

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

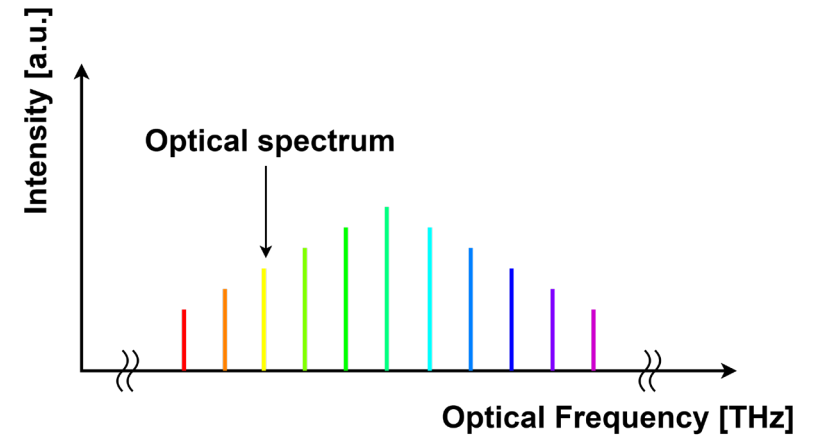
光応用工学研究室 ○ 光岡 佑馬

基本事項

■ 光周波数コム (光コム)

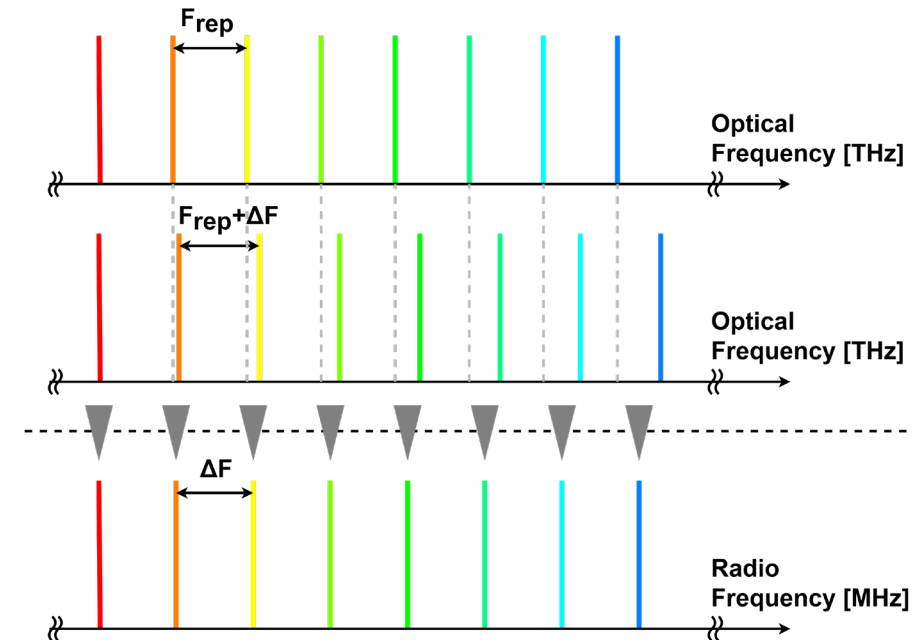
輝線スペクトルが周波数軸上に等間隔に並ぶパルスレーザ

- 周波数領域: 数百THz (光領域)
 - 測定器の計測速度が追いつかない ×
 - 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: $F_{\text{rep}} + \Delta F$
- 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
 - $(F_{\text{rep}} + \Delta F) - F_{\text{rep}} = \Delta F$



