

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-89629

(P2017-89629A)

(43) 公開日 平成29年5月25日(2017.5.25)

(51) Int.Cl.
F 0 1 D 5/14 (2006.01)

F 1
F 0 1 D 5/14

テーマコード(参考)
3 G 2 0 2

審査請求 未請求 請求項の数 20 O L 外国語出願 (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2016-211156 (P2016-211156)
(22) 出願日 平成28年10月28日(2016.10.28)
(31) 優先権主張番号 14/936, 253
(32) 優先日 平成27年11月9日(2015.11.9)
(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 390041542
ゼネラル・エレクトリック・カンパニー
アメリカ合衆国、ニューヨーク州 1 2 3
4 5、スケネクタダイ、リバーロード、1
番
(74) 代理人 100137545
弁理士 荒川 聡志
(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】 ディフューザ性能を最適にするための最終段エーロフォイルの設計

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】望ましいタービンの出口流れのプロファイルを生成すること。

【解決手段】タービンエーロフォイルは、負圧側50と圧力側48と、負圧側に配置された第1の隆起部52または圧力側に配置された第2の隆起部54またはそれらの両方とを含む。負圧側はタービンエーロフォイルの前縁44とタービンエーロフォイルの後縁46との間を軸方向にかつタービンエーロフォイルの長手方向軸を横切って延在する。圧力側は負圧側の反対側に配置され、タービンエーロフォイルの前縁とタービンエーロフォイルの後縁との間を軸方向に延在する。第1の隆起部はタービンエーロフォイルの負圧側に配置され、負圧側の他の部分に対して半径方向および軸方向ともに横切る第1の方向に隆起する。第2の隆起部はタービンエーロフォイルの圧力側に配置され、圧力側の他の部分に対して半径方向および軸方向ともに横切り、第1の方向と反対の第2の方向に隆起する。

【選択図】 図2

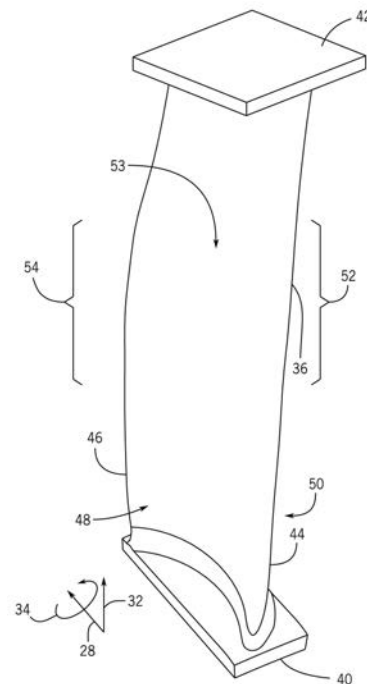


FIG. 2

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

タービン(16)に配置されるように構成されたタービンエーロfoil(36)であって、

前記タービンエーロfoil(36)の前縁(44)と前記タービンエーロfoil(36)の後縁(46)との間を軸方向(28)に、かつ前記タービンエーロfoil(36)の長手方向軸を横切って延在し、さらに前記長手方向軸に沿って半径方向(32)に前記タービンエーロfoil(36)の高さを延在する負圧側(50)と、

前記負圧側(50)の反対側に配置され、前記タービンエーロfoil(36)の前記前縁(44)と前記タービンエーロfoil(36)の前記後縁(46)との間を前記軸方向(28)に延在し、かつ前記半径方向(32)に前記エーロfoil(36)の前記高さを延在する圧力側(48)と、

前記タービンエーロfoil(36)の前記負圧側(50)に配置され、前記負圧側(50)の他の部分に対して前記半径方向(32)および前記軸方向(28)ともに横切る第1の方向に隆起した第1の隆起部(52)、または前記タービンエーロfoil(36)の前記圧力側(48)に配置され、前記圧力側(48)の他の部分に対して前記半径方向(32)および前記軸方向(28)ともに横切る方向で、前記第1の方向と反対の第2の方向に隆起した第2の隆起部(54)、またはそれらの両方を備えるタービンエーロfoil(36)。

【請求項 2】

前記第1および第2の隆起部(52、54)が、前記エーロfoil(36)の前記高さの第1のパーセントの開始高さで隆起し始め、前記エーロfoil(36)の前記高さの第2のパーセントでそれぞれ第1および第2の最高隆起部に達し、前記エーロfoil(36)の前記高さの第3のパーセントの終了高さで隆起し終わる、請求項1記載のタービンエーロfoil(36)。

【請求項 3】

前記第1および第2の隆起部(52、54)の前記第1および第2の最高隆起部がともに、前記エーロfoil(36)の前記高さの約50%と約70%との間で生じる、請求項2記載のタービンエーロfoil(36)。

【請求項 4】

前記第1および第2の隆起部(52、54)の前記第1および第2の最高隆起部がともに、前記エーロfoilの前記高さの約55%と約65%との間で生じる、請求項2記載のタービンエーロfoil(36)。

【請求項 5】

前記第1の隆起部(52)が、前記前縁(44)と前記後縁(46)との間の前記負圧側(50)の長さの少なくとも半分より長く延在する、請求項1記載のタービンエーロfoil(36)。

【請求項 6】

前記第1の隆起部(52)が前記負圧側(50)の全長に沿って延在する、請求項5記載のタービンエーロfoil(36)。

【請求項 7】

前記第2の隆起部(54)が、前記前縁(44)と前記後縁(46)との間の前記圧力側(48)の長さの少なくとも半分より長く延在する、請求項1記載のタービンエーロfoil(36)。

【請求項 8】

軸方向翼弦長(56)が、前記エーロfoil(36)の前記軸方向(28)の寸法であり、前記エーロfoil(36)の前記高さにわたって近位端から遠位端に前記半径方向(32)に移動する軸方向翼弦長(56)の分布が、前記近位端における前記軸方向翼弦長(56)で割った前記高さのパーセントにおける前記軸方向翼弦長(56)として定められ、前記軸方向翼弦長(56)の分布が、実質的に平坦な部分によって隔てられた、0

10

20

30

40

50

%高さから約55%高さにわたる第1の非直線状に漸減する部分と、約65%高さから100%高さにわたる第2の非直線状に漸減する部分と、によって特徴付けられる、請求項1記載のタービンエーロfoil(36)。

【請求項9】

システムであって、

タービンを備え、前記タービンが、

第1の環状壁(40)と、

第2の環状壁(42)と、

タービン(16)の回転軸(26)の周りに前記第1の環状壁(40)と前記第2の環状壁(42)との間を環状に配置された複数のエーロfoil(36)を備える最終段(20)と

10

を備え、前記複数のエーロfoil(36)の各エーロfoil(36)が、

前記第1の環状壁(40)と前記第2の環状壁(42)との間を延在する高さと、

前縁(44)と、

前記前縁(44)の下流に配置された後縁(46)と、

前記前縁(44)と前記後縁(46)との間を軸方向(28)に延在し、前記エーロfoil(36)の前記高さを半径方向(32)に延在する負圧側(50)と、

前記負圧側(50)の反対側に配置され、前記エーロfoil(36)の前記前縁(44)と前記エーロfoil(36)の前記後縁(46)との間を前記軸方向(28)に延在し、前記エーロfoil(36)の前記高さを前記半径方向(32)に延在する圧力側(48)と、

