

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6418972号  
(P6418972)

(45) 発行日 平成30年11月7日(2018.11.7)

(24) 登録日 平成30年10月19日(2018.10.19)

(51) Int.Cl.

F I

G O 1 P 5/16 (2006.01)

G O 1 P 5/16 B

G O 1 P 13/00 (2006.01)

G O 1 P 13/00 E

請求項の数 9 (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2015-22356 (P2015-22356)  
 (22) 出願日 平成27年2月6日(2015.2.6)  
 (65) 公開番号 特開2016-145734 (P2016-145734A)  
 (43) 公開日 平成28年8月12日(2016.8.12)  
 審査請求日 平成29年12月25日(2017.12.25)

(73) 特許権者 301021533  
 国立研究開発法人産業技術総合研究所  
 東京都千代田区霞が関1-3-1  
 (72) 発明者 阿部 裕幸  
 茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法  
 人産業技術総合研究所つくばセンター内  
 (72) 発明者 小垣 哲也  
 福島県郡山市待池台2-2-9 独立行政  
 法人産業技術総合研究所 福島再生可能エ  
 ネルギー研究所内  
 (72) 発明者 稲吉 仁  
 茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法  
 人産業技術総合研究所つくばセンター内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 風向風速計及び風向風速計測方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

空気流による圧力を検出することにより、風向及び風速を演算により求める風向風速計であって、

圧力検出孔を介して風による空気流を導入する圧力計測管と、該導入された空気流の圧力を検出する圧力センサとからなる圧力計と、

前記圧力計を周回駆動する駆動装置と、

前記駆動装置により前記圧力検出孔が全方位を周回するよう駆動して、方位角の所定角度  $r$  毎に、前記圧力センサの計測値を記録する圧力計測結果記録手段と、

前記圧力計測結果記録手段に記録された圧力センサの計測値のうち2点の方位角 1、

2のそれぞれに対応する計測値  $P_1$ 、 $P_2$  と、下記の数式(1)、(2)に基づいて、前記

風による最大圧力  $P_{\max}(U)$  および  $P_{\max}(U)$  を示す方位角  $\theta_{\max}$  を算出する算出手段と、

前記算出手段により算出された最大圧力  $P_{\max}(U)$  及び方位角  $\theta_{\max}$  に基づいて、前記風の風速及び風向を求める演算手段と、を備える、前記風向風速計；

$$P_1 = P_{\max}(U) \cdot F(\theta_1) \cdots \cdots (1)$$

$$P_2 = P_{\max}(U) \cdot F(\theta_2) \cdots \cdots (2)$$

ただし、 $F(\theta)$  は、予め定められた風速に対し、前記圧力検出孔が風に正対向する位置を含む複数の周回角度  $\theta$  で取得した前記圧力センサの各計測値を、前記圧力検出孔が風に正対向する位置で得られる最大計測値で除算した規格化関数であり、 $F(\theta)$  の関数である。

【請求項 2】

10

20

前記計測値 P 1 および P 2 は、前記圧力計測結果記録手段に記録された圧力センサの計測値のうちの最大値を示す方位角の -  $\theta$  および +  $\theta$  の方位角の記録された計測値である、請求項 1 記載の風向風速計。

【請求項 3】

前記所定角度  $\theta$  は 10 度 ~ 30 度の範囲から選択される、請求項 1 または 2 記載の風向風速計。

【請求項 4】

前記算出手段は、計測値 P 1 および P 2 に加えさらに他の方位角における前記計測値に基づいて前記風による最大圧力  $P_{\max}(\theta)$  および  $P_{\max}(\theta)$  を示す方位角  $\theta_{\max}$  を算出する、請求項 1 ~ 3 のうちいずれか一項に記載の風向風速計。

10

【請求項 5】

前記圧力計および前記駆動装置を支持する支持装置をさらに備え、該支持装置の高さが調整可能である、請求項 1 ~ 4 のうちいずれか一項に記載の風向風速計。

【請求項 6】

前記圧力計および前記駆動装置はマルチローターに載置され、  
前記マルチローターは前記圧力計および前記駆動装置を支持するジンバルを有し、  
前記マルチローターの位置情報および高度情報を前記圧力計測結果記録手段にさらに記録する、請求項 1 ~ 5 のうちいずれか一項に記載の風向風速計。

