

ファイバー光コム共振器の構築と それを用いたひずみ/超音波計測 に関する研究

Strain and ultrasonic sensing with a fiber based optical comb cavity

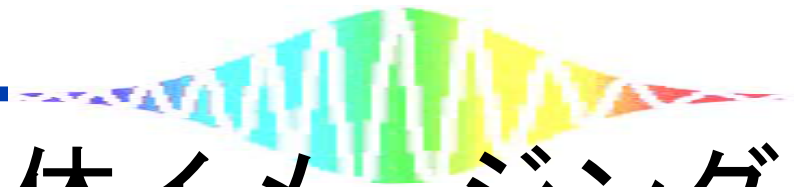
徳島大学大学院先端技術科学教育部

知的力学システム工学専攻

機械創造システム工学コース 生産システム講座グループ

安井研究室

小倉 隆志

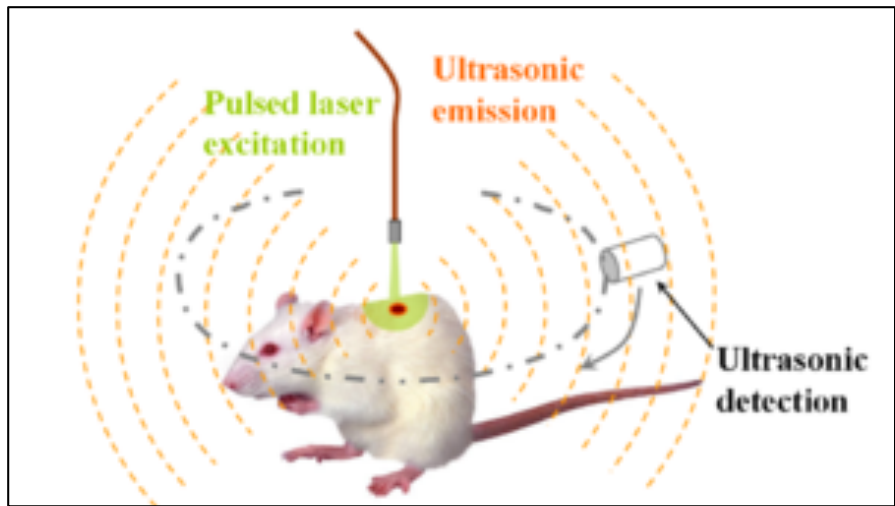
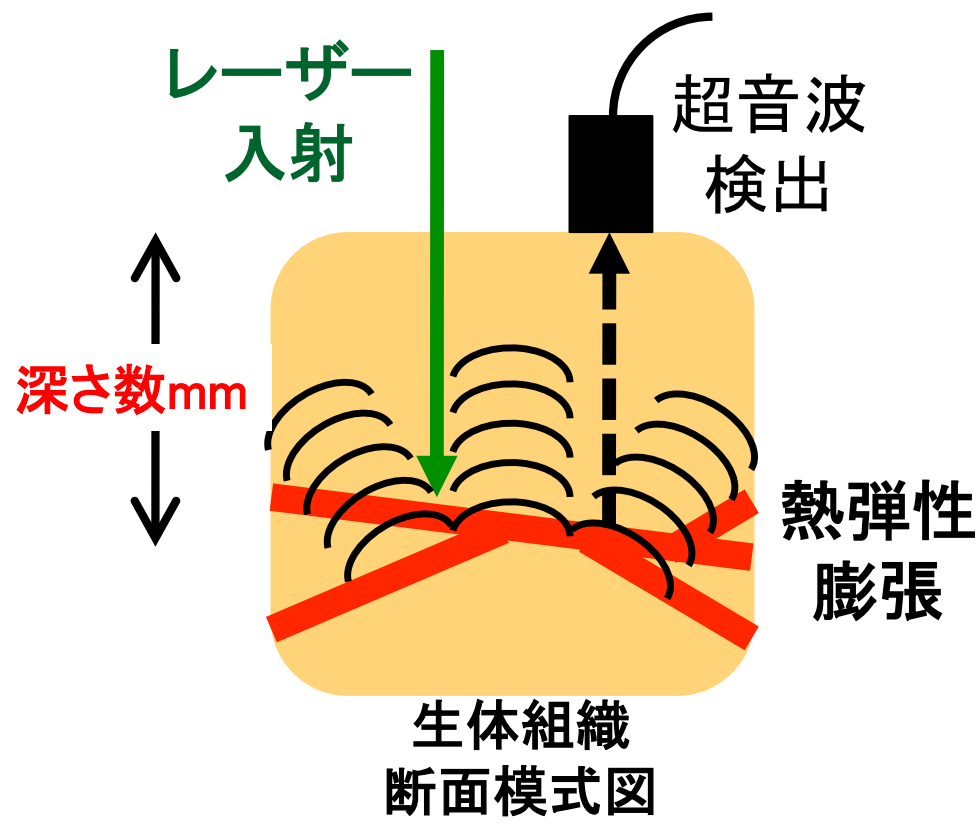


[背景]

超音波による生体イメージング

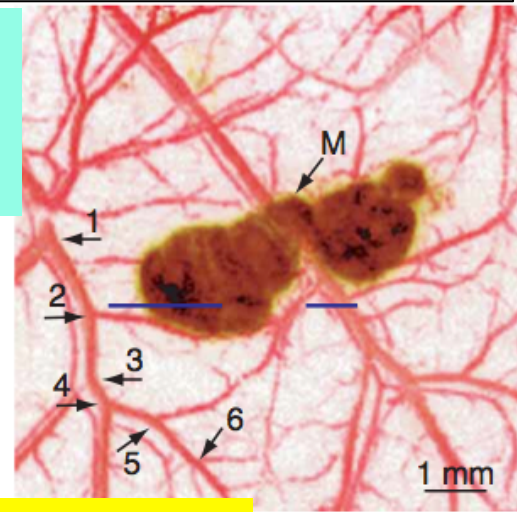
光音響イメージング

原理図

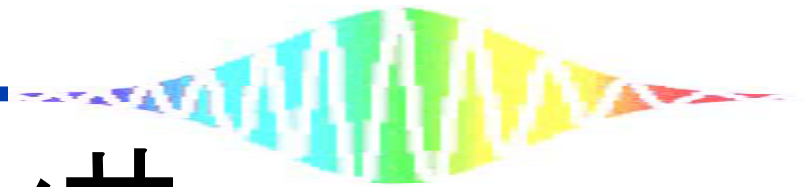


ねずみの皮膚がん

Ref) Zheng HF *et al.*,
Nature Biotech. 24,
848(2006).