20

前記回転軸(26)から延在するラジアル平面(30)を横切る第1の方向に隆起した、前記エーロfoil(36)の前記負圧側(50)に配置された第1の隆起部(52)、または前記回転軸(26)から延在するラジアル平面(30)を横切り、前記第1の方向と反対の第2の方向に隆起した、前記エーロfoil(36)の前記圧力側(48)に配置された第2の隆起部(54)、またはそれら両方を備える、システム。

【請求項10】

前記第1および第2の隆起部(52、54)が、前記エーロfoil(36)の前記高さの第1のパーセントの開始高さで隆起し始め、前記エーロfoil(36)の前記高さの第2のパーセントでそれぞれ第1および第2の最高隆起部に達し、前記エーロfoil(36)の前記高さの第3のパーセントの終了高さで隆起し終わる、請求項9記載のシステム。

30

【請求項11】

前記第1の隆起部(52)が、前記エーロfoil(36)の前記高さの約50%と約70%との間で最高隆起部に達する、請求項10記載のシステム。

【請求項12】

前記第1の隆起部(52)が、前記エーロfoil(36)の前記高さの約55%と約65%との間で最高隆起部に達する、請求項10記載のシステム。

【請求項13】

前記第2の隆起部(54)が、前記エーロfoil(36)の前記高さの約50%と約70%との間で最高隆起部に達する、請求項10記載のシステム。

40

【請求項14】

前記第2の隆起部(54)が、前記エーロfoil(36)の前記高さの約55%と約65%との間で最高隆起部に達する、請求項10記載のシステム。

【請求項15】

前記第1の隆起部(52)が、前記前縁(44)と前記後縁(46)との間の前記負圧側(50)の長さの少なくとも半分より長く延在する、請求項9記載のシステム。

【請求項16】

軸方向翼弦長(56)が、前記複数のエーロfoil(36)の各エーロfoil(36)

50

)の前記軸方向(28)の寸法であり、前記エーロfoil(36)の前記高さにわたって前記第1の環状壁(40)から前記第2の環状壁(42)に前記半径方向(32)に移動する軸方向翼弦長(56)の分布が、前記第1の環状壁(40)における前記軸方向翼弦長(56)で割った前記高さのパーセントにおける前記軸方向翼弦長(56)として定められ、前記軸方向翼弦長(56)の分布が、実質的に平坦な部分によって隔てられた、0%高さから約55%高さにわたる第1の非直線状に漸減する部分と、約65%高さから100%高さにわたる第2の非直線状に漸減する部分と、によって特徴付けられる、請求項9記載のシステム。

【請求項17】

スロート(D₀)が、前記複数のエーロfoil(36)の隣接する2つのエーロfoil(36)間の通路(38)であり、前記エーロfoil(36)の前記高さにわたって前記第1の環状壁(40)から前記第2の環状壁(42)を前記半径方向(32)に移動するスロートの分布が、50%スパンにおける前記スロート(D₀)で割った前記第1の環状壁(40)と前記第2の環状壁(42)との間のスパンのパーセントにおける前記スロート(D₀)として定められ、前記スロートの分布が、0%スパンから約55%スパンまで着実に増加し、約55%スパンと約65%スパンの間では実質的に平坦であり、次いで、約65%スパンから100%スパンまで着実に増加する、請求項9記載のシステム。

10

【請求項18】

ターボ機械(10)であって、

20

圧縮機(12)と、

燃焼器(14)と、

回転軸(26)の周りに配置された複数のエーロfoil(36)を備えるタービン(16)と

を備え、前記複数のエーロfoil(36)の各エーロfoil(36)が、

前記エーロfoil(36)の前縁(44)と前記エーロfoil(36)の後縁(46)との間を軸方向(28)に、かつ前記エーロfoil(36)の長手方向軸を横切って延在し、さらに前記長手方向軸に沿って半径方向(32)に前記エーロfoil(36)の高さを延在する負圧側(50)と、

前記負圧側(50)の反対側に配置され、前記エーロfoil(36)の前記前縁(44)と前記エーロfoil(36)の前記後縁(46)との間を前記軸方向(28)に延在し、かつ前記半径方向(32)に前記エーロfoil(36)の前記高さを延在する圧力側(48)と、

30

前記エーロfoil(36)の前記負圧側(50)に配置され、前記負圧側(50)の他の部分に対して前記半径方向(32)および前記軸方向(28)ともに横切る第1の方向に隆起した第1の隆起部(52)、または前記エーロfoil(36)の前記圧力側(48)に配置され、前記圧力側(48)の他の部分に対して前記半径方向(32)および前記軸方向(28)ともに横切る方向で、前記第1の方向と反対の第2の方向に隆起した第2の隆起部(54)、またはそれら両方とを備える、ターボ機械(10)。

【請求項19】

40

前記第1および第2の隆起部(52、54)の前記第1および第2の最高隆起部がともに、前記エーロfoil(36)の前記高さの約50%と約70%との間で生じる、請求項18記載のターボ機械(10)。

【請求項20】

前記第1および第2の隆起部(52、54)の前記第1および第2の最高隆起部がともに、前記エーロfoil(36)の前記高さの約55%と約65%との間で生じる、請求項18記載のターボ機械(10)。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

50

本明細書で開示する主題はターボ機械に関し、より詳細には、ターボ機械のタービンの最終段エーロfoilに関する。

【背景技術】

【0002】

ガスタービンエンジンなどのターボ機械は、圧縮機、燃焼器、タービン、およびディフューザを含む場合がある。ガスは圧縮機で圧縮され、燃料と混合され、次いで燃焼器内に供給され、ここでガス/燃料混合物が燃焼される。次いで、高温で高エネルギーの排出流体はタービンに供給され、ここで流体のエネルギーは機械的エネルギーに変換される。タービンの出口では、流体はディフューザに入り、ここで流体の速度は下がって、流体の圧力が上がる。タービンの出口およびディフューザの入口での2次流れ、バージ流れ、および/またはスワールはディフューザの性能に悪影響を及ぼす場合がある。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】米国特許出願公開第2013/0104566号明細書

【発明の概要】

【0004】

本来、特許請求される主題の範囲に相応する特定の実施形態を以下に要約する。これらの実施形態は、特許請求する主題の範囲を限定することを意図するものではなく、むしろ、これらの実施形態は、特許請求する主題の可能な形態の簡潔な概要を提供することだけを意図する。実際、特許請求する主題は、下記に説明する実施形態と同様な、または異なる様々な形態を含むことができる。

20

【0005】

第1の実施形態では、システムは、タービンに配置されるように構成されたタービンエーロfoilを含む。エーロfoilは、負圧側と、圧力側と、負圧側に配置された第1の隆起部、または圧力側に配置された第2の隆起部、またはそれらの両方とを含む。負圧側は、タービンエーロfoilの前縁とタービンエーロfoilの後縁との間を軸方向に、かつタービンエーロfoilの長手方向軸を横切って延在し、さらに長手方向軸に沿って半径方向にタービンエーロfoilの高さを延在する。圧力側は、負圧側の反対側に配置され、タービンエーロfoilの前縁とタービンエーロfoilの後縁との間を軸方向に延在し、かつ半径方向にエーロfoilの高さを延在する。第1の隆起部は、タービンエーロfoilの負圧側に配置され、負圧側の他の部分に対して半径方向および軸方向ともに横切る第1の方向に隆起する。第2の隆起部は、タービンエーロfoilの圧力側に配置され、圧力側の他の部分に対して半径方向および軸方向ともに横切り、第1の方向と反対の第2の方向に隆起する。