【請求項 7】

大気圧センサ、温度センサまたは湿度センサをさらに備える請求項 1 ~ 6 のいずれか一項に記載の風向風速計。

20

【請求項 8】

空気流による圧力を検出することにより、風向及び風速を演算により求める風向風速計測方法であって、

圧力検出孔を全方位にわたり周回させ、方位角の所定角度  $\theta$  毎に、該圧力検出孔を介して風による空気流を導入し、該導入された空気流の圧力を圧力センサによって検出し、その計測値を記録する工程と、

前記圧力計測結果記録手段に記録された圧力センサの計測値のうち 2 点の方位角  $\theta_1$ 、 $\theta_2$  のそれぞれに対応する計測値 P 1、P 2 と、下記の数式 (1)、(2) に基づいて、前記風による最大圧力  $P_{\max}(\theta)$  および  $P_{\max}(\theta)$  を示す方位角  $\theta_{\max}$  を算出する工程と、

30

前記算出手段により算出された最大圧力  $P_{\max}(\theta)$  および方位角  $\theta_{\max}$  に基づいて、前記風の風速および風向を求める工程と、を含み、

前記記録する工程の前に、予め定められた風速に対し、前記圧力検出孔が風に正対向する位置を含む複数の周回角度  $\phi$  で前記圧力センサの計測値を取得し、該圧力検出孔が風に正対向する位置で得られる最大計測値で除算した規格化関数  $F(\phi)$  を求める工程をさらに含む、前記風向風速計測方法；

$$P_1 = P_{\max}(\theta) \cdot F(\theta_1) \quad \cdots \cdots (1)$$

$$P_2 = P_{\max}(\theta) \cdot F(\theta_2) \quad \cdots \cdots (2)$$

ただし、 $F(\phi)$  は  $\phi$  の関数である。

【請求項 9】

40

前記計測値 P 1 および P 2 は、前記圧力計測結果記録手段に記録された圧力センサの計測値のうちの最大値を示す方位角の -  $\theta$  および +  $\theta$  の方位角の記録された計測値である、請求項 8 記載の風向風速計測方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、空気流による圧力を検出することにより、風向及び風速を演算により求める風向風速計及び風向風速計測方法に関する。

【背景技術】

【0002】

50

風速風向計は気象状況や換気状態等を観測する目的に広く用いられており、例えば、風力発電機の建設候補地を決定する際には、様々な地点、高度で風速・風向を測定する必要がある。

一般的な風向風速計として、風杯型風速計、風車型風速計、超音波式風速計などが知られている。最近では、超音波やレーザーを用いたSODAR、LIDARにより、遠距離の計測も行われている。

【0003】

空気流による圧力を検出することにより、風向風速を演算により求める風向風速計については、特許文献1～3が知られている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開平11-38033号公報

【特許文献2】特開2000-258555号公報

【特許文献3】特開2011-89842号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかし、風杯型風速計と風車型風速計はある程度の設置スペースを必要とし、SODARやLIDARは高価で、しかも、重量があるため、設置コストが高く、設置箇所や高度を随時変えて計測を行うことは困難である。

また、空気流による圧力を検出することにより、風向風速を演算により求める風向風速計においては、圧力値が最大値となる方位を正確に特定する必要がある。

このため、特許文献1、2に記載された風向風速計においては、計測値の精度を高めるために、水平な円周に沿って多数の圧力センサを設置する必要があり、コストを要し、可搬性にも乏しい。

特許文献3に記載された風向風速計においては、1つの圧力センサを回転させることで、風向風速を演算により求めているが、微小角度毎に圧力を検出しないかぎり、正確な最大圧力を求めることができず、計測に時間を要する。

【0006】

そこで、本発明は、最小限の圧力センサを用いるとともに、 $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$ など、周方向の計測角度間隔を大きくとっても、正確な風向、風速の計測を可能にし、低コストでしかも可搬性に富む軽量コンパクトな風向風速計及び風向風速計測方法を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記の課題を解決するため、本発明の風向風速計は、空気流による圧力を検出することにより、風向及び風速を演算により求める風向風速計であって、圧力検出孔を介して空気流を導入する圧力計測管と、該圧力検出孔の圧力を検出する圧力センサとからなる圧力計と、

