

デュアルEOコム分光法による自動補間法における 三角波電圧波形の最適化

Optimization of triangle voltage waveforms in the automatic interpolation method

東京電機大学 工学部 電子システム工学科
光応用工学研究室 ○光岡 佑馬

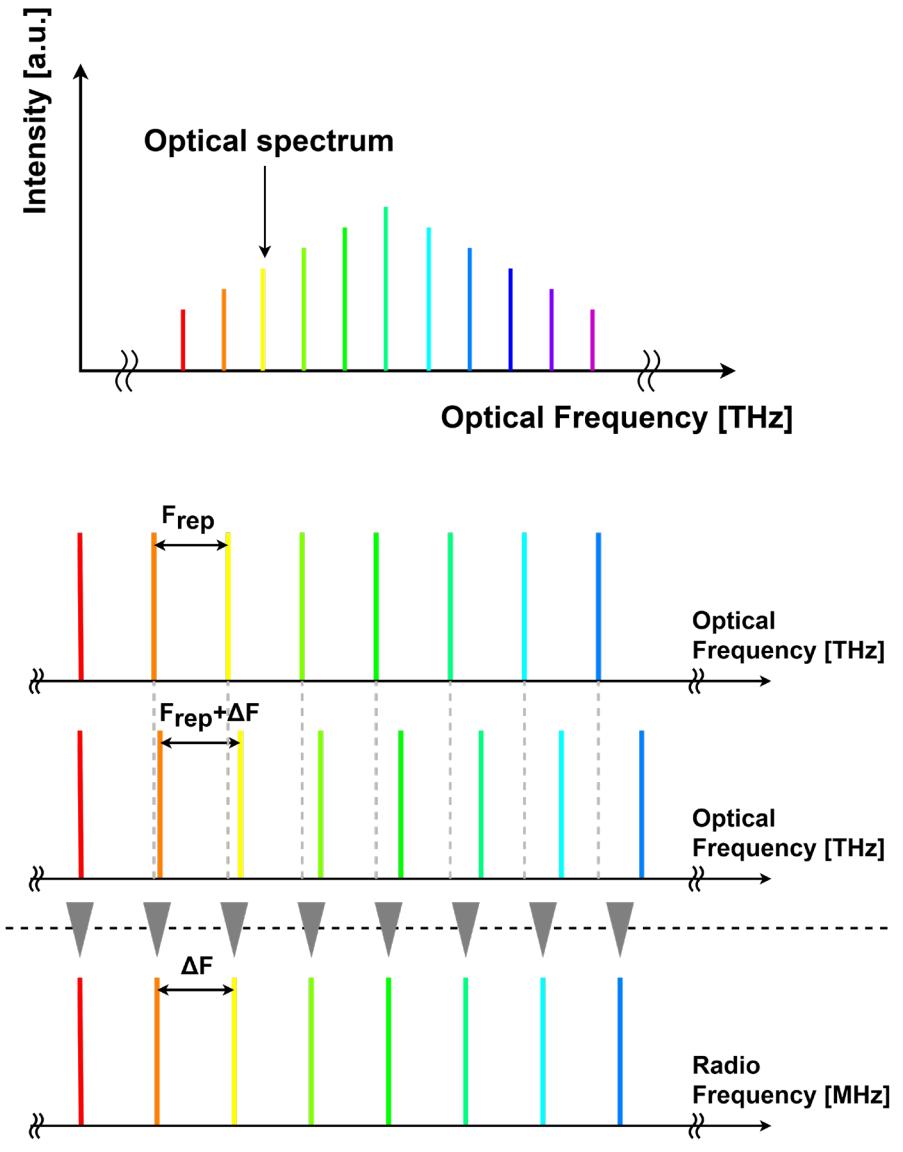
■ 光周波数コム（光コム）

輝線スペクトルが周波数軸上に等間隔に並ぶパルスレーザ

- 周波数領域: 数百THz (光領域)
 - 測定器の計測速度が追い付かない ×
 - 周波数領域を下げたい...

