

サブテラヘルツ波を用いた ポジトロニウムの超微細構造の測定II

検出器系

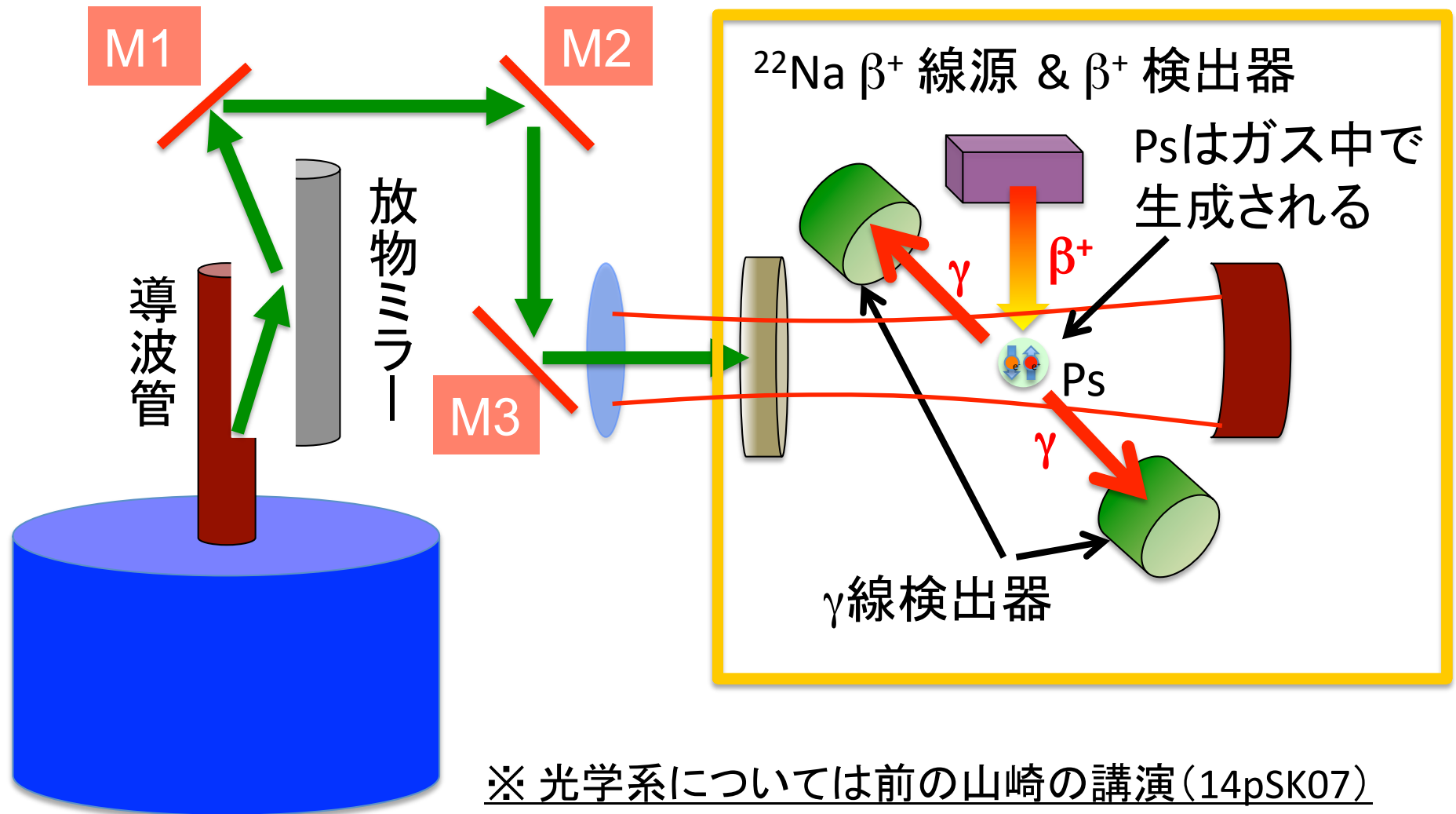
宮崎彬, 山崎高幸^A, 末原大幹^A,
難波俊雄^A, 浅井祥仁, 小林富雄^A, 斎藤晴雄^B,
漆崎裕一^C, 小川勇^C, 出原敏孝^C, S.Sabchevski^D

