

DECIGO Pathfinder向け プロトタイプ干渉計実験

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

麻生洋一、石徹白晃治^A、佐藤修一^B、安東正樹^C、
阿久津智忠^D、上田暁俊^D、川村静晃^{DE}、坪野公夫^E
東大理、KEK素核研^A、法大工^B、京大理^C、国立天文台^D、東大宇宙線研^E

自己紹介

- 神奈川県出身
- 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
- DPF関連
試験マスのデジタル制御実験
Fabry-Perot干渉計実験 ←この話
- LCGTのASC(角度制御)設計
- 地震で京都大学に疎開中(3月23日-4月9日)
モノリシックMichelson干渉計実験

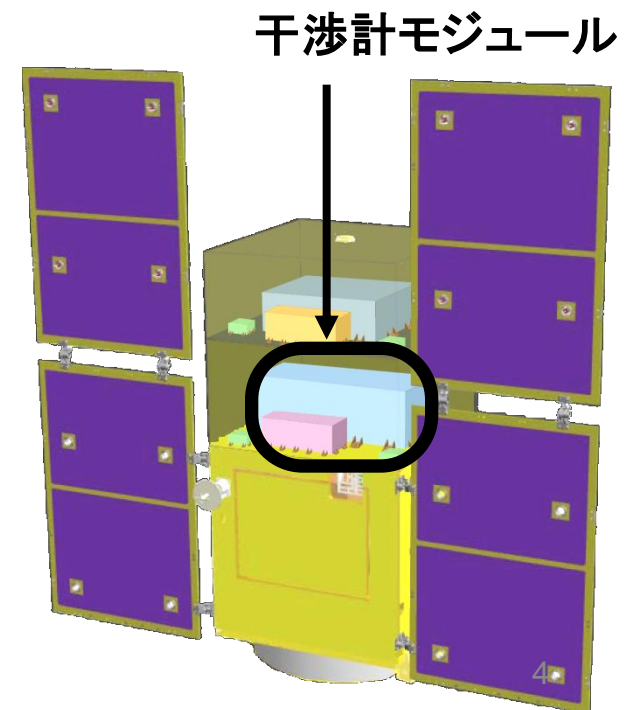
目次

- DPF干渉計モジュールについて
- プロトタイプ干渉計実験の目的と概要
- 実験の原理
- 実験装置の構成
- 制御実験の結果
- まとめと今後の課題

DECIGO Pathfinder

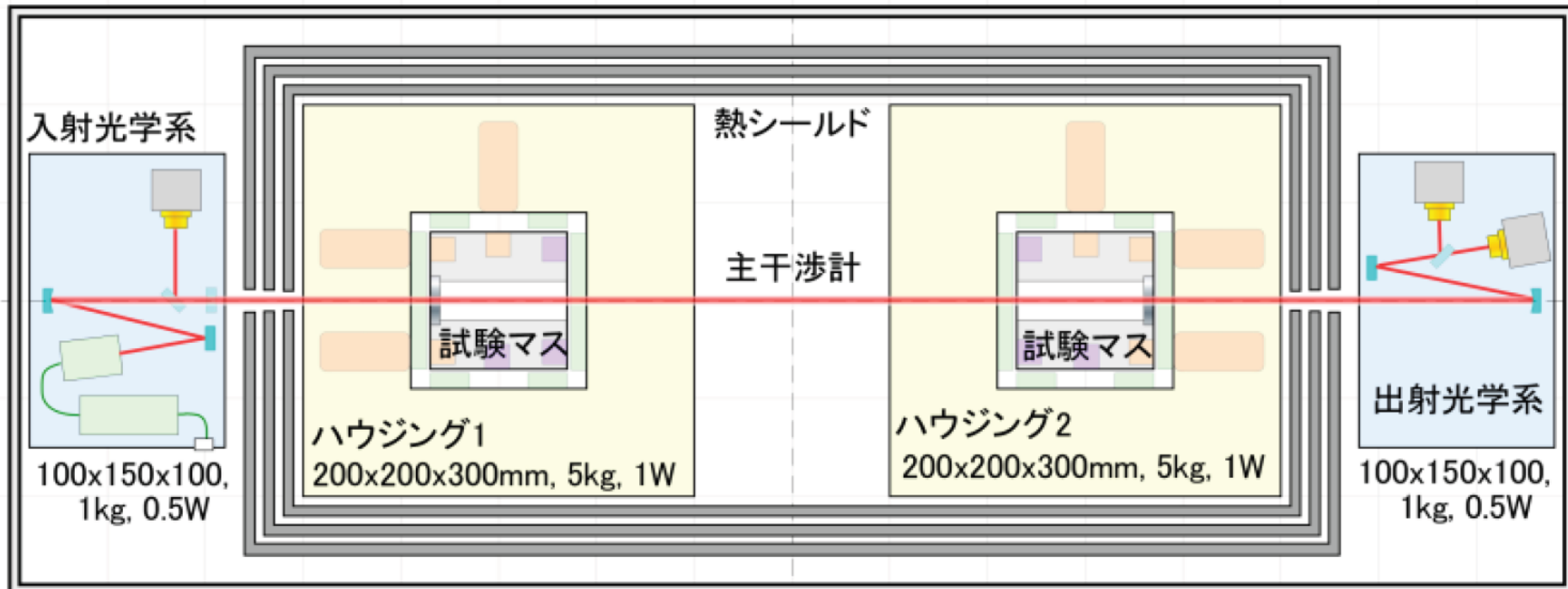
- DECIGOの衛星シリーズ第1弾
- 安定化レーザーと向かい合わせた2つの鏡(試験マス)からなるFabry-Perot共振器を搭載
- 重力波観測、地球重力場観測
- 2015年頃の打ち上げを目標
- 我々の担当:
干渉計モジュールのBBM
を開発し、地上における
動作確認

BBM=Bread Board Model



干渉計モジュール

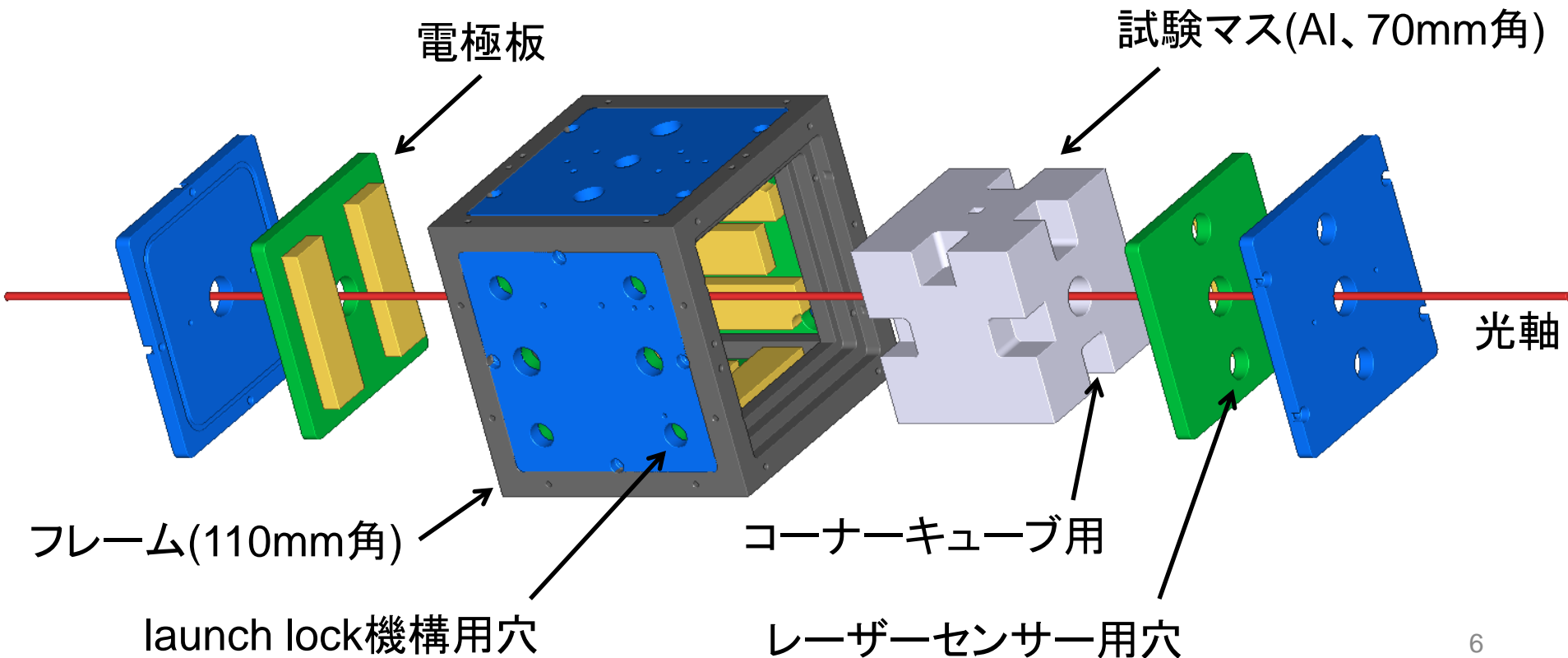
- 入射光学系(ファイバー入射+モノリシック光学系)、マスモジュール、熱シールド+制御系(PDH, WFS)



