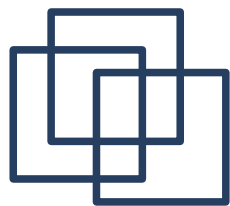


# T2K-Side Muon Range Detector とその現状

特定領域『フレーバー物理の新展開』  
神戸大学大学院理学研究科  
矢野孝臣



# Contents

T2K

---

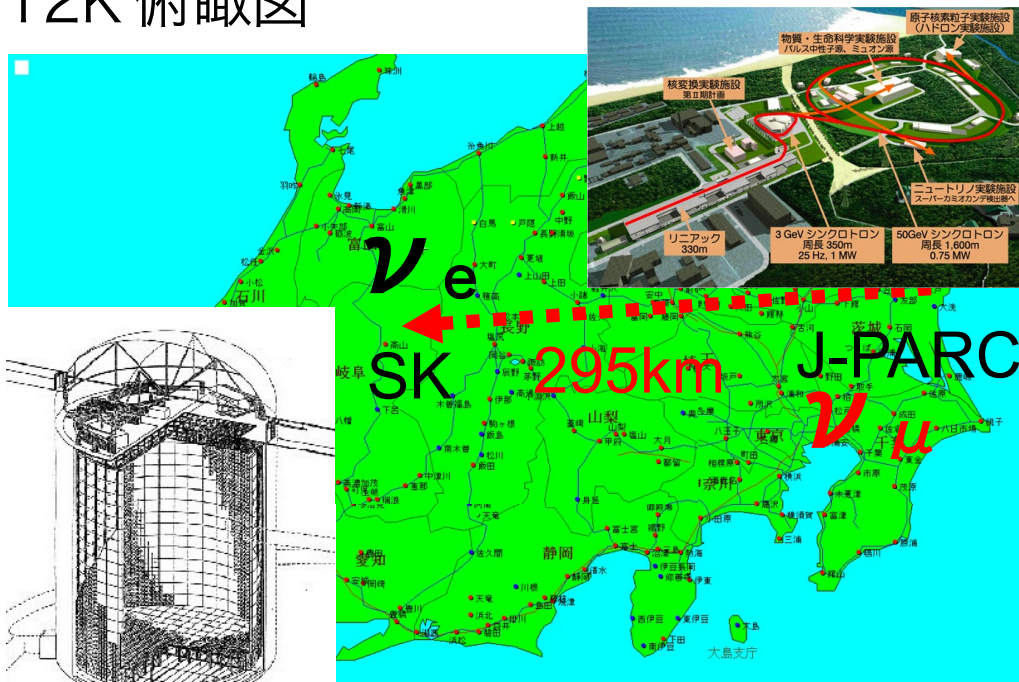
- T2K 実験とは
  - ND280 Detector
    - Side Muon Range Detector
- Cosmic/Beam events in ND280/SMRD
  - まとめ



# T2K 実験とは

# T2K

## T2K 俯瞰図



**Tokai-to-Kamioka Experiment**  
 295Km 長基線ニュートリノ振動実験

## 実験施設・検出器

ビーム源 : J-PARC 50GeV PS  
 (初期 30GeV)

前置検出器 : MUMON, ND280

後置検出器 : Super Kamiokande

## T2K 実験の目的

1.  $\nu_e$  appearance の探索

$\theta_{13}$  の測定 ( $\delta \sin^2 2\theta_{13} \sim 0.01$ )

$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_e) = s_{23}^2 \sin^2 2\theta_{13} \sin^2(1.267 \Delta m_{23}^2 L/E)$$

2.  $\nu_\mu$  disappearance の精密測定

$\theta_{23}$ ,  $\Delta m_{23}^2$  の測定

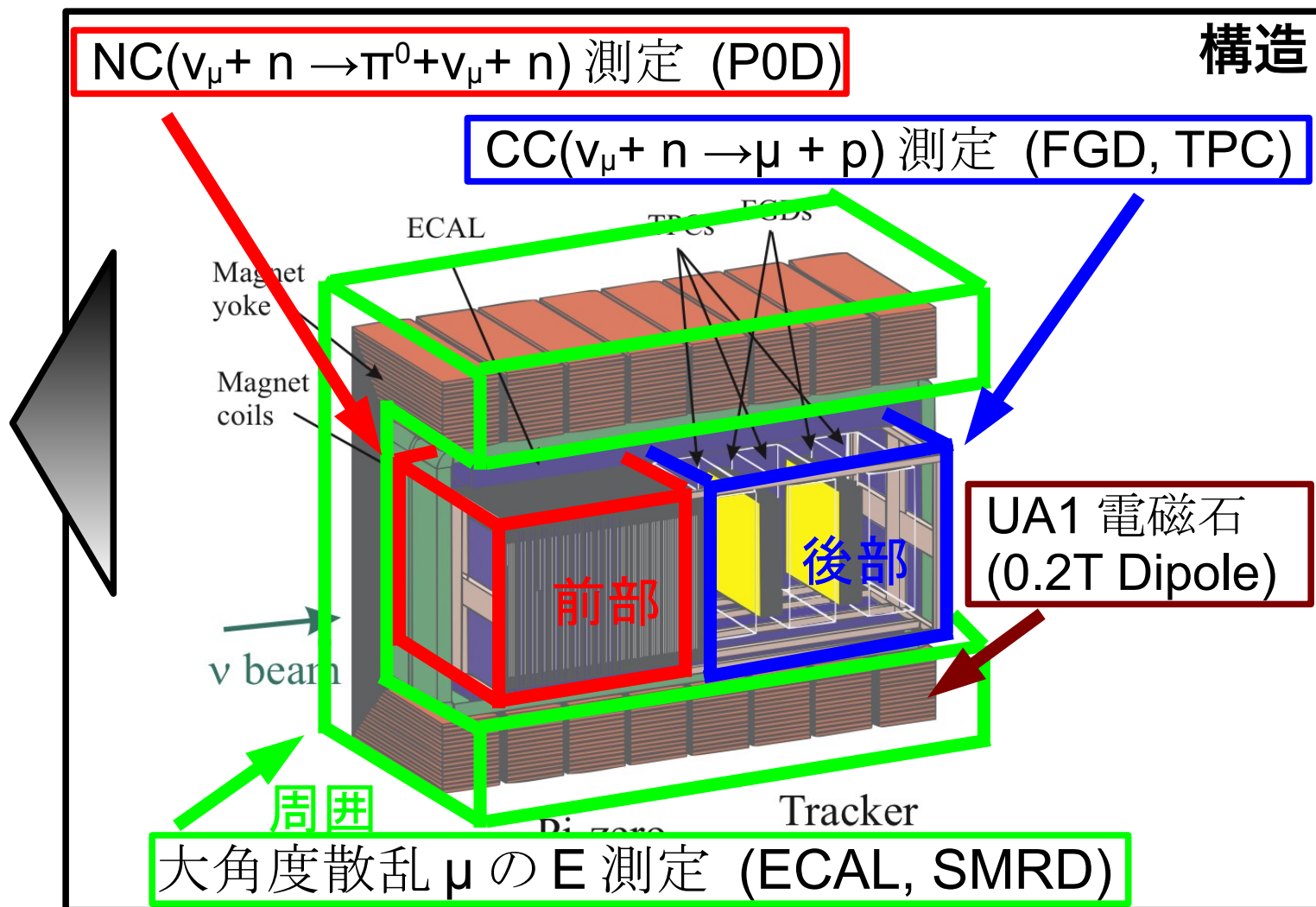
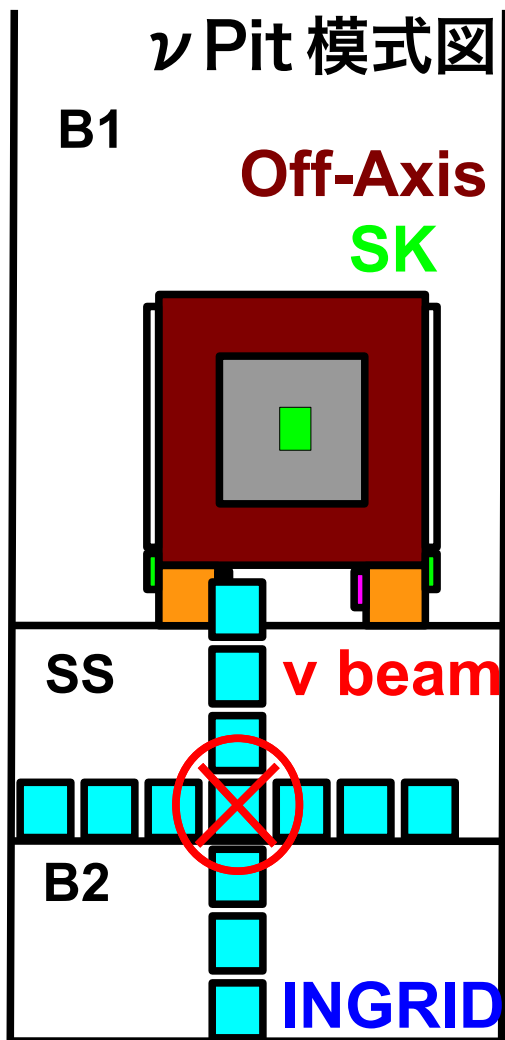
( $\delta \sin^2 \theta_{23} \sim 0.01$ ,  $\delta(\Delta m_{23}^2) \sim 10^{-4} \text{eV}^2$ )

