

# KAGRA用防振装置の開発XVIII (制御系)

日本物理学会年次大会 @東北学院大学  
2016.03.21

発表者：  
総合研究大学院大学 博士1年  
奥富 弘基

# Contents

- PR3鏡防振装置：Type-Bp' SAS
  - 制御の目的
  - センサ・アクチュエータ
- ダンピング制御

# Contents

- PR3鏡防振装置：Type-Bp' SAS
  - 制御の目的
  - センサ・アクチュエータ
- ダンピング制御

# KAERA



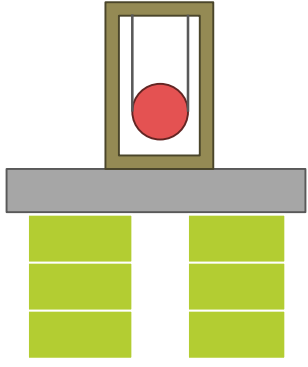
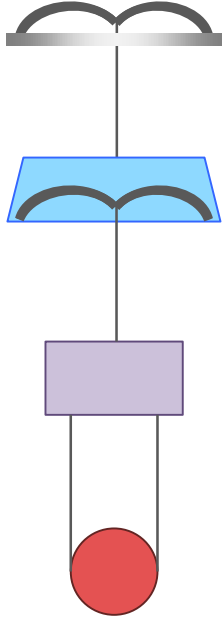
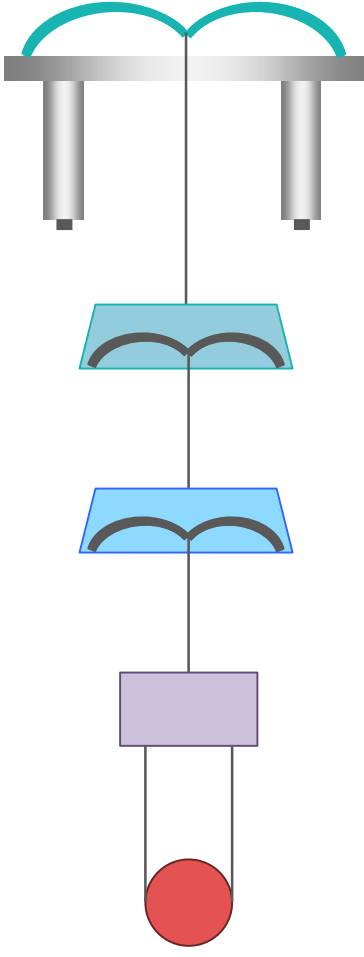
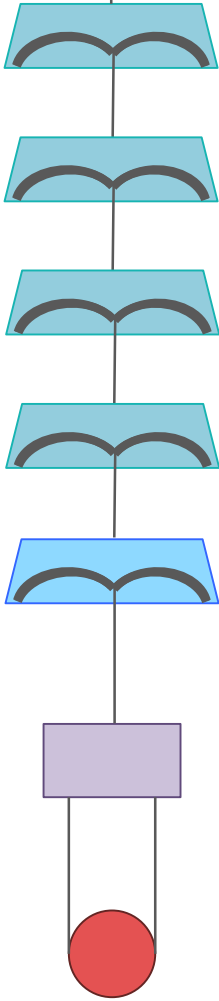
# KAGRA

- Fabry-Perot Michelson型のレーザー干渉計
- 神岡鉱山の地下に建設
- 2015年度内に試運転を開始(iKAGRA)



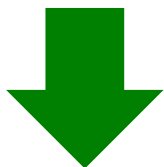
# KAGRA 鏡防振裝置

## Seismic Attenuation System



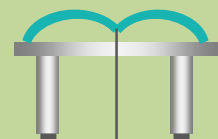
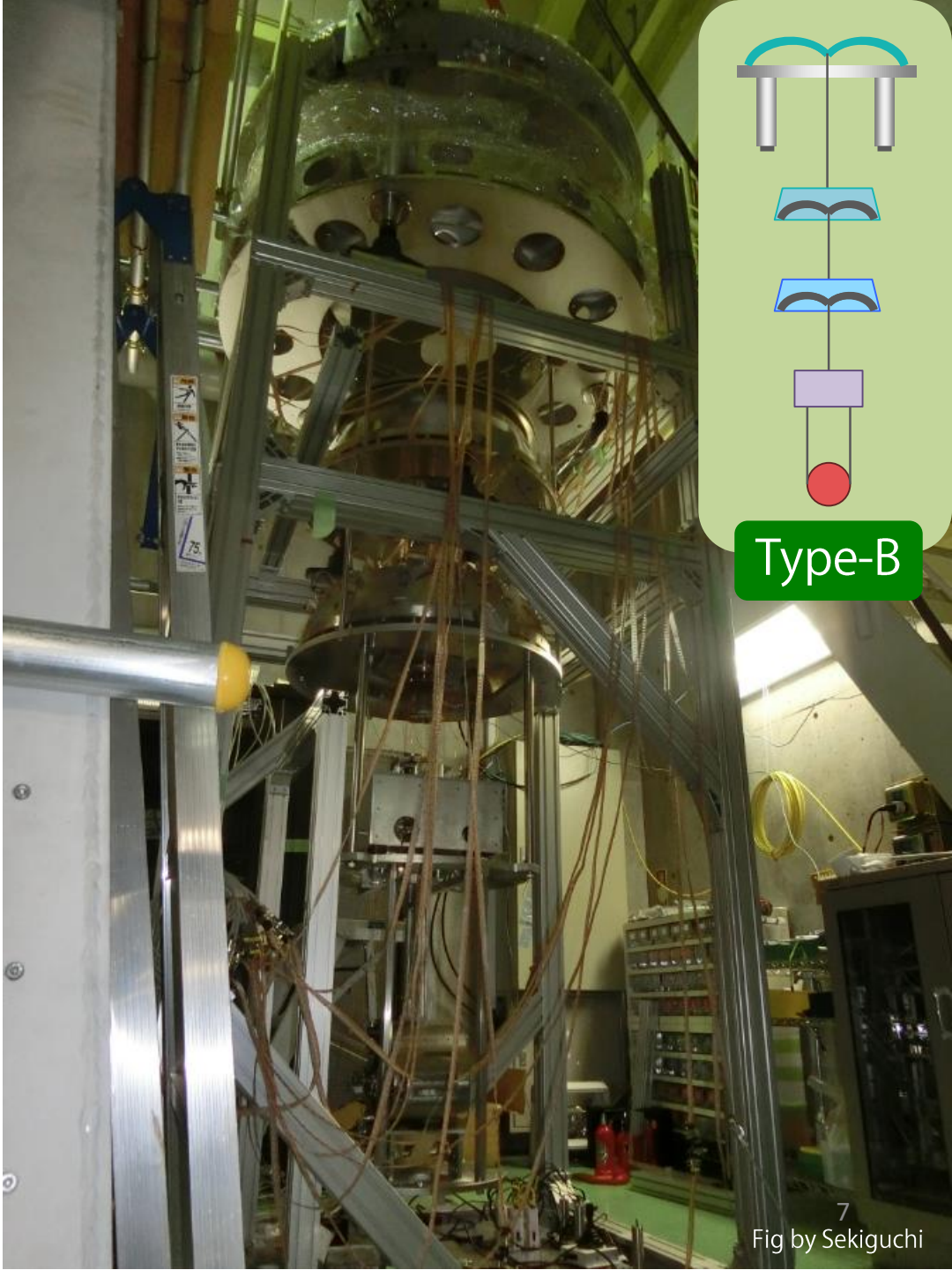
# 防振装置の試験

☑ Type-B SAS 単体での  
試験終了 (-2015.06?)



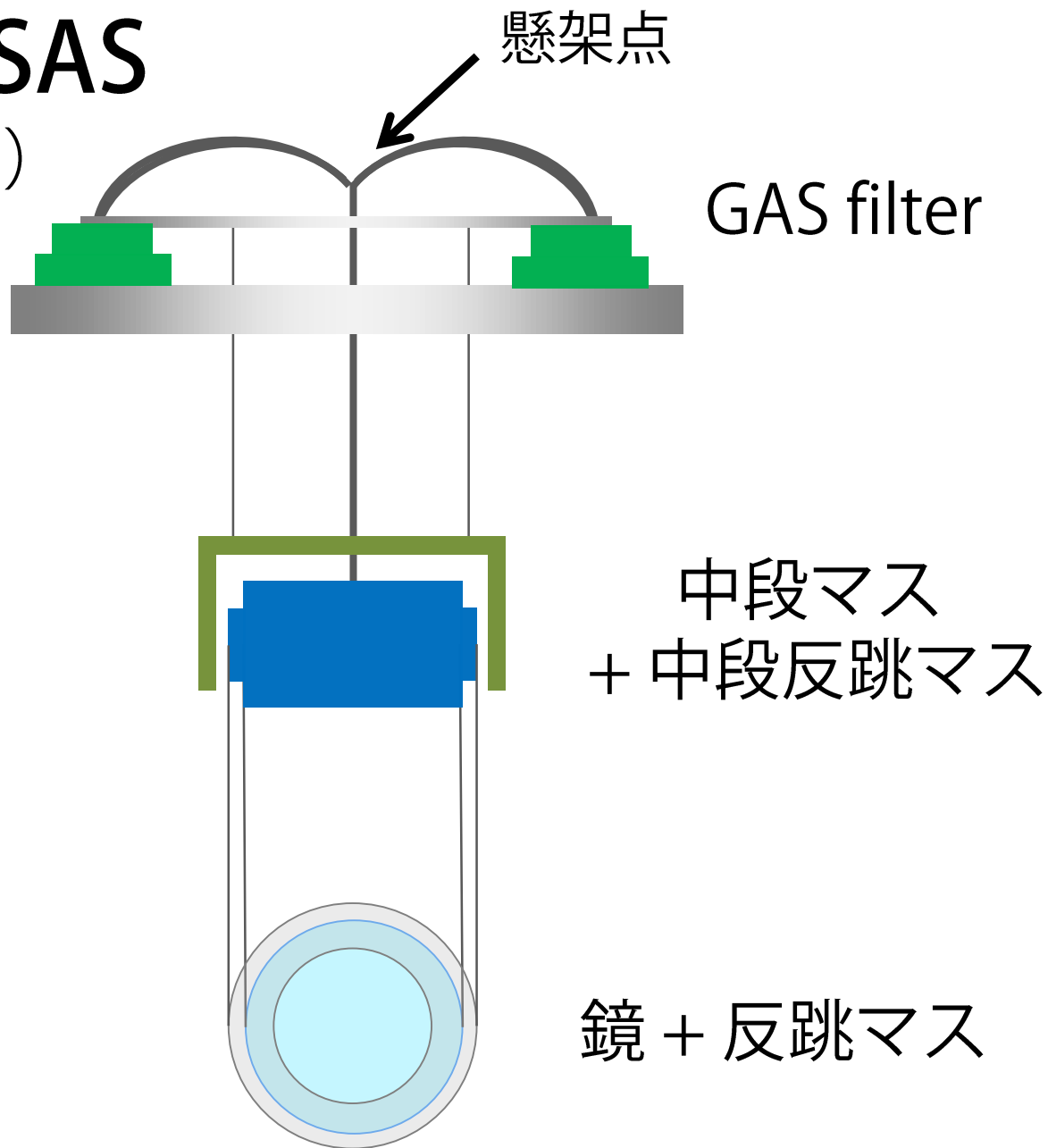
Next step:

➤ 防振装置を干渉計に  
組み込んだ試験



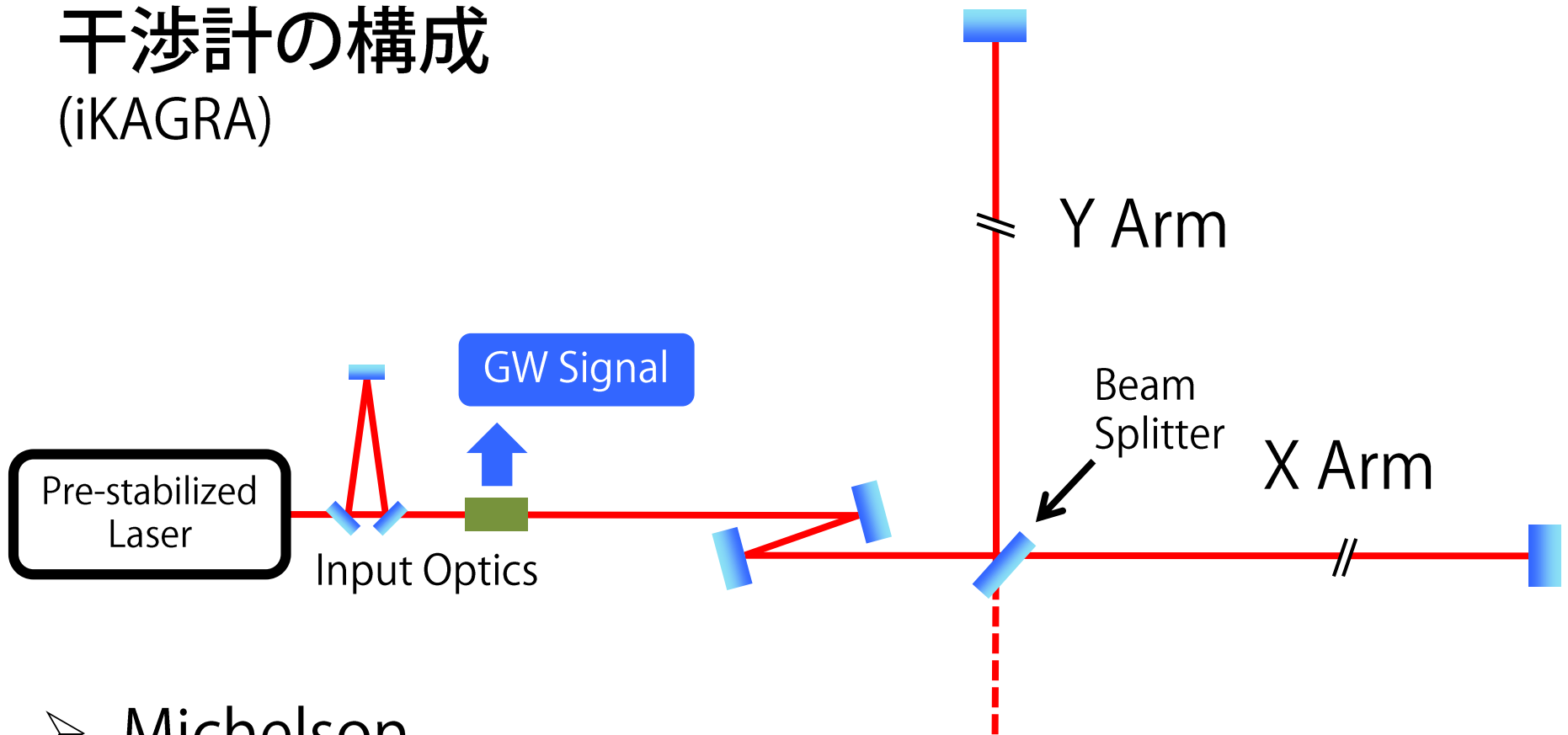
Type-B

# Type-Bp' SAS (iKAGRA PR3)



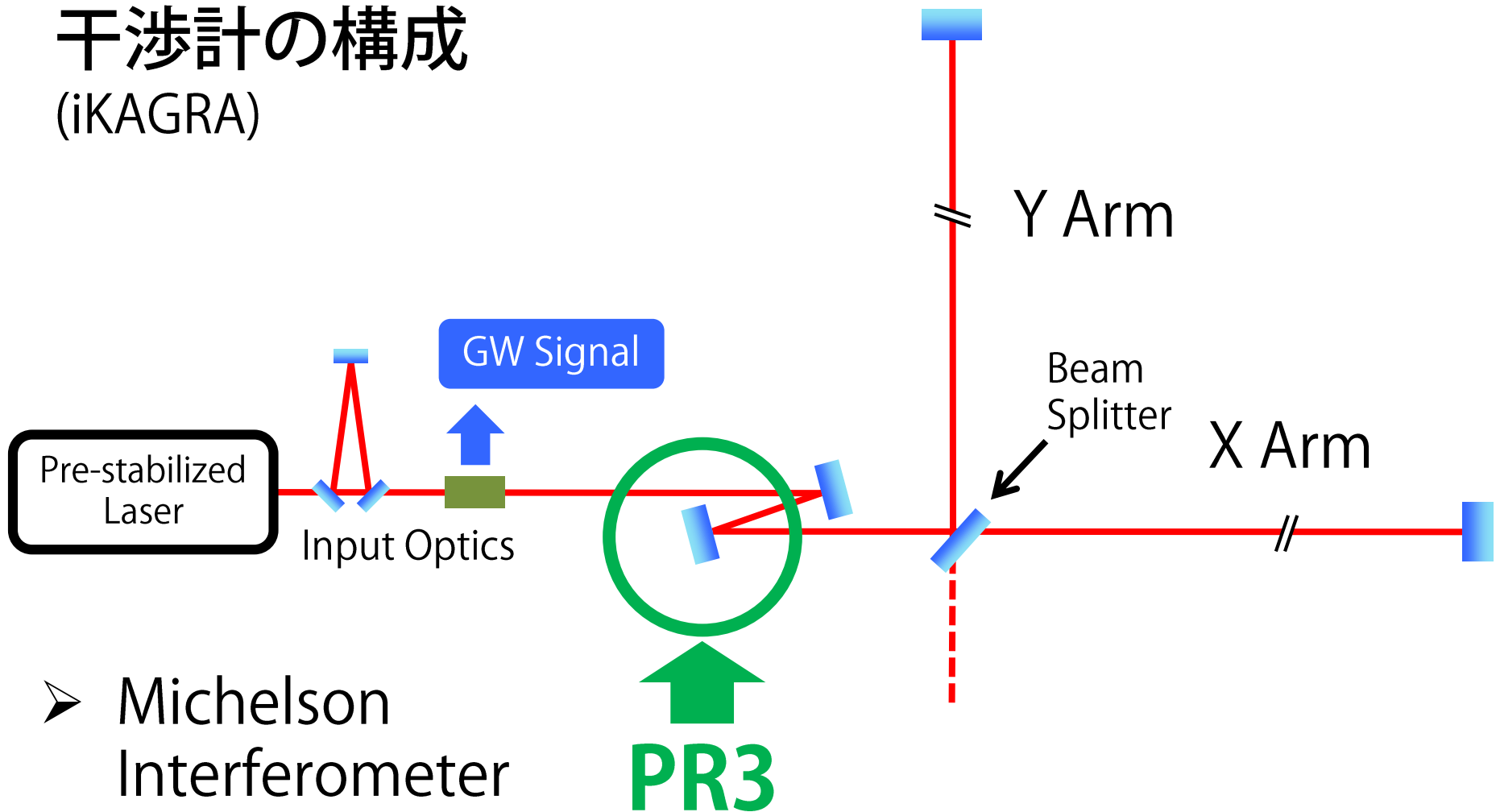


# 干渉計の構成 (iKAGRA)



- Michelson Interferometer

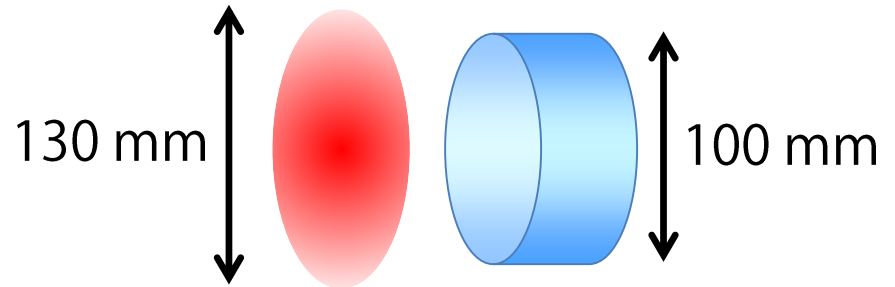
# 干渉計の構成 (iKAGRA)



➤ Michelson Interferometer

たとえば…

PR3鏡が  $10 \mu\text{rad}$  程度  
揺れていると、3 km 先の  
ビームスポットは  $30 \text{ mm}$  も  
動いてしまう

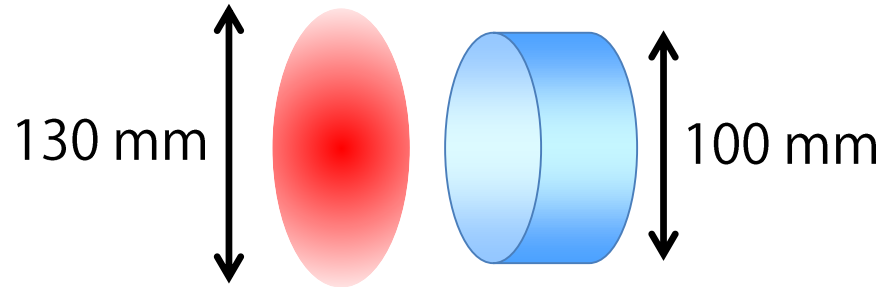


3 km先での  
ビームスポット  $\leq 1 \text{ mm}$  の揺れ  $\iff$  PR3 鏡の  
角度揺れ  $\leq 0.3 \mu\text{rad}$

iKAGRA における干渉計からの要求

たとえば…

PR3鏡が  $10 \mu\text{rad}$  程度  
揺れていると、3 km 先の  
ビームスポットは  $30 \text{ mm}$  も  
動いてしまう



