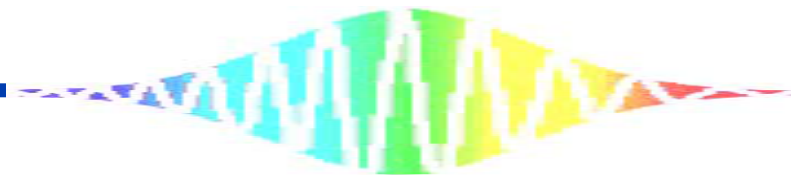


前期研究報告

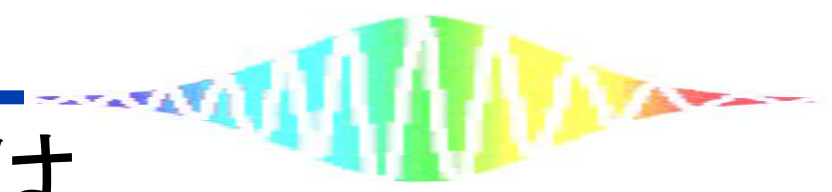
2015/9/11

M2 小倉 隆志

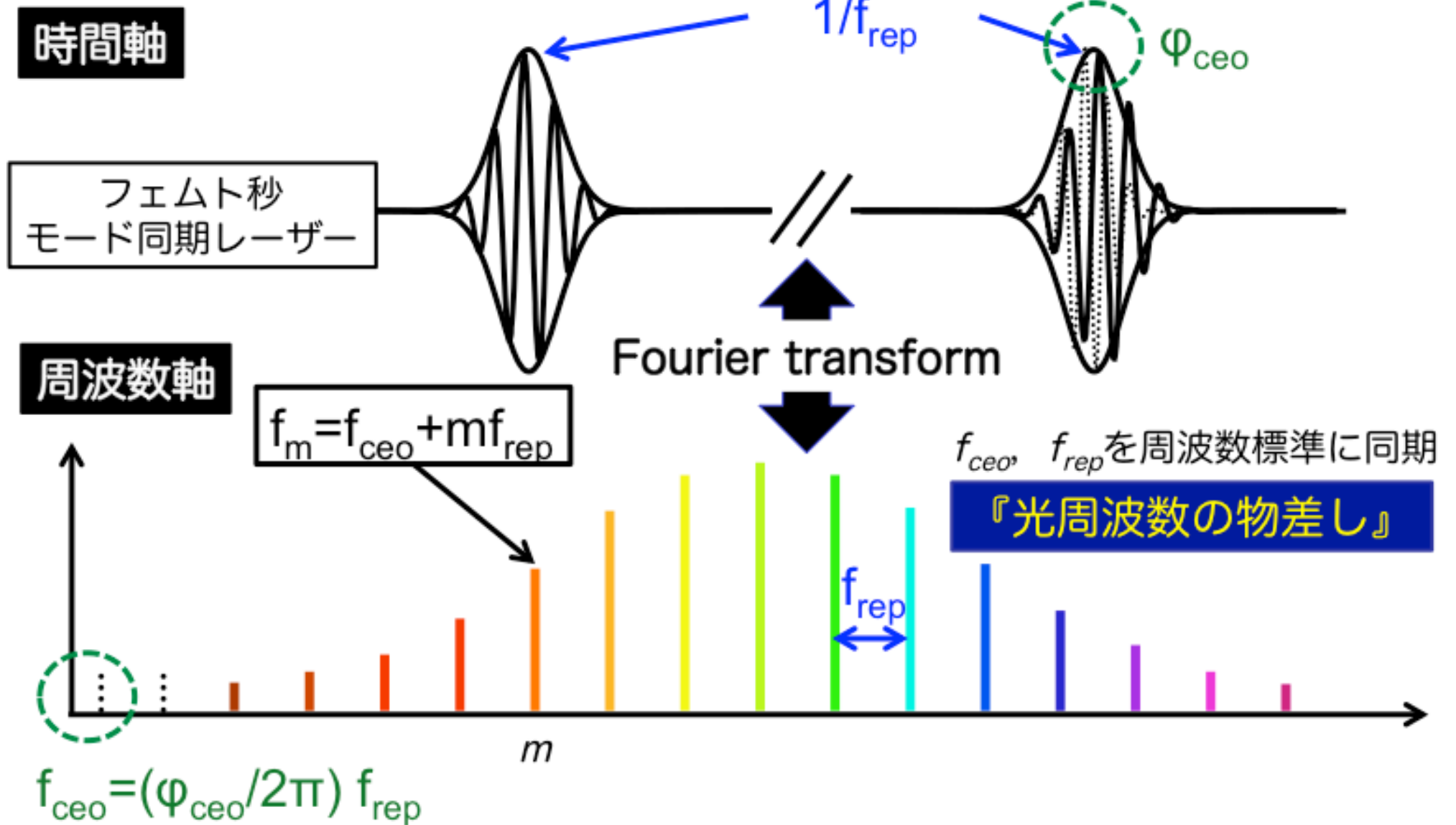


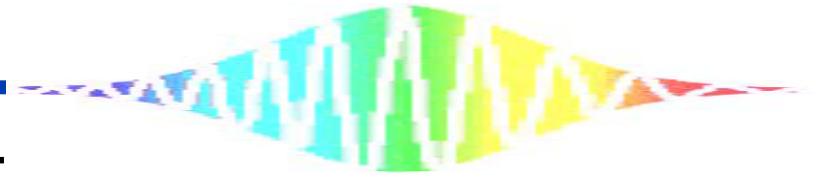
概要

1. 高速制御型光コムの開発
-電気通信大学での製作
～徳島大学での立ち上げ-
2. センシング光コム
現状と今後の計画



光コムとは



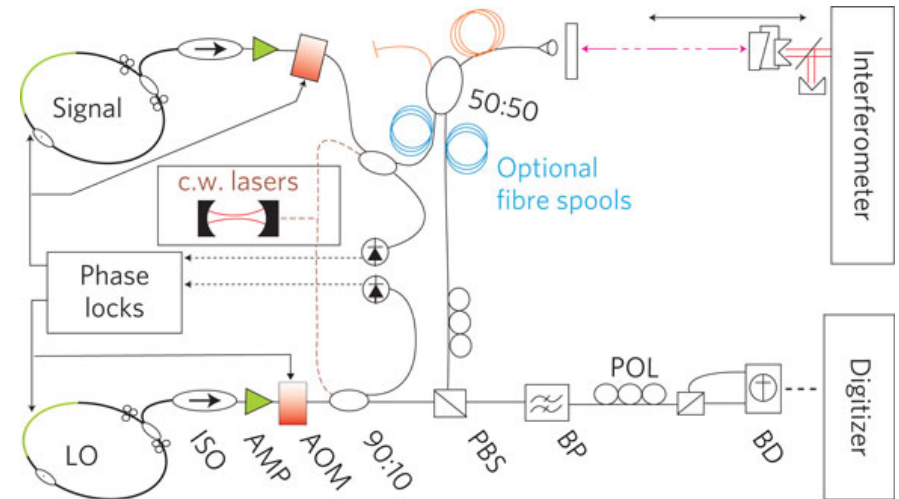
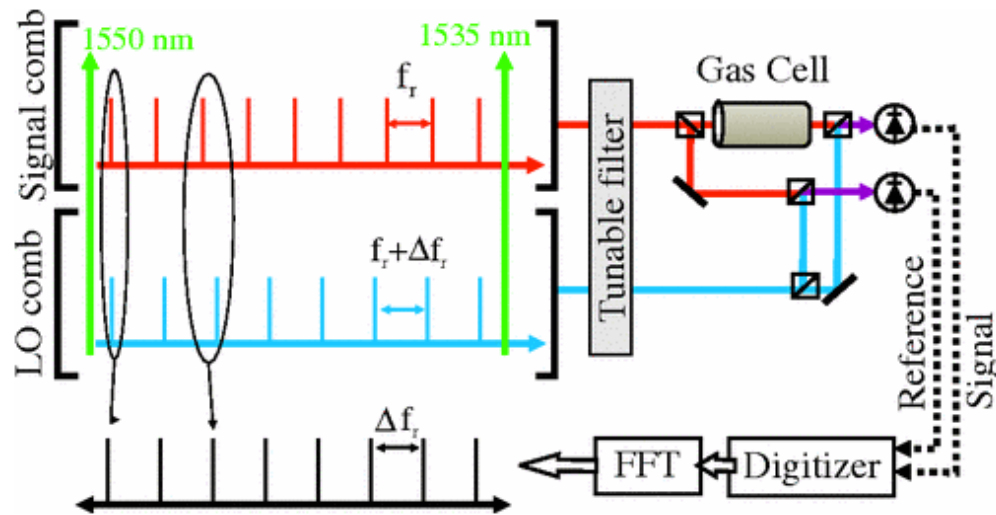


開発背景

光コム応用計測

分光計測

距離計測



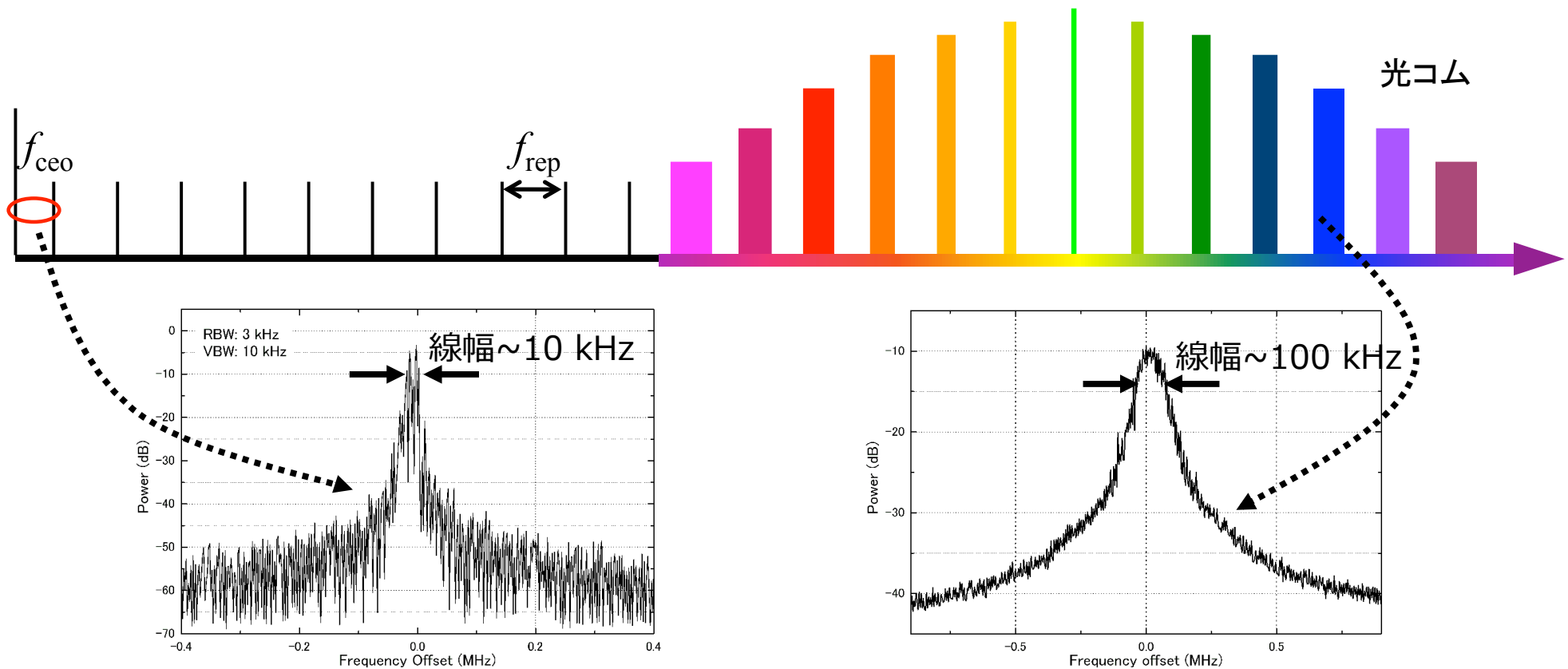
Ref) I. Coddington, et. al, Phys. Rev. Lett., **100**, 013902 (2008) Ref) I. Coddington, et. al, Nat. Photonics., **3**, 351-356 (2009)

2台の光コムの相対線幅を狭線幅



高品位な光コム光源が求められる

ファイバコムの位相雑音発生源



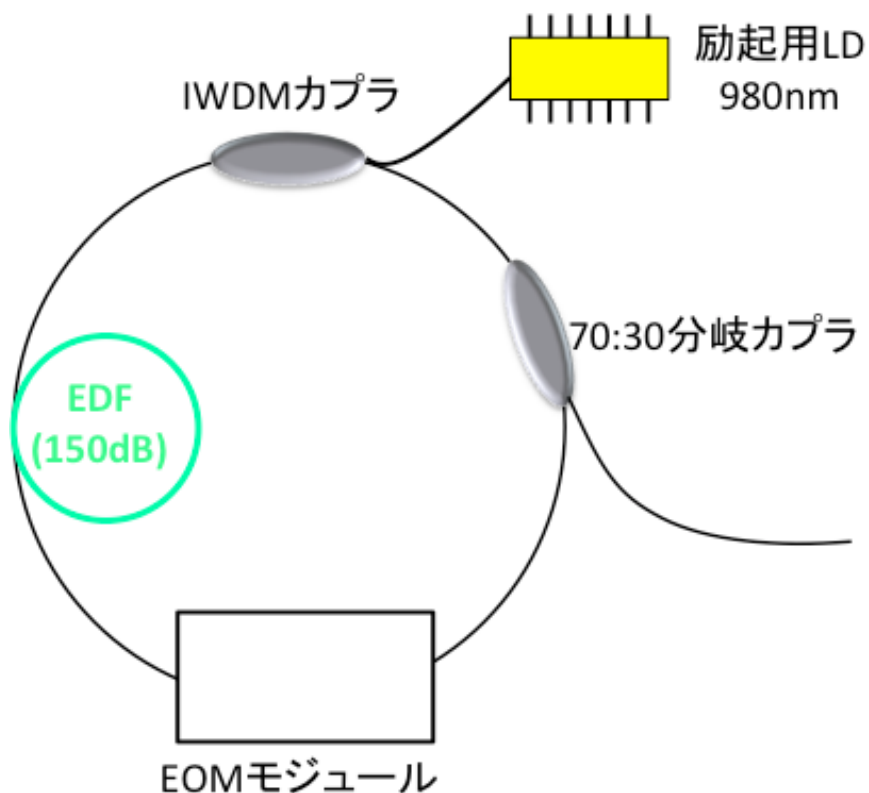
励起LDの強度ゆらぎ(レーザー共振器中の位相屈折率と群屈折率の変化)