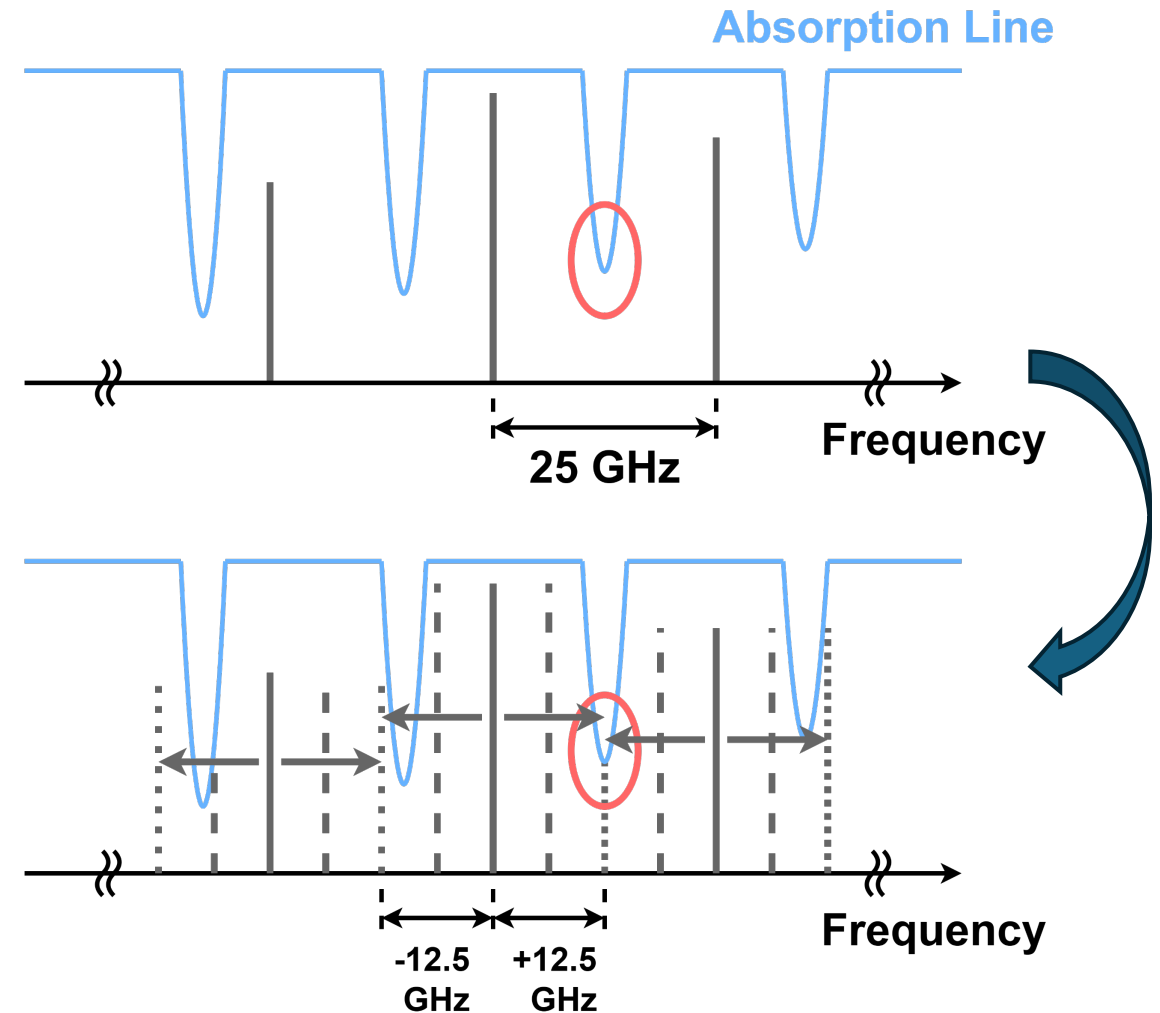
自動補間法の原理

■ 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** ×
- EOC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
- ΔF , $2\Delta F$, $3\Delta F$, ...