東大理, ^A東大素粒子センター, ^B東大院総合文化
^C福井大遠赤センター, ^Dブルガリア科学アカデミー

日本物理学会2010年秋季大会
2010.9.14 @九州工大戸畑キャンパス

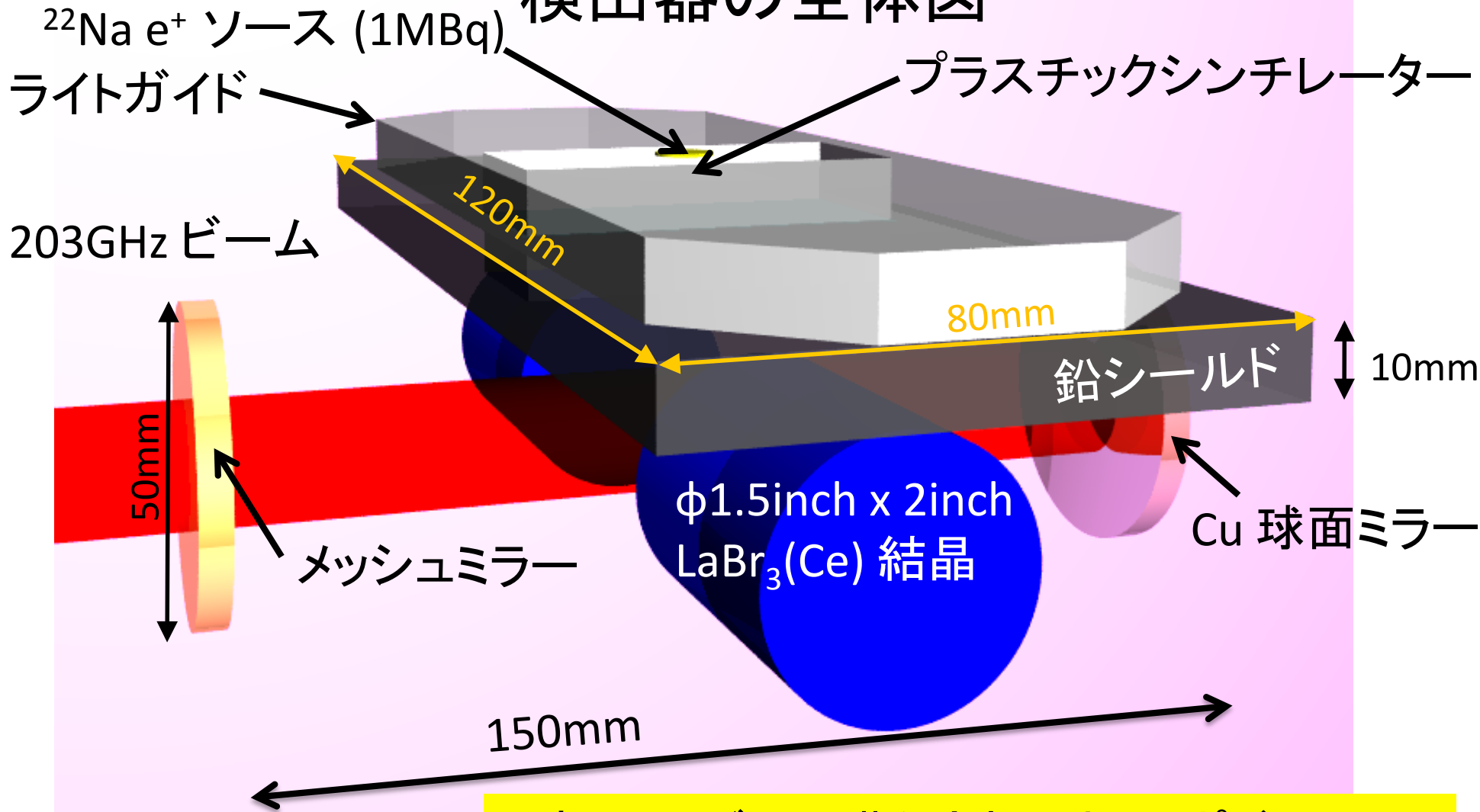
我々の実験セットアップ

Ps生成及び検出器系



※ 光学系については前の山崎の講演(14pSK07)

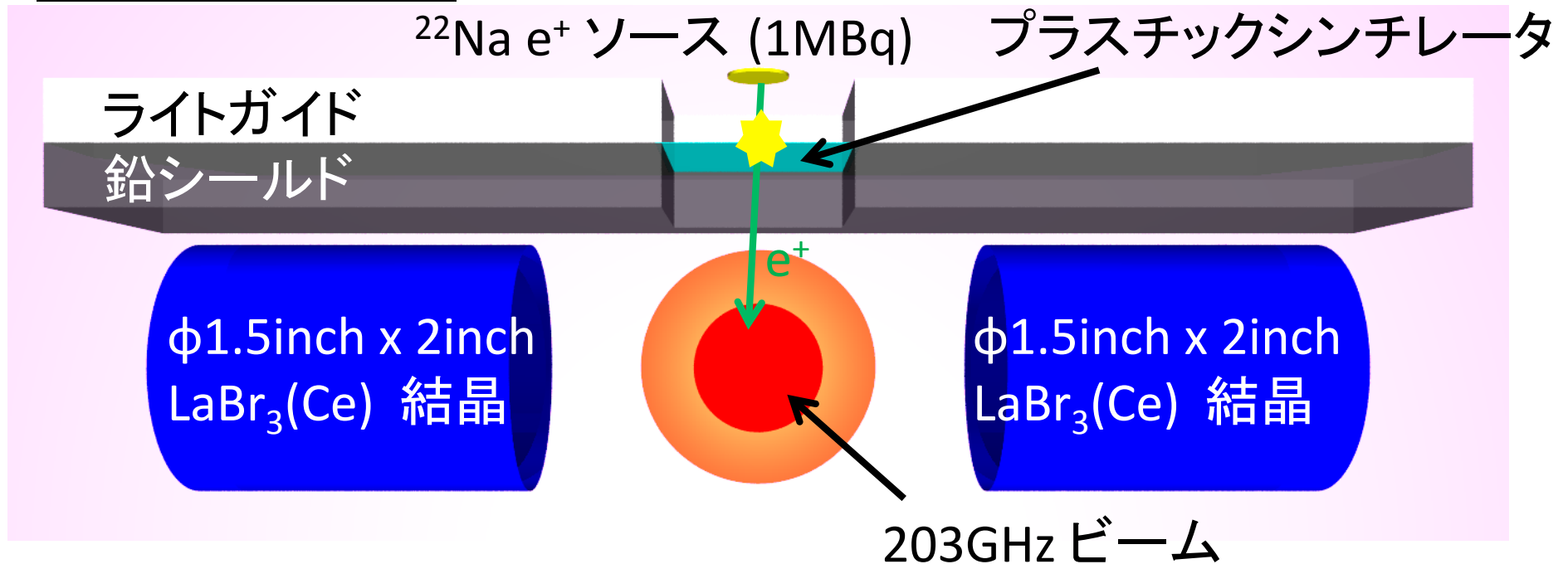
検出器の全体図



共振器はガスで満たされており, ポジトロニウム生成のための電子を供給する

シグナル (1)

