

# 光ビート法による高周波発生における光パルス圧縮を用いた出力の増大 —光源の線幅と出力の位相雑音—

## Output power enhancement by optical pulse compression in photonic-based RF generation -- Laser linewidth and phase noise of the RF output --

山口 剛史<sup>†</sup> 森本 裕喜<sup>†</sup> Usman Habib<sup>‡</sup> Shabnam Noor<sup>‡</sup> Nathan Gomes<sup>‡</sup> 戸田 裕之<sup>†</sup>  
Takashi Yamaguchi Hiroki Morimoto Usman Habib Shabnam Noor Nathan Gomes Hiroyuki Toda

<sup>†</sup>同志社大学大学院 理工学研究科

<sup>‡</sup>ケント大学 工学部

Graduate School of Science and Engineering, Doshisha University

School of Engineering and Digital Arts, University of Kent

### 1. はじめに

光ビート法による高周波 (RF) 発生 [1] において、光検出器 (PD) への平均光パワーが等しい条件で光パルス幅が狭くなると、RF 出力が増大する。著者らは、光強度変調器出力光パルスが狭くなるようにパルス圧縮させた時の RF 出力の増大についてシミュレーションし [2, 3]、実験により RF 出力が増大することを確認した [4]。本稿では、RF 出力の位相雑音をレーザ光源の線幅を変えて測定したので報告する。

### 2. 実験

図 1 に実験系を示す。連続光レーザ (CWL) の出力を、誘導ブリルアン散乱の影響を抑圧するため、300 MHz の位相変調を行った後、プッシュプル駆動のマッハ-ツェンダー変調器 (MZM) によって強度変調する。MZM は、DC バイアス電圧を印加して nul バイアス状態とし、振幅が半波長電圧に等しい周波数  $f_{RF}/2$  の正弦波で駆動する。 $f_{RF}$  は 20 GHz とした。この時、MZM 出力は繰り返し周波数  $f_{RF}$  の搬送波抑圧光パルスとなる。MZM 出力をエルビウム添加光ファイバ増幅器 (EDFA) で平均光パワーを 20.0 dBm とし、単一モード光ファイバ (SSMF) を伝搬した後、PD への入射平均光パワーが 1.0 dBm になるように光可変減衰器 (VOA) で調整した。その後、帯域 20 GHz の PD で受光した RF 出力電力を RF スペクトルアナライザ、位相雑音を位相雑音測定器で測定した。また、SSMF 伝搬後の光パルスを光サンプリングオシロスコープ (OSO) で観測し、光パルス幅を測定した。測定は、CWL の線幅を 1 MHz および 160 MHz (いずれもカタログ値) として行った。

### 3. 結果

光ファイバ長に対する光パルス幅および RF 利得の測定結果と (線幅を考慮しない場合の) 数値計算結果を図 2 に示す。ここで RF 利得は、ファイバ伝搬前の RF 出力に対するファイバ伝搬後の RF 出力としている。光パルス幅と RF 利得ともに線幅の違いによる差はみられなかった。RF 利得はファイバ長 10 km で最大値 6.5 dB が得られた。RF 出力および強度変調に用いた発振器 (LO) の位相雑音測定結果を図 3 に示す。CWL の線幅が 1 MHz の時、ファイバ長 10 km 以上でオフセット周波数が数 kHz から 100 kHz の領域で位相雑音の増加がみられたが、線幅が 160 MHz の時は 12.5 km まで位相雑音の増加はみられなかった。線幅が 160 MHz の時にみられる複数のスプリアス (20 kHz 付近を基本周波数とする高調波) は、レーザの線幅拡大によるものと考えている。

### 4. まとめ

光ビート法による RF 発生における光パルス圧縮を用いた出力増大において、出力の位相雑音を測定し、レーザ光源の線幅が与える影響を実験で観測した。今後、位相雑音増加の原因について検討していく。

### 謝辞

本研究成果は、NICT 委託研究「新世代ネットワークの実現に向けた欧州との連携による共同研究開発および実証」により得られました。関係各位に感謝致します。

### 参考文献

- [1] J. Yao, J. Lightwave Technol., **27**, 314, 2009.
- [2] 森本他, 信学総大, C-14-1, 2016.
- [3] T. Yamaguchi et al., Proc. AP-RASC 2016, p. 1528, Seoul, 2016.
- [4] 山口他, 信学技報, **116**, 156, 2016.

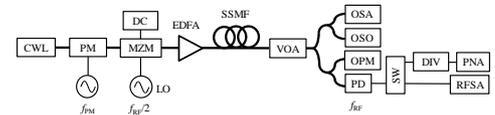


図 1 実験系  
CWL: CW Laser, PM: Phase modulator, MZM: Mach-Zehnder modulator, LO: Local oscillator, EDFA: Erbium doped fiber amplifier, SSMF: Standard single-mode fiber, VOA: Variable optical attenuator, OSA: Optical spectrum analyzer, OSO: Optical sampling oscilloscope, OPD: Optical power meter, PD: Photo detector, SW: RF switch, DIV: Frequency divider, PNA: Phase noise analyzer, RFS: RF Spectrum analyzer.

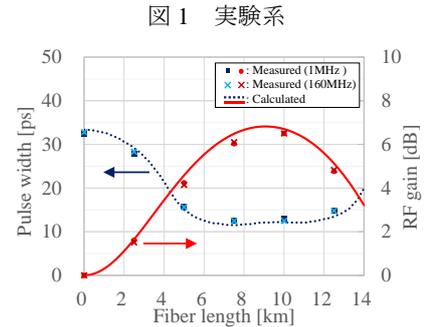
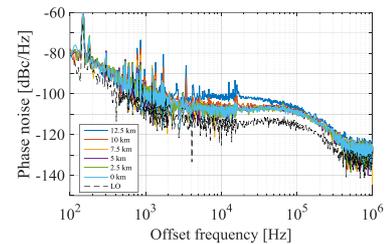
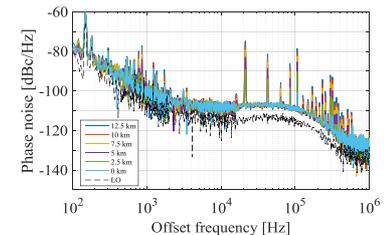


図 2 ファイバ長対 RF 利得/光パルス幅



(a) レーザ線幅: 1 MHz



(b) レーザ線幅: 160 MHz

図 3 位相雑音測定結果