

# パルス方式全光ファイバ型レーザドップラー振動計

Pulsed all-fiber laser Doppler vibrometer

水間 将支、亀山 俊平、平野 嘉仁

Masashi Mizuma, Shumpei Kameyama, and Yoshihito Hirano

三菱電機（株） 情報技術総合研究所

Mitsubishi Electric Corporation Information Technology R&D Center

## Abstract

LDV (Laser Doppler Vibrometer) is an attractive application of 1.5 micron all-fiber coherent laser radar. Conventional all-fiber LDV are operated in CW although a fiber amplifier used in this LDV can be operated also in pulsed mode, and higher peak power is easily obtained by decreasing operating duty because of its energy storage capacity. In this paper, we utilize this feature and propose a pulsed all-fiber LDV. Method for sensing with pulsed mode is shown and the possibility of vibration detection with this method is confirmed by an experiment.

## 1. まえがき

波長 1.5  $\mu\text{m}$  全光ファイバ型コヒーレントライダは、小型・高信頼・高配置自由度といった特長を有している。これまで我々はこの技術を風計測用に開発してきたが<sup>1</sup>、他用途としてLDV (Laser Doppler Vibrometer) が考えられ、CW方式を用いた全光ファイバ型LDVが過去に報告されている<sup>2,3</sup>。全光ファイバ型システムでは、高出力化を目的として光ファイバ増幅器が用いられているが、この増幅器はエネルギー蓄積効果を有し、パルス方式、つまり低dutyで動作させることで高送信ピーク化を容易に実現できることが知られている。ここでは上記蓄積効果を利用したパルス方式全光ファイバ型LDVを提案する。パルス方式での検出方法について説明し、この方式による振動検出の実現性を実験により確認したので報告する。

## 2. システム構成

パルス方式全光ファイバ型LDVのシステム構成を Fig. 1 に示す。光部品間は全て偏波保持型光ファイバにより接続している。システムは3つのユニットにより構成され、光アンテナ/受信ユニットを他から離して配置することにより高い配置自由度を実現している。波長 1.5  $\mu\text{m}$  のレーザ光をDFB (Distributed Feed-Back)ファイバレーザから出力し、光強度変調器によりパルス化し、EDFA (Erbium-Doped Fiber Amplifier)により増幅する。この光を送受望遠鏡を介して空間中に送信する。ターゲット振動により位相変調を受けた後方散乱光を同じ望遠鏡により受信し、バランスドレシーバによりホモダイン検波する。ローカル光にはEDFAの出力の一部をタップしたものをを用いる。ターゲット振動により変調を受けた位相を理想的に復調するには光受信方式をヘテロダイン検波とする必要があるが、本論文ではパルス方式で単振動を検出できることの基本的な確認が目的であるので、簡単のためホモダイン検波としている。ターゲット変位がレーザ光波長に対して十分に小さい場合、ホモダイン検波した信号は変調位相、つまりターゲット変位に比例する。この信号をローパスフィルタに通した後A/D変換器によりデジタル信号に変換する。送信パルスとA/D変換器のサンプリングタイミングとの間の遅延時間を、シーケンサにより制御する。スペクトルをFFTにより計算し、スペクトルのピーク周波数から振動周波数を検出する。

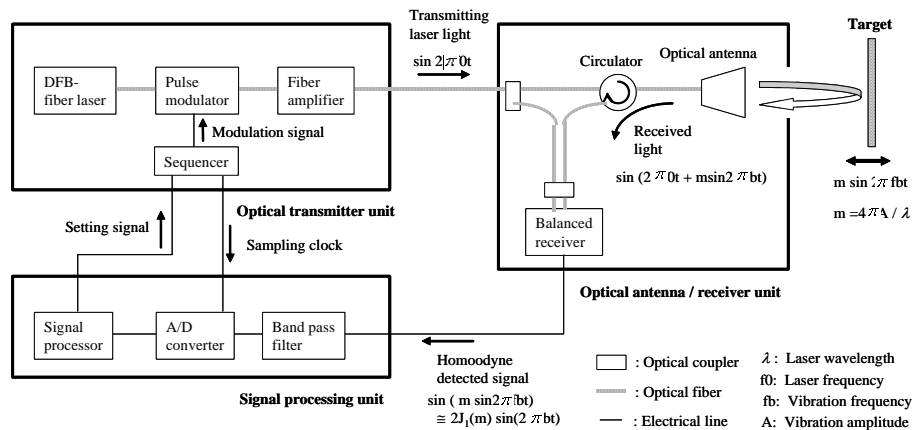


Fig. 1 System configuration.

