

第75回応用物理学会秋季学術講演会

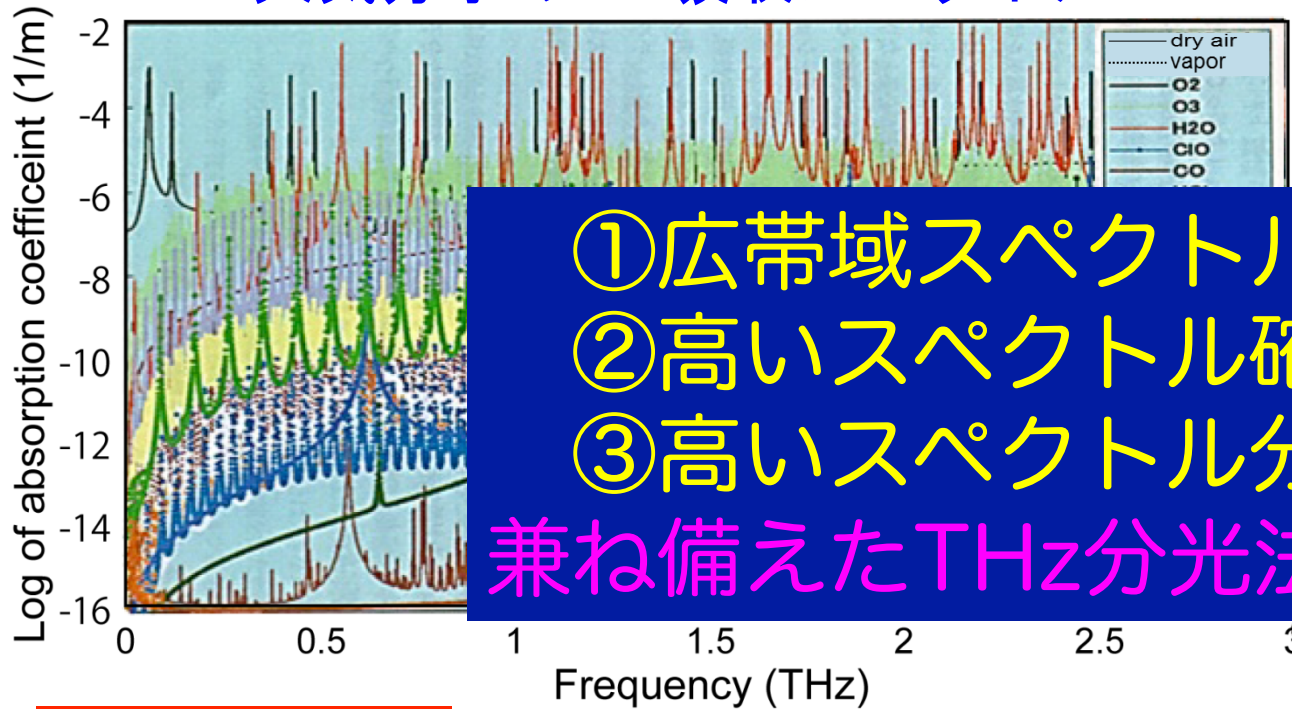
アダプティブ・サンプリング式 デュアルTHzコム分光法

市川 竜嗣¹, ○謝 宜達^{1,2}, 稲場 肇^{2,3},
美濃島 薫^{2,4}, 安井 武史^{1,2}

徳島大¹, JST-ERATO², 産総研³, 電通大⁴

THz 指紋スペクトル

大気分子のTHz吸収スペクトル

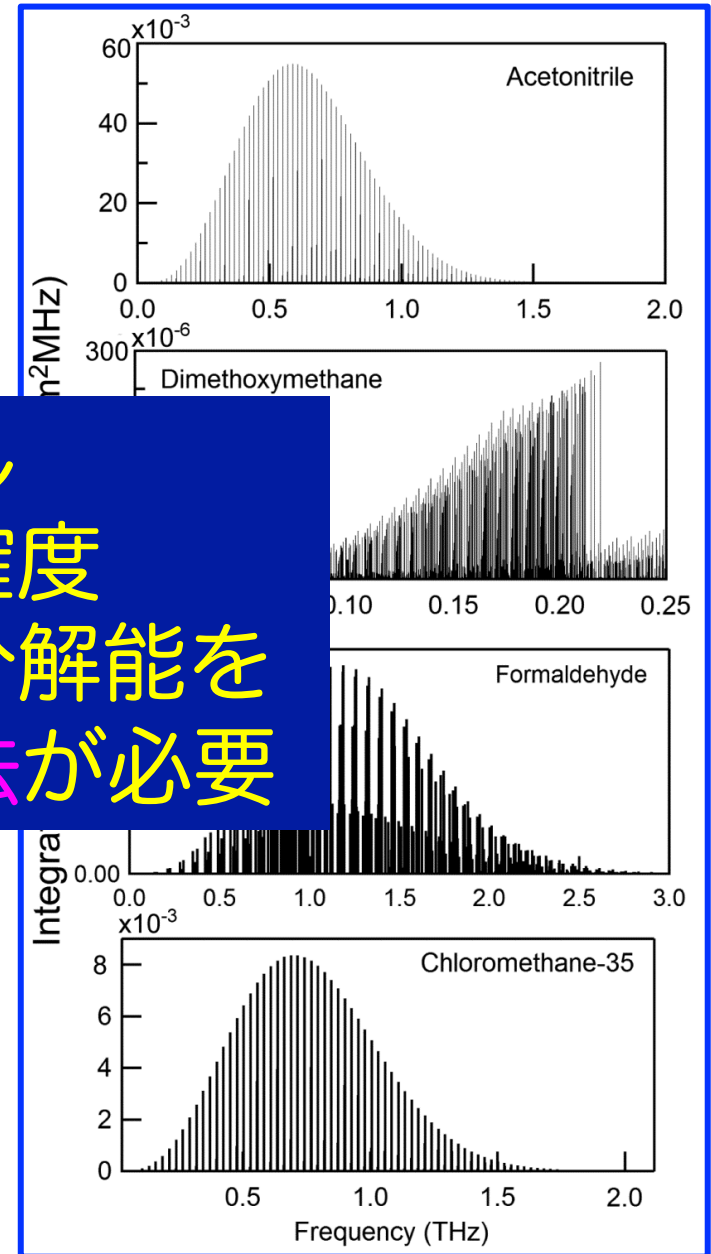


①広帯域スペクトル
②高いスペクトル確度
③高いスペクトル分解能を
兼ね備えたTHz分光法が必要

ターゲット

散乱微粒子混在ガスの *in situ* 分析

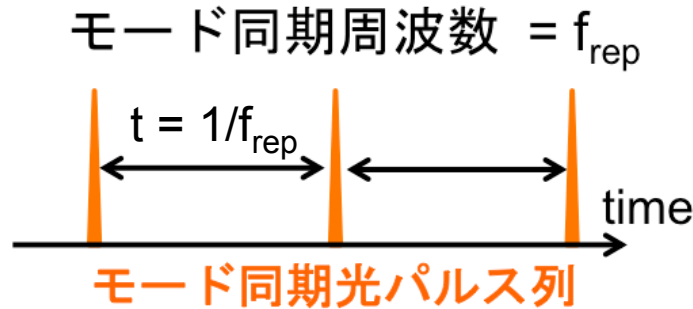
- ・ 燃焼過程 (煙・スス混在)
- ・ VOCガス (エアロゾル混在)



