

フェムト秒光周波数コムの開発

安井研究室

M1 木村 洸仁

研究目的

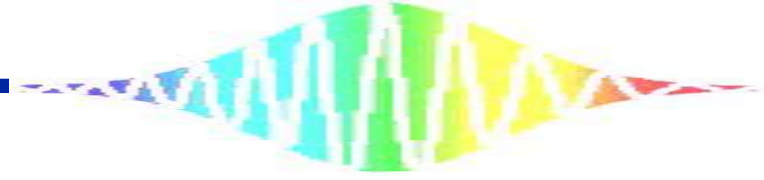
- 高精度分光 ⇒ 大気中の微量物質検出
- 精密長さ計測 ⇒ 微小変位計測
- テラヘルツ発生 ⇒ イメージング技術, 医療応用

高性能な光周波数可変光源が必要！

絶対周波数値が付与
広帯域かつ連続的に周波数可変
安定な光源

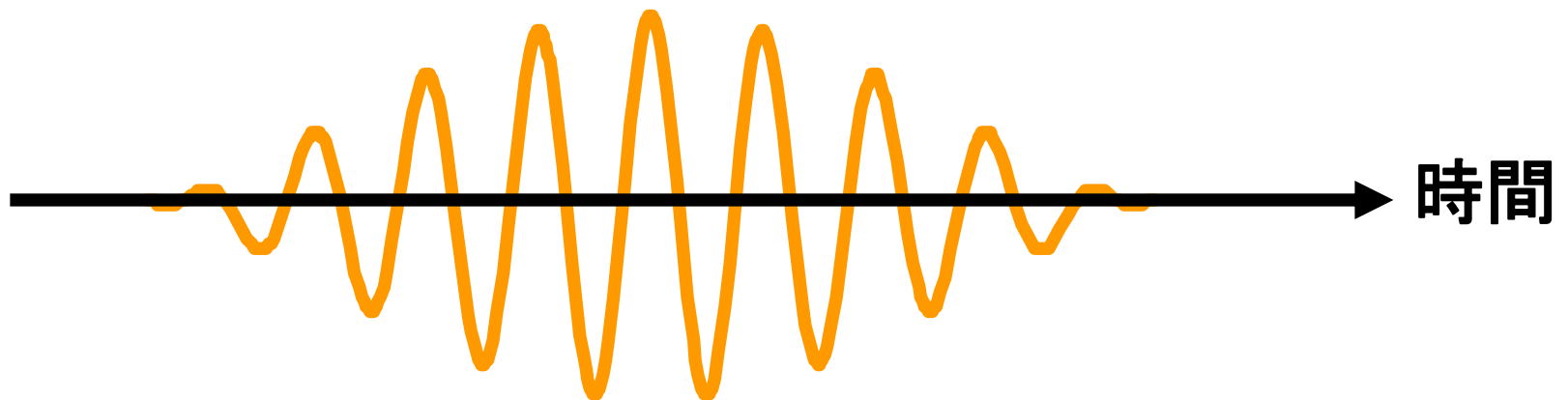


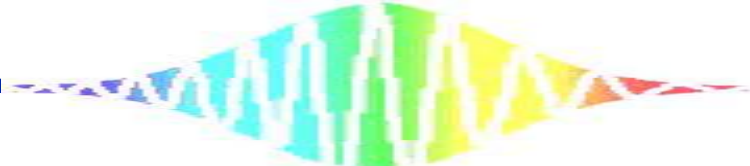
安定な光周波数コムによる光シンセサイザ



フェムト秒レーザー (時間軸)

- フェムト = 10^{-15} 、千兆分の1
- 超短パルスレーザーの一種
- 一瞬のみ光るパルスレーザーのこと: 時間的局在

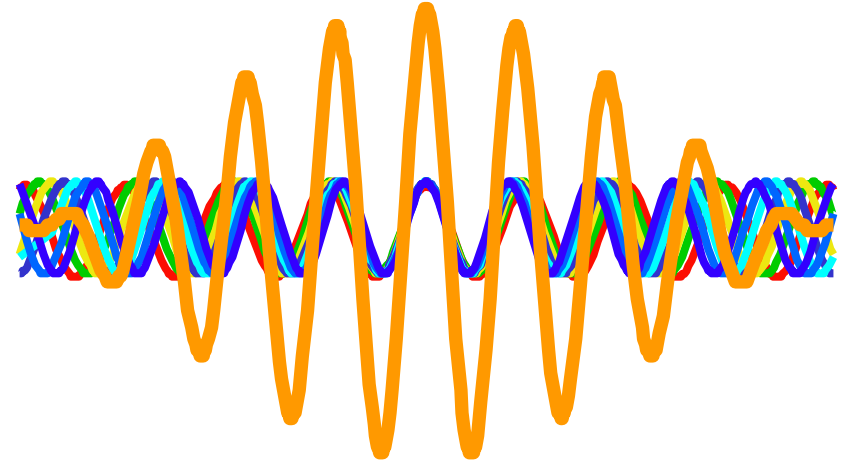
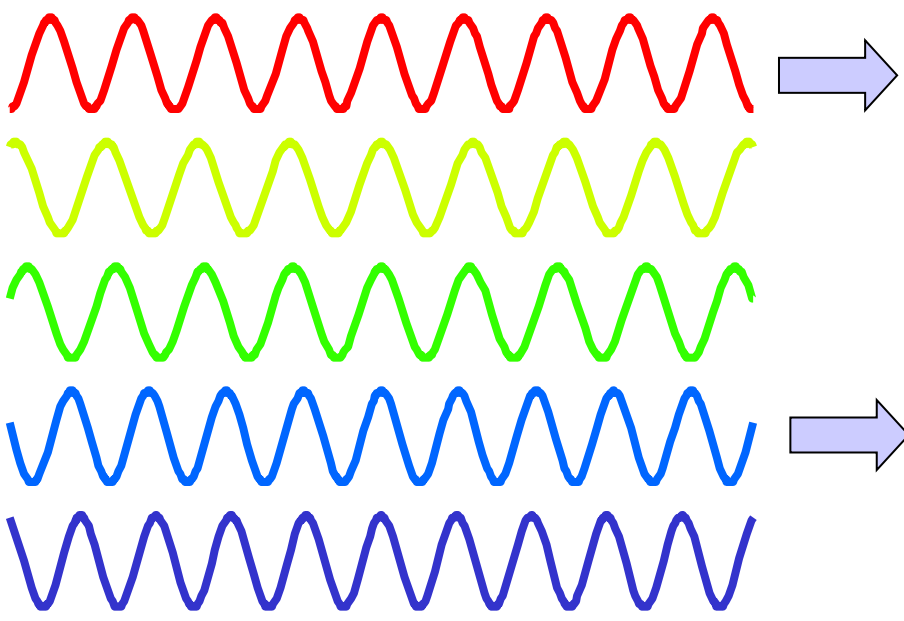




フェムト秒レーザー (周波数軸)

