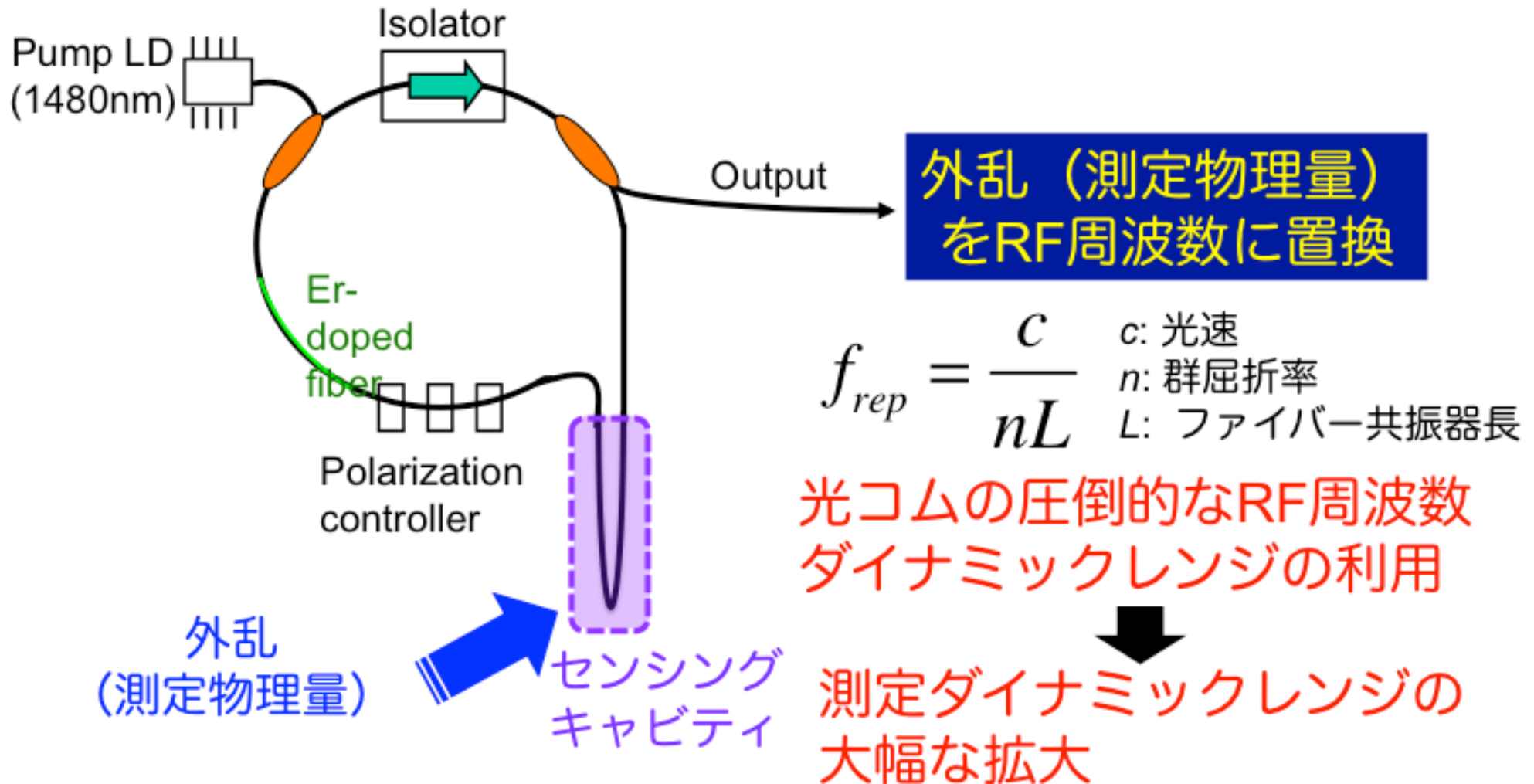


# M2後期研究報告

小倉 隆志

2015/12/29

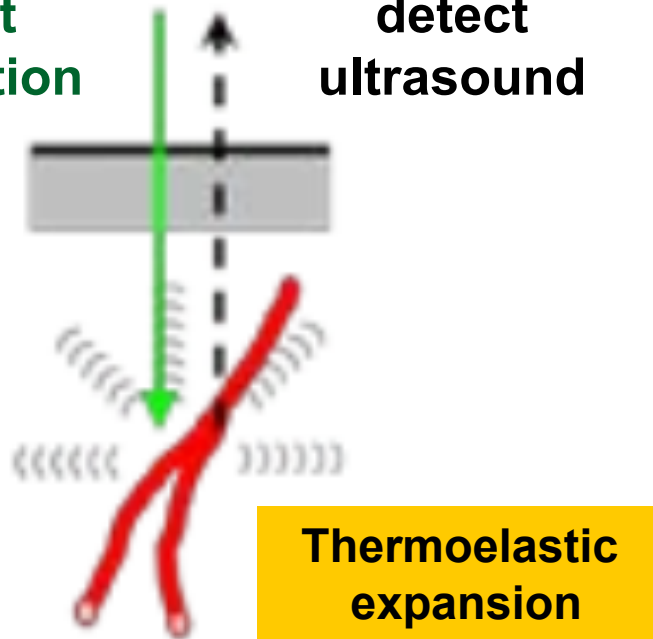
# ファイバー光コム共振器を用いた 外乱/RF周波数変換



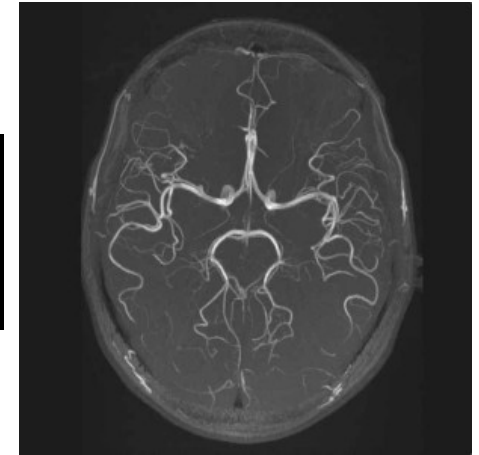
# 光音響イメージング

## 光音響イメージング原理図

light excitation      detect ultrasound



脳  
イメージング



Ref) <http://medical-checkup.info/article/49402596.html>

メラノーマ  
(悪性黒色腫)



Ref) Japanese Dermatological Association

Ref) <http://www.jstshingi.jp/abst/p/12/1258/pre/astep022507.pdf>

特徴: 高分解能、深部イメージング可能  
課題: 検出器(PZT)の検出感度や周波数応答性

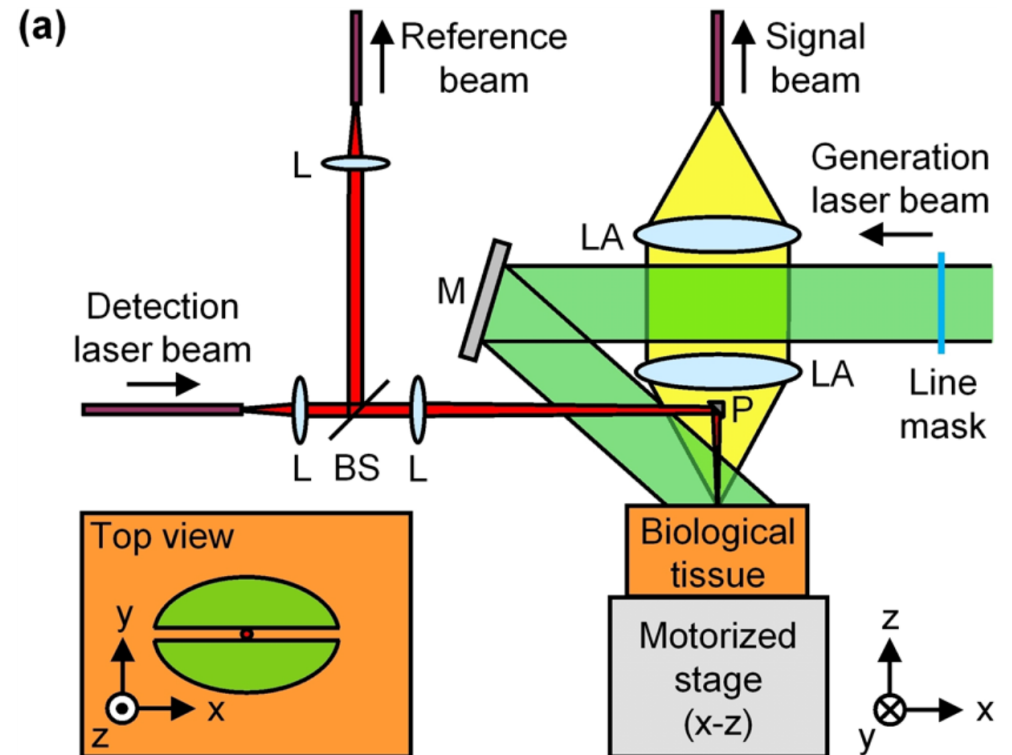
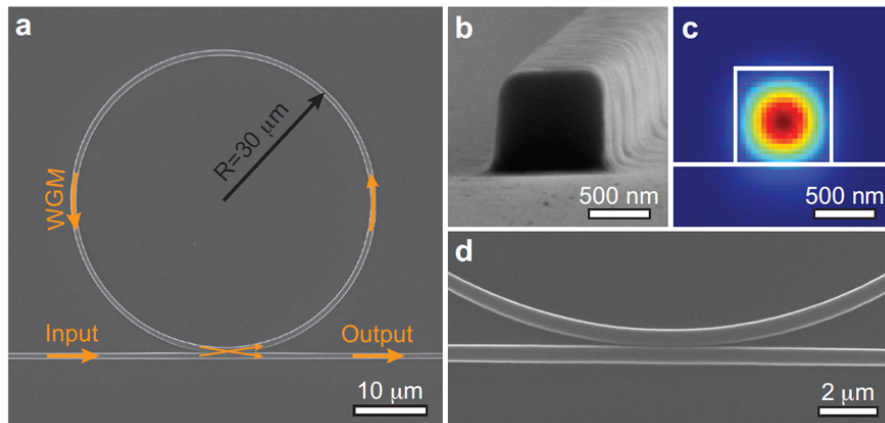
# 音響波センサー@従来研究

PVDF(ポリフッ化ビニリデン)

