

---

# 光共振器における輻射圧による 角度反バネ効果の測定

阪田 紫帆里

2009年6月5日 重力波研究交流会

# 目次

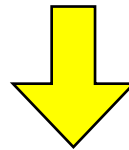
---

1. イントロダクション
2. 理論
3. 実験セットアップ
4. 実験
5. 結果
6. まとめ

# 1. イントロダクション

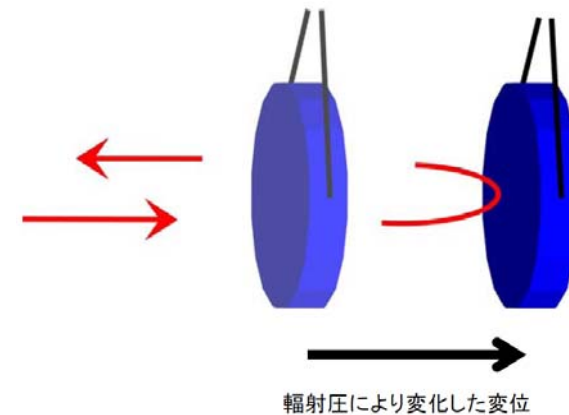
## ■ 次世代型重力波検出器では

- › 感度向上のために、さらなる高パワー共振器をもつ干渉計を組立予定
- › 高パワーにより輻射圧による不安定性が問題となる



## ■ 輻射圧により角度方向に不安定性が生じるだろう

- › 本発表ではこの効果の測定を発表する



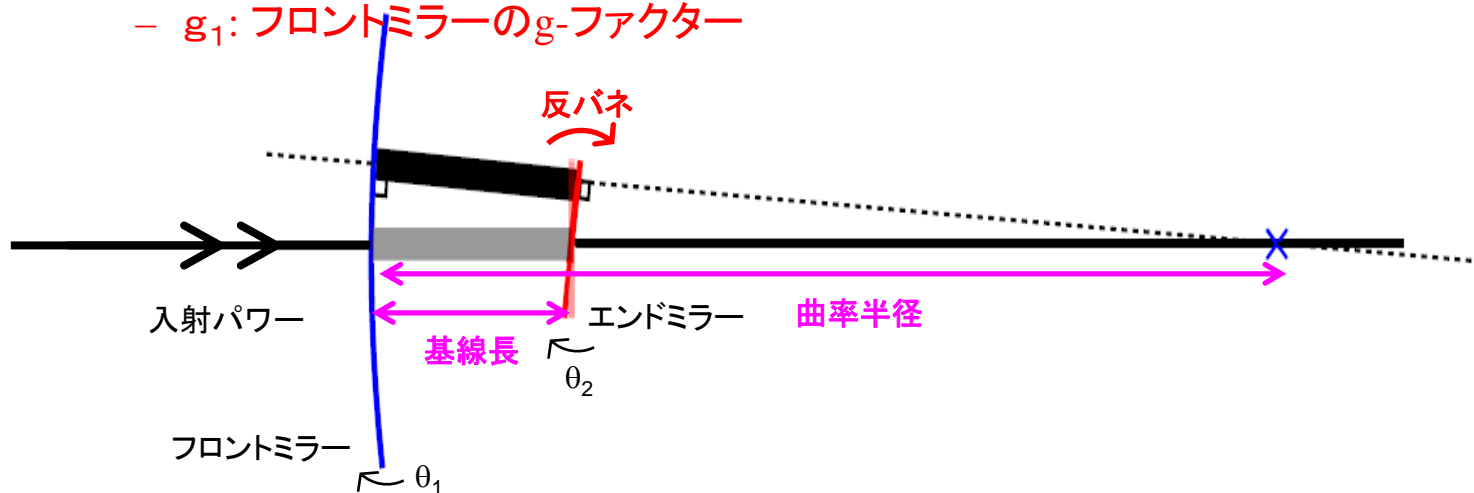
## 2. 輻射圧による角度反バネ効果の原理

### ■ 光の輻射圧力による反バネ効果のメカニズム

- ≫ 鏡の揺れにより共振軸が鏡の重心からずれる
  - 輻射圧により回転方向の傾きが増大する→ 反バネ効果

≫ 運動方程式 
$$I_{\theta_2} \ddot{\theta}_2 = -k_{\text{opt}} \theta_1 - \underbrace{(-k_{\text{opt}} g_1)}_{\text{反バネ効果}} + \underbrace{k_{\theta_2}}_{\text{復元力}} \theta_2$$

