

高ビーム強度環境下でのゲルマニウム検出器の波形 読み出し回路の開発

東北大学 大学院理学研究科
小池 武志

共同研究者

東北大学: 佐々木昭雄, 杉原謙光, 山本康嵩, 市毛夏実,
田村裕和, 鶴養美冬, 山本剛史, Hyperball collaboration

原研: 細見健二

Argonne Natl. Lab. (ANL): M. Carpenter and P. Wilt

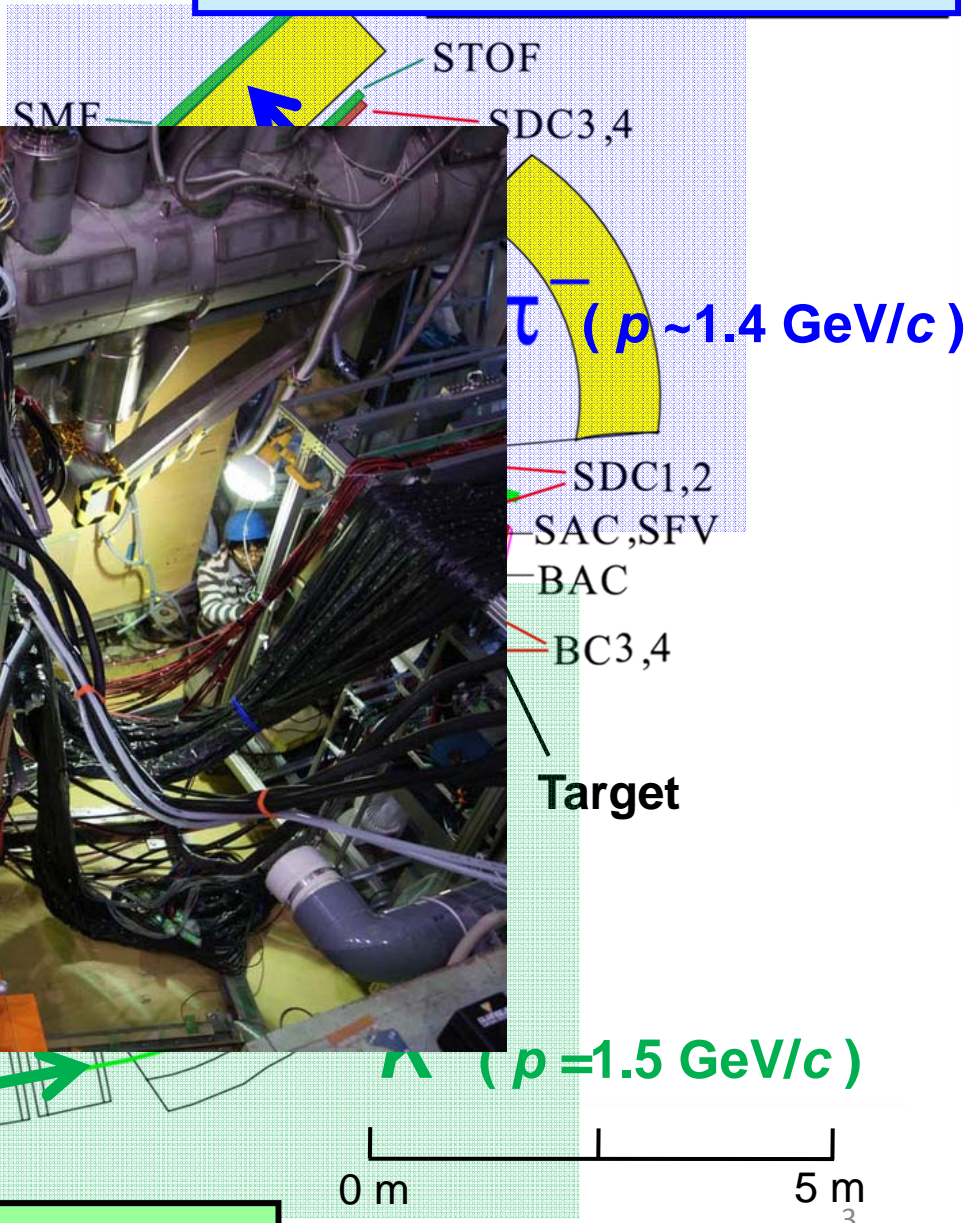
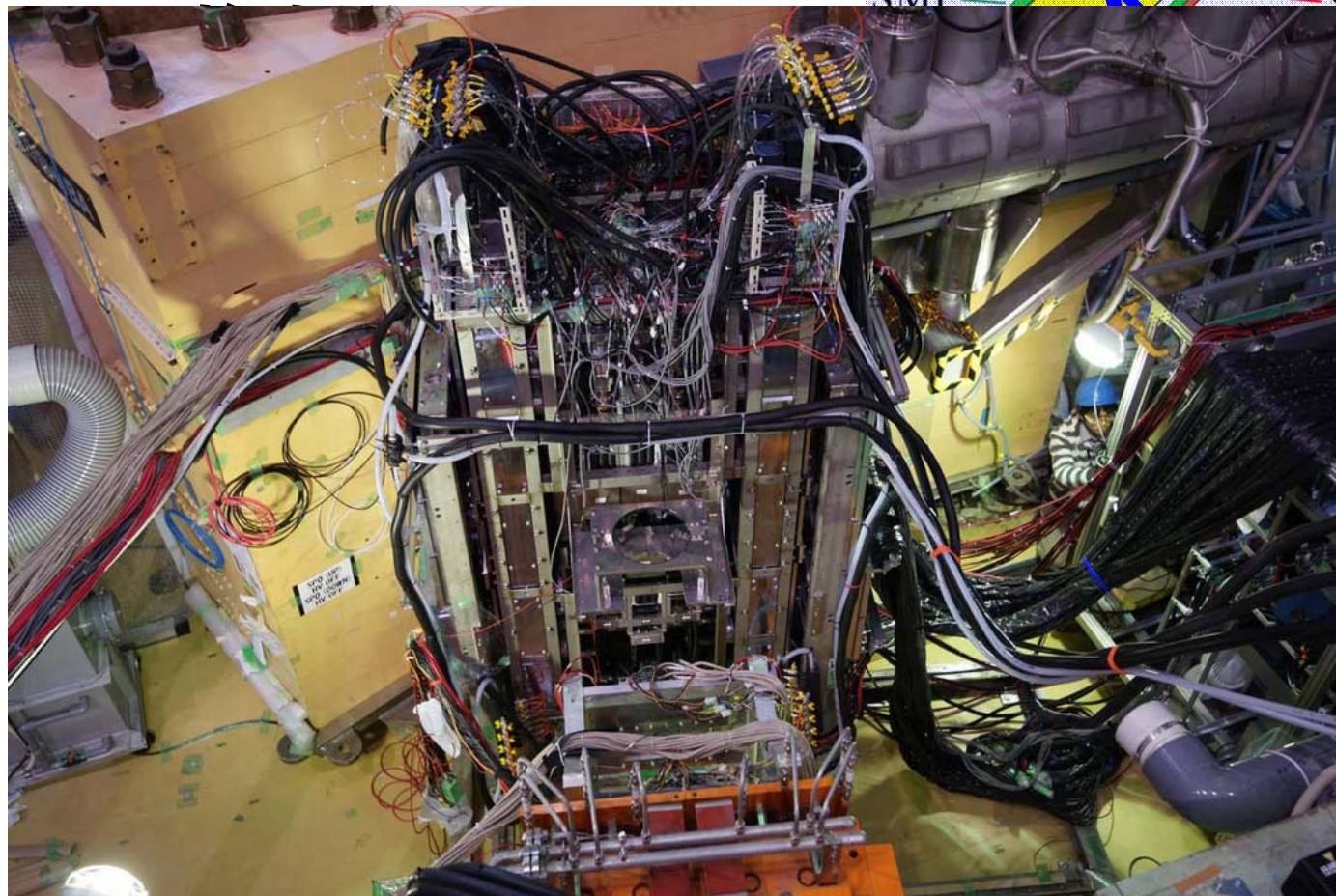
大阪大RCNP: CAGRA collaboration

内容

- 導入
 - Λ ハイパー核の γ 線分光実験
- 現状のアナログシステムの限界
 - J-PARC T44 実験
- ハイパー核 γ 線分光実験用のデジタル回路の開発状況
- まとめ

Λ ハイパー核の γ 線分光 J-PARC E13 実験セットアップ

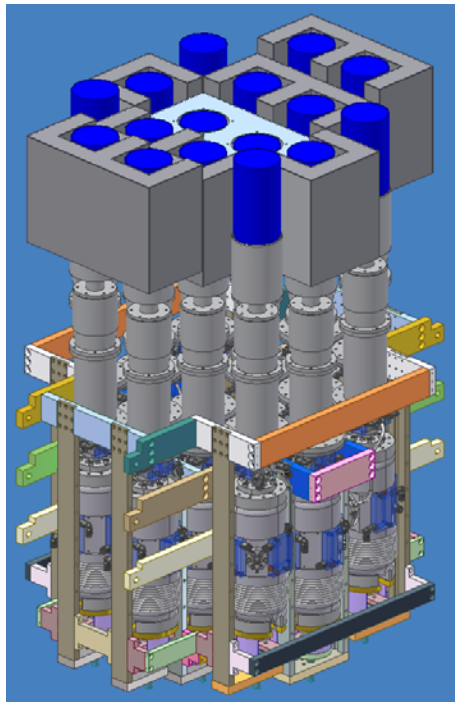
散乱粒子検出器システム
(SksMinus)



