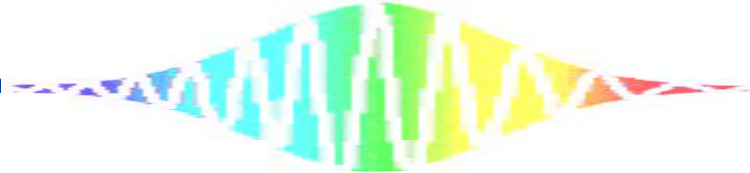


ファイバー光コム共振器の 外乱/周波数変換を用いた 歪み計測に関する研究

安井研究室 増岡孝

平成27年度卒業研究審査会

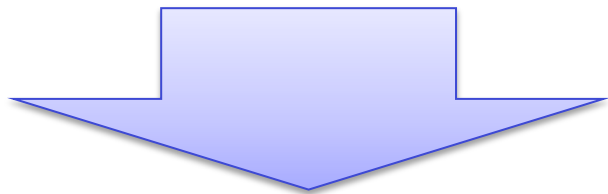
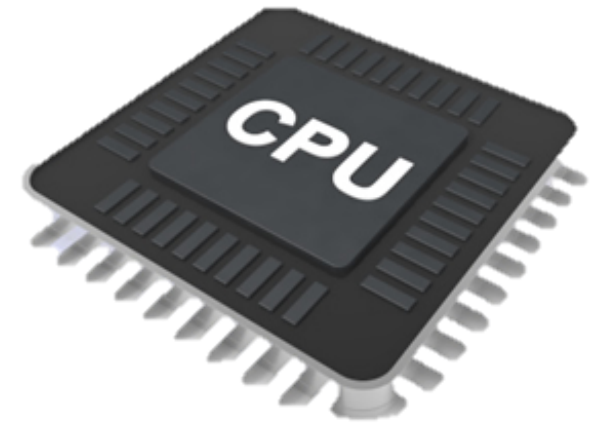
平成28年度2月18日



