

(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
2012年4月26日(26.04.2012)

PCT

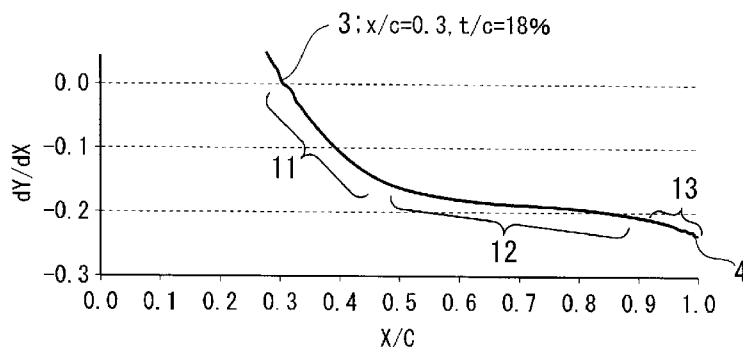
(10) 国際公開番号
WO 2012/053424 A1

- (51) 国際特許分類:
F03D 11/00 (2006.01)
 - (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/073566
 - (22) 国際出願日: 2011年10月13日(13.10.2011)
 - (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 2010-238041 2010年10月22日(22.10.2010) JP
 - (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 三菱重工業株式会社(MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 Tokyo (JP).
 - (72) 発明者; および
 - (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 深見 浩司 (FUKAMI, Koji) [JP/JP]; 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP).
 - (74) 代理人: 藤田 考晴, 外(FUJITA, Takaharu et al.); 〒2208137 神奈川県横浜市西区みなとみらい2-2-1 横浜ランドマークタワー37F Kanagawa (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, 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, QA, RO, RS, RU, RW, 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, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: WIND TURBINE BLADE, WIND POWER GENERATING DEVICE COMPRISING SAME, AND WIND TURBINE BLADE DESIGN METHOD

(54) 発明の名称: 風車翼およびこれを備えた風力発電装置ならびに風車翼の設計方法

[図4]



(57) Abstract: With the distance from the leading edge of a wind turbine blade along the chord line designated X and the distance from the chord line to the rear of the blade designated Y, a wind turbine blade rear shape is regulated from the point of maximum blade thickness at the rear of the blade (3) to the trailing edge (4) to comprise: a first region (11) extending from the point of maximum blade thickness at the rear of the blade (3) to the trailing edge (4), wherein the first derivative of X and Y dY/dX has a first degree of change which declines; a second region (12) positioned nearer to the trailing edge (4) side than the first region (11), wherein dY/dX has a second degree of change which is less than the first degree of change, extending to the trailing edge (4) side; and a third region (13) positioned nearer to the trailing edge (4) side than the second region (12), wherein dY/dX has a third degree of change which is greater than the second degree of change and which declines, said third region (13) being connected to the trailing edge (4).

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2012/053424 A1

翼弦線に沿う前縁からの距離を X 、翼弦線から翼背側までの距離を Y とした場合に、翼背側の最大翼厚位置(3)から後縁(4)側へと延在し、 Y の X に関する1次微分量である dY/dX が第1変化量を有して減少する第1領域(11)と、第1領域(11)の後縁(4)側に位置し、 dY/dX が第1変化量よりも小さい第2変化量を有して後縁(4)側へと延在する第2領域(12)と、第2領域(12)の後縁(4)側に位置し、 dY/dX が前記第2変化量よりも大きい第3変化量を有して減少し、後縁(4)まで接続される第3領域(13)とを有するように、最大翼厚位置(3)から後縁(4)にかけて翼背側形状が規定されている。

明 細 書

発明の名称：

風車翼およびこれを備えた風力発電装置ならびに風車翼の設計方法

技術分野

[0001] 本発明は、風車翼およびこれを備えた風力発電装置ならびに風車翼の設計方法に関するものである。

背景技術

[0002] 近年、クリーンエネルギーとして、風車による発電が進められている。風車は、風力によって翼を軸周りに回転させ、この回転力を電力に変換して発電出力を得る。

風車の発電出力は、軸端出力（翼が発生する出力）と、変換効率（軸受や発電機などの効率）との積で表される。また、軸端出力は次式で表され、翼効率が高く、翼直径が大きい翼であれば、発電量が向上する。

$$\text{軸端出力} = 1/2 \times \text{空気密度} \times \text{風速}^3 \times \text{翼効率} \times \pi \times (\text{翼直径}/2)^2$$

[0003] 翼効率は、理論上の上限値（ベッツ限界=0.593）が存在し、実際上は風車後流の影響と翼の空気抵抗の存在で上限値は0.5程度となる。したがって、翼効率のこれ以上の大幅な改善は難しい。

一方、翼直径はその自乗で出力に影響を持つため、発電量向上のためには翼直径の拡大が効果的である。しかし、翼直径の拡大は空力荷重（流入方向に作用するスラスト力および翼根に伝わるモーメント）の増大に繋がるため、ロータヘッド、ナセル、タワーなどの機器の大型化や重量増大、ひいてはコスト増に繋がる懸念・傾向がある。したがって、翼の空力荷重の増大を抑えながら長翼化する技術が必須とされる。荷重増大の問題を避けるため、空力的（翼形状的）に考えられる方法としては、コード長（翼弦長）をより短くして（即ち、アスペクト比をより大きくして、又はソリディティをより小さくして）、翼投影面積を減少させて空力荷重を低減させる手法が考えられる。

ここで、アスペクト比およびソリディティは、下式で表される。

$$\text{アスペクト比} = \text{翼長}^2 / \text{翼投影面積} \cdots (1)$$

$$\text{ソリディティ} = \text{全翼投影面積} / \text{翼掃過面積}$$

$$= (\text{翼枚数} \times \text{平均コード長}) / (\pi \times (\text{翼直径}/2)^2) \cdots (2)$$

[0004] 一般に、風車翼は、所定の周速比に対して所定の最適コード長を持ち、次式の関係がある (Wind Energy Handbook, John Wiley & Sons, p378)。

$$C_{opt} / R \times \lambda^2 \times C_{Ldesign} \times r / R \cong 16 / 9 \times \pi / n \cdots (3)$$

ここで、 C_{opt} は最適コード長、 R (翼半径) は翼直径の2分の1、 λ は設計周速比、 $C_{Ldesign}$ は設計揚力係数、 r は翼断面の半径位置、 n は翼枚数である。

設計周速比は、翼端周速/無限上流風速である。設計揚力係数は、翼型 (翼断面) の揚抗比 (揚力/抗力) が最大となる迎角における揚力係数であり、翼型 (翼断面) の (空力) 形状と流入条件 (レイノルズ数) によって決まる。

図8には、本明細書にて用いるレイノルズ数の定義が示されている。同図に示されているように、風車におけるレイノルズ数は、所定の回転数で回転する翼の所定断面A-Aにおける相対風速度を考慮したものであり、下式にて表される。

$$\text{レイノルズ数} = \text{空気密度} \times \text{翼断面への相対風速度} \times \text{翼断面のコード長} / \text{空気の粘性係数}$$

[0005] 下記特許文献1には、風車出力向上のための翼型が開示されている。具体的には、翼厚比が14%から45%の範囲で設計揚力係数が1.10~1.25の範囲とされた翼型が開示されている (請求項1参照)。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：欧州特許出願公開第1152148号明細書

