

B2

アイセーフコヒーレントレーザレーダの開発 Development of an Eye-Safe Coherent Laser Radar

中島 勇人・山本 貴史・松坂 文夫・原 熙

Hayato NAKAJIMA , Takanobu YAMAMOTO, Fumio MATUZAKA, Hiroshi HARA

石川島播磨重工業株式会社

Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.

Abstract

An eye-safe coherent laser radar system for measurement of the wind profile has been developed. The system consists of a single-frequency injection seeded Cr,Tm:YAG laser with an output power of 20mJ at 2 Hz. Return signals from a hard target at 0.9km were observed clearly and the wind velocity at 0.6km was also determined to be 9.3m/sec.

1. はじめに

アイセーフレーザを用いたコヒーレントレーザレーダは、その特徴ゆえ、生活空間における 3次元の風向風速を計測する手段として優れたシステムである。特に、航空機の安全航行に不可欠なウインドシアや晴天乱流などの回避システムや都市域における大気循環の計測システムなどの気象や環境分野などから開発が期待されている。IHI では、従来から大気のリモートセンシング用の光源として $2\mu\text{m}$ 帯の Tm,Ho アイセーフレーザの開発を進めてきた。今回、当社で開発した Tm:YAG アイセーフレーザをベースにしたコヒーレントレーザレーダシステムを製作し、風向風速測定の実証実験を行ったのでその結果を報告する。

2. アイセーフコヒーレントレーザレーダの構成

今回開発したシステムの構成を Fig.1 に示す。マスターレーザは外部鏡共振器で構成された LD 励起の Tm:YAG レーザを、また、スレーブレーザは、フラッシュランプ励起の Cr:Tm:YAG レーザを使用した。マスターレーザの出力は約 50mW の単一縦横モードで、波長は 2013.2nm、偏光方向は縦方向である。出射ビームはビームスプリッタで分けられ、約 90% はスレーブレーザのインジェクションシーディング動作のシード光として使われる。残りの約 10% は、1/2 波長板で横方向の直線偏光に変えてマスターレーザの縦モードをモニターするためのファブリペロー干渉計に入射されたり、大気からの信号光とのビートをとるためのローカル光として使われる。

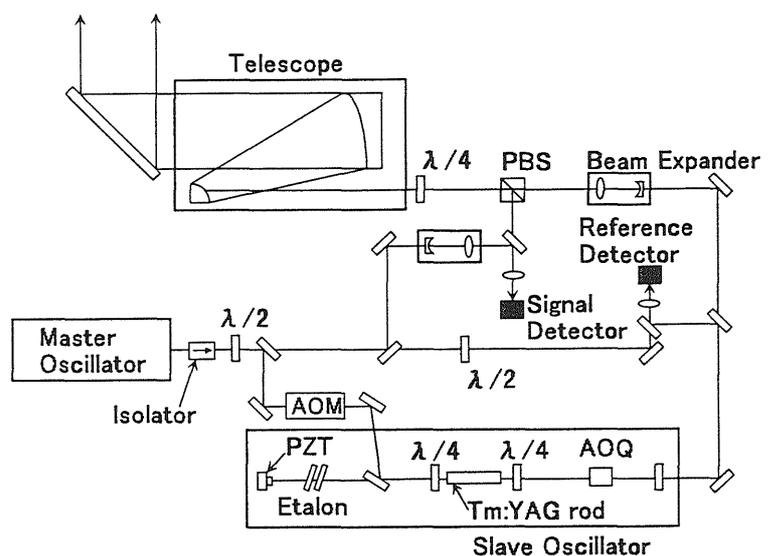


Fig.1 Schematic of the Tm:YAG coherent laser radar.

