

# 中間報告2016

道村唯太

東京大学 大学院理学系研究科 物理学専攻

# 目次

- 光速の異方性探査
  - 研究背景
  - これまでの成果と課題
  - 2015年度の進展と課題
  - 今後の計画
- 光学浮上実験
  - 研究背景
  - これまでの経緯
  - 2015年度の進展
  - 今後の進め方
- 面白そうな実験2016
  - 今回はお休み

# 光速の異方性探査

# 物理学と対称性

- 物理学は対称性の学問である

- CPT対称性

1957年 ベータ崩壊でP対称性の破れ発見

1964年 K中間子崩壊でCP対称性の破れ発見

CPT対称性の破れはまだみつかっていない

粒子と反粒子と質量差を調べる



- 局所対称性

標準理論  $U(1) \times SU(2) \times SU(3)$

1960年代 自発的対称性の破れ

2012年 ヒッグス粒子の発見



- Lorentz対称性

時間並進、空間並進、空間回転

破れはまだみつかっていない

# 消えた反物質の謎

- ビッグバンで粒子と反粒子が対生成されたはずなのに、物質だけが生き残った

- 粒子と反粒子に違い？

CPT対称性の破れの可能性



higgstan.com

- CPT対称性の破れはLorentz不変性の破れにつながる(2002年 Oscar W. Greenberg) (逆は成立しない)

- 普通のスケールでは到達しにくい？

プランク質量: 
$$M_{\text{pl}} = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} \sim 10^{19} \text{ GeV}$$

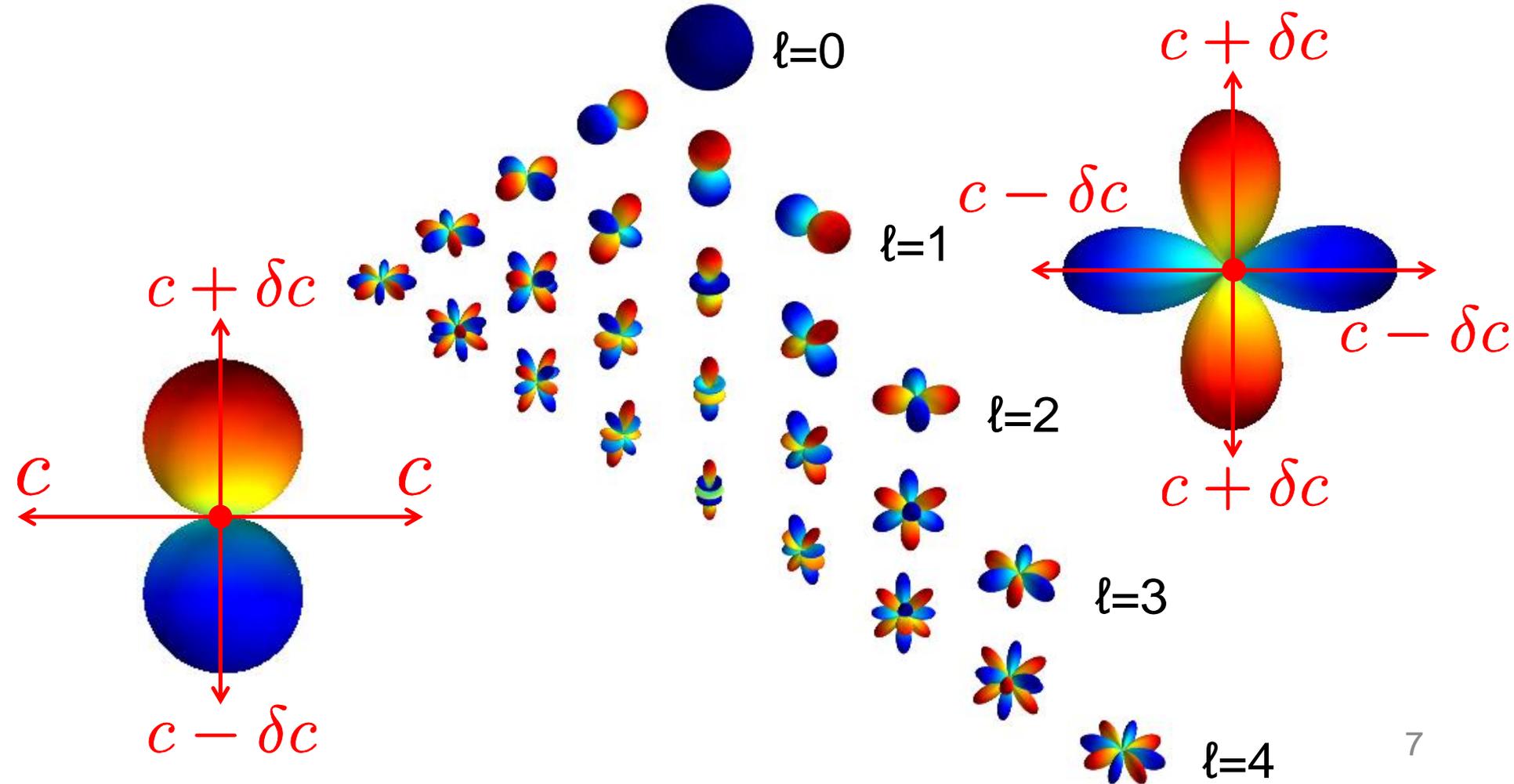
- 余剰次元があれば万有引力定数も変更  
→ 到達可能なエネルギースケールかも

# Lorentz不変性の破れ探査

- 電子、陽子、中性子  
スピン偏極系を用いた相互作用の異方性  
ねじれ振りをを用いたり[PRD 78, 092006 (2008)]
- 光子  
ガンマ線バーストで真空の複屈折・分散探査  
共振器を用いた**光速の異方性探査**
- ニュートリノ  
ニュートリノ振動の異方性  
ニュートリノ速度
- 重力  
水星の近日点移動、太陽の歳差運動  
近距離での重力逆二乗則の破れ  
原子干渉計を用いた地球重力の異方性

