

# 非同期光サンプリング式 テラヘルツ時間領域分光法における タイミングジッターの抑制

安井研究室 M1 市川竜嗣

# 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

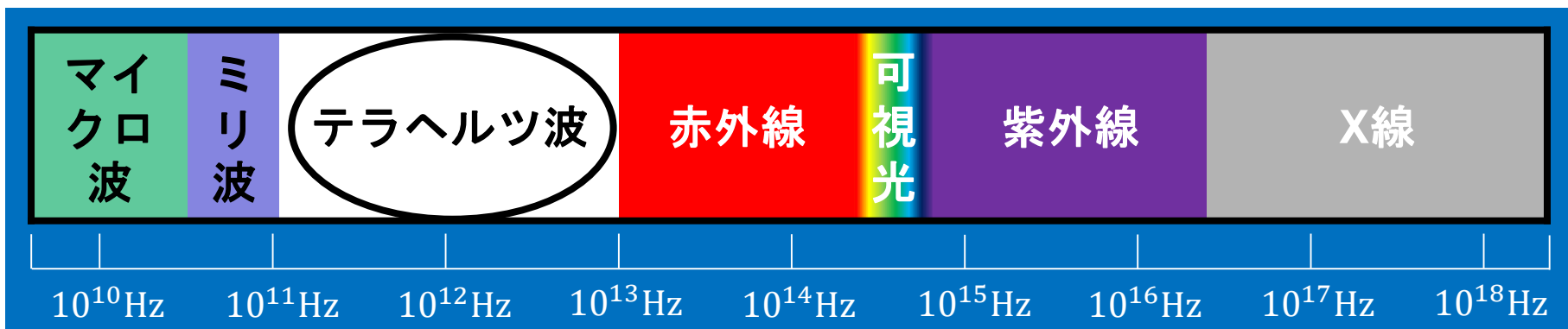
大気ガスの分析が  
求められている!!

# 従来の大気ガス分析法

	ガスクロマトグラフィ	半導体センサ	赤外吸収分光法
測定時間	×	○	○
複数の気体分子	○	×	◎
エアロゾルの影響	×	×	×

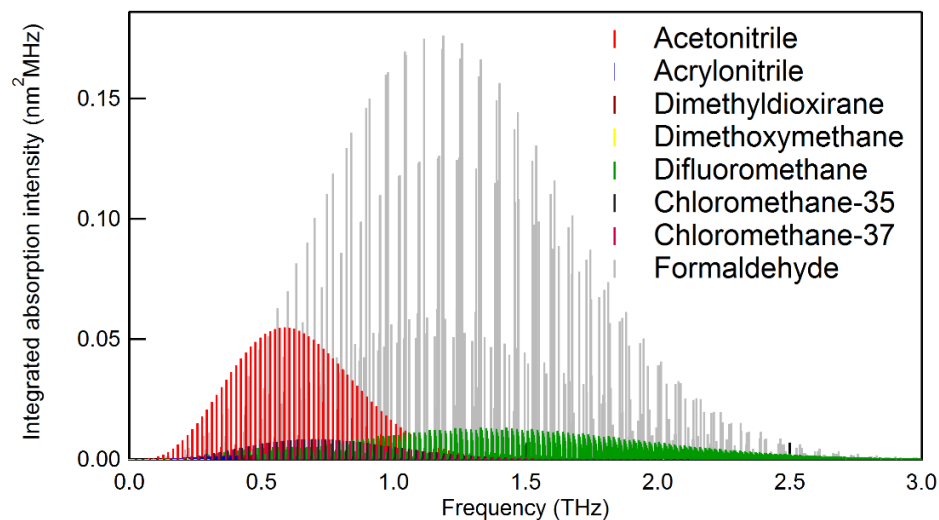
多数の気体分子やエアロゾルが混在した状況でも、サンプル前処理を行うことなく、『ありのままの状態』の大気ガスを分析可能な手段が望まれている

# THz波について



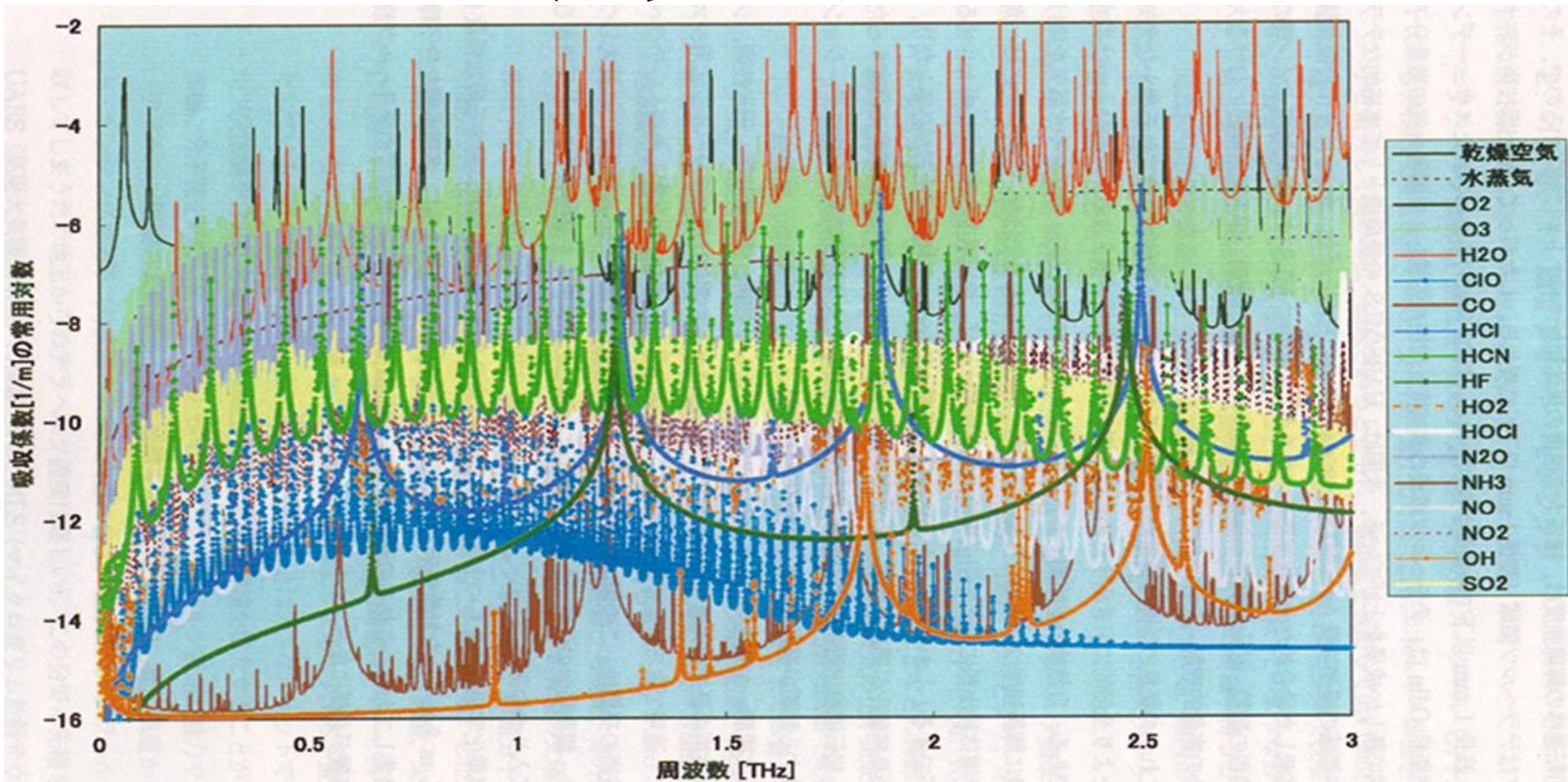
- ①自由空間伝搬
- ②コヒーレント光源
- ③広帯域スペクトル
- ④VOCガスの回転遷移が豊富
- ⑤低散乱（エアロゾルの影響を受けない）

