

風況観測用ライダ“DIABREZZA”

梶山 裕* 小竹論季***
 藤井康宏*
 酒巻 洋**

Doppler LIDAR System "DIABREZZA" for Measuring Wind Condition

Yutaka Kajiyama, Yasuhiro Fujii, Hiroshi Sakamaki, Nobuki Kotake

要 旨

風力発電分野で、風況調査の際に風況観測用マスト建設の必要がない風況観測用ドップラーライダ(Light Detecting And Ranging : LIDAR)に注目が集まっている。ライダはレーザ光を大気中に放射し、大気中のエアロゾル(塵(ちり)等の微粒子)からの散乱光を受信し、そのドップラー周波数の変位を検出することで遠隔の風速を計測する装置である。

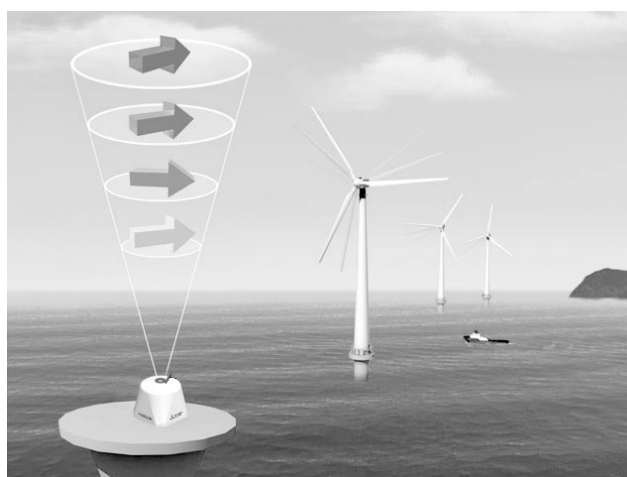
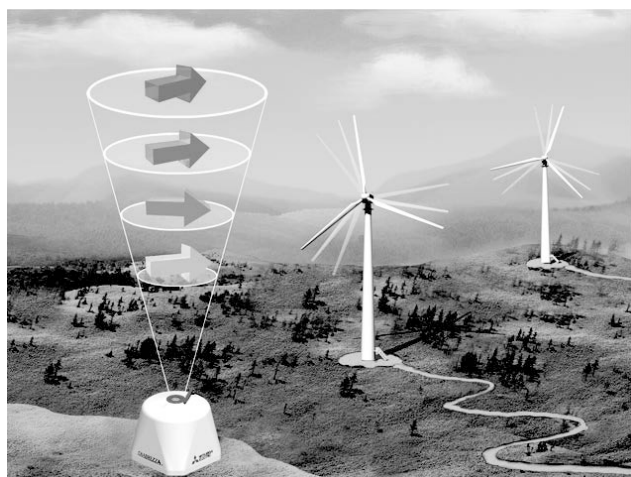
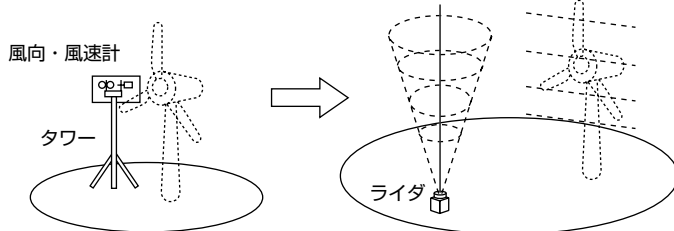
三菱電機は風況観測用ライダ“DIABREZZA”を開発した。風況観測用マストでは計測できない高度まで水平風向風速・鉛直風速を計測することができる。風計測精度に関しては、風力発電分野における欧州の主要研究機関である

オランダエネルギー研究センター(Energy research Centre of the Netherlands : ECN)による第三者検証を受け、風力事業への導入基準をクリアしていることが承認された。

また、洋上風力発電の拡大を見込み、洋上(浮体上)に設置することを想定した動揺補正機能や、天候変化に応じて観測パラメータを自動調整する環境適応制御機能も搭載しており、屋外での設置・計測が可能な耐環境型小型ライダとなっている。