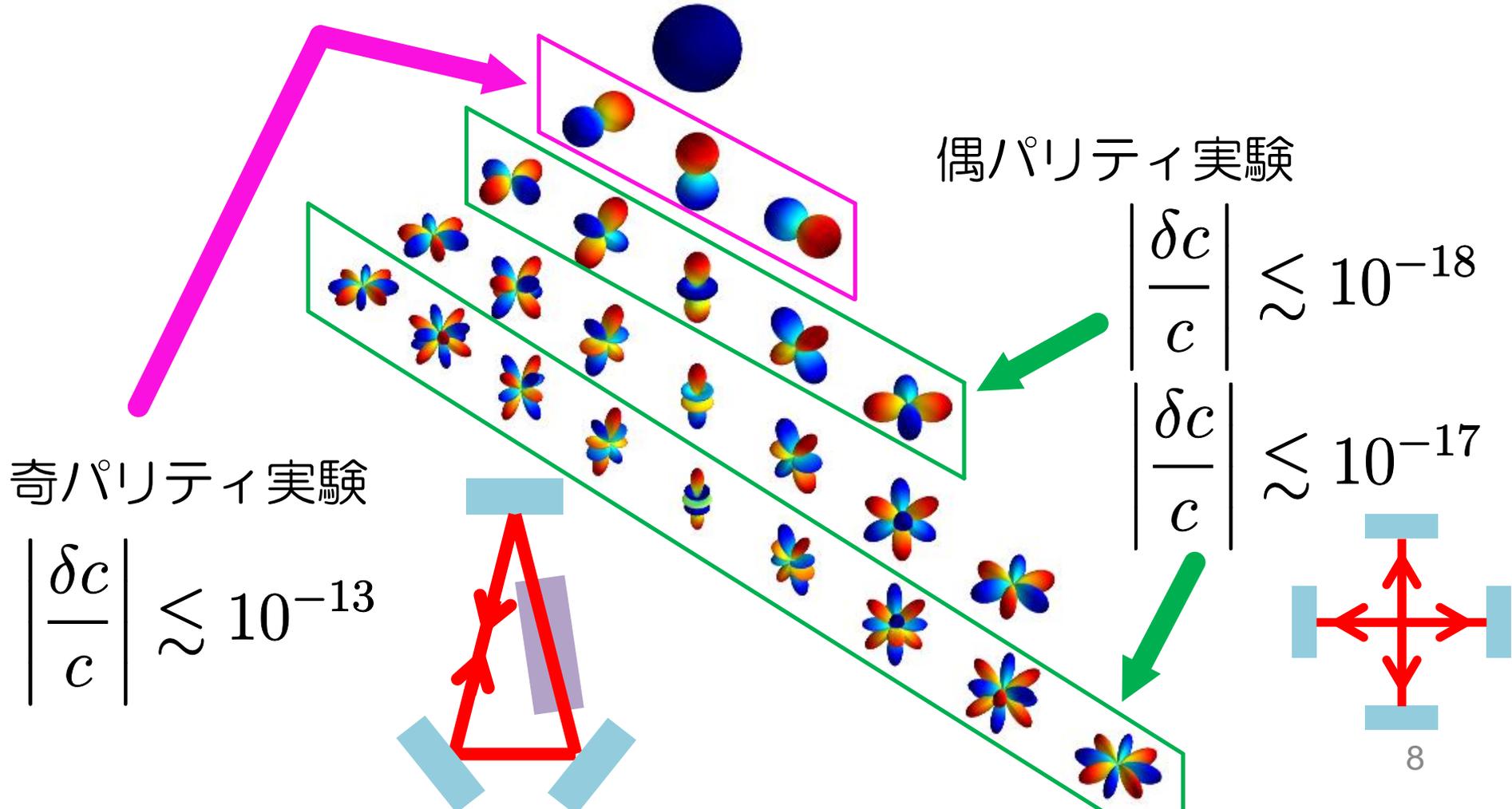
# 光速の異方性探査

- 光速の異方性は球面調和関数展開できる
- 次数( $\ell, m$ )毎に上限値が付いている



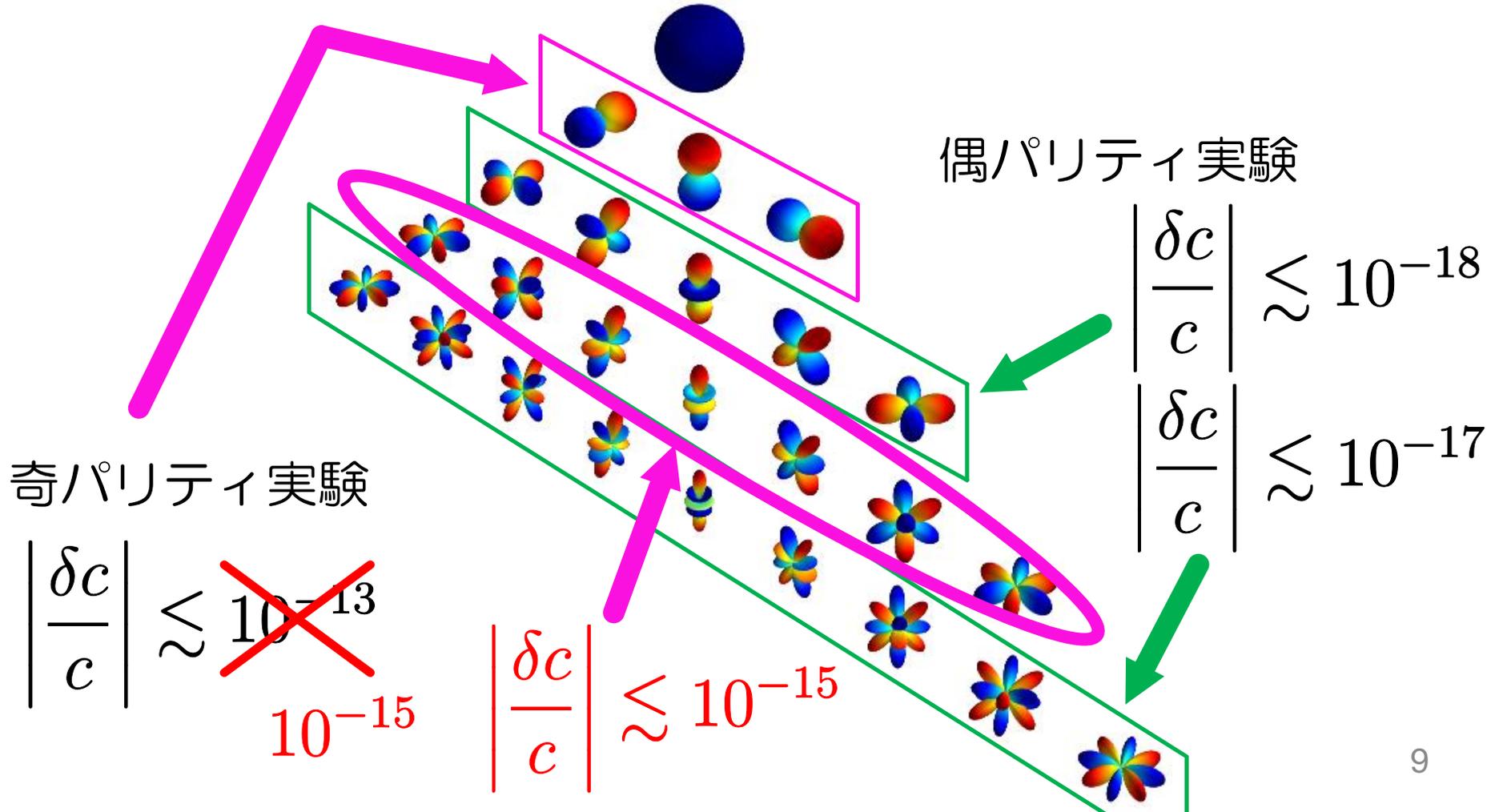
# 先行研究による上限値

- $\ell=1$ に $10^{-13}$ レベルの上限値
- $\ell=2$ 、 $\ell=4$ に $10^{-17}$ レベルの上限値



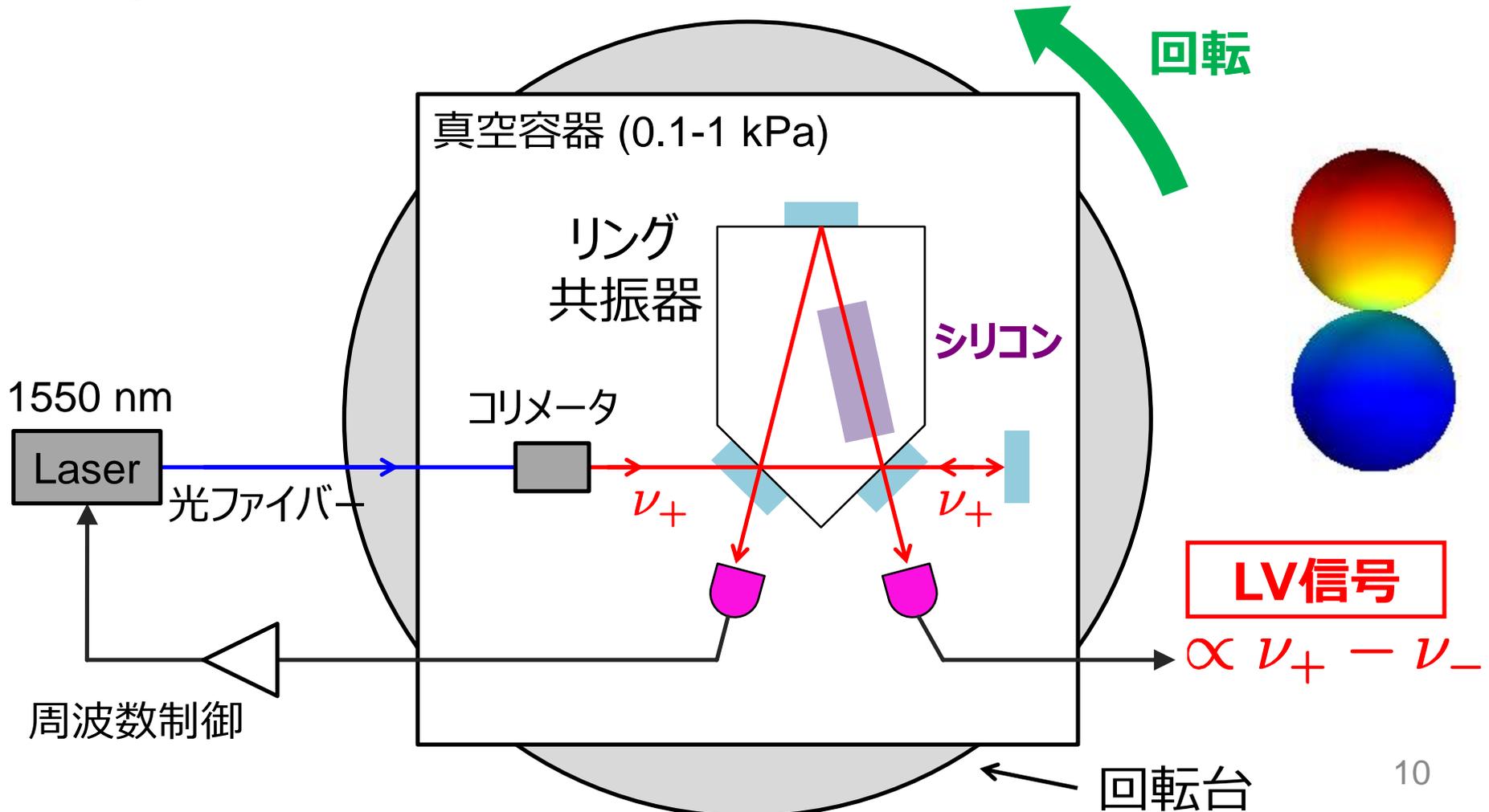
# 我々による上限値

- $\ell=1$ に $10^{-15}$ レベルの上限値(1桁以上更新)
- $\ell=3$ に $10^{-15}$ レベルの上限値(世界初)



