

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5920966号  
(P5920966)

(45) 発行日 平成28年5月24日(2016.5.24)

(24) 登録日 平成28年4月22日(2016.4.22)

(51) Int.Cl.

F04D 29/30 (2006.01)  
F04D 29/28 (2006.01)

F 1

F O 4 D 29/30  
F O 4 D 29/28C  
C

請求項の数 10 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2011-181102 (P2011-181102)  
 (22) 出願日 平成23年8月23日 (2011.8.23)  
 (65) 公開番号 特開2012-52534 (P2012-52534A)  
 (43) 公開日 平成24年3月15日 (2012.3.15)  
 審査請求日 平成26年8月18日 (2014.8.18)  
 (31) 優先権主張番号 12/873, 228  
 (32) 優先日 平成22年8月31日 (2010.8.31)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 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 123  
 45、スケネクタディ、リバーロード、1  
 番  
 (74) 代理人 100137545  
 弁理士 荒川 智志  
 (74) 代理人 100105588  
 弁理士 小倉 博  
 (74) 代理人 100129779  
 弁理士 黒川 俊久

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】超音速圧縮機ロータおよびそれを組み立てる方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

上流側表面と、下流側表面と、前記上流側表面と前記下流側表面の間を延びる半径方向外側表面とを備えるロータディスクであって、前記半径方向外側表面が入口表面と、出口表面と、前記入口表面と前記出口表面の間を延びる移行表面とを備え、前記ロータディスクが中央線軸を画成する、ロータディスクと、

前記半径方向外側表面に連結される複数のベーンであって、隣接するベーンが、対を形成し、隣接するベーンの各前記対の間に流路が画成されるように配向され、前記流路が入口開口部と出口開口部の間を延び、前記入口表面が、前記入口開口部と前記移行表面の間を延びる入口平面を画成し、前記出口表面が、前記出口開口部と前記入口平面に対して平行でない前記移行表面との間を延びる出口平面を画成する、ベーンと、

前記流路内に少なくとも1つの圧縮波を形成するのを助けるように、前記流路内に配置され一様なスロートを画成する後縁を有する少なくとも1つの超音速圧縮ランプと、  
を備える、超音速圧縮機ロータ。

## 【請求項 2】

前記入口表面が、前記流路が前記入口開口部から前記移行表面までの軸方向流れ経路を画成するように、前記中央線軸に対して実質的に平行に配向され、前記出口表面が、前記流路が前記移行表面から前記出口開口部までの斜め方向流れ経路を画成するように、前記中央線軸に対して斜め方向角度に配向される、請求項1に記載の超音速圧縮機ロータ。

## 【請求項 3】

10

20

前記入口表面が、前記流路が前記入口開口部から前記移行表面までの軸方向流れ経路を画成するように、前記中央線軸に対して実質的に平行に配向され、前記出口表面が、前記流路が前記移行表面から前記出口開口部までの半径方向流れ経路を画成するように、前記中央線軸に対して実質的に直角に配向される、請求項1に記載の超音速圧縮機ロータ。

**【請求項4】**

前記入口表面が、前記流路が前記入口開口部から前記移行表面までの半径方向流れ経路を画成するように、前記中央線軸に対して実質的に直角に配向され、前記出口表面が、前記流路が前記移行表面から前記出口開口部までの軸方向流れ経路を画成するように、前記中央線軸に対して実質的に平行に配向される、請求項1に記載の超音速圧縮機ロータ。

**【請求項5】**

前記入口表面が、前記流路が前記入口開口部から前記移行表面までの半径方向流れ経路を画成するように、前記中央線軸に対して実質的に直角に配向され、前記出口表面が、前記流路が前記移行表面から前記出口開口部までの斜め方向流れ経路を画成するように、前記中央線軸に対して斜め方向角度に配向される、請求項1に記載の超音速圧縮機ロータ。

**【請求項6】**

前記入口表面が、前記流路が前記入口開口部から前記移行表面までの斜め方向流れ経路を画成するように、前記中央線軸に対して斜め方向角度に配向され、前記出口表面が、前記流路が前記移行表面から前記出口開口部までの軸方向流れ経路を形成するように、前記中央線軸に対して実質的に平行に配向される、請求項1に記載の超音速圧縮機ロータ。

**【請求項7】**

前記入口表面が、前記流路が前記入口開口部から前記移行表面までの斜め方向流れ経路を画成するように、前記中央線軸に対して斜め方向角度に配向され、前記出口表面が、前記流路が前記移行表面から前記出口開口部までの半径方向流れ経路を形成するように、前記中央線軸に対して実質的に直角に配向される、請求項1に記載の超音速圧縮機ロータ。

**【請求項8】**

前記入口表面が、前記流路が前記入口開口部から前記移行表面までの斜め方向流れ経路を画成するように、前記中央線軸に対して斜め方向角度に配向され、前記出口表面が、前記流路が前記移行表面から前記出口開口部までの斜め方向流れ経路を形成するように、前記中央線軸に対して斜め方向角度に配向される、請求項1に記載の超音速圧縮機ロータ。

**【請求項9】**

流体入口および流体出口の間を延びる空洞を画成するケーシングと、  
前記ケーシング内に配置され、中央線軸を画成し、駆動アセンブリに回転可能に連結される駆動シャフトと、

前記駆動シャフトに連結され、流体を前記流体入口から前記流体出口まで導くために前記流体入口と前記流体出口の間に配置される超音速圧縮機ロータと  
を備え、前記超音速圧縮機ロータが、

上流側表面と、下流側表面と、前記上流側表面と前記下流側表面の間を延びる半径方向外側表面とを備えるロータディスクであり、前記半径方向外側表面が、入口表面と、出口表面と、前記入口表面と前記出口表面の間を延びる移行表面とを備える、ロータディスクと、

前記半径方向外側表面に連結される複数のベーンであり、隣接するベーンが、対を形成し、隣接するベーンの各前記対の間に流路が画成されるように配向され、前記流路が入口開口部と出口開口部の間を延び、前記入口表面が、前記入口開口部と前記移行表面の間を延びる入口平面を画成し、前記出口表面が、前記出口開口部と前記入口平面に対して平行でない前記移行表面の間を延びる出口平面を画成する、複数のベーンと、

前記流路内に少なくとも1つの圧縮波を形成するのを助けるように前記流路内に配置され一様なスロートを画成する後縁を有する少なくとも1つの超音速圧縮ランプと、  
を備える、超音速圧縮機システム。

**【請求項10】**

前記入口表面が、前記流路が前記入口開口部から前記移行表面までの軸方向流れ経路を

10

20

30

40

50

画成するように、前記中央線軸に対して実質的に平行に配向され、前記出口表面が、前記流路が前記移行表面から前記出口開口部までの斜め方向流れ経路を画成するように、前記中央線軸に対して斜め方向角度に配向される、請求項 9 に記載の超音速圧縮機システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本明細書に記載される主題は一般に超音速圧縮機システムに関し、より詳しくは超音速圧縮機システムと共に使用するための超音速圧縮機ロータに関する。

【背景技術】

10

【0002】

少なくともいくつかの既知の超音速圧縮機アセンブリは、吸気セクションと、排気セクションと、吸気セクションと排気セクションの間に配置される少なくとも 1 つの超音速圧縮機ロータとを含む。

