

(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2007-154874

(P2007-154874A)

(43) 公開日 平成19年6月21日(2007.6.21)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>F 0 4 D 29/38 (2006.01)</b>	F O 4 D 29/38 A	3 H 1 3 0
	F O 4 D 29/38 C	

審査請求 有 請求項の数 17 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2006-303534 (P2006-303534)	(71) 出願人	590005449
(22) 出願日	平成18年11月9日 (2006.11.9)		ユナイテッド テクノロジーズ コーポレーション
(31) 優先権主張番号	11/295, 335		UNITED TECHNOLOGIES CORPORATION
(32) 優先日	平成17年12月6日 (2005.12.6)		アメリカ合衆国, コネチカット 06101, ハートフォード, ユナイテッド テクノロジーズ ビルディング
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100096459
			弁理士 橋本 剛
		(74) 代理人	100092613
			弁理士 富岡 潔
		(72) 発明者	マイケル エー. ワイセ
			アメリカ合衆国, コネチカット, トーランド, オータム ドライブ 64
			最終頁に続く

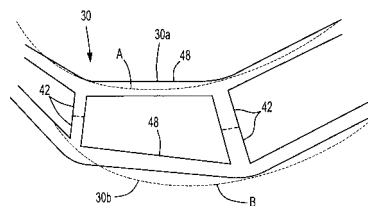
(54) 【発明の名称】 ガスタービンエンジンの中空ファンブレード及びその半割体の製造方法

## (57) 【要約】

【課題】 中空ファンブレード30の壁の厚さの増加を招くことなく、座屈に対する抵抗性・耐久性を高める。

【解決手段】 この中空ファンブレード30は、正圧面側壁と負圧面側壁の一方を有する半割体30aと他方を有する半割体30bとを備える。隣り合う一対のリブ42の間に延在する壁セグメント48を、湾曲のない直線状に形成する。隣り合う壁セグメント48を、中空ファンブレード30の翼形状に追従するように互いに平行ではない角度で延在させる。

【選択図】 図5



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

外表面を有する正圧面側壁と、  
 外表面を有する負圧面側壁と、  
 上記正圧面側壁と負圧面側壁との間に延在する複数のリブと、を有し、  
 上記正圧面側壁と負圧面側壁の少なくとも一方により、複数の直線状の壁セグメントが、  
 少なくとも一つの隣接する一対のリブの間に形成されていることを特徴とする中空ファンブレード。

## 【請求項 2】

上記複数の直線状の壁セグメントは、それぞれ隣接する一対のリブの間を直線状に延在していることを特徴とする請求項 1 に記載の中空ファンブレード。 10

## 【請求項 3】

隣接する壁セグメントが互いに平行ではないことを特徴とする請求項 2 に記載の中空ファンブレード。

## 【請求項 4】

上記複数のリブの少なくとも一部が実質的に平行で連続的に延在する複数のキャビティにより形成され、これらキャビティが上記正圧面側壁と負圧面側壁の少なくとも一方に形成されていることを特徴とする請求項 2 に記載の中空ファンブレード。

## 【請求項 5】

請求項 1 に記載の中空ファンブレードを複数備えることを特徴とするガスタービンエンジン。 20

## 【請求項 6】

上記複数のリブが互いに略平行であることを特徴とする請求項 1 に記載の中空ファンブレード。

## 【請求項 7】

上記複数のリブは第 1 の方向に湾曲し、続いて反対の第 2 の方向に湾曲していることを特徴とする請求項 6 に記載の中空ファンブレード。

## 【請求項 8】

a) 基材上の第 1 の領域に、実質的に平行で連続的に延在する一群の第 1 のリブ部を形成するステップを有し、上記第 1 のリブ部は互いに交差しておらず、 30  
 b) 実質的に平行で連続的に延在する一群の第 1 のキャビティを形成するステップを有し、各キャビティは隣接する第 1 のリブ部の間に設けられ、  
 c) 上記第 1 のキャビティのそれぞれの底壁に直線状の壁セグメントを形成するステップを有することを特徴とする中空ファンブレードの半割体の製造方法。