前記圧力計を周回駆動する駆動装置とからなり、前記圧力計測管の圧力検出孔が全方位を周回するよう前記駆動装置を駆動し、所定の方位角度毎に、前記圧力センサの計測値を記録する圧力計測結果記録手段と、前記圧力計測結果記録手段に記録された圧力センサの計測値のうち、方位、計測値が(、 $P_1$ )、( +  $r$ 、 $P_2$ )の2点と、下記の数式(1)、(2)に基づいて、前記圧力検出孔における最大圧力 $P_{max}(U)$ と、この最大圧力 $P_{max}(U)$ を示す際の方位 $\theta_{max}$ を算出する算出手段と、前記算出手段により算出された最大圧力 $P_{max}(U)$ 及び方位、並びに、前記圧力検出孔周辺の大気圧、大気温度及び湿度に基づいて、風向及び風速を演算する演算手段とを備えた。

$$P_1 = P_{max}(U) \cdot F(\theta_1) \cdots \cdots (1)$$

$$P_2 = P_{max}(U) \cdot F(\theta_1 + r) \cdots \cdots (2)$$

ただし、 $F(\theta)$ は、予め定められた風速に対し、前記圧力計測管の前記圧力検出孔が風に正対向する位置( $\theta = 0^\circ$ )を含む、複数の周回角度( $\theta$ )で取得した前記圧力センサの各計測値を、前記圧力検出孔が風に正対向する位置で得られる最大計測値で除算した規格値により予め特定した、周回角度( $\theta$ )を変数とした規格値の関数である。

【0008】

また、本発明の風向風速計測方法は、空気流による圧力を検出することにより、風向及び風速を演算により求める風向風速計測方法であって、圧力検出孔を介して空気流を導入する圧力計測管と、該圧力検出孔の圧力を検出する圧力センサとからなる圧力計を、風向風速を行う地点、高度に設置する工程と、前記圧力計測管の圧力検出孔を、全方位にわたり周回させ、所定の方位角度毎に、前記圧力センサの計測値を記録する工程と、前記圧力計測結果記録手段に記録された圧力センサの計測値のうち、方位、計測値が( $\theta$ 、 $P_1$ )、( $\theta + \theta_r$ 、 $P_2$ )の2点と、下記の数式(1)、(2)に基づいて、前記圧力検出孔における最大圧力 $P_{\max}(U)$ と、この最大圧力 $P_{\max}(U)$ を示す際の方位 $\theta_{\max}$ を算出する工程と、前記算出手段により算出された最大圧力 $P_{\max}(U)$ 及び方位に基づいて、風速及び風向を演算する工程とからなる。

$$P_1 = P_{\max}(U) \cdot F(\theta) \cdots \cdots (1)$$

$$P_2 = P_{\max}(U) \cdot F(\theta + \theta_r) \cdots \cdots (2)$$

ただし、 $F(\theta)$ は、予め定められた風速に対し、前記圧力計測管の前記圧力検出孔が風に正対向する位置( $\theta = 0^\circ$ )を含む、複数の周回角度( $\theta$ )で取得した前記圧力センサの各計測値を、前記圧力検出孔が風に正対向する位置で得られる最大計測値で除算した規格値により予め特定した、周回角度( $\theta$ )を変数とした規格値の関数である。

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、最小限の圧力センサを用いて、任意の2点で方位と圧力検出孔の圧力を計測するだけで、高精度の風向、風速を計測できるので、低コストでしかも可搬性に富む、風向風速計を実現することができる。

例えば、風力発電機の建設にあたっては、風車設置箇所の風況計測やアセスメントとして、さらに、建設後においては、風車周りの流れ場をモニターする必要がある。

本発明による風向風速計の軽量性、コンパクト性を活かして、無人飛行機の一つであるマルチローター(「マルチコプター」、「ドローン」と称されることもある。)に搭載することで、任意の空間領域(地点及び高度)で風向、風速を観測することができる

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】図1は、本発明の基本原理を説明するための圧力計の概要図である。

【図2】図2は、圧力計の詳細図である。

【図3】図3は、圧力検出孔を3箇所に設けた、圧力センサの変形例を示す図である。

【図4】図4は、主流速度が $5\text{ m/s}$ のときの回転角に対する圧力分布を示す図である。

【図5】図5は、主流速度を $5\text{ m/s}$ 、 $10\text{ m/s}$ 、 $15\text{ m/s}$ 、 $25\text{ m/s}$ としたときの、圧力検出孔が正対向する位置を中心に $\pm 60^\circ$ の範囲で計測したそれぞれの圧力分布を示す図である。