## 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

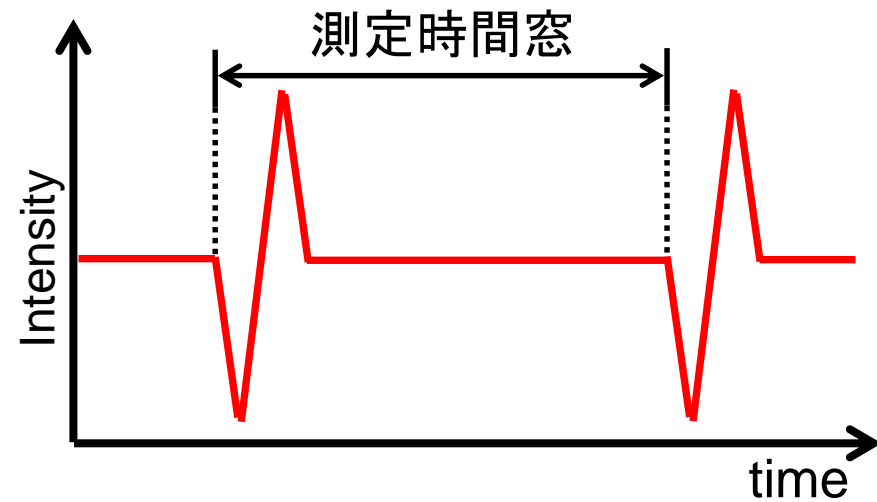


**高いスペクトル分解能、スペクトル確度、  
広帯域スペクトルが求められる！**

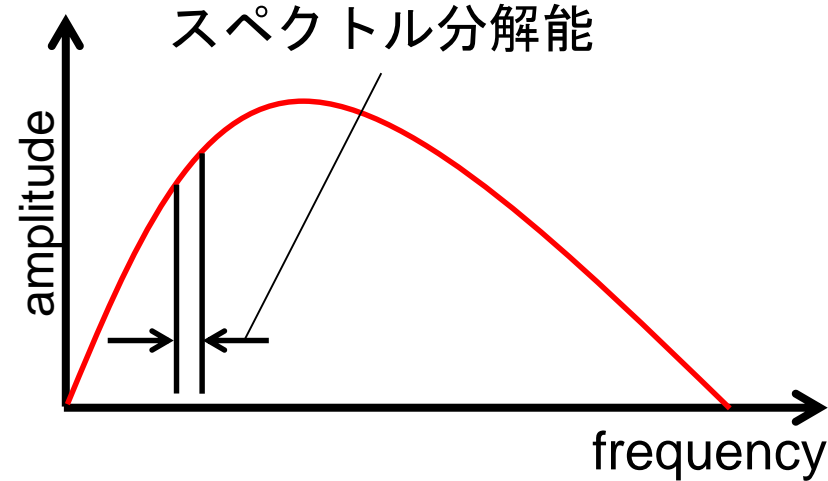
# フーリエ変換分光法 (THz時間領域分光法)

時間波形

振幅スペクトル



フーリエ  
変換

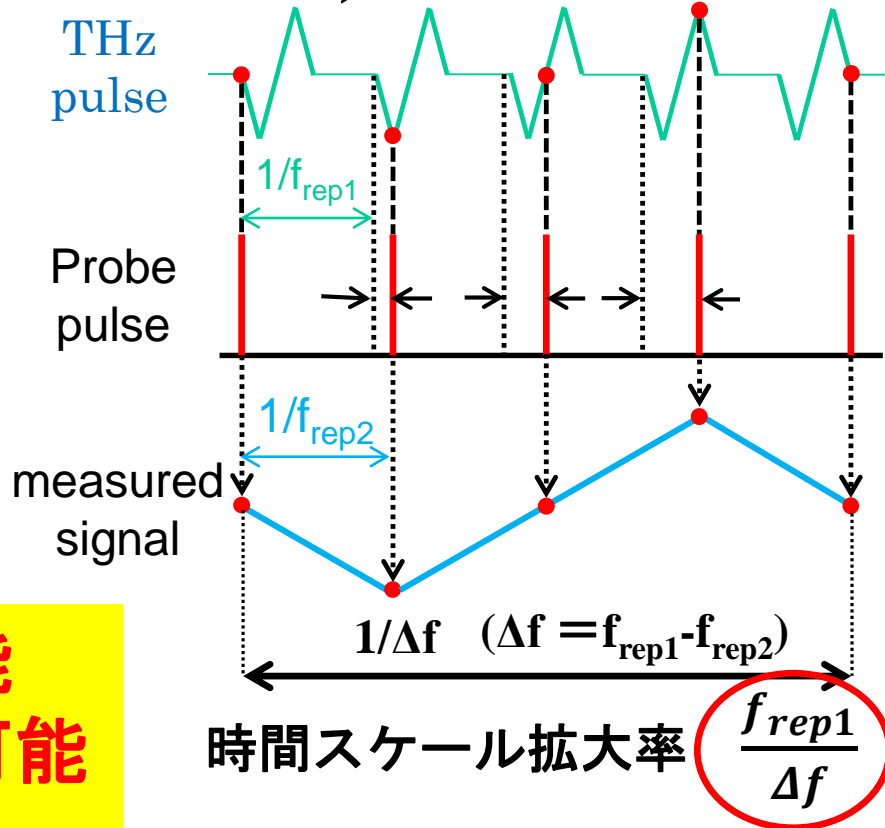
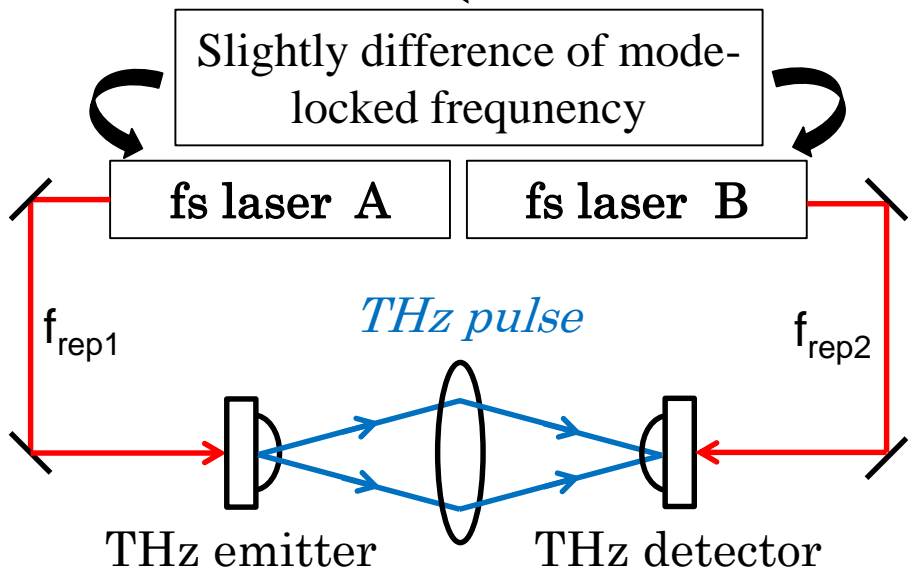


