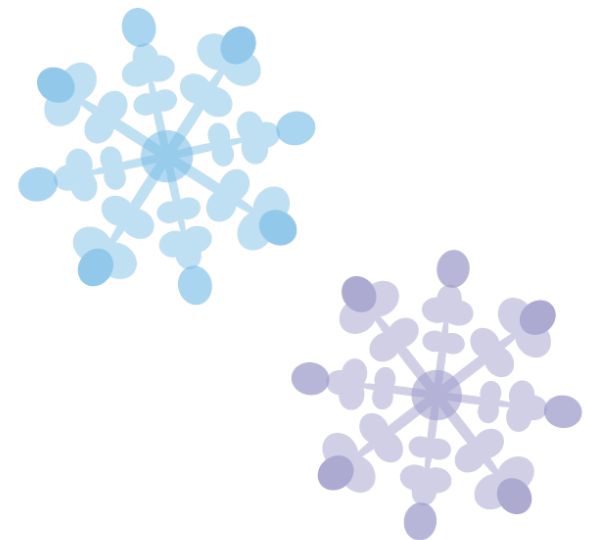


NINJA実験テストランの結果および 物理ランの展望

2020.02.17

京都大学

平本 綾美

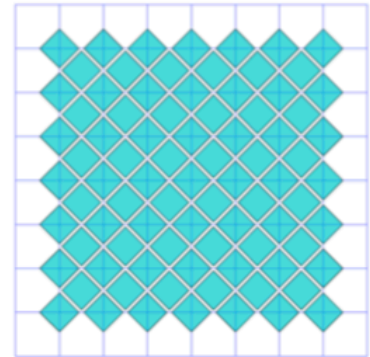


4 years ago...

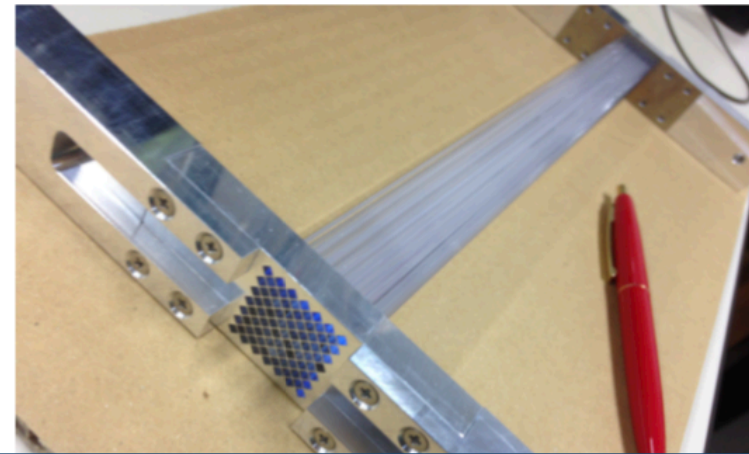
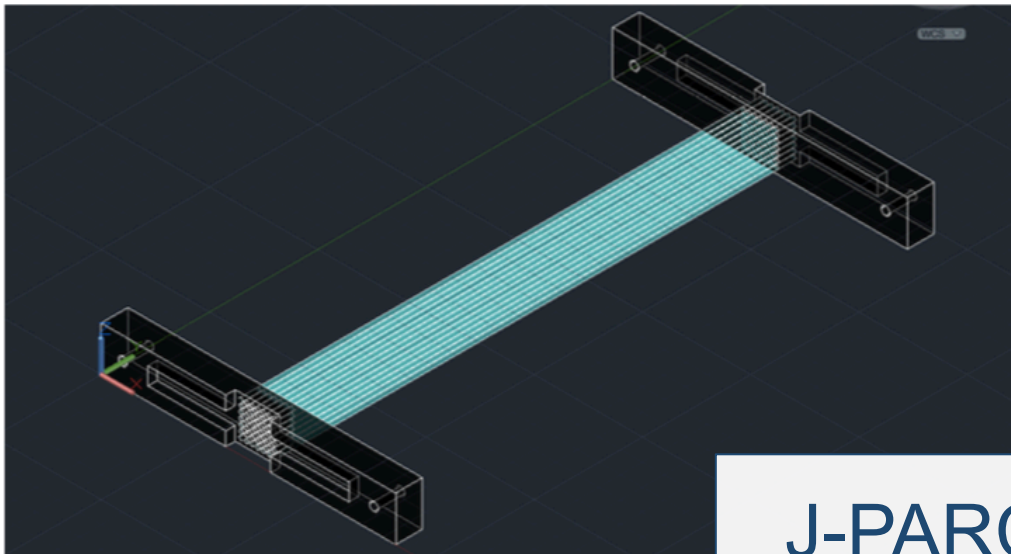
第22回 ICEPPシンポジウム@白馬