3 km 先での  
ビームスポット  $\leq 1 \text{ mm}$   
の揺れ

制御への要求

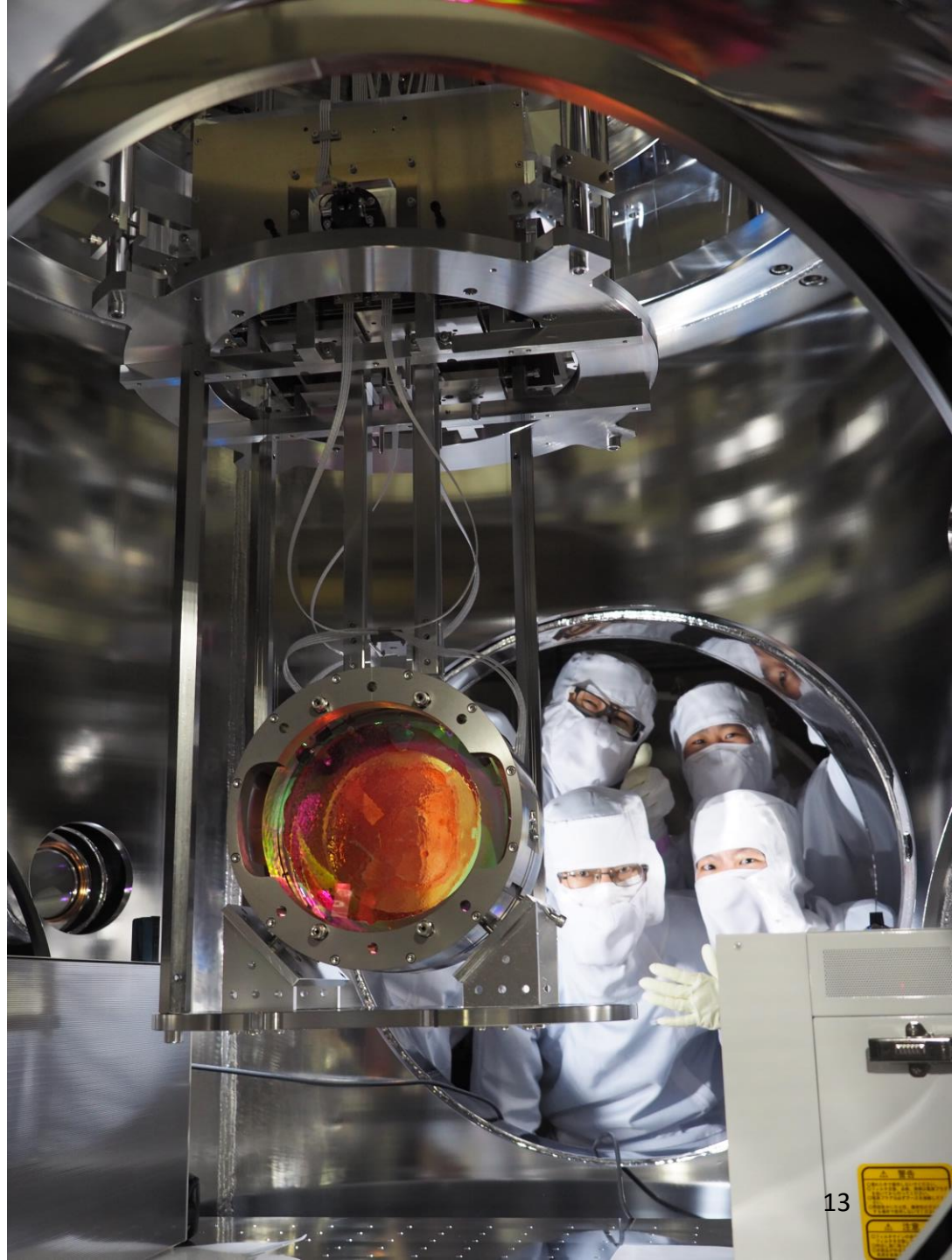
PR3 鏡の  
角度揺れ  $\leq 0.3 \mu\text{rad}$

iKAGRA における干渉計からの要求

# Type-Bp' SAS Installation

2016.02.25

真空槽内への  
インストール完了

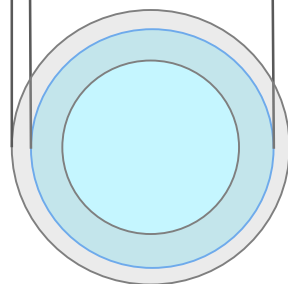
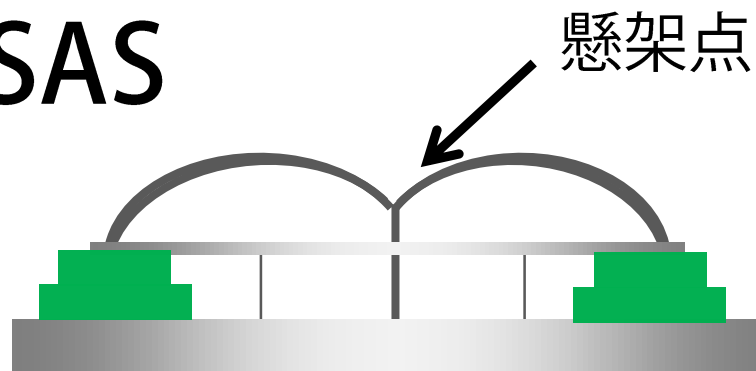


# Contents

- PR3鏡防振装置：Type-Bp' SAS
  - 制御の目的
  - センサ・アクチュエータ
- ダンピング制御

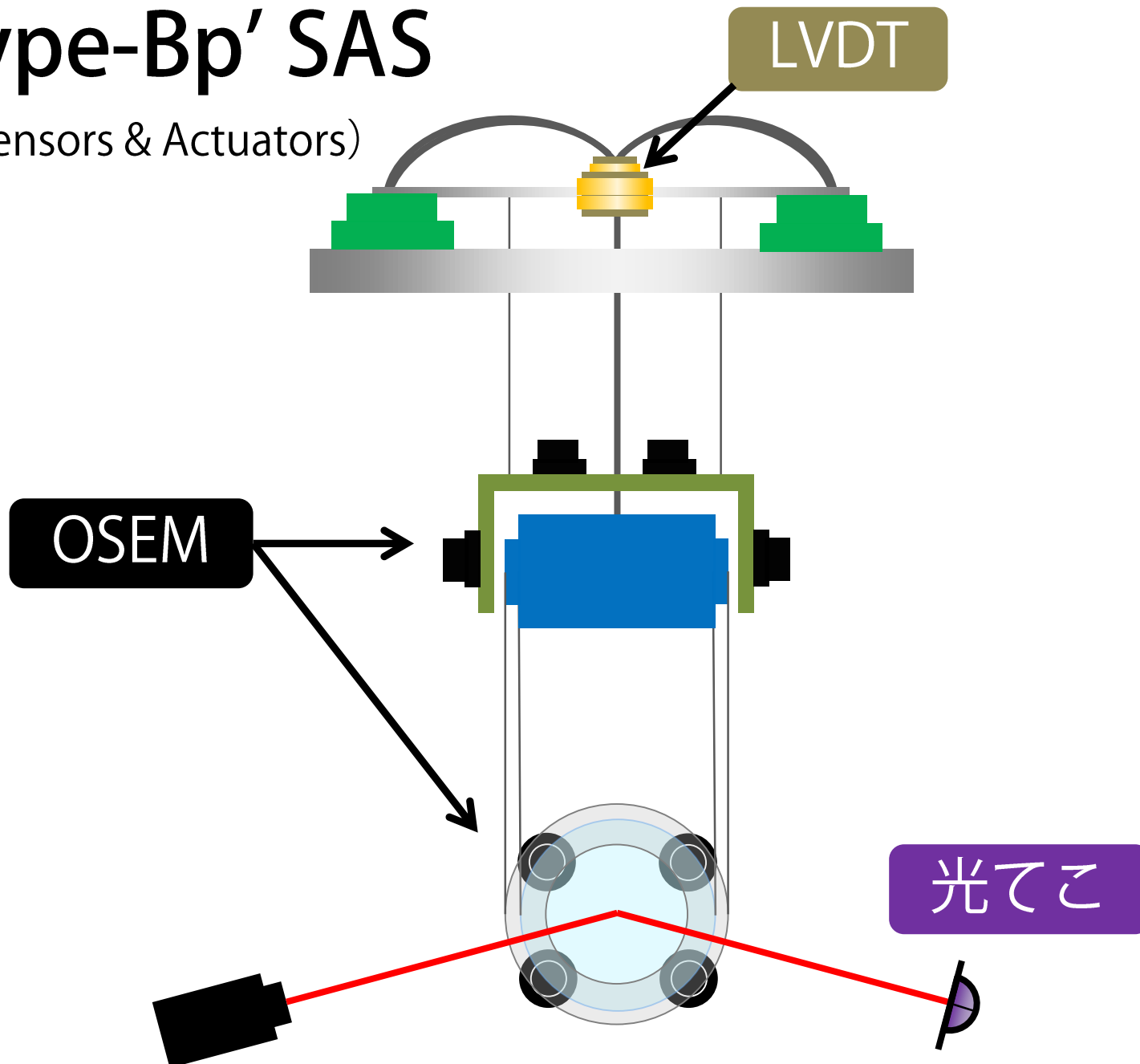
# Type-Bp' SAS

(Mass stage)



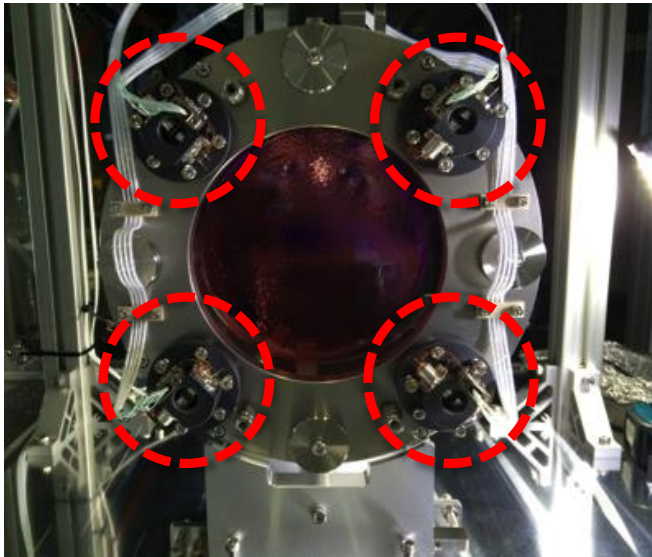
# Type-Bp' SAS

(Sensors & Actuators)

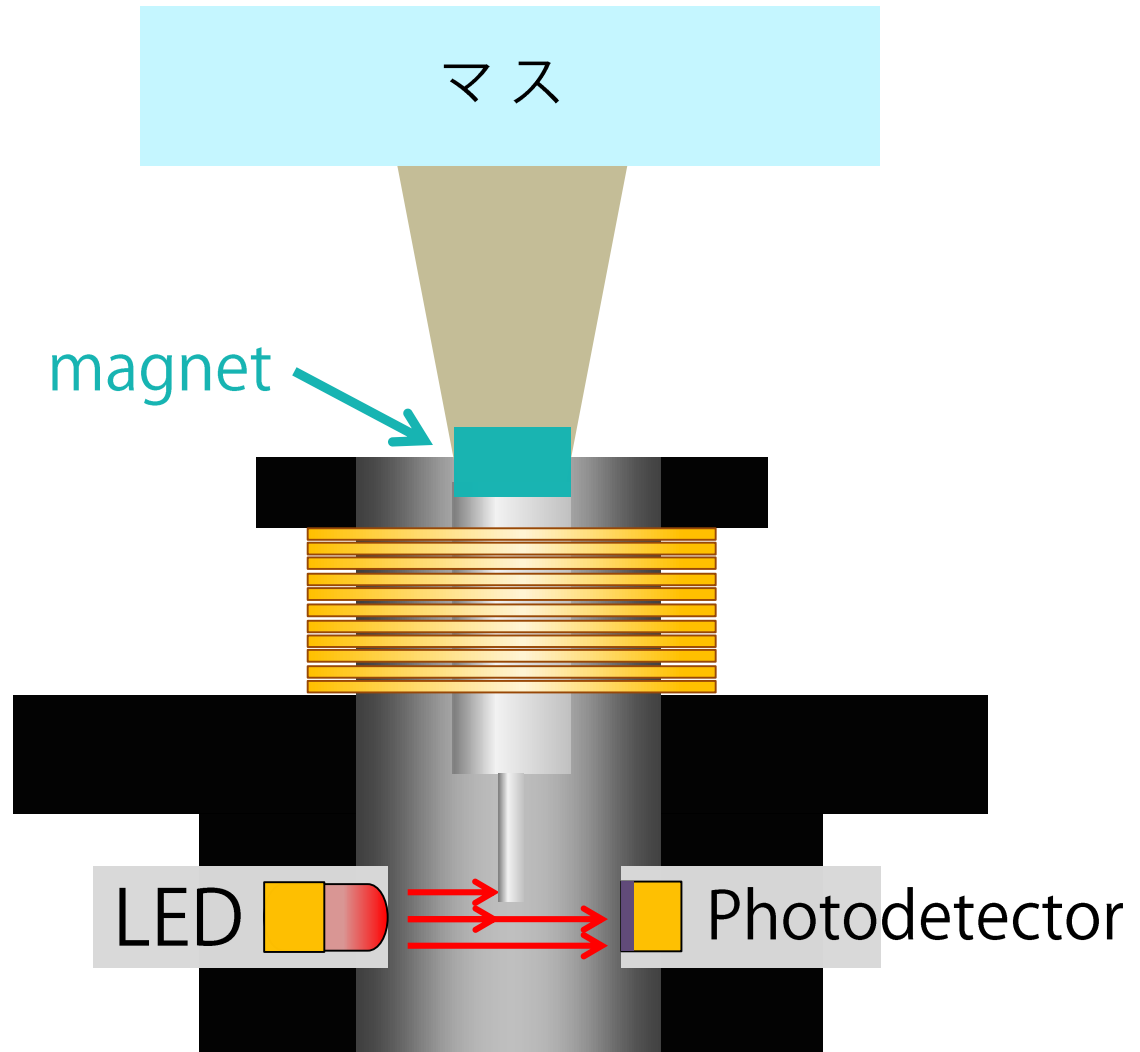




# Optical Sensor and Electromagnet

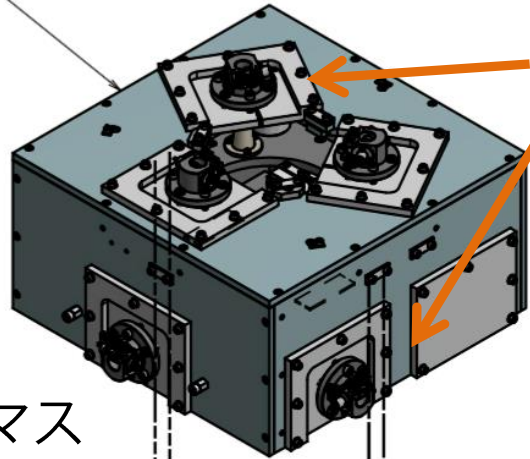


シャドー変位センサ  
+  
電磁力アクチュエータ



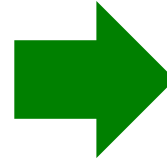
# OSEMの配置

中段反跳マス



OSEM x6

- Vertical x3
- Horizontal x3



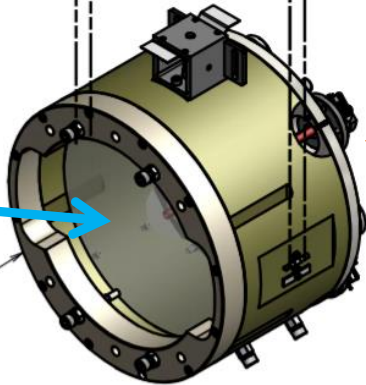
中段マスー中段反跳マスの  
相対位置

6自由度

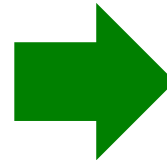
中段マス

鏡

反跳マス

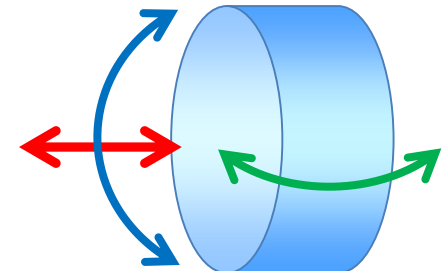


OSEM x4  
(backside)



