

大島由佳

東京大学 大学院理学系研究科 物理学専攻

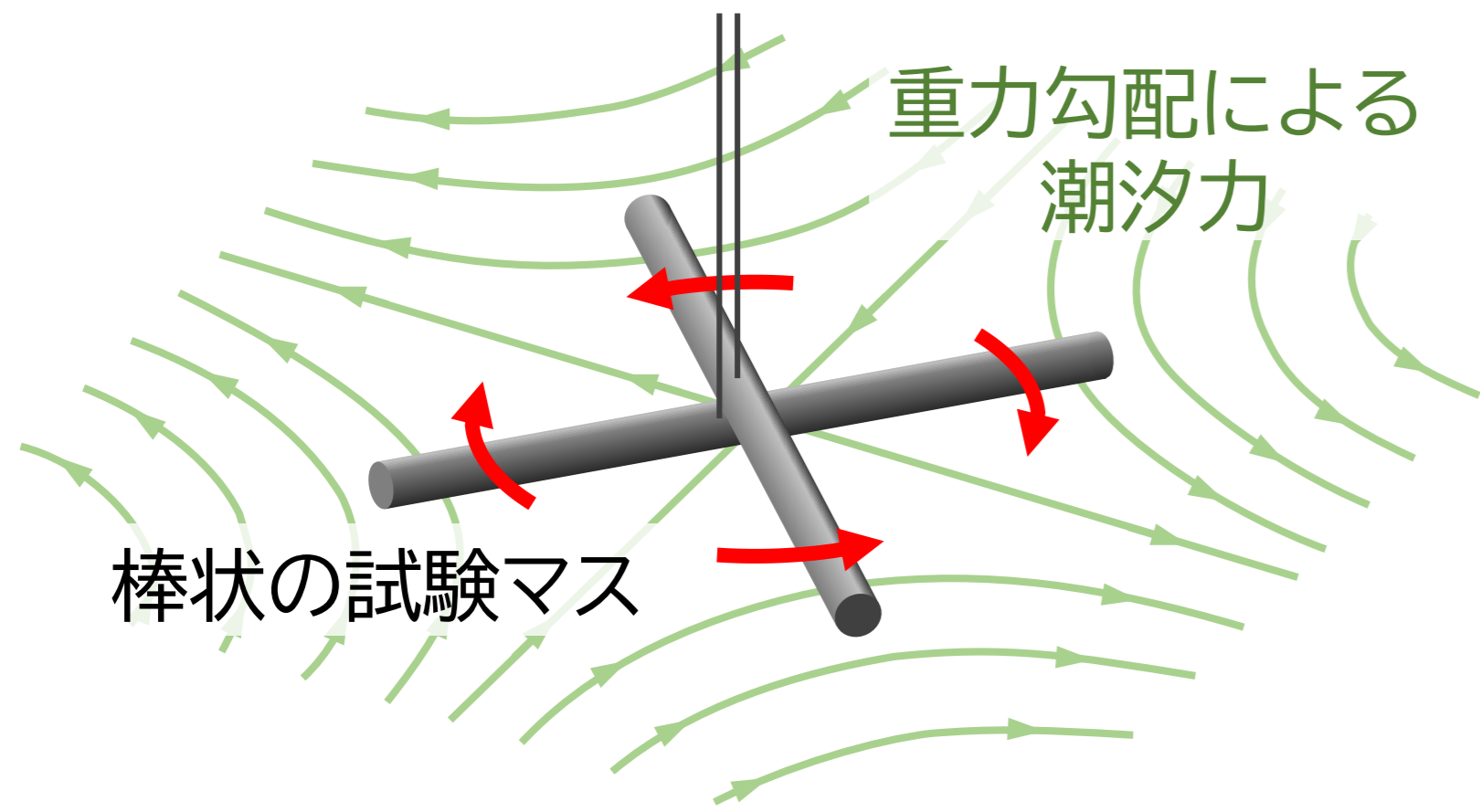
高野 哲, Ooi Ching Pin, Cao Mengdi, 道村 唯太, 小森 健太郎, 安東 正樹

