

# KAGRAにおける腕共振器鏡の 大型防振装置の開発

---

発表者：奥富弘基（総研大天文）

国立天文台<sup>A</sup>, 東大宇宙線研<sup>B</sup>, 東大天文<sup>C</sup>, Univ. Sannio<sup>D</sup>, INFN Rome<sup>E</sup>, NIKHEF<sup>F</sup>

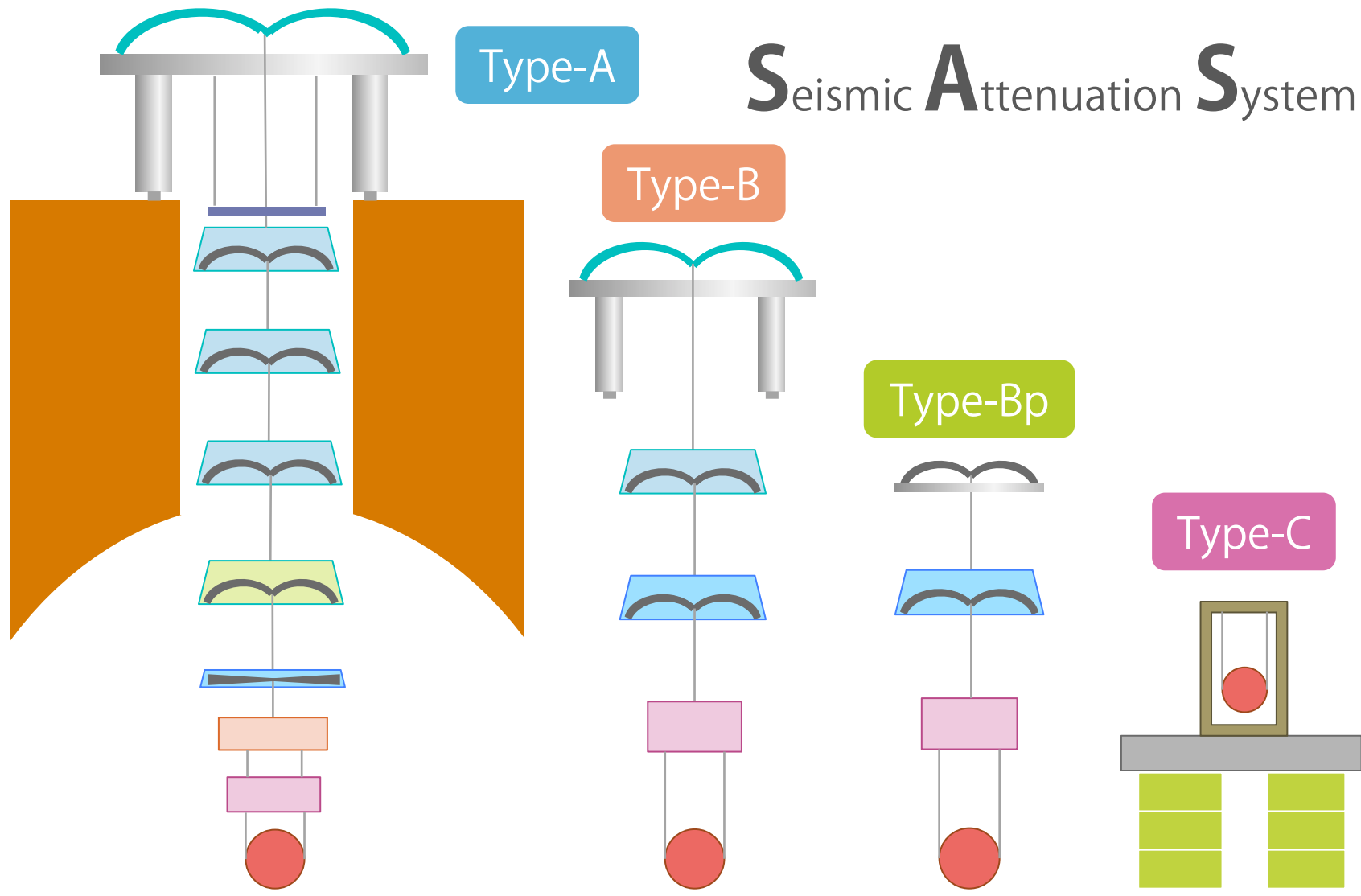
高橋竜太郎<sup>A</sup>, 石崎秀晴<sup>A</sup>, 佐藤直久<sup>A</sup>, 関口貴令<sup>B</sup>, 正田亜八香<sup>A</sup>, 藤井善範<sup>C</sup>,  
F. E. Pena Arellano<sup>A</sup>, M. Barton<sup>A</sup>, 平田直篤<sup>A</sup>, 大淵喜之<sup>A</sup>, 浦口史寛<sup>A</sup>, 池之上文吾<sup>A</sup>,  
斎藤栄<sup>A</sup>, 福嶋美津広<sup>A</sup>, 阿久津智忠<sup>A</sup>, 大石奈緒子<sup>A</sup>, 麻生洋一<sup>A</sup>, R. Flaminio<sup>A</sup>,  
山元一広<sup>B</sup>, 内山隆<sup>B</sup>, 宮川治<sup>B</sup>, 上泉眞裕<sup>B</sup>, R. DeSalvo<sup>D</sup>, E. Majorana<sup>E</sup>, 我妻一博<sup>F</sup>,  
J. van Heijningen<sup>F</sup>

# 今回のお話

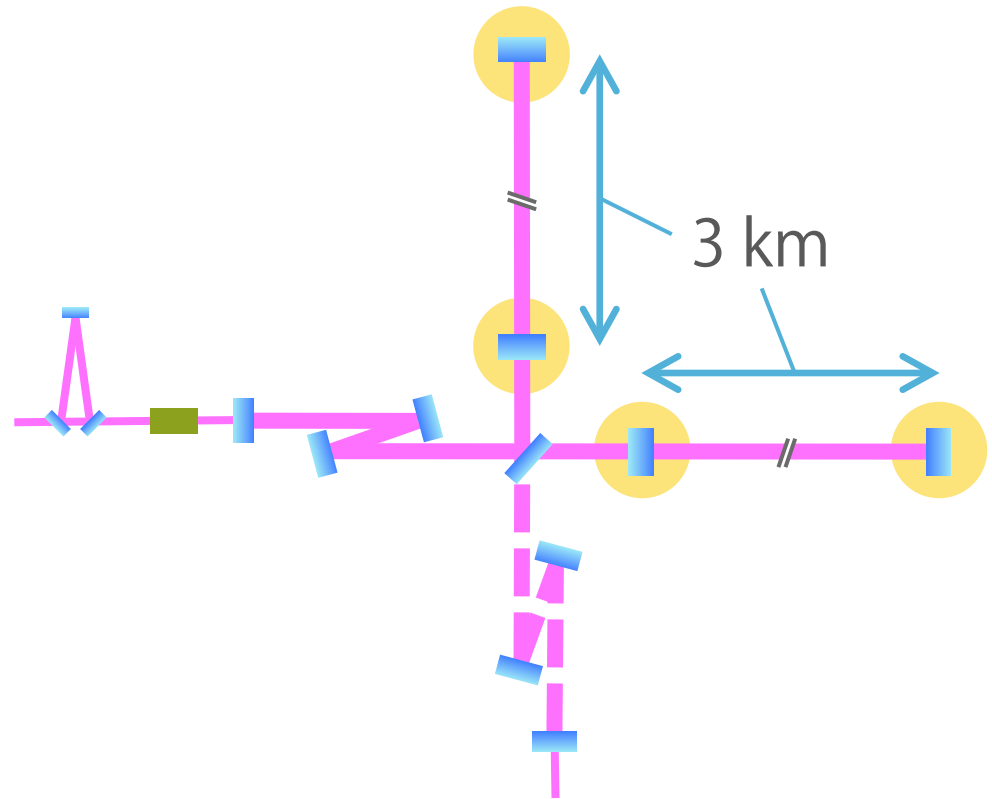
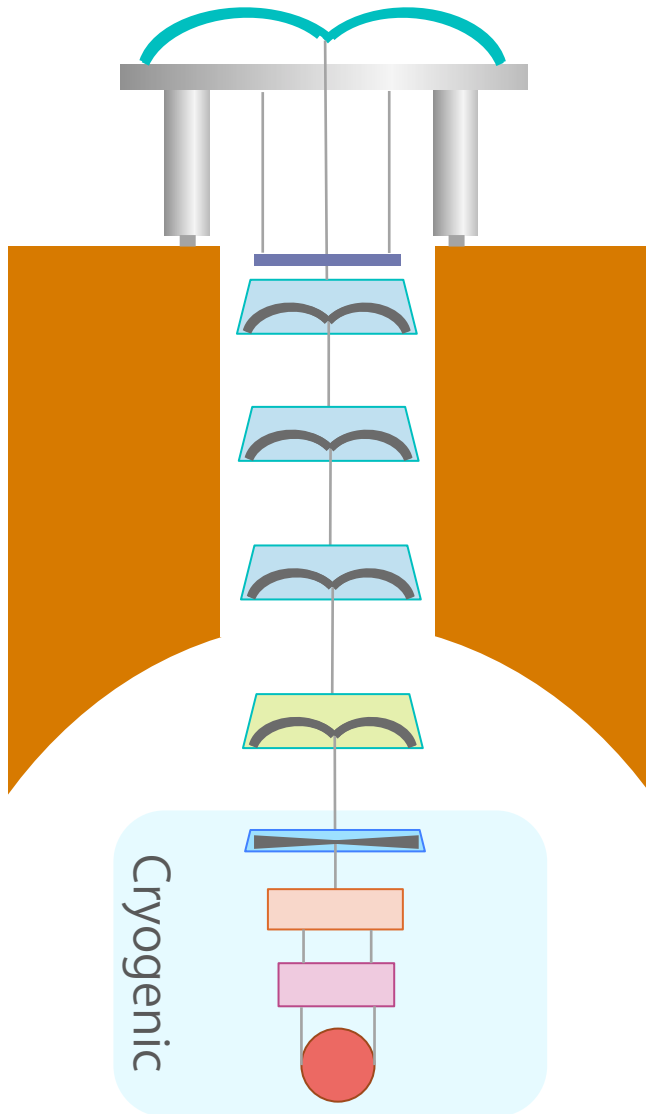
---