干渉計測



マイクロリング共振器



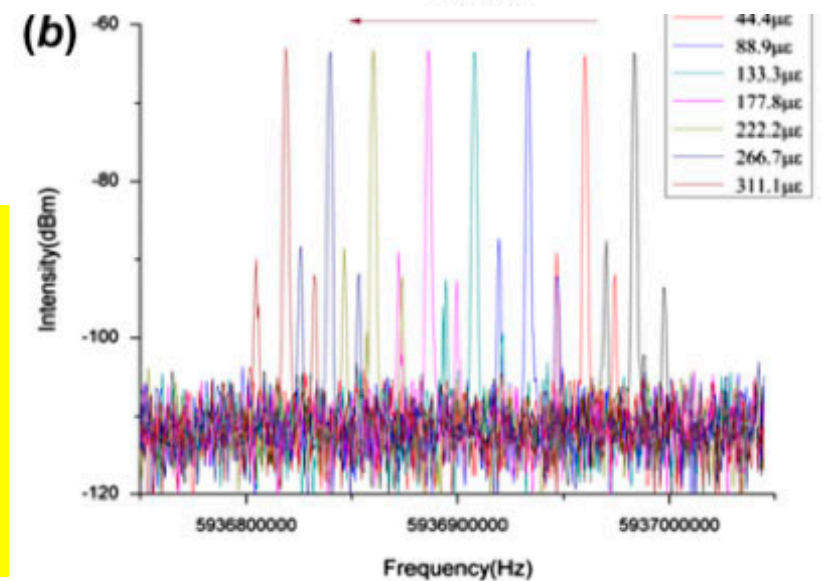
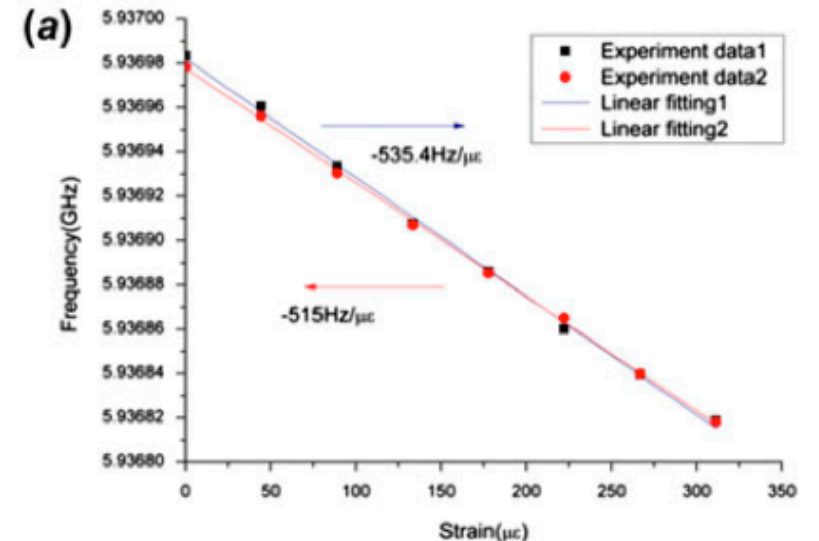
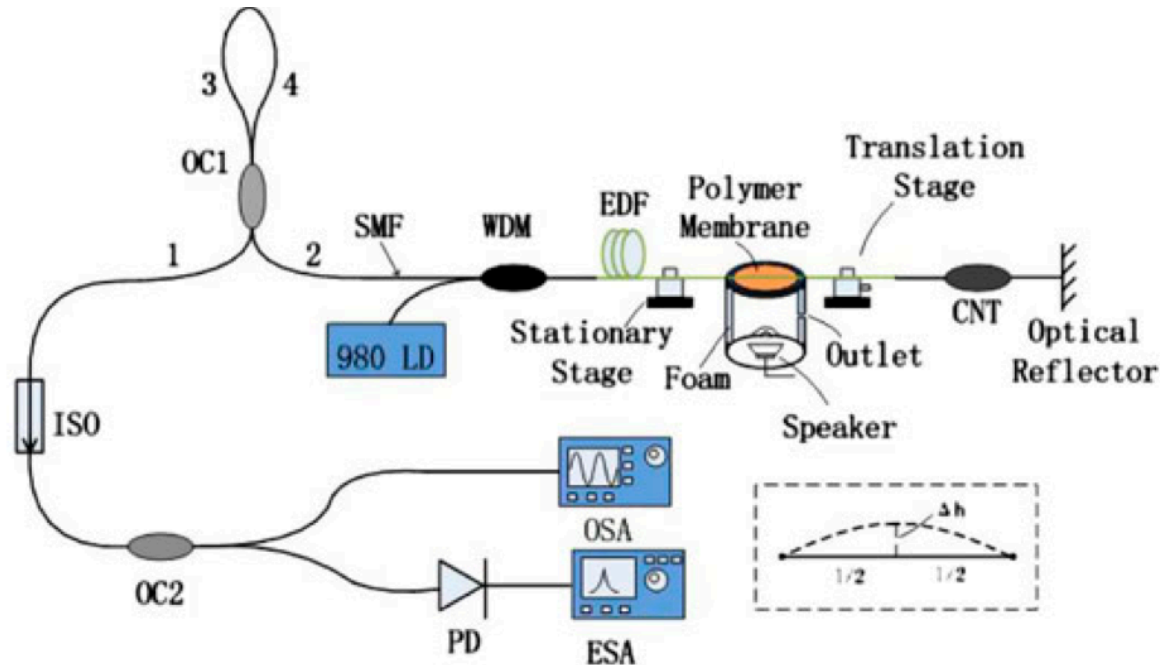
Ref) *Journal of Biomedical Optics* 17, 061217 (2012).

Ref) *Scientific Reports* 4, 4496 (2014).