# 実験装置の概念図

- ダブルパス構成による共振周波数比較
- 装置回転によるLV信号の変調



# 光学系の写真

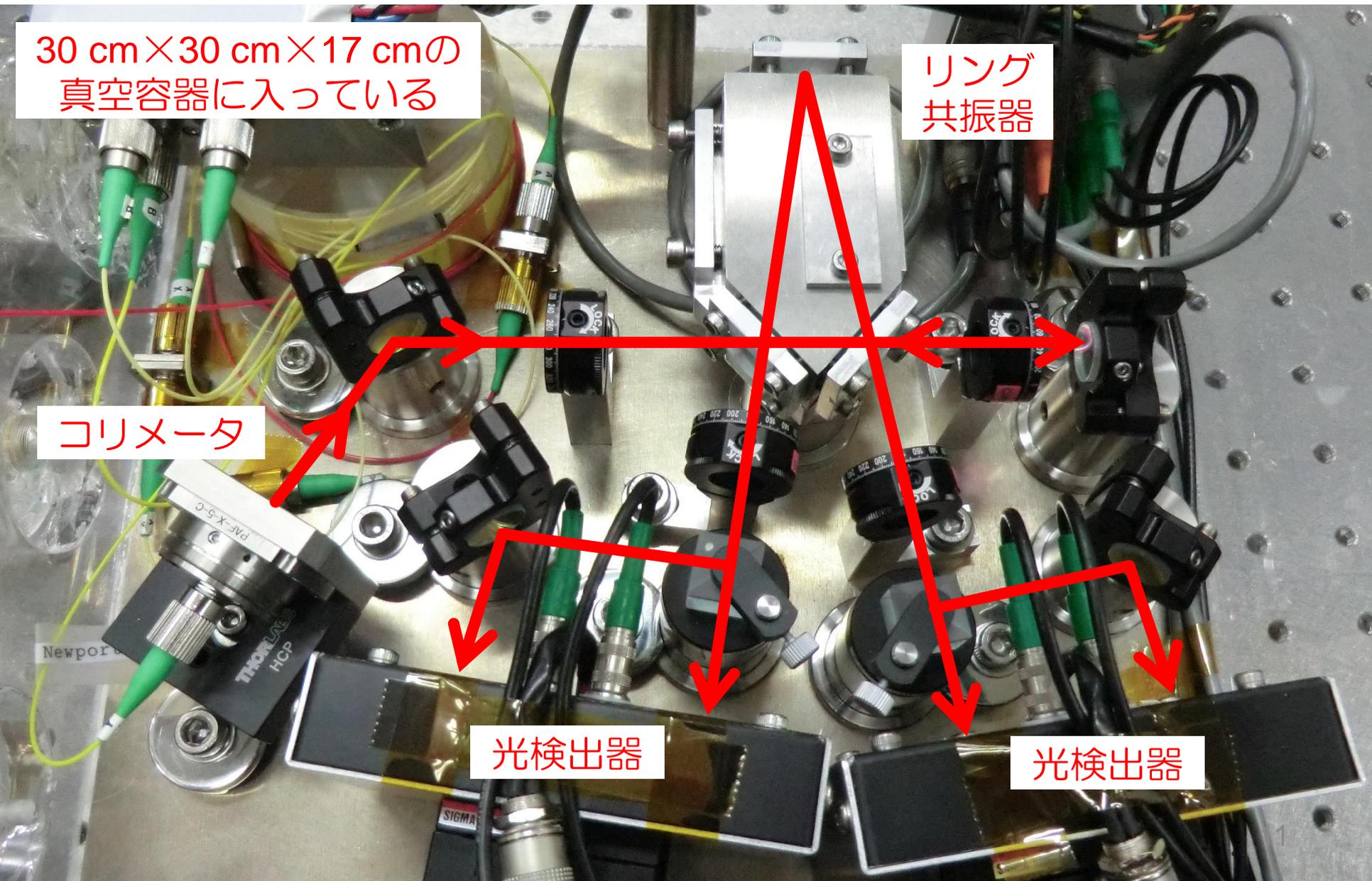
30 cm×30 cm×17 cmの  
真空容器に入っている

リング  
共振器

コリメータ

光検出器

光検出器



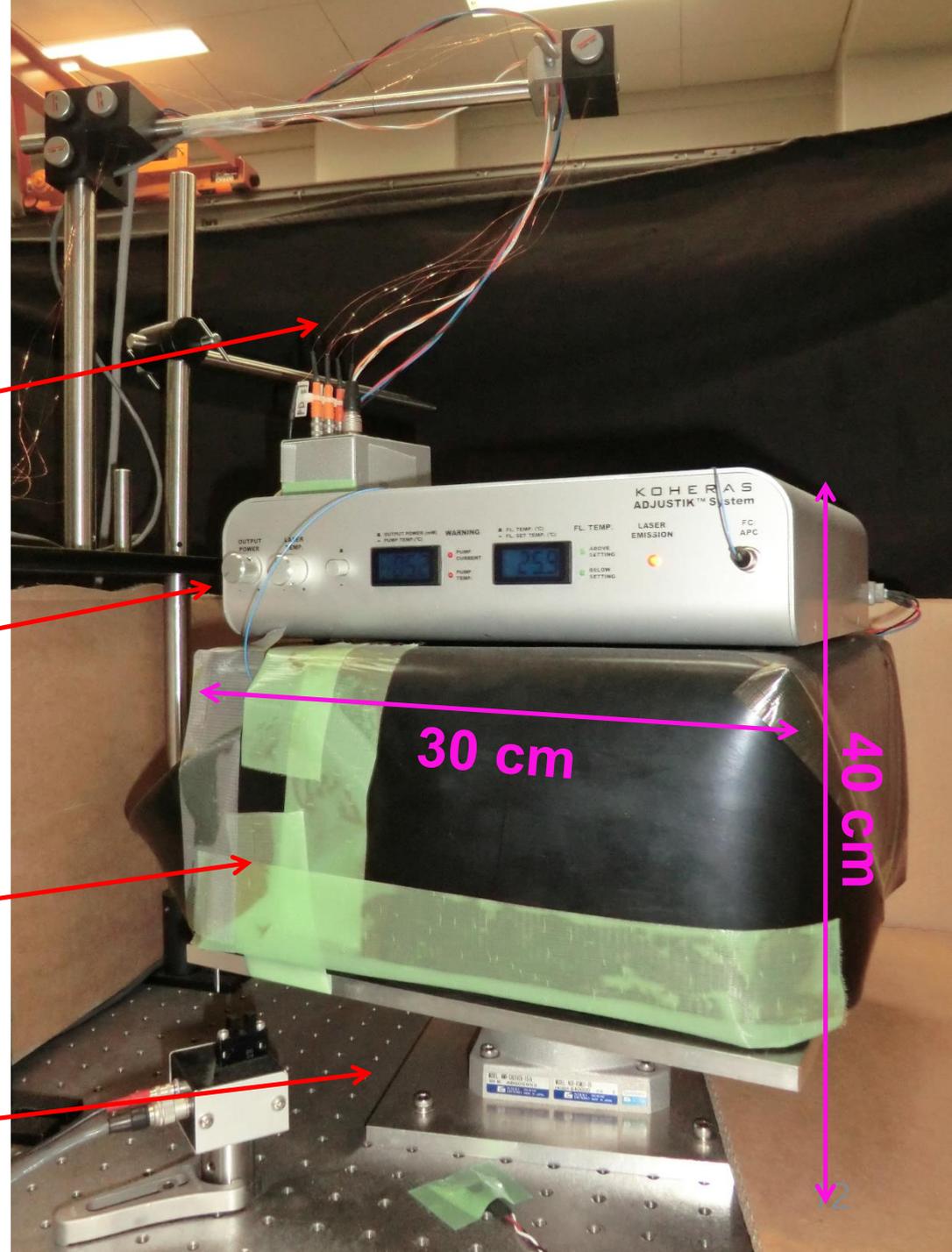
# 全体の写真

電気信号線  
(信号取得、電源供給)

レーザー光源  
(1550 nm)

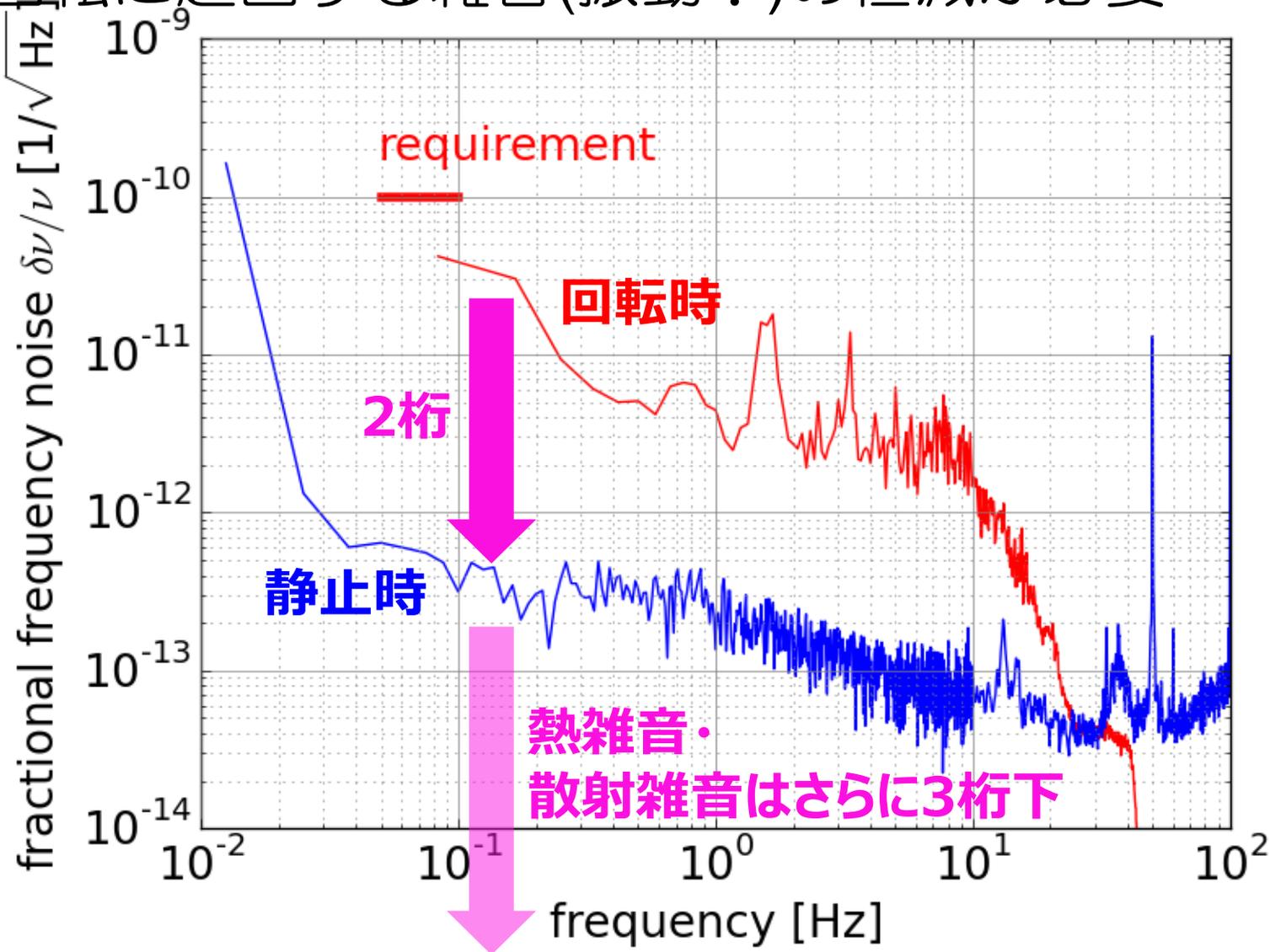
真空容器+遮光シート  
(中に光学系)