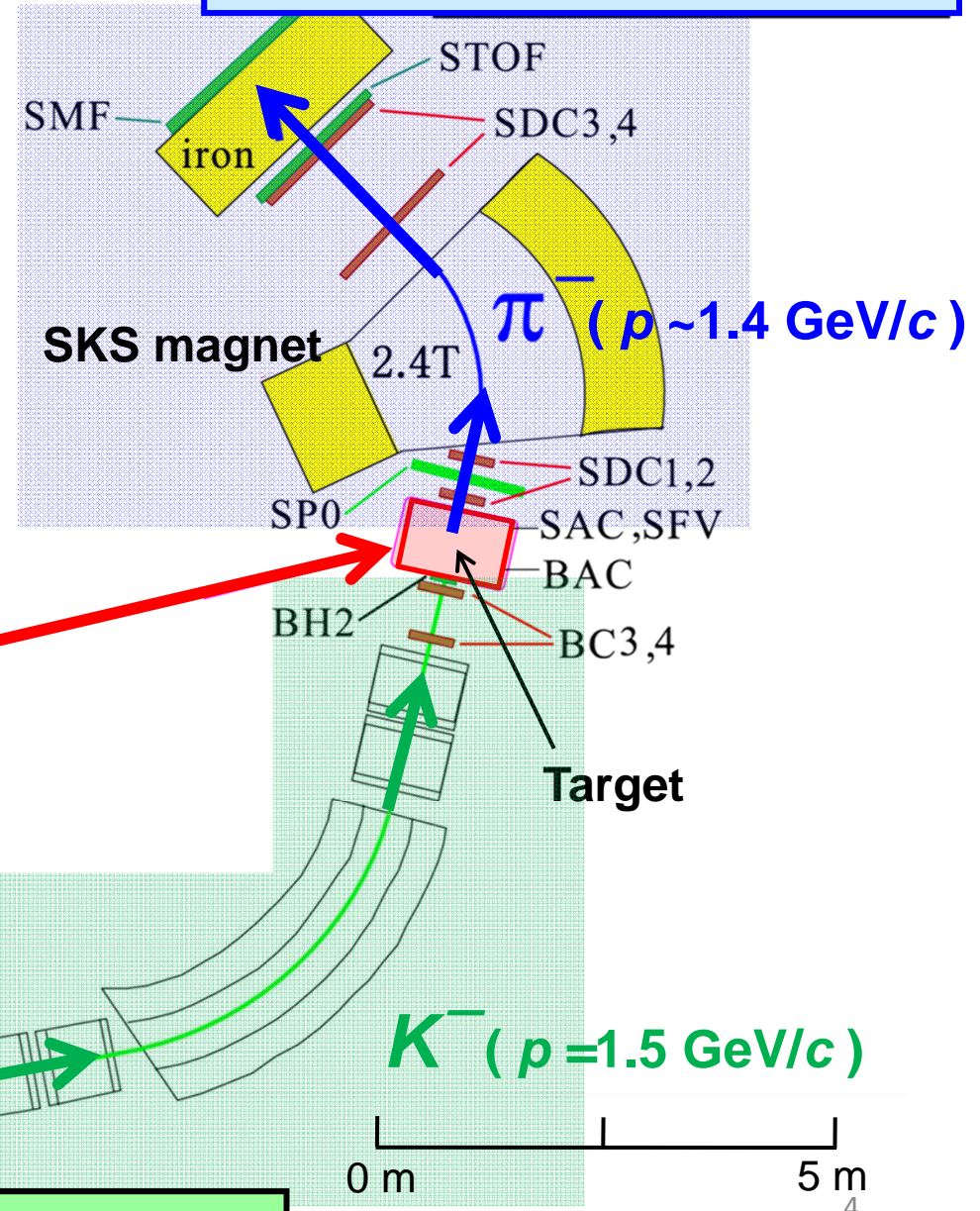
K1.8 ビームラインスペクトロメーター

Λ ハイパー核の γ 線分光 J-PARC E13 実験セットアップ

Ge検出器アレイ Hyperball-J



散乱粒子検出器システム (SksMinus)



K1.8 ビームラインスペクトロメーター

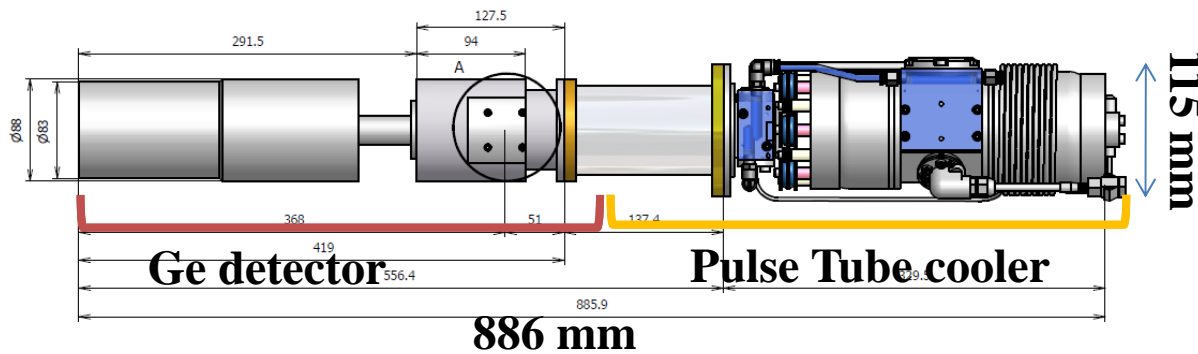
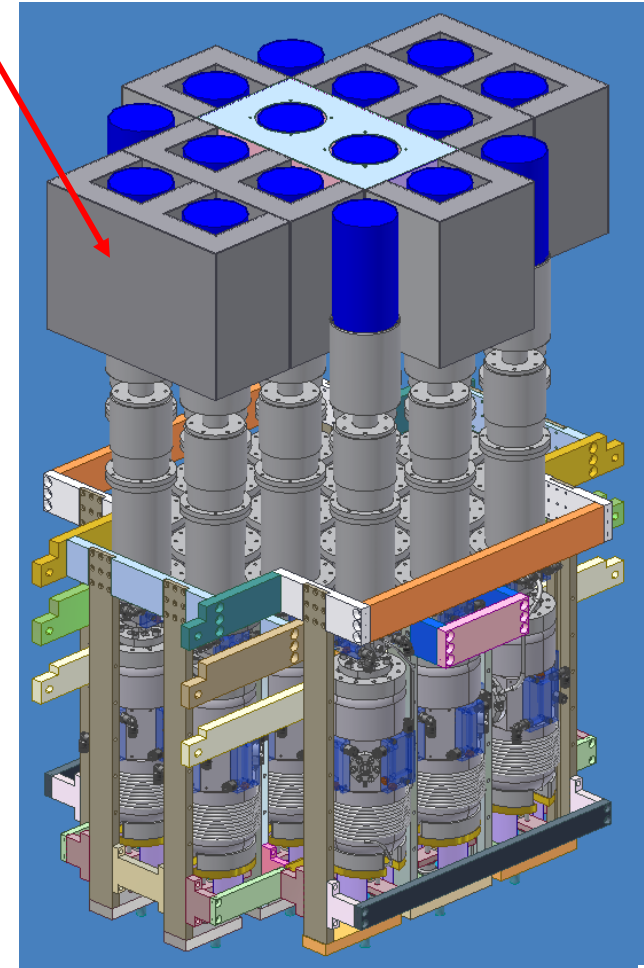
Hyperball-J Ge 検出器アレイ

PWO counter

Half the array shown

- ▲ 検出器の密な配置
- ▲ Ge 検出器32台 (フルセット)
- ▲ 光電ピーク検出効率 ~6% (1MeV γ)
- ▲ 冷凍機冷冷却* (耐放射線損傷)
- ▲ PWOバックグランドカウンター抑止器
- ▲ デジタル回路読み出し (開発中)

*T. Koike et al., NIM A 770 (2015) 1-7



Weight : 18.5 kg

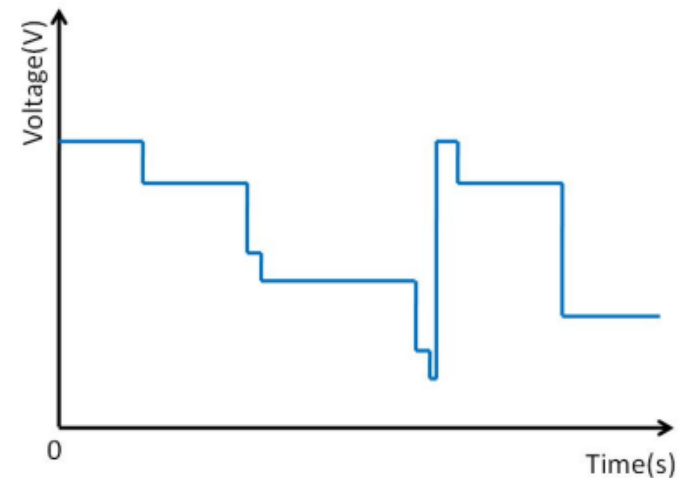
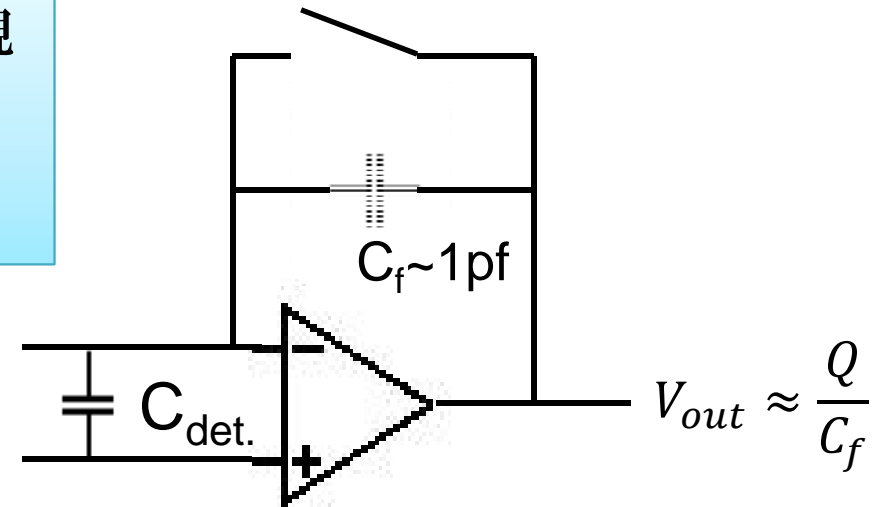
ハイパー核 γ 線分光実験用Ge検出器

