

# 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

25KMH28 光岡 佑馬

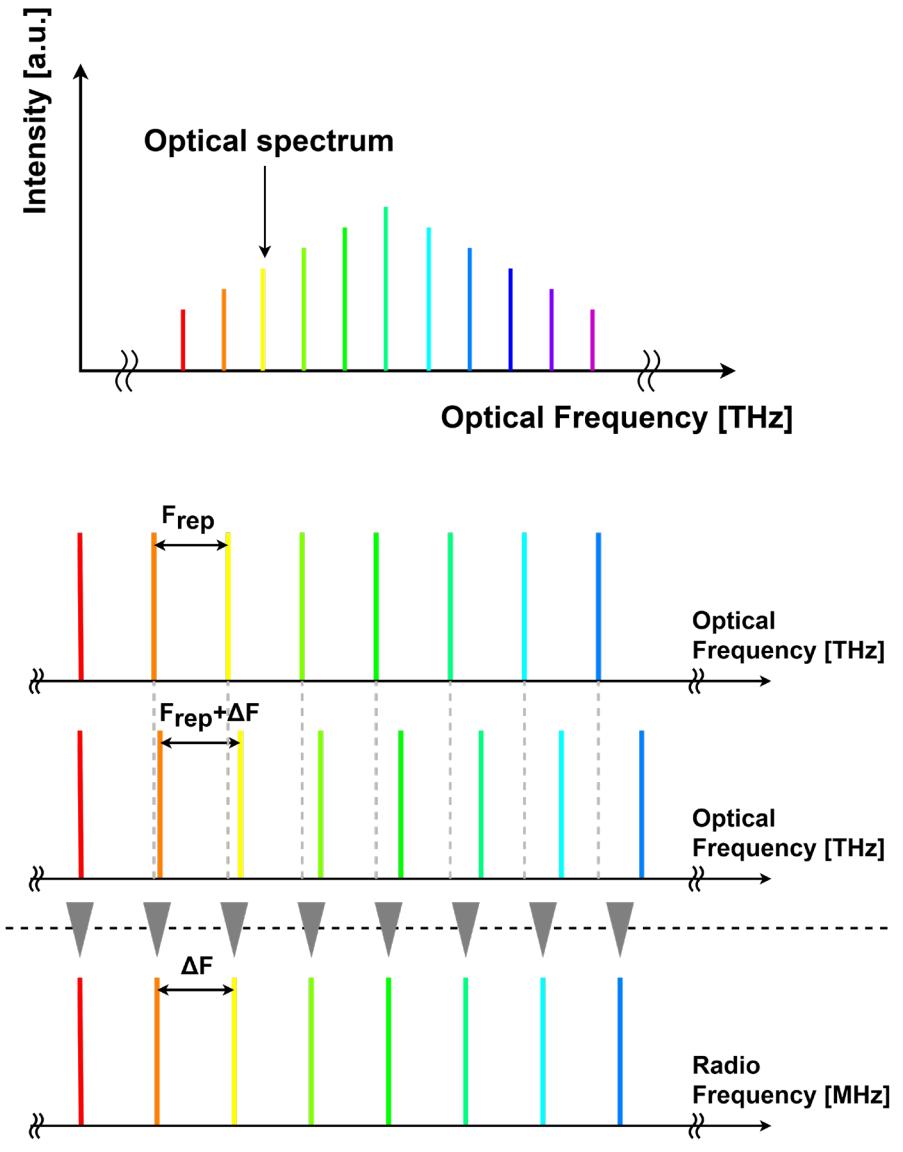
## ■ 光周波数コム（光コム）

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

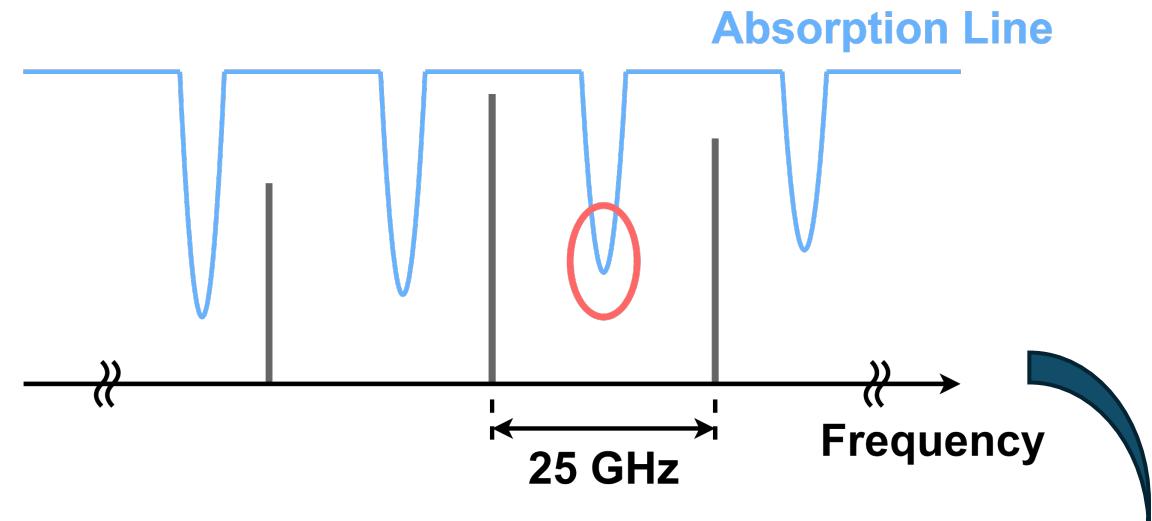
- モード間隔がわずかに異なる2つの光コムを用いる
  - Comb 1:  $F_{rep}$  Comb 2:  $F_{rep} + \Delta F$
- 2つの光コムを干渉させる(うなり)
  - 光領域 → RF領域 (RF: Radio Frequency)
  - 測定器での計測が可能に! ○
- RFコムのモード間隔
  - 2つの光コムのモード間隔の差で決まる
  - $(F_{rep} + \Delta F) - F_{rep} = \Delta F$