【0003】

既知の超音速圧縮機ロータは、ロータディスクに連結された複数のストレーキを含む。各ストレーキは、ロータディスクの周りで円周方向に配向され、隣接するストレーキ間に軸方向流路を画成する。少なくともいくつかの既知の超音速圧縮機ロータは、ロータディスクに連結される超音速圧縮ランプを含む。既知の超音速圧縮ランプは軸方向流れ経路内に配置され、この流れ経路内に圧縮波を形成するように構成される。既知の超音速圧縮機アセンブリは、流体を軸方向に導くのを助けるように軸方向に配向された流れ経路を含む吸気セクションを含む。さらに、少なくともいくつかの既知の超音速圧縮機アセンブリは、軸方向に配向される流体流れを既知の超音速圧縮機ロータから受け取るように構成される排気セクションを含む。

20

【0004】

少なくともいくつかの既知の超音速圧縮機アセンブリの動作中、超音速圧縮機ロータは、高回転速度で回転する。流体は、吸気セクションから超音速圧縮機ロータまで軸方向に導かれ、その結果、超音速圧縮機ロータに対して超音速である速度によって特徴付けられる。少なくともいくつかの既知の超音速圧縮機ロータは、流体を軸方向に排気する。流体が軸方向に導かれるとき、超音速圧縮機ロータの下流側に配置される排気セクションは、軸方向に配向される流れを受け取るように設計する必要がある。既知の超音速圧縮機システムは、例えば、それぞれ 2005 年 3 月 28 日および 2005 年 3 月 23 日に出願された米国特許第 7、334、990 号および第 7、293、955 号、および 2009 年 1 月 16 日に出願された米国特許出願第 2009/0196731 号に記載されている。

30

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献 1】 M . F . E L - D O S O K Y , A . R O M A and J . P . G O S T E L O W , An Analytical Model for Over-Shroud Leakage Losses in a Shrouded Turbine Stage , ASME Turbo Expo 2007 , Power for Land , Sea and Air , GT2007 , May 2007 , pages 1 ~ 10 , Montreal Canada

40

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0006】

一実施形態では、超音速圧縮機ロータが提供される。この超音速圧縮機ロータは、上流側表面と、下流側表面と、上流側表面と下流側表面の間を延びる半径方向外側表面とを含むロータディスクを含む。この半径方向外側表面は、入口表面と、出口表面と、入口表面と出口表面の間を延びる移行表面とを含む。このロータディスクは、中央線軸を画成する

50

。複数のベーンが、半径方向外側表面に連結される。隣接するベーンは、対を形成し、隣接するベーンの各対の間に流路が画成されるように配向される。流路は、入口開口部と出口開口部の間を延びる。入口表面は入口開口部と移行表面の間を延びる入口平面を画成する。出口表面は、出口開口部と入口平面に対して平行でない移行表面の間を延びる出口平面を画成する。少なくとも1つの超音速圧縮ランプが、流路内に少なくとも1つの圧縮波を形成するのを助けるように、流路内に配置される。

#### 【0007】

別の実施形態では、超音速圧縮機システムが提供される。この超音速圧縮機システムは、流体入口と流体出口との間を延びる空洞を画成するケーシングを含む。駆動シャフトがケーシング内に配置され、中央線軸を画成する。駆動シャフトは駆動アセンブリに回転可能に連結される。超音速圧縮機ロータは駆動シャフトに連結される。超音速圧縮機ロータは、流体を流体入口から流体出口まで導くように流体入口と流体出口の間に配置される。超音速圧縮機ロータは、上流側表面と、下流側表面と、上流側表面と下流側表面の間を延びる半径方向外側表面とを含むロータディスクを含む。半径方向外側表面は、入口表面と、出口表面と、入口表面と出口表面の間を延びる移行表面とを含む。複数のベーンが半径方向外側表面に連結される。隣接するベーンは対を形成し、流路が隣接するベーンの各対の間に画成されるように配向される。流路は、入口開口部と出口開口部の間を延びる。入口表面は、入口開口部と移行表面の間を延びる入口平面を画成する。出口表面は出口開口部と入口平面に対して平行でない移行表面の間を延びる出口平面を画成する。少なくとも1つの超音速圧縮ランプが、流路内に少なくとも1つの圧縮波を形成するのを助けるように、流路内に配置される。

10

#### 【0008】

さらに別の実施形態では、超音速圧縮機ロータを組み立てる方法が提供される。この方法は、上流側表面と、下流側表面と、上流側表面と下流側表面の間を延びる半径方向外側表面とを含むロータディスクを設けるステップを含む。半径方向外側表面は、入口表面と、出口表面と、入口表面と出口表面の間を延びる移行表面とを含む。ロータディスクは中央線軸を画成する。複数のベーンが半径方向外側表面に連結される。隣接するベーンは対を形成し、流路が隣接するベーンの各対の間に画成されるように配向される。流路は、入口開口部と出口開口部の間を延びる。入口表面は、入口開口部と移行表面の間を延びる入口平面を画成する。出口表面は出口開口部と入口平面に対して平行でない移行表面の間を延びる出口平面を画成する。少なくとも1つの超音速圧縮ランプが、複数のベーンのうちのベーンの1つと半径方向外側表面とに連結される。超音速圧縮ランプは流路内に配置され、流路内に少なくとも1つの圧縮波を形成するのを助けるように構成される。

20

#### 【0009】

本発明のこれらのおよび他の機構、態様、および利点は、同様な符号が図面を通じて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、より良く理解されるであろう。

30

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0010】

【図1】例示的な超音速圧縮機システムの概略図である。

40

【図2】図1に示す超音速圧縮機システムと共に使用することができる、例示的な超音速圧縮機ロータの斜視図である。

【図3】図2の線3～3に沿って取られた、図2に示す超音速圧縮機ロータの斜視図である。

【図4】図3に示す、面積4に沿って取られた超音速圧縮機ロータの一部分の拡大横断面図である。

【図5】図2の線5～5に沿って取られた、図2に示す超音速圧縮機ロータの別の横断面図である。

【図6】図1に示す超音速圧縮機システムと共に使用することができる、代替の超音速圧縮機ロータの横断面図である。

50

【図7】図1に示す超音速圧縮機システムと共に使用することができる、代替の超音速圧縮機ロータの横断面図である。

【図8】図1に示す超音速圧縮機システムと共に使用することができる、代替の超音速圧縮機ロータの横断面図である。

【図9】図1に示す超音速圧縮機システムと共に使用することができる、代替の超音速圧縮機ロータの横断面図である。

【図10】図1に示す超音速圧縮機システムと共に使用することができる、代替の超音速圧縮機ロータの横断面図である。

【図11】図1に示す超音速圧縮機システムと共に使用することができる、代替の超音速圧縮機ロータの横断面図である。 10

【図12】図1に示す超音速圧縮機システムと共に使用することができる、代替の超音速圧縮機ロータの横断面図である。

【図13】図1に示す超音速圧縮機システムと共に使用することができる、代替の超音速圧縮機ロータの横断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

そうではないと指示されない限り、本明細書で提供される図面は、本発明の主要な発明性のある機構を例示するためのものである。これらの主要な発明性のある機構は、本発明の1つまたは複数の実施形態を含む多種多様なシステムに適用可能であると考えられる。したがってこれらの図面は、本発明の実施に必要とされる、当業者に知られている全ての従来型の機構を含むことを意味しない。 20

【0012】

以下に続く、以下の明細書および特許請求の範囲では、参照が多数の用語に対して行われ、それらは以下の意味を有するように定義されるものとする。

【0013】

数値のないことや「前記」などの冠詞は、文脈が明確にそうではないと指示しない限り複数の言及を含む。

【0014】

「任意選択の(optional)」または「適宜(optional)」は、引き続き記載される事象または状況が起きることも起きないこともあることを意味し、この記載はこの事象が起きる場合および起きない場合を含む。 30

