

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2010年9月30日(30.09.2010)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2010/109800 A1

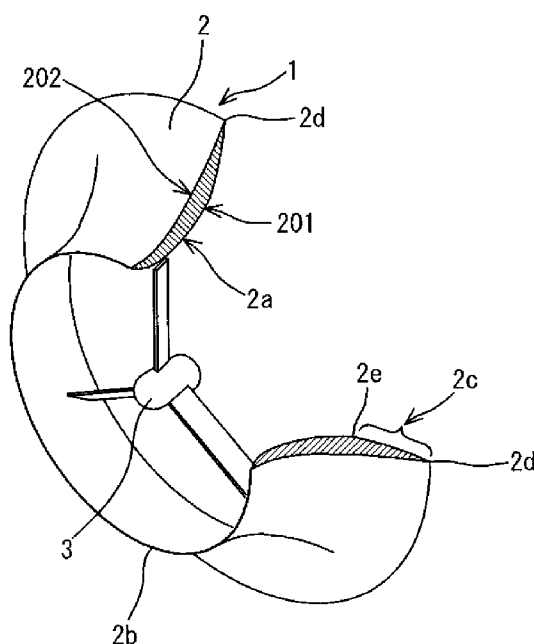
- (51) 国際特許分類: *F03D 1/04* (2006.01) *F03D 1/06* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/001809
- (22) 国際出願日: 2010年3月15日(15.03.2010)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ: 特願 2009-072293 2009年3月24日(24.03.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立大学法人九州大学 (KYUSHU UNIVERSITY, NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION) [JP/JP]; 〒8128581 福岡県福岡市東区箱崎六丁目10番1号 Fukuoka (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 大屋裕二 (OHYA, Yuji) [JP/JP]; 〒8128581 福岡県福岡市東区箱崎六丁目10番1号国立大学法人九州大学内 Fukuoka (JP). 烏谷隆 (KARASUDANI, Takashi) [JP/JP]; 〒8128581 福岡県福岡市東区箱崎六丁目10番1号国立大学法人九州大学内 Fukuoka (JP). 渡辺公彦 (WATANABE, Kimihiko) [JP/JP]; 〒8128581 福岡県福岡市東区箱崎六丁目10番1号国立大学法人九州大学内 Fukuoka (JP).
- (74) 代理人: 林靖 (HAYASHI, Yasushi); 〒8100004 福岡県福岡市中央区渡辺通5丁目25番15号地産ビル天神401号 Fukuoka (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ,

[続葉有]

(54) Title: FLUID MACHINE UTILIZING UNSTEADY FLOW, WINDMILL, AND METHOD FOR INCREASING VELOCITY OF INTERNAL FLOW OF FLUID MACHINE

(54) 発明の名称: 非定常流れを利用した流体機械、風車、及び流体機械の内部流れ増速方法

[図1]



(57) Abstract: Provided is a fluid machine wherein the casing can be designed and manufactured easily, a vortex flow is formed by the shape of the casing, a negative pressure region of strong negative pressure is attained on the outlet side, and unsteady flow which increases the velocity of the internal flow is utilized. Also provided are a windmill, and a method for increasing the velocity of the internal flow. The invention is principally characterized by the fact that the standard shape of a casing (2) is defined by a cycloid curve connecting between the leading edge (2b) and the trailing edge (2d) and having a protrusion at an axial position corresponding to the throat (2a) between the leading and trailing edges, the throat (2a) and a vortex generation surface (2c) which generates a negative pressure region on the downstream side from the throat (2a) are formed on the inner circumferential surface (201) of the casing (2), a second outflow gradient which separates the internal flow is formed on the boundary of the throat-side adjacent surface adjoining the vortex generation surface (2c), a first outflow gradient is formed at the trailing edge (2d) on the outer circumferential surface (202) of the casing (2), and the velocity of the internal flow is increased by generating a negative pressure region of strong vorticity on the back of the vortex generation surface (2c) by the non-streamlined casing.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2010/109800 A1



CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, 添付公開書類:
TD, TG).

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

ケーシングの設計、製造が容易で、ケーシングの形状により渦列流れを形成し、出口側に強い負圧の負圧領域を実現して、内部流れを増速する非定常流れを利用した流体機械、風車、内部流れ増速方法を提供することを目的とする。本発明は、ケーシング 2 の基準の形状が、前縁 2 b と後縁 2 d との間を連絡しかつこの前後縁間のスロート部 2 a と対応した軸方向位置に凸部を有するサイクロイド曲線から構成され、ケーシング 2 の内周面 2 0 1 には、スロート部 2 a とこれより後流側に負圧領域を生成するための渦生成面 2 c が形成されると共にさらにこの渦生成面 2 c に隣接するスロート側隣接面の境界に内部流れを剥離させる第 2 の流出勾配が形成され、かつケーシング 2 の外周面 2 0 2 には、後縁 2 d に第 1 の流出勾配が形成され、非流線形のケーシングにより渦生成面 2 c の背後に強い渦度の負圧領域を生成して内部流れを増速することを主な特徴とする。

明 細 書

発明の名称：

非定常流れを利用した流体機械、風車、及び流体機械の内部流れ増速方法

技術分野

[0001] 本発明は、内外部流れの中で運転する非定常流れを利用した流体機械と、大気中の風による内部流れを増速して高出力の発電を行う風車、及び流体機械の内部流れ増速方法に関する。

背景技術

[0002] 近年、地球温暖化を始めとする地球規模の環境問題、あるいは無尽蔵と錯覚されてきた石油等のエネルギー資源が枯渇し始めた、というエネルギー問題が、世界の共通の認識になりつつある。

[0003] このような状況下、CO₂を排出しない風力発電が環境問題、エネルギー問題の双方を解決するエネルギー生産手段として脚光を浴びている。しかし、風力発電装置は大型風車で高効率と言われるものでも、風車の内部を流れる風の運動エネルギーの40%程度を電力に変換できるだけである。この変換量が向上すれば風力発電は更に環境問題、エネルギー問題において重要な位置を占めることになる。

[0004] しかし、従来の風車はその多くが大気中に露出された羽根車を備えており、空港周辺などに設置された風車も多い。こうした空港周辺においては、航空ドップラーレーダーが設置されて航空機の動きを監視しているが、風車の回転を小型飛行機の接近や離陸と誤認するような場合が頻繁に起きている。とくに風車の多い欧米の地方空港ではこれは深刻な問題として受け止められている。しかし、従来の風車では解決の糸口が見つからなかった。

[0005] これと似た問題として、バードストライクの問題がある。風車への需要が高まり、風車の数が増加すればするほど、飛行中の鳥が羽根車に吸い込まれる頻度は増加する。破損した羽根車を捕集するのは風力発電の稼働率を低下させ、風力発電が電力供給に貢献する量を低下させる原因になる。

[0006] ところで、風力発電の出力は風速の3乗に比例する。このため、風車が設置されるときは、風の強い地域が立地点として選ばれ、できるだけ風を集めて増速させ、発電量を増大させることに腐心されてきた。従って、風力発電装置の入口側の集風体、羽根車、さらにはディフューザなどの改良に目が向けられ、できるだけエネルギー変換効率を向上させるために対策が講じられてきた。何れも従来のターボ機械の延長線上で考えられ、対策されたものである。当然に限界があった。

[0007] そこで、本発明者和其他の研究者は、こうした風力発電装置に対する常識に挑戦した（特許文献1参照）。すなわち、高出力発電と言う目的を達成できるなら、従来のように流線形形状、定常流的発想にとられる必要はない、と言う観点に到達したのである。従来の流体機械は解析容易な流線形の形状、定常流をベースにしており、非流線形形状（Bluff-body）、非定常流を使ったターボ機械は存在しないと言っても過言ではない。しかし、非流線形形状、非定常流とはいっても、安定した流れを実現でき、内部流れの流速を従来の流れよりも増加し、流れの改善が図れるのであれば、機械本来の目的に適う。なお、ここで流線形形状、非流線形形状を定義しておく。流線形形状は流体機械で使用される範囲のレイノルズ数 Re で物体表面から流れがほぼ剥離しないで流れる形状であり、非流線形形状はこうした形状以外の形状の剥離が発生する形状のことである。

[0008] そこで、これを実現するため、本発明者らは特許文献1の風力発電装置を提案した。この風力発電装置は、筒状の風胴体と、風胴体の風の流入口近傍に配置した発電用風車とを設けたもので、風胴体の流出口の口縁の外側に、風胴体の外側を流れる風が衝突して背後で強い渦を形成させる風の流れ方向に対して垂直な平板状の錨状片を配置し、風胴体の軸に対する側胴部の傾斜角を $5 \sim 25^\circ$ の範囲とするという構成を採用した。風胴体は回転羽根の取付け位置から流出口までいわば単純に拡大する拡大管であり、錨状片は風胴体の最小内径の $10 \sim 100\%$ 幅を有するものである。

[0009] このような錨状片（いわばリング）を設けて流れに逆らって渦を形成させ

るなど、従来の流体機械の常識にはないものであった。そして、この錨状片の背後に形成される渦というのは、同心円のリング後流側において内外周で交互に発生する、いわゆるカルマン渦とも言うべき渦形成であって、所定のタイミングで交互に（非定常的に）生成され、この渦が風胴体の流出口付近を低圧化し、圧力差で内部流れの流速を向上させる。

- [0010] この風力発電装置の構成は、風力発電装置あるいは流体機械に新たなジャンル（非流線形形状を備えた流体機械と言う類型）を創造したとも言えるべきもので、流出側で生成される渦により流体機械近くの流れ全体を制御して、装置内部へより強い風を引き込み、この内壁面に沿って流出口まで流して効率良く加速させるものである。そして、この増速された流れで従来よりも高出力の発電を行うことができる。

先行技術文献

特許文献

- [0011] 特許文献1：特許第3621975号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0012] しかし、特許文献1の風力発電装置は、風胴体の流出口の外側に、風胴体の外側を流れる風の衝突により背後に強い渦を形成させる垂直な平板の錨状片を設けるといふ萌芽的な着想を提案したものである。非流線形形状を備えた流体機械、すなわち流体機械を覆う非流線形形状のケーシングまわりの流れのコントロールと言う観点からは、この技術はまだ原石の状態であった。なお、ここでいうケーシングとは、羽根車の周囲を覆って基本的には不回転の構造体のことであり、特許文献1の風胴体と錨状片が止揚された流体機械の部品のことである。
- [0013] 今後将来性のある流体機械として更に進歩させていくには、もっと非流線形形状まわりの流れの性質を追求し、流れの特性を解明し、ケーシングによる増速特性を向上させていく必要がある。このためにはケーシングを使って

非流線形形状まわりの流れに強い渦列を形成する流れとすると共に、流体機械出口において局所的に強い負圧領域を形成し、内部流れを安定した流れにすることが必要である。そして、どのような形状のケーシングにすればこのような流れが実現できるのかは十分に解明されていない。こうした最適形状のケーシングを得るのが困難なことは、渦が流体力学において非線形性が顕著に現れる現象であることから容易に伺える。

[0014] そして、既に本発明者らは非流線形形状のケーシングまわりの渦列流れを安定化する制御技術を提案した（PCT/JP2008/003187、これは公開されてWO2009/063599A1）。この説明をする。非流線形物体の表面を流れる流れはレイノルズ数 Re に伴って、通常後流側で剥離する。しかし、この剥離は流れと直交する周方向の一線で揃って綺麗に起こることはなく、渦生成は渦形成のスケールで強弱のゆらぎ（渦列ゆらぎ）を有しており、強のゆらぎ位置の剥離によって他の位置より強い渦を生成する。この渦を伴う流れ全体を安定化しなければ非流線形物体周りの流れを利用できないことから、この制御技術においては、ケーシングの後流側に渦生成体を設け、さらにこれに位相制御体を設けることを提案し、後端面内で周方向に渦の形成がゆらぐ位相を揃え、流れのセル構造を明確化し、その位置を固定化した。なお、本発明者らの先願の提案では、渦生成体として錨を回転体ケーシングの後流端に取り付けた実施の形態を使って発明を説明している。この錨は、回転体ケーシングを非流線形形状にするために、いわば外側流れを単に堰き止める物体として取り付けられたものであって、少し正確に言えば、周囲流れに剥離を起こし、後流側に周方向に並んだカルマン渦列を形成するための手段にすぎない。従って、先願の提案は、堰き止めた物体の背後に形成される後流に対し、この前提のもとでケーシングの周方向に関して渦列流れを安定化させる技術を開示したものである。これは、最も強く安定した渦列流れそのものを形成するための非線形形状の条件、すなわち非線形形状のケーシングが流れの剥離現象、非定常流れを最良にコントロールして最も強く安定した渦列流れの形成が行える最適なケーシング形状の条件を

開示するものではない。

[0015] ところで、上述した本発明者らの先願技術は従来から知られている境界層制御技術や整流板とは似て非なるものである。すなわち、従来の境界層技術や整流板は境界層が物体表面から剥離するのを未然に防ぐためのものであるが、この制御技術では、剥離を防止するのではなく、流れは十分剥離させ、この結果生成される渦流れ全体を秩序化し、安定化している。渦を防止するのではなく、逆に発生させて、発生後の流れをコントロールするものである。

[0016] しかし、位相制御体を設けずとも、非線形ケーシング自体の形状によって、ゆらぎの位相を揃えて非定常流れ全体を秩序化し、安定化できるのであれば、上記のような新しい制御技術と共に更に一段と非定常流れのコントロールを可能にすることができる。これは従来の流体機械のケーシングとはまったく別の発想のものである。つまり、上記先願技術のように、形が決められた非流線形ケーシングにおいて非定常流れを安定化する技術だけでなく、非定常流れを最も効率よく利用できる非流線形ケーシングそのものの形状が追及されるべきである。確かに流れを堰き止めれば渦列を発生させることはできるが、非定常流れを最大限に利用できる非流線形ケーシングとは別次元のものである。単純にケーシングを非流線形にただけでは、無用に圧力損失を招き、渦列の渦の強さは強くなり、強い負圧の負圧領域は明確に現れない。

[0017] このケーシングは、従来の定常流れの中で低抵抗を目指す流体機械のケーシングとは基本的に異なり、剥離という直接のデメリットに囚われることなく、全体として良好な性能を考え、それを満たすケーシングを目指すものである。確かに非線形形状の方が高抵抗であり、通常はこのデメリットの方が大きい。優れた他の特性、例えば流体機械の高出力が得られるなどの特性があって、しかもこれがデメリットを補って余りあるものであれば、このケーシングの採用が躊躇されるべきではない。

[0018] また、現在、風力発電装置は大型化を迫られている。特許文献1の風力発

電装置は大型化するときディフューザが長くなり（傾斜角が $5 \sim 25^\circ$ ）、重量が増す。羽根車径が数m以下のマイクロ風車、ミニ風車の場合には、これでも許容可能な重量であるが、今後開発が予定される発電能力がMW級の大型風力発電装置においては、10m～数十mの羽根車径が予定され、先に提案したディフューザでは許容できない重量となる。MW級の大型化に際しては風胴体をコンパクトにすることが避けられない。このときケーシングの形状だけで内部流れの増速が可能になれば、風力発電装置を高出力化すると共に、これをコンパクト化、軽量化することができる。

[0019] そして、従来の風車はその多くが大気中に露出された羽根車を備えており、空港周辺などの障害物の少ない空間に設置されることが多い。こうした空港周辺には航空ドップラーレーダーが設置され、航空機の動きを監視している。従来、航空ドップラーレーダーで風車を小型飛行機の接近や離陸と誤認することが多発している。また、バードストライクの問題も実用上の問題として風車の稼働率を高めるために重要である。

[0020] これらの問題は風力発電装置の実用化上の課題ではあるが、次世代のインフラストラクチャとして、風力発電装置に電力供給の一翼を担わせて、これをより深く社会に浸透させていくためにはこれらの問題は避けて通れない。

[0021] そこで、本発明は、ケーシングの設計、製造が容易であって、ケーシングの形状により流れの中に強くて安定した渦列流れを形成し、出口側のケーシング付近に強い負圧領域を実現して、外部流れで内部流れを増速する非定常流れを利用した流体機械を提供することを目的とする。

[0022] また、本発明は、ケーシングの設計、製造が容易であって、ケーシングの形状により、外部を流れる風に強くて安定した渦列流れを形成し、出口側のケーシング付近に強い負圧領域を実現して、流入する風の風速を増速し、流路長さが短く、大型化が可能で、高出力の発電を行うことが可能な風車を提供することを目的とする。

[0023] さらに、本発明は、ケーシングの設計、製造が容易であって、ケーシングの形状により流れの中に強くて安定した渦列流れを形成し、出口側のケーシ

ング付近に強い負圧領域を実現して、外部流れで内部流れを増速する流体機械の内部流れ増速方法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

[0024] 本発明の非定常流れを利用した流体機械及び風車は、環状をなしてその軸方向断面が非流線形の形状を有するケーシングと、ケーシング内のスロート部に配設され軸周りに回転する羽根車を備え、周囲を流れる流れを前縁で内外の流れに分割し、かつ強制的に流れの剥離を起こし、この剥離によってケーシング後方に渦列を形成し、渦列と渦列ゆらぎによって環状方向にセル構造を有する負圧領域を形成して、ケーシング内を流れる内部流れの流速を増加する非定常流れを利用した流体機械であって、ケーシングの肉厚形成の基準とされる基準線が、軸方向断面において前縁と後縁との間を連絡し、かつこの前後縁間のスロート部の位置に凸部を有するサイクロイド曲線から構成され、ケーシングの半径方向で内周側の面には、スロート部とこのスロート部より後流側に負圧領域を生成するための渦生成部が形成され、さらにこの渦生成部に隣接するスロート側隣接面にはその境界位置に内部流れを剥離させる第2の流出勾配が形成され、かつケーシングの外周側の面には、後縁に外部流れをこの後縁位置で剥離させる第1の流出勾配が形成され、第1の流出勾配は前縁と後縁とを結ぶ円錐の母線の勾配以上の勾配に設定され、かつ第2の流出勾配は、基準のサイクロイド曲線が内周の面とされた場合における渦生成部先端の勾配を基準にこれ以下の勾配に設定され、非流線形のケーシングにより渦生成部の背後に強い渦度の負圧領域を生成して内部流れを増速することを主な特徴とする。

[0025] 本発明の非定常流れを利用した内部流れ増速方法は、環状をなしその軸方向断面が非流線形の形状を有するケーシング内に羽根車を設け、周囲を流れる流れを前縁で内外の流れに分割して強制的に流れの剥離を起こし、この剥離によってケーシング後方に渦列を形成し、渦列と渦列ゆらぎによって環状方向にセル構造を有する負圧領域を形成して、ケーシング内を流れる内部流れの流速を増加する非定常流れを利用した内部流れ増速方法であって、ケー

シングの肉厚形成の基準とされる基準線を、軸方向断面において前縁と後縁との間を連絡しかつこの前後縁間のスロート部の位置に凸部を有するサイクロイド曲線とし、ケーシングの半径方向で内周側の面には、スロート部とこのスロート部より後流側に負圧領域を生成するための渦生成部を形成し、さらにこの渦生成部に隣接するスロート側隣接面にはその境界位置に内部流れを剥離させる第2の流出勾配を形成し、かつケーシングの外周側の面には、後縁に外部流れをこの位置で剥離させるための第1の流出勾配を形成して、第1の流出勾配を前縁と後縁とを結ぶ円錐の母線の勾配以上の勾配に設定し、かつ第2の流出勾配は、基準のサイクロイド曲線が内周の面とされた場合における渦生成部先端の勾配を基準にこれ以下の勾配に設定し、非流線形のケーシングにより渦生成部の背後に強い渦度の負圧領域を生成して内部流れを増速することを主な特徴とする。

発明の効果

- [0026] 本発明の非定常流れを利用した流体機械によれば、ケーシングの設計、製造が容易で、ケーシングの形状により流れの中に強くて安定した渦列流れを形成し、出口側のケーシング付近に強い負圧領域を実現して、内部流れを増速することができ、ディフューザの長さが短く、大型化が可能になり、高出力にすることができる。
- [0027] また、本発明の風車によれば、ケーシングの設計、製造が容易で、ケーシングの形状により流れの中に強くて安定した渦列流れを形成し、出口側のケーシング付近に強い負圧領域を実現して、流入する風の風速を増速することができ、ディフューザの長さが短く、大型化が可能になり、高出力にすることができる。
- [0028] そして、本発明の流体機械の内部流れ増速方法によれば、ケーシングの設計、製造が容易で、ケーシングの形状により流れの中に強くて安定した渦列流れを形成し、出口側のケーシング付近に強い負圧領域を実現して、内部流れを増速させることができる。

図面の簡単な説明

- [0029] [図1]本発明の実施例1における流体機械の一部破砕した斜視図
- [図2]本発明の実施例1における流体機械のサイクロイド曲線を基調としたケーシングの軸方向断面図
- [図3] (a) 図1の流体機械の流れを説明する説明図、(b) 図2のケーシングのサイズの説明図
- [図4] 鏝高さ10%・筒長13.7%鏝付きケーシング(%はスロート部内径に対する割合)を備えた流体機械まわりの周方向平均、時間平均した圧力分布図
- [図5]本発明の実施例1におけるサイクロイド曲線を基調としたケーシングを備えた流体機械まわりの周方向平均、時間平均した圧力分布図
- [図6]図4の鏝付きケーシングを備えた流体機械まわりの周方向平均、時間平均した流線図
- [図7]図5のサイクロイド曲線を基調としたケーシングを備えた流体機械まわりの周方向平均、時間平均した流線図
- [図8]本発明の実施例1のサイクロイド曲線を基調としたケーシングと鏝高さ10%・筒長13.7%鏝付きケーシングの形状を比較した説明図
- [図9]鏝高さ10%・筒長13.7%鏝付きケーシングまわりの流れ場における周方向平均・時間平均渦度の分布を数値計算した分布図
- [図10]本発明の実施例1のサイクロイド曲線を基調としたケーシングまわりの流れ場における周方向平均・時間平均渦度の分布を数値計算した分布図
- [図11]本発明の実施例2における流体機械のサイクロイドケーシングの軸方向断面図
- [図12] (a) 風洞実験による風車出力係数の実験結果を示す図、(b) 数値計算による風車出力係数の結果を示す図
- [図13]本発明の実施例2における流体機械のサイクロイドケーシングのスロート部における流速の半径方向分布図
- [図14]本発明の実施例2における流体機械のサイクロイドケーシングのスロート部における圧力の半径方向分布図

[図15] (a) 本発明の実施例2における流体機械に位相制御板を設けた場合と設けない場合と鏝付きケーシングの場合の出力性能を比較した説明図、(b) 位相制御板を設けたケーシングの外観図

