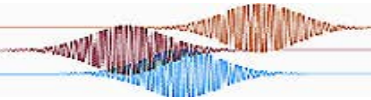


2012.10.2

幕張メッセ国際会議場3階C会場

ICTイノベーションフォーラム (SCOPE研究成果発表会)

タイトル: 高分解周波数軸上の振幅／位相解析による
テラビット信号再生技術の研究開発(092104001)



長岡技術科学大学
准教授
塩田 達俊

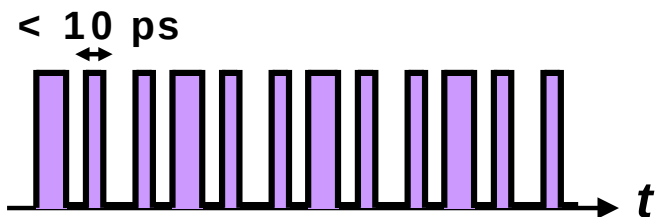
Address: 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1

Tel&Fax: 0258-47-9530

Email: tshioda@vos.nagaokaut.ac.jp

高速光波形 シンセサイザ/アナライザ

100 GHz 以上の高速光信号



提案手法

時間領域での直接的な処理



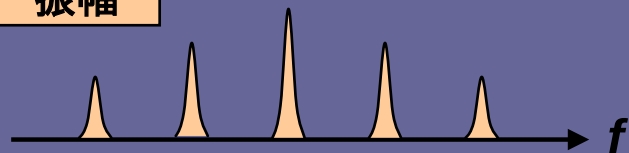
Optical detector



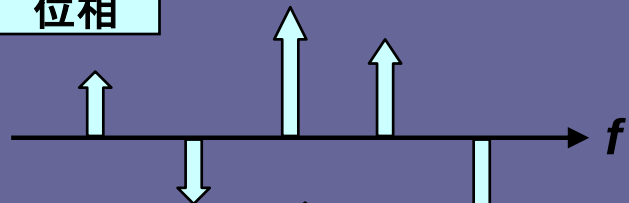
応答速度の限界により不可

周波数領域での処理

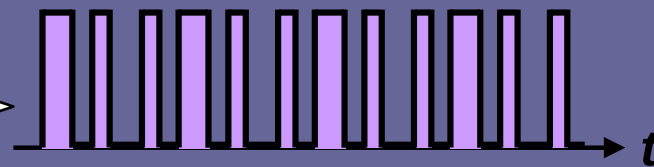
振幅



位相



IFFT

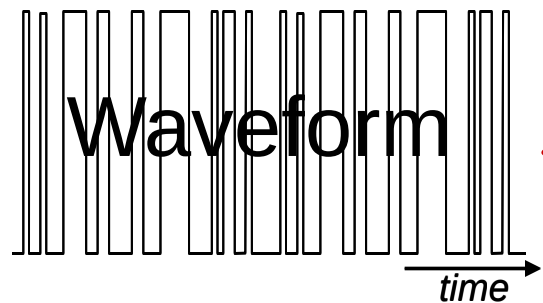


THz 領域も処理可能

①シンセサイズ & ②アナライズ

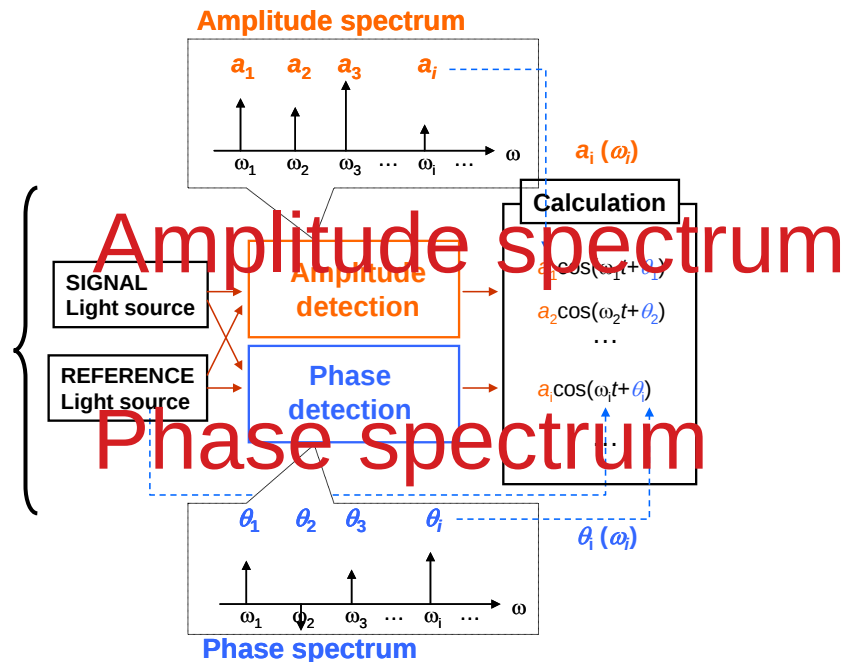
Waveform Control

1. Analyze



Synthesize $\sum a_i \cos(\omega_i t + \theta_i)$

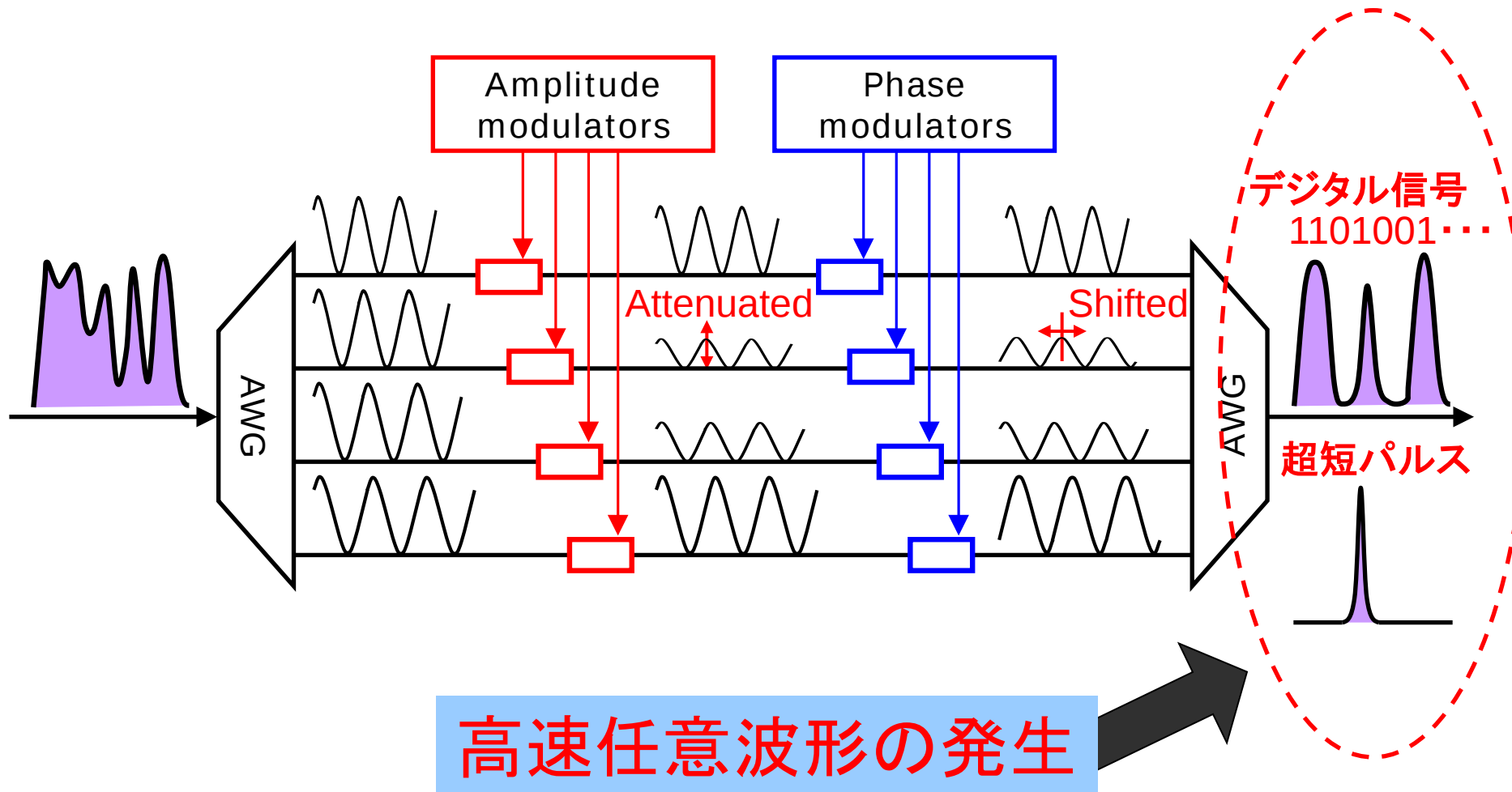
Fourier
transform



2. Synthesize



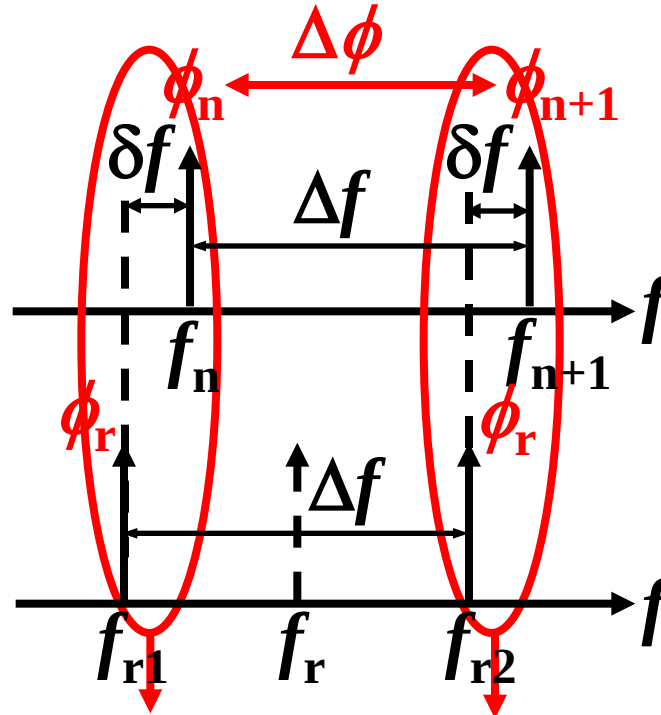
① シンセサイザ



ホログラフィック光周波数コム検出法

被測定光の
スペクトル

参照光の
スペクトル



①ビート発生

② δf 成分抽出

$$\left[\alpha_1 \cos \left\{ 2\pi \delta f t + (\phi_n - \phi_r) + \frac{2\pi n}{c} (f_n L_1 - f_{r1} L_2) \right\} + \alpha_2 \cos \left\{ 2\pi \delta f t + (\phi_{n+1} - \phi_r) + \frac{2\pi n}{c} (f_{n+1} L_1 - f_{r2} L_2) \right\} \right]^2$$

$$V_1(t, \phi, L)$$

$$V_2(t, \phi, L)$$

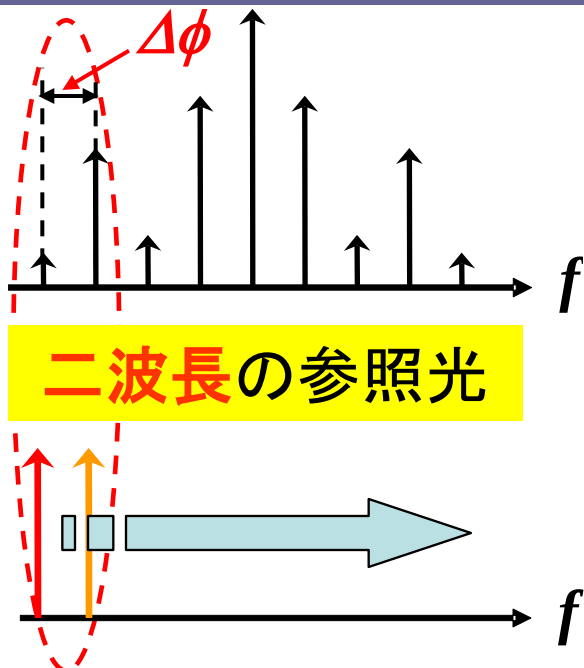
③乗算

$$V_{DC}(\phi, L) = Bias. + \beta \cos[\Delta\phi + \gamma\Delta L]$$

④検出

② アナライザ (電界スペクトル)