「たくさんの波」を「そろえて重ねる」ことにより
フェムト秒 (10^{-15}) を実現する。

超短パルス

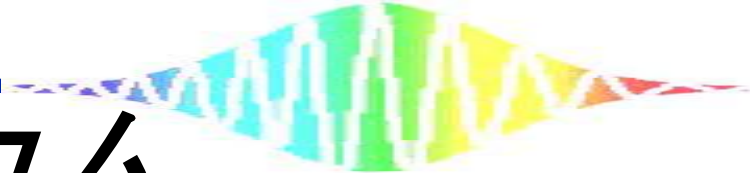


そろえて重ねる



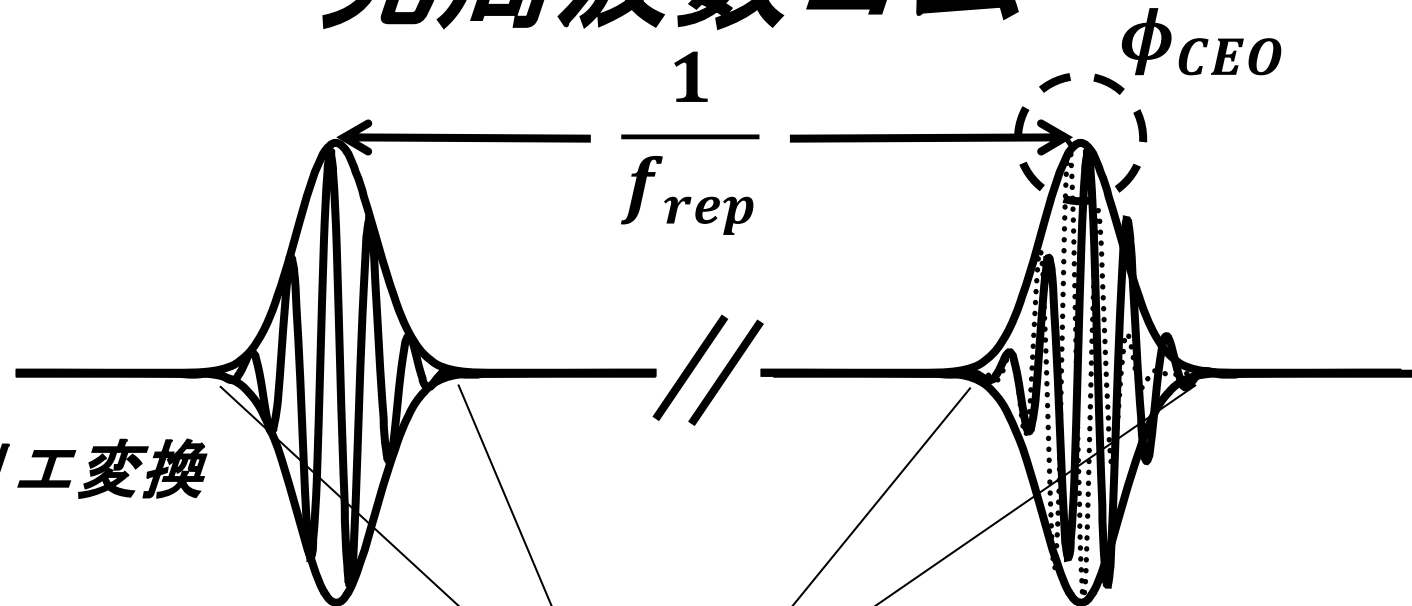
ばらばらに重ねる

ランダムな波。太陽光など



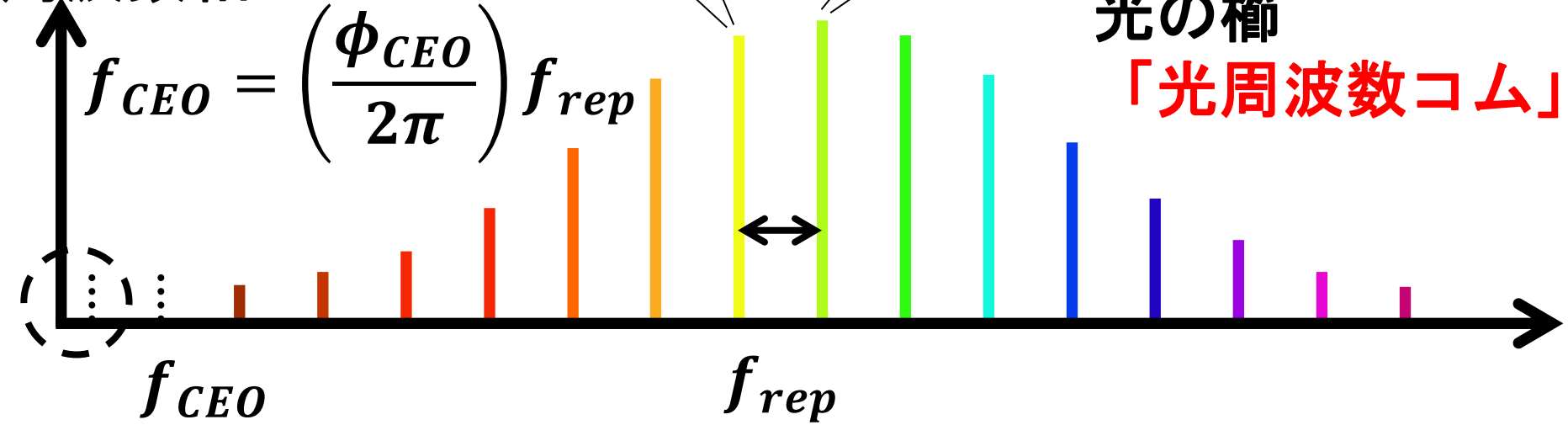
光周波数コム

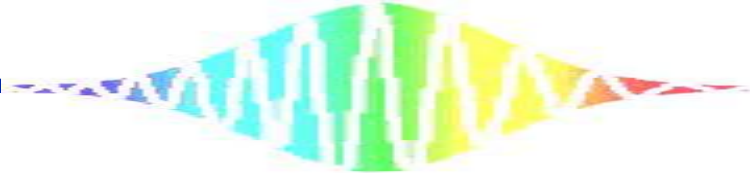
時間軸



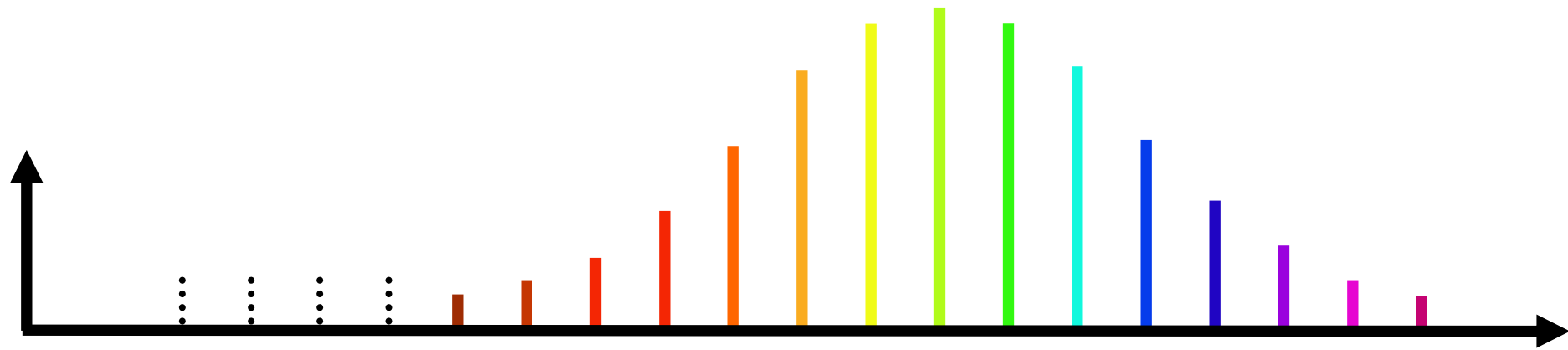
フーリエ変換

周波数軸