高効率率 & 高エネルギー付与率耐性を重視

- トランジスタ放電型回路
- 低いゲインと高いリセット閾値
- Gate Integrate 整形アンプ

HBJ Ge検出器の典型的な仕様

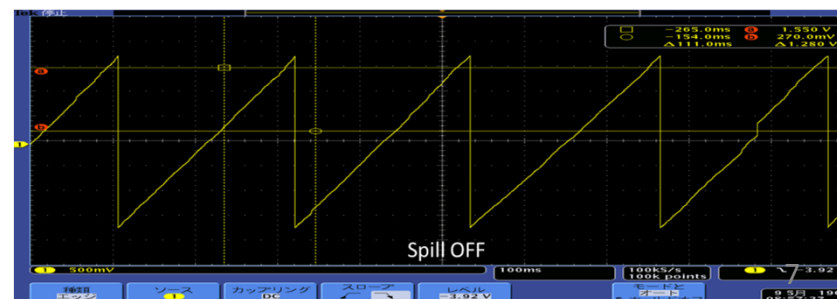
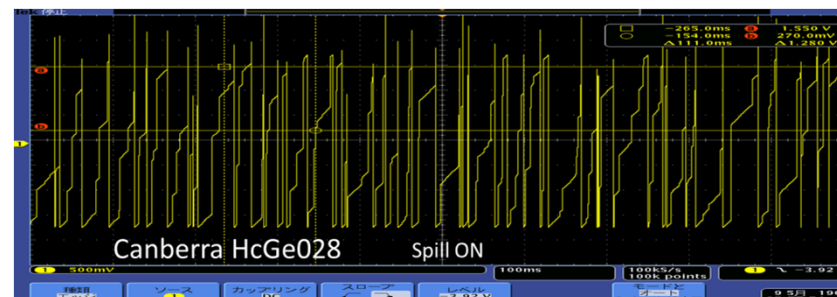
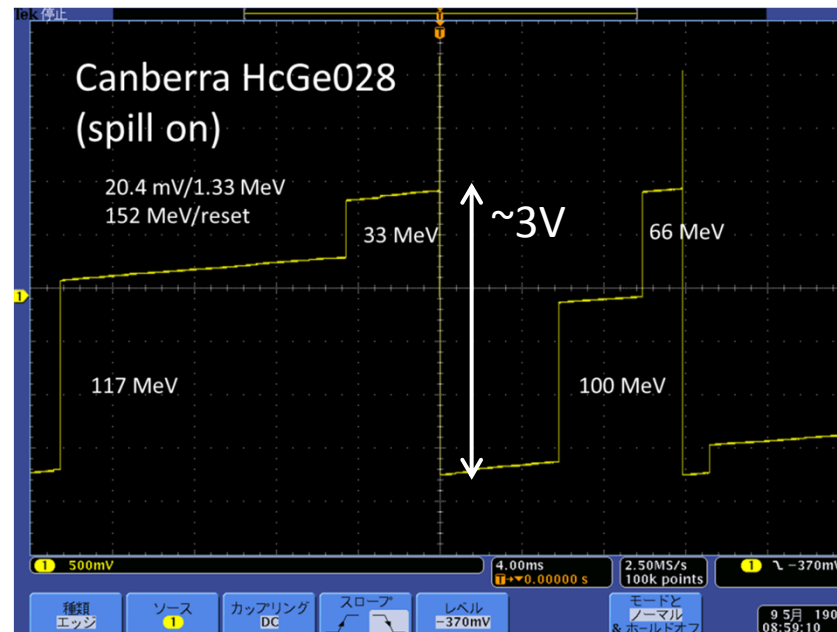
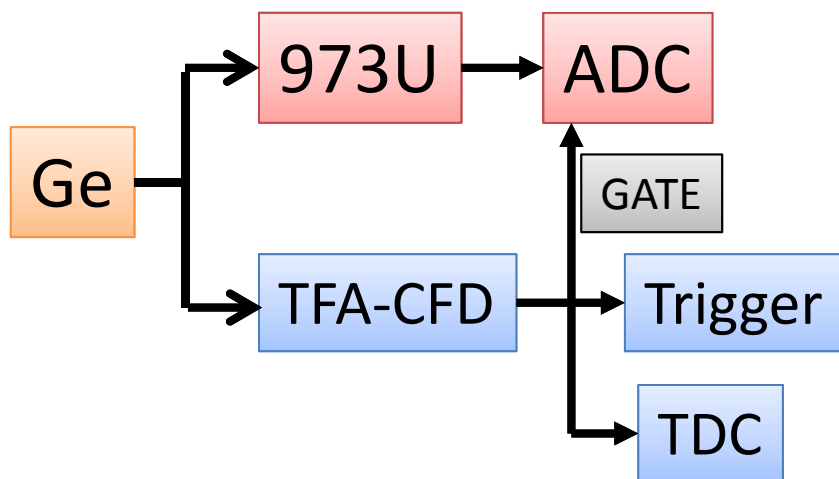
Ge crystal diameter	67.8 mm
Ge crystal length	76.1 mm
Relative efficiency	66 %
Bias voltage	-4800 V
Reset rate	~1 Hz
Preamplifier gain	52.5 mV/MeV
Reset threshold	114.3 MeV/reset
Ge crystal temperature	92 K
Heat input at 77K	2.6 W
ORTEC 671 6 μ s	2.2(1) keV
ORTEC 973U 3 μ s	3.1(1) keV



Hyperball用Ge検出器と現行のアナログ回路

高いエネルギー付与率

- トランジスタリセット型前置増幅器
- 低い利得: 20mV/MeV
- リセットのエネルギー閾値: 150MeV
- ゲート積分型 Ultra High Rate Shap. Amp. (ORTEC 973U)

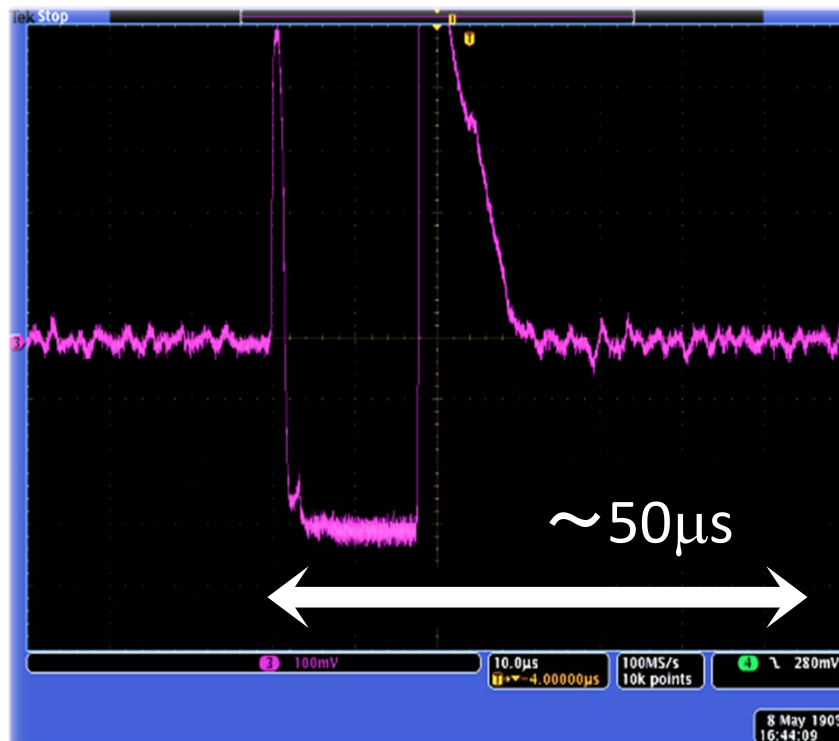


現行のアナログ回路の不感時間要因

$$Det. \text{ Effi. } = \varepsilon(E_\gamma) \cdot \frac{\Omega}{4\pi} \cdot \underline{\text{Trough Put Ratio}} \cdot \varepsilon(DAQ)$$