# 自動補間法の原理

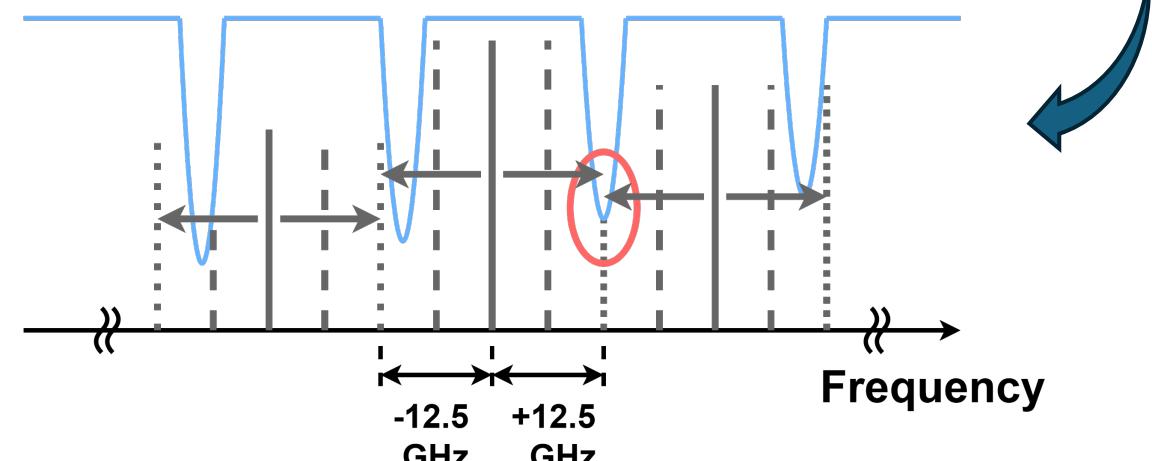
## ■ 補間をする前の光スペクトル

- 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！

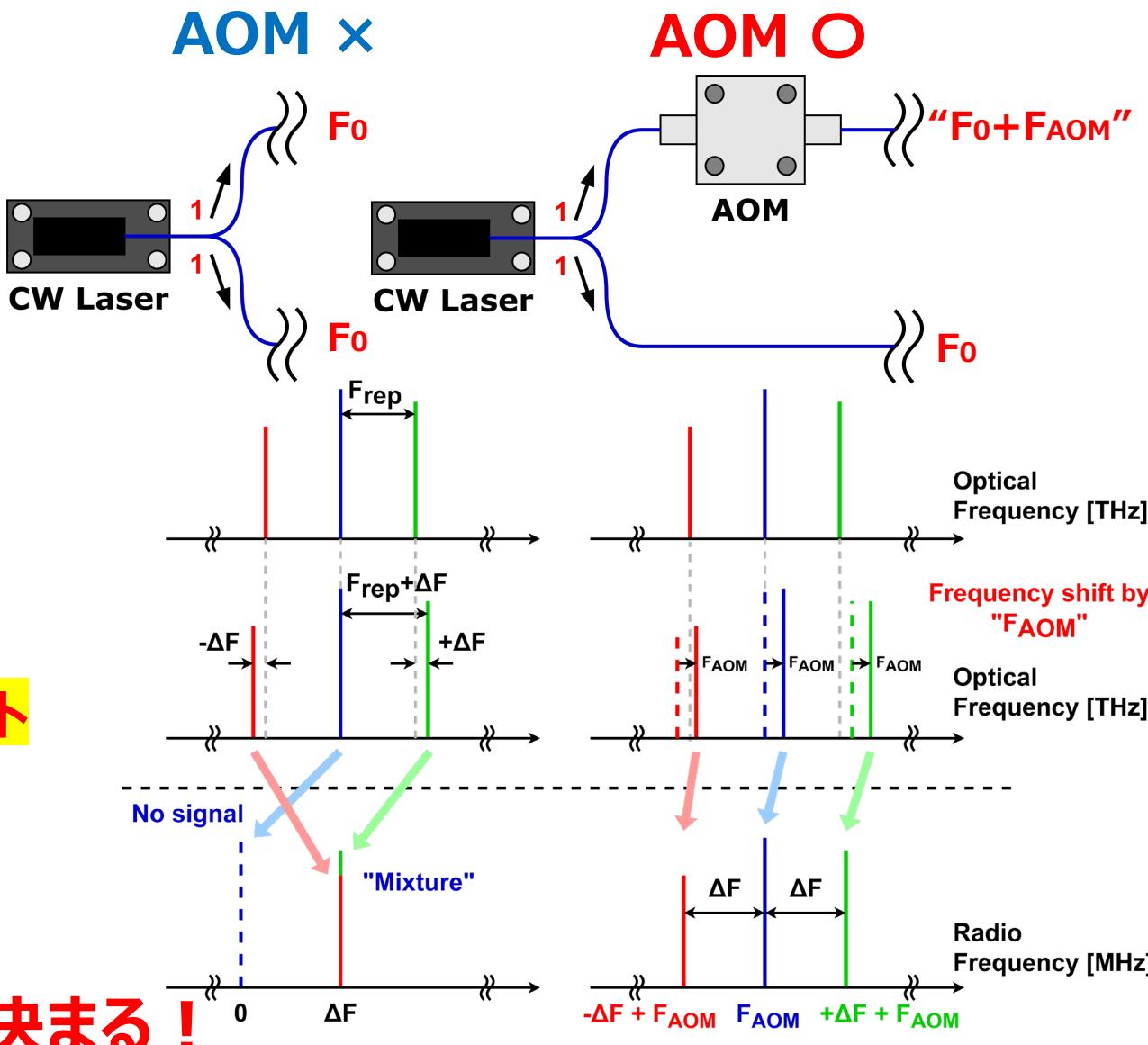
## ■ AOM がない場合

- 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** ≠ 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！**

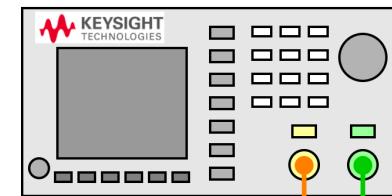


# 自動補間方法

## ■ 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:  $\pm 175 \text{ kHz}$  ( $350 \text{ kHz}$ )
- 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:  $\pm 12.5 \text{ GHz}$  ( $25 \text{ GHz}$ )
  - 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

