

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第6898104号
(P6898104)

(45) 発行日 令和3年7月7日 (2021.7.7)

(24) 登録日 令和3年6月14日 (2021.6.14)

(51) Int.Cl.

F 1

FO1D 5/18 (2006.01)

FO1D 9/02 (2006.01)

FO1D 5/18

FO1D 9/02 1 O 2

請求項の数 2 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2017-6571 (P2017-6571)	(73) 特許権者	000000974
(22) 出願日	平成29年1月18日 (2017.1.18)		川崎重工業株式会社
(65) 公開番号	特開2018-115601 (P2018-115601A)		兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号
(43) 公開日	平成30年7月26日 (2018.7.26)	(74) 代理人	100087941
審査請求日	令和1年12月24日 (2019.12.24)		弁理士 杉本 修司
前置審査		(74) 代理人	100112829
			弁理士 堤 健郎
		(74) 代理人	100154771
			弁理士 中田 健一
		(74) 代理人	100155963
			弁理士 金子 大輔
		(72) 発明者	都留 智子
			兵庫県明石市川崎町1番1号 川崎重工業株式会社内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 タービン翼の冷却構造

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

高温ガスによって駆動されるタービンのタービン翼を冷却するための構造であって、
前記高温ガスの流路に対して凹状に湾曲する前記タービン翼の第1翼壁と、前記高温ガスの流路に対して凸状に湾曲する前記タービン翼の第2翼壁との間に形成された冷却通路と、

前記冷却通路に面する前記第1翼壁の壁面上に設けられた複数の第1リブからなる第1リブ組と、前記冷却通路に面する前記第2翼壁の壁面上に設けられた複数の第2リブからなり、前記第1リブ組に格子状に重ねられた第2リブ組とを有するラティス構造体と、

前記冷却通路の下流側端部に設けられて、前記冷却通路内の冷却媒体を外部へ排出する冷媒排出口と、

前記第2翼壁の、前記冷媒排出口の外部へ延設されて形成された部分である露出壁部と、

前記冷却通路の、前記ラティス構造体の出口から前記冷媒排出口までの部分であって、前記第1翼壁の壁面および前記第2翼壁の壁面が平坦面として形成された平坦面部と、
を備え、

前記平坦面部の長さが、前記ラティス構造体の出口の高さの1倍以上かつ5倍以下の範囲内にある、

ガスタービンエンジンの冷却構造。

【請求項 2】

10

20

請求項 1 に記載の冷却構造において、前記冷却媒体全体の移動方向が、前記タービン翼の翼弦に沿った方向であり、複数の前記ラティス構造体が、仕切り体を介して前記タービン翼の高さ方向に並べて配置されている冷却構造。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ガスタービンエンジンのタービンにおける静翼および動翼を冷却するための構造に関する。

【背景技術】

【0002】

ガスタービンエンジンを構成するタービンは、燃焼器の下流に配置され、燃焼器で燃焼された高温のガスが供給されるため、ガスタービンエンジンの運転中は高温にさらされる。したがって、タービンの静翼および動翼を冷却する必要がある。このようなタービン翼を冷却する構造として、圧縮機で圧縮された空気の一部を、翼内に形成した冷却通路に導入し、圧縮空気を冷却媒体としてタービン翼を冷却することが知られている（例えば、特許文献 1 参照）。

【0003】

圧縮空気の一部をタービン翼の冷却に用いる場合、外部から冷却媒体を導入する必要がなく、冷却構造を簡単にできるメリットがある一方、圧縮機で圧縮された空気を多量に冷却に用いるとエンジン効率の低下につながるため、できるだけ少ない空気量で効率的に冷却を行う必要がある。タービン翼を高い効率で冷却するための構造として、複数のリブを格子状に組み合わせて形成した、いわゆるラティス構造を採用することが提案されている（例えば、特許文献 2 参照）。ラティス構造では、ラティス構造を構成するリブに冷却媒体を衝突させて渦流を発生させることにより冷却効率を高めている。

