

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6184173号  
(P6184173)

(45) 発行日 平成29年8月23日 (2017. 8. 23)

(24) 登録日 平成29年8月4日 (2017. 8. 4)

(51) Int. Cl.

F I

F O 1 D 11/08 (2006. 01)

F O 1 D 11/08

F O 2 C 7/00 (2006. 01)

F O 2 C 7/00 D

F O 2 C 7/28 (2006. 01)

F O 2 C 7/28 A

F O 1 D 25/00 (2006. 01)

F O 1 D 25/00 M

F 1 6 J 15/44 (2006. 01)

F O 1 D 25/00 X

請求項の数 6 (全 11 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2013-113415 (P2013-113415)  
 (22) 出願日 平成25年5月29日 (2013. 5. 29)  
 (65) 公開番号 特開2014-231797 (P2014-231797A)  
 (43) 公開日 平成26年12月11日 (2014. 12. 11)  
 審査請求日 平成28年5月25日 (2016. 5. 25)

(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 110001829  
 特許業務法人開知国際特許事務所  
 (74) 代理人 110000350  
 ポレール特許業務法人  
 (72) 発明者 有川 秀行  
 茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株  
 式会社日立製作所 日立研究所内  
 (72) 発明者 柏谷 忠  
 茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株  
 式会社日立製作所 日立研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ガスタービン

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

圧縮機、燃焼器、およびタービンから構成されるガスタービンの該タービンにおいて、ケーシングと、前記ケーシングの長手方向に延設する回転軸の周りで回転するタービン動翼との間の隙間にはハニカムシールが前記ケーシング側に固定されて配設されており、前記タービン動翼の前記ハニカムシールに対向する端面には前記回転軸に直交する方向に延設するシールフィンが設けてある、ガスタービンであって、

前記ハニカムシールは、台形が交互に連続する複数の波形薄板がそれぞれの隔壁同士で重ね合わされ、前記隔壁同士がろう付けされて形成されたるろう付け箇所を有し、

前記タービン動翼の前記回転方向に対して、前記ハニカムシールの前記隔壁の長手方向が傾斜しており、

前記ハニカムシールの前記隔壁および隔壁間の前記ろう付け箇所は、前記回転軸に直交する鉛直軸に対して前記タービン動翼の前記回転方向にある逃げ角で傾斜しているガスタービン。

【請求項 2】

前記隔壁の長手方向の傾斜している角度が30度～90度の範囲である請求項 1 に記載のガスタービン。

【請求項 3】

前記隔壁の長手方向の傾斜している角度が90度である請求項 2 に記載のガスタービン。

【請求項 4】

10

20

前記隔壁の前記逃げ角が15度～45度の範囲である請求項1に記載のガスタービン。

【請求項5】

前記シールフィンの一部には硬質材が肉盛されてなる増厚部が形成されている請求項1に記載のガスタービン。

【請求項6】

前記シールフィンの表面には硬質材がコーティングされている請求項1に記載のガスタービン。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、タービン動翼とケーシングの間隙から作動流体が漏洩することを低減するために設けられる被削性のハニカムシールを備えたガスタービンに関する。

【背景技術】

【0002】

主に圧縮機、燃焼器、およびタービンから構成されるガスタービンにおいて、回転軸に設けられたタービン動翼と静止しているケーシング側に設けられた静翼との間には高温の燃焼ガスが流れる。タービンの性能上は、タービン動翼の先端部等からこの燃焼ガスが漏れないようにすることが望ましい。このため、薄板を加工して台形が交互に連続する波形に形成し、複数の波形薄板をそれぞれの隔壁同士で重ね合わせ、隔壁同士をろう付けすることによって、略六角形の多数の空間を備えた被削性のハニカムシールを製作し、このハニカムシールをケーシング側に固定したガスタービンが一般に用いられている。

【0003】

図7は、被削性のハニカムシールHを用いたガスタービン動翼Bの先端部のシール構造を例示した模式図である。ハニカムシールHは、ケーシングC側のシュラウドSにおいて、回転するタービン動翼Bの先端に設けられたシールフィンFに対向する部分に固定されている。そして、シールフィンFの先端部とハニカムシールHとの間隙（クリアランス）を最小限に維持することによって、タービン動翼Bの先端における燃焼ガスの漏れをシールするものである。