【図6】図6は、図5の結果をそれぞれの最大圧力計測値で除して規格化することにより得られた結果を示す図である。

【図7】図7は、実施例の全体構成を示す図である。

【図8】図8は、圧力計測管をL字型にした変形例を示す図である。

【図9】図9は、L字型にした圧力計測管の2本を直線上に対向させた変形例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

本発明の基本原理を実験例を用いて説明する。

図1に示すように、圧力計1は、円筒状の圧力計測管1a、圧力センサ1bにより構成

され、主流Uに対して垂直に配置されている。圧力計測管1 aの上端は閉じられ、側面に設けられた、圧力検出孔1 cを開口部として圧力計測管1 a周りの圧力を、圧力計測管1 aの開放端にパイプなどで接続された圧力センサ1 bにより計測する。

圧力計測管1 aは、計測地点の支持装置2に垂直に取り付けられ、ステッピングモータやサーボモータ等、回転角度を制御可能なモータを駆動装置として軸周りに回転させる。

ただし、マルチローターに設置する場合などは、マルチローター自身の姿勢制御や振動により支持装置の姿勢が変化することを抑制する観点から、支持装置2をマルチローターに設置したジンバル上に固定し、圧力計測管1 aを水平面に対し垂直にすることが好ましい。

10

本実験では、圧力計測管1 aの外径6 mm、内径3 mm、圧力検出孔1 cの直径0.5 mmに配管された圧力センサを用いた。

#### 【0012】

図2に、圧力計1の詳細図を示す。

外径6 mm、内径3 mmの円筒状の圧力計測管1 aは、高さが200 mmで、両端は閉塞されている。上端から50 mmのところ、直径0.5 mmの圧力検出孔1 cが形成されている。

圧力計測管1 aの下端付近には、圧力取り出し部が設けられており、圧力計測管1 a内部の圧力は、チューブ等により、差圧センサ型の圧力センサ1 bに導入され、大気圧との差圧が電圧値として計測される。

20

なお、圧力計測管1 aの内部に圧力検出孔1 cの直径と同等の内径を有するパイプを設け、このパイプの端部を圧力計測管1 aの側壁に開口させて、このパイプの他端をチューブ等を圧力センサ1 bに接続するようにしてもよい。

図3に示すように、例えば、圧力計測管1 aに3点の圧力検出孔1 c<sub>1</sub>、1 c<sub>2</sub>、1 c<sub>3</sub>を設ける場合には、圧力計測管1 aの内部に、3本のパイプ1 d<sub>1</sub>、1 d<sub>2</sub>、1 d<sub>3</sub>を設け、一端を圧力計測管1 aの側壁に開口させ、他端のそれぞれを差圧センサ型圧力センサ1 b<sub>1</sub>、1 b<sub>2</sub>、1 b<sub>3</sub>に接続する。

このとき、圧力検出孔1 c<sub>1</sub>、1 c<sub>2</sub>、1 c<sub>3</sub>は、同一回転面内に位置しないように圧力計測管1 aの高さ方向の位置が互いに異なるように配置し、同一方位時におけるそれぞれの圧力計測値に基づいて平均値を算出する。

30

また複数で計測する利点を生かす意味で3点の圧力検出孔を有する場合は、回転面内のそれぞれの回転角位置は0°、120°、240°に配置すれば、最速で、圧力計測管1 aを120°回転させるだけで、全方位の圧力計測値を得ることができる。

#### 【0013】

ここで圧力計測管1 aの外径寸法は、円筒体周りの流れが比較的安定した状態を維持する観点で設計する必要がある。その際、流れ場の状態を表す無次元数の一つであるレイノルズ数  $Re = U \cdot D / \nu$  が重要となる。(U；主流速度、D；円筒体の外径、 $\nu$ ：動粘性係数)。

圧力計測管1 a周りの流れ場に対しては、ストローハル数が一定となるレイノルズ数の範囲が  $5.0 \times 10^2 \sim 3.0 \times 10^5$  程度であり、臨界レイノルズ数が  $4.0 \times 10^5$  程度であることから、設計レイノルズ数は、  $1.0 \times 10^3 \sim 1.0 \times 10^5$  程度になるように寸法を決めるべきである。