スペクトル分解能 =  
測定時間窓の逆数

スペクトル確度 =  
時間プロットの精度

# 非同期光サンプリング式THz-TDS (ASOPS-THz-TDS)

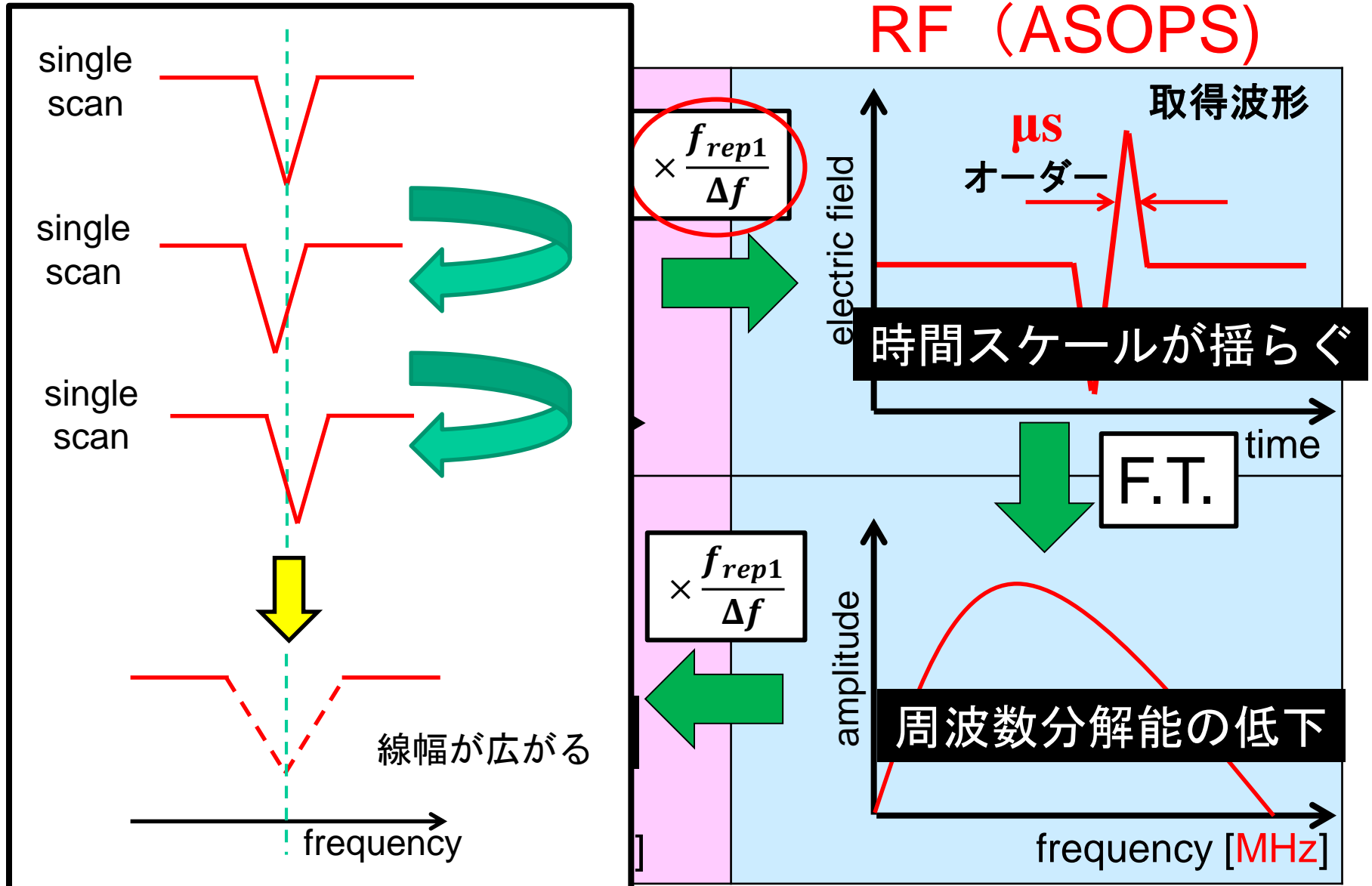
ref) T. Yasui et al., Appl. Phys. Lett. 87, 061101 (2005).



- ・ オシロスコープで測定可能
- ・ 長い測定時間窓の取得が可能  
→ 周波数分解能が高い
- ・ 実時間測定が可能 (1周期 =  $1/\Delta f$ )

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



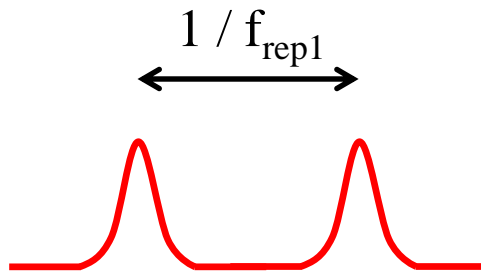
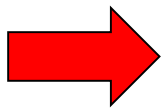


# ジッター抑制のための従来法

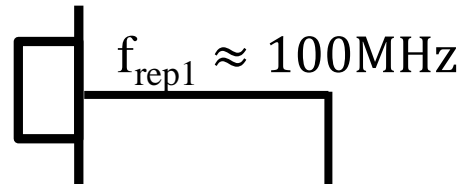
( $f_{rep1}, f_{rep2}$ 制御)

$f_{rep1}$ の安定化

LASER A

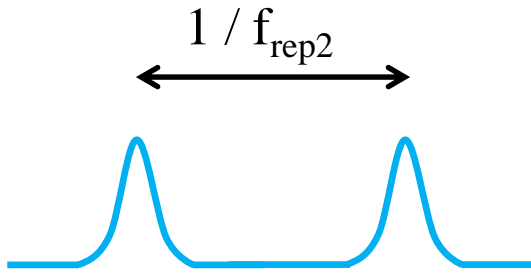
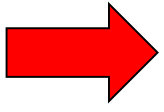


PD

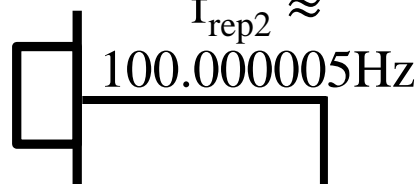


$f_{rep2}$ の安定化

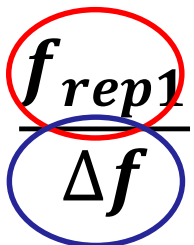
LASER B



PD

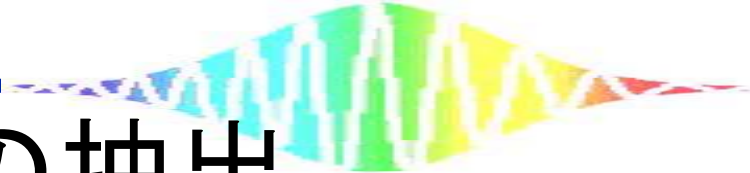


揺らぎのパラメータ :



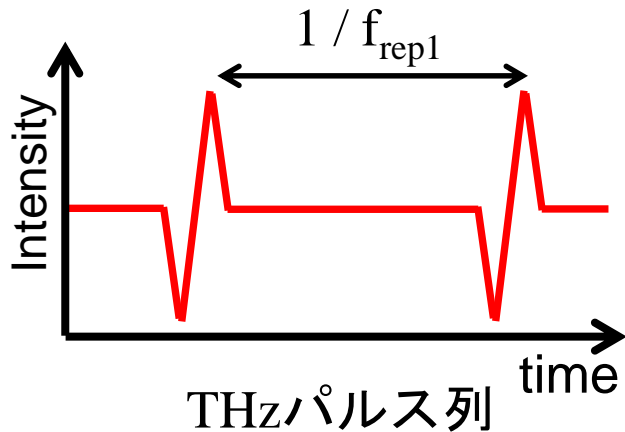
$f_{rep1}, \Delta f$ の安定化





# $\Delta f$ の高調波の抽出

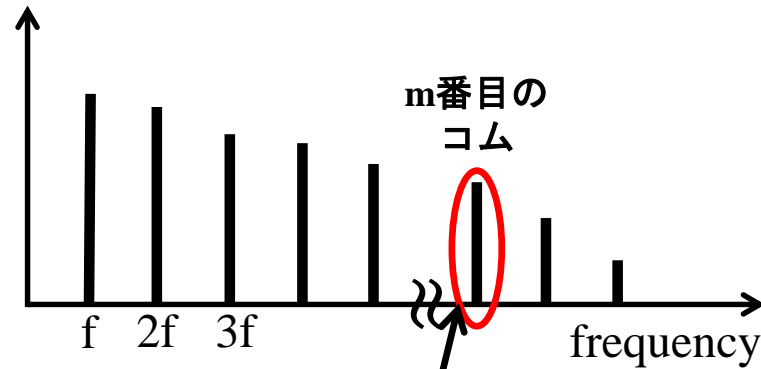
時間領域



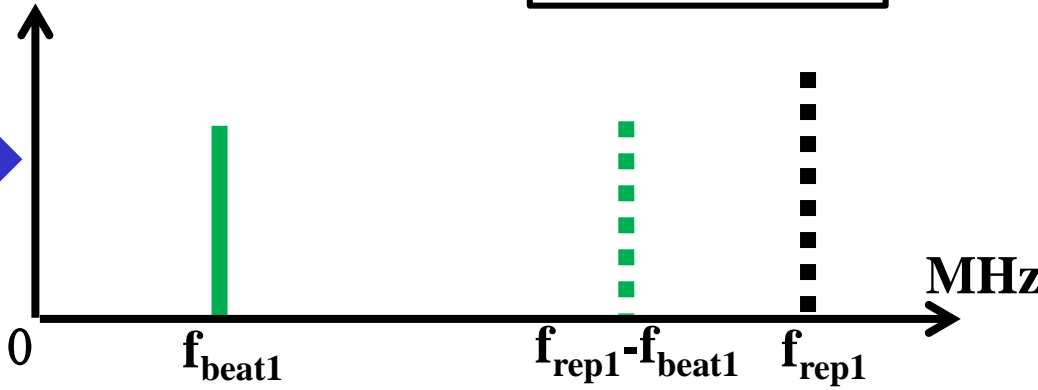
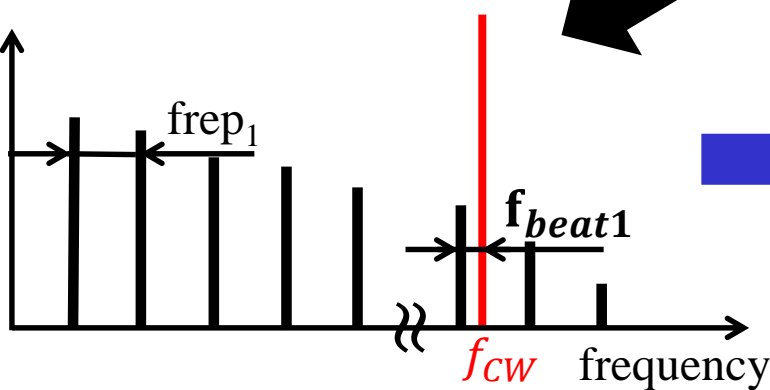
フーリエ変換