$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau) = \sin^2 2\theta_{23} \sin^2(1.267 \Delta m_{23}^2 L/E)$$



# ND280 Off-Axis 検出器 T2K

目的: SK 方向  $\nu$  ビームの E, フラックス, フレーバー測定



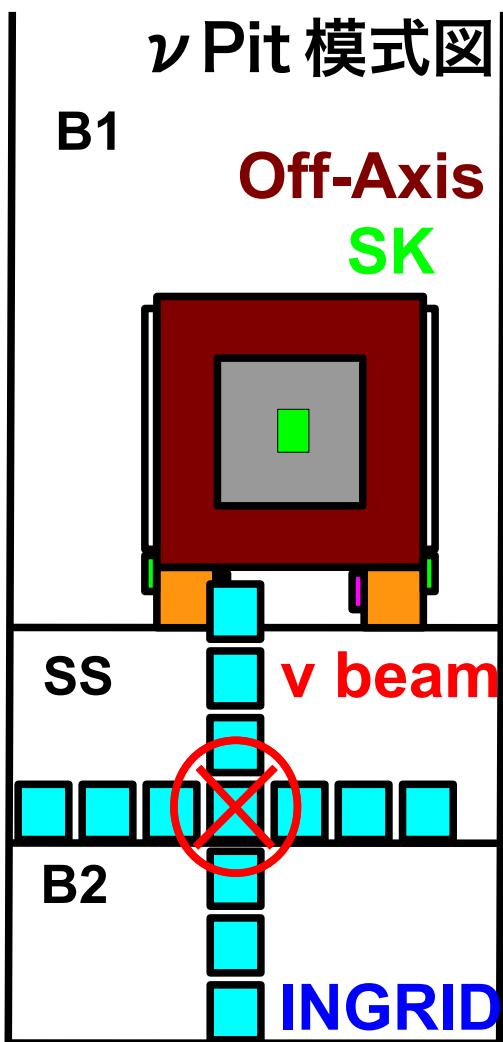




# ND28

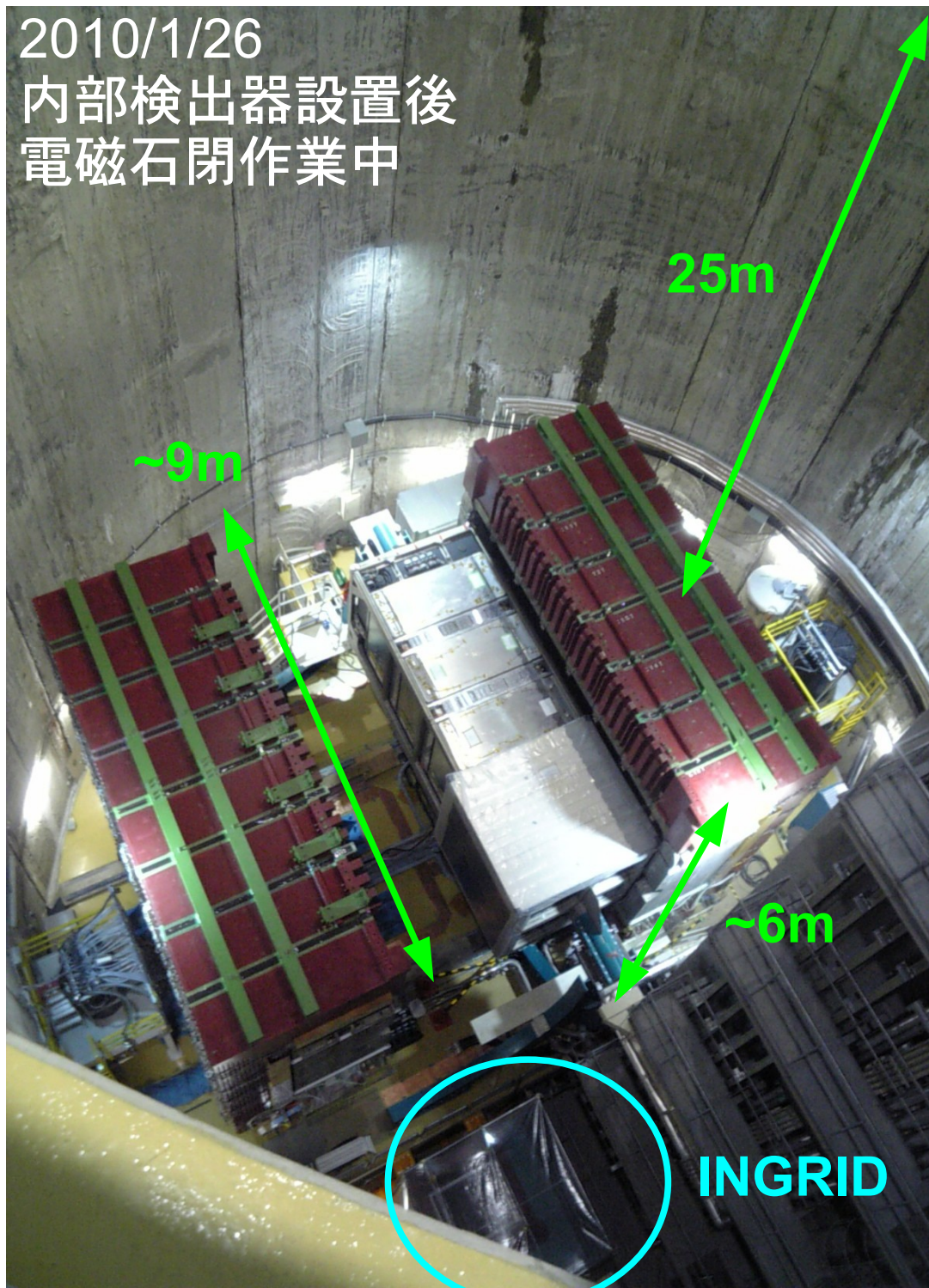
目的: SK 方向

$\nu$  Pit 模式図



Takatomi Yano

2010/1/26  
 内部検出器設置後  
 電磁石閉作業中



# 2K

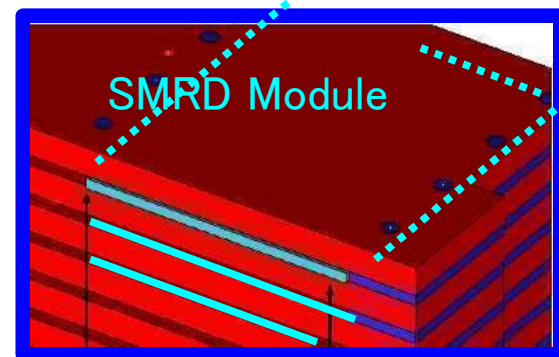
