

日本物理学会2016年秋季大会(宮崎大学)

2016.09.24

---

# Sensitivity Improvement of Optical Ring Cavity Lorentz Invariance Test by Wireless Signal Extraction

光リング共振器を用いたLorentz不変性検証の信号取得無線化による感度向上

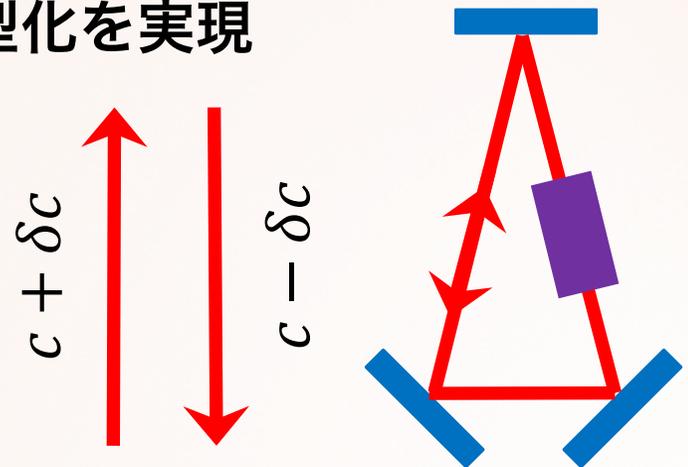
---

武田 紘樹, 道村 唯太, 松本 伸之, 安東 正樹

東京大学大学院理学系研究科物理学専攻

# Abstract

- 光リング共振器を用いた光速度不変の原理(片道光速の異方性)の検証
- 先行研究において感度を制限していた回転に起因する雑音低減
  - 1. 連続回転、信号取得の無線化を実現
  - 2. 連続回転で必要とされるフィルター回路の小型化を実現
  - 3. セミモノリシック光学系を導入



# Contents

## 1. Introduction

- 1.1 Test of Special Relativity
- 1.2 Optical Ring Cavity
- 1.3 Experimental Setup
- 1.4 Previous Tests

## 2. Improvements

- 2.1 Wireless Signal Extraction
- 2.2 Compact Filter Circuit
- 2.3 Semimonolithic Optical System

## 3. Summary

# 1. Introduction

---

## 【特殊相対性理論】

- ・ 光速度不変の原理 . . . 光速度はLorentz変換のもとで不変なLorentz不変量
- ・ 特殊相対性原理 . . . 物理法則はLorentz変換のもとで共変

→あらゆる物理学の基礎

しかし、

量子重力理論の研究、宇宙マイクロ波背景放射の観測[1,2]

→ Lorentz不変性の破れの可能性を示唆

→ 高精度で実験的に特殊相対性理論の検証が必要

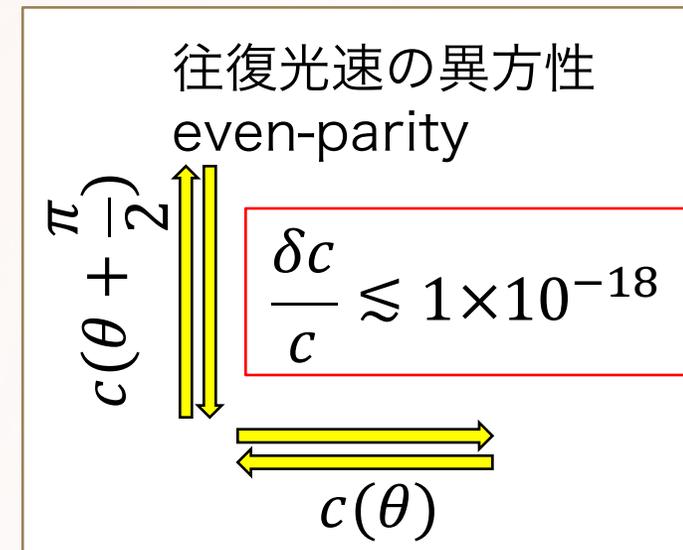
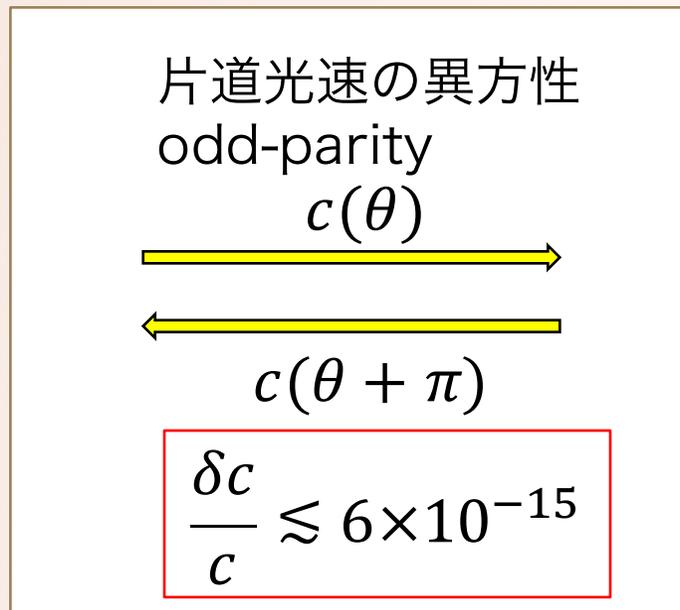
[1] V. A. Kostelecký & S. Samuel, PRD, **39**, 683 (1989). [2] C. H. Lineweaver *et al.* Astrophys. J. **470** (1996) 38.

# 1.1 Test of Special Relativity

光速度不変の原理の検証

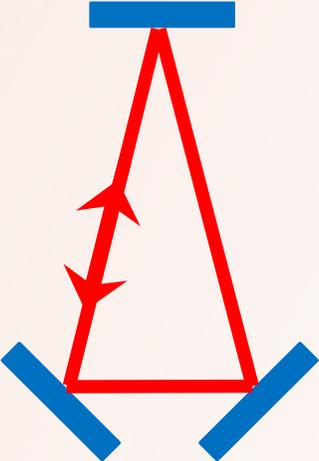
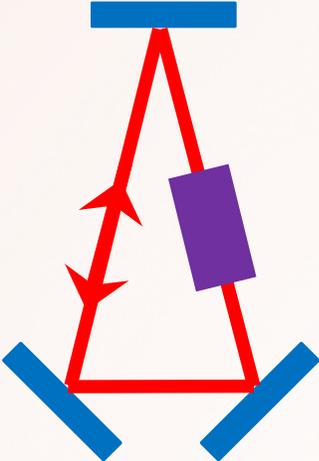
光速度不変の原理の破れ→光速の異方性

