

ポジトロニウム超微細構造の直接測定II (解析及び暫定結果)

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,

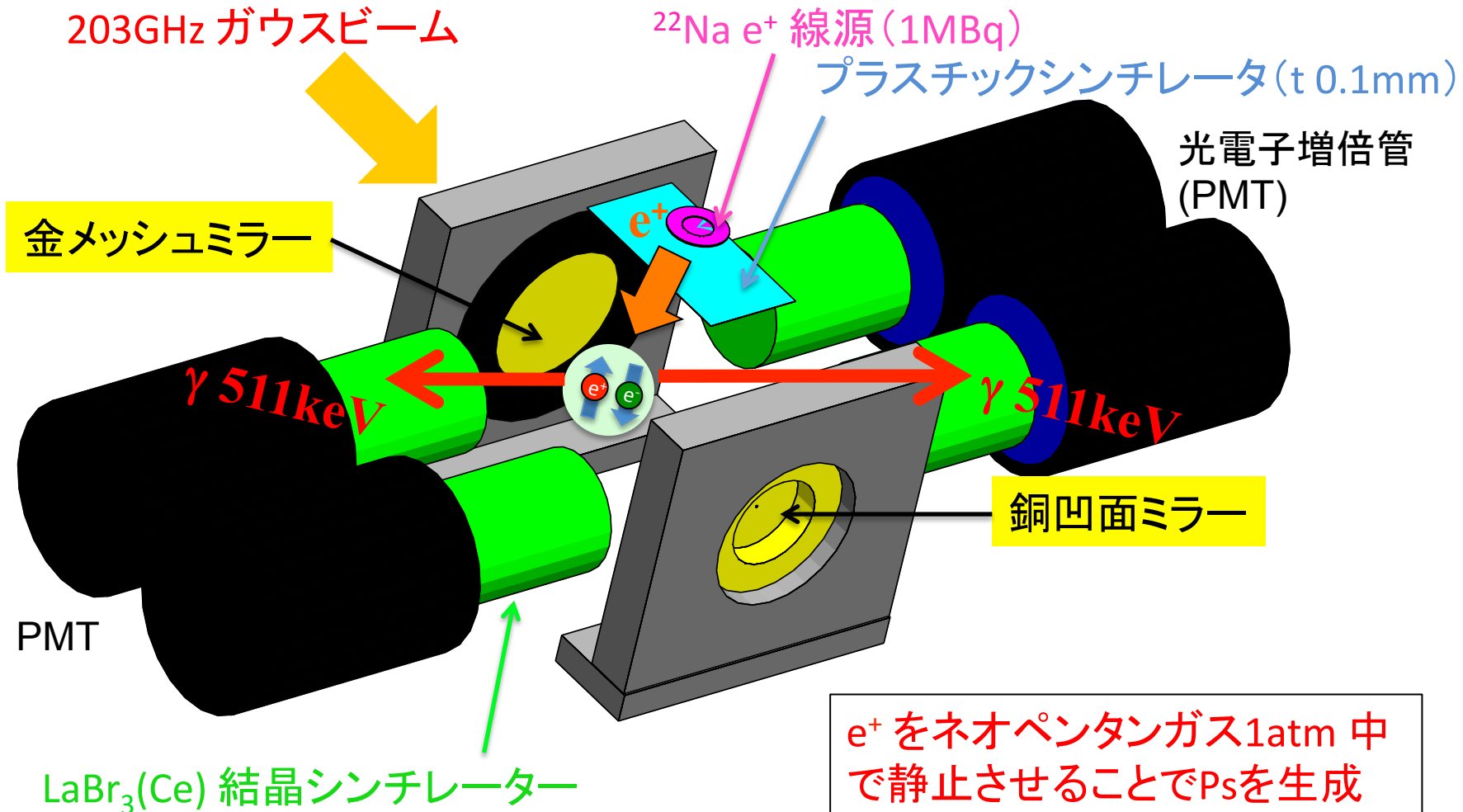
目次

- 検出器系の説明
- ガスについて
- 解析
- 結果
- まとめ

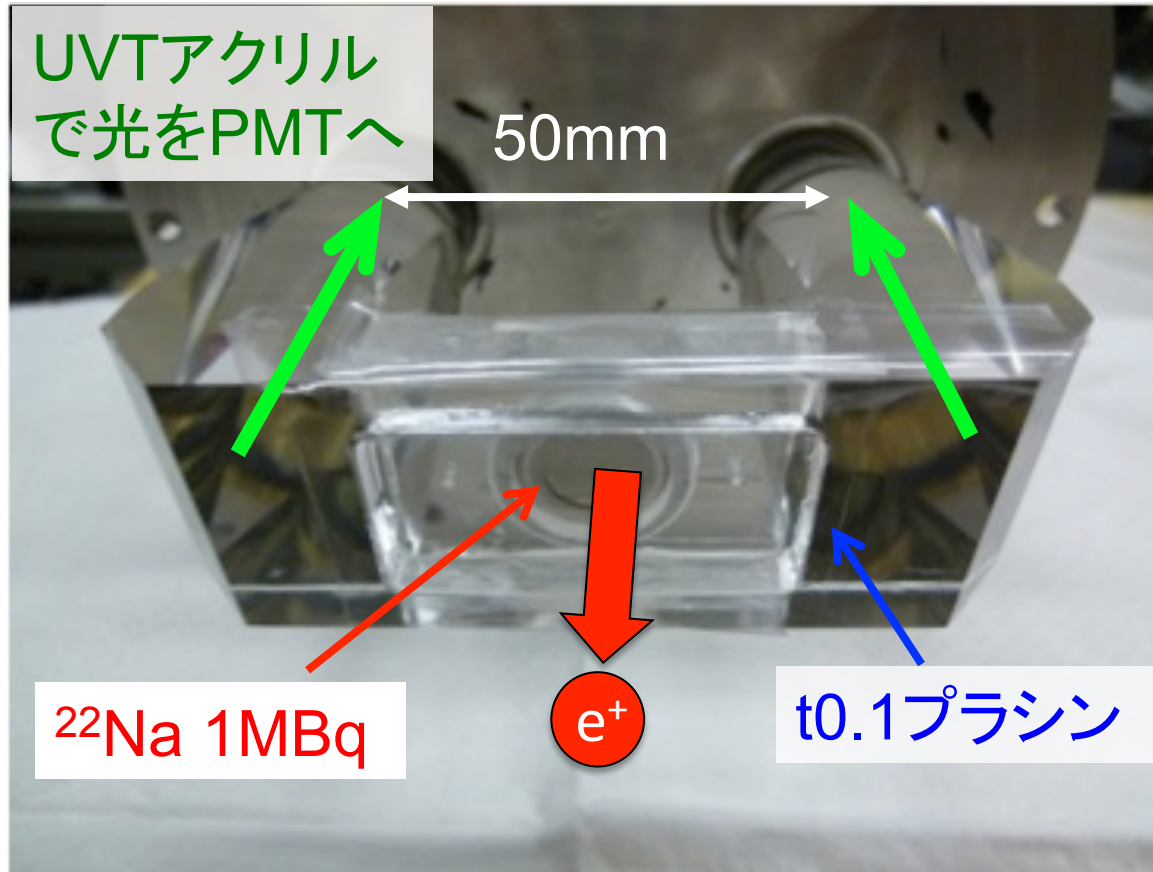
検出器系の説明

Ps生成部・ γ 線検出器 全体図

