



T2K実験における
新型ニュートリノ検出器
INGRID Proton Moduleの研究開発

京都大学
木河達也

2010年2月23日

特定領域「フレーバー物理の新展開」研究会2010

The background features a light green textured surface. On the right side, there are two stylized fans. The upper fan has a white and blue striped pattern. The lower fan has a green and yellow camouflage pattern. The word "Introduction" is centered in the middle of the page.

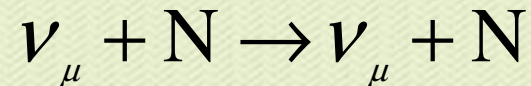
Introduction

Neutrino interaction modes

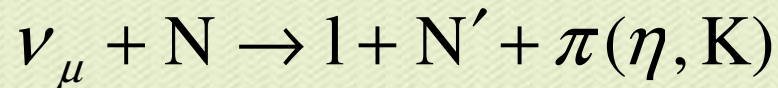
☛ Charge current quasi-elastic scattering



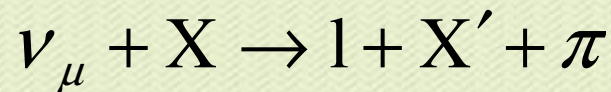
☛ Neutral current elastic scattering



☛ Single π (η, K) resonance products



☛ Coherent π products

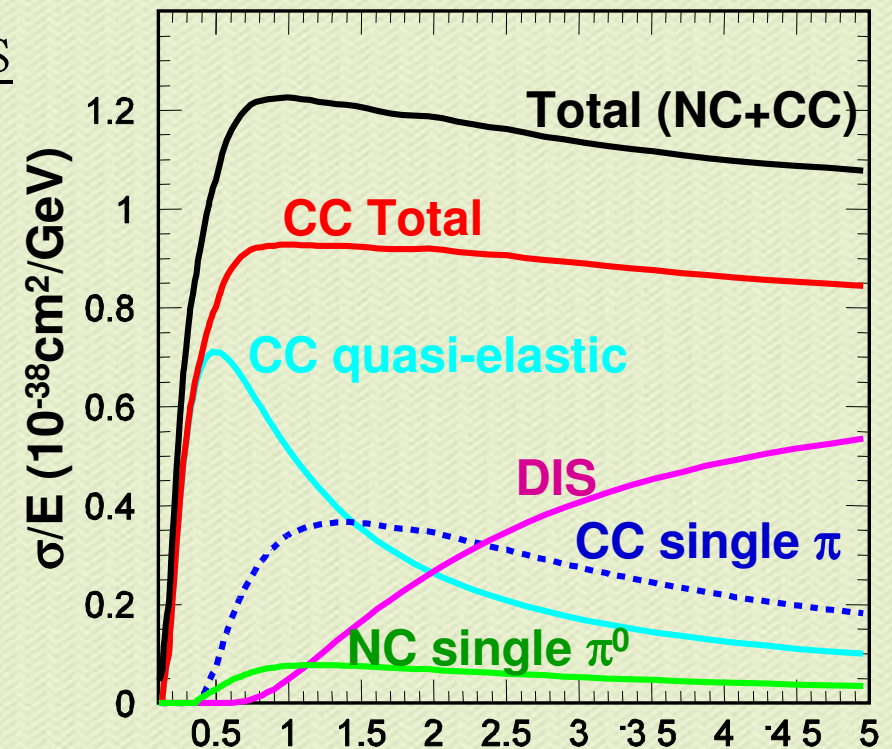


☛ Deep inelastic scattering



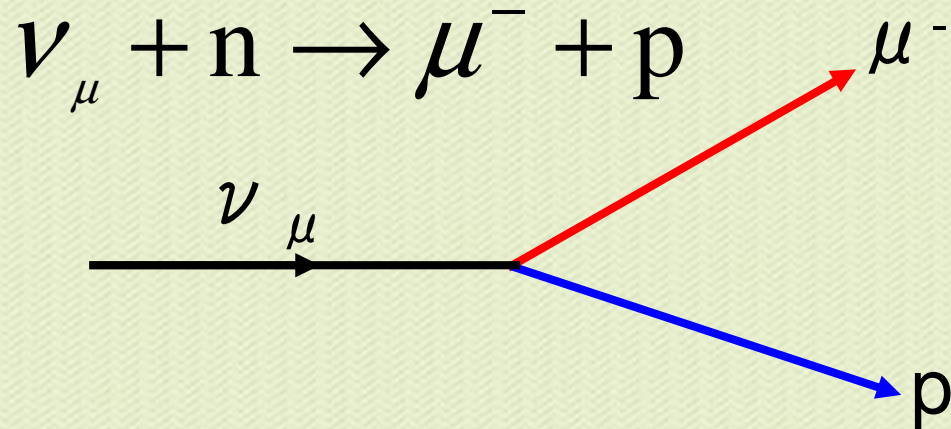
(l : lepton, N, N' : nucleon, m : integer)

Cross sections

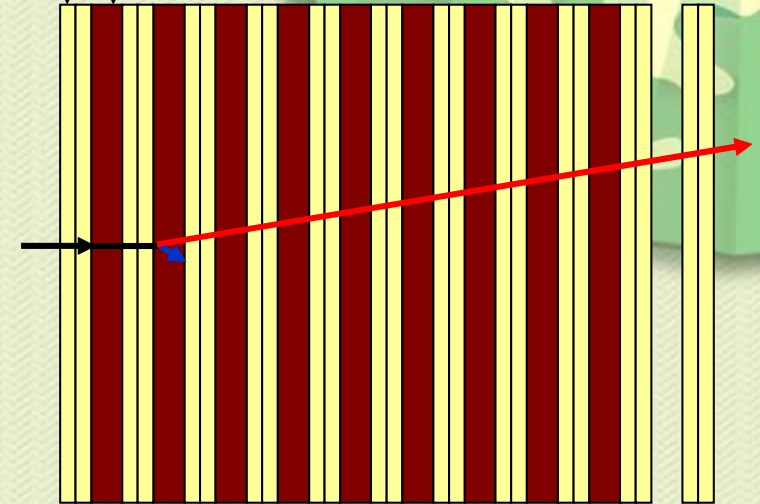


Motivation

Charge current quasi elastic (CCQE)



シンチレータ
鉄



INGRIDでは陽子が鉄に止められてしまうため、
ミューオンのTrackのみが再構成されている。



鉄のないモジュールをつくれば、陽子のTrackも再構成することができる。

目的: CCQEイベントを他のイベントと区別する。
ニュートリノフラックスを測定する。
⇒結果をINGRIDにfeedback



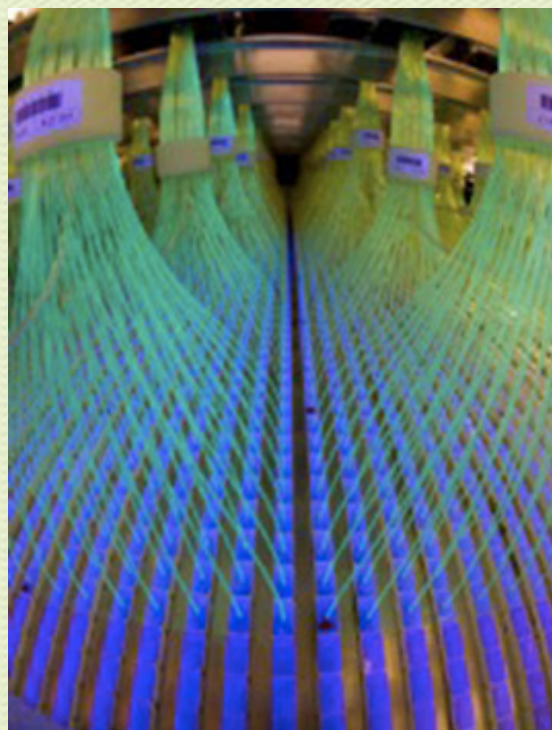
INGRID Proton Moduleの構造

Base

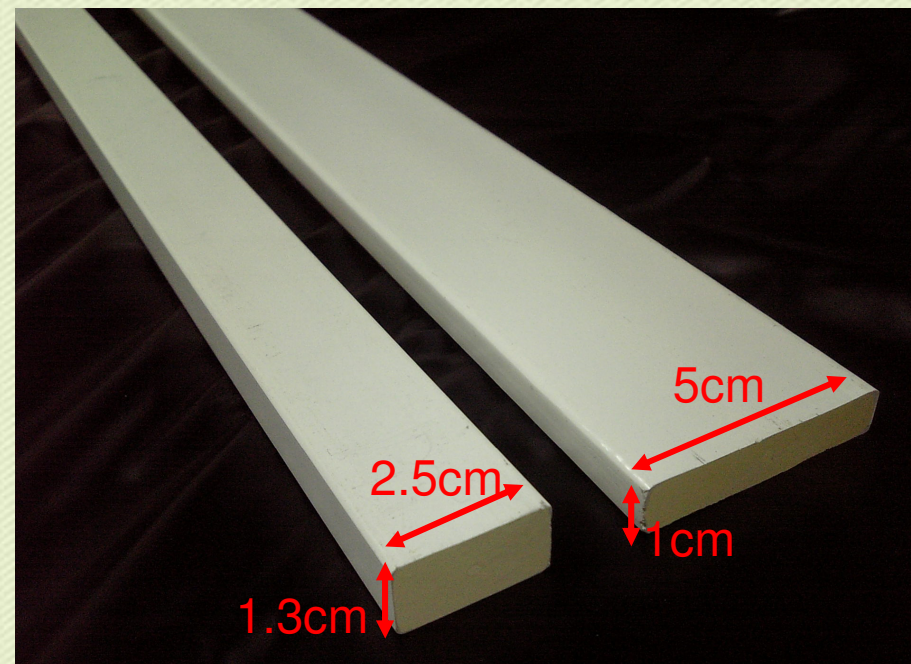
- ❧ INGRIDで使用されている1cm×5cmのシンチレータとK2K, SciBooneのSciBar検出器で使用されていた1.3cm×2.5cmのシンチレータを使用。(押し出し成型シンチレータ)
- ❧ 波長変換ファイバー、MPPC(Multi Pixel Photon Counter)読み出しということと、Electronicsは基本的にINGRIDと同じ。



