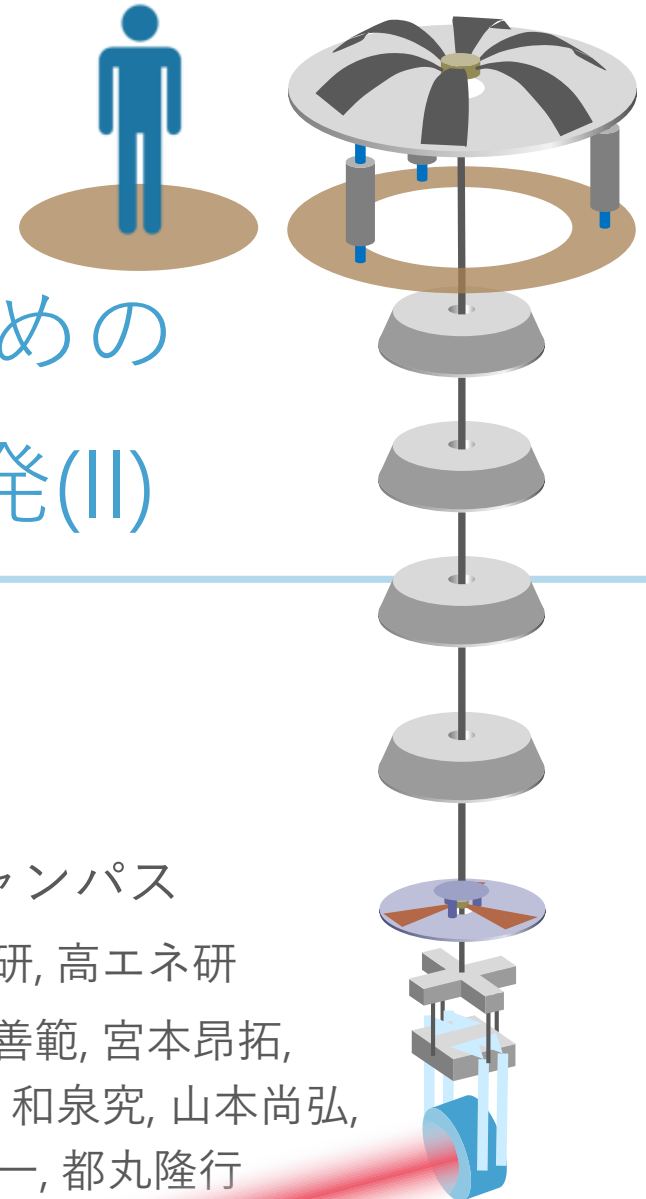




KAGRA 腕共振器鏡のための 13.5 m 防振懸架系の開発(II)

奥富 弘基 (総研大 D4)

2018年9月14日

日本物理学会秋季大会 @信州大学松本キャンパス

総研大, 国立天文台, 東大天文, 東大宇宙線研, 宇宙研, 高エネ研

高橋竜太郎, 佐藤直久, 石崎秀晴, 正田亜八香, 藤井善範, 宮本昂拓,

牛場崇文, 三代浩世希, 新井友也, 神津稜平, 谷岡諭, 和泉究, 山本尚弘,

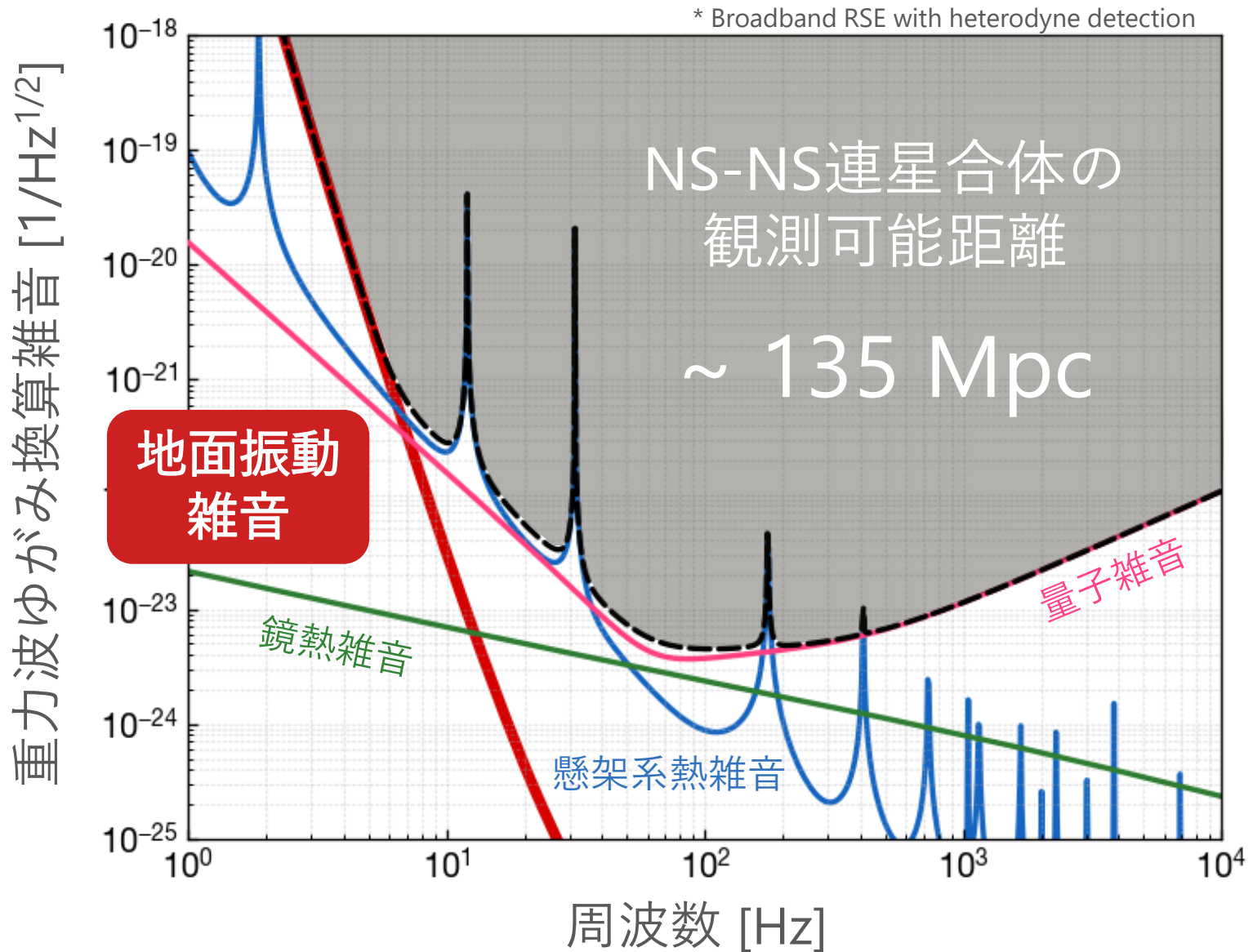
L. Trozzo, M. Barton, 関口貴令, 阿久津智忠, 麻生洋一, 都丸隆行