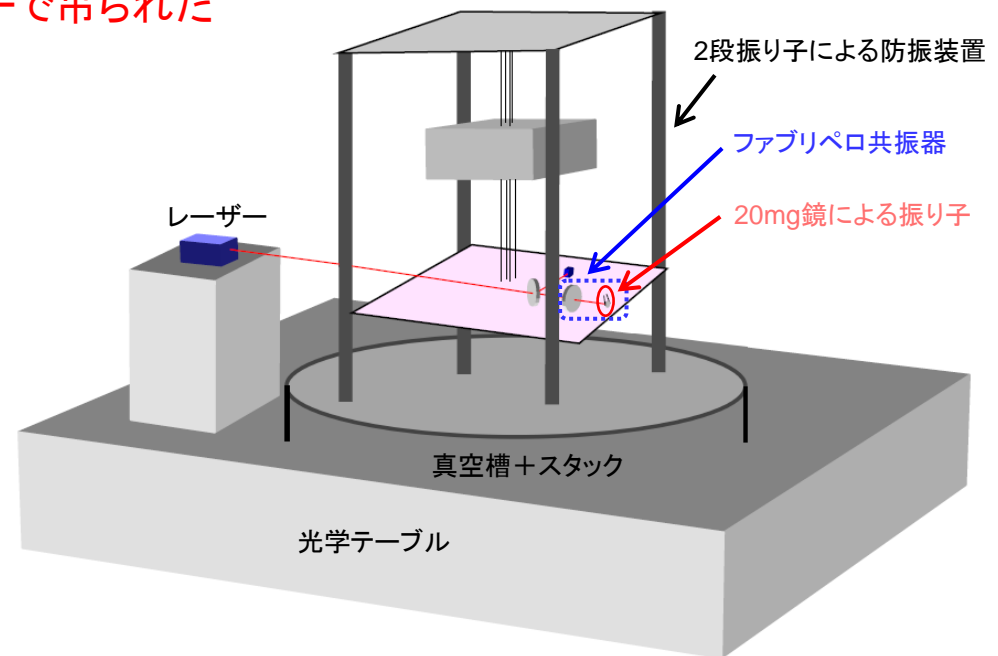
- $I_{\theta_2}$ : エンドミラーの回転方向の慣性モーメント
- $k_{\text{opt}}$ : 輻射圧による反バネ定数
- $g_1$ : フロントミラーのg-ファクター



# 3. 実験セットアップ

## ■ 実験セットアップ

- › 2段振り子による防振装置
- › 真空槽内に設置されたファブリペロ共振器
  - 直径 $10\mu\text{m}$ 石英ファイバーで吊られた  
20mg鏡による振り子

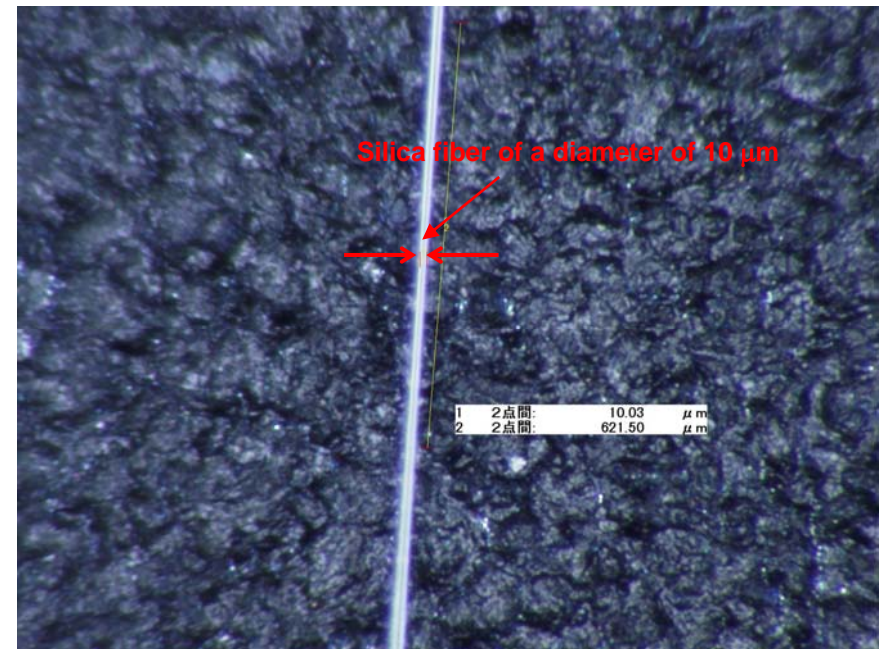


# 20 mg鏡と10 $\mu\text{m}$ 石英ファイバー

- 直径3mm、厚さ1.5mmの20mg鏡



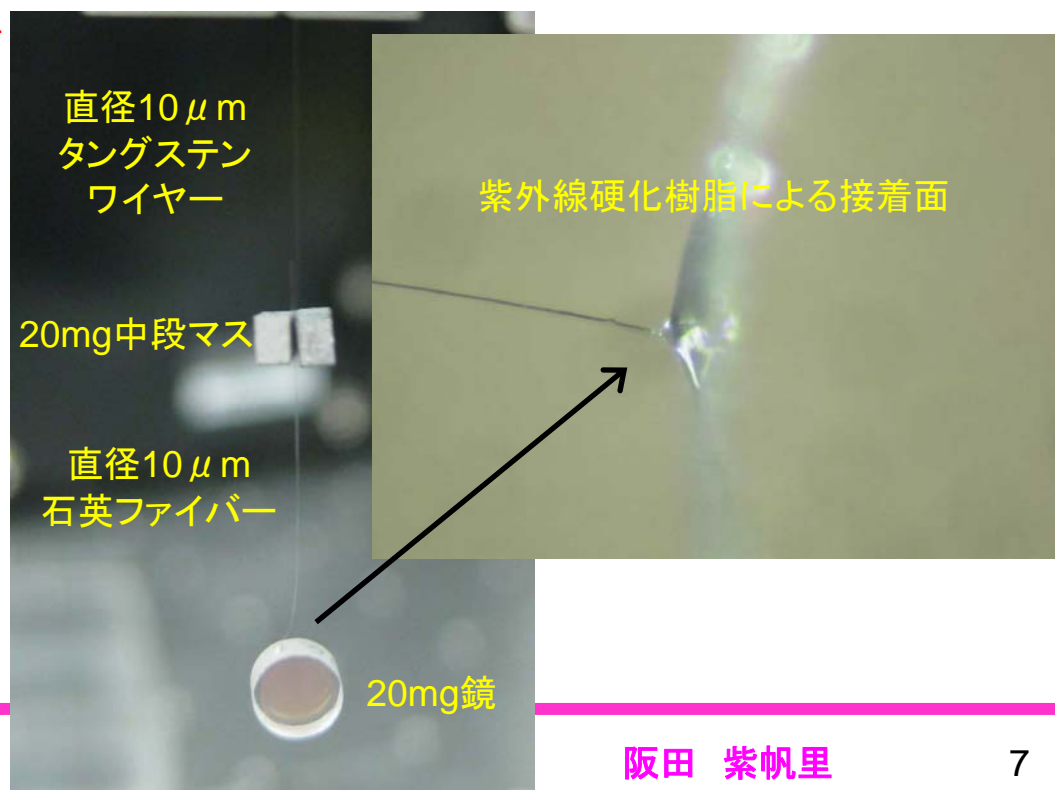
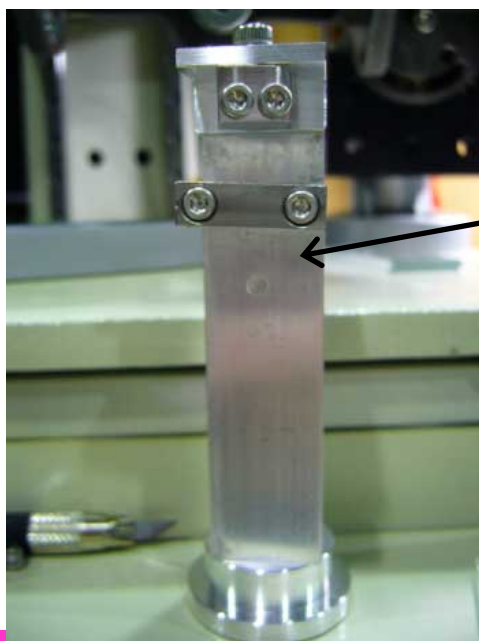
- 直径10  $\mu\text{m}$ の石英ファイバー



