

# 低温・高密度ポジトロニウム生成材としての シリカエアロゲルの性能評価

東大理, 東大素セ<sup>A</sup>, 産総研<sup>B</sup>, KEK 物構研<sup>C</sup>, 量研高崎<sup>D</sup>  
牧和真, 石田明, Randall W. Gladen, 難波俊雄<sup>A</sup>, 浅井祥仁,  
大島永康<sup>B</sup>, オロークブライアン<sup>B</sup>, 満汐孝治<sup>B</sup>, 伊藤賢志<sup>B</sup>,  
兵頭俊夫<sup>C</sup>, 望月出海<sup>C</sup>, 和田健<sup>C</sup>, 前川雅樹<sup>D</sup>

日本物理学会2024年春季大会

# 謝辞

今回新規発表する内容の一部は以下の助成を受けたものです。



創発的研究支援事業

*Fusion Oriented REsearch for disruptive Science and Technology*

- JST 創発的研究支援事業 JPMJFR202L
- JSPS科研費 JP16H04526, JP17H02820, JP17H06205, JP17J03691, JP18H03855, JP23H05462
- 公益財団法人 松尾学術振興財団
- 公益財団法人 三豊科学技術振興協会
- 公益財団法人 光科学技術研究振興財団
- 公益財団法人 三菱財団
- TIA連携プログラム探索推進事業「かけはし」TK17-046, TK19-016

<https://www.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/~ishida/work/psbec/>  
<https://tabletop.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/psbec>  
<https://tabletop.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/psbec en>

# 目次

ポジトロニウム(Ps)のボースアインシュタイン凝縮(BEC)に向けて、シリカエアロゲルを生成材とした低温・高密度Psの生成可能性について評価する実験を行ったので本発表で報告する。

1. Psレーザー冷却とその課題
2. 過去の研究
3. 本実験の目的
4. 実験のセットアップ
5. 実験結果
6. シリカエアロゲル温度測定

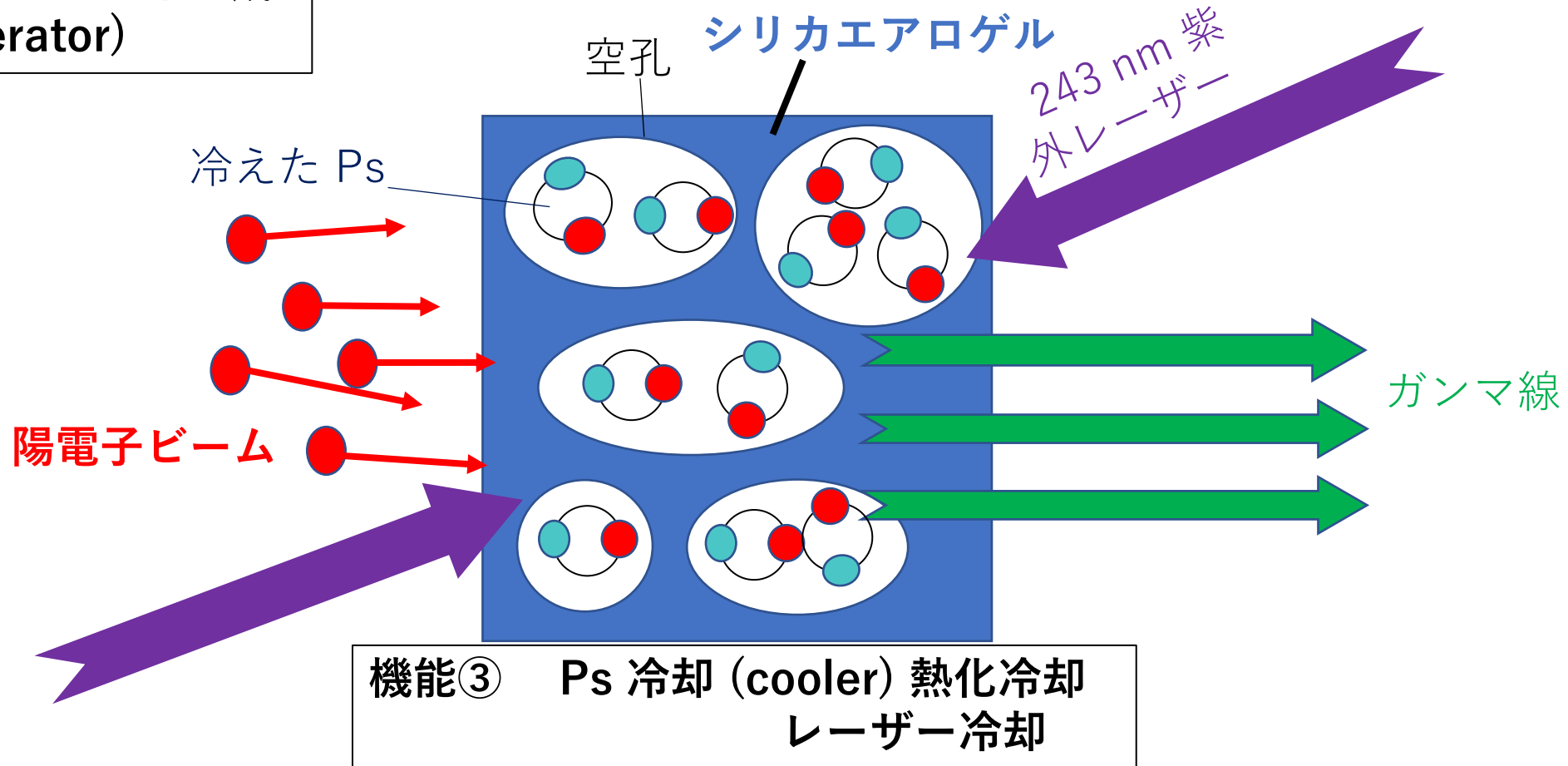
# Ps-BECに向けた低温・高密度Psの生成

## シリカエアロゲルを用いた低温・高密度Psの生成戦略

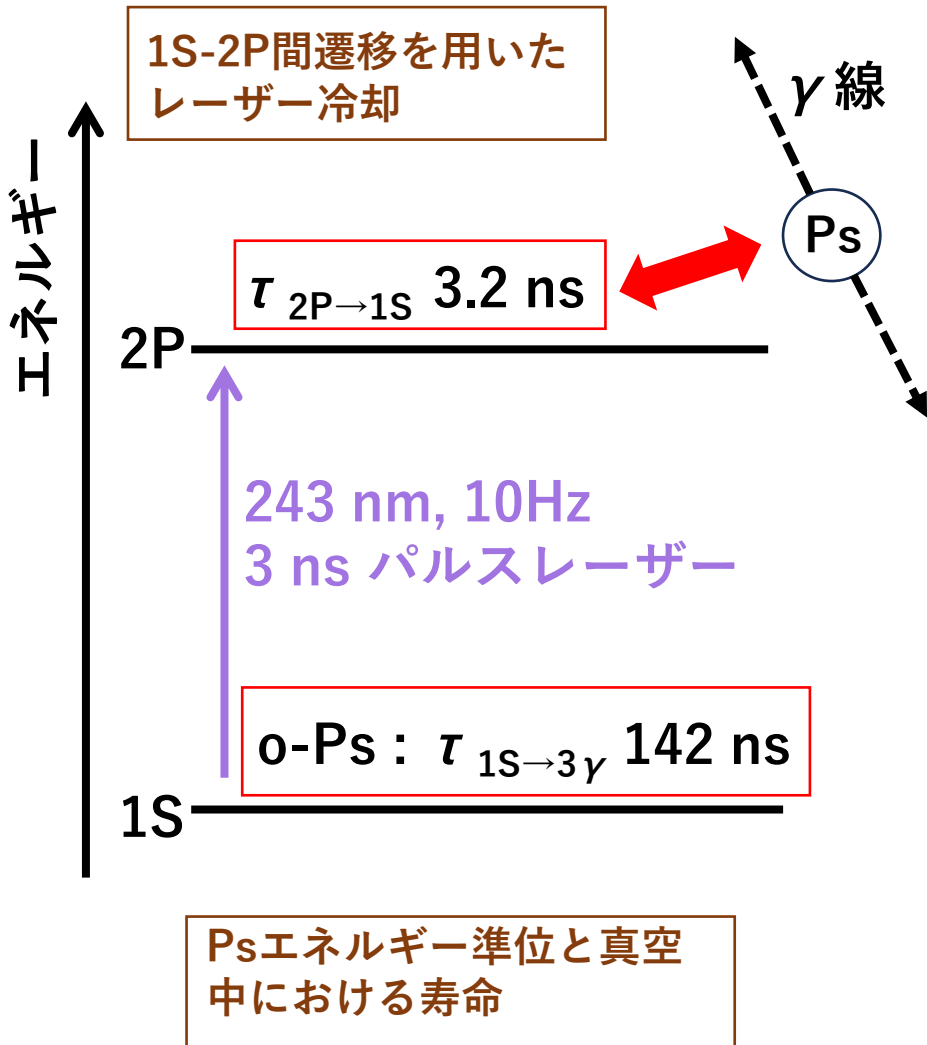
10 K,  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$   
Ps生成を目指す  
→Ps-BEC

