

光学浮上

2017年中間報告会
和田祥太郎

目次

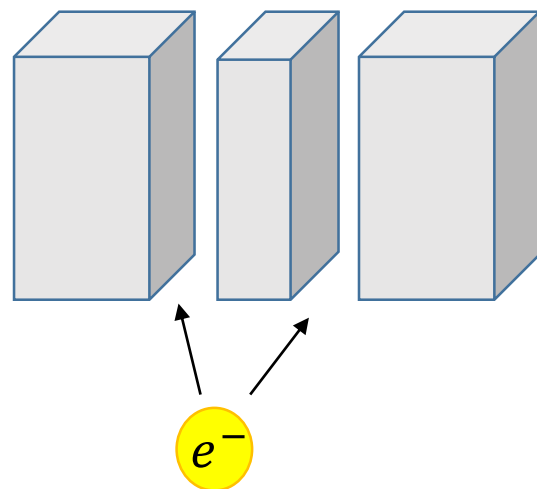
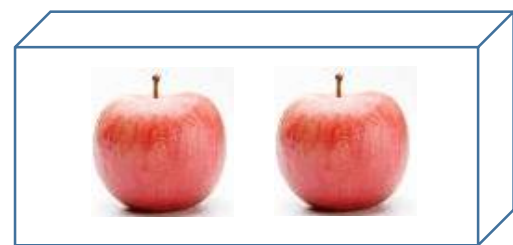
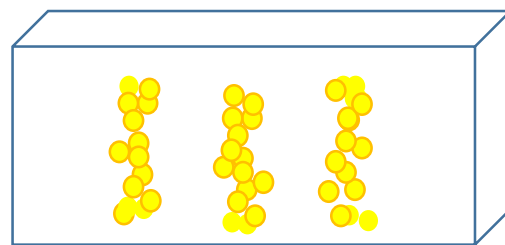
- ・ 光学浮上の概要
- ・ 光学浮上の歴史
- ・ 光学浮上の現状
- ・ 光学浮上の今後の展望
- ・ 光学浮上から学んだこと

光学浮上の概要

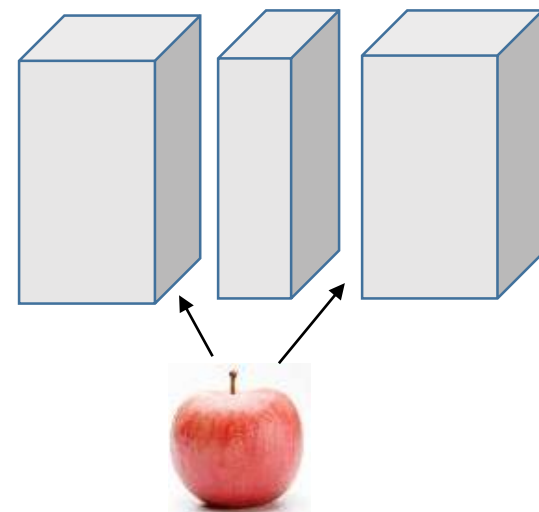
実験背景

量子力学で未だに解決
されていない問題

→マクロな系で位置の
重ね合わせ状態がみら
れるかどうか

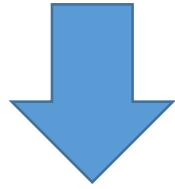


電子はミクロ
→位置の重ね合わせ状態は
観測済み

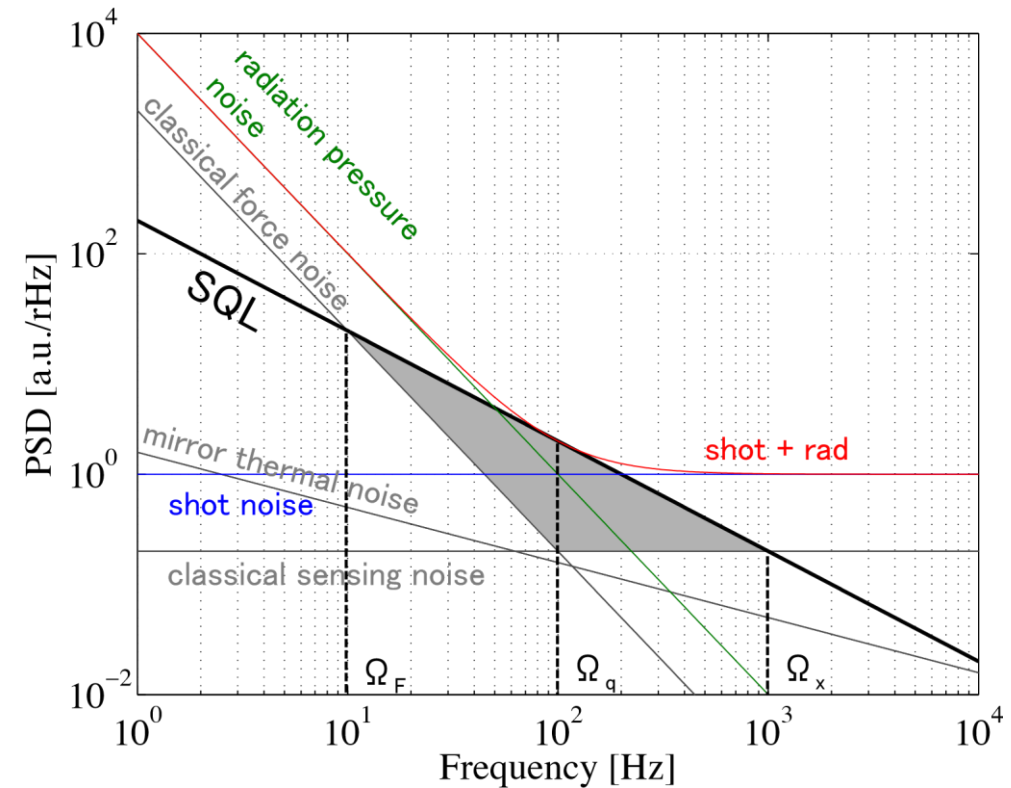


りんごはマクロ
→位置の重ね合わせ状態は
未観測

巨視的量子力学の検証のための必要条件

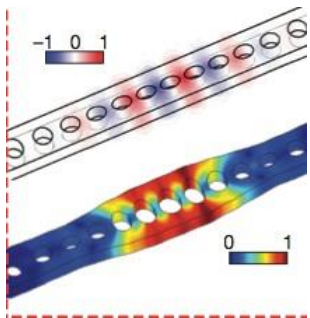


古典雑音が
SQLを下回ることが
必要条件

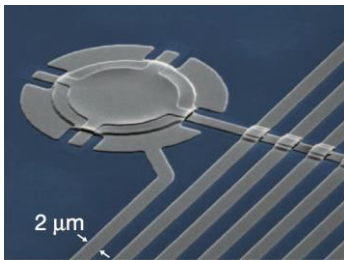


SQL (Standard Quantum Limit) とは？

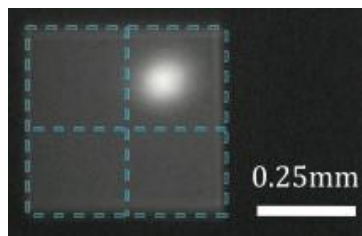
量子力学の不確定性原理から生じる測定限界のこと



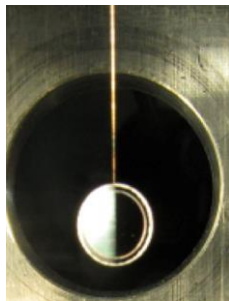
nanomechanical
oscillator,
311 fg
Chan+ (2011) SQL到達



membrane, 48 pg
Teufel+ (2011) SQL到達

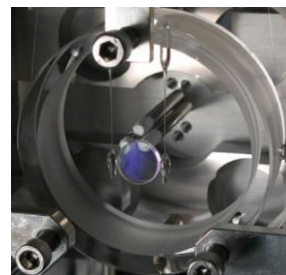


membrane,
7 ng
Peterson+ (2016) SQL到達

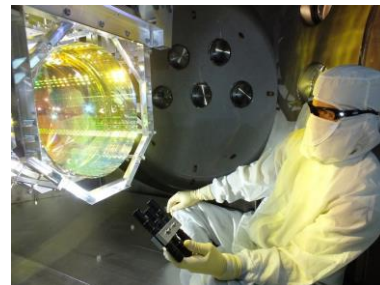


未到達

suspended mirror,
5 mg
Matsumoto+ (2014)

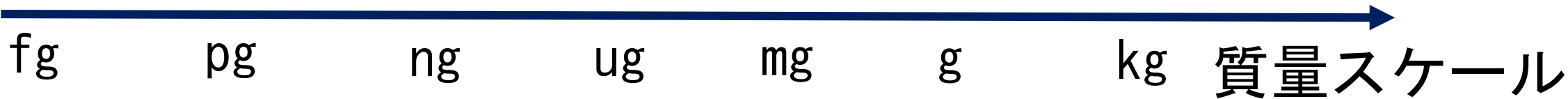


suspended mirror,
1 g
Neben+ (2012) 未到達



suspended mirror,
40 kg
GW detector (LIGO,
VIRGO, KAGRA)