[図16] (a) 鏝高さ10%・筒長13.7%鏝付きケーシングの形状を示す図、(b) 本発明の実施例3における流体機械の肉厚裁断端ケーシングの形状を示す図

[図17] 本発明の実施例3における流体機械の肉厚裁断端ケーシングの軸方向断面図

[図18] 図16(a)の鏝高さ10%・筒長13.7%鏝付きケーシングと図16(b)の肉厚裁断端ケーシングを備えた流体機械の出力係数の比較図

[図19] 本発明の実施例3における流体機械の肉厚裁断端ケーシングのスロート部における流速の半径方向分布図

[図20] 本発明の実施例3における流体機械の肉厚裁断端ケーシングのスロート部における圧力の半径方向分布図

[図21] 本発明の実施例3における流体機械の肉厚裁断端ケーシングのスロート部から後流でディフューザのほぼ中間に相当する位置における圧力の半径方向分布図

[図22] 図16(a)の鏝高さ10%・筒長22%鏝付きケーシングの流体機械まわりの時間平均圧力分布図

[図23] 本発明の実施例3における流体機械まわりの時間平均圧力分布図

[図24] 図16(a)の高さ10%・筒長22%鏝付きケーシングまわりの周方向平均・時間平均流線図

[図25] 本発明の実施例3における流体機械の肉厚裁断端ケーシングまわりの周方向平均・時間平均流線図

[図26] 図16(a)の高さ10%・筒長22%鏝付きケーシングまわりの周方向平均・時間平均渦度分布の分布図

[図27] 本発明の実施例3における流体機械の肉厚裁断端ケーシングまわりの流れ場における周方向平均・時間平均渦度の分布を示す分布図

[図28] 図16(a)の10%・筒長22%鍔付きケーシングを備えた流体機械まわりの周方向平均・時間平均した半径方向速度成分の分布図

[図29] 本発明の実施例3における流体機械まわりの周方向平均・時間平均した半径方向速度成分の分布図

[図30] 本発明の実施例4における風車の発電装置内部ブロック構成図

[図31] 本発明の実施例5におけるメッシュを取り付けた風力発電装置の説明図

[図32] 本発明の実施例6における潮流発電装置の外観図

発明を実施するための形態

[0030] 本発明の第1の発明の形態は、環状をなしてその軸方向断面が非流線形の形状を有するケーシングと、ケーシング内のスロート部に配設され軸周りに回転する羽根車を備え、周囲を流れる流れを前縁で内外の流れに分割しかつ強制的に流れの剥離を起こし、この剥離によってケーシング後方に渦列を形成し、渦列と渦列ゆらぎによって環状方向にセル構造を有する負圧領域を形成して、ケーシング内を流れる内部流れの流速を増加する非定常流れを利用した流体機械であって、ケーシングの肉厚形成の基準とされる基準線が、軸方向断面において前縁と後縁との間を連絡しかつこの前後縁間のスロート部の位置に凸部を有するサイクロイド曲線から構成され、ケーシングの半径方向で内周側の面には、スロート部とこのスロート部より後流側に負圧領域を生成するための渦生成部が形成され、さらにこの渦生成部に隣接するスロート側隣接面にはその境界位置に内部流れを剥離させる第2の流出勾配が形成され、かつケーシングの外周側の面には、後縁に外部流れをこの後縁位置で剥離させる第1の流出勾配が形成され、第1の流出勾配は前縁と後縁とを結ぶ円錐の母線の勾配以上の勾配に設定され、かつ第2の流出勾配は、基準のサイクロイド曲線が内周の面とされた場合における渦生成部先端の勾配を基準にこれ以下の勾配に設定され、非流線形のケーシングにより渦生成部の背後に強い渦度の負圧領域を生成して内部流れを増速することを特徴とする非定常流れを利用した流体機械である。この構成によって、ケーシングの設計、

製造が容易であって、ケーシングの形状により流れの中に強くて安定した渦列流れを形成し、出口側のケーシング付近に強い負圧領域を実現して、内部流れを増速することができ、ディフューザの長さが短く、大型化が可能になり、高出力にすることができる。

[0031] 本発明の第2の発明の形態は、第1の発明の形態に従属する形態であって、前縁及び後縁が軸方向断面において半径方向に所定幅の肉厚を有する場合に、渦生成部を含むケーシングの内周側の形状が内周側の前縁及び後縁を連絡した基準のサイクロイド曲線によって構成されることを特徴とする非定常流れを利用した流体機械である。この構成によって、前縁及び後縁が半径方向に所定幅の肉厚を有する場合に、ケーシング内周側の形状がサイクロイドであるためサイクロイドによる好適な渦列生成特性が付与され、ケーシングの設計、製造が容易になる。

[0032] 本発明の第3の発明の形態は、第1の発明の形態に従属する形態であって、ケーシングが所定幅の肉厚を有する板材から構成され、基準線が、前縁と渦生成部先端の間においてスロート部の位置に凸部を有するサイクロイド曲線と、渦生成部先端から後縁の間に渦生成部を形成するための直線または第2の曲線とを備えて前縁と後縁との間を連絡し、前縁と後縁とを結ぶ円錐の母線の勾配が 40° より小さな正の勾配に設定されたことを特徴とする非定常流れを利用した流体機械である。この構成によって、サイクロイド形状のほかに、直線または第2の曲線による第2の部分で渦生成部を形成し易く、好適な渦列生成特性を容易に付与でき、ケーシングの設計、製造が容易になり、流体機械の軽量化が行える。

[0033] 本発明の第4の発明の形態は、第1の発明の形態に従属する形態であって、非流線形の形状が軸方向断面において肉厚が漸増漸減又は漸増急減する形状に形成され、その内周側の一部又は全部の形状が基準のサイクロイド曲線から構成されていることを特徴とする非定常流れを利用した流体機械である。この構成によって、肉厚が漸増漸減又は漸増急減する場合に、ケーシング内周側の一部又は全部の形状がサイクロイド形状の肉厚を有しているためサ

イクロイドによる好適な渦列生成特性が付与され、ケーシングの設計、製造が容易になる。

[0034] 本発明の第5の発明の形態は、第2の発明の形態に従属する形態であって、前縁と後縁のうち後縁のみが軸方向断面において半径方向に所定幅の肉厚を有する場合に、渦生成部がこの所定幅のリング状の平面であることを特徴とする非定常流れを利用した流体機械である。この構成によって、サイクロイドによる好適な渦列生成特性と共に、渦生成部がリング状の平面のため負圧領域が内部流れ側に寄り、渦生成部背後に強い負圧領域を実現して、内部流れを増速することができる。

[0035] 本発明の第6の発明の形態は、第1の発明の形態に従属する形態であって、渦生成部に流れの渦列ゆらぎの位相を揃える位相制御板が複数設けられたことを特徴とする非定常流れを利用した流体機械である。この構成によって、サイクロイドによる好適な渦列生成特性と共に、確実に周方向に渦形成がゆらぐ位相を揃えて流れのセル構造を明確化でき、出口側のケーシング付近に強い負圧の負圧領域を実現して、内部流れを増速することができる。

[0036] 本発明の第7の発明の形態は、第1～第6の何れかの発明の形態に従属する形態であって、羽根車には、該羽根車の回転力を電気力に変換する発電装置が連結されていることを特徴とする非定常流れを利用した流体機械である。この構成によって、ケーシングの形状によって高出力の発電が行える。

[0037] 本発明の第8の発明の形態は、第1～第7の何れかの発明の形態に従属する形態であって、ケーシングに導体製のメッシュが装着されたことを特徴とする非定常流れを利用した流体機械である。この構成によって、ケーシングの形状によって流れを安定化すると共に、ドップラーレーダーからの流体機械の電磁波遮断効果が期待できる。

[0038] 本発明の第9の発明の形態は、環状をなしてその軸方向断面が非流線形の形状を有するケーシングと、ケーシング内のスロート部に配設され軸周りに回転する羽根車を備え、周囲を流れる流れを前縁で内外の流れに分割しかつ強制的に流れの剥離を起こし、この剥離によってケーシング後方に渦列を形

成し、渦列と渦列ゆらぎによって環状方向にセル構造を有する負圧領域を形成して、ケーシング内を流れる内部流れの流速を増加する風車であって、ケーシングの肉厚形成の基準とされる基準線が、軸方向断面において前縁と後縁との間を連絡しかつこの前後縁間のスロート部の位置に凸部を有するサイクロイド曲線から構成され、ケーシングの半径方向で内周側の面には、スロート部とこのスロート部より後流側に負圧領域を生成するための渦生成部が形成され、さらにこの渦生成部に隣接するスロート側隣接面にはその境界位置に内部流れを剥離させる第2の流出勾配が形成され、かつケーシングの外周側の面には、後縁に外部流れをこの後縁位置で剥離させる第1の流出勾配が形成され、第1の流出勾配は前縁と後縁とを結ぶ円錐の母線の勾配以上の勾配に設定され、かつ第2の流出勾配は、基準のサイクロイド曲線が内周の面とされた場合における渦生成部先端の勾配を基準にこれ以下の勾配に設定され、非流線形のケーシングにより渦生成部の背後に強い渦度の負圧領域を生成して内部流れを増速することを特徴とする風車である。この構成によって、ケーシングの設計、製造が容易で、ケーシングの形状により流れの中に強く安定した渦列流れを形成し、出口側のケーシング付近に強い負圧領域を実現して、内部流れを増速することができ、ディフューザの長さが短く、大型化が可能になり、高出力にすることができる。

[0039] 本発明の第10の発明の形態は、第9の発明の形態に従属する形態であって、前縁及び後縁が軸方向断面において半径方向に所定幅の肉厚を有する場合に、渦生成部を含むケーシングの内周側の形状が内周側の前縁及び後縁を連絡した基準のサイクロイド曲線によって構成されることを特徴とする風車である。この構成によって、前縁及び後縁が半径方向に所定幅の肉厚をする場合に、ケーシング内周側の形状がサイクロイドであるためサイクロイドによる好適な渦列生成特性が付与され、ケーシングの設計、製造が容易になる。

[0040] 本発明の第11の発明の形態は、第9の発明の形態に従属する形態であって、ケーシングが所定幅の肉厚を有する板材から構成され、基準線が、前縁

と渦生成部先端の間においてスロート部の位置に凸部を有するサイクロイド曲線と、渦生成部先端から後縁の間に渦生成部を形成するための直線または第2の曲線とを備えて前縁と後縁との間を連絡し、前縁と後縁とを結ぶ円錐の母線の勾配が 40° より小さな正の勾配に設定されたことを特徴とする風車である。この構成によって、サイクロイド形状のほかに、直線または第2の曲線による第2の部分で渦生成部を形成し易く、好適な渦列生成特性を容易に付与でき、ケーシングの設計、製造が容易になり、流体機械の軽量化が行える。

[0041] 本発明の第12の発明の形態は、第9の発明の形態に従属する形態であって、非流線形の形状が軸方向断面において肉厚が漸増漸減又は漸増急減する形状に形成され、その内周側の一部又は全部の形状が基準のサイクロイド曲線から構成されていることを特徴とする風車である。この構成によって、肉厚が漸増漸減又は漸増急減する場合に、ケーシング内周側の一部又は全部の形状がサイクロイド形状の肉厚を有しているためサイクロイドによる好適な渦列生成特性が付与され、ケーシングの設計、製造が容易になる。

[0042] 本発明の第13の発明の形態は、第10の発明の形態に従属する形態であって、前縁と後縁のうち後縁のみが軸方向断面において半径方向に所定幅の肉厚を有する場合に、渦生成部がこの所定幅のリング状の平面であることを特徴とする風車である。この構成によって、サイクロイドによる好適な渦列生成特性と共に、渦生成部がリング状の平面のため負圧領域が内部流れ側に寄り、渦生成部背後に強い負圧領域を実現して、内部流れを増速することができる。

[0043] 本発明の第14の発明の形態は、第9の発明の形態に従属する形態であって、渦生成部に流れの渦列ゆらぎの位相を揃える位相制御板が複数設けられたことを特徴とする風車である。この構成によって、サイクロイドによる好適な渦列生成特性と共に、確実に周方向に渦形成がゆらぐ位相を揃えて流れのセル構造を明確化でき、出口側のケーシング付近に強い負圧の負圧領域を実現して、内部流れを増速することができる。

- [0044] 本発明の第15の発明の形態は、第9～第14の何れかの発明の形態に從属する形態であって、羽根車には、該羽根車の回転力を電気力に変換する発電装置が連結されていることを特徴とする風車である。この構成によって、ケーシングの形状によって高出力の発電が行える。
- [0045] 本発明の第16の発明の形態は、第9～第15の何れかの発明の形態に從属する形態であって、ケーシングに導体制のメッシュが装着されたことを特徴とする風車である。この構成によって、ケーシングの形状によって流れを安定化すると共に、ドップラーレーダーからの風車の電磁波遮断効果が期待できる。
- [0046] 本発明の第17の発明の形態は、環状をなしその軸方向断面が非流線形の形状を有するケーシング内に羽根車を設け、周囲を流れる流れを前縁で内外の流れに分割して強制的に流れの剥離を起こし、この剥離によってケーシング後方に渦列を形成し、渦列と渦列ゆらぎによって環状方向にセル構造を有する負圧領域を形成して、ケーシング内を流れる内部流れの流速を増加する非定常流れを利用した内部流れ増速方法であって、ケーシングの肉厚形成の基準とされる基準線を、軸方向断面において前縁と後縁との間を連絡しかつこの前後縁間のスロート部の位置に凸部を有するサイクロイド曲線とし、ケーシングの半径方向で内周側の面には、スロート部とこのスロート部より後流側に負圧領域を生成するための渦生成部を形成し、さらにこの渦生成部に隣接するスロート側隣接面にはその境界位置に内部流れを剥離させる第2の流出勾配を形成し、かつケーシングの外周側の面には、後縁に外部流れをこの位置で剥離させるための第1の流出勾配を形成して、第1の流出勾配を前縁と後縁とを結ぶ円錐の母線の勾配以上の勾配に設定し、かつ第2の流出勾配は、基準のサイクロイド曲線が内周の面とされた場合における渦生成部先端の勾配を基準にこれ以下の勾配に設定し、非流線形のケーシングにより渦生成部の背後に強い渦度の負圧領域を生成して内部流れを増速することを特徴とする非定常流れを利用した内部流れ増速方法である。この構成によって、ケーシングの設計、製造が容易で、ケーシングの形状により流れの中に強く

て安定した渦列流れを形成し、出口側のケーシング付近に強い負圧の負圧領域を実現して、外部流れで内部流れを増速させることができる。

実施例 1

[0047] 以下、本発明の実施例 1 における非定常流れを利用した流体機械、とくに風車について、また流体機械の内部流れ増速方法について説明をする。しかし、水車など、その他の流体機械でも基本的に同様である。

[0048] 図 1 は本発明の実施例 1 における流体機械の一部破砕した斜視図、図 2 は本発明の実施例 1 における流体機械の前縁と後縁の間に設けられたサイクロイド曲線を基調とした厚さのあるケーシングの軸方向断面図を示し、図 3 は図 1 の流体機械の流れを説明する説明図である。

[0049] 図 1、図 2、図 30 に示すように、本発明の実施例 1 における流体機械は風車 1 であって、発電用の発電機が連結されている（図 30 参照）。風車 1 の羽根車 3 が回転することにより発電機を駆動して運動エネルギーを電気エネルギーに変換する。詳細は後述する。風車 1 は、風によって軸まわりに回転される羽根車 3 と、環状で各軸方向断面が非流線形の形状を有すると共に、全体の形も非流線形で羽根車 3 のまわりを囲って風を内外流に分割するディフューザタイプのケーシング 2 を備えている。

[0050] 風車 1 は、風の方向の断面内では、羽根車 3 がその先端の回転面とケーシング 2 との小さな間隙を介してケーシング 2 内に配置され、風車 1 の軸方向では環状の形状となる。実施例 1 のケーシング 2 はディフューザタイプ（拡開形状）であり、ディフューザタイプにされた理由は羽根車 3 先端部分の流速がスロート部 2 a（ケーシング 2 の最小断面積の部分）で最大となり、ノズルタイプ（縮小形状）よりコンパクトな構造になるからである。前縁 2 b からスロート部 2 a まで流入部となり、徐々に流路断面積が絞られ、加速される。スロート部 2 a から後縁 2 d まで流路断面積が拡大され、減速される。

[0051] ところで従来の風車 1 においては、このスロート部 2 a が相対的に前縁 2 b にかかなり近寄った間隔で配置され、ここに羽根車 3 が置かれ、後流側のデ

ィフューザ部分が強調された形状をしていた。従って、このディフューザは長手方向にかなり長い形状となる。これでは風車 1 のコンパクト化は図れない。

[0052] これに対し、実施例 1 におけるケーシング 2 は非流線形の形状を備え、周囲を流れる流れをケーシング 2 で内外の流れに分割して強制的に流れを剥離させ、これによって後方に渦列を形成し、この渦列と渦列ゆらぎによってケーシング 2 の背後で環状方向にセル構造を有する強い負圧の負圧領域を形成して、この負圧領域の作用でケーシング 2 内を流れる内部流れの流速を増加するものである。そして、この渦列の渦の強さを強くして負圧領域をより一層低圧化するため、ケーシング 2 の形状を最良にしようと試みるものである。

[0053] 図 1、図 2、図 3 に示すように、このケーシング 2 の軸方向断面には、スロート部 2 a より後流側のケーシング 2 の内周面 2 0 1 に内部流れを表面から剥離させるための渦生成面 2 c (本発明の実施例 1 における渦生成部) が設けられている。ケーシング 2 の入口の開口から流入した内部流れは、スロート部 2 a 付近から境界層が発達し、内周面 2 0 1 上にある渦生成部先端 2 e で剥離する。剥離した内部流れは、外周面 2 0 2 の後縁 2 d で剥離した外部流れと共に、ケーシング 2 の後方で巻き込みを生じ、後流にカルマン渦状の渦列 v (図 3 (a) 参照) を形成する。この渦列 v とその渦列ゆらぎによって渦生成面 2 c の背後で羽根車 3 側に寄った環状方向に並ぶ強い渦度の負圧領域 S (図 3 (a) 参照) を形成し、ケーシング 2 内を流れる内部流れを増速させる。

[0054] 以下、この渦列とその渦列ゆらぎによって形成されるセル構造の負圧領域 S について説明する。渦列は、図 3 (a) のようにケーシング 2 の後流側に非定常的 (交互) に生成される。すなわち、図 3 (b) に示すようなケーシングの形状を仮定すると、ケーシング 2 のスロート部 2 a の内径 d に対して渦生成面 2 c の径方向の高さ h が十分小さい ($h/d \ll 1$) ときは、あるタイミングで形成された渦列によって、複数個の渦列ゆらぎスケールのサイズ

をもつ負圧領域Sのセルが渦生成面2cの背後に環状に形成される。この領域の渦度が強まると負圧が一層低下する。なお、このときの筒長（ケーシング軸方向長さ）が L_t である。

[0055] ケーシング2の内外の流れはケーシング2の外周面、内周面のそれぞれの剥離点で剥離し、下流の周方向の各断面でカルマン渦を形成する。そして、その断面、断面での渦形成には円周方向において強い渦形成、弱い渦形成とゆらぎ（むら）が存在する。この強い渦形成、弱い渦形成が出現する周方向の範囲は、2次元円柱の軸方向の渦列ゆらぎスケール（ $3d_o \sim 4d_o$ 、ここで d_o ：円柱直径）よりやや小さい規模であり、ケーシング2の主流から見たドーナツ状の各断面の投影幅をD（渦生成面高さhを含む）とすると（図3（b）参照）、その円周方向の渦列ゆらぎスケールは $2D \sim 3D$ となる。これは2次元円柱が円環状に閉じて3次元形状になっていることに対応し、定量的にも裏付けられる。

[0056] セルの数をN、ケーシング2の内径をdとすると、2次元の場合のアスペクト比（縦横比）に対応する $\{\pi \cdot (d+D) \cdot D / D \cdot N\} = \pi \cdot (d+D) / N$ が渦列ゆらぎスケールとなる。上記した $2D \sim 3D$ は、Nが12個の場合、 d/h が大体6～12程度の値に相当する。従って、通常の流体機械においては、各領域がバラバラに安定化する渦列の場合（ $h/d \ll 1$ ）と、一対セルを同時に安定化する渦列の場合（hとdが同じオーダー）、の両方が存在する可能性がある。

[0057] 強い渦形成が起きた負圧領域のセルが強い渦度の負圧領域Sとなる。流れではゆらぎのためセルの何れかが独立して強くなったり、弱くなったりする。このセルは互いに入れ替わる。強い渦度の負圧領域Sの形成によって、この付近の周囲を低圧化して、圧力差で内部流れの流速を向上させる。これにより羽根車3は高速回転し、風車1として高トルクの駆動力を出力することができ、高出力の発電を行うことができる。通常の風車1では、ケーシング2のスロート部2aの内径dに対して渦生成面2cの径方向の高さhが十分小さいという条件（ $h/d \ll 1$ ）が満たされることが多い。

- [0058] ケーシング 2 のスロート部 2 a の内径に対して渦生成体 2 c の径方向の高さがオーダ的に変わらないときは (h と d が同じオーダのとき、 $h/d \sim 1$)、各セルの中でケーシング 2 としての一断面を構成するセル同士の関連性が強まり、対角線上で一對をなすセルで強い渦度の負圧領域 S が形成されるようになる。この場合も、ケーシング 2 の流出口付近は低圧で安定し、圧力差で内部流れの流速を向上させることができる。
- [0059] しかし、このような強い渦度の負圧領域 S を含む流れは容易にはつくれない。というのは、単純にケーシング 2 を非流線形にただけでは、徒に圧力損失を招き、渦列の渦の強さは強くなり、強い負圧の負圧領域 S は明確に現れないからである。理想とするケーシングは、できるだけ流れに無用な損失を起こさせることがなく、強い渦の渦流れと、強い負圧の負圧領域 S をつくれる形状でなければならない。
- [0060] ところで、風車 1 に抵抗体となる羽根車 3 がなければ、流れに剥離がないと想定するポテンシャル流で解析でき、この場合、ケーシング 2 の内周面 2 0 1 に沿って流れる流れがスロート部 2 a 付近で最大の流速を示す。
- [0061] しかし、実施例 1 の風車 1 においては、ケーシング 2 のスロート部 2 a に回転する羽根車 3 という抵抗体がある。このため、この抵抗に打ち克ってスロート部 2 a で最も増速させるための最適形状を見出す必要がある。上記した理想のケーシングにはこのような難しい制約が加わるものである。本発明のケーシングとは、羽根車 3 という抵抗体を存在させたときに、無用な圧力損失を招かず、渦列形成のためだけに有効な剥離を起こさせる構造であって、結果としてスロート部付近の内部流れを増加する低圧の負圧領域 S を形成する形状である。
- [0062] 本発明者らは、従来、渦生成面 2 c を鰐にするなど様々な形状を試みた。しかし、これらの形状は改善の余地があるように感じていた。そして、試行錯誤し、比較検討して、最短降下線と知られるサイクロイドが理想のケーシングの条件を十分に満足する形状であるとの知見を得た。以下、サイクロイド曲線を基調とするケーシング（以下、サイクロイド形状のケーシングある

いはサイクロイドケーシングともいう)について一般的に説明し、サイクロイド自体で内周面が構成されたケーシングの渦形成特性については、後記する実施例2、3において詳述する。なお、サイクロイド曲線を基調にするケーシングとは、ケーシングの肉厚が無視できる場合にはその曲線を母線とする回転体のケーシングのことであり、肉厚がある場合は基準線(肉厚が無視できる場合の母線に相当する)に対して肉厚が付与される回転体のケーシングのことを意味する。

[0063] 図4はスロート部の直径 d に対して筒長(ケーシング軸方向長さ) $13.7\%d$ で、 $10\%d$ の高さ h の鰐(渦生成面)をもつ鰐付きケーシング($L_t/d=0.137$, $h/d=0.1$ 、以下、鰐高さ $10\% \cdot$ 筒長 13.7% 鰐付きケーシングという)を備えた風車1まわりの周方向平均、時間平均した圧力分布であり、図5はサイクロイドケーシングを備えた風車1まわりの周方向平均、時間平均した圧力分布である。数値計算は、九大応用力学研究所で開発したリアムコンパクト(RIAM-COMPACT)数値シミュレータを使用し、乱流モデルの最先端であるラージ・エディ・シミュレーション法(LARGE-EDDY-SIMULATION、通称LES法)を採用した高レイノルズ数解析ソフト、および一切乱流モデルを使用しない直接数値計算(DIRECT NUMERICAL SIMULATION、通称DNS法)をともに使って計算した。ここで示す図の計算結果はDNS法によるものである。LES法は参照用に使用した。なお、鰐付きケーシングとサイクロイドケーシングの形状の詳細は図8のとおりである。図8は数値計算のための鰐高さ $10\% \cdot$ 筒長 13.7% 鰐付きケーシングとサイクロイドケーシングの形状を比較した図である。

[0064] 図8において、両ケーシングは $x/d=-0.05$ の位置に前縁を有し、 $x/d=0.00$ の位置にスロート部が形成され、後流側の $x/d=0.09$ 近傍まで一致した形状になっている。しかし、 $x/d=0.09$ 付近で、鰐付きケーシングは高さ $h=10\%d$ (r/d の幅では 0.10 相当)の鰐が軸に垂直に形成される。これに対し、サイクロイドケーシングではこの位

