

# レーザーパルス蓄積共振器と フィードバック技術開発

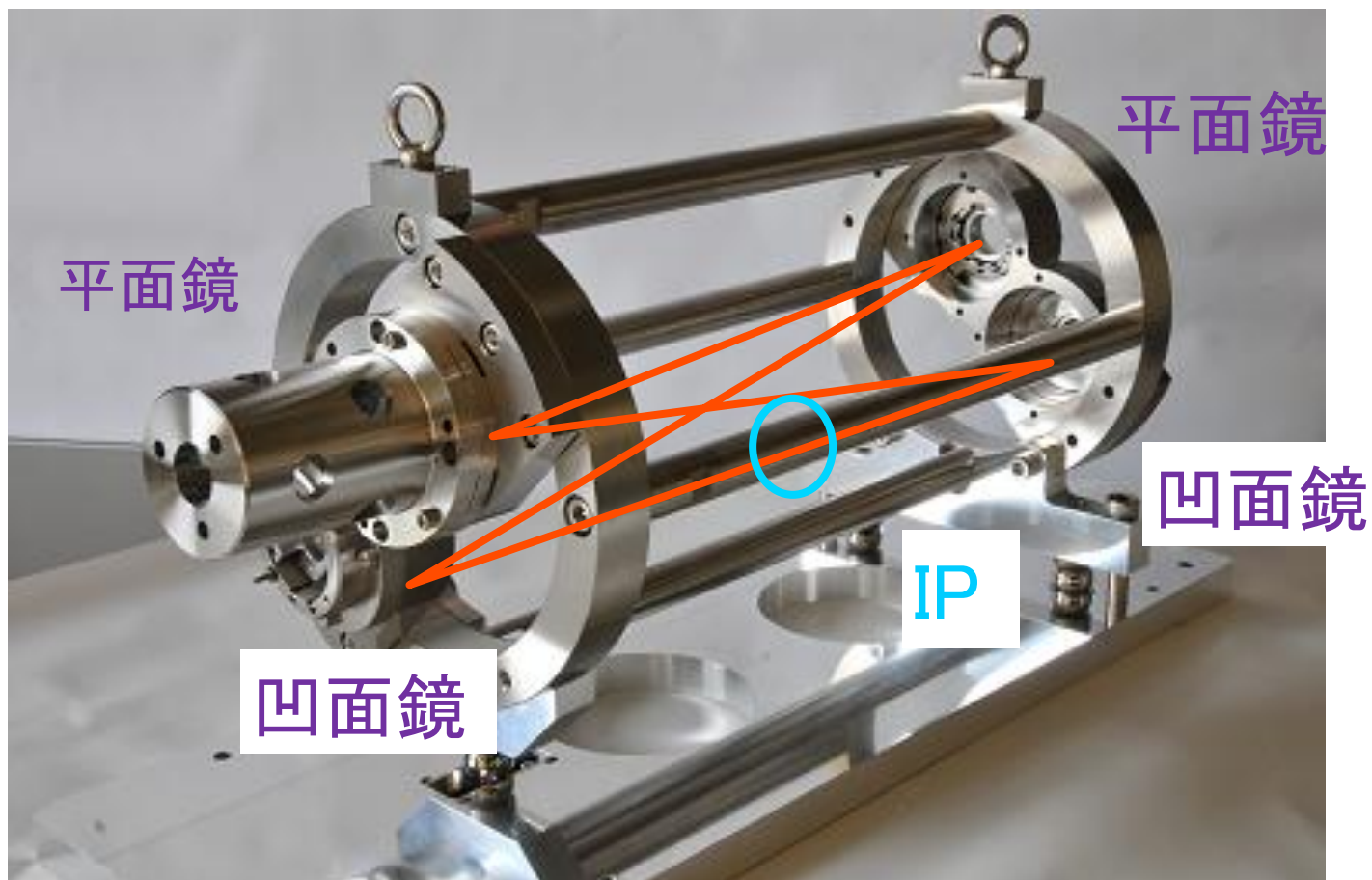
高橋 徹  
広島大学

2014年12月24日  
第9回全体会合

# 報告概要

- 現状の復習と課題
- 高フィネス化への取り組み
  - 共振器内のレーザープロファイル
  - 低損失ミラーの取り扱い
  - 高フィネス共振器の構築

# 広島大—KEKによる3次元4鏡共振器



これまでの共振器パラメーター  
Finesse:4040(実測値)  
増大率:1230 (実測値)  
Laser size( $\sigma$ ) @ IP:13um

## 特徴

- ・ 円偏光のみ蓄積
- ・ 右円偏光と左円偏光で異なった共鳴条件(共振器長)

# KEK-広島共振器の状況

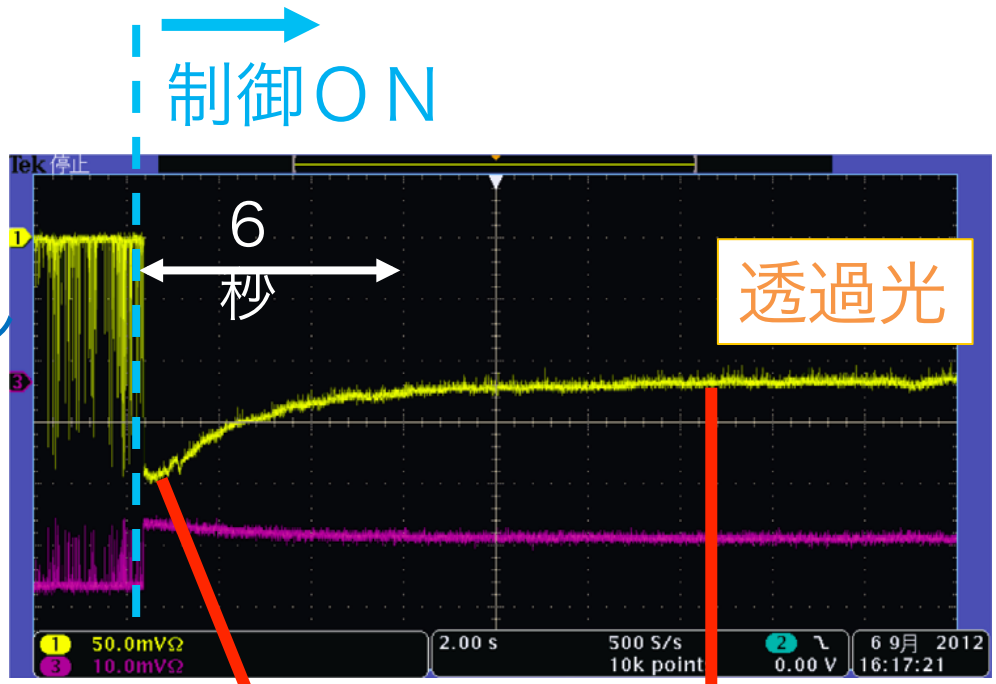
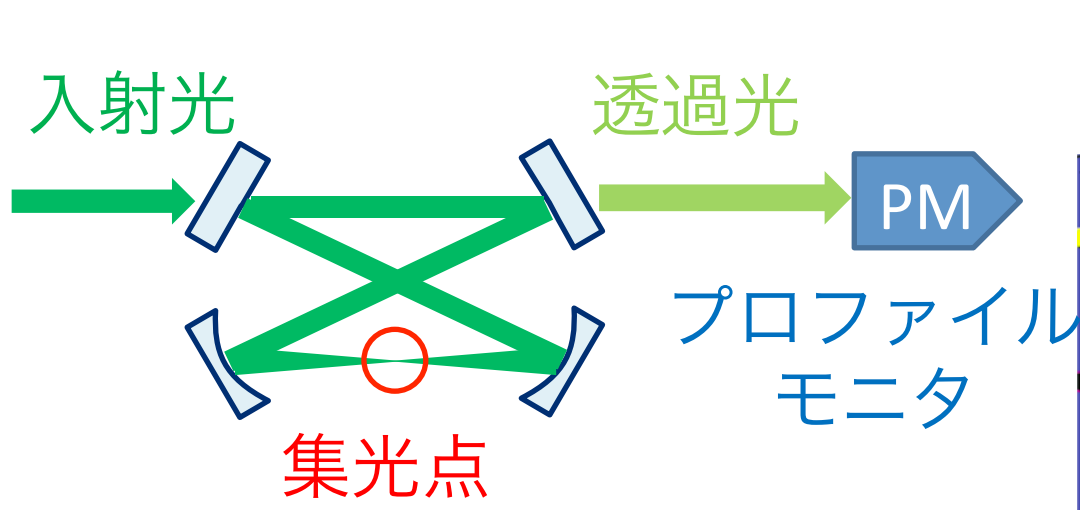
- レーザー強度増大率
  - 1200倍
  - 共振器長を13pmで制御
- 光子生成
  - KEK-ATF1.3GeV電子との散乱
  - $2.8 \times 10^8/s$
- 円偏光の蓄積と偏向の切り替え実証
- 共振器内のレーザープロファイル測定