ほぼSQL到達

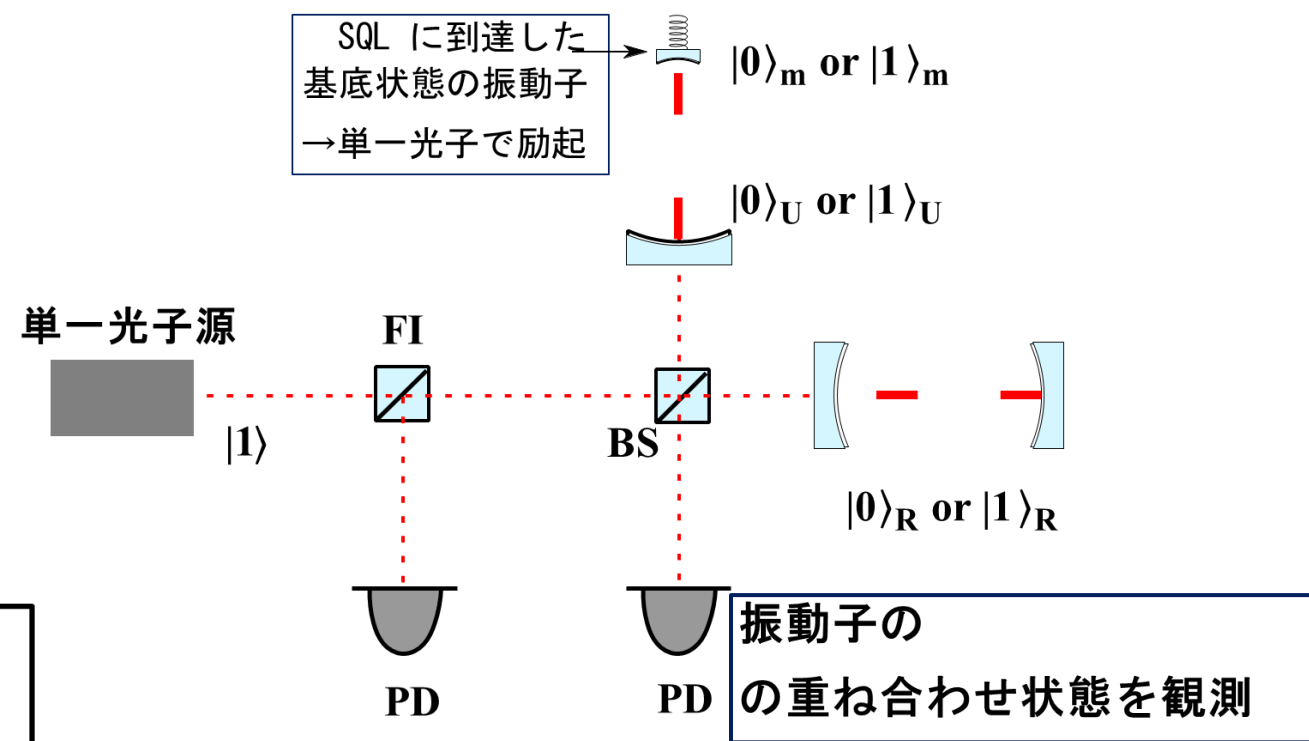
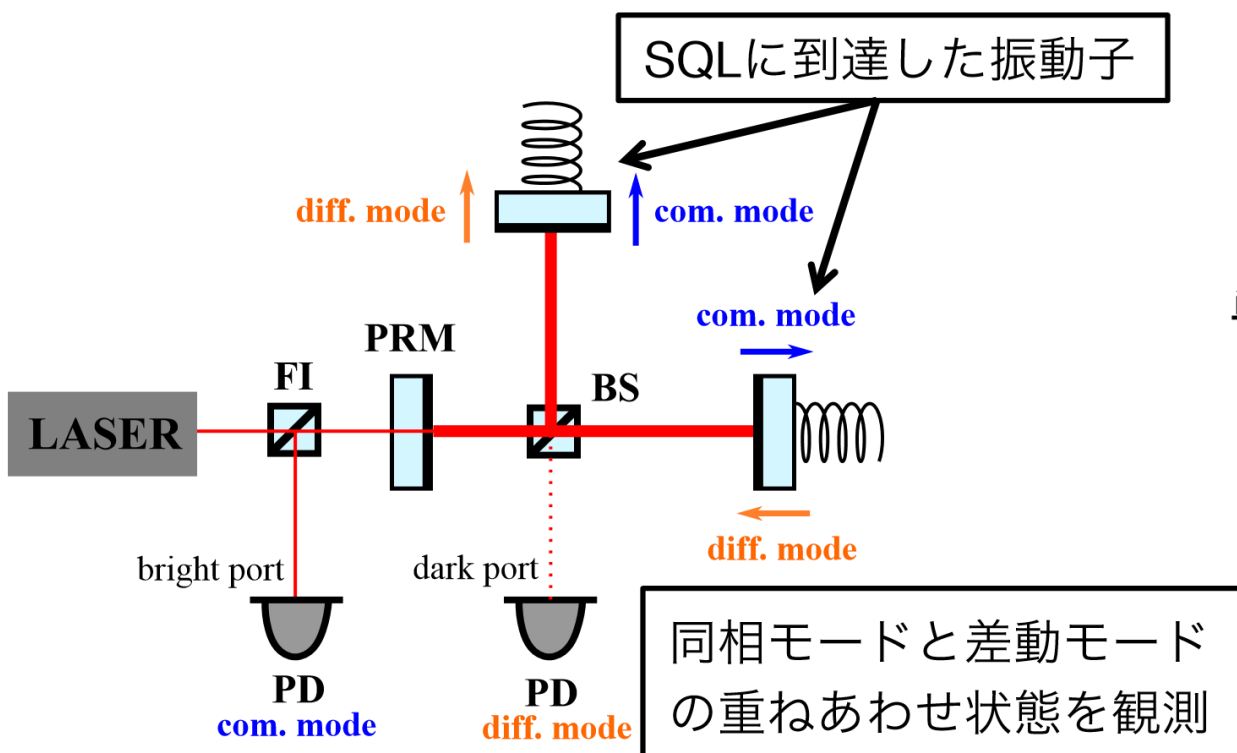


今回はmgスケールのSQL到達を目指す

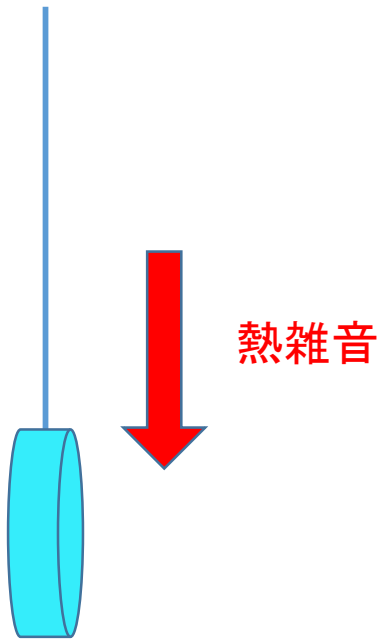
位置の重ね合わせ状態の観測

Müller – Ebhardt₊ (2008)

Marshall₊ (2003)