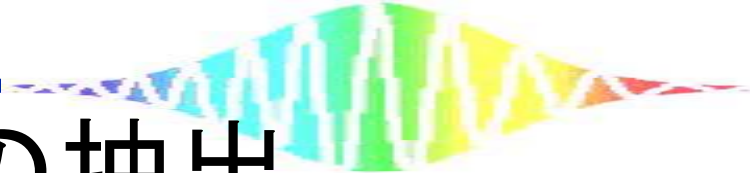
周波数領域



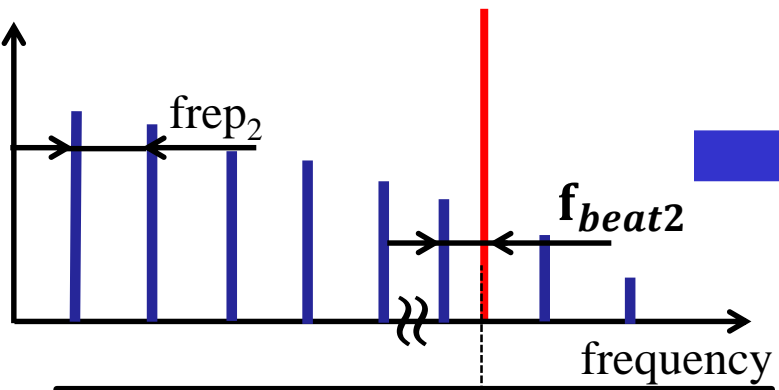
$m \times f_{rep}$   
( $m \approx 1000$ )



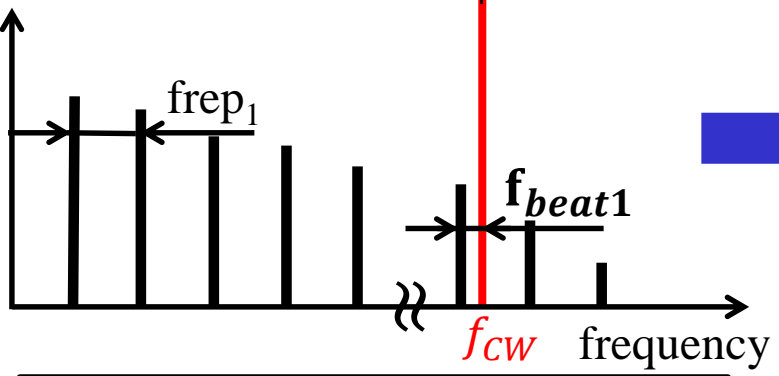
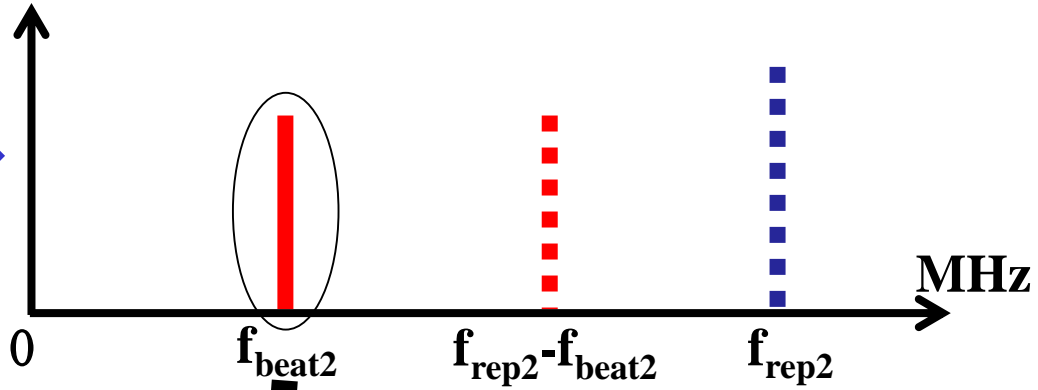
$f_{beat1} = f_{cw} - m f_{rep1}$



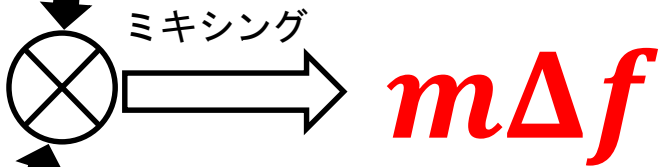
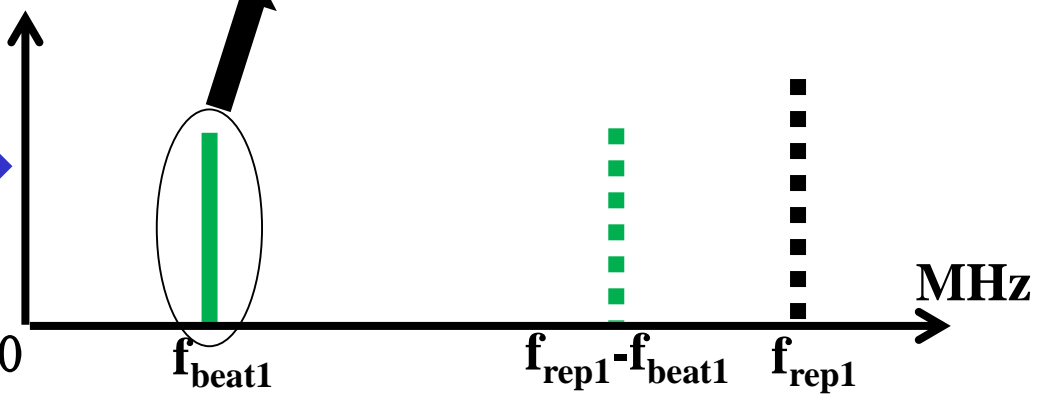
# Δf の高調波の抽出