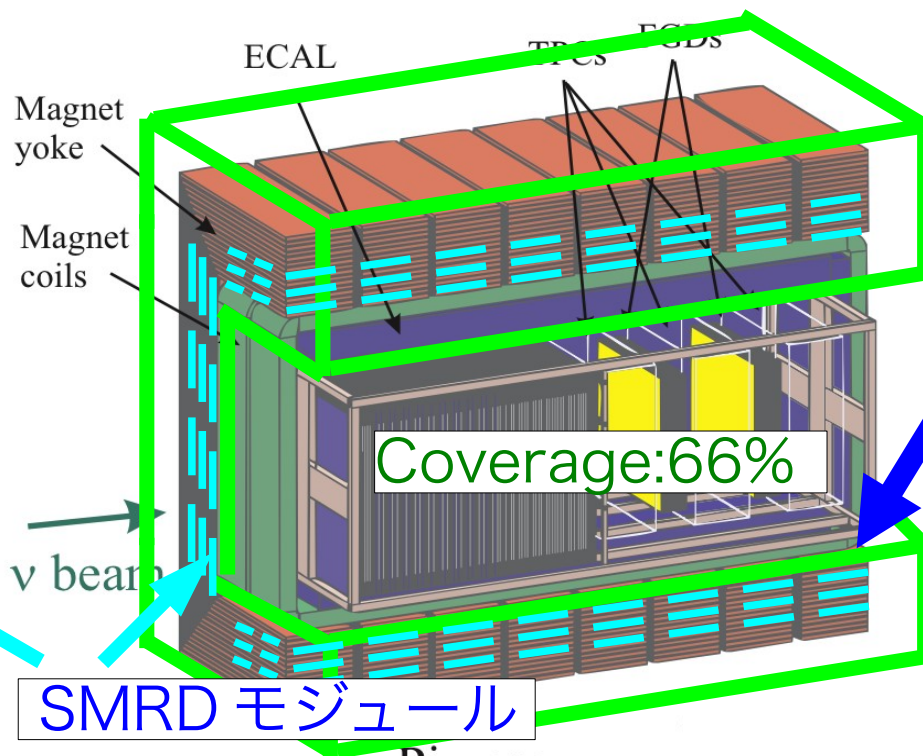
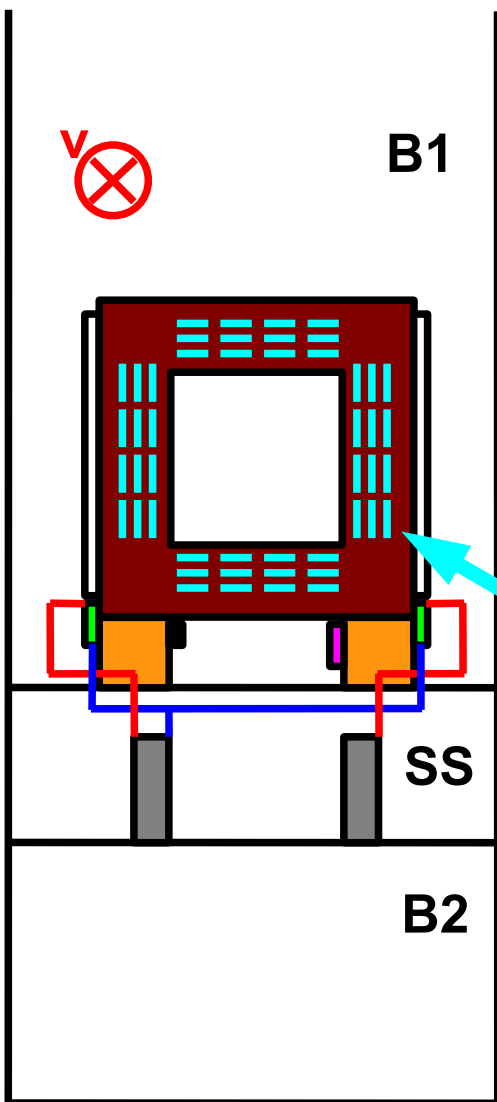
構造

D, TPC)

電磁石  
(Dipole)



# Side Muon Range Detector T2K



3~6層構造  
鉄: 4.8cm  
プラスチックシンチ: 0.7cm

## 目的

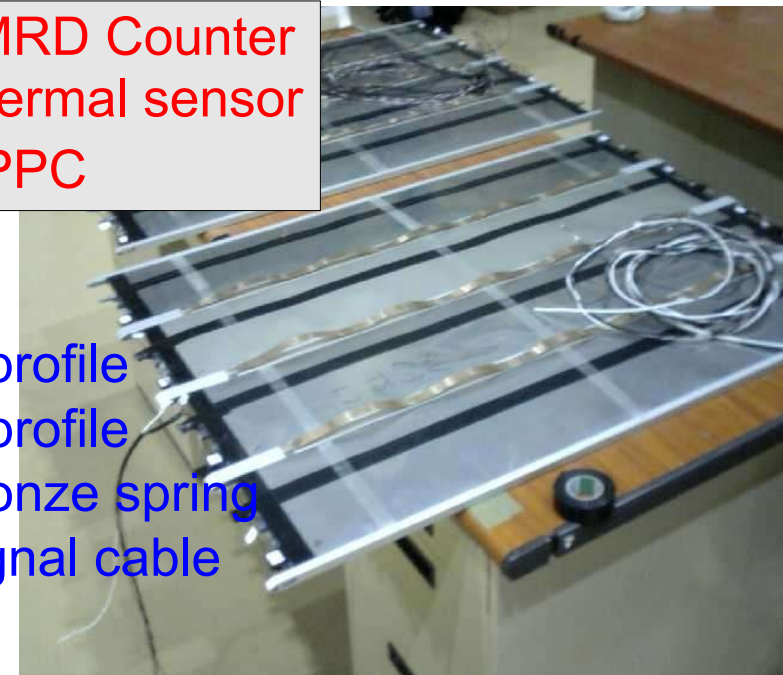
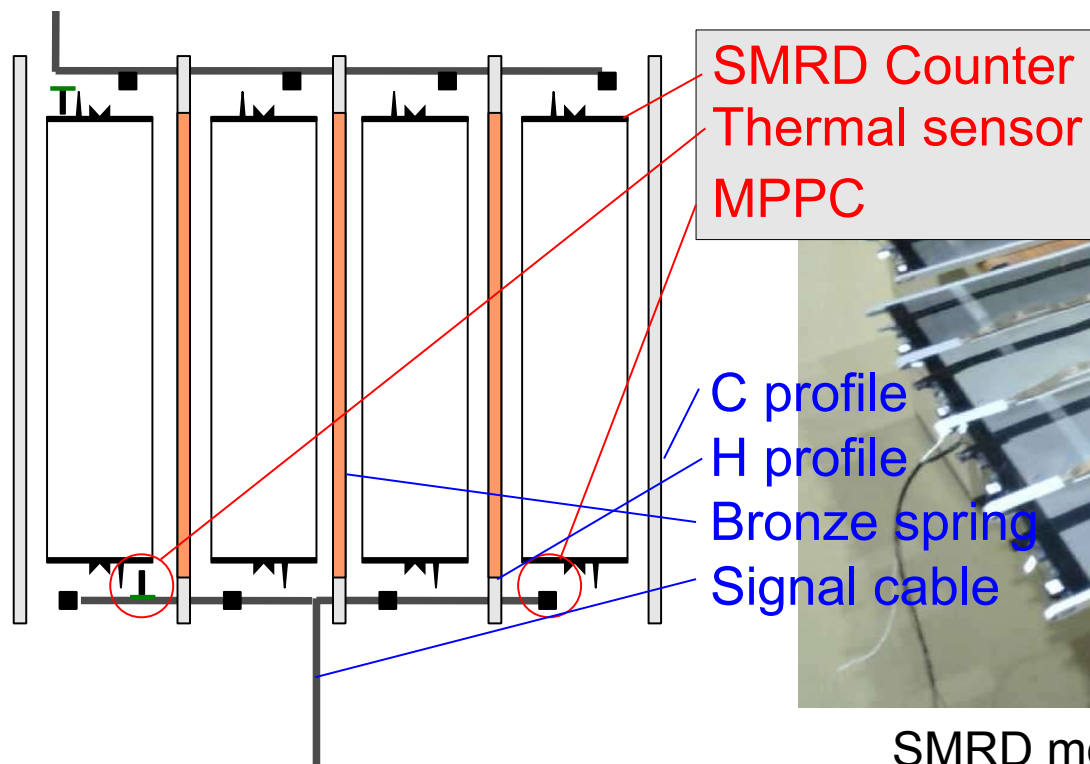
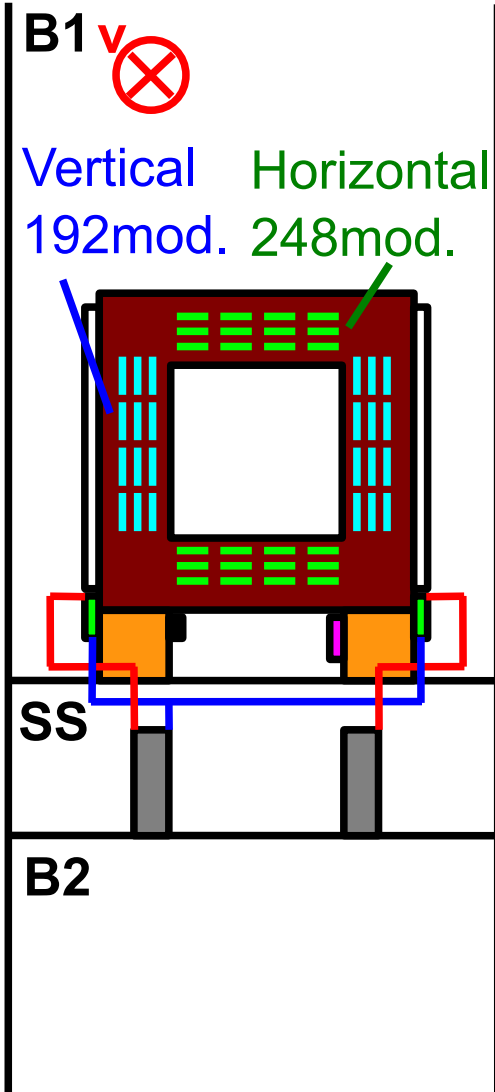
- ・  $\nu$  反応による大角度散乱  $\mu$  のエネルギー測定
- ・ 宇宙線トリガー → 内部検出器キャリブレーション
- ・ バックグラウンドイベント検出 (宇宙線等)