30

【0006】

第2の実施形態では、装置は、第1の環状壁と、第2の環状壁と、最終段とを含むタービンを含む。最終段は、タービンの回転軸の周りに第1の環状壁と第2の環状壁との間を環状に配置された複数のエーロfoilを含む。複数のエーロfoilの各エーロfoilは、第1の環状壁と第2の環状壁との間を延在する高さ、前縁と、前縁の下流に配置された後縁と、前縁と後縁との間を軸方向に延在し、エーロfoilの高さを半径方向に延在する負圧側と、負圧側の反対側に配置され、エーロfoilの前縁とエーロfoilの後縁との間を軸方向に延在し、エーロfoilの高さを半径方向に延在する圧力側と、回転軸から延在するラジアル平面を横切る第1の方向に隆起した、エーロfoilの負圧側に配置された第1の隆起部、または回転軸から延在するラジアル平面を横切り、第1の方向と反対の第2の方向に隆起した、エーロfoilの圧力側に配置された第2の隆起部、またはそれらの両方とを含む。

40

【0007】

第3の実施形態では、ターボ機械は、圧縮機、燃焼器、およびタービンを含む。タービンは、回転軸の周りに配置された複数のエーロfoilを含む。複数のエーロfoilの

50

各エーロfoilは、負圧側と、圧力側と、負圧側に配置された第1の隆起部、または圧力側に配置された第2の隆起部、またはそれらの両方とを含む。負圧側は、エーロfoilの前縁とエーロfoilの後縁との間を軸方向に、かつエーロfoilの長手方向軸を横切って延在し、さらに長手方向軸に沿って半径方向にエーロfoilの高さを延在する。圧力側は、負圧側の反対側に配置され、エーロfoilの前縁とエーロfoilの後縁との間を軸方向に延在し、かつ半径方向にエーロfoilの高さを延在する。第1の隆起部は、エーロfoilの負圧側に配置され、負圧側の他の部分に対して半径方向および軸方向ともに横切る第1の方向に隆起する。第2の隆起部は、エーロfoilの圧力側に配置され、圧力側の他の部分に対して半径方向および軸方向ともに横切り、第1の方向と反対の第2の方向に隆起する。

10

【0008】

本開示のこれらのおよび他の特徴、態様、および利点は、図面全体を通して同様な符号が同様な部品を示す添付の図面を参照して、以下の詳細な説明を読めば、よりよく理解できるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】本開示の態様によるターボ機械の一実施形態の図である。

【図2】本開示の態様による最終段エーロfoilの実施形態の斜視図である。

【図3】本開示の態様による隣接する2つのエーロfoilの上面図である。

【図4】本開示の態様によるスロートの分布のプロットである。

20

【図5】本開示の態様による軸方向翼弦長の分布のプロットである。

【図6】本開示の態様による最大厚さの分布のプロットである。

【図7】本開示の態様による軸方向翼弦長で割った最大厚さの分布のプロットである。

【図8】本開示の態様による最終段エーロfoilの一実施形態の断面図である。

【図9】本開示の態様によるディフューザの入口における正規化された全圧（絶対圧）（PTA: total pressure, absolute）のプロファイルのプロットである。

【図10】本開示の態様によるディフューザの入口におけるスワールのプロファイルのプロットである。

【図11】本開示の態様によるターボ機械のディフューザの圧力回復係数（ C_p ）のプロットである。

30

【発明を実施するための形態】

【0010】

本開示の1つまたは複数の特定の実施形態を以下で説明する。これらの実施形態を簡潔に説明するため、実際の実施態様のすべての特徴を本明細書で説明するわけではない。いかなるこうした実際の実施態様の開発に際しても、あらゆるエンジニアリングプロジェクトまたは設計プロジェクトにおけるように、システム関連およびビジネス関連の制約を遵守することなど、実施態様ごとにより得る開発者の特定の目標を達成するために、実施態様特有の多くの決定を行われなければならないことを認識すべきである。さらに、このような開発の取り組みは、複雑であり時間を要する場合があるが、それにもかかわらず、この開示の恩恵を受ける当業者にとっては、設計、製作、および製造の定常作業であることを認識すべきである。

40

【0011】

本主題の様々な実施形態の要素を導入するときに、冠詞「1つ(a)」、「1つ(an)」、「その(the)」、および「前記(said)」は、それらの要素のうちの1つまたは複数があることを意味することを意図する。用語「備える(comprising)」、「含む(including)」、および「有する(having)」は、包括的であることを意図し、列挙した要素以外に追加の要素があり得ることを意味する。

【0012】

ガスタービンエンジンでは燃焼の後、排出流体は燃焼器を出てタービンに入る。タービ

50

ン出口流れのプロファイル（すなわち、全圧およびスワールの半径方向のプロファイル）は、ディフューザ性能の指標とすることができる。タービンの最終段の翼根では反動度が低いため、強い2次流れ（すなわち、主流方向に対して横切る流れ）および/またはパージ流れが生じる場合があり、これらによってディフューザの入口で望ましくない全圧（絶対圧）（PTA）のプロファイルおよびスワールのプロファイルになる場合がある。さらに、エロフォイルの共振振動数を注意深く選ばなければ、エロフォイルの共振振動数が励振源と共振する場合があり、その結果、エロフォイルに過度な応力がかかり、構造的な損傷につながる場合がある。約60%スパンにおいて増厚部を有する最終段エロフォイルの設計を用いて、望ましいタービン出口流れのプロファイルを生成し、2次流れを制御すること、および振動数が励振源と共振することを避けることができる。

10

【0013】

次に図面を参照すると、図1はターボ機械10（例えば、ガスタービンエンジン）の一実施形態の図である。図1に示すターボ機械10は、圧縮機12、燃焼器14、タービン16、およびディフューザ17を含む。空気、または他の何らかのガスは、圧縮機12で圧縮され、燃料と混合され、燃焼器14内に供給され、次いで燃焼される。排出流体はタービン16に供給され、ここで排出流体からのエネルギーは機械的エネルギーに変換される。タービン16は、最終段20を含む複数の段18を含む。各段18は、ロータおよびステータを含むことができ、ロータは回転シャフトに結合され、軸方向に整列したブレード、パケット、またはエロフォイルの環状列を有し、回転軸26の周りに回転し、ステータはノズルの環状列を有する。したがって、最終段20は、最終段ノズル22および最終段エロフォイル24を含むことができる。説明を明瞭にするために、図1は、軸方向28、半径方向32、および周方向34を含む座標系を含む。さらに、ラジアル平面30が示されている。ラジアル平面30は、1つの方向では軸方向28に（回転軸26に沿って）延在し、さらに半径方向32に外向きに延在する。