置から鰐の高さ h と同じ高さになるまでサイクロイド形状が延長されている。ここで d はスロート部の直径であり、 h は渦生成面 $2c$ の径方向の高さ h である。鰐付きケーシングでは $L_t = 0.137d$ であり、 $h = 0.0137d$ となる。また、サイクロイドケーシングでは $L_t = 0.17d$ と若干長くなる。このように鰐付きケーシングは、後端に鰐を設けてディフューザ出口の外径を大きくした形状であるが、サイクロイドケーシングはその形状を鰐付きケーシングの鰐外径までサイクロイド形状を延長して、ケーシングそのものにより鰐との一体化を図ったものである。

[0065] 図4によれば、鰐の前面側に高圧の領域が形成され、鰐の先端の後流側にそれほど低圧ではない負圧領域が形成されているのが分かる。これに対し、図5によれば、サイクロイド形状のケーシング2の圧力分布は無用な高圧部分がなく、きわめて円滑でユニークな流れで、ケーシング2の背面の後縁付近からスロート部側に食い込むような負圧領域が形成されている。つまり、ケーシングがサイクロイド曲線で構成されているため、スロート部で流れが絞られ、その後流側では膨張するが、この間の流体粒子は最短降下線で構成された面に沿って、いわば最小時間の経路で流れるため、平均的にこの間のゆらぎの量、変動が小さく、きわめて円滑な流れとなって安定して剥離し、一旦剥離点に到達すると強い循環をもつ安定した二次流れを後流側から引き込むことができ、強い負圧領域を形成する。これによれば、鰐高さ $10\% \cdot$ 筒長 13.7% 鰐付きケーシングは圧力損失が大きく、負圧領域の作用は小さいが、サイクロイドケーシングの場合、流体抵抗は小さく、負圧領域が強く負圧化しており、内部流れへの作用が強いことが見て取れる。

[0066] 図6は図4の鰐付きケーシングを備えた風車1まわりの周方向平均、時間平均した流線の説明図であり、図7は図5のサイクロイドケーシングを備えた風車1まわりの周方向平均、時間平均した流線の説明図である。これによれば、同じく非流線形状ではあっても、鰐付きケーシングまわりの流れはケーシングの存在で主流が乱されて後方に膨らみ不安定な領域をもつ流れと分かる。流れは鰐のためここで堰き止められている。これに対し、サイクロイ

ドケーシングの流れは主流がケーシングに乱されることなく、ケーシング背後に強い負圧領域の渦を形成している。また、サイクロイド形状では、ケーシング2の後縁での上面で流れの飛び出しが滑らかで速いことが分かる。鏝のようなケーシングによる堰き止めがないためである。

[0067] 従って、形状をサイクロイド曲線にすると、ケーシング2の渦生成面2cが過度に切り立った形状となることなく、必要以上に流れを乱さない適度な非線形状となり、かつ流れの後縁からの飛び出し角がより内側向きになる。しかも、渦生成面2cの背後の、ケーシング軸方向長さの1倍～2倍程度の範囲で円滑に内外流れが時間平均的に合流するようになる。これにより、強い負圧領域の渦が渦生成面2cの直ぐ近傍に形成され、この作用でスロート部2aの流速を増加し、風車出力を増加させる。

[0068] さらに、図9は鏝高さ10%・筒長13.7%鏝付きケーシングまわりの流れ場における周方向平均・時間平均渦度の分布を数値計算したものである。図9の鏝高さ10%・筒長13.7%鏝付きケーシングの場合、強い渦度の部分が羽根車先端付近の後流側で薄く、長く延びた領域となって形成されているのが分かる。これに対し、図10はサイクロイドケーシングまわりの流れ場における周方向平均・時間平均渦度の分布を数値計算したものである。図10によれば、サイクロイドケーシングでは渦生成面の背後に接近して風車出口付近にきわめて強い渦度の領域が形成されている。渦度が強ければ負圧が増し、周囲の流れの流速を増大する。

[0069] 他の形状のケーシングと比較したとき、負圧領域の低圧化、明確化、流れの安定化及び円滑化に関して、サイクロイドケーシングは図5、図7、図9で分かるようにきわめて明瞭に優れた特性を有する。強い渦度の負圧領域がケーシング軸方向長さの1倍～2倍の範囲で後流側に形成される渦列流れは他の形状のケーシングでは形成できない特有の特性である。これらの結果はサイクロイドケーシングが非定常流れに大きく寄与する可能性を示している。以上のことから、サイクロイド形状が非定常流れを利用した流体機械にとって理想に近い、最適か若しくはそれに近い形状といえることができる。

- [0070] 以上のことから、風車1のケーシング2の形状を決定する場合に、サイクロイド曲線を基準にしてケーシング形状を構成すればよいことが分かる。すなわち、肉厚を無視できるような場合は、上記したサイクロイド曲線を母線とするサイクロイドケーシングをそのまま使えばよく（詳細は実施例2参照）、薄肉ではあるが無視できない肉厚があるケーシングの場合は、上記した基準となるサイクロイド曲線を基にケーシングの骨格となる形状を決め、サイクロイドケーシングに近い形状に肉付けすればよい。
- [0071] ここで、基準のサイクロイド曲線は、軸方向断面において前縁2bと後縁2dとの間を連絡しかつこの前後縁間のスロート部2aに対応して形成される凸部を有するサイクロイド曲線でなければならない。サイクロイド曲線は両端とこの間の最大値または最小値の位置で形が定まるからである。サイクロイドケーシングに肉付けした場合も、サイクロイドケーシングを基準にすれば、サイクロイド形状による渦形成特性と同等の渦列形成特性を示す。
- [0072] 以下、このサイクロイド曲線を基調とする非流線形のケーシング形状を決める方法について説明する。図2は前縁と後縁の間に設けられたサイクロイド曲線を基調とした厚さのあるケーシングの軸方向断面である。図2においては、ケーシング2は軸方向断面の肉厚が漸増漸減する三日月状であって、前縁2bから後縁2dに向けてある勾配で拡開した回転体である。図2の前縁2bと後縁2dとを結ぶ円錐の母線の勾配 n が拡開角 β である。すなわち円錐状で環状の回転体となっている。このケーシング2の骨格を決める基準となる基準線（肉厚が無視できる場合の母線）が前縁2bと後縁2dとを連絡するサイクロイド曲線 m である。実施例1の風車1ではスロート部2aが形成されるため、サイクロイド曲線 m は図2に示すような凸部A'（図2の断面においては最小値）をもったものとなる。凸部A'の位置は内周面201の最小断面積となる凸部Aの位置と軸方向位置が同一である。なお、回転体の断面の向きにより、凸部Aと凸部A'は最小値とも最大値ともなる。
- [0073] 図2の軸方向断面においては、ケーシング2の内周面201の形状は、サイクロイド曲線 m 沿って漸増漸減するように肉付けされ、半径でいえば、前

縁 2 b からスロート部 2 a をまで徐々に半径を減少し、スロート部 2 a から半径を増加して後縁 2 d に至る湾曲した形状となっている。内周面 2 0 1 の後縁 2 d から所定長さの範囲が渦生成面 2 c を形成する母線となるラインである。肉厚が無視できるサイクロイド形状が最も好適であり、できるだけ内周面 2 0 1 はサイクロイド曲線 m に接近させた薄肉形状がよい。この渦生成面 2 c の内径側の端点が渦生成部先端 2 e となる。内周面 2 0 1 の渦生成面 2 c との隣接面にはその前縁側の境界位置（内周面 2 0 1 の位置とすれば渦生成部先端 2 e）に内部流れを剥離させる流出勾配が形成される。内部流れはスロート部 2 a 付近から除所に境界層が発達し、渦生成面 2 c の存在により流れは渦生成部先端 2 e で剥離する。内周面 2 0 1 は通常渦生成部先端 2 e において勾配が不連続に変わる形状になる。しかし、内周面 2 0 1 がサイクロイド曲線を母線とするサイクロイド形状の場合はその形状の後流側の一部分をそのまま渦生成面 2 c とするだけで渦生成面 2 c となり（すなわち、サイクロイド曲線の剥離点後の一部分を剥離点前と同様にそのまま渦生成面 2 c とする）、渦生成部先端 2 e において剥離する。剥離した内部流れは同じく剥離した外部流れと共に、図 3（a）のようにケーシング 2 の後方で巻き込み、後流に渦列を形成し、渦生成面 2 c の直ぐ後ろに強い渦度の負圧領域を形成する。

[0074] 図 2 の軸方向断面では、渦生成部先端 2 e の直近上流側の内周面（本発明の実施例 1 における隣接面）に内部流れを剥離させるための流出勾配 $\theta 2$ が設けられる。すなわち、渦生成部先端 2 e の直近上流側に接線 p 方向の傾斜面を形成して、流れの剥離を促す。この流出勾配 $\theta 2$ は、内周面 2 0 1 がサイクロイド曲線 m のときに剥離が起きる渦生成部先端 2 e の勾配を基準にし、これ以下の勾配に設定すればよい。サイクロイド曲線 m の場合が基準であり、肉付けするときはこの基準値 θm 未満の勾配となる。すなわち、ケーシングに対して肉付けする場合には、サイクロイド曲線 m の結果を利用してそれに沿って肉付けすることになる。このためサイクロイド形状の場合の剥離点（渦生成部先端 2 e、回転体でいえば環状の剥離線）の位置、その勾配と

風速 U との関係を予め取得しておき、これを基に設計風速 U での流出勾配 θ_2 を設定する。肉付けされた内周側ではサイクロイド曲線 m より曲率半径が大きくなり、これに伴って剥離点（渦生成部先端 $2e$ ）が後縁側へ移動するため、流出勾配 θ_2 は基準値 θ_m 未満の勾配となる（ $\theta_2 < \theta_m$ ）。このときの内周面と渦生成部先端 $2e$ の位置、勾配 θ_2 の正確な関係は実験に基づいて求めるのがよいが、数値計算などで求める場合は、内周面の境界層において流れの壁面せん断応力が 0 になる点などを求めて剥離点とする。例えば、流れの中に壁面方向に沿って x 、この法線方向を y とする座標系を仮定したとき、その流れの流速を u とすると、せん断応力は $\mu \, du/dy$ （ μ は流体の粘性係数）であるから、法線方向の速度勾配がゼロになる $du/dy = 0$ （ $y = 0$ において）の点を求めて剥離点とする。数値計算でこの点を容易に計算することができる。なお、流出勾配 θ_2 を小さくすると渦生成部先端 $2e$ はスロート部側に近づき、大きくすると後縁側に近づく。

[0075] ところで、剥離点（渦生成部先端 $2e$ ）の位置は風速 U の影響を受ける。実際の流れの中では、流出勾配 θ_2 の多少の違いは自然風の風速の変化の中で吸収される。発電等の風車 1 の出力が行われるときに、渦生成部先端 $2e$ において流れを剥離できる流出勾配 θ_2 であればよい。サイクロイド形状の勾配を基準にしてこの基準の勾配以下にすれば、予定した渦生成部先端 $2e$ あるいはその付近で流れを剥離させ、強い渦の渦列を生成することができる。

[0076] さらに、サイクロイド曲線 m の後縁 $2d$ の勾配 α を基に、流出勾配 θ_2 をサイクロイドから定まる α 未満の所定の勾配（ $\theta_2 < \alpha < 90^\circ$ ）に設定することで（例えば α の一次関数や冪関数で対応させて設定）、この α との対応付けにより簡便に内部流れを内周面 201 から剥離させる勾配に設定することができる。垂直近く屈曲している場合は、後述する実施例 3 の漸増裁断端型（バナナ型断面）の勾配 α に近い値を採用すればよい（図 7 参照）。

[0077] ここで、サイクロイド曲線 m を基準線にして肉厚を付与したときの薄肉ケーシング形状の肉厚について説明する。薄肉ケーシングは全体として一方へ

ラッパ状に拡開する形状の回転体となる。このサイクロイド曲線 m を基準線とする回転体ケーシングの一断面において、図3(b)に示すように薄肉ケーシングの内表面を示す線を内側曲線 i とし、外表面を示す線を外側曲線 k とし、サイクロイド曲線 m と内側曲線 i のスロート部の内側肉厚を Δ_i とする。また、サイクロイド曲線 m と外側曲線 k のスロート部の外側肉厚を Δ_k とする。従って、薄肉ケーシングの内側曲線 i のスロート部の直径、すなわちケーシング2の内周径は $d = d_m - 2\Delta_i$ となる。なお、 d_m はサイクロイド曲線 m のスロート部での直径である。

[0078] ところで、軸方向断面において薄肉形状の内側曲線 i は次の条件(1)(2)を充たす。すなわち、(1)内側曲線 i は前縁2bにおいてサイクロイド曲線 m と交差する。(2)内側曲線 i もサイクロイド曲線 m のスロート部の軸方向同一位置のスロート部で極小値または極大値をもつ。さらに(3)内側曲線 i はサイクロイド曲線 m と後縁2dにおいて交差する条件を加えるのが設計を容易にする。そして内側曲線 i にはその線上の渦生成部先端2eから後縁2dを直線や曲率の小さな曲線などで結んで渦生成面2cを形成する。

[0079] この内側曲線 i は、例えば2次関数や、3次以上の高次の冪関数、三角関数などの、前縁2bと後縁2dの間に極大値または極小値を有し、条件(1)(2)、さらに場合により(3)を満たす凸関数または凹関数を使って表現できる。そして、スロート部では内側肉厚 Δ_i と外側肉厚 Δ_k とにより全体で肉厚 Δ の形状になる。そしてスロート部の内側肉厚 Δ_i が薄肉ケーシングの内側肉厚が最大となる厚さである。この凸関数または凹関数はスロート部まで単調に滑らかに増加あるいは減少し、スロート部からは逆に単調に滑らかに減少または増加する関数であればよい。

[0080] さて、肉厚が無視できるサイクロイドケーシング内の流れと、サイクロイド曲線 m を基準線にした薄肉ケーシング内の流れが流体力学的にほぼ同視できる流れを形成する条件を以下検討する。

[0081] 肉厚が無視できるサイクロイドケーシングと薄肉ケーシングでは、形状の

骨格は何れも同じサイクロイド曲線 m であって共通する。薄肉ケーシングの肉厚が薄肉であることを考慮すると流路はほぼ同じになり、ごく微視的な流れを除きほとんど同じ流れになる。この2つの流路においては、レイノルズ数 $Re = LU/\nu$ が同じであれば、流れはほぼ一致した流れのパターンを示すと考えられる。ここに L は代表寸法、 U は代表流速、 ν は動粘性係数である。

[0082] サイクロイド曲線 m の回転体として構成された内部流路の流路面積 A はスロート部において $\pi d_m^2/4$ であり、内側曲線 i の回転体として構成された流路面積 A_i はスロート部において $\pi d^2/4 \doteq \pi (d_m^2 - 4 \Delta_i d_m)/4$ となる。従って、流路面積 A を通過する流量を Q 、流速を U とすると $Q = AU$ となり、この同一流量 Q が流速 U_i で流路面積 A_i を流れるとすると、 $Q = A_i U_i$ の関係があるから、 $U_i = U (d_m^2 / (d_m^2 - 4 \Delta_i d_m)) \doteq U (1 + 4 \Delta_i / d_m) \doteq U (1 + 4 \Delta_i / d)$ と表される。

[0083] すなわち、サイクロイド曲線 m の回転体の流れではレイノルズ数は $Re = dU/\nu$ であり、内側曲線 i の回転体の流れでは $Re' = d_i U_i / \nu \doteq Ud (1 + 2 \Delta_i / d) / \nu$ となる。

[0084] 風車のレイノルズ数を考えると、例えば5 kWの風車の直径 $d = 1$ m、平均的な風速5 m、動粘性係数 ν (25°C)は 15×10^{-6} であるから、 Re は $Re = 3.3 \times 10^5$ 程度となる。実用化されている風車は直径がこれよりかなり大きいため $Re = 10^6$ 以上になるのが一般的である。そして、共通の流路において、 $Re = 10^5$ 程度またはそれ以上の2つのレイノルズ数が1000異なっても、通常流れに本質的な変化は起きない。というのは、層流から乱流へ流れの性質が大きく変化するレイノルズ数が3000程度の値であって、これよりレイノルズ数がかなり大きな流れにおいてレイノルズ数が1%異なっても大きな影響を与えないからである。

[0085] すなわち、 $Re = 10^5$ 程度またはそれ以上の流れでは、 $(Re' - Re) / Re < 10^{-2}$ 程度であれば、この違いが風車周りの2つの流れのパターンに差を生じさせるおそれはほとんどない。上記した薄肉ケーシングでは、こ

れは $(R e' - R e) / R e = 2 \Delta_i / d < 10^{-2}$ に相当し、半径に対する内側肉厚の比が 1% 以下と言い換えることができる。例えば $d = 1000 \text{ mm}$ に対して、 $\Delta_i < 5 \text{ mm}$ であれば薄肉ケーシングにしてもサイクロイドケーシングと同等の流れを形成できる。直径 $d = 1000 \text{ mm}$ に対し筒長 10% は筒長 $L_t = 100 \text{ mm}$ を意味するから、この場合 $\Delta_i / L_t = 5 / 100 = 0.05$ となる。外側肉厚の Δ_k を例えば Δ_i と同一厚さとすると、薄肉ケーシングの厚さ Δ は $2 \Delta_i$ になる。このとき $\Delta / L_t = 0.1$ となる。 Δ_i はより薄い厚さの方がサイクロイドケーシングに近付くため、薄肉ケーシングの全体の厚さ Δ は L_t に対して 10% 程度、もしくはそれより薄い肉厚が、流れのパターン変化させない薄肉ケーシングといえることができる。なお、 Δ_i は 0 でもよく、このときサイクロイド曲線 m そのもので内側曲線 i が構成されることになる。また、無視できる肉厚の場合は、内側曲線 $i \doteq$ サイクロイド曲線 $m \doteq$ 外側曲線 k と言い換えることができる。

[0086] 次に、ケーシング 2 の外周面 202 の形状を説明する。外周面 202 の形状もサイクロイド曲線 m に沿って肉付けされ、おおむね前縁 2b から後縁 2d に至るまで凹型に湾曲した形状にする。外周面 202 は適度に湾曲し、剥離が後縁 2d で発生すれば目的の渦列流れを形成できる。様々な断面形状を採用することができる。しかし、風車 1 あるいはその他の流体機械ではケーシング 2 の肉厚がその重量を増加させる原因となる。また、風による圧力損失が大きすぎても実用性がなくなる。

[0087] そこで、後縁 2d に、外部流れをこの後縁 2d の位置で剥離させる流出勾配 θ_1 を形成する。 θ_1 は外側曲線 k の接線 q 方向と軸線方向の交角である（図 2、図 3 (b) 参照）。そして、実施例 1 においては、ケーシング形状を薄肉にするため、この流出勾配 θ_1 を前縁 2b と後縁 2d とを結ぶ円錐面の母線 n と軸線方向との交角である拡開角 β 以上に設定する（すなわち $\beta < \theta_1$ ）。図 3 (b) において $\tan \beta$ の値はおおむね $\tan \beta = (h \sim D) / L_t$ となる。これにより流体抵抗が低減され、しかも効果的な渦列形成が行える。これに関して、拡開角 β が 50° を越えるような、過大な重量と無

用な圧力損失を招く、通常の流体機械の枠を越えてしまうような非実用的な形態のケーシング 2 の場合には、基本となる構造によって外部流れは堰き止め状態となり（図 3（b）参照、スロート部 2 a の内径 d に対して主流から見た投影幅 D が大）、流体抵抗は大きくなって主流を乱し、図 4、図 6 で示したより以上に後流は外方に広がり、生成される渦列の渦は弱く、負圧領域のセルの圧力もあまり低圧にならず、セル構造も明確でなくなる。従って、通常の流体機械であれば自然と上記枠内に収まって問題にならないが、非定常流れを利用する場合であっても流れを壊さず無意味な圧力損失を避ける必要があり、ケーシング外形には渦列形成のために避けた方が好適な範囲があることが分かる。なお、この拡開角 β が 50° を越えるような場合というのは、相対的に筒長が短く、例えば筒長 1.3・7% の鰐付きケーシングでいうなら、鰐高さ h が 15% をこえるような場合に相当し（すなわち鰐高さ 15%・筒長 1.3・7% の鰐付きケーシング）、このときの拡開角 β はおよそ 51° となる。なお、 $\beta < 40^\circ$ とするのが好適である（これは後述する）。ただし、実用性を要求されない例外的な流体機械の場合においては、 50° を越える拡開角も有用となる場合がある。

[0088] 流出勾配 $\theta 1$ は流れの剥離を後縁 2 d で安定的にしこれを固定的に起こさせる角度でなければならない。従って、ケーシング 2 の外周面 2 0 2 の形状は、外部流れを後縁 2 d において剥離させ、内周面 2 0 1 において剥離した内部流れと共に、ケーシング 2 の後方で巻き込みを生じ、後流に強い渦の渦列を形成する形状であることが必要である。すなわち、サイクロイドと勾配 $\theta 1$ 、 $\theta 2$ を使って、サイクロイド形状の内周側を流れる内部流れを外部流れとの間で連携させ、連携で強い渦列を形成し、この作用により内部流れを加速する。従って、外周面 2 0 2 が半径方向外方へ凸に膨出するような形状は剥離点が後縁 2 d より上流側へ移動するおそれがあり、過大な重量と無用な圧力損失を招き、好ましくない。実施例 1 の場合、流出勾配 $\theta 1$ を拡開角 β 以上に設定しているのでこのようなおそれがない。

[0089] また、逆に、このような流出勾配 $\theta 1$ 、 $\theta 2$ の条件を満たす形状の薄肉ケ

ーシングが与えられたとき、この前縁 2 b と後縁 2 d を端部としスロート部に凸部が存在するサイクロイド曲線をこのケーシング内に想定し、このサイクロイド曲線全体がこの断面の外表面の領域内に 1 本の曲線として収まれば（サイクロイド曲線が内表面自体または内外表面を構成するような場合も含む）、この両端（前縁 2 b、後縁 2 d）、スロート部が固定された母線のサイクロイド曲線は一義的であり、このサイクロイド曲線はこのケーシング断面形状固有の曲線ということができ、このケーシングはこのサイクロイド曲線を基準線として設定されているということが出来る。なお、薄肉とは上記流出勾配 $\theta 1$ 、 $\theta 2$ の条件を満たした上での肉厚であり、上述したように L 、 t に対しておおむね 10% 以内に収まる肉厚が好適である。

[0090] なお、後縁 2 d に小さなアール（丸み）が形成されている場合は、この丸みの付与が開始された位置での外周面 202 の接線の勾配が後縁 2 d の流出勾配 $\theta 1$ となる。また、後縁が肉厚のある平坦な端面の場合は、この端面の外周縁において上記流出勾配 $\theta 1$ の条件を満たすような形状にすればよい。流れは厚みのない場合と同様になる。そして、前縁については、流れを円滑に分割できる尖端形状あるいは小さな丸みのあるアール形状に形成するのが好ましいが、全体の渦列流れが強まるのであれば、例えば平坦な端面をもつ裁断端形状にするのもよい。そして、ケーシングが肉厚を有しその内周面自体がサイクロイド曲線を母線としてこの曲線そのもので構成されるユニークな場合については実施例 2、3 で説明する。

[0091] 以上説明したように、本発明の実施例 1 における流体機械、風車によれば、ケーシングの基準となる形状として、軸方向断面においてサイクロイド曲線を基準に内周面、外周面の形状を決めるので、内外の流れの剥離で強い渦の渦列を形成し、この渦列により渦生成面の背後に強い渦度の負圧領域を生成して内部流れを増速することができる。軽量でコンパクトな形状の流体機械、風車を提供することができる。また、ディフューザの長さが短く、大型化が可能になり、高出力にすることができる。