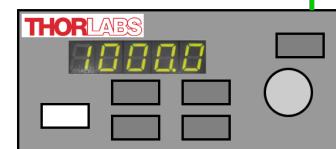


Triangle

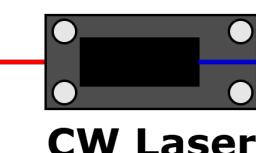
CH1

CH2

Sin curve



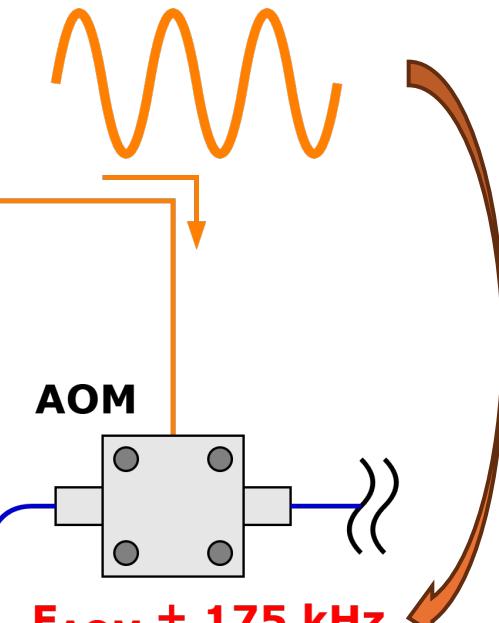
Laser Driver



CW Laser

$F_0 \pm 12.5 \text{ GHz}$

Sin curve



# 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)

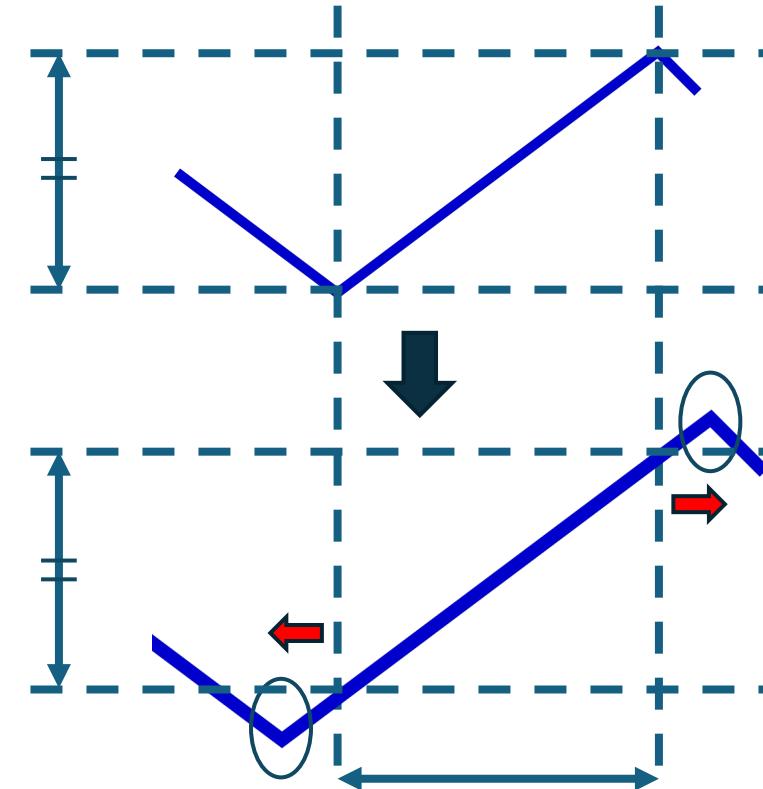
- データ取得時間 < 三角波半周期

- 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<sup>°</sup>

### ● 先行方式

- 周波数シフト量: **25 GHz** ( $\pm 12.5$  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** ( $\pm 15.0$  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**