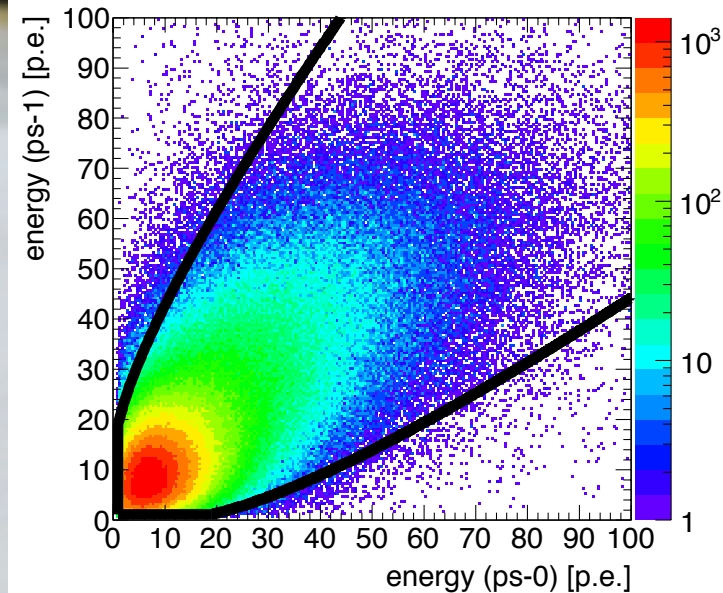
シグナル = Delayed 2γ 崩壊 (単色511keV・back-to-back)



線源と e^+ タグ系



左右のPMTで検出された
光量のバランスを要求

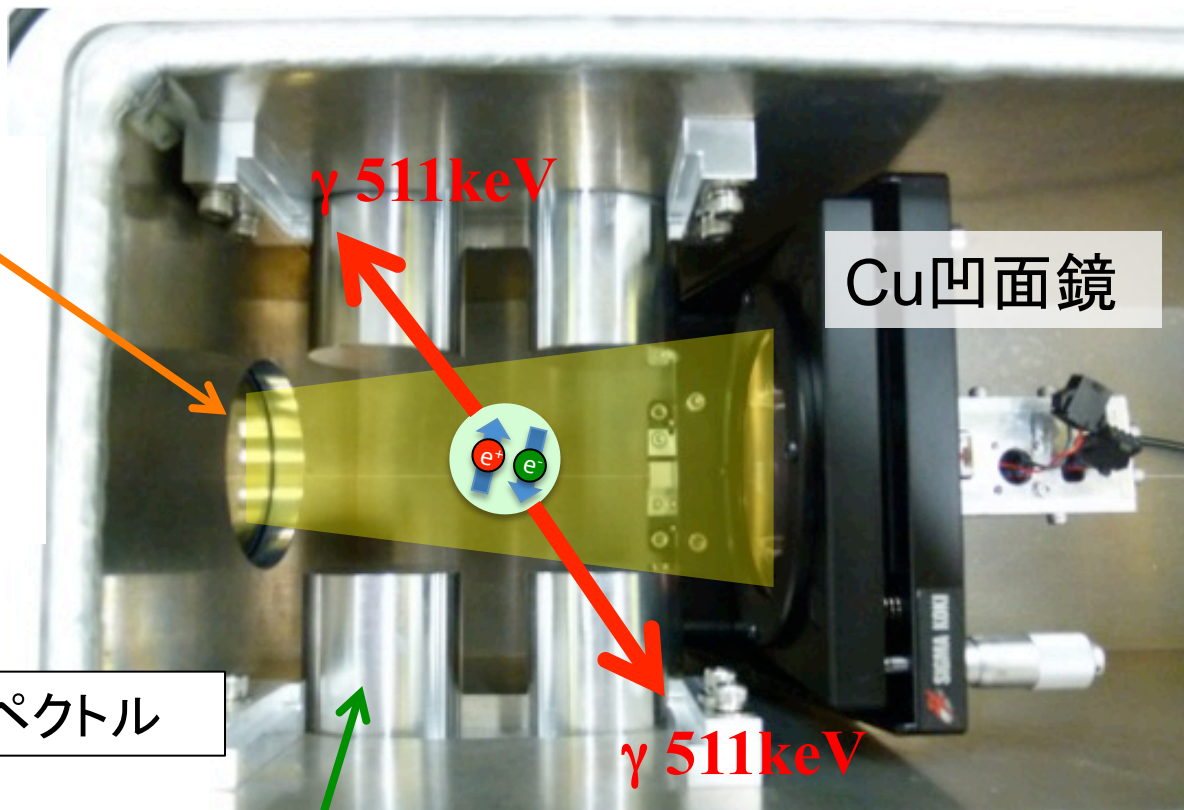


- e^+ 放出時刻をプーシンでタグ (120kHz)
- LaBr_3 にガンマ線が来た時刻とoff-lineでdelayed coincidenceをとって o -Ps由来イベントをセレクト