■ デュアルコム分光法

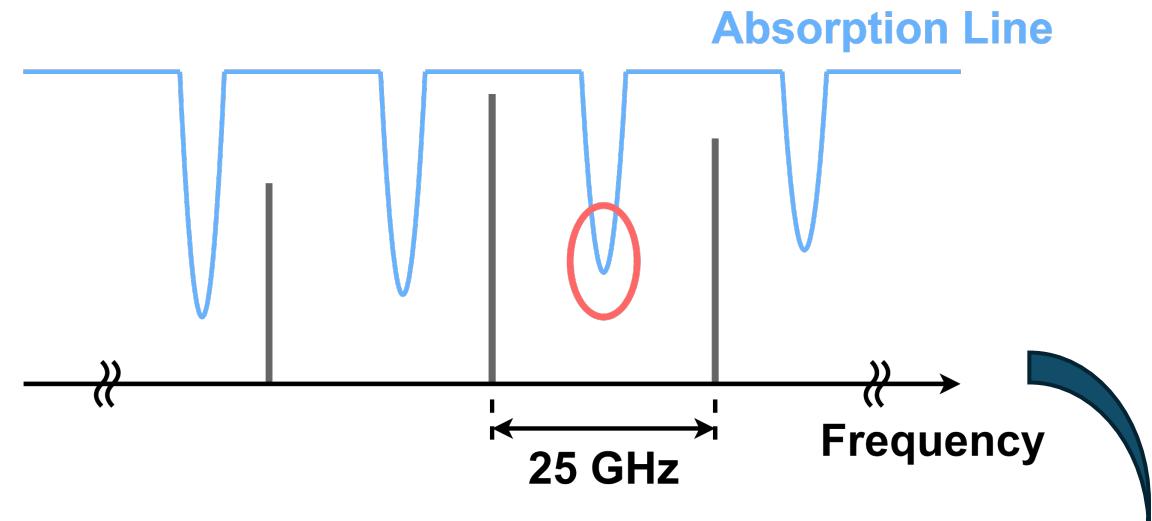
- モード間隔がわずかに異なる2つの光コムを用いる
 - Comb 1: F_{rep} Comb 2: $F_{rep} + \Delta F$
- 2つの光コムを干渉させる(うなり)
 - 光領域 → RF領域 (RF: Radio Frequency)
 - 測定器での計測が可能に! ○
- RFコムのモード間隔
 - 2つの光コムのモード間隔の差で決まる
 - $(F_{rep} + \Delta F) - F_{rep} = \Delta F$



自動補間法の原理

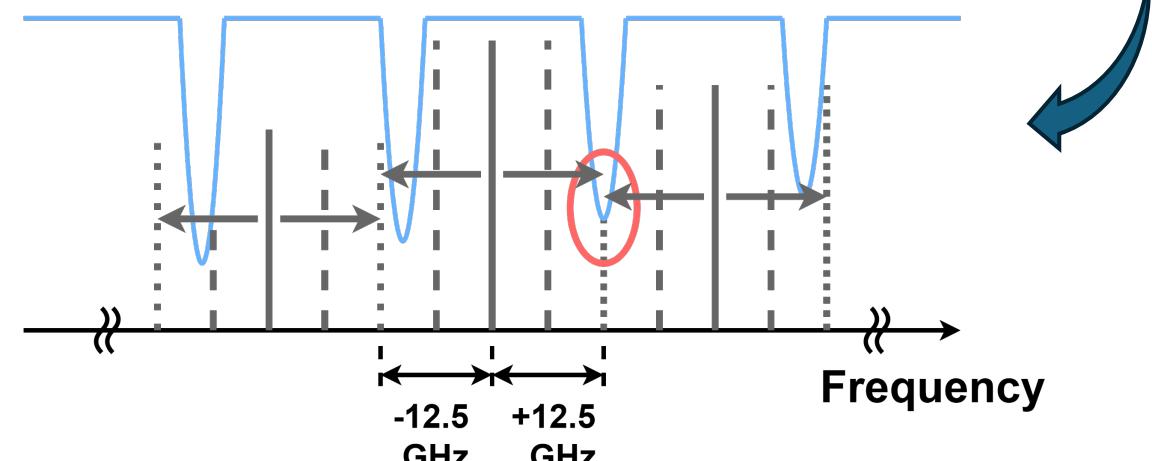
■ 補間をする前の光スペクトル

- モード間隔内に光強度がない ×
 - 分子が光を吸収しない ×
 - 吸収線の計測が行えない ×
- EOコムによる分子分光法
 - 低分解能 ×



■ 補間をした後の光スペクトル

- 輝線スペクトルの周波数シフト
 - モード間隔内を自動で補間
- モード間隔内に光強度がある ○
 - 分子が光を吸収してくれる ○
 - 吸収線の計測が行える ○
- 高分解能な計測が可能 ○



音響光学変調器 (AOM)