励起LDの強度ゆらぎ
ファイバレーザー共振器長のゆらぎ

励起LD強度と共振器長を**高速制御**で抑制・低雑音化

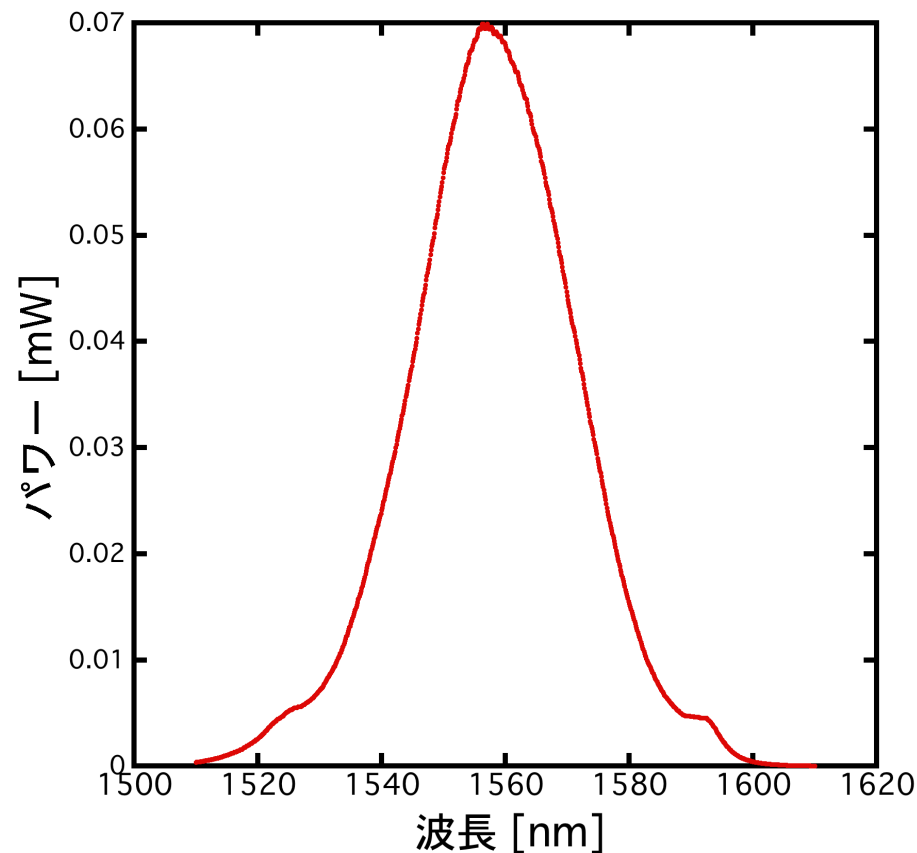
ファイバレーザー共振器長の高速制御

電気光学位相変調器 (EOM) モジュール
挿入型ファイバコム



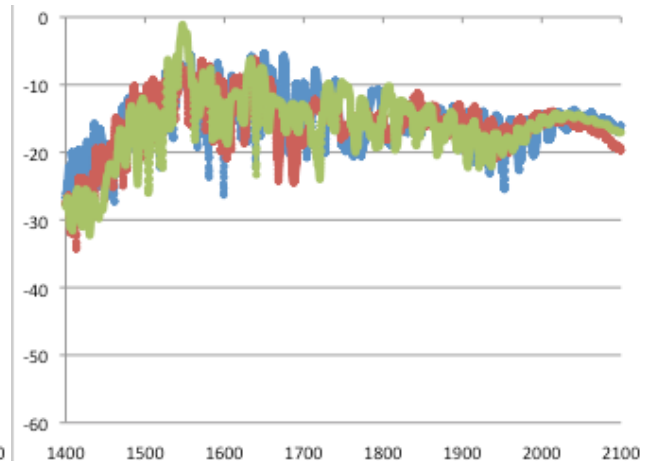
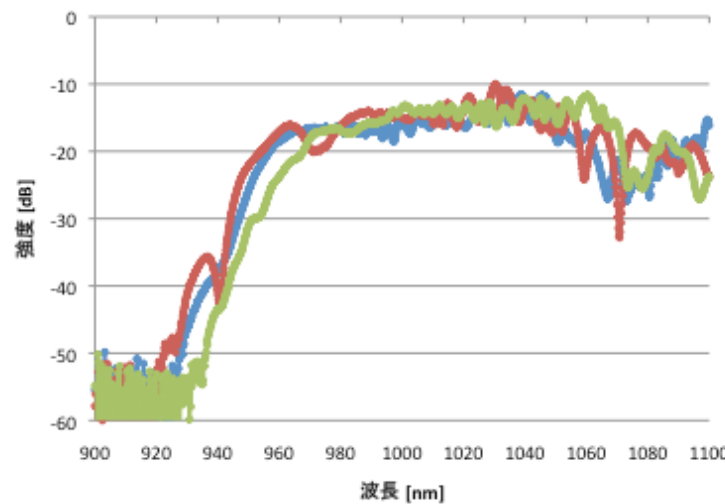
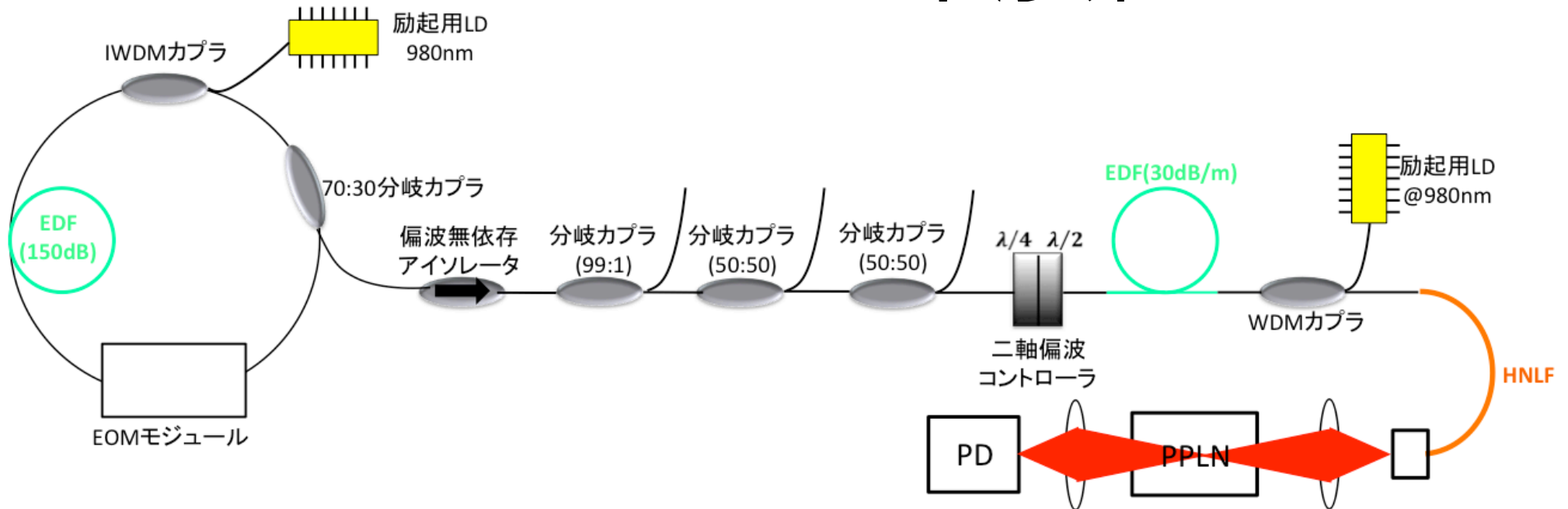
繰り返し周波数 : 100.386,889 MHz
出力平均パワー : 10 mW

スペクトル波形



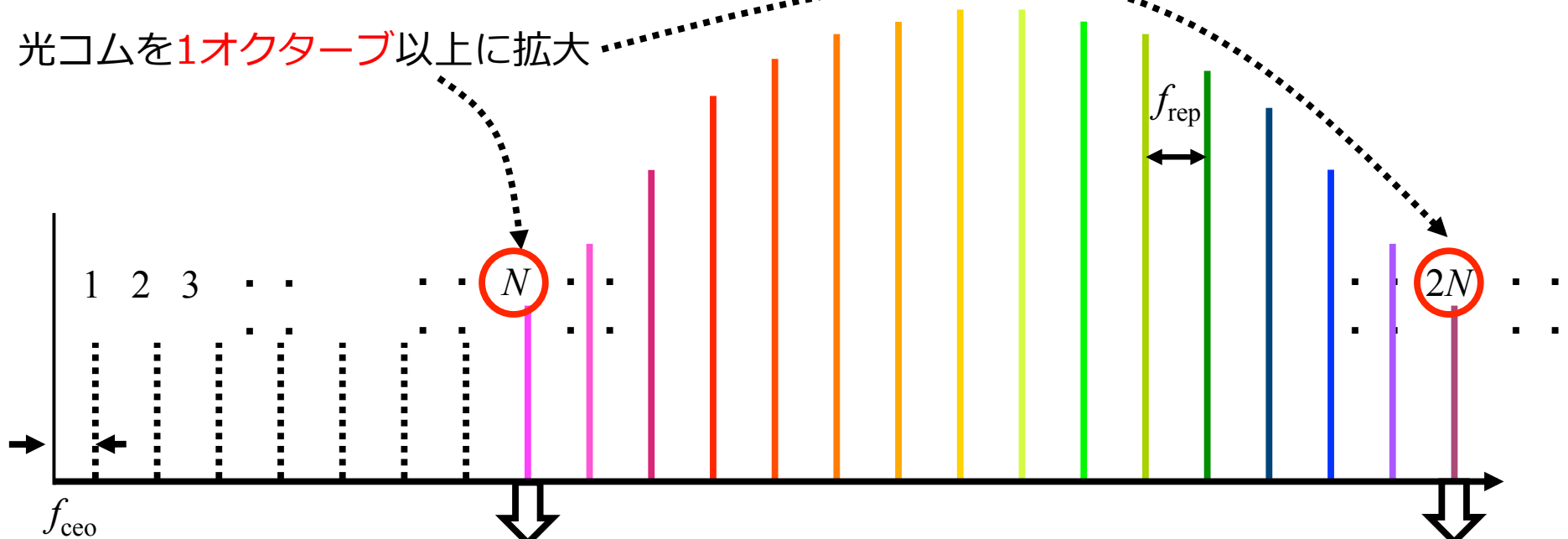
共振器分散値 : -0.013ps^2
スペクトル半値幅 : 28.9 nm

EDFA & f-2f 干涉系



f-2f干渉系= f_{ceo} の検出

光コムを1オクターブ以上に拡大



$$f(N) = f_{\text{ceo}} + N \cdot f_{\text{rep}}$$

$$f(2N) = f_{\text{ceo}} + 2N \cdot f_{\text{rep}}$$

$$\times 2 \Rightarrow 2f(N) = 2f_{\text{ceo}} + 2N \cdot f_{\text{rep}}$$

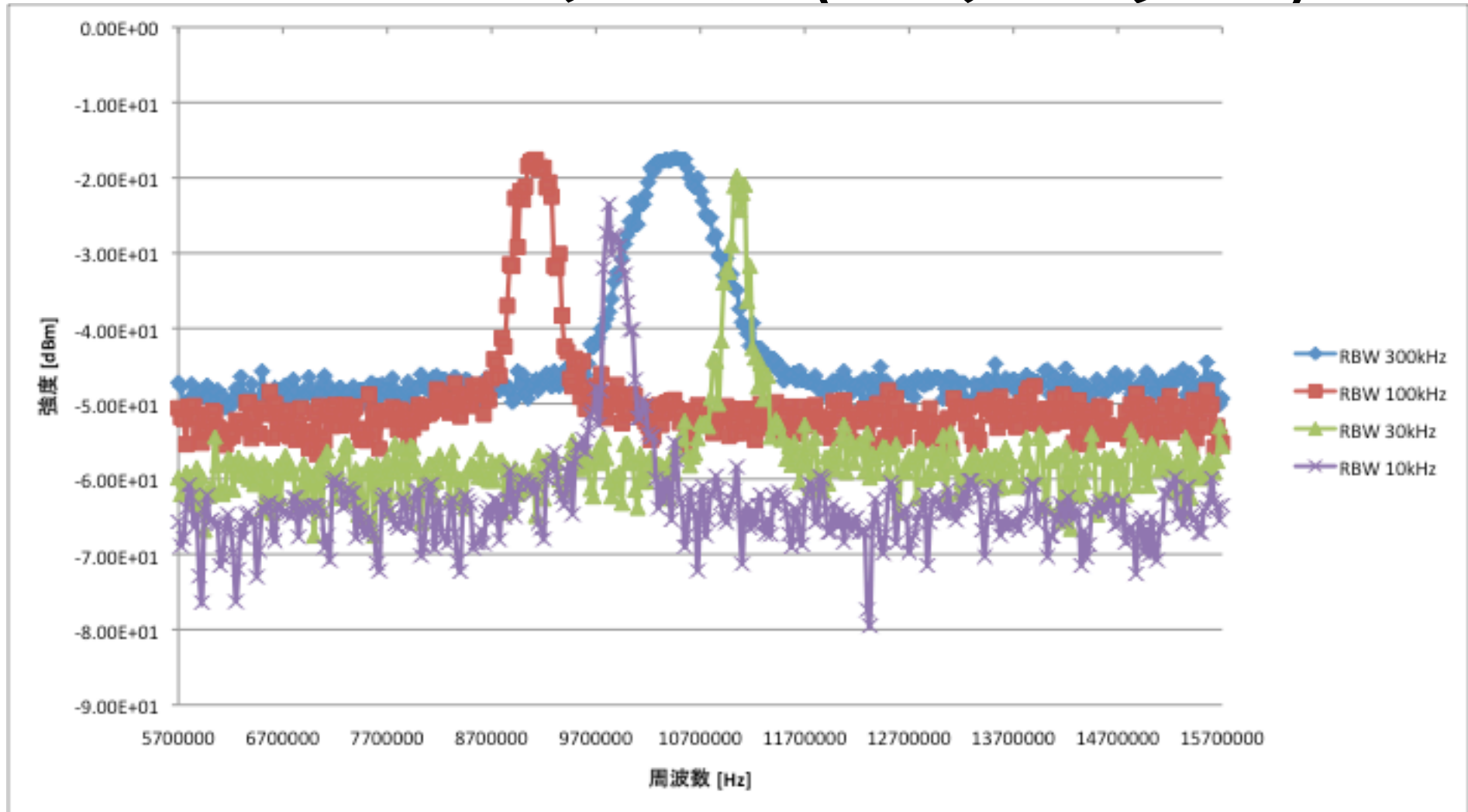
$$2f(N) - f(2N) = f_{\text{ceo}}$$

Th. Udem, *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **82**, 3568 (1999)