機能① 陽電子から  
高効率でPsを生成  
(generator)

機能② Psを高密度に濃縮 (condenser)



# Psレーザー冷却とその課題



1S-2P間遷移に対応する243 nm紫外レーザーを照射し、1S-2P間の励起・脱励起を繰り返すことでPsをレーザー冷却する。

真空中でのPsレーザー冷却には成功している。  
(arXiv:2310.08761)



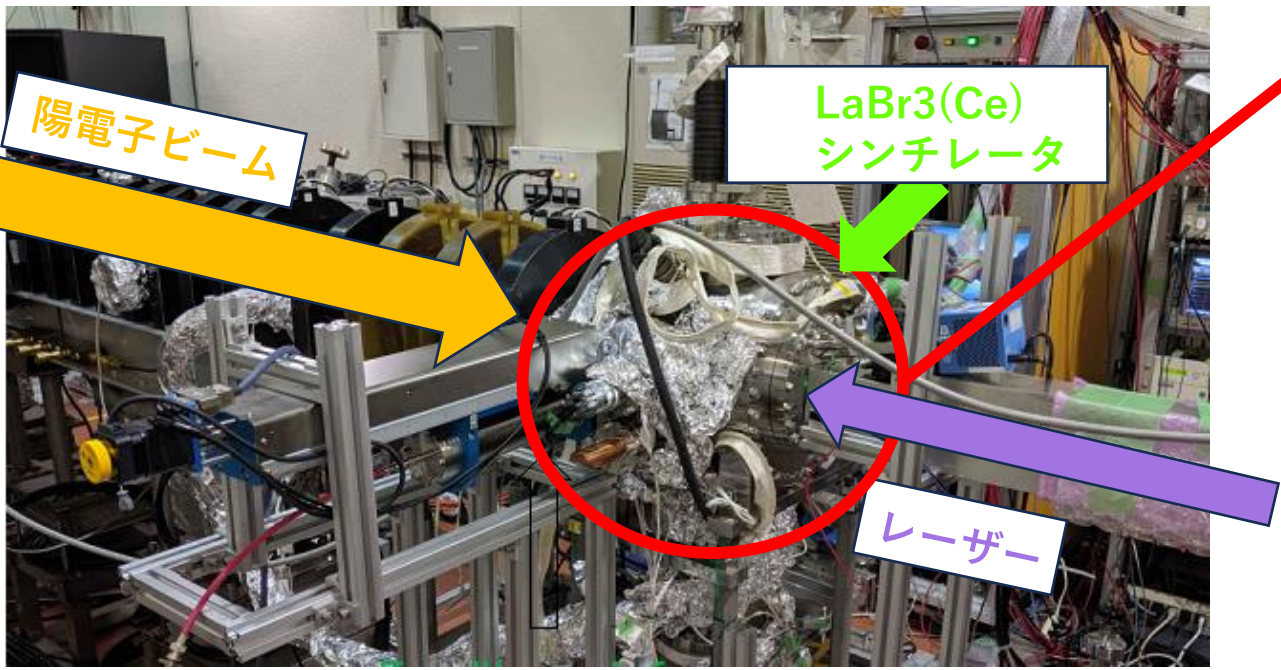
シリカエアロゲル中ではレーザーを照射してPsを1S→2P励起させたところただちに(2P→1S自然脱励起寿命3.2 nsより十分に短い時間で) $\gamma$ 線に崩壊する現象が確認されている。(文献[1] K. Shu, "Laser Excitation of Confined Positronium in Porous Materials for Rapid Cooling", 東京大学大学院理学系研究科物理学専攻博士論文)  
その機構は未だ明らかになっていない

