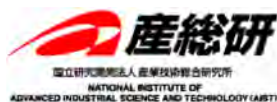


# ボース・アインシュタイン凝縮を目指した ポジトロニウム冷却 III

山田 恭平、周 健治、橋立佳央理、石田 明、難波 俊雄<sup>A</sup>、浅井 祥仁、  
五神 真、田島 陽平<sup>B</sup>、蔡 恩美<sup>B</sup>、吉岡 孝高<sup>B</sup>、大島 永康<sup>C</sup>、  
オロークブライアン<sup>C</sup>、満汐 孝治<sup>C</sup>、伊藤 賢志<sup>C</sup>、熊谷 和博<sup>C</sup>、  
鈴木 良一<sup>C</sup>、藤野 茂<sup>D</sup>、兵頭 俊夫<sup>E</sup>、望月 出海<sup>E</sup>、和田 健<sup>F</sup>

東大理、<sup>A</sup>東大素セ、<sup>B</sup>東大工、<sup>C</sup>産総研、<sup>D</sup>九大GIC、<sup>E</sup>高エネ研、<sup>F</sup>量研



日本物理学会第74回年次大会  
2019.3.15@九州大学(伊都キャンパス)

# 目次

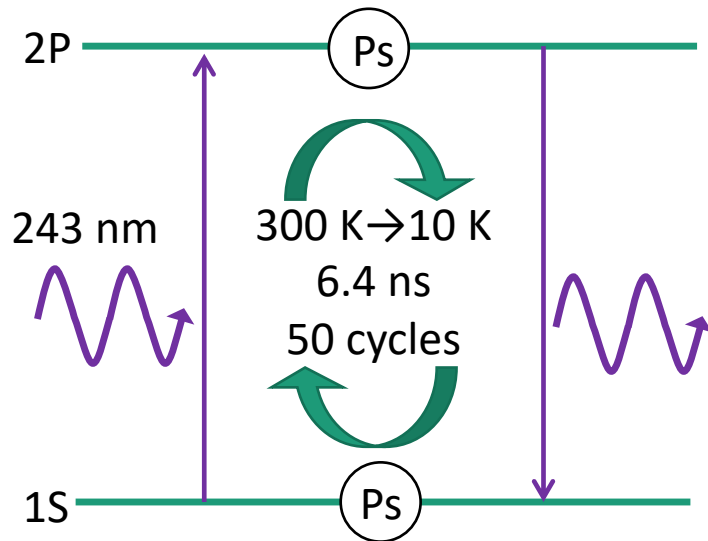
## 本講演: ポジトロニウムBEC実現のための 冷却レーザーの開発

1. ポジトロニウムのレーザー冷却の特徴
2. ポジトロニウム冷却用レーザーの設計概要
3. 開発状況
4. 今後
5. まとめ

# Psレーザー冷却(ドップラー冷却)の特徴

## 1. 高速冷却

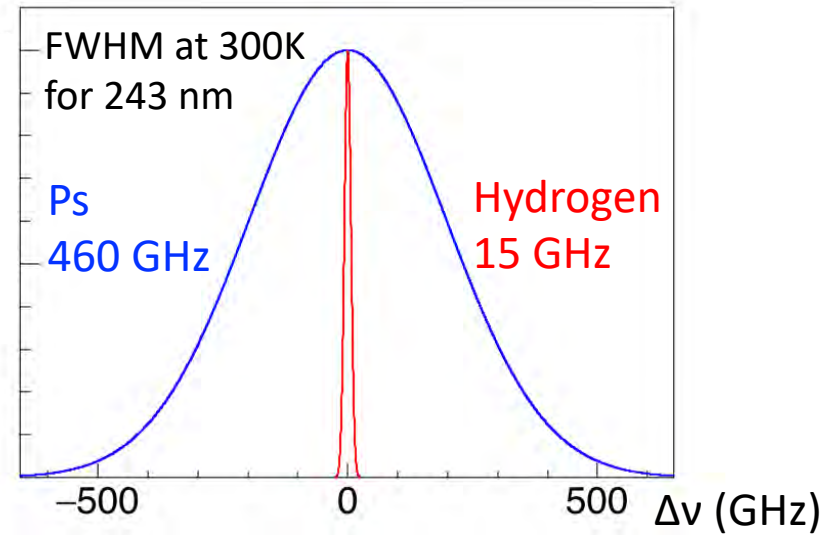
∴ Ps寿命: 142ns



- 1S-2P (243 nm)
  - 6.4 ns × 50 ~ 300 ns
- Psの冷却を一つのパルスで完了する

## 2. 広帯域レーザー

∴ Psの質量が $2m_e$ と軽い

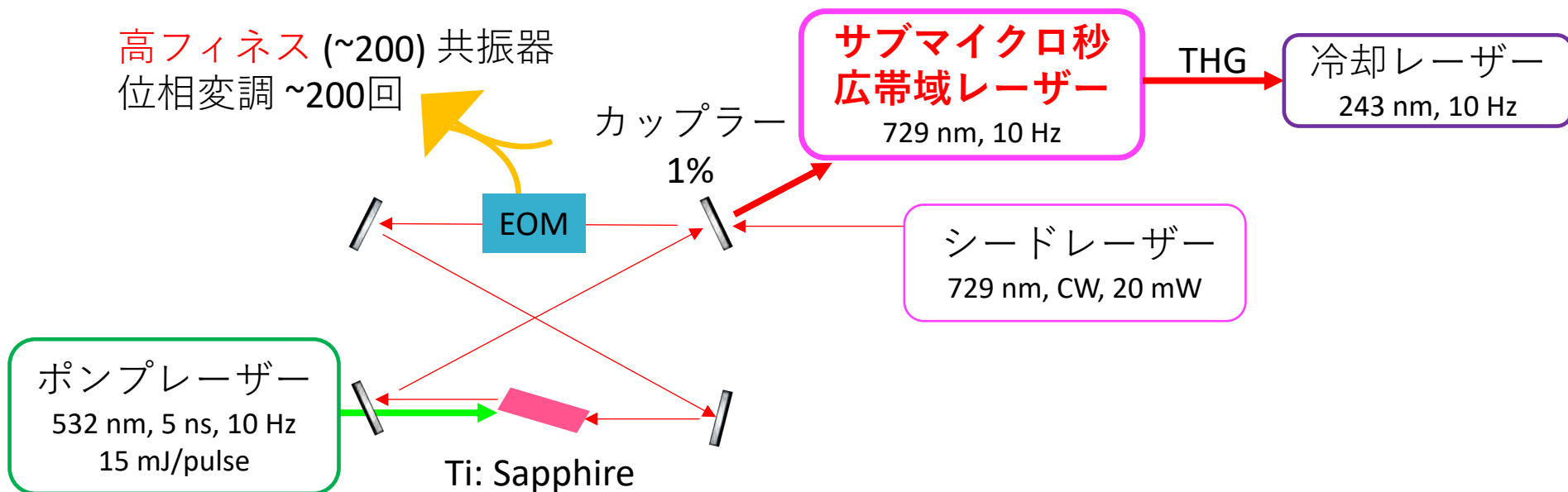


- ドップラー広がり水素原子の30倍
- 全てのPsを冷却するには広帯域 (150 GHz) レーザーが必要

