

モノリシックマイケルソン干渉計  
の性能評価  
—京都 2011春—

道村唯太

東京大学大学院理学系研究科物理学専攻

坪野研究室 修士課程2年

# 概要

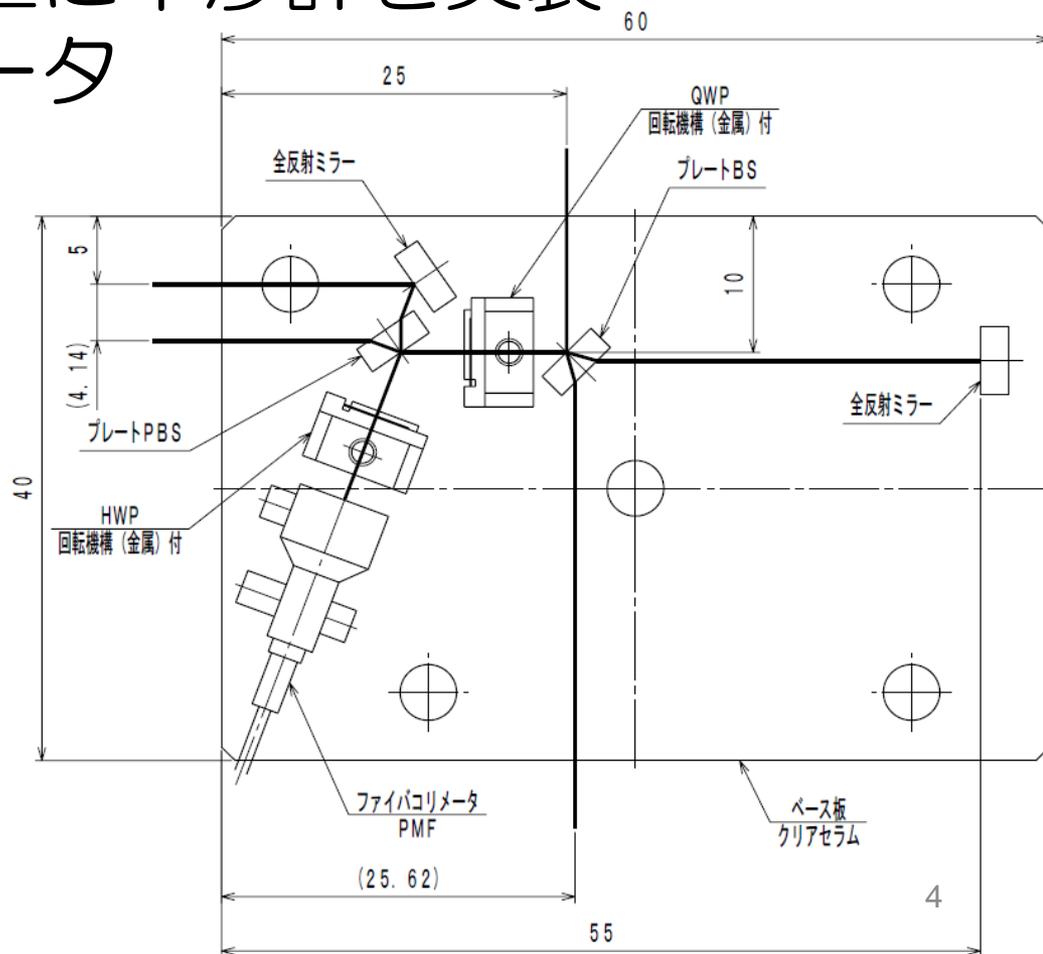
- 出張先: 京都大学 安東研
- 期間: 2011年3月23日-4月9日
- きっかけ: 地震の影響で実験できないだろうから来ない? と言われ
- 目的: 疎開
- お金: 安東さん側
  
- やったこと: 安東さんが設計したモノリシックマイケルソン干渉計の動作確認と性能評価

# 目次

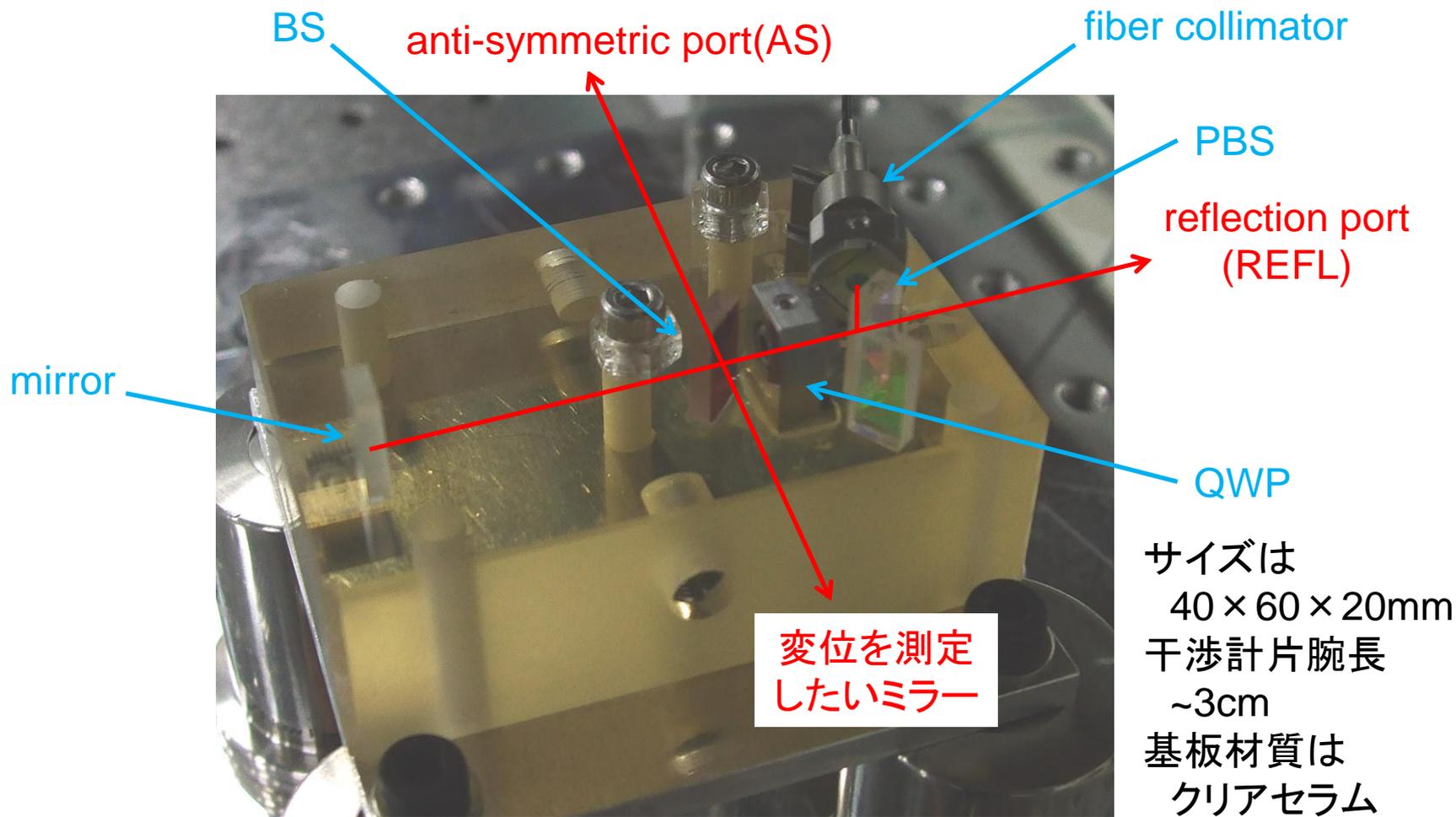
- モノリシックマイケルソン干渉計とは
- 実験装置の構成
- 現状の感度
- 各雑音とその見積もり  
強度雑音、周波数雑音、温度揺らぎ、  
電気系雑音、散射雑音
- ファイバマイケルソン干渉計の制御
- まとめ
- 京都での生活

# モノリシックマイケルソン干渉計

- モノリシックに作ったMI
- クリアセラム基板上に干渉計を実装  
ファイバコリメータ  
BS  
片腕のミラー
- 高感度変位センサ
- 散乱光雑音の評価
- 今回は動作確認と  
性能評価が目的