干渉計モジュール 800x300x300mm, 10kg, 1W (ハウジングを含めて 20kg, 3W) 熱シールド・封入容器

マスモジュール

- 試験マスの6方を電極板で囲む
→ 静電アクチュエータによる制御



BBM実験の概要

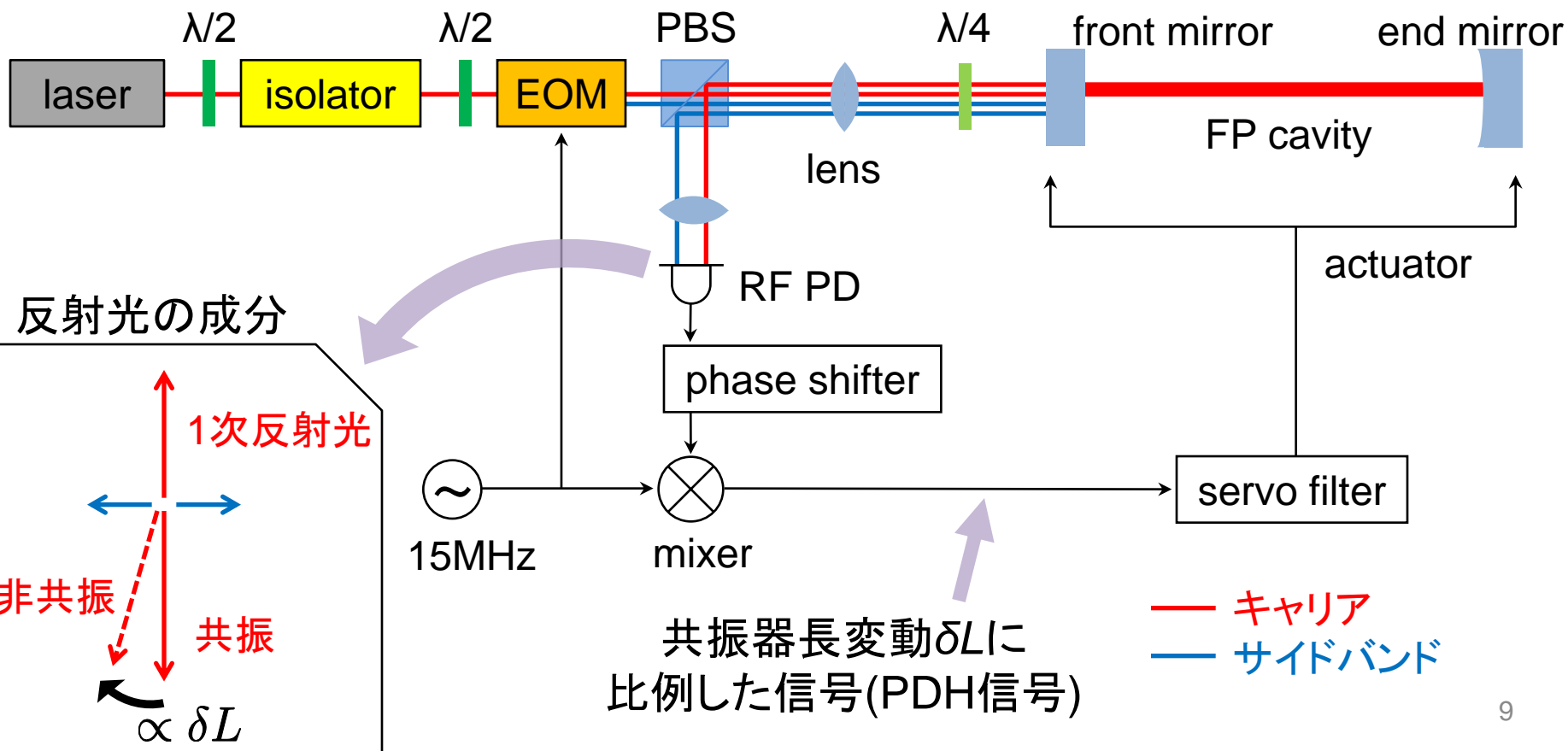
- 目的: 地上における動作確認
衛星と同様の構成、スケール
衛星向けを意識したデジタル制御システム
- 相違点
試験マスを懸架
重心近くで吊るため形状が少し異なる
まずはコイルマグネットアクチュエータ
将来的には静電、マスモジュール化
空气中、熱シールドなし

BBM実験の現状

- 試験マス懸架系の製作
- モノリシック光学系の導入
- 光学系へのファイバー入射
- QPD回路の導入
- デジタル制御用FPGAボードの導入
- PDH法を用いた共振器長制御
- WFSによるアライメント制御
フロント/エンドミラーのpitch、yaw