# 直径10 $\mu\text{m}$ 石英ファイバーで吊られた 20mg鏡による振り子

## ■ 20mg鏡を持つ2段振り子

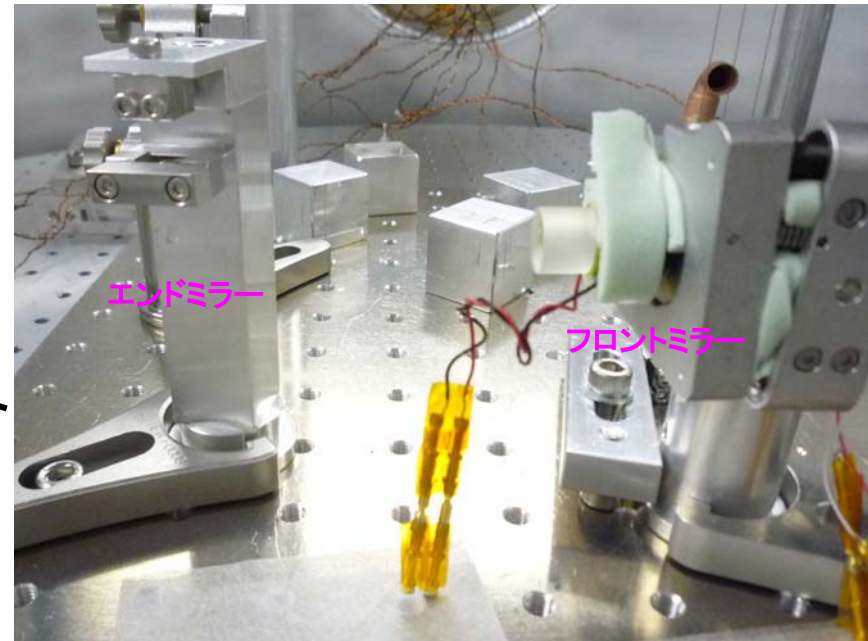
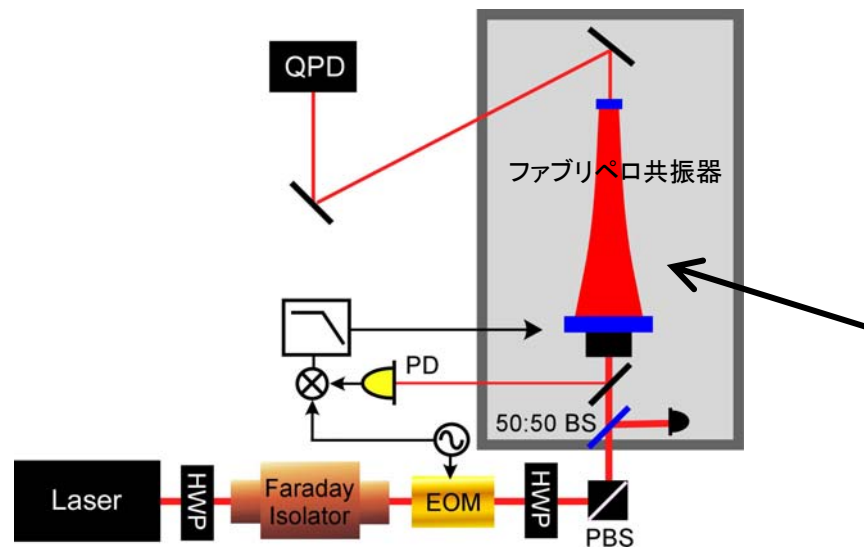
- ≫ エディーカーレントダンピングされた重さ20mgの中段マス
  - 直径10  $\mu\text{m}$ タングステンワイヤーで懸架
- ≫ 直径10  $\mu\text{m}$ 石英ファイバーで懸架された重さ20mg石英鏡
  - 紫外線硬化樹脂により接着