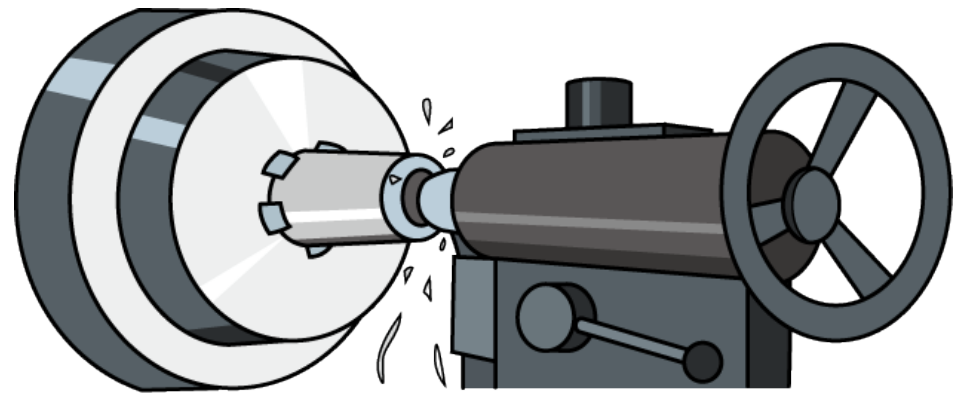
歪み計測

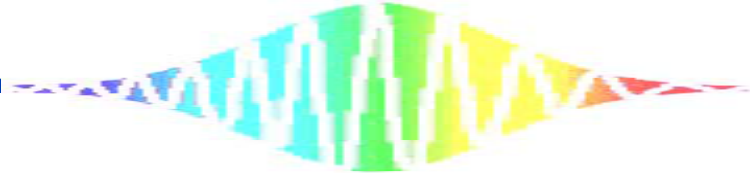
歪みセンサー

電子機器や工作機械から発生する異常振動や材料内における欠陥の発見など重要な評価に用いられている。



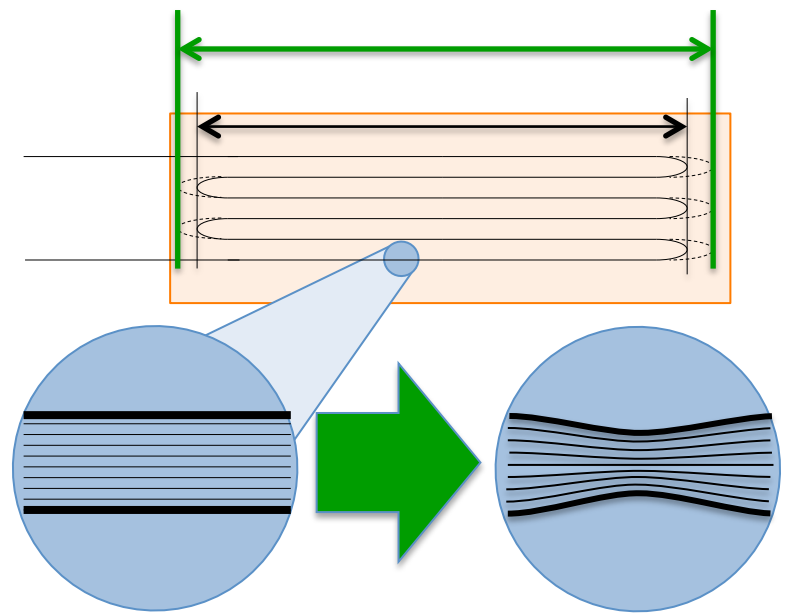
高精度
高速応答性
高感度化



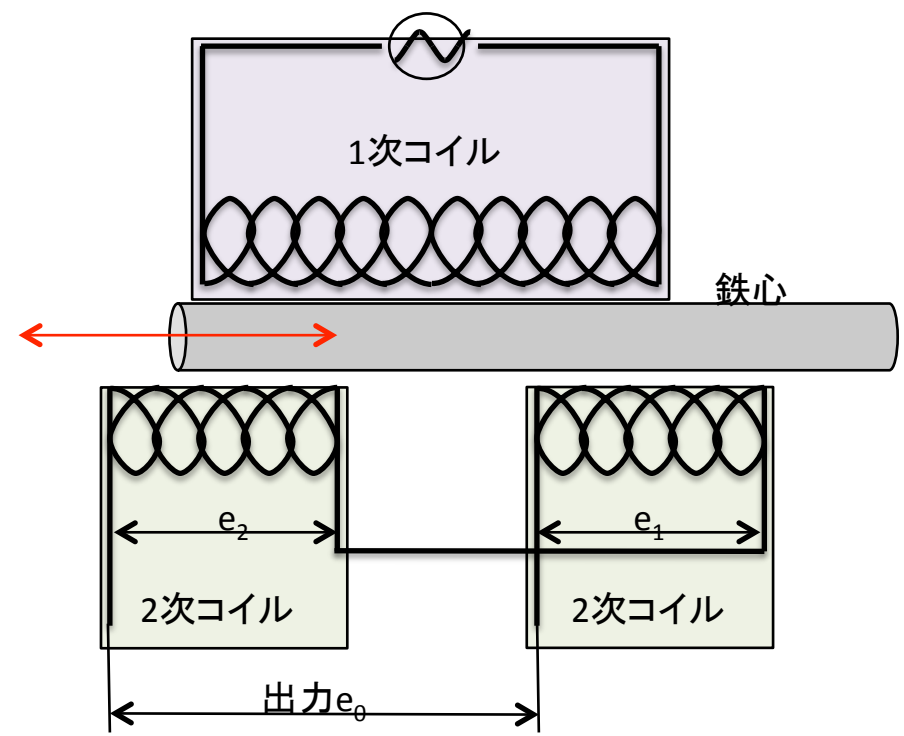


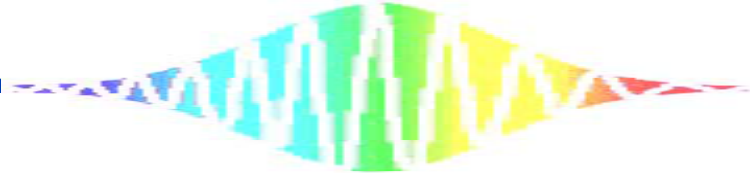
従来法（電気）

ひずみゲージ

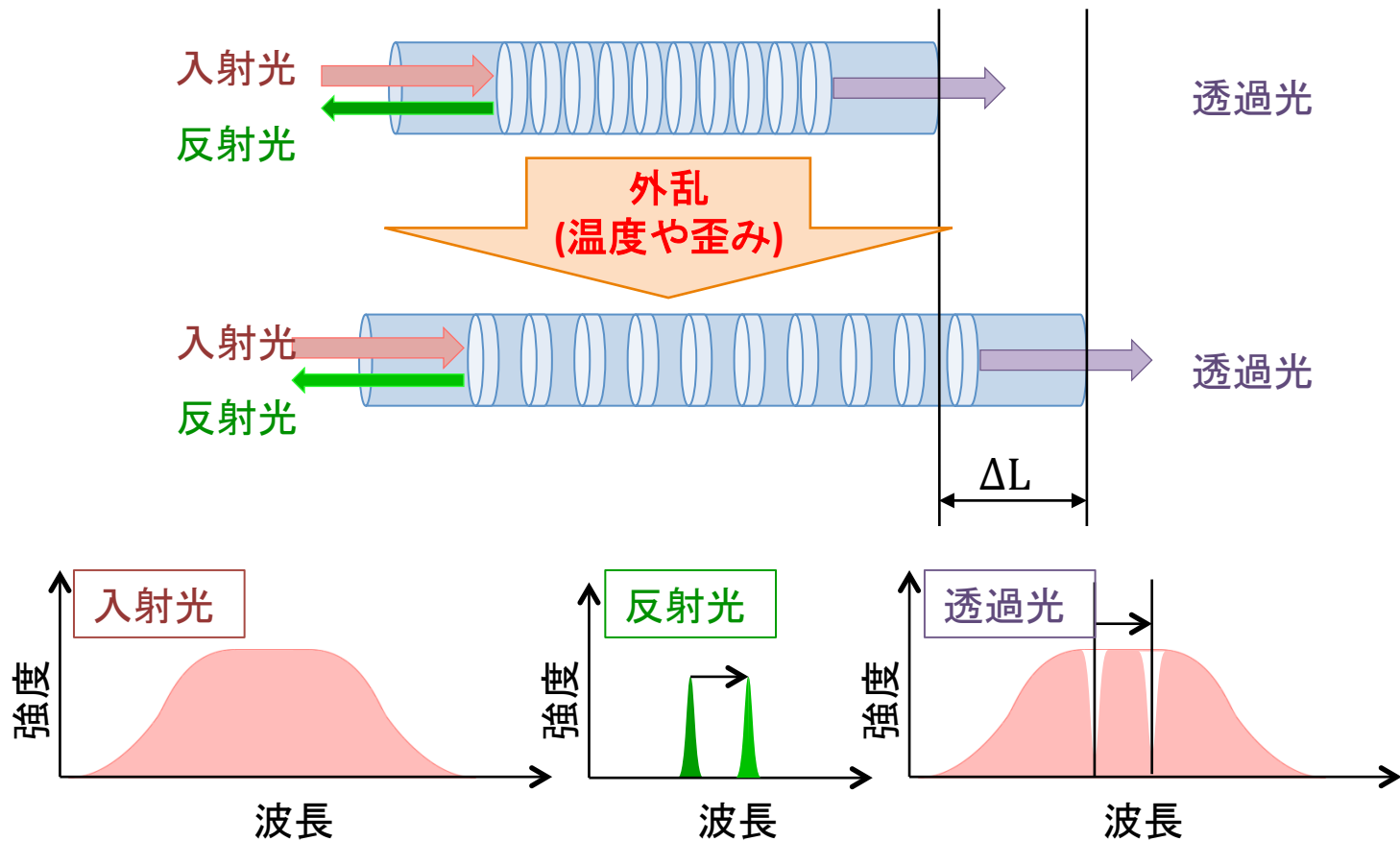


伸び計





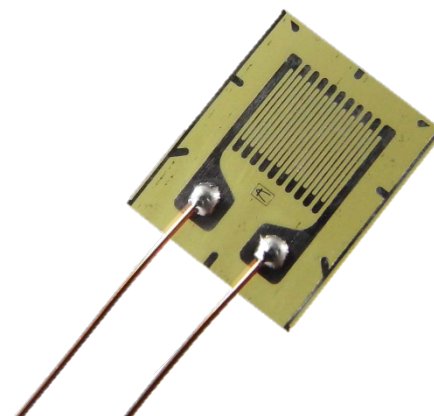
従来法FBGセンサー



従来の歪みセンサー

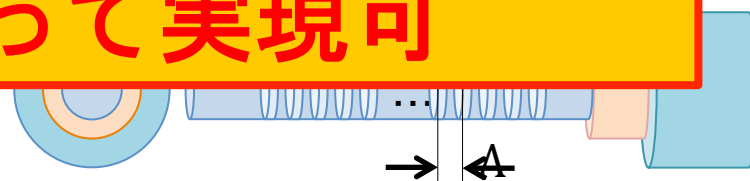
①電気的手法

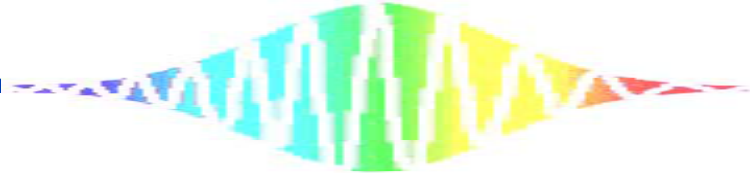
歪みゲージ、伸び計など
微弱なアナログ信号の計測
⇒高精度化困難



**さらに高速かつ高精度・高感度な手法
⇒光コム技術によって実現可**

FBGセンサー、干渉法など
光強度の計測、波長走査が必要
⇒高速検出困難



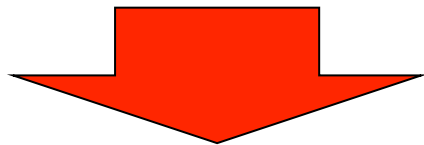
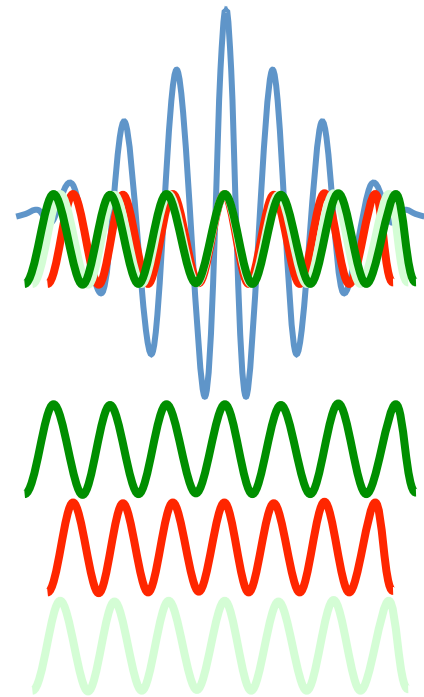