INGRID



SciBar



左がSciBarのシンチレータ、
右がINGRIDのシンチレータ

Tracking plane

Tracking plane 1枚は16本のSciBarのシンチレータと16本のINGRIDのシンチレータからなる。

中心部でのresolutionをよくする

ためSciBarのシンチレータを内側に配置する。

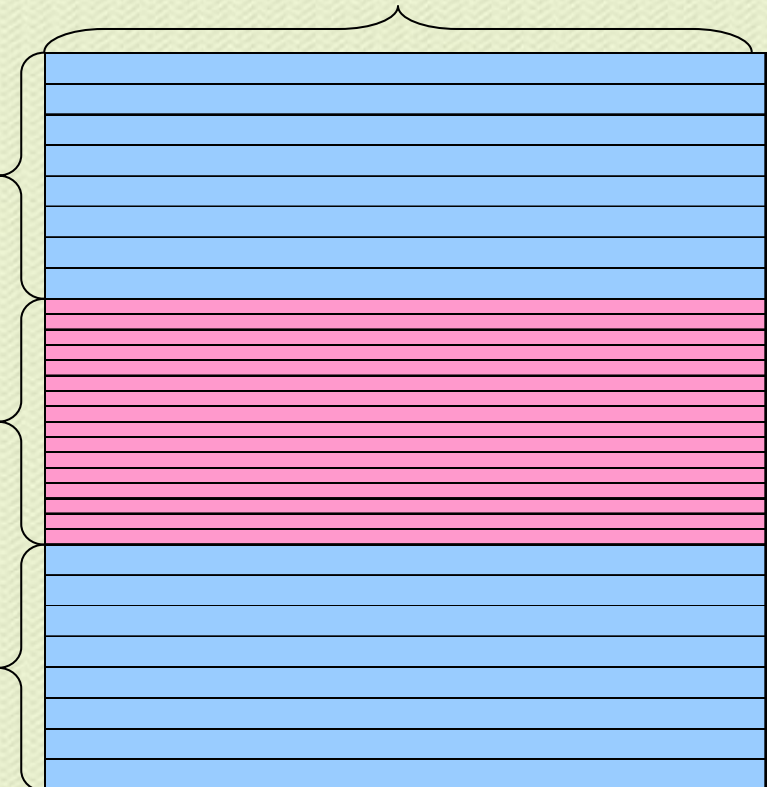
シンチレータの長さは1203mm

8 INGRID type

16 Scibar type

8 INGRID type

1203mm



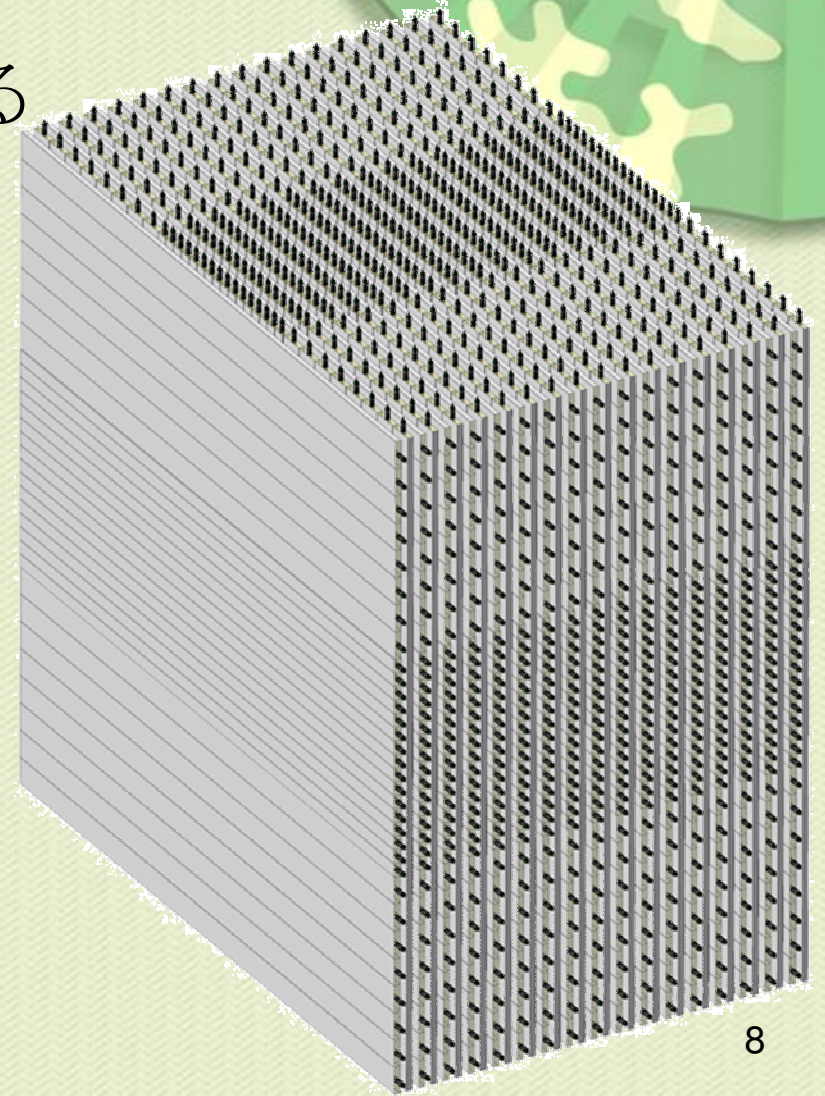
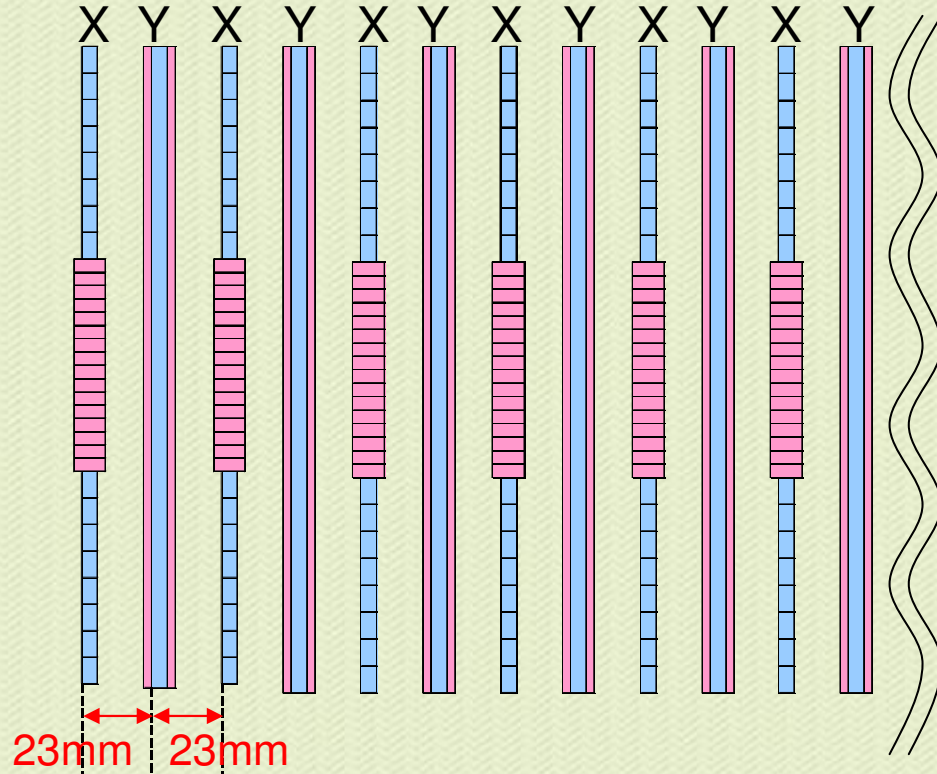
Tracking plane