【0015】

本明細書および特許請求の範囲を通して本明細書で使用される概算用語は、関連する基本的な機能を変化させずに変動することが許される任意の定量的な表現を変更するために適用することができる。したがって、「約/about」および「実質的に/substantially」などの用語または複数の用語によって修正される値は、特定の正確な値に限定されるべきではない。少なくともいくつかの事例では、この概算用語は、この値を測定するための機器の正確度に対応することができる。ここで、かつ明細書および特許請求の範囲を通して、範囲の限界は組み合わせる、かつ/または入れ替えることができ、そのような範囲は、文脈または用語がそうではないと示さない限りその中に含まれる全てのサブ範囲と同一視され、かつ全てのサブ範囲を含む。 40

【0016】

本明細書で使用されるとき、用語「超音速圧縮機ロータ(supersonic compressor rotor)」は、超音速圧縮機ロータの流体流路内に配設される超音速圧縮ランプを備える圧縮機ロータを意味する。超音速圧縮機ロータは、ロータの流路内に配設される超音速圧縮ランプのところで回転する超音速圧縮機ロータに遭遇する移動流体、例えば移動ガスが超音速である相対的な流体速度を有すると言われるように、ロータが高速度で回転軸の周りを回転するように設計されるので、「超音速(supersonic)」であると言われる。この相対的な流体速度は、超音速圧縮ランプのところのロータ速度と超音速圧縮ランプに遭遇する直前の流体速度とのベクトルの和の観点から定義 50

することができる。この相対的な流体速度は、時には「局所的超音速入口速度（local supersonic inlet velocity）」と呼ばれ、それは特定の実施形態では、入口ガス速度と超音速圧縮機ロータの流路内に配設される超音速圧縮ランプの接線方向速度との組み合わせである。この超音速圧縮機ロータは、非常に高い接線方向速度、例えば300メートル／秒から800メートル／秒の範囲内の接線方向速度で使用されるように設計される。

#### 【0017】

本明細書に記載される例示的なシステムおよび方法は、超音速圧縮機の流れ経路を通る流体の向きを調節するのを容易にする超音速圧縮機ロータを設けることによって、既知の超音速圧縮機アセンブリの欠点を克服する。より具体的には、この超音速圧縮機ロータは、流れ経路の向きを移行させる移行表面を含む。さらに、本明細書に記載される実施形態は、入口表面と入口表面に対して平行でない出口表面とを含む超音速圧縮ロータを含む。その上、本明細書に記載されるような超音速圧縮機ロータを設けることによって、超音速圧縮機システムが軸方向吸気配向、半径方向吸気配向、斜め方向吸気配向、軸方向排気配向、半径方向排気配向、および／または斜め方向排気配向の各々を含むように設計することが可能になる。

#### 【0018】

図1は、例示的な超音速圧縮機システム10の概略図である。この例示的な実施形態では、超音速圧縮機システム10は、吸気セクション12と、吸気セクション12から下流側に連結される圧縮機セクション14と、圧縮機セクション14から下流側に連結される排気セクション16と、駆動アセンブリ18とを含む。圧縮機セクション14は、駆動シャフト22を含むロータアセンブリ20によって駆動アセンブリ18に連結される。この例示的な実施形態では、吸気セクション12と、圧縮機セクション14と、排気セクション16の各々は、圧縮機ハウジング24内に配置される。より具体的には、圧縮機ハウジング24は、流体入口26と、流体出口28と、空洞32を画成する内側表面30とを含む。空洞32は、流体入口26と流体出口28の間を延び、流体を流体入口26から流体出口28に導くように構成される。吸気セクション12と、圧縮機セクション14と、排気セクション16の各々は、空洞32内に配置される。別法として、吸気セクション12および／または排気セクション16は、圧縮機ハウジング24内に配置しないことができる。

#### 【0019】

この例示的な実施形態では、流体入口26は、流体の流れを流体源34から吸気セクション12に導くように構成される。この流体は、例えばガス、ガス混合物、および／または液体～ガス混合物などの任意の流体ができる。吸気セクション12は、流体を流体入口26から圧縮機セクション14に導くように圧縮機セクション14と流れ連通で連結される。吸気セクション12は、速度、質量流量、圧力、温度、および／または任意の適切な流れパラメータなどの1つまたは複数の所定のパラメータを有する流体流れを調整するように構成される。この例示的な実施形態では、吸気セクション12は、流体を流体入口26から圧縮機セクション14に導くために流体入口26と圧縮機セクション14の間に連結される入口ガイドベーンアセンブリ36を含む。入口ガイドベーンアセンブリ36は、圧縮機ハウジング24に連結される1つまたは複数の入口ガイドベーン38を含む。

#### 【0020】

圧縮機セクション14は、少なくとも一部分の流体を吸気セクション12から排気セクション16に導くように、吸気セクション12と排気セクション16の間に連結される。圧縮機セクション14は、駆動シャフト22に回転可能に連結される少なくとも1つの超音速圧縮機ロータ40を含む。超音速圧縮機ロータ40は、排気セクション16に導かれつつある流体の圧力を増加させ、流体の体積を減少させ、かつ／または流体の温度を増加させるように構成される。排気セクション16は、流体を超音速圧縮機ロータ40から流体出口28に導くように超音速圧縮機ロータ40と流体出口28の間に連結される出口ガ

10

20

30

40

50

イドベーンアセンブリ 4 2 を含む。流体出口 2 8 は、流体を出口ガイドベーンアセンブリ 4 2 および / または超音速圧縮機ロータ 4 0 から、例えばタービンエンジンシステム、流体処理システム、および / または流体貯蔵システムなどの出力システム 4 4 に導くように構成される。駆動アセンブリ 1 8 は、超音速圧縮機ロータ 4 0 、および / または出口ガイドベーンアセンブリ 4 2 の回転を生じさせるように駆動シャフト 2 2 を回転させるように構成される。

#### 【 0 0 2 1 】

動作中、吸気セクション 1 2 は、流体を流体源 3 4 から圧縮機セクション 1 4 に向かって導く。圧縮機セクション 1 4 は、この流体を圧縮し、圧縮された流体を排気セクション 1 6 に向かって排気する。排気セクション 1 6 は、この圧縮された流体を圧縮機セクション 1 4 から流体出口 2 8 を通り出力システム 4 4 に導く。10