【0004】

図8で示すように、一般にハニカムシールHでは、台形が交互に連続するように加工された波形薄板Pがそれぞれの隔壁K同士で重ね合わされ、この隔壁K同士がろう付けされることによって（ろう付け箇所R）相互に固定されてその全体が構成されている。

【0005】

このハニカムシールHは、タービン動翼Bに対して相対的に柔らかい材料で形成されており、回転中のタービン動翼Bが熱膨張によって回転軸に直交する径方向に伸長した際に自身と接触し、タービン動翼Bの先端にあるシールフィンFによって容易に削られることでタービン動翼Bの損傷や振動を回避しながら、タービン動翼Bとの間隙を一定に保つことで燃焼ガスの漏れを抑制するものである。

【0006】

ところで、ケーシングC側のシュラウドSに対するハニカムシールHの固定に関しては、図8で示すようにろう付け箇所Rを介して隔壁Kの長手方向（図8のY1方向でろう付け箇所Rの長手方向でもある）がタービン動翼Bの回転方向（図8のZ方向）となるように固定されているのが一般的である。その理由は、プレス加工等によって形成された波形薄板Pをタービン動翼Bの回転方向となるようにシュラウドSに固定することで、波形薄板Pの固定加工性がよく、製造効率が高くなるためである。

【0007】

しかしながら、このようなハニカムシールHの固定形態においては、シールフィンFがハニカムシールHを被削する際に被削する隔壁Kの長さやろう付け箇所Rの長さが長くなることから、シールフィンFによる被削性を低下させることになる。

【0008】

10

20

30

40

50

シールフィンFによるハニカムシールHの被削性は、回転するシールフィンFがろう付け箇所Rと接触する状況になると、波形薄板Pのみと接触する場合よりも大幅に低下する。実際には、シールフィンFの厚みは2つの隔壁Kの厚みにろう付け箇所Rの厚みを加えた厚み以上であることから、シールフィンFが2つの隔壁Kとその間のろう付け箇所Rを同時にそれらの長手方向に沿って被削することになる。

【0009】

図8で示すように、ハニカムシールHのろう付け箇所Rは隔壁Kが台形の一辺であることから直線状になっているが、ろう付け箇所Rの長手方向とタービン動翼B（およびシールフィンF）の回転方向に伴うシールフィンFの摺動方向がほぼ同一方向になっていることから、シールフィンFが被削性の低いろう付け箇所Rと接触して摺動する距離が長くなる。しかも、ろう付け箇所Rの長手方向がシールフィンFの摺動に対して自立して対向する形態となっていることから、シールフィンFによる被削性が低下する。

10

【0010】

このため、場合によっては、ろう付け箇所RによってシールフィンFが削られて摩滅してしまう恐れがある。そして、シールフィンFが摩滅してしまうと、摩耗箇所からの燃焼ガスの漏れが増大してしまい、ガスタービンの性能低下に直結する。

【0011】

そこで、この問題に対処する方策として、特許文献1では、ハニカムシールのろう付け箇所を基材側の一部に限定してシールフィンとろう付け箇所が直接摺動しない構造が提案されており、特許文献2では、ハニカムシールの材料に動翼材の軟化温度よりも低い融点を有する材料を用いる技術が提案されている。

20

【0012】

しかしながら、これらの従来技術では、特殊な形状や材質のハニカムシールが必要となり、経済性や被削性、耐久性の点で問題がある。

【0013】

また、特許文献3には、ハニカムシールの先端部によって形成される包絡面の断面を示す線であるハニカムシール断面線に対して、ハニカムシールの壁の断面であるハニカム壁断面が斜めに傾いて延伸している密封装置が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

30

【0014】

【特許文献1】特開2011-226559号公報

【特許文献2】特開2002-309902号公報

【特許文献3】特開2005-163693号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0015】

特許文献3で開示される技術は、静止部材と回転部材の間の流体の漏れ量を低減することを目的としたものであり、ケーシング等の静止部材から立ち上がるハニカムシールの壁を単に傾斜させたに過ぎず、上記する課題、すなわち、ハニカムシールのろう付け箇所によってタービン動翼のシールフィンが削られて摩滅するといった課題を解消するには至らない。