光信号の強度取得→高精度化や高ダイナミックレンジ化に課題

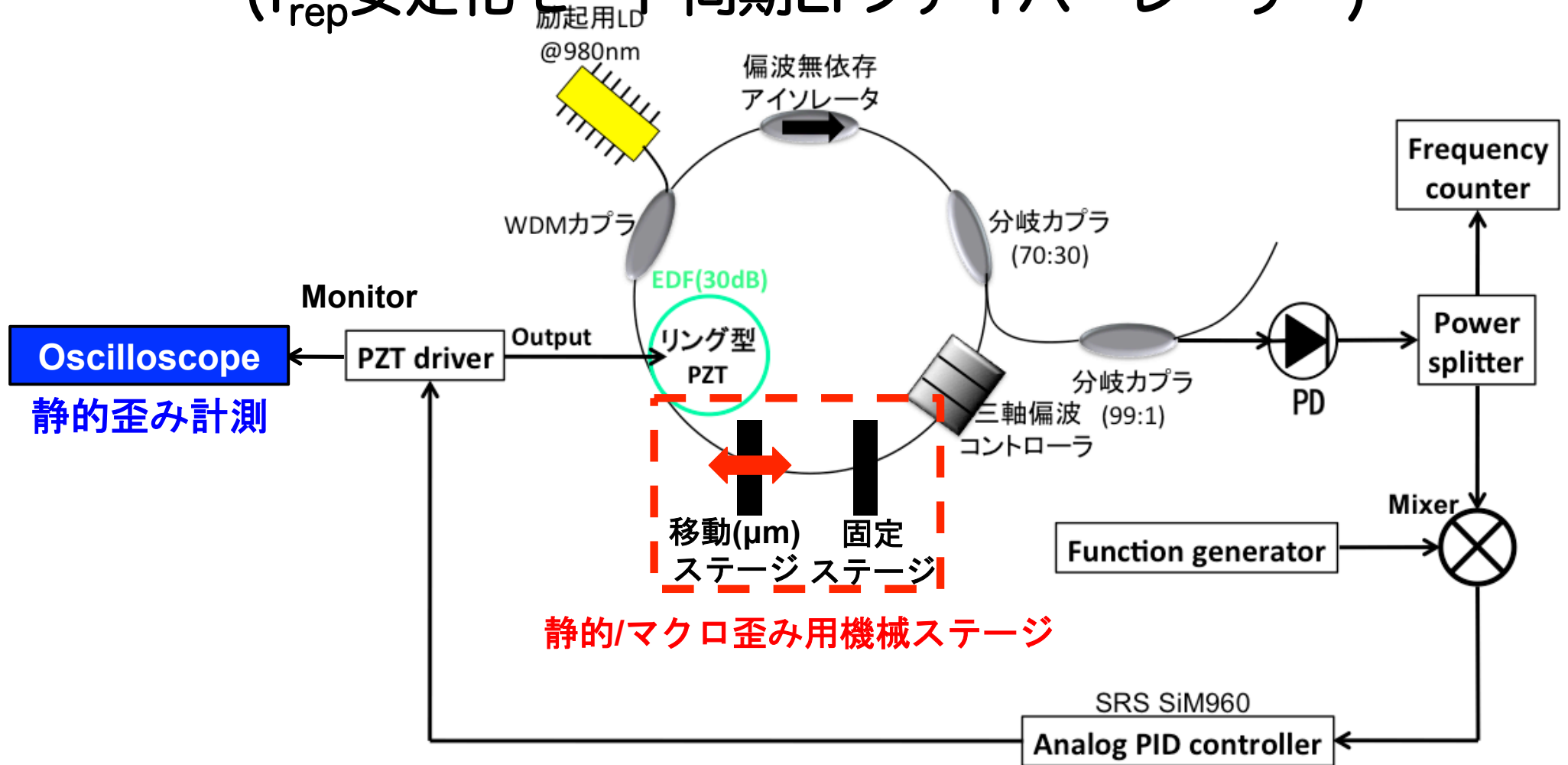
# 先行研究

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

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



$f_{rep}$ 安定化制御電圧変化による歪みセンシング

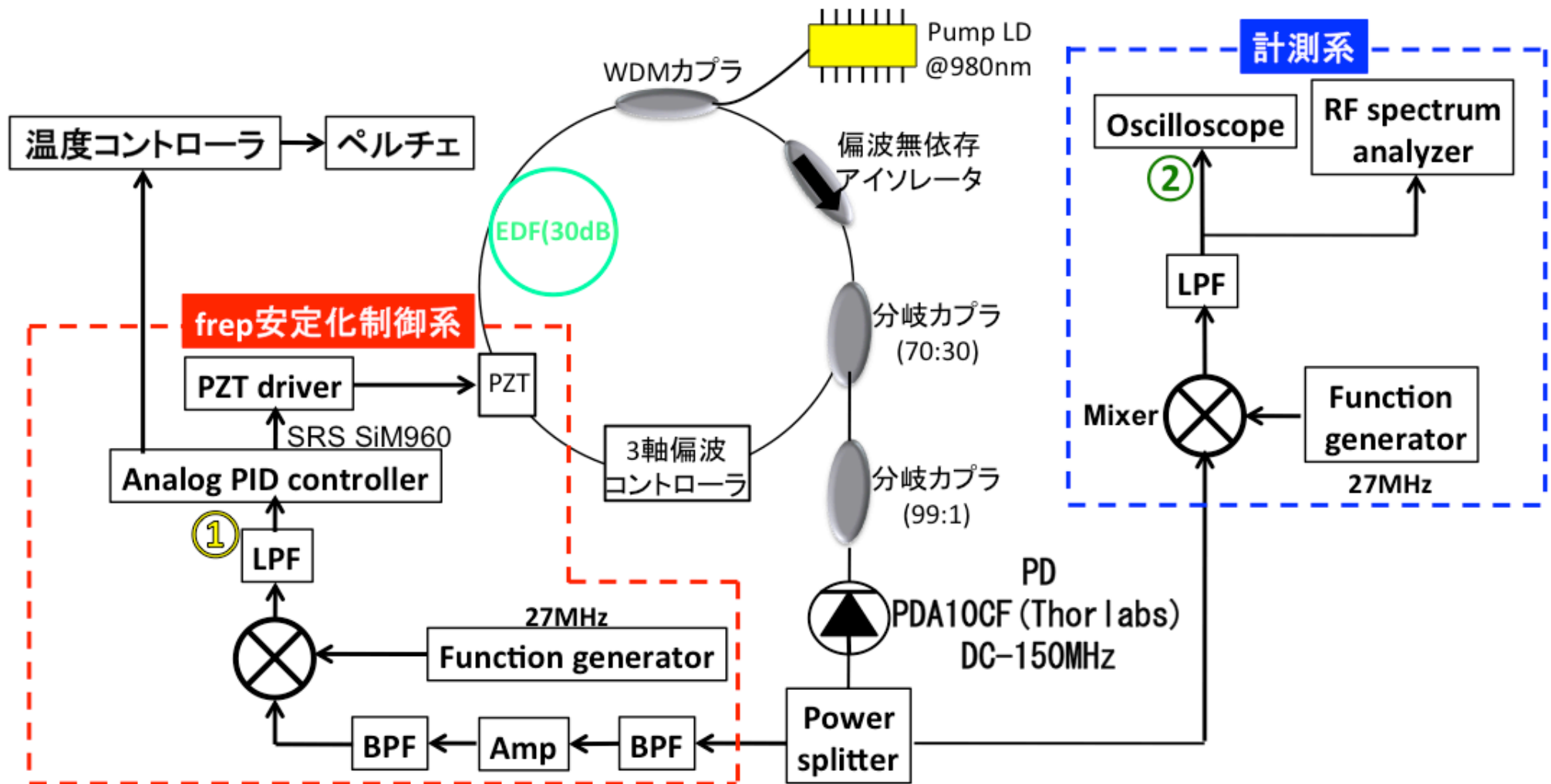
# 研究目的

ファイバー光コム共振器を用いた  
音響波センサーの開発

- 偏位法（ピーク位置計測）の代わりに零位法（ $f_{\text{rep}}$ 安定化用制御電圧計測）を用いる
- しかし、計測の周波数応答性は、制御系の応答速度に制限される
- 位相比較器の信号を直接計測することで、計測の高速化を目指す

# 実験装置

( $f_{\text{rep}}$ 安定化モード同期Erファイバーレーザー and 位相検出)

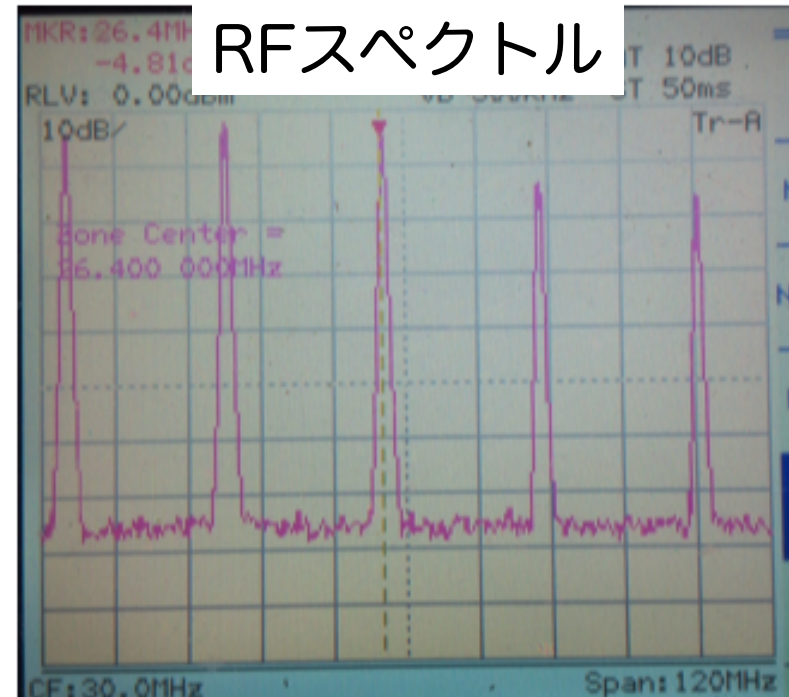
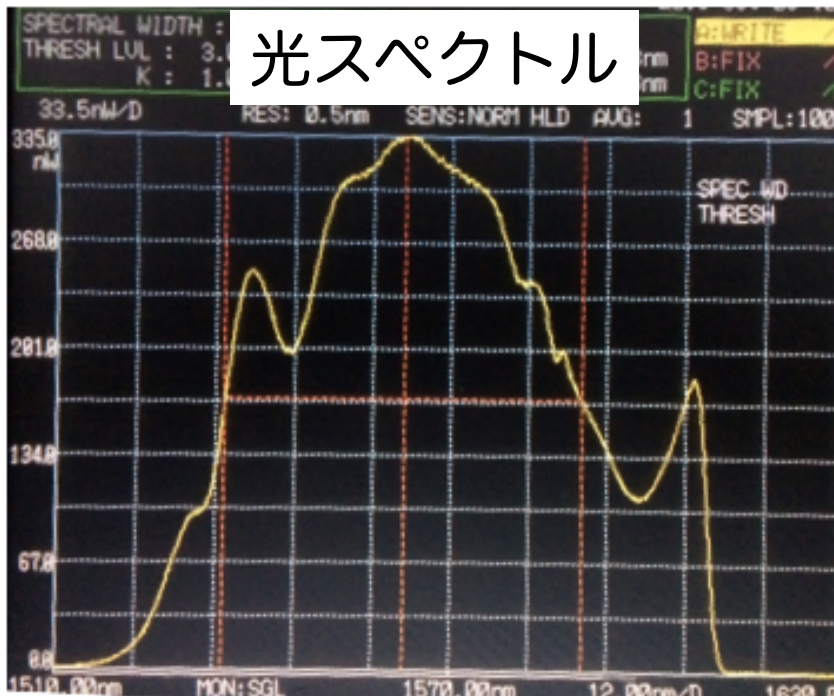


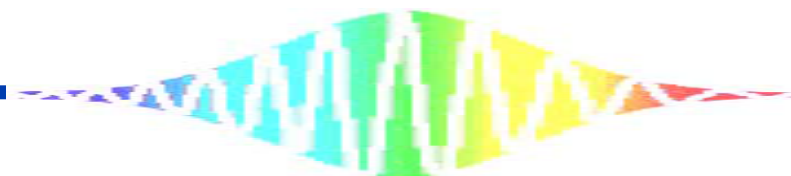


# 共振器基本特性

## 共振器パラメータ

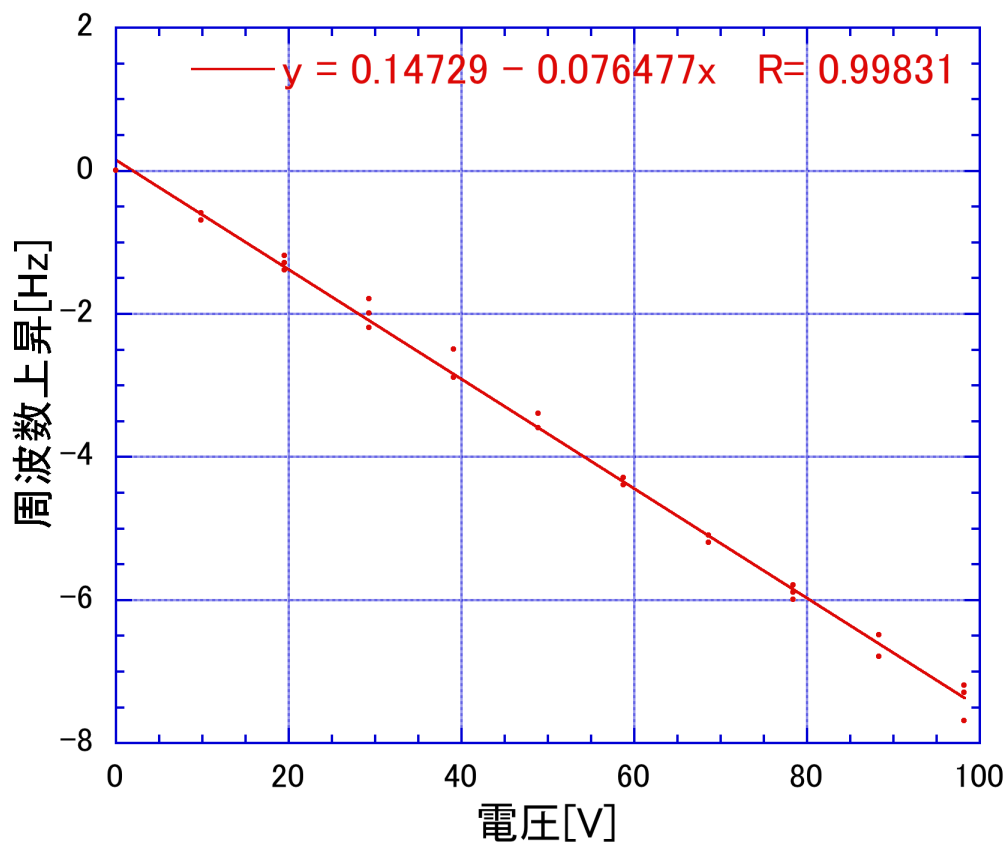
オシレータ条件	長さ [m]	分散値 [ps <sup>2</sup> /m]	分散値 [ps <sup>2</sup> ]	屈折率	光路長 [m]
SMF	4	-0.02286	-0.09144	1.48	5.92
EDF(30dB)	3.3	0.01366	0.045078	1.48	4.884
素子(WDM,70:30カプラ)	0.102	0	0	1	0.102
EOMモジュール	0.25	0	0	1	0.25
LiNbO3	0.055	0.1	0.0055	2.2	0.121
合計	7.707		-0.040862		11.277