■ AOM が**ある**場合

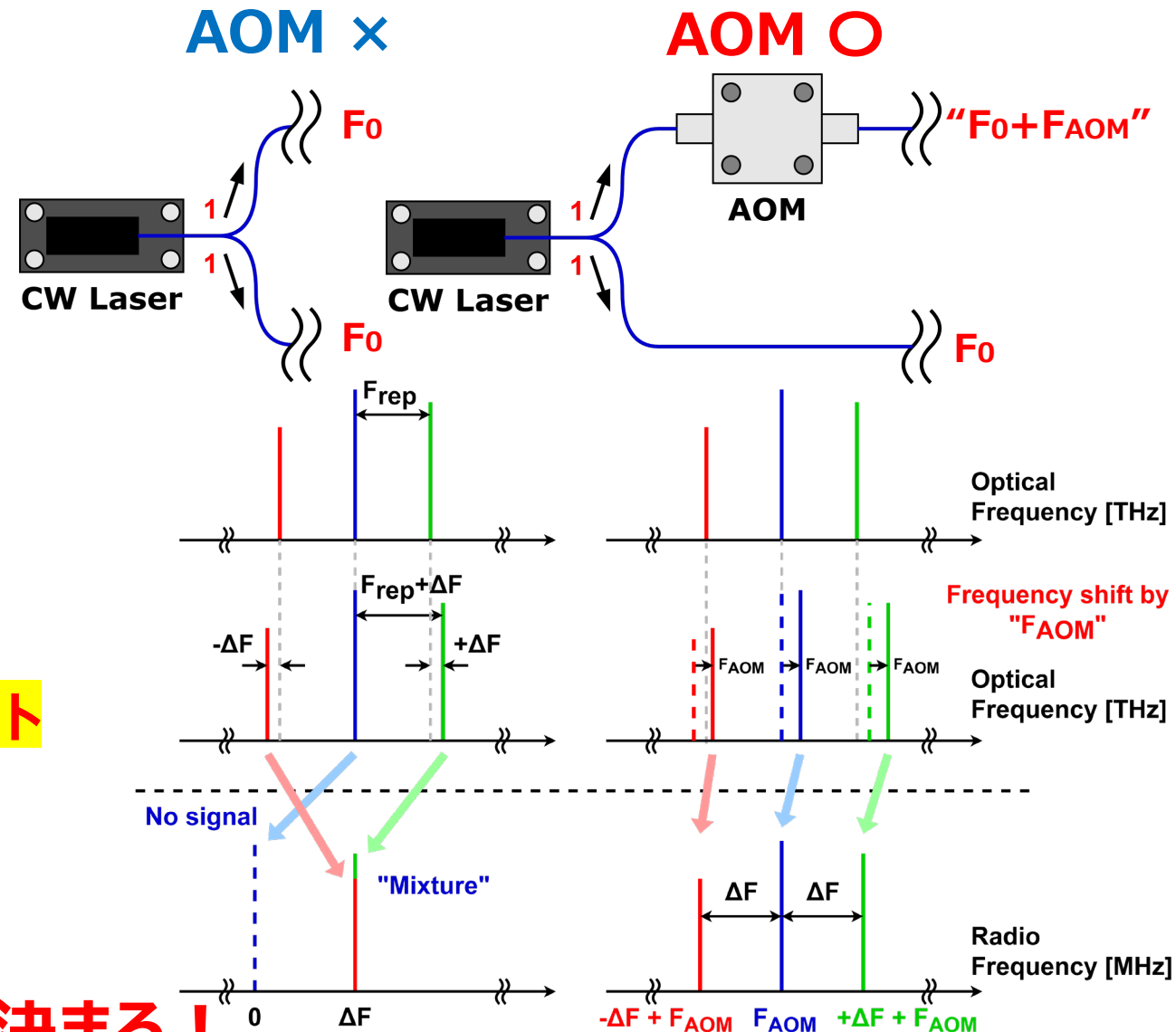
- 片側の**EOコム全体を F_{AOM} 分周波数シフト**

- 中心スペクトルのうなりが **$F_{AOM} \neq 0$ ○**

- 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 