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] しかし、特許文献1のように所望の設計揚力係数を定めて風車出力の向上が図れたとしても、これと同時に風車翼の空力騒音についても考慮されなければ、風車を設置した周囲環境に悪影響を及ぼすことになる。

[0008] 本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであって、風車翼の空力騒音を低減できる風車翼およびこれを備えた風力発電装置ならびに風車翼の設計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

[0009] 上記課題を解決するために、本発明の風車翼およびこれを備えた風力発電装置ならびに風車翼の設計方法は以下の手段を採用する。

すなわち、本発明の第一の態様にかかる風車翼は、翼弦線に沿う前縁からの距離を X 、翼弦線から翼背側までの距離を Y とした場合に、翼背側の最大翼厚位置から後縁側へと延在し、前記 Y の前記 X に関する1次微分量である dY/dX が第1変化量を有して減少する第1領域と、該第1領域の後縁側に位置し、前記 dY/dX が前記第1変化量よりも小さい第2変化量を有して後縁側へと延在する第2領域と、該第2領域の後縁側に位置し、前記 dY/dX が前記第2変化量よりも大きい第3変化量を有して減少し、後縁まで接続される第3領域とを有するように、前記最大翼厚位置から後縁にかけて翼背側形状が規定されているものである。

[0010] 風車翼の空力騒音の主要因は、翼背側の最大翼厚位置から後縁にかけて発達する乱流境界層から吐出される境界層中の渦である。したがって、翼背側の最大翼厚位置から後縁にかけて発達する乱流境界層の厚さを薄くすることにより、空力騒音を低減することができる。

そこで、本発明では、 Y （翼弦線から翼背側までの距離）の X （翼弦線に沿う前縁からの距離）に関する1次微分量である dY/dX について検討した。そして、最大翼厚位置から後縁側へと延在し、 dY/dX が第1変化量を有して減少する第1領域と、第1領域の後縁側に位置し、 dY/dX が第1変化量よりも小さい第2変化量を有して後縁側へと延在する第2領域と、第2領域の後縁側に

位置し、 dY/dX が第2変化量よりも大きい第3変化量を有して減少し、後縁まで接続される第3領域とを有するように、最大翼厚位置から後縁にかけて翼背側形状を規定することとした。すなわち、横軸を X 、縦軸を dY/dX とした場合、第1領域、第2領域および第3領域によって、略S字形状の曲線を描くように dY/dX が変化するようにした。

第2領域を、第1領域および第3領域よりも dY/dX の変化量を小さくしているので、この第2領域では翼面流速の減速率が小さくなり乱流境界層の発達を抑えることができる。これにより、空力騒音を低減した風車翼を提供することができる。

なお、第2領域は、翼面流速の減速率を小さくするために、 dY/dX の変化量が略ゼロに近づくように（ dY/dX が略一定に近づくように）規定することが好ましい。

なお、好ましくは、設計周速比（翼端周速／流入風速）は6以上（より好ましくは8.0以上9.0以下）、レイノルズ数は300万以上1000万以下とされる。

[0011] 本発明の第一の態様にかかる風車翼においては、前縁における前記 X を0%および後縁における前記 X を100%として前記 X をコード長で除して正規化した場合、該 X が29%以上31%以下とされる範囲内に、前記最大翼厚位置が設けられていることが好ましい。

[0012] また、本発明の第一の態様にかかる風車翼においては、前縁における前記 X を0%および後縁における前記 X を100%として前記 X をコード長で除して正規化した場合、該 X が50%以上65%以下とされる範囲内に、最大キャンバー位置が設けられていることが好ましい。

[0013] さらに、本発明の第一の態様にかかる風車翼においては、翼根側から翼先端側へと向かう半径方向に延在するとともに、各半径位置にて最大翼厚が変化する翼本体部を備え、該翼本体部の各半径位置の断面における翼形状が、それぞれの断面における最大翼厚の増減に応じて前記 dY/dX が増減させられていることが好ましい。

- [0014] 最大翼厚の増減に応じて dY/dX を増減することによって翼形状が決定されるので、空力騒音の小さい翼形状を容易に設計することができる。
- [0015] さらに、本発明の第一の態様にかかる風車翼においては、翼根側から翼先端側へと向かう半径方向に延在するとともに、各半径位置にて最大翼厚位置が変化する翼本体部を備え、該翼本体部の各半径位置の断面における翼形状が、それぞれの断面における最大翼厚位置の変化に応じて前記 X が変化させられていることが好ましい。
- [0016] 最大翼厚位置の変化に応じて X を変化することによって翼形状が決定されるので、空力騒音の小さい翼形状を容易に設計することができる。
- [0017] さらに、本発明の第一の態様にかかる風車翼においては、翼断面のコード長を C とした場合、 X/C 、 Y/C 及び前記 dY/dX が、

[表1]

| X/C | Y/C | dY/dX |
|--------|--------|----------|
| 0.3000 | 0.1157 | |
| 0.3500 | 0.1149 | -0.05300 |
| 0.4000 | 0.1111 | -0.10420 |
| 0.4500 | 0.1051 | -0.14060 |
| 0.5000 | 0.0976 | -0.16200 |
| 0.5500 | 0.0892 | -0.17410 |
| 0.6000 | 0.0803 | -0.18150 |
| 0.6500 | 0.0712 | -0.18580 |
| 0.7000 | 0.0618 | -0.18840 |
| 0.7500 | 0.0523 | -0.19110 |
| 0.8000 | 0.0427 | -0.19530 |
| 0.8500 | 0.0328 | -0.20100 |
| 0.9000 | 0.0226 | -0.20850 |
| 0.9500 | 0.0120 | -0.21830 |
| 1.0000 | 0.0007 | |

と定義され、前記Y/Cの各数値に関して±3%の誤差範囲内にある翼形状を有することが好ましい。

[0018] 本発明の第二の態様にかかる風力発電装置は、上記の風車翼と、該風車翼の翼根側に接続され、該風車翼によって回転させられるロータと、該ロータによって得られた回転力を電気出力に変換する発電機とを備えているものである。

[0019] また、本発明の第三の態様にかかる風車翼の設計方法は、翼弦線に沿う前縁からの距離をX、翼弦線から翼背側までの距離をYとした場合に、翼背側

の最大翼厚位置から後縁側へと延在し、前記 Y の前記 X に関する 1 次微分量である dY/dX が第 1 変化量を有して減少する第 1 領域と、該第 1 領域の後縁側に位置し、前記 dY/dX が前記第 1 変化量よりも小さい第 2 変化量を有して後縁側へと延在する第 2 領域と、該第 2 領域の後縁側に位置し、前記 dY/dX が前記第 2 変化量よりも大きい第 3 変化量を有して減少し、後縁まで接続される第 3 領域とを有するように、前記最大翼厚位置から後縁にかけて翼背側形状を規定するものである。

[0020] 風車翼の空力騒音の主要因は、翼背側の最大翼厚位置から後縁にかけて発達する乱流境界層から吐出される境界層中の渦である。したがって、翼背側の最大翼厚位置から後縁にかけて発達する乱流境界層の厚さを薄くすることにより、空力騒音を低減することができる。