# 次の目標： 高フィネス, 高強度化

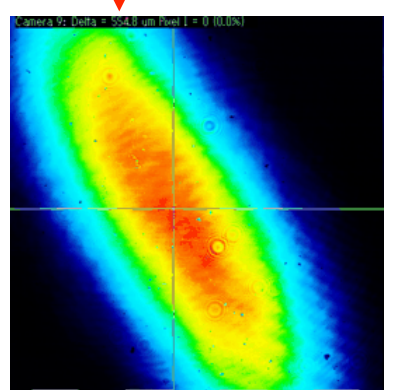
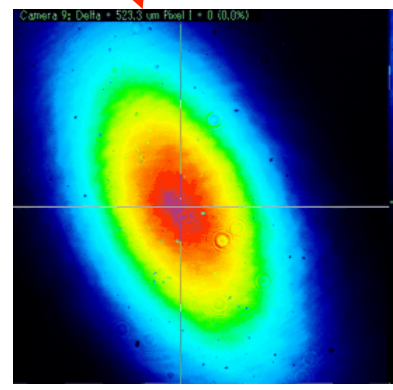
- 高反射率鏡を使った高フィネス共振器
  - 高反射率鏡による共振器の構築
    - 高反射鏡の取り扱いとクリーニング
  - 耐高強度鏡
  - 共振器制御の高度化
    - デジタル制御とアナログ制御
- 共振器内のレーザー伝搬

# 共振器開発の課題

上杉 (広島大)

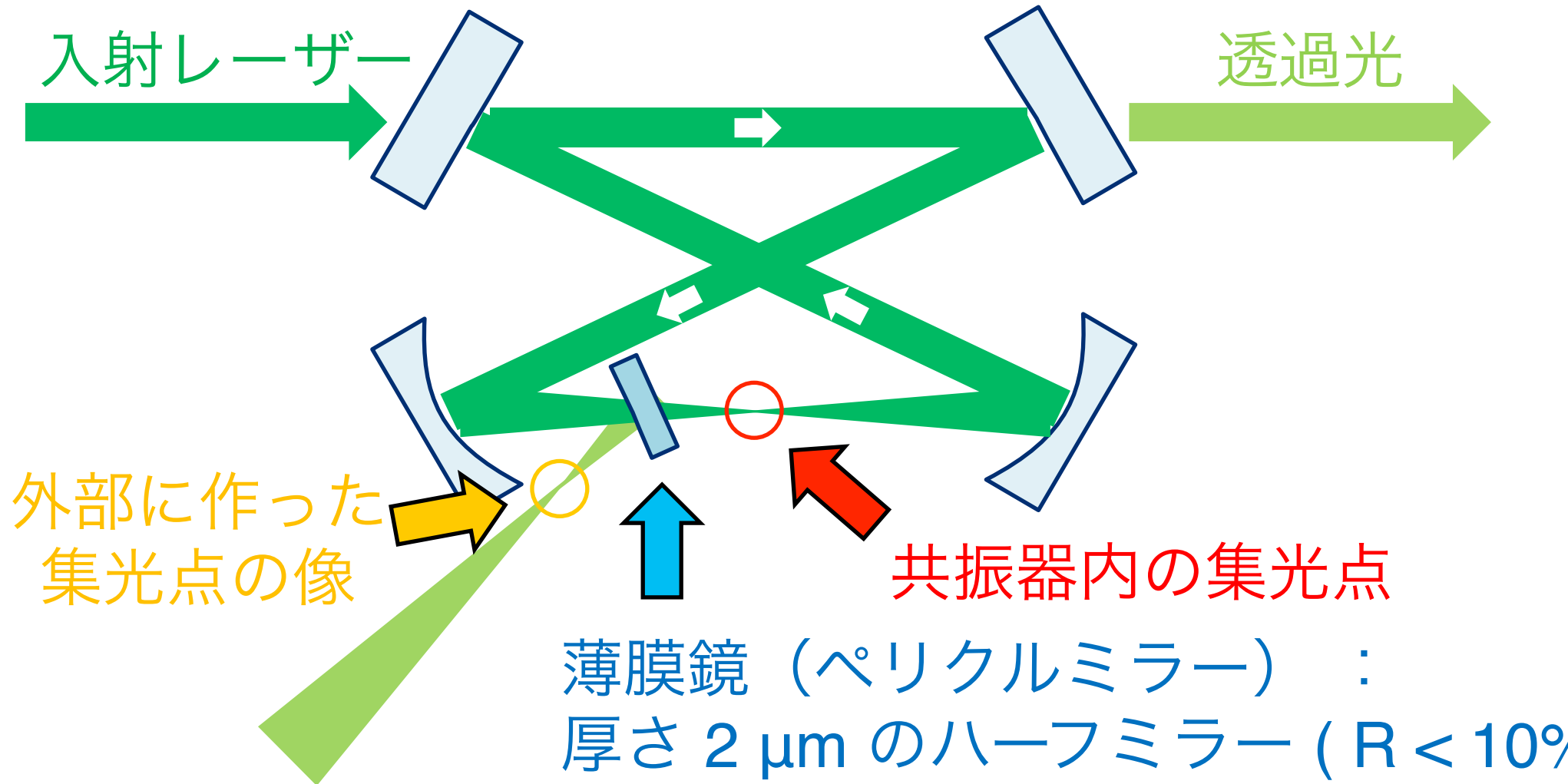


蓄積強度が低下する  
熱で鏡が変形していると推定  
鏡上での熱損失を低減する必要  
透過光の形状が楕円  
レーザーの伝播計算によると  
集光点でも楕円と推測される



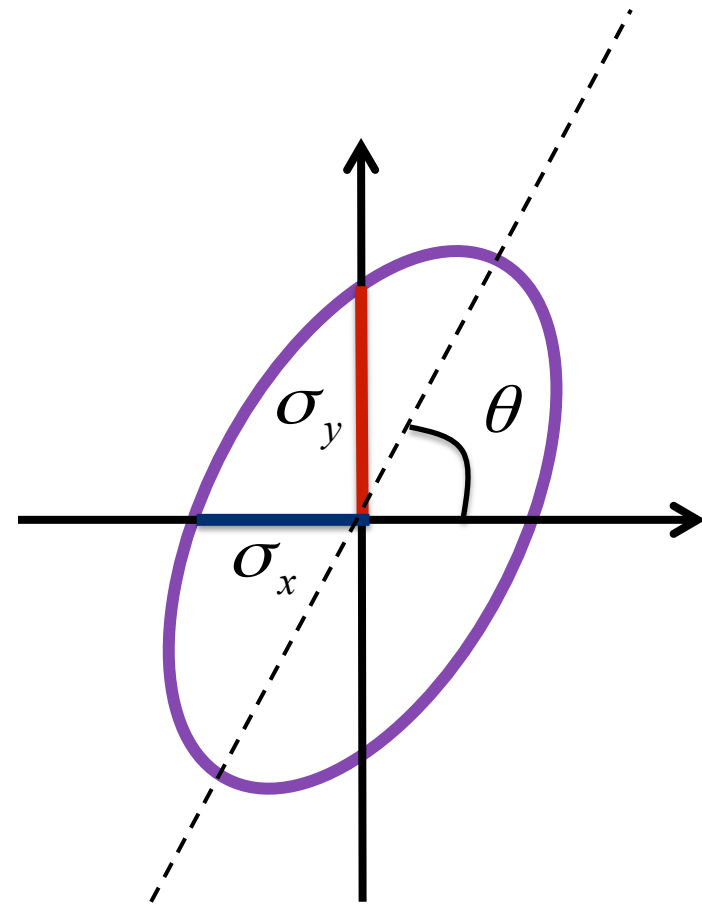
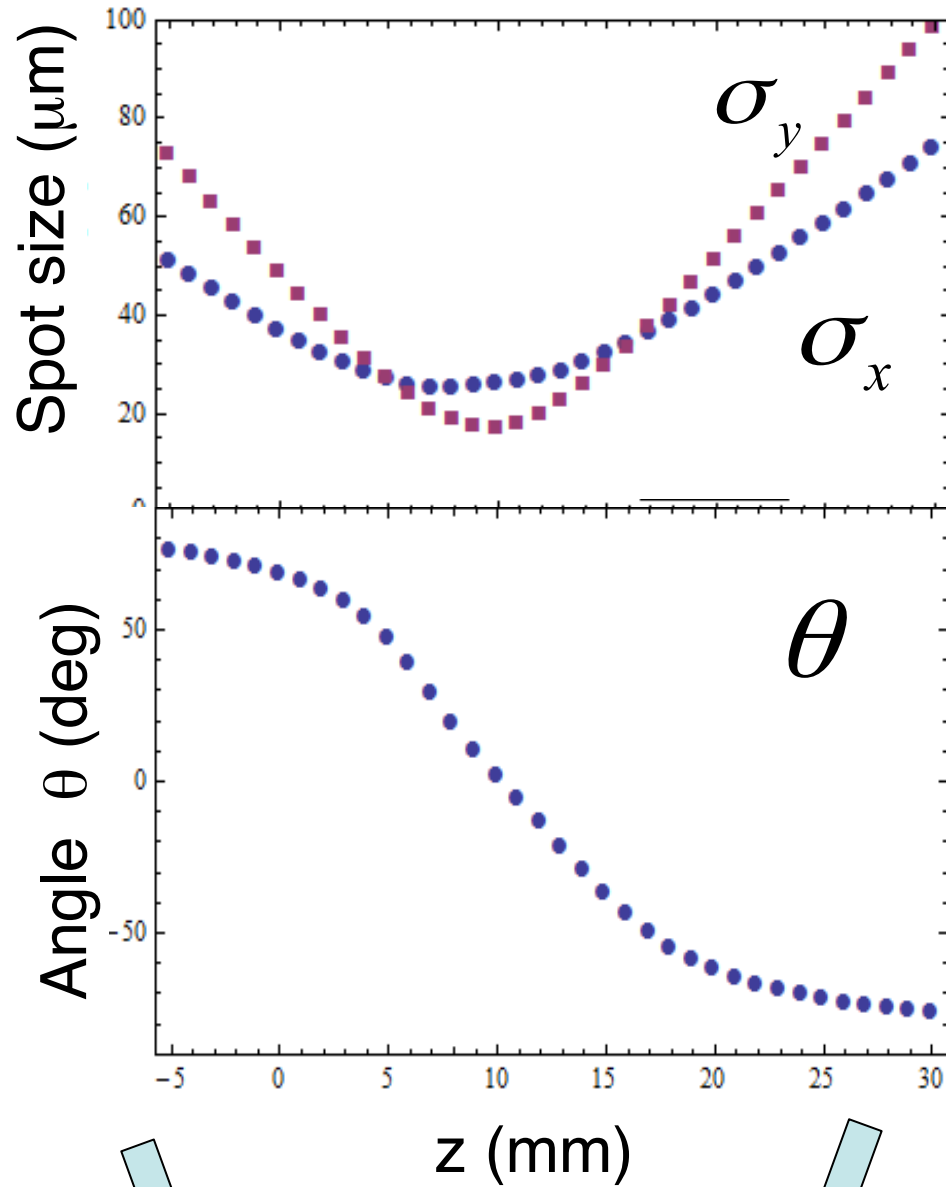
# 集光点のレーザー形状の測定

