

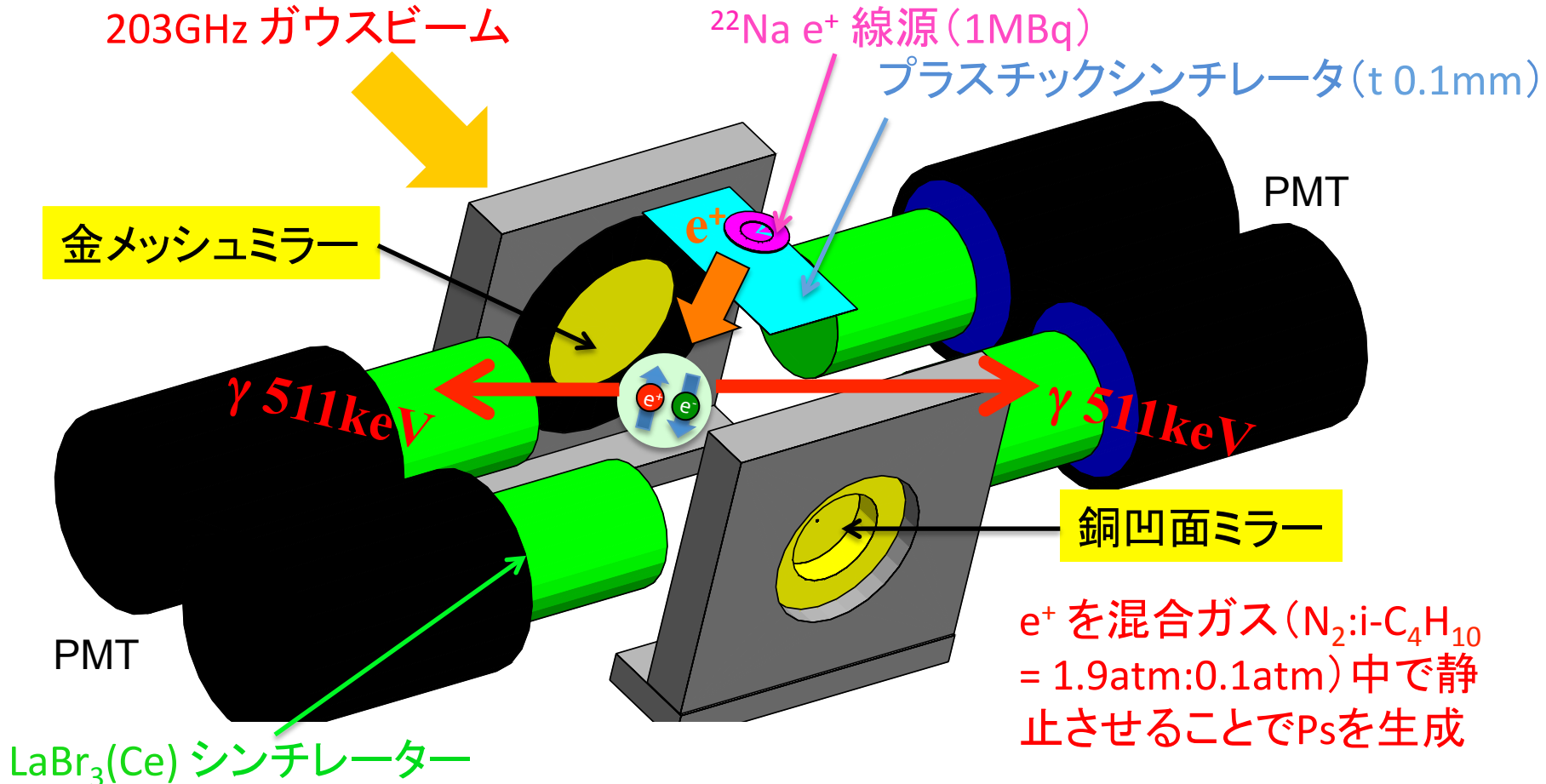
ポジトロニウム超微細構造の直接測定II (測定の詳細)