H.R. Telle, *et al.*, *Appl. Phys. B* **69**, 327 (1999)

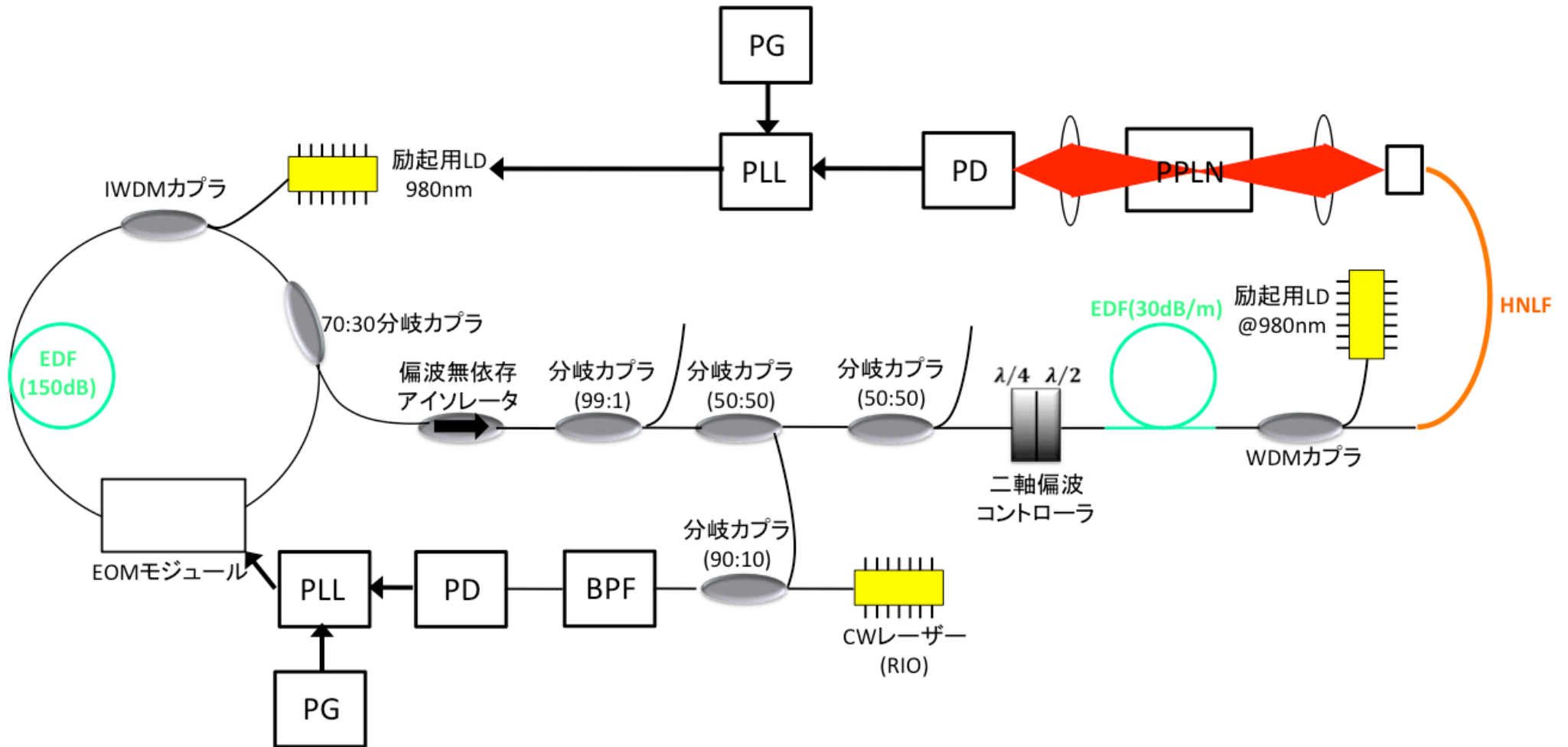
D. J. Jones, *et al.*, *Science* **288**, 635 (2000)

fceoスペクトル(フリーラン)



共振器トータル分散を 0ps^2 に近づける事で**30KHz以下**のfceo線幅を得た

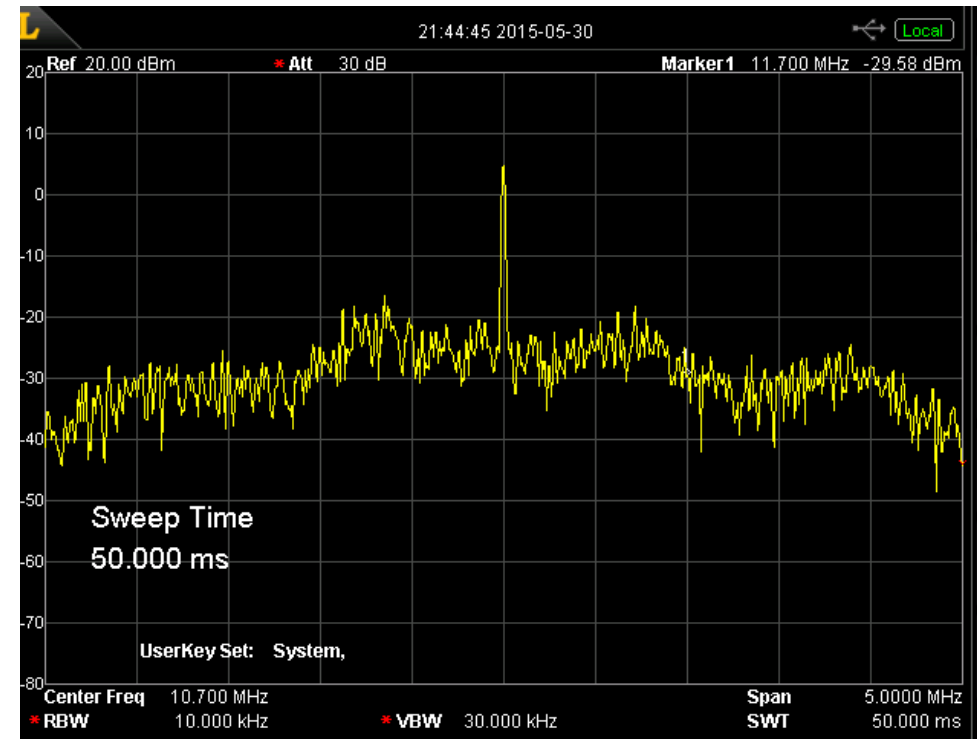
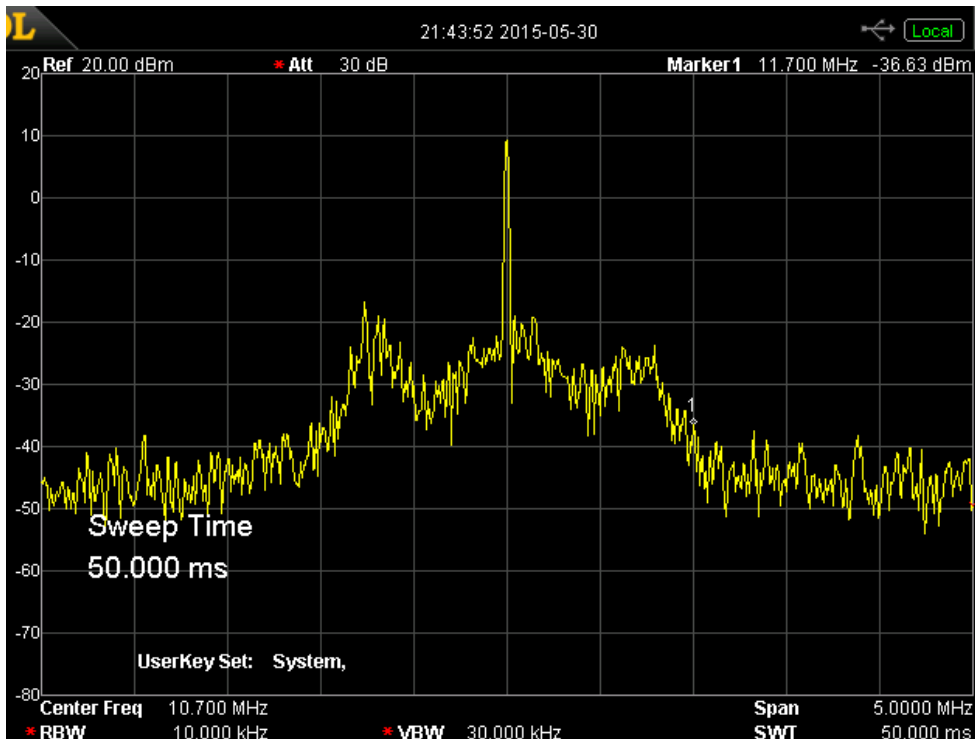
fceo, fbeat制御系



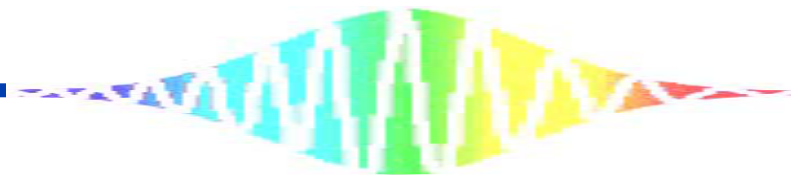
fbeat & fceo スペクトル(制御時)