→ 243 nm サブマイクロ秒パルス広帯域レーザー

商用では不可のため自作

# サブマイクロ秒広帯域パルスレーザーの生成



## サブマイクロ秒パルス

→長い光子寿命の共振器を用いる

1. 長い共振器長 (3.8 m)
2. 高いフィネス

$$\text{loss/cycle} = 1\%(\text{カップラー}) + 0.6\%$$

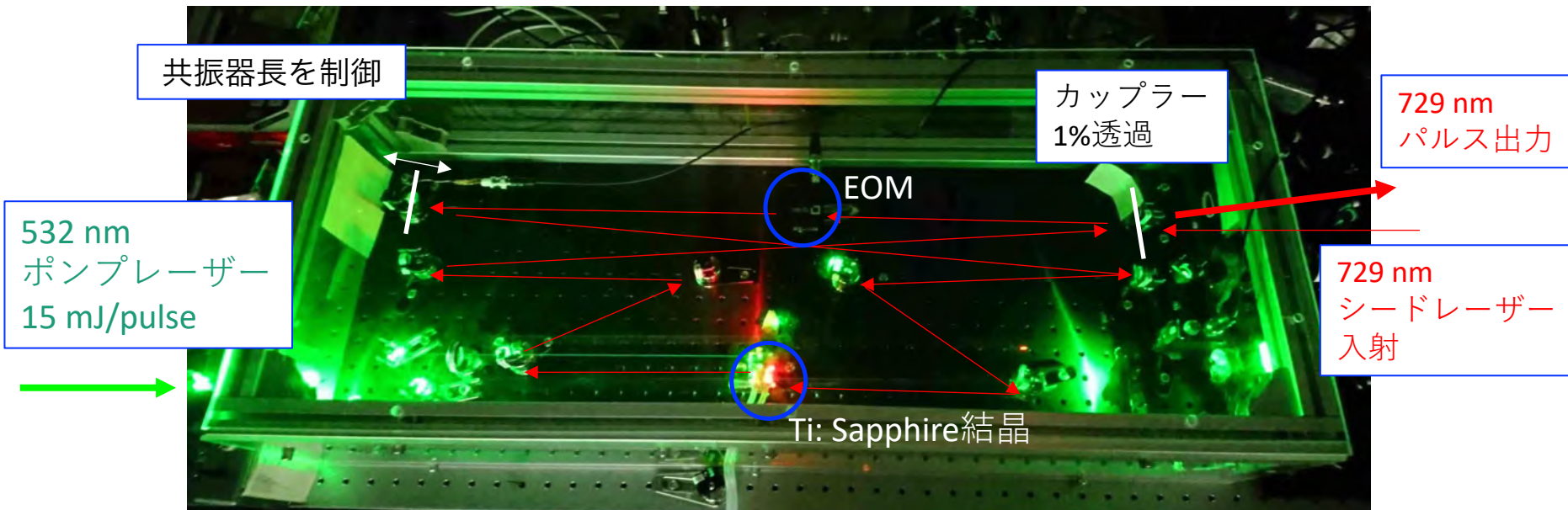
## 広帯域化

1. EOM: サイドバンド生成
2. 高フィネス (~200) 共振器

EOMが位相変調を~200回行い、サイドバンドを高次まで生成  
→実効的な広帯域化

# ロング & 高フィネス 共振器

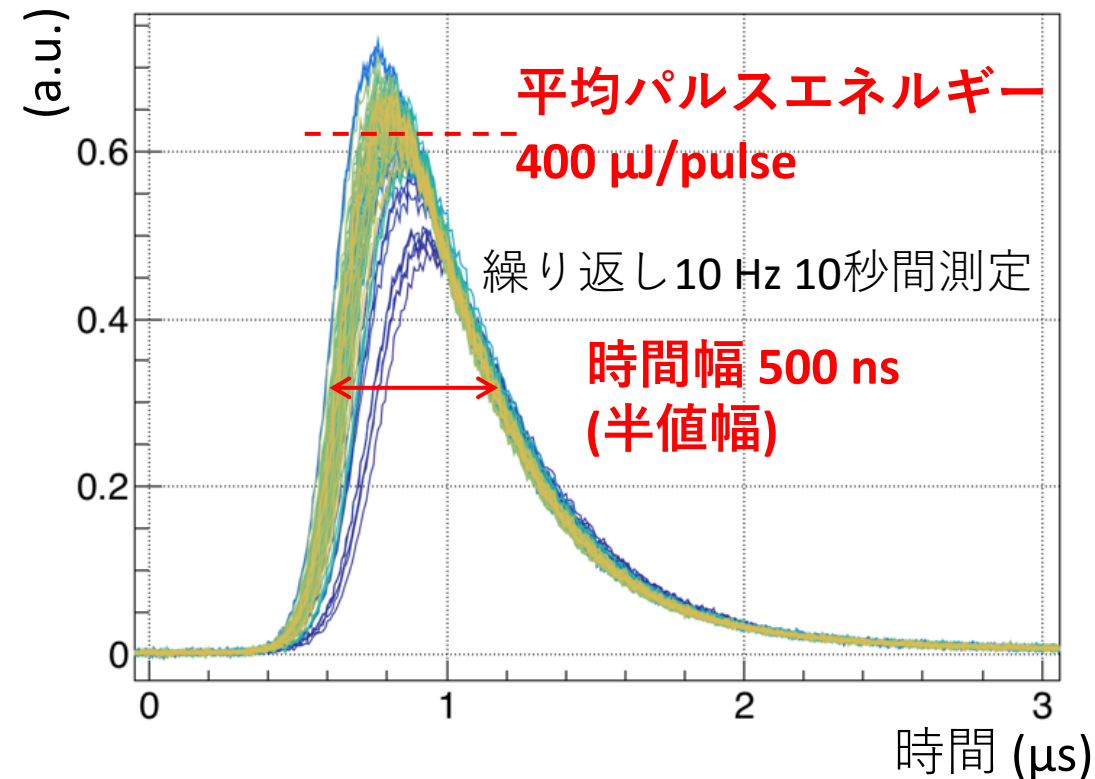
冷却レーザー系心臓部



1. 共振器長 3.8 m、 8枚のミラーでコンパクトに (96 × 36 cm<sup>2</sup>)
2. フィネス (~200)  
→ 光子寿命 ~ 700ns