40

例えば風速10 m/sの場合、空気の動粘性係数を  $1.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ 、円管外径6 mmとすると、レイノルズ数は  $4.0 \times 10^3$  となり、風速50 m/sであってもレイノルズ数は  $2.0 \times 10^4$  であり、妥当といえる。

ただし、レイノルズ数の考慮だけではなく、表面の粗さ、固有振動数、剛性に加え、回転させるモータの重さによる負荷を考慮した軽量性などの観点から材料の選択も重要である。

#### 【0014】

図4は、一例として主流風速5 m/sにおいて、小孔1 cが主流を正対向から受けると

50

きの回転角  $0^\circ$  として、回転角に対する圧力分布を示す。

図の縦軸は、圧力センサ 1 b の出力(電圧値)表示であるが、これは小孔 1 c における圧力  $p$  と流れ場の静圧  $p_s$  との差圧；  $P = p - p_s$  を表している。

#### 【0015】

図 5 は、小孔 1 c が主流を正対向から受けるときの回転角  $0^\circ$  として、これを中心に回転角  $= \pm 60^\circ$  の範囲において、主流の速度  $U = 5 \text{ m/s}$ 、 $10 \text{ m/s}$ 、 $15 \text{ m/s}$ 、 $25 \text{ m/s}$  に対する圧力センサ 1 b の計測結果を示す。

圧力分布の最大値  $P_{\max}$  は、主流方向に向かう回転角が  $0^\circ$  のときに現れ、その値は主流速度  $U$  が大きくなるにつれ増大することが分かる。

#### 【0016】

図 6 は、差圧  $P$  の最大値が現れる  $0^\circ$  を中心に回転角  $\pm 60^\circ$  の範囲において、各主流速度に対する差圧  $P$  の圧力分布を、それぞれの風速における最大値  $P_{\max}$  で除算することにより規格化している。この図から分かるように、規格化された圧力分布は、風速によらず主流方向に向かう回転角に対し、ほぼ同一の曲線上にあり、 $P / P_{\max}$  が、回転角の関数；  $F(\quad)$  となることが分かる。

#### 【0017】

この関数  $F(\quad)$  は、予め風洞実験により、次のように特定する。

上述のとおり、 $5 \text{ m/s}$ 、 $10 \text{ m/s}$ 、 $15 \text{ m/s}$ 、 $25 \text{ m/s}$ ・・・といった風速毎に、圧力センサ 1 b を配置した、円筒体の圧力計測管 1 a を、最大値が現れる回転角  $0^\circ$  を中心に、少なくとも  $\pm 60^\circ$  の範囲で、例えば  $10^\circ$  毎に、各回転角毎に圧力センサ 1 b により圧力値を採取する。

例えば、最大値が現れる回転角  $0^\circ \pm 60^\circ$  の範囲で、例えば  $10^\circ$  毎にデータを採取した場合、風速毎に、13 点の圧力値データ  $P(-60^\circ, -50^\circ, \dots, 0^\circ, \dots, 50^\circ, 60^\circ)$  が得られる。

本実験では、このデータを用いて、 $F(\quad)$  のモデル関数を 4 次関数とした多項式近似を行い、最小二乗法を用いることで各係数を求め、高精度な  $F(\quad)$  を求めることができたが、低コスト化、軽量化、解析負荷の低減を優先する際には、2 次関数など、より低次のモデル関数を用いてもよい。

#### 【0018】

なお、圧力計測管 1 a を回転させる際の周速度は、主流速度に比べて十分低くなければならない。また、圧力値データ  $P$  を収集する周波数は、解析に十分なデータ数を確保する必要があり、回転角  $10^\circ$  毎に取得する場合、回転速度が 1 回転/秒のときは、サンプリング周波数を  $36 \text{ Hz}$  に設定する。