fbeat

fceo

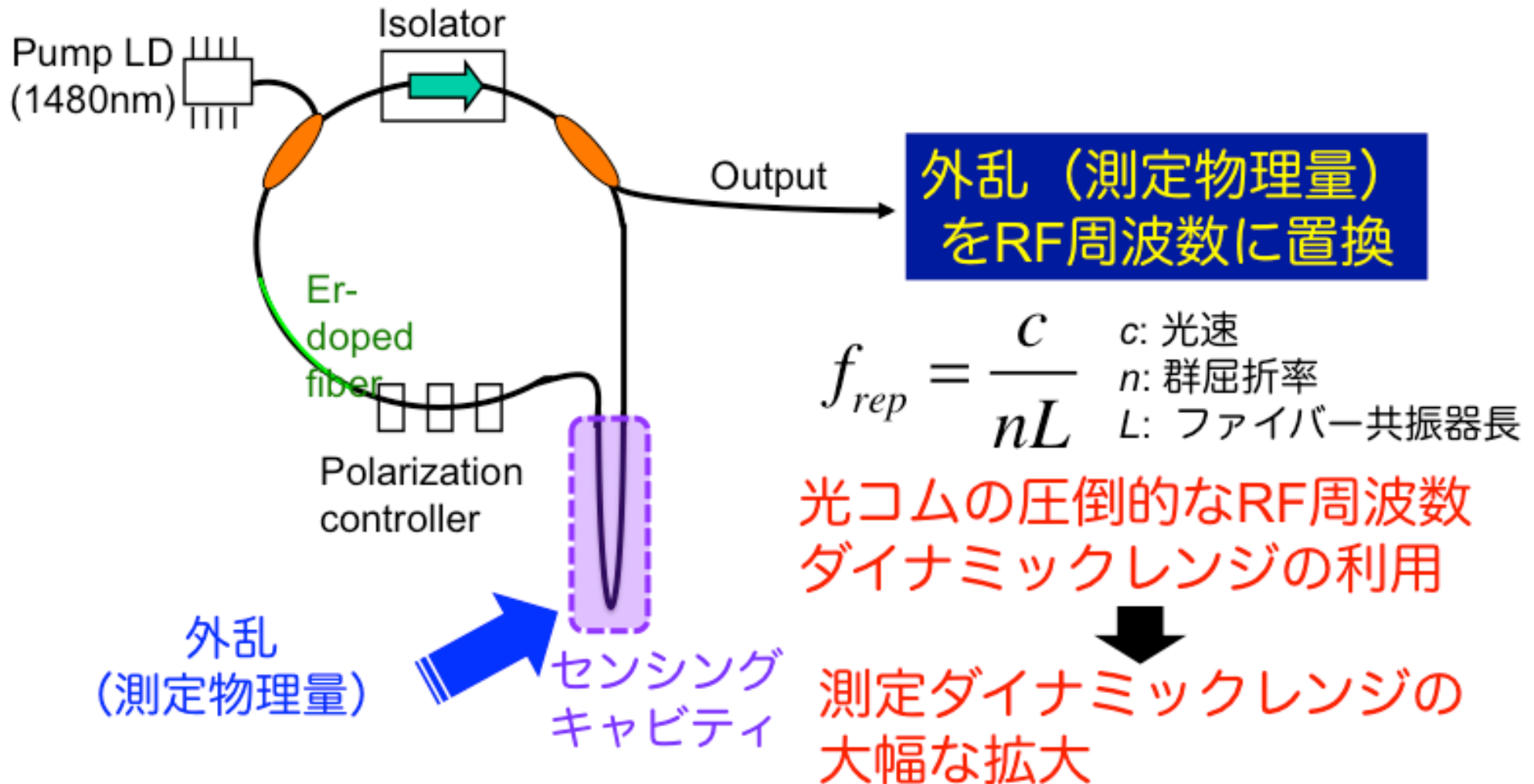


制御回路の時定数を変更することで、**700kHz**のサーボバンプを得た



2. センシング光コム 現状と今後の計画

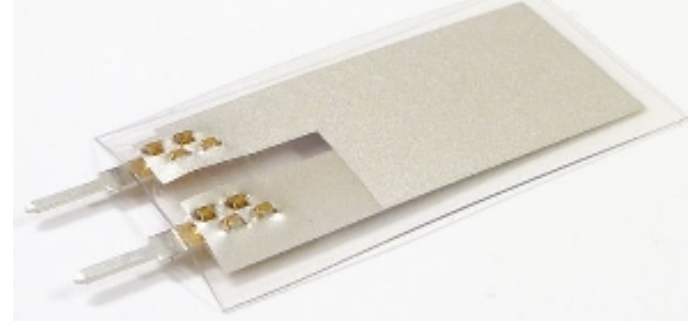
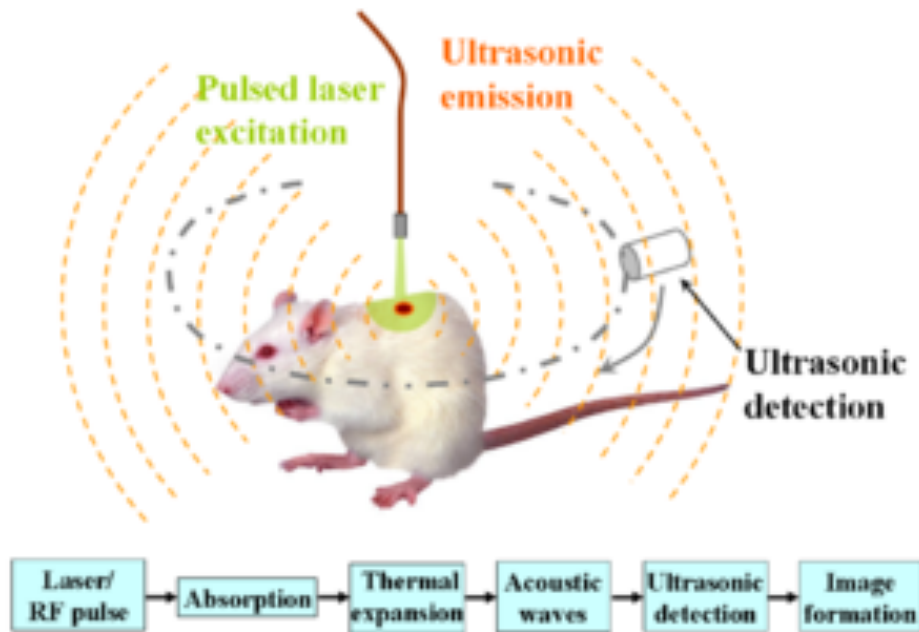
ファイバー光コム共振器を用いた 外乱/RF周波数変換



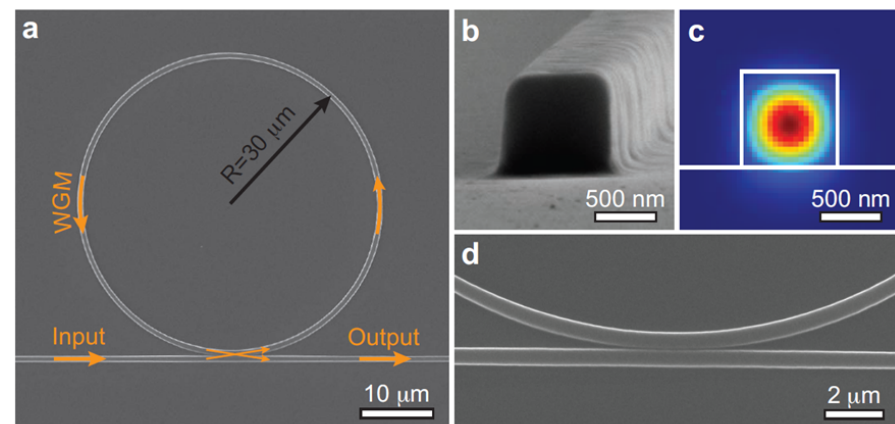
光音響イメージング@従来研究

PVDF (Polyvinylidene fluoride)

原理

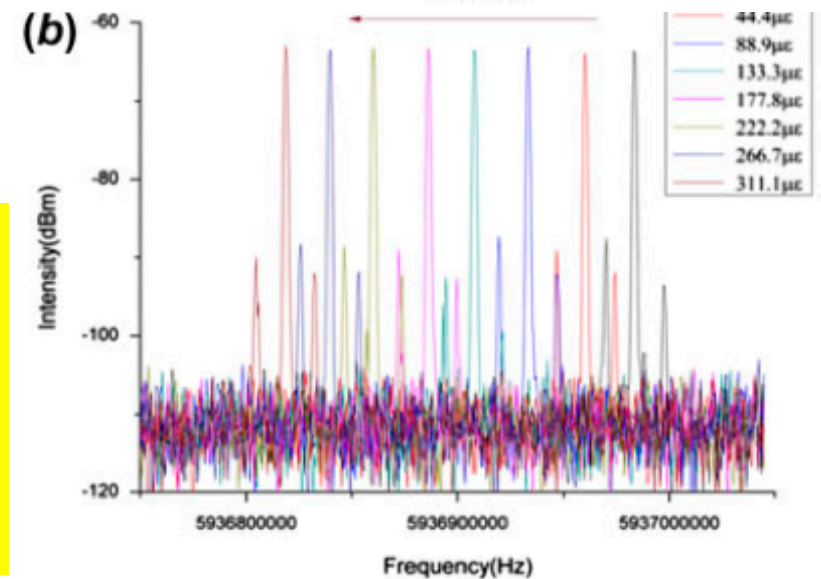
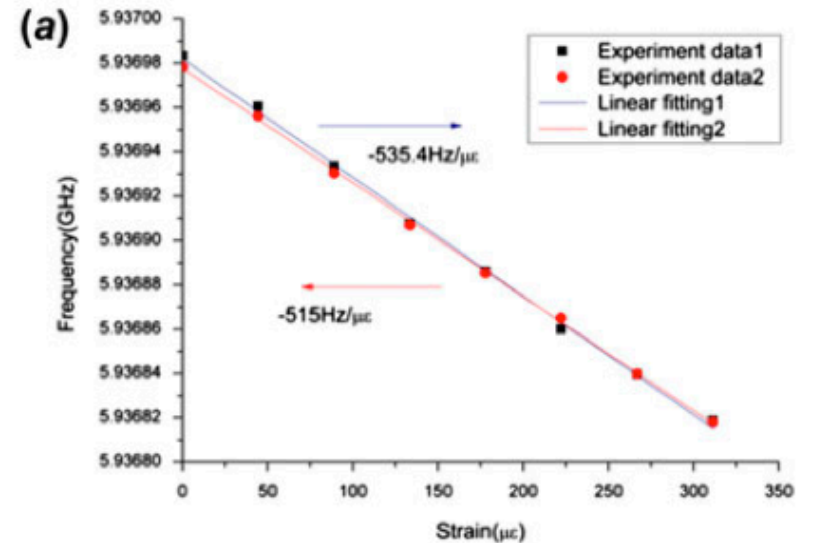
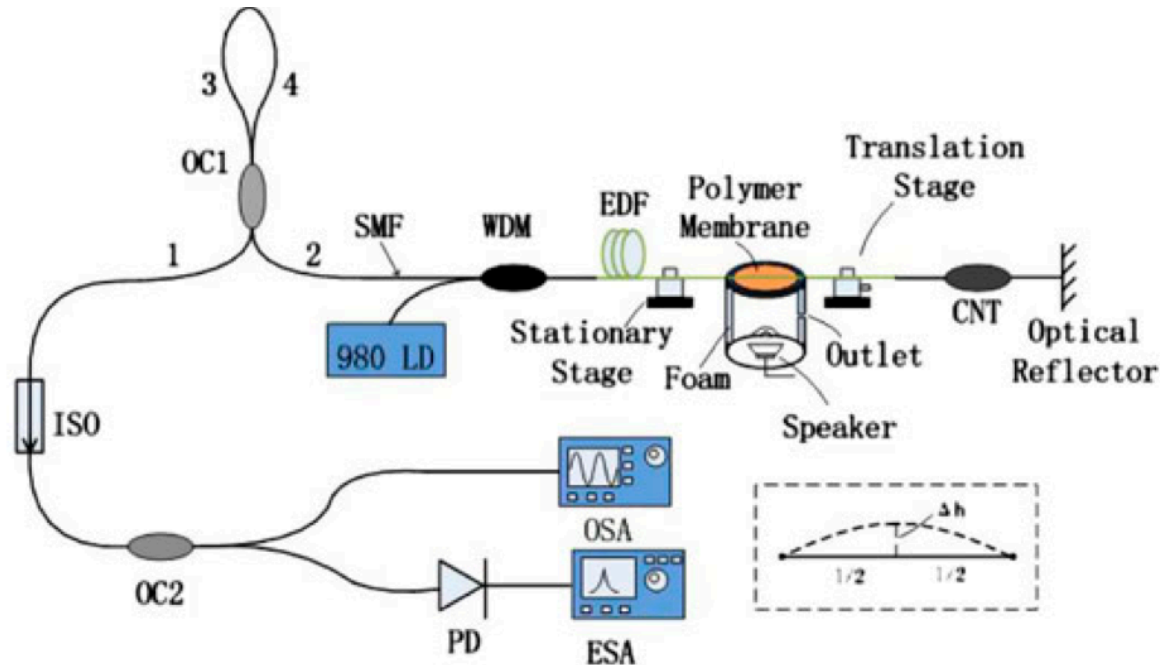


マイクロリング共振器



先行研究

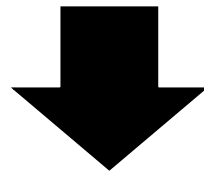
Ref) S. Wang et al., "Passively mode-locked fiber laser sensor for acoustic pressure sensing," *J. Mod. Opt.* **60**, 1892-1897 (2013)



- ・歪みによる f_{rep} 周波数変化をRFスペクトラム・アナライザーによるピーク位置変化で計測
- ・高速性や高精度性に課題

研究目的

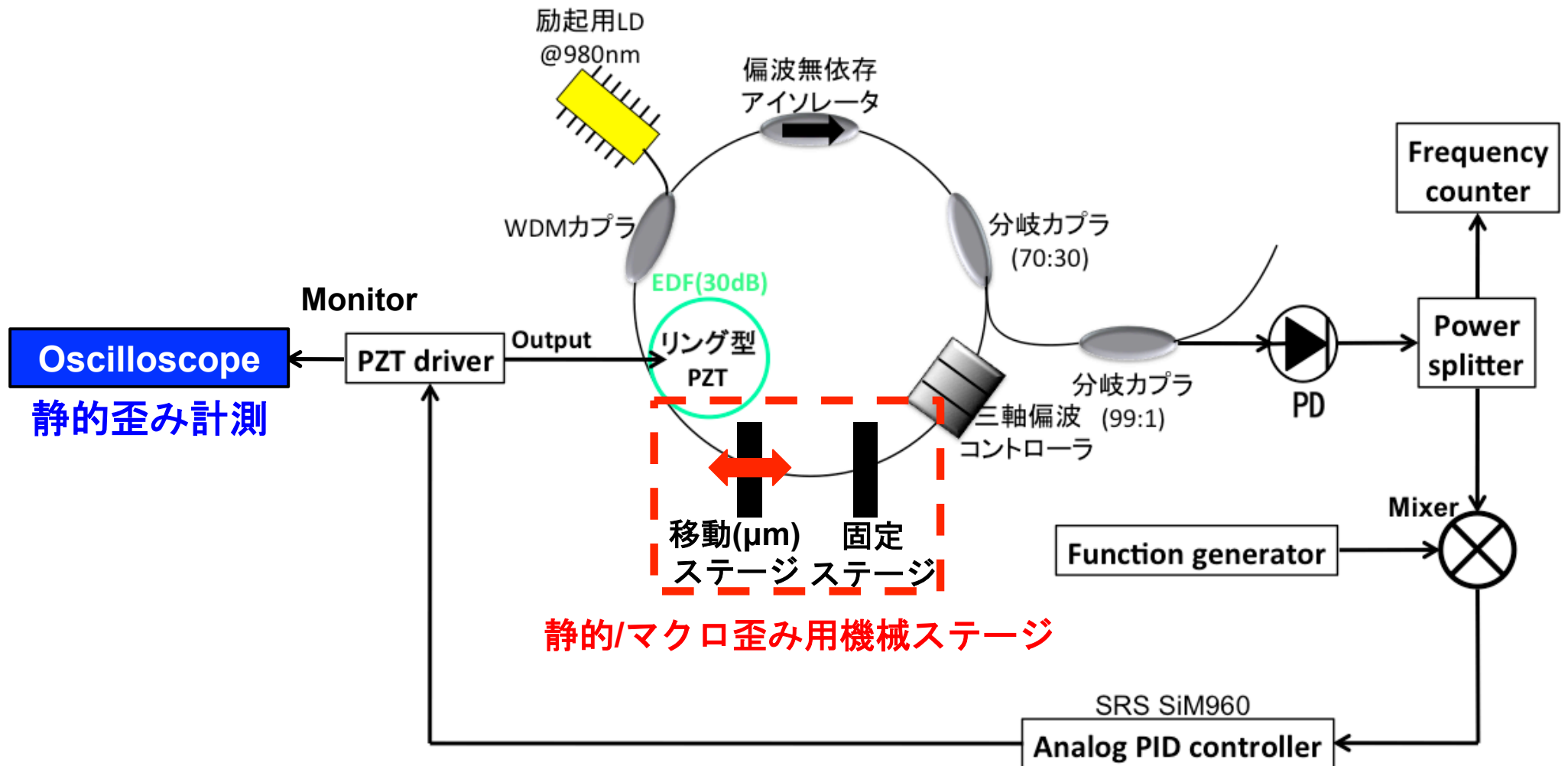
光音響イメージングでの音響周波数計測
→RF周波数で計測



- **偏位法**（ピーク位置計測）の代わりに**零位法**
（ f_{rep} **安定化用制御電圧計測**）を用いる
- 微小歪みを拡大して**高精度計測**
- **電圧信号測定**により、**高速計測**