発表の内容

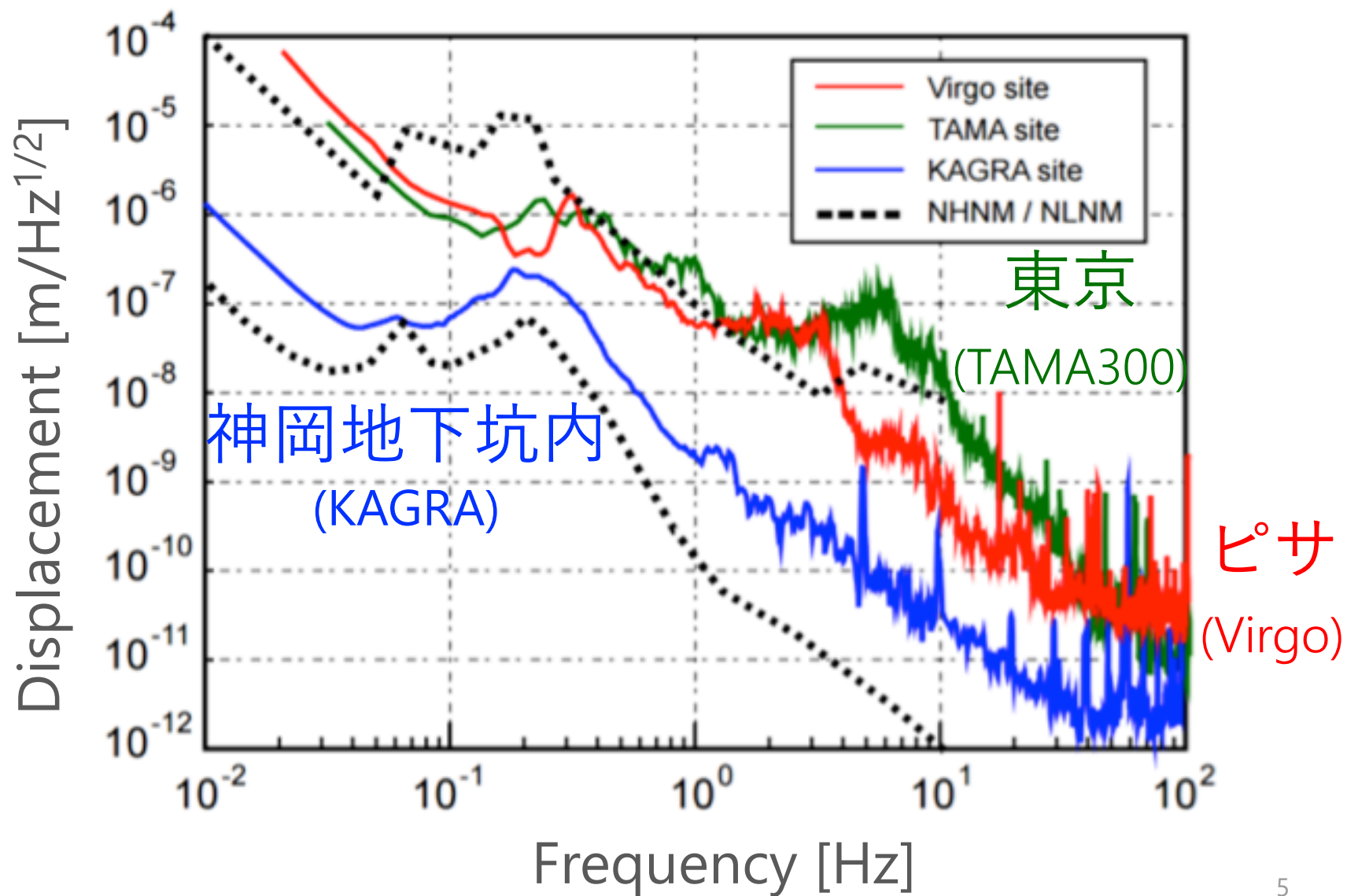
- 防振懸架系とは？
- 腕共振器鏡用防振システム：
Type-A suspension
- 防振懸架系の状態推定