20

【0014】

図2は、最終段エロフォイル36の実施形態の斜視図（すなわち、概ね下流方向に見た図）である。最終段20のエロフォイル36は、第1の環状壁40と第2の環状壁42との間を半径方向32に延在する。エロフォイル36は、ハブ（例えば、第1の環状壁40）の周りを周方向34に配置される。各エロフォイル36は翼型の形状を有して、燃焼器14からの排出流体がタービン16を通過して概ね軸方向28下流に流れるときに、排出流体と空気力学的に相互作用するように構成することができる。各エロフォイル36は、前縁44、前縁44の軸方向28下流に配置された後縁46、圧力側48、および負圧側50を有する。圧力側48は、前縁44と後縁46との間を軸方向28に延在し、第1の環状壁40と第2の環状壁42との間を半径方向32に延在する。負圧側50は、圧力側48の反対側を、前縁44と後縁46との間を軸方向28に延在し、第1の環状壁40と第2の環状壁42との間を半径方向32に延在する。最終段20のエロフォイル36は、1つのエロフォイル36の圧力側48が、隣接するエロフォイル36の負圧側50に面するように構成される。排出流体がエロフォイル36間の通路38に向かって、かつそれを通して流れる際、排出流体はエロフォイル36と空気力学的に相互作用し、その結果、排出流体は軸方向28に対して角運動量をもって流れる。スパンの約60%において増厚部を有するエロフォイル36を備えた最終段エロフォイル24は、励振源との共振を避けるように共振振動数を調整することによって、エロフォイル36の構造的健全性を改善することに役立つことができる。ここで、スパンとは、第1の環状壁40と第2の環状壁42との間の半径方向32の距離である（例えば、エロフォイルの翼根では0%スパンとなり、エロフォイルの翼端では100%スパンとなる）。増厚部53は、負圧側50の隆起部52、圧力側48の隆起部54、またはそれら両方として現すことができる。

30

40

【0015】

図3は、隣接する2つのエロフォイル36の上面図である。下のエロフォイル36の負圧側50が上のエロフォイル36の圧力側48に面していることに留意されたい。

50

軸方向翼弦長 56 は、エーロfoil 36 の軸方向 28 の寸法である。段 18 の隣接する 2 つのエーロfoil 36 間の通路 38 は、隣接するエーロfoil 36 間の通路 38 の最も狭い場所で測られたスロート D_0 の分布を画定する。流体は、通路 38 を通って軸方向 28 に流れる。第 1 の環状壁 40 から第 2 の環状壁 42 までのスパンにわたるこのスロート D_0 の分布は、図 4 に関してより詳細に論じられる。軸方向翼弦長 56 の分布は、図 5 に関して論じられる。スパンの所与のパーセントにおける各エーロfoil 36 の最大厚さは T_{max} として示されている。エーロfoil 36 の高さにわたる T_{max} の分布は、図 6 および 7 に関してより詳細に論じられる。

【0016】

図 4 は、最終段エーロfoil 24 の隣接するエーロfoil 36 によって画定されたスロート D_0 の分布のプロット 58 であり、曲線 60 として示されている。水平軸 62 の x は、第 1 の環状壁 40 と第 2 の環状壁 42 との間の半径方向 32 のスパンのパーセントを表している。すなわち、0% スパンは第 1 の環状壁 40 を表し、100% スパンは第 2 の環状壁 42 を表し、0% と 100% との間の任意の点は、環状壁 40 と環状壁 42 との間のエーロfoil の高さに沿った半径方向 32 の距離のパーセントに相当する。垂直軸 64 の y は、50% スパンにおける D_0 である $D_{0 \text{ Pitch}}$ で割ったスパンの所与のパーセントにおける隣接する 2 つのエーロfoil 36 間の最短の距離 D_0 を表している。 D_0 を $D_{0 \text{ Pitch}}$ で割ることにより、プロット 58 は無次元となり、したがって、曲線 60 は、異なる用途に対してエーロfoil 段 24 をスケールアップまたはスケールダウンしたときも同じままである。タービンの寸法がただ 1 つの場合には、垂直軸を単に D_0 としても同様のプロットとなる。

【0017】

図 4 で分かるように、第 1 の環状壁 40 すなわち点 66 から半径方向 32 に移動していくと、点 68 すなわち約 55% スパン近くで曲線 60 は水平になり始める。これは、エーロfoil の増厚部 53 を表している。点 70 (例えば、ほぼ 65% スパン) の近くで、スロートの分布は増加し始める。点 72 (ほぼ 75% スパン) 近くでは、エーロfoil の増厚部によるスロートの分布の平坦な箇所はほとんど完全に後退してしまう。点 74 で第 2 の環状壁 42 となる。図 4 に示すスロートの分布は、2 つの点でディフューザ性能を改善することに役立つことができる。第 1 に、このスロートの分布は、望ましいタービン 16 出口流れのプロファイル (例えば、図 9 に示す PTA のプロファイル、および図 10 に示すスワールのプロファイル) を生成することに役立つ。第 2 に、図 4 に示すスロートの分布は、第 1 の環状壁 40 (例えば、ハブ) 近くの 2 次流れ (例えば、主流方向に対して横切る流れ) および / またはパージ流れを制御することに役立つことができる。

【0018】

図 5 は、ハブにおける (すなわち、0% スパンにおける) 軸方向翼弦長 56 で割ったスパンの所与のパーセントにおける軸方向翼弦長 56 の分布のプロット 76 であり、曲線 78 として示されている。水平軸 80 の x は、第 1 の環状壁 40 と第 2 の環状壁 42 との間の半径方向 32 のスパンのパーセントを表している。垂直軸 82 の y は、ハブにおける軸方向翼弦長で割った軸方向翼弦長を表す。軸方向翼弦長をハブにおける軸方向翼弦長で割ることにより、プロット 76 は無次元となり、したがって、曲線 78 は、異なる用途に対してエーロfoil 段 24 をスケールアップまたはスケールダウンしたときも同じままである。タービン 16 の寸法がただ 1 つである場合には、垂直軸を単にスパンの所与のパーセントにおける軸方向翼弦長 56 としても同様のプロットとなる。

【0019】

図 5 で分かるように、第 1 の環状壁 40 すなわち点 84 から半径方向 32 に移動していくと、点 86 すなわち約 55% スパンのすぐ前で、翼弦長 56 の分布は直線状のエーロfoil から拡がり始める。点 88 (例えば、ほぼ 65% スパン) の近くで、翼弦長 56 は最大になり、それからよりきつい傾斜で後退し始める。点 90 (ほぼ 75% スパン) 近くで、翼弦長 56 はほとんど完全に後退してしまう。点 92 で第 2 の環状壁 42 となる。これの代わりに、エーロfoil 36 の形状は、増厚部 53 によって隔てられた 2 つの非直

10

20

30

40

50

線状に漸減する部分として説明することができる。図5に示すように、第1の非直線状に漸減する部分は、0%スパン(点84)から約55%スパン(点86の直前)で生じる。第1の非直線状に漸減する部分の端部は増厚部53に移行する。次いで、翼弦長は、約65%スパン(点88)から100%スパン(点92)で生じる第2の非直線状に漸減する部分に移行する。図5に示す軸方向翼弦長の分布を有する最終段エーロフォイルの設計は、励振源との共振を避けるようにエーロフォイルの共振振動数を調整することに役立つことができる。例えば、直線状に設計したエーロフォイルでは400Hzの共振振動数であるが、65%スパン近くに増厚部53を有するエーロフォイル36では共振振動数は450Hzにすることができる。励振源との共振を避けるようにエーロフォイルの共振振動数を注意深く調整しなければ、運転することによって、エーロフォイル36に過度な応力がかかり、構造的な損傷が生じる可能性がある。したがって、図5に示す軸方向翼弦長の分布を有するエーロフォイル36の設計は、エーロフォイル36の運転寿命を延ばすことができる。