40

【0016】

本発明は上記する問題に鑑みてなされたものであり、ハニカムシールのろう付け箇所によってタービン動翼のシールフィンが削られて摩滅するのを解消することのできるガス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】

【0017】

前記目的を達成すべく、本発明によるガスタービンは、圧縮機、燃焼器、およびタービンから構成されるガスタービンの該タービンにおいて、ケーシングと、前記ケーシングの

50

長手方向に延設する回転軸の周りで回転するタービン動翼との間の隙間にはハニカムシールが前記ケーシング側に固定されて配設されており、前記タービン動翼の前記ハニカムシールに対向する端面には前記回転軸に直交する方向に延設するシールフィンが設けてある、ガスタービンであって、前記ハニカムシールは、台形が交互に連続する複数の波形薄板がそれぞれの隔壁同士で重ね合わされ、前記隔壁同士がろう付けされて形成されたるろう付け箇所を有し、前記タービン動翼の前記回転方向に対して、前記ハニカムシールの前記隔壁の長手方向が傾斜しており、前記ハニカムシールの前記隔壁および隔壁間の前記ろう付け箇所は、前記回転軸に直交する鉛直軸に対して前記タービン動翼の前記回転方向にある逃げ角で傾斜しているものである。

【発明の効果】

10

【0018】

本発明のガスタービンによれば、ハニカムシールを構成する波形薄板の隔壁の長手方向、すなわち、隔壁同士を固定するろう付け箇所の長手方向がタービン動翼の回転方向に対して傾斜していることにより、タービン動翼およびシールフィンによるハニカムシールの被削性を向上させることができ、ハニカムシールによるシールフィンの摩滅を抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】本発明のガスタービンの全体構成を示した模式図であり、中心線の上図は縦断面図である。

20

【図2】図1のII部を拡大した図であって、ケーシング側のシュラウドとタービン動翼およびシールフィンを示した図である。

【図3】ハニカムシールを示した模式図であり、ハニカムシールとタービン動翼の回転方向の関係その1（ハニカムシールの固定構造の実施の形態1）を説明した図である。

【図4】ハニカムシールとタービン動翼の回転方向の関係その2（ハニカムシールの固定構造の実施の形態2）を説明した図である。

【図5】ハニカムシールの固定構造の実施の形態3を説明した図である。

【図6】シールフィンの他の実施の形態を説明した図であって、（a）は側面図であり、（b）は図6aのb矢視図である。

【図7】従来のガスタービンにおける、ケーシング側のシュラウドとタービン動翼およびシールフィンを示した図である。

30

【図8】図7で適用されるハニカムシールを示した図であり、さらに、ハニカムシールとタービン動翼の回転方向の関係を説明した図である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

以下、図面を参照して本発明のガスタービンの実施の形態を説明する。

【0021】

（ガスタービンの実施の形態）

<ガスタービンの全体構成>

図1は本発明のガスタービンの全体構成を示した模式図であり、中心線の上図は縦断面図であり、図2は図1のII部を拡大した図であって、ケーシング側のシュラウドとタービン動翼およびシールフィンを示した図である。

40

【0022】

図1で示すように、ガスタービン100は、吸い込んだ空気（X方向）を圧縮して圧縮空気を生成する圧縮機10と、圧縮機10からの圧縮空気を燃料とともに燃焼して高温高圧の燃焼ガスを生成する燃焼器20と、この燃焼ガスが噴射されて駆動するタービン30とから大略構成されている。

【0023】

タービン30で得られた動力は、回転軸4に連結された不図示の発電機等に伝達されてこの発電機等を駆動するとともに、圧縮機10の駆動力にも供されるようになっている。

50

## 【 0 0 2 4 】

タービン 3 0 は、圧縮機 1 0 や燃焼器 2 0 の一部を収容するケーシング 1 の中心に回転軸線 L 1 (ケーシング 1 の長手方向軸)を中心に回転軸 4 を回転自在に備えており、回転軸 4 の周囲に複数のタービン動翼 5 A, 5 B、5 C が取り付けられている。