防振懸架系とは？

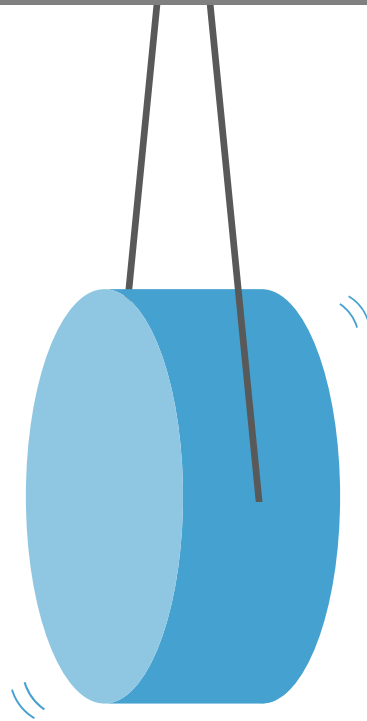
KAGRA の雑音源



地面振動雑音

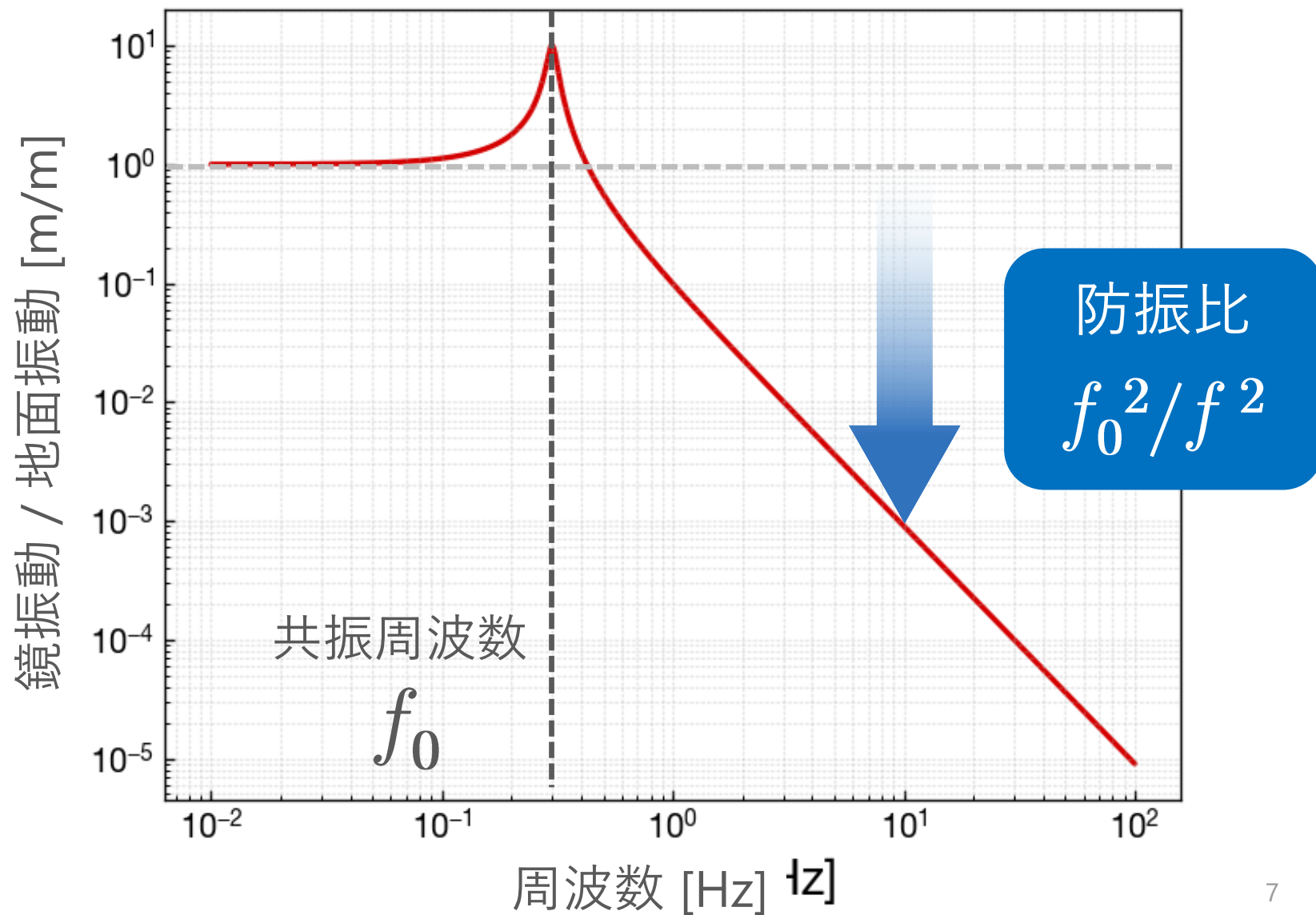


防振懸架系とは？



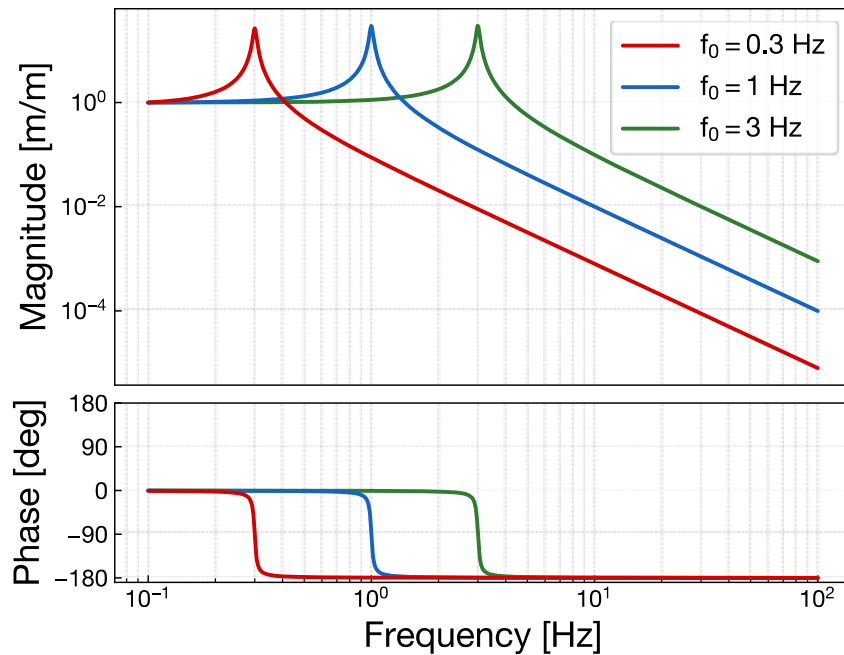
鏡を振り子のように懸架する装置

振り子の周波数応答

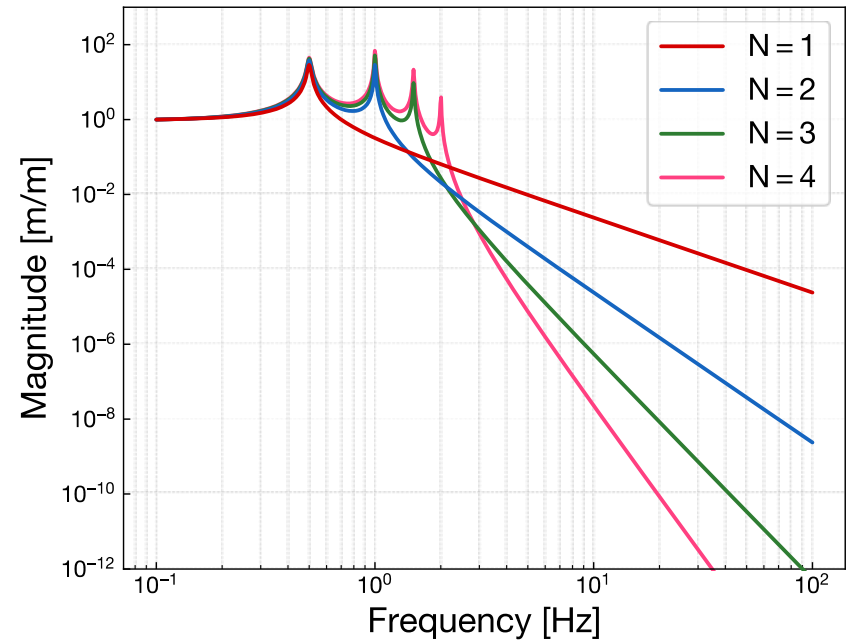


防振性能を上げるには...

共振周波数を下げる



多段にする

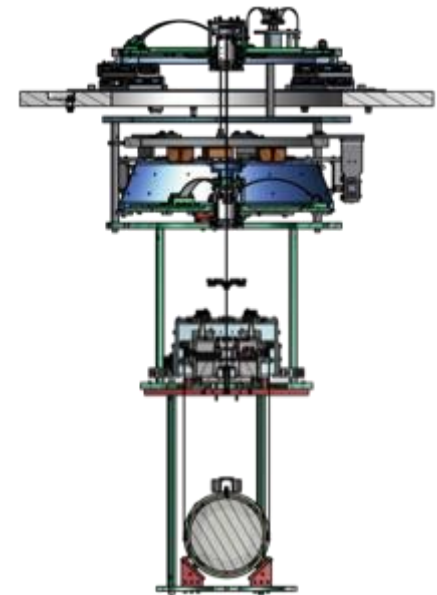
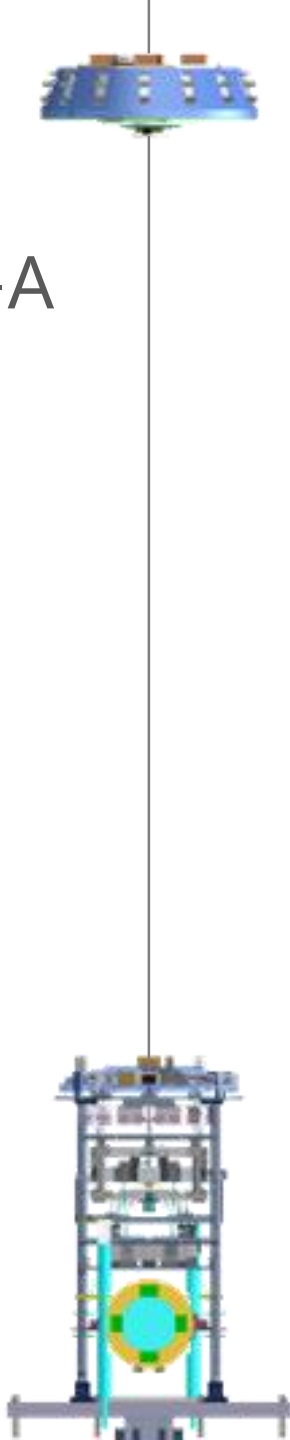


