

光リング共振器を用いた アクション暗黒物質の探索実験 DANCE (4):

長時間測定に向けた制御法の開発

藤本 拓希, 大島由佳, 道村唯太, 長野晃士^A,
小幡一平^B, 藤田智弘^C, 安東正樹

東大理, JAXA宇宙研^A, MPA^B, 東大宇宙線研^C

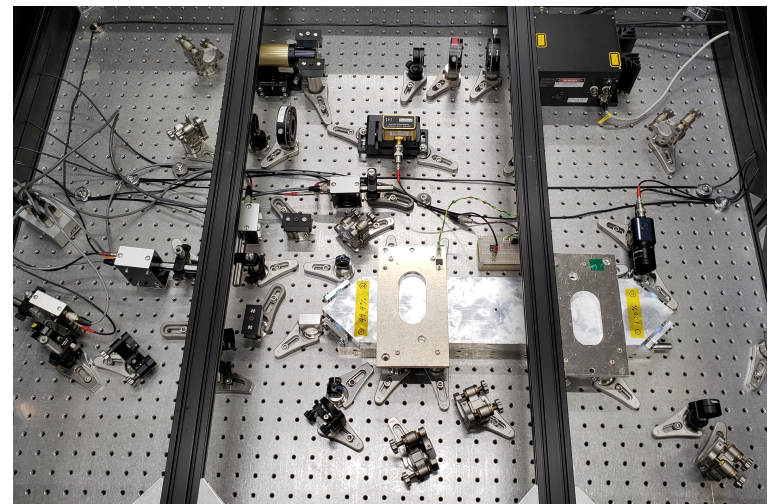
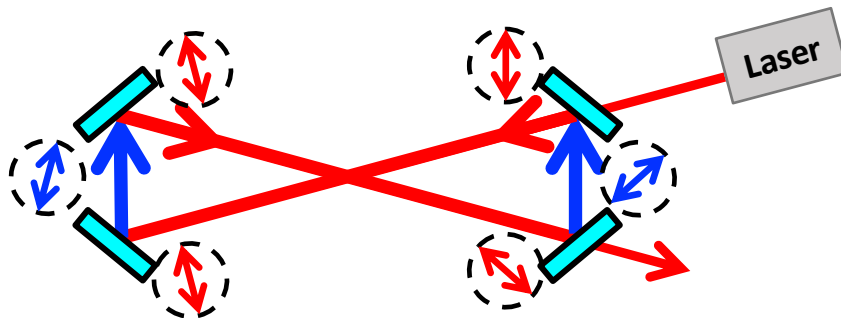
概要

Dark matter Axion search with riNg Cavity

Experiment: DANCE

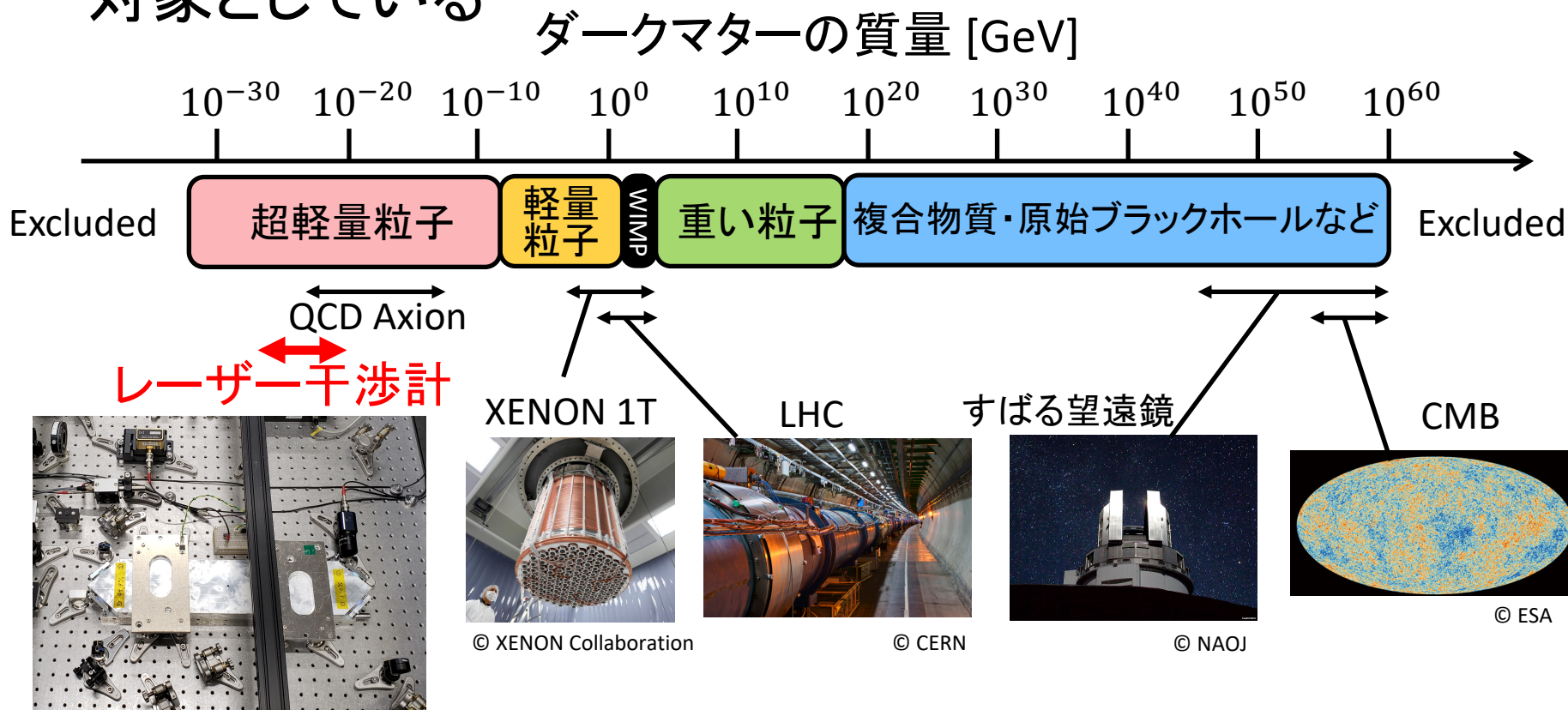
- 光リング共振器を用いてアクシオン暗黒物質の検出を目指す
- 現在、プロトタイプ: DANCE Act-1 が進行中
- 長期間観測に向けて
 - 共振持続時間を伸ばすための階層制御
 - 非共振状態から共振状態へ復帰させる自動ロックシステム