上杉 (広島大)

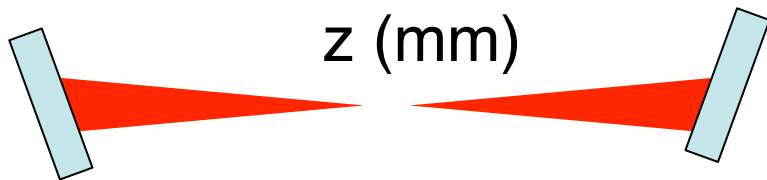


厚さ  $2 \mu\text{m}$  の薄膜鏡で集光点の像を共振器外部へ作る  
共振器の共鳴を壊さずに、集光点を直接測定

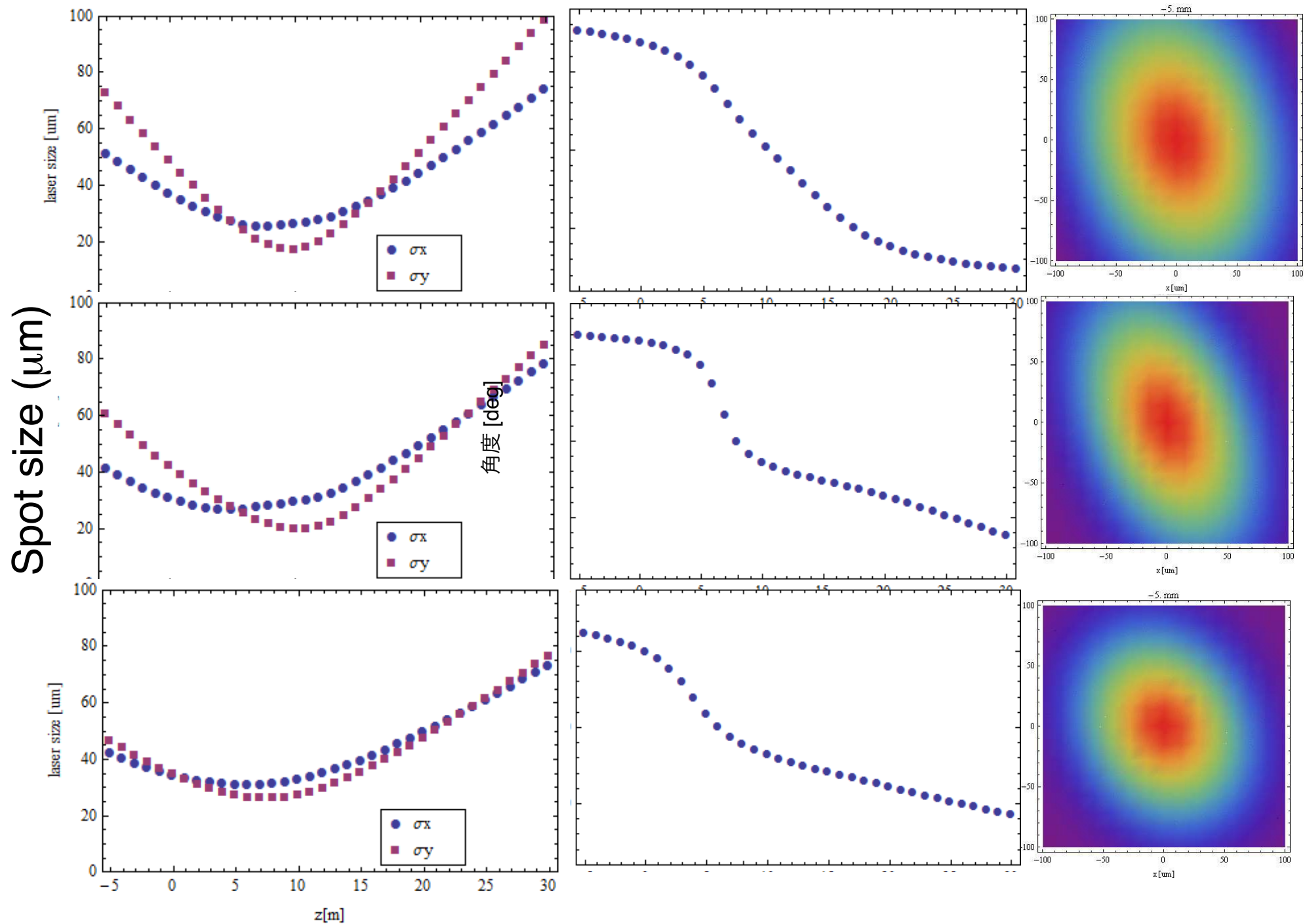
# Laser profiles near the focal point



Laser Profile is rotating around the focal point



# Laser profiles near the focal point



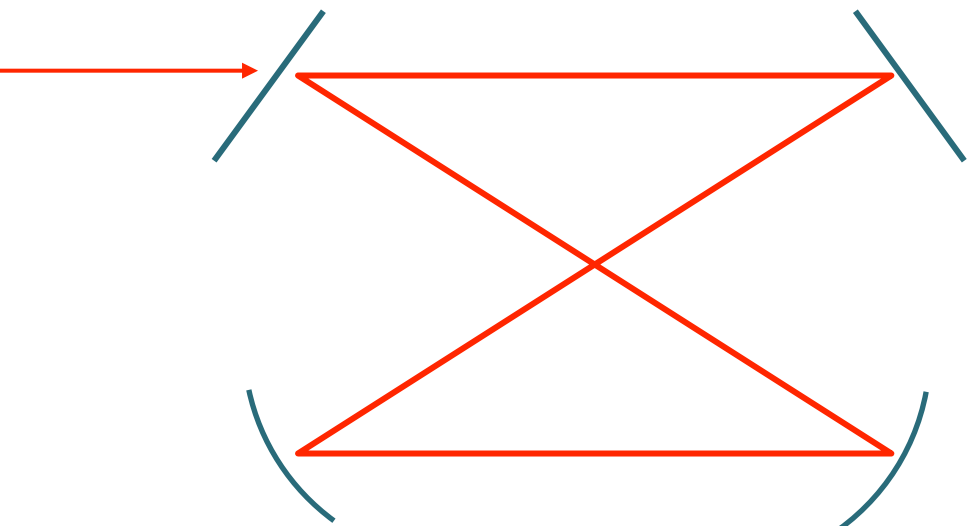
# レーザープロファイルの状況

- 3次元4枚共振器中のレーザープロファイルの系統的な測定を行った
  - 論文にとりまとめ中
- 計算との比較
  - 単純な転送行列は適応できない
  - ホイヘンスの原理など基礎過程で追うのは無理
  - OSCARが使える可能性
    - MATLABで書かれた波動伝搬プログラム
    - 現在広島で準備中

# 高Finesse共振器の開発

$R = 99.9\%$   
 $\Rightarrow R = 99.99\%$

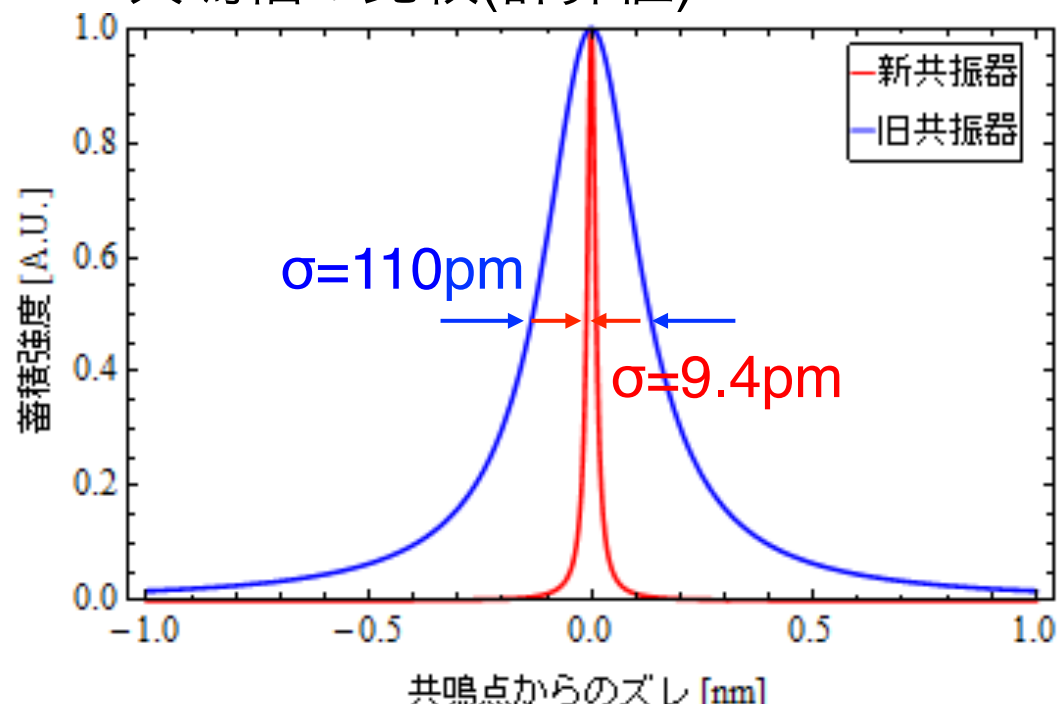
$R = 99.99\%$   
 $\Rightarrow R = 99.999\%$