Tracking planeの数はX plane 17枚とY plane 17枚の計34枚

X planeとY planeは交互に並べられる

各plane間の距離は23mm

Tracking planeの総重量は556kg



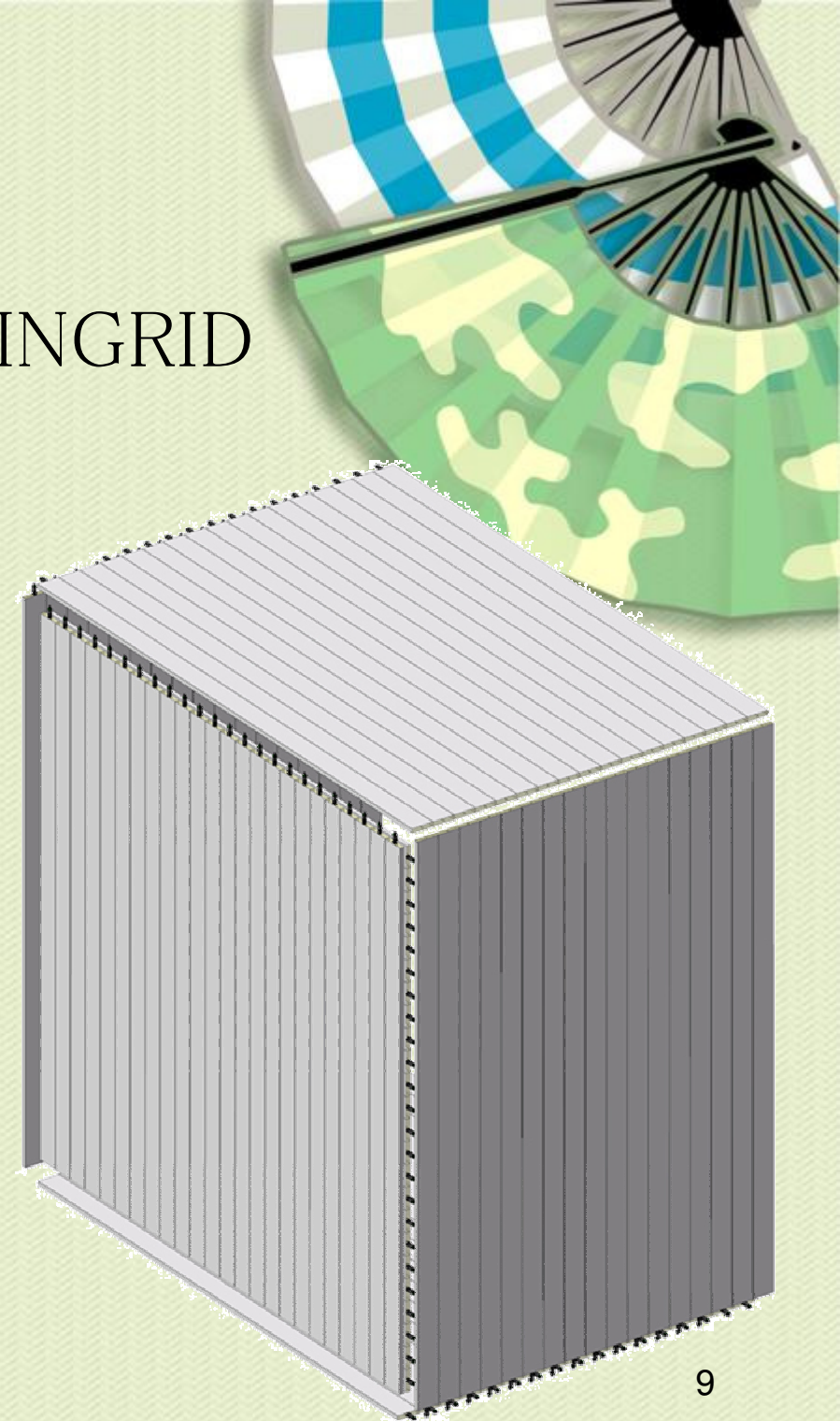
Veto plane

☘ Veto用のシンチレータはすべてINGRIDのシンチレータ

☘ Front vetoはXとYの2planeでシンチレータは $24X+24Y$ の48本

☘ 4方向のside vetoのシンチレータは1plane17本で計68本

☘ シンチレータの長さは上、左、右のVeto planeは1250mm、前、下のシンチレータは1203mm



Overview

❁ 総重量は1.4t

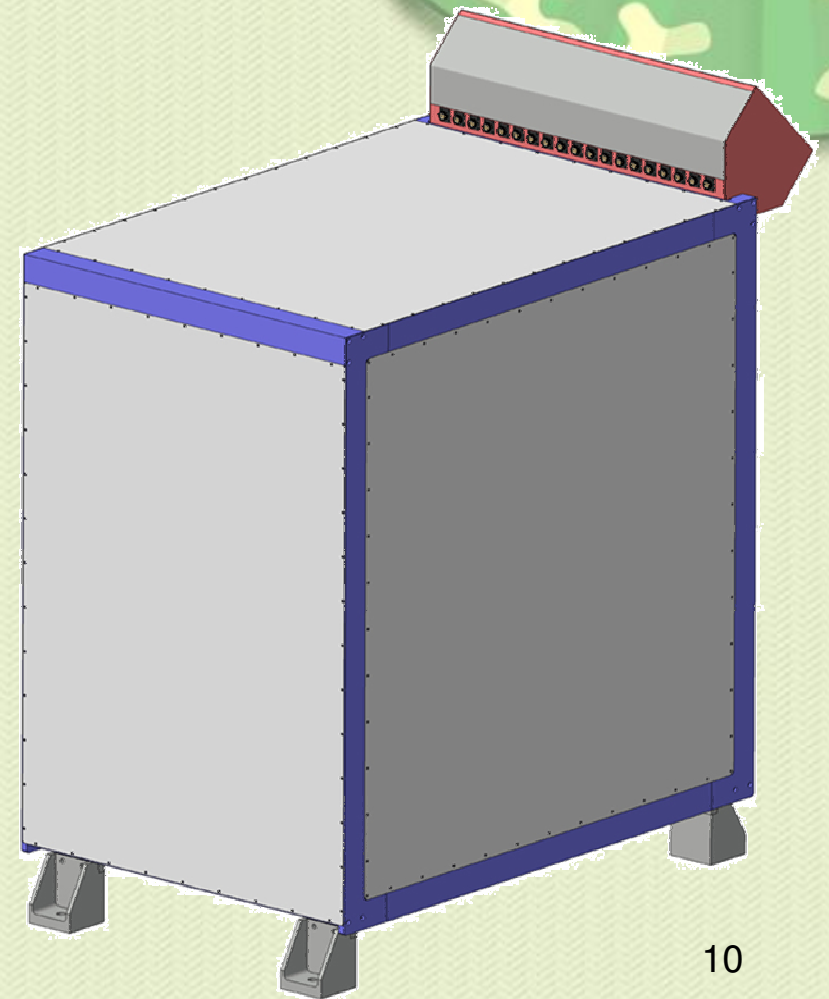
(ニュートリノのターゲットとなる
Tracking planeの重量は556kg)

❁ 総channel数は1204

(Tracking plane 1088
Veto plane 166)