本稿では当社が今回開発した風況観測用ライダについて述べるとともに、これまでに開発したナセル搭載型・長距離観測型のライダについて述べる。

- ・風車の大型化=タワー^(注1)の大型化に伴って、タワーの建設コストの増大や、国内の建設基準法の制約を受ける。
- ・ライダを活用することで、タワーでは観測できない100m以上や、高度ごとの風の計測が可能になる。



(注1) タワーは、風向・風速計を設置した風況観測用マストである。

陸上及び洋上での風力発電を想定した風況観測

風車の大型化に伴って風向・風速計を置くタワーを大型化する必要が生じ、タワー建設コストの増大や建築基準法の制約などの問題が生じている。この問題に対し、当社の風況観測用ライダは高度ごとに観測が可能であるため、もはやタワーを建設する必要がなく、ハブ高さと同レベル先端における風速を同時にリアルタイムで計測することができる。

1. ま え が き

再生可能エネルギーの中で拡大が期待されている風力発電では風車建設候補場所の風況調査は必須であり、これまででは風車ハブ高と同じ高さに風向風速計を設置した風況観測用マストを建設し観測してきた。しかし、風車の大型化に伴い風車ハブが地上高100m前後となるが、国内では建築基準法の制約によってマストの建設が難しく、また、今後拡大が期待されている洋上風力発電の場合はマストの建設費の増大が事業上の課題となってきている。

このため、マストの建設を必要とせず、レーザー光を用いて上空の風向風速を地上から観測するライダを開発した。このライダの製品概要と主要技術を述べる。

2. 原 理

ライダはレーザー光を大気中に放射し、大気中のエアロゾル(大気中の塵、目に見えない数ミクロンの浮遊粒子)からの散乱光を受信し、そのドップラー周波数シフトから風速を観測する。レーザー光はビーム方向のみの風速しか観測できないが、このレーザー光を斜め上空に向け順次切り替えながら放射し、その受信した複数のビーム方向の風速をベクトル合成することで上空の高度ごとの三次元風向風速が観測できる。

当社は1990年頃から気象観測、航空機の飛行安全等の用途に各種ライダを開発・製品化してきた。類似の観測装置としてはレーダやソーダがある。レーダは雨滴や雲などからの反射波を観測するが、ライダは晴天でも観測でき、電波法上の免許も不要である。また、レーダやソーダに比べてビームが細いので、一般的に局所的に正確な観測が可能である。

3. 装 置

風況観測用ライダは、風況観測用マストでは計測できない高度を含む、40~250mまでの水平風向風速・鉛直風速(三次元風ベクトル)を計測することができる。このライダは耐環境型であり、風車建設予定地の屋外(洋上の浮体上も含む)での設置・計測も可能である。ライダの外観を図1に示す。



図1. 風況観測用ライダ

このライダは、天候変化などに応じて観測パラメータを自動調整して所望の高度でのデータ取得率を最大化する環境適応制御機能(5.1節)を持つ。また、洋上浮体へ設置することを想定した遠隔監視制御機能・動揺補正機能(5.2節)もオプションとして用意している。

3.1 性 能

風況観測用ライダの主要性能を表1に示す。

このライダは図2のように、上部のウィンドウから放射方向を固定した5つのレーザー光を放射することで、それぞれのビーム方向の風速を観測している。

これらのビーム方向の風速を組み合わせて計算することで、上空の高度ごとの水平風向風速データや鉛直風速データが得られる。この5方位のビーム走査は電氣的切替え方式であり、従来の機械的走査に比べて瞬時に計測が可能である。また、駆動系をなくしたことでメンテナンスフリー化と長寿命化を実現している。また、アイセーフ波長(近