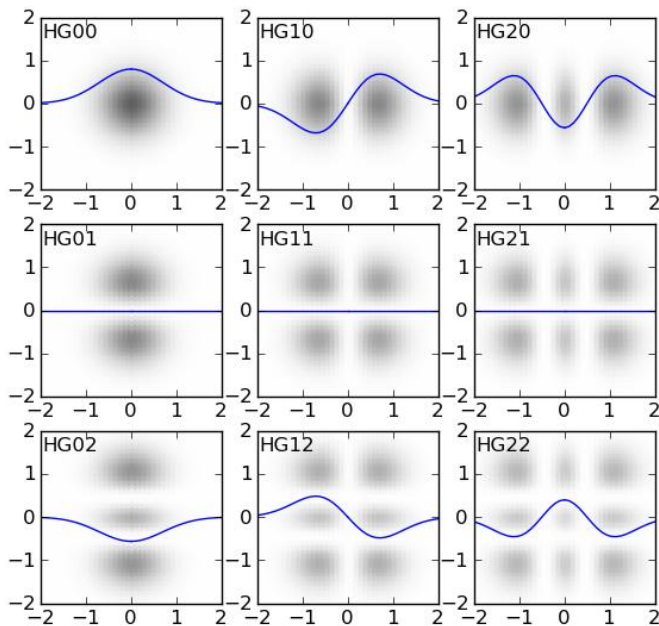
Pound-Drever-Hall法

- 入射光に位相変調をかけて、反射光から共振器長変動に比例した信号を取り出す

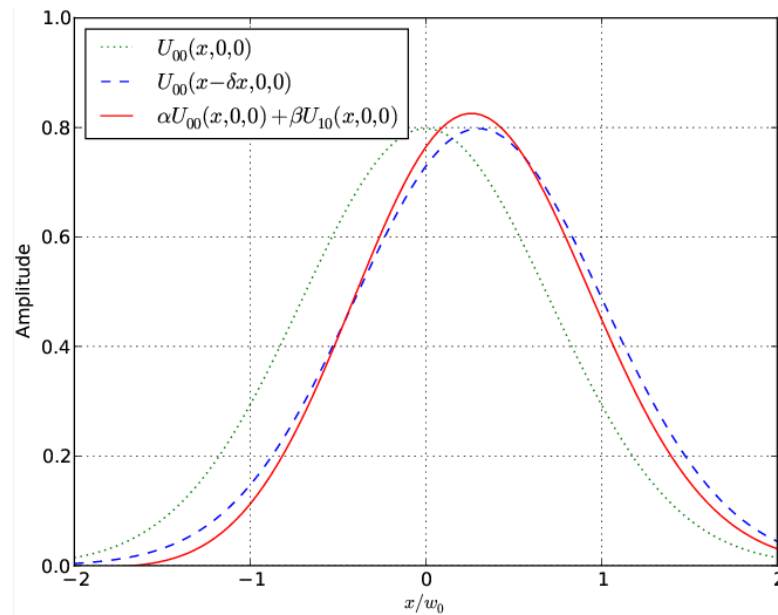


Wavefront Sensor

- 反射光に含まれる共振器の固有モードと鏡の傾きによって生じた高次モードの干渉を、受光面が4つに分割された受光素子(QPD)を用いて検出することにより鏡の傾きに関する情報を得る



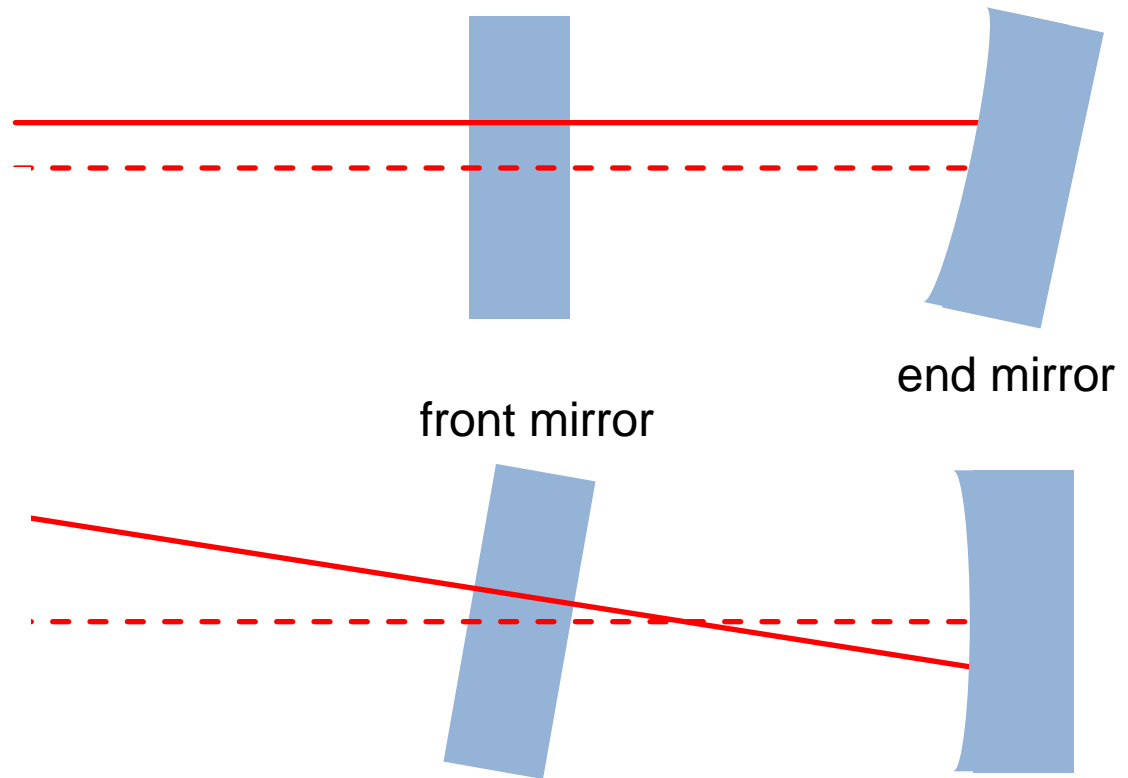
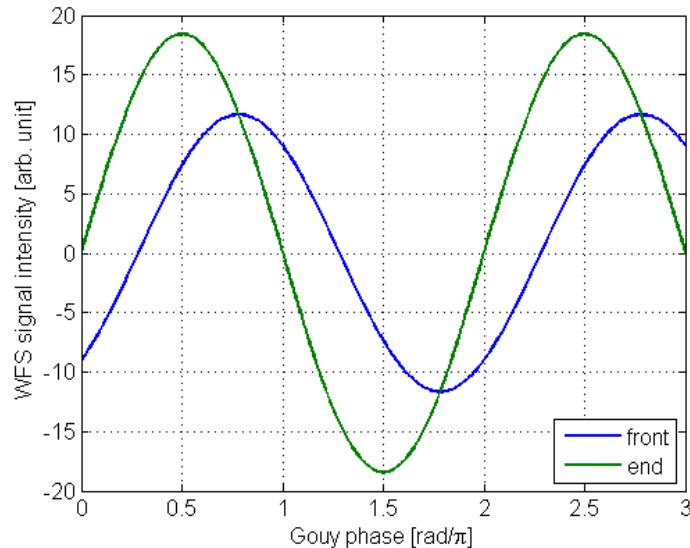
Hermite-Gaussian modes



ずれたHG00はHG00とHG10の和で表せる 10

Wavefront Sensor

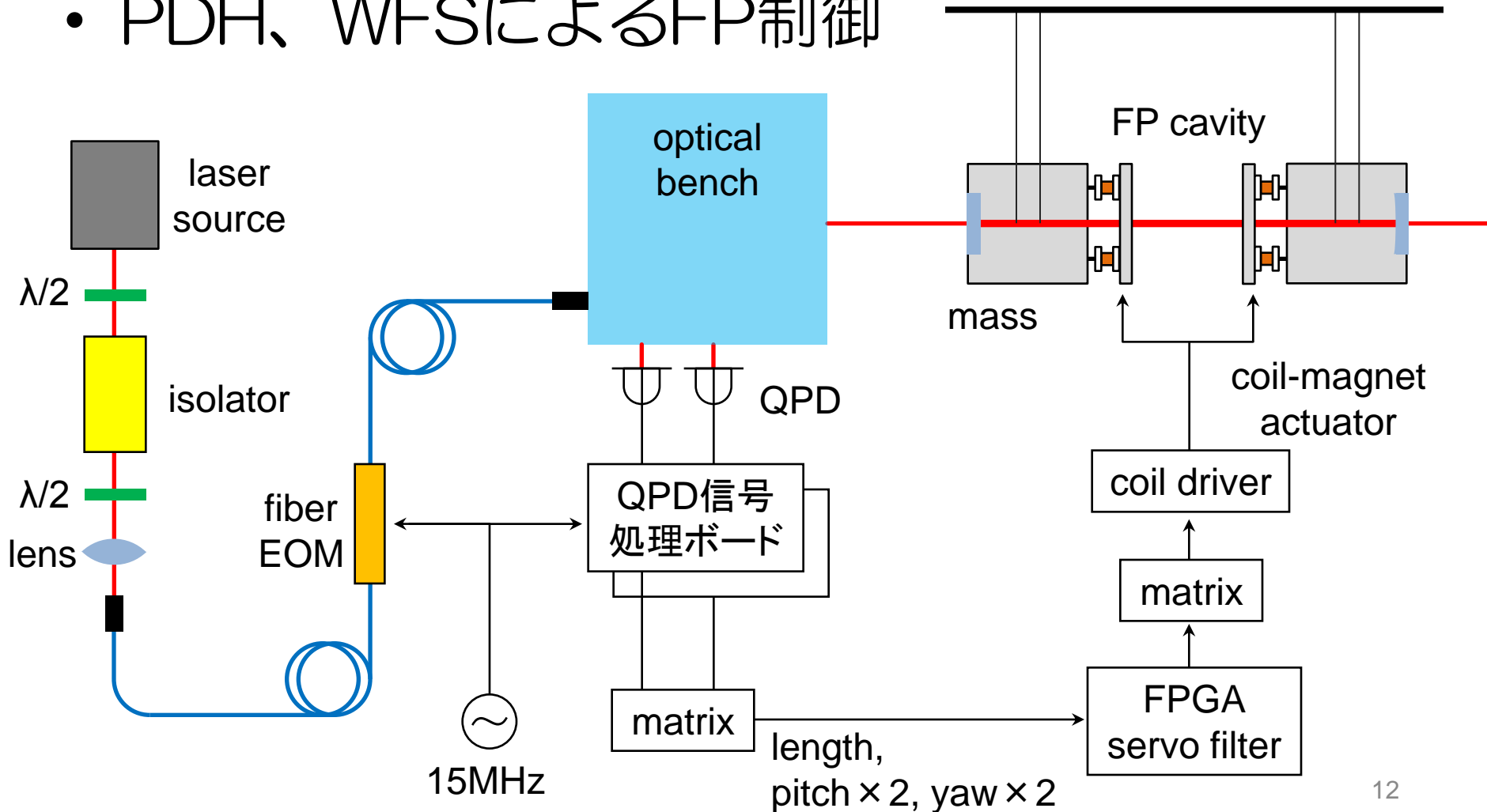
- 共振器軸が回転するか平行移動するかで信号の出方が違い、frontとendの各傾きを分離できる