#### 【 0 0 2 2 】

図 2 は、例示的な超音速圧縮機ロータ 4 0 の斜視図である。図 3 は、図 2 に示す断面線 3 ~ 3 に沿った超音速圧縮機ロータ 4 0 の横断面図である。図 4 は、面積 4 に沿った超音速圧縮機ロータ 4 0 の一部分の拡大横断面図である。図 5 は、図 2 に示す断面線 5 ~ 5 に沿った超音速圧縮機ロータ 4 0 の横断面図である。図 3 ~ 5 に示す同一の構成部品は、図 2 に使用されるのと同じ参照番号で標識が付けられている。この例示的な実施形態では、超音速圧縮機ロータ 4 0 は、ロータディスク 4 8 に連結される複数のベーン 4 6 を含む。ロータディスク 4 8 は、ディスク本体 5 0 を貫通して中央線軸 5 4 に沿って全体的に軸方向に延びる内側円筒状空洞 5 2 を画成する、環状のディスク本体 5 0 を含む。ディスク本体 5 0 は、半径方向に内側の表面 5 6 と半径方向外側表面 5 8 とを含む。半径方向に内側の表面 5 6 は、内側円筒状空洞 5 2 を画成する。内側円筒状空洞 5 2 は、実質的に円筒状の形状を有し、中央線軸 5 4 の周りに配向される。内側円筒状空洞 5 2 は、その中を貫通して（図 1 に示す）駆動シャフト 2 2 を受けるようなサイズになっている。ロータディスク 4 8 は、上流側表面 6 0 および下流側表面 6 2 も含む。各上流側表面 6 0 および下流側表面 6 2 は、半径方向に内側の表面 5 6 と半径方向外側表面 5 8 の間を、中央線軸 5 4 に対して概ね直角な半径方向 6 4 に延びる。上流側表面 6 0 は、半径方向に内側の表面 5 6 と半径方向外側表面 5 8 の間に画成される第 1 の半径方向幅 6 6 を含む。下流側表面 6 2 は、半径方向に内側の表面 5 6 と半径方向外側表面 5 8 の間に画成される第 2 の半径方向幅 6 8 を含む。この例示的な実施形態では、第 1 の半径方向幅 6 6 は、第 2 の半径方向幅 6 8 より大きい。別法として、第 1 の半径方向幅 6 6 は、第 2 の半径方向幅 6 8 より小さくする、または第 2 の半径方向幅 6 8 と等しくすることができる。2030

#### 【 0 0 2 3 】

この例示的な実施形態では、半径方向外側表面 5 8 は、上流側表面 6 0 と下流側表面 6 2 の間に連結され、中央線軸 5 4 に対して概ね平行である軸方向 7 2 で、上流側表面 6 0 から下流側表面 6 2 まであらかじめ定められた距離 7 0 に延びる。

#### 【 0 0 2 4 】

この例示的な実施形態では、各ベーン 4 6 は半径方向外側表面 5 8 に連結され、半径方向外側表面 5 8 から外側に向かって延びる。各ベーン 4 6 は、上流側縁部 7 4 と下流側縁部 7 6 とを含む。上流側縁部 7 4 は、ロータディスク 4 8 の上流側表面 6 0 に隣接して配置される。下流側縁部 7 6 は、下流側表面 6 2 に隣接して配置される。この例示的な実施形態では、超音速圧縮機ロータ 4 0 は、ベーン 4 6 の対 8 0 を含む。各対 8 0 は、入口開口部 8 2 と、出口開口部 8 4 と、隣接するベーン 4 6 間の流路 8 6 を画成するように配向される。流路 8 6 は入口開口部 8 2 と出口開口部 8 4 の間を延び、入口開口部 8 2 から出口開口部 8 4 への、矢印 8 8 によって指示される流れ経路を画成する。流れ経路 8 8 は、ベーン 4 6 、および半径方向外側表面 5 8 に対して概ね平行に配向される。流路 8 6 は、流体を入口開口部 8 2 から出口開口部 8 4 に流れ経路 8 8 に沿って導くようなサイズにされ、形状にされ、配向される。入口開口部 8 2 は、隣接するベーン 4 6 の隣接する上流側縁部 7 4 間に画成される。出口開口部 8 4 は、隣接するベーン 4 6 の隣接する下流側縁部 7 6 間に画成される。各ベーン 4 6 は、外側表面 9 0 と対向する内側表面 9 2 とを含む。4050

ペーン46は、外側表面90と内側表面92の間を延び、外側表面90と内側表面92の間に画成される高さ94を含む。各ペーン46は、弓形の形状を有して形成され、流路86が渦巻状の形状を有するように、螺旋形状でロータディスク48の周りを円周方向に延びる。

#### 【0025】

この例示的な実施形態では、各ペーン46は、第1の側面、すなわち正圧面96と対向する第2の側面、すなわち負圧面98とを含む。各正圧面96および負圧面98は、上流側縁部74と下流側縁部76の間を延びる。各入口開口部82は、上流側縁部74のところでペーン46の正圧面96と隣接する負圧面98の間を延びる。各出口開口部84は、下流側縁部76のところで正圧面96と隣接する負圧面98の間を延びる。この例示的な実施形態では流路86は、正圧面96と隣接する負圧面98の間に画成され、流れ経路88に対して直角である幅100を含む。10

#### 【0026】

この例示的な実施形態では流路86は、流れ経路88に沿って変化する横断面積102を画成する。流路86の横断面積102は、流れ経路88に対して直角に画成され、流路86の幅100にペーン46の高さ94を乗じたものに等しい。流路86は、第1の面積、すなわち入口開口部82のところの入口横断面積104と、第2の面積、すなわち出口開口部84のところの出口横断面積106と、第3の面積、すなわち入口開口部82と出口開口部84の間に画成される最小の横断面積108とを含む。この例示的な実施形態では、最小の横断面積108は、入口横断面積104および出口横断面積106より小さい。20

#### 【0027】

図3～5を参照すると、この例示的な実施形態では、少なくとも1つの超音速圧縮ランプ110が流路86内に配置される。超音速圧縮ランプ110は、入口開口部82と出口開口部84の間に配置され、1つまたは複数の圧縮波112を流路86内に形成するのを可能にするようなサイズにされ、形状にされ、配向される。超音速圧縮ランプ110はペーン46の正圧面96に連結され、流路86のスロート区域114を画成する。スロート区域114は、流路86の最小の横断面積108を画成する。別法として、超音速圧縮ランプ110は、ペーン46の負圧面98および/または半径方向外側表面58に連結することができる。別の代替の実施形態では、超音速圧縮ランプ110は、ペーン46と一緒に形成される。さらなる代替の実施形態では、超音速圧縮機ロータ40は、正圧面96、負圧面98、および/または半径方向外側表面58にそれぞれ連結される複数の超音速圧縮ランプ110を含む。そのような実施形態では、各超音速圧縮ランプ110は、集合的にスロート区域114を画成する。30

#### 【0028】

図4を参照すると、この例示的な実施形態では、超音速圧縮ランプ110は、圧縮表面116と発散表面118とを含む。圧縮表面116は第1の縁部、すなわち前縁120と、第2の縁部、すなわち後縁122とを含む。前縁120は、後縁122より入口開口部82に近く配置される。圧縮表面116は前縁120と後縁122の間を延び、正圧面96から隣接する負圧面98に向かって、かつ流れ経路88内に斜め方向角度124に配向される。圧縮表面116は、圧縮区域126が前縁120と後縁122の間に画成されるよう、隣接する負圧面98に向かって収束する。圧縮区域126は、前縁120から後縁122まで流れ経路88に沿って減少する、流路86の横断面積128を含む。圧縮表面116の後縁122は、スロート区域114を画成する。40

#### 【0029】

発散表面118は圧縮表面116に連結され、圧縮表面116から出口開口部84に向かって下流側に延びる。発散表面118は、第1の端部130と、第1の端部130より出口開口部84に近い第2の端部132とを含む。発散表面118の第1の端部130は、圧縮表面116の後縁122に連結される。発散表面118は、第1の端部130と第2の端部132の間を延び、ペーン46から隣接する負圧面98に向かってある斜め方向50

角度 134 に配向される。発散表面 118 は、圧縮表面 116 の後縁 122 から出口開口部 84 まで増加する発散横断面積 138 を含む発散区域 136 を画成する。発散区域 136 は、スロート区域 114 から出口開口部 84 まで延びる。