■ デュアルEOコム分光法の実現法

- 2つのEOコムの**中心周波数が同じ**
 - 1つ光源を2つに分岐
 - **光源がどちらも同じ！**

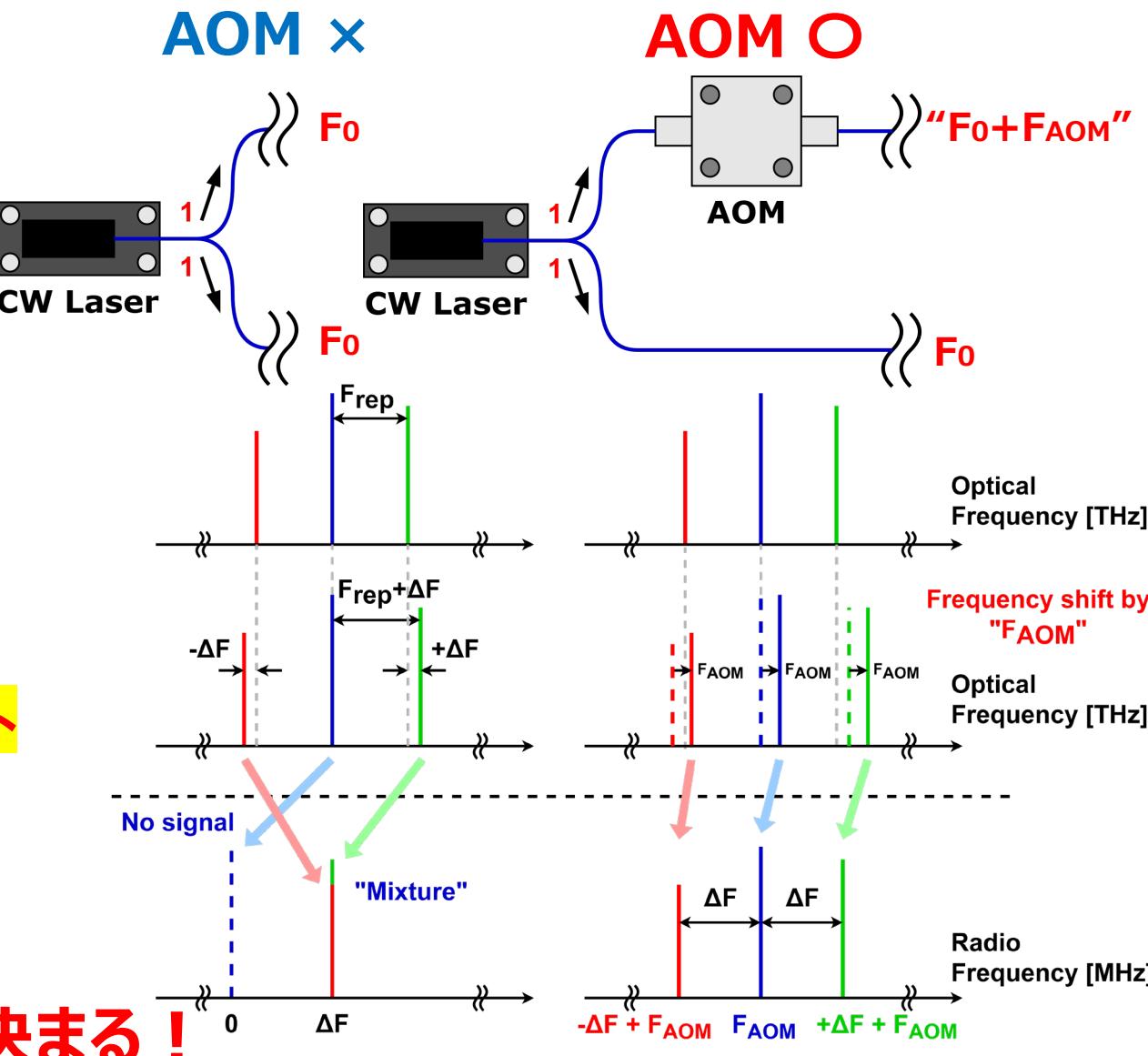
■ AOM がない場合

- 中心スペクトルのうなりが **0 Hz ×**
- RFスペクトルが**混合する ×**
 - 中心から両隣のうなりが**同じ**になる
 - $\Delta F, 2\Delta F, 3\Delta F, \dots$

■ AOM がある場合

- 片側の**EOコム全体をFAOM分周波数シフト**
 - 中心スペクトルのうなりが **$FAOM \neq 0$ ○**
- 低周波・高周波でRFスペクトルを**区別**
 - スペクトルが**混合しない○**