# 過去に調査されたレーザー照射によるPsの崩壊

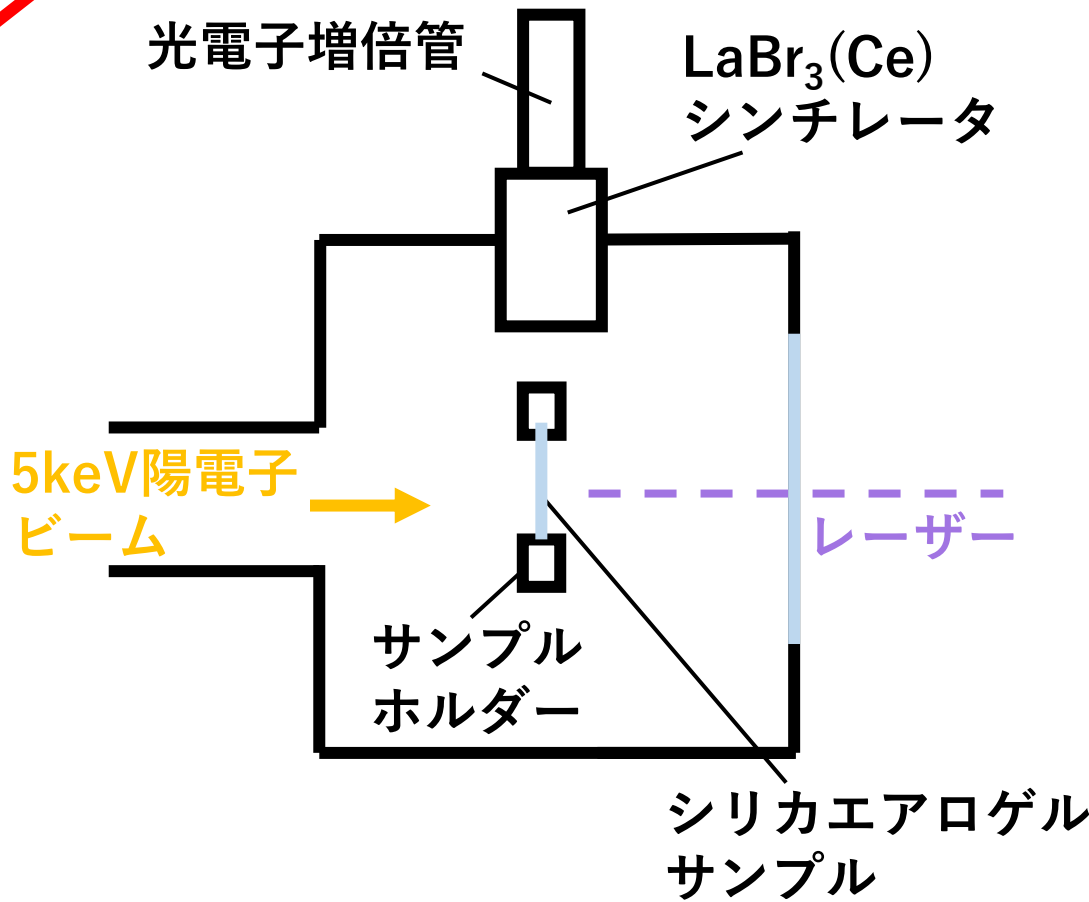
文献[1]参照

高エネルギー加速器研究機構(KEK)物質構造科学研究所(IMSS)低速陽電子実験施設(SPF)の低速陽電子ビームを用いて行われた。← 本実験と同じ

## 実験のセットアップ



## 装置内部の模式図 (上から見た図)



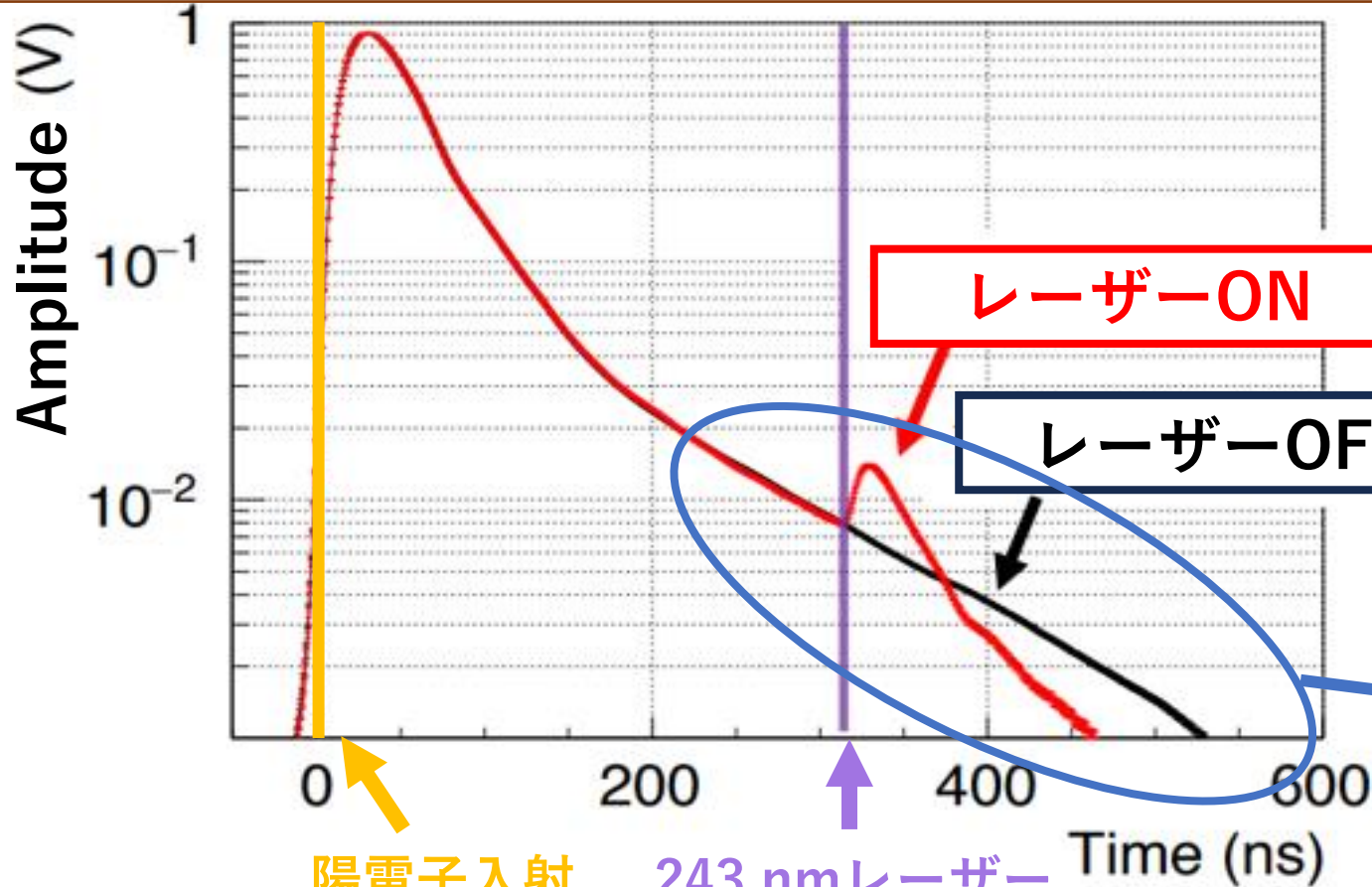
## 陽電子ビーム

エネルギー	5 keV	パルス幅	11 ns FWHM
強度	$\sim 10^6 e^+/s$	ビームサイズ	$\phi \sim 10$ mm
繰り返し	50 Hz		

# レーザー照射後にPsの崩壊が見られた

シリカエアロゲルに陽電子ビーム入射後、300 ns後に243 nmレーザーを照射したときと照射しなかったときで、シンチレータで検出された信号の平均波形を比較

シンチレータ信号の1陽電子ビームパルス当たりの平均波形



陽電子入射  
タイミング

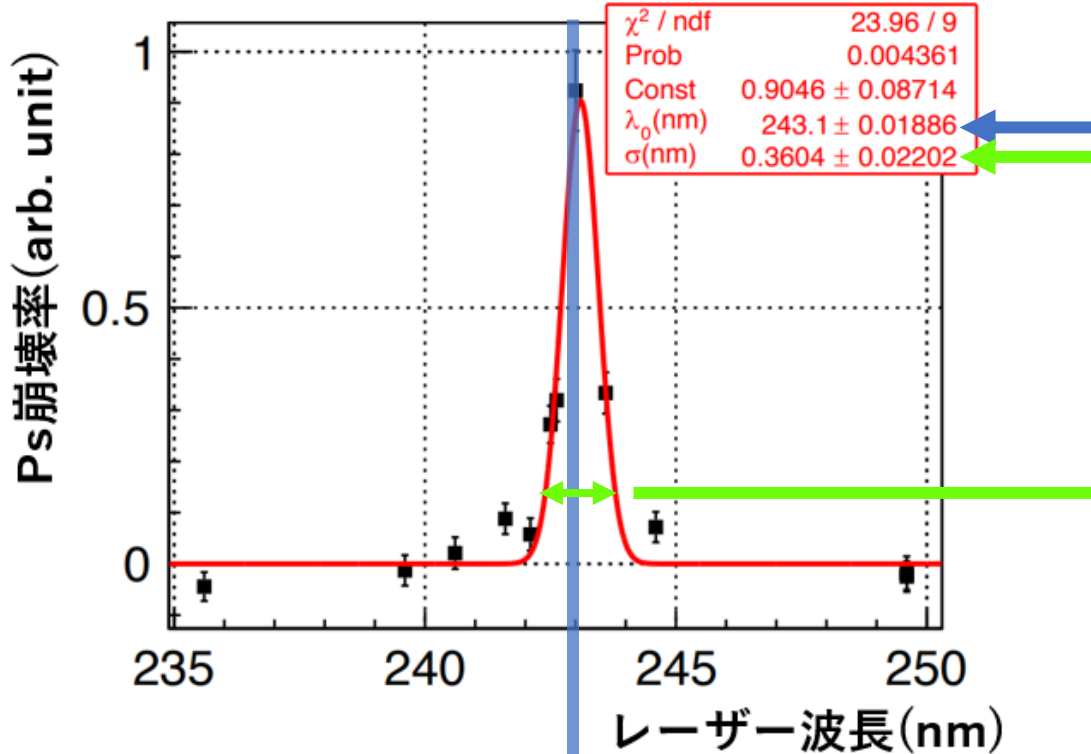
243 nmレーザー  
照射タイミング

レーザーの照射によって  
Psが $\gamma$ 線に崩壊している

# 崩壊は波長243 nm付近でのみ生じる 2P状態になって崩壊している

レーザー波長を変化させた際の  
Ps崩壊率の変化

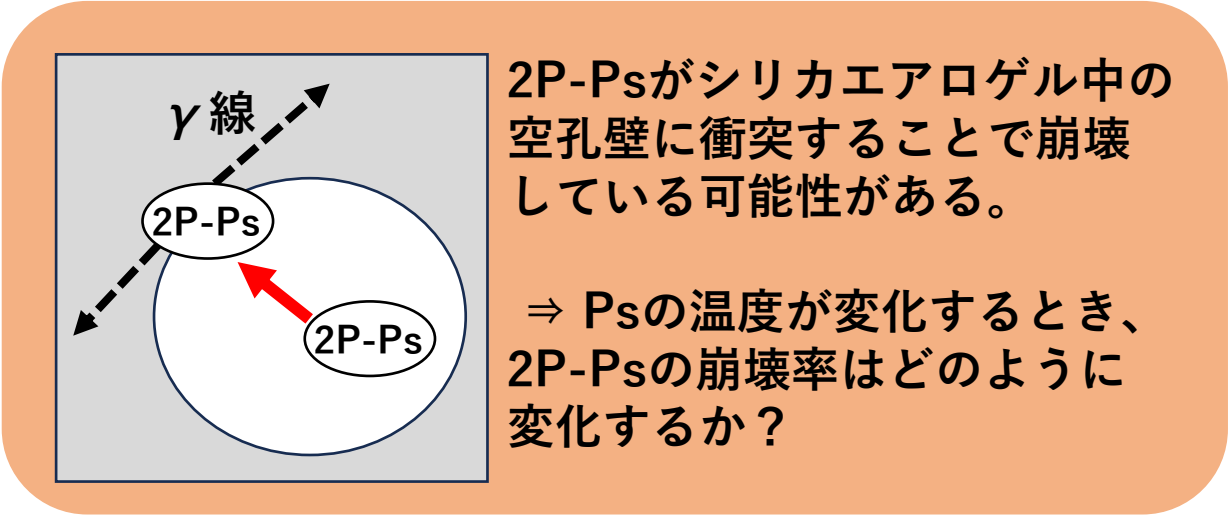
■ 取得データ — Gaussian Fit



共鳴幅から計算される2P-Ps寿命 ~40 fs

同程度?