mgスケールでのSQL到達への障壁～熱雑音～



振り子

→懸架による熱雑音が生じSQL到達が困難



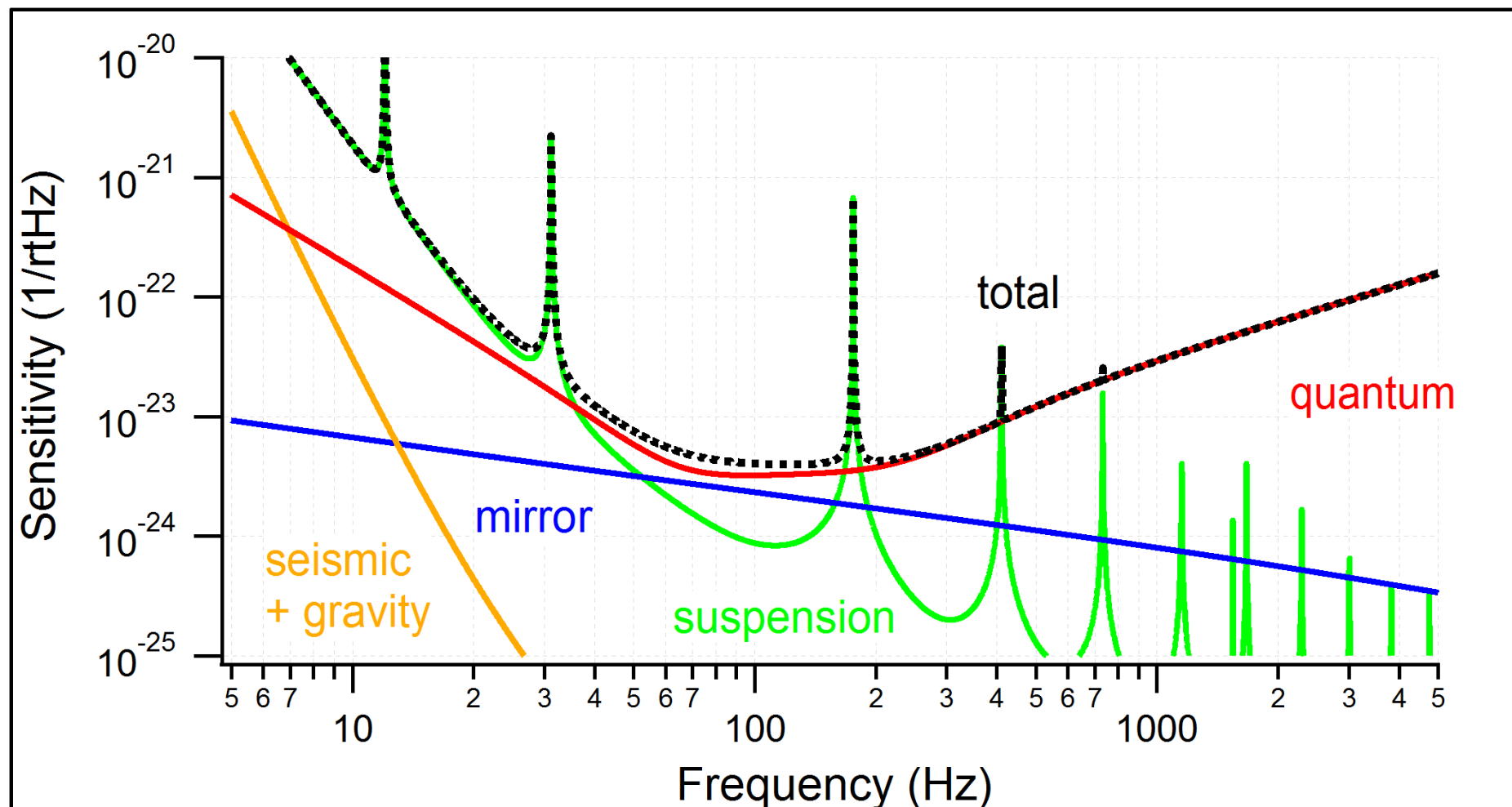
光学浮上とは？

高パワーのレーザー
光の輻射圧を使って
鏡を浮かせること

光学浮上

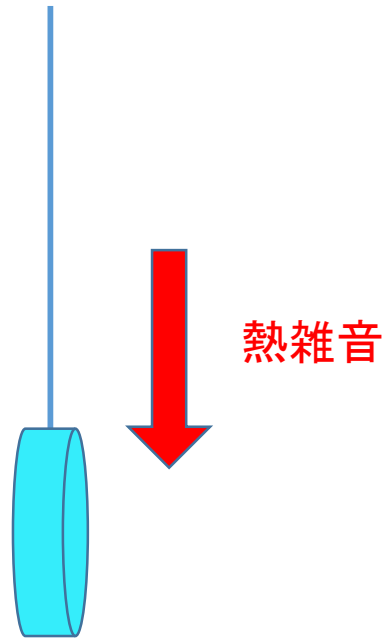
→SQL到達への最大の障壁である鏡の支持による熱雑音が生じない

ノイズスペクトル



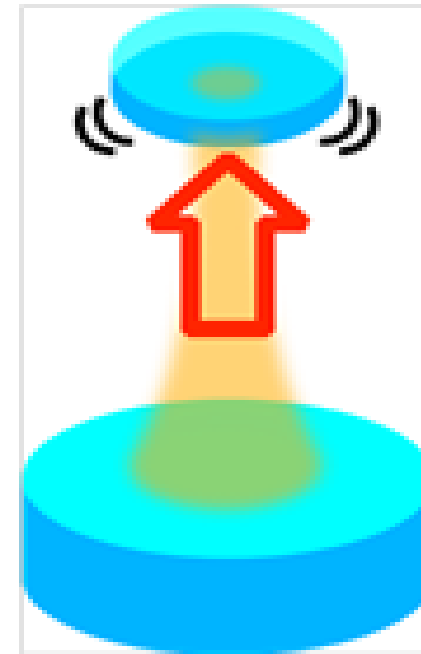
KAGRA wiki より

振り子と光学浮上の長所・短所



振り子

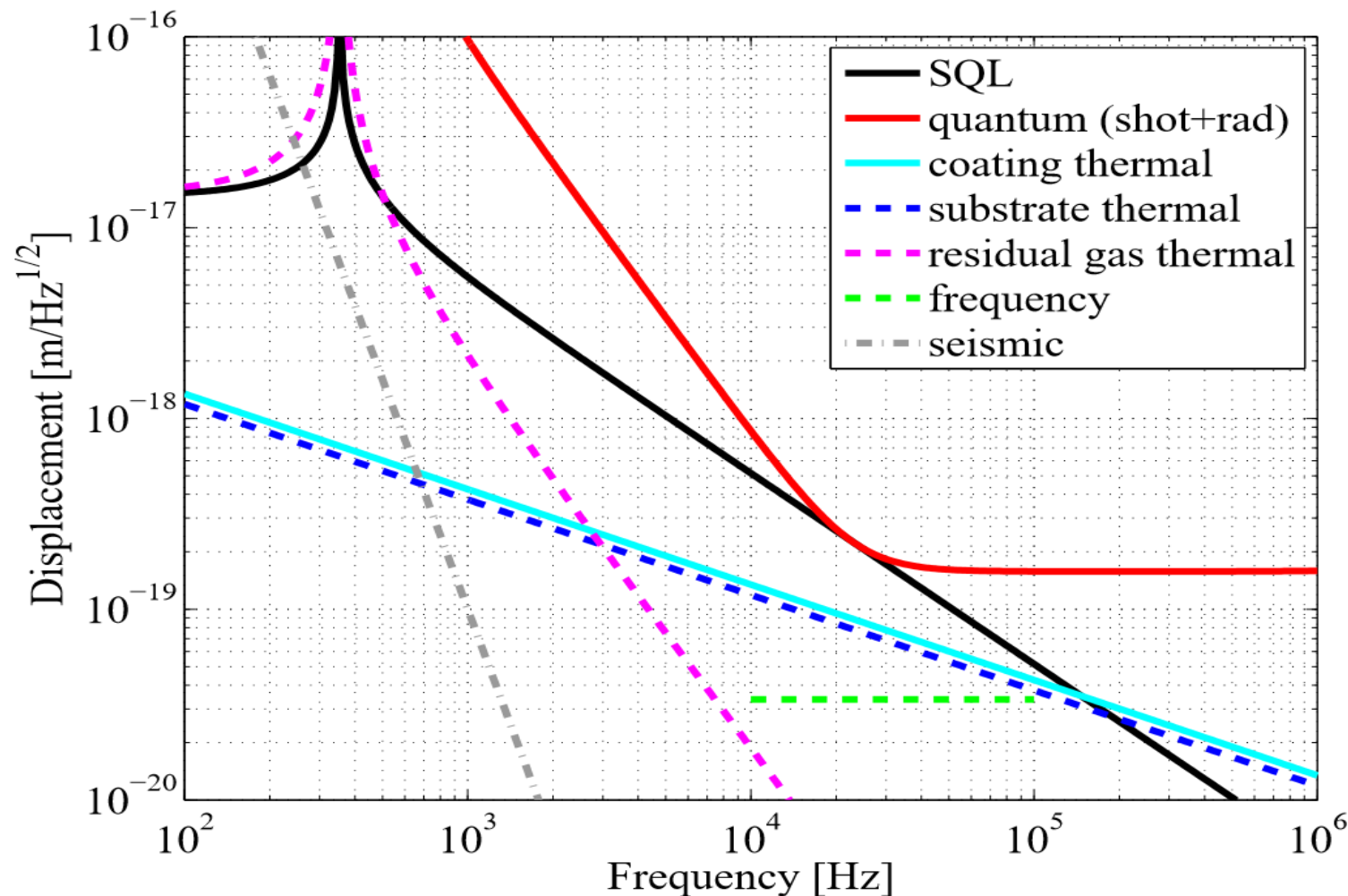
- ・ セットアップが簡単
 - ・ 懸架の熱雑音がある
- ワイヤー半径の技術的な限界で制限される



光学浮上

- ・ 懸架の熱雑音がない
- ・ 共振器内のパワーが鏡の質量に制限され、SQL到達が難しい

ノイズスペクトル



0.2 mgの鏡

13 Wのレーザー入射光

23 kHz付近でSQL到達



実は懸架による熱雑音は
あまり効いてこない？

光学浮上の意義

もう少し考える必要がありそう

- ・鉛直方向を使える利点
 - 高精度の重力測定？ PhysRevLett. 111. 183001
- ・浮かせることで達成できる利点
 - 回転方向の利用？ PhysRevLett. 117. 123604

光学浮上の歴史

歴史（１）

2013年11月

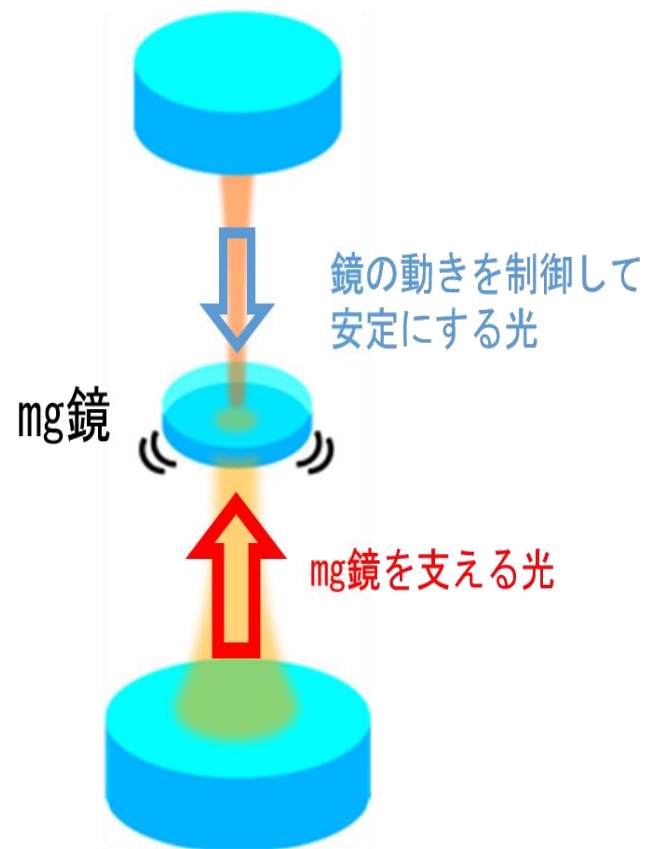
サンドイッチ型の構成を提案 道村さん(B2)

2014年1月 浮上鏡発注

2014年4月 浮上鏡納品(B3)

2014年10月～2月

ねじれ振り子の基礎実験（水平方向の共振器） サンドイッチ型
有富さん、榎本さん



歴史（２）

2015年6月～2016年1月

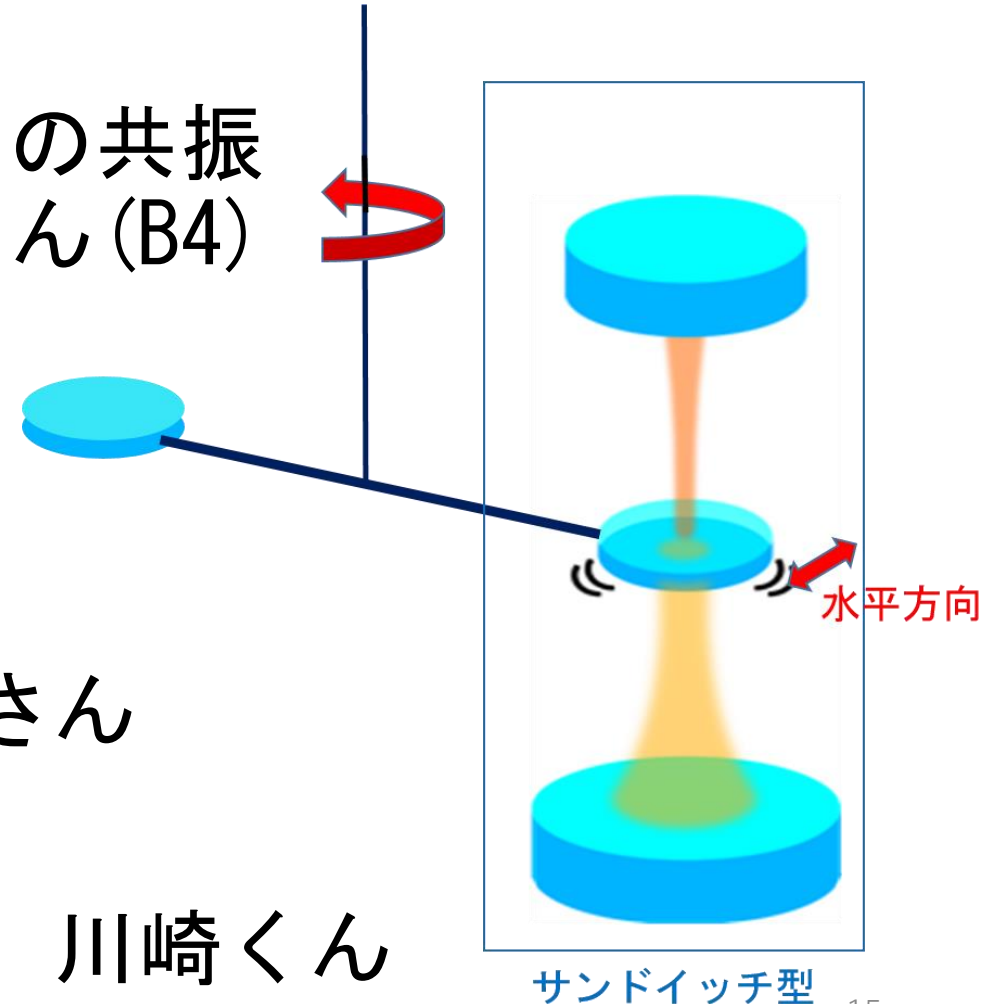
ねじれ振子子の基礎実験（鉛直方向の共振器）装置の開発と特性評価 桑原さん(B4)

2016年6月～2017年3月

ねじれ振子子の制御 和田(M1)