基本的な計測方法

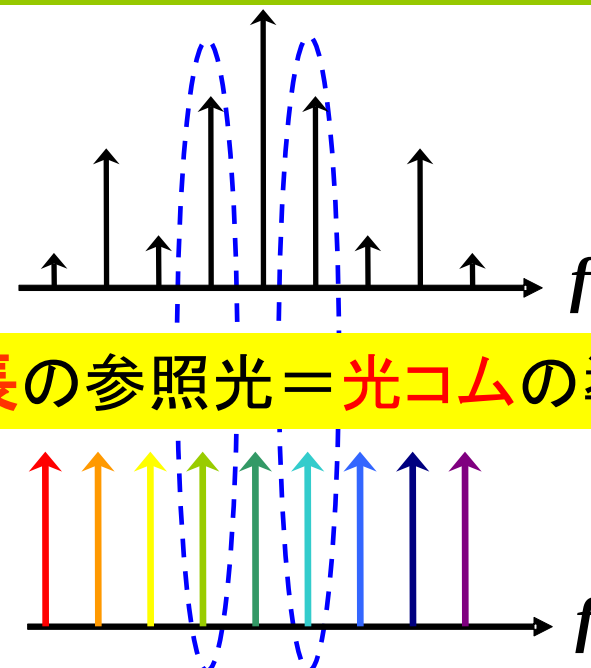


⇒ 波長掃引して繰り返し計測

問題点

- ・ 広い周波数間隔に適用不可
- ・ 広帯域計測 ⇒ 計測時間増加

拡張した計測方法



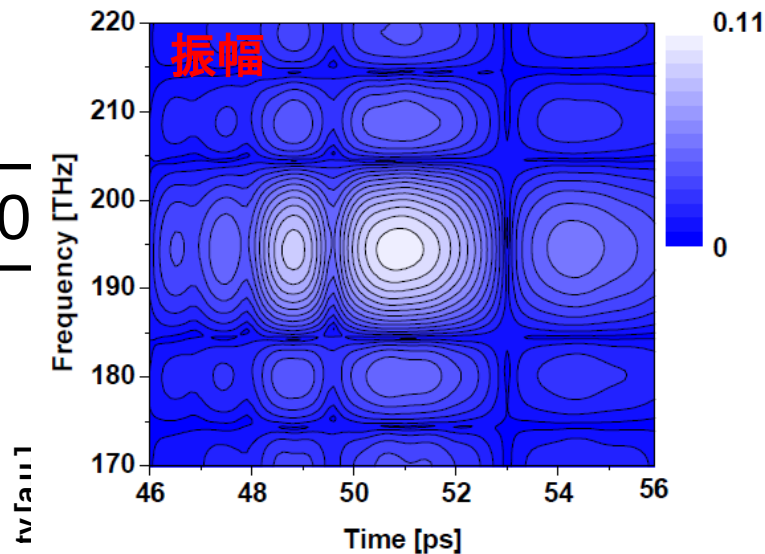
⇒ 任意の二波長を抽出

利点

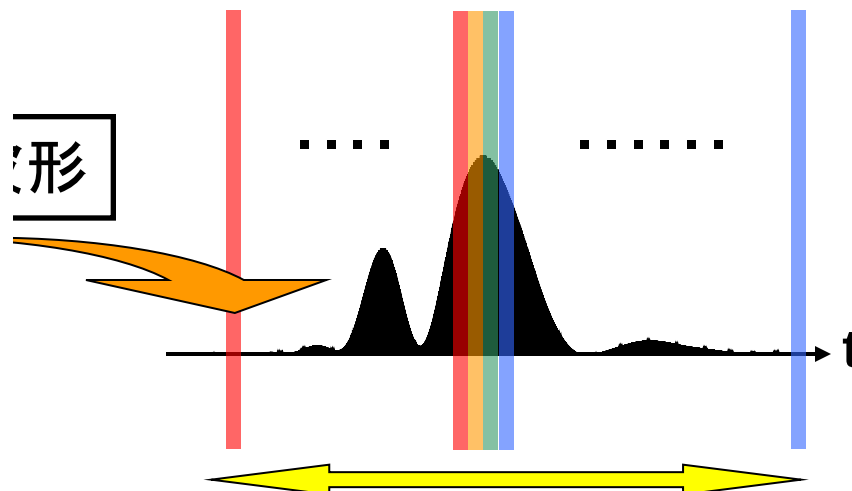
- ・ 任意の周波数間隔での計測
- ・ 並列計測 ⇒ 高速化



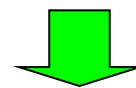
電界スペクトルの解析



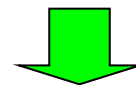
波形



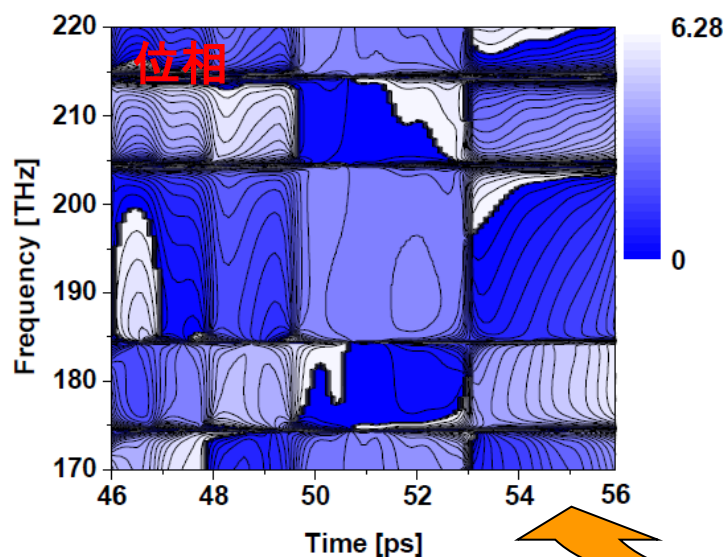
時間領域で100分割



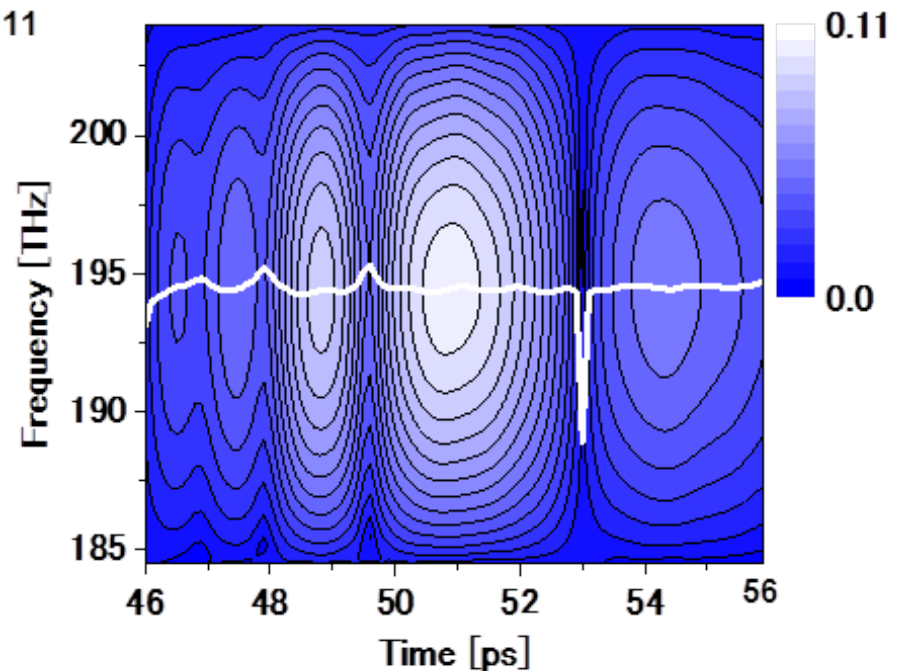
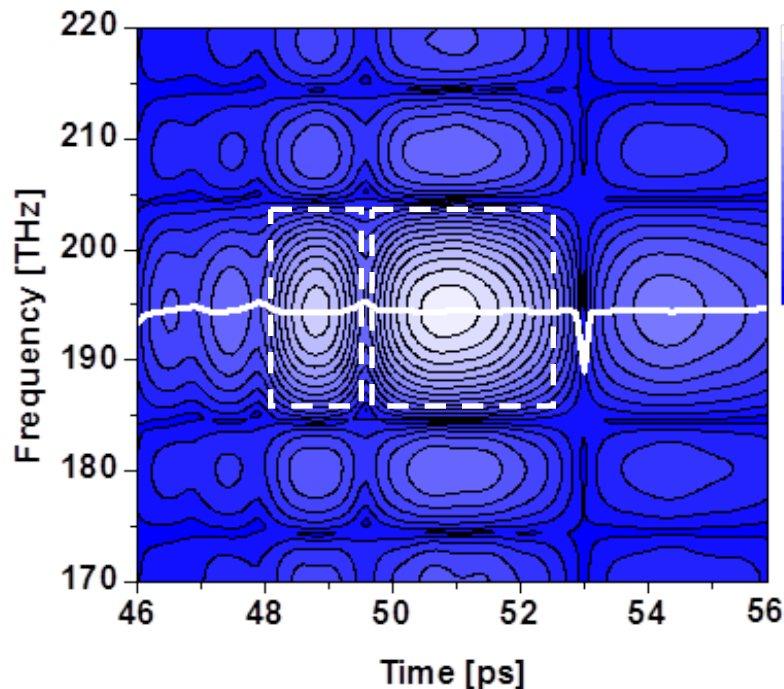
区間ごとにフーリエ変換