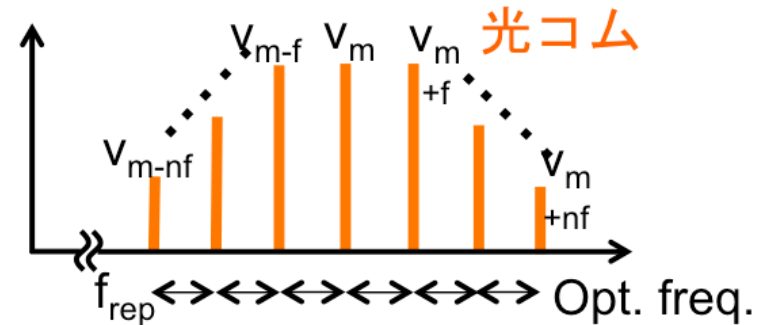
揮発性有機化合物(VOC) 2

光コムとTHzコム

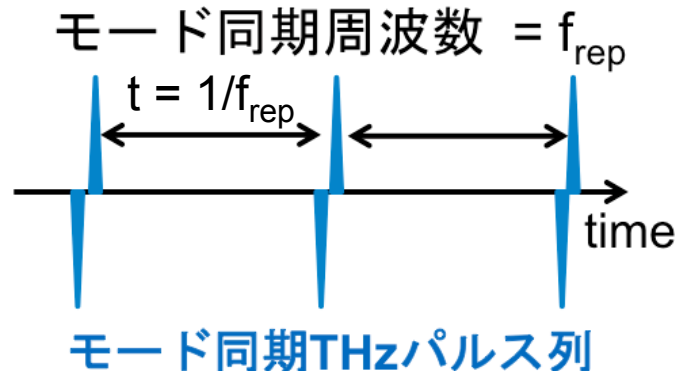
時間領域



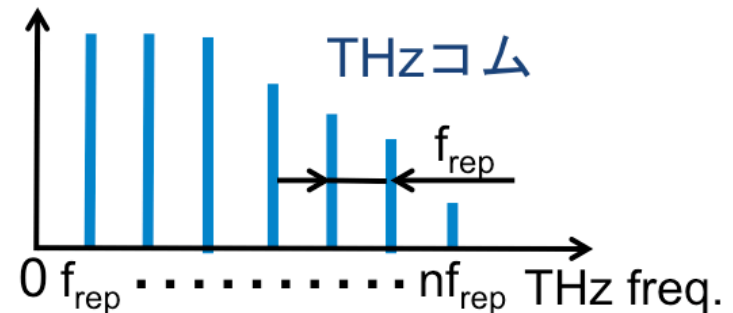
Fourier transform



光伝導アンテナ or 非線形光学結晶



Fourier transform

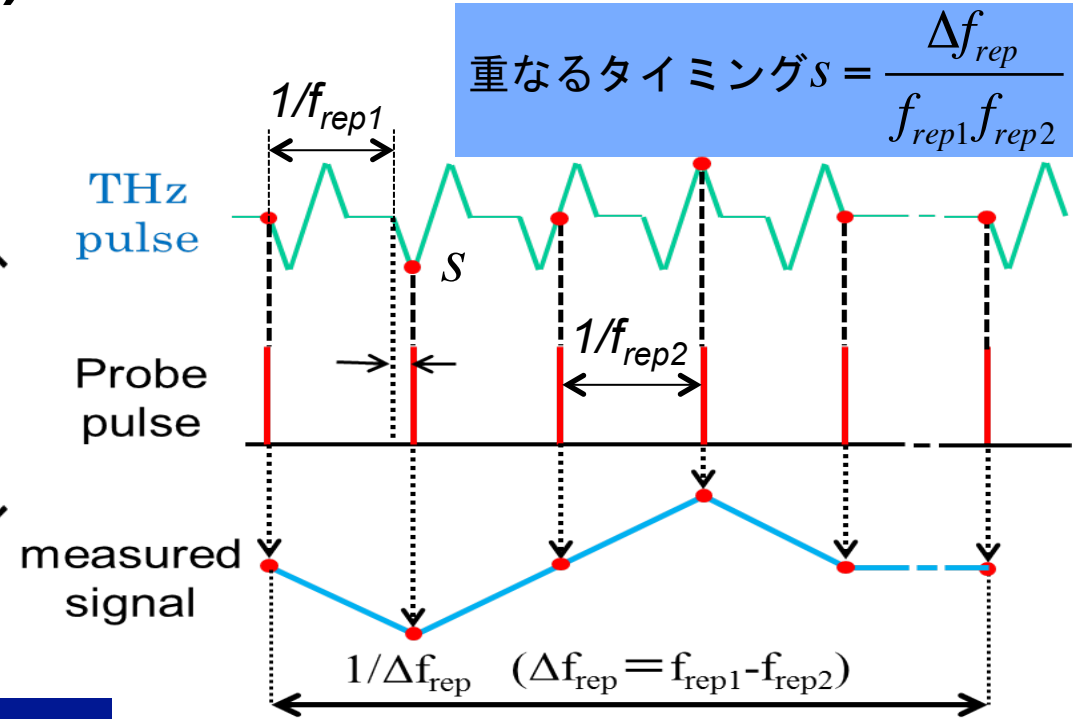
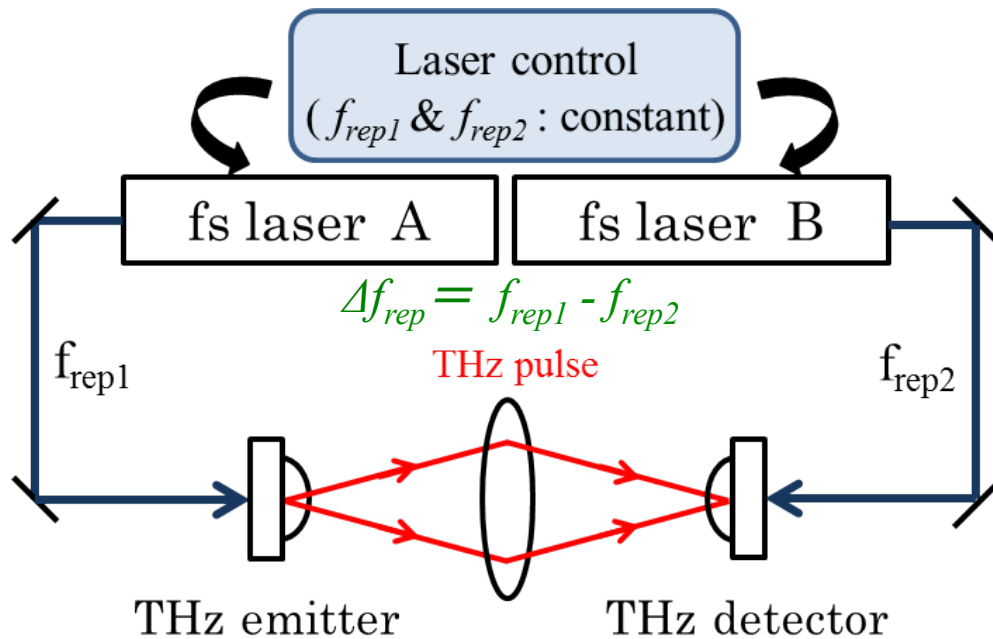


光領域やTHz領域における超精密周波数ものさし

(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)

非同期光サンプリング式THz-TDS (ASOPS-THz-TDS)

THzパルスとプローブパルスの重なる
タイミングが各パルス毎に自動的にシフト



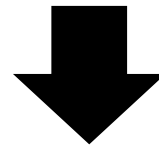
- ・機械式時間遅延走査が不要
- ・任意の測定時間窓を設定可能
- ・高速測定 (スキャンレート = Δf_{rep})

ピコ秒オーダー (周期 $1/f_{rep1}$) の THzパルスをマイクロ秒オーダー (周期 $1/\Delta f$) までスケール拡大

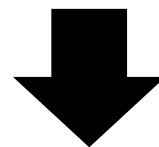
時間スケール拡大率 $M = f_{rep1} / \Delta f_{rep}$

ref) Appl. Phys. Lett. 87, 061101 (2005).

従来のASOPS-THz-TDSを用いた場合、
モード同期周波数の安定化制御が必要



もし、フリーランニング・レーザーを用いる
ことができれば、その利用範囲を大きく拡大
することが可能



しかし、タイミング・ジッターの影響で、
時間軸の線形性が保てなくなる

アダプティブ・サンプリング

Ref) T. Ideguchi, Nat. Comm., 5, 3375 (2014).

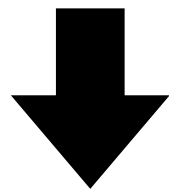
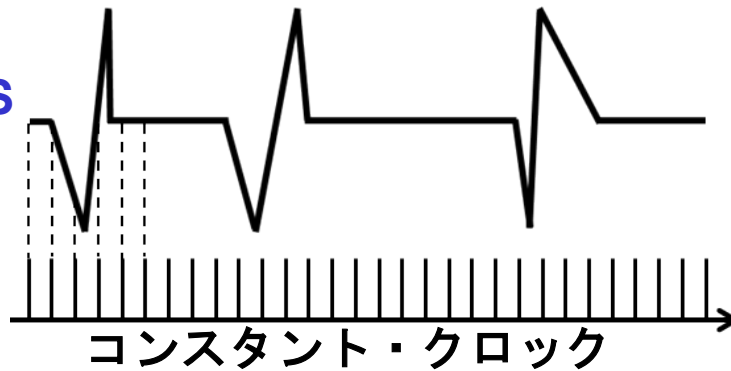
従来法

(コンスタント・サンプリング)