光速の異方性には「片道光速の異方性」, 「往復光速の異方性」



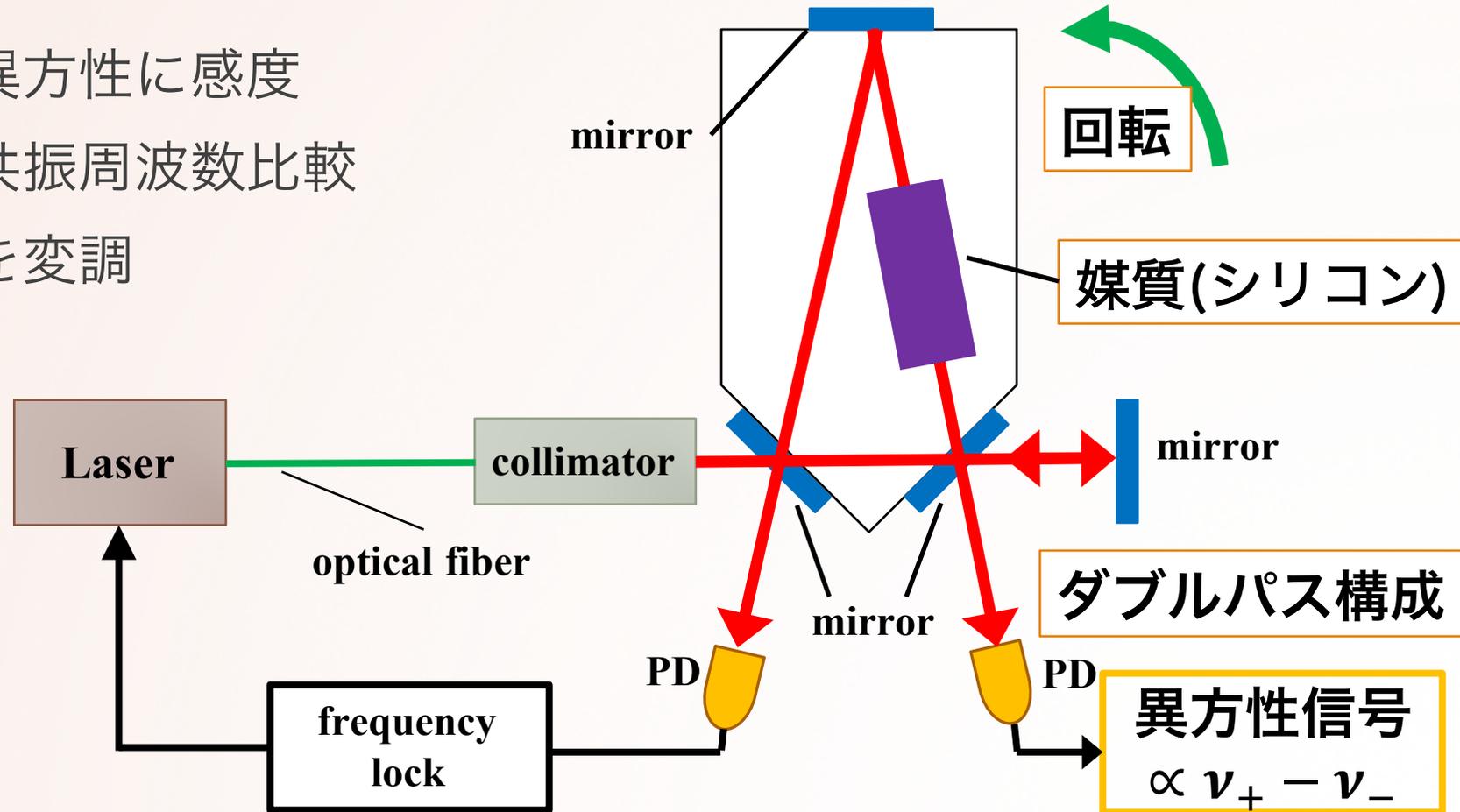
M. Nagel *et al.* *Nat. Commun.* **6**, 8174 (2015).

# 1.2 Optical Ring Cavity

<p style="text-align: center;"> <math>c + \delta c</math> ↑  <math>c - \delta c</math> ↓         </p> <p style="text-align: center;">Lorentz不変性の破れ</p>	 <p style="text-align: center;">媒質なし</p>	 <p style="text-align: center;">媒質あり</p>	<p style="text-align: center;">Lorentz不変性の破れ 光速のずれ</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">一周した光に位相差</p> <p style="text-align: center;">↓</p>
<p style="text-align: center;">共振周波数 右回り<math>\nu_+</math>, 左回り<math>\nu_-</math></p>	<p style="text-align: center;"> <math>\nu_+ = \nu_0</math>  <math>\nu_- = \nu_0</math> </p>	<p style="text-align: center;"> <math>\nu_+ = \nu'_0 - \delta\nu</math>  <math>\nu_- = \nu'_0 + \delta\nu</math> </p>	<p style="text-align: center;">共振する光の周波数にずれ</p>

# 1.3 Experimental Setup

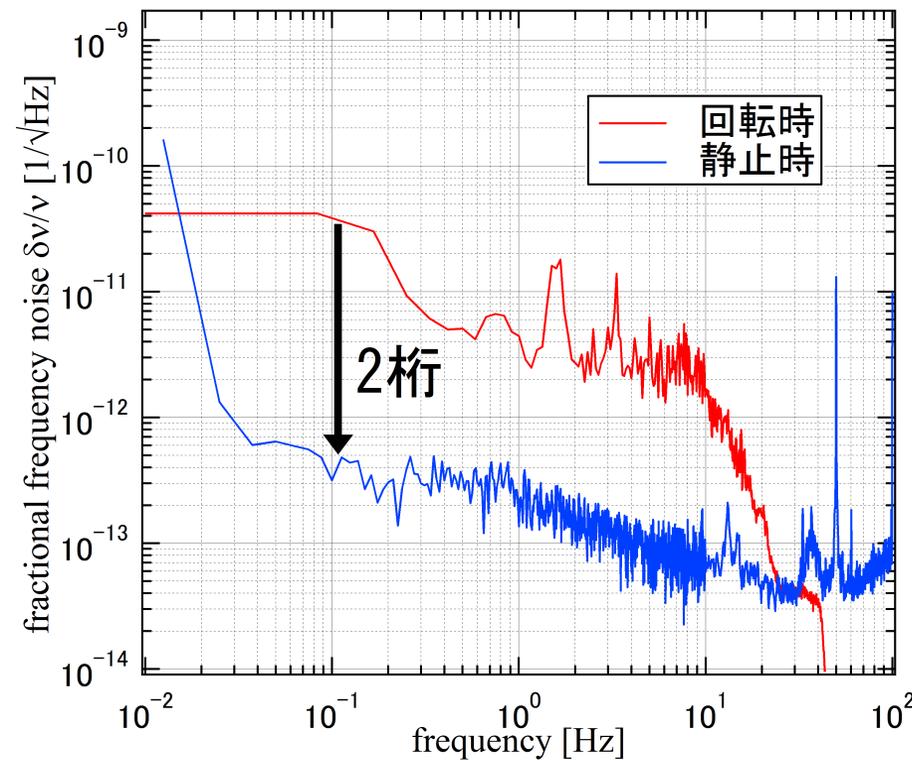
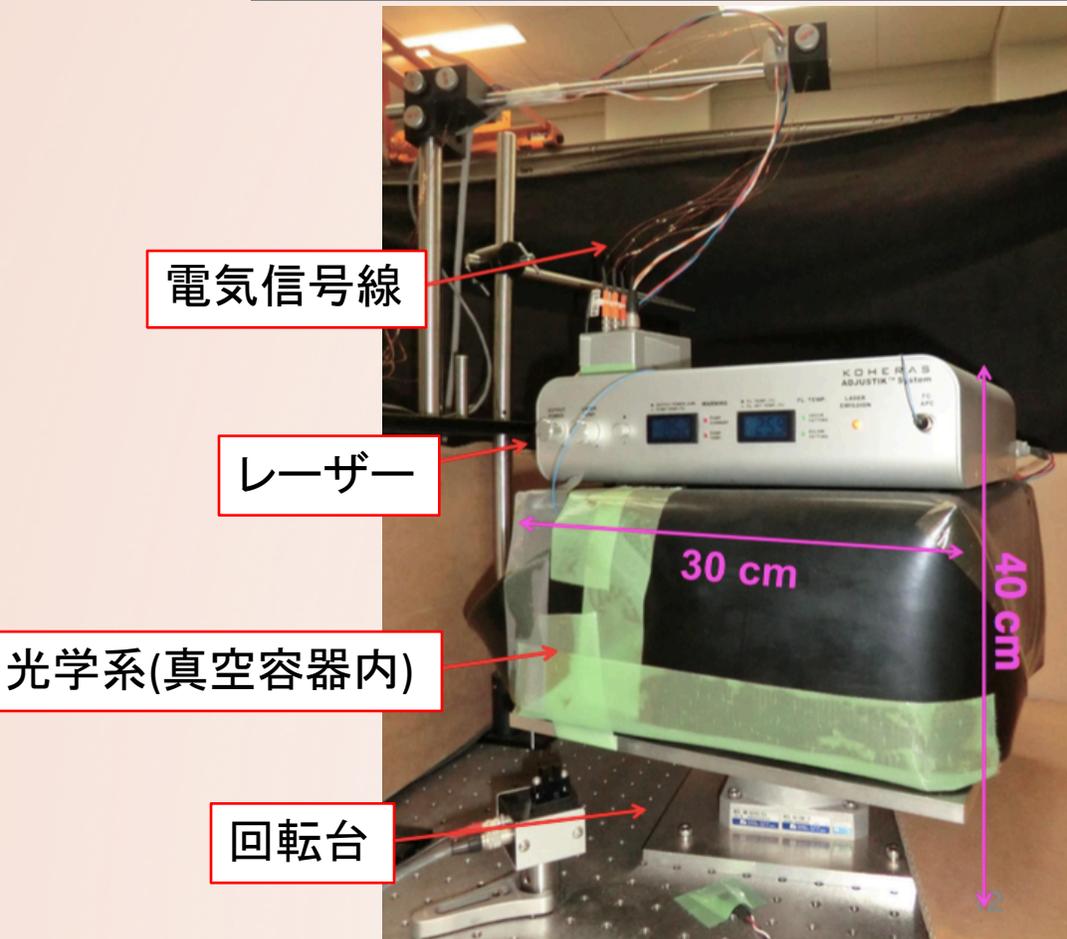
- 媒質→片道光速の異方性に感度
- ダブルパス構成→共振周波数比較
- 回転→異方性信号を変調