#### 【0019】

前述のように風向に対して  $\pm 60^\circ$  の範囲における圧力計測管 1 a 周りの圧力分布は、主流速度を  $U$ 、回転角  $0^\circ$  のときの圧力センサ出力を  $P_{\max}(U)$  とすると、

$$P = P_{\max}(U) \cdot F(\quad)$$

となる。

したがって、ある風速  $U$ 、ある風向 に対して、任意の 2 点においては下記のように表せる。

$$P_1 = P_{\max}(U) \cdot F(\quad) \dots \dots \dots (1)$$

$$P_2 = P_{\max}(U) \cdot F(\quad + \quad_r) \dots \dots \dots (2)$$

ここで  $r$  は、2 点間の相対的位置を表し、既知であるとする。

#### 【0020】

式(1)と式(2)より、

$$P_1 \cdot F(\quad + \quad_r) - P_2 \cdot F(\quad) = 0 \dots \dots (3)$$

となり、この方程式を解くことで  $\max$  が求まる。

$\max$  が求まれば、 $- \max$  が風向となる。

また、この  $\max$  を、式(1)あるいは式(2)に代入することで、 $P_{\max}$  を求めることができる。

10

20

30

40

50

## 【0021】

そこで、実際に風向風速を計測する場合は、例えば、真北を  $\theta = 0$  として、圧力センサ 1 b の出力を記録し、例えば、 $F(\theta)$  を求めるときと同じように、圧力計測管 1 a を同速度で回転させ、 $\theta = 10^\circ$  毎全方位にわたって、圧力センサ 1 b の圧力計測値をサンプリングし、計測結果記録メモリに記録する。

これらの圧力計測値のうち、最大値を特定し、このときの方位  $\theta$  に対し、その  $n$  個前、あるいは  $n$  個後の圧力計測値、すなわち、 $\theta_r = \pm n \cdot \Delta\theta = \pm n \cdot 10^\circ$  における圧力計測値を参照圧力計測値  $P_{ref}$  とすることで、風洞実験で特定した  $F(\theta)$  に両データを代入し、最大圧力値を示す風向  $\theta$  を算出することが可能となる。

10

ただし、図 6 から分かるように、最大値付近 ( $-10^\circ \sim 10^\circ$ ) は、角度毎の変化量が少なく、誤差が大きくなる可能性があるので、少なくとも 1 点は、この範囲からはずれた角度となるよう、 $\theta_r = \pm 20^\circ$  とするなど、 $\theta$  と  $\theta_r$  を選定することが好ましい。

なお、 $\theta$  を  $F(\theta)$  を求めるときと同様  $10^\circ$  としたが、 $10^\circ \sim 30^\circ$  など、計測精度を勘案して種々選択することができる。

## 【0022】

ここで、 $P_{max}(U)$  と  $U$  の関係については、 $\rho$  を空気密度、速度係数を  $C$  としたとき、次の関係にある。

$$U = C \cdot (2 P_{max} / \rho)^{1/2} \cdots \cdots (4)$$

20

なお、 $C$  は速度係数であり、前述の風洞実験の際に、関数  $F(\theta)$  と同時に、予め求めておくことができる。

また、 $\rho$  を空気密度で、 $T$  を気温、 $P_s$  を流れ場の静圧(大気圧)としたとき、次の関係にある。

$$\rho = [1.293 / (1 + 0.00367 T)] \cdot P_s / 1013$$

密度  $\rho$  は、計測点における気圧、気温、湿度により決定されるため、圧力計測時にはこれらのデータを同時に取得する必要がある。

本実験では、圧力計測管 1 a の周辺に、大気圧センサ(絶対圧力センサ)、気温センサ、湿度センサを組み込んだが、圧力計測地点が固定されている場合には、その周辺の気象観測情報を用いてもよい。

30

このように、関数  $F(\theta)$  と速度係数  $C$  は、事前に行う風洞実験により、予め求めておけばよく、計測時の取得データとしては、(1) 少なくとも 2 点における圧力計測管の圧力と回転角、(2) 気圧、気温、湿度、そして、(3) 方位、位置座標となる。

なお、圧力センサ 1 b に応答遅れがある場合でも、風向、風速を計測する際、圧力計測管 1 a を風洞実験により  $F(\theta)$  を求めるときと同速度で回転させているため、この応答遅れは相殺される。

もちろん、いずれの場合も例えば  $10^\circ$  毎など、圧力計測管 1 a を間欠的に回転させ、応答遅れ分だけ、圧力計測値のサンプリングを遅らせてもよい。