$R = 99.99\%$   
 $\Rightarrow R = 99.999\%$

$R = 99.99\%$   
 $\Rightarrow R = 99.999\%$

共鳴幅の比較(計算値)



- Finesse

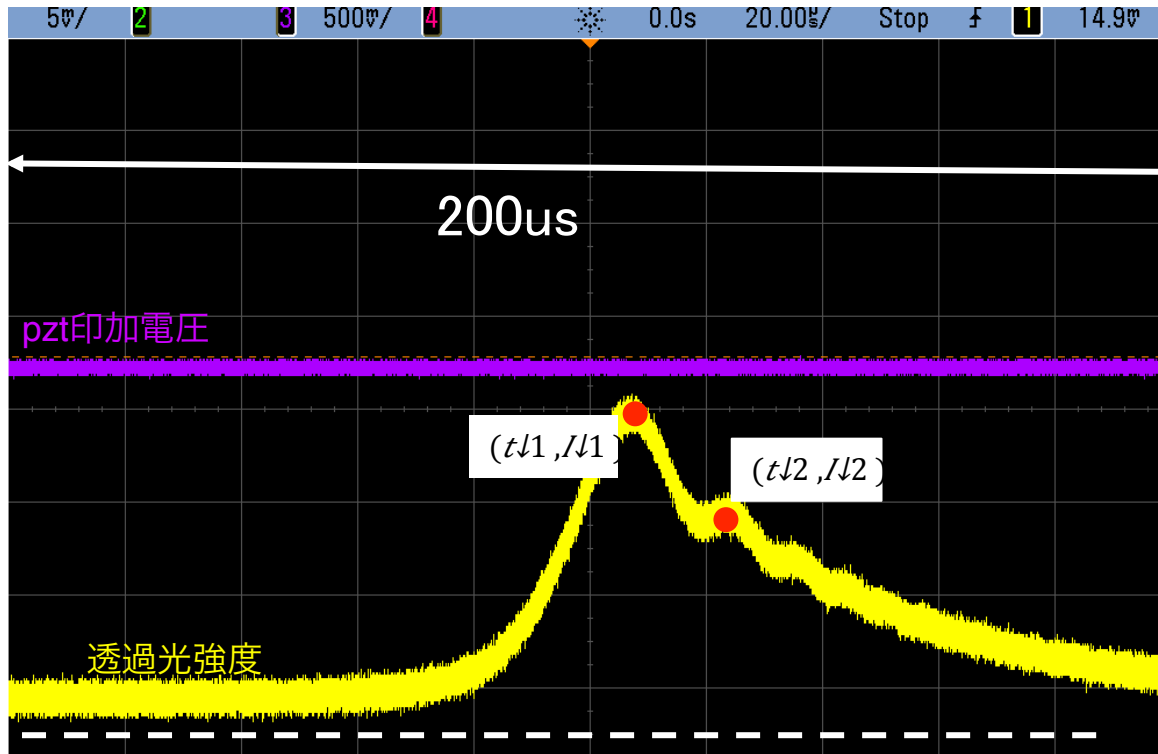
4040  $\Rightarrow$  48000(計算値)

- 増大率

1230  $\Rightarrow$  16600(計算値)

達成制御精度(14pm)  $\approx$  共鳴幅  
 $\Rightarrow$  共鳴維持ができる可能性あり

# 高Finesse共振器の評価



Finesse  $\propto$  共振器内の光の寿命

$$\tau = -t1 - t2 / (\ln(I1) - \ln(I2))$$

$$= 40 \pm 1 \text{ us}$$

Finesse = 45,000

増大率 = 15,000

鏡のカタログスペックからの計算値:

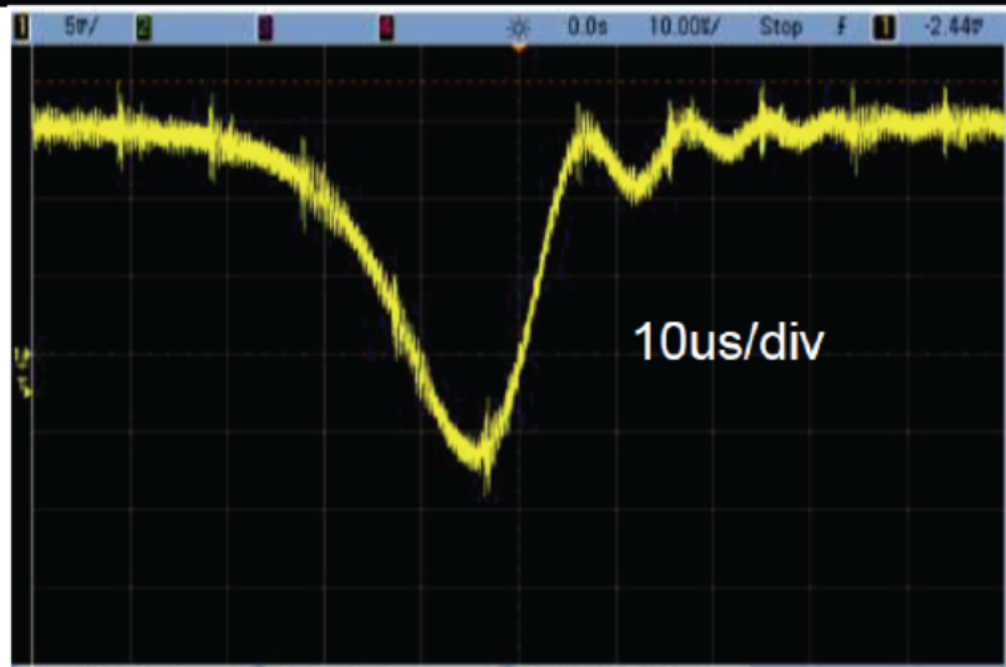
Finesse = 48,000

増大率 = 16,600

4枚の散乱率+吸収率=30ppm

旧共振器では, 600ppm

# Finesse measurement (before cleaning)



← Intensity of transmitted light

Measurement of the life time in the cavity by ringing effects

See; J. Poirson, etc., Vol. 14, No. 11/November 1997/J. Opt. Soc. Am. B

## Finesse

11,000 ± 400

## Enhancement

860

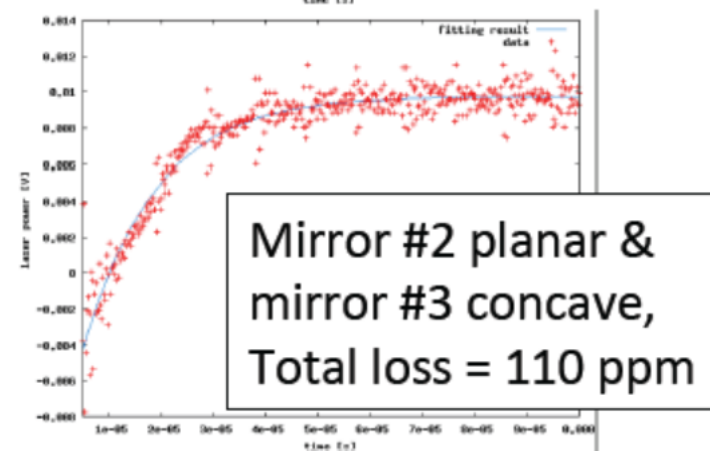
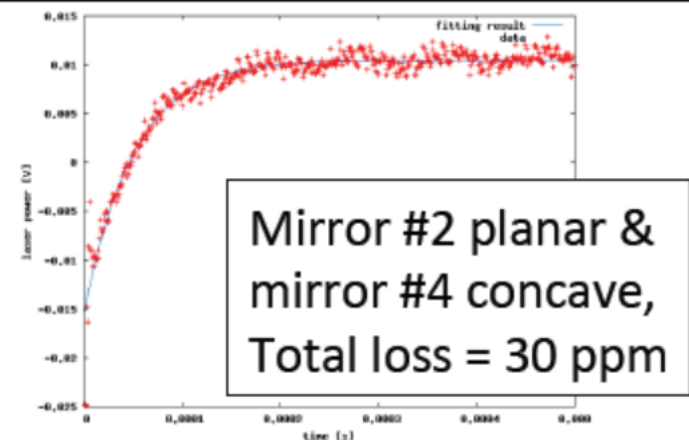
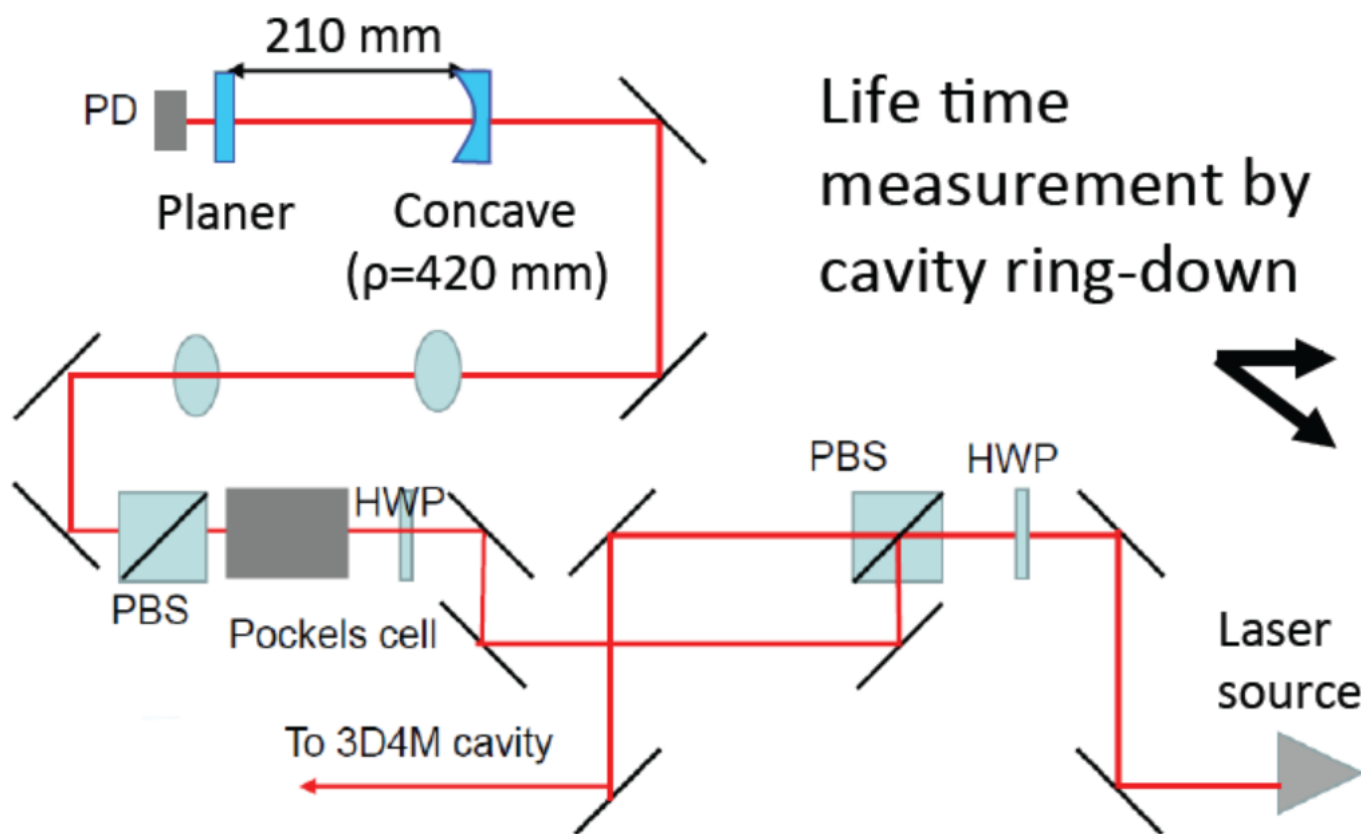
## Total loss (tran. + scat. + abso.)

570 ppm



Try to find mirror(s) with large loss

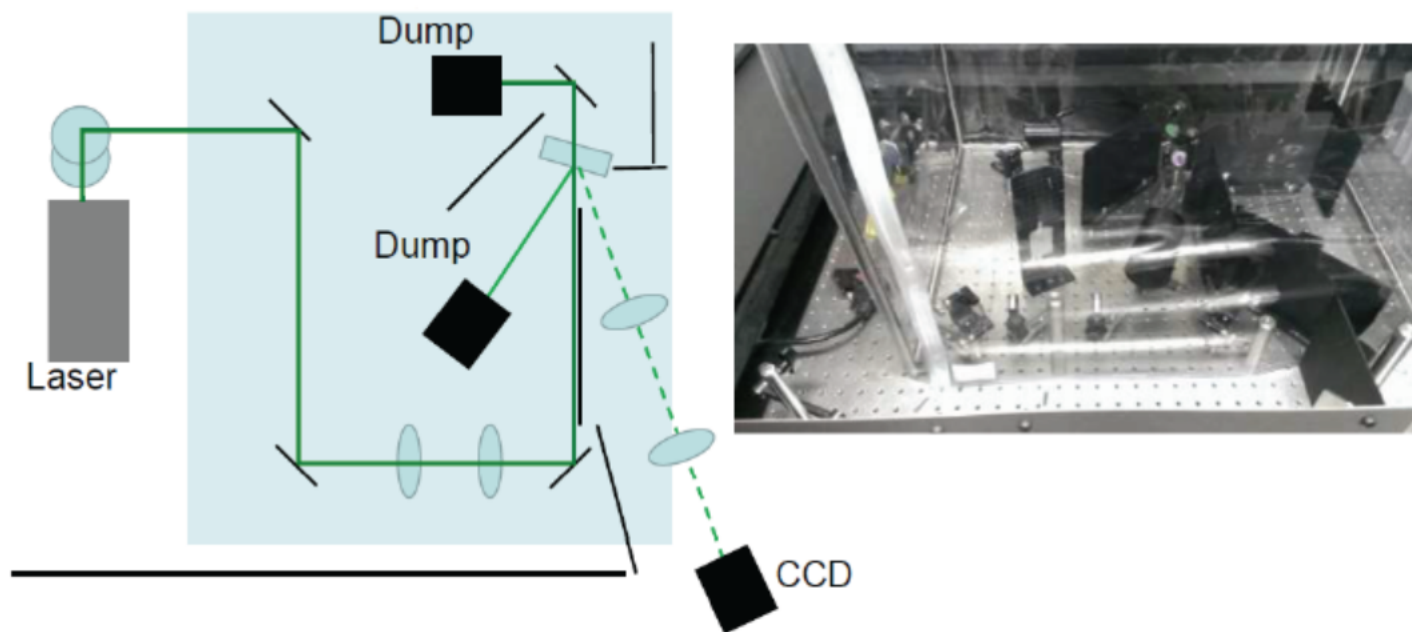
# Testing each cavity mirror



Built a Fabry-Perot cavity & its ring-down setup at KEK

➔ Mirror #1 and mirror #3 are contaminated

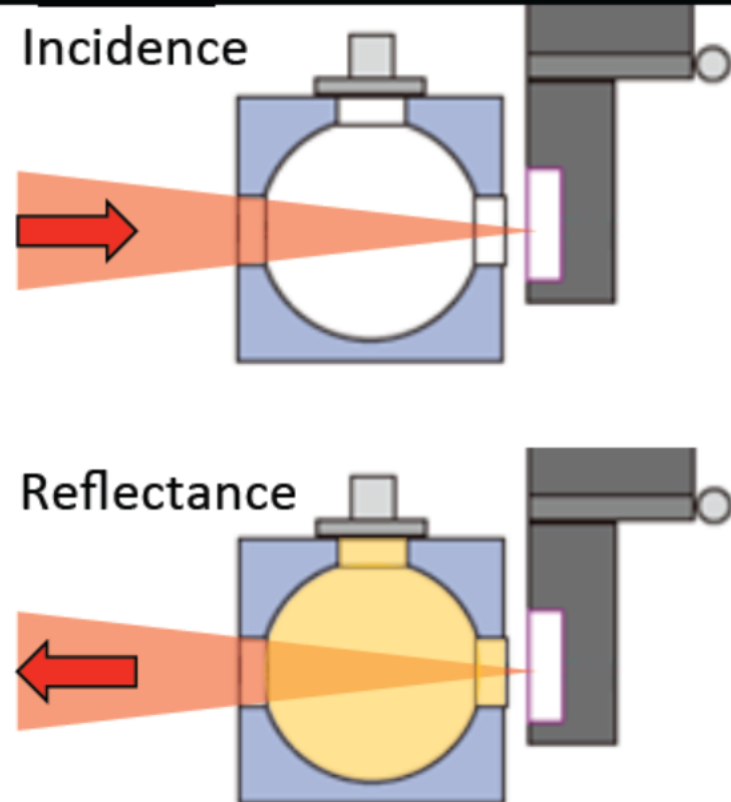
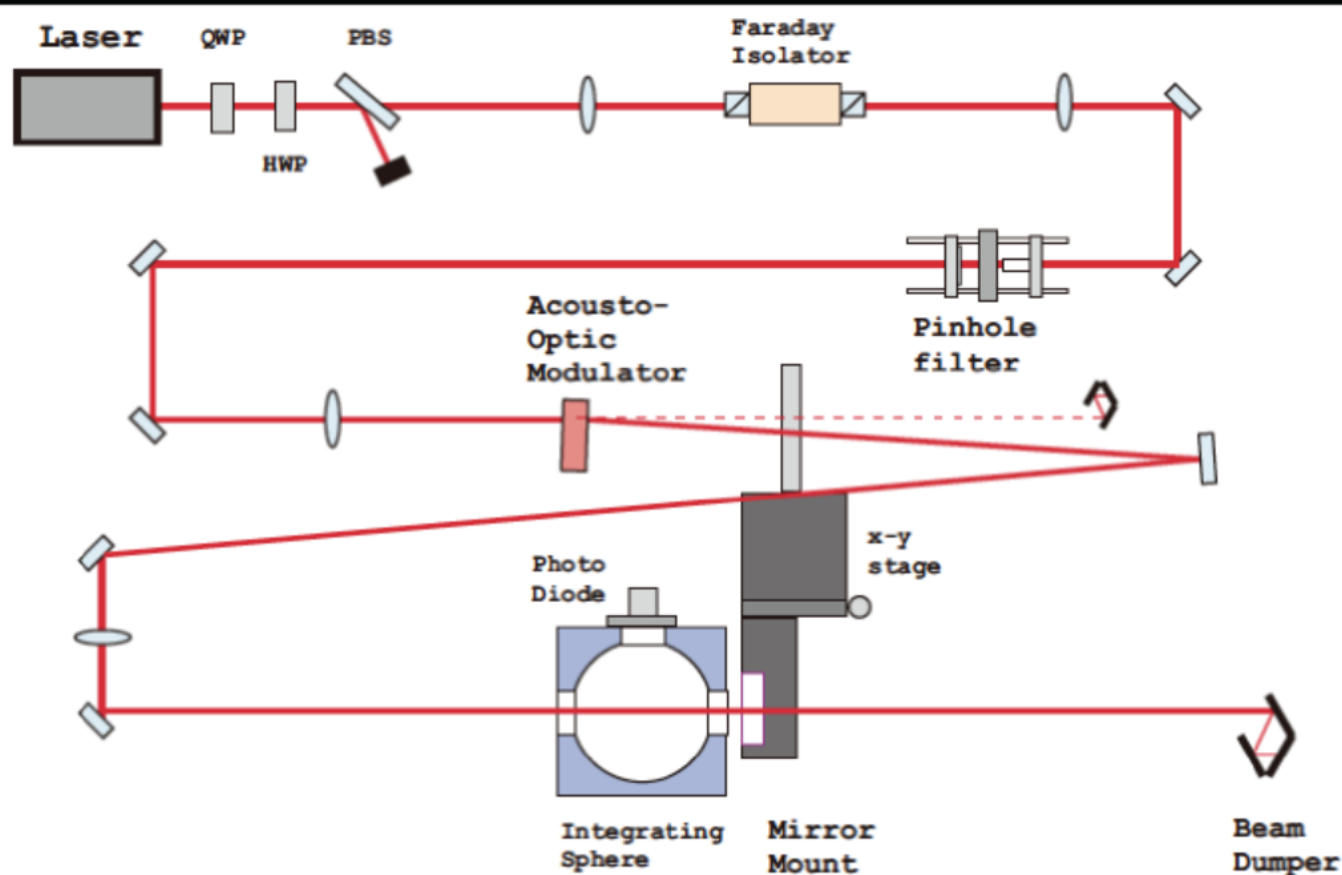
# Scattering loss measurement at KEK



