう。本発明の波形カンバ線リブ 62 を、いたるところで経路が曲がりくねる一般的な円弧を描く経路を有するようにさらに記述することができ、しかも、経路は、典型的に、前縁 28 に近い起点およびエーロfoil 25 の後

10

20

30

40

50

縁 2 9 に近い後端点から延びることを認識するであろう。波形カンバ線リブ 6 2 のケースでは、これは、エーロfoil 2 5 のカンバ線に大雑把に平行であるこの一般的な円弧を描く経路である。

【 0 0 2 8 】

上に論じた図 5 の四重壁の例などの多くの知られているエーロfoil 2 5 構成は、2 つのカンバ線リブ 6 2 を含む。このタイプの構成では、加圧側外壁 2 6 の近くに存在する加圧側カンバ線リブ 6 3、および吸引側外壁 2 7 の近くに存在する吸引側カンバ線リブ 6 4 を有するように記述することができる。本発明は、図 6 に示したように、吸引側カンバ線リブ 6 4 および加圧側カンバ線リブ 6 3 の両者が波形リブとして形成される構成を含むことができる。代替実施形態では、これらのカンバ線リブ 6 2 のうちの一方だけが、波形
10
プロファイルを有することができる。本発明を、1 つのカンバ線リブ 6 2 だけを有する構成でもやはり利用することができることを認識するであろう。

【 0 0 2 9 】

2 つのカンバ線リブ 6 2 を含むエーロfoil 2 5 では、加圧側カンバ線リブ 6 3 および吸引側カンバ線リブ 6 4 が、中央流路 4 0 を画定することを認識するであろう。加圧側カンバ線リブ 6 3 および吸引側カンバ線リブ 6 4 の各々についての波形プロファイルを、中央流路 4 0 に面するカンバ線リブ 6 2 の連続するセグメントによって取られる形状に関連して規定することができる。すなわち、例えば、中央流路 4 0 に関連して、第 1 の凹形セグメントが第 2 の凸形セグメントに移行する 2 つの連続するセグメントを含むように、カンバ線リブ 6 2 の波形プロファイルを記述することができる。代替実施形態では、波形
20
プロファイルは、4 つ以上の連続するセグメントを含むことができ、そこでは、第 1 の凹形セグメントが第 2 の凸形セグメントに移行し、第 2 の凸形セグメントが第 3 の凹形セグメントに移行し、そして第 3 の凹形セグメントが第 4 の凸形セグメントに移行する。

【 0 0 3 0 】

本発明の態様によれば、エーロfoil の内部構造は、エーロfoil のカンバ線方向に沿って波形リブを含むことができる。カンバ線リブ 6 2 をこのようにしてバネ状に作ることによって、エーロfoil の内部バックボーンを、性能の優位性を実現することができるようによりコンプライアンスを有するようにすることができる。加えて、負荷通路をさらに柔軟にするために、ならびにリブ 6 2 およびリブが接続する外壁 2 6、2 7 とのよりコンプライアンスのある接続を作るために、エーロfoil 構造のトラバースリブを湾
30
曲させることができる。標準的な直線リブ設計が、内部冷却キャビティ壁とはるかに熱い外壁との間のサーマルファイト (t h e r m a l f i g h t) に起因する大きな応力および低サイクル寿命を経験するのに対して、本発明は、応力集中をより上手く負担することができるバネ状構成を提供し、これを、本明細書において与えたように、構成部品の寿命を改善するために使用することができる。