光音響イメージングの高度化

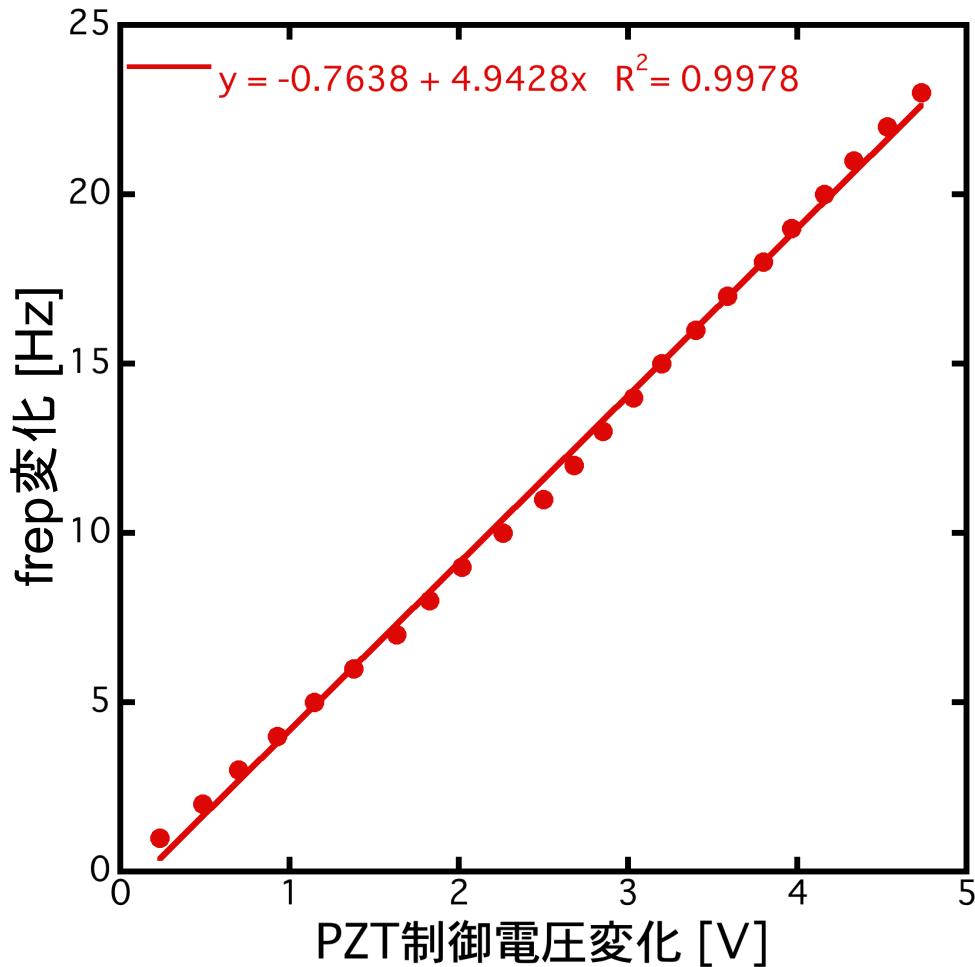
歪みセンシング光コム(静的歪み) (f_{rep} 安定化モード同期Erファイバーレーザー)



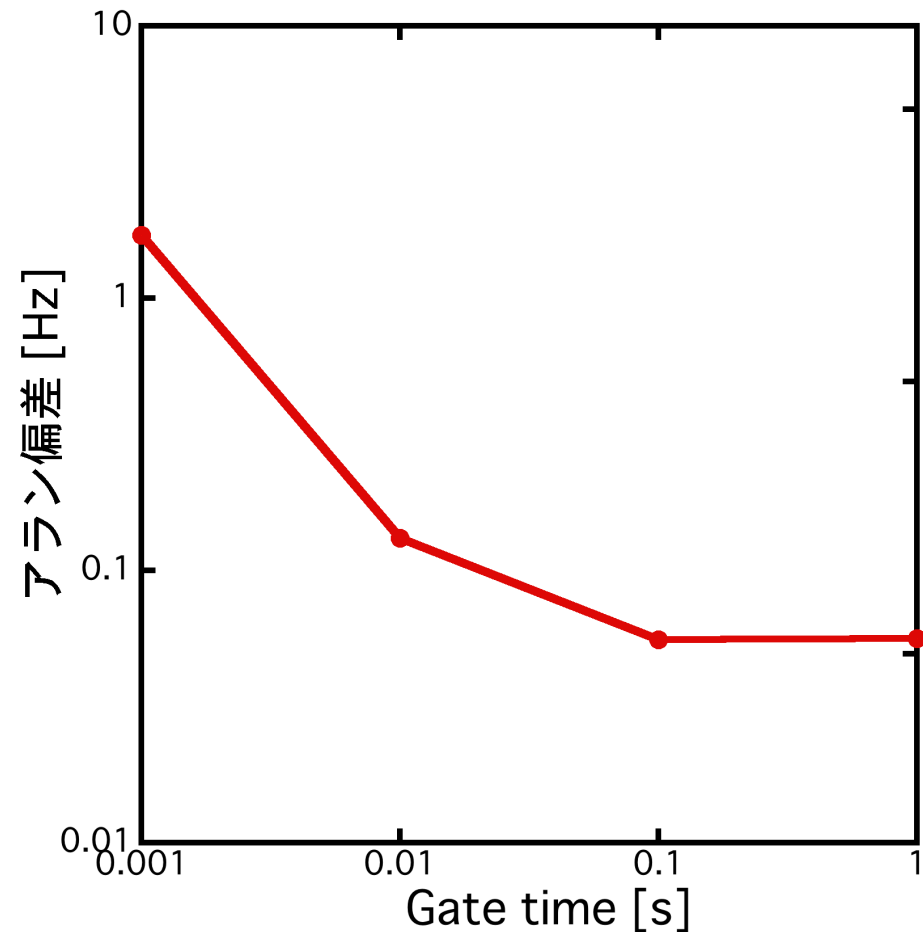


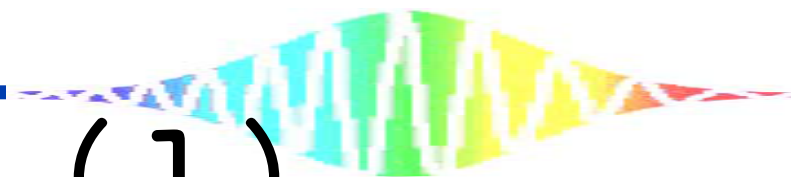
無付加状態での光コム特性, f_{rep}

PZT制御電圧- f_{rep} 特性



信号安定性評価

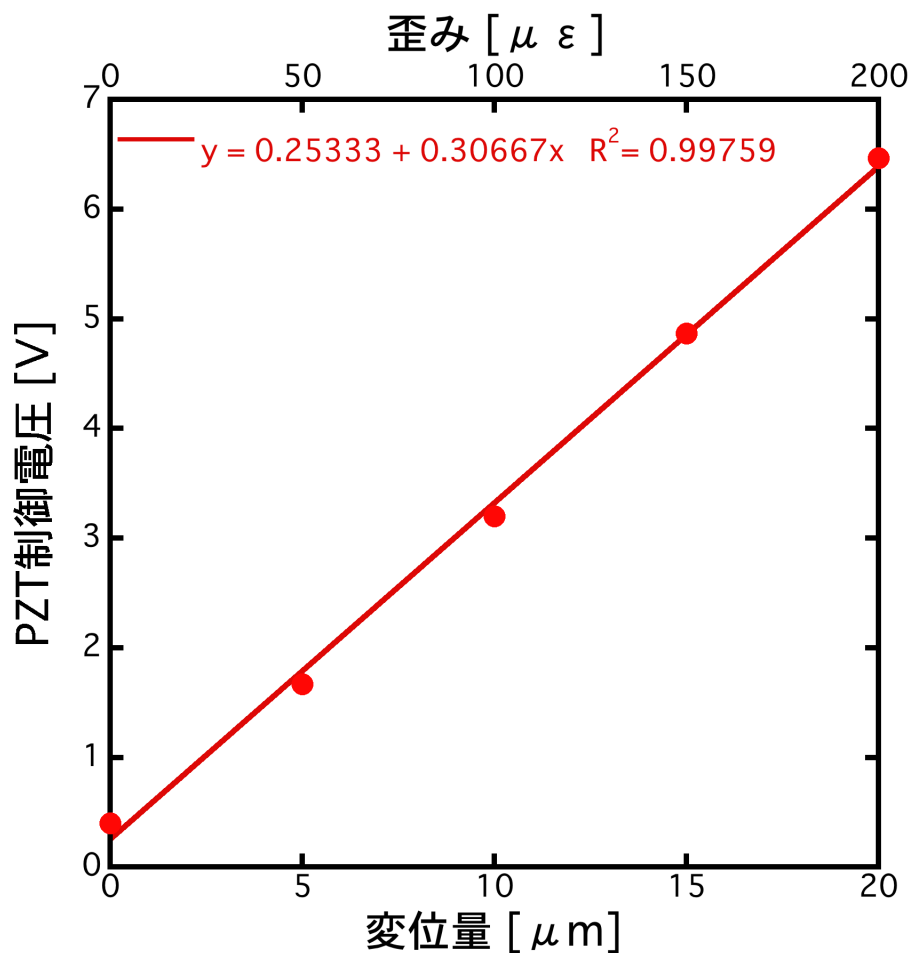




静的歪み計測 (1)

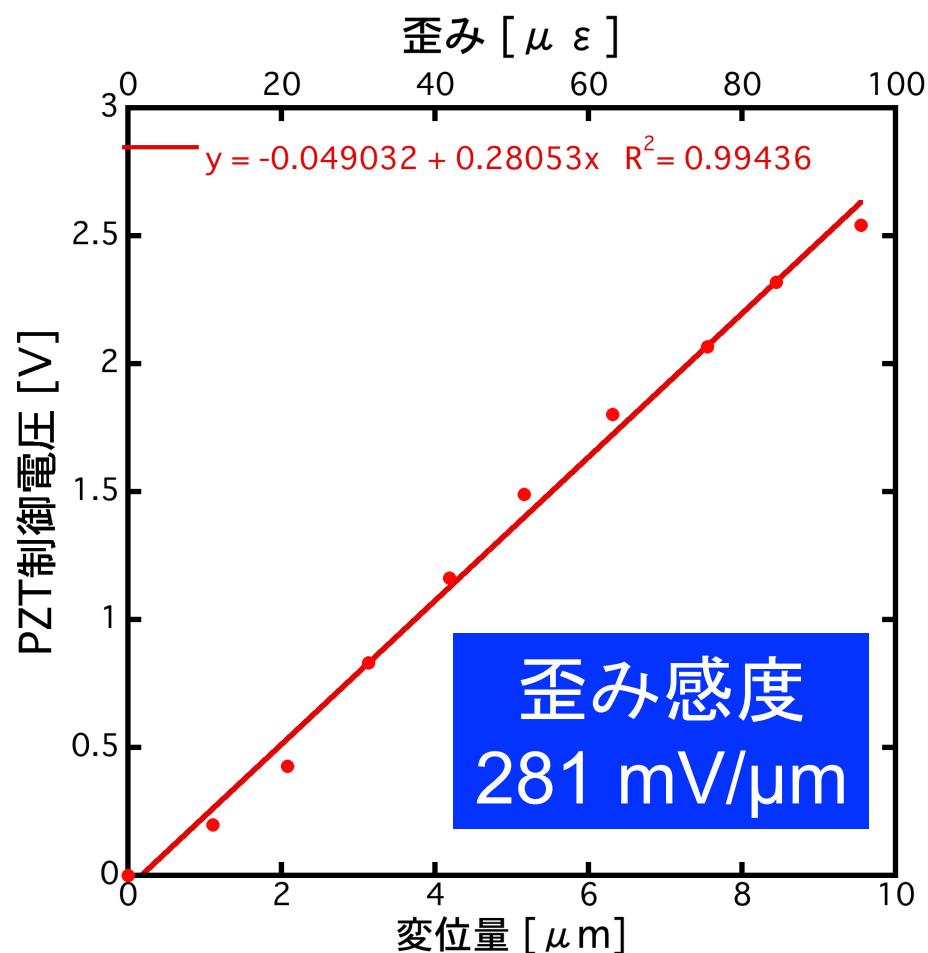
マクロ歪み計測@機械ステージ

歪み印可範囲 : 100mm、分解能10 μ m

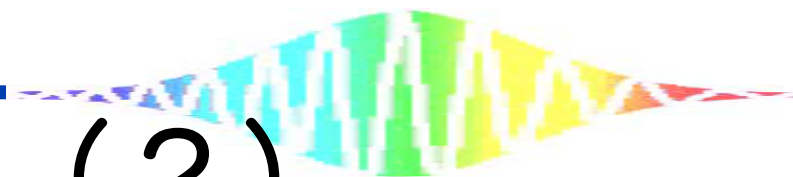


微小歪み計測@PZT

歪み印可範囲 : 20mm、分解能0.1 μ m



静的歪み計測 (2)

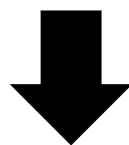


検出可能な最小変位量

PZT制御電圧揺らぎ
10mV

÷

歪み感度
281 mV/ μm



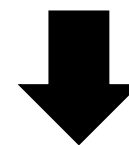
最小変位量 : 0.036 μm

検出可能な最大変位量

PZT制御電圧可変範囲
10V(モニタ値)