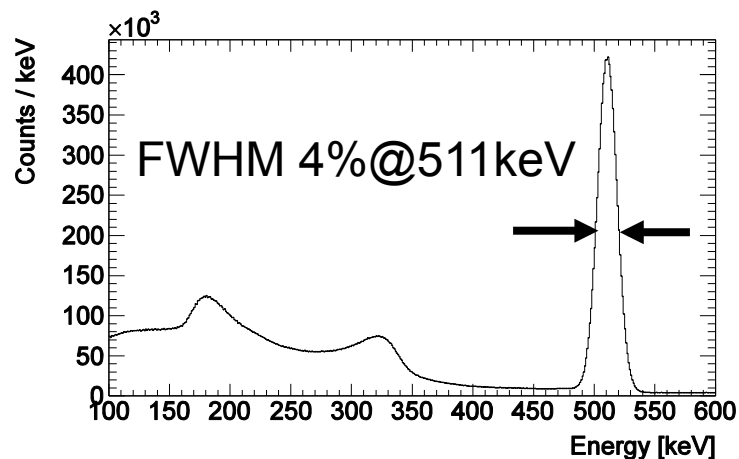
Fabry-Pérot共振器とLaBr₃結晶の配置

金メッシュ鏡 on Si

- i) 冷却可能なミリ波ミラー
 - ii) ガスチェンバーの窓
 - iii) Siなので可視光遮光
- という一石三鳥の大活躍！



LaBr₃で測ったガンマ線スペクトル



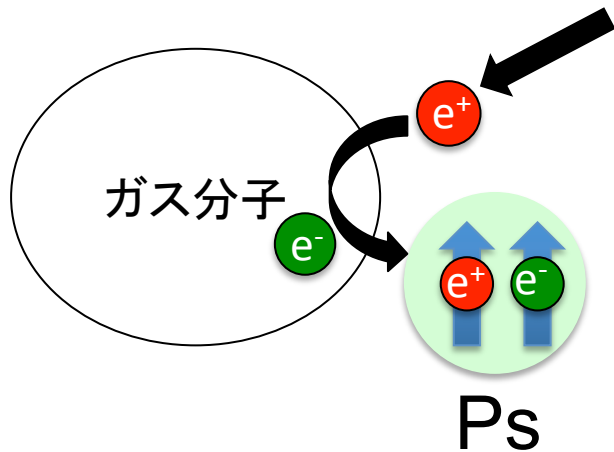
LaBr₃ (Ce)結晶でガンマ線を検出(7kHz)

- エネルギー分解能 FWHM 4% @ 511keV
- 時間分解能 FWHM 200ps @ 511keV
- 時定数 16ns
- NaIより高い阻止能

最近注目されている新しい無機シンチ

ガスについて

ガスによるPs生成と低速陽電子



- 線源から放出された e^+ ($\sim 100\text{keV}$)はガス中で減速し、数 eV くらいになったときガス分子中の e^- を受け取ってPsを生成 (**寿命142ns**)
- しかし減速し過ぎた e^+ は e^- を剥ぎ取れず e^+ のまま長い時間漂い続ける(**低速陽電子**)

•長寿命な e^+ が残っていると**S/Nが悪化**

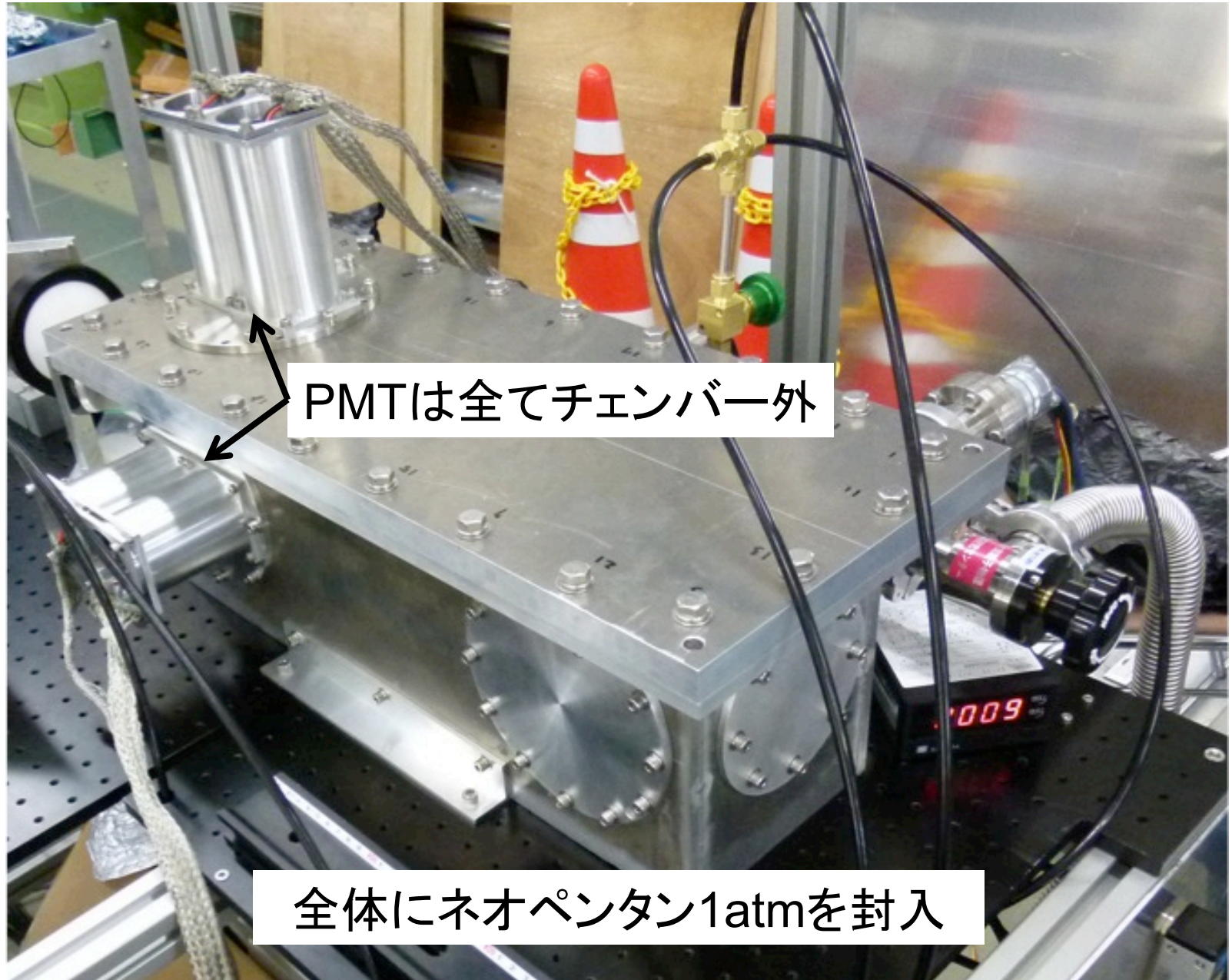
•共振器中の強い電場($\sim 1000\text{kV/m}$)で e^+ が加速され、再びPsを作る過程も邪魔