# 1.4 Previous Tests

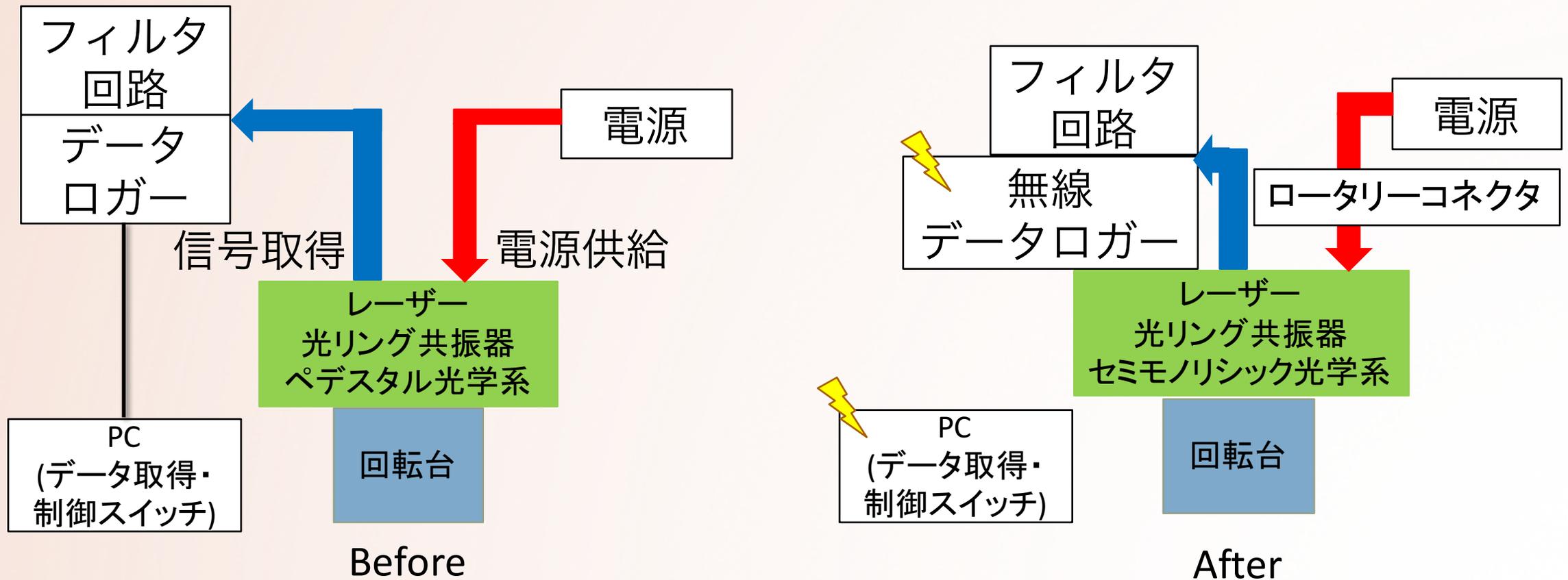
- Y. Michimura *et al.* PRL **110**, 200401 (2013).
- Y. Michimura *et al.* PRD **88**,111101(R) (2013).