回転台



# 2013年時点の雑音レベル

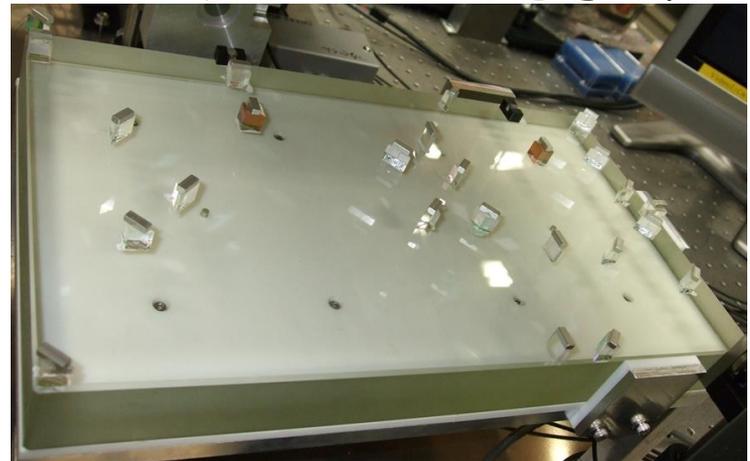
- 回転に起因する雑音(振動?)の低減が必要



# 雑音低減の可能性(優先順)

2015年中間報告会のスライド

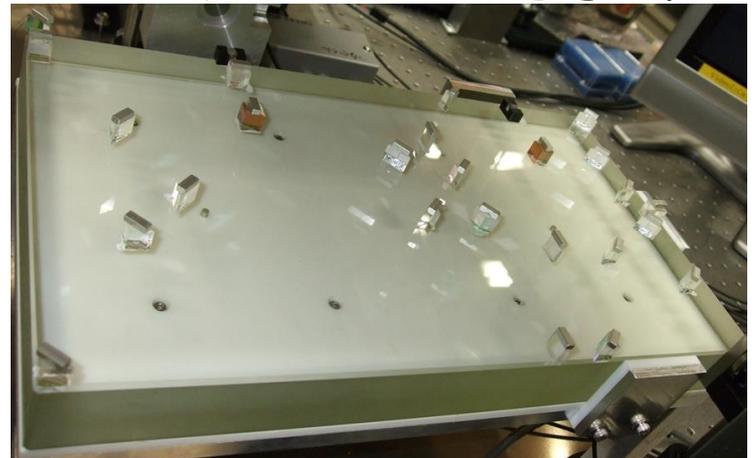
- 信号取得の無線化  
連続回転の実現で回転台が安定に  
データ解析的にも連続回転の方が有利  
1回転毎の解析をしなくてすむ
- 光学系の振動感度低減  
ミラーマウント等 → モノリシック光学系



- 高真空による温度安定度の向上
- 懸架による傾き変動低減

# 雑音低減の可能性(優先順)

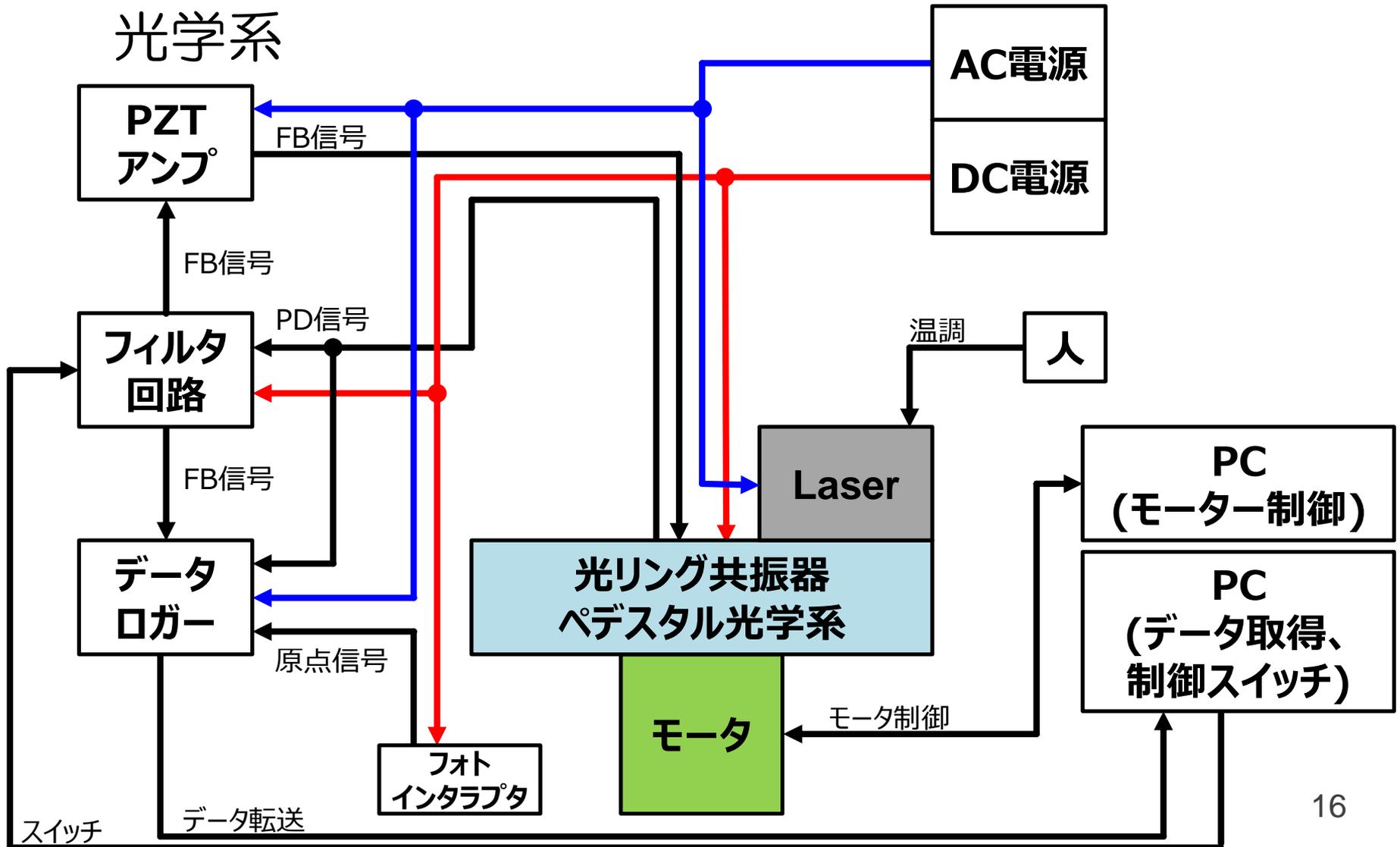
- **信号取得の無線化** **実現** **2015年中間報告会のスライド**  
連続回転の実現で回転台が安定に  
データ解析的にも連続回転の方が有利  
1回転毎の解析をしなくてすむ
- **光学系の振動感度低減** **途中**  
ミラーマウント等 → モノリシック光学系



- 高真空による温度安定度の向上
- 懸架による傾き変動低減

# 第一世代のシステム

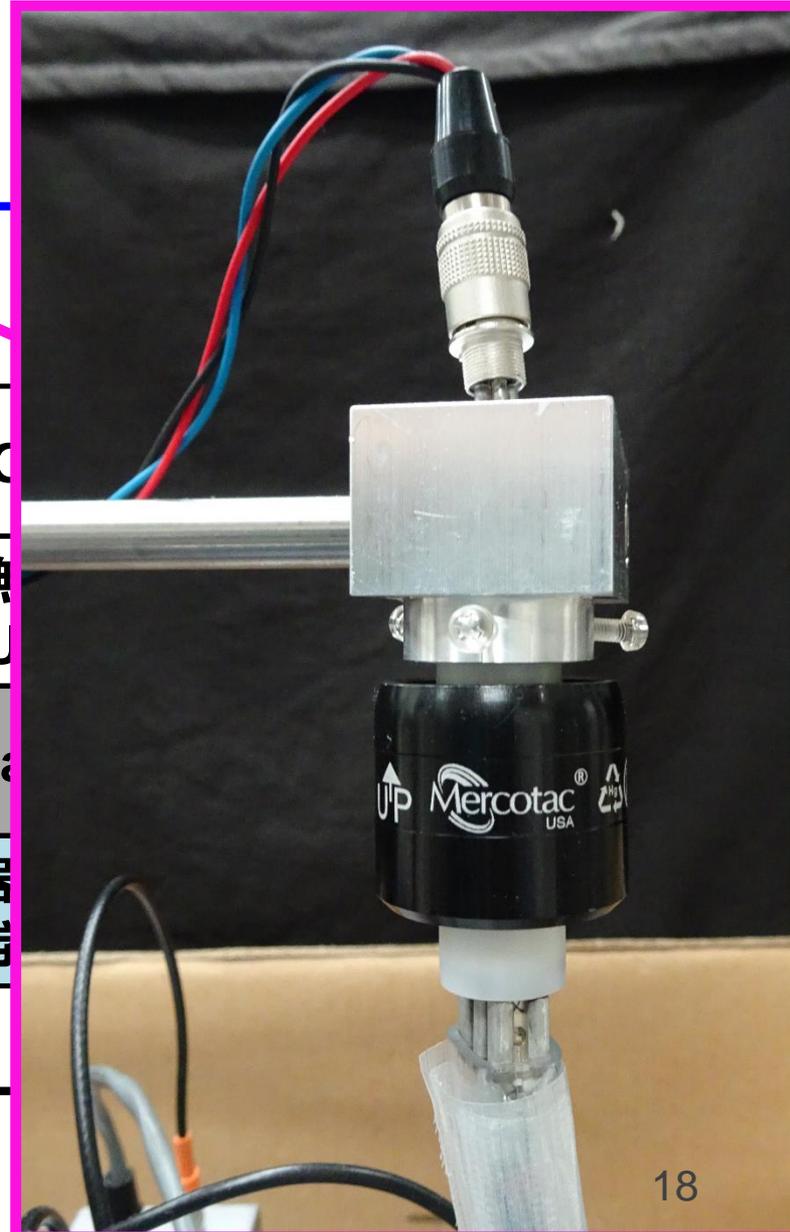
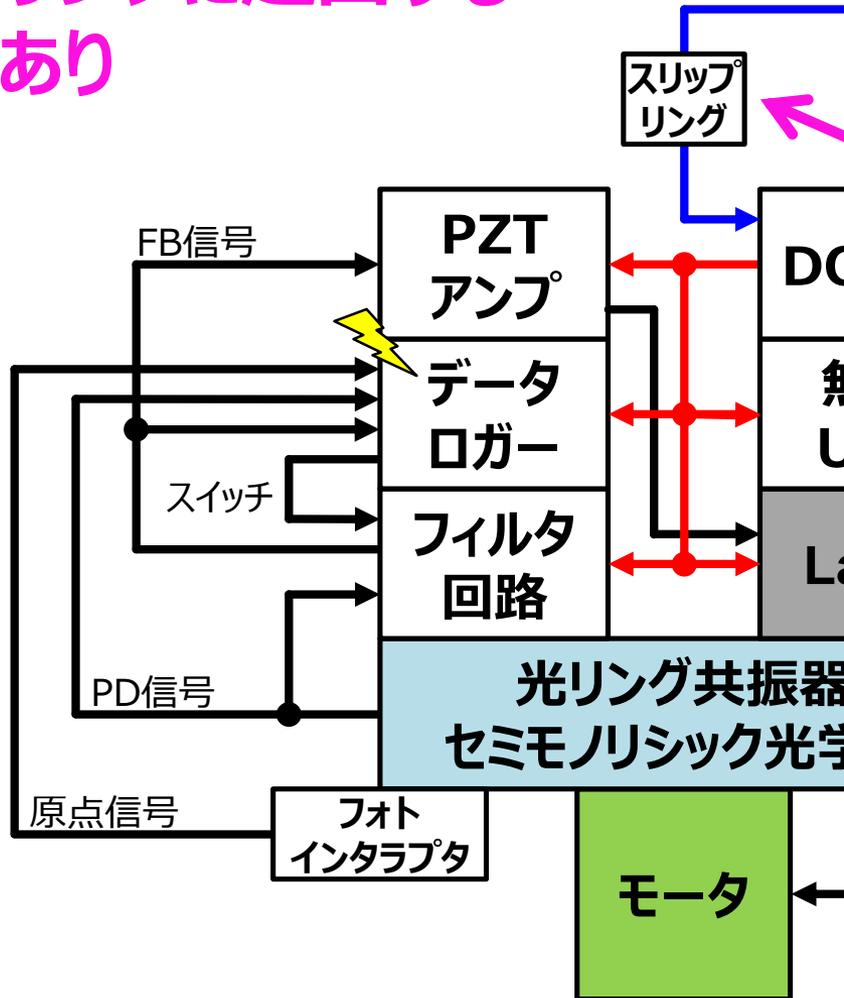
- 逆回転繰り返し、有線データ取得、ペDESTAL光学系