シリカエアロゲル中のPsが空孔壁に衝突するまでの  
典型的な時間 ~100 fs



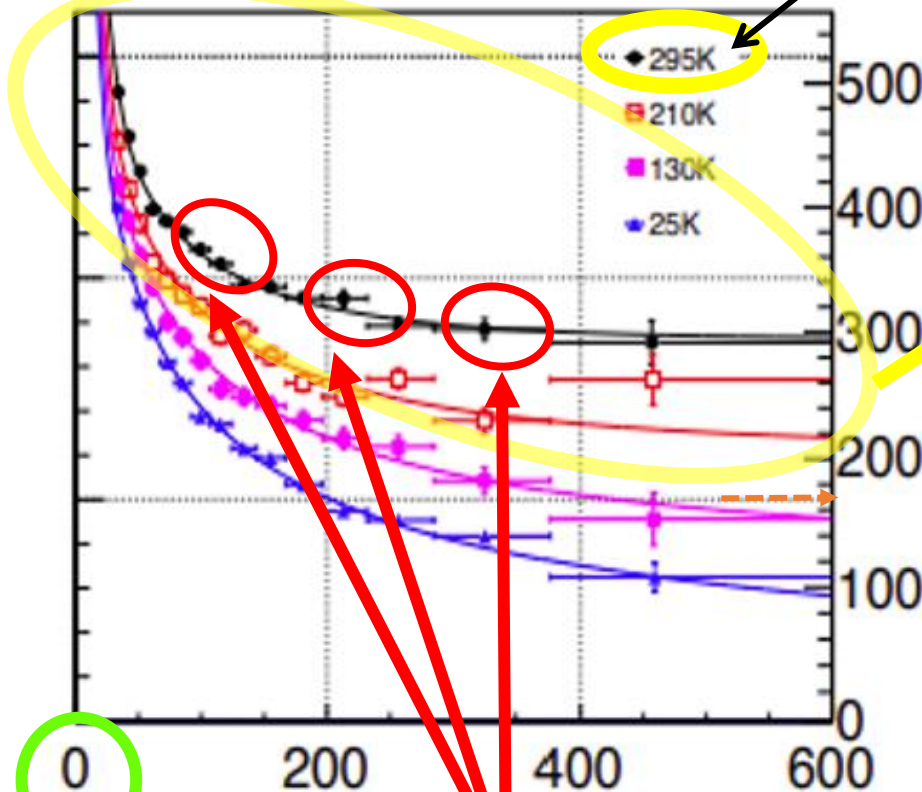
Psの1S-2P遷移エネルギーに対応する  
波長243 nmでPs崩壊率最大



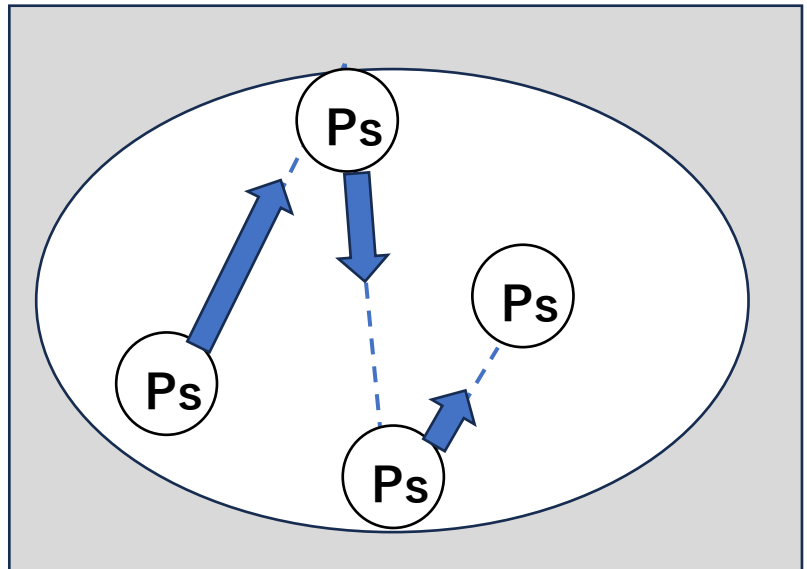
# 熱化によってシリカエアロゲル中のPsは温度を失う

シリカエアロゲル中における熱化によるPs温度の低下 (実線: 理論値)

シリカエアロゲル温度



シリカエアロゲル中の空孔壁に衝突してPsが運動量を失う様子



Ps生成時刻

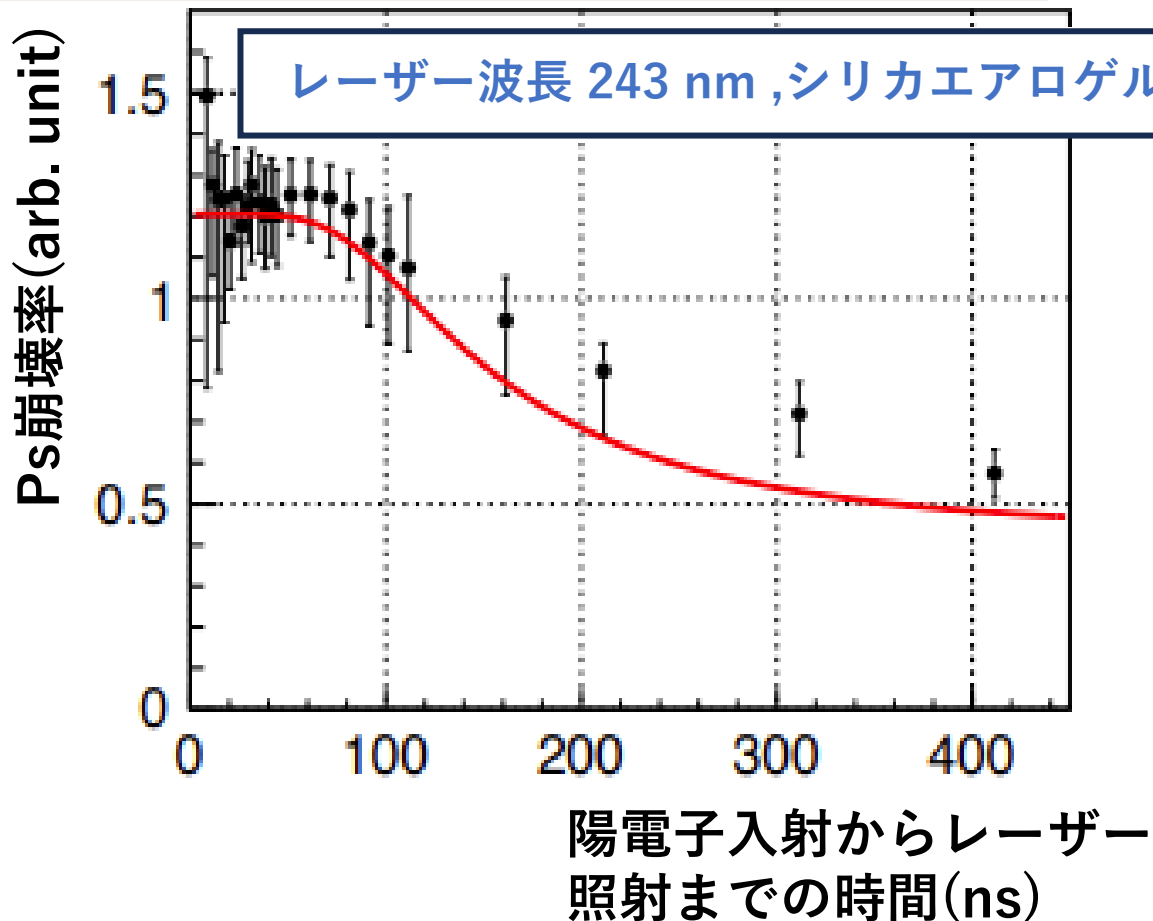
Ps生成からの時間 (ns)