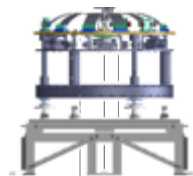
KAGRAの防振システム

Type-A

Type-B

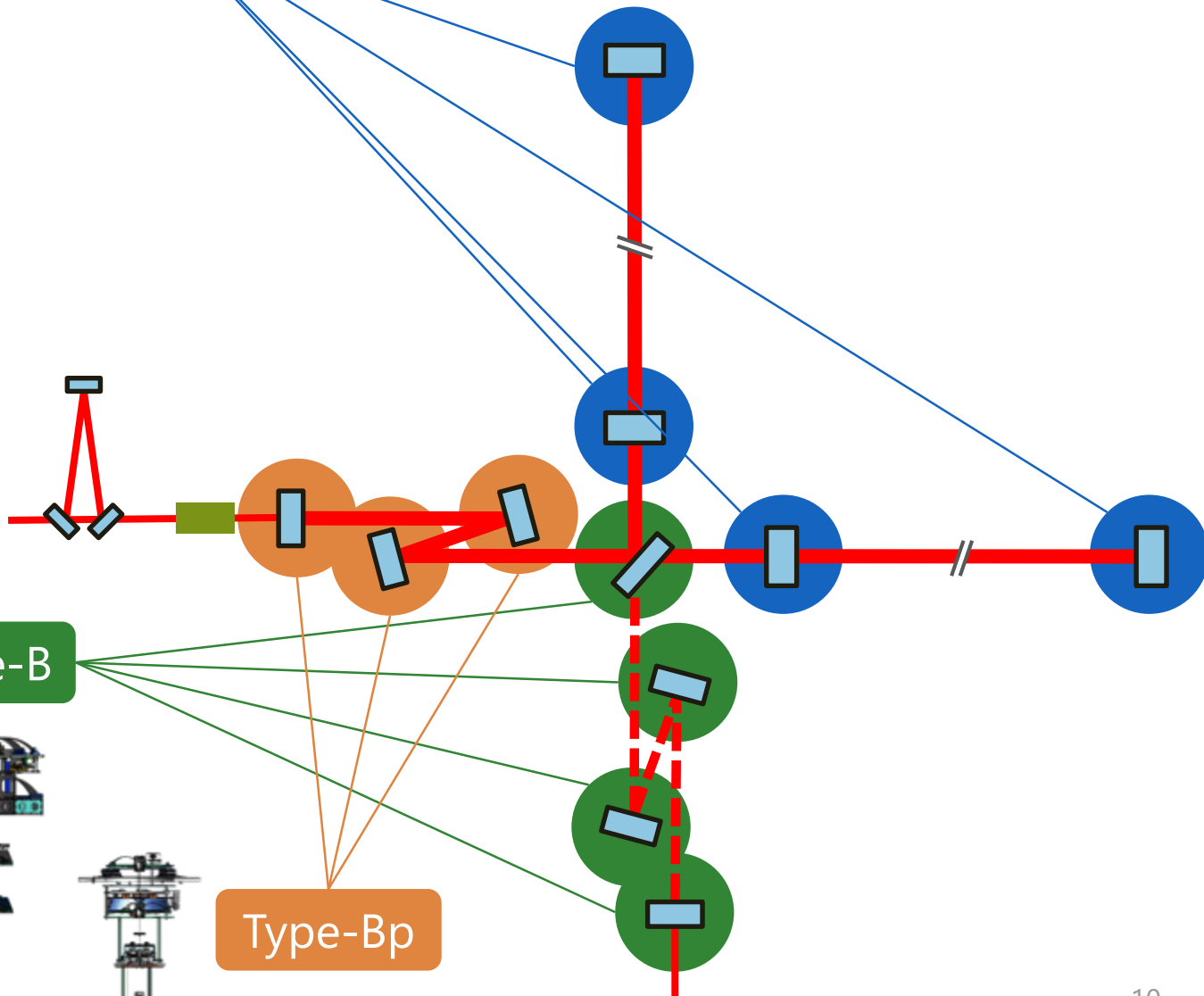
Type-Bp





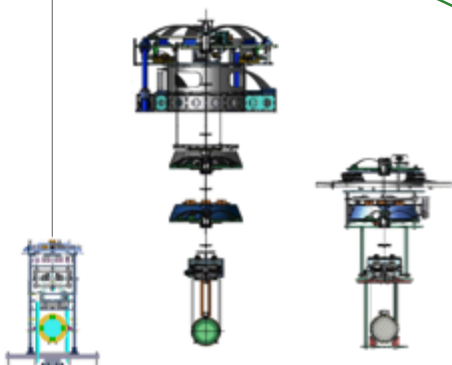
Type-A

KAGRAの防振システム



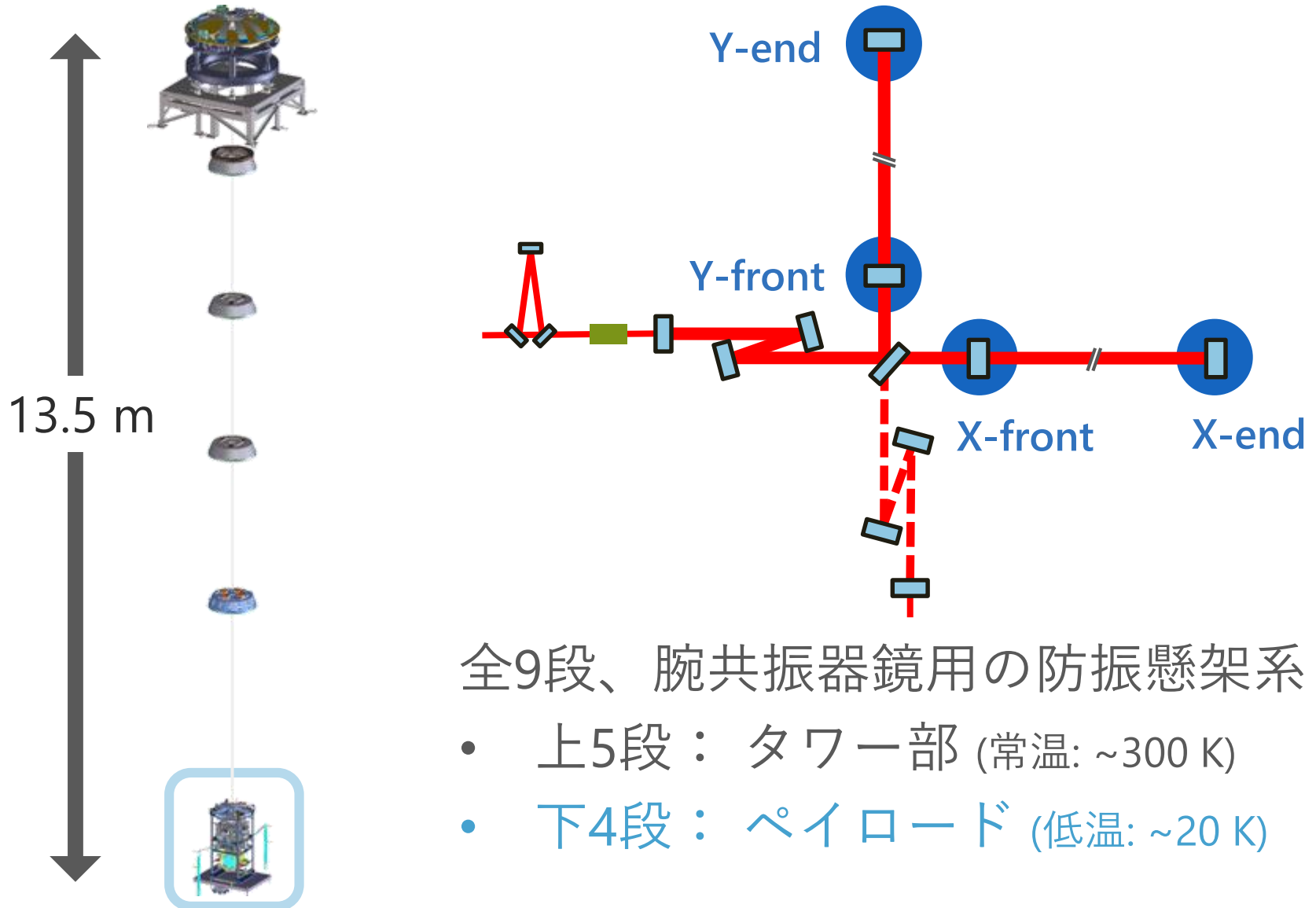
Type-B

Type-Bp



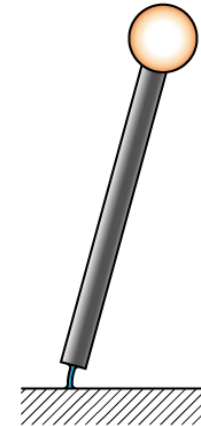
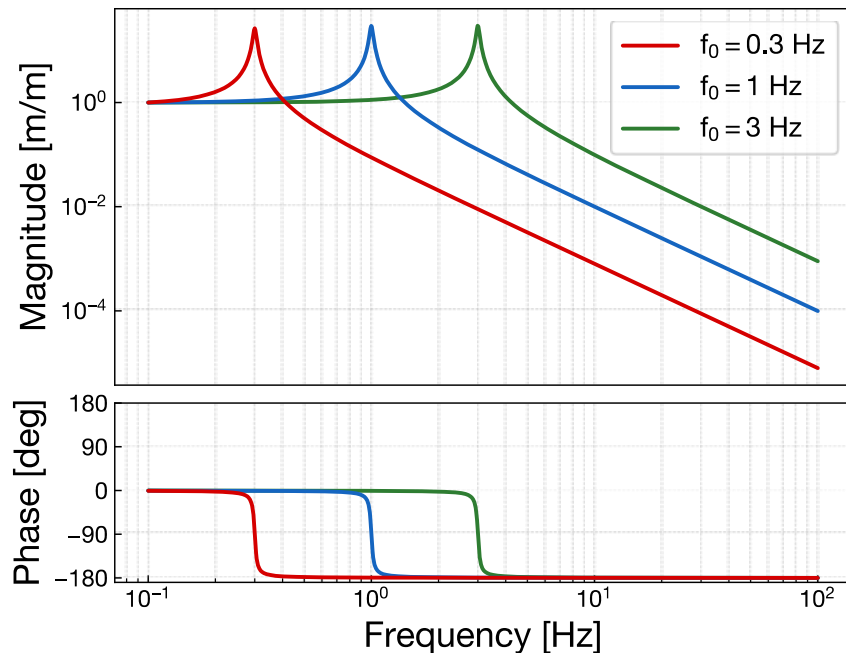
鏡防振システム: Type-A Suspension

Type-A Suspension

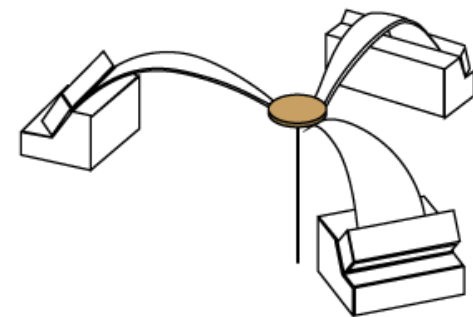


防振性能を上げるために...

