

研究報告

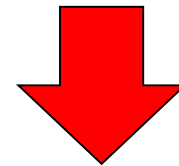
THzコム間ビート信号の抽出と アダプティブサンプリングへの応用

4月9日

M2 市川

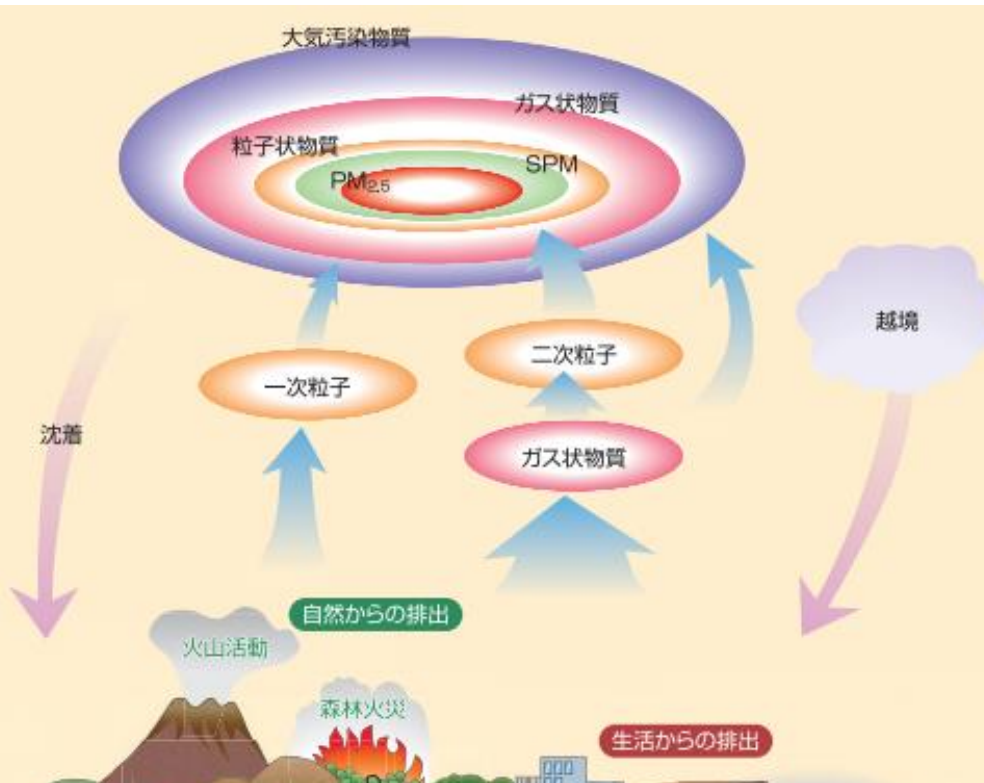
イントロダクション

揮発性有機化合物 (VOC)



- ・浮遊粒子状物質(SPM)
- ・光化学オキシダント

大気ガスの分析が
求められている!!

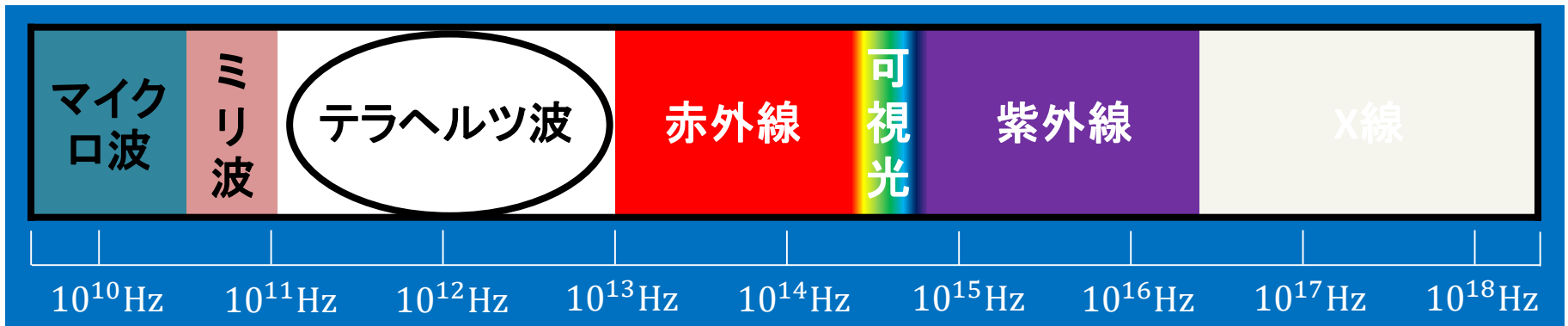


従来の大気ガス分析法

	GC分析法	赤外分光法	ラマン分光法
感度	高い	普通	普通
測定時間	数分～数時間	数十秒	数十秒
同時分析	複数	多数	多数
エアロゾル	サンプル前処理が必要	散乱による分析能力低下	蛍光による分析能力低下
装置規模	中型～大型	小型	小型～中型

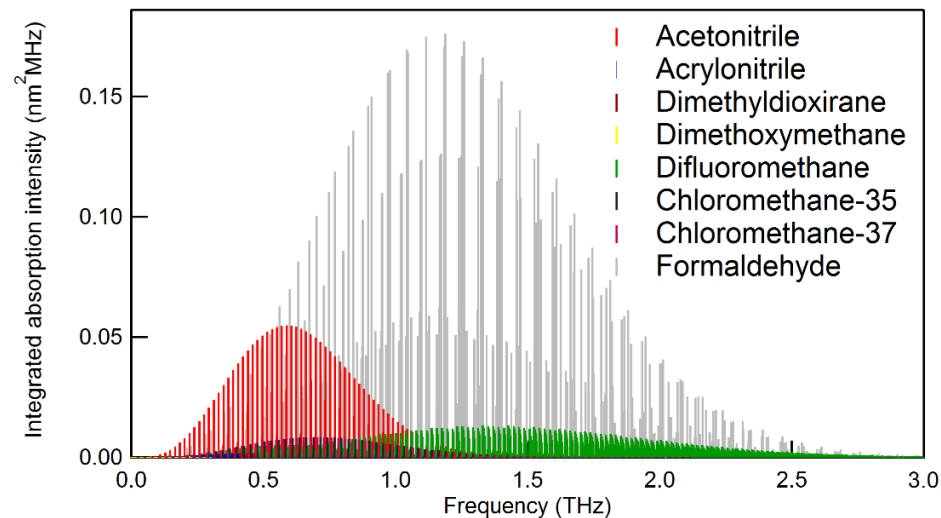
多数の気体分子やエアロゾルが混在した状況でも、サンプル前処理を行うことなく、『ありのままの状態』の大気ガスを分析可能な手段が望まれている

