

## コンパクト全光ファイバ型パルスドップラーライダ

A compact all-fiber pulsed Doppler lidar system

安藤 俊行、亀山 俊平、浅香 公雄、平野 嘉仁

Toshiyuki ANDO, Shumpei KAMEYAMA, Kimio ASAKA and Yoshihito HIRANO

三菱電機（株） 情報技術総合研究所

Mitsubishi Electric Corporation, Information Technology R&D Center

A compact all-fiber Coherent Doppler Lidar (CDL) system has been developed as a portable wind velocity sensor. This system is based on a  $1.5 \mu\text{m}$  master laser with pulsed fiber amplifier, coaxial type transmit-receive telescope, heterodyne-detection system and signal processor. An automatic polarization control system is newly equipped in heterodyne-detection part so as to minimize a deterioration of heterodyne-detection efficiency caused by changing SOP (State of Polarization) of optical signal propagating in single mode fiber. Continuous SNR (Signal to Noise Ratio) measurements successfully confirm the effects of polarization control system. Performances for measuring wind velocity are also evaluated.

### 1. まえがき

波長  $1.5 \mu\text{m}$  を用いる全光ファイバ型ドップラーライダは、アイセーフ且つ小型・高信頼・高配置自由度なシステムを実現できるというメリットを持つことから、ポータブル風計測センサや航空機搭載 CAT(Clear Air Turbulence)センサへの応用が期待されている。我々は、全光ファイバ型のメリットを生かした、システム本体部サイズ 400mm 角程度のコンパクトなパルスドップラーライダを開発した。一方、従来の全光ファイバ型システム [1-3]では、シングルモード光ファイバ内を伝播する光信号の SOP (State of Polarization)の時間的変動が避けられず、ヘテロダイン検波効率を高い値に保持することが困難であった。本システムでは、自動偏波制御機構を導入することにより、上記効率を最大に維持する機能を有する。ここでは自動偏波制御機構の効果確認および連続測定による性能評価を行ったので報告する。

### 2. システム構成

システムの外観を Fig. 1 に示す。システムは、本体部、センサヘッド部、および PC ベースの信号処理部からなる。各部分の大きさは本体部  $450\text{mm} \times 416\text{mm} \times 400\text{mm}$ 、センサヘッド部  $120\text{mm} \times 120\text{mm} \times 300\text{mm}$ 、光ファイバ長は 10 m である。システム構成を Fig. 2 に示す。波長  $1.5 \mu\text{m}$  の単一波長光源を AO(Acousto Optic)変調器によりパルス変調し、このパルス光を光ファイバ増幅器により増幅した後、センサヘッド部内の送受同軸の望遠鏡を介して大気中に送信する。大気中のエアロゾルからの散乱光は上記望遠鏡により収集された後、センサヘッド部内のサーキュレータにより後述の偏波制御器側に光路を変え受信光としてファイバ内を伝送する。受信光は単一波長光源を分岐して得た参照光と合波された後、バランスストレーバによりヘテロダイン検出される。ヘテロダイン検出信号は A/D 変換器でデジタル信号に変換された後、ターゲットレンジ毎に FFT 処理しドップラース

ペクトルを算出、インコヒーレント積分による SNR(Signal to Noise Ratio)改善された後、スペクトルピーク検出により風速が算出される。送信パルスエネルギーは約 10  $\mu$ J、パルス幅は約 1  $\mu$ s、パルス繰り返し周波数は 50 kHz、 $1/e^2$  ビーム径は 50mm、システム効率は約-12dB である。センサヘッド部内の望遠鏡の焦点位置はアフォーカルな状態に設定した。またドップラースペクトルを 1000 回インコヒーレント積算して SNR 改善を行なっている。

一方、シングルモード光ファイバを用いたヘテロダイン検出系においてはファイバ内で受信光や参照光の SOP が変動し、高いヘテロダイン検波効率を維持するのが困難である。これを改善するため次のような自動偏波制御機構を導入した。まず、センサヘッド内の光ファイバ端に特定の反射率を設定し、ヘテロダイン検波信号中に大気からの散乱光成分に加えてファイバ端面からの内部反射光成分を割り込ませる。次に上記 2 成分をダイオードスイッチにより受信光のラウンドトリップ時間の違いを利用して時間分離し前者は受信回路へ、後者は偏波制御回路へ送る。最後に偏波制御回路において、内部反射光のヘテロダイン検波効率を最大に維持するように偏波制御器を制御する。これによりシステム内部における SOP が校正される。一般にレーザ光のエアロゾルによる散乱における偏波解消度は 10%程度であることが知られていることから上記 SOP 校正は、エアロゾル散乱光検出に対する SNR を最大に維持する効果を有するものと考えられる。