光コム

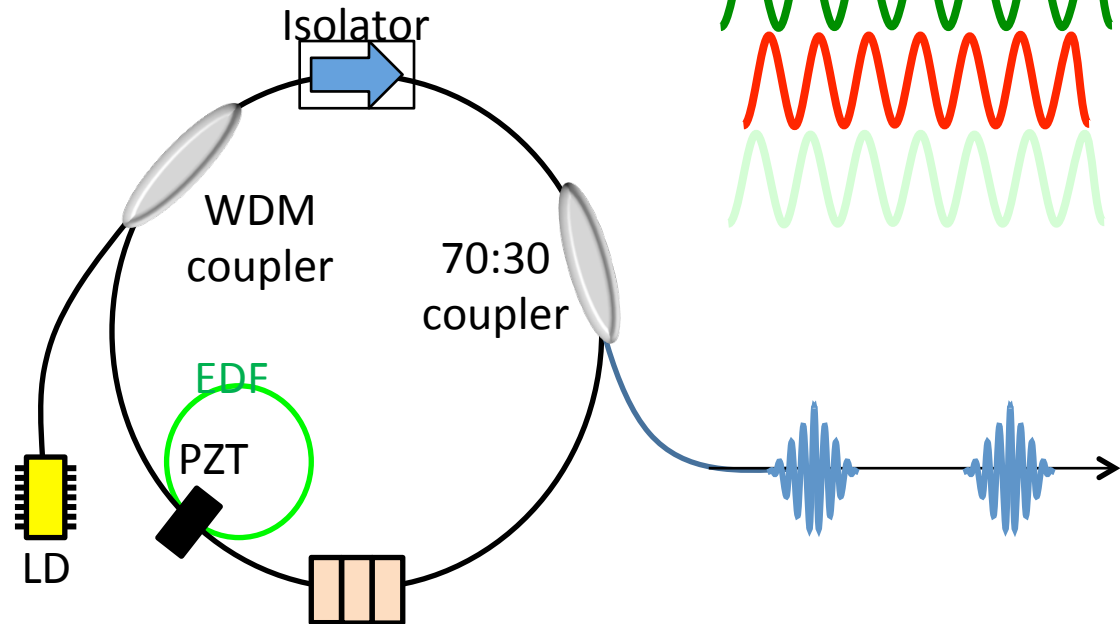
光コム光源：モード同期
ファイバーレーザー

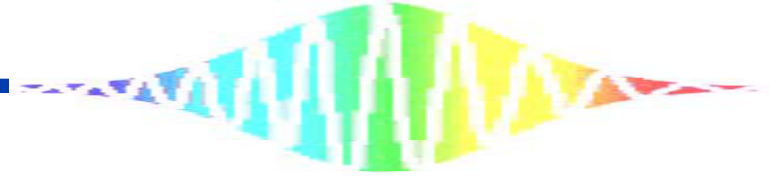
モード同期

多数の縦モード(異なる周波数の光)
の位相を同期させる



強いピーク強度を
持ち、繰り返し周
波数 f_{rep} で超短パル
スを発振

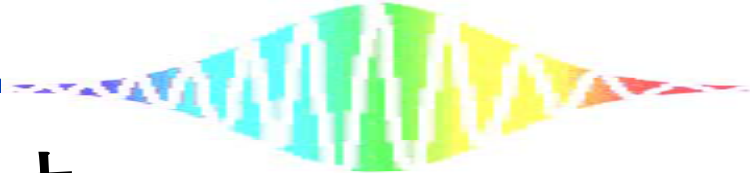




モード同期

- 非線形偏波回転を用いた受動モード同期

しかし、光コムは数百Thz 帯に分布し、光周波数の直接的検出は難しい



光コムとは

時間軸

フェムト
モード同期

時間領域で非常に安定
→ 高精度、高確度

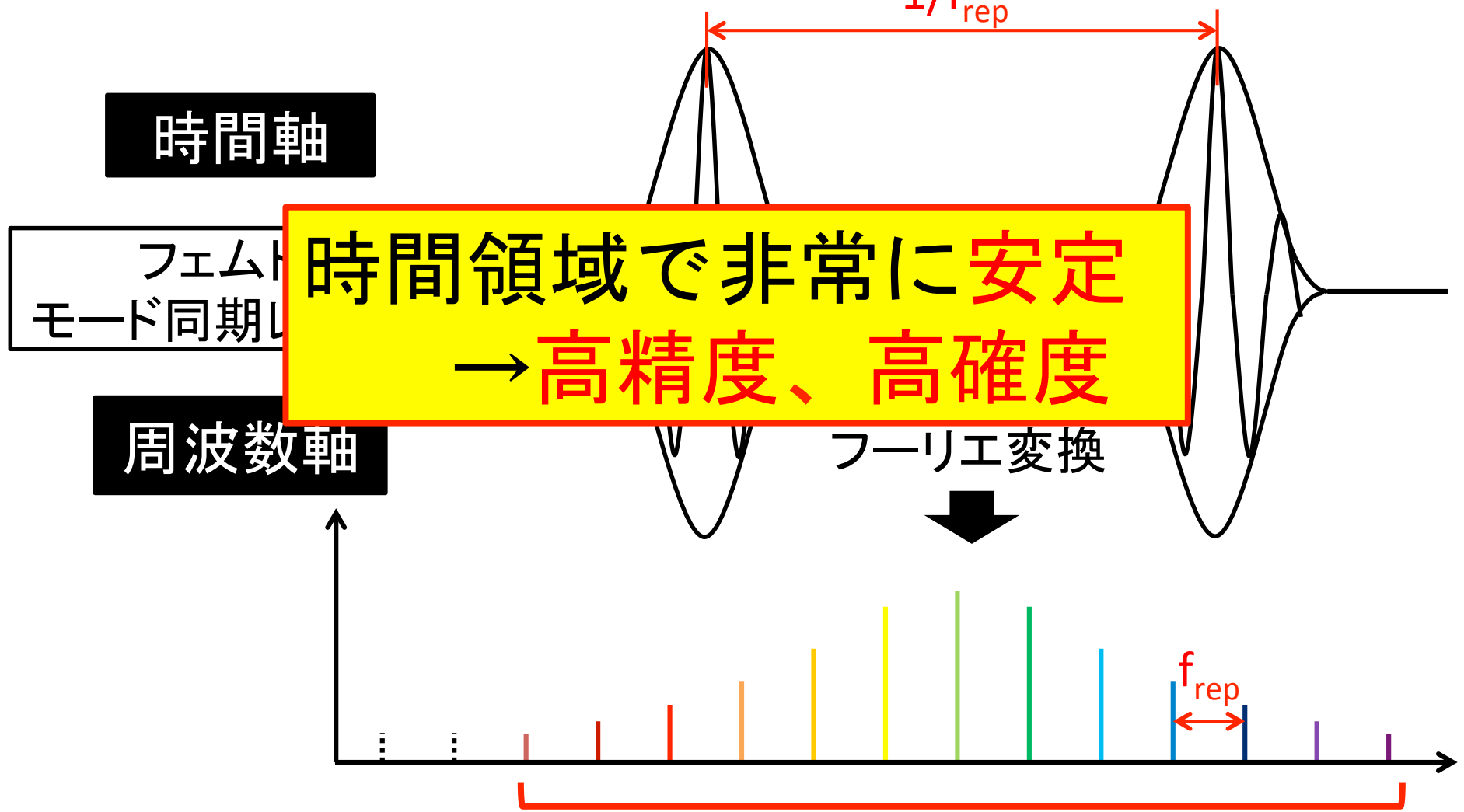
周波数軸

フーリエ変換

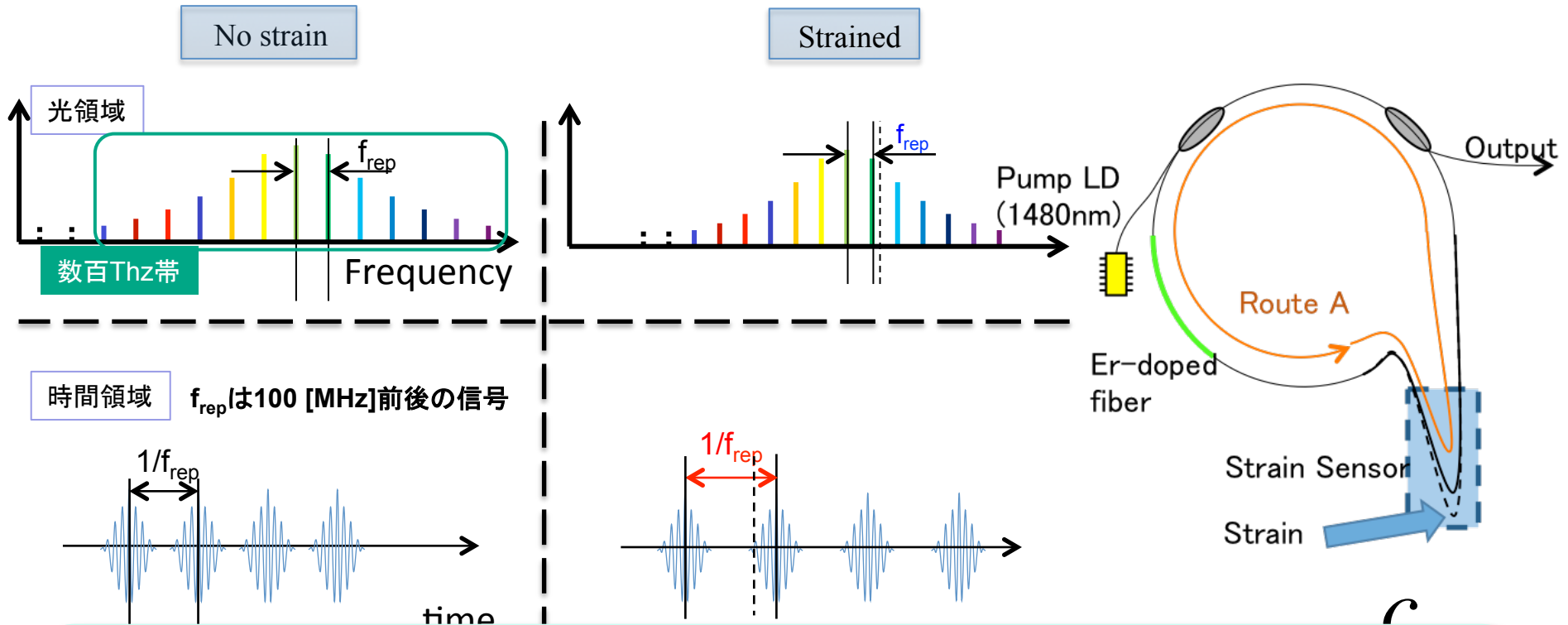
$1/f_{rep}$

f_{rep}

光がコム(櫛)のように並ぶ



光コム共振器の外乱/周波数変換

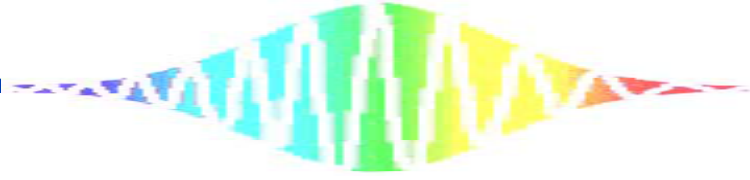


外乱
(測定物理量)