深部(数mm)観察、非侵襲、選択的



[課題]

超音波センサー

空間分解能

Signal intensity

Time

センサーの**高速周波数応答性**が重要

感度

超音波の減衰率は、**超音波の周波数**に依存

↓

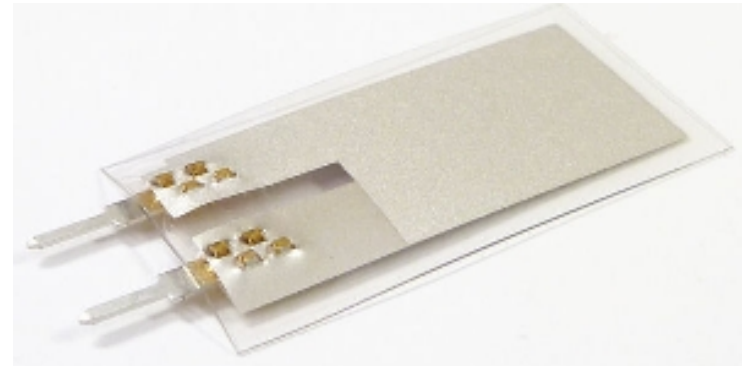
高分解能計測には、**高感度超音波センサー**が重要

圧電素子

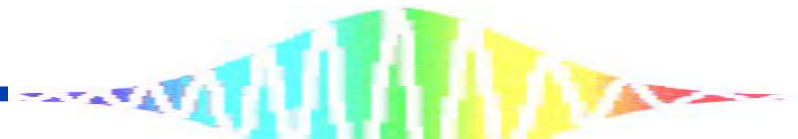
PZT(チタン酸ジルコン酸鉛)



PVDF(ポリフッ化ビニリデン)

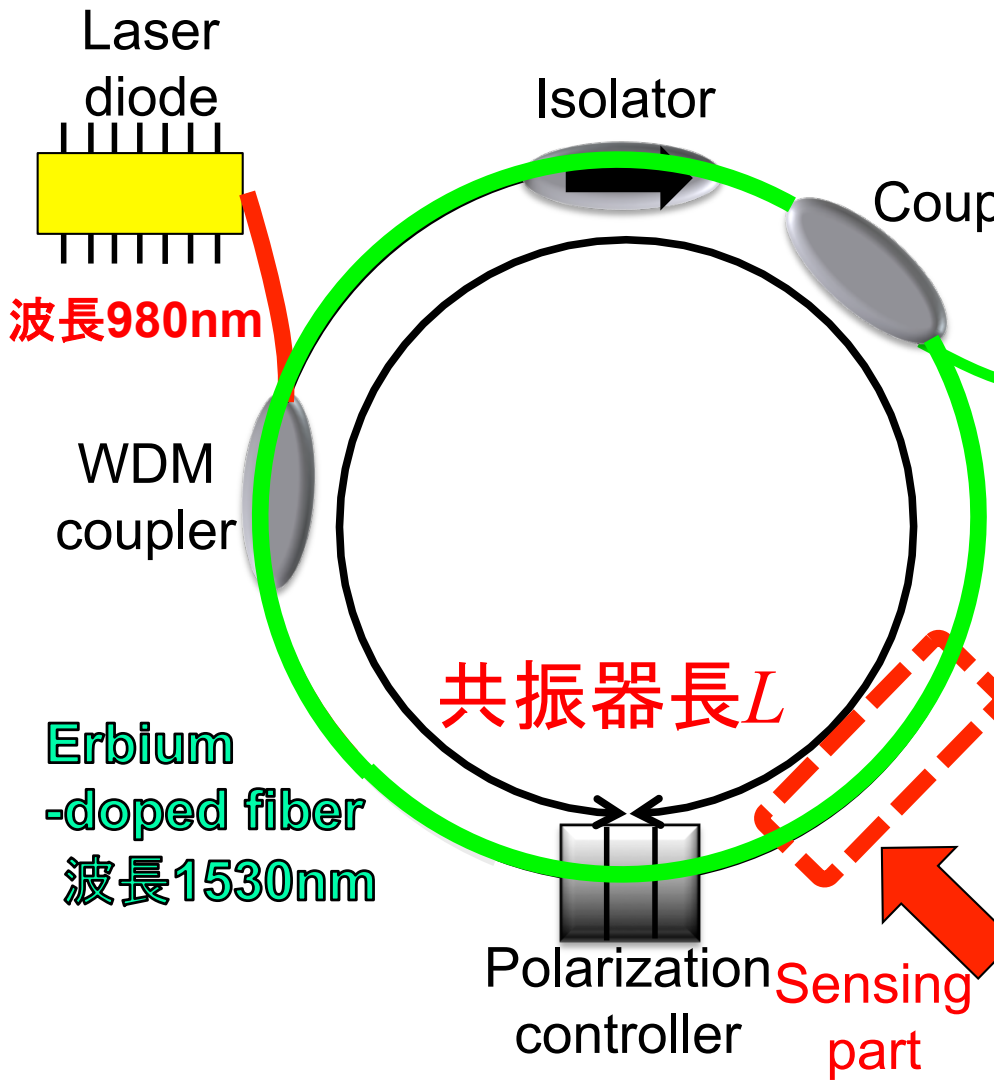


高感度、高速周波数応答性、高精度化に課題

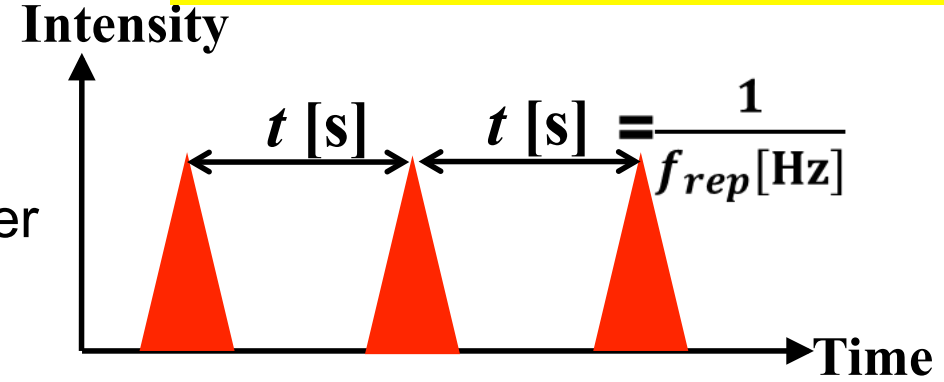


[原理] ひずみ/超音波を周波数で計測

ファイバー光コム共振器



非常に安定したパルス列



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

c: velocity of light
n: refractive index
L: fiber cavity length

↓ 共振器の光ファイバーへ外乱を与える

$$f'_{rep} = \frac{c}{n(L + \Delta L)}$$

外乱(ひずみ, 温度, 超音波, etc.)