RF コムの中心周波数は FAOMのみ で決まる！

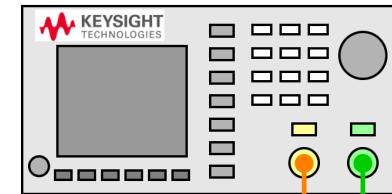


自動補間方法

■ 2CH 波形発生器

- CH1 → AOM へ
 - RF領域の補間を行う
 - 変調波: 正弦波
 - 補間量: $\pm 175 \text{ kHz}$ (350 kHz)
- CH2 → レーザドライバ へ
 - 光領域の補間を行う
 - 変調波: 三角波
 - 補間量: $\pm 12.5 \text{ GHz}$ (25 GHz)
 - リニアに変調できる！
- CH1 → CH2 へ同期
 - RF領域と光領域を同期
 - 正確に光領域 → RF領域に変換できる！
 - どちらもリニアに変調できる！

Waveform Generator

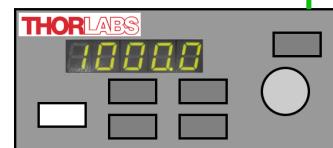


CH1

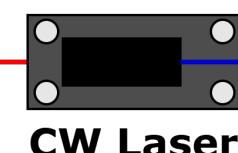
CH2

Triangle

Sin curve



Laser Driver



CW Laser

AOM

$F_{\text{AOM}} \pm 175 \text{ kHz}$

$F_0 \pm 12.5 \text{ GHz}$

やっていたこと

■ データ取得方法 (先行方式)

- データ取得時間 = 三角波半周期

- トリガ信号の少しのずれで正常に補間ができない
- 補間精度の低下 ×

■ データ取得方法 (提案手法)

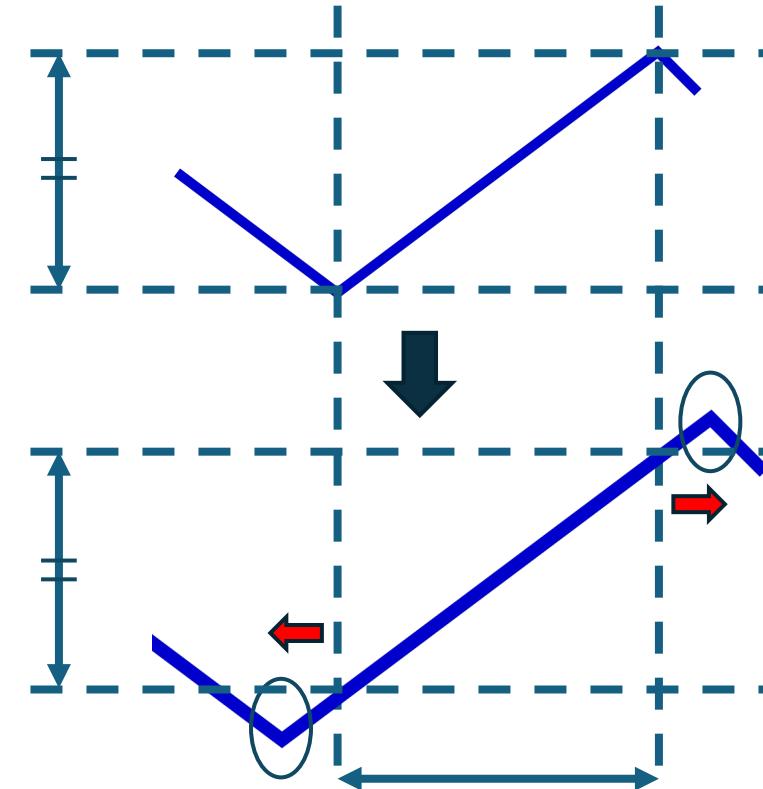
- データ取得時間 < 三角波半周期

- トリガ信号のズレを考慮した設計
- 補間精度の向上 ○、安定したデータ取得

■ 吸収線スペクトルのベースライン補正

- 参照光・透過光スペクトルの強度不均一によるベースラインの傾きを補正

- 近似曲線を算出し、吸収線スペクトルと近似曲線で除算
- ベースラインが1.0の位置できれいに補正



提案手法

■ 各パラメータのセットアップ[°]

● 先行方式

- 周波数シフト量: **25 GHz** (± 12.5 GHz)
- 三角波周波数: **53.6441803 Hz**
- 電圧振幅: **1.380 Vp-p**
- トリガディレイ: **0.004660337 s**

● 提案手法

- 周波数シフト量: **30 GHz** (± 15.0 GHz)
- 三角波周波数: **44.703486 Hz**
- 電圧振幅: **1.698 Vp-p**
- トリガディレイ: **0.006522600 s**