【0004】

他方、タービン翼内の冷却媒体を翼後縁部から排出する構造として、タービン翼後縁部の正圧面側の翼壁を切り欠き、これによって露出した負圧面側の翼壁の裏面に沿うように冷却媒体を流すことにより、この面をフィルム冷却することが提案されている（特許文献 2 参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】米国特許第 5 6 0 3 6 0 6 号明細書

【特許文献 2】特許第 4 9 5 7 1 3 1 号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかし、特許文献 2 に開示されているように、ラティス構造に翼後縁部のフィルム冷却を組み合わせた場合、ラティス構造から流出した強い渦流が、露出した壁面へ排出されて、外部を流れる高温のガスに巻き込まれる。その結果、フィルム冷却による冷却効果を十分に得ることが困難であった。

【0007】

そこで、本発明の目的は、上記の課題を解決すべく、ラティス構造によってタービン翼内部を高い効率で冷却し、かつタービン翼後縁部もフィルム冷却によって効果的に冷却することにより、タービン翼全体を高効率に冷却できる冷却構造を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記目的を達成するために、本発明に係るタービン翼の冷却構造は、高温ガスによって駆動されるタービンのタービン翼を冷却するための構造であって、前記高温ガスの流路に対して凹状に湾曲する前記タービン翼の第 1 翼壁と、前記高温ガスの流路に対して凸状に

10

20

30

40

50

湾曲する前記タービン翼の第2翼壁との間に形成された冷却通路と、前記冷却通路に面する前記第1翼壁の壁面上に設けられた複数の第1リブからなる第1リブ組と、前記冷却通路に面する前記第2翼壁の壁面上に設けられた複数の第2リブからなり、前記第1リブ組に格子状に重ねられた第2リブ組とを有するラティス構造体と、前記冷却通路の下流側端部に設けられて、前記冷却通路内の冷却媒体を外へ排出する冷媒排出口と、前記第2壁の、前記冷媒排出口の外へ延設されて形成された部分である露出壁部と、前記冷却通路の、前記ラティス構造体の出口から前記冷媒排出口までの部分であって、前記第1壁の壁面および前記第2壁の壁面が平坦面として形成された平坦面部とを備える。

【0009】

この構成によれば、ラティス構造体から渦流として排出された冷却媒体が、平坦面部を流れる過程で、壁面に沿った均一な方向の流れに整流された後、冷媒排出口から露出壁部へ排出される。これにより、露出壁部において高温のガスと冷却媒体との混合が抑制され、十分なフィルム冷却効果が得られる。したがって、ラティス構造体によるタービン翼内の冷却とタービン翼後縁部のフィルム冷却が高い効率で両立できるので、タービン翼全体の冷却効率を高めることが可能になる。

【0010】

本発明の一実施形態において、前記平坦面部の長さが、前記ラティス構造体の出口の高さの1倍以上かつ5倍以下の範囲内であってよい。この構成によれば、ラティス構造体による冷却効果に実質的な影響を及ぼさない範囲で、ラティス構造体から排出された渦流がフィルム冷却用に整流されるための十分な距離を確保できる。したがって、タービン翼全体の冷却効率をさらに高めることが可能になる。

【0011】

本発明の一実施形態において、前記冷却媒体全体の移動方向が、前記タービン翼の翼弦に沿った方向であり、複数の前記ラティス構造体が、仕切り体を介して前記タービン翼の高さ方向に並べて配置されていてもよい。冷却媒体全体の移動方向を翼弦方向とすることにより、ラティス構造が存在しない平坦面部をタービン翼後端部の狭い空間に形成することになるので、ラティス構造体を省略することによる冷却効果の低減が抑制されるとともに、タービン翼の製造が容易になる。また、露出壁部を、タービン翼の高さ方向に広く確保することができるので、タービン翼全体の冷却効率をさらに高めることができる。

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、ラティス構造体によるタービン翼内の冷却とタービン翼後縁部のフィルム冷却を高い効率で両立することにより、タービン翼全体の冷却効率を高めることが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】本発明の一実施形態に係る冷却構造が適用されるタービン翼の一例を示す斜視図である。