そこで、本発明では、Y（翼弦線から翼背側までの距離）の X（翼弦線に沿う前縁からの距離）に関する 1 次微分量である dY/dX について検討した。そして、最大翼厚位置から後縁側へと延在し、 dY/dX が第 1 変化量を有して減少する第 1 領域と、第 1 領域の後縁側に位置し、 dY/dX が第 1 変化量よりも小さい第 2 変化量を有して後縁側へと延在する第 2 領域と、第 2 領域の後縁側に位置し、 dY/dX が第 2 変化量よりも大きい第 3 変化量を有して減少し、後縁まで接続される第 3 領域とを有するように、最大翼厚位置から後縁にかけて翼背側形状を規定することとした。すなわち、横軸を X、縦軸を dY/dX とした場合、第 1 領域、第 2 領域および第 3 領域によって、略 S 字形状の曲線を描くように dY/dX が変化するようにした。

第 2 領域を、第 1 領域および第 3 領域よりも dY/dX の変化量を小さくしているので、この第 2 領域では翼面流速の減速率が小さくなり乱流境界層の発達を抑えることができる。これにより、空力騒音を低減した風車翼を提供することができる。

なお、第 2 領域は、翼面流速の減速率を小さくするために、 dY/dX の変化量が略ゼロに近づくように（ dY/dX が略一定に近づくように）規定することが好ましい。

なお、好ましくは、設計周速比（翼端周速／流入風速）は6以上（より好ましくは8.0以上9.0以下）、レイノルズ数は300万以上1000万以下とされる。

[0021] 本発明の第三の態様にかかる風車翼の設計方法においては、上記の風車翼の設計方法によって基準となる基準翼形状を決定する基準翼形状決定ステップと、該基準翼形状決定ステップにて決定された前記基準翼形状の最大翼厚が異なる第2翼形状を決定する際に、該基準翼形状の最大翼厚に対する最大翼厚の増減に応じて前記 dY/dX を増減させて第2翼形状を決定する第2翼形状決定ステップと、を有していることが好ましい。

[0022] 最大翼厚の増減に応じて dY/dX を増減することによって翼形状が決定されるので、空力騒音の小さい翼形状を容易に設計することができる。

[0023] また、本発明の第三の態様にかかる風車翼の設計方法においては、上記の風車翼の設計方法によって基準となる基準翼形状を決定する基準翼形状決定ステップと、該基準翼形状決定ステップにて決定された前記基準翼形状の最大翼厚位置が異なる第3翼形状を決定する際に、該基準翼形状の最大翼厚位置に対する最大翼厚位置の変化に応じて前記 X を変化させて第3翼形状を決定する第3翼形状決定ステップとを有していることが好ましい。

[0024] 最大翼厚位置の変化に応じて X を変化することによって翼形状が決定されるので、空力騒音の小さい翼形状を容易に設計することができる。

発明の効果

[0025] 本発明によれば、翼背側の最大翼厚位置から後縁にかけて発達する乱流境界層の厚さを薄くすることができ、これにより空力騒音を低減することができる。

図面の簡単な説明

[0026] [図1]風車翼の代表的形状を示した斜視図である。

[図2]図1の各翼厚比における断面を示した図である。

[図3]空力騒音の主要因となる乱流境界層について示した説明図である。

[図4]本発明の実施形態にかかる風車翼の背側形状の規定の仕方を示した図で

ある。

[図5]図4に示した dY/dX 曲線を変化させた図である。

[図6]図4の翼型の設計思想を示した説明図である。

[図7]図4の翼型の効果を示したグラフである。

[図8]レイノルズ数の定義を示した説明図である。

発明を実施するための形態

[0027] 以下に、本発明にかかる実施形態について、図面を参照して説明する。

本実施形態にかかる風車翼は、発電用の風車に対して好適に用いられる。風車翼は、例えば3枚設けられ、それぞれが約 120° の間隔を有してロータに接続されている。好ましくは、風車翼の回転直径（翼直径）は60m以上とされ、ソリディティが0.2以上0.6以下の細長翼とされる。また、設計周速比（翼端周速／流入風速）は6以上（より好ましくは8.0以上9.0以下）、レイノルズ数は300万以上1000万以下とされる。風車翼は、可変ピッチとされていても良いし、固定ピッチとされていても良い。

[0028] 図1に示すように、風車翼1は三次元翼とされており、回転中心側である翼根1a側から翼先端1b側に向かって延在している。

翼形状を定義する場合、同図に示されているように、各翼厚比（翼厚の最大値をコード長で除した値の百分率）の半径位置においてZ（翼の長手軸方向）＝一定の断面で切断した翼素断面を用いて表される。図1では、翼厚比が18%、21%、24%、30%、36%、42%の各半径位置にて切断した翼素断面が風車翼の形状の定義として用いられることが示されている。なお、風車翼1の半径位置を示す場合に、翼厚比に代えて、翼の回転中心からの距離に相当する半径位置 r （あるいは半径位置を翼半径で除した無次元半径位置 r/R ）が用いられることもある。

図2には、図1の翼素断面をXY平面（Z軸に直交する平面）へ投影したものである。同図のように風車翼1の長手方向先端から見た場合、右側が翼前縁となる。

[0029] 図3には、本実施形態にかかる翼型が示されている。翼型は、風車翼1の

各翼厚比における翼素断面に対して、前縁6から後縁4を通る翼弦線7上の長さであるコード長Cで除することによって正規化されている。具体的には、前縁を $X/C=0$ 、 $Y/C=0$ 、後縁を $X/C=1$ 、 $Y/C=0$ として正規化している。

同図に示すように、背側の翼厚最大位置3から後縁4にかけて乱流境界層5が発達する。この乱流境界層5から吐出される境界層中の渦によって空力騒音が引き起こされる。したがって、後縁4における乱流境界層厚さDSTARを薄くすることによって空力騒音を低減することができる。

本実施形態の翼型における最大翼厚位置は、翼弦方向位置 X/C が0.29(29%)以上0.31(31%)以下とされた範囲内に設定される。また、最大キャンバー位置は、翼弦方向位置 X/C が0.5(50%)以上0.65(65%)以下の範囲内に設定される。

[0030] 図4には、図3に示した翼型の背側における翼厚最大位置3から後縁4にかけての形状の定め方が示されている。同図は、翼厚比 t/C が0.18(18%)とされた翼型について示されており、横軸はコード長Cで正規化した翼弦方向位置 X/C を示し、縦軸は翼弦線7から背側までの距離Yについての前縁からの距離Xに関する1次微分である dY/dX を示す。図4において、最大翼厚位置の翼弦方向位置 X/C は、0.3(30%)とされている。

同図に示されているように、最大翼厚位置3から後縁4側へと延在し、 dY/dX が第1変化量を有して減少する第1領域11と、第1領域11の後縁4側に位置し、 dY/dX が第1変化量よりも小さい第2変化量を有して後縁4側へと延在する第2領域12と、第2領域12の後縁4側に位置し、 dY/dX が第2変化量よりも大きい第3変化量を有して減少し、後縁4まで接続される第3領域13と、が設けられている。

すなわち、第1領域11、第2領域12および第3領域13によって、略S形状の曲線を描くように dY/dX が変化するようになっている。

なお、第2領域12については、 dY/dX の変化量が略ゼロに近づくように(dY/dX が略一定に近づくように)規定することが好ましい。これにより、後述

するように、翼面流速の減速率を小さくすることができる。

[0031] 図5には、翼厚比が18%とされた図4の翼型に対して、最大翼厚（翼厚比）が変化した翼型の場合（図5（a））、及び、最大翼厚位置が変化した翼型の場合（図5（b））における dY/dX の与え方が示されている。