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, 立松芳典^C, 小川勇^C, 出原敏孝^C

東大理, 東大素セ^A, 東大総文^B, 福井大遠赤セ^C,

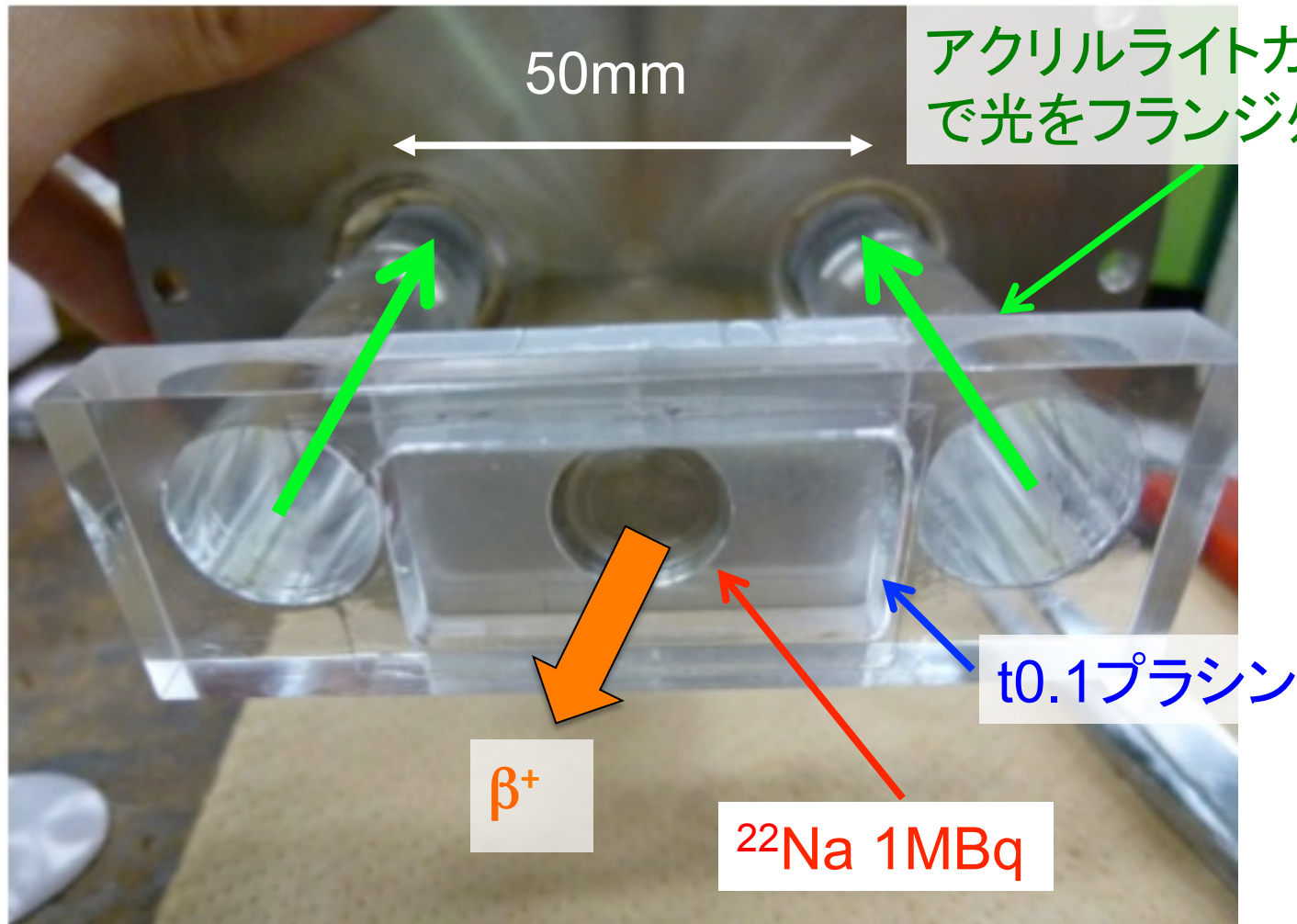
Ps生成部・ γ 線検出器

シグナル = Delayed 2γ 崩壊 (単色511keV・back-to-back)