Email: yuka.oshima@phys.s.u-tokyo.ac.jp

## ねじれ振り子型重力勾配計 TOBA (TOrsion-Bar Antenna)

### ■ 原理

- 水平に懸架した2本の棒状の試験マスで潮汐力によるねじれ回転を検出
- ねじれ回転の共振周波数は低い (~1 mHz)
  - 試験マスが0.1 Hz付近で自由質点としてふるまい重力場変動に高い感度を持つ



### ■ 開発の流れ

|               | プロトタイプ TOBA (開発中)           | 大型TOBA (将来計画)               |
|---------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 目標感度 @ 0.1 Hz | $10^{-15}/\sqrt{\text{Hz}}$ | $10^{-19}/\sqrt{\text{Hz}}$ |
| 試験マスの長さ       | 30 cm                       | 10 m                        |

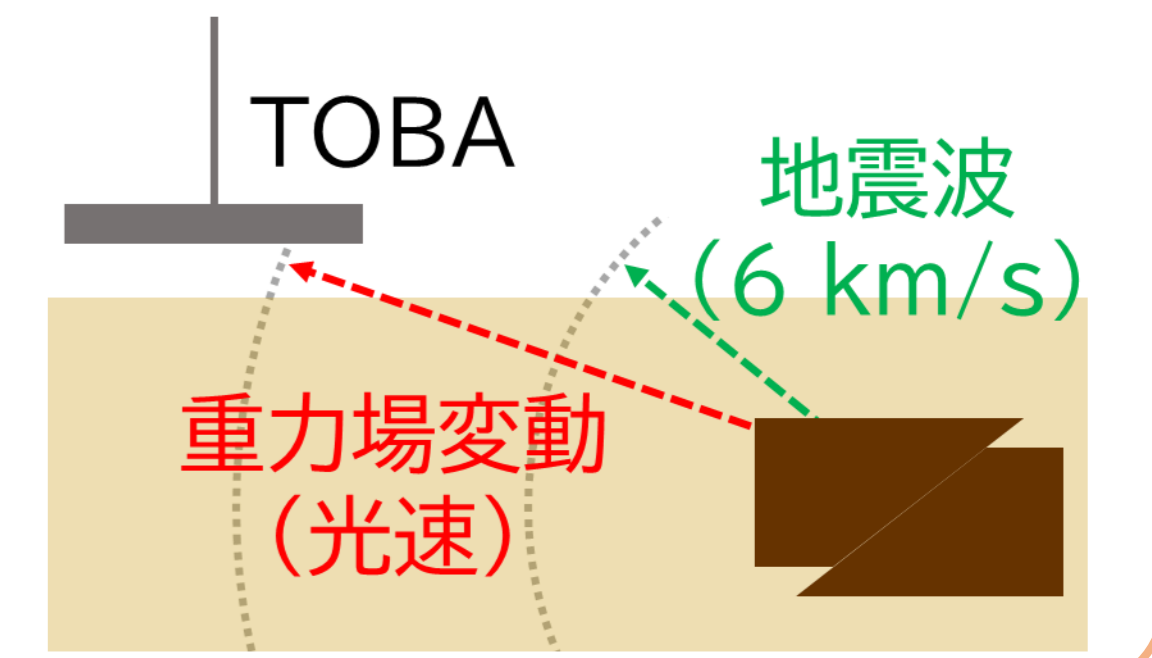
### ■ サイエンス

#### 宇宙物理

- 中間質量ブラックホール連星の合体からの重力波
  - 1 Mpc以内 (プロトタイプTOBA)
  - 10 Gpc以内 (大型TOBA)
  - 大質量ブラックホール形成過程の解明
- 背景重力波
  - $\Omega_{\text{GW}} \sim 10^{-7}$  (大型TOBA)
  - 初期宇宙の直接探査