繰り返し
周波数

RF周波数

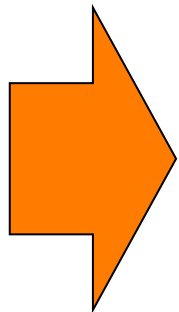
高精度
高確度
高速応答性



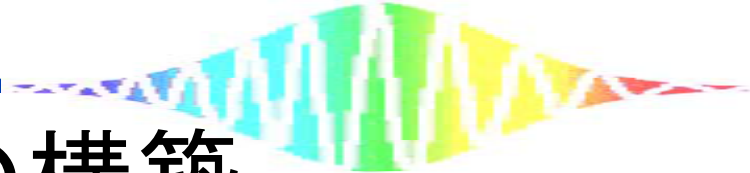
光コムの利用

時間領域で非常に**安定**
→ **高精度、高確度**

光コムは数百Thz 帯に分布し、光周波数の直接的検出は難しい

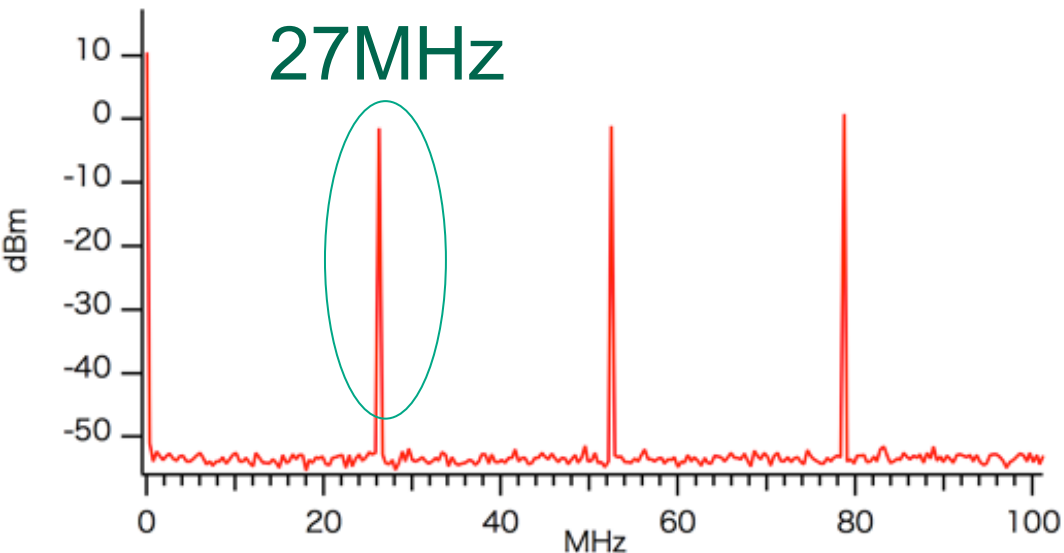


繰り返し周波数では、高確度、高精度で光領域に関する情報をRF帯の周波数として簡単に検出可能



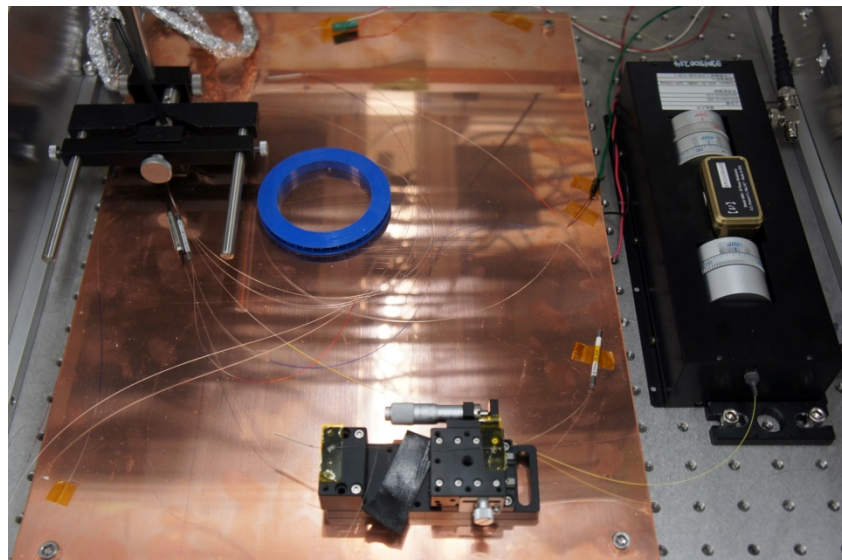
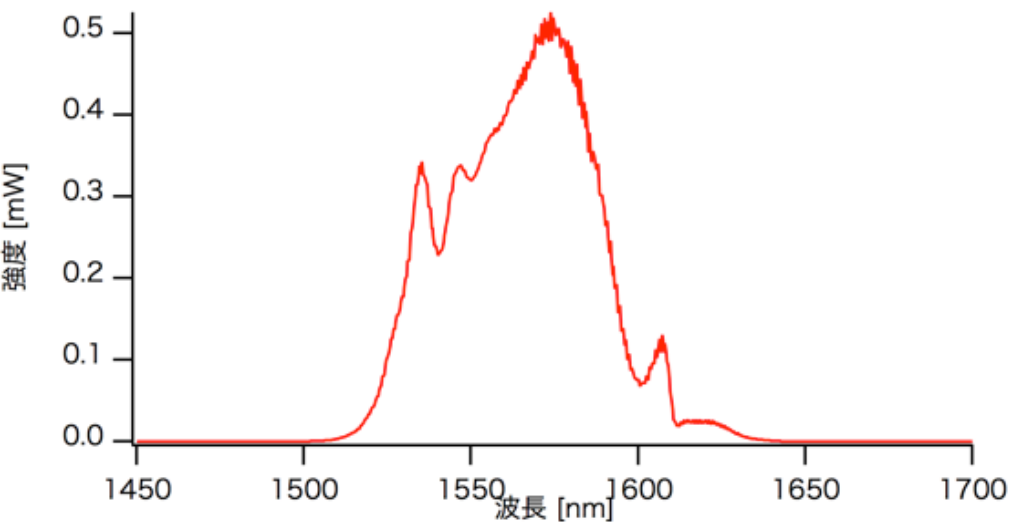
実験用光源の構築

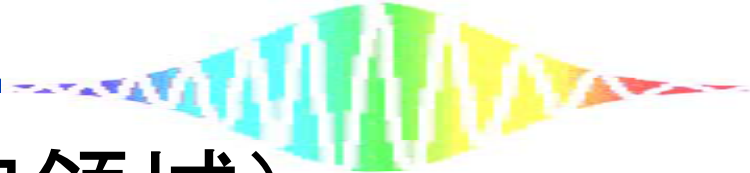
RFスペクトル



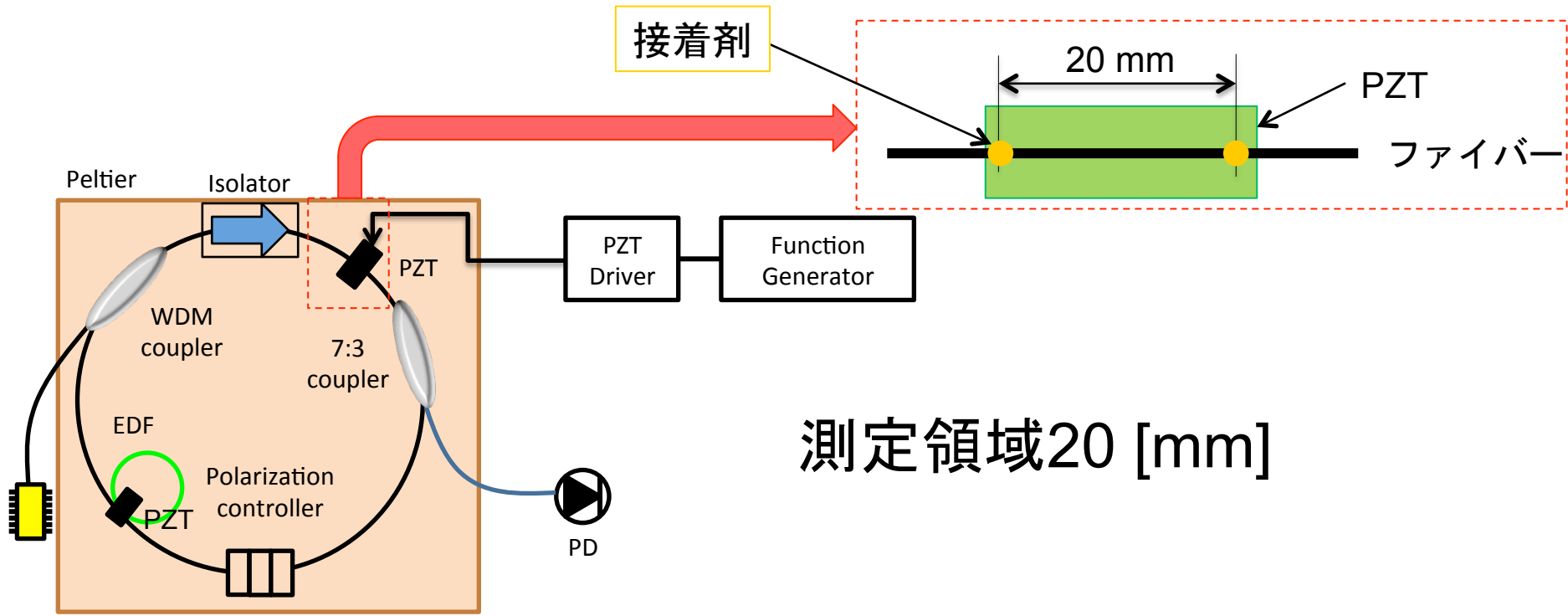
中心波長	1550 nm
平均パワー	10 mW
繰り返し周波数	27 MHz
光学的共振器長	11.27 m
FWHM	32.5 nm
ピーク出力	0.52 mW