# 安定した高強度・長パルス発振に成功

## 729 nm 時間プロファイル

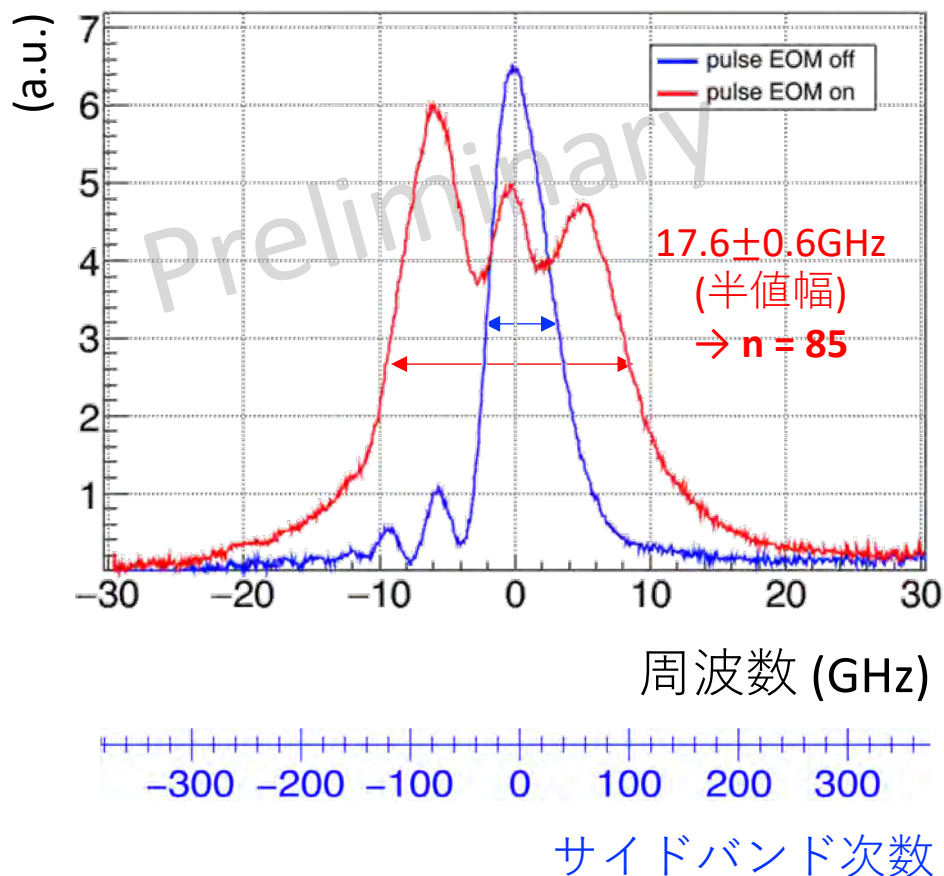


ポンプレーザーの強度を共振器のミラーの損傷ギリギリまで上げ、安定したパルス発振に成功

- ✓ 長時間幅: 500 ns
- ✓ パルスエネルギー: 400  $\mu$ J
- ✓ タイミングジッター: <100 ns

# 長パルスの広帯域化に成功

## 729 nmパルスのスペクトル



EOMの駆動周波数と共振器のFSRを合わせる

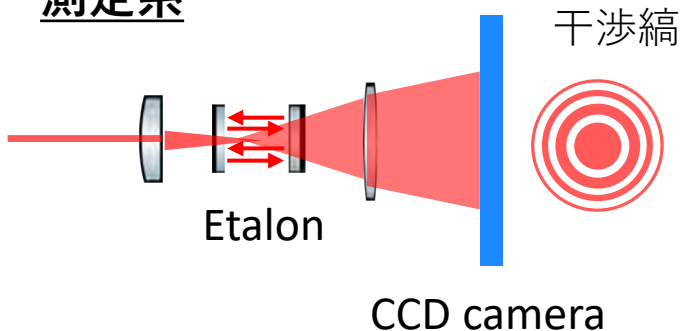
周波数幅17GHzを達成

✓ 半値幅としてサイドバンド  
次数  $\pm n = 85$

パルスレーザとして初めての  
高次サイドバンド生成

# 広帯域パルスのスペクトル測定

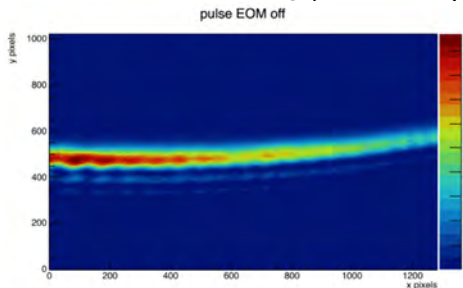
## 測定系



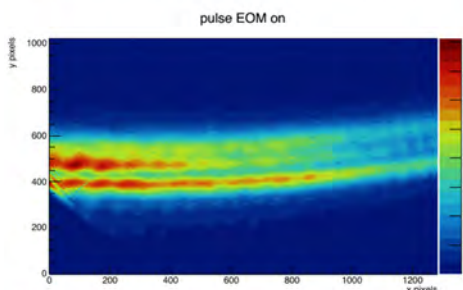
- 広帯域のパルスに対応した分光器を自作
- スペクトルをパルス一発ずつ測定可能
- エタロンで周波数空間を実空間に変換