THz波について



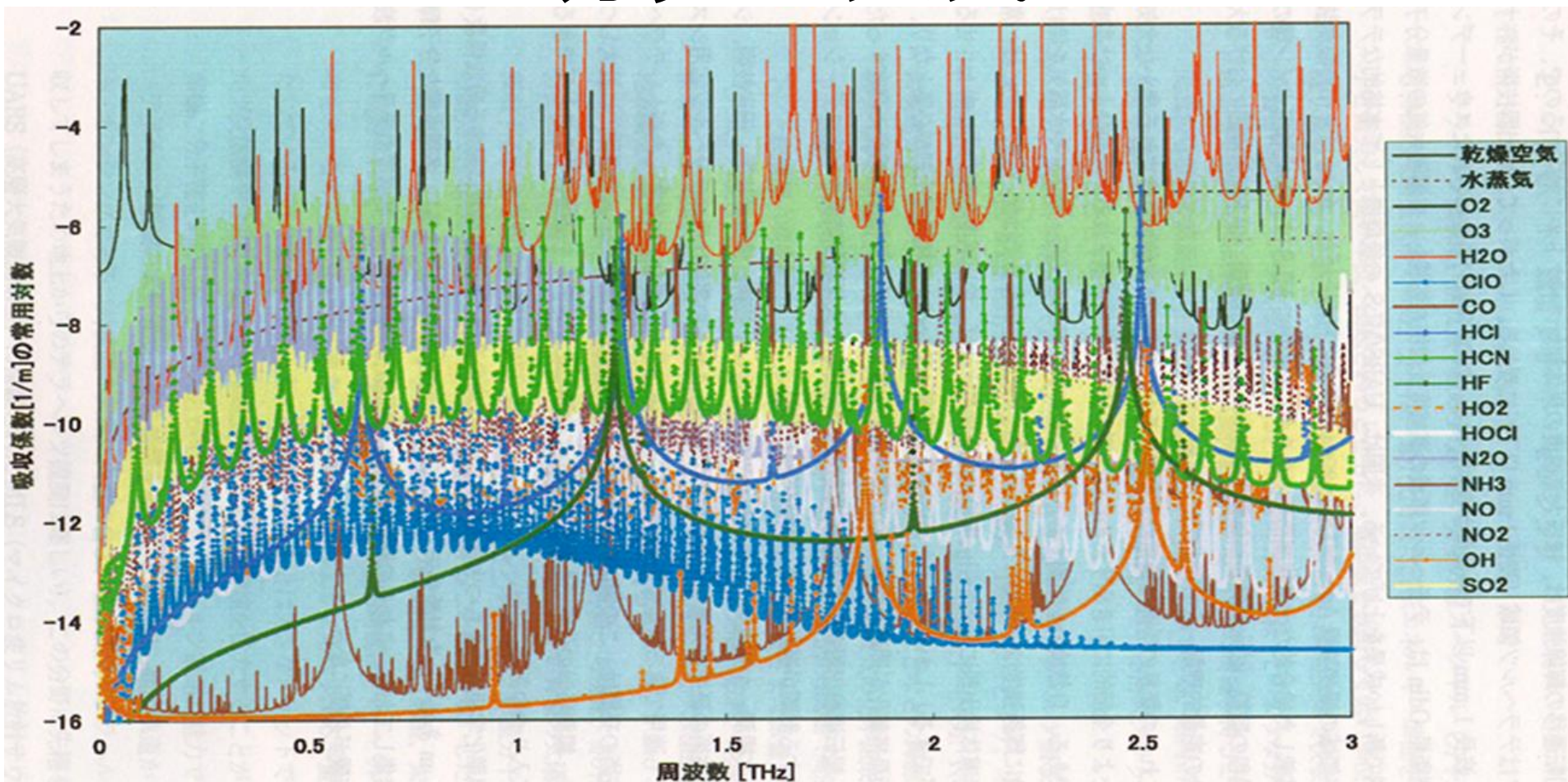
- ①自由空間伝搬
- ②コヒーレント光源
- ③広帯域スペクトル
- ④VOCガスの回転遷移が豊富
- ⑤低散乱(エアロゾルの影響を受けない)

VOCガス吸収スペクトル



多数の気体分子やエアロゾルが混在した状況でも
『ありのままの状態』の大気ガスを分析可能

THz分光@大気ガス



高いスペクトル分解能、スペクトル確度、
広帯域スペクトルが求められる！

光コムとTHzコム

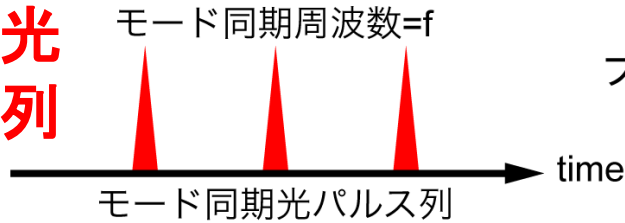
2005年ノーベル物理学賞

時間領域

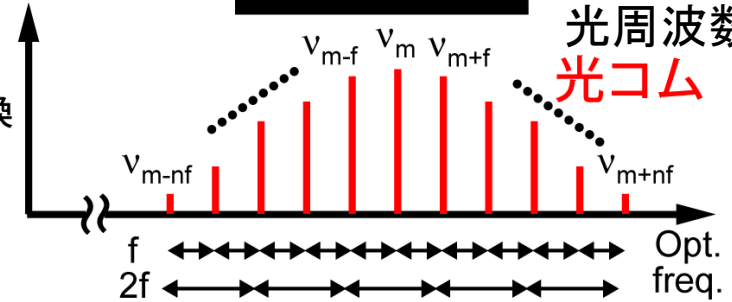
周波数領域

超精密分光
光周波数標準
光コム

フェムト秒光
パルス列

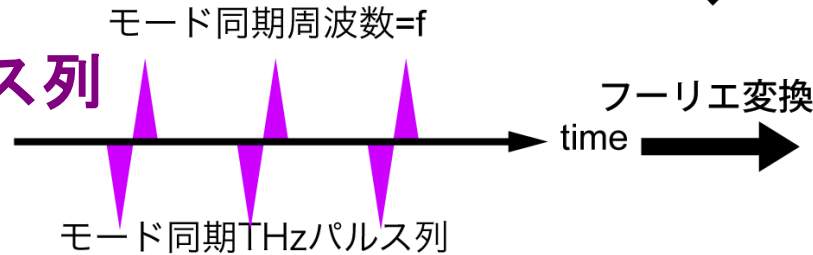


フーリエ変換

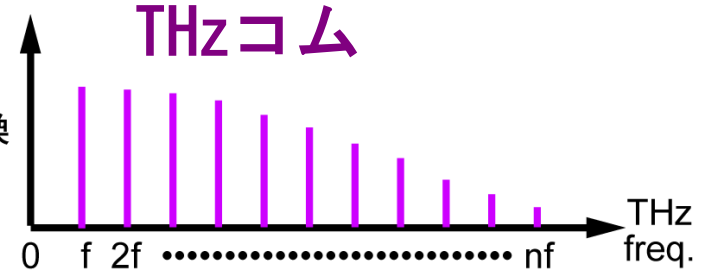


光伝導アンテナ or 非線形光学結晶

THz
パルス列



フーリエ変換



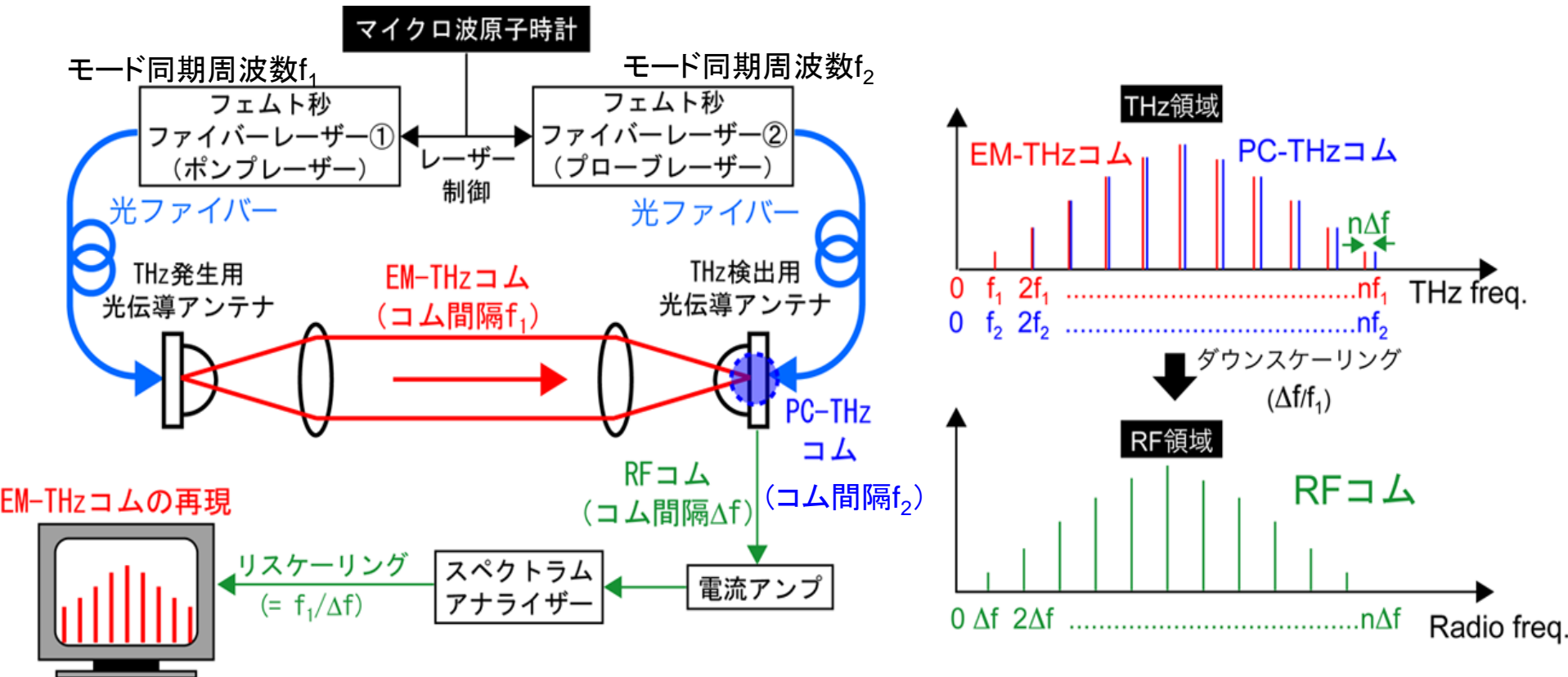
光領域やTHz領域における超精密周波数ものさし

(数万～数十万本に及ぶ狭線幅CWレーザー光が等間隔で並んだ集合体)