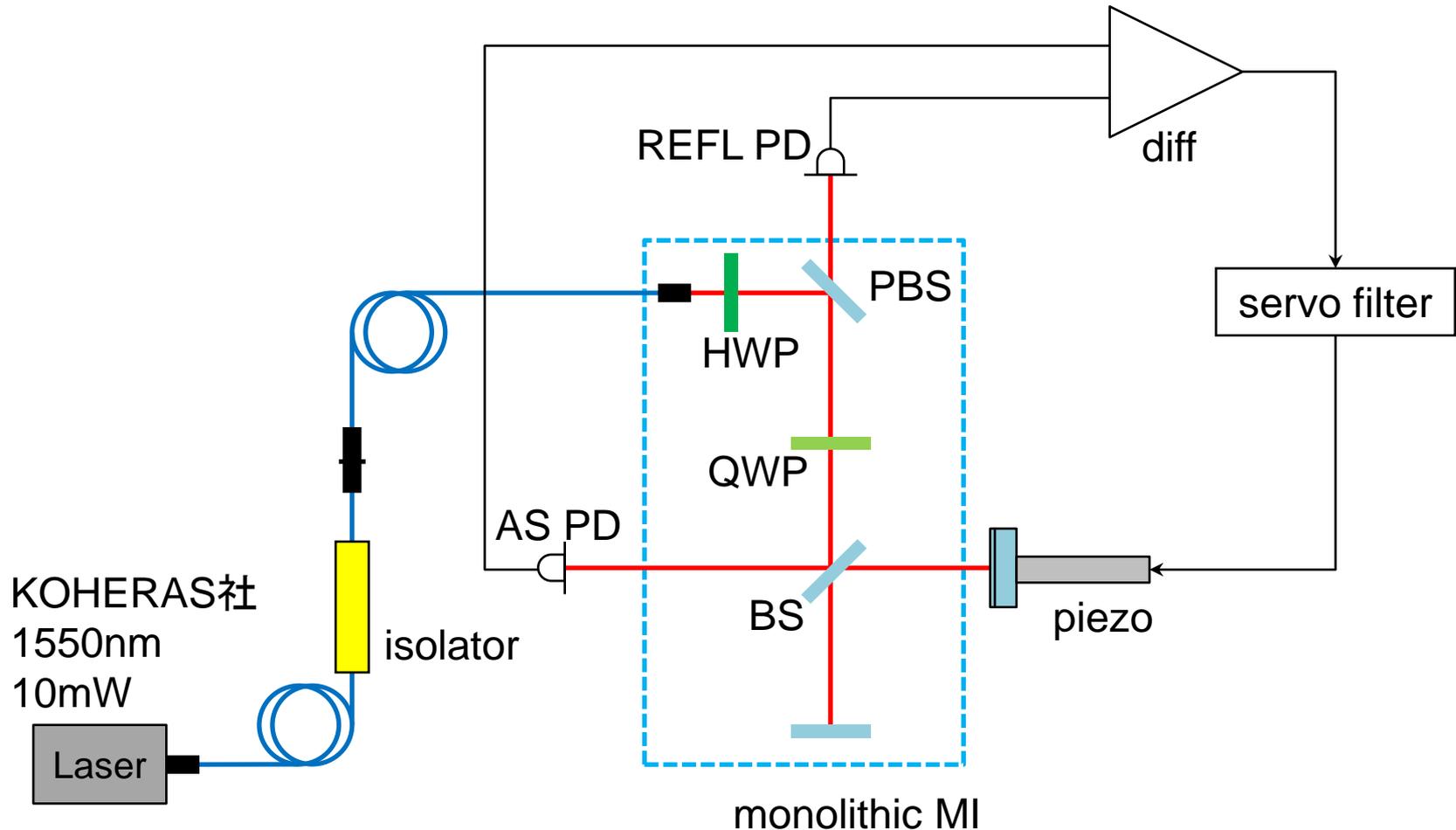
# モノリシックマイケルソン干渉計



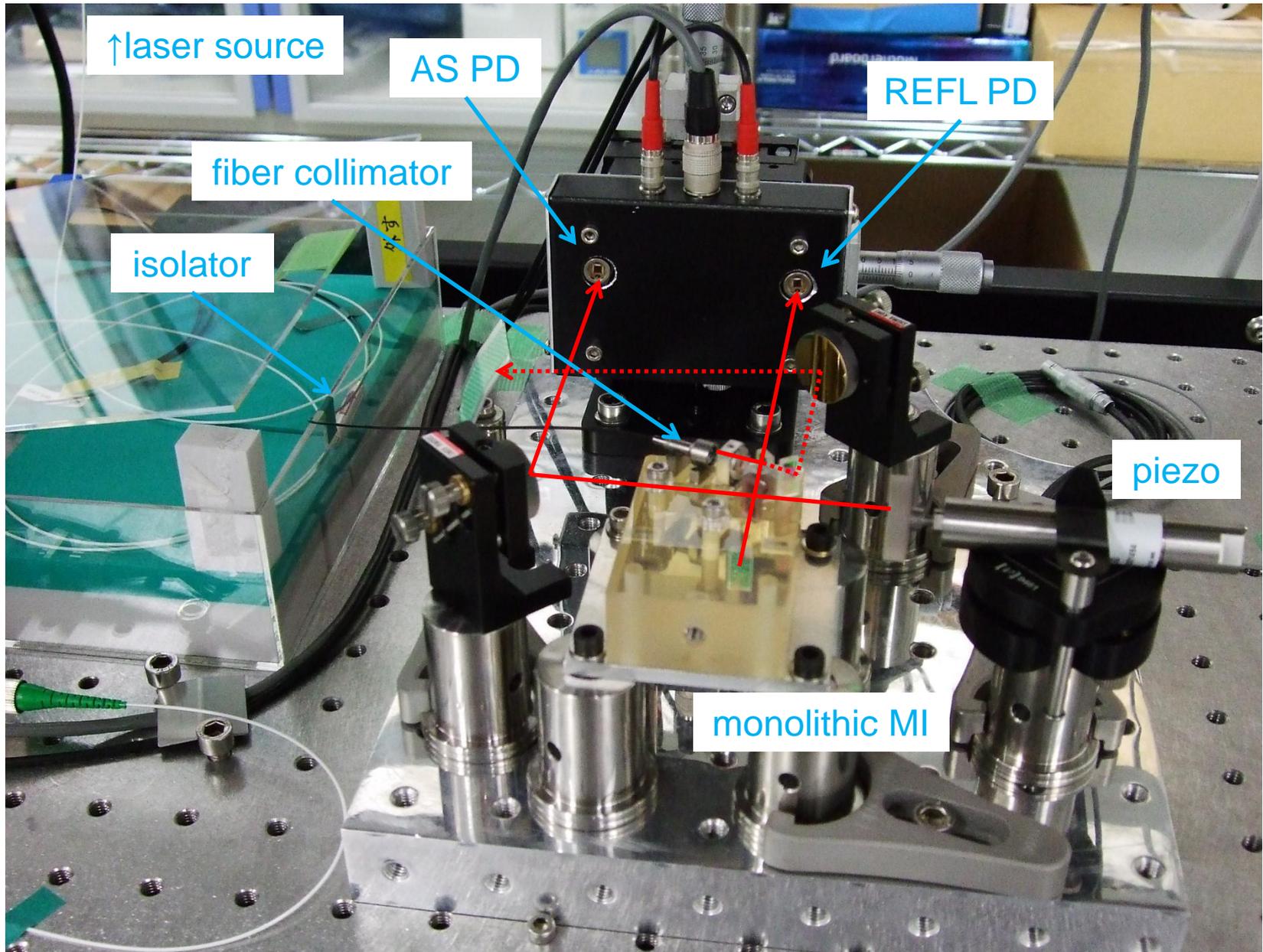
サイズは  
40×60×20mm  
干渉計片腕長  
~3cm  
基板材質は  
クリアセラム  
ミラーなどは  
合成石英

