

SOIセンサを用いた J-PARC muon g-2/EDM 実験用ビームモニター

計測システム研究会
2020年11月27日(金)
三好敏喜(KEK)

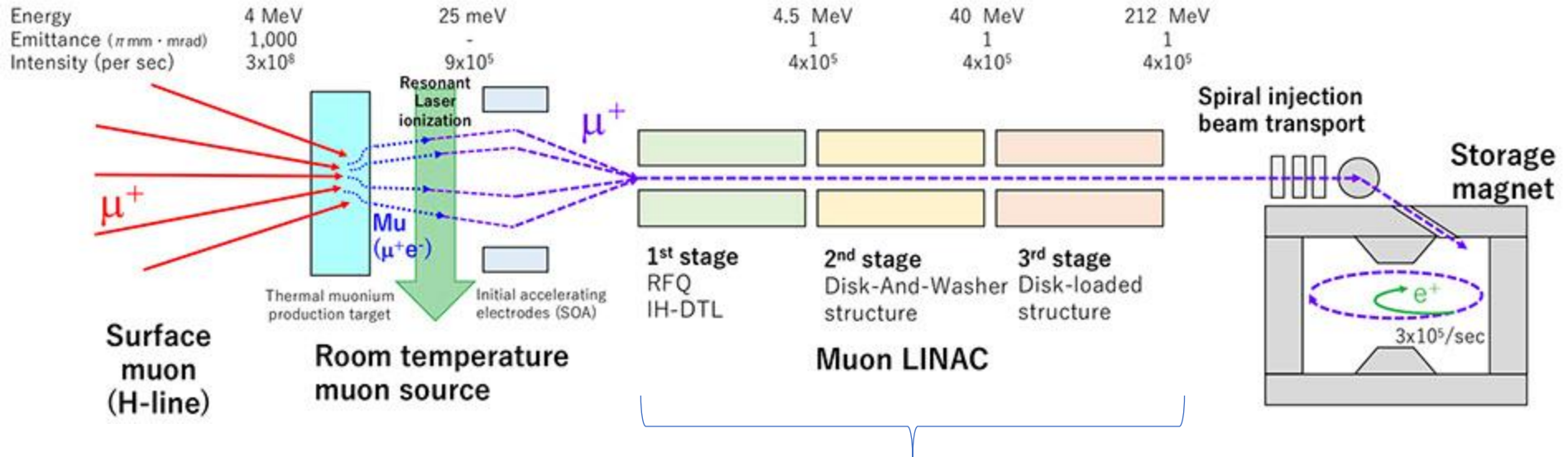
Table of contents

**g-2/SOI joint group: T. Mibe, T. Youssef,
M. Otani, T. Yamazaki, K. Shimomura,
Y. Miyake, T. Miyoshi, Y. Arai,
R. Nishimura, T. Tsuboyama**

- 概要
- 評価試験
- 今後の予定
- 課題
- まとめ

Muon g-2/EDM experiment at J-PARC

<https://g-2.kek.jp/portal/>



Goal

Magnetic moment 0.1ppm

EDM 10^{-21} e.cm

ミュオンビームモニター

提案されている手法

MPC-Phosphor-CCD combination

Muon LINAC

3つのステージがある

それぞれの出口で

ビームをモニターする

4.5 MeV, 40 MeV, 212 MeV

それぞれのエネルギーで

Energy depositが異なる

Energy deposit in silicon

6/30 坪山氏スライド

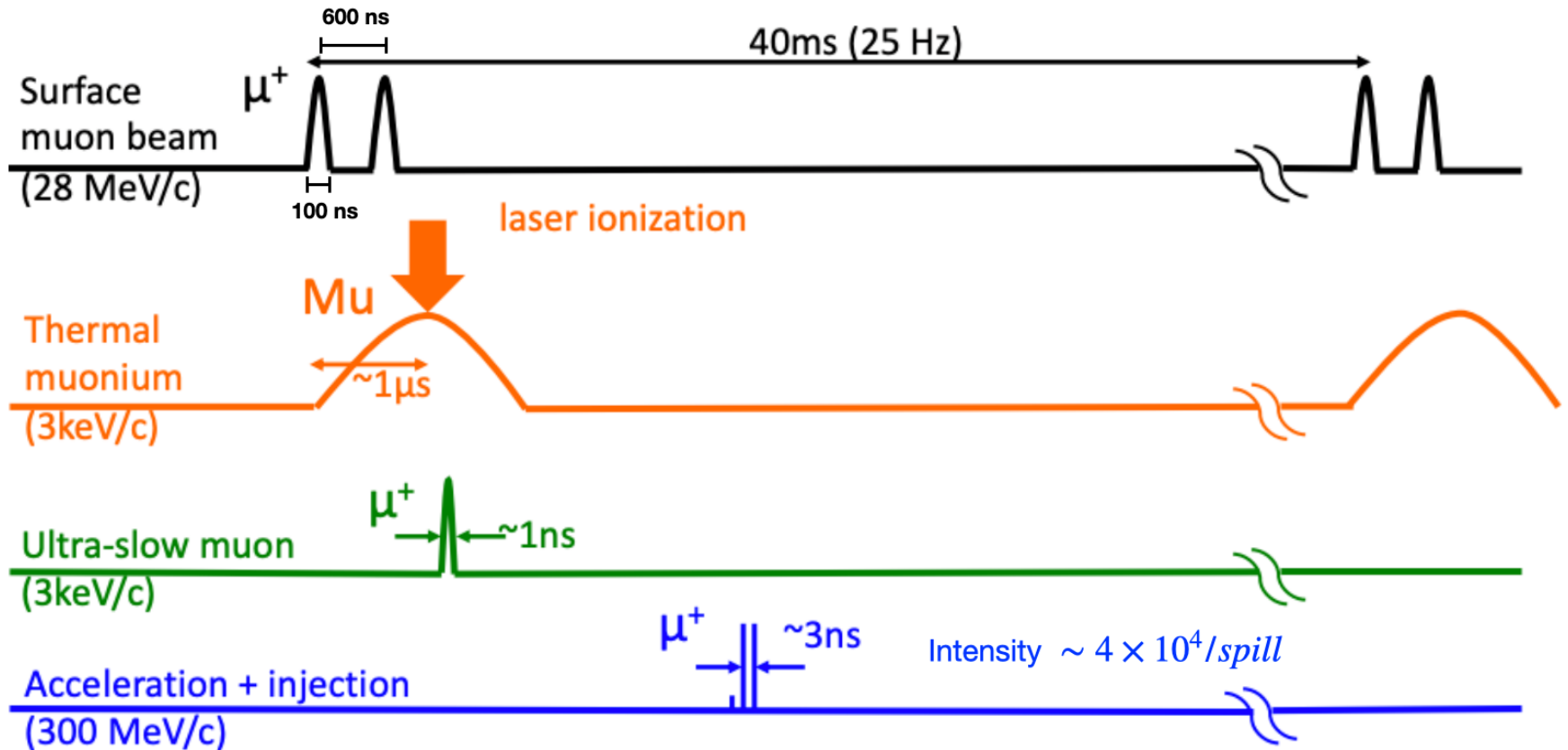
	Energy@exit (MeV)	velocity (% speed of light)	dE in silicon (keV/50 μ m)	Electrons /50 μ m
μ source	0.0056	1	5.6	100
RFQ	0.34	8	690	100000
DTL	4.5	30	70	10000
DAW	40	70	23	3400
DLS	212	94	17	2600