時間・周波数領域でマッピング



振幅トレース

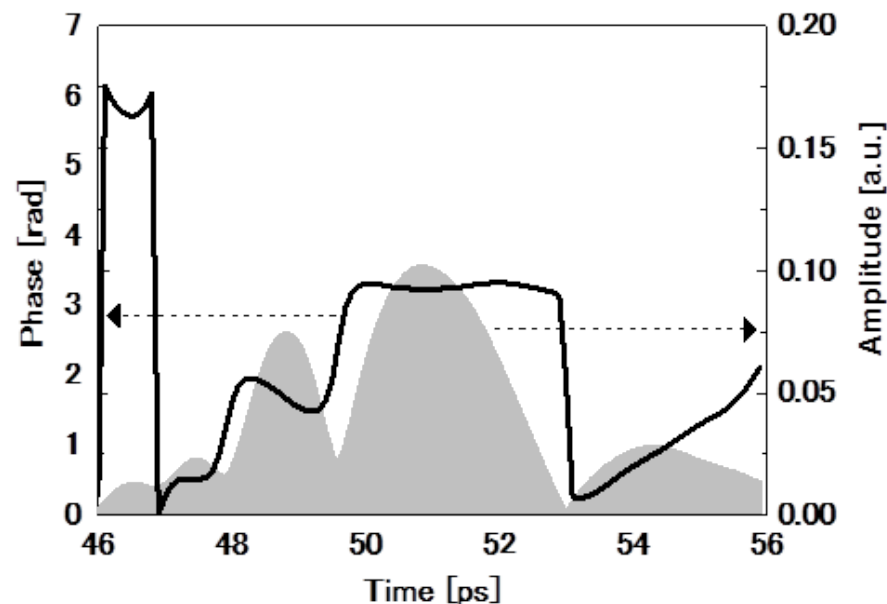
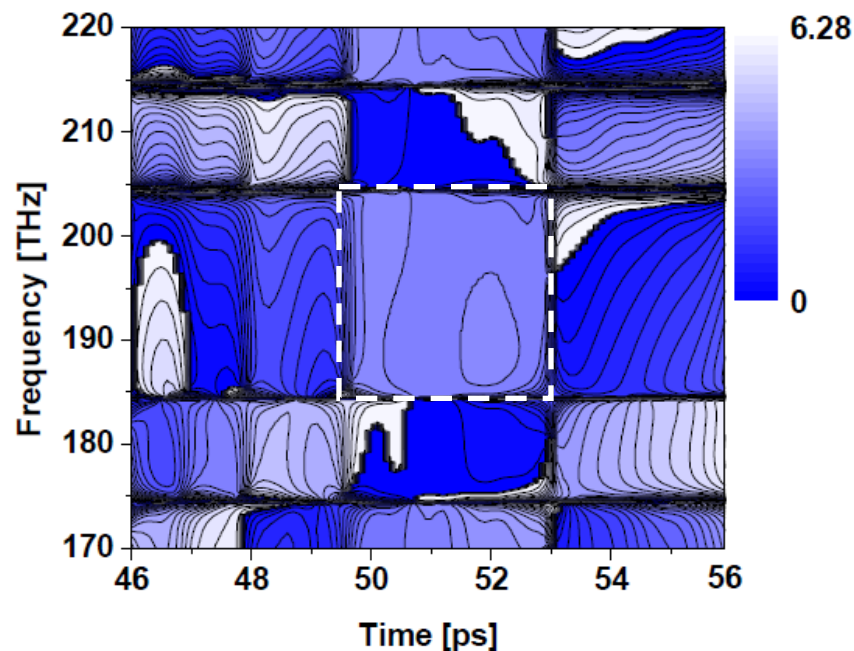