共振周波数を下げる

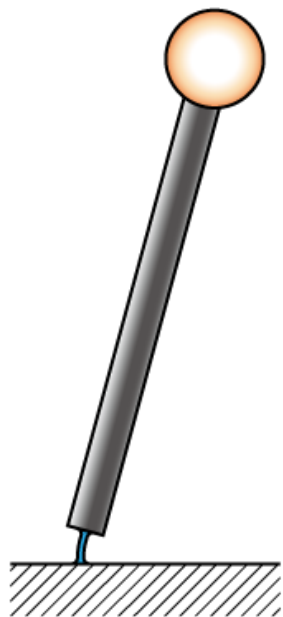


倒立振り子



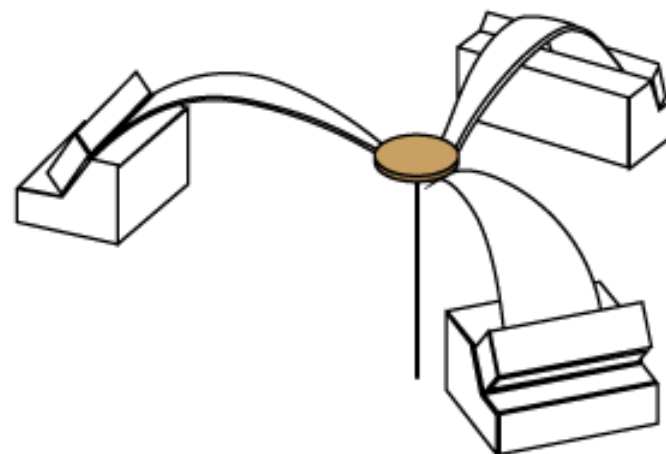
Geometric Anti-Spring
(GAS)

低周波共振のための機構



倒立振り子

水平方向 ~ 0.07 Hz

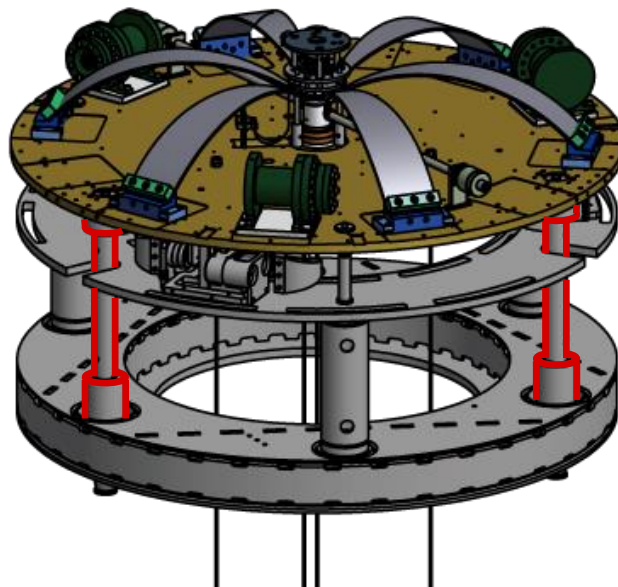
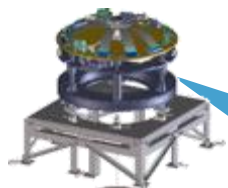


Geometric Anti-Spring
(GAS)