# ファブリペロ共振器

## ■ ファブリペロ共振器

- » 共振器長; 7cm, フィネス; 1400
  - フロントミラー; PZT付き固定鏡、曲率半径 2m
  - エンドミラー; 20mg鏡による振り子、曲率半径 フラット
    - 鏡の実効的な大きさ; 2mm

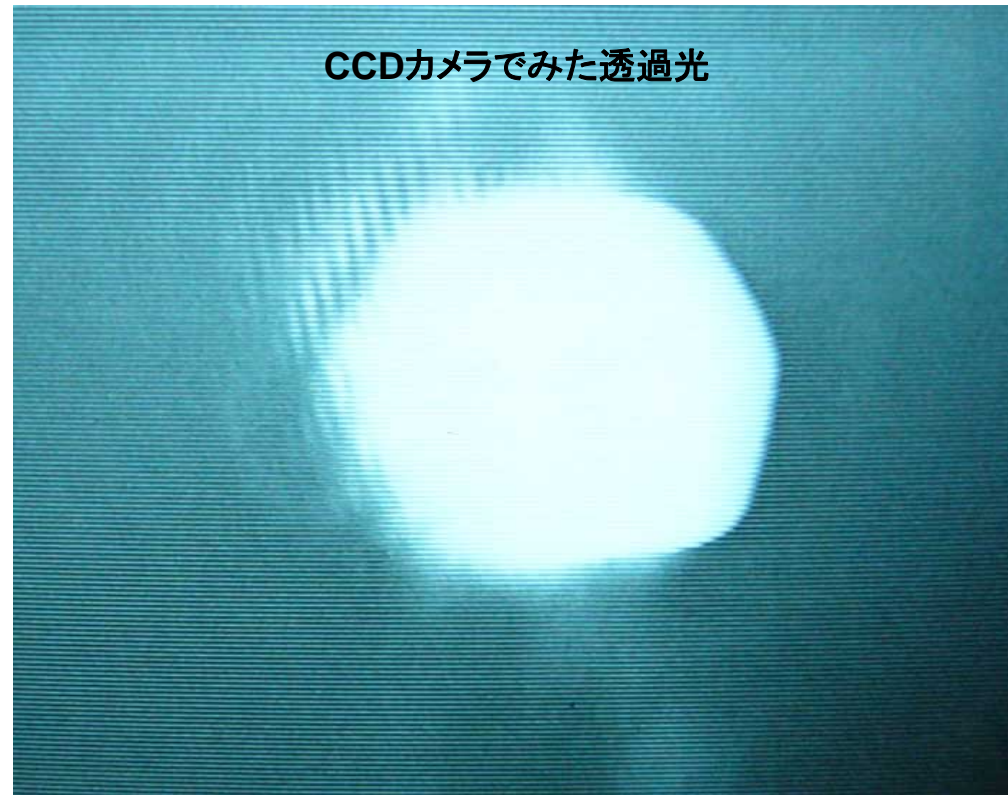




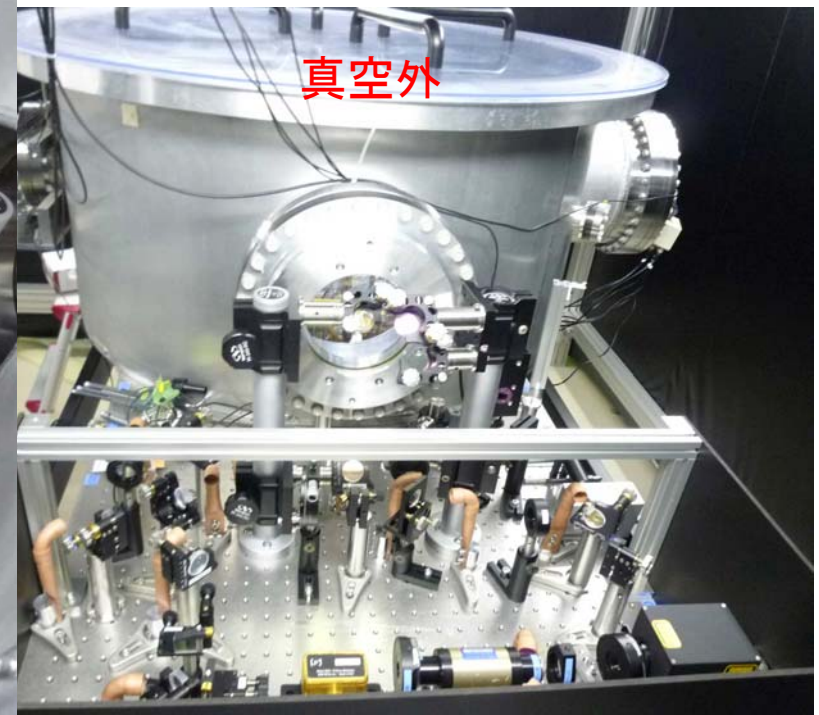
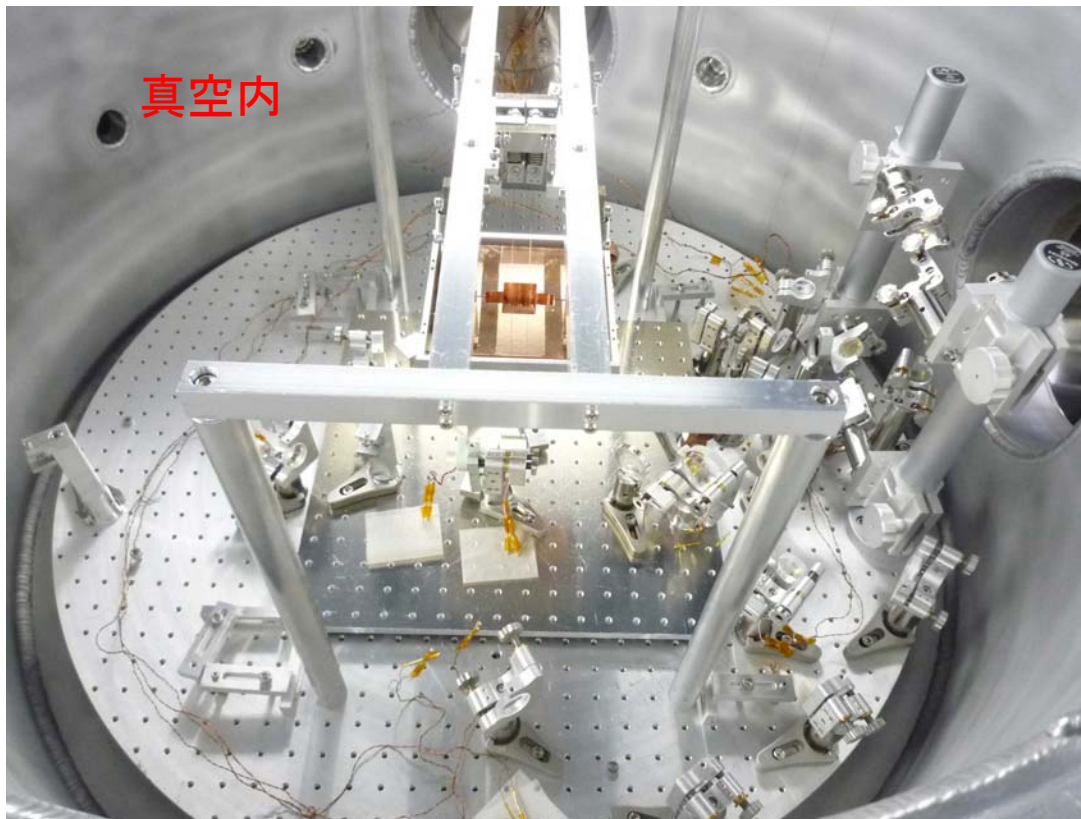
# ファブリペロ共振器のロック

---

- ロックの持続時間; 10分程度