の開発を行った



ダークマター探索

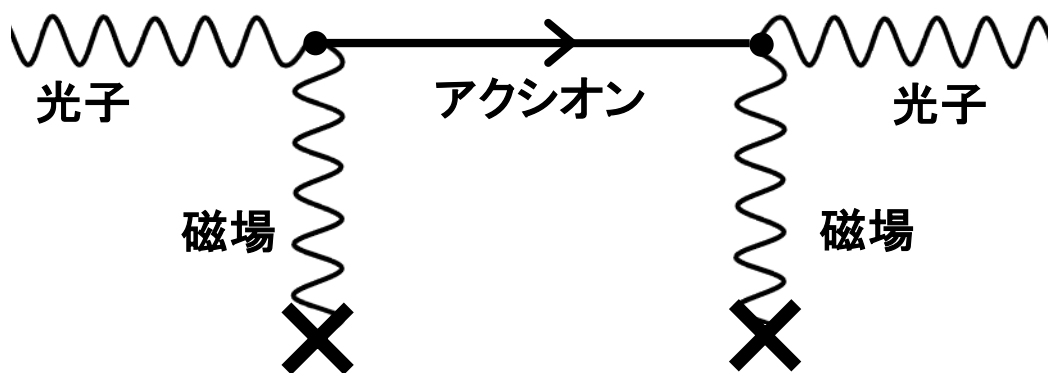
- DANCE: レーザー干渉計を用いた暗黒物質探査実験の一つ
- DANCEは超軽量暗黒物質のうち、アクシオン(ALPs)を対象としている



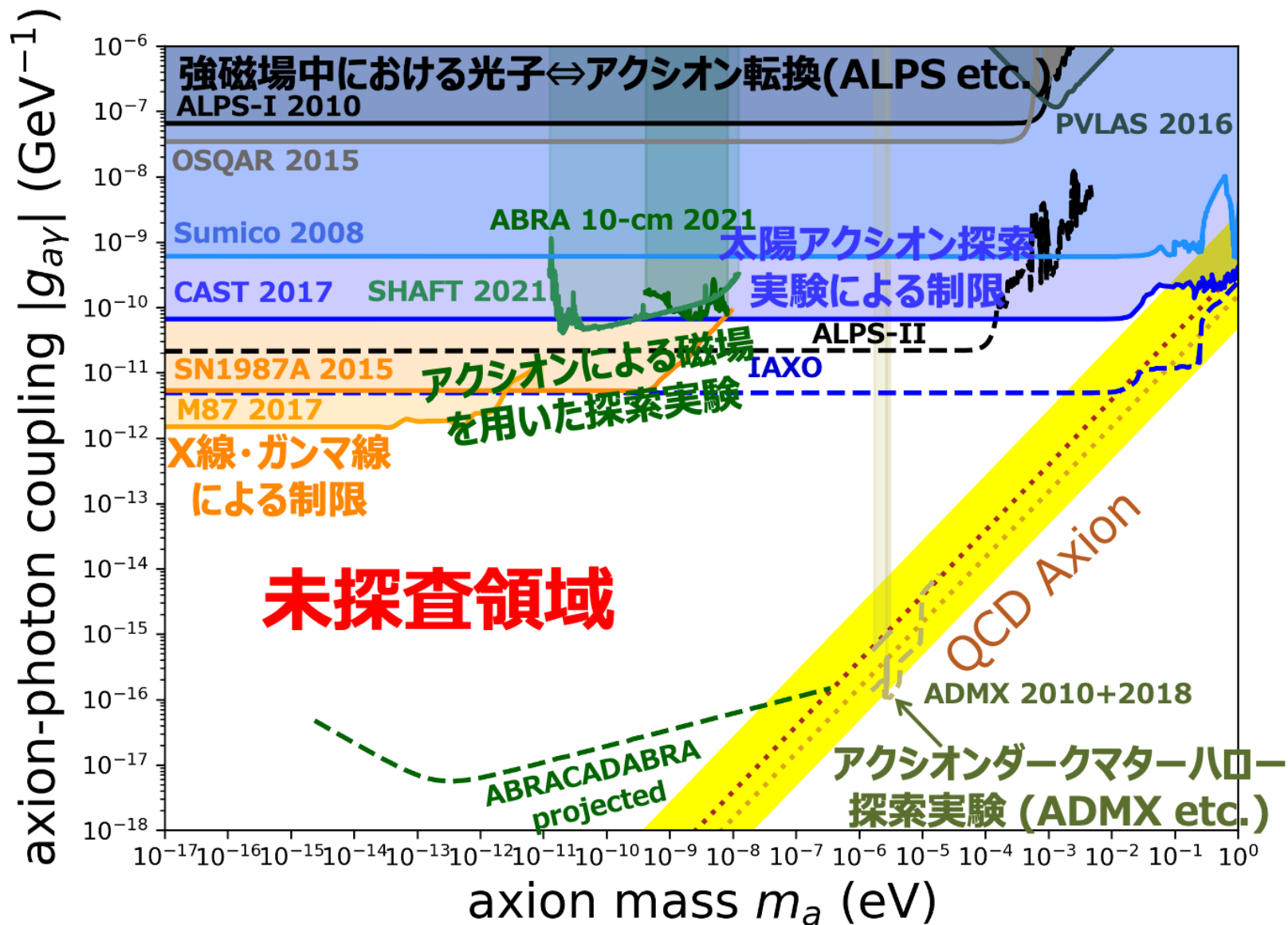
DANCE

アクシオン・ALPs

- 量子色力学における強いCP問題を解決するために提案された未発見の素粒子 (QCDアクシオン)
- 一方で弦理論の観点からも多くのAxion-like particles (ALPs) が预言されている
- 暗黒物質の候補
- **アクシオン-光子相互作用**を用いた探査が主流