表1. 風況観測用ライダ主要性能

項目	性能
観測距離	40~250m(実際の観測距離はエアロゾル濃度等によって変化する。)
高度分解能	20m, 25m, 30m(最小4mごと)
走査パターン	スイッチ切替え方式
ビーム走査方向	0°(北)/90°/180°/270°/鉛直
レンジ数	20/40レンジ切替え
出力/表示データ	・水平風向風速の各レンジごとの分布 ・鉛直風の各レンジごとの分布 ・10分間平均風向風速データ
風速観測範囲	0~60m/s
風向風速更新周期	最速2s以内
レーザー波長	1.55μm帯の単一波長(JIS C 6802 クラス1Mに相当)
外部温度・湿度範囲	-20~+40℃, 0~100%RH
耐環境性	IP67, 重塩害仕様
本体寸法・質量	・W550×H550×D550(mm)(突起物は除く) ・50kg
電源条件	DC+24V ±10%
適合規格	CEマーク, RoHS

RH: Relative Humidity, RoHS: Restriction of Hazardous Substances

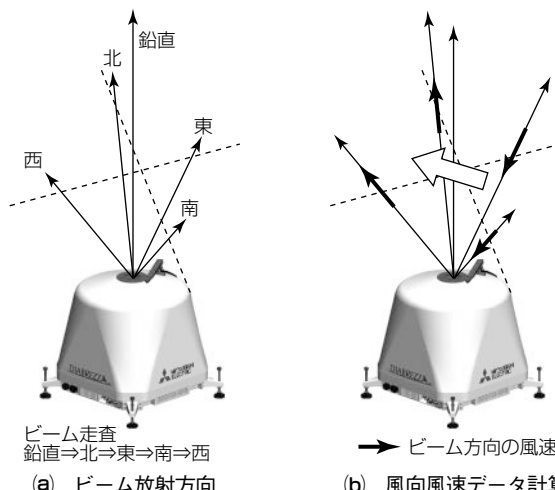


図2. 風況観測用ライダビーム走査

表2. 風況観測用ライダの構成部品

構成部品名称		数量
ライダ本体装置		1
付属品	洗浄水タンク	1
	各種接続ケーブル類	1
オプション	外部ユニット(動揺補正&遠隔監視制御機能含む)	1
オプション	電源ユニット(AC/DC変換機能含む)	1

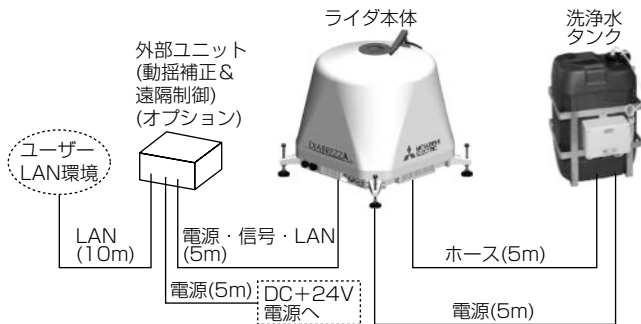


図3. 風況観測用ライダの設置イメージ

赤外、不可視)のクラス1Mのレーザを用いており、目の安全も考慮した装置となっている。

3.2 装置構成

外部ユニットオプションを用いた場合(浮体での使用時)の構成部品を表2, 設置イメージを図3に示す。

4. 性能評価

このライダは、再生可能エネルギー技術の研究機関であるECNでの第三者評価試験で、プロトタイプ機が風力事業への導入基準をクリアすることが2014年4月に承認されている。本稿で述べているライダは製品版であるが、風速精度にかかわる部分が第三者検証を受けているプロトタイプ機と同じものとなっている。図4にECNの試験サイトの設置風景を示す。

評価では、マストの高度100mに位置する三杯式風速計・矢羽根式風向計と、ライダによって計測された水平方向風向・風速値との比較を行った。ライダ計測における高度分解能設定は25mである。ライダは1秒ごとに風向・風速計測を行うが、10分間のデータを平均し平均値どうしの比較を行った。図5に風向・風速計とライダの水平風向風速値の比較結果を示す。風速値に関して、回帰直線 $y=ax$ で近似したときの傾き a は0.986, 決定係数 R^2 (相関係数の二乗値)は0.990であった。風向値に関しては, $a=1.002$ で, $R^2=0.998$ であった。これらの値は、欧州の洋上風力研究開発プロジェクトNORSEWInD(NORthen Seas Wind Index Database)で要求されているライダの性能条件⁽¹⁾($0.98 < a < 1.01$, $R^2 > 0.98$)を満足する結果であるとしてECN側から承認された⁽²⁾。環境適応制御機能(5.1節)によって、曇天や雨天時の環境下でも有効データ取得率95%以上を得ることができた。