[新規性] 光コム応用、周波数計測

光周波数計測

気体分析(分光)

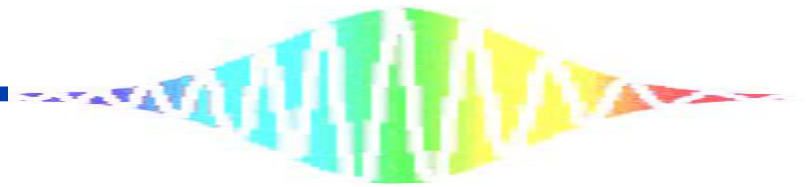
距離測定



外乱を周波数へ変換

周波数は最も精度の高い基準を持つ物理量
最高精度の国家標準(セシウム原子時計 10^{-15})

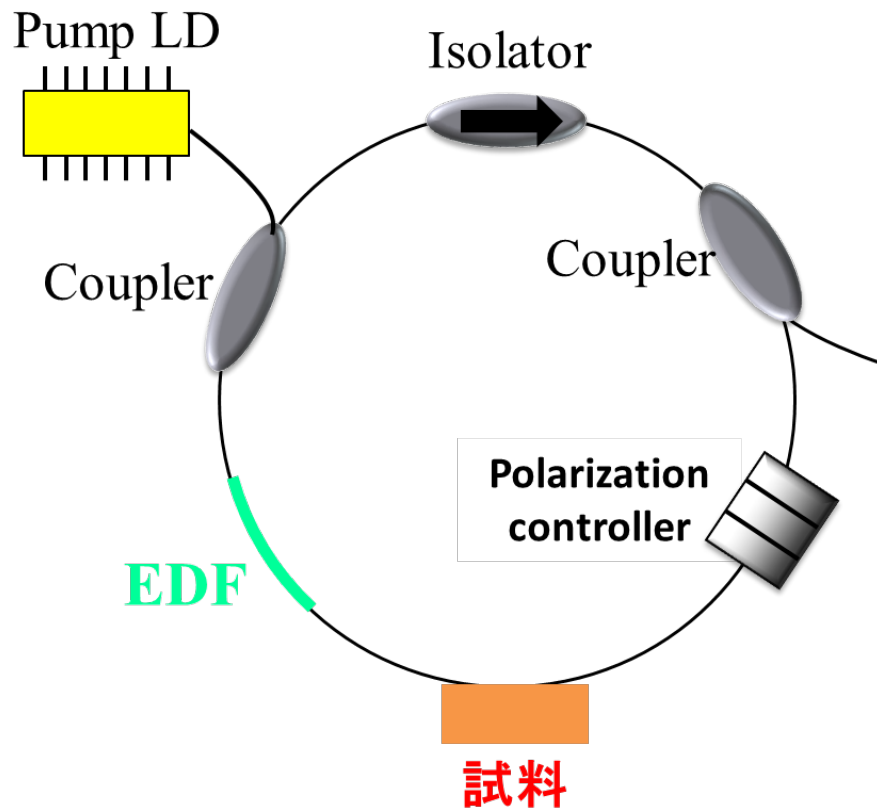
各種物理量を変換できれば、その物理量を高精度かつ
広ダイナミックレンジに周波数信号として計測可能
ファイバー光コム共振器を用いた外乱/RF周波数変換



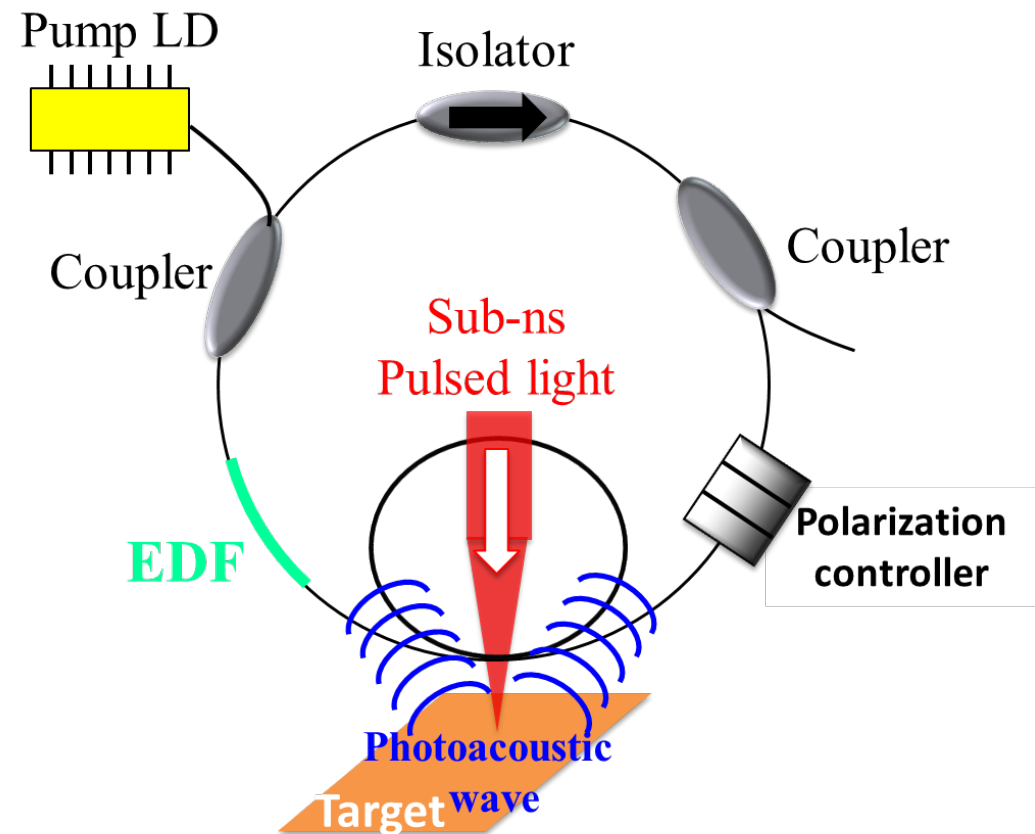
[研究目的]