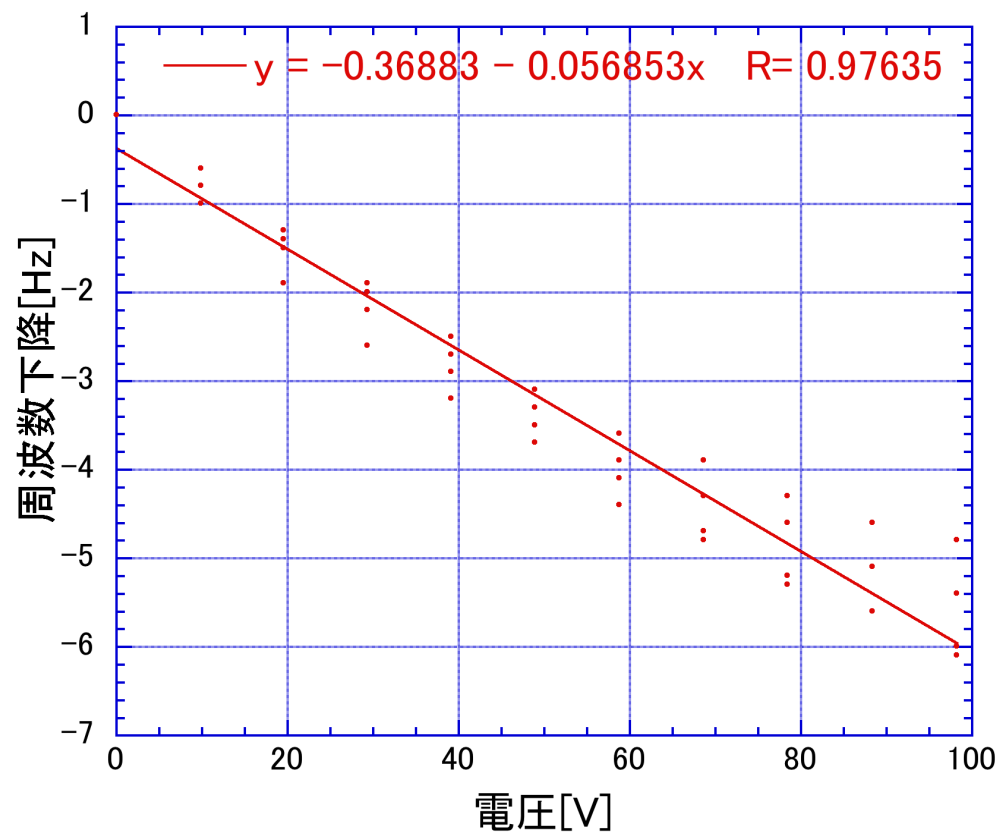


# 歪み付加用PZT特性評価

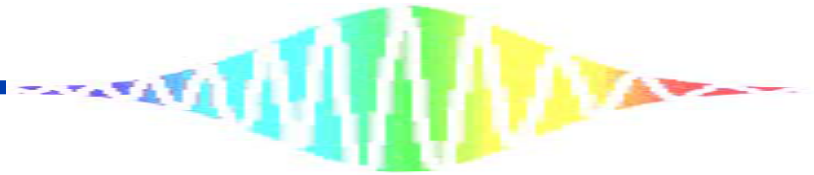
PZT電圧上昇-frep特性



PZT電圧下降-frep特性

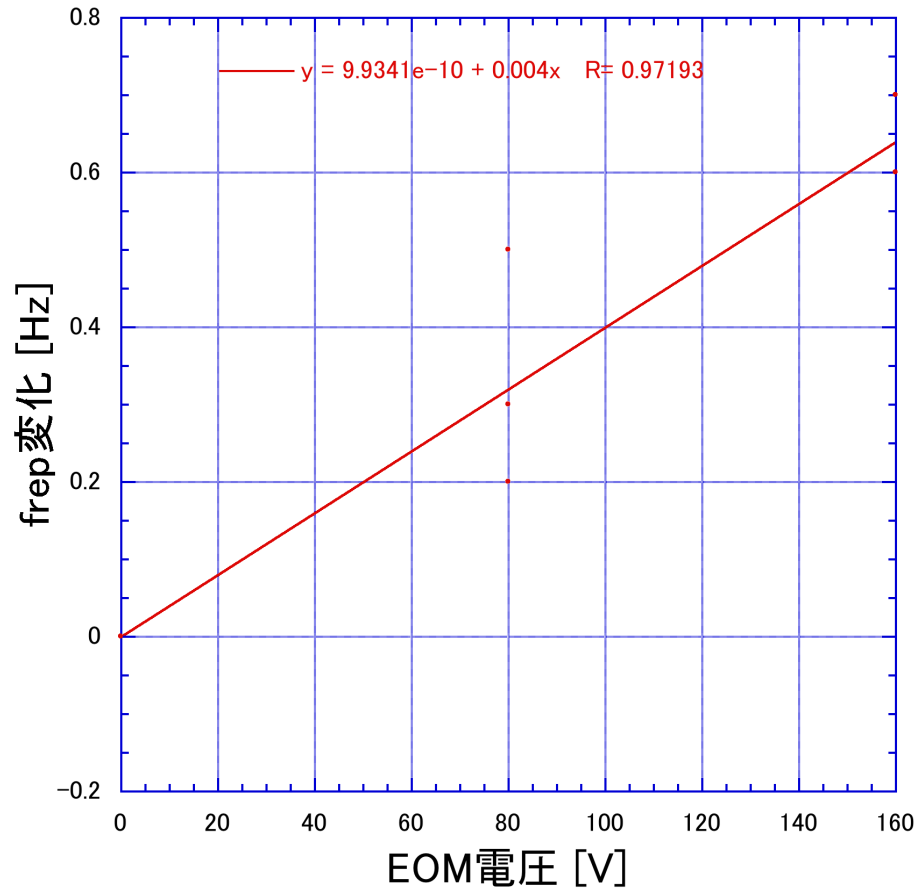


0V→100Vでfrepは約8Hz変化、100V→0Vでfrepは約6Hz変化

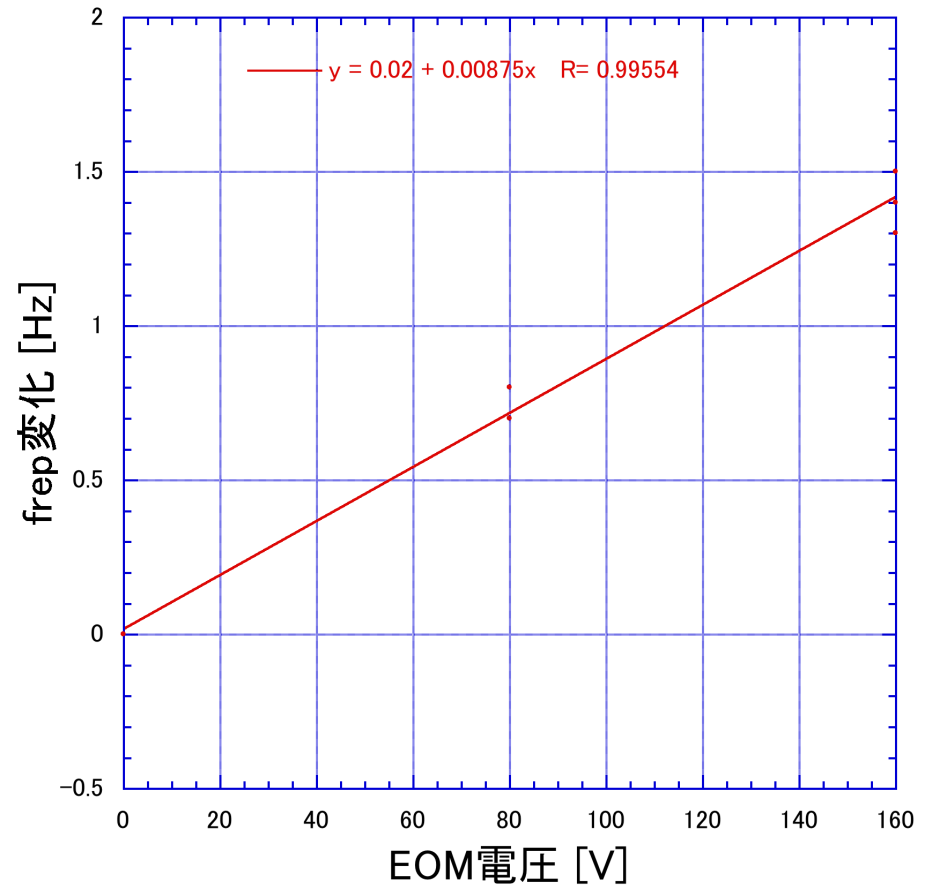


# 歪み付加用EOM特性評価

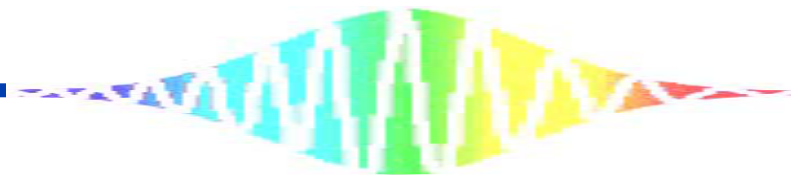
