

安藤 俊行、浅香 公雄、亀山 俊平、小矢田 康晴、藤坂 貴彦、大鋸 康功、平野 嘉仁、和高 修三

Toshiyuki ANDO, Kimio ASAKA, Shumpei KAMEYAMA, Yasuharu KOYATA,

Takahiko FUJISAKA, Yasuisa OOGA Yoshihito HIRANO and Shusou WADAKA

三菱電機㈱ 情報技術総合研究所

Mitubishi Electric Corp., Information Technology R&D Center

All-fiber Doppler Lidar system is proposed for realizing airborne turbulence sensor

This lidar system has a $1.5 \mu\text{m}$ Laser transmitter based on the Master Oscillator Power Amplifier (MOPA), the optical fiber components and signal processing subsystems.

The preliminary experiment has performed using ground-based lidar system with output power of about 10W, enabled us the wind velocity up to the distance of 2.5km to be measured with SNR more than 8dB.

1. まえがき

気象観測、環境計測、空港および航空機周辺の乱気流検出等、様々な目的・用途において風速・風向を遠隔測定でき、かつ可搬型の風速検出装置が要求されている。単一周波数のレーザ光を用いたドップラーライダは、電波を用いた気象レーダに比べて晴天時の風速を局所的に測定可能であり、有望視されている[1]。しかしながら従来 ドップラーライダの送信光源として用いられてきた空間結合型のレーザ（例えば半導体励起固体レーザ）は可搬型風速検出装置に要求される信頼性と小型軽量化に課題を残している。

我々は単一波長で光ファイバ出力可能な小型 CW 発振固体レーザ（もしくは狭帯域半導体レーザ）と光ファイバ増幅器とを光ファイバで結合した MOPA（Master Oscillator Power Amplifier）形式のレーザを光源として用いた全ファイバ型ドップラーライダの開発を行っている。全光ファイバ型ドップラーライダは空間結合型に比べ、装置設置自由度が向上し、小型化が可能であり、振動や塵、雨滴といった環境下でも高い信頼性が期待できることから可搬型装置の要求を満足する。一方、空間結合型の半導体励起固体レーザが数 10kW 出力可能であるのに対し、光ファイバ増幅器は光ファイバコア内のパワー密度とスペクトル密度の増加時に発生する非線形光学効果により、ピークパワーが 10W 程度に制限される。ピークパワーの低下は風速測定時の信号対雑音比（SNR）を劣化させ、測定距離を制限する。この課題を解決するため、送信光源を高繰り返しパルス出力動作と受信信号のインコヒーレント積分との併用により SNR を改善する機能をもった、全光ファイバ型ドップラーライダシステムを提案する。

2. 風速測定の原理確認実験

図 1 に提案した全光ファイバ型ドップラーライダの原理検証システムの構成図を示す。基準光源として単一周波数発振 LD 励起 Er,Yb:glass レーザ（線幅 $<5\text{kHz}$ ）用い、可変分岐カップラによりローカル光と送信光とを分岐させる。送信光は AO 変調器により周波数シフト(80MHz)とパルス変調を与えた後、光ファイバ増幅器に入力させる。使用した光ファイバ増幅器は最大で 10W の CW 出力が可能であるが、高ピークパルス出力時に発生する誘導ブリルアン散乱によるスパイク状発振を回避するため、出力ピークパワーを 10W に制限した。光ファイバ増幅器出力光は偏波面無依存の空間型光サーキュレータ（T/R スイッチ）を介して望遠鏡光学系（口径 120mmカセグレン型）に結合し、送信ビーム径を 85mmに拡大して空間出力させた。受信光はローカル光と合波されヘテロダイン検波し、PC により時系列信号のレンジゲート毎の切り出しと、FFT による周波数成分算出、積分処理を行い、風速を算出する。

検証実験として、ピークパワー10W、平均出力 0.5W、パルス幅 $1 \mu\text{sec}$ 、パルス繰り返し 50 kHz の送信光条件で地上約 5m にある実験室の窓から仰角 22.5° 方向の風速測定を行った。