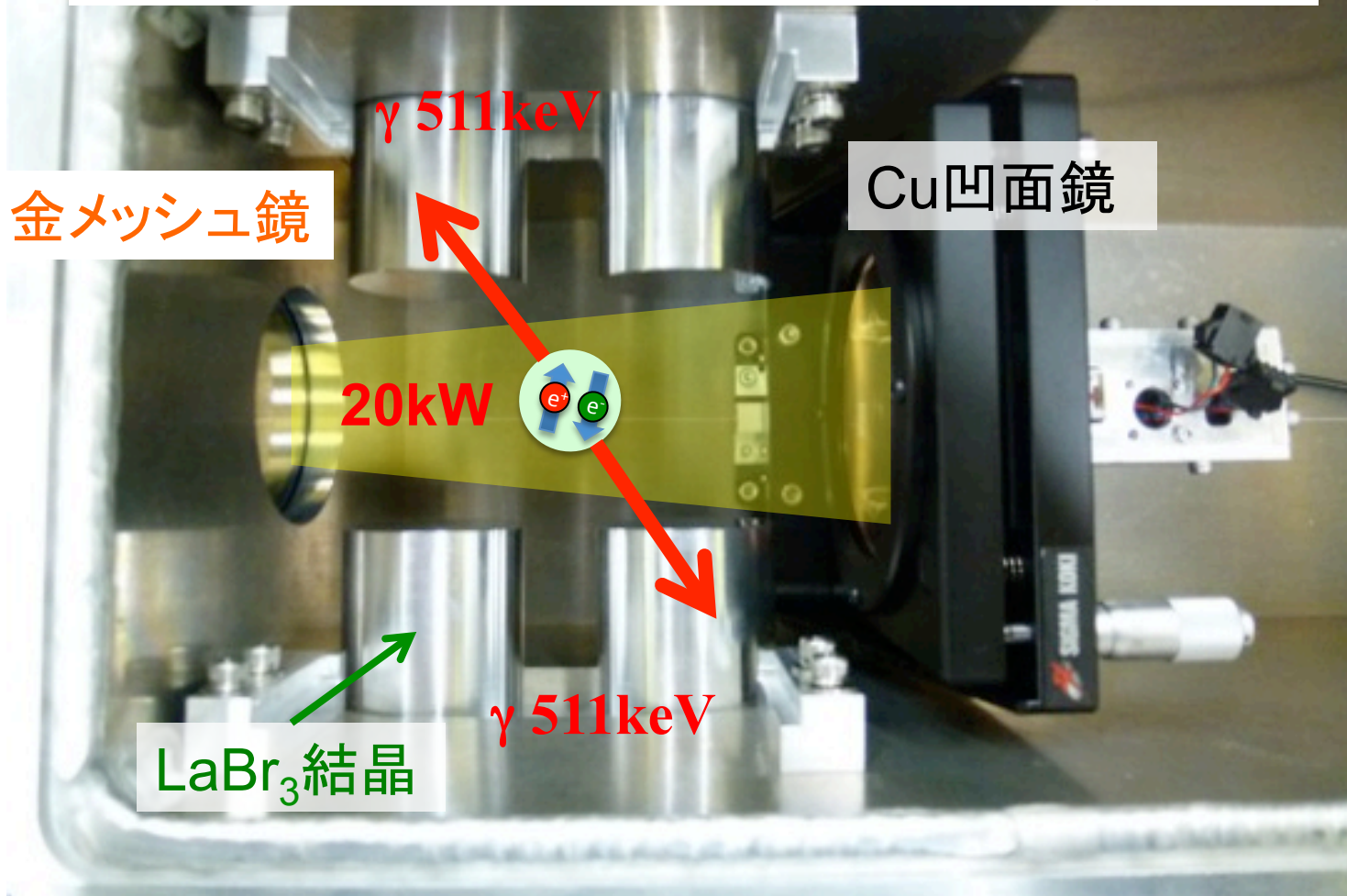
- エネルギー分解能 FWHM 4%@511keV
- 時間分解能 FWHM 200ps @ 511keV
- 時定数 16ns

線源と陽電子タグ系



