KAGRAにおける腕共振器鏡の低周波防振装置の開発

発表者：奥富弘基（総研大）

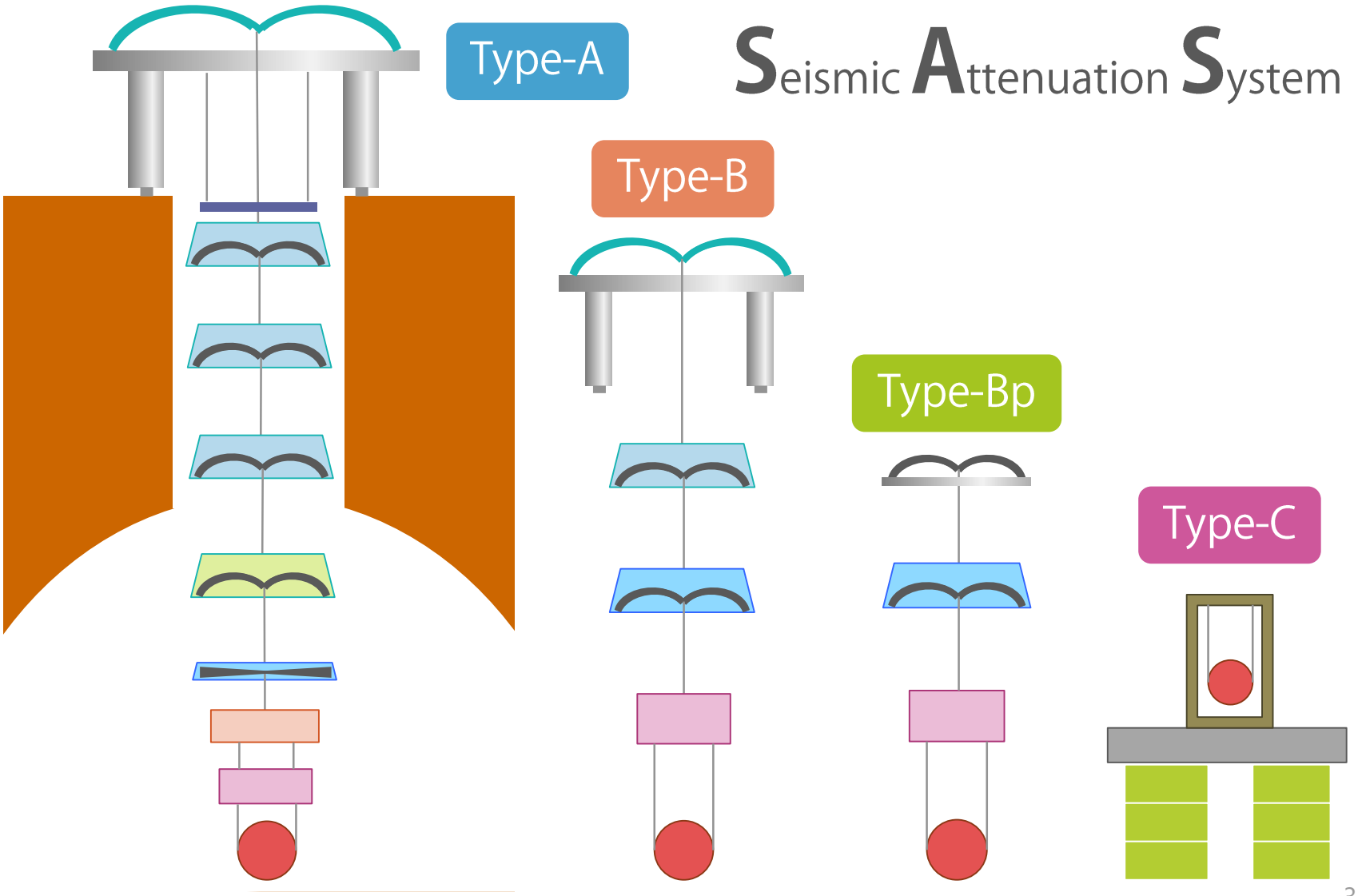
国立天文台[A], 東大宇宙線研[B], 東大天文[C], Univ. Sannio[D], INFN Rome[E], NIKHEF[F]

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

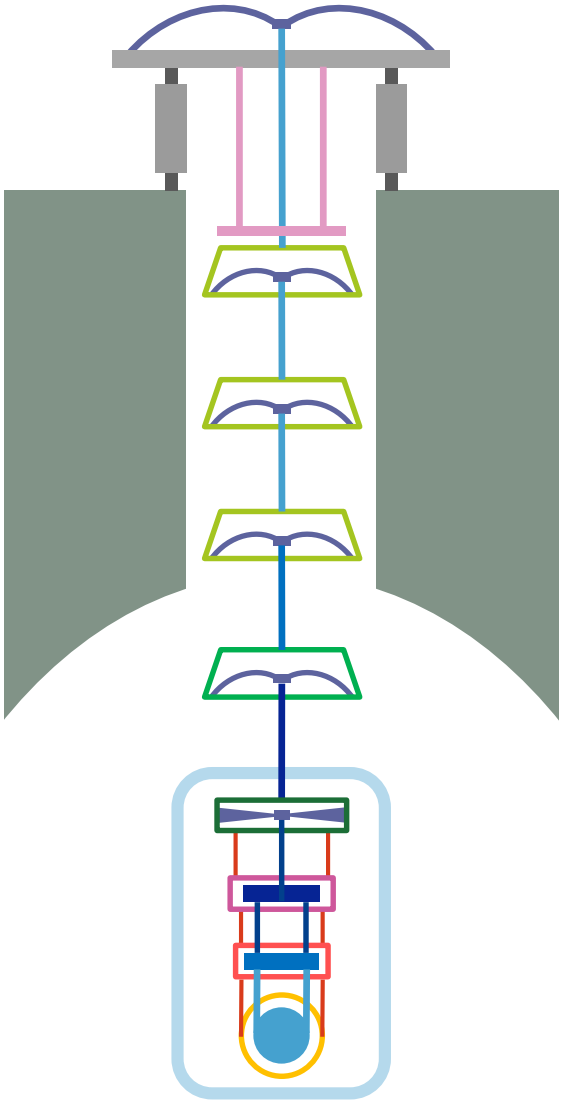
概要

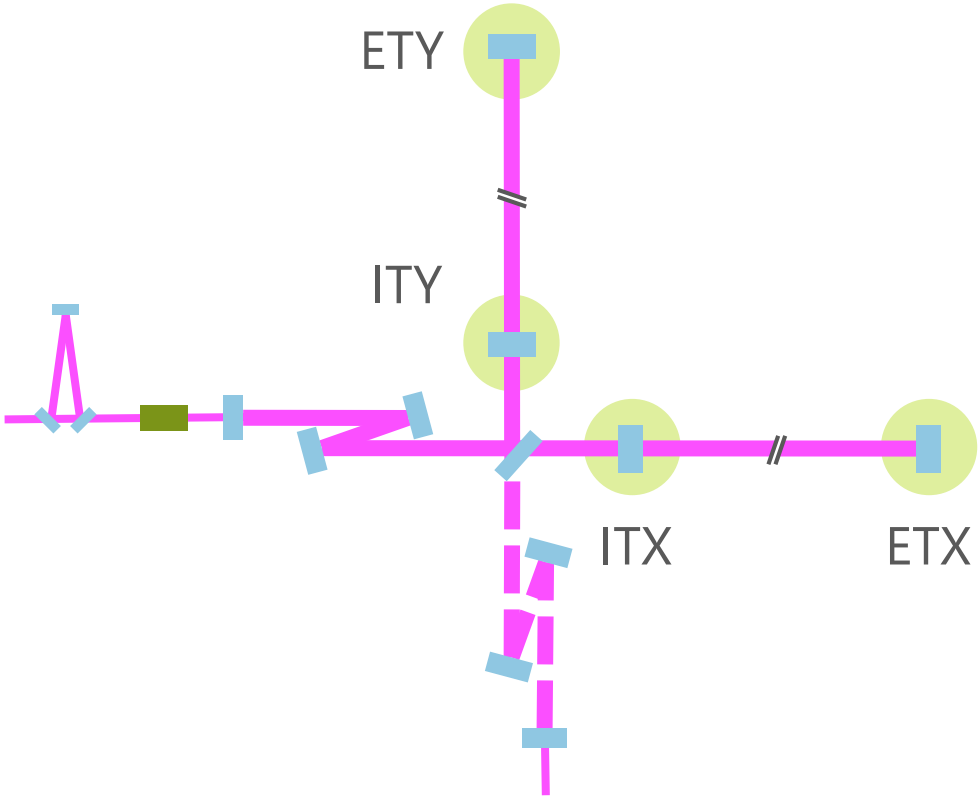
- 低周波防振装置：Type-A SAS
- ダンピング制御試験
- インストール作業の現状