CC-QE 反応: 40%、CC-nQE: 15% の  $\mu$  が検出可。



# SMRD モジュール

T2K



SMRD modules (horizontal)

SMRD カウンター・MPPC・温度センサ等をモジュール化したもの。

→ インストール・メンテナンスの簡便化

Horizontal モジュール : 4 SMRD カウンター

Vertical モジュール : 5 SMRD カウンターから成る。

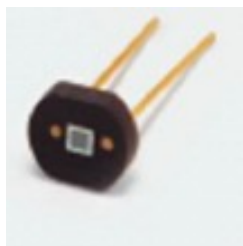




# SMRD モジュール

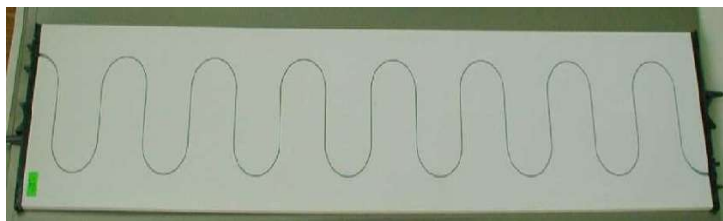
# T2K

## MPPC (Multi Pixel Photon Counter)

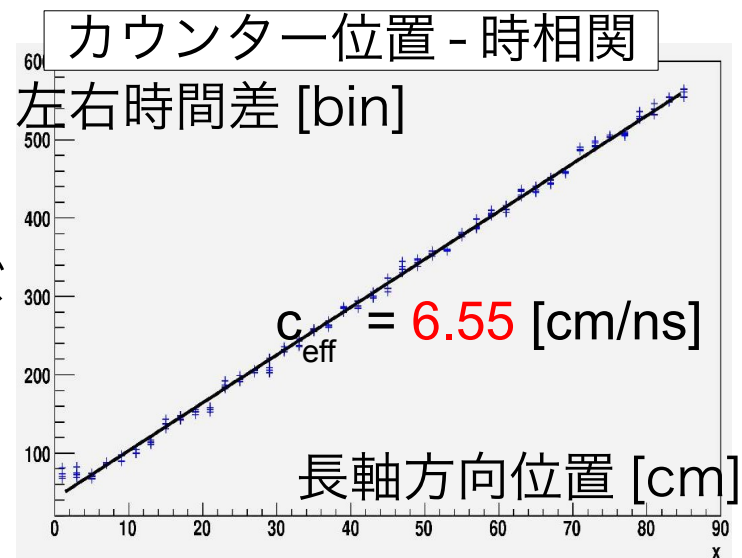
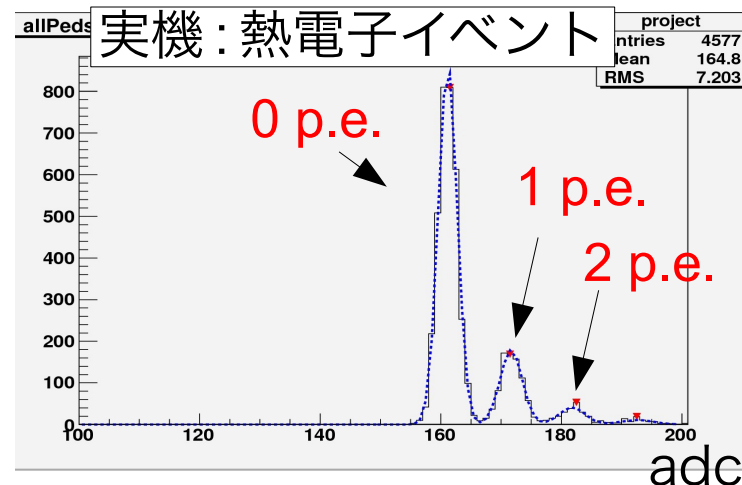


光電面:  $1.3 \times 1.3 \text{ mm}^2$  667pixel  
0.2T 磁場下で動作  
ゲイン:  $\sim 10^6$  (OV:  $\sim 1.5\text{V}$ )  
ノイズレート  $\sim 10^6 \text{ Hz}$   
4011/4016ch が正常動作中。

## SMRD カウンター



プラスチックシンチレータ +S字溝 +WLS ファイバ  
寸:  $870 \times 167 \times 7 \text{ mm}^3$  (Horizontal)  
 $870 \times 175 \times 7 \text{ mm}^3$  (Vertical)  
全面に渡り良い時間線形性 / 光量特性を持つ。  
(MPPC 読出時:  $>10 \text{ p.e.}$  Efficiency:  $>99\%$ )  
(Threshold:  $2.5 \text{ p.e.}$ )

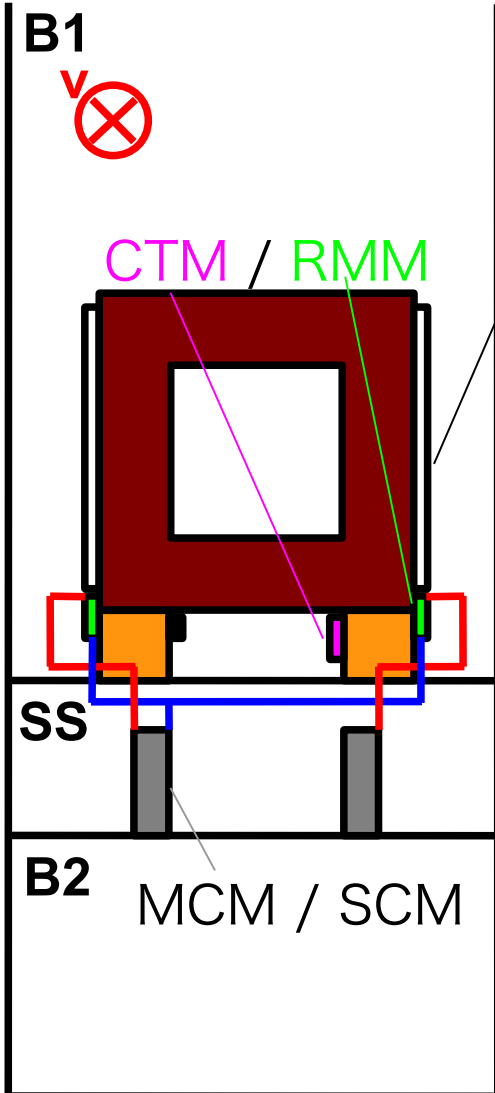




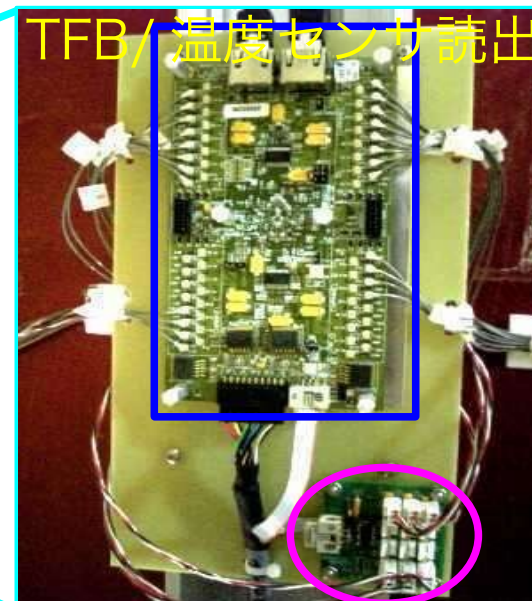


# SMRD 読み出しエレキ

# T2K



読出エレキマウント用レール



TFB/温度センサー読出

128 枚の Trip-T Front-end Board を UA1 磁石側面に設置。

– Trip-T Front-end Board(TFB):

