

SPring-8/SACLA における パルス強磁場を用いた 弱結合未知粒子の探索II

稲田聡明, 山崎高幸^A, 難波俊雄^A, 浅井祥仁,
玉作賢治^B, 田中義人^C, 澤田桂^B, 矢橋牧名^B, 石川哲也^B,
犬伏雄一^D, 松尾晶^E, 金道浩一^E, 野尻浩之^F

東大理, 東大素セ^A, 理研/SPring-8/SACLA^B,
兵庫大院物質理^C, JASRI/XFEL^D, 東大物性研^E, 東北大金研^F

内容

➤ 先のトーク:

探索に使用する, 超高繰り返し磁場発生用の

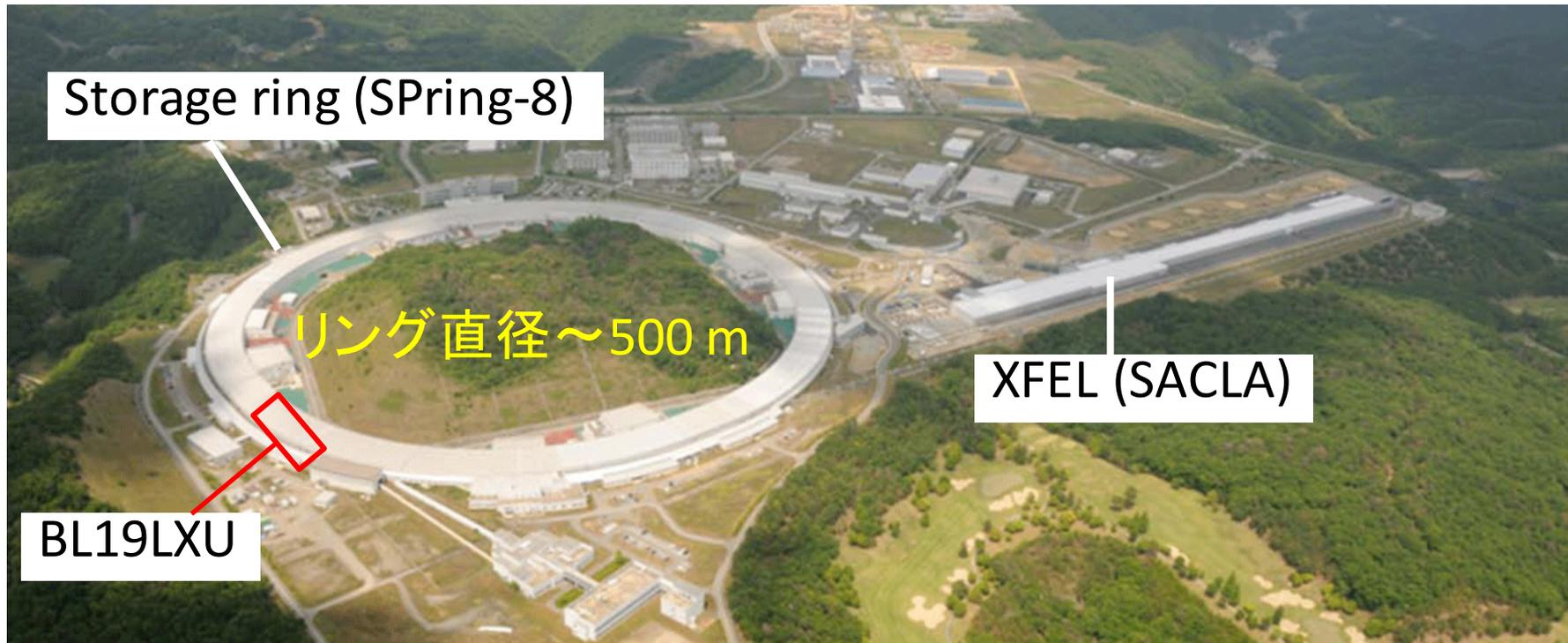
- レーストラック型パルス磁石
- 電源
の開発

➤ このトーク:

SACLAではなく, まずはSPring-8で行った実験について

- セットアップ
- Run, 解析
- 結果, 展望

SPring-8ビームライン19番での実験



- SACLAでの本実験の前に、磁場システムを含めた実験全体の feasibility studyをSPring-8のビームライン, BL19LXUで行った(11月)
- DC光源でありパルス磁場との相性が良いとは言えないが, DC強度としては世界最高 (3×10^{13} photon/s@検出器)
- 9.5 keVのビームを使用

