

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6730245号
(P6730245)

(45) 発行日 令和2年7月29日 (2020.7.29)

(24) 登録日 令和2年7月6日 (2020.7.6)

(51) Int.Cl.

F 0 1 D 9/02 (2006.01)

F 1

F 0 1 D 9/02 1 0 1

請求項の数 9 (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2017-221824 (P2017-221824)
 (22) 出願日 平成29年11月17日 (2017.11.17)
 (65) 公開番号 特開2019-94779 (P2019-94779A)
 (43) 公開日 令和1年6月20日 (2019.6.20)
 審査請求日 平成31年4月17日 (2019.4.17)

(73) 特許権者 514030104
 三菱日立パワーシステムズ株式会社
 神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3
 番1号
 (74) 代理人 110000785
 誠真 I P 特許業務法人
 (72) 発明者 谷口 直
 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重
 工業株式会社内
 (72) 発明者 ▲高▼田 亮
 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重
 工業株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 タービンノズル及びこのタービンノズルを備える軸流タービン

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

先細状の流路を互いの間に形成するように配列された複数の翼を備えるタービンノズルであって、

各々の前記翼の負圧面は、スロート位置において、該翼の隣りに位置する他の翼の後縁との間に前記流路のスロートを形成する曲面を含み、

前記曲面の上流側縁部は前記スロート位置の上流側に位置し、前記曲面の下流側縁部は前記スロート位置の下流側に位置し、

各々の前記翼の負圧面は、

前記曲面の前記下流側縁部から前記翼の後縁まで平坦に延びる平坦面と、

前記スロート位置よりも前記前縁側で凹状に湾曲した第2凹面と

を含み、

前記翼の前縁から後縁までの軸方向の長さに対する前記軸方向における前記前縁からの長さの比である無次元軸コード長を L とし、前記無次元軸コード長が 1.0 である位置での前記流路の流路面積に対する前記無次元軸コード長が L である位置での前記流路の流路面積の比を $AR(L)$ とすると、

【数 1】

$$\left| \frac{AR(1.0) - AR(0.98)}{1.0 - 0.98} \right| \geq 0.5$$

であり、

各々の前記翼は、翼高さ方向の両端縁にハブ側端縁及びチップ側端縁を備え、

前記第 2 凹面は、前記ハブ側端縁から前記チップ側端縁に向かう方向において前記ハブ側端縁から翼高さの 20 % の距離だけ離れた位置である第 1 境界位置と前記ハブ側端縁との間で、前記ハブ側端縁から前記第 1 境界位置に向かって深さが減少するように構成されているタービンノズル。

10

【請求項 2】

先細状の流路を互いの間に形成するように配列された複数の翼を備えるタービンノズルであって、

各々の前記翼の負圧面は、スロート位置において、該翼の隣りに位置する他の翼の後縁との間に前記流路のスロートを形成する曲面を含み、

前記曲面の上流側縁部は前記スロート位置の上流側に位置し、前記曲面の下流側縁部は前記スロート位置の下流側に位置し、

各々の前記翼の負圧面は、

前記曲面の前記下流側縁部から前記翼の後縁まで平坦に延びる平坦面と、

20

前記スロート位置よりも前記前縁側で凹状に湾曲した第 2 凹面と

を含み、

前記翼の前縁から後縁までの軸方向の長さに対する前記軸方向における前記前縁からの長さの比である無次元軸コード長を L とし、前記無次元軸コード長が 1.0 である位置での前記流路の流路面積に対する前記無次元軸コード長が L である位置での前記流路の流路面積の比を $AR(L)$ とすると、

【数 2】

$$\left| \frac{AR(1.0) - AR(0.98)}{1.0 - 0.98} \right| \geq 0.5$$

30

であり、

各々の前記翼は、翼高さ方向の両端縁にハブ側端縁及びチップ側端縁を備え、

前記第 2 凹面は、前記ハブ側端縁から前記チップ側端縁に向かう方向において前記ハブ側端縁から翼高さの 50 % の距離だけ離れた位置である第 2 境界位置と前記チップ側端縁との間で、前記第 2 境界位置から前記チップ側端縁に向かって深さが増加するように構成されているタービンノズル。

【請求項 3】

前記スロート位置における前記曲面の接面と前記平坦面とのなす角度である背面転向角が 10° 以内である、請求項 1 または 2 に記載のタービンノズル。

40

【請求項 4】

前記翼の圧力面と前記負圧面とに接する内接円のうち最小面積となる後縁内接円において前記圧力面及び前記負圧面との接縁における 2 つの接面がなす角度である後縁挟み角が 3° 以上である、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載のタービンノズル。

【請求項 5】

先細状の流路を互いの間に形成するように配列された複数の翼を備えるタービンノズルであって、

各々の前記翼の負圧面は、スロート位置において、該翼の隣りに位置する他の翼の後縁との間に前記流路のスロートを形成する曲面を含み、

前記曲面の上流側縁部は前記スロート位置の上流側に位置し、前記曲面の下流側縁部は

50

前記スロート位置の下流側に位置し、

各々の前記翼の負圧面は、前記曲面の前記下流側縁部から前記翼の後縁まで凹状に湾曲して延びる第1凹面を含み、

各々の前記翼は、翼高さ方向の両端縁にハブ側端縁及びチップ側端縁を備え、

前記第1凹面は、前記ハブ側端縁から前記チップ側端縁に向かう方向において前記ハブ側端縁から翼高さの20%の距離だけ離れた位置である第1境界位置と前記ハブ側端縁との間で、前記ハブ側端縁から前記第1境界位置に向かって深さが減少するように構成されているタービンノズル。

【請求項6】

先細状の流路を互いの間に形成するように配列された複数の翼を備えるタービンノズルであって、

各々の前記翼の負圧面は、スロート位置において、該翼の隣りに位置する他の翼の後縁との間に前記流路のスロートを形成する曲面を含み、

前記曲面の上流側縁部は前記スロート位置の上流側に位置し、前記曲面の下流側縁部は前記スロート位置の下流側に位置し、

各々の前記翼の負圧面は、前記曲面の前記下流側縁部から前記翼の後縁まで凹状に湾曲して延びる第1凹面を含み、

各々の前記翼は、翼高さ方向の両端縁にハブ側端縁及びチップ側端縁を備え、

前記第1凹面は、前記ハブ側端縁から前記チップ側端縁に向かう方向において前記ハブ側端縁から翼高さの50%の距離だけ離れた位置である第2境界位置と前記チップ側端縁との間で、前記第2境界位置から前記チップ側端縁に向かって深さが増加するように構成されているタービンノズル。