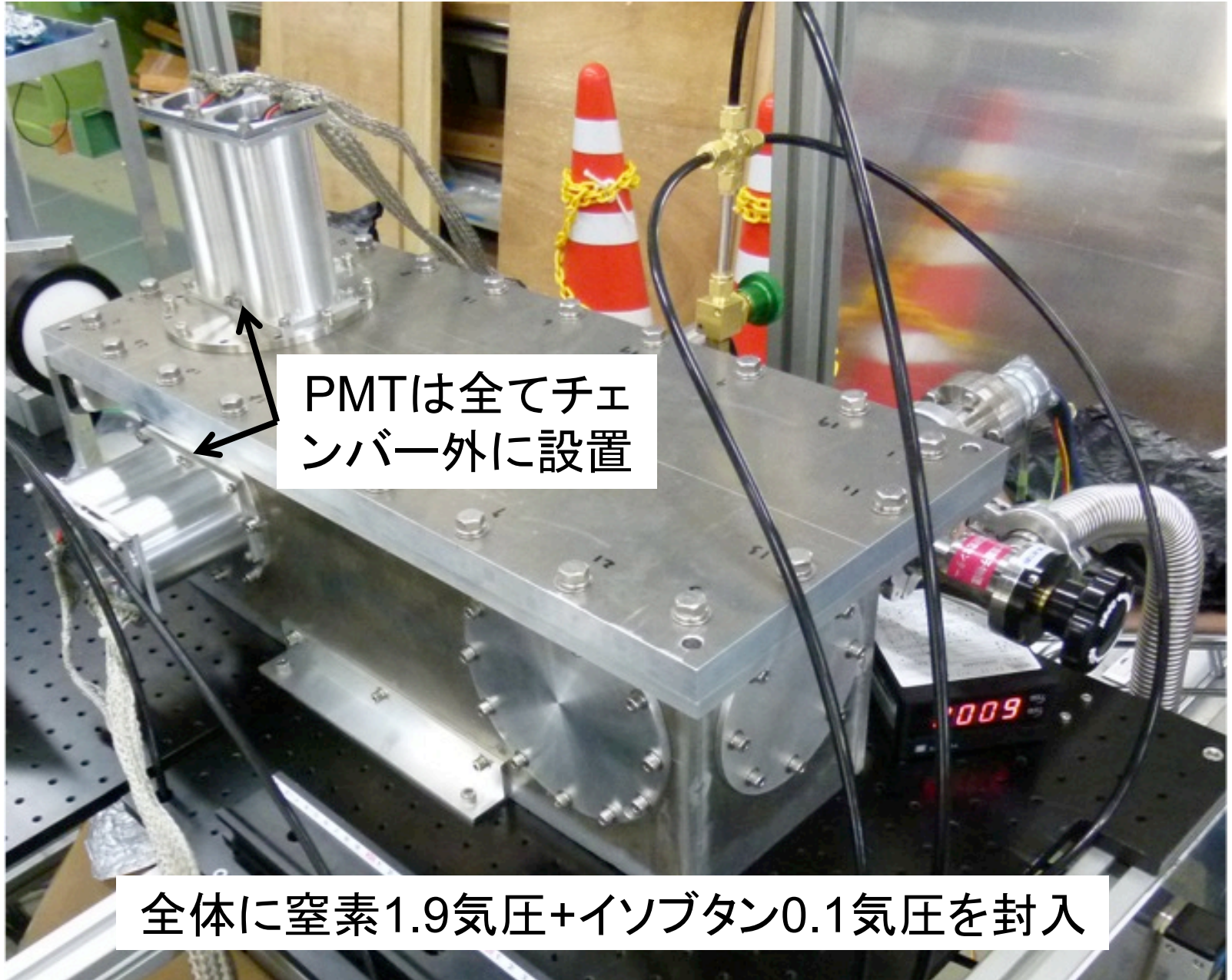
- e^+ 放出時刻をプラシンでタグ
- LaBr_3 にガンマ線が来た時刻と off-line で delayed coincidence をとって $o\text{-Ps}$ 由来イベントをセレクト