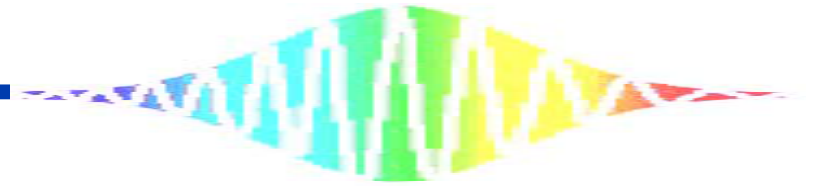
ファイバー光コム共振器の外乱/RF周波数変換を用いたセンシングセンサーの開発

ひずみセンサー



超音波センサー





① ひずみセンシング

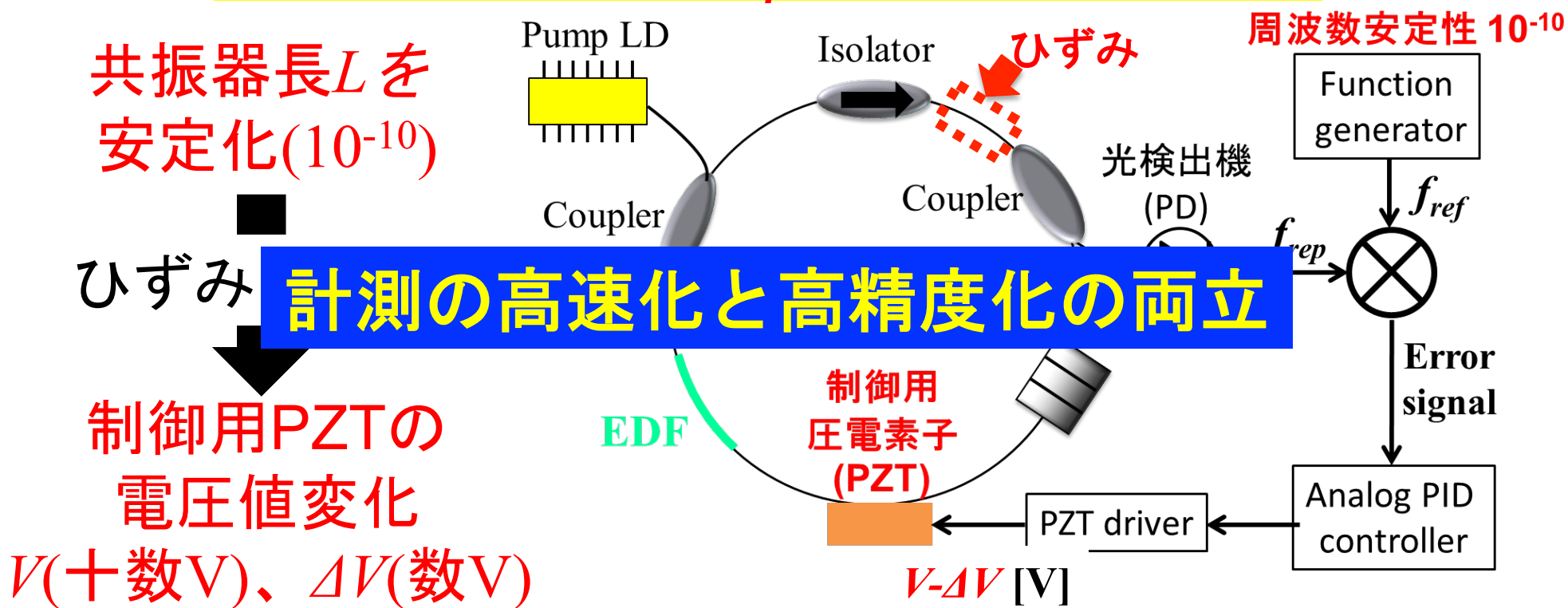
[原理] 零位法による周波数/電圧変換

$$f_{rep} \xrightarrow{\text{ひずみ付加}} f'_{rep}$$

50,000,000Hz 50,000,001Hz

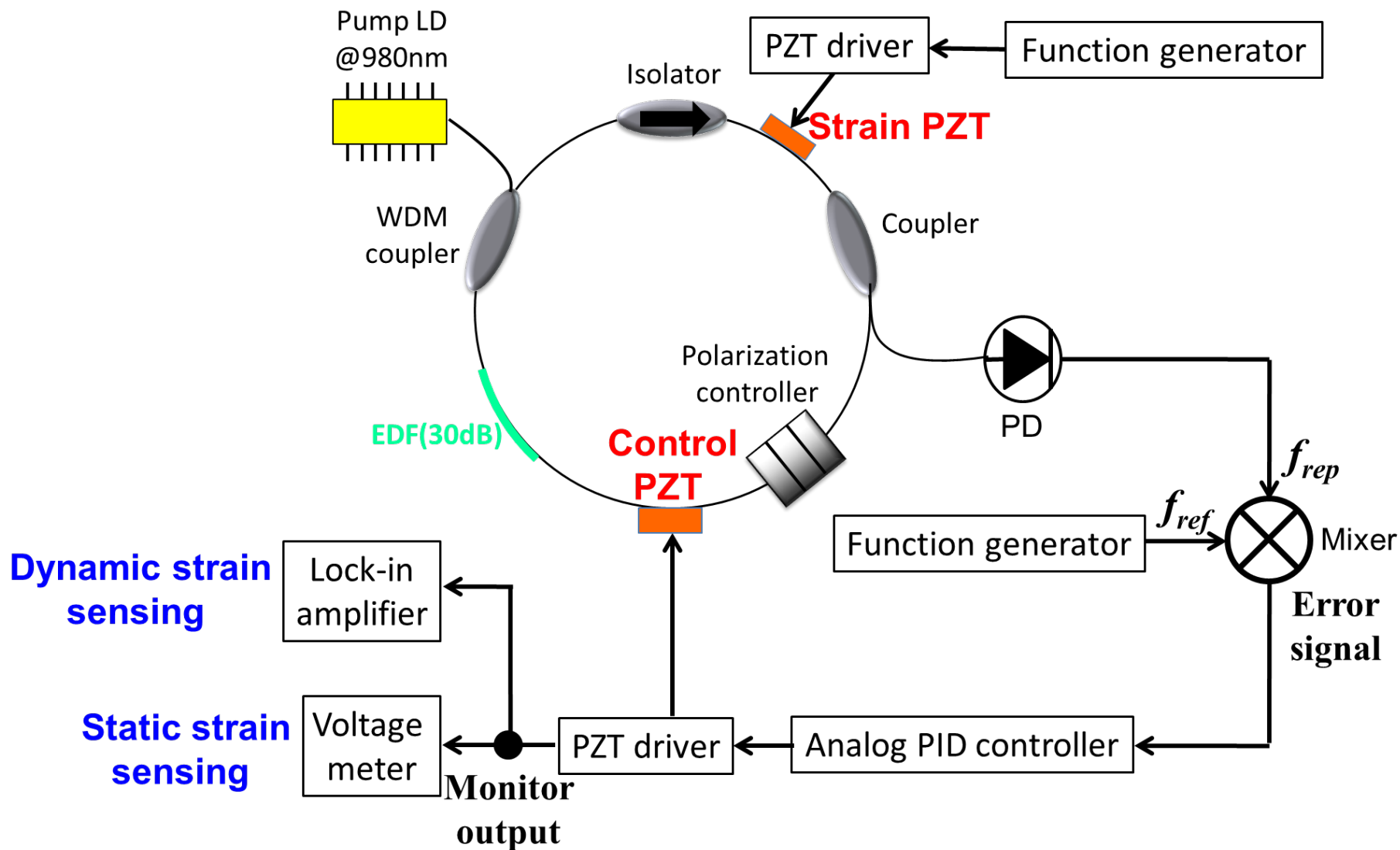
ひずみによる周波数変化は1Hz以下
8桁の精度が必要(計測時間10ms以上)、**高速な計測困難**