F_{AOM} のみで決まる！



自動補間方法

■ 2CH 波形発生器

● CH1 → AOM へ

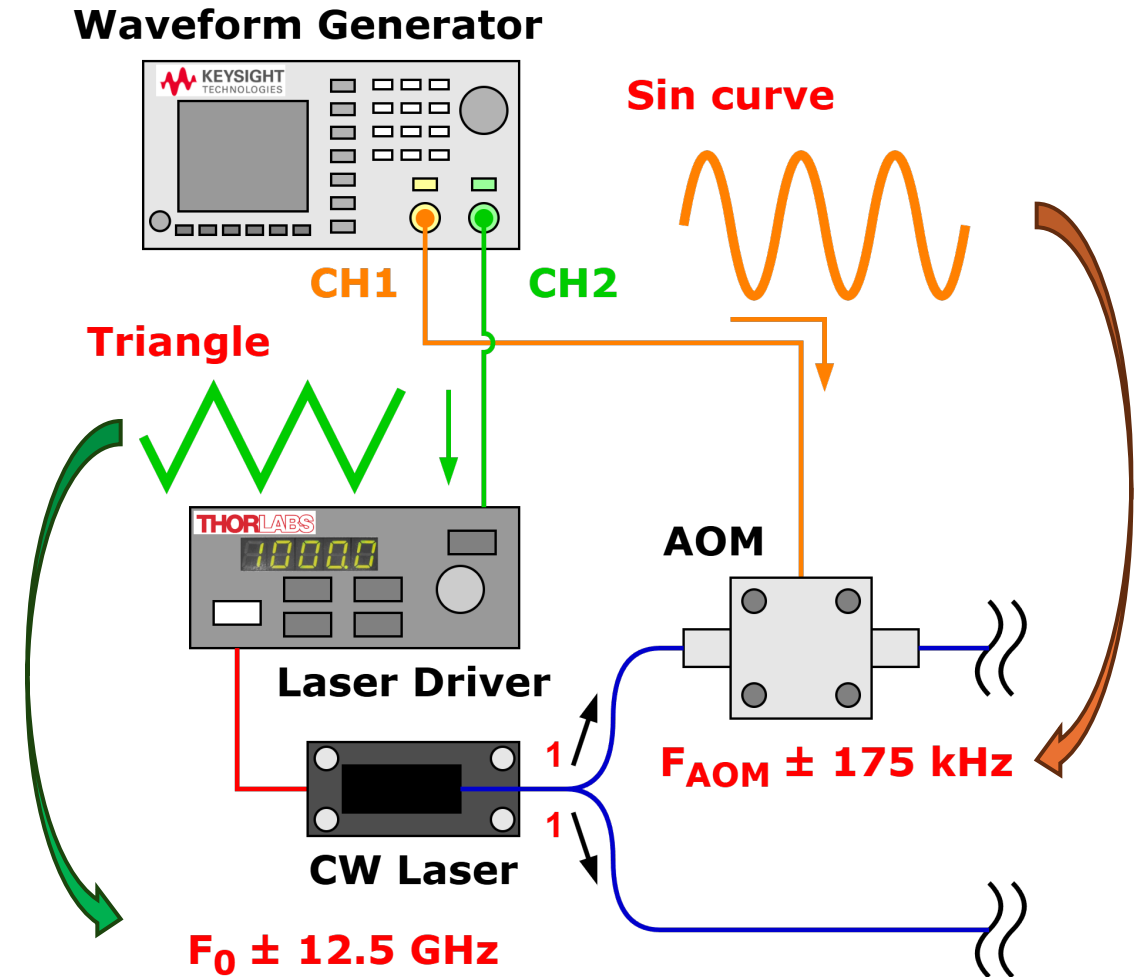
- RF領域の補間を行う
- 変調波: 正弦波
- 補間量: $\pm 175 \text{ kHz}$ (350 kHz)

