

ファイバーフィルターを用いたインコヒーレントドップラーライダーの検討

Study on an incoherent Doppler lidar using a fiber filter

柴田泰邦、長澤親生、阿保 真

Yasukuni Shibata, Chikao Nagasawa and Makoto Abo

東京都立大学大学院 工学研究科

Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan University

Abstract : We have developed the incoherent Doppler lidar which used the iodine absorption line. Since many iodine absorption lines exist near 532nm of the Nd:YAG laser second harmonic, a laser output power is controlled in consideration of an eye safe, and the direction of the laser beam is limited. Then, in order to detect the Doppler shift efficiently on arbitrary wavelength, we study on the incoherent Doppler lidar using the fiber Bragg grating (FBG) filter used for optical communications and a fiber sensor.

1. はじめに

我々は、ヨウ素吸収線をドップラーシフト検出用フィルターに用いたインコヒーレントドップラーライダーの開発を行なってきた。ヨウ素吸収線はNd:YAG 第二高調波の 532nm 付近に多数存在するため、アイセーフの観点からレーザー出力を抑制したり、ビーム視線方向を制限する場合がある。そこで、任意の波長で効率良くドップラーシフトを検出するため、光通信用波長分別フィルターやファイバーセンサーとして利用されている Fiber Bragg Grating (FBG) フィルターを用いたインコヒーレントドップラーライダーを新たに提案し、紫外から近赤外光源での風観測の可能性について検討を行った。

2. FBG フィルター

FBG フィルターは Fig.1 に示すようなファイバーコア内にグレーティング長 L 、周期 Λ の屈折率変化 Δn を持つグレーティングで、Bragg 条件を満たす波長 $\lambda_0 (=2n_{\text{eff}}\Lambda)$ のみ反射される。ここで、 n_{eff} はコアの実効屈折率である。ファイバ中の電界分布 $E(z)$ は、前進波の振幅を $A(z)$ 、後退波の振幅を $B(z)$ とすると

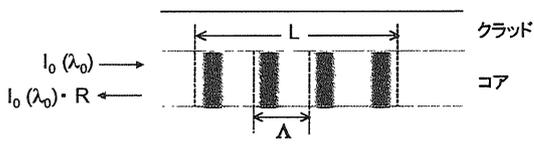


Fig.1 Fiber Bragg Grating Filter

$$E(z) = A(z) \exp(-i\beta z) + B(z) \exp(i\beta z) \quad (1)$$

で表される。また、 $A(z), B(z)$ は以下のモード結合方程式を満たす。

$$\begin{aligned} dA/dz &= -i\kappa B \exp(2i\delta z) \\ dB/dz &= i\kappa A \exp(-2i\delta z) \end{aligned} \quad (2)$$

ここで κ は結合係数、 $\delta = \beta - \pi/\Lambda$ である。式(2)の微分方程式を解き、 $z=L$ において $B(L)=0$ とすると、反射率 R は次式となる。

$$R = \frac{\kappa^2 \sinh^2(\gamma L)}{\gamma^2 + \kappa^2 \sinh^2(\gamma L)} \quad (3)$$

ここで、 $\gamma = \sqrt{\kappa^2 - \delta^2}$ である。

グレーティングの屈折率変化がFig.2(a)に示すように一定な場合(uniform)、反射スペクトルにおいてメインピークの両側に複数のサイドローブが発生し、このままではドップラーシフト検出には使えない。しかし、Fig.2(b)に示すようにアポダイズ(apodized)と呼ばれるグレーティングの両サイドの屈折率変化を抑えることでサイドローブの発生を抑制できる。Fig.3(a)にアポダイズを行わない場合、Fig.3(b)にガウス分布のアポダイズを行った場合の反射スペクトルの計算値を示す。ここで、 $\lambda_0=1064\text{nm}$ 、

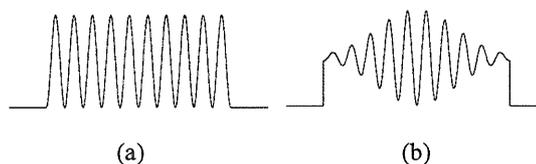


Fig.2 Refractive index perturbation of uniform and apodized grating.