【 0 0 3 1 】

図 7 および図 8 は、本発明の別の態様による、渦流を引き起こす交差通路 1 1 1 を有するエーロfoil の断面図を与える。図 7 が、エーロfoil 2 5 の吸引側の流路 4 0 の拡大図を示す一方で、図 8 が、5 を用いたエーロfoil の加圧側の流路 4 0 の類似の図を図示することを認識するであろう。図 7 が、より伝統的な構成を含む一方で、図 8 は
40
、波形プロファイルを有する波形カンバ線リブ 6 2 を含む配置を図示する。示したように、交差通路 1 1 1 は、流路 4 0 内に形成された入口 1 2 0 を第 2 の流路または下流の流路 4 0 内に形成された出口 1 1 7 に流体的に接続する。このような交差通路 1 1 1 は、流路間に流れ連絡を与えるために典型的には内部構成に含まれる、または鋳造の必要性 (すなわち、鋳造プロセス中に使用される支持コネクタの残骸、これは典型的には、鋳造心型の細長い部分の所望の空間的關係を維持するために必要である) のために存在することを認識するであろう。本発明によれば、このタイプの交差通路 1 1 1 を、下流の流路、すなわち、出口 1 1 7 が中に形成されるこのような流れ通路に対して角度を付けた構成または傾斜した構成を有するように形成する。

【 0 0 3 2 】

10

20

30

40

50

本発明によれば、傾斜した構成をいくつかの方法で記述することができる。例えば、交差通路 1 1 1 の中心軸を、交差通路 1 1 1 の出口 1 1 7 を囲む表面に垂直な方向に対してある角度に向けることができる。このケースでは、傾斜した構成は、交差通路 1 1 1 の中心軸および出口 1 1 7 を囲む表面に垂直な方向が、少なくとも 20° である鋭角を定める構成を含むことができる。この関係を記述するもう 1 つの方法は、図 7 および図 8 に図示したように、直線的な交差通路 1 1 1 が、交差通路 1 1 1 の出口 1 1 7 を囲む表面に対してある角度に向けることである。このケースでは、交差通路 1 1 1 および交差通路 1 1 1 の出口 1 1 7 を囲む表面は、好ましくは 70° よりも小さい角度 1 1 3 を形成する。代替実施形態では、交差通路 1 1 1 および出口 1 1 7 を囲む表面は、50° よりも小さい角度 1 1 3 を形成する。より一般的に、傾斜した構成を、交差通路 1 1 1 が第 2 の流路の中心軸に対して接線方向に向けられる構造としてやはり記述することができる。

10

【0033】

エーロフォイル 2 5 の長手方向断面を与える図 9 は、本発明の別の態様を図示する。示したように、交差通路 1 1 1 は、半径方向傾きを含み、これは、本明細書において使用するように、交差通路 1 1 1 が純粋な半径方向の向きに対して傾斜する程度である。図 9 において流路の向きを与えると、半径方向は壁 2 6、6 2 の表面によって表されることを認識するであろう。好ましい実施形態では、傾斜した構成の半径方向傾きは、少なくとも 20° の角度 1 1 9 を含む。代替実施形態では、傾斜した構成の半径方向傾きは、少なくとも 40° の角度 1 1 9 を含む。

【0034】

20

交差通路 1 1 1 は、加圧した冷却剤の流れを衝突させるため、および標的領域に向けて衝突する流れの狙いを定めるために十分であるくびれ構成を含むことができる。このようにして冷却剤の流れを衝突させることが、冷却剤の冷却効率を高めることを認識するであろう。下流の流路（すなわち、交差通路 1 1 1 を通過する冷却剤がその中へと流れる流路）を、複数の半径方向に延びる面を有すると記述することができる。いくつかの流路は、形状が長方形であり、4 つのこのような面を含み、他のものは、より多い面またはより少ない面を有することができる。交差通路 1 1 1 の出口 1 1 7 は、これらの面のうちの 1 つの上に形成され、これを出口面 1 1 6 と呼ぶことができ、一方で、面のうちの別の一面は、標的面、すなわち、交差通路 1 1 1 が狙いを定める面である。いくつかのケースでは、出口 1 1 7 を含む面および標的面は、対向面または下流の流路を横切って互いに対向する面である。このケースでは、標的面は、対向面 1 1 4 である。好ましい実施形態では、出口 1 1 7 を含む面および標的の内面は、隣接する面である。このケースでは、標的面は、隣接面 1 1 5 である。示したように、標的面が隣接面 1 1 5 である場合には、交差通路 1 1 1 をその隣接面の近くに設置することができる。