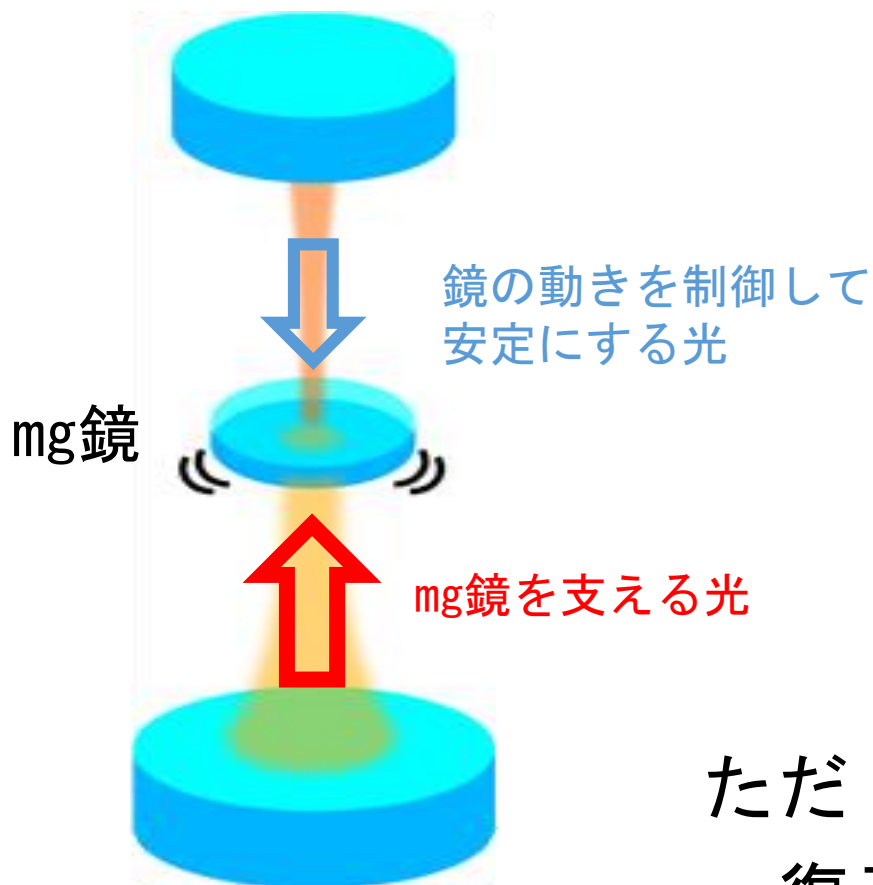
2016年12月 光学浮上の論文 桑原さん

2017年4月～ 長野さん、和田(M2)、川崎くん



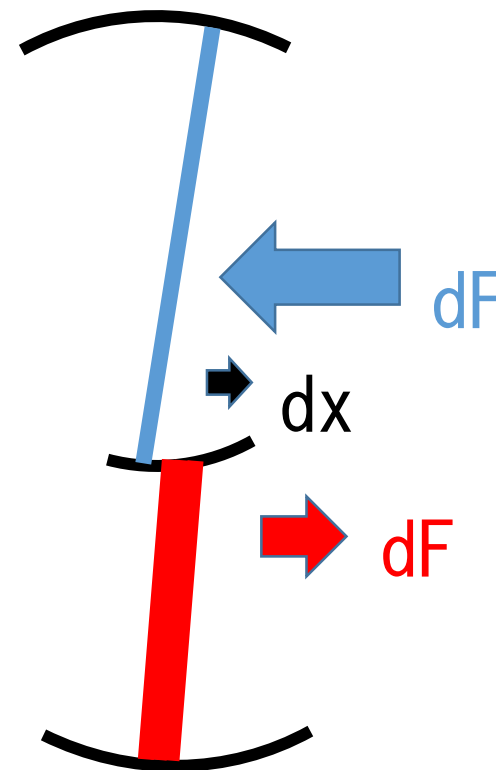
光学浮上の安定性

光学浮上の安定性



サンドイッチ型

模式図



光軸のずれによる復元力が働く

理論的には安定

ただ

- ・ 復元力は実際に実現可能か
- ・ 実際の浮上に至る手順 → 確認する必要あり

水平方向の安定性検証

サンドイッチ型の水平方向の安定性を実験で検証したい

→ねじれ振りをを用いる

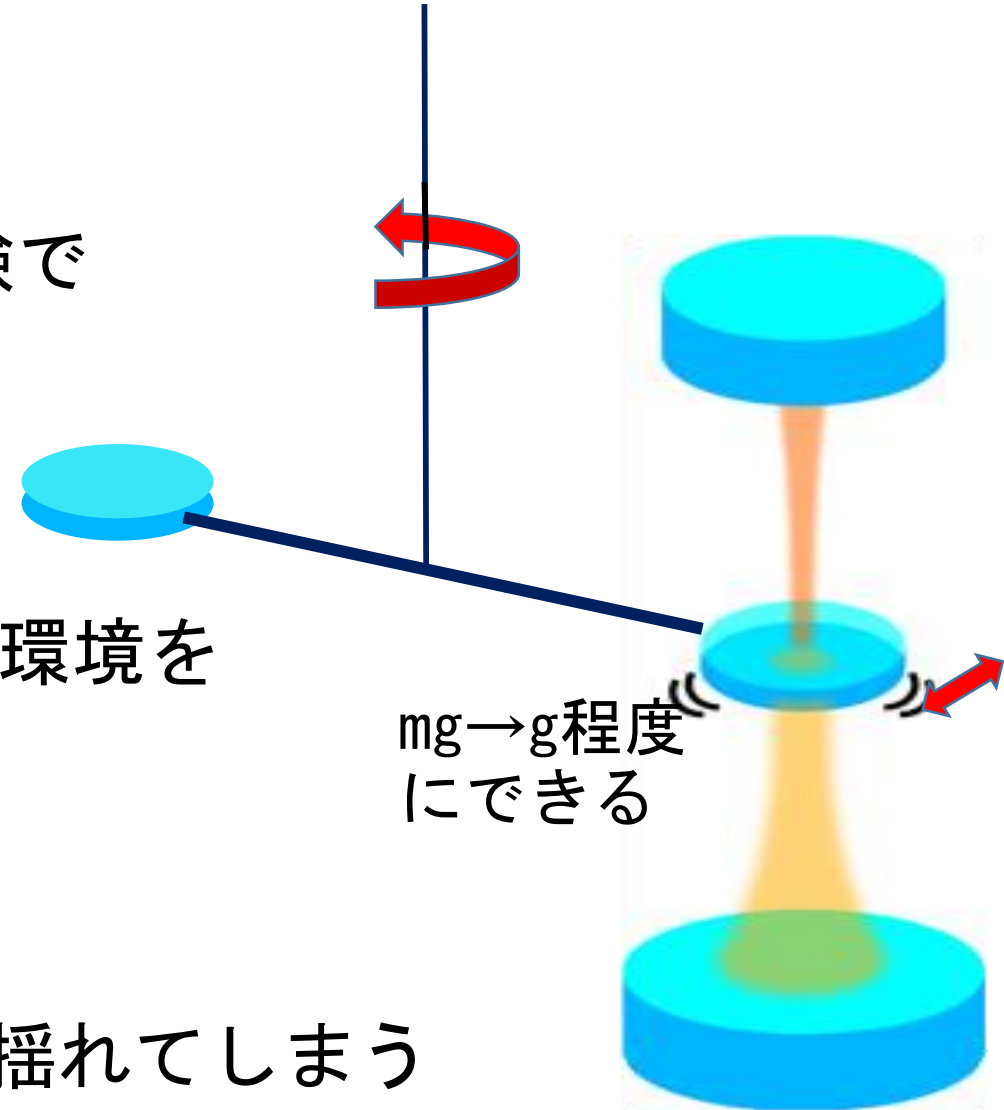


水平方向に関して浮いている状態と同じ環境を
 g 程度の鏡でつくれる

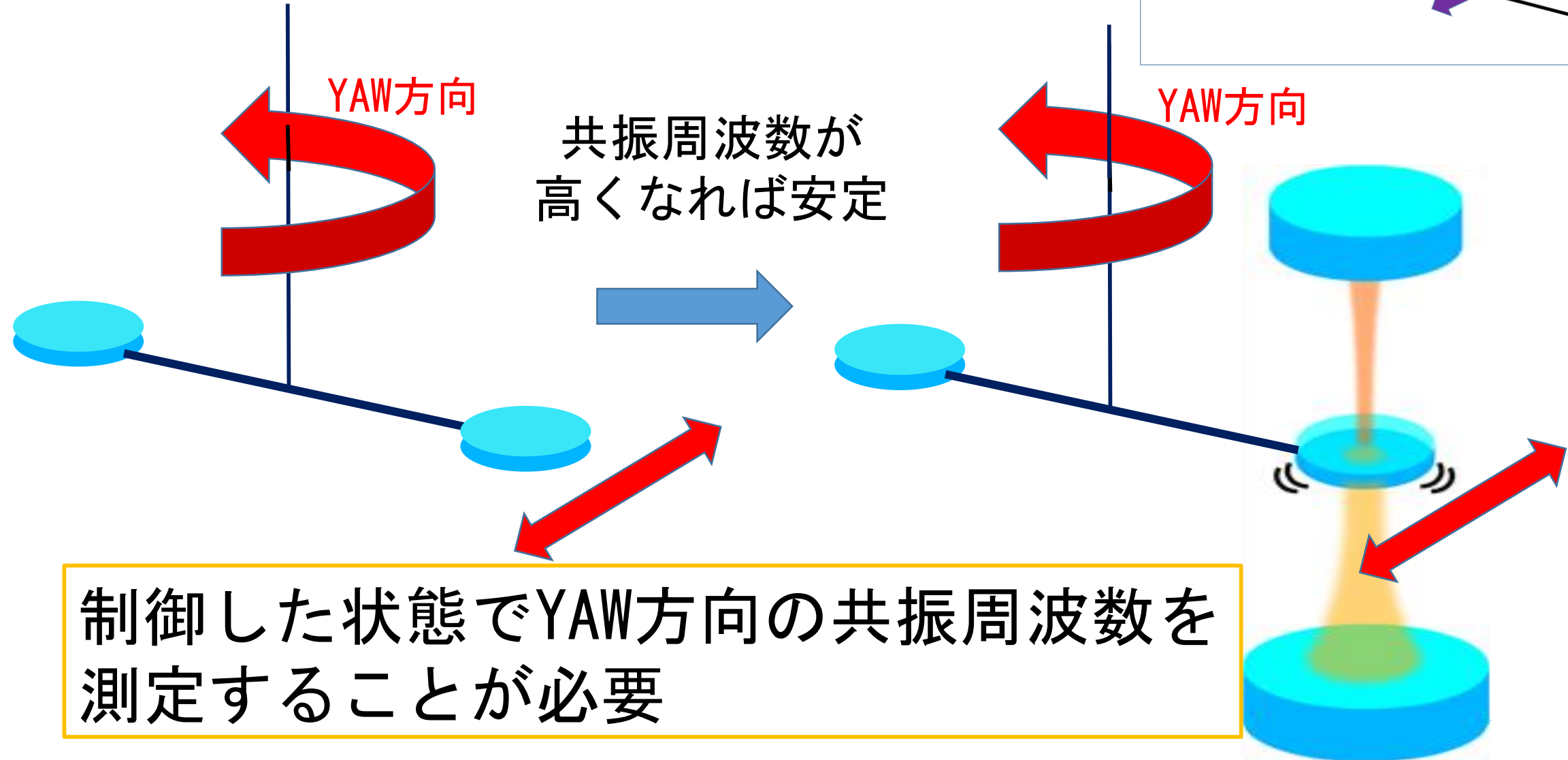
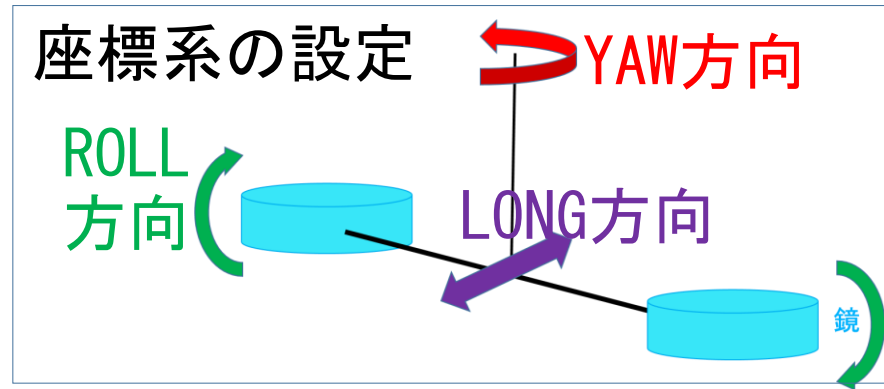
ねじれ振りをを用いる欠点