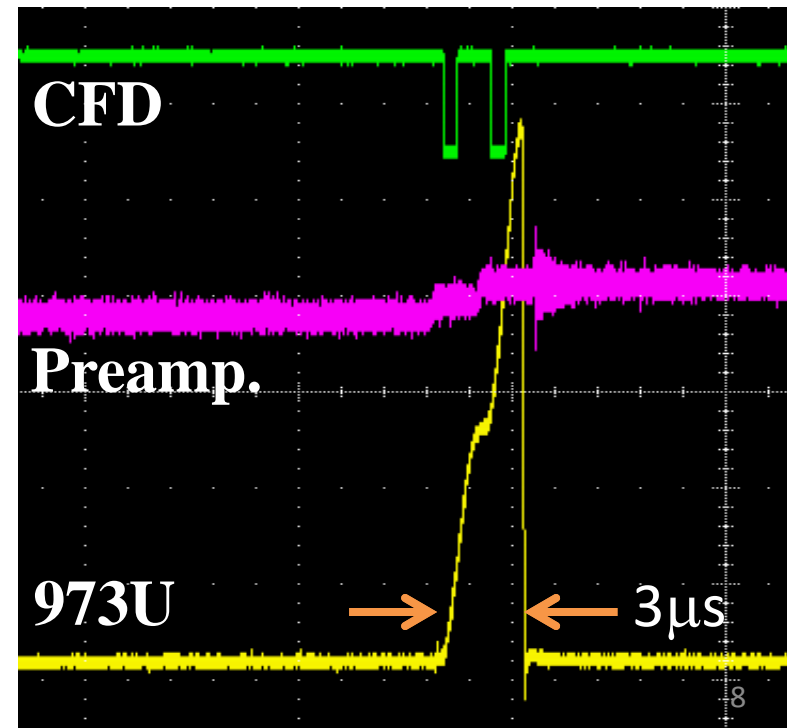
リセットからのベースラインの回復

$$\tau_{rst} \approx 50 \mu s$$

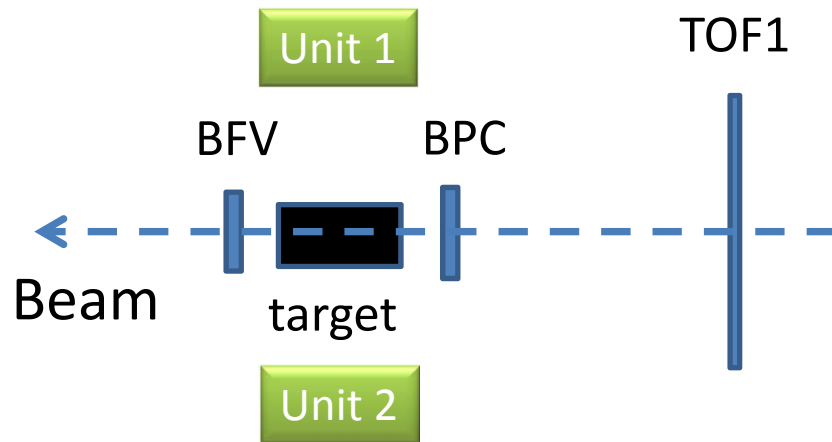


pile up

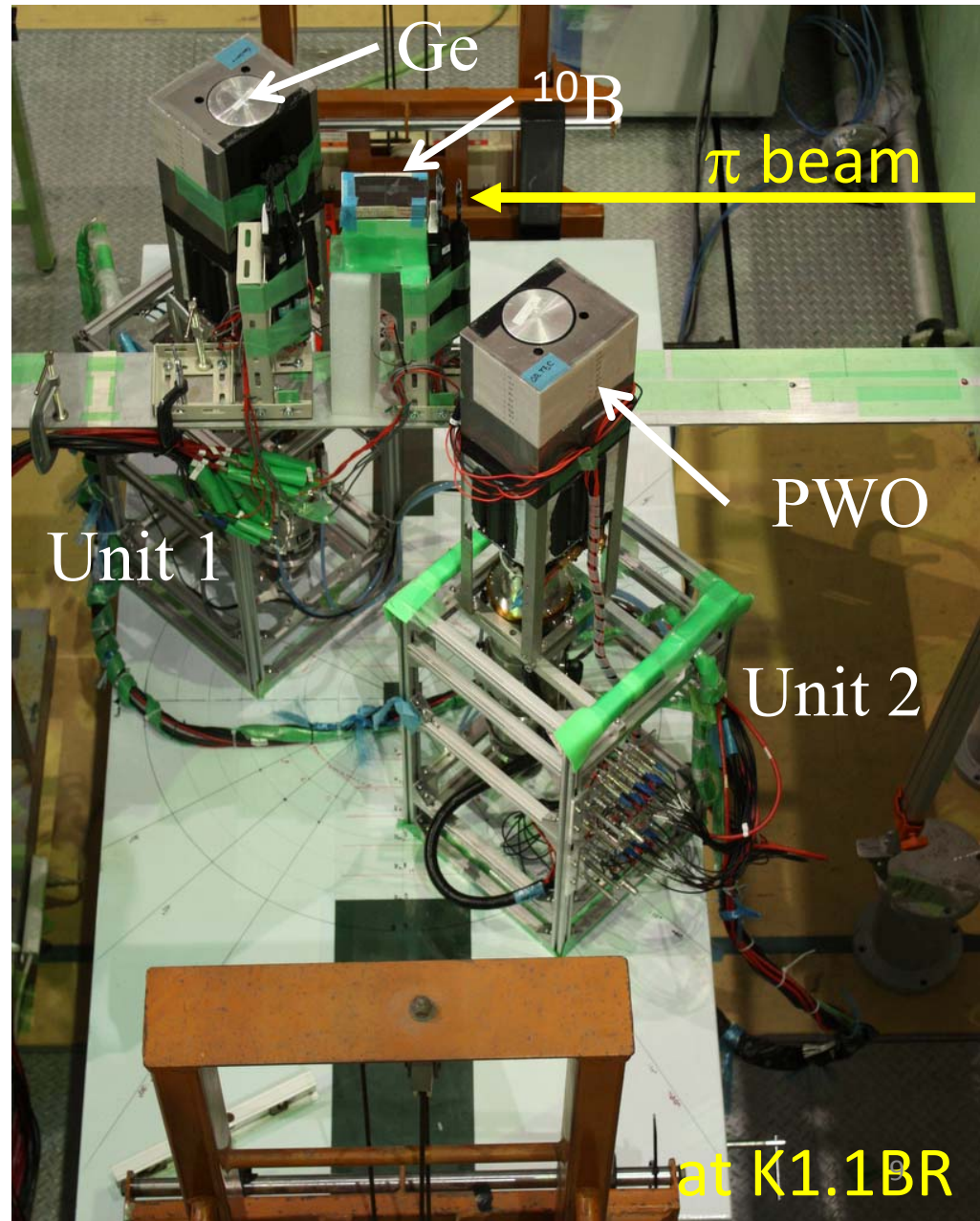
$$\tau_{pu} = 3 \times 2 \mu s$$



Trough Put Ratio (TPR): T44 at K1.1BR



ビームタイム: 6/26 -7/2, 2012
標的: $^{10}\text{B}14.2\text{g}/\text{cm}^2$
ビームレート: **200kHz ~ 2MHz**
2台の検出器 (Ge, PWO, LSO)



テストパルスを用いたTPRの測定

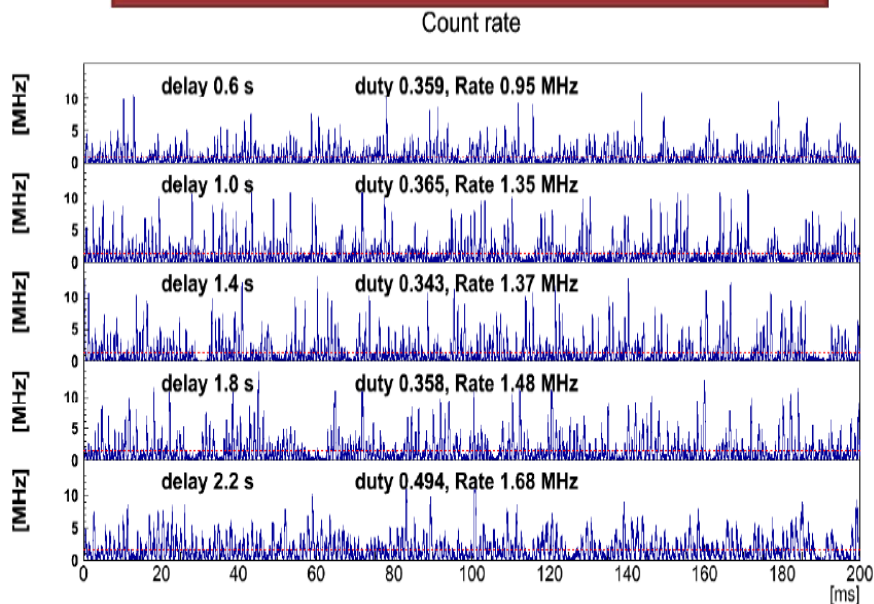
2種類のトリガー

Clock: 10kHz NIM signal
BEAM: TOF1 ⊗ BPC
(pre-scaled to 4kHz)