必要となるセンサ：

“低感度”センサ

ゲインをコントロールできるセンサ

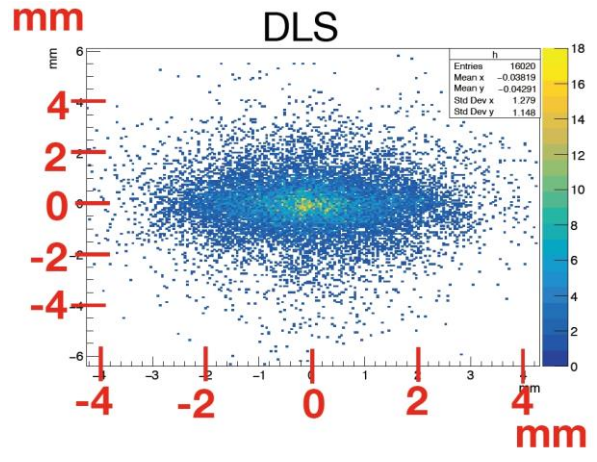
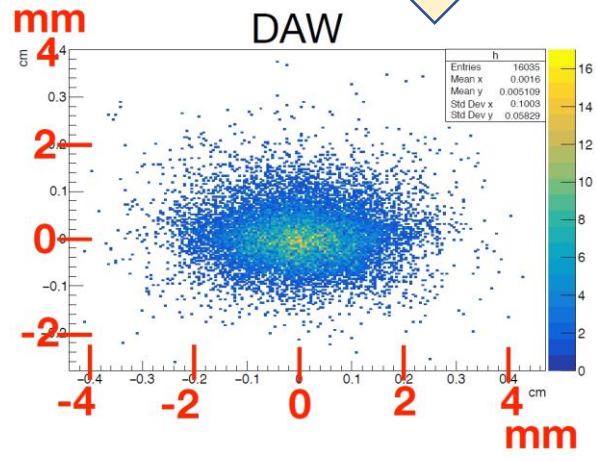
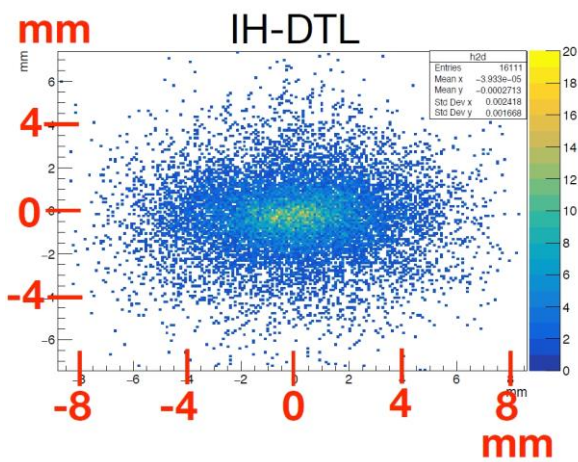
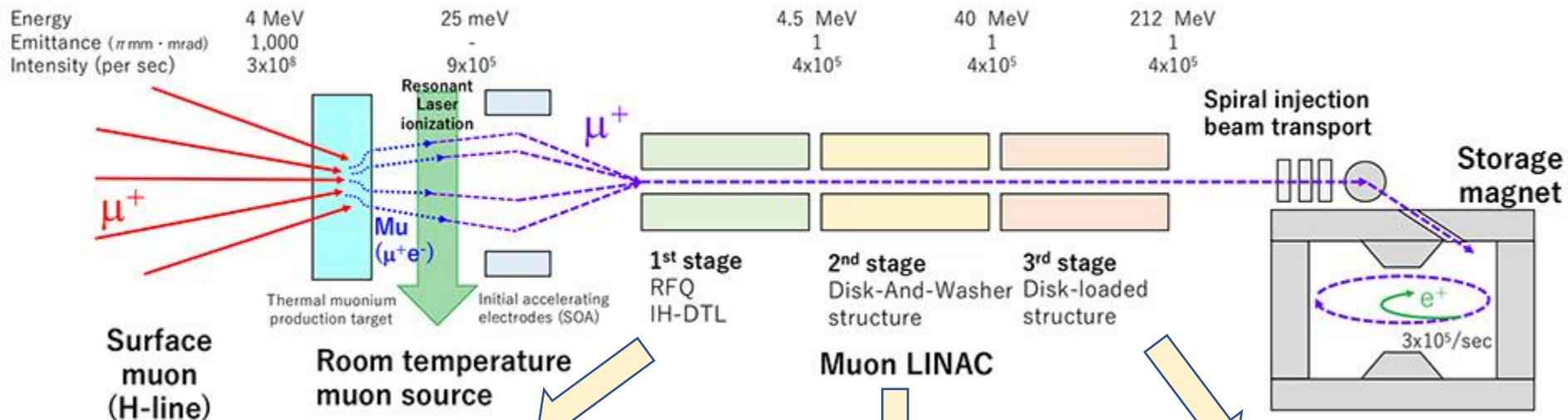
Beam structure



25 Hz : $4 \times 10^4 / \text{spill}$ $\rightarrow 10^6$ Hz

最終的に1-3nsのオーダーなので、積分ゲートは100nsあれば十分
市販のカメラの積分ゲートはそこまで短くはない(最小でus-msのオーダー)

Beam size



※大谷氏のシミュレーション結果

有効面積10 mm x 10 mm あれば十分

ビームモニター用検出器選定条件

センササイズ ~10 mm x 10 mm 難しい条件ではない

Exposure time 10ns 以上 (パルス幅と比較して)