時間軸が歪んだTHzパルス列

ASOPS-THz-TDS
信号

データ収集
のタイミング

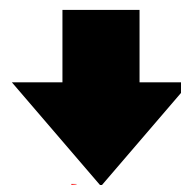
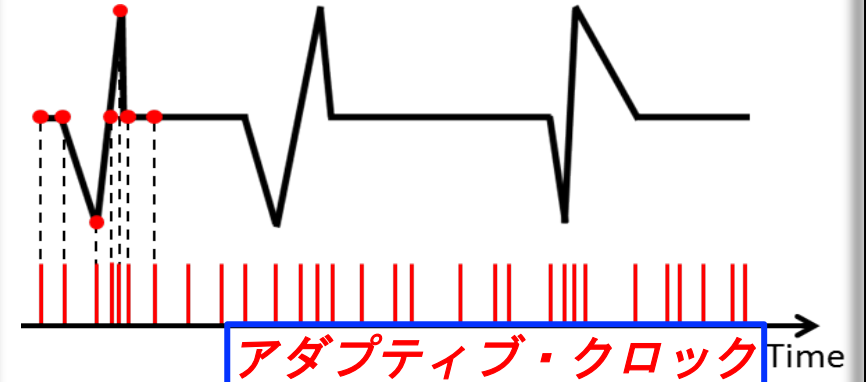


歪んだままの
時間波形

提案手法

(アダプティブ・サンプリング)

時間軸が歪んだTHzパルス列

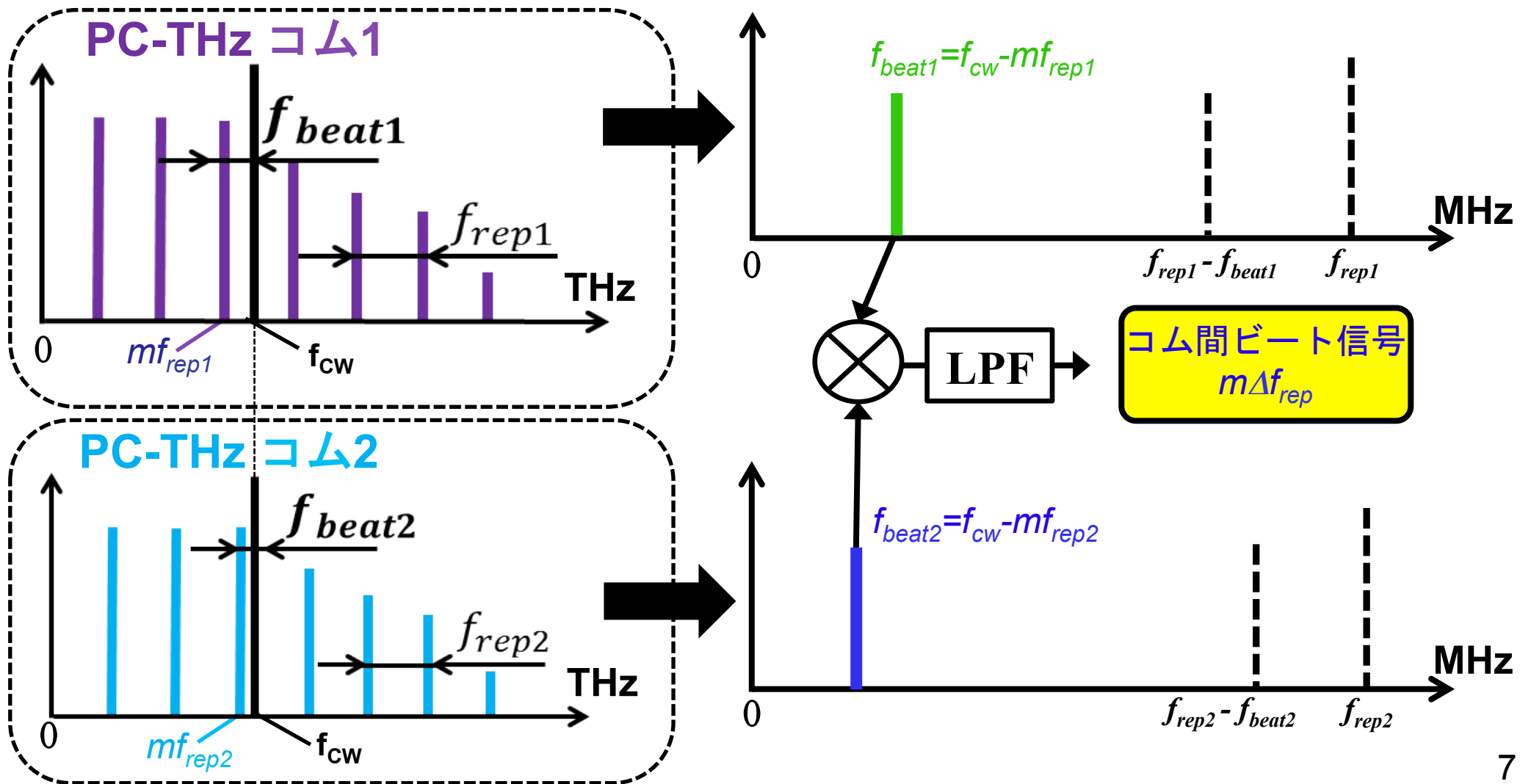


時間軸の歪みが
補償できる!!

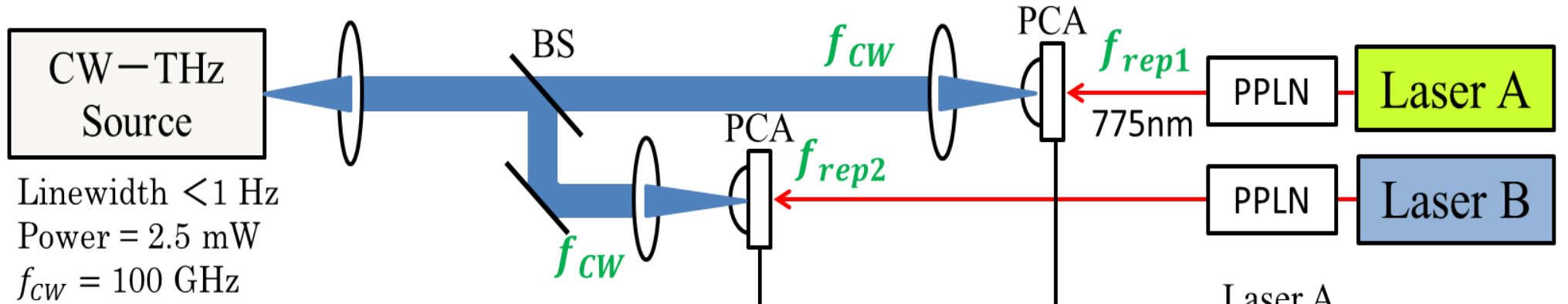
レーザーの揺らぎを反映するアダプティブ・クロックは
コム間ビート信号から生成できる

コム間ビート信号の抽出

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

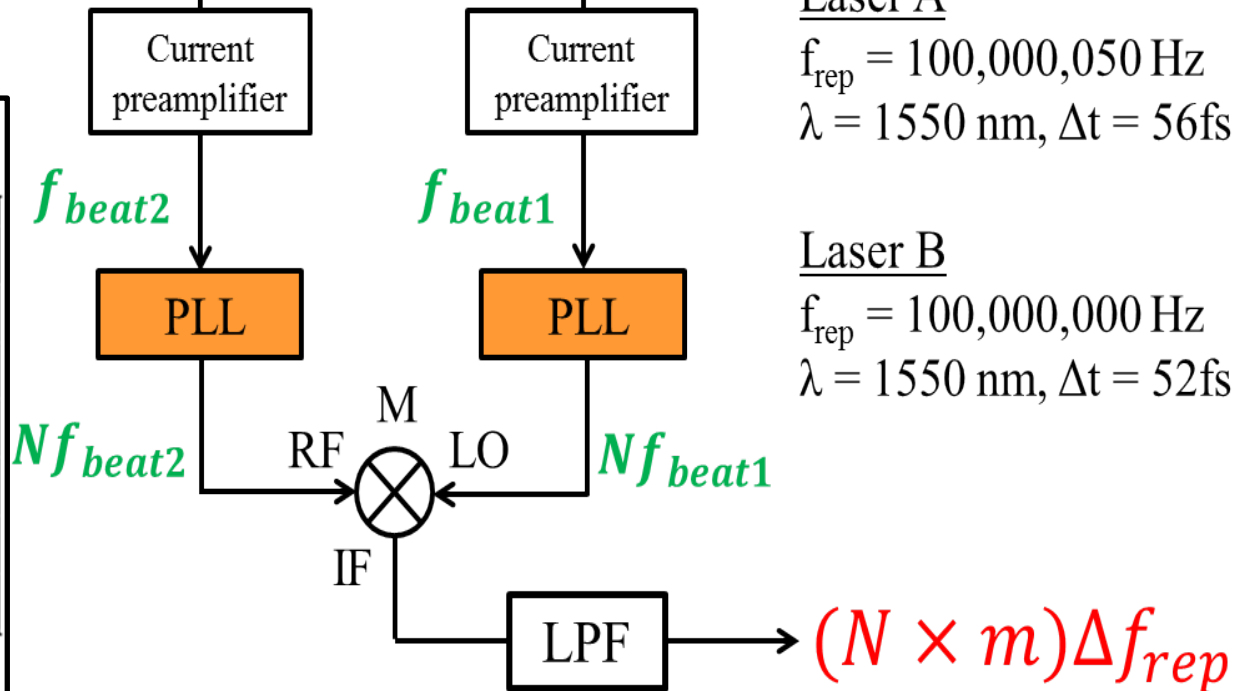
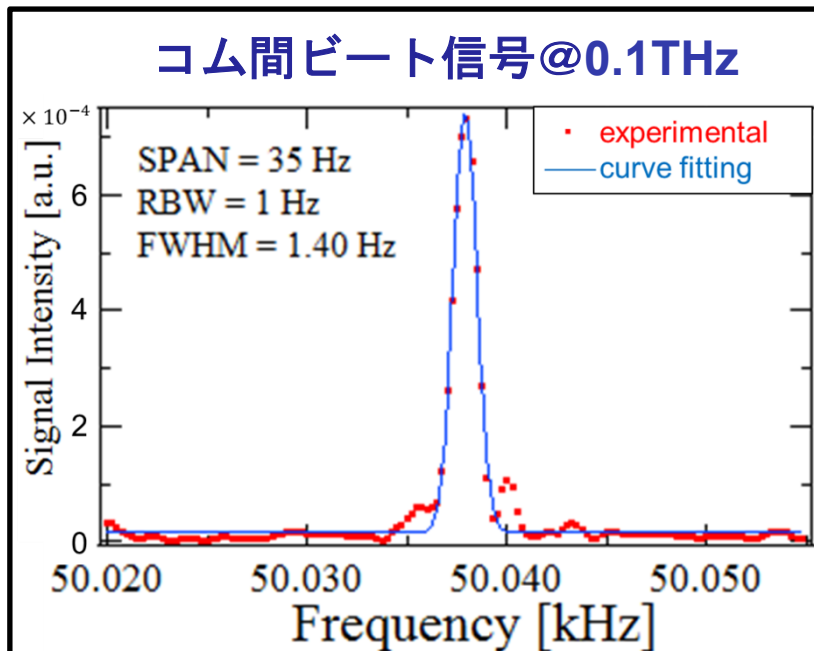


