

新型太陽中性子望遠鏡SciCRTにおける高速読み出し用バックエンドボードの開発

名古屋大学 太陽地球環境研究所(STE) 宇宙線(CR)研究室
佐々井義矩

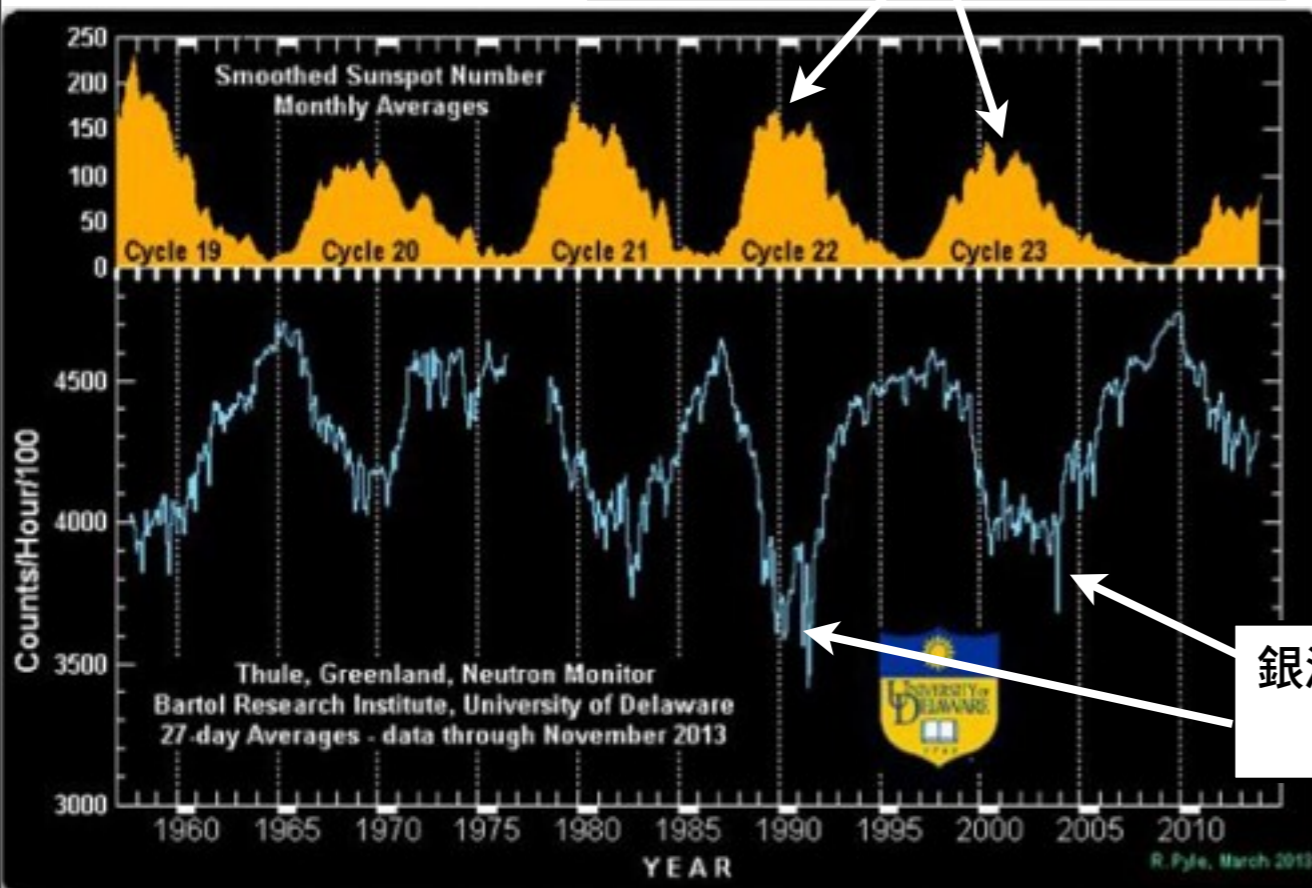
2015年7月25日 Open-It 計測システム研究会@阪大RCNP

* 目次

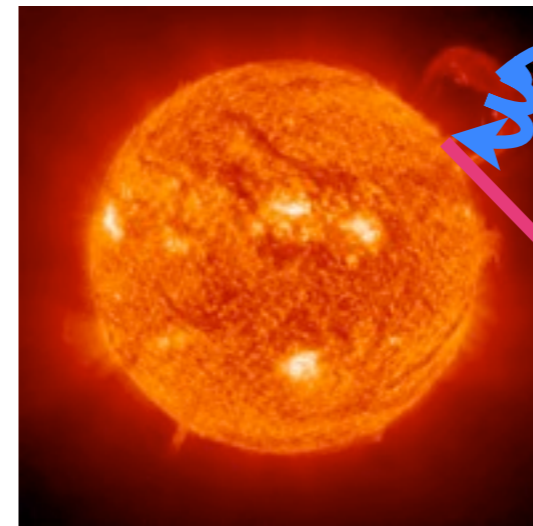
- 太陽中性子観測とSciCRTのイントロ
- 高速読み出し用バックエンドボード開発の動機
- 開発～インストールまで・体験談
- まとめ

＊ 太陽中性子の観測

太陽中性子は、極大期でフレアが活発化すると多く観測される



銀河宇宙線は、太陽風の遮蔽により極大期には減少する



荷電粒子(イオン)

磁場

太陽中性子

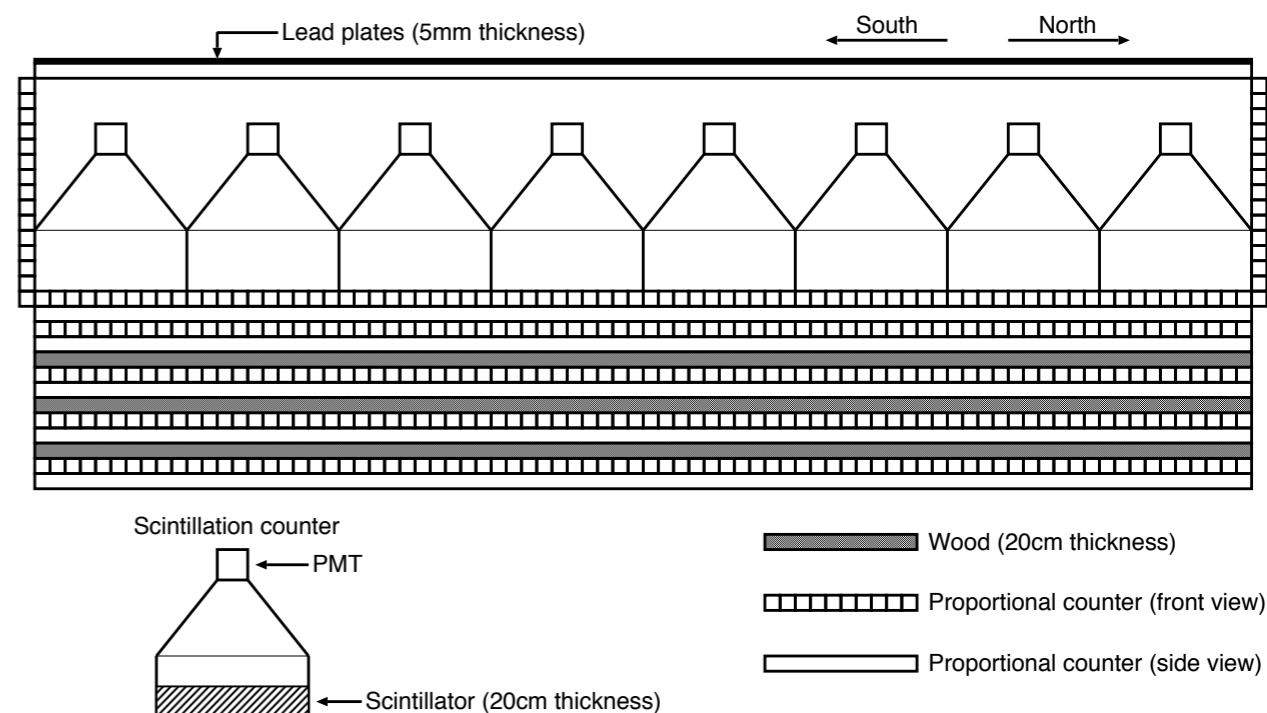
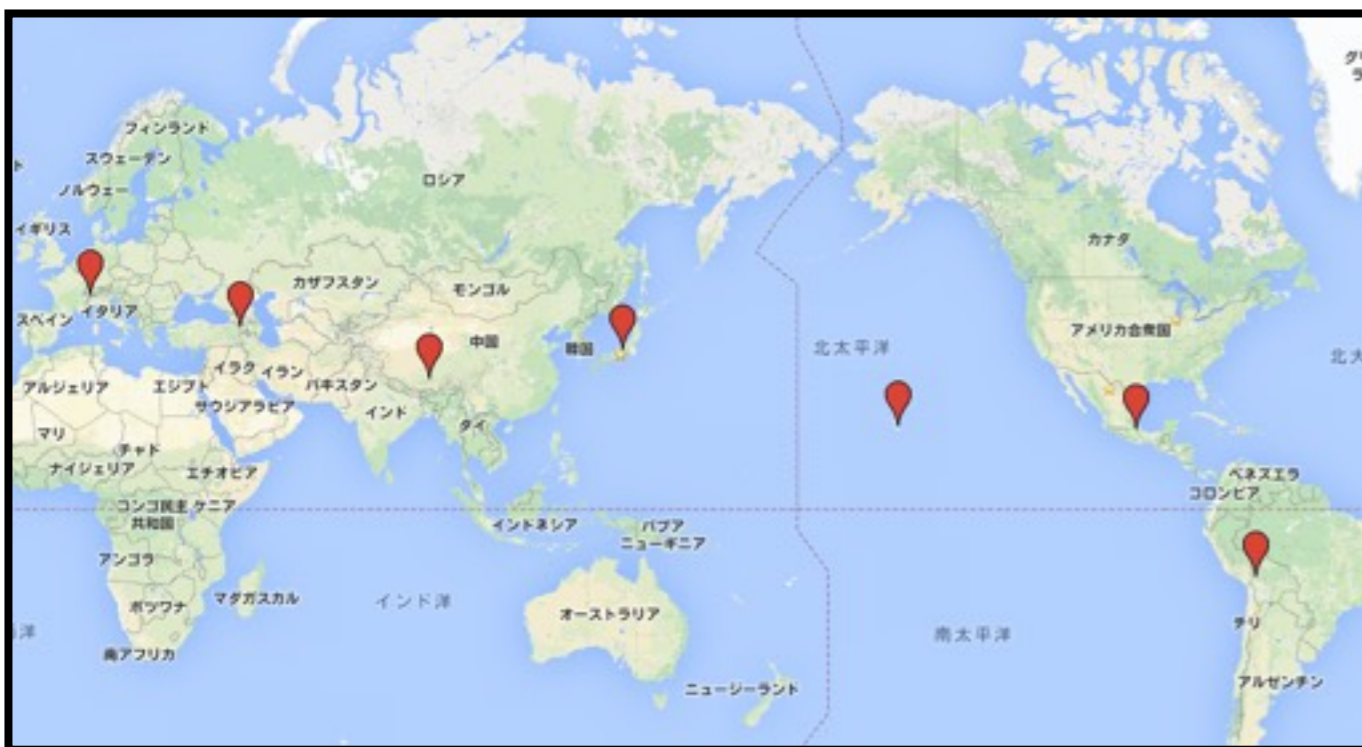