Fabry-Pérot共振器とLaBr₃結晶



- LaBr₃結晶でback-to-back 511keV ガンマ線を検出
- 金メッシュ鏡をガスチェンバー窓に流用←窓が別にあると干渉する
- シリコン基板なので可視光を通さず, ライトガイドの遮光を兼ねる

ガスチェンバー全体の様子



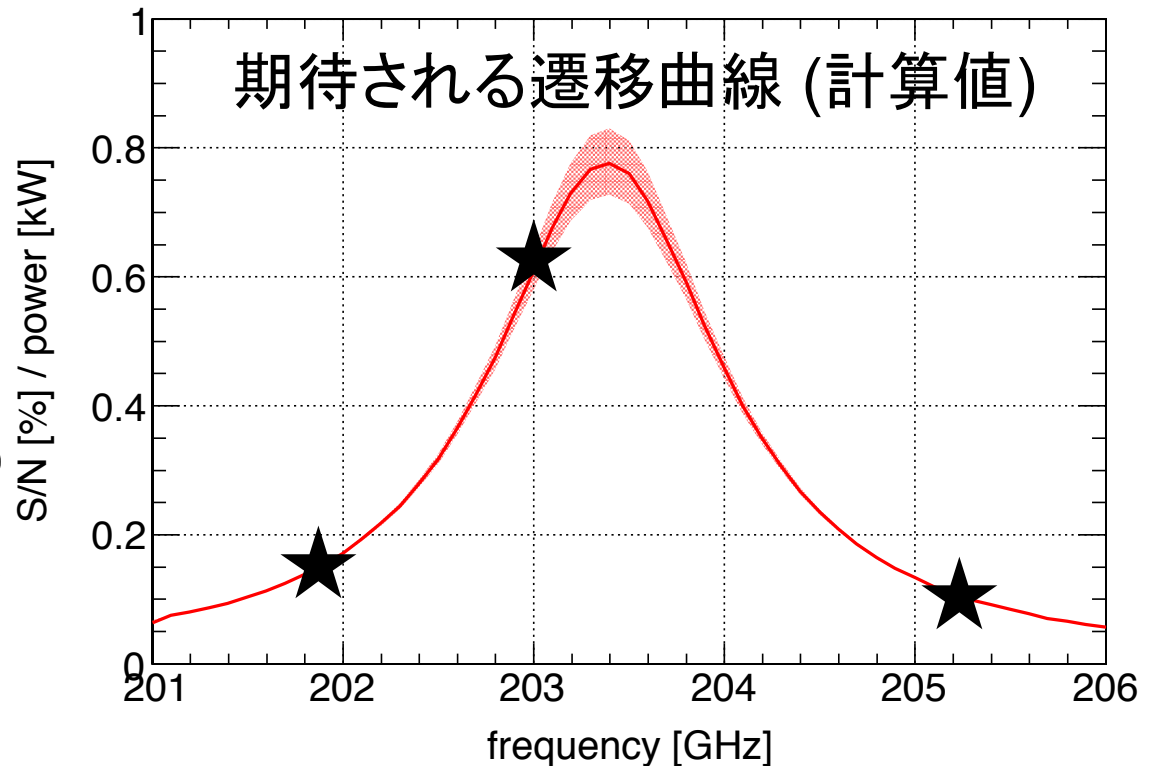
PMTは全てチェンバー外に設置

全体に窒素1.9気圧+イソブタン0.1気圧を封入

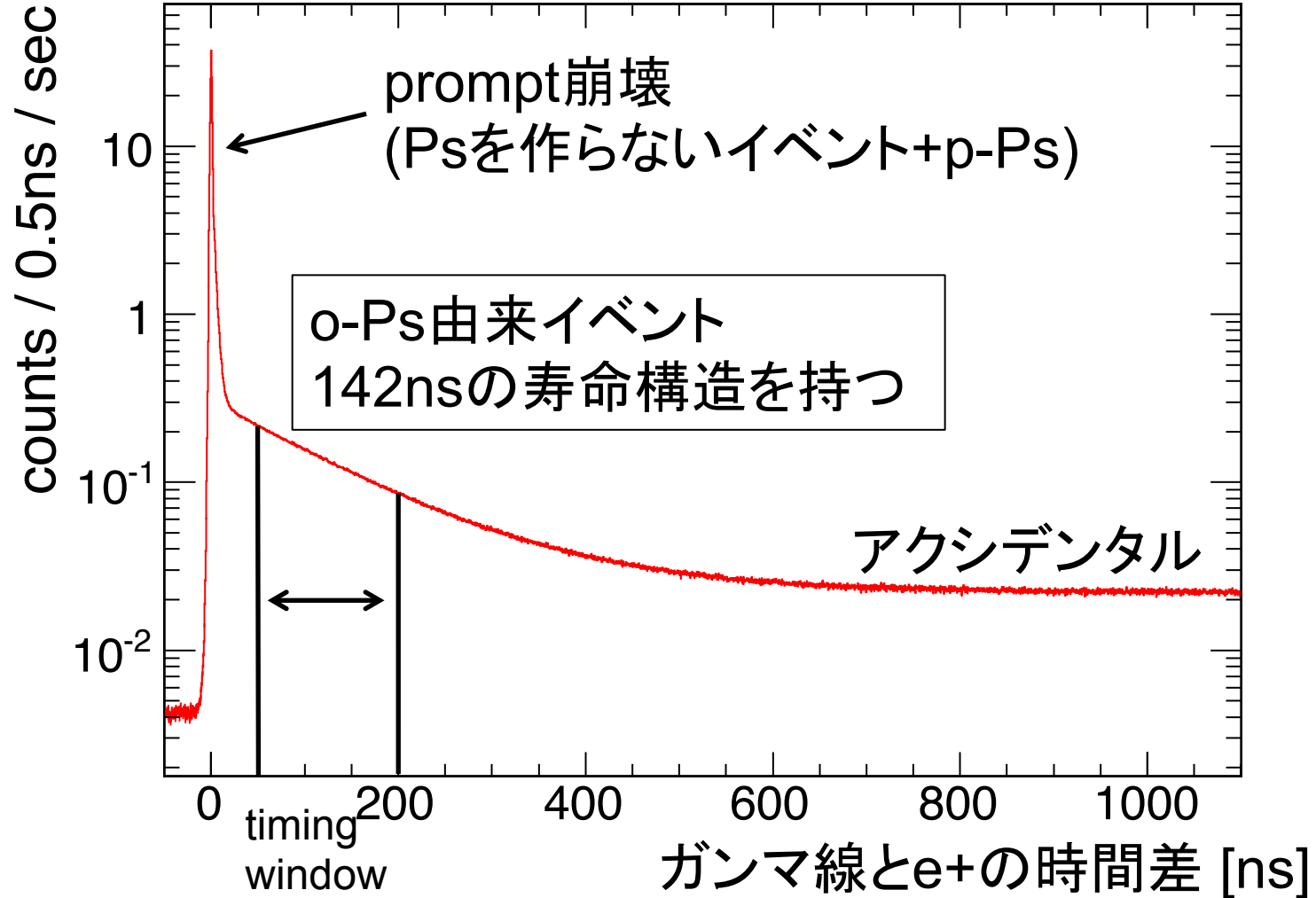
現在までに取得したデータ

周波数	平均蓄積パワー	日時
202.9 GHz	15.1 ± 4.0 kW	2012/12/5 ~ 12/9
205.3 GHz	19.4 ± 3.3 kW	2013/2/6 ~ 2/9
201.8 GHz	18.7 ± 2.4 kW	2013/3/5 ~ 3/7

- プラシンと LaBr_3 のコインシデンストリガでレート620Hz
- DAQはいずれも一週間以内
- 右図は共振パワー 20 ± 5 kWで期待される遷移確率の Lorentzian curve (simulation)
- 「遷移量」をパワーで割ることで中央値がPs-HFS, 幅がおおよそp-Psの崩壊率に対応する
- 高いパワー25kWではサチュレーションの効果で幅が広がる