- 腕共振器鏡用 防振装置 Type-A SAS について
- ダンピング制御のモデル計算
- センサ/アクチュエータの性能評価

# KAGRA の 鏡防振装置

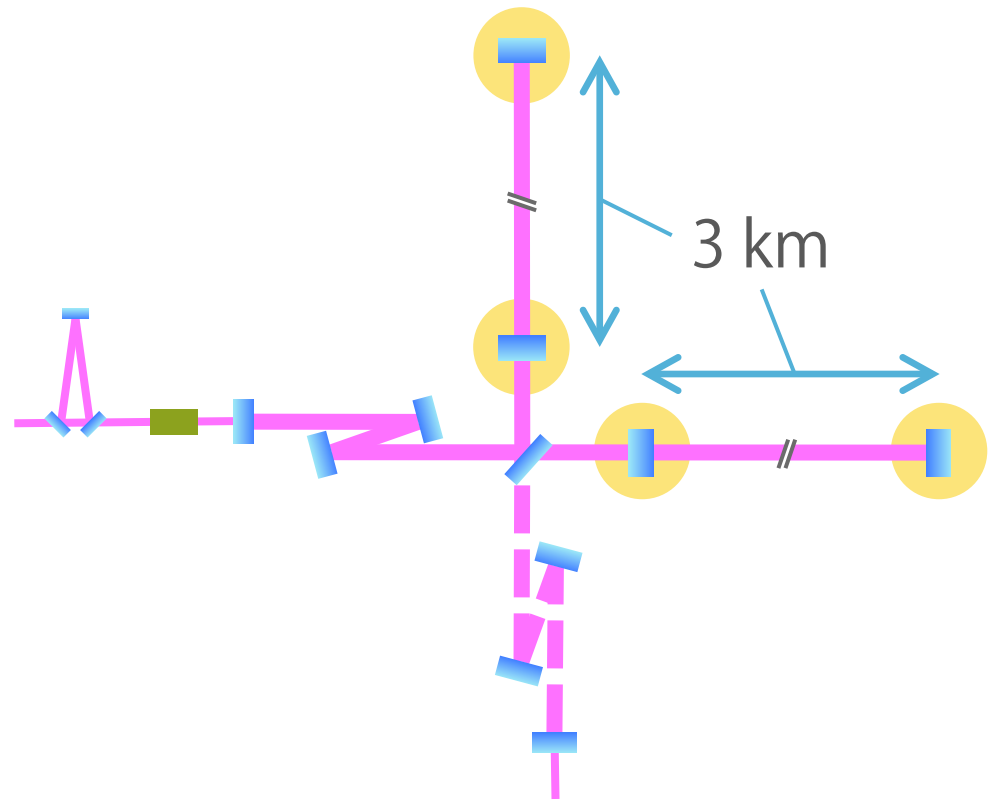


# Type-A SAS



- 腕共振器鏡用の最大の防振装置
- この発表は特に常温部分のお話

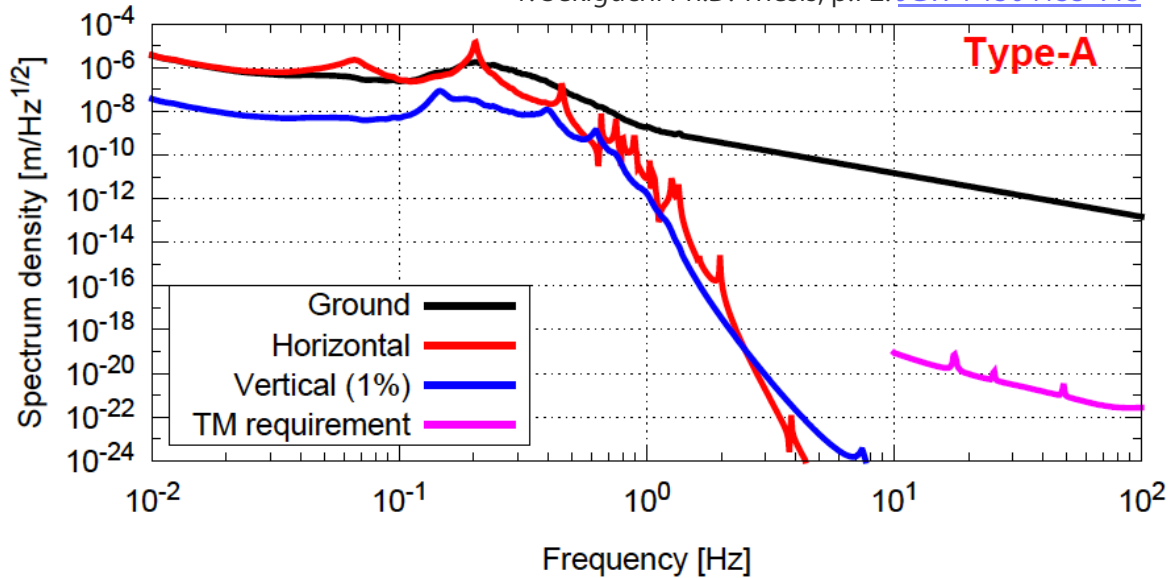
# Type-A SAS



- 腕共振器鏡用の最大の防振装置
- この発表は特に常温部分のお話

# Type-A SAS に対する要求

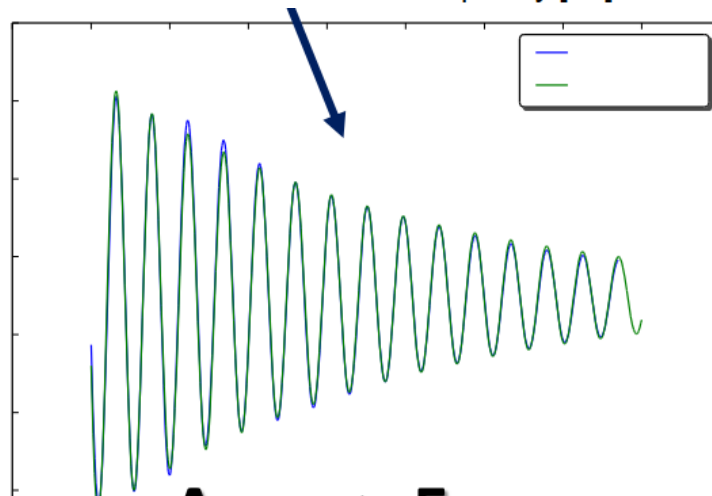
T. Sekiguchi Ph.D. Thesis, p.72: [JGW-P1504155-v15](#)



鏡変位雑音 @ 10 Hz

$< 1 \times 10^{-19} \text{ m/Hz}^{1/2}$

etc...