30

【0035】

代替実施形態では、図 7 および図 8 の両方に図示したように、標的面は、タービュレータ 1 1 8 を含む。当業者なら認識するように、タービュレータ 1 1 8 は、典型的には丸みを帯びかつ急峻な面を含む細長い突起である。示したように、タービュレータ 1 1 8 を、半径方向に向けることができ、標的面上に設置することができる。タービュレータ 1 1 8 は、内壁の表面積を増加させ、乱流を引き起こし、これがこの領域内の熱伝達係数を大きくすることを認識するであろう。図示したように、図 7 および図 8 の両方の流れ矢印によって示される渦流を形成することを高めるように、タービュレータ 1 1 8 をやはり、傾斜した交差通路 1 1 1 に対して設置することができる。

40

【0036】

図 8 に図示したように、好ましい実施形態では、交差通路 1 1 1 は、湾曲した通路を有することができる。湾曲した通路は、冷却剤が流路の壁のより近くに沿うような方式で冷却剤を注入することができ、これを、例えば、図 8 に示したように、タービュレータ 1 1 8 の有効性を高めるために都合よく使用することができる。一般に、流路 4 0 内に引き起こされる渦流を大きくするために、通路の湾曲を使用することができる。

【0037】

50

本出願で論じてきているいくつかのタイプの流路４０のいずれかを流体接続するために、交差通路１１１を使用することができる。標的壁が対向面１１４（すなわち、出口面１１６の反対側である流路４０の面）である例示的な実施形態では、出口１１７をカンバ線リップ６２上に設置する。このケースでは、いずれか、標的壁が別のカンバ線リップ６２の一部である、または標的壁を、外壁、すなわち、加圧側外壁２６もしくは吸引側外壁２７のうちの１つとすることができ、これは、図７および図８に示した実施形態である。標的面が流路４０の隣接面１１５であるケースでは、出口１１７を好ましくはカンバ線リップ６２上に設置し、一方で、標的壁は、トラバースリップ６６である。これが、加圧側トラバースリップ６７、吸引側トラバースリップ６８、または中央トラバースリップ６９を含むことができることを認識するであろう。あるいは、出口１１７をトラバースリップ６６上に設置することができ、一方で、流路４０の隣接する標的面は、カンバ線リップ６２の一部である。好ましい実施形態では、出口面１１６または標的壁のいずれかは、波形プロファイルを有するカンバ線リップである。波形プロファイルは、図６に関連して上に論じた構成のうちのいずれかを含むことができる。

【００３８】

動作時には、本発明の交差通路１１１を、渦流または半径方向ではない流れパターンを引き起こすように構成する。交差通路が冷却剤をその中へと配送する流路４０に対して上に規定したような傾斜した構成を有するように、交差通路１１１を構成することによって、これを実現する。キャビティを通る冷却流の熱伝達係数をこのような渦流によって高めることが可能であることを認識するであろう。例えば、流路を通る穏やかな層流を有する冷却剤は、これらの壁に近い冷却剤の流れが暖かくなり、冷却剤と壁との間の温度差が小さくなるという理由で、冷却剤が周囲の壁から熱を対流させるときに典型的には効率が低くなる。本発明の交差通路１１１および／またはタービュレータ１１８によって引き起こされる渦流および乱流は、流路の中央から周囲の表面への新鮮で低温の冷却剤を持ち込む方法でこのような流れを途絶えさせる。したがって、大きな熱伝達係数を必要とする領域内にこのような渦流を引き起こすために、本ベーガン（vegan）の態様を利用することができる。このようにして、エーロフォイル内の熱勾配の形成を小さくするように、流路を調整することができる。タービンブレードの実効寿命が、熱勾配のレベルおよびこのような温度差が構造内に作る力／応力のレベルに依存するという理由で、前のパラグラフにおいて記述したような交差通路の構成を、エーロフォイルを熱的にバランスさせるため、およびエーロフォイルの使える寿命を延長するために使用することができる。