● 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！



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）

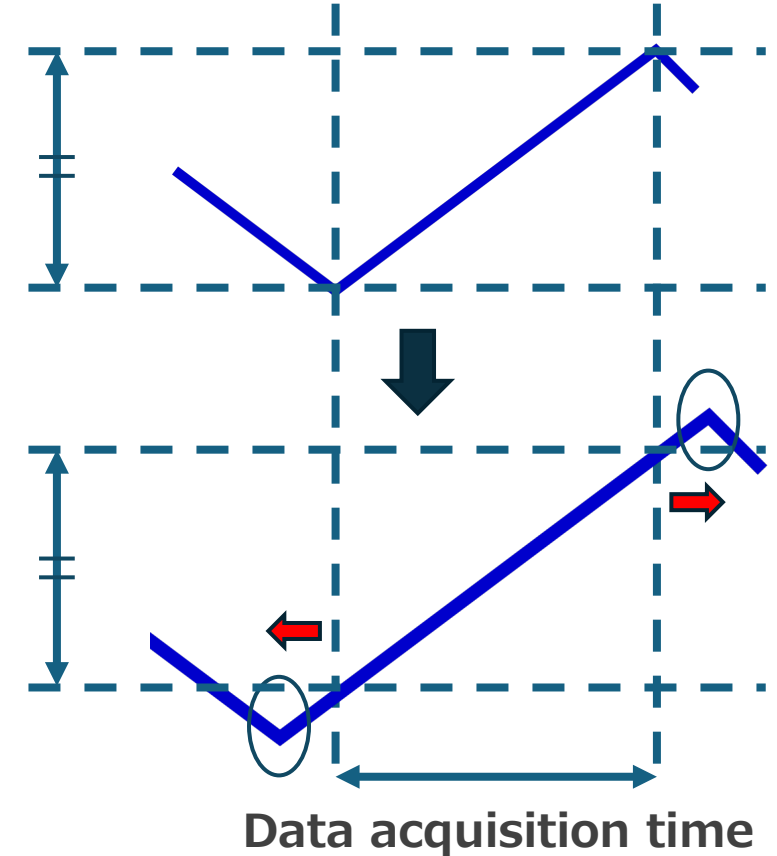
● データ取得時間 < 三角波半周期

- 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**

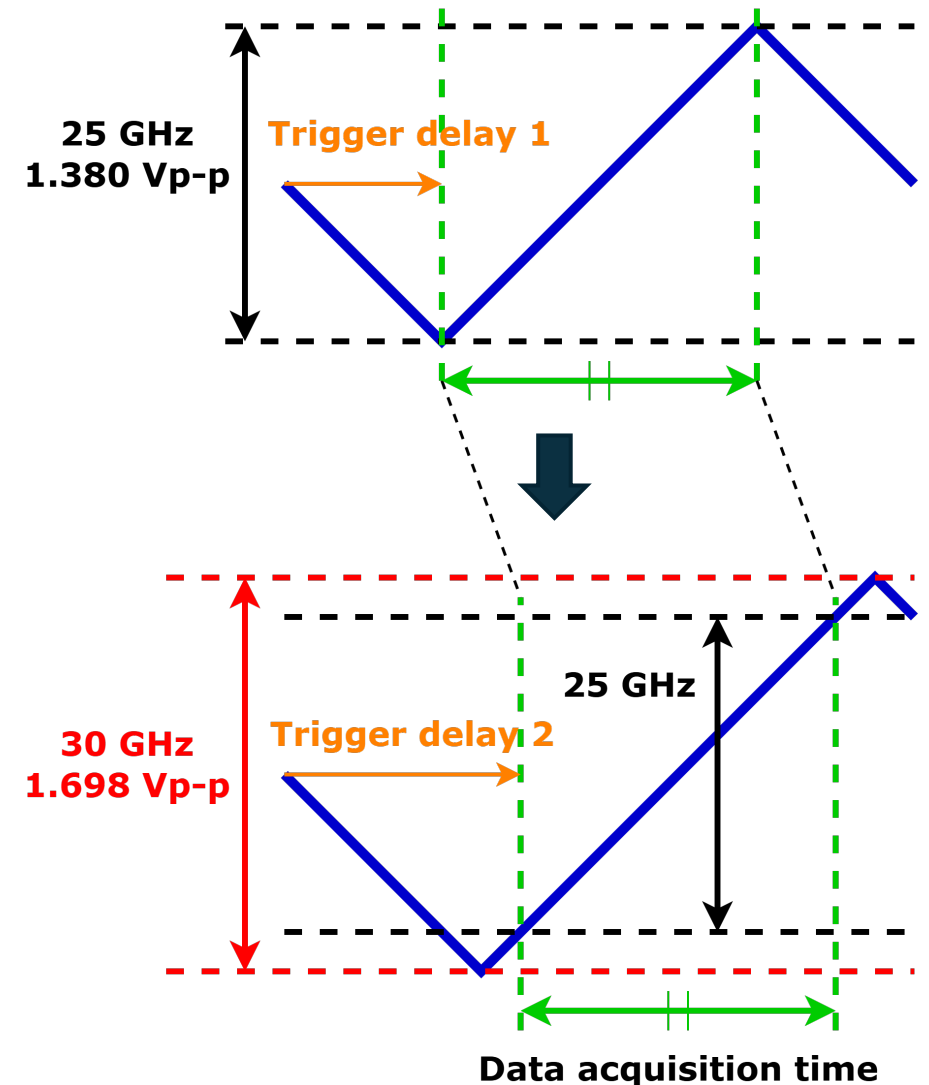
● 提案手法