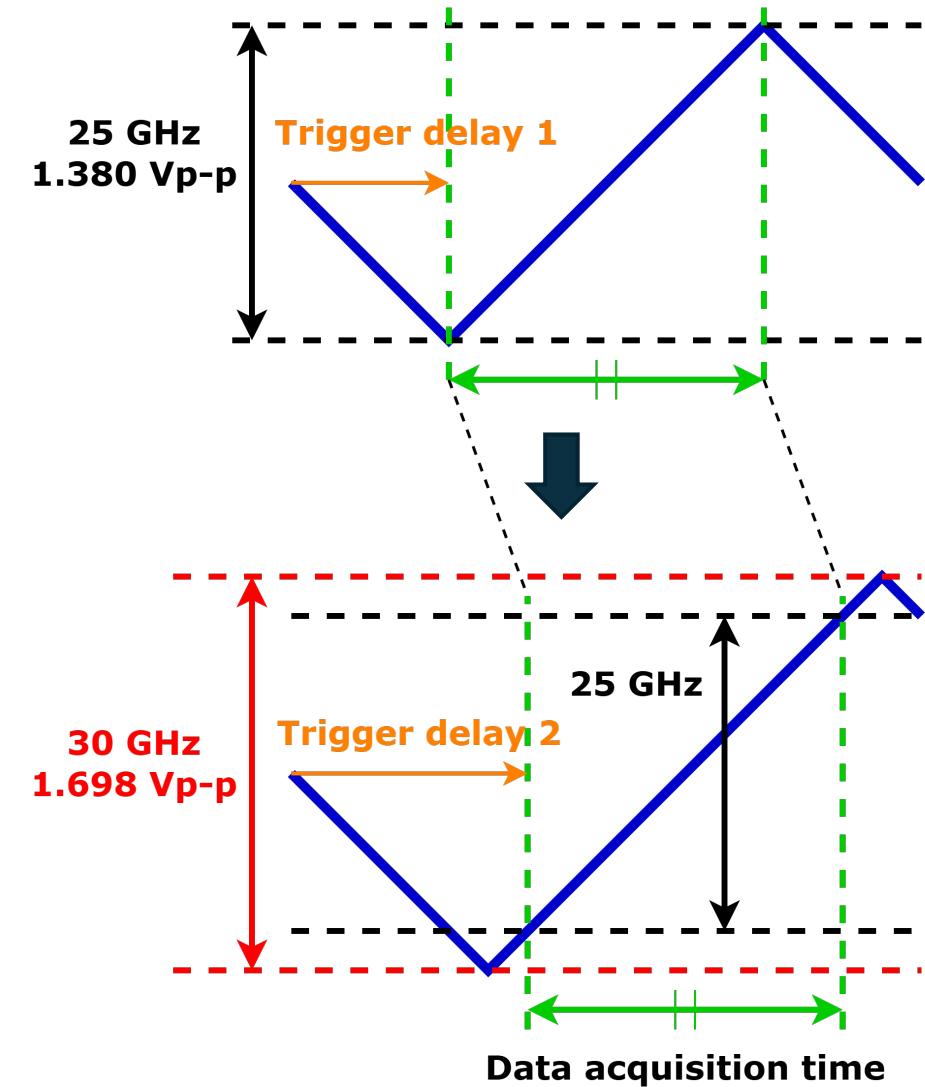
■ データ取得時間

● サンプル数とサンプリングレートで決定