[0092] そして、実施例 1 の内部流れ増速方法によれば、ケーシングの形状によつ

て流れの中に安定した強い渦の渦列流れを形成し、出口側付近に強い負圧の負圧領域を形成して、非定常流である渦列流れによって内部流れを増速させることができる。

実施例 2

[0093] さて、本発明の実施例 2 は、以上説明した流体機械、風車のケーシングが半径方向に所定厚さの肉厚を有する板材で構成された場合であり、渦生成面を含む内周側の形状自体がサイクロイド曲線で構成されるものである。従って、実施例 1 と基本において変わりがない。図 11 は本発明の実施例 2 における流体機械の前縁と後縁の間に設けられたサイクロイド曲線からなる板材のケーシングの軸方向断面図である。実施例 2 においても風車を中心に説明するが、水車等の他の流体機械でも同様である。

[0094] 図 11 で示すように、所定の肉厚 Δ を有する板材を使ってサイクロイド形状に形成することができる。既にサイクロイド形状のケーシングについて説明したが、実施例 2 は内周面 201 を板材でサイクロイド形状にする。所定の肉厚 Δ を有する板材といっても、流体機械の代表寸法のスケールから考えると、通常、肉厚 Δ は無視できる肉厚として扱えるものである。すなわち通常は、スロート部の半径に対する板厚の比が 0.5% 以下であり、 $\Delta \cong 0$ と考えてケーシングを形成すればよい。従って以下所定の肉厚 Δ を有する板材というのは、例えばスロート部の半径に対する板厚の比が 0.5% を越えてしまうような場合である。図 11 において、内周面 201 は前縁内端 $2b_1$ と後縁内端 $2d_1$ とを連絡するサイクロイド曲線 m である。スロート部 2a は内周面 201 内の流路断面を最小にする最小断面積の位置 S に存在する。

[0095] 板材の場合、外周面 202 も肉厚 Δ だけ離れた内周面 201 と平行なサイクロイド曲線である。このとき前縁外端 $2b_2$ と後縁外端 $2d_2$ とを結ぶ円錐の母線の勾配が拡開角 β に設定される。内周面 201 の後縁 $2d$ から所定長さの範囲が渦生成面 2c である。この渦生成面 2c の内径側の端が渦生成部先端 $2e$ である。内部流れはスロート部 2a 付近から境界層が発達し渦生成部先端 $2e$ に至る。

- [0096] サイクロイド形状の場合は、内周面201がその一部の範囲をそのまま渦生成面2cとするだけで、渦生成部先端2eで流れを剥離させ、きわめて効果的な強い渦列を形成することができる。渦生成面2cをサイクロイドとは別の形状にする必要はない。サイクロイド形状を採用するだけで、渦生成部先端2eを剥離点にすることができる。このとき実施例1のように $\theta_2 = \theta_m$ となる。剥離した内部流れは、外周面202の後縁外端2d₂で剥離した外部流れと共に、ケーシング2の後方で巻き込みを生じ、後流にカルマン渦状の渦列を形成し、渦生成面2cの直ぐ後ろに随伴する環状方向に並んだ強い渦度の負圧領域を形成する。サイクロイドケーシングは、サイクロイド曲線mの渦生成部先端2eに接線p方向を向く流出勾配 θ_2 を備えている。
- [0097] 次に、外周面202の形状は、内周面201のサイクロイド曲線mに沿って半径方向に肉厚 Δ だけ離れた形状を備えている。外部流れは前縁外端2b₂と後縁外端2d₂まわりに流れるため、 $\Delta \neq 0$ の場合からも分かるように後縁外端2d₂に流出勾配 θ_1 を形成する。図11のように流出勾配 θ_1 はサイクロイド曲線mの流出勾配 α と同一の勾配になる。外部流れを後縁外端2d₂の位置で剥離させる。また、前縁外端2b₂と後縁外端2d₂とを結ぶ円錐の母線の拡開角 β 以下に設定する。
- [0098] また、図11には示さないが、板状のサイクロイド曲線のケーシングにおいて渦生成面2cを垂直に形成して図8のような錨付ケーシングのような形状とし、図2と同様に $\beta < 40^\circ$ を満たす範囲で錨（円板）を取り付ける形状としてもよい。重要なことは実施例3で説明するように $\beta < 40^\circ$ を満たす範囲の形状にすることである。これにより肉厚 Δ （ $\Delta \neq 0$ を含む）の板状の錨付サイクロイドケーシングとなる。この場合も安定した強い負圧領域を形成することができ良好な特性を示す。さらに、このときの錨を羽根車の軸に対して直交（円板）させるのではなく、軸に対して傾斜させ、円錐面をなす錨にするのもよい。この錨付サイクロイドケーシングの場合も、サイクロイドケーシングと同様に強い循環をもつ二次流れを後流側から引き込むことができ、安定した強い負圧領域を形成する。

- [0099] 本発明の実施例 2 は、前縁 2 b 及び後縁 2 d が軸方向断面において半径方向に所定幅の肉厚 Δ を有する場合（すなわち前縁内端 2 b₁ と後縁内端 2 d₁、前縁外端 2 b₂ と後縁外端 2 d₂ を有する場合）に、内周面 2 0 1 の形状を前縁内端 2 b₁ と後縁内端 2 d₁ を連絡したサイクロイド形状にするため、サイクロイドによる好適な渦列生成特性を付与でき、強い渦の渦流れと負圧領域を生成することができる。しかもケーシングの設計、製造が容易に行える。
- [0100] ここで、風洞実験と数値計算によって鏝付きケーシングとサイクロイドケーシングを比較し、サイクロイド形状がきわめて優れた特性もつことを実施例 1 に引き続いて説明する。風洞実験と数値計算を行った鏝付きケーシングとサイクロイドケーシングは、図 8 で示したとおりの形状を有している。
- [0101] この 2 つのケーシングを備えた風車の風車出力係数 C_w は図 1 2 (a) (b) のようになる。図 1 2 (a) は風洞実験による実験結果であり、図 1 2 (b) は数値計算による結果である。図 1 2 (a) の風洞実験の実験結果によれば、図 8 の鏝付きケーシングの風車出力係数 C_w よりサイクロイドケーシングの風車出力係数が大きくなることが分かる。増加の割合は 3. 2 % である。この傾向は図 1 2 (b) の数値計算においても同様であり、その増加の割合は 2. 9 % となった。従って、サイクロイドケーシングにするだけで、風車出力係数 C_w が 3 % 程度上昇することが見込める。ここで風車出力係数 C_w は無次元量であって、 $C_w = W / \{ (1/2) \cdot \pi \rho U^3 r_o^2 \}$ と表せる。W は発電出力 (W)、 ρ は空気密度 (kg/m^3)、 r_o は羽根車の半径 (m)、風速 U (m/s) である。
- [0102] 続いて、この 2 つのケーシングを備えた風車のスロート部における半径方向速度分布および圧力分布を数値計算によって求めた。図 1 3 はスロート部における流速の半径方向分布であり、図 1 4 はスロート部における圧力の半径方向分布である。
- [0103] 図 1 3 によれば、 $r/d = 0. 065$ の羽根車のナセル壁面から $r/d = 0. 5$ のケーシングの内周面に至るまでサイクロイド断面の方が流速 u (m

／s)の増加が大きく(おおむね半径 r に比例して顕著な傾向)、羽根車の先端近傍($r/d=0.5$)では u/U が20%以上も増加している。

[0104] また、図14によれば、羽根車のナセル壁面から $r/d=0.5$ のケーシングの内周面に至るまでサイクロイドケーシングの方が、静圧 C_{ps} が低く(おおむね半径 r に比例して顕著な傾向)なることが分かる。これにより、サイクロイドケーシングの方が鏝付きケーシングより流れの風車への引き込み効果が大きくなっていることが確認できる。

[0105] また、両風車のまわりの時間平均圧力分布と周方向平均・時間平均渦度の分布は既に図4と図5、及び図9と図10において示したとおりである。図4～図7、図9、図10、図13、図14によれば、サイクロイド断面をもつサイクロイドケーシングの方が同じ投影幅 D をもつ鏝高さ10%・筒長13.7%鏝付きケーシング(図3(b)参照)よりも強い負圧の負圧領域を作り出しており、また、その負圧領域がケーシング内周面の壁面に沿ってスロート部近くまで広がっていることが分かる。また、鏝付ケーシングでは、負圧領域が渦度の比較的高い領域になっており、羽根車先端付近の後流側で薄くて長く延びて形成されているのが分かる。これに対し、サイクロイドケーシングでは渦生成面の背後に、この面に接近して出口付近にきわめて強い渦度の領域が内周から外周にかけて形成されている。従って、サイクロイドケーシングのこの強い渦度の負圧領域がスロート部での流速を増加し、それに伴って風車出力が増加することが分かる。

[0106] 高さ10%・筒長13.7%鏝付きケーシングまわりの流線図は図6を基に既に説明したとおりであり、実施例2における所定厚さの肉厚を有する板材で構成されたサイクロイドケーシングまわりの流線図は基本的に図7において説明したとおりである。鏝付きケーシングまわりの流れはケーシングの存在で主流が大きく乱されて後方に広がり、流れは鏝で堰き止められている。これに対し、サイクロイドケーシングは必要以上に流れを乱さない適度な形状であり、かつ流れの後縁からの飛び出し角がより内側向きになっている。サイクロイドケーシングでは、ケーシングの後縁での上面で流れの飛び出

しが滑らかで速い。これにより、渦が渦生成面 2 c の直ぐ近くに形成され、ケーシング軸方向長さの 1 倍～2 倍程度の範囲の後流で円滑に内外流れが時間平均的に合流するようになる。この作用でスロート部 2 a の流速を増加し、風車出力を増加させる。

[0107] 以上のことから数値計算においても、渦生成面とディフューザを一体化したサイクロイドケーシングにすることで、風車の性能が向上することが分かる。サイクロイドケーシングが負圧領域を作り出す性能を向上させ、渦列形成特性にきわめて優れている。

[0108] ところで、図 15 (a) は、本発明の実施例 2 における風車に渦列ゆらぎを揃える位相制御板 4 を設けた場合と、設けない場合と、実施例 1 における鏝付きケーシングの場合の、出力性能を比較した説明図である。位相制御板 4 を設けたケーシング 2 の外観は図 15 (b) のようになる。なお、図 15 (a) (b) のケーシング 2 は、位相制御板 4 を 12 枚設置したものである。図 15 (b) のように、板材のサイクロイド形状のケーシング 2 の渦生成面 2 c の後流側に所定ピッチで 12 枚が軸方向に立設されている。図 15 (a) の周速比 λ は羽根車周速 $r_0 \omega$ (m/s) と風速 U (m/s) の比 ($= r_0 \omega / U$) である。ここに r_0 は羽車半径、 ω は角周波数 (1/s) である。

[0109] 鏝高さ 10%・筒長 13.7% 鏝付きケーシングの渦生成面 2 c を構成する鏝高さ h は、スロート部 2 a の直径 d の 10% 高さである ($h/d = 0.1$)。また、全体をサイクロイド曲線の滑らかな回転面だけで構成したサイクロイド断面のケーシングも、後縁がサイクロイド上にあり、渦生成面 2 c に相当する部分の高さ h がスロート部 2 a の直径 d の 10% の高さを有している。つまり、渦生成面 2 c を含むケーシング 2 の最外径 (後縁の位置) が互いに等しい高さになっている (図 4 参照)。風速は 8 (m/sec) であり、羽根車 3 の直径は 1000 mm である。図 15 によれば、平均して 2.5% の出力係数 C_w の上昇がサイクロイド曲線にすることにより見込まれる。さらに位相制御板を設けることで 1.5% 程度高くなる。そして、以上の説明は実施例 2 の鏝付きケーシングに位相制御板 4 を設けた場合についてで

あるが、位相制御板 4 の作用効果は、実施例 1 や後述する実施例 3 を含め、その他の流体機械でも同様である。

[0110] なお、位相制御板の数を自然の流れに任せて形成される負圧領域のセルの数より多くすると、本来のセルを強制的に分割することになってしまい、後流側の渦もそれほど強い渦にはならない。負圧領域も目立たなくなる。また、位相制御板をこのセルの数より少なくした場合も、複数個のセルが互いに伸縮、移動し影響し合っ安定化の作用を弱め、この場合も同一数の場合よりも強い渦にならない。従って、位相制御板の数は自然に形成される負圧領域の数と合致する枚数だけ設けるのが好適である。12枚の位相制御板 4 もこの観点から選択されている。

[0111] このように実施例 2 の流体機械は、サイクロイド曲線の回転面とすることでケーシングを設計、製造するのが容易になる上に、渦列を形成する流れを安定したものとすることができ、内部流れの流速を増し、高出力の発電を行うことが可能になる。また、ディフューザの長さを短くでき、これにより数 m 以下のマイクロ風車、ミニ風車だけでなく、発電能力が MW 級の大型風力発電装置用の風車にまで大型化が可能になり、エネルギー変換率を高くすることができる。また、実施例 2 における流体機械の内部流れ増速方法によれば、全体をサイクロイド曲線とすることで渦列を形成する流れをより安定したものにする事ができ、流体機械の外部流れで内部流れの流速を増加させることができる。

実施例 3

[0112] 次に、本発明の実施例 3 は流体機械のケーシングの肉厚を変えると共に鐮形状の渦生成面を形成するものである。いわば肉厚を漸増急減させる肉厚裁断断面の形状を有する。図 16 (a) (b) 鐮高さ 10%・筒長 22% 鐮付きケーシングと実施例 3 の肉厚裁断断面のケーシングの形状を比較した比較図であり、図 17 は本発明の実施例 3 における流体機械の前縁と後縁の間に設けられた肉厚裁断断面ケーシングの軸方向断面図である。以下、肉厚を徐々に増加し、後縁で鐮状の渦生成面を形成する肉厚裁断断面（以下、バ

バナナ型断面ともいう) について説明する。

- [0113] 図16(a)(b)は比較した鏝高さ10%・筒長22%鏝付きケーシングと実施例3のバナナ型断面ケーシングの形状を示す。図16(a)は実施例2の板状の鏝高さ10%・筒長13.7%鏝付きケーシングと類似しているが、ケーシング軸方向長さがスロート部2aの内径dに対して22%の位置にある鏝付きケーシングである。スロート部の位置は前縁から0.89dの位置にある。実施例3のバナナ型断面は内周面がサイクロイド形状で、外周面が図16(b)のように断面楕円状の形状とされ、入口側の前縁において軸と水平な勾配になっている。バナナ型断面の背後に形成される渦生成面2cは鏝と同様に垂直である。また、バナナ型断面の前縁には丸み(アール)が形成されている。そして、渦生成部先端2eはできればサイクロイド形状の剥離点に、あるいはこれより前に設けるのがよい。
- [0114] この2つのケーシングを備えた風車の風車出力係数 C_w は、数値計算によると図18のようになる。この数値計算は、九大応用力学研究所で開発したリアムコンパクト(RIAM-COMPACT)数値シミュレータを使用し、乱流モデルの最先端であるLES法を採用した高レイノルズ数解析ソフト、および一切乱流モデルを使用しない直接数値計算_を行うDNS法を使って計算した。ここで示す図の計算結果はDNS法によるものであり、LES法は参照用に使用した。図18によれば、ケーシングをバナナ断面に変更することにより、風車出力係数 C_w が、鏝高さ10%・筒長22%鏝付きケーシングよりも5.3%増加しているのが分かる。渦生成面が垂直面から少し傾斜した場合もほぼ同様になる。
- [0115] 続いて、この2つのケーシングを備えた風車のスロート部における半径方向速度分布および圧力分布を数値計算によって求めた。図19はスロート部における流速の半径方向分布であり、図20はスロート部における圧力の半径方向分布、図21はスロート部から後流でディフューザのほぼ中間に相当する位置の、 $x/d=0.06$ における圧力の半径方向分布である。
- [0116] 図19によれば、 $r/d=0.065$ の羽根車のナセル壁面から $r/d=$

0.5のケーシングの内周面付近までバナナ型断面の方が流速 u の増加が大きく（おおむね半径 r に比例して顕著な傾向）、ケーシングに肉厚裁断端面の形状厚みを持たせることで鏝付きケーシングよりもスロート部の風速が増加することが分かる。

[0117] また、図20、図21によれば、羽根車のナセル壁面から $r/d=0.5$ のケーシング2の内周面に至るまで、スロート部においてもここから後流のディフューザのほぼ中間の位置においても、厚みを持たせたバナナ型断面ケーシングの方が、ディフューザ壁面近傍の静圧 C_{ps} が低下しており（おおむね半径 r に比例して顕著な傾向）、バナナ型断面ケーシングの方が鏝高さ10%・筒長22%鏝付きケーシングより流れの引き込み効果が大きくなっていることが分かる。

[0118] また、上記鏝高さ10%・筒長22%鏝付きケーシングとバナナ型断面ケーシングをそれぞれ備えた2つの風車のまわりの時間平均圧力分布を数値計算した結果が図22と図23である。図22は鏝高さ10%・筒長22%鏝付きケーシングの風車のまわりの時間平均圧力分布であり、図23はバナナ型断面ケーシングの風車のまわりの時間平均圧力分布である。また、図24は鏝高さ10%・筒長22%鏝付きケーシングまわりの流線図であり、図25はバナナ型断面ケーシングまわりの流線図である。図22、図23、図24、図25によれば、バナナ型断面の方が鏝高さ10%・筒長22%鏝付きケーシングよりも強い負圧の負圧領域を作り出しており、また、その負圧領域がケーシング内周面の壁面に沿ってスロート部近くまで広がっていることが分かる。これは、スロート部での流速 u が増加し、それに伴って風車出力が増加することを示す。

[0119] 図26は鏝高さ10%・筒長22%鏝付きケーシングまわりの流れ場における周方向平均・時間平均渦度の分布を示す分布図、図27はバナナ型断面ケーシングまわりの流れ場における周方向平均・時間平均渦度の分布を示す分布図である。10%・筒長22%鏝付きケーシングの場合、強い渦度の部分が羽根車先端付近の後流側で少し弱めの領域となって形成されているのが

分かる。これに対し、バナナ型断面ケーシングでは渦生成面の背後に接近して風車出口付近にきわめて強い渦度の領域が内周から外周にかけて形成されているのが分かる。従って、バナナ型断面のこの強い渦度の負圧領域が内部流れに対して流速 u の増加を誘起する。

[0120] 図 28 は図 16 (a) の 10%・筒長 22%錨付きケーシングを備えた風車 1 まわりの周方向平均・時間平均した半径方向速度成分の分布図であり、図 29 は図 16 (b) のバナナ型断面ケーシングを備えた風車 1 まわりの周方向平均・時間平均した半径方向速度成分の分布図である。これによれば、10%・筒長 22%錨付きケーシングまわりの流れはケーシングの外側に淀んだ領域を形成している。これに対し、バナナ型断面ケーシングの流れは主流がケーシングに乱されることなく、バナナ型断面ケーシングでは、ケーシング 2 の後縁での上面で流れの飛び出しが滑らかで速い。

[0121] なお、ここで、バナナ型断面ケーシングの内周面形状に似た形状を持つ板状の錨付きケーシングについて説明する。これは基準線の主要部分としてスロート部の位置に凸部を有するサイクロイド曲線を使用するが、このサイクロイド曲線だけでなく、渦生成部先端から後縁までの間を一部分直線によって渦生成部を形成して、これらの部分で前縁と後縁との間を連絡するものである。このとき渦生成部はリング状の錨となる。サイクロイド形状を主とし、渦生成部を形成するために錨を一部設けたものである。なお、曲率半径の大きな第 2 の曲線によって前縁と後縁との間を連絡して渦生成部を形成してもよい。筒長を短くして強い渦を形成しなければならないときに有効な手段である。実施例 3 でサイクロイドケーシングとの比較に使った錨高さ 10%・筒長 22%錨付きケーシングは、実施例 1, 2 で比較に用いた比較例の錨高さ 10%・筒長 13.7%錨付きケーシングよりもサイクロイドケーシングやバナナ型断面ケーシングに近い良好な特性を有している。この理由はいろいろあると思われるが、次のような理由が考えられる。第 1 の理由は、前縁側でサイクロイドが半径方向外方に湾曲しこれによって拡開角 β の大きさを小さくするためと考えられる（言い換えると $\beta < 40^\circ$ になる）。また第 2

の理由は、ケーシングの流れに対する全体的な輪郭が、入口の湾曲と拡開角の減少により渦形成のために必要とされる以上に流れを乱すことのない輪郭にできるためと考えられる。拡開角 β を所定値より小さくし、また、全体の輪郭を、流れを壊さない、適度な非線形形状とすることで、無意味な圧力損失を避けつつ、非定常流れを利用することができる。この第1と第2の理由は互いに関連する。

[0122] 上記比較で使用した2つのケーシングについてみると、拡開角 β は鰐高さ10%・筒長13.7%鰐付きケーシングの場合おおむね 42° （スロート部の位置0.05d）、鰐高さ10%・筒長22%鰐付きケーシングではおおむね 38° （スロート部の位置0.89d）であり、拡開角 β の観点からいえば、 40° がその特性の分かれ目となっている。すなわち、無用な圧力損失を避けつつ非定常流れを利用するためには、拡開角 β は 40° より小さい角度に設定するのが好適である。 $\beta = 42^\circ$ の場合は渦流れが後流側でかなり膨張する傾向を示すが、鰐付きケーシングの拡開角 β を $\beta < 40^\circ$ とすることで、サイクロイドケーシングやバナナ型断面ケーシングに近い、渦生成面2cの背後に集中して現れる強い渦流れを形成できる。また、サイクロイドのスロート部をケーシングの後流側に後退させることで渦形成特性の向上だけでなく、ケーシングのコンパクト化にもつながる。なお、バナナ型断面ケーシングと鰐付ケーシングにおいて、直線または第2の曲線による渦生成面2cを半径方向ではなく、軸に対して傾斜させた形状の場合、実施例1と同様になり（図2参照）、サイクロイドケーシングと同様に強い循環をもつ二次流れを後流側から引き込むことができ、軸と垂直な場合よりも安定した強い負圧領域を形成する。

[0123] 以上のことからケーシングの形状を漸増急減の肉厚断面に変更することで、板のように厚さが一定のケーシングの形状よりもケーシングの近傍に強い負圧の負圧領域を生成することができる。この負圧領域に流れが引き込まれ、スロート部での流速が増加し、風車出力が増加する。

実施例 4

- [0124] ところで、以上主として風車 1 の流体力学的な側面の構成について説明したが、以下発電装置としての側面について説明する。実施例 4 の風車 1 は、図 30 に示すように羽根車 3 の回転力が発電機 11 に伝達され、発電機 11 を駆動して発電を行い、外部に電気を供給する。実施例 4 の風車 1 は実施例 1 ~ 3 において説明したケーシングを備えた風車 1 である。なお、風車 1 は発電装置付きのものに限られない。回転力は発電機 11 を介すことなく直接出力されてよい。例えば、ここでは図示はしないが、原動機として、回転軸をポンプの駆動軸に連結して揚水に利用したり、ガスを圧縮して蓄圧して蓄圧器内にエネルギーを蓄えたり、攪拌機を駆動して温水にして提供したりすることができる。これらも風車であり、流体機械である。
- [0125] さて、風車 1 の場合、図 30 に示すように羽根車 3 の回転力は回転軸、伝達機構を介して発電装置 10 内の発電機 11 に伝達され、発電機 11 で発電される。発電機 11 には例えば誘導発電機等を用いればよい。発電機 11 で発電された電気は交流であるため、これが AC/DC コンバータ 12 に供給されて直流電力に変換される。変換された直流電力は充電装置 13 においてバッテリー 14 に充電される。このバッテリー 14 は非常用電源として利用できる。また、AC/DC コンバータ 12 からの直流電力は DC/AC 変換器 15 によって再び所定の電力となるように電力調整されて交流電力に変換され、交流電源として電力系統 16 に送られる。なお、発電装置 10 の構成は一例であり、これに限られるものではない。
- [0126] 次に、制御装置 17 の動作について説明する。発電機ロータの回転数を検出するセンサで発電機 11 の回転数を検出するとともに、ギャップ検知器 20 で羽根車 3 とケーシング 2 の内周面との間の間隙を検出する。制御装置 17 はこの回転数を基に過回転か否かを判定し、過回転と判断すると、出力を低下するためアクチュエータ 18 を駆動し、間隙を広げる方向へケーシング 2 を動かし、最適位置まで軸方向に移動させる。これでも過回転の場合は、変速/クラッチ機能を有する伝達機構 19 で回転数を下げる。逆に、羽根車 3 の回転数が小さい場合は、その間隙をアクチュエータ 18 によって最大出