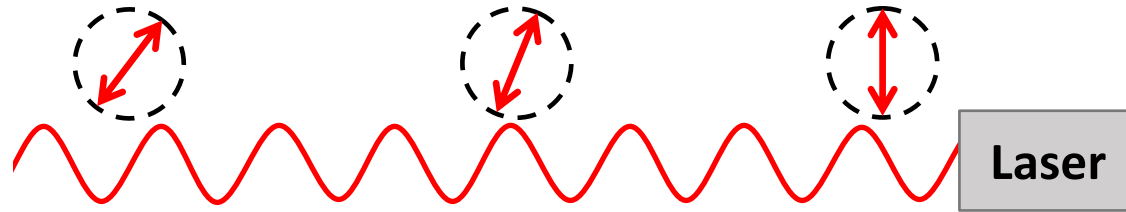
これまでの上限値・提案実験



DANCEの原理

ボウタイ型光リング共振器

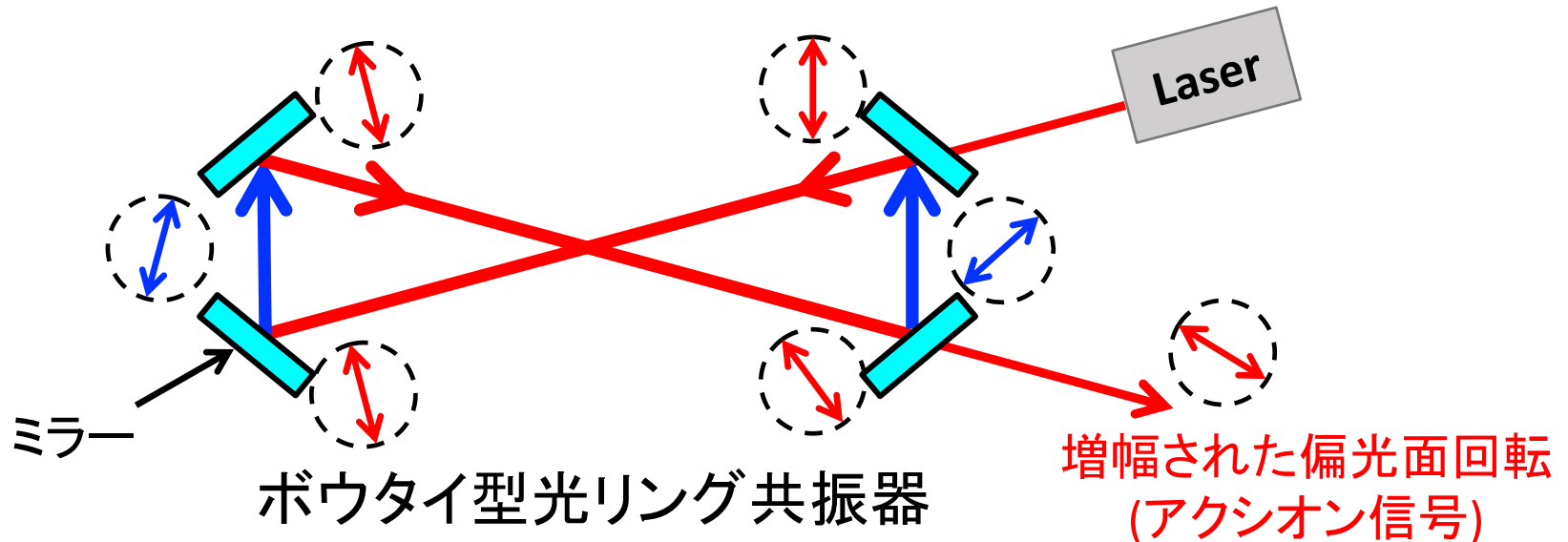
- ・アクシオン-光子相互作用によって、**直線偏光が回転振動を起こす**



- ・光路が長いほど回転振動の振幅が大きい



光を鏡で往復させ、実効的に光路を伸ばし回転角を増幅



長期間測定によるSN比の改善

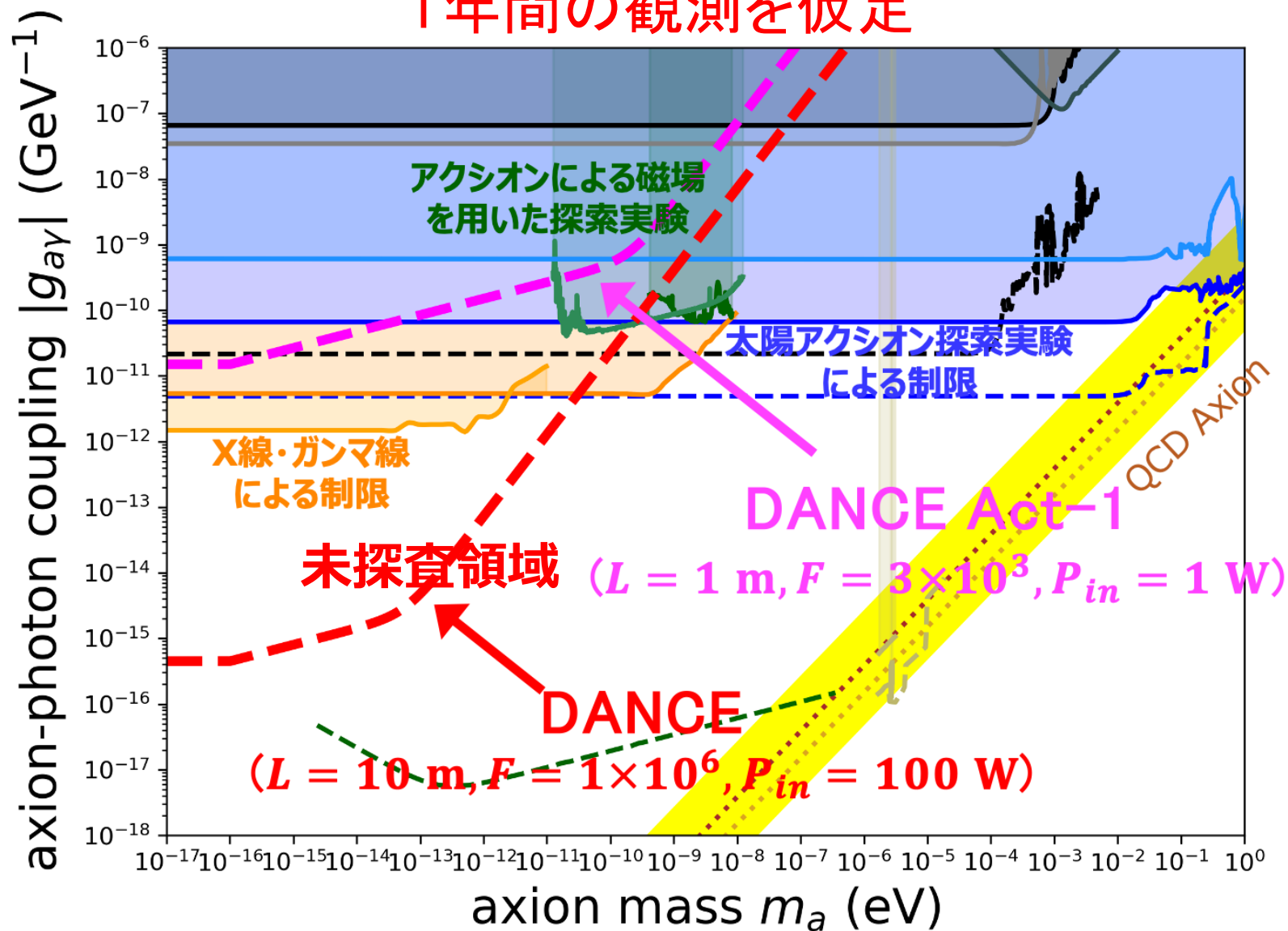
ド・ブロイ波長の範囲内では、偏光面はコヒーレントに振動
SN比は観測時間 T_{obs} を伸ばすことで改善することができる

$$\text{SNR} \propto \begin{cases} T_{obs}^{1/2} & (T_{obs} < \tau) \\ T_{obs}^{1/4} & (T_{obs} > \tau) \end{cases} \quad \begin{array}{l} \swarrow \text{コヒーレント時間} \\ \tau \simeq 1\text{year} \left(\frac{10^{-16} \text{ eV}}{m_a} \right) \\ \nwarrow \text{アキシオン質量} \end{array}$$


