



た。パルス種光のピークパワーは SBS 発生しきい値以下の 10W 程度に設定した。さらに今回、種光のパルス OFF 期間に含まれる自然放出光(Amplified Spontaneous Emission ASE)を抑圧するため、パルス種光を 2 段目の AOM を用いて再度パルス切り出しを行った後 高ピーク出力光ファイバ増幅器に接続した。

高ピークパワー光ファイバ増幅器は、専用設計したシングルモード型 Er, Yb 共添加光ファイバ EYDF (MFD  $\phi$  8.3 $\mu$ m、ファイバ長 3.5m) を波長 1480nm のレーザダイオード (LD) で双方向励起する構成とした[6,7]。励起光の導入は WDM (Wavelength Division Multiplexer) 光ファイバカプラによるコア励起とし、励起 LD 光を励起光発生ユニットから光ファイバにより供給した。

また高ピークパワー光ファイバ増幅器内での偏波変動の影響を最小化するため、次の手順により偏波制御を行った。まず高出力光ファイバ増幅器出力を偏光ビームスプリッタで直交偏波成分に分岐、反射光パワーを最小化するようにパルス種光の偏波状態を制御した。これにより偏光ビームスプリッタ透過光は定偏波出力となる。偏波補正出力光を偏波保持型の光ファイバサーキュレータを介して送受信望遠鏡 ( $\phi$  110mm) により大気放出した。エアロゾルからの後方散乱光を同じ望遠鏡で収集し、光ファイバサーキュレータにより受信光路に伝送された後 ヘテロダイン受信した。

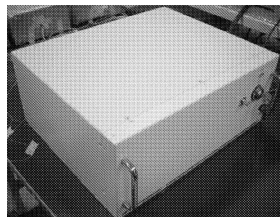
本装置では、増幅光のファイバ伝搬長を可能な限り短縮するため、高ピーク出力光ファイバ増幅器から望遠鏡までの素子を光アンテナユニット内に収納し、望遠鏡までの光路中に空間結合のないファイバ接続構成とした。高出力光ファイバ増幅器以降の光ファイバ融着接続損失は 0.2dB 以下であった。

光ヘテロダイン受信信号は、FPGA (Field Programmable Gate Array) ベースの前置信号処理ボード[5]を用いてドップラスペクトルを算出後、PC によりピーク検出、風速演算を行った。