実験の概観

実験ハッチ1

実験ハッチ2

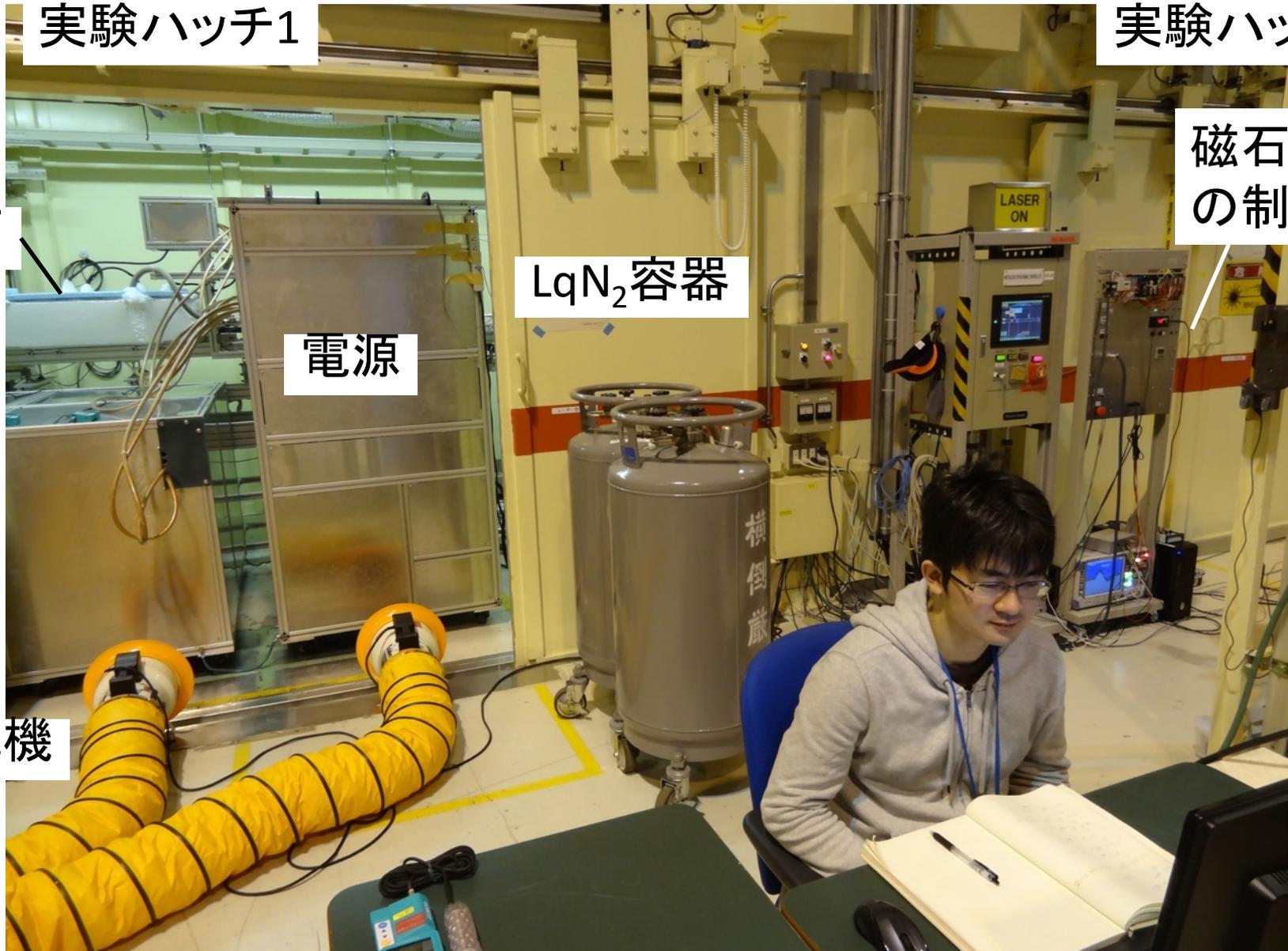
磁石運転
の制御盤

LqN₂容器

電源

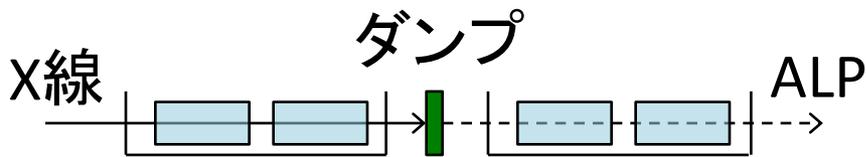
磁石

送風機



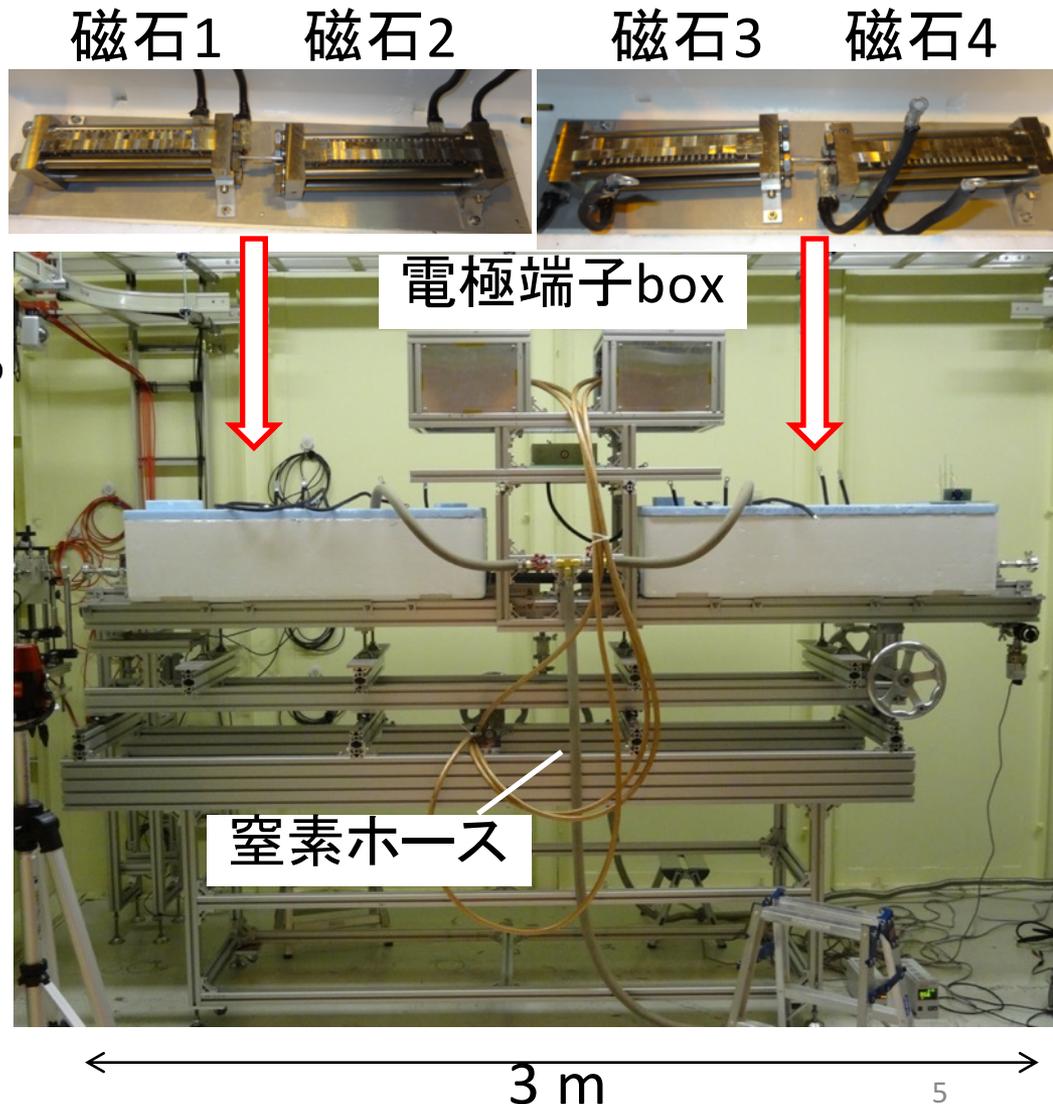