(単純性, 広帯域選択性, 高スペクトル純度, 周波数逡倍性)

デュアルTHzコムを利用@周波数領域

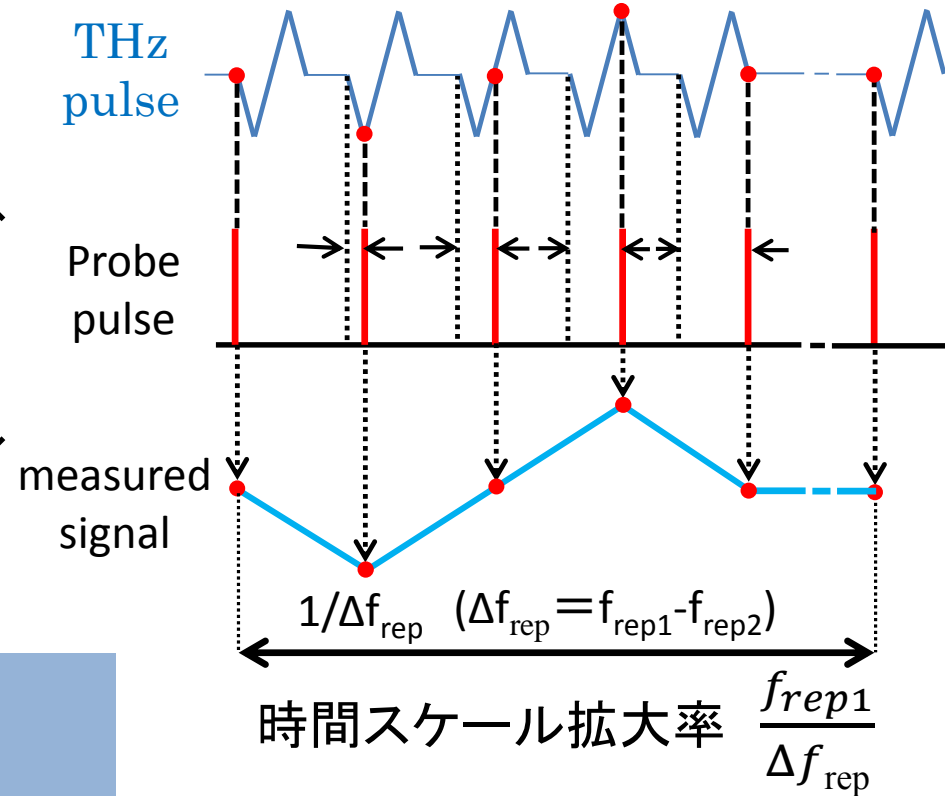
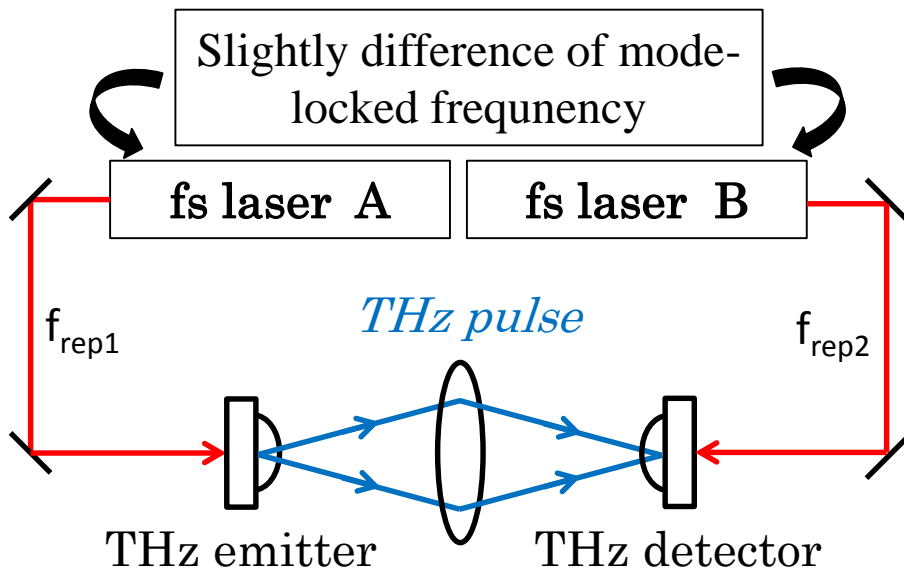
デュアルTHzコム分光法



**CW-THz波の狭線幅特性とTHzパルスの広帯域スペクトル特性の融合
マイクロ波周波数標準へのトレーサビリティ**

デュアルTHzコムの利用@時間領域

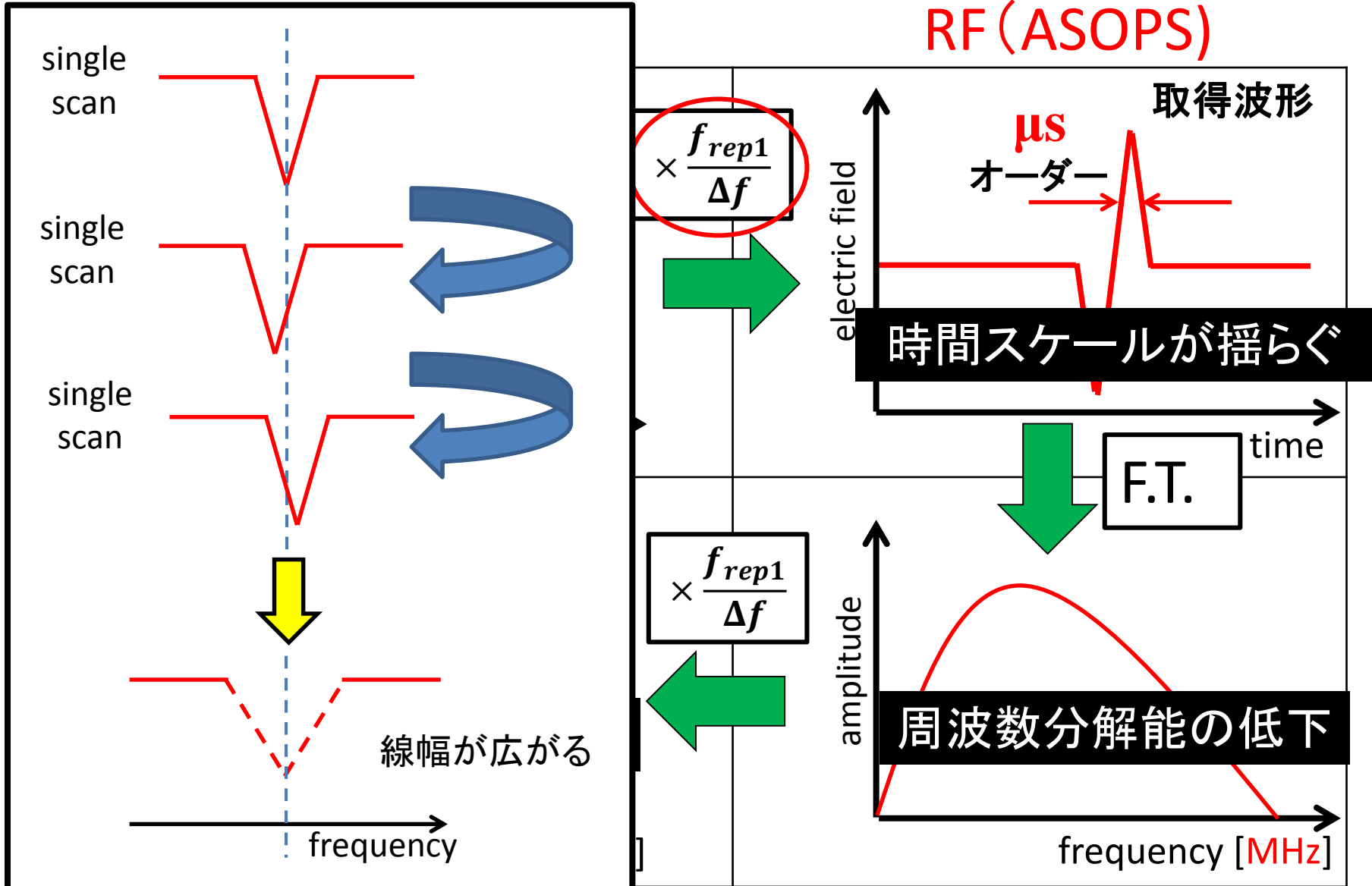
非同期光サンプリング式THz-TDS (ASOPS-THz-TDS)