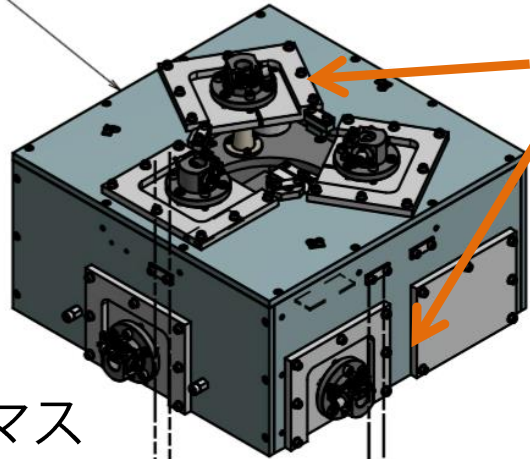
鏡ー反跳マスの相対位置

3自由度

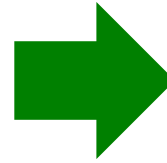


# OSEMの配置

中段反跳マス

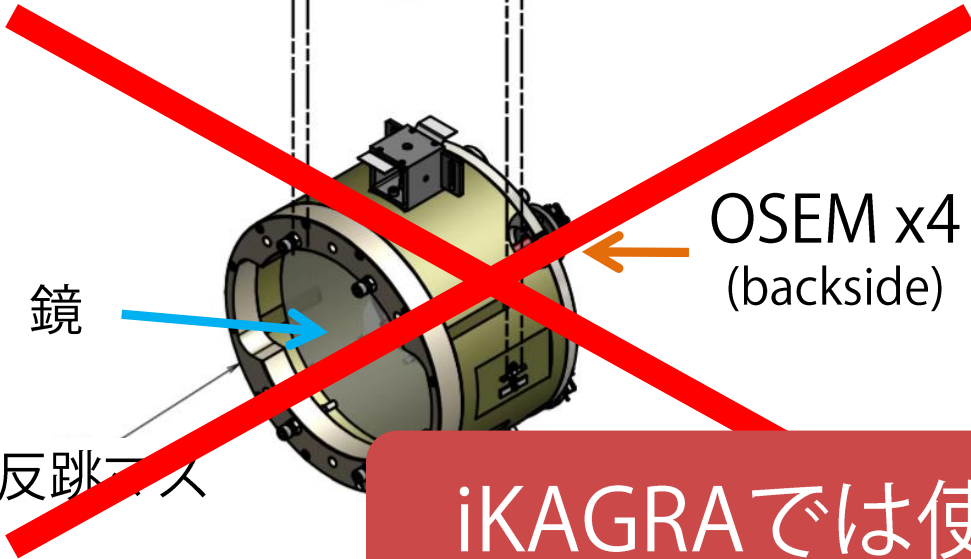


OSEM x6  
- Vertical x3  
- Horizontal x3

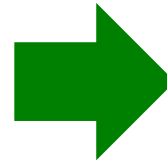


中段マスー中段反跳マスの  
相対位置  
6自由度

中段マス

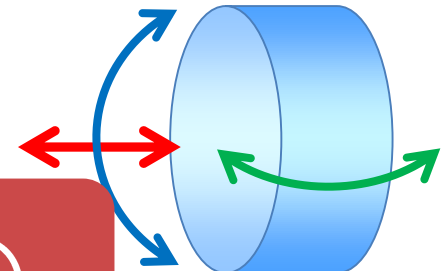


OSEM x4  
(backside)



鏡ー反跳マスの相対位置

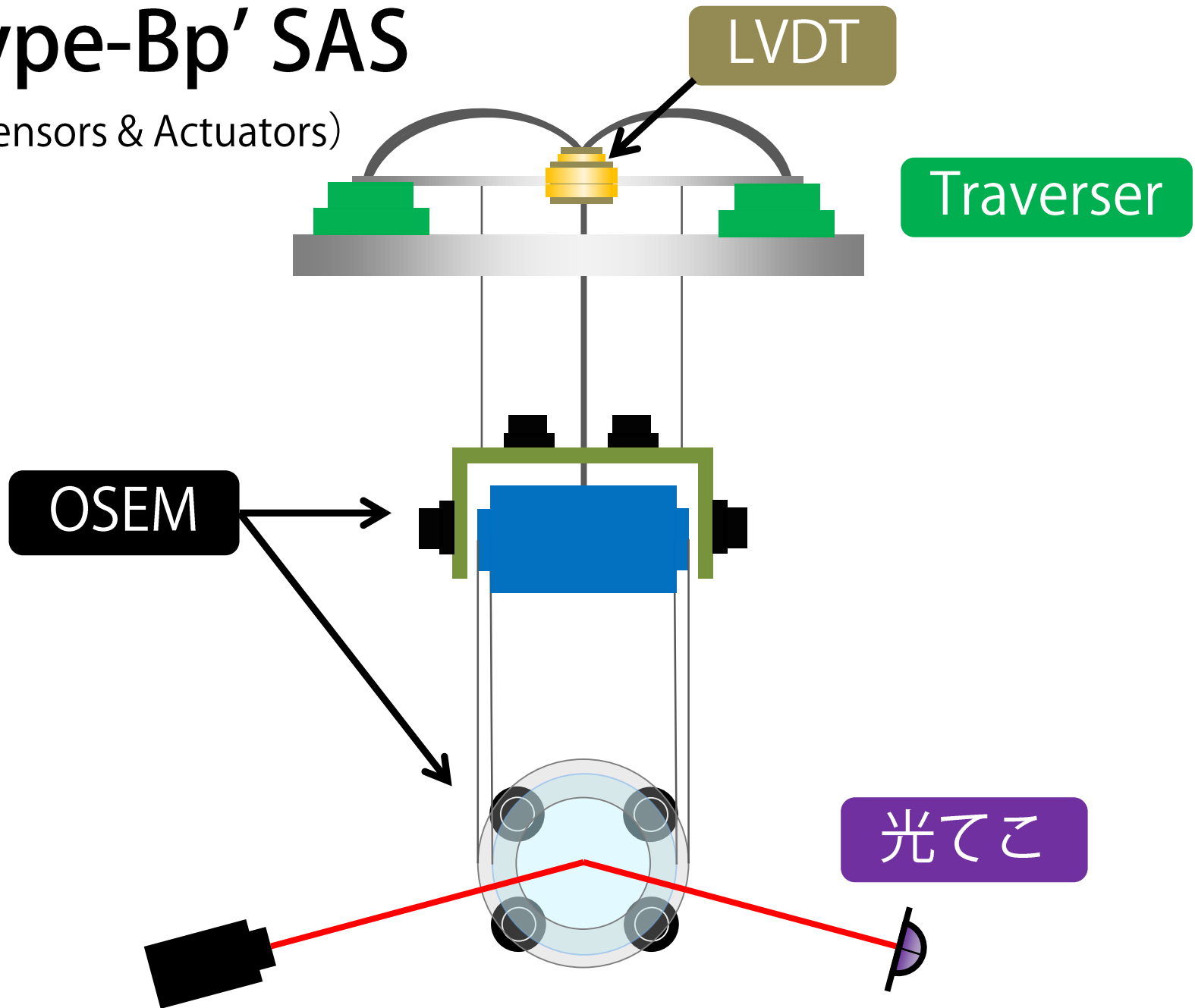
**固定**



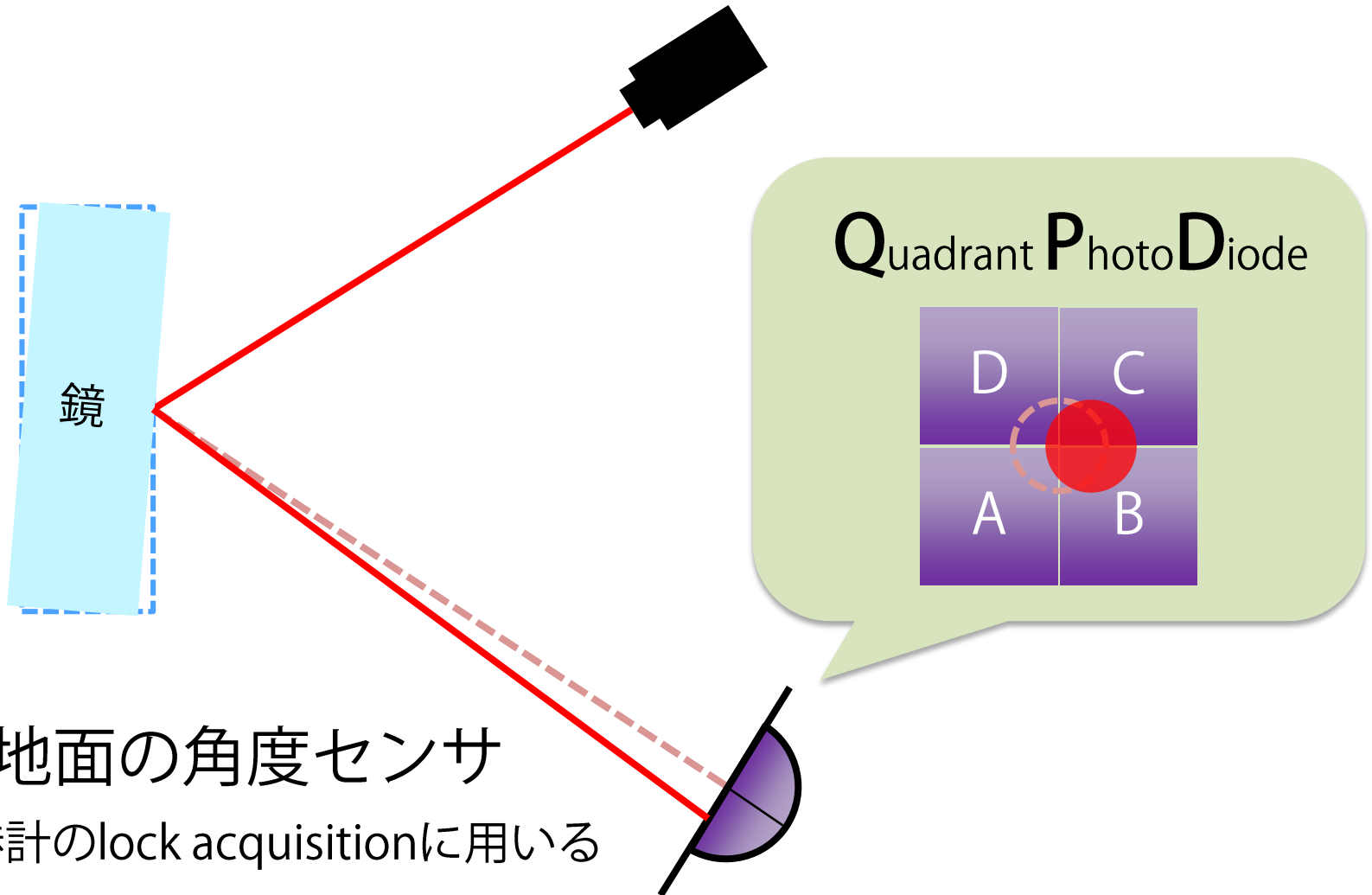
iKAGRAでは使わない

# Type-Bp' SAS

(Sensors & Actuators)