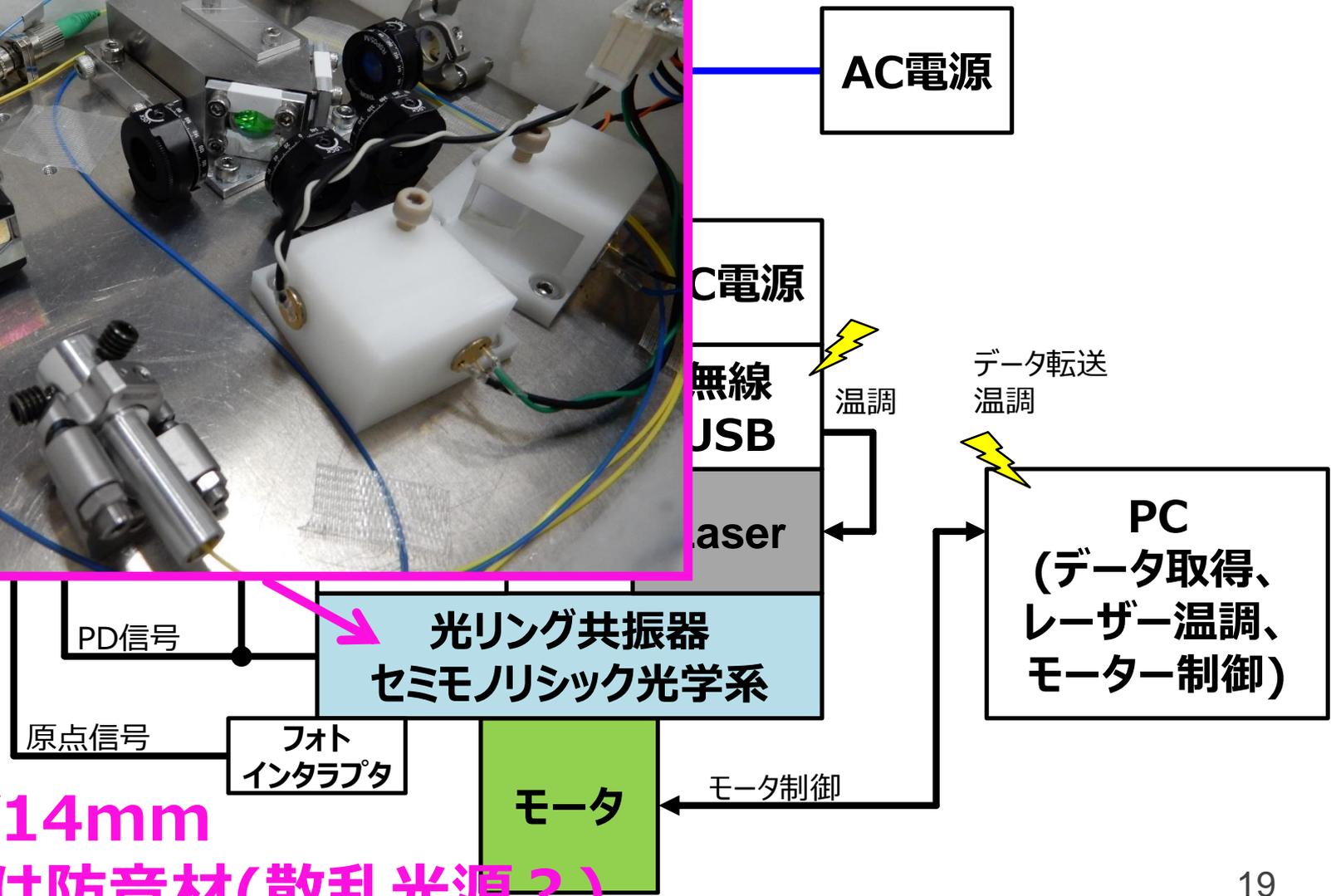
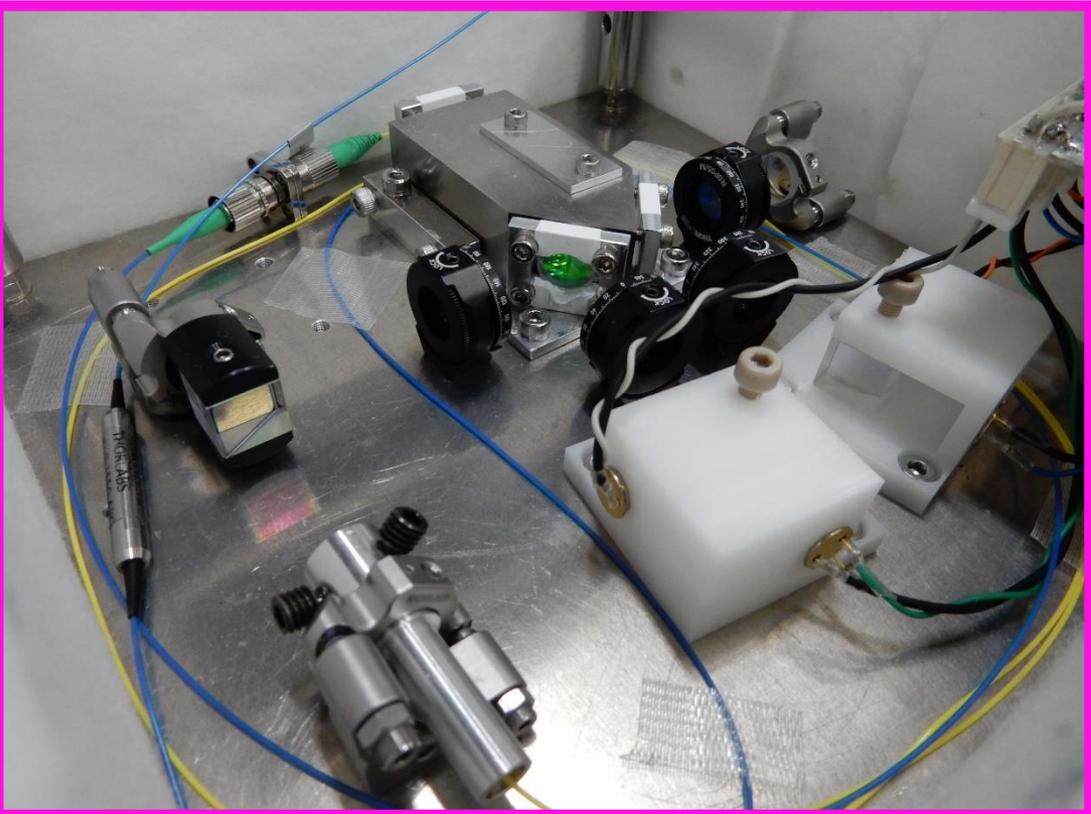