## 【請求項 9】

更に上記ステップ c) が、複数の第 1 のリブ部を第 1 の方向に曲げ、次いで上記複数の第 1 のリブ部を反対の第 2 の方向に曲げるステップを有することを特徴とする請求項 8 に記載の方法。

## 【請求項 10】

更に上記ステップ c) が、互いに平行でない角度で隣接する壁セグメントを形成するステップを有することを特徴とする請求項 9 に記載の方法。 40

## 【請求項 11】

更に上記ステップ c) が上記半割体に切子面状の外表面を形成するステップを有し、上記外表面の反対側に複数の第 1 のリブ部が設けられることを特徴とする請求項 10 に記載の方法。

## 【請求項 12】

外表面を有する正圧面側壁と、  
 外表面を有する負圧面側壁と、  
 上記正圧面側壁と負圧面側壁との間に延在する複数のリブと、を有し、上記正圧面側壁と負圧面側壁の少なくとも一方が、少なくとも幾つかの隣接するリブの間に複数の小平面 50

を有していることを特徴とする中空ファンブレード。

【請求項 1 3】

上記正圧面側壁と負圧面側壁の少なくとも一方の外表面には、隣接する一对のリブの間に小平面がそれぞれ設けられていることを特徴とする請求項 1 2 に記載の中空ファンブレード。

【請求項 1 4】

上記複数の小平面が複数の直線状の壁セグメントを含んでいることを特徴とする請求項 1 2 に記載の中空ファンブレード。

【請求項 1 5】

隣接する小平面が互いに平行でないことを特徴とする請求項 1 2 に記載の中空ファンブレード。 10

【請求項 1 6】

上記複数のリブの少なくとも一部が、上記正圧面側壁と負圧面側壁の一方に形成される実質的に平行で連続的に延在する複数のキャビティによって形成されていることを特徴とする請求項 1 2 に記載の中空ファンブレード。

【請求項 1 7】

請求項 1 6 に記載の中空ファンブレードを複数備えることを特徴とするガスタービンエンジン。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

20

【0001】

本発明は、一般的にはガスタービンエンジンに関し、特に、ガスタービンエンジン用の改良された中空ファンブレードに関する。

【背景技術】

【0002】

航空機用のターボファンエンジンのようなガスタービンエンジンは、ファンのセクションと、圧縮機のセクションと、燃焼セクションと、タービンのセクションと、を有している。エンジンの軸は、エンジン内の中央に配置され、上記のセクションを通して長手方向に延びている。作動媒体ガスの一次流路は、エンジンの上記セクションを通して軸方向に延びている。作動媒体ガスの二次流路は、上記一次流路と平行かつ径方向外方に延在して 30

【0003】

上記ファンのセクションには、ロータ組立体とステータ組立体とが設けられる。ファンのロータ組立体は、ロータディスクと径方向に延びる複数のファンブレードとを有している。ファンブレードは流路内に延在しており、作動媒体ガスと相互に作用して、作動媒体ガスとの間でエネルギーの変換を行う。ステータ組立体は、ファンブレードの先端に近接してロータ組立体を囲うファンケースを有している。

【0004】

運転中、ファンによって、作動媒体ガス、より詳しくは空気がエンジンへ吸入される。ファンにより昇圧された空気が二次流路に沿って流下して、有用な推力 ( u s e f u l t h r u s t ) が得られる。また、上記空気は一次流路に沿って圧縮機のセクションへ流下して圧縮される。圧縮された空気は燃焼セクションへ導かれ、ここでこの圧縮空気に燃料が加えられて、空気 / 燃料の混合気が燃焼される。燃焼生成物はタービンのセクションへ排出される。タービンのセクションでは上記燃焼生成物から圧縮空気やファンに動力を供給する仕事 ( w o r k ) が抽出される。燃焼生成物からのエネルギーのうちで、ファンや圧縮機の駆動に用いられない余剰のエネルギーは有用な推力の一部として利用される。 40

【0005】

あるガスタービンエンジンのファンブレードは、重量を低減するために中空状である。各ファンブレードは、2分割された半割体 ( d e t a i l h a l v e s ) を結合することによって形成される。各半割体は、構造的に堅牢な内部構造でありながら重量を抑制す 50