## 【実施例】

## 【0023】

40

上記の基本原理を利用した風向風速計の具体的な実施例を説明する。

図 7 は、本実施例の全体構成を示している。

圧力計 1 は、円筒体の圧力計測管 1 a、圧力センサ 1 b により構成され、この実施例では圧力計測管 1 a は円筒体で、上面は閉塞され、下面は開放されており、側面に圧力検出孔 1 c が形成されている。本実施例では、図 2 に示されるものを用いており、円筒体の内径を 6 mm、圧力検出孔 1 c の直径を 0.5 mm に設定している。また、圧力計測管 1 a の下方には、圧力計測管 1 a の外方の大気圧と、圧力検出孔 1 c を通過した空気流による圧力計測管 1 a の内部圧力との差圧を電圧値で出力する圧力センサ 1 b が取り付けられている。

なお、乱れ度を計測するなど、高い応答性を要求される場合には、この小孔 1 c に圧力

50

センサ 1 b を直付けし、比較的低い応答性で十分な場合は、図 2 のように、圧力計測管 1 a の開放端からチューブなどを介して圧力センサ 1 b に導く。

【 0 0 2 4 】

なお、圧力計測管 1 a としては、円筒型のほか、図 8 に示すように、先端が水平方向に開口する L 字型パイプ、さらに、図 9 に示すように、この L 字型パイプを 2 本組み合わせて、水平部を T 字状に配置したもの、一定角度毎に配置したもの等を採用することができる。

【 0 0 2 5 】

圧力計 1 は、支持装置 2 上面の回転盤 2 a に取り付けられており、圧力検出孔 1 c を 360° にわたり周回させるもので、本実施例では、基準位置にある圧力検出孔 1 c が真北 (  $\theta = 0$  ) を向くよう、地上に設置されている。なお、支持装置 2 を支持する支持台 2 b は、上下方向に伸縮調整可能な脚により、風向・風速の観測地点の地上からの高さを調整できるようにしてもよい。なお、2 b は支持装置 2 の支持台で、高さ調整装置を備えるようにしてもよい。

【 0 0 2 6 】

回転盤 2 a を周回させる駆動装置として、ステッピングモータやサーボモータを用い、後述する演算制御装置 3 からの指令により、基準位置 (真北 ;  $\theta = 0^\circ$  ) から、圧力計 1 を一定速度で周回させ、基準位置からの一定の回転角度毎に周回角度、すなわち方位 を演算制御装置 3 に出力する。

本実施例の場合、1 本の円筒型圧力計測管 1 a を用いているため、回転盤 2 a を例えば、10° ずつ、360° 周回させる。

なお、2 本の圧力計測管を直線上に配列し、180° 異なる位置で同時に圧力を検出する場合は、回転盤 2 a を 180°、120° 毎に 3 本の圧力計測管を配列する場合は 120° 回転させ、それぞれ 10° 毎に圧力センサ 1 b の圧力計測値をサンプリングするようにすればよい。

【 0 0 2 7 】

演算制御装置 3 は、風向風速の計測開始指令を受けると、圧力検出孔 1 c が前述の基準位置となるよう初期調整を行い図 4 に示すように、真北 (  $\theta = 0$  ) における圧力センサ 1 b の計測を行い、方位 (  $\theta = 0^\circ$  ; 真北 N ) とともに、圧力センサ 1 b の計測値  $P(0)$  を計測結果記録メモリ 3 a に記録する。

【 0 0 2 8 】

次に、支持装置 2 の回転盤 2 a を周回させる駆動モーターに指令を出力し、一定回転速度で圧力計測管 1 a を回転させ、その回転角を参照しながら、設定角度毎のタイミングで圧力センサ 1 b の計測値  $P(\theta)$ 、 $P(2\theta)$ 、 $P(3\theta)$ ・・・取得し、計測結果記録メモリ 3 a に、方位角毎に記録する。

例えば、圧力計測管 1 a を 1 回転 / 秒で回転駆動し、10° 毎に圧力センサ 1 b の計測値を記録する場合には、36 Hz のサンプリング周波数が必要となる。

なお、圧力計測管 1 a を周回に伴う周速は、外径 6 mm の円柱を 1 回転 / 秒の場合、風速に対し、きわめて低い速度で、周速の影響を無視することができる。

【 0 0 2 9 】

この計測を、 $\theta$  が 360° となるまで繰り返すことで、計測結果記録メモリ 3 a には、 $\theta = 0^\circ$  から 350° までの圧力センサ 3 a の計測値が記録される。