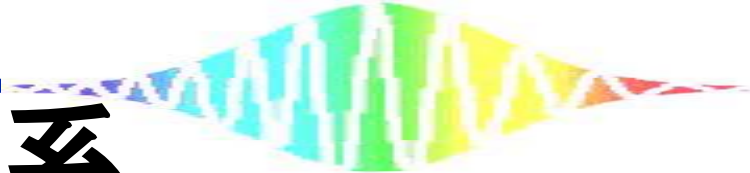


$$f_{beat2} = f_{CW} - m f_{rep2}$$

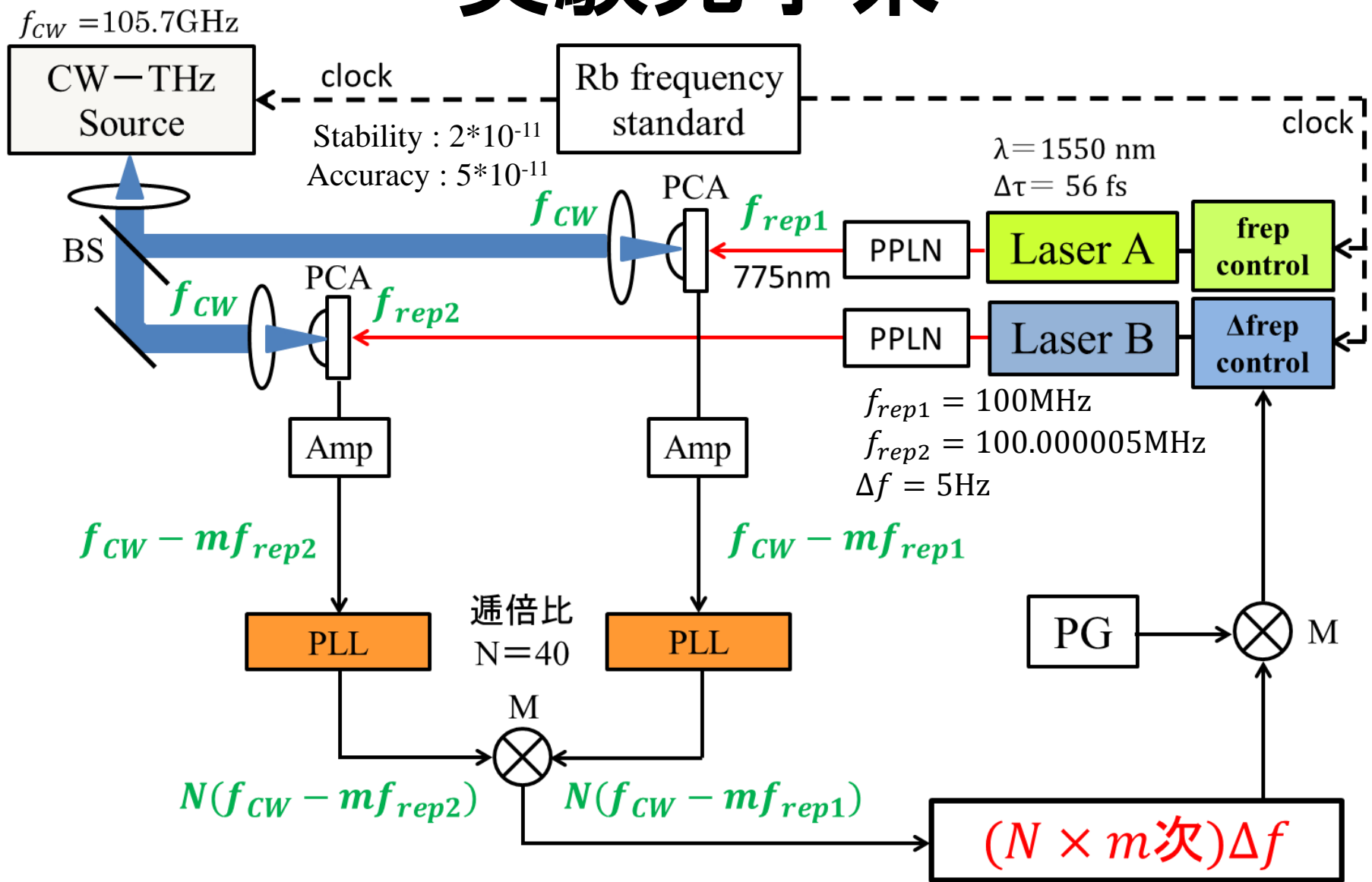


$$f_{beat1} = f_{CW} - m f_{rep1}$$



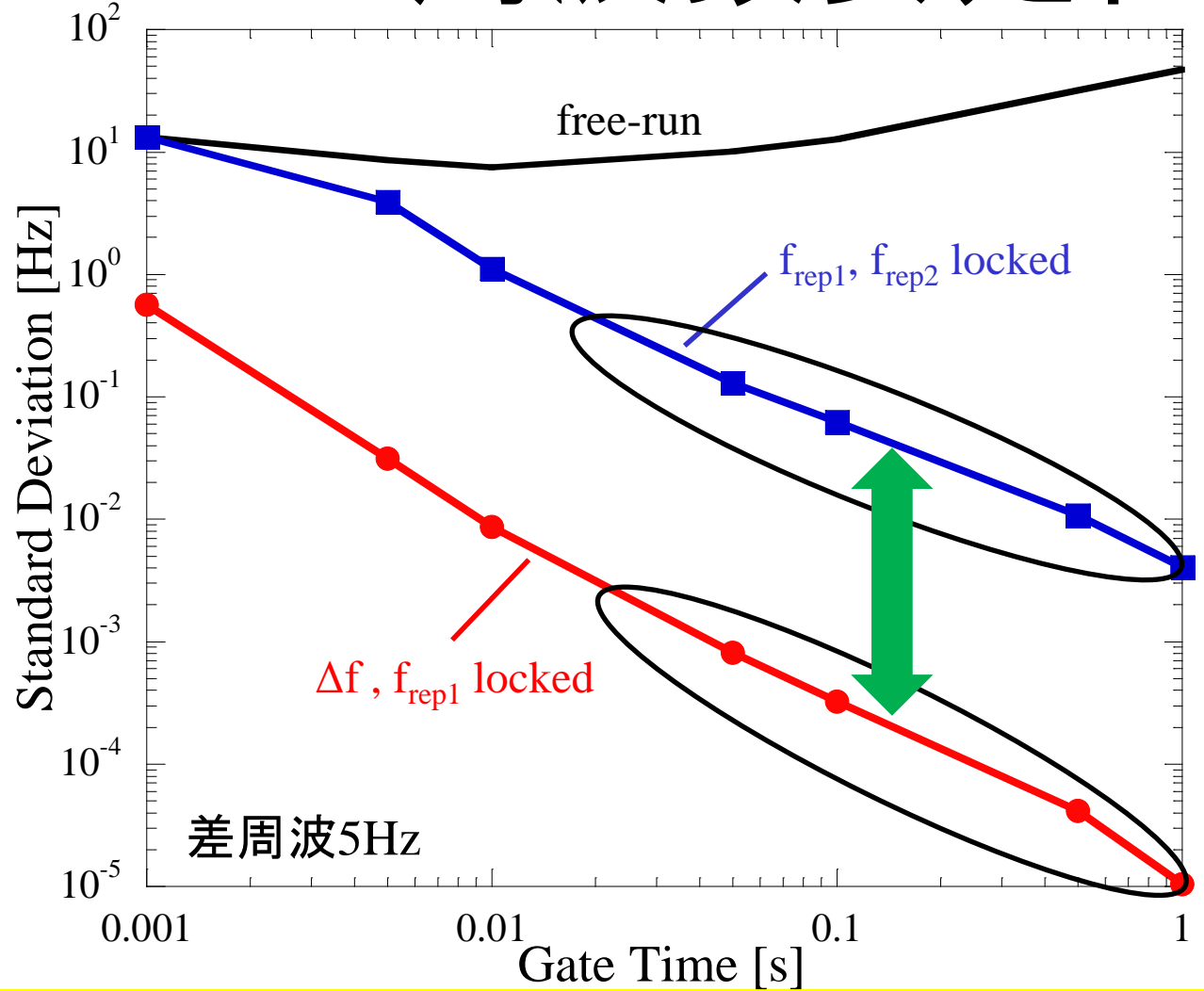


# 実験光学系



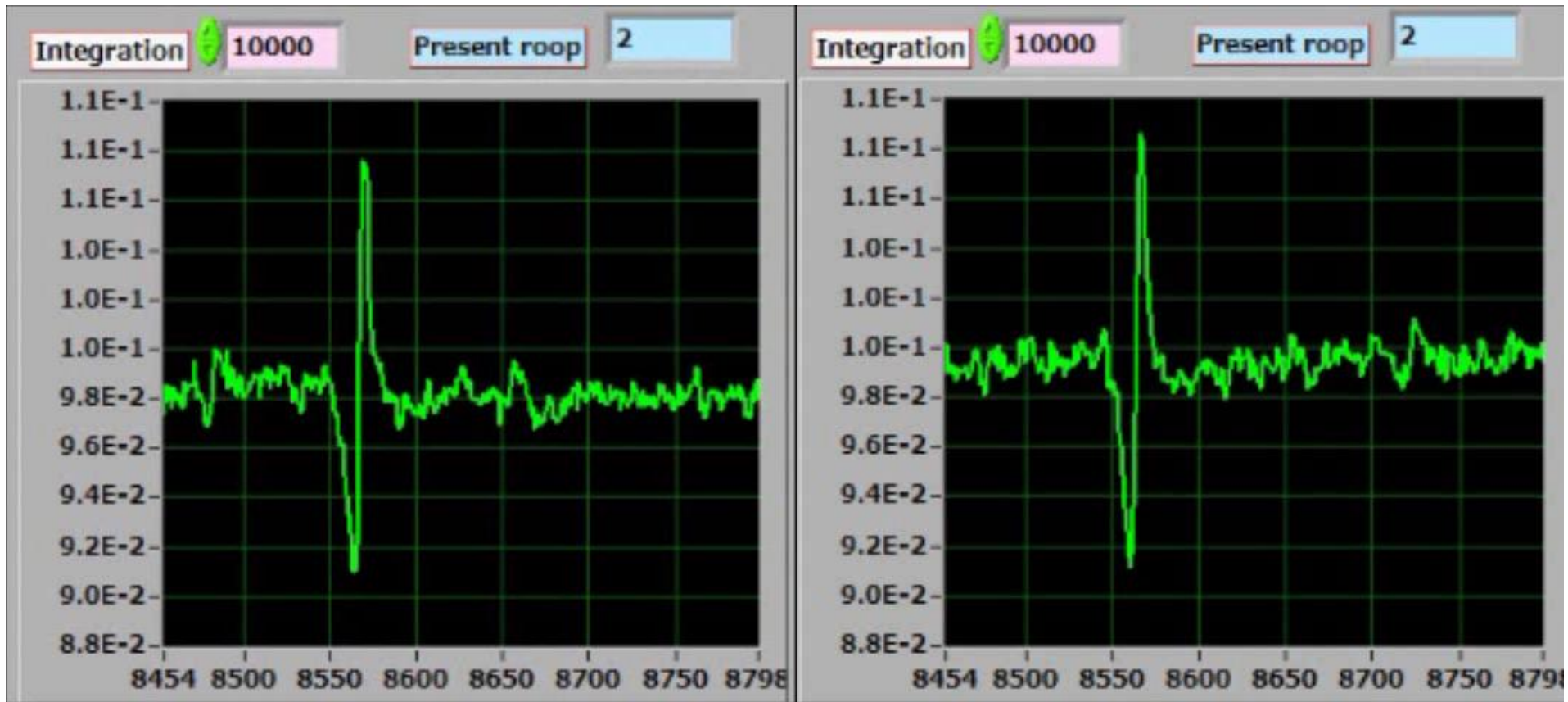
$40 \times 1057 \text{次} \times \Delta f 5\text{Hz} = 211.4\text{kHz}$