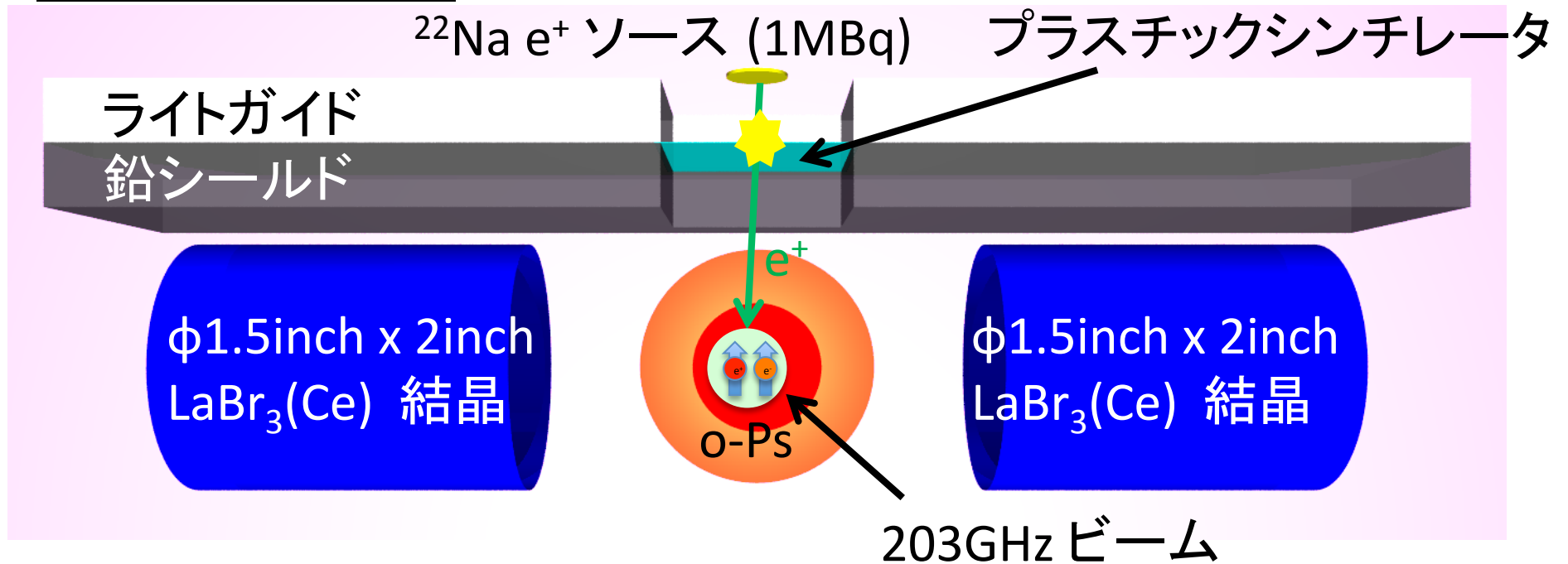
ビーム軸からの図



- ソースから放出された陽電子はプラスチックシンチレータを通過し、ガスで満たされたビーム領域で停止する
- 封入ガス
 - イソブタン 0.1atmと N_2 0.9atmの混合気体 → **今回はこちら**
 - イソブタン 1atm (検討中)

シグナル (2)

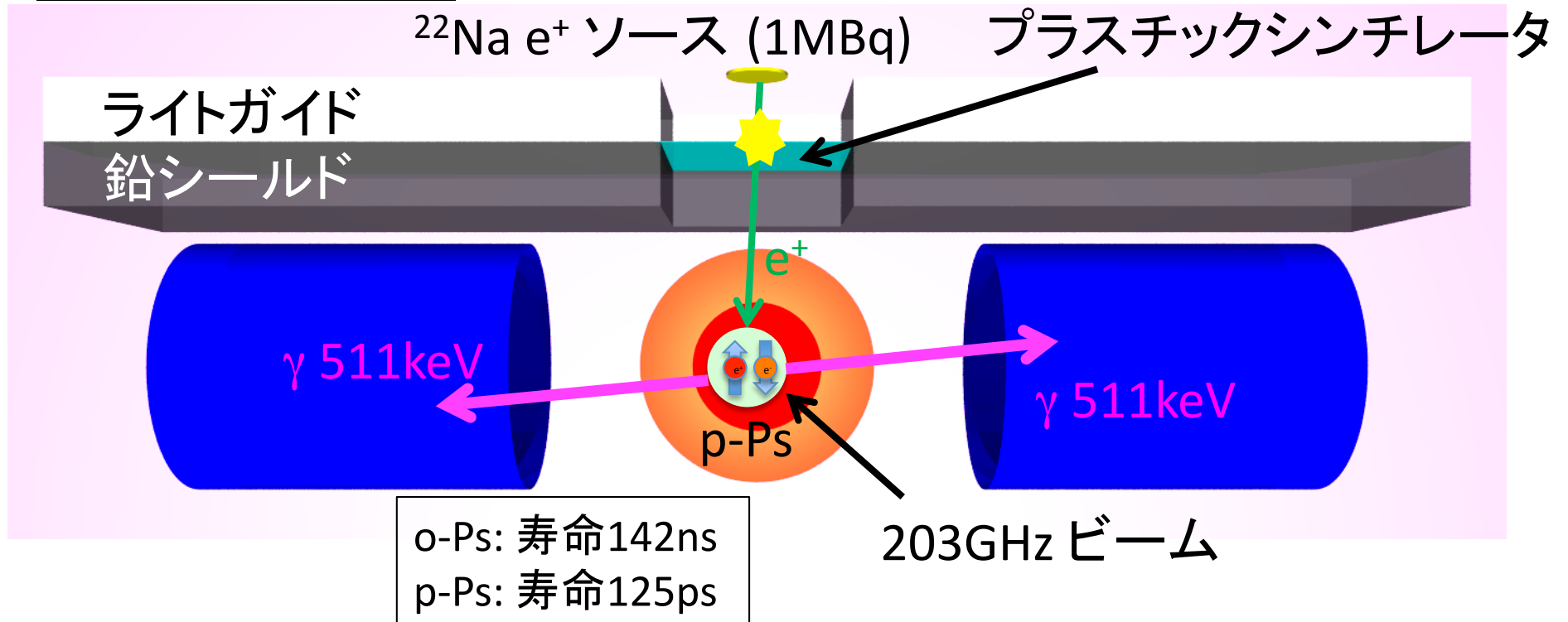
ビーム軸からの図



- 停止した陽電子の45%がガス中でポジトロニウムを生成する
- そのうち75%が $o\text{-Ps}$ となる

シグナル (3)

ビーム軸からの図

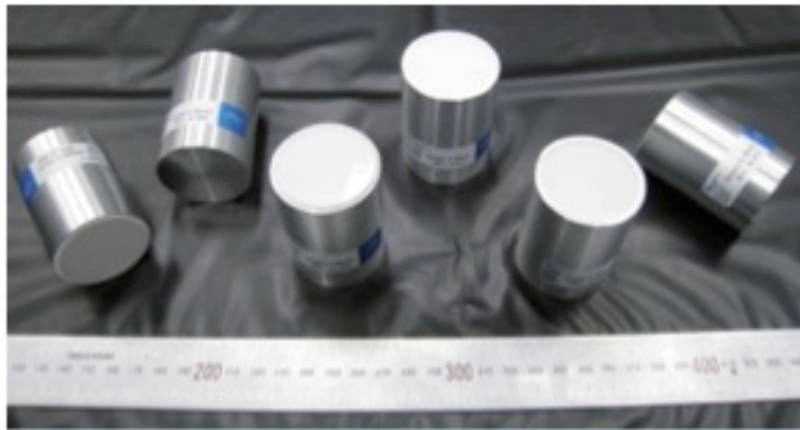


- 共振器の203GHzビームによって $o\text{-Ps}$ は $p\text{-Ps}$ に遷移($\sim 10\%$)
- $p\text{-Ps}$ はすぐに 2γ 崩壊を起こす
- back-to-backに配置した $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ 結晶でガンマ線を検出する