Prototype design

- ❖ 2mm角ファイバー (85本) + 3mm×3mm 64ch MPPC array (実質36ch)
- ❖ 既存のファイバーとMPPCの大きさの都合上、ファイバー間に隙間がある
→ 将来的にはMPPCの大きさを調整することで隙間をカバーできる



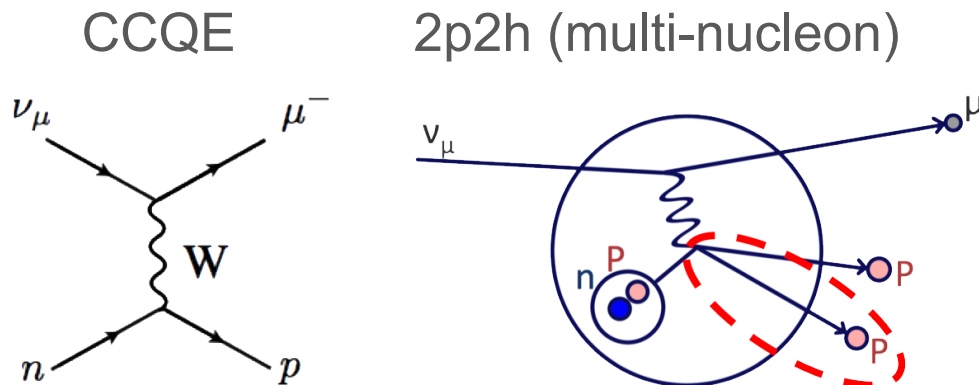
! 今回は反射材なしで作成したので、クロストークの評価(後述)が必要である!



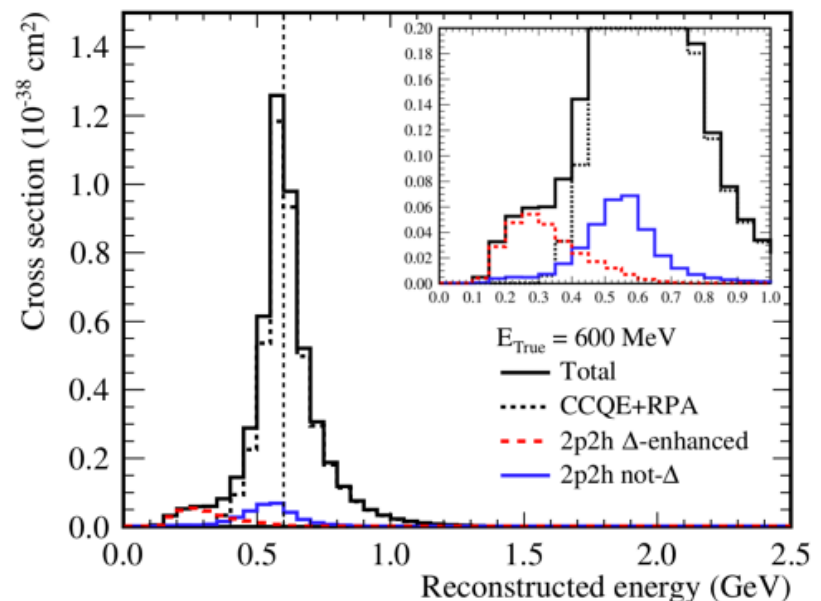
J-PARC T68, そして NINJAへ...