【請求項7】

先細状の流路を互いの間に形成するように配列された複数の翼を備えるタービンノズルであって、

各々の前記翼は、翼高さ方向の両端縁にハブ側端縁及びチップ側端縁を備え、

各々の前記翼の負圧面は、スロート位置よりも前記翼の後縁側の位置から前記後縁まで凹状に湾曲して延びる第1凹面又は前記スロート位置よりも前記前縁側で凹状に湾曲した第2凹面の少なくとも一方を含み、

前記第1凹面又は前記第2凹面の少なくとも一方は、前記ハブ側端縁から前記チップ側端縁に向かう方向において前記ハブ側端縁から翼高さの20%の距離だけ離れた位置である第1境界位置と前記ハブ側端縁との間で、前記第1境界位置から前記ハブ側端縁に向かって深さが増加するように構成されているタービンノズル。

【請求項8】

先細状の流路を互いの間に形成するように配列された複数の翼を備えるタービンノズルであって、

各々の前記翼は、翼高さ方向の両端縁にハブ側端縁及びチップ側端縁を備え、

各々の前記翼の負圧面は、スロート位置よりも前記翼の後縁側の位置から前記後縁まで凹状に湾曲して延びる第1凹面又は前記スロート位置よりも前記前縁側で凹状に湾曲した第2凹面の少なくとも一方を含み、

前記第1凹面又は前記第2凹面の少なくとも一方は、前記ハブ側端縁から前記チップ側端縁に向かう方向において前記ハブ側端縁から翼高さの50%の距離だけ離れた位置である第2境界位置と前記チップ側端縁との間で、前記第2境界位置から前記チップ側端縁に向かって深さが増加するように構成されているタービンノズル。

【請求項9】

請求項1～8のいずれか一項に記載のタービンノズルを備えた軸流タービン。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

20

30

40

50

本開示は、タービンノズル及びこのタービンノズルを備える軸流タービンに関する。

【背景技術】

【0002】

遷音速翼からなる従来のタービンノズル100は、図15に示されるように、先細状の流路101を互いの間に形成するように配列された複数の翼102を備えている。各翼102の負圧面103と、翼102の隣に位置する他の翼102'の後縁104'との間には、流路101のスロート105が形成されている。各翼102の負圧面103は、スロート105を形成するスロート位置106から後縁104まで平坦に延びる平坦面107を有している。特許文献1及び2等に記載されるように、翼素性能は一般的に、負圧面の曲率やスロート位置に大きく影響される。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開昭61-232301号公報

【特許文献2】特開2016-166614号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、負圧面で発達する境界層の影響によりスロートが前縁側に移動して翼素性能が低下することが懸念されるものの、特許文献1及び2には、境界層の影響を考慮してプロファイル設計された翼は開示されていない。

20

【0005】

上述の事情に鑑みて、本開示の少なくとも1つの実施形態は、翼の負圧面で発達する境界層の影響による性能低下を抑制したタービンノズル及びこのタービンノズルを備える軸流タービンを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

(1) 本開示の少なくとも1つの実施形態に係るタービンノズルは、

先細状の流路を互いの間に形成するように配列された複数の翼を備えるタービンノズルであって、

30

各々の前記翼の負圧面は、スロート位置において、該翼の隣りに位置する他の翼の後縁との間に前記流路のスロートを形成する曲面を含み、

前記曲面の上流側縁部は前記スロート位置の上流側に位置し、前記曲面の下流側縁部は前記スロート位置の下流側に位置し、

各々の前記翼の負圧面は、前記曲面の前記下流側縁部から前記翼の後縁まで平坦に延びる平坦面を含み、

前記翼の前縁から後縁までの軸方向の長さに対する前記軸方向における前記前縁からの長さの比である無次元軸コード長をLとし、前記無次元軸コード長が1.0である位置での前記流路の流路面積に対する前記無次元軸コード長がLである位置での前記流路の流路面積の比をAR(L)とすると、

40

【数1】

$$\left| \frac{AR(1.0) - AR(0.98)}{1.0 - 0.98} \right| \geq 0.5$$

であり、

各々の前記翼は、翼高さ方向の両端縁にハブ側端縁及びチップ側端縁を備え、

前記第2凹面は、前記ハブ側端縁から前記チップ側端縁に向かう方向において前記ハブ側端縁から翼高さの20%の距離だけ離れた位置である第1境界位置と前記ハブ側端縁との間で、前記ハブ側端縁から前記第1境界位置に向かって深さが減少するように構成され

50

ている。

【 0 0 0 7 】

上記（１）の構成によると、タービンノズルの各翼の負圧面には、隣り合う翼との間に形成される先細状の流路のスロートを形成するスロート位置に曲面が設けられていることにより、負圧面に境界層が形成されても、先細状の流路においてスロート位置における流路面積が最小になるので、スロートの前縁側への移動が抑制される。この結果、翼の負圧面で発達する境界層の影響によるタービンノズルの性能低下を抑制することができる。

また、上記（１）の構成によると、曲面の下流側縁部から翼の後縁まで平坦に延びる平坦面を設けることにより、負圧面の曲率に起因する膨張波の発生が抑制されるので、遷音速域における翼素性能の低下が低減される。この結果、翼の負圧面で発達する境界層の影響によるタービンノズルの性能低下を抑制することができる。

10

さらに、上記（１）の構成によると、第２凹面の深さがハブ側端縁から第１境界位置に向かって減少していることにより、第２凹面からチップ側端縁に向かって液相が負圧面上に巻き上げられることを抑制することができ、二次流れ渦を小さくすることができるので、湿り損失を低減することができる。

【 0 0 0 9 】

（２）本開示の少なくとも１つの実施形態に係るタービンノズルは、

先細状の流路を互いの間に形成するように配列された複数の翼を備えるタービンノズルであって、

20

各々の前記翼の負圧面は、スロート位置において、該翼の隣りに位置する他の翼の後縁との間に前記流路のスロートを形成する曲面を含み、

前記曲面の上流側縁部は前記スロート位置の上流側に位置し、前記曲面の下流側縁部は前記スロート位置の下流側に位置し、

各々の前記翼の負圧面は、前記曲面の前記下流側縁部から前記翼の後縁まで平坦に延びる平坦面を含み、

前記翼の前縁から後縁までの軸方向の長さに対する前記軸方向における前記前縁からの長さの比である無次元軸コード長を L とし、前記無次元軸コード長が 1.0 である位置での前記流路の流路面積に対する前記無次元軸コード長が L である位置での前記流路の流路面積の比を $AR(L)$ とすると、