太陽の黒点と宇宙線の関係

(<http://neutronm.bartol.udel.edu/catch/cr3.html>)

- 太陽フレアで加速された荷電粒子(イオン)の加速機構の解明が目的
- 荷電粒子が太陽大気と相互作用してできる太陽中性子に注目
- 中性子の寿命は約900秒であり、太陽からのみ到来できる
- 太陽中性子は、地球近傍の人工衛星と地上の検出器で観測されている

＊ 地上での太陽中性子の観測

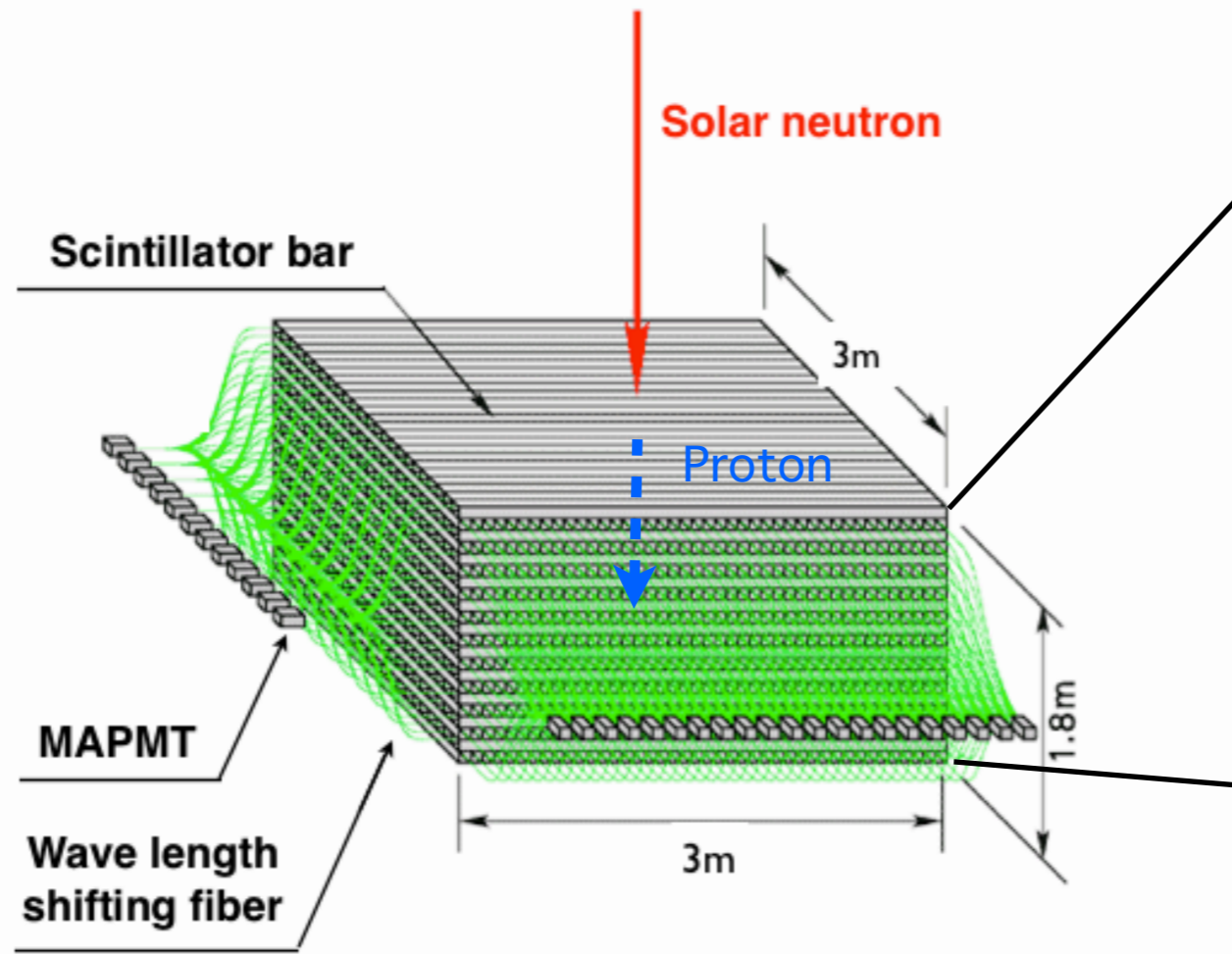


世界7拠点ある太陽中性子望遠鏡(SNT)の観測サイト

太陽中性子望遠鏡(SNT)の構造

- 高エネルギー中性子 (>100MeV) を地上で検出するには、
 - なるべく高度の高い山で観測したい(例: 乗鞍SNT2,700 m)
 - 日照時間の長い赤道付近に、24時間包囲網を敷く
 - かつ、インフラが整備されているところ(場所が限られる)
- これまでは、中性子モニター(NM)や太陽中性子望遠鏡(SNT)で観測されてきた
 - わずか10イベントほどしか観測されていない
 - 中性子のエネルギー決定精度の問題(TOF法による再構成)

* SciCRT (SciBar Cosmic Ray Telescope)



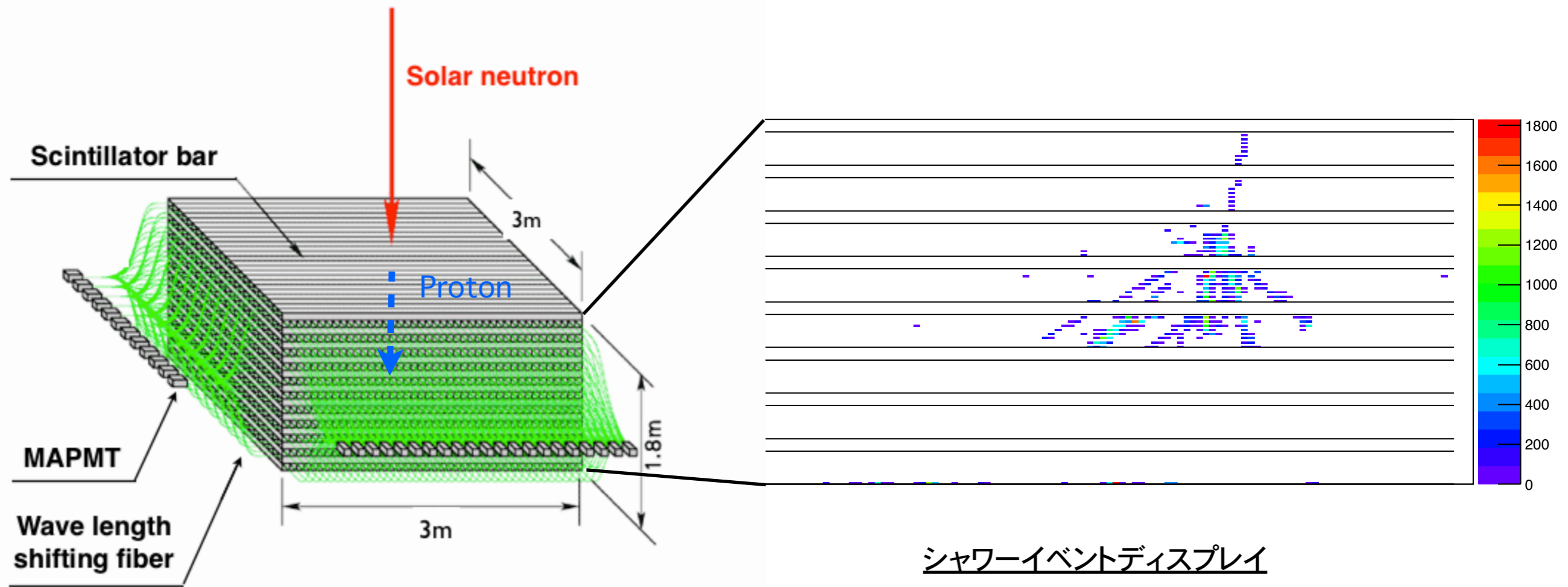
SciCRTの検出器全体の外観



Super Block (SB)の外観の写真

- K2Kニュートリノ振動実験の前置検出器として開発されたSciBar検出器
- シカゴのFNALでSciBooNe実験終了後、メキシコ・シエラネグラ山へ
- 最大の特徴は、全体で飛跡検出する Fully Active Tracker であること
- 上下層でミュオンを、SB8層は各層独立に中性子を測定する
- 現在、読み出し回路はSciBar開発時のものをそのまま流用している