#### 【0030】

再度図 5 を参照すると、この例示的な実施形態では、流路 86 がシュラウドアセンブリ 140 と半径方向外側表面 58 の間に画成されるように、シュラウドアセンブリ 140 が各ベーン 46 の外側表面 90 に連結される。シュラウドアセンブリ 140 は、内側縁部 144 と外側の縁部 146 の間を延びるシュラウドプレート 142 を含む。シュラウドプレート 142 は、ベーン 46 の上流側縁部 74 がシュラウドアセンブリ 140 の内側縁部 144 に隣接して配置され、ベーン 46 の下流側縁部 76 がシュラウドアセンブリ 140 の外側の縁部 146 に隣接して配置されるように、各ベーン 46 に連結される。別法として、超音速圧縮機ロータ 40 は、シュラウドアセンブリ 140 を含まない。そのような実施形態では、ダイヤフラムアセンブリ（図示せず）が、流路 86 を少なくとも部分的に画成するように、ベーン 46 の各外側表面 90 に隣接して配置される。  
10

#### 【0031】

この例示的な実施形態では、半径方向外側表面 58 は、入口表面 148 と、出口表面 150 と、入口表面 148 と出口表面 150 の間を延びる移行表面 152 とを含む。入口表面 148 は、上流側表面 60 から移行表面 152 まで延び、流路 86 内に入口平面 154 を画成する。入口平面 154 は、隣接するベーン 46 の間を、上流側表面 60 から移行表面 152 まで延びる。出口表面 150 は、移行表面 152 から下流側表面 62 まで延び、流路 86 内に出口平面 156 を画成する。出口平面 156 は、隣接するベーン 46 の間を、移行表面 152 から下流側縁部 76 まで延びる。入口平面 154 は、出口平面 156 に対して平行に配向されていない。  
20

#### 【0032】

この例示的な実施形態では、入口開口部 82 は、中央線軸 54 から第 1 の半径方向距離 158 のところに配置される。出口開口部 84 は、中央線軸 54 から第 1 の半径方向距離 158 より小さな第 2 の半径方向距離 160 のところに配置される。入口表面 148 は、流路 86 が半径方向 64 に沿って延びる半径方向流れ経路 162 を画成するように、中央線軸 54 に対して実質的に直角に配向される。半径方向流れ経路 162 は、入口開口部 82 から移行表面 152 まで延び、流体を軸方向 72 に導く。出口表面 150 は、流路 86 が半径方向 64 に沿って延びる軸方向流れ経路 164 を画成するように、中央線軸 54 に対して実質的に平行に配向される。軸方向流れ経路 164 は、移行表面 152 から出口開口部 84 まで延び、流体を軸方向 72 に導く。移行表面 152 は、弓形の形状を有して形成され、入口表面 148 から出口表面 150 まで延びる移行流れ経路 166 を画成する。移行表面 152 は、流体が移行流れ経路 166 を通る、矢印 168 によって表される半径方向流れベクトルと、矢印 170 によって示される軸方向半径方向流れベクトルを有することによって特徴付けられるように、流体を半径方向 64 から軸方向 72 に導くように配向される。  
30

#### 【0033】

超音速圧縮機ロータ 40 の動作中、（図 1 に示す）吸気セクション 12 は、流体 172 を流路 86 の入口開口部 82 に向かって導く。流体 172 は、入口開口部 82 に入る直前で第 1 の速度、すなわち接近速度を有する。超音速圧縮機ロータ 40 は、流路 86 に入る流体 172 が第 3 の速度、すなわち入口開口部 82 のところでベーン 46 に対して超音速である入口速度を有するように、矢印 174 によって示される第 2 の速度、すなわちある回転速度で中央線軸 54 周りを回転させられる。流体 172 が流路 86 を通り超音速速度で導かれるとき、超音速圧縮ランプ 110 は、圧縮波 112 を流路 86 内に形成するよう流体 172 と接触し、流体 172 を圧縮するのを助け、その結果、流体 172 は、出口開口部 84 のところで圧力および温度が増大する、かつ / または体積が減少する。  
40

#### 【0034】

この例示的な実施形態では、流体 172 は入口開口部 82 に入り、半径方向流れ経路 1

6 2 を通り半径方向 6 4 に沿って導かれる。流体が移行流れ経路 1 6 6 に入るとき、流路 8 6 は流体の向きを半径方向 6 4 から軸方向 7 2 に変更させ、流体を半径方向流れ経路 1 6 2 から軸方向流れ経路 1 6 4 に導く。次いで流体 1 7 2 は、出口開口部 8 4 を通り軸方向流れ経路 1 6 4 から軸方向 7 2 に排気される。

#### 【0035】

超音速圧縮ランプ 1 1 0 は、動作中、圧縮波 1 1 2 の系統 1 7 6 が流路 8 6 内に形成されるようにさせるサイズにされ、形状にされ、配向される。系統 1 7 6 は、流体 1 7 2 が超音速圧縮ランプ 1 1 0 の前縁 1 2 0 に接触するとき形成される、第 1 の斜め方向衝撃波 1 7 8 を含む。超音速圧縮ランプ 1 1 0 の圧縮区域 1 2 6 は、第 1 の斜め方向衝撃波 1 7 8 が、前縁 1 2 0 から隣接するベーン 4 6 に向う流れ経路 8 8 に対してある斜め方向角度に向き、流路 8 6 内に入るように構成される。第 1 の斜め方向衝撃波 1 7 8 が隣接するベーン 4 6 に接触するとき、第 2 の斜め方向衝撃波 1 8 0 が隣接するベーン 4 6 から流れ経路 8 8 に対してある斜め方向角度で超音速圧縮ランプ 1 1 0 のスロート区域 1 1 4 に向かって反射される。超音速圧縮ランプ 1 1 0 は、第 1 の斜め方向衝撃波 1 7 8 および第 2 の斜め方向衝撃波 1 8 0 各々を圧縮区域 1 2 6 内で形成するように構成される。流体がスロート区域 1 1 4 を通り出口開口部 8 4 に向かって導かれるとき、垂直な衝撃波 1 8 2 が発散区域 1 3 6 内に形成される。垂直な衝撃波 1 8 2 は、流れ経路 8 8 に対して直角に配向されており、流れ経路 8 8 を横切って延びる。

#### 【0036】

流体 1 7 2 が圧縮区域 1 2 6 を通過するとき、流体 1 7 2 がそれぞれ第 1 の斜め方向衝撃波 1 7 8 および第 2 の斜め方向衝撃波 1 8 0 を通過するので、流体 1 7 2 の速度は減少する。その上、流体 1 7 2 の圧力は増加し、流体 1 7 2 の体積は減少する。流体 1 7 2 がスロート区域 1 1 4 を通過するとき、流体 1 7 2 の速度はスロート区域 1 1 4 の下流側で垂直な衝撃波 1 8 2 に向かって増加する。流体が垂直な衝撃波 1 8 2 を通過するとき、流体 1 7 2 の速度はロータディスク 4 8 に対し亜音速速度まで低下する。

#### 【0037】

図 6 ~ 1 3 は、超音速圧縮機ロータ 4 0 の様々な代替の実施形態の横断面図である。図 6 ~ 1 3 に示す同一の構成部品は、図 5 に使用されるのと同じ参照番号で同定される。図 6 を参照すると一実施形態では、等エントロピーの圧縮波 1 8 6 の系統 1 8 4 を流路 8 6 内に、入口開口部 8 2 と出口開口部 8 4 の間に形成するように、半径方向外側表面 5 8 は配向される。この実施形態では、半径方向外側表面 5 8 の移行表面 1 5 2 は、流路 8 6 のスロート区域 1 1 4 を少なくとも部分的に画成するように配向される。流体 1 7 2 が圧縮区域 1 2 6 を通過するとき、複数の等エントロピー圧縮波 1 8 6 が圧縮区域 1 2 6 内に形成される。この代替の実施形態では、半径方向外側表面 5 8 の向きが、流路 8 6 内での衝撃波の形成を防止する。