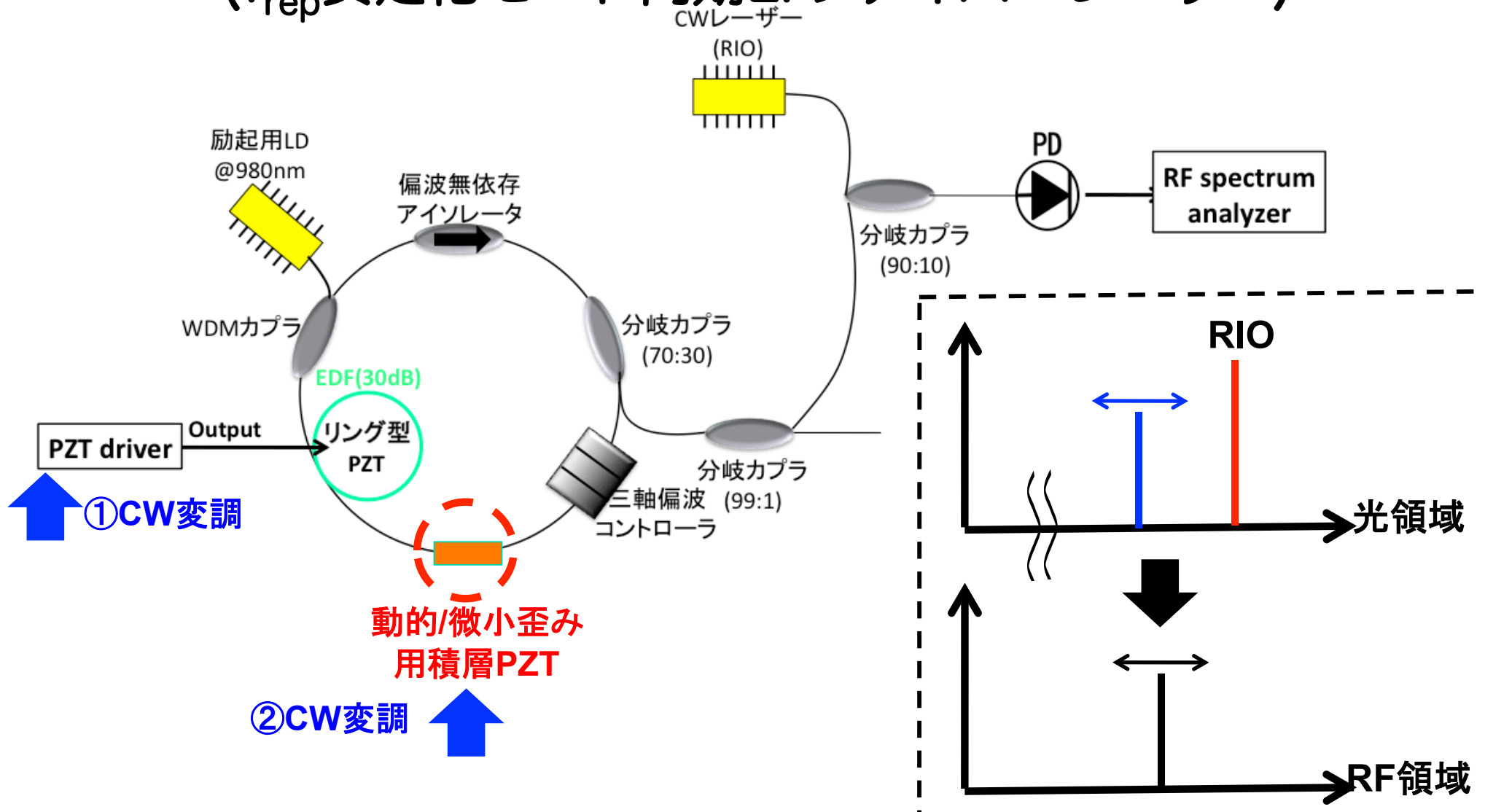
÷

歪み感度
281 mV/ μm



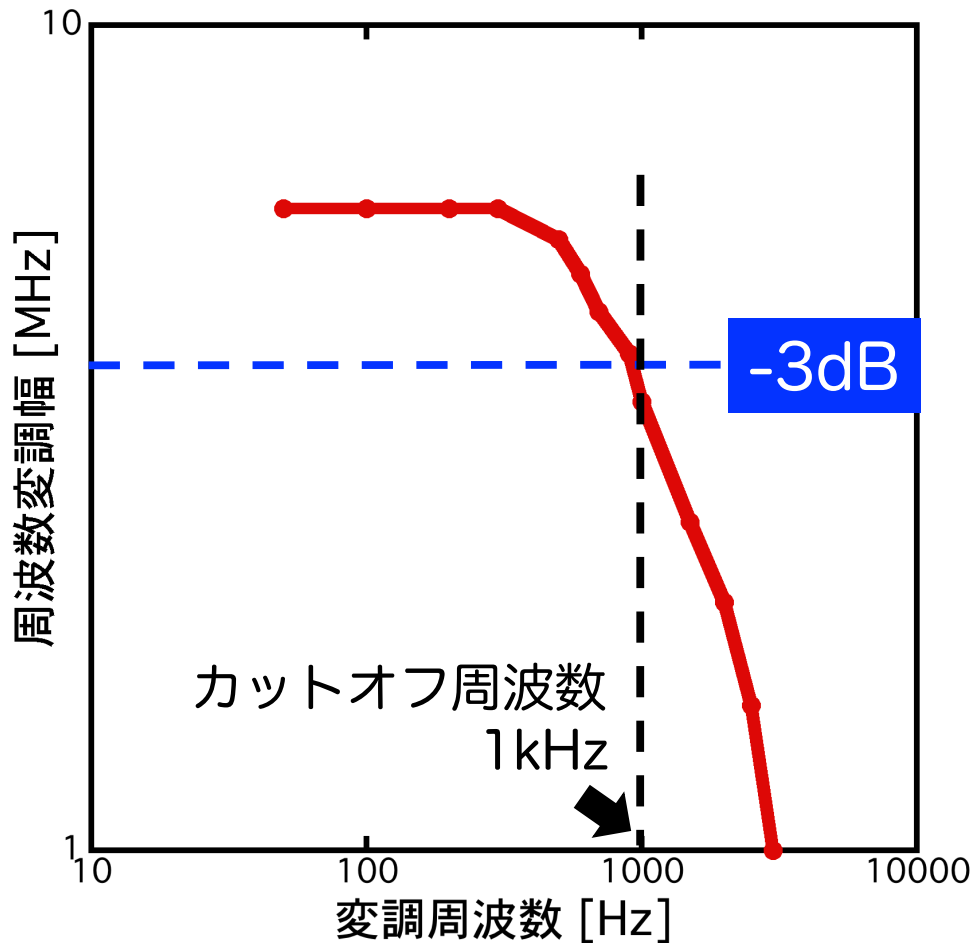
最大変位量 : 36 μm

歪みセンシング光コム(周波数応答性) (f_{rep} 安定化モード同期Erファイバーレーザー)

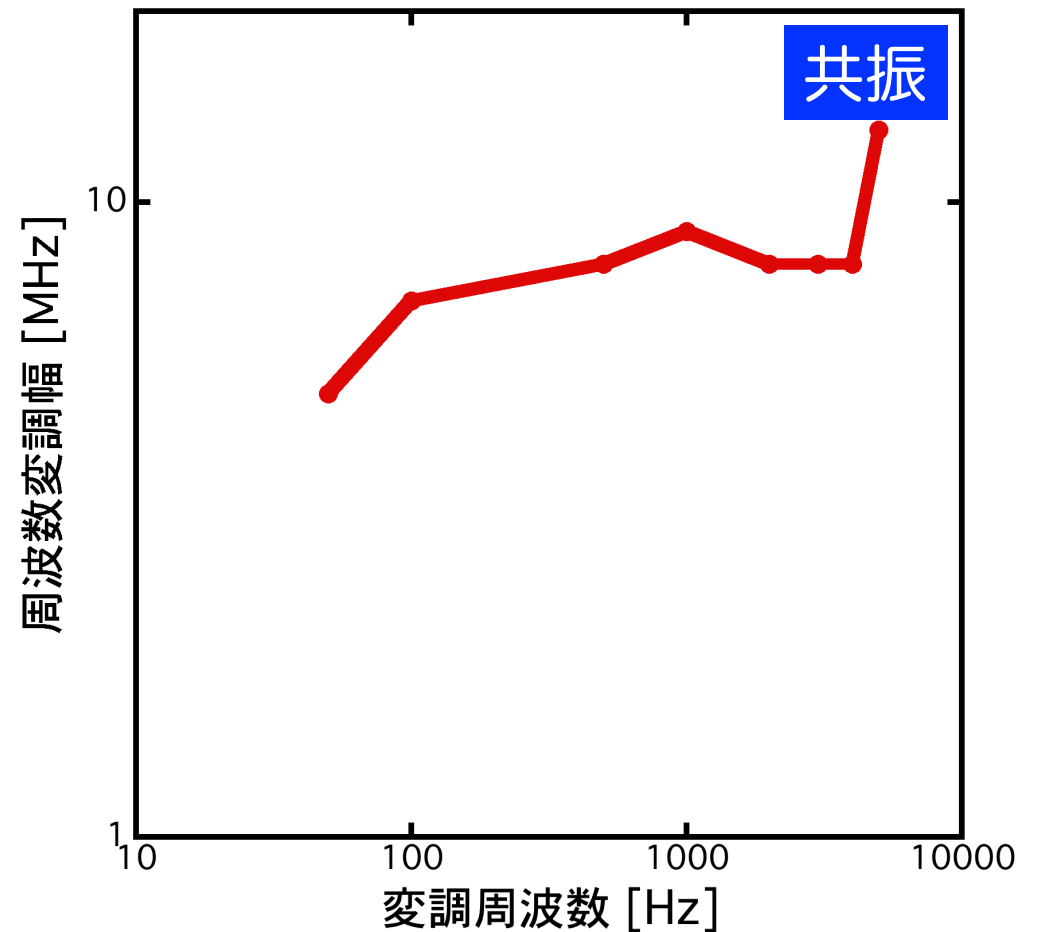


周波数応答特性(PZT)

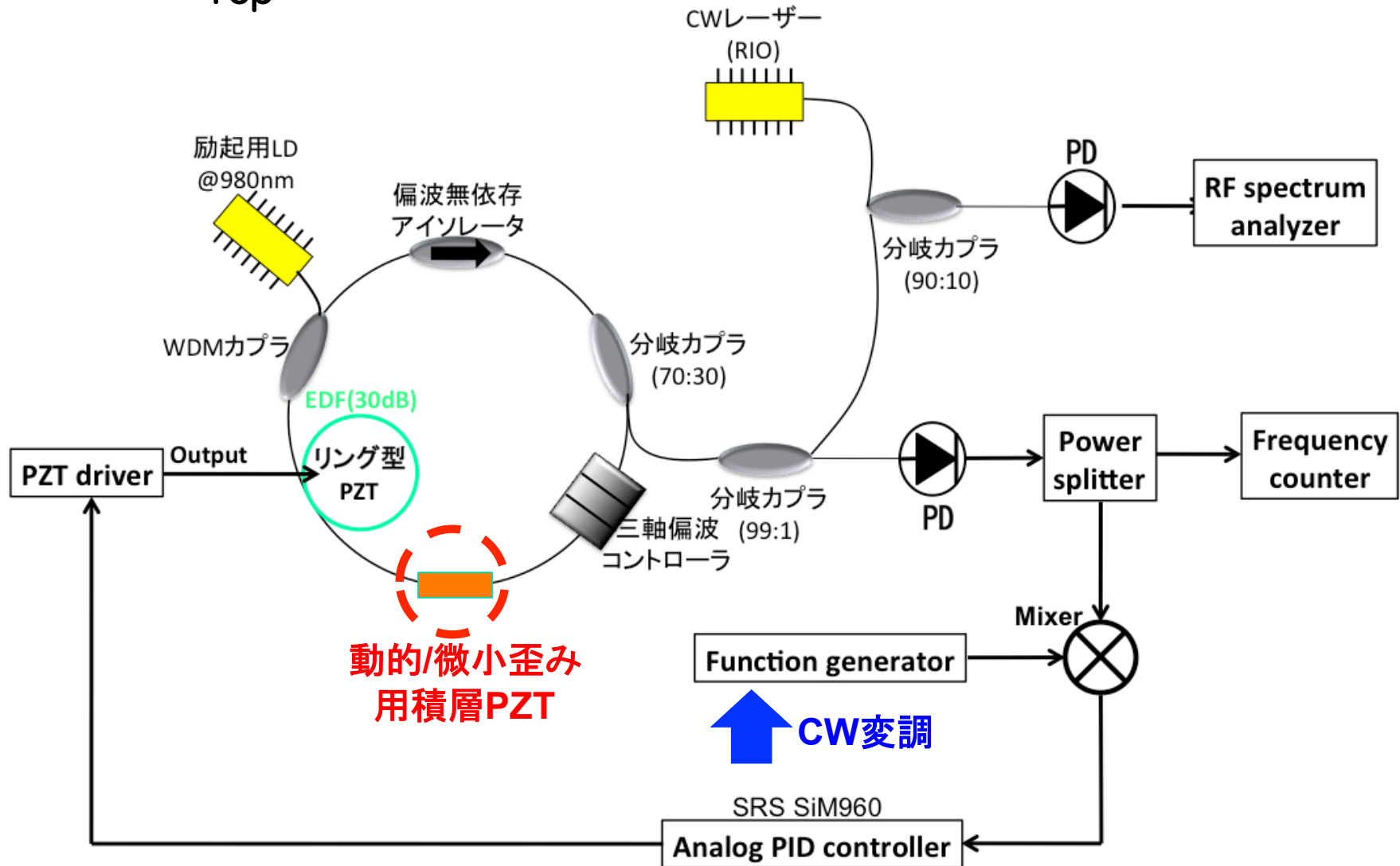
リング型PZT(制御用)



積層PZT(動的ひずみ付加)