【００３９】

当業者なら認識するように、いくつかの例示的な実施形態に関連して上に記述した多くの変わる特徴および構成を、本発明の別の可能性のある実施形態を形成するために、さらに選択的に適用することができる。簡潔さのためにおよび当業者の能力を考慮して、可能性のある繰り返しのすべてを詳細には提供しないまたは論じないが、下記のいくつかの請求項によって包含されようがそうでなかろうがすべての組合せおよび可能性のある実施形態は、本出願の一部であるものとする。加えて、本発明のいくつかの例示的な実施形態の上の記述から、当業者なら、改善、変更、および修正に気付くであろう。本分野の技術内でのこのような改善、変更、および修正もやはり、別記の特許請求の範囲によって保護されるものとする。さらに、上記は、本出願の記述した実施形態だけに係し、数多くの変更および修正を、別記の特許請求の範囲およびその等価物によって規定されるような本出願の精神および範囲から逸脱せずにここに行うことができることを認識されたい。

【符号の説明】

【００４０】

- １０ 燃焼タービンエンジン
- １１ 圧縮機
- １２ 燃焼器
- １３ タービン
- １４ 圧縮機回転子ブレード

10

20

30

40

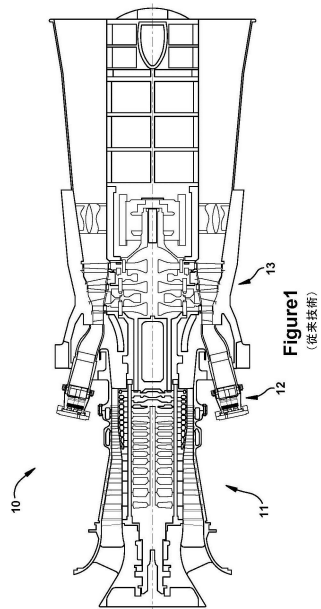
50

1 5 圧縮機固定子ブレード
1 6 タービン回転子ブレード
1 7 タービン固定子ブレード
2 1 付け根
2 4 プラットフォーム
2 5 エアフォイル
2 6 加圧側外壁
2 7 吸引側外壁
2 8 前縁
2 9 後縁
3 1 外側寄り先端
4 0 流路
6 0 リブ
6 2 カンバ線リブ
6 3 加圧側カンバ線リブ
6 4 吸引側カンバ線リブ
6 6 トラバースリブ
6 7 加圧側トラバースリブ
6 8 吸引側トラバースリブ
6 9 中央トラバースリブ
1 1 1 交差通路
1 1 3 角度
1 1 4 対向面
1 1 5 隣接面
1 1 6 出口面
1 1 7 出口
1 1 8 タービュレータ
1 1 9 角度
1 2 0 入口