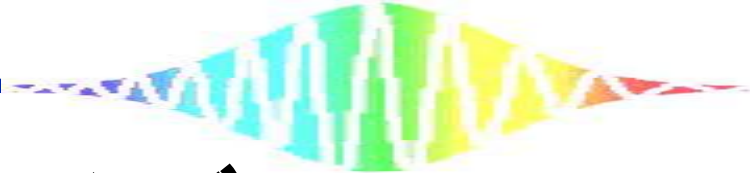
光周波数コムの安定化



f_{rep} を安定化

f_{CEO} を安定化

絶対周波数を測定可能な光のものさしとなる！

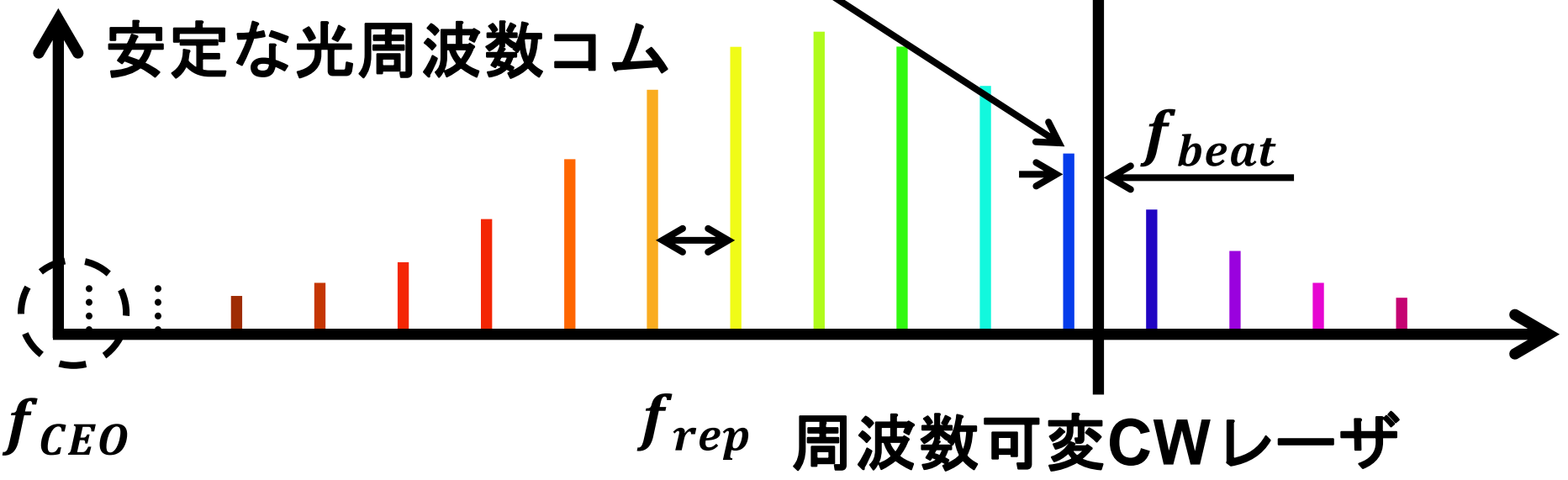


光シンセサイザ

高性能な光周波数可変レーザー

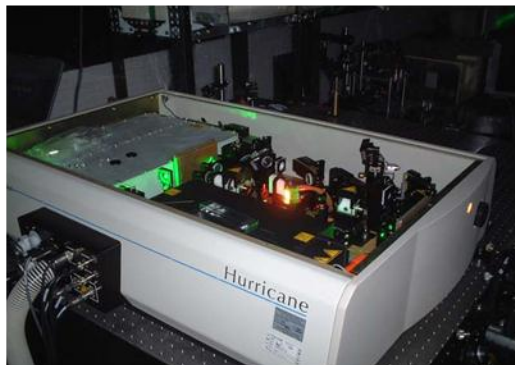
$$f(CW) = f_{CEO} + n \cdot f_{rep} + f_{beat}$$

n本目の目盛の周波数
 $f(n) = f_{CEO} + n \cdot f_{rep}$



フェムト秒レーザー光源

Ti:sapphireレーザー(従来)