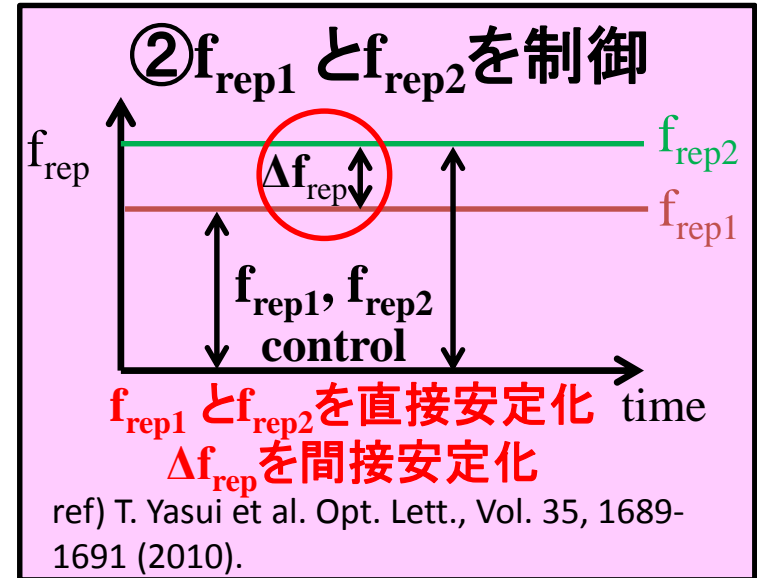
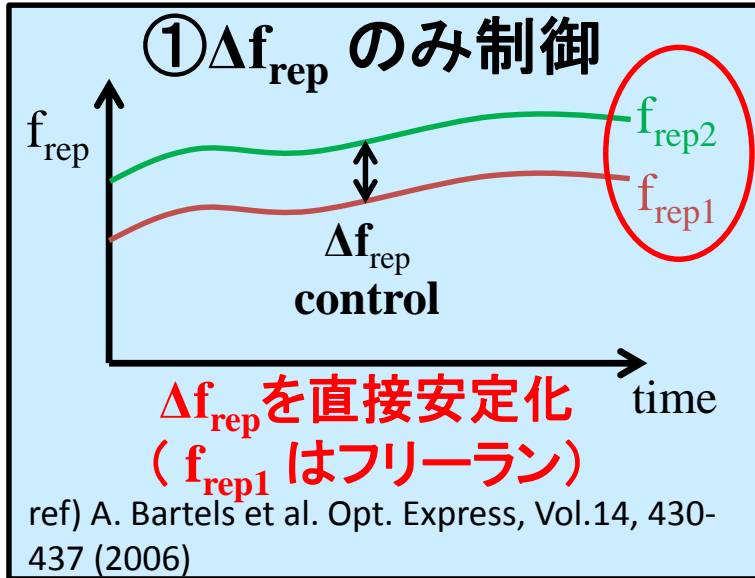
- ・ 機械式ステージが不要
- ・ 光路長を合わせる必要がない
- ・ 長い測定時間窓の取得が可能
→ 周波数分解能が高い
- ・ 実時間測定 (1周期 = $1/\Delta f_{rep}$)

ピコ秒オーダーの時間波形をマイクロ秒オーダーまで時間スケールを拡大

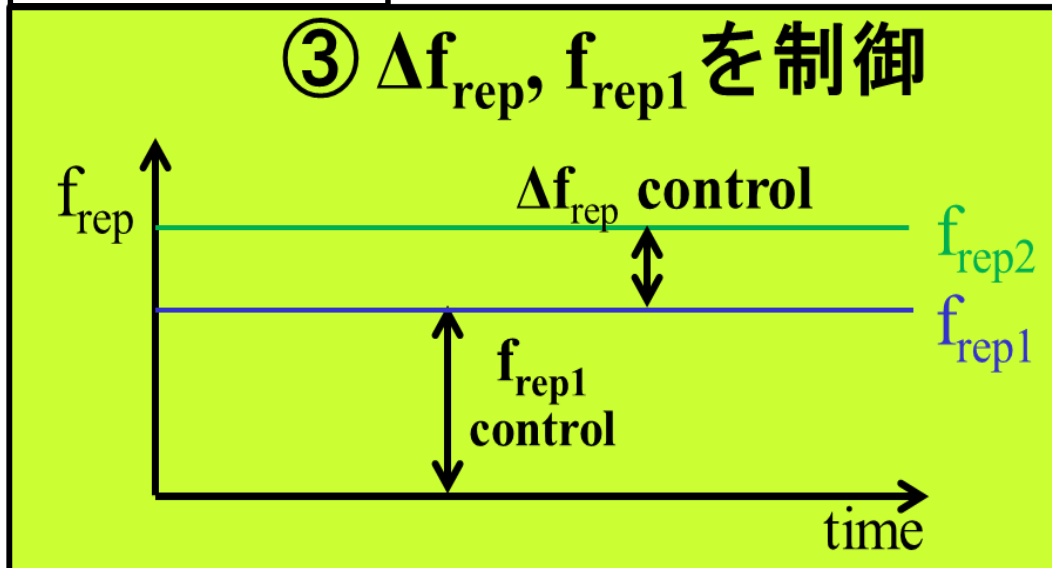
ASOPS-THz-TDSにおける信号の流れ



従来のジッター抑制手法



M1 前期中間報告



- ・THzコム間ビートを抽出
- ・ジッターの抑制を確認

※ジッターの残存の可能性あり

本報告

フリーランニングレーザーを用いた
アダプティブサンプリング



- ・レーザー制御システム不要
- ・ジッターをリアルタイムに補正

デュアルTHzコム分光法

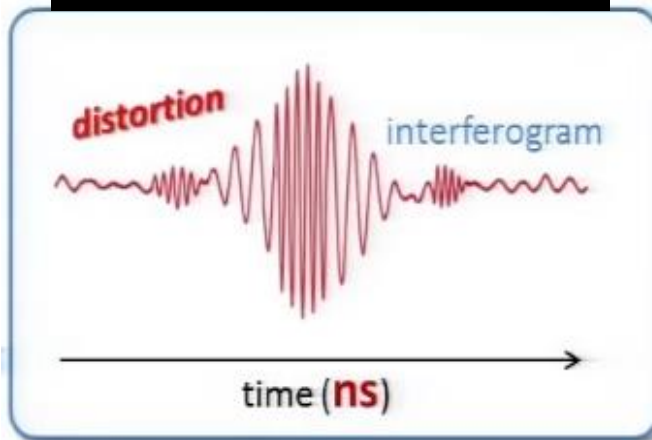
アダプティブ・サンプリング

Ref) T. Ideguchi, arXiv:1201.4177 (2012).