# 光てこ (Optical Lever)

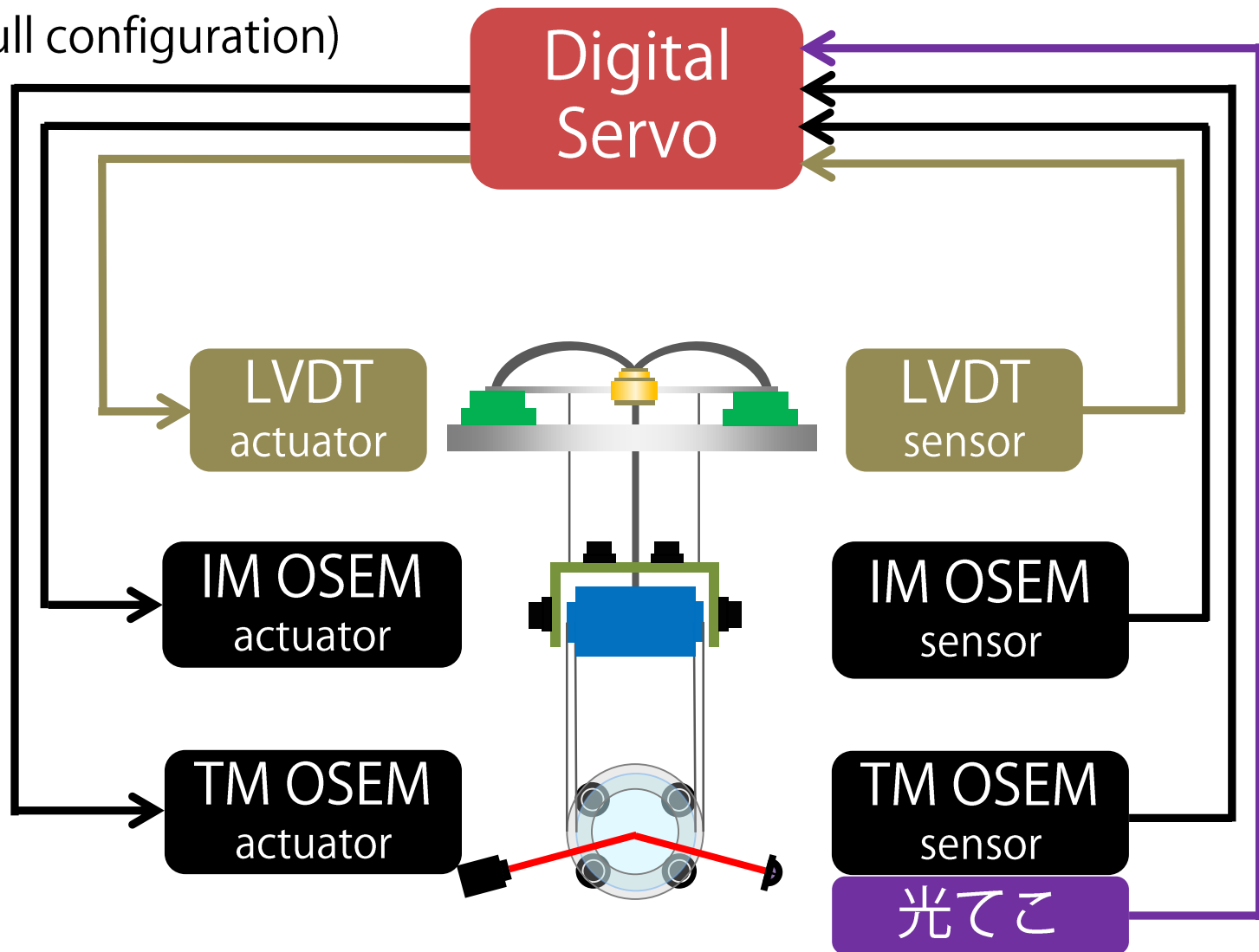


鏡 — 地面の角度センサ

- 干渉計のlock acquisitionに用いる

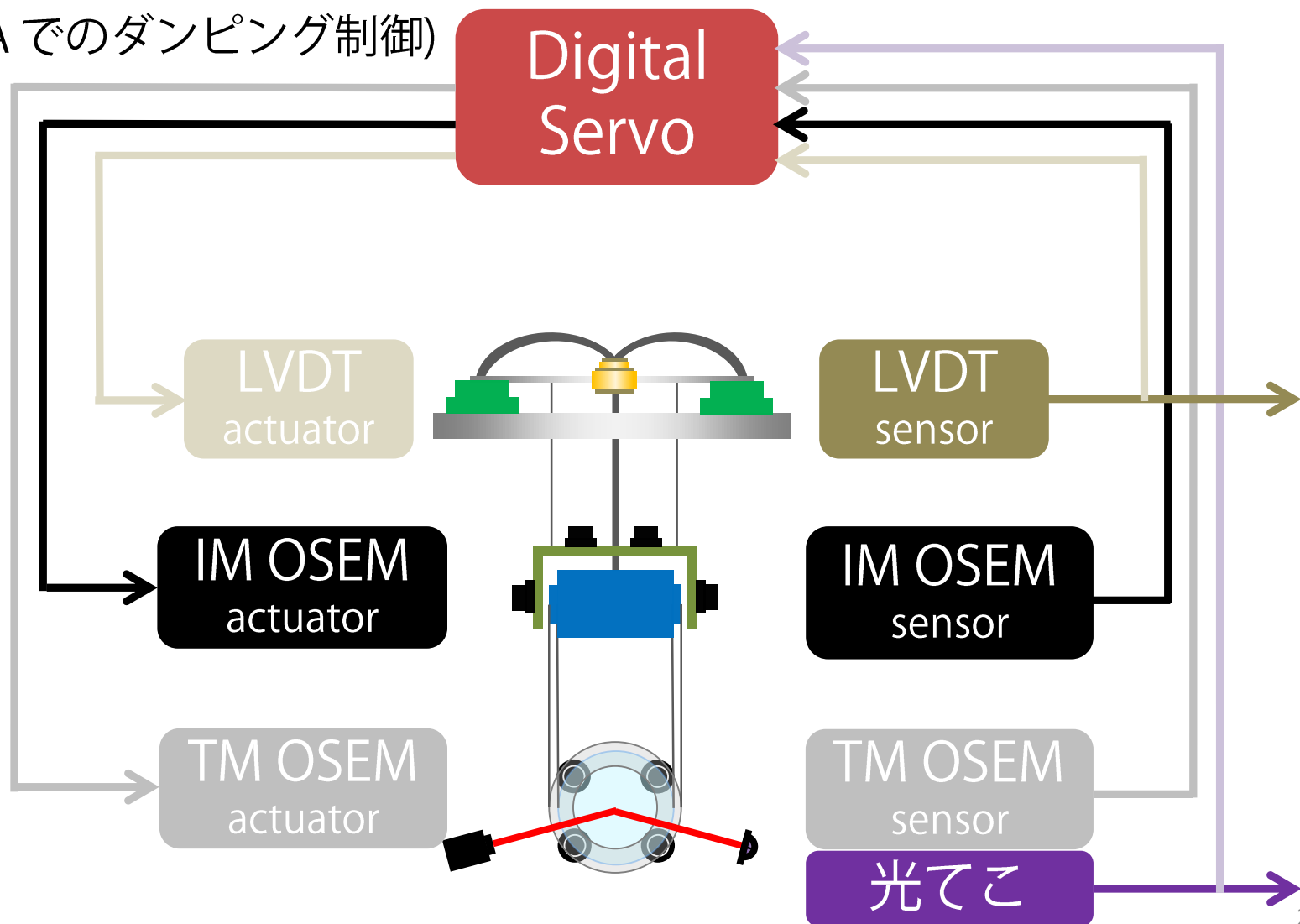
# ローカル制御ループ

(Full configuration)



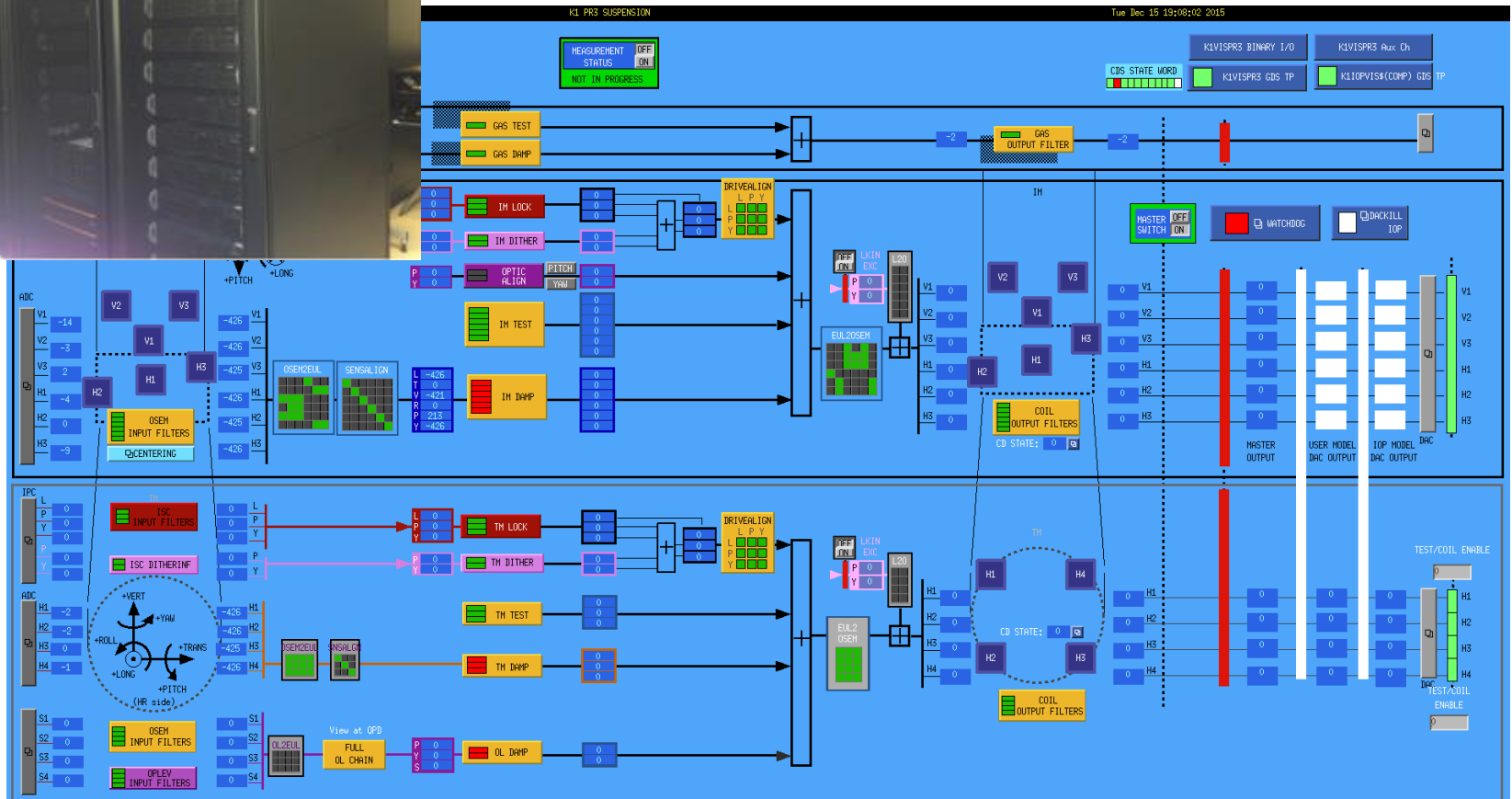
# ローカル制御ループ

(iKAGRA でのダンピング制御)