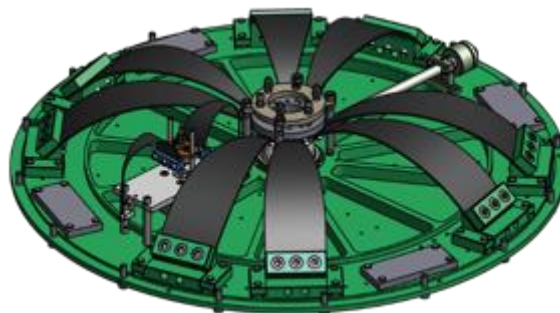
鉛直方向 ~ 0.3 Hz

▶ 荷重によって共振周波数を調整できる

低周波共振のための機構

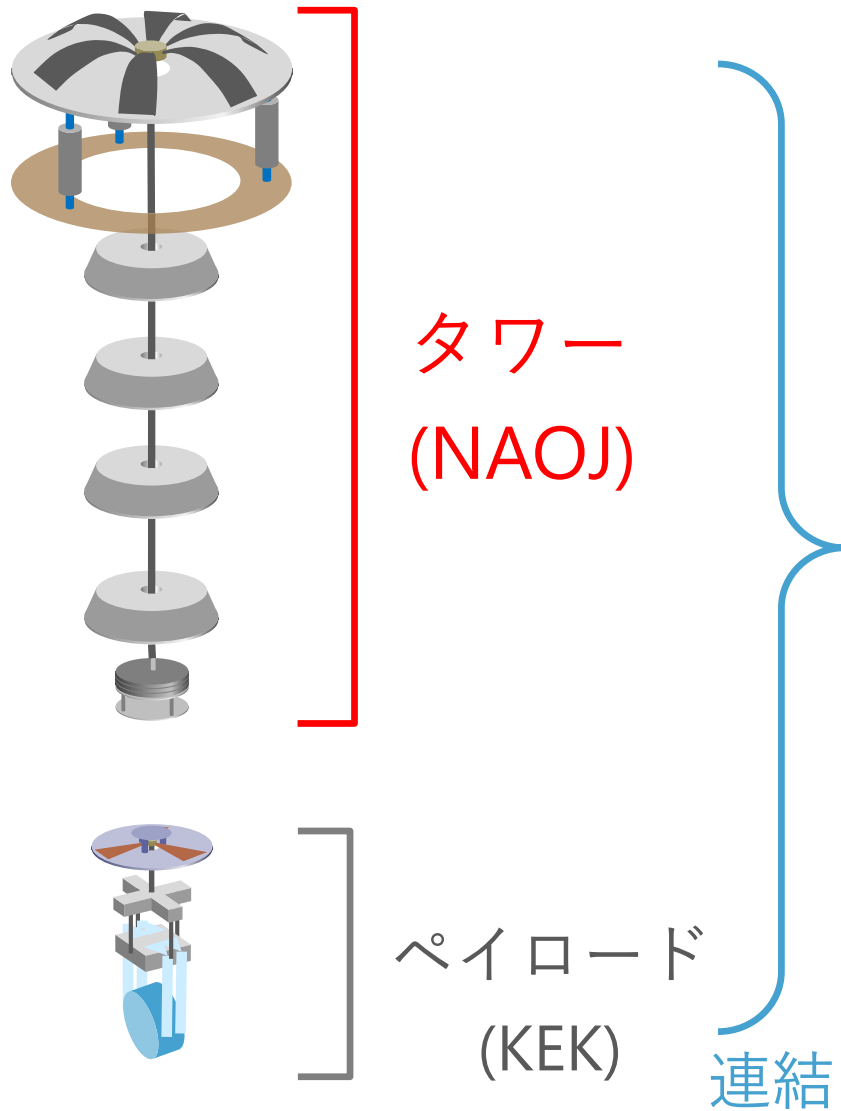


倒立振り子
最上段



GAS
タワー全5段

インストール



インストール状況



4台すべて
完了！



Y-end

X-end

Y-front

X-front

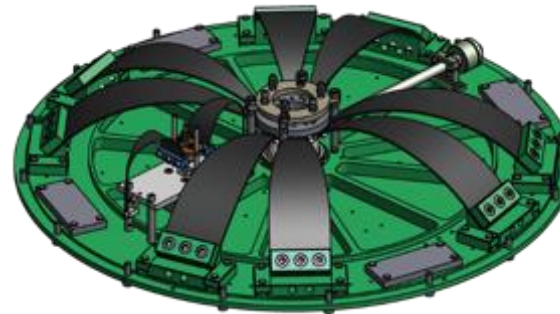
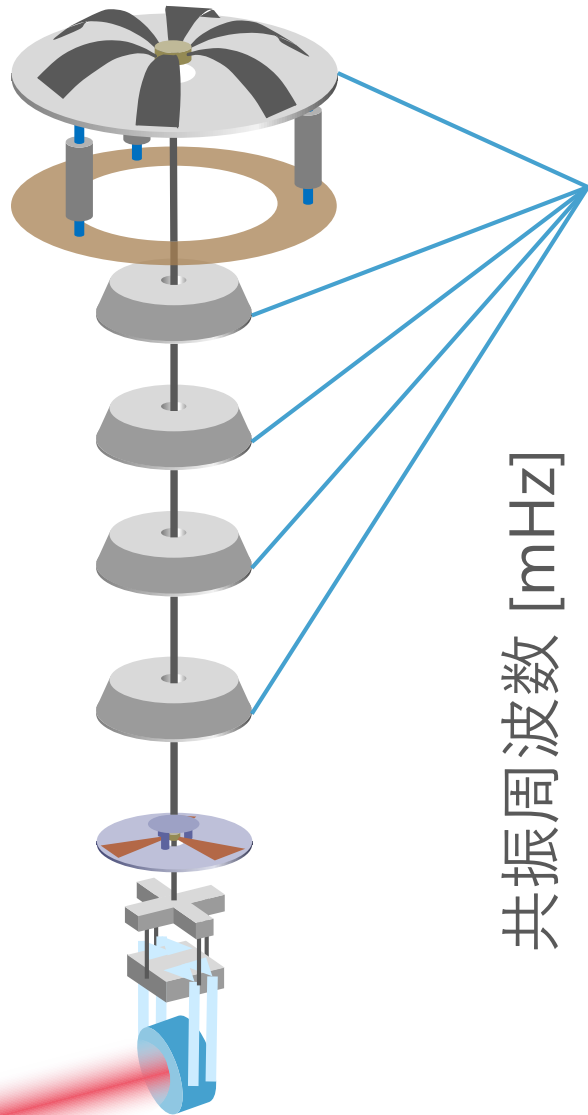
現状

O3に向けて...

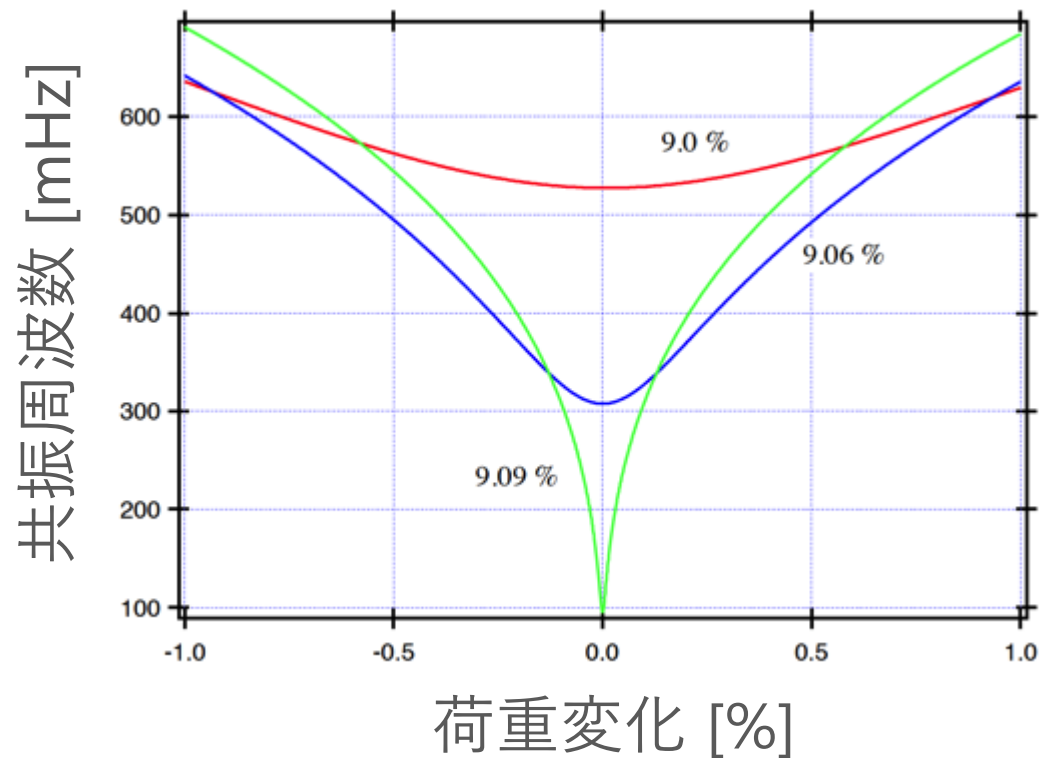
- ダンピングフィルタの実装・調整
- センサ・アクチュエータ対角化
- IP sensor blending
- 状態推定

防振懸架系の状態推定

GASの荷重依存性



GASフィルタ



インストール後の状態は...？



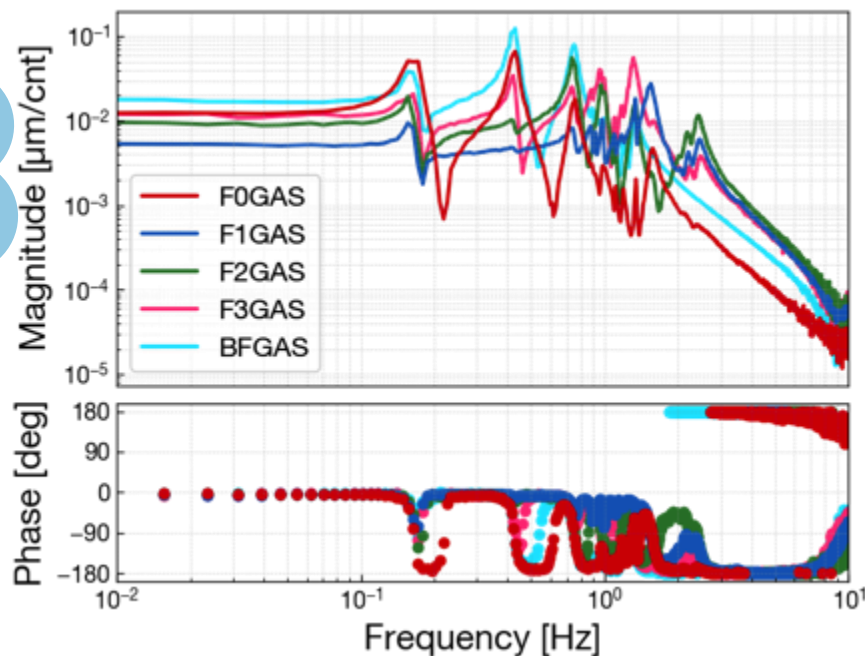
設計

共振周波数： 0.3 Hz



インストール！

最適な
共振周波数
の個体差？



荷重・圧縮
の変化？

測定データから...