最大翼厚（翼厚比）が変化する場合は、翼厚比の増減に応じて dY/dX の絶対値を増減させる。図5（a）に示した場合は、翼厚比が18%から20%へと増加するので、 dY/dX の絶対値を $20/18$ 倍として増加する。なお、同図において、翼厚比20%の方が翼厚比18%よりも下方に位置しているが、これは縦軸の dY/dX が負の値となっているためである。

最大翼厚位置が変化する場合は、最大翼厚位置の変化に応じて前縁からの距離 X/C をX方向に伸縮（変化）させる。図5（b）に示した場合は、最大翼厚位置が $X/C=0.3$ から 0.35 に変化するので、前縁からの距離 X/C をX方向に伸張する。この場合、略水平となる第2領域の範囲を維持するように伸張することが好ましい。

[0032] 次に、図6を用いて、図4に示した翼型の設計思想について説明する。

（1）設計自由度

図3に示した風車翼の背側の最大翼厚位置3から後縁4までの領域には、以下のような前提のもとで設計自由度が存在する。

（i）最大翼厚位置3において、 $dY/dX=0$ を満たす。

（ii）後縁4において、翼強度確保の観点から、後縁角（後縁4において翼背面と翼腹面とがなす角）は所定値以上が必要となる。よって、後縁4における dY/dX は、所定値以上の絶対値を有する負の値であることが必要となる。

（iii）所定のキャンバーをもつ翼型を前提とした場合、翼背面の最大翼厚位置3から後縁4までについて曲線 dY/dX を積分した値（ $\int (dY/dX) dX$ ）、即ち dY/dX とX軸が挟む領域の面積は、本実施形態のように背側形状を最適化する前（図7の破線）と後（図7の実線）で等しくする必要がある。

以上の（i）～（iii）の条件を満たしている限り、翼背面の最大翼厚位置3と後縁4とのつなぎ方には設計自由度がある。

[0033] (2) 空力騒音と境界層厚さ（排除厚さ）の関係

空力騒音の主要因は翼背面の後縁4付近の乱流境界層から吐出される境界層中の渦である。したがって、乱流境界層の厚さを低減することによって空力騒音が低減する。

[0034] (3) 境界層厚さ（排除厚さ）と翼面流速の関係

一般に、翼面流速（＝境界層外縁の流速＝主流速度； u ）が大きいほど、かつ、翼面流速の減速率（＝傾き（ $-du/dx$ ））が大きいほど、境界層厚さは発達しやすい。

したがって、境界層の発達を緩和し、空力騒音を低減するためには、翼面流速 u を低め、かつ、翼面流速の減速率（ $-du/dx$ ）を小さくすることが、有効である。特に、翼背面においては、境界層が乱流遷移する翼弦方向位置 $X/C=0.5$ よりも後方の領域である第2領域12（図4参照）において境界層が発達しやすいため、図6（a）の実線のような翼面流速分布になっていることが望ましい。

[0035] (4) 翼面流速と翼型形状の関係

翼背面の形状と翼面流速には、「凸面で増速する、凹面で減速する」という流体力学的な関係がある。数学的に表現すれば、 d^2Y/dX^2 （ dY/dX の傾き）が大きいほど流速が増し、小さいほど流速が減る傾向がある。流速を図6（a）の実線のように分布させるために、図6（b）に示すように第2領域12での d^2Y/dX^2 （ dY/dX の傾き）を小さくすることが有効である。

そして、上記の（i）～（iii）の条件があるため、第2領域12と最大翼厚位置3との間、および、第2領域12と後縁4との間は、図6（b）の破線で示すように結び、結果として dY/dX 曲線は、略S字形状を描くこととなる。

[0036] 具体的には、翼型形状は以下のように定められる。

[表2]

| X/C | Y/C | dY/dX |
|--------|--------|----------|
| 0.3000 | 0.1157 | |
| 0.3500 | 0.1149 | -0.05300 |
| 0.4000 | 0.1111 | -0.10420 |
| 0.4500 | 0.1051 | -0.14060 |
| 0.5000 | 0.0976 | -0.16200 |
| 0.5500 | 0.0892 | -0.17410 |
| 0.6000 | 0.0803 | -0.18150 |
| 0.6500 | 0.0712 | -0.18580 |
| 0.7000 | 0.0618 | -0.18840 |
| 0.7500 | 0.0523 | -0.19110 |
| 0.8000 | 0.0427 | -0.19530 |
| 0.8500 | 0.0328 | -0.20100 |
| 0.9000 | 0.0226 | -0.20850 |
| 0.9500 | 0.0120 | -0.21830 |
| 1.0000 | 0.0007 | |

ここで、Y/Cの各数値に関して±3%の誤差範囲が許容される。

[0037] したがって、図6に説明した設計思想の下で上表のようにdY/dXの分布を決定すると、図7に示すような効果を奏する。

すなわち、図7(a)に示すように、同一迎角で比較した比較翼とは異なり、略水平となる第2領域12を設けることによって、図7(b)に示すように、第2領域12における翼面流速が減少し、結果として、図7(c)に示すように、後縁4における乱流境界層厚さ(排除厚さ)が40%低減される。これにより、比較例に対して空力騒音は2dBの低減となる。

符号の説明

- [0038] 1 風車翼
- 1 a 翼根
- 1 b 翼先端
- 3 最大翼厚位置
- 4 後縁
- 1 1 第1領域
- 1 2 第2領域
- 1 3 第3領域

請求の範囲

- [請求項1] 翼弦線に沿う前縁からの距離を X 、翼弦線から翼背側までの距離を Y とした場合に、
- 翼背側の最大翼厚位置から後縁側へと延在し、前記 Y の前記 X に関する1次微分量である dY/dX が第1変化量を有して減少する第1領域と、
- 該第1領域の後縁側に位置し、前記 dY/dX が前記第1変化量よりも小さい第2変化量を有して後縁側へと延在する第2領域と、
- 該第2領域の後縁側に位置し、前記 dY/dX が前記第2変化量よりも大きい第3変化量を有して減少し、後縁まで接続される第3領域と、
- を有するように、前記最大翼厚位置から後縁にかけて翼背側形状が規定されている風車翼。
- [請求項2] 前縁における前記 X を0%および後縁における前記 X を100%として前記 X をコード長で除して正規化した場合、該 X が29%以上31%以下とされる範囲内に、前記最大翼厚位置が設けられている請求項1に記載の風車翼。
- [請求項3] 前縁における前記 X を0%および後縁における前記 X を100%として前記 X をコード長で除して正規化した場合、該 X が50%以上65%以下とされる範囲内に、最大キャンバー位置が設けられている請求項1又は2に記載の風車翼。
- [請求項4] 翼根側から翼先端側へと向かう半径方向に延在するとともに、各半径位置にて最大翼厚が変化する翼本体部を備え、
- 該翼本体部の各半径位置の断面における翼形状が、それぞれの断面における最大翼厚の増減に応じて前記 dY/dX が増減させられている請求項1から3のいずれかに記載の風車翼。
- [請求項5] 翼根側から翼先端側へと向かう半径方向に延在するとともに、各半径位置にて最大翼厚位置が変化する翼本体部を備え、
- 該翼本体部の各半径位置の断面における翼形状が、それぞれの断面