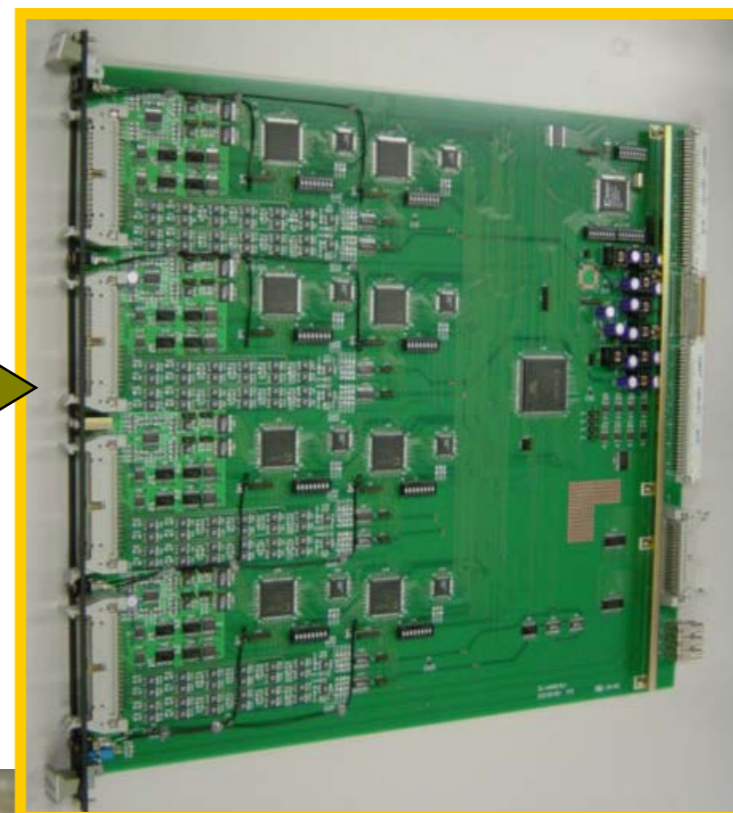
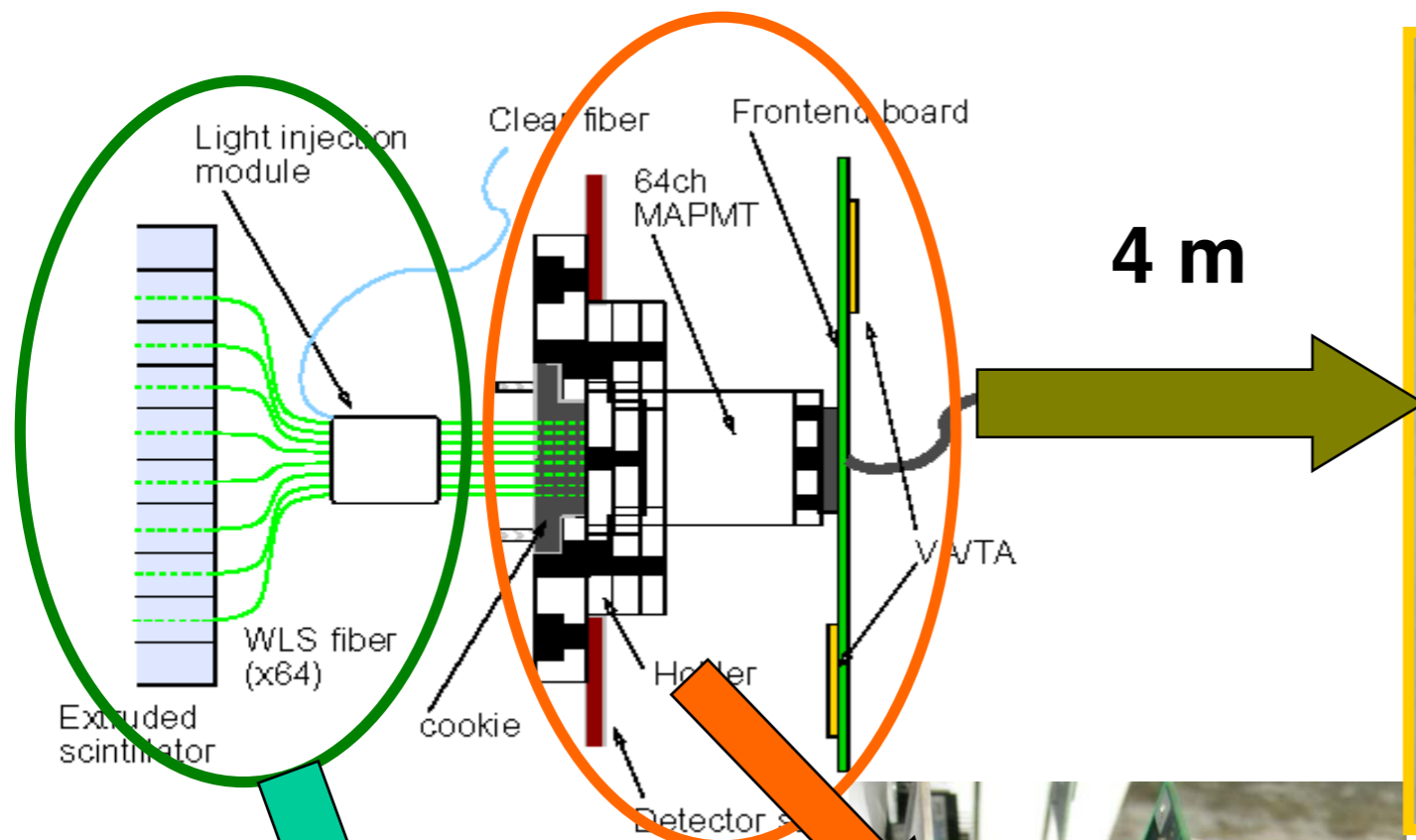
* SciCRT (SciBar Cosmic Ray Telescope)



SciCRTの検出器全体の外観

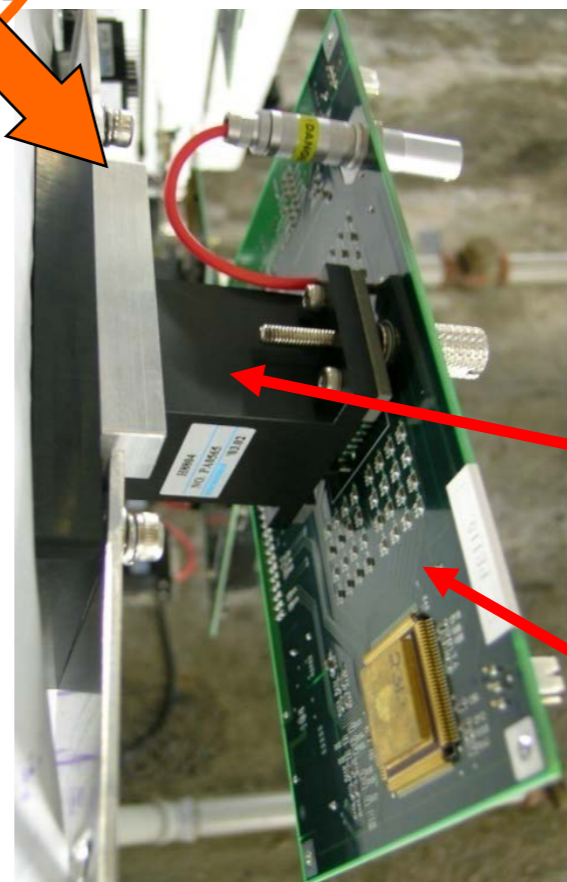
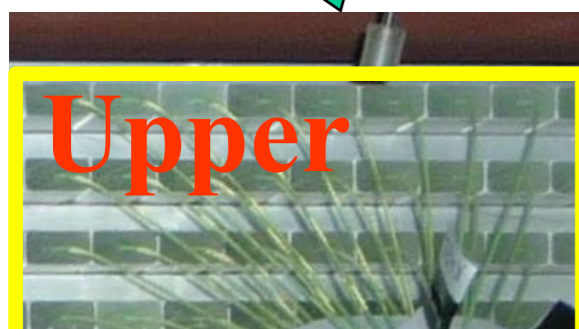
- K2Kニュートリノ振動実験の前置検出器として開発されたSciBar検出器
- シカゴのFNALでSciBooNe実験終了後、メキシコ・シエラネグラ山へ
- 最大の特徴は、全体で飛跡検出する Fully Active Tracker であること
- 上下層でミュオンを、SB8層は各層独立に中性子を測定する
- 現在、読み出し回路はSciBar開発時のものをそのまま流用している

Signals from scintillator bars are readout by 64ch MAPMTs



Trigger board

9U VME
Back-end board



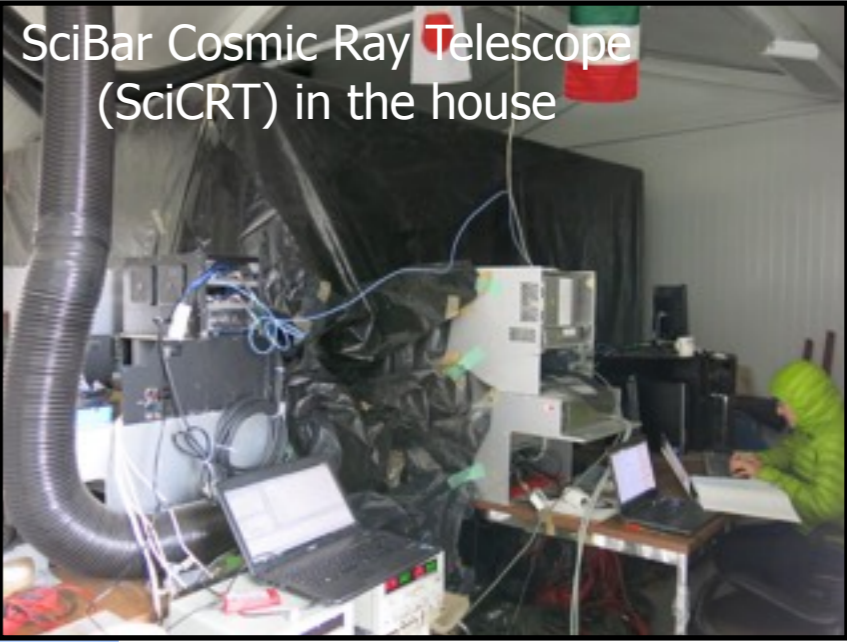
64ch MAPMT
'Hit' from 32 channels

Front-end board
slide from Y. Takubu

＊ 観測サイト - Mexico



Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) in Mexico City
Area: 1765000 m²
(*Higashiyama Campus: 700 m²)