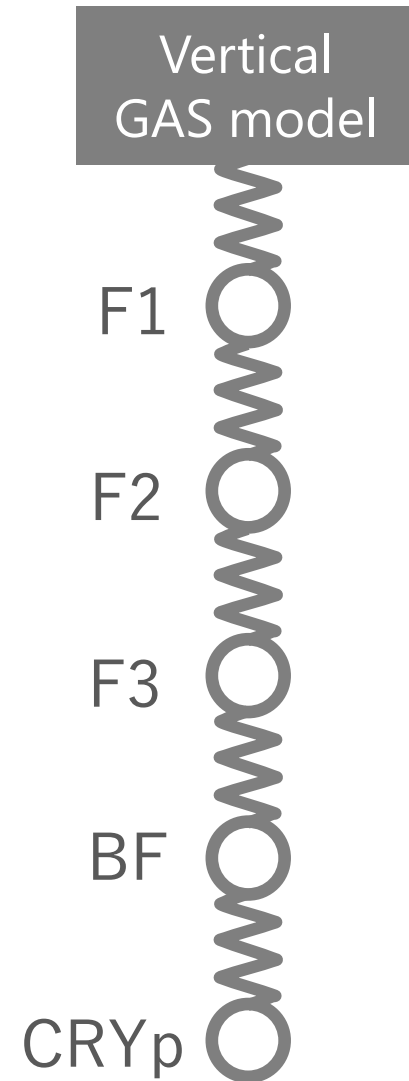
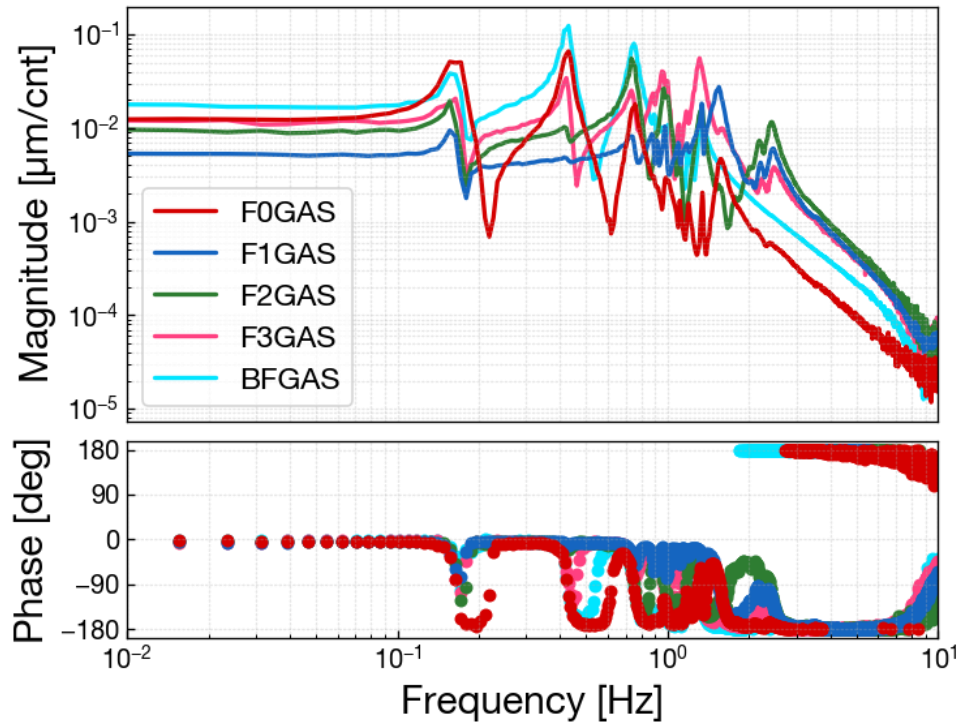
- 懸架系の状態を推定したい
- 制御系設計のためのモデリングをしたい



システム同定

システム同定とは

測定データ

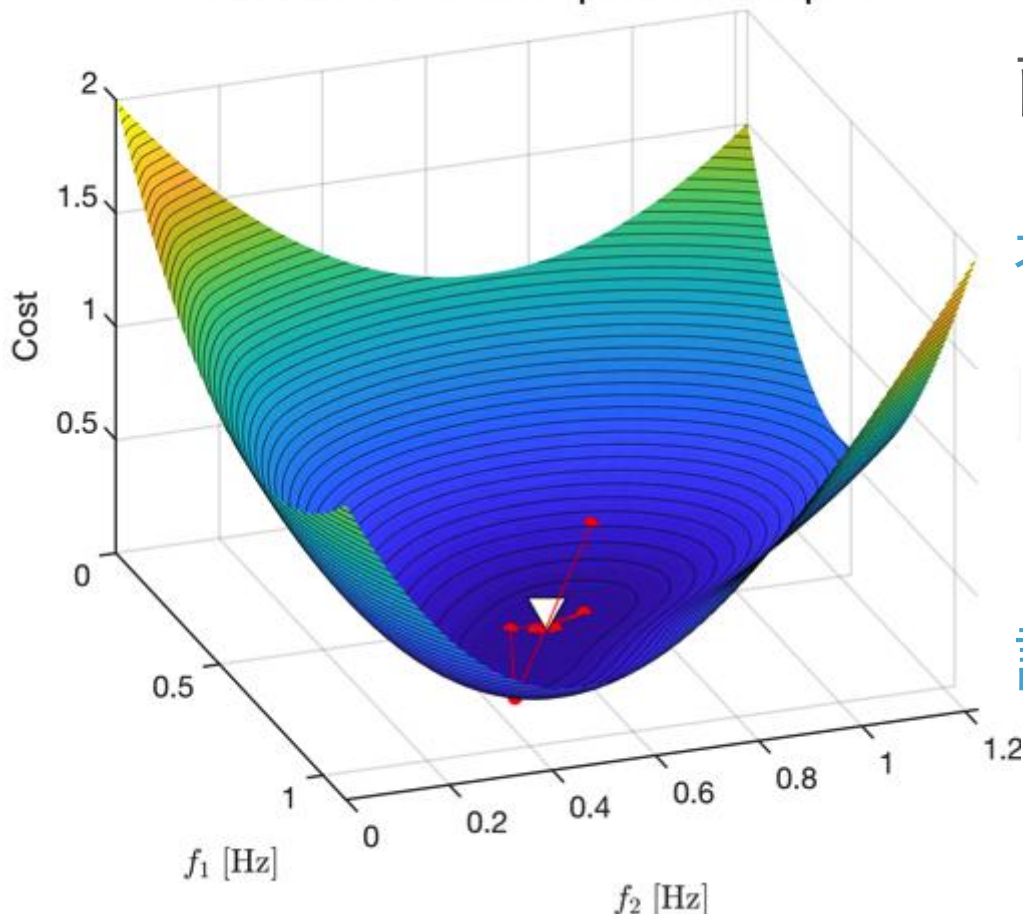


モデリングができると...

- 防振懸架系の状態診断
- より正確かつ定量的な制御系設計
- フィルタリング（逐次状態推定）

システム同定の方法

Cost function in the parameter space



Gauss-Newton法による
直線探索 (Original script: coded by B. Shapiro)

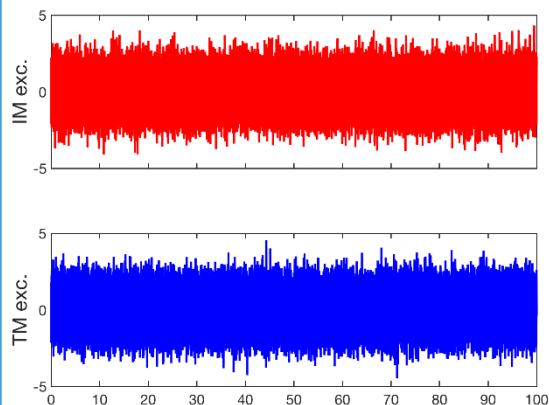
未知パラメータ：

各GASの共振周波数
(ばね定数)

評価関数：

$$V = \sum_{i=1}^N \frac{|\omega_{i,\text{measured}} - \omega_{i,\text{model}}|^2}{\omega_{i,\text{measured}}^2}$$

推定アルゴリズムの検証



力入力
(白色信号)

Toy model

IM

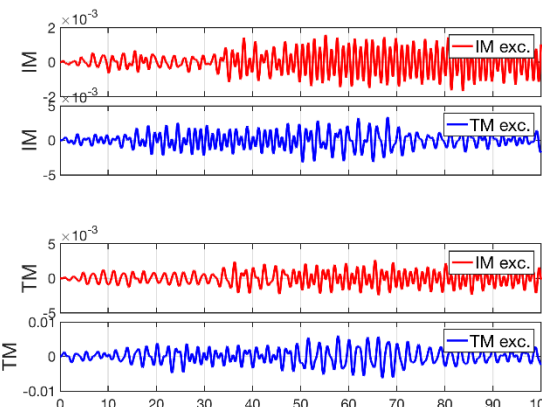
TM

状態空間モデル

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t)$$

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{C}\mathbf{x}(t) + \mathbf{D}\mathbf{u}(t)$$