長期間の連続観測 (e.g. 1 year) が必要

DANCEの目標感度

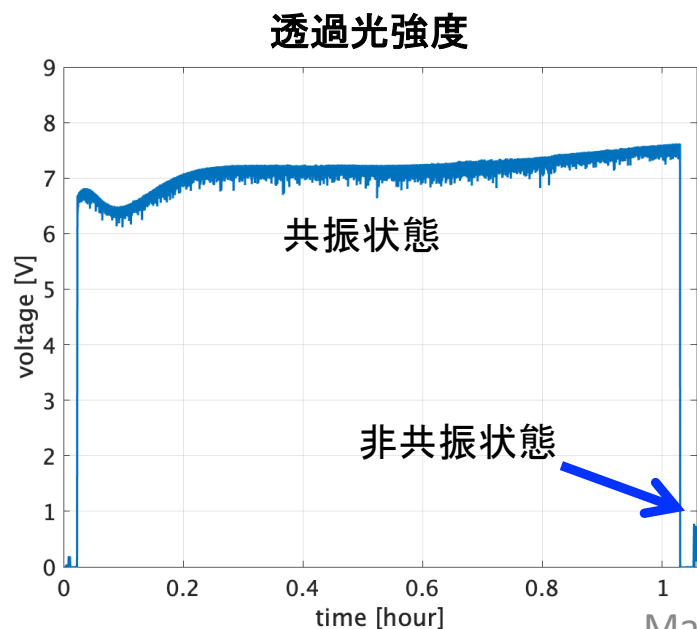
1年間の観測を仮定



長期間測定における課題

課題

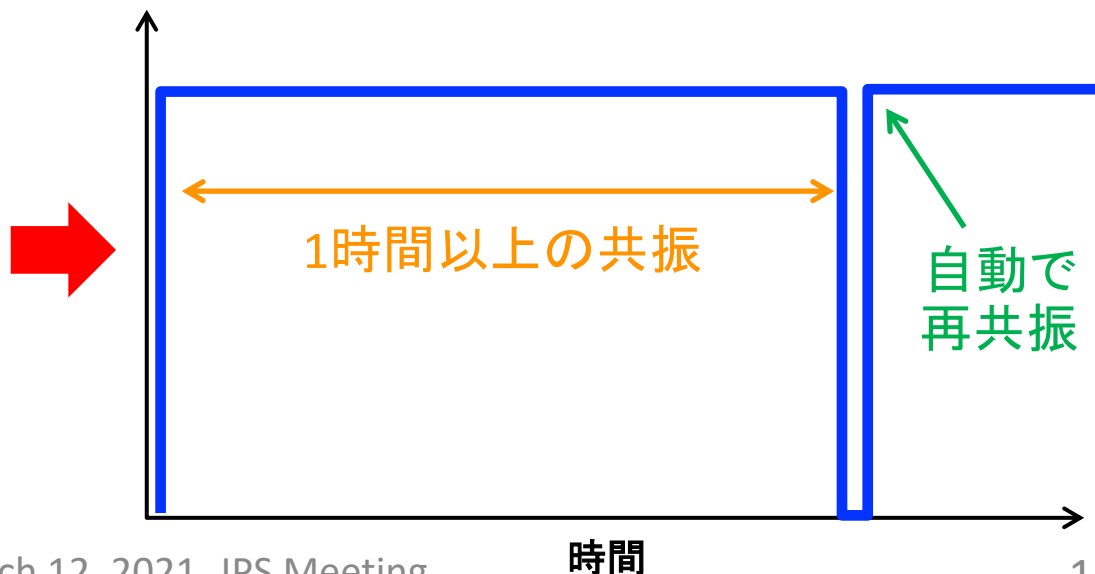
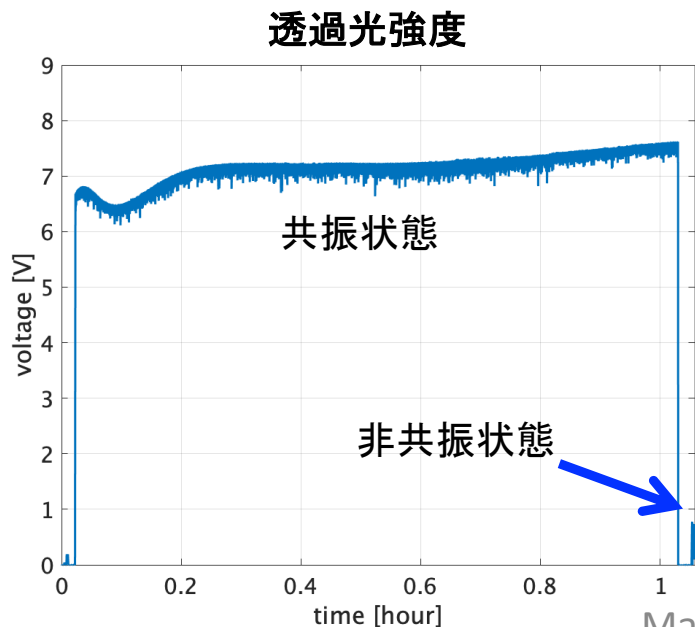
- 共振器を共振状態に保つ制御(ロック)が1時間しか続かない
- 非共振になった際、手動で共振に戻す必要がある



長期間測定における課題

課題

- 共振器を共振状態に保つ制御(ロック)が1時間しか続かない → 複数のアクチュエータを用いた階層制御
- 非共振になった際、手動で共振に戻す必要がある → 自動ロックシステム



階層制御の開発

共振器のロック

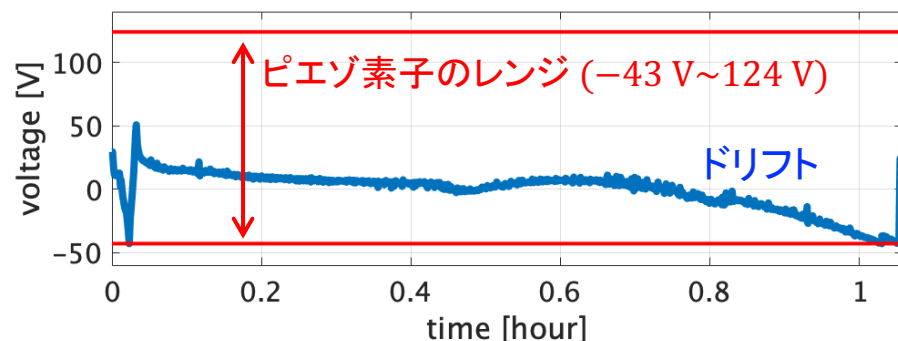
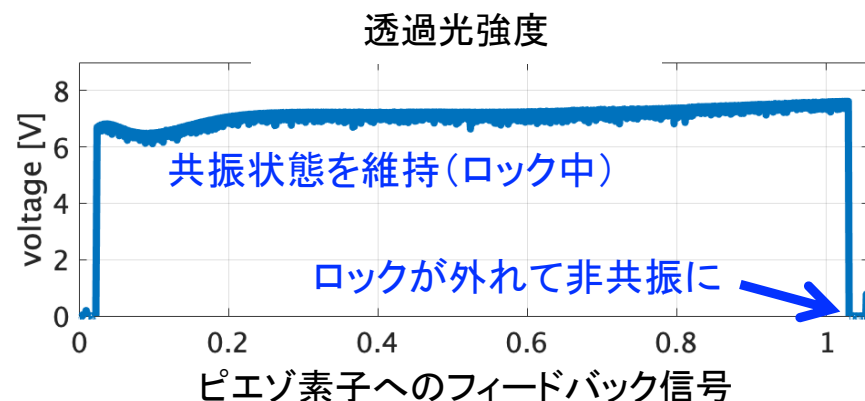
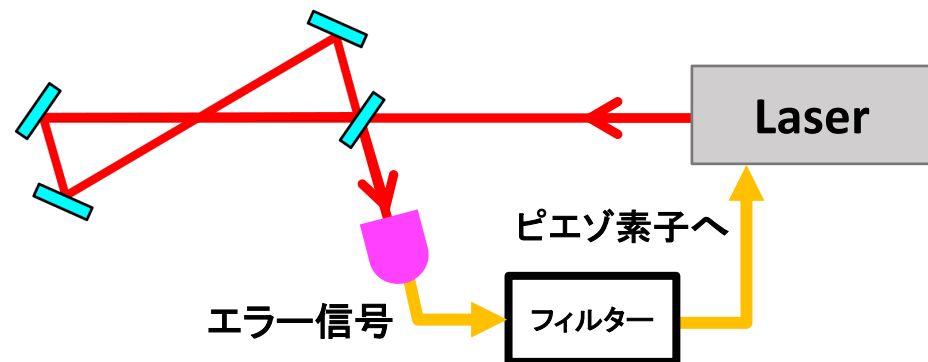
共振条件:
共振器の周回長 $L = m\lambda$