実験ハッチ1の中, 磁石周り

- 磁石1個の磁場領域~20cm
→ 2+2個を断熱容器の中へ設置し液体窒素で冷やす
- 2個の磁石間は真空をつなぐ



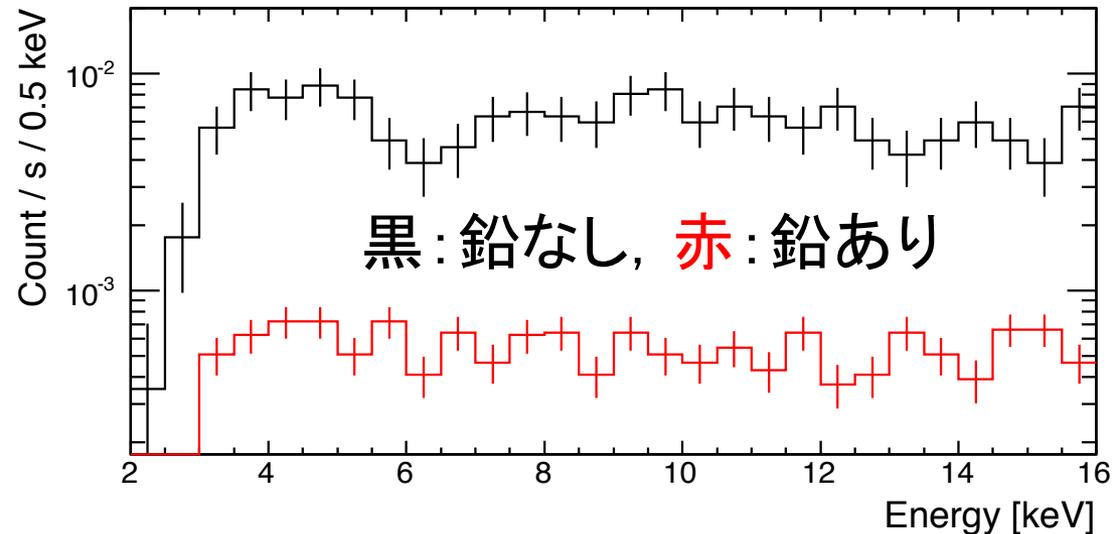
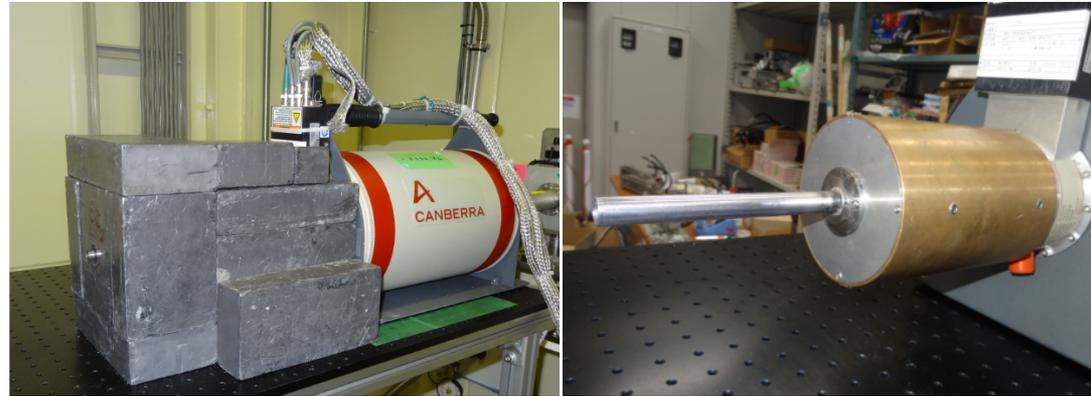
磁石全体を
アライメントする台

