

航空機搭載風計測ライダの地上実証システムの開発

Development of a Ground based Long range Coherent Doppler LIDAR system as demonstrating for airborne turbulence sensor

崎村武司¹、安藤俊行¹、亀山俊平¹、浅香公雄¹、田中久理¹、平野嘉仁¹、井之口浜木²

¹三菱電機株式会社、²宇宙航空研究開発機構

Takeshi SAKIMURA¹, Toshiyuki ANDO¹, Shumpei KAMEYAMA¹, Kimio ASAKA¹,
Hisamichi TANAKA¹, Yoshihito HIRANO¹, Hamaki INOKUCHI²

¹ Mitsubishi Electric Corporation, ² Japan Aerospace Exploration Agency(JAXA),

e-mail: Sakimura.Takeshi@ct.MitsubishiElectric.co.jp

Abstract: A ground based long range Coherent Doppler LIDAR (CDL) system has been developed for demonstrating of an airborne turbulence sensor. An Er³⁺/Yb³⁺ doped fiber with Large Mode Area (LMA) was used as an optical power amplifier of MOPA (Master Oscillator Power Amplification) transmitter in the CDL system. This new CDL system has successfully measured maximum range for wind velocities up to 11km at data refresh rate of 1Hz.

1. はじめに

近年、航空機の安全運行の目的で機体前方の晴天乱気流 (Clear Air Turbulence: CAT) を機内から事前検出するニーズが高まっている。我々は、アイセーフ波長帯 1.5 μm のパルス光を空間に照射してエアロゾル散乱光のドップラシフトから風速計測するコヒーレントドップラライダ (CDL) を航空機に搭載し、CAT の事前検出装置実現を目指している。CAT 検出のためには巡航高度 10kmにおける前方風の最大計測距離として 9.3kmが必要とされ[1]、CDL の所要送信光のパルスエネルギーは 1.75mJ @ 4kHz と見積もられる[2]。一方、送信光エネルギーは送信光路 (主に光出力増幅器の光路内) で発生する誘導ブリルアン散乱 (Stimulated Brillouin Scattering: SBS) により制限されるため、出力光の高ピークパワー化が開発課題となる。この課題に対して送信光を段階的に増幅する機器構成とし、開発段階に応じたシステム検証を並行して行う開発方針で進めている。これまでに高濃度 Er³⁺/Yb³⁺ 共添加光ファイバ (EYDF) を用いて短尺化した光ファイバ増幅器により出力 58 μJ @ 4kHz を実現[3]、これにより地上 8kmまでの計測を達成している[4]。また、同システムを航空機搭載して前方約 3kmの乱気流の事前検出に成功している[1]。ここでは、地上における最大計測距離 9.3kmの実証 (所要送信光エネルギー 150 μJ @ 4kHz) を目的とした CDL の地上実証システムの構成と評価結果を報告する。

2. 地上実証システムの構成

Fig.1 にシステム構成を示す。光送受信部 (Optical-TRX) で発生させた送信種光 (波長 1.55 μm , エネルギー 4.5 μJ , 繰り返し周波数 4kHz) を2段の光ファイバ増幅器を直列接続して増幅する構成とした。1段目の光ファイバ増幅器 (1stFA) は高濃度に Er/Yb を添加したファイバ (EYDF) を短尺化、波長 1.48 μm 帯でのコア励起とした[3]。2段目の光ファイバ増幅器 (2nd LMA EYDF) は大口径のダブルクラッド型 EYDF (コア/インナークラッド径: 25/300 μm) を波長 940nm 帯でクラッド励起する構成とした。Fig.2 に励起パワー 20.6W、繰り返し周波数 4kHz における 2nd LMA EYDF による増幅前後のパルス時間波形を示す。ピークパワーは約 300W、パルス幅は 550ns であり、SBS 誘発時に特有の時間波形の乱れは現れていない (SBS 閾値は約 320W)。また平均出力パワー 725mW から算出される出力パルスエネルギーは 179 μJ であり所要値を満足することを確認した[5]。一方、大口径ファイバで増幅光がマルチモード伝搬する問題に対しては、LMA の曲げ損失を含めた伝搬方程式により出力パワーを計算、高次モードを抑圧して基本モードのみ出力する条件を求めた (曲げ半径 2cm)。この条件の妥当性を実測評価してシングルモード出力光 (M2 値は 1.19~1.33) が得られることを確認した[6]。また LMA EYDF と送受信望遠鏡 (有効径 ϕ 110mm) との間には偏光ビームスプリッタ (PBS) と4分の1波長板 (QWP) を設置して、定偏光制御のためのモニタ光分離と送受信光分離とを行う構成とした。

送受信機以外の要素として、ドップラ信号の前置信号処理部を一新した。レンジゲートごとの FFT 点数を従来機の2倍とすることでレンジゲート幅 300m (従来機上限は 150m) に対応させたほか、表示上の距離分解能をレンジゲート幅の5分の1まで向上させるため、従来1系統の FFT 演算ブロックを5系統並列配置する構成に変更した。さらにレンジゲート幅を複数設定する機能を追加した。これらの改良により、信号レベルの小さな遠方レンジでゲート幅を増長して検出能力の引き上げを狙い、近傍レンジで高距離分解能に設定するといったフレキシブルな計測設定が可能となる。

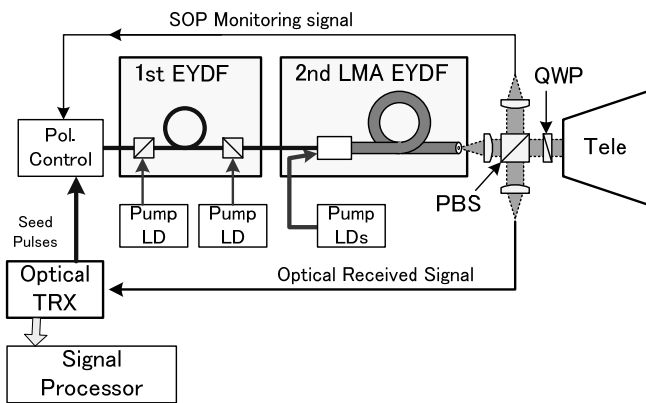


Fig.1 System configuration.