# 実験装置の構成

- 差動MIとしてmid-fringeでロック

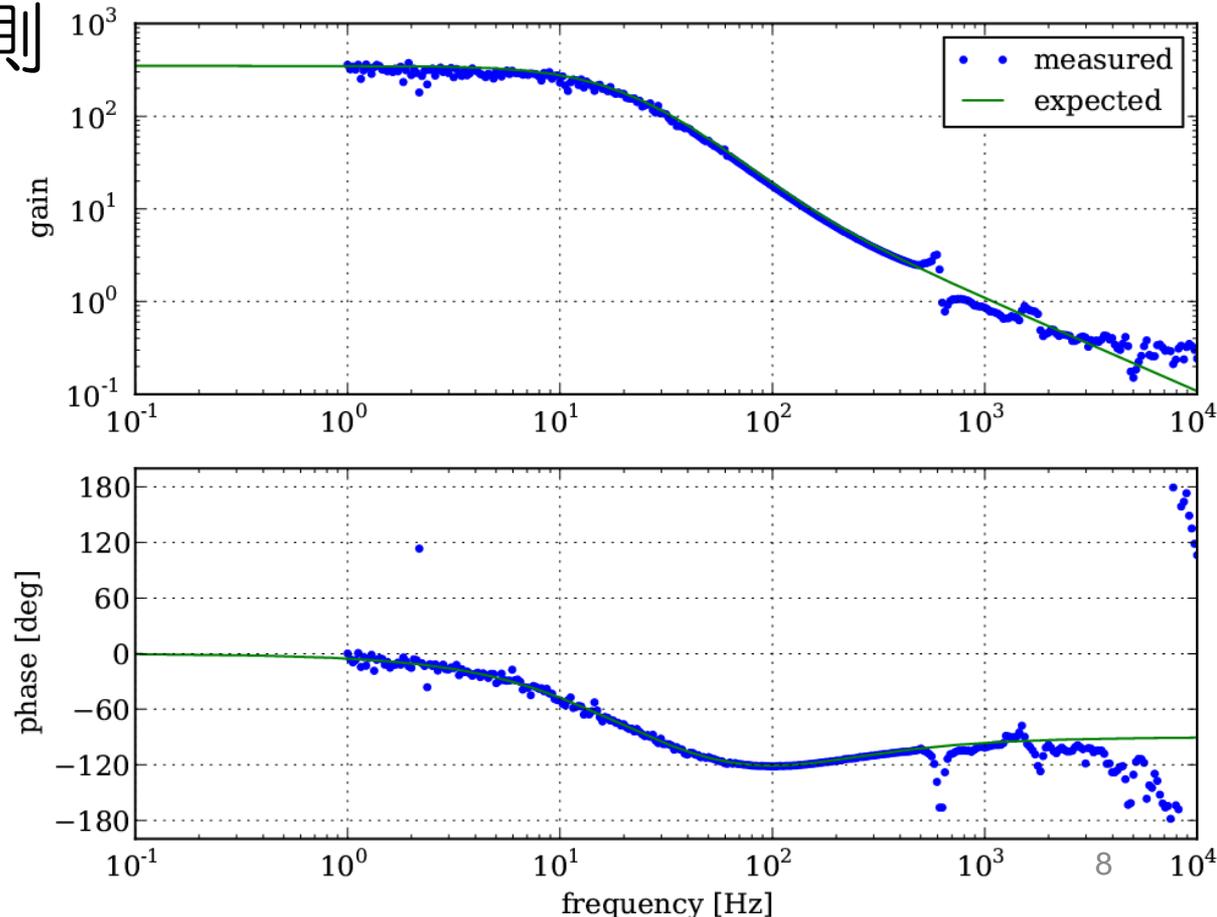


# 実験装置の構成

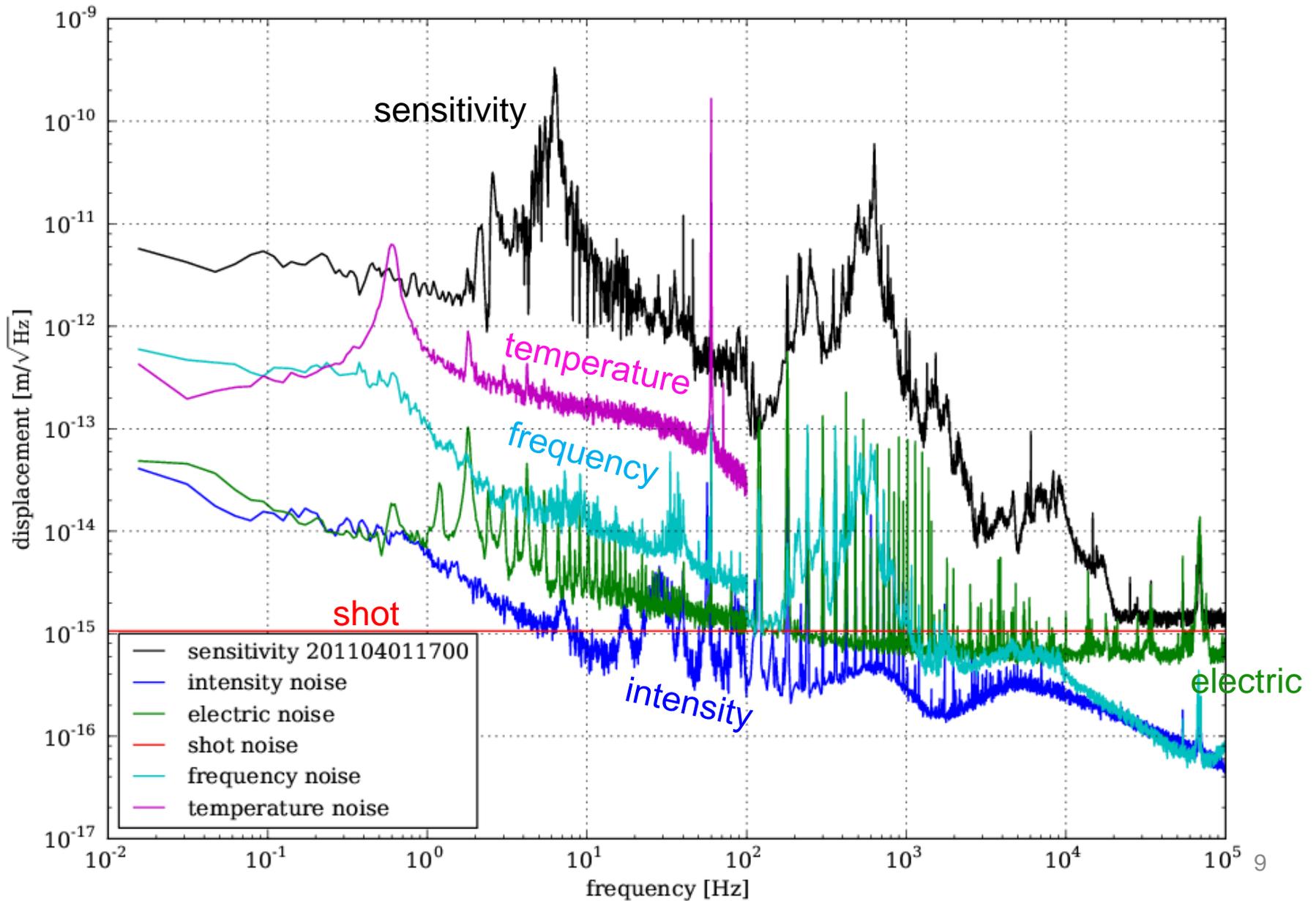


# オープンループ伝達関数

- 実線は理論値(フィッティングなし)
- フリンジを見てPZTの効率(m/V)、MIの感度(V/m)を実測
- UGF  
1kHz
- 位相余裕  
84 deg
- DCゲイン  
50dB

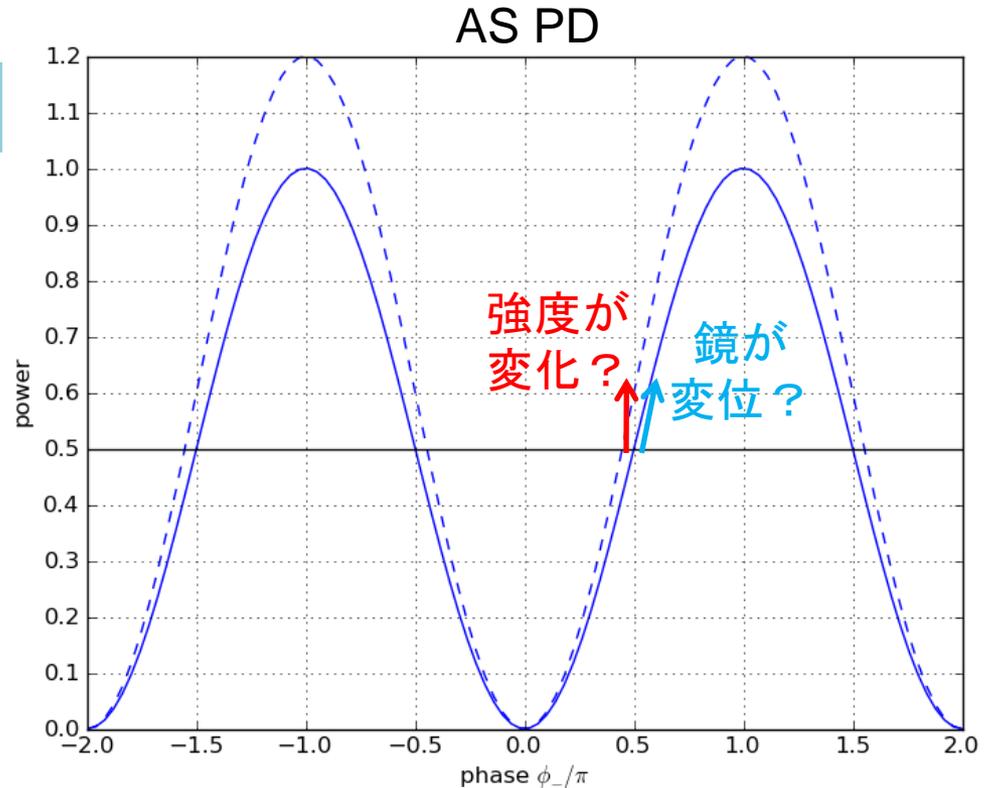
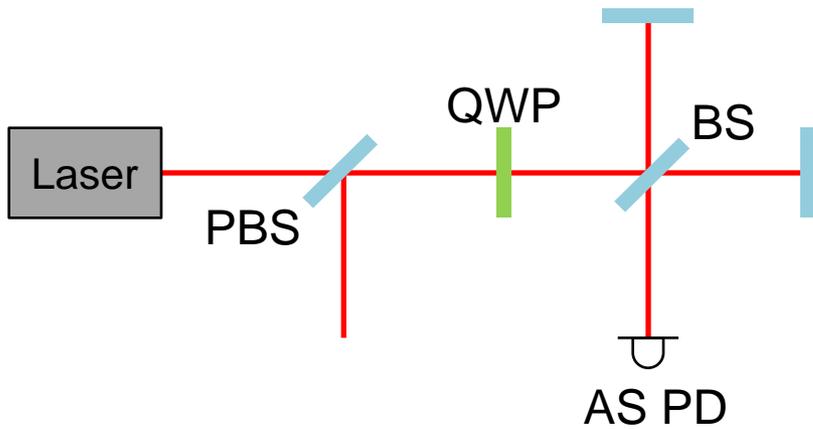