❁ 読み出しボートはModuleの
コーナーに統合して取り付ける。

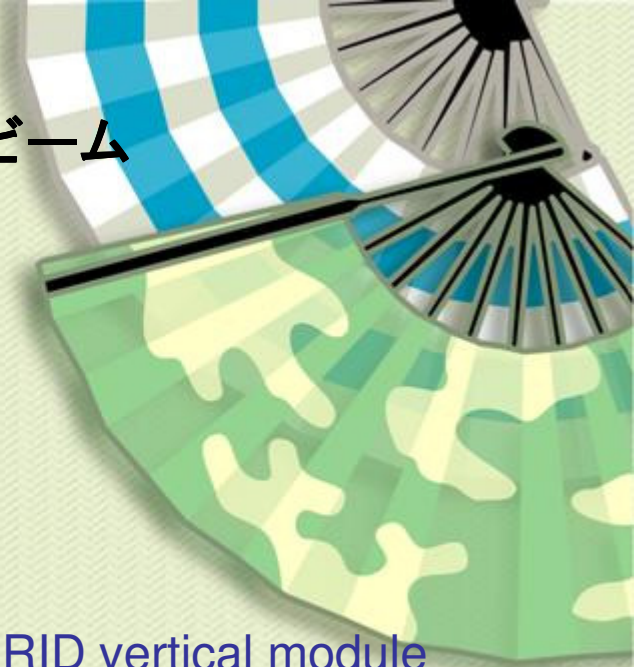
❁ Moduleはパレットトラックで
移動することができる。



Installation position



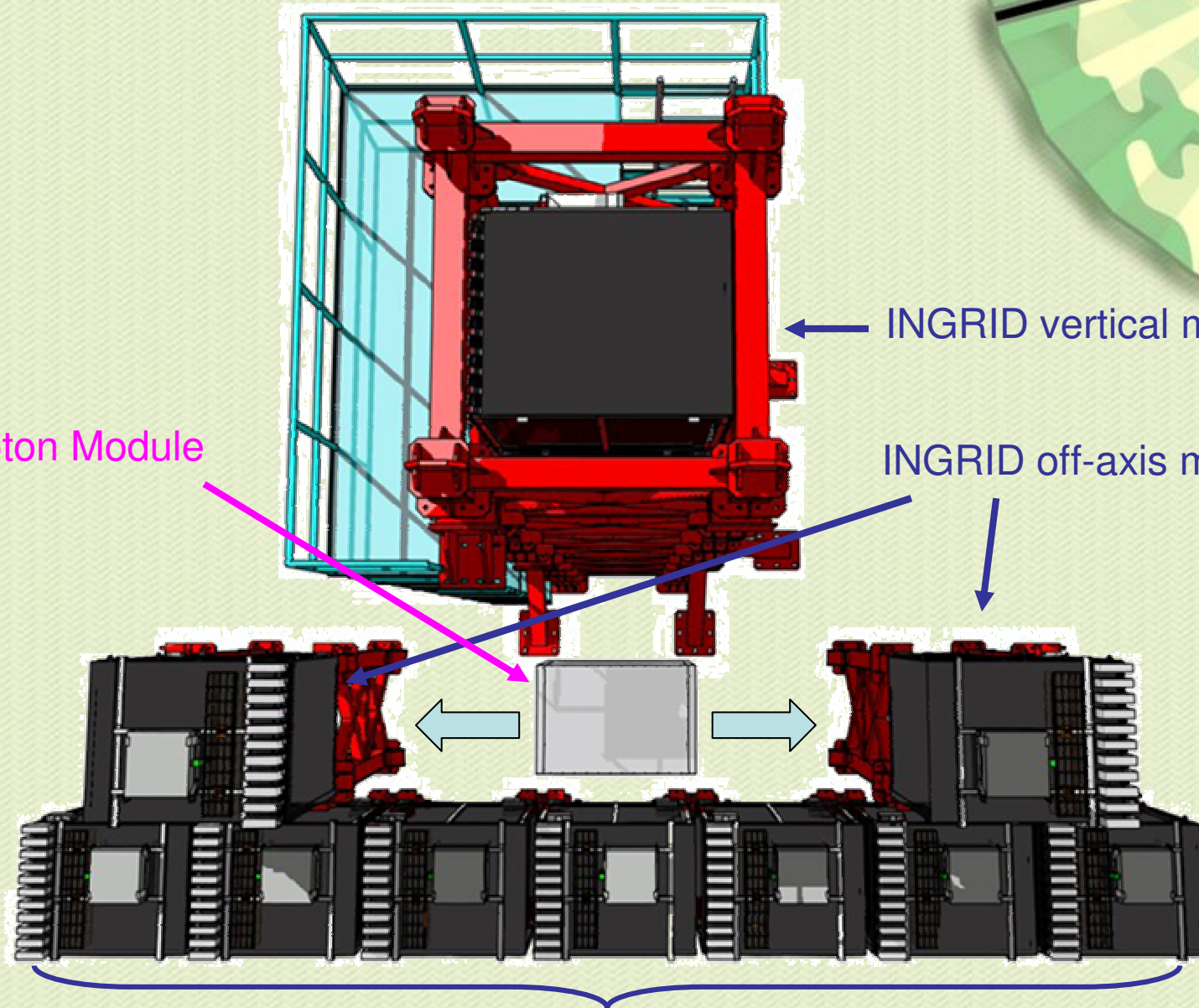
ニュートリノビーム



INGRID Proton Module

INGRID vertical module

INGRID off-axis module

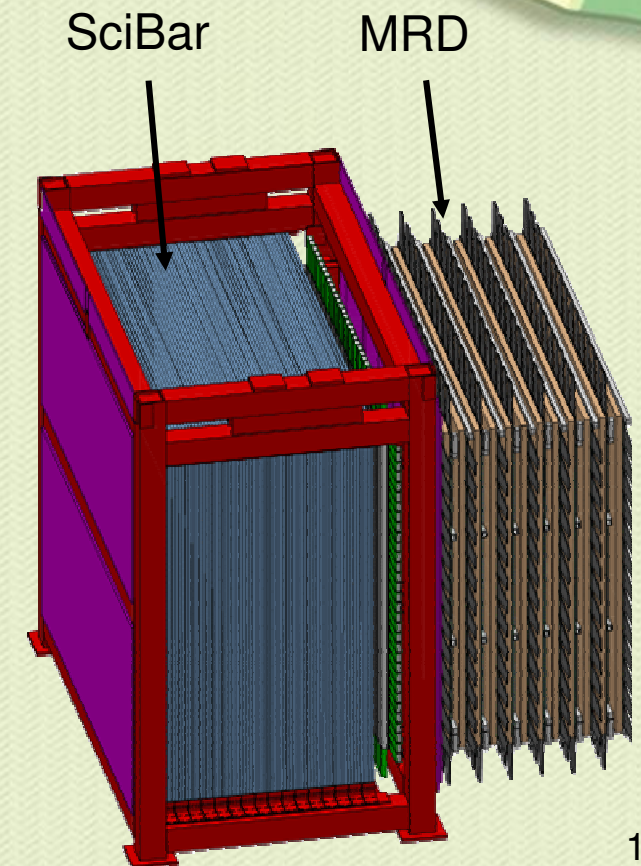
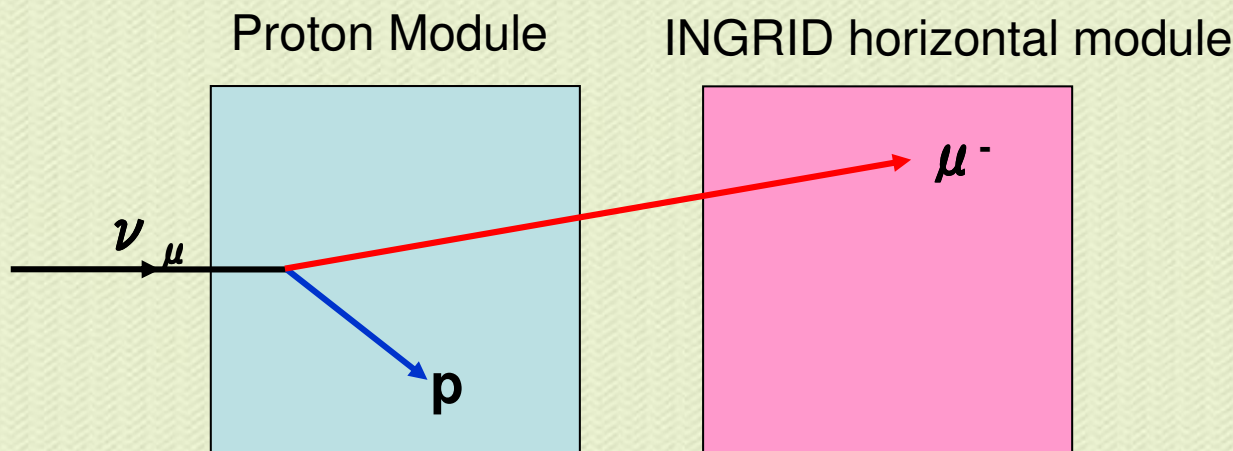


INGRID horizontal module

INGRIDとの連携

☛ Proton Moduleを突き抜けてしまうミューオンはProton Moduleの下流にあるINGRID horizontal moduleで止めてレンジを測る。

☛ K2K, SciBooneのSciBar, MRD(Muon Range Detector)と同じ原理。





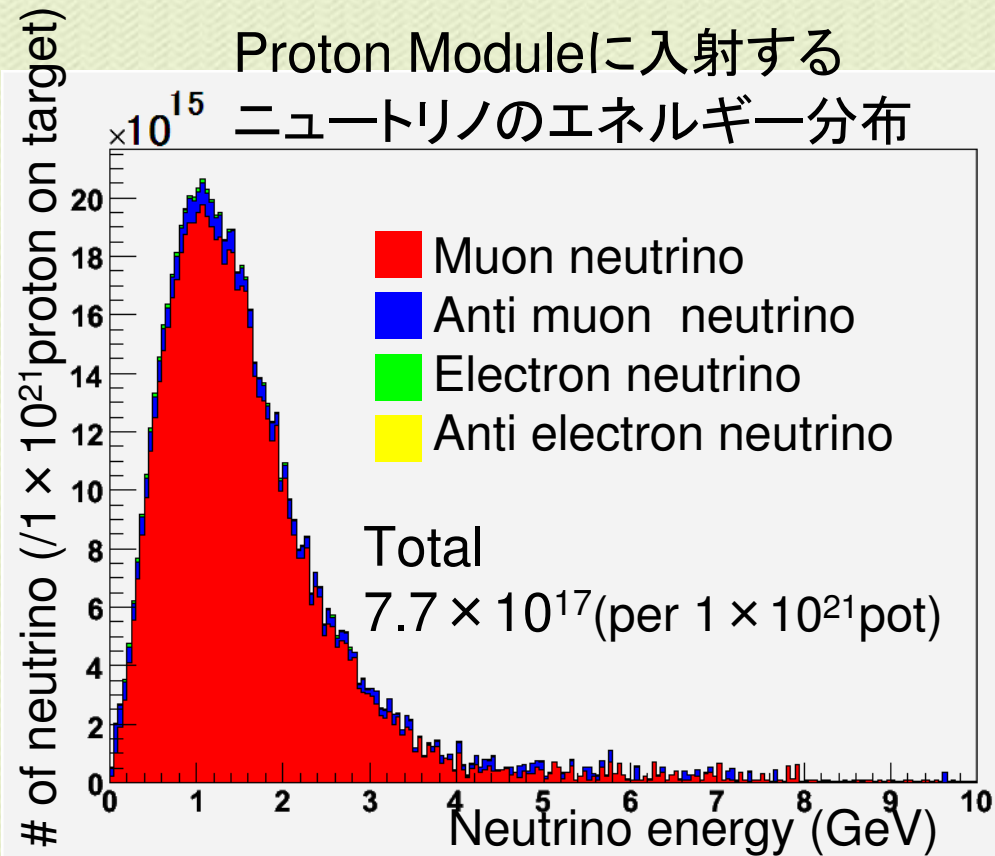
Monte Carloシミュレーション

Expected number of events

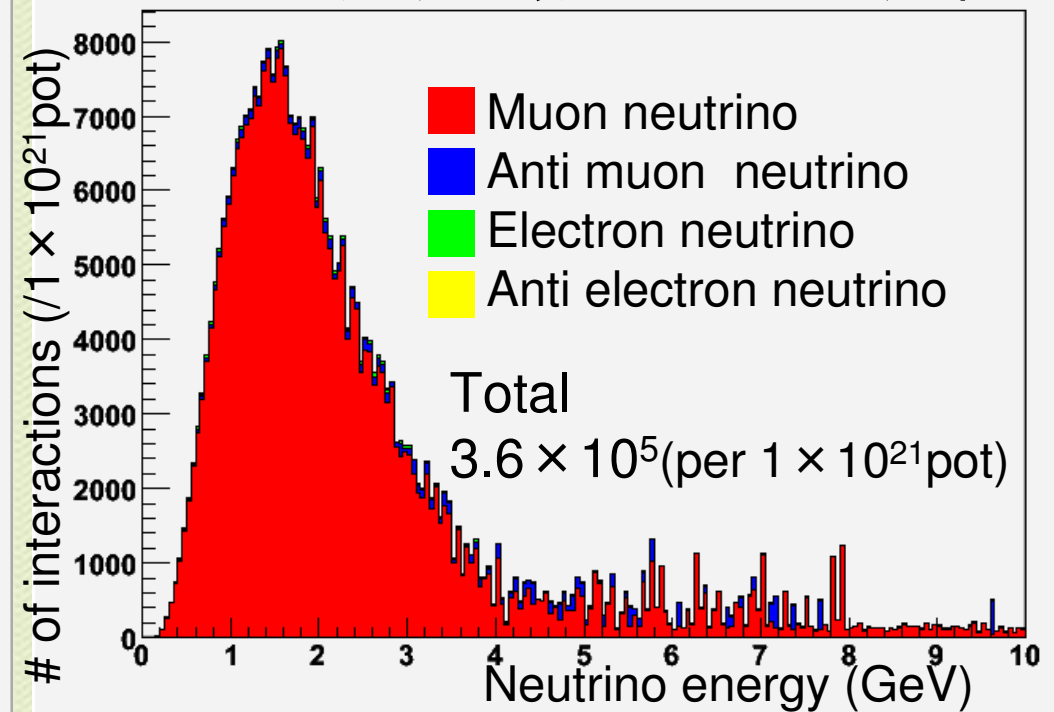
☞ Proton ModuleがINGRID vertical moduleの真後ろに置かれていて、3つある電磁ホーンがすべて250kAで稼動して、30GeVの陽子ビームが 1×10^{21} 個ターゲットに打ち込まれた場合

