

Abstract: The Doppler lidar has been developed to measure wind velocity using a new frequency discrimination technique with a Mach-Zehnder(MZ) interferometer filter. This lidar system utilized the Mie scattering at 532nm. For a stable frequency measurement, the MZ interferometer filter is enclosed in the vacuum box. The measurement error of wind velocity is estimated ± 1.0 m/s at 3km range. The principle, sensitivity and preliminary experimental results are reported.

1. はじめに

風によって拡散する大気汚染物質などの情報の測定や、乱流によって生じる航空機事故の防止のために風向、風速を遠隔的に計測するドップラーライダーの重要性が次第に高まっている。

本研究では、高感度で高効率な周波数弁別フィルターとして、マッハツェンダー(MZ)干渉フィルターを用いた直接検波方式のドップラーライダーを構成した。

ヘテロダイン検波を用いたコヒーレント方式に対して、本研究ではシステムの構成が比較的容易で、光のコヒーレンス特性に対して影響が少ないため、集光鏡の受光面積を大きくして測定精度を向上できる利点がある。

2. ドップラーライダーシステムの構成

Fig. 1 にドップラーライダーのシステム構成を示す。光源として Nd:YAG レーザの第二高調波(532nm)を用いた。出射されたレーザー光は、エアロゾルなどの粒子に散乱されテレスコープによって集光され、周波数弁別フィルターを通過し風速が求められ表示される。

Fig. 2 にMZ干渉フィルターを用いた風速測定法の原理について示す。MZ干渉フィルターの透過強度 I は次式のように周波数によって変化する。

$$I = 2T^2 \left\{ 1 + \cos \left(\frac{2\pi n \nu \Delta l}{\lambda_0 \cos \theta} \right) \right\} \quad \dots (1)$$

ここで、 T はビームスプリッターの透過率、 n は屈折率、 λ_0 は波長、 Δl は光路差、 θ は入射角である。風速は、チャンネル-1、2 の透過強度の変化を測定することにより求められる。

ファブリーペロー(FP)干渉フィルターでは、受信信号の利用効率が約 30% に対して、MZ 干渉フィルターでの利用効率は 100% であるため効率がよいことと、2 つの光検出器から得られる透過強度特性がそれぞれ逆位相で、必ず透過強度の半値で交わるため周波数の変化率が 2 倍になるという 2 つの長所がある。¹⁾ しかし FP 干渉フィルターに比べ光路長が長いため、気温や振動により周波数安定度が低いという短所がある。

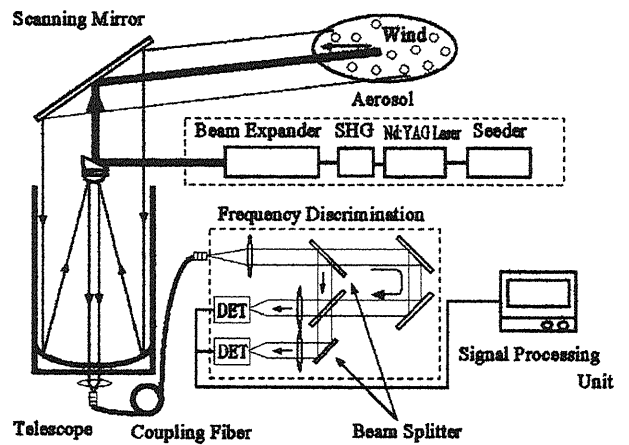


Fig. 1 Doppler lidar system

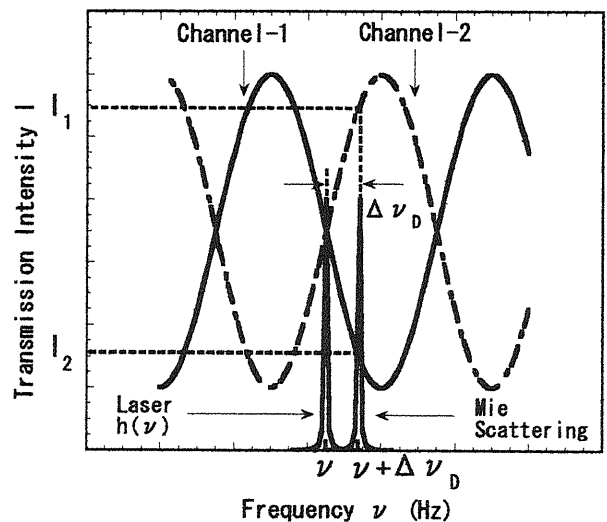


Fig. 2 Transmission intensity of MZ interferometer filter

そこで、真空容器封入型の安定なMZ干渉フィルターを構成し、問題点を改善した。Table 1にドップラーライダーのシステムパラメータを示す。

Table 1 System parameter

Laser	Pumping Method	Flash Lump	Telescope	Diameter	250mm
	Wavelength	532nm		Focal Length	1000mm
	Pulse Energy	50mJ	Optical Fiber	Core Diameter	50 μm
	PRF	20Hz		NA	0.12
	Line Width	150MHz	MZ Interferometer	FSR	500MHz
PMT	Quantum Efficiency	0.13		Visibility	41%