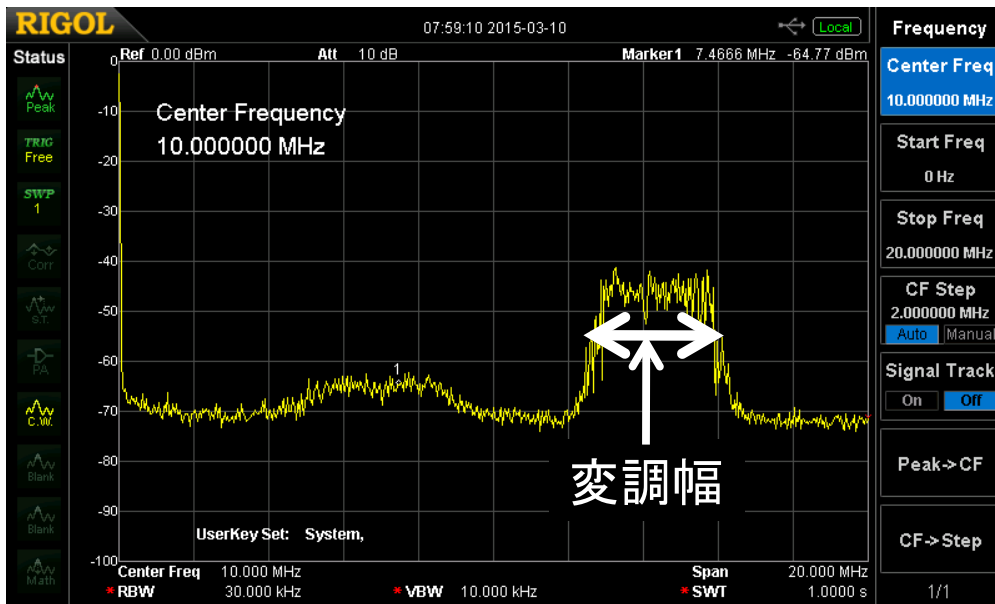


歪みセンシング光コム(周波数応答性) (f_{rep} 安定化モード同期Erファイバーレーザー)



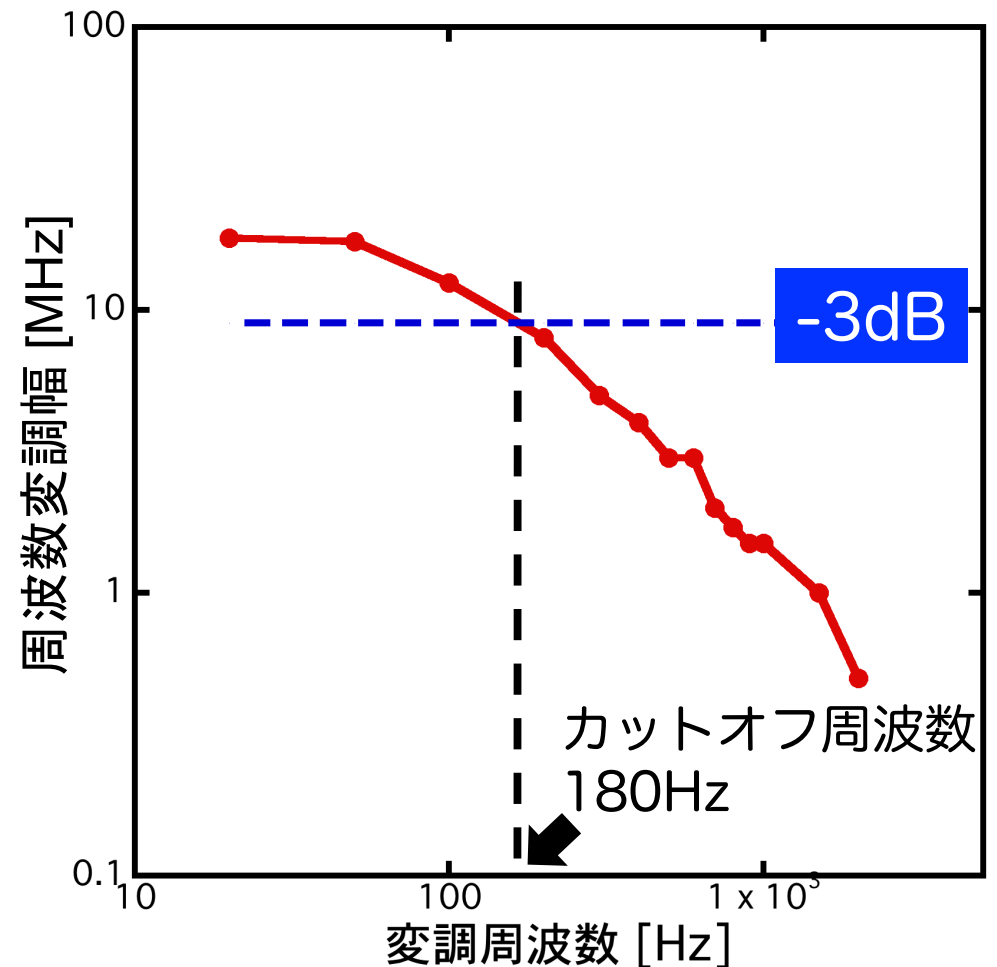
無付加状態での光コム特性, 応答性

光ビートスペクトル
(狭線幅CWレーザー利用)



リファレンスファンクションジェネレータ
変調周波数：20Hz~2kHz
中心周波数：21.738,052,60MHz
周波数偏位幅：1Hz

周波数応答性

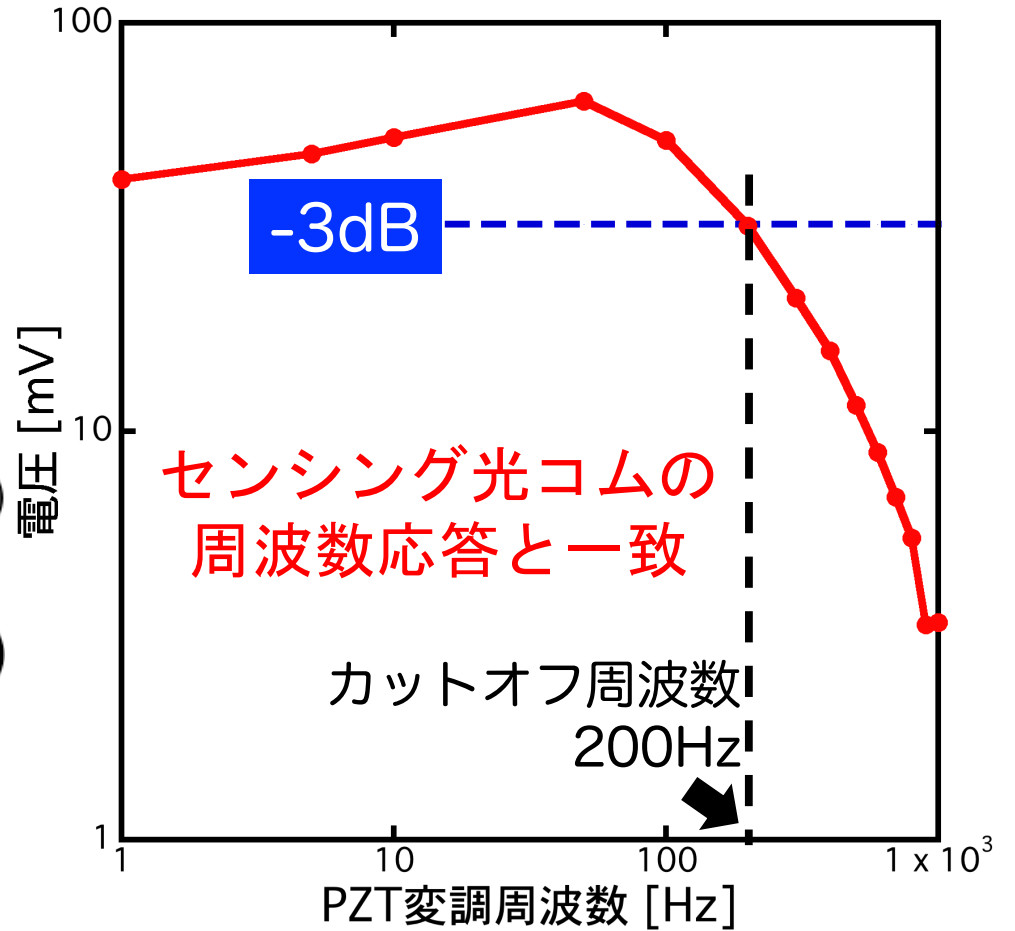
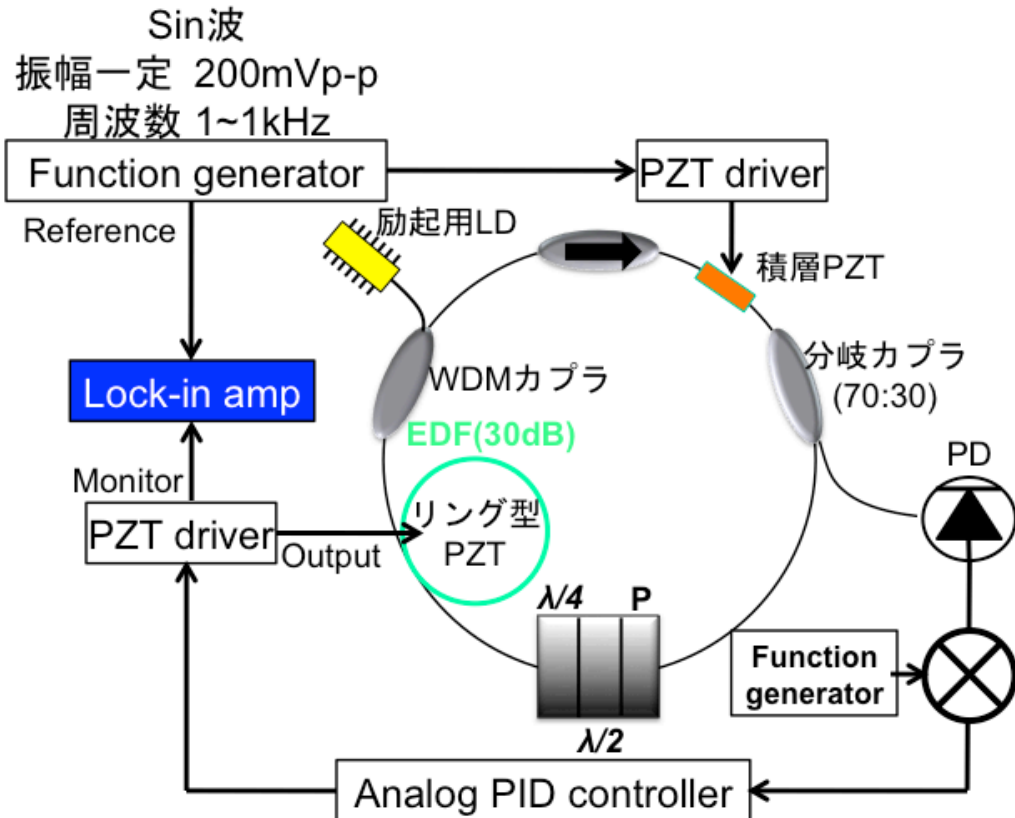


動的歪み計測

セットアップ

(周期的歪み)