実験装置①アダプティブ・クロック

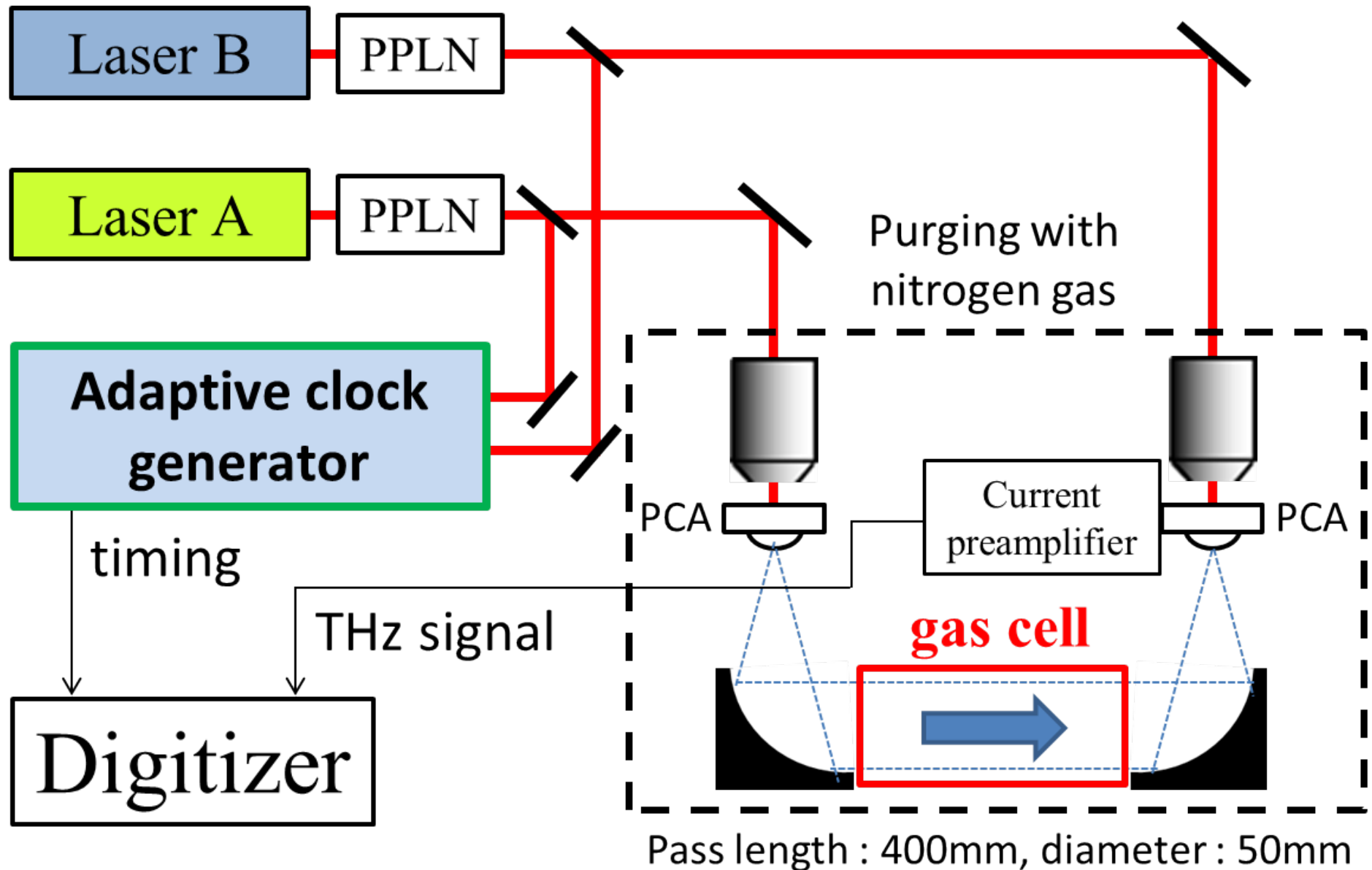


Laser A
 $f_{rep} = 100,000,050$ Hz
 $\lambda = 1550$ nm, $\Delta t = 56$ fs

Laser B
 $f_{rep} = 100,000,000$ Hz
 $\lambda = 1550$ nm, $\Delta t = 52$ fs



実験装置②デュアルTHzコム分光装置



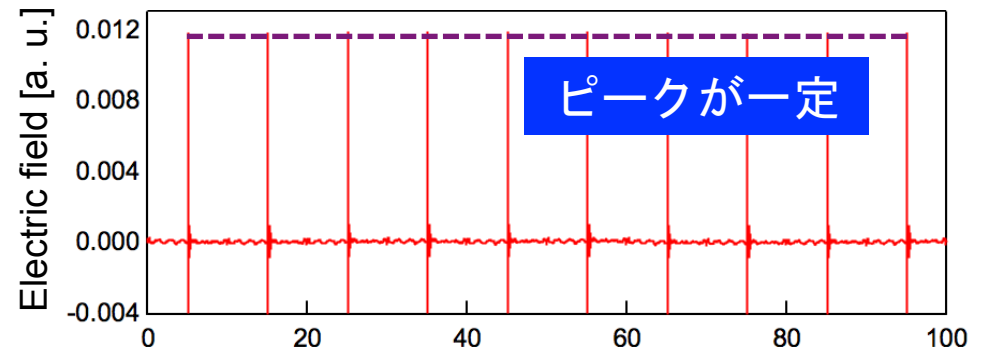
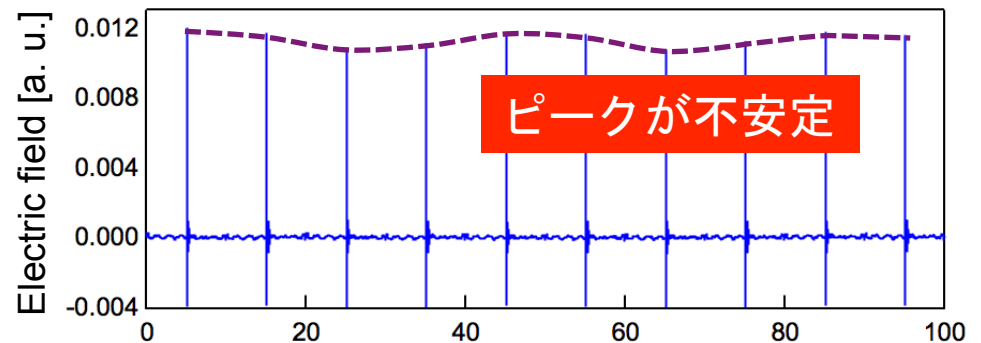
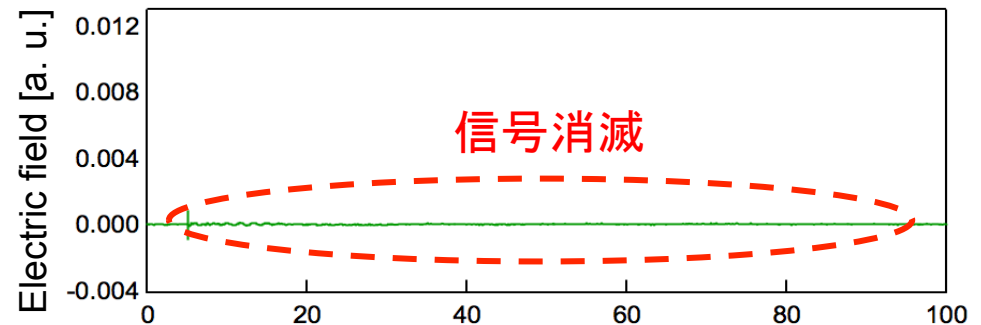
実験結果① 電場時間波形

