

WO 2019/220779 A1

NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: ウェッジ 8 に設けられたウェッジ孔 8 1 が、第 1 の内径を有する第 1 の部分 8 6 と、第 1 の部分 8 6 よりも回転子 1 の回転子鉄心 2 の径方向外側に配置され、第 1 の内径よりも大きい第 2 の内径を有する第 2 の部分 8 5 とを有している。第 1 の部分 8 6 と第 2 の部分 8 5 とを設けることで、ウェッジ孔 8 1 の孔出口外側の通風抵抗が安定的に低減する。その結果、ウェッジ孔 8 1 の孔出口から噴出する冷却ガスの風量が増加して、回転子 1 の冷却能力が向上する。

明 細 書

発明の名称： 回転子および回転電機

技術分野

[0001] 本発明は、冷却機構を有する回転子および回転電機に関するものである。

背景技術

[0002] 従来、ラジアルフロー冷却方式は、構造が簡単で冷却性能が高いため、発電機などの回転電機に広く採用されている。ラジアルフロー冷却方式を採用したタービン発電機の回転子鉄心には、回転軸を中心として放射状に複数のコイルスロットが形成されている。各コイルスロットは軸方向に延出しており、各コイルスロット内には、それぞれ回転子コイルが複数段積層され、回転子コイルを相互に絶縁するためにターン絶縁物が介挿されている。また、複数段積層された回転子コイルは絶縁物を介してウェッジによって固定されている。ウェッジは回転子の回転時に働く遠心力に対して、回転子コイルがコイルスロットから出るのを防止する働きを有している。

[0003] 回転子コイルが積層された、各コイルスロットの回転軸側の底部には、軸方向の全長にわたって、断面がU字状のチャンネルが形成されている。各コイルスロットには、このU字状のチャンネルと、回転子コイルを径方向に貫通した少なくとも一つ以上のラジアルパスとが形成されている。ラジアルパスは、回転子の径方向の通風路である。回転子の冷却ガスは、回転子の両端部からU字状のチャンネルに導入され、回転子の軸方向の中央へと流れる。そして、冷却ガスは、U字状のチャンネルから各ラジアルパスへと流入した後、絶縁物とウェッジとに設けられた孔により、回転子と固定子との間の間隙へと排出される。なお、以下では、回転子と固定子との間の間隙を、エアギャップと呼ぶこととする。この一連の働きの中で、冷却ガスは回転子コイルで発生した熱を吸収し、回転子を冷却している。

[0004] 近年、回転電機の小型化・大容量化に伴って回転子の発熱密度または発熱量が増加している。そのため、回転子の冷却能力のさらなる向上が要求され

ており、回転子を通る冷却ガスの流量を増やすことが必要となっている。

[0005] ウェッジ孔からエアギャップへ回転子内の冷却ガスが排出される際に、回転子内の冷却ガスの流れが、エアギャップ内の高速な冷却ガスの流れと衝突する。その場合には、ウェッジ孔からエアギャップに排出される回転子内の冷却ガスの流れが妨げられる。

[0006] そこで、回転子内の冷却ガスの流れが妨げられない構成について提案されている（例えば、特許文献 1 および特許文献 2 参照）。

[0007] 特許文献 1 の回転電機の回転子は、回転子の回転時にエアギャップで生じる高速ガス流に対して半径方向外向きの速度成分を持たせる V 字形溝を、ウェッジ孔の開口部の高速ガス流上流側に設けている。さらに、ウェッジ孔からの排気流を高速ガス流方向に導くように半径方向に対して傾斜した傾斜面を、楔排気孔の高速ガス流下流側に設けている。これにより、高速ガス流と排気流との合流角度が小さくなる。その結果、楔排気孔の出口における排気流の圧力損失を低減することができる。

[0008] また、特許文献 2 の回転電機の回転子は、回転子のウェッジ孔から噴出される冷却ガス流れをエアギャップ内に導く突起物を、エアギャップ内の冷却ガス流れの上流側に設けることが記載されている。また、特許文献 2 には、ウェッジ孔の下流側に、噴出冷却ガス流れの流路断面積を拡大させる傾斜面を設けることが記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献 1：特開平 8－340653 号公報

特許文献 2：特開平 10－178754 号公報

特許文献 3：特開 2017－184529 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] しかしながら、ラジアルフロー冷却方式におけるエアギャップ内の冷却ガ

ス流れは、ファンによる軸方向の流れと回転する回転子による周方向に旋回する流れとが合成することで形成される。そのため、エアギャップ内の冷却ガスの流れは、軸方向の位置によって異なる。

[0011] 特許文献 1 に記載された回転電機の回転子においては、エアギャップ内の流れの周方向成分が支配的になる回転子中央付近では冷却効果が期待できる。しかしながら、軸方向成分が大きくなるエアギャップ入口付近では期待した冷却効果を得ることは難しい。

[0012] また、上述したように、エアギャップ内の流れは、2つの流れが合流して形成されるものであるため、容易に予測できるものではない。そのため、特許文献 2 に記載された回転電機の回転子を用いて、意図した効果を得るためには、正確に、エアギャップ内の流れの向きを予測する必要があり、非常に高度な設計を要求される。

[0013] 一方、ファンの脈動、偏流などにより、エアギャップ内を流れる冷却ガスの流量が変動する、あるいは、流量分布に偏りが生じると、特許文献 1 および特許文献 2 に記載されるような指向性のある構造では、安定した通風抵抗低減効果が得られない場合がある。

[0014] 本発明は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、簡易な構造で、回転子の内部から外部に冷却ガスが噴出する際の通風抵抗の安定した低減効果を得て、冷却能力の向上を図る、回転子および回転電機を得ることを目的としている。

課題を解決するための手段

[0015] 本発明に係る回転子は、軸方向に延びた複数のコイルスロットが外周面に設けられた円筒状の回転子鉄心と、前記コイルスロット内に配置された回転子コイルと、前記コイルスロットの開口部に設けられ、前記回転子コイルを前記コイルスロット内に固定させるとともに、前記回転子鉄心の径方向に延びて前記コイルスロットの内部から外部に向かって冷却ガスを流通させる 1 以上のウェッジ孔を有する、ウェッジとを備え、前記ウェッジ孔のうちの少なくとも 1 つは、第 1 の内径を有する第 1 の部分と、前記第 1 の部分よりも

前記回転子鉄心の径方向外側に配置され、ウェッジ孔全周にわたって前記第 1 の内径よりも大きい第 2 の内径を有する第 2 の部分とを有する。

発明の効果

[0016] 本発明に係る回転電機の回転子によれば、ウェッジ孔を介して回転子の内部から外部に向かって冷却ガスが噴出する際に、内径の大きい第 2 の部分を通ることで、回転子内の冷却ガスの流れが穏やかに偏向される。それにより、噴出する冷却ガスが、回転子外部の高速な冷却ガスの流れと衝突する際の通風抵抗を安定的に低減させることができるので、噴出する冷却ガスの風量が増加し、回転子の冷却能力を向上させることができる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]本発明に係る回転電機の回転子が適用される、タービン発電機の概略図である。

[図2]本発明の実施の形態 1 に係る回転電機の回転子の部分断面図である。

[図3]本発明の実施の形態 1 に係る回転子のウェッジ近傍を示す部分断面図である。

[図4]回転子鉄心の径方向外側からみた本発明の実施の形態 1 に係る回転子のウェッジを示す図である。

[図5]本発明の実施の形態 1 に係る回転子のウェッジを示す図である。

[図6]エアギャップ内の冷却ガスの周方向流速を示す図である。

[図7]エアギャップ内の冷却ガスの流速分布を示す図である。

[図8]比較例としての一般的な回転子のウェッジ近傍を示す部分断面図である。

[図9]特許文献 1 に記載の従来の回転電機の回転子の一例を示す図である。

[図10]回転子鉄心の径方向外側からみた特許文献 1 に記載のウェッジ示す図である。

[図11]特許文献 2 に記載の従来の回転電機の回転子の一例を示す図である。

[図12]回転子鉄心の径方向外側からみた特許文献 2 に記載のウェッジ示す図である。

[図13]特許文献3に記載の従来の回転電機の回転子の一例を示す図である。

[図14]回転子鉄心の径方向外側からみた特許文献3に記載のウェッジ示す図である。

[図15]本発明に係る回転電機の回転子が適用される、タービン発電機端部を示す概略図である。

[図16]本発明の実施の形態2に係る回転子のウェッジ近傍を示す部分断面図である。

[図17]回転子鉄心の径方向外側からみた本発明の実施の形態2に係る回転子のウェッジを示す図である。

[図18]本発明の実施の形態2に係る傾斜面の第1変形例を示す図である。

[図19]本発明の実施の形態3に係る回転子のウェッジ近傍を示す部分断面図である。

[図20]回転子鉄心の径方向外側からみた本発明の実施の形態3に係る回転子のウェッジを示す図である。

[図21]本発明の実施の形態4に係る回転子のウェッジ近傍を示す部分断面図である。

[図22]回転子鉄心の径方向外側からみた本発明の実施の形態4に係る回転子のウェッジを示す図である。

[図23]本発明の実施の形態4におけるエアギャップ内の冷却ガスの流れを示す図である。

[図24]本発明の実施の形態5に係る回転子のウェッジ近傍を示す部分断面図である。

[図25]回転子鉄心の径方向外側からみた本発明の実施の形態5に係る回転子のウェッジを示す図である。

[図26]本発明の実施の形態5に係る突出した傾斜面の第1変形例を示す図である。

[図27]本発明の実施の形態5に係る突出した傾斜面の第2変形例を示す図である。

[図28]本発明の実施の形態5に係る突出した傾斜面の第3変形例を示す図である。

[図29]本発明の実施の形態5に係る突出した傾斜面の第4変形例を示す図である。

[図30]本発明の実施の形態5におけるエアギャップ内の冷却ガスの流れを示す図である。

発明を実施するための形態

[0018] 以下、本発明に係る回転電機の回転子の好適な実施の形態につき、図面を用いて説明する。

[0019] 実施の形態1.

図1は、本発明の実施の形態1に係る回転子1が搭載された回転電機100の概略図である。図1の回転電機100は、例えばタービン発電機である。図2は、実施の形態1に係る回転子1の径方向の部分断面図である。さらに、図3は、実施の形態1に係る回転子1のウェッジ8のウェッジ孔81部分の拡大図である。図4は、回転子鉄心2の径方向外側からみた本発明の実施の形態1の回転子のウェッジ8を示す図である。また、図5は、実施の形態1に係る回転子1のウェッジ8を示す図である。

[0020] 図1に示すように、回転電機100は、回転子1と、固定子110とを備えている。さらに、回転電機100は、冷却器130と、2つのファン140と、回転軸150とを備えている。固定子110は、円筒状に形成されている。固定子110の内周面が回転子1の外周面に対向するように、回転子1は、固定子110内に配置されている。以下では、固定子110の内周面を、固定子内周面111と呼び、回転子1の外周面を回転子外周面10と呼ぶこととする。固定子内周面111と回転子外周面10との間には空隙があり、以下では、当該空隙を、エアギャップ120と呼ぶこととする。このように、固定子110は、回転子1の外周に対してエアギャップ120を介して配置されている。

[0021] 回転子1は、回転子鉄心2と回転子コイル5とを備えて構成されている。

回転子鉄心 2 は回転軸 150 に固定され、回転軸 150 の回転により回転する。また、2つのファン 140 は、それぞれ、回転子 1 の両端部の位置で回転軸 150 に固定されている。各ファン 140 は、回転軸 150 の回転により回転し、回転電機 100 内に冷却ガス 160 を循環させる。図 1 の矢印は、冷却ガス 160 の流れを示す。冷却器 130 は、回転電機 100 の熱を吸収した冷却ガス 160 を回収して冷却する。冷却された冷却ガス 160 は、再び、ファン 140 によって、回転電機 100 内を循環する。

[0022] 回転子 1 を構成する回転子鉄心 2 の外周面には、回転子鉄心 2 の軸方向に延びた複数のコイルスロット 3 が設けられている。それらのコイルスロット 3 は、回転子鉄心 2 の周方向に間隔をおいて形成されている。図 2 では、複数のコイルスロット 3 のうち、1つのコイルスロット 3 のみを示している。なお、各コイルスロット 3 は、すべて、図 2 に示したコイルスロット 3 と同様の構成を有しているため、ここでは、1つのコイルスロット 3 についてのみ説明する。

[0023] コイルスロット 3 は、回転子鉄心 2 の軸方向に沿って、回転子鉄心 2 の一端側から他端側に亘って形成されている。図 2 に示すように、コイルスロット 3 は、U字型の凹部となっており、回転子鉄心 2 の回転子外周面 10 側に開口部を有している。コイルスロット 3 内には、複数の回転子コイル 5 が積層されて配置されている。これらの回転子コイル 5 は、絶縁物 7 を介して、コイルスロット 3 の開口部に嵌合されたウェッジ 8 によって固定されている。ウェッジ 8 は、図 2、図 4 および図 5 に示すように、回転子鉄心 2 の径方向に貫通して、コイルスロット 3 の内部と外部とを連通させるウェッジ孔 81 を少なくとも 1 つ有している。さらに、各回転子コイル 5 の間には、ターン絶縁物 6 が介挿されている。

[0024] また、図 2 に示すように、複数の回転子コイル 5 とターン絶縁物 6 には、それぞれ、それらを回転子鉄心 2 の径方向に貫通する少なくとも一つ以上のラジアルパス 9 が形成されている。また、絶縁物 7 は、回転子鉄心 2 の径方向に貫通する絶縁物孔 71 を有している。絶縁物孔 71 は、ラジアルパス 9

と連通するとともに、ウェッジ孔 8 1 と連通している。ウェッジ孔 8 1 は、例えば円型の貫通孔から構成されている。

[0025] また、各コイルスロット 3 の底部には、U 字型のチャンネル 4 が形成されている。チャンネル 4 の内部は、空洞である。チャンネル 4 と、ラジアルパス 9 と、絶縁物孔 7 1 と、ウェッジ孔 8 1 とは、冷却ガス 1 6 0 が流れる通風路を形成している。冷却ガス 1 6 0 は、チャンネル 4 から各コイルスロット 3 内に入り、ラジアルパス 9、絶縁物孔 7 1、および、ウェッジ孔 8 1 を通って、エアギャップ 1 2 0 に流れ込む。

[0026] また、本実施の形態 1 においては、図 2、図 3、図 4 および図 5 に示すように、ウェッジ孔 8 1 の内径は、第 1 の内径と、第 1 の内径より大きい第 2 の内径とを含んでいる。ウェッジ孔 8 1 の第 2 の内径を有する第 2 の部分 8 5 は、ウェッジ孔 8 1 の第 1 の内径を有する第 1 の部分 8 6 よりも、回転子鉄心 2 の径方向外側に配置されている。以下では、第 2 の部分を「孔径拡大部 8 5」と呼ぶこととする。

[0027] 本実施の形態 1 では、図 2、図 3、図 4 および図 5 に示すように、回転子 1 の回転子外周面 1 0 に位置するウェッジ孔 8 1 の孔出口に、孔径拡大部 8 5 が設けられている。孔径拡大部 8 5 は、ウェッジ孔 8 1 の孔出口から、予め設定された深さ ΔH にかけて、断面 L 字型の切欠きを設けることにより、L 字型の段付き部 8 5 a を形成することで、構成されている。孔径拡大部 8 5 は、ウェッジ孔 8 1 の全周にわたって均等に偏りなく設けられており、すなわち、環状に構成されており、構造に指向性を持たない。すなわち、孔径拡大部 8 5 は、ウェッジ孔 8 1 からエアギャップ 1 2 0 に向けて噴出される回転子 1 内の冷却ガス流れ 1 1 の向きを意図的に特定の方に制御する構成は有していない。図 2 および図 3 において、孔径拡大部 8 5 の内壁が、ウェッジ孔 8 1 の中心軸を軸として左右対称に図示されていることから分かるように、孔径拡大部 8 5 の内壁は、ウェッジ孔 8 1 の全周、すなわち、 360° にわたって、ウェッジ孔 8 1 の中心軸を軸として軸対称な形状になるように構成されている。換言すれば、図 4 に示すように、回転子鉄心 2 の径方向