#### 地球物理

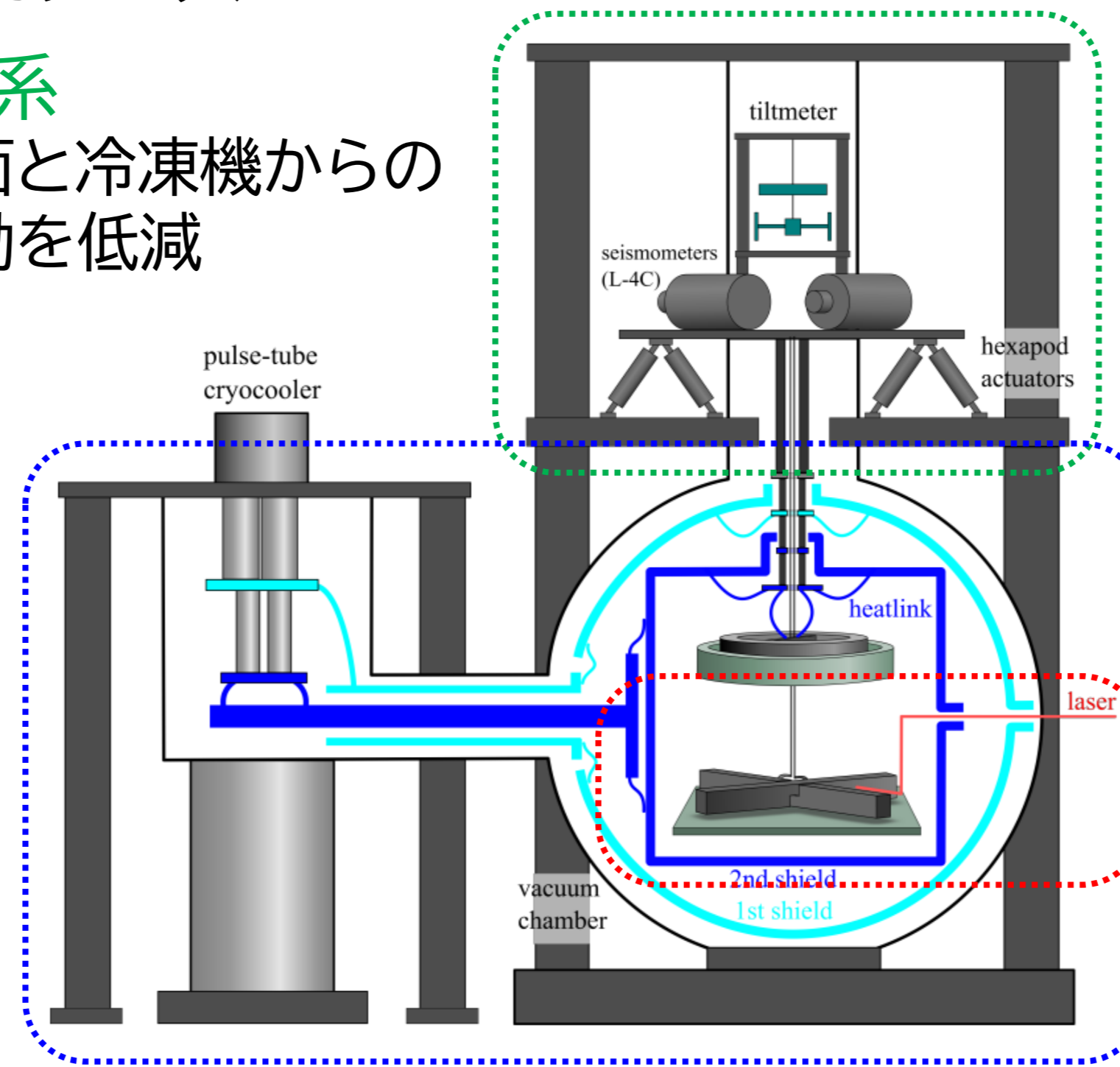
- 地震以外のローカルな重力場勾配初の直接検出 (プロトタイプTOBA)
  - 次世代の重力波望遠鏡の雑音低減
- より早い地震速報
  - 100 km先のM7の地震を10秒以内 (プロトタイプTOBA)
  - 災害被害の軽減