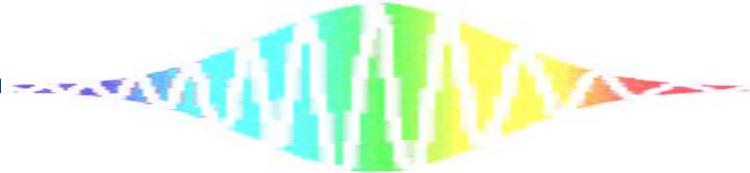
光スペクトル





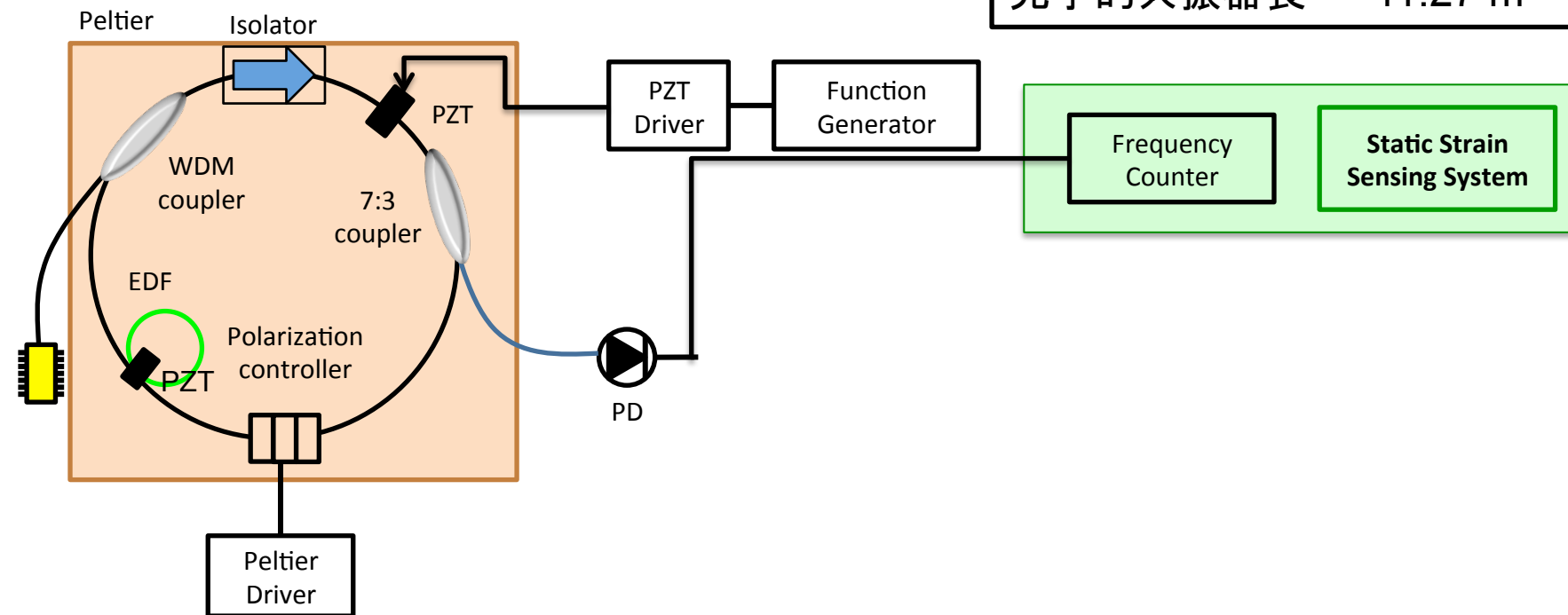
実験装置 (測定領域)



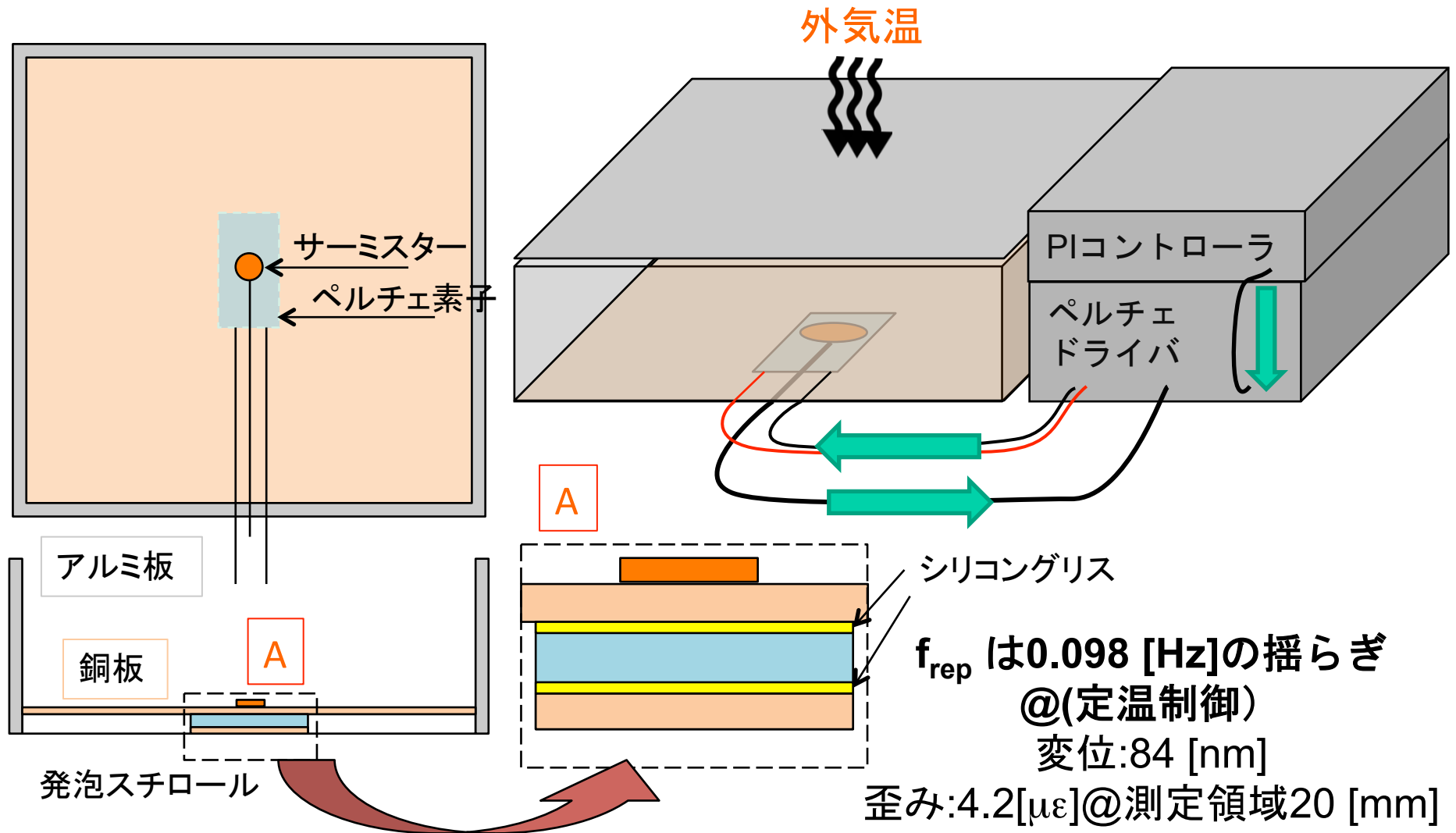


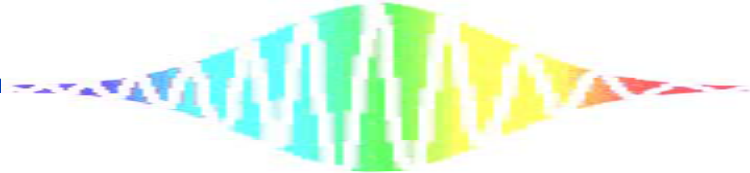
実験装置 (静的歪み)