- 未知外乱なし
- 観測雑音なし

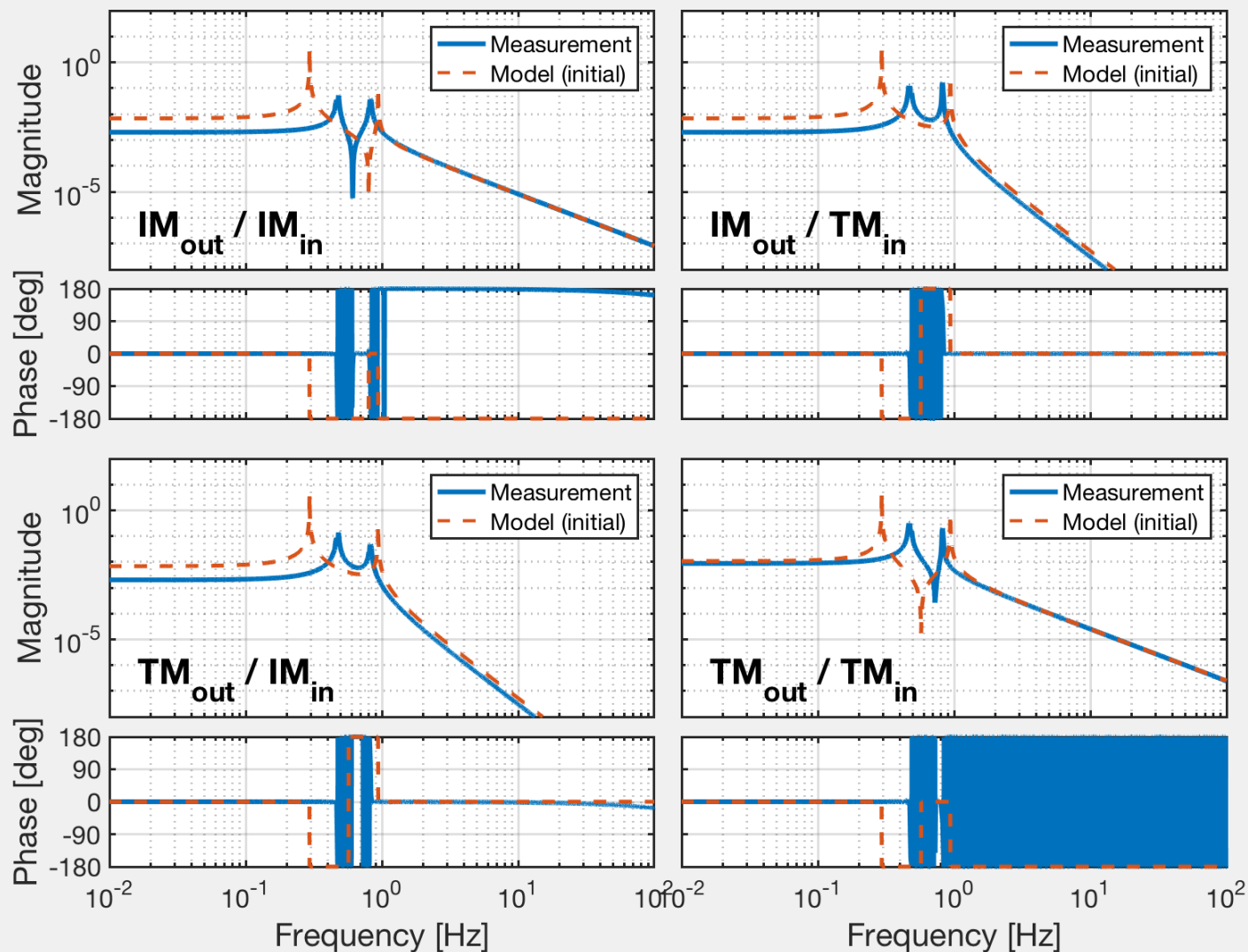


変位出力

➤ 擬似測定データ

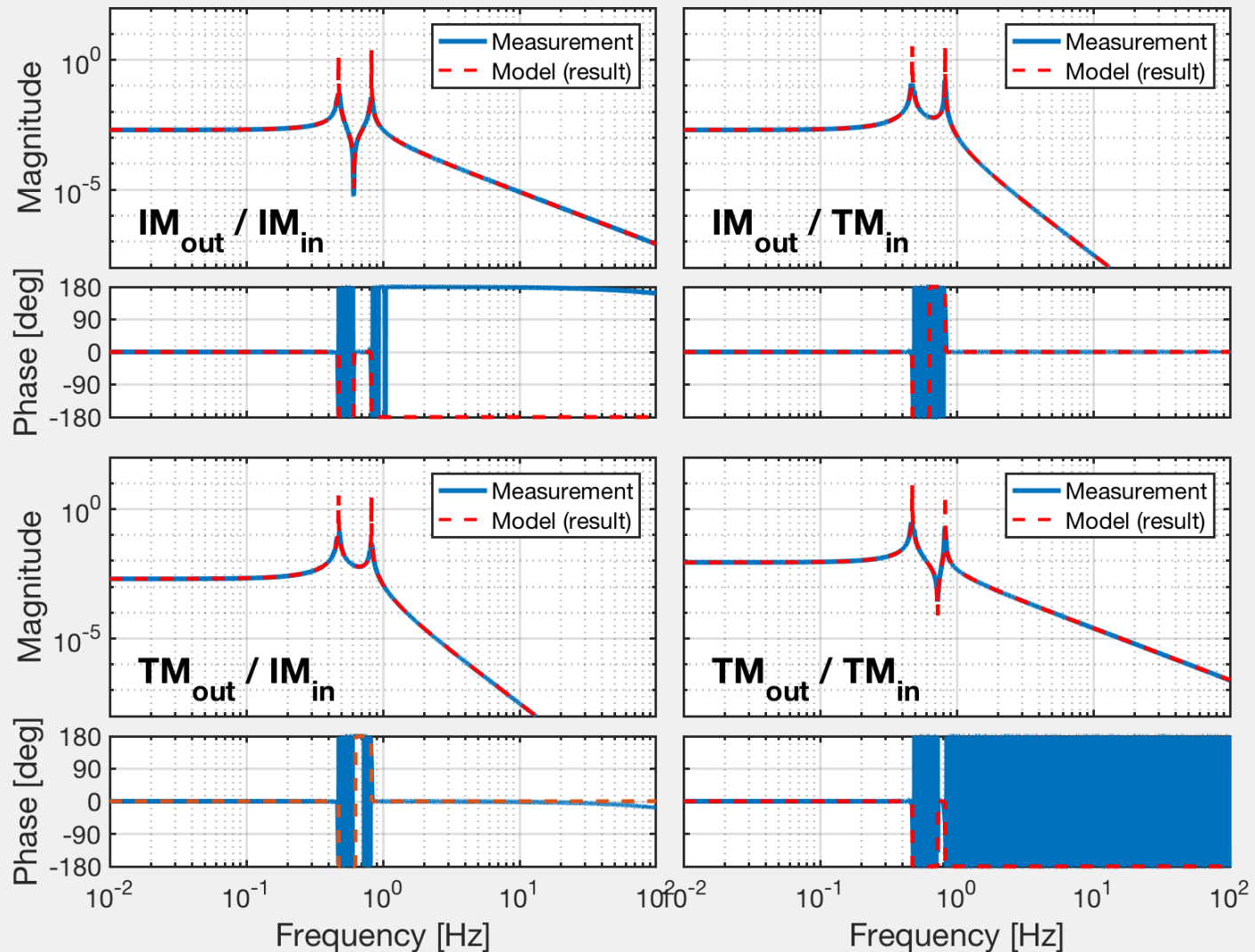
測定データ vs. 初期値モデル

Initial model



測定データ vs. 推定モデル (結果)

Estimated model



今後の展望

モデル・評価関数を拡張

- 5段連成ばね (Type-A GAS)
- 自由度カップリング込みモデル

実際の測定データに適用

- 防振懸架系の状態診断

オフライン推定からオンライン推定へ

- モデル構築 → Kalmanフィルタ実装

まとめ

KAGRA Type-A suspension

- ✓ 腕共振器鏡のための防振懸架系
- ✓ 4台すべてインストール完了
- O3に向けて制御系の実装などを進めている

防振懸架系の状態推定

- ✓ 2段連成ばねモデルでの検証
- 5段連成ばね → より複雑なモデルに拡張
- 実際の測定データに適用