- 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**

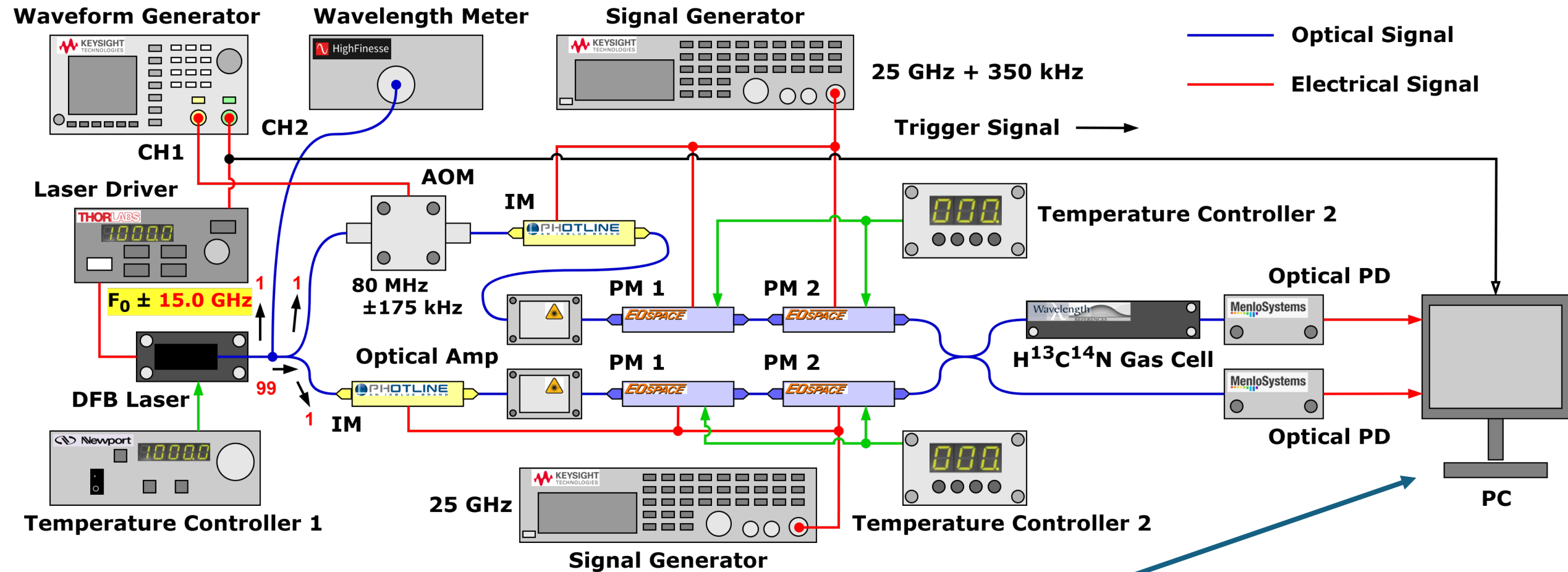
■ データ取得時間

● 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
- } 9.32 ms



実験系

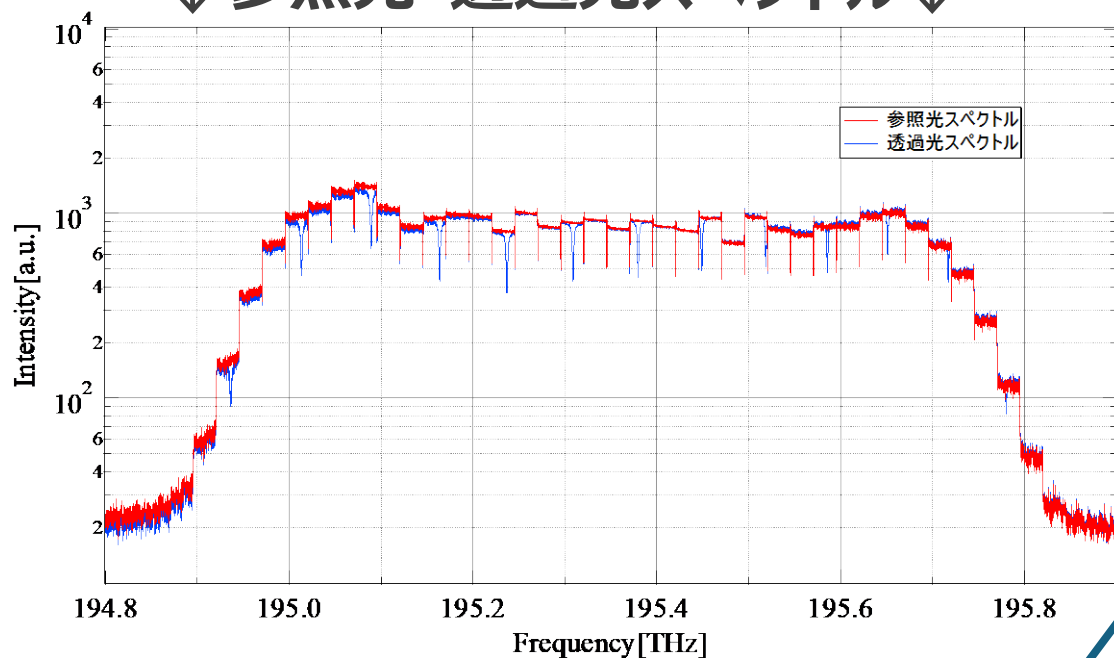


■ Mathematica を用いたデータ処理

- 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)