世界最高精度  $\frac{\delta c}{c} \lesssim 6 \times 10^{-15}$



回転に起因する雑音によって制限

## 2. Improvements



## 2. Improvements

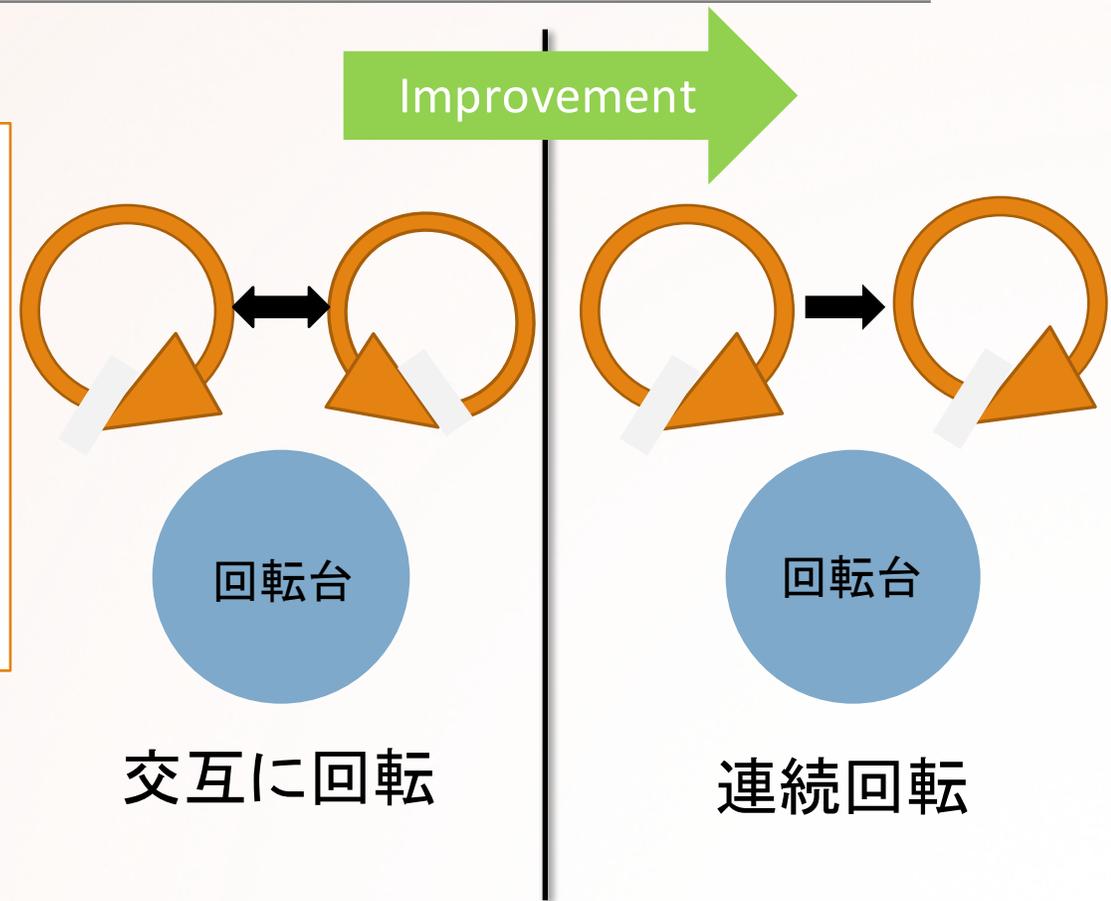
(No. 1) 信号取得の無線化

→連続回転、回転安定化、振動低減

(No. 2) フィルタ回路の小型化

(No. 3) 光学系のセミモノリシック化

→振動感度低減



## 2. Improvements

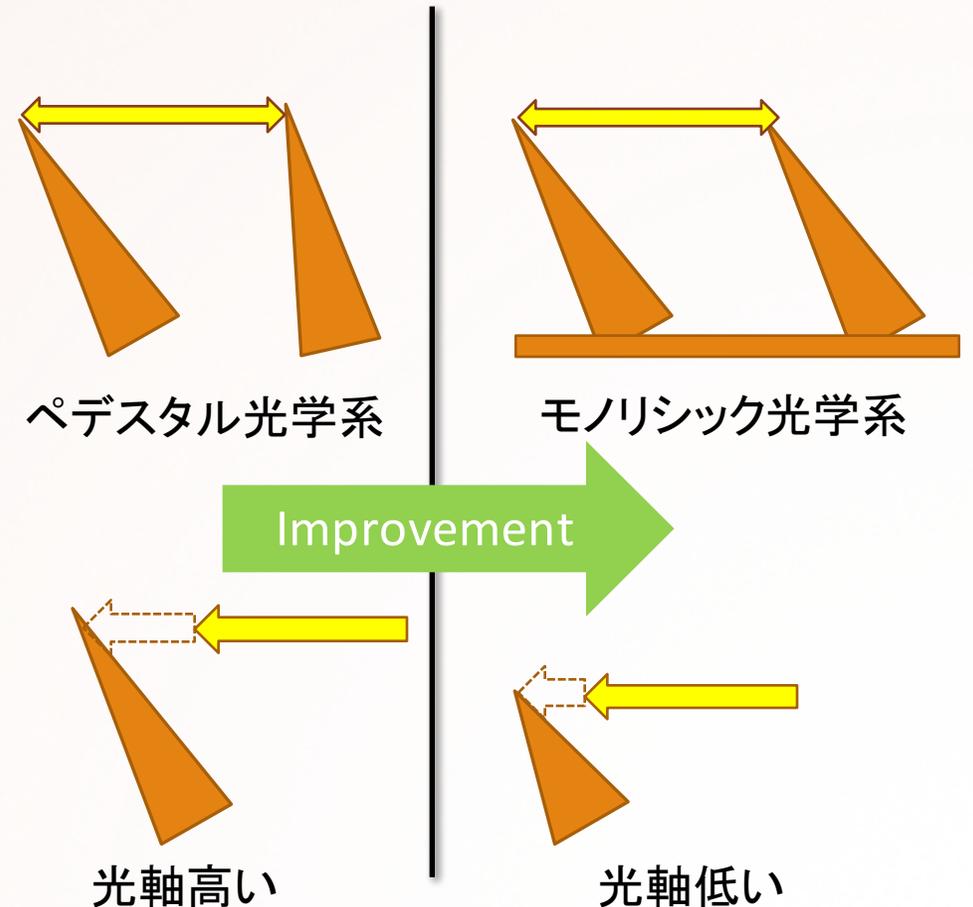
(No. 1) 信号取得の無線化

→連続回転、回転安定化、振動低減

