

Abstract: We have developed a microchip laser as a seeder of a 2 μm -coherent Doppler lidar. Frequency stability of the single mode oscillation is important for heterodyne detection in the coherent lidar system. The stability of the Tm,Ho:YAG microchip laser was confirmed by applying the self-beating heterodyne detection method. We fabricated the Tm,Ho:YAG coherent Doppler lidar system. The flashlamp pumped pulse laser injection-seeded by the microchip laser is used in this lidar system. Basic characteristic of the Doppler lidar is examined by velocity measurement of a rotator, and it is shown that the accuracy is better than 5.7%.

1. はじめに

2 μm 帯で発振する Tm,Ho:YAG レーザは発振波長がアイセーフ波長であることから、衛星搭載ライダーや地上ライダーへの利用に期待されている。また、これらのレーザの発振波長帯は H₂O、CO₂ などの大気分子の吸収スペクトルを含んでいるため、そのことを利用したコヒーレント DIAL への応用の点でも注目されている¹⁾。

今回、従来から開発を進めてきた^{2),3)}高安定な単一縦横モード発振が可能なマイクロチップレーザをシードレーザとし、フラッシュランプ励起パルスレーザをスレーブレーザとして使用した、Tm,Ho:YAG コヒーレントドップラーライダーシステムの構築を行い、大気中の風速測定実験の基礎実験として、回転体の回転速度測定を行ったので報告する。

2. 2 μm コヒーレントドップラーライダーシステム

Fig.1 にコヒーレントドップラーライダーのシステム図を示す。シード光を PBS により 2 つに分け、一方をヘテロダイン検波のためのローカル光、もう一方をインジェクションシーディングのためのシード光とした。シードレーザ、スレーブレーザの諸元を Table 1 に示す。スレーブレーザにはフラッシュランプ励起 Cr,Tm,Ho:YAG パルスレーザを使用し、Q スwitching には AOQ スwitchシステムを採用した。コヒーレントライダーではヘテロダイン検波により周波数解析を行うため、パルス光を単一モード発振させなければならない。よって、スレーブレーザ共振器内に挿入された複屈折フィルタとエタロン板により波長同調を行い、共振器ミラーに取り付けた PZT の調整によりインジェクションシーディングを行った。出射パルス光はビームスピリッターにより分けられ、一部は参照光としてローカル光の一部とミキシングされインジェクションシーディング動作の確認に利用される。送信パルスはビームエキス

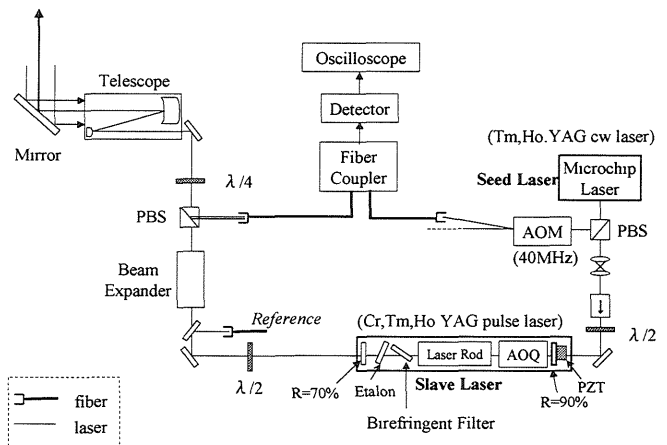


Fig.1 Tm,Ho:YAG coherent Doppler lidar system. (PBS: polarizing beam splitter, AOQ: acousto-optic Q-switch)

ンダー、望遠鏡により広げられ大気中に出射され、送受信は同軸である。送信パルスは縦方向の直線偏光であり、大気からの散乱光は $\lambda/4$ 板を通過後、横方向の直線偏光になる。よって散乱光は PBS により反射され、ファイバーに取り込むことが可能となる。散乱光と、AOM により 40MHz だけ周波数シフトされたローカル光をファイバーカップラー内でミキシングし、ヘテロダイン検波を行うことで大気中の風によるドップラーシフト成分を検出する。ディテクターは InGaAs 素子を使用した。

3. 回転体の回転速度測定

大気中の風速測定を行う前に、システム自体の測定精度を検討するため、回転体の回転速度測定実験を行った。この実験では、パルス光を直接回転体に当て、その散乱光をファイバーに取り込みヘテロダイン検波を行うことでドップラーシフト成分を検出し、回転体の回転速度を測定した。回転周波数から計算して求めた回転速度 6.3m/s の時