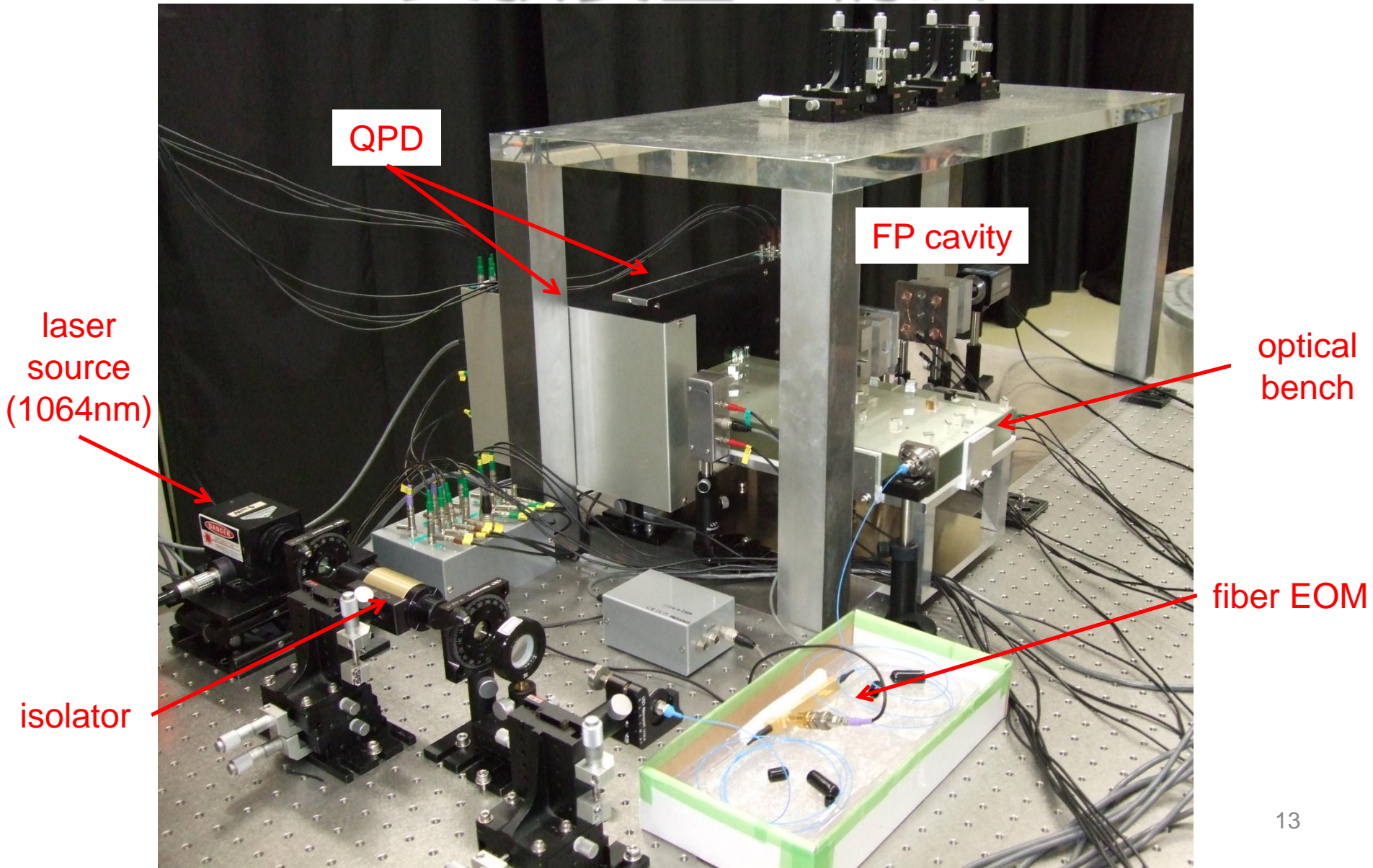
Gouy phase: Gaussianビームと平面波の位相差(ウエストで0、無限遠で $\pi/2$)

実験装置の構成

- PDH、WFSによるFP制御



実験装置の構成



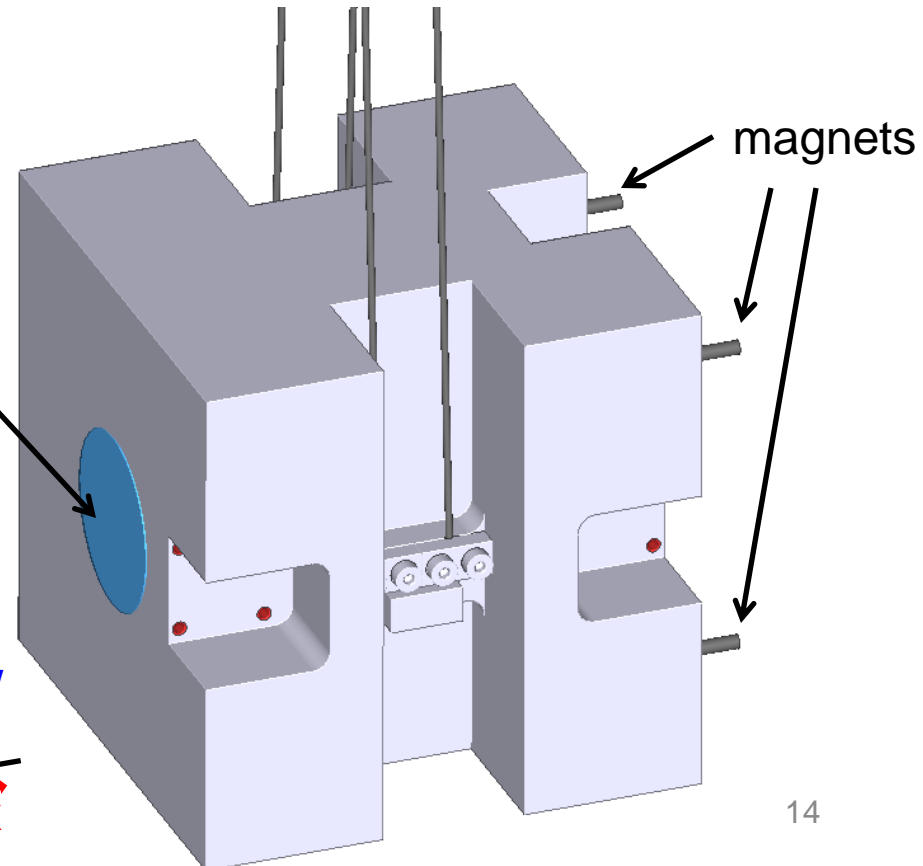
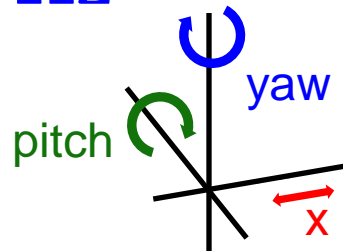
試験マス