るように機械加工された複数のキャビティとリブとを有している。一方の半割体は正圧面側壁を形成し、他方の半割体は負圧面側壁を形成する。両半割体が結合されると、正圧面側壁と負圧面側壁とがリブによって支持されるとともに隔てられて、中空ファンブレードを形成する。そして中空ファンブレードは、翼（エアfoil）形状及び外形が得られるまでの間、極めて高い温度で成形工程にかけられる。上記の側壁（壁）は翼形状を形成するように湾曲した輪郭とされる。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ファンブレードは、鳥、氷やその他の異物との衝突に耐え得るものでなければならない。上記の衝突によってファンブレードの前端に大きな初期負荷が加えられて、この前端で翼の曲げを生じ易く、負圧面側のキャビティの壁に大きな圧縮負荷が作用する。この負荷に対し、翼幅方向で所定スパン毎に設けられるリブとキャビティでは座屈（buckling）への抵抗力が僅かしか得られず、進歩したブレードの形態では隣り合うリブのスパン間の外表面が弦状に湾曲しているのはこのためである。また、衝突のミリ秒後には二次的な負荷が生じ、衝突地点から衝撃波が四方に広がる。このような二次的な負荷が先へ伝わるに従い金属を曲げる。その後、この発生によるエネルギーが吸収されるまで、ブレードの翼端が前後に撓み続ける。このような動作により、圧縮と引張の負荷が正圧面側壁と負圧面側壁の双方のキャビティ壁へ交互に作用する。また、強い横風や機動飛行時の負荷の際、あるいは深刻な場合は、ブレードが外へ出てしまう際に、ブレードがケースに接触すると、ブレードの先端に周方向の負荷を受けやすい。このような先端の接触により上記圧縮負荷と同様の負荷が負圧面側のキャビティの壁へ作用する。

【0007】

隣り合うリブ間の壁に作用する圧縮負荷による壁の座屈は、壁の厚さやスパン（隣り合うリブの間隔）及び他の幾何学的形状に依存する。これらの理由により、使用されるべき壁の最小厚さが増加する。この増加により、ブレードの重量が増加するとともに、そのハブや収容部材をも考慮すると、エンジンの総重量の大幅な増加をもたらす。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明は、壁の厚さの増加を招くことなく、座屈に対する抵抗力・耐久性に優れた中空ファンブレードを提供するものである。上記中空ファンブレードは、リブによって支持及び分割される正圧面側壁と負圧面側壁とを有している。本発明では、隣り合う一對のリブ間の各壁セグメントは、直線状であり、湾曲していない。隣り合う一對の壁セグメントの少なくとも幾つかは、中空ファンブレードの翼形状を形成するように、互いに平行でない角度で延在している。

【0009】

この結果、ファンブレードの壁（側壁とも呼ぶ）には、連続的かつ滑らかに湾曲するものとは異なり、複数の小平面からなる切子面状の外表面が設けられる。隣り合うリブ間の直線状の壁セグメントにより、座屈を招くことなく高い圧縮負荷に耐え得ることができる。この結果、壁の厚さを低減することが可能となる。

【0010】

本発明の他の利点は添付の図面とともに考察される後述する詳細な説明を参照することにより理解されるであろう。

【0011】

本発明を要約すると、ガスタービンエンジン用の中空ファンブレードにより、壁の厚さの増加を招くことなく、座屈（buckling）に対する改善された耐久性が得られる。この中空ファンブレードは、リブにより支持される分割された負圧面側壁と正圧面側壁とを有している。本発明では、隣接する一對のリブ間の壁セグメントのそれぞれが、直線状であり、湾曲していない。少なくとも幾つかの隣接する壁セグメントは、互いに平行ではない角度で延在して、中空ファンブレードの翼形状を形成している。結果としてファン

ブレードの側壁は、連続的に滑らかに湾曲する外表面とは別の形状の外表面を有するものとなる。隣接するリブ間の直線状の壁セグメントは、座屈を招くことのないように高い圧縮力に耐え得るものである。従って、壁の厚さを抑制することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