30

【数２】

$$\left| \frac{AR(1.0) - AR(0.98)}{1.0 - 0.98} \right| \geq 0.5$$

であり、

各々の前記翼は、翼高さ方向の両端縁にハブ側端縁及びチップ側端縁を備え、

前記第２凹面は、前記ハブ側端縁から前記チップ側端縁に向かう方向において前記ハブ側端縁から翼高さの 50% の距離だけ離れた位置である第２境界位置と前記チップ側端縁との間で、前記第２境界位置から前記チップ側端縁に向かって深さが増加するように構成されている。

40

【 0 0 1 1 】

上記（２）の構成によると、タービンノズルの各翼の負圧面には、隣り合う翼との間に形成される先細状の流路のスロートを形成するスロート位置に曲面が設けられていることにより、負圧面に境界層が形成されても、先細状の流路においてスロート位置における流路面積が最小になるので、スロートの前縁側への移動が抑制される。この結果、翼の負圧面で発達する境界層の影響によるタービンノズルの性能低下を抑制することができる。

また、上記（２）の構成によると、曲面の下流側縁部から翼の後縁まで平坦に延びる平

50

平坦面を設けることにより、負圧面の曲率に起因する膨張波の発生が抑制されるので、遷音速域における翼素性能の低下が低減される。この結果、翼の負圧面で発達する境界層の影響によるタービンノズルの性能低下を抑制することができる。

さらに、上記(2)の構成によると、第2凹面の深さが第2境界位置からチップ側端縁に向かって増加しているので、負圧面に形成された液膜が第2凹面に流入すると、液膜はチップ側端縁の方向に流れて液滴として翼から流出しやすくなる。これにより、車室壁面に設けられたドレンキャッチャーに液滴が捕捉されやすくなるので、液滴によるドレニアタックエロージョンを低減することができる。

【0012】

(3)いくつかの実施形態では、上記(1)または(2)の構成において、前記スロート位置における前記曲面の接面と前記平坦面とのなす角度である背面転向角が 10° 以内である。

【0013】

上記(3)の構成によると、背面転向角が 10° 以内であることにより、上記(1)または(2)の構成が成立し得るようになるので、スロートの前縁側への移動が抑制される。この結果、翼の負圧面で発達する境界層の影響によるタービンノズルの性能低下を抑制することができる。

【0014】

(4)いくつかの実施形態では、上記(1)～(3)のいずれかの構成において、前記翼の圧力面と前記負圧面とに接する内接円のうち最小面積となる後縁内接円において前記圧力面及び前記負圧面との接縁における2つの接面がなす角度である後縁挟み角が 3° 以上である。

【0015】

上記(4)の構成によると、後縁挟み角が 3° 以上であることにより、圧力面に対して負圧面が張り出した形状になるので、平坦面を形成しやすくなり、さらに、平坦面に対して曲率の大きな曲面を形成しやすくなる。その結果、上記(1)の構成が成立し得るようになるので、スロートの前縁側への移動が抑制され、さらに、負圧面の曲率に起因する膨張波の発生が抑制されて遷音速域における翼素性能の低下が低減される。この結果、翼の負圧面で発達する境界層の影響によるタービンノズルの性能低下を抑制することができる。

【0020】

(5)本開示の少なくとも1つの実施形態に係るタービンノズルは、先細状の流路を互いの間に形成するように配列された複数の翼を備えるタービンノズルであって、

各々の前記翼の負圧面は、スロート位置において、該翼の隣りに位置する他の翼の後縁との間に前記流路のスロートを形成する曲面を含み、

前記曲面の上流側縁部は前記スロート位置の上流側に位置し、前記曲面の下流側縁部は前記スロート位置の下流側に位置し、

各々の前記翼の負圧面は、前記曲面の前記下流側縁部から前記翼の後縁まで凹状に湾曲して延びる第1凹面を含み、

各々の前記翼は、翼高さ方向の両端縁にハブ側端縁及びチップ側端縁を備え、

前記第1凹面は、前記ハブ側端縁から前記チップ側端縁に向かう方向において前記ハブ側端縁から翼高さの20%の距離だけ離れた位置である第1境界位置と前記ハブ側端縁との間で、前記ハブ側端縁から前記第1境界位置に向かって深さが減少するように構成されている。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 1 】

蒸気タービンにおいて、液相が二次流れによって翼の負圧面に巻き上げられて、付加的な湿り損失が発生する場合がある。上記（5）の構成によると、第1凹面の深さがハブ側端縁から第1境界位置に向かって減少していることにより、第1凹面からチップ側端縁に向かって液相が負圧面上に巻き上げられることを抑制することができ、二次流れ渦を小さくすることができるので、湿り損失を低減することができる。

【 0 0 2 2 】

（6）本開示の少なくとも1つの実施形態に係るタービンノズルは、

10

先細状の流路を互いの間に形成するように配列された複数の翼を備えるタービンノズルであって、

各々の前記翼の負圧面は、スロート位置において、該翼の隣りに位置する他の翼の後縁との間に前記流路のスロートを形成する曲面を含み、

前記曲面の上流側縁部は前記スロート位置の上流側に位置し、前記曲面の下流側縁部は前記スロート位置の下流側に位置し、

各々の前記翼の負圧面は、前記曲面の前記下流側縁部から前記翼の後縁まで凹状に湾曲して延びる第1凹面を含み、

各々の前記翼は、翼高さ方向の両端縁にハブ側端縁及びチップ側端縁を備え、

前記第1凹面は、前記ハブ側端縁から前記チップ側端縁に向かう方向において前記ハブ側端縁から翼高さの50%の距離だけ離れた位置である第2境界位置と前記チップ側端縁との間で、前記第2境界位置から前記チップ側端縁に向かって深さが増加するように構成されている。

20

【 0 0 2 3 】

上記（6）の構成によると、第1凹面の深さが第2境界位置からチップ側端縁に向かって増加しているので、負圧面に形成された液膜が第1凹面に流入すると、液膜はチップ側端縁の方向に流れて液滴として翼から流出しやすくなる。これにより、車室壁面に設けられたドレンキャッチャーに液滴が捕捉されやすくなるので、液滴によるドレンアタックエロージョンを低減することができる。

30

【 0 0 2 8 】

（7）本開示の少なくとも1つの実施形態に係るタービンノズルは、

先細状の流路を互いの間に形成するように配列された複数の翼を備えるタービンノズルであって、

各々の前記翼は、翼高さ方向の両端縁にハブ側端縁及びチップ側端縁を備え、

各々の前記翼の負圧面は、スロート位置よりも前記翼の後縁側の位置から前記後縁まで凹状に湾曲して延びる第1凹面又は前記スロート位置よりも前記前縁側で凹状に湾曲した第2凹面の少なくとも一方を含み、