知りたい情報は Δf_{rep} → **零位法**を用いる



[実験装置]

ひずみセンシング

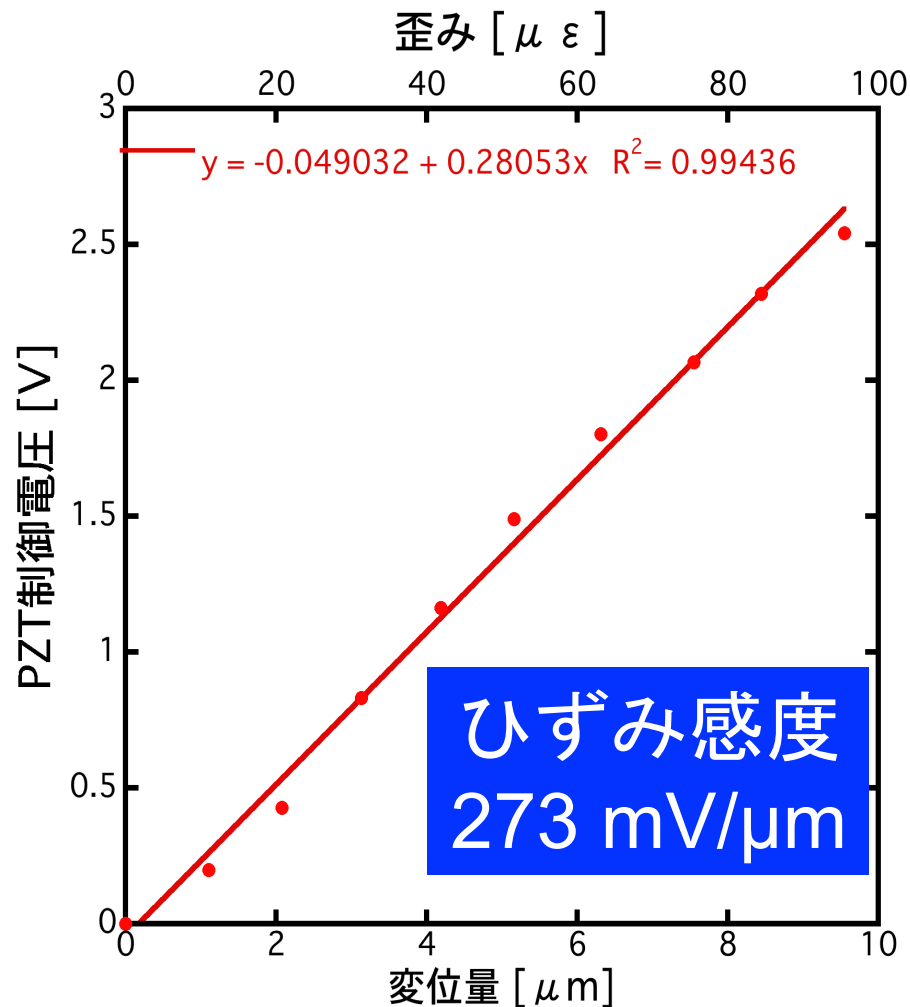


PZTドライバーの電圧値をモニタリングする

[実験結果] 静的歪み計測

微小歪み計測@PZT

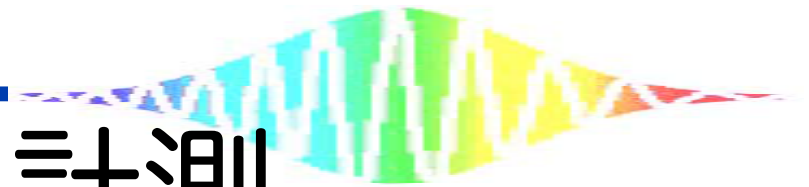
歪み印可範囲 : 20mm、分解能0.1 μm



静的ひずみ計測評価

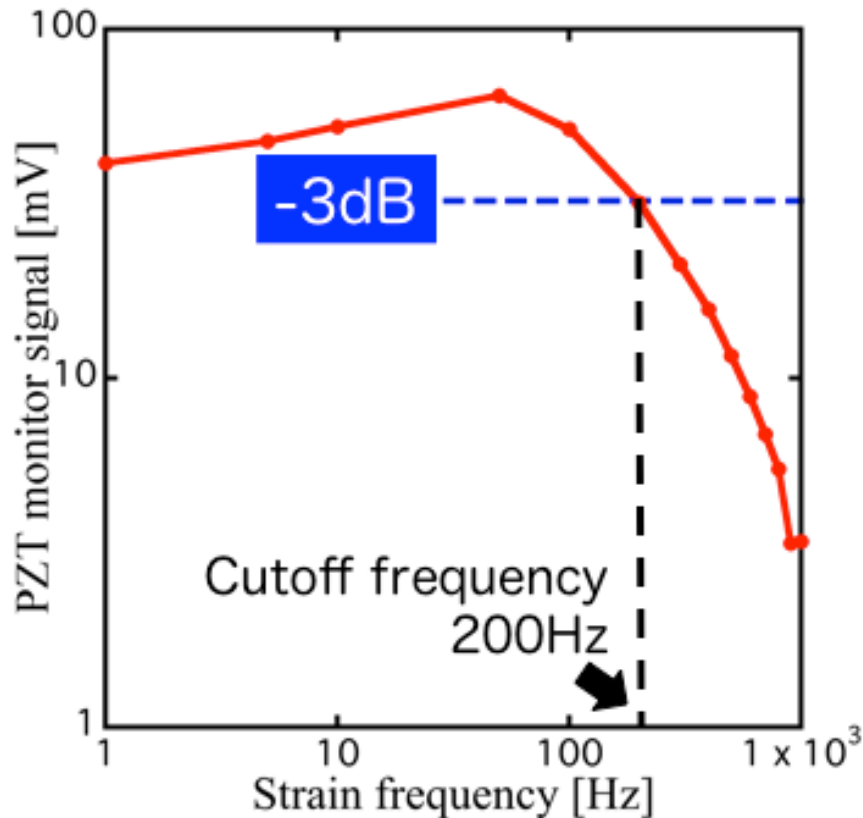
ひずみ感度	273 [mV/ μm]
電圧分解能	10 [mV]
最小変位量	37 [nm]
ひずみ付加範囲 (PZT)	20 [mm]
最小ひずみ量	1.9 [$\mu\epsilon$]
ひずみ付加範囲 (共振器全体)	2 [m]
最小ひずみ量 (理論値)	19 [n ϵ]