10

20

30

40

50

【0020】

図6は、 $T_{max} / 50\%$ スパンにおける T_{max} の分布のプロット94であり、曲線96として示されている。水平軸98のxは、第1の環状壁40と第2の環状壁42との間の半径方向32のスパンのパーセントを表している。垂直軸100のyは、50%スパンにおける T_{max} で割ったスパンの所与のパーセントにおけるエーロフォイル36の最大厚さ T_{max} を表している。 T_{max} を50%スパンにおける T_{max} で割ることにより、プロット94は無次元となり、したがって、曲線96は、異なる用途に対してエーロフォイル段24をスケールアップまたはスケールダウンしたときも同じままである。タービン16の寸法がただ1つである場合には、垂直軸を単に T_{max} としても同様のプロットとなる。

【0021】

図6で分かるように、第1の環状壁40すなわち点102から半径方向32に移動していくと、 $T_{max} / 50\%$ スパンにおける $T_{max \text{ pitch}}$ の値は着実に下がっている。点104すなわち約50%スパンの直前で、 T_{max} は拡がり始める。点106(例えば、ほぼ65%スパン)の近くで、 T_{max} は最大となり、それから後退し始める。点108(ほぼ80%スパン)近くで、 T_{max} はほとんど完全に後退してしまう。点110で第2の環状壁42となる。図5に関して論じたように、エーロフォイル36の形状は、これの代わりに、増厚部53によって隔てられた2つの非直線状に漸減する部分として説明することができる。図6では、第1の非直線状に漸減する部分は、0%スパン(点102)から約55%スパン(点104の直前)で生じる。第1の非直線状に漸減する部分の端部は増厚部53に移行する。次いで、増厚部は、約65%スパン(点106)から100%スパン(点110)で生じる第2の非直線状に漸減する部分に移行する。図6に示す T_{max} の分布を有する最終段エーロフォイルの設計は、励振源との共振を避けるようにエーロフォイルの共振振動数を調整することに役立つことができる。したがって、図6に示す T_{max} の分布を有するエーロフォイル36の設計は、エーロフォイル36の運転寿命を延ばすことができる。

【0022】

図7は、 $T_{max} /$ 軸方向翼弦長の分布のプロット112であり、曲線114として示されている。水平軸116のxは、第1の環状壁40と第2の環状壁42との間の半径方向32のスパンのパーセントを表している。垂直軸118のyは、エーロフォイル36の軸方向28の寸法である軸方向翼弦長56で割ったスパンの所与のパーセントにおけるエーロフォイル36の最大厚さ、 $T_{max} /$ 軸方向翼弦長を表している。 T_{max} を軸方向翼弦長56で割ることにより、プロット112は無次元となり、したがって、曲線114は、異なる用途に対してエーロフォイル段24をスケールアップまたはスケールダウンしたときも同じままである。

【0023】

図7で分かるように、第1の環状壁40すなわち点120から半径方向32に移動していくと、 $T_{max} /$ 軸方向翼弦長は着実に小さくなり、その後、点122、124、および

1 2 6 で表された増厚部 5 3 が外向きに隆起する。 T_{max} / 軸方向翼弦長は点 1 2 4 で隆起が最大に達し、それから後退する。点 1 2 8 で、エーロfoil 3 6 は第 2 の環状壁 4 2 に合致する。図 5 および 6 に関して論じたように、エーロfoil 3 6 の形状は、これの代わりに、増厚部 5 3 によって隔てられた 2 つの非直線状に漸減する部分として説明することができる。図 7 では、第 1 の非直線状に漸減する部分は、0 % スパン (点 1 2 0) から約 5 5 % スパン (点 1 2 2 の直前) で生じる。第 1 の非直線状に漸減する部分の端部は増厚部 5 3 に移行する。次いで、増厚部は、約 6 5 % スパン (点 1 2 4) から 1 0 0 % スパン (点 1 2 8) で生じる第 2 の非直線状に漸減する部分に移行する。図 7 に示す T_{max} / 軸方向翼弦長の分布を有する最終段エーロfoil の設計は、励振源との共振を避けるようにエーロfoil の共振振動数を調整することに役立つことができる。したがって、図 7 に示す T_{max} / 軸方向翼弦長の分布を有するエーロfoil 3 6 の設計は、エーロfoil 3 6 の運転寿命を延ばすことができる。

10

【0024】

図 4 に関して論じた D_0 の分布のエーロfoil を有する最終段は、2 次流れを減らし、望ましい P T A およびスワールのプロファイルを生成することに役立つ。2 次流れを減らし、望ましい P T A およびスワールのプロファイルを生成することによって、開示した最終段エーロfoil の設計は、ディフューザ性能を改善することができ、その結果、タービン 1 6 の出力を実質的に増大させることができる。図 5 ~ 7 にそれぞれ示す T_{max} および軸方向翼弦長の分布を有する最終段エーロfoil の設計は、励振源との共振を避けるようにエーロfoil の共振振動数を調整することに役立つことができる。励振源との共振を避けるようにエーロfoil の共振振動数を注意深く調整しなければ、運転することによって、エーロfoil 3 6 に過度な応力がかかり、構造的な損傷が生じる可能性がある。したがって、図 5 ~ 7 にそれぞれ示す T_{max} および軸方向翼弦長の分布を有するエーロfoil 3 6 の設計は、エーロfoil 3 6 の運転寿命を延ばすことができる。

20

【0025】

図 8 は、高さ 1 2 9 を有し、かつ高さ 1 2 9 の約 6 0 % のところで増厚部 5 3 (負圧側の隆起部 5 2、および圧力側の隆起部 5 4 を含む) を有するエーロfoil 3 6 の側面断面図である。増厚部 5 3 は、図 8 では、負圧側隆起部 5 2 および圧力側隆起部 5 4 として現れているが、増厚部を中央に配置することができ、あるいは負圧側 5 0 または圧力側 4 8 にずらすことができ、その結果、エーロfoil 3 6 は負圧側 5 0 に隆起部 5 2 を有して圧力側 4 8 には有しないこともできるし、または圧力側 4 8 に隆起部 5 4 を有して負圧側 5 0 に有しないこともできることを理解すべきである。あるいは、負圧側 5 0 の隆起部 5 2 が圧力側 4 8 の隆起部 5 4 より大きくなるように、またはその逆になるように、増厚部をわずかにずらすことができる。高さ 1 2 9 は、第 1 の環状壁 4 0 と第 2 の環状壁 4 2 との間のスパンに相当することを理解すべきである。例えば、高さ 1 2 9 の 6 0 % は、第 1 の環状壁 4 0 と第 2 の環状壁 4 2 との間のスパンの 6 0 % とほぼ同じであることを理解すべきである。図 8 に示すように、1 つの方向では回転軸 2 6 から半径方向 3 2 に、第 2 の方向では軸方向 2 8 に延在するラジアル平面 3 0 を横切る方向に、圧力側隆起部 5 4 は圧力側 4 8 から隆起し、負圧側隆起部 5 2 は負圧側 5 0 から隆起する。図 8 に示すエーロfoil 3 6 は中空であるが、これは単に説明を明瞭にするためであることを理解すべきである。いくつかの実施形態では、エーロfoil 3 6 は中実とすることができる。