長い検出器はたくさんあるが短くできる検出器は少ない
長すぎるとノイズの影響を受ける

Readout time 25Hz (ビーム周期) 難しくはないが速い読み出しが必要

Spatial resolution 特にクリティカルな条件はないが100um程度

SN >20 エネルギースペクトル測定の典型的な条件

これらはバックグラウンドと弁別するためには重要なファクター

Dynamic range: a few to 10^4 muons per bunch

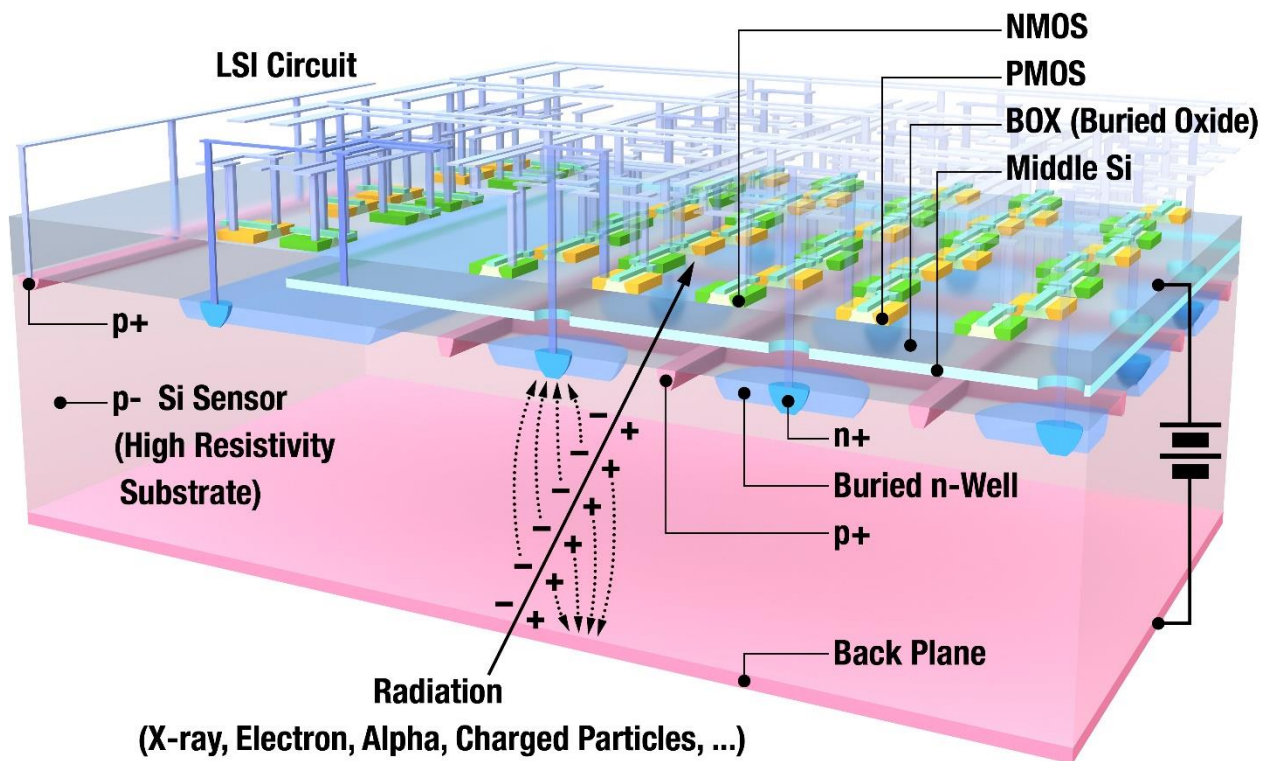
→ 一番難しい条件

ただし、設置場所(3か所)毎にレンジが違っていてもよい

必ずしも、1フレームのDynamic range が大きい必要はない

ゲイン可変のsoi-cmosセンサ: SOI INTPIX8 センサを選んだ

Silicon-on-insulator (SOI) sensor



厚いSi層 センサ; 薄いSOI層 回路

Si間絶縁酸化膜, センサと回路は金属ビアで繋げる

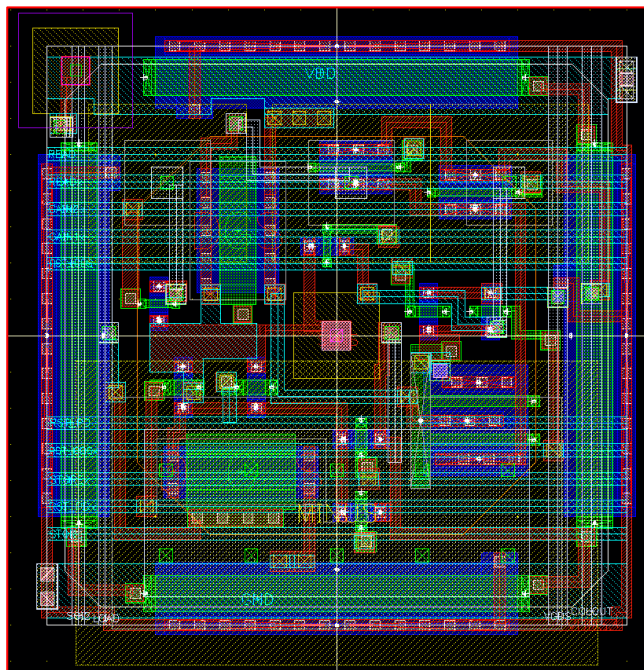
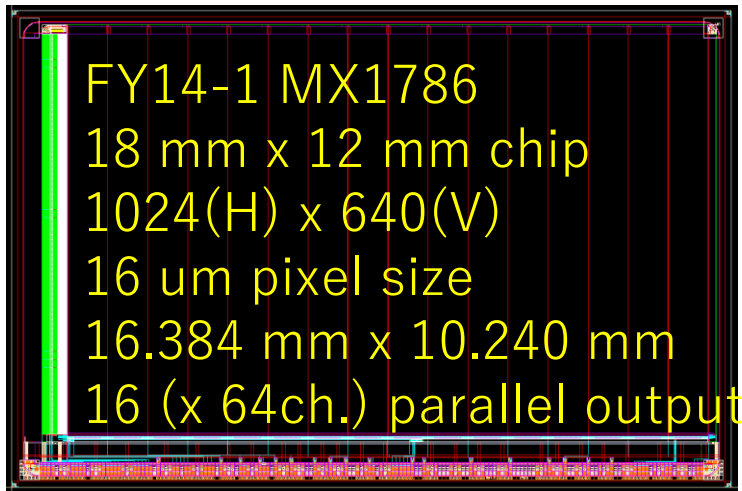
ハイブリットセンサ (回路とセンサは別々に作る) で必要なバンプ (>数um) 不要

SOI-CMOSプロセス(0.2um Lapis)で一括して製作

2005年から測定器開発室のSOIPIXプロジェクトがスタート

面積: マスクサイズが25x30mmだがステッチング露光技術で大きくできる

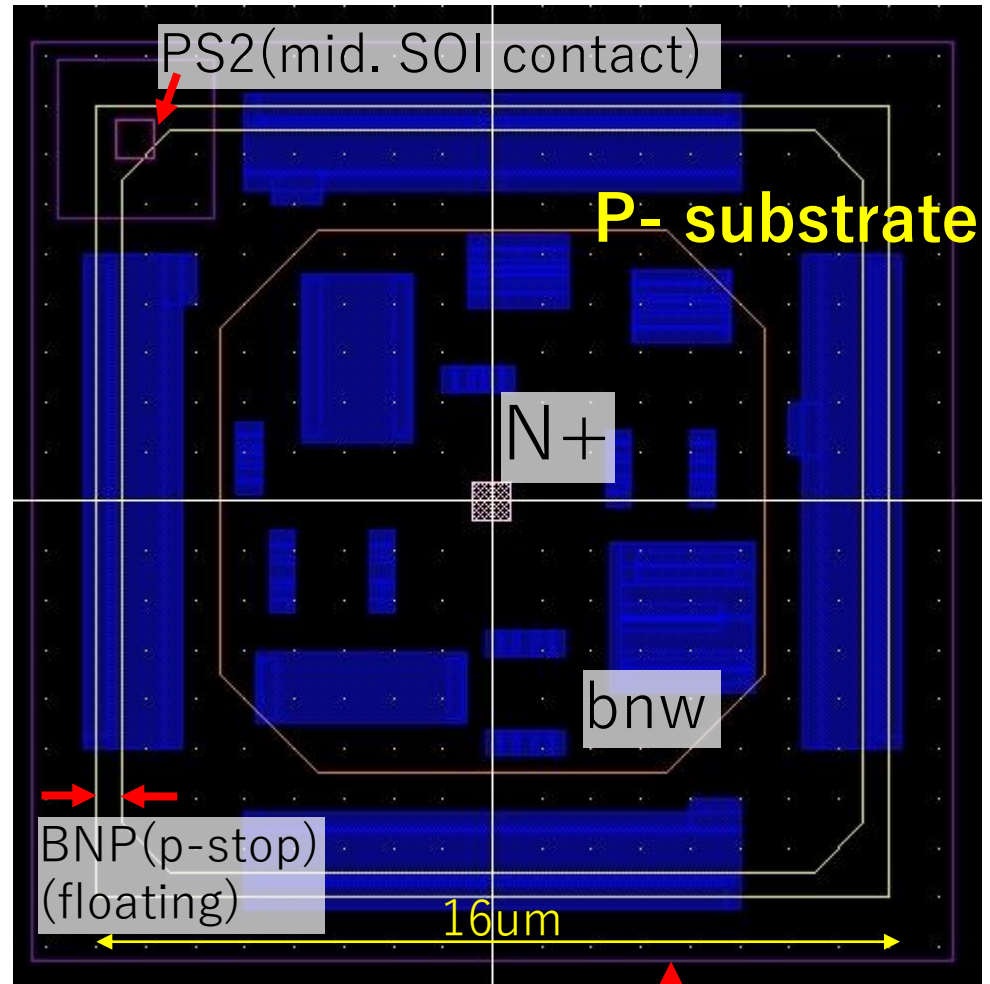
Integration-type p-type SOI sensor - INTPIX8 (FY14-1)