- × 頻繁なアライメントとクリーニングが必要
- × 長期連続動作は困難
- × 大型で高価な励起レーザーが必要

ファイバーレーザー



- アライメントとクリーニングがほとんど不要
- 長期連続動作
- 小型で安価な励起レーザー

掲載ページ: <http://www.imra.com/>

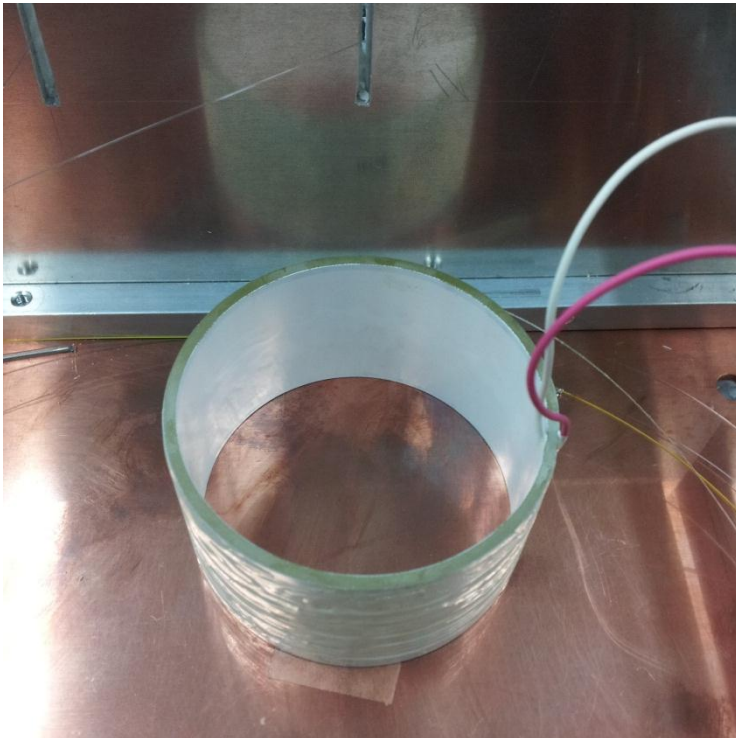
小型・安定・廉価な実用的フェムト秒パルスレーザー

f_{rep} の制御方法

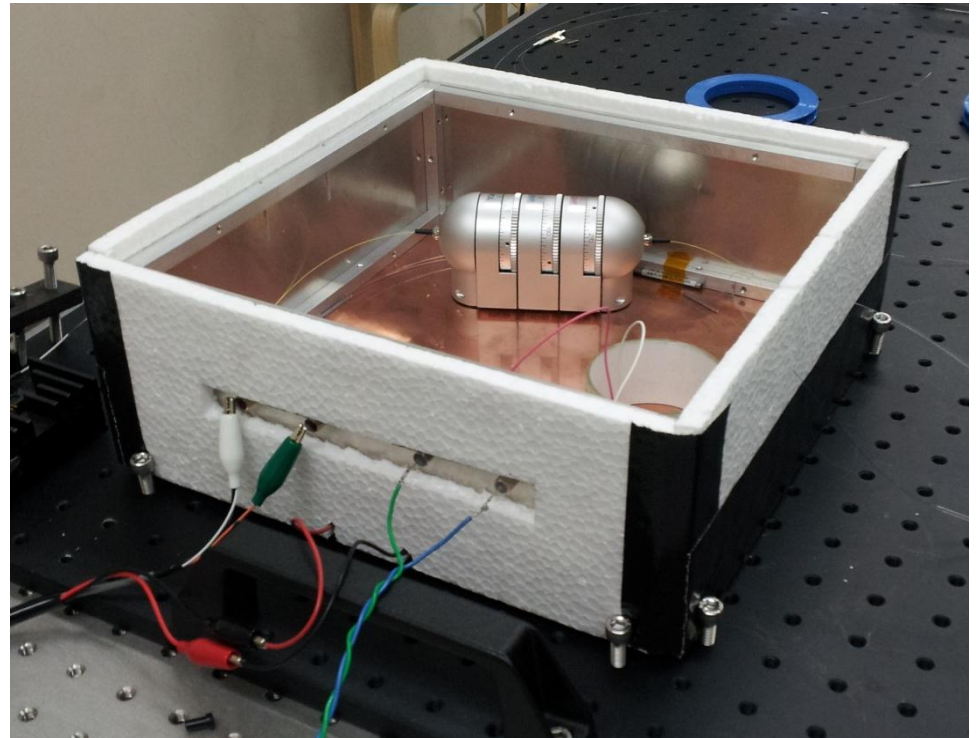
$$f_{rep} = \frac{c}{nL}$$

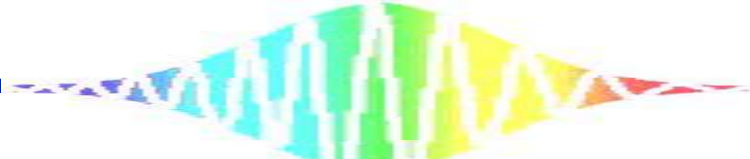
共振器長によってモード同期周波数が変化

ドラム型PZT素子
(機械的伸縮)



ペルチェ素子
(温調)



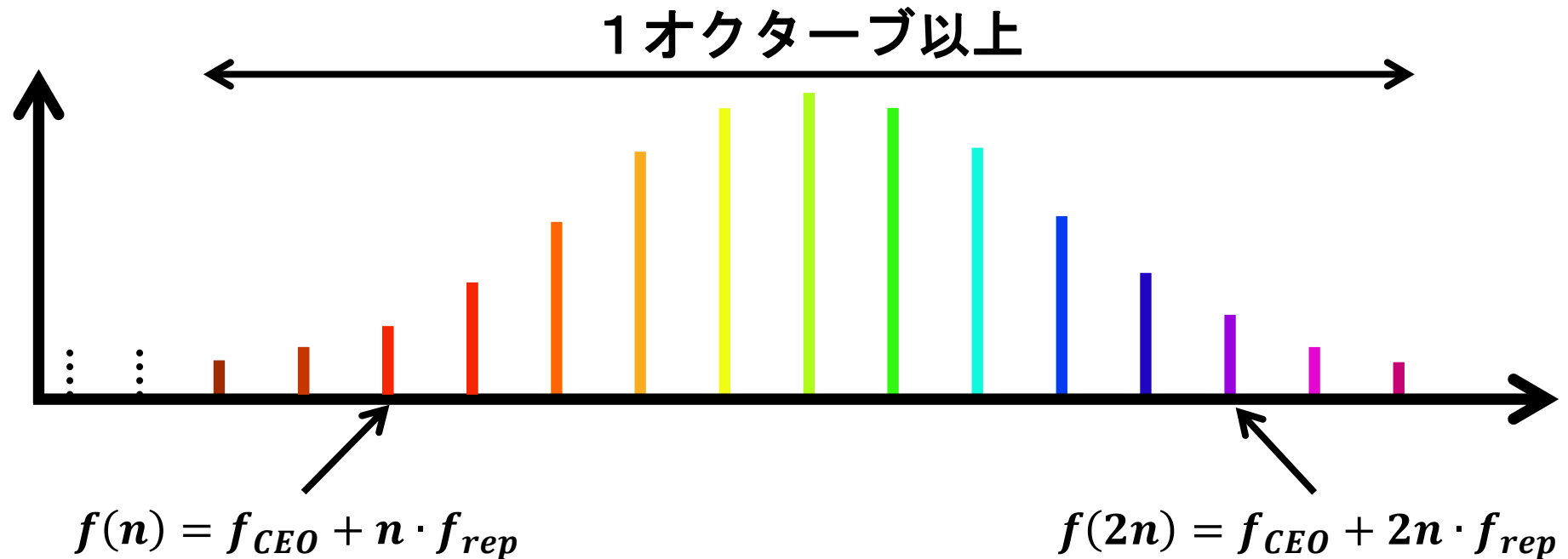


自己参照法による f_{CEO} 検出

2005年 ノーベル物理学賞 (T.W. Hänsch, J.L. Hall)

光コムによる光周波数計測技術の確立

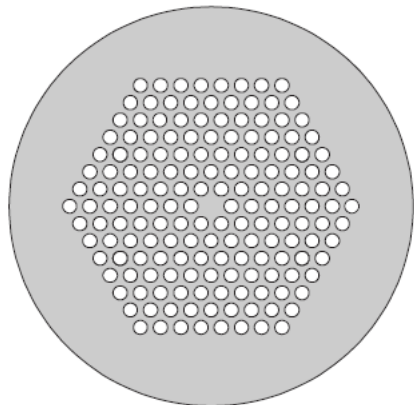
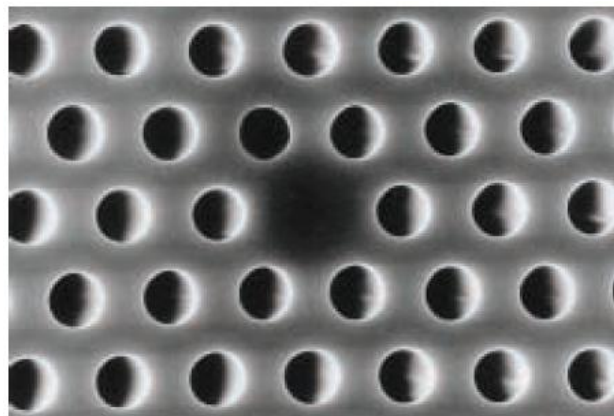
Th.Udem et al., Nature, Vol.416 pp.233,2002



$$2f(n) = 2f_{CEO} + 2n \cdot f_{rep}$$

$2f(n) - f(2n) = f_{CEO}$ が観測できる!