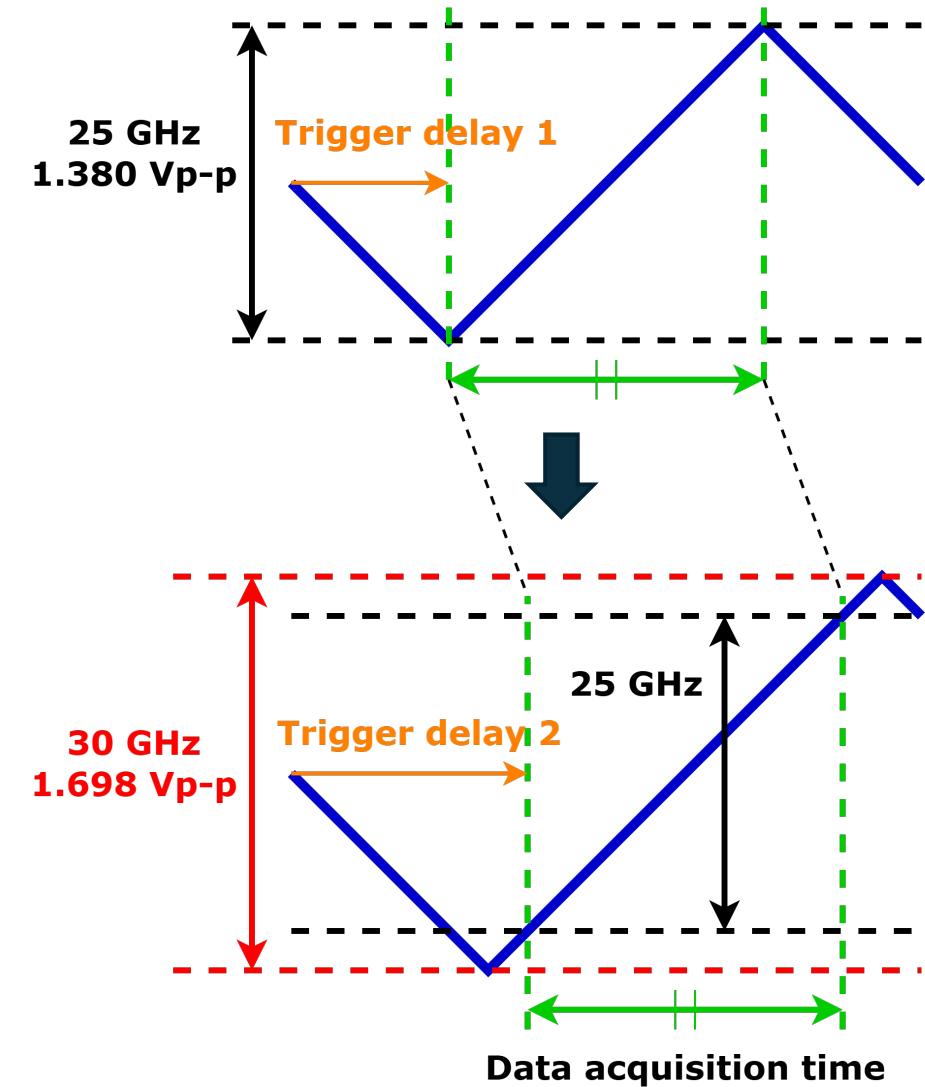
## ■ データ取得時間

### ● サンプル数とサンプリングレートで決定