KAGRAの防振装置



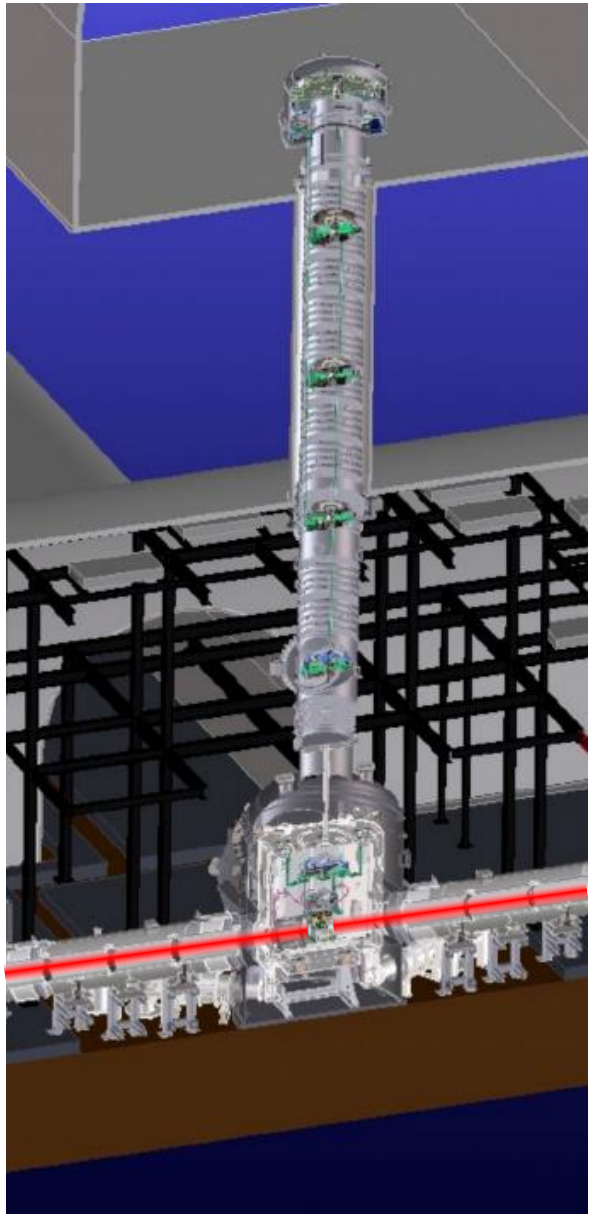
Type-A SAS

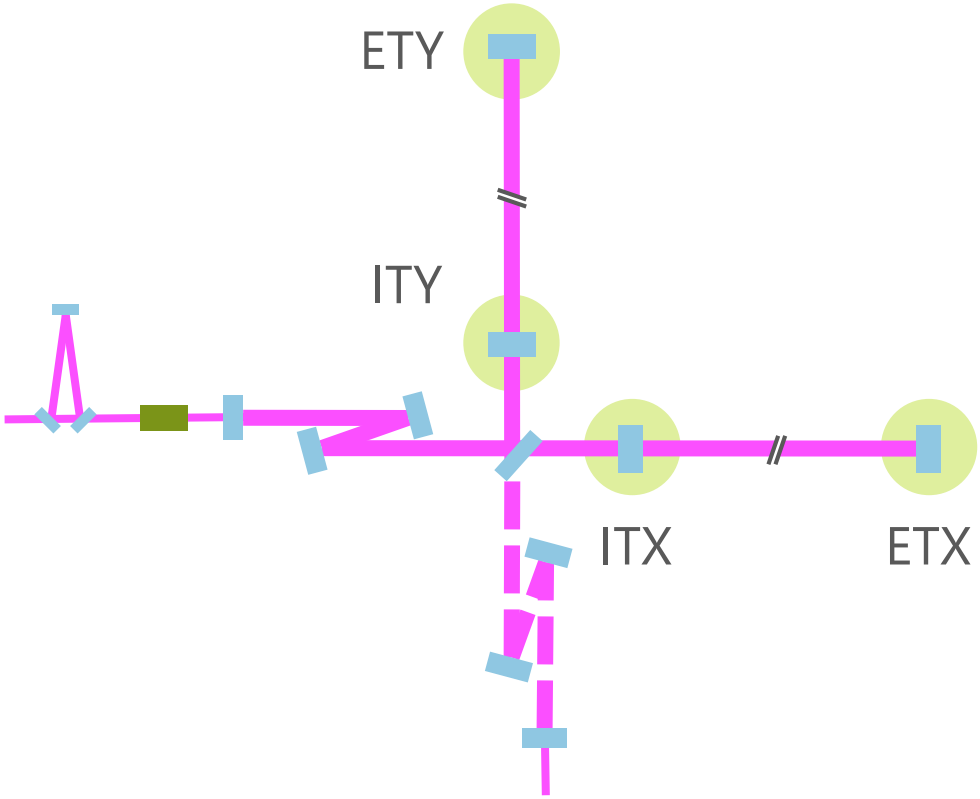




- 腕共振器鏡用防振装置（4台）
- 常温部＋低温ペイロード

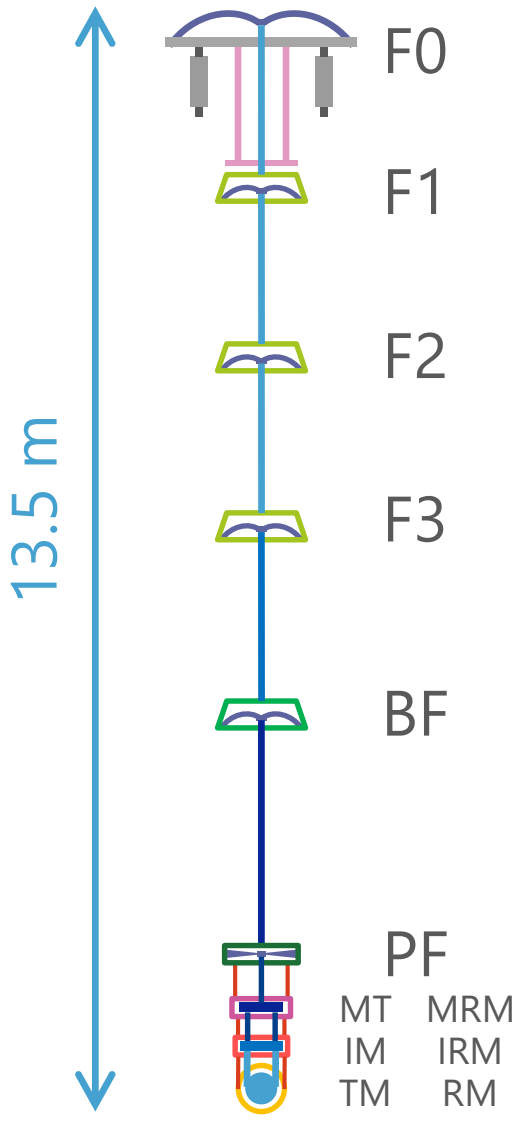
Type-A SAS



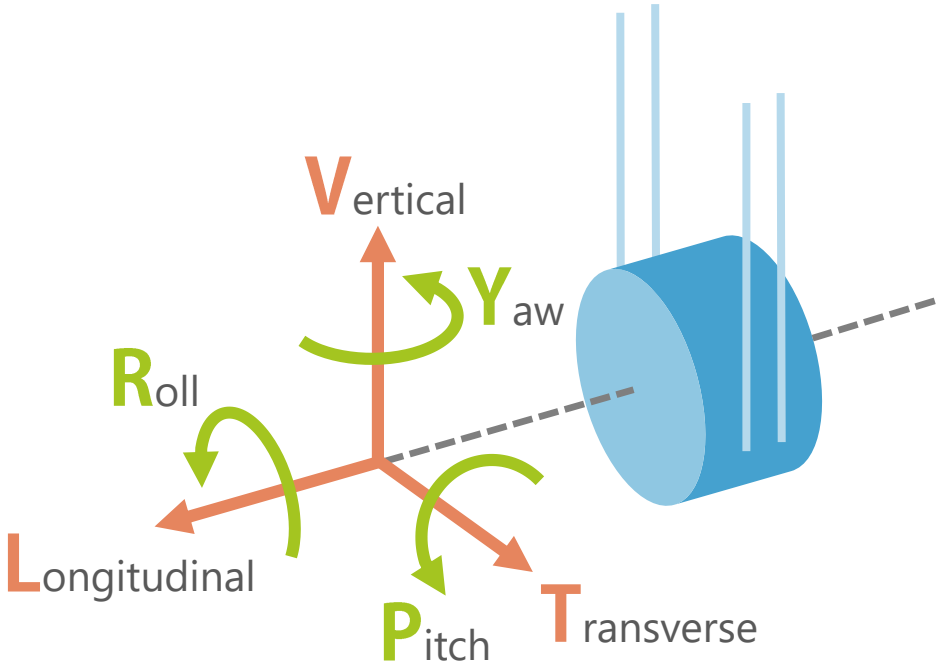


- 腕共振器鏡用防振装置（4台）
- 常温部＋低温ペイロード

Type-A SAS 概観

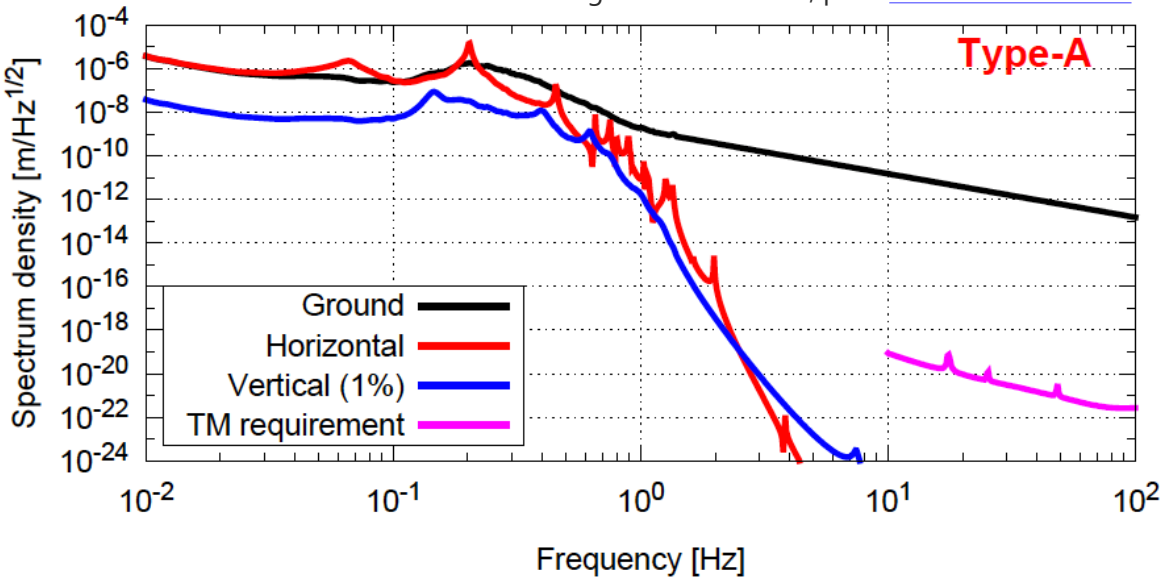


- 運動の座標定義



防振性能に対する要求

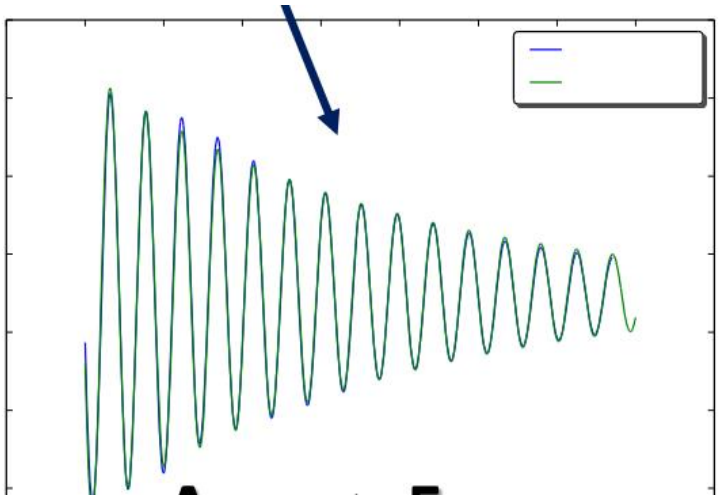
T. Sekiguchi Ph.D. Thesis, p.72: JGW-P1504155-v15



鏡変位雑音 @ 10 Hz

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

etc...