Proton Moduleに入射する

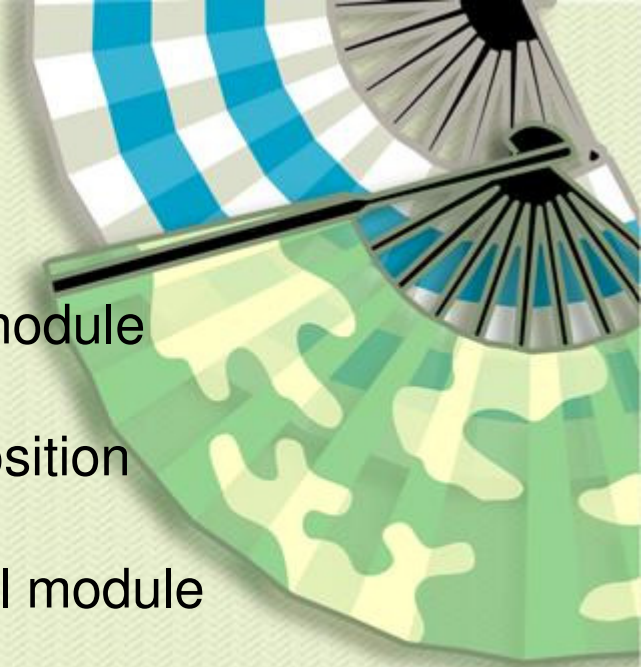
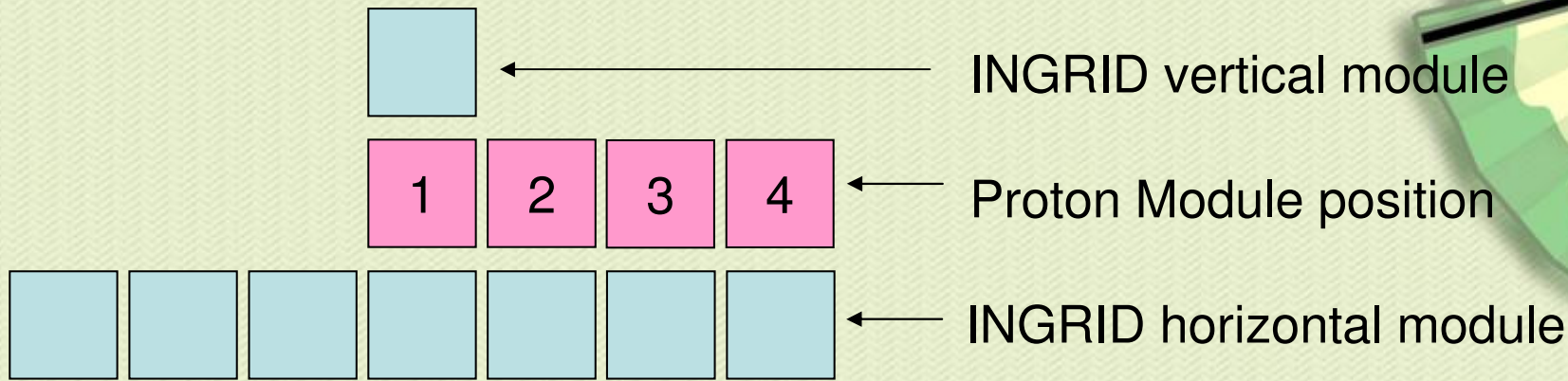
ニュートリノのエネルギー分布



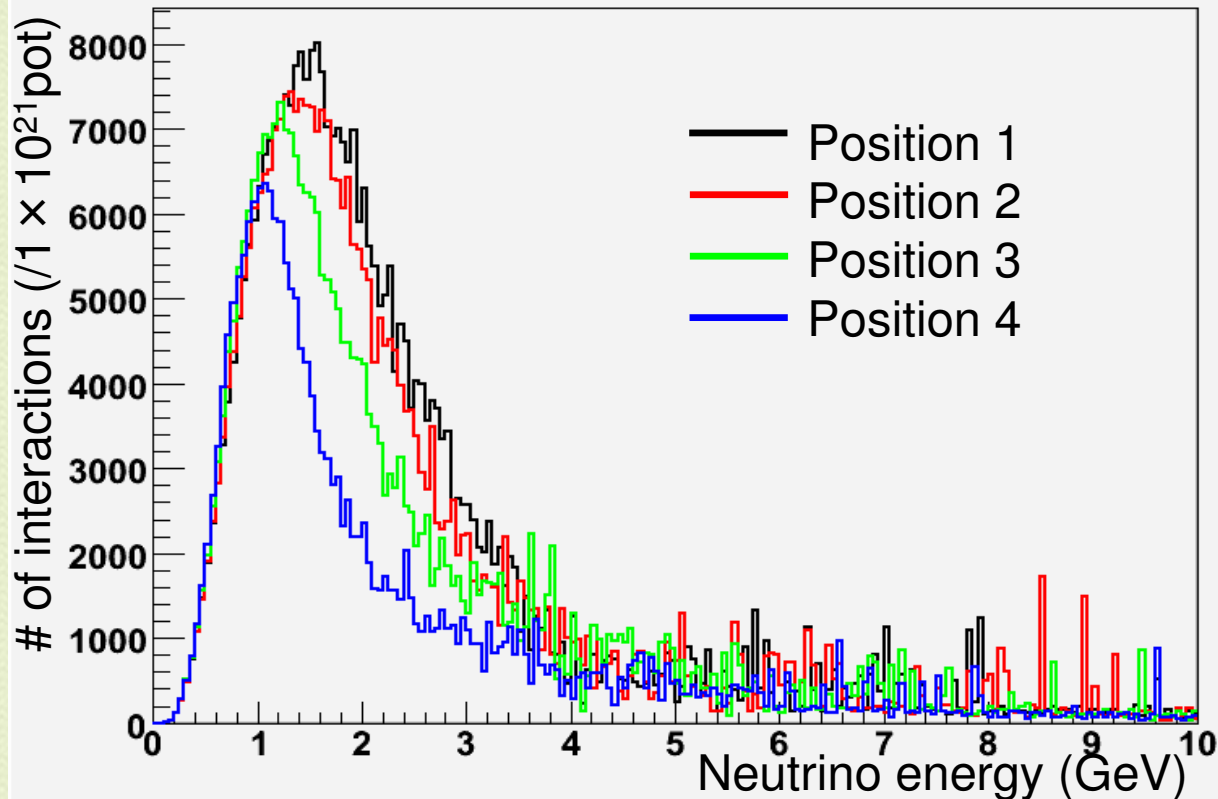
Proton Moduleのtracking planeでの
ニュートリノ反応数のエネルギー分布



Install positionによる違い



反応数のエネルギー分布

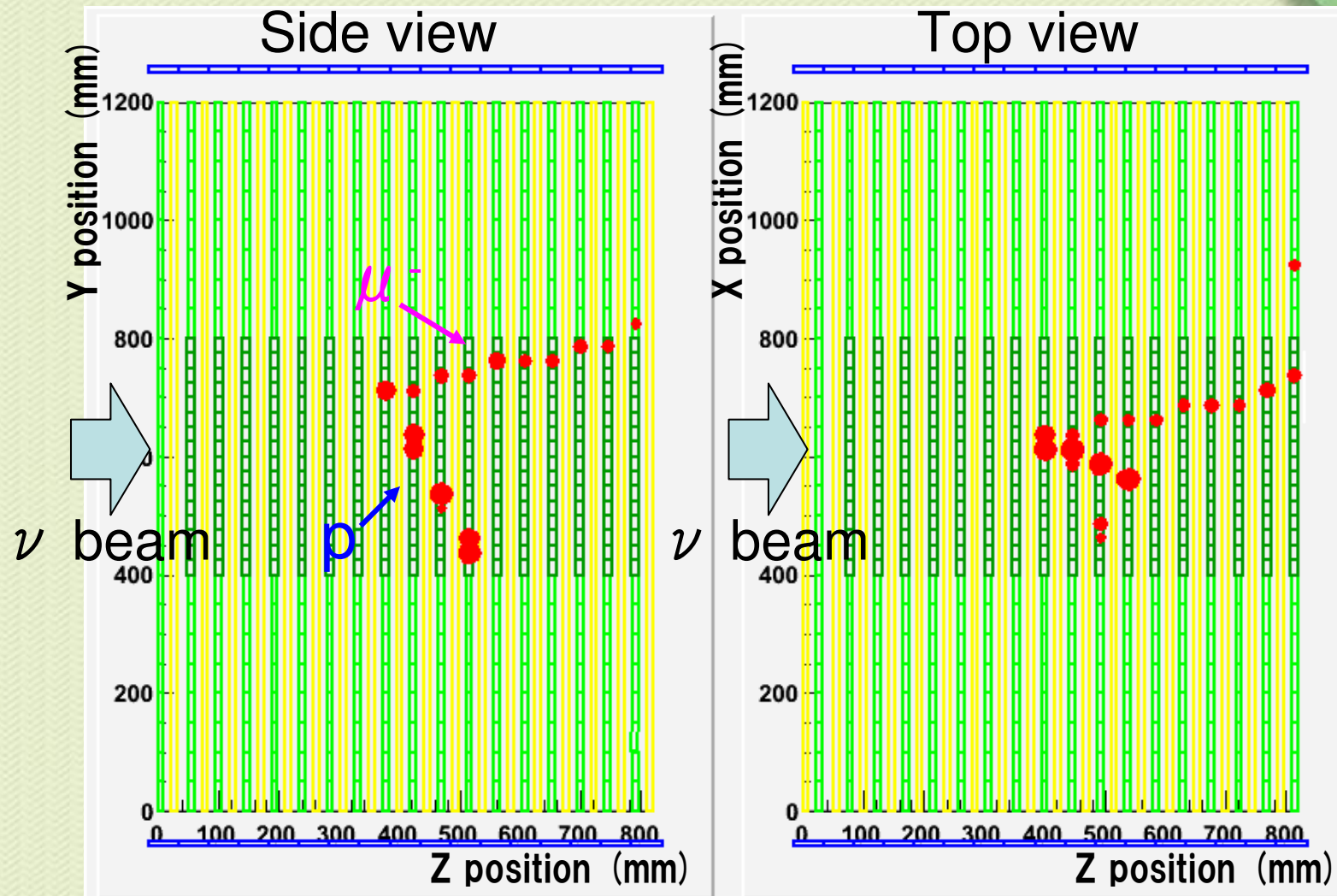


(/1 × 10²¹ pot)