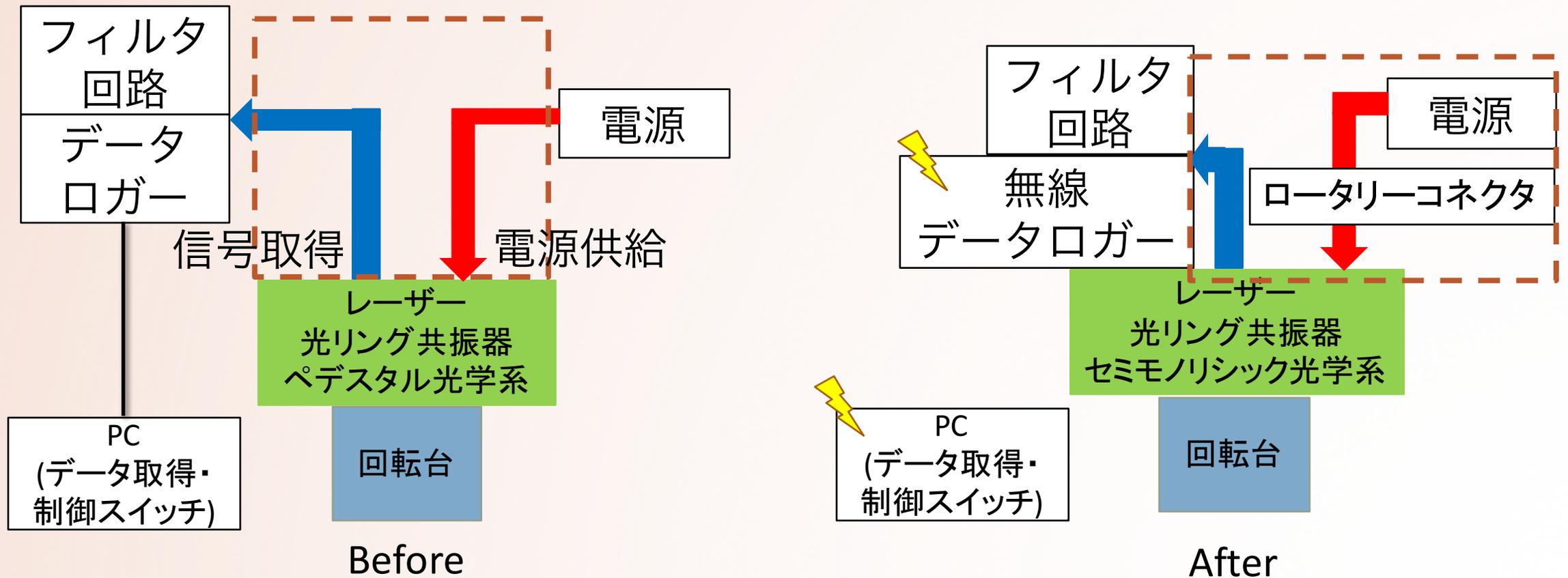
(No. 2) フィルタ回路の小型化

(No. 3) 光学系のセミモノリシック化

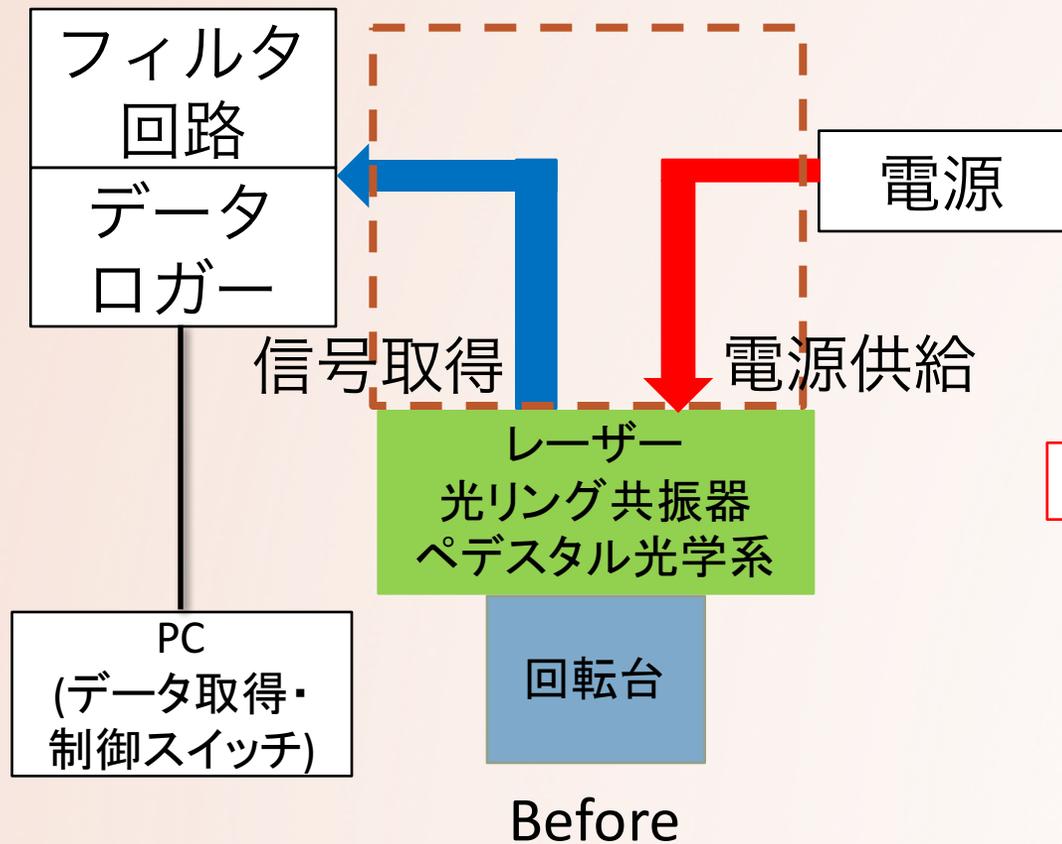
→振動感度低減



## 2.1 Wireless Signal Extraction [ by Michimura ]



## 2.1 Wireless Signal Extraction

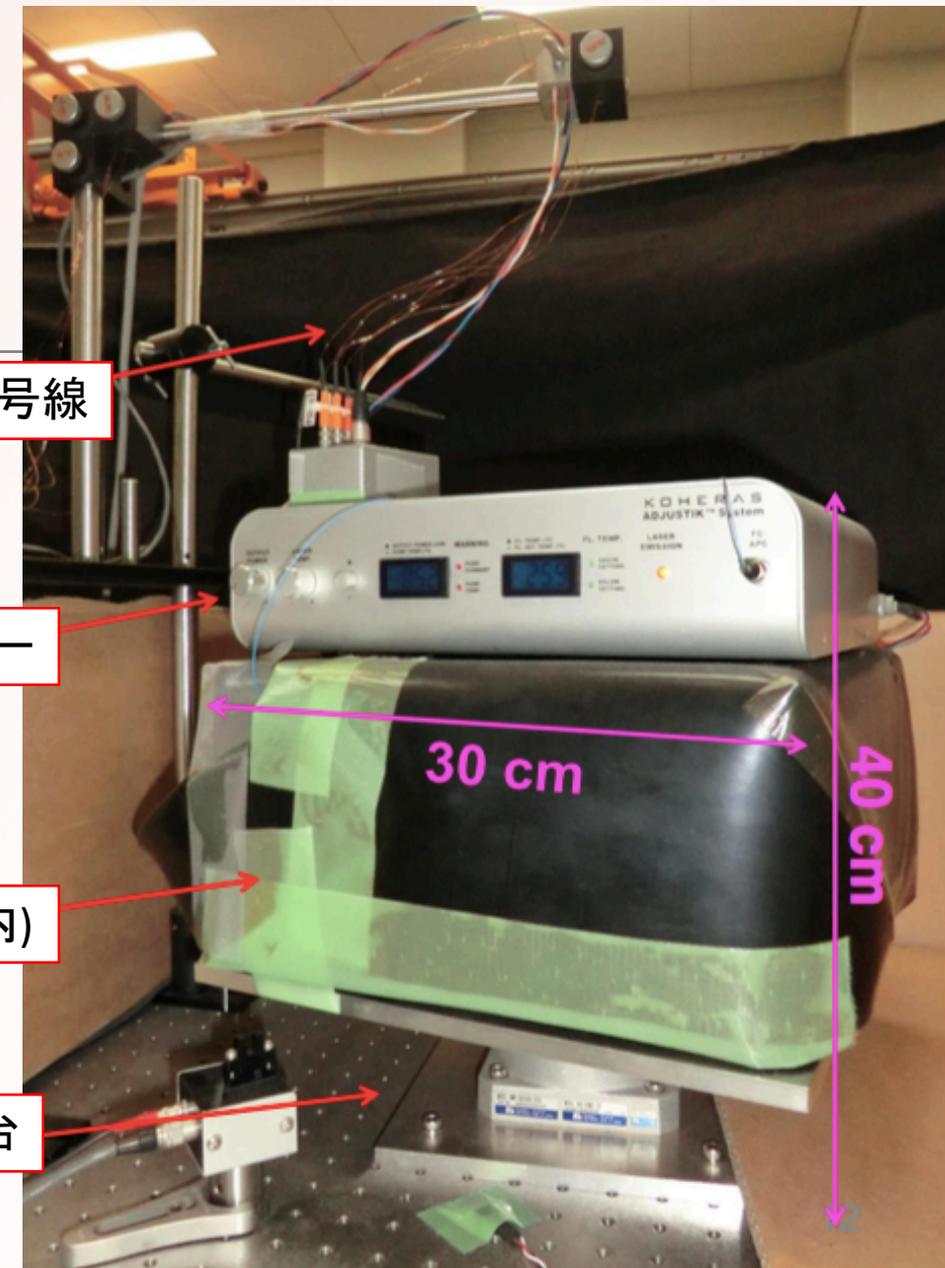


電気信号線

レーザー

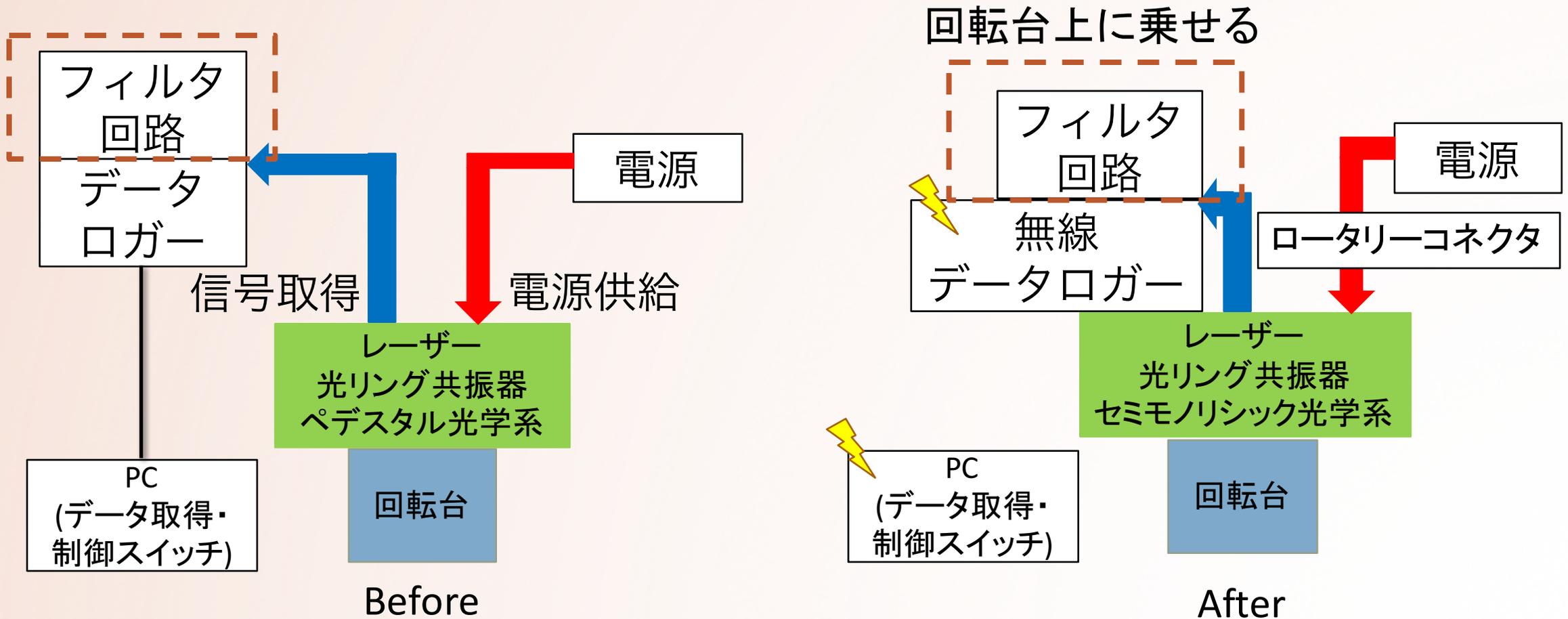
光学系(真空容器内)