【図2】図1の冷却構造を模式的に示す縦断面図である。

【図3】図1のタービン翼の横断面図である。

【図4】図2の冷却構造に用いられるラティス構造体を模式的に示す斜視図である。

【図5】図2のタービン翼の後端部付近を拡大して模式的に示す縦断面図である。

【図6】本発明の一実施形態に係る冷却構造における平坦面部の長さや冷却媒体の渦流の強度との関係についてのシミュレーション結果を示す図である。

【図7】本発明の一実施形態に係る冷却構造における平坦面部の長さや壁面の熱伝達率との関係についてのシミュレーション結果を示す図である。

【図8】本発明の一実施形態に係る冷却構造の配置の一例を模式的に示す縦断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、本発明の好ましい実施形態を図面に基づいて説明する。図１は本発明の一実施形態であるタービン翼の冷却構造が適用される、ガスタービンエンジンのタービンの動翼１を示す斜視図である。タービン動翼１は、図示しない燃焼器から供給された、矢印方向に流れる高温ガスＧによって駆動されるタービンＴを形成している。タービン動翼１は、高温ガスＧの流路ＧＰに対して凹状に湾曲する第１翼壁３と、高温ガスの流路ＧＰに対して凸状に湾曲する第２翼壁５とを有する。本明細書では、高温ガスＧの流れ方向に沿った上流側（図１の左側）を前方と呼び、下流側（図１の右側）を後方と呼ぶ。なお、以下の説明では、冷却構造が設けられるタービン翼として、主としてタービン動翼１を例として示すが、特に説明する場合を除き、本実施形態に係る冷却構造は、タービン翼であるタービン静翼にも同様に適用することができる。

10

【００１５】

具体的には、タービン動翼１は、図２に示すように、そのプラットフォーム１１がタービンディスク１３の外周部に連結されることで、周方向に多数植設されてタービンＴを形成している。タービン動翼１の前部１ａの内部には、翼高さ方向Ｈに延びて折り返す前部冷却通路１５が形成されている。タービン動翼１の後部１ｂの内部には、後部冷却通路１７が形成されている。これらの冷却通路は、図３に示すように、第１翼壁３と第２翼壁５との間の空間を利用して形成されている。

【００１６】

図２に示すように、圧縮機からの圧縮空気の一部である冷却媒体ＣＬが、径方向内側のタービンディスク１３の内部に形成された前部冷却媒体導入通路１９、後部冷却媒体導入通路２１を通して、径方向外側に向かって流れ、それぞれ前部冷却通路１５、後部冷却通路１７に導入される。前部冷却通路１５に供給された冷却媒体ＣＬは、タービン動翼１の外部に連通する図示しない冷媒排出孔から外部へ排出される。後部冷却通路１７に供給された冷却媒体ＣＬは、後述する冷媒排出口２５から外部へ排出される。以下、本実施形態に係る冷却構造をタービン動翼１の後部１ｂのみに設けた例について説明するが、本実施形態に係る冷却構造は、タービン動翼１の後部１ｂを含むいかなる範囲に設けてもよい。本実施形態では、後部冷却通路１７内において、冷却媒体ＣＬの全体が、前方から後方へ横切る方向に流れる。以下の説明では、この冷却媒体ＣＬ全体の流れ方向を、冷媒移動方向Ｍと称する。

20

【００１７】

図３に示すように、後部冷却通路１７の内部には、タービン動翼１を冷却するための冷却構造として、ラティス構造体２３が設けられている。ラティス構造体２３は、後部冷却通路１７に面する第１翼壁３および第２翼壁５の壁面にそれぞれ立設された複数のリブからなる。以下の説明では、第１翼壁３の後部冷却通路１７に面する壁面を第１壁面３ａと称し、第２翼壁５の後部冷却通路１７に面する壁面を第２壁面５ａと称する。