- 中央のスペースに
- ビームダンプ&強度モニタ
- パルス電流の電極などを配置



Ge検出器と放射線シールド

- ノイズを避けてハッチ2に
- X線でエネルギー分解能の良い**低エネルギー型**
 - 結晶: $\Phi 16$ mm, t10 mm
 - 結晶がとても小さい
- 鉛で環境放射線を低減
 - **1桁**以上落ちる
- 鉛からの蛍光X線を内側からシールド
- エネルギー分解能 (σ): 93 eV @ 9.5 keV
- 検出効率: 89% @ 9.5 keV

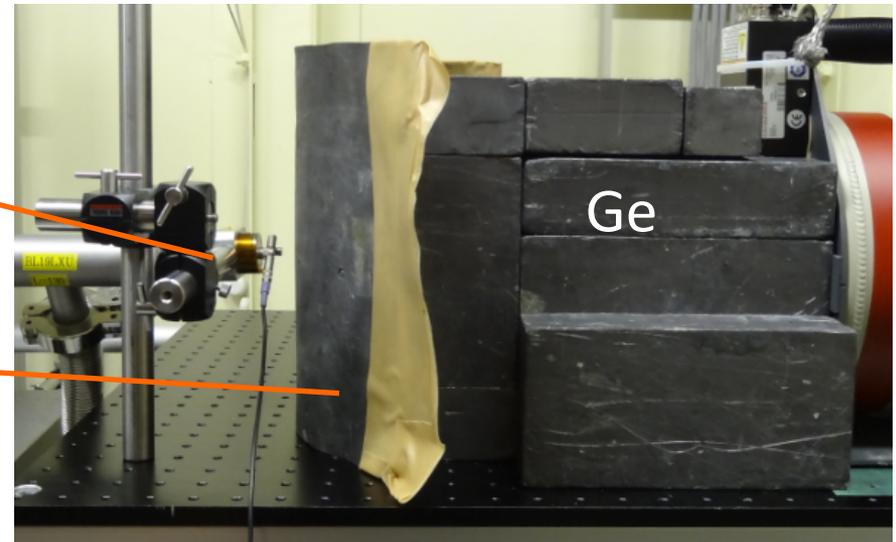


X線強度の測定

- Geより上流にある真空窓や大気での減衰も込みで強度を測る
 - 壁をずらしてハッチ2までX線を通す
 - 測るタイミング
 - 磁石4個での発熱～2kW
- 約1.5時間毎に窒素を供給. その間Ge直前で強度を測定
- 全ビームタイム中で, 平均 3.0×10^{13} photon/s

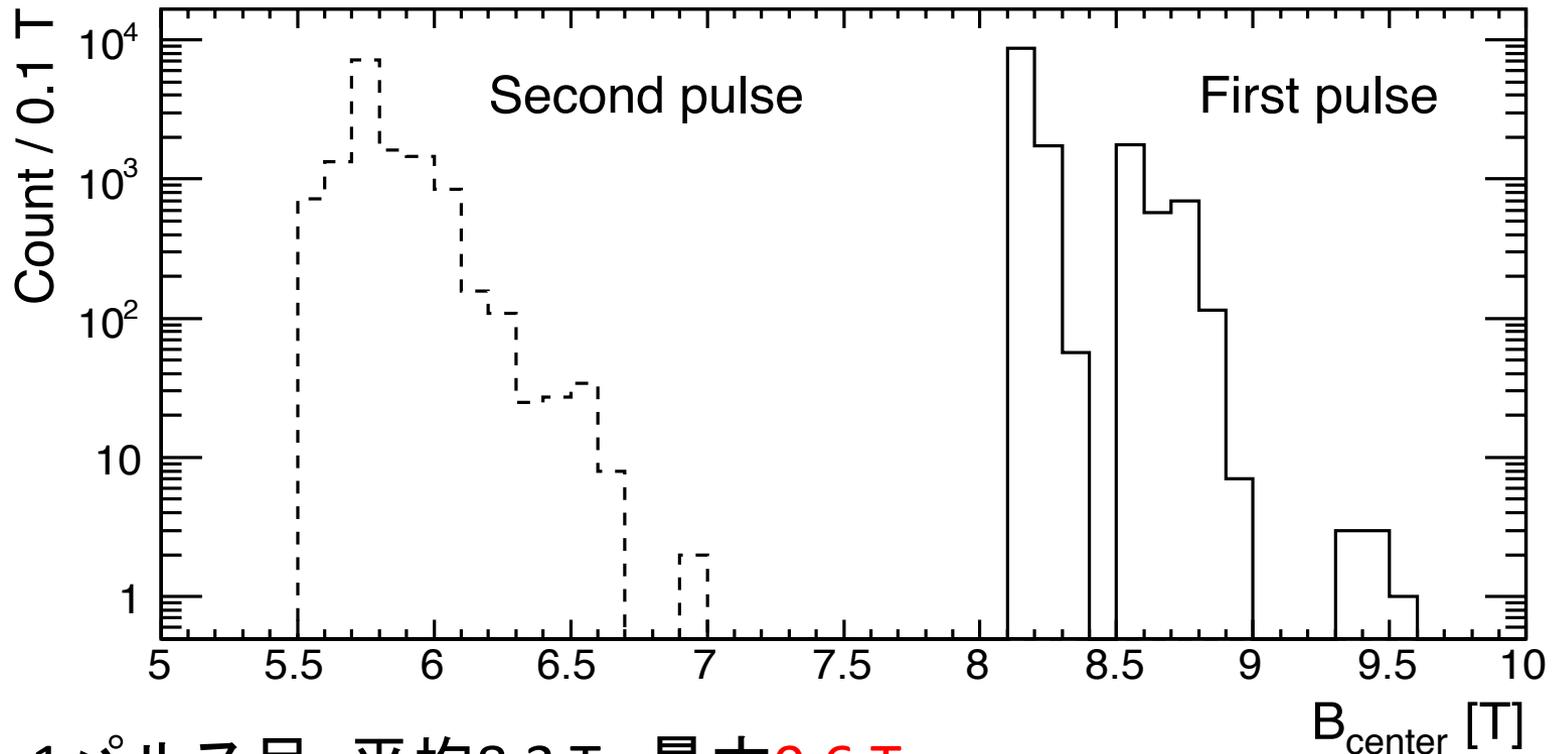
PINフォトダイオード
(浜松S3590-09)