前記第1凹面又は前記第2凹面の少なくとも一方は、前記ハブ側端縁から前記チップ側端縁に向かう方向において前記ハブ側端縁から翼高さの20%の距離だけ離れた位置である第1境界位置と前記ハブ側端縁との間で、前記第1境界位置から前記ハブ側端縁に向かって深さが増加するように構成されている。

40

【 0 0 2 9 】

上記（7）の構成によると、凹面の深さがハブ側端縁から第1境界位置に向かって減少していることにより、凹面からチップ側端縁に向かって液相が負圧面上に巻き上げられることを抑制することができ、二次流れ渦を小さくすることができるので、湿り損失を低減することができる。

50

【0030】

(8) 本開示の少なくとも1つの実施形態に係るタービンノズルは、

先細状の流路を互いの間に形成するように配列された複数の翼を備えるタービンノズルであって、

各々の前記翼は、翼高さ方向の両端縁にハブ側端縁及びチップ側端縁を備え、

各々の前記翼の負圧面は、スロート位置よりも前記翼の後縁側の位置から前記後縁まで凹状に湾曲して延びる第1凹面又は前記スロート位置よりも前記前縁側で凹状に湾曲した第2凹面の少なくとも一方を含み、

前記第1凹面又は前記第2凹面の少なくとも一方は、前記ハブ側端縁から前記チップ側端縁に向かう方向において前記ハブ側端縁から翼高さの50%の距離だけ離れた位置である第2境界位置と前記チップ側端縁との間で、前記第2境界位置から前記チップ側端縁に向かって深さが増加するように構成されている。

10

【0031】

上記(8)の構成によると、凹面の深さが第2境界位置からチップ側端縁に向かって増加しているので、負圧面に形成された液膜が凹面に流入すると、液膜はチップ側端縁の方向に流れて液滴として翼から流出しやすくなる。これにより、車室壁面に設けられたドレンキャッチャーに液滴が捕捉されやすくなるので、液滴によるドレンアタックエロージョンを低減することができる。

20

【0032】

(9) 本開示の少なくとも1つの実施形態に係る軸流タービンは、

上記(1)～(8)のいずれかのタービンノズルを備える。

【0033】

上記(9)の構成によると、スロートの前縁側への移動を抑制して、翼の負圧面で発達する境界層の影響による性能低下を抑制することができる。

【発明の効果】

【0034】

30

本開示の少なくとも1つの実施形態によれば、タービンノズルの各翼の負圧面には、隣り合う翼との間に形成される先細状の流路のスロートを形成するスロート位置に曲面が設けられていることにより、負圧面に境界層が形成されても、先細状の流路においてスロート位置における流路面積が最小になるので、スロートの前縁側への移動が抑制される。この結果、翼の負圧面で発達する境界層の影響によるタービンノズルの性能低下を抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【0035】

【図1】本発明の実施形態1に係るタービンノズルの構成模式図である。

【図2】本発明の実施形態1に係るタービンノズルの翼の負圧面の拡大図である。

40

【図3】本発明の実施形態1に係るタービンノズルの翼の負圧面における無次元軸コード長と流路面積の比との関係を示すグラフである。

【図4】流路面積比変化率の違う翼での作用効果の違いを説明するための模式図である。

【図5】本発明の実施形態1に係るタービンノズルの翼の負圧面の形状を説明するための図である。

【図6】本発明の実施形態1に係るタービンノズルの翼の負圧面の形状を説明するための図である。

【図7】本発明の実施形態2に係るタービンノズルの翼の負圧面の形状を説明するための図である。

【図8】本発明の実施形態3に係るタービンノズルの翼の負圧面の形状を説明するための

50

図である。

【図 9】本発明の実施形態 4 に係るタービンノズルの翼の負圧面の形状を説明するための図である。

【図 10】図 9 の X - X 線に沿った断面図である。

【図 11】本発明の実施形態 5 に係るタービンノズルの翼の負圧面の形状を説明するための図である。

【図 12】本発明の実施形態 6 に係るタービンノズルの翼の負圧面の形状を説明するための図である。

【図 13】図 12 の X I I I - X I I I 線に沿った断面図である。

【図 14】本発明の実施形態 7 に係るタービンノズルの翼の負圧面の形状を説明するための図である。

【図 15】従来のタービンノズルの構成模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0036】

以下、添付図面を参照して本発明のいくつかの実施形態について説明する。ただし、本発明の範囲は以下の実施形態に限定されるものではない。以下の実施形態に記載されている構成部品の寸法、材質、形状、その相対配置などは、本発明の範囲をそれによりのみ限定する趣旨ではなく、単なる説明例に過ぎない。

【0037】

(実施形態 1)

図 1 に、蒸気タービン等の軸流タービンに設けられるタービンノズル 1 が示されている。タービンノズル 1 は複数の翼 2 を備え、複数の翼 2 は、隣り合う翼 2' との間に流路 3 を形成するように配列されている。流路 3 は、下流に向かって流路面積が減少する先細り形状を有し、隣り合う翼 2, 2' の一方の翼 2 の負圧面 2c と他方の翼 2' の後縁 2b' とによって、流路面積が最小となるスロート 4 が流路 3 の下流端に形成されている。スロート 4 が形成される位置をスロート位置 5 という。

【0038】

図 2 に示されるように、翼 2 の負圧面 2c は、翼 2 の隣の翼 2' に向かって凸状に湾曲する曲面 11 と、曲面 11 の下流側縁部 11b から翼 2 の後縁 2b' まで平坦に延びる平坦面 12 とを含んでいる。曲面 11 は、スロート位置 5 において、翼 2 の隣の翼 2' の後縁 2b' との間にスロート 4 を形成している。曲面 11 の上流側縁部 11a はスロート位置 5 の上流側に位置し、曲面 11 の下流側縁部 11b はスロート位置 5 の下流側に位置している。すなわち、曲面 11 は、スロート位置 5 よりも上流側及び下流側の両方に延びている。

【0039】

流路 3 内を流体が流通すると、負圧面 2c に境界層が形成される。これに対し、実施形態 1 において、翼 2 の負圧面 2c には、流路 3 のスロート 4 を形成するスロート位置 5 に曲面 11 が設けられているので、負圧面 2c に境界層が形成されても、流路 3 においてスロート位置 5 における流路面積が最小になる。これにより、スロート 4 の前縁 2a 側への移動が抑制されるので、負圧面 2c で発達する境界層の影響によるタービンノズル 1 (図 1 参照) の性能低下を抑制することができる。