外側からウェッジ8を見ると、ウェッジ孔81の中心軸に対して対称の構成になっている。また、図5は、ウェッジ8単体の一部を示している。孔径拡大部85の内径を第2の内径とし、ウェッジ孔81の他の部分の内径を第1の内径とすると、第2の内径は、段付き部85aの段差の奥行き分だけ、第1の内径よりも大きい。なお、本実施の形態1においては、第1の内径および第2の内径は、共に、径方向外側に向かって徐々に増減することなく、径方向に沿って一定である。

[0028] このように、本実施の形態1においては、段付き部85aの段付き位置を境にして、孔径拡大部85部分を「ウェッジ孔81の第2の内径を有する第2の部分」とし、ウェッジ孔81の孔径拡大部85以外の他の部分86を「ウェッジ孔81の第1の内径を有する第1の部分」としたとき、ウェッジ孔81は、第1の内径を有する第1の部分86と、第1の部分86よりも回転子鉄心2の径方向外側に配置され、ウェッジ孔81の全周にわたって第1の内径よりも大きい第2の内径を有する第2の部分とを有している。

[0029] ところで、回転子1の回転で生じる回転子外周面10の壁面剪断力により、粘性を有する冷却ガス160は、エアギャップ120内で回転子1の周方向に加速され、周方向の冷却ガス流れ121が生じる。図6に、エアギャップ120内の冷却ガス160の周方向流速分布を示す。縦軸は、冷却ガス160の回転子周方向の流速 V を回転子外周面10における周速度 V_R で除した無次元速度 V/V_R である。横軸は、固定子内周面111を基準としたときのエアギャップ120内のエアギャップ幅方向の距離 x をエアギャップ幅 L で除した無次元距離 x/L である。従って、回転子外周面10の無次元距離 x/L の値は1で、固定子内周面111の無次元距離 x/L の値は0となる。

[0030] 図6に示されるように、回転子外周面10および固定子内周面111の境界層の影響を受ける領域以外では、回転子1の周方向の冷却ガス160の冷却ガス流れ121の平均周速度は、回転子外周面10における冷却ガス流れ121aの周速度の約 $1/2$ であると考えられている。

[0031] また、図1に示すように、回転子1の両端に設けられた2つのファン14

0から押し出された冷却ガス160がエアギャップ120の入口から流入し、エアギャップ120内を軸方向に流れることにより、軸方向にも冷却ガス160の冷却ガス流れ121bが生じる。

[0032] この軸方向の冷却ガス流れ121bの量および速度は、エアギャップ120の入口からエアギャップ120内への冷却ガス160の流入量、回転子1からエアギャップ120への冷却ガス160の流入量、および、エアギャップ120から固定子110への冷却ガス160の流出量から決定される。

[0033] このように、エアギャップ120内の冷却ガス流れ121は、回転子1の軸方向の流れと回転子1の周方向の流れとが合成したものであり、エアギャップ120内の冷却ガス流れ121を正確に予測するためには非常に高度な設計を要する。

[0034] 図7は、形成された旋回流、即ち、エアギャップ120内の冷却ガス流れ121の様子を図示したものである。図中、実線122は、回転子1上にとった回転座標系からみた流速分布である。上記の通り、実際のエアギャップ120内の冷却ガス流れ121は、軸方向流れと周方向流れとが合成されたものであるが、図7では、簡単のため、周方向流れの流速分布のみを用いて説明する。エアギャップ120内の冷却ガス流れ121には、流速分布122に示されるように、固定子内周面111および回転子外周面10では、急峻な流速勾配を有する乱流境界層が発達する。従って、ウェッジ孔81からエアギャップ120に向けて噴出される回転子1内の冷却ガス流れ11は、この境界層を打ち破るために大きなエネルギーを要する。換言すれば、回転子1内の冷却ガス流れ11は、噴出の際に通風抵抗を生じることになる。

[0035] ここで、本実施の形態1の効果を説明するために、比較例として、図8に、一般的な回転子のウェッジ孔の孔出口部分の構成について示す。ウェッジ孔81からエアギャップ120へ回転子1内の冷却ガスが排出される際に、エアギャップ120内の高速な冷却ガス流れと衝突することによって、ウェッジ孔81から排出される回転子1内の冷却ガス流れ11が妨げられる。その結果として通風抵抗が発生する。回転子1は定格運転時には高速で回転す

るため、エアギャップ 120 内の冷却ガス 160 は周方向に高速で流れる。そのため、回転子 1 の回転時のウェッジ孔 81 での通風抵抗は、回転子 1 の静止時の約 3 倍に増加する。従って、回転子コイル 5 の温度を一定基準以下に保つためには、差圧の大きな通風ファンを採用する必要がある。しかし、差圧の大きな通風ファンを採用すると、ファン動力損が大きくなるため、回転電機の運転効率が低下してしまう問題点があった。

[0036] そのため、本実施の形態 1 では、ウェッジ孔 81 の孔出口の全周にわたって孔径拡大部 85 を設けている。図 7 を用いて上述したように、回転子外周面 10 には、急峻な流速勾配を有する乱流境界層が形成されている。このとき、本実施の形態 1 のように、孔径拡大部 85 を設けている場合には、回転子 1 内の冷却ガス流れ 11 が、回転子外周面 10 に形成される乱流境界層に衝突する際に、孔径拡大部 85 が無い場合に比べて、回転子 1 内の冷却ガス流れ 11 は穏やかに偏向することができる。したがって、冷却ガス流れ 11 の乱流境界層との衝突角を小さくすることができる。その結果、冷却ガス流れ 11 の噴出の際に必要なエネルギーを低減することができる。回転子 1 内の冷却ガス流れ 11 がエアギャップ 120 内へ噴出する際の通風抵抗は低減される。そのため、本実施の形態 1 では、差圧の大きなファンを採用する必要が無い。その結果、ファン動力損を抑え、回転電機の運動効率の向上を図ることができる。

[0037] なお、本実施の形態 1 では、孔径拡大部 85 を設けたことによる孔径拡大に伴い、孔径拡大部 85 には回転子 1 内の冷却ガス流れ 11 の一部が剥離したことで、剥離領域 124 が形成されるため、拡流損失を生じるが、当該拡流損失は微々たるものであり、全体として通風損失は低減される。

[0038] ところで、回転子 1 内の冷却ガス流れ 11 とエアギャップ 120 内の冷却ガス流れ 121 の衝突を緩和する従来技術としてウェッジ孔 81 に指向性の構造を持たしたものがある。

[0039] 指向性ウェッジ孔を有する従来回転電機の回転子の例として、図 9 および図 10 に示すように、V 字溝 902 をウェッジ孔 81 の開口部の上流側に

設け、さらに、ウェッジ孔 81 の下流側に傾斜面 903 を設けたものがある（例えば、特許文献 1 参照）。なお、上記ウェッジ 8 を回転子鉄心 2 の径方向外側からみると図 10 に示すような構成に見える。

[0040] 図 10 より明らかなように、特許文献 1 に記載されるような回転子 1 のウェッジ 8 は、エアギャップ 120 内の冷却ガス 121 の流れの周方向成分が支配的な時に効果が高いが、回転子端部のような、軸方向流れが大きい箇所での効果は低くなる。そのため、指向性ウェッジ孔を適用する箇所で効果が変わってしまう課題がある。

[0041] 指向性ウェッジ孔を有する従来の回転電機の回転子の他の例として、図 11 および図 12 に示すように、突起 901 をウェッジ孔 81 の開口部の上流側に設け、さらに、ウェッジ孔 81 の下流側に傾斜面 902 を設けたものがある（例えば、特許文献 2 参照）。なお、上記ウェッジ 8 を回転子鉄心 2 の径方向外側からみると図 12 に示すような構成に見える。

[0042] 図 11 より明らかなように、上記ウェッジ孔 81 の通風抵抗低減効果は突起 901 の設置位置で大きく変化する。すなわち、突起 901 を正確にエアギャップ 120 内の冷却ガス流れ 121 の上流側に設置できれば大きな低減効果を得ることができるが、設置位置が適切でないと低減効果は得ることができない。しかし、上述の通り、エアギャップ 120 内の冷却ガス流れ 121 は回転子 1 の軸方向の流れと回転子 1 の周方向の流れとが合成したものである。そのため、エアギャップ 120 内の冷却ガス流れ 121 を正確に予測するためには非常に高度な設計を要し、期待した低減効果を得ることは難しい。

[0043] そこで、ウェッジ孔 81 を無指向性構造とすることで、上記課題を回避することができる。すなわち、エアギャップ 120 内の冷却ガス流れ 121 がどの方向からきても、一定の通風抵抗低減効果を得ることができる。

[0044] なお、従来の回転電機の回転子として、図 13 および図 14 に示すように、回転子のコイルスロットに挿入された導体バー 904 に設けられた通風孔 906 の径方向外側部分に、テーパ部 905 が形成されているものがある

(例えば、特許文献3参照)。その場合、導体バーの通風孔出口の全周面に対してテーパ加工を行うため、どの方向からエアギャップ内の冷却ガスが流れてきても一定の効果が期待できる。なお、図14に示す通り、回転子鉄心2の径方向外側からウェッジ8をみると図4と同様な構成になっているように見える。しかしながら、通電加熱する導体バー904にテーパ加工を施すことにより、通電する導体バー904の断面積が減少し、銅損が増大するという問題が生じる。一方、本実施の形態1においては、通電加熱を伴わないウェッジ8に対して加工を施すため、特許文献3に記載の従来技術のように、銅損増大を招くこともない。

[0045] ところで、ファン140が脈動を起こした際には、回転電機100の各部における冷却ガス160の流量が変動することになる。当然のことながら、エアギャップ120の流量も変動する。このような場合、ウェッジ孔81が指向性をもつ構造であった場合、エアギャップ120の冷却ガス160の変動に合わせて、ウェッジ孔81の通風抵抗低減効果も変動する。一方、本実施の形態1のように、ウェッジ孔81が指向性が無く、通風抵抗を低減できるような構造をウェッジ孔81に適用した場合、ファン140の脈動に関係なく、安定したウェッジ孔81の通風抵抗低減効果を期待できる。

[0046] また、ファン140に偏流が発生した際にも、エアギャップ120の冷却ガス160の流量分布に偏りが生じる可能性がある。例えば図15のように、冷却器130が回転電機100の上側のみに設置されている場合、冷却ガス160はファン140の上側から吸い込まれ、下側に押し出される傾向が強くなる。結果として、エアギャップ120に流入する際の冷却ガス160の流量分布は周方向で偏りが生じる。このような場合、ウェッジ孔81が指向性をもつ構造であった場合、エアギャップ120の冷却ガス160の偏りに合わせて、ウェッジ孔81の通風抵抗低減効果も変動する。一方、本実施の形態1のように、指向性が無く、通風抵抗を低減できるような構造をウェッジ孔81に適用した場合、ファン140の偏流に関係なく、安定したウェッジ孔81の通風抵抗低減効果を期待できる。

[0047] ところで、回転電機１００の運転時には、各ラジアルパス９への冷却ガス１６０の流量分配の偏りなどのため、局所的な高温部が回転子コイル５に発生する場合がある。以下では、この局所的な高温部をホットスポットと呼ぶこととする。ホットスポットが発生した場合、回転電機１００の絶縁不良または回転子１の熱変形に伴う回転軸ぶれを起こす場合がある。また、その結果、最終的に回転電機１００の破損につながる可能性がある。そのため、従来の技術では、予め冷却ガス１６０の流量が不足する可能性があるラジアルパス９に連通されたウェッジ孔８１の孔径を他のラジアルパス９に連通されたウェッジ孔８１と比べ広く、逆に、冷却ガス１６０の流量が過剰になる可能性があるラジアルパス９に連通されたウェッジ孔８１の孔径を他のラジアルパス９に連通されたウェッジ孔８１と比べ狭くするなどして、回転子１の各ラジアルパス９に供給される冷却ガス１６０の流量分配を調整してきた。

[0048] 本実施の形態１においては、予め冷却ガス１６０の流量が不足する可能性があるラジアルパス９に連通されたウェッジ孔８１に対してのみ、孔径拡大部８５を設けるようにする。その場合、孔径拡大部８５が設けられたラジアルパス９に供給される冷却ガス１６０の流量を増やすことができる。その結果、ホットスポットの発生を抑制し、回転子コイル５を均一に冷却することができる。

[0049] あるいは、個々のウェッジ孔８１の孔径を調節する従来の技術と本実施の形態１とを併せて回転電機１００に適用することにより、回転子１の冷却能力を向上できるだけでなく従来よりも均一に冷却できる。

[0050] 以上のように構成された実施の形態１の回転子１によれば、回転子鉄心２に、軸方向に延びた複数のコイルスロット３を形成し、各コイルスロット３にチャンネル４を形成している。そして、各コイルスロット３に、複数の回転子コイル５とターン絶縁物６とを積層して絶縁物７を介してウェッジ８で固定している。さらに、複数の回転子コイル５とターン絶縁物６に、それぞれ径方向に貫通するとともに、チャンネル４と連通する少なくとも一つ以上のラジアルパス９を形成している。絶縁物７とウェッジ８には、これら少な

くとも一つ以上のラジアルパス 9 と連通するとともに、外周側に開口する、絶縁物孔 7 1 とウェッジ孔 8 1 とを形成している。そして、チャンネル 4 と、少なくとも一つ以上のラジアルパス 9 と、絶縁物 7 およびウェッジ 8 に形成された絶縁物孔 7 1 とウェッジ孔 8 1 により、冷却ガス 1 6 0 の通風路を形成している。さらに、ウェッジ 8 に穿てられたウェッジ孔 8 1 の回転子 1 の径方向外側に位置する孔出口には孔径拡大部 8 5 が設けられている。

[0051] これにより、実施の形態 1 の回転子 1 によれば、簡単な構造を用いて、回転子コイル 5 の銅損を増加させることなく、回転電機 1 0 0 の回転子 1 の通風抵抗を安定して低減することができ、回転子 1 の冷却能力をより向上できる。

[0052] 実施の形態 2.

