

風力発電のための光波レーダを用いた海上の風況調査

Applicability of Laser Radar to Offshore Wind Measurement for wind power generation

西 和宏*・白石 悟**
NISHI Kazuhiro and SHIRAIISHI Satoru

* (財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

** (財) 沿岸技術研究センター 調査部 研究主幹兼第二調査部長

Wind energy is viewed as a promising new energy resource in its pure, clean, and inexhaustible nature. Because of less disturbed, stable and strong wind conditions, coastal areas are considered to be suitable for constructing wind energy systems. Moreover, it is said that offshore wind conditions are better than inshore wind conditions for power generation. However, actual measured reports of offshore wind are very few. This report describes the applicability of laser radar system to offshore wind measurement.

Key Words : offshore wind energy, offshore wind conditions, laser radar

1. はじめに

わが国の風力発電量は2010年迄に300万kwh導入を目標としているが、風力発電施設の多くは陸上に設置されており、欧州と比べ海上に設置された事例が少ない。海上は陸上に比べて風速が大きく、風の乱れが少ない安定した環境にあるといわれている。国土が狭いわが国において陸上での適地が少なくなっていく昨今、港湾や沿岸に風力発電施設を建設していくことが有望であり、目標達成につながる。しかしながら、港湾・沿岸域への風力発電施設導入には、設置における荷重条件が陸上に比べて厳しいことや経済性、さらには法制度の面で課題も多く、海上への展開に向けこれらの解決が急がれる。

そこで(財)沿岸技術研究センターでは、海上での風力発電施設導入促進に向け、風力発電に関する情報共有と環境・技術両面での課題検討を行なうため、産官学の連携による「港湾・沿岸域における風力発電推進研究会」(以降研究会と称する)を2003年9月に立ち上げ、2004年度末での成果報告を目指している。

本論文は研究会での調査研究の一つとして、海上にて光波レーダを用いて海上の風向・風速の計測を行ない、風力発電のための風況特性について検討したものである。

2. 風況調査の目的

風力発電施設を設置する場合、計画地域を立地調査のうへ、実際に計画地点で詳細な風況精査を行ない、発生電力量の試算をすることにより、厳密な採算性の検討が可能となる。一般に陸上における立地の際には、風況精査は20~40mのポールに風杯型風速計と矢羽型風向計を設置して行われるが¹⁾、ポールの設置が困難な場所ではデータの精度や経済面で課題が多く、特に海上では苦勞

があった。そこで研究会では、複数点/空間の風向・風速を遠隔で観測できる風況精査用光波レーダを使用し^{2)~6)}、実際に海上での風向・風速の計測結果から風況特性について検証を進め、今後、洋上における風力発電施設の立地検討や構造設計の際の基礎資料としての活用を目的とするものである。

3. 光波レーダのシステム構成および観測原理

3.1 システム構成

使用した光波レーダのシステムの外観を示す(図-1)。システムは、本体部、センサヘッド部および信号処理部からなる。

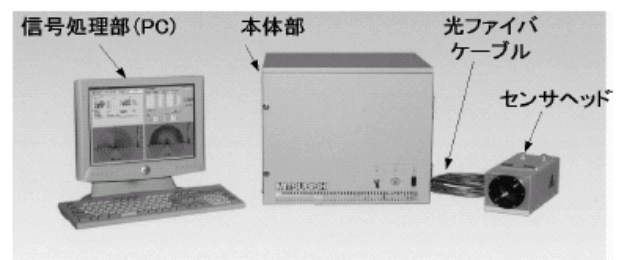


図-1 システムの外観

本体部で、目に対して安全な波長 $1.5\mu\text{m}$ の単一波長レーザを発生させ、光ファイバケーブルを介してセンサヘッドから大気中に送信する。大気中のエアロゾル(微小浮遊物)からの散乱光は、上記センサヘッドで収集された後、光ファイバケーブルで本体部へ送られる。本体部で送受信光のドップラーシフト(周波数偏移)を検出し、信号処理部でこのドップラーシフトからエアロゾルの移動速度を算出し風向・風速を求める。