Now build the setup of the scattering loss measurement at KEK  
(Same as the setup in Kosuge-san's talk)

We will clean the contaminated mirrors of #1 and #3 and try to measure the finesse and the enhancement factor.

# Scattering loss measurement



- Waist on the mirror
- Only the large-angle scatter is captured in the integrating sphere

Fig. by D.TATSUMI, A.UEDA (NAOJ)

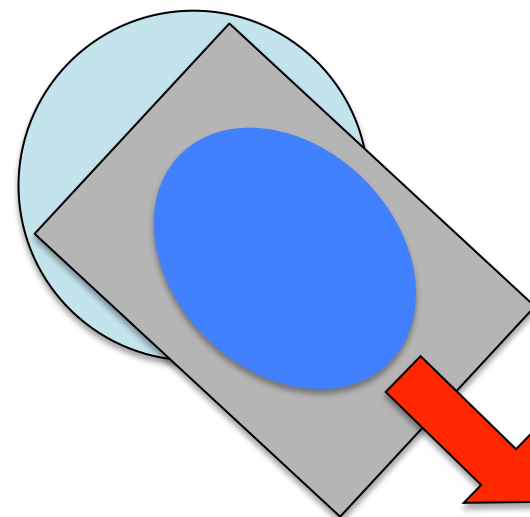
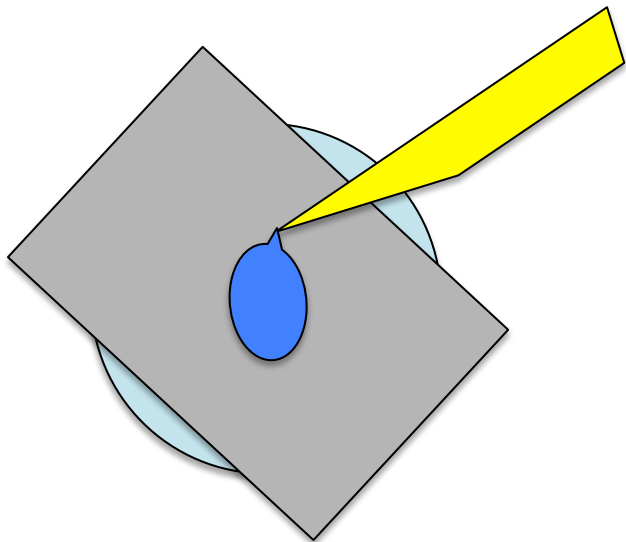
Scattering loss measurement setup at NAOJ  
(National Astronomical Observatory of Japan)

- Absolute value of the scat. loss
- Its 2D map on the mirror surface

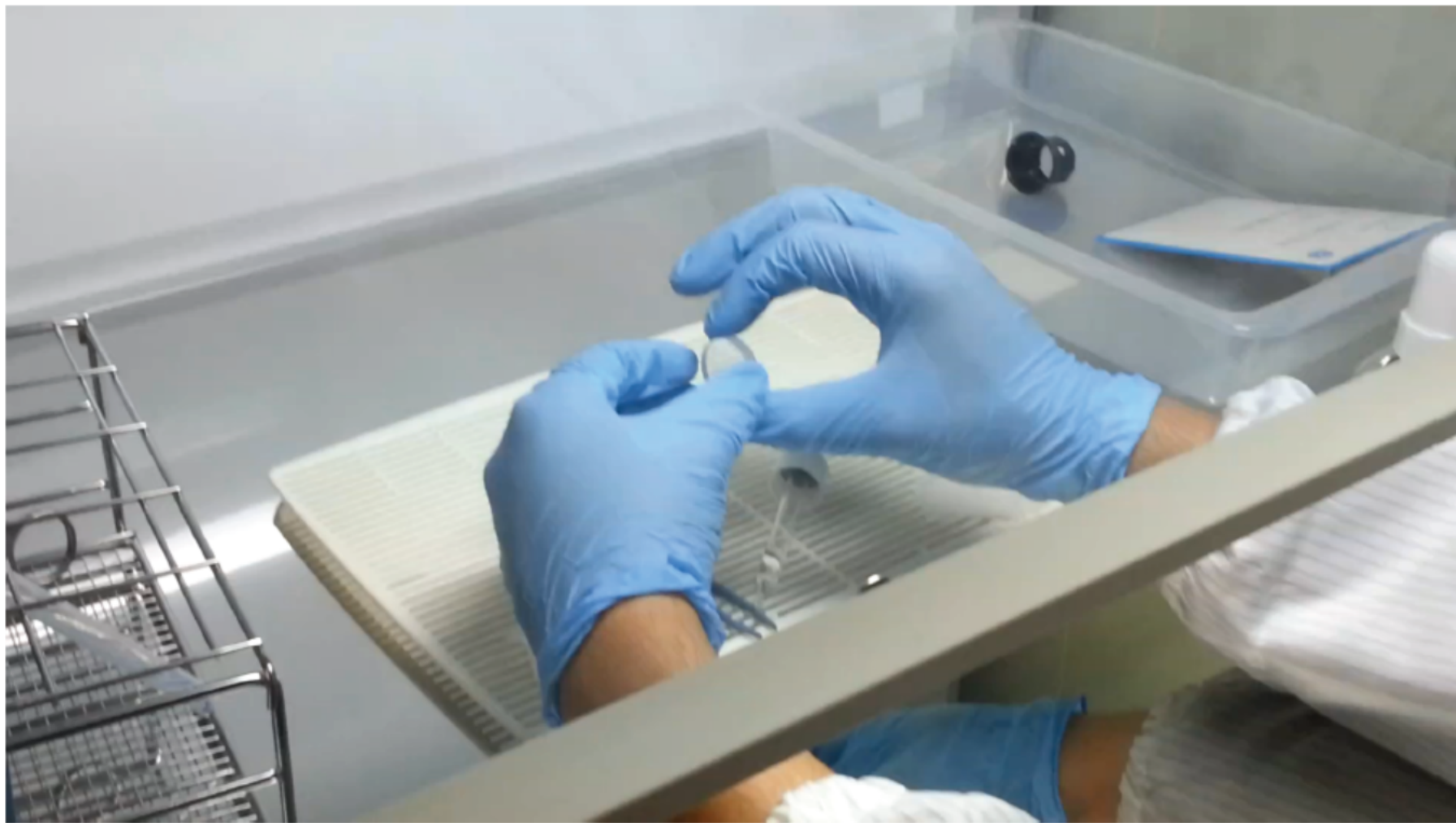
# Cleaning the Mirror

ドラッグ・ワイピング：  
特別なテクニック必要なし（主  
観）

Put a paper on the mirror      Slide the paper outward  
Drip a few drops of 2-plopano      Repeat ~ 100 times