→比較的大きい**アルカン分子**などは e^+ 消滅に寄与する有効電子数(Z_{eff})が大きいいため、 e^+ の寿命を大きく減らすことができる。

イソブタンはミリ波を吸収するので、非極性な**ネオペンタン**をPs生成用ガスとして採用。

各ガス 1 atm	e^+ 寿命
アルゴン	185 ns
窒素	170 ns
二酸化炭素	90 ns
メタン	36 ns
イソブタン	0.35 ns
ネオペンタン	0.23 ns

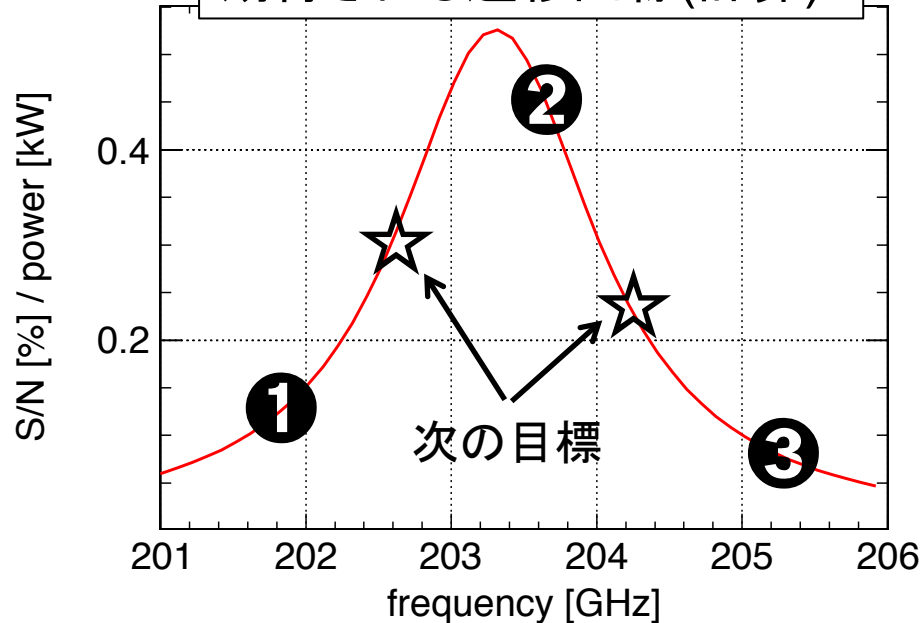
ガスチェンバー全体の様子



解析

現在までに取得したデータ

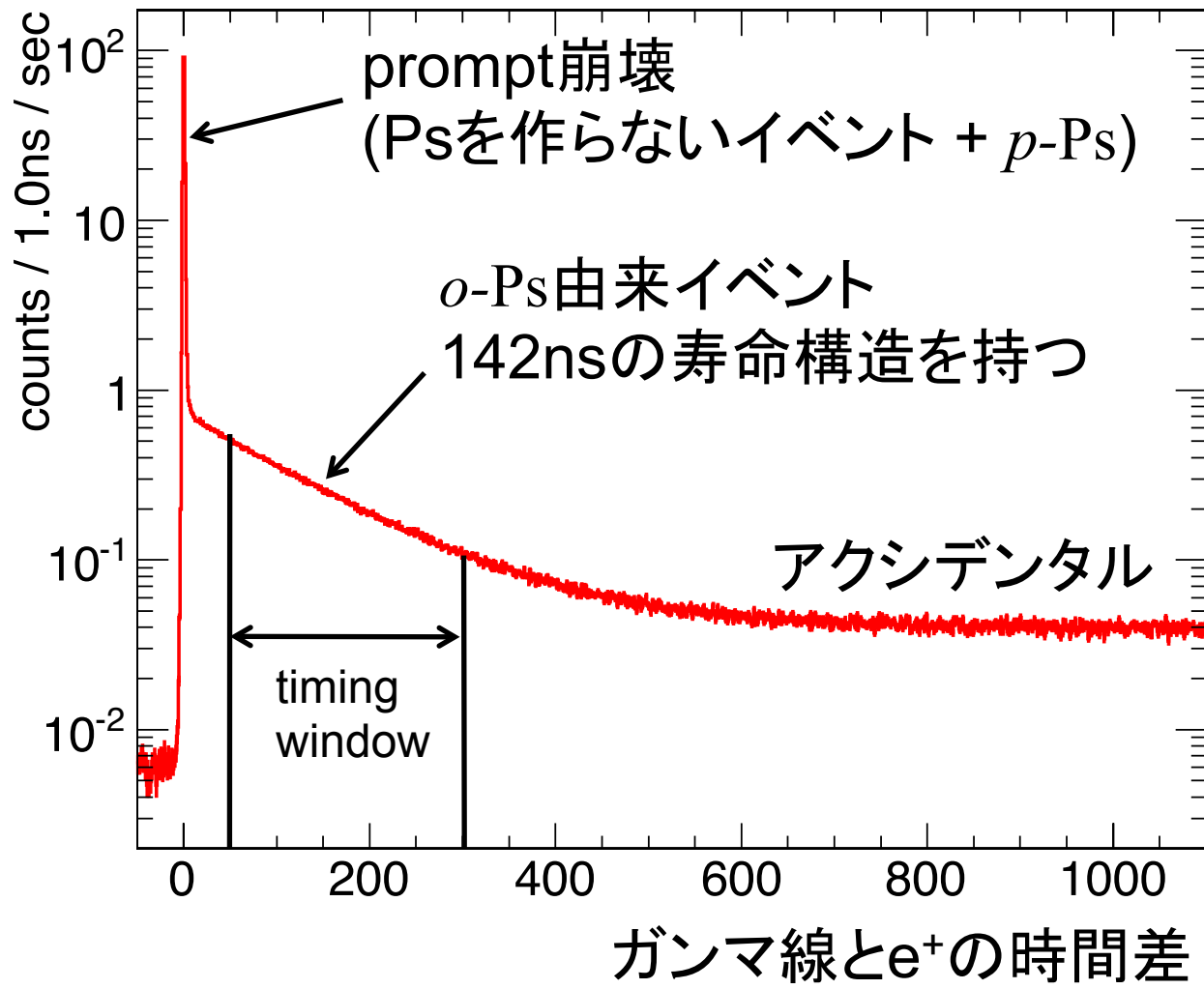
期待される遷移曲線(計算)