30

【００１８】

タービン動翼１を冷却するための冷却構造として、タービン動翼１は、さらに、冷媒排出口２５、露出壁部２７および平坦面部２９を有している。タービン動翼１の後端部において、第１翼壁３を切り欠いて第２翼壁５の壁面を外部（高温ガスの流路ＧＰ）に露出させた部分を形成している。冷媒排出口２５は、後部冷却通路１７の下流側端部（後端部）に設けられて、後部冷却通路１７内の冷却媒体ＣＬを外部へ排出する。冷媒排出口２５は、上記のように第１翼壁３を切り欠いた箇所における第１壁面３ａと第２壁面５ａとの間の隙間として形成されている。すなわち、露出壁部２７は、第２翼壁５の、冷媒排出口２５の外部へ延設されて形成された部分である。平坦面部２９は、後部冷却通路１７内の、ラティス構造体２３の出口２３ａから冷媒排出口２５までの領域の部分に形成されており、第１壁面３ａおよび第２壁面５ａが平坦面として、つまり突起物や凹所が設けられていない面として形成されている。この平坦面部２９によって、ラティス構造体２３から排出された冷却媒体ＣＬが冷媒排出口２５へ向けて導出される。

40

【００１９】

図４に示すように、ラティス構造体２３は、後部冷却通路１７に面する両壁面３ａ、５

50

a上に、互いに平行にかつ等間隔に設けられた複数のリブ31からなるリブ組を、複数組格子状に重ねて組み合わせることにより形成されている。本実施形態では、2つのリブ組、すなわち第1リブ組(図4における下段のリブ組)33Aと第2リブ組(図4における上段のリブ組)33Bとを、リブ31の高さ方向(第1壁面3aと第2壁面5aとが対向する方向)に格子状に重ねることによって組み合わせ、ラティス構造体23が形成されている。

【0020】

ラティス構造体23において、各リブ組33A, 33Bの隣り合うリブ31, 31間の間隙が冷却媒体CLの流路(ラティス流路)35を形成する。ラティス構造体23は、後部冷却通路17内において、冷媒移動方向Mに延びる2つの側壁37, 37の間に、ラティス流路35が冷媒移動方向Mに対して傾斜するように配置される。ラティス構造体23に導入された冷却媒体CLは、同図に破線矢印で示すように、まず一方のリブ組(図示の例では下段の第1リブ組33A)のラティス流路35を流れ、他方のリブ組(図示の例では上段の第2リブ組33B)を横切ることにより渦流を生じさせる。その後、冷却媒体CLは側壁37に衝突し、同図に実線矢印で示すように、衝突した部分から他方のリブ組(図示の例では上段の第2リブ組33B)のラティス流路35に流れ込む。このように、ラティス構造体23においては、冷却媒体CLが、ラティス流路35を流れ、側壁37に衝突して他方のラティス流路35に流れ込むことを繰り返した後にラティス構造体23から排出される。その過程において、冷却媒体CLが当該ラティス流路35を横断する方向に延びる他方のリブ組を横切ることにより、冷却媒体CL流れの中に渦流が発生し、壁面3a, 5aの冷却が促進される。

【0021】

本実施形態では、図4に示すように、ラティス構造体23において、上段と下段の各リブ31の高さ、すなわち翼厚方向のラティス流路高さhは同一である。また、第1リブ組33Aにおけるリブ31, 31同士の間隔と、第2リブ組33Bにおけるリブ31, 31同士の間隔とは同一である。すなわち、第1リブ組33Aにおけるラティス流路幅wと、第2リブ組33Bにおけるラティス流路幅wとは同一である。第1リブ組33Aの延設方向と第2リブ組33Bの延設方向とのなす角度は略90°に設定されている。もっとも、各リブ組における複数のリブ31の配置構成は、図示の例に限定されず、タービン翼の構造や要求される冷却性能等に応じて適宜設定してよい。

【0022】

なお、図2に示す実施形態においては、後部冷却通路17内に、複数(図示の例では2つ)の仕切り体39, 39によって高さ方向Hに隔離された複数(図示の例では3つ)のラティス構造体23を設けており、後部冷却通路17の上端壁17a, 仕切り体39, 下端壁17bが図4の側壁37に相当する。なお、この例では、平板状の仕切り板を仕切り体39として用いているが、仕切り体39は、隣接するラティス構造体23間の冷却媒体CLの流通を実質的に妨げることが可能であり、かつ、ラティス構造体23の側部において、冷却媒体CLを衝突させて、一方のラティス流路35から他方のラティス流路35(図4)へ流れ込むように折り返すことができれば、どのようなものを用いてもよい。