- Al製、70mm角、質量0.71kg
- ミラー1つ、マグネット4つ接着
- 重心近くで4本吊り
- 共振周波数(実測値)

$$f_x = 0.90 \text{ Hz}$$

$$f_{\text{pitch}} = 6.57 \text{ Hz}$$

$$f_{\text{yaw}} = 0.46 \text{ Hz}$$

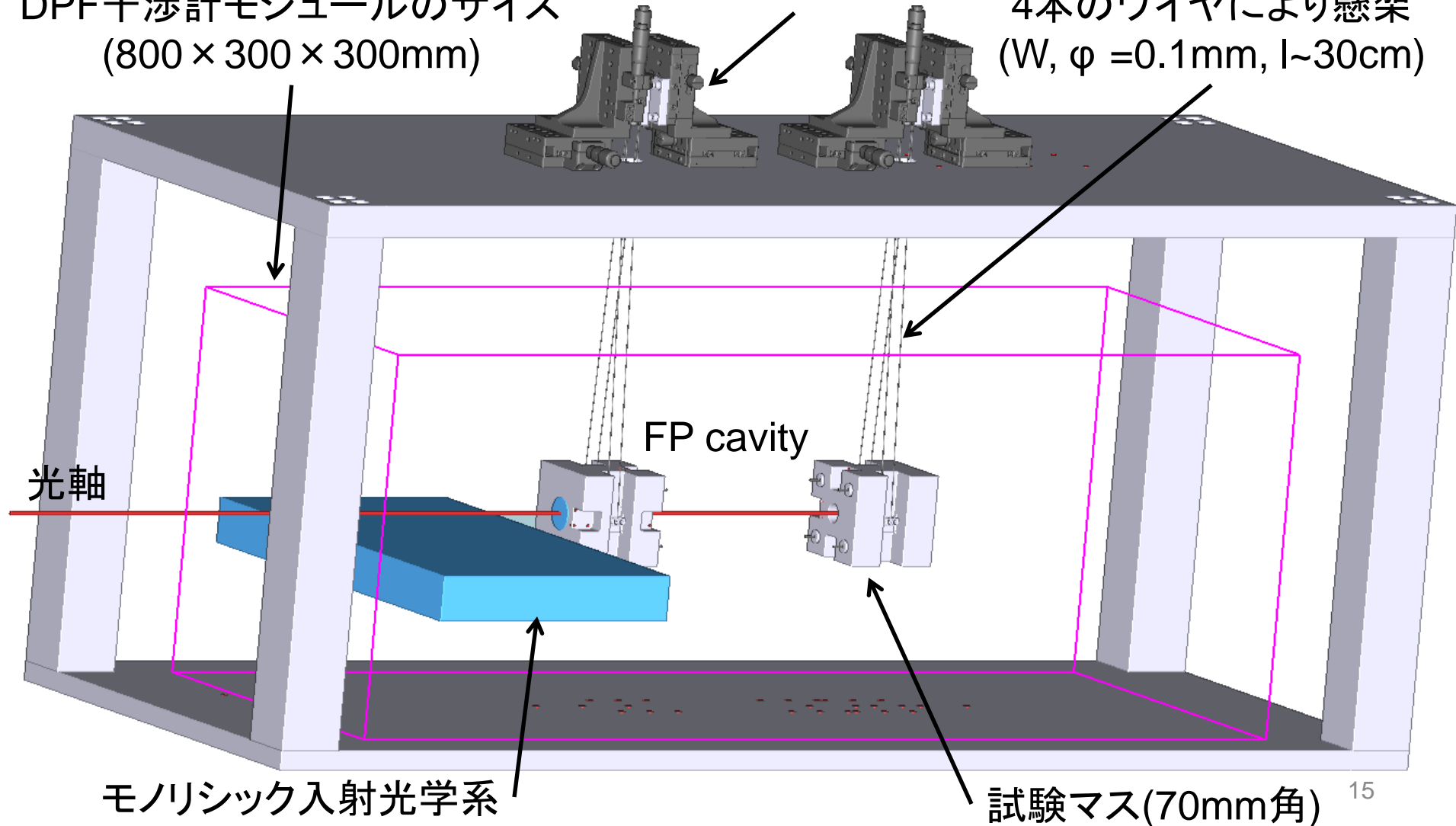


懸架用フレーム

DPF干渉計モジュールのサイズ
(800 × 300 × 300mm)

姿勢調整用ステージ

4本のワイヤにより懸架
(W, φ = 0.1mm, l ~ 30cm)



試験マス(70mm角)

Fabry-Perot共振器

- フィネス: 208(設計値)

end mirror

曲率半径: 500mm

反射率: 99%

front mirror

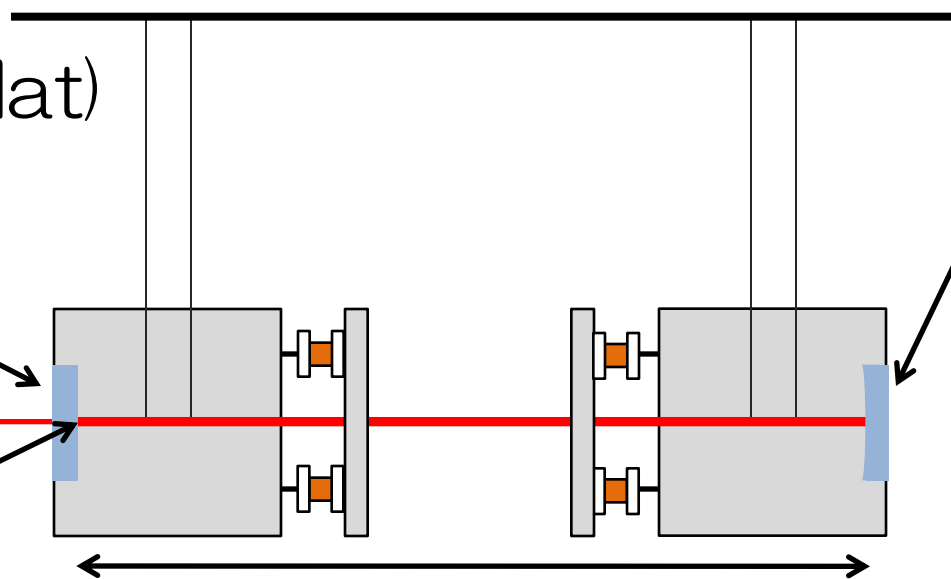
曲率半径: ∞ (flat)