Position	反応数
1	3.6×10^5
2	3.3×10^5
3	2.9×10^5
4	2.2×10^5

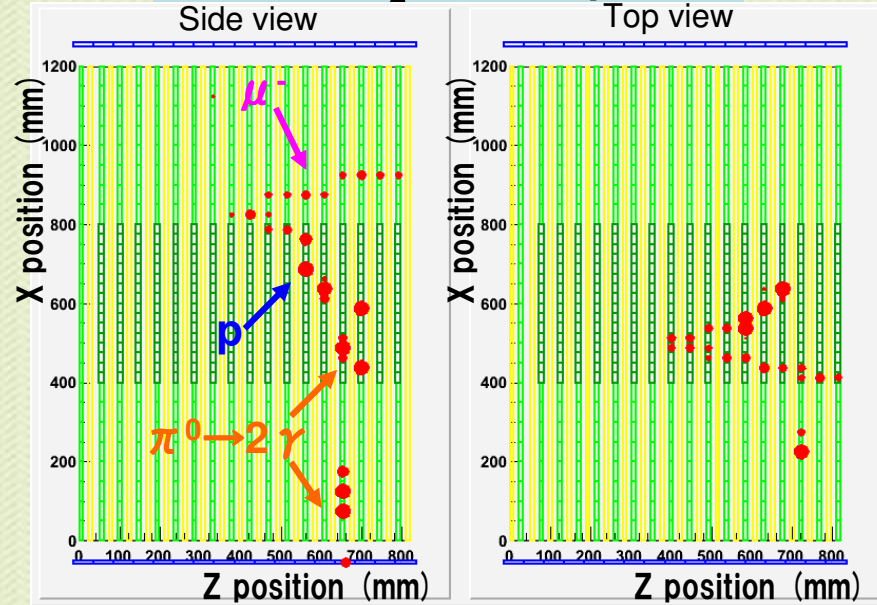
Proton ModuleでのCCQE event

☞ Geant4を用いたシミュレーションで、Proton ModuleでCCQE eventがどのように見えるか確認した。

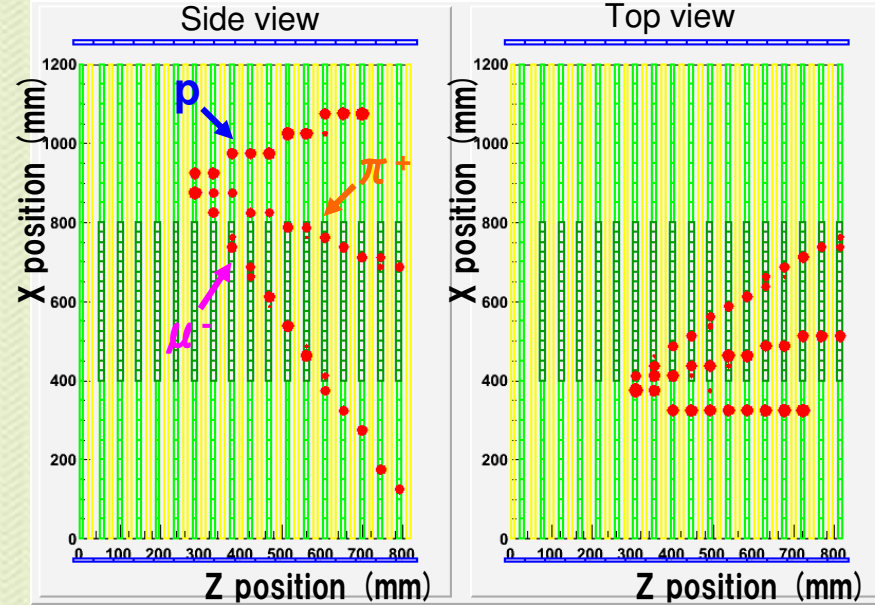


Proton Moduleでのその他のevent

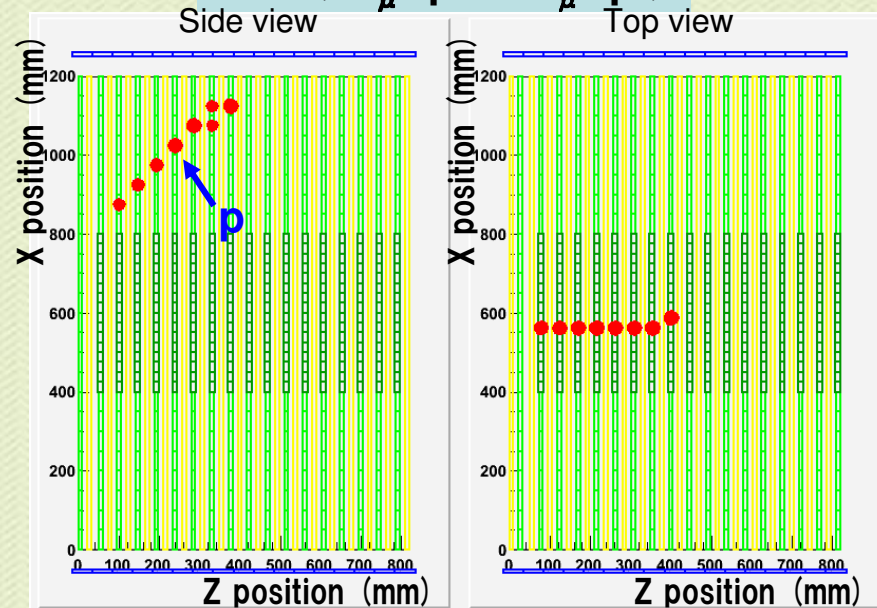
CC1 $\pi^0(\nu_\mu + n \rightarrow \mu^- + p + \pi^0)$



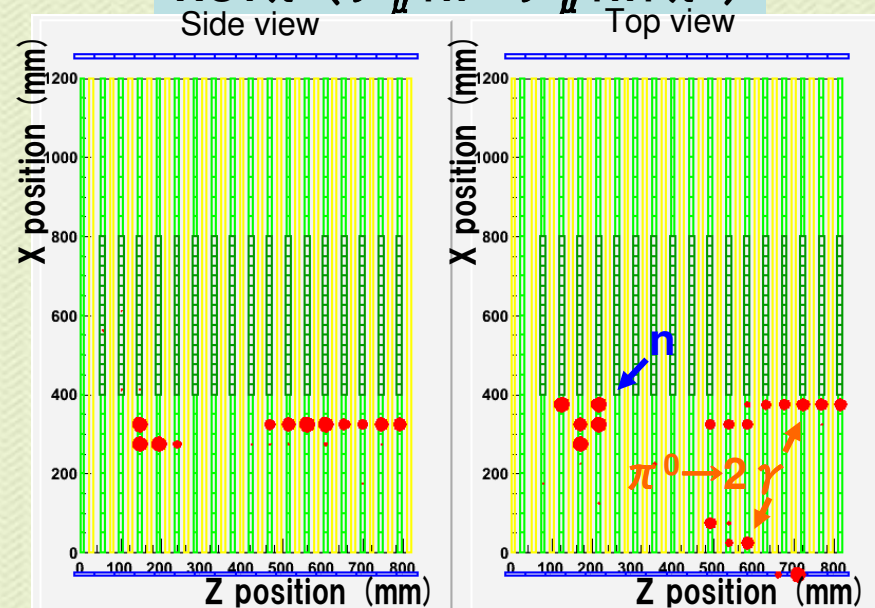
CC1 $\pi^+(\nu_\mu + p \rightarrow \mu^- + p + \pi^+)$



NCE ($\nu_\mu + p \rightarrow \nu_\mu + p$)



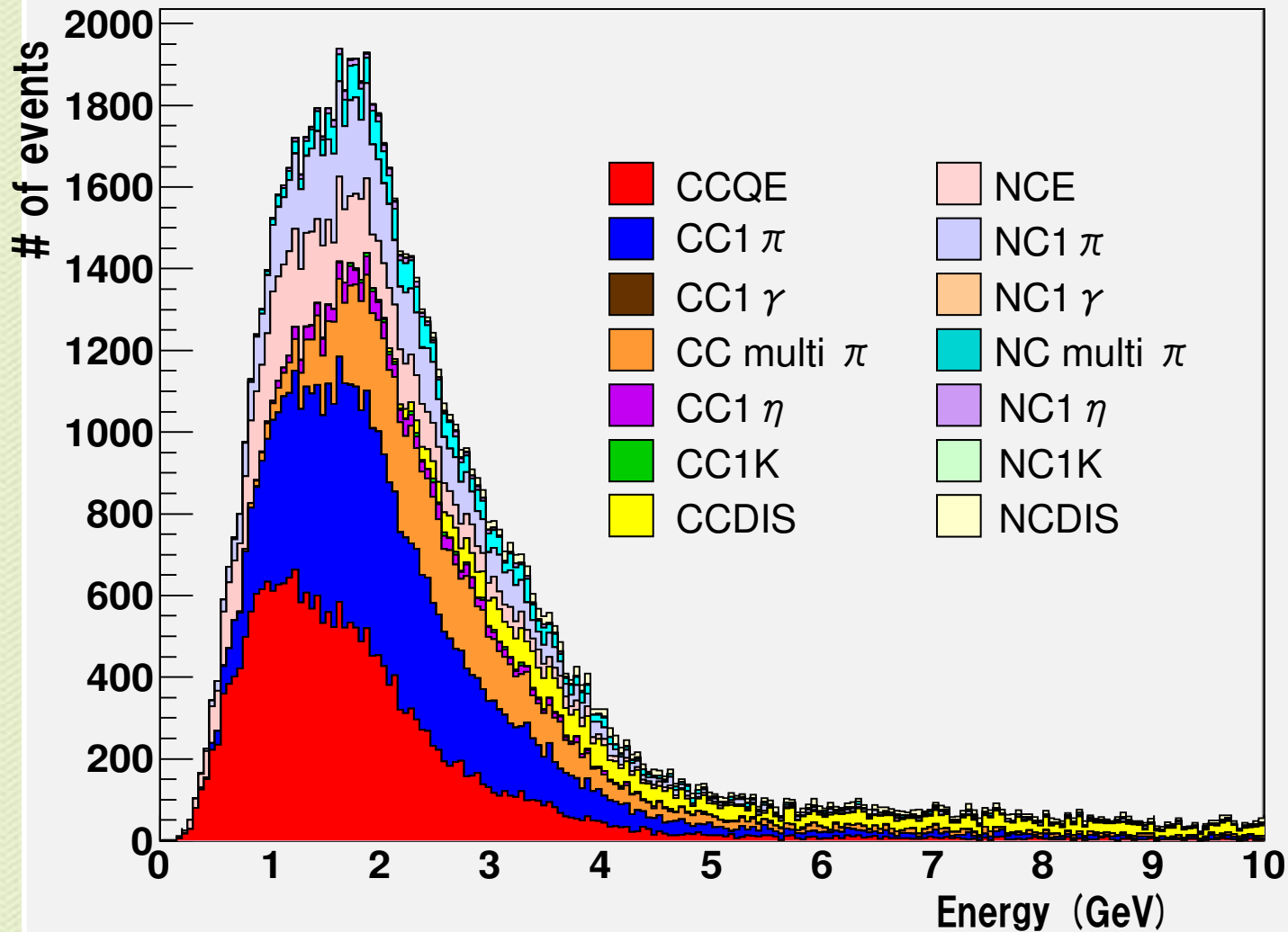
NC1 $\pi^0(\nu_\mu + n \rightarrow \nu_\mu + n + \pi^0)$



Interaction modeの割合

Vertical moduleの真後ろに置いた場合

Interaction modeのエネルギー分布 (per 100000 events)