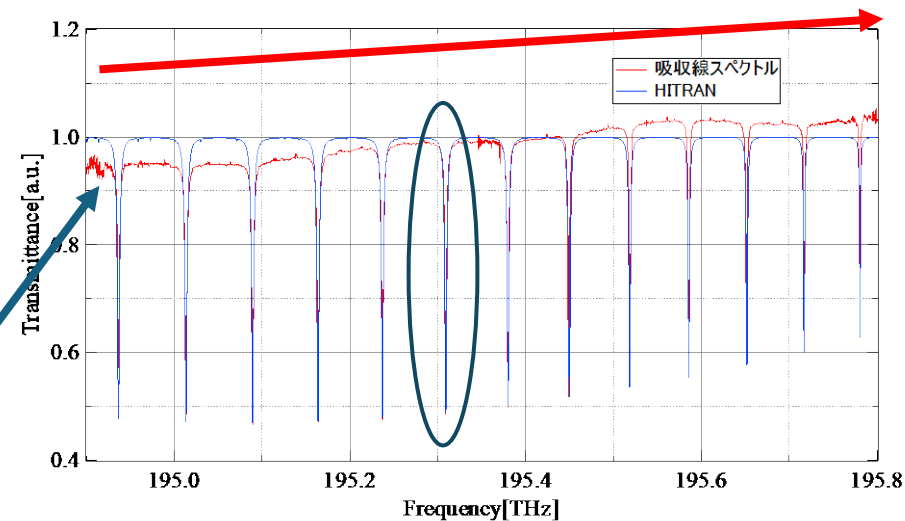
測定結果

↓ 参照光・透過光スペクトル ↓



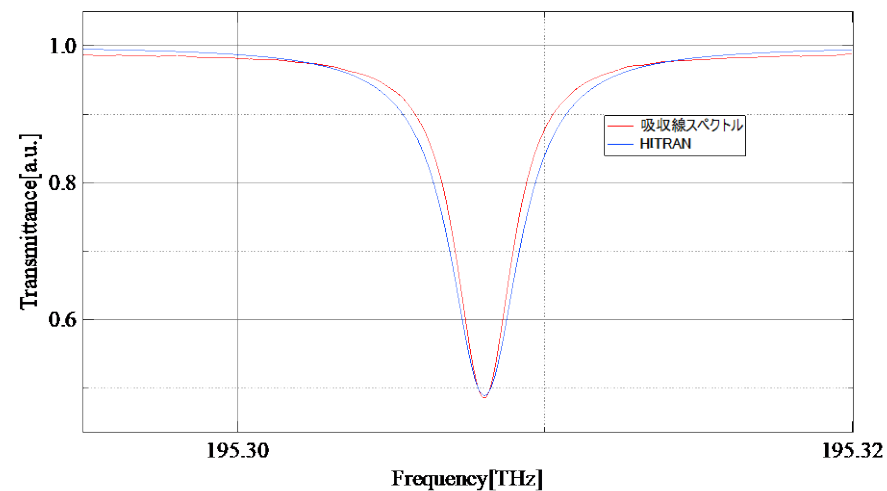
2024.10.23 測定 1534.5710 nm

↓ 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...