#### 【0038】

図 7 を参照すると一実施形態では、流路 8 6 が出口開口部 8 4 のところで斜め方向流れ経路 1 9 0 を画成するように、出口表面 1 5 0 が中央線軸 5 4 に対してある斜め方向角度 1 8 8 に配向される。この実施形態では流路 8 6 は、半径方向 6 4 に沿って流体を受け取り、斜め方向角度 1 8 8 で流体 1 7 2 を出口開口部 8 4 から排気するように構成される。

#### 【0039】

図 8 を参照すると一実施形態では、流路 8 6 が入口開口部 8 2 のところで斜め方向流れ経路 1 9 4 を画成するように、入口表面 1 4 8 が中央線軸 5 4 に対してある斜め方向角度 1 9 2 に配向される。この実施形態では流路 8 6 は、流体を入口出口開口部 8 2 から斜め方向角度 1 9 2 で受け取り、流体 1 7 2 を軸方向 7 2 に沿って出口開口部 8 4 を通り排気するように構成される。

#### 【0040】

図 9 を参照すると一実施形態では、上流側表面 6 0 は、下流側表面 6 2 の第 2 の半径方向幅 6 8 より小さな第 1 の半径方向幅 6 6 を含む。入口開口部 8 2 の第 1 の半径方向距離 1 5 8 は、出口開口部 8 4 の第 2 の半径方向距離 1 6 0 より短い。入口表面 1 4 8 は、軸

10

20

30

40

50

方向 7 2 に延びる入口開口部 8 2 のところで流路 8 6 が軸方向流れ経路 1 9 6 を画成するように、中央線軸 5 4 に対して実質的に平行に配向される。出口表面 1 5 0 は、半径方向 6 4 に沿って延びる出口開口部 8 4 のところで流路 8 6 が半径方向流れ経路 1 9 8 を画成するように、中央線軸 5 4 に対して実質的に直角に配向される。移行表面 1 5 2 は、流路 8 6 を通り軸方向 7 2 から半径方向 6 4 に流体を導くように配向される。

#### 【 0 0 4 1 】

図 1 0 を参照すると一実施形態では、出口表面 1 5 0 は、流路 8 6 が出口開口部 8 4 のところで斜め方向流れ経路 2 0 2 を画成するように中央線軸 5 4 に対してある斜め方向角度 2 0 0 に配向される。この実施形態では、流路 8 6 は、流体を軸方向 7 2 に沿って受け取り、流体 1 7 2 を出口開口部 8 4 から斜め方向角度 2 0 2 で排気するように構成される。

10

#### 【 0 0 4 2 】

図 1 1 を参照すると一実施形態では、流路 8 6 が入口開口部 8 2 のところで斜め方向流れ経路 1 9 0 を画成するように、入口表面 1 4 8 が中央線軸 5 4 に対して斜め方向角度 2 0 4 に配向される。出口表面 1 5 0 は、出口開口部 8 4 のところで流路 8 6 が半径方向流れ経路 1 9 8 を画成するように、中央線軸 5 4 に対して実質的に直角に配向される。この実施形態では、流路 8 6 は、流体を入口開口部 8 2 から斜め方向角度 2 0 4 で受け取り、出口開口部 8 4 を通り半径方向 6 4 に沿って流体 1 7 2 を排気するように構成される。

#### 【 0 0 4 3 】

図 1 2 を参照すると一実施形態では、流路 8 6 が入口開口部 8 2 のところで第 1 の斜め方向流れ経路 2 0 8 を画成するように、入口表面 1 4 8 が中央線軸 5 4 に対して第 1 の斜め方向角度 2 0 6 に配向される。出口表面 1 5 0 は、流路 8 6 が出口開口部 8 4 のところで第 2 の斜め方向流れ経路 2 1 2 を画成するように、中央線軸 5 4 に対して第 2 の斜め方向角度 2 1 0 に配向される。この実施形態では流路 8 6 は、入口出口開口部 8 2 から第 1 の斜め方向角度 2 0 6 で流体を受け取り、出口開口部 8 4 を通り第 2 の斜め方向角度 2 1 0 で流体 1 7 2 を排気するように構成される。

20

#### 【 0 0 4 4 】

図 1 3 を参照すると一実施形態では、流路 8 6 が入口開口部 8 2 のところで第 1 の軸方向流れ経路 2 1 4 を画成するように、入口表面 1 4 8 が中央線軸 5 4 に対して実質的に平行に配向される。出口表面 1 5 0 は、流路 8 6 が出口開口部 8 4 のところで第 2 の軸方向流れ経路 2 1 6 を画成するように、中央線軸 5 4 に対して実質的に平行に配向される。この実施形態では流路 8 6 は、軸方向 7 2 に沿って流体 1 7 2 を受け取り、軸方向 7 2 に沿って流体 1 7 2 を排気するように構成される。

30

#### 【 0 0 4 5 】

上記に記載される超音速圧縮機ロータは、流体を軸方向から半径方向に導く、または流体を半径方向から軸方向に導くためのコスト効率の高い、信頼性の高い方法を提供する。より具体的には、この超音速圧縮機ロータは、流路を通る流れ経路の向きを調節する移行表面を含む流路を含む。さらに、本明細書に記載されるこれらの実施形態は、入口表面と入口表面に対して平行でない出口表面とを含む超音速圧縮ロータを含む。その上、流体を軸方向から半径方向に導く流路を有する超音速圧縮機ロータを提供することによって、超音速圧縮機システムを軸方向吸気配向、半径方向吸気配向、軸方向排気配向、および／または半径方向排気配向の各々を含むように設計するのがこの超音速圧縮機ロータによって可能になる。結果として、本明細書に記載される超音速圧縮機ロータは、既知の超音速圧縮機アセンブリの流れ経路配向の限界を克服する。したがって、超音速圧縮機システムの製造および保守のコストを減少させることができる。

40

#### 【 0 0 4 6 】

超音速圧縮機ロータを組み立てるためのシステムおよび方法の例示的な実施形態が上記に詳細に記載されている。このシステムおよび方法は、本明細書に記載される特定の実施形態に限定されず、そうではなく、これらのシステムの構成部品および／または方法のステップは、本明細書に記載される他の構成部品および／またはステップから独立に、別個

50

に利用することができる。例えば、これらのシステムおよび方法は、他の回転エンジンシステムおよび方法との組み合わせで使用することもでき、本明細書に記載されるような超音速圧縮機システムと共にのみ実施することに限定されない。そうではなく、この例示的な実施形態は、多くの他の回転システム用途と一緒に実施し、利用することができる。

#### 【0047】

本発明の様々な実施形態の特定の機構がいくつかの図面に示され、他の図面に示されていない場合があるが、これは便宜上のためのみである。さらに、上記の記載での「1つの実施形態（one embodiment）」に対する参照は、記載された機構をやはり組み込む追加の実施形態の存在を除外するとして解釈すべきであることを意図していない。本発明の原理によれば、図面の任意の機構を、任意の他の図面の任意の機構と組み合わせて参照し、かつ／または特許請求することができる。10