Introduction

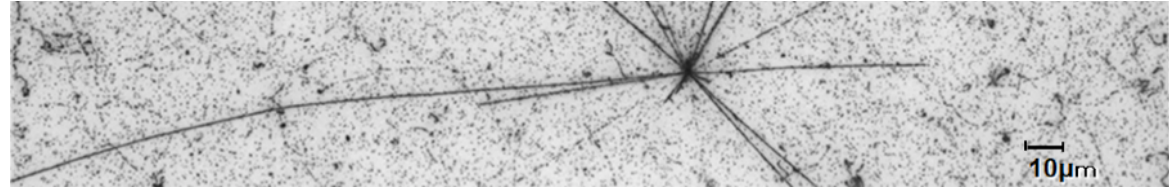
- ニュートリノ-原子核反応の不定性は、T2K実験における系統誤差のおおきな要因となっている
- 2p2h (multi-nucleon) 反応はシグナルであるCCQEと区別が困難
- **低運動量のproton, pionを直接測定し、ニュートリノ反応の理解を深めることが非常に重要**



Reconstructed Neutrino Energy (MC)

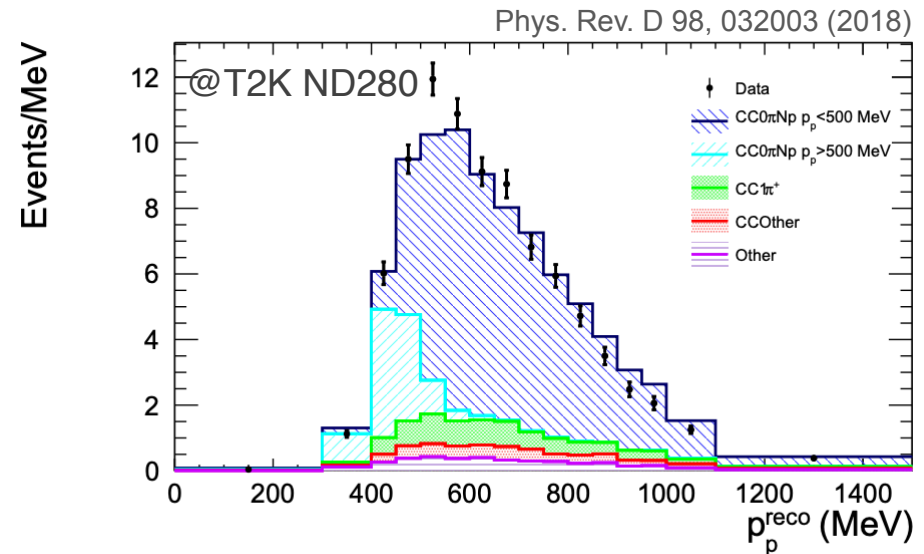
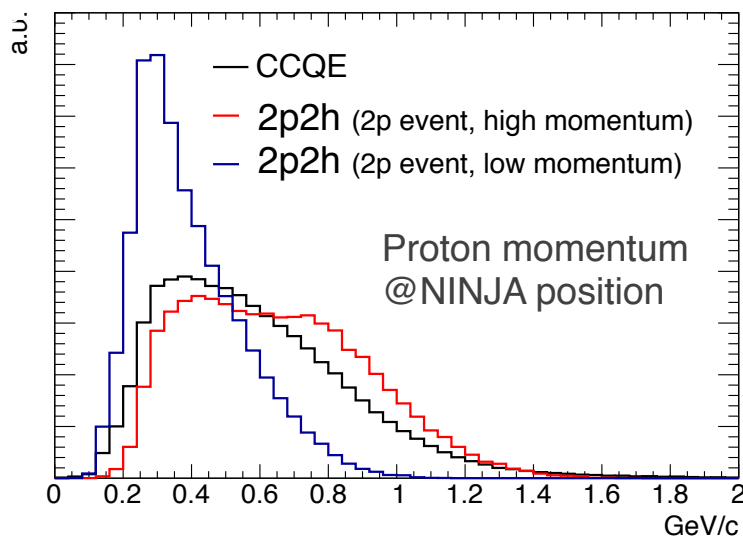


NINJA実験!