# Real Time Control System

デジタルシステム内でフィルタを実装

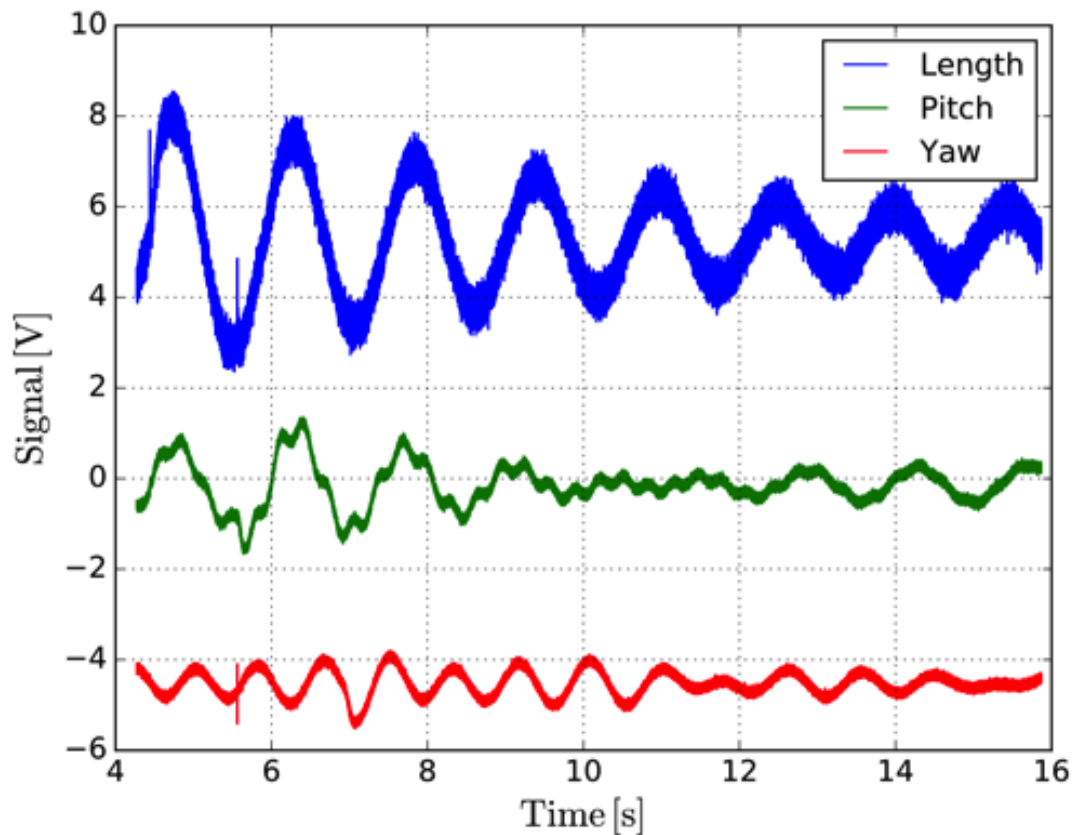
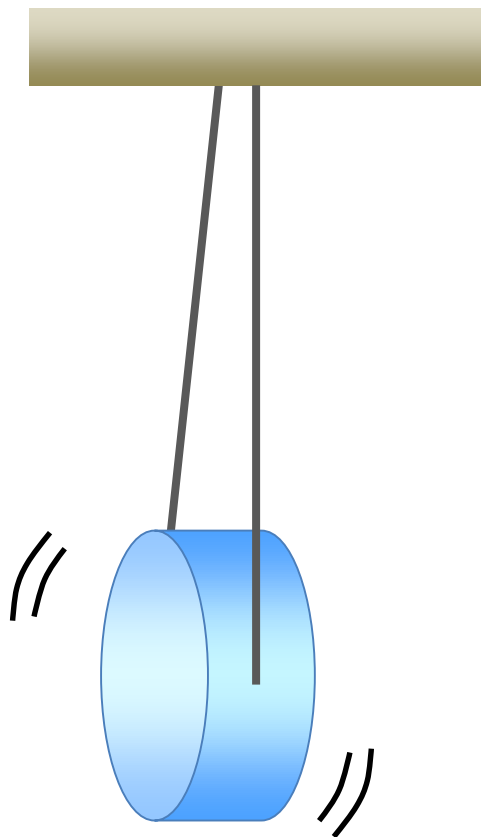




# Contents

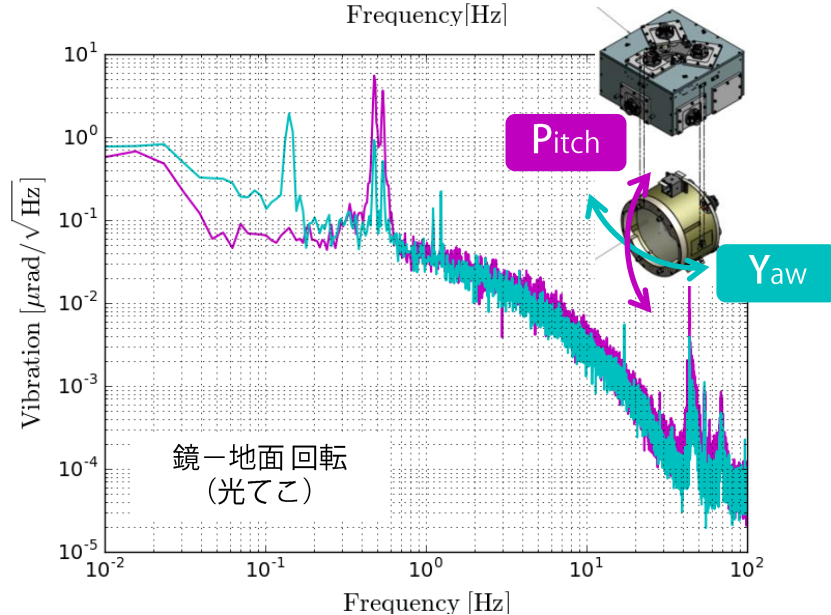
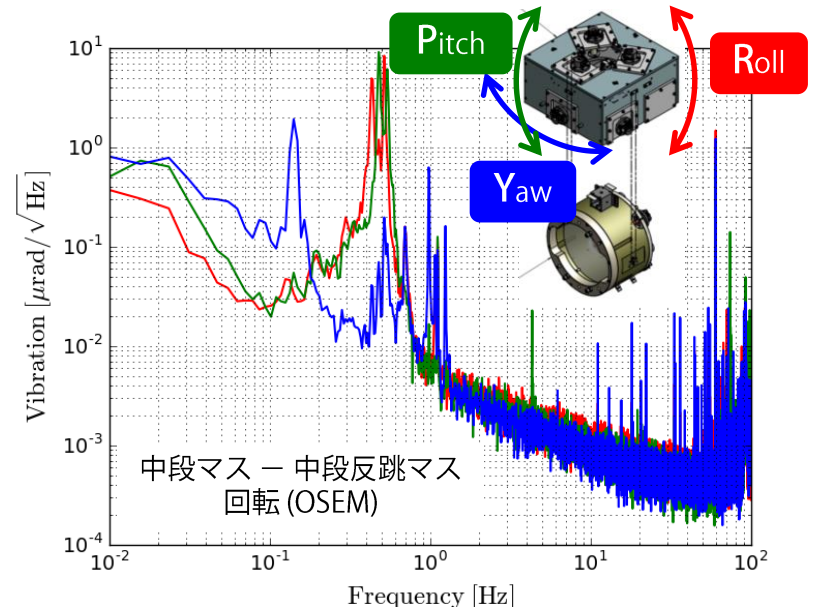
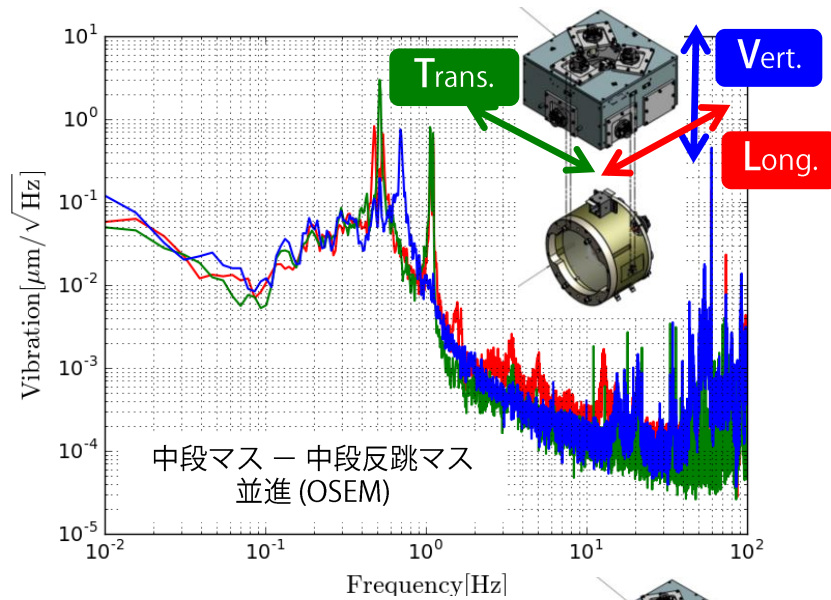
- PR3鏡防振装置：Type-Bp' SAS
  - 制御の目的
  - センサ・アクチュエータ
- **ダンピング制御**

# ダンピング制御



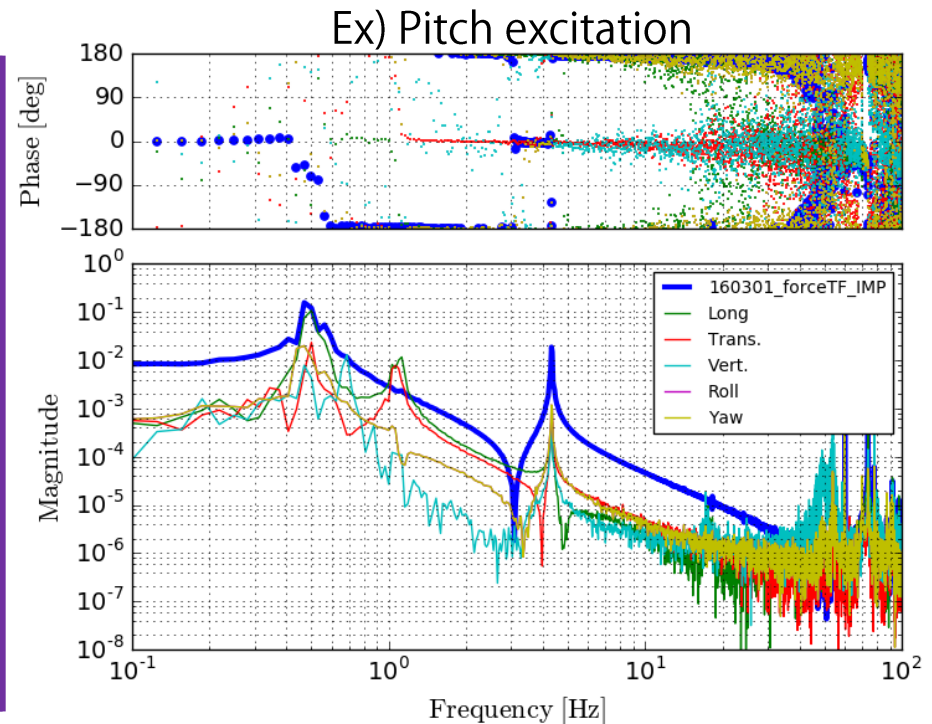
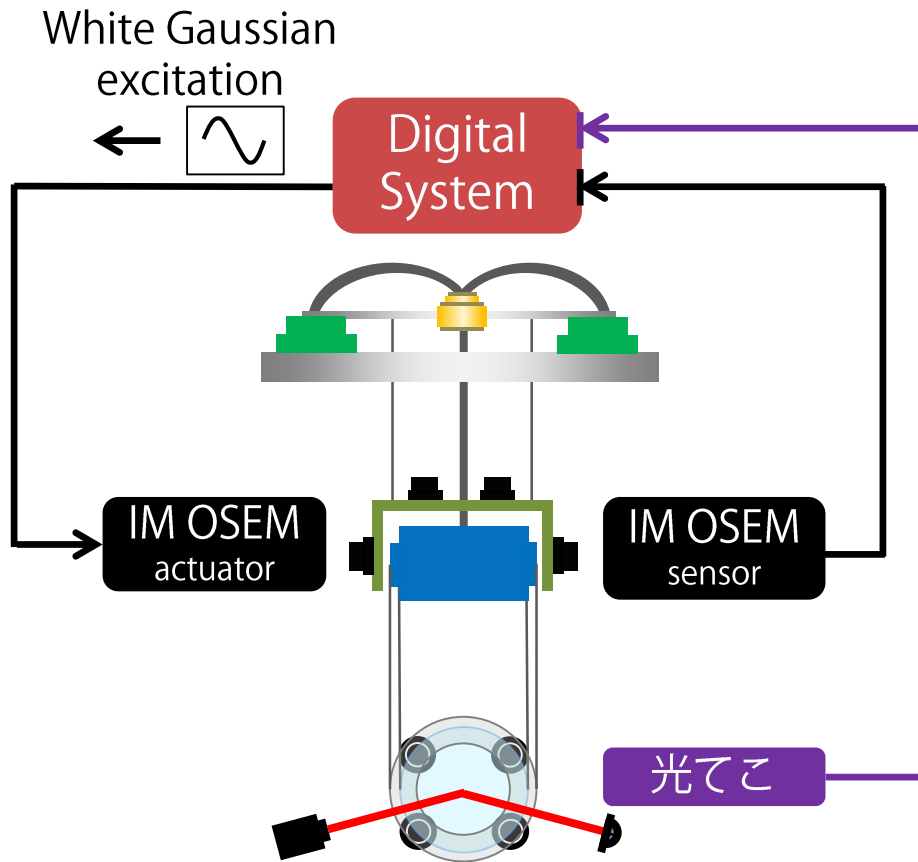
共振周波数での振り子の揺れを抑制する