ひずみ計測の高感度化

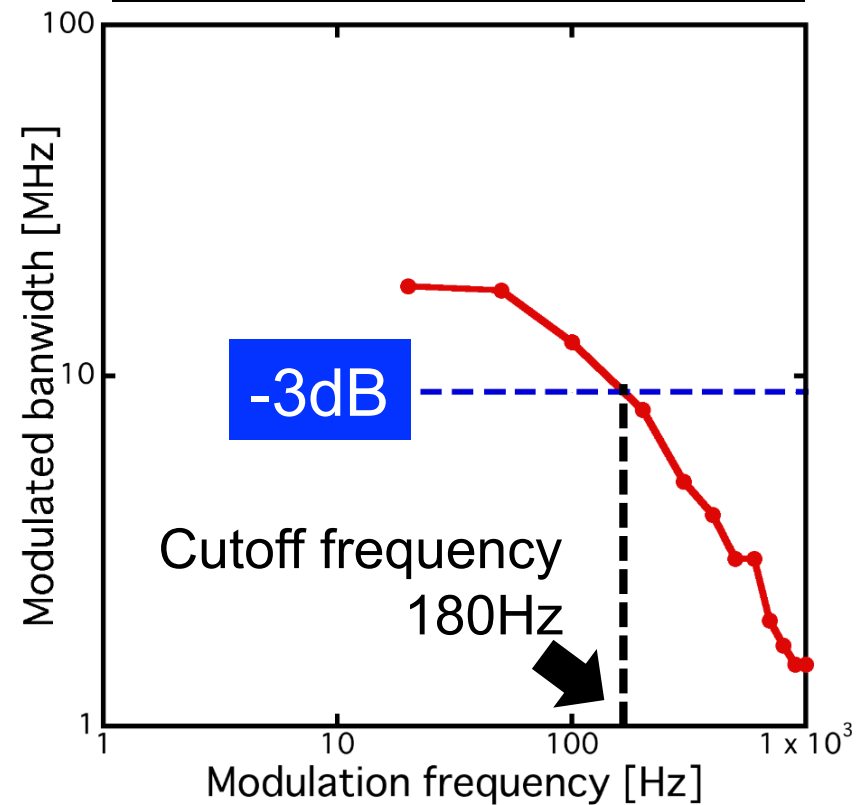


[実験結果] 動的歪み計測

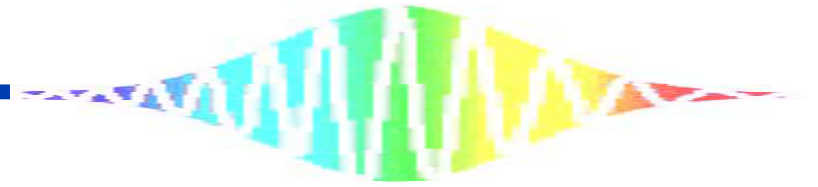
動的ひずみ計測結果



制御系周波数応答性

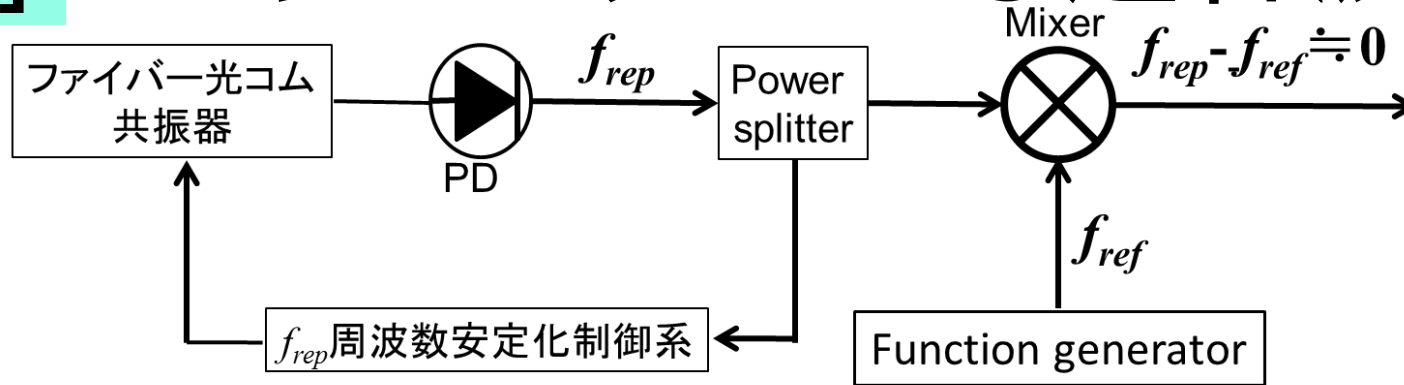


200Hzまでの動的ひずみ計測
→制御周波数応答性によって制限