【0023】

図5に示すように、ラティス構造体23を通過してきた冷却媒体CLは、ラティス構造体23の出口23aから主に渦流として排出される。その後、渦流であった冷却媒体CLは、平坦面部29における壁面3a, 5a上を後方に向かって流れるにしたがい、壁面3a, 5aに沿って、後方に向かう均一な方向の流れに整流された状態で冷媒排出口25から高温ガスの流路GPへ排出される。これにより、冷却媒体CLは、露出壁部27において露出壁部27の壁面27aに沿って均一な方向に流れる。露出壁部27に排出された冷却媒体CLの流れに強い渦流が残っていれば、この渦流が高温ガスGの流れに巻き込まれて冷却媒体CLと高温ガスGとが混合され、露出壁部27のフィルム冷却が阻害される。しかし、本実施形態では、上述のように、冷却媒体CLは露出壁部27において壁面27aに沿って均一な方向に流れるから、露出壁部27において高温ガスGと冷却媒体CLと

10

20

30

40

50

の混合が抑制され、露出壁部 27 が効果的にフィルム冷却される。

【0024】

さらに、本実施形態では、平坦面部 29 の長さ L (冷媒移動方向 M に沿った距離) を、ラティス構造体 23 の出口 23a の高さ E の 1 ~ 5 倍の範囲内に設定している。図示の例では、平坦面部 29 の長さ L は、ラティス構造体 23 の出口高さ E の 2 倍である。上述のように、平坦面部 29 を設けてラティス構造体 23 の出口冷媒排出口 25 との間を離間させることにより、ラティス構造体 23 の複数の出口 23a から後方へ流出する冷却媒体 CL 流の向きを均一化することができるが、平坦面部 29 の長さ L が長すぎると、渦流が解消して熱伝達率が低下し、ラティス構造体 23 による冷却に寄与しない部分の面積が増えることになる。したがって、平坦面部 29 の長さ L は、ラティス構造体 23 から排出された冷却媒体 CL の渦流を解消して流れを均一化するのに十分な範囲で短くすることが好ましい。また、ラティス構造体 23 から排出された冷却媒体 CL の渦流の強度 (回転速度) は、主としてラティス構造体 23 の出口高さ E に依存することがわかっているので、平坦面部 29 の長さ L は、ラティス構造体 23 の出口高さ E を基準として規定することが適切である。

10

【0025】

このような観点から、平坦面部 29 の長さ L と冷却媒体 CL の渦流の強度の関係についてシミュレーションを行った結果を図 6 に示す。ラティス構造体 23 の出口 23a から排出された直後に強い渦流であった冷却媒体 CL は、平坦面部 29 の長さ $L = 1E$ の位置から渦流の強度が顕著に弱まり始め、この位置から下流に向かうに従って次第に流れが均一化されることが確認された。したがって、平坦面部 29 の長さ L を $1E$ 以上とすれば、ラティス構造体 23 の出口 23a から後方へ流出する冷却媒体 CL 流の向きを均一化させて露出壁部 27 を効果的にフィルム冷却することができると考えられる。

20

【0026】

次に、平坦面部 29 の長さ L と壁面の熱伝達率の関係についてもシミュレーションを行った結果を図 7 に示す。同図は、平滑な壁面を有する管内を、冷却媒体が渦流を含まない均一流として流れる場合の熱伝達率を基準 (1.0) として、この熱伝達率に対する比率を表したものである。平坦面部 29 の長さ $L = 5E$ の位置より上流の領域では、ラティス構造体 23 が存在しなくとも、冷却媒体に残存する渦流の影響によって、壁面における熱伝達率が、通常の平滑な壁面上を流れる冷却媒体流 (ほぼ完全に均一な流れ) の場合よりも高い値に維持される部分が広く存在する。一方、平坦面部 29 の長さ $L = 5E$ の位置より下流の領域では、冷却媒体における渦流がほぼ完全に解消し、壁面における熱伝達率が、通常の平滑な壁面上を流れる冷却媒体流の場合と同等の値となる部分の割合が急激に増加していくことが確認された。すなわち、平坦面部 29 の長さ $L = 5E$ の位置より上流の領域においては、ラティス構造体 23 による冷却効果が残存している。したがって、平坦面部 29 の長さを $5E$ 以下とすることにより、平坦面部 29 においてもラティス構造体 23 による冷却効果を十分に得ながら、露出壁部 27 を効果的にフィルム冷却することができると考えられる。これらの結果から、平坦面部 29 の長さ L が出口高さ E の 1 倍以上 5 倍以下の範囲内にあることが好ましく、出口高さ E の 1.5 倍以上 3.5 倍以下の範囲内にあることがより好ましい。