## 【 0 0 2 5 】

タービン静翼 3 A, 3 B, 3 C はケーシング 1 の内壁側に固定されており、これらタービン静翼 3 A, 3 B, 3 C と回転軸 4 の周囲に固定されているタービン動翼 5 A, 5 B、5 C が回転軸線 L 1 の方向に交互に各段落に設けられている。なお、図示例のガスタービン 1 0 0 においては、タービン 3 0 は 3 段の翼列を有する一軸式のタービンであり、第 1 段の静翼 3 A、第 2 段の静翼 3 B および第 3 段の静翼 3 C と、第 1 段の動翼 5 A、第 2 段の動翼 5 B および第 3 段の動翼 5 C を備えている。ただし、本発明のガスタービンは一軸式のガスタービンに限定されるものでなく、高圧タービンや低圧タービンを備えた二軸式タービンに適用されてもよいし、さらに、段落数も 3 段に限定されるものではない。

10

## 【 0 0 2 6 】

また、図 2 に示すように、各段落のタービン動翼 5 A ~ 5 C とケーシング 1 との間には、高温高压の燃焼ガスの流路外周壁を形成して燃焼ガスが直接ケーシング 1 に接触するのを防止するためのシュラウド 2 が動翼の回転方向に亘って環状に、複数段設けられている。

## 【 0 0 2 7 】

これらシュラウド 2 はケーシング 1 の内壁に固定され、静翼 3 A ~ 3 C は、この複数段のシュラウド 2 に跨って支持されている。

20

## 【 0 0 2 8 】

タービン動翼 5 A ~ 5 C は、燃焼ガスの流れ方向下流側の後段にいくにつれて翼長が長くなっており、ガス流れを受けた際の翼の振動応力や曲げ応力に対する強度は後段にいくにつれて低下する傾向にある。そこで、たとえば第 2 段のタービン動翼 5 B と第 3 段のタービン動翼 5 C の翼先端には環状のシュラウドカバー 5 B', 5 C' がそれぞれ設けられ、動翼 5 B, 5 C の回転方向(周方向)に隣接するタービン翼 5 B, 5 C 同士をシュラウドカバー 5 B', 5 C' で一体とすることで各翼列の剛性を高める構成としている。

## 【 0 0 2 9 】

各動翼 5 A ~ 5 C とシュラウド 2 の間の間隙はガスタービンの性能上可及的に狭いことが望ましい。そこで、シュラウドカバー 5 B', 5 C' の径方向外側面には、シュラウド 2 側に突出するように動翼回転方向とほぼ平行に略直線状のシールフィン 6 が設けてある。

30

## 【 0 0 3 0 】

ところで、このシールフィン 6 とシュラウド 2 の間の間隙が小さ過ぎると、運転中の熱膨張でタービン動翼 5 A ~ 5 C の翼長が伸長した際に、シールフィン 6 とシュラウド 2 が接触してタービン動翼 5 A ~ 5 C の破損や損傷を来す恐れがある。そこで、シュラウド 2 の内周側において、シールフィン 6 に対して径方向外側に間隙をもって対向するハニカムシール 7 が固定されている。

## 【 0 0 3 1 】

次に、以下、ハニカムシールとそのシュラウドに対する固定構造の実施の形態を詳細に説明する。

40

## 【 0 0 3 2 】

< ハニカムシールとその固定構造の実施の形態 1 >

図 3 はハニカムシールを示した模式図であり、ハニカムシールとタービン動翼の回転方向の関係その 1 (ハニカムシールの固定構造の実施の形態 1) を説明した図である。

## 【 0 0 3 3 】

ハニカムシール 7 は、台形状の凹凸が交互に連続する波形薄板 7 1 が複数接合されることにより、略六角形の空隙と隔壁から構成される蜂の巣状が連続した六角形状のハニカム構造体を呈しており、この六角形状のハニカム構造体がシュラウド 2 にろう付けて構成さ