コンティニューム光発生方法



屈折率
コア>>>クラッド



- 光の閉じ込め効果 “大”
- 実行コア断面積 (A_{eff}) “小”

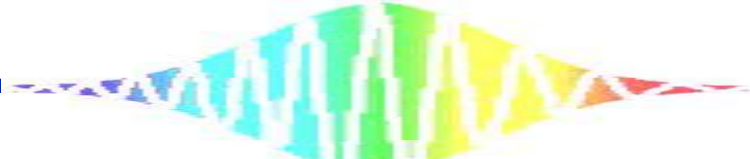
増加 $\gamma = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{n_2}{A_{eff}}$

γ : 光ファイバの非線形定数
 λ : 波長, n_2 : コアの非線形屈折率

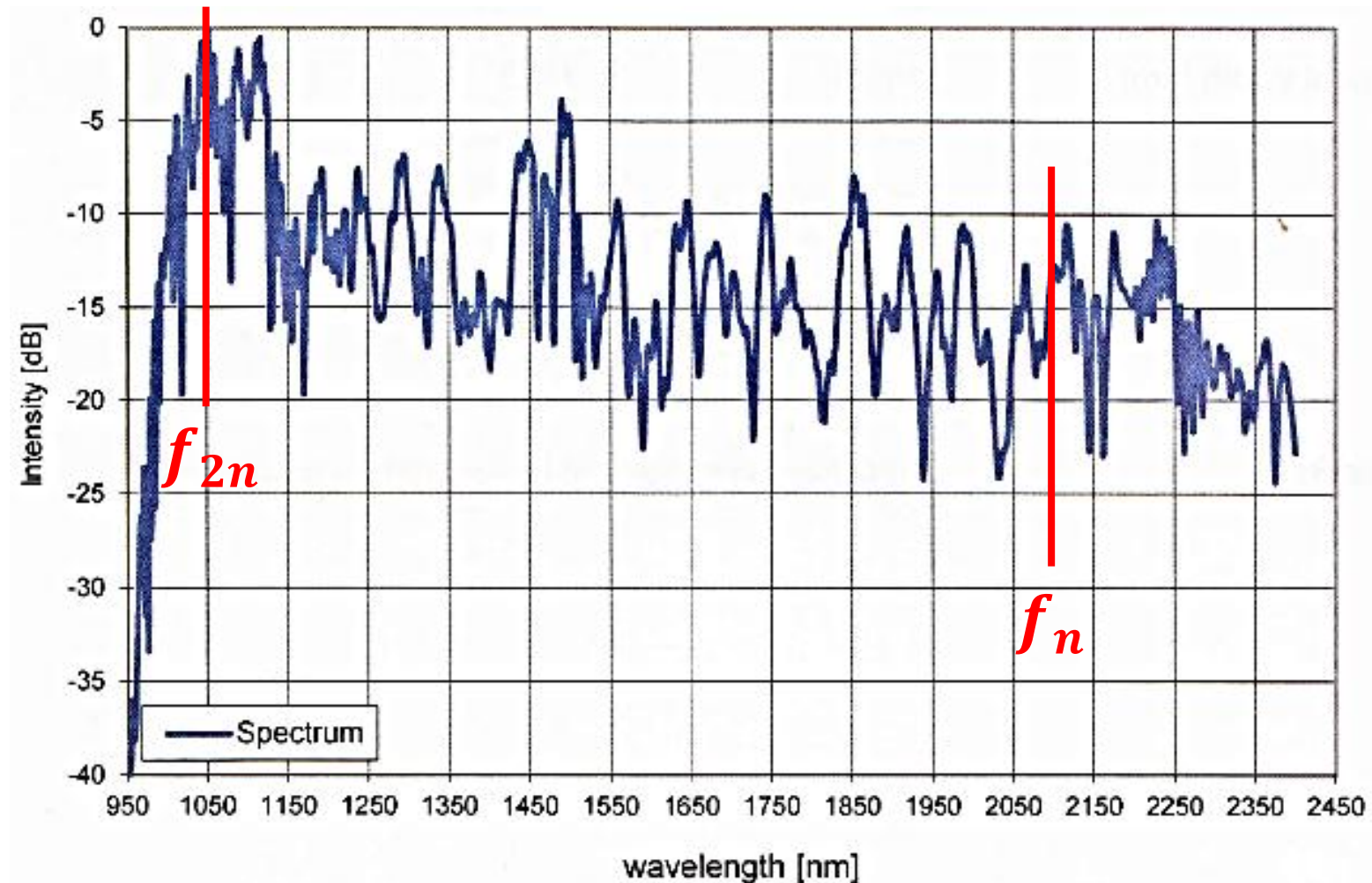
- ゼロ分散波長を持つ

高効率に1オクターブ以上のスペクトルを発生!

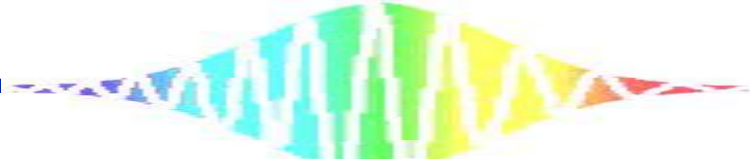
高非線形光ファイバの微細構造



コンティニューム光スペクトル



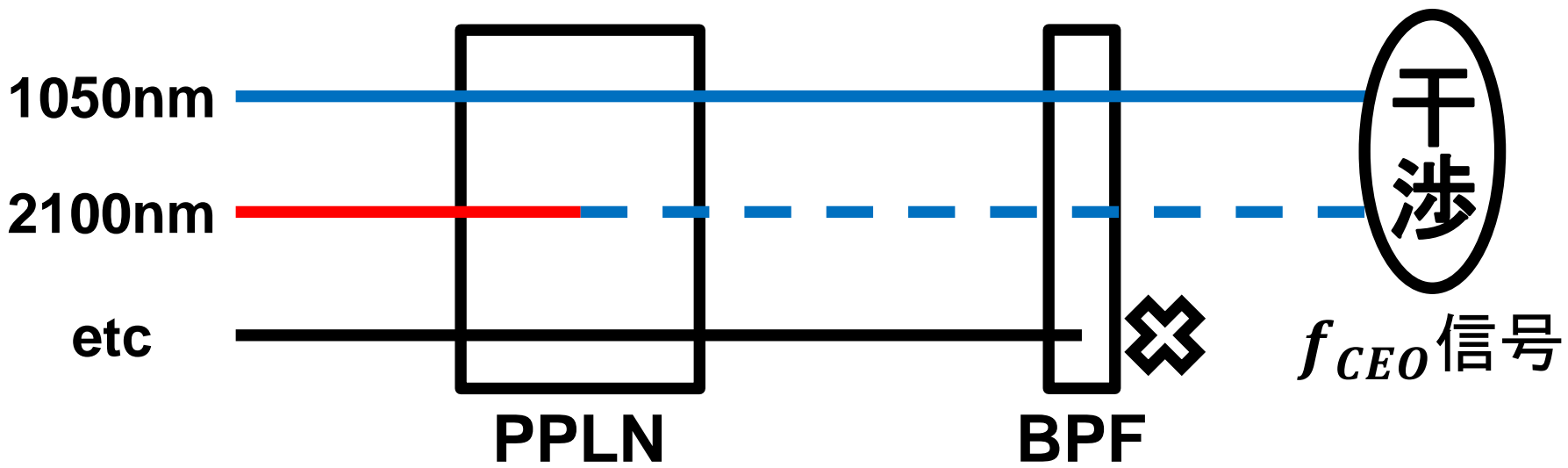
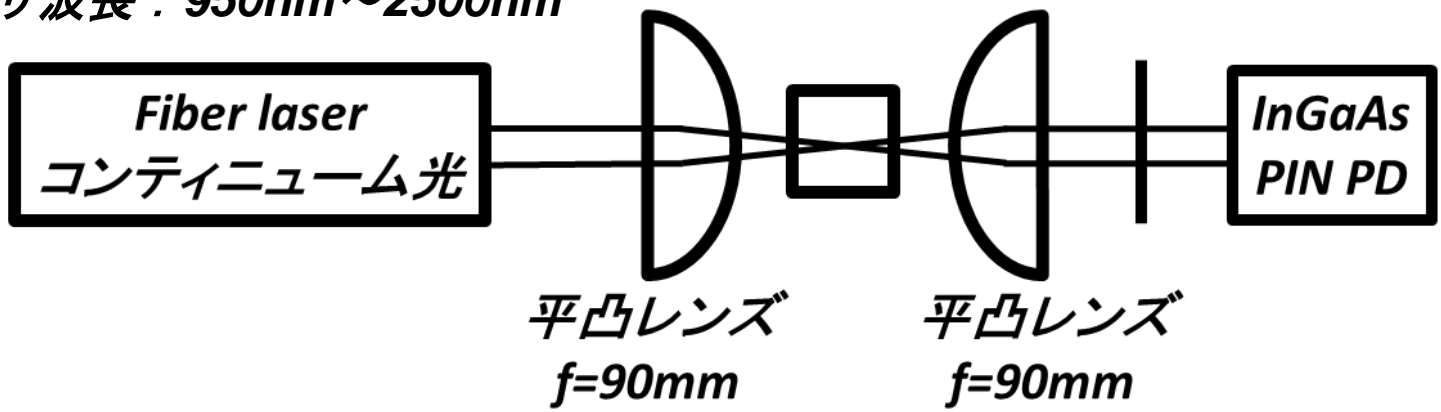
f_{CEO} 検出に用いることができる！