# mΔf の周波数安定性



**周波数安定性が2桁向上**

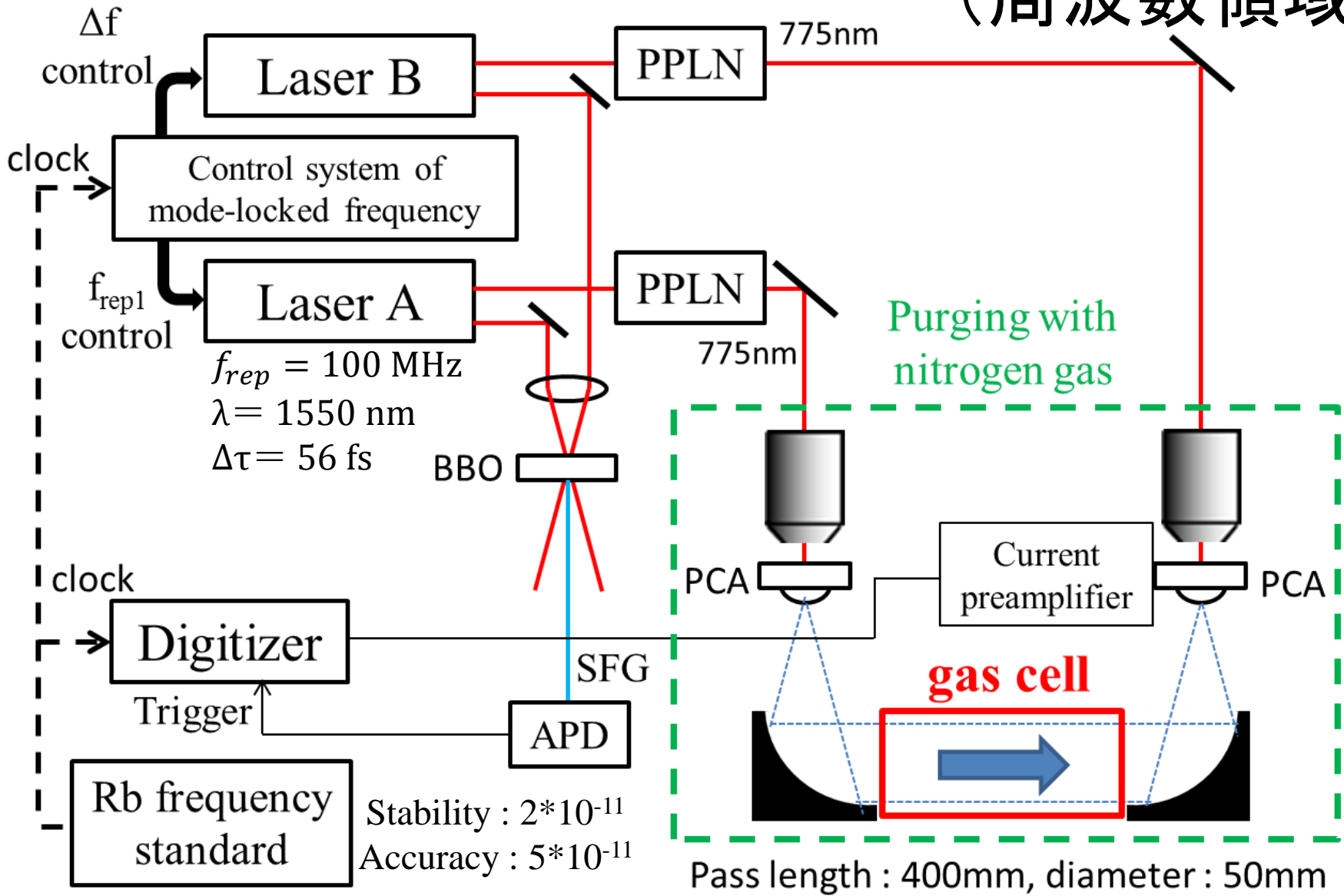
# THz時間波形における ジッターの影響



frep,  $\Delta f$  安定化

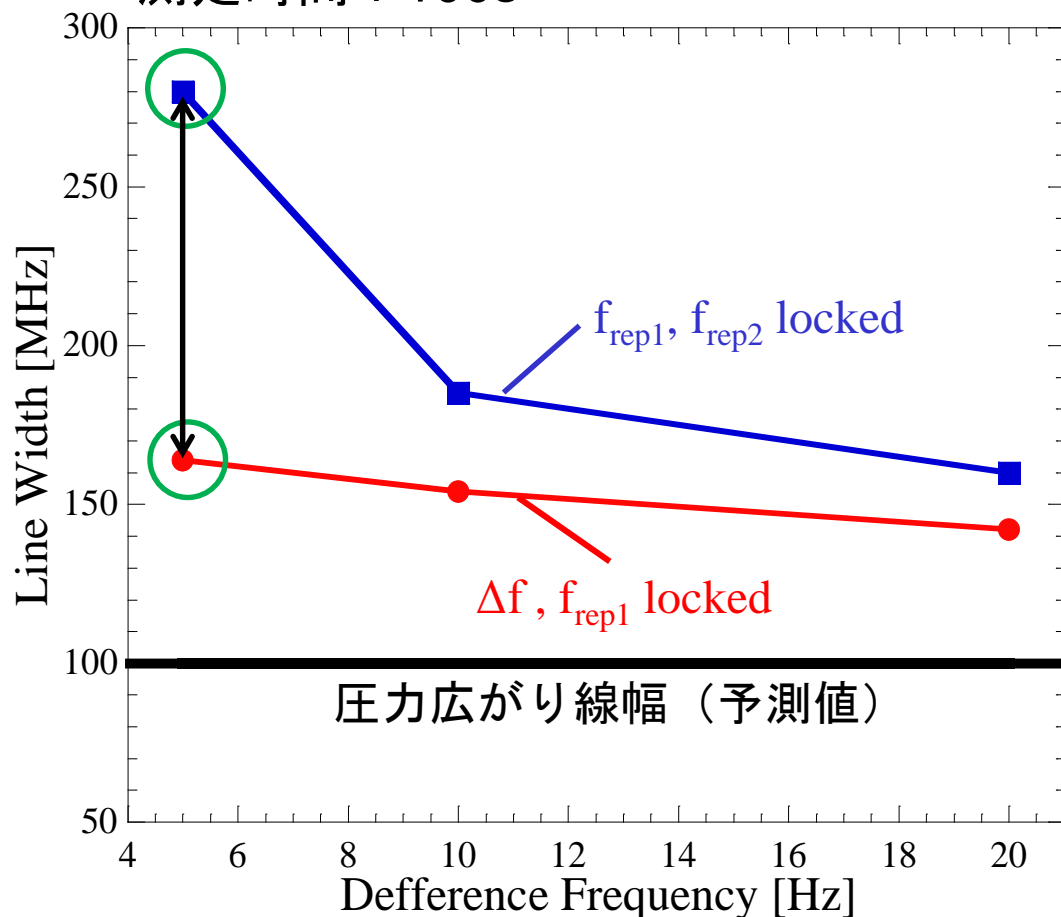
free-run

# 低圧ガス分光を用いたジッター—評価 (周波数領域)



# 低圧ガス分光によるジッターの評価

サンプル：水蒸気50Pa, 窒素1350Pa  
 圧力広がり線幅（予測値）：100MHz  
 測定時間：100s

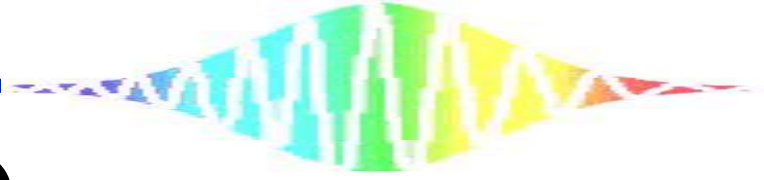


