

Ho:YLF レーザを使ったドップラーライダーの開発

水谷 耕平¹, 石井 昌憲¹, 青木 誠¹, 岩井 宏徳¹, 大塚 涼平^{1,2}, 浅井 和弘³, 佐藤 篤³

¹情報通信研究機構 (〒184-8795 東京都小金井市貫井北町 4-2-1)

²首都大学東京 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6)

³東北工業大学 (〒982-8577 宮城県仙台市太白区八木山香澄町 35-1)

Development of Doppler Lidar with Ho:YLF laser

Kohei MIZUTANI¹, Shoken ISHII¹, Makoto AOKI¹, Hironori IWAI¹, Ryouhei OTSUKA²,
Kazuhiro ASAI³, and Atsushi SATO³

¹ NICT, 4-2-1 Nukui-Kitamachi, Koganei, Tokyo 184-8795

² Tokyo Metropolitan Univ., 6-6 Asahigaoka, Hino, Tokyo 191-0065

³ Tohoku Inst. of Tech., 35-1 Yagiyama-Kasumi, Taihaku, Sendai, Miyagi 982-8577

A Doppler Wind Lidar system with a 2-micron Ho:YLF laser end-pumped by 1.94-micron Tm: fiber laser was developed. A ring resonator oscillator and amplifier system was used. The laser was operated at high repetition rates of 200-5000 Hz in room temperature. This laser was developed for coherent wind and CO₂ measurements. Then, injection seeding was applied to the ring resonator and single mode laser emission was obtained. The laser was used for wind measurements up to 30km range.

Key Words: Doppler lidar, solid-state laser, seeding, heterodyne detection

1. はじめに

Ho や Tm をドープした 2 μ m 固体レーザは風、二酸化炭素や水蒸気などの観測に用いられる。情報通信研究機構(NICT)では、レーザダイオード(LD) 側面励起の 2 μ m 伝導冷却型固体レーザを研究開発してきた¹⁾。-80 $^{\circ}$ C に冷却した Tm,Ho:YLF 結晶を使ったレーザによる CO₂DIAL/ドップラーライダーを開発し、波長 2.05 μ m で風と二酸化炭素の計測を行っている²⁾。さらに、より効率的な観測を目指して、Tm ファイバーレーザを励起光源とする Ho:YLF レーザの開発を行ってきた³⁾。ファイバーレーザ励起の固体レーザは常温で動作し、高繰返し高平均パワーのレーザになり、使いやすく効率的なライダーシステムを構築できる可能性がある。ここでは、NICT で行ってきた Ho:YLF レーザとこのレーザを使って開発したドップラーライダーによる初期観測結果について報告する。

2. Tm ファイバーレーザ励起 Ho:YLF レーザ

Tm ファイバーレーザの 1.94 μ m 連続光により励起する Ho:YLF レーザは発振波長が 2.05 から 2.06 μ m になり、風や CO₂ の観測に使うことができる。強い 1.94 μ m 光で励起可能な Ho:YLF ロッドは常温で発振し、ロッドの冷却は水冷の銅ヒートシンクからの伝導冷却により行う。使用した

Tm ファイバーレーザ (IPG Photonics: TLR-50-1940) は 1.94 μ m で最大 50W の出力が得られることになっている。ファイバーレーザ出力における偏光成分は P,S でほぼ同じである。そこで、ファイバーレーザ出力の S-偏光成分で発振器ロッドを励起し、P-偏光成分の偏光方向を波長板で回転し S-偏光に変えて増幅器ロッドを励起した (Fig.1)。シーディングをせずに、アウトプットカプラーの後のフリップミラーを立てて、このレーザの Q-スイッチ発振をさせてアンプ後の 1kHz で 7W、300Hz で 5W の出力が得られた (Fig.2)。

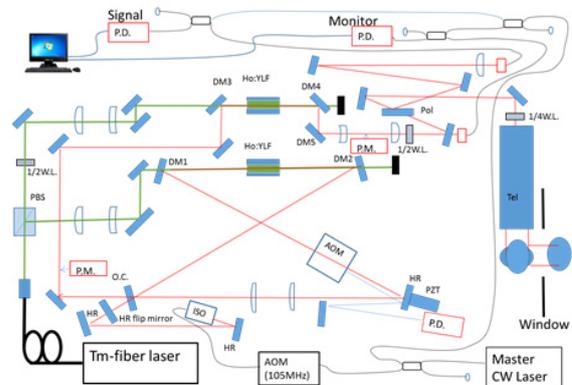


Fig. 1. Experimental set-up

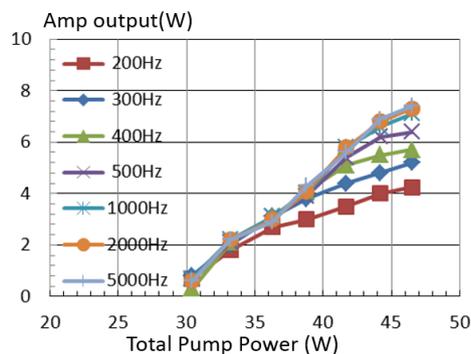


Fig. 2. Q-switch output to total pump power

8 字状のリング共振器のミラーの一つにピエゾ素子を取り付けられ、アウトプットカプラーからシード光を導入してランプ&ファイアーによるシーディング動作が可能である。300Hzでの平均出力では 4.8W (パルス出力 16mJ) が得られた(Fig.3)。