における最大翼厚位置の変化に応じて前記Xが変化させられている請求項1から4のいずれかに記載の風車翼。

[請求項6] 翼断面のコード長をCとした場合、 X/C 、 Y/C 及び前記 dY/dX が、

[表1]

| X/C | Y/C | dY/dX |
|--------|--------|----------|
| 0.3000 | 0.1157 | |
| 0.3500 | 0.1149 | -0.05300 |
| 0.4000 | 0.1111 | -0.10420 |
| 0.4500 | 0.1051 | -0.14060 |
| 0.5000 | 0.0976 | -0.16200 |
| 0.5500 | 0.0892 | -0.17410 |
| 0.6000 | 0.0803 | -0.18150 |
| 0.6500 | 0.0712 | -0.18580 |
| 0.7000 | 0.0618 | -0.18840 |
| 0.7500 | 0.0523 | -0.19110 |
| 0.8000 | 0.0427 | -0.19530 |
| 0.8500 | 0.0328 | -0.20100 |
| 0.9000 | 0.0226 | -0.20850 |
| 0.9500 | 0.0120 | -0.21830 |
| 1.0000 | 0.0007 | |

と定義され、前記 Y/C の各数値に関して $\pm 3\%$ の誤差範囲内にある翼形状を有する請求項1から5のいずれかに記載の風車翼。

[請求項7] 請求項1から6のいずれかに記載された風車翼と、
該風車翼の翼根側に接続され、該風車翼によって回転させられる口

ータと、

該ロータによって得られた回転力を電気出力に変換する発電機と、
を備えている風力発電装置。

[請求項8] 翼弦線に沿う前縁からの距離を X 、翼弦線から翼背側までの距離を Y とした場合に、

翼背側の最大翼厚位置から後縁側へと延在し、前記 Y の前記 X に関する1次微分量である dY/dX が第1変化量を有して減少する第1領域と、

該第1領域の後縁側に位置し、前記 dY/dX が前記第1変化量よりも小さい第2変化量を有して後縁側へと延在する第2領域と、

該第2領域の後縁側に位置し、前記 dY/dX が前記第2変化量よりも大きい第3変化量を有して減少し、後縁まで接続される第3領域と、
を有するように、前記最大翼厚位置から後縁にかけて翼背側形状を規定する風車翼の設計方法。

[請求項9] 請求項8に記載された風車翼の設計方法によって基準となる基準翼形状を決定する基準翼形状決定ステップと、

該基準翼形状決定ステップにて決定された前記基準翼形状の最大翼厚が異なる第2翼形状を決定する際に、該基準翼形状の最大翼厚に対する最大翼厚の増減に応じて前記 dY/dX を増減させて第2翼形状を決定する第2翼形状決定ステップと、

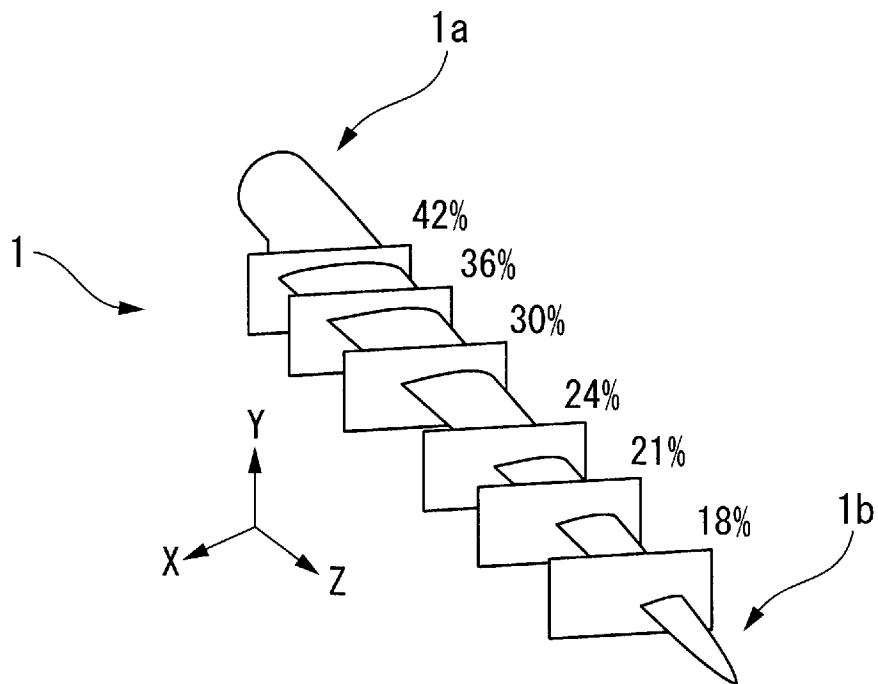
を有している請求項8に記載の風車翼の設計方法。

[請求項10] 請求項8に記載された風車翼の設計方法によって基準となる基準翼形状を決定する基準翼形状決定ステップと、

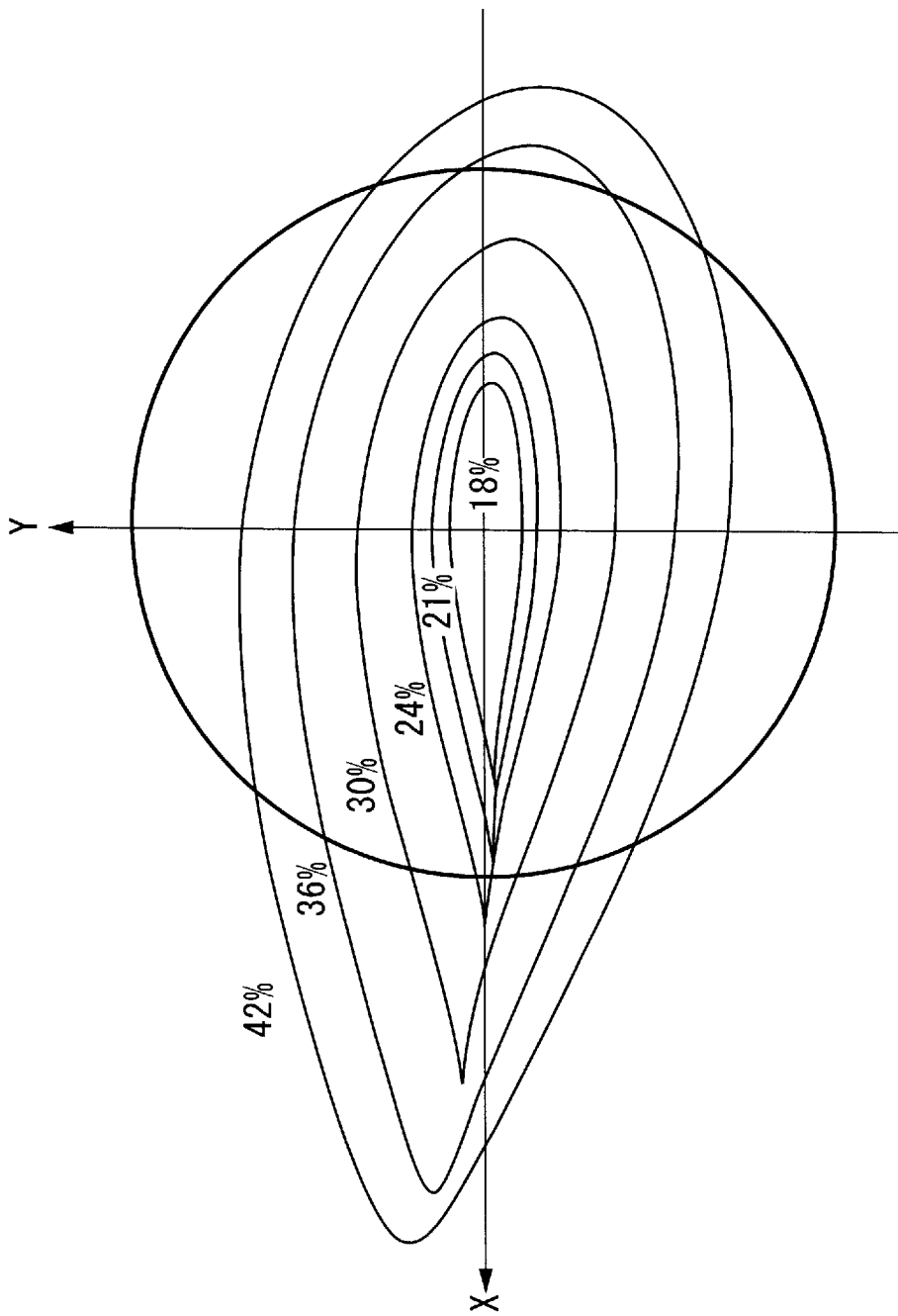
該基準翼形状決定ステップにて決定された前記基準翼形状の最大翼厚位置が異なる第3翼形状を決定する際に、該基準翼形状の最大翼厚位置に対する最大翼厚位置の変化に応じて前記 X を変化させて第3翼形状を決定する第3翼形状決定ステップと、