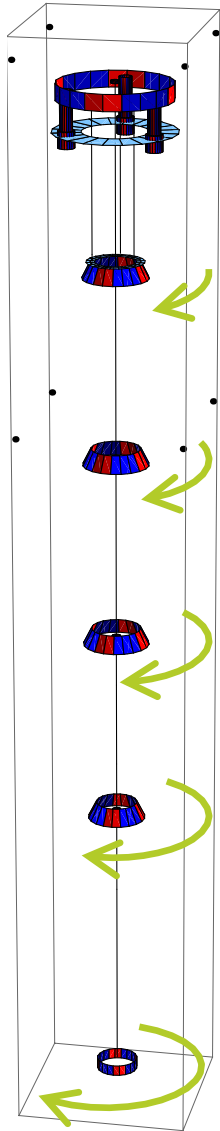


振動モードの減衰時間

$< 60 \text{ sec}$

➤ ダンピング制御

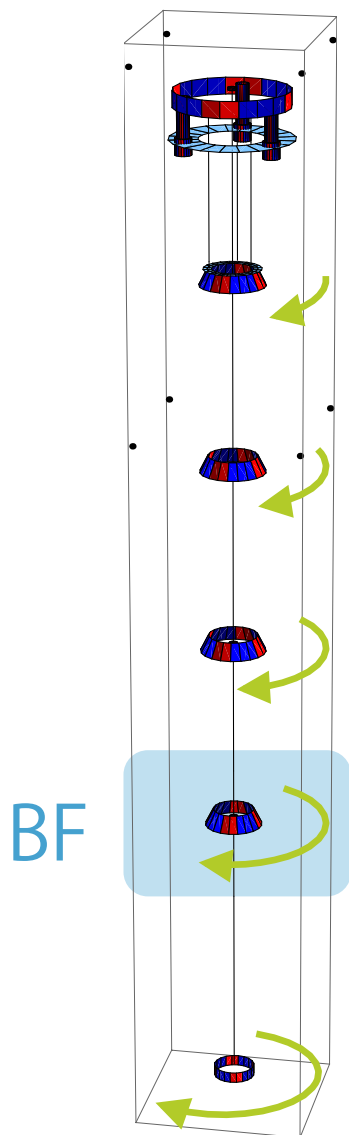
# 問題点



振り子全体のねじれ(Yaw)モード

- ダンピング制御が難しい

# 問題点



振り子全体のねじれ(Yaw)モード

➤ ダンピング制御が難しい

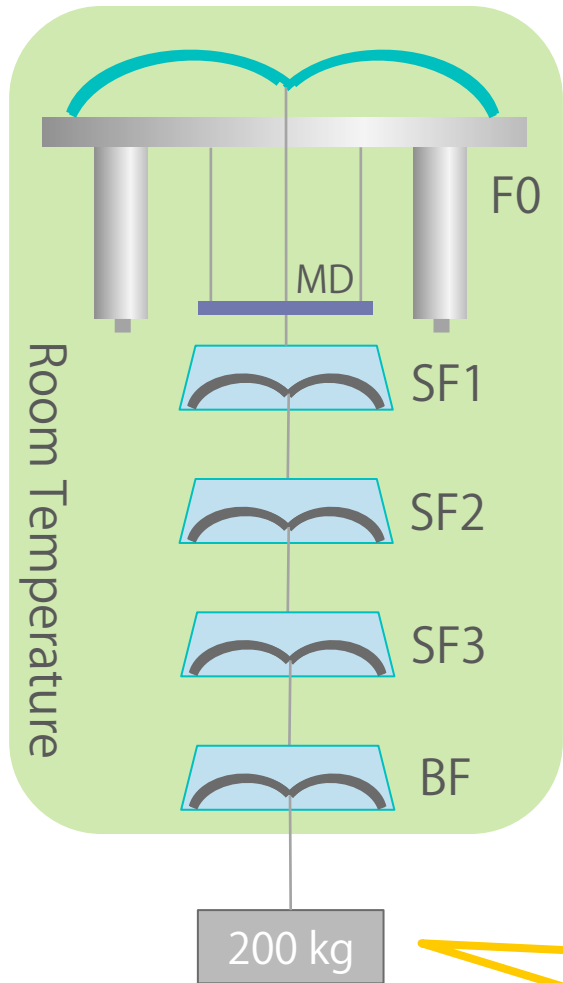
この段にセンサ/アクチュエータを追加してダンピングできないか？

やったこと：

1. モデル計算によるダンピング制御
2. センサ/アクチュエータ(prototype)の性能評価



# SASのモデル計算



## SUMCON

JGW SUMCON

検索

- 剛体モデル計算ツール

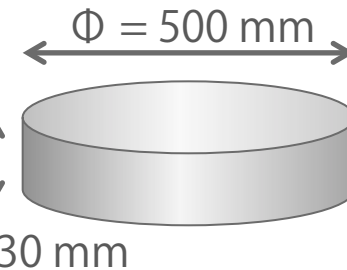
## MATLAB + Simulink

- Control System Toolbox
- 制御系含む状態空間モデル

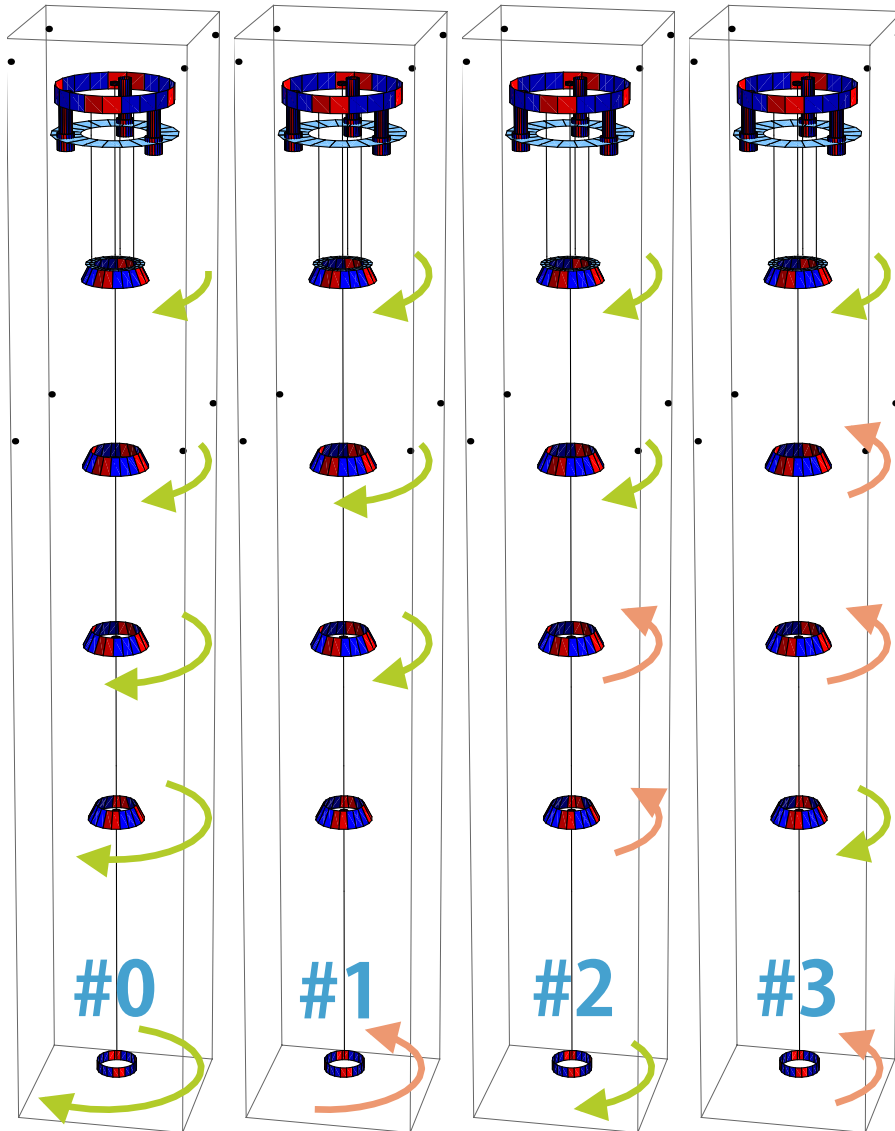
※ 最新版は [KAGRA Wiki > SVN > VIS](#) にて共有

### Dummy Mass

- 円筒形
- ステンレス製:  
7.8 g/cm<sup>3</sup>



# Yaw 固有モード



問題となるYawモード

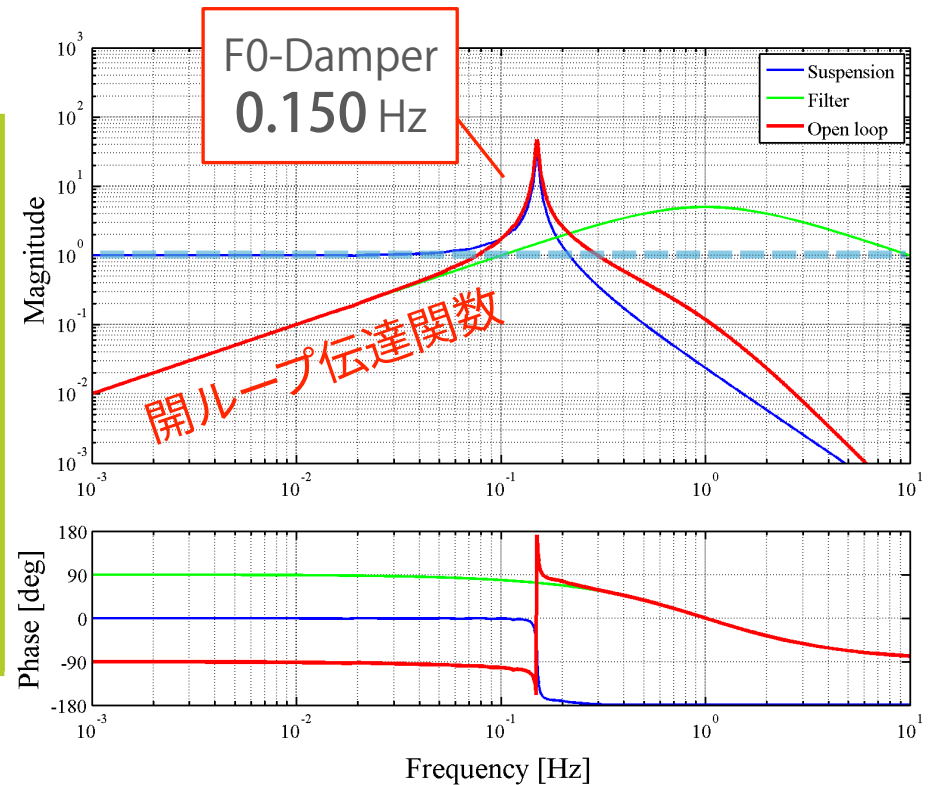
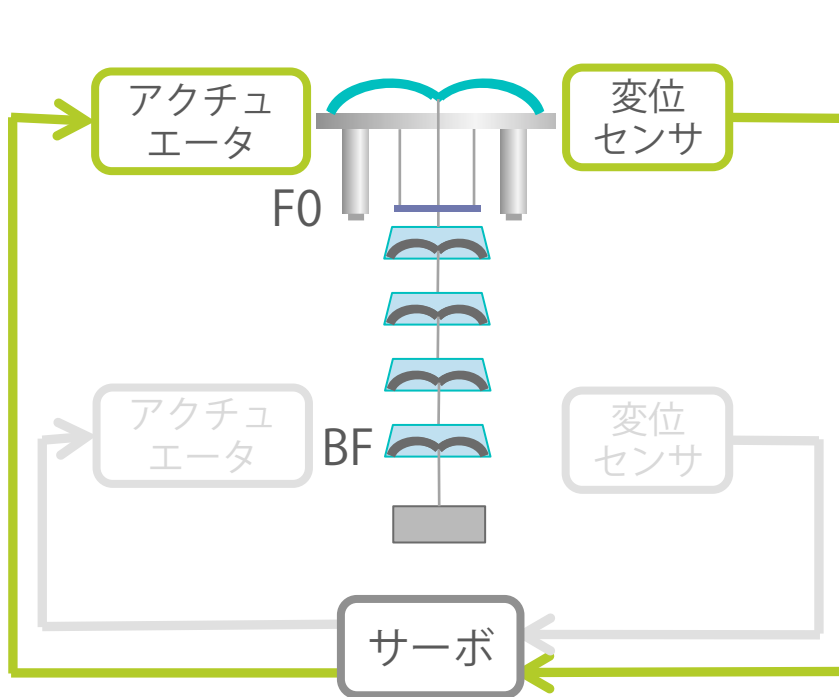
#0: 0.018 Hz