→地面振動などにより必要以上に鏡が揺れてしまう

ねじれ振りを制御することが必要



安定性の検証方法



光学浮上の現状

水平方向の安定性検証までの道しるべ

①実験装置の開発と特性評価→ここまで桑原さん



②ねじれ振り子の位置制御→○

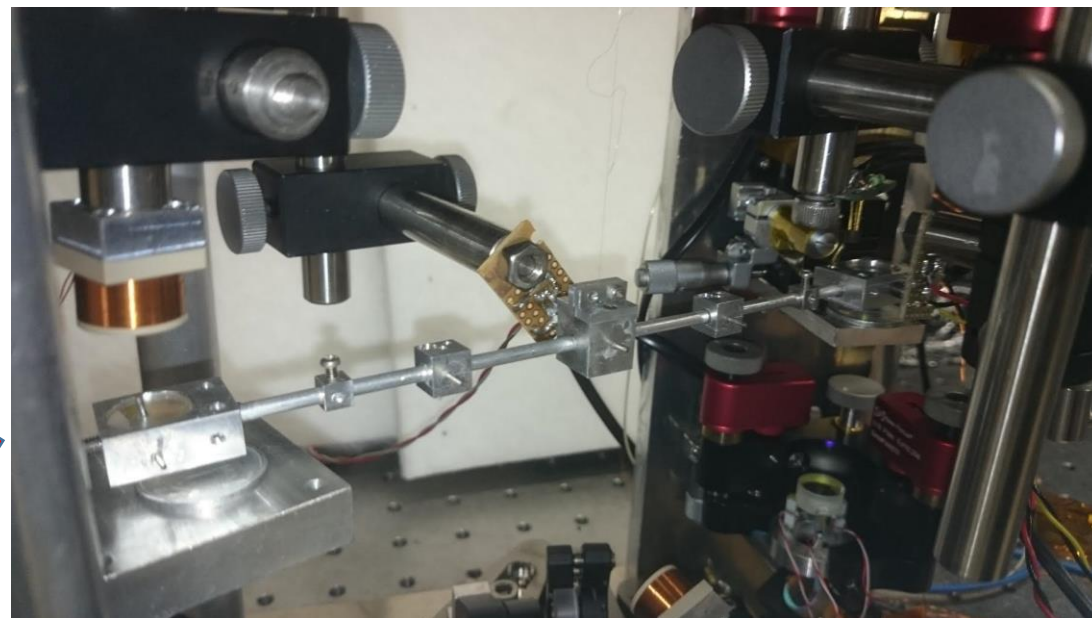
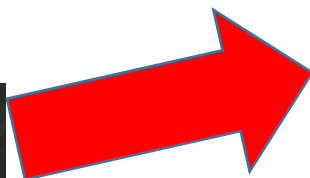
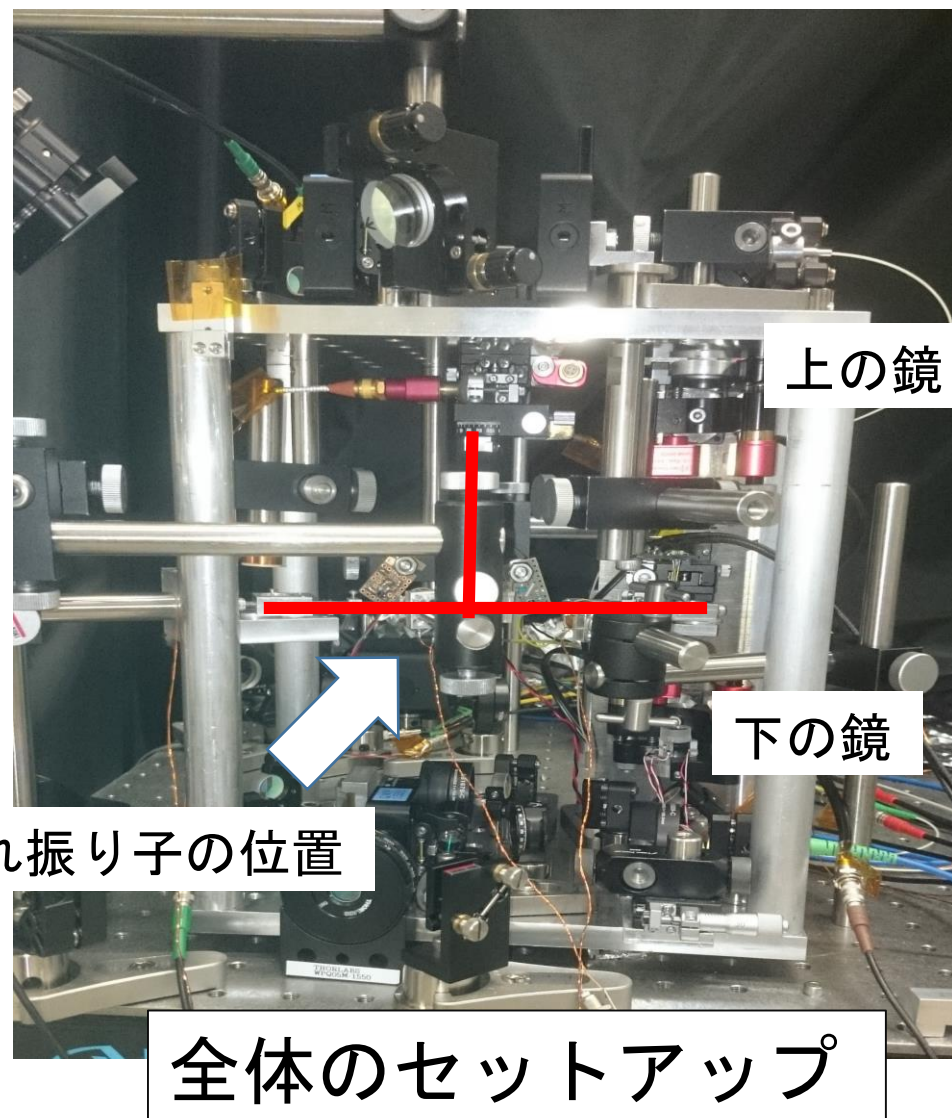


③ねじれ振り子のYAW方向の共振周波数測定→取り組み中



④水平方向の安定性検証

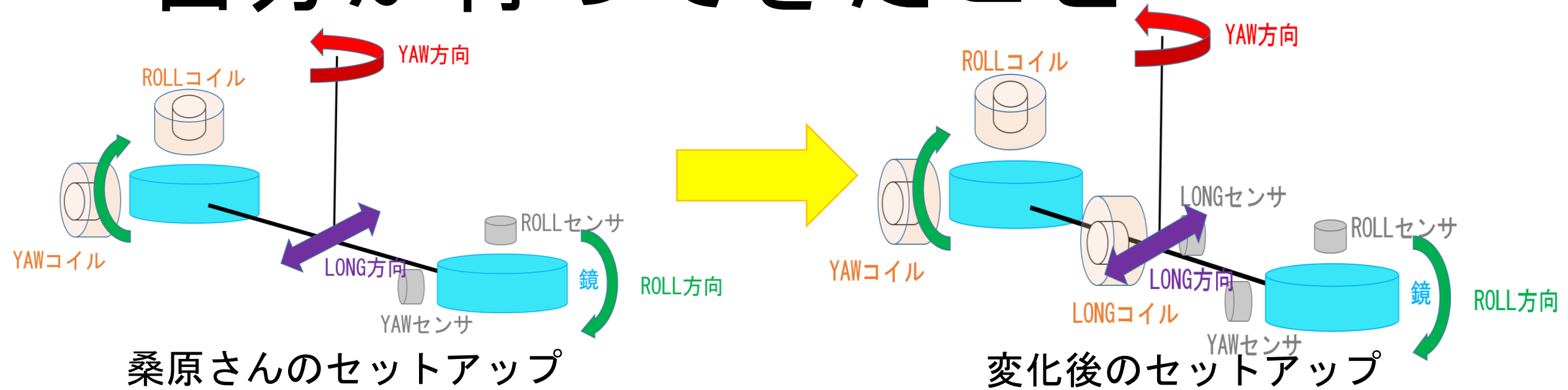
実験セットアップ



ねじれ振りの拡大図

真空槽には入れず、
大気中で実験

自分が行ってきたこと



ねじれ振り子の位置制御

- ・ YAW方向のRMS $0.15 \mu\text{m} < 10 \mu\text{m}$
- ・ ROLL方向のRMS $0.73 \mu\text{m} < 9 \mu\text{m}$ を満たす制御をかけることに成功

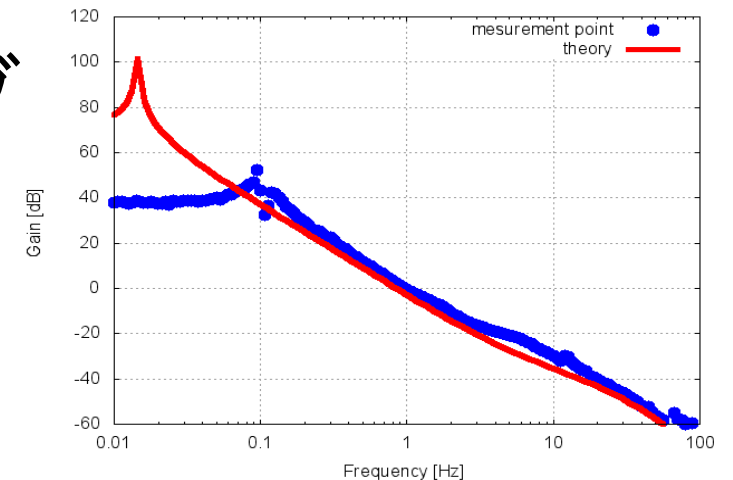
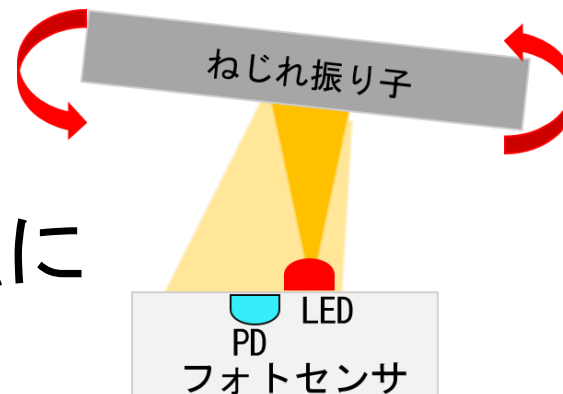
セッティングの問題点