### ■ 開発項目

#### 防振系

地面と冷凍機からの振動を低減



#### 低温懸架系

冷却されたねじれ振り子

#### 光学系

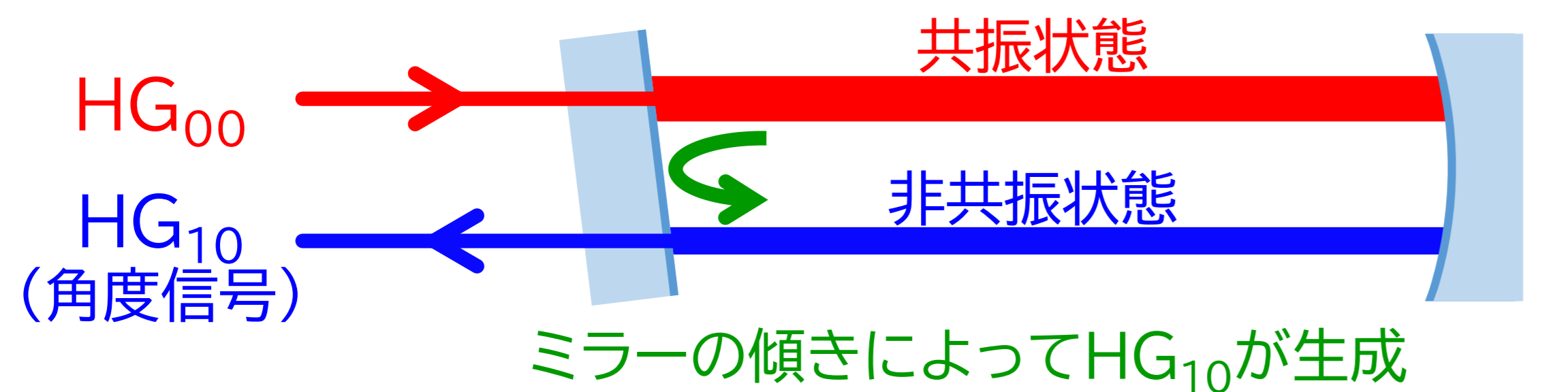
ねじれ振り子の回転を読み取る

- 能動防振系
- 傾斜計
- 低温で高いQ値を持つ懸架ワイヤ
- モノリシック光学系
- 結合光共振器を用いた wavefront sensor

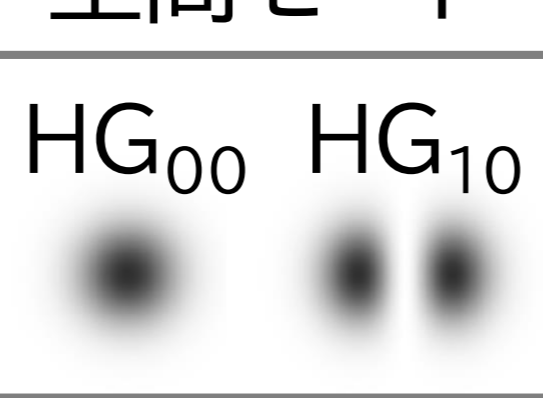
## ねじれ読み取りのための光学系: 結合光共振器を用いた wavefront sensor