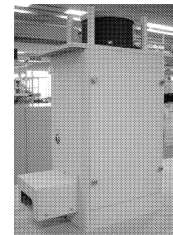
(a) optical TRX unit



(b) Laser diode driver unit



(c) Optical antenna unit



(d) block diagram

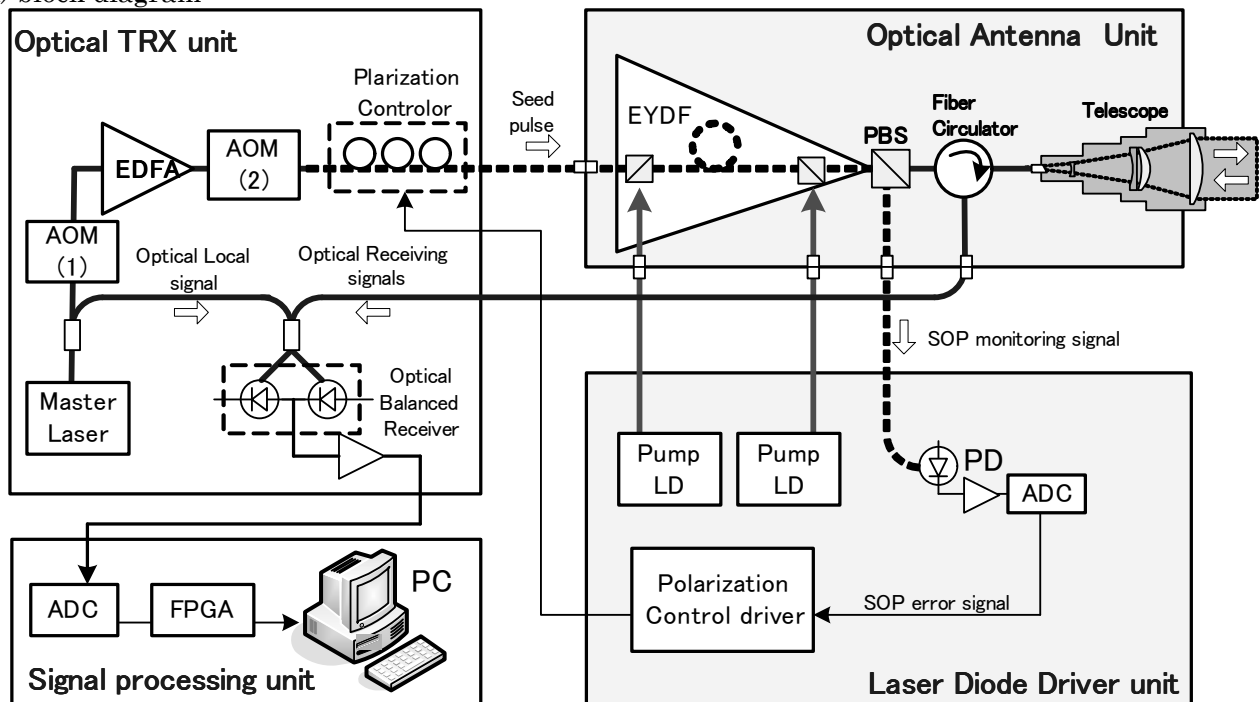


Fig. 1 Block diagram of middle range all-fiber CDL system

Real bold line indicates polarization maintaining fibers and broken bold line means the non-polarization maintaining single mode fibers.

Fig2 に、中距離版 CDL 装置の送信出力パルス光の測定結果を、従来の全光ファイバ型 CDL 製品 (LR-05FC) との比較で示す。パルス繰り返し周波数 4kHz において、ピークパワー 90W、パルスエネルギー 58  $\mu$ J、パルス幅 600ns が得られた。従来製品のピークパワーの約 9 倍に相当する。また出力パルス波形中に SBS 発生に伴う乱れは見られなかった。パルス幅の短縮によりピークパワーを増加させて SBS しきい値を評価したところ約 125W だった。従来製品に対する有効コア面積比 $\sim$ 2.1 倍、有効伝搬長比 $\sim$ 5.7 倍から想定される SBS の増加量 約 12 倍に良く一致する結果と考えられる。

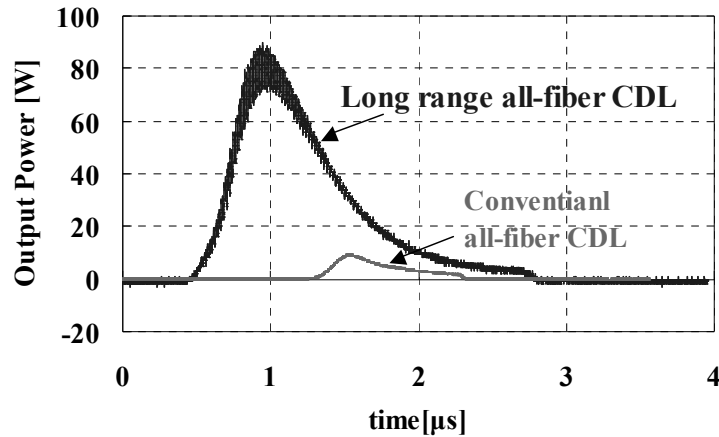


Fig.2 Optical pulse shapes of the new and conventional all-fiber CDL system

Fig 3 に、出力光の偏波補償機構の動作確認結果を示す。偏波制御の動作後 1 時間以上に渡りモニタ光 (S 偏光) 信号は 0 付近に追い込まれ、出力光である P 偏光パワーは安定して出力されていることが確認できる。