- 64ch TDC (400MHz)
- 64ch Low/High-gain AMP + ADC

システム全体で Cosmic/Beam/Pedestal Trigger を持つ。

→ 以上のインストールが 2009/07 月に終了

2010/1/28 Magnet 閉・磁場コミッショニング開始

現在宇宙線・ビームを用いて検出器コミッショニング中。



# 宇宙線イベント（磁場なし）

# T2K

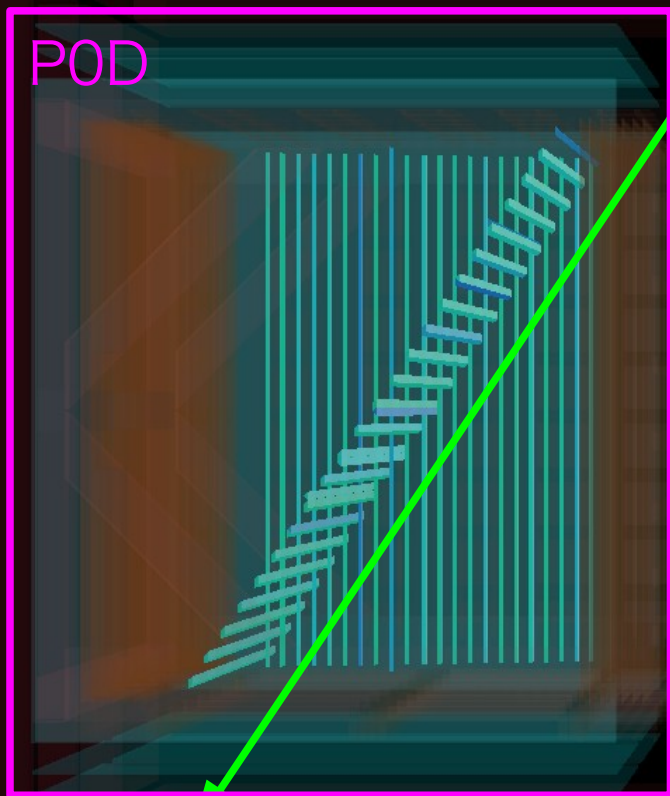
Event number : 3 | Partition : 51 | Run number : 2665 | Spill : 16312 | SubRun number : INVALID | Time : Tue 2010-02-09 18:06:49 JST

検出器側面図



SMRD

SMRD Triggered Event



POD

Cosmic Track



上面図



# 宇宙線イベント（磁場あり）

# T2K

Event number : 77 | Partition : INVALID | Run number : 2536 | Spill : INVALID | SubRun number : 0 | Time : Wed 2010-02-03 15:53:29 JST | Trigger : 128

検出器側面図

SMRD+DSECAL  
Triggered Event



SMRD

POD

FGD

Cosmic  
Track?

DSECAL

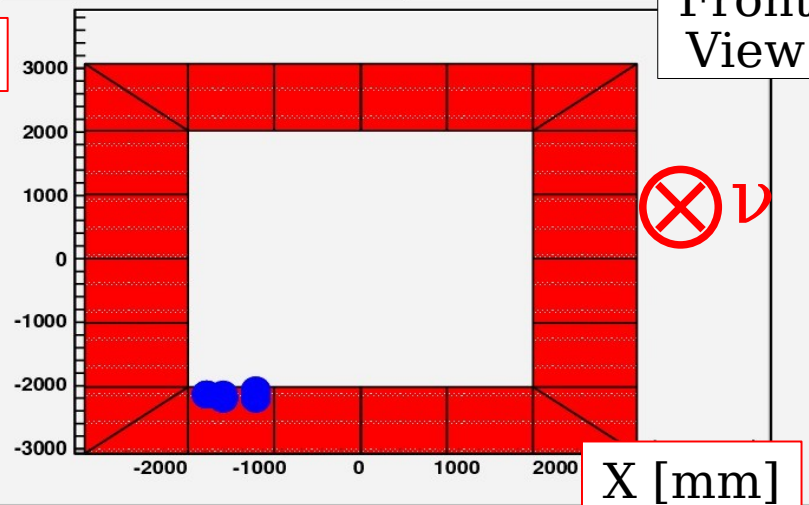


# SMRD

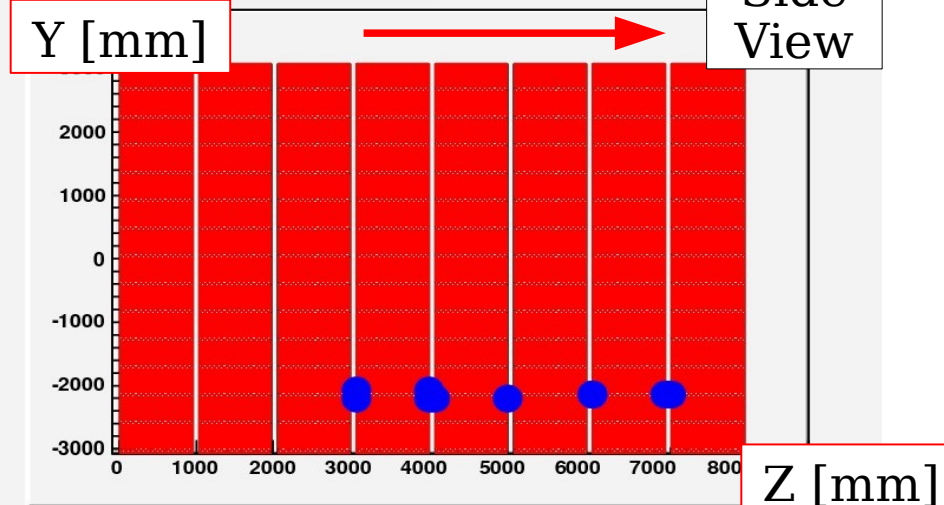
## 初ニュートリノイベント (09/12/19)