# スリップリング

固定方法がまだ甘い  
スリップリングに起因する  
雑音があり



# セミモノリシック光学系



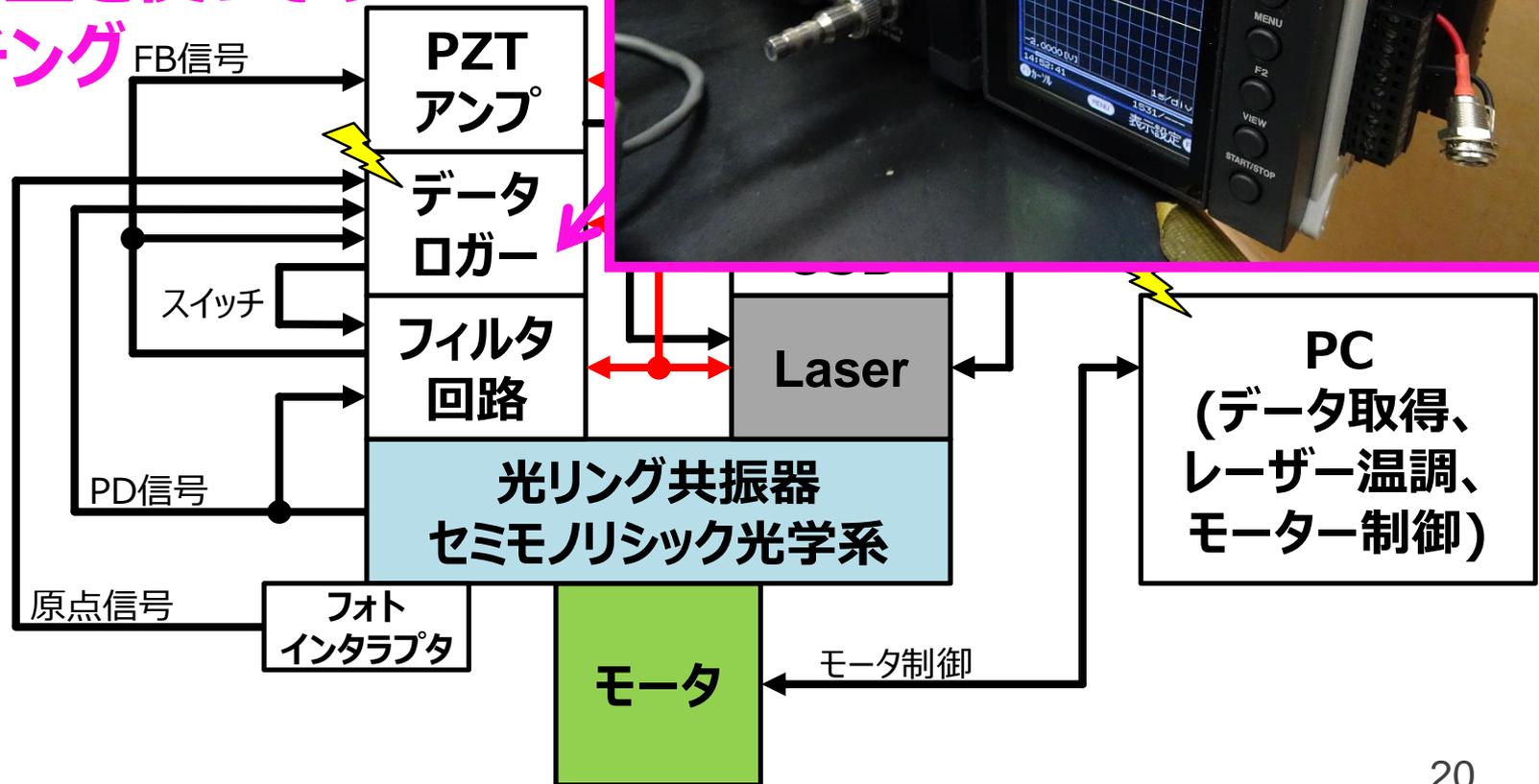
光軸が14mm  
白いのは防音材(散乱光源?)