# 振動スペクトルの測定



ダンピング制御  
 ||  
 共振のピークを潰すこと

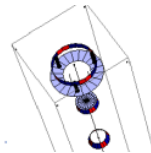
# 力変位伝達関数の測定



カップリングが大きい  
対角化が必要 → 今後の課題

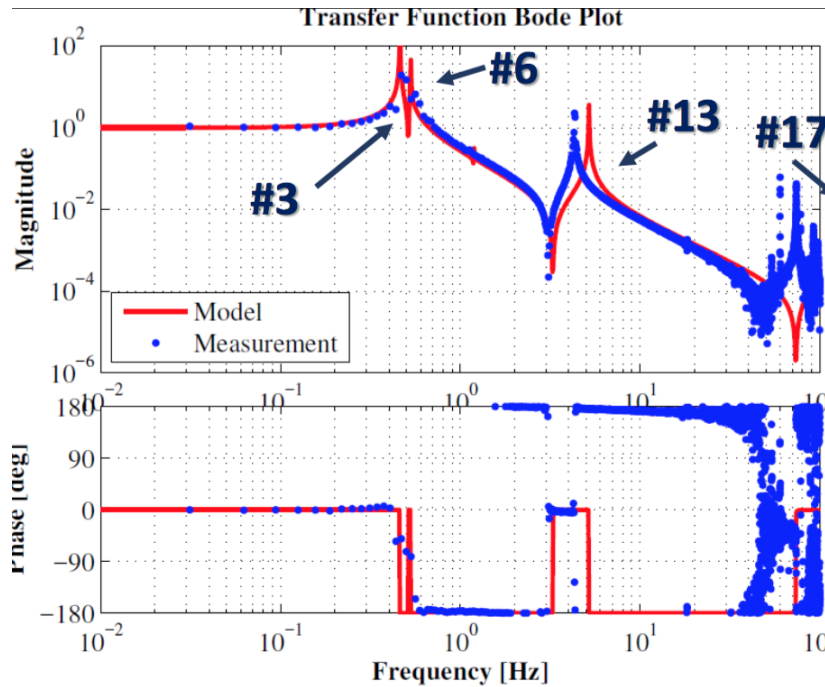
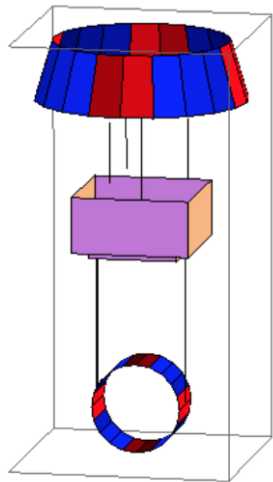
# モデルとの比較

**SUMCON** in *Mathematica*  
suspension model structure



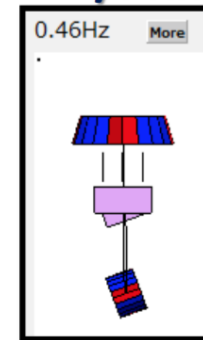
Developed by T. Sekiguchi

## Ex) IM OSEM Pitch / Act. Pitch

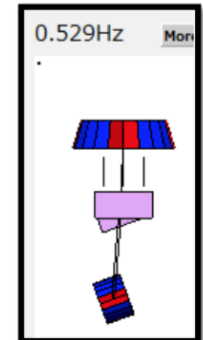


Simulated by Y. Fujii

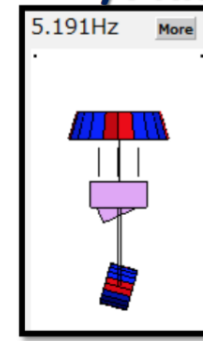
#3 : PIM  
/PRM



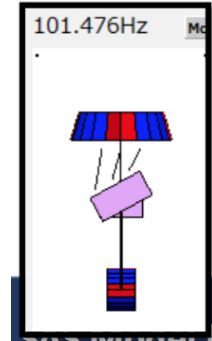
#6 : PIM  
/PRM



#13 : PIM  
/PRM



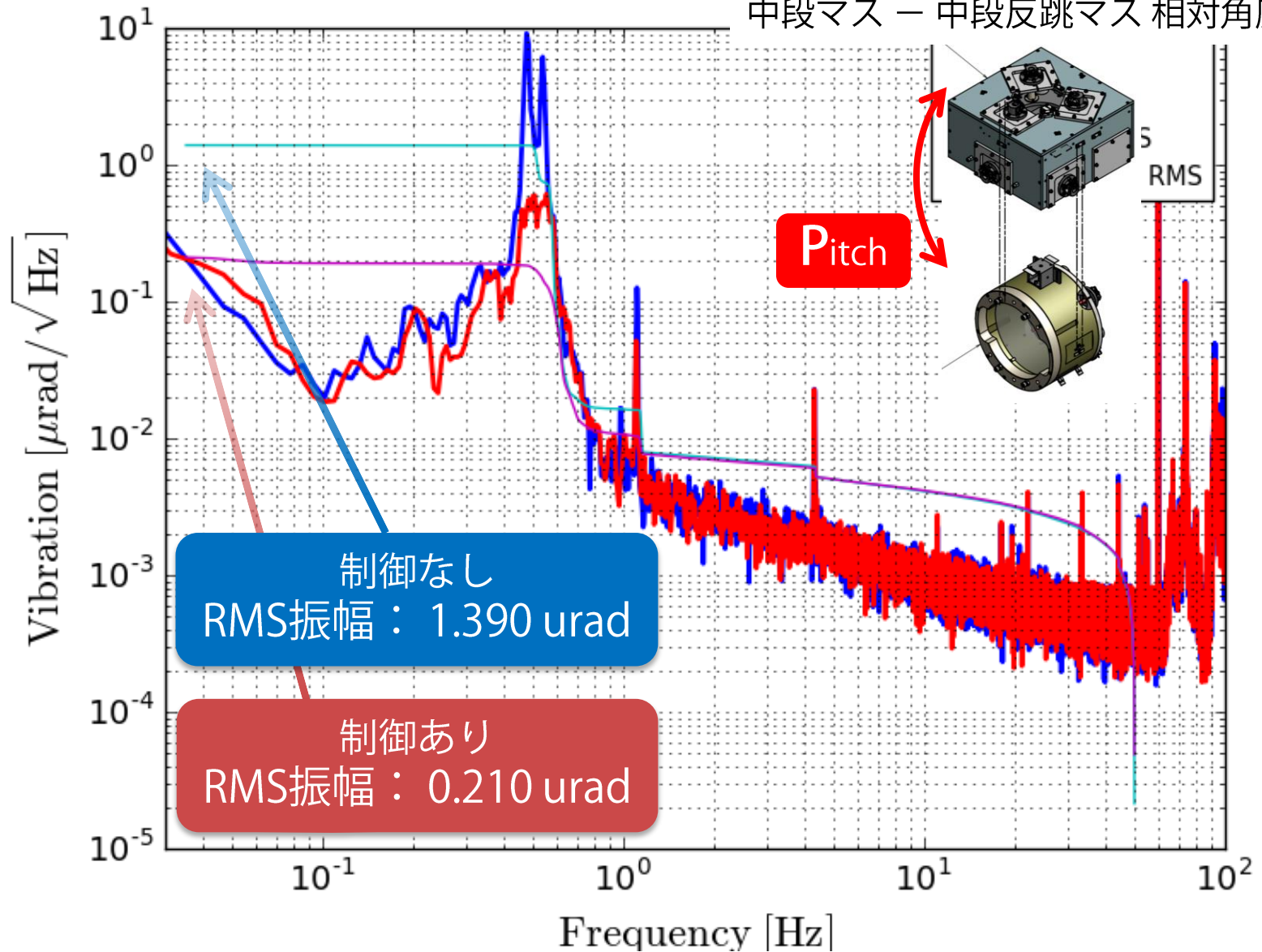
#17 : PIR



固有モードの特定、正しく懸架されているかを確認

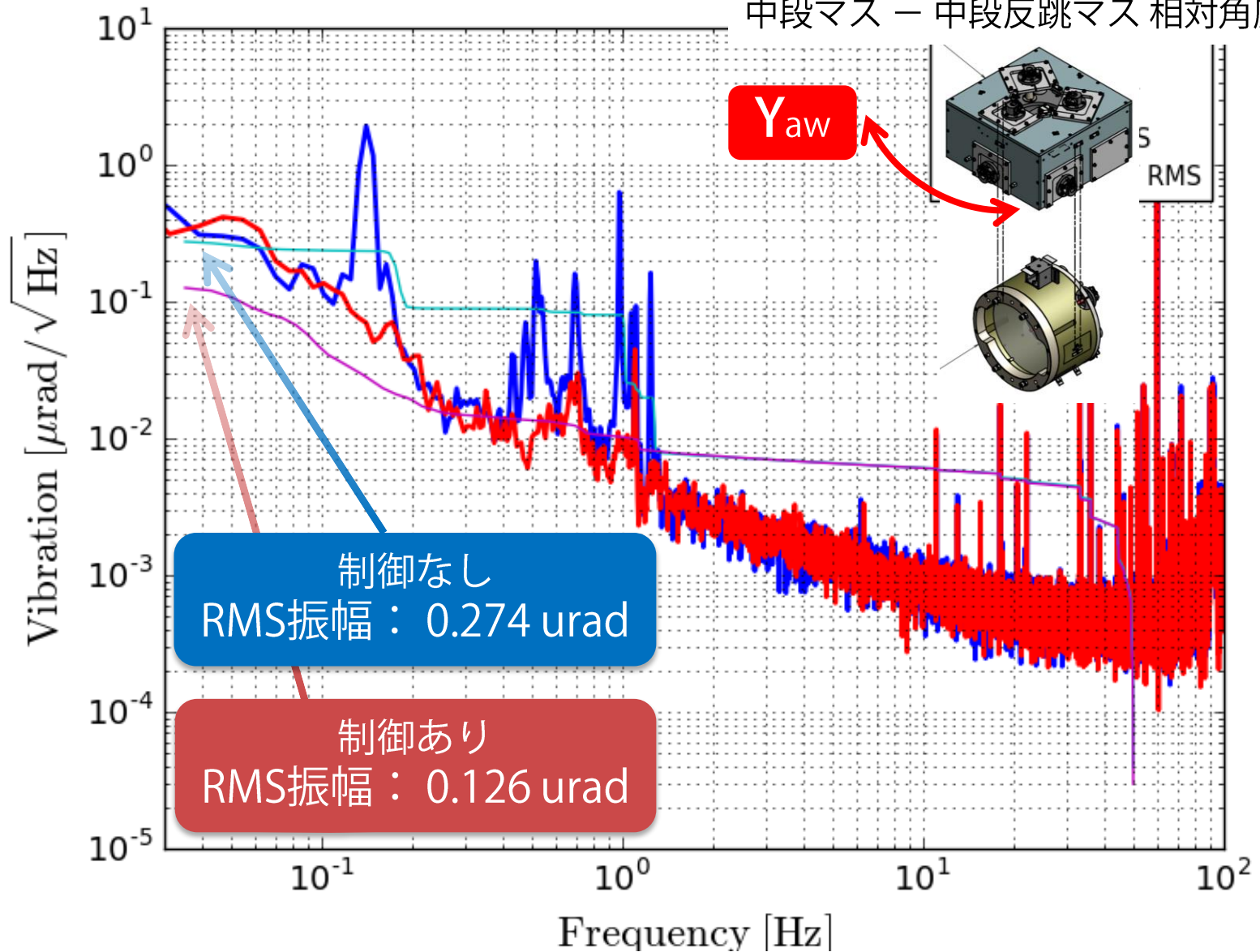
# 制御時の振動スペクトル

中段マス - 中段反跳マス 相対角度

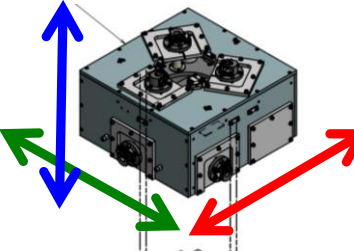
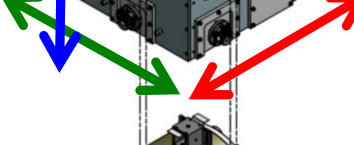