力が得られる最適な隙間に制御する。この隙間は空気力学的に発生する騒音にも影響し、チップボルテックスを砕き、最大出力が得られるときには騒音も小さくすることができる。羽根車 3 を可変ピッチにして制御装置 17 で強風時にはピッチを変更することもできる。

[0127] なお、アクチュエータ 18 は必須の部材ではない。ケーシング 2 を移動させない場合は制御装置 17 による出力の制御に委ねて出力を電氣的に処理することもできる。そしてケーシング 2 は支持台 22 の支持柱に設けられた係止部 18 a に、羽根車 3 の軸方向にスライド可能に支持される。アクチュエータ 18 を伸縮することでケーシング 2 を軸方向にスライドさせる。ケーシング 2 を移動させない場合はケーシング 2 を支持柱に固定すればよい。

[0128] AC/DCコンバータ 12 から DC/AC 変換器 15 に導かれる電圧/電流は図示しない電圧/電流センサによって電圧/電流が検出され、この信号が制御装置 17 に入力される。制御装置 17 はこの検出信号を基に DC/AC 変換器 15 を制御し、電圧を一定にして変動しないように制御する。この調整後の電力は電力系統 16 に供給される。

[0129] ところで、実施例 4 の風車 1 は、支持台 22 を地面に対して回転自在にして設置している。この理由は、風車は流れの作用で左右の流体力のバランスをとり、常に風上を向くように回転するからである。このため、実施例 1 の風車においては、このような単純な構成ながら、その向きを最大出力が得られる方向へ自動的に調整することができる。

[0130] このように本発明の実施例 4 における風車は風車 1 であるため、羽根車 3 の回転力が発電機 11 に伝達され、発電機 11 を駆動して発電し、外部に電気を供給する。ケーシング 2 の内外を流れる流れを使って渦列を形成する流れを形成し、この流れを安定したものにコントロールし、内部流れの風速を増し、高出力の発電を行うことができる。また、ディフューザの長さを短くでき、これにより数 m 以下のマイクロ風車、ミニ風車だけでなく、発電能力が MW 級の大型風力発電装置用の風車にまで大型化が可能になり、高出力を得ることができる。構造上も補強できる。

実施例 5

[0131] 本発明の実施例 5 における風車 1 は、流れを安定化して高出力にすると同時に、航空ドップラーレーダーに対する風車 1 の影響を軽減し、バードストライク等の異物による衝撃の問題を解決するものである。図 3 1 は本発明の実施例 1 ~ 3 におけるケーシングにメッシュを取り付けた風力発電装置を示す。

[0132] 図 3 1 (a) (b) から分かるように、所定ピッチで交差する金網等のメッシュ 5 はケーシング 2 の外部表面の全部または羽根車先端の動きをレーダーから隠す所定範囲を覆うように配置され、これらがケーシング 2 に支持される。なお、メッシュ 5 の装着によって外部表面を流れる流れには擾乱が加えられ、これによりケーシング 2 の表面に乱流境界層が発達し、流れ全体を安定化させる。つまりメッシュ 5 の設置により表面が多数のディンプル類似の粗面となり、風車 1 の周囲に形成される 2 次の流れを安定化して主流を安定化させ、これにより渦生成面の背後の生成される負圧領域を安定して、ケーシング 2 に随伴される構成となる。メッシュ 5 を取り付けるのは境界層制御のためディンプルを形成するよりきわめて容易に行える。

[0133] なお、金網などのメッシュのフィルターによってケーシング 2 の入口を覆い、鳥のような異物を除去すれば、異物が羽根車 3 に衝突して破損するのを防止できる。金網などを入り口に設けることによって、金網によって生じた小さなスケールの乱れを含む流れがブレードに当たると、低風速 (6 m/s くらい以下)、言い換えれば、低レイノルズ数領域では、むしろブレード表面の流れがより長くブレード翼断面に沿って流れ (乱流境界層になり易く翼表面から流れが剥がれない)、高い揚力を生じ、結果的に風車の発電出力係数 C_w を向上させる。なお、出口側には流れの流出があるから、この方向から鳥等が吸い込まれることはない。

[0134] ところで、導体製のメッシュには、そのメッシュサイズによって、レーダーから照射される電磁波 (マイクロ波) の透過を遮断する作用がある。言い換えると、メッシュサイズの大小に応じて、マイクロ波がメッシュを透過す

る場合と、透過できない場合とに分けることができる。従って、メッシュ5のメッシュサイズを選択すれば、航空ドップラーレーダー（周波数1.3 GHz、波長 $\lambda=23\text{ cm}$ 程度）に対する風車1の影響を軽減することが可能になる。すなわち流体力学的な作用と共に、電磁波遮断効果が期待できる。

[0135] そこで、以下マイクロ波を遮断できるメッシュサイズについて説明する。実験は2通りの方法で行った。第1の実験の方法は、移動物体のスピードを計測するスポーツ用のスピードガンを利用するものである。スピードガンはマイクロ波を照射することにより移動物体の動きを計測することができる。実験のためのスピードガンとして、市販されたSports Radar Tracer Model SRA3000（スポーツレーダー社製）を使用した。周波数10.525 GHz、波長2.85 cm程度のマイクロ波を使用するものである。

[0136] 第1の実験では、メッシュ5のメッシュサイズに応じた電磁波遮断効果を調べ（テスト1）、羽根車3の回転軸に対するマイクロ波の照射角度と電磁波遮断効果の関係を検討した（テスト2）。実験1に使用したメッシュ5はメッシュサイズ3 mm、12 mmである。ケーシング2にはFRP製のサイクロイドケーシングを使用した。ケーシングの内径は1000 mm ϕ とした。金網を装着する場合はケーシングの側面周囲に配置して、マイクロ波をこの金網を挟んで羽根車の半径450 mmの位置に向けて照射した。

[0137] テスト1として、金網装着なしの場合と、メッシュサイズ3 mm、12 mmの金網を設けた金網ありの場合とで行った。金網装着なしの場合、回転数300 rpmのとき、スピードガンは52.8 km/hを計測した。回転数300 rpmはこの位置で50.8 km/h程度と考えられるから、両者はほぼ一致している。すなわち、金網が無い場合、マイクロ波はケーシングを透過する。

[0138] また、スピードガンとケーシングの間にメッシュサイズ12 mmの金網を配設した場合には、金網装着なしの場合と同様に回転速度を計測でき、回転速度はほぼ一致する結果となった。従って、メッシュサイズ12 mmの金網

でもマイクロ波はケーシング2を透過する。しかし、メッシュサイズ3mmの金網を配設した場合、スピードガンによって回転速度は計測不能であった。これは、このメッシュにより照射されたマイクロ波が反射され、ドップラー効果を利用して羽根車先端の回転速度が検出できなかったことを意味し、マイクロ波が風車を透過できなかったことを意味する。

[0139] 続いて、テスト2として、羽根車の回転軸に対するマイクロ波の照射角度と電磁波遮断効果の関係を検討する実験を行った。テスト2は、図31(b)に示すように、羽根車の回転軸と直交する方向、すなわち回転面と平行な方向を 0° として徐々に角度 θ を増して回転速度を計測するものである。 $\theta = 0^\circ$ は回転軸と直交する方向になり、 $\theta = 90^\circ$ が上流側からみた回転軸方向、 $\theta = -90^\circ$ が下流側からみた回転軸方向となる。この計測結果によれば、角度 θ が 10° より大きくなる角度では、金網の有無に関わらず、羽根車3の回転速度は計測不能になった。つまり、回転軸に対してある程度斜めの方向からでない（回転軸の方向からは概ね 80° 程度を越え 90° に近付かないと）、羽根車3によるドップラー効果は発生しないことになる。メッシュにより羽根車先端の動きがレーダーから隠されたことを意味する。

[0140] 実験に使用した内径1000mm ϕ のケーシングにおいては、羽根車の前縁からケーシングの入口端までの距離が90mmであるため、ケーシングの上流側から角度 $\theta = 10.6^\circ$ 以内であれば、指向性をもつマイクロ波に対し羽根車はケーシング2内に隠れ、マイクロ波はケーシングに照射されこれを透過しない。同様に、羽根車の後縁からケーシング2の出口端までの距離が145mmであるため、ケーシングの下流側からは角度 $\theta = 16.2^\circ$ 以内の角度であれば、マイクロ波はケーシングに照射されこれを透過しない。風車のケーシングと羽根車の配置において $\theta = \pm 10^\circ$ 以内の範囲は、羽根車の軸方向幅を十分に覆うことができる。大小風車形状の相似性からこの角度はほとんどの風車で妥当する。そしてこれはケーシングの外部表面全部か、羽根車先端の動きをレーダーから遮蔽できるその一部に相当する範囲である。従って、ケーシングの周囲の角度 $\theta = -10^\circ \sim \theta = +10^\circ$ の範囲に

導体制、例えば金属製のメッシュを配置しておけば、全方位からのレーダーのマイクロ波によるドップラー効果を生じさせない効果をもたせることができる。但し、メッシュサイズが所定のサイズより小さいことが条件になる。

[0141] 次に第2の実験を行った。第1の実験と同じ風車を使用した。第2の実験はケーシングの周囲に金網を装着して、航空ドップラーレーダーからのマイクロ波の透過強度を実際に測定するものである。第2の実験の方法としては、ドップラーレーダーのマイクロ波とほぼ同一波長のマイクロ波（周波数1.3 GHz程度、波長 $\lambda=23\text{ cm}$ 周辺）を使用し、照射側と受信側に広帯域ホーンアンテナを用い、照射側と受信側の間に被計測物を配置して測定した。マイクロ波の強度解析、周波数分析にはベクトルネットワークアナライザーを使用した。マイクロ波の直達値のみを評価できるように散乱の影響を極力排除した。

[0142] 第2の実験では、金網の有無によるマイクロ波の透過性を調べ（テスト1）、送受信機の間、羽根車回転面が平行になるように風車をセットして、金網の有無でマイクロ波の透過強度を検討した（テスト2）。テスト1では、送受信機間に1 mの距離を置いて金網の有無だけで測定を行った。4種類の金網メッシュ（鉄製）を用いた。また、テスト2では、送受信機間に2 mの距離を置いて送受信器の間に風車をセットして、さらに金網の有無でマイクロ波の透過強度を計測した。同じく4種類の金網メッシュ（鉄製）を用いた。風車（但し羽根車は静止）を設置して、テスト1と同様な実験を行った。

[0143] 以下の（表1）、（表2）は測定結果の透過強度、すなわち受信機側のマイクロ波の強さを示している。なお、透過強度は-3 dB低下すると半分の強さへ低下し、-6 dBの低下で1/4の強さへ低下する。

[0144]

[表1]

メッシュサイズ(cm)	計測値	低下幅	マイクロ波強度の低下
なし	-18.8dB		
15	-20.4dB	-1.6dB	約 2/3程度へ低下
10	-20.6dB	-1.8dB	約 2/3程度へ低下
5	-22.5dB	-3.7dB	約 40%程度へ低下
1	-44.3dB	-25.5dB	1/300程度に低下

[0145] [表2]

メッシュサイズ(cm)	計測値	低下幅	マイクロ波強度の低下
なし	-25.6dB		
風車のみ	-25.3dB	+0.3dB	ほとんど透過
風車+5cmメッシュ	-29.1dB	-3.5dB	40%程度へ低下
風車+1cmメッシュ	-34.4dB	-8.8dB	約 1/8程度へ低下

[0146] 以上のことから第1及び第2の2つの実験を通して以下のことが分かる。
 小型風車のケーシングでは、照射角度がブレード回転面から $\pm 10^\circ$ 以内であれば、指向性の強いレーダー波はケーシングに照射される。

[0147] すなわち、金網メッシュを装着していない場合、角度 $\pm 10^\circ$ 以内の範囲に照射された1.0~10GHz（波長3cm~25cm）のマイクロ波は、樹脂（FRP）製の風車のケーシングを減衰することなく透過する。従って、この場合第2の実験装置ではドップラーレーダーにより風車の羽根車の回転を物体の動きとして認識できる。しかし、 $\pm 10^\circ$ の範囲を越えた角度から照射した場合には、近づいたり、遠ざかったりする羽根車の回転を物体の動きとして認識できず、羽根車の回転を物体の動きとして認識できず、ドップラー効果による計測は不能になる。

[0148] これに対して、風車のケーシングの外側に $\pm 10^\circ$ の範囲で金網メッシュを装着した場合、マイクロ波の強さは大きく減衰する。減衰が可能なメッシュサイズは、（表1）（表2）によれば、照射されるマイクロ波波長の20%程度以下である。使用したマイクロ波の波長 $\lambda=23$ cm程度を考慮すると、マイクロ波の波長の20%程度のサイズ（5cm）を有する金網メッシュでは、マイクロ波の強さを40%程度へ減じることができる。ただ、これは

風車までのマイクロ波の到達距離にも影響を受ける。また、メッシュサイズが小さくなると、風車が支える重量が増加する。メッシュの重量を抑えるには、メッシュサイズをレーダー波長の10%までの範囲に抑えるのが好適である。

[0149] 従って、ブレード回転を包み込むケーシング付きの風車であれば、そのケーシングの外側表面に適切なメッシュサイズ（レーダー波長の10%~20%）の導体メッシュを装着すれば、航空ドップラーレーダーによる誤認問題を防ぐことができる。なお、風車においては、レーダー波長の10%~20%の金網メッシュのサイズは、具体的なサイズとして2.5cmから5cmのサイズとなる。

[0150] 以上説明したように風力発電装置は今後整備が急がれるものである。このとき、その設置環境が限られるのではその整備を遅らせることになる。本発明の実施例5における風力発電装置によれば、飛行場近くに風力発電装置を設置する場合であっても、航空ドップラーレーダーへの風車の影響をなくすことができる。メッシュを装着するという簡単な方法で、従来難題とされていた航空ドップラーレーダーへの対策がきわめて安価に実現できる。ケーシング周りの流れを安定化させることもできる。さらに実施例5の風力発電装置によれば、バードストライク等による破損の問題をケーシングにフィルターを取り付けることによってきわめて簡単に解決することができる。

実施例 6

[0151] 以下、本発明の実施例6における非定常流れを利用した流体機械、とくに水車等の水力機械、中でも潮流で発電することのできる潮流発電装置について説明をする。図32は本発明の実施例1~3におけるケーシングを備えた潮流発電装置の外観を示す。

[0152] 図32示すように、潮流発電装置31は海流の流れの激しい場所に支持台22が回動自在に海底に設置される。複数台を主流に対して直交方向に横一列に並べて設置する。羽根車の高さは海面の影響をあまり受けない高さに設置するのがよい。満潮時と干潮時とで海流の向きが変わる場合、潮流発電装

置 3 1 は回転により流れの作用で流れの方向へ向くことができる。小刻みな回転を防ぐため制御装置 1 7 で回転にロックをかけるのもよい。この潮流発電装置 3 1 の構成は図 2 8 の風車 1 の構成と同様である。

[0153] また、潮流発電装置 3 1 は海底に設置するのではなく、海面上で支持台 2 2 を吊下げる方式も可能である。潮流発電装置 3 1 においてもアクチュエータ 1 8 を設けてもよいし、ケーシング 2 3 を発電機 1 1 まわりなどに支持するのもよい。さらに、発電装置 1 0 の要部やアクチュエータ 1 8 などをすべて海面上に設置することもできる。また、潮流を利用した水車以外の、ダム、河川等で使用される水車でも同様であり、この場合、ケーシングの支持の方式は用途に応じてさまざま変えればよい。

[0154] 本発明の実施例 6 における流体機械は潮流発電装置 3 1 であるため、潮流による羽根車 3 の回転力が発電装置 1 0 を駆動して発電し、外部に電気を供給できる。しかも、ケーシング 3 1 は構造上の補強にもなるものである。

[0155] なお、以上説明した風車、水力機械などの流体機械のほかにも、本発明の非定常流れを利用した流体機械の内部流れ増速方法は利用することができる。例えば、大気中でジェットエンジンの性能を試験する性能試験装置において、ナセルの周囲にケーシングを設けて内部のロータを回転させ、ジェットエンジンの吸気口に吸い込まれる風量を増加させることができる。これによって高性能試験装置が得られる。

産業上の利用可能性

[0156] 本発明は、風力発電装置、とくに空港近くの風力発電装置や、潮流発電装置などのケーシングの内外を流れる流れの中で運転する流体機械に適用できる。

符号の説明

[0157] 1 風車
2 ケーシング
2 a スロート部
2 b 前縁

- 2 c 渦生成面
- 2 d 後縁
- 2 e 渦生成部先端
- 3 羽根車
- 4 位相制御板
- 5 メッシュ
- 10 発電装置
- 11 発電機
- 12 AC/DCコンバータ
- 13 充電装置
- 14 バッテリ
- 15 DC/AC変換器
- 16 電力系統
- 17 制御装置
- 18 アクチュエータ
- 18 a 係止部
- 19 伝達機構
- 20 ギャップ検知器
- 22 支持台
- 23 ケーシング
- 31 潮流発電装置
- 201 内周面
- 202 外周面
- h 渦生成面の径方向の高さ
- d スロート部の直径
- d₀ 円柱直径
- D 投影幅
- L t 筒長

S	負圧領域
v	渦列
α	勾配
β	拡開角
θ_1	流出勾配
θ_2	流出勾配
θ_m	基準値
Θ	角度
m	サイクロイド曲線
i	内側曲線
k	外側曲線
n	母線
p	接線
q	接線
A	凸部
A'	凸部
Δ	肉厚
Δ_i	内側肉厚
Δ_k	外側肉厚

請求の範囲

[請求項1]

環状をなしてその軸方向断面が非流線形の形状を有するケーシングと、前記ケーシング内のスロート部に配設され軸周りに回転する羽根車を備え、周囲を流れる流れを前縁で内外の流れに分割しかつ強制的に流れの剥離を起こし、この剥離によって前記ケーシング後方に渦列を形成し、前記渦列と渦列ゆらぎによって環状方向にセル構造を有する負圧領域を形成して、前記ケーシング内を流れる内部流れの流速を増加する非定常流れを利用した流体機械であって、

前記ケーシングの肉厚形成の基準とされる基準線が、軸方向断面において前記前縁と後縁との間を連絡しかつこの前後縁間の前記スロート部の位置に凸部を有するサイクロイド曲線から構成され、

前記ケーシングの半径方向で内周側の面には、前記スロート部とこのスロート部より後流側に前記負圧領域を生成するための渦生成部が形成され、さらにこの渦生成部に隣接するスロート側隣接面にはその境界位置に内部流れを剥離させる第2の流出勾配が形成され、かつ前記ケーシングの外周側の面には、前記後縁に外部流れをこの後縁位置で剥離させる第1の流出勾配が形成され、

前記第1の流出勾配は前記前縁と前記後縁とを結ぶ円錐の母線の勾配以上の勾配に設定され、かつ前記第2の流出勾配は、前記基準のサイクロイド曲線が前記内周の面とされた場合における渦生成部先端の勾配を基準にこれ以下の勾配に設定され、

前記非流線形のケーシングにより前記渦生成部の背後に強い渦度の負圧領域を生成して内部流れを増速することを特徴とする非定常流れを利用した流体機械。

[請求項2]

前記前縁及び前記後縁が軸方向断面において半径方向に所定幅の肉厚を有する場合に、前記渦生成部を含む前記ケーシングの内周側の形状が内周側の前縁及び後縁を連絡した基準のサイクロイド曲線によって構成されることを特徴とする請求項1記載の非定常流れを利用した

流体機械。

- [請求項3] 前記ケーシングが所定幅の肉厚を有する板材から構成され、前記基準線が、前記前縁と渦生成部先端の間において前記スロート部の位置に凸部を有するサイクロイド曲線と、前記渦生成部先端から前記後縁の間に渦生成部を形成するための直線または第2の曲線とを備えて前記前縁と後縁との間を連絡し、前記前縁と前記後縁とを結ぶ円錐の母線の勾配が 40° より小さな正の勾配に設定されたことを特徴とする請求項1記載の非定常流れを利用した流体機械。
- [請求項4] 前記非流線形の形状が軸方向断面において肉厚が漸増漸減又は漸増急減する形状に形成され、その内周側の一部又は全部の形状が前記基準のサイクロイド曲線から構成されていることを特徴とする請求項1記載の非定常流れを利用した流体機械。
- [請求項5] 前記前縁と後縁のうち前記後縁のみが軸方向断面において半径方向に所定幅の肉厚を有する場合に、前記渦生成部がこの所定幅のリング状の平面であることを特徴とする請求項2記載の非定常流れを利用した流体機械。
- [請求項6] 前記渦生成部に流れの渦列ゆらぎの位相を揃える位相制御板が複数設けられたことを特徴とする請求項1記載の非定常流れを利用した流体機械。
- [請求項7] 前記羽根車には、該羽根車の回転力を電気力に変換する発電装置が連結されていることを特徴とする請求項1～6の何れか1項に記載された非定常流れを利用した流体機械。
- [請求項8] 前記ケーシングに導体制のメッシュが装着されたことを特徴とする請求項1～7の何れか1項に記載された非定常流れを利用した流体機械。
- [請求項9] 環状をなしてその軸方向断面が非流線形の形状を有するケーシングと、前記ケーシング内のスロート部に配設され軸周りに回転する羽根車を備え、周囲を流れる流れを前縁で内外の流れに分割しかつ強制的

に流れの剥離を起こし、この剥離によって前記ケーシング後方に渦列を形成し、前記渦列と渦列ゆらぎによって環状方向にセル構造を有する負圧領域を形成して、前記ケーシング内を流れる内部流れの流速を増加する風車であって、

前記ケーシングの肉厚形成の基準とされる基準線が、軸方向断面において前記前縁と後縁との間を連絡しかつこの前後縁間の前記スロート部の位置に凸部を有するサイクロイド曲線から構成され、

前記ケーシングの半径方向で内周側の面には、前記スロート部とこのスロート部より後流側に前記負圧領域を生成するための渦生成部が形成され、さらにこの渦生成部に隣接するスロート側隣接面にはその境界位置に内部流れを剥離させる第2の流出勾配が形成され、かつ前記ケーシングの外周側の面には、前記後縁に外部流れをこの後縁位置で剥離させる第1の流出勾配が形成され、

前記第1の流出勾配は前記前縁と前記後縁とを結ぶ円錐の母線の勾配以上の勾配に設定され、かつ前記第2の流出勾配は、前記基準のサイクロイド曲線が前記内周の面とされた場合における渦生成部先端の勾配を基準にこれ以下の勾配に設定され、

前記非流線形のケーシングにより前記渦生成部の背後に強い渦度の負圧領域を生成して内部流れを増速することを特徴とする風車。

[請求項10] 前記前縁及び前記後縁が軸方向断面において半径方向に所定幅の肉厚を有する場合に、前記渦生成部を含む前記ケーシングの内周側の形状が内周側の前縁及び後縁を連絡した基準のサイクロイド曲線によって構成されることを特徴とする請求項9記載の風車。

[請求項11] 前記ケーシングが所定幅の肉厚を有する板材から構成され、前記基準線が、前記前縁と渦生成部先端の間において前記スロート部の位置に凸部を有するサイクロイド曲線と、前記渦生成部先端から前記後縁の間に渦生成部を形成するための直線または第2の曲線とを備えて前記前縁と後縁との間を連絡し、前記前縁と前記後縁とを結ぶ円錐の母