# 現状の感度



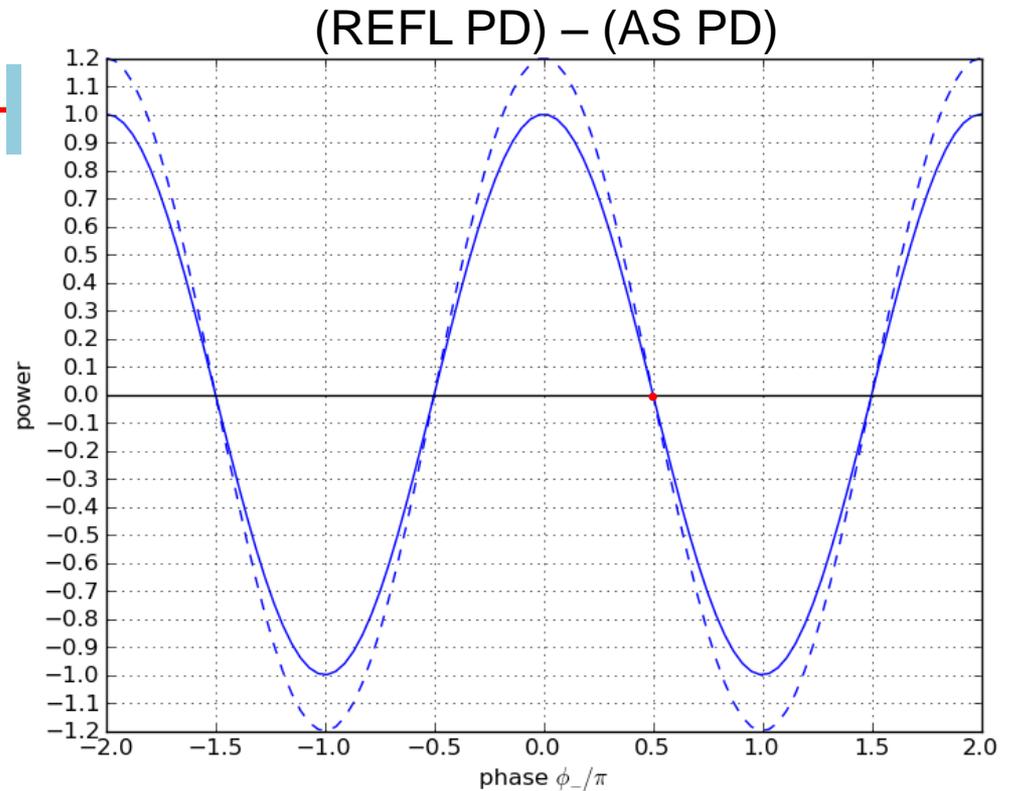
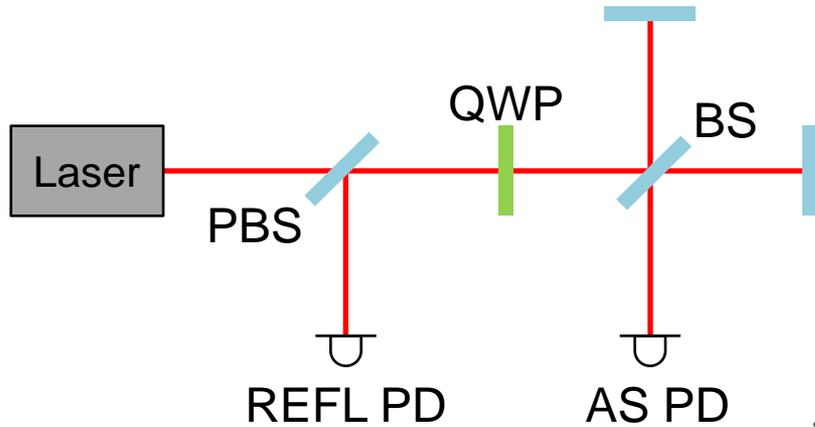
# MIと強度雑音

- レーザーの強度変動と変位を区別できない

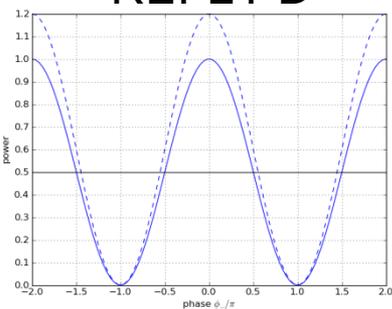


# 差動MIと強度雑音

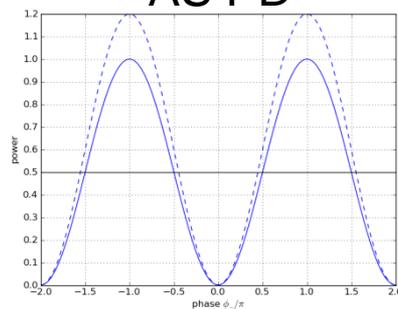
- 0にロックしている限り強度変動は見えない



REFL PD



AS PD



# 強度雑音の見積もり

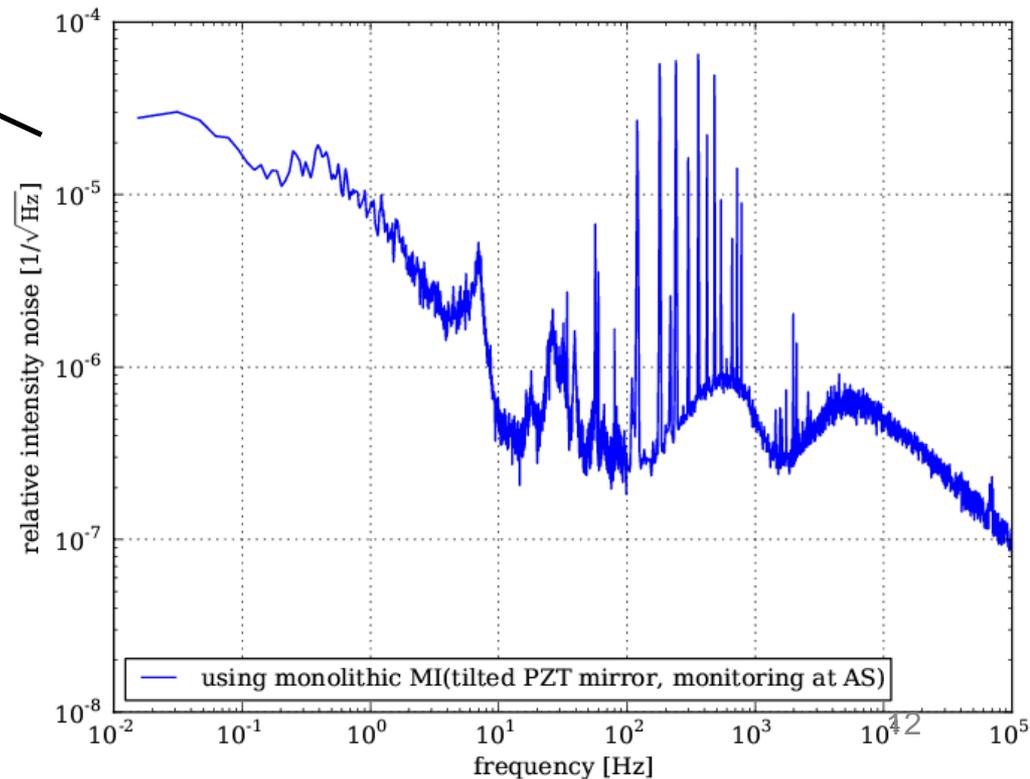
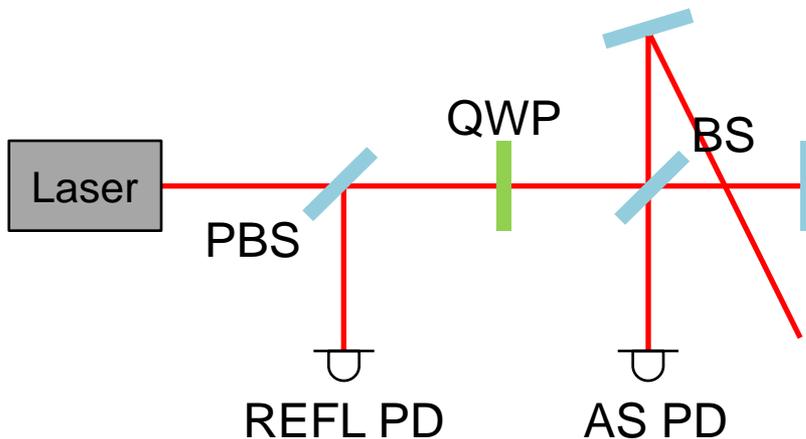
- 実際は0からずれるので強度雑音がある
- piezoの方のミラーを傾けて、強度雑音測定