を有している請求項8又は9に記載の風車翼の設計方法。

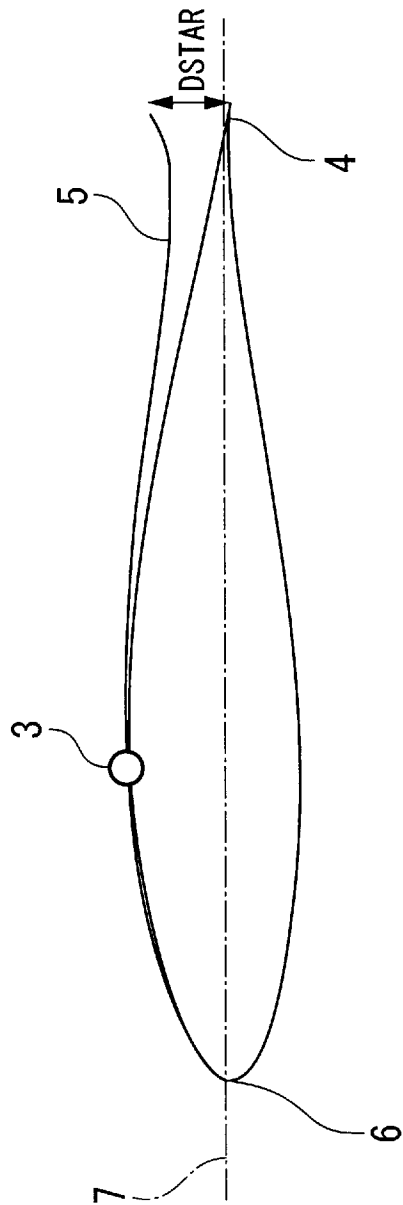
[図1]



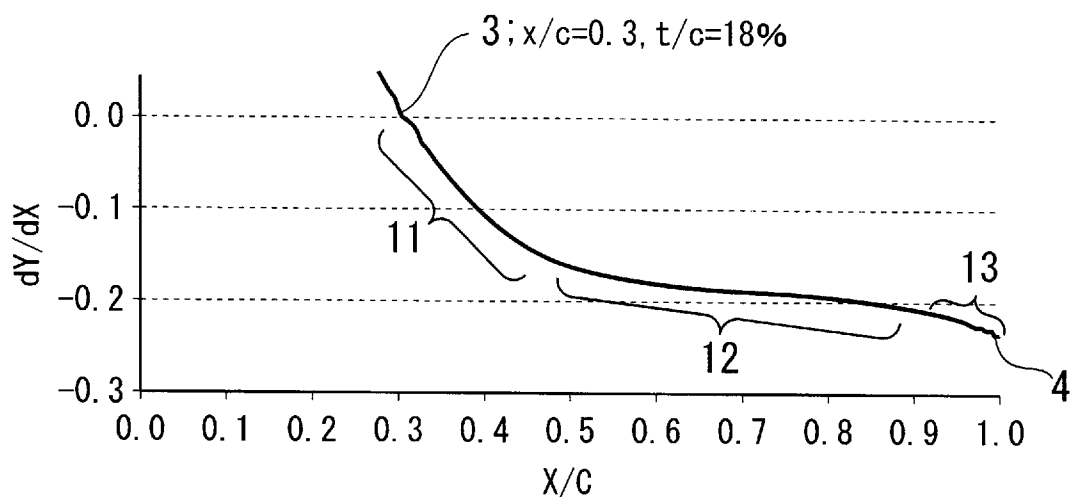
[図2]



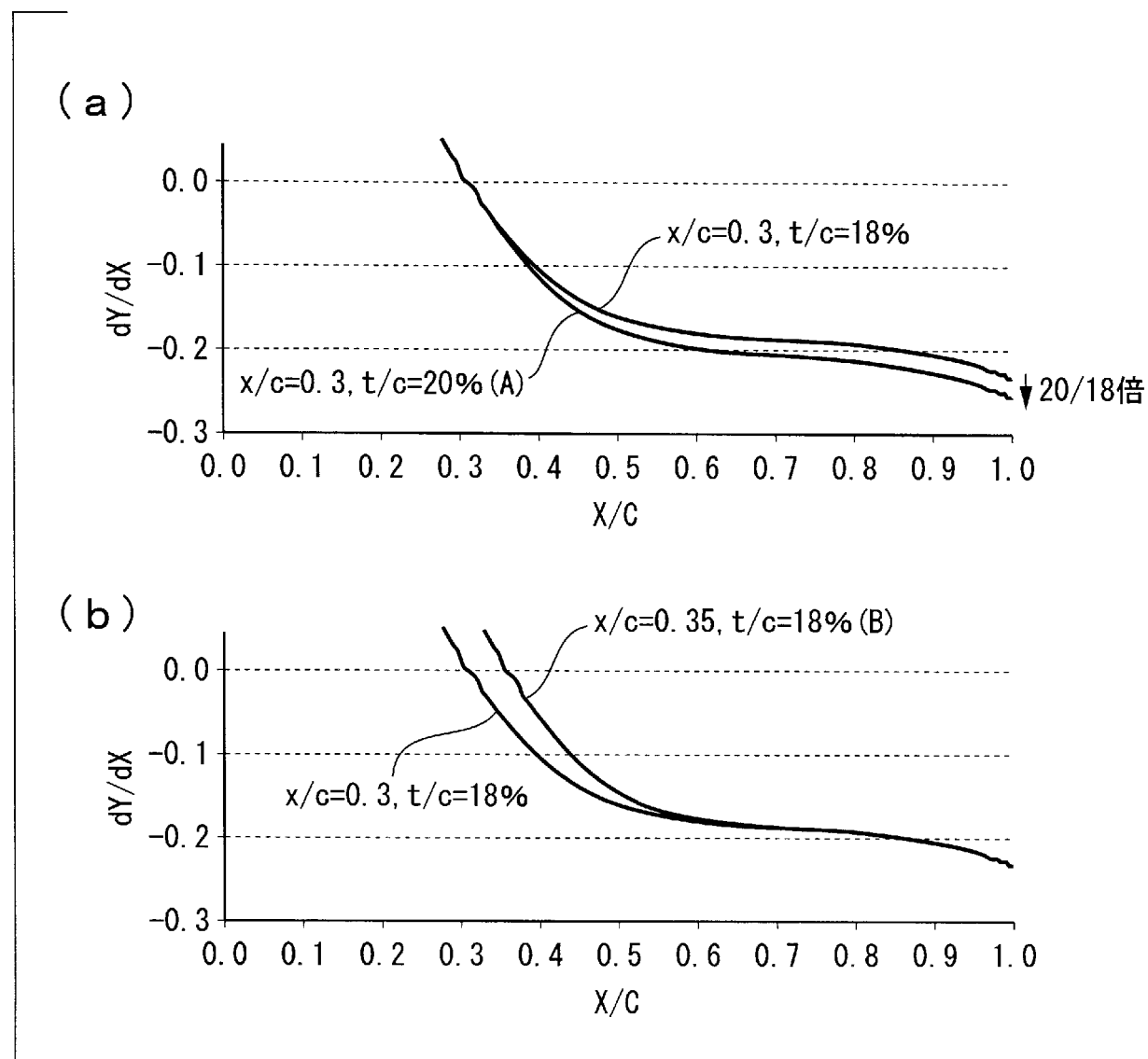
[図3]