中心波長	1550 nm
平均パワー	10 mW
繰り返し周波数	27 MHz
光学的共振器長	11.27 m



繰り返し周波数安定機構 温度による制御





静的歪み測定

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

c: 真空中の光速
nL: 光学的光路長

最大繰り返し周波数変量は、8.68 [Hz]
(PZT電圧範囲 : 0~100 [V])

最大変位量

最大歪み

3.76 [μm]

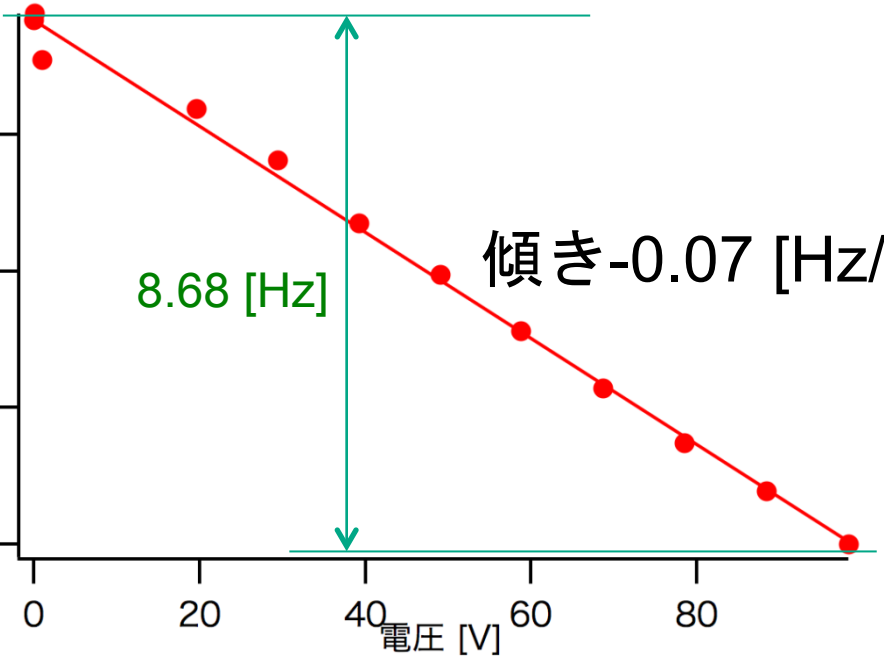
188 [$\mu\epsilon$]

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

揺らぎにより
最小変位: 84 [nm]
最小歪み: 4.2 [$\mu\epsilon$] @ 測定領域 20 [mm]

周波数 [Hz]

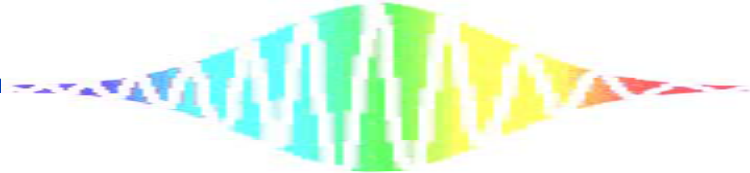
25.984914x10⁶
25.984912
25.984910
25.984908



8.68 [Hz]

傾き -0.07 [Hz/V]

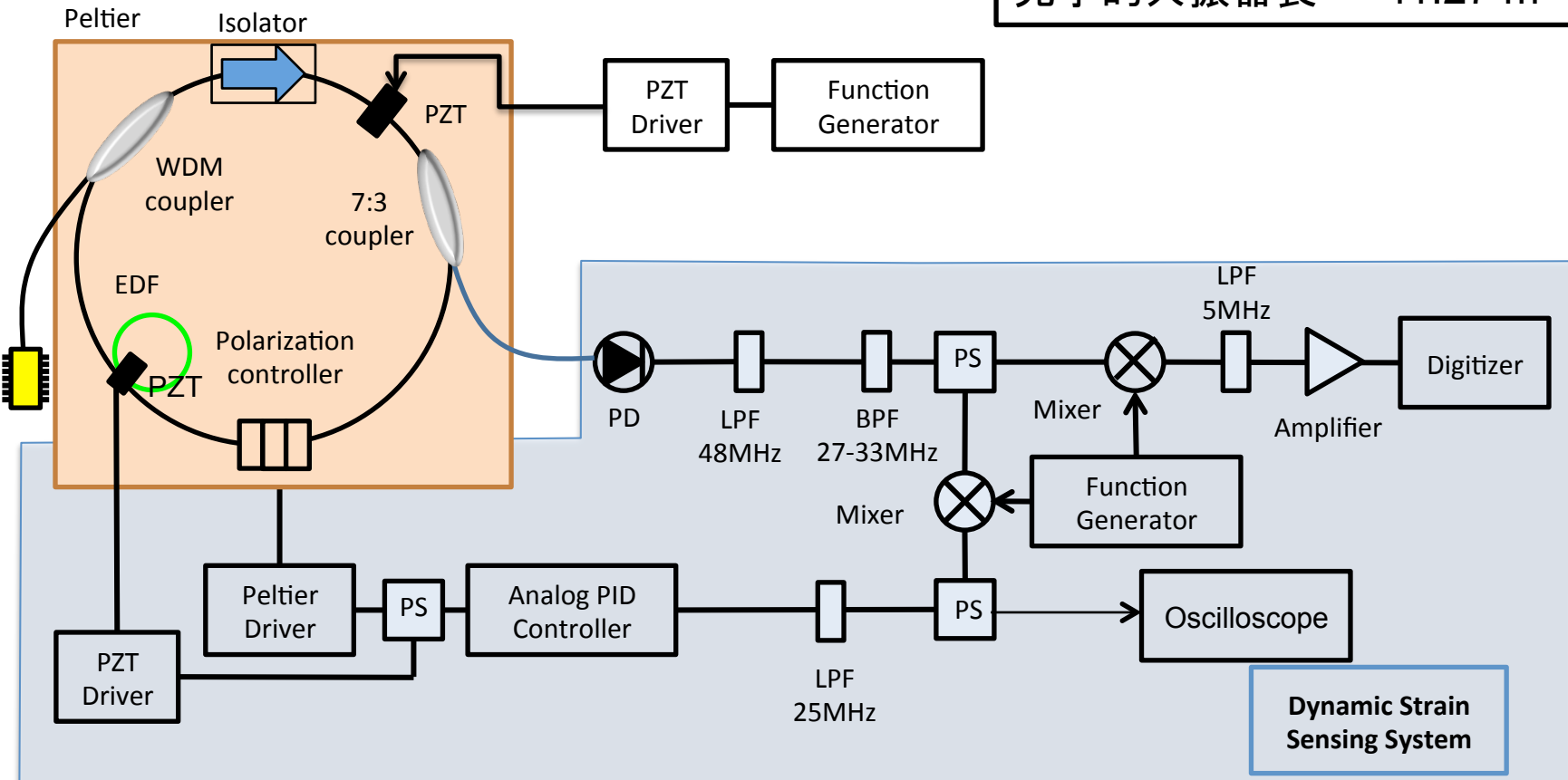
電圧 [V]



実験装置 (動的歪み)