# 無線データロガー

小型化

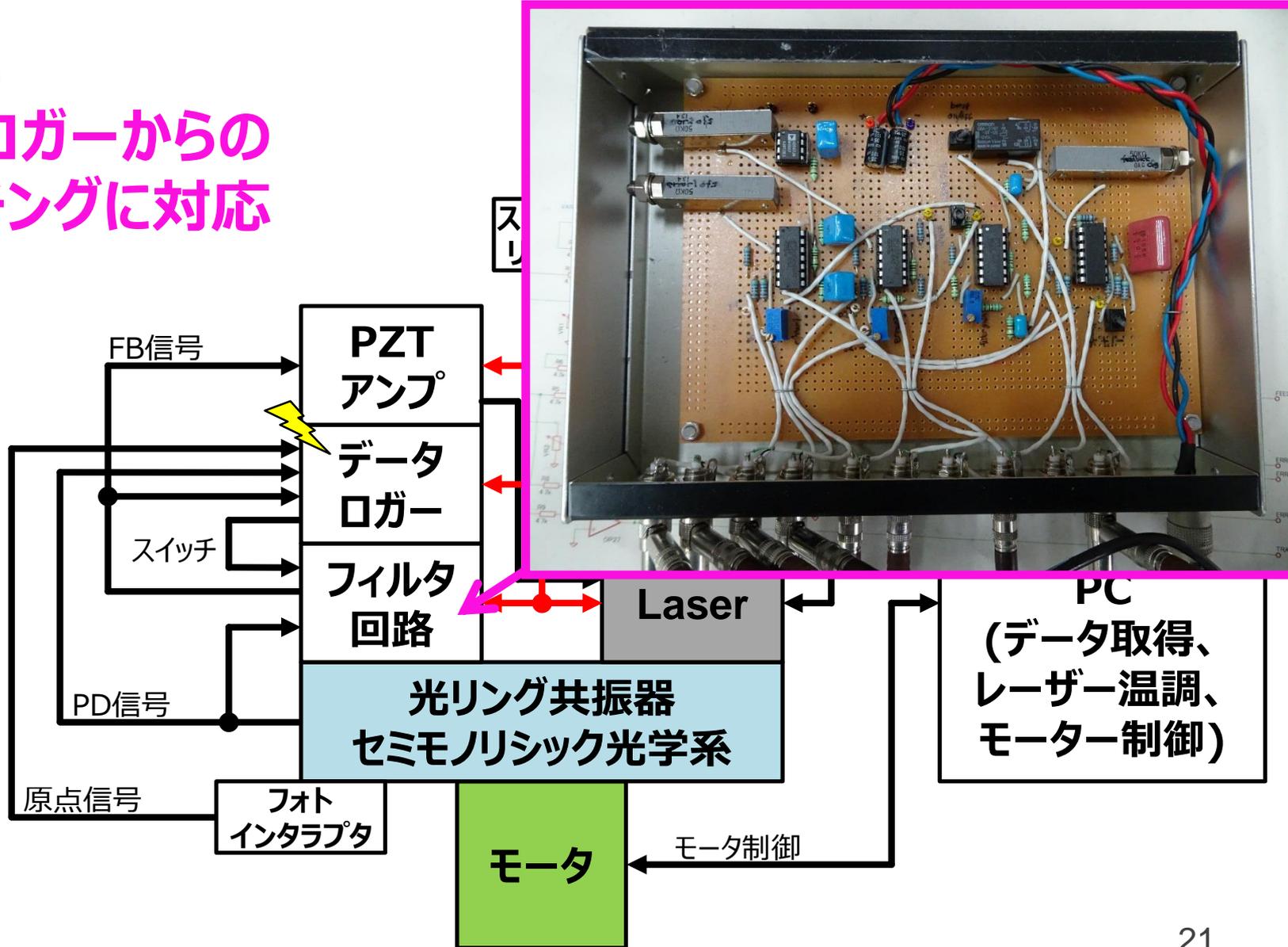
データを取得しながら定期的  
に無線でPCへ転送

透過光量を使つての  
スイッチング



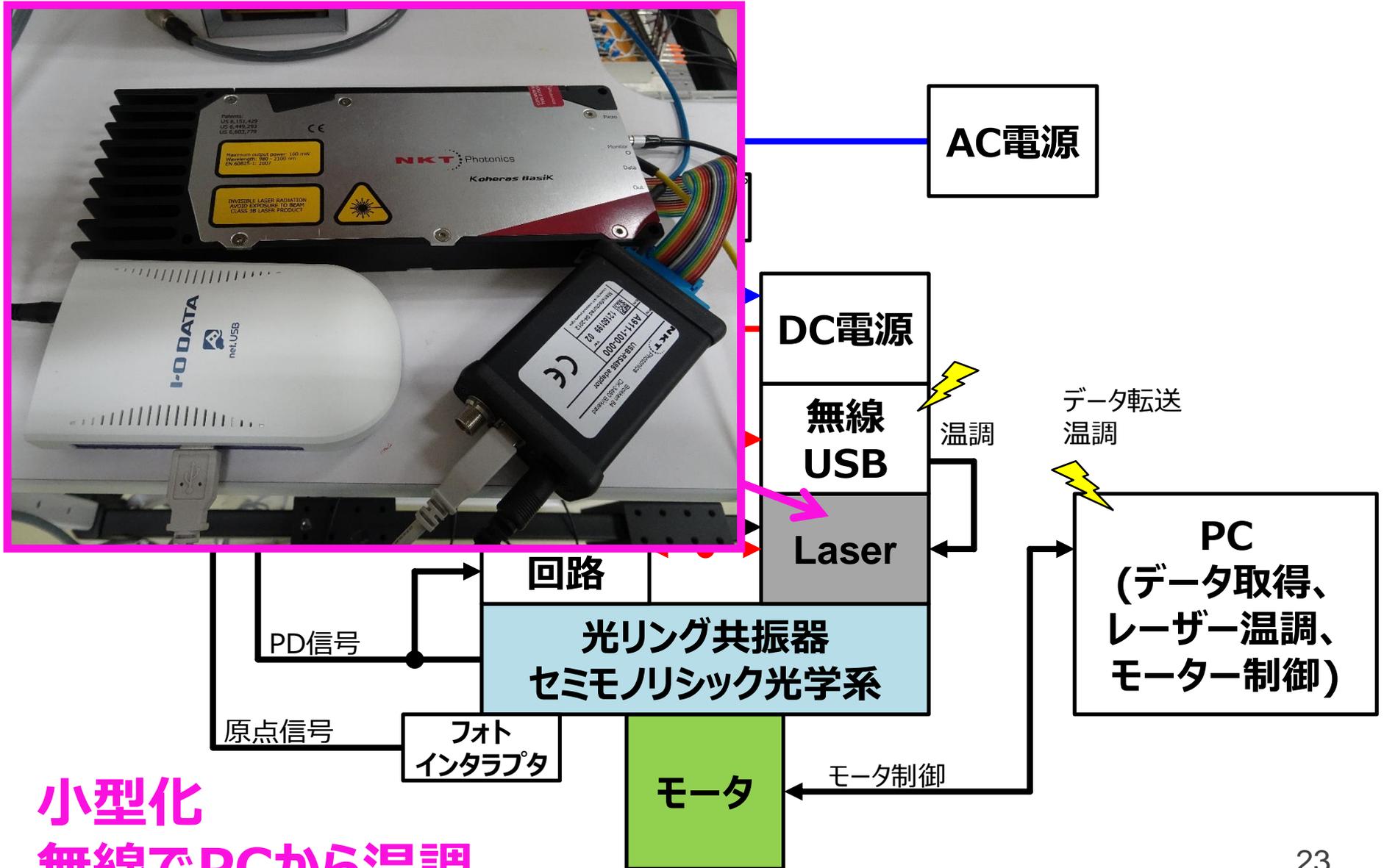
# フィルタ回路

小型化  
データロガーからの  
スイッチングに対応





# レーザー光源、無線USB

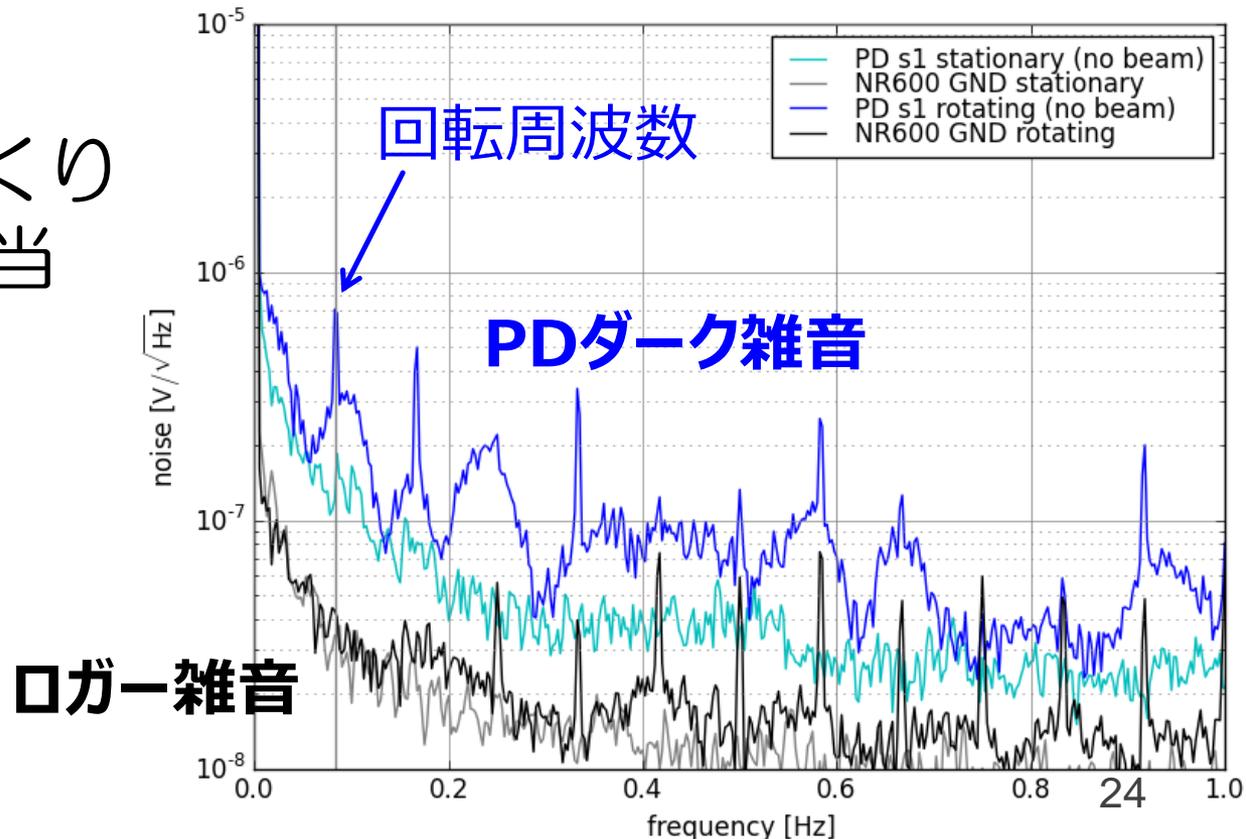


小型化  
無線でPCから温調

# 第二世代(未完成)の課題1

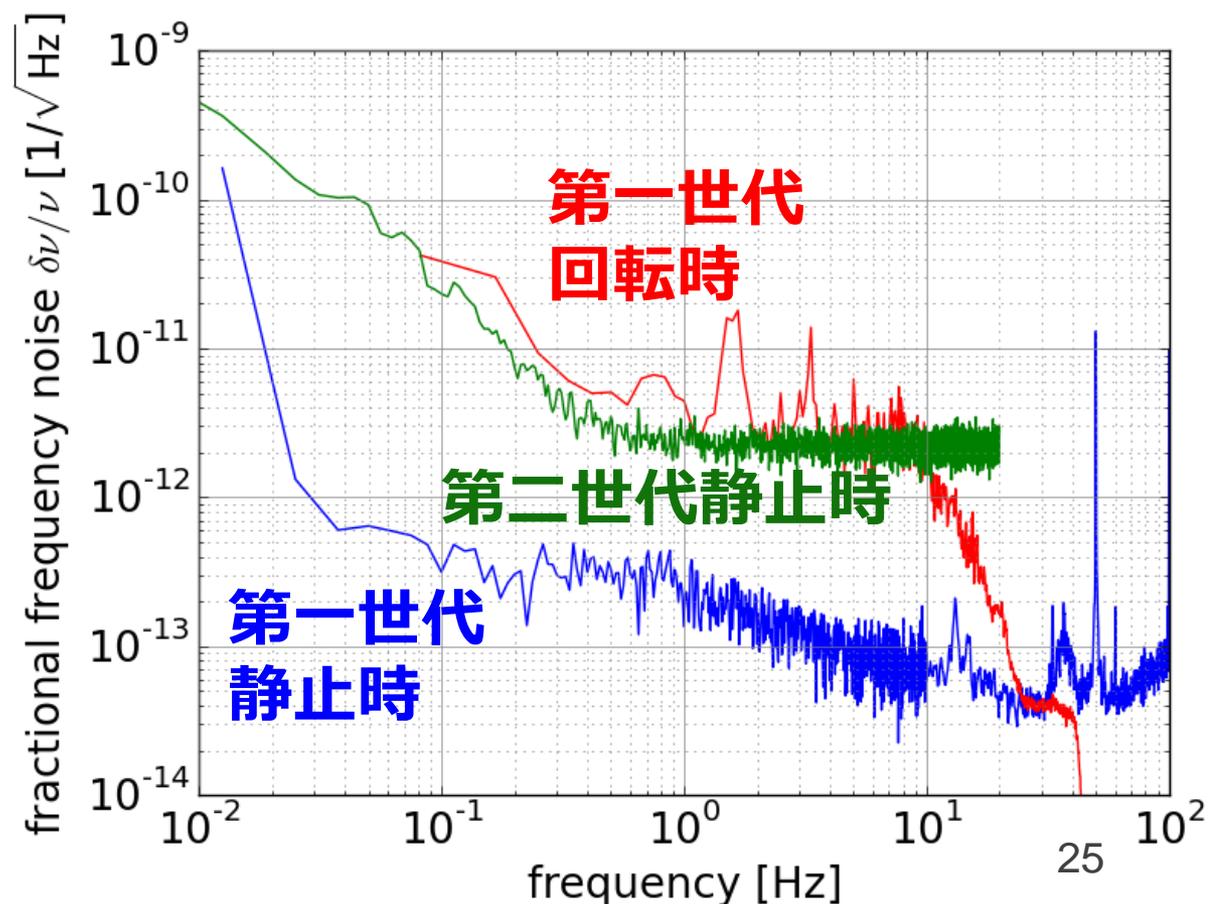
- 回転に同期した雑音  
電源供給方法で変わる  
今のところACで供給すると一番低い  
→電源周りの見直し

- ピークはざっくり  
 $1e-11$  /rtHz 相当  
(つまり無くさないため)