#1: 0.049 Hz

#2: 0.076 Hz

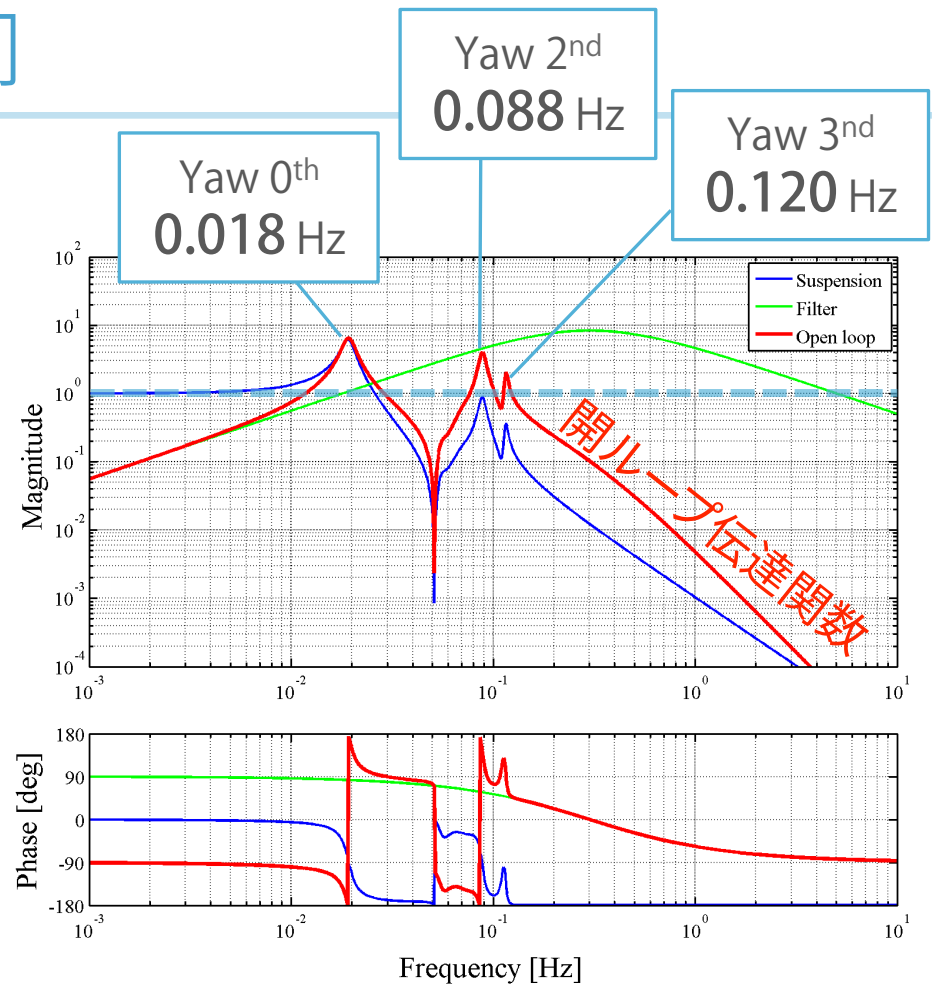
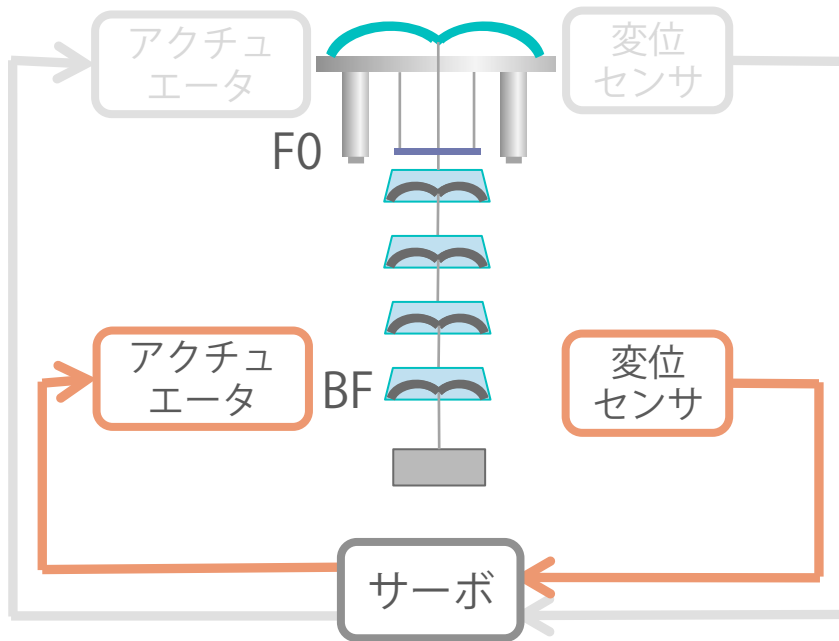
#3: 0.099 Hz

# F0 ステージの制御



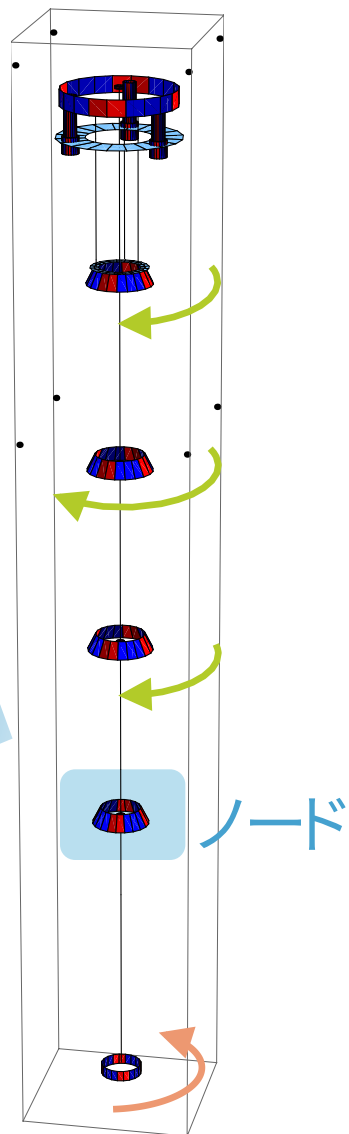
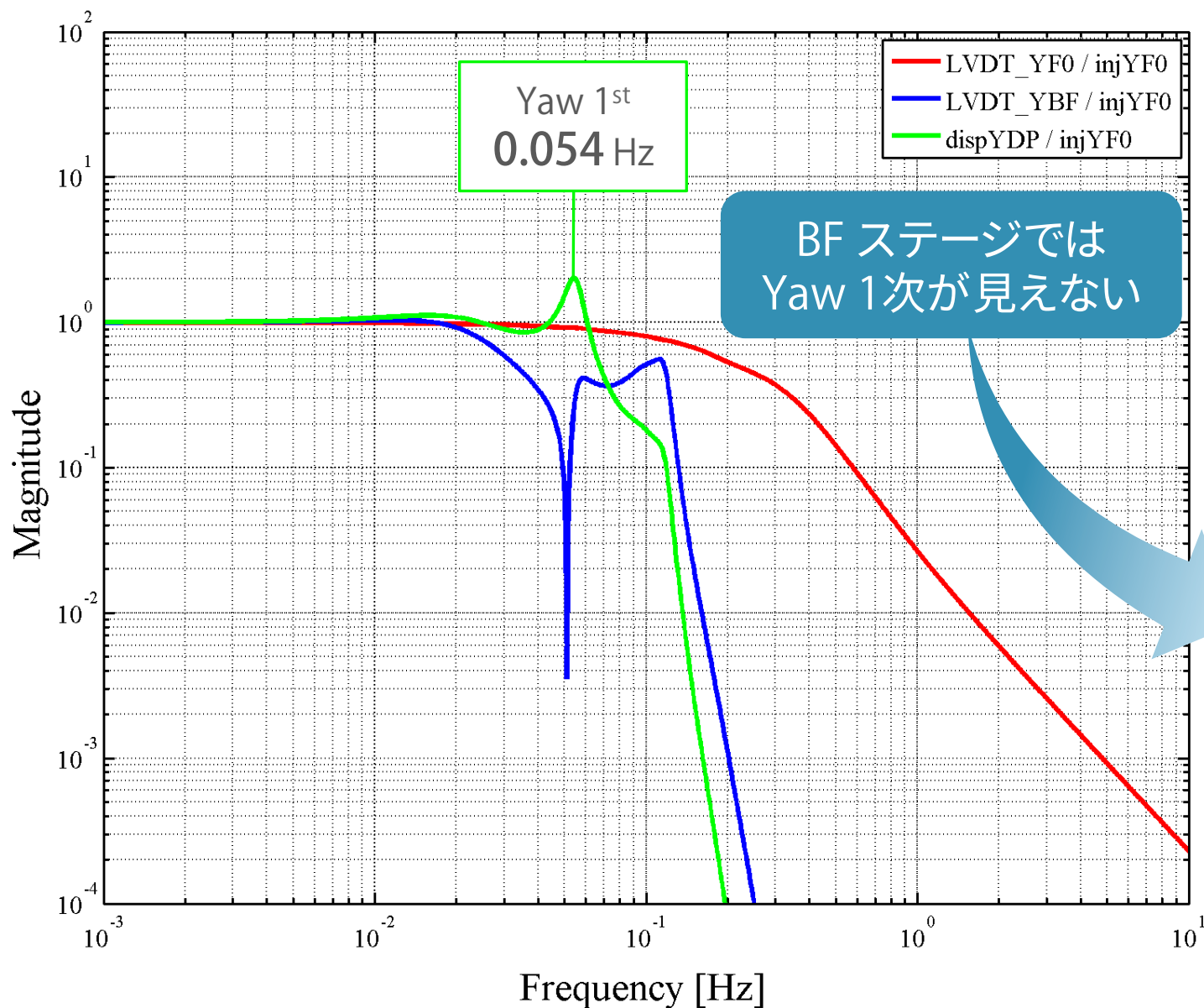
➤ Yaw モードは見えない