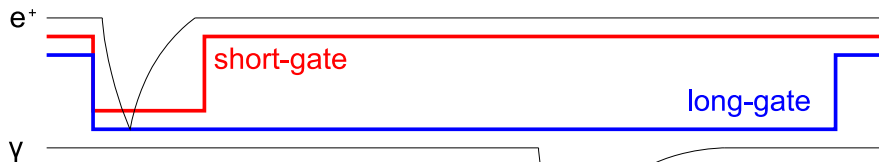
イベントセレクション1 timing window



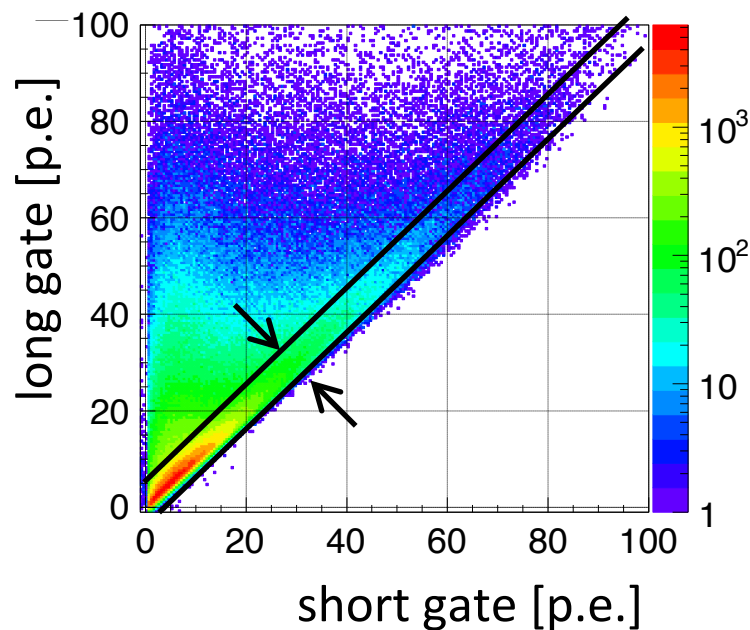
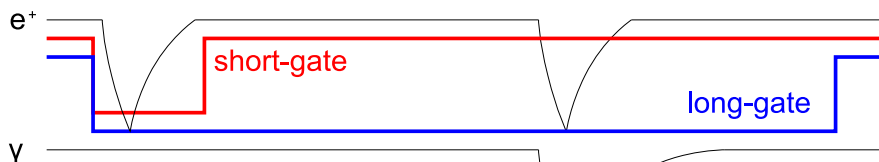
シグナルはo-Ps \rightarrow p-Psの遷移なので、o-Psを生成したイベントをtiming window(50-200ns)により選び、prompt崩壊イベントとアクシデンタルを排除

イベントセレクション2 accidental rejection

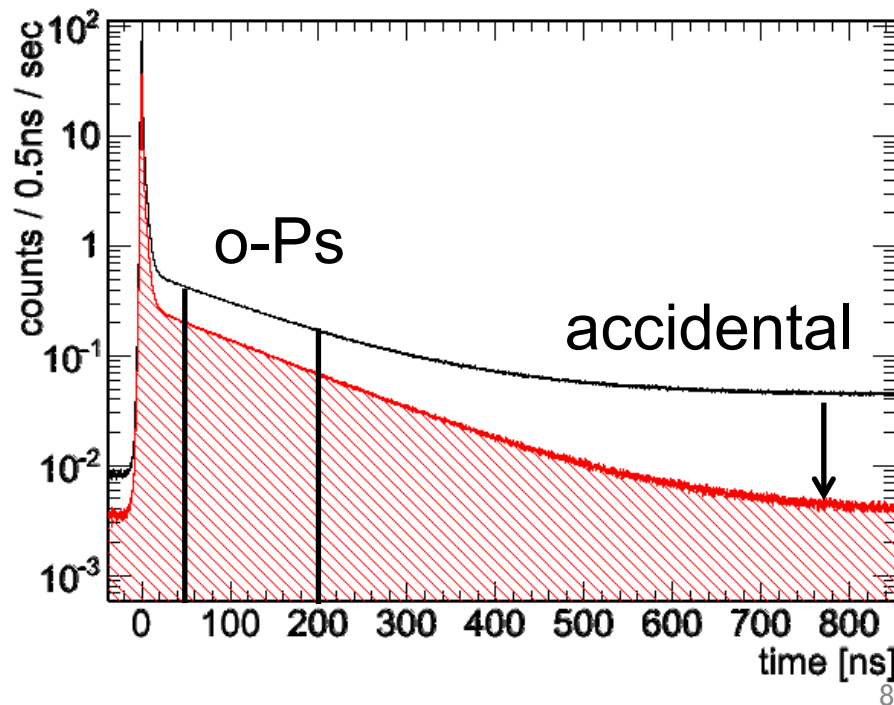
normal event



accidental event



- プラシンのエネルギーはgate幅の異なる (short: 60ns, long: 1 μ s) 2つのQDCで測定
- アクシデンタルなイベントではshort gateに比べlong gateで測定される電荷が多いことを利用してアクシデンタルを除去
- アクシデンタルの94%を除去(シグナルも55%減るがS/Nは約20倍向上)