線の勾配が 40° より小さな正の勾配に設定されたことを特徴とする請求項9記載の風車。

[請求項12] 前記非流線形の形状が軸方向断面において肉厚が漸増漸減又は漸増急減する形状に形成され、その内周側の一部又は全部の形状が前記基準のサイクロイド曲線から構成されていることを特徴とする請求項9記載の風車。

[請求項13] 前記前縁と後縁のうち前記後縁のみが軸方向断面において半径方向に所定幅の肉厚を有する場合に、前記渦生成部がこの所定幅のリング状の平面であることを特徴とする請求項10記載の風車。

[請求項14] 前記渦生成部に流れの渦列ゆらぎの位相を揃える位相制御板が複数設けられたことを特徴とする請求項9記載の風車。

[請求項15] 前記羽根車には、該羽根車の回転力を電気力に変換する発電装置が連結されていることを特徴とする請求項9～14の何れか1項に記載された風車。

[請求項16] 前記ケーシングに導体制のメッシュが装着されたことを特徴とする請求項9～15の何れか1項に記載された風車。

[請求項17] 環状をなしその軸方向断面が非流線形の形状を有するケーシング内に羽根車を設け、周囲を流れる流れを前縁で内外の流れに分割して強制的に流れの剥離を起こし、この剥離によって前記ケーシング後方に渦列を形成し、前記渦列と渦列ゆらぎによって環状方向にセル構造を有する負圧領域を形成して、前記ケーシング内を流れる内部流れの流速を増加する非定常流れを利用した内部流れ増速方法であって、

前記ケーシングの肉厚形成の基準とされる基準線を、軸方向断面において前記前縁と後縁との間を連絡しかつこの前後縁間の前記スロート部の位置に凸部を有するサイクロイド曲線とし、

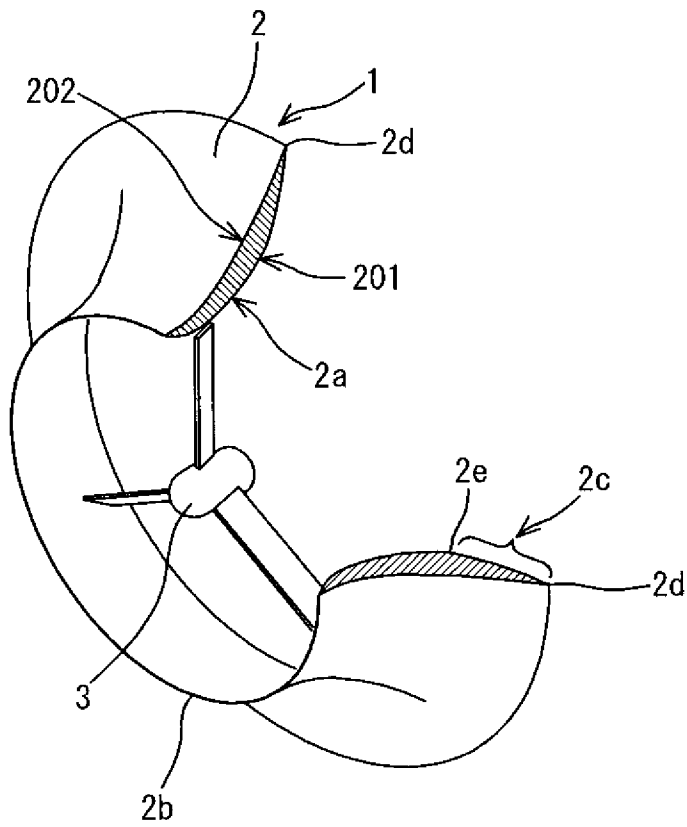
前記ケーシングの半径方向で内周側の面には、前記スロート部とこのスロート部より後流側に前記負圧領域を生成するための渦生成部を形成し、さらにこの渦生成部に隣接するスロート側隣接面にはその境

界位置に内部流れを剥離させる第2の流出勾配を形成し、かつ前記ケーシングの外周側の面には、前記後縁に外部流れをこの位置で剥離させるための第1の流出勾配を形成して、

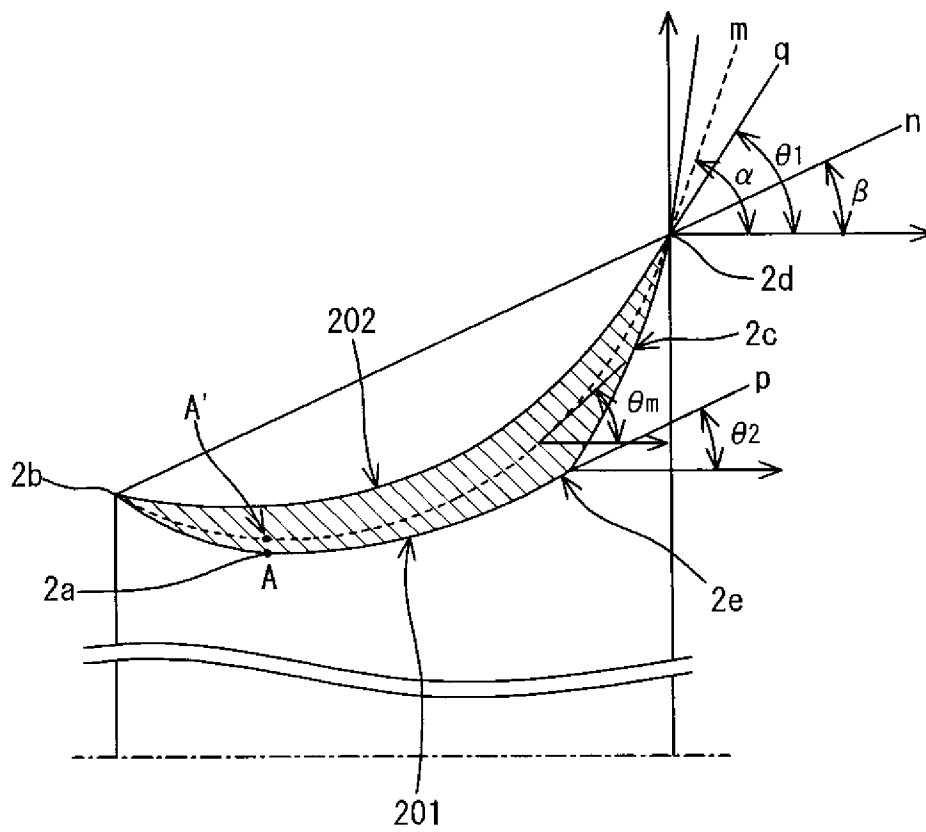
前記第1の流出勾配を前記前縁と前記後縁とを結ぶ円錐の母線の勾配以上の勾配に設定し、かつ前記第2の流出勾配は、前記基準のサイクロイド曲線が前記内周の面とされた場合における渦生成部先端の勾配を基準にこれ以下の勾配に設定し、

前記非流線形のケーシングにより前記渦生成部の背後に強い渦度の負圧領域を生成して内部流れを増速することを特徴とする非定常流れを利用した内部流れ増速方法。

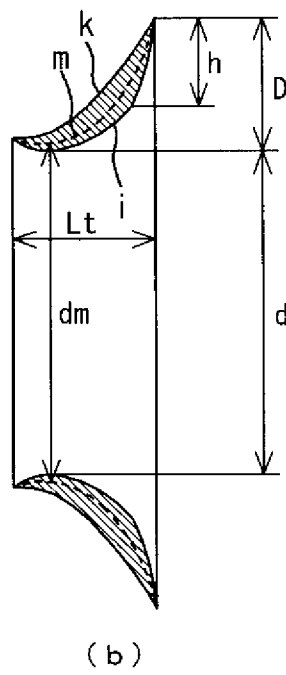
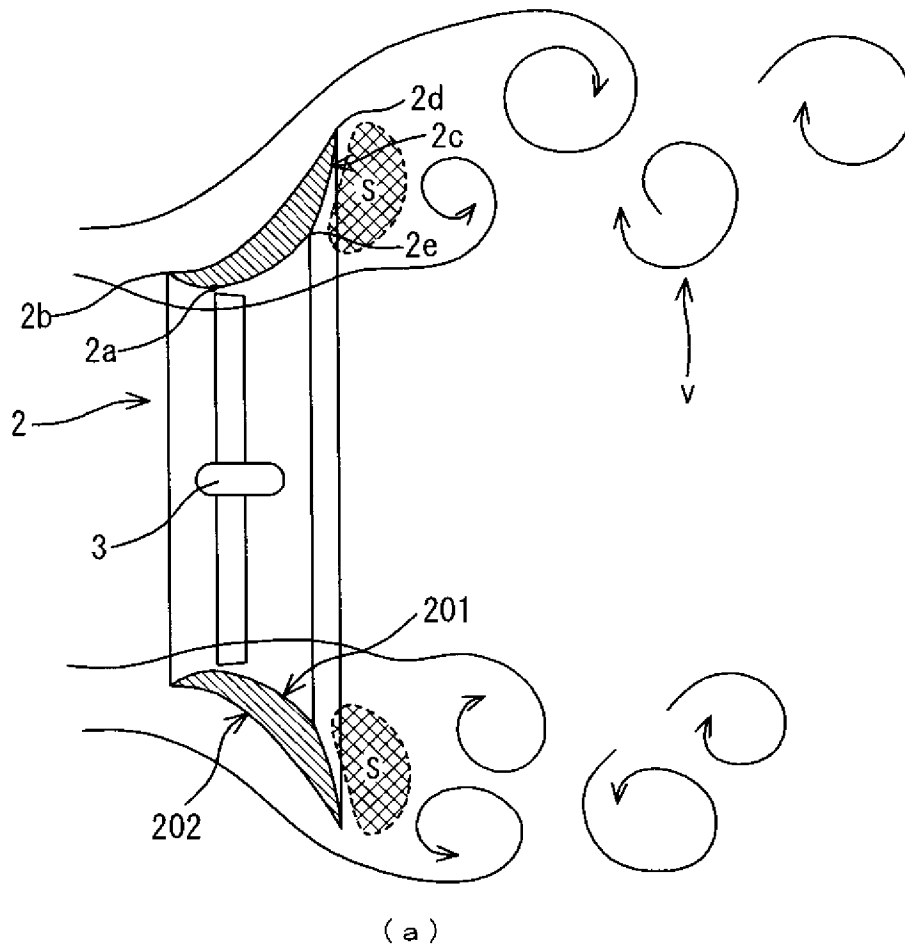
[図1]



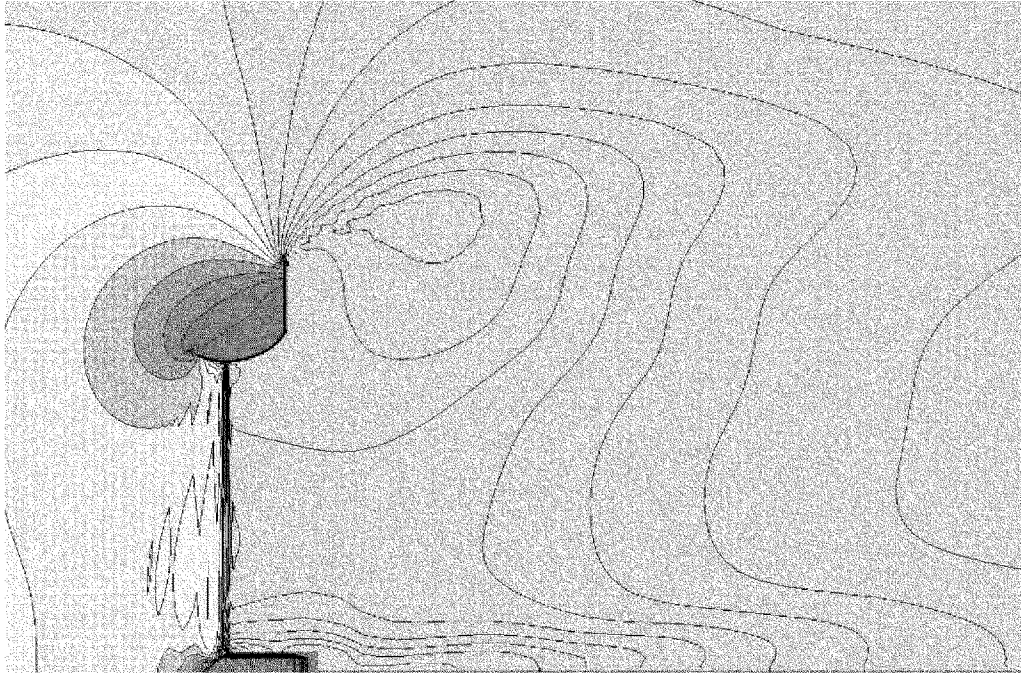
[図2]



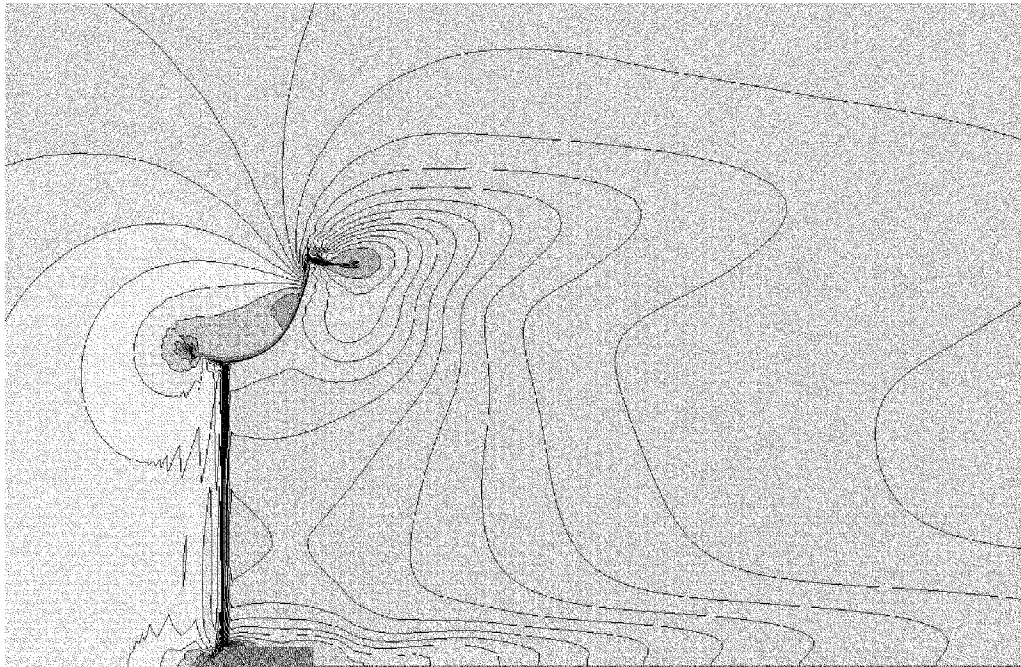
[図3]



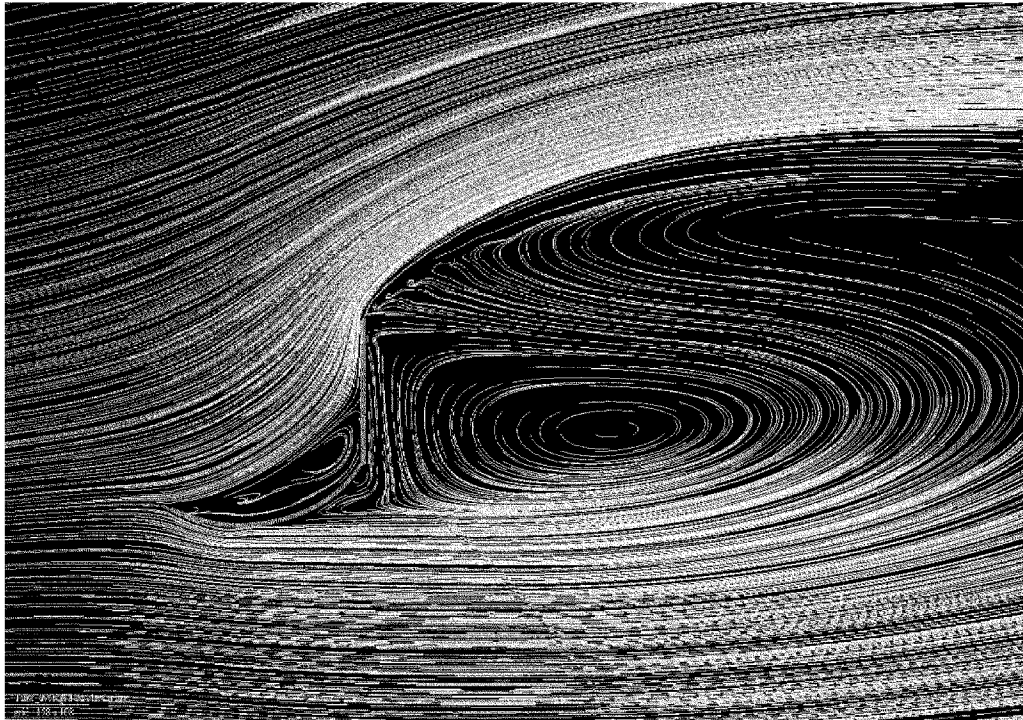
[圖4]



[圖5]



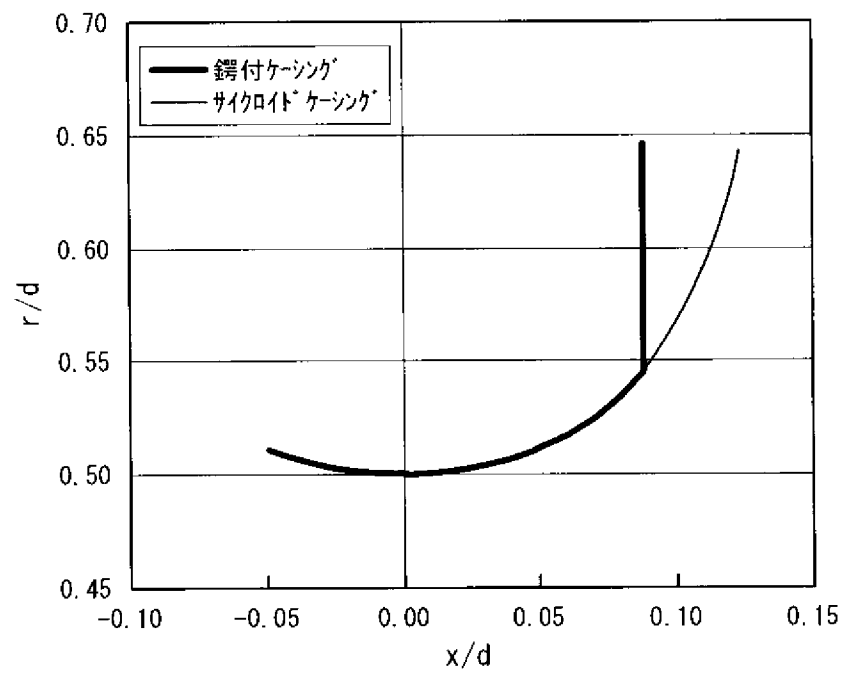
[図6]



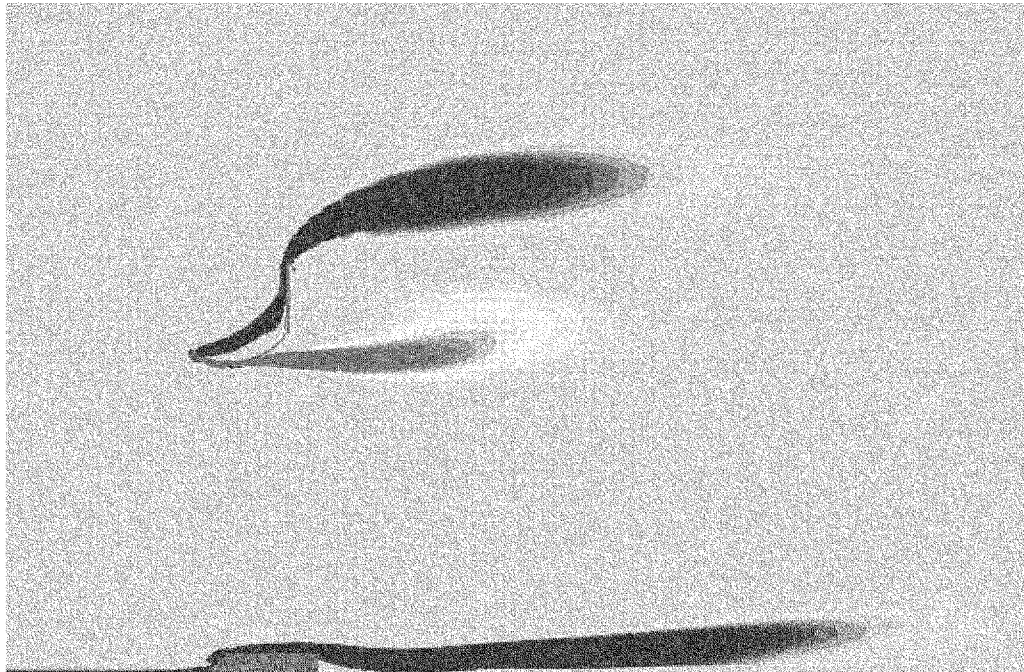
[図7]



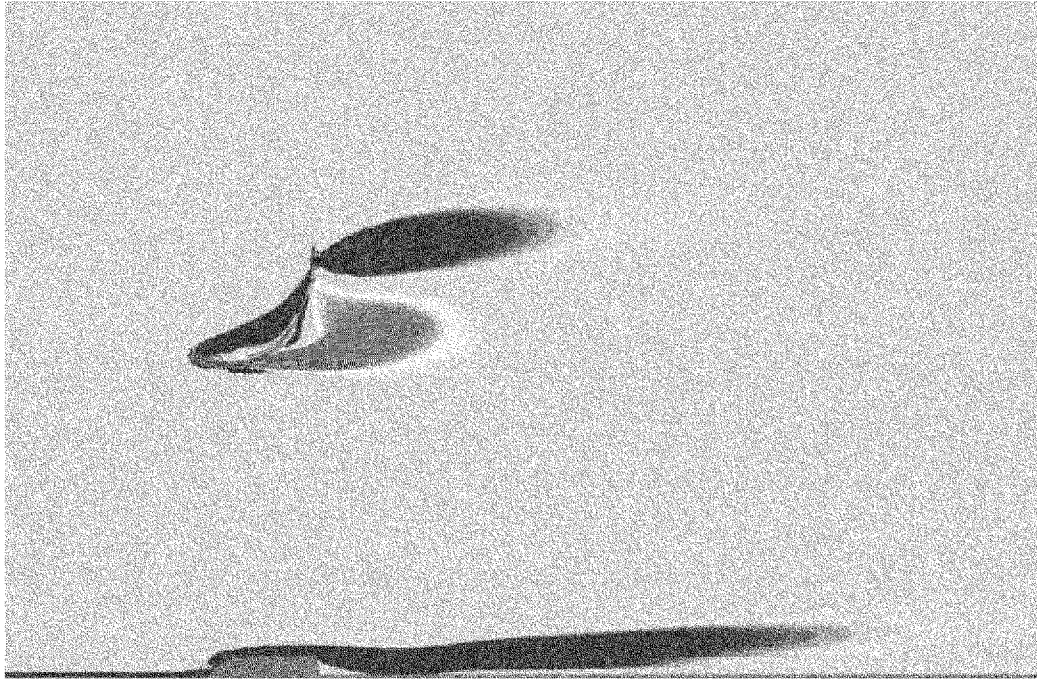
[図8]