Etalon  
FSR = 750 GHz  
FWHM = 4.8 GHz

## CCDカメラで撮った干渉縞の一部



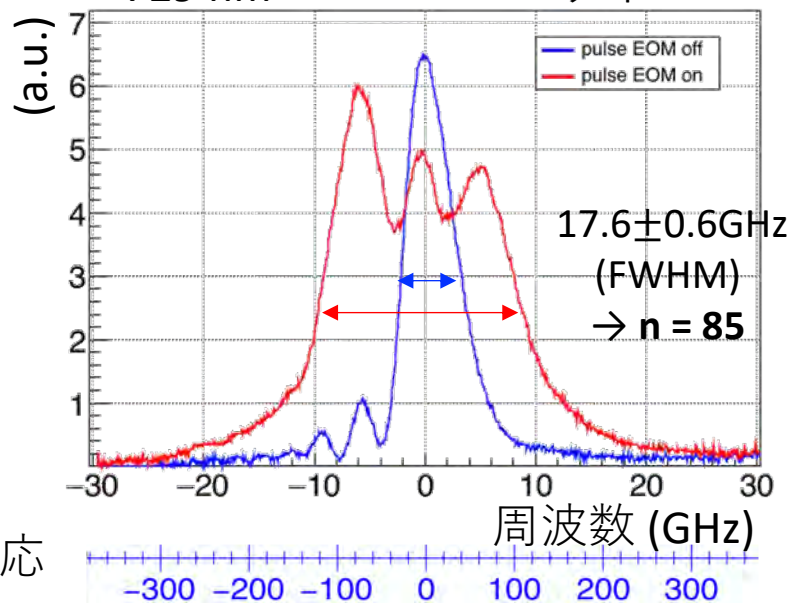
EOM  
OFF



EOM  
ON

干渉縞の幅が  
レーザーの線幅に対応

## 729 nmパルスのスペクトル



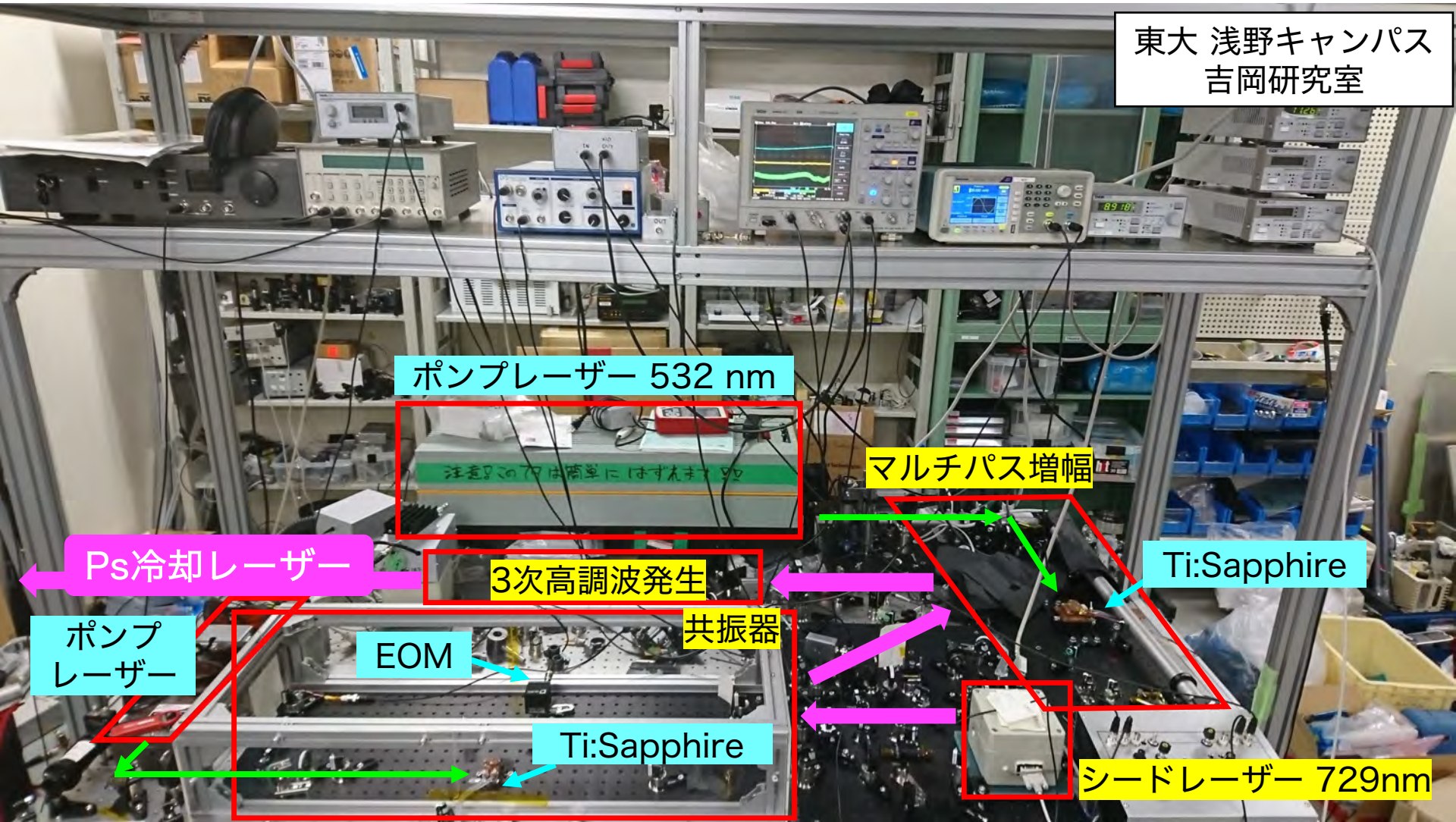
# 冷却レーザー系をKEKの実験室に合うよう コンパクトに組んでいる (2.0 m×1.1 m)

