

風計測ドップラーライダー用送受光軸自動調整機能の原理実証

伊藤 優佑¹, 今城 勝治¹, 亀山 俊平¹, 田中 久理², 萩尾 正廣², 井之口 浜木³

¹三菱電機株式会社情報技術総合研究所 (〒247-8501 神奈川県鎌倉市大船 5-1-1)

²三菱電機株式会社通信機製作所 (〒661-8661 兵庫県尼崎市塚口本町 8-1-1)

³宇宙航空研究開発機構 (〒181-0015 東京都三鷹市大沢 6-13-1)

Demonstration of the Automatic Beam Alignment Using Received Signal for a Wind Sensing Doppler Lidar

Yusuke ITO¹, Masaharu IMAKI¹, Shumpei KAMEYAMA¹, Hisamichi TANAKA², Masahiro HAGIO², and Hamaki INOKUCHI³

¹Mitsubishi Electric Corporation, Information Technology R&D Center, 5-1-1 Ofuna, Kamakura, Kanagawa, 247-8501

²Mitsubishi Electric Corporation, Communication Systems Center, 8-1-1 Tsukaguchi-Honmachi, Amagasaki, Hyogo, 661-8661

³Japan Aerospace Exploration Agency, 6-13-1 Osawa, Mitaka, Tokyo, 181-0015

We have developed a Doppler lidar system which could be applied for airborne application. Since this system uses a coherent detection method, the receiving beams are significantly narrow. Therefore, the receiving sensitivity decreases easily due to the lag-angle between the optical axes for the transmitting and received beams. To avoid this issue, we have developed a function of automatic beam alignment using received signal. Here, we demonstrate the function with some experiments.

Key Words: Coherent Laser Radar, Doppler Lidar, beam alignment

1. はじめに

ドップラーライダーは大気中にレーザ光を照射し、エアロゾル粒子による反射光を解析することで風向風速を測定する装置である。我々のドップラーライダーでは、高感度受信の観点からコヒーレント送受信方式を採用しているが、本方式は高いアライメント精度が要求される。特に航空機に搭載して風計測を行う場合において、振動や温度変化による送受間の光軸ずれによる受信感度が低下する可能性があるため、この感度低下を回復させる機能を付加する必要がある。この機能を実現するには、送受光軸をシステム側から調整することが必要であるが、本ライダーのビーム拡がり角・受信視野は μrad オーダーと小さい。ここでは、この精度での送受光軸自動調整機能の検証を実施したので報告する。

2. 原理実証実験用ライダー装置

原理実証に用いたドップラーライダー装置の全体構成を図1に示す。システムとしての光軸制御機能の実証を行うため、風計測コヒーレントライダーの基本構成を有し¹⁾、ここに光軸制御機能を付加する構成となっている。自動光軸制御の機能検証が目的であるため、ライダーの基本構成としては光ファイバ型の簡易な構成とし、レーザ波長は $1.55\mu\text{m}$ 、送信ビーム径は 35mm とした。光軸調整には光軸調整精度、制御の簡易性、小型化可能という観点からダブルウェッジ方式を採用し

た。受信信号処理はノートPCで行い、受信信号強度を最大化させるようにウェッジ回転用モータをコントロールする。このフィードバック制御により、送受間の光軸調整を行う。

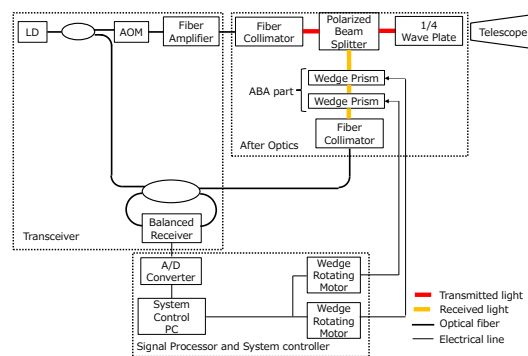


Fig. 1. System configuration of the benchtop model

光軸調整機構の設計においては、文献2)を基に算出した距離 500m で送受結合効率 $>95\%$ を実現する光軸調整精度 $<5\mu\text{rad}$ を念頭に、 $1\mu\text{rad}$ を設計目標値とした。上述の構成及び設計値を基に原理実証用計測ライダー装置の製作を行った。図2は同装置の光学系全体の様子である。システム全体を動作させた光軸調整機能の検証に先立ち、光軸調整機構単体で調整精度の評価を実施した。光軸調整精度は次の方法で測定した。送信光を集光レンズにより集光し、焦点位置に配置したミラーにより正反射させ、これを受信側に結合させる。この状態から光軸を変化させ、各角度での結合効率を測定する。これを理論値と比較することで光軸

調整精度を推定する(図 3)。光軸調整角ダイナミックレンジは、2 枚のウェッジプリズムを 180 度回転させた際のスポット位置の移動量より測定した。評価の結果、光軸調整精度 $1\mu\text{rad}$ 以下、光軸調整ダイナミックレンジ $100\mu\text{rad}$ 以上が得られる事を確認した。