Pixel layout 16 x 16 um



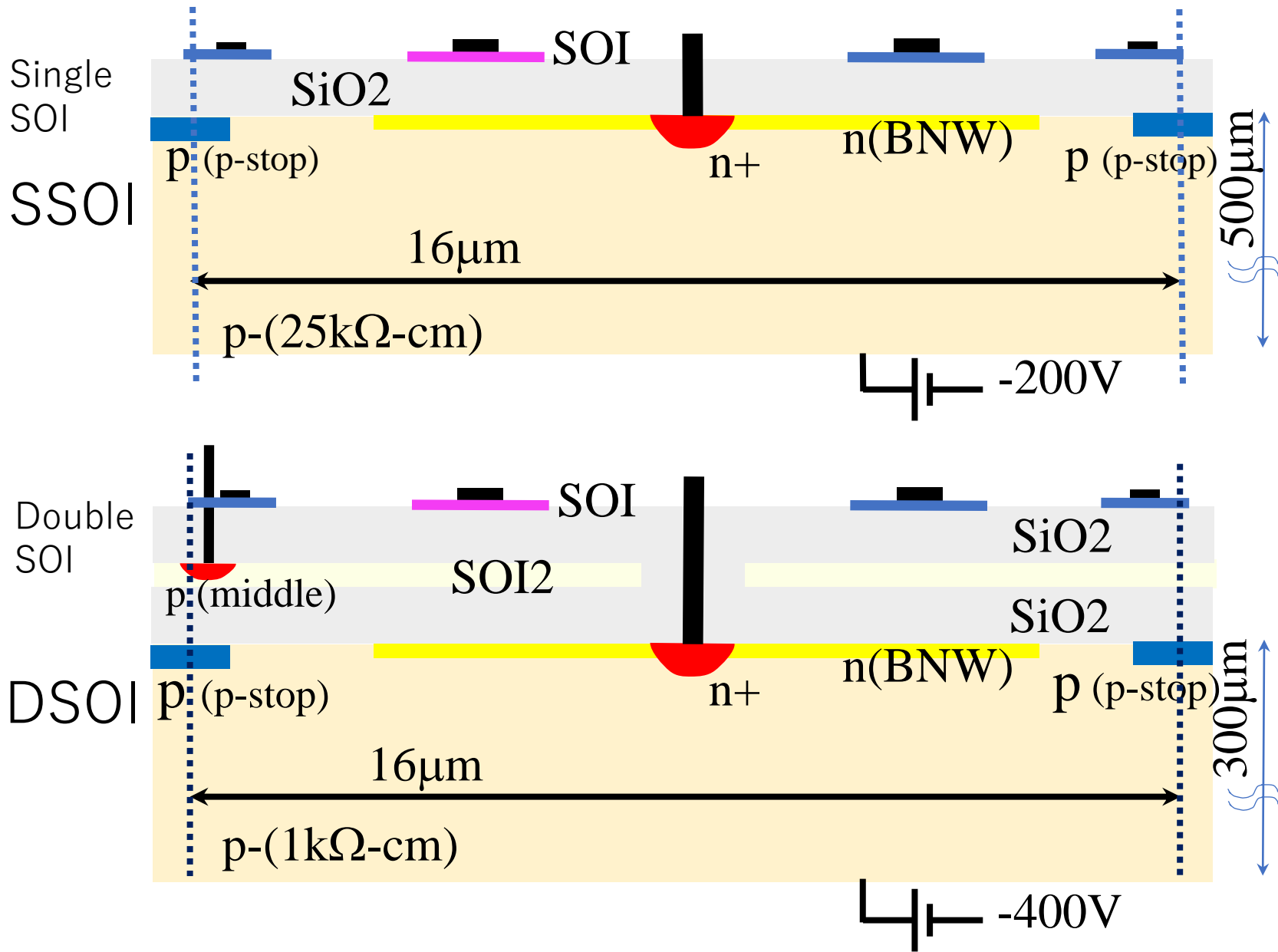
active,
ps1,
ps2,
soi2



Active layer (blue)

Soi2 for DSOI

Side view of INTPIX8 pixel layout

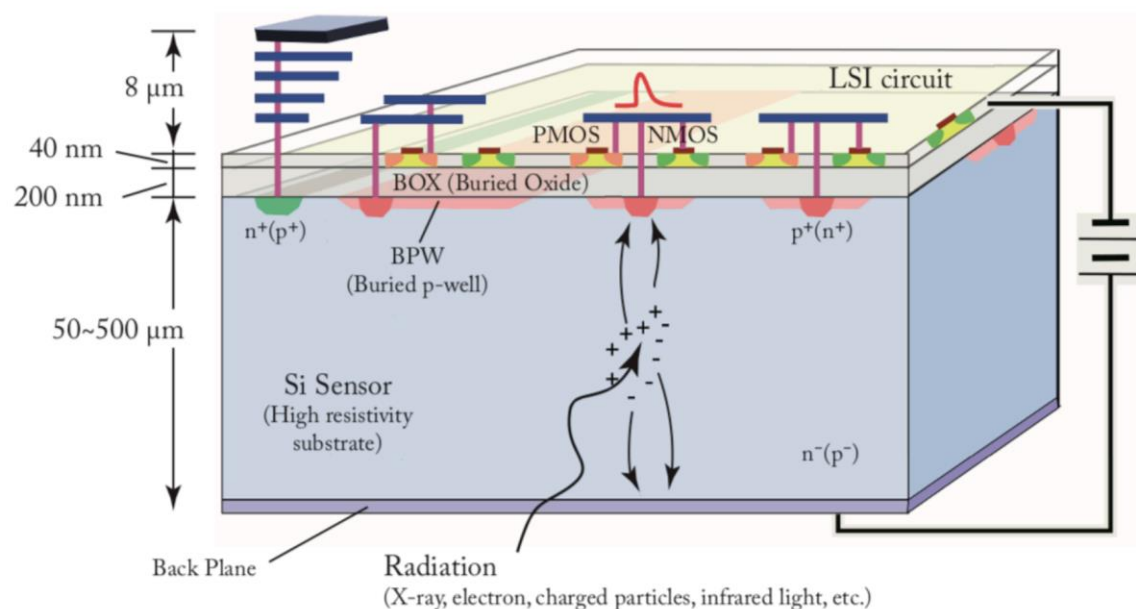


要求性能とINTPIX8仕様比較

Gain 4 settings 4,6,8,12uV/e- → まだ大きいかもしれない
有感領域 10.9 mm x 17.4 mm → 十分な大きさ
厚さ SSOI 500um & DSOI 300um → 低い電圧で部分空乏化
放射線耐性 DSOI → 100k – 1MGy for TID

K. Hara et al., NIM A Vol. 924, 21 April 2019, Pages 426-430

ビームモニター用途だとすると1日24時間常駐ではないだろうから大丈夫か？



SOIセンサ評価試験 at J-PARC (2020年3月)

