

2波長同時発振コヒーレントドップラーライダーの検討 Study on the coherent Doppler lidar using simultaneous dual-wavelength oscillation

境澤 大亮, 長澤 親生

Daisuke Sakaizawa, Chikao Nagasawa

東京都立大学大学院工学研究科(首都大学東京)

Graduate school of Engineering, Tokyo Metropolitan University

Abstract

We propose the new technique for the Coherent Doppler Lidar (CDL) using the simultaneous dual-wavelength transmitter consisting of the injection seeded pulse laser with the accurate wavelength difference. The simultaneous dual-wavelength oscillator with two injection seeders was constructed experimentally. The two diode-lasers with spectral widths of 4MHz which keep the difference (2.5GHz) of the two oscillation wavelengths were injected to the slave laser cavity and it was confirmed that the wavelength difference was kept in one pulse laser.

1. はじめに

コヒーレントドップラーライダー (CDL) ではアイセーフな $1.5\mu\text{m}$ や $2.0\mu\text{m}$ の波長で高出力、かつ高スペクトル純度の単一モードパルスレーザが光源として用いられる。ドップラーシフトの検出は散乱光と参照光の光ヘテロダイン検波により求めるが、2つのビーム波面を受光素子の法線に対して精度 1mrad 以下で整合させる必要がある。また大気風のドップラーシフトは風速 1m/s あたりおよそ 1MHz で得られるため、広いダイナミックレンジで測定するには、その分広い帯域幅を受信器で確保しなければならない。

我々はより狭い帯域幅で広いダイナミックレンジの風速測定を行うため、近接した2波長を同時に出力可能な1台のパルスレーザを光源とするCDLを提案する。1台のパルスレーザで2波長出力が可能であるため散乱光と受光素子の調整が容易となる。実際の大气風測定では近接した2波長の差が一定 (GHz 帯の周波数) となるよう出力を制御するとフォトダイオードの2乗検波作用によって差周波を検出できる。この信号には大気風によるドップラーシフトが含まれており、 1m/s あたりのシフト量は従来のCDLより5桁ほど小さくなるため帯域幅を狭めても風速測定の広いダイナミックレンジが得られる。

今回 GHz 帯の周波数に対して応答性が良く比較的入手がしやすい $1.5\mu\text{m}$ の受光素子を用いて、 $1.5\mu\text{m}$ パルスレーザで2波長同時に出力する確認実験を行った。

2. 2波長を用いた大気風の計測

2波長を用いた大気風計測のモデルを Fig.1 に示す。

波長 λ_1, λ_2 (周波数 ν_1, ν_2) からなるレーザは同じ偏光でz方向へ伝播するとして電界を次のように仮定する。

$$E(t) = u(t) \left[A_1 e^{-j(2\pi\nu_1 t - \mathbf{k}_1 \cdot \mathbf{r}_i)} + A_2 e^{-j(2\pi\nu_2 t - \mathbf{k}_2 \cdot \mathbf{r}_i)} \right]$$

$u(t)$ はパルスの時間波形、 $\mathbf{k}_1, \mathbf{k}_2$ は波数ベクトル、 A_1, A_2 は規格化した振幅である。このとき送信レーザは2波長が同一軸上にあるため、その差周波 $\delta\nu = |\delta\nu_1 - \delta\nu_2|$ で変調された波形がz方向を伝播する。

距離Rだけ離れた点にある散乱体が一定の速度 V_L で運動している場合、各周波数成分にドップラーシフトが重畳する。この散乱光を検出した受光素子の光電流は素子面上の全光強度に比例する。フォトディテクタなど光検出素子の出力は以下のように得られる。

$$I = K \left[A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 A_2 \cos(2\pi\delta\nu t - 2\pi 2\delta\nu V_L t / c + \phi) \right]$$

Kはディテクタの量子効率などを含めた定数、 V_L はレーザ視線方向成分の風速、 c は光速である。第1、第2項はDC成分でありドップラーシフトは含まれない。第3項がAC成分として検出され、周波数 $\delta\nu$ とドップラーシフト $2\delta\nu V_L / c$ からなる。差周波 $\delta\nu$ を除去することで大気風 V_L の計測が可能となる。

本確認実験ではこの周波数差 $\delta\nu$ を 2.5GHz で一定となるようシステムを制御し2波長同時発振を試みる。

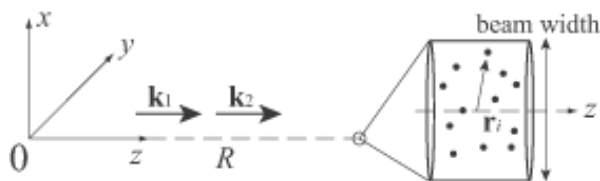


Fig.1 The geometry of the dual-wavelength Doppler shift. The transmitter and receiver axes are monostatic configuration.