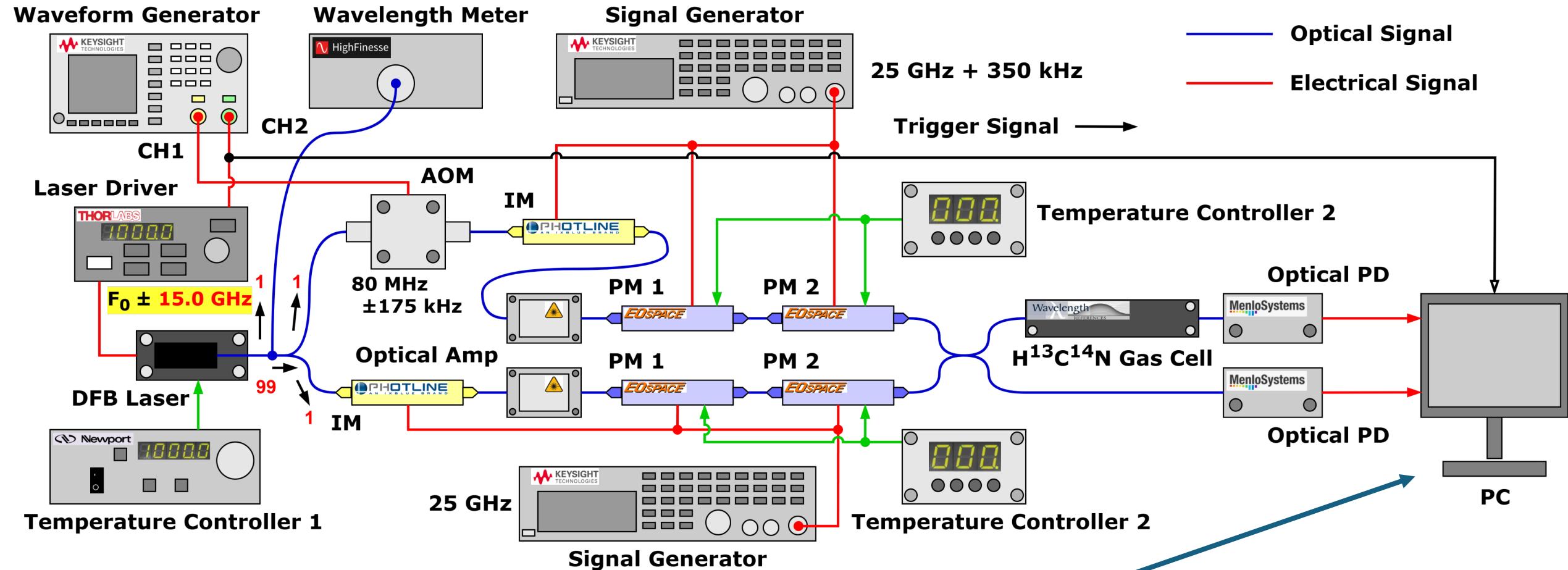
- サンプル数: **16777216 S**
- サンプリングレート: **1.8 GS/s**