YAW方向の共振周波数がうまく測定できない

YAW方向制御がLONG方向制御とカップリング

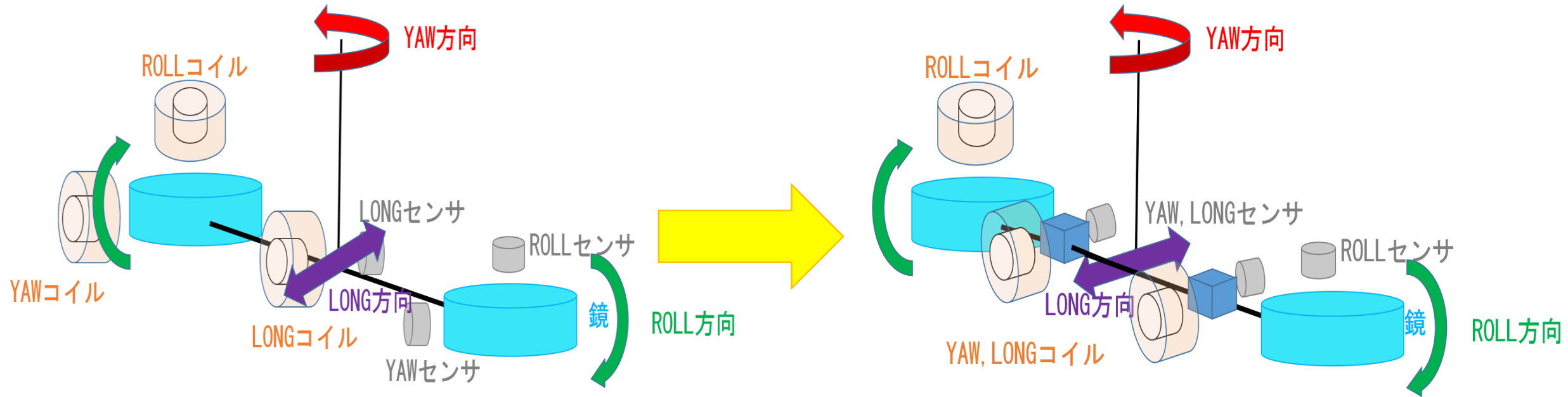
- ・ YAW方向の共振周波数が理論値より高くなる

- ・ LONGセンサがYAW回転に影響してしまう問題



対称性のある制御系に変える

セットアップの改善



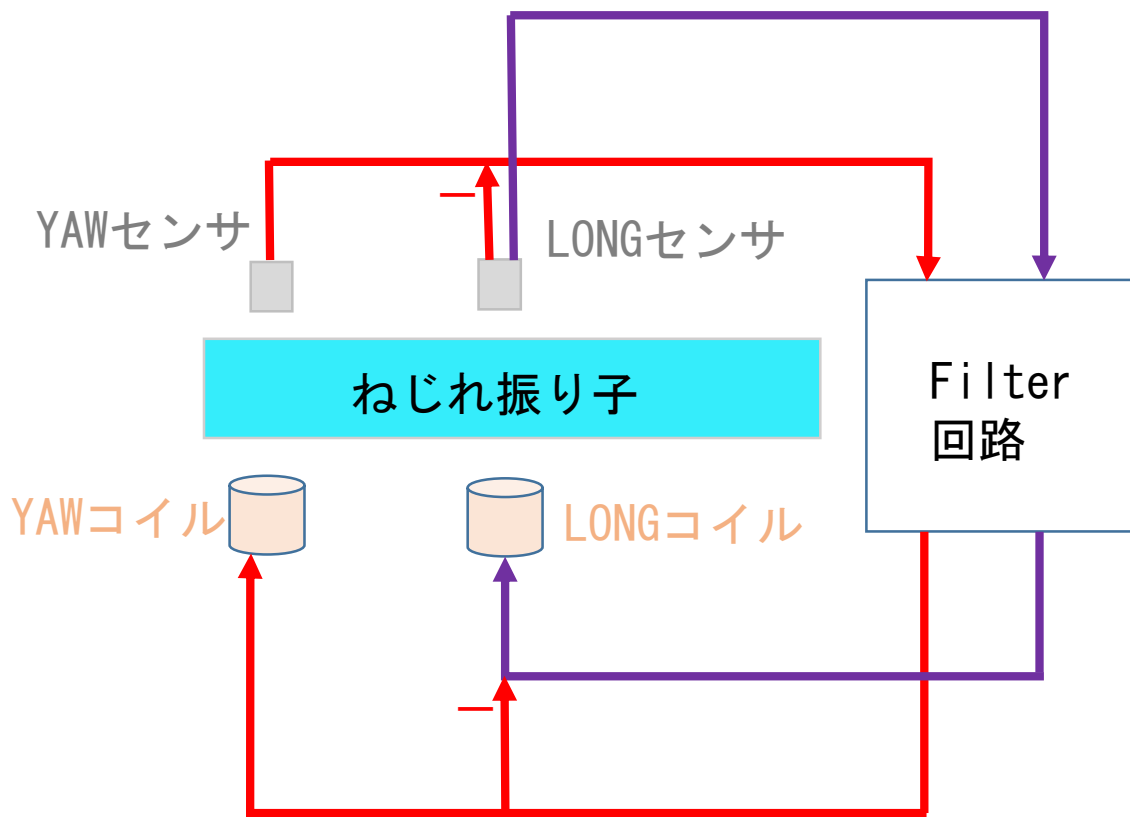
対称性がよくない

対称性がよい

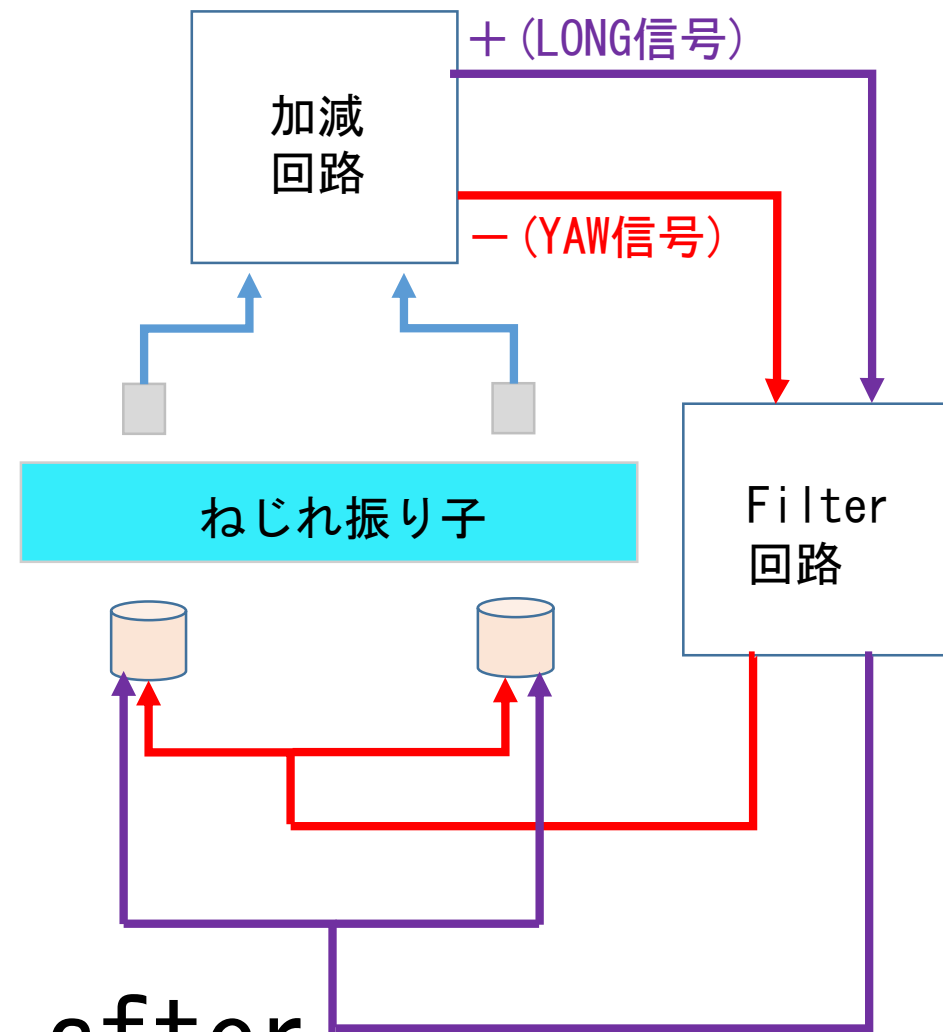
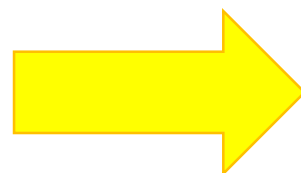
ねじれ振り子の位置制御

- ・ YAW方向のRMS $3.58 \mu\text{m} < 10 \mu\text{m}$
- ・ ROLL方向のRMS $0.35 \mu\text{m} < 9 \mu\text{m}$ を満たす制御をかけることに成功