3. システムの特性

予備実験として光路差60cmのMZ干渉フィルターを製作した。干渉の効率を示す可視度Vは次式のように定義される。

$$V = (I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min}) \quad \dots(2)$$

ここで、 I_{\max} は最大信号強度、 I_{\min} は最小信号強度である。また、風速測定感度は

$$\Theta_v = (1/I_2)(dI_2/dv) - (1/I_1)(dI_1/dv) \quad \dots(3)$$

となる。ここで、 I_1 、 I_2 はチャンネル1、2の透過強度である。

Fig. 3に試作したMZ干渉フィルターとFP干渉フィルターの透過強度を示す。MZ干渉フィルターの最大透過強度の周波数間隔は約500MHz、可視度は0.41となり、風速測定感度は透過強度の半値で0.042/m/sとなった。²⁾これはFP干渉フィルターと比べ風速測定感度が約1.4倍向上したことになる。Fig. 4にMZ干渉フィルターとFP干渉フィルターにおける標準大気モデルによる風速測定誤差を示す。このときの積算ショット数は100、風速測定感度は0.042/m/sである。3kmの地点で風速測定誤差はFP干渉フィルターの場合±1.4m/s、MZ干渉フィルターの場合±1.0m/sとなった。

4. まとめ

試作したMZ干渉フィルターは、FP干渉フィルターに比べ風速測定感度が1.4倍向上した。しかし、光路長が長いこと温度や振動に対する安定度が低かった。その対策としてMZ干渉フィルターを真空容器に入れ安定化を行った。真空容器封入型MZ干渉フィルターによる室内、室外の風速測定実験結果の詳細は講演で報告する。

参考文献

- 1) Z.Liu and T.kobayashi;" Differential Discrimination Technique for Incoherent Doppler Lidar to Measure Atmospheric Wind and Backscatter Ratio" Optical Review, Vol. 3, pp. 47-52 (1996)
- 2) 百海浩二、溝口豊、小林喬郎:第48回応用物理学関係連合講演会, 31p-YC-4

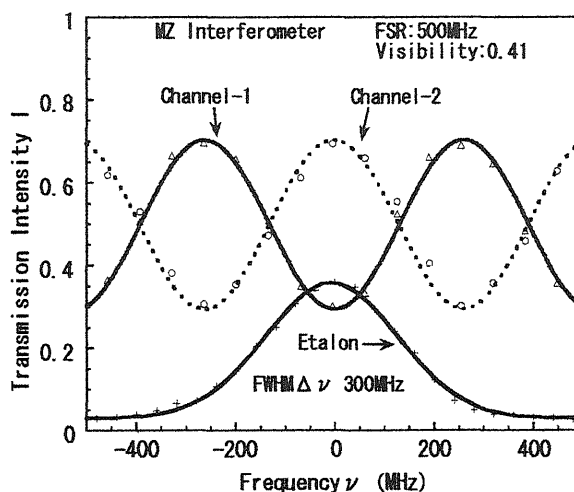


Fig.3 Transmission intensity of MZ and FP interferometer filter

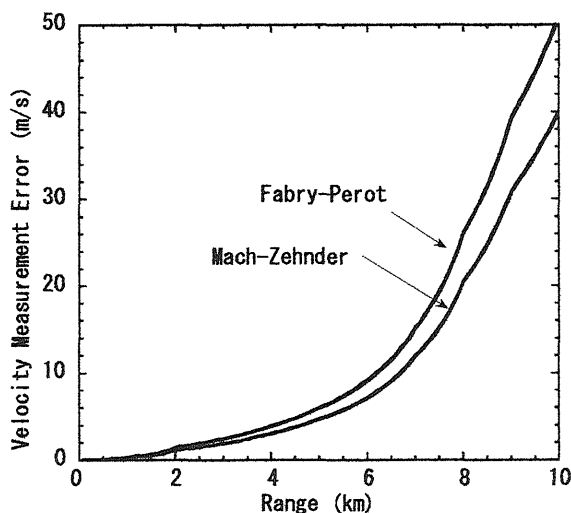


Fig.4 Wind velocity error of MZ and FP interferometer filter