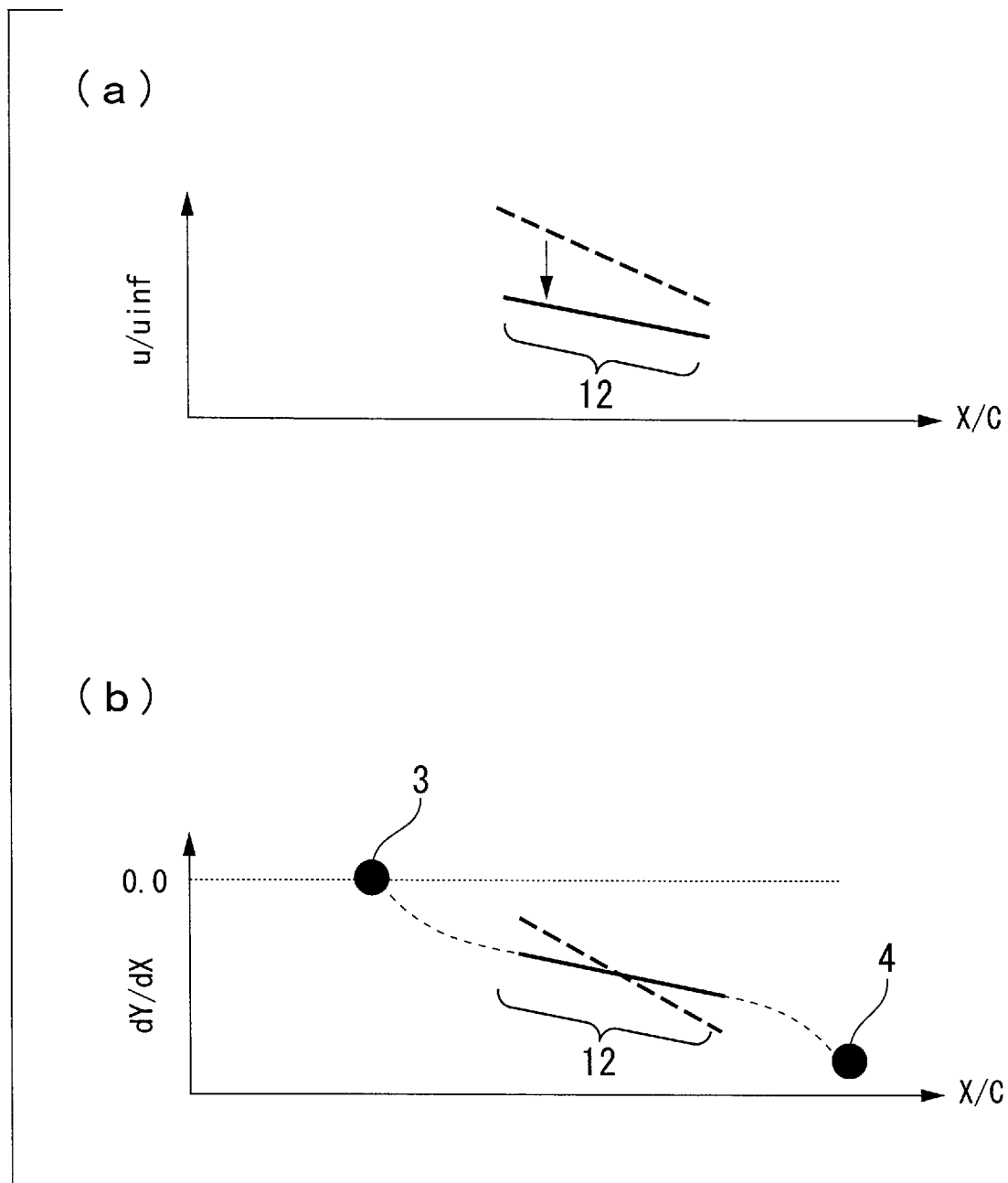
[図4]



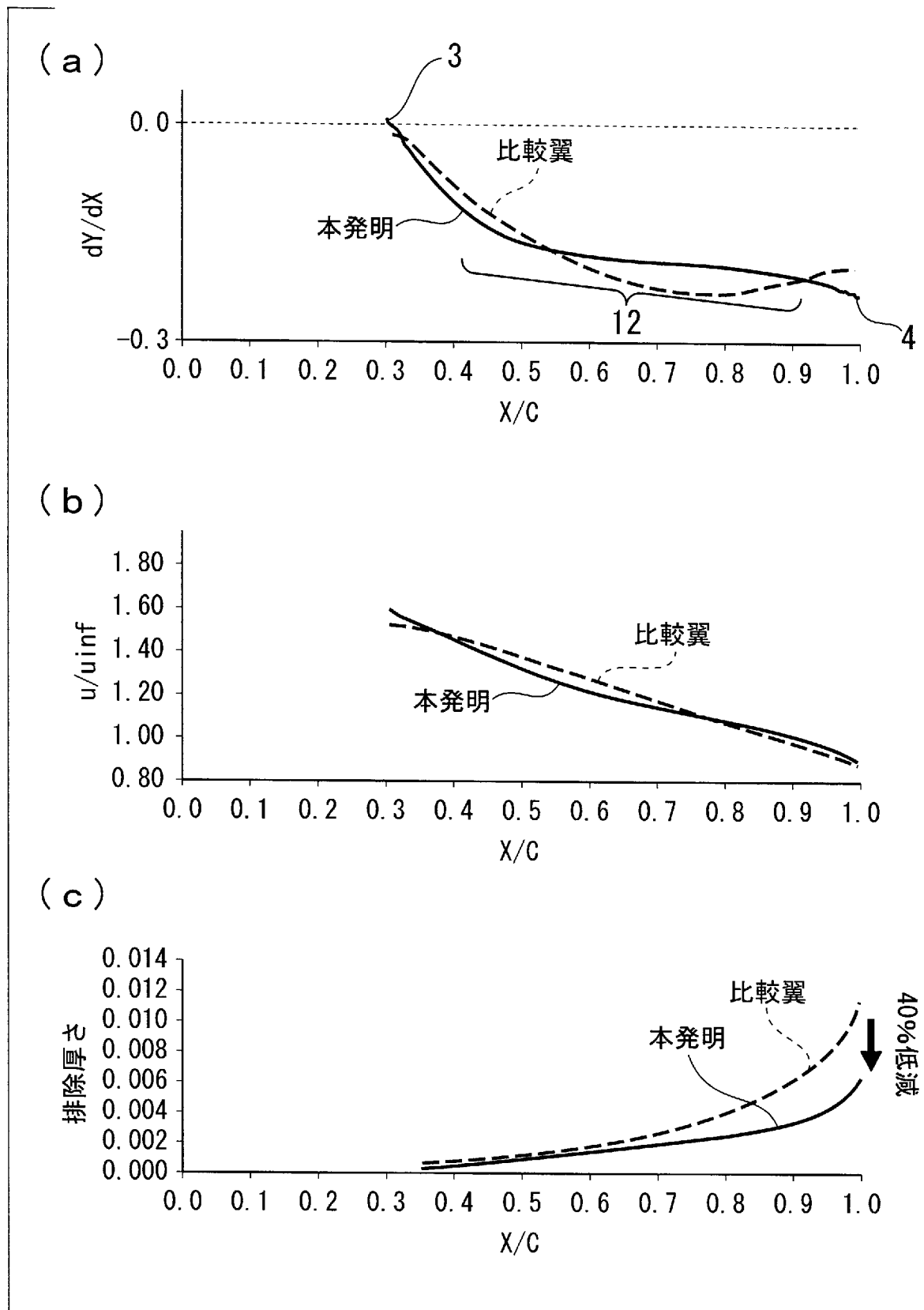
[図5]