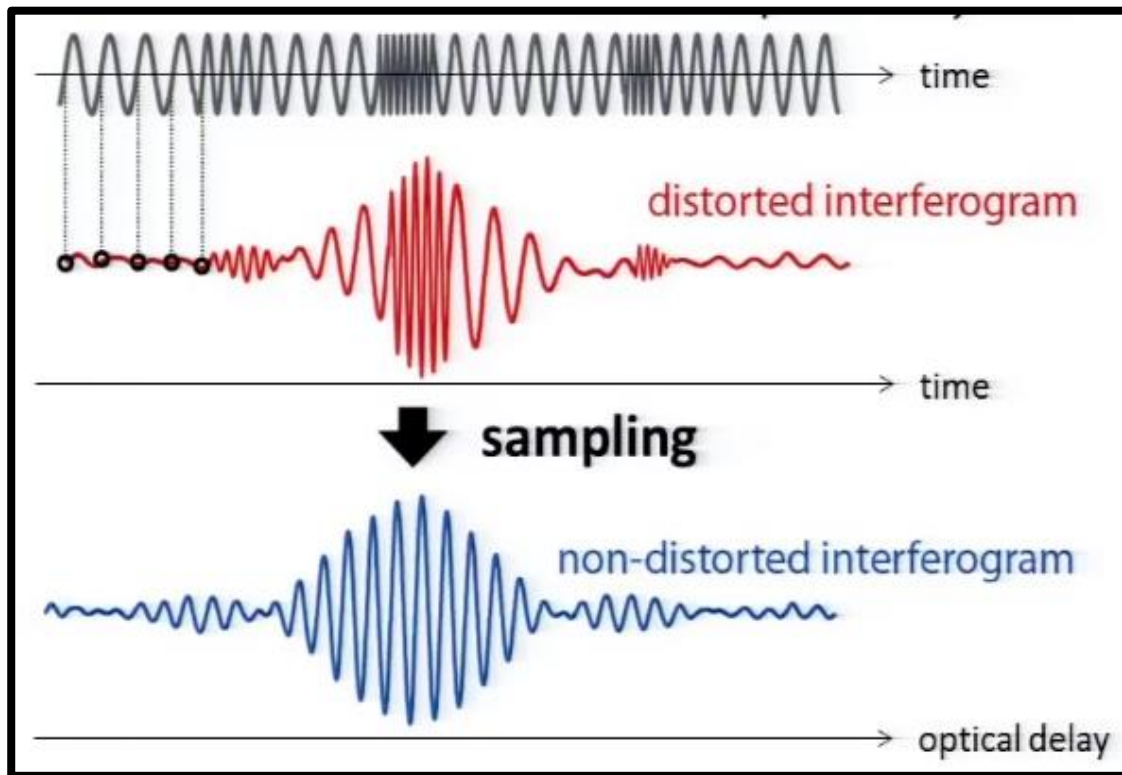
安定化制御



フリーランニング



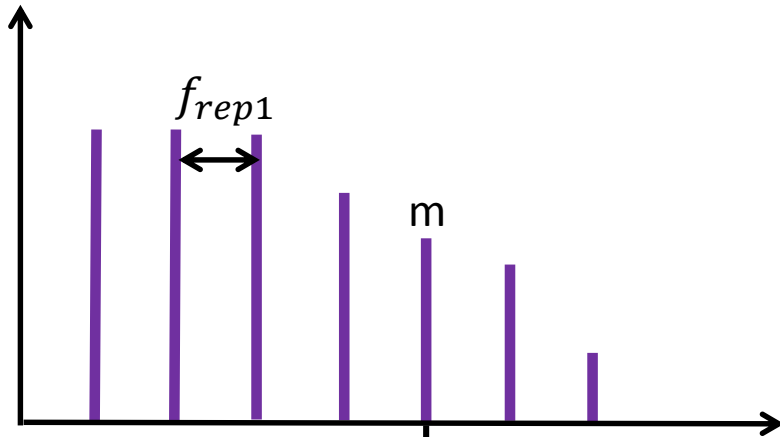
モード同期周波数の揺らぎを反映したサンプリング・クロックを生成すれば、時間軸の線形性を保てる！



時間軸の線形性が保たれない！

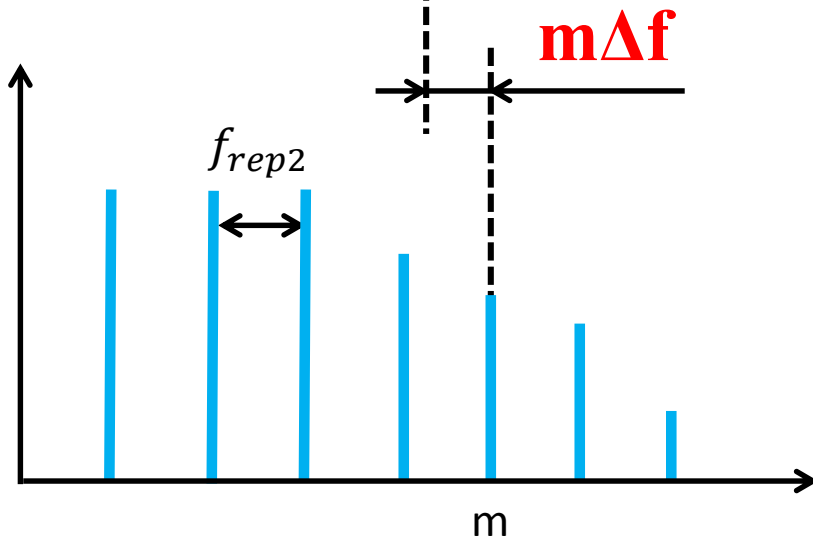
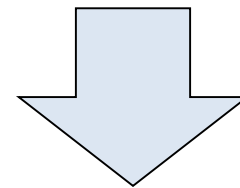
揺らぎ = Δf_{rep} = コム間ビート

デュアルTHzコム間ビートの抽出



- ・一本のコムは非常に微弱
- ・一本のみを分離できない

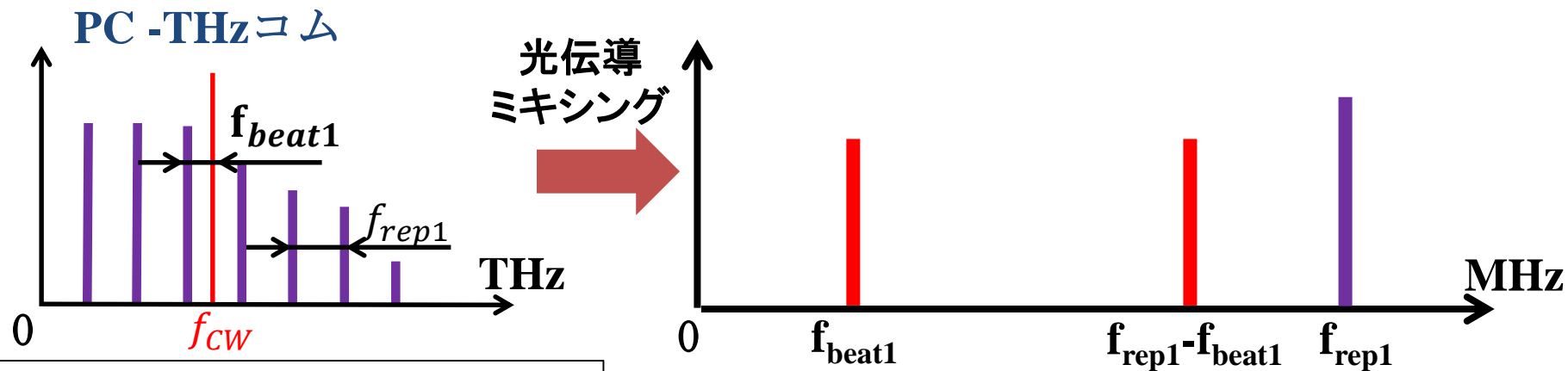
$m\Delta f$ を抽出するためには



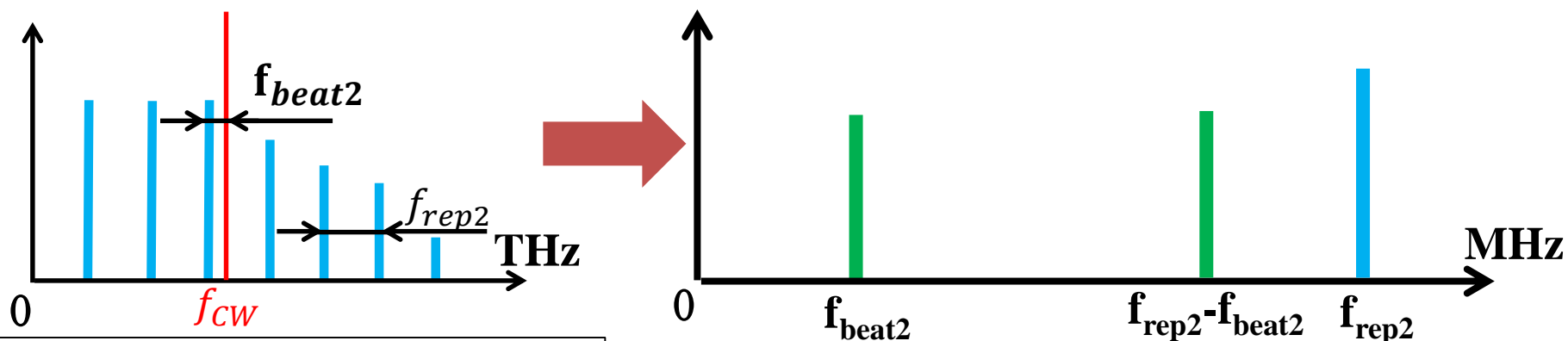
デュアルTHzスペアナを用いる

デュアルTHzスペアナを用いた コム間ビートの抽出

ref) Shuko Yokoyama et al., Optics Express, Vol. 16, Issue 17, pp. 13052-13061 (2008)