50

れたものである。

【0034】

ハニカムシール7を製造する際には、薄板材料をプレス成形した波形薄板71を溶接、ろう付け等によって接合して六角形状のハニカム構造体を形成する。その後、シュラウド2の貼付面とハニカム構造体の間にシート状のろう材を挟み込み、この状態のままで炉内にて加熱処理してシート状のろう材を溶融させる。この熱処理により、隣接する波形薄板71の隔壁71a間には、毛管現象によって微小隙間を通して溶融したシート状のろう材が浸入して硬化し、隔壁71a間にろう付け箇所72が形成される。そして、このろう付け箇所72により、シールフィン6と接触するハニカムシール面を形成するハニカムシール7の剛性が確保されることになる。

10

【0035】

このろう付け箇所72では、波形薄板71の隔壁71aの先端までろう材が浸入しており、隔壁71a同士を強固に接合してハニカムシール7の形状と剛性の保持が図られる。

【0036】

図3で示すように、シュラウド2に対するハニカムシール7の固定形態においては、隔壁71aの長手方向(Y1方向であり、ろう付け箇所72の長手方向でもある)と、タービン動翼5A~5Cの回転方向(Z方向)の間の角度が90度に設定されている。

【0037】

図8で示す従来のハニカムシールHの固定形態と比較すると理解が容易となるが、図3で示すハニカムシール7の固定形態を適用することで、タービン動翼先端のシールフィン6がハニカムシール7と接触してこれを被削する際に、シールフィン6は、ハニカムシール7を構成する2つの隔壁71aの厚み方向を通過し、隔壁71a間のろう付け箇所72の厚み方向を通過することになる。

20

【0038】

すなわち、シールフィン6は、隔壁71aを最短で通過し、かつ、ろう付け箇所72も最短で通過することになる。

【0039】

このようにシールフィン6がハニカムシール7の隔壁71aおよびろう付け箇所72の最短部を被削すること、特に硬質なろう付け箇所72の最短部を被削することによって、このハニカムシール7の被削の際にシールフィン6が破損や損傷するといった問題は効果的に解消される。

30

【0040】

なお、図示するハニカムシール7の固定構造は、ハニカムシール7の配設態様を変更した簡易な構造改良によるものであることから、この構造改良によってタービンの製造コストが増加することはない。

【0041】

<ハニカムシールの固定構造の実施の形態2>

図4は、ハニカムシールとタービン動翼の回転方向の関係その2(ハニカムシールの固定構造の実施の形態2)を説明した図である。

【0042】

同図で示すハニカムシールの配設形態は、隔壁71aの長手方向(Y1方向)と、タービン動翼5A~5Cの回転方向(Z方向)の間の角度が30度以上で90度未満の範囲に設定されたものである。

40

【0043】

角度が90度の場合よりも、シールフィン6が隔壁71aやろう付け箇所72を被削する長さは長くなるものの、本発明者等の検証によれば、角度が30度以上の範囲にあることでシールフィン6の破損防止効果が十分に得られることが分かっている。

【0044】

<ハニカムシールの固定構造の実施の形態3>

また、図5は、ハニカムシールの固定構造の実施の形態3を説明した図である。

50

## 【 0 0 4 5 】

同図で示すハニカムシールの固定構造は、たとえば図 3 , 4 で示すように、ハニカムシール 7 の固定形態において、隔壁 7 1 a の長手方向 ( Y 1 方向 ) とタービン動翼 5 A ~ 5 C の回転方向 ( Z 方向 ) の間の角度  $\theta$  が 30 度以上で 90 度以下の範囲に設定されていることに加えて、さらに、隔壁 7 1 a やろう付け箇所 7 2 が、回転軸 4 に直交する鉛直軸 L 2 に対してタービン動翼の回転方向 ( Z 方向 ) に 15 度 ~ 45 度の範囲の逃げ角  $\theta'$  で傾斜しているものである。

## 【 0 0 4 6 】

本発明者等の検証によれば、ハニカムシール 7 がこのような角度範囲でタービン動翼の回転方向に傾斜した逃げ角をさらに有していることで、シールフィン 6 がハニカムシール 7 を被削する際にシールフィン 6 が受ける荷重をさらに低減することができ、その破損防止効果をさらに高めることができることが分かっている。