図 1 6 および図 1 7 を用いて、本発明の実施の形態 2 に係る回転子 1 に設けられたウェッジ孔 8 1 について説明する。図 1 6 は、本発明の実施の形態 2 に係る回転子 1 のウェッジ 8 部分を示す部分断面図である。図 1 7 は、回転子鉄心 2 の径方向外側からみた本発明の実施の形態 2 に係る回転子 1 のウェッジ 8 を示す図である。

[0053] 図 1 6 に示すように、実施の形態 2 においては、回転子 1 のウェッジ孔 8 1 に、傾斜面 8 2 a から構成された孔径拡大部 8 2 が設けられている。実施の形態 1 に係る孔径拡大部 8 5 の孔径が径方向に沿って一定だったのに対し、実施の形態 2 に係る孔径拡大部 8 2 の内径、すなわち、第 2 の内径が、回転子 1 の径方向外側に向かって連続的に増加している点が実施の形態 1 と異なる。他の構成は実施の形態 1 と同様である。

[0054] 本実施の形態 2 においては、図 1 6 に示すように、回転子 1 のウェッジ孔 8 1 の孔出口の先端の内側部分が、傾斜面 8 2 a になっている。すなわち、ウェッジ孔 8 1 の孔出口の形状が、逆テーパー状になっており、開口部分が最も内径が大きくなっている。

[0055] 上述したように、本実施の形態 2 においては、回転子 1 のウェッジ孔 8 1 に、傾斜面 8 2 a から構成された孔径拡大部 8 2 が設けられているが、この

場合に限らず、図 1 8 に示すように、傾斜面 8 2 a の代わりに、曲面 8 2 b から孔径拡大部 8 2 を構成するようにしてもよい。曲面 8 2 b の場合も、傾斜面 8 2 a と同様に、孔径拡大部 8 2 の内径は、回転子 1 の径方向外側に向かって連続的に増加している。

[0056] なお、図 1 6 および図 1 8 において、孔径拡大部 8 2 の内壁が、ウェッジ孔 8 1 の中心軸を軸として左右対称に図示されていることから分かるように、孔径拡大部 8 2 の内壁は、ウェッジ孔 8 1 の全周、すなわち、 360° にわたって、ウェッジ孔 8 1 の中心軸を軸として軸対称な形状になるように構成されている。従って、本実施の形態 2 においても、ウェッジ孔 8 1 の構造は指向性を有さない。なお、ウェッジ 8 を回転子鉄心 2 の径方向外側からみると、図 1 7 に示すような構成に見える。

[0057] このように、本実施の形態 2 においては、ウェッジ孔 8 1 の全周にわたって傾斜面 8 2 a または曲面 8 2 b からなる孔径拡大部 8 2 を設けている。そのため、回転子 1 内の冷却ガス流れ 1 1 が、回転子外周面 1 0 に形成される乱流境界層に衝突する際に、回転子 1 内の冷却ガス流れ 1 1 が傾斜面 8 2 a または曲面 8 2 b に沿って緩やかに偏向する。これにより、冷却ガス流れ 1 1 の噴出の際に必要なエネルギーを低減できる。すなわち、ウェッジ孔 8 1 の孔出口の全周にわたって、傾斜面 8 2 a または曲面 8 2 b を設けることにより、回転子 1 内の冷却ガス流れ 1 1 がエアギャップ 1 2 0 内へ噴出する際の通風抵抗は抑制される。

[0058] このとき、本実施の形態 2 においては、ウェッジ孔 8 1 に傾斜面 8 2 a または曲面 8 2 b を設けることで、回転子 1 内の冷却ガス流れ 1 1 が孔径拡大部 8 2 を通過する際に生じる剥離領域 1 2 4 を、実施の形態 1 よりも低減することができるため、実施の形態 1 よりも高い通風抵抗低減効果が期待できる。

[0059] なお、この低減効果は、ウェッジ孔 8 1 に傾斜面 8 2 a を設けた場合よりも、曲面 8 2 b を設けた場合の方が高い。

[0060] また、本実施の形態 2 においても、ウェッジ孔 8 1 の構造は指向性を持た

ないため、エアギャップ１２０内の冷却ガス流れ１２１がどの方向からきても一定の通風抵抗低減効果が期待できる。そのため、例えば特許文献２などの従来技術のように、エアギャップ１２０内の冷却ガス流れ１２１を予測する必要がなく、より簡便に冷却性能が向上した回転子１を得ることができる。

[0061] また、通電加熱を伴わないウェッジ８に対して加工を施すため、特許文献３に記載の従来技術のように銅損増大を招くこともない。

[0062] ところで、ファン１４０が脈動を起こした際には、回転電機１００の各部における冷却ガス１６０の流量が変動することになる。当然のことながら、エアギャップ１２０の流量も変動する。このとき、ウェッジ孔８１が指向性をもつ構造であった場合、エアギャップ１２０の冷却ガス１６０の変動に合わせて、ウェッジ孔８１の通風抵抗低減効果も変動する。一方、本実施の形態２のように、指向性が無く、且つ、通風抵抗を低減できるような構造をウェッジ孔８１に適用した場合、ファン１４０の脈動に関係なく、安定したウェッジ孔８１の通風抵抗低減効果を期待できる。

[0063] また、ファン１４０に偏流が発生した際にも、エアギャップ１２０の冷却ガス１６０の流量分布に偏りが生じる可能性がある。このような場合、ウェッジ孔８１が指向性をもつ構造であった場合、エアギャップ１２０の冷却ガス１６０の偏りに合わせて、ウェッジ孔８１の通風抵抗低減効果も変動する。一方、本実施の形態２のように、指向性が無く、且つ、通風抵抗を低減できるような構造をウェッジ孔８１に適用した場合、ファン１４０の偏流に関係なく、安定したウェッジ孔８１の通風抵抗低減効果を期待できる。

[0064] さらに、予め冷却ガス１６０の流量が不足する可能性があるラジアルパス９に連通されたウェッジ孔８１に対してのみ本実施の形態２の孔径拡大部８２を適用してもよい。その場合には、適用されたラジアルパス９に供給される冷却ガス１６０の流量を増やすことができ、ホットスポットの発生を抑制し、回転子コイル５を均一に冷却することができる。

[0065] そして、上述の個々のウェッジ孔８１の孔径を調節する従来技術と本実

施の形態 2 を併せて回転電機 100 に適用することにより、回転子 1 の冷却能力を向上できるだけでなく従来よりも均一に冷却することが期待できる。

[0066] なお、本実施の形態 2 において、傾斜面 82a または曲面 82b が始まる位置を境にして、孔径拡大部 82 を「ウェッジ孔 81 の第 2 の内径を有する第 2 の部分」とし、ウェッジ孔 81 の孔径拡大部 82 以外の他の部分を「ウェッジ孔 81 の第 1 の内径を有する第 1 の部分」としたとき、実施の形態 2 においても、実施の形態 1 と同様に、ウェッジ孔 81 は、第 1 の内径を有する第 1 の部分と、第 1 の部分よりも回転子鉄心 2 の径方向外側に配置され、第 1 の内径よりも大きい第 2 の内径を有する第 2 の部分とを有している。

[0067] これにより、実施の形態 2 による回転子 1 のウェッジ 8 によれば、簡単な構造を用いて、回転子コイル 5 の銅損を増加させることなく、回転電機 100 の回転子 1 の通風抵抗を低減することができ、回転子 1 の冷却能力をより向上できる。

[0068] 実施の形態 3.

図 19 および図 20 を用いて、本発明の実施の形態 3 に係る回転子 1 に設けられたウェッジ孔 81 について説明する。図 19 は、本発明の実施の形態 3 に係る回転子 1 のウェッジ 8 部分を示す部分断面図である。図 20 は、回転子鉄心 2 の径方向外側からみた本発明の実施の形態 3 の回転子 1 のウェッジ 8 を示す図である。

[0069] 図 19 に示すように、実施の形態 3 においては、回転子 1 のウェッジ孔 81 に対して、溝 86 がウェッジ 8 の表面に形成されている点が実施の形態 1 および実施の形態 2 と異なる。他の構成は実施の形態 1 および実施の形態 2 と同様である。

[0070] なお、図 19 において、溝 86 が、ウェッジ孔 81 の中心軸を軸として左右対称に図示されていることから分かるように、溝 86 は、ウェッジ孔 81 の全周、すなわち、 360° にわたって、ウェッジ孔 81 の中心軸を軸として軸対称な形状になるように構成されている。従って、本実施の形態 3 においても、ウェッジ孔 81 の構造は指向性を有さない。なお、上記ウェッジ 8

を回転子鉄心 2 の径方向外側からみると図 20 に示すような構成に見える。

[0071] このとき、本実施の形態 3 においては、ウェッジ孔 81 に溝 86 を設けることで、エアギャップ 120 内の冷却ガス流れ 121 は、ウェッジ孔 81 から噴出される回転子内の冷却ガス流れ 11 と衝突する前に、溝 86 によって偏向する。そのため、エアギャップ 120 内の冷却ガス流れ 121 とウェッジ孔 81 から噴出される回転子内の冷却ガス流れ 11 との衝突角は、エアギャップ 120 内の冷却ガス流れ 121 が溝 86 によって偏向した分だけ、さらに大きくなる。結果として、実施の形態 1 および実施の形態 2 よりも高い通風抵抗低減効果が期待できる。

[0072] また、本実施の形態 3 においても、ウェッジ孔 81 の構造は指向性を持たないため、エアギャップ 120 内の冷却ガス流れ 121 がどの方向からきても一定の通風抵抗低減効果が期待できる。そのため、例えば特許文献 2 などの従来技術のように、エアギャップ 120 内の冷却ガス流れ 121 を予測する必要がなく、より簡便に冷却性能が向上した回転子 1 を得ることができる。

[0073] また、通電加熱を伴わないウェッジ 8 に対して加工を施すため、特許文献 3 に記載の従来技術のように銅損増大を招くこともない。

[0074] ところで、ファン 140 が脈動を起こした際には、回転電機 100 の各部における冷却ガス 160 の流量が変動することになる。当然のことながら、エアギャップ 120 の流量も変動する。このとき、ウェッジ孔 81 が指向性をもつ構造であった場合、エアギャップ 120 の冷却ガス 160 の変動に合わせて、ウェッジ孔 81 の通風抵抗低減効果も変動する。一方、本実施の形態 3 のように、指向性が無く、且つ、通風抵抗を低減できるような構造をウェッジ孔 81 に適用した場合、ファン 140 の脈動に関係なく、安定したウェッジ孔 81 の通風抵抗低減効果を期待できる。

[0075] また、ファン 140 に偏流が発生した際にも、エアギャップ 120 の冷却ガス 160 の流量分布に偏りが生じる可能性がある。このような場合、ウェッジ孔 81 が指向性をもつ構造であった場合、エアギャップ 120 の冷却ガ

ス１６０の偏りに合わせて、ウェッジ孔８１の通風抵抗低減効果も変動する。一方、本実施の形態２のように、指向性が無く、且つ、通風抵抗を低減できるような構造をウェッジ孔８１に適用した場合、ファン１４０の偏流に係なく、安定したウェッジ孔８１の通風抵抗低減効果を期待できる。

[0076] さらに、予め冷却ガス１６０の流量が不足する可能性があるラジアルパス９に連通されたウェッジ孔８１に対してのみ本実施の形態２の孔径拡大部８２を適用してもよい。その場合には、適用されたラジアルパス９に供給される冷却ガス１６０の流量を増やすことができ、ホットスポットの発生を抑制し、回転子コイル５を均一に冷却することができる。

[0077] そして、上述の個々のウェッジ孔８１の孔径を調節する従来の技術と本実施の形態３を併せて回転電機１００に適用することにより、回転子１の冷却能力を向上できるだけでなく従来よりも均一に冷却することが期待できる。

[0078] これにより、実施の形態３による回転子１のウェッジ８によれば、簡単な構造を用いて、回転子コイル５の銅損を増加させることなく、回転電機１００の回転子１の通風抵抗を低減することができ、回転子１の冷却能力をより向上できる。

[0079] 実施の形態４．

図２１および図２２を用いて、本発明の実施の形態４による回転子１を構成するウェッジ孔８１について説明する。図２１は、本発明の実施の形態４による回転子１のウェッジ８を示す部分断面図である。図２２は、回転子鉄心２の径方向外側からみた本発明の実施の形態４の回転子１のウェッジ８を示す図である。実施の形態４においては、ウェッジ孔８１が、突起８３ａから構成された突縁を有している点が、実施の形態１～３とは異なる。本実施の形態４では、第２の内径を有する第２の部分としての孔径拡大部８３が、当該突縁によって構成されている。他の構成は実施の形態１～３と同様である。

[0080] 本実施の形態４においては、図２１に示すように、回転子１の径方向外側に位置するウェッジ孔８１の孔出口の全周にわたって突起８３ａが施されて

、ウェッジ孔 8 1 の突縁が形成されている。突起 8 3 a は、図 2 1 に示すように、回転子鉄心 2 の回転子外周面 1 0 から突出するように設けられている。突起 8 3 a からなる突縁は、短円筒形状を有し、その壁厚は、全周にわたって一定である。本実施の形態 4 では、突起 8 3 a で囲まれている部分を、孔径拡大部 8 3 と呼ぶこととする。ここで、突起 8 3 a は、図 2 1 に示すように、ウェッジ孔 8 1 の出口孔よりも外側の部分に設けられているため、突起 8 3 a から構成された孔径拡大部 8 3 の内径、すなわち、第 2 の内径は、ウェッジ孔 8 1 の全周にわたって他の部分の内径、すなわち、第 1 の内径よりも大きい。

[0081] なお、図 2 1 において、孔径拡大部 8 3 の内壁および外壁が、ウェッジ孔 8 1 の中心軸を軸として左右対称に図示されていることから分かるように、孔径拡大部 8 3 の内壁および外壁は、ウェッジ孔 8 1 の全周、すなわち、 360° にわたって、ウェッジ孔 8 1 の中心軸を軸として軸対称な形状になるように構成されている。従って、本実施の形態 4 においても、ウェッジ孔 8 1 の構造は指向性を有さない。なお、上記ウェッジ 8 を回転子鉄心 2 の径方向外側からみると、図 2 2 に示すような構成に見える。

[0082] このように、本実施の形態 4 において、突起 8 3 a で囲まれている孔径拡大部 8 3 を「ウェッジ孔 8 1 の第 2 の内径を有する第 2 の部分」とし、ウェッジ孔 8 1 の孔径拡大部 8 3 以外の他の部分を「ウェッジ孔 8 1 の第 1 の内径を有する第 1 の部分」としたとき、本実施の形態 4 においても、実施の形態 1 と同様に、ウェッジ孔 8 1 は、第 1 の内径を有する第 1 の部分と、第 1 の部分よりも回転子鉄心 2 の径方向外側に配置され、第 1 の内径よりも大きい第 2 の内径を有する第 2 の部分とを有している。

[0083] 本実施の形態 4 では、回転子 1 の径方向外側に位置するウェッジ孔 8 1 の孔出口全周にわたって突起 8 3 a を設けることにより、エアギャップ 1 2 0 内の冷却ガス流れ 1 2 1 は、ウェッジ孔 8 1 から噴出される回転子内の冷却ガス流れ 1 1 と衝突する前に、突起 8 3 a に衝突することで一部が剥離し、ウェッジ孔 8 1 の周囲には剥離領域が形成される。

[0084] 図23は、回転子1の径方向外側に位置するウェッジ孔81の孔出口全周にわたって突起83aが施されている場合における、エアギャップ120内の冷却ガス流れ121の様子を図示したものである。図23において、実線122は、回転子1上にとった回転座標系からみた流速分布である。上記の通り、実際のエアギャップ120内の冷却ガス流れ121は、軸方向流れと周方向流れが合成されたものである。但し、図23では、簡単のため、周方向流れの流速分布を用いて説明する。

[0085] 図23に示すように、エアギャップ120内の冷却ガス流れ121は、突起83aに衝突し、突起83aの上方、すなわち、回転子鉄心2の外径方向に偏向される。さらに、冷却ガス流れ121は、突起83aの上端に達した後、その一部が剥離する。この剥離現象に伴い、突起83aの下流の流速分布は、図23の流速分布のように逆流が生じ、死水領域123が形成される。この死水領域123での冷却ガス流れ121の速さは、エアギャップ120内の冷却ガス流れ121の主流の速さと比較して微々たるものである。また、死水領域123内の静圧は低くなっている。即ち、乱流剪断層が強ければ強いほど、それを打ち破って流体を噴出させるのに要するエネルギーは大きいことを考えれば、突起83aによって形成される死水領域123に冷却ガス流れ11を噴出させるには小さなエネルギーで十分であることは明らかである。

[0086] 本実施の形態4においては、回転子外周面10に位置するウェッジ孔81の孔出口の全周にわたって、突起83aを設けている。それにより、エアギャップ120内の冷却ガス流れ121が、回転子1のウェッジ孔81から噴出される回転子1内の冷却ガス流れ11と衝突する前に、突起83aと衝突する。その結果、回転子1内の冷却ガス流れ11がウェッジ孔81を通過してエアギャップ120へ排出される際の通風抵抗を抑制できる。

[0087] また、図21から分かるように、突起83aの高さはエアギャップ120の幅に比べて十分に小さいため、突起83aを通過するために伴う通風抵抗は小さい。そのため、ウェッジ孔81から噴出した回転子1内の冷却ガス流

れ 11 がウェッジ孔 81 の下流にある突起 83 a との衝突に伴う通風抵抗の増加は微々たるものであり、全体として通風抵抗は低減される。

[0088] また、下流側に位置する突起 83 a を死水領域 123 内に納まるように設置した場合、エアギャップ 120 内の冷却ガス流れ 121 が下流側の突起 83 a と衝突する際の通風抵抗は、エアギャップ 120 内の冷却ガス流れ 121 が上流側の突起 83 a と衝突する際の通風抵抗に比べ小さくなるため、より高い冷却能力をもつ回転電機 100 の回転子 1 が得られる。

[0089] 本発明の実施の形態 4 においても、実施の形態 1, 2 と同様に、ウェッジ孔 81 の構造が指向性を持たないため、エアギャップ 120 内の冷却ガス流れ 121 がどの方向から流れてきても一定の通風抵抗低減効果が期待できる。そのため、特許文献 2 の従来技術のように、エアギャップ 120 内の冷却ガス流れ 121 を予測する必要がなく、より簡便に回転子 1 の冷却性能を向上することができる。