Seed Laser (Microchip Laser)	
Rod	Tm,Ho:YAG
Size	$\phi=3\text{mm}$, thickness=1mm
Pump	1W LD pump
Cavity length	1mm
Reflectivity	100%, 99.5%(output)
Mirror type	flat
Output	10mW
Wavelength	2.122 μm
Slave Laser (Pulse Laser)	
Rod	Cr,Tm,Ho:YAG
Size	$\phi=4\text{mm} \times 100\text{mm}$
Pump	flash lamp pump
Cavity length	960mm
Reflectivity	90%, 70%(output)
Mirror type	flat
Output	10mJ (Q-switch)
Wavelength	2.09-2.13 μm
Pulse length	380ns
Repetition rate	2~10pps
Q-switch	AO Q-switch
Separation of longitudinal modes	160MHz

Table 1 System parameters of the Tm,Ho:YAG coherent Doppler lidar.

の測定結果を Fig.2 に示す。横軸は周波数、縦軸は相対強度である。また、 Δf_D は回転体によるドップラーシフト成分を表す。図中の 40MHz のスペクトルは AOM によりシフトされた基準周波数であり、そこから Δf_D だけ離れたスペクトルが散乱光とローカル光によるビートスペクトルを表している。2 μm 帯コヒーレントドップラーライダーでは、レーザーの波長を λ 、回転速度(風速)を V_M 、ドップラーシフト成分を Δf_D とすると、ドップラーシフトの原理から $\Delta f_D = 2V_M / \lambda$ という近似式が求められることができる。Fig.2 よりドップラーシフト成分は 5.6MHz であり、上述した近似式から回転速度は 5.94m/s という測定結果が得られた。また、Fig.3 に回転周波数を変えた時の測定結果を示す。図中の直線は計算値、プロットは測定値を表している。この結果から、回転周波数から求まる計算値とドップラーシフト成分から求めた測定値との誤差は、5.7%以内という結果を得た。

4. まとめ

今回、大気中の風速測定において十分な周波数安定度を有する、コヒーレントドップラーライダー用単一縦横モード出力 10mW 発振 Tm,Ho:YAG

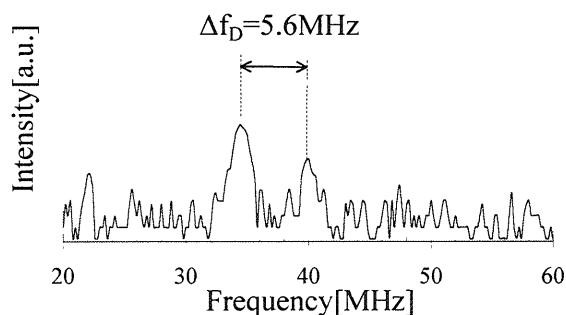


Fig.2 Doppler shift frequency caused by a rotator. The calculated velocity was 6.3m/s. (Δf_D : Doppler shift frequency)

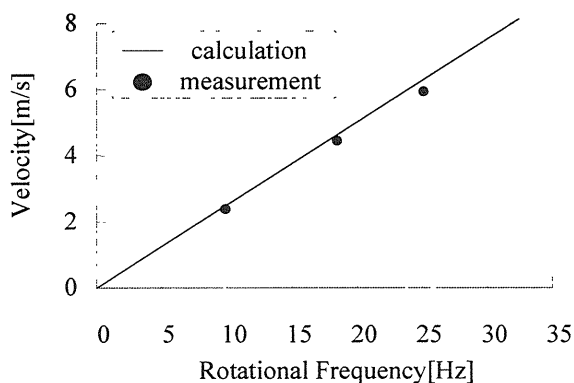


Fig.3 Comparison of calculated velocity and measured velocity as a function of rotational frequency.

マイクロチップレーザを開発した。また、スレーブレーザにフラッシュランプ励起パルスレーザを用いたコヒーレントドップラーライダーシステムを構築し、インジェクションシーディング動作の確認を行った。ライダーシステム自体の測定精度の検討を目的とした回転体の回転速度測定を行い、測定誤差 5.7%以内という結果を得た。

今後は、送受信システムのさらなる確立を行い、最終目標である大気中の風速測定を行う予定である。

(参考文献)

- 1) T.M.Taczak, D.K.Killinger, "Development of a tunable, narrow-linewidth, cw 2.066- μm Ho:YLF laser for remote sensing of atmospheric CO_2 and H_2O ," Appl. Opt., Vol.37, No36, pp8460-8476(1998).
- 2) 鈴木 他、第 8 回リモートセンシングフォーラム資料, pp35-38(2001).
- 3) J.Izawa, H.Nakajima, H.Hara, and Y.Arimoto, "Comparison of lasing performance of Tm,Ho:YLF laser using single and double cavities," Appl. Opt., Vol.39, pp2418(2000).