# 実験セットアップの写真



# 4. 輻射圧による反バネ効果の測定

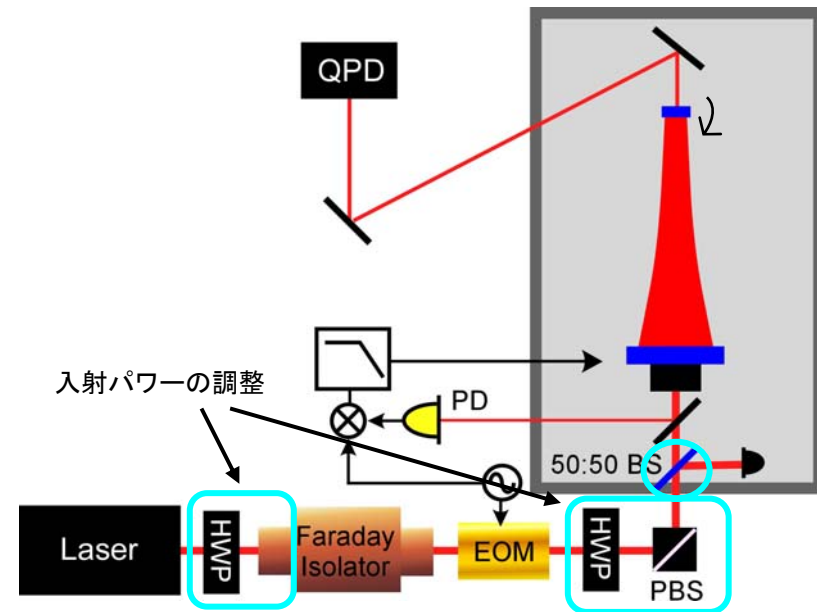
## ■ 輻射圧による反バネ効果の測定

- » 極小鏡は1本の石英ファイバーで吊られている
  - 共振器内パワーが最大の場合; 3桁ほど輻射圧による反バネ効果大きい
- » 共振器内パワーと回転方向の共振周波数の測定により反バネ効果を確認する

$$I_{\theta_2} \ddot{\theta}_2 = -k_{\text{opt}} \theta_1 - \underbrace{(-k_{\text{opt}} g_1)}_{\text{反バネ効果}} + \underbrace{k_{\theta_2}}_{\text{復元力}} \theta_2$$