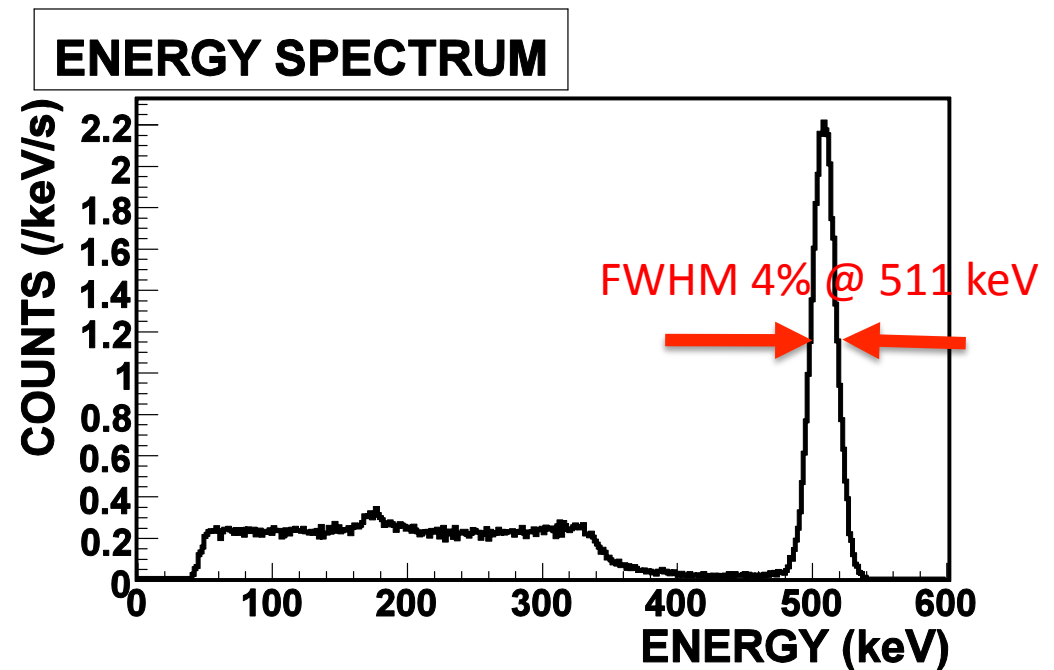
LaBr₃ (Ce) シンチレータ

- 高いエネルギー分解能(FWHM 4% @511 keV)
- ZもNaIより高い (La: 57, Br: 35 \longleftrightarrow Na: 11, I: 53)
- 時定数16ns

→ { 高い効率での2 γ 崩壊selectionが可能
高統計の実験が可能

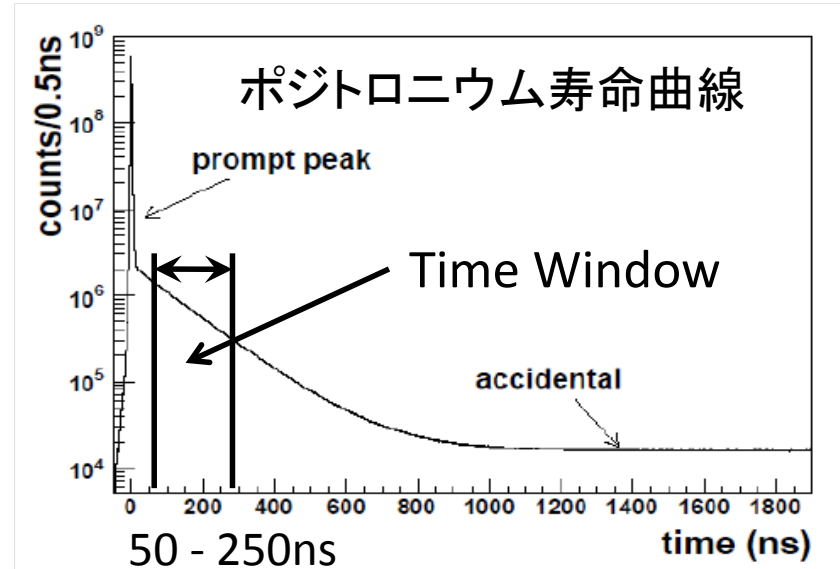


LaBr₃シンチレータの写真

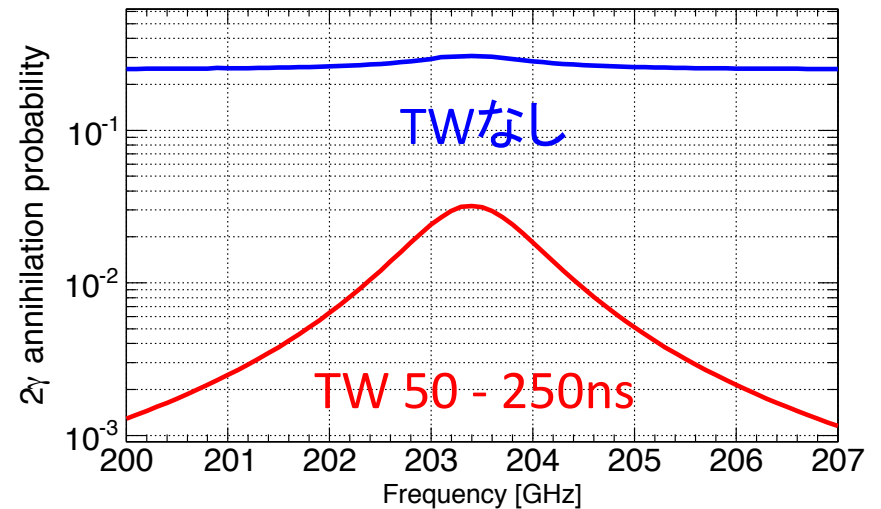


Time Window

- プラスチックシンチレータの信号と LaBr_3 の信号の delayed coincidence
→ o-Ps に起因するイベントを選択
→ 直接測定のスグナルをエンハンス