Geが被爆しないよう鉛
でシールド



Runと全ショットの磁場分布

- 磁石4個を繰り返し0.2Hzで運転し, net 2日間測定
- 約**28,000パルス**を発生
- 充電電圧を変えて様々な磁場を発生
- 全ショットのピーク磁場分布@磁石中心

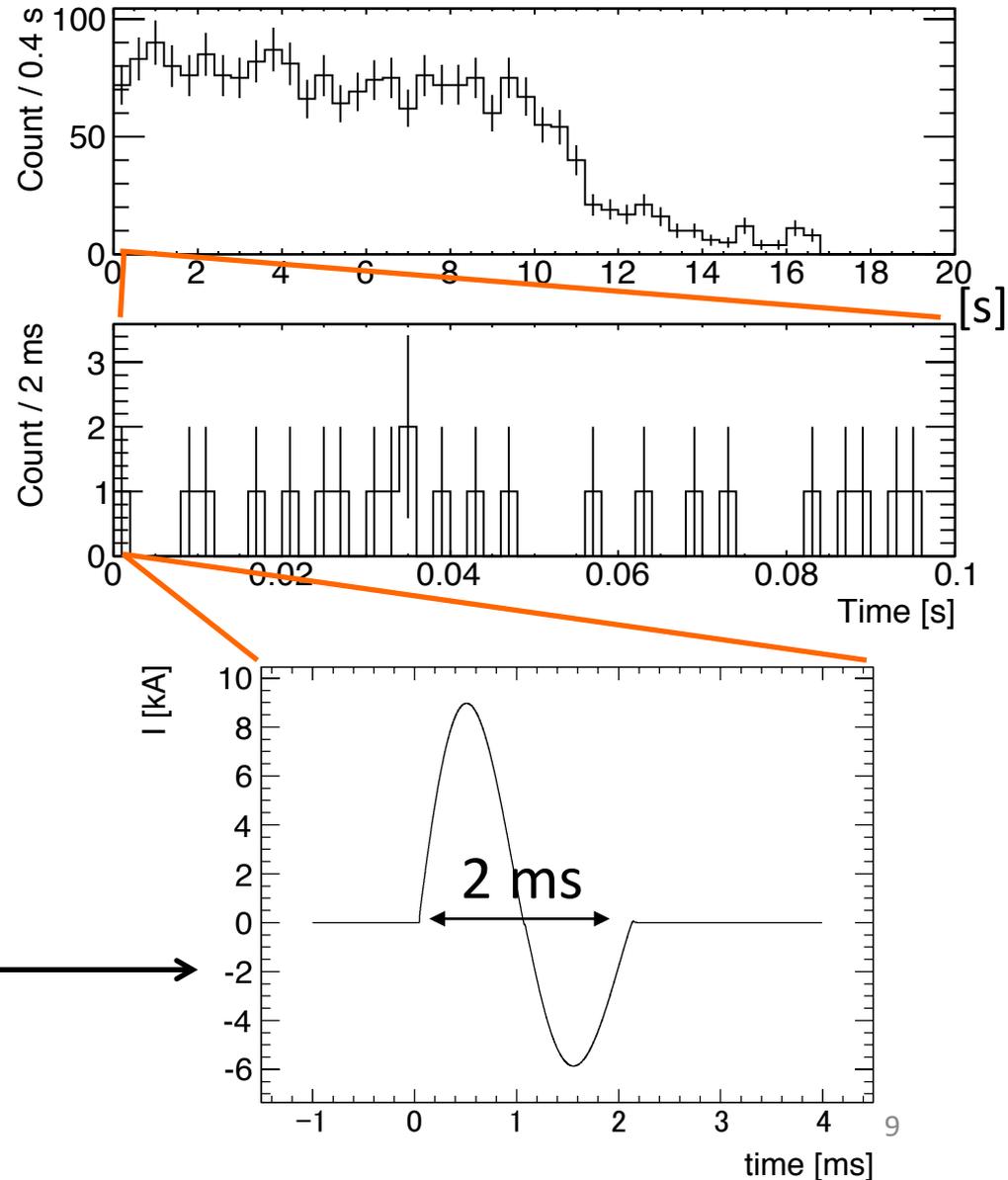


- 1パルス目: 平均8.3 T, 最大**9.6 T**
- 2パルス目: 平均5.7 T, 最大7.0 T

Geで検出されたイベントの時間分布

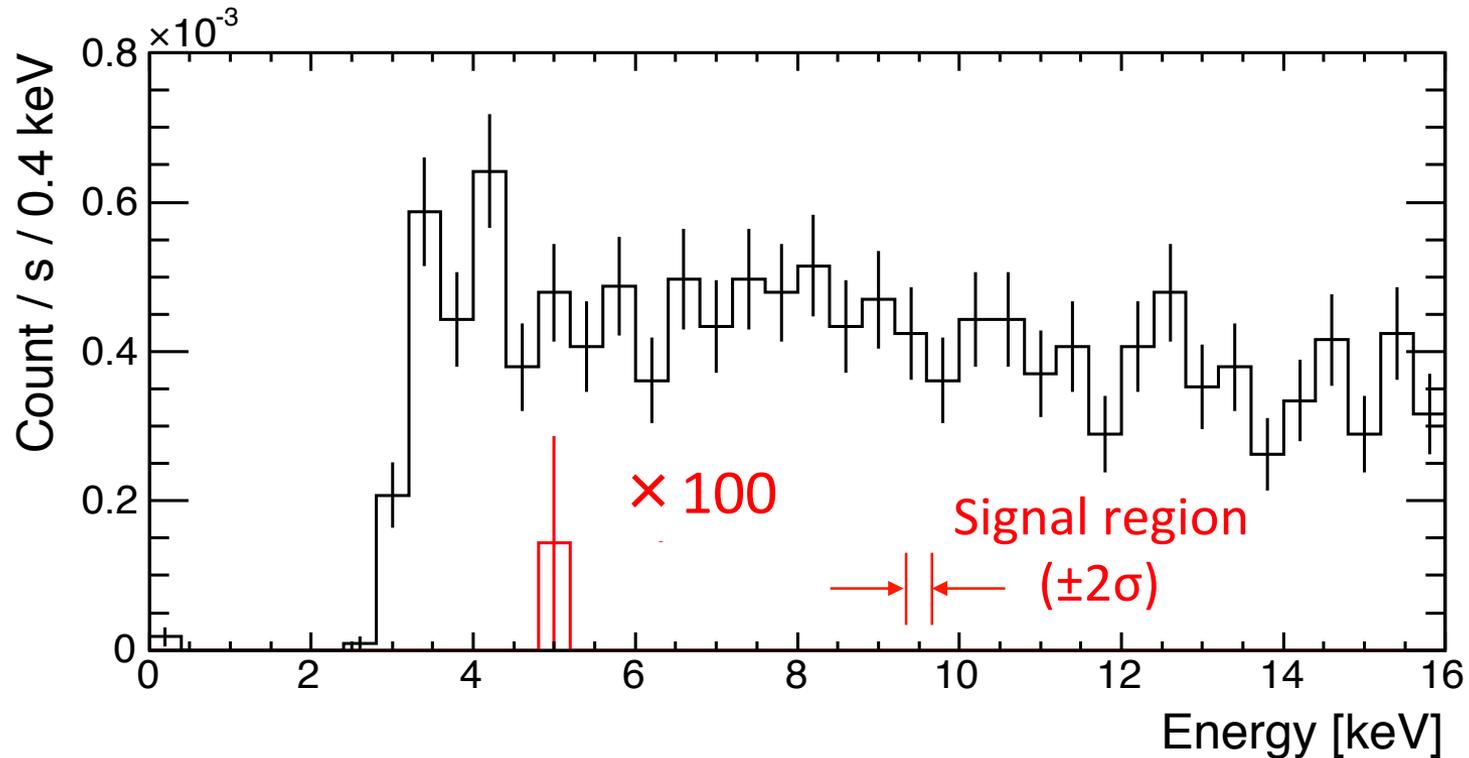
- 上図: 直近ショット(1パルス目の頭)からの経過時間
 - ショット繰り返し約0.1 Hz
 - 10 sあたりで減る
 - それ以外に目立つ構造は無
- 中図: 100 ms付近の拡大
 - こちらも特に構造は無い
 - 磁場2 ms(下図)と同期しているイベントは**1発**だけ(1.8 ms)

1ショットの磁場(電流)波形 →



イベントのエネルギー分布

- 同期したイベントは4.8 keV (赤)
- 黒: 8 s以内のイベント
- 時間の比 $2 \text{ ms} / 8 \text{ s}$ から予想されるイベント数は 0.96 ± 0.62 count \rightarrow 観測された1 countとコンシステント