10

## 【 0 0 4 7 】

< シールフィンの他の実施の形態 >

次に、シールフィンの他の実施の形態を説明する。図 6 は、シールフィンの他の実施の形態を説明した図であって、図 6 ( a ) は側面図であり、図 6 ( b ) は図 6 ( a ) の b 矢視図である。

## 【 0 0 4 8 】

図 6 ( a ) , ( b ) で示すように、シールフィン 6 ' はその一部に、硬質材 ( 耐摩耗合金やセラミックスなど ) が肉盛されてなる増厚部 6 a を備えたものである。

20

## 【 0 0 4 9 】

このように硬質材からなる増厚部 6 a をその側壁から左右に突設させることで、ハニカムシール 7 の被削性を一層向上させることができる。

## 【 0 0 5 0 】

なお、図示を省略するが、図 6 ( a ) で示すシールフィンの上端面において、上方に突出する突起をさらに備えた形態のシールフィンを適用してもよい。

## 【 0 0 5 1 】

また、シールフィンの全周に硬質材からなるコーティング層を形成してもよい。

## 【 0 0 5 2 】

[ 本発明によるガスタービンを構成するハニカムシールとその固定構造による効果を確認した実験とその結果 ]

30

本発明者等は、図 3 で示すハニカムシールの固定構造、具体的には、波形薄板の隔壁の長手方向と、タービン動翼の回転方向の間の角度  $\theta$  が 90 度に設定されている形態の固定構造を製作し、ハニカムシールを被削する際にシールフィンに作用する荷重を測定する実験をおこなった。

## 【 0 0 5 3 】

図 8 で示す従来の固定構造も製作してこれを比較例とし、同様の実験をおこない、その際のシールフィンに作用する荷重を測定した。

## 【 0 0 5 4 】

双方の測定値を比較した結果、図 8 で示す比較例の場合のシールフィンに作用する最大荷重に対し、図 3 で示す固定構造の場合にシールフィンに作用する最大荷重はおよそ 1/2 となることが分かり、被削性の向上効果、およびシールフィンの破損防止効果が十分に期待できることが実証されている。

40

## 【 0 0 5 5 】

本発明者等はさらに、図 3 の固定構造に加えて図 5 で示す逃げ角を有する構造のハニカムシールを製作し、シールフィンに作用する最大荷重を測定する実験をおこなった。

## 【 0 0 5 6 】

この実験では、逃げ角  $\theta'$  が 15 度 ~ 45 度に順次変化するハニカムシールをそれぞれ製作し、それぞれのハニカムシールを適用した際のシールフィンに作用する最大荷重を測定している。

50

## 【 0 0 5 7 】

その結果、図 3 で示す角度  $\theta$  が 90 度で逃げ角  $\phi$  がゼロの場合は、上記するように図 8 で示す従来構造の場合に比してシールフィンに作用する最大荷重が 1/2 程度であったのに対して、逃げ角  $\phi$  が 15 度の場合には、シールフィンに作用する最大荷重をさらに 5% 程度低減できることが分かった。また、逃げ角  $\phi$  が 45 度の場合には、シールフィンに作用する最大荷重をさらに 30% 程度低減できることが分かった。