$$f_{beat1} = f_{CW} - m f_{rep1}$$



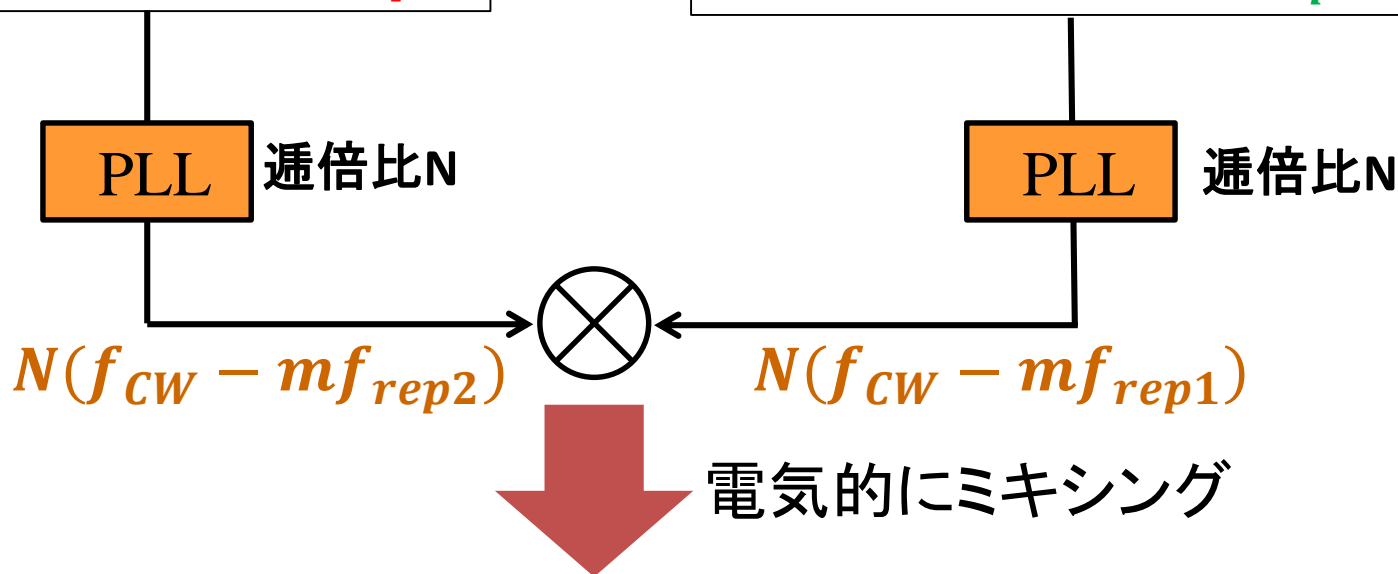
$$f_{beat2} = f_{CW} - m f_{rep2}$$

デュアルTHzスペアナを用いた コム間ビートの抽出

ref) Shuko Yokoyama et al., Optics Express, Vol. 16, Issue 17, pp. 13052-13061 (2008)

$$f_{beat1} = f_{CW} - m f_{rep1}$$

$$f_{beat2} = f_{CW} - m f_{rep2}$$

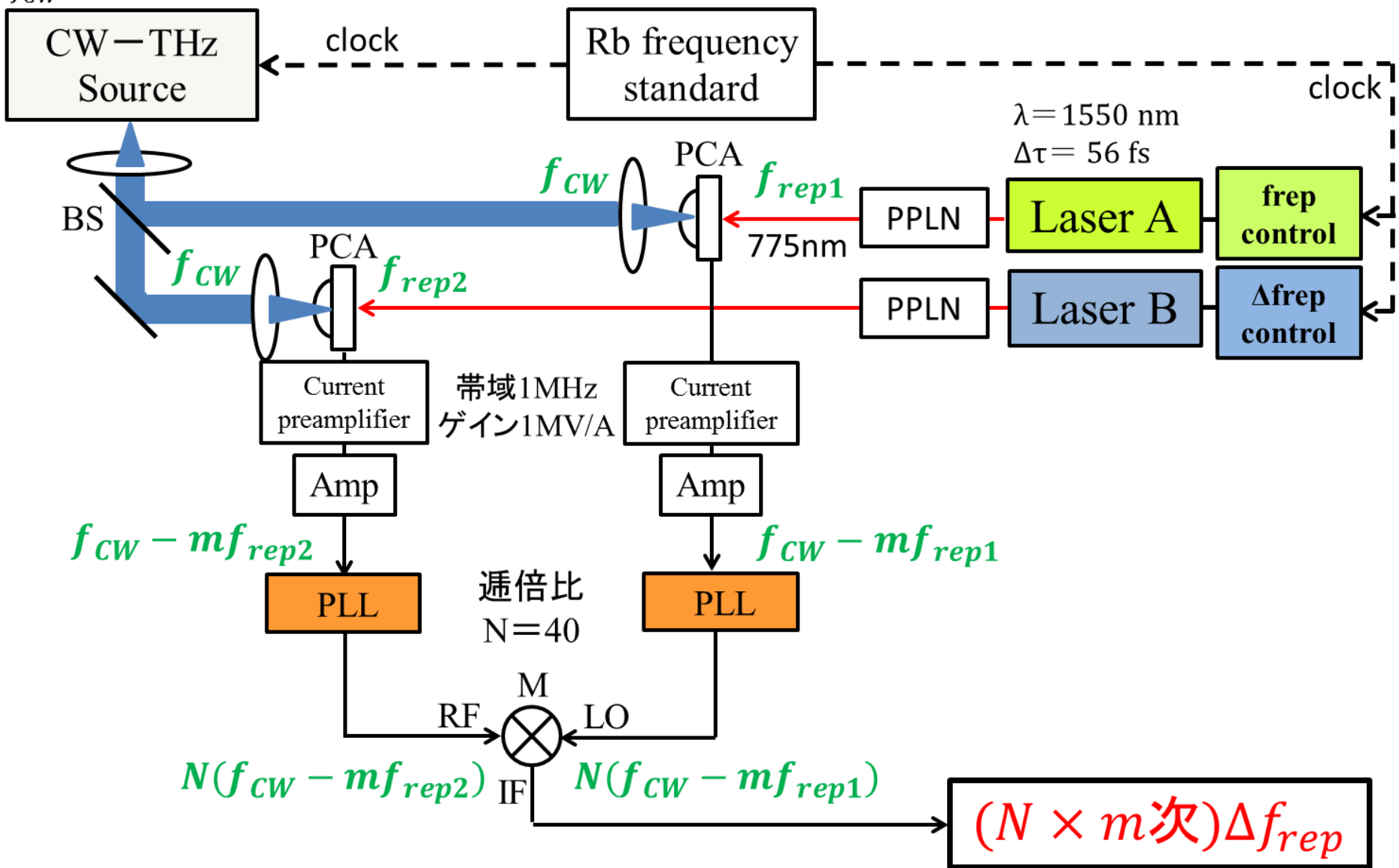


$$f_{beat1} - f_{beat2} = N \times m (f_{rep2} - f_{rep1}) = N \times m \Delta f_{rep}$$