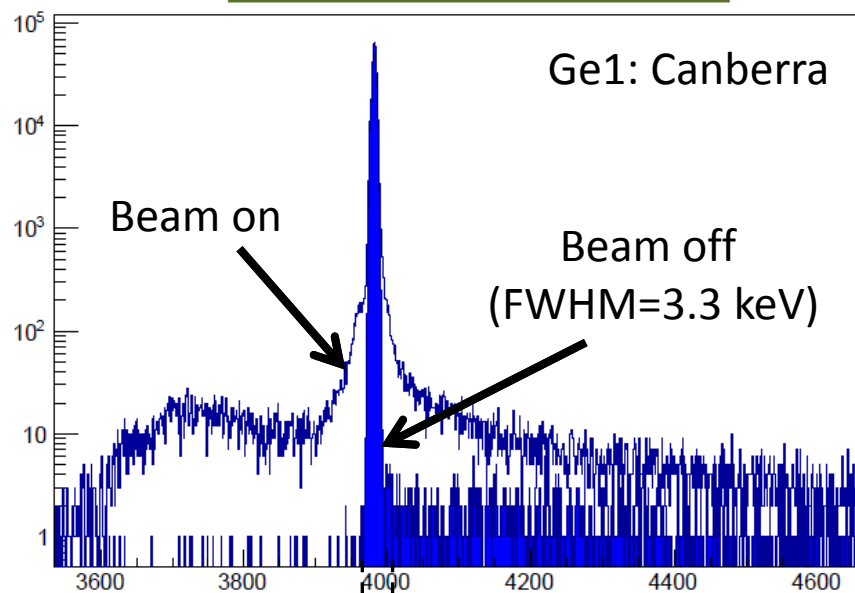
TPR =

$$\frac{S(\text{low}, \text{high})}{\# \text{ of test signal acpt. by DAQ}}$$

SX ビームのマイクロ構造

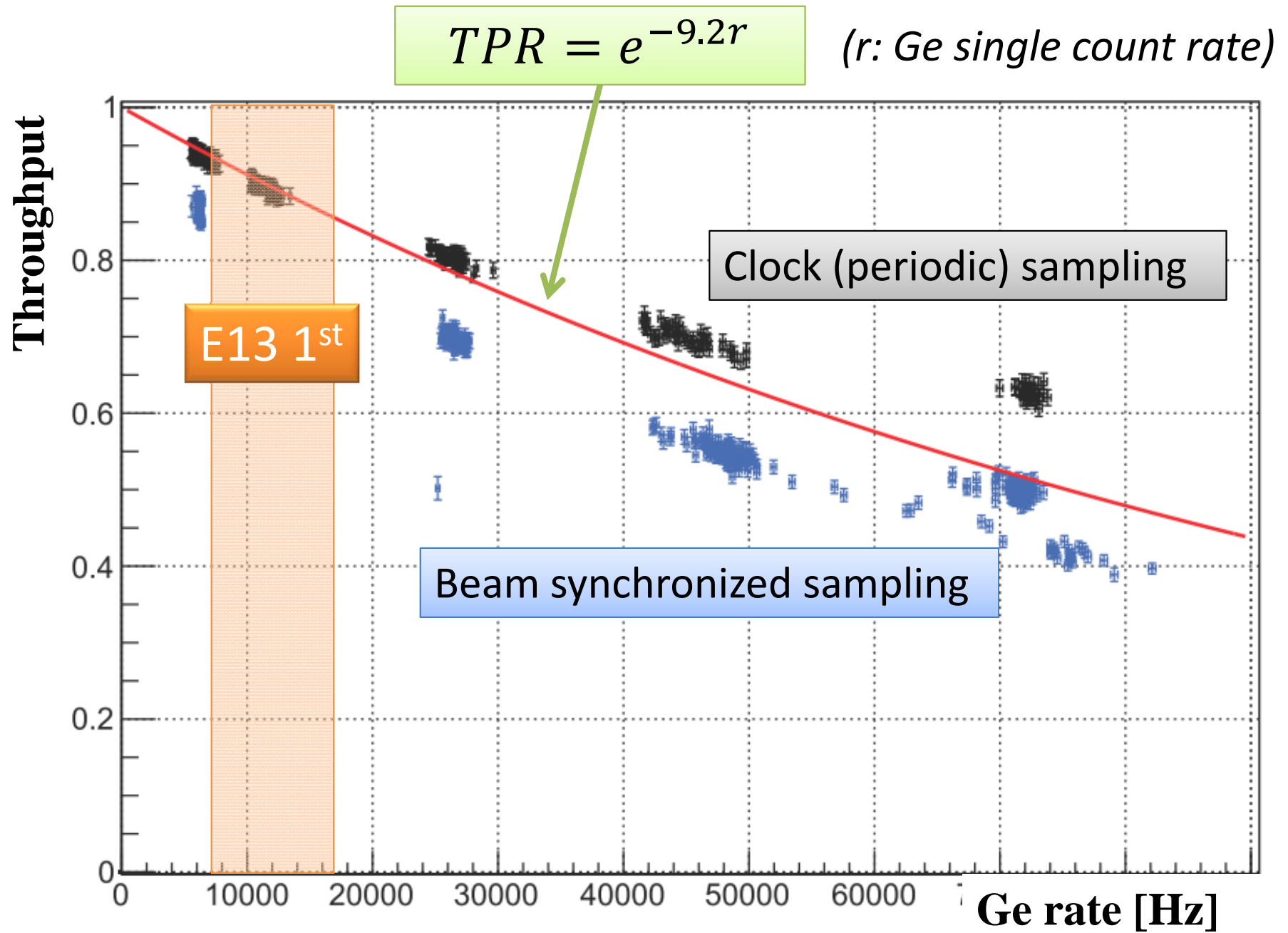


テスト信号スペクトラム



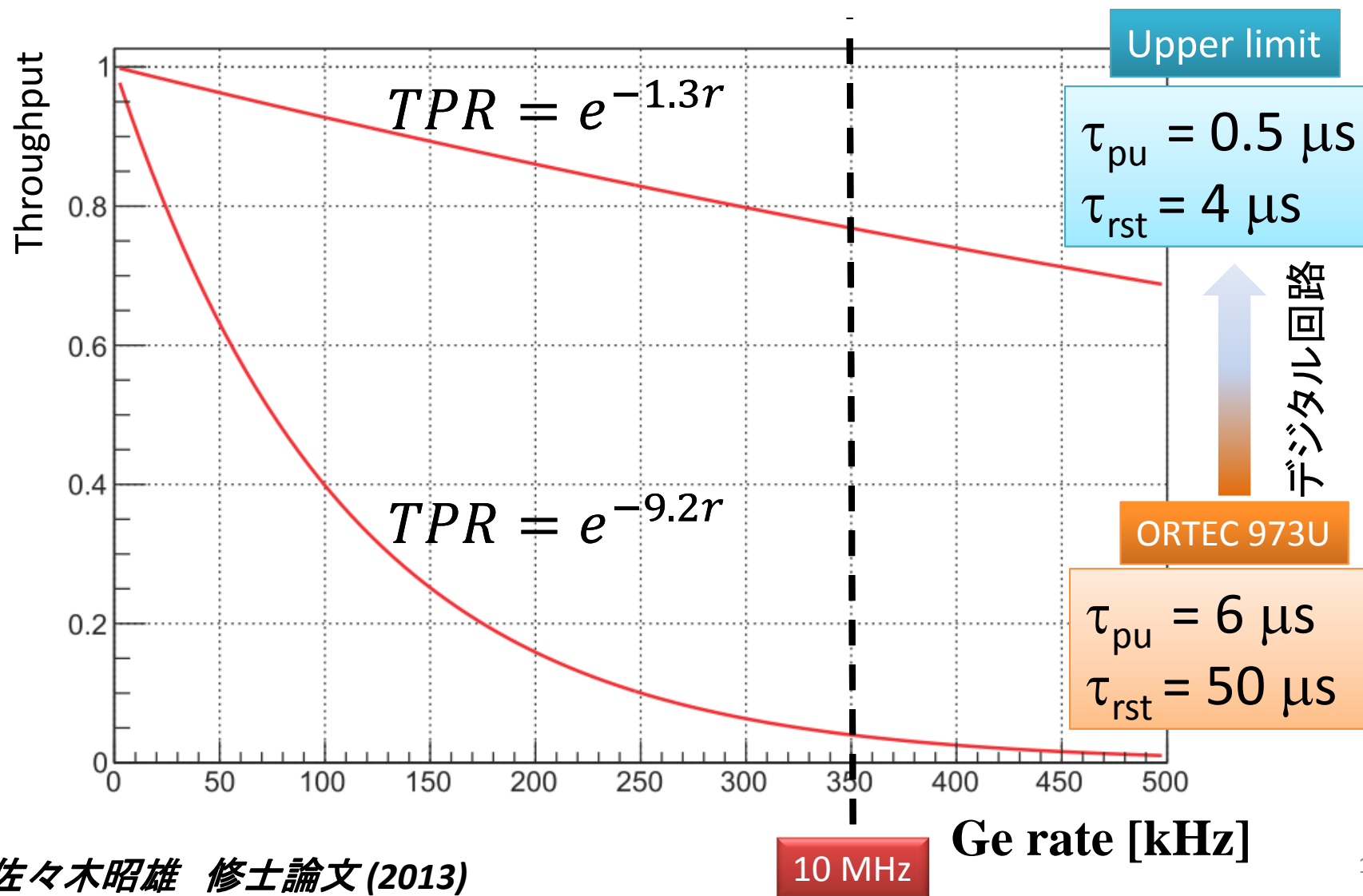
2012年2月 E19実験, 三輪浩司氏提供

low → ← high



$$TPR = \exp\left[-\left(2\tau_{pu} + \tau_{rst} \frac{\varepsilon}{E_{rst}}\right)r\right]$$