# BF ステージの制御

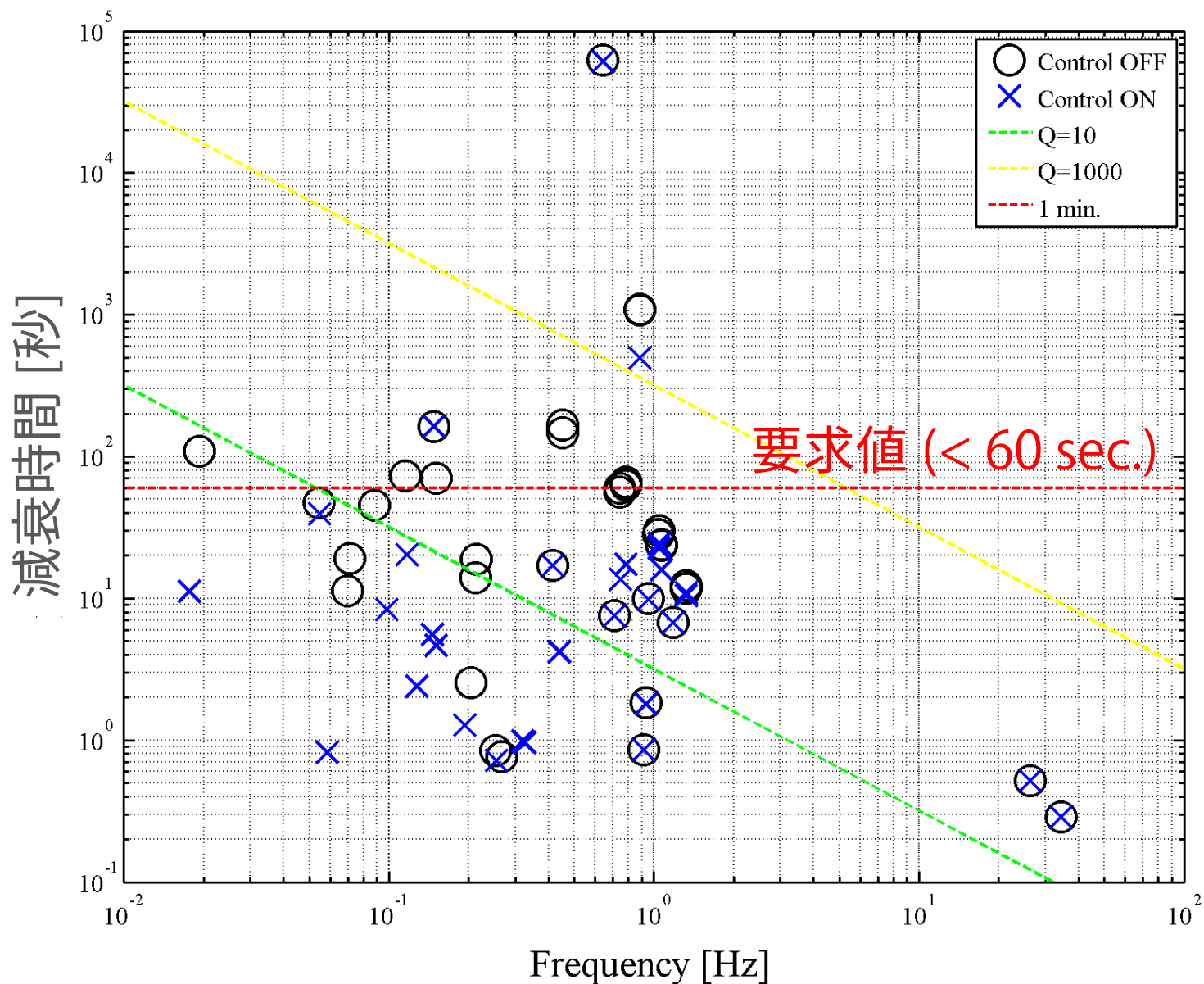


➤ Yaw モードの振動を制御可能

# BF 制御時のダミーマスの伝達関数



# 振動モードの減衰時間 (F0 + BF 制御)

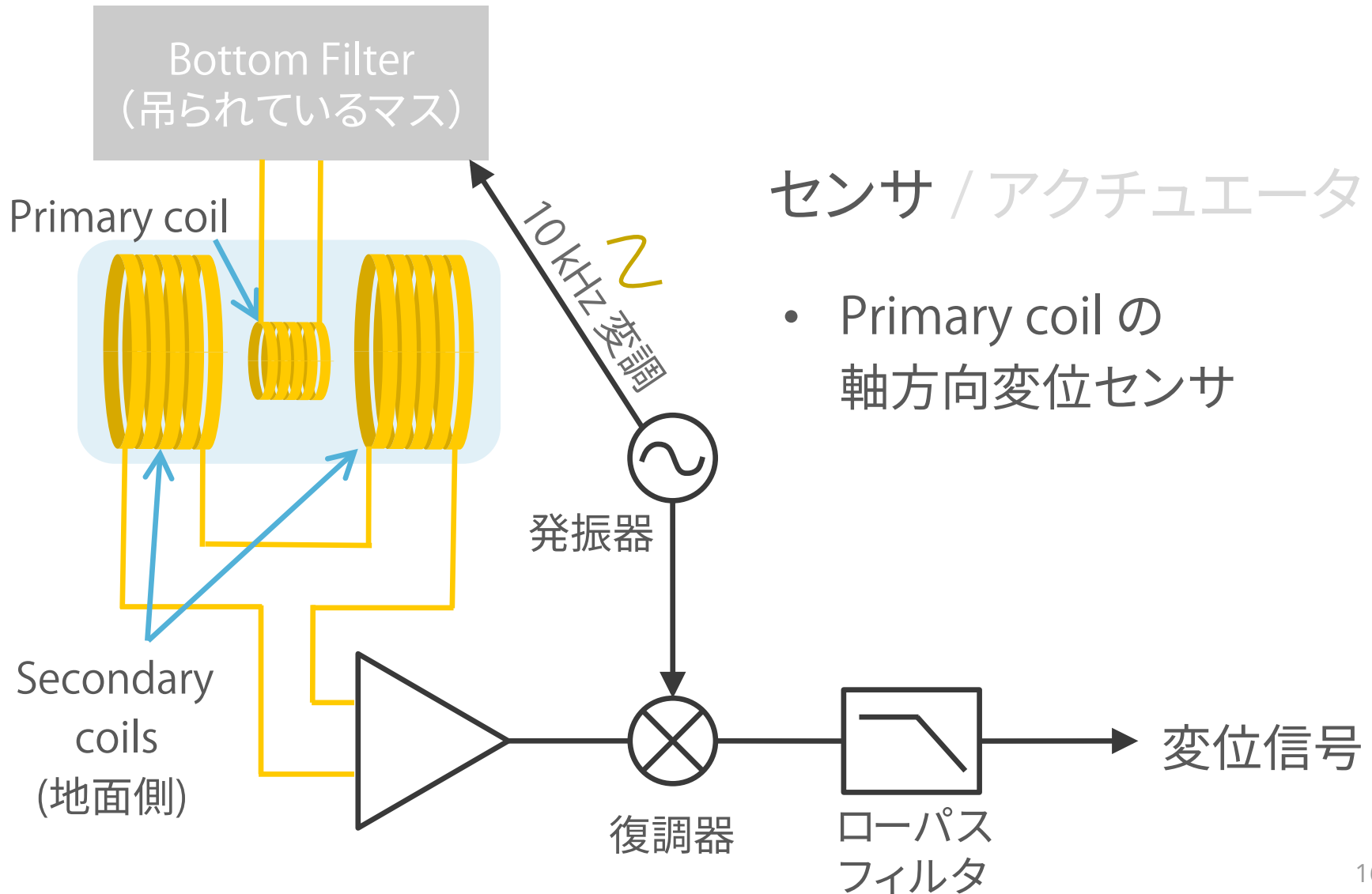


BFステージにセンサ/アクチュエータを付ければYawモードを制御できる



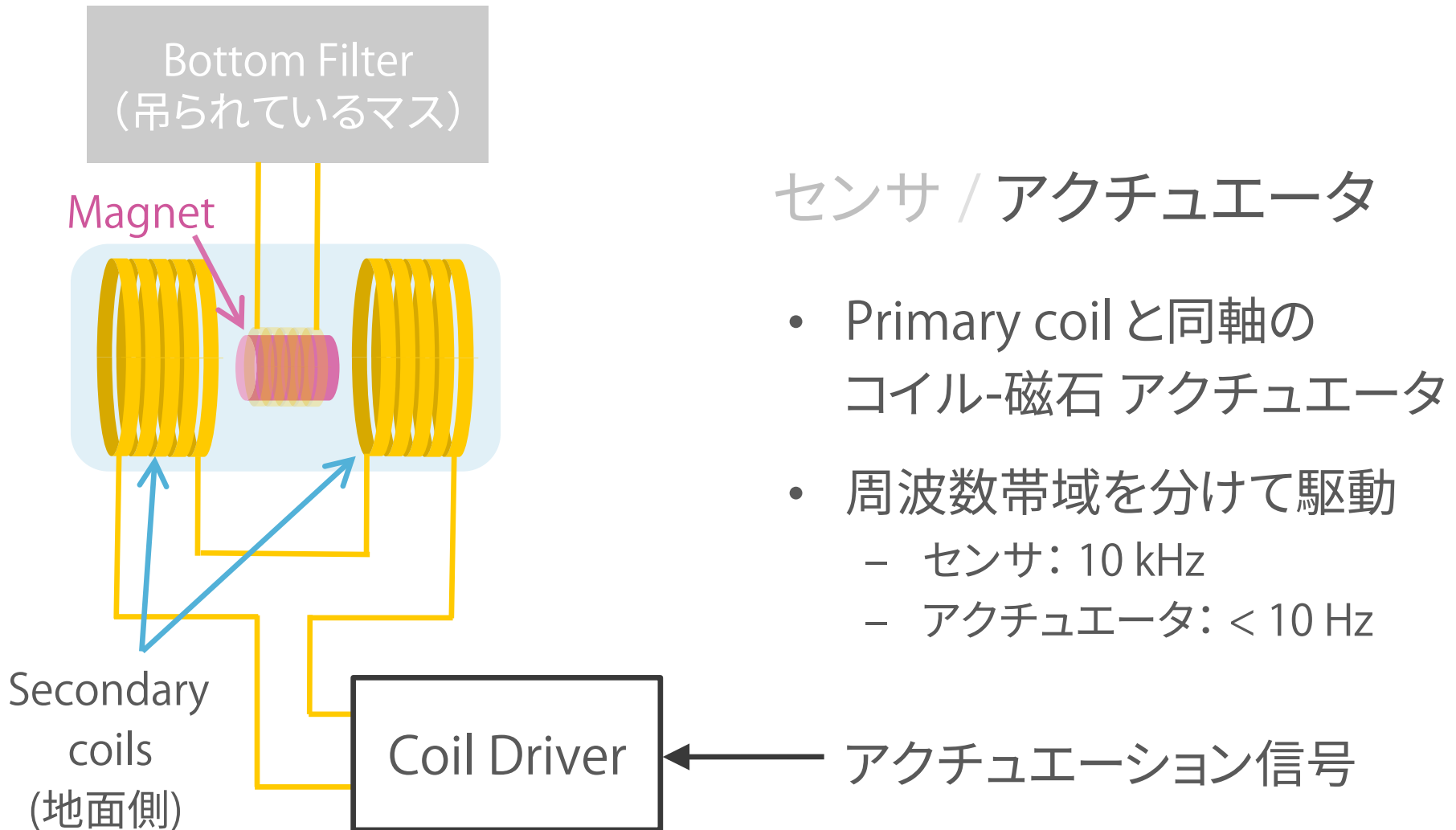
Bottom Filter LVDT

# Bottom Filter LVDT





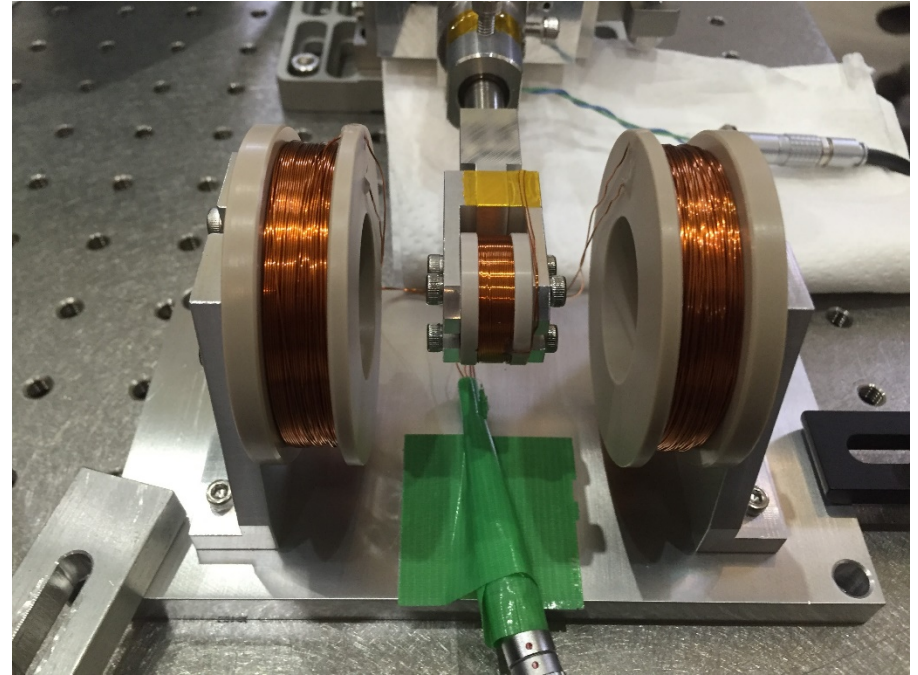
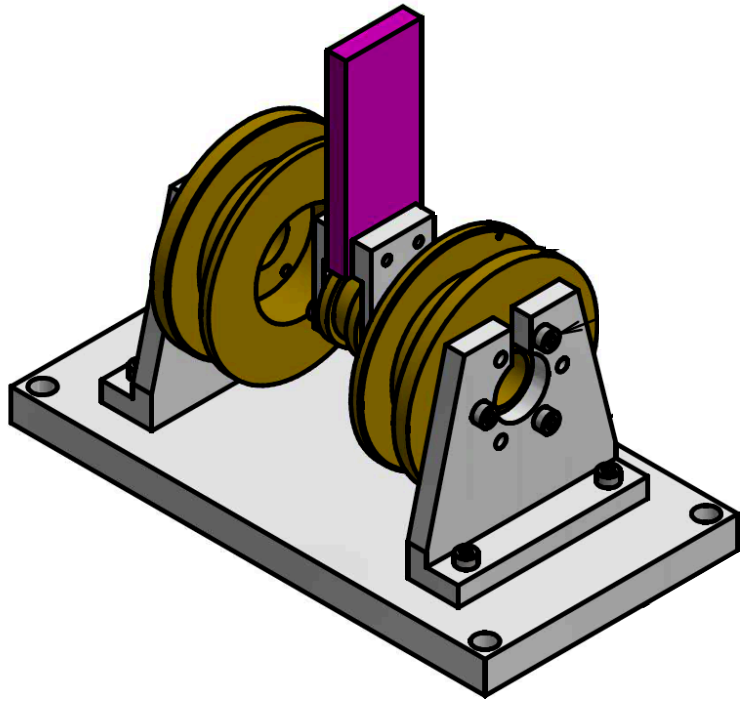
# Bottom Filter LVDT