ガスタービンエンジン10は、ターボファンガスタービンエンジンのように、エンジンの中心線、すなわち図示される軸方向の中心軸12の周りに周方向に配置されている。このエンジン10は、ファン14と、圧縮機16と、燃焼セクション18と、タービン20と、を有している。周知のように、空気は圧縮機16で圧縮されて燃料と混合されて、燃焼セクション18において燃焼され、タービン20で膨張される。圧縮機16で圧縮された空気とタービン20で膨張された燃料混合気はともに熱ガス流28と呼ぶことができる。タービン20は膨張に応じて回転するロータ22を有し、圧縮機16やファン14を駆動する。タービン20は、回転翼すなわちブレード24と静止翼すなわちベーン26とが交互に並ぶ列を備えている。

10

【0013】

ファン14は、ファンケース27により囲われており、かつ、ロータ組立体を有している。このロータ組立体はロータディスク29と複数のファンブレード30とを有している。各ブレード30は、ロータディスク29から径方向外方へ作動媒体流路を横切ってファンケース27の近傍へ延びている。ファンブレード30は、中空ファンブレードであって、第1の中空ファンブレードの半割体(detailed half:単一半体、詳細半部とも呼ぶ)30aと、第2の中空ファンブレードの半割体30bと、を有し、一方が正圧面側壁を形成し、他方が負圧面側壁を形成する。

20

【0014】

第1の実施例の一方のファンブレードの半割体30aが図2に示されている。他方のファンブレードの半割体30bは、この半割体30aに対応した構造をなし、後述する説明により理解され得るであろう。ファンブレードの半割体30aは好ましくはチタン(チタニウム)の基材31を有し、この基材31は、先端34の反対側に基端32を有し、後端38の反対側に前端36を有している。

【0015】

必要な剛性や強度を維持しつつ重量を抑制するために、複数の細長い連続的なキャビティ40が基材31の表面の内側に機械加工されている。キャビティ40は互いに間隔をあけて設けられ、複数の連続した交差しないリブ42を形成する。機械加工に代えて(もしくは追加的に)、リブ42は超塑性成形される。キャビティ40は、その全てが基材31の基端32と先端34の間、及び前端36と後端38との間に形成される。

30

【0016】

リブ42は、図1のタービンエンジン10の使用時及び製造時の双方において、必要な部位に剛性を提供するように、配置され、かつ、偏向されている。更に、リブ42は、慣性が小さなものとなる長く直線状のキャビティ40を排除するように、カーブし、かつ、向きを変えており、つまりS字状の蛇行形状に形成されている。好ましくは、キャビティ40はいかなる方向についても、ブレード翼弦の半分以上の長さで一方向に連続したものはなっていない。個々の要求に応じてキャビティ40とリブ42の様々な異なる変形例が本発明では適用され得る。参考として、このような変形例の幾つかが、継続中の本出願人による米国特許出願(公開)の2005-0163618A1, 2005-0163620A1, 2005-0160599A1, 2005-0163619A1, 2005-0163617A1及びガスタービンエンジン用の中空ファンブレード, 2005年8月15日出願, シリアル番号11/203, 694に開示されている。

40

【0017】

図3は、カッター54により機械加工される半割体30aを示す断面図である。各キャビティ40の床(底壁)には互いに対向する壁の内側表面50に壁セグメント48が形成され、その幾つかはリブ42を画定している。更に各キャビティ40には、上記壁セグメ

50

ント48とその内側表面50との間の隅角部分に円弧部52が与えられている。図示するように、壁セグメント48とその両側の内側表面50とは、好ましくはカッター54の一回の通過で同時に切削される。キャビティ40がリブ42と交差することなく連続しているので、各キャビティ40は単一のカッターによる一回の通過で加工され得る。あるいは、各キャビティ40を粗削り加工と続く仕上げ加工とで形成しても良く、この場合でも必要なカッターの数や切削回数が大幅に低減される。加えて、壁セグメント48の床面を加工前に湾曲させることがほとんどないので、(図3に概略示すように)カッター54を3軸式機械(3-axis machine)55によって駆動・操作することができ、あるいは、更に機械加工の工数を低減するために、湾曲した帯状の表面形状をもつフラットな翼表面を用いることもでき、これによりエンドミル式のカッターを用いた3軸式機械によ