Δf_{rep} : 50 Hz, 積算回数 : 10000, サンプルング・レート : 2 MHz

コンスタント・クロック
 f_{rep1} & f_{rep2} フリーランニング

コンスタント・クロック
 f_{rep1} & f_{rep2} 独立制御
(従来法)

アダプティブ・クロック
 f_{rep1} & f_{rep2} フリーランニング
(提案手法)



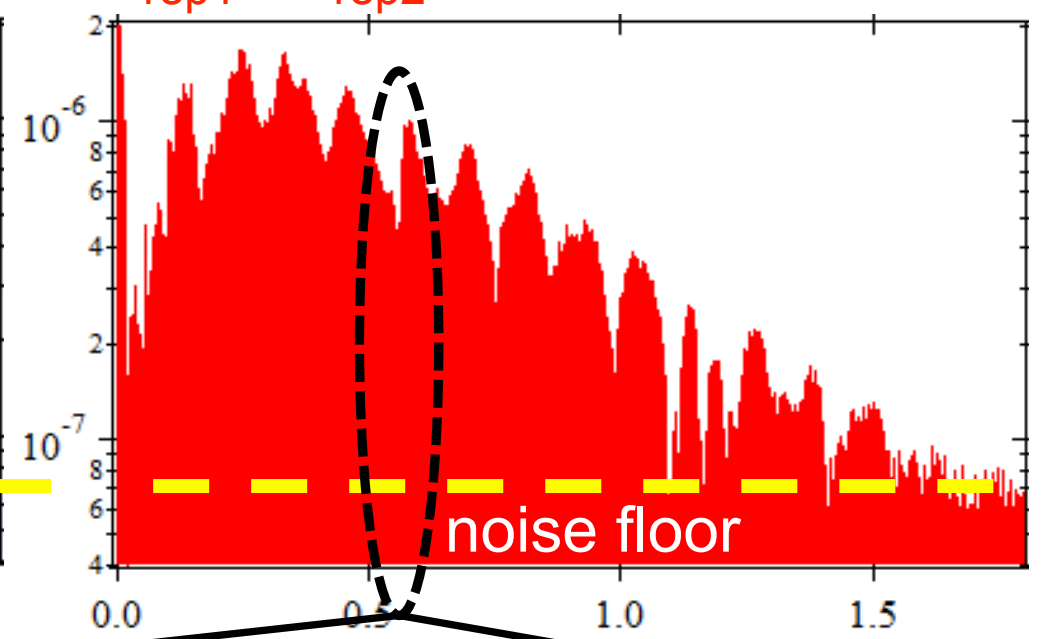
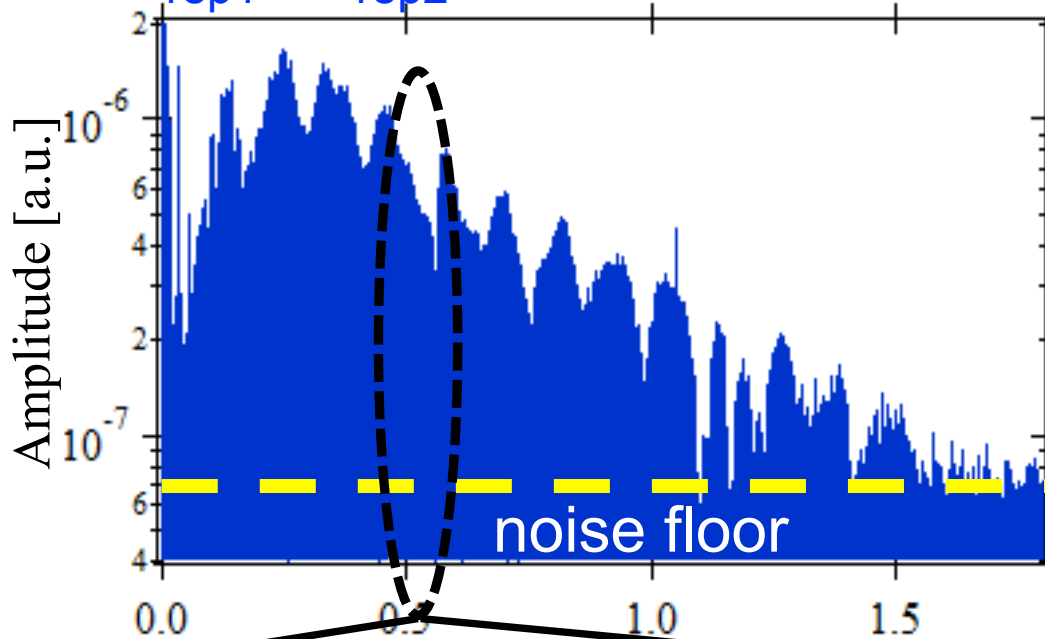
実験結果② THzコム・スペクトル

コンスタント・クロック

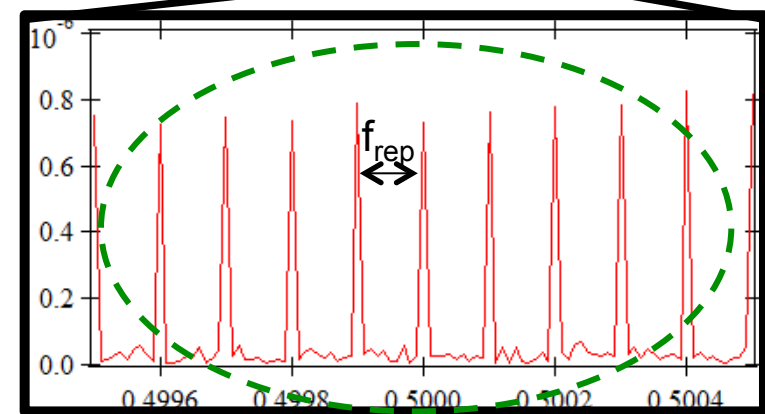
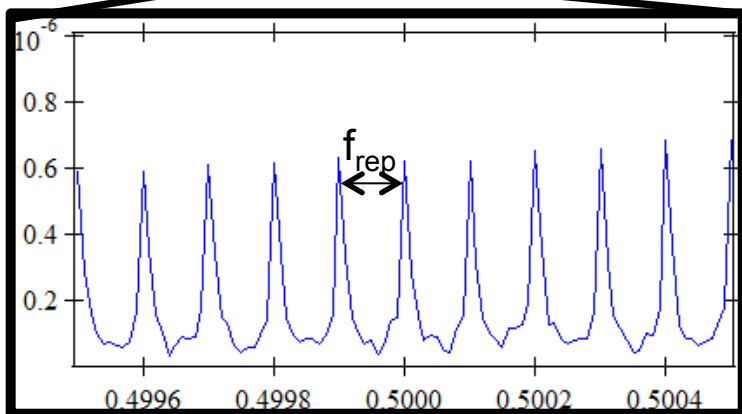
アダプティブ・クロック

f_{rep1} & f_{rep2} 独立制御 (従来法)