レーザー波長 λ を
制御し共振を維持(ロック)

レーザーのピエゾ素子で波長を制御

ピエゾ素子は波長を変化させるレンジが
狭く、約一時間でロックが外れてしまう



階層制御

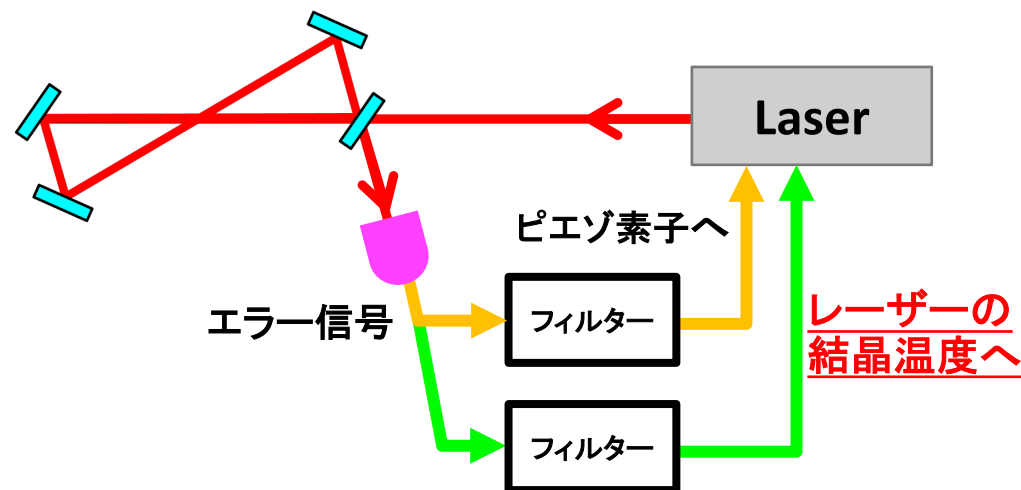
共振条件:
共振器の周回長 $L = m\lambda$



レーザー波長 λ を
制御し共振を維持(ロック)

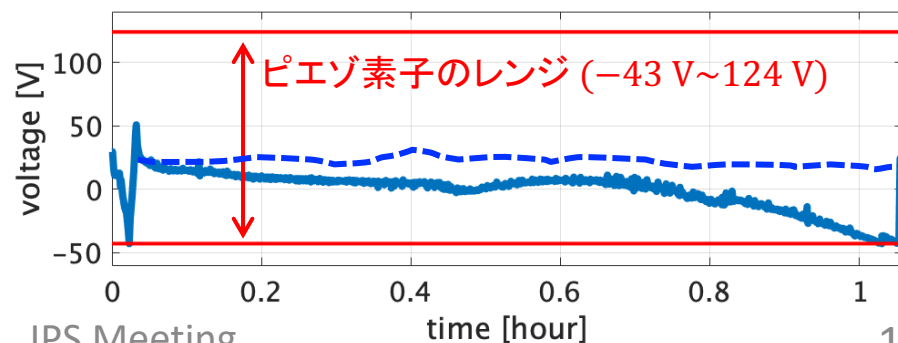
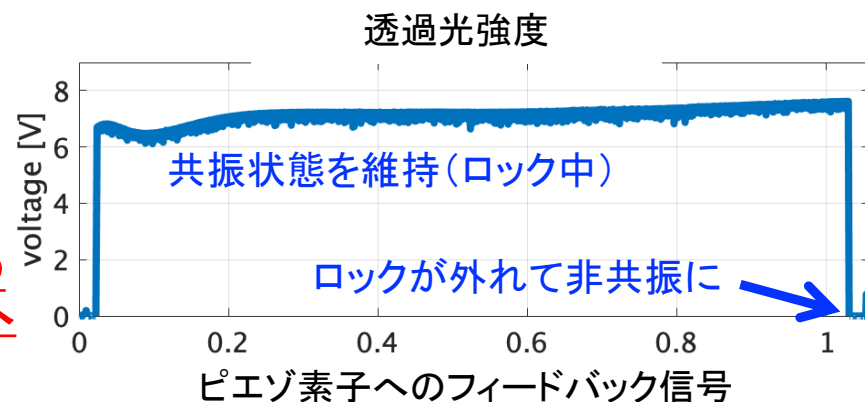
レーザーのピエゾ素子で波長を制御