【0040】

また、翼 2 には、曲面 11 の下流側縁部 11b から後縁 2b' まで平坦に延びる平坦面 12 が設けられていることにより、負圧面 2c の曲率に起因する膨張波の発生が抑制されるので、遷音速域における翼素性能の低下が低減される。この結果、翼 2 の負圧面 2c で発達する境界層の影響によるタービンノズルの性能低下を抑制することができる。

【0041】

翼 2 は、負圧面 2c に曲面 11 と平坦面 12 とを有する構成を確実に実現するために、以下に説明する特徴のいくつかを有していることが好ましい。

図 1 に示されるように、翼 2 の前縁 2a から後縁 2b' までの軸方向の長さに対する軸方

10

20

30

40

50

向における前縁 2 a からの長さの比である無次元軸コード長を $L(0 \leq L \leq 1.0)$ とする。また、無次元軸コード長が 1.0 である位置での流路 3 の流路面積に対する無次元軸コード長が L である位置での流路 3 の流路面積の比を $AR(L)$ とする。翼 2 は、無次元軸コード長のある範囲に対する流路面積の比の変化率である流路面積比変化率について、次のような条件を有している。

【0042】

【数 3】

$$\left| \frac{AR(1.0) - AR(0.98)}{1.0 - 0.98} \right| \geq 0.5$$

10

【0043】

図 3 には、実施形態 1 の翼 2 の後縁 2 b 付近における流路面積の比 $AR(L)$ の変化のグラフを示している。対照として、翼 2 よりも $AR(L)$ の変化が小さい翼を備えたタービンノズルの流路面積の比 $AR(L)$ の変化も示している。両者の形状の違いは、スロート位置近傍の流路面積の変化が対照よりも翼 2 の方が大きいことである。

【0044】

図 4 に示されるように、流路面積比変化率が 0.5 未満の対照の翼では、スロート位置近傍での軸方向に沿った流路断面積の変化が小さいので、翼の負圧面に境界層が形成されると、流路面積が最小な部分が前縁側に移動しやすい、すなわちスロートが前縁側に移動しやすい形状となっている。これに対し、翼 2 では、スロート位置 5 近傍での軸方向に沿った流路断面積の変化が大きいので、負圧面に境界層が形成されても、流路面積が最小な部分はスロート位置 5 に維持されやすい、すなわちスロートが前縁側に移動しにくい形状となっている。翼 2 は、このような特徴を有することにより、負圧面 2 c に境界層が形成されてもスロートの前縁 2 a 側への移動が抑制される。

20

【0045】

また、図 5 に示されるように、翼 2 の負圧面 2 c において、スロート位置 5 における曲面 1 1 の接面 S_1 と平坦面 1 2 とのなす角度である背面転向角 θ_1 が、 $5^\circ \leq \theta_1 \leq 10^\circ$ を満たす角度となっている。尚、スロート位置 5 から後縁 2 b まで平坦面が設けられている従来の翼（図 1 5 参照）では、この背面転向角 θ_1 は 0° である。背面転向角が 10° 以内の角度であることにより、図 2 の構成が成立し得るようになるので、スロート 4 の前縁 2 a 側への移動が抑制される。

30

【0046】

さらに、図 6 に示されるように、翼 2 において、翼 2 の負圧面 2 c と圧力面 2 d とに接する内接円のうち最小面積となる後縁内接円 C_1 において負圧面 2 c 及び圧力面 2 d との接線 1 3 及び 1 4 における 2 つの接面 S_2 及び S_3 がなす角度である後縁挟み角 θ_2 が 3° 以上となっている。後縁挟み角 θ_2 が 3° 以上であることにより、圧力面 2 d に対して負圧面 2 c が張り出した形状になるので、平坦面 1 2 を形成しやすくなり、さらに、平坦面 1 2 に対して曲率の大きな曲面 1 1 を形成しやすくなる。その結果、図 2 の構成が成立し得るようになることにより、スロート 4 の前縁 2 a 側への移動が抑制され、さらに、負圧面 2 c の曲率に起因する膨張波の発生が抑制されるので、遷音速域における翼素性能の低下が低減される。

40

【0047】

このように、タービンノズル 1 の各翼 2 の負圧面 2 c には、隣り合う翼 2' との間に形成される先細状の流路 3 のスロート 4 を形成するスロート位置 5 に曲面 1 1 が設けられていることにより、負圧面 2 c に境界層が形成されても、先細状の流路 3 においてスロート位置 5 における流路面積が最小になるので、スロート 4 の前縁 2 a 側への移動が抑制される。この結果、翼 2 の負圧面 2 c で発達する境界層の影響によるタービンノズル 1 の性能低下を抑制することができる。

50

【 0 0 4 8 】

(実施形態 2)

次に、実施形態 2 に係るタービンノズルについて説明する。実施形態 2 に係るタービンノズルは、実施形態 1 に対して、平坦面 1 2 を凹状に湾曲した第 1 凹面に変更したものである。尚、実施形態 2 において、実施形態 1 の構成要件と同じものは同じ参照符号を付し、その詳細な説明は省略する。

【 0 0 4 9 】

図 7 に示されるように、翼 2 の負圧面 2 c は、曲面 1 1 の下流側縁部 1 1 b から 2 翼の後縁 2 b まで凹状に湾曲して延びる凹面 2 0 (第 1 凹面) を含んでいる。その他の構成は実施形態 1 と同じである。

10

【 0 0 5 0 】

蒸気タービンのようにタービンノズル 1 (図 1 参照) が湿り域で使用される場合、翼 2 の負圧面 2 c に液膜が形成される場合がある。実施形態 2 では、曲面 1 1 の下流側縁部 1 1 b から翼 2 の後縁 2 b まで凹状に湾曲して延びる凹面 2 0 が設けられているので、液膜 2 1 が凹面 2 0 に堆積される。そうすると、凹面 2 0 内の液膜 2 1 の表面 2 2 が平坦面を形成するようになる。液膜 2 1 の表面 2 2 による平坦面の形成により、負圧面 2 c の曲率に起因する膨張波の発生が抑制されるので、遷音速域における翼素性能の低下が低減される。この結果、翼 2 の負圧面 2 c に形成される液膜の影響によるタービンノズル 1 の性能低下を抑制することができる。

【 0 0 5 1 】

20

(実施形態 3)

次に、実施形態 3 に係るタービンノズルについて説明する。実施形態 3 に係るタービンノズルは、実施形態 1 及び 2 のそれぞれに対して、曲面 1 1 の上流側縁部 1 1 a よりも前縁 2 a 側に凹状に湾曲した第 2 凹面を形成したものである。以下では、実施形態 1 に対して第 2 凹面を形成した形態に基づいて説明するが、実施形態 2 に対して第 2 凹面を形成した形態、すなわち第 1 凹面及び第 2 凹面の両方を有する形態であってもよい。尚、実施形態 3 において、実施形態 1 の構成要件と同じものは同じ参照符号を付し、その詳細な説明は省略する。