f_{rep1} & f_{rep2} フリーランニング

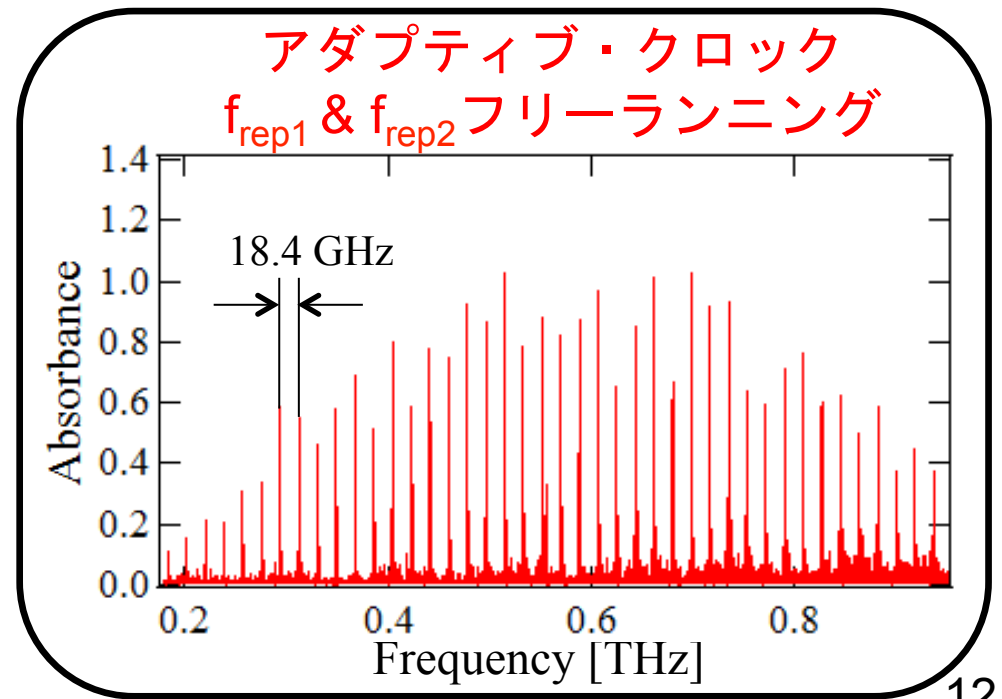
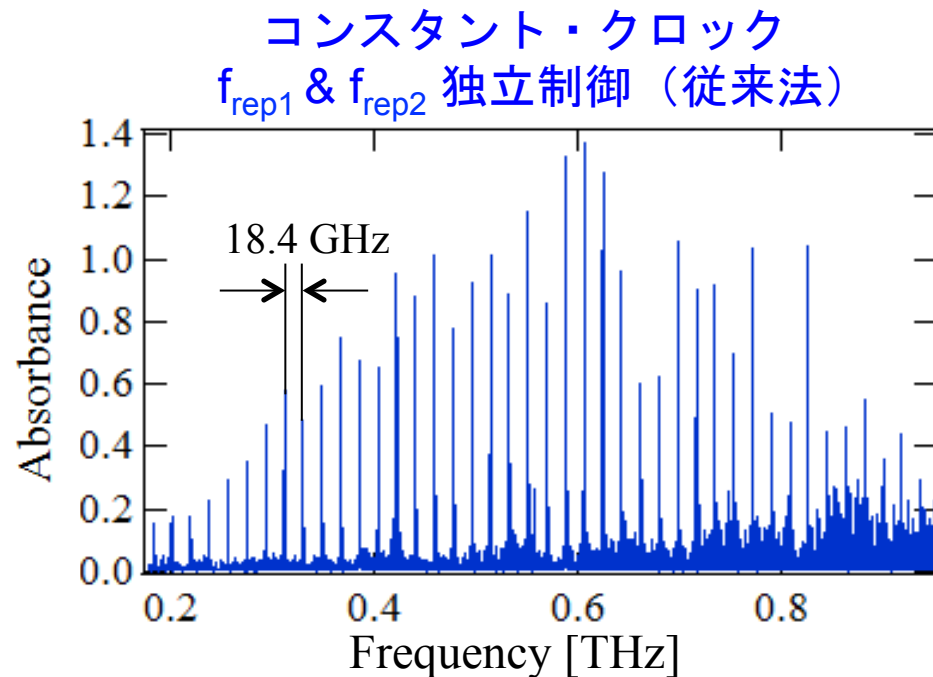
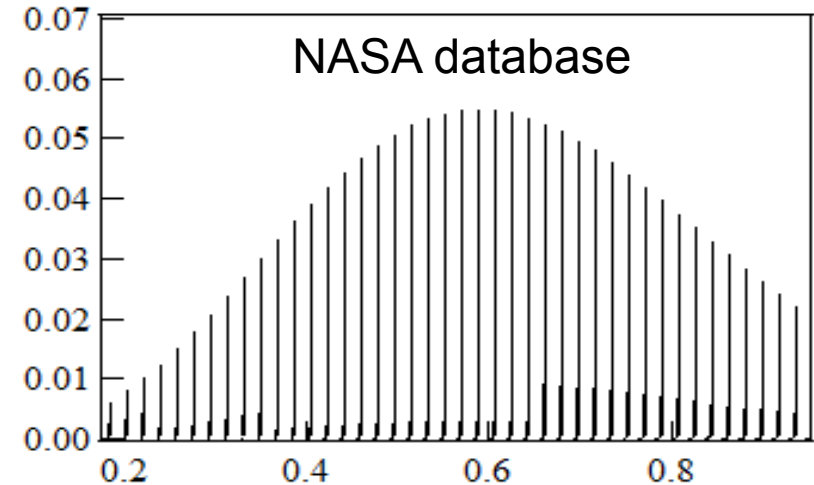


Frequency [THz]



実験結果③ ガス分光への応用

- アセトニトリル (CH_3CN)
 - VOCガスの一種、星間分子
 - 対称コマ型分子
 - 回転遷移による吸収線が回転係数 ($B=9.2\text{GHz}$) 2倍で等間隔に現れる

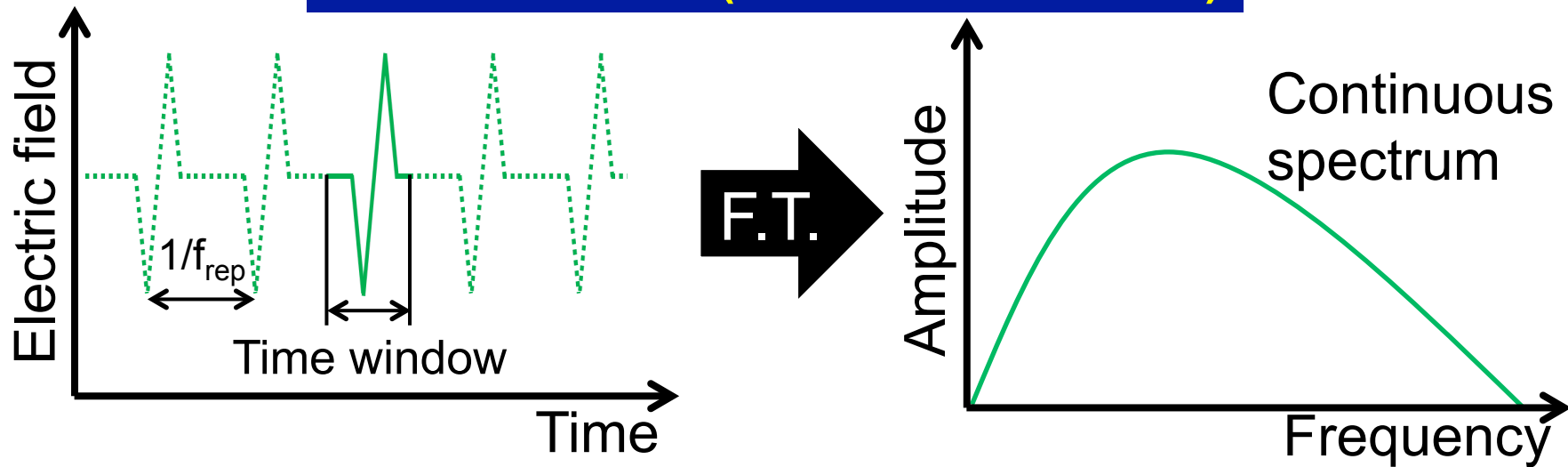


まとめ

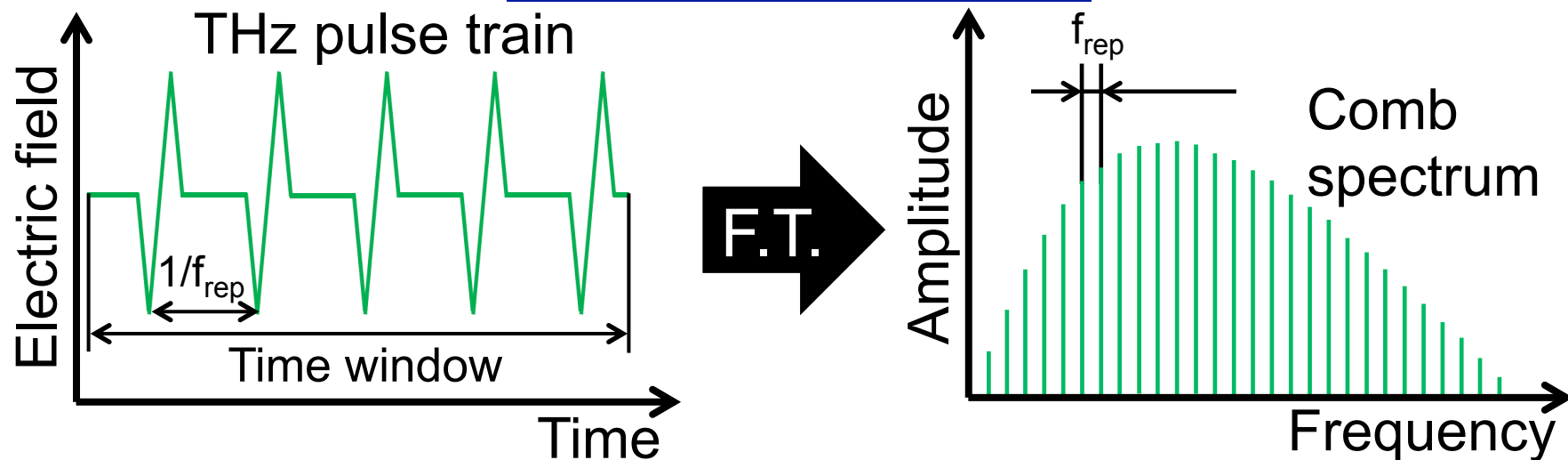
- アダプティブ・サンプリング法を適用することにより、フリーランニング・レーザーでもデュアルTHzコム分光法可能である
- アセトニトリル・ガスによる等間隔な吸収線を観測し、従来法と同等な性能を有すると考えられる