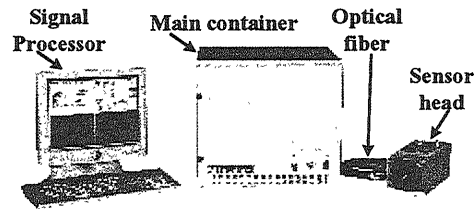


Fig. 1. External view of the all-fiber CDL system

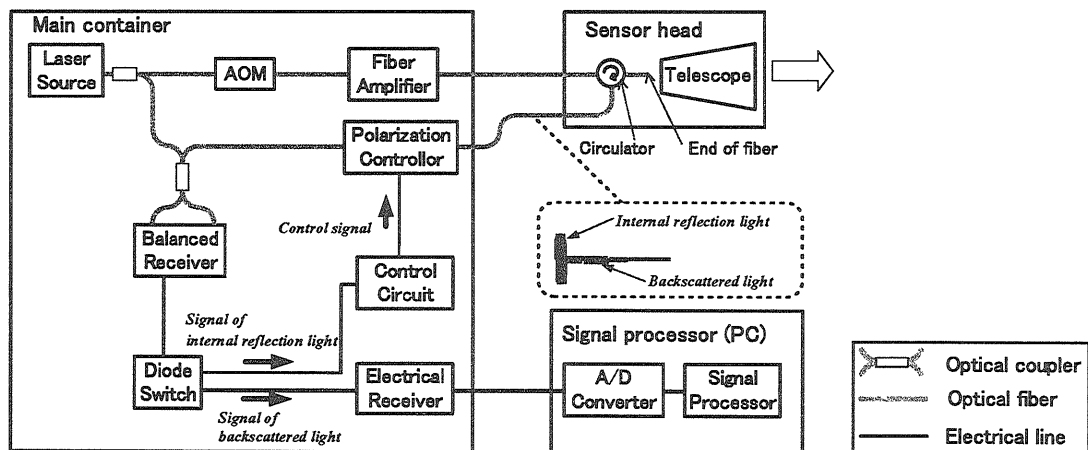


Fig. 2. Block diagram of the all-fiber CDL system.

### 3. 性能評価結果

ここでは本システムの性能評価を行う。まず自動偏波制御機構の効果を確認するため、自動偏波制御機構を2時間おきに ON・OFF して距離 150 m における SNR を 24 時間にわたり連続測定した。結果を Fig. 3 に示す。Fig. 3 から、偏波制御が OFF の時間帯においては SNR が大きく低下する時間帯が見られるが、ON の時間帯においては上記低下は見られず、偏波制御効果により SNR が最大に維持されていることが分かる。

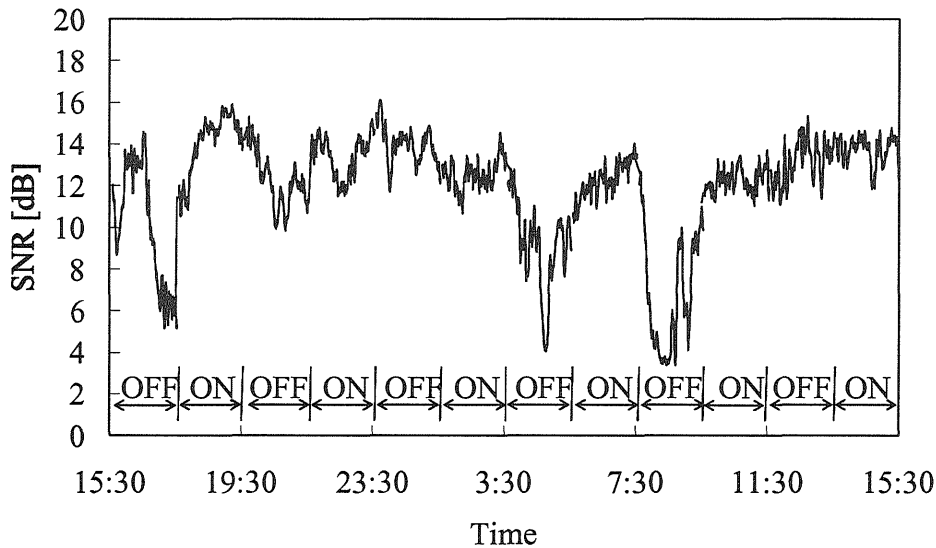


Fig. 3. Effect of automatic polarization control system

次に、測定可能距離に関して約 20 時間の連続測定を行った。SNR4.5dB 以上が得られる距離の時刻履歴を Fig. 4 に示す。測定可能距離は最小 300m から最大 2250m の範囲で変動していることが分かる。また平均測定可能距離は 1400m であった。測定可能距離の変動原因を把握するため、パーティクルカウンタを用いてエアロゾル数を同時測定した。エアロゾル数の測定はパーティクルカウンタをセンサヘッドと同じ位置に設置して行った。距離 150m (2 節で述べたパルス幅に対応する接近限界距離) における SNR の変動と、0.3  $\mu\text{m}$ ~0.5  $\mu\text{m}$  の粒径を持つエアロゾル数の変動とを比較した結果を Fig. 5 に示す。Fig. 5 に示されているエアロゾル数は、体積 0.047 l に含まれる数である。Fig. 5 から、SNR とエアロゾル数とは基本的に比例関係にあることが分かり、測定性能の変動はシステム性能ではなく気象条件の変動により生じていると考えられる。