- 現在まで3周波数で測定を行った
- 遷移量の多い②の点では蓄積パワーを変えながら遷移測定
- プラシンとLaBr₃シグナルのコインシデンスでトリガ(トリガレート620Hz)
- 一回の測定に1-3日程度の統計量を要請
- 別周波数へ変更するために数週間必要

周波数	平均パワー	日時
① 201.8 GHz	21.7 kW	2013/5/14 ~ 5/16
② 203.6 GHz	14.6 kW	2013/8/1 ~ 8/2
	23.7 kW	2013/8/1
	49.5 kW	2013/8/1
	56.5 kW	2013/8/2
③ 205.3 GHz	20.1 kW	2013/9/12 ~ 9/17

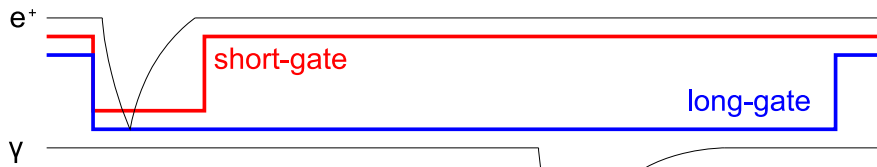
Event Selection 1/3 (timing window)



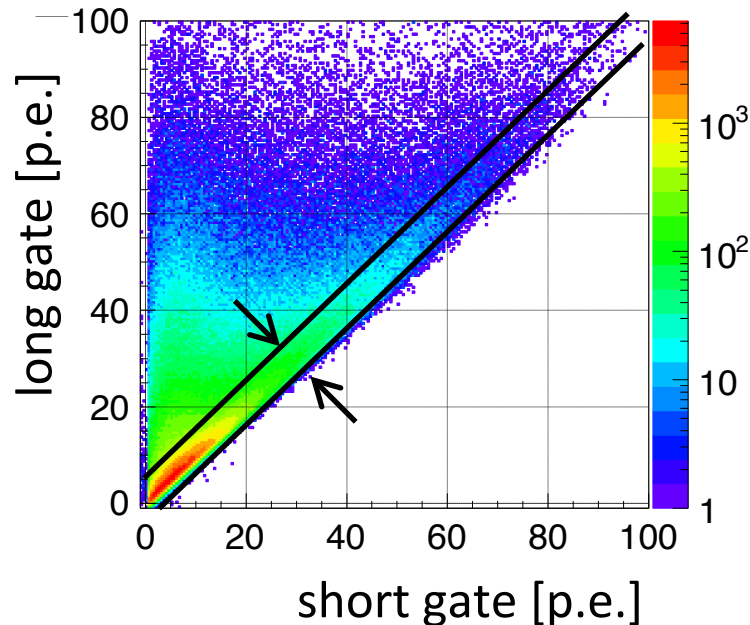
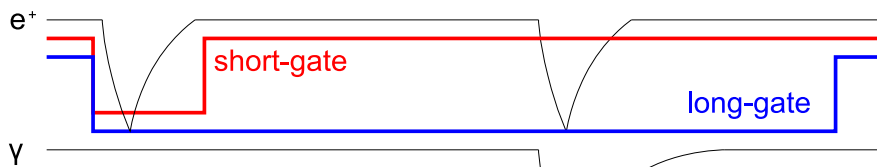
シグナルは o -Ps $\rightarrow p$ -Psの遷移なので、 o -Psを生成したイベントをtiming window(50-300ns)により選び、prompt崩壊とアクシデンタルを排除

Event Selection 2/3 (accidental rejection)

normal event



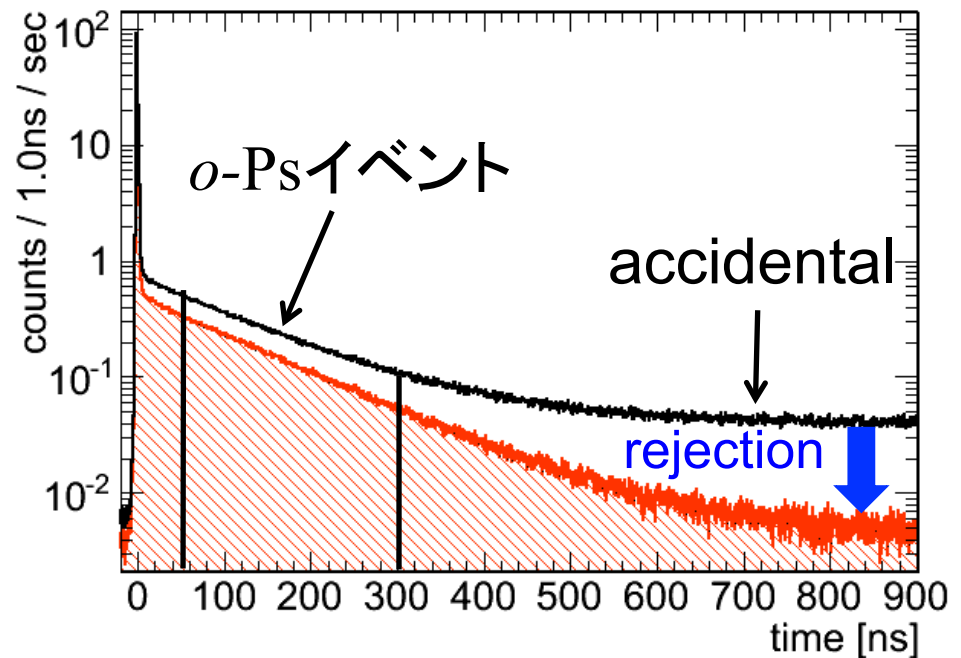
accidental event



- プラシンのパイルアップ由来のアクシデンタルが多く残っている

- アクシデンタルではshort gate (60ns)に比べlong gate (1 μ s)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