どうやって、THzコムを観測する？

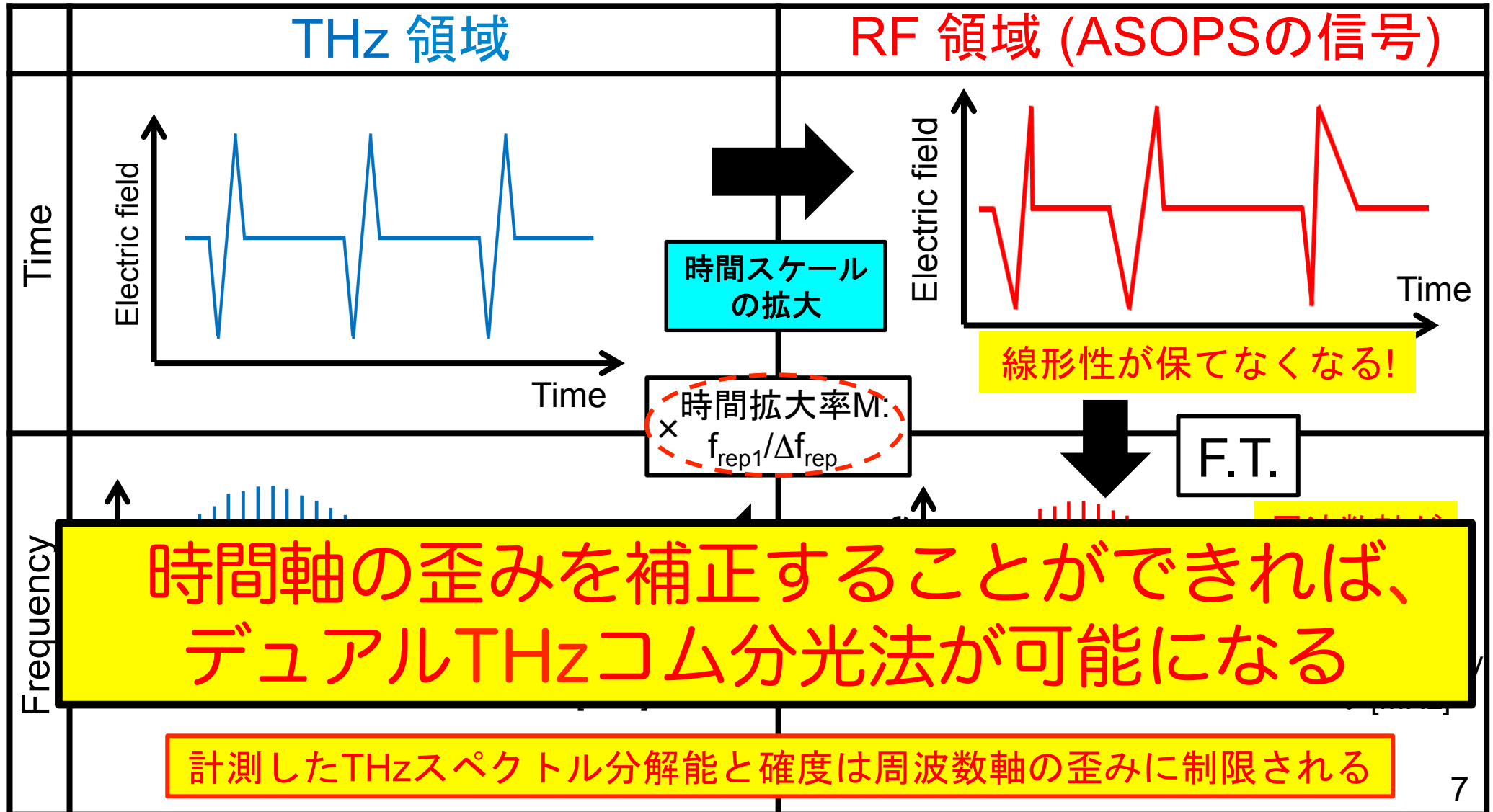
従来のTHz-TDS (機械式時間遅延走査)