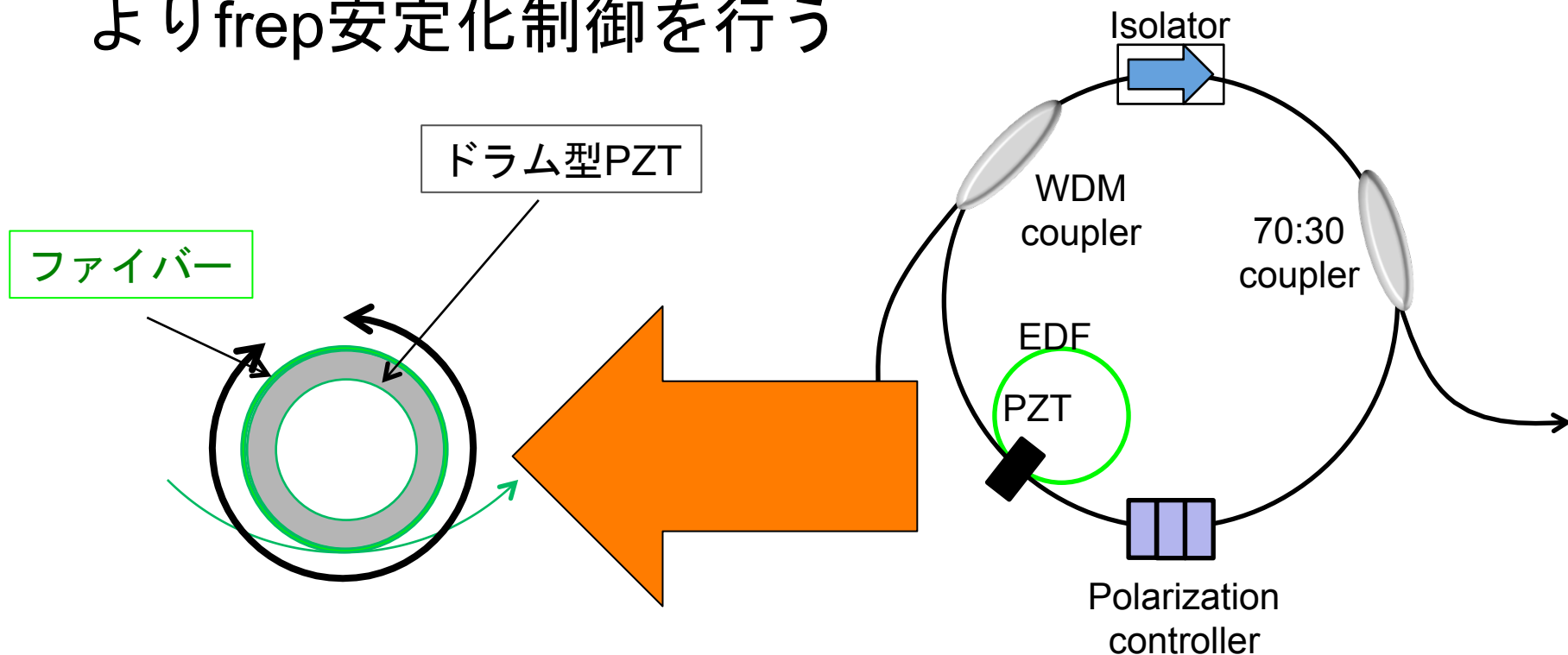
より高精度な検出のために
位相検出システムを構築した

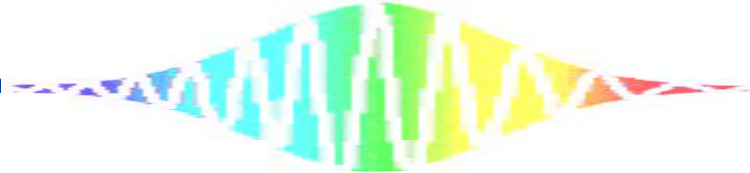
中心波長	1550 nm
平均パワー	10 mW
繰り返し周波数	27 MHz
光学的共振器長	11.27 m



繰り返し周波数の安定化機構 ドラム型PZTによる

PZTにPIコントローラからの制御信号入力によりfrep安定化制御を行う

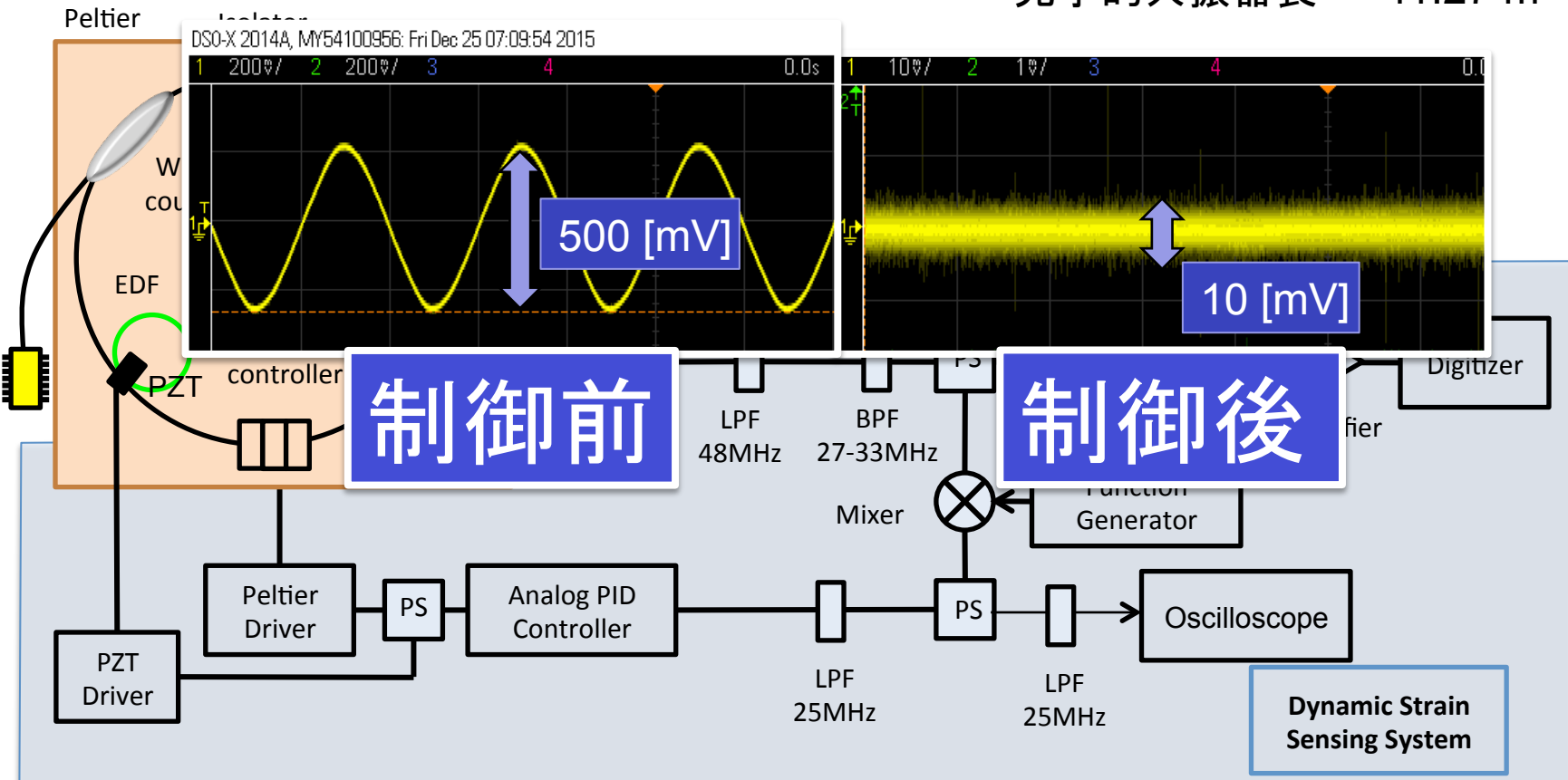




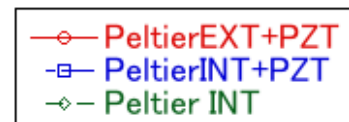
実験装置 (制御)

時定数 50 [Hz]

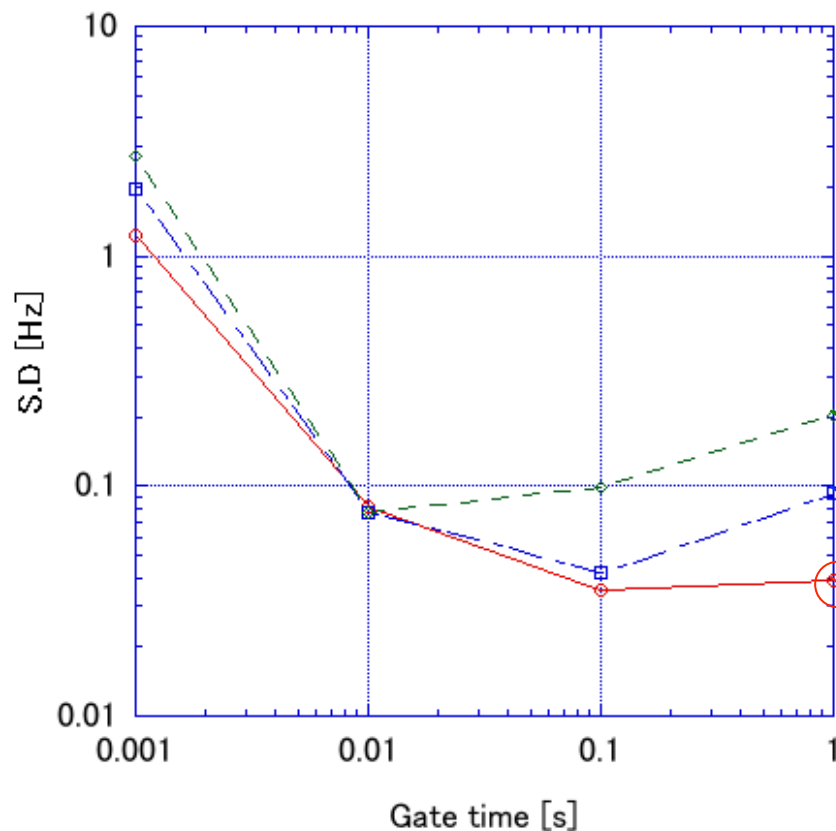
中心波長	1550 nm
平均パワー	10 mW
繰り返し周波数	27 MHz
光学的共振器長	11.27 m