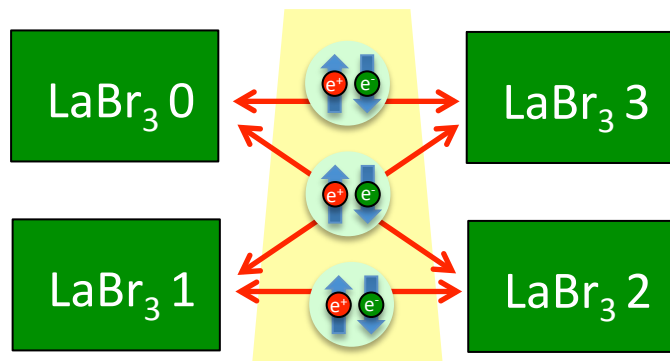
Event Selection 3/3 (energy cut)

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

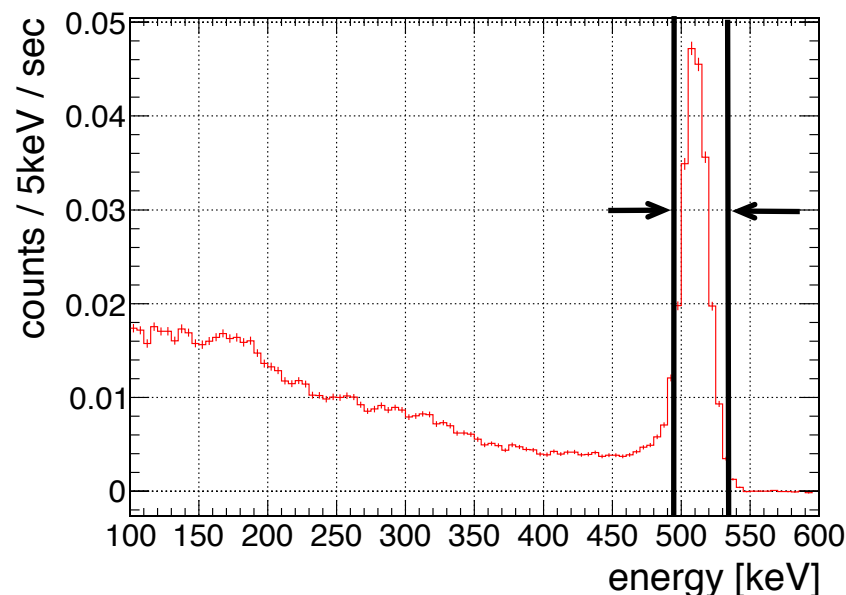
$511\text{keV}_{-2\sigma}^{+3\sigma}$ のイベントを選ぶことで遷移イベントを取り出す

back-to-backの相手が511keVの時のエネルギースペクトル

以下の4パターンの和



Psが広い領域で生成するため同じくらいのレート



511keVにピークが見えるが遷移はこれの10%程度
→残りの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

- $o\text{-Ps} \rightarrow p\text{-Ps} \rightarrow 2\gamma$

バックグラウンド

- $o\text{-Ps} \rightarrow 2\gamma$ (pick-off)

ガス分子中の e^- と $o\text{-Ps}$ の e^+ が対消滅

- $o\text{-Ps} \rightarrow 3\gamma$

連続スペクトルのなだれ込み

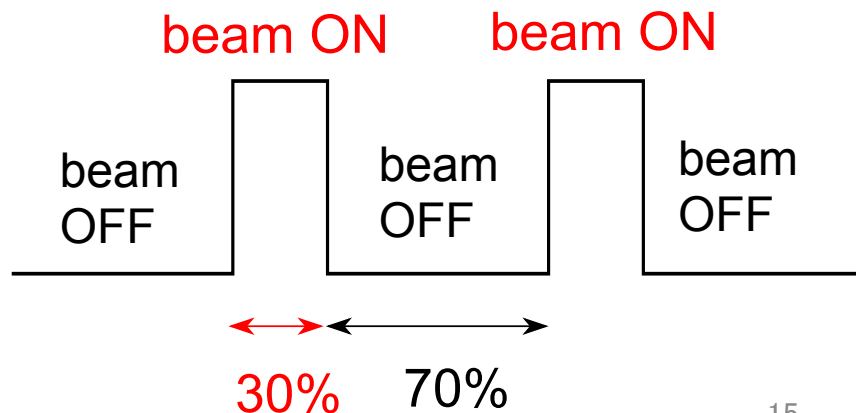
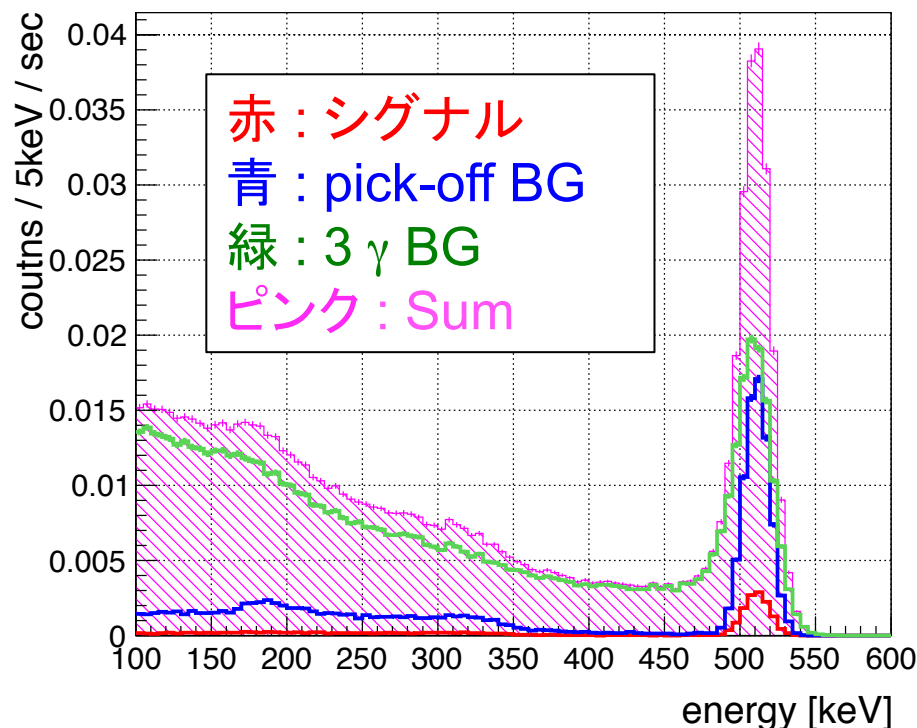
→これらは解析で除去しきれない