6

9.32 ms



実験系

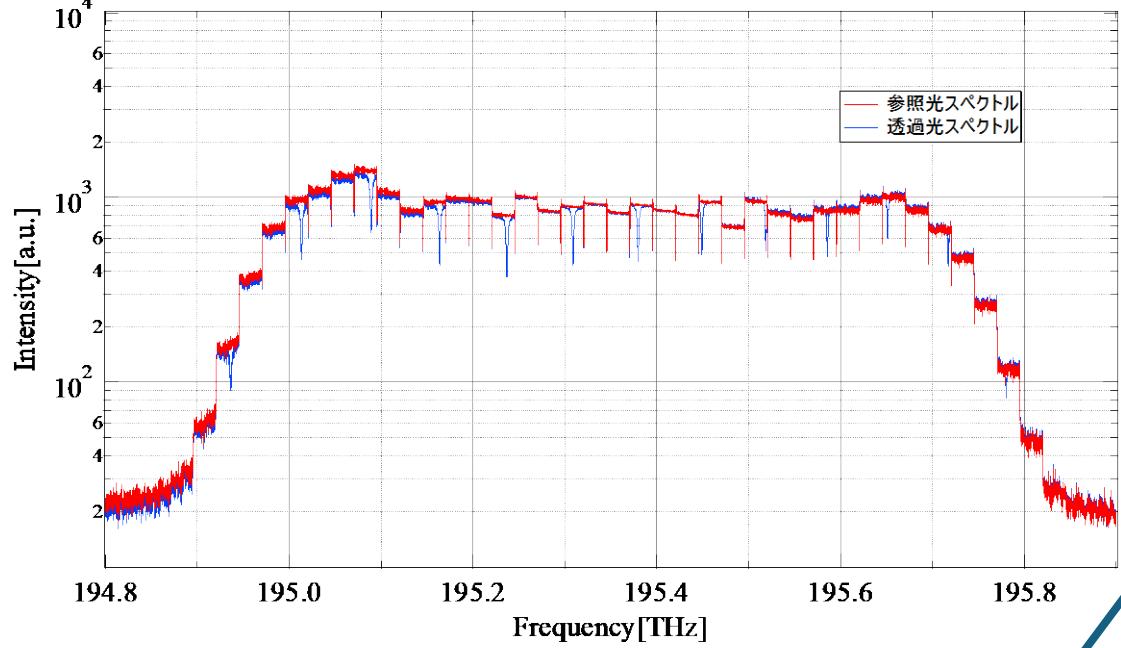


■ Mathematica を用いたデータ処理

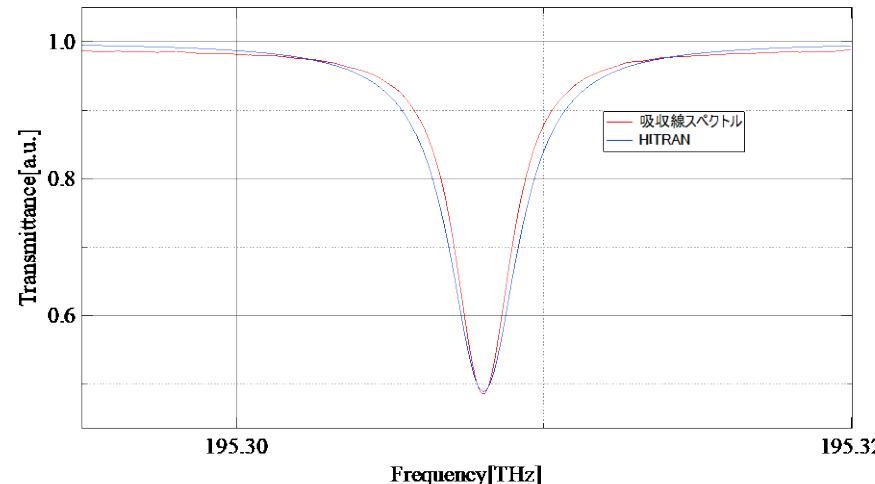
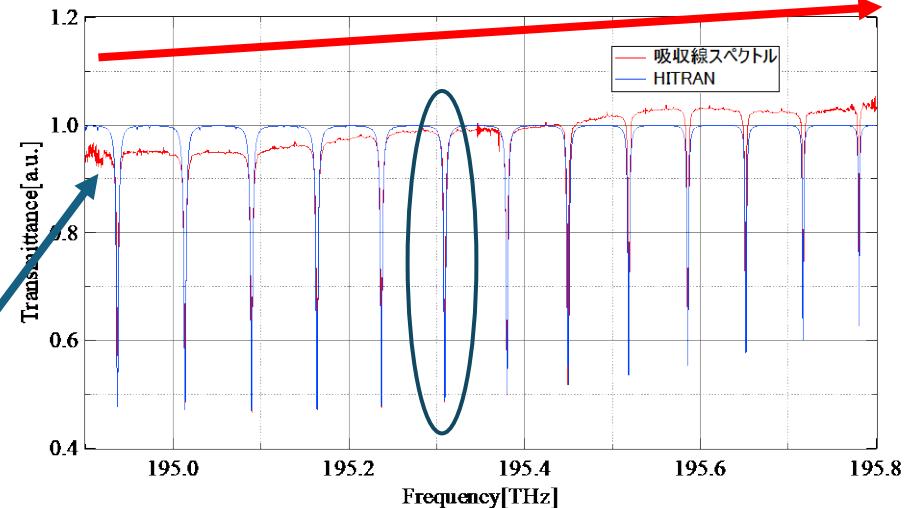
- フーリエ変換 (時間波形 → 周波数スペクトル)
- 数値計算処理 (RF領域 → 光領域)

測定結果

↓ 参照光・透過光スペクトル ↓



↓ 吸収線スペクトル ↓



近似曲線との除算

→ ベースラインの傾きを補正したい...