二つの大きなピークと多数の小さなサイドローブが見られる
振幅のピークとなる周波数に大きな変化なし



チャープの影響は小さいものと推測

位相トレース



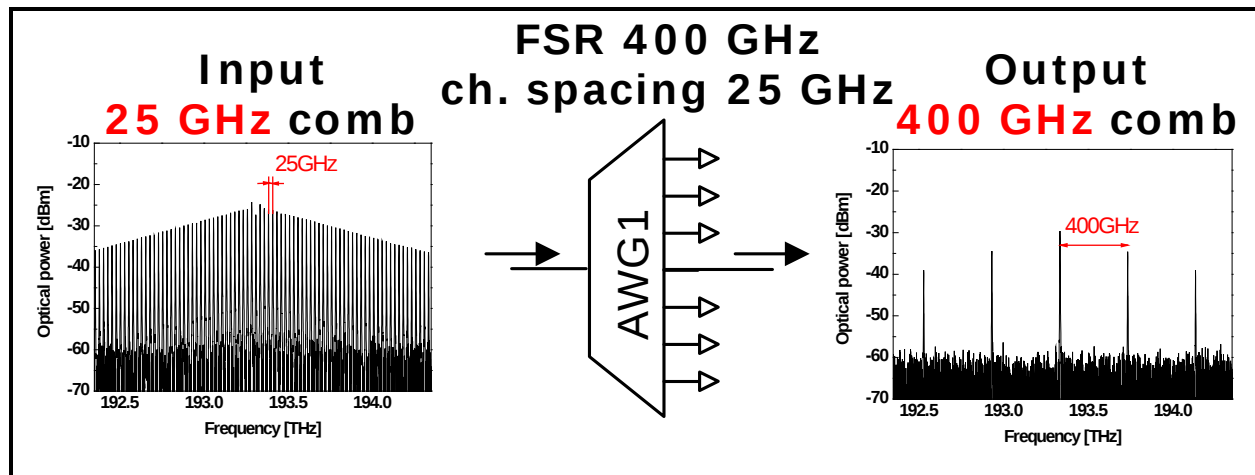
中心のパルス内部の位相変化はわずか



チャープの影響は小さいものと推測



高速光波形計測実験系



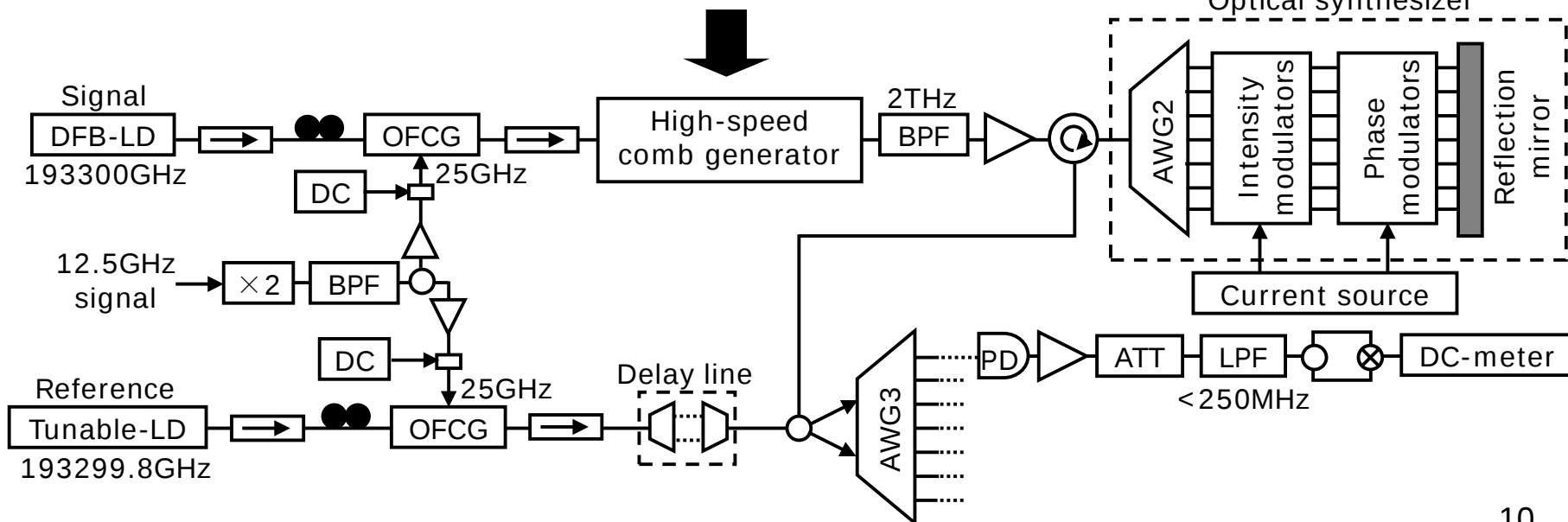
光シンセサイザの仕様

AWG

FSR 375 GHz
ch. spacing 25 GHz

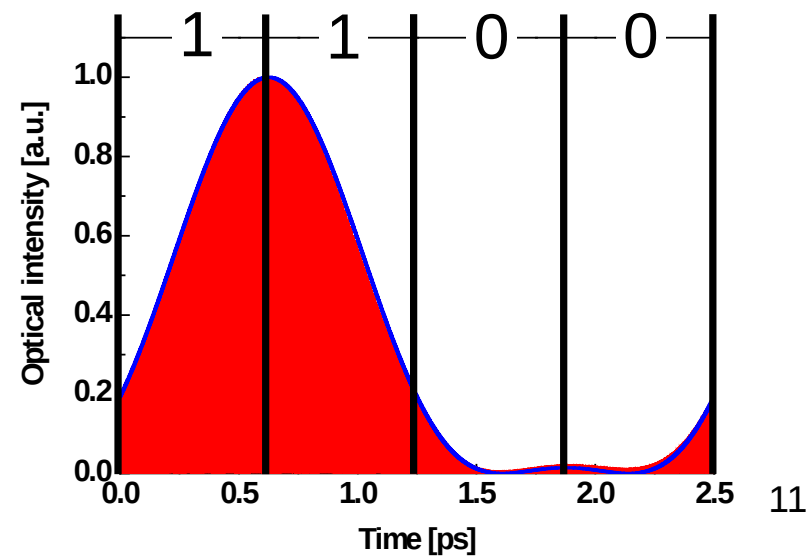
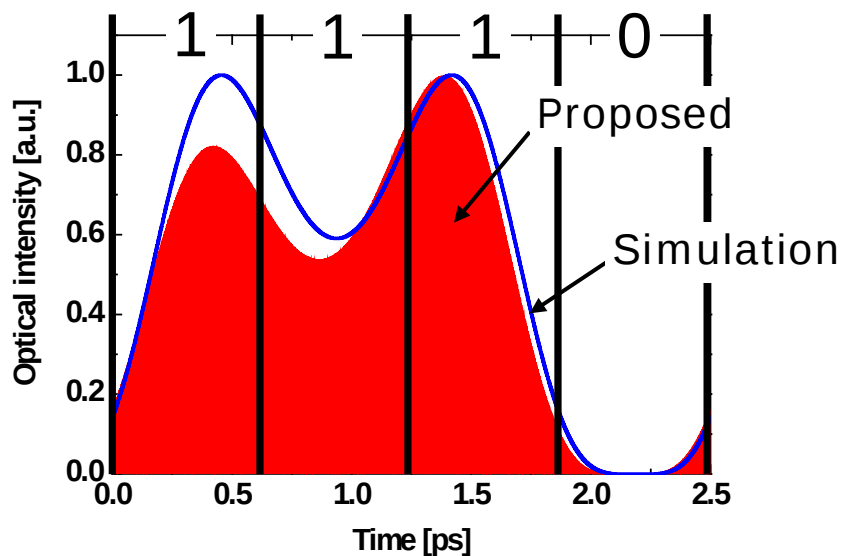
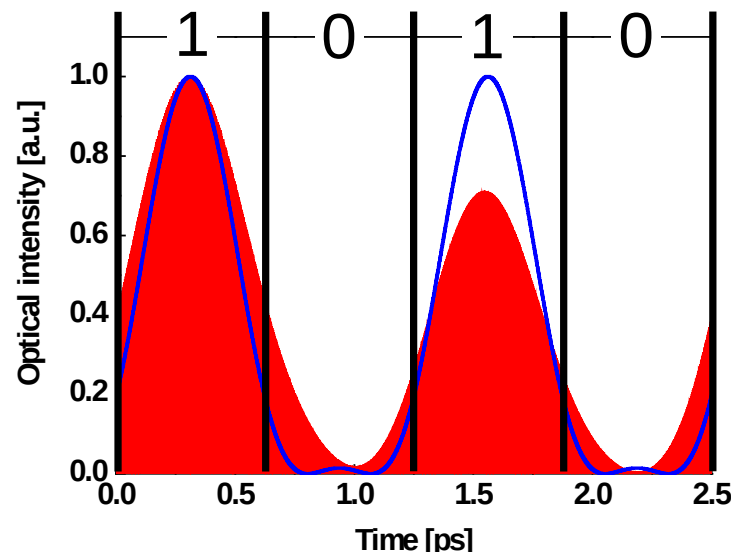
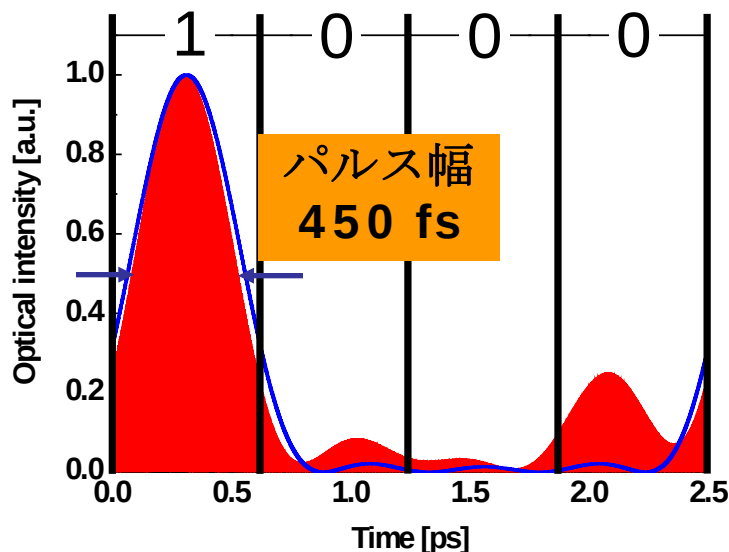
Modulators

