

# 1.5 $\mu\text{m}$ 小型インコヒーレントドップラーライダーの性能評価 Performance evaluation of the 1.5 $\mu\text{m}$ compact incoherent Doppler lidar

○柴田泰邦<sup>1</sup>、長澤親生<sup>1</sup>、阿保 真<sup>1</sup>、塚本 誠<sup>2</sup>、菅田高行<sup>2</sup>  
Yasukuni Shibata<sup>1</sup>, Chikao Nagasawa<sup>1</sup>, Makoto Abo<sup>1</sup>  
Makoto Tsukamoto<sup>2</sup> and Takayuki Honda<sup>2</sup>

1 首都大学東京 システムデザイン研究科、2 英弘精機

1 Graduate School of System Design, Tokyo Metropolitan University, 2 EKO Instruments

**Abstract:** A compact incoherent Doppler lidar using a FBG filter have been proposed. A comparison between lidar data and simultaneous ultrasonic anemometer data obtained through a validation experiment was performed. The average wind difference between the lidar and the ultrasonic anemometer is 0.24 m/s. Moreover, lone-of-sight wind profiles were obtained from 200 to 1000 m range with a 60 m range resolution. Less than 1.0 m/s of wind velocity errors were achieved within 480m range with 20 elevation angle.

## 1. はじめに

我々は、ヒートアイランド等の都市気象の解明、天気予報精度の向上、風力発電機の発電効率評価等、様々な環境関連事項に貢献することを目的とする、距離 1km 内の 3 次元風分布測定が可能な可搬型インコヒーレントドップラーライダーの実用化を目指している。光源はアイセーフ波長の 1.5 $\mu\text{m}$  を用いる。ドップラーシフト成分検出用フィルターには、ファイバー・ブラッグ・グレーティング (FBG: Fiber Bragg Grating) を用い、FBG フィルターの透過光と反射光の比から風速を求めることにより、エアロゾルの希薄な条件でも風観測を行える。光源には小型・軽量化が可能な、光通信用 DFB-LD の cw 光を AOM (Acousto-Optic Modulator) によってパルス状に切り出して EDFA で増幅することにより、狭いスペクトルを維持し、高出力化を行った。AOM から出力される繰り返し 20kHz、パルス幅 200ns のパルス光は EDFA によって 500 倍増幅され、16.0dBm (40mW) を得た。

FBG フィルターはシングルモードファイバーで構成されているため、受信望遠鏡で受信した光をファイバーのコア径 10 $\mu\text{m}$  内に集光する必要がある。これを実現するためには短焦点の望遠鏡が要求される。また、スキャンニングで 3 次元観測を行う上で望遠鏡はある程度小型にしなければならず、軽量化も要求される。そこで、焦点距離 300mm のカメラ用望遠レンズ (F2.8,  $\phi$  107mm) と焦点距離 1,950mm のシュミットカセグレン望遠鏡 (F9.75,  $\phi$  200mm) を用いて受光効率の比較実験を試みた。また、カメラ用望遠レンズを用いて、風速測定の試験観測を行った。

## 2. 受光望遠鏡の比較実験

Table1 に受光効率の比較実験に使用したカメラ用の望遠レンズ (Sigma APO 300mm F2.8 EX) とシュミットカセグレン (Vixen VMC200L) のパラメータを示す。カメラ用望遠レンズのスポットサイズは 11 $\mu\text{m}$  とシングルモードファイバーのコア径に近い。また、重量が 2.4kg と軽く全長が 214.5mm と短く可搬型ライダーの受光望遠鏡に適している。受信望遠鏡の効率のみ比較すると受光面積比  $S_{\text{sigma}}/S_{\text{vixen}}$  は 0.29 である。また、ファイバー結合効率 (コア部の面積に対する焦点位置でのスポット面積) は Sigma APO が 82.6% に対し、Vixen VMC200L は 7.3% である。よって、受信望遠鏡の効率は Vixen VMC200L = 1 に対し Sigma APO = 3.2 となる。Fig.1 に 2 つの望遠鏡それぞれで得られた、アナログモードでの FBG フィルター透過信号を

Table 1 Telescope specifications

	Sigma APO 300mm F2.8	Vixen VMC200L
Aperture	$\phi$ 107 mm	$\phi$ 200 mm
Focal length	300 mm	1,950 mm
Focal ratio	2.8	9.75
Size	$\phi$ 119 mm L 214.5 mm	$\phi$ 232 mm L 535 mm
Weight	2.4 kg	6.8 kg
Spot size ( $\lambda=1550\text{nm}$ )	11 $\mu\text{m}$	37 $\mu\text{m}$

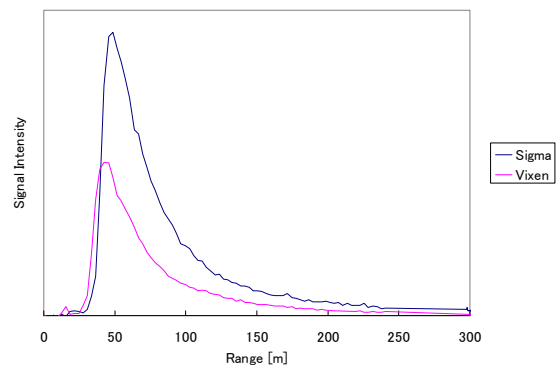


Fig.1 Comparison of lidar signals by two telescopes

示す。ここで、FBG フィルターの透過率は 100% に設定した。70~150m 区間の受信強度比は Vixen VMC200L = 1 に対し Sigma APO = 1.9 となり、望遠鏡と光ファイバーの結合効率が大幅に改善した。理論値とのずれは、ファイバー先端を望遠鏡の焦点位置に正確に合わせられなかったためと考えている。