Muon検出試験

バックバイアス依存性

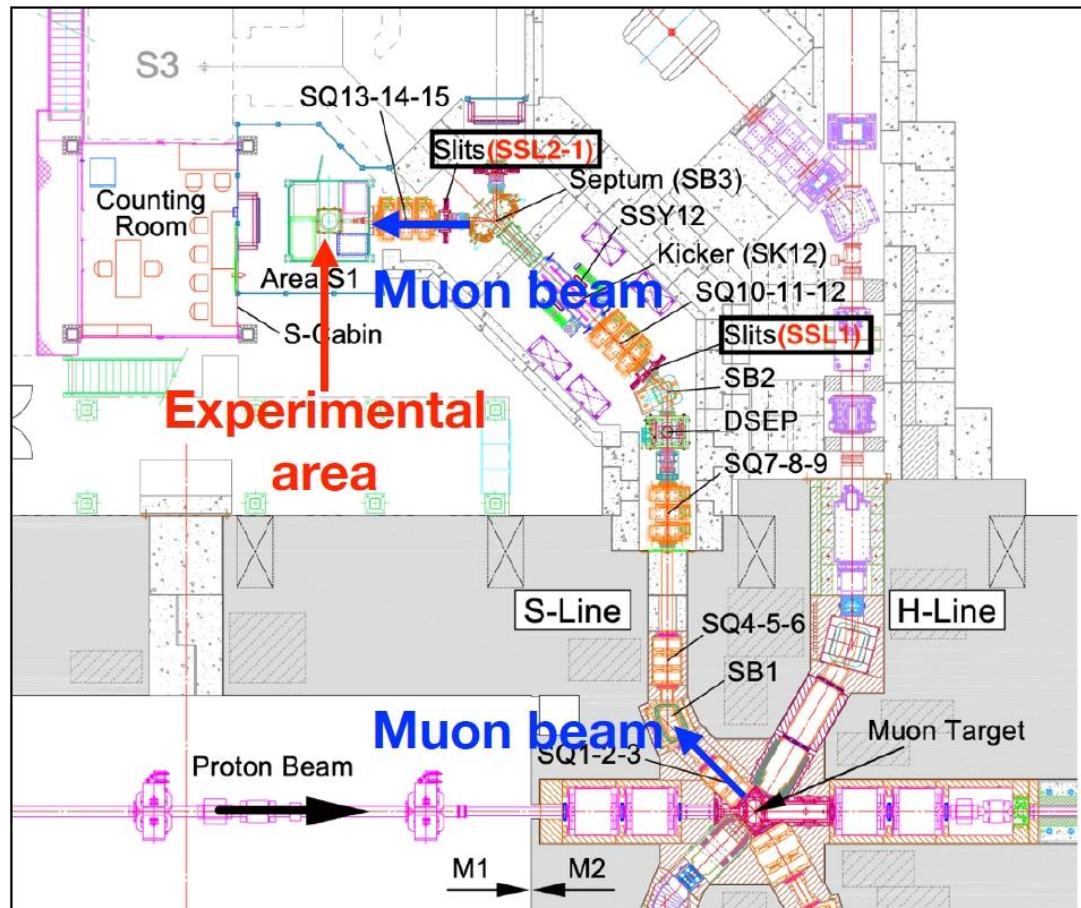
部分空乏状態での検出

SSOI/DSOI

各1枚使用

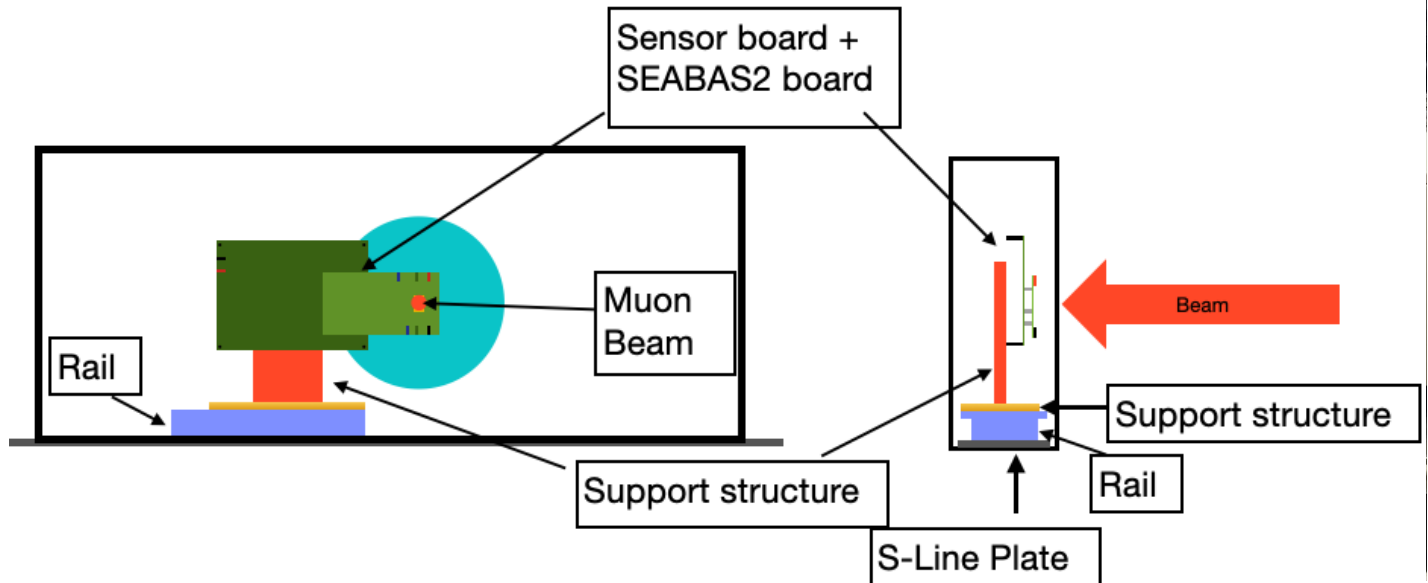
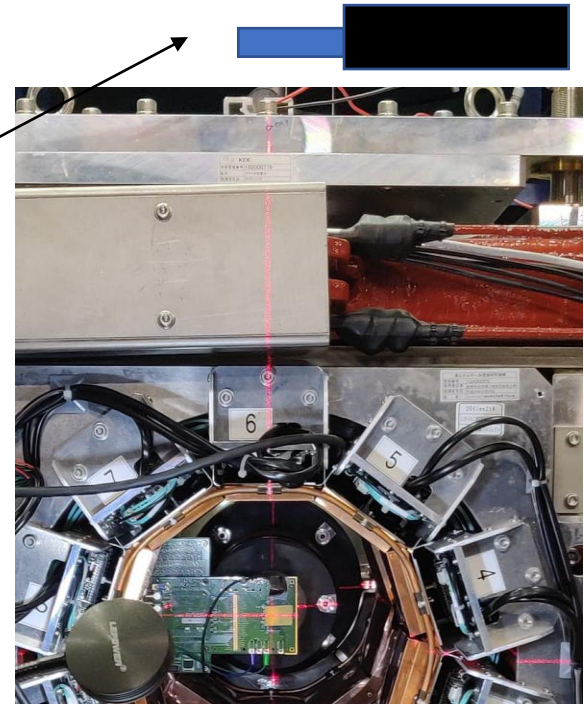
Intensity $1.4 \times 10^5 \text{ Hz}$ ($< 10^6 \text{ Hz}$)
Beam energy 4 MeV ($\sim \text{IH-DTL}$)
Beam size $\sim 2.5 \text{ cm } \phi$ ($> \text{数mm } \phi$)

ビーム密度が小さいので
レートに関わるスタディは
今回はできない

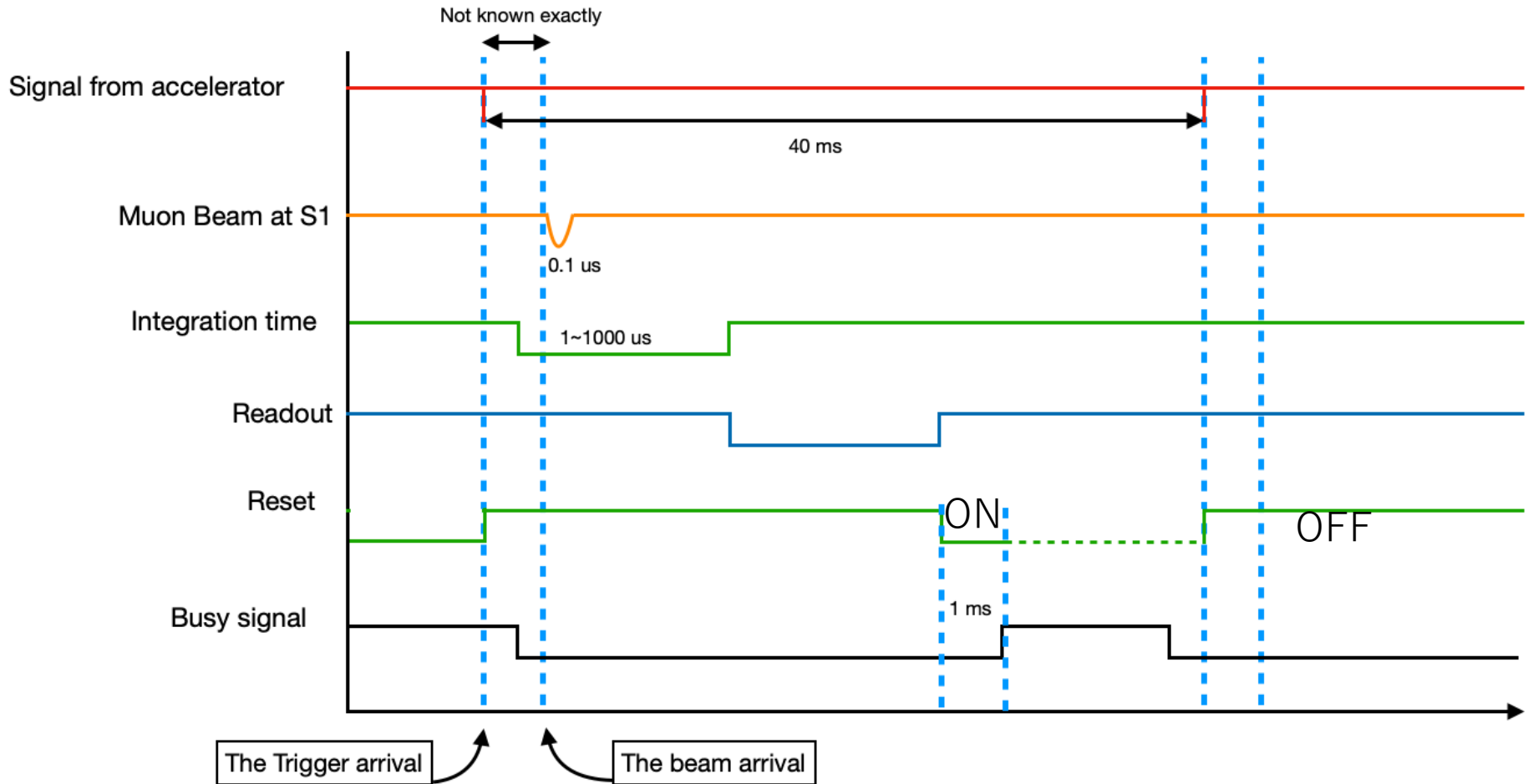


セットアップ

真上にシンチレータ設置
(タイミング合わせ)



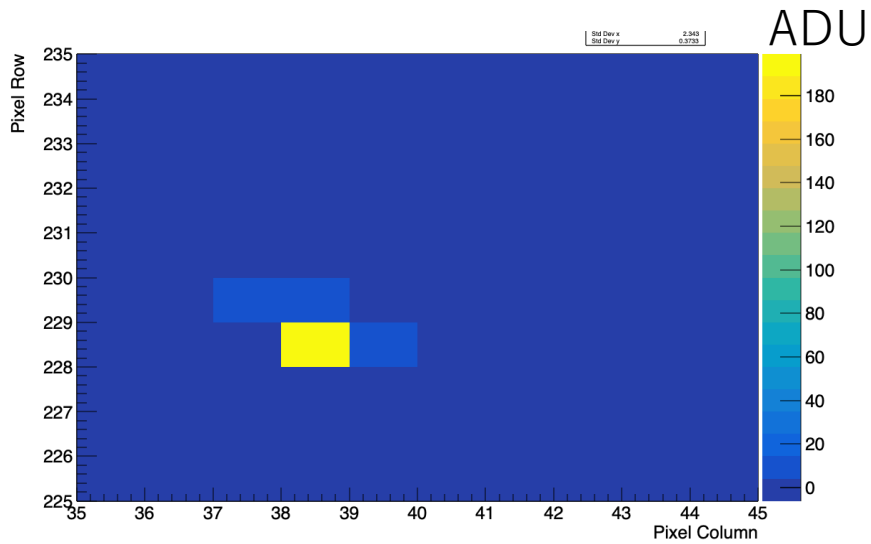
Experimental condition: delay and integration time