なお、このような計測結果記録を、何回か連続して繰り返し、後述する風向・風速を演算する際、これらの平均値を用いるようにしてもよい。

【 0 0 3 0 】

前述のように、圧力計 1 に関しては、予め風洞実験により、既定の風速 ( 5 m / s、10 m / s、15 m / s、25 m / s・・・ ) に対し、圧力検出孔 1 c を 360° 周回させ、10° 毎に得られた圧力センサの検出値 ;  $P(0)$ 、 $P(10^\circ)$ 、 $P(20^\circ)$ ・・・ $P(350^\circ)$  を、正対向する際に得られる最大値 ( $P_{max}$ ) である  $P(0)$  で除算することにより、規格化 ( 1、 $P(10^\circ)/P(0)$ 、 $P(20^\circ)/P(0)$ ・・・ $P(350^\circ)/P(10^\circ)$  ) に基づ

10

20

30

40

50



いて、風向( )に対する規格値の関数、 $F( )$ が定められている。

#### 【0031】

変換された風速値から最大値( $P'_{max}$ 、 $'_{max}$ )を特定し、この最大値の前後の参照風速値( $P_{ref}$ 、 $'_{max} \pm r$ )を特定する。

両データを式(2)、(3)に代入することで、最大圧力計測値  $P_{max}$  を示す風向  $_{max}$  が算出され、この  $_{max}$  により、最大圧力計測値  $P_{max}$  を算出することができる。

こうして、最大圧力計測値  $P_{max}$  が特定されれば、前述の式(4)により、風速を換算することが可能となる。算出された風速データは、出力装置4を介して、ディスプレイに表示されるとともに、計測日時とともに記録され、風向風速計測結果としてプリンタなどに出力できるようにする。

10

#### 【0032】

この実施例では、支持装置2を支持台2bで支持する場合を示したが、支持装置2をマルチコプターに搭載し、マルチローターからの高さ情報、位置情報と連動させて、圧力計測値をメモリに記録し、マルチローターからメモリを回収し、記録したデータに基づいて、風向風速を算出するようにしてもよい。この際、支持装置は、マルチローターに設置されたジンバル上に固定することにより、マルチローター自身の姿勢制御や振動の影響を抑制する。

#### 【産業上の利用可能性】

#### 【0033】

以上説明したように、本発明によれば、低コストでしかも可搬性に富む、風向風速計を実現することができ、風車設置箇所の風況計測のみならず、交通機関の安全運行を確保するための風況計測など、様々な分野で広く採用されることが期待される。

20

#### 【符号の説明】

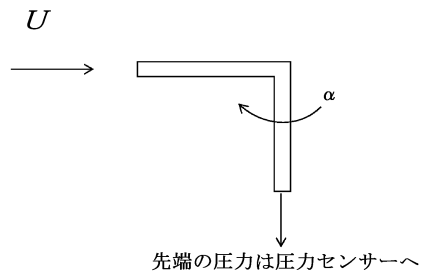
#### 【0034】

- 1：圧力計
  - 1a：圧力計測管
  - 1b：圧力センサ
  - 1c：圧力検出孔（小孔）
- 2：支持装置
  - 2a；回転盤
  - 2b：支持台
- 3：演算制御装置
  - 3a：計測結果記録メモリ
- 4：出力装置

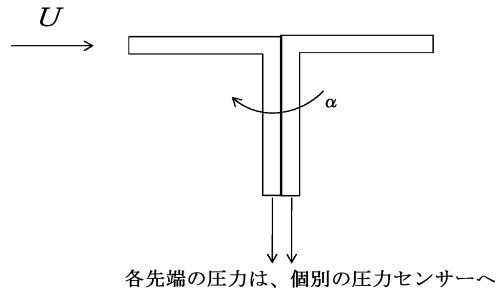
30



【図 8】



【図 9】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 小野 智恵  
茨城県つくば市東 1 - 1 - 1 独立行政法人産業技術総合研究所つくばセンター内
- (72)発明者 山本 美有紀  
茨城県つくば市東 1 - 1 - 1 独立行政法人産業技術総合研究所つくばセンター内
- (72)発明者 木村 茂雄  
神奈川県厚木市下荻野 1 0 3 0 神奈川工科大学内

審査官 森 雅之

- (56)参考文献 特公平 7 - 7 8 5 0 5 ( J P , B 2 )  
特許第 5 7 1 3 2 3 1 ( J P , B 2 )  
特許第 5 6 5 6 3 1 6 ( J P , B 2 )

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)  
G 0 1 P  
G 0 1 W