スレーブレーザの出力は、約 20mJ で横方向の直線偏光となっている。繰り返しは 2Hz である。出射ビームはビームスプリッタで分けられ、一部が参照光としてマスターレーザと混合され、基準周波数のモニターとして使われる。残りの大半は 1/2 波長板で縦方向の直線偏光に変えて、ビーム拡大器、PBS を通過後、1/4 波長板で円偏光にした光を望遠鏡を介して大気に照射される。大気からの散乱光は再び 1/4 波長板を通り横方向の直線偏光となった後、PBS で曲げられ、ヘテロダイン検出のためのローカル光と混合され、集光レンズを介して光検出器に集光される。光検知器は、常温動作の受光面径 75 μ m の InGaAs PIN フォトダイオード光検出器である。光検知器からの電気信号は、オシロスコープにより FFT 処理されてドップラーシフト量を計測する。

3. インジェクションシーディングの離調幅

インジェクションシーディングを安定的に動作させるためには、マスターレーザやスレーブレーザの安定化が必要であり、かつ、これらの周波数差をシーディングが可能な範囲（離調幅）に制御することが必要である。この調整をマスターレーザとスレーブレーザに内蔵している共振器長調整用の PZT によって行う。

Fig. 2 に実験で得られたシード光パワーと離調幅の関係を示す。シード光パワーが大きいほど離調幅も拡大し、シード光パワー 18mW において離調幅 15MHz を示した。逆にシード光パワーが小さい 0.5mW においては 5MHz である。一連の計測時間内におけるマスターレーザとスレーブレーザの周波数安定度がシード光のパワーで決まる離調幅以下であれば、シーディングの動作確立が 100% となることを示している。

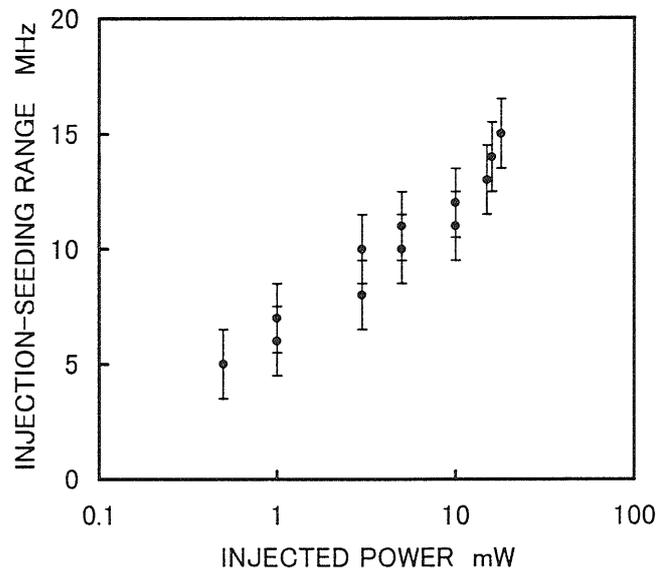


Fig.2 Injection-seeding range versus injected power.

4. 風速計測の実験

実験結果の一例を Fig.3 に示す。(a)図は参照光の信号を示す。上側は参照光の信号の拡大波形を、また下側はこの波形を FFT 処理した結果を示す。参照光のビート周波数は、スレーブレーザとマスターレーザの周波数差に相当し、この場合ではその周波数差が約 8MHz であることがわかる。

(b)図は約 900m 先の屋外固定ターゲットからの信号を示す。上側はターゲットからの信号を拡大して示した波形を、また下側については FFT 処理をした結果を示す。FFT 処理の結果はターゲットからの信号のビート周波数が約 8MHz であることを示している。この周波数は、先の参照光のビート周波数と一致している。これは、ターゲットが固定であることから散乱光にドップラーシフトが与えず送信周波数と受信周波数が一致していることによる。これは、マスターレーザの周波数安定度が計測距離約 0.9km (6 μ sec) において有意に変動せず、視線風速を検出するのに十分な周波数安定度を有していることを表している。

(c)図は距離約 0.6km のエアロゾルからの信号を示す。上側の波形は、エアロゾルからの反射信号とローカル光のビート信号を十分な S/N で検出していることを示している。FFT 処理した結果からは、そのビート周波数は約 12MHz である。先の参照光のビート周波数が 8MHz であることからエアロゾルの視線速度は、エアロゾルのビート周波数と参照光のビート周波数の差である 4MHz に相当する 4m/sec となる。

Fig.4 に気象庁観測の風速値を視線風速に換算したデータとコヒーレントレーザレーダによって測定された視線風速の値とを比較して示す。コヒーレントレーザレーダの結果は、20 個の測定値を示し、平均値を横線で示す。