7.18us delay time and 200ns integration time

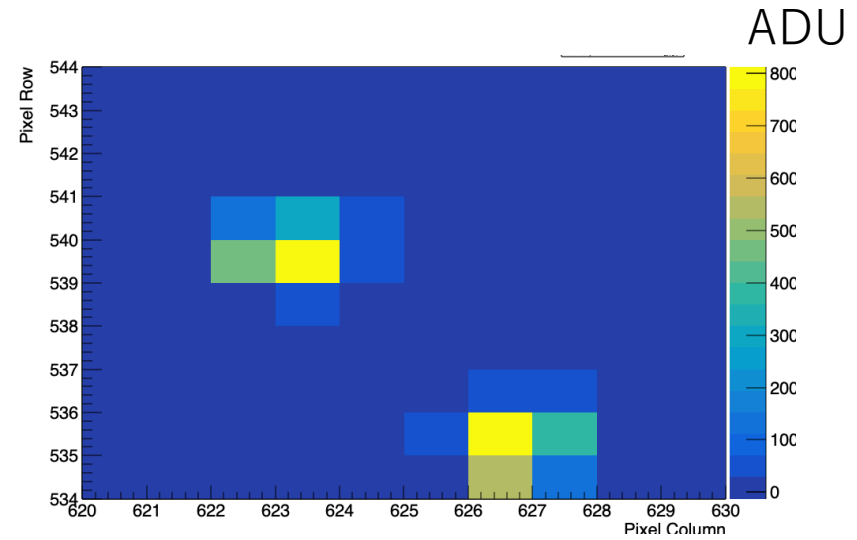
Example of muon cluster hit

DSOI 5V



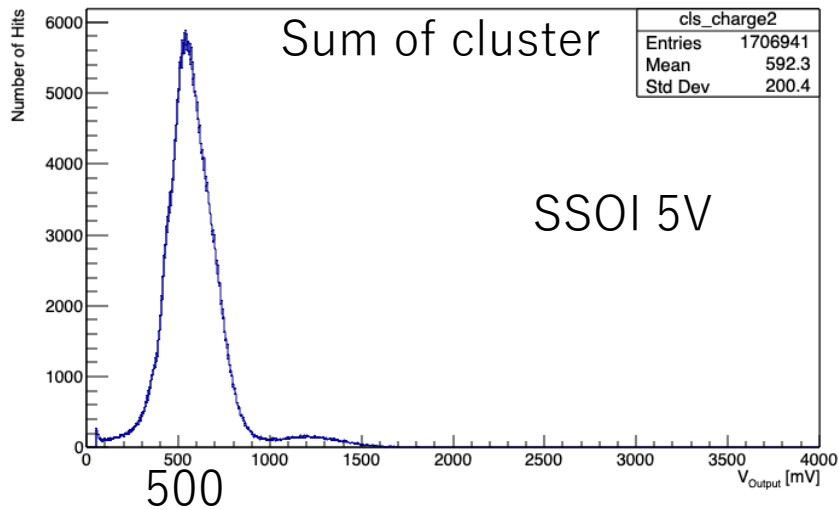
Muon を検出できた

SSOI 20V

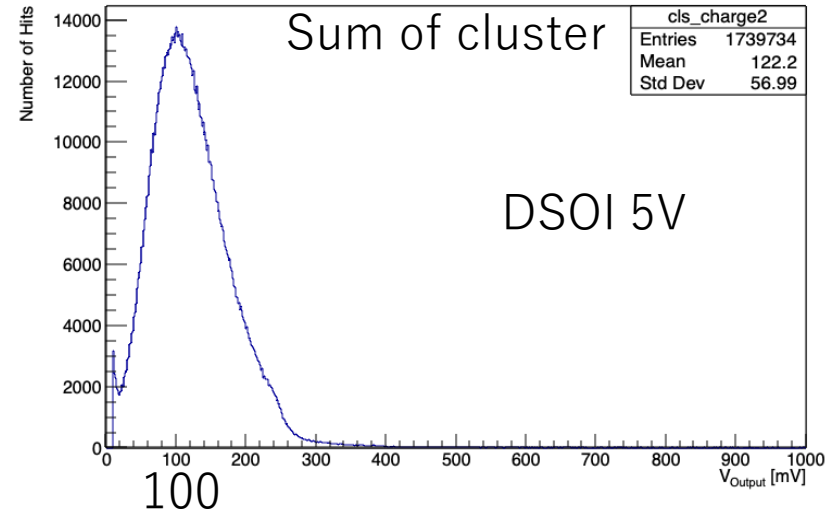


Noise level
DSOI 1.4mV rms
SSOI 1.5mV rms

Muon spectra after clustering



抵抗率 25kOhm cm
500um厚
Saturation 380mV/pixel
5V S/N 380



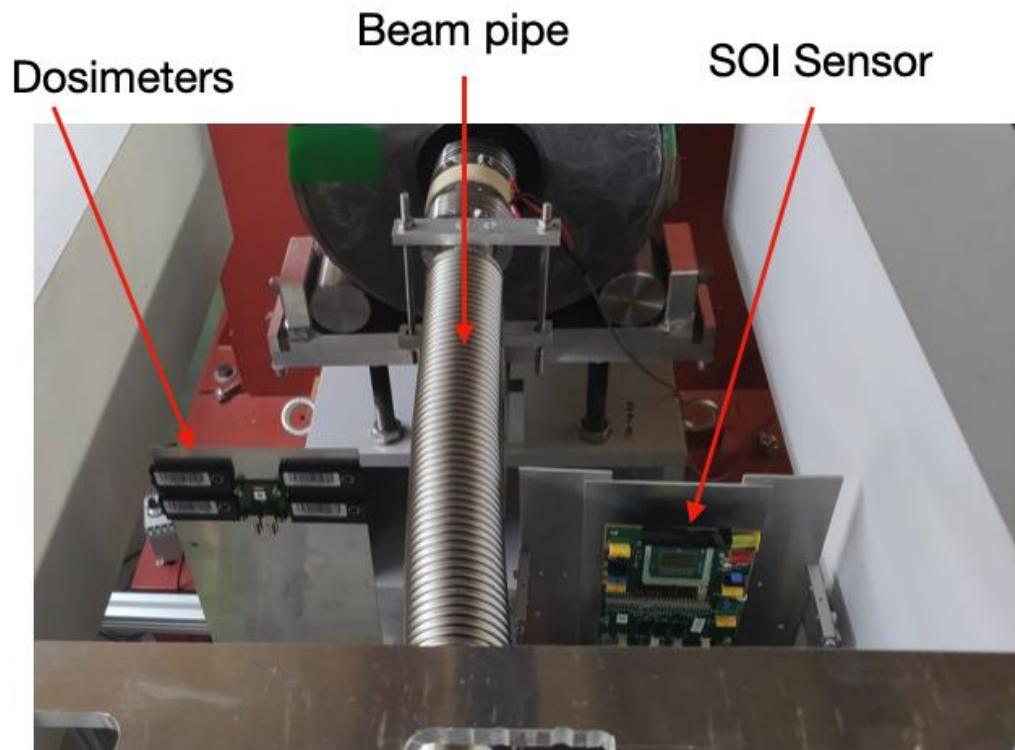
抵抗率 1kOhm cm
300um厚
Saturation 300mV/pixel
5V S/N 90