SciBar Cosmic Ray Telescope (SciCRT) in the house

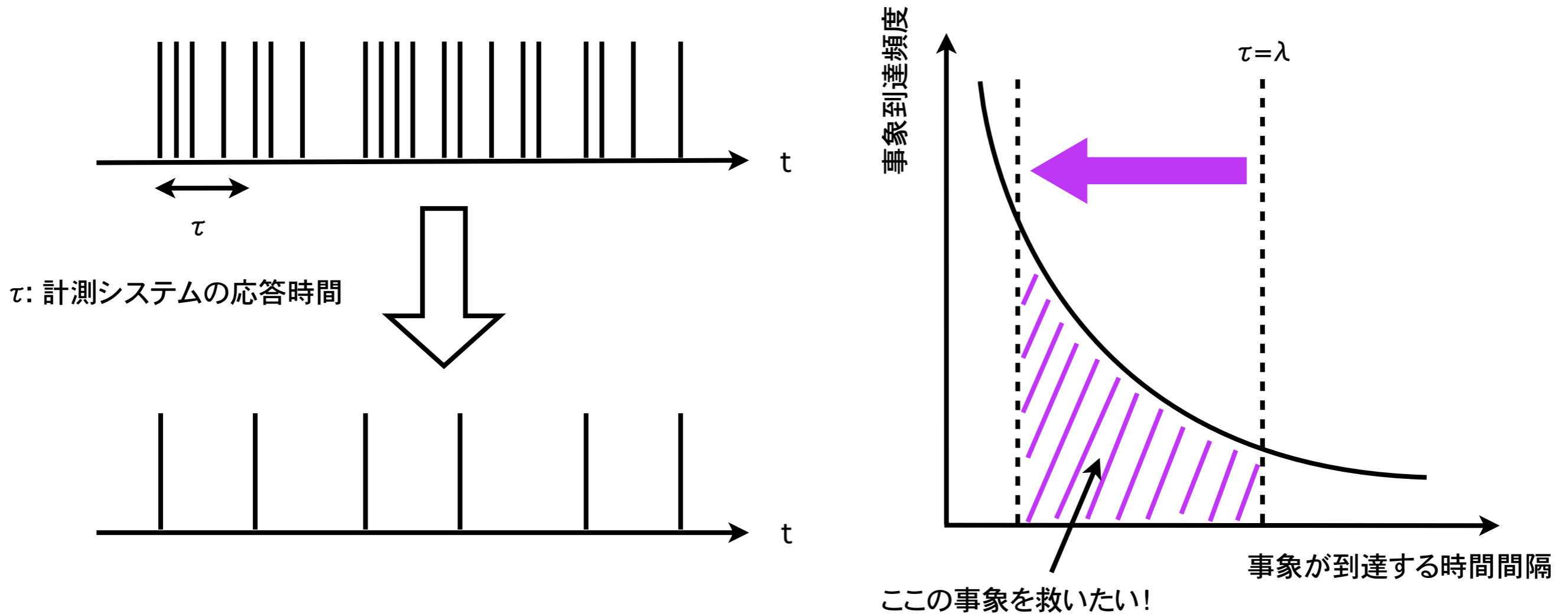


Large Millimeter Telescope (LMT) with a diameter of 50 m



The High-Altitude Water Cherenkov Gamma-ray observatory (HAWC)

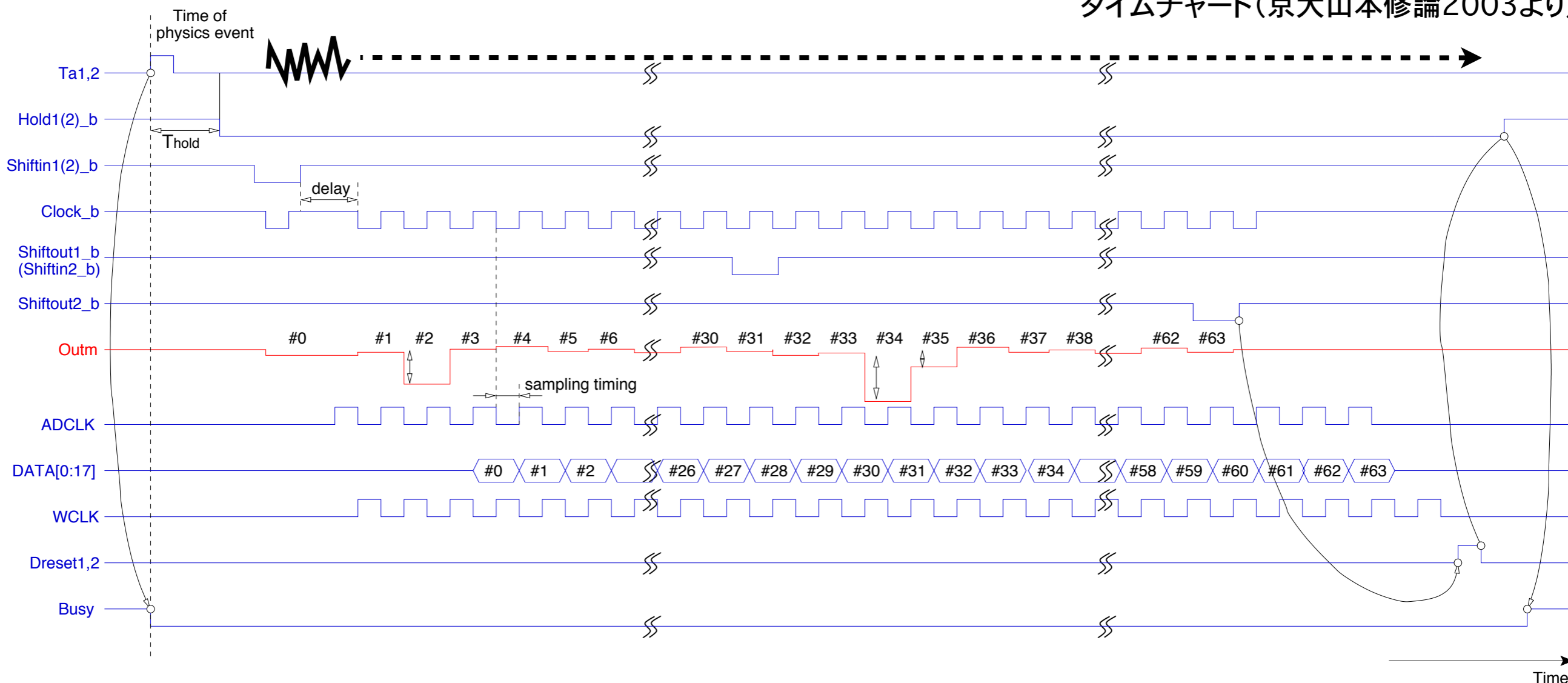
* 開発の動機① - 不感時間 -



- SciBarの読み出し回路は、そもそも加速器のために開発された
- なので、いつどんなビーム(粒子)が出るのかがわかっており、頻度も低い
- 一方、高山では環境中性子のレートが非常に高い(~20 kHz@SciCRT)
- ランダムイベントに対して、計測システムで100%イベントを取るのは困難