EOM電圧上昇-frep特性



EOM電圧下降-frep特性



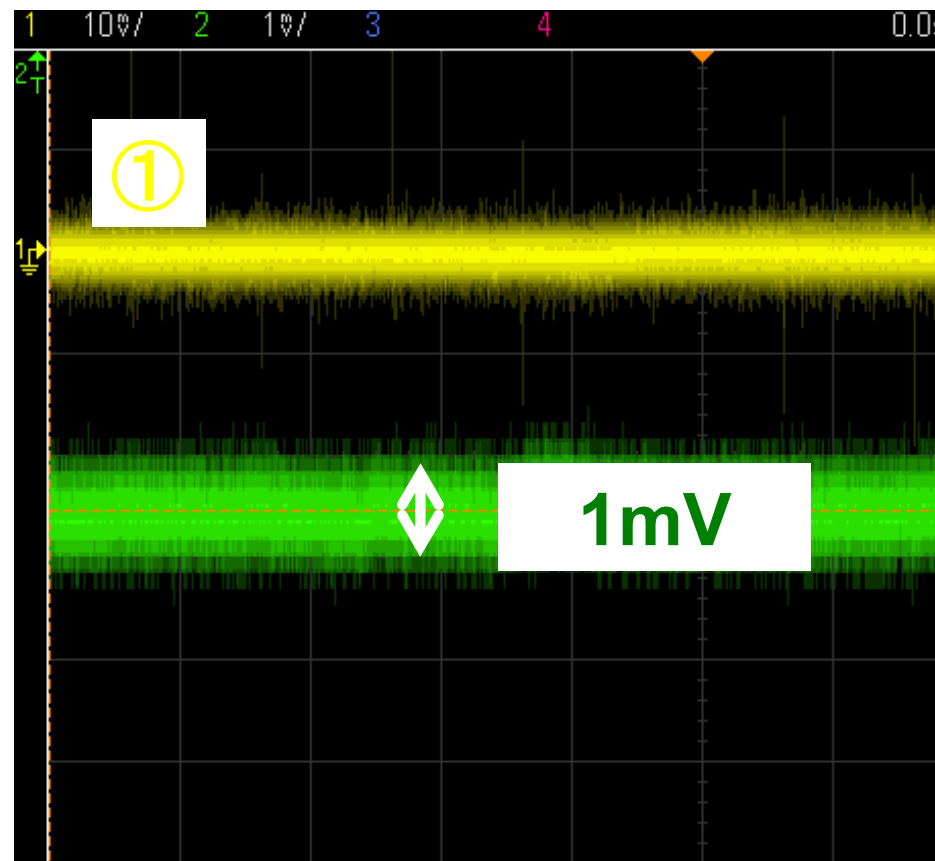
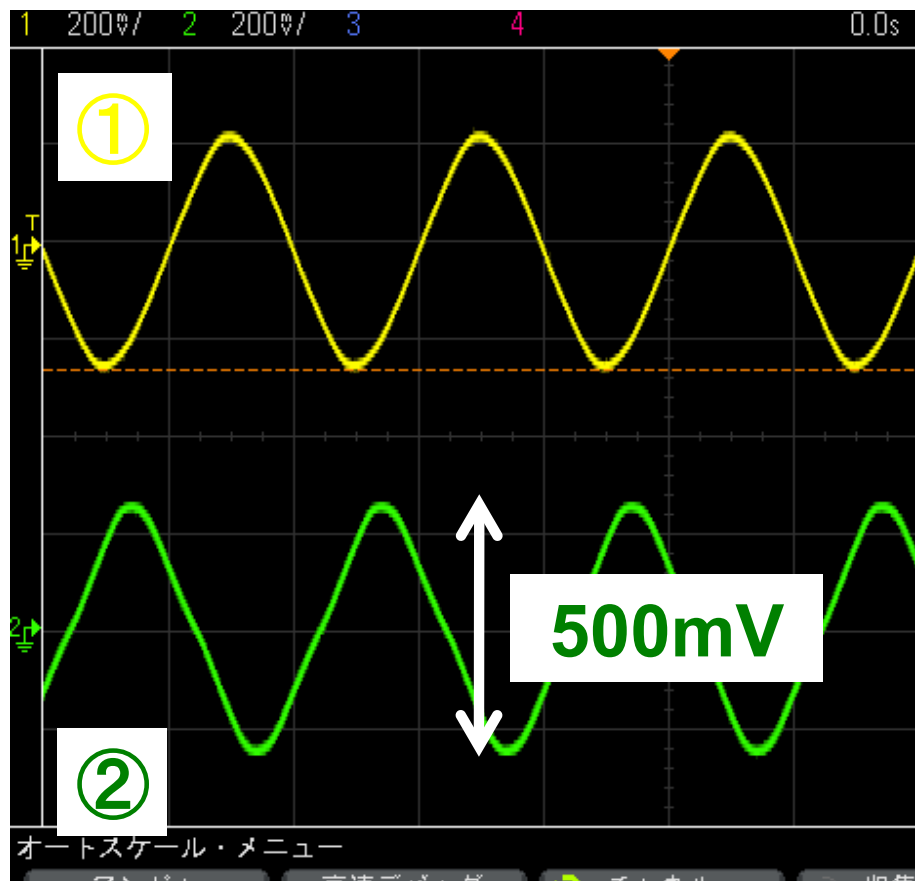
0V→160Vでfrepは約0.6Hz変化、160V→0Vでfrepは約1.4Hz変化



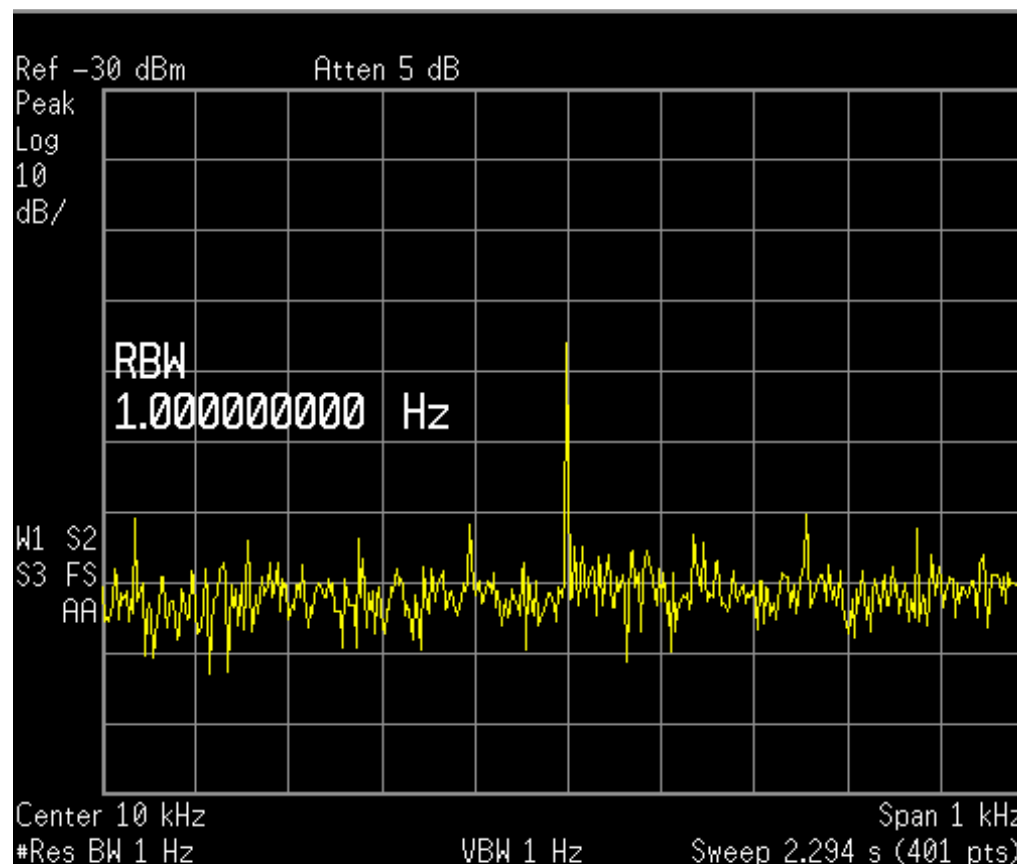
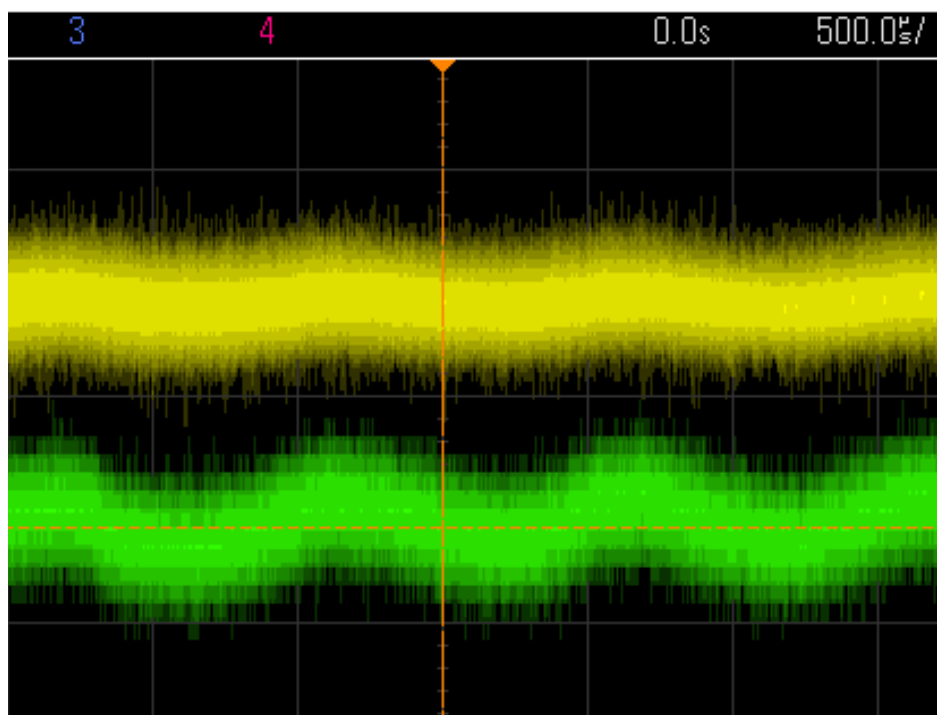
# 実験結果(frep安定化制御)