# T2K

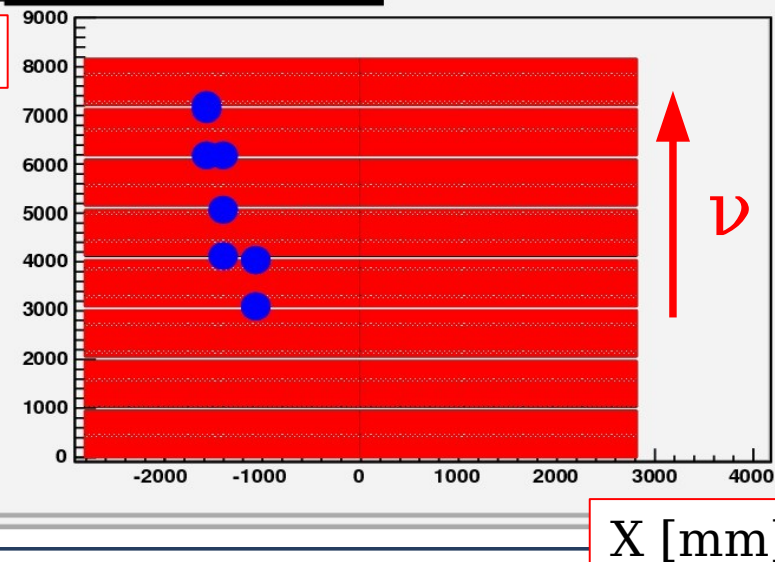
SMRD\_XY\_Plane-FrontView-



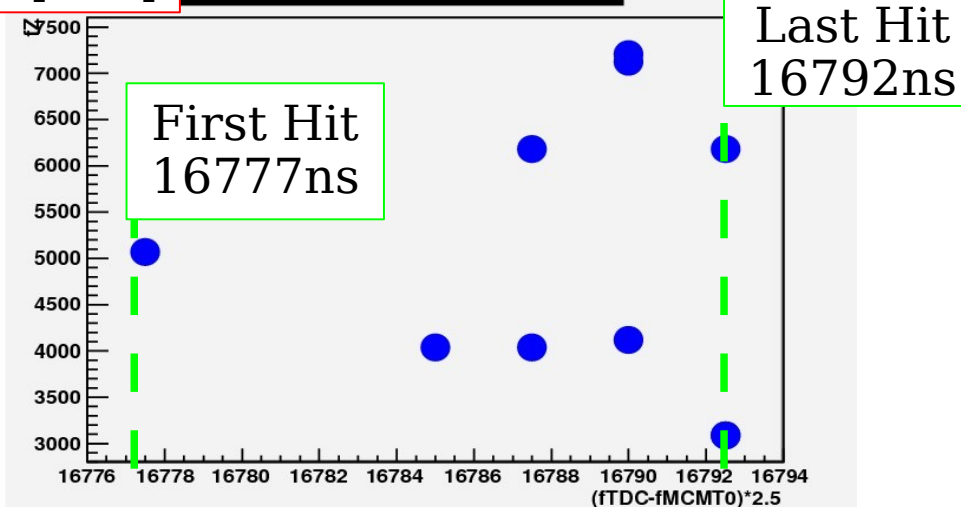
SMRD\_YZ\_Plane-SideView-



SMRD\_ZX\_Plane-TopView-



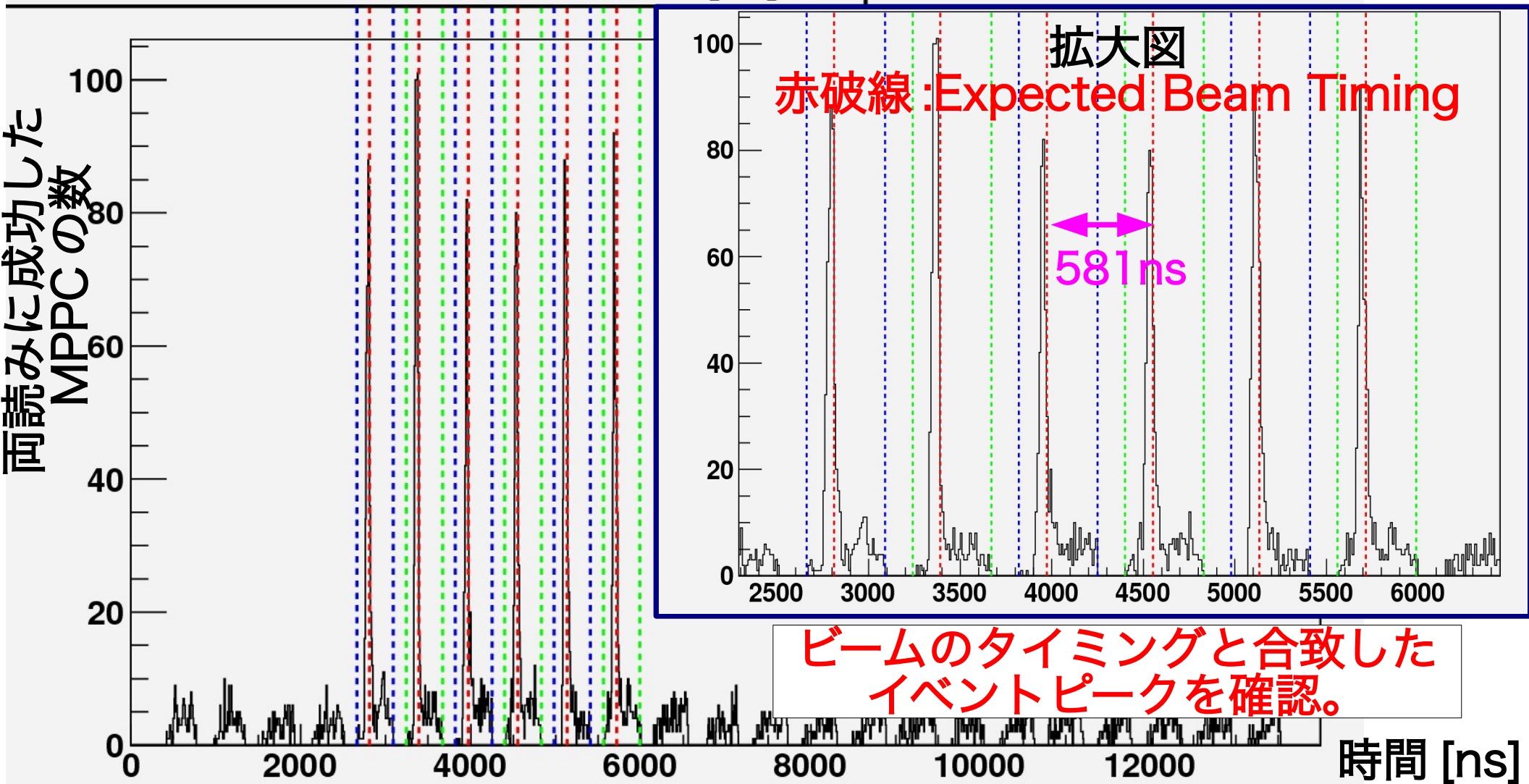
Z [mm] ((FTDC-fmCMT0<6720&&FTDC-fmCMT0>6640)&&FTDC0>0)







## MPPC Time Distribution in SMRD [ns]





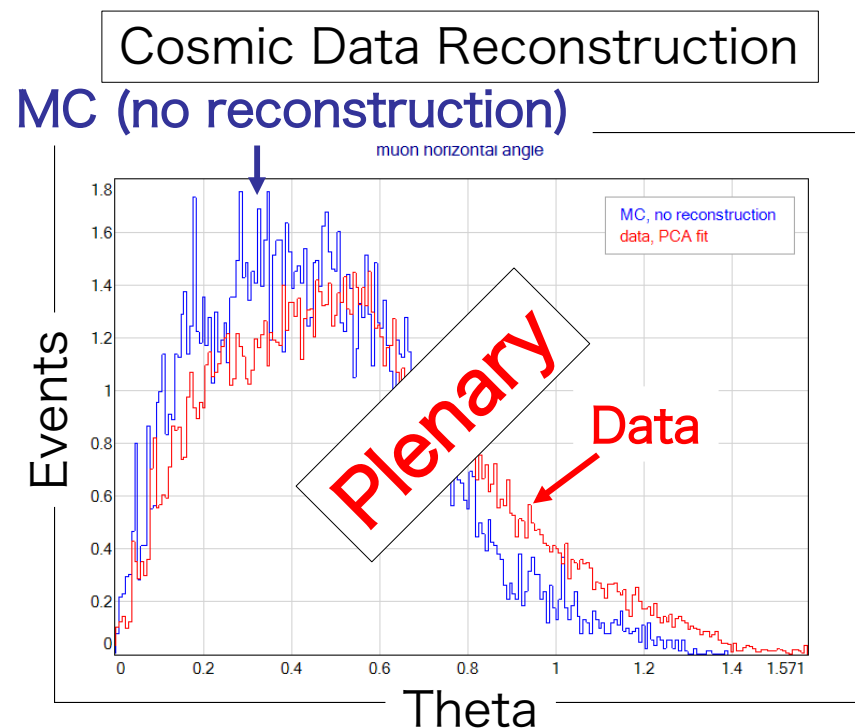
# まとめ

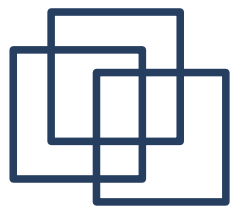
# T2K

- ・ 長基線ニュートリノ振動実験 T2K 実験の前置検出器、**Side Muon Range Detector** のインストールが ~2009/7 に行われた。
- ・ SMRD では 2009 年 12 月にニュートリノイベントが観測され、2010 年には **6 バンチのニュートリノビーム構造を確認した。**
- ・ 2010 年 1 月の閉電磁石作業後には **SMRD の宇宙線トリガーで、内部検出器での飛跡を確認した。**

今後：

- ・ 現在は今年度の物理ビームランに向け、各トリガーでのデータを用いてコミッショニング中である。
- ・ また解析用ソフトウェアも開発中である。
- ・ 内部検出器に宇宙線トリガーを供給し、協調したコミッショニング / 解析 / 動作を行っていく。