制御方法の改善

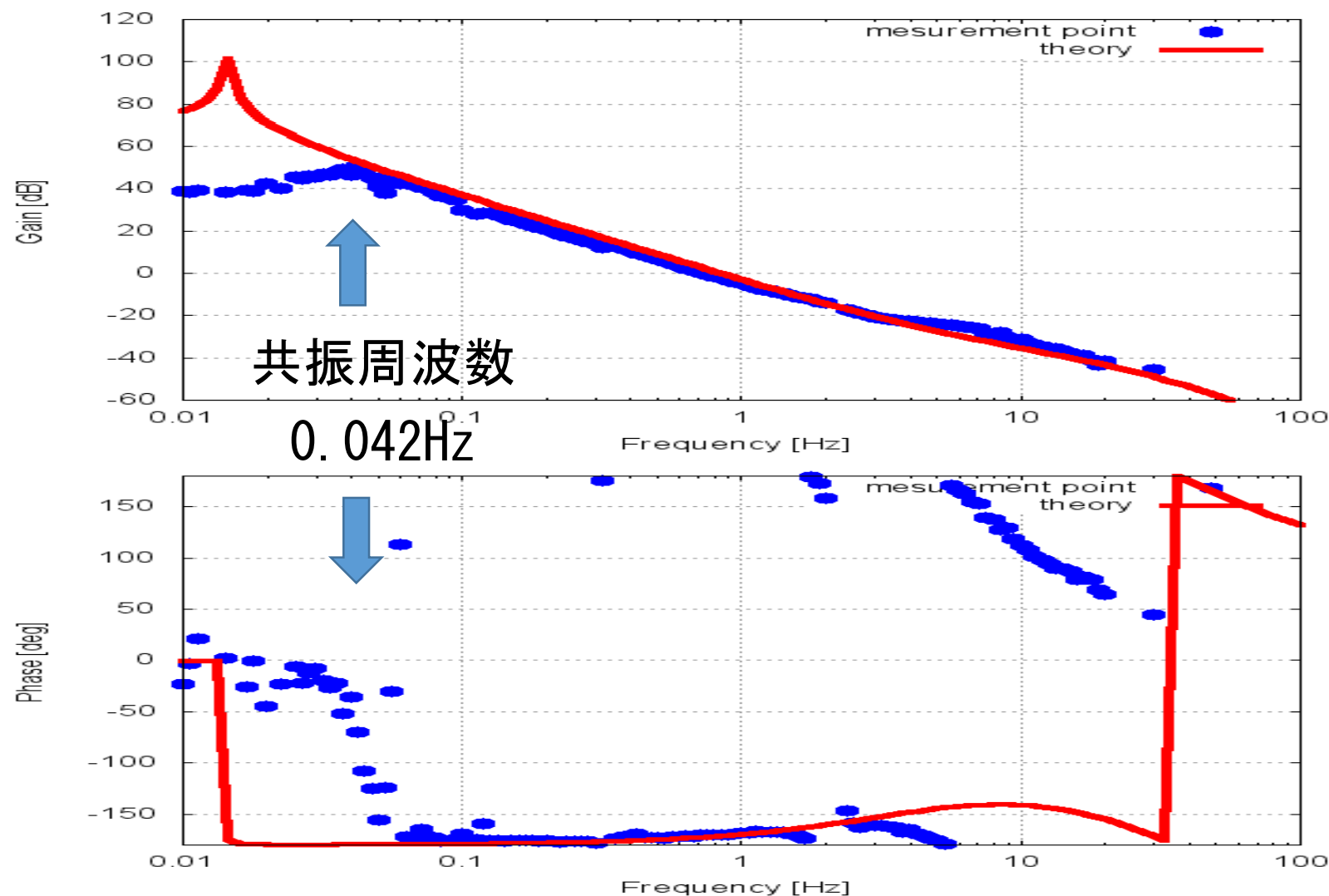


before



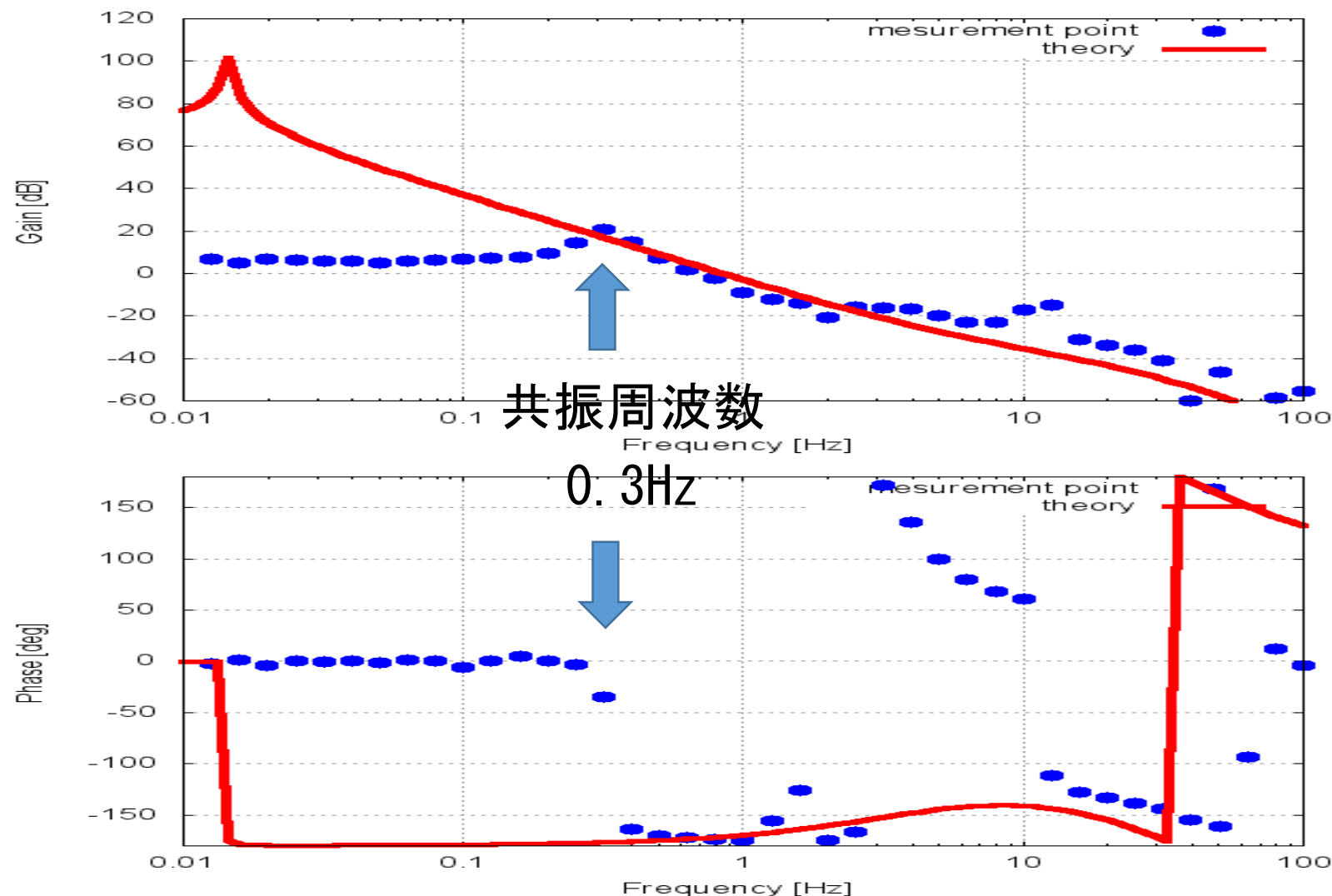
after

YAW方向の共振周波数の測定（制御系改善前）



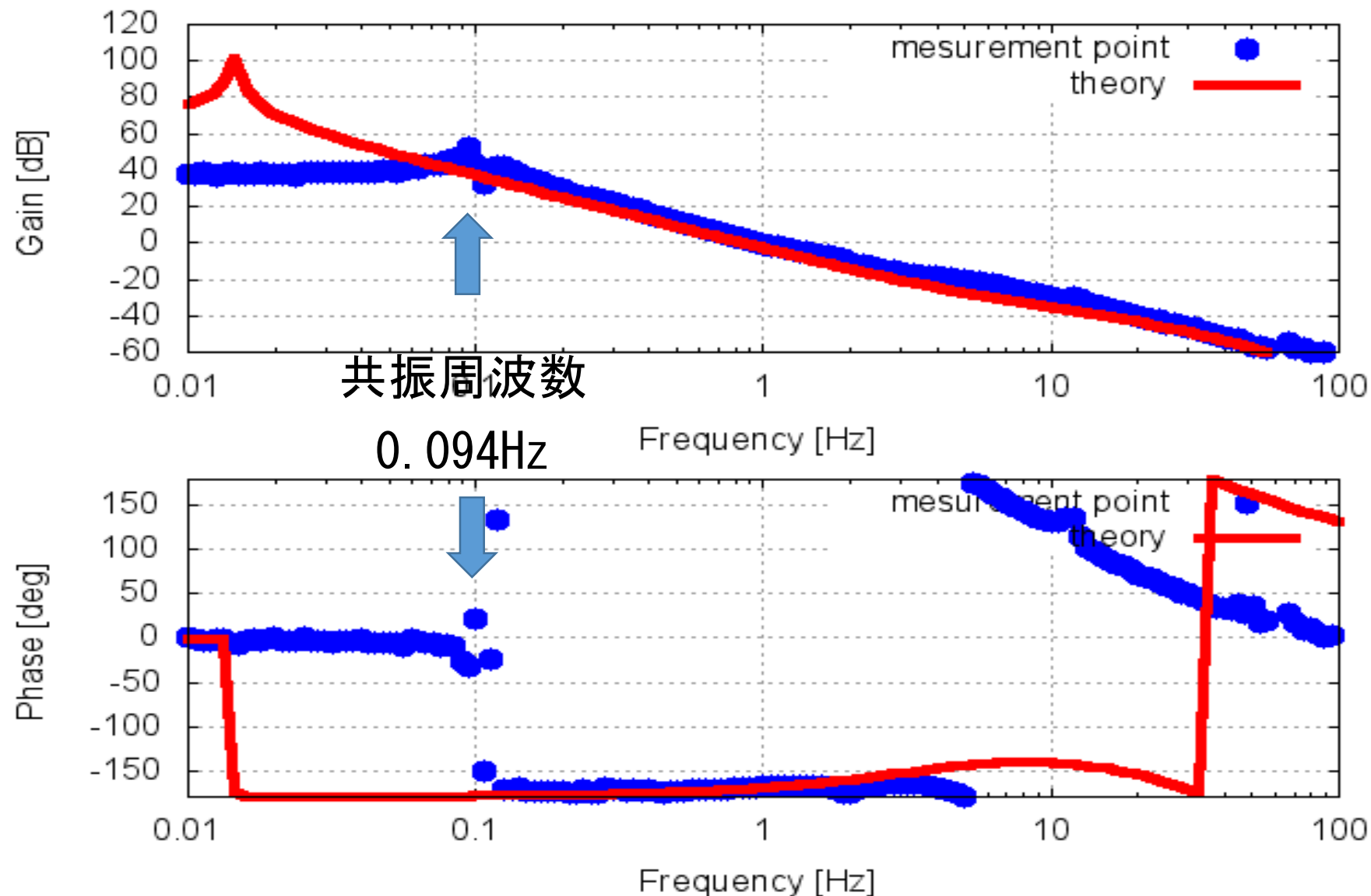
- ・ LONG制御による影響？
- ・ 再現性が見られない

YAW方向の共振周波数の測定（制御系改善前）

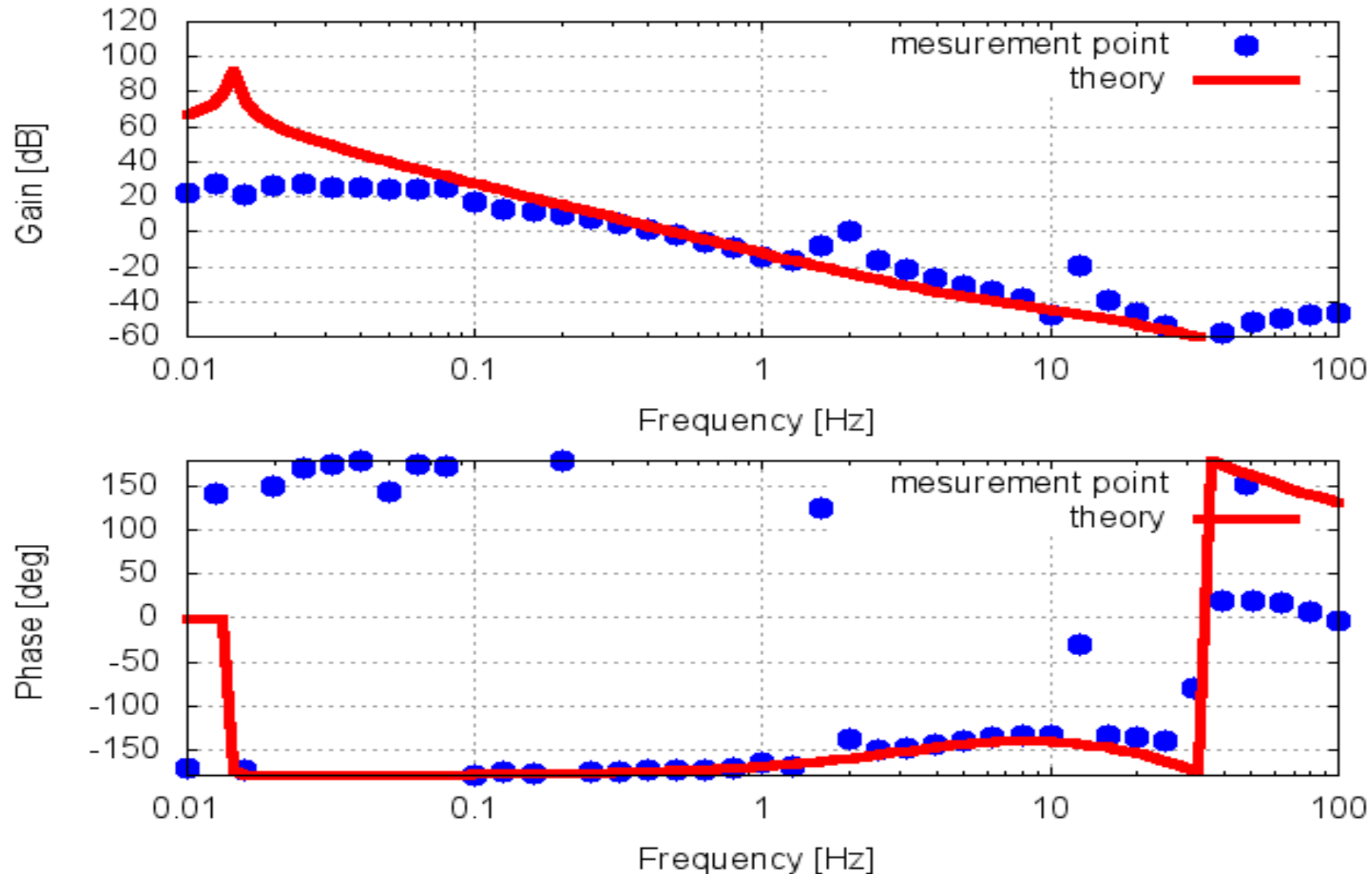


- ・ LONG制御による影響？
- ・ 再現性が見られない

YAW方向の共振周波数の測定（制御系改善前）



YAW方向の共振周波数の測定（制御系改善後）



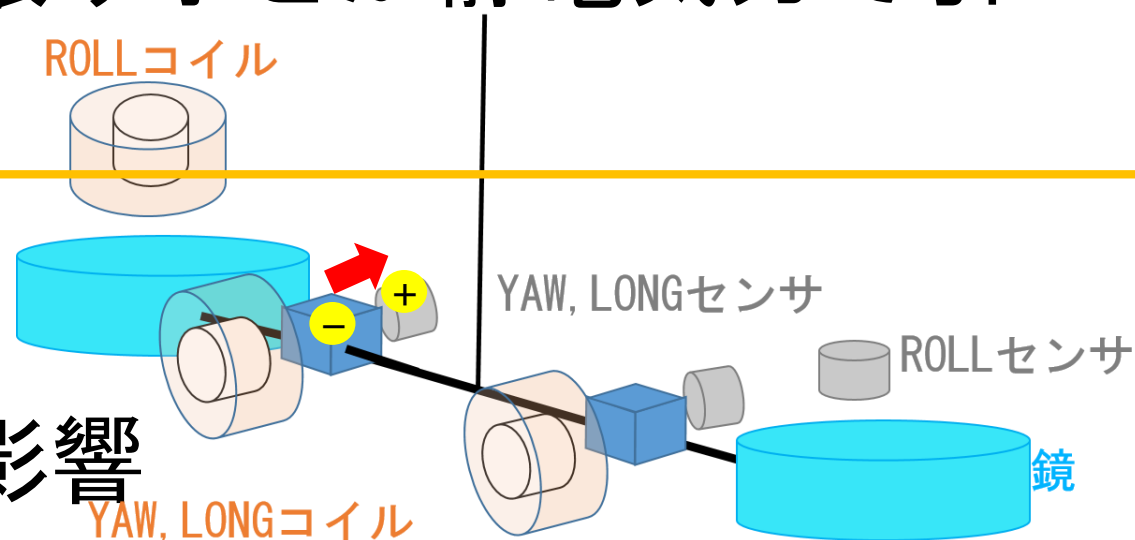
光学浮上の今後の展望

原因として考えられるもの

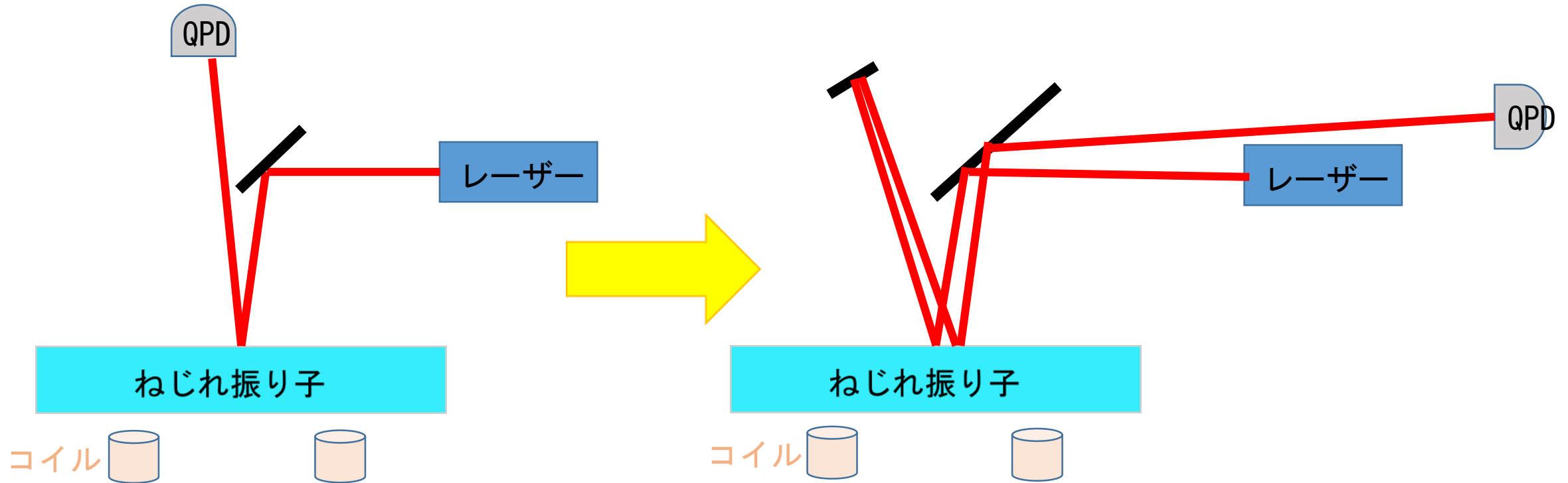
- ・ YAW方向とLONG方向とでカップリング