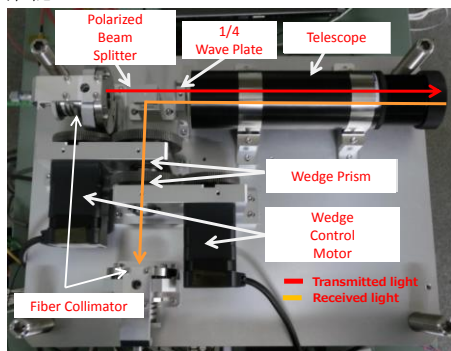


Fig. 2. Appearance of the after optics part

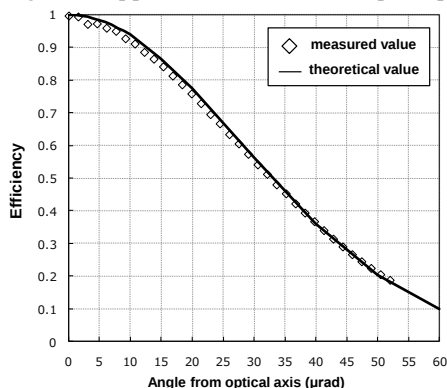


Fig. 3. Dependence of efficiency on the different angle from the optical axis

3. 光軸自動調整機能検証結果

装置全体を動作させ、実際に大気に対する送受信を行い、大気エコー計測での送受信光軸調整機能の検証を行った。最初に光軸を合わせた状態に調整し、 $>300\text{m}$ の距離において 5dB 程度の SNR 低下が生じるよう光軸をずらし、この状態から光軸制御による受信 SN 比の向上効果を確認した。

各状態での計測結果画面を図 4 に示す。図 4(a), (b)の上段はスペクトルグラフ、下段は受信 SN 比グラフを表す。スペクトルグラフの横軸(周波数 bin)の 1 メモリは風速約 2.3m/s に対応し、異なる距離に位置する大気からのエコーを色別で表示している。図 4 (a)下段の図からもわかるように、距離に応じた低減率が大きいため、受信 SN 比は遠方ほど小さくなり、これに伴い揺らぎが増大するため、遠方大気のエコーに基づく光軸調整は困難である。遠方まで風計測が可能となるよう受信信号強度を解析しながら、リアルタイムに自動フィードバック制御を行った。この制御により、受信 SN 比の揺らぎの大きい遠方での SN も回復させることに成功している事がわかる。遠方でも 4dB

程度の SN の回復に成功しており、光軸制御機能の効果を確認できる。

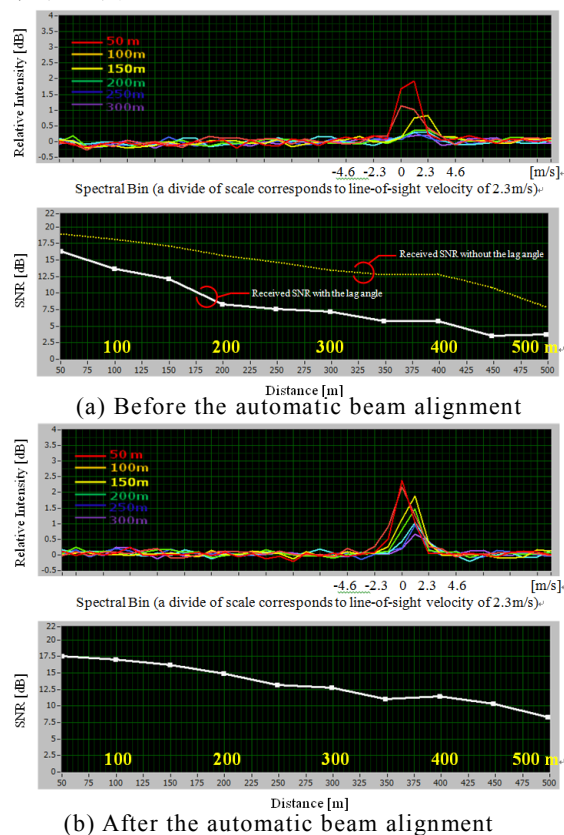


Fig 4 : The spectra and the range dependence of the signal to noise ratio.

4. まとめ

ドップラーライダーの送受信間で生じる光軸のずれを調整、制御する方式について検討を行い、受信信号を解析しながらダブルウェッジ方式で受信光軸を制御する方式を選定した。この方式に基づいて検証実験系を設計した。距離 500m で送受結合効率 95%以上を実現するための制御精度 $5\mu\text{rad}$ 以下を実現することを念頭におき検討した結果、光軸調整精度 $1\mu\text{rad}$ 以下、光軸調整ダイナミックレンジ $100\mu\text{rad}$ 以上を得た。この結果に基づいて光軸制御機能を有するライダー実験装置を試作し、装置全体を動作させて大気に対する送受信評価を行い、光軸ずれを発生させた状態から、光軸制御により所望の状態に回復できることを確認した。

5. 参考文献

- 1) S. Kameyama *et al.*: Compact All-fiber Pulsed Coherent Doppler Lidar System for Wind Sensing (Appl. Opt., 2007) p. 1953-1962
- 2) J. Y. Wang: Detection Efficiency of Coherent Optical Radar (Appl. Opt., 1984) p. 3421-342