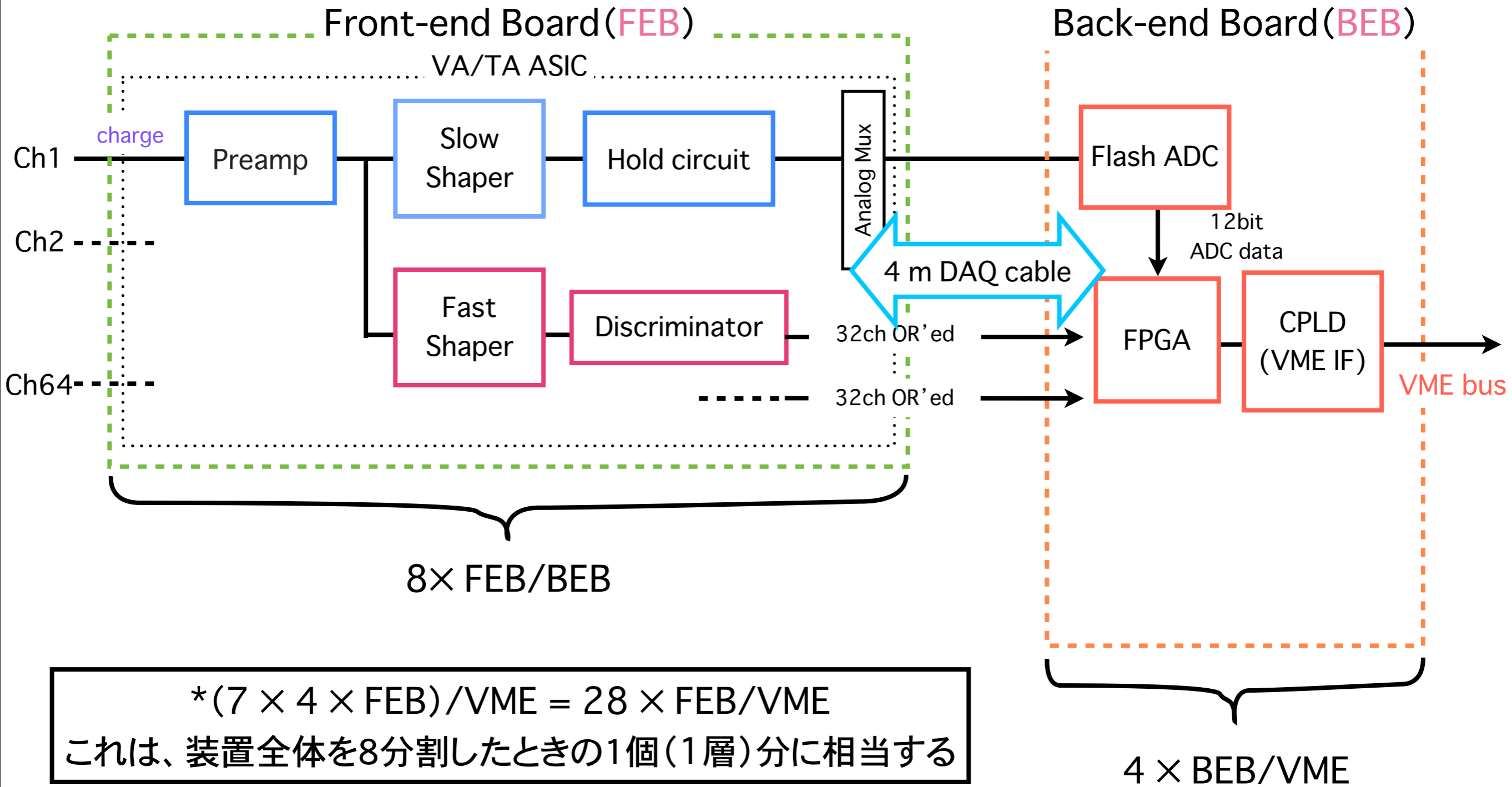
＊ 開発の動機② - 読み出しノイズ -

1イベント取得時のFEB-BEB間の信号の
タイムチャート(京大山本修論2003より)

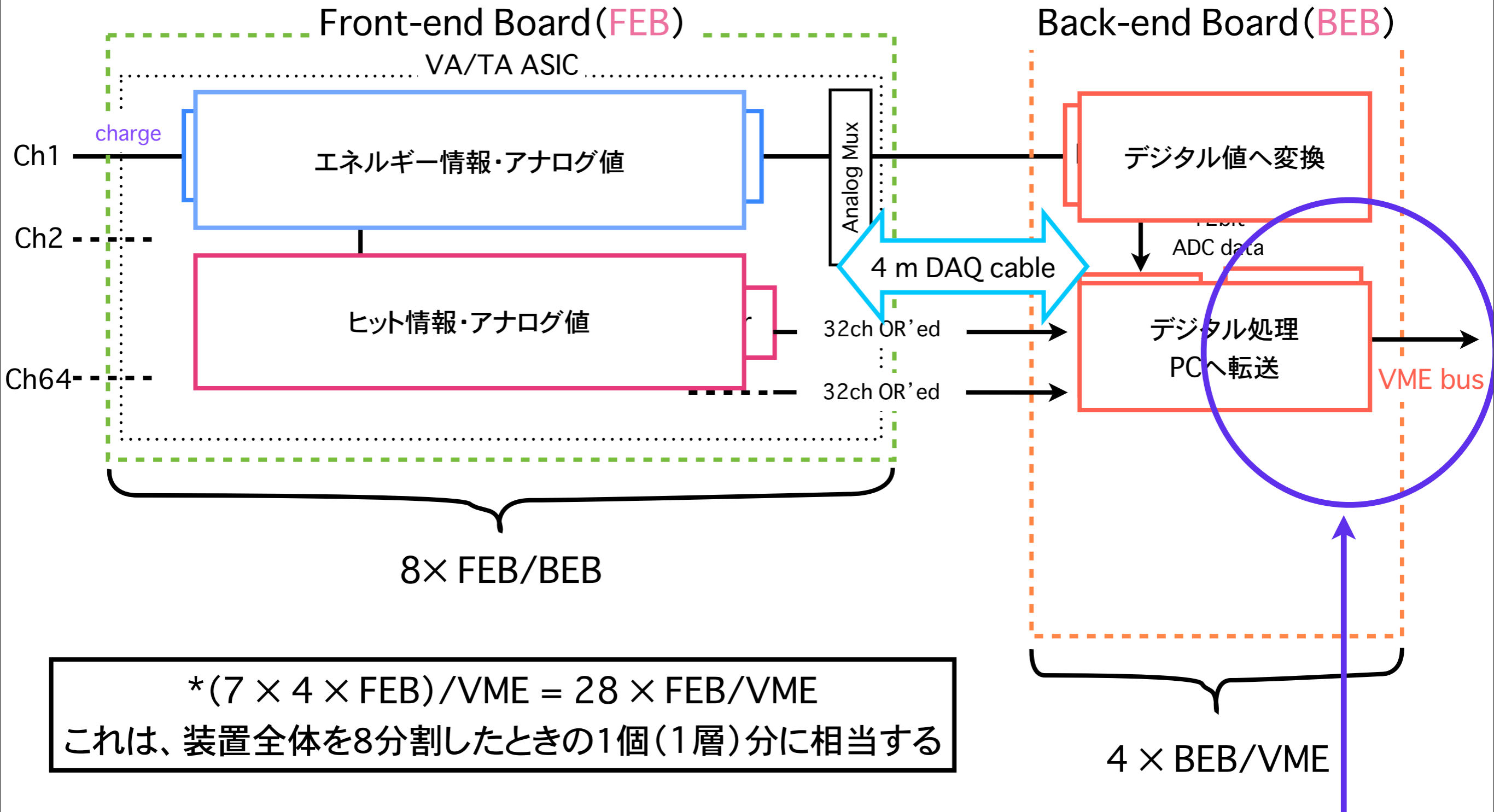


- 1イベント読み出しごとに、読み出しノイズが発生する(~1 msec/event)
- 読み出すべき特定のBEBのヒット信号を伝送する全ラインにノイズがのる
 - 真のトリガーレートを知ることができない
 - 中性子に対するアンチ信号もその影響を受ける(アンチデッド)
 - トリガー回路の複雑化

* 読み出し回路のブロック図

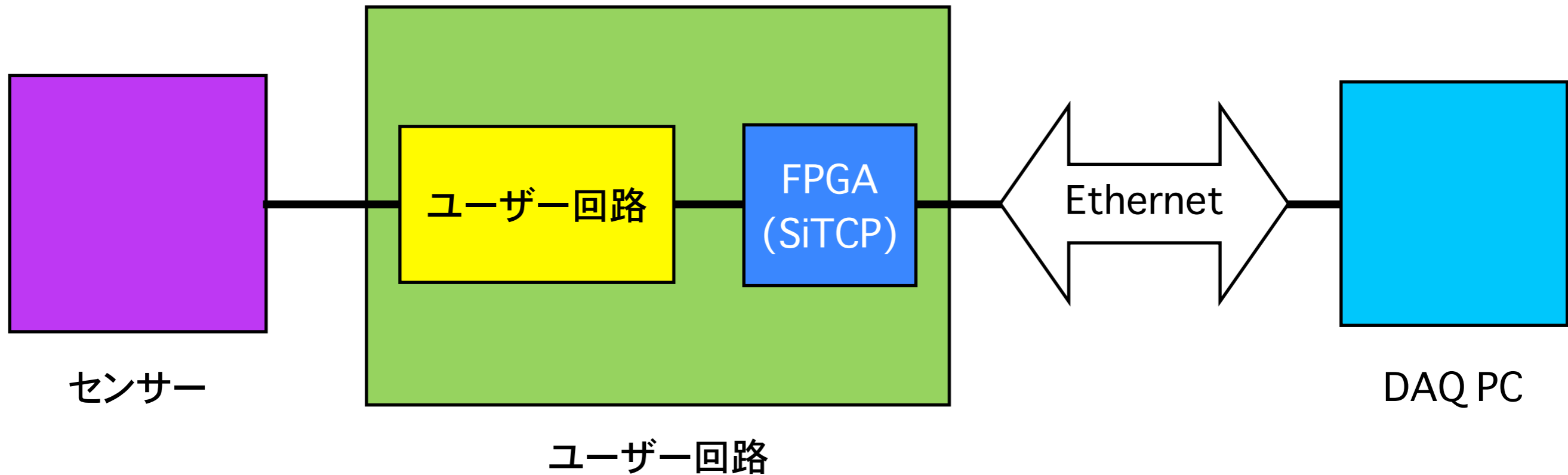


* 読み出し回路のブロック図



~1 kHz/BEBに制限されているので、ここをEthernet LAN式に置き換える!