Attenuation > 25 dB
Phase adjusting > 2π



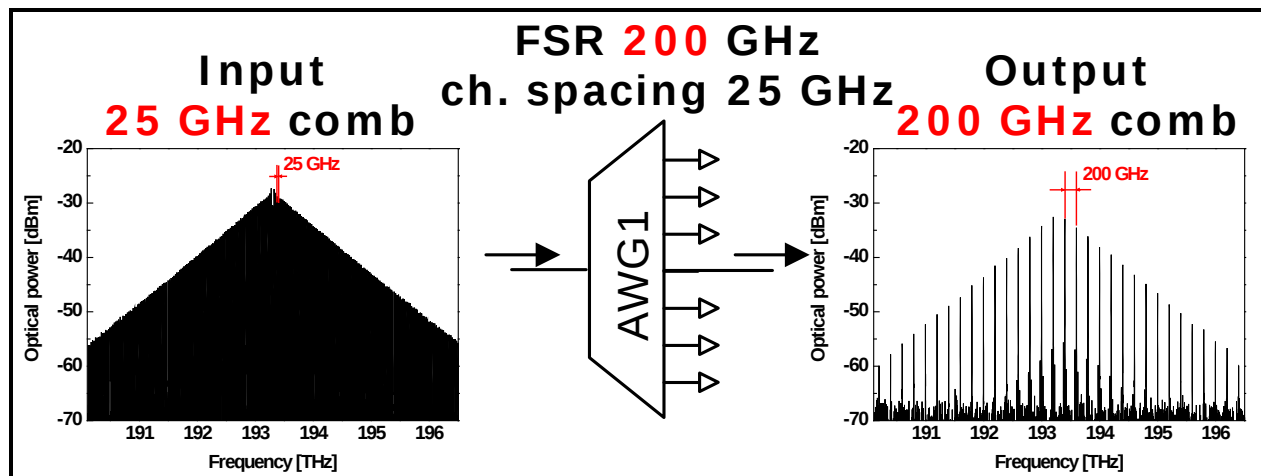


2THzデジタル変調光波形の計測



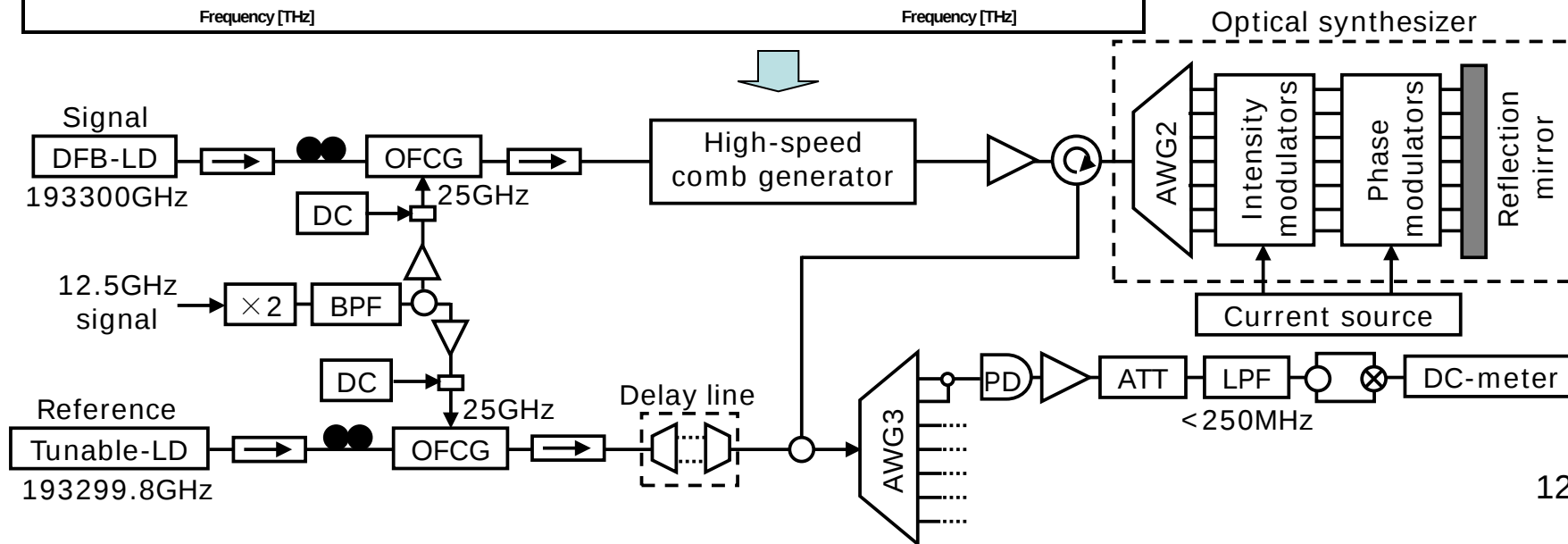
光信号の高速・高密度化

6.4 THz帯域 200 GHzコムで3.2 Tbit/s 16 bit デジタル光信号の生成・計測

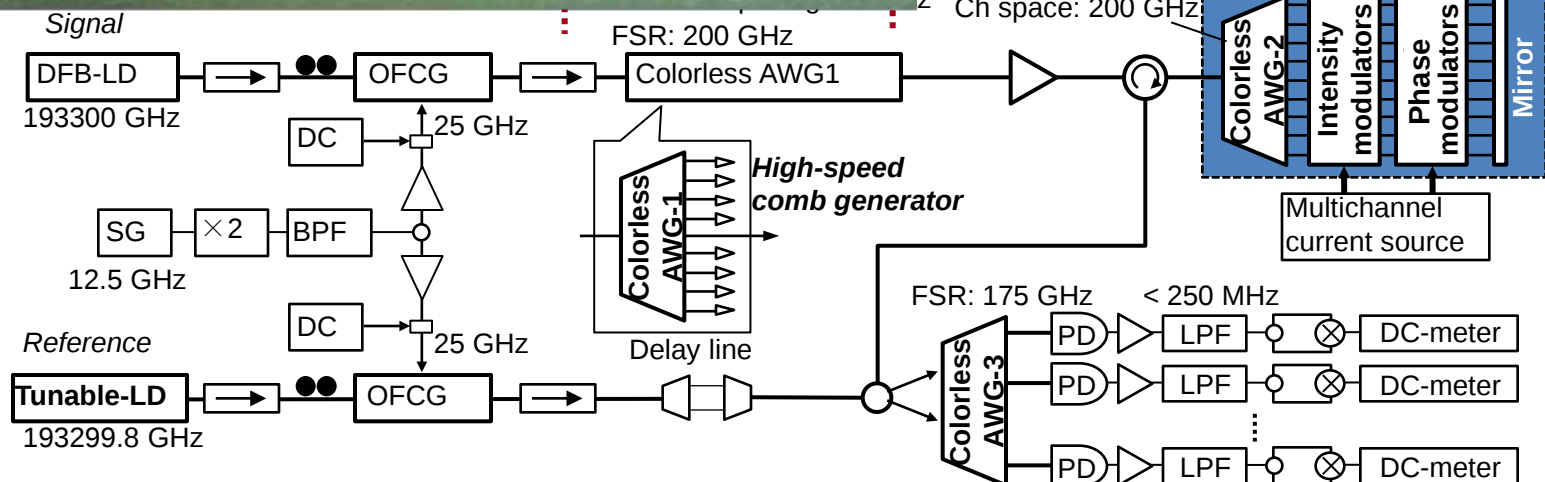
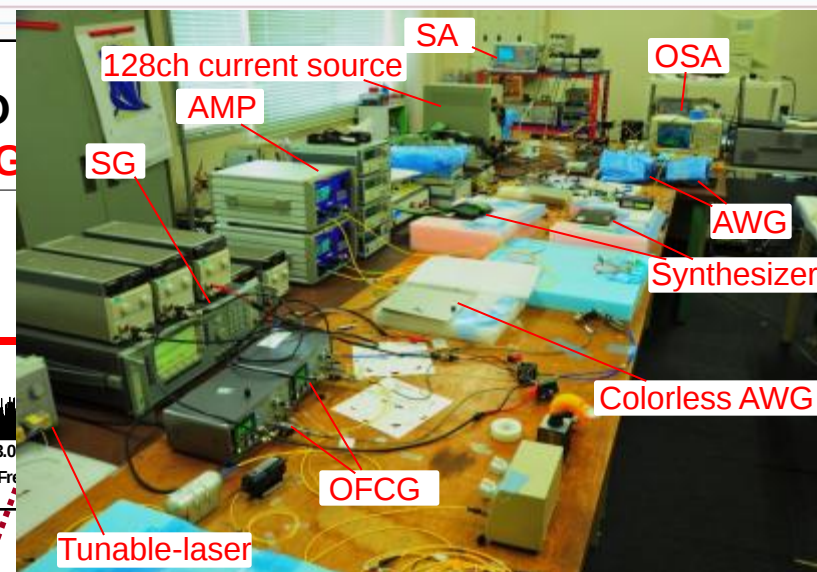
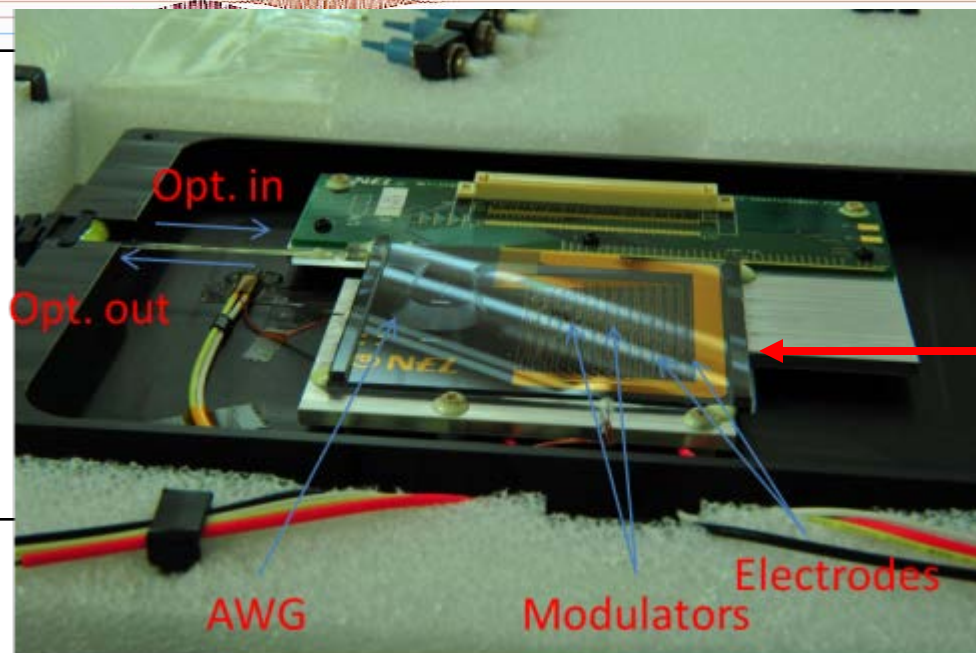


光シンセサイザの仕様

AWG
ch. spacing 200 GHz
ch. number 40
Modulators
Attenuation > 25 dB
Phase adjusting > 2π



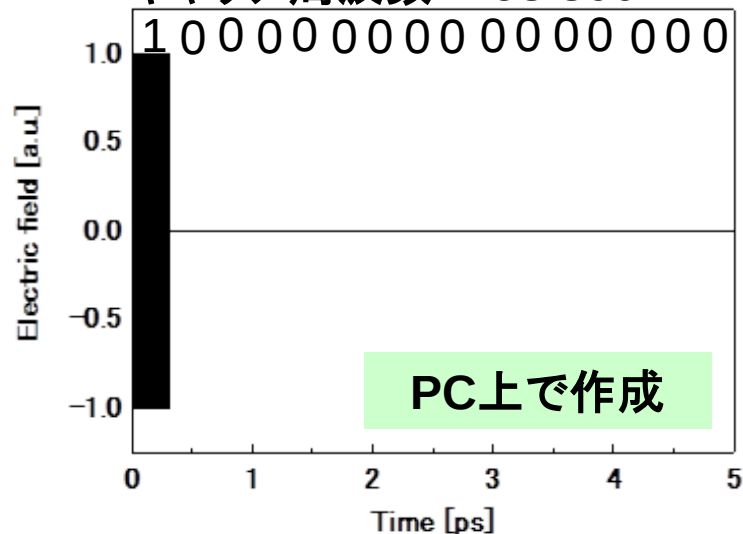
Setup for holographic optical frequency comb synthesizer and analyzer