パルス方式では、EDFA のエネルギー蓄積効果を利用しており、動作 duty 比を落とすことで CW 方式と比較して高送信ピークパワーが得られる。パルス幅はローカル光と受信光がオーバーラップするよう送信パルスのターゲットまでの往復時間よりも十分に大きくとる。サンプリングタイミングをシーケンサにより調節し、上記オーバーラップ領域内となるようにする。サンプリング周波数は PRF (Pulse Repetition Frequency) と同じとする。duty 比、ピークパワー、パルス幅、PRF、およびサンプリングタイミングの模式図を Fig. 2 に示す。この図では、duty 比は 20 % であり、パルス方式におけるピークパワーは CW 方式の 5 倍となっている。同じ送信平均パワーにおける (ピークパワー) / (受信帯域幅) の値が CW ・パルス間で同じとなるので、白色的なショット雑音に対する両者の受信 SNR(Signal to Noise Ratio)は同じであるが、 $1/f$  雑音もしくは外来雑音が無視できない環境下では、パルス方式の方が高い SNR を実現できる。

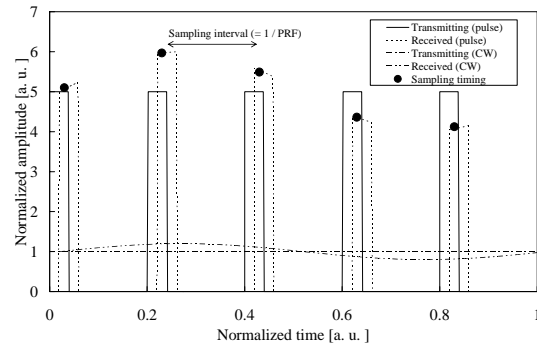
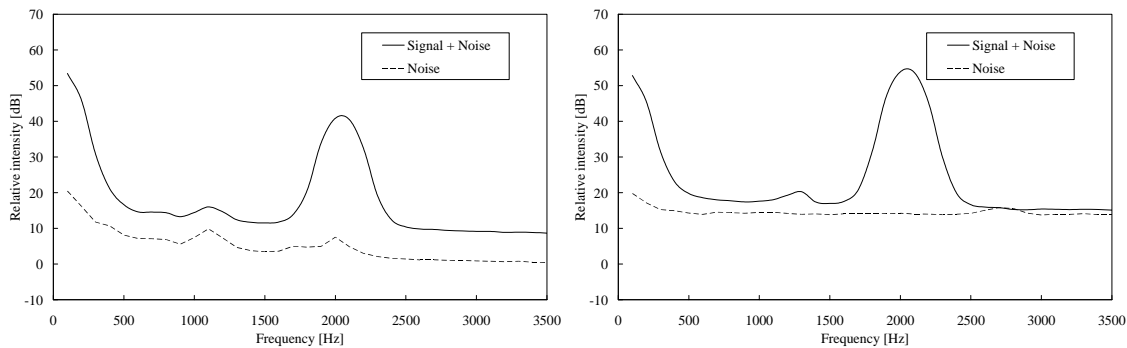


Fig. 2 Schematic diagram of relation between duty, peak power, pulse width, PRF, and sampling timing in CW and pulse mode.

### 3. 実験結果

パルス方式での振動検出の実現性について実験的に確認する。窓ガラスをターゲットとして使用し、距離 20m に配置して 2kHz で振動させた。EDFA の平均出力は 30mW、duty 比は 15% であり、パルスピークパワー 200mW を実現した。パルス幅は 1.5 $\mu$ s、PRF とサンプリング周波数は 100 kHz とした。アナログ受信帯域は CW 方式で 50 kHz、パルス方式で 1.3 MHz とした。CW モードおよびパルスモードで計測した平均化したスペクトルを Fig. 3 に示す。パルス方式で CW 方式と同程度の SNR 約 40dB で振動検出できており、さらにベースバンドにおける  $1/f$  的な特性を持つ雑音の影響が小さく、よりフラットな雑音フロアが得られていることが分かる。



(a) CW mode (b) Pulsed mode  
Fig. 3 Experimental results of vibration sensing.

### 4. まとめ

パルス方式全光ファイバ型 LDV を提案した。パルス方式により  $1/f$  雑音および外来雑音が無視できない環境下において従来の CW 方式よりも高い SNR を得ることができる。パルス方式による振動検出の実現性を実験により確認した。

### 参考文献

- [1] S. Kameyama et al., Proc. 12<sup>th</sup> Coherent Laser Radar Conference, 43-46, 2003.
- [2] C. J. Karlsson et al., Appl. Opt., 39, 3716-3726, 2000.
- [3] P. Jonsson et al., Proc. 12<sup>th</sup> Coherent Laser Radar Conference, 120-123, 2003.