＊ SiTCPとは?⇒ **ハードウェアベースのネットワークプロセッサ**



- KEK内田さんによって開発されたオープンソースのライブラリ
- 特徴
 - TCP/IPによる高速データ通信 (100Mbps, 1Gbps)
 - 回路規模が小さくて済む (FPGAとEthernetチップとROM)
 - UDPによるスローコントロール、レジスタ書き換え

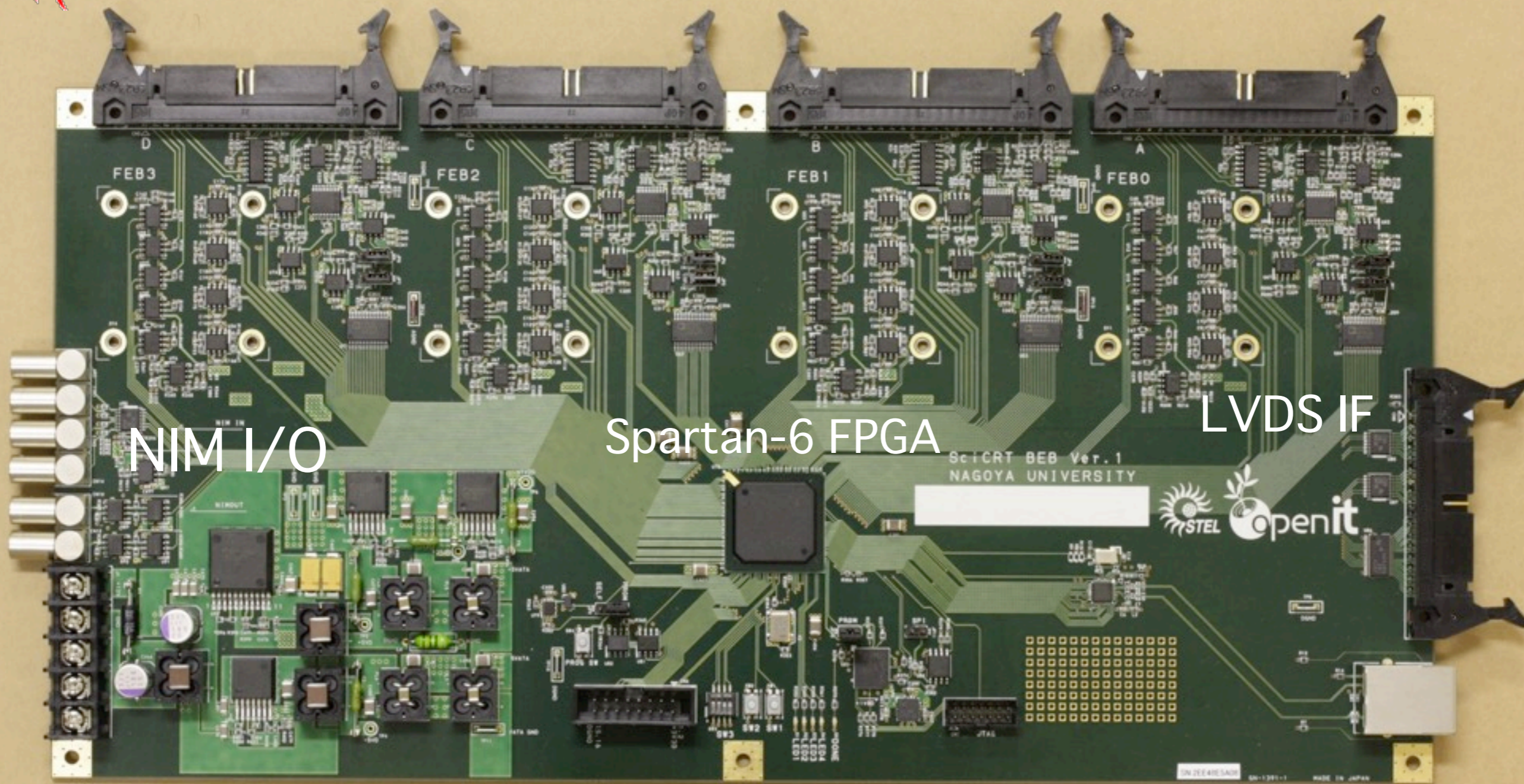
＊ 本番仕様のBEB開発の流れ

- 2013年7月頃:システム全体のアーキテクチャの構想
 - SciCRTグループ内と Open-It との話し合いを数回繰り返す
- 2013年10-12月:CADによる図面の設計
 - Cadence Inc. OrCAD capture を使用
- 2014年1月頃:配線パターンの作成
 - CAD図面からパターンの変換は、業者さんをお願いした
 - 最終的なチェックはこちらでやる → KEKへ
- 2014年3月頃:Ver1.0×2の製作
- 2014年4月以降:名古屋とメキシコ(10月～)で動作チェック
- 2014年11月頃:CADの修正とパターンの確認
- 2015年3月頃:Ver2.0×8の製作
- 2015年6月頃:実機へインストール(ミューオン層と中性子SB3)
- 追加で2枚(生基板)をデバッグ兼予備用に製作中

* アーキテクチャの検討

- 高山(4,600 m)は気圧が低い。長い年月を安定して動作してほしい。廃熱が問題。
 - 発熱量としても、100Mbpsが適当
 - 温度センサーモニター
 - ボード全体へのファンを取り付け
- 宇宙線シングルイベント(SEU)への対策
 - 定期的に再コンフィギュレーション
- FEBいくつ対応させるか? GbE or 100Mbps?
 - 計算すると、100Mbpsで4FEB対応で十分
- VMEをやめて、どこにボードを付けるか?
 - 波形のなまりも改善するので、検出器へ直づけする

FEBインターフェース(4FEB対応)



NIM I/O

Spartan-6 FPGA

LVDS IF

供給電源

(12V → ±5V)

温度センサー、

コンフィギュレーションメモリー等

Ethernet

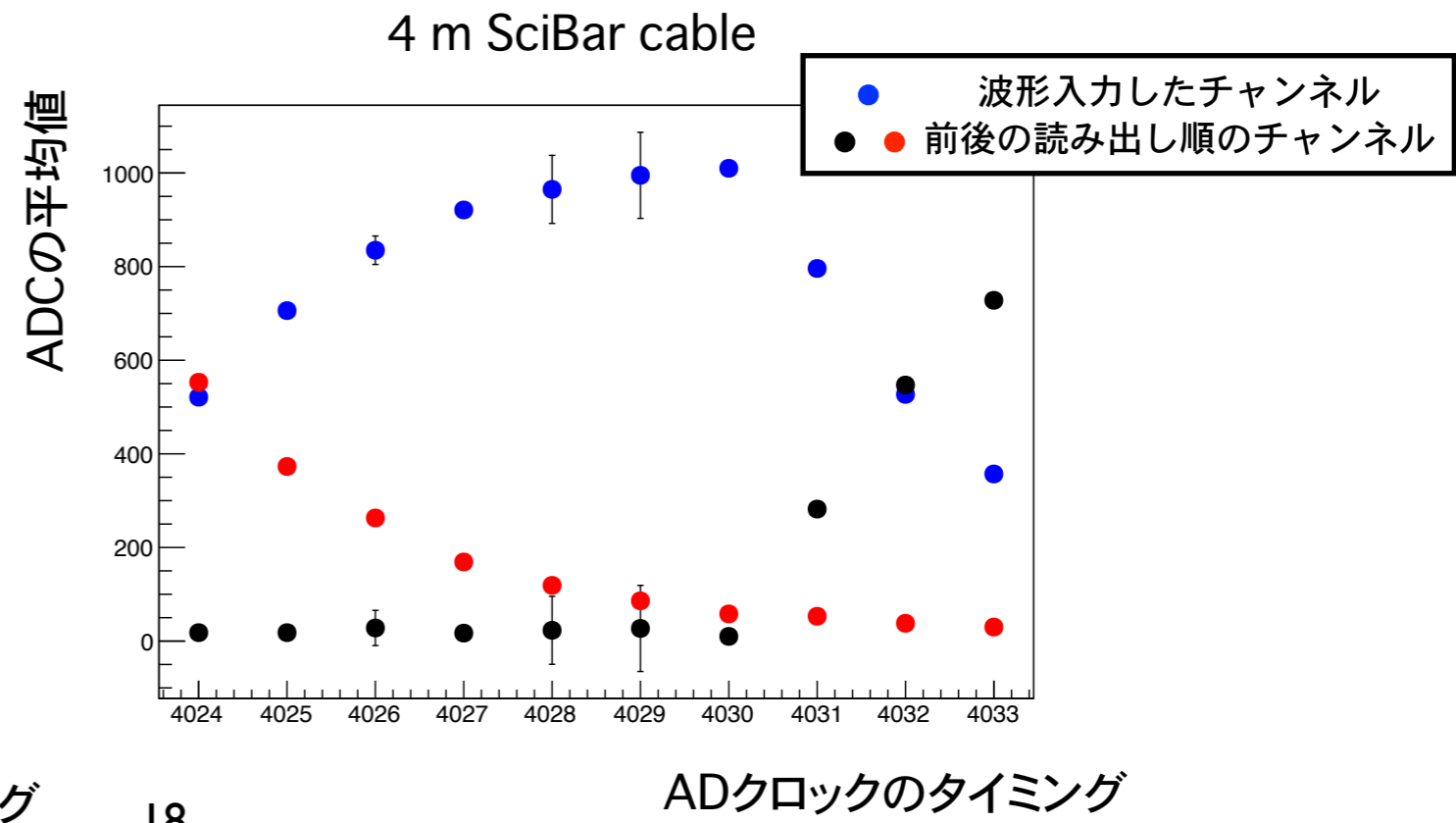
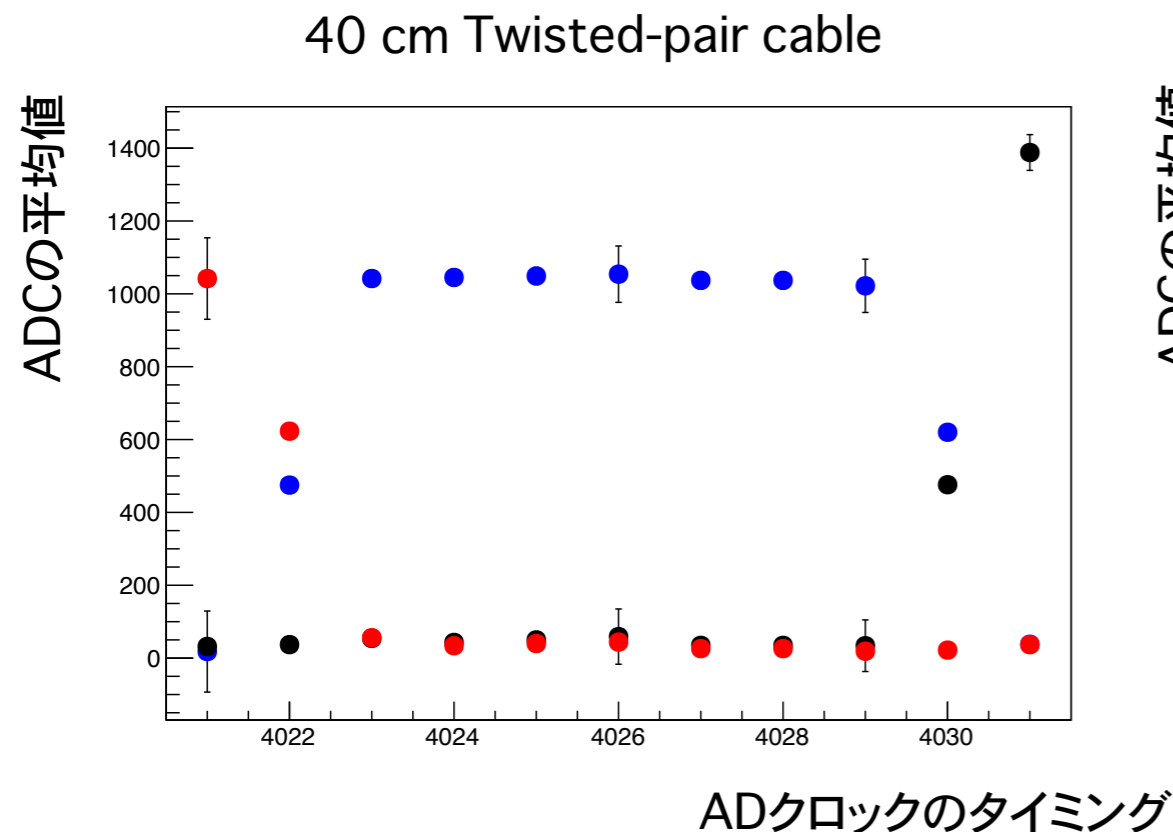
(TCP/IP, UDP, オートコンフィギュレーション)