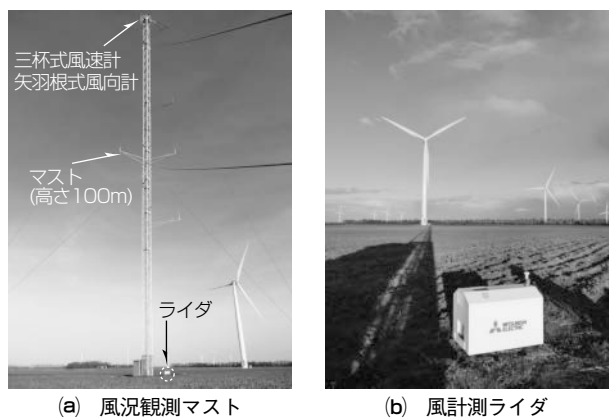


図4. ECN試験サイトの設置風景

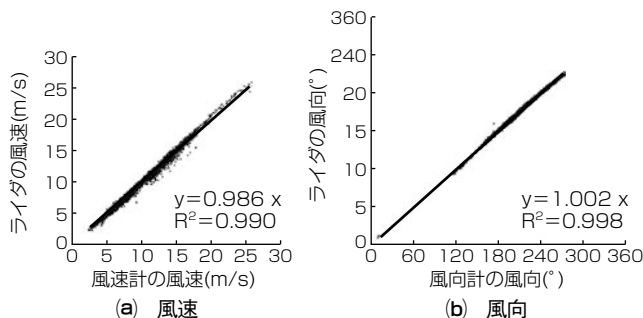


図5. 風向・風速計とライダとの比較結果

5. 特徴的機能

5.1 環境適応制御機能

風況観測用ライダの測定可能距離はSNR(Signal to Noise Ratio)に依存し、その値は大気中のエアロゾル濃度等の大気環境に影響される⁽³⁾。そこで、計測された距離-SNRに対して、所望の測定距離の風速値を得るために最適な焦点距離や積算回数を自律的に調整する“環境適応制御”が可能なシステムを開発した⁽⁴⁾。この自律制御の効果の1例として、自律的な焦点調整を実施した場合を図6に示す。

図6の鎖線を(1), 破線を(2), 実線を(3)とする。

(1)は大気エアロゾル量が多くかつ焦点を無限遠にした状態, (2)は(1)の状態で大気エアロゾル量が少なくなった状態, (3)は(2)の状態で距離L1に集光した状態であり、それぞれの距離-SNR特性を表している。従来の固定焦点で連続観測を行うと、日々の大気環境変動によって(1)から(2)のように観測可能距離が低下する場合があるが、この機能によって、ユーザー操作を介することなく焦点を(3)の状態に“自律的に”調整して観測可能距離を安定化させることができる。

この制御機能を搭載したライダの構成を図7に示す。このときユーザーは所望の観測距離を入力することで、信号処理装置内部で取得した距離-SNR特性から、これらの観測距離を最大化するために最適な焦点距離と積算時間をリアルタイムに自動で設定する。