## センサ / アクチュエータ

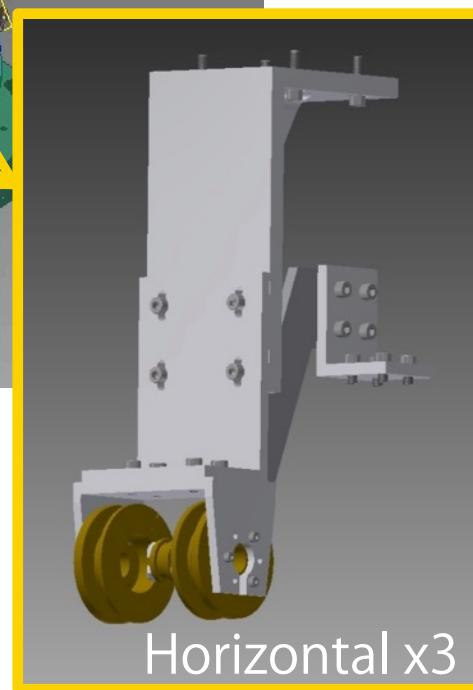
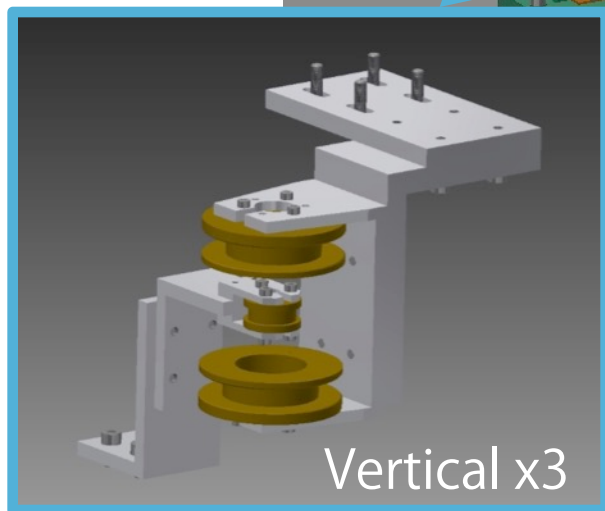
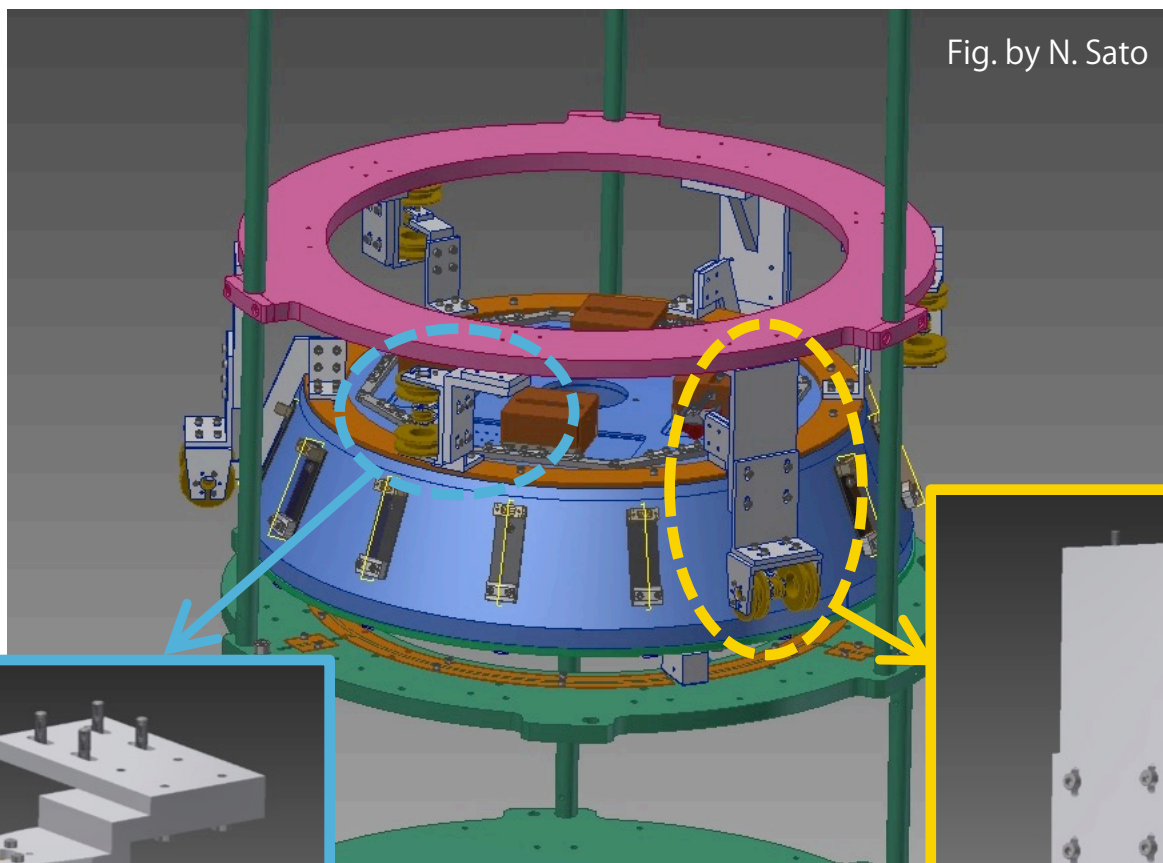
- Primary coilと同軸の  
コイル-磁石 アクチュエータ
- 周波数帯域を分けて駆動
  - センサ: 10 kHz
  - アクチュエータ: < 10 Hz

# BF LVDT (プロトタイプ)

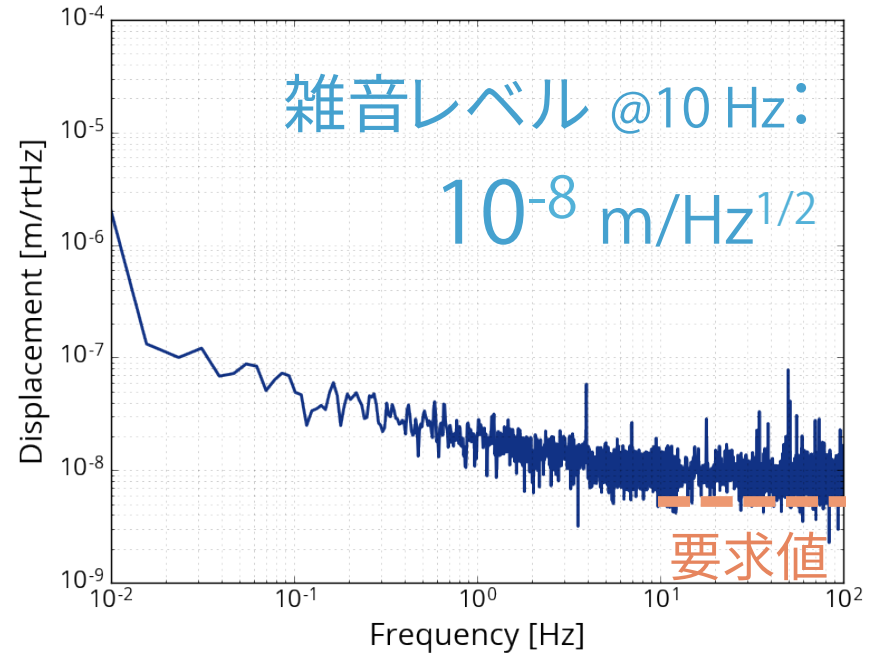
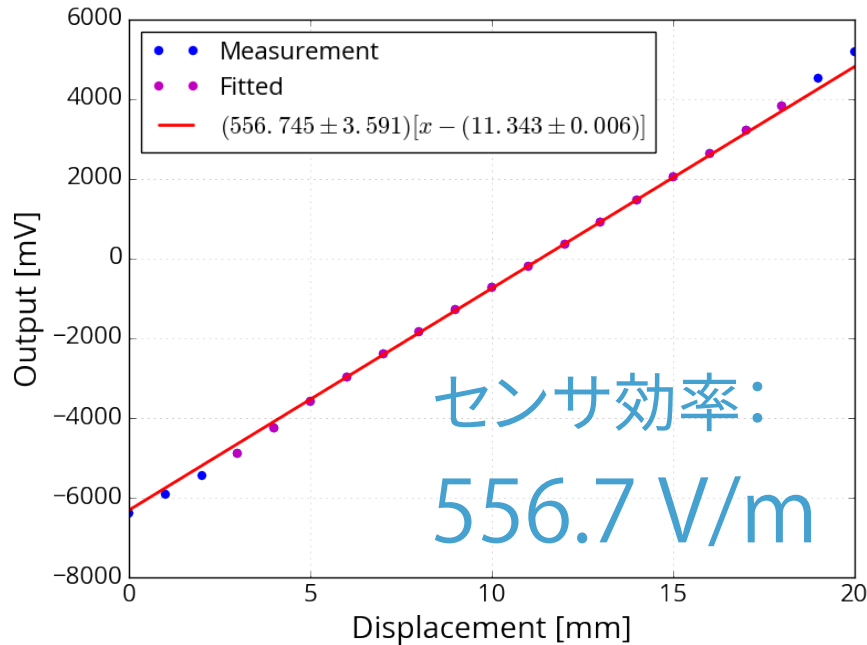