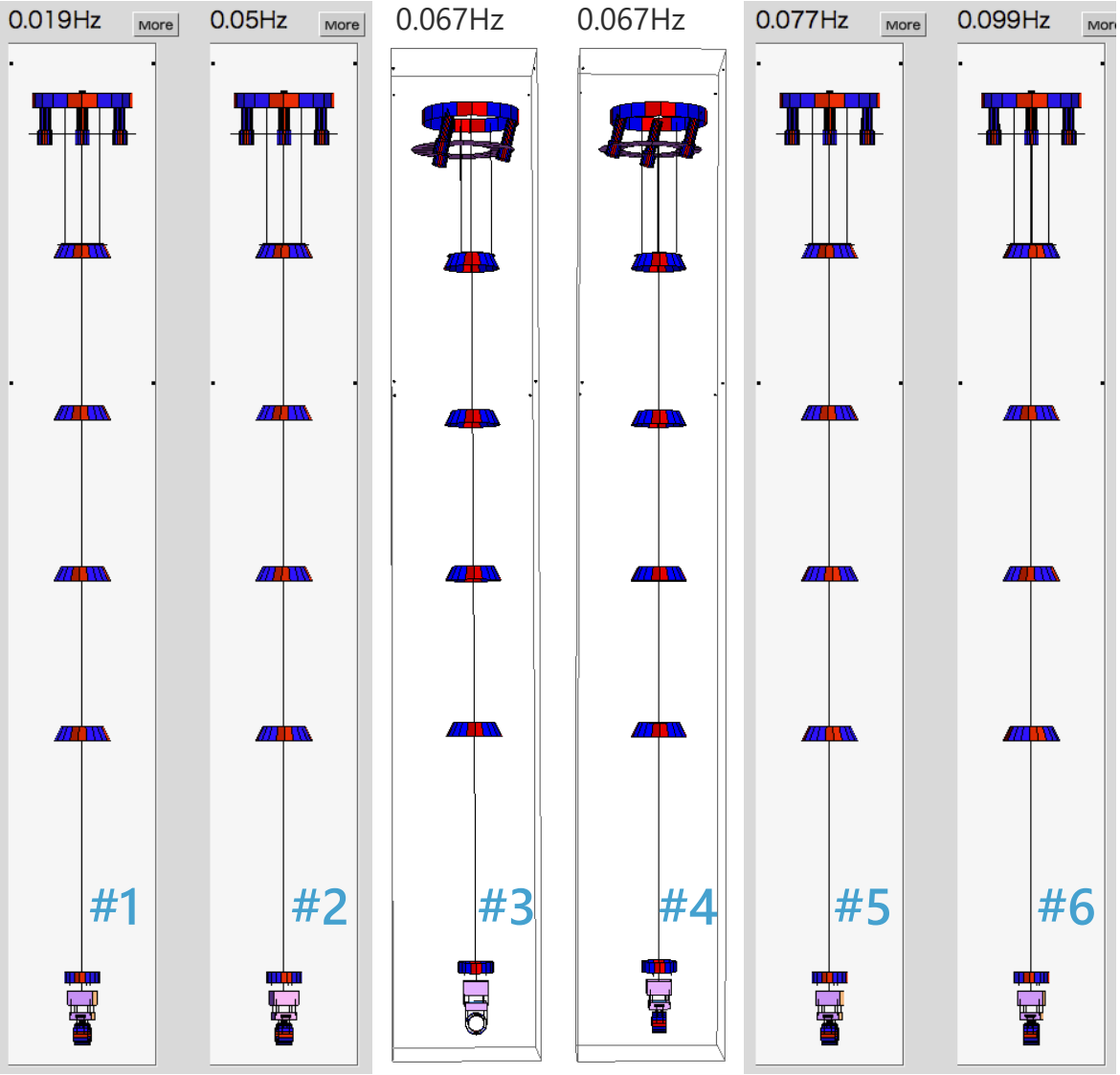


モードダンピング減衰時間

< 60 sec

➢ ダンピング制御

特に低周波モードが重要



#1: Y whole chain 0th

#2: Y whole chain 1st

#3: T whole chain 0th
IP translation

#4: L whole chain 0th
IP translation

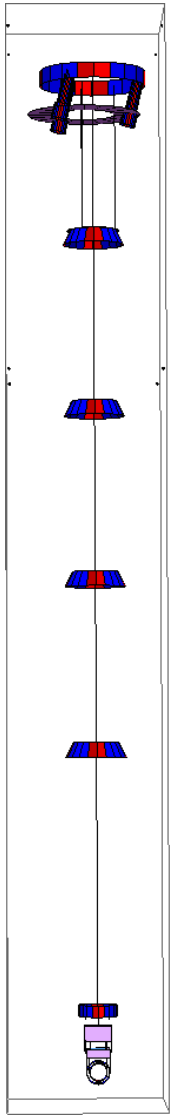
#5: Y whole chain 2nd

#6: Y whole chain 3rd

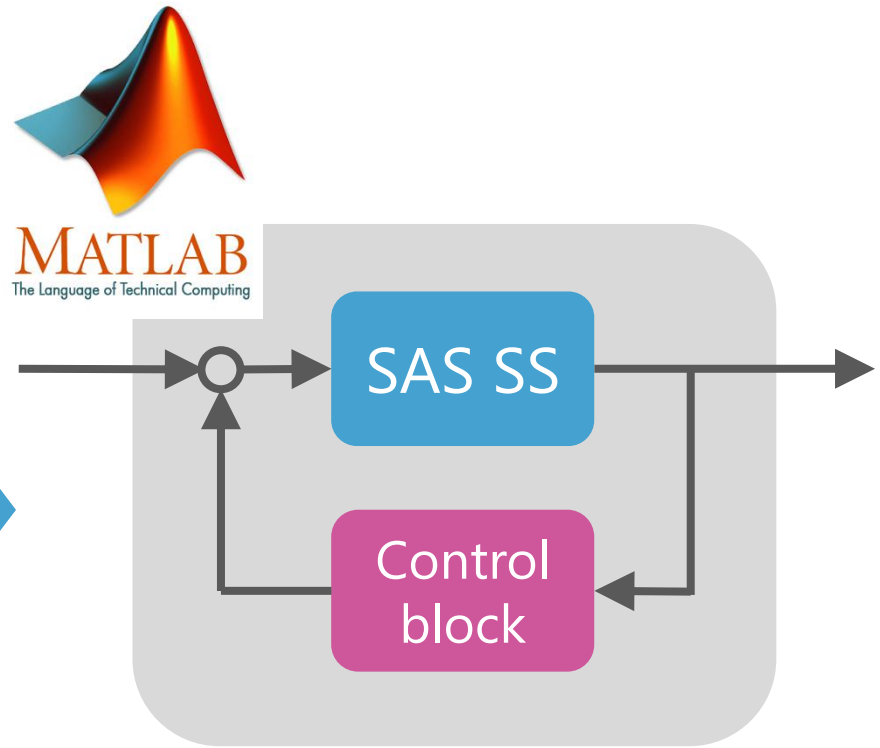
⋮ ⋮

どうやって
減衰させるか？

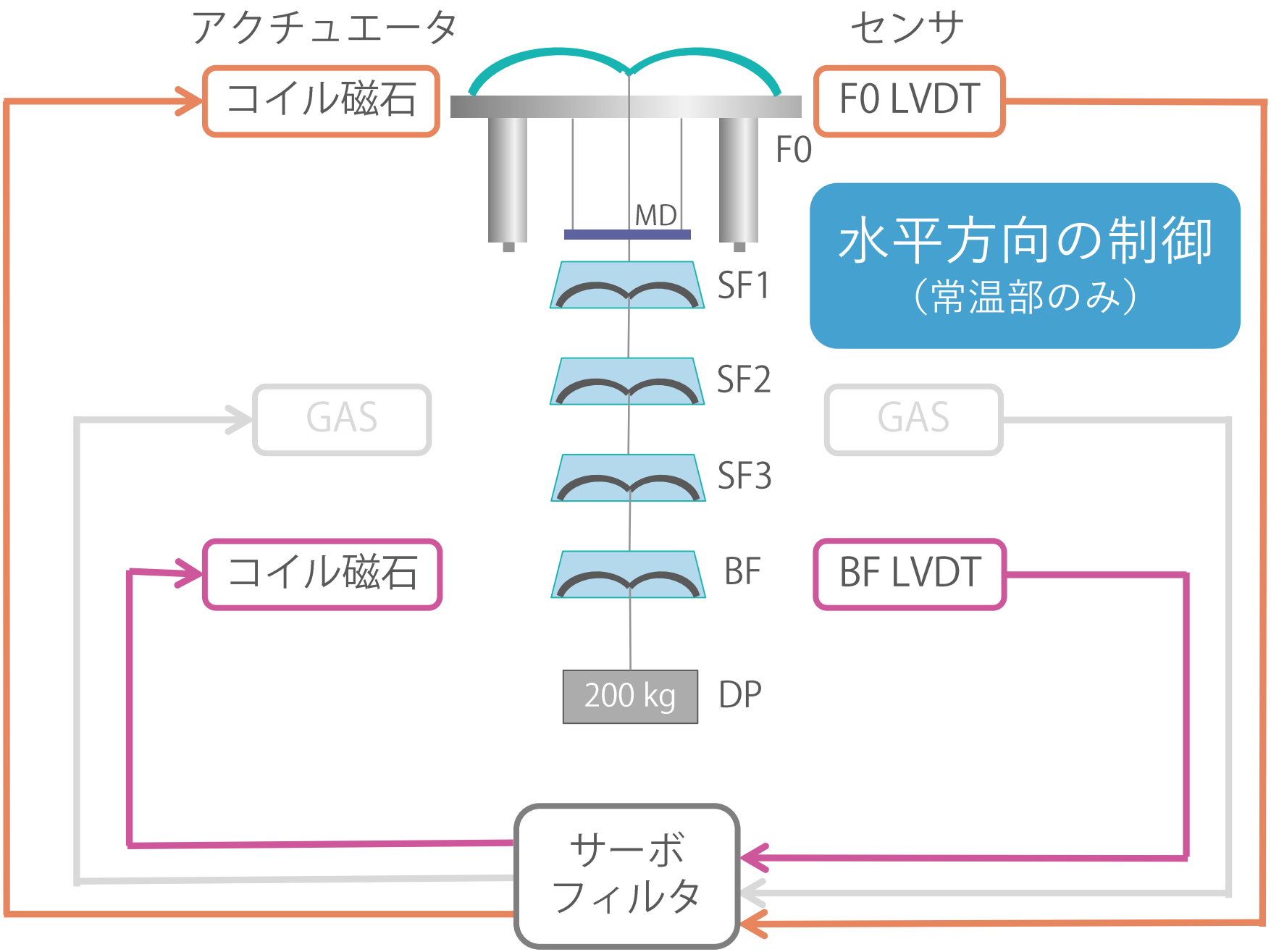
モデル計算



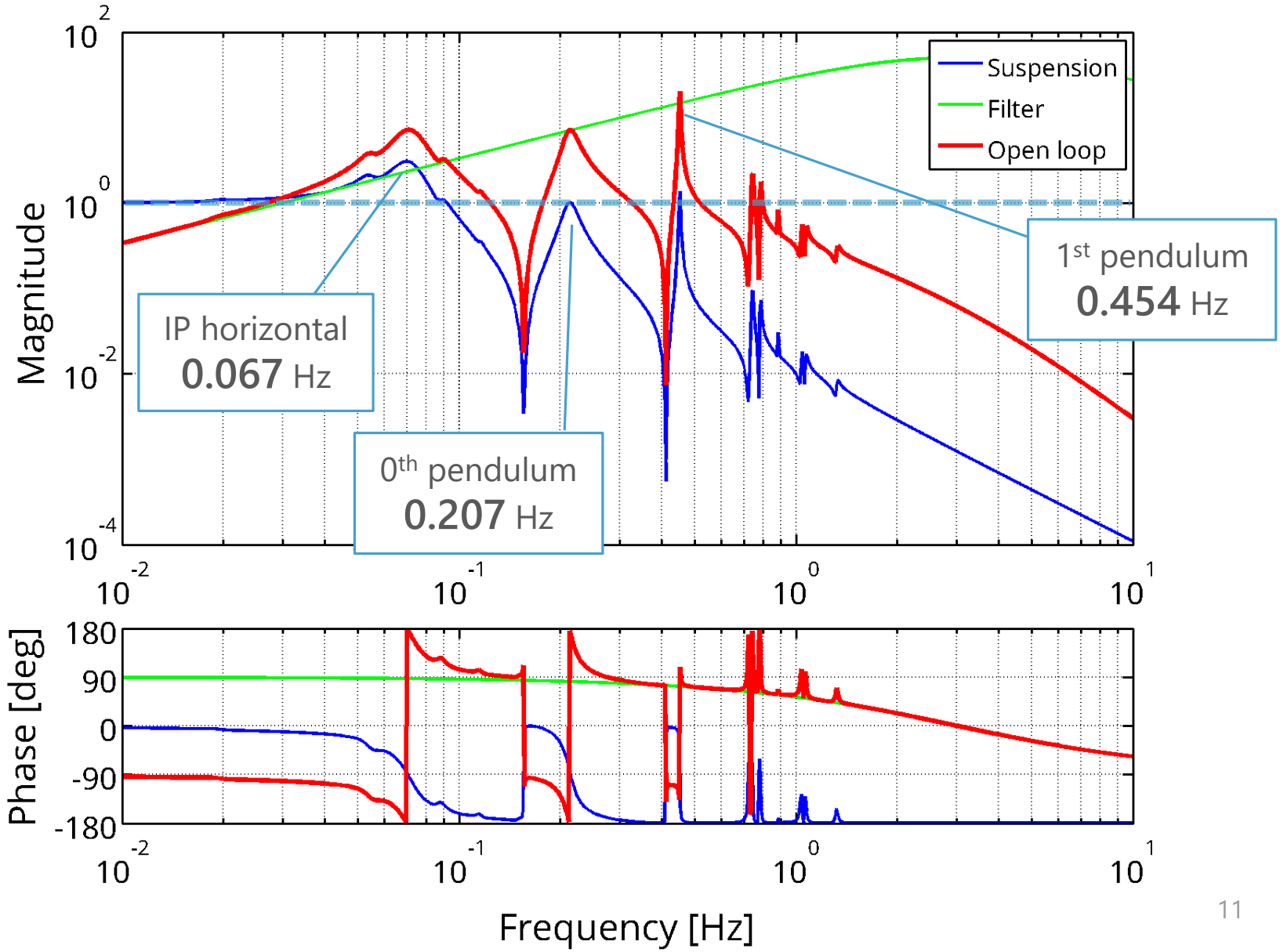
3次元剛体モデル
周波数特性解析



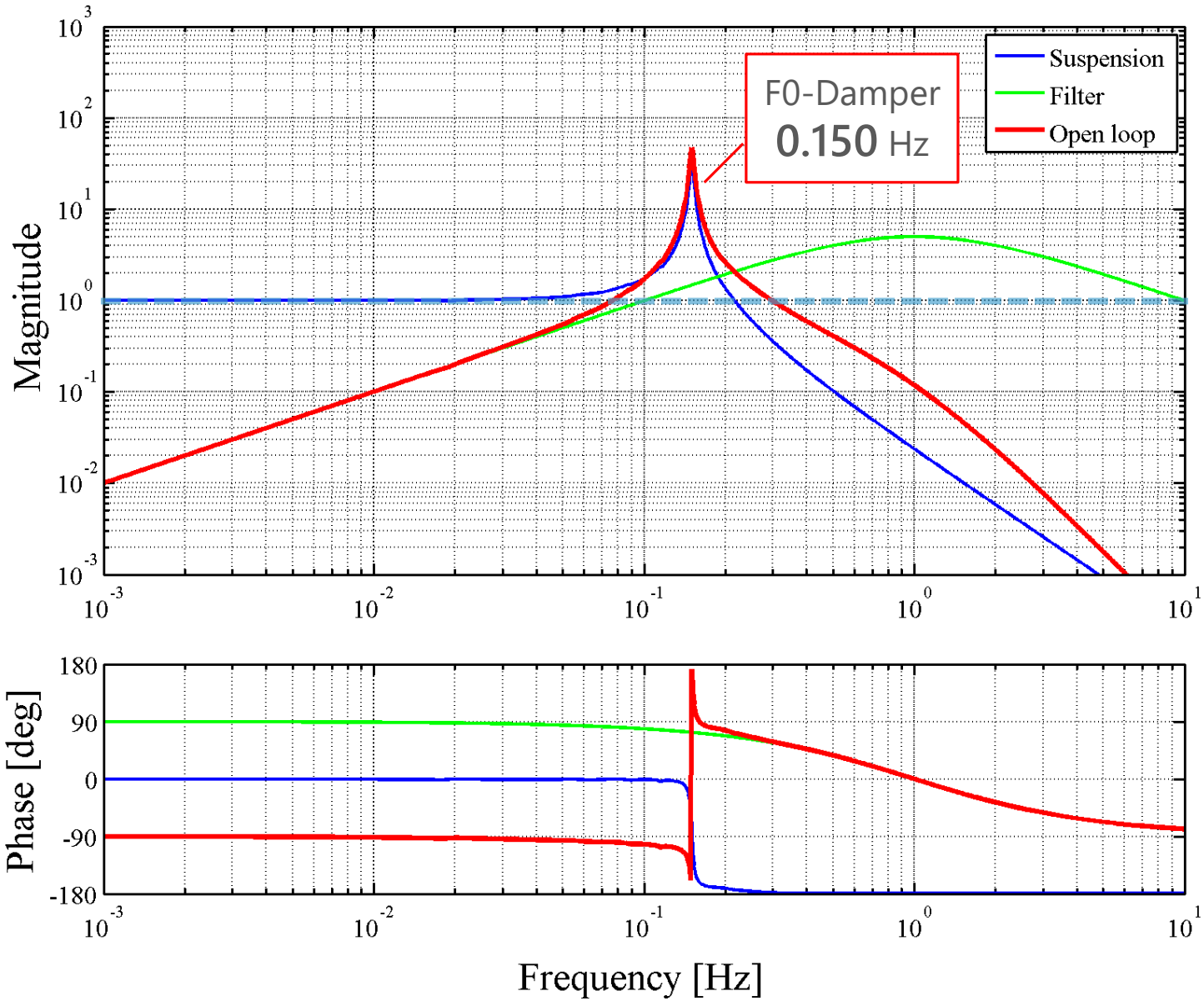
状態空間モデルによる
制御系設計


アクチュエータ
センサ
コイル磁石
F0 LVDT
F0
MD
水平方向の制御
（常温部のみ）
SF1
SF2
GAS
GAS
SF3
コイル磁石
BF
BF LVDT
200 kg
DP
サーボ
フィルタ