## 【 0 0 5 8 】

本実験結果より、図示するハニカムシールの固定構造を適用することにより、被削性の向上効果とシールフィンの破損防止効果が得られることが確認されている。

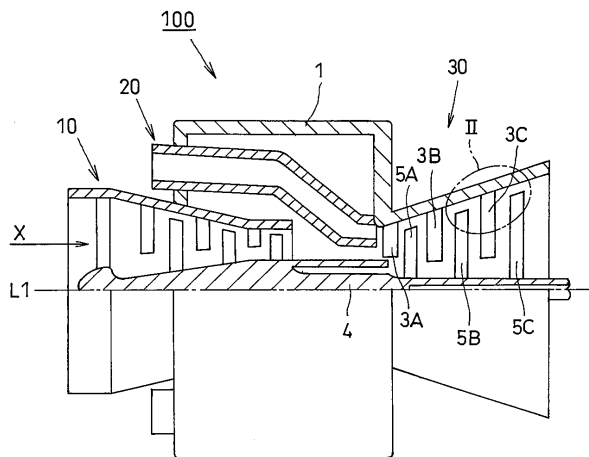
## 【 符号の説明 】

10

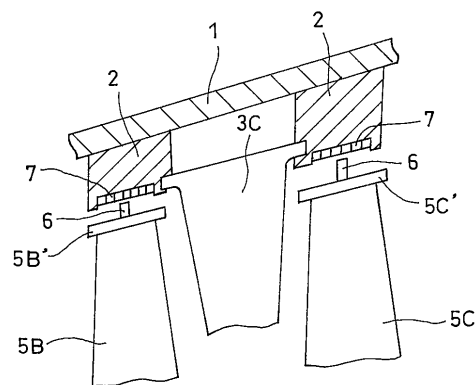
## 【 0 0 5 9 】

1 ... ケーシング、2 ... シュラウド、3 A , 3 B , 3 C ... タービン静翼（静翼）、4 ... 回転軸、5 A , 5 B , 5 C ... タービン動翼（動翼）、5 A '、5 B ' ... 環状のシュラウドカバー、6 , 6 ' ... シールフィン、6 a ... 増厚部、7 ... ハニカムシール、7 1 ... 波形薄板、7 1 a ... 隔壁、7 2 ... ろう付け箇所、1 0 ... 圧縮機、2 0 ... 燃焼器、3 0 ... タービン、1 0 0 ... ガスタービン、Y 1 ... 隔壁の長手方向、Z ... 動翼の回転方向、L 1 ... 回転軸線、L 2 ... 回転軸に直交する鉛直軸