30

40

【0026】

図 8 で分かるように、増厚部 5 3 は、エーロfoil 3 6 の高さ 1 2 9 のほぼ 6 0 % (すなわち、第 1 の環状壁 4 0 から第 2 の環状壁 4 2 までのスパンの 6 0 %) の位置で隆起することができる。すなわち、増厚部 5 3 を有するエーロfoil 3 6 のプロファイルは、高さ 1 2 9 の 3 0 % から高さ 1 2 9 のほぼ 5 0 % までの任意の点で直線状のエーロfoil 3 6 (すなわち、増厚部のないエーロfoil 3 6) の仮想プロファイルから拡がり始めることができる。例えば、増厚部 5 3 は、高さ 1 2 9 のほぼ 3 0 %、3 5 %、4 0 %、4 5 %、または 5 0 % において、あるいはそれらの間のいずれかの位置において、直線状のエーロfoil から隆起し始めることができる。増厚部 5 3 は、高さ 1 2 9 のほぼ 5

50

0%と70%との間でその最大値に達することができる。例えば、最大厚さ53は、高さ129のほぼ50%、55%、60%、65%、または70%において、あるいはそれらの間のいずれかの位置において生じることができる。最大厚さ53に達すると、増厚部53を有するエーロfoil36のプロファイルは直線状のエーロfoilのプロファイルに収束し始める。隆起部52、54は、高さ129のほぼ65%と90%との間の点で終えることができる(すなわち、増厚部53を有するエーロfoil36のプロファイルは直線状のエーロfoilの仮想プロファイルに収束する)。すなわち、増厚部52、54は、高さ129のほぼ65%、70%、75%、80%、85%または90%、あるいはそれらの間のいずれかの点で終えることができる。いくつかの実施形態では、隆起部52、54は、前縁44から後縁46まで、圧力側48および/または負圧側50の全長に沿って軸方向28に延在することができる。他の実施形態では、隆起部52、54は、前縁44と後縁46との間で、圧力側48および/または負圧側50の一部分に沿ってのみ延在することができる。圧力側48および/または負圧側50に隆起部52、54を有するエーロfoil36を備えた最終段エーロfoil24は、望ましい出口流れのプロファイルを生成し、2次流れを制御し、したがって、ディフューザの性能を改善する。さらに、60%スパンの近くに増厚部53を有するエーロfoil36は、励振源との共振を避けるようにエーロfoilの共振振動数を調整することに役立つことができる。励振源との共振を避けるようにエーロfoilの共振振動数を注意深く調整しなければ、運転することによって、エーロfoil36に過度な応力がかかり、構造的な損傷が生じる可能性がある。したがって、図8に示す増厚部を有するエーロfoil36の設計は、エーロfoil36の運転寿命を延ばすことができる。

【0027】

図9は、ディフューザの入口における正規化された全圧(絶対圧)(PTA)のプロファイルのプロット130を示す。図9に示す特定のプロット130は、増厚部を有するエーロfoil36を備えた最終段エーロfoil24を使用するターボ機械10の実施形態からのものである。正規化されたPTAのプロット130は単なる例であり、異なる実施形態では異なるPTAのプロファイルを有する場合があることを理解すべきである。図9では、水平軸132は単位のない正規化された全圧(絶対圧)(PTA)を示す。正規化されたPTAは、全スパンにわたる平均のPTAで割ったスパンの所与のパーセントにおけるPTAとして定義される。垂直軸134はスパンのパーセントを示し、第1の環状壁40は0%スパンとなり、第2の環状壁42は100%スパンとなる。曲線138は、直線状のエーロfoil36を備えた最終段エーロfoil24を使用する設計のPTAのプロファイルを示す。曲線140は、図4~7に関して説明したものと同様な形状および/または分布を有するエーロfoil36を備えた最終段エーロfoil24を使用するシステムの正規化されたPTAのプロファイルを示す。一般に、第1の環状壁40および第2の環状壁42の近くでのPTAの急上昇は、ディフューザ17の性能を改善する。したがって、好ましいプロファイルは、0~30%スパンで第1の環状壁(例えば、ハブ)の近くで急上昇し、中央の50%では比較的平坦で、80~100%スパンで第2の環状壁(例えば、ケーシング)の近くで再び急上昇する。図9で分かるように、曲線138には、第1の環状壁40および第2の環状壁42の近くには、正規化されたPTAの比較的急上昇している部分がなく、スパンの中央では、目標の曲線136よりも高いPTAを有している。曲線140は、第1の環状壁40および第2の環状壁42の近くに望ましい急上昇部分を有しており、これは、図4~7に関して説明したものと同様な形状および/または分布を有するエーロfoil36を備えた最終段エーロfoil24を使用しないシステムの曲線138とは異なる。さらに、正規化されたPTA曲線140は、中央の50%においては、増厚部を有するエーロfoil36を備えた最終段エーロfoil24を使用しないシステムの曲線138よりもずっと平坦である。

【0028】

同様に、図10はディフューザの入口におけるスワールのプロファイルのプロット142を示す。図10のプロット142は、図4~7に関して説明したものと同様な形状およ

び/または分布を有するエーロfoil 36を備えた最終段エーロfoil 24を使用するターボ機械10の実施形態からのものである。したがって、スワールのプロファイルのプロット142は単なる例である。異なる実施形態は異なるスワールのプロファイルを有する場合がある。図10では、水平軸144は、度で表した、軸方向28に対するスワールの角度を示す。垂直軸146はスパンのパーセントを示し、第1の環状壁40は0%スパンとなり、第2の環状壁42は100%スパンとなる。曲線150は、直線状のエーロfoil 36を備えた最終段エーロfoil 24を使用する設計のスワールのプロファイルを示す。曲線152は、図4~7に関して説明したものと同様な形状および/または分布を有するエーロfoil 36を備えた最終段エーロfoil 24を使用するシステムのスワールのプロファイルを示す。一般に、第1の環状壁40近くで(例えば、ほぼ8%スパン位置162で)スワールが小さく、スパンの中央(例えば、20%スパンから80%スパン)で傾きが直線状のとき、ディフューザの性能が改善される。図10に示すように、曲線152は、第1の環状壁40の近くで(例えば、ほぼ8%スパン位置162で)スワール角度が小さく、スパンの中央で傾きが直線状である。曲線152は、開示した方法を使用しないシステムの曲線150よりも望ましい特性を多く有する。