* Ver1.0の動作確認時の体験談

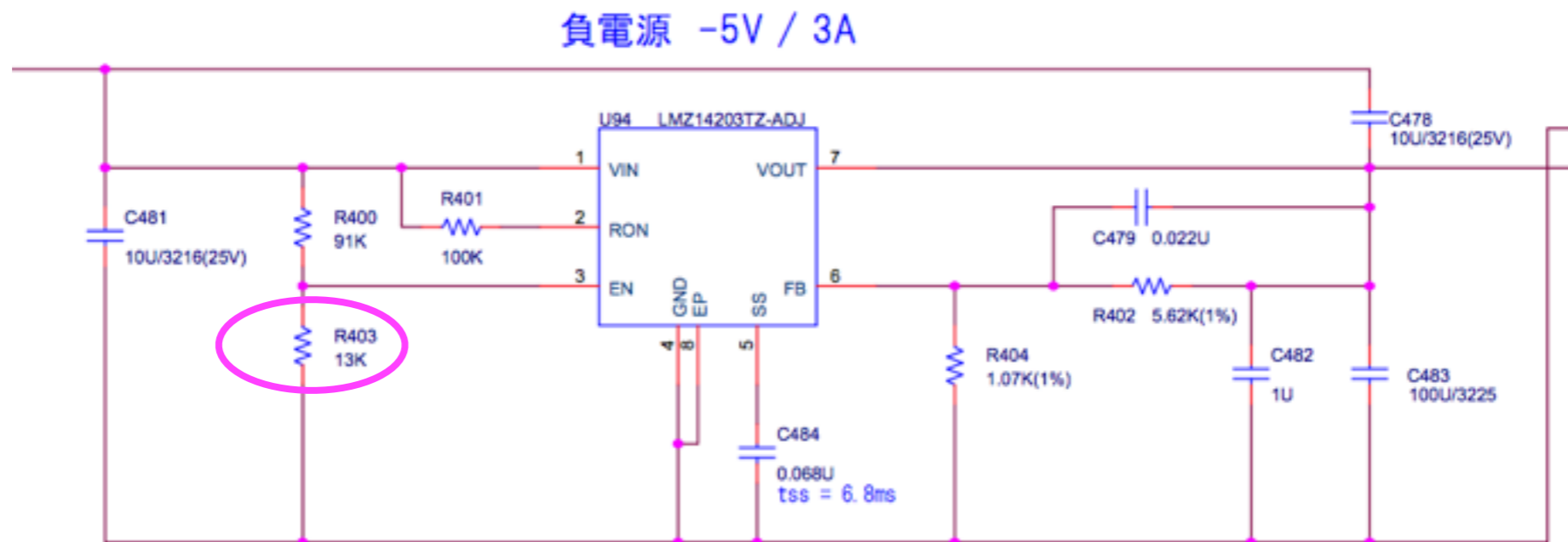
- SiTCP(100Mbps)のリンクが上がらないことがあった
- JTAGコンフィギュレーション終了後、最短で7分~1時間待ってもリンクが上がらない。
- 内田さんに相談。(LANデバイスの動作チェック、ハブを変えてみる)
- 違うハブに変えたところ、安定して7分でリンクが上がる。おかしい。
- KEKでデバッグする。
- Ethernetチップから出力されるFPGAの入力信号の1つが、ソフトであるISEによって消されていた。
- LEDへ信号をoutput。即リンクが上がる。
- Unused pinをpull upに設定しておく。
- Open-Itのホームページ上のTipsに投稿しておく。

* Ver1.0の結果から

- 基礎性能評価(ノイズ測定、リニアリティー測定、クロストークなど)
 - 特に問題なし。SciBarと同程度の結果が出ている。
- 基板の変更点
 - 大きな変更は特になし。テストピンのAGNDが浮いていたぐらい。
- ボードの設置場所
 - SBに直付けせずに、暗幕の外に出して、4 mのケーブルを使用する。
 - 波形のサンプリングをして、ADC最大になる点を測定しておけば問題なし。

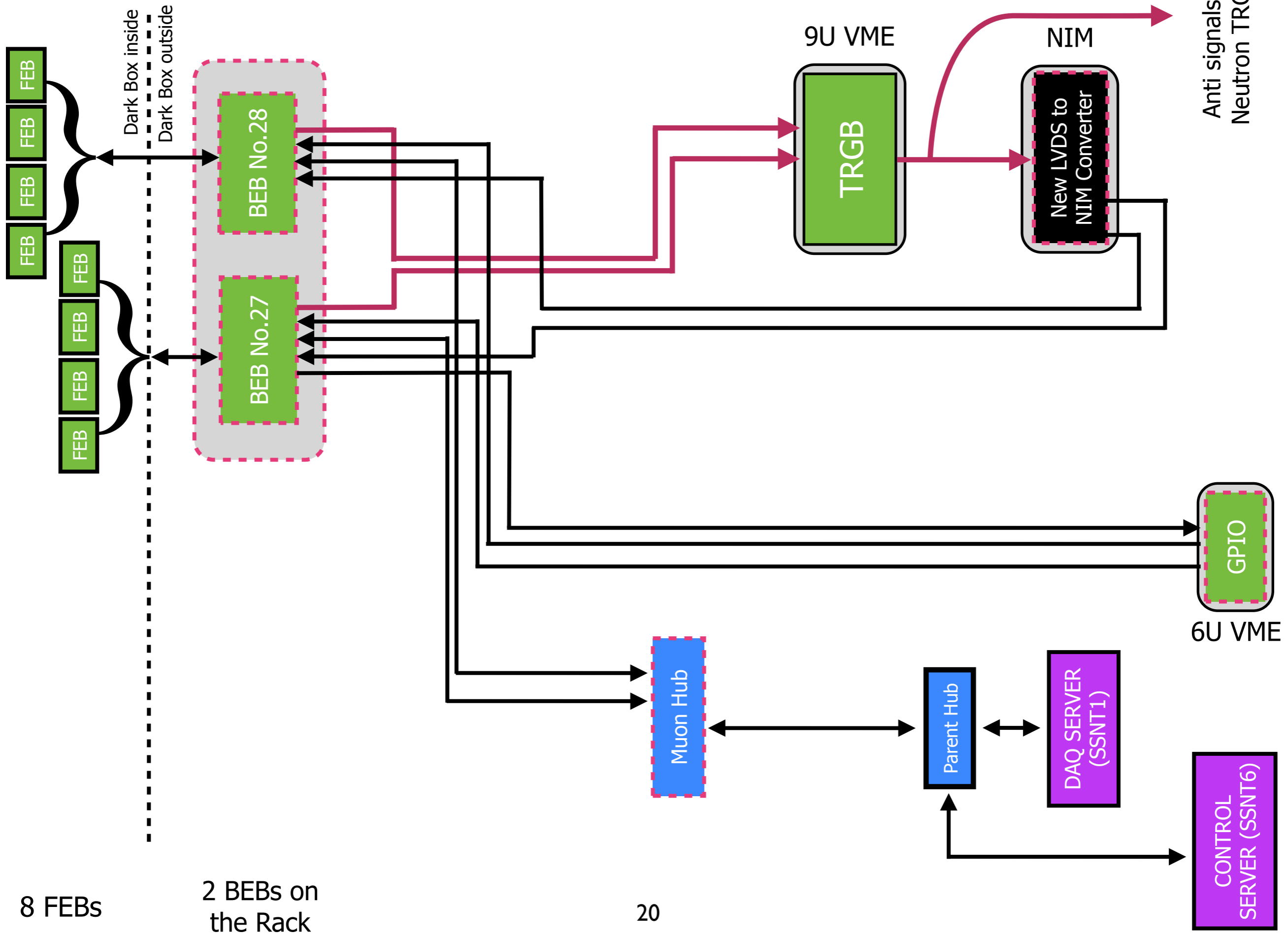


* Ver2.0の動作確認時の体験談



- 製作した8枚中4枚で、基板上のスイッチングレギュレーターから-5Vが出力されなかった(約+0.7V)
- 業者さんへ送り返して、再検査してもらう(スイッチングレギュレーター交換、ハンダ検査等)
- 結局は、スイッチングレギュレーターのEN端子への供給電圧が低いためだった
- ただし、データシートの閾値は1.18Vに対し、設計値は2.125Vなので動くはずが、不具合が生じている
- マイナス出力のアプリケーションとして使用しているため?
- 解決策: EN端子にかける分圧抵抗比を変更する(>2.43Vで安定)