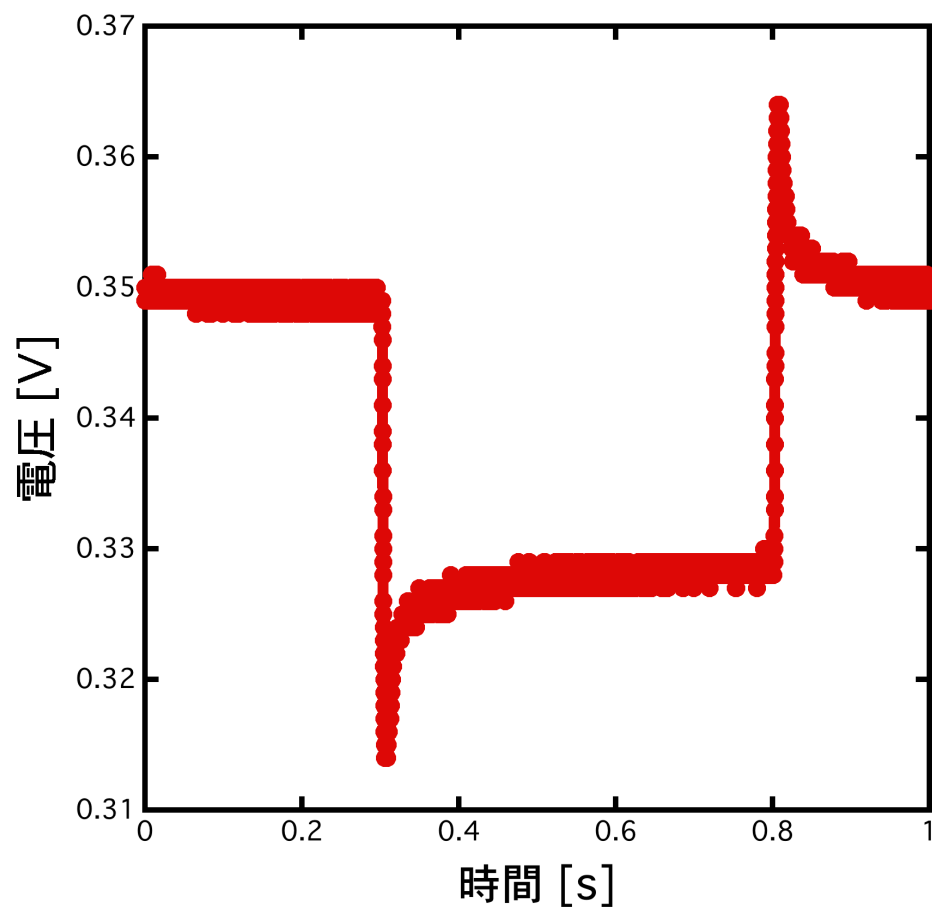
周波数応答特性@ロックインアンプ



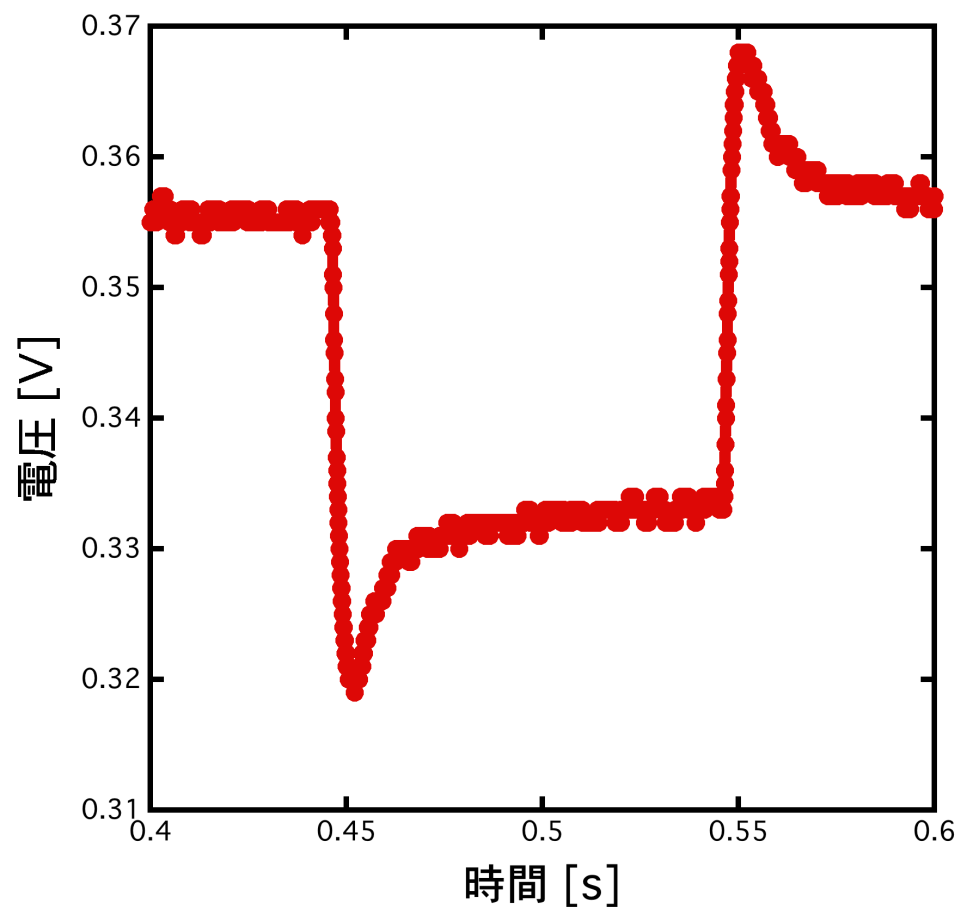
動的歪み計測 (パルス歪み)

PZT変調用ファンクションジェネレータ 周期1Hz 振幅500mVp-p
計測サンプリングレート 10kHz

パルス幅500ms



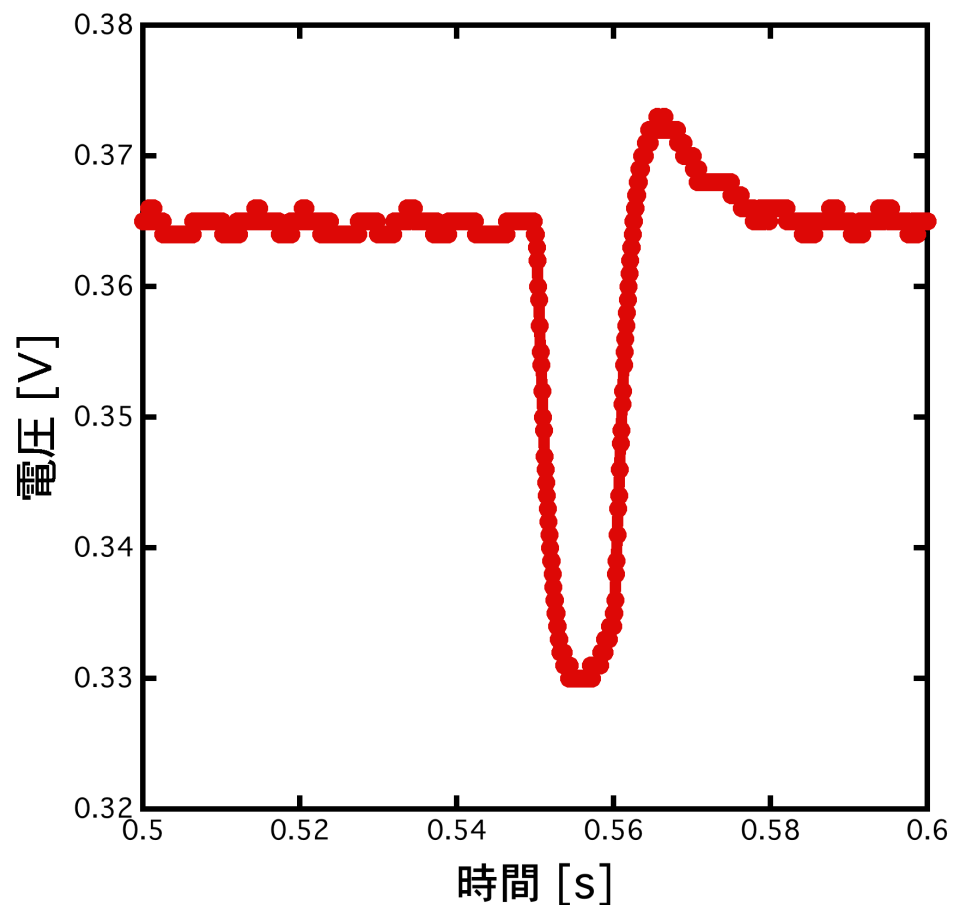
パルス幅100ms



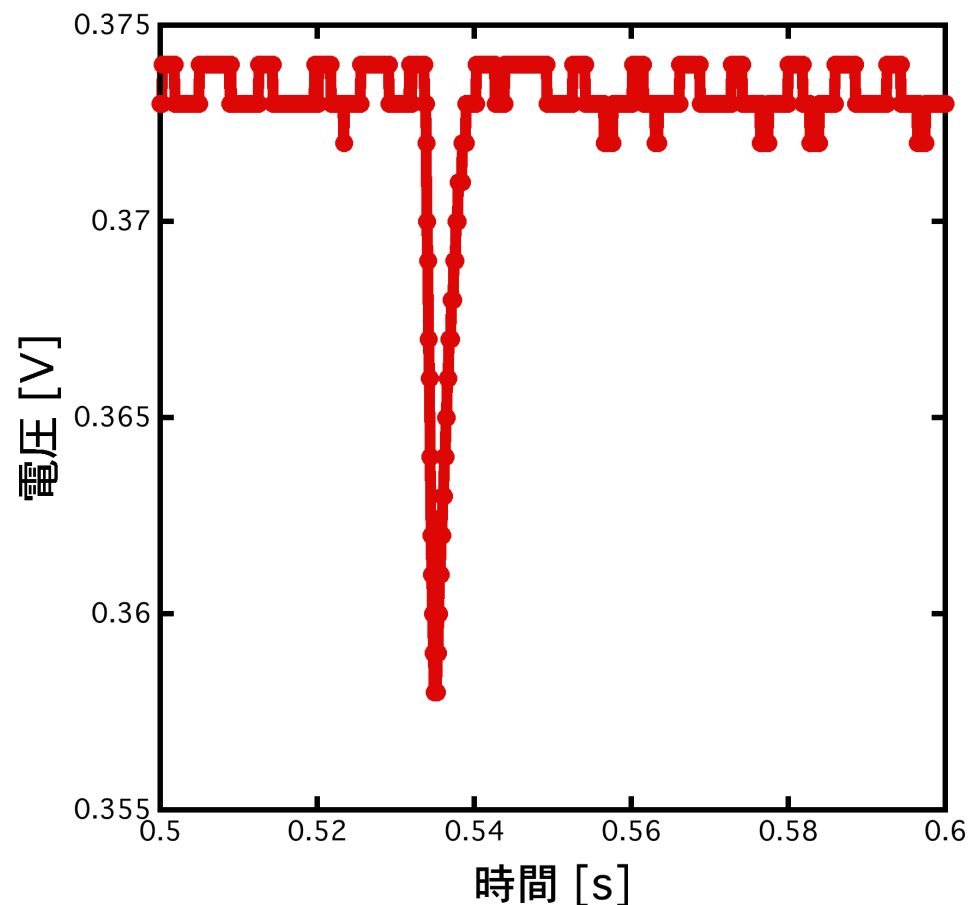
動的歪み計測 (パルス歪み)

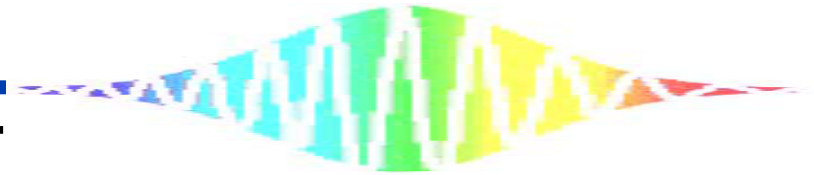
PZT変調用ファンクションジェネレータ 周期1Hz 振幅500mVp-p
計測サンプリングレート 10kHz

パルス幅10ms



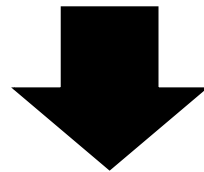
パルス幅1ms



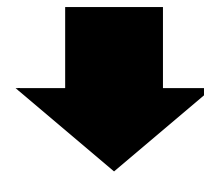


研究計画

PZT制御型光コム共振器を用いた
静的and動的ひずみ計測
動的周波数応答特性 200Hz



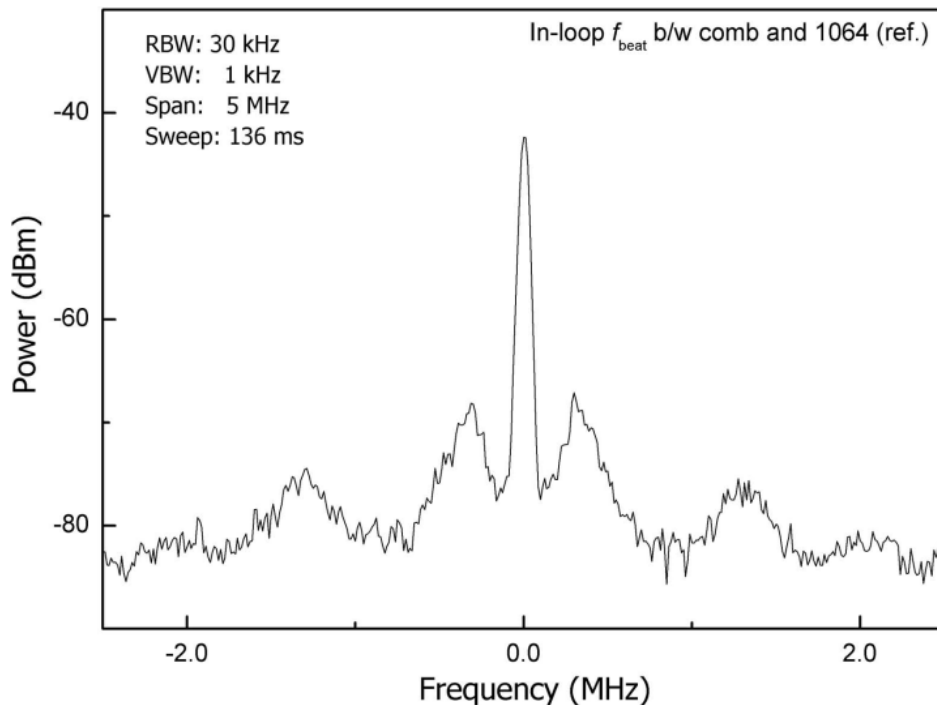
EOM制御型光コム共振器を用いた
静的and動的ひずみ計測



光音響イメージングへの応用

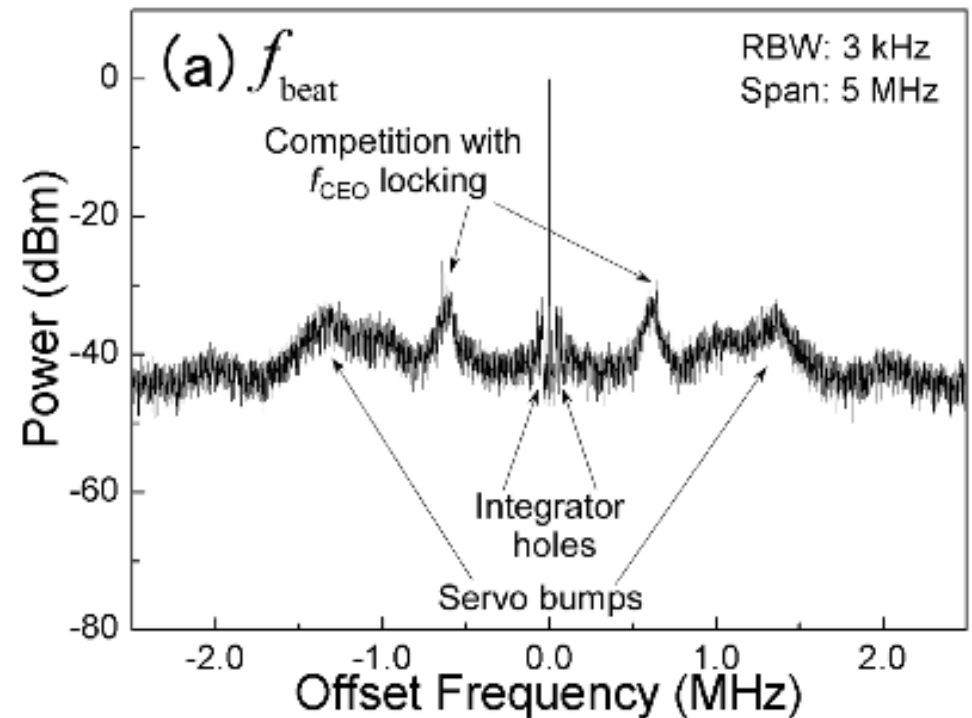
EOM制御型光コムf_{rep}制御帯域

バルク型EOM



Ref) 中嶋さん発表資料@昨年10月徳大出張

導波路型EOM



Ref) K. Iwakuni, *et. al*, Opt. Express., **20**, 13769 (2012)

周波数応答1MHzを目指す