$$k_{\text{opt}} = \frac{2P}{c} \xi, \quad \xi = \frac{L}{1 - g_1 g_2}$$

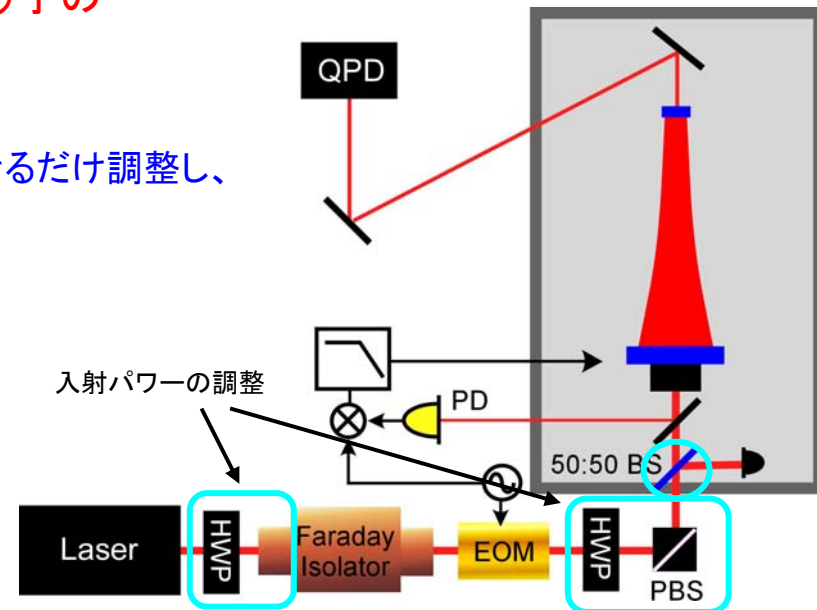
P; 共振器内パワー  
L; 共振器長



# 反バネ効果の測定方法

## ■ 輻射圧による反バネ効果の測定方法

- » 光の輻射圧を振り子の回転方向の復元力より小さくする
  - 共振器に入射するパワーを調整する
- » 透過光にQPDを設置する
  - それぞれのパワーの時の透過光量と振り子のYaw方向とPitch方向の揺れを測定する
    - 測定時間; おおよそ8分
    - それぞれの測定ごとにアライメントをできるだけ調整し、透過光量の揺れを抑えた
- » Yaw方向の共振周波数;  
測定データのYaw/TotalをFFT解析  
共振器内パワー;  
測定データTotalに校正値を掛けて変換



# キャリブレーション値の測定

## ■ キャリブレーション

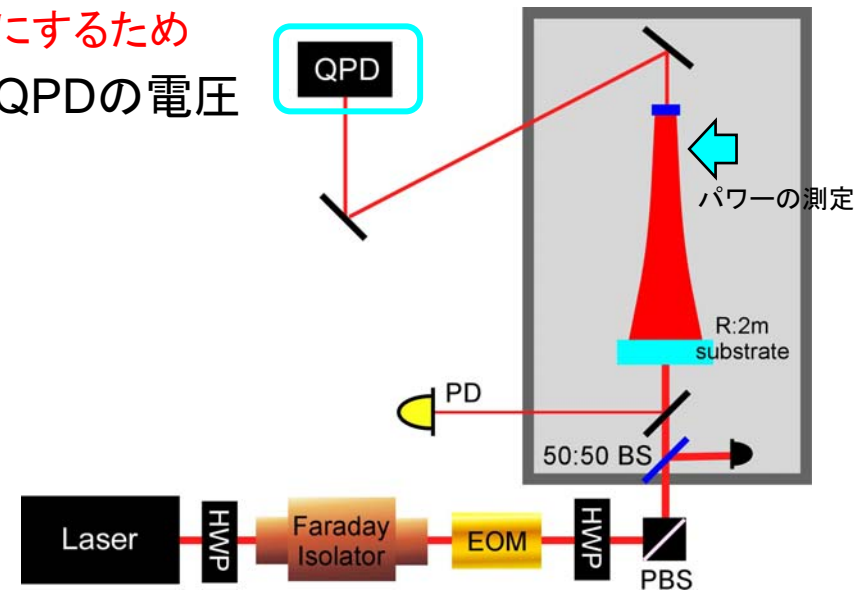
» QPDで取った透過光データ(V)を共振器内パワー(W)に変換

## ■ キャリブレーション値の測定方法

» フロントミラーは取り除き、同じ曲率半径を持つ基板を置く

- 20mg鏡にあたるビーム半径を同じにするため

» 20mg鏡にあたるパワーとその時のQPDの電圧を測定



# その他の測定

## ■ その他の測定

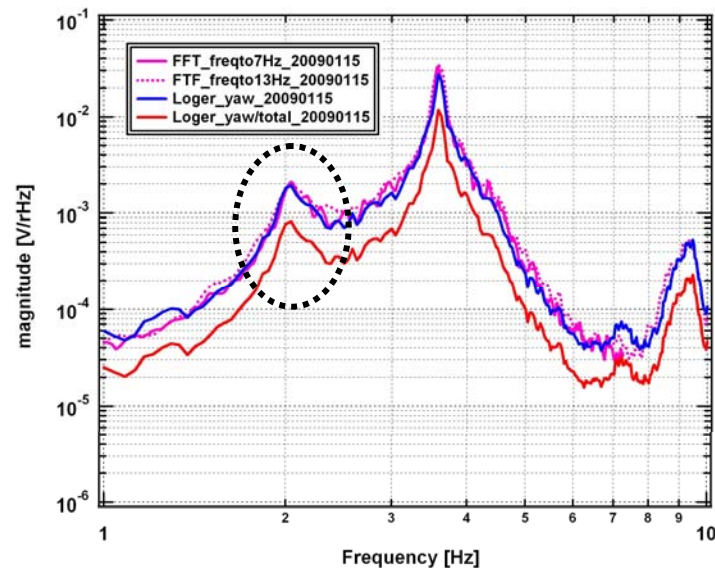
- › 力学的な振り子の共振周波数
- › 共振器長;  $71 \pm 1$  [mm]
- › フロントミラーの曲率半径
  - 理論曲線を引く時に必要な値

$$I_{\theta 2} \ddot{\theta}_2 = -k_{\text{opt}} \theta_1 - (\underbrace{-k_{\text{opt}} g_1}_{\text{反バネ効果}} + \underbrace{k_{\theta 2}}_{\text{復元力}}) \theta_2$$
$$k_{\text{opt}} = \frac{2P}{c} \xi, \quad \xi = \frac{L}{1 - g_1 g_2}$$
$$g_{1 \text{ or } 2} = 1 - \frac{L}{R_{1 \text{ or } 2}}$$