$N \times m$ 次のコム間ビートの抽出

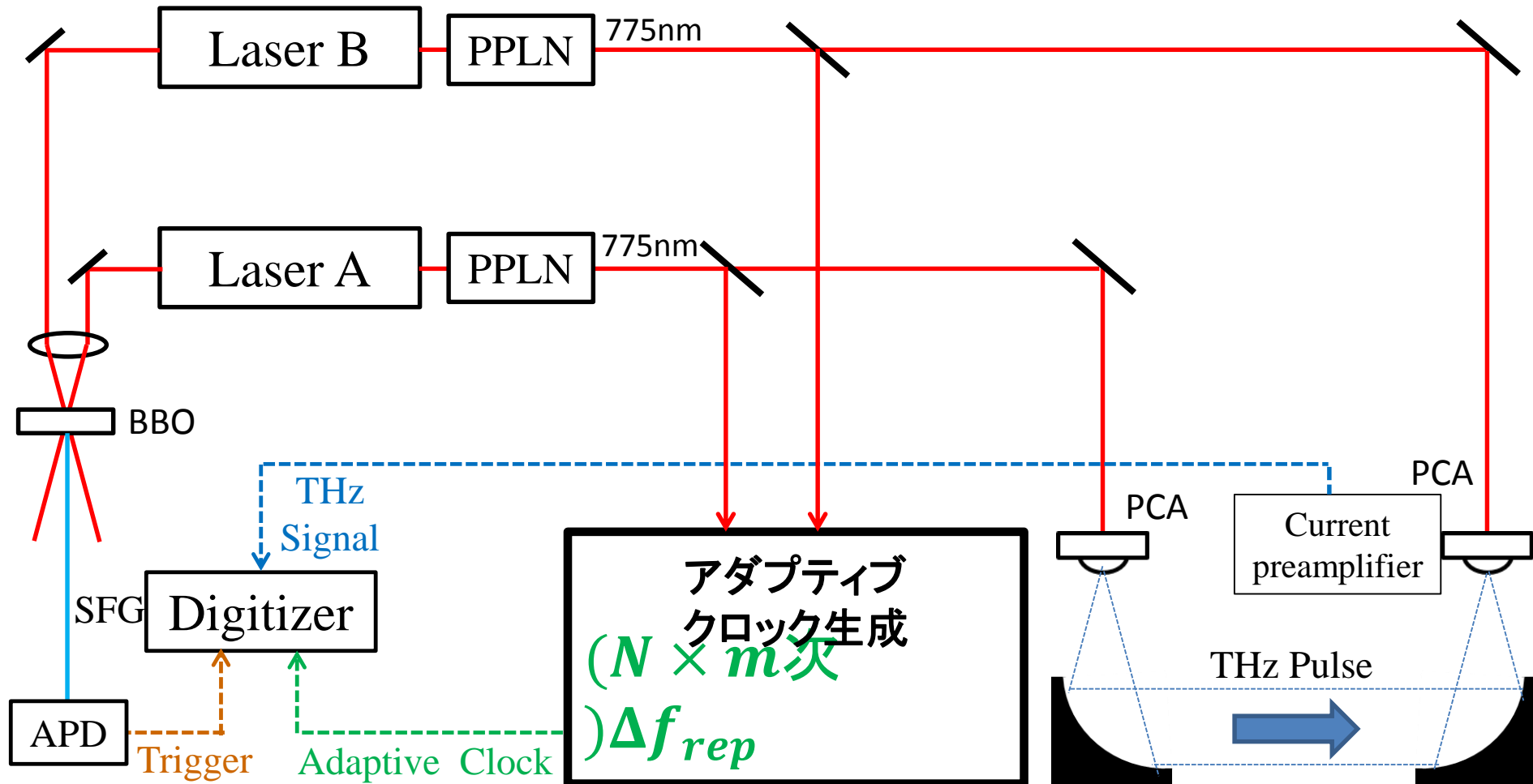
線幅 < 1Hz
 平均出力 2.5mW
 $f_{CW} = 100\text{GHz}$

実験光学系(アダプティブクロック)