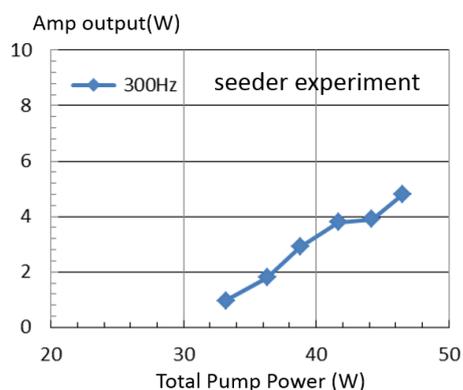


Fig. 3. Q-switch output in seeding operation

3. 風観測

2.051 μm での単一波長発振レーザ送信機、10cm Φ の望遠鏡を使い、さらに受信光学系を組み込んでコヒーレントドップラーライダーを組み上げて、風観測を行った。パルスレーザの発振周波数は連続発振のマスター発振器から AOM により 105MHz だけ周波数をずらされている。パルス発振レーザのほんの一部をマスター発振器出力の一部と混ぜて検出器でヘテロダイン受信し、発振周波数のモニターとする。実験室の窓から水平或いは鉛直方向にパルスレーザ光を送信して、反射して返ってきた信号とマスター発振器出力の一部を混ぜてヘテロダイン受信を行い信号出力としている。データの取り込みは 14bit、400MHz である。レーザの繰り返しは 300Hz で測定を行っている。Fig.4 に示したのは、96m 分解能での 10 秒間の水平方向 (EL \sim 0.5 $^\circ$) の風分布である。25km

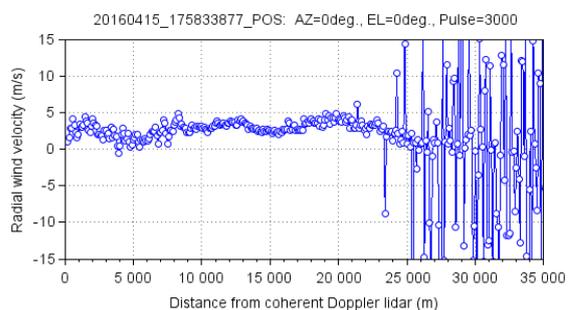


Fig. 4. Velocity profile to West direction

程度までの風分布が 10 秒で計測できている。1 秒、96m 分解能の測定では 15km 前後までの風観測ができている。距離分解能を大きく、積分時間を長くすると計測距離はさらに伸びる。Fig.5 には 2000 秒間の水平方向連続観測の結果も示した。

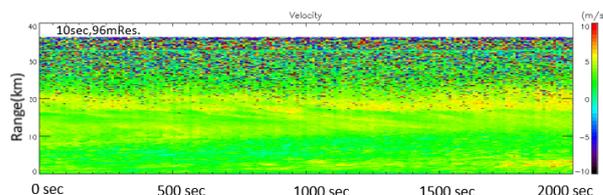


Fig. 5. Velocity to time pattern to West

4. まとめ

Tm ファイバーレーザ励起の高繰り返し Ho:YLF レーザを開発し、これを使用したドップラーライダーを構築し、試験観測を行った。この装置で励起光源として使っている Tm ファイバーレーザは購入当時、日本では 50W 出力のものしか手に入らなかった。しかし、現在では 120W のものまで入手できるので、よりパワーの有る励起源を使えば、より遠方までの観測が可能になる。また、ロッドを通過した残りの励起光をもう一度戻して使うと効率が上がる可能性がある。高繰り返し Ho:YLF レーザは常温で使えるので、取り扱いが容易である。また、ドップラーライダーとしては測定距離がかなり長い。したがって、地上観測や航空機搭載ではかなり有力な装置になりうると考えられる。

参考文献

- 1) 水谷 耕平他：第 29 回レーザセンシングシンポジウム予稿集(レーザ・レーダ研究会 2011)p.30.
- 2) S. Ishii et al.: Applied Opt. **49** (2010) 1809.
- 3) 水谷 耕平他：第 29 回レーザセンシングシンポジウム予稿集(レーザ・レーダ研究会 2015) p.52