3.2 観測原理

大気中に発射したレーザ(波長 λ)は、空間に存在するエアロゾルにより散乱を受ける。エアロゾルはその近傍の風で移動すると考えられるため、上記散乱光は風速に比例したドップラーシフト F_D を受ける。式(1)を用いて視線方向(レーザ発射方向)の風速 v_m が測定できる。

$$V_m = \frac{\lambda F_D}{2} \quad (1)$$

図-2 に示すように地表面に平行でかつ光波レーダに到来する方向を r 、それに垂直かつ地表面に平行な方向を x と定義する。

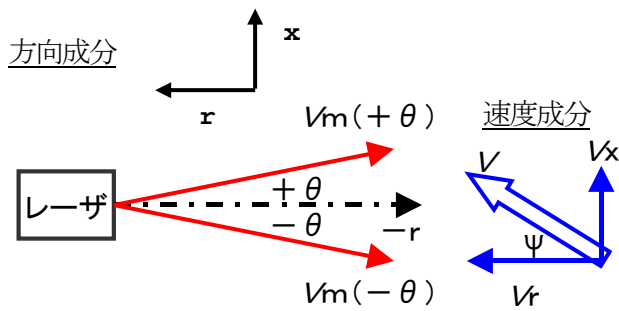


図-2 観測原理

このとき風速 v は r 方向成分 v_r と x 方向成分 v_x とで式(2)のように表すことができる。

$$V = \sqrt{V_r^2 + V_x^2} \quad (2)$$

今回の計測では、各視線方向の測定をできるだけ同時刻に設定するため、レーザ位置から r 方向に対して、2方向($\pm \theta$ の角度)で発射する方法を採用した。各方向に対する視線方向の風速測定値を $v_m(+\theta)$ 、 $v_m(-\theta)$ とすると風速 r 方向成分 v_r と x 方向成分 v_x は式(3)~(5)のように表すことができる。

$$V_r = \frac{V_m(-\theta) + V_m(+\theta)}{2 \cos \theta} \quad (3)$$

$$V_x = \frac{V_m(-\theta) - V_m(+\theta)}{2 \sin \theta} \quad (4)$$

$$\psi = \tan^{-1} \left[\frac{V_x}{V_r} \right] \quad (5)$$

以上のように、2つの視線方向風速の測定値 $v_m(+\theta)$ 、 $v_m(-\theta)$ に、式(2)~(5)を適用することで、風速 v 、風向 ψ の算出が可能となる。尚、3次元的な風ベクトルを捉えるには3方向のレーザが必要となるが、本計測では風は水平面内を吹き、上昇・下降流がないものと仮定とする。それは下部境界が平らな海上の大気下層(10m~200m)を計測範囲とするため、上昇・下降流が平面風速に

与える影響は無視できると判断したものである。

4. 海上での風況調査

4.1 計測方法

風況の計測場所は、国内で初めて海上に風力発電施設が設置された北海道瀬棚港を選定した。(図-3、写真-1)



図-3 観測計器の全体配置(北海道瀬棚港)

図-3 内の番号は以下の施設および観測計器を示す。

- ①風力発電施設
- ②キャリブレーション用風杯型風速計・矢羽型風向計
(高さ10mポール) 防波堤上
- ③光波レーダ(観測小屋)陸上
- ④陸上風測定用風杯型風速計・矢羽型風向計
(高さ10mポール) 陸上



写真-1 風力発電施設(名称：風海鳥)

風向・風速の計測は、風の最も強い厳寒時の2004年2月に実施した。陸上に観測小屋を設置し、その中に光波レーダほか必要な機器を配置した(写真-2)。

光波レーダ(写真-3)から風力発電施設のある海上に向けてレーザを発射し、図-4 に示す範囲を計測範囲と

し、1000m離れた海面上の高度 15m から 205m における風速・風向を測定した。

なお光波レーダの測定精度の確認(キャリブレーション)を行うため、光波レーダから 725m 離れた防波堤上にポールを立て、風杯型風速計・矢羽型風向計を設置し、風速計・風向計の測定結果との比較を行った(写真-4)。