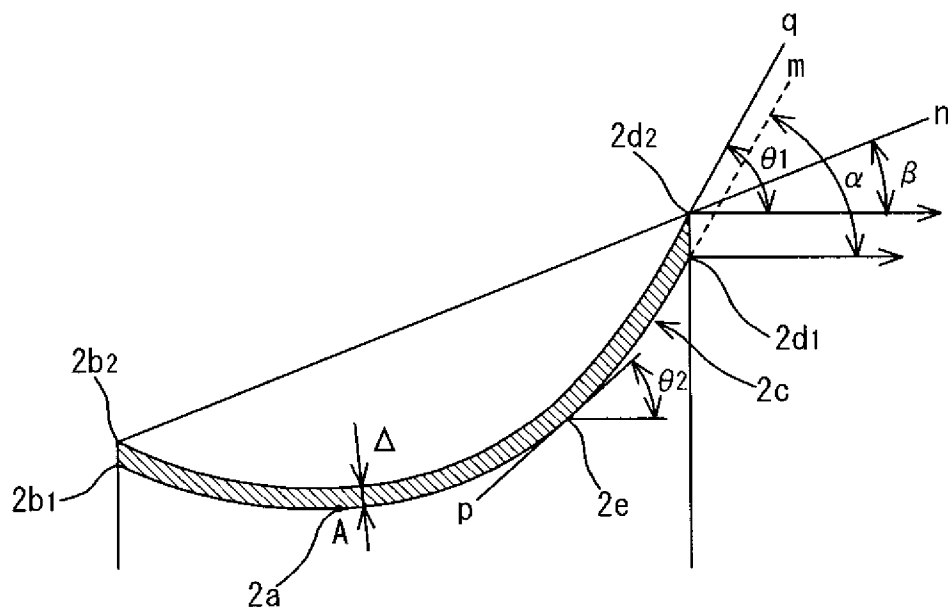
[図9]



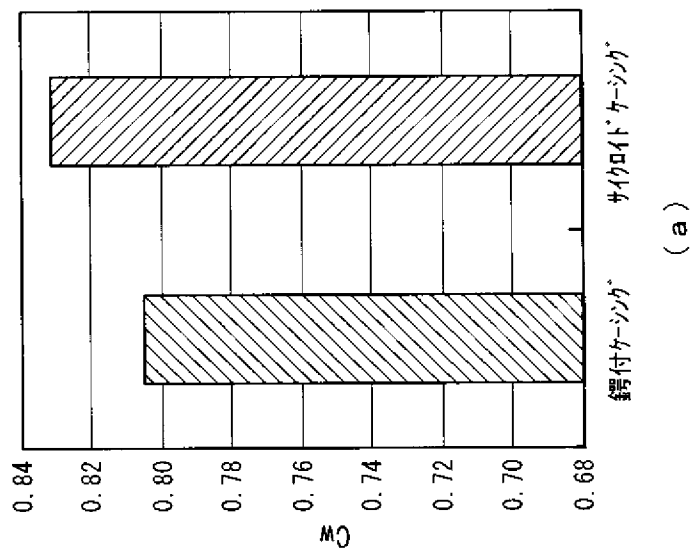
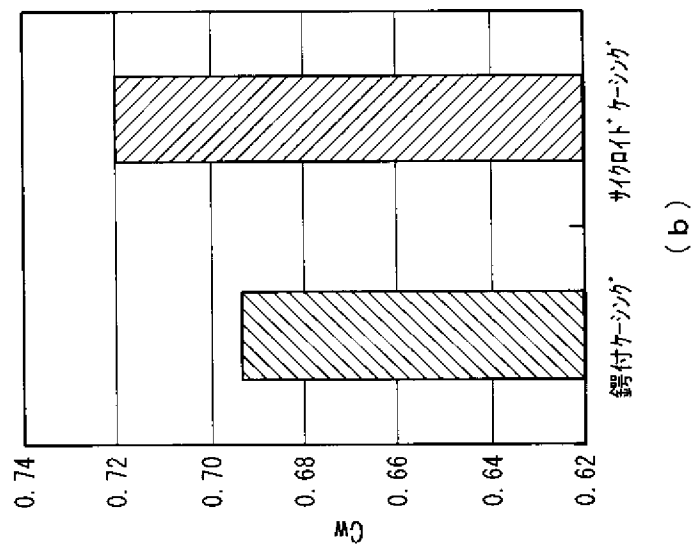
[図10]



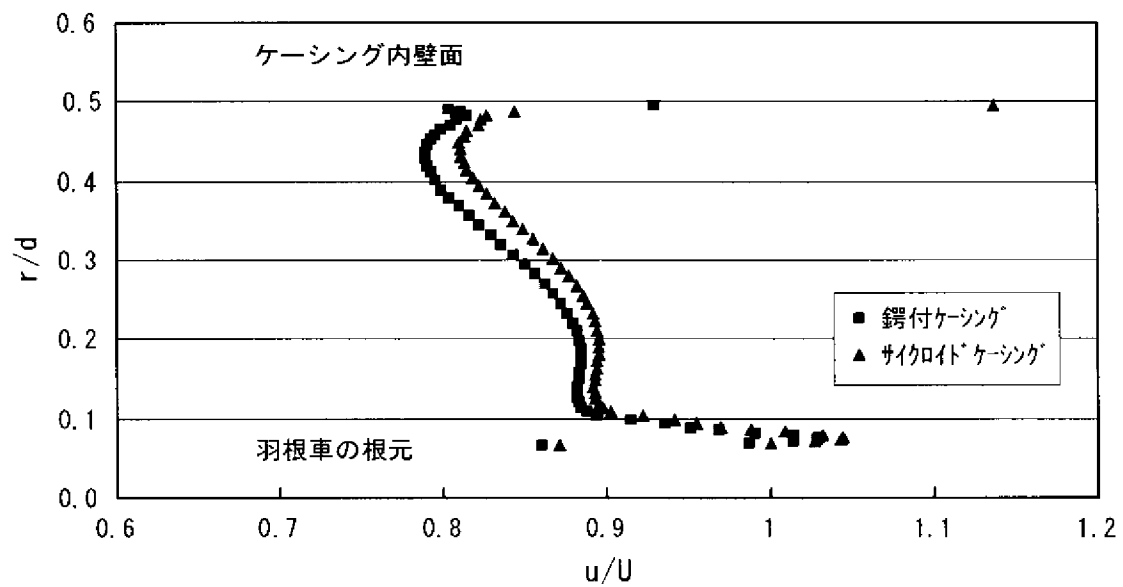
[図11]



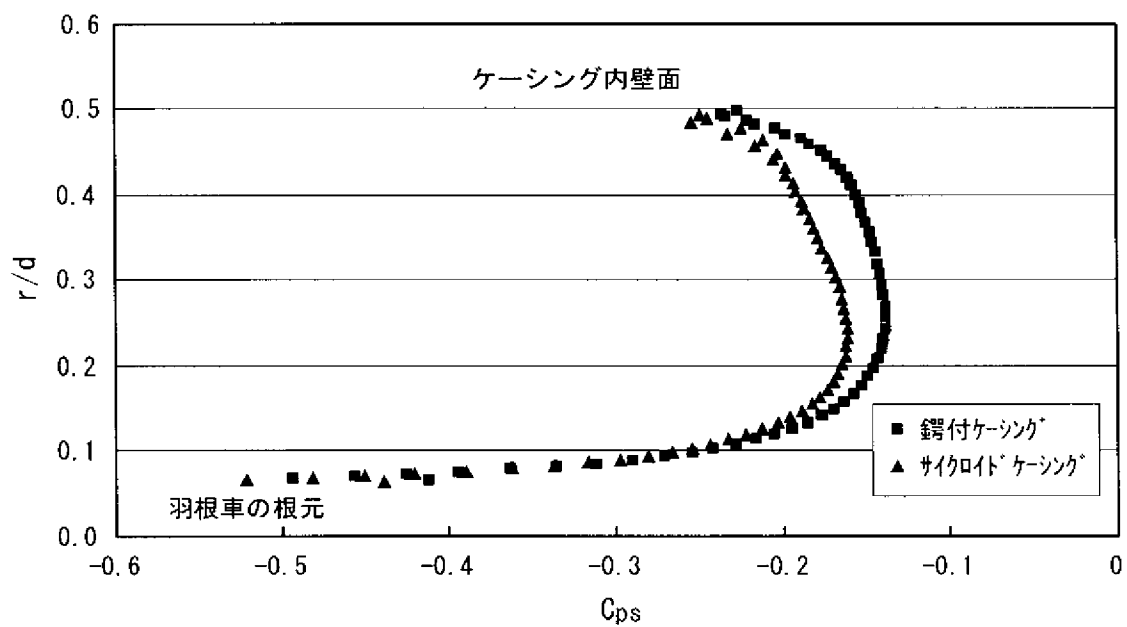
[図12]



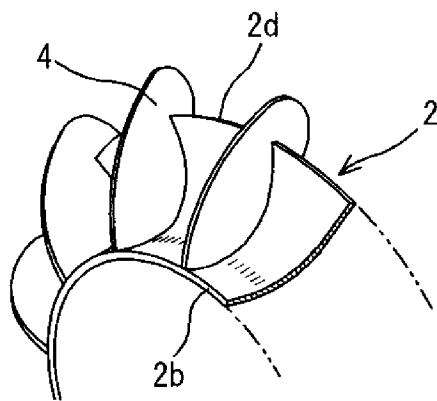
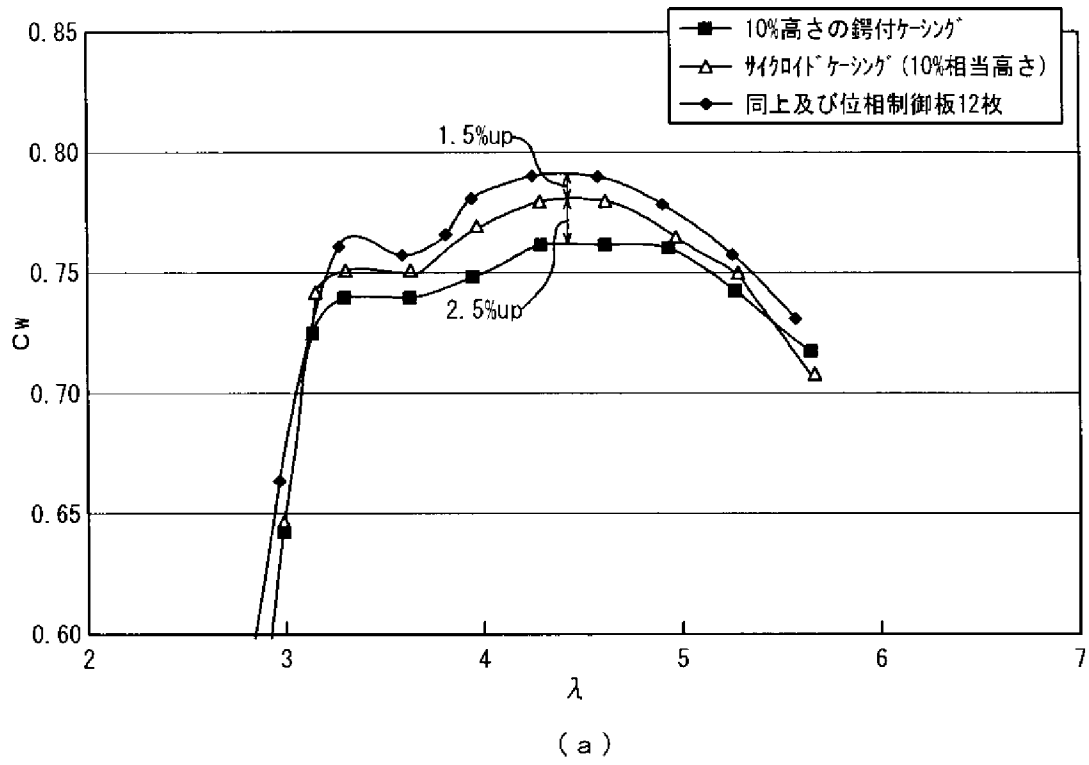
[図13]



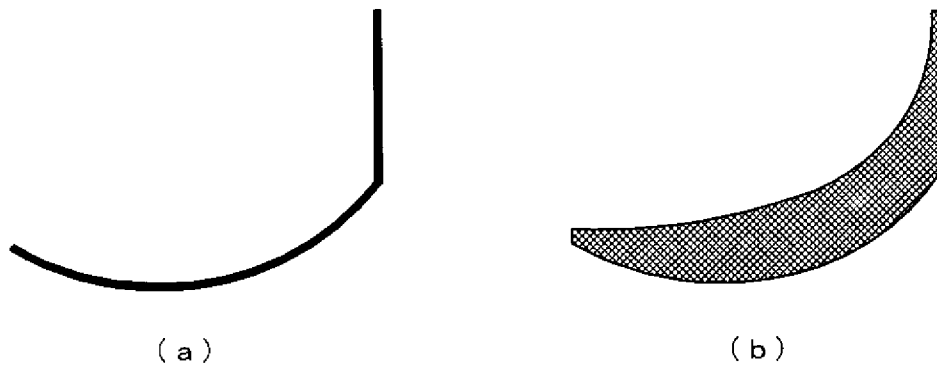
[図14]



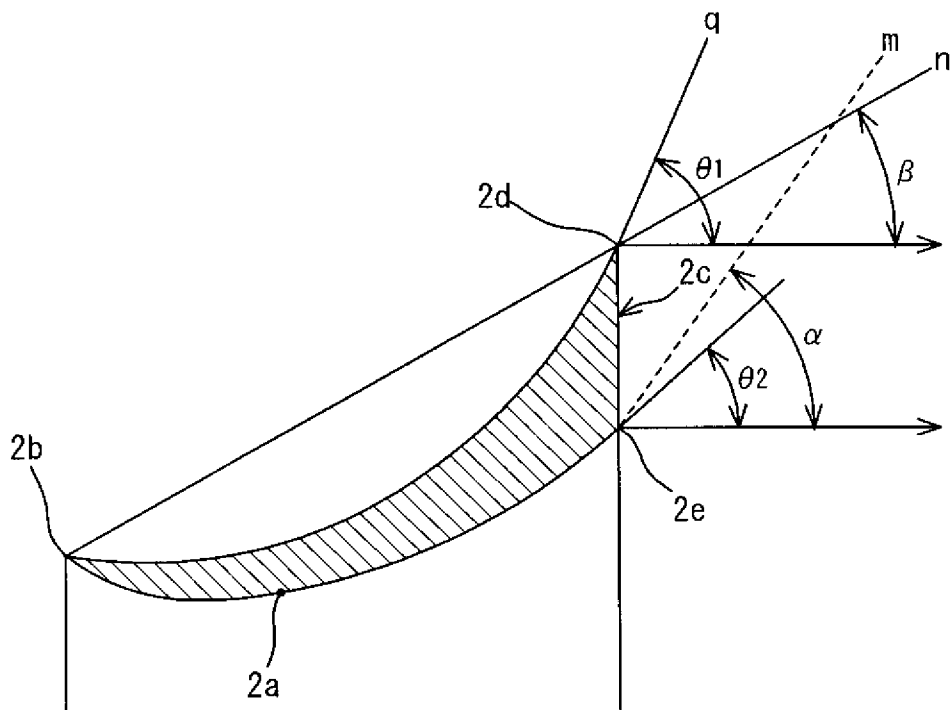
[図15]



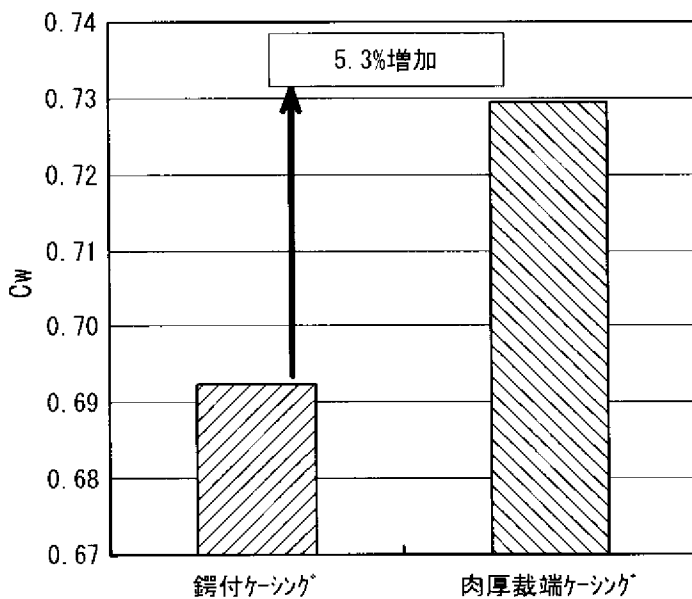
[圖16]



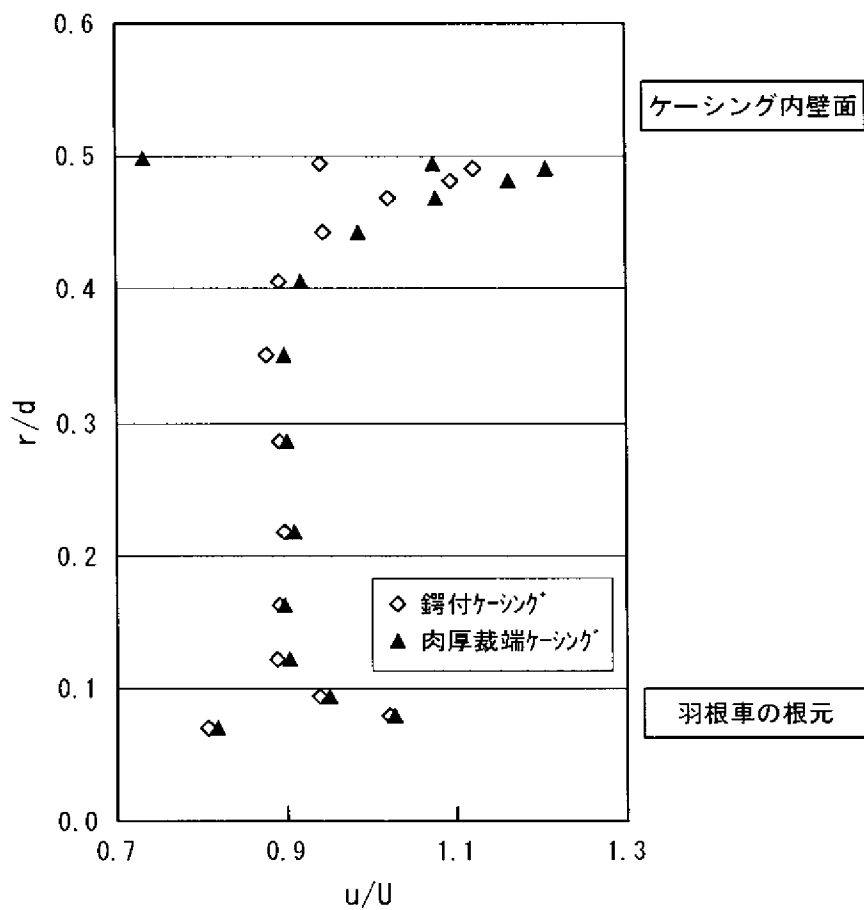
[圖17]



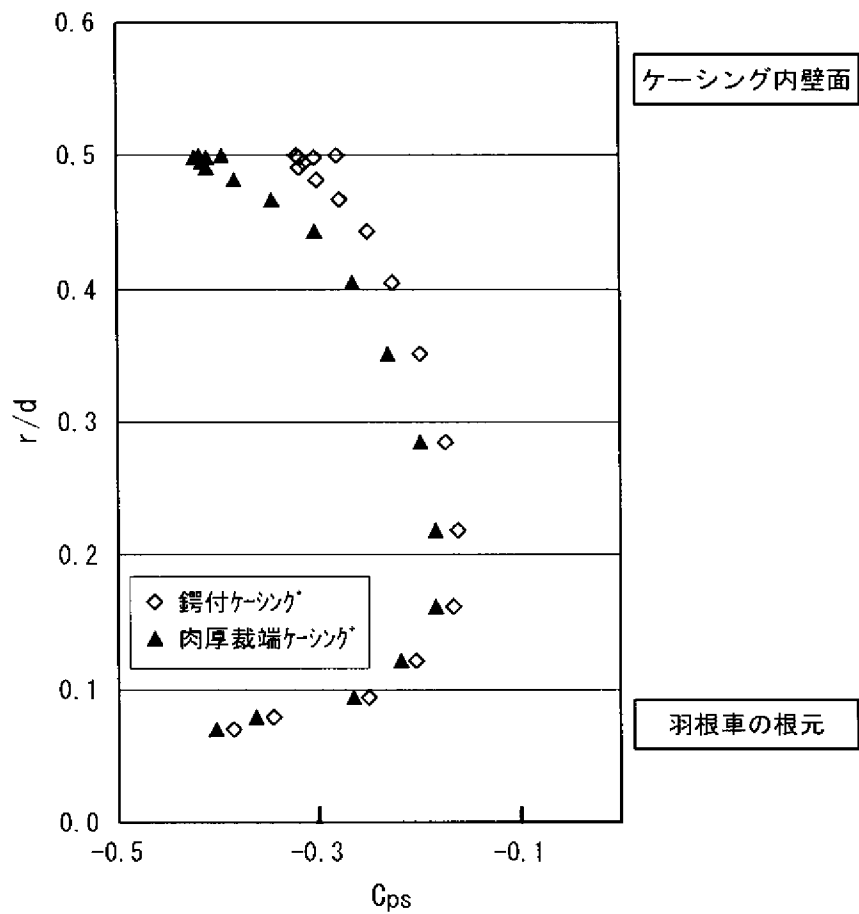
[図18]



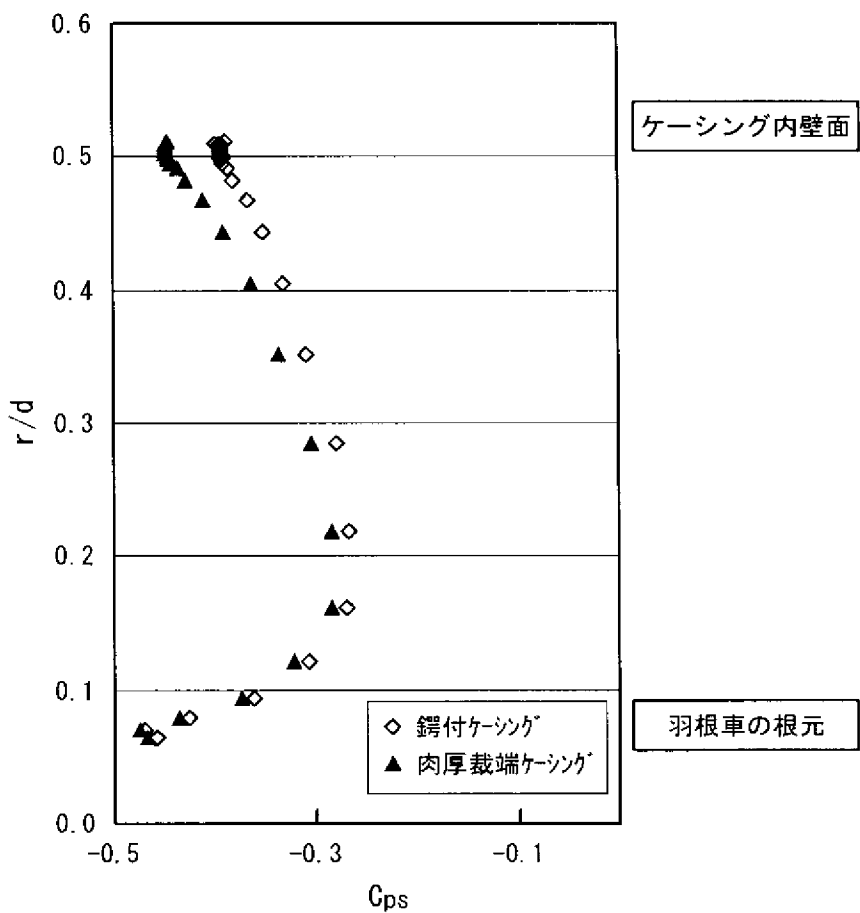
[図19]