- 右図はCavityに10kW蓄積されている時の 2γ 崩壊率
- TWによりS/Nが16倍向上する



MCによるシグナルの見積もり

陽電子を 10^8 個, ソース位置からシミュレーション

条件	数
ソース位置	10^8
+プラスチックシンチレータでtag	3.3×10^7
+ビーム領域で停止	2.1×10^5
+両側の LaBr_3 で511keV $\pm 3\sigma$ のback-to-back検出	6.4×10^2

ビーム領域で陽電子が多く止まりやすいようにソースまわりのジオメトリを最適化

シグナルの検出に関わるS/vNは LaBr_3 が近い方が得なので, ジオメトリ的に許される限界まで近づけた

- o-Ps生成確率 45% x 75%
- o-Ps \rightarrow p-Ps遷移確率 3.2% (Time Window込み)

に関しては手を入れてスケール

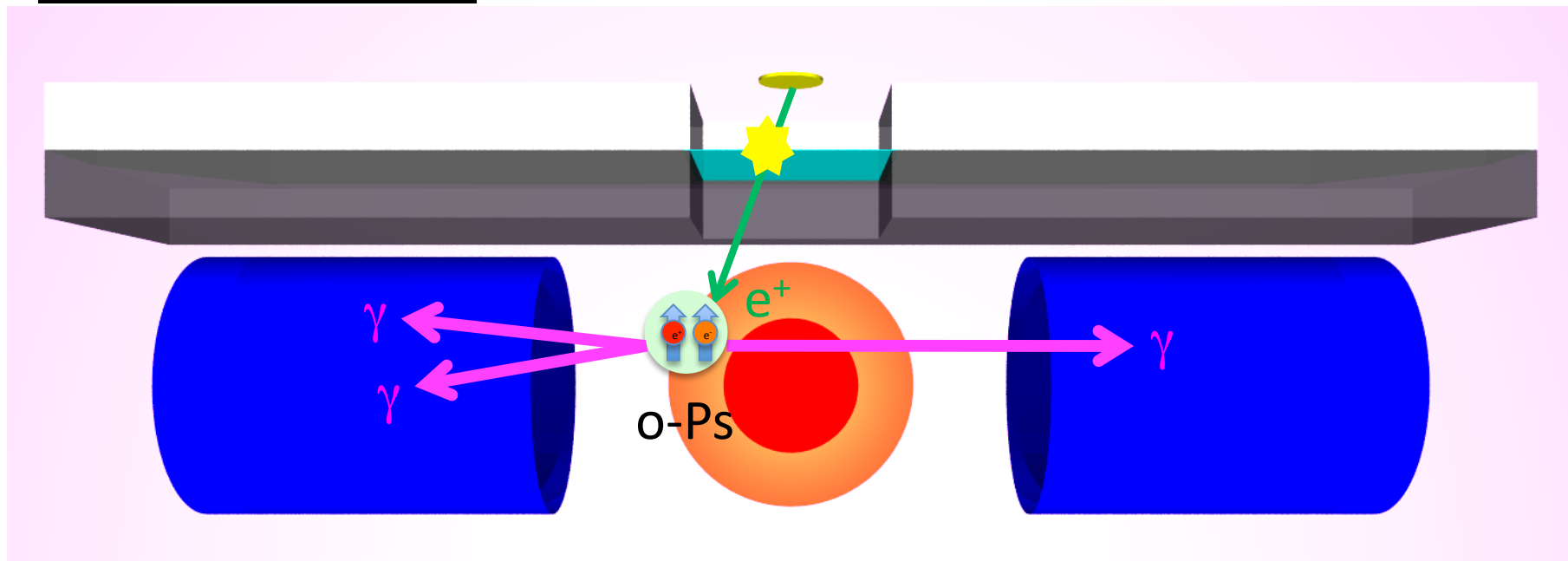
\rightarrow 最終的に1MBqの線源を仮定すると63mHzのシグナルを期待

3つのbackground

Prompt崩壊はTime Windowで消えたが以下は残る

- **3 γ 崩壊のコンタミネーション**
- pick-off崩壊(o-Ps中 e^+ が物質中 e^- と対消滅)
- pileup

ビーム軸からの図



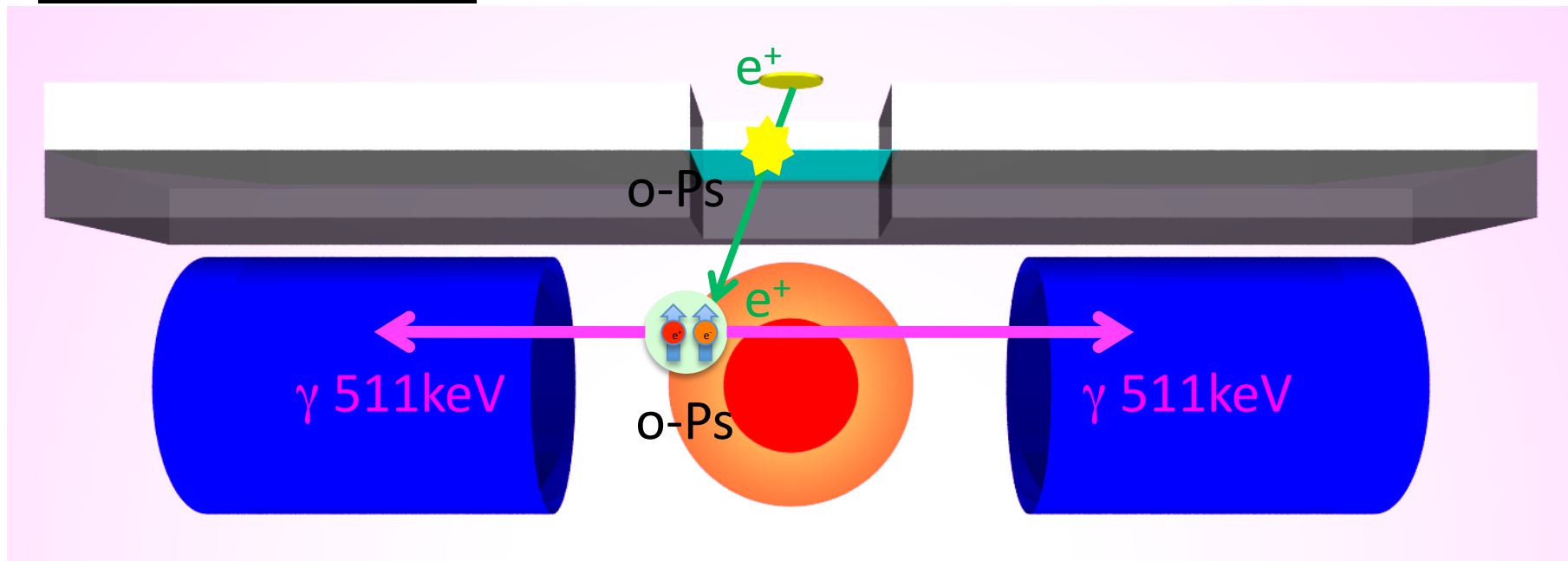
- たまにo-Psの3 γ 崩壊がback-to-backに入り, しかもLaBr₃の分解能(FWHM 4%@511keV)の範囲内で511keVと誤認