$\Delta f = 5\text{Hz}$ において

①  $f_{\text{rep1}}$  &  $f_{\text{rep2}}$  制御  
 ジッターの影響により線幅が広がっている

②  $\Delta f$  &  $f_{\text{rep1}}$  制御  
 ジッターの影響を抑えている



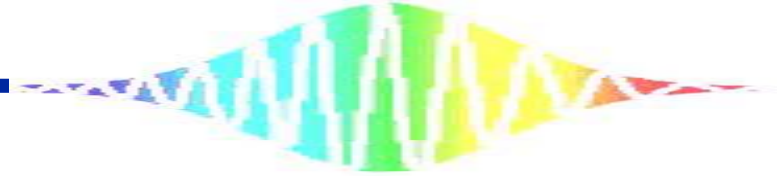


# まとめ

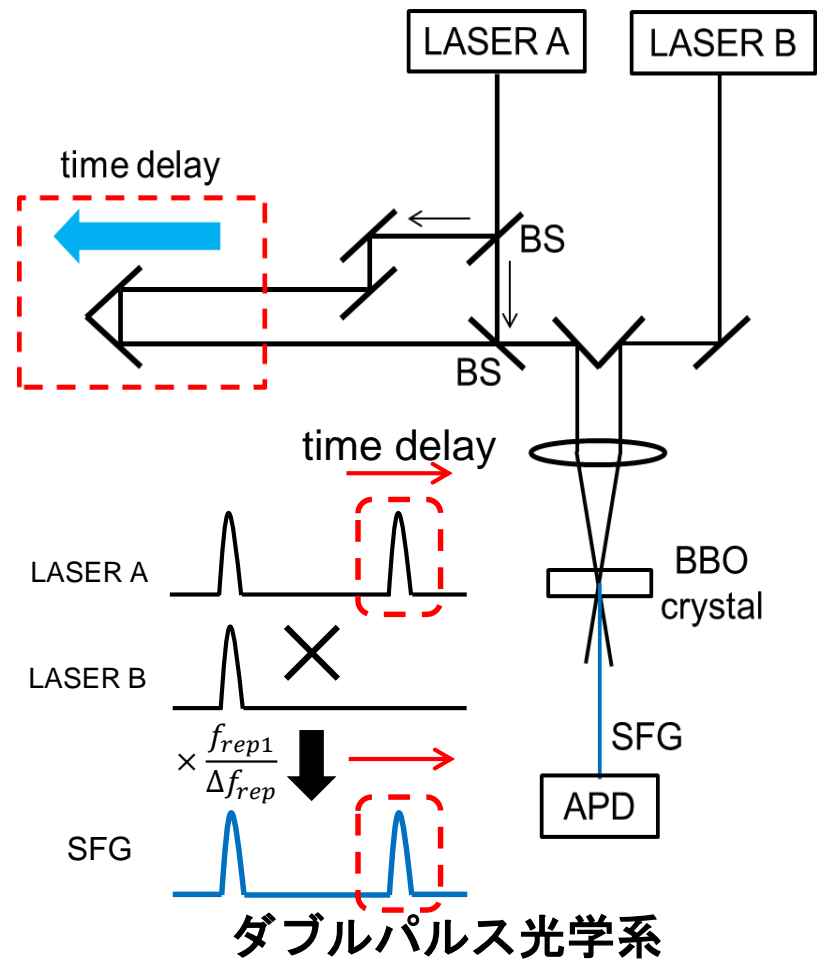
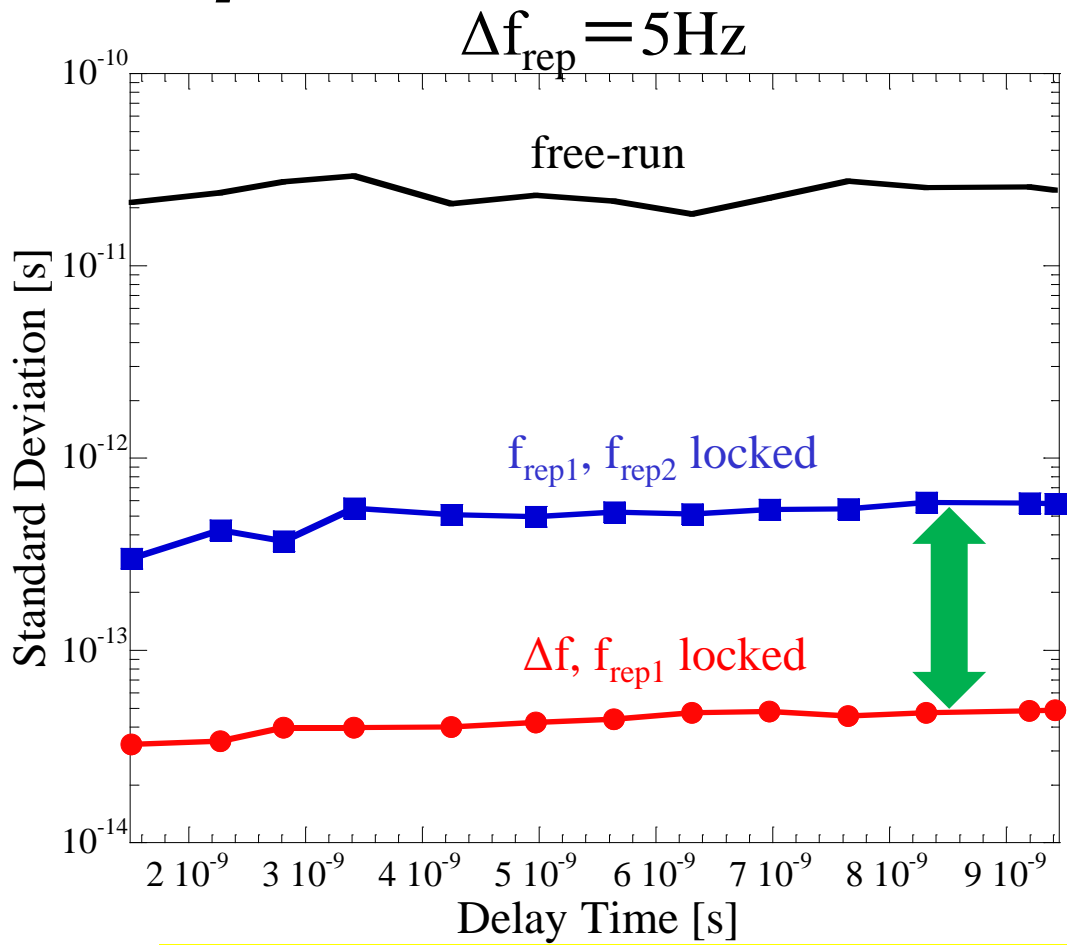
- 40000次の $\Delta f$ の高調波の抽出
- タイミングジッターの抑制
- スペクトル分解能の向上