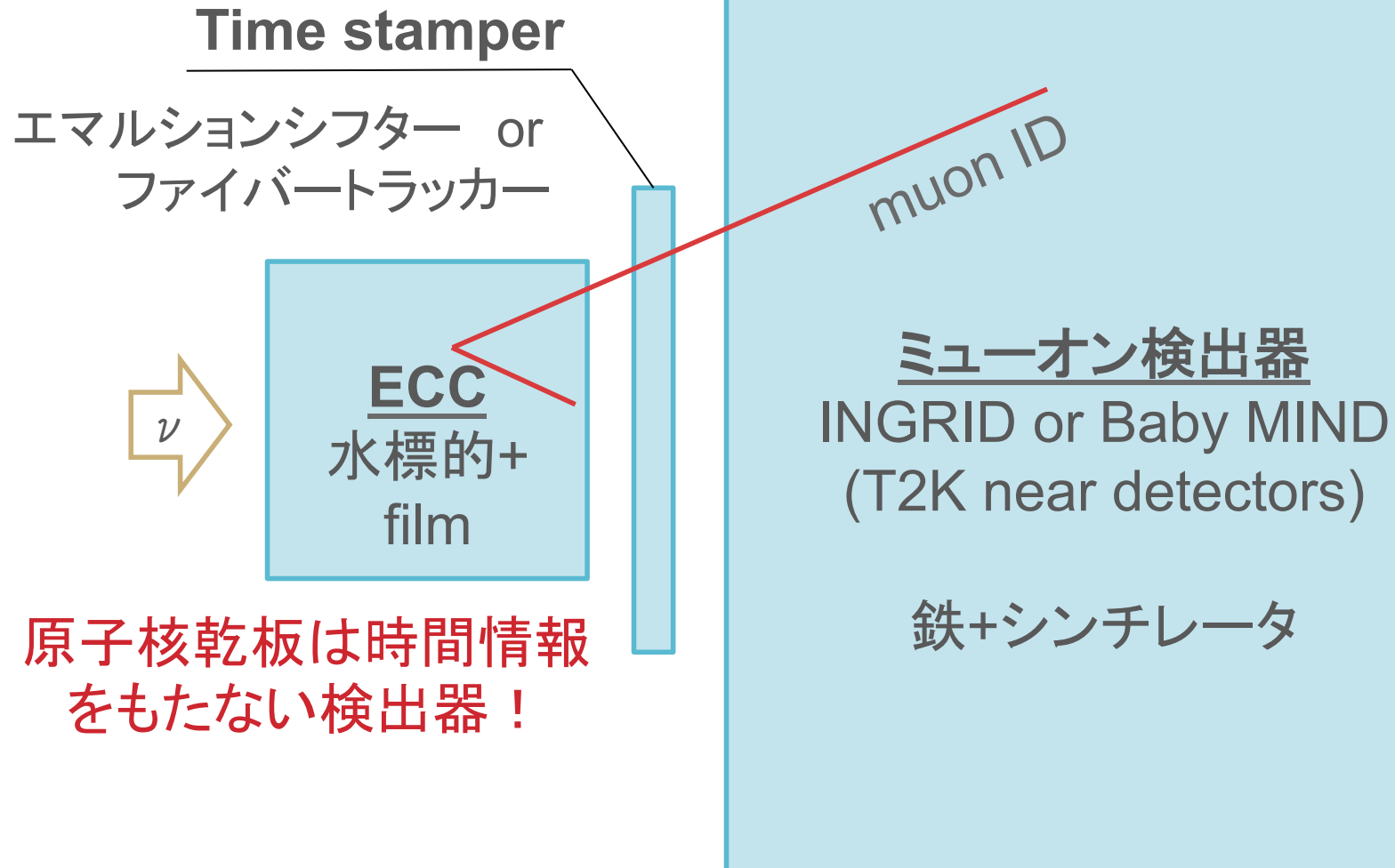


- Neutrino Interaction research with **Nuclear emulsion** and J-PARC Accelerator.
- 水標的を用いた検出器 @ T2K前置検出器ホール
- 原子核乾板: サブミクロンの位置分解能を持つ3D飛跡検出器

~200MeV/c proton thresholdでの水反応の測定が可能



NINJA 検出器



NINJA パイロットラン

水標的パイロットラン (2017-2018)

- 3kg 水標的 原子核乾板検出器
- 0.7×10^{21} POT (protons on target), 反ニュートリノビーム
- 水標的の原子核乾板検出器でニュートリノ反応を測るのは初！