30

40

【0027】

また、本実施形態では、図 2 に示すように冷却媒体 CL 全体の移動方向 M を翼弦方向とすることにより、ラティス構造体 23 が存在しない平坦面部 29 を、タービン翼後端部の冷却通路幅 (冷却通路の壁面間距離) が短い領域に形成することになる。したがって、この領域においてラティス構造体 23 を省略し、平坦面部 29 として形成しても、ラティス構造体 23 から排出された渦流によって十分な冷却効果が得られる。また、冷却通路幅が短い領域に複雑な構造のラティス構造体 23 を設ける必要がないので、タービン翼の製造が容易になる。さらには、露出壁部 27 を、タービン翼の高さ H 方向に広く確保することができるので、タービン翼全体の冷却効率をさらに高めることができる。もっとも、冷却媒体 CL の移動方向は翼弦方向に限定されず、ラティス構造体 23、平坦面部 29、冷媒

50

排出口 2 5 および露出壁部 2 7 の配置は冷却媒体 C L の移動方向に応じて適宜設定してよい。

【 0 0 2 8 】

なお、図 2 の例では、後部冷却通路 1 7 内に、複数の仕切り体 3 9 によって高さ方向に隔離された複数のラティス構造体 2 3 を設けているが、仕切り体 3 9 で隔離されていないラティス構造体 2 3 を設けてもよい。また、図示の例では、ラティス構造体 2 3 を、タービン動翼 1 の高さ方向 H (タービンの径方向) のほぼ全体に渡って設けているが、高さ方向 H の一部にのみラティス構造体 2 3 を設けてもよい。例えば、図 8 に示すように、ラティス構造体 2 3 をタービン動翼 1 の根元側 (図示の例では根元側半分の領域)、すなわち径方向内側にのみ設けてもよい。これにより、タービン動翼 1 の中で大きな応力がかかる部分である根元部分を効果的に冷却することができる。同様の理由により、タービン静翼にラティス構造体 2 3 を設ける場合には、タービンの径方向外側となるタービン静翼の根元側にのみラティス構造体 2 3 を設けてもよい。

10

【 0 0 2 9 】

以上説明したように、本実施形態に係る冷却構造によれば、ラティス構造体 2 3 から渦流として排出された冷却媒体 C L が、平坦面部 2 9 を流れる過程で、壁面に沿った均一な方向の流れに整流された後、冷媒排出口 2 5 から露出壁部 2 7 へ排出される。これにより、露出壁部 2 7 において高温のガス G と冷却媒体 C L との混合が抑制され、十分なフィルム冷却効果が得られる。したがって、ラティス構造体 2 3 によるタービン翼内の冷却とタービン翼後縁部のフィルム冷却が高い効率で両立できるので、タービン翼全体の冷却効率を高めることが可能になる。

20

【 0 0 3 0 】

以上のとおり、図面を参照しながら本発明の好適な実施形態を説明したが、本発明の趣旨を逸脱しない範囲内で、種々の追加、変更または削除が可能である。したがって、そのようなものも本発明の範囲内に含まれる。