ピエゾ素子は波長を変化させるレンジが
狭く、約一時間でロックが外れてしまう

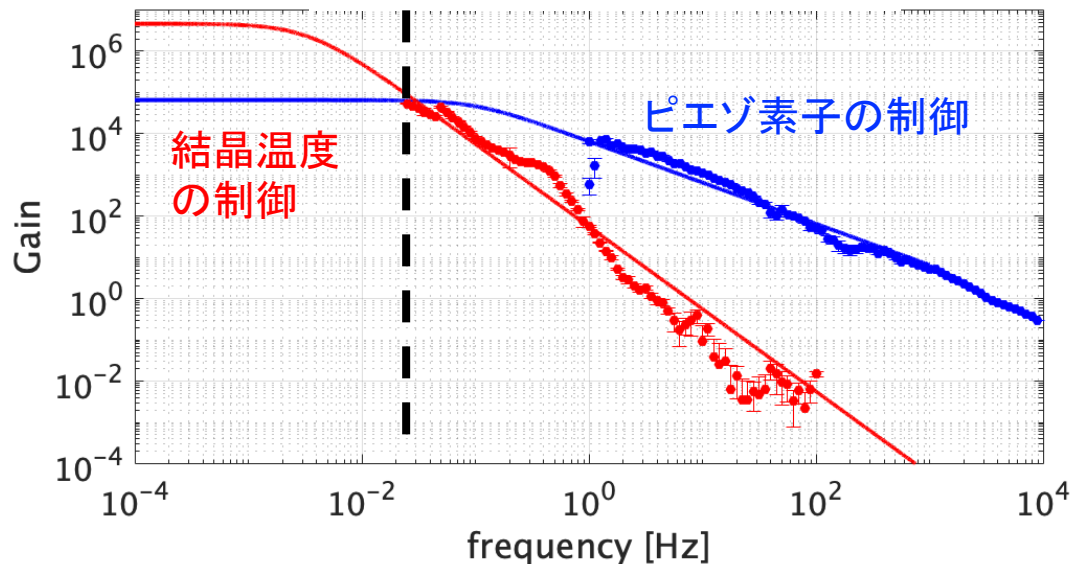
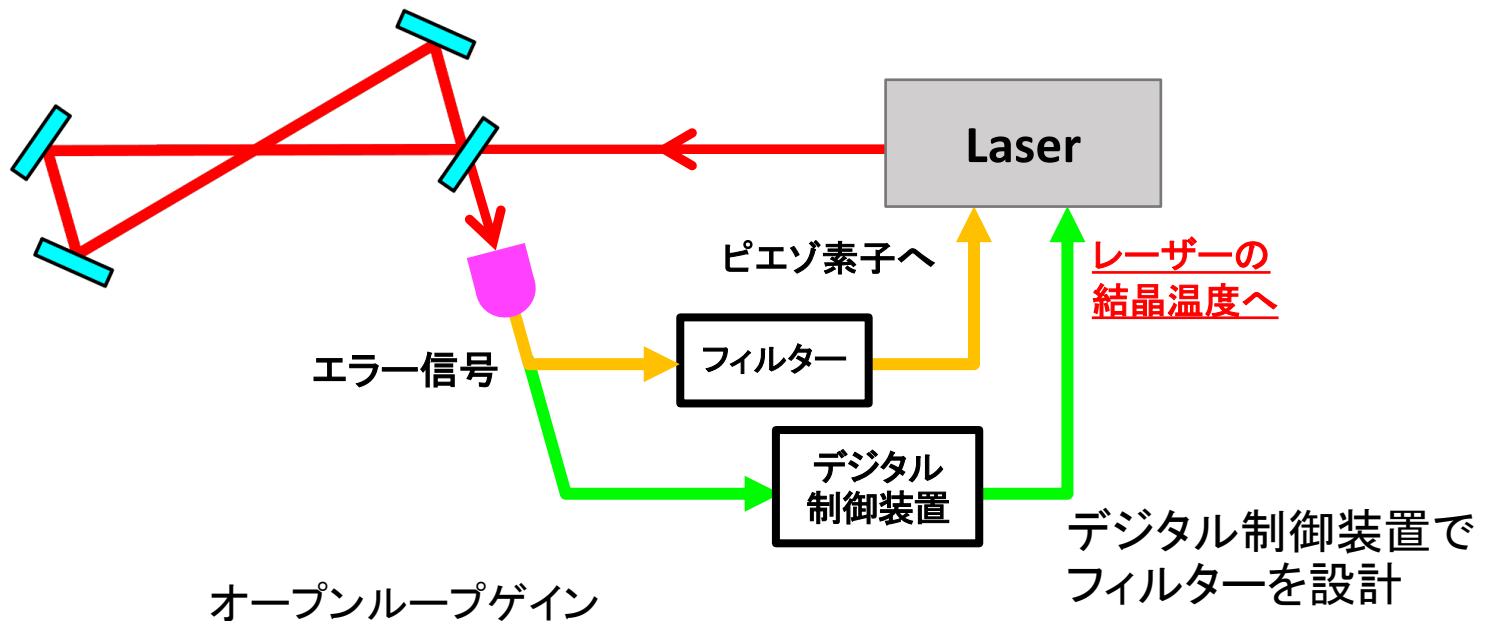