★ジャイロトロンはduty ratio 30%,
repetition rate 5Hz のパルス動作

→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

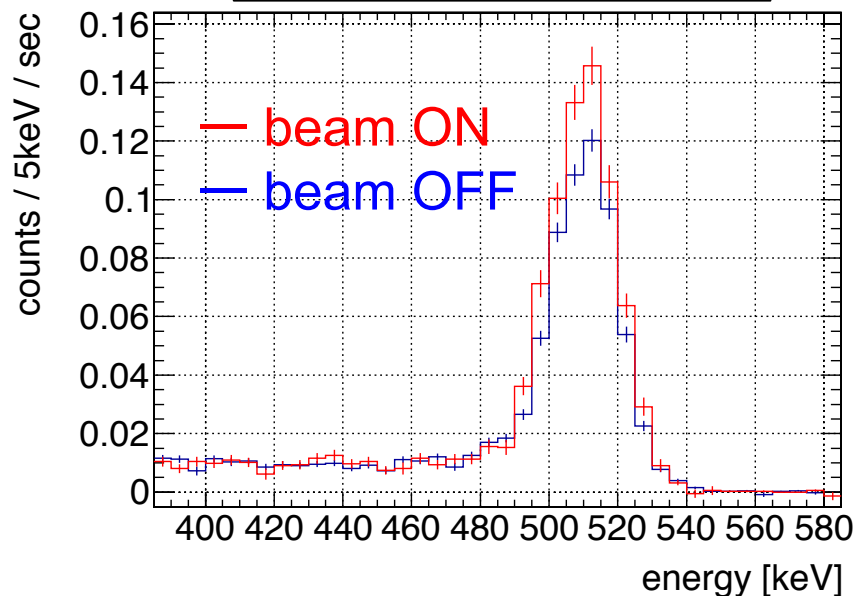
MCエネルギースペクトル



結果

203.6 GHz, 56.5kWにおける遷移シグナル

エネルギースペクトル

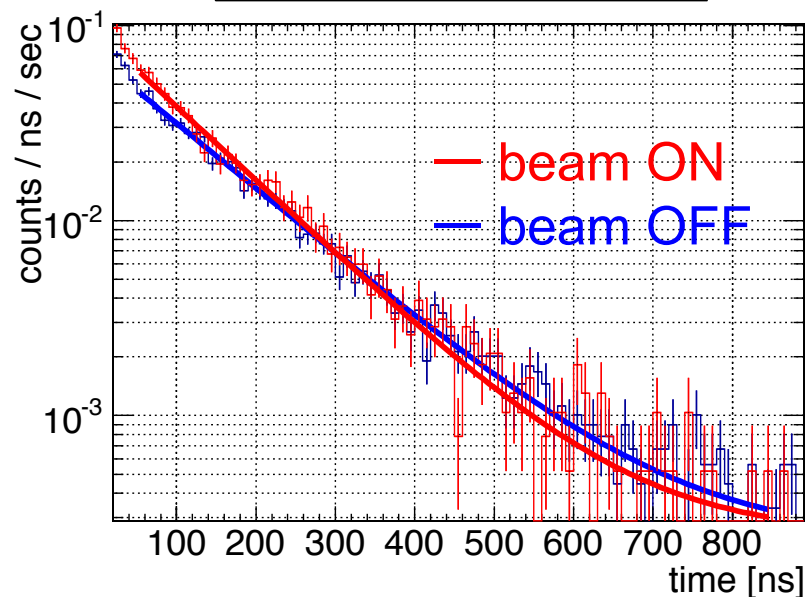


遷移割合

$$\begin{aligned} S/N &= (\text{ON} - \text{OFF}) / \text{OFF} \\ &= 18.9 \pm 3.1\% (6.3\sigma) \end{aligned}$$