ゴール: muon, pion, protonの角度・運動量測定

パイロットランで解析手法を確立、物理ランへ

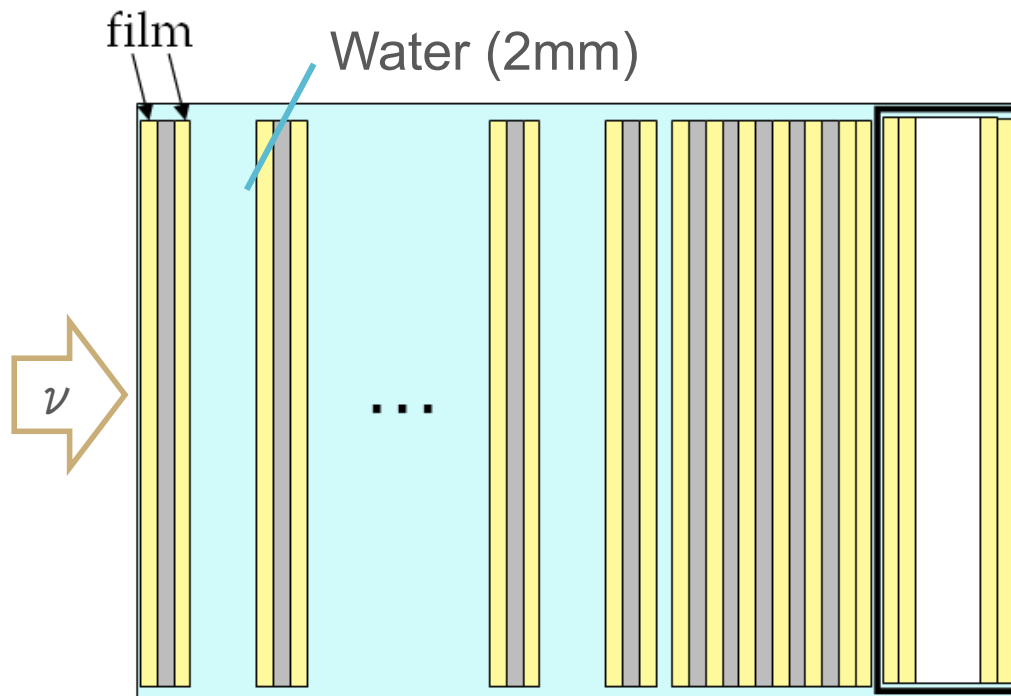
物理ラン (2019-2020)

- 75kg 水標的ラン -> 2019/11 ~ 2020/2 ビーム照射

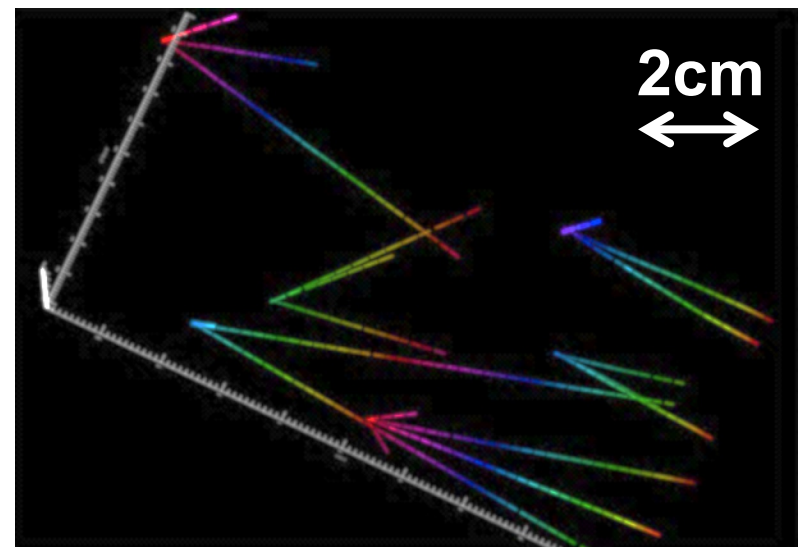
わたし以外のNINJAたちはフィルム回収中...