- $$V_{\text{int noise}} = \frac{dP}{P} V_{\text{offset}}$$

← ロック時のオフセット

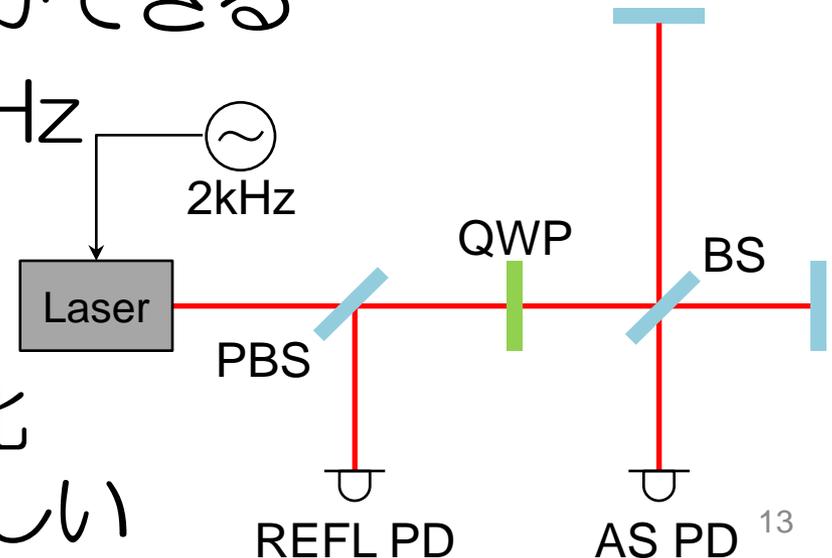
← RIN

- 測定方法を変えると変わる.....



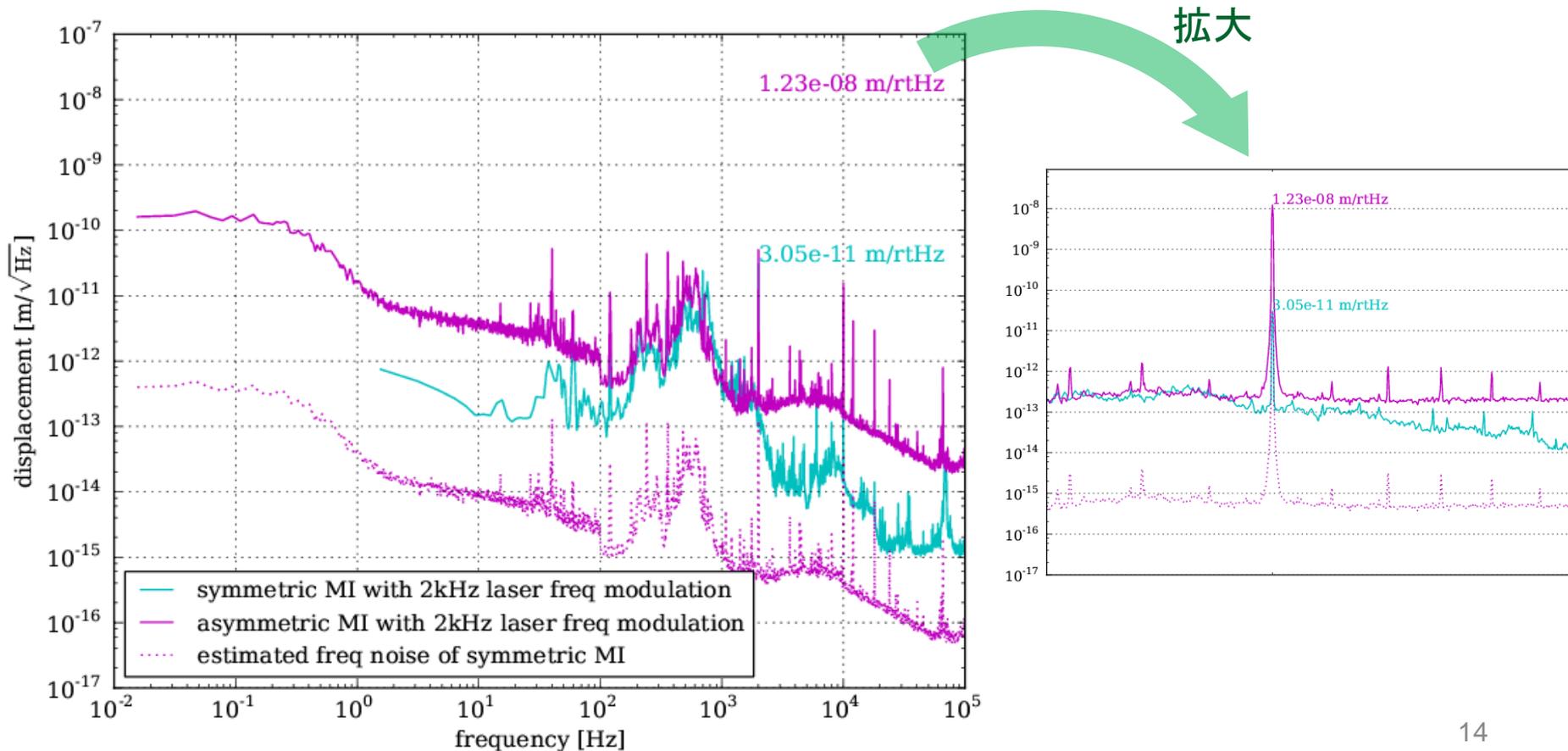
# MIと周波数雑音

- MIは位相差を検出する
- レーザーの周波数(波長)が変化しても、両腕の長さが等しければ、位相差は変わらない  
→つまり周波数雑音は見えない
- 逆にわざと非対称を大きくすることで、周波数雑音を測定することができる
- レーザーのpiezoに2kHzで周波数変調
- (ほぼ)対称、非対称で2kHzピークの高さの比が、非対称性の比に等しい



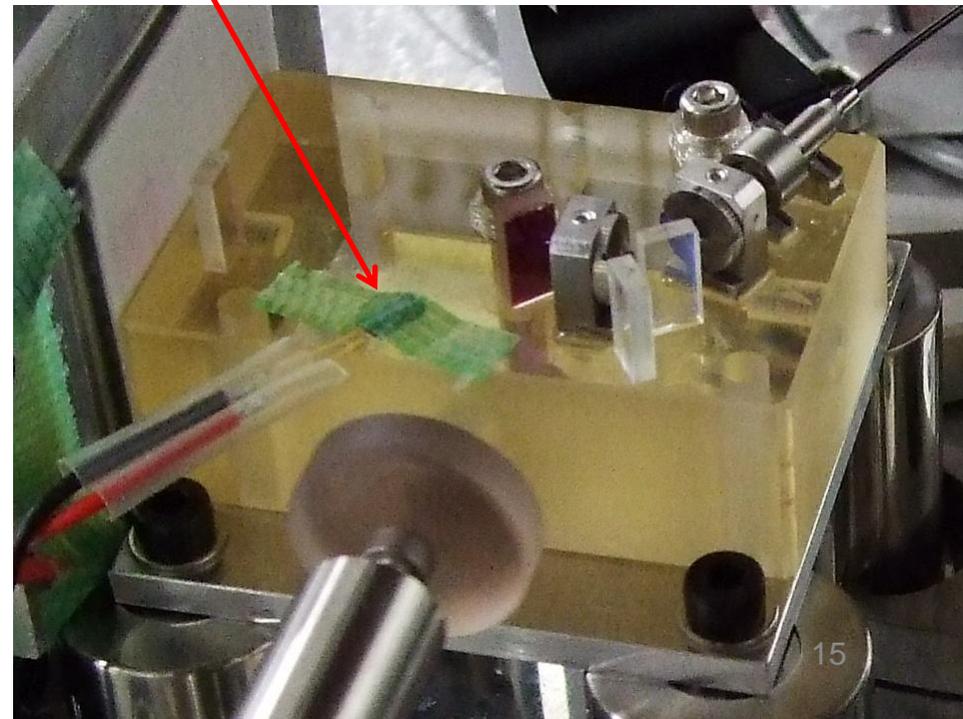
# 周波数雑音の見積もり

- 非対称 $\sim 18\text{cm}$ にしたのでもともとは非対称 $\sim 0.4\text{mm}$ だったという計算.....