【 0 0 5 2 】

図 8 に示されるように、翼 2 の負圧面 2 c は、曲面 1 1 の上流側縁部 1 1 a よりも前縁 2 a 側で凹状に湾曲した凹面 3 0 (第 2 凹面) を含んでいる。その他の構成は実施形態 1 と同じである。

30

【 0 0 5 3 】

実施形態 3 では、負圧面 2 c に、曲面 1 1 の上流側縁部 1 1 a よりも前縁 2 a 側、すなわちスロート位置 5 よりも前縁 2 a 側で凹面 3 0 が設けられていることにより、負圧面 2 c に液膜が形成されると、凹面 3 0 内に液膜 2 1 が堆積される。凹面 3 0 が液膜 2 1 を收容している限りは、液膜 2 1 の表面 2 2 が曲面 1 1 よりも隣の翼 2 ' に向かって突出することはないので、スロート位置 5 における流路 3 の流路面積が最小のままになる。これにより、スロート 4 の前縁 2 a 側への移動が抑制される。この結果、翼 2 の負圧面 2 c に形成される液膜の影響によるタービンノズル 1 の性能低下を抑制することができる。

40

【 0 0 5 4 】

実施形態 2 及び 3 において、翼 2 の負圧面 2 c にも、実施形態 1 と同じ曲面 1 1 が含まれているので、実施形態 2 及び 3 でも、液膜の形成によるスロート 4 の前縁 2 a 側への移動を抑制する効果を得ることができる。

【 0 0 5 5 】

(実施形態 4)

次に、実施形態 4 に係るタービンノズルについて説明する。実施形態 4 に係るタービンノズルは、実施形態 2 に対して、第 1 凹面の構成を変更したものである。尚、実施形態 4 において、実施形態 2 の構成要件と同じものは同じ参照符号を付し、その詳細な説明は省略する。

50

【 0 0 5 6 】

図 9 に示されるように、翼 2 は、翼高さ方向の両端縁にハブ側端縁 2 e 及びチップ側端縁 2 f を備えている。翼 2 の負圧面 2 c には、ハブ側端縁 2 e からチップ側端縁 2 f に向かう方向においてハブ側端縁 2 e から翼高さの 20 % の距離だけ離れた位置である第 1 境界位置 4 0 とハブ側端縁 2 e との間に凹面 2 0 が形成されている。図 1 0 に示されるように、凹面 2 0 は、ハブ側端縁 2 e から第 1 境界位置 4 0 に向かって深さが減少するように構成されている。その他の構成は実施形態 2 と同じである。

【 0 0 5 7 】

蒸気タービンでは、実施形態 2 で説明したように、負圧面 2 c に液膜 2 1 が形成される場合があり、液膜 2 1 が二次流れによって翼 2 の負圧面 2 c に巻き上げられて、付加的な湿り損失が発生する場合がある。実施形態 4 では、凹面 2 0 の深さがハブ側端縁 2 e から第 1 境界位置 4 0 に向かって減少していることにより、凹面 2 0 からチップ側端縁 2 f (図 9 参照) に向かって液膜 2 1 が負圧面 2 c 上に巻き上げられることを抑制することができる、二次流れ渦を小さくすることができるので、湿り損失を低減することができる。

【 0 0 5 8 】

(実施形態 5)

次に、実施形態 5 に係るタービンノズルについて説明する。実施形態 5 に係るタービンノズルは、実施形態 3 に対して、第 2 凹面の構成を変更したものである。尚、実施形態 5 において、実施形態 3 の構成要件と同じものは同じ参照符号を付し、その詳細な説明は省略する。

【 0 0 5 9 】

図 1 1 に示されるように、翼 2 は、翼高さ方向の両端縁にハブ側端縁 2 e 及びチップ側端縁 2 f を備えている。翼 2 の負圧面 2 c には、ハブ側端縁 2 e からチップ側端縁 2 f に向かう方向においてハブ側端縁 2 e から翼高さの 20 % の距離だけ離れた位置である第 1 境界位置 4 0 とハブ側端縁 2 e との間に凹面 3 0 が形成されている。凹面 3 0 は、実施形態 4 の凹面 2 0 と同様に、ハブ側端縁 2 e から第 1 境界位置 4 0 に向かって深さが減少するように構成されている。その他の構成は実施形態 3 と同じである。

【 0 0 6 0 】

実施形態 5 でも、凹面 3 0 の深さがハブ側端縁 2 e から第 1 境界位置 4 0 に向かって減少していることにより、凹面 3 0 からチップ側端縁 2 f (図 9 参照) に向かって液膜 2 1 (図 8 参照) が負圧面 2 c 上に巻き上げられることを抑制することができる、二次流れ渦を小さくすることができるので、湿り損失を低減することができる。

【 0 0 6 1 】

(実施形態 6)

次に、実施形態 6 に係るタービンノズルについて説明する。実施形態 6 に係るタービンノズルは、実施形態 2 に対して、第 1 凹面の構成を変更したものである。尚、実施形態 6 において、実施形態 2 の構成要件と同じものは同じ参照符号を付し、その詳細な説明は省略する。

【 0 0 6 2 】

図 1 2 に示されるように、翼 2 は、翼高さ方向の両端縁にハブ側端縁 2 e 及びチップ側端縁 2 f を備えている。翼 2 の負圧面 2 c には、ハブ側端縁 2 e からチップ側端縁 2 f に向かう方向においてハブ側端縁 2 e から翼高さの 50 % の距離だけ離れた位置である第 2 境界位置 5 0 とチップ側端縁 2 f との間に凹面 2 0 が形成されている。図 1 3 に示されるように、凹面 2 0 は、第 2 境界位置 5 0 からチップ側端縁 2 f に向かって深さが増加するように構成されている。その他の構成は実施形態 2 と同じである。

【 0 0 6 3 】

蒸気タービンでは、実施形態 2 で説明したように、負圧面 2 c に液膜 2 1 が形成される場合がある。蒸気タービンの動作中に、液膜 2 1 は、液滴となって翼 2 から流出しやすくなる。流出した液滴は、蒸気タービン内でドレンアタックエロージョンを引き起こす要因となり得る。実施形態 6 では、凹面 2 0 の深さが第 2 境界位置 5 0 からチップ側端縁 2 f