バックバイアス20V以上→空乏層が厚い→データ飽和が見られる
低いバックバイアス電圧でMuon spectrumを測定できた

現在進行中

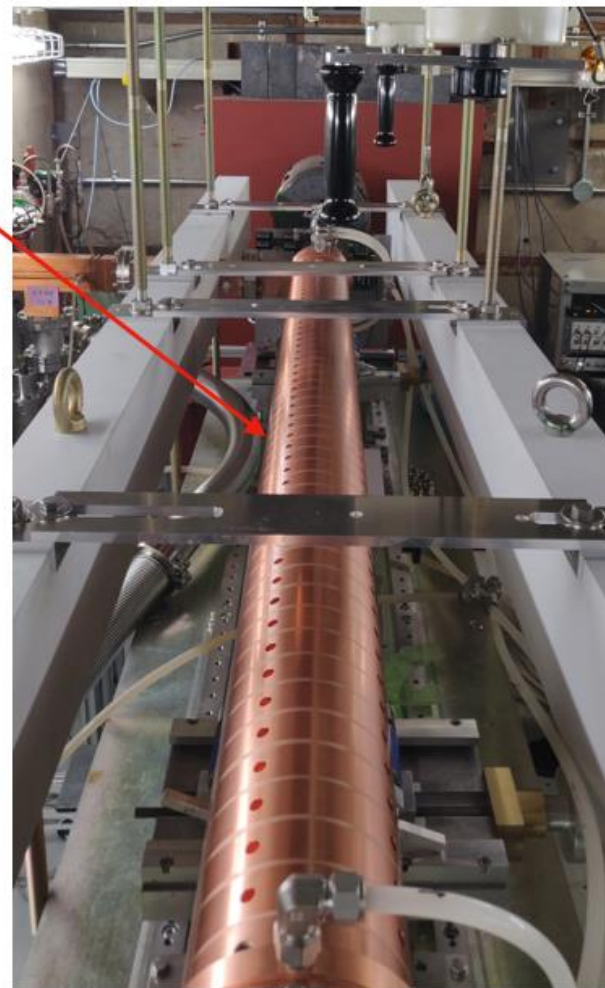
放射線耐性・バックグラウンド試験

γ 線、X線の影響を見る



RF acceleration cavity
2m
RF power 80MW
Duty 50Hz

ビームパイプから
12cm 離れている



リーク電流測定完了（データ取りまとめ中）
12/8以降にバックグラウンド計測試験

今後の課題

放射線耐性

12/8の測定でバックグラウンドについての情報が得られる
ビームセンターにもX線バックグラウンドがある

真空容器内設置

真空容器内構成案

真空実験の場合

FI-Rコネクタを使う

利点：コネクタが小さい

欠点：何度も抜き差しすると壊れやすい？

サブボード



Mezzanine-
FI-R51
変換基板

真空 大気

FI-R51
用ケーブル



FI-R51
用ケーブル

FI-R51-mezzanine
変換基板



SEABAS2
or
other
DAQ boards

航空電子製FI-Rシリーズ

FI-R51 x2
ビルドアップ基板 (~5cm角)