- ビームエネルギー9.5 keV付近には0 count
- これより, 二光子との結合定数に対するリミットを計算

結合定数 $g_{a\gamma\gamma}$ に対するリミットの計算

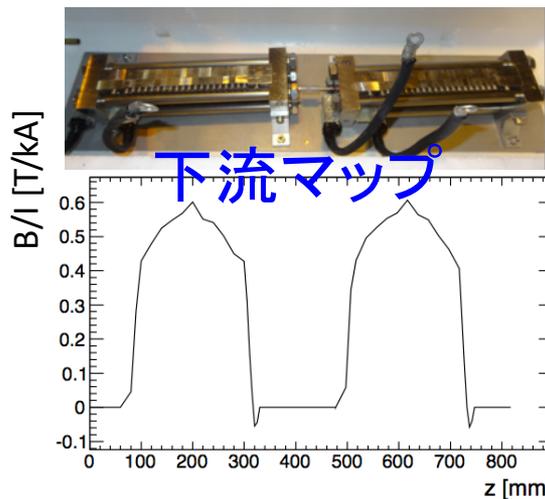
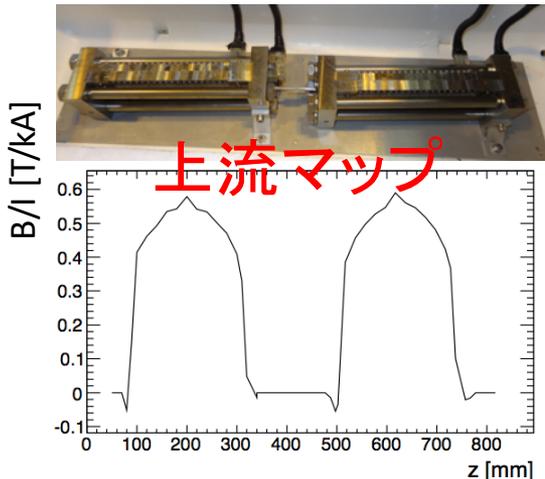
- 磁場が時間変化 \rightarrow 変換確率も時間変化 ($P(t)$)

$$N = \eta \int_0^{t_{\text{tot}}} \underline{P_{\gamma \rightarrow a}(t)} \underline{P_{a \rightarrow \gamma}(t)} F dt$$

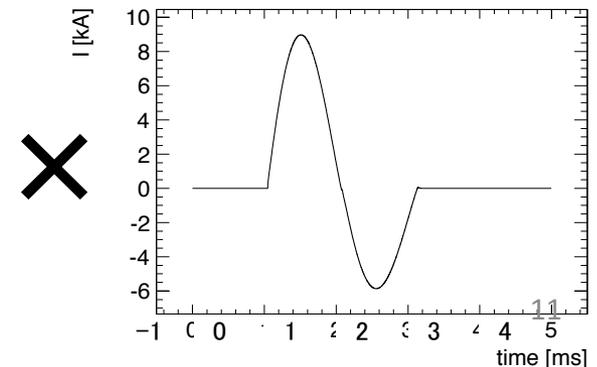
N : イベント数 (2.96 @95%CL), η : 検出効率 (89%),
 F : X線フラックス (平均 3.0×10^{13} photon/s)