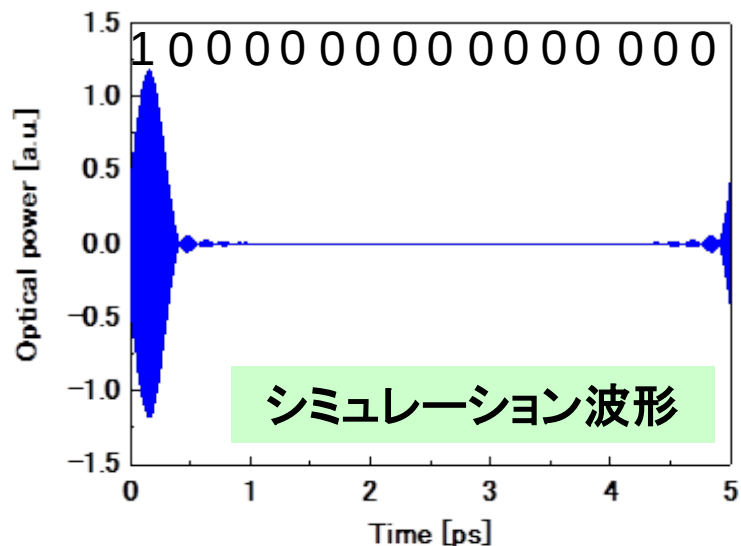
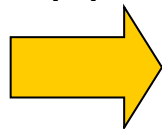


強度・位相スペクトルのシミュレーション

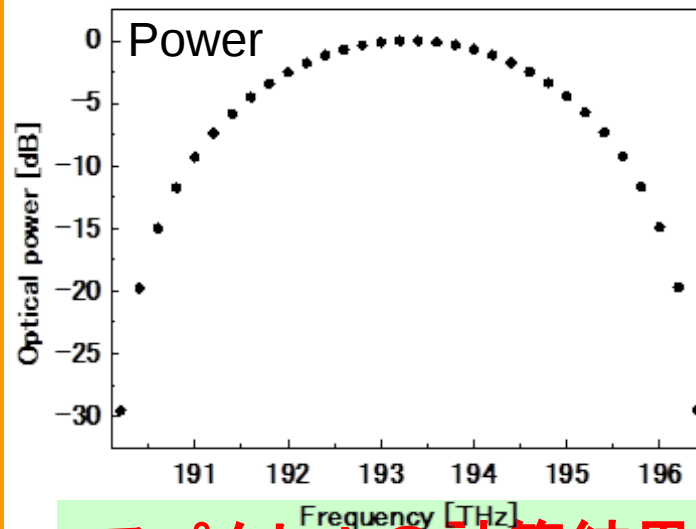
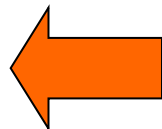
キャリア周波数 193.300 THz



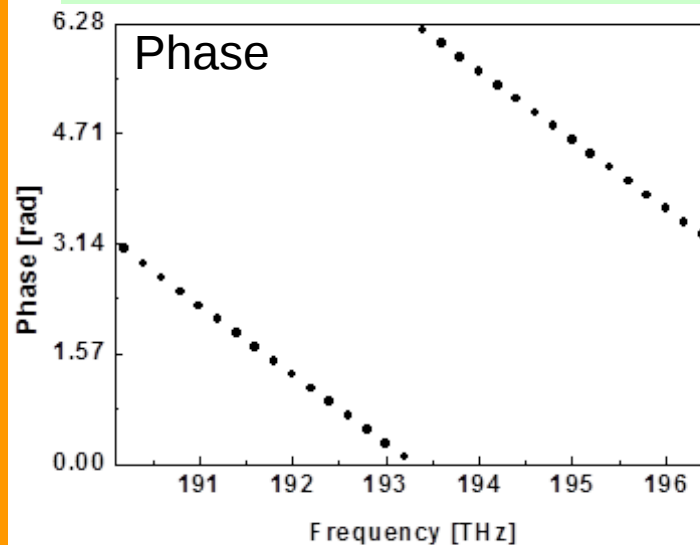
FT



IFT



スペクトルの計算結果



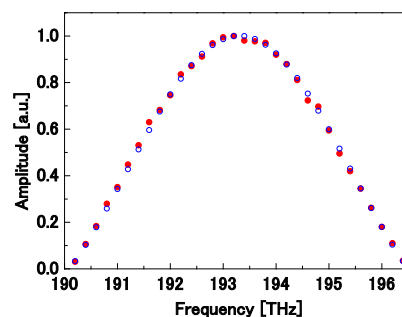
Spectra

3.2 Tbit/sec 16 bit packets

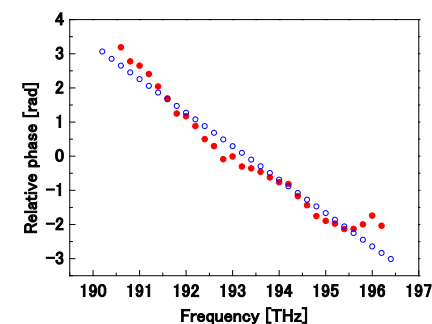
1000000000000000



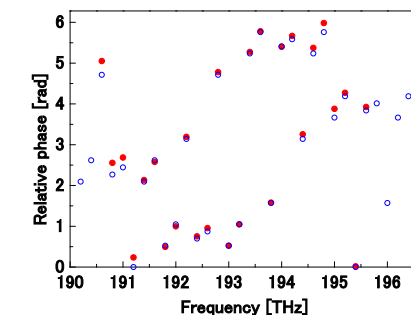
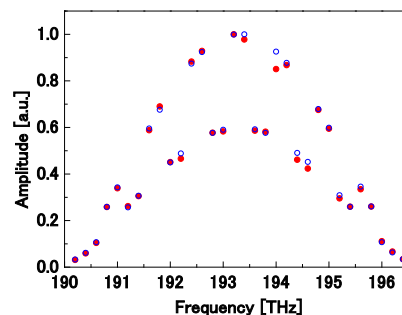
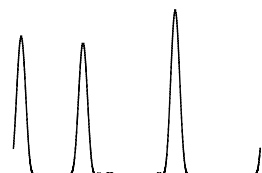
Amplitude