写真-2 計測機器を配置した観測小屋



写真-4 キャリブレーション用
風杯型風速計・矢羽型風向計



写真-3 光波レーダによる計測状況

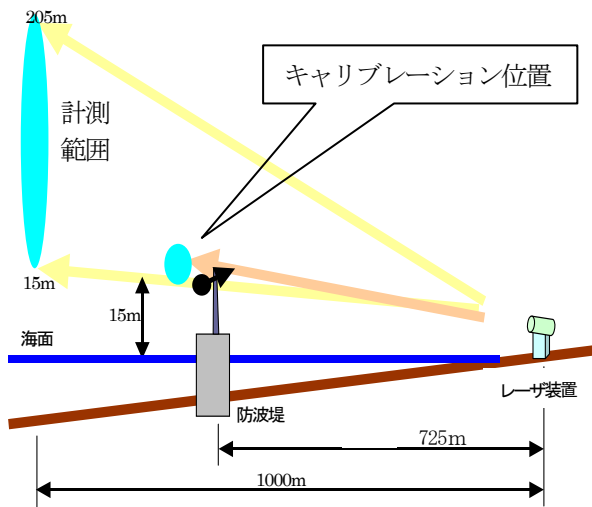


図-4 海上での測定範囲

4.2 測定結果

防波堤上に設置した風杯型風速計・矢羽型風向計の取付高さ(海上 15m)において、計測期間中の光波レーダと風速計・風向計で測定した風速と風向の 10 分平均値の相関を示す(図-5, 図-6)。

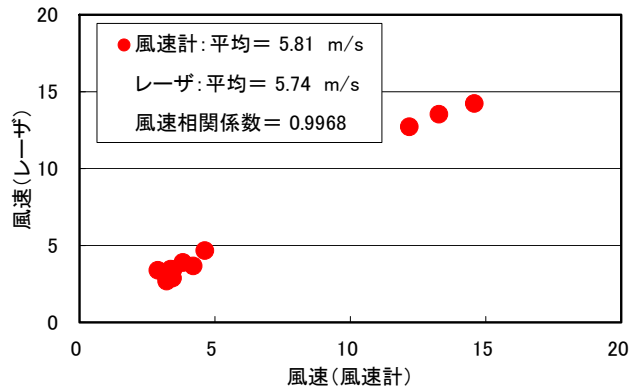


図-5 防波堤上の風速の相関 (m/s)

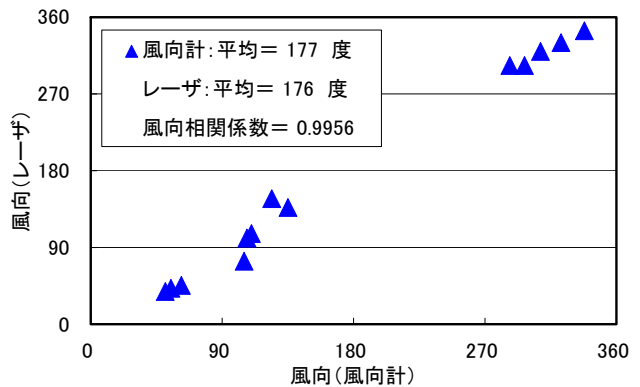


図-6 防波堤上の風向の相関 (度)

風速を比較した結果、相関係数が 0.9968 となり、光波レーダと風杯型風速計の値が高い相関を示していることがわかる。平均値を比較してもその差は 0.07m/s である。風向についても相関係数が 0.9956 という結果であり矢羽型風向計の値と高い相関を示し、平均で比較しても 1 度の差である。

また、観測データが風速・風向ともに偏りが無いことから、従来の風速計・風向計程度の精度は十分確保できているものと判断する。

次に、2004年2月18日8時55分から10時5分の70分間の観測値に基づいて、光波レーダから1000m離れた海上15mから205mの平均風速と平均風向を測定した高度分布を示す(図-7、図-8)。