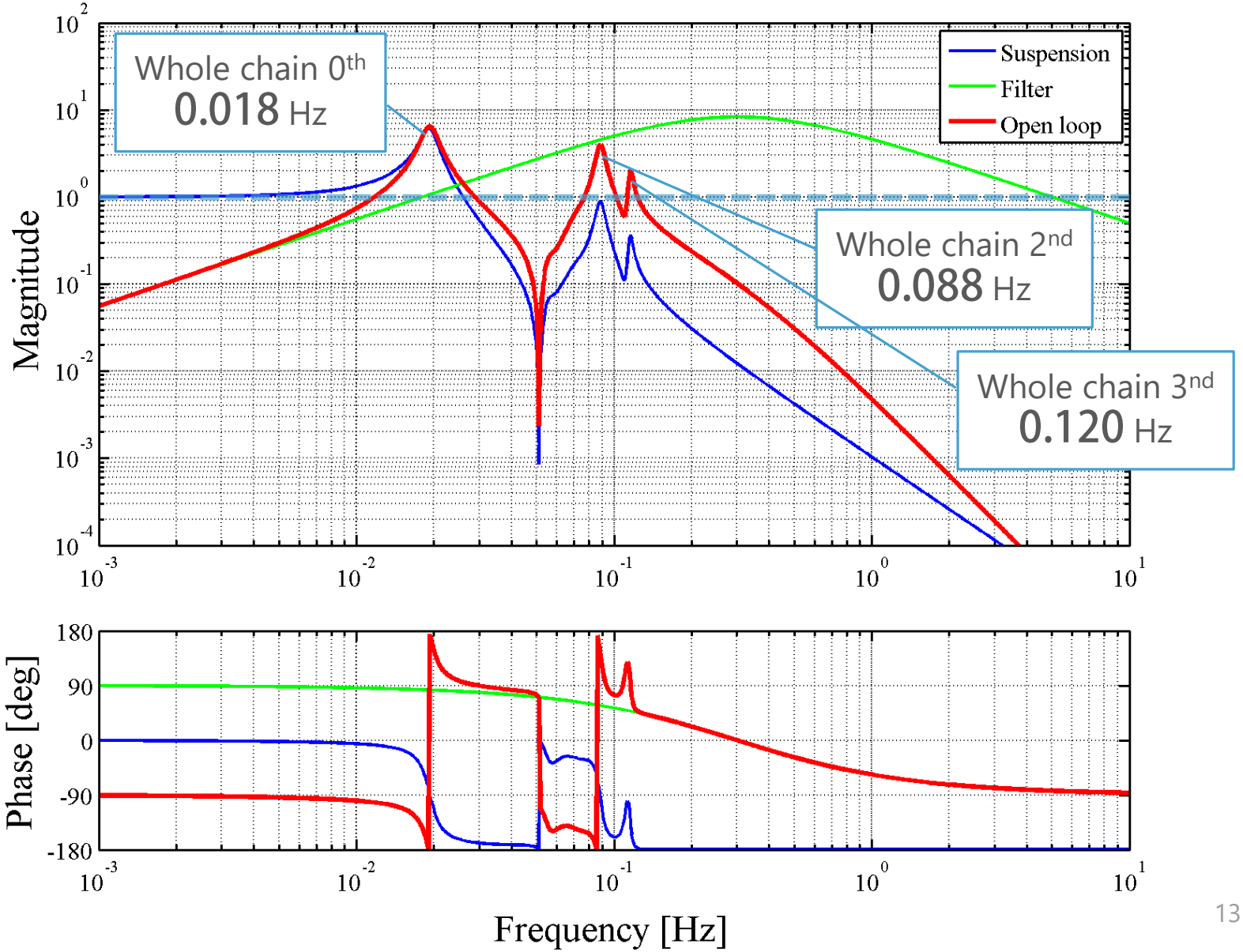
Open-loop TF (F0 Longitudinal)



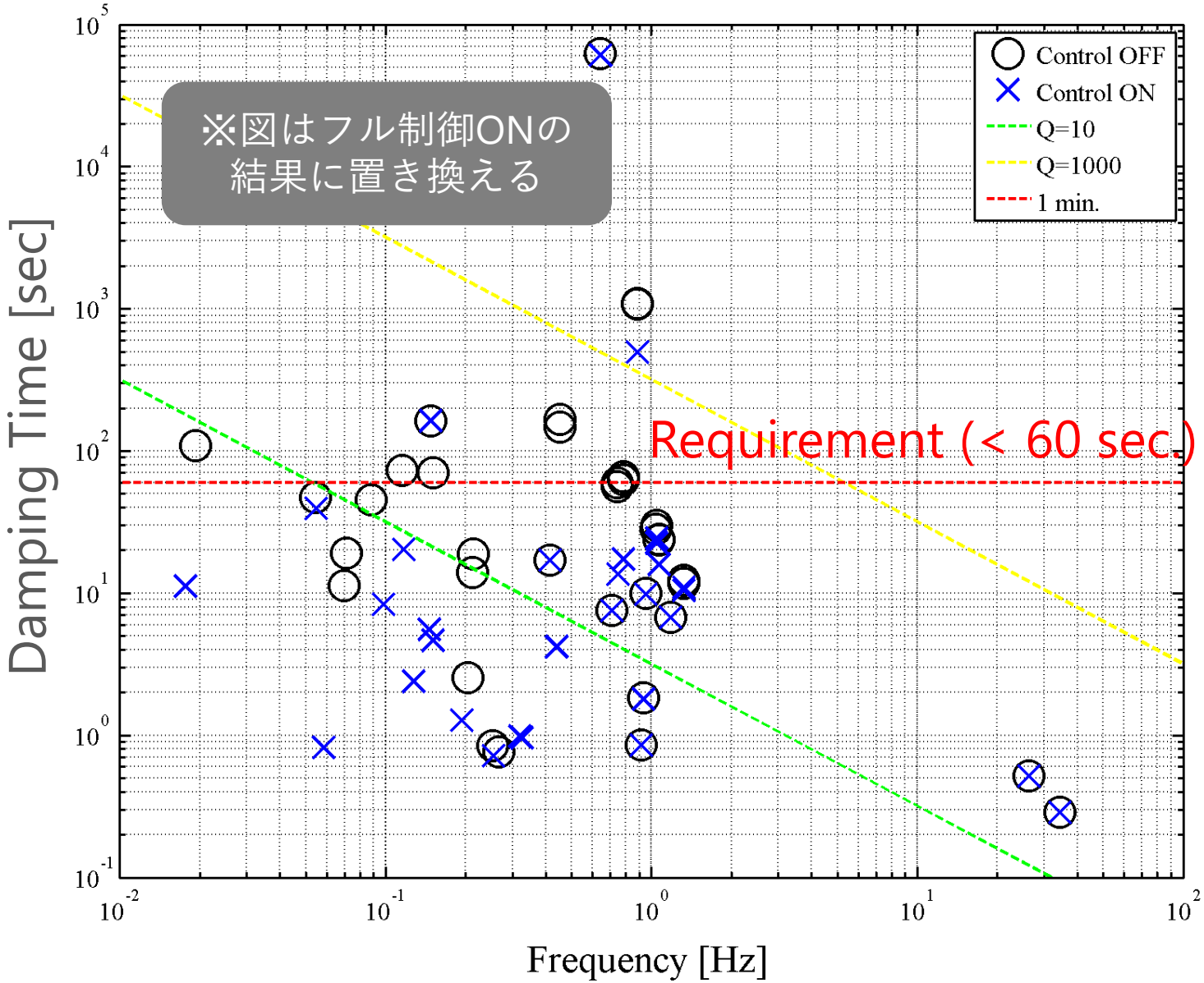
Open-loop TF (F0 Yaw)



Open-loop Transfer Function (YBF)



Damping Time (F0 + BF Ctrl)



試験計画

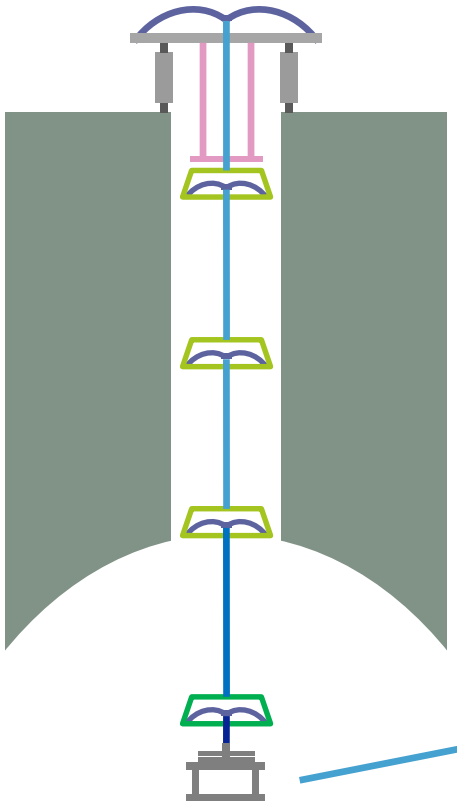
- 常温部の真空試験（4~5月半ば）
  - ダンピング制御の検証
  - （どこまでやるかを詳述）
- 全体の常温試験（~10月？）
  - ペイロードとの結合後
- 全体の低温試験（~2018年3月？）
  - コミッショニングの一部として行う