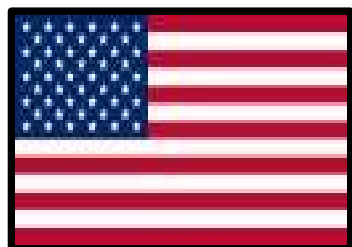


# Collaborators...

T2K



Japan : Kobe University



USA : Colorado State University,  
Louisiana State University,  
University of Pittsburgh,



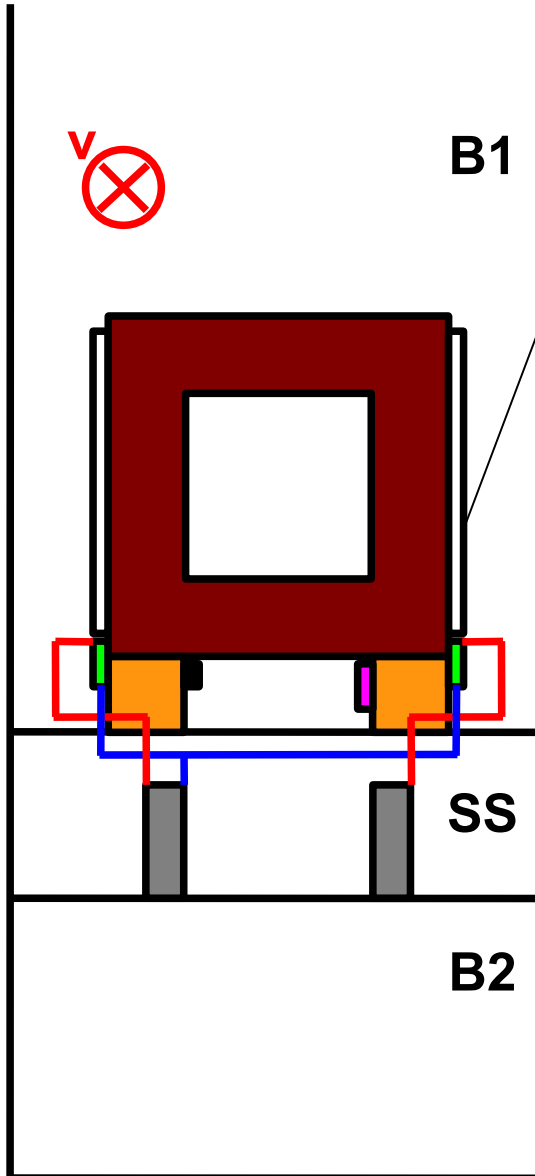
Russia : Institute for Nuclear Research RAS,



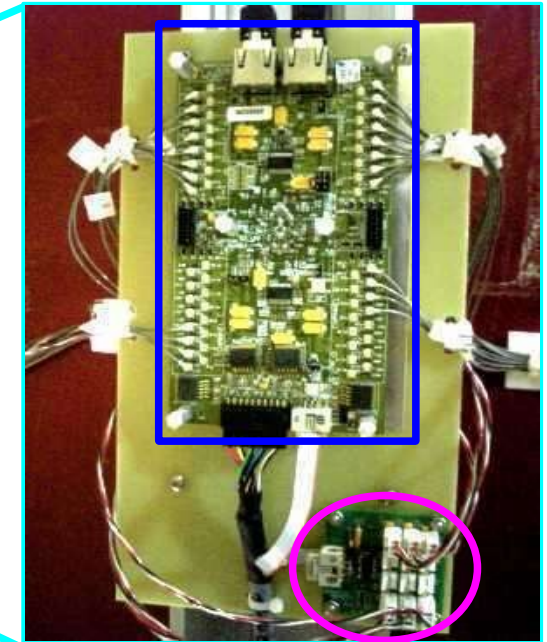
Poland : University of Silesia,  
H. Niewodniczanski Institute of Nuclear Physics PAN,  
A. Soltan Institute of Nuclear Studies,  
University of Warsaw,  
Warsaw University of Technology,  
Wroclaw University

# Electronics Installation

## - Trip-T Front-end Boards -



Electronics Mounting Rails



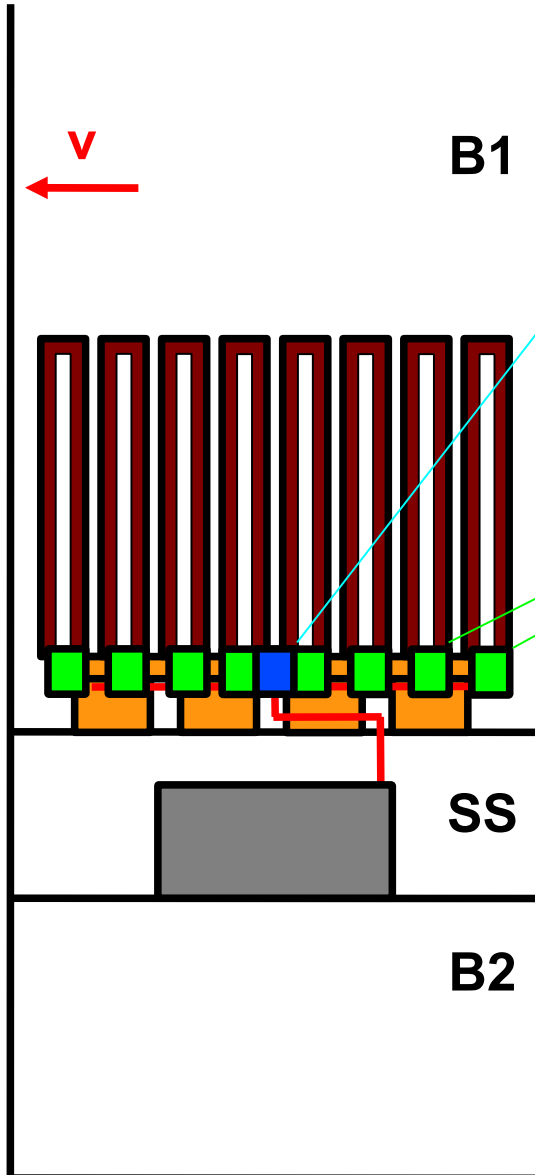
TFB and Temp. Readout

128 TFBs are installed on the electronics mounting rails which mounted the side of the UA1 magnet. 2008 MPPCs of the SMRD Modules and 440 temperature sensors are connected to TFBs. TFBs are protected with aluminum plates.



# Electronics Installation

## - Power Distribution Boards -



Primary Power Dist. Boards



Secondary Power Dist. Boards

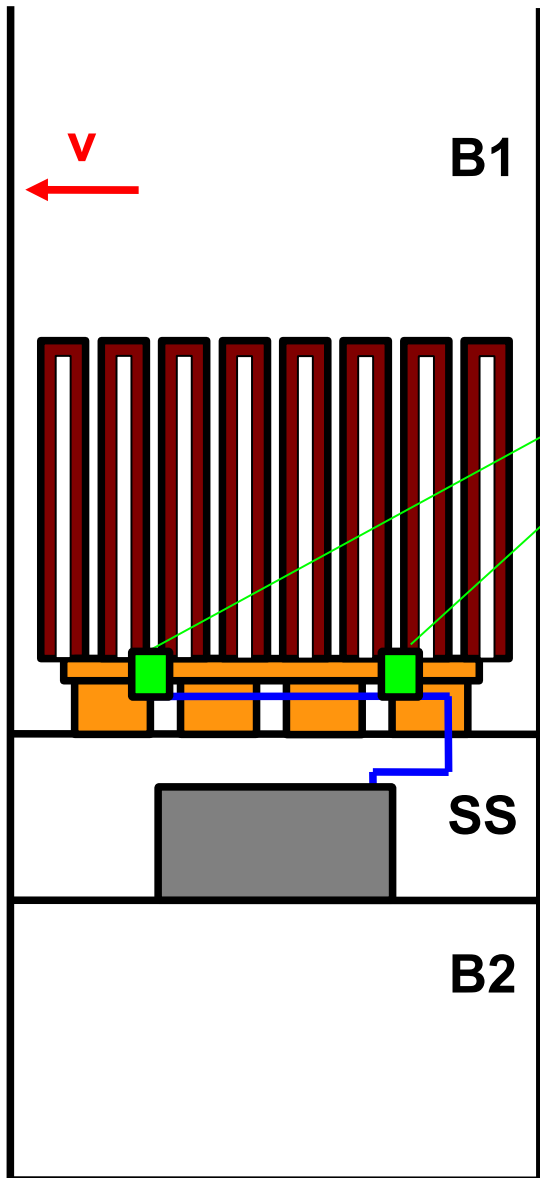
2 primary Power Distribution Boards and 16 secondary Power Distribution Boards are installed to outsides of the magnets.