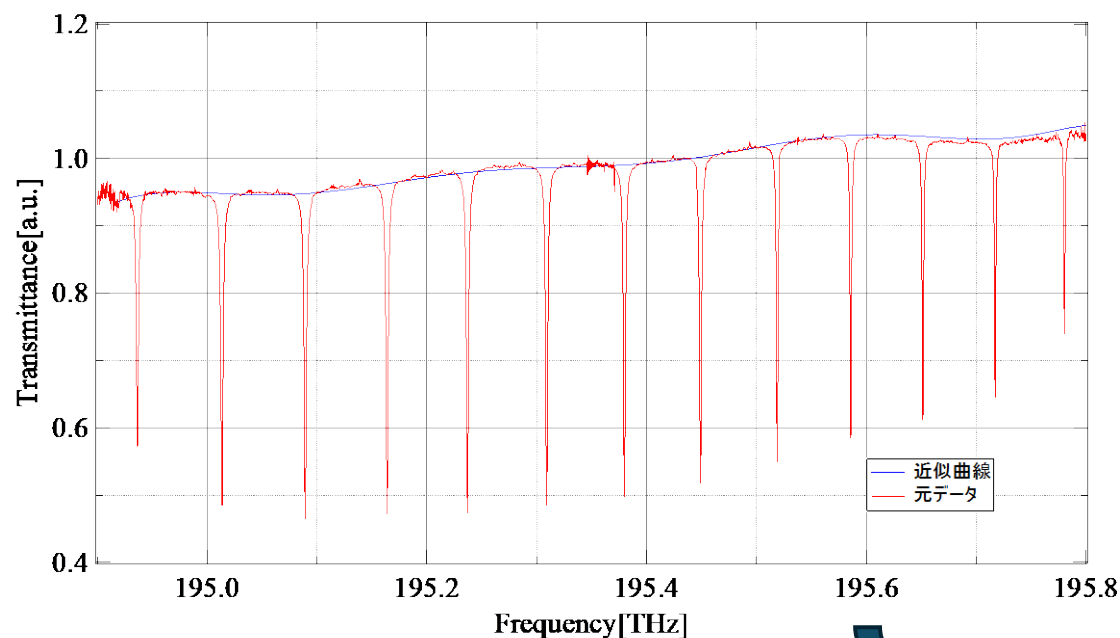
吸収線スペクトルのベースライン補正

■ Curve Fitting によるベースライン補正

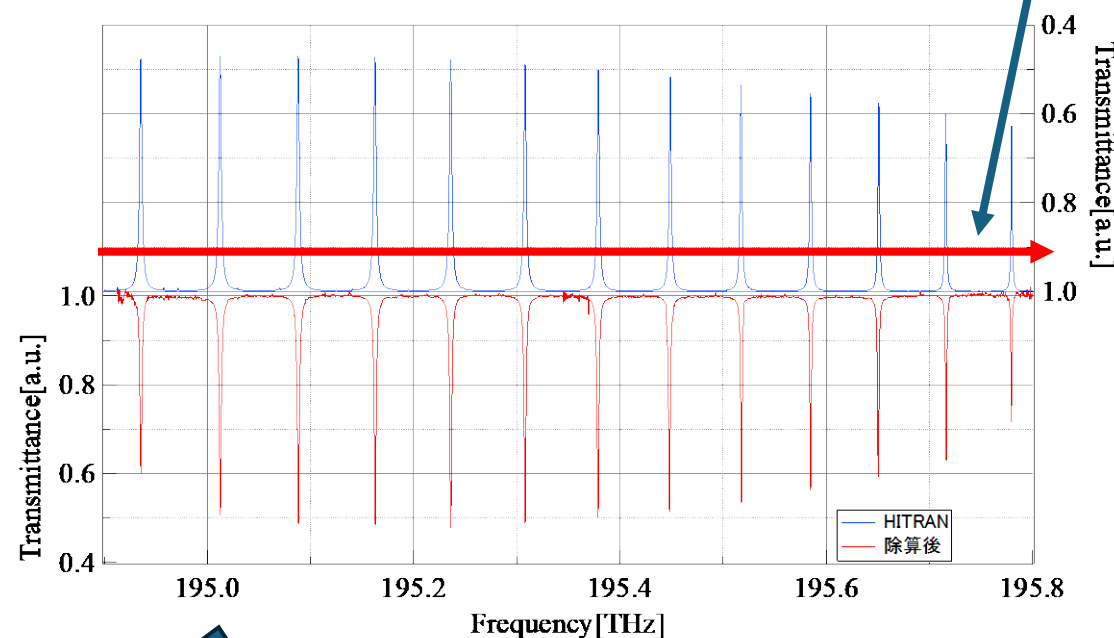
- 吸収線スペクトルの形状から近似曲線を自動で算出
- 吸収線スペクトルと近似曲線を除算 ➡ ベースライン補正の実施

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**○ (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