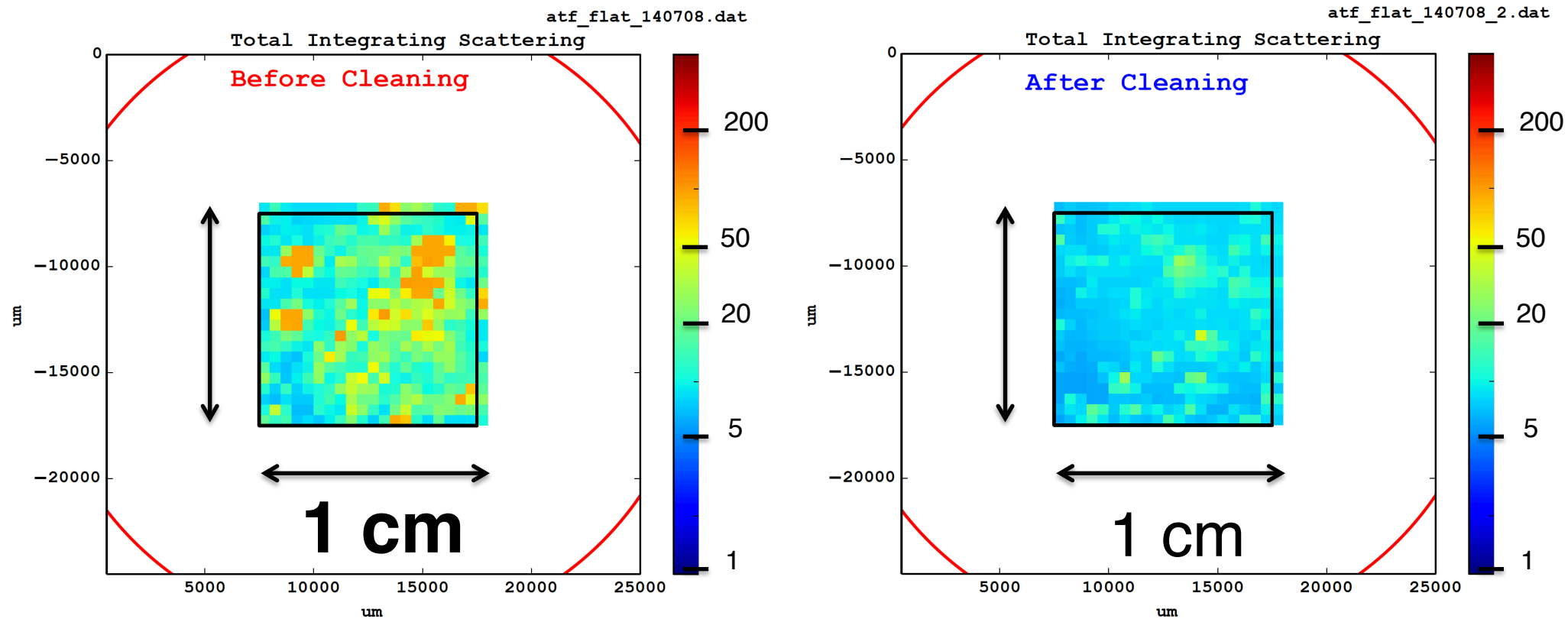


# Drag-wiping at Hiroshima university



# クリーニングの効果

## 国立天文台での散乱測定の結果



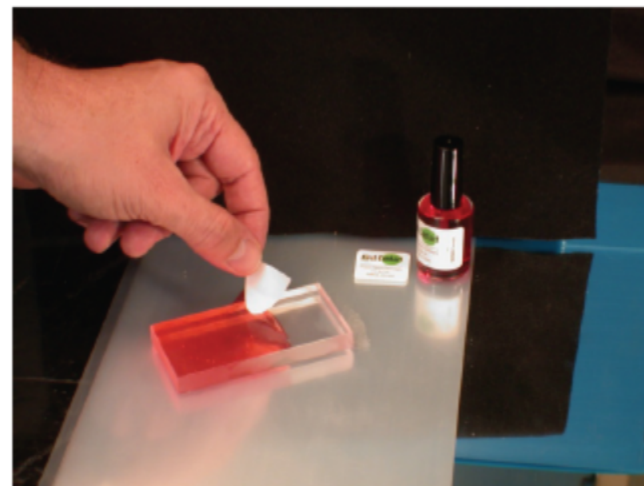
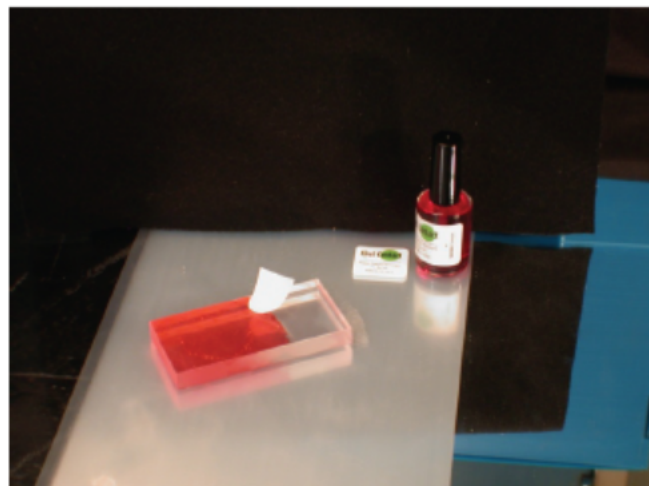
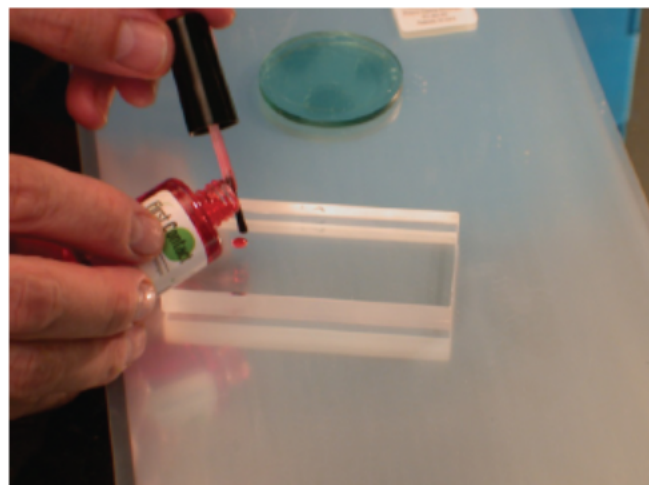
**Before 24.9 ppm** ➔ **After 9.3 ppm**  
**(Specification < 10 ppm)**

# Another cleaning method

## First Contact<sup>®</sup>

<http://www.photoniccleaning.com/>

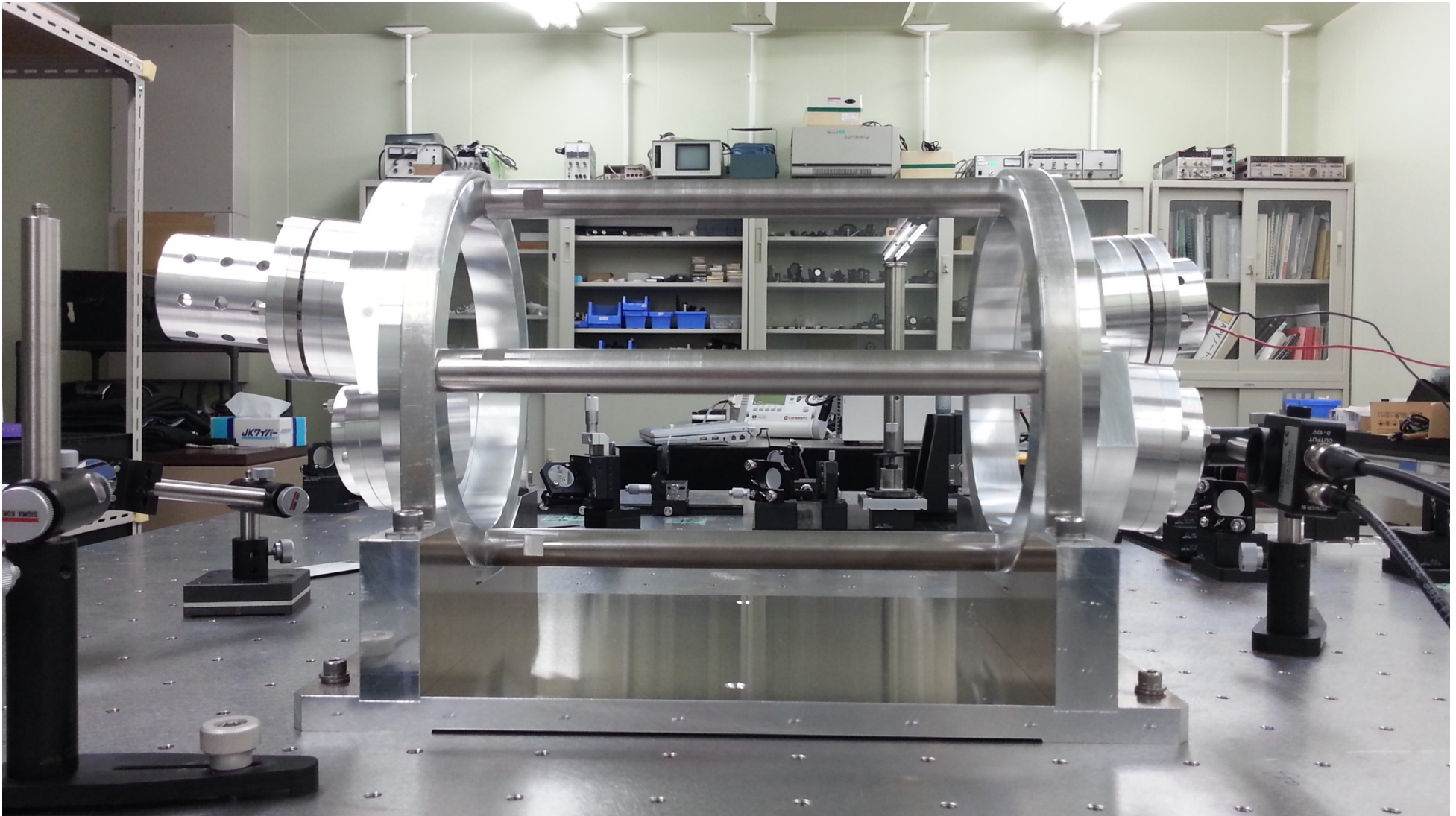
First Contact is also available to clean  
~10 ppm mirrors