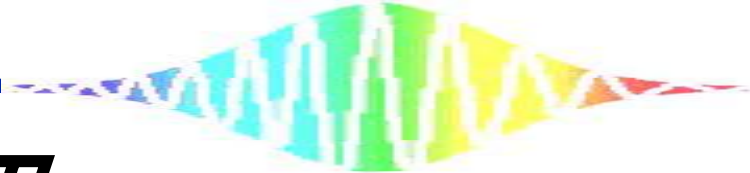


f-2f干涉計によるf_{CEO}検出装置

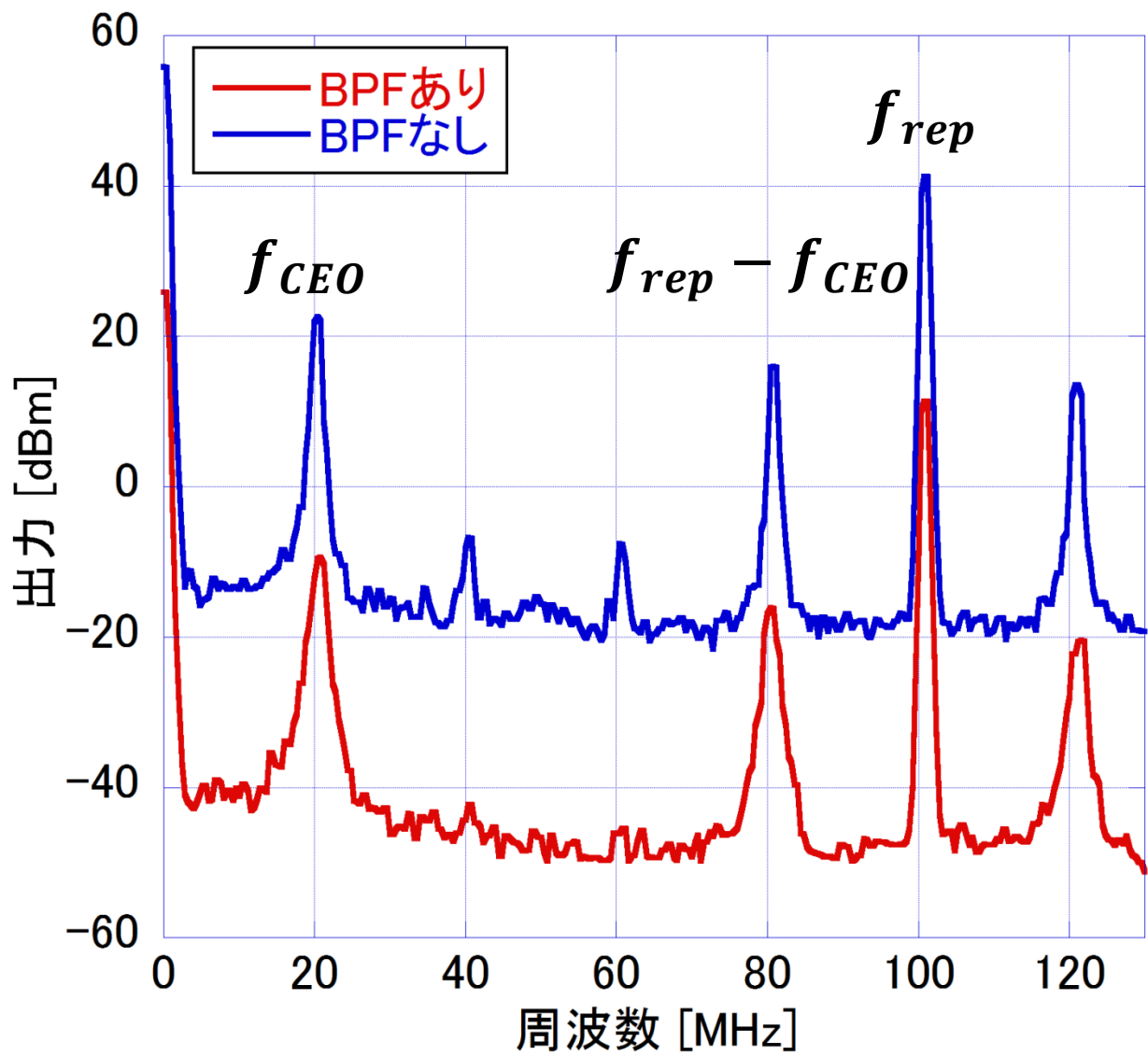
繰り返し周波数 : 100MHz
レーザー波長 : 950nm~2500nm

PPLN
1050nm帯発生
BPF
1050nm



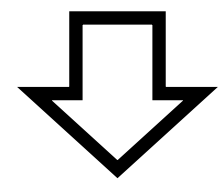


実験結果

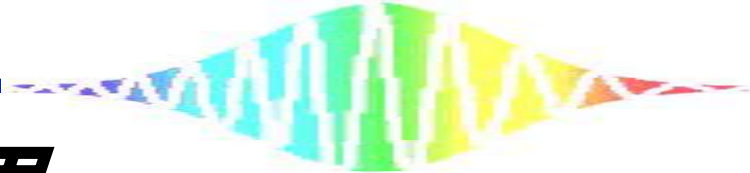


30dB以上の f_{CEO} 信号
ミラー信号も確認

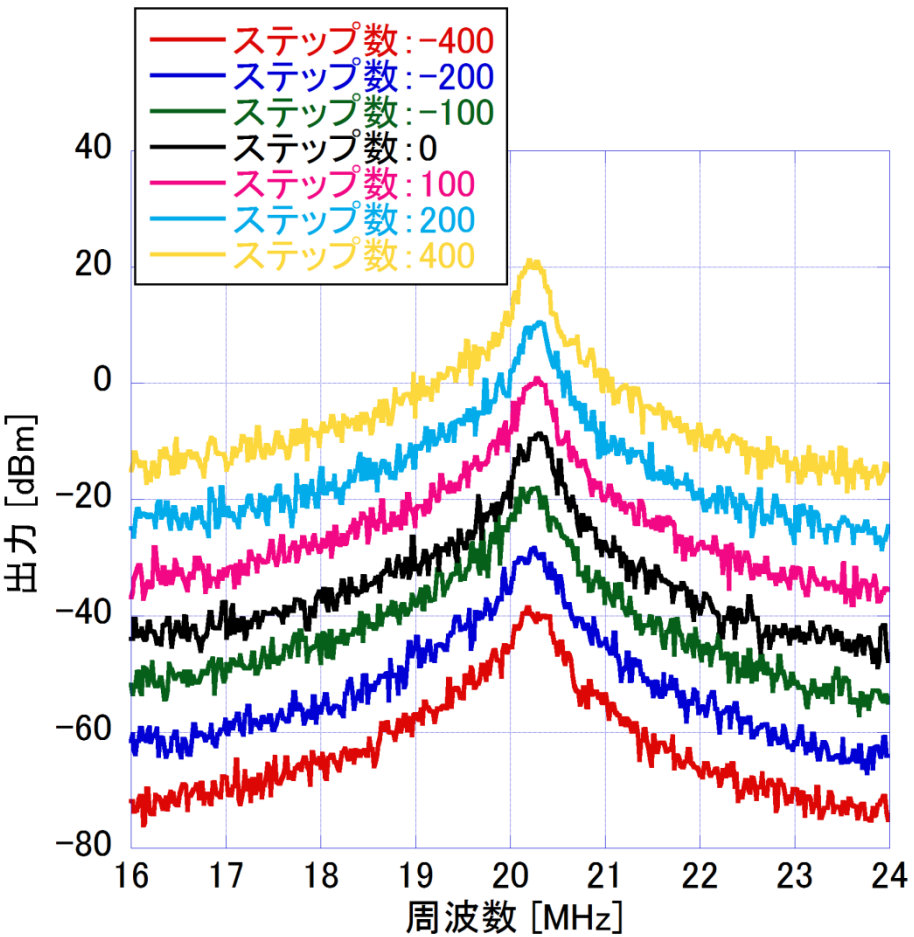
BPFの有無で変化なし



f_{CEO} 信号?