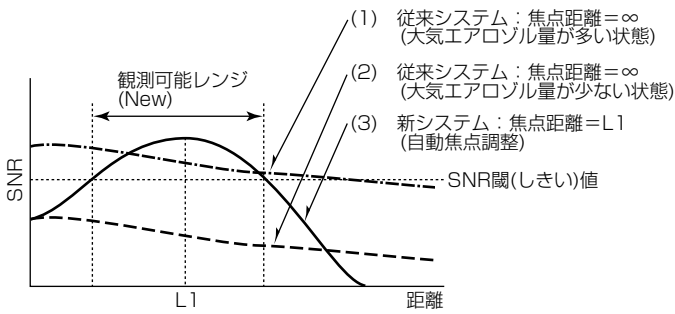


図 6. 環境適応制御の効果

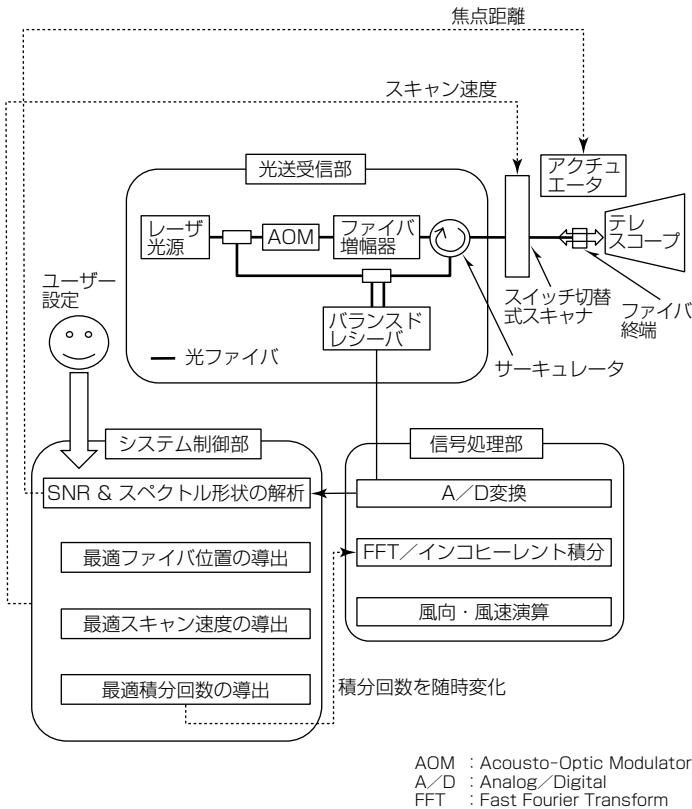


図 7. システム構成図

5.2 動揺補正機能

ブイ等の浮体にライダーを搭載する場合、浮体の動揺による風計測結果の劣化が懸念されるため、浮体動揺の影響を排除する動揺補正機能を開発した。図 8 に、動揺の定義と動揺補正処理の概念図を示す。

浮体動揺が風計測結果に及ぼす影響としては、浮体の回転運動によって姿勢角が変化することで風の 3 軸(x-y-z)成分が変わり、風の水平・垂直成分の計算精度が劣化するものと、浮体の並進運動によって並進速度が風のドップラー計測値そのものに重畳するものが支配的となる。その他、浮体の重心と、動揺センサ、ライダーの位置関係によって生じる相対速度についても考慮した。動揺補正処理では、動揺センサから得られる 3 軸の姿勢角(ロール/ピッチ/ヨー)・角速度(ロール/ピッチ/ヨー)・並進速度(サージ/スウェイ/ヒープ)を用いてこれらの動揺の影響を除

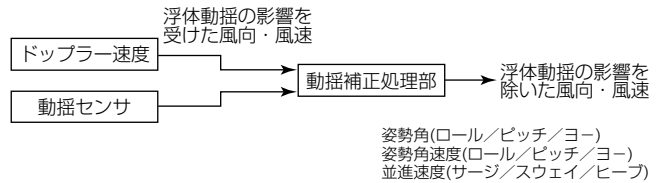
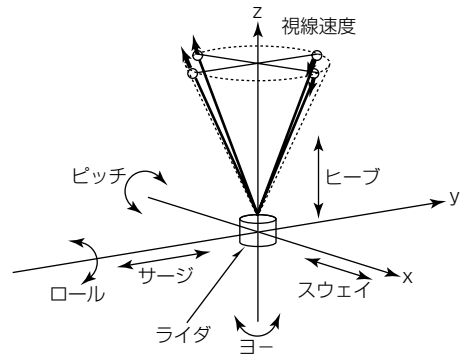