10

20

30

40

50

【0029】

図11は、60%スパンの近くで増厚部を有するエーロfoil 36を備えた最終段エーロfoil 24を有するターボ機械10のディフューザの改善された圧力回復係数(C_p)を示すプロット154である。垂直軸156は、0から1までの C_p 値を示す。ディフューザによって回復される圧力の比率である C_p は、ディフューザ性能を評価する1つの方法である。 C_p は0と1との間で変化する。 C_p 値が0であることは、ディフューザを通る流体の圧力をディフューザが全く回復しないことを意味する。 C_p 値が1であることは、ディフューザを通る流体の圧力をディフューザがすべて回復することを意味する。一般に、 C_p が高いほど望ましい。棒158で示すように、開示した形状を有するエーロfoil 36を備えた最終段エーロfoil 24を使用しない1つの設計では、 C_p 値はほぼ0.5である。これに代わって、棒160で示すように、開示した形状を有するエーロfoil 36を備えた最終段エーロfoil 24を有するターボ機械10の一実施形態では、 C_p 値は約0.82である。図9および10と同様、図11に示した C_p のプロット154は単なる例である。開示した方法を使用する他の実施形態では、異なる C_p 値となる場合がある。

【0030】

開示した実施形態の技術的効果には、いくつかの異なる方法でディフューザの性能を改善することを含む。第1に、エーロfoil 36の設計は、望ましいタービン16の出口流れのプロファイル(例えば、図9に示すPTAのプロファイル、および図10に示すスワールのプロファイル)を生成することに役立つ。具体的には、第1の環状壁の近く(例えば、ほぼ8%スパン位置162)でPTAが急上昇しスワール角度が小さいとき、ディフューザの圧力回復が改善される。第2に、図4に示すスロートの分布を有するエーロfoil 36の設計は、ハブ(例えば、第1の環状壁40)近くの2次流れ(すなわち、主流方向に対して横切る流れ)および/またはパージ流れを制御することに役立つことができる。第3に、60%スパンの近くで増厚部53を有するエーロfoil 36は、励振源との共振を避けるようにエーロfoilの共振振動数を調整することに役立つことができる。励振源との共振を避けるようにエーロfoilの共振振動数を注意深く調整しなければ、運転することによって、エーロfoil 36に過度な応力がかかり、構造的な損傷が生じる可能性がある。したがって、増厚部を有するエーロfoil 36の設計は、エーロfoil 36の運転寿命を延ばすことができる。

【0031】

本明細書では、最良の態様を含む例を用いて本主題を開示し、また、任意の装置またはシステムの作製および使用、ならびに任意の組み入れられた方法の実施を含め、当業者が本主題を実施できるように本発明を開示している。本主題の特許性を有する範囲は、特許請求の範囲によって規定され、当業者が想到する他の例を含むことができる。このような

他の例は、特許請求の範囲の文言と相違ない構成要素を有する場合、または特許請求の範囲の文言と実質的に相違ない等価の構成要素を含む場合、特許請求の範囲内であることを意図されている。

【符号の説明】

【0032】

10	ターボ機械	
12	圧縮機	
14	燃焼器	
16	タービン	
17	ディフューザ	10
18	段	
20	最終段	
22	最終段ノズル	
24	最終段バケット	
26	回転軸	
28	軸方向	
30	ラジアル平面	
32	半径方向	
34	周方向	
36	エーロfoil	20
38	通路	
40	第1の環状壁	
42	第2の環状壁	
44	前縁	
46	後縁	
48	圧力側	
50	負圧側	
52	負圧側隆起部	
53	増厚部	
54	圧力側隆起部	30
56	軸方向翼弦長	
58	プロット	
60	曲線	
62	X軸	
64	Y軸	
66	点	
68	点	
70	点	
72	点	
74	点	40
76	プロット	
78	曲線	
80	X軸	
82	Y軸	
84	点	
86	点	
88	点	
90	点	
92	点	
94	プロット	50

9 6	曲線	
9 8	X 軸	
1 0 0	Y 軸	
1 0 2	点	
1 0 4	点	
1 0 6	点	
1 0 8	点	
1 1 0	点	
1 1 2	プロット	
1 1 4	曲線	10
1 1 6	X 軸	
1 1 8	Y 軸	
1 2 0	点	
1 2 2	点	
1 2 4	点	
1 2 6	点	
1 2 8	点	
1 2 9	高さ	
1 3 0	プロット	
1 3 2	X 軸	20
1 3 4	Y 軸	
1 3 6	目標	
1 3 8	旧設計	
1 4 0	隆起バケット	
1 4 2	プロット	
1 4 4	X 軸	
1 4 6	Y 軸	
1 5 0	旧設計	
1 5 2	隆起バケット	
1 5 4	プロット	30
1 5 6	Y 軸	
1 5 8	旧設計	
1 6 0	隆起バケット	
D ₀	スロート	
T _{max}	最大厚さ	