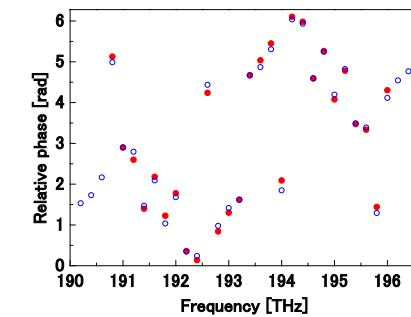
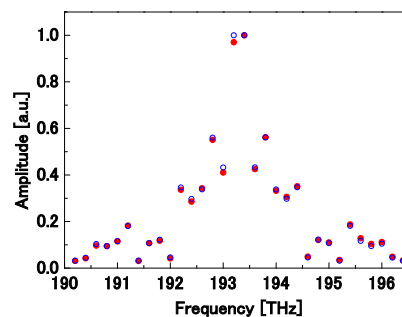
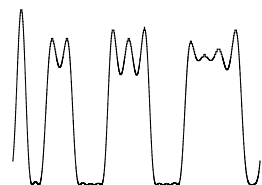
Phase



100010000010000

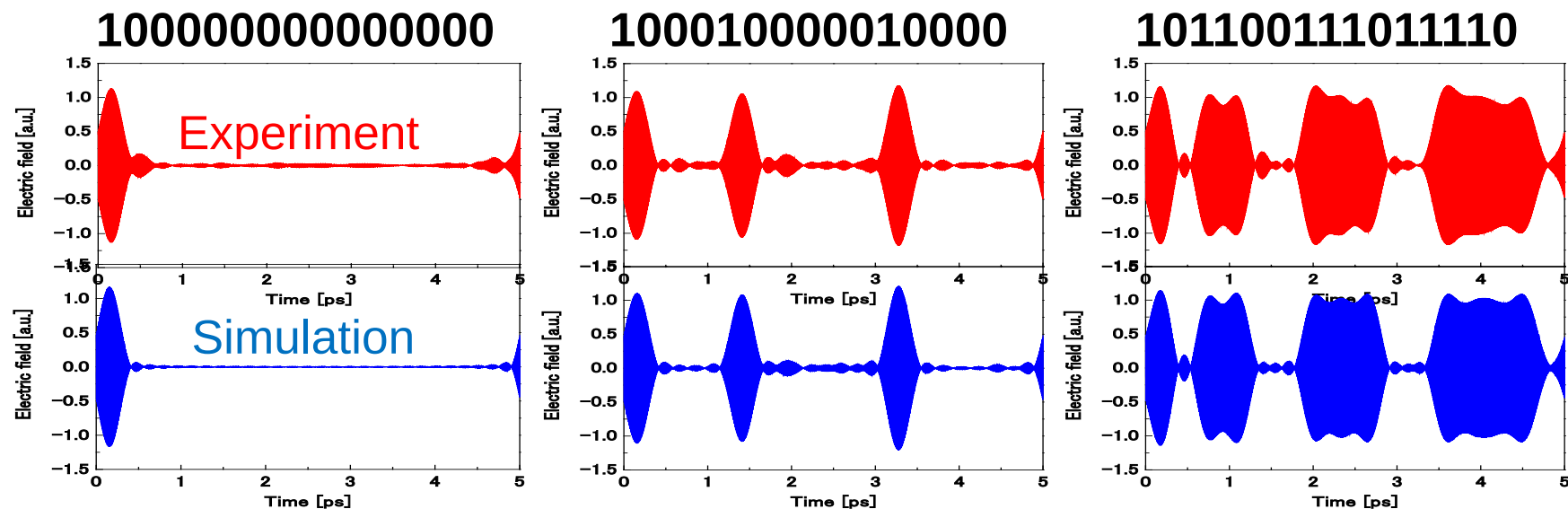


101100111011110

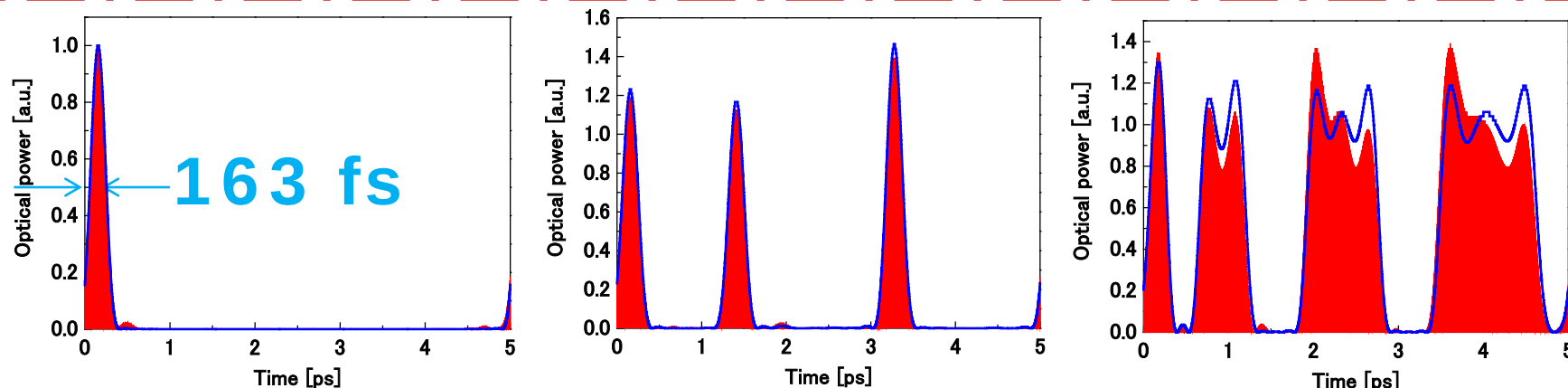


Waveforms

ELECTRIC FIELD



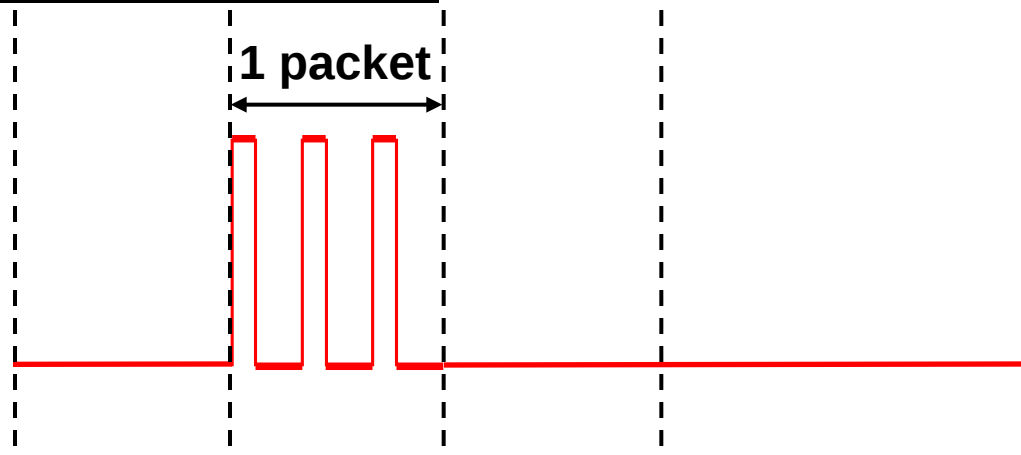
INTENSITY



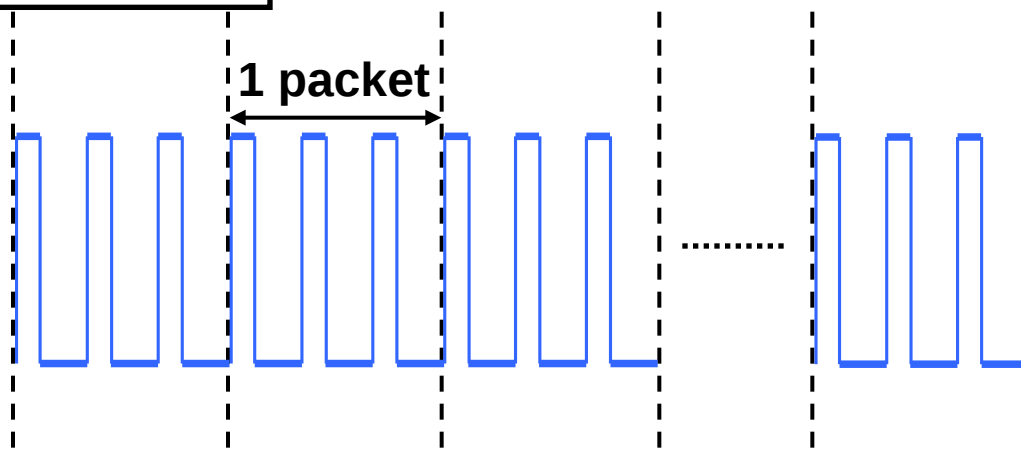


シングルショット計測の実現

シングルショット

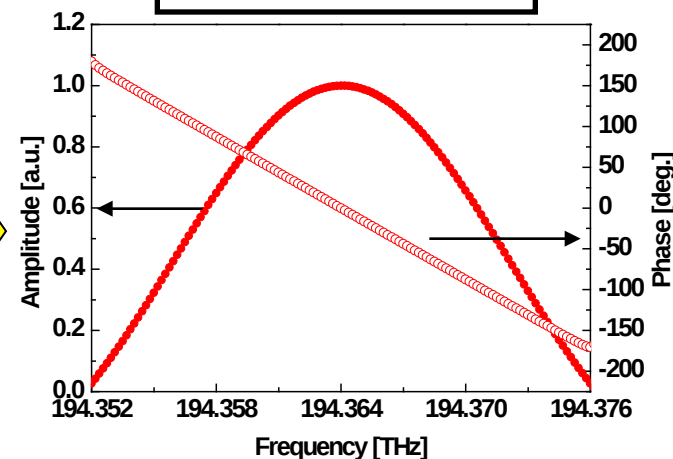


繰り返し

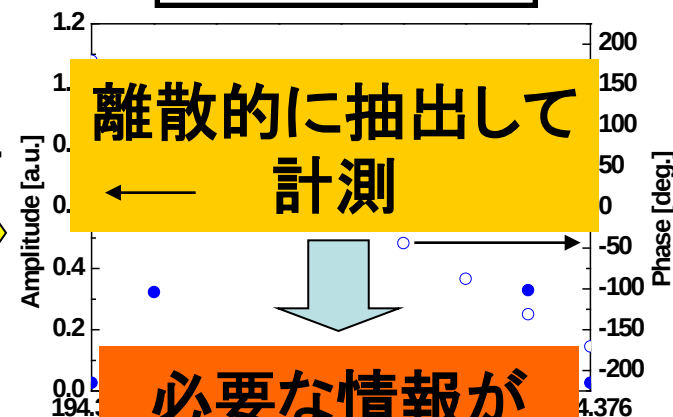


FFT
→

連続スペクトル



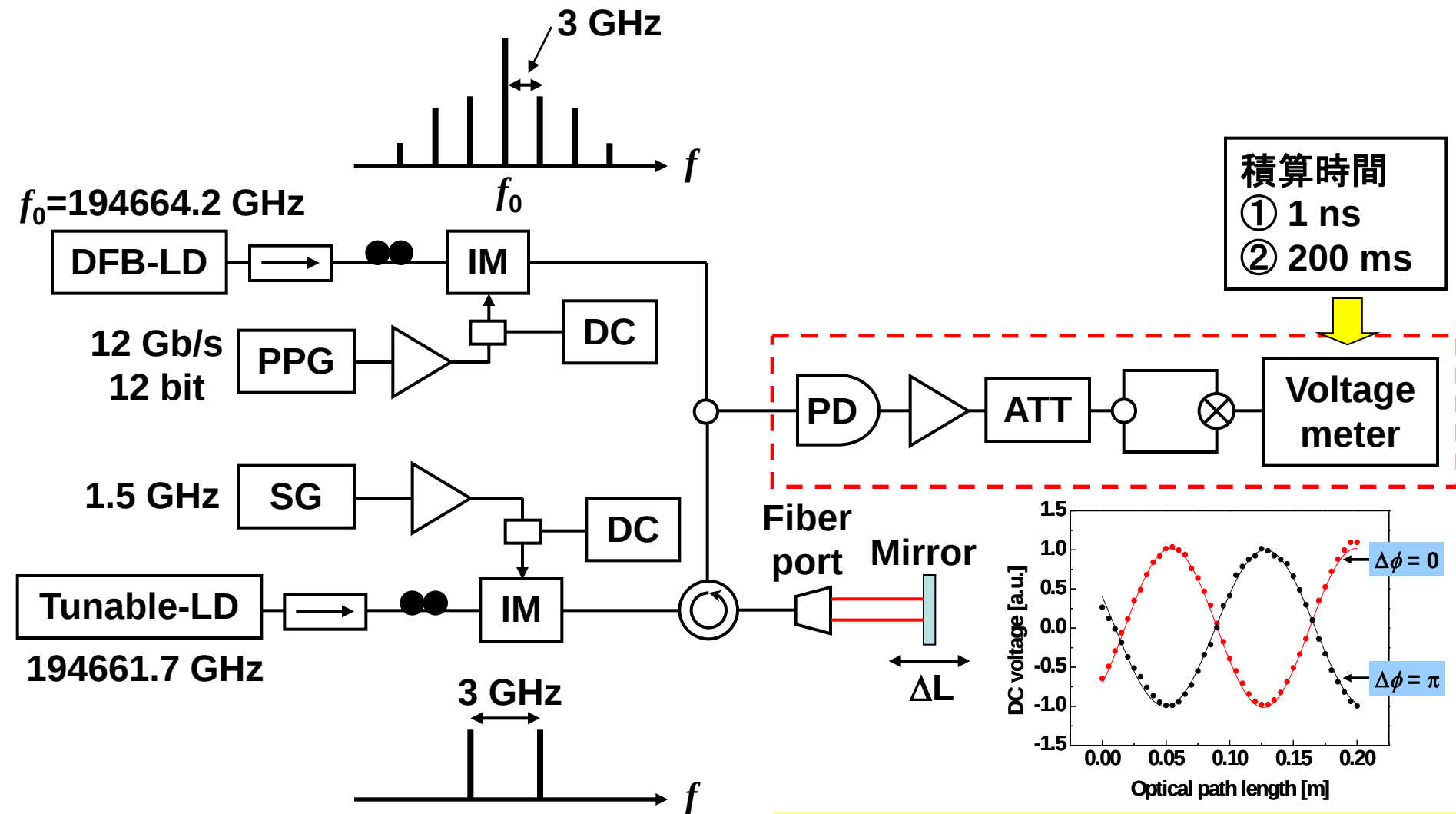
離散スペクトル



必要な情報が
取得可能



シングルショット計測の原理確認実験

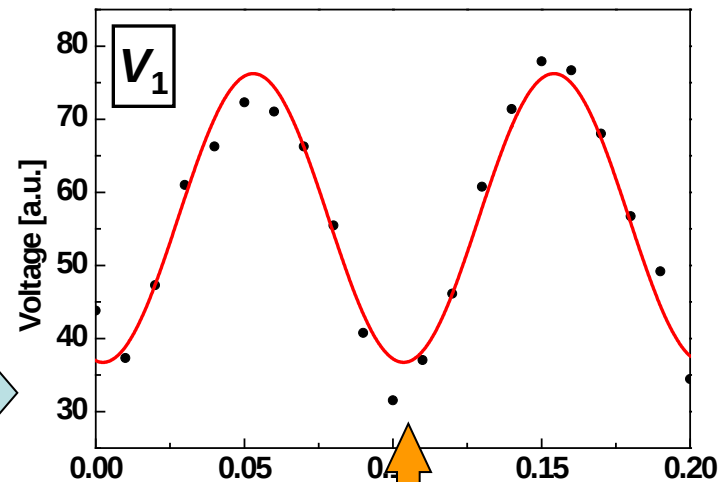
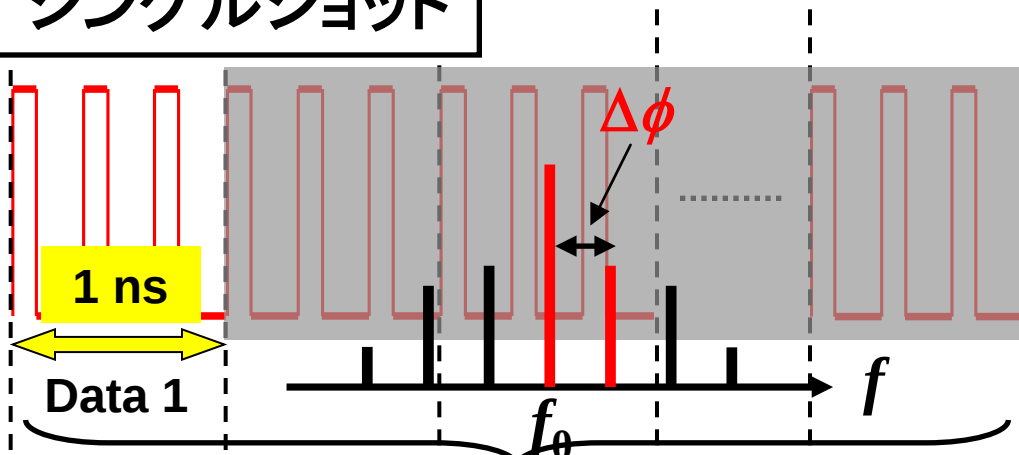