結晶温度による波長制御はピエゾ素子より
も大きなレンジを持つ

レーザーの結晶温度も用いてドリフトを抑制

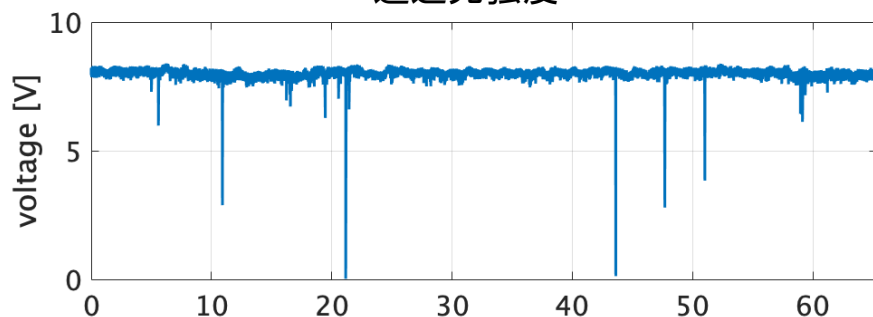


階層制御



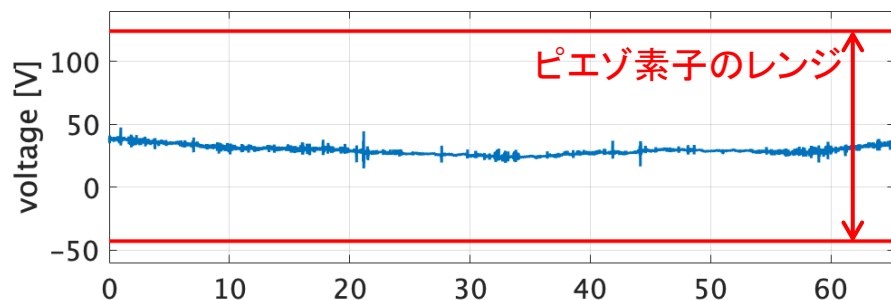
結果

透過光強度

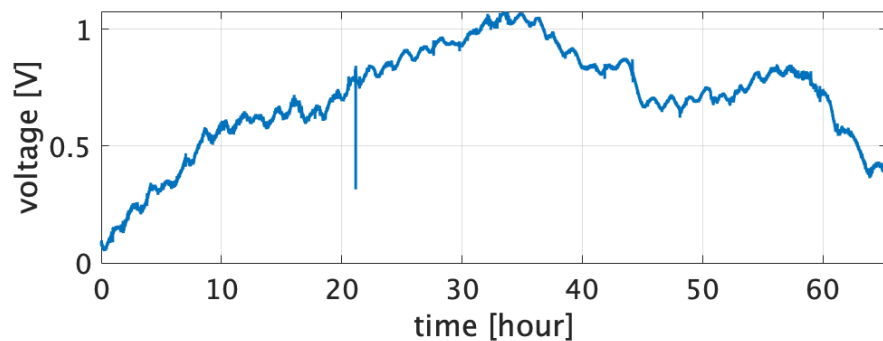


60時間以上の
共振持続に成功

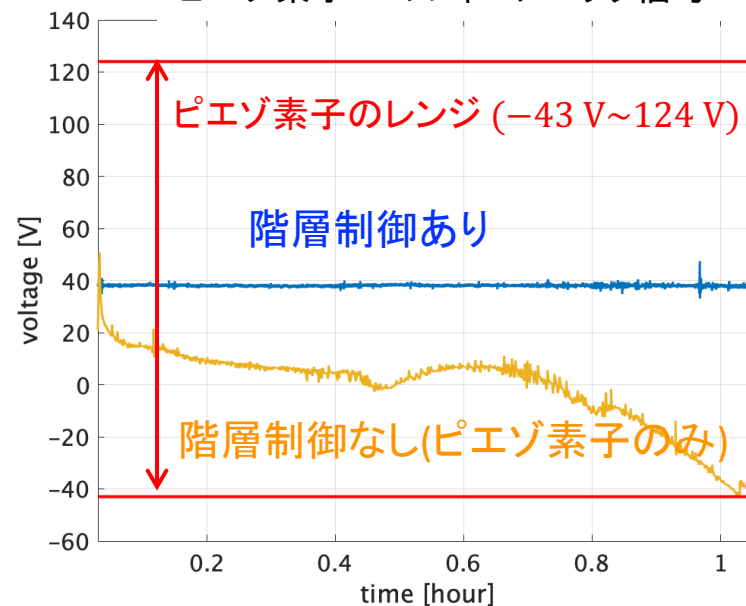
ピエゾ素子へのフィードバック信号



温度へのフィードバック信号

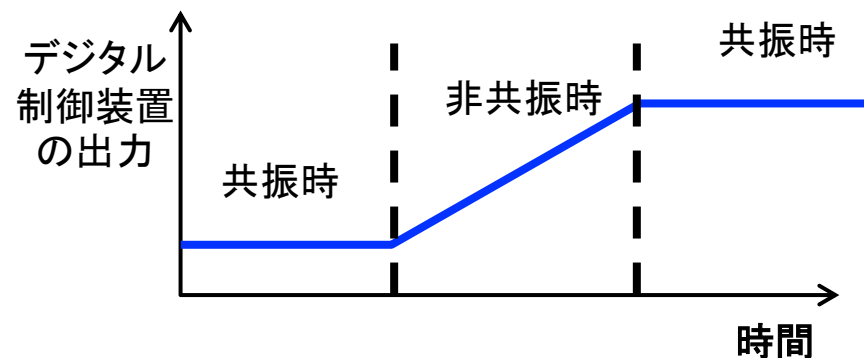
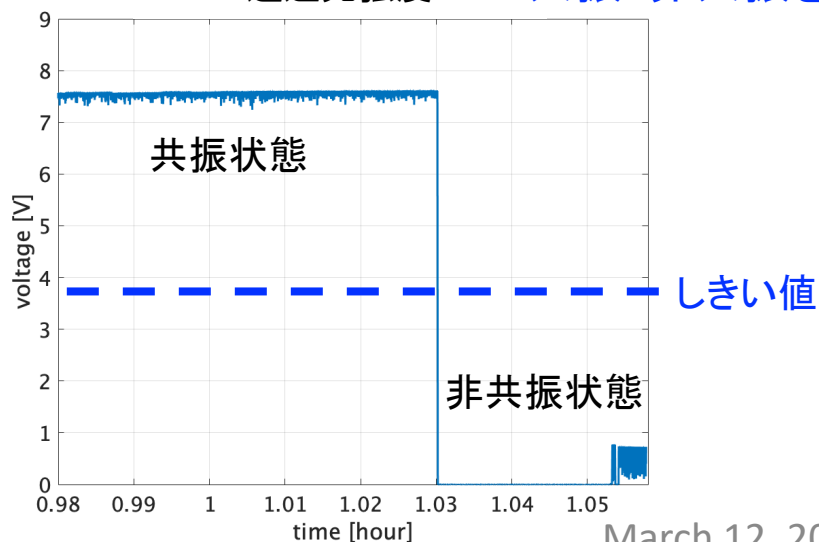
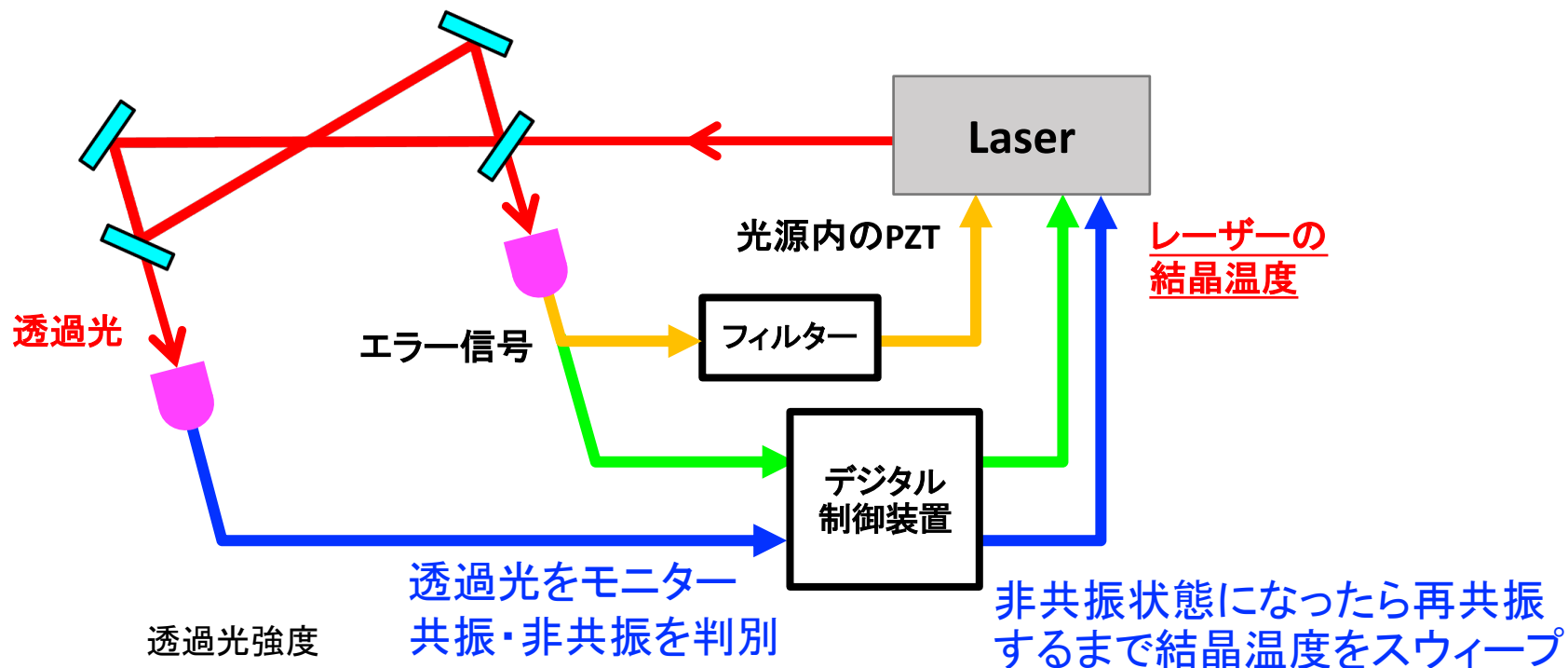