回転台

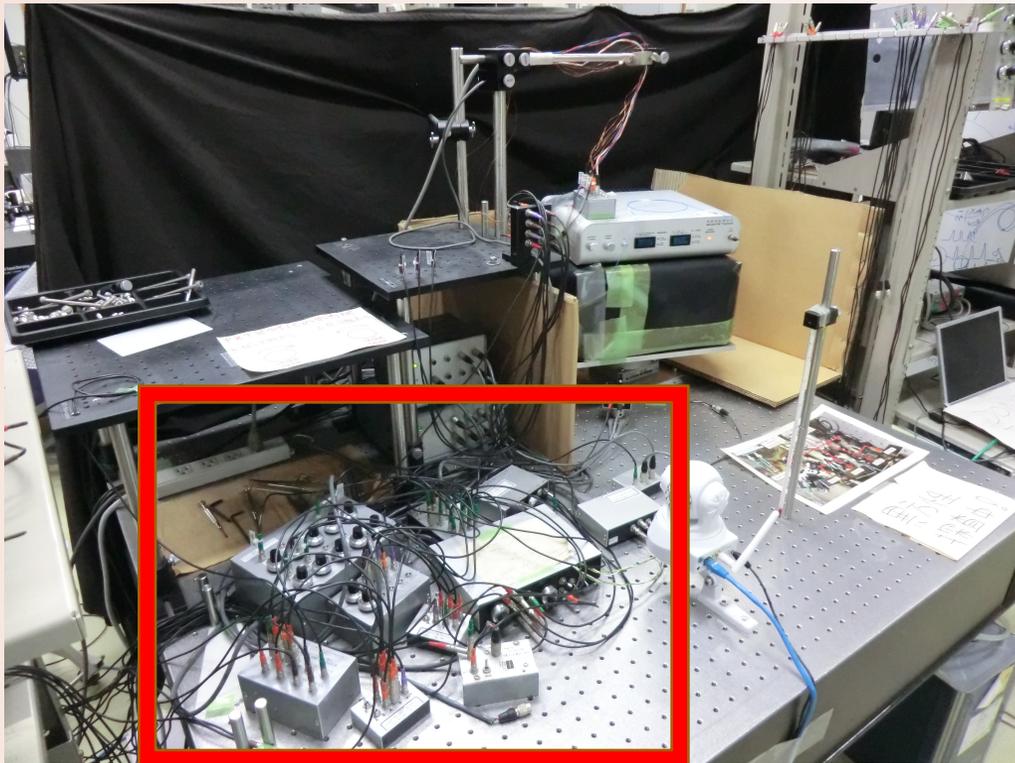




## 2.2 Compact Filter Circuit [ by Takeda ]

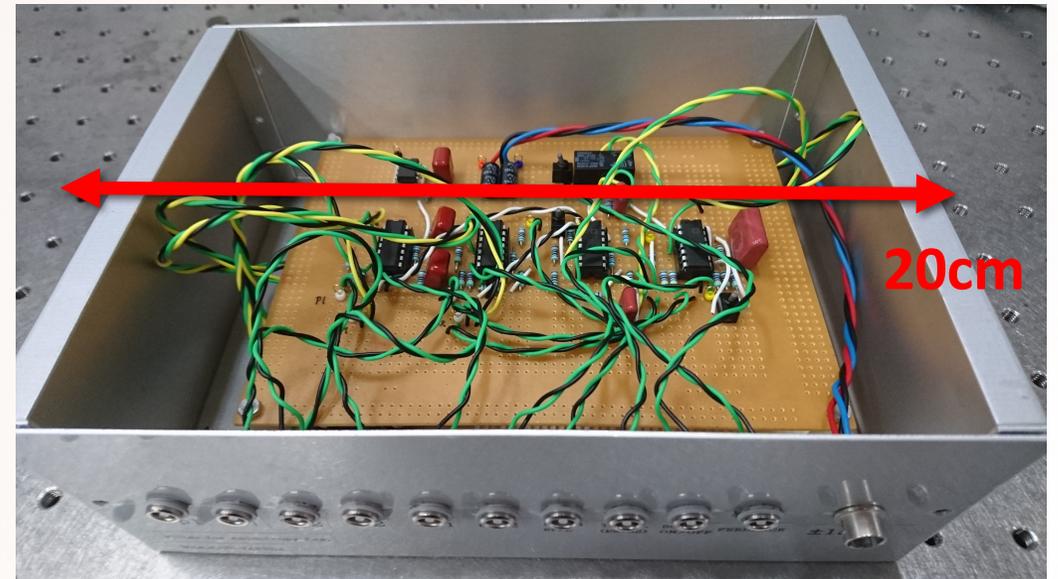


## 2.2 Compact Filter Circuit



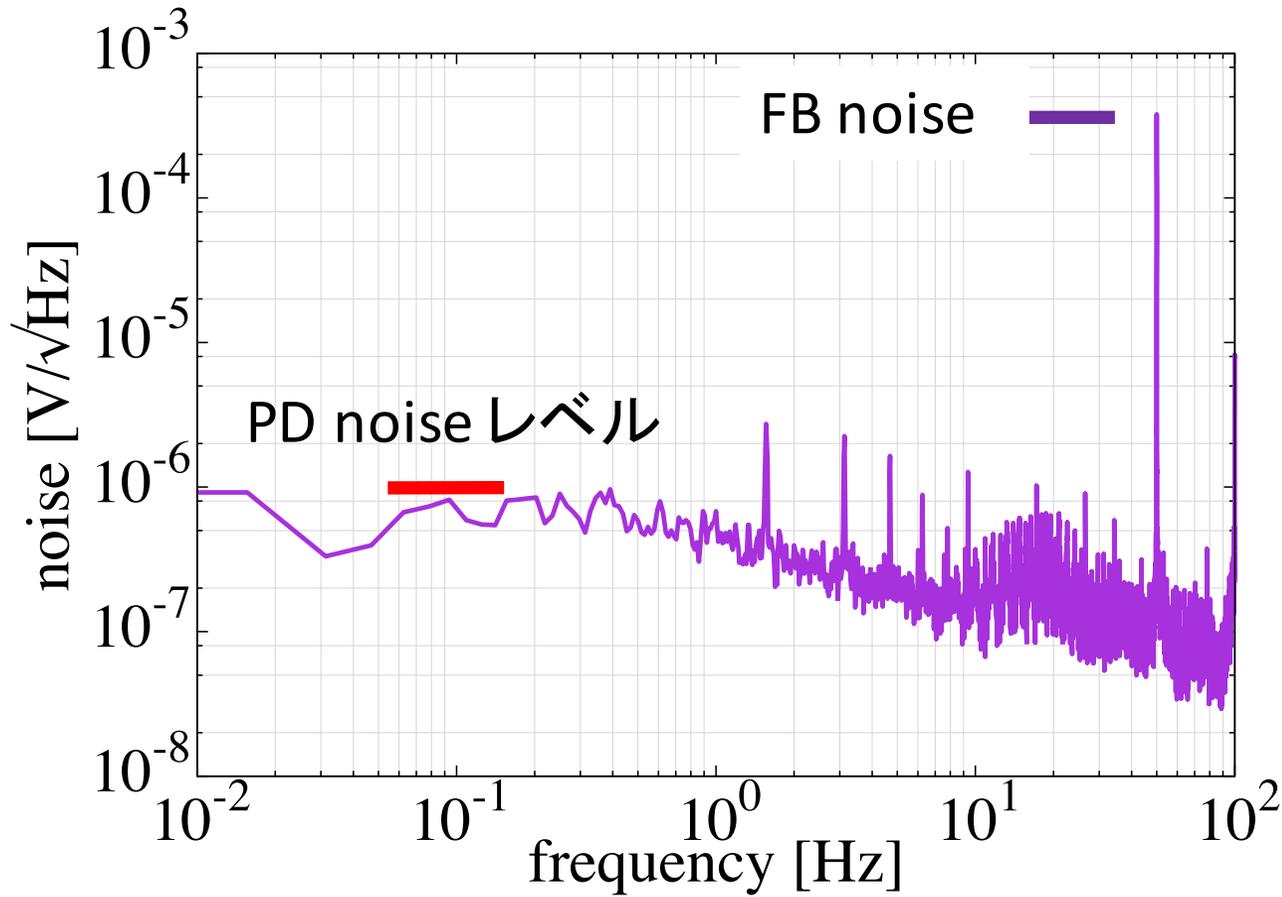
Before

まとめてこんなにコンパクトに！