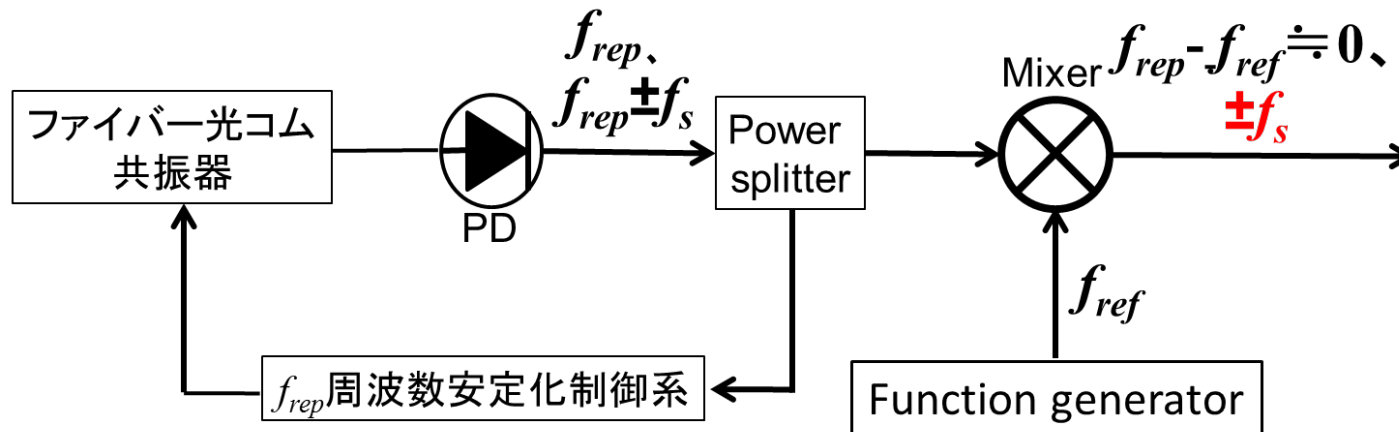


② 超音波センシング

[原理] ミキシングによる超音波検出



光ファイバーへ超音波付加(f_{rep} サイドバンド発生)

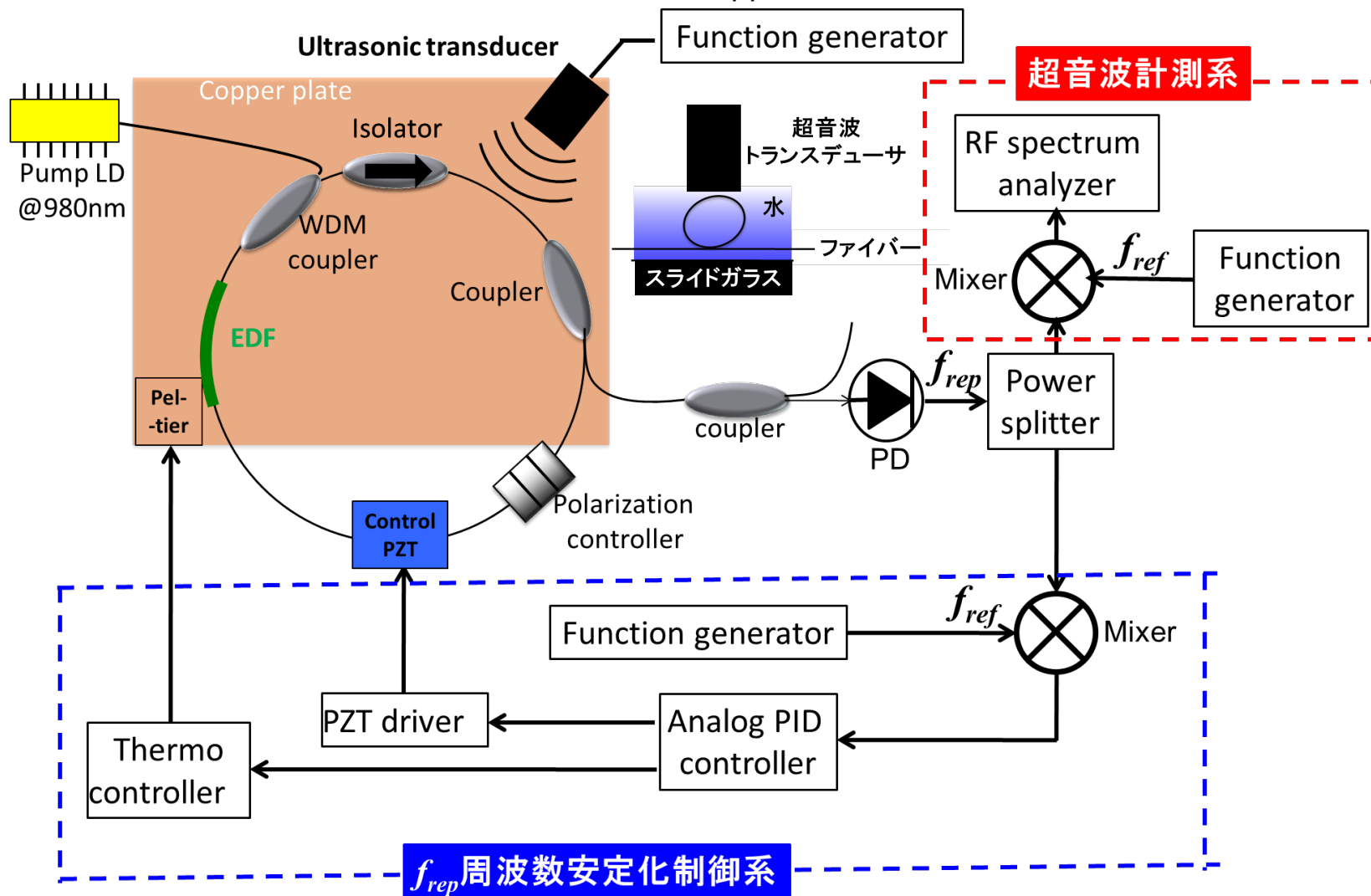


安定化制御の周波数応答に制限されない
→高周波信号を計測可能

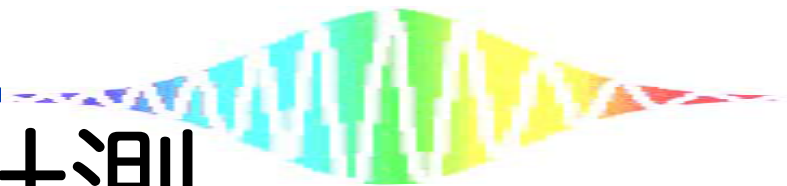
[実験装置]