### 3. 風速の試験観測

#### 3.1 超音波風速計との比較実験

ドップラーライダーから水平に 60m 離れた地点に超音波風速計 (METEK GmbH, USA-1) を設置し、超音波センサー近傍にレーザビームを通過させて風速測定比較実験を行った。ライダーの距離分解能は 30m、積算回数は 60,000 (3 秒) である。超音波風速計は 3 秒ごとにデータを取得している。Fig.2 にレーザ視線方向の風速測定結果 (3 分間移動平均) を示す。両者の差の平均は 0.24m/s とよく一致した。

#### 3.2 風速測定の試験観測

望遠鏡に Sigma APO 300mm F2.8 を用いて風速測定の試験観測を行った。光検出器にはフォトンカウンタモードで使用可能な DAPD (Discrete Amplification Photon Detector) を用いて感度を向上させた。レーザビームは仰角 20° で北西に照射した。Fig.3 に首都大学東京日野キャンパス (東京都日野市旭が丘) において 2010 年 8 月 6 日 19:53~20:34 にかけて、約 10 分ごとに観測したレーザビーム視線方向の風速分布を示す。ライダーから遠ざかる方向 (北西) が+の風速である。距離分解能は 60m、積算数は 100,000 (5 秒間) で、19:53 のデータのみエラーバーを付した。距離 480m まで ±1.0m/s 以内で測定されている。図中にはほぼ同時刻の気象庁アメダスの八王子観測点 (東京都八王子市元本郷町) における風向風速データを示す。八王子観測点は日野キャンパスから西に 5.6km 離れた場所にある。アメダスのデータから、観測時間中は風速 7m/s 前後の南風が吹いていたことが分かる。ライダー観測データは距離 1000m 内において風速 4m/s 前後を示しているが、レーザビーム視線方向が北西を向いていることから妥当な結果である。

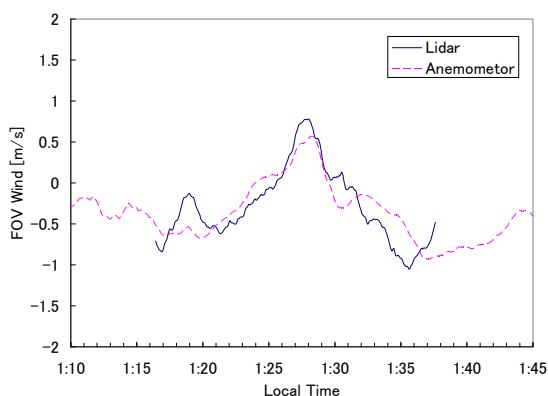


Fig.2 Comparison of wind profiles observed using Doppler lidar and ultrasonic anemometer.

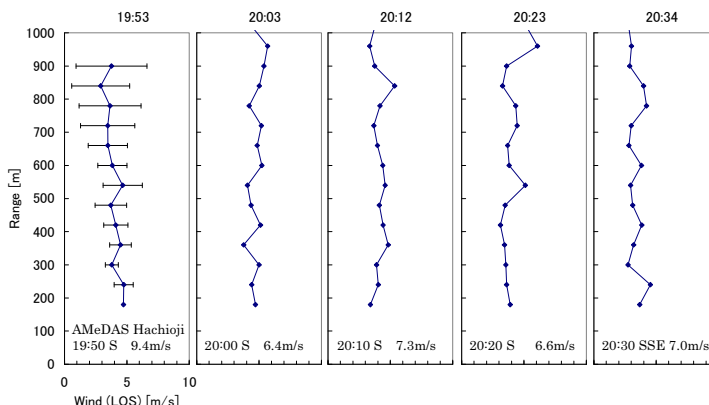


Fig.3 LOS (line-of-sight) wind profiles observed on the evening of August 6, 2010. (LOS direction: NW, Elevation angle: 20° )

### 3. まとめ

1.5μmFBG フィルターを利用した小型インコヒーレントドップラーライダーの受光効率を改善するため、焦点距離 300mm の望遠鏡 (F2.8, φ107mm) を用いてスポットサイズをシングルモードファイバーのコア径とほぼ同じ大きさにした。F9.75, φ200mm の望遠鏡と比較すると、受光面積が約 1/3 になったにもかかわらず受信信号が約 1.9 倍に増加し、望遠鏡と光ファイバーの結合効率が大幅に改善した。超音波風速計との比較実験では、ドップラーライダー観測値との風速差の平均は 0.24m/s とよく一致した。また、F2.8 の望遠鏡を用いてレーザビーム視線方向の風速分布を観測し、仰角 20° の条件で距離 480m まで風速誤差 ±1.0m/s 以内を達成した。

本研究は、財団法人東京都中小企業振興公社 社会的課題解決型研究開発助成事業費によって行われる。

### 参考文献

Y. Shibata et al., "1.5 μm incoherent Doppler lidar using a FBG filter", Proc. of ILRC25, 338-340, 2010.