[0090] また、通電加熱を伴わないウェッジ 8 に対して加工を施すため、特許文献 3 に記載の技術のように銅損増大を招くこともない。

[0091] ところで、ファン 140 が脈動を起こした際には、回転電機 100 の各部における冷却ガス 160 の流量が変動することになる。当然のことながら、エアギャップ 120 の流量も変動する。このような場合、ウェッジ孔 81 が指向性をもつ構造であった場合、エアギャップ 120 の冷却ガス 160 の変動に合わせて、ウェッジ孔 81 の通風抵抗低減効果も変動する。一方、本実施の形態 4 のように、指向性が無く、且つ、通風抵抗を低減できるような構造をウェッジ孔 81 に適用した場合、ファン 140 の脈動に関係なく、安定したウェッジ孔 81 の通風抵抗低減効果を期待できる。

[0092] また、ファン 140 に偏流が発生した際にも、エアギャップ 120 の冷却ガス 160 の流量分布に偏りが生じる可能性がある。このような場合、ウェッジ孔 81 が指向性をもつ構造であった場合、エアギャップ 120 の冷却ガス 160 の偏りに合わせて、ウェッジ孔 81 の通風抵抗低減効果も変動する。一方、本実施の形態 4 のように、指向性が無く、且つ、通風抵抗を低減で

きるような構造をウェッジ孔 8 1 に適用した場合、ファン 1 4 0 の偏流に関係なく、安定したウェッジ孔 8 1 の通風抵抗低減効果を期待できる。

[0093] さらに、予め冷却ガス 1 6 0 の流量が不足する可能性があるラジアルパス 9 に連通されたウェッジ孔 8 1 に対してのみ、本実施の形態 4 の突起 8 3 a を適用すれば、適用されたラジアルパス 9 に供給される冷却ガス 1 6 0 の流量を増やすことができ、ホットスポットの発生を抑制し、回転子コイル 5 を均一に冷却することができる。

[0094] そして、個々のウェッジ孔 8 1 の孔径を調節する従来の技術と本実施の形態 4 の突起 8 3 a とを併せて回転電機 1 0 0 に適用することにより、回転子 1 の冷却能力を向上できるだけでなく従来よりも均一に冷却することが期待できる。

[0095] これにより、実施の形態 4 による回転子 1 のウェッジ 8 によれば、簡単な構造を用いて、回転子コイル 5 の銅損を増加させることなく、回転電機 1 0 0 の回転子 1 の通風抵抗を低減することができ、回転子 1 の冷却能力をより向上できる。

[0096] なお、本実施の形態 4 において、ウェッジ孔 8 1 の第 2 の内径の拡がり方によっても効果の程度が異なる。たとえば、第 1 の内径に対する第 2 の内径の比を、ウェッジ孔 8 1 の第 2 の内径の拡がりとして、第 1 の内径に対する第 2 の内径の比を、1.6 倍以下程度とすると良い。

[0097] 実施の形態 5.

図 2 4 および図 2 5 を用いて、実施の形態 5 による回転子 1 を構成するウェッジ孔 8 1 について説明する。図 2 4 は、本発明の実施の形態 5 による回転子 1 のウェッジ 8 部分を示す部分断面図である。図 2 5 は、回転子鉄心 2 の径方向外側からみた本発明の実施の形態 5 の回転子 1 のウェッジ 8 を示す図である。図 2 4 に示すように、実施の形態 5 においては、回転子 1 の径方向外側に位置するウェッジ孔 8 1 の孔出口の全周にわたって、回転子外周面 1 0 よりも外側に向かって突出した傾斜面 8 4 a が施されている点が、実施の形態 1 ~ 4 とは異なる。他の構成は実施の形態 1 ~ 4 と同様である。

[0098] 本実施の形態5においては、図24に示すように、回転子1の径方向外側に位置するウェッジ孔81の孔出口全周にわたって、傾斜面84aが施されている。実施の形態5においては、傾斜面84aの一部が回転子外周面10から突出することで、ウェッジ孔81が、突起から構成された突縁を有している点が、実施の形態2とは異なる。すなわち、本実施の形態4では、第2の内径を有する第2の部分としての孔径拡大部83の一部が、当該突縁によって構成されている。以下では、傾斜面84aで囲まれている部分を、孔径拡大部84と呼ぶこととする。

[0099] 孔径拡大部84の製造方法としては、例えば、図8に示すような一般的なウェッジ8の厚みを予め設定された厚み分だけ厚くする。その場合、回転子外周面10から、回転子の径方向外側に向かって、当該厚み分だけ、ウェッジ8の先端が突出することになる。このとき、ウェッジ8の先端の内側面が一定の角度の傾斜面になるように形成することにより、傾斜面84aを形成することができる。また、外側面においても同様に形成することで、孔径拡大部84を形成することができる。

[0100] このように、本実施の形態5において、傾斜面84aで囲まれている孔径拡大部84を「ウェッジ孔81の第2の内径を有する第2の部分」とし、ウェッジ孔81の孔径拡大部84以外の他の部分を「ウェッジ孔81の第1の内径を有する第1の部分」としたとき、実施の形態1と同様に、ウェッジ孔81は、第1の内径を有する第1の部分と、第1の部分よりも回転子鉄心2の径方向外側に配置され、ウェッジ孔81の全周にわたって第1の内径よりも大きい第2の内径を有する第2の部分とを有している。

[0101] なお、ウェッジ8の先端の内側面の形状は、図24に示す傾斜面84aに限定されるものではなく、例えば、図26に示すように、曲面84bであってもよい。

[0102] また、孔径拡大部84の突起部分の外側面は、図24に示すように、回転子外周面10に対して直角である必要はなく、例えば、図27に示すように、傾斜面84cであってもよい。傾斜面84cは、図27に示されるように

、傾斜面 84 a の頂点から回転子外周面 10 に向かって一定の角度で傾斜している。このとき、傾斜面 84 c が、傾斜面 84 a と反対側に向かって傾斜しているため、2つの傾斜面 84 a, 84 c から形成された部分は、図 27 に示すように、山状になっている。なお、図 27 は、図 24 の構成に対して傾斜面 84 c を設けた例を示しているが、図 28 は、図 26 の構成に対して、傾斜面 84 c を設けた例を示す。図 28 に示すように、曲面 84 b から形成された孔径拡大部 84 の外側面を傾斜面 84 c から構成するようにしてもよい。

[0103] また、孔径拡大部 84 の突起部分の外側面に、図 29 に示すように、溝 86 を設けるように構成してもよい。

[0104] なお、図 24～図 28 において、孔径拡大部 84 の内壁および外壁が、ウェッジ孔 81 の中心軸を軸として左右対称に図示されていることから分かるように、孔径拡大部 84 の内壁および外壁は、ウェッジ孔 81 の全周、すなわち、 360° にわたって、ウェッジ孔 81 の中心軸を軸として軸対称な形状になるように構成されている。従って、本実施の形態 5 においても、ウェッジ孔 81 の構造は指向性を有さない。なお、ウェッジ 8 を回転子鉄心 2 の径方向外側からみると図 25 に示すような構成に見える。

[0105] 図 29 においても、径拡大部 84 の内壁および外壁、そして溝 86 が、ウェッジ孔 81 の中心軸を軸として左右対称に図示されていることから分かるように、孔径拡大部 84 の内壁および外壁は、ウェッジ孔 81 の全周、すなわち、 360° にわたって、ウェッジ孔 81 の中心軸を軸として軸対称な形状になるように構成されている。従って、本実施の形態 5 においても、ウェッジ孔 81 の構造は指向性を有さない。

[0106] 図 30 は、回転子 1 の径方向外側に位置するウェッジ孔 81 の孔出口の全周にわたって、回転子外周面 10 から突出した孔径拡大部 84 が施されている場合において、回転子 1 の回転座標系からみた流速分布図である。上記の通り、実際のエアギャップ 120 内の冷却ガス流れ 121 は、軸方向流れと周方向流れとが合成されたものである。図 30 では、簡単のため、周方向流

れの流速分布のみを用いて説明する。各ウェッジ孔 8 1 の孔出口全周にわたって突出した孔径拡大部 8 4 を設けることにより、実施の形態 4 の場合と同様に、エアギャップ 1 2 0 内の冷却ガス流れ 1 2 1 は、以下ようになる。すなわち、冷却ガス流れ 1 2 1 は、ウェッジ孔 8 1 から噴出される回転子内の冷却ガス流れ 1 1 と衝突する前に、突出した孔径拡大部 8 4 の外側面に衝突する。それにより、ウェッジ孔 8 1 の周囲には死水領域 1 2 3 が形成される。死水領域 1 2 3 の形成に伴う静圧低下により、回転子 1 内の冷却ガス流れ 1 1 がウェッジ孔 8 1 を通過する際の通風抵抗は低下する。また、ウェッジ孔 8 1 内側には傾斜面 8 4 a または曲面 8 4 b が施されているため、エアギャップ 1 2 0 内の冷却ガス流れ 1 2 1 との衝突角を緩和でき、よりいっそう高い通風抵抗低減効果が期待できる。

[0107] 本実施の形態 5 に係るウェッジ孔 8 1 の構造は、指向性を持たないため、エアギャップ 1 2 0 内の冷却ガス流れ 1 2 1 がどの方向からきても一定の通風抵抗低減効果が期待できる。そのため、特許文献 2 の従来技術のようにエアギャップ 1 2 0 内の冷却ガス流れ 1 2 1 を予測する必要がなく、より簡便に回転子 1 の冷却性能を向上することができる。

[0108] また、通電加熱を伴わないウェッジ 8 に対して加工を施すため、特許文献 3 に記載の技術のように銅損増大を招くこともない。

[0109] ところで、ファン 1 4 0 が脈動を起こした際には、回転電機 1 0 0 の各部における冷却ガス 1 6 0 の流量が変動することになる。当然のことながら、エアギャップ 1 2 0 の流量も変動する。このような場合、ウェッジ孔 8 1 が指向性をもつ構造であった場合、エアギャップ 1 2 0 の冷却ガス 1 6 0 の変動に合わせて、ウェッジ孔 8 1 の通風抵抗低減効果も変動する。一方、本実施の形態 5 のように、指向性が無く、且つ、通風抵抗を低減できるような構造をウェッジ孔 8 1 に適用した場合、ファン 1 4 0 の脈動に関係なく、安定したウェッジ孔 8 1 の通風抵抗低減効果を期待できる。

[0110] また、ファン 1 4 0 に偏流が発生した際にも、エアギャップ 1 2 0 の冷却ガス 1 6 0 の流量分布に偏りが生じる可能性がある。このような場合、ウェ

ッジ孔 81 が指向性をもつ構造であった場合、エアギャップ 120 の冷却ガス 160 の偏りに合わせて、ウェッジ孔 81 の通風抵抗低減効果も変動する。一方、本実施の形態 5 のように、指向性が無く、且つ、通風抵抗を低減できるような構造をウェッジ孔 81 に適用した場合、ファン 140 の偏流に関係なく、安定したウェッジ孔 81 の通風抵抗低減効果を期待できる。

[0111] さらに、予め冷却ガス 160 の流量が不足する可能性があるラジアルパス 9 に連通されたウェッジ孔 81 に対してのみ、本実施の形態 5 の孔径拡大部 84 を適用すれば、適用されたラジアルパス 9 に供給される冷却ガス 160 の流量を増やすことができ、ホットスポットの発生を抑制し、回転子コイル 5 を均一に冷却することができる。

[0112] そして、個々のウェッジ孔 81 の孔径を調節する従来の技術と本発明の実施の形態 5 を併せて回転電機 100 に適用することにより、回転子 1 の冷却能力を向上できるだけでなく従来よりも均一に冷却することが期待できる。

[0113] これにより、実施の形態 5 による回転子 1 のウェッジ 8 によれば、簡単な構造を用いて、回転子コイル 5 の銅損を増加させることなく、回転電機 100 の回転子 1 の通風抵抗を低減することができ、回転子 1 の冷却能力をより向上できる。

[0114] なお、本実施の形態 5 においても、実施の形態 4 と同様に、ウェッジ孔 81 の第 2 の内径の拡がり方によっても効果の程度が異なる。たとえば、第 1 の内径に対する第 2 の内径の比を、ウェッジ孔 81 の第 2 の内径の拡がりとして、第 1 の内径に対する第 2 の内径の比を、1.6 倍以下程度とすると良い。

[0115] 上記の実施の形態 1～5 は、本発明のいくつかの実施形態を示すものであり、本発明は、それに限定されるものではない。本発明は、その発明の範囲内において、適宜、変形、省略することが可能である。また、本発明は、冷却ガス 160 の種類に依存するものではない。

符号の説明

[0116] 1 回転子、2 回転子鉄心、3 コイルスロット、4 チャンネル、5

回転子コイル、6 ターン絶縁物、7 絶縁物、8 ウェッジ、9 ラジアルパス、10 回転子外周面、11 冷却ガス流れ、71 絶縁物孔、81 ウェッジ孔、82, 83, 84, 85 溝、86 孔径拡大部、82a 傾斜面、82b 曲面、83a 突起、84a 傾斜面、84b 曲面、84c 傾斜面、100 回転電機、110 固定子、111 固定子内周面、120 エアギャップ、121 冷却ガス流れ、122 冷却ガス流速分布、123 死水領域、124 剥離領域、130 冷却器、140 ファン、150 回転軸、160 冷却ガス、901 突起、902, 903 傾斜面、904 導体バー、905 テーパー部、906 通風孔。

請求の範囲

- [請求項1] 軸方向に延びた複数のコイルスロットが外周面に設けられた円筒状の回転子鉄心と、
前記コイルスロット内に配置された回転子コイルと、
前記コイルスロットの開口部に設けられ、前記回転子コイルを前記コイルスロット内に固定させるとともに、前記回転子鉄心の径方向に延びて前記コイルスロットの内部から外部に向かって冷却ガスを流通させる1以上のウェッジ孔を有する、ウェッジと
を備え、
前記ウェッジ孔のうちの少なくとも1つは、
第1の内径を有する第1の部分と、
前記第1の部分よりも前記回転子鉄心の径方向外側に配置され、ウェッジ孔の全周にわたって前記第1の内径よりも大きい第2の内径を有する第2の部分と
を有する、
回転子。
- [請求項2] 前記第1の内径は、前記回転子鉄心の径方向に沿って一定である、請求項1に記載の回転子。
- [請求項3] 前記第2の内径は、前記回転子鉄心の径方向に沿って一定である、請求項1または2に記載の回転子。
- [請求項4] 前記第2の内径は、前記回転子鉄心の径方向外側に向かって連続的に増加する、
請求項1または2に記載の回転子。
- [請求項5] 前記ウェッジ孔のうちの前記少なくとも1つは、
前記ウェッジ孔の径方向外側のウェッジ表面に溝を有した、
請求項1から4までのいずれか1項に記載の回転子。
- [請求項6] 前記ウェッジ孔のうちの前記少なくとも1つは、前記回転子鉄心の前記外周面から突出した突縁を有し、

前記第 2 の部分の全部または一部は、前記突縁によって構成される

、

請求項 1 から 5 までのいずれか 1 項に記載の回転子。

[請求項 7]