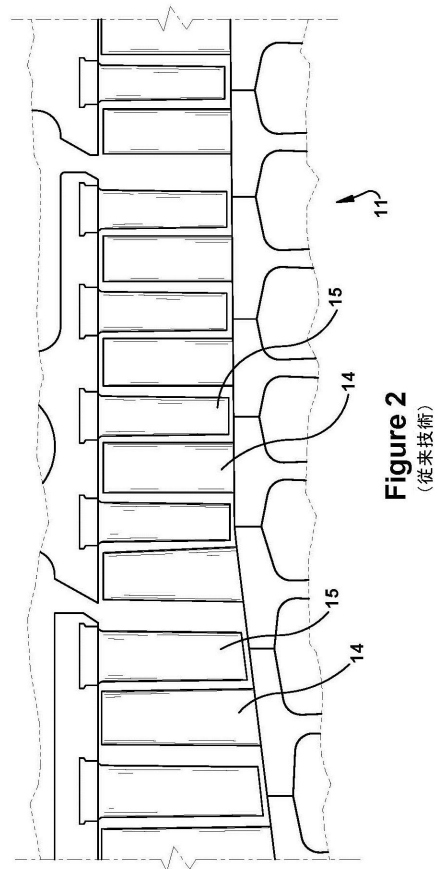
10

20

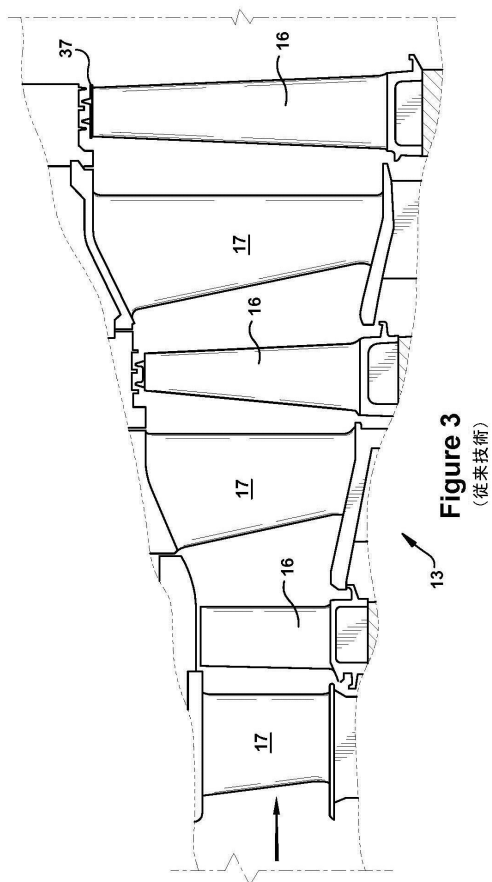
【図 1】



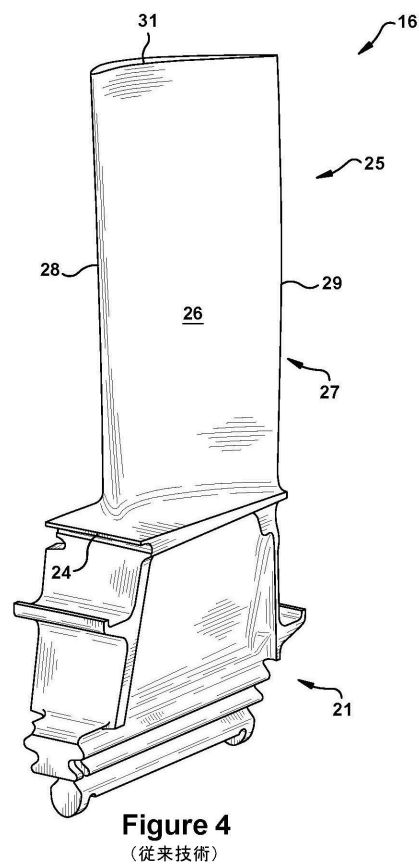
【図 2】



【図 3】



【図 4】



【図 5】

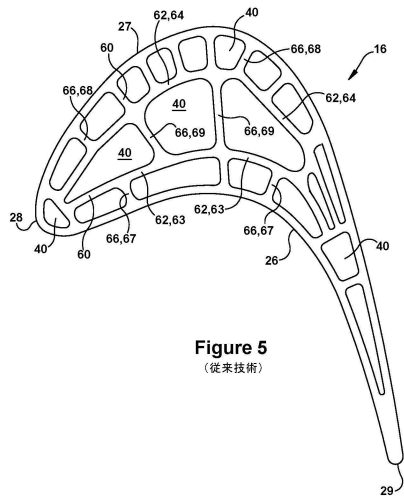


Figure 5
(従来技術)