### ■ 原理

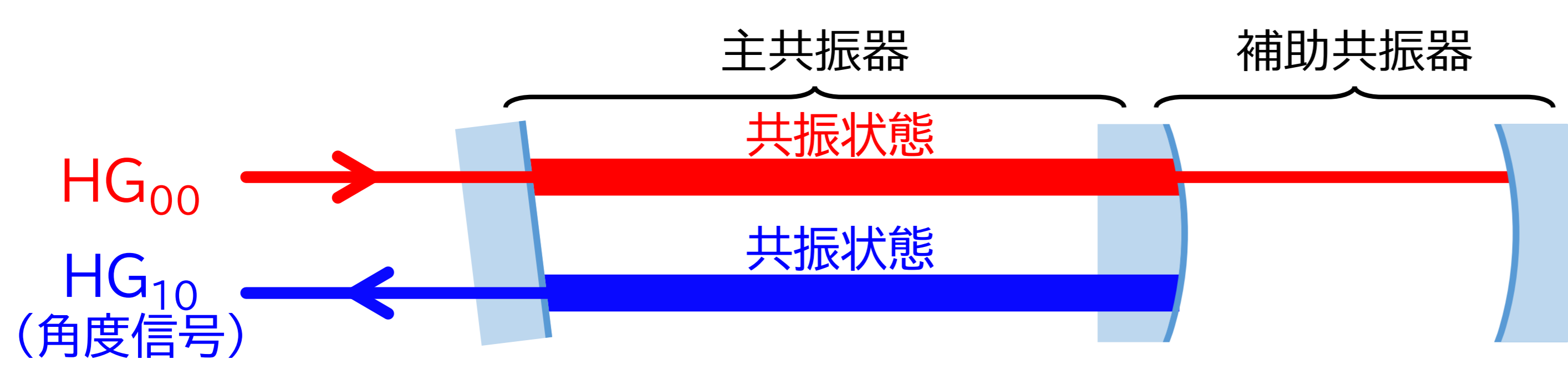
#### 通常のwavefront sensor



レーザーの空間モード



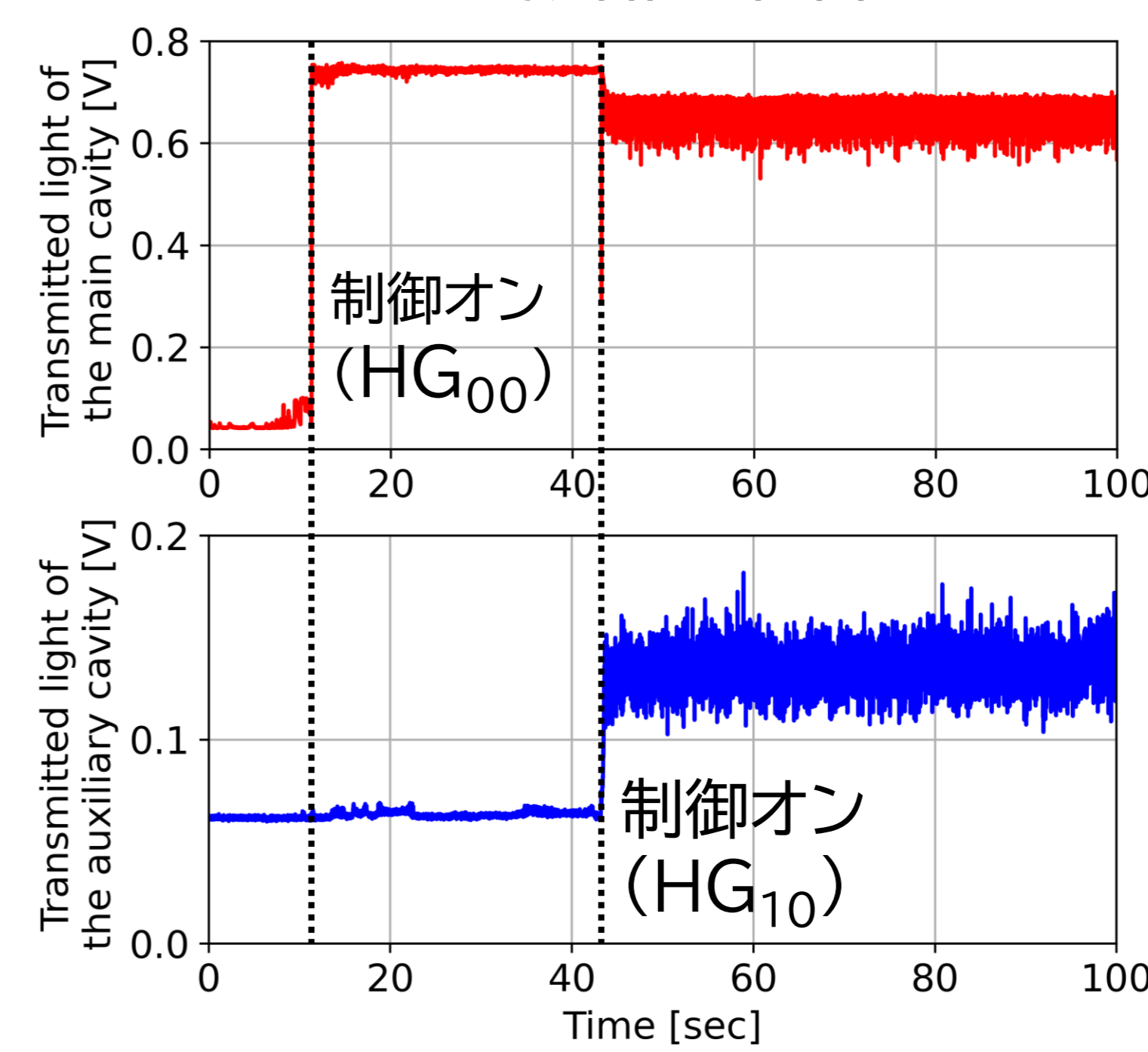
#### 結合光共振器を用いたwavefront sensor



補助共振器による位相補償でHG<sub>10</sub>も共振状態にできる  
→ 角度信号が主共振器の中で増幅される