各タイミングでレーザーを照射すると2P-Ps崩壊率はどのようになるか？

# レーザー照射タイミングを遅らせるほど2P-Ps崩壊率が減少

レーザー照射タイミングを変化させた際のPs崩壊率の変化

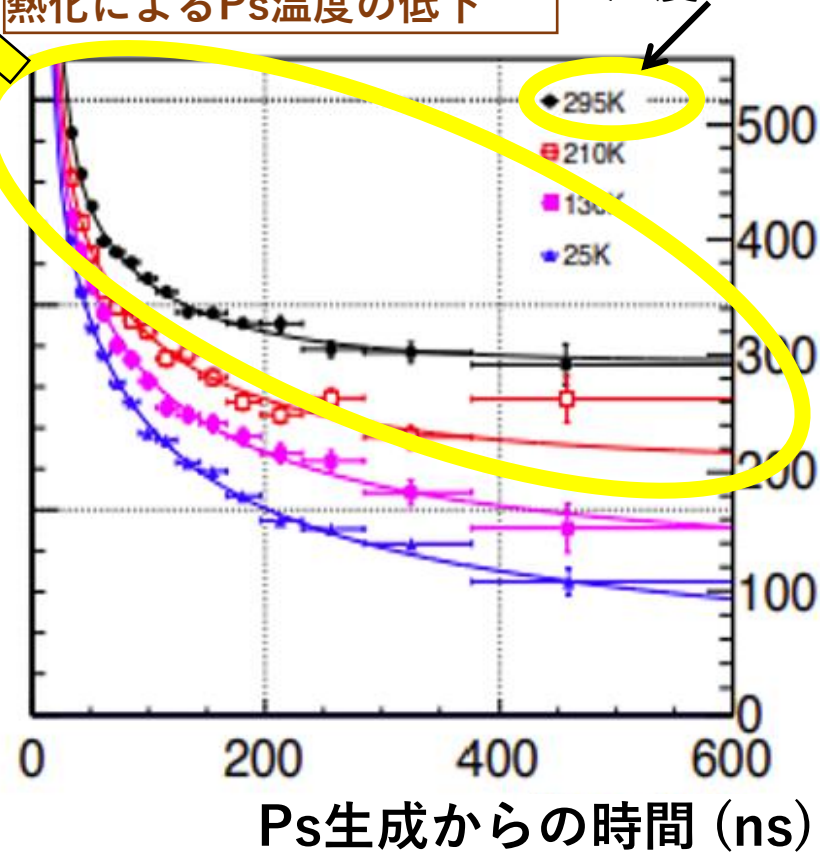
■ 取得データ — Model Function Fit



熱化によってPs温度が低下することで2P-Psの崩壊率が減少している可能性がある

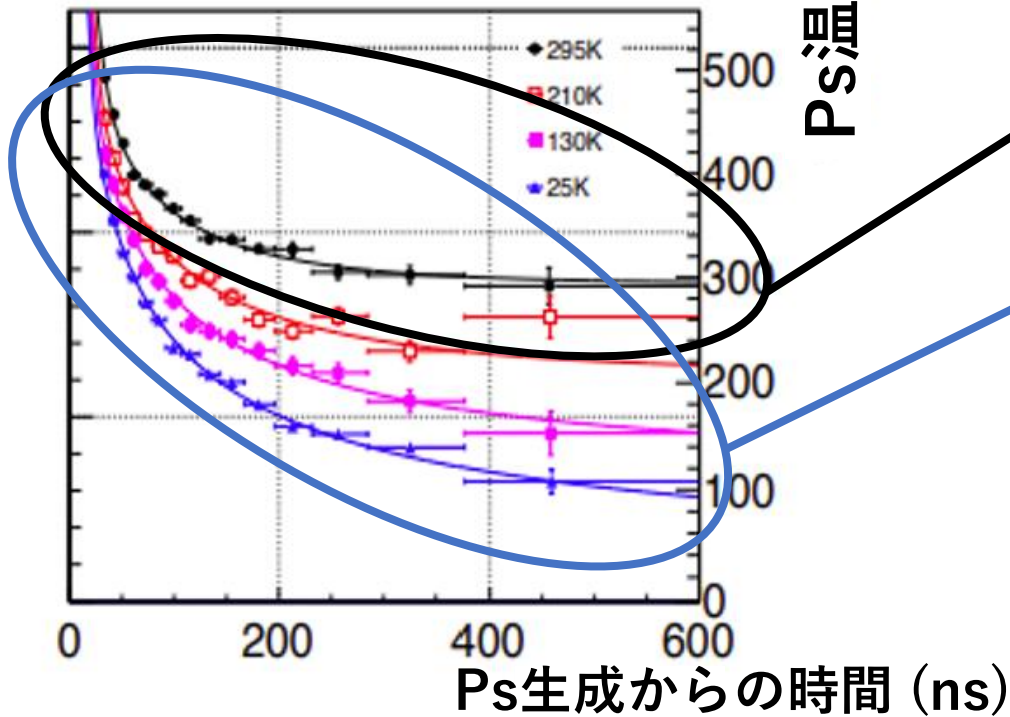
シリカエアロゲル中における熱化によるPs温度の低下

シリカエアロゲル温度

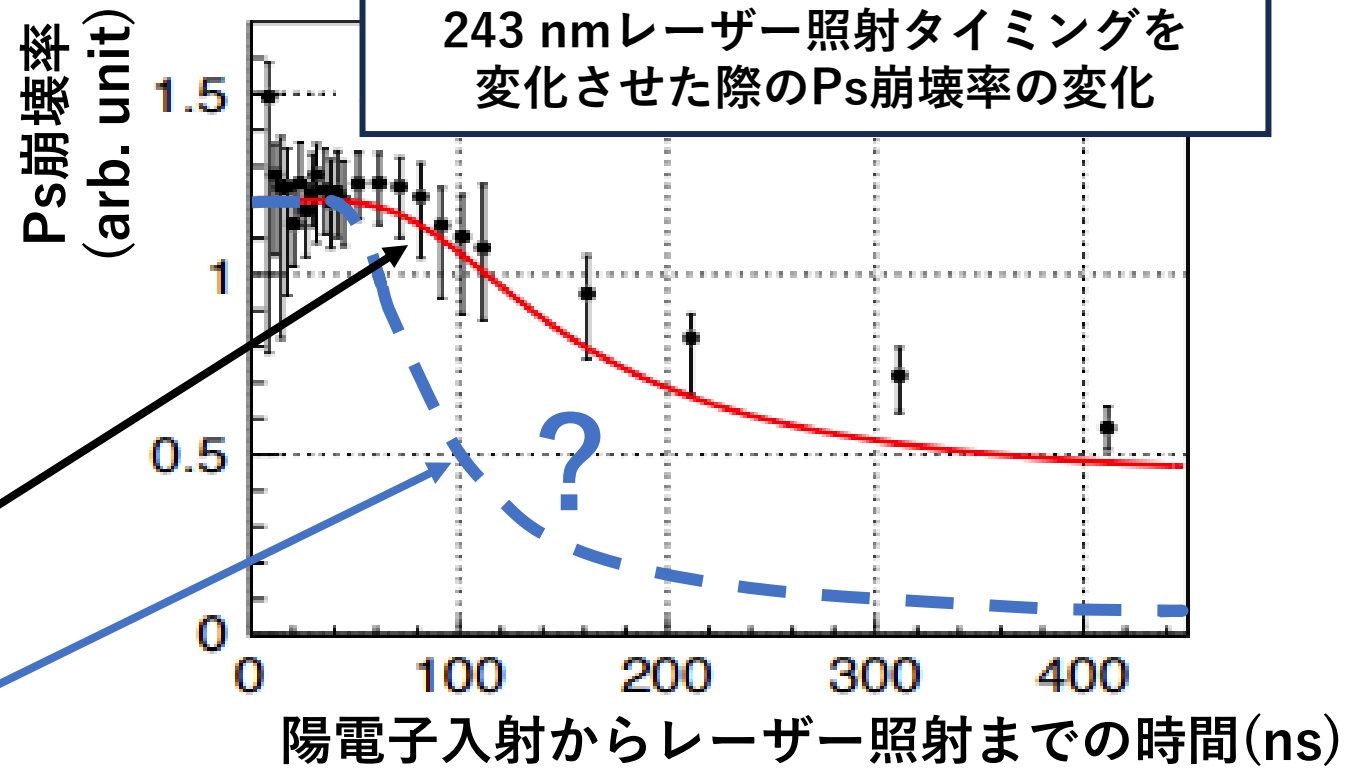


# 本実験の目的

シリカエアロゲル中における熱化によるPs温度の低下



シリカエアロゲルを冷却することで熱化によりPs温度が低下する。

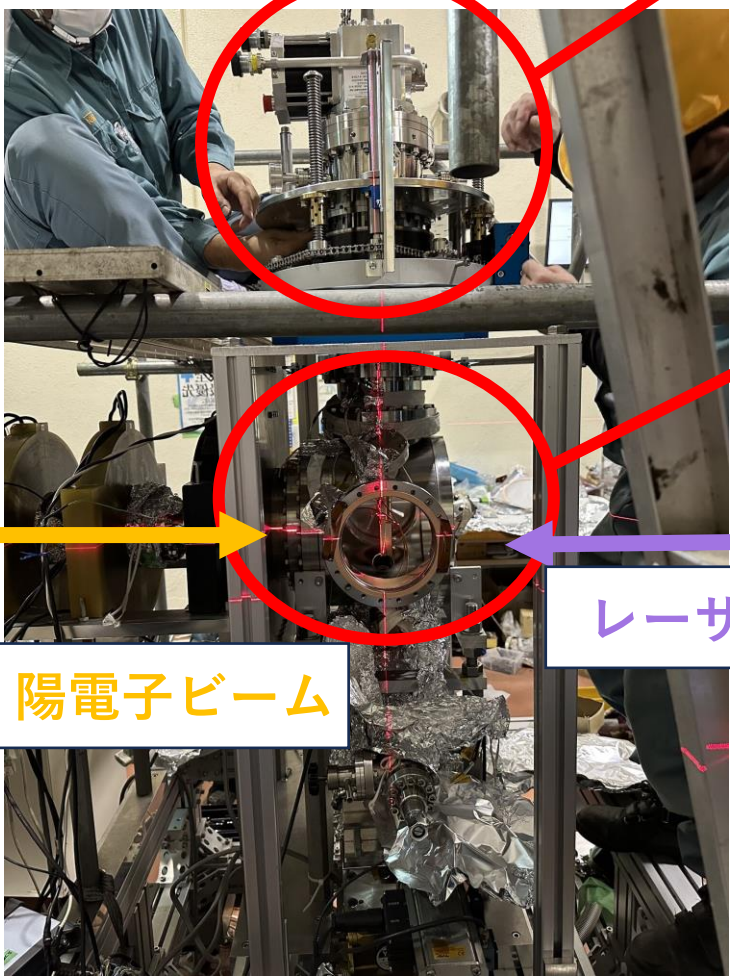