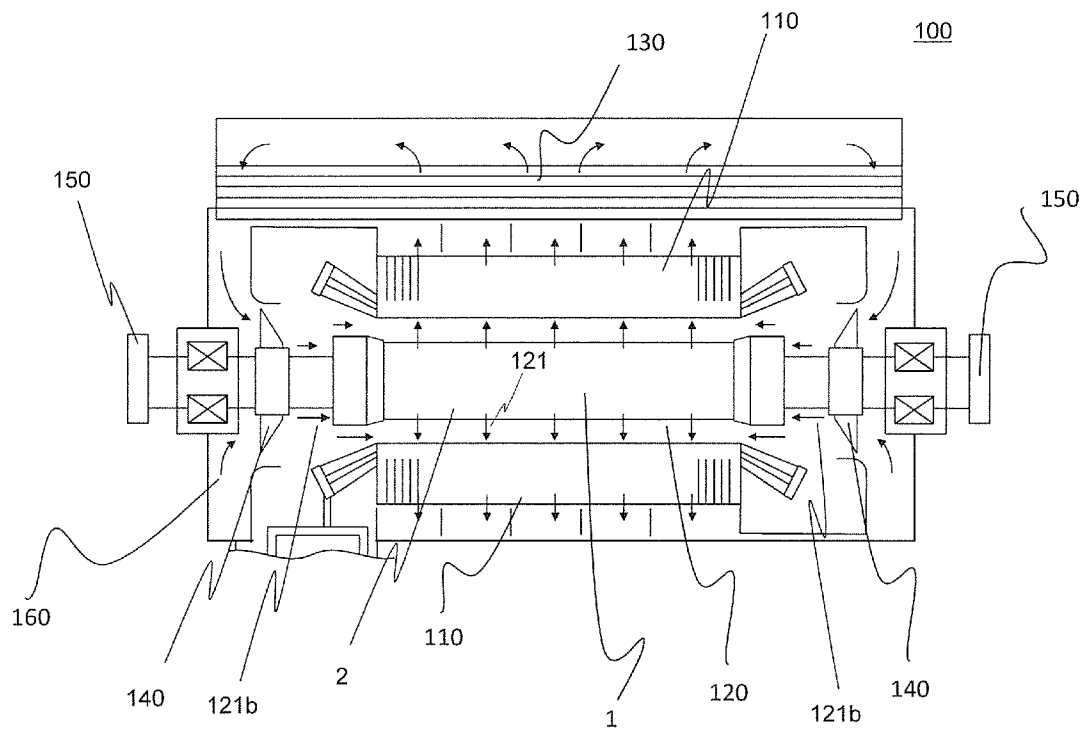
前記第 2 の部分の内壁は、前記ウェッジ孔の全周にわたって、前記ウェッジ孔の中心軸を中心として軸対称な形状になるように構成されている、

請求項 1 から 6 までのいずれか 1 項に記載の回転子。

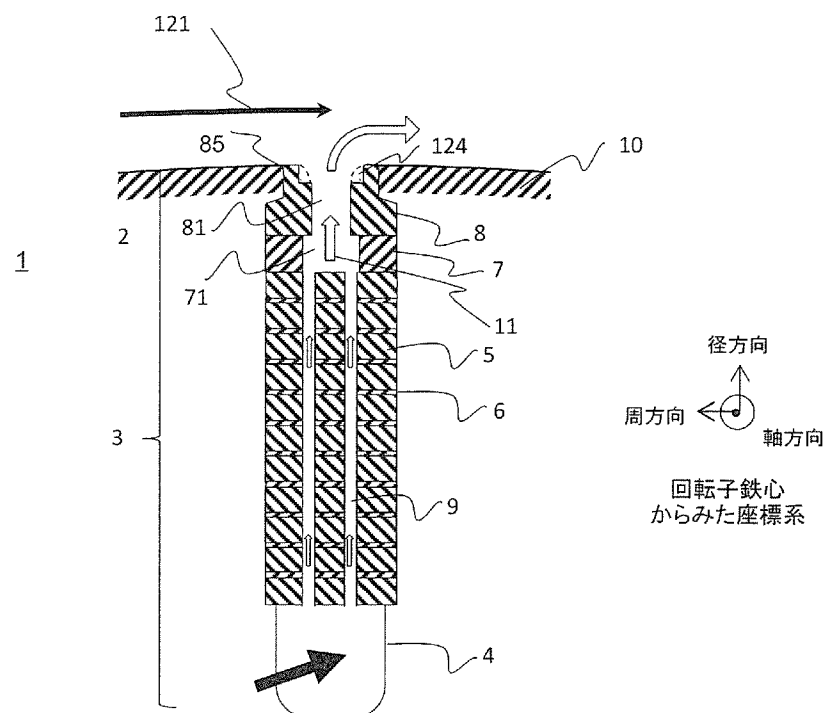
[請求項 8]

請求項 1 から 7 までのいずれか 1 項に記載の回転子と、
前記回転子の外周に対して空隙を介して配置された固定子と
を備えた回転電機。

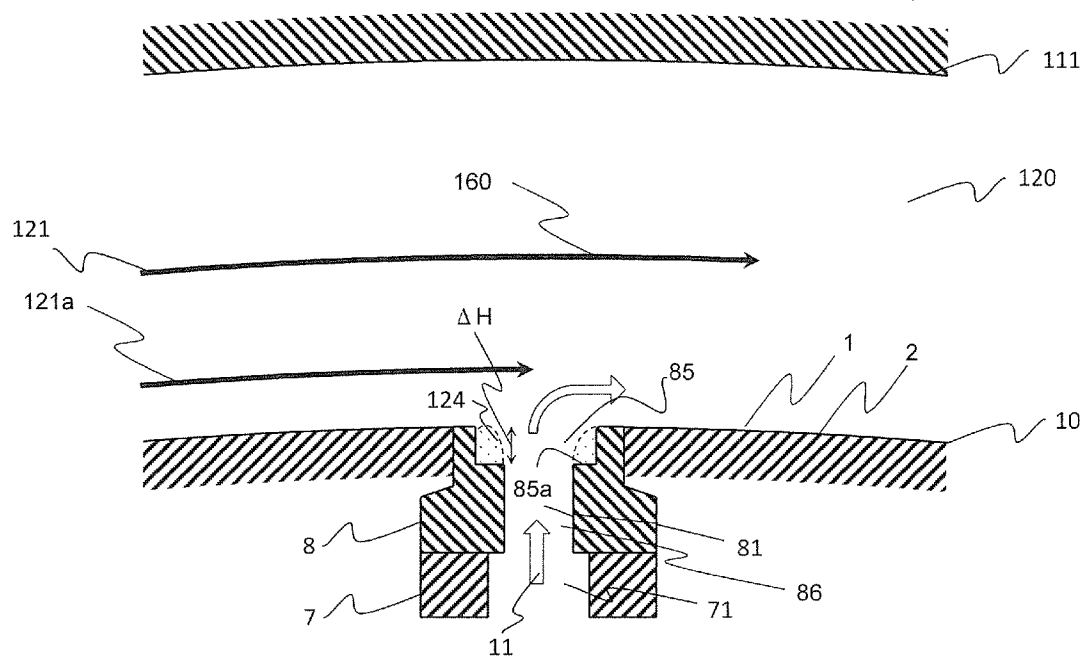
[図1]



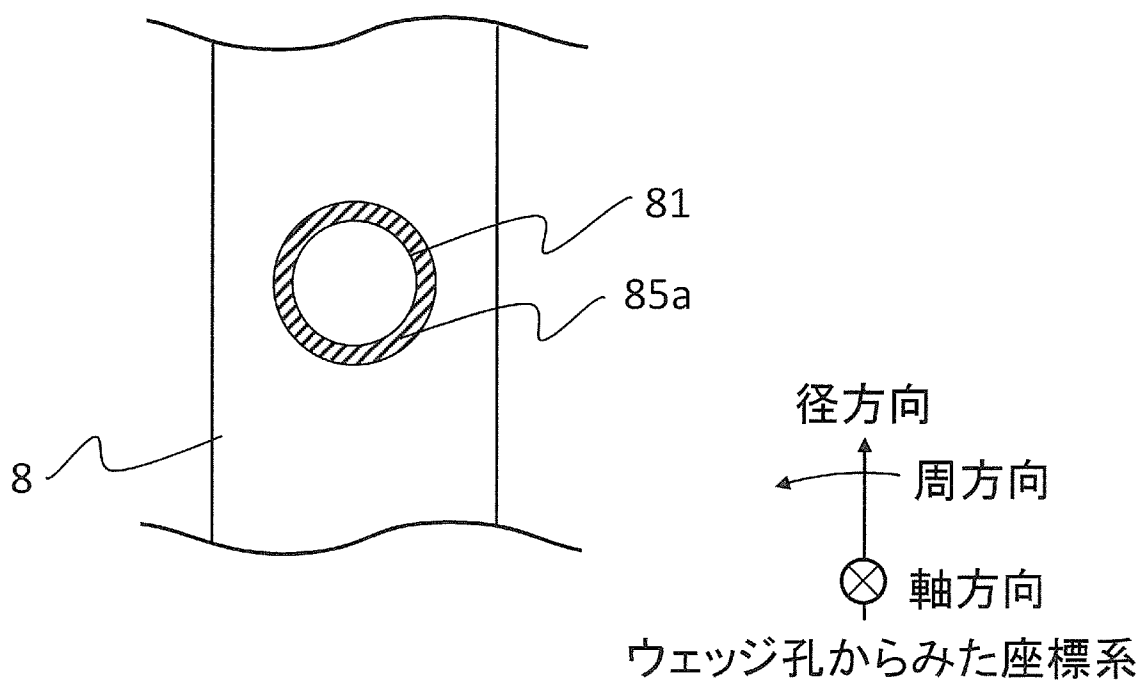
[図2]



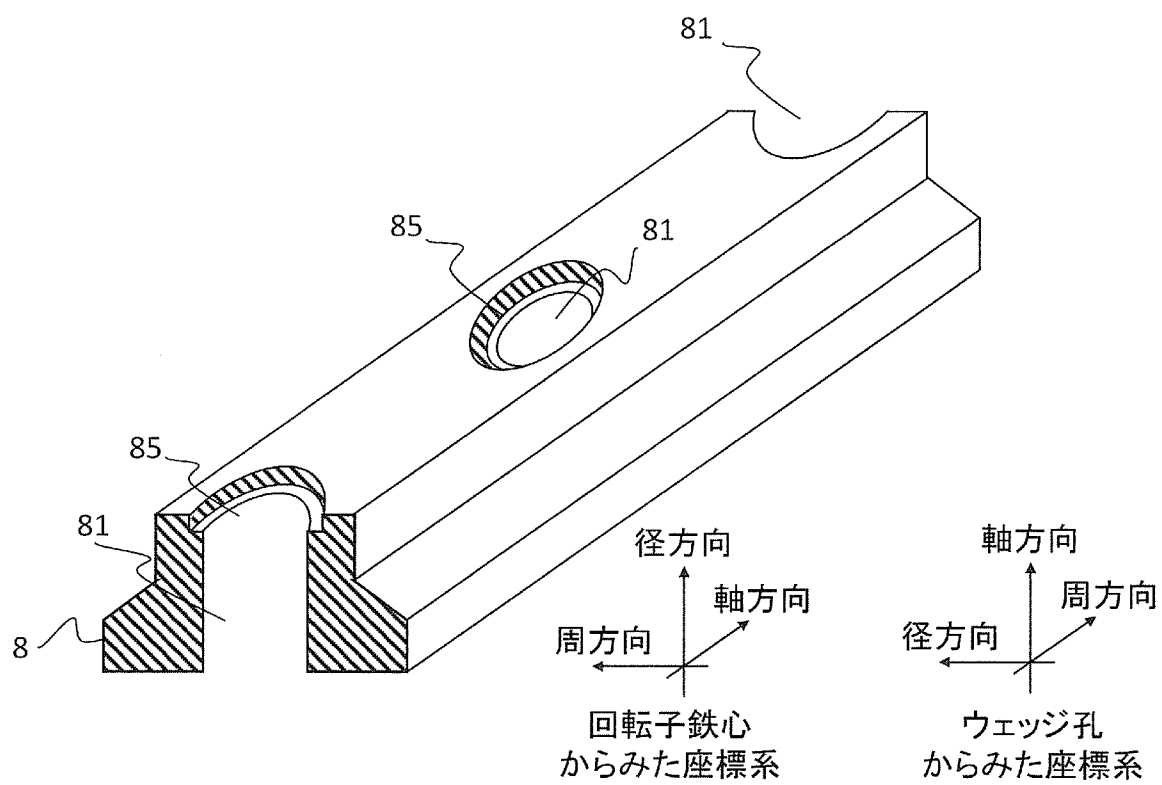
[図3]



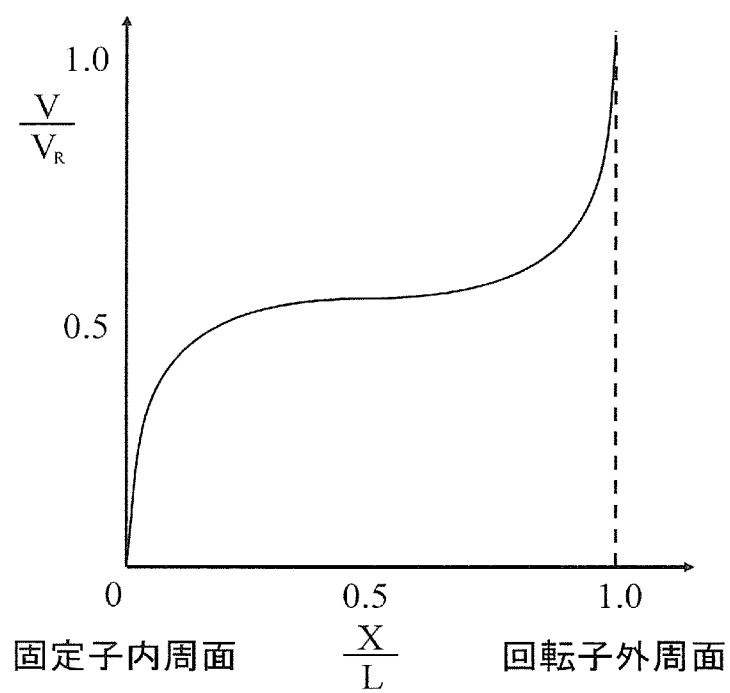
[図4]



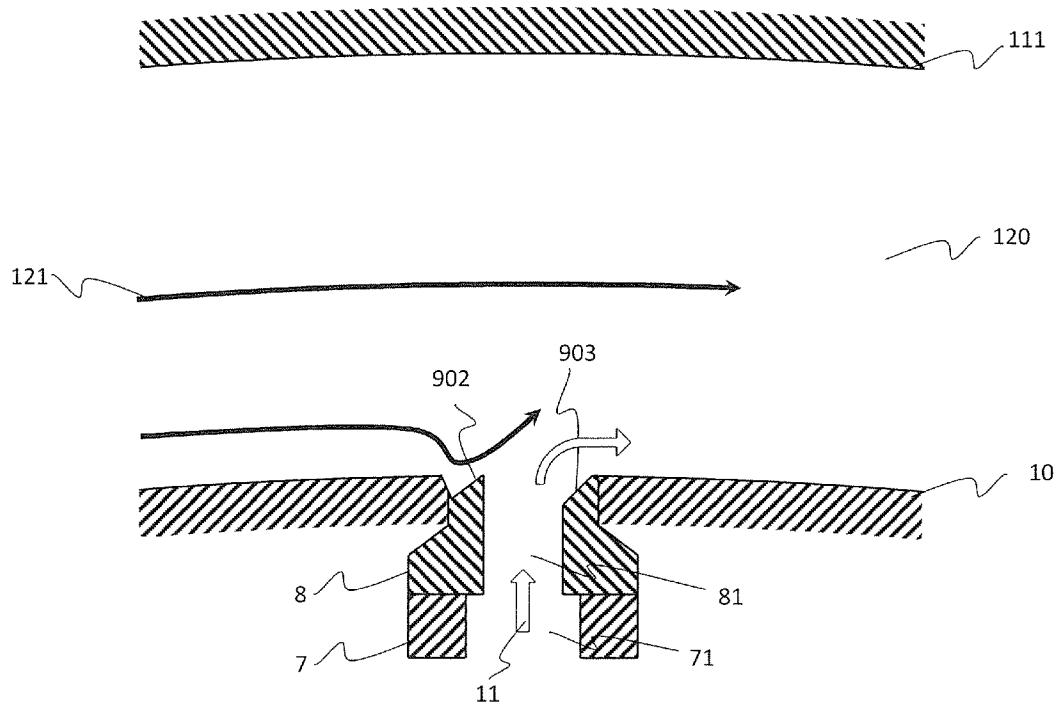
[図5]