（試験に向けた準備状況）

- （デジタル系のセットアップ）
- （リアルタイムモデル→来週までには作る）

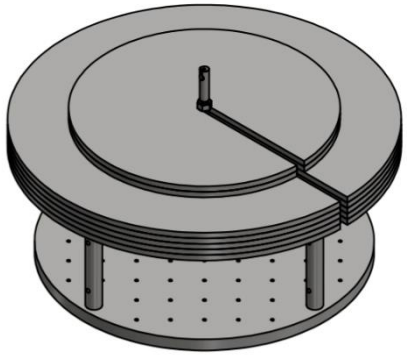
インストール作業

インストール日程

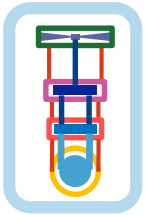


2017年度内の
常温部インストール予定

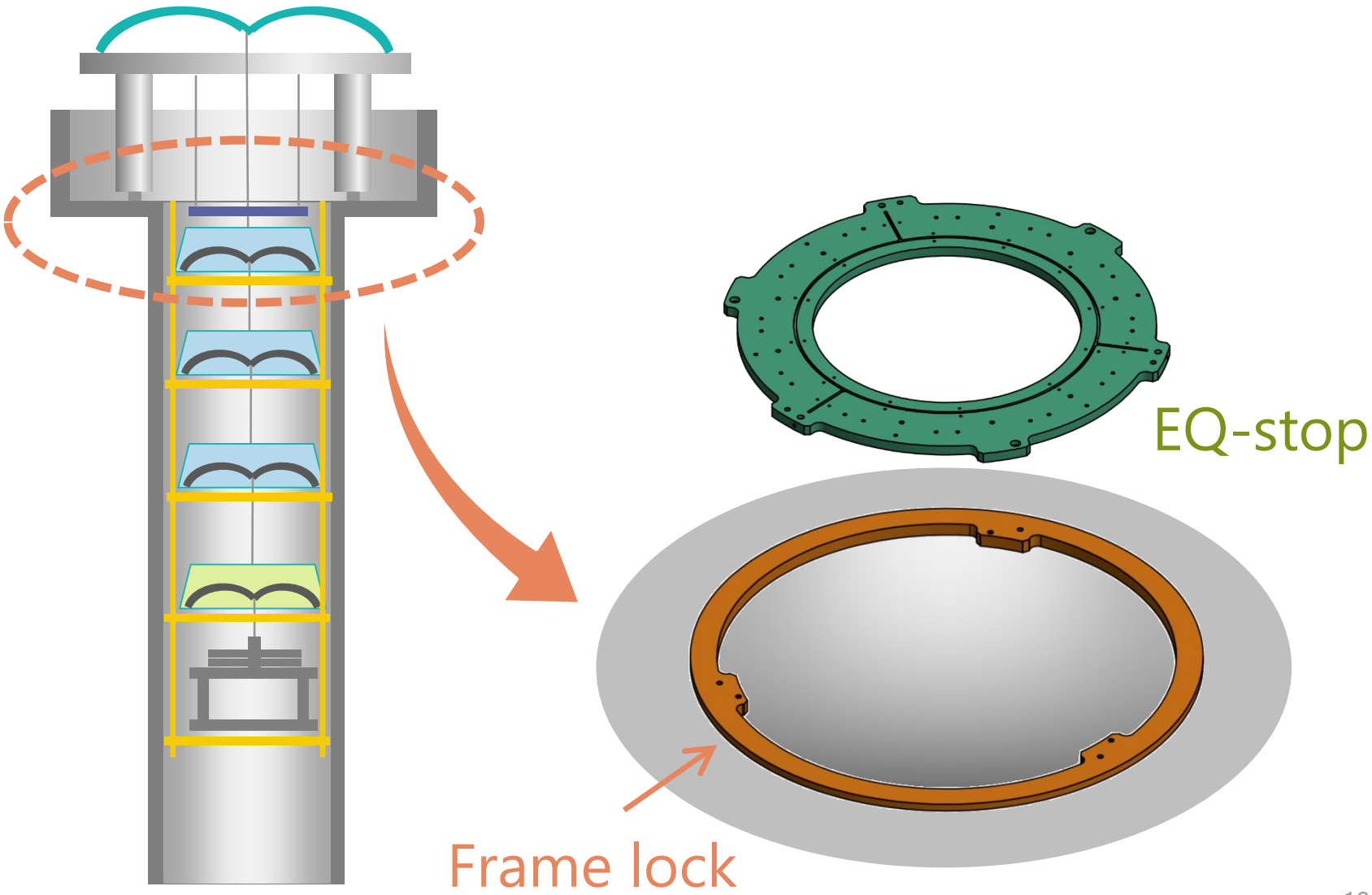
- Y end：2017年4月
- X end：2017年6月



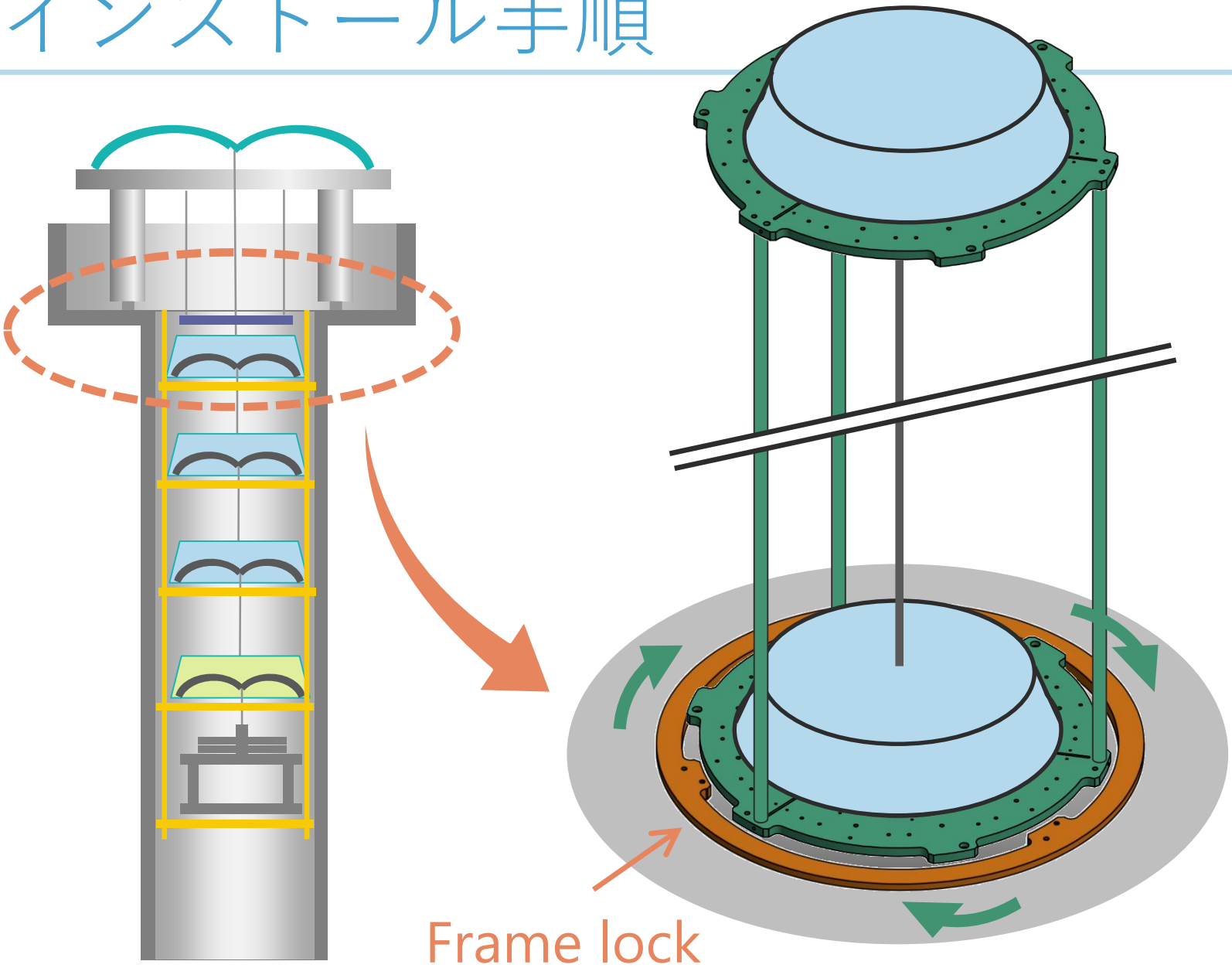
ダミーペイロード
(~ 200 kg)



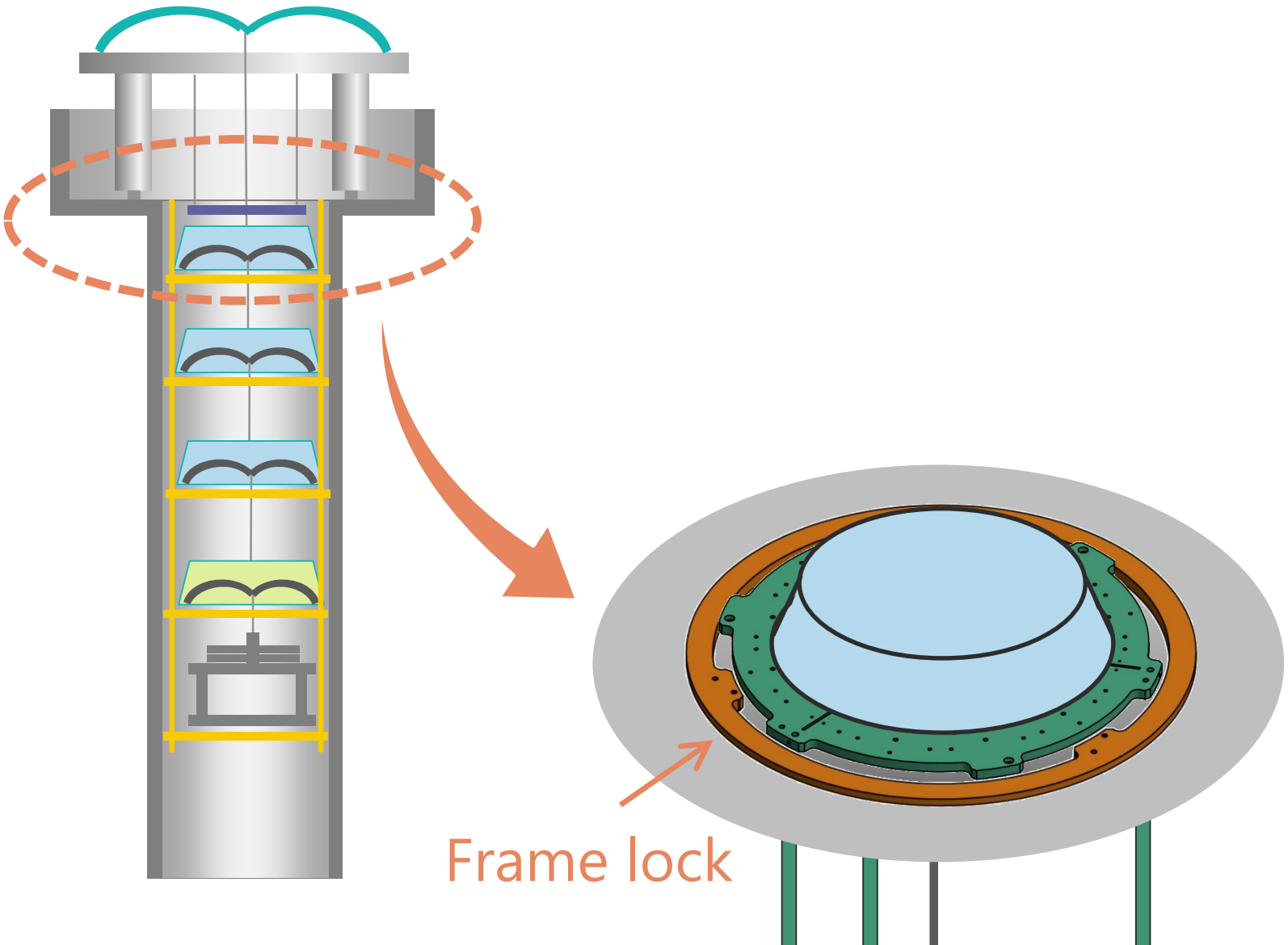
インストール手順



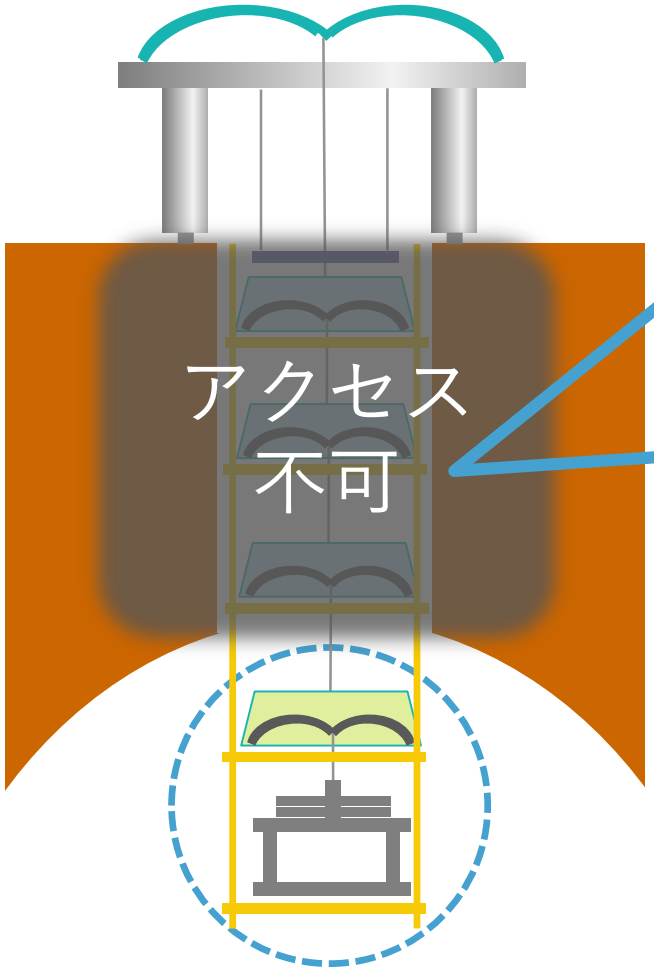
インストール手順



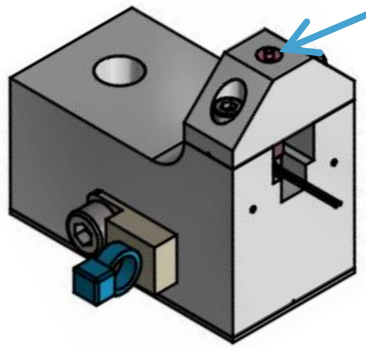
インストール手順



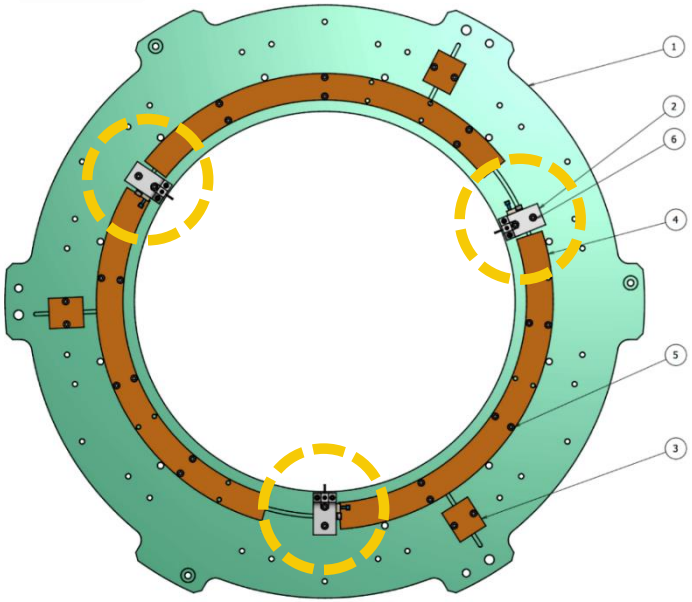
中間段の状態は…？



クロス管フランジ
@1階クリーンブース



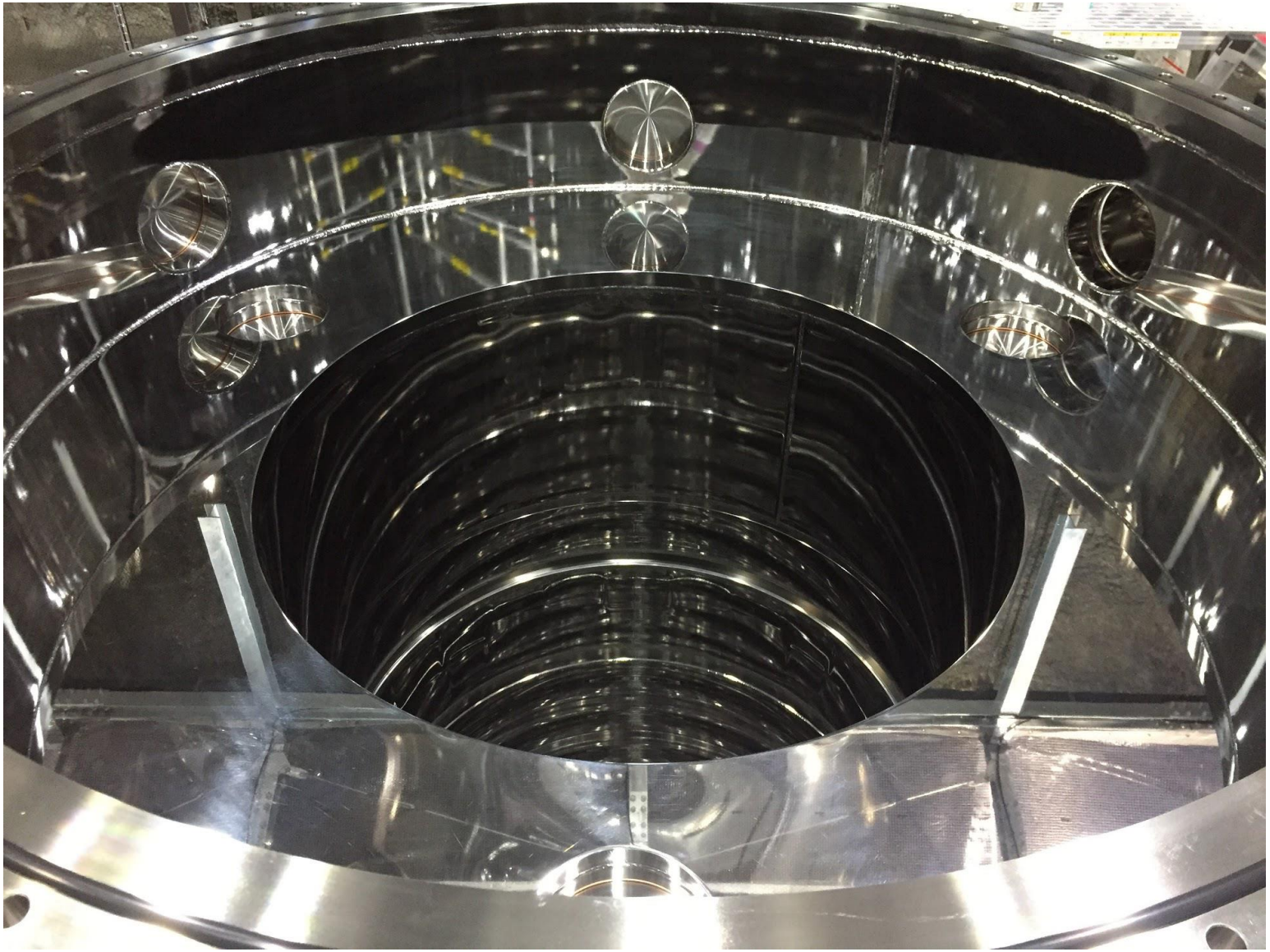
タッチセンサ
(ON/OFF)