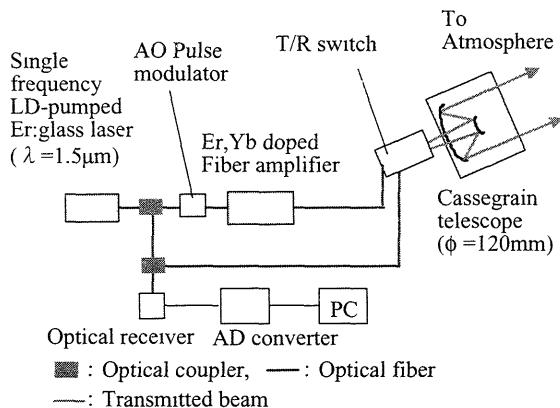


図1 検証システムの構成図

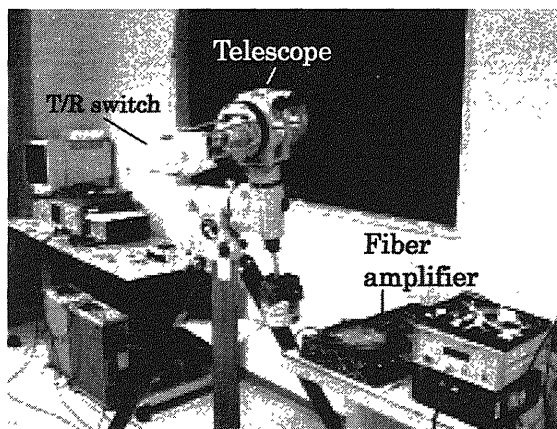


図2 装置外観写真

図3に1000回の測定データをインコヒーレント積分して求めた風速測定結果の一例を示す。距離1.5~2km付近で風速が視線方向に近づく方向から遠ざかる方向に変化していることが分かる。

風速測定の妥当性を調べるため測定結果をTarg et alの解析式[3]に適用し、積分後のSNRを求めた。結果を図4に示す。実線は同じ解析式にtable1の実験条件を適用させて求めた理論値であり、実測値とよい相関を示す。このことは距離2.5kmまでの風速が1000回積分後のSNRに換算して8dB以上で測定できていることを意味する。この場合のLOSあたりのデータ更新レートは50Hzとなる。

Table 1. Parameter list.

Laser wavelength	: 1.54μm
Atmos. transmission	: 0.9/km
Aerosol Backscatter Coeff.	: 1×10^{-4} m sr
Refractive index structure constant	: 3.3×10^{-14} m
System efficiency	: 13.2dB
beam diameter	: 85mm
Focal Range	: 3000m
Peak power	: 10W
Pulse width	: 1μs
Pulse repetition frequency	: 50kHz
Integration number	: 1000
Band width	: 1MHz

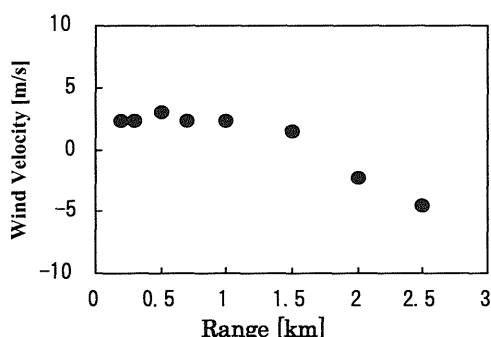


図3 風速測定結果

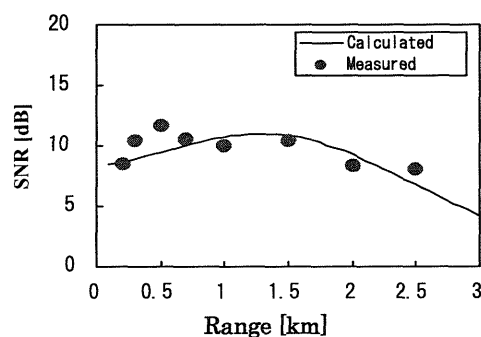


図4 SNR測定結果

3. まとめ

レーザ送受信部を光ファイバで結合した全光ファイバ型ドップラーライダーを提案し、検証システムを試作した。検証実験により距離2.5kmまでの風速を1000回積分後のSNRに換算して8dB以上で測定できた。これにより高繰り返しパルス送信と受信信号の積分とを併用した全光ファイバ型ドップラーライダーの実用化への見通しを得た。今後は、風速分散による積分時間の制限を改善可能な位相自己補償コヒーレント積分[2]と組み合わせることで測定距離の拡大を計画している。

参考文献

- [1] K. Asaka, T. Yanagisawa, Y. Ooga, K. Hamazu, T. Tajime and Y. Hirano: Proc 11th Coherent Laser Radar Conference, Malvern UK(2001) 147-150
- [2] S. Kameyama, T. Fujisaka, K. Asaka, T. Ando, Y. Koyata, Y. Hirano, S. Wadaka and T. Tajime: Proc 11th Coherent Laser Radar Conference, Malvern UK(2001) 76-80
- [3] R. Targ, M. J. Kavaya, R. M. Huffaker and R. L. Bowles, *Appl. Opt.*, **30**, pp. 2013-2026, 1991.