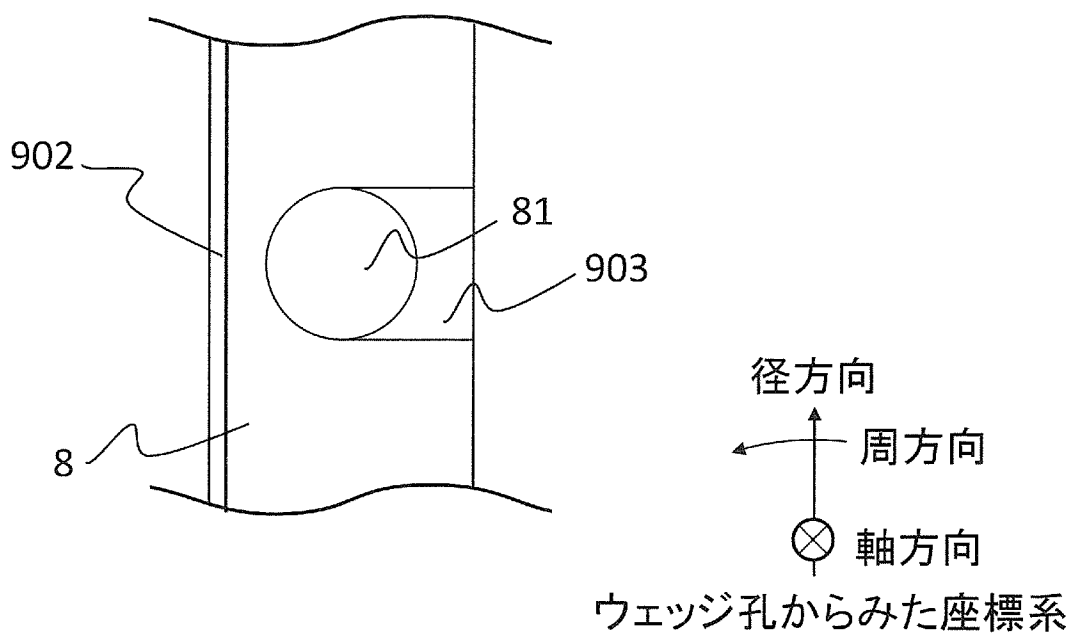
[図6]



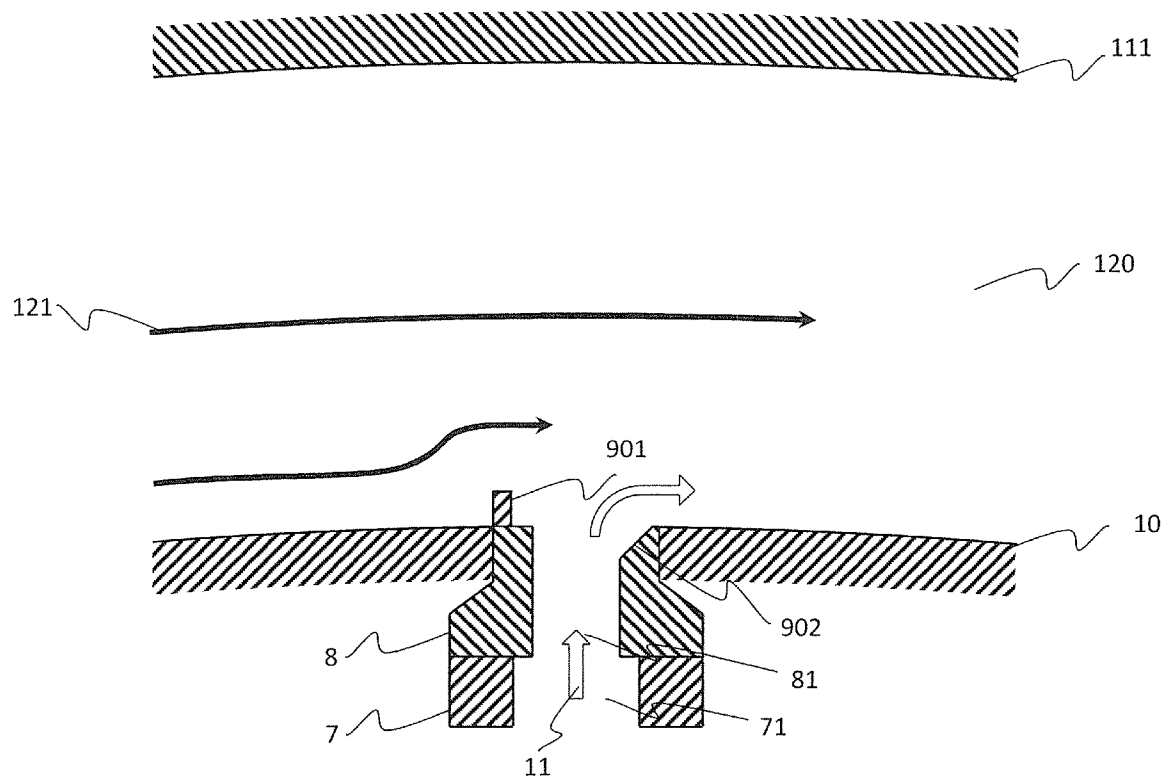
[図9]



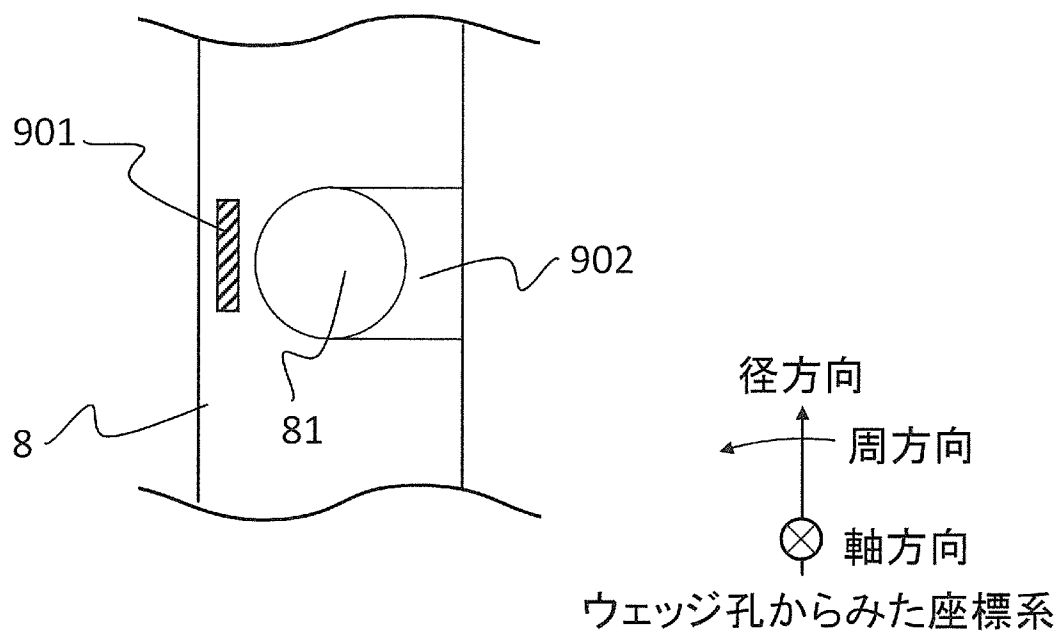
[図10]



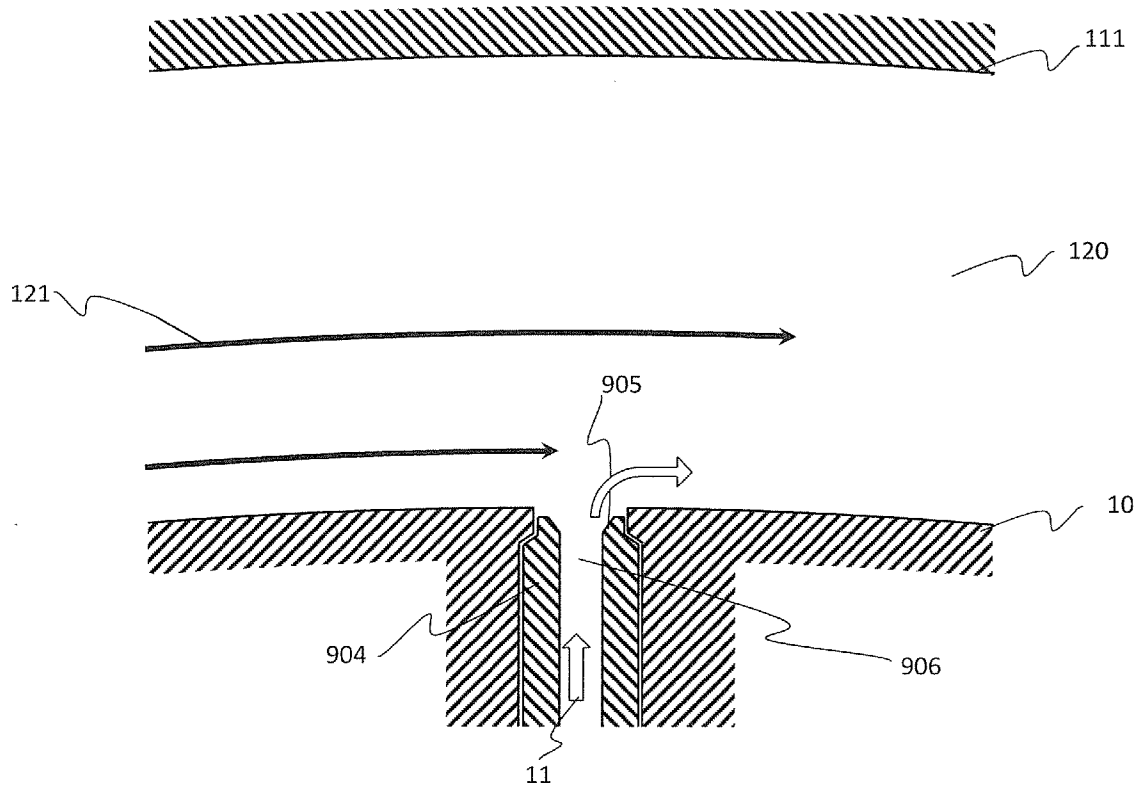
[図11]



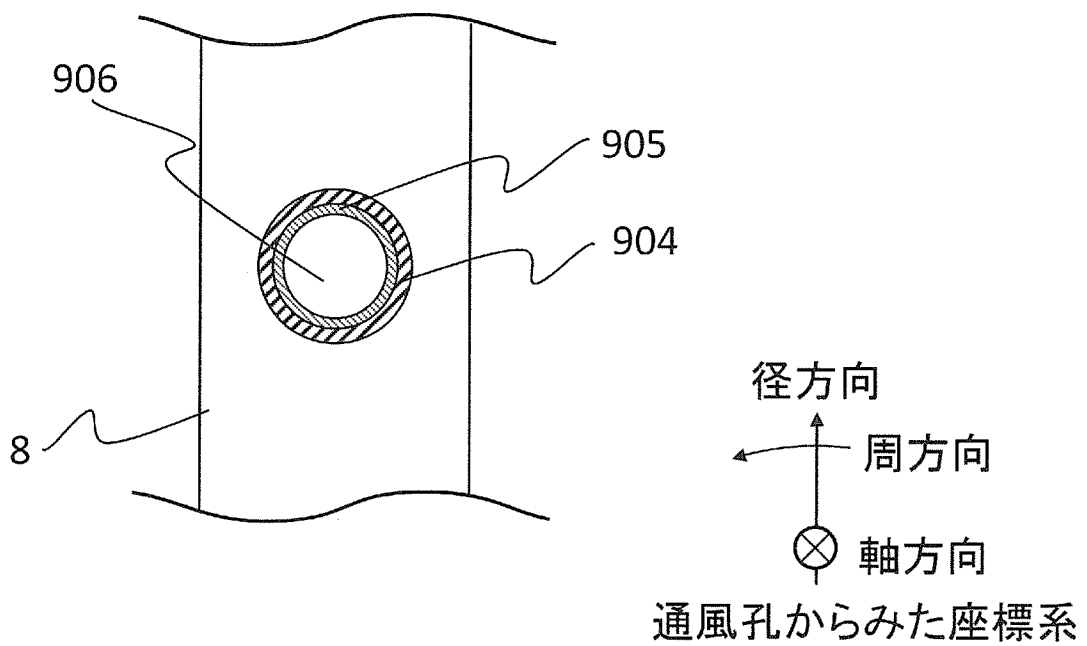
[図12]



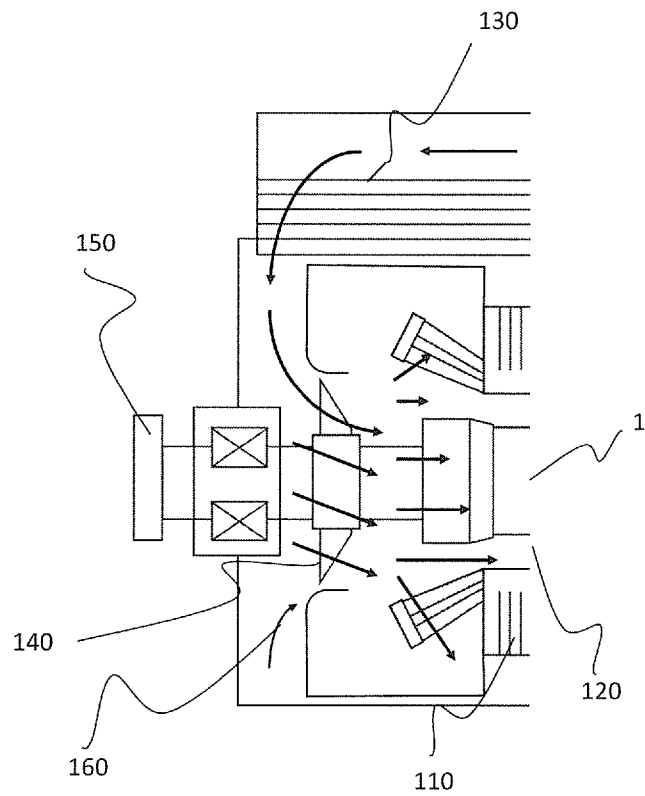
[図13]



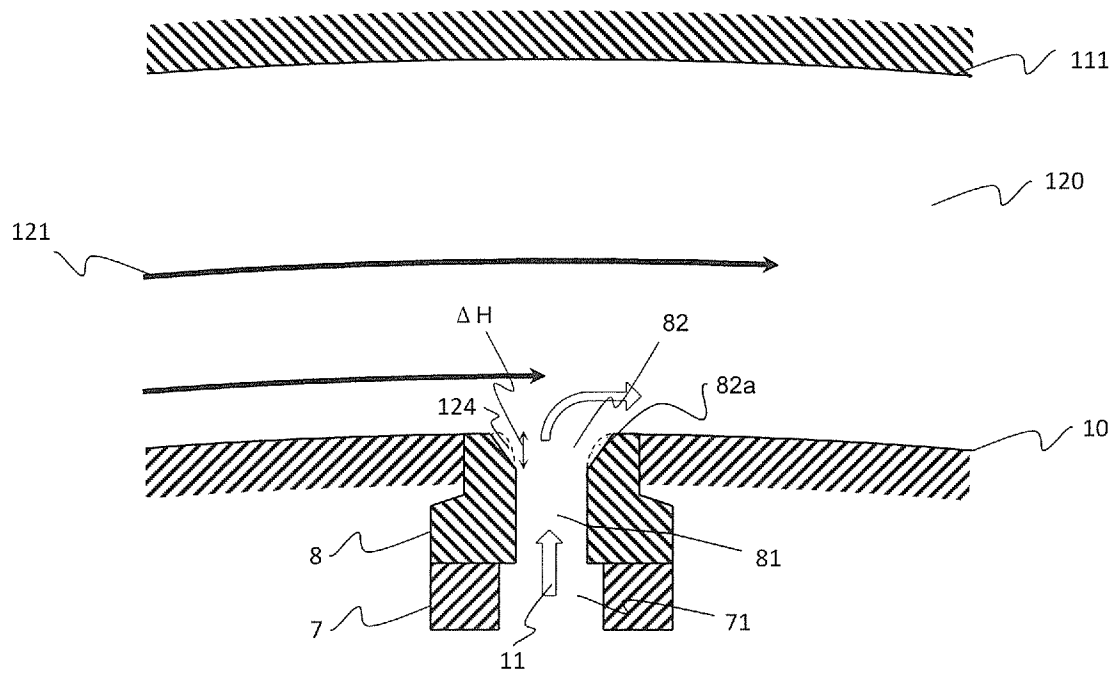
[図14]