この図から、コヒーレントレーザレーダの観測結果に各測定時におけるデータのばらつきが見られるが、気象台観測値と傾向が一致している。また、今回の計測範囲において計測された視線風速の最大は、9.3m/sec であった。

なお、ここで比較した気象台の観測地は横浜気象台、コヒーレントレーザレーダは磯子にある。

5. まとめ

2 μ m 帯の Tm:YAG レーザを用いたコヒーレントレーザレーダシステムを製作し、大気エアロゾルのヘテロダイン検出に成功した。さらに、気象庁観測の風速データとコヒーレントレーザレーダで得られた視線風速との間に相関があることを確認した。距離 0.6km において大気エアロゾルからのドップラーシフト量を計測し、視線風速 9.3m/sec を得た。

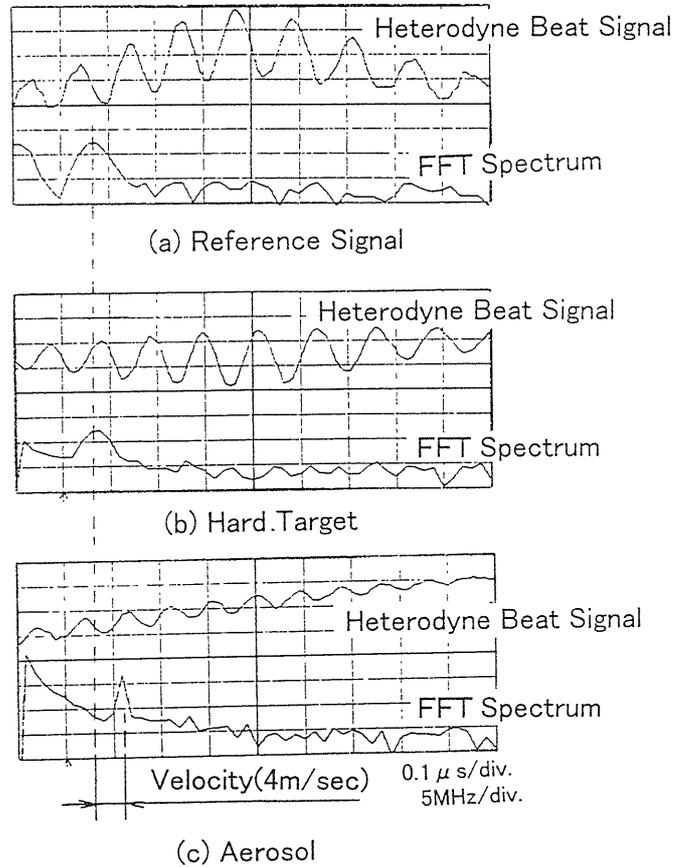


Fig.3 Laser radar return signals from aerosol.

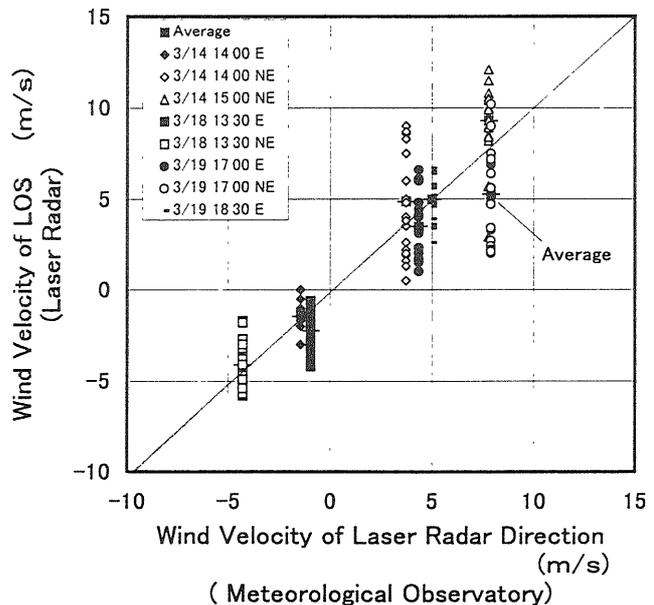


Fig.4 Comparison of the Coherent laser radar data and meteorological observatory data.