【 図 1 】

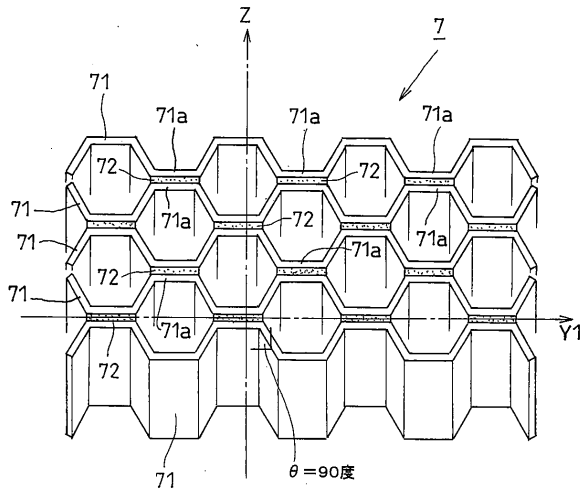


【 図 2 】

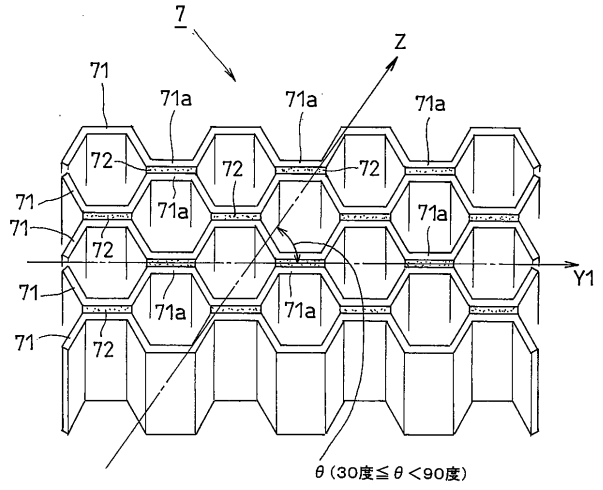




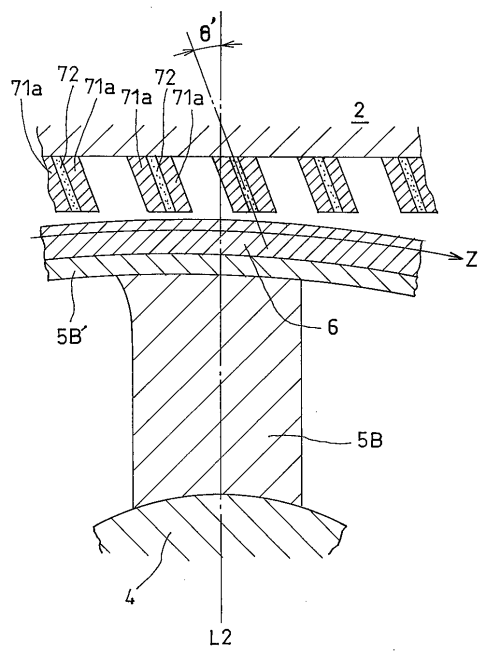
【図 3】



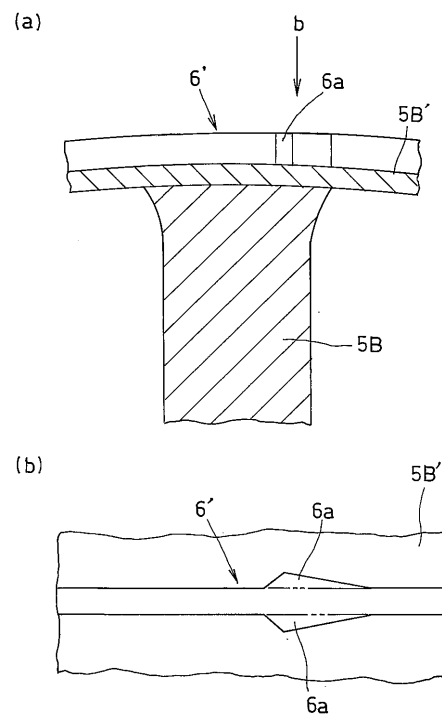
【図 4】



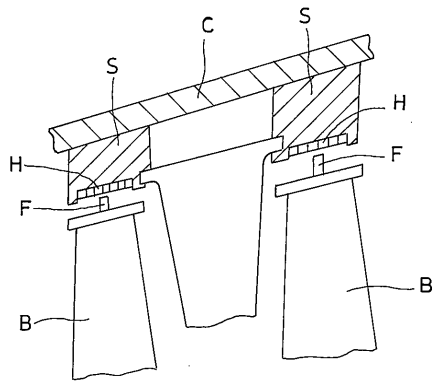
【図 5】



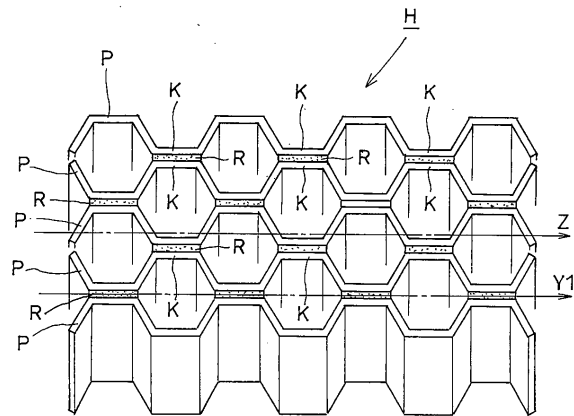
【図 6】



【図 7】



【図 8】



## フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
F 1 6 J 15/44 A

- (72)発明者 児島 慶享  
茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所 日立研究所内
- (72)発明者 渡邊 泰行  
茨城県日立市幸町三丁目1番1号 株式会社日立製作所 日立事業所内
- (72)発明者 村形 直  
茨城県日立市幸町三丁目1番1号 株式会社日立製作所 日立事業所内
- (72)発明者 市川 国弘  
茨城県日立市幸町三丁目1番1号 株式会社日立製作所 日立事業所内
- (72)発明者 紺頼 巧  
茨城県日立市幸町三丁目1番1号 株式会社日立製作所 日立事業所内

審査官 山崎 孔徳

- (56)参考文献 特開2001-123803(JP, A)  
英国特許出願公告第00793886(GB, A)  
特開2011-226559(JP, A)  
特開2008-291846(JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- |         |           |
|---------|-----------|
| F 0 1 D | 1 1 / 0 8 |
| F 0 1 D | 2 5 / 0 0 |
| F 0 2 C | 7 / 0 0   |
| F 0 2 C | 7 / 2 8   |
| F 1 6 J | 1 5 / 4 4 |