有意に遷移が観測されている

タイミングスペクトル



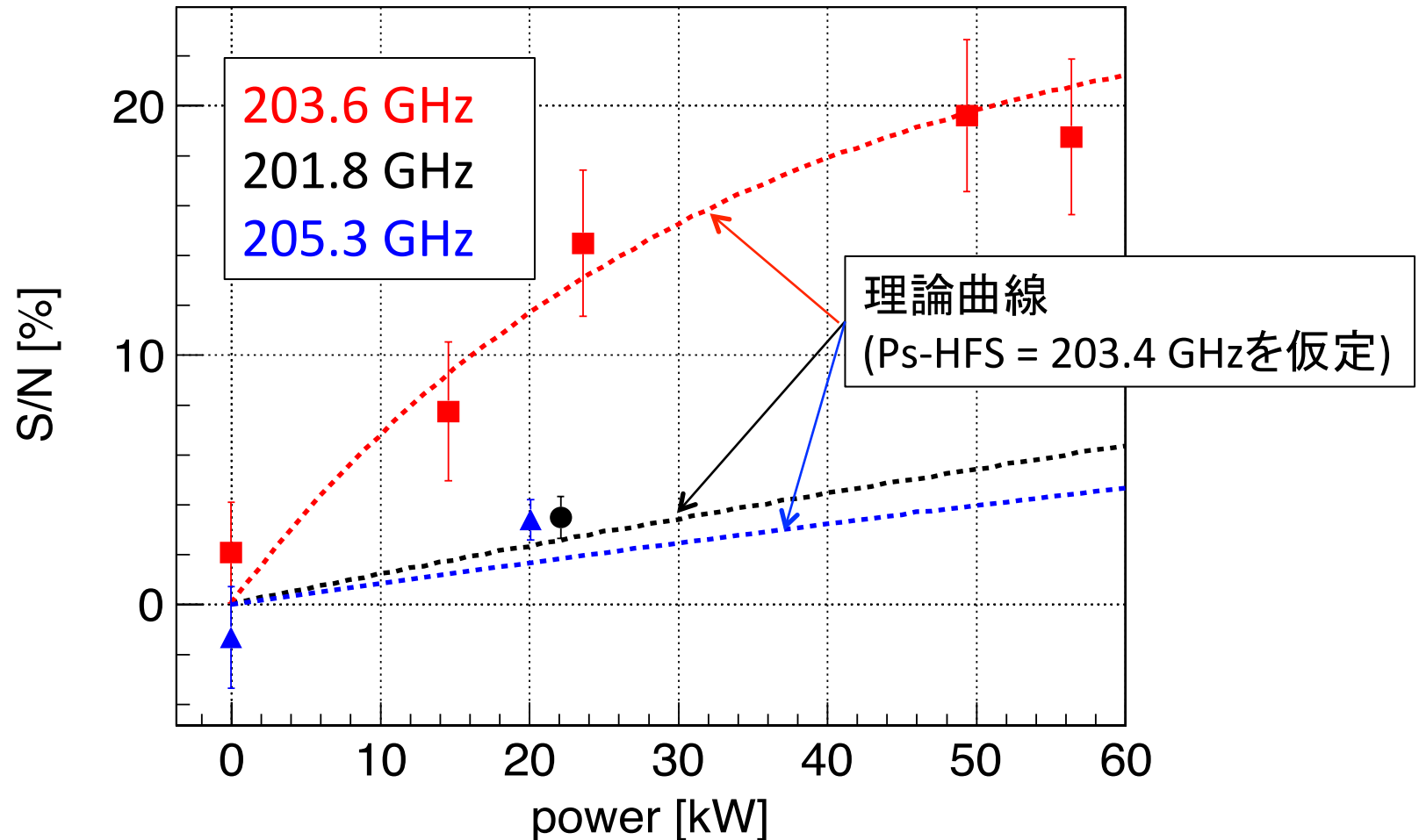
lifetime

$$\text{OFF} = 128.7 \pm 2.6 \text{ ns}$$

$$\text{ON} = 114.1 \pm 3.2 \text{ ns}$$

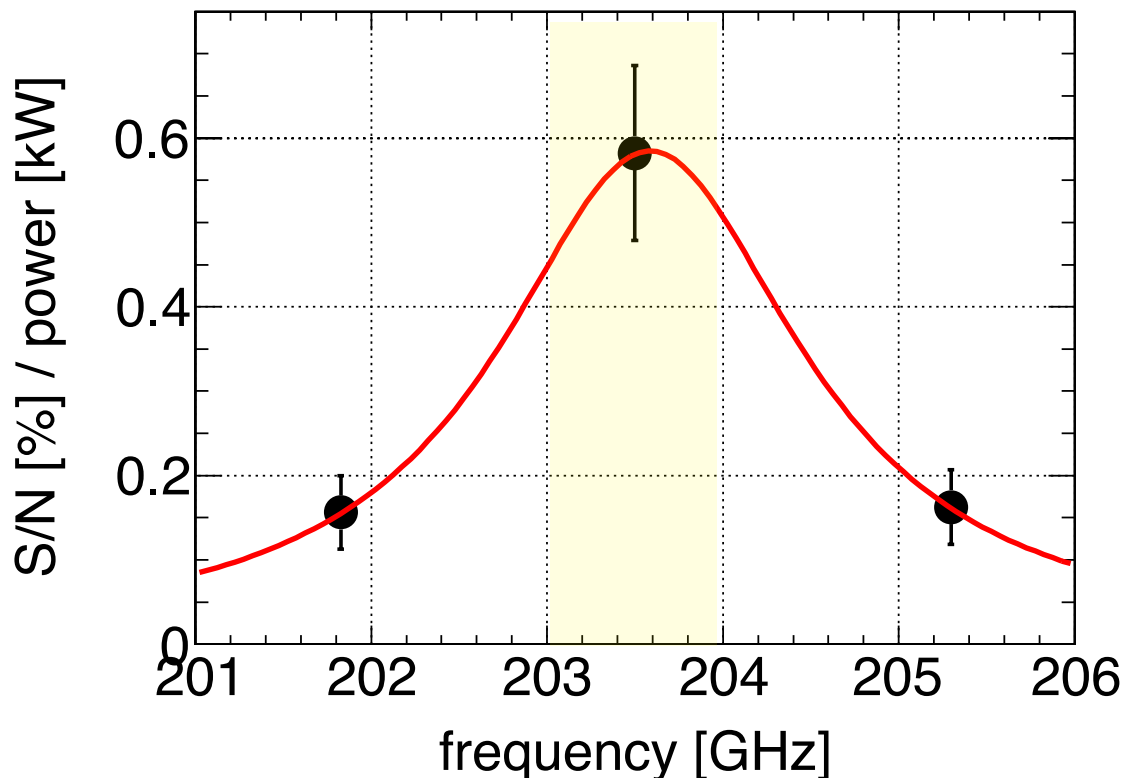
遷移により寿命が減っている

遷移のパワー依存性



- 各周波数において, 理論とコンシステントに遷移を測定している
- 遷移の多い203.6GHzではパワーサチュレーションが見えている

遷移曲線(暫定)



- 3点ではNDF=0なので統計的に正しいfitはできないが, 大体期待通り
 - あと別周波数での遷移を追加することで
 - 共鳴曲線を中心 = Ps-HFS
 - 遷移曲線の幅の逆数 = p -Ps寿命
- の初直接測定が達成される. (現在次のcavityをベーキング中)

検出器系と解析のまとめ

- 3つの周波数点で蓄積パワー10-60 kWで遷移測定を行った
- 直接遷移シグナルは統計的に非常に少ないため, S/Nを上げるためのガスの最適化とデータ解析を行った
- 3周波数点での遷移はいずれも理論とコンシステントであった
- 遷移曲線の肩の2点をこれから測定しPs-HFSと p -Ps寿命を直接測定する

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
- 年内に超微細構造の値を世界ではじめて直接測定する予定
- ppmの精度で測定するためには i)ハイパワーミリ波の高精度(<0.3%)なパワー検出技術の確立, ii)ジャイロトロン安定性の改良, iii)周波数可変ジャイロトロンの開発, iv)ポジトロンビームを用いた統計量の改善, v)ガスの効果をなくすため真空中でポジトロニウムを生成する技術の確立などが必要