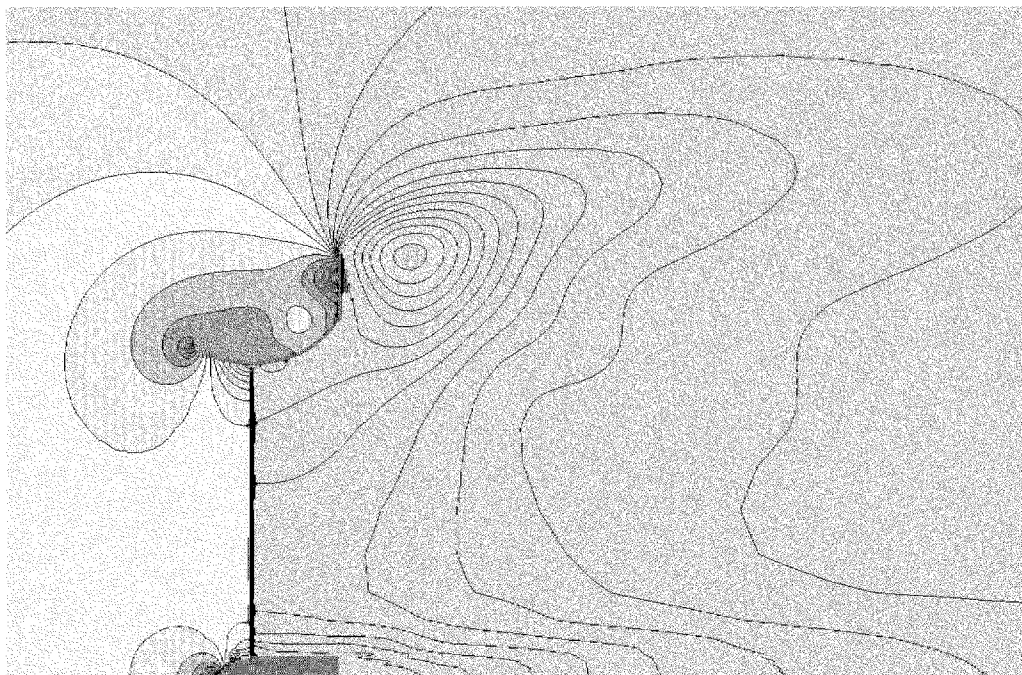
[図20]



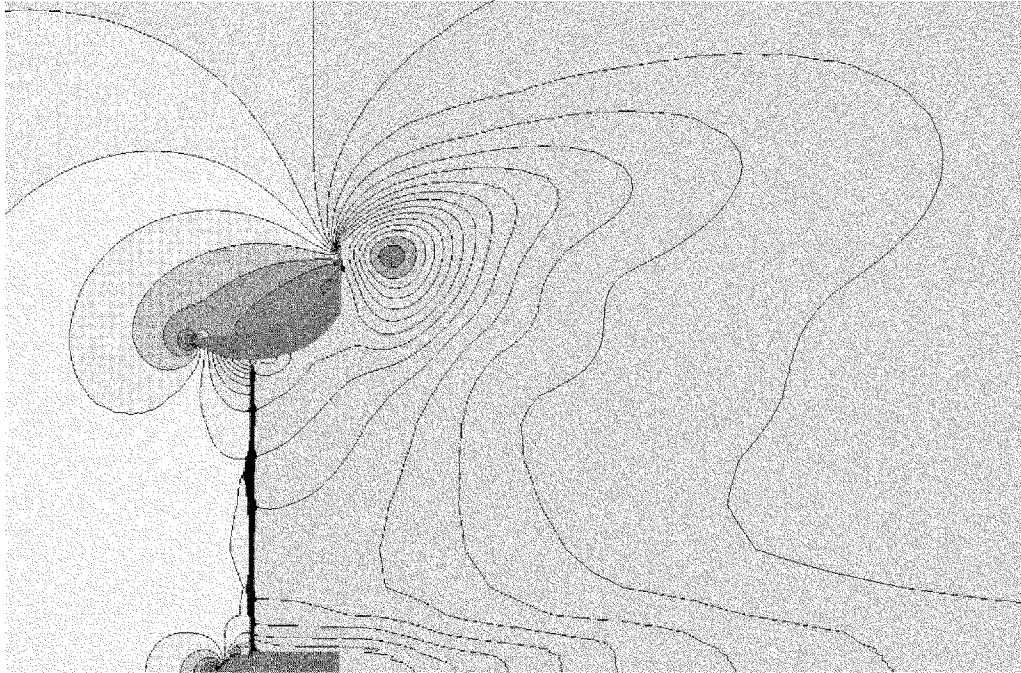
[図21]



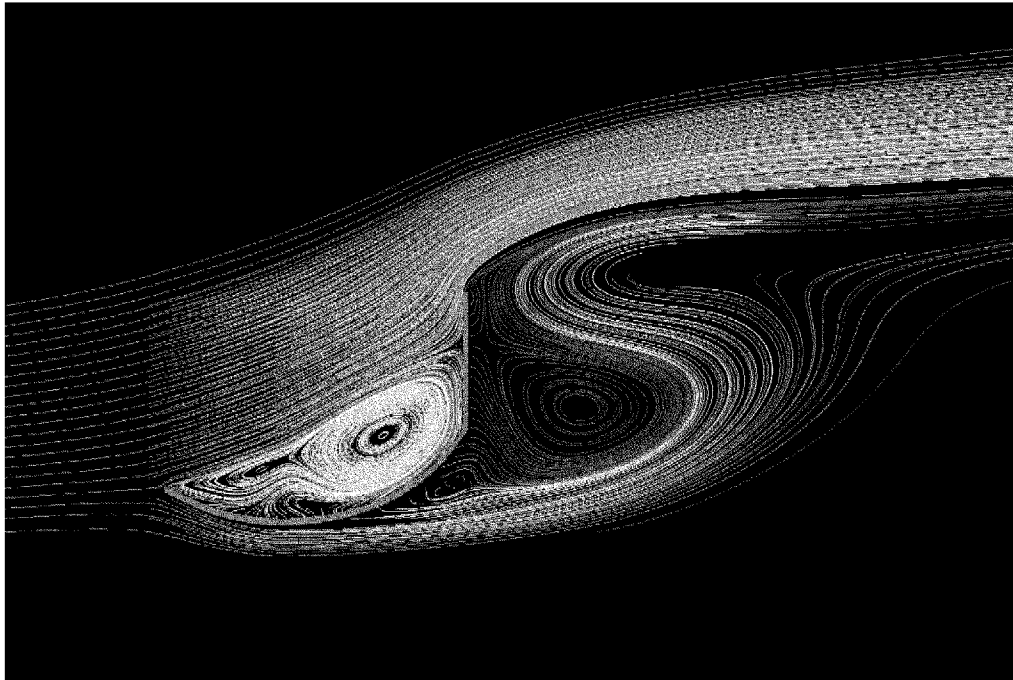
[図22]



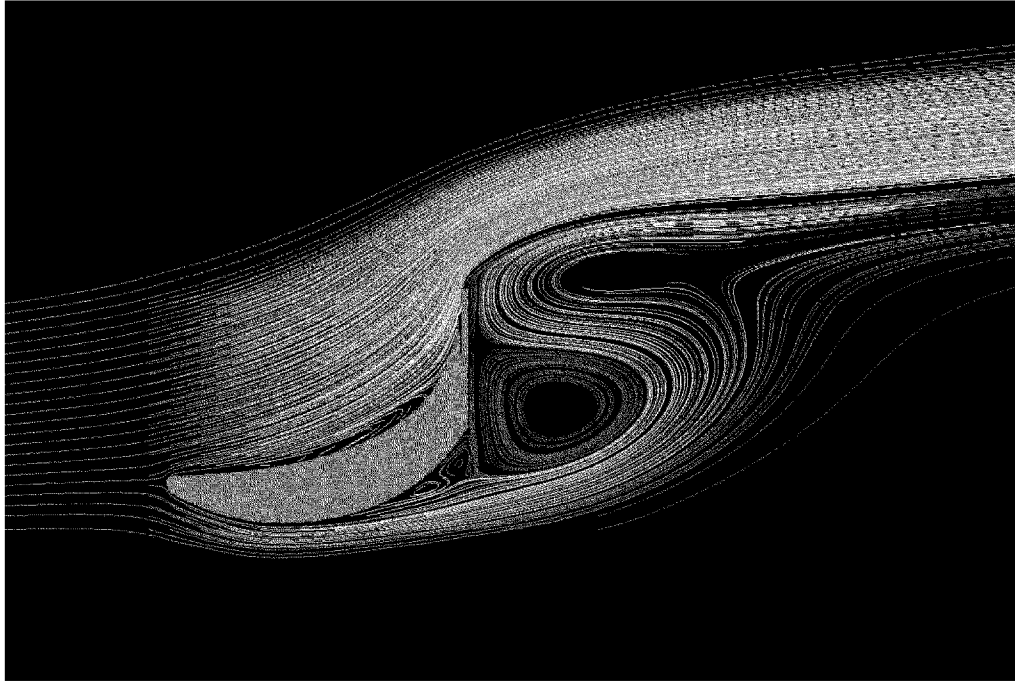
[図23]



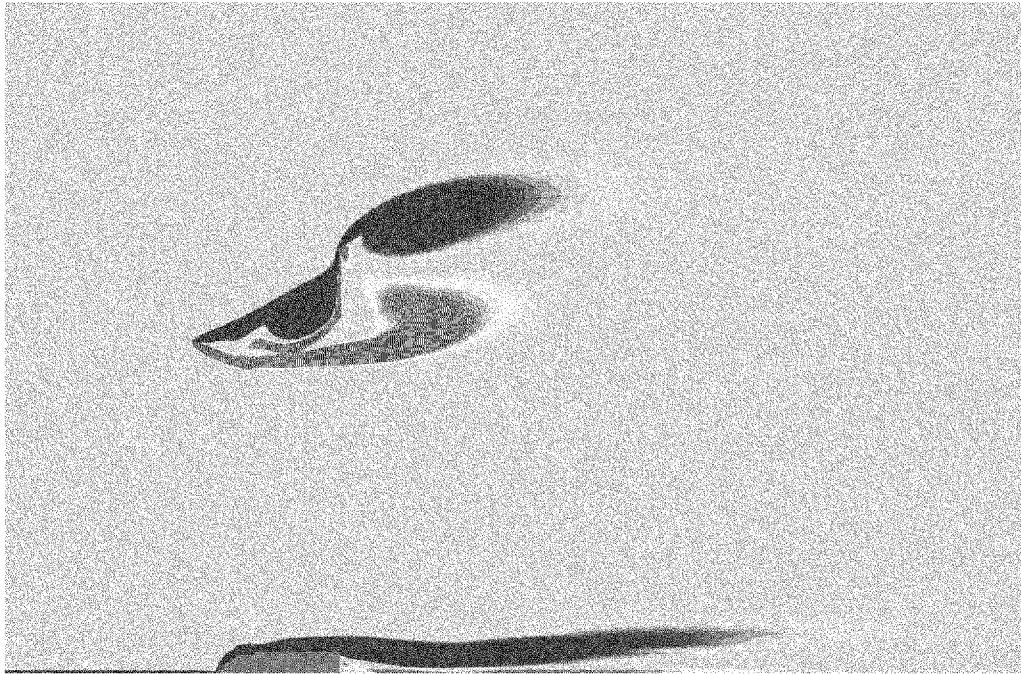
[図24]



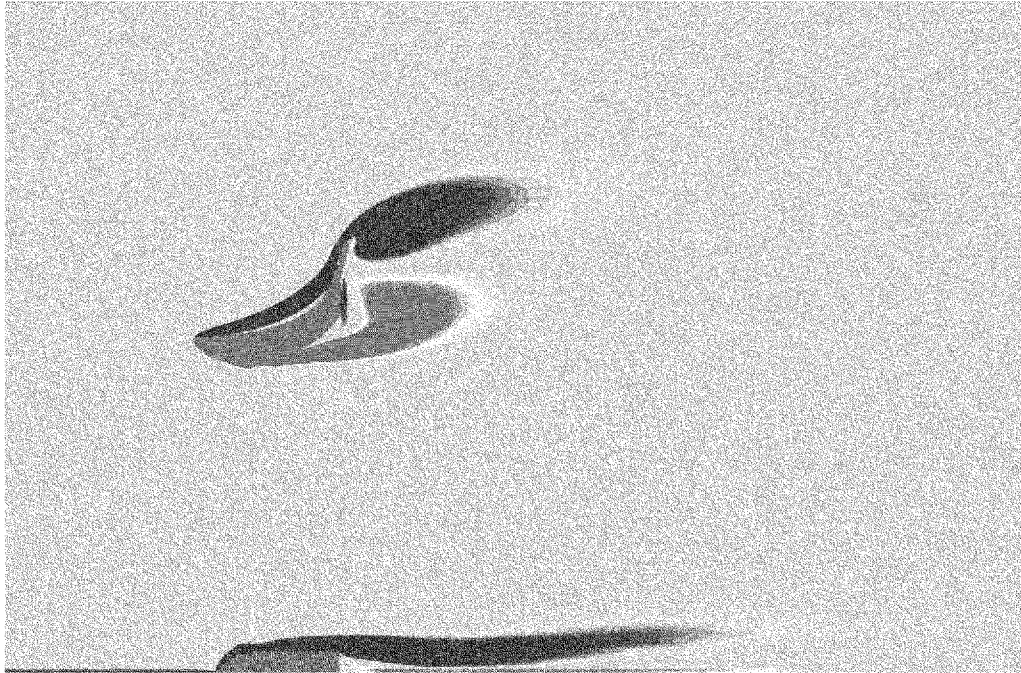
[図25]



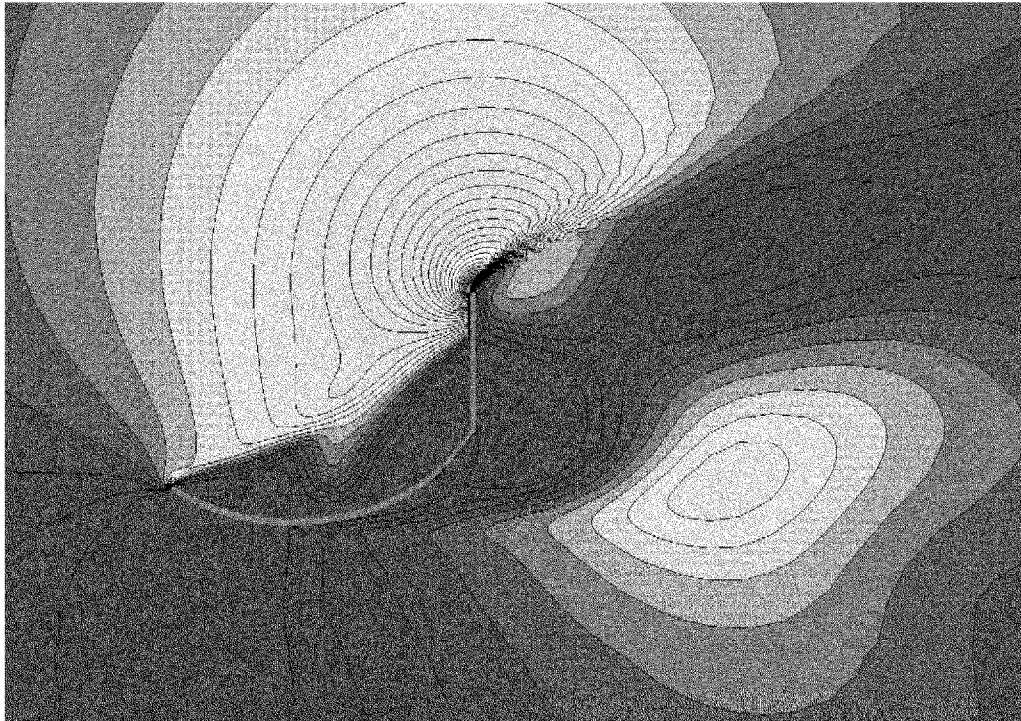
[図26]



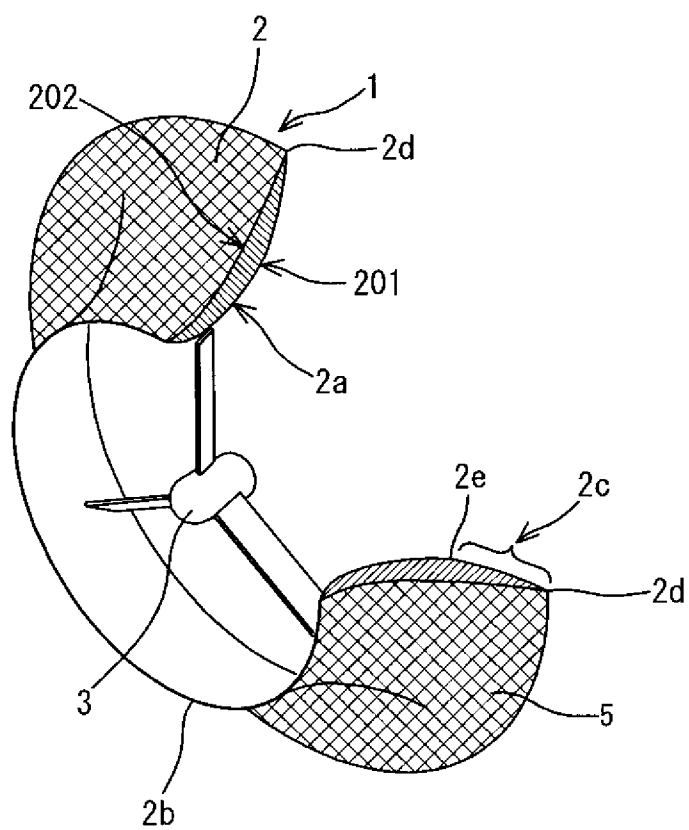
[図27]



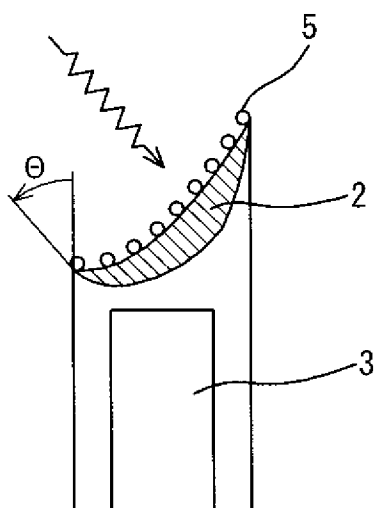
[図28]



[図31]

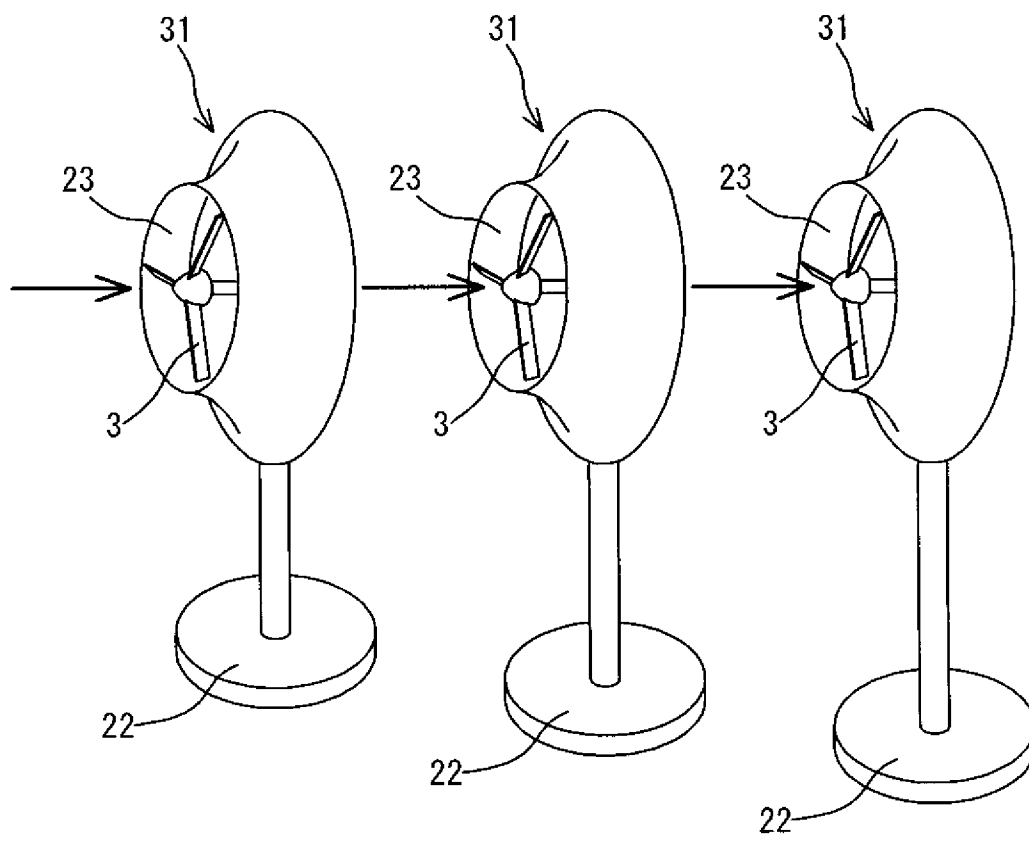


(a)



(b)

[図32]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/001809

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F03D1/04 (2006.01) i, *F03D1/06* (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)

F03D1/04, F03D1/06

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

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.
A	JP 2003-278635 A (Kyushu TLO Co., Ltd.), 02 October 2003 (02.10.2003), entire text; all drawings & US 2003/0178856 A1 & EP 1489298 A1 & WO 2003/081033 A1 & CN 1553994 A	1-17
A	JP 2006-152854 A (Fuji Heavy Industries Ltd.), 15 June 2006 (15.06.2006), paragraphs [0003], [0004], [0014] to [0019]; fig. 1 to 3 (Family: none)	1-17

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
13 May, 2010 (13.05.10)

Date of mailing of the international search report
25 May, 2010 (25.05.10)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/001809

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 141417/1974 (Laid-open No. 67943/1976) (Hitachi, Ltd.), 29 May 1976 (29.05.1976), page 2, line 15 to page 3, line 2; fig. 2 (Family: none)	1-17
A	JP 2002-317747 A (President of University of the Ryukyus), 31 October 2002 (31.10.2002), paragraph [0002]; fig. 1 (Family: none)	1-17
A	JP 2004-52721 A (Fu-jin Corp.), 19 February 2004 (19.02.2004), paragraphs [0012] to [0029]; fig. 1 to 7 (Family: none)	1-17

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. F03D1/04(2006.01)i, F03D1/06(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. F03D1/04, F03D1/06

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 1971-2010年
 日本国実用新案登録公報 1996-2010年
 日本国登録実用新案公報 1994-2010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
A	JP 2003-278635 A (株式会社産学連携機構九州) 2003.10.02, 全文, 全図 & US 2003/0178856 A1 & EP 1489298 A1 & WO 2003/081033 A1 & CN 1553994 A	1-17
A	JP 2006-152854 A (富士重工業株式会社) 2006.06.15, 段落【0003】、【0004】、【0014】-【0019】、図1-3 (ファミリーなし)	1-17

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。

<p>* 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的な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</p>	<p>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</p>
--	---

国際調査を完了した日 13.05.2010	国際調査報告の発送日 25.05.2010
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 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) 加藤 一彦 電話番号 03-3581-1101 内線 3358

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	日本国実用新案登録出願 49-141417 号(日本国実用新案登録出願公開 51-67943 号)の願書に添付した明細書及び図面の内容を撮影したマイクロフィルム (株式会社日立製作所) 1976.05.29, 第2頁第15行-第3頁第2行, 第2図 (ファミリーなし)	1-17
A	JP 2002-317747 A (琉球大学長) 2002.10.31, 段落【0002】, 図1 (ファミリーなし)	1-17
A	JP 2004-52721 A (株式会社風神コーポレーション) 2004.02.19, 段落【0012】-【0029】, 図1-7 (ファミリーなし)	1-17