

# 量子揺らぎ制御に基づく高性能光アナログ-デジタル変換の研究

研究代表者

小西 毅 大阪大学大学院工学研究科 准教授



## 1. 研究の背景と達成目標

アナログ-デジタル変換は、実世界に存在する連続的なアナログ信号をデジタル技術で取り扱い可能なデジタル信号に変換する重要なインターフェース技術として、レーダーや電波望遠鏡などの環境計測をはじめ光通信技術に至るまで幅広い分野で用いられている。信号の広帯域化が進むにつれて、フロントエンドとなるアナログ-デジタル変換の更なる高性能化が求められており、特にサンプリングの光化による標本化レートの高速化が期待されており、広帯域性を特徴とする光アナログ-デジタル変換の研究開発において、光サンプリングの高性能化が最優先課題となっている(図1)。本研究では、光標本化に適した比較的高繰り返し条件での古典的アプローチでは除去できない強度ジッタ雑音の抑制を量子論的アプローチの導入により試みることを研究の狙いとし、広帯域サンプリング光パルス(10ギガサンプル毎秒)を対象にショットノイズレベルの強度ジッタ制御を目標とした。

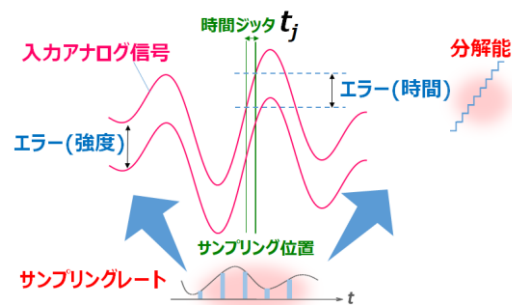


図1 広帯域アナログ-デジタル変換における光サンプリングの高性能化

## 2. 主な研究成果と社会、学術へのインパクト

- 1) 広帯域アナログ-デジタル変換に必要な光サンプリングの条件明確化: 広帯域アナログ-デジタル変換において、強度ジッタの抑制効果が優先となる光サンプリングの条件を明らかにした。この成果により、時間ジッタ低減に注力されてきたこれまでの光化の研究の方向性に大きな学術的な影響を与えると期待される。
- 2) 派生的な雑音抑制手法の創出: 強度ジッタの一要因となる光増幅時に重畳される ASE 雑音の抑制手法を派生的に創出し、従来手法をはるかに凌駕する 18dB 程度の抑制効果を実験的に確認した。光パルスを計測プローブに多用するライフサイエンス分野の高精度化への展開という視点からも学術的な影響を与えると期待される。
- 3) ショットノイズレベルの強度ジッタ制御: 広帯域サンプリング光パルス(10 ギガサンプル毎秒)に対して光ソリトンを用いた量子論的アプローチを導入し、古典的アプローチでは除去できないショットノイズレベルでの強度ジッタ雑音の抑制効果確認に成功した。従来、時間ジッタ低減に注力されてきた光化の研究が、強度ジッタ抑制にシフトする際の礎となると期待され、これまでの光化の研究の方向性に大きな学術的な影響を与えると期待される。

## 3. 研究成果

広帯域アナログ-デジタル変換の高性能化における光サンプリングの条件を解析し、光化により電気的な時間ジッタの抑制限界を超えた高周波光標本化の領域(数十フェムト秒以下)でのアナログ-デジタル変換全体の信号品質の向上においてはサンプリングの光化の際の強度ジッタの抑制がより重要と

なってくることを明らかにした。強度ジッタの一要因となる光増幅時に重畳される ASE 雑音の抑制手法を派生的に創出し、18dB 程度の抑制効果を実験的に確認した。最終的に、広帯域サンプリング光パルス(10 ギガサンプル毎秒)に対するショットノイズレベルの強度ジッタ制御を目標として、光ソリトンを用いた量子論的アプローチを導入し、古典的アプローチでは除去できないショットノイズレベルでの強度ジッタ