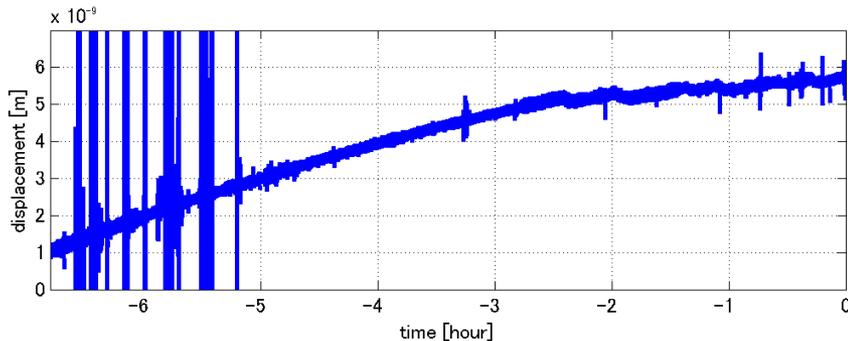
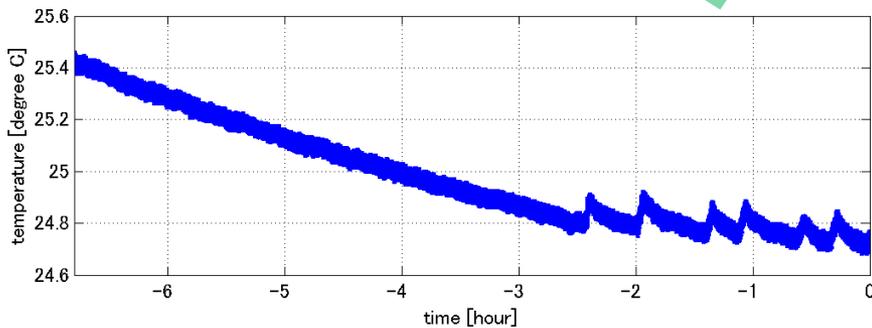
# MIと温度揺らぎ

- 温度が揺らぐと距離が揺らぐ
- クリアセラムは熱膨張係数 $<10^{-7}$  /K
- モノリシック基板上にAD590(temperature transducer)