冷凍機を用いてシリカエアロゲルを冷却したとき、常温のシリカエアロゲルを用いた時と比べてレーザー照射時の2P-Ps崩壊率が変化するかを調査するのが本実験の目的。

# 実験のセットアップ

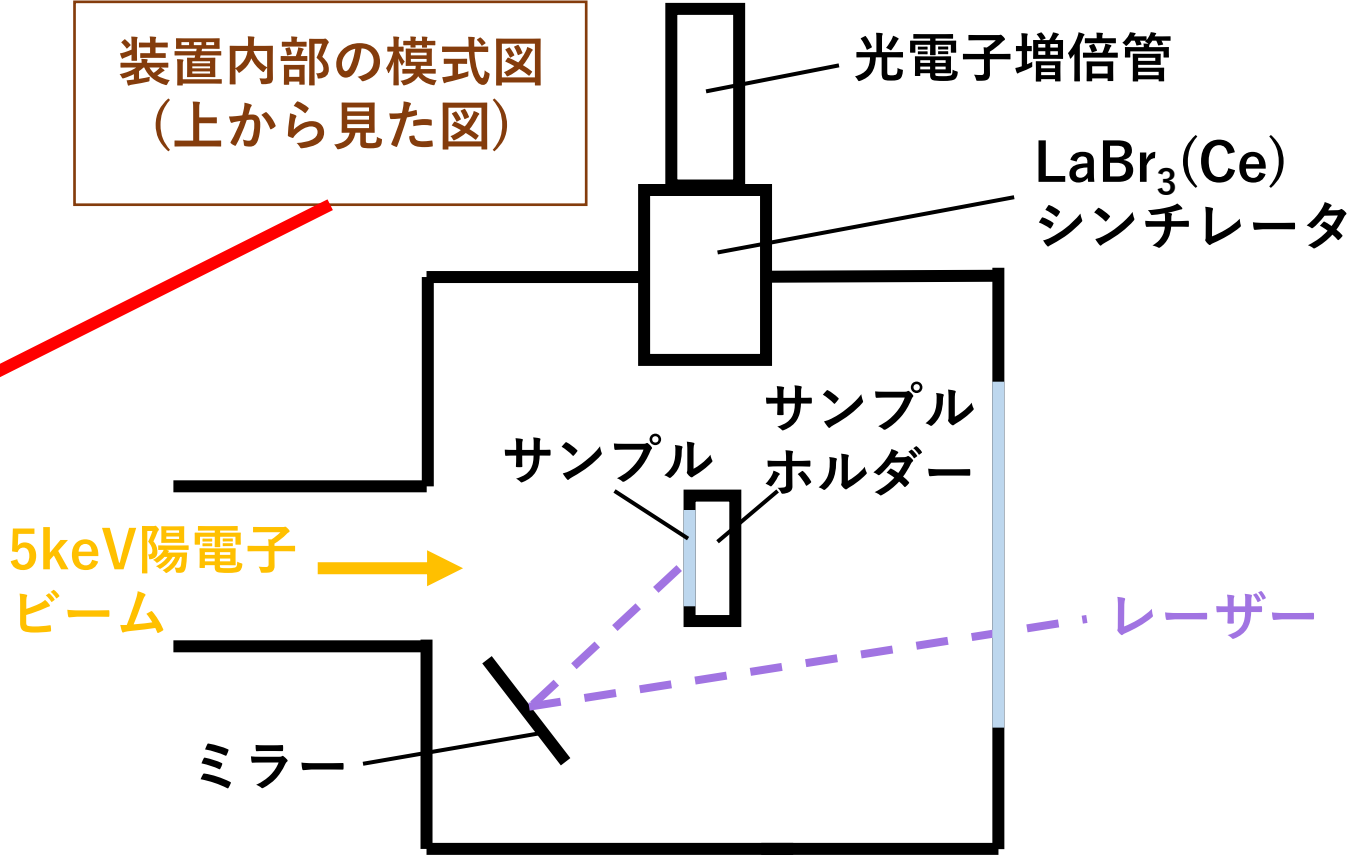
実験は高エネルギー加速器研究機構(KEK)物質構造科学研究所(IMSS)低速陽電子実験施設(SPF)の低速陽電子ビームを用いて行われた。

## 実験装置の外観



冷凍機

## 装置内部の模式図 (上から見た図)



光電子増倍管

LaBr<sub>3</sub>(Ce)  
シンチレータ

サンプル  
ホルダー

サンプル

5keV陽電子  
ビーム

レーザー

ミラー

レーザー

陽電子ビーム

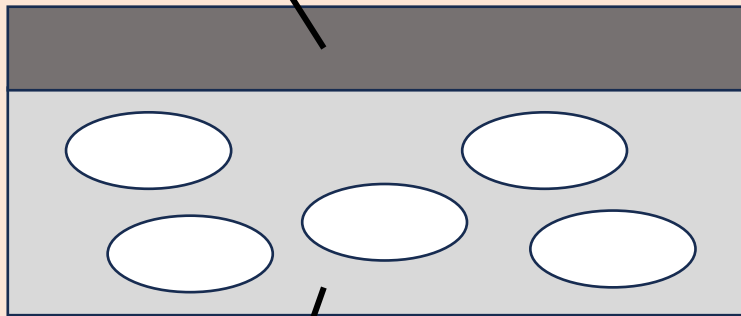
## 陽電子ビーム

エネルギー	5 keV	パルス幅	11 ns FWHM
強度	$\sim 10^6$ e <sup>+</sup> /s	ビームサイズ	$\Phi \sim 10$ mm
繰り返し	50 Hz		