繰り返し周波数の安定度評価



繰り返し周波数安定化評価



$$f_{\text{rep}} = 26212693.9801 \text{ [Hz]}$$

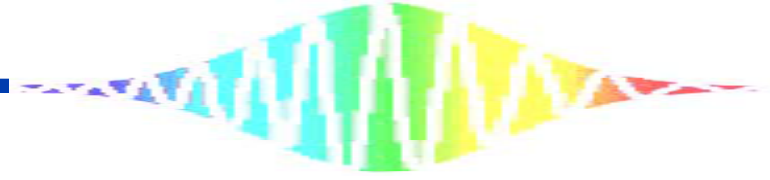
温度とPZTでの制御が最も安定している

緑：定温制御

青：定温制御+PZT制御

赤：温度とPZTをPI制御

ゆらぎは0.038 [Hz]



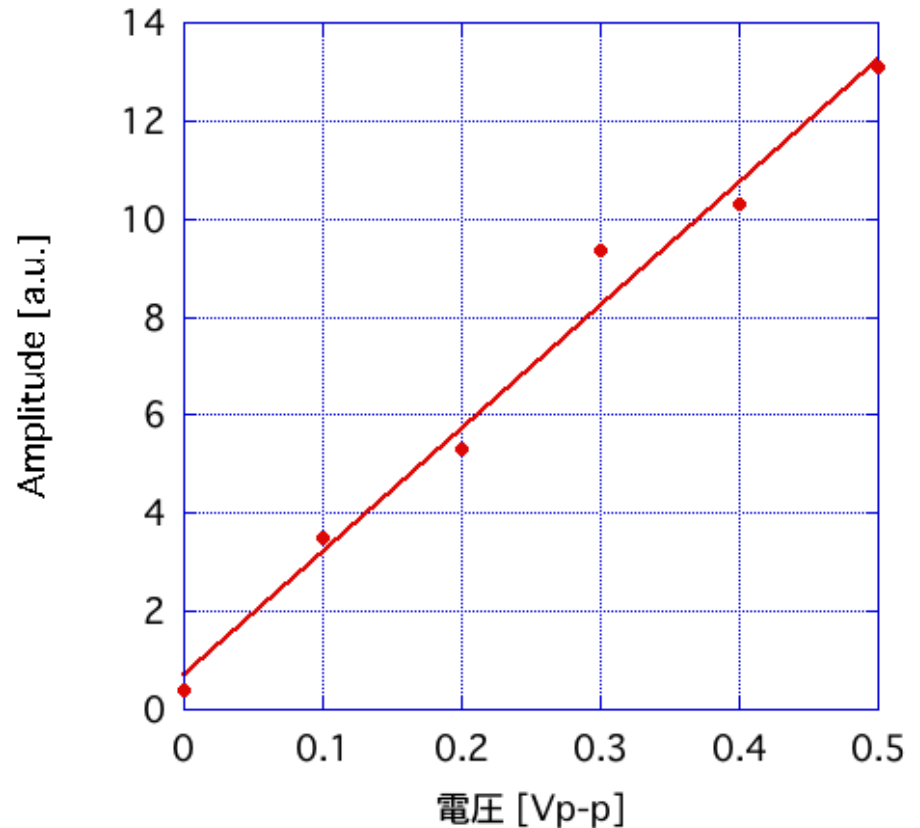
動的歪み測定(PZT最小電圧)

0.1 [Vp-p]のとき

変位 3.0 [nm]

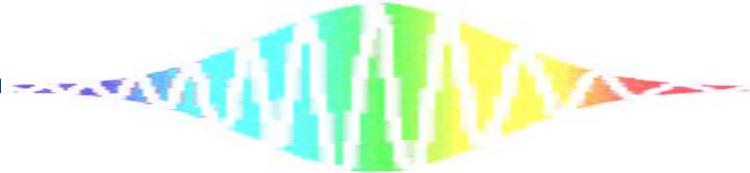
ひずみ 0.15 [μ strain]

@測定領域20 [mm]



オフセット 10 V

駆動周波数 1 kHz



まとめ

ファイバーコム共振器の外乱/周波数変換を用いた 高精度な歪みの計測

◎静的歪みの計測⇒**frepが -0.07 [Hz/V]で変化**

最大変位 3.76 [μm]

最大歪み 188 [$\mu\epsilon$] @測定領域 20 [mm]

最小変位 > 84 [nm]に限る(定温制御による)

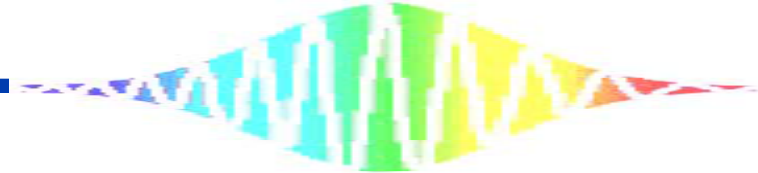
最小ひずみ > 4.2 [$\mu\epsilon$]

◎動的歪みの計測⇒**最小の変位および歪みは**

最小変位 3.0 [nm]

最小歪み 0.15 [$\mu\epsilon$] @測定領域 20 [mm]

従来より**高精度**な歪みセンサーの
可能性を示した



動的歪み測定(周波数特性)

動的歪みの計測

参照信号と変調された繰り返し周波数の位相変調を計測している。

実験装置の構成に基づき計算を行うと、

位相変調信号は $\frac{A_r A_{syn}}{2} \frac{\bar{\omega}_a}{\omega_a} \sin(\omega_a t)$

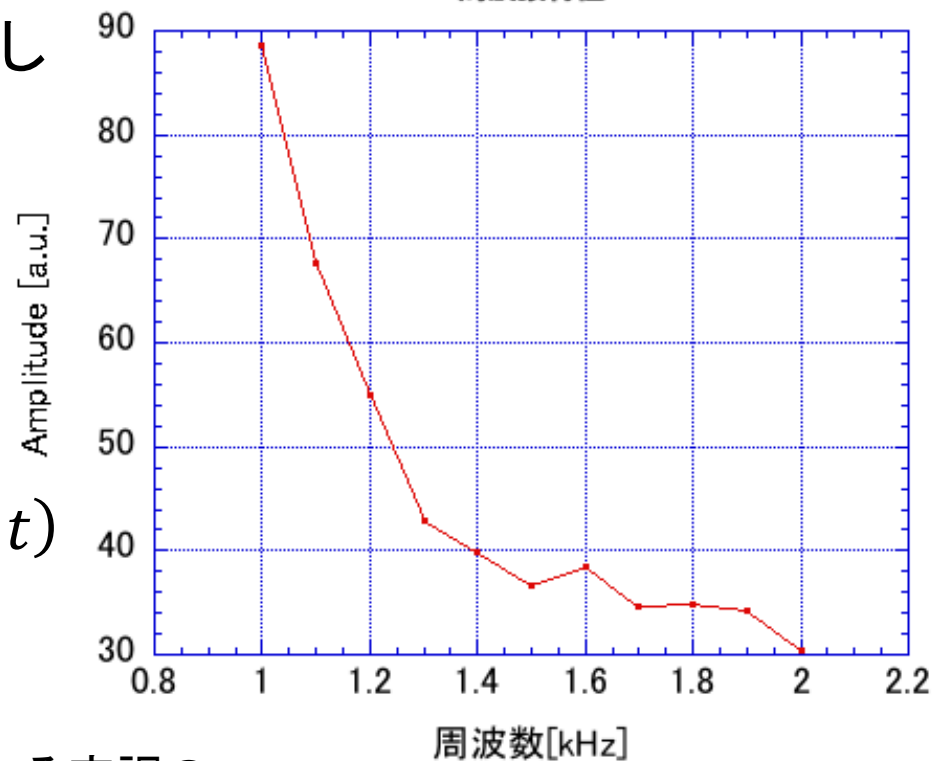
となり信号強度は反比例的に減少する

A_{syn} : 参照信号の出力強度
 A_r : 光コム共振器の出力光強度

PZTによる変調の

$\bar{\omega}_a$: 振幅強度
 ω_a : 周波数

周波数特性



オフセット10 [V]
 振幅20 [Vp-p]