After

## 2.2 Compact Filter Circuit



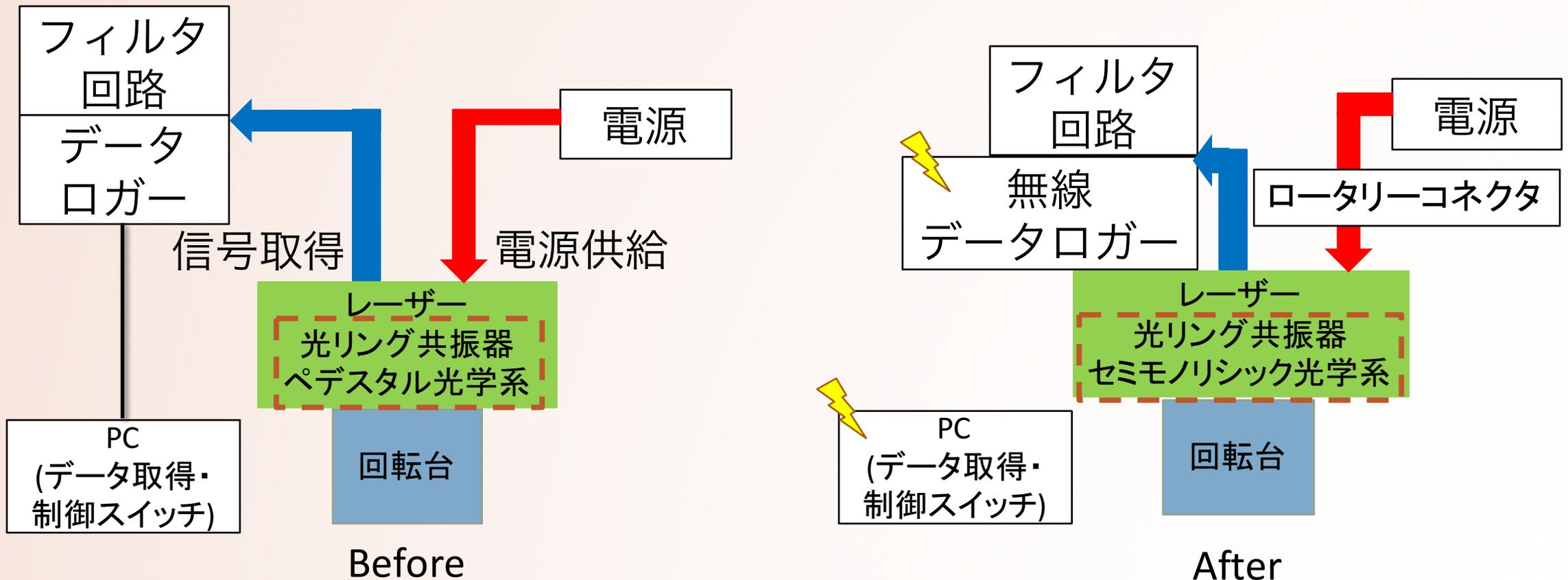
フィルター回路のノイズスペクトル

### フィルタ回路の小型化を実現

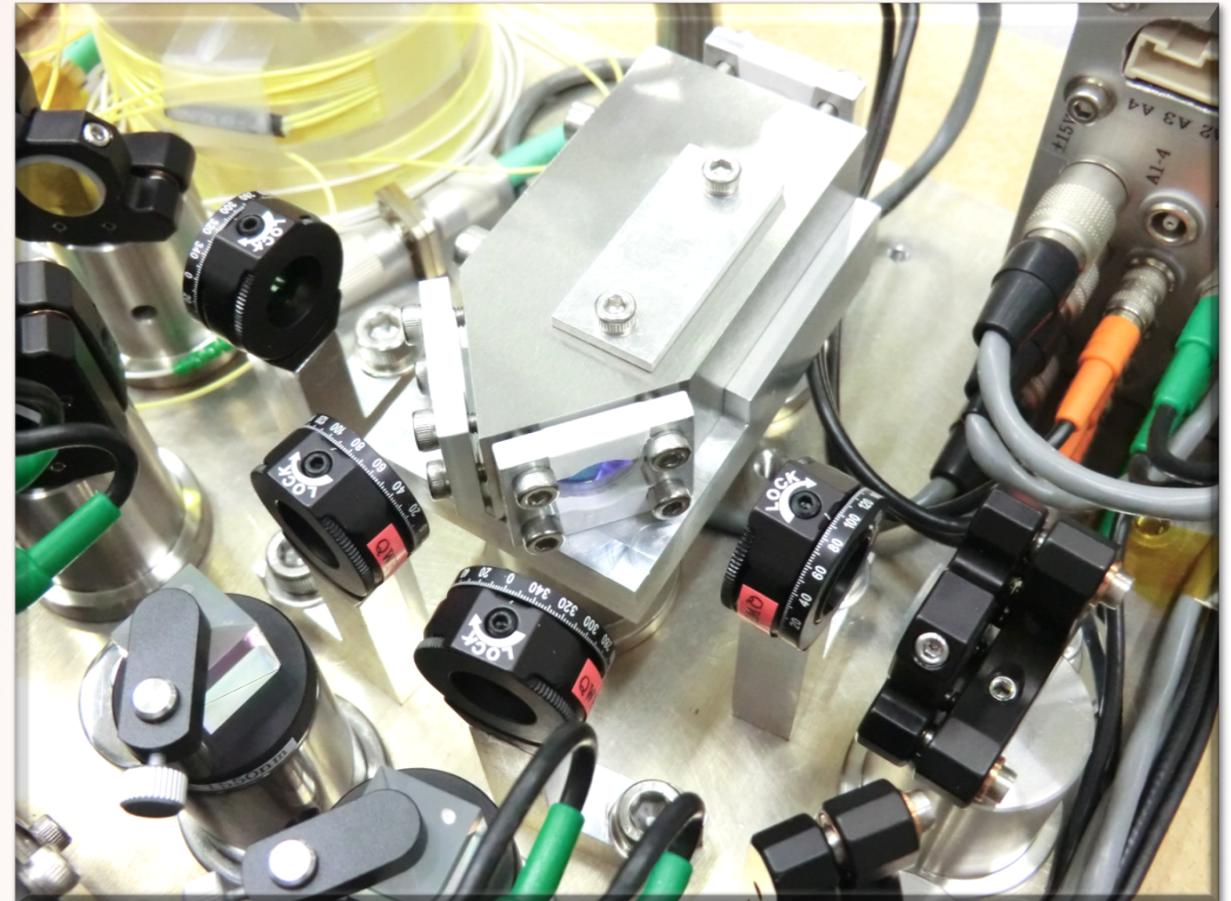
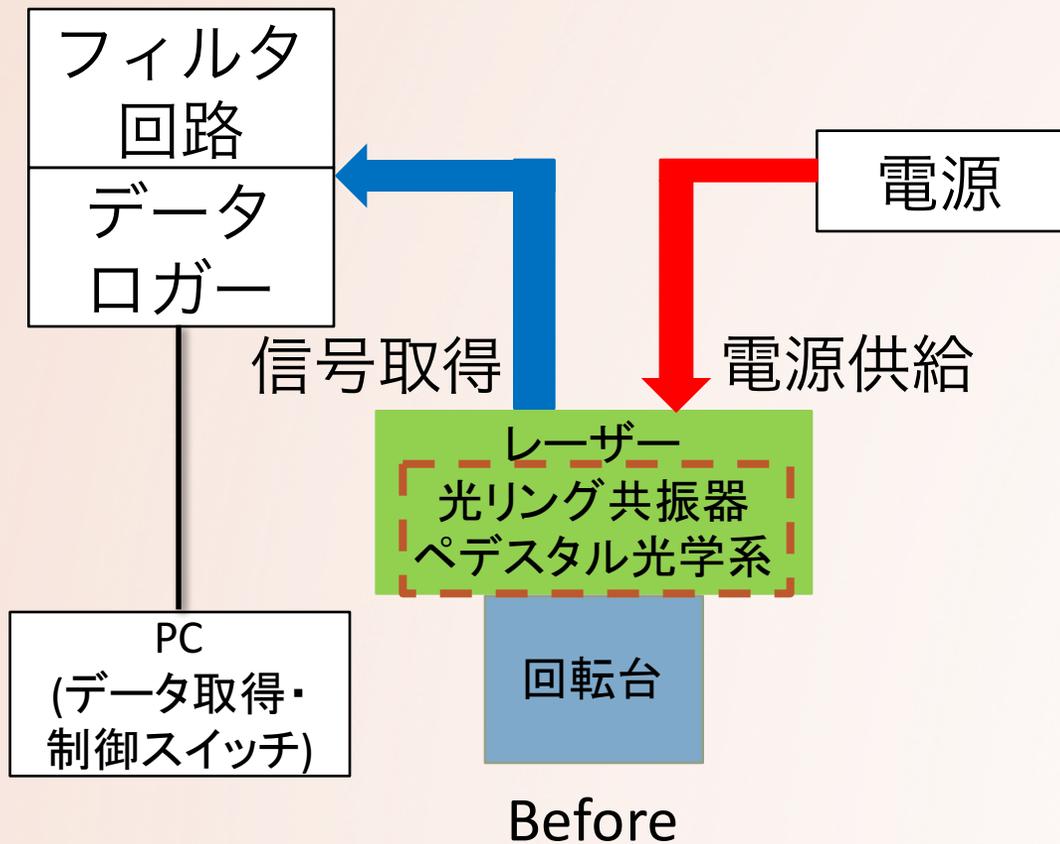
- 連続回転の実現に必須
- 雑音評価と動作確認
- 要求されるノイズレベルを達成