P : 上流/下流での変換確率 $\propto g_{a\gamma\gamma}^2 \left(\int B(z,t) dz \right)^2$

- $B(z,t) = (\text{マップ } B/I(z)) \times (\text{電流波形 } I(t))$

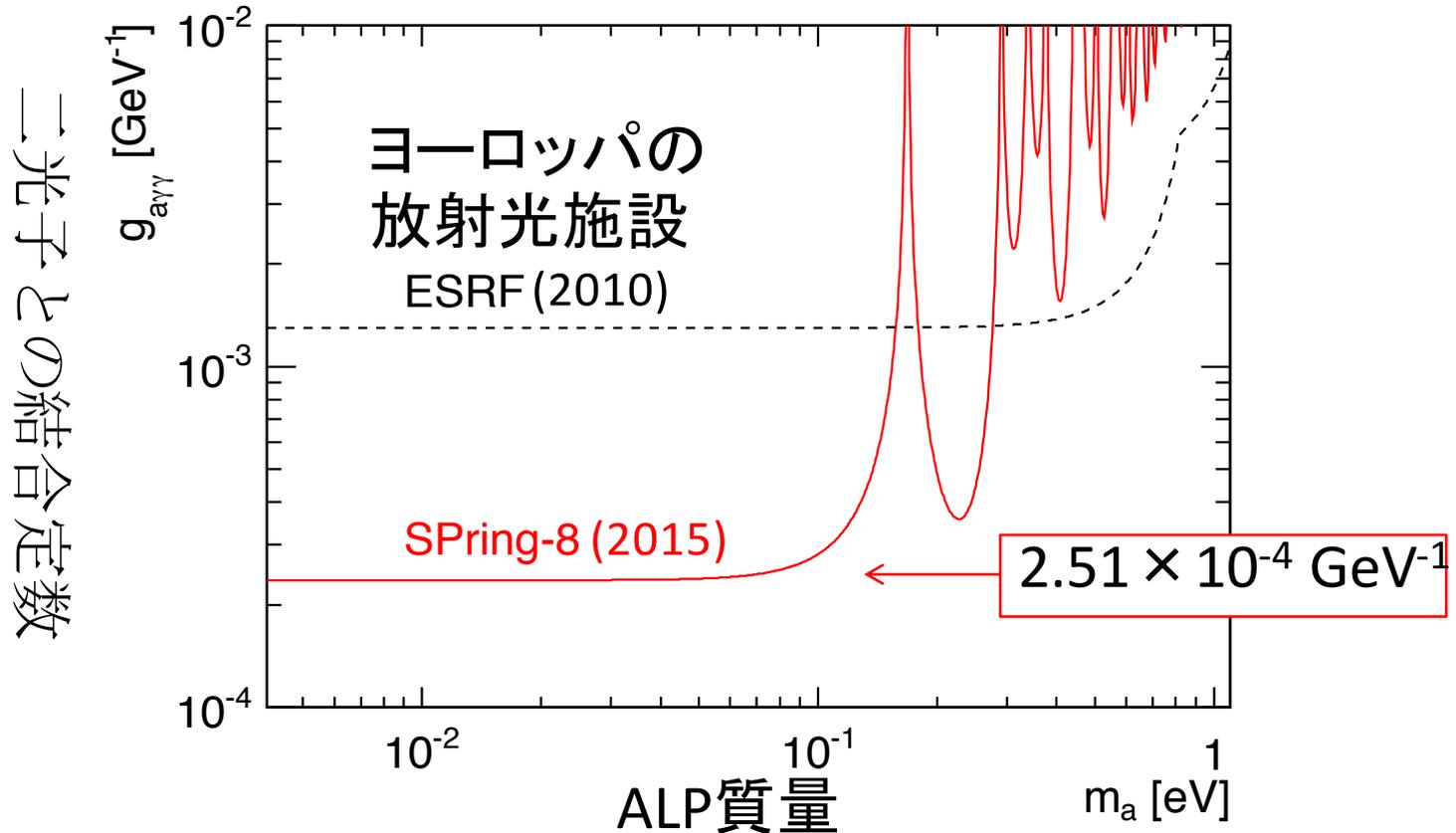


電流波形 (記録した全ショットを積分)



光子との結合定数 $g_{a\gamma\gamma}$ に対する制限

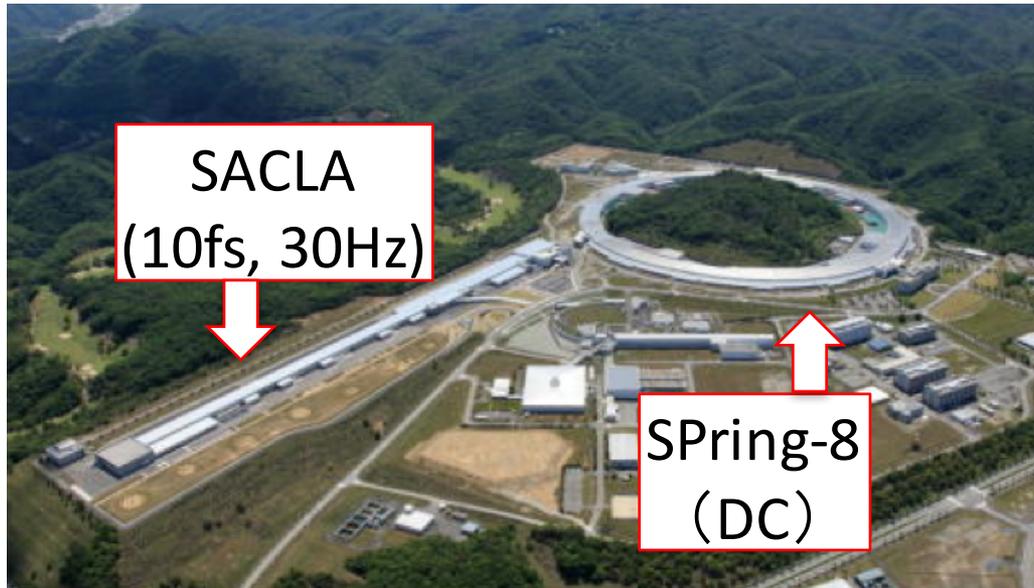
- 赤: 線の上側の領域を今回の実験で棄却 (95% C.L.)
- レーザーと超伝導磁石を用いた従来の実験より2桁重い領域



- 黒: X線の先行実験 (3 T, ~ 10 cmの超伝導磁石 $\times 2$) (95% C.L.)
- これを5.2倍更新 ($m_a < 0.1$ eV), X線実験で最も厳しい制限

今後の展望

- DC光源ではなくパルス光源(SACLA)を使うことで、2.0倍感度が向上(9.5 keV, 4×10^{11} photon/pulse, 2 days)



- 磁石の改良を今後も続けることで更に感度が向上
 - 繰り返し(0.2Hz→0.4Hz), 磁石の数(4個→8個),
 - 磁場強度(10T→85.8T?)
- 開発した磁場システムは真空複屈折の実験にも使用
 - 22aAM01, 22aAM02

まとめ

- SACLAの高輝度X線パルスを光源に用い、光子と弱く結合する Axion-like Particleを探索している
- そのために10T, 0.2Hz, 0.8mの超高繰り返し長尺パルス磁場システムを開発した
- 11月にSPring-8で最初の探索を行い、2日分の測定で合計28,000パルスを発生したが有意な信号は観測されなかった
- 二光子との結合定数に対し、先行実験による制限を5.2倍更新し、X線実験として最も厳しい制限を与えた
- 今後SACLAでの本実験へ向けて磁石の改良を進める