10

20

30

40

50

#### 【0018】

図4はファンブレード30の一部を示す断面図である。ファンブレードの半割体30aのリブ42は、ファンブレードの半割体30bのリブ43と整合されて結合される。半割体30a, 30bを接合した後、成形工程においてブレード30に翼形状が与えられる。成形工程では、高温下で所望の形状が得られるように2つの半割体が曲げられたり反らさ

#### 【0019】

図5は、各半割体30a, 30bにおける隣接する3つの壁セグメント48と2本のリブ42とを示す拡大図である。壁セグメント48は、図5の仮想線で示す従来例(なお、図5では曲率や角度を誇張して描いている)のように連続的に湾曲する外表面A及びBとは異なり、一对のリブ42間に直線状に延在している。翼形状の湾曲に追従するように、隣接する壁セグメント48は互いに平行でない角度で延在している。また、図4および図5から明らかなように、対向する壁セグメント48(具体的には、同じ一对の結合リブ42間を接続する、対向する半割体30a, 30b上の壁セグメント48の部分)が互いに平行でなくてもよく、この場合、中空ファンブレード30の厚さがその幅方向について変化する。サイジングは要求負荷の推移や積載能力に依存している。好ましくは、壁セグメント48の厚さtに対するリブ壁面フィレットが終了する部分でのキャビティの幅wの比が10未満であるが、リブを負荷に対して更に平行に配置できる場合には、上記比を10以上にすることができる。

#### 【0020】

直線状の壁セグメント48により、従来使用されていた湾曲する壁セグメントに比して、圧縮負荷の作用下での座屈に対する優れた抵抗性・耐久性が得られる。従って、耐久性を維持しつつ壁セグメント48の厚さを低減することができる。壁セグメント48の厚さを低減することによって、単に中空ファンブレード30の重量が低減されるだけでなく、ファンブレード30を囲うファンケース27やハブの要求強度が低減され、ひいてはエンジン10(図1)の総重量を著しく低減することができる。

#### 【0021】

特許法及び法理学の規定に応じて、上述したように本発明の好ましい実施形態を示す具体的な構成について考察した。しかしながら、本発明は、その趣旨や範囲を逸脱することなく、特定の図示実施例とは異なる形態にも適用可能である。また、方法クレームでのス

テップに対する英字の参照符号は、従属項による引用を容易にするためのものであって、特に言及のない限り必須の順序を示すものではない。

【0022】

上記の説明より把握し得る本発明の特徴的な技術思想について列記する。

【0023】

<1>中空ファンブレード(30)は、  
外表面を有する正圧面側壁と、  
外表面を有する負圧面側壁と、  
上記正圧面側壁と負圧面側壁との間に延在する複数のリブ(42)と、を有し、  
上記正圧面側壁と負圧面側壁の少なくとも一方により、複数の直線状の壁セグメント(48)が、少なくとも一つの隣接する一対のリブ(42)の間に形成されている。 10

【0024】

<2>上記<1>において、上記複数の直線状の壁セグメント(48)は、それぞれ隣接する一対のリブ(42)の間を直線状に延在している。

【0025】

<3>上記<2>において、隣接する壁セグメント(48)が互いに平行ではない。

【0026】

<4>上記<2>において、上記複数のリブ(42)の少なくとも一部が実質的に平行で連続的に延在する複数のキャビティ(40)により形成され、これらキャビティ(40)が上記正圧面側壁と負圧面側壁の少なくとも一方に形成されている。 20

【0027】

<5>上記<1>の中空ファンブレード(30)を複数備えるガスタービンエンジン(10)。

【0028】

<6>上記<1>において、上記複数のリブ(42)が互いに略平行である。

【0029】

<7>上記<6>において、上記複数のリブ(42)は第1の方向に湾曲し、続いて反対の第2の方向へ湾曲しており、つまり図2に示すようにS字状に蛇行している。具体的には、図2の左側の領域では複数のリブ42を第1の方向(上に凸な方向)に湾曲させており、続く図2の中央の領域では複数のリブ42を第1の方向とは反対の方向(下に凸な方向)に湾曲させている。 30