Mode	Rate
CCQE	26%
CC1 π	26%
CC1 γ	0.02%
CC multi π	13%
CC1 η	1.2%
CC1K	0.3%
CCDIS	7.7%
CC Total	74%
NCE	9.5%
NC1 π	10%
NC1 γ	0.03%
NC multi π	3.5%
NC1 η	0.6%
NC1K	0.1%
NCDIS	2.3%
NC Total	26%

今後の予定

- ♣6月までにファイバー、MPPCなどの準備およびテスト。
- ♣7月にモジュールの組み立て、ケーブリング。
- ♣8月にモジュールのテスト、インストール。
- ♣秋～冬頃のビームランでProton Moduleでのニュートリノの初観測を目指す。

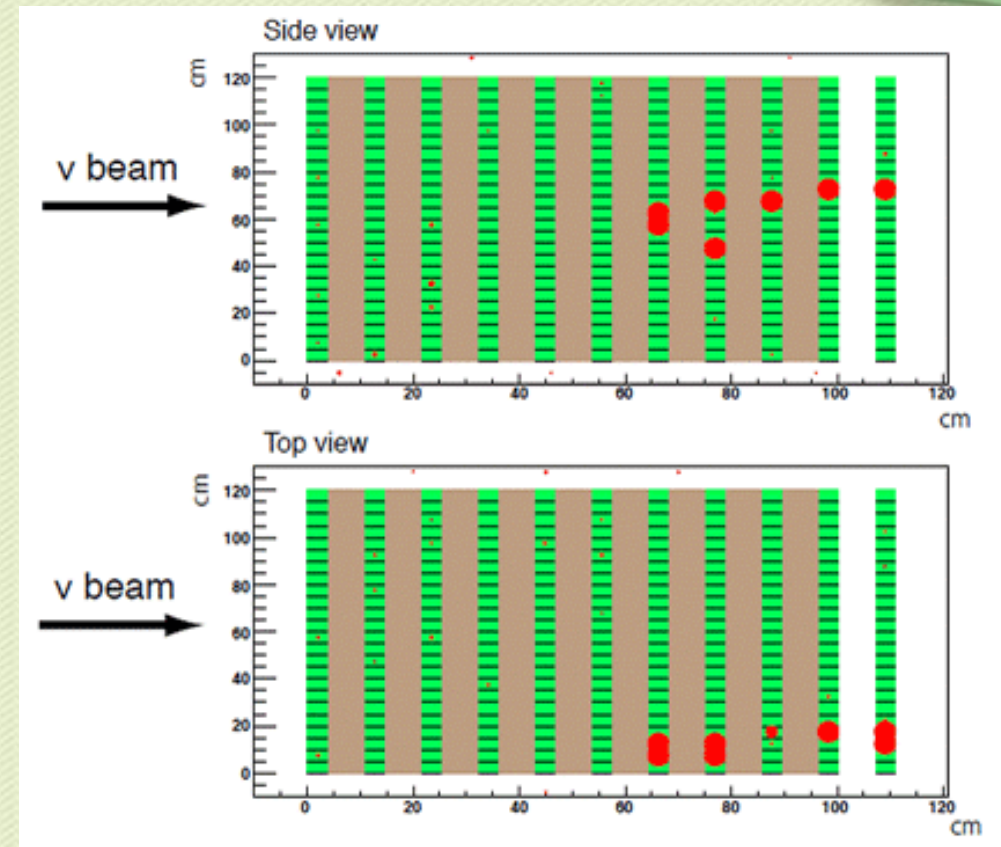
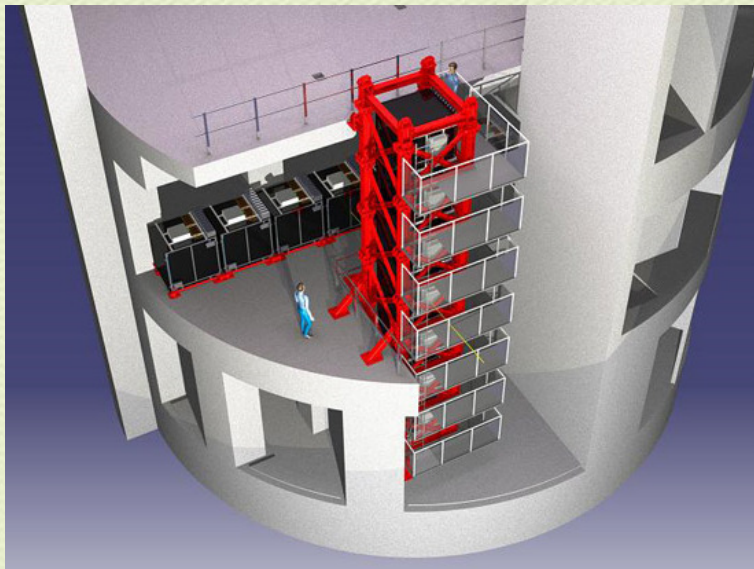


Backup

INGRID

🍃 INGRIDはT2K実験においてニュートリノの初観測に成功した前置ニュートリノ検出器である。

🍃 INGRIDは7個のvertical module, 7個のhorizontal module, 2個のoff-axis moduleの計16個のModuleからなる。

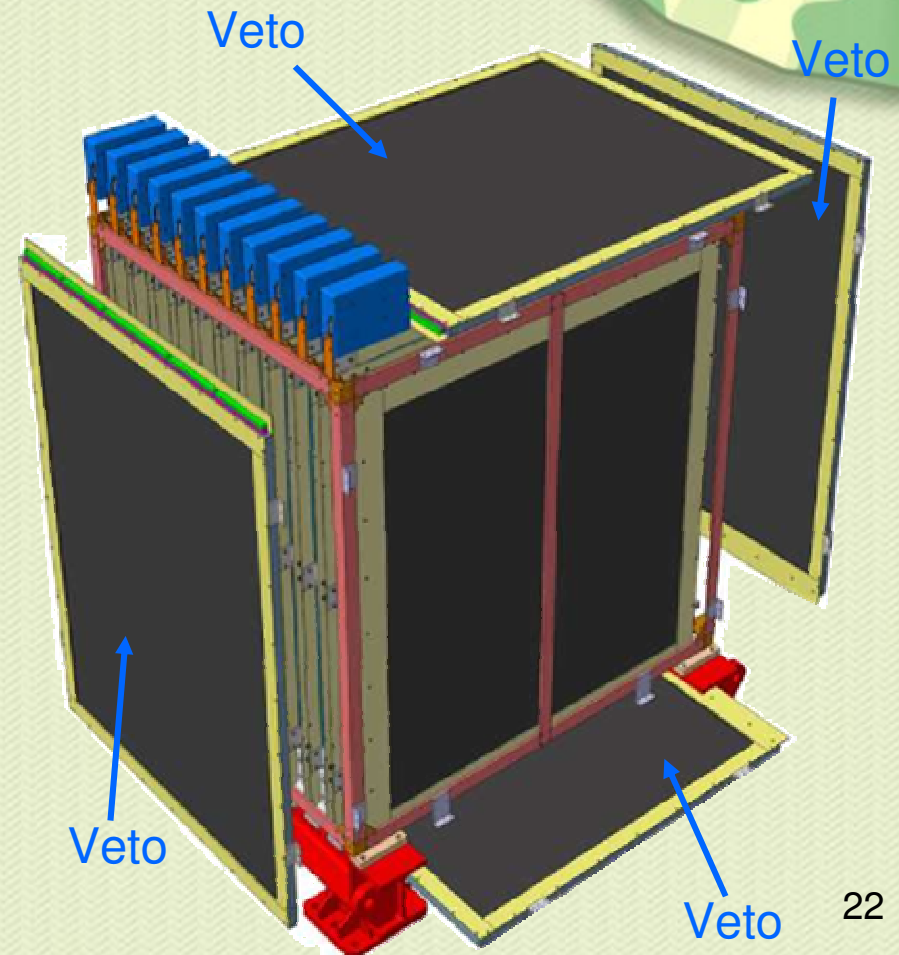


INGRIDでのT2K first neutrino event

INGRID

Vertical module, horizontal moduleはインストール済み
off-axis moduleは未インストール (今年の8月にProton Moduleと一緒にインストール予定)。

各モジュールは鉄とプラスチックシンチレータ層のサンドイッチ構造で鉄は9層, シンチレータは11層である。



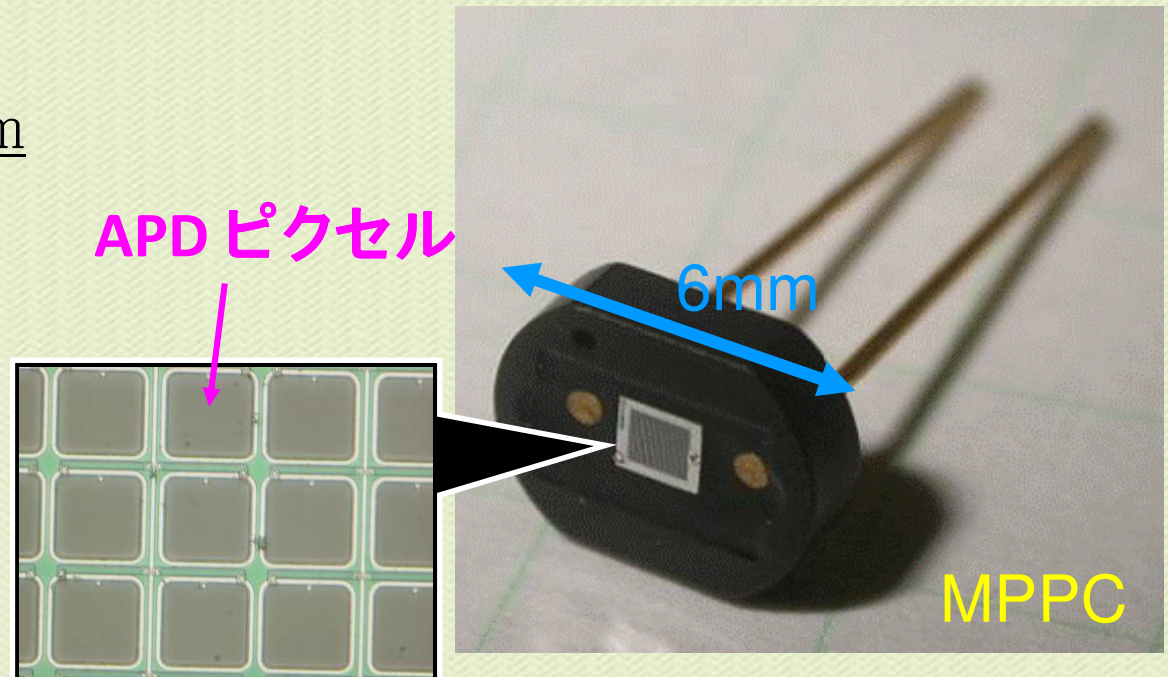
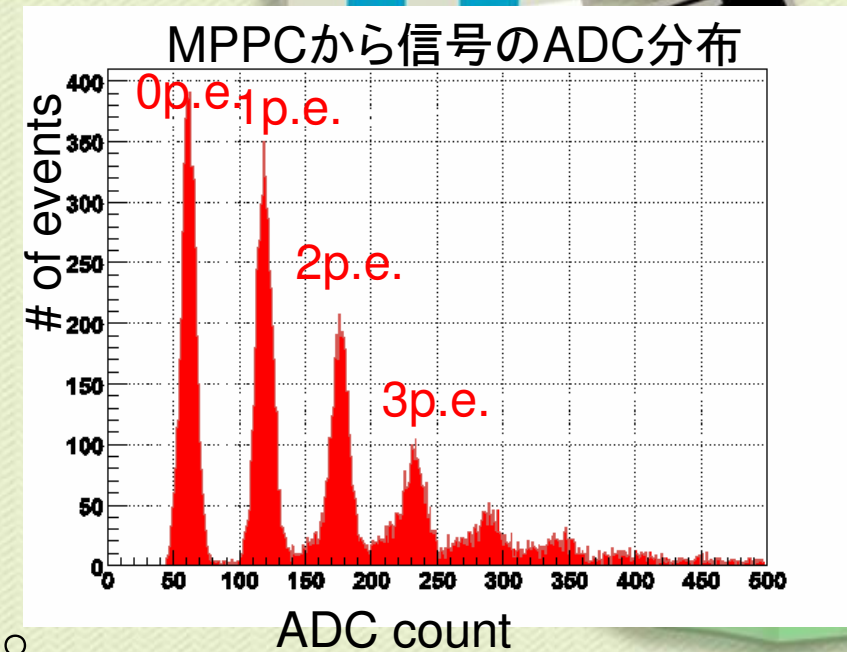
MPPC