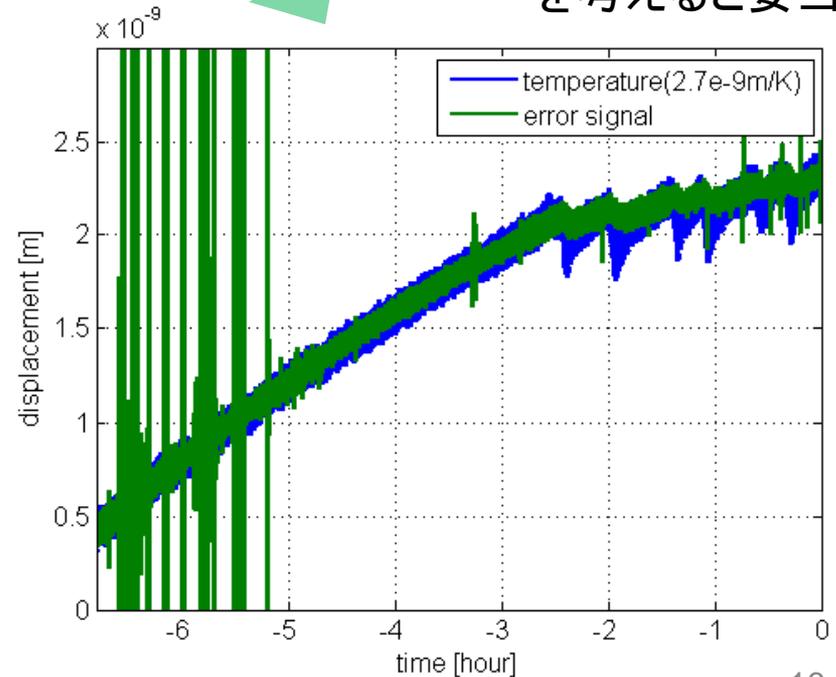
# 熱膨張係数の測定

- 温度とエラー信号のドリフトから、温度から変位への変換係数を見積もる



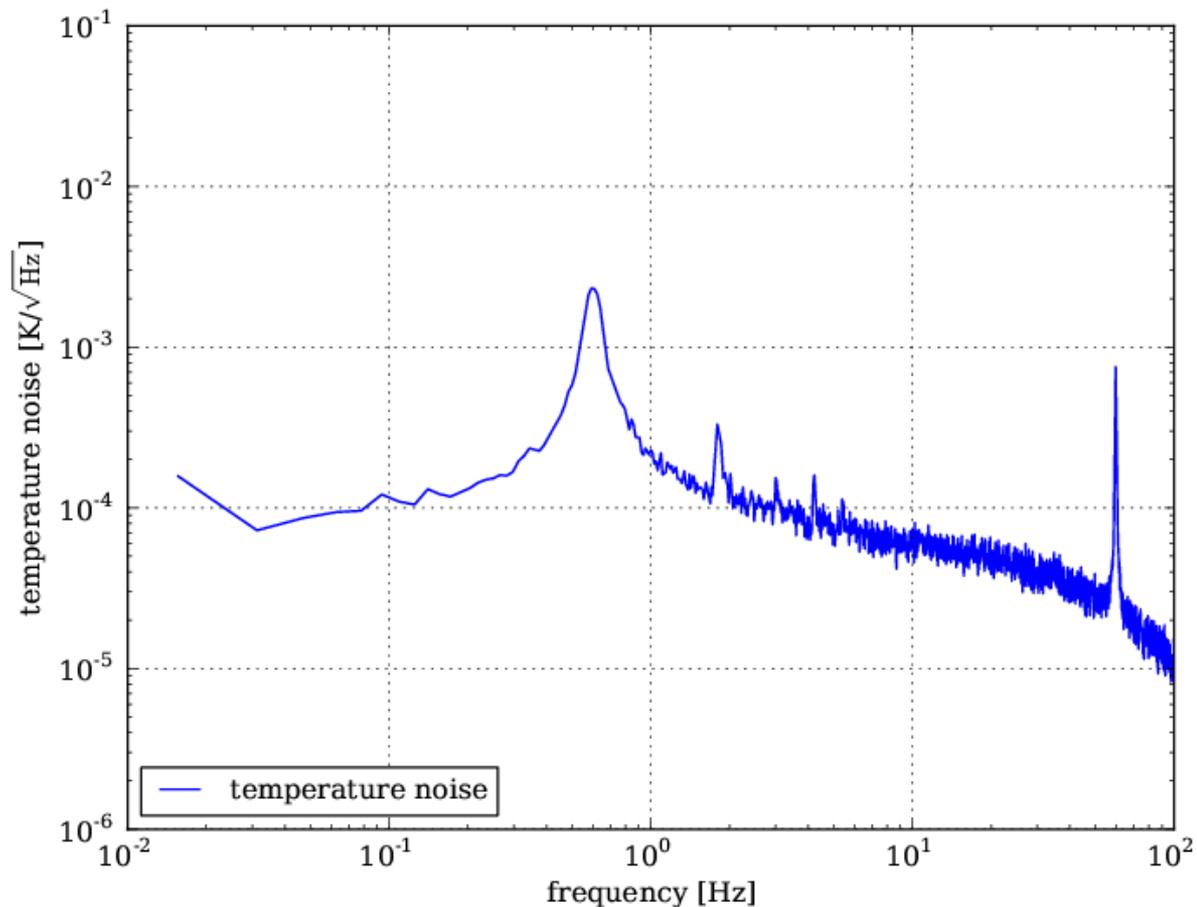
2.7e-9 m/K

クリアセラムの熱膨張係数1e-7 /Kで、腕の長さ3cmを考えると妥当？



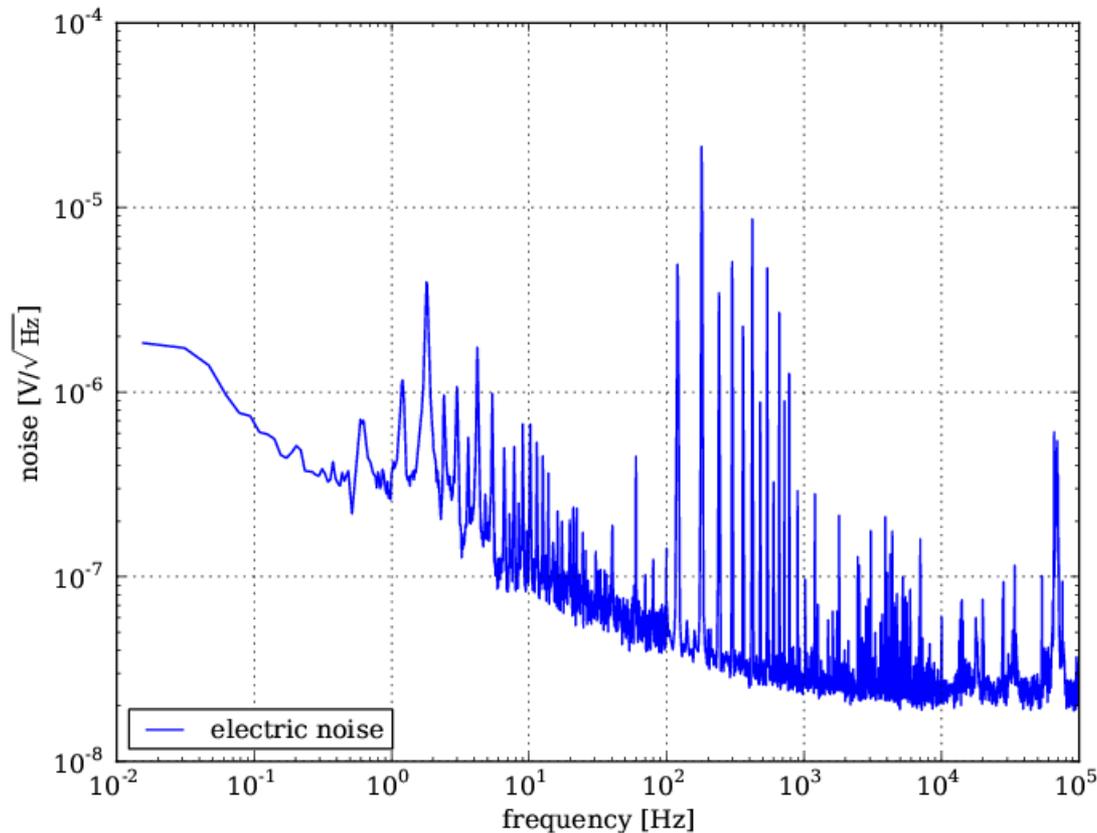
# 温度揺らぎのスペクトル

- $2.7e-9$  m/Kで変位へ換算
- 0.6Hzあたりに謎のピーク



# 電気系雑音

- 特にPDのノイズ
- 光源からファイバを抜いた状態でエラー信号のスペクトルを測定



# 散射雑音

- PDに到達する光子の数が量子論的に揺らぐ
- 1つのPDに対して  $V_{\text{shot}} = \sqrt{2ei_{\text{PD}}R}$

光電流  $V_{\text{PD}}/R$

PD回路の電流電圧変換用抵抗

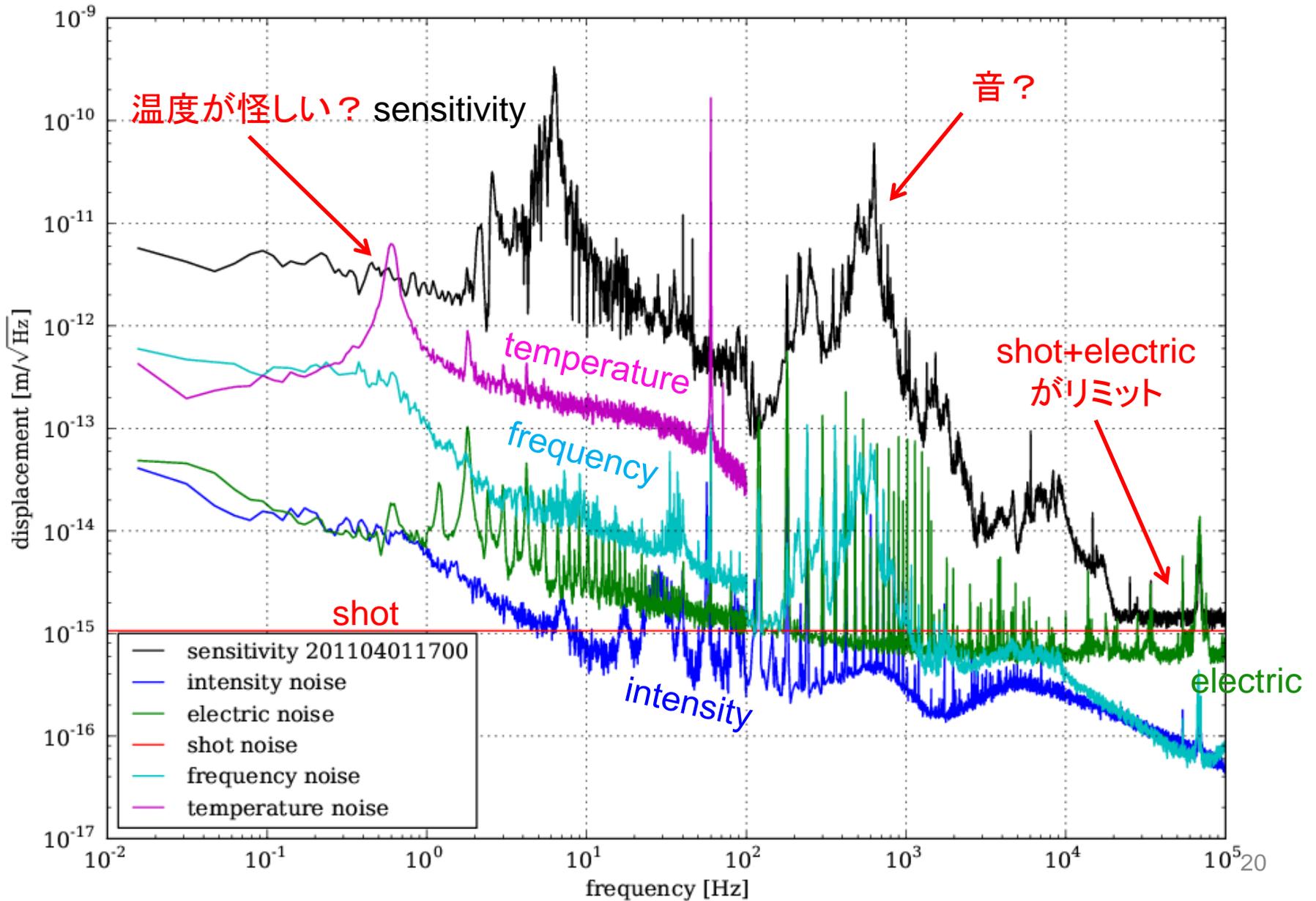
- 今回は2つの差動なので

$$V_{\text{shot}} = \sqrt{2e(g^2 V_{\text{REFL}} + V_{\text{AS}})R}$$

REFLとASの差動を取るときの調整用ゲイン

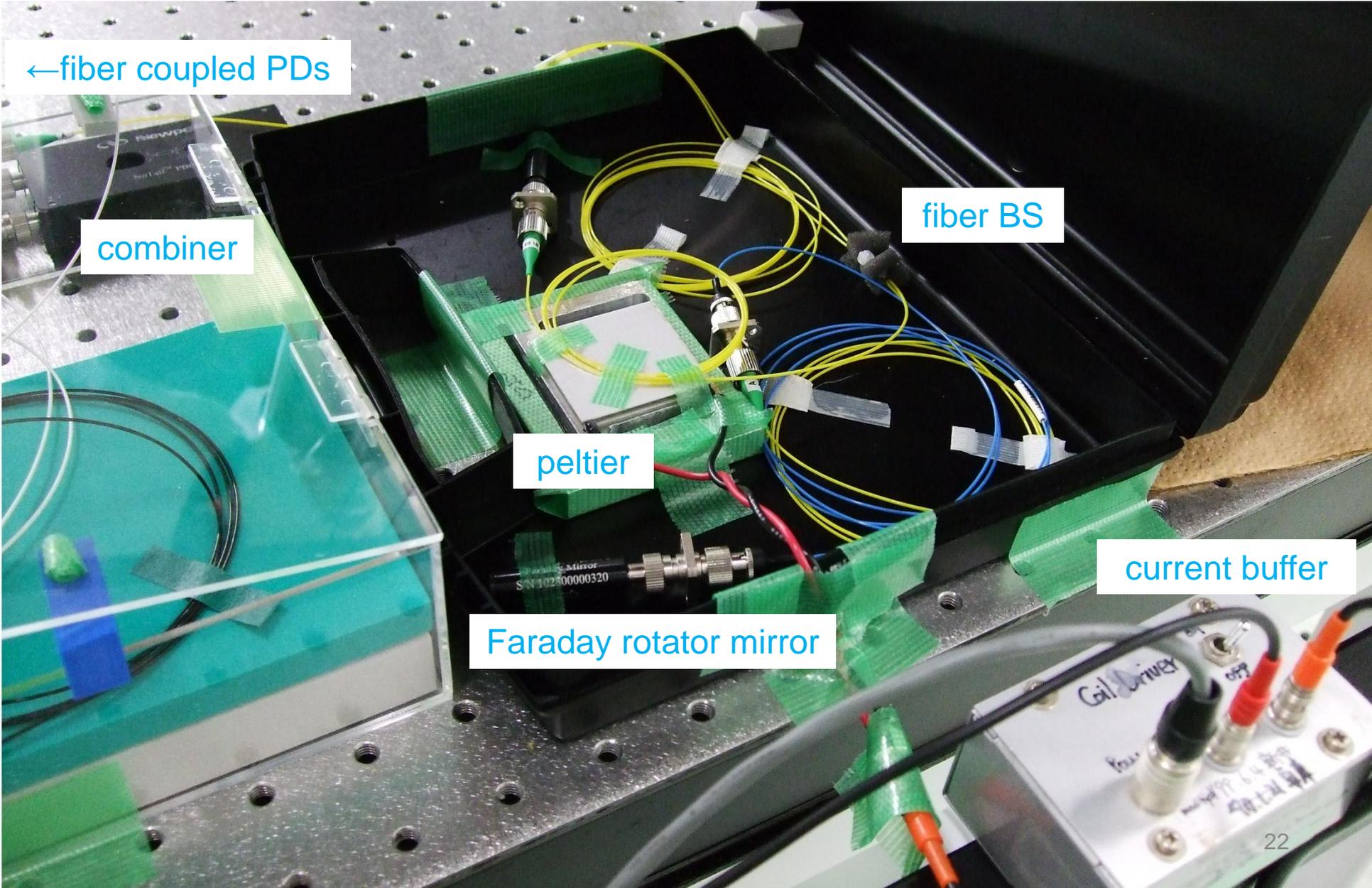
- 計算すると  $1.1e-15 \text{ m}/\text{rtHz}$