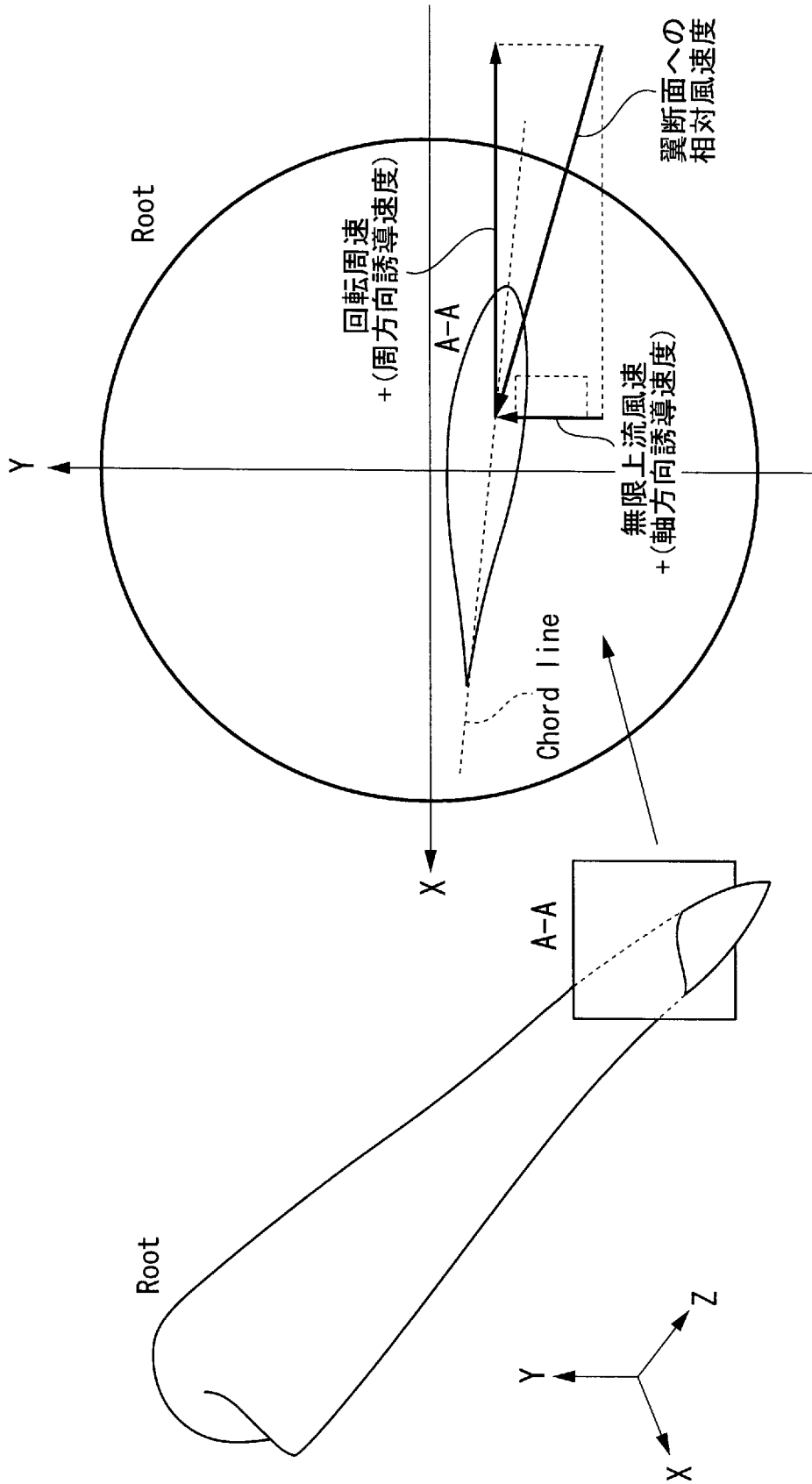
[図6]



[図7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/073566

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F03D11/00 (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)

F03D11/00

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 | 1996-2012 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2012 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2012 |

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 3935804 B2 (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 27 June 2007 (27.06.2007), entire text; all drawings (Family: none) | 1-10 |
| A | EP 0675285 A1 (MIDWEST RESEARCH INSTITUTE), 04 October 1995 (04.10.1995), entire text; all drawings & US 5562420 A | 1-10 |
| A | JP 2009-293622 A (Aloys Wobben), 17 December 2009 (17.12.2009), entire text; all drawings & US 2006/0099076 A1 & US 2007/0297896 A1 & US 2007/0297909 A1 & US 2010/0232972 A1 & WO 2003/104646 A1 | 1-10 |

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
10 January, 2012 (10.01.12)

Date of mailing of the international search report
17 January, 2012 (17.01.12)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. F03D11/00(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. F03D11/00

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 | 1971-2012年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1996-2012年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1994-2012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 3935804 B2 (三菱重工業株式会社) 2007.06.27, 全文, 全図 (ファミリーなし) | 1-10 |
| A | EP 0675285 A1 (MIDWEST RESEARCH INSTITUTE) 1995.10.04, 全文, 全図 & US 5562420 A | 1-10 |
| A | JP 2009-293622 A (アロイス・ヴォベン) 2009.12.17, 全文, 全図 & US 2006/0099076 A1 & US 2007/0297896 A1 & US 2007/0297909 A1 & US 2010/0232972 A1 & WO 2003/104646 A1 | 1-10 |

☐ 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

10.01.2012

国際調査報告の発送日

17.01.2012

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)

尾崎 和寛

電話番号 03-3581-1101 内線 3358

30

8922