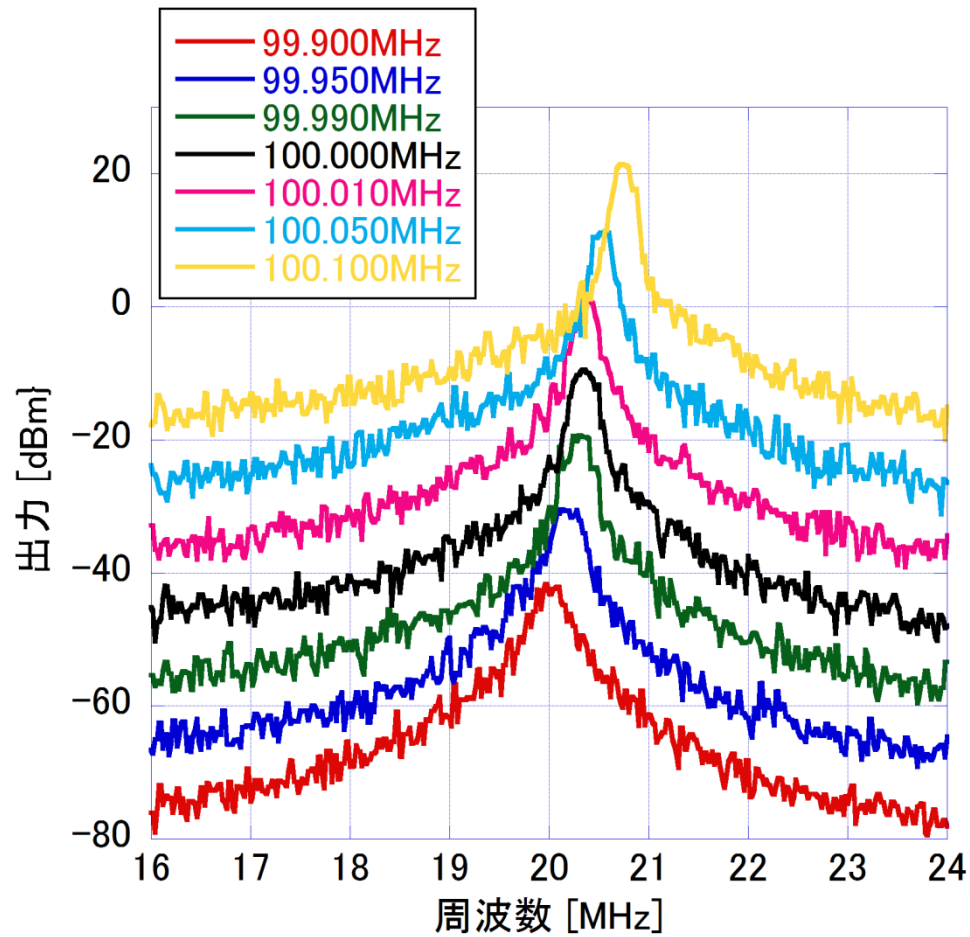


実験結果



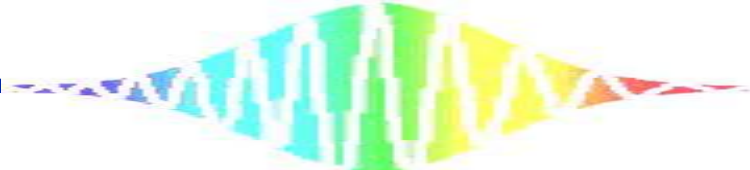
f_{CEO} 制御用プリズムを走査

変化なし



f_{rep} を走査

f_{rep} 変化に対応するシフトのみ



まとめ

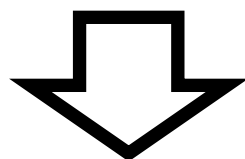
●光周波数コムとして用いるための目安

15～25 dB : トラッキングフィルタを用いて測定可能

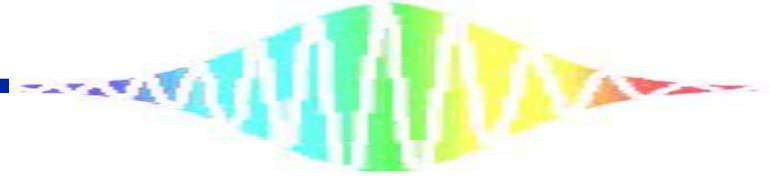
25～30 dB : 狭帯域バンドパスフィルタを用いて測定可能

30～40 dB : バンドパスフィルタを用いて測定可能

40 dB～ : 単一周波数ならばフィルタなしでも測定可能

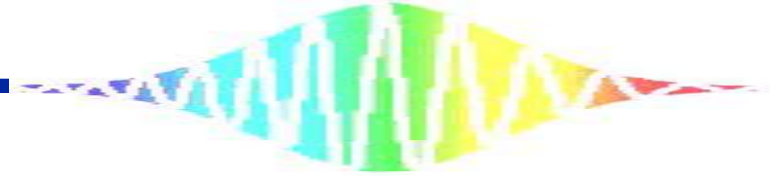


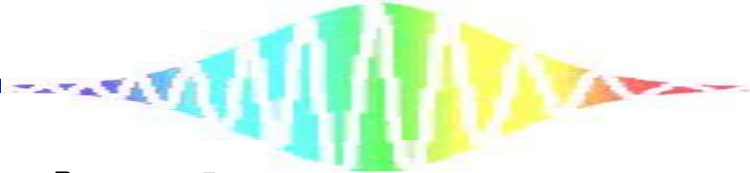
f_{CEO} 以外の信号を見ている可能性あり！



今後の予定

- PPLNでSHG (1050nm) が発生？
- 40dB以上の f_{CEO} 信号の取得
- f_{CEO} の制御





テラヘルツ波とは？

電波 ← **テラヘルツ波** → 光

ミリ波

遠赤外

IR

UV

300 MHz	3 GHz	30 GHz	300 GHz	3 THz	30 THz	300 THz