10

20

30

40

50

に向かって増加していることにより、負圧面 2 c に形成された液膜 2 1 が凹面 2 0 に流入すると、液膜 2 1 はチップ側端縁 2 f の方向に流れて液滴として翼 2 から流出しやすくなる。車室壁面にドレンキャッチャーを設けることにより、液滴がドレンキャッチャーによって捕捉されるようになるので、液滴によるドレンアタックエロージョンを低減することができる。

【 0 0 6 4 】

(実施形態 7)

次に、実施形態 7 に係るタービンノズルについて説明する。実施形態 7 に係るタービンノズルは、実施形態 3 に対して、第 2 凹面の構成を変更したものである。尚、実施形態 7 において、実施形態 3 の構成要件と同じものは同じ参照符号を付し、その詳細な説明は省略する。

10

【 0 0 6 5 】

図 1 4 に示されるように、翼 2 は、翼高さ方向の両端縁にハブ側端縁 2 e 及びチップ側端縁 2 f を備えている。翼 2 の負圧面 2 c には、ハブ側端縁 2 e からチップ側端縁 2 f に向かう方向においてハブ側端縁 2 e から翼高さの 5 0 % の距離だけ離れた位置である第 2 境界位置 5 0 とチップ側端縁 2 f との間に凹面 3 0 が形成されている。凹面 3 0 は、実施形態 6 の凹面 2 0 と同様に、第 2 境界位置 5 0 からチップ側端縁 2 f に向かって深さが増加するように構成されている。その他の構成は実施形態 3 と同じである。

【 0 0 6 6 】

実施形態 7 でも、凹面 3 0 の深さが第 2 境界位置 5 0 からチップ側端縁 2 f に向かって増加していることにより、負圧面 2 c に形成された液膜 2 1 が凹面 3 0 に流入すると、液膜 2 1 はチップ側端縁 2 f の方向に流れて液滴として翼 2 から流出しやすくなる。車室壁面にドレンキャッチャーを設けることにより、液滴がドレンキャッチャーによって捕捉されるようになるので、液滴によるドレンアタックエロージョンを低減することができる。

20

【 0 0 6 7 】

実施形態 4 及び 6 は凹面 2 0 のみが負圧面 2 c に形成された形態であり、実施形態 5 及び 7 は凹面 3 0 のみが負圧面 2 c に形成された形態であるが、これらの形態に限定するものではない。実施形態 4 及び 6 の凹面 2 0 と、実施形態 5 及び 7 の凹面 3 0 との両方が負圧面 2 c に形成されてもよい。

【 0 0 6 8 】

30

実施形態 4 ~ 7 はそれぞれ、実施形態 1 の構成、すなわち曲面 1 1 を負圧面 2 c に含んだ形態であるが、この形態に限定するものではない。実施形態 1 の曲面 1 1 を含まない負圧面 2 c に、実施形態 4 及び 6 の凹面 2 0 と、実施形態 5 及び 7 の凹面 3 0 との少なくとも一方が形成された構成であってもよい。

【 符号の説明 】

【 0 0 6 9 】

- 1 タービンノズル
- 2 翼
- 2 a (翼の) 前縁
- 2 b (翼の) 後縁
- 2 c (翼の) 負圧面
- 2 d (翼の) 圧力面
- 2 e (翼の) ハブ側端縁
- 2 f (翼の) チップ側端縁
- 3 流路
- 4 スロート
- 5 スロート位置
- 1 1 曲面
- 1 1 a (曲面の) 上流側縁部
- 1 1 b (曲面の) 下流側縁部

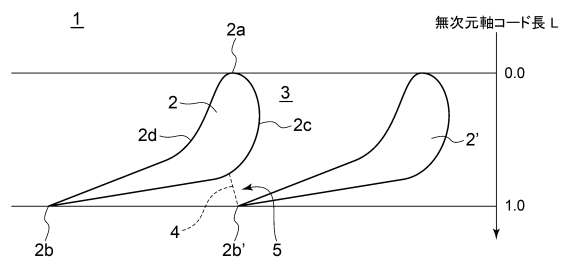
40

50

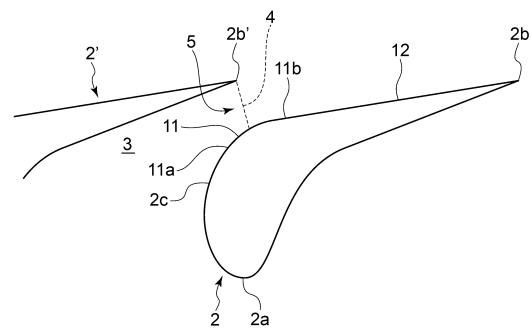
- 1 2 平坦面
- 1 3 接縁
- 1 4 接縁
- 2 0 凹面（第 1 凹面）
- 2 1 液膜
- 2 2 （液膜の）表面
- 3 0 凹面（第 2 凹面）
- 4 0 第 1 境界位置
- 5 0 第 2 境界位置
- C₁ 後縁内接円
- L 無次元軸コード長
- S₁ 接面
- S₂ 接面
- S₃ 接面
- 1 背面転向角
- 2 後縁挟み角