#### 【0048】

本書では、例を使用し、最良の形態を含めて本発明を開示し、また任意のデバイスまたはシステムを作り、使用し、任意の組み込まれた方法を使用することを含めて、当業者が本発明を実施することを可能にしている。本発明の特許性のある範囲は特許請求の範囲によって定義され、当業者に思い浮かぶ他の実施例を含むことができる。そのような他の実施例は、それらが特許請求の範囲の文字通りの用語から異なる構造的な要素である場合、またはそれらが特許請求の範囲の文字通りの用語からわずかしか異なる等価な構造的要素を含む場合、特許請求の範囲の範囲内にあるものとする。20

#### 【符号の説明】

#### 【0049】

- 10 超音速圧縮機システム
- 12 吸気セクション
- 14 圧縮機セクション
- 16 排気セクション
- 18 駆動アセンブリ
- 20 ロータアセンブリ
- 22 駆動シャフト
- 24 圧縮機ハウ징
- 26 流体入口
- 28 流体出口
- 30 内側表面
- 32 空洞
- 34 流体源
- 36 入口ガイドベーンアセンブリ
- 38 入口ガイドベーン
- 40 超音速圧縮機ロータ
- 42 出口ガイドベーンアセンブリ
- 44 出力システム
- 46 ベーン
- 48 ロータディスク
- 50 ディスク本体
- 52 内側円筒状空洞
- 54 中央線軸
- 56 半径方向に内側の表面
- 58 半径方向外側表面
- 60 上流側表面
- 62 下流側表面
- 64 半径方向
- 66 第1の半径方向幅

1020304050

6 8	第 2 の半径方向幅	
7 0	距離	
7 2	軸方向	
7 4	上流側縁部	
7 6	下流側縁部	
8 0	対	
8 2	入口開口部	
8 4	出口開口部	
8 6	流路	
8 8	流れ経路	10
9 0	外側表面	
9 2	内側表面	
9 4	高さ	
9 6	正圧面	
9 8	負圧面	
1 0 0	幅	
1 0 2	横断面積	
1 0 4	横断面積	
1 0 6	横断面積	
1 0 8	横断面積	20
1 1 0	超音速圧縮ランプ	
1 1 2	圧縮波	
1 1 4	スロート区域	
1 1 6	圧縮表面	
1 1 8	発散表面	
1 2 0	前縁	
1 2 2	後縁	
1 2 4	斜め方向角度	
1 2 6	圧縮区域	
1 2 8	横断面積	30
1 3 0	第 1 の端部	
1 3 2	第 2 の端部	
1 3 4	斜め方向角度	
1 3 6	発散区域	
1 3 8	横断面積	
1 4 0	シュラウドアセンブリ	
1 4 2	シュラウドプレート	
1 4 4	内側縁部	
1 4 6	外側縁部	
1 4 8	入口表面	40
1 5 0	出口表面	
1 5 2	移行表面	
1 5 4	入口平面	
1 5 6	出口平面	
1 5 8	第 1 の半径方向距離	
1 6 0	第 2 の半径方向距離	
1 6 2	半径方向流れ経路	
1 6 4	軸方向流れ経路	
1 6 6	移行流れ経路	
1 6 8	矢印	50

1 7 0	矢印	
1 7 2	流体	
1 7 4	矢印	
1 7 6	系統	
1 7 8	第1の斜め方向衝撃波	
1 8 0	第2の斜め方向衝撃波	
1 8 2	垂直な衝撃波	
1 8 4	系統	
1 8 6	等エントロピー圧縮波	10
1 8 8	斜め方向角度	
1 9 0	斜め方向流れ経路	
1 9 2	斜め方向角度	
1 9 4	斜め方向流れ経路	
1 9 6	軸方向流れ経路	
1 9 8	半径方向流れ経路	
2 0 0	斜め方向角度	
2 0 2	斜め方向角度	
2 0 4	斜め方向角度	
2 0 6	第1の斜め方向角度	20
2 0 8	第1の斜め方向流れ経路	
2 1 0	第2の斜め方向角度	
2 1 2	第2の斜め方向流れ経路	
2 1 4	第1の軸方向流れ経路	
2 1 6	第2の軸方向流れ経路	