超音波センシング

振幅:2.5Vpp、周波数 6~12MHz



ミキシング信号(f_{rep} と f_{ref})の出力をモニタリングする

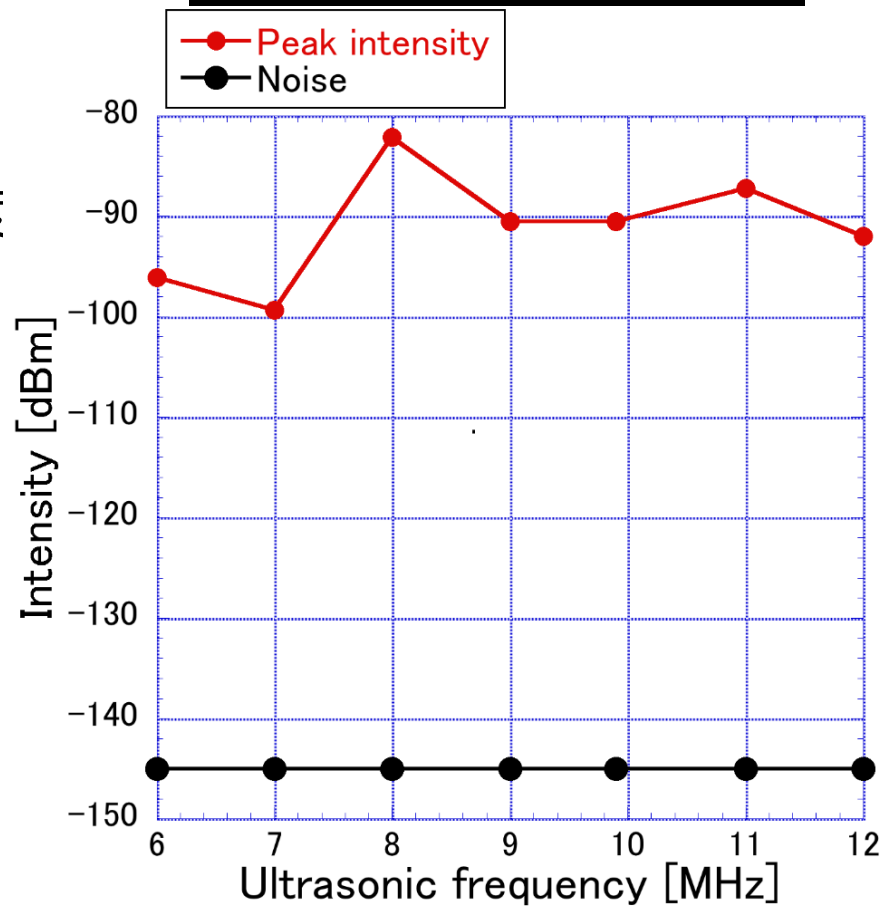
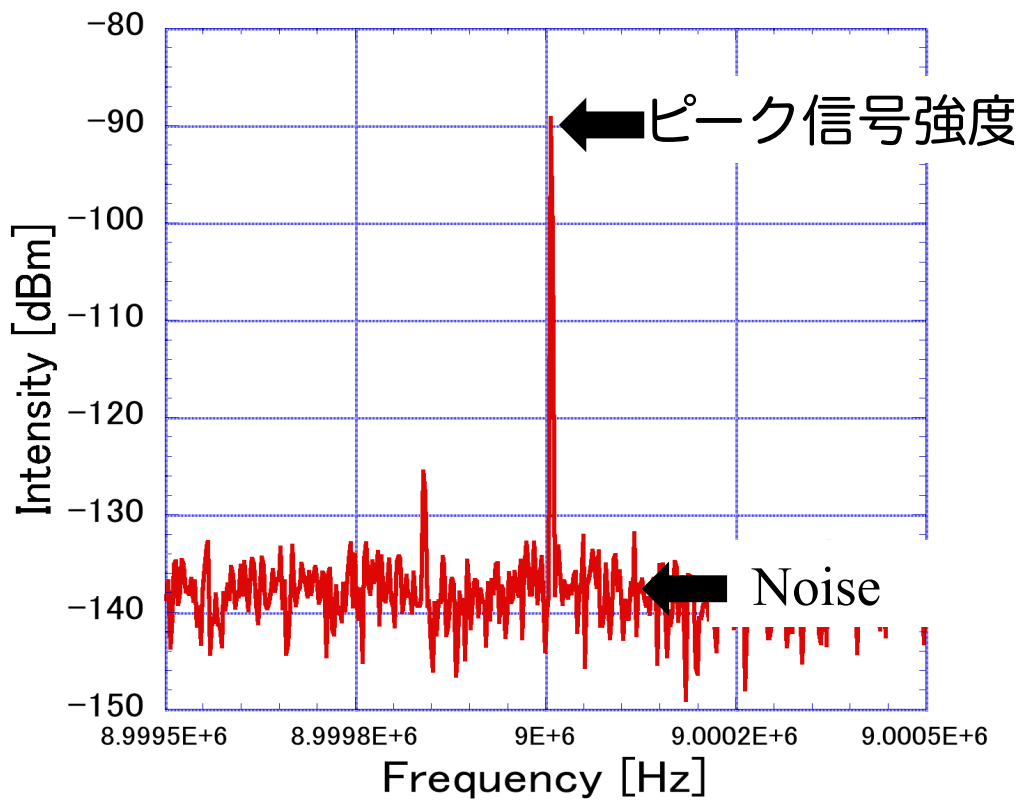


[実験結果]

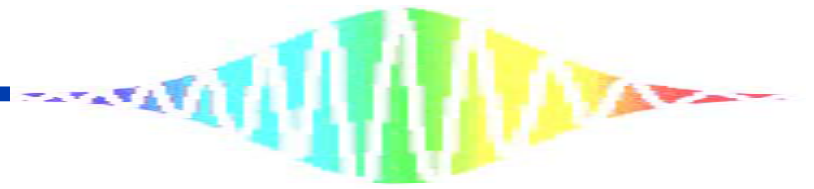
超音波計測

RFスペクトル計測結果
超音波(9MHz)

ピーク信号強度
超音波(6~12MHz)



超音波(6~12MHz)を高SN比で計測



[まとめ]

光ファイバーコムの外乱/RF周波数変換機能を用いたセンシングセンサー

ひずみセンシング

- ・ 零位法に基づいた計測手法により、高感度化を実現

超音波センシング

- ・ 十数MHzの高周波超音波計測を実証

今後、光音響イメージングのセンサーとして用いることで、更なる**高分解能・深部イメージング**に期待される。