反射率: 98%

入射

ウェスト

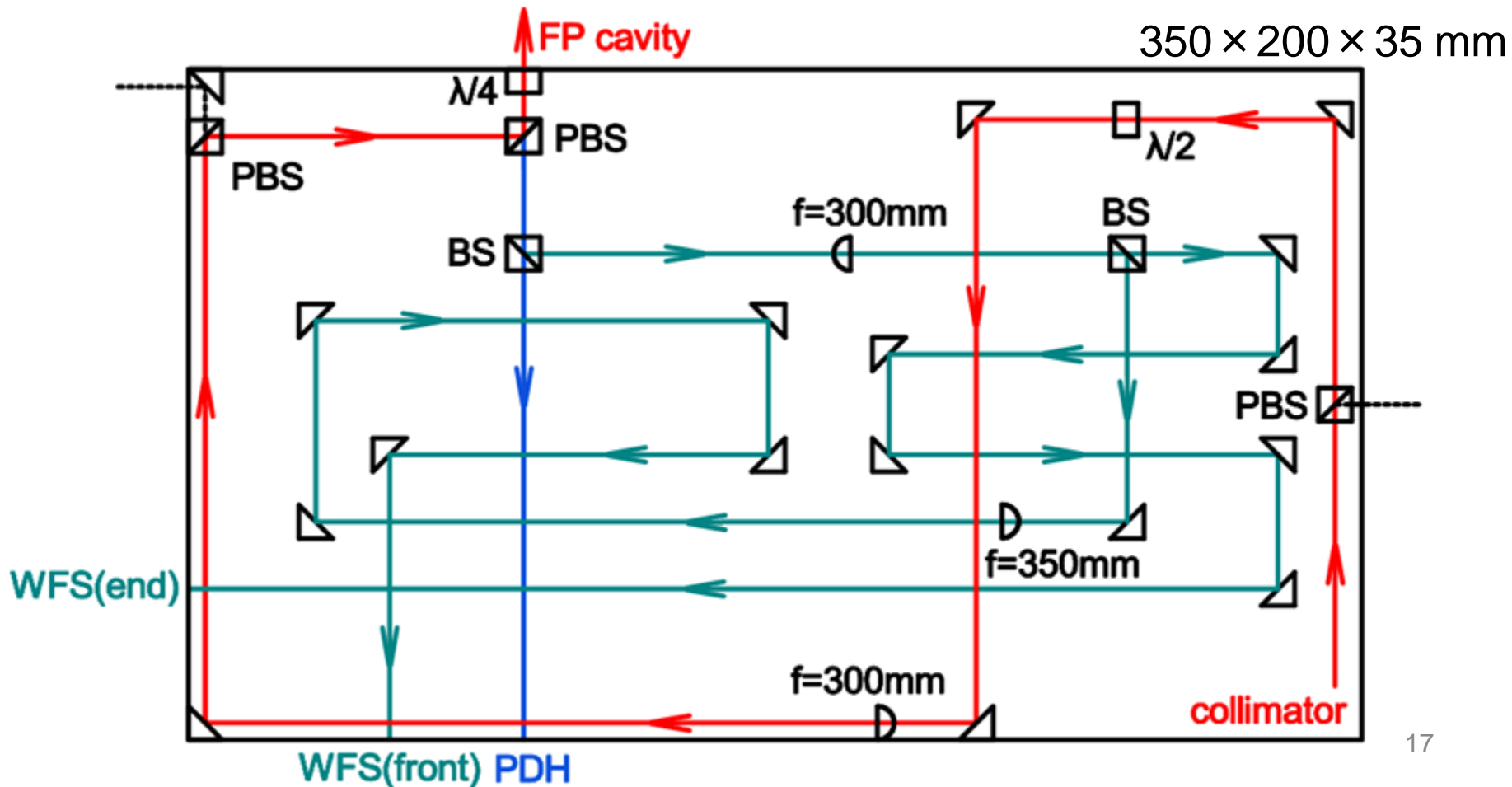
サイズ: 0.29mm



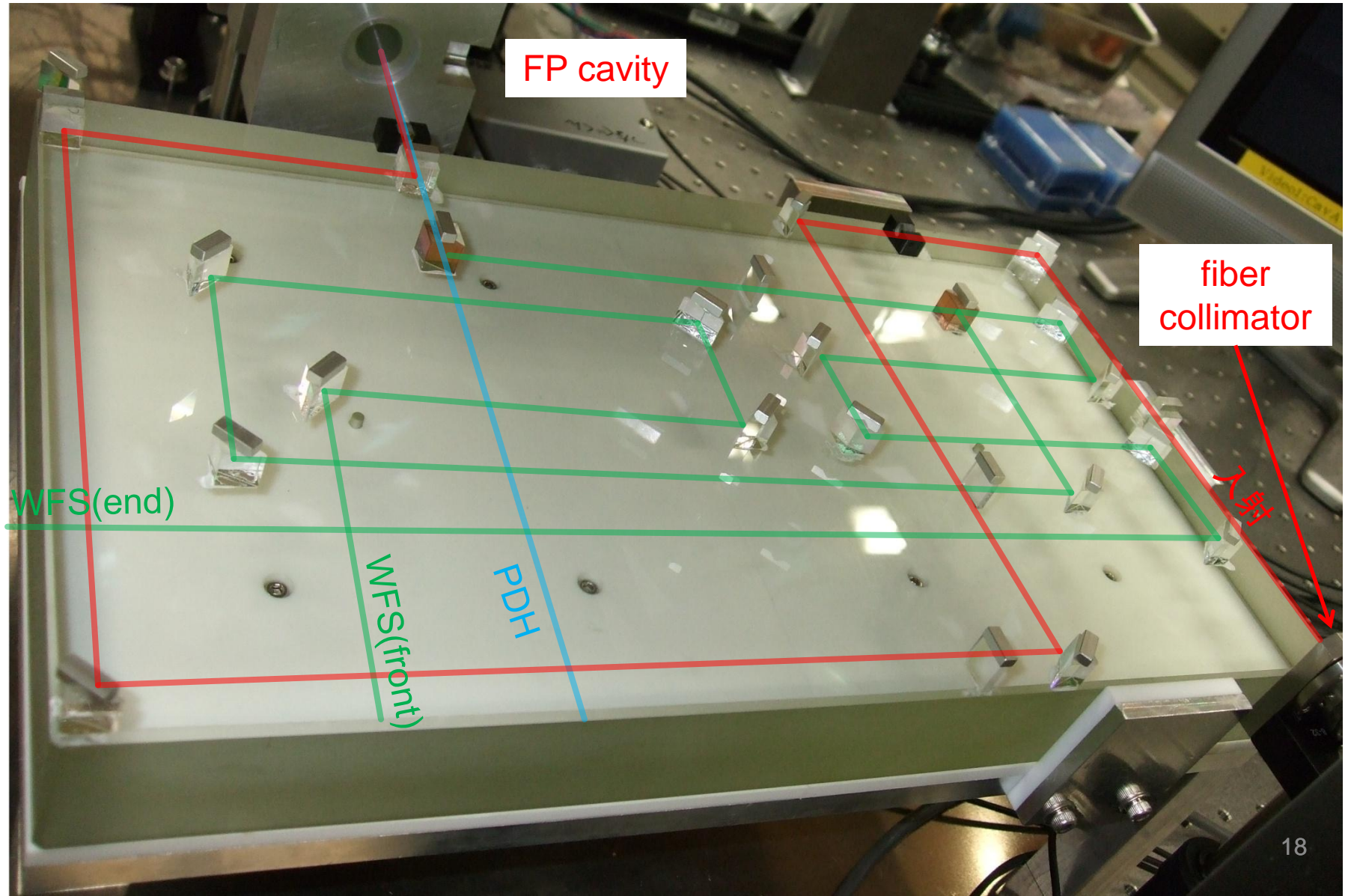
共振器長: 30cm

モノリシック光学系

- Pyrexガラス製の基板に光学素子をシリケートボンディング

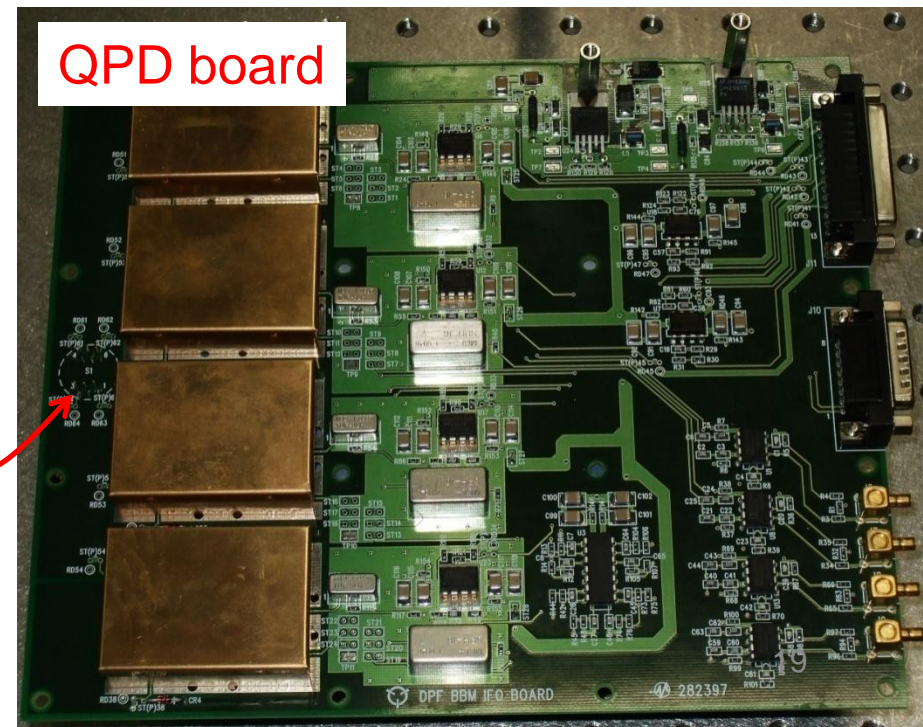
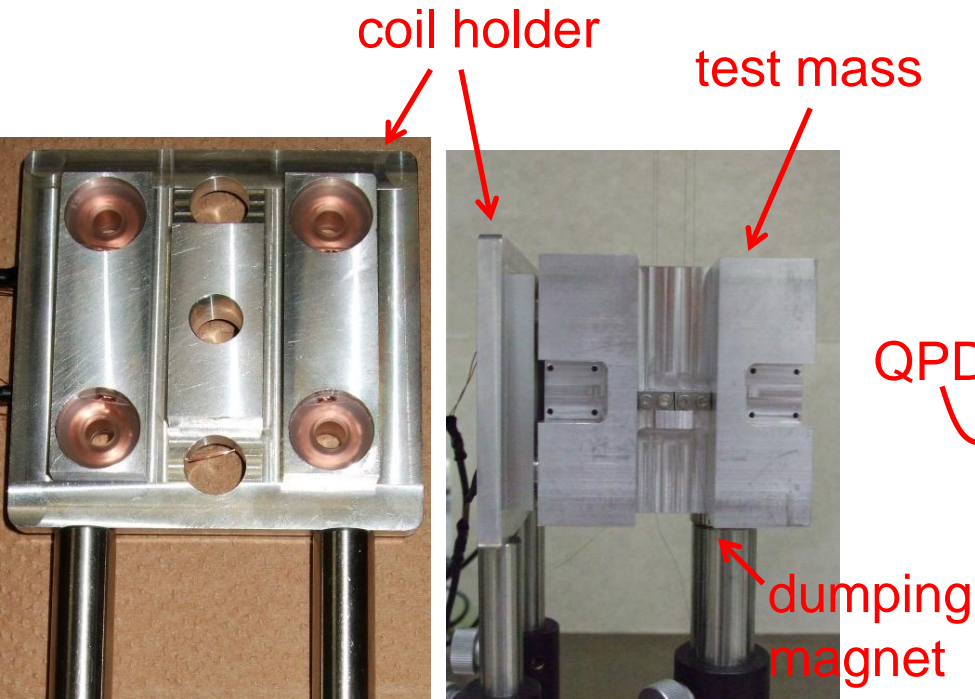