【図 6】

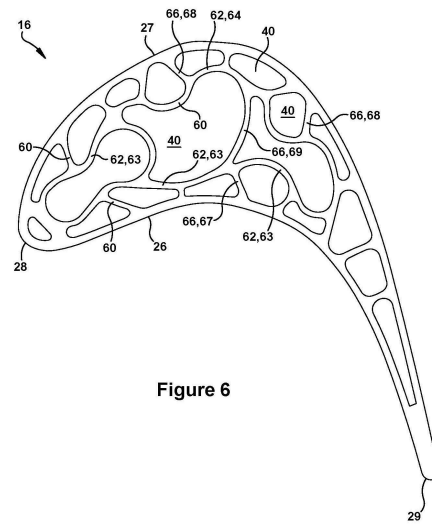


Figure 6

【図 7】

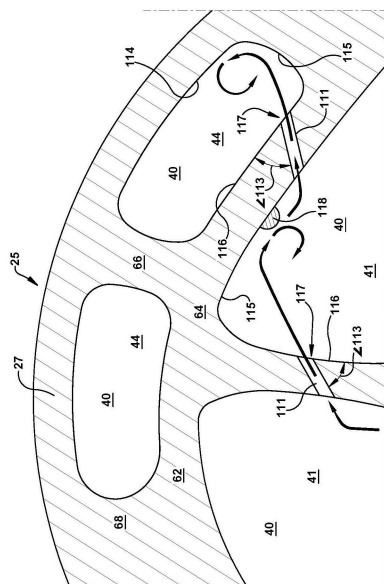


Figure 7

【図 8】

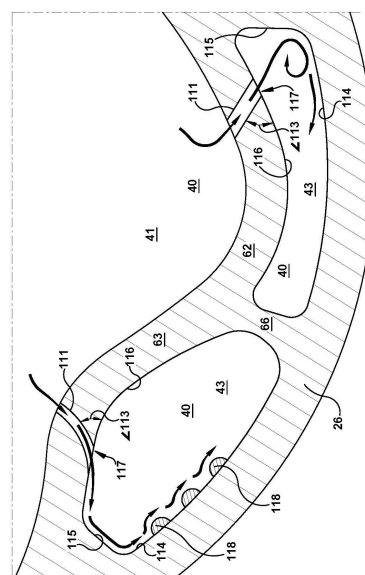


Figure 8

【図 9】

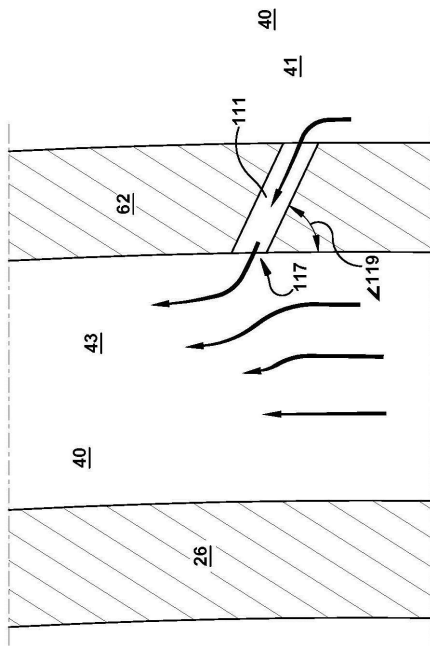


Figure 9

フロントページの続き

(72)発明者 リサ・アン・ウィッチマン

アメリカ合衆国、ジョージア州、アトランタ、ワイルドウッド・パークウェイ、4200番

(72)発明者 アーロン・イゼキエル・スミス

アメリカ合衆国、サウスカロライナ州、グリーンヴィル、ガーリングトン・ロード、300番

審査官 金田 直之

(56)参考文献 特開平11-287103(JP,A)

特開2009-281380(JP,A)

米国特許第08070442(US,B1)

特開2000-161003(JP,A)

米国特許出願公開第2011/0236221(US,A1)

米国特許第08070443(US,B1)

米国特許出願公開第2004/0096313(US,A1)

米国特許出願公開第2005/0169762(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F01D 5/12 - 5/18,

5/22 - 5/24,

5/28 - 5/32,

9/00 - 11/10

F02C 7/18