$L=5\text{cm}$, $\Delta n = 10^{-4}$ とした。アポダイズを行うことにより、サイドローブを約40dB抑えることができ、ほぼフラットな傾きを持つフィルターとなる。

3. ドップラーライダーへの応用

FBGフィルターを用いたドップラーライダーは、Fig.4に示すようにヨウ素吸収線を用いたドップラーライダーと同様にFBGフィルターの方の傾き中心部にレーザ周波数を同調する。ヨウ素吸収線を用いた場合は、2ヶ所の傾き部分を透過する信号から散乱光のドップラーシフト周波数を求めたが、FBGフィルターを用いる場合はフィルター透過光 I_T と反射光 I_R の比 $r (=I_T/I_R)$ からドップラーシフト周波数を求める。このため、波長を振る必要がなくなり、レーザ送信部のシステム簡略化が可能となる。

Fig.5にTable 1に示すNd:YAG発振波長およびファイバーレーザ発振波長における水平風速測定誤差の計算結果を示す。また、共通パラメータとして、ビーム天頂角 15° 、距離分解能100m、望遠鏡直径35cmとした。この結果、Table 1の各波長において、高度約10kmまで1m/s前後、高度約20kmまで10m/s前後で測定できることが示され、アイセーフである紫外波長や $1.3\mu\text{m}$ 以上の近赤外で有効な風測定手段となりうる。

4. まとめ

光通信の波長分別フィルターやファイバーセンサーに用いるFBGフィルターをインコヒーレントドップラーライダーのドップラーシフト周波数検出フィルターに用いることを提案し、紫外から近赤外にわたる任意の波長で対流圏および成層圏の風分布測定が可能であることを示した。

<参考文献>

J. Skaar and K. M. Risvik, J. Lightwave Technol., Vol.16, No.10, 1928-1932 (1998)

I. Stenholm and R. J. DeYoung, NASA/TM-2001-211261, p34- (2001)

柴田他, 第21回レーザセンシングシンポジウム, 58-59, 2001

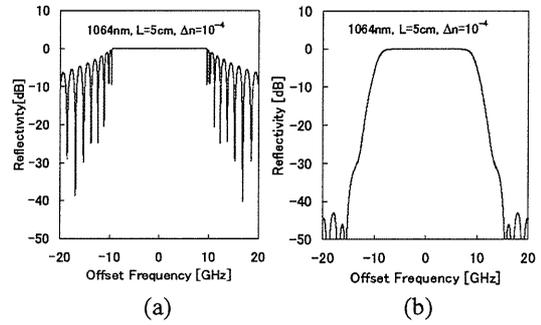


Fig.3 Reflection spectrum of FBG filter

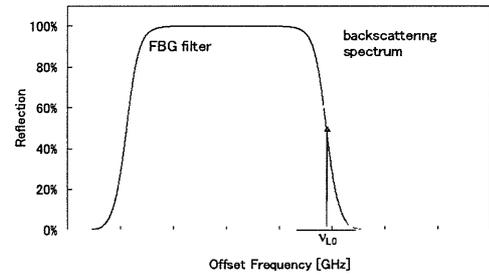


Fig.4 FBG filter and backscattering spectrum.

Table 1 Lidar parameters

	Pulse energy	Shot number	Quantum efficiency
355nm	0.4J	10^4	0.4(PMT)
532nm	0.6J	10^4	0.4(PMT)
1064nm	1.0J	10^4	0.03(PMT)
1300nm	0.1J	10^4	0.7(APD)
1500nm	100 μJ	10^7	0.7(APD)

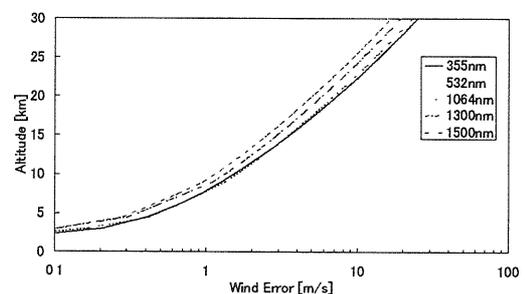


Fig.5 The simulation result of horizontal wind error.