【0030】

<8>中空ファンブレードの半割体(30a, 30b)の製造方法が、  
a) 基材(31)上の第1の領域に、実質的に平行で連続的に延在する一群の第1のリブ部(42)を形成するステップを有し、上記第1のリブ部は互いに交差しておらず、  
b) 実質的に平行で連続的に延在する一群の第1のキャビティ(40)を形成するステップを有し、各キャビティは隣接する第1のリブ部の間に設けられ、  
c) 上記第1のキャビティ(40)のそれぞれの底壁に直線状の壁セグメント(48)を形成するステップを有している。

【0031】

<9>上記<8>において、更に上記ステップc)が、複数の第1のリブ部(42)を第1の方向に曲げ、次いで上記複数の第1のリブ部を反対の第2の方向に曲げるステップを有する。 40

【0032】

<10>上記<9>において、更に上記ステップc)が、互いに平行でない角度で隣接する壁セグメント(48)を形成するステップを有する。

【0033】

<11>上記<10>において、更に上記ステップc)が上記半割体(30a, 30b)に切子面状の外表面を形成するステップを有し、上記外表面の反対側に複数の第1のリブ部(42)が設けられる。 50

## 【 0 0 3 4 】

< 1 2 > 中空ファンブレード ( 3 0 ) が、

外表面を有する正圧面側壁と、

外表面を有する負圧面側壁と、

上記正圧面側壁と負圧面側壁との間に延在する複数のリブ ( 4 2 ) と、を有し、上記正圧面側壁と負圧面側壁の少なくとも一方が、少なくとも幾つかの隣接するリブの間に複数の小平面を有している。

## 【 0 0 3 5 】

< 1 3 > 上記 < 1 2 > において、上記正圧面側壁と負圧面側壁の少なくとも一方の外表面には、隣接する一対のリブの間に小平面がそれぞれ設けられている。

10

## 【 0 0 3 6 】

< 1 4 > 上記 < 1 2 > において、上記複数の小平面が複数の直線状の壁セグメント ( 4 8 ) を含んでいる。

## 【 0 0 3 7 】

< 1 5 > 上記 < 1 2 > において、隣接する小平面が互いに平行でない。

## 【 0 0 3 8 】

< 1 6 > 上記 < 1 2 > において、上記複数のリブの少なくとも一部が、上記正圧面側壁と負圧面側壁の一方に形成される実質的に平行で連続的に延在する複数のキャビティ ( 4 0 ) によって形成されている。