東大 浅野キャンパス  
吉岡研究室



# 冷却レーザー系をKEKの実験室に合うよう コンパクトに組んでいる (2.0 m×1.1 m)

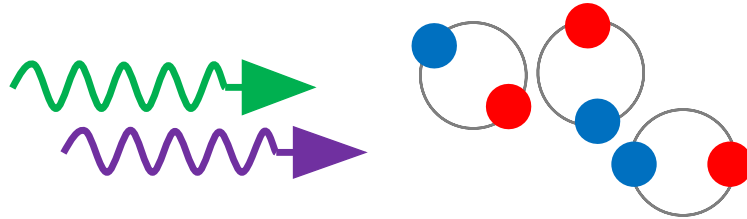
東大 浅野キャンパス  
吉岡研究室



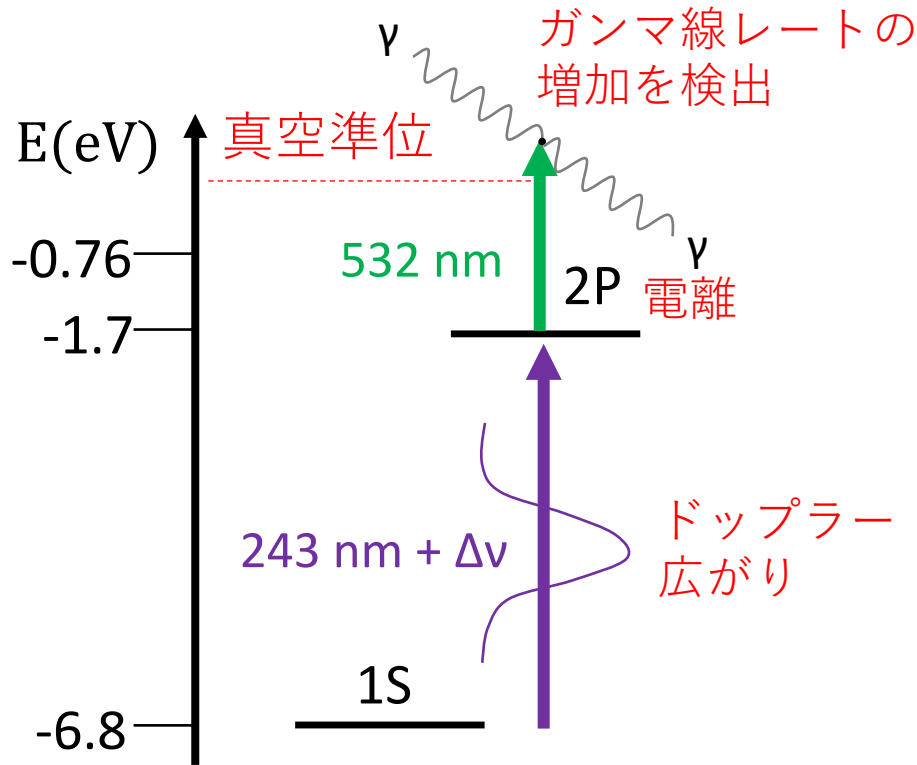
# 今後

- 冷却レーザー構築は心臓部が完了
  - Ti: Sapphireアンプによりパルスエネルギー増幅  
400  $\mu$ J  $\rightarrow$  5 mJ
  - 3次高調波生成(729 nm  $\rightarrow$  243 nm)
- 3月にPs温度測定実験(KEK-SPF, 1S-2Pドップラー分光)
- 陽電子ビームライン(KEK-SPF)へ冷却レーザーを移設し、  
来年度中に世界初のPsレーザー冷却を行う