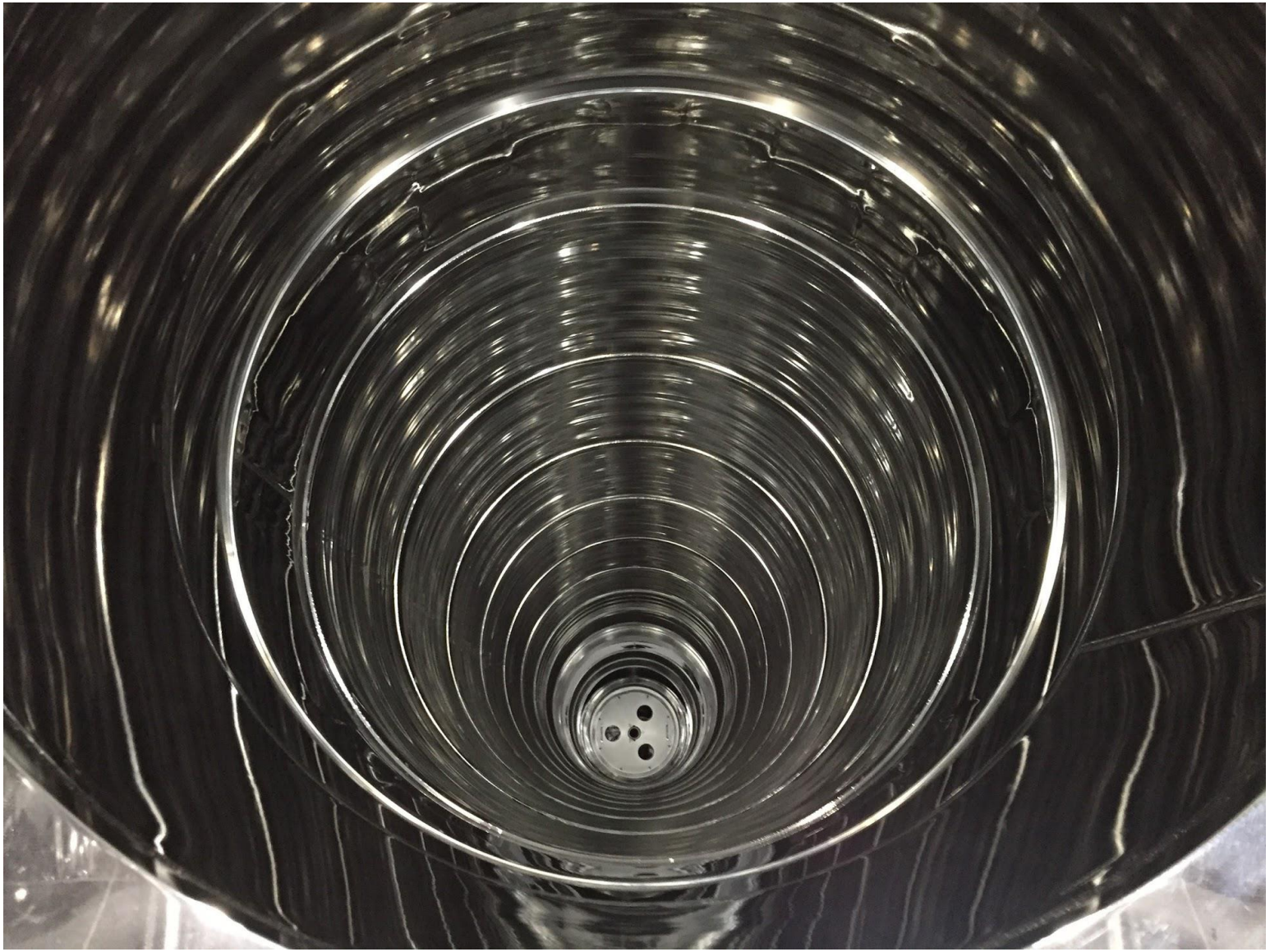
JGW-D1605452

KAGRA EYV Room

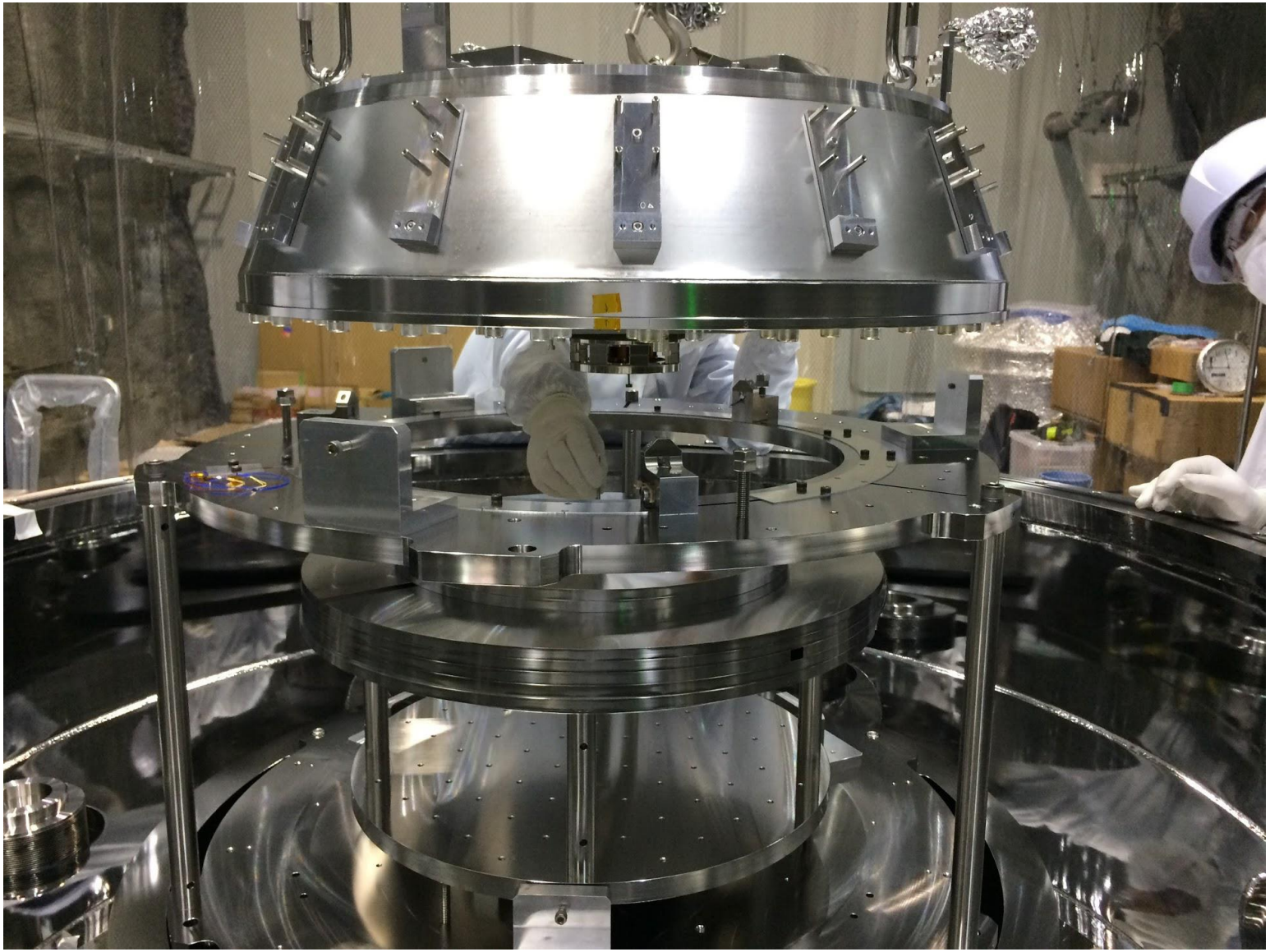
Vertical Chamber Opened



Vertical Chamber Opened



インストール作業風景



現在の状況

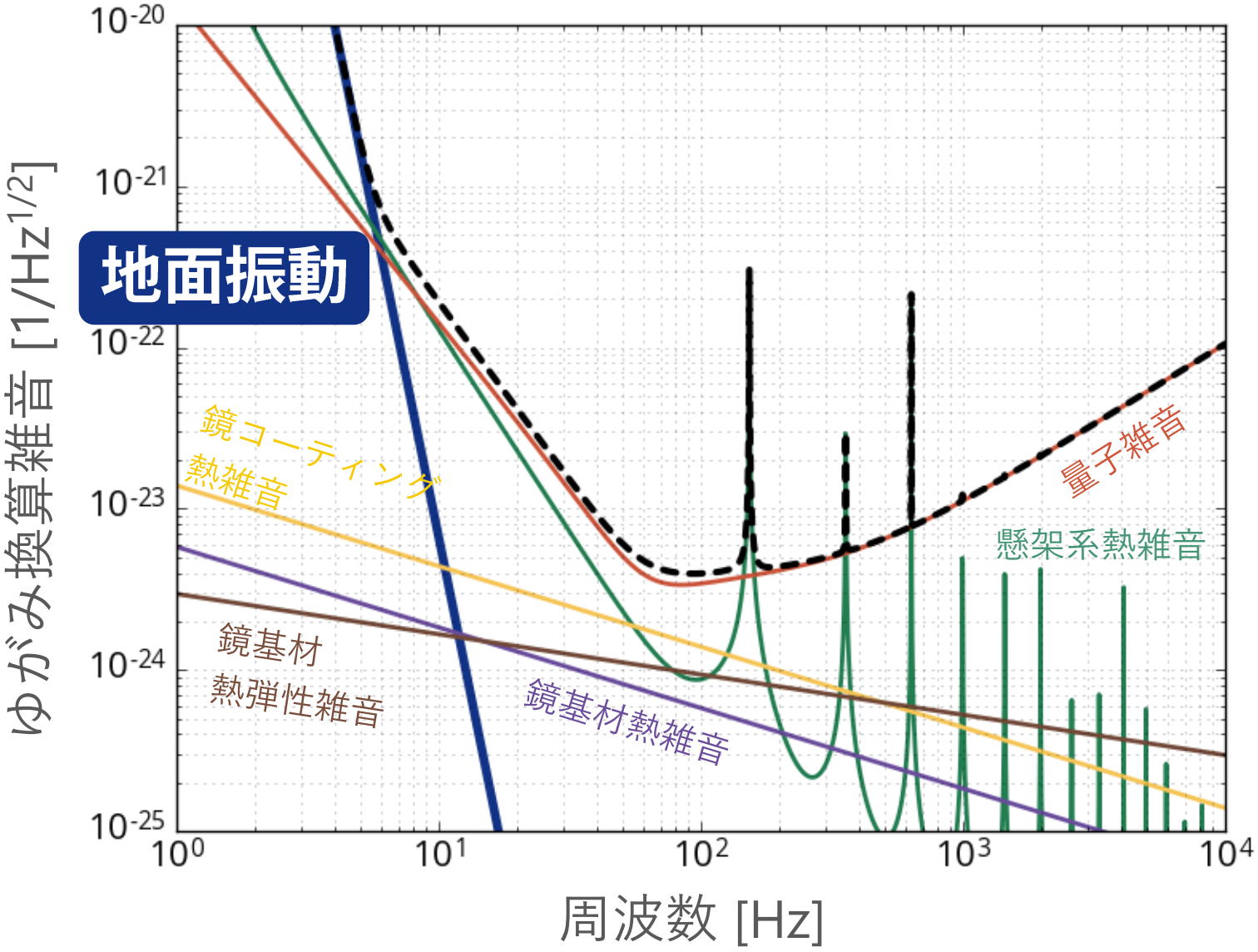
- （F3までインストール完了してるはず）
- （Type-A全体図）
- （現状の写真）