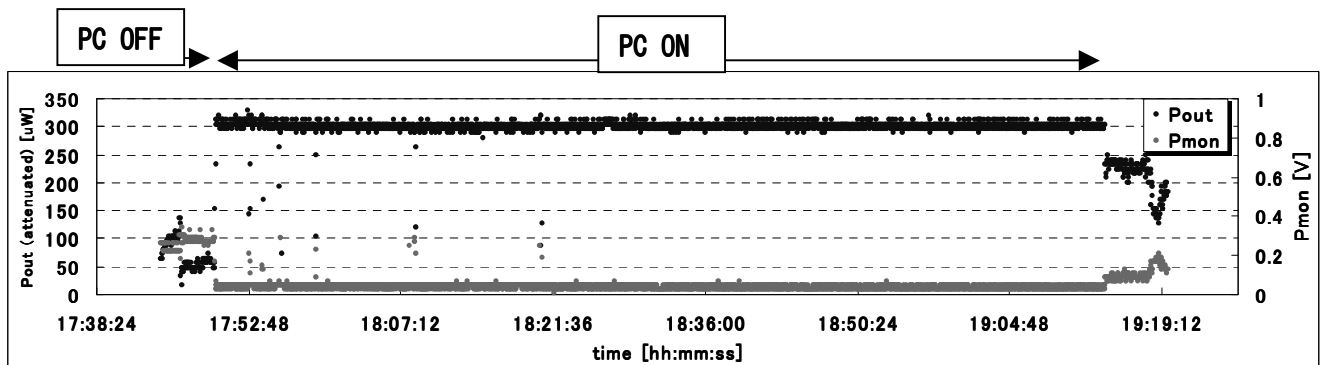


Fig.3 time series data of transmitting optical power as well as monitoring power for stabilizing SOP.

### 3. 風速測定結果

本装置の計測性能確認の目的で晴天時の風速を地上計測(仰角 10 度)した。測定条件として望遠鏡の集光距離を無限大、距離分解能を 150m、インコヒーレント積分数 3600 回とした。測定時のエアロゾル状態は 0.047L 中の  $\phi$  0.3  $\mu$ m 以上のパーティクル数が約 9000count であり、測定地(鎌倉)における年平均量( $\sim$ 6000cnt) [8] よりも多い状態であった。

Fig. 4 に、視線方向風速の計測により得られた距離—Detectability 特性を示す。実線は従来製品の理論特性、プロットは本 CDL 装置の実測値を示している。これを見ると、測定距離 約 8km まで検出ライン (4.5dB) 以上の detectability が得られており、本装置の最大計測距離が従来製品 ( $\sim$ 1.5km) の約 5.3 倍を達成していることが分かる。この最大計測距離は受信開口径の拡大と出力エネルギーの増加量から見積もられる拡大量(約 5.4 倍)に良く一致しており、妥当な結果であると判断できる。

Fig.5 に同じ日時に測定した、距離 9.6km における視線方向風速と Detectability の時間変化を示す。約 50 分間、検出レベル以上の Detectability が得られ 9.6km の距離レンジにおいても概ね安定して風速測定が行われていたことが分かる。しかしこの測定において低層の雲による光路遮蔽により Detectability が低下する状況が散見された。今後、本装置を用いた地上測定においては、エアロゾル状態よりも光路遮蔽が距離制限要因になり得ることが示唆される。

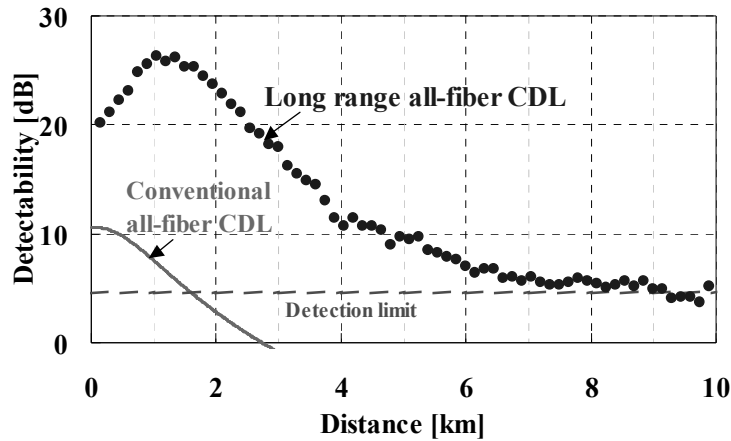


Fig.4 The comparison of the range performance between the new and conventional all-fiber CDL