* Setup for new DAQ System on Muon (Final ver)

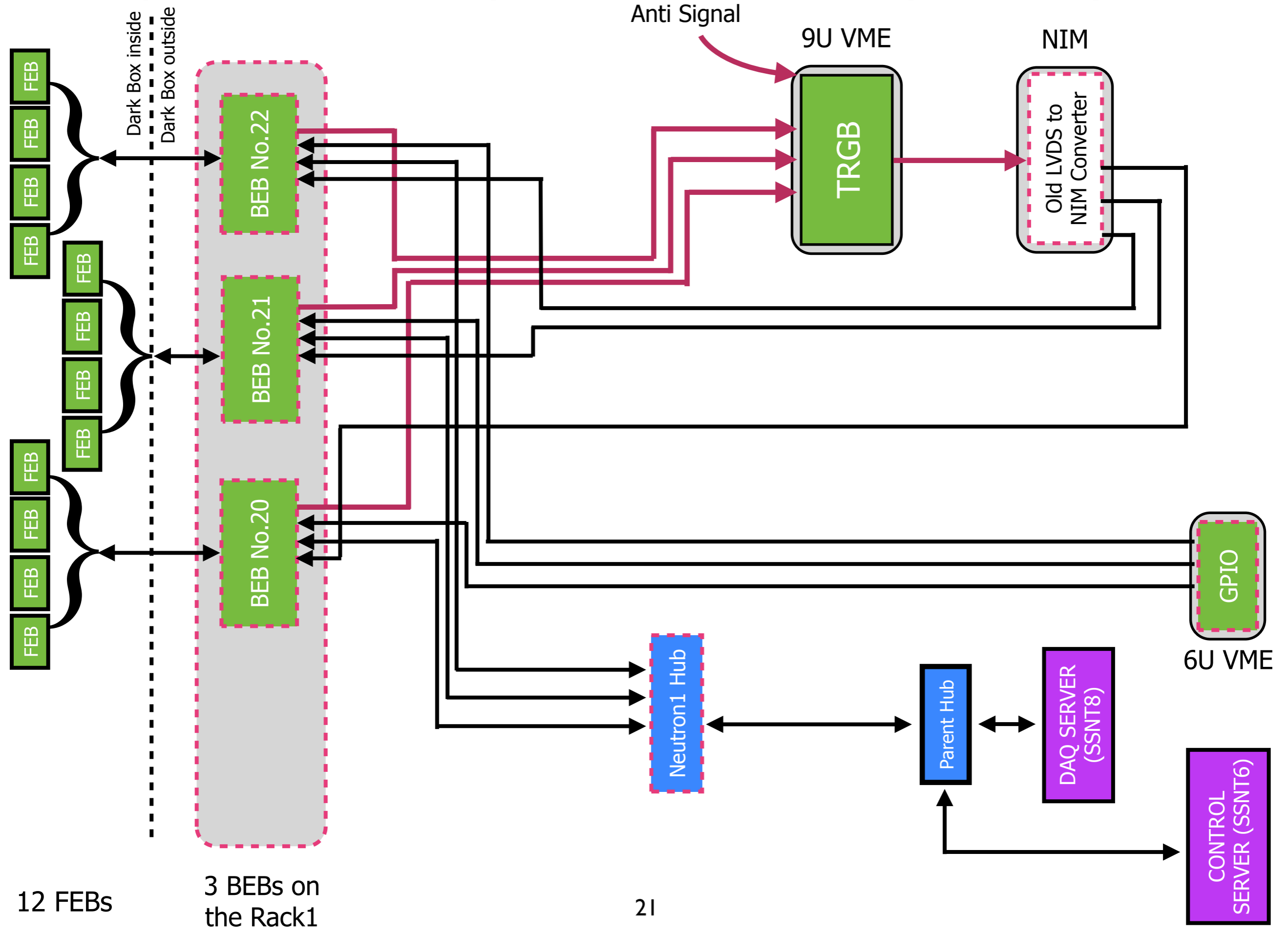


8 FEBs

2 BEBs on the Rack

20

* Setup for new DAQ System on Neutron1 (Final ver)



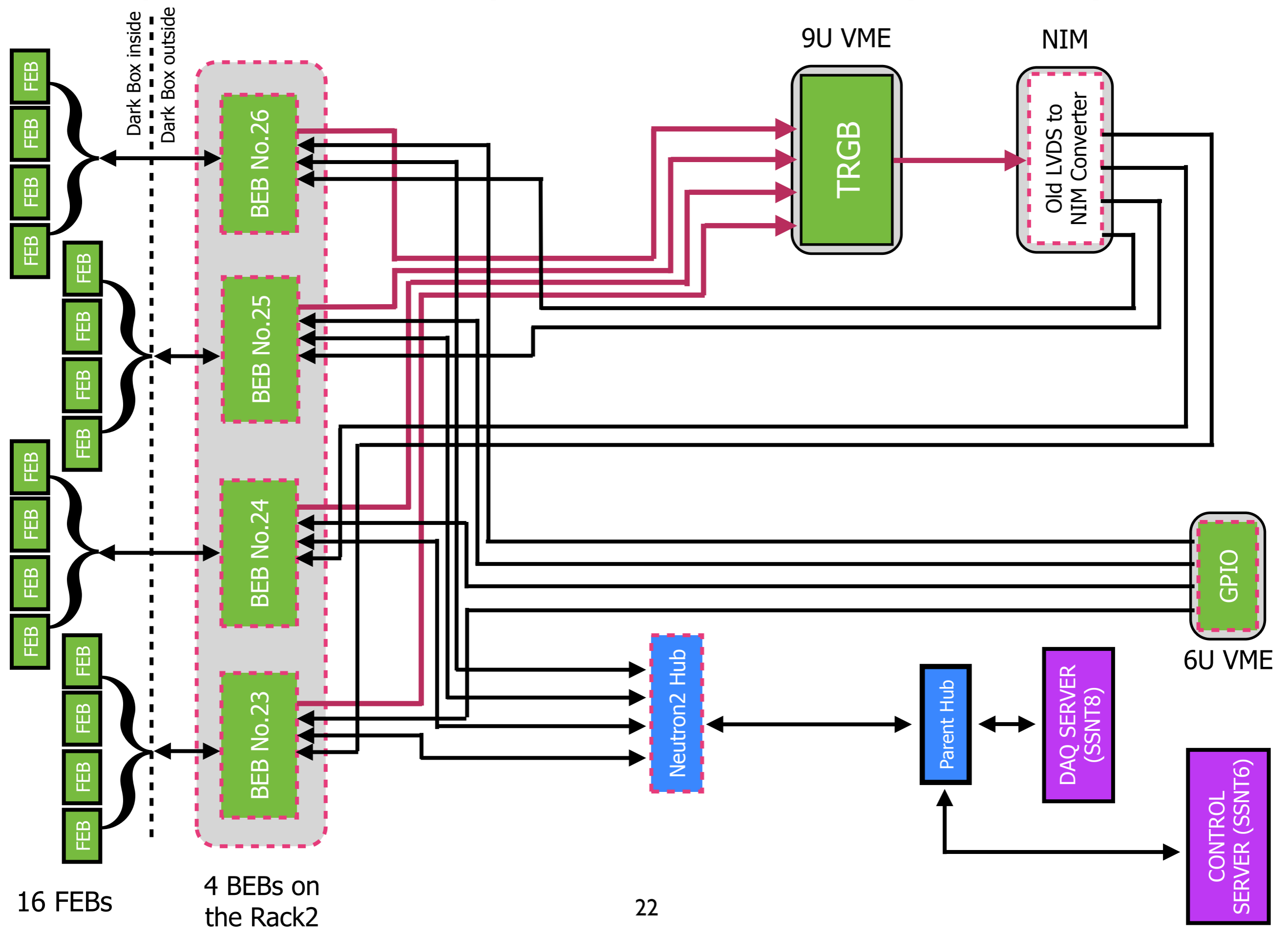
12 FEBs

3 BEBs on the Rack1

21

6U VME

* Setup for new DAQ System on Neutron2 (Final ver)



* 今後やるべきこと

- 最低限、ミュオン層とSB3で定常的にデータ収集している
- まだ、現状から改善すべき点や将来的に改善したい点はある
- ヒットパターンを取得して、FEBごとのデータサプレッションする
 - IOが足りないので、Serializeする、VME I/Fを使う、TRGBごと新たに作るなど
- 複数のボードがHUBを介して接続されているときに、Auto Config失敗する
- FEBのVA/TA ASICの故障が多い(開発から10年以上経っている)
- ASICは高い。実装も簡単ではない?長期で使うのに向いていない?
- FEB+BEBのインテグレーションの可能性
- DAQ Serverの強化(VMEシステムからの解放)
- Web上でのSemi-Real Time Monitor System

* まとめ

- SciCRTのための高速読み出し用BEBを新たに開発した
- 読み出し方式を、VME busから100Mbps/SiTCPへ変更
- 2013年7月頃から開発の検討を始め、試作版としてVer1.0を、量産版としてVer2.0を開発した
- 2015年6-7月にMuonとSB3へインストール完了した
- 今後は、ヒットパターンの取得によるデータサプレスやソフトウェアの強化などに取り組む(製作中のボードが届いたら)