【 符号の説明 】

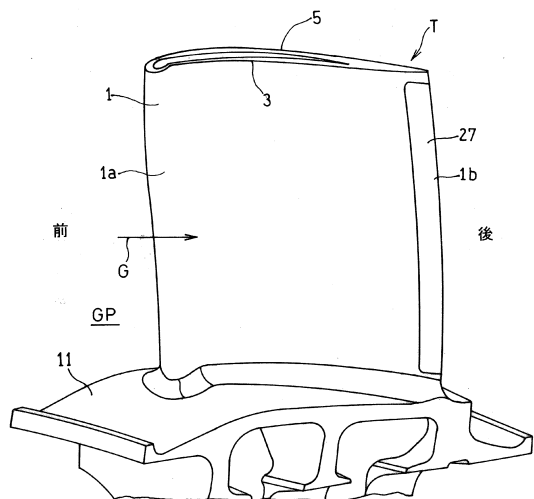
【 0 0 3 1 】

- 1 タービン動翼 (タービン翼)
- 3 第 1 翼壁
- 5 第 2 翼壁
- 1 7 後部冷却通路 (冷却通路)
- 2 3 ラティス構造体
- 2 3 a ラティス構造体の出口
- 2 5 冷媒排出口
- 2 7 露出壁部
- 2 9 平坦面部
- C L 冷却媒体
- E ラティス構造体の出口高さ
- G 高温ガス
- G P 高温ガスの流路
- L 平坦面部の長さ