【図1】

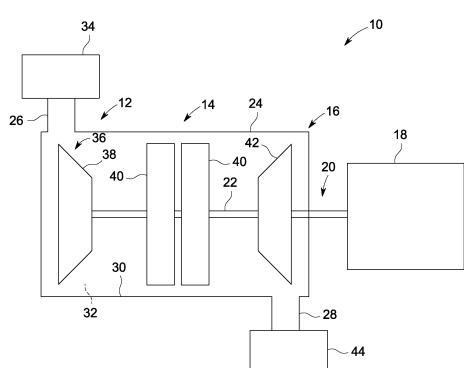


FIG. 1

【図2】

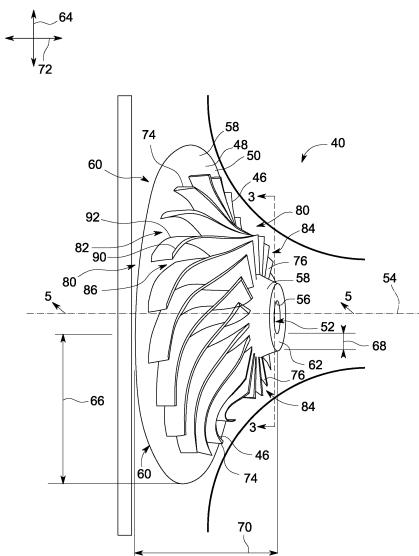


FIG. 2

【図3】

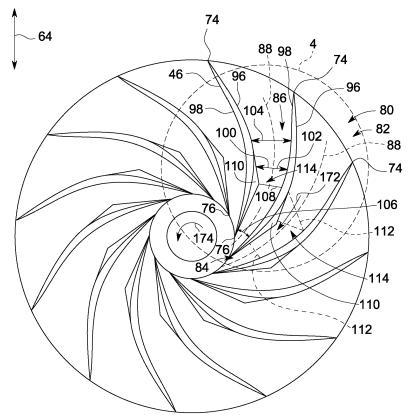


FIG. 3

【図4】

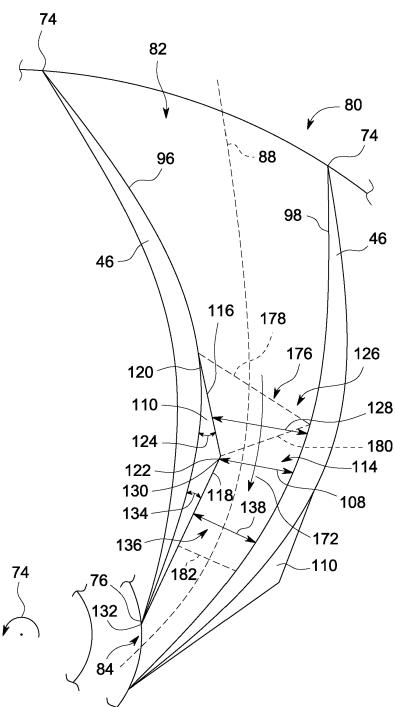


FIG. 4

【図5】

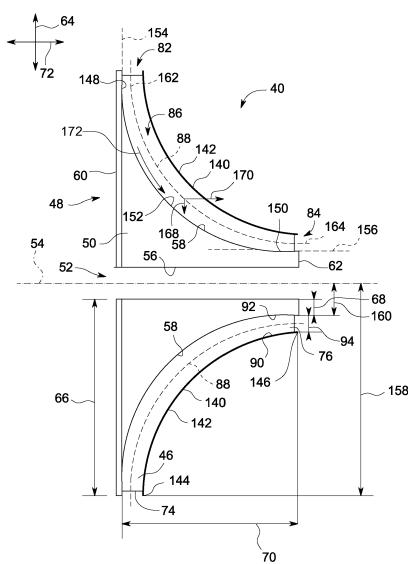


FIG. 5

【図6】

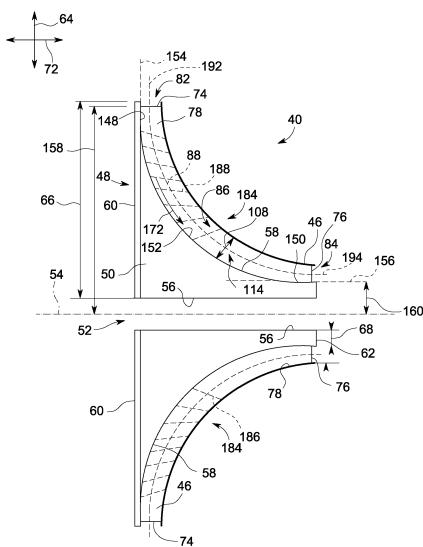


FIG. 6

【図7】

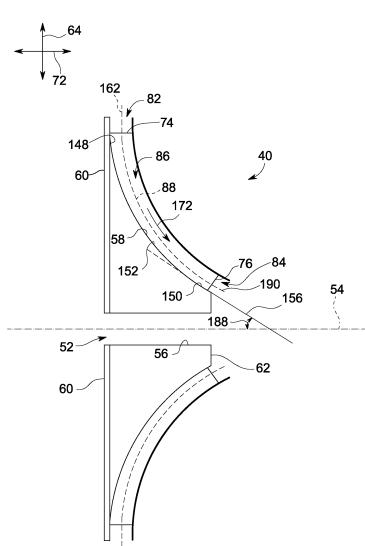


FIG. 7

【図8】

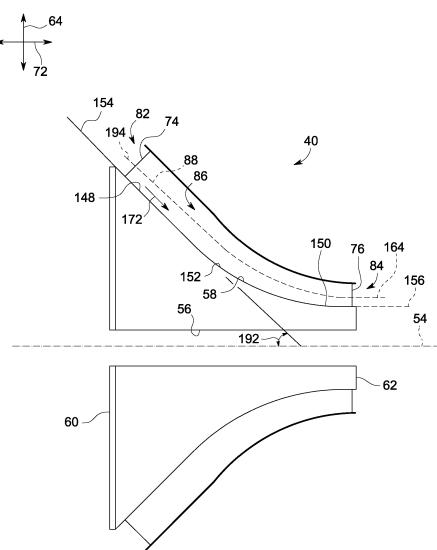


FIG. 8

【図9】

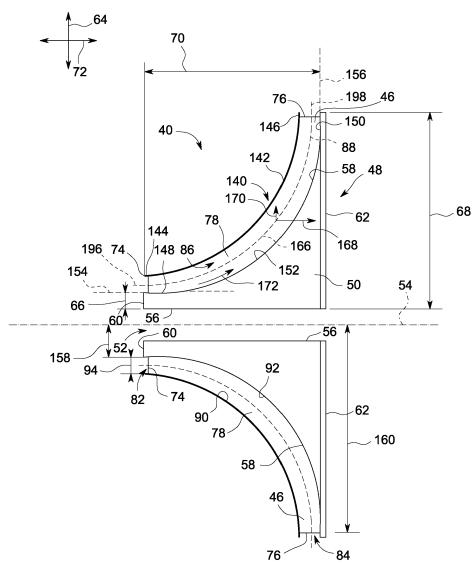


FIG. 9

【図10】

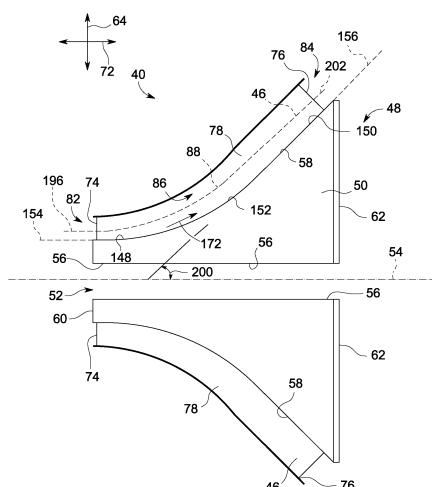


FIG. 10

【図 1 1】

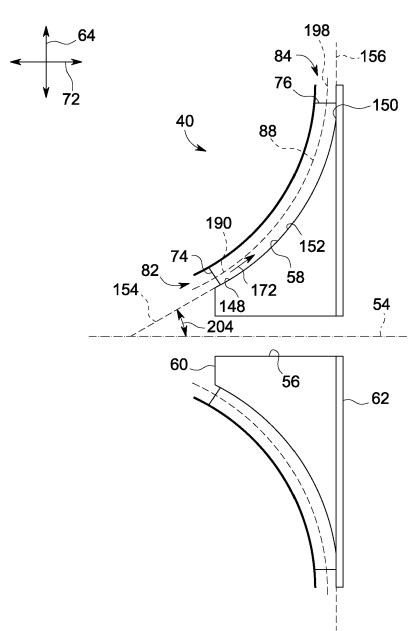


FIG. 11

【図 1 2】

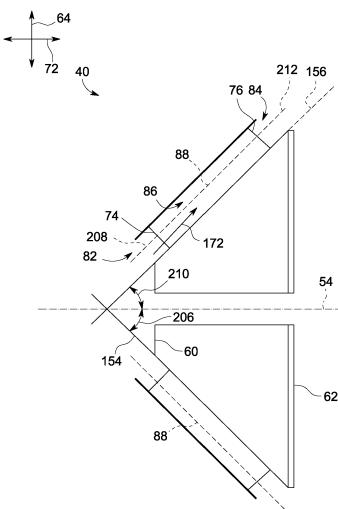


FIG. 12

【図 1 3】

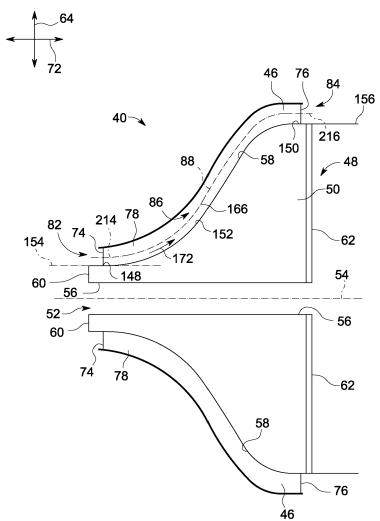


FIG. 13

---

フロントページの続き

(72)発明者 ダグラス・カール・ホファー

アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ニスカユナ、ワン・リサーチ・サークル、ビルディング・ケイ  
1 - 3 エイ 5 9、ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ・グローバル・リサーチ

(72)発明者 ザカリ・ウィリアム・ナゼル

アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ニスカユナ、ワン・リサーチ・サークル、ビルディング・ケイ  
1 - 3 エイ 5 9、ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ・グローバル・リサーチ

(72)発明者 デビッド・グラハム・ホームズ

アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ニスカユナ、ワン・リサーチ・サークル、ビルディング・ケイ  
1 - 3 エイ 5 9、ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ・グローバル・リサーチ

審査官 所村 陽一

(56)参考文献 特開2005-307967(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F 04 D 29 / 30

F 04 D 29 / 28