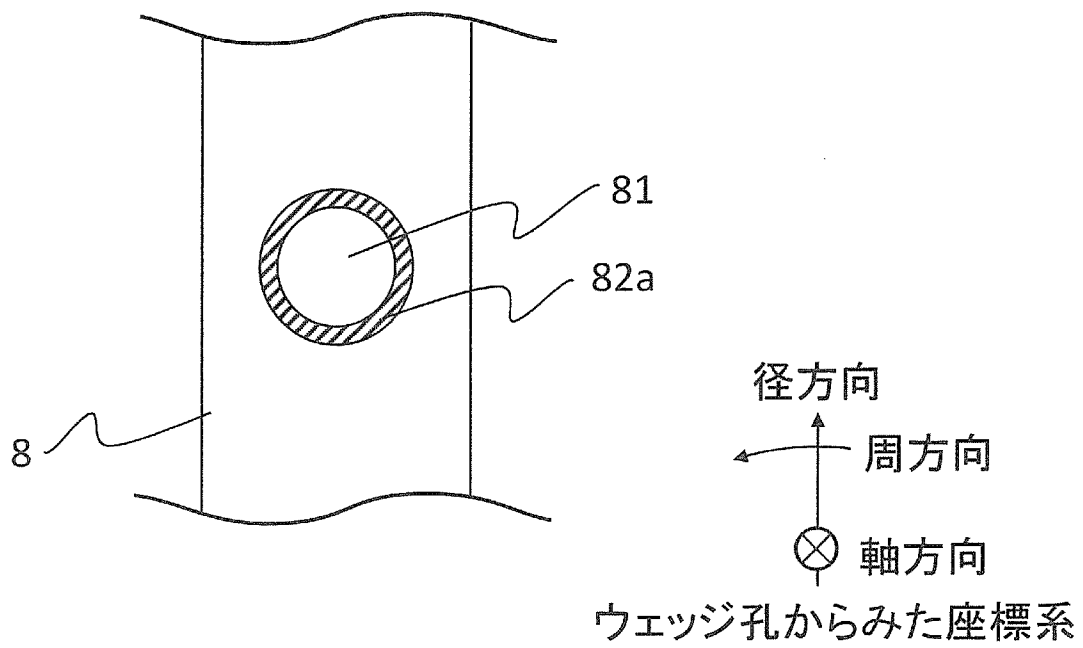
[図15]



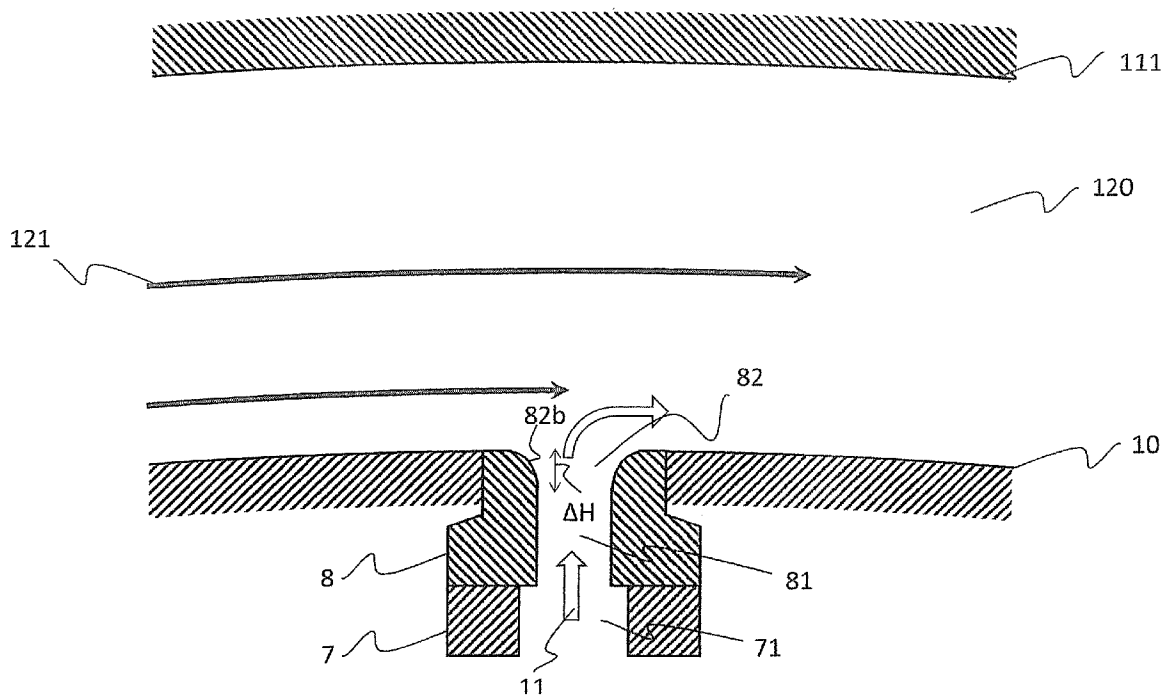
[図16]



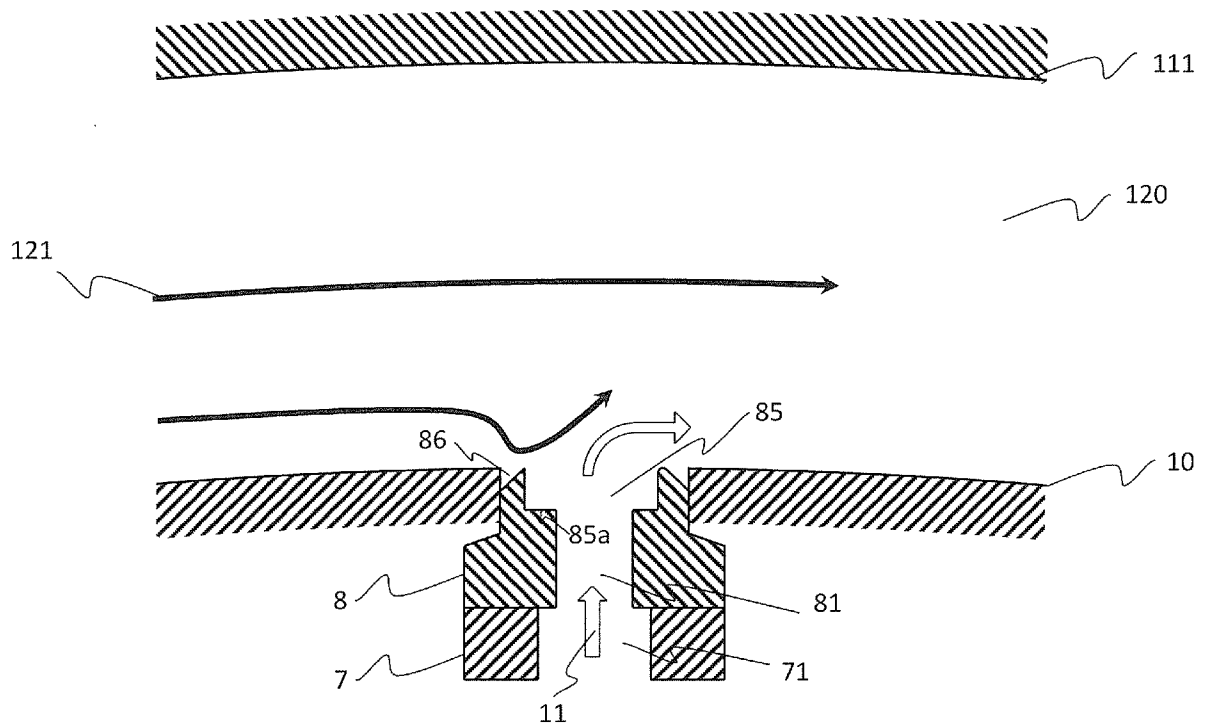
[図17]



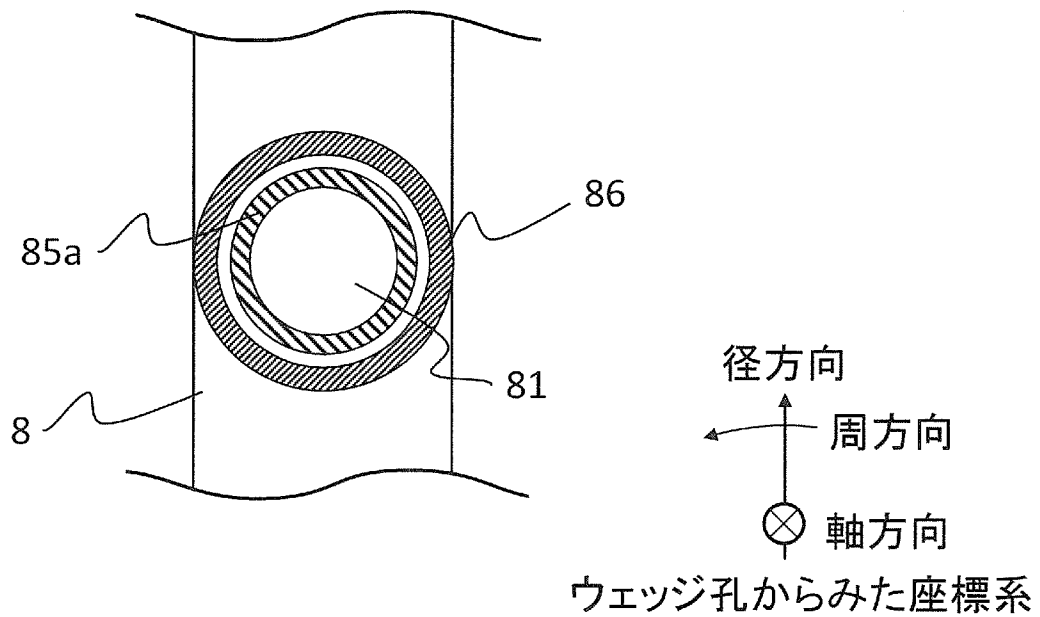
[図18]



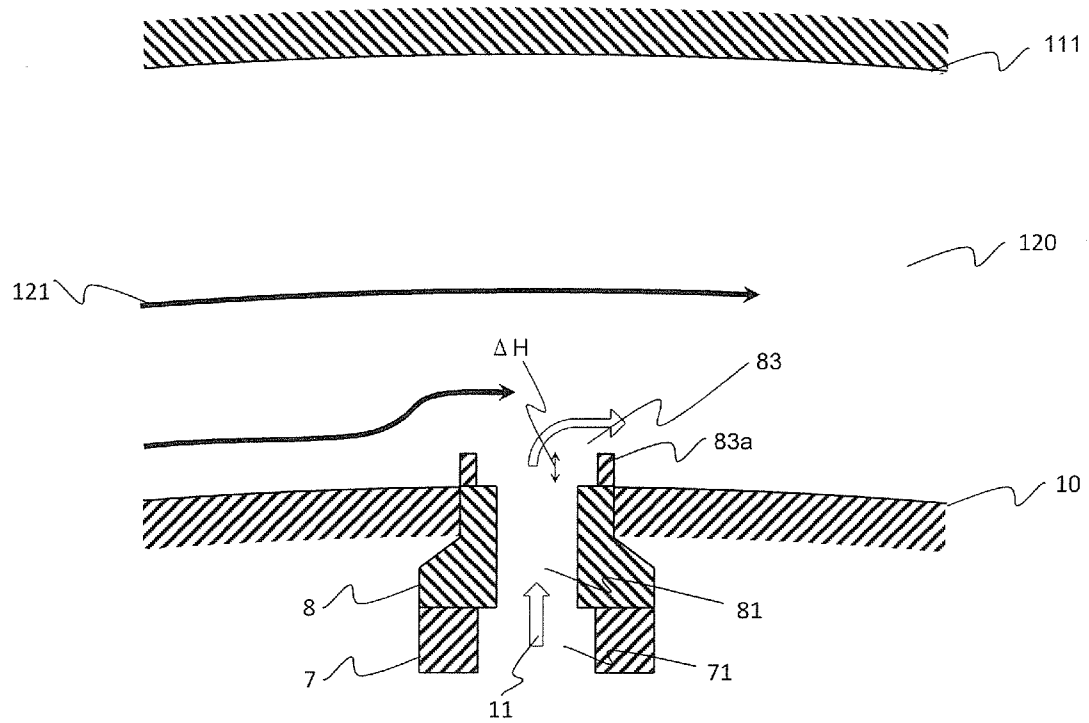
[図19]



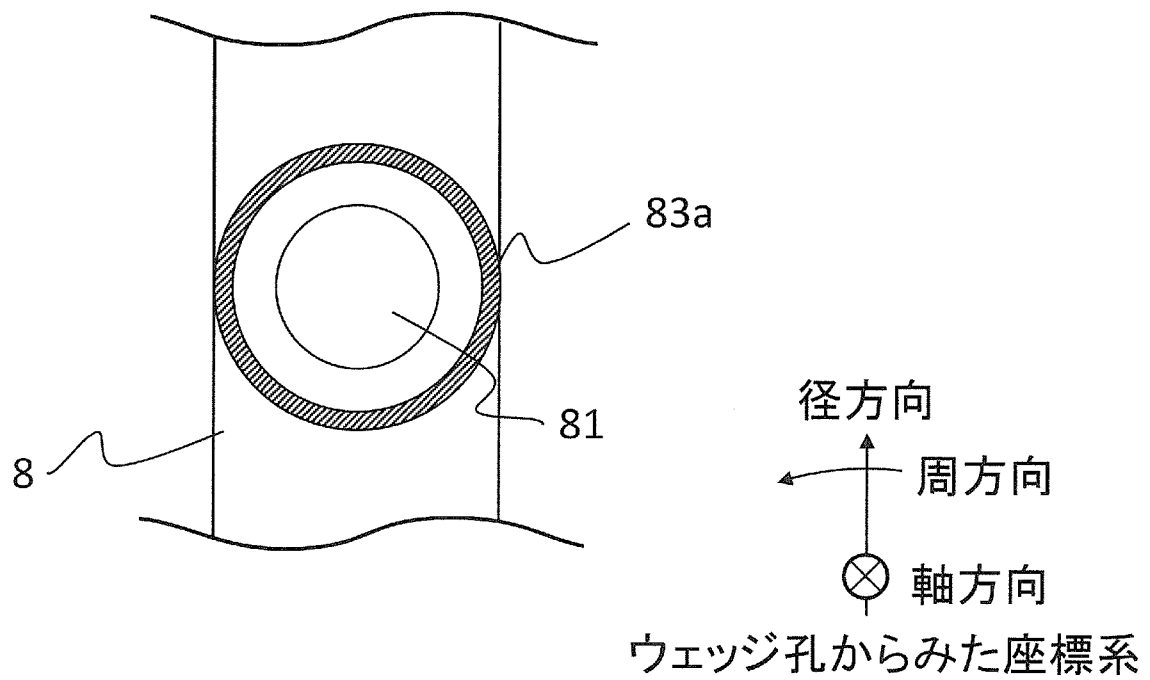
[図20]



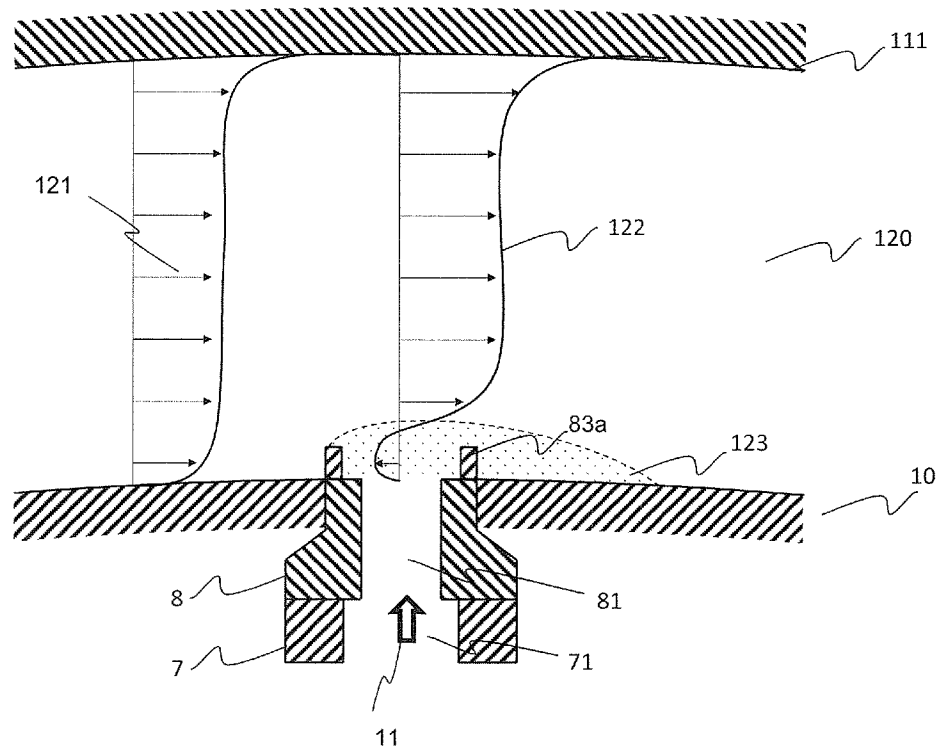
[図21]