$\varepsilon = 9.6 \text{ MeV}$ (ave. energy deposit)
 $E_{rst} = 152 \text{ MeV}$ (reset energy)



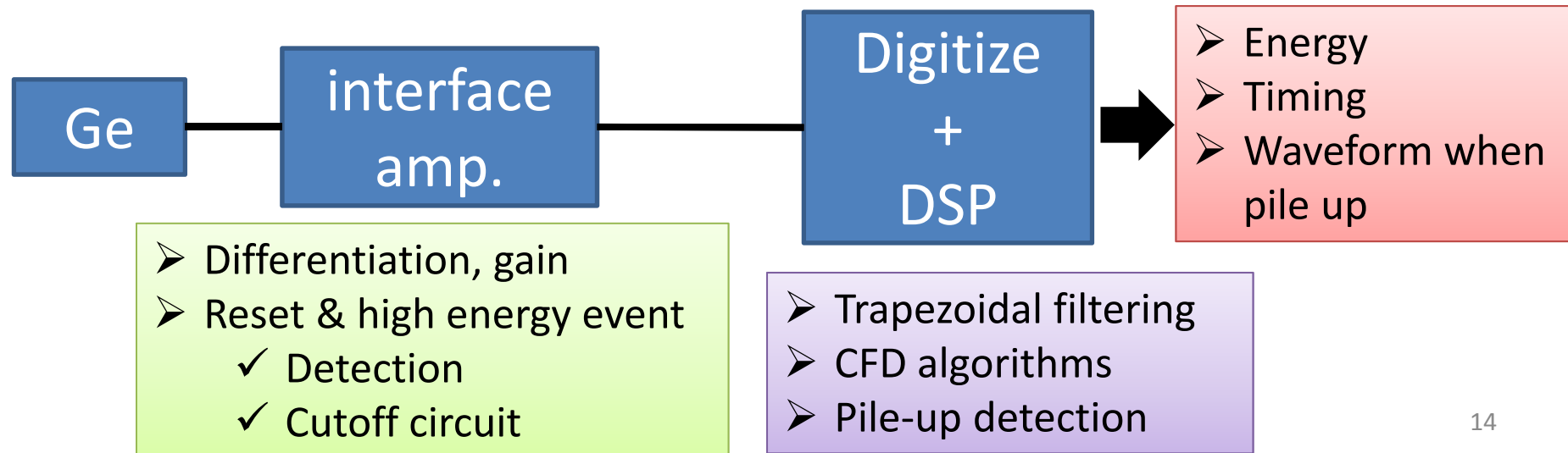
Hyperball-Jのデジタル回路システム

デジタル化への2つのアプローチ

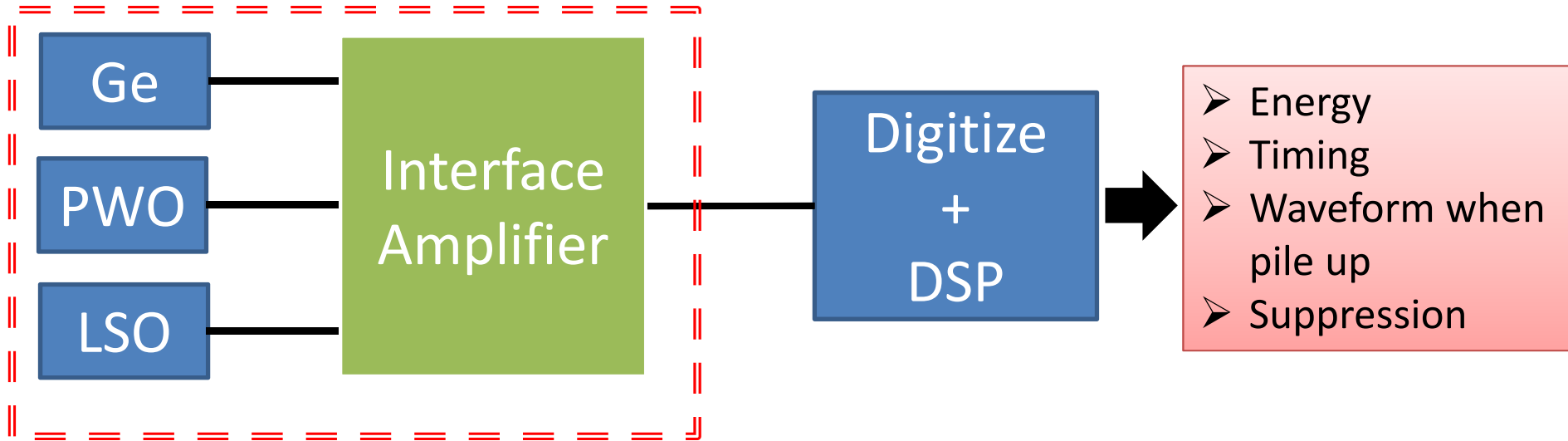
その1:(谷田, 細見)



その2:(ANL, 杉原, 山本(康))



Digital Hyperball (DHB)



実験毎に特化したインターフェース
(analog)



開発中

汎用性の高いシ
ステム

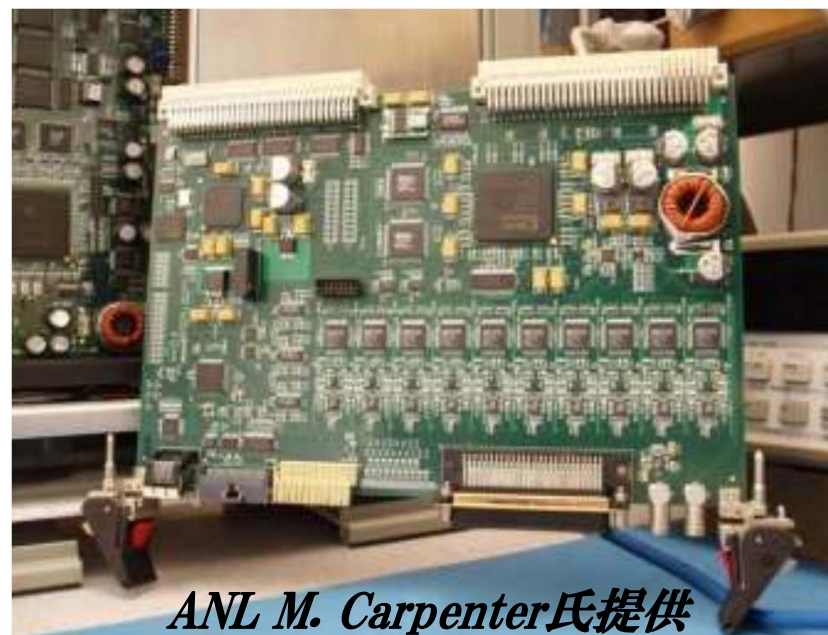


ANLで開発されたデジタル
回路システムを採用

GRETINA digitizer (LBNL)

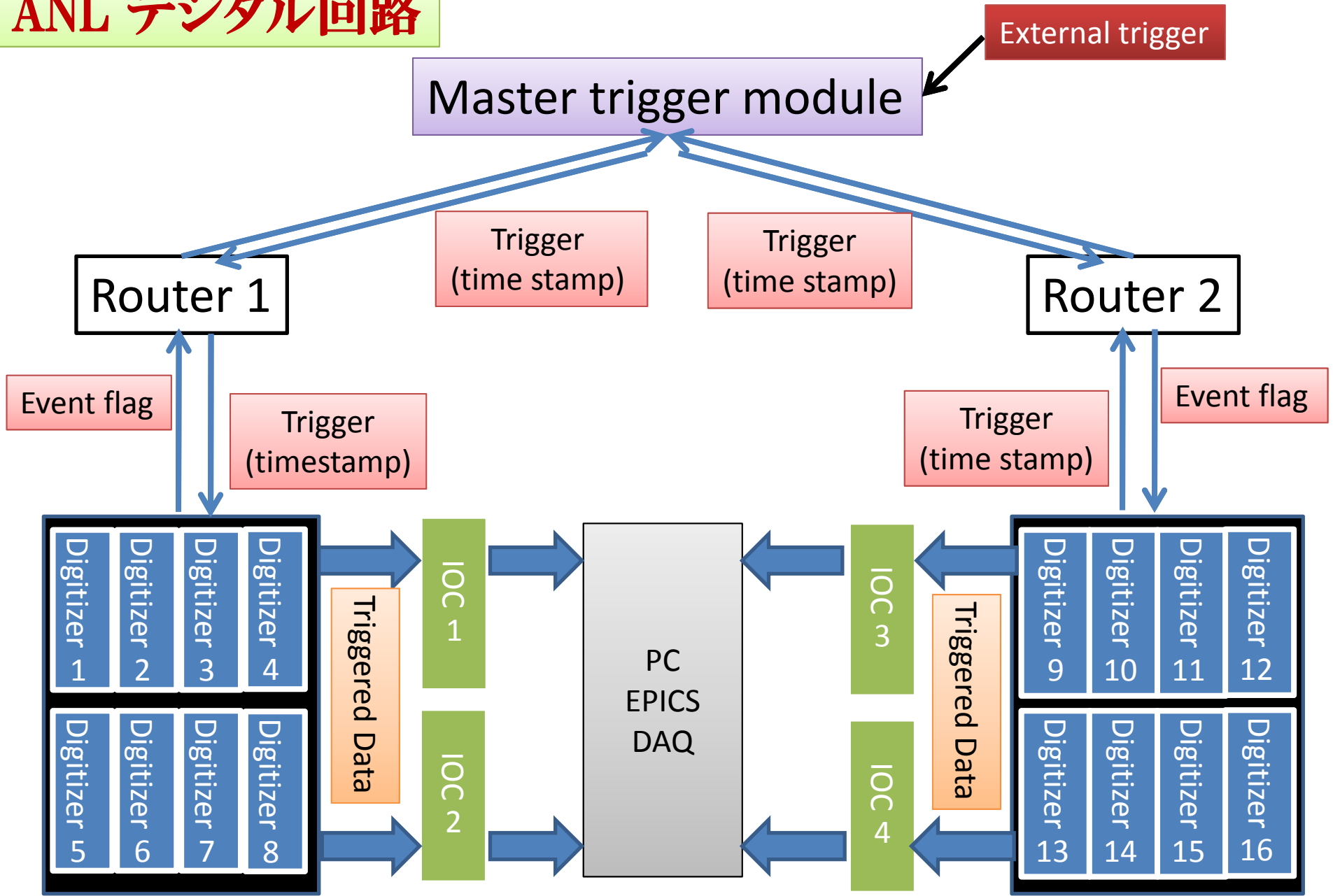
- 10 ch. (差動入力)
- 14 bit, 100 MHz
- $\pm 1V$ dynamic range (線形性領域)
- FPGA (Firmware)
 - 個別にパイプライン化されたメモリバッファ
 - エネルギー (台形フィルター)
 - タイミング
 - Leading Edge
 - Constant Fraction Disc.
 - Pile-up 検知
 - 波形 (最大. $10\mu s$)