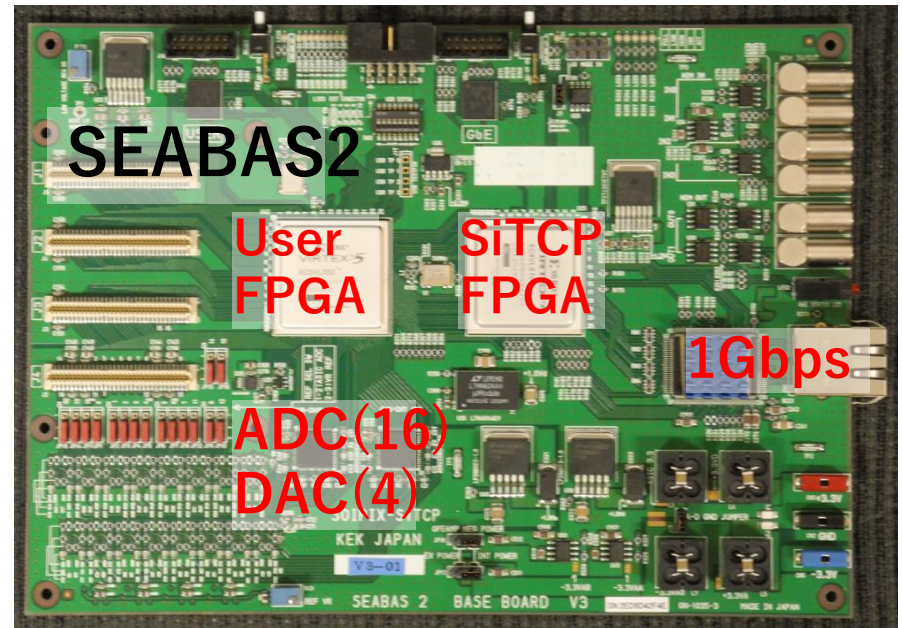
DAQ system

午後の西村氏の話

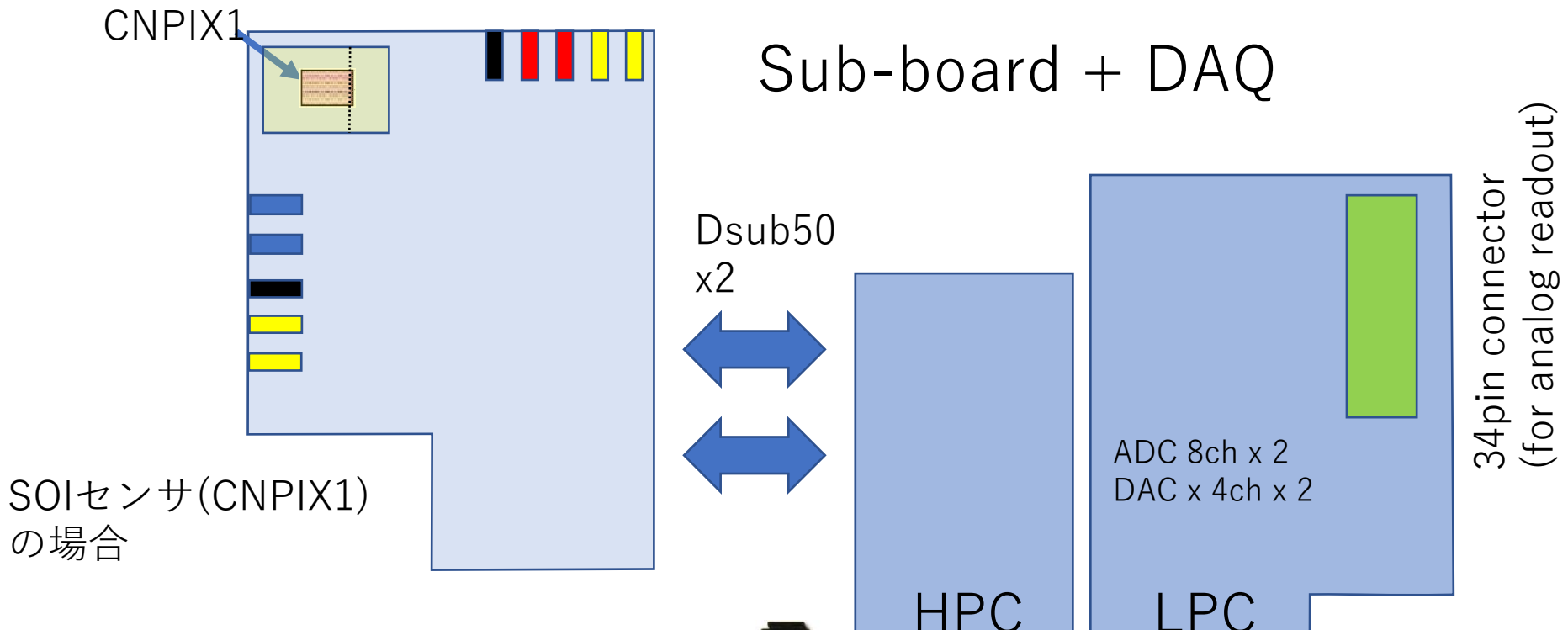
SEABAS2

Virtex4&5 → 生産終了
新規に作れない

今後は代替ボードが必要



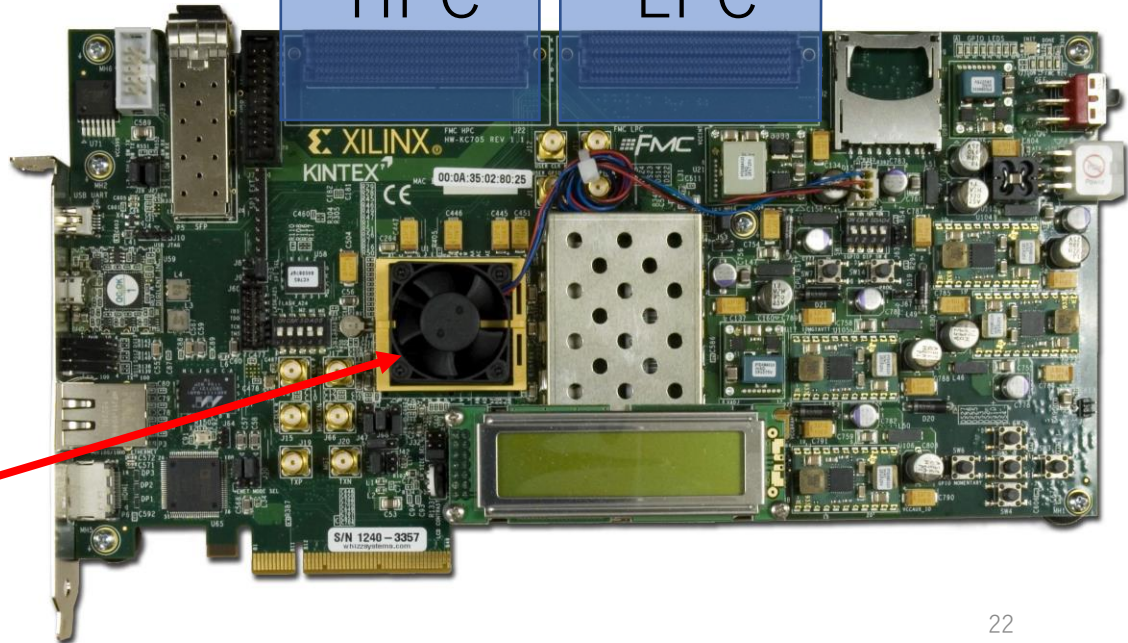
Sub-board + DAQ



KC705

KC705(kintex7)
Is commercially available

SiTCPを含める

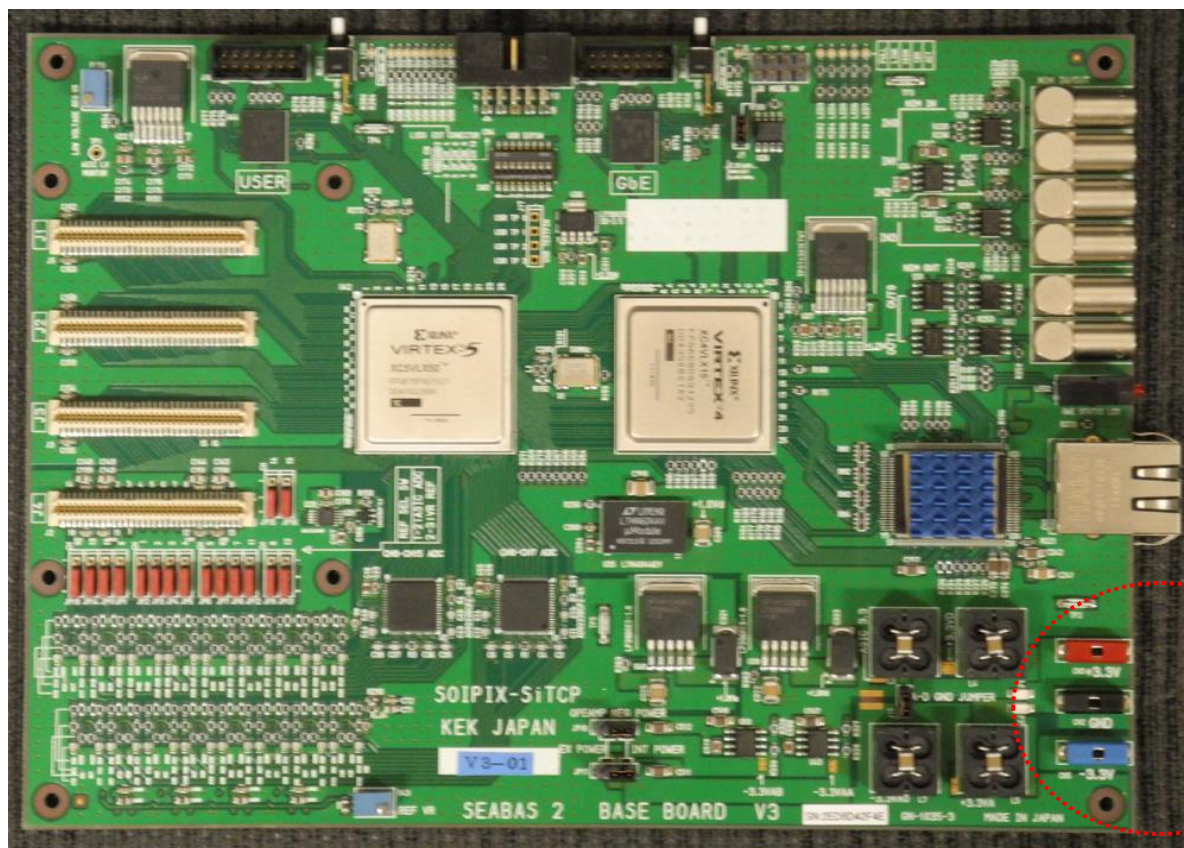


使いやすさと安全性

J-PARCのルール

抜けやすいコネクタNG

J-PARCで使う基板の部品選びのノウハウを共有できるとよい



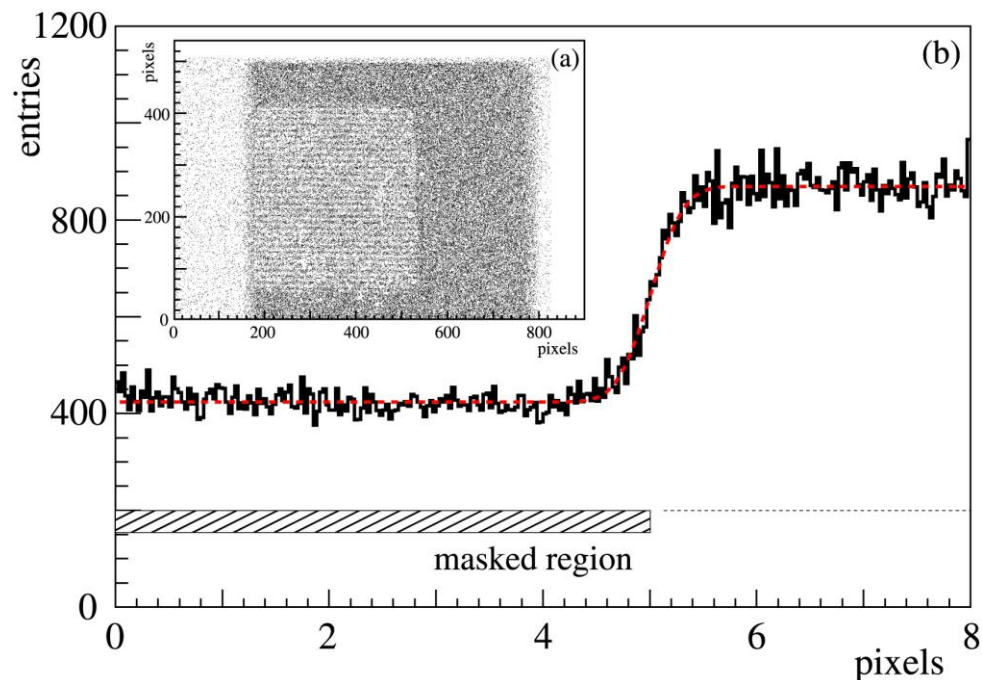
2mmφピンを
使っていて、
ここが抜けやすく
NGになる
(サブボードでも
よく使っている)

将来展望、課題、新規技術の提案

SOIセンサは
様々なビームラインで応用できる

MLF中性子施設でも使用経験あり
裏面にボロンを蒸着

中性子ハッチでは放射線耐性が課題
バックグラウンドが大きいので
遮蔽方法をよく考えないといけない



MLF BL10 & 10B-INTPIX4

Kamiya et al., NIM A

Volume 979, 1 November 2020, 164400

まとめ

SOIセンサをg-2/EDM実験ビームモニターに応用することを提案

3月のビームテストではその有効性を確認

予定：放射線耐性試験、3月のデータ解析継続、ダイナミックレンジ見積もり

課題：

飽和対策-ゲインコントロール方法の改良

真空システム

DAQアップグレード

J-PARC実験用SOI検出器システムデザイン

SOIセンサはJ-PARCの様々な場所で利用できるのではないかと考えています