ピエゾ素子へのフィードバック信号

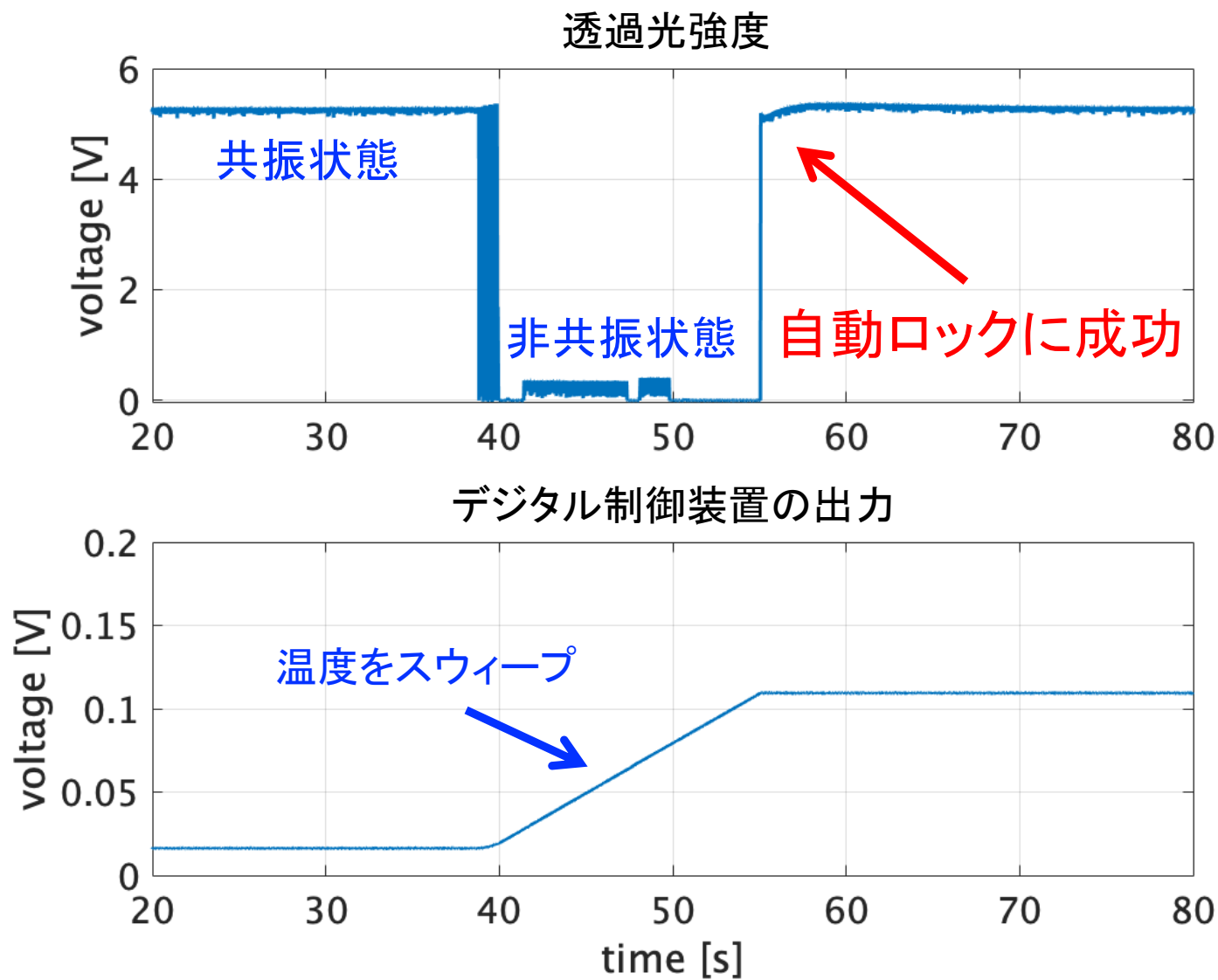


自動ロックシステム

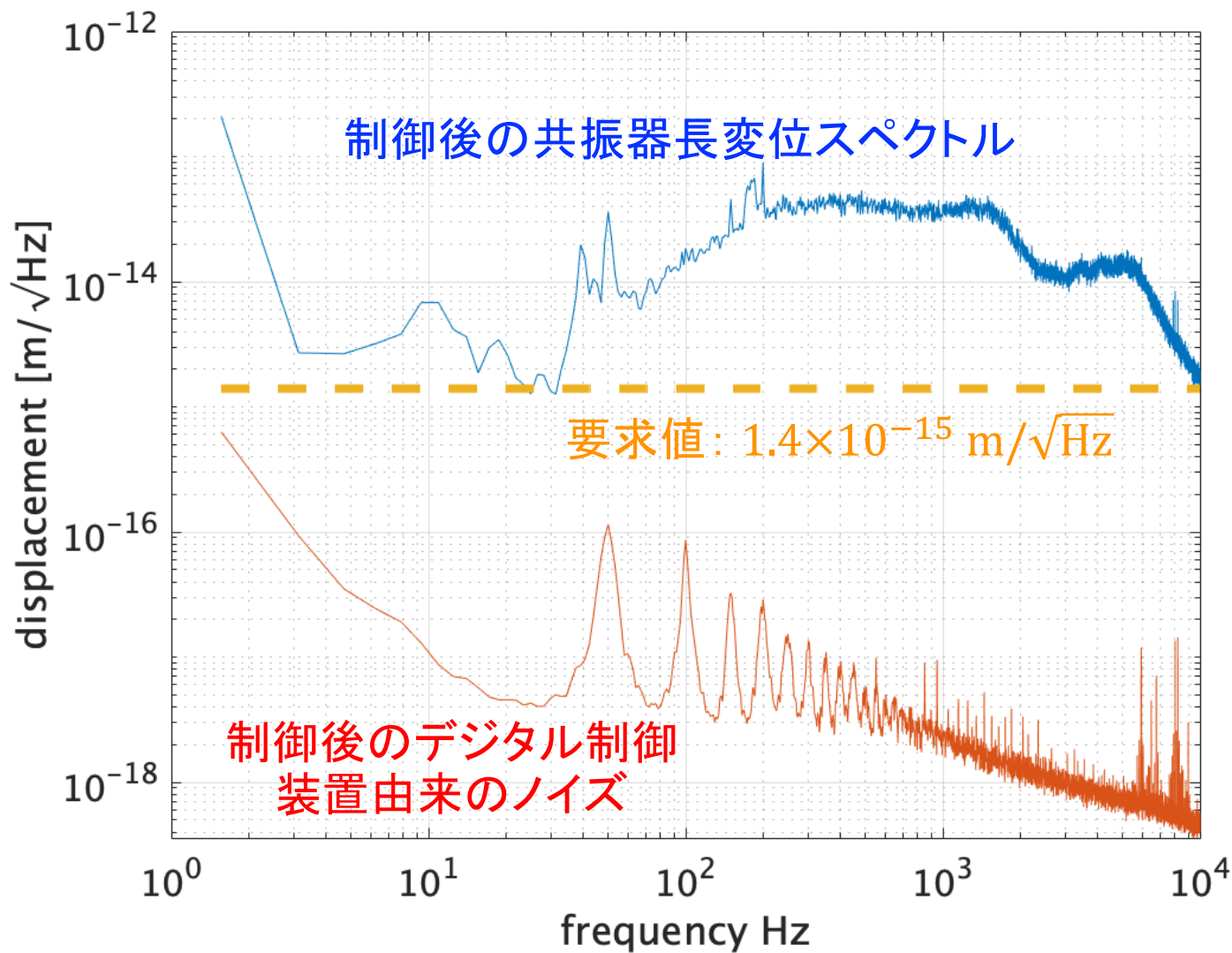
自動ロックシステム



結果



考察: ノイズの影響



まとめ

- DANCE: 光リング共振器を用いたアクシオン暗黒物質の探索実験
- 光リング共振器でアクシオンによる直線偏光の回転を増幅して感度を上げる
- DANCE Act-1が進行中
- SN比向上のための長期観測に向けて
 - 共振持続時間を伸ばすための階層制御
 - 非共振状態から共振へ戻す自動ロックシステムの開発を行った
- デジタル制御装置のノイズ評価を行った