## 【 0 0 3 9 】

< 1 7 > 上記 < 1 6 > の中空ファンブレードを複数備えるガスタービンエンジン。

20

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 4 0 】

【 図 1 】 本発明に係る中空ファンブレードを備えた軸流式のターボファンガスタービンエンジンを示す断面図。

【 図 2 】 図 1 の中空ファンブレードの一つの半割体を示す平面図。

【 図 3 】 図 2 の半割体のキャビティのうち3つと、これらのキャビティを成形するカッターと、を示す断面図。

【 図 4 】 図 2 のファンブレード半割体に対応するファンブレードが組み合わされた断面図。

30

【 図 5 】 上記半割体をその従来例とともに示す断面図。

## 【 符号の説明 】

## 【 0 0 4 1 】

1 0 ... ガスタービンエンジン

3 0 ... 中空ファンブレード

3 0 a , 3 0 b ... 半割体

3 1 ... 基材

4 0 ... キャビティ

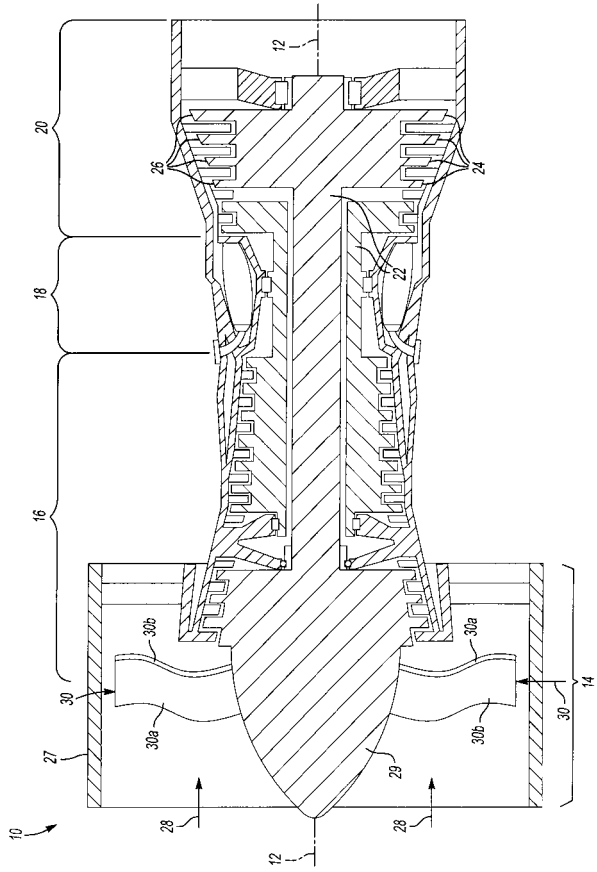
4 2 ... リブ

4 8 ... 壁セグメント

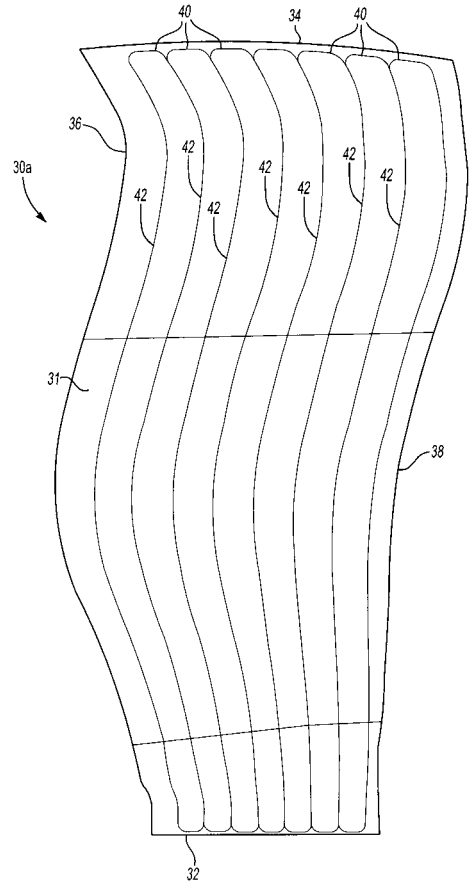
40



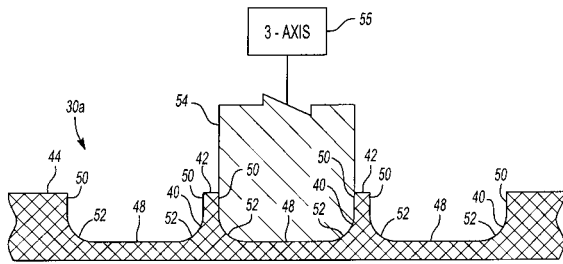
【 図 1 】



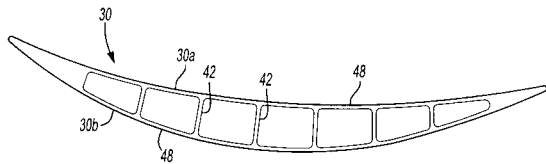
【 図 2 】



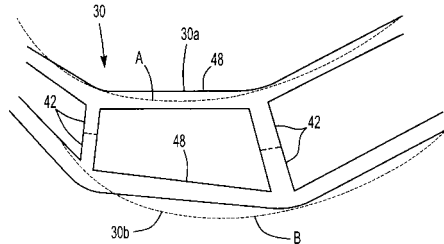
【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 ウィリアム アール・グレーヴズ

アメリカ合衆国, コネチカット, マンチェスター, リダル ストリート 3 8

(72)発明者 スティーヴン ブレット ボナリーゴ

アメリカ合衆国, コネチカット, エイヴオン, アシュフォード ドライブ 3

Fターム(参考) 3H130 AA13 AB07 AB12 AB26 AB52 AB62 AB65 AB69 AC17 BA22C

BA97C CB01 DA02Z EB00C EB02C EC05C EC14C ED01C