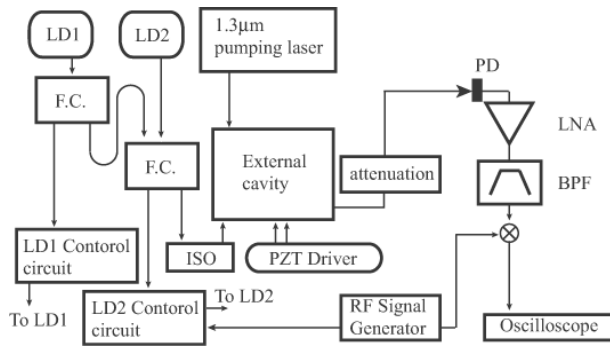


Fig.2 The experimental schematic diagram of the dual-wavelength oscillator. LD1 and LD2 are DFB lasers. F.C. is the polarization maintaining fiber coupler. ISO is the isolator. PD is the high-speed photodetector. LNA and BPF are the low noise amplifier and the bandpassfilter, respectively

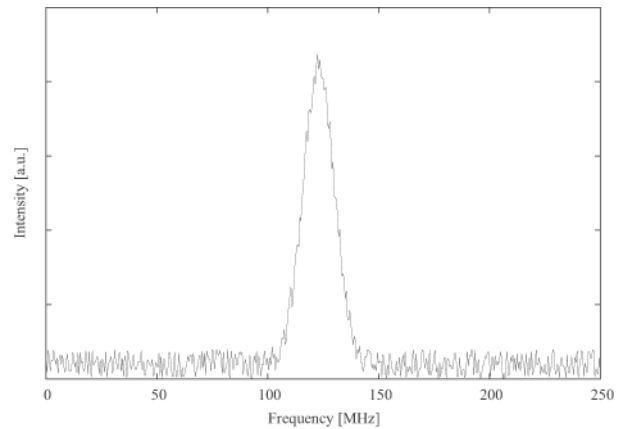


Fig.3 The spectrum of the IF signal for the single shot pulse. The center frequency of this spectrum is 123MHz. The FWHM is estimated at 12MHz.

3. 2波長同時発振実験

2波長からなる 1.5 μ m パルスレーザの発振実験を行った。1.3 μ mNd:YAG レーザを励起光源とし、外部共振器中に置かれたラマン結晶の誘導ラマンを用いて 1.5 μ m のレーザを得る。また 1.5 μ m で発振する 2 台の DFB レーザを外部共振器へ注入し誘導ラマンによって得られる 1.5 μ m のレーザに注入同期を用いて 2 波長同時発振を行う。DFB レーザは最大出力 20mW、線幅 4MHz で動作する。実験のブロック図を Fig.2 に示す。2 台の DFB レーザは制御回路を使用し、一方は絶対波長を、もう一方は 2 波長間の差分をおよそ 20pm(周波数間隔 2.5GHz)で一定になるよう制御している。

リング型の外部共振器内にはラマン結晶が配置されており、ダイクロイックミラーを通してフラッシュランプ励起 1.3 μ m Nd:YAG レーザで励起する。素子の破壊を防ぐために励起出力は最大で 50mJ、繰り返し 3Hz、パルス幅 70ns とした。

シード光はファイバケーブルで同一軸上にし、アイソレータを通して出力鏡側から共振器内に注入する。共振器中に配置されているビームサンプラーから一部分をフォトダイオードで検出し、CW レーザの出力が最大となるように 2 台の PZT に電圧を印加して共振器長を制御する。LD1、LD2 の出力はケーブル入射前で 12mW だが LD1 は出力制御に 8mW (FC 挿入損失含む) 使用しているため出力比は 1:3 程度になっている。

誘導ラマンと注入同期で得たパルスレーザは適当な減衰を掛け高速フォトディテクタで検出する。信号はバンドパスフィルタと LNA (low noise amplifier) で 2.5GHz の高周波信号が得られるよう帯域制限する。2 波長の発振を確認する為 2.5GHz の高周波信号を 100MHz 程度の低周波にダウンコンバートしオシロスコープで観測する。

500MS/s のデジタルオシロスコープで記録した 1パルスの IF 信号スペクトルを Fig.3 に示す。得られた信号の中心周波数は 123MHz、半値幅は 12MHz であり、パルスレーザの 2 波長同時発振を確認した。

4. まとめ

CDL の応用を目的とした同時 2 波長パルスレーザの発振実験を示した。1.3 μ m Q-switch パルスレーザによってラマン結晶を励起し、1 次ストークス光に対して 2 台の DFB レーザで注入同期を行い 2 波長成分からなるパルスレーザを発生させた。2 波長からなるパルス光の発振を実験で確認し、提案する 2 波長同時発振を用いた CDL への見通しが得られた。

得られたパルスレーザは時間幅約 70ns、線幅は 12MHz であった。従来 CDL で用いられるサブ μ s のパルスレーザと比較すると本実験で得られたパルスレーザでは高い距離分解能が期待できる。しかしフーリエ限界時におけるパルス幅と線幅の関係は 2 波長の注入同期でも 1 波長の注入同期でも変化がないと報告されている。従ってパルス幅が 70ns である場合、フーリエ限界時の線幅は今回得られた 12MHz よりも狭い値となるはずである。線幅が広がったその主な原因を特定し、線幅の狭窄化を行っていく予定である。

【参考文献】

J. T. Murray, et al. *Opt. Lett.*, Vol. 20, No. 9, pp. 1017–1019, 1995.

J. Czarke. *Proc. 10th Int. Symp. Applications of Laser Techniques to Fluid Mechanics*, Vol. paper 7.1. 2000

Ngoc Diep Lai, et al. *J. Lightwave Tech.*, Vol. 21, No. 12, pp. 3037–3042, 2003.