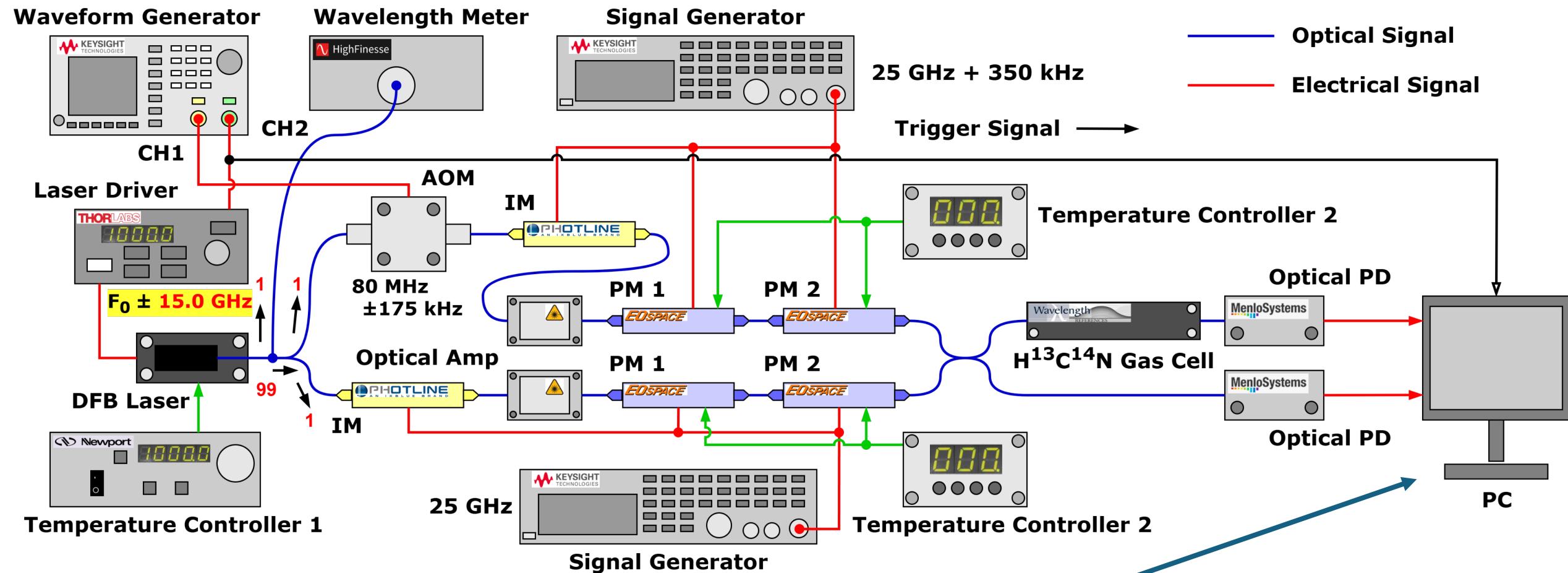
- サンプル数: **16777216 S**
- サンプリングレート: **1.8 GS/s**