Secondary PD boards supply the voltage for the TFBs on each C-Yoke.

A secondary PD board can be switched on or off individually from other secondary boards.

# Electronics Installation

## - Readout Merger Modules -



Readout Merger Module

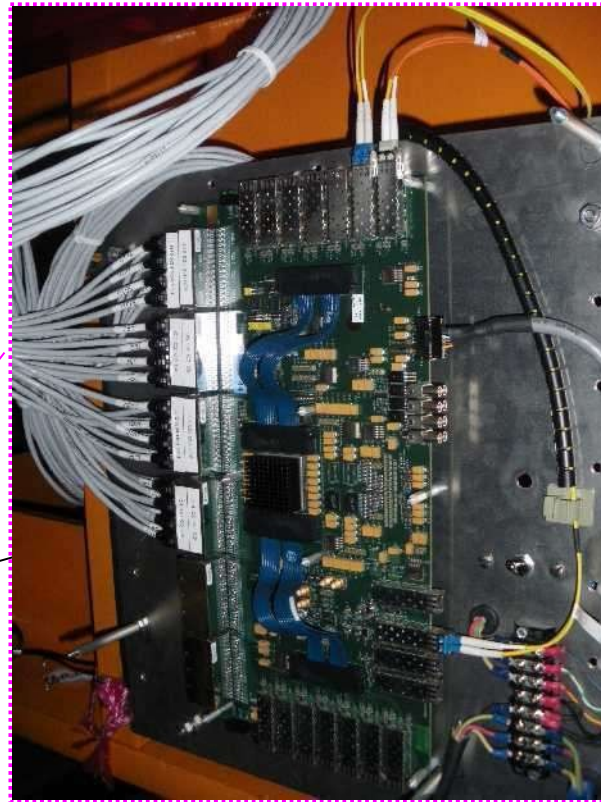
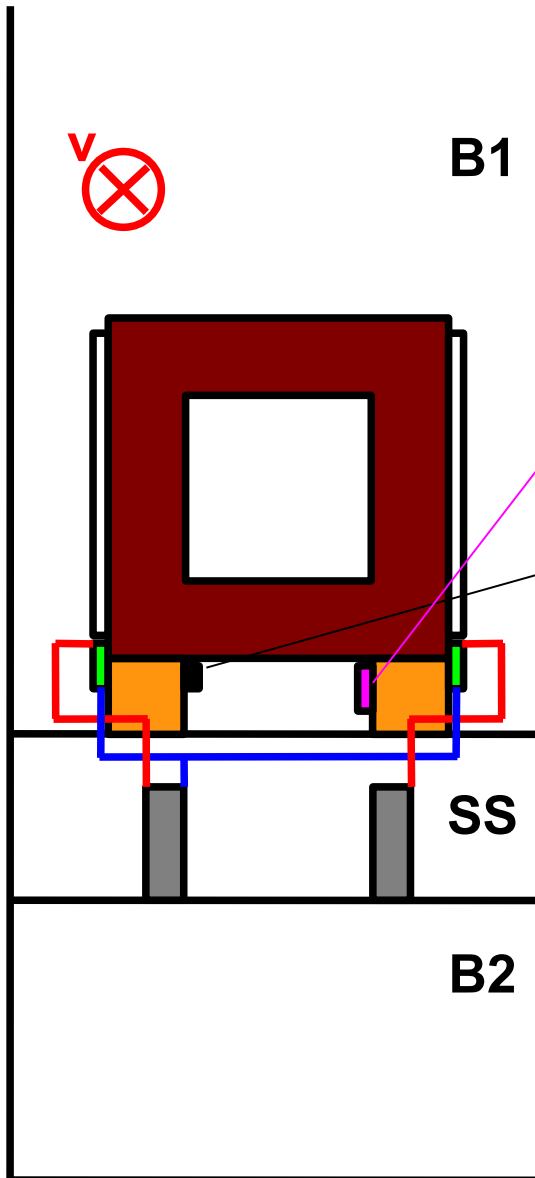
4 RMMs are installed just besides the Secondary Power Distribution Boards.

1 RMM controls 32 TFBs on 4 C-Yokes.

RMMs also covered with Al covers.

# Electronics Installation

## - Cosmic Trigger Module -



Cosmic Trigger Module



Patch Panel on left magnet support structure

CTM is installed on inside of right magnet support structure. A patch panel is installed on inside of left support structure.

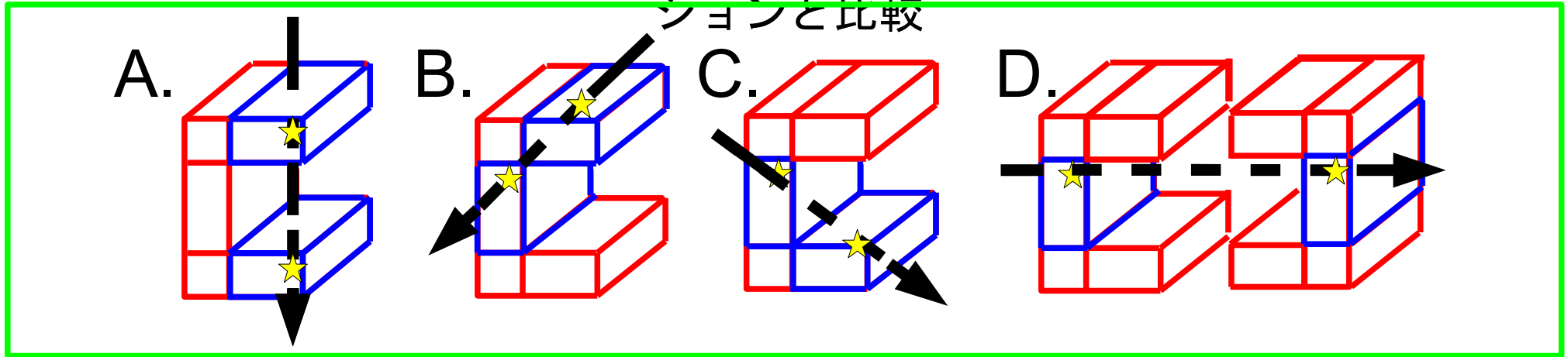
The CTM and the patch panel are connected with 6m LAN cables when magnet is closed and 12.5m long cables when magnet is open.



# SMRD Hit-pattern 解析 (OLD)

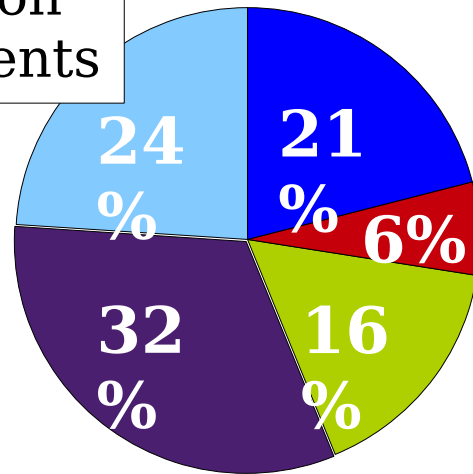
## Hit pattern を用いた SMRD の動作確認

宇宙線イベントのうち、4種のHitパターンのイベント数をシミュレーションと比較

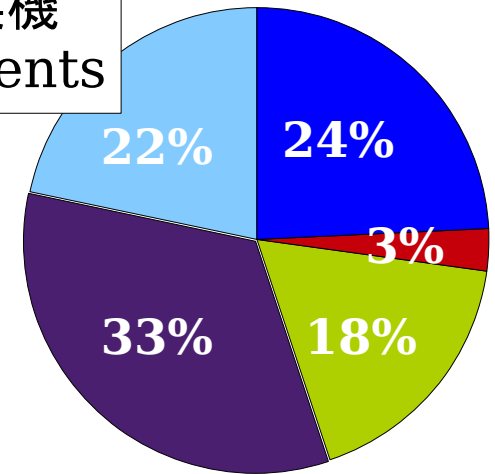


- PatternA
- PatternB
- PatternC
- PatternD
- Else.

Simulation  
43800 Events



SMRD 実機  
12500 Events



横向き宇宙線に2倍の差があるものの、  
実機とシミュレーションは良い一致を示す。