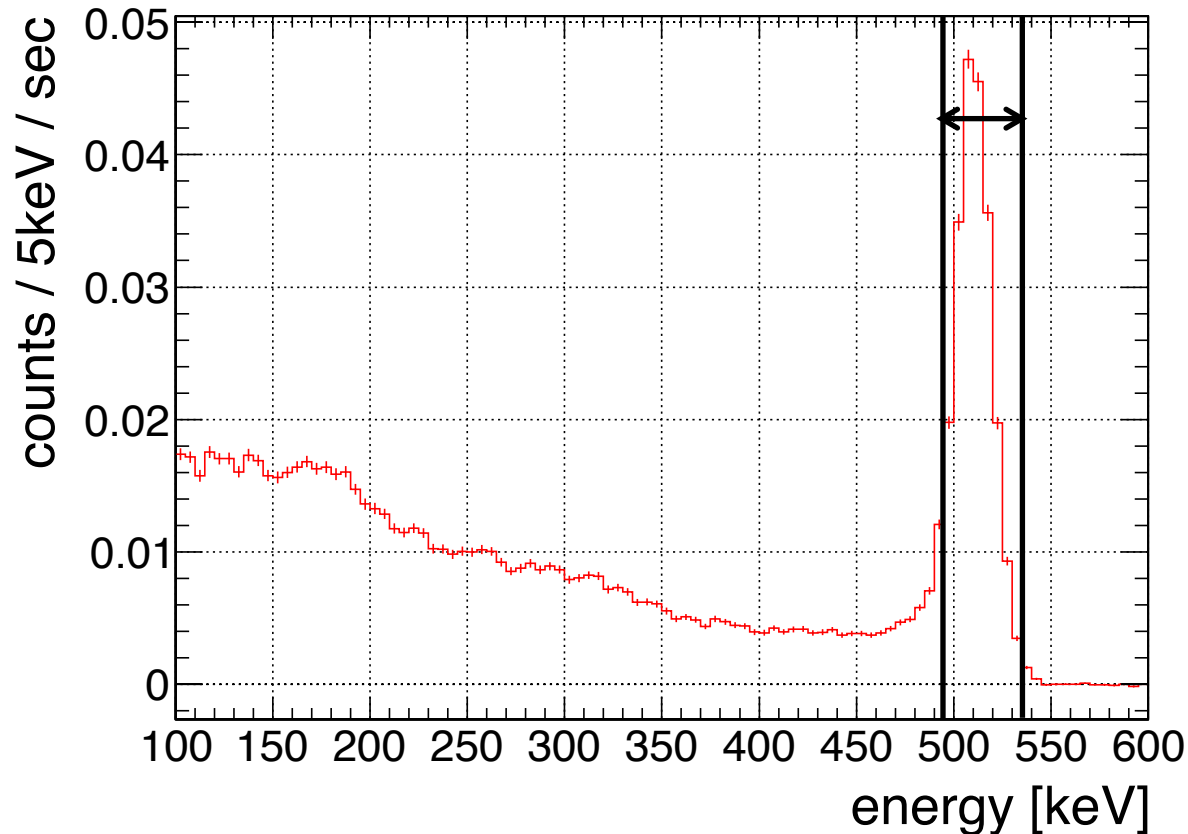


イベントセレクション3 energy window

遷移イベントはo- $\text{Ps} \rightarrow \text{p-}\text{Ps} \rightarrow 2\gamma$ (back-to-back)

$511\text{keV}^{+3\sigma}_{-2\sigma}$ のイベントを選ぶことで遷移イベントを取り出す

back-to-backの相手が511keVの時のエネルギースペクトル



511keVにピークが見えるが遷移はこれの10%程度に過ぎない
バックグラウンドの正確な評価が不可欠

シグナルとバックグラウンド

シグナル

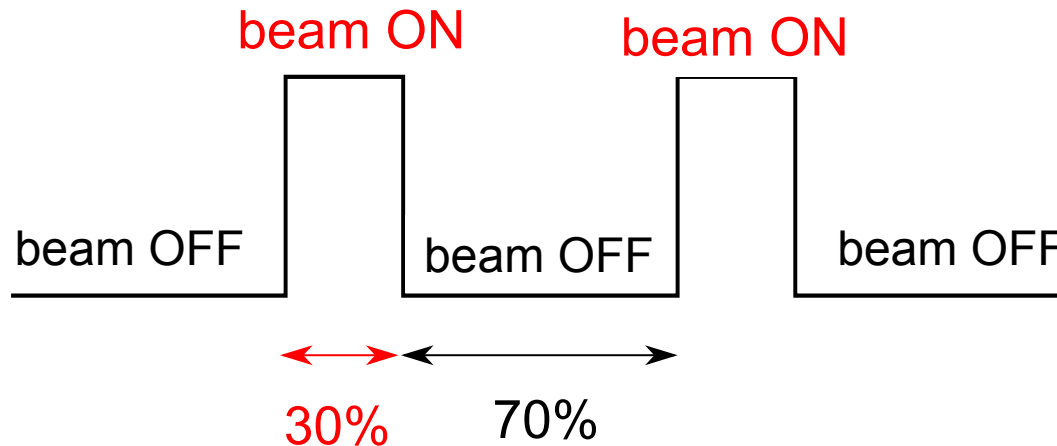
- $o\text{-Ps} \rightarrow p\text{-Ps} \rightarrow 2\gamma$ (遷移の頂点で全体の15%程度)