- Adv. Virgo の LVDT → KAGRA用に改造
- Type-A だけでなく Type-Bp でも使用

# BF LVDT 配置図



# センサ性能評価

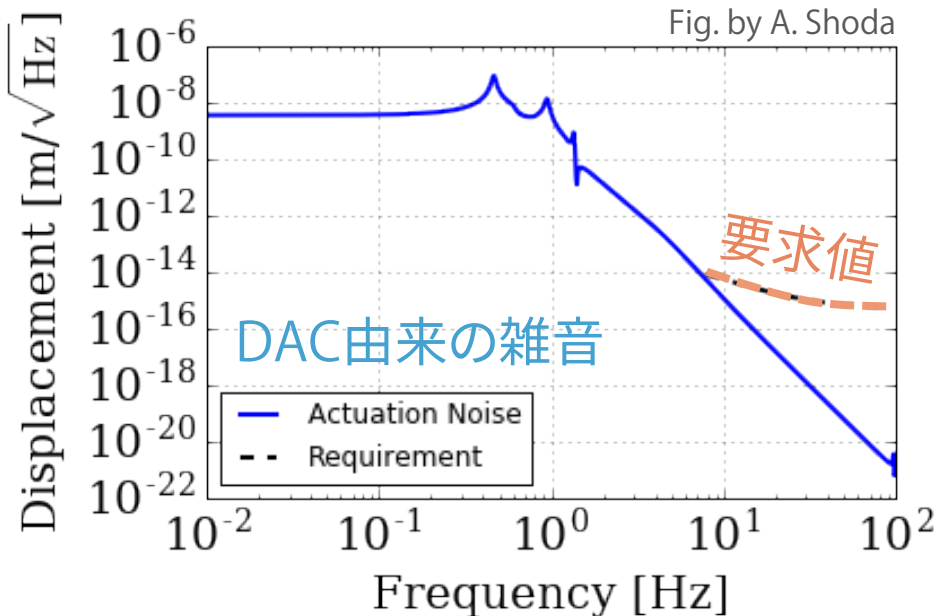
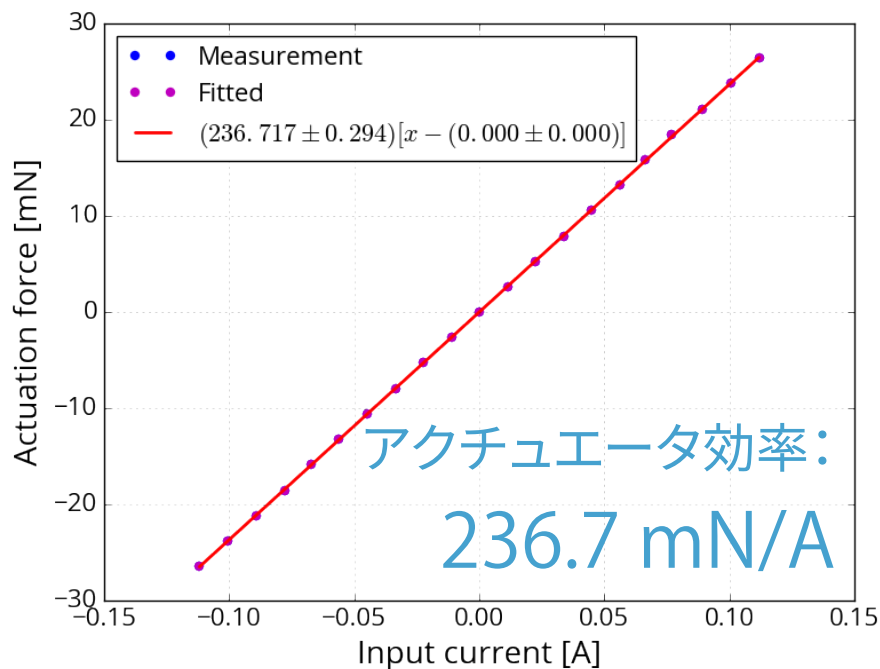


(要求値)

- 線形領域:  $\sim 15 \text{ mm} > 10 \text{ mm}$  (※可動域  $\sim 20 \text{ mm}$ )
- センサ信号範囲: 約  $\pm 10 \text{ V} < \sim \text{ADC 入力レンジ} (\pm 10 \text{ V})$
- 垂直方向変位によるカップリング:  $\sim 0.03 \% @ \pm 5 \text{ mm}$

# アクチュエータ性能評価

Preliminary



- 線形領域: 10 mm (効率の変化 < 8%) (要求値)
- 最大アクチュエーション力:  $5.3 \times 10^{-2} \text{ N} > 6.5 \times 10^{-5} \text{ N}$
- 雑音レベルが厳しい → 磁石を小さくするなどに対応