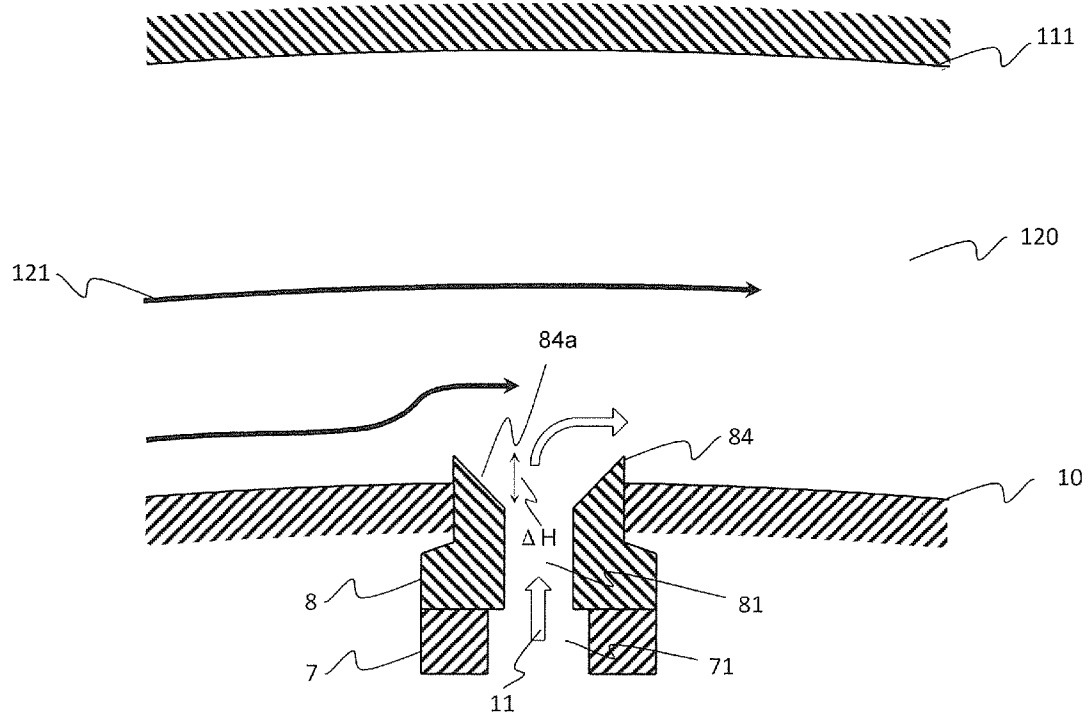
[図22]



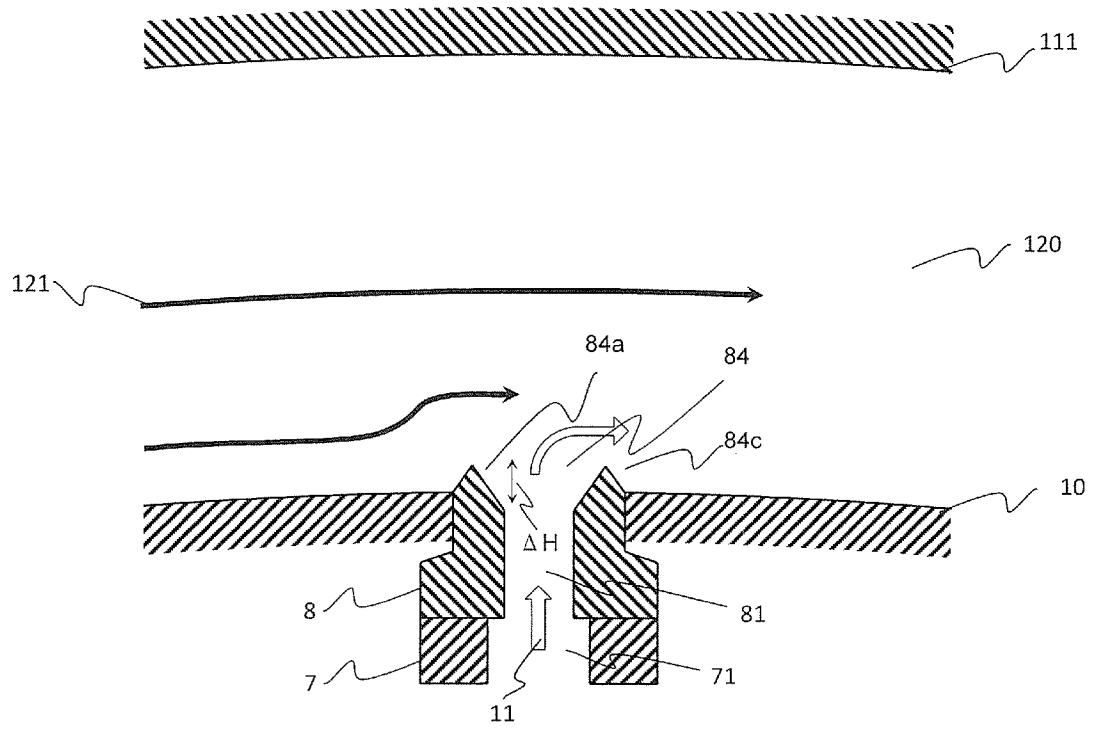
[図23]



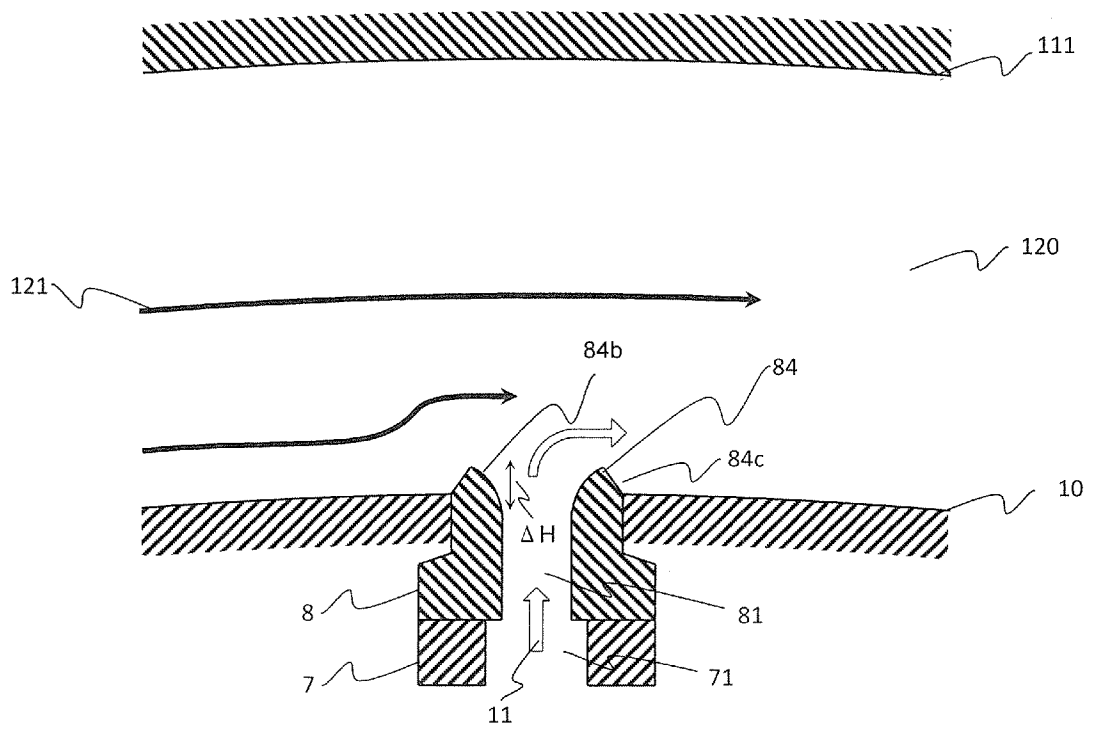
[図24]



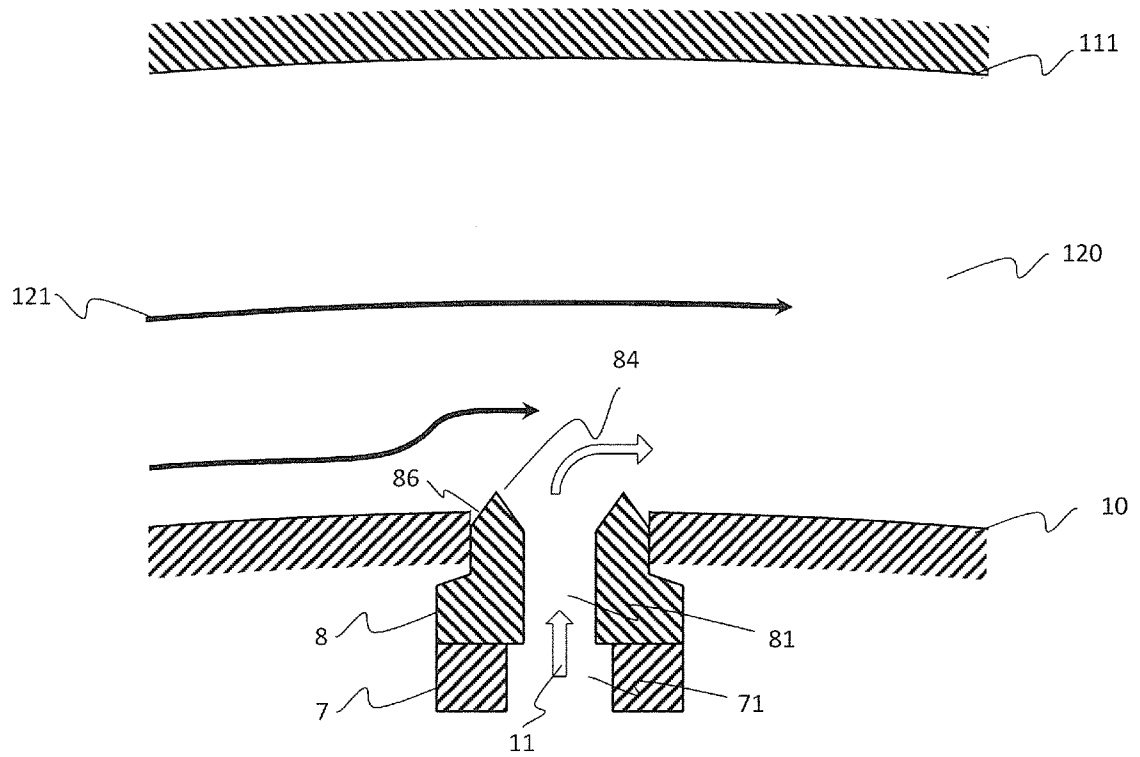
[図27]



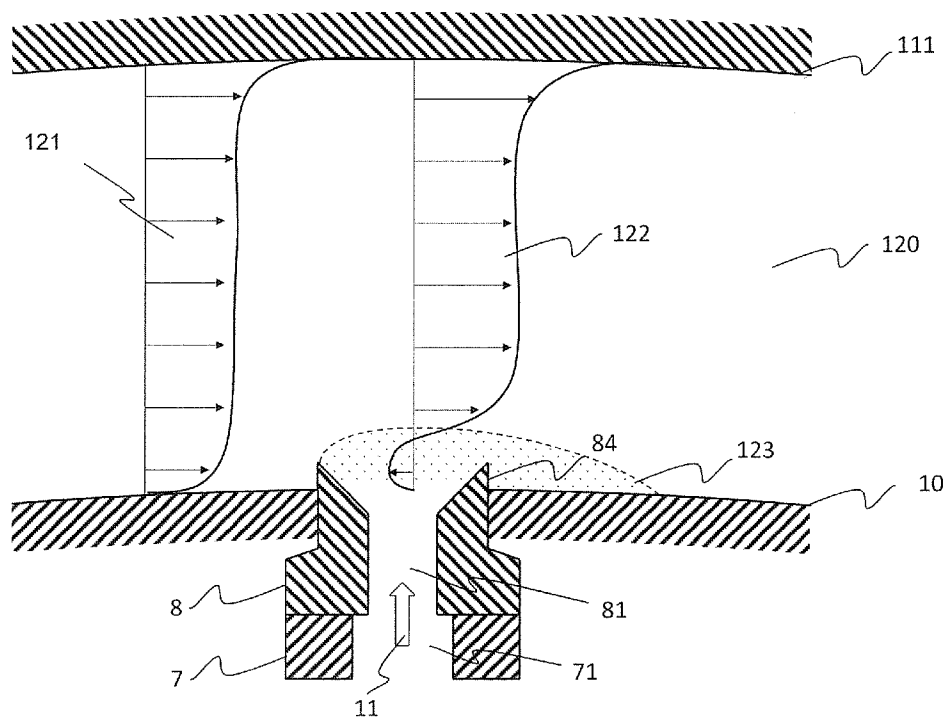
[図28]



[図29]



[図30]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/012878

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. H02K1/32 (2006.01) i, H02K9/08 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int. Cl. H02K1/32, H02K9/08

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2019

Registered utility model specifications of Japan 1996-2019

Published registered utility model applications of Japan 1994-2019

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2003-348796 A (TOSHIBA CORP.) 05 December 2003,	1-4, 7-8
Y	paragraphs [0029]-[0041], [0047]-[0050], fig. 4, 5	5
A	(Family: none)	6
Y	JP 8-340653 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 24 December 1996, paragraph [0025], fig. 5, 6 & US 5698924 A, column 4, line 7 to line 25, fig. 5, 6	5
Y	JP 50-150805 A (TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO., LTD.) 03 December 1975, page 2, lower left column, line 10 to lower right column, line 2, fig. 4 (Family: none)	5



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
22.04.2019

Date of mailing of the international search report
07.05.2019

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/012878

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2009-60763 A (HITACHI, LTD.) 19 March 2009, entire text, all drawings & US 7737586 B2, entire text, all drawings & EP 2031733 A2 & CN 101409475 A & KR 10-2009-0024065 A	6
A	JP 2010-200578 A (HITACHI, LTD.) 09 September 2010, entire text, all drawings (Family: none)	6

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H02K1/32(2006.01)i, H02K9/08(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H02K1/32, H02K9/08

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2003-348796 A（株式会社東芝）2003.12.05, 段落0029-0041, 段落0047-0050, 図4-5（ファミリーなし）	1-4, 7-8
Y		5
A		6
Y	JP 8-340653 A（三菱電機株式会社）1996.12.24, 段落0025, 図5-6 & US 5698924 A, 第4欄第7行-第25行, 図5-6	5
Y	JP 50-150805 A（東京芝浦電気株式会社）1975.12.03, 第2ページ左下欄第10行-右下欄第2行, 図4（ファミリーなし）	5

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

22.04.2019

国際調査報告の発送日

07.05.2019

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

津久井 道夫

3 V

5781

電話番号 03-3581-1101 内線 3357

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2009-60763 A (株式会社日立製作所) 2009.03.19, 全文, 全図 & US 7737586 B2, 全文, 全図 & EP 2031733 A2 & CN 101409475 A & KR 10-2009-0024065 A	6
A	JP 2010-200578 A (株式会社日立製作所) 2010.09.09, 全文, 全図 (ファミリーなし)	6