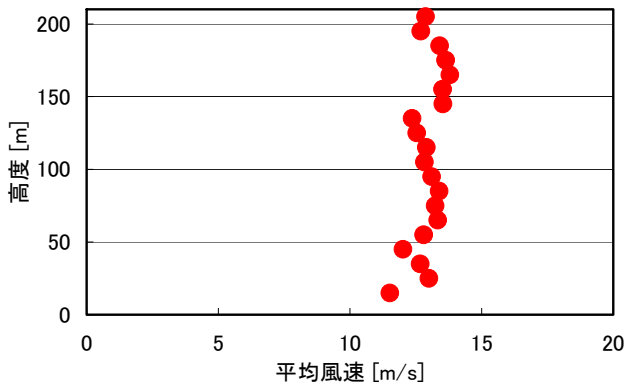


図-7 海上上空の風速高度分布

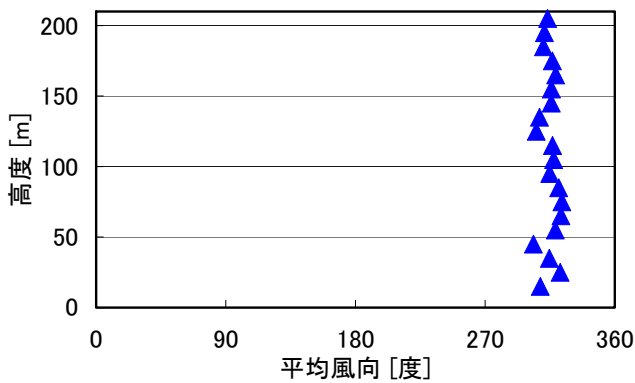


図-8 海上上空の風向高度分布

計測は、6秒/点の間隔で高さ方向に20点の測定(1回の計測2分間)を35回繰り返して、風速と風向のデータを収集した。風速については、通常の陸上の結果と異なり、低い高度でも風速の減少が見られず、風向も高度に係わらずほぼ一定となる結果が得られた。

5. 今後の課題

本調査は、2004年2月18日～20日の3日間において光波レーダを用いた計測を行っており、本稿で紹介し

た以外の計測データもとっている。今後は、次のような課題について検討を行なう予定である。

- ① 風力発電施設による風速の乱れの影響を評価するため、同施設の前面や背面、側面での計測結果を整理する。
- ② 全国港湾海洋波浪情報網(ナウファス)によって収集された瀬棚港における波高・波向の観測結果との関係性を分析する。

上記の分析は、(独)港湾空港技術研究所、(財)日本気象協会と協力して実施し、海上風の風速の出現頻度や変動特性を陸上風と比較し、沿岸域の風力エネルギー出現特性を解明し、これらを用いて海上における風力発電施設の立地を検討する際の基礎資料とすることを目指している。また陸上観測風と海上観測風との相違を検証するため、局所的風況予測モデルによるシミュレーション⁷⁾を行い、適切な粗度係数の設定による再現性の向上を図るとともに、海上と陸上との風速や乱れ、鉛直分布の相違についても考察を行なう。

6. おわりに

本調査は、風況精査用光波レーダを使用して、ポールを設置が困難な海上における風況測定結果を示したものである。同システムは海上における風況観測において、陸上で用いられる風杯型風速計および矢羽型風向計の計測結果とほぼ一致することから、ポールを建てずに計測する方法の一つとしての実用性が確認された。

最後に、実海域での計測作業に対して、快く協力して頂きました北海道瀬棚町、国土交通省北海道開発局函館開発建設部ほか関係者の皆様に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 新エネルギー・産業技術総合開発機構：風況精査マニュアル，pp.17-21，1997.12.
- 2) 山本 文雄他：レーザー光による3次元風速・風向計測システムの開発，産業と電気，pp.18-21，2004.5.
- 3) 酒巻 洋他：風況精査用光波レーダの開発および計測精度の検証，第25回風力エネルギー利用シンポジウム，pp.137-140，2003.11.
- 4) 安藤 俊行他：風況精査用光波レーダの開発(1)風速測定精度の検証，応用物理学関係連合講演会，pp.1230，2004.3.
- 5) 酒巻 洋他：風況精査用光波レーダの開発および計測精度の検証(1)，日本気象学会春季大会，pp.256，2004.5.
- 6) 若山 俊夫他：風況精査用光波レーダの開発および計測精度の検証(2)ー風速ベクトル算出結果の評価，日本気象学会春季大会，pp.339，2004.5.
- 7) 永井 紀彦他：観測データに基づく沿岸域風力エネルギーの出現特性，海岸工学論文集，第50巻，土木学会，pp.1306-1310，2003.