# 現状の感度





# ファイバMIの制御



← fiber coupled PDs

combiner

fiber BS

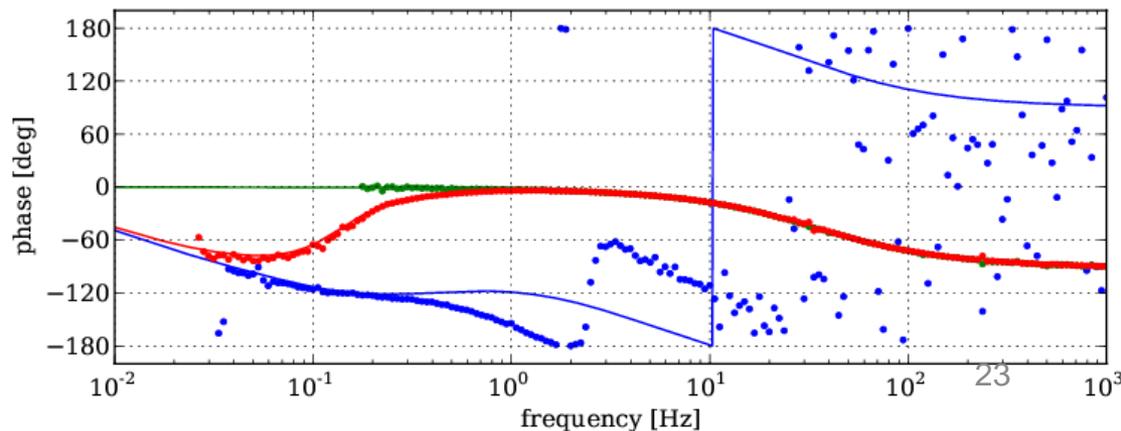
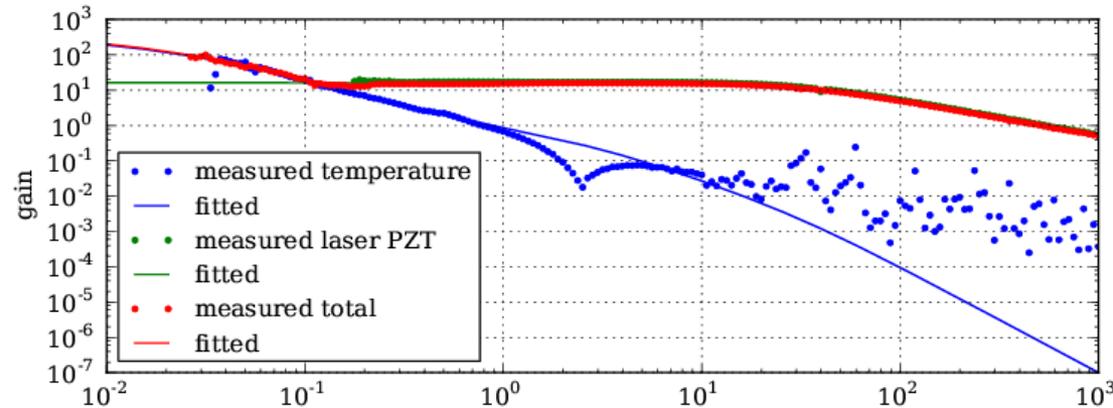
peltier

current buffer

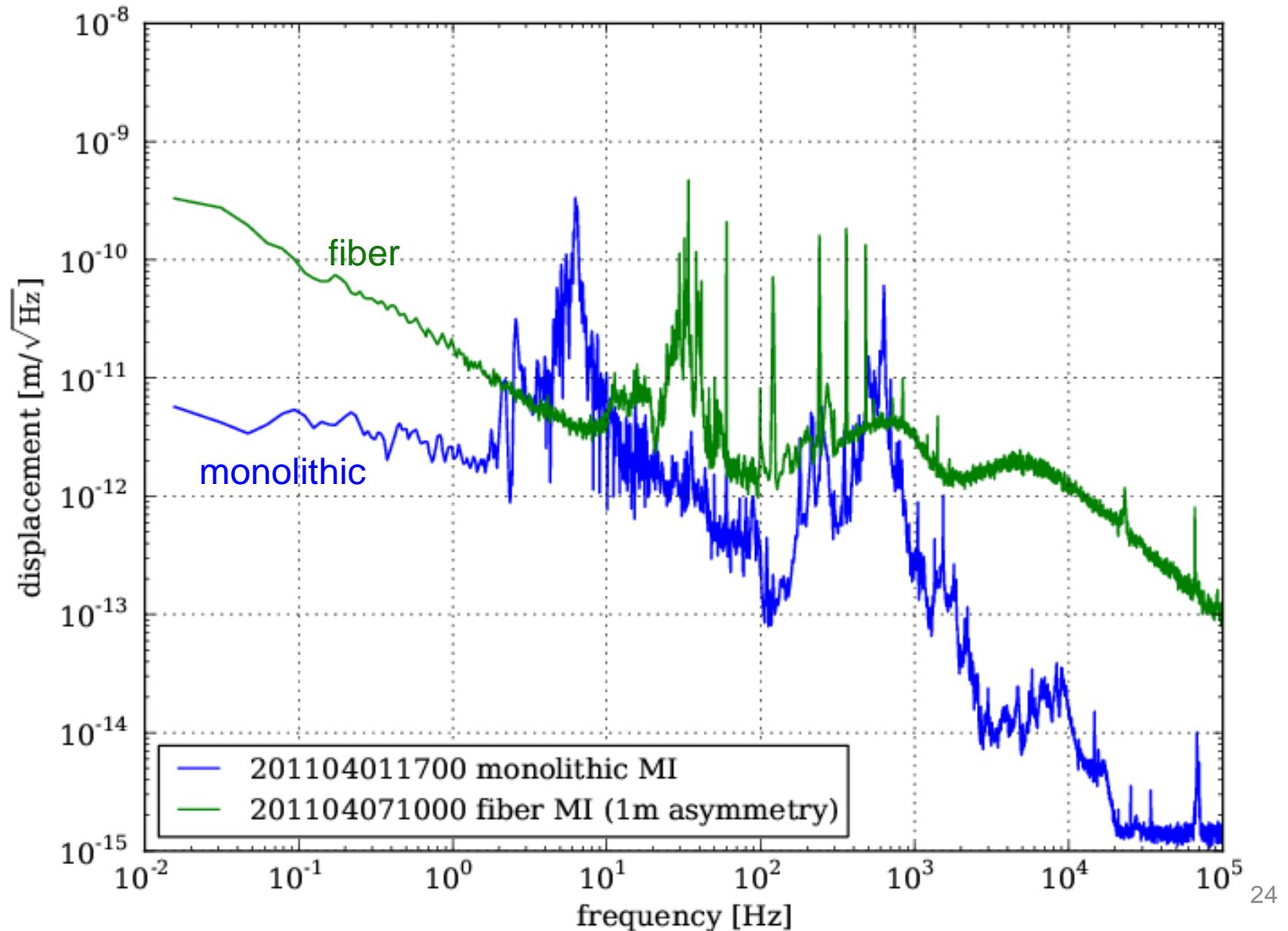
Faraday rotator mirror

# オープンループ伝達関数

- レーザー周波数のを $G_{\text{laser}}$ 、温度のを $G_{\text{temp}}$ とすると全体のは $G = G_{\text{laser}} + G_{\text{temp}}$
- $G$ が安定なら個々が安定でなくても安定
- 今回はどちらも安定だが
- tempのループが謎  
2次遅れの系？



# ファイバMIの感度



# まとめ

- モノリシックマイケルソン干渉計の感度を出し、とりあえず各雑音の見積もりを行った  
強度雑音、周波数雑音、温度揺らぎ、  
電気系雑音、散射雑音
- 周波数安定化に必要なファイバマイケルソン干渉計の制御を行った
- 今後は  
もっと雑音のふるまいを理解  
真空中/デシケータ中での感度  
強度/周波数安定化(高橋さんのを引き継ぐ)  
神岡？

# 安東さんの研究室

- 吉田キャンパス北部構内
- 理学研究科5号館の北館  
→吉田キャンパスの一番北
- 3階に居室、1階に実験室

理学研究科5号館(北館)



居室



実験室



実験室

# 京都での生活

- 北白川学舎(徒歩10分)
- 余震感じず、電気も使いたい放題(60Hz)
- エスカレーター、エレベーターが動いてる！
  
- 毎週金曜日10:30-昼にGGゼミ(天体核)
- 4月に入るとその後ランチセミナー(1時間)、コロキウム(3時間)と続く
- 学生も多く、とてもよい雰囲気
  
- お花見シーズン

下鴨神社(3/24)



嵐山(4/3)



平野神社(4/3)



哲学の道(4/7)



龍安寺(4/3)



円山公園(4/7)



御苑(4/9)



鴨川(4/9)



本満寺(4/9)



六角堂(4/9)