非制御時

制御時



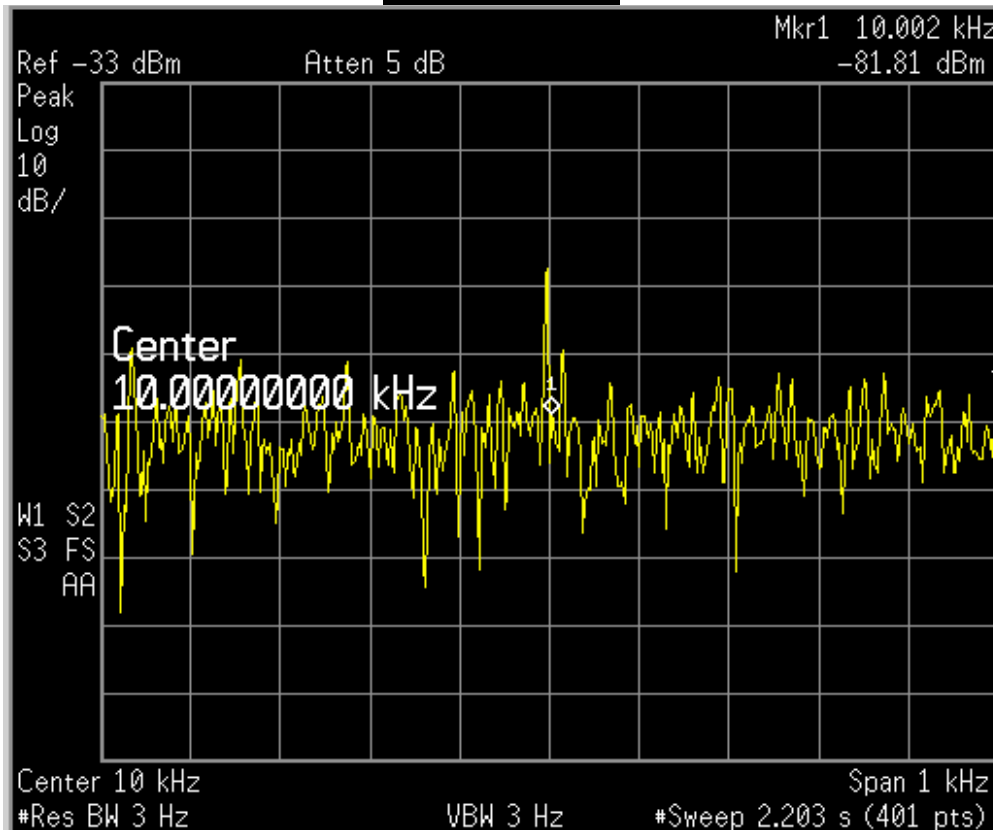
# 実験結果(PZT歪み付加,sin波周波数10kHz 電圧±10V、バイアス10V)



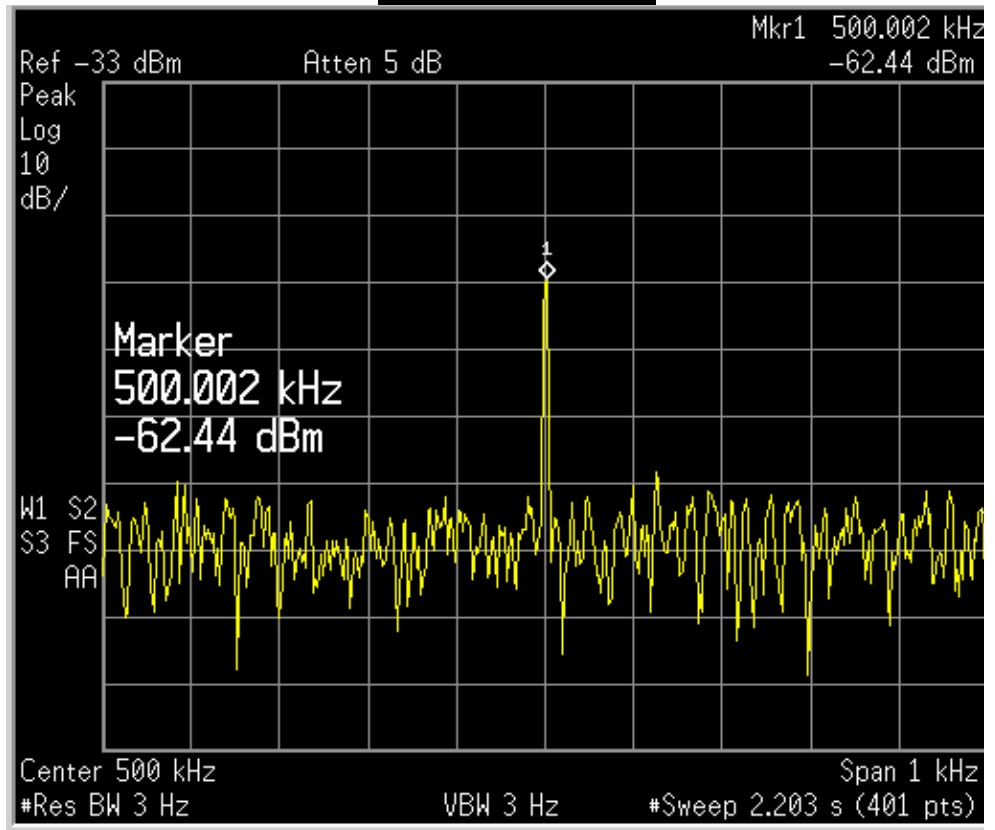
周波数50kHzまでの信号を確認(PZT共振周波数69kHz)

# 実験結果(EOM歪み付加, sin波、 電圧±20V、バイアス80V)

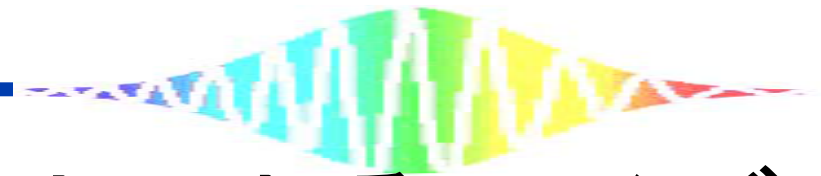
10kHz



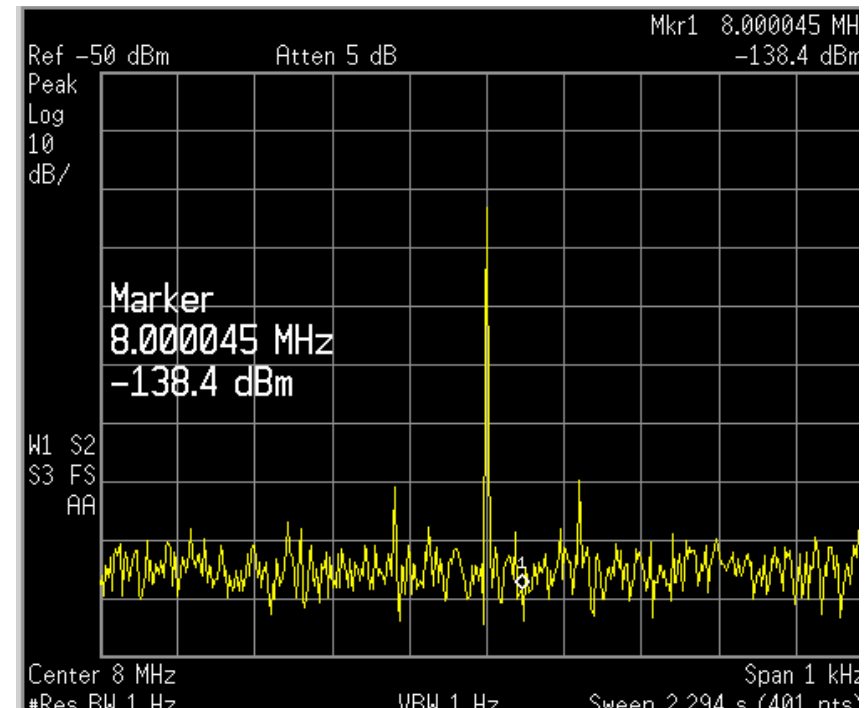
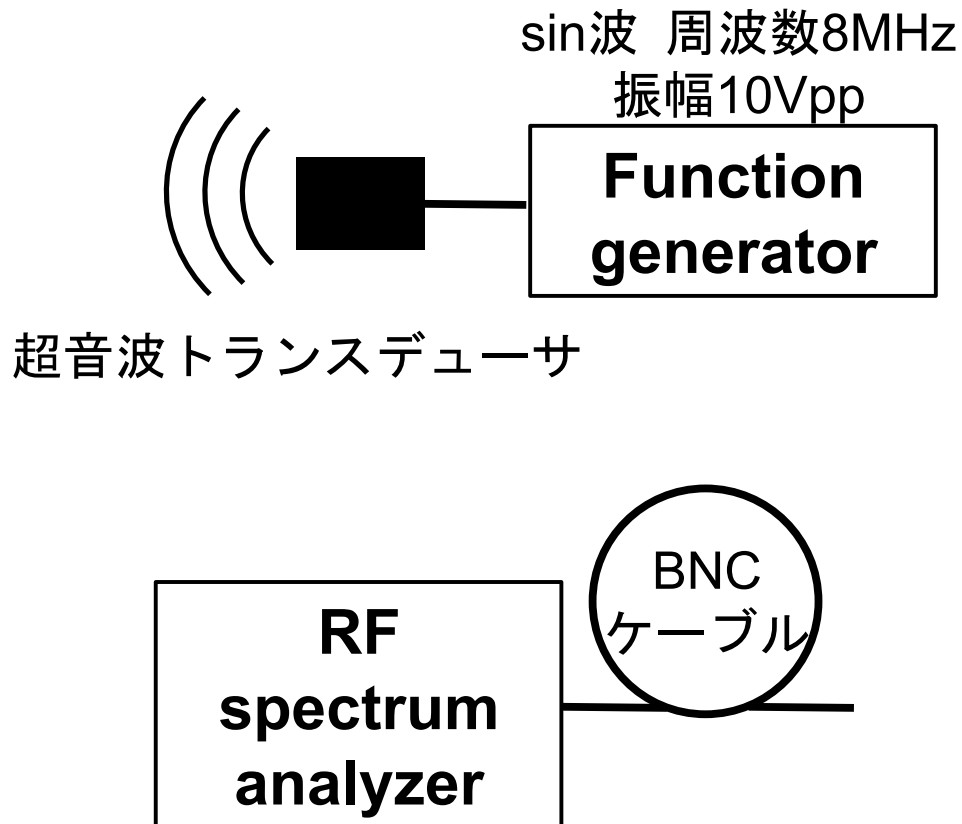
500kHz



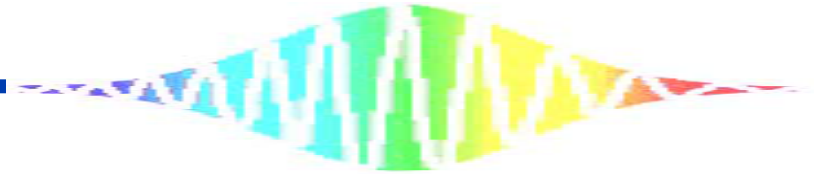
周波数10~500kHzまでの信号を確認(電圧アンプ帯域500kHz)



# 超音波トランスデューサによるノイズ



トランスデューサのノイズ対策(シールド)が必要  
トランスデューサ付属のBNCケーブルが細いため？



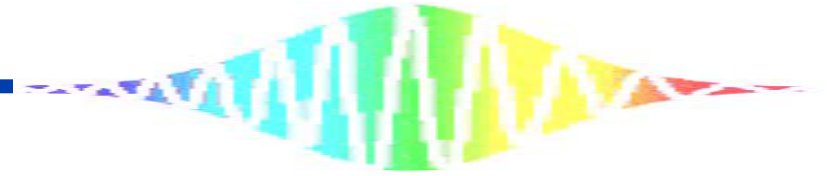
## まとめ

- ・  $f_{\text{rep}}$  安定化制御を行い、位相差計測
- ① PZTによる歪み(50kHzまで)計測
- ② EOMによる歪み(500kHzまで)計測
- ③ トランスデューサによるノイズが大きい