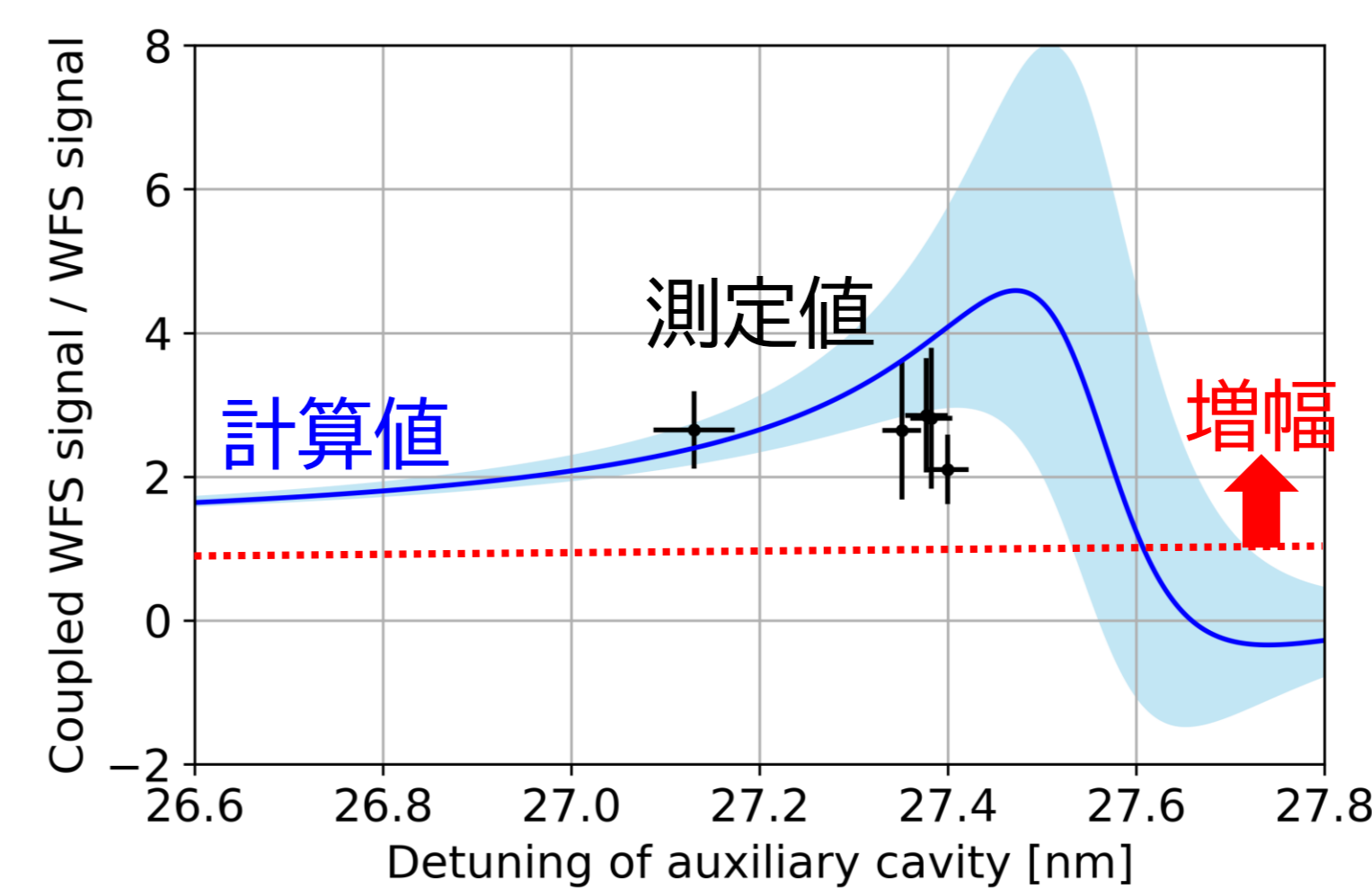
### ■ 結果・考察

#### 共振器の制御



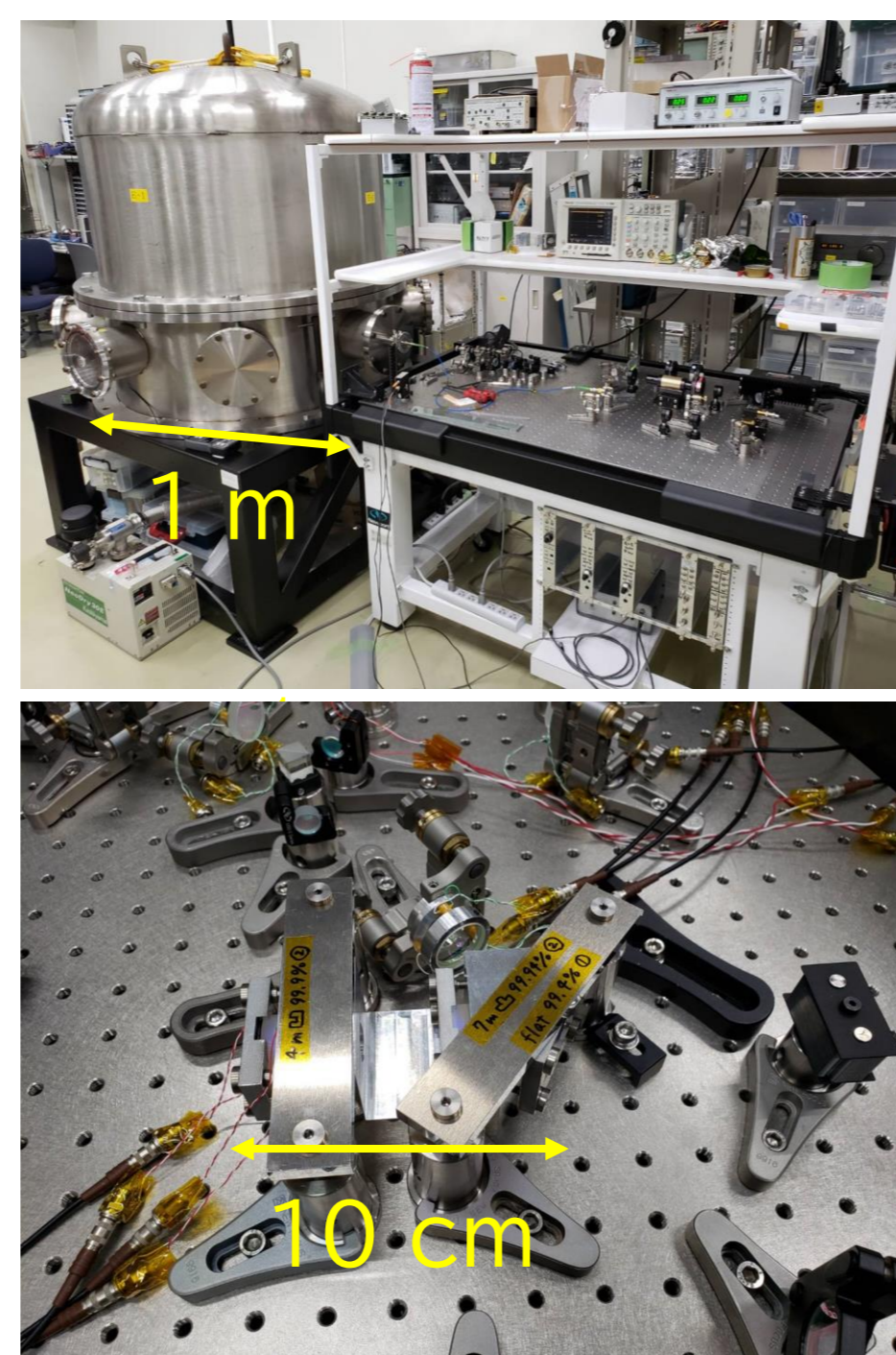
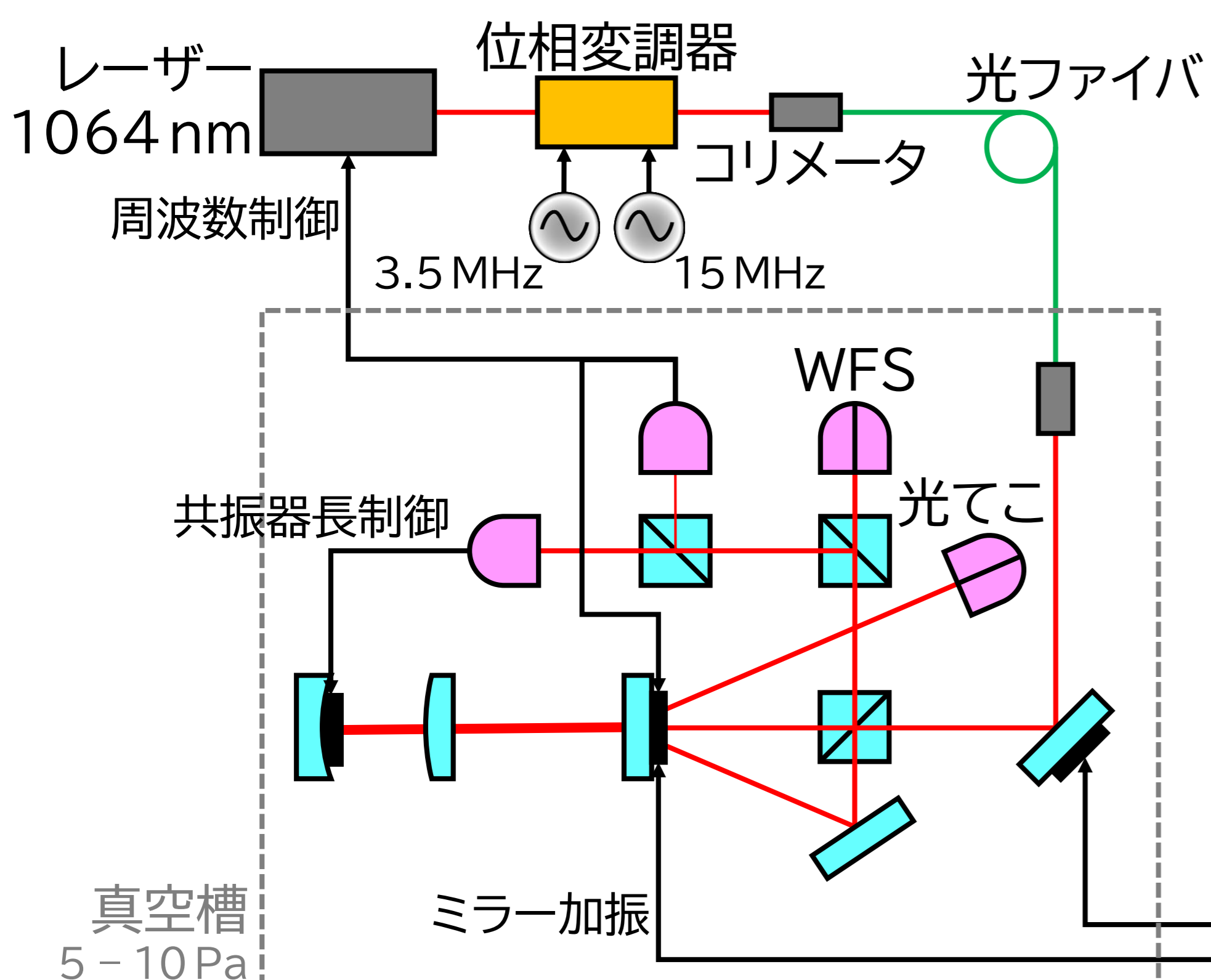
- 主共振器をHG<sub>00</sub>に / 補助共振器をHG<sub>10</sub>に同時に制御することに成功
- 主共振器長の揺れが制御を介して補助共振器に伝達してしまった  
→ 主共振器の制御帯域を広げてより安定に制御する

#### 信号増幅



- 補助共振器により3倍の信号増幅を確認
- 光検出器の位置のずれにより増幅度が想定より小さかった  
→ 光検出器の位置を調整する / 2個の検出器で較正を行う

### ■ 原理検証実験



### 参考文献

- M. Ando *et al.*, Phys. Rev. Lett., **105**, 161101 (2010).
- T. Shimoda *et al.*, Int. J. of Modern Phys. D, **29**, 1940003 (2020).
- J. Harms *et al.*, Phys. Rev. D, **88**, 122003 (2013).
- J. Harms *et al.*, Geophysical J. Int., **201**, 1416 (2015).
- T. Shimoda *et al.*, Applied Optics, **61**, 3901 (2022).