$$V_{DC}(\phi, L) = \text{Bias} + \beta \cos[\Delta\phi + \gamma\Delta L]$$

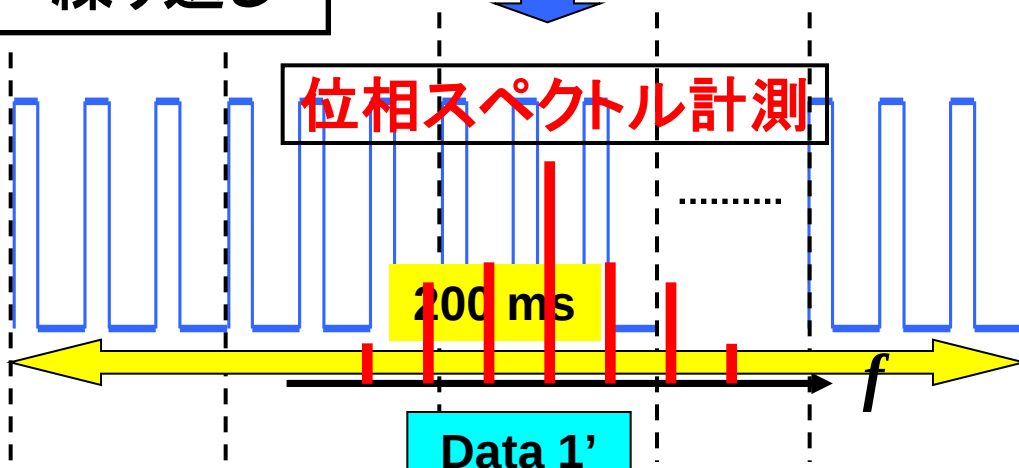


シングルショット $\Delta\phi$ 計測

シングルショット



繰り返し

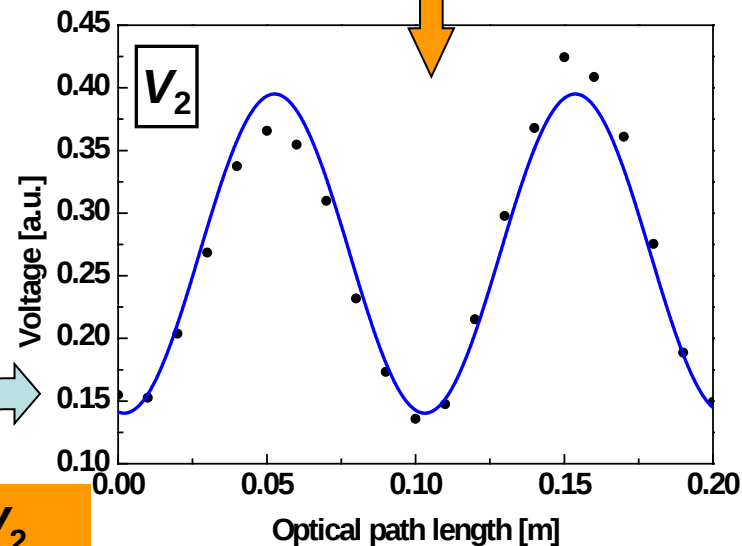


位相スペクトル計測

1万点平均

電圧 V_1

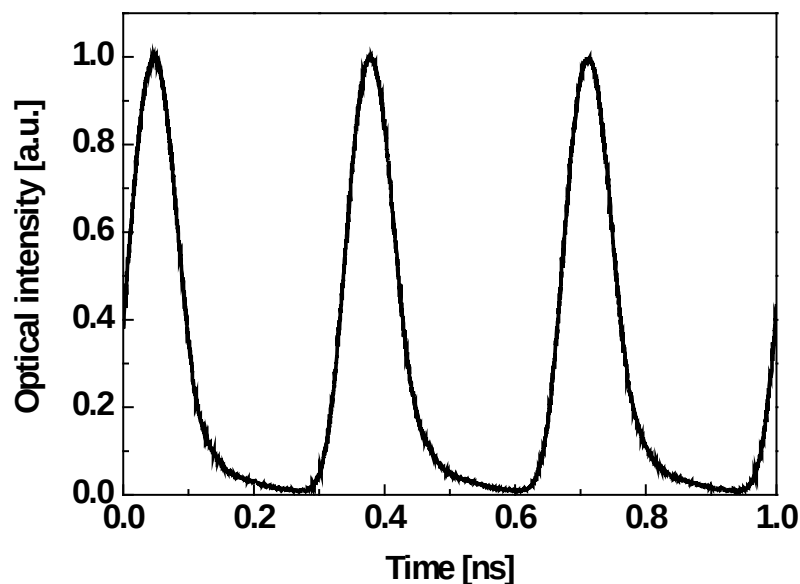
位相差 0.004λ



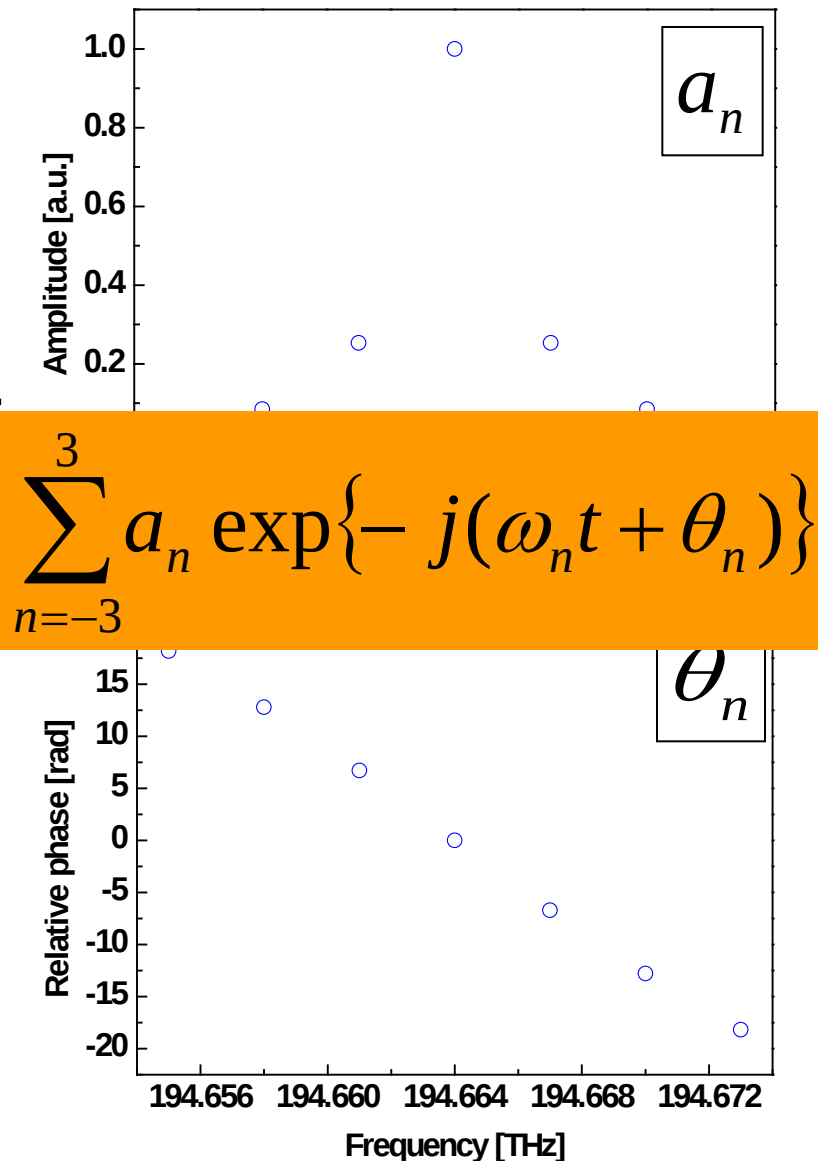
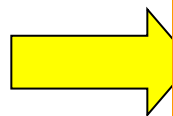
電圧 V_2

オシロ波形からスペクトル

オシロ波形

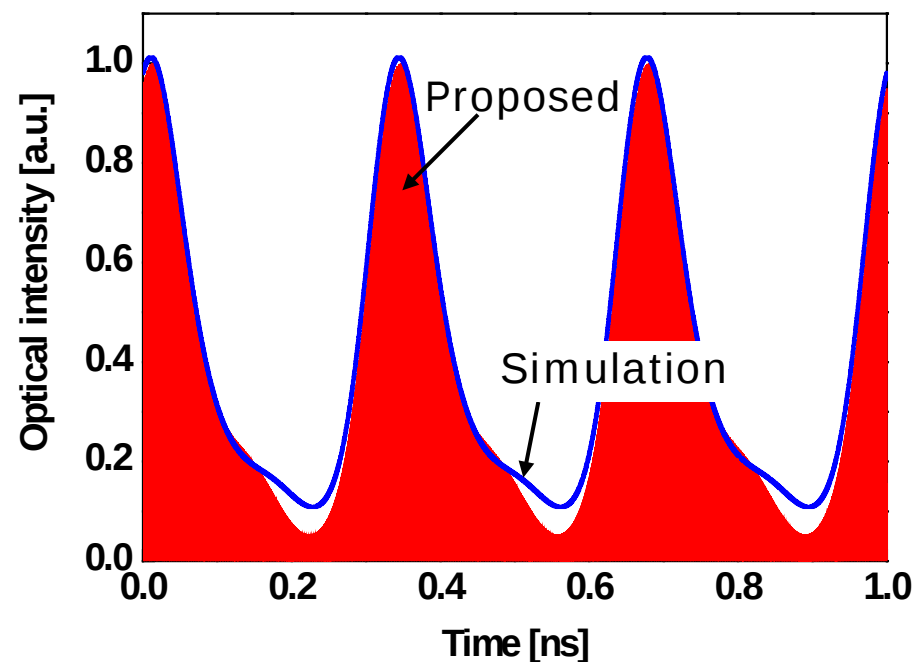
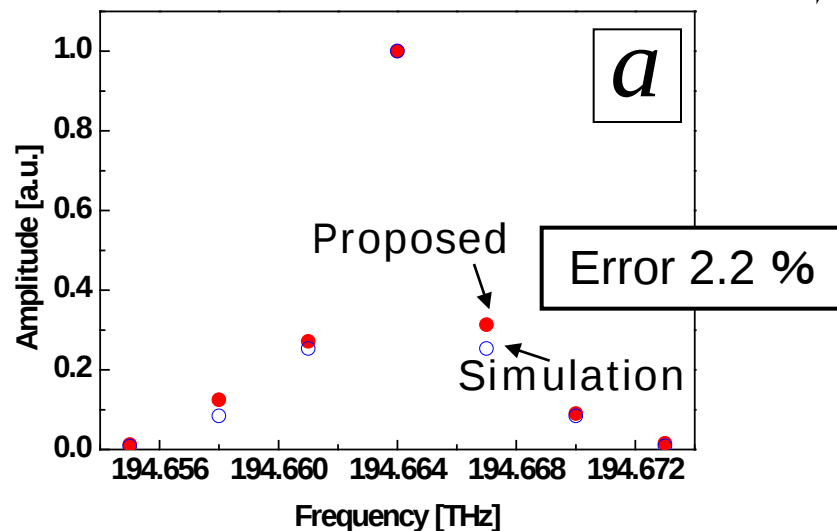
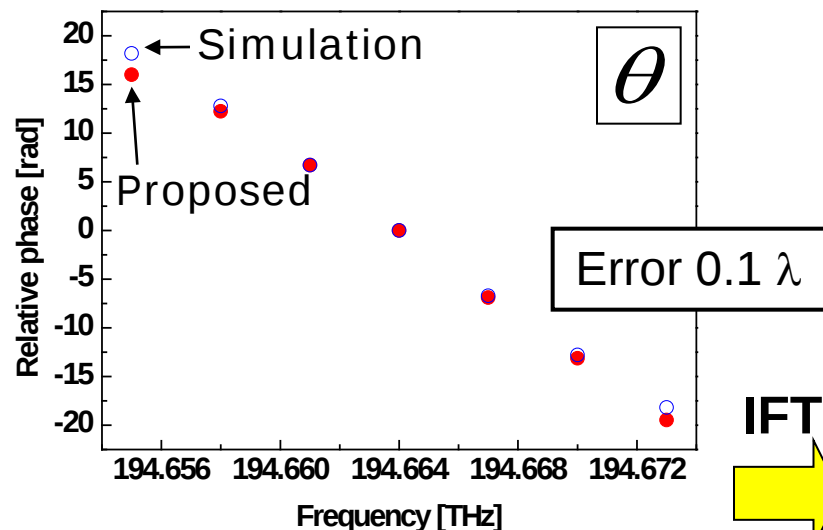


FFT





シングルショット波形計測



サンプリング時間1nsでの
波形計測の実証

成果発表

【新聞報道】



【受賞】

1. 塩田達俊「コニカミノルタ画像科学奨励賞」、「(X-Z軸)断層画像デジタルカメラ&ムービーの実現へ向けた新規光学システムの開発と基礎検討」コニカミノルタ画像科学振興財団、2011年3月7日
2. 塩田達俊「インテリジェント・コスモス奨励賞」、「二波長同時ヘテロダイン検波法の開発」インテリジェント・コスモス振興財団、2010年5月17日

【学術論文】

1. Tatsutoshi Shioda, Naoya Shimizu, "Three-wavelength parallel optical fiber dispersion measurement using dual-heterodyne mixing," App. Opt. 51 (27) (2012).
2. Tatsutoshi Shioda and Toshiaki Yamazaki, "Ultrafast Optical Frequency Comb Synthesizer and Analyzer," Opt. Lett., doc. ID 170389 (posted 8 August 2012, in press).
3. Toshiaki Yamazaki, Mitsuru Kuzuwata, and Tatsutoshi Shioda, "Spectral Waveform Measurement of 2 THz Optical Frequency Comb by Dual Heterodyne Mixing Method," J. Opt. Soc. Am. B 29 (7), pp.1707-1711 (2012).
4. Tatsutoshi Shioda, Takashi Morisaki, and Kohei Suzuki, "Range expansion of single-shot 2-dimensional tomography in combination of VIPA & spatial phase modulator," Appl. Opt. 51 (21), pp.5224-5230 (2012).
5. Tatsutoshi Shioda, "Arbital optical waveform synthesizing and analyzing in terahertz frequency region," Chem. Industry 63 (8), pp.577-583 (2012).
6. Tatsutoshi Shioda, Kenichiro Fujii, Ken Kashiwagi and Takashi Kurokawa, "High-Resolution Spectroscopy Using Interleaved 100 GHz Optical Frequency Comb Scanned by Phase Modulator," Opt. Commun. 284 pp.5180-5184 (2011).
7. Tatsutoshi Shioda, Takashi Morisaki, and Hiroshi Ono, "Single-shot tomography by means of VIPA & SPM installed optical interferometer," Opt. Commun. 284 pp. 144-147 (2011).
8. Tatsutoshi Shioda, and Toshiaki Yamazaki, "Proposal of Dual-Heterodyne-Mixing Method and Application to High-speed Waveform Measurement Using Low-speed Equipments," Opt. Commun. 28 pp.4733-4740 (2010).

まとめ

- 25 GHz光周波数コム之光電界(振幅・位相)スペクトルを計測した.
- ホログラフィック光周波数コムシンセサイザ/アナライザを開発した.
- 2 Tbit/s 4bitデジタル信号を生成・計測した.
- 3.2 Tbit/s 16 bitデジタル信号も確認した.
- シングルショット波形計測への適用可能性を示した.