6

9.32 ms



# 実験系

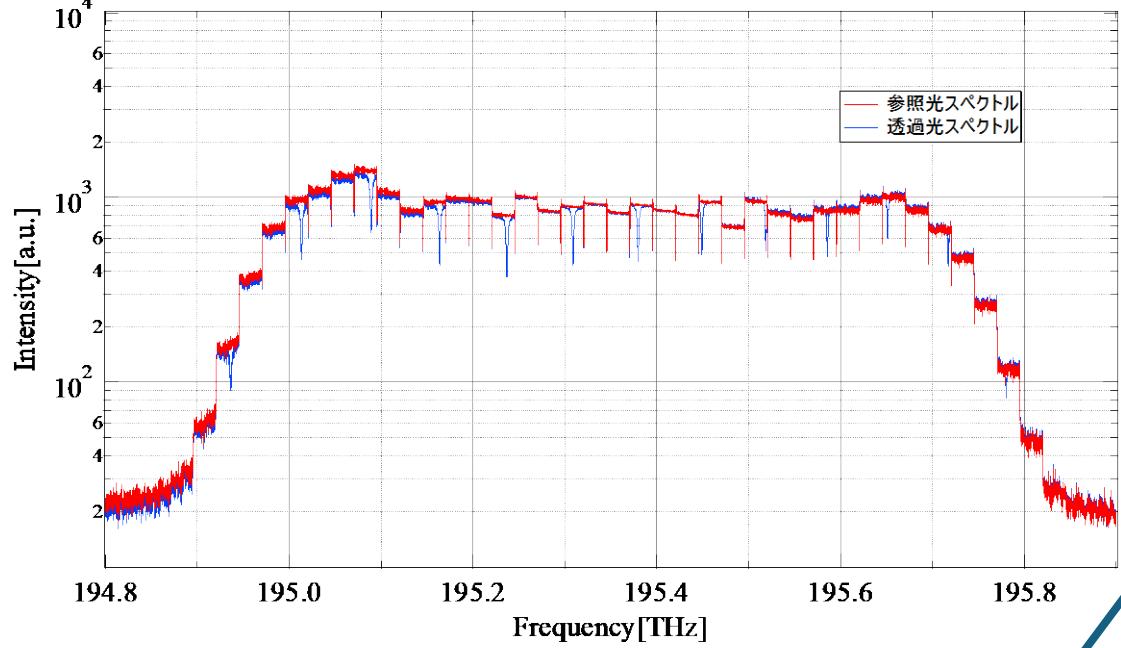


## ■ Mathematica を用いたデータ処理

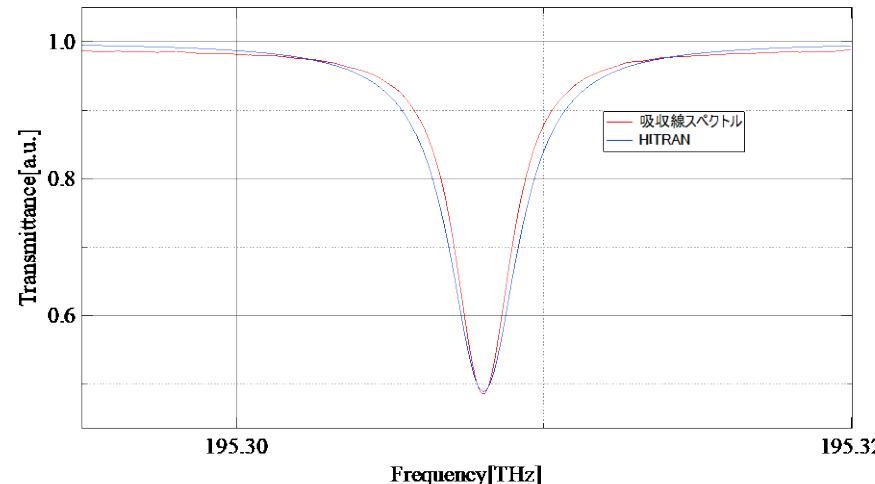
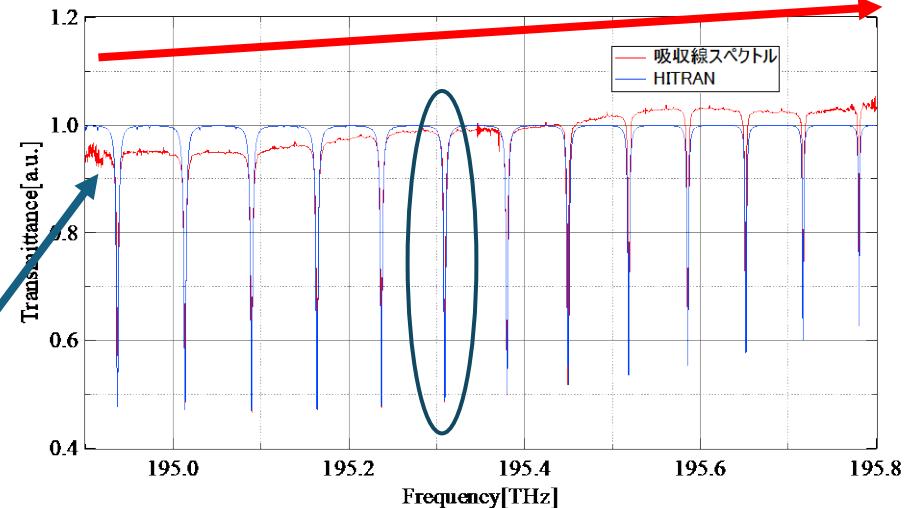
- フーリエ変換 (時間波形 → 周波数スペクトル)
- 数値計算処理 (RF領域 → 光領域)