原子核乾板検出器 ECC

- 水標的とTracking layer (原子核乾板+鉄プレート) が交互に並ぶ
- 各原子核乾板フィルムにおけるトラックの位置、角度およびエネルギー損失 (blackness) の情報を得ることができる



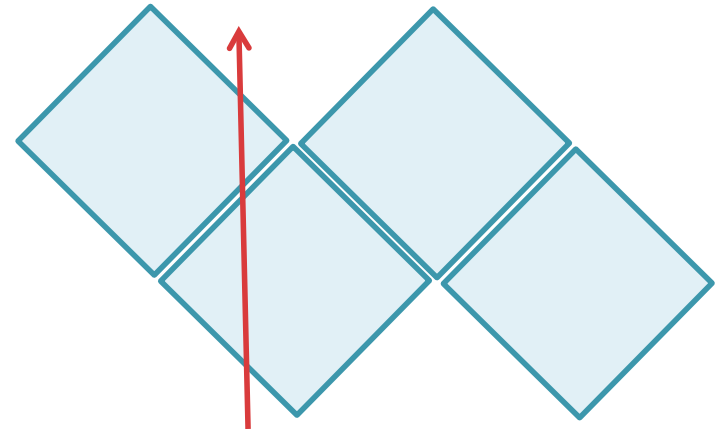
再構成後のニュートリノ反応候補



ファイバートラッカー&INGRID

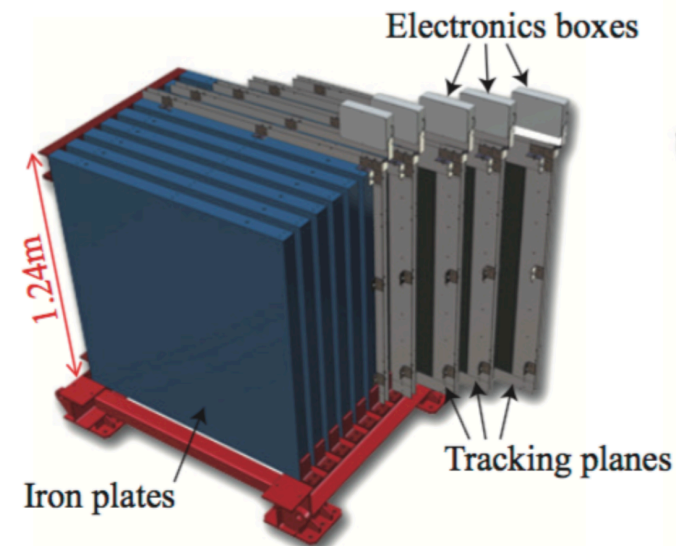
シンチレーションファイバートラッカー

- 1mm角ファイバーをジグザグに並べる
- 隣り合うファイバーの光量比を使う
- **40×40cm² 512ch, 位置分解能~300μm**
- 原子核乾板に時間情報を与える

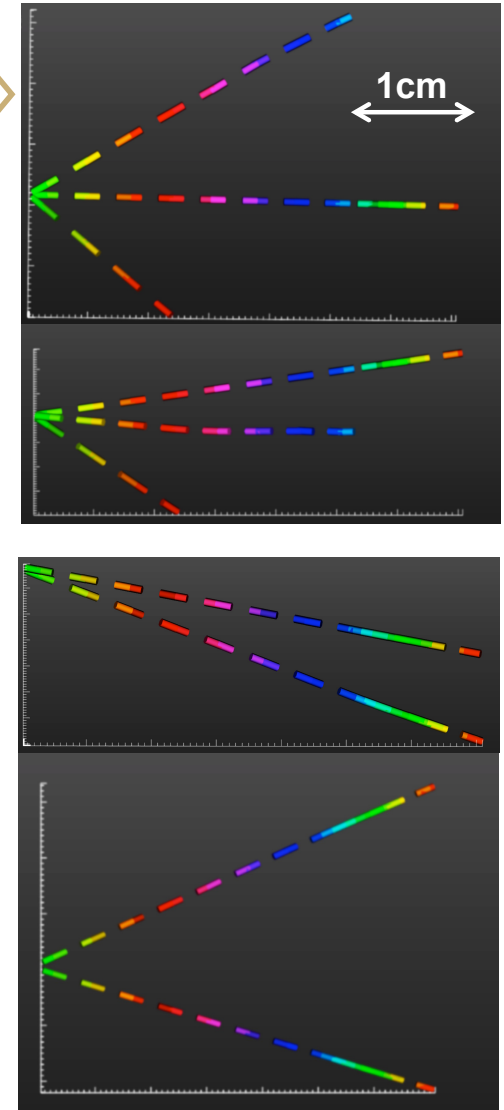