3つのbackground

Prompt崩壊はTime Windowで消えたが以下は残る

- 3γ 崩壊のコンタミネーション
- pick-off崩壊(o-Ps中 e^+ が物質中 e^- と対消滅)
- pileup

ビーム軸からの図



- イソブタン0.1atm中のo-Psはpick-offによって3.2%が 2γ 崩壊
- シグナルと同じトポロジーのバックグラウンド

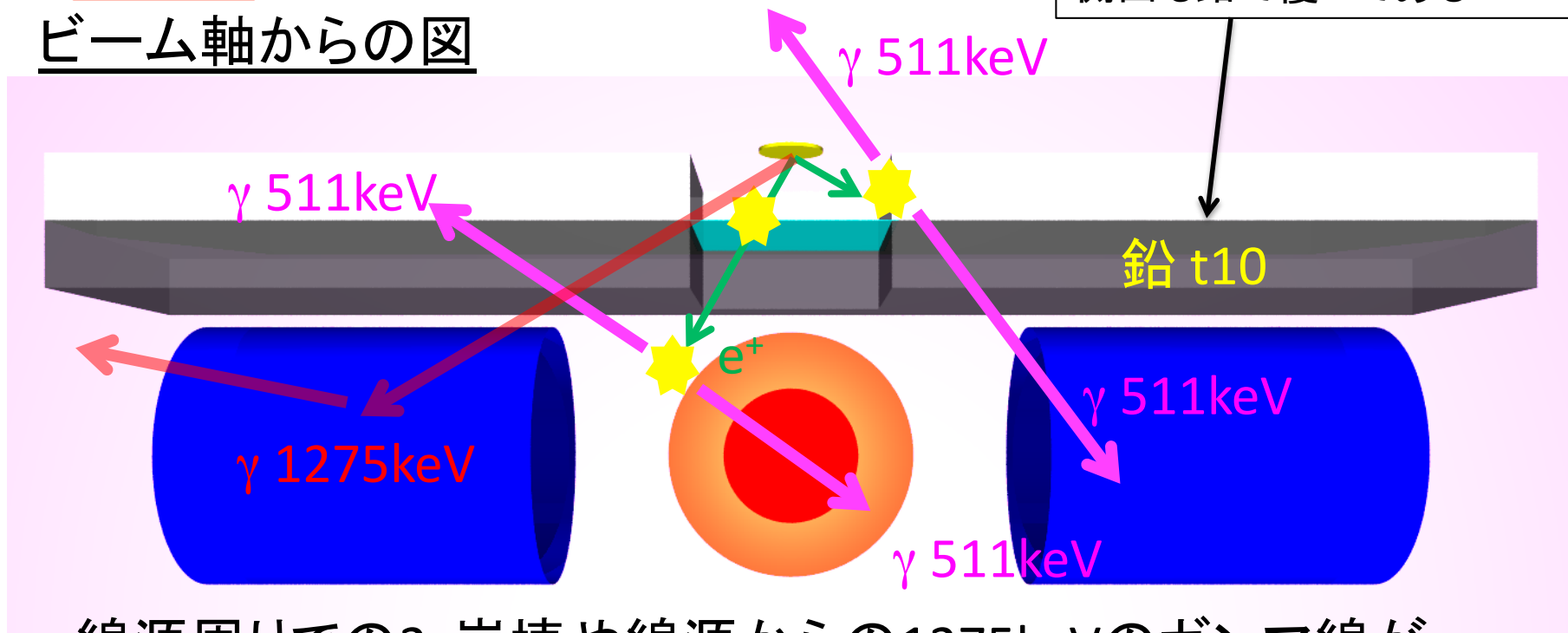
3つのbackground

Prompt崩壊はTime Windowで消えたが以下は残る

- 3γ 崩壊のコンタミネーション
- pick-off崩壊(o-Ps中 e^+ が物質中 e^- と対消滅)
- **pileup**

•鉛シールドでソース周りからのガンマ線の影響を防ぐ
•この図では見えないが LaBr_3 側面も鉛で覆ってある

ビーム軸からの図



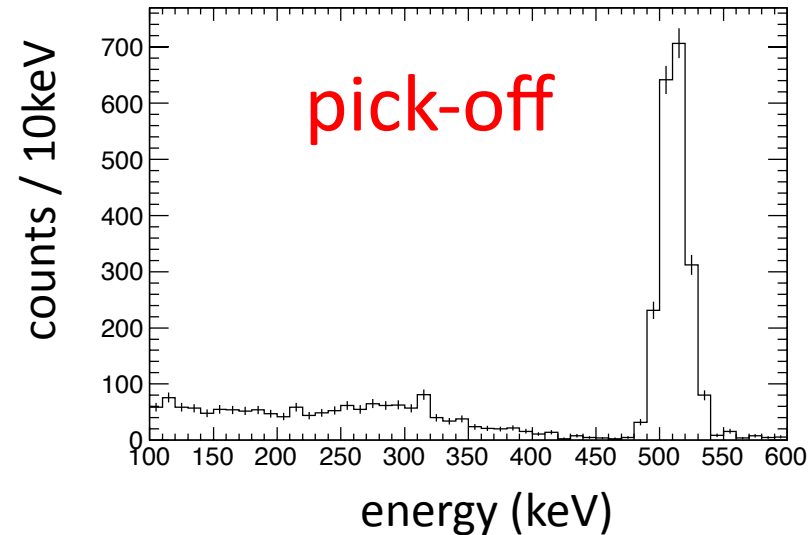
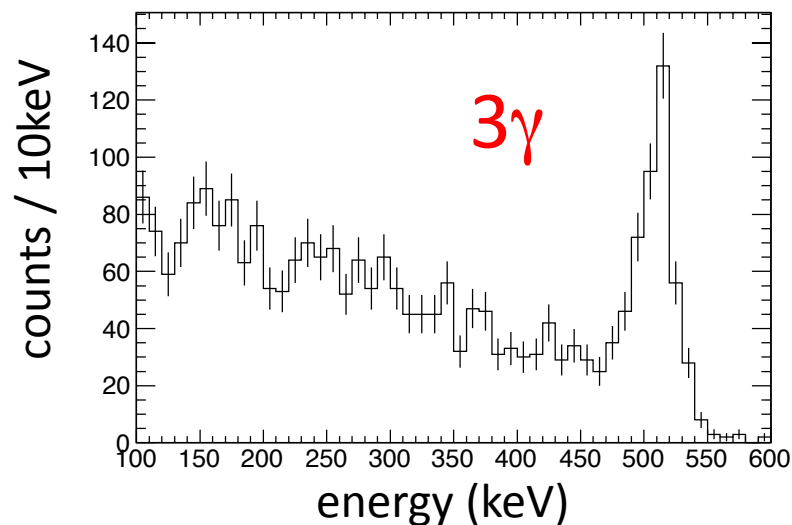
- 線源周りでの 2γ 崩壊や線源からの1275keVのガンマ線がpileupとして寄与 (ガンマ線シグナルと同時にプラシンでtagされるものは除去)