モノリシック光学系



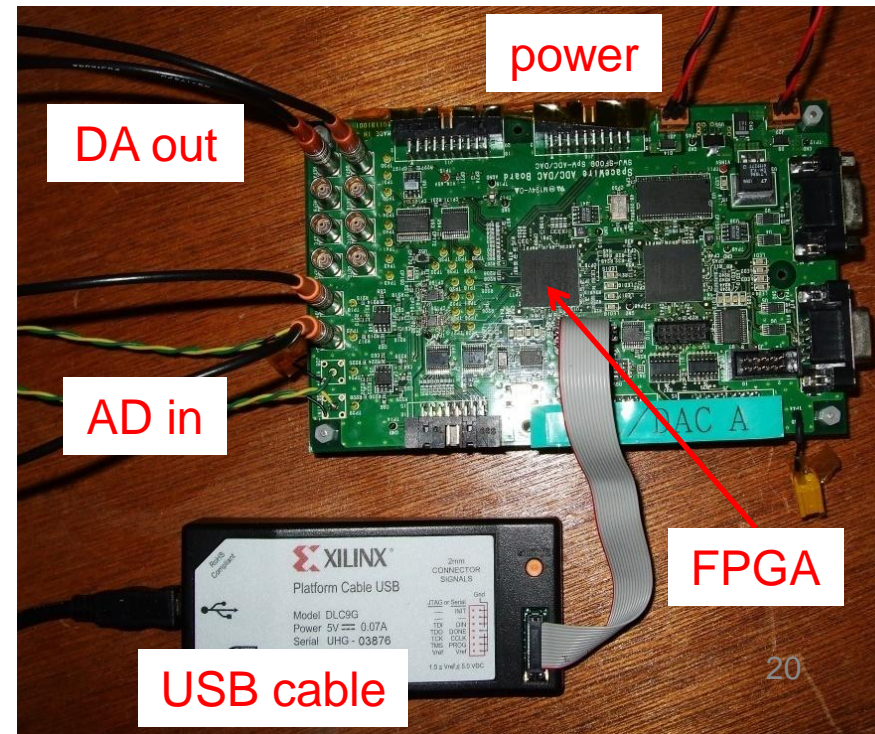
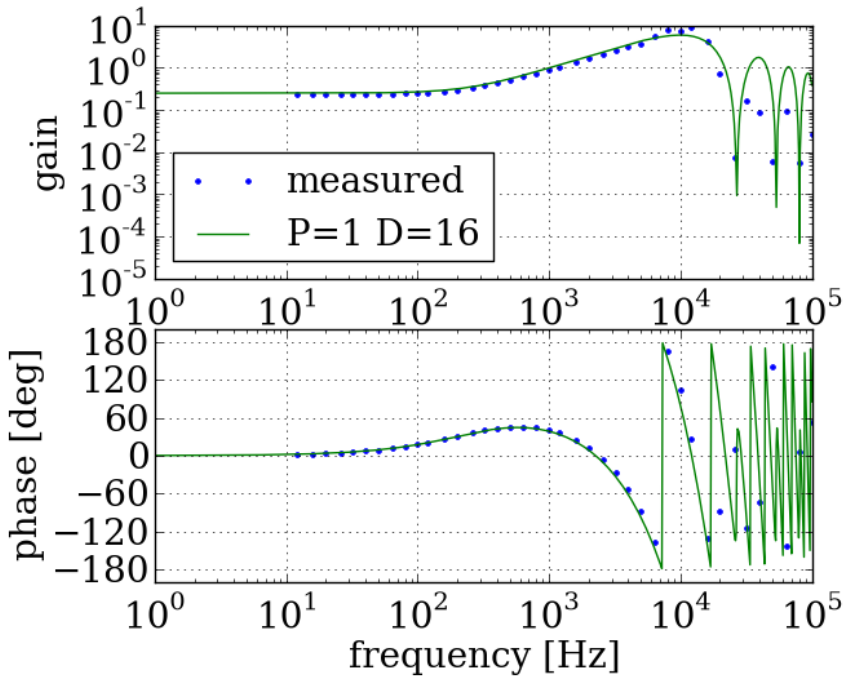
制御系1

- BBM向けに開発されたQPD信号取得ボード
- コイルマグネットアクチュエータ



制御系2

- FPGAによるデジタル制御(PD制御)
SWIM μ v気球実験で用いられたボードを利用
サンプリング周波数
PDH: 26.8kHz
WFS: 13.4kHz