・ フォトセンサとねじれ振子とが静電気力で引き合っている

- ・ 大気中での測定による影響



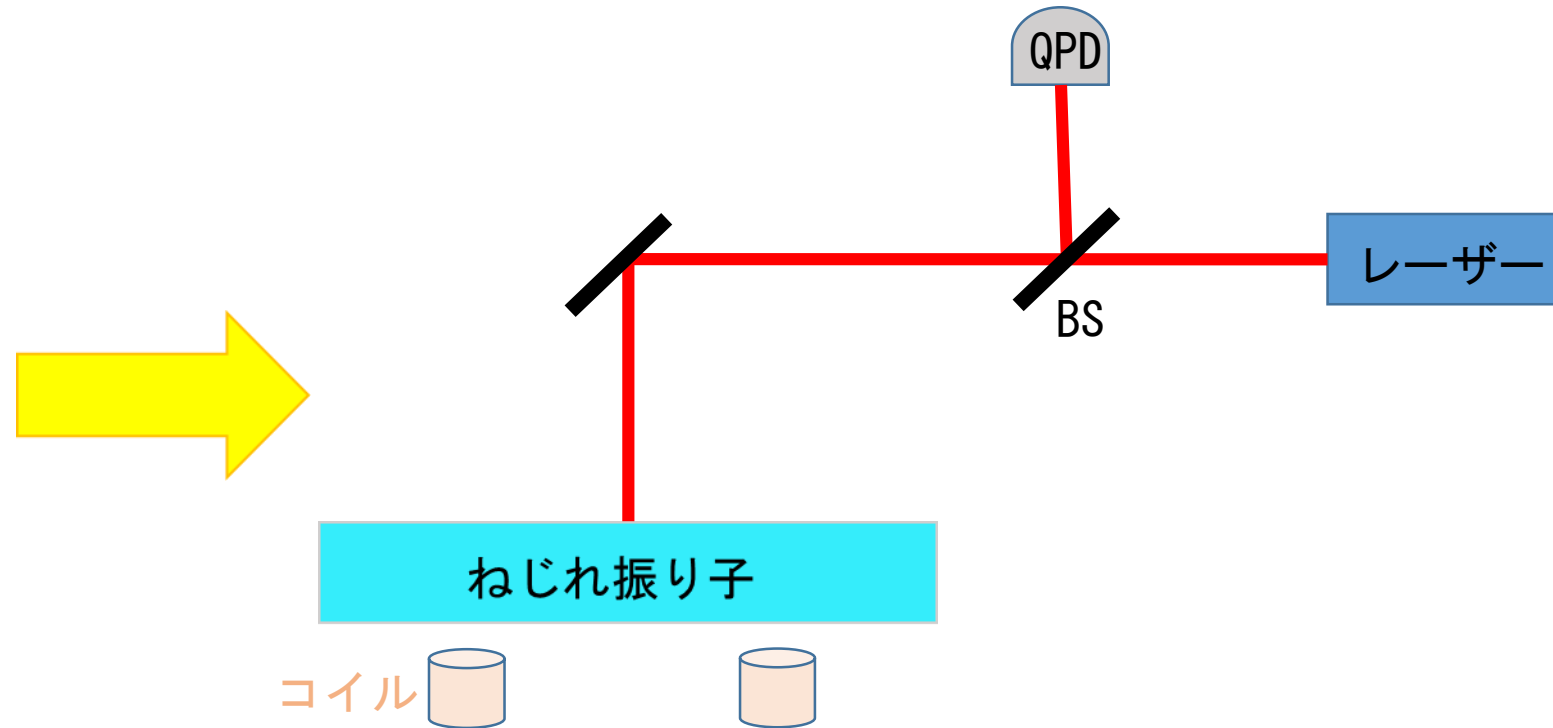
光てこを使った制御



利点

- ・ YAW方向の信号しかセンシングしない
- ・ フォトセンサによる静電気力を生じない

光てこを使った制御



利点

- ・ YAW方向の信号しかセンシングしない
- ・ フォトセンサによる静電気力を生じない

今後の展望

- YAW方向の共振周波数の測定
 - 光てこを使った制御
 - 真空中での測定
- ねじれ振りを制御した状態で共振器をロック
- 水平方向の安定性を検証
- 補助共振器の構築

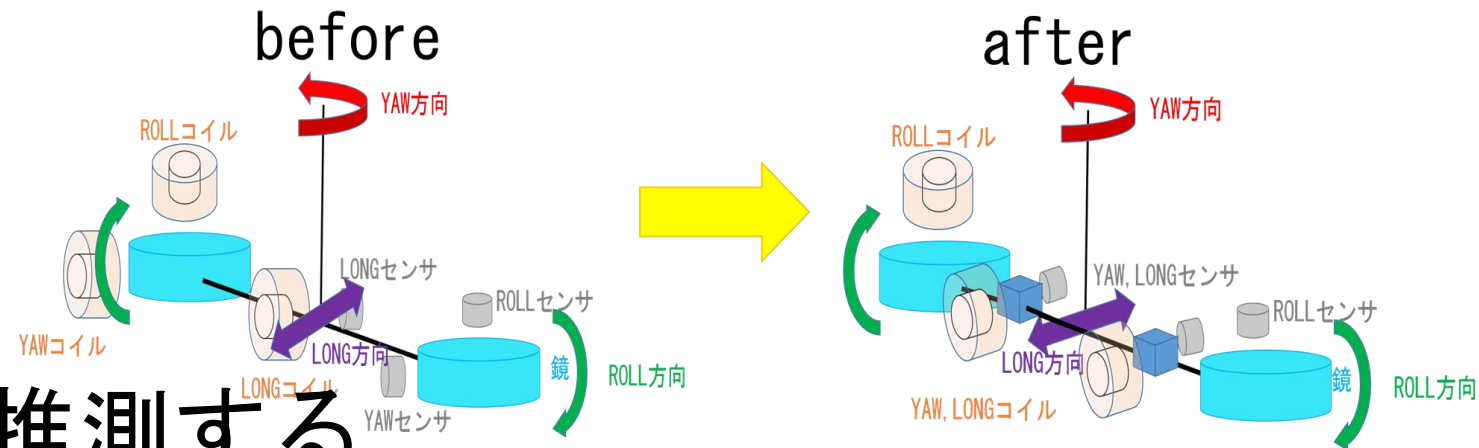
光学浮上から学んだこと

実験は論理的

やみくもにやってはダメ



- 実験結果から原因を推測する
- 変化を加える



足軽になるな、将軍になれ



- 部分的な理解ではなく、全体を理解する
- 自己責任と覚悟

物理学科を出たと自信を持って
言える人になってほしい

光学浮上やりきります

終わり