# まとめ

---

Type-A SAS のインストール準備・制御系設計を進めている

やったこと

- モデル計算によるYawモードのダンピング制御
- BF LVDT プロトタイプの性能評価

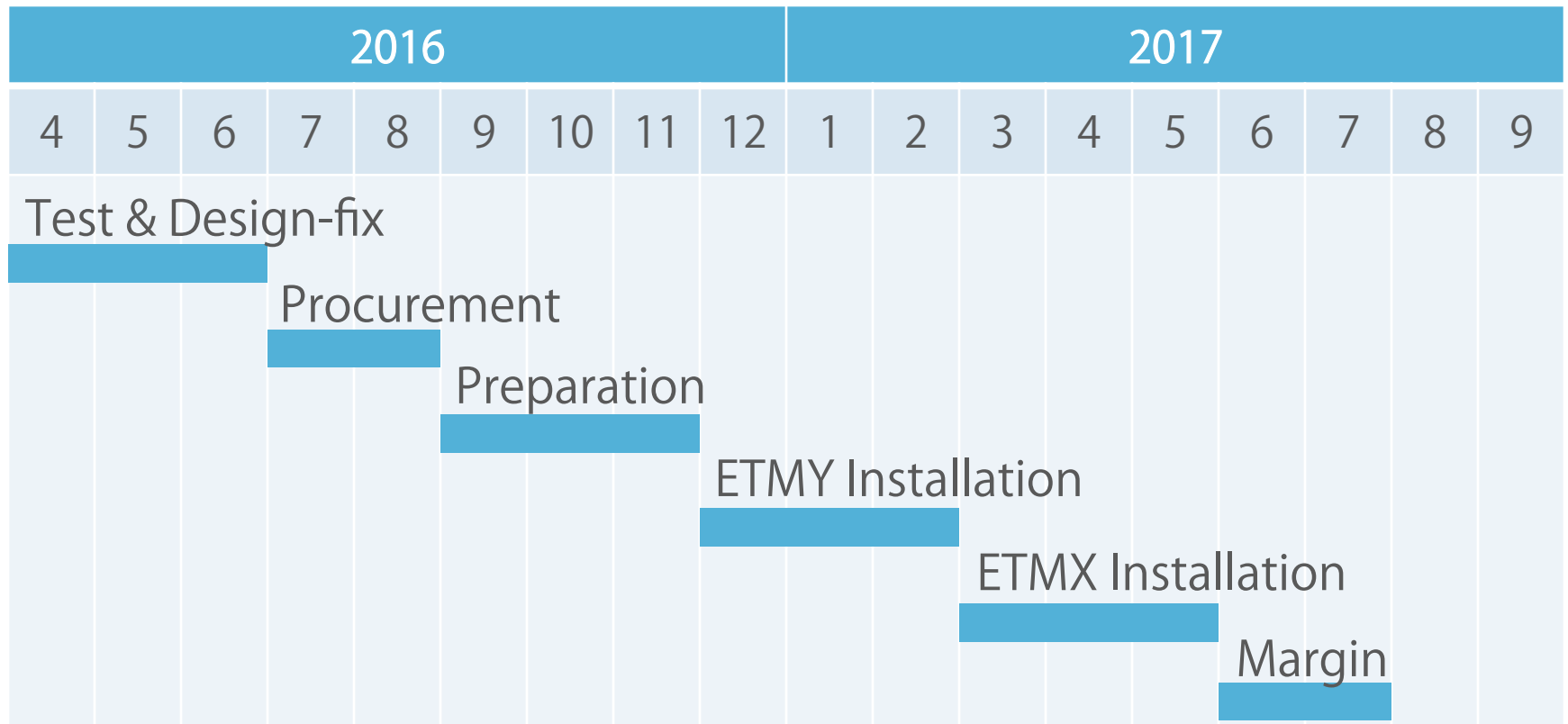
今後やること

- ペイロード部分も含めた制御系の設計
- BF LVDT の製作・試験
- センサなど、各要素の組み立て・試験

# Backup Slides

---

# インストール予定



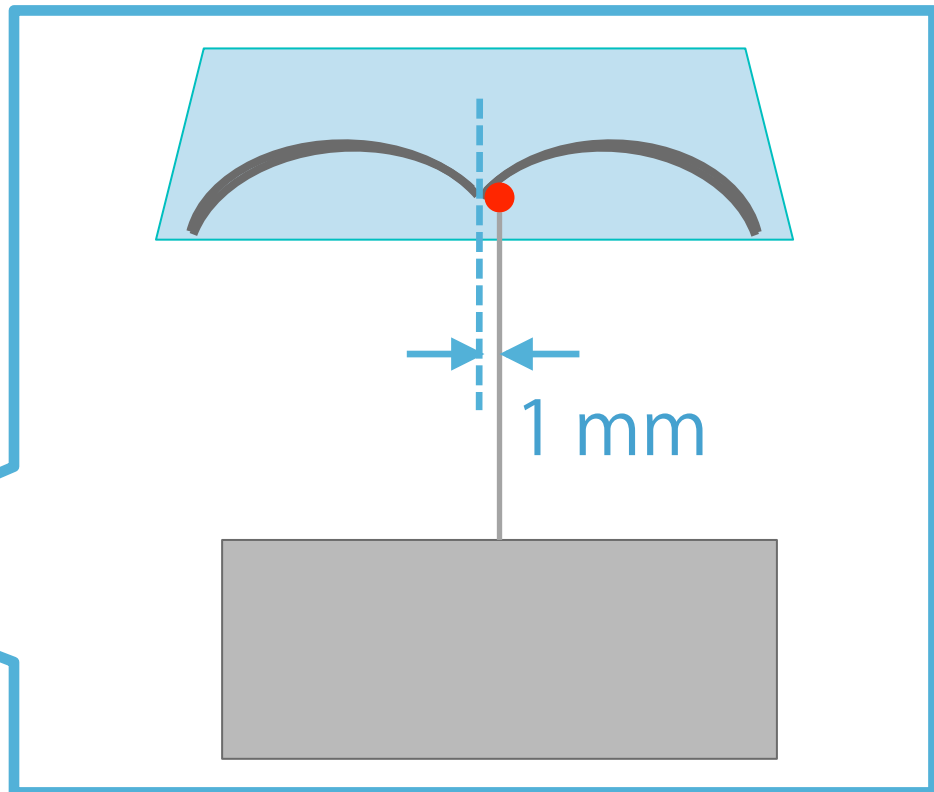
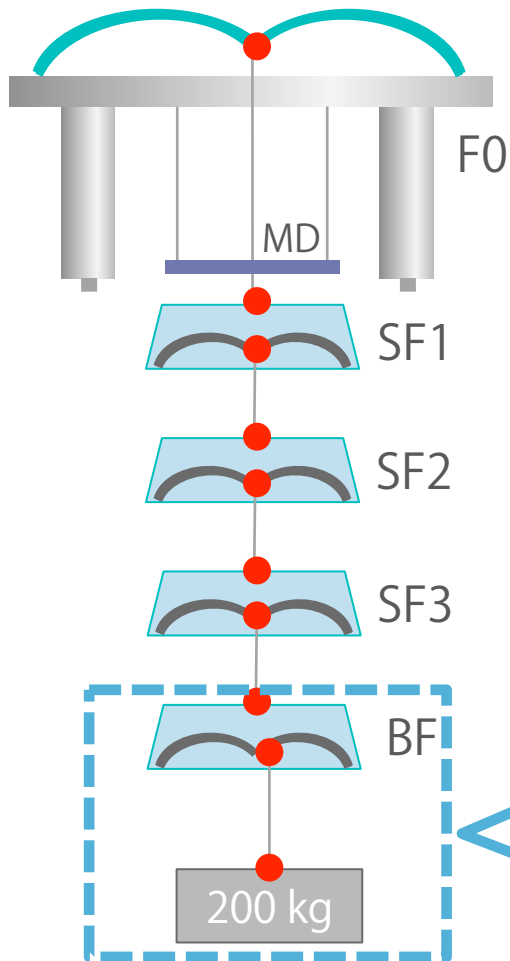
After installations of Type-A room-temperature parts, Cryopayloads are integrated



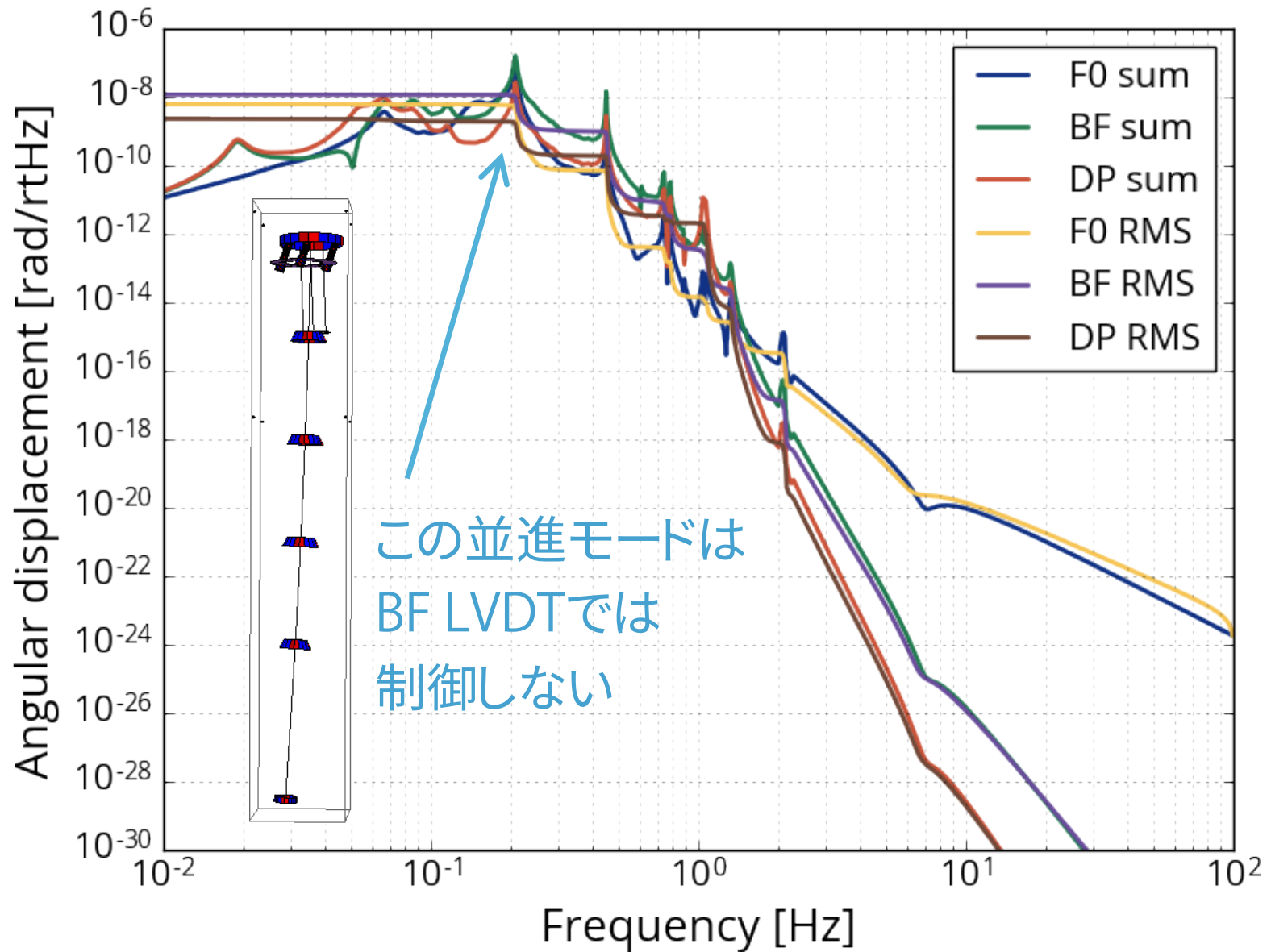
# Yaw振動スペクトルの計算方法

各懸架点にオフセット

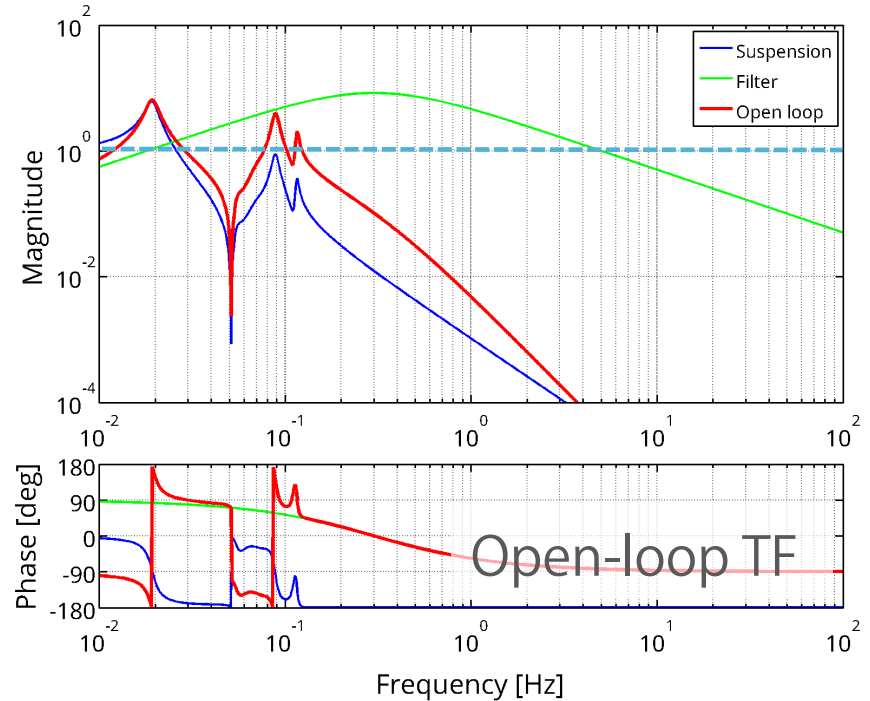
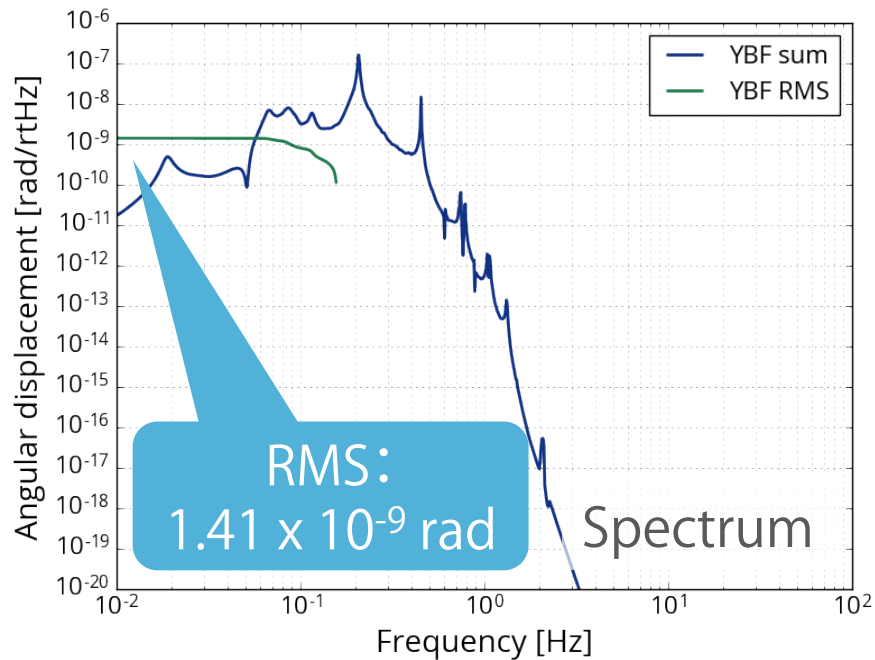
➤ 並進地面振動からYaw回転へcouple



# 全懸架点ずれについての Yaw の和



# BF LVDTで制御するYaw角度揺れ



BF LVDTでdampする低周波( $\sim < 0.15$  Hz)の振動についてのみ  
RMSを計算