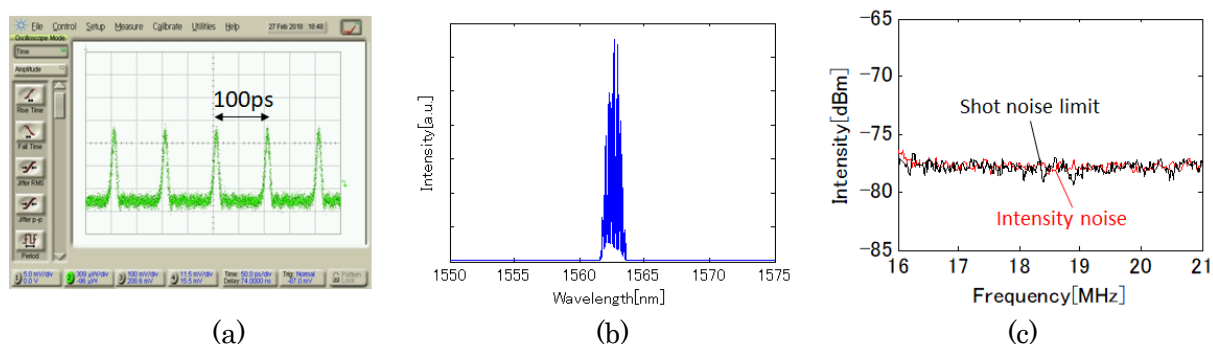


図2 広帯域サンプリング光パルス(10 ギガサンプル毎秒)の強度雑音抑制効果：(a)光サンプリングパルス列に時間波形，(b)フィルタリング後のスペクトル，(c)強度雑音とショット雑音の測定結果。

雑音の抑制効果確認に成功した(図2)。また、リアルタイムサンプリングオシロスコープに搭載の電気的高性能アナログ-デジタル変換器との接続にも成功した。

#### 4. 今後の展開

この成果により光サンプリングを導入した高性能アナログ-デジタル変換の高分解能化の制限の更なる緩和が期待できる。例えば、現在報告されている広帯域高感度受信器(10 ギガサンプル毎秒)の感度(-30dBm 程度)を基準分解能とした光標本化の実現も視野に入ってくることから、計測の高精度化という観点からライフサイエンス分野をはじめとする基礎科学の分野への展開も期待される。

#### 5. 発表実績

1. Y. Yamasaki, T. Nagashima, M. Hiraoka, and T. Konishi, "Experimental Demonstration of ASE Noise Suppression by Soliton Self-Frequency Shift," IEEE PTL, Vol. 29, pp. 1167-1170, 2017.
2. T. Konishi and Y. Yamasaki, "Intensity jitter suppression and quantum fluctuation for resolution improvement in photonic analog-to-digital conversion," ICTON 2017, Tu.C1.4 (Invited paper) (Bucharest, Romania, July 1-5, 2018).
3. Y. Yamasaki, D. Ishihara, and T. Konishi, "Proper selection of ASE noise suppression techniques for a probe pulse in fine resolution optical fiber sensing," APOS2018, 50117 (Matsue, Japan, May 28-31, 2018).
4. 山崎佑, 小西毅, "光 A/D 変換の高分解能化に向けたソリトン自己周波数シフトを用いた ASE 雑音抑制効果のパルス幅依存性の検討, 電子情報通信学会, "B-12-2 (2018年3月20日~23日).
5. 小西毅, 山崎佑, "光アナログ-デジタル変換の分解能向上を目指した強度ジッタ抑制と量子揺らぎ," 信学技報, vol. 117, no. 473, PN2017-94, pp. 19-23 (2018).
6. T. Konishi, "Photonic ADCs," 8th International Symposium on Ultrafast Photonics Technologies (Invited paper) (Winchester, UK, July 10-11, 2017).  
Y. Yamasaki, T. Nagashima, M. Hiraoka, and T. Konishi, "Amplified Spontaneous Emission Noise Influence Analysis on Optical Quantization using Soliton Self-Frequency Shift," OECC/PS2016, WA2-114 (Niigata, Japan, July 3-7, 2016)