MCによるbackgroundの見積もり

- 3γ とpick-off (1) -

- 3γ のコンタミとpick-offに関しては, o-Ps生成までは同じ
 - シグナルと同様に陽電子をソースからシミュレーション
- 共振器内部で前者は 3γ 崩壊, 後者は 2γ 崩壊させる
- 両側の LaBr_3 で $511\text{keV} \pm 3\sigma$ のback-to-backに検出

MCで得られたスペクトラム (back-to-backの相手が $511\text{keV} \pm 3\sigma$)



MCによるbackgroundの見積もり

-3 γ とpick-off (2) -

条件	3 γ	pick-off
ソース位置	10 ⁸	
プラスチックシンチレータでtag	3.3 x 10 ⁷	
共振器内部で停止	1.6 x 10 ⁶	
両側のLaBr ₃ で511keV \pm 3 σ のback-to-back検出	2.1 x 10 ²	2.0 x 10 ³

※統計が少ないため実際には3 γ は2 x 10⁸イベントシミュレーション

↑
LaBr3を離せば離すほどsignalの減り方より3 γ は大きく減るのでS/Nの向上は可能
→今回はシグナルrateの関係で近づける方針

- o-Ps生成確率 45% x 75%
- pick-off確率 3.2%

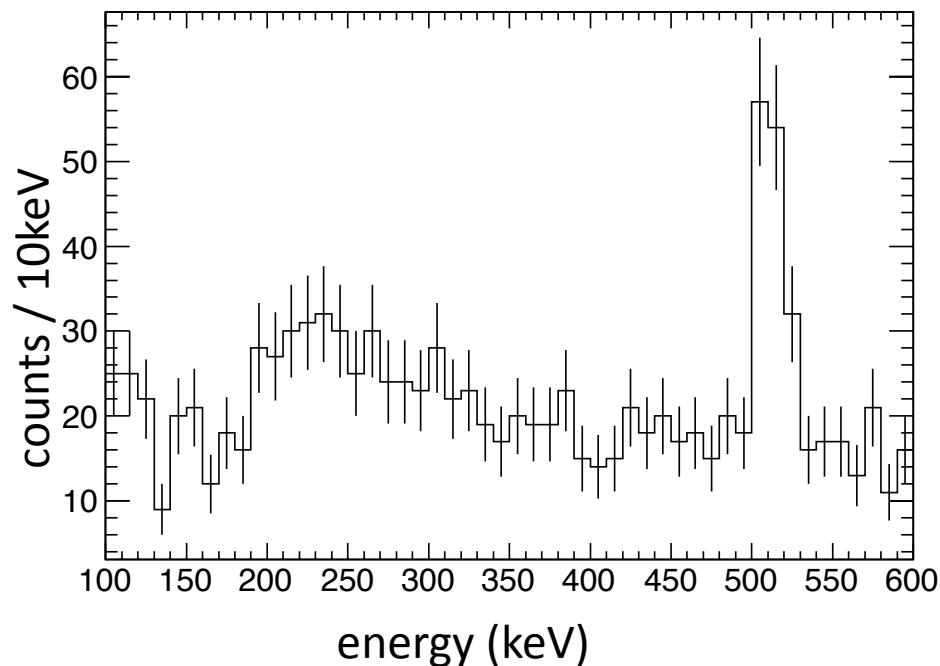
に関しては手で入れてスケール

→1MBqの線源を仮定すると3 γ は300mHz, pick-offは93mHz

MCによるbackgroundの見積もり -pileup-

- ソース位置から陽電子及び1275keVの γ 線を 10^8 個シミュレーション
- プラスチックシンチレータをならさずに両側のLaBr₃で511keV \pm 3 σ のback-to-backに検出されるイベントを選ぶ