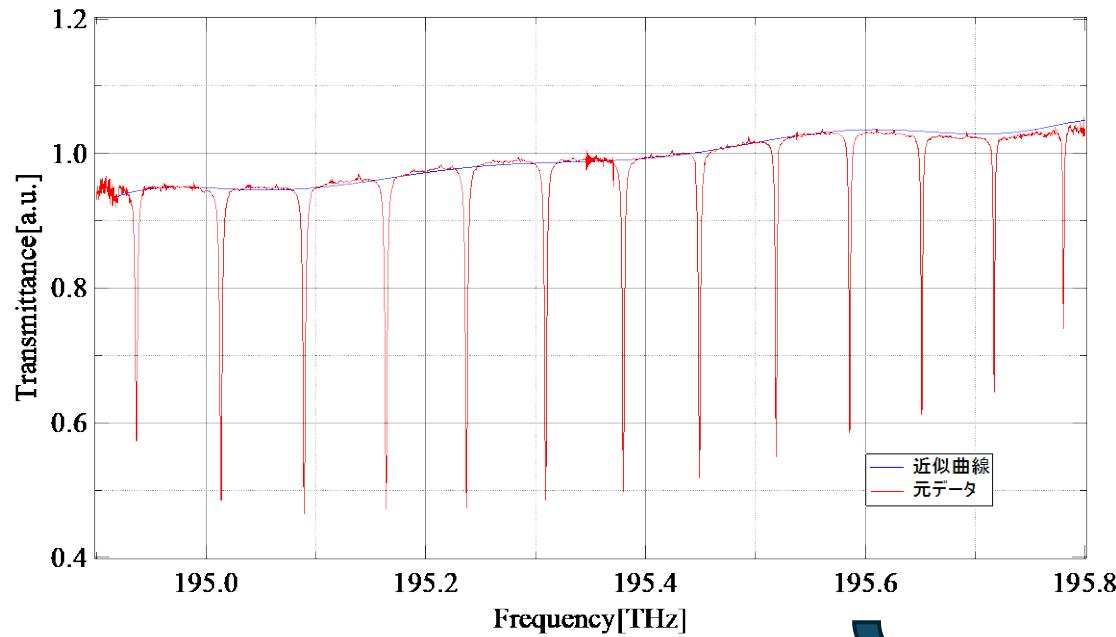
吸収線スペクトルのベースライン補正

■ Curve Fitting によるベースライン補正

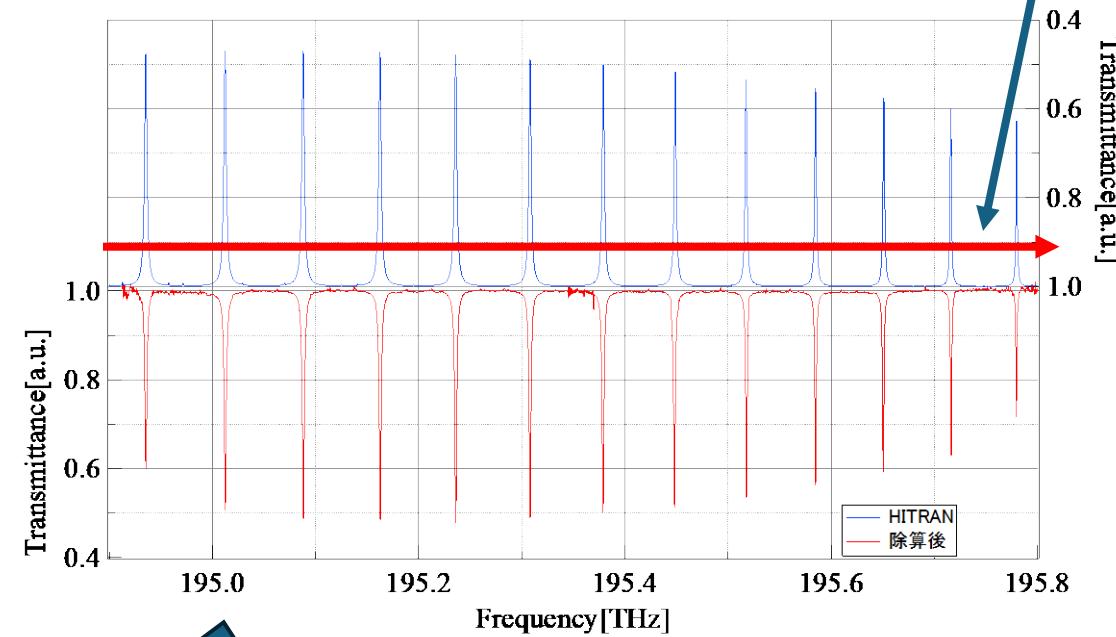
- 吸収線スペクトルの形状から近似曲線を自動で算出
- 吸収線スペクトルと近似曲線を除算 → ベースライン補正の実施

フラットになったね

↓近似曲線の算出↓



↓ベースライン補正の実行結果↓



まとめ

■ トリガ信号のズレを考慮したデータ取得

- 補間精度の**向上**、安定したデータ取得
- 三角波信号のパラメータの見直し
 - 先行方式より**最適化**
 - 正常に補間されたスペクトルの取得

■ 吸収線スペクトルのベースライン補正

- 近似曲線を算出し、吸収線スペクトルと除算
 - ベースラインの傾きを**補正** → フラットに！
- **ピークフィット**による吸収線スペクトルのベースライン補正（今後の展望）
 - 吸収線部分をマスクしたデータから近似曲線を自動算出
 - 近似曲線の**精度向上**〇 (Multipeak Fit , MATLAB を用いたベースライン補正など)

■ 自動補間法を用いたデュアルEOコム分光法による分子分光法

- **高分解能**な測定を可能