## 今後の予定

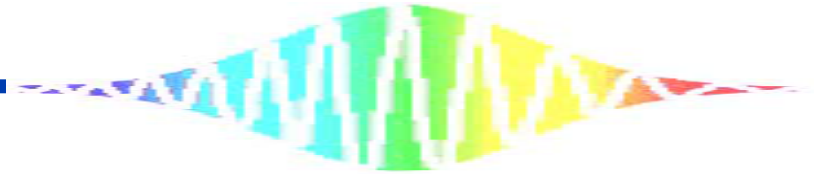
- ① トランスデューサのノイズ低減(シールド)
- ② CWレーザーと共振器出力とのビート信号を計測し、 $f_{\text{rep}}$ 変化の有無を確認する。
- ③ センサー部の製作





まとめ

今後の予定



# 光コムとは

時間軸

フェムト秒  
モード同期レーザー

安定→高精度  
高周波→ダイナミックレンジの拡大

Fourier transform

周波数軸

$$f_m = f_{\text{ceo}} + m f_{\text{rep}}$$

$f_{\text{ceo}}$ ,  $f_{\text{rep}}$  を周波数標準に同期

『光周波数の物差し』



$$f_{\text{ceo}} = (\varphi_{\text{ceo}} / 2\pi) f_{\text{rep}}$$

$m$

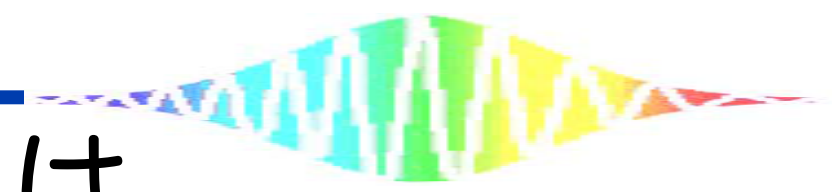


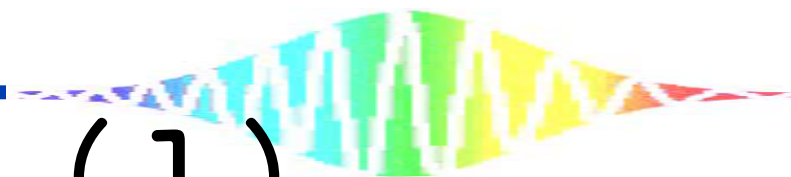
$f_{\text{rep}}$



$1/f_{\text{rep}}$

$\varphi_{\text{ceo}}$

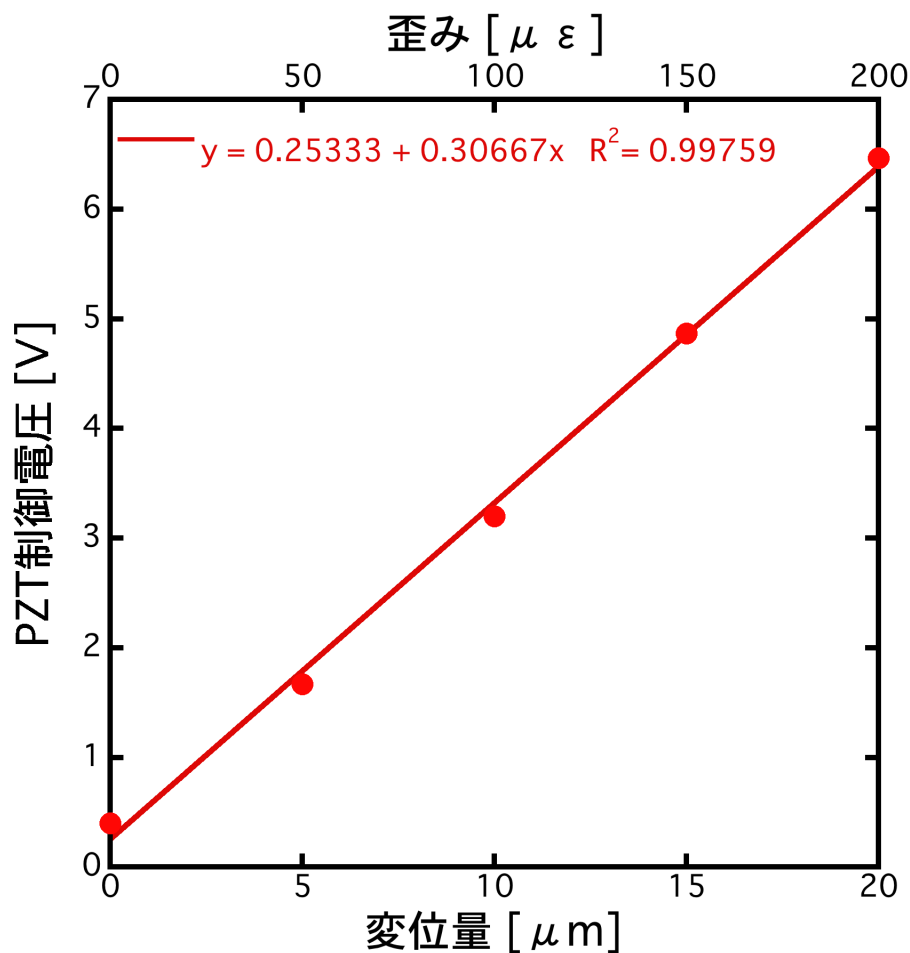




# 静的歪み計測 (1)

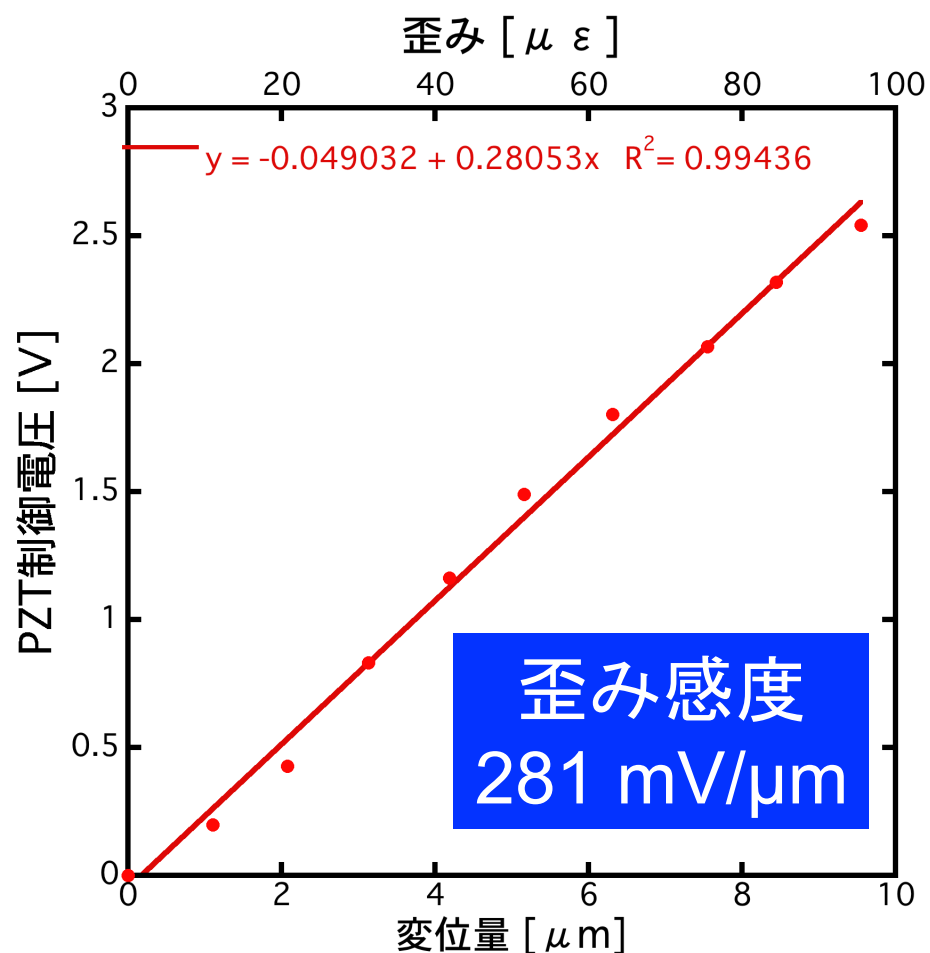
## マクロ歪み計測@機械ステージ

歪み印可範囲 : 100mm、分解能10 $\mu$ m

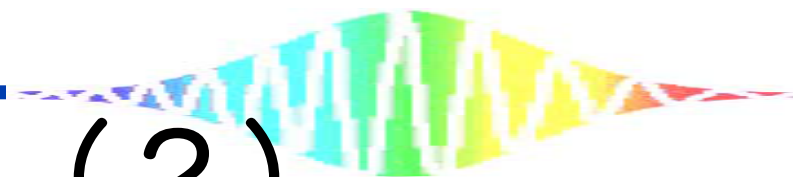


## 微小歪み計測@PZT

歪み印可範囲 : 20mm、分解能0.1 $\mu$ m



# 静的歪み計測 (2)

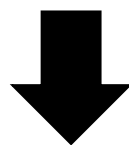


検出可能な最小変位量

PZT制御電圧揺らぎ  
10mV

÷

歪み感度  
281 mV/ $\mu\text{m}$



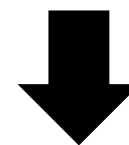
最小変位量 : 0.036 $\mu\text{m}$

検出可能な最大変位量

PZT制御電圧可変範囲  
10V(モニタ値)