【 図 1 】

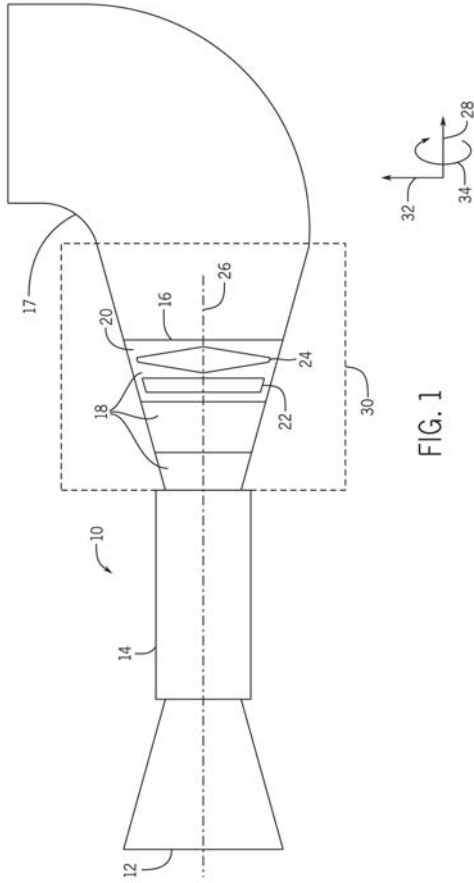


FIG. 1

【 図 2 】

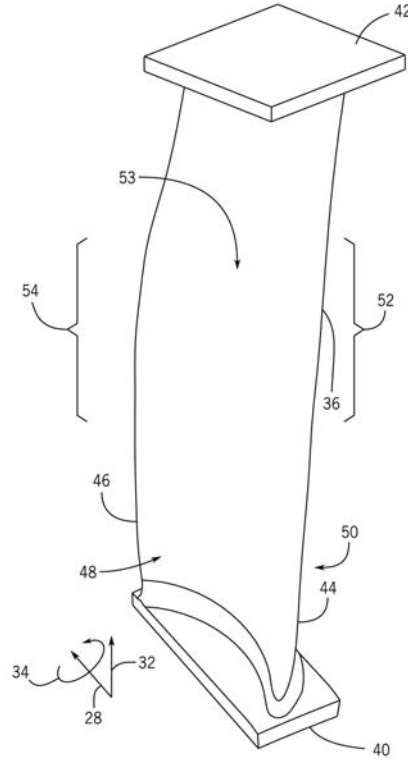


FIG. 2

【 図 3 】

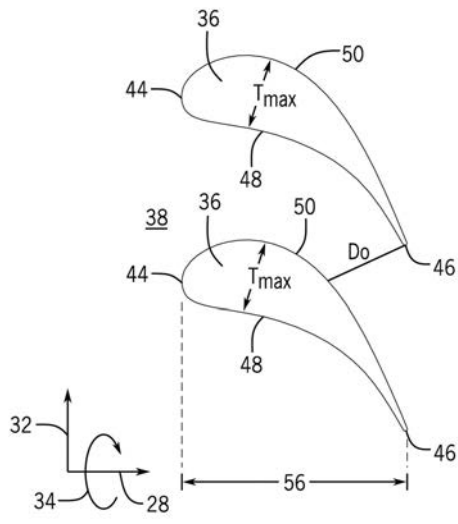


FIG. 3

【 図 4 】

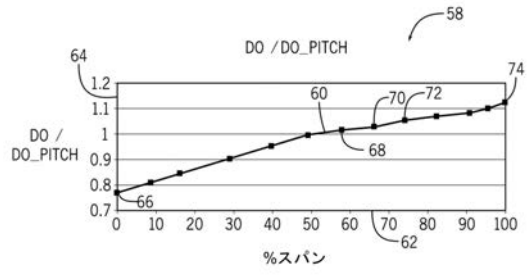


FIG. 4

【 図 5 】

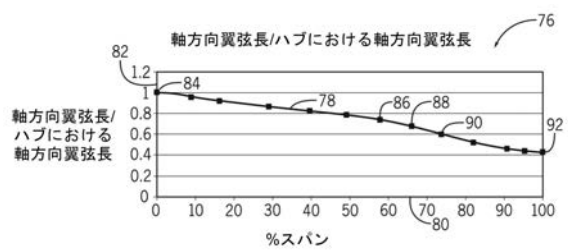


FIG. 5

【 図 6 】

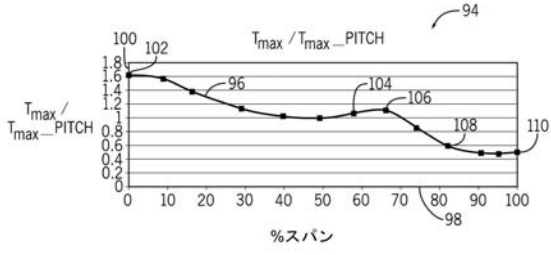


FIG. 6

【 図 7 】

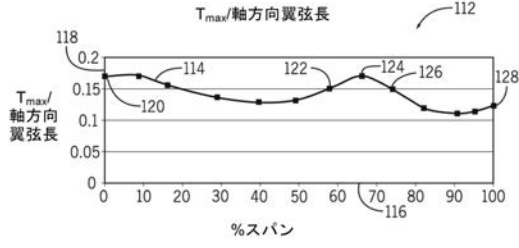


FIG. 7

【 図 8 】

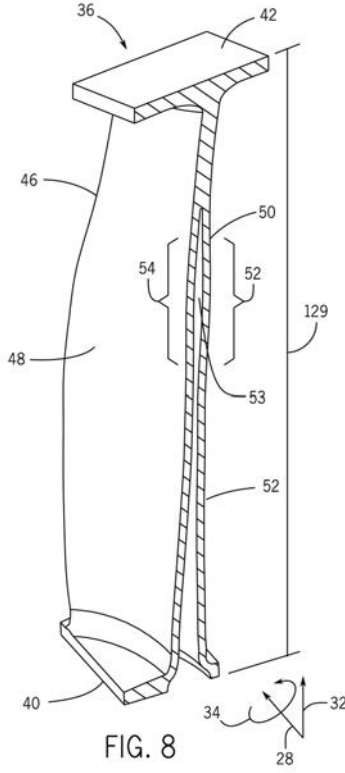


FIG. 8

【 図 9 】

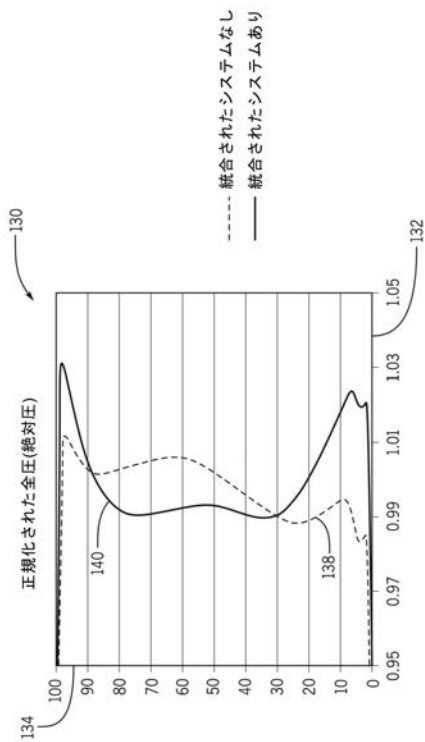


FIG. 9

【 図 10 】

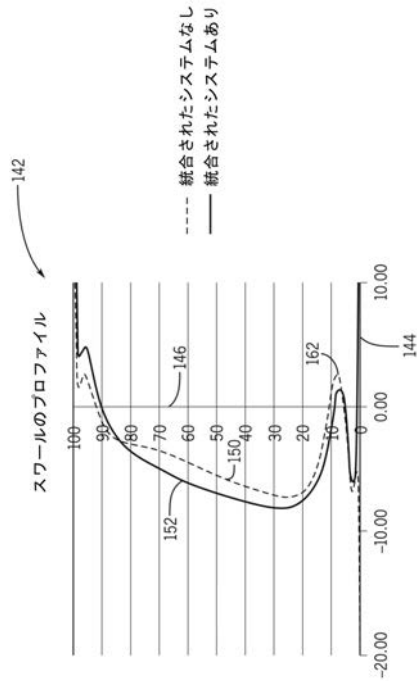


FIG. 10

【 図 1 1 】

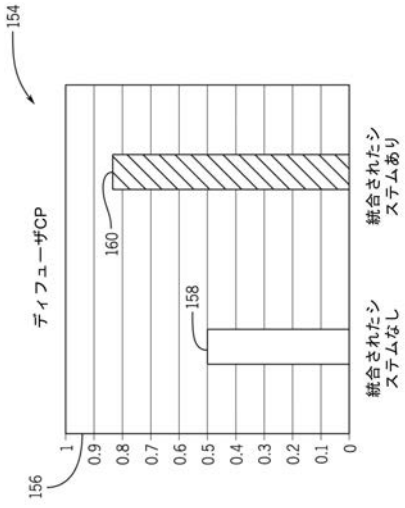


FIG. 11

フロントページの続き

- (72)発明者 スミク・クマール・バウミック
インド共和国、カルナータカ・560066、バンガロール、ホワイトフィールド・ロード、フー
ディ・ヴィレッジ、ジョン・エフ・ウェルチ・テクノロジー・センター
- (72)発明者 ブライアン・デンヴァー・ポッター
アメリカ合衆国、サウスカロライナ州・29615、グリーンヴィル、ガーリングトン・ロード、
300番
- (72)発明者 ロヒト・チョハン
インド共和国、カルナータカ・560066、バンガロール、ホワイトフィールド・ロード、フー
ディ・ヴィレッジ、ジョン・エフ・ウェルチ・テクノロジー・センター
- (72)発明者 ジョージア・フレミング・プラント
アメリカ合衆国、サウスカロライナ州・29615、グリーンヴィル、エグゼクティブ・センター
・サークル、200番

Fターム(参考) 3G202 BA02 BB01

【外国語明細書】

2017089629000001.pdf