P; 共振器内パワー  
L; 共振器長  
R; 鏡の曲率半径

# 力学的な振り子の共振周波数の測定

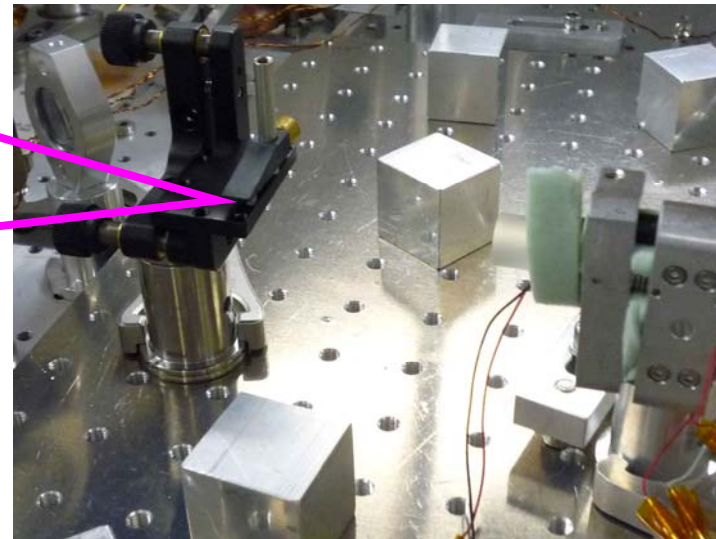
- 力学的な振り子の共振周波数; 2.02 Hz
  - » 光テコにより測定



# フロントミラー曲率の測定

## ■ フロントミラー曲率の測定

- » 固定共振器(front; curv., end; flat)を組んだ
  - フロントミラー; 以前と同じ鏡、エンドミラー; 固定された同じ種類の鏡
- » 共振器長; 6cm、ビームサイズ on 20 mg鏡;  $340 \mu\text{m}$

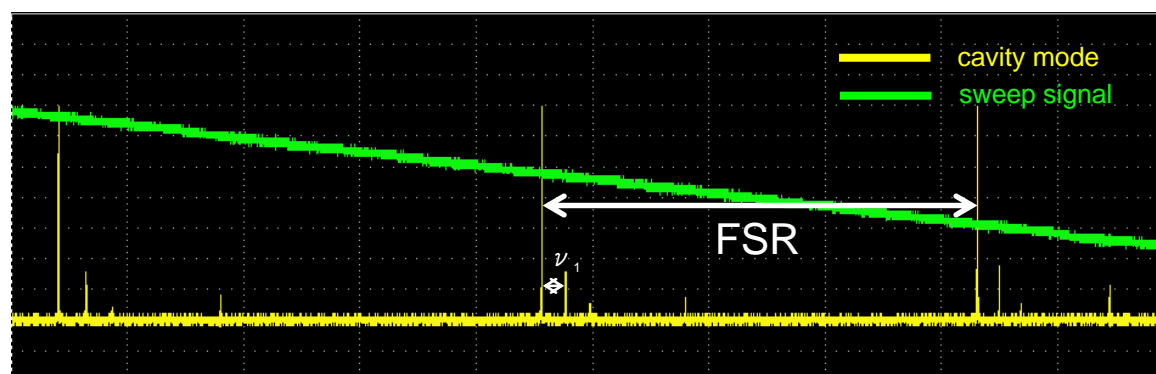




# フロントミラー曲率の測定結果

## ■ フロントミラー曲率の測定方法

- » 横モードを使った
  - 光共振器の共振周波数:  $\nu_{n;l,m} = c/2L[n+(l+m+1)\gamma]$ ,  $\gamma = 1/\pi \cos^{-1}(g_1g_2)^{1/2}$
  - 三角波(周波数: 30 mHz)でsweepさせた
- » FSRと $\nu_1$  (TEM01)の間隔を測定
- » 測定結果;  $2.1 \pm 0.1$  [m]
  - 共振器長;  $61.1 \pm 1$  mm



# 5. 輻射圧による反バネ効果の測定結果

---

## ■ 輻射圧による反バネ効果の測定

- それぞれの共振器内パワーのときの振り子の回転方向の共振周波数を測定
  - » Yaw共振周波数の測定; QPDからYaw/Totalデータを測定し、FFT解析
  - » 共振器内パワーの測定; QPDからのTotalデータに校正値を掛ける