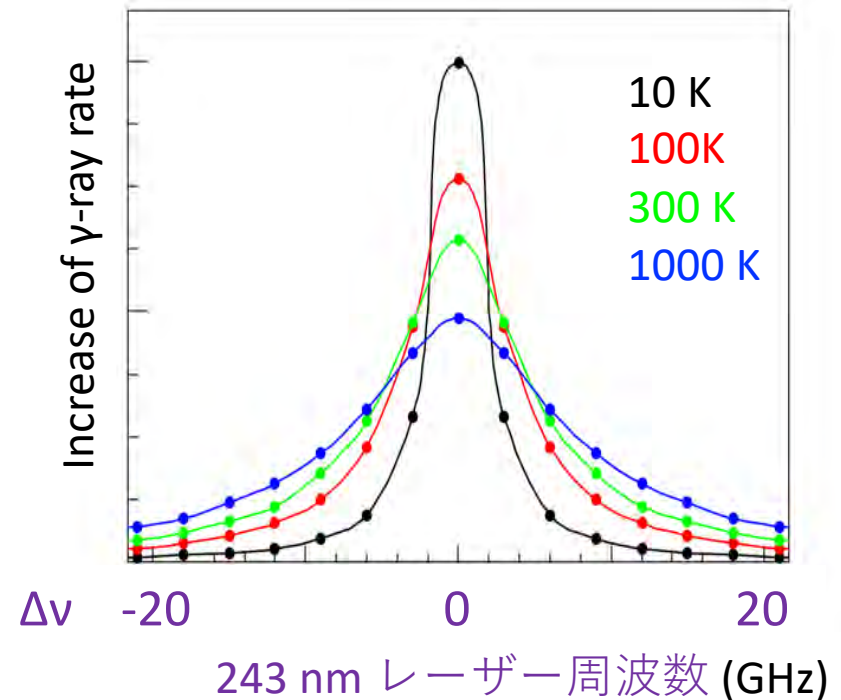
# Ps温度測定 1S-2Pドップラー分光



243 & 532 nm ナノ秒パルスレーザー

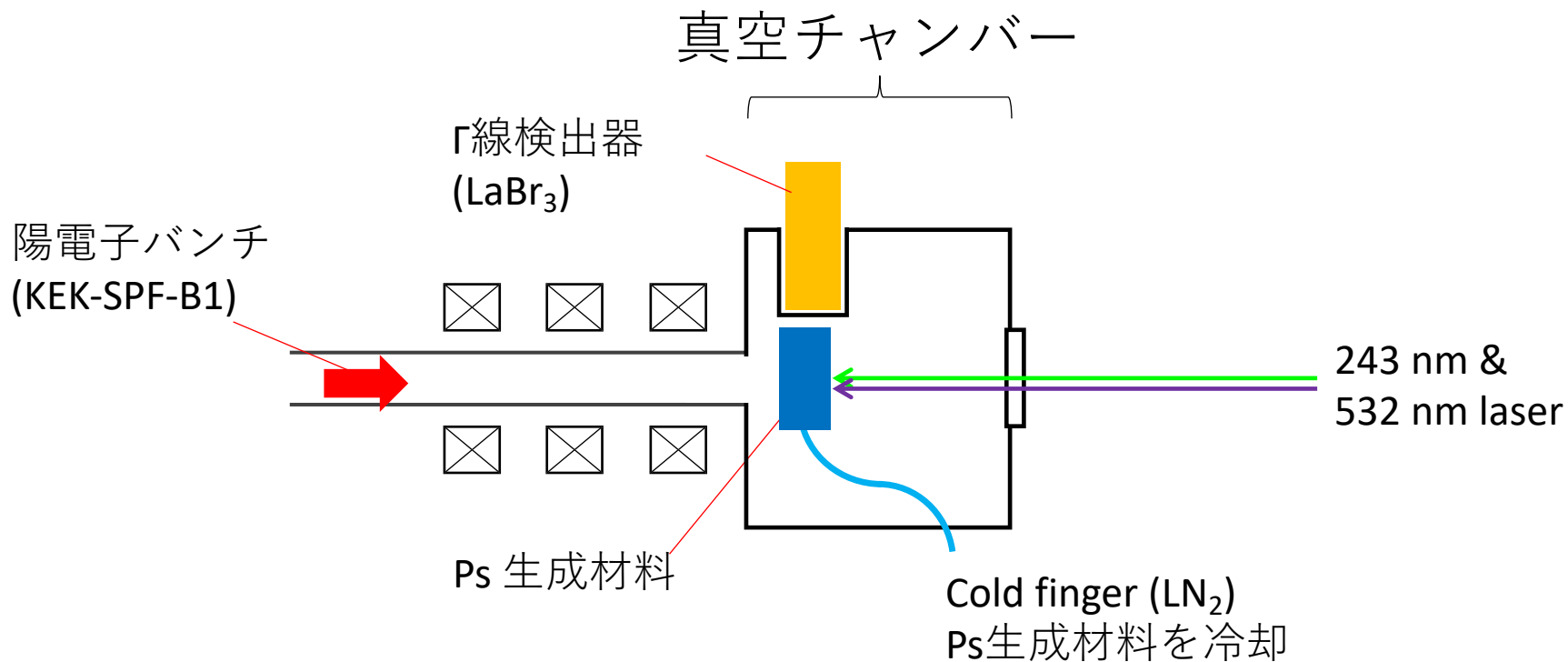


予想される共鳴曲線

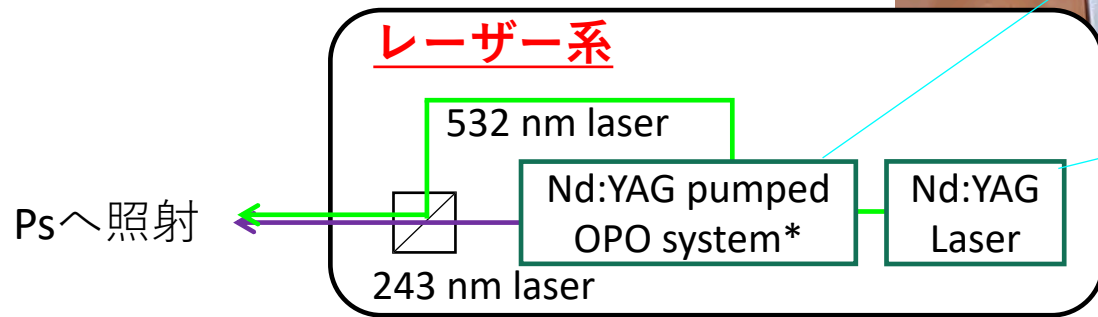
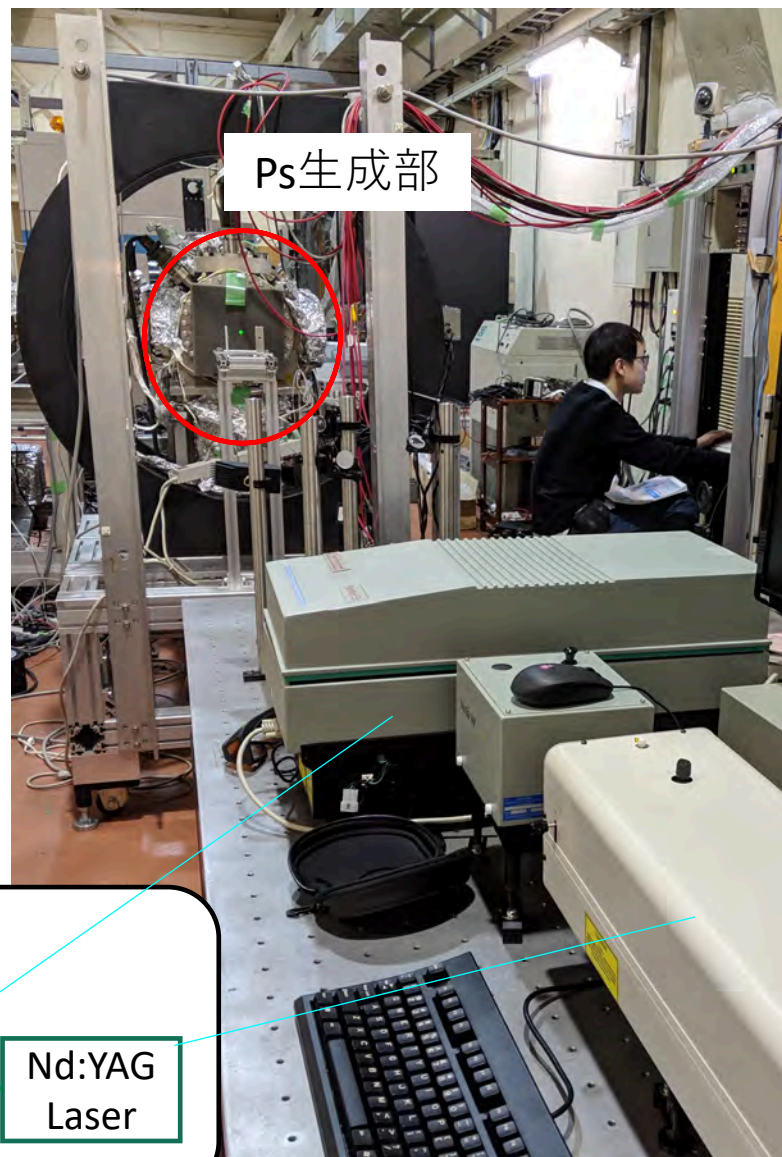
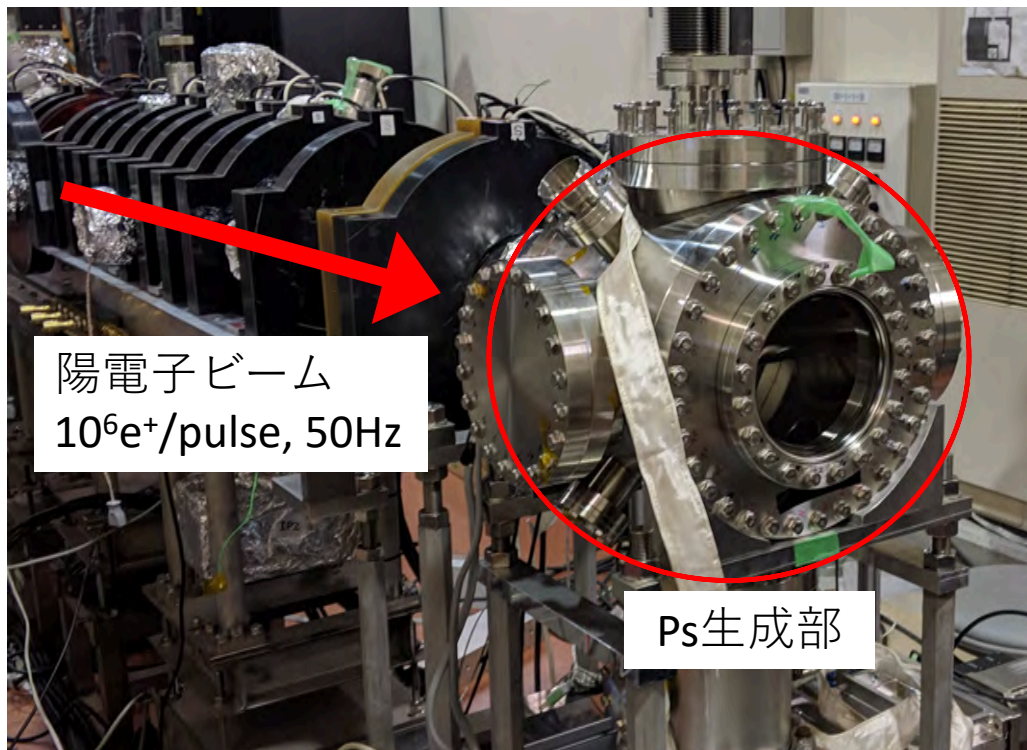


# Ps温度測定実験系

## 上面図



# 陽電子ビームライン(KEK-SPF-B1)



# まとめ

- Ps-BECは反物質系で世界初のBECの最有力候補
- Ps冷却レーザーは特殊な性能を要求するため、新しいレーザーシステムを作成中。729 nmの広帯域サブマイクロ秒長パルス発振に成功。数ヶ月で完成させKEK-SPFへ移設。
- 今月1S-2Pドップラー分光によるPs温度測定を行う
- 世界初のPsレーザー冷却をKEK-SPFで来年度中に実現することを目指している。