1 m	100 mm	10 mm	1 mm	100 μm	10 μm	1 μm

周波数：0.1THz ~ 10THz
波長：30μm ~ 3mm

特徴

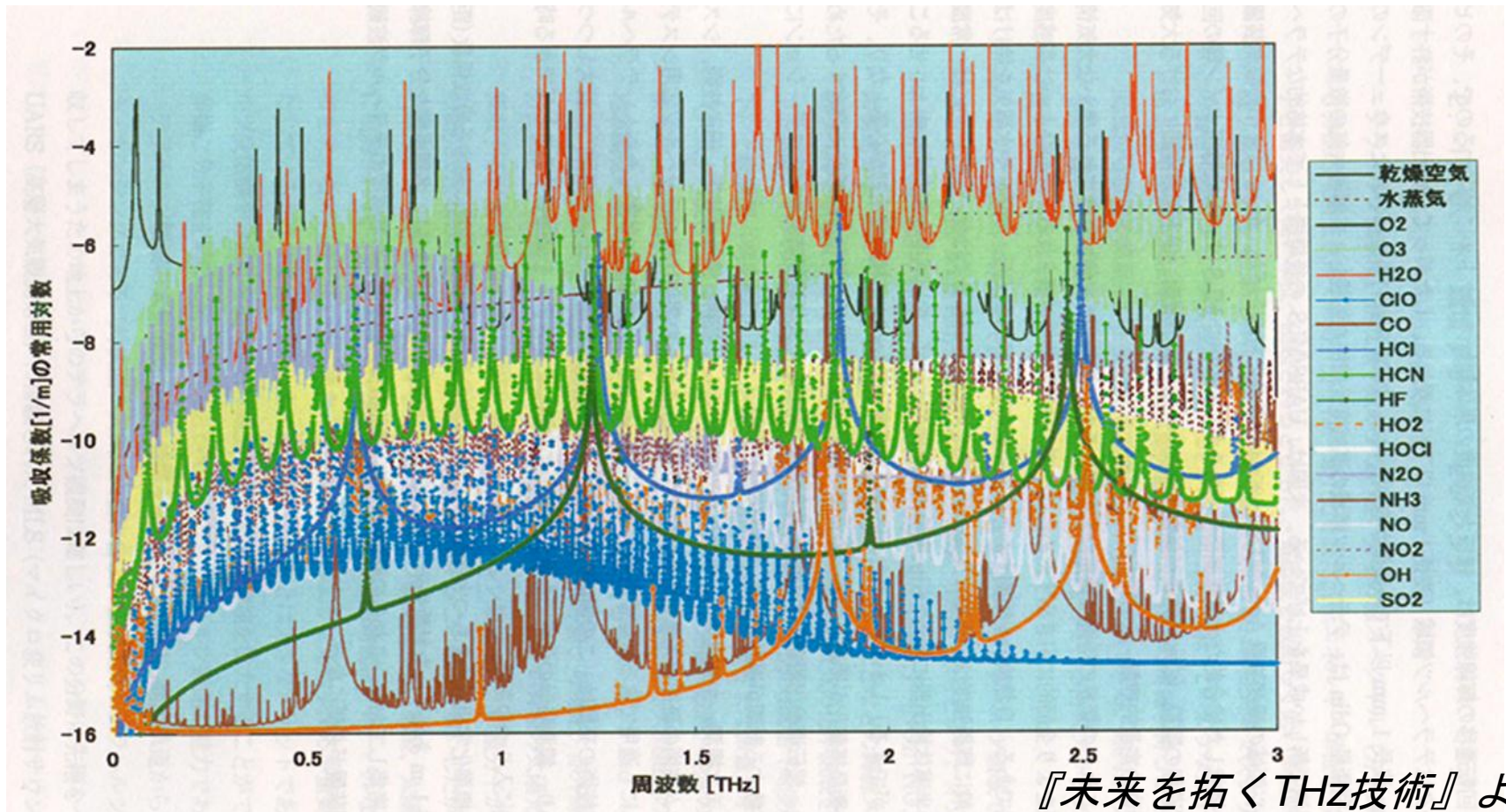
- ・ 非金属材料の良好な透過性
- ・ 低散乱
- ・ 自由空間の伝搬
- ・ 様々な物質への固有の吸収スペクトル



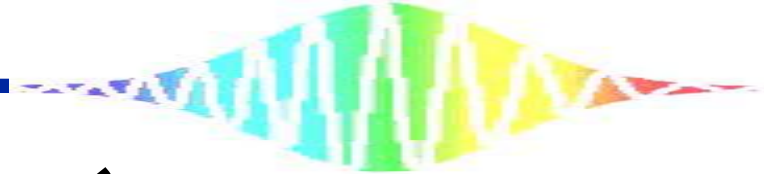
センシング手段
非破壊検査手段
品質評価手段

大気ガスセンシング

大気分子の吸収スペクトル



大気分子の吸収スペクトルはひしめきあっている
吸収スペクトルを厳密に識別する必要性



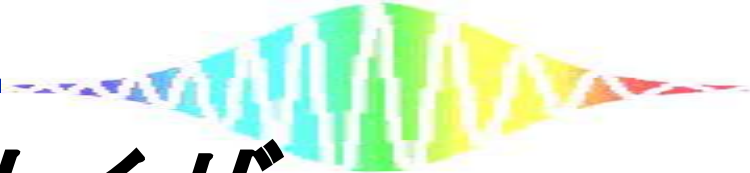
フェムト秒レーザーとは？

- 空間的にも局在
- 単位”1メートル”は、光速度で定義されている

”1秒の**299792458**分の1の時間に光が真空中を伝わる行程の長さ”

「憎くなく 二人寄れば いつもハッピー」

精密な時間を扱うことは、精密な空間を扱うこと



THzシンセサイザ

光コム

近赤外CWレーザー

ν_1

近赤外CWレーザー

ν_2



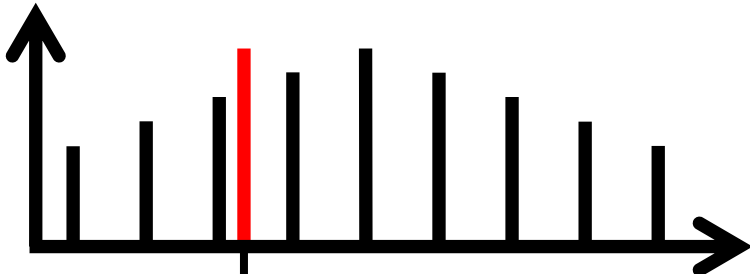
フォトミキサ

差周波発生により

$$\nu_2 - \nu_1 \approx \text{THz波}$$

光コム

ν_1 と ν_2 は非制御状態



f_{THz}