10

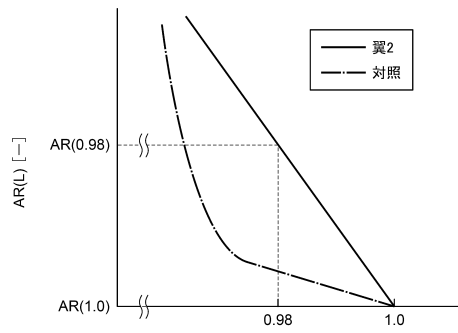
【図 1】



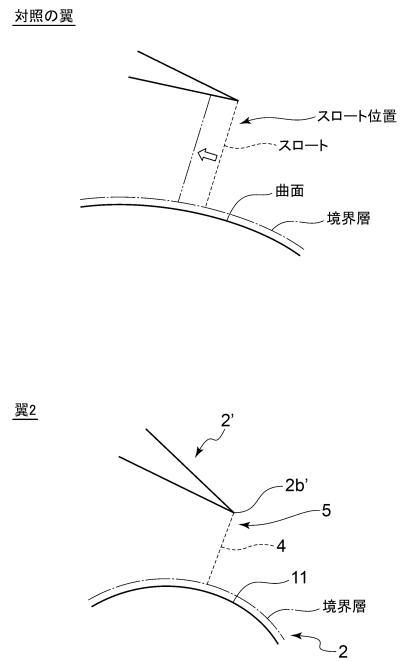
【図 2】



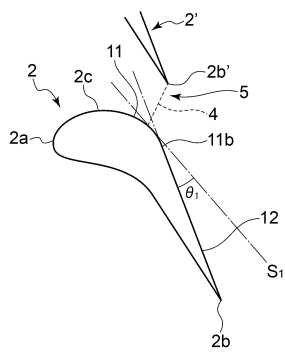
【図 3】



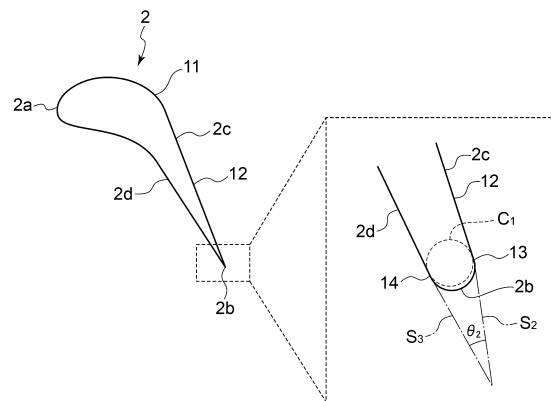
【図 4】



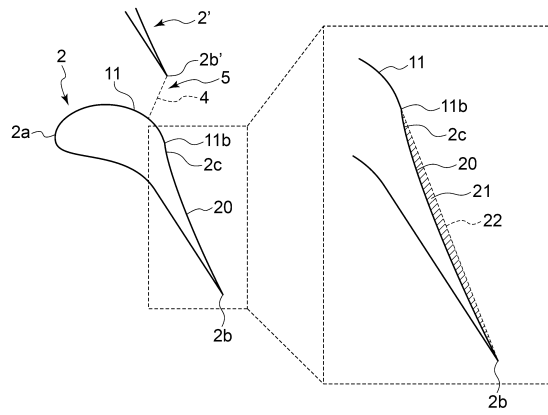
【図 5】



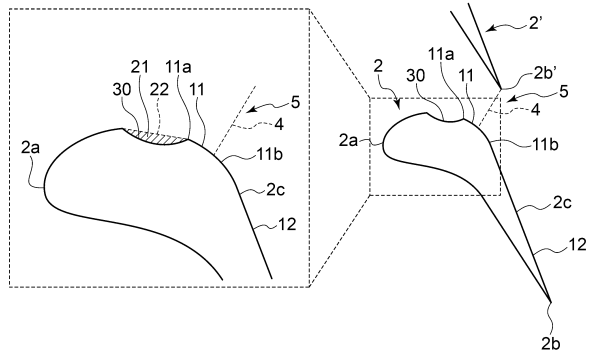
【図 6】



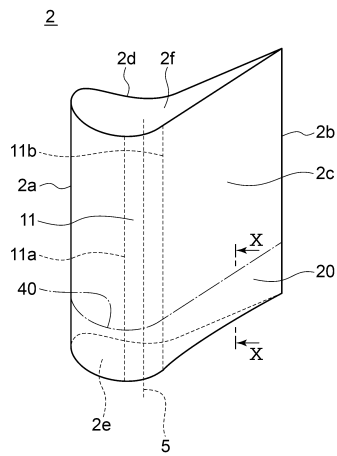
【図 7】



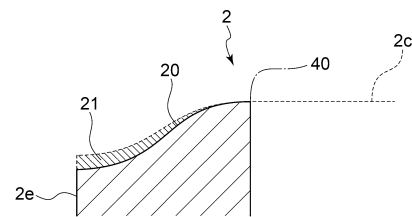
【図 8】



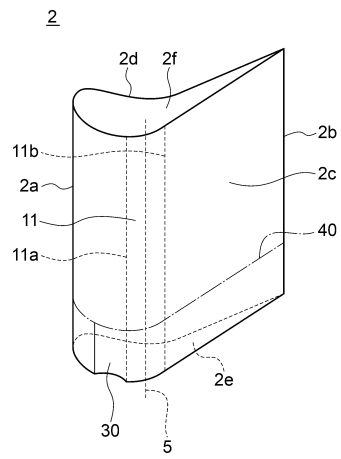
【図 9】



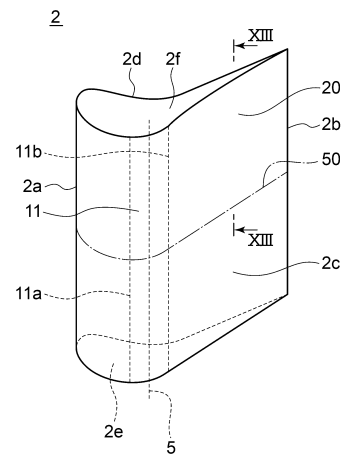
【図 10】



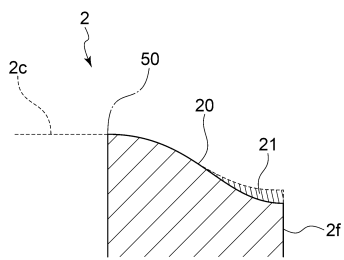
【図 1 1】



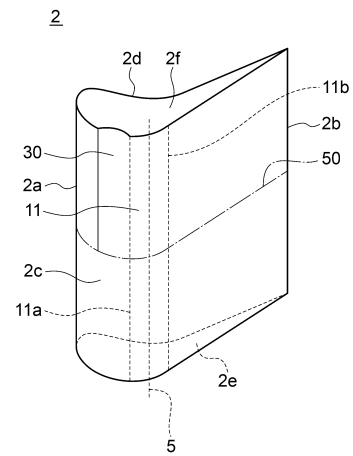
【図 1 2】



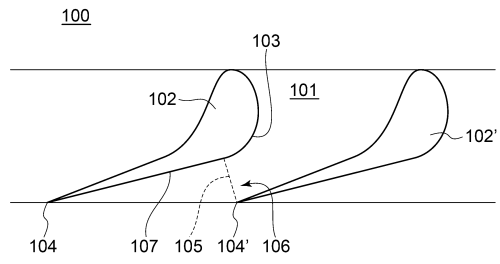
【図 1 3】



【図 1 4】



【図 15】



フロントページの続き

- (72)発明者 土屋 光由
神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 三菱日立パワーシステムズ株式会社内
- (72)発明者 柴田 佑
神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 三菱日立パワーシステムズ株式会社内

審査官 高吉 統久

- (56)参考文献 特開平09-125904(JP,A)
実開平01-157202(JP,U)
国際公開第03/033880(WO,A1)
特開2000-045703(JP,A)
特開平05-187202(JP,A)
特開2006-329133(JP,A)
米国特許第05292230(US,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
F01D 9/02