目標のPDの雑音レベルを  
回転周波数(@0.125 Hz)でクリア

## 2.3 Semimonolithic Optical System [ by Guscott ]



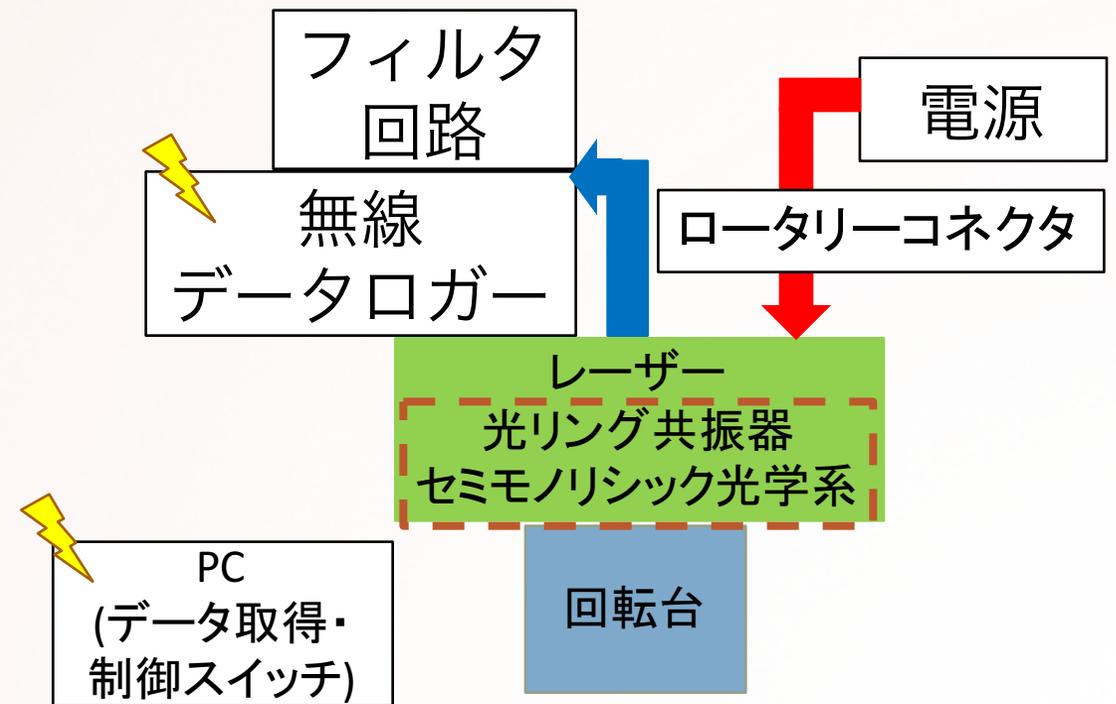
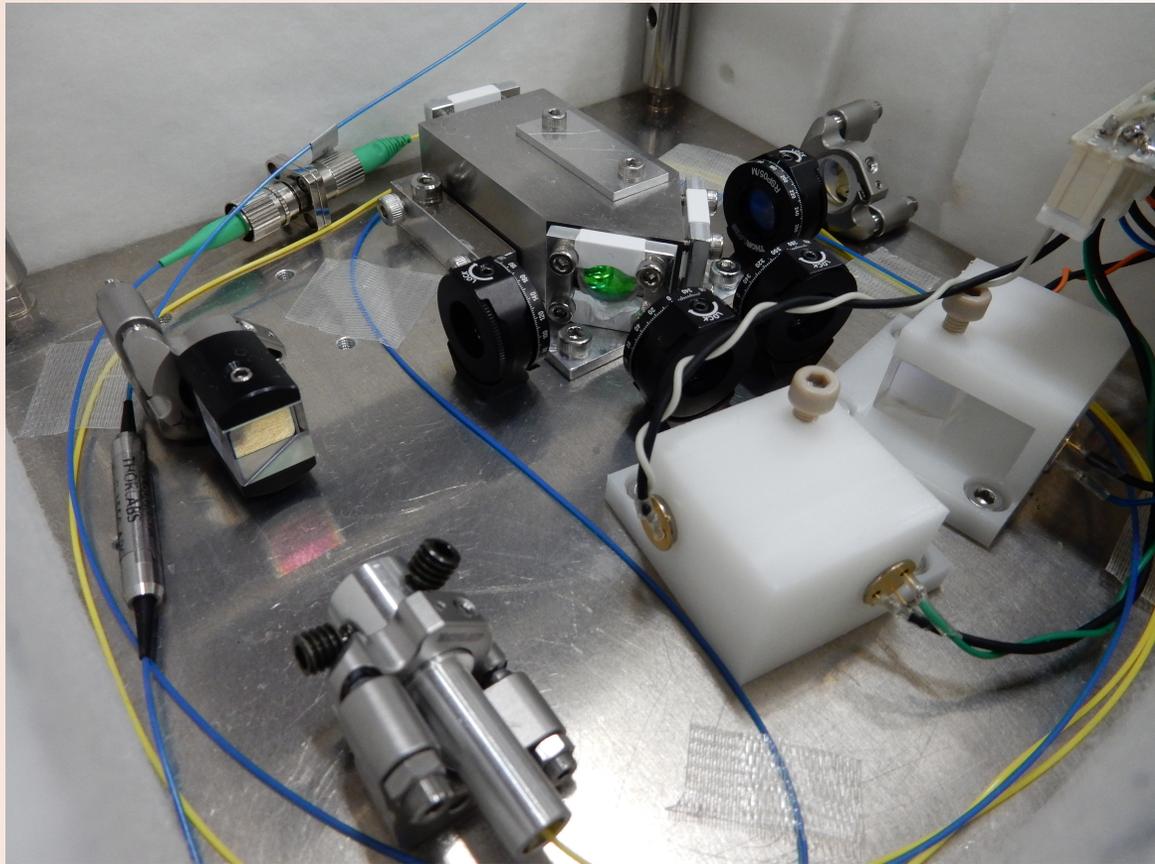
## 2.3 Semimonolithic Optical System



## 2.3 Semimonolithic Optical System

セミモノリシック光学系を実現

- ・光軸を低くし振動感度低減



After

# 3. Summary

---

- 片道光速の異方性検証の感度を制限する回転に起因する雑音低減を試みた
- スリッピング、無線データロガーなどを導入することで連続回転、信号取得の無線化を実現
- 連続回転で必要とされるフィルター回路の小型化を実現
- セミモノリシック光学系を導入

# 3. Outlook

---

- 連続回転、信号取得の無線化 ○  
ノイズの評価と低減 ?
- フィルター回路の小型化 ○  
雑音評価(ノイズスペクトル測定)と動作確認(伝達関数測定) ○
- セミモノリシック化の導入 ○  
振動感度の評価 ?  
モノリシック化の導入は ?
- これらを複合的に動作させたときの評価は ?

---

*Thank you for Your Attention*

---