バックグラウンド

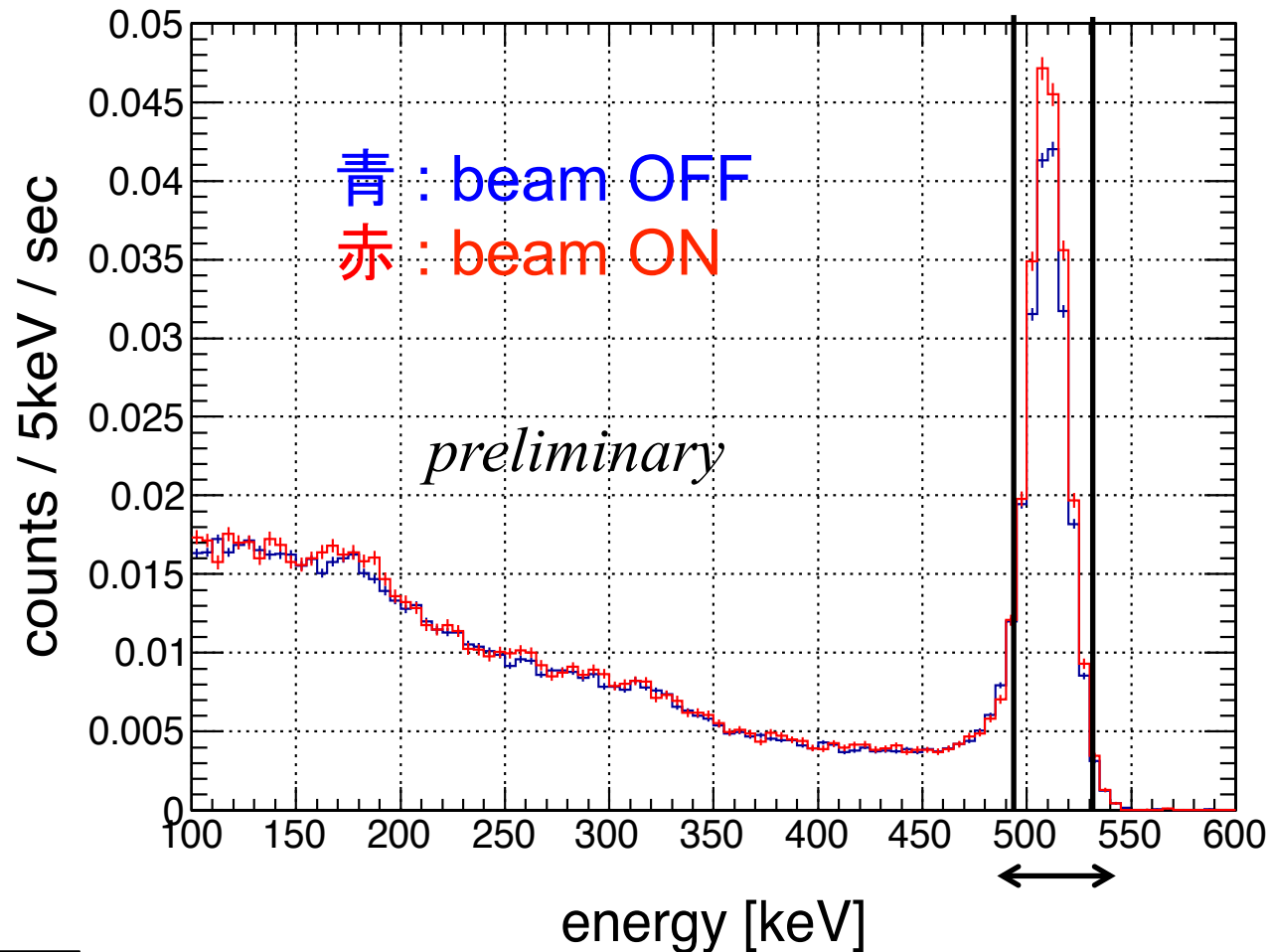
- $o\text{-Ps} \rightarrow 3\gamma$: 連続スペクトルのなだれ込み (40%程度)
(ほぼ511keVの2本に加え低エネルギーの1本が入るイベント)
- $o\text{-Ps} \rightarrow 2\gamma$ (pick-off) : ガス分子中の電子とPsの陽電子が対消滅 (40%程度)

→これらはシグナルとほぼ同じ形なので解析で除去しきれない

- ★ジャイロトロンはduty 30%, 繰り返し5Hzのパルス動作なので,
beam OFFのときのイベントを使ってdataからバックグラウンドを見積もる



202.9 GHzにおける遷移シグナル



遷移量

$$(\text{ON}-\text{OFF})/\text{OFF} = 9.36 \pm 0.91\% (10.5\sigma)$$

- 有意な遷移を観測している
- 現在は非遷移の201,8GHz, 205.3GHzで系統誤差を研究中

検出器系まとめ

- 3つの周波数点で蓄積パワー約20kWで遷移測定を行っている
- 直接遷移シグナルは統計的に非常に少ないため 2γ 崩壊をback-to-backに検出した後厳しいカットをかけた
- 202.9GHzでジャイロトロンONとOFFの比較によりで統計的に有意に遷移を観測した
- 現在は系統誤差の研究をしており,それが終了次第肩の2点でも測定を行い,全体で5つの周波数点からPs-HFSを決定する

直接遷移実験のまとめと予定

- ジャイロトロンを用いたハイパワーミリ波技術によってポジトロニウム超微細構造の値を直接遷移により測定している
- 半年以内に超微細構造の値を0.1%以下の精度で世界ではじめて直接測定する予定
- 将来的にはジャイロトロンの改良,ポジトロンビームを用いた統計量の改善,高精度ミリ波パワー検出器の開発が必要