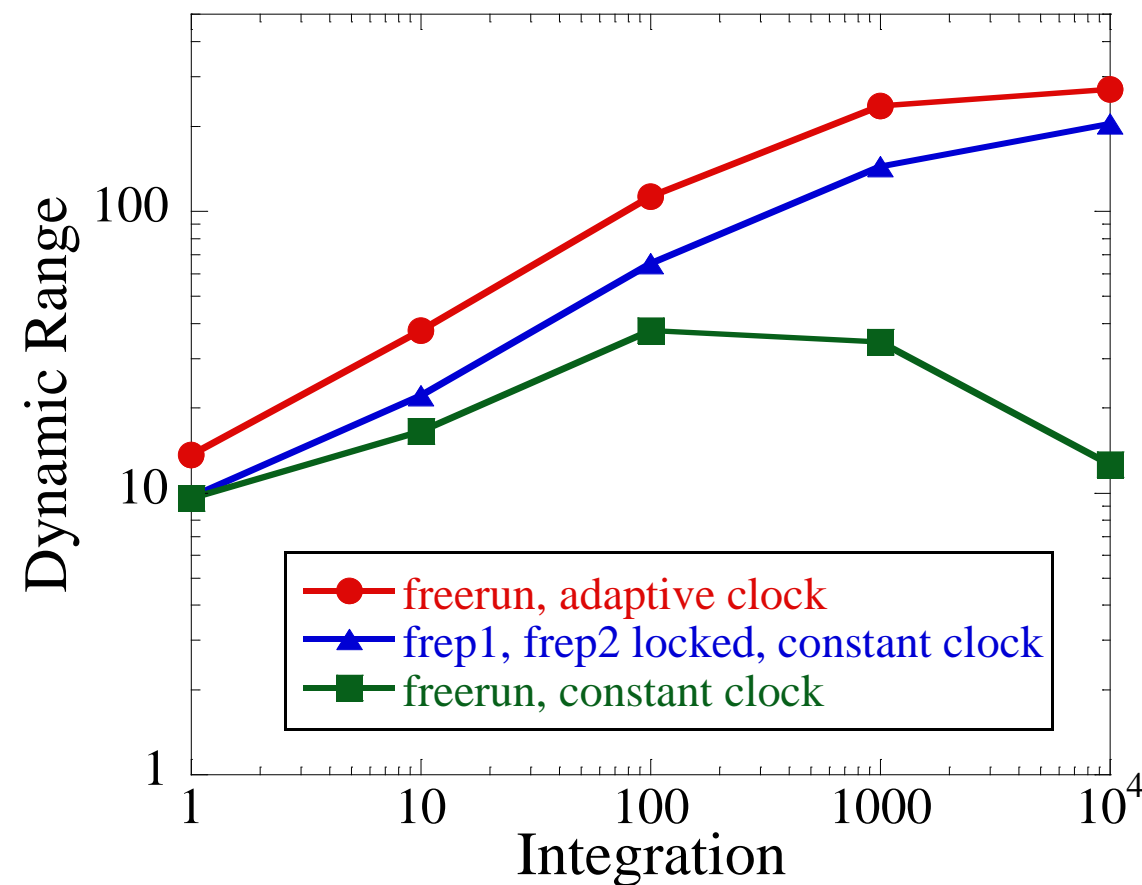


$$40 \times 1000\text{次} \times \Delta f_{rep} 50\text{Hz} = 2\text{MHz}$$

実験光学系



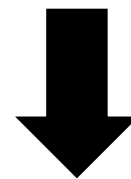
時間波形ダイナミックレンジの比較



$\Delta f_{\text{rep}} = 50\text{Hz}$

コンスタントクロック: 2MHz

アダプティブクロック: 2MHz



- フリーランでは、ジッターの影響により積算できていない
- 制御した状態でも、ジッターの影響あり

アダプティブサンプリングによってキャンセル

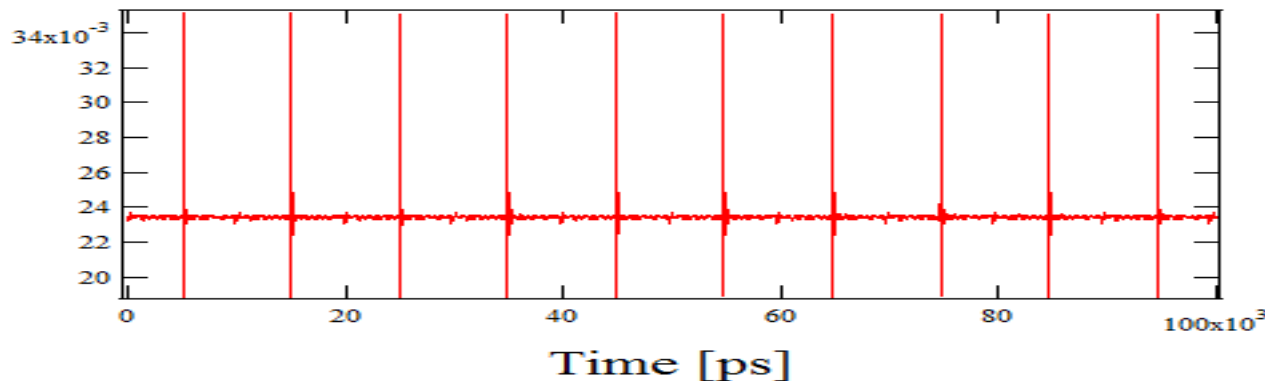
10連THzパルス列の計測

freerun

Adaptive clock

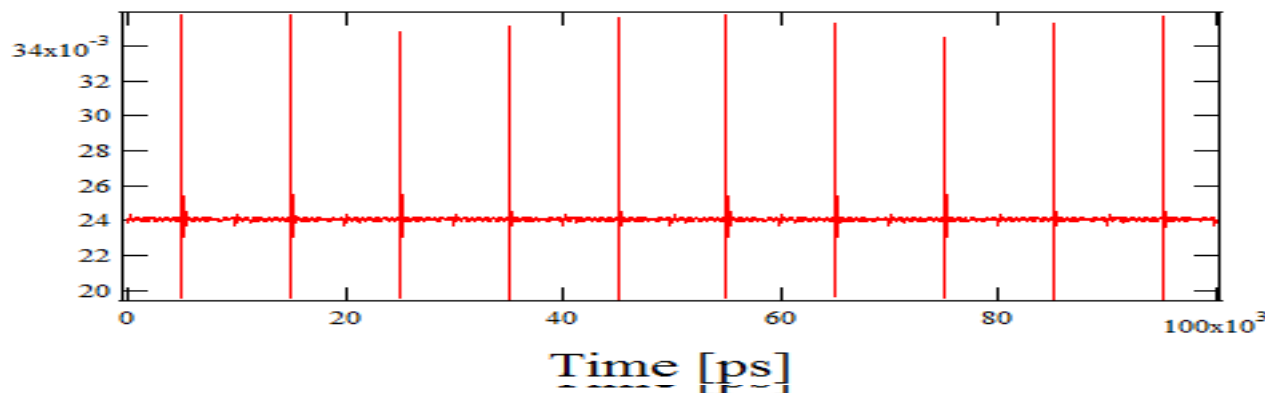
ジッターの影響を
キャンセル

Electric Field [a.u.]



$f_{\text{rep1}}, f_{\text{rep2}}$ locked
Constant clock

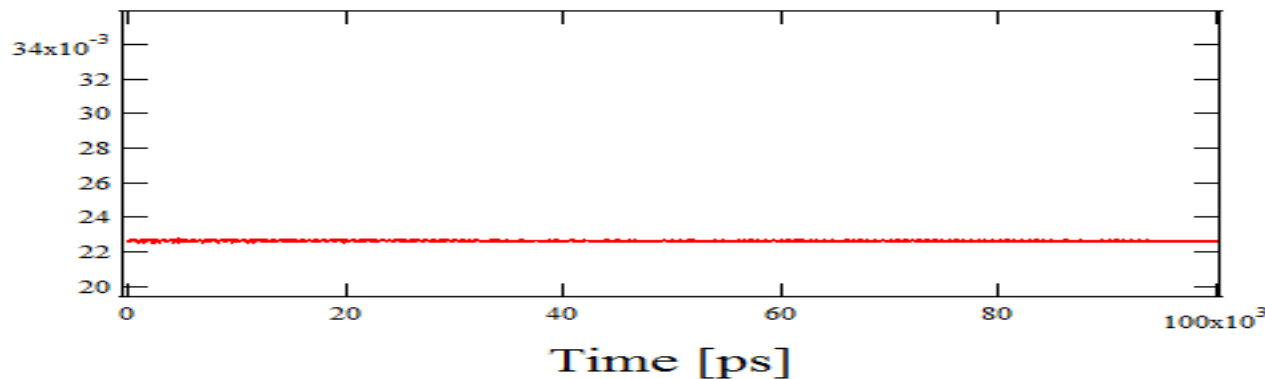
Electric Field [a.u.]



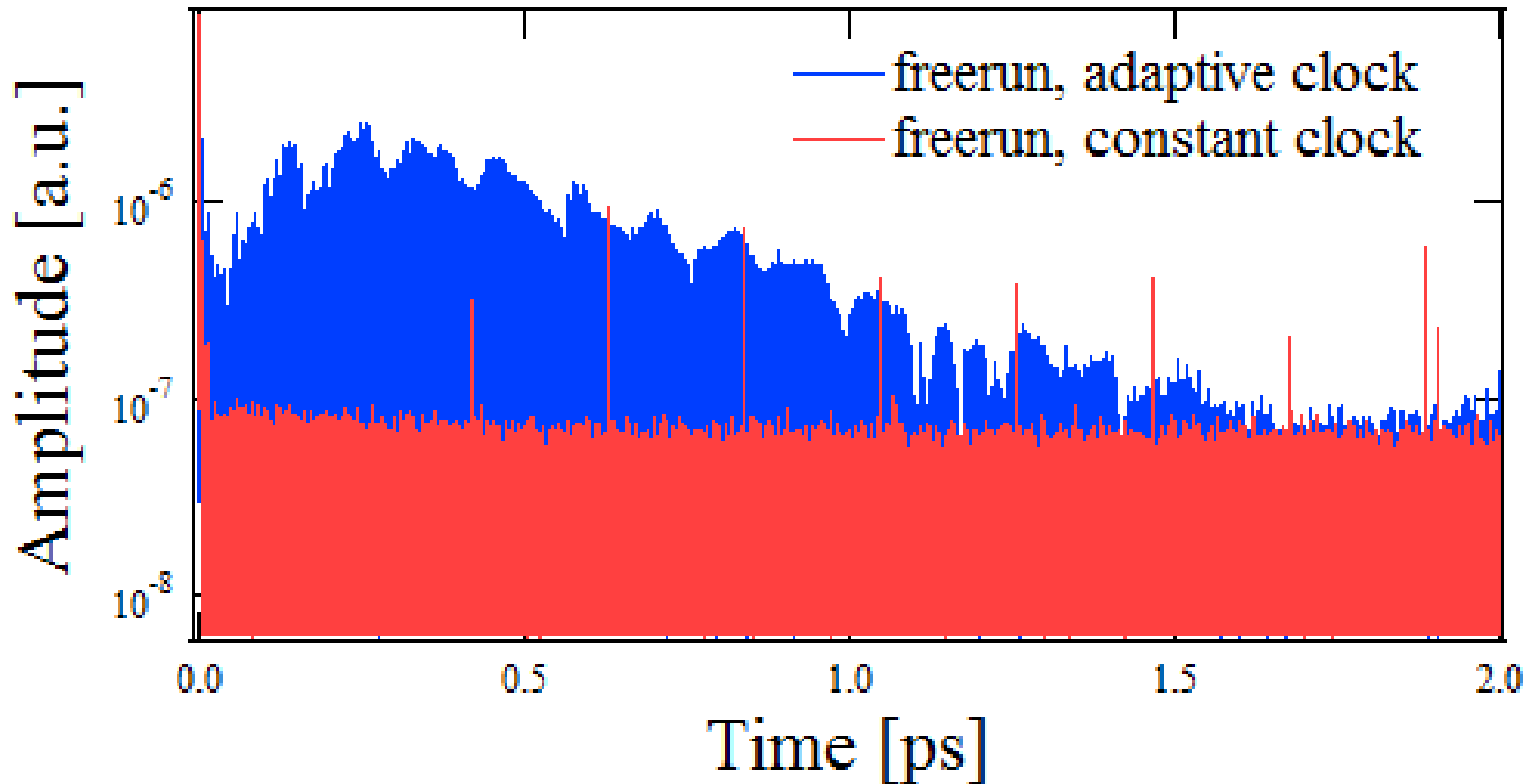
freerun
Constant clock

ジッターの影響で積
算できない

Electric Field [a.u.]



THzコム・スペクトル



非制御レーザーによる
デュアルTHzコム分光

まとめ

THzコム間ビート信号を抽出し、アダプティブサンプリングを行った

今後の予定

アダプティブサンプリングでガス分光を行い、ジッターの影響について評価する