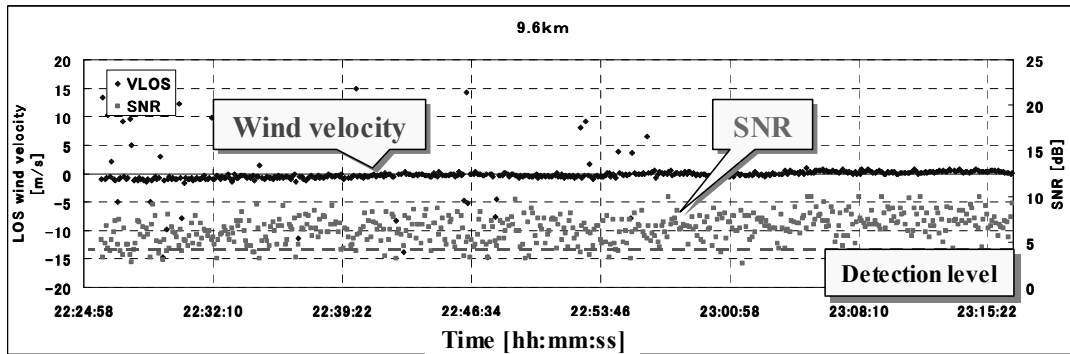


Fig.5 time series data of LOS wind velocity and SNR

#### 4. まとめ

中距離・風計測用の全光ファイバ型 CDL の開発 評価結果について述べた。  
 全光ファイバ型 CDL の出力段に新規設計した短尺の光ファイバ増幅器を組み合わせて SBS しきい値を引き上げ、これにより従来比 9 倍の出力エネルギー (58  $\mu$ J) が得られた。また偏波制御機構により光ファイバ増幅器内の偏波変動を最小化できることを確認した。さらに晴天時の風速を地上計測(仰角 10 度)し、最大で約 8km までの水平計測距離が得られることを確認した。この最大計測距離は受信開口径の拡大と出力エネルギーの増加量から見積もられる拡大量(約 5.4 倍)に良く一致しており、妥当な結果であると判断できる。今後はさらなる計測距離の拡大のため、送信出力エネルギーの増強の開発を進めていく予定である。

#### 5. 参考文献

- [1] S. Kameyama et al. :” Compact all-fiber pulsed coherent Doppler lidar system for wind sensing”, Appl. Opt. 46(2007),1953-1962
- [2] T.Ando et al. “Improvements of performance in all-fiber Coherent Doppler LIDAR(CDL) system with considering non-linear optical effects”, Proc. 23<sup>rd</sup> ILRC (2006), 259-262.
- [3] V. Philippov et al. : “High-energy in-fiber pulse amplification for coherent lidar application”, Opt. Lett. 29 (2004) 2590-2592.
- [4] G.Canat et al.:”100uJ generation using a narrow linewidth Er+3-Yb+3 doped fiber MOPA and its modeling”, Proc. QELS (2005), 1370-1372.
- [5] 安藤他:「全光ファイバ型ドップラライダの低コスト製品化開発」、第 24 回レーザーセンシング(2005), p161-164
- [6] T. Ando et al.:”Long range all-fiber coherent Doppler LIDAR(CDL) system for wind sensing” , Proc. 14<sup>th</sup> CLRC(2007)
- [7] 崎村他:「コヒーレントライダ用の高ピークパワー光ファイバ増幅器」、本研究会予稿集
- [8] 亀山他、「鎌倉市における地表付近エアロゾル数の年平均推移と波長 1.5  $\mu$ m における後方散乱係数の推定」、第 24 回レーザーセンシング(2005), p101-102