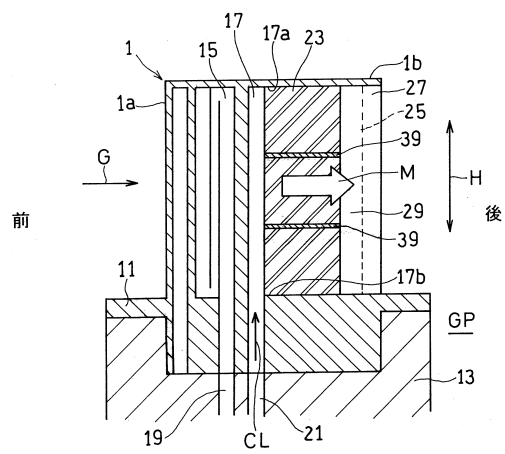
30

40

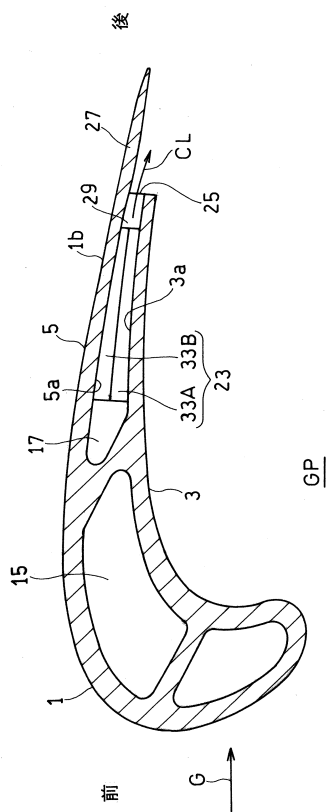
【 図 1 】



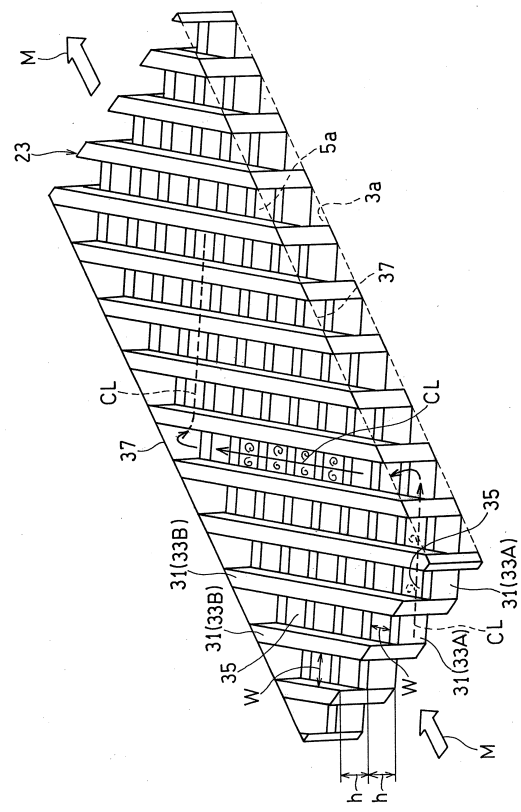
【圖 2】



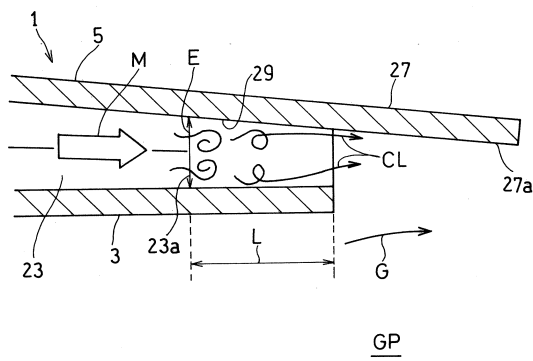
【 図 3 】



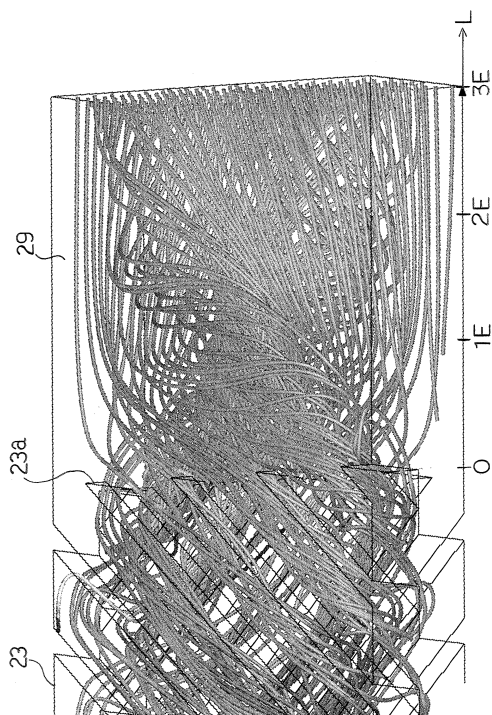
【圖 4】



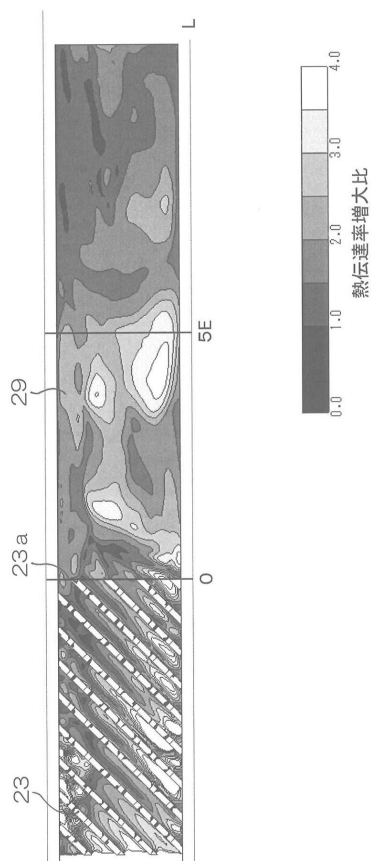
【図 5】



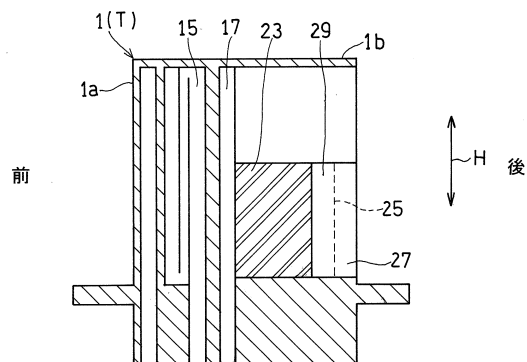
【図 6】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

(72)発明者 石田 克彦
兵庫県明石市川崎町1番1号 川崎重工業株式会社内

審査官 高吉 統久

(56)参考文献 特開2014-177900(JP,A)
特開2011-085084(JP,A)
米国特許出願公開第2010/0254801(US,A1)
特許第4957131(JP,B2)
米国特許出願公開第2016/0169003(US,A1)
米国特許出願公開第2007/0172354(US,A1)
特開平08-334003(JP,A)
実開昭59-107903(JP,U)
欧州特許出願公開第1925780(EP,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
F01D 5/18
F01D 9/02
F01D 11/00