- 次世代トラッキングGeアレイ
GRETINA 用にLBNLが開発。
- Firmware は Gammasphere Geアレイ用に ANL が開発。(digital GS initiative)

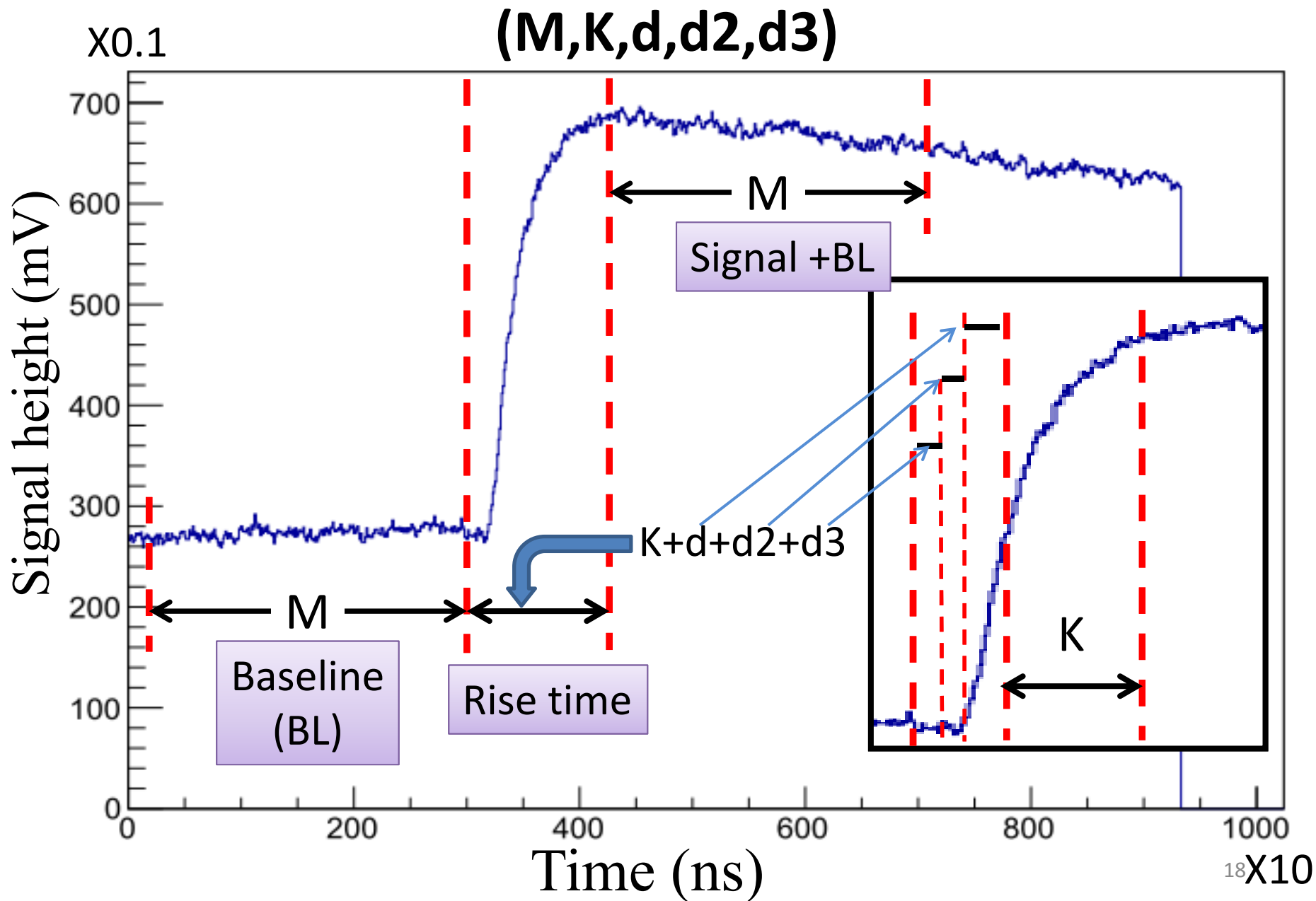


ANL M. Carpenter氏提供

ANL デジタル回路

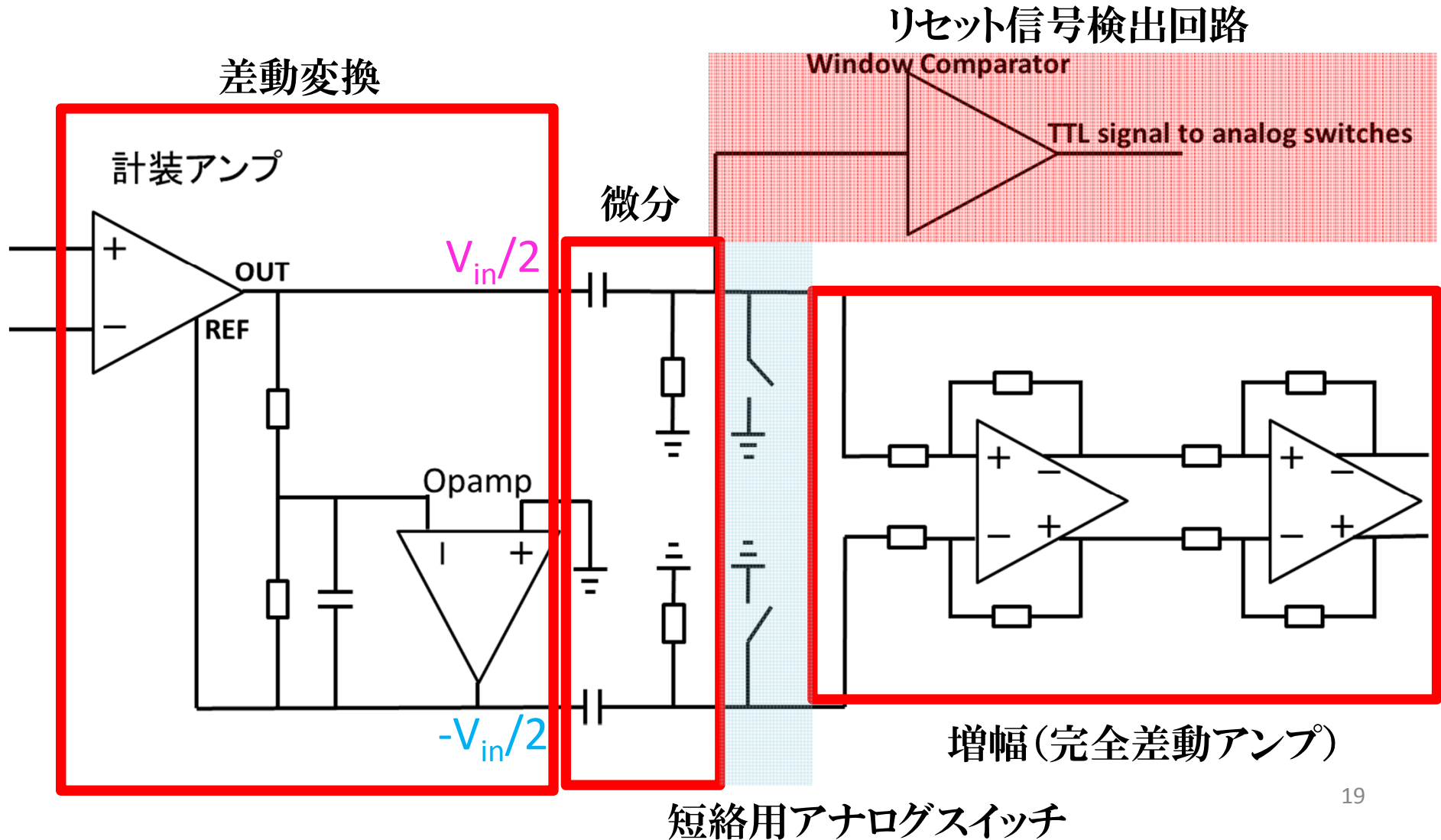


Digitizer firmware parameters (ANL)



試作インターフェース回路

山本康嵩(修士2年)氏 修士研究



Ge

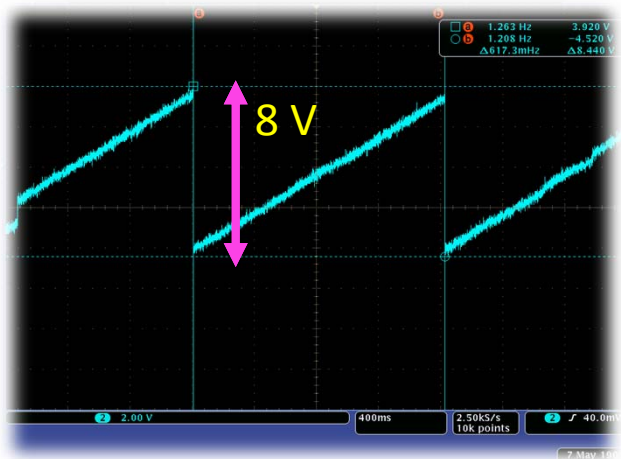


Interface Amp.