まとめ

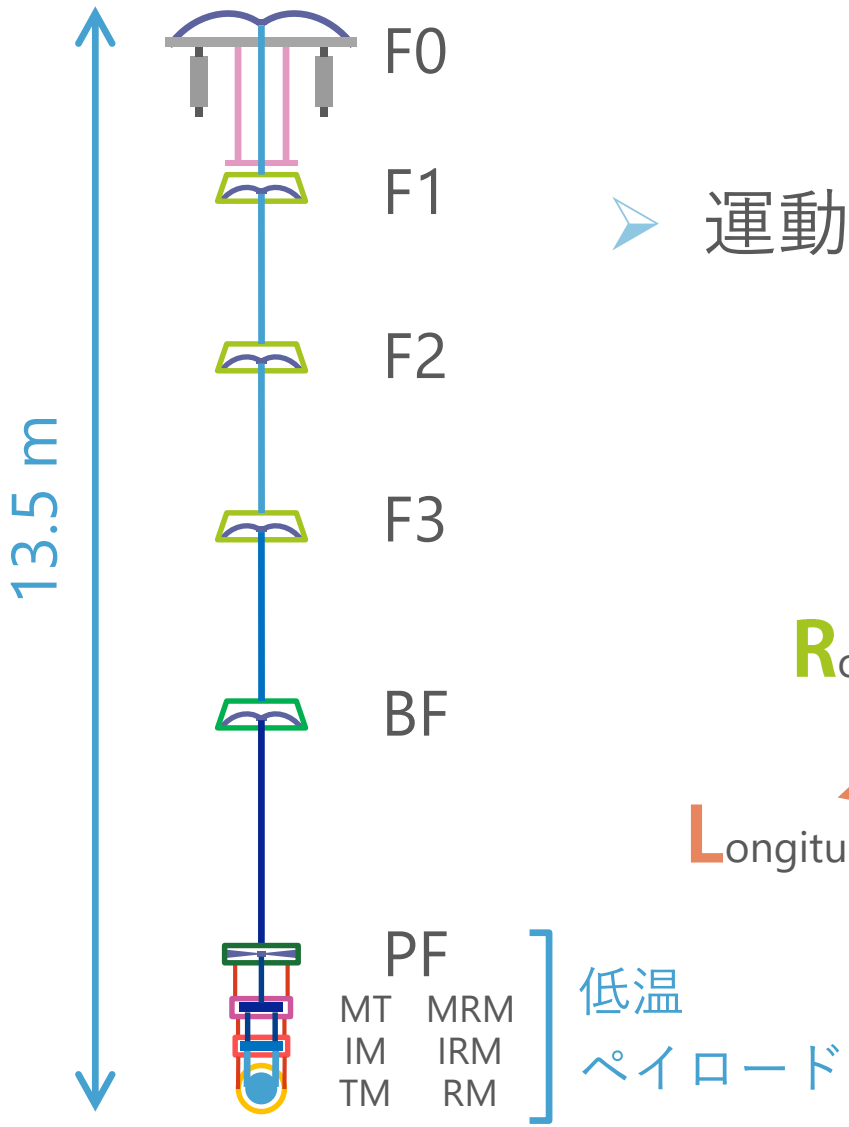
- KAGRA Type-A SAS
  - ダンピング制御のサーボ設計
  - Yエンドで1台目のインストール中（~4月半ば）
  - 常温部の真空試験に向けて準備中
- 今後の展望
  - 現代制御の導入
  - 低温試験に向けた準備

Backup Slides

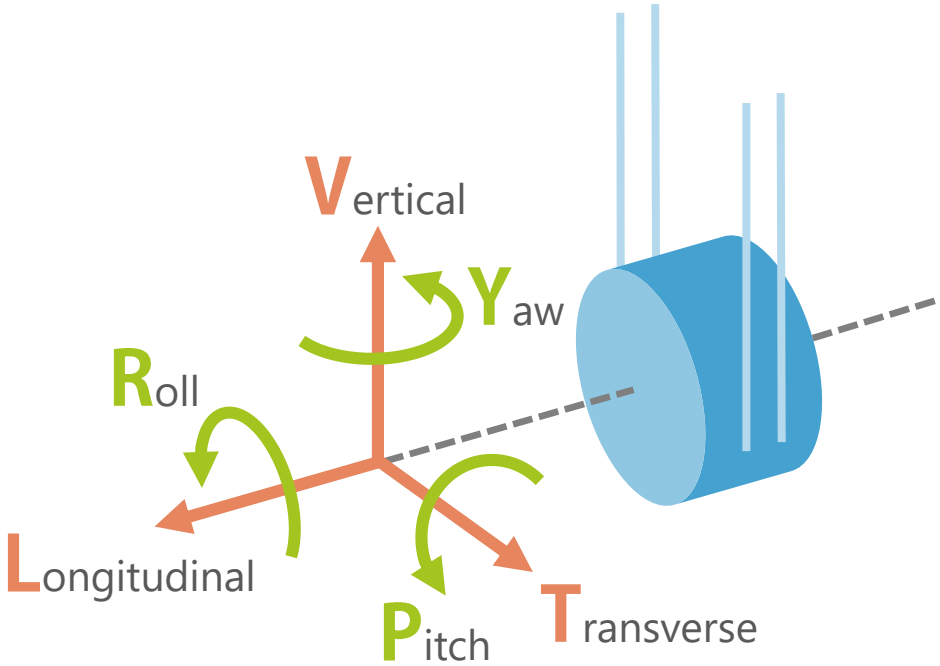
KAGRA における雑音源



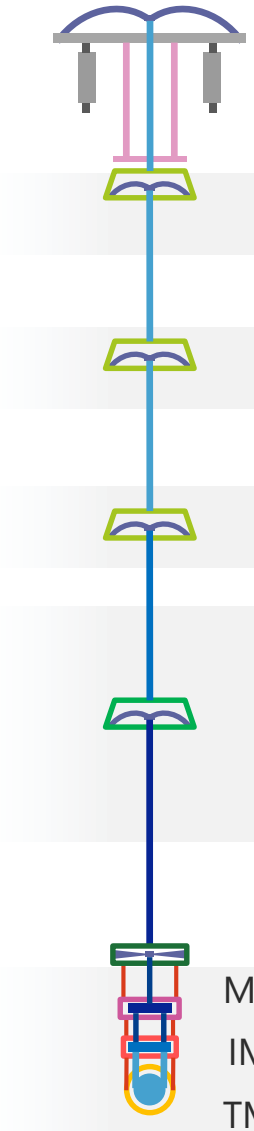
Type-A 各段と自由度（再掲）



- 運動の座標定義



センサ配置



F0	LVDT		(L, T, Y)F0
	ACC		acc(L, T, Y)F0
	GAS LVDT		{VF0-VF1}
F1	GAS LVDT		{VF1-VF2}
F2	GAS LVDT		{VF2-VF3}
F3	GAS LVDT		{VF3-VBF}
	GAS LVDT		{VBF-VPF}
BF	BF LVDT		(L, T, V, R, P, Y)BF
	BF LVDT		
PF	OpLev		(R, P, Y)PF
MT MRM	PS	OpLev	(L, T, V, R, P, Y){MT-MRM}, (R, P, Y)MT
IM IRM	PS		(L, T, V, R, P, Y){IM-IRM}
TM RM	PS?	OpLev	(L, P, Y){TM-RM}??, (P, Y)TM

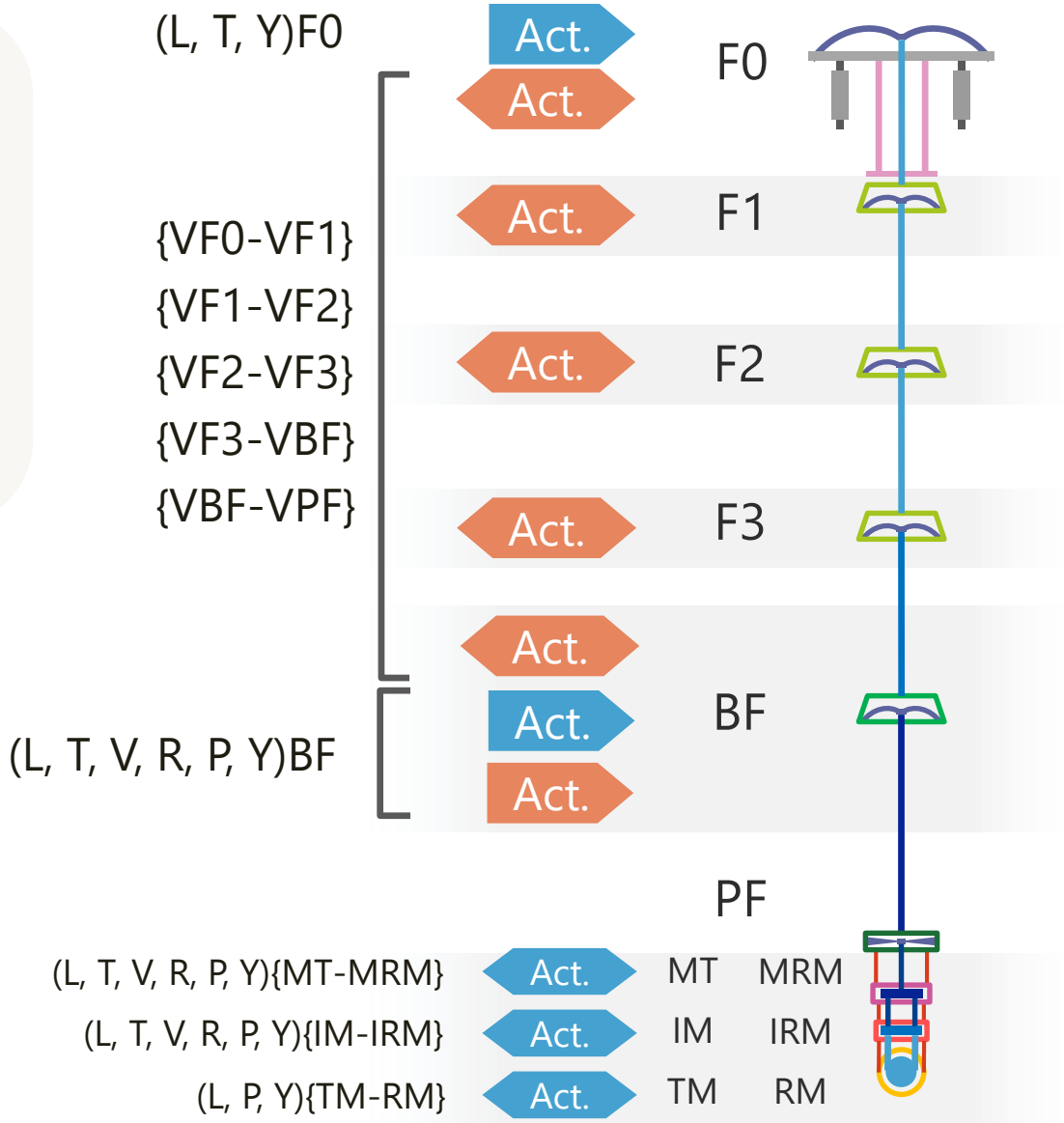
Notes:

- 方向：水平 or 垂直 or 角度
- 地面に対して or 慣性 or マス同士

アクチュエータ配置

Notes:

- 方向： 水平 or 垂直
- 地面に対して or マス同士
- アクチュエータタイプ：コイル－マグネット



可制御性と可観測性

CONTROLLABLE

(L, T, Y)F0

{VF0-VF1}

{VF1-VF2}

{VF2-VF3}

{VF3-VBF}

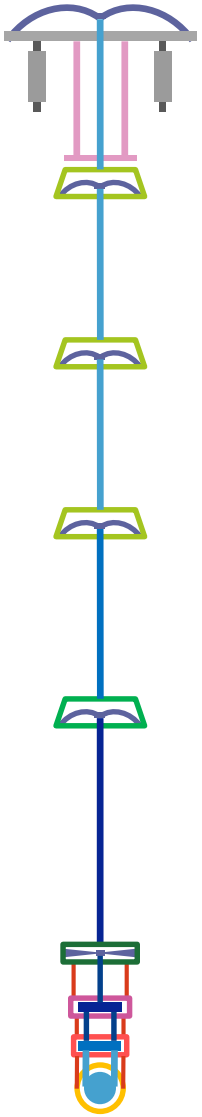
(L, T, V, R, P, Y)BF

{VBF-VPF}

(L, T, V, R, P, Y){MT-MRM}

(L, T, V, R, P, Y){IM-IRM}

(L, P, Y){TM-RM}



(L, T, Y)F0, acc(L, T, V)F0

{VF0-VF1}

{VF1-VF2}

{VF2-VF3}

{VF3-VBF}

(L, T, V, R, P, Y)BF

{VBF-VPF}

(R, P, Y)PF

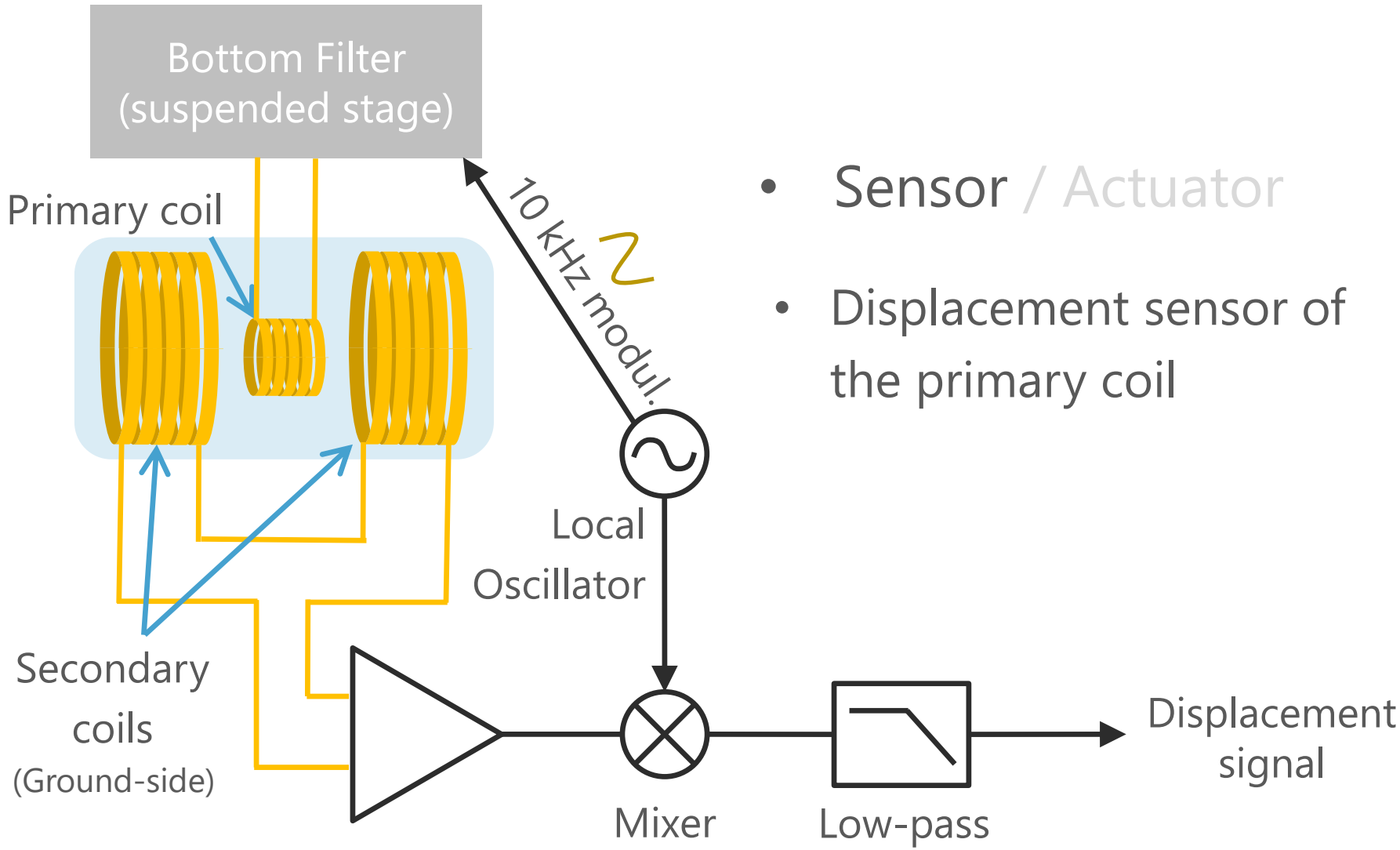
(L, T, V, R, P, Y){MT-MRM}, (R, P, Y)MT

(L, T, V, R, P, Y){IM-IRM}

(L, P, Y){TM-RM}?, (P, Y)TM

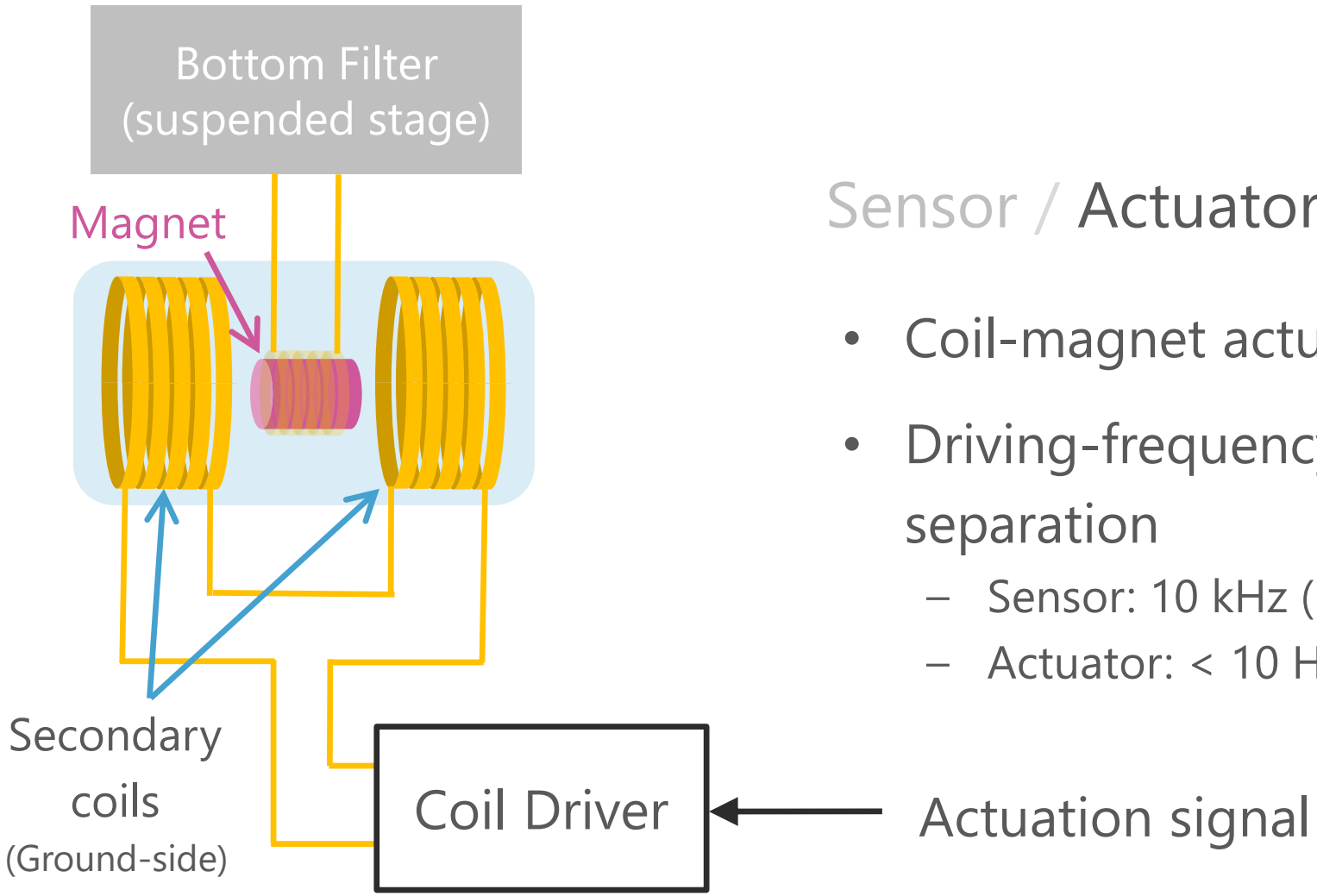
OBSERVABLE

Bottom Filter LVDT



- Sensor / Actuator
- Displacement sensor of the primary coil

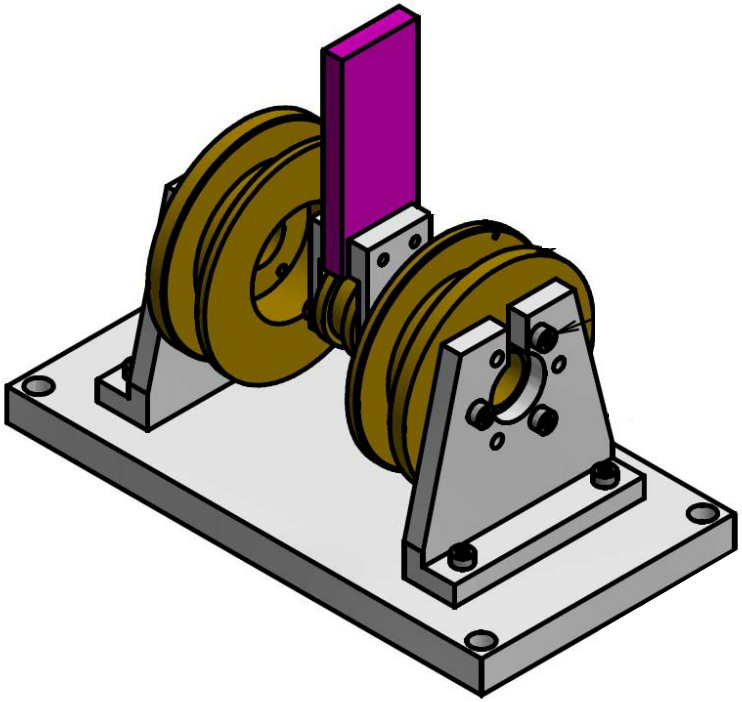
Bottom Filter LVDT

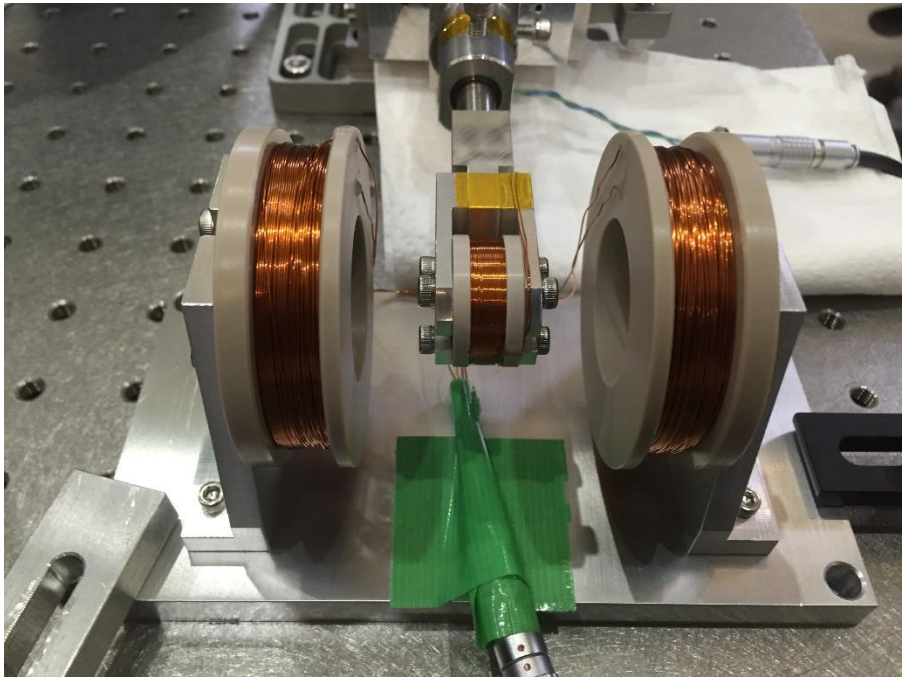


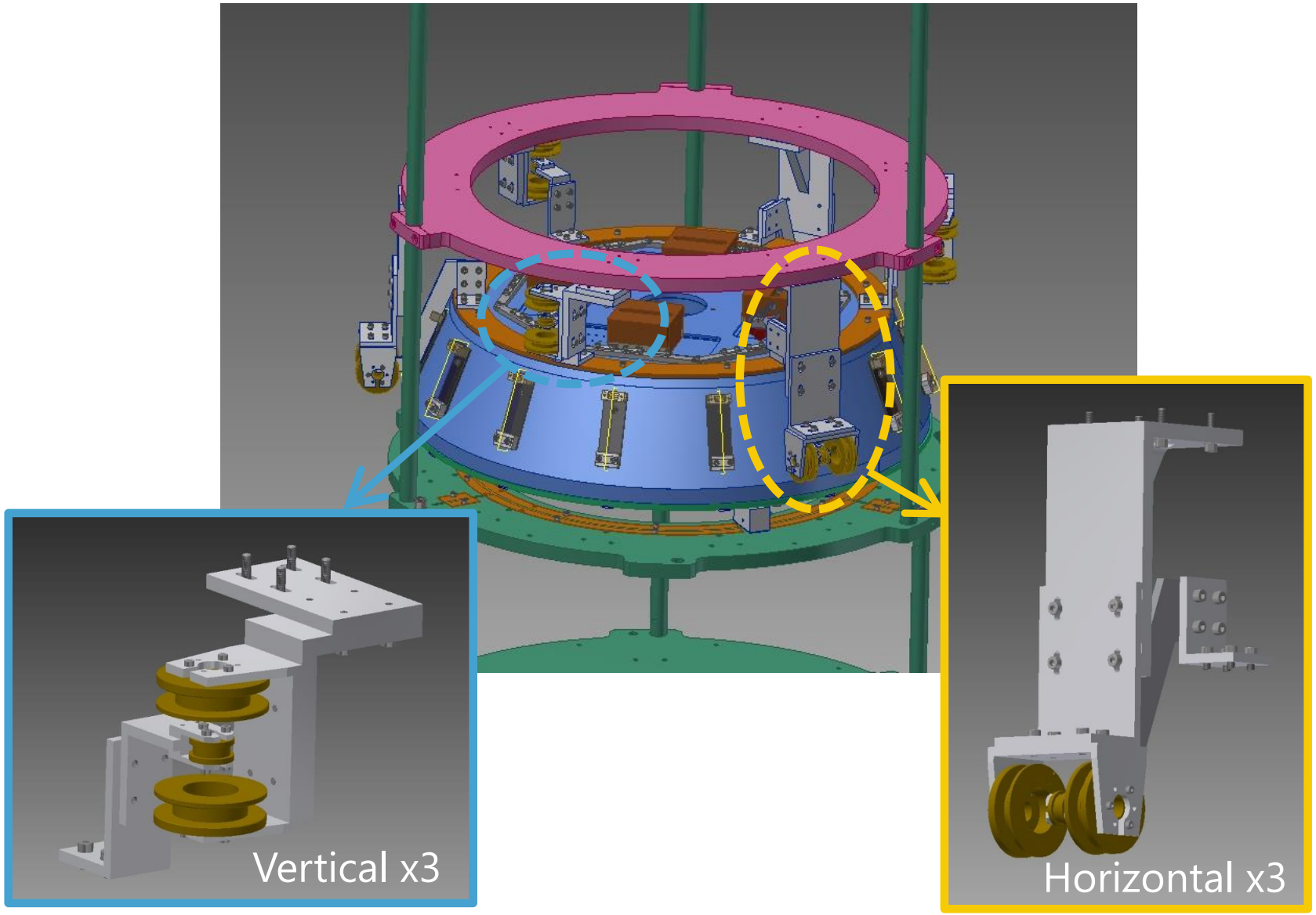
Sensor / Actuator

- Coil-magnet actuator
- Driving-frequency separation
  - Sensor: 10 kHz (high)
  - Actuator: < 10 Hz (Low)

BF LVDT (Prototype)





- LVDT used in Adv. Virgo → re-designed for KAGRA

Configuration of BF LVDT