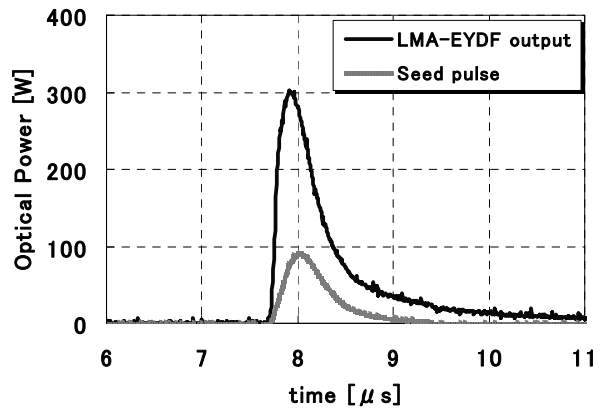


Fig.2 Temporal pulse shapes before/after LMA-EYDF.

3. 地上からの風計測による実証実験

開発した地上実証システムを用いて地上から仰角 10 度方向の晴天時の風速を評価した。Fig.3 に計測時の外観スナップを示す。距離分解能 150m、信号積分数 4000 回(データ更新レート 1Hz)、レンジゲート数 80 の設定で計測を行った。Fig.4 に計測距離に対する Detectability 評価結果を示す。約 11km まで検出限界(4.5dB)を上回る Detectability が得られ、地上での最大計測距離 9.3km を達成した。

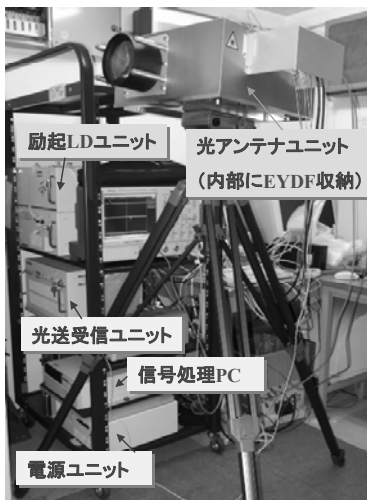


Fig.3 Outer look of the present CDL.

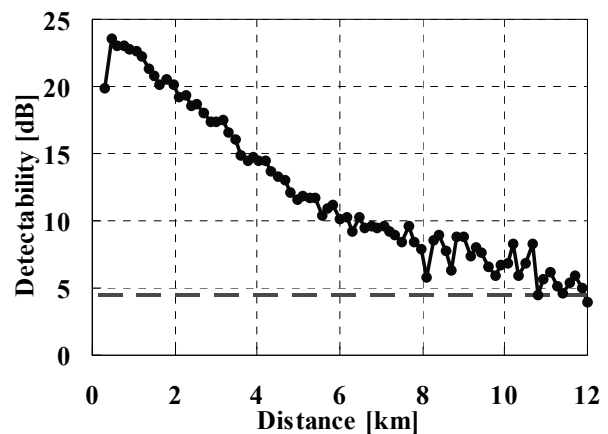


Fig.4 Range performance of the present CDL.

4. まとめ

航空機搭載型の乱気流検出センサ実現に向けたコヒーレントドップラライダー地上実証システムを設計・試作し、地上からの晴天時の風速評価により最大計測距離 11km を確認した。一方、同システムの航空機搭載化はすでに完了しており、2009 年 3 月から低高度(300m)での長距離風計測に向けた飛行試験を実施している[7]。今後は、同システムを用いた飛行試験と並行して高ピークパワー光導波路型増幅器[8]を用いたシステムによる高高度での飛行実証も行っていく予定である。

参考文献

- [1] 井之口他:「乱気流事故防止のための搭載型ドップラライダー開発について」、第 45 回飛行機シンポジウム(2007)3F8
- [2] 水間他:「航空機搭載 CAT センサ用 1.5μm 帯コヒーレントライダーに関するシステム検討」、LSS25(2007),p12-13
- [3] 崎村他:「コヒーレントライダー用の高ピークパワー光ファイバ増幅器」、LSS25(2007),p149-152
- [4] 安藤他:「中距離版・全光ファイバ型風計測ドップラライダーの開発」、LSS25(2007),p28-31
- [5] 崎村他:「コヒーレントドップラライダー用の大口径光ファイバ増幅器の開発(1)」、第 28 回レーザー学会(2008)E4-1aIV8
- [6] 崎村他:「大口径光ファイバ増幅器の高次伝搬モード抑圧に関する検討」、LSS26(2008),p148-149
- [7] H. Inokuchi et al.: 'Development of an Airborne Wind Measurement System', Proc. ISPDI 2009 (Invited).
- [8] 崎村他:「コヒーレントライダー用の高ピークパワー光導波路型増幅器」、本研究会予稿集