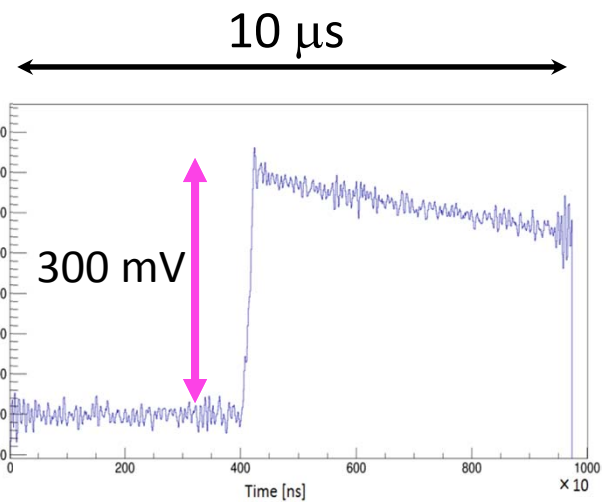
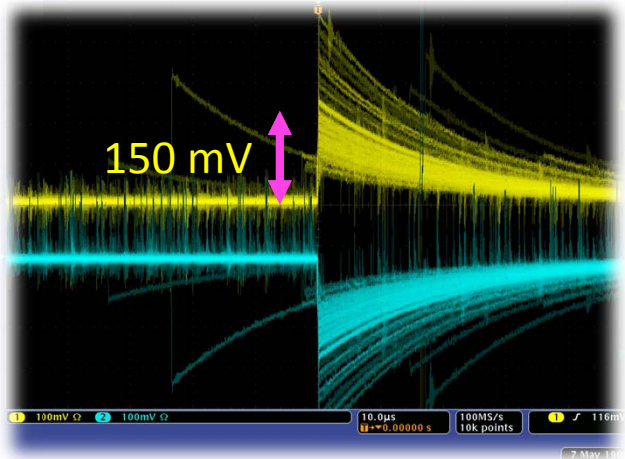


digitizer

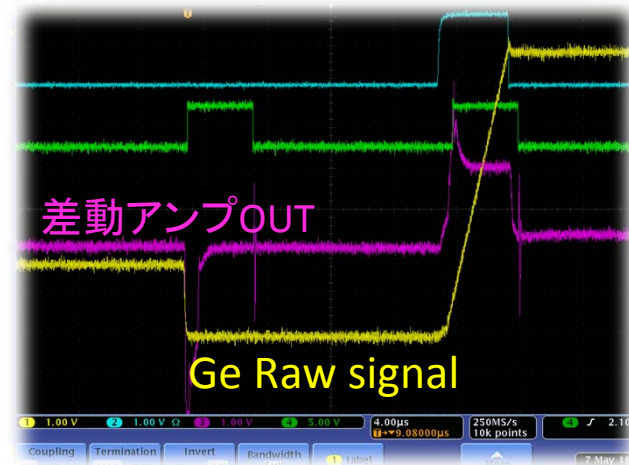
Geプリアンプ出力



差動出力



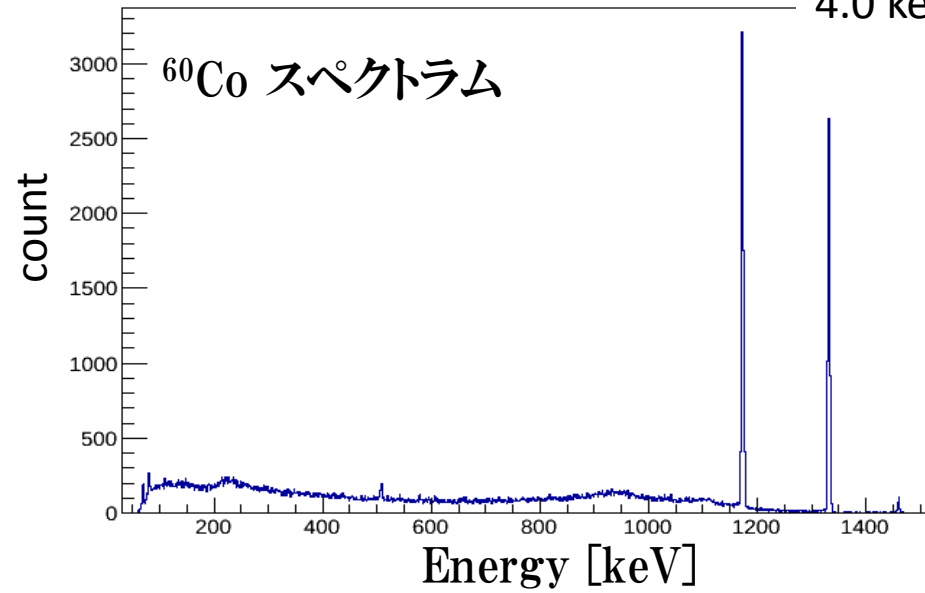
リセット回路



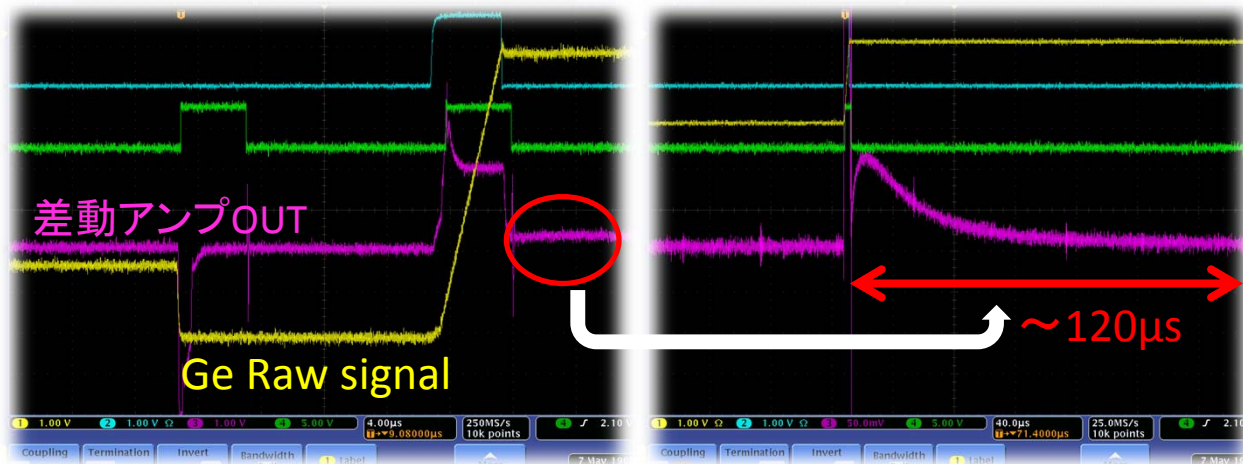
現時点での性能評価

冷凍機Ge検出器

4.0 keV (FWHM) @ 1.33 MeV

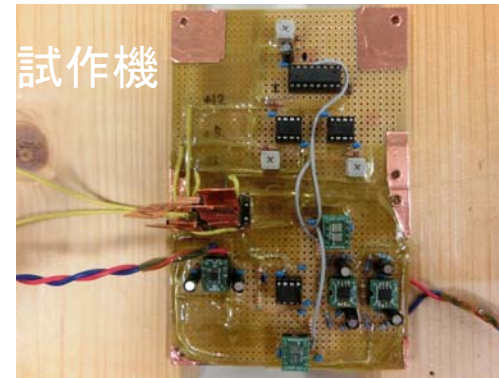


リセット回路



今後の課題

- 分解能の改善
 - プリント基板で製作
- リセット信号の処理
- このシステムの磁気スペクトロメータ-DAQへの組み込み
 - タイムスタンプを用いてのイベントビルド
- Ge検出器以外のHBJ検出器のデジタル読み出し(BGO,LSO)



まとめ

- J-PARCでのハイパー核 γ 線分光実験用のGe検出器の特徴・特異性
 - トランジスタリセット型
 - 低ゲイン
 - 冷凍機冷却
- 現行のアナログシステムのスループットを測定(J-PARC T44)
 - E13実験は現行のアナログ回路でも80%以上のスループット比
 - ビーム強度10MHzで \sim 5%のスループット
- デジタル回路での読み出しで不感時間の短縮を目指す
 - ANLデジタル回路システムを採用
 - Geプリンアップ出力とデジタイザーを結ぶインターフェース回路を開発中