# 今後の予定

- 制御を必要としない  
アダプティブサンプリングを行う

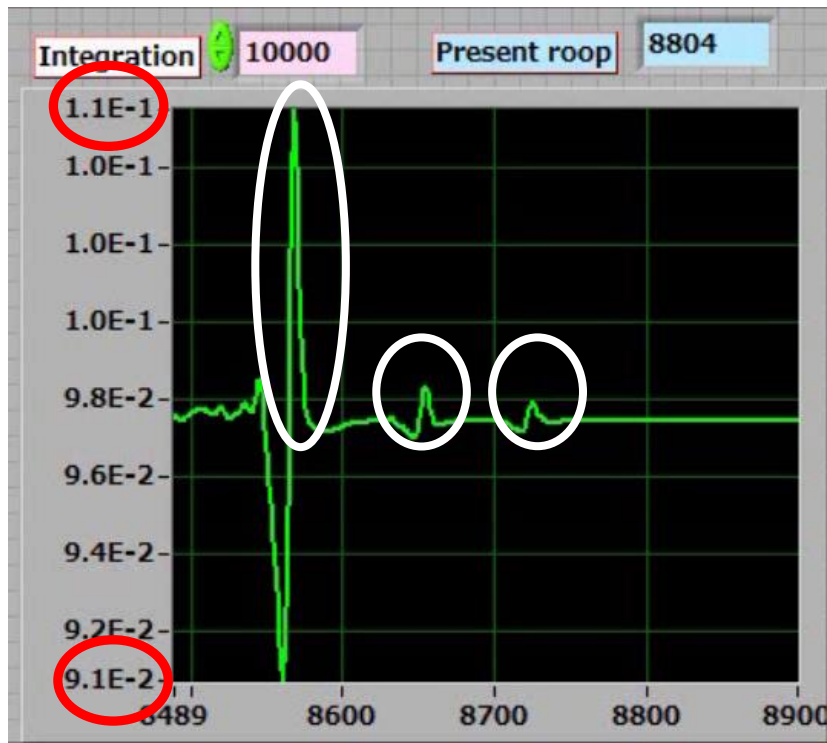


# $\frac{f_{rep1}}{\Delta f_{rep}}$ の安定性の評価 (時間領域)

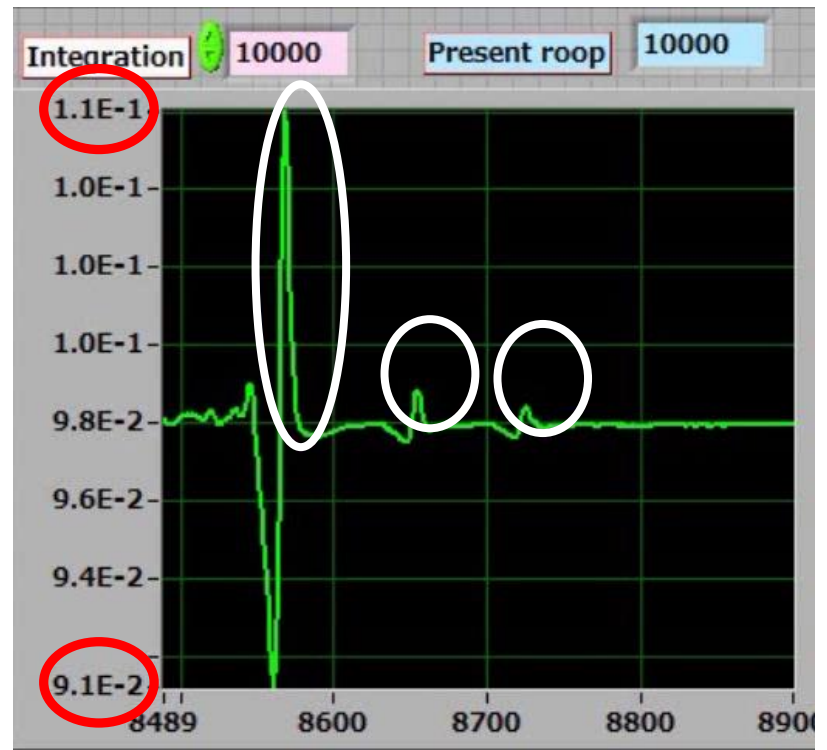


**$\Delta f$  &  $f_{rep1}$  制御によるジッターの抑制**

# THz時間波形における ジッターの影響



frep,  $\Delta f$  安定化

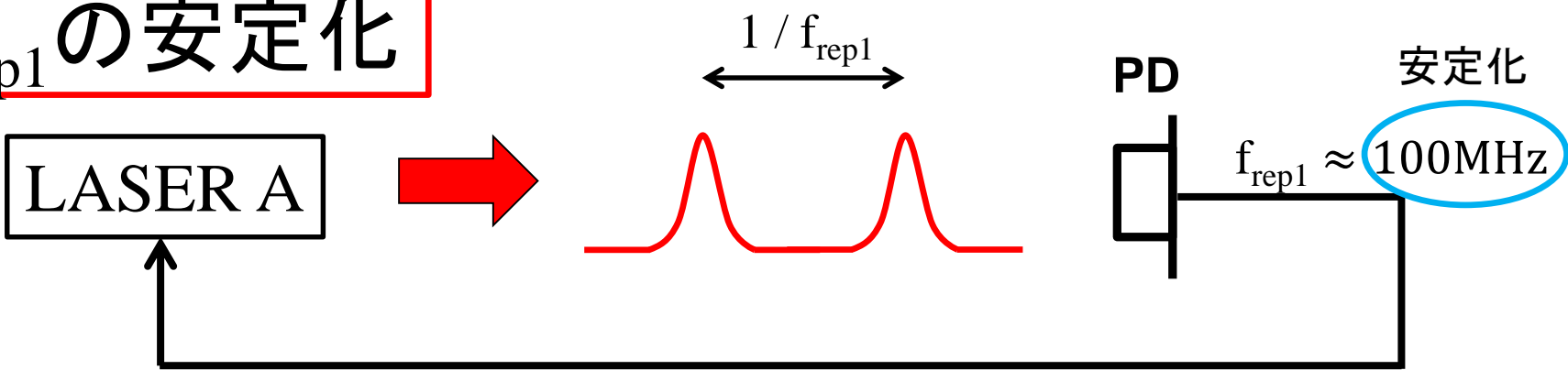


安定化していない

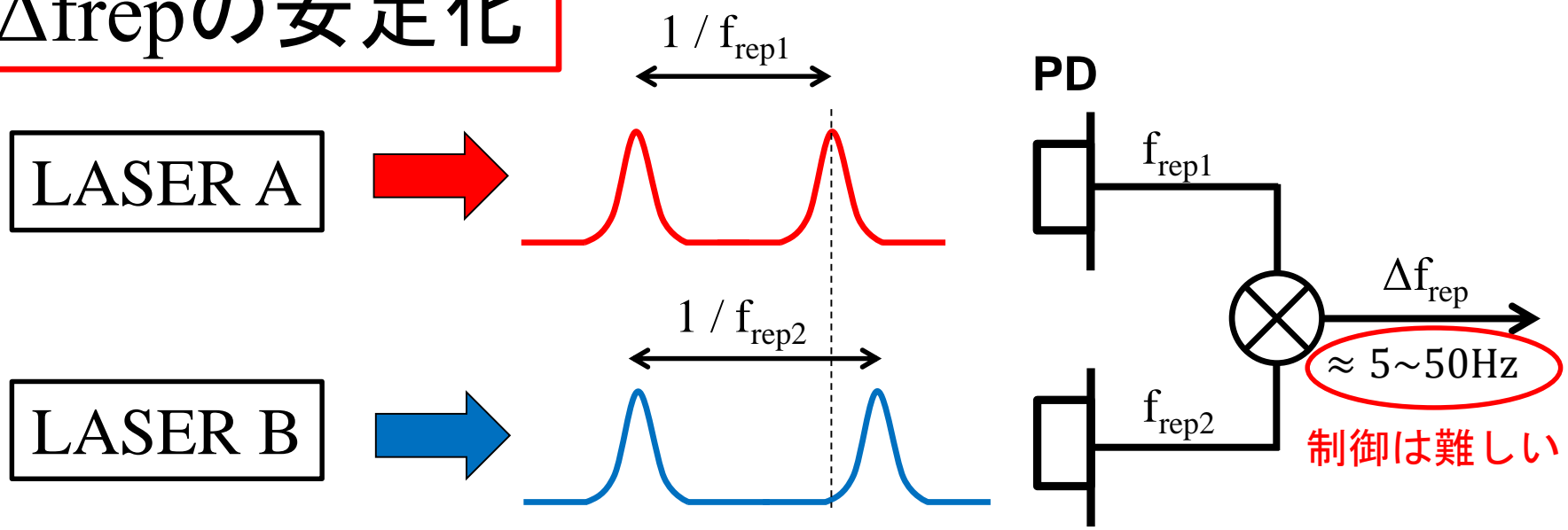


# 今回の手法 ( $f_{rep1}$ , $\Delta f_{rep}$ 制御)

## $f_{rep1}$ の安定化



## $\Delta f_{rep}$ の安定化



# 従来の大気ガス分析法

## ガスクロマト グラフィ

物質のサイズ・質量・疎水性等の違いを利用



- ・ 感度が高い
- ・ 測定時間が長い
- ・ 前処理が必要

## 半導体 ガスセンサ

可燃性ガスにより、電気抵抗が変化する性質を利用



- ・ 簡便である
- ・ 単一成分のみ

## 赤外吸収 分光法

赤外光を照射し、分子の運動状態の遷移を測定



- ・ 測定時間が早い
- ・ エアロゾルの影響を受ける

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