# シリカエアロゲルサンプルの作成

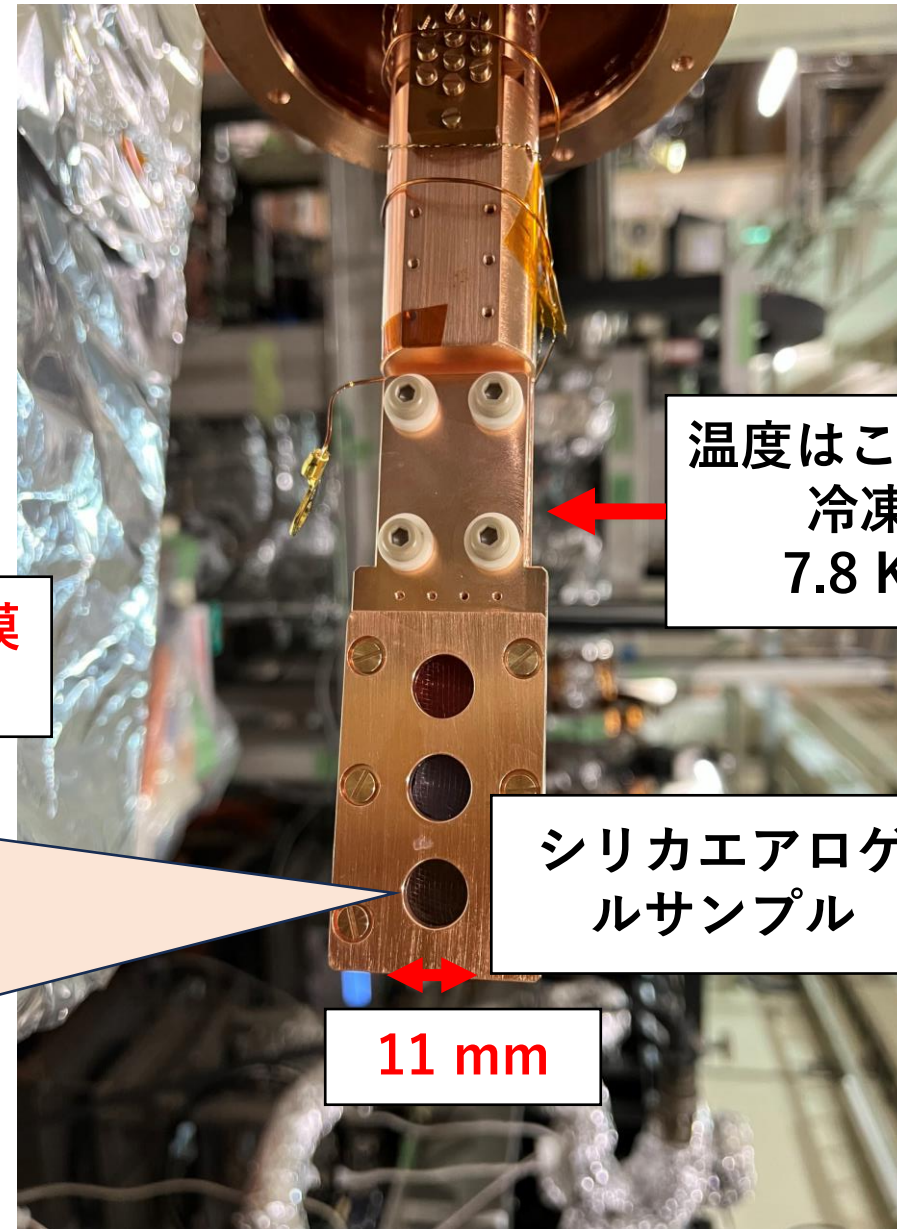
表面にシリカ膜を作成

生成したPsをシリカエアロゲル内に閉じ込めるためにシリカエアロゲル表面にプラズマCVD法でシリカ膜を作成。



シリカ膜  
103 nm

シリカエアロゲル



温度はこの背面で測定  
冷凍機ONで  
7.8 Kまで冷却

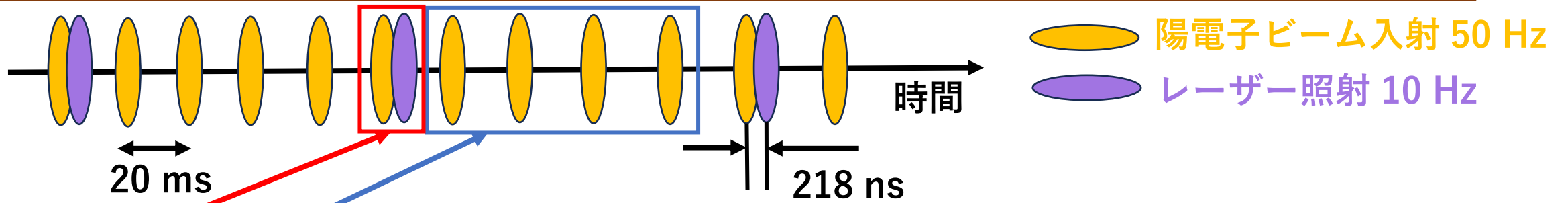
シリカエアロゲル  
サンプル

11 mm

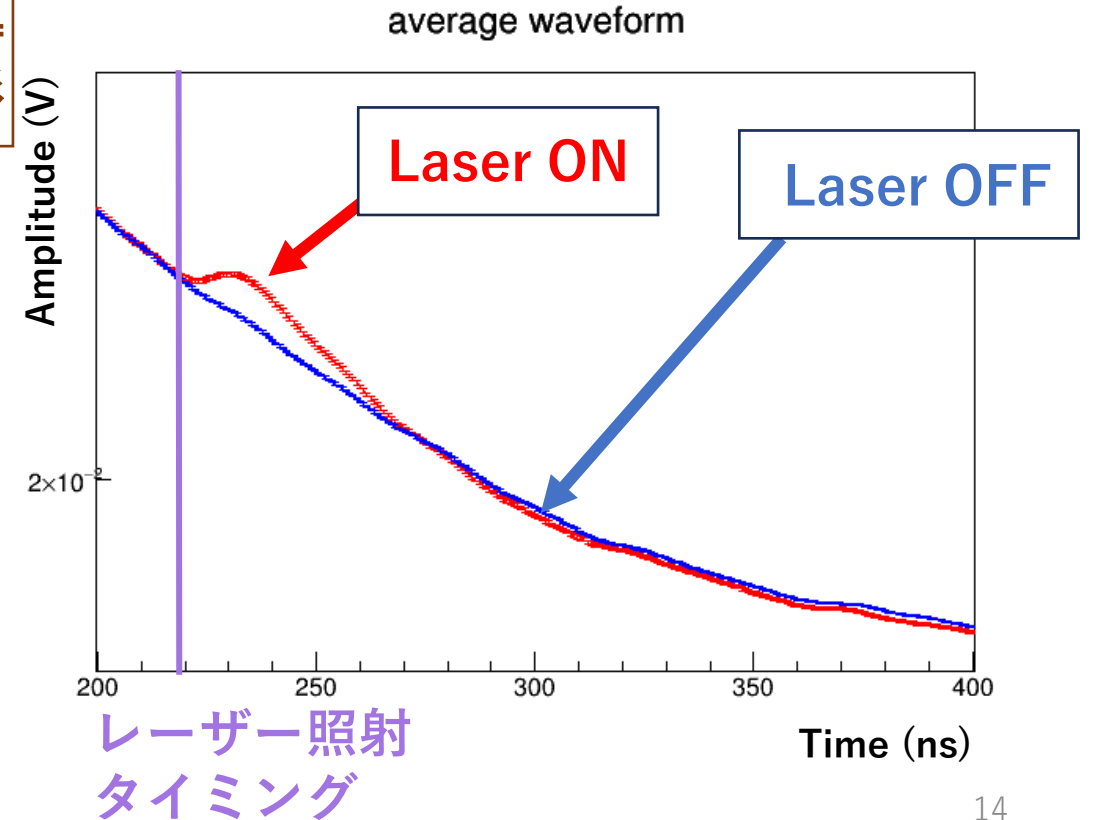
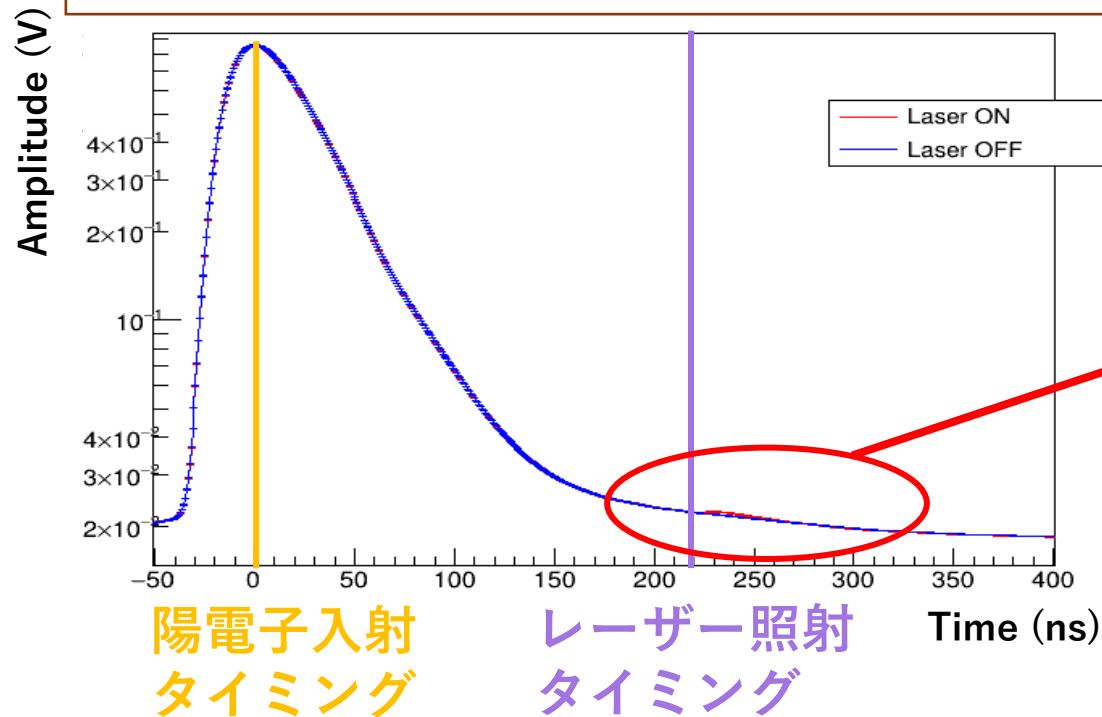
サンプルホルダー外観