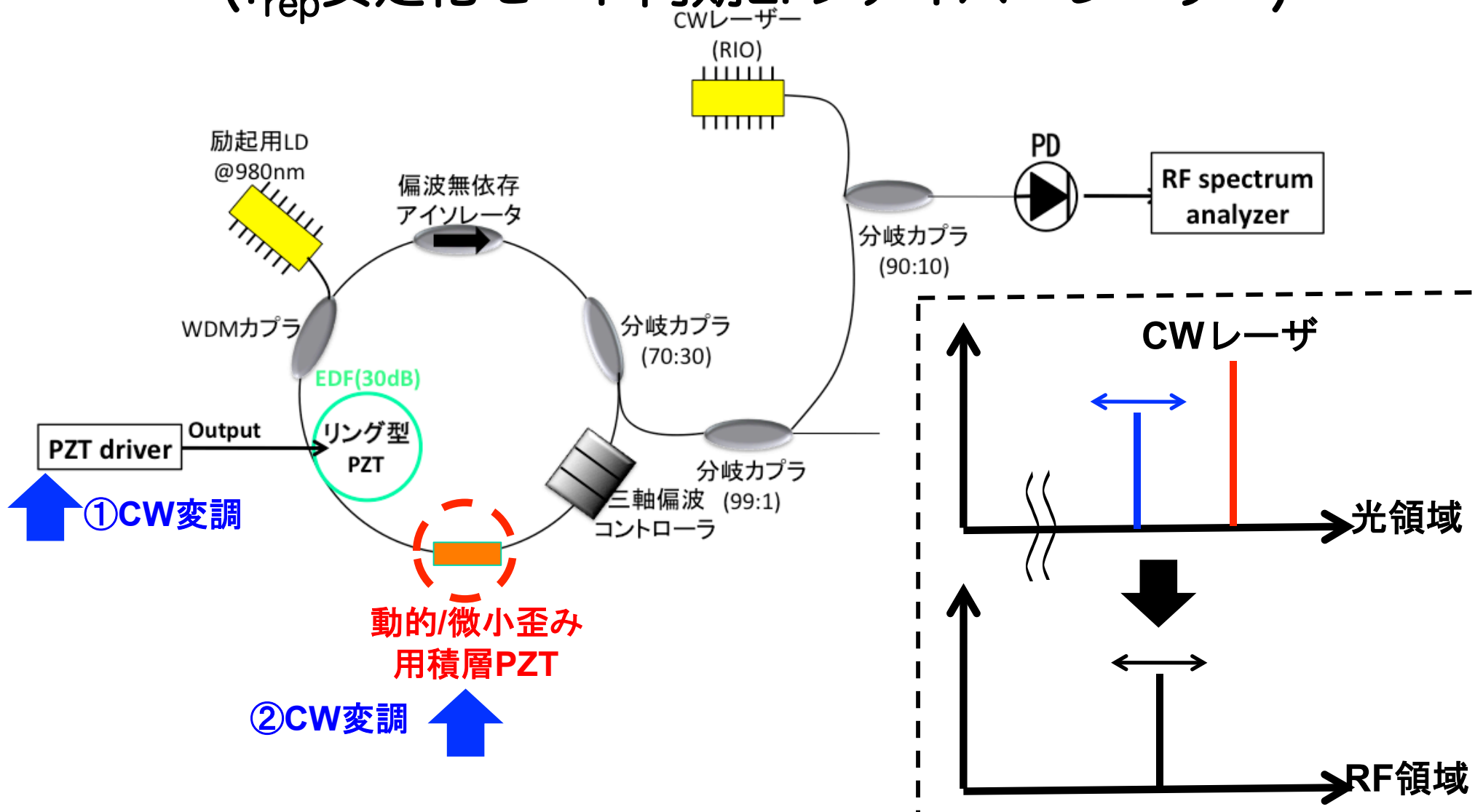
÷

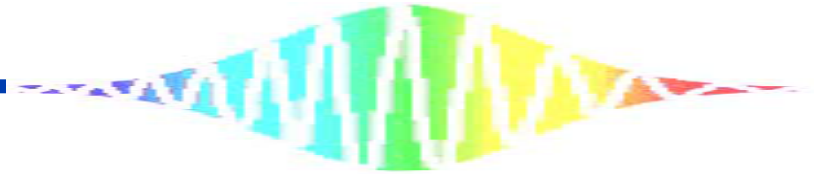
歪み感度  
281 mV/ $\mu\text{m}$



最大変位量 : 36 $\mu\text{m}$

# 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)





## まとめ

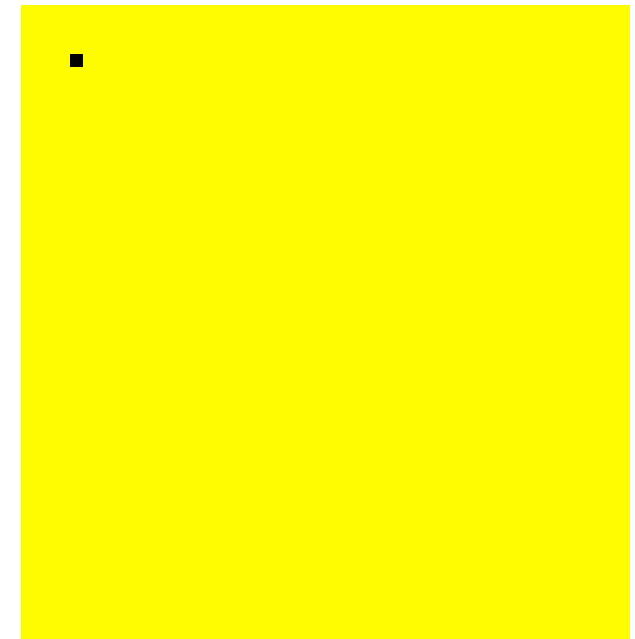
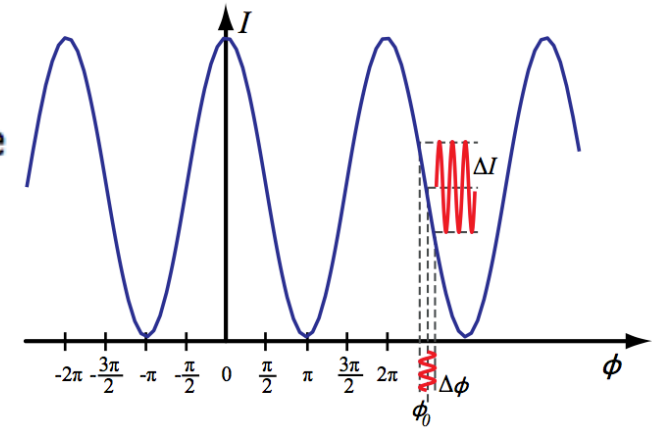
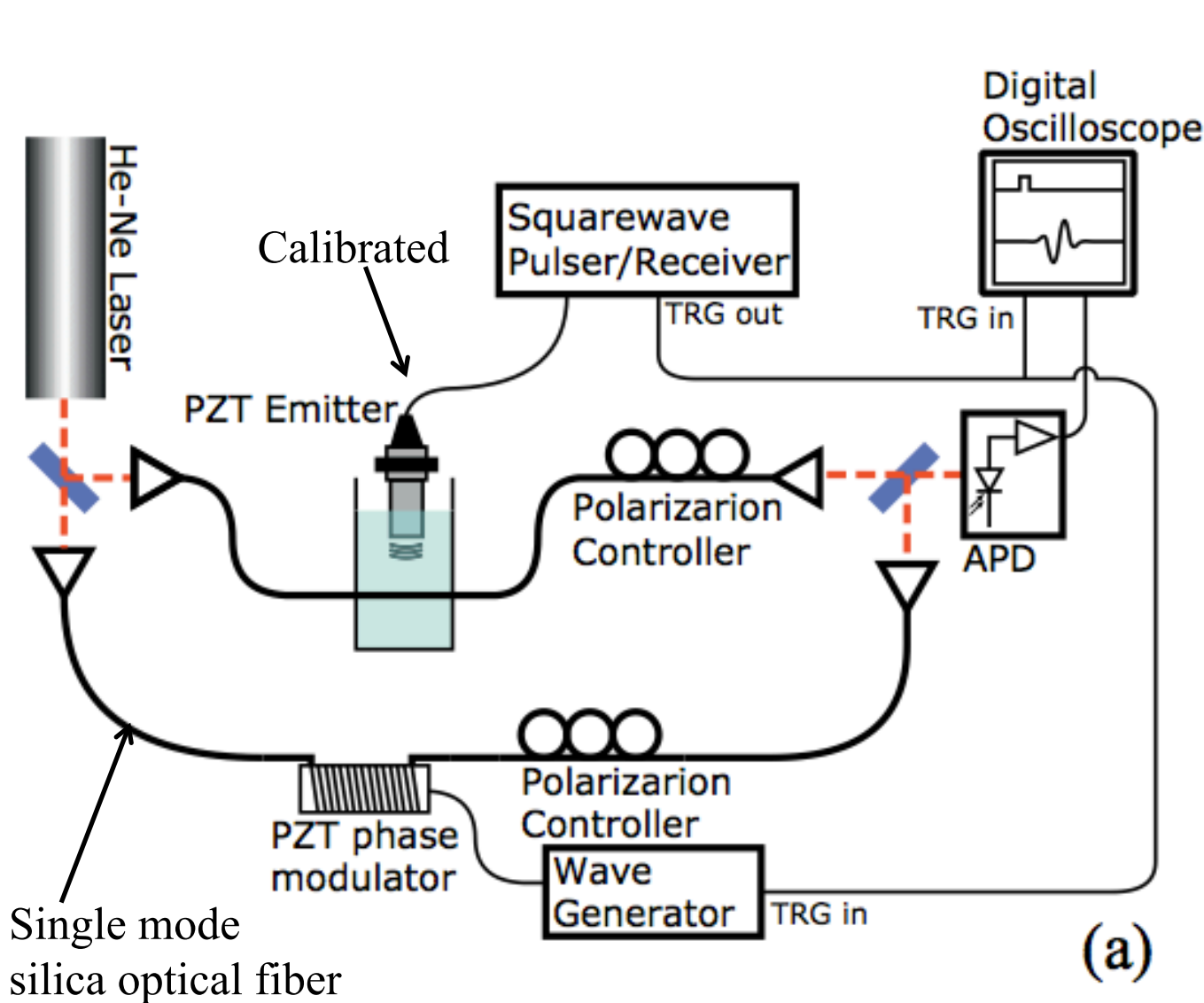
- $f_{\text{rep}}$  制御電圧を用いた零位法計測
- ① 最小検出可能変位量=0.036 $\mu\text{m}$
- ② 最大検出可能変位量=36 $\mu\text{m}$
- ③ 周波数応答特性 :  $f_c=200 \text{ Hz}$

## 今後の予定

- ① 電気光学変調器制御型ファイバー光コム  
(周波数応答>200kHz) による計測高速化
- ② 光音響イメージングへの応用

# 先行研究

Ref) Horacio Lamela, et al., "Interferometric fiber optic sensors for biomedical applications of optoacoustic imaging" *J. Biophotonics*. 4, 3 (2013)





# 実験結果(歪み付加,パルス波 周波数100Hz、パルス幅1ms)