# 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...

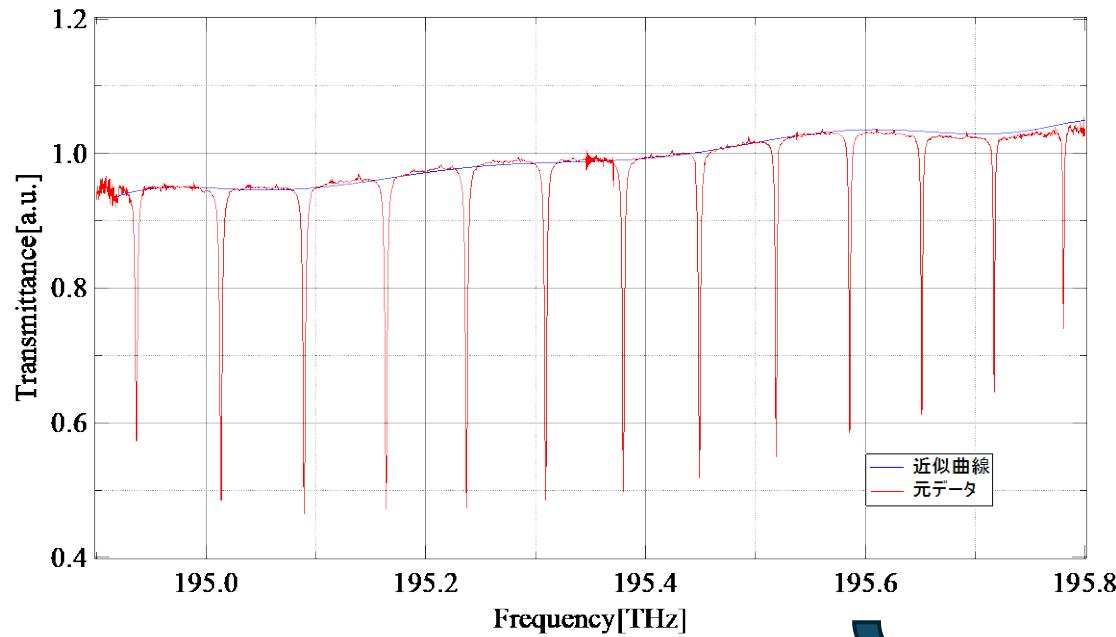
# 吸収線スペクトルのベースライン補正

## ■ Curve Fitting によるベースライン補正

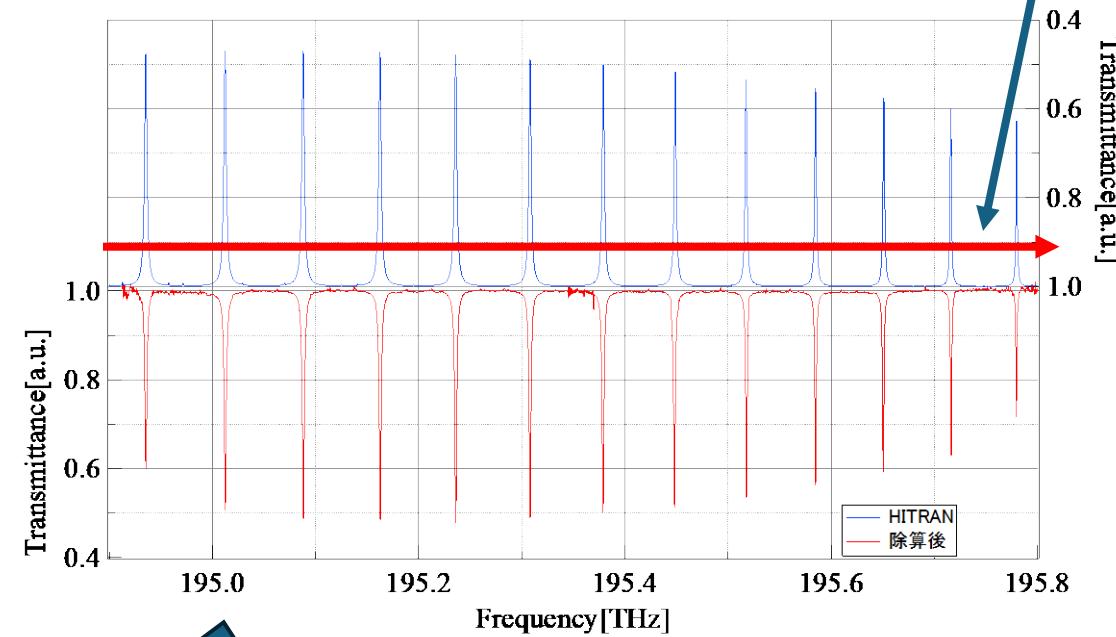
- 吸収線スペクトルの形状から近似曲線を自動で算出
- 吸収線スペクトルと近似曲線を除算 → ベースライン補正の実施

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