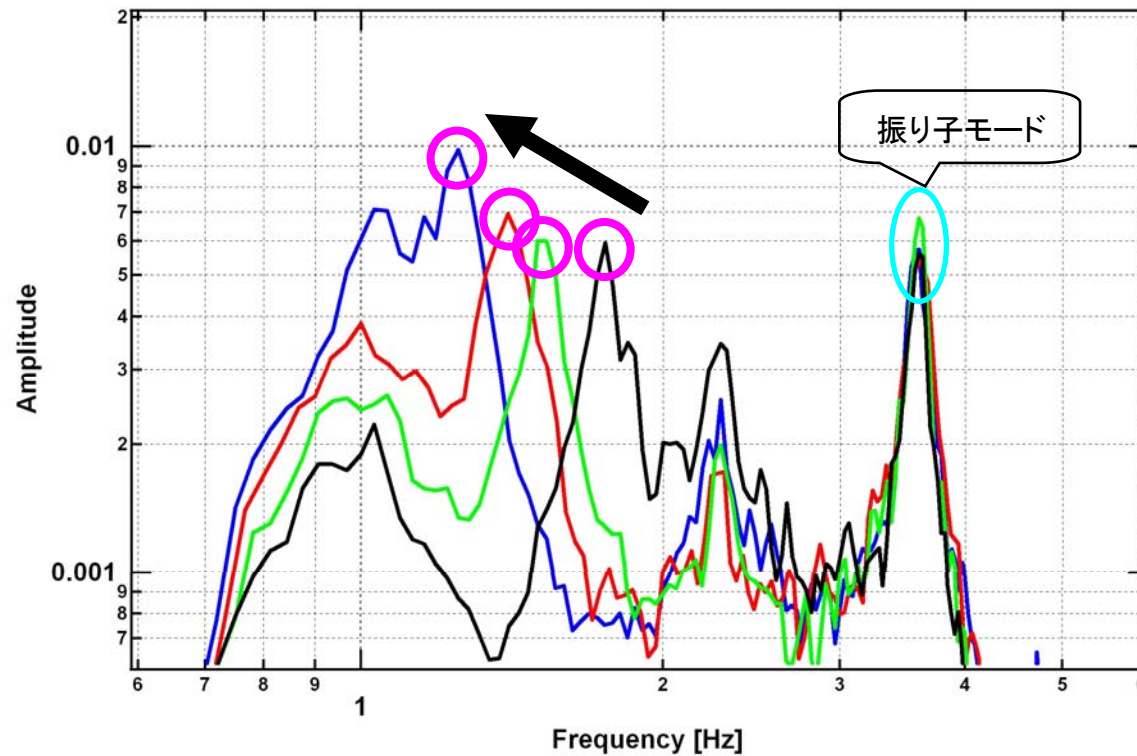
## ■ 測定値の決定

- » 測定値; それぞれのデータを同じ間隔に分け、それぞれの平均の平均値
- » 誤差; それぞれの平均の標準偏差

# Yaw共振周波数の推移

## ■ Yaw共振周波数の推移

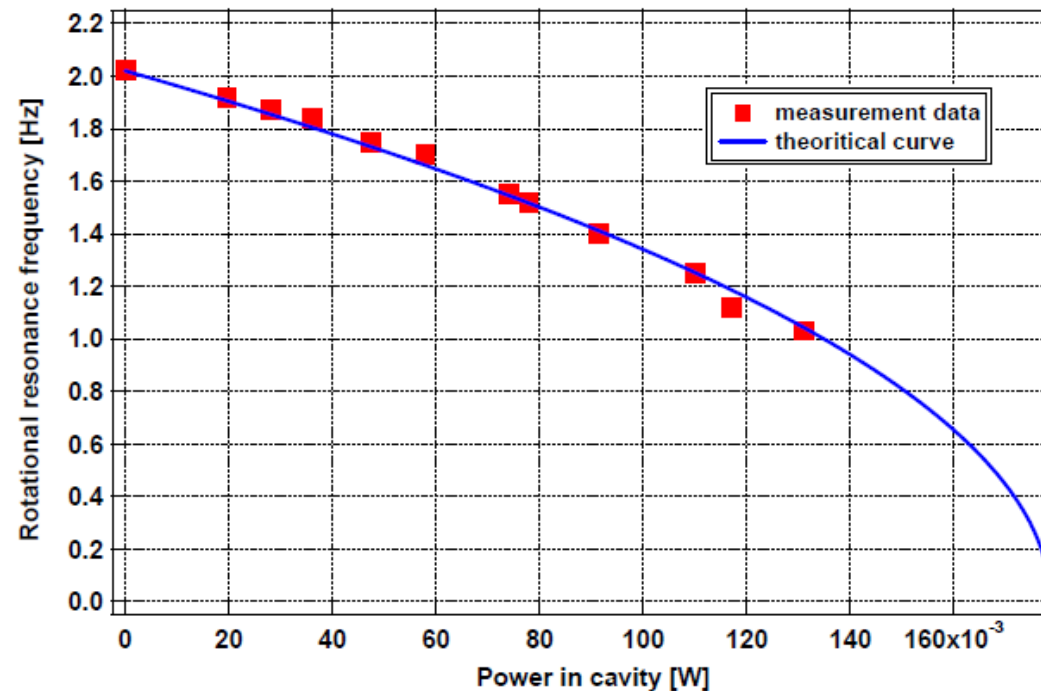
» 共振器内パワーの増大に伴い、共振周波数の減少を測定



# 光の輻射圧による反バネ効果の測定結果

## ■ 光の輻射圧による反バネ効果の測定結果

- » 測定に関する誤差
  - 測定データの揺らぎ; 2%、システムティックな誤差; 15%
- » 理論曲線に関する誤差
  - システムティックな誤差; 5%



# 結論

---

- 光共振器における輻射圧による角度方向の反バネ効果を測定
  - » 1本の直径 $10\mu\text{m}$ 石英ファイバーで吊られた重さ $20\text{mg}$ の石英鏡を使用
- 輻射圧による反バネ効果により、光共振器が不安定になるのを確認
  - » 共振器内パワーの増大に伴い、回転方向の共振周波数が $2\text{Hz}$ から $1\text{Hz}$ まで減少した
- 次世代型検出器での光の輻射圧制御に向けての一步となるだろう

---

# The End