レーザーの波長や照射タイミングを変化させ、シンチレータで検出した信号波形を取得

陽電子ビーム入射から218 ns遅らせてシリカエアロゲルに243 nmレーザーを照射したとき

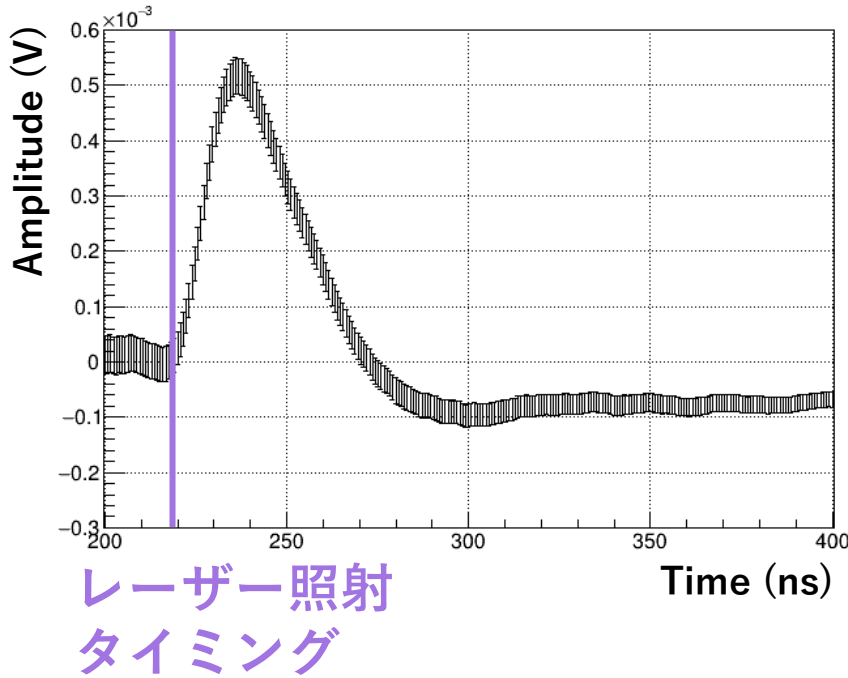


Laser ONとLaser OFFのときにシンチレータで取得された信号の1陽電子ビームパルスあたりの平均波形



# 得られた結果を解析中

## Laser ON・OFFのときの平均波形の差分(ON-OFF)



過去の研究と同様にレーザーの照射によってPsが崩壊する様子が確認された



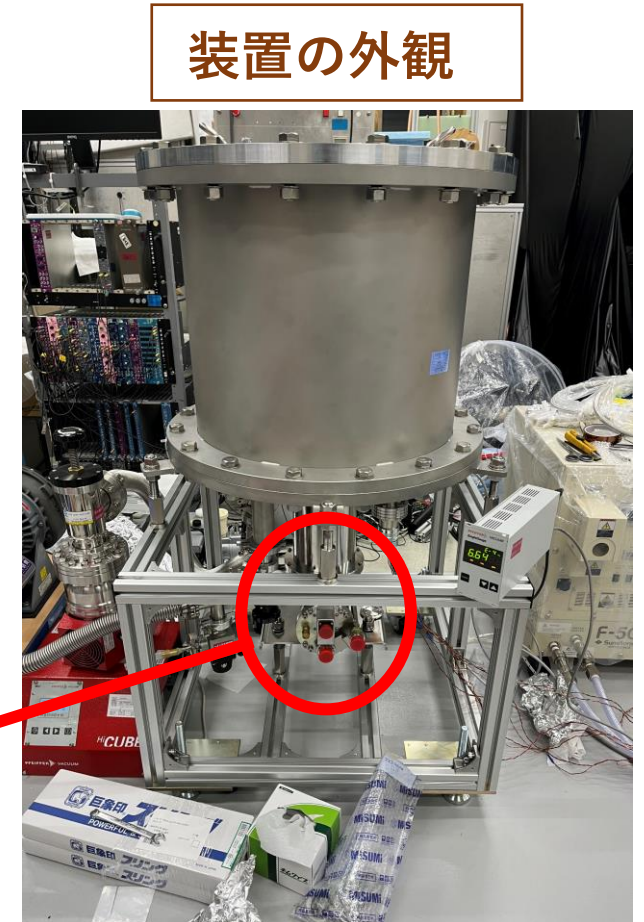
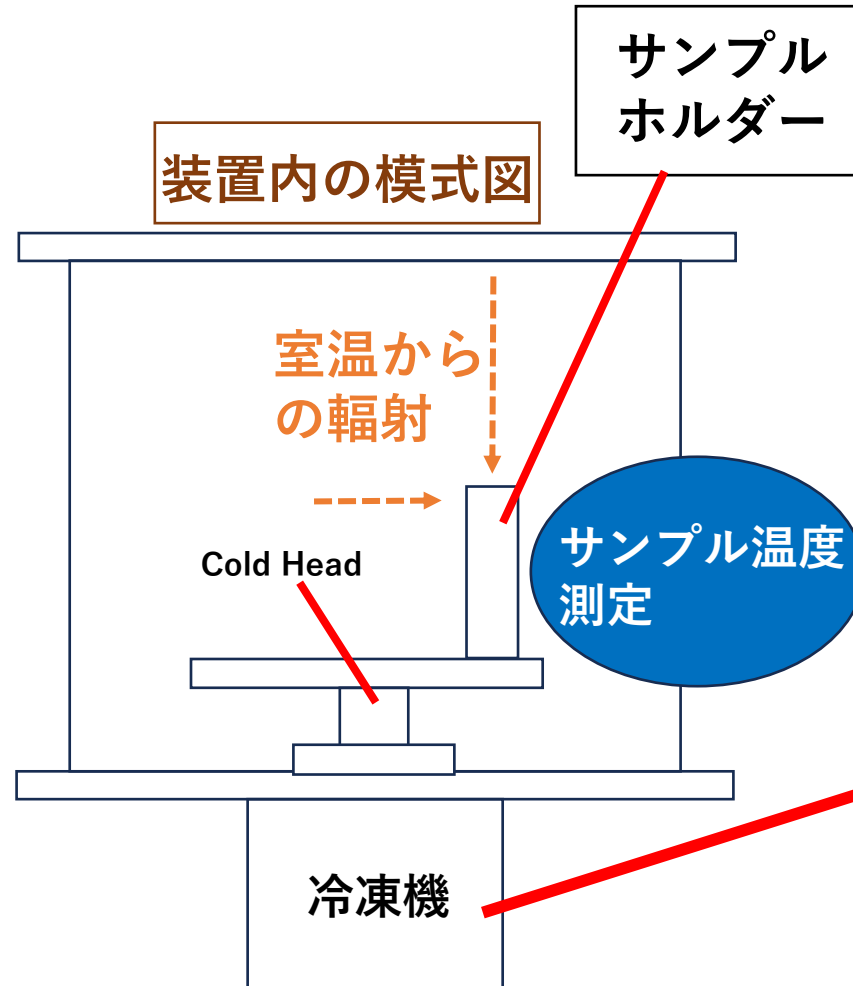
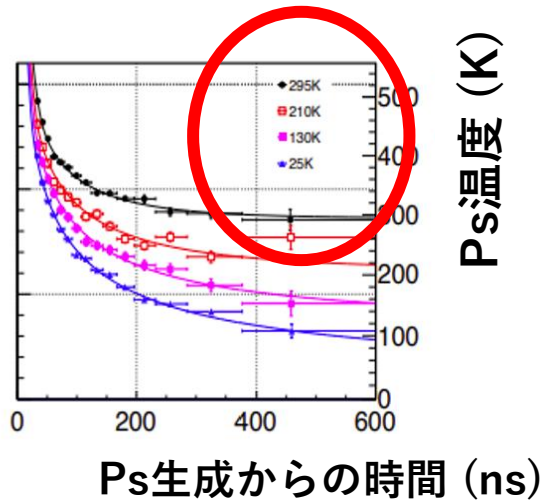
- ・室温のシリカエアロゲルについて得られたデータが過去の研究を再現しているか
- ・冷凍機のON・OFFによって結果に違いが見られるか

について現在解析中。

# 別途シリカエアロゲルサンプルの温度を評価中

- ・本実験ではサンプル温度を測りながらの実験が困難なため、サンプル温度を別途測定する必要がある。
  - ・室温からの輻射により、7.8 Kまで冷えていなかった可能性がある。
- ⇒別途装置を作成し、温度計によってシリカエアロゲルサンプルの温度を測定する実験も行っている。

**本実験におけるシリカエアロゲル温度を知りたい**





# まとめ

1. Ps-BECに向けてシリカエアロゲルを用いた低温・高密度Psの生成可能性を評価している。
2. 243 nmレーザー照射時にシリカエアロゲル中で2P-Psが崩壊する現象が確認されている。
3. シリカエアロゲル中での2P-Psの崩壊率とPs温度の関係を調べるために、サンプルホルダーに冷凍機を取り付けて冷却しながらシリカエアロゲルサンプルへのレーザー照射実験を行った。
4. 過去の研究と同様にレーザー照射によってPsが崩壊する様子が確認できた。
5. 過去の研究の再現性と、冷凍機ON・OFFによる2P-Psの崩壊率の変化について現在解析中
6. 別途シリカエアロゲルサンプル温度を推定する実験も進行中