図 8. 動揺の定義と動揺補正処理の概念図

去する。さらに、回転運動・並進運動が大きく、風向風速推定演算を行う観測領域の風の一様性が確保できない場合には、計測値を無効とする品質管理処理も持っている。

6. その他のライダーの概要

その他のタイプのライダーについて述べる。

6.1 ナセル搭載型

風力発電事業分野でのその他のライダー利用としては、風車評価・制御、ウィンドファーム監視が考えられる。従来、風車評価は風況観測用マストで観測した風速と風車の発電量との比較で実施されてきた。先に述べた地上設置型ライダーでも比較可能だが、ナセルにライダーを搭載すれば風車からの距離方向の風速を観測し、発電量との比較が可能となる。さらに、ライダーが観測した前方の風速風向の変化を風車のヨー角やブレードのピッチ角制御に活用することで、突風等による風車ブレードの負荷軽減・寿命向上や、発電効率向上につながると期待されている。

当社はナセル搭載型ライダー(プロトタイプ機)を三重大学と(独)産業技術総合研究所に納入した。その性能を表 3 に示す。図 9 は三重大学へ納入したナセル搭載型ライダーの外観を示す。図 10 は、産業技術総合研究所の風車とナセル上のライダーの搭載状況である。

6.2 長距離観測型

当社は観測距離が20km超の長距離観測型のライダーも販売している。この長距離観測型は、航空機の運航に悪影響を及ぼす空港周辺の気流観測を主目的として開発し、国内外の空港への展開を計画している。さらに近年、ウィンドファームの建設前の風況観測や、建設後のウィンドファーム全体の監視・制御を行うことも計画している。長距離観測型ライダーの性能を表 4 に示す。外観を図 11 に示す。この長距離観測型ライダーには、新たに開発した高出力を実現

表 3. ナセル搭載型ライダの性能

項目	性能
観測距離	40~250m (実際の観測距離はエアロゾル濃度等によって変化する。)
距離分解能	25m, 30m, 50m
走査方向数	9 方向
ビーム指向方向	水平: -15° , 0° , $+15^{\circ}$ 垂直: -10° , 0° , $+10^{\circ}$



(a) 光アンテナ装置



(b) ライダ本体装置

図 9. 三重大学向けナセル搭載型ライダ

表 4. 長距離観測型ライダの性能

項目	性能
観測範囲	水平方向: 400m~20km (実際の観測距離はエアロゾル濃度等によって変化する。)
最大処理距離	30km (距離分解能150m時)
距離分解能	30m, 75m, 150m
ビーム走査範囲	水平方向: $0\sim360^{\circ}$ 仰角方向: $-5\sim180^{\circ}$



図11. 長距離観測型ライダ



(a) 風車



(b) ナセル上のライダ(背面)

図10. 産業技術総合研究所向けナセル搭載型ライダの状況

できる“導波路型光アンプ (Waveguide Amplifier : WGA)”を流用した。

7. む す び

当社のライダ開発について述べた。小型及び長距離観測型ライダの開発・商品化を進めていき、風力発電分野だけでなく、気象・環境計測や航空機の運航・管制等の用途での適用も目指していく。当社製を含むライダが様々な分野で有効活用されていくことを期待する。

参 考 文 献

- (1) Hasager, C. B., et al. : Hub Height Ocean Winds over the North Sea Observed by the NORSEWInD Lidar Array : Measuring Technique, Quality Control and Data Management, Remote Sens., **5**, 4280~4303 (2013)
- (2) 三菱電機 風力発電向けの風計測ライダを開発, 三菱電機ニュースリリース2014年5月28日
<http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2014/0528.html>
- (3) Kameyama, S., et al. : Compact all-fiber pulsed coherent Doppler lidar system for wind sensing, Appl. Opt, **46**, No.11, 1953~1962 (2007)
- (4) Kotake, N., et al. : Concept of wind LIDAR system with the adaptive parameter tuning to atmospheric condition, Proceedings of 17th Coherent Laser Radar Conference (2013)