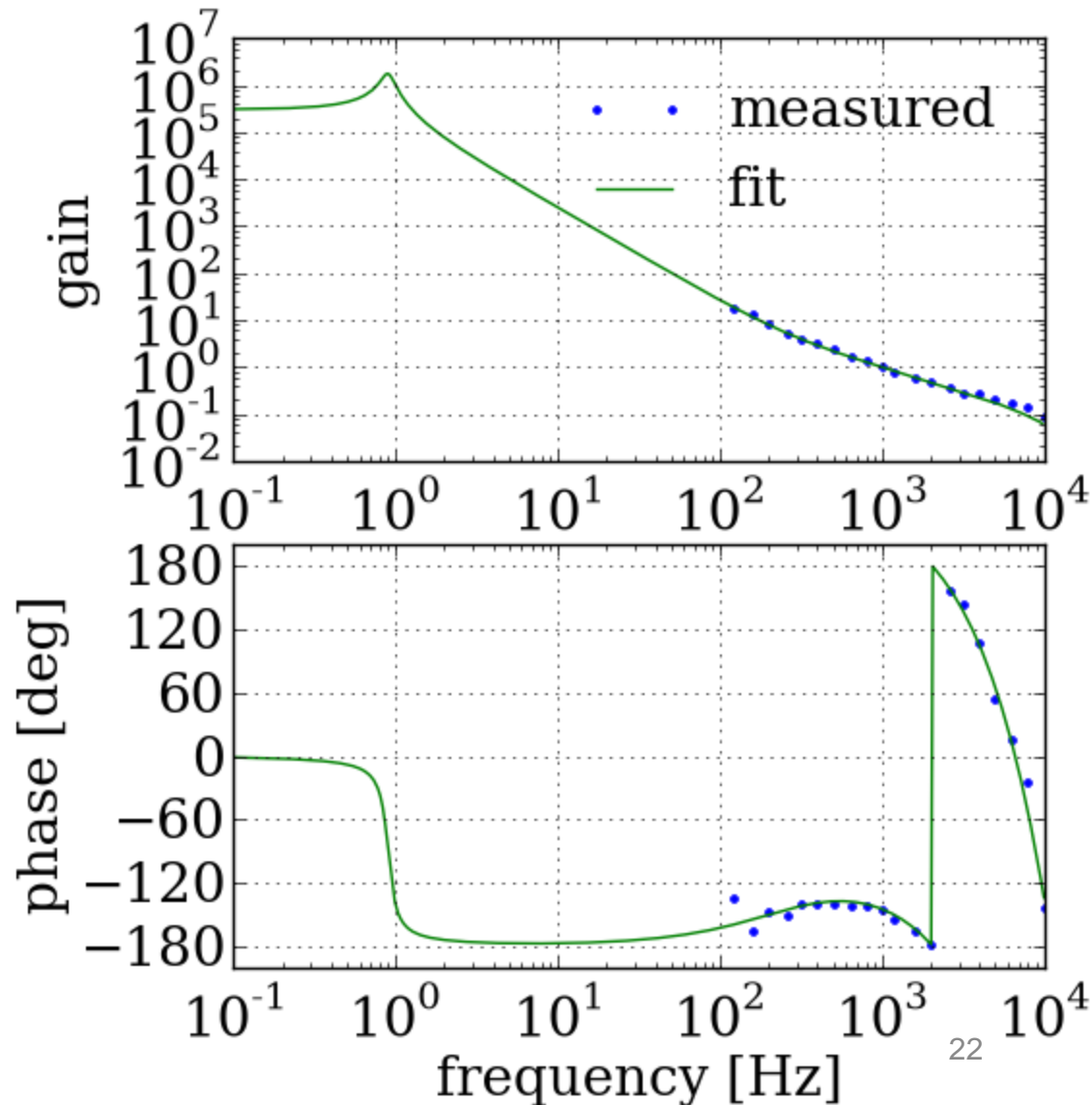
制御中の写真

- 00モードの制御されている

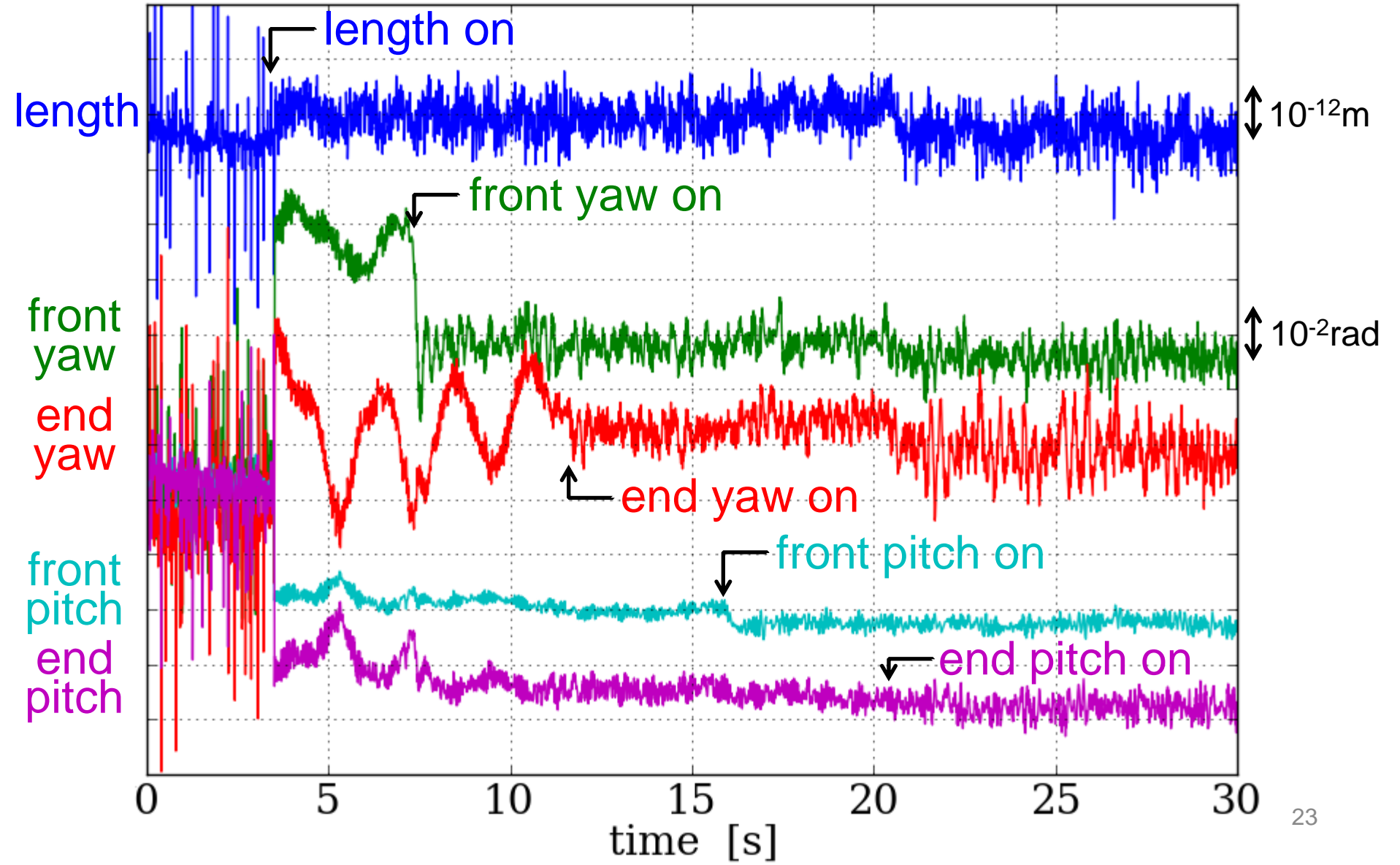


Openloop伝達関数

- 共振器長制御
UGF: 1kHz
位相余裕: 35°
- pitch制御
UGF: 8Hz
位相余裕: 10°
- yaw制御
UGF: 7Hz
位相余裕: 10°



制御の様子



まとめ

- 全てのBBM部品が揃い、導入された
- DPFの構成でFabry-Perot干渉計の全5自由度制御に成功し、原理検証ができた
- 入射光学系、QPD回路、FPGAプログラムに改良の必要あり
- 今後は他に、
 - 真空中での実験による感度評価
 - 試験マスを懸架をせずに行える落下実験
 - 静電アクチュエータを用いた制御の実証