# 低損失ミラーの取り扱い

- 国立天文台で鏡のクリーニング方法を広島で実践
- クリーニングの効果を評価できるセットアップ
- ワイプとFast Contactの繰り返しに効果？

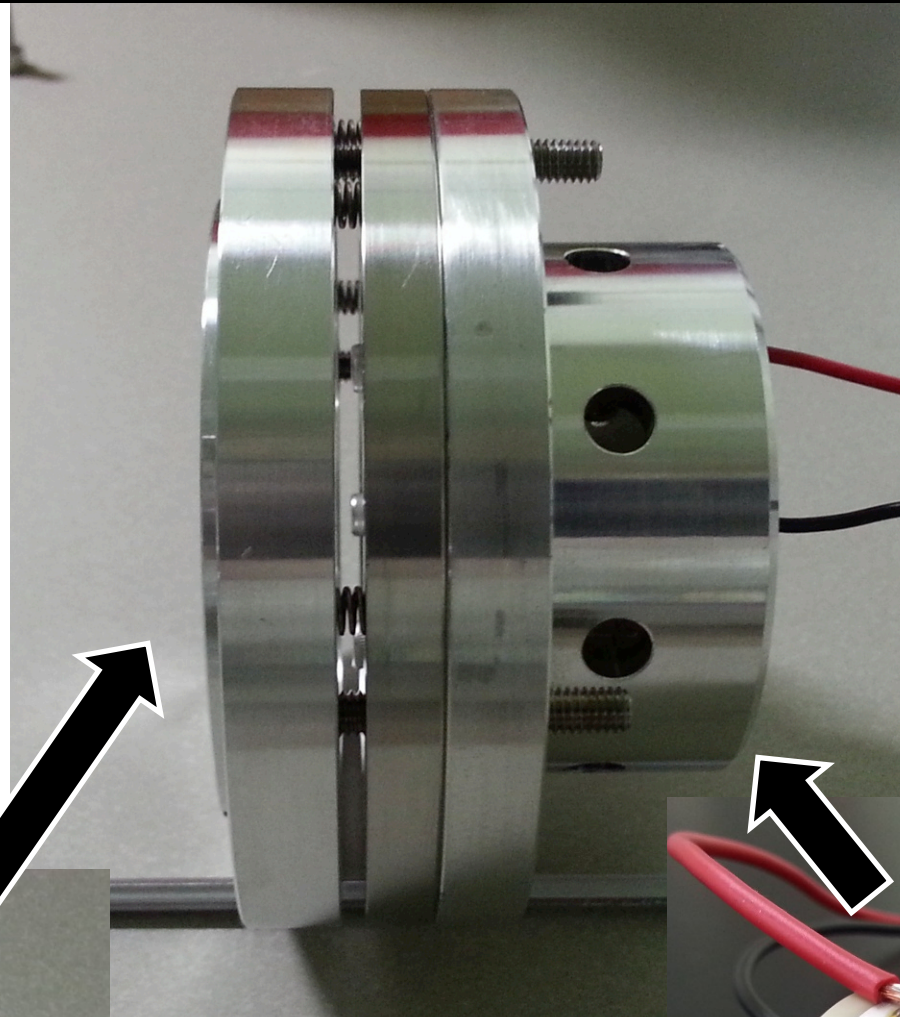
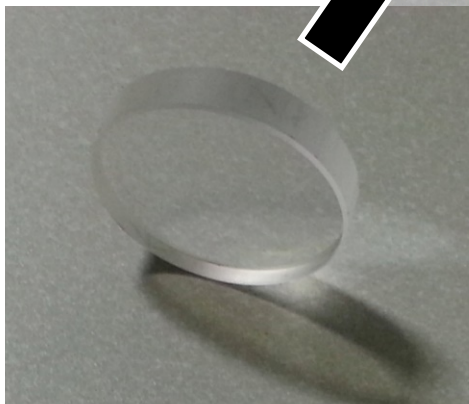
# 三次元4枚鏡共振器



ATF真空仕様/大気仕様と同じ

# 共振器PZTとホルダーユニット

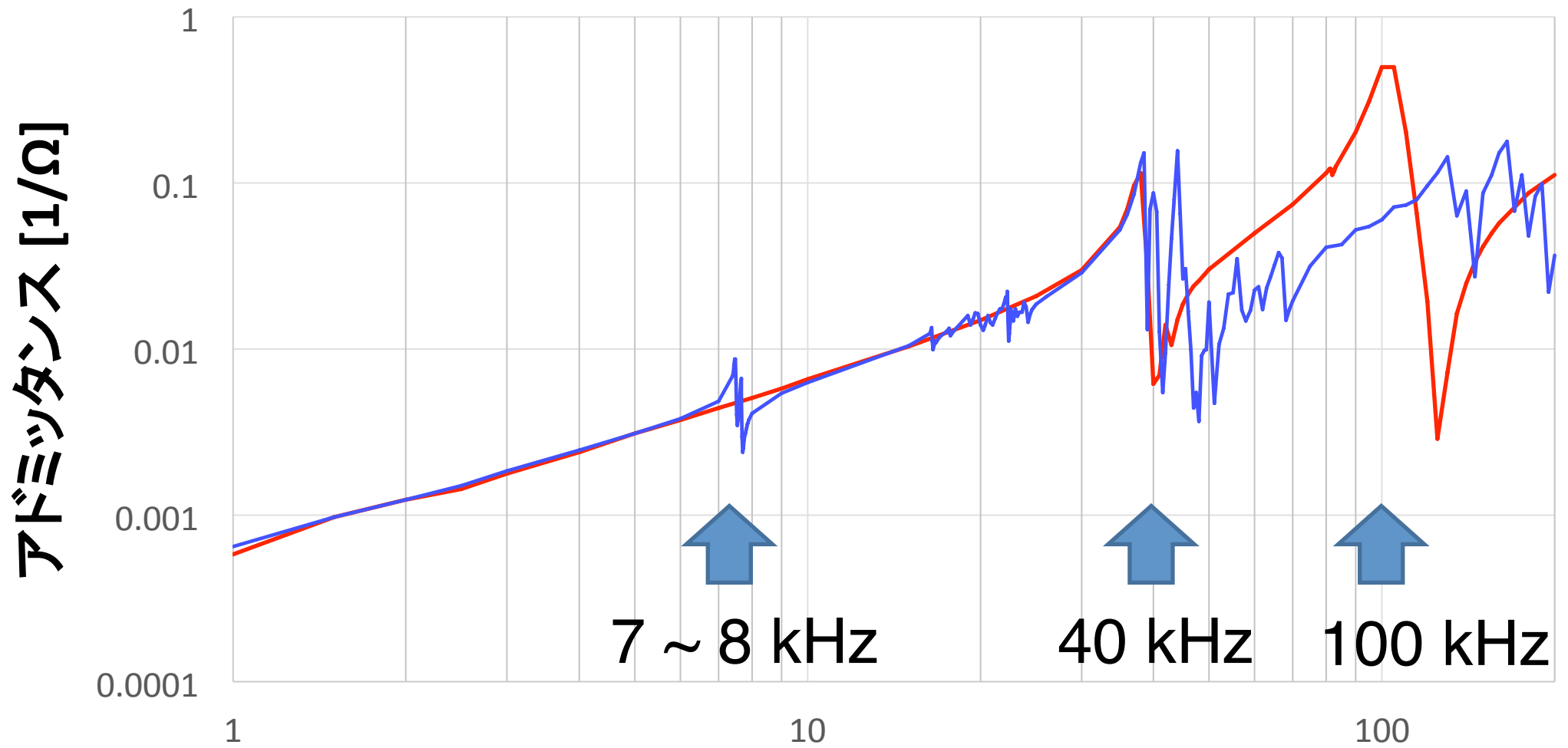
鏡が取り付けられる方向



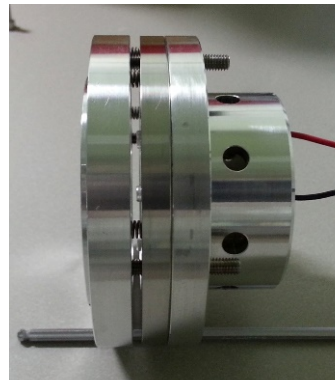
圧電素子は  
この中



# アドミタンス測定結果



無負荷時



ホルダー  
組み込み時

周波数 [kHz]

# 現状と今後

- 高強度蓄積に向けての開発項目
  - 高フィネス共振器の構築
  - 耐高強度鏡
  - 制御技術の改善
- 現在は高フィネス共振器の構築に集中
  - 鏡取り扱い
  - 洗浄方法
  - 散乱測定設備の構築
  - 共振器コンポーネントの周波数測定
- その次
  - フィードバック高度化
    - 耐振動
    - デジタル・アナログシステム
  - 耐高強度ミラー
    - LAL, MPQとの情報交換