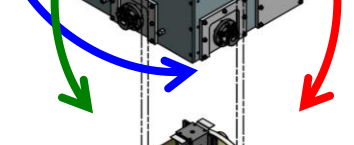
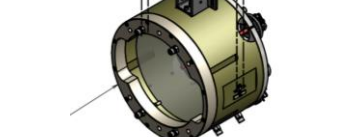


# 制御時の振動スペクトル

中段マス - 中段反跳マス 相対角度

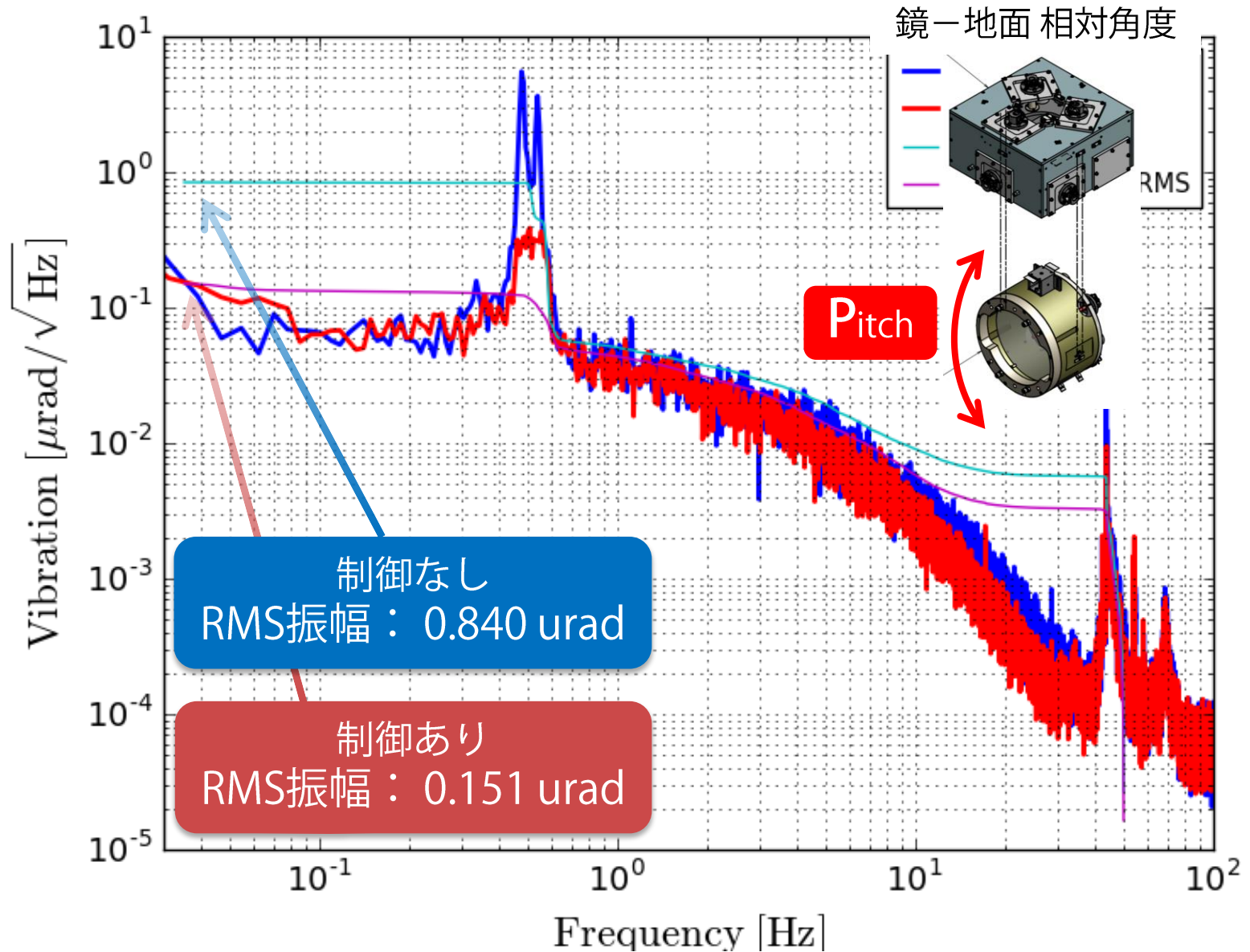


# ダンピング制御による振動低減

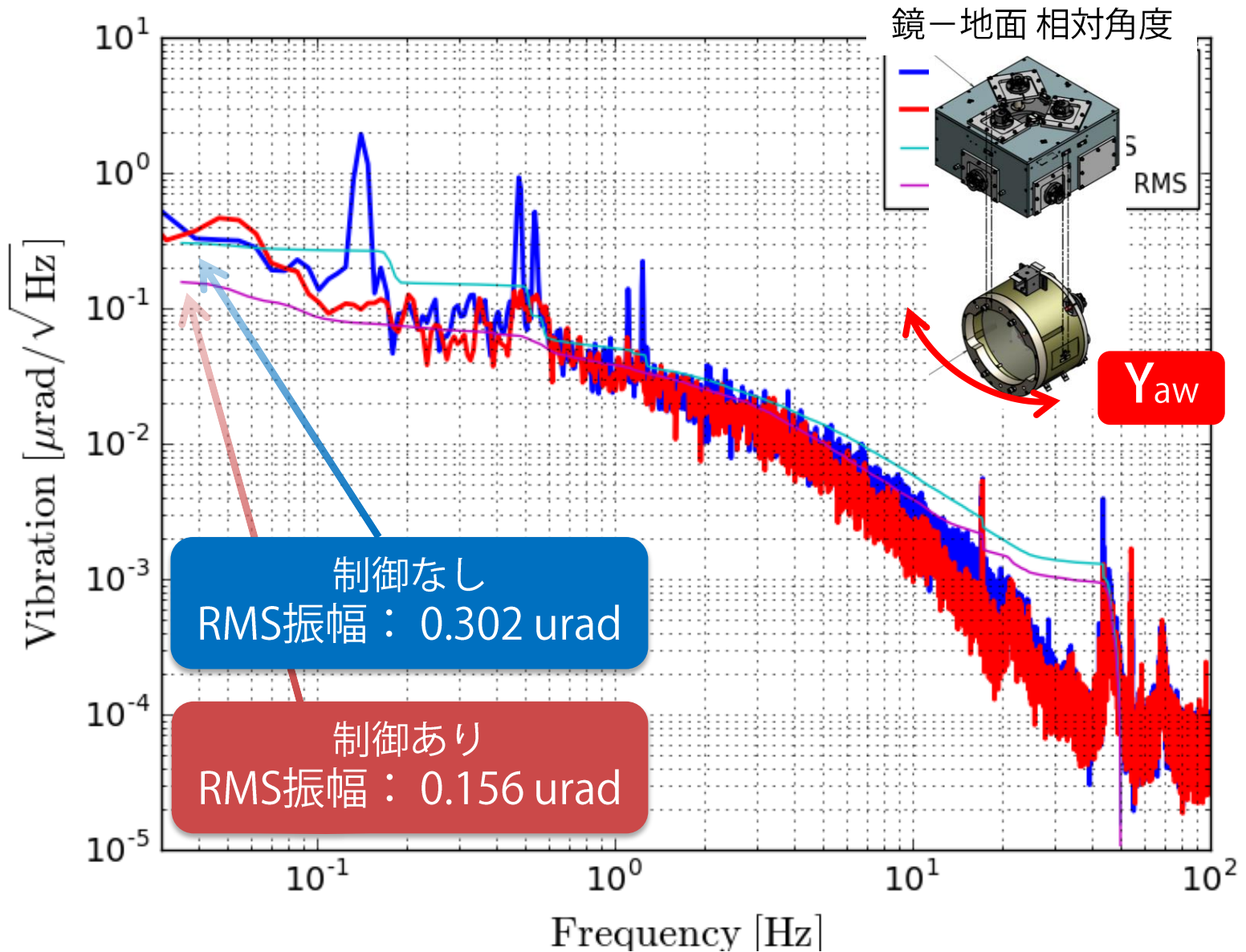
中段マスー 中段反跳マス間	制御なしRMS	制御ありRMS	
	<b>Long.</b>	0.175 $\mu\text{m}$	0.026 $\mu\text{m}$
	<b>Trans.</b>	0.374 $\mu\text{m}$	0.025 $\mu\text{m}$
	<b>Vert.</b>	0.126 $\mu\text{m}$	0.051 $\mu\text{m}$
	<b>Roll</b>	1.217 $\text{urad}$	0.091 $\text{urad}$
	<b>Pitch</b>	1.390 $\text{urad}$	0.210 $\text{urad}$
	<b>Yaw</b>	0.274 $\text{urad}$	0.126 $\text{urad}$



# 制御時の振動スペクトル (光てこ)



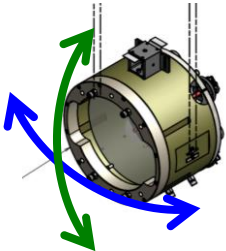
# 制御時の振動スペクトル (光てこ)



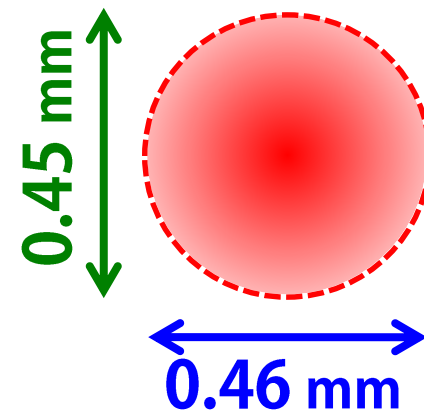
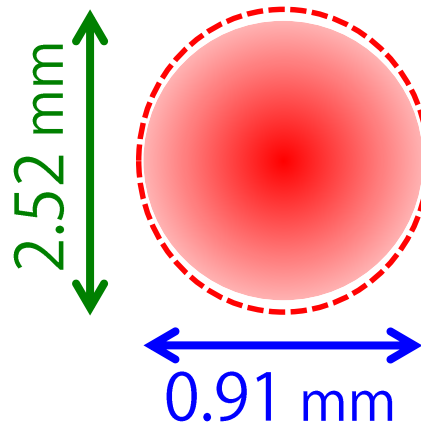
## 制御への要求

PR3 鏡の  
角度揺れ  $\leq 0.3 \mu\text{rad}$

要求を満たす  
制御を達成した

鏡-地面間	制御なしRMS	制御ありRMS
	<b>Pitch</b> 0.840 urad	0.151 urad
	<b>Yaw</b> 0.302 urad	0.156 urad

3 km 先での  
ビームスポット  
の揺れ



# まとめ

- Type-Bp' SASを干渉計に組み込み、要求を満たすダンピング制御を達成した

## bKAGRAに向けて…

- 細かなチューニング作業
  - 鏡OSEMの修理
  - 制御系の対角化
  - Simulationによるデザインの改良 etc...
- Type-Bp' で得られた知見のフィードバック
  - Type-B, Type-Aデザインのマイナーチェンジ
  - インストール手順の改良 etc...