最後に、風速の測定精度を確認するため、本システムと文献[5]に示されたドップラーライダーとを用いた風速比較測定を約 4 時間にわたって行った。距離 600m および 1050m における LOS(Line of Sight)方向の風速に関する比較結果を Fig. 6 に示す。1 分間の平均風速に関する両者間の差異は 0.5 m/s 程度であり、両者は良く一致していることが分かる。

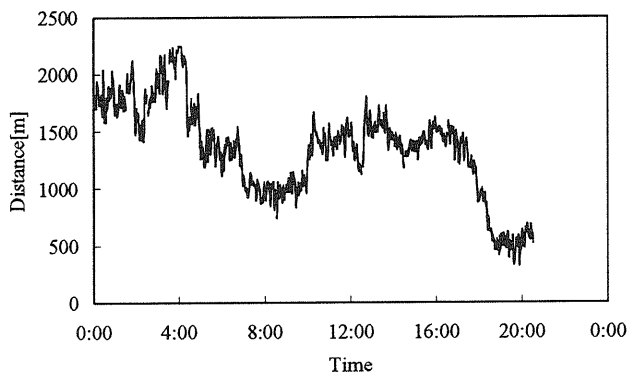


Fig. 4. Time record of maximal distance measured with SNRs  $\geq 4.5$ dB.

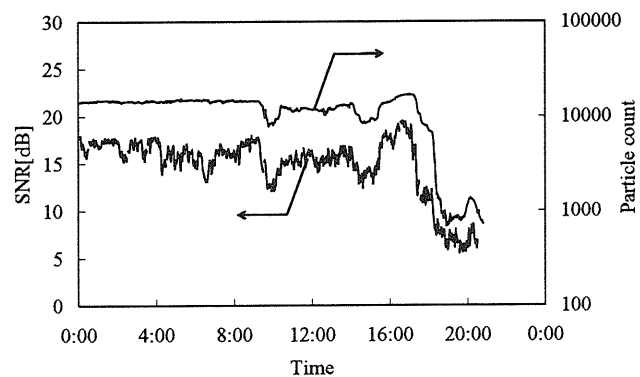
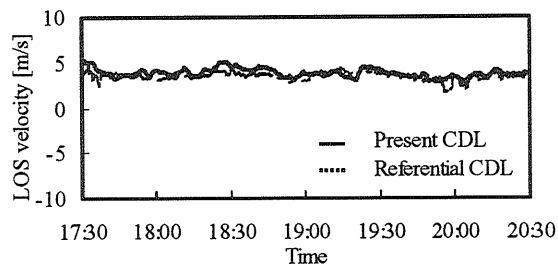


Fig. 5. Correlation of SNR and particle count.

(a) Distance: 600 m



(b) Distance: 1050 m

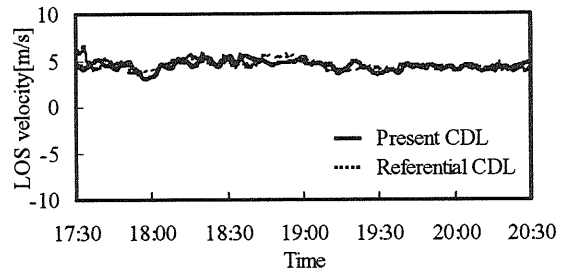


Fig. 6. Comparisons of measured LOS velocities data between the present CDL and other referential CDL[5] systems. Distance: (a)600 m, (b) 1050 m.

#### 4. まとめ

コンパクトな全光ファイバ型パルスドップラーライダーを開発した。本システムは自動偏波制御機構を用いることにより、ヘテロダイン検波効率を最大に維持する機能を有している。本報告ではまず、自動偏波制御機構の風速測定における効果を確認した。連続測定における測定可能距離は最小 300m、最大 2250m、平均 1400mであった。次に本システムによる SNR 測定結果とエアロゾル数の測定結果との比較を行い、上記測定可能距離の変動がシステム性能によるものではなく気象条件の変動により生じていることを確認した。最後に文献[5]に示されたドップラーライダーとの LOS 方向の風速に関する比較測定を行い、両者が良く一致することを確認した。

#### 参考文献

- [1] C.J. Karlsson et al., Applied Optics, **39**, pp. 3716-3726, 2000.
- [2] K. Asaka et al., The Review of Laser Engineering, **29**, pp.371-376, 2001 (in Japanese).
- [3] G.N. Pearson et al., in the Proceeding of 11<sup>th</sup> Coherent Laser Radar Conference, pp. 144-146, 2001.
- [4] R.A. Brandewie et al., Applied Optics, **11**, pp. 1526-1533, 1972.
- [5] K.Asaka et al., in the Proceeding of 11<sup>th</sup> Coherent Laser Radar Conference, pp. 147-150, 2001.