時間窓拡大型THz-TDS



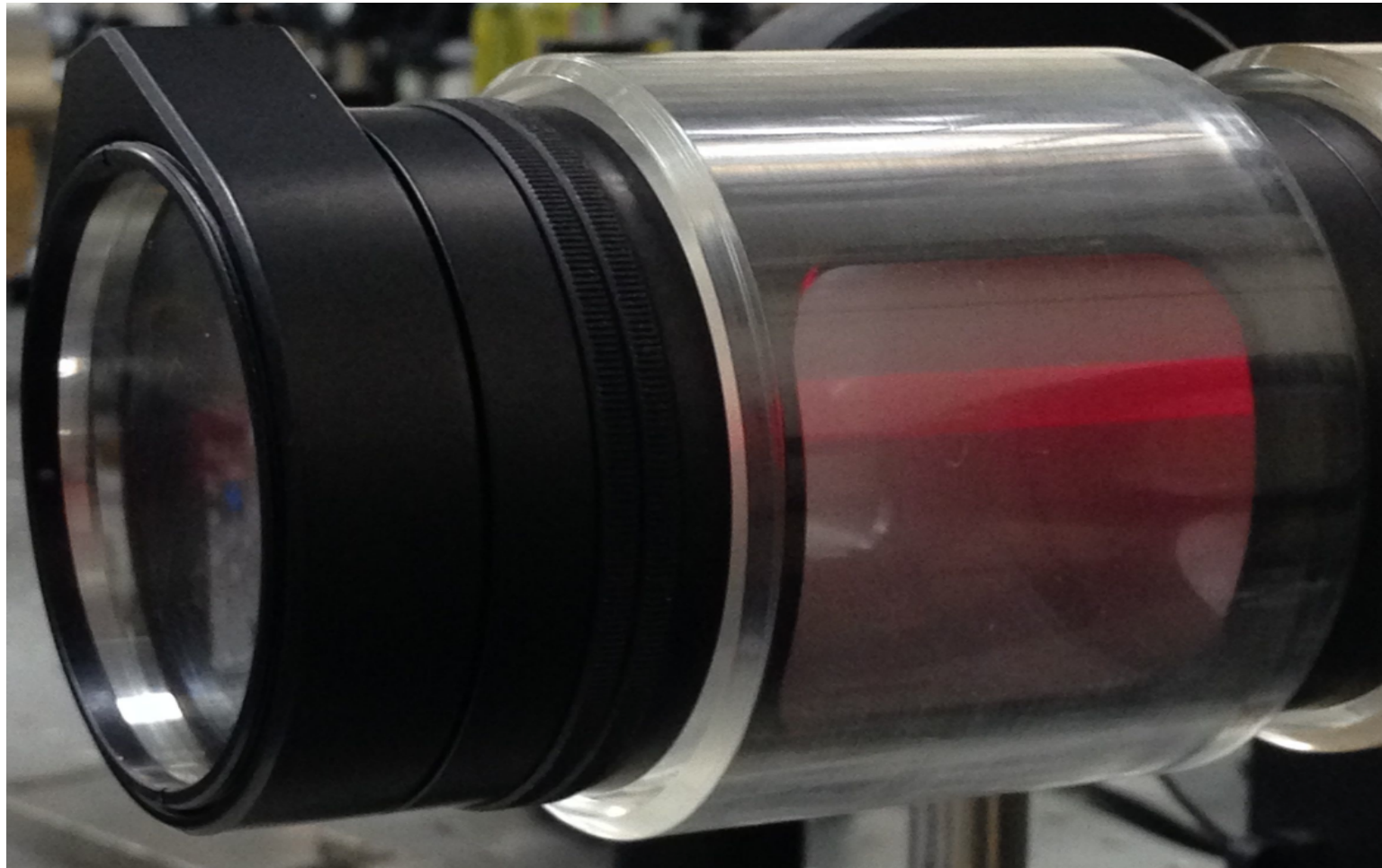
タイミング・ジッターの影響



エアロゾル（線香煙）透過測定

可視光レーザー：632nm

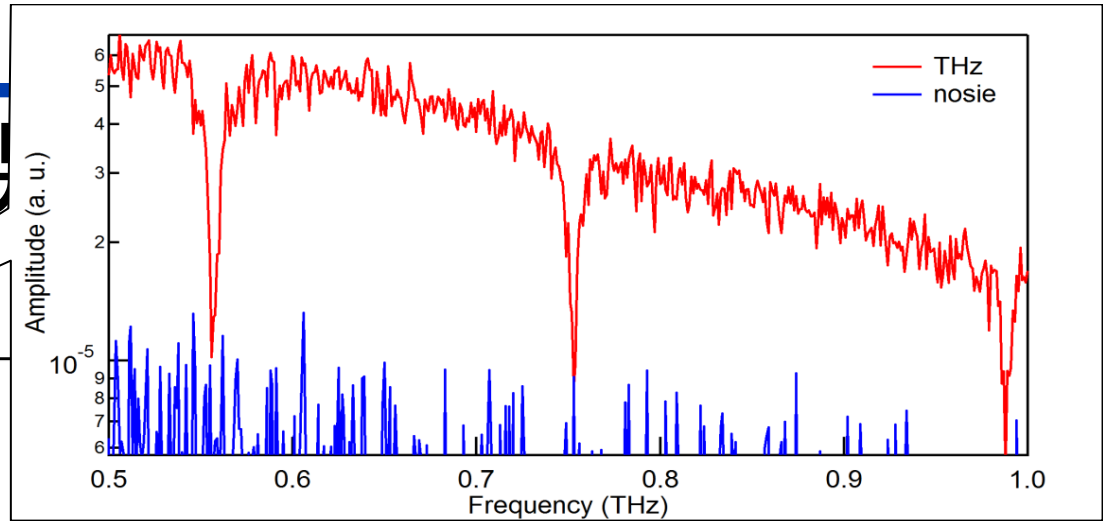
THz計測条件：計測時間：1s、時間窓：1ns、差周波：50Hz



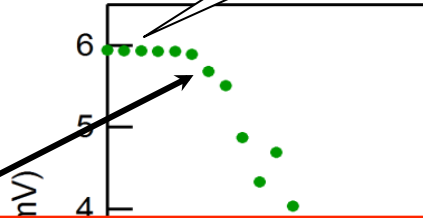
エアロゾル（糸）

可視光レーザー：632nm

THz計測条件：計測時間：1s、時間窓：

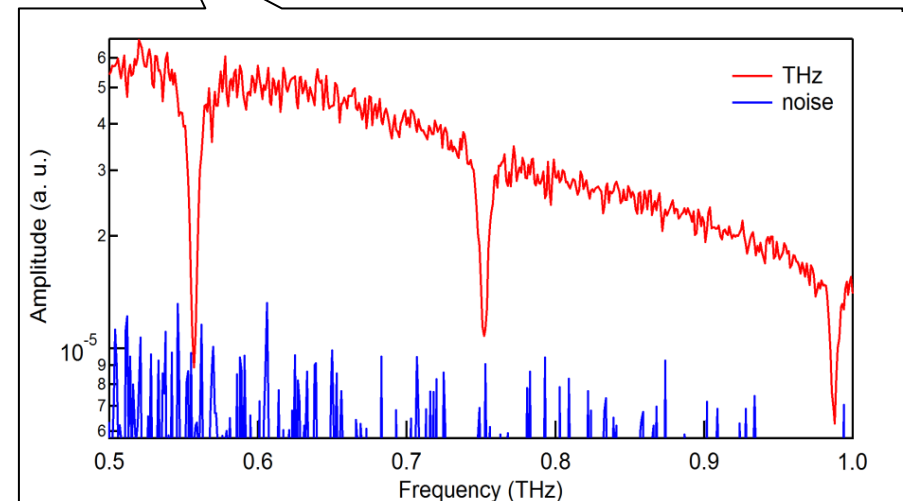
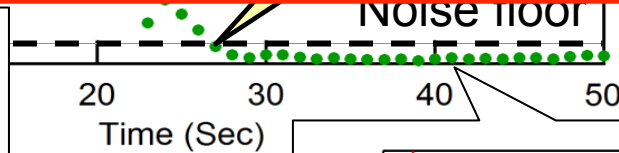
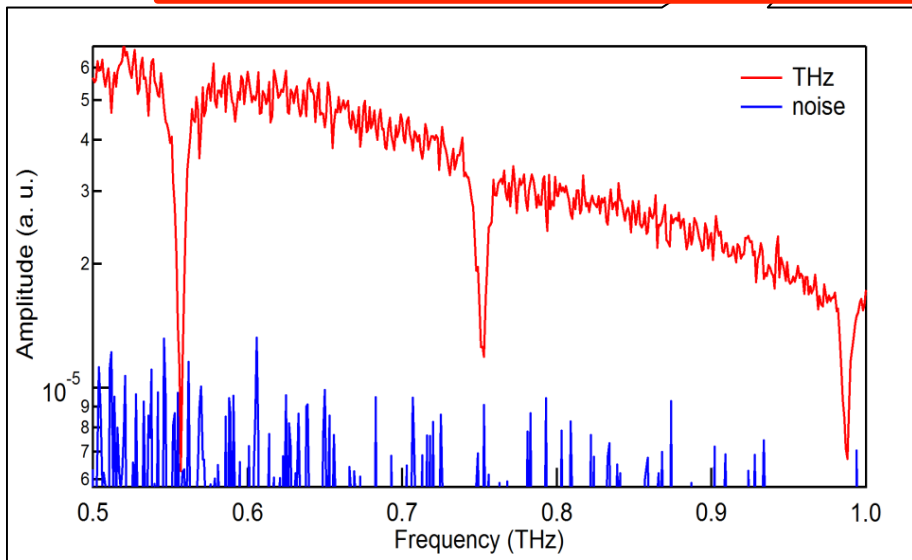


注入開始



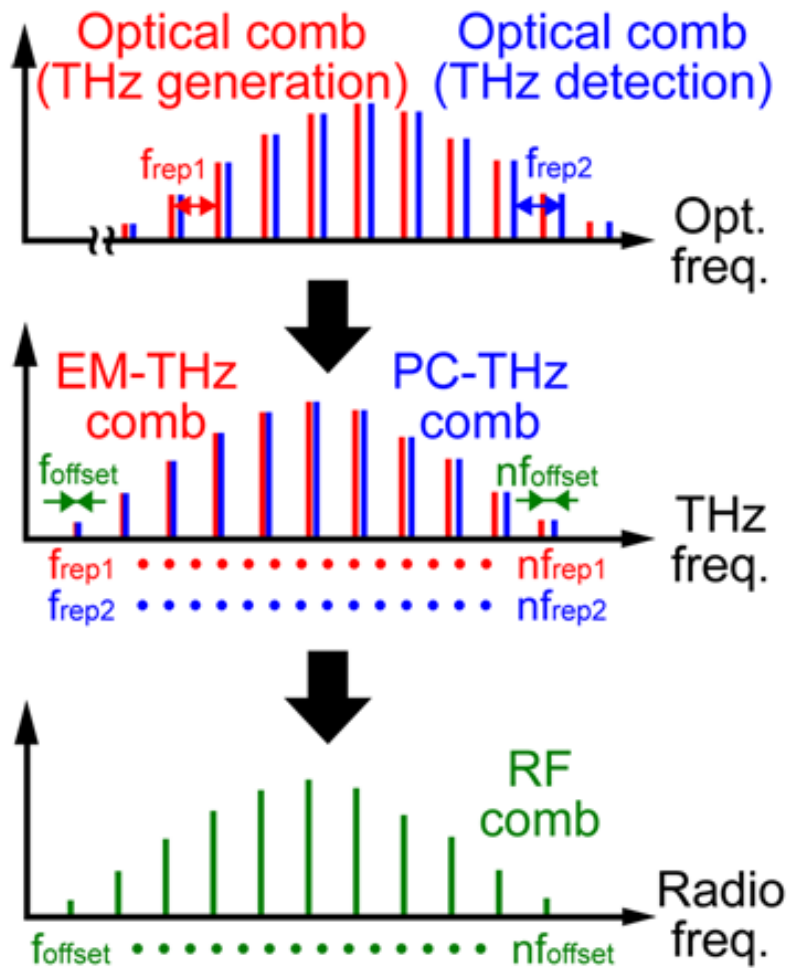
糸の影響により信託度が

エアロゾルの影響を受けることなく、THzスペクトルの取得が実時間で可能



Dual THz comb spectroscopy

Frequency domain



Time domain