🌿 MPPC (Multi Pixel Photon Counter) は浜松ホトニクス社とともに開発された Photosensor である。

🌿 Proton Module には 1204 個の MPPC が使用される。

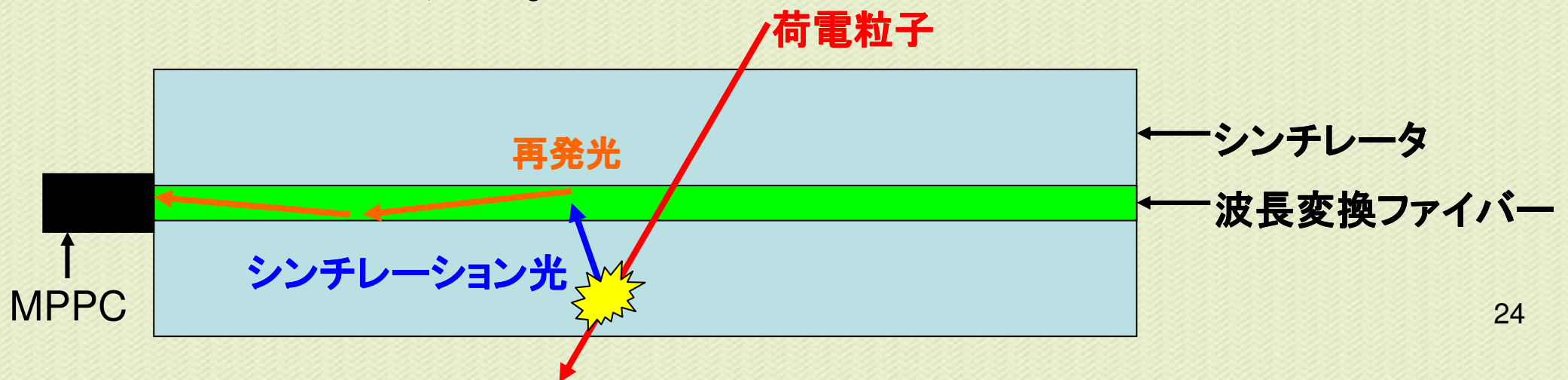
🌿 MPPC の特徴

- Active area : 1.3mm × 1.3mm
- ピクセル数 : 667
- Operation voltage : 約 70V
- PDE@550nm: 15% 以上
- Dark count: 1.35MHz 未満
- 磁場中でも安定に動作



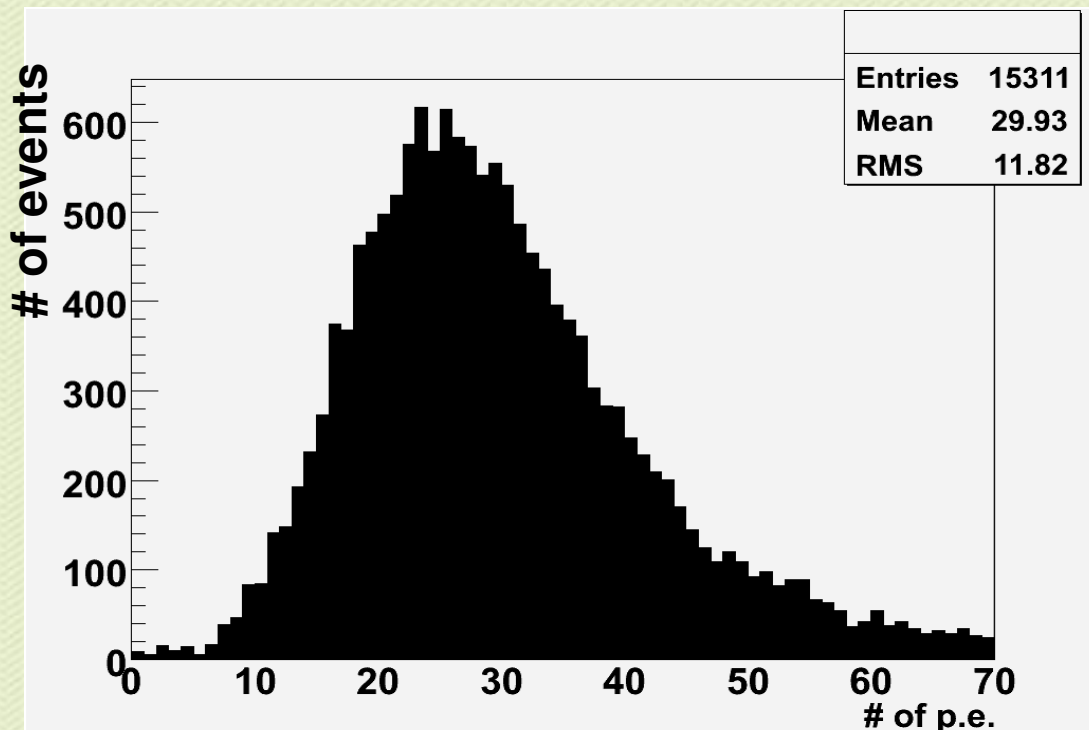
波長変換ファイバー

☘ シンチレータに波長変換ファイバーを埋め込み、青色領域のシンチレーション光をいったん波長変換ファイバーで吸収し、より減衰長の長い緑色領域の光を再発光させ、ファイバー内を伝搬させて、MPPCで読み出す。Proton Moduleでは全反射条件を満たす角度が大きいマルチクラッド型の波長変換ファイバーを使用する。

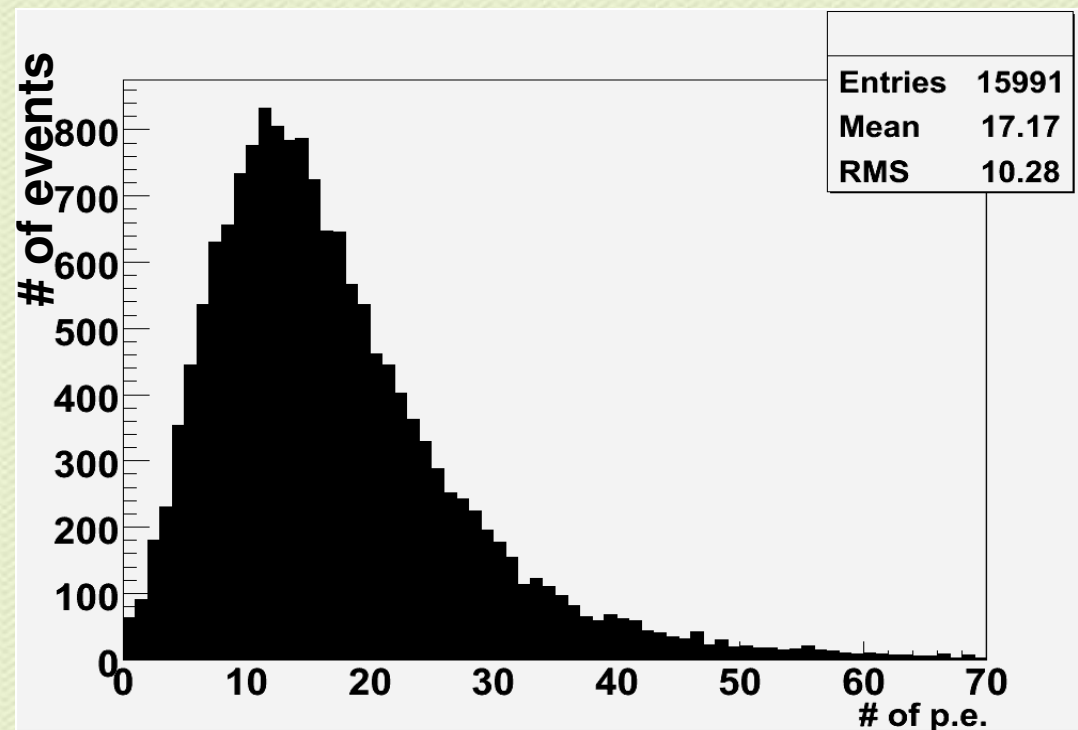


シンチレータの光量測定

🌿 京都大学のテストベンチで宇宙線を用いて、シンチレータの光量が十分であることを確認した。



SciBarのシンチレータからの光量



INGRIDのシンチレータからの光量 25

ニュートリノのシンチレータとの cross section