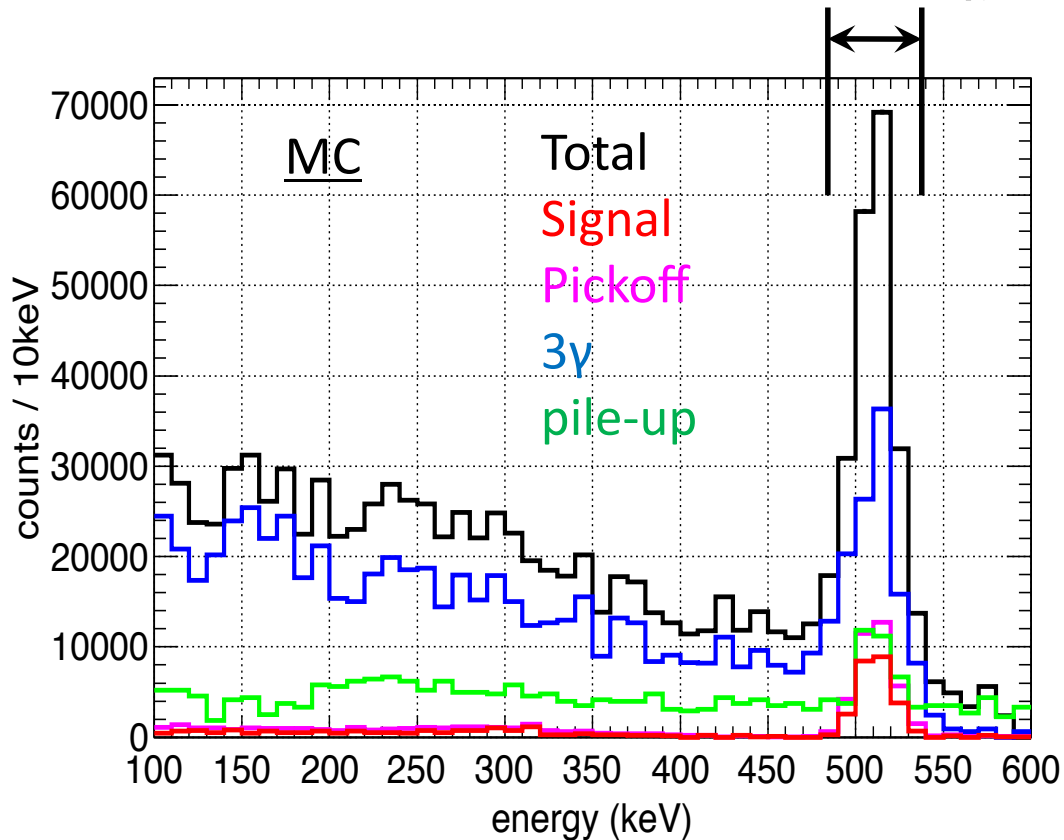
MCで得られたスペクトラム
(back-to-backの相手が511keV \pm 3 σ)



- 1.9×10^2 イベント検出
- tagのレート330kHzとTiming Windowの幅200nsをかけるとpileupのレートが分かる
- 線源1MBqの場合100mHz

達成したビームパフォーマンス(10kW)におけるLaBr₃(Ce)で期待されるシグナル(1ヶ月)

シグナル領域



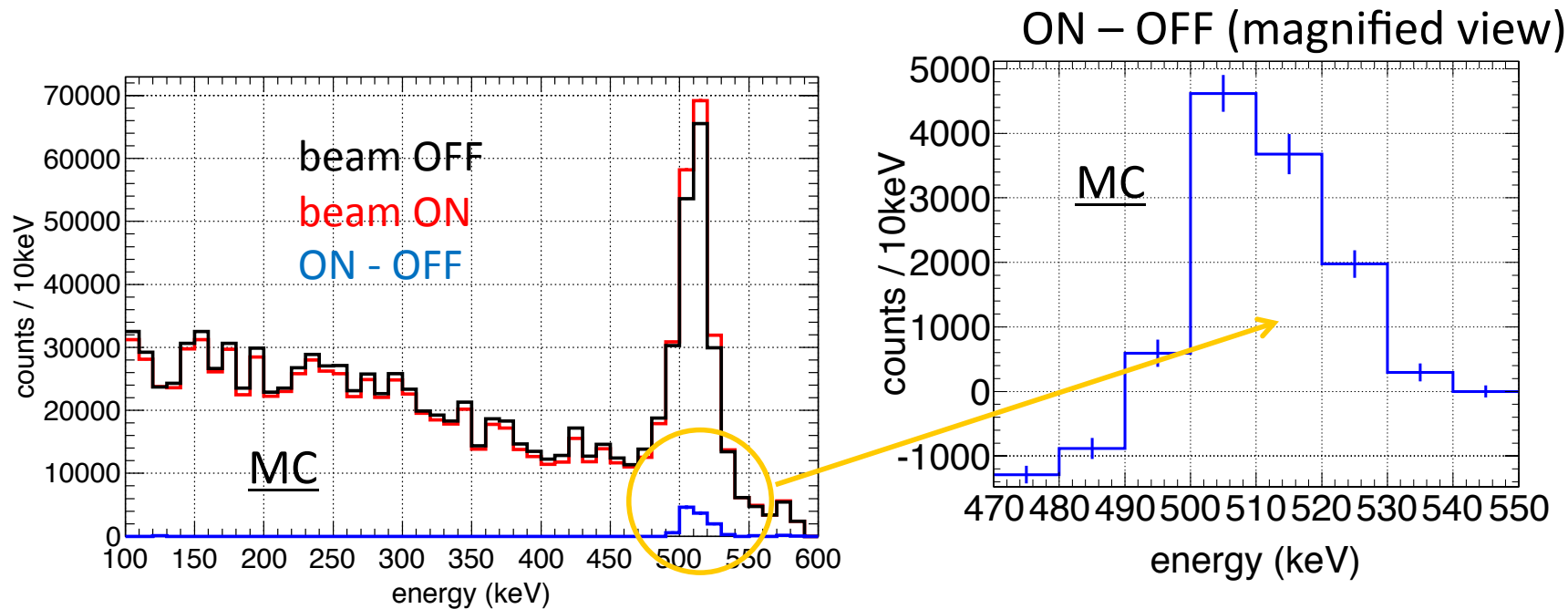
Signal & BG rates

signal	63mHz
Pickoff	93mHz
3γ	300mHz
pile-up	100mHz
total (ON)	560mHz
total (OFF)	530mHz

S/N = 11%

LaBr₃のエネルギースペクトラム
(back-to-backの相手が511keV±3σ)

10kW, 1ヶ月で期待されるエネルギースペクトラム



LaBr₃のエネルギースペクトラム
(back-to-backの相手が511keV±3σ)

拡大図

- GyrotronはDUTY比30%で運転→beam ONとOFFのデータが3:7の割合
- beam ONのイベントとbeam OFFのイベントの差をとることで, 10000イベントほどがシグナルとして有意に検出可能である. (1ヶ月の測定)

検出器系まとめ

- 共振器にガスを満たしてポジトロニウムを生成する
- プラスチックシンチレータを用いたtiming informationとback to backに配置した $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ 結晶によりS/Nを上昇させる
- 検出器の性能をMCで評価し, 現在達成した10kWのパワー蓄積ならば1ヶ月の測定で遷移の確認ができる

直接遷移実験のまとめ

- 実機を制作し, 年内に世界初の直接遷移測定を行う
- HFS値測定のために周波数可変ジャイロトロンの開発をすすめている
- シグナルレートが小さいために,
 - ポジトロンビームを使った統計の強化
 - 真空中にポジトロニウムを放出させて遷移させる
 - 等々を考えている