# 第二世代(未完成)の課題2

- 静止時でも雑音が大きい  
回路雑音? → 回路の見直し  
散乱光雑音? → 防音材の見直し



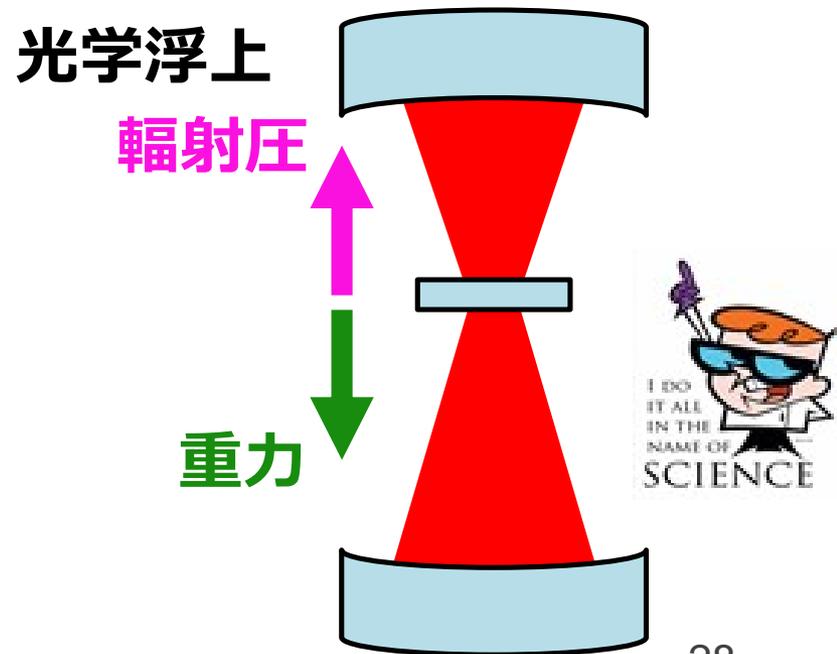
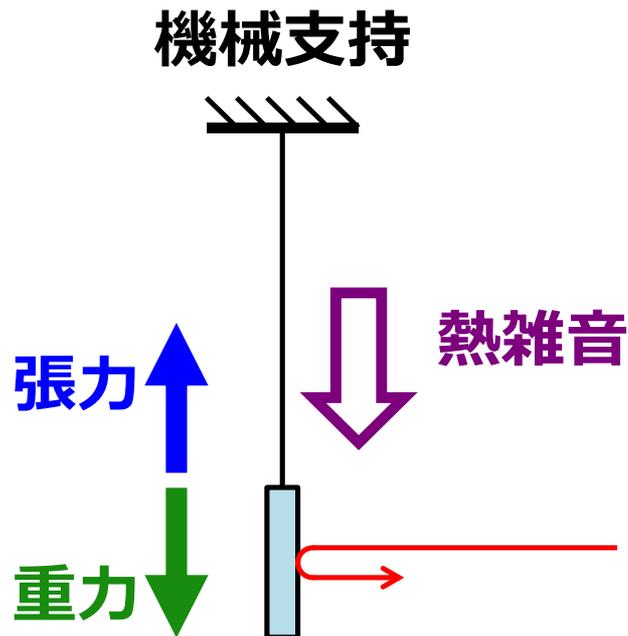
# まとめ

- 異方性実験は物理学の本質に迫る基礎実験
- 第二世代モデルを製作中
  - ものは揃ってる
  - お金もある
  - 電源や回路の改良が必要

# 光学浮上実験

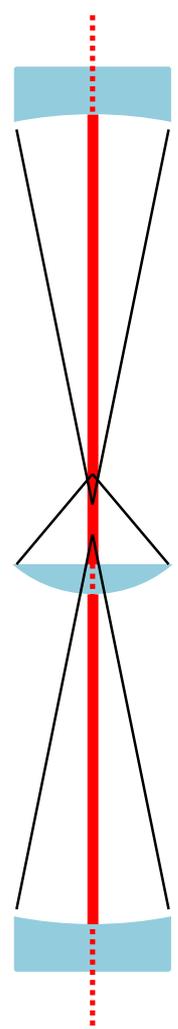
# 研究背景

- 機械的支持に伴う熱雑音はさまざまな分野で問題  
重力波検出器  
巨視的な量子測定  
微小力の測定(重力、Casimir力、非標準的な力)
- 光輻射圧のみによって鏡を支持することにより、  
この問題を解決



# これまでの経緯1

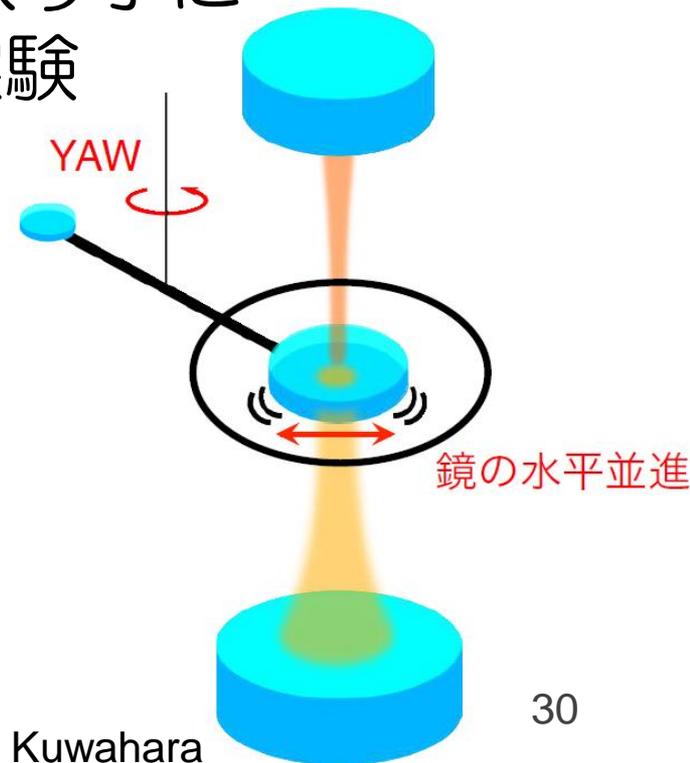
- 2013年11月 サンドイッチ構成の発見
- 2014年1月 浮上鏡発注  
 $\phi=3$  mm、 $t=0.1$  mm、 $RoC=30$  mm、 $R>99.95$  % @1064 nm (~1.6 mg)
- 2014年3月 感度設計の困難性に気がつく  
共振器内パワーが鏡の質量で決まってしまう → SQL超えが今すぐ手に入る技術では困難
- 2014年4月 浮上鏡納品  
8個注文で7個納品(うち6個はぼろぼろ)



# これまでの経緯2

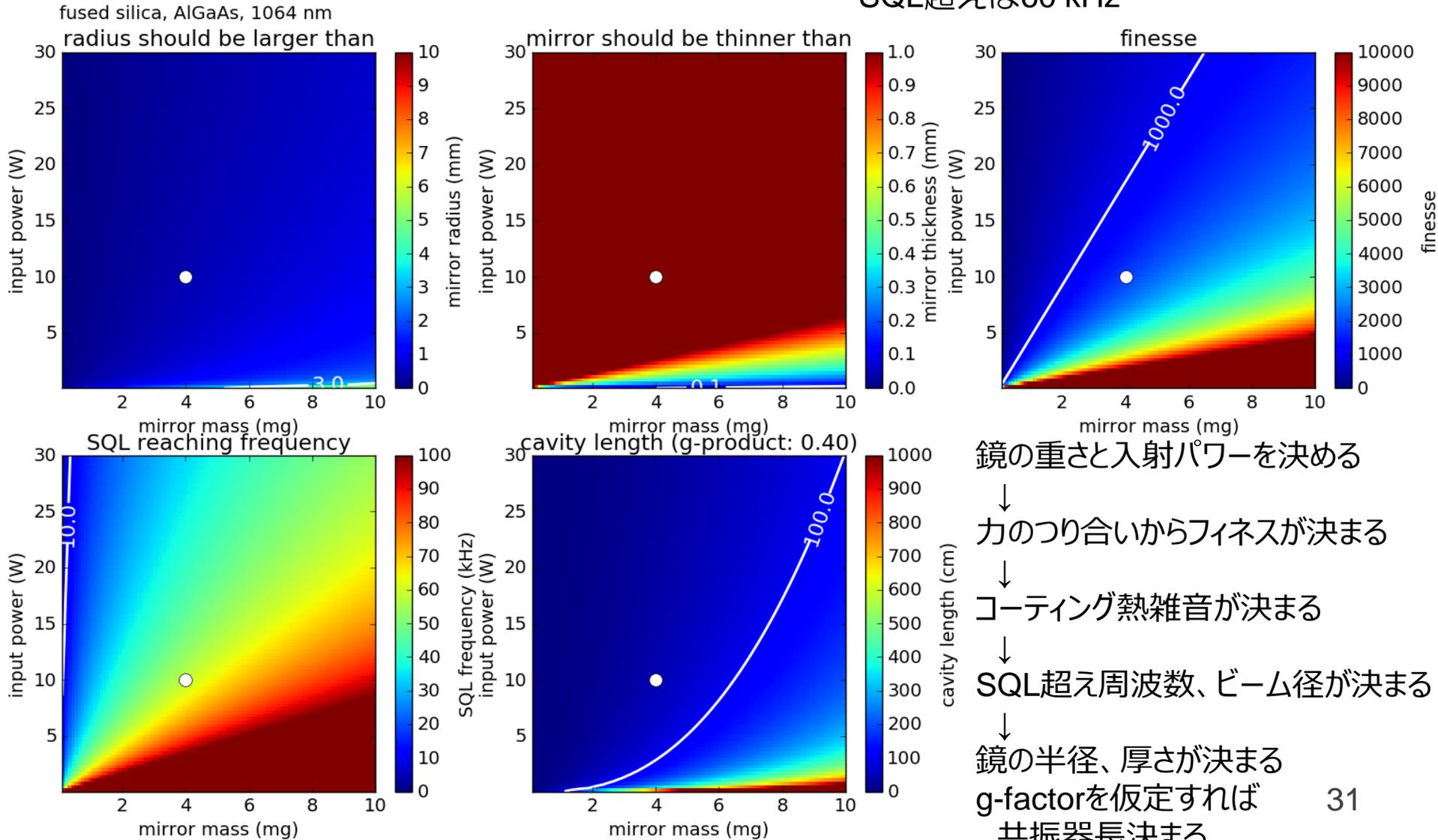
- 2014年10月-2月 ねじれ振り子による  
水平方向共振器での基礎実験  
by 有富くん、榎本くん  
アクチュエータ改良の必要性
- 2015年6月-2016年1月 ねじれ振り子に  
よる垂直方向共振器での基礎実験  
by 桑原くん  
装置パラメータの決定と  
装置製作、性能評価

→ 牛場くんへ引き継がれる



# SQL超えるパラメータ探査

- 直径2 mm厚さ1 mmの4 mg鏡、10 W入射の場合: フィネス2000必要で共振器長1 m程度  
SQL超えは60 kHz



# 今後の進め方

- まずはねじれ振り子での安定性検証をする
- 次に感度を問わない浮上の実現を目指す
- 将来的にはSQL超えを目指す
  - 回転自由度の利用なども考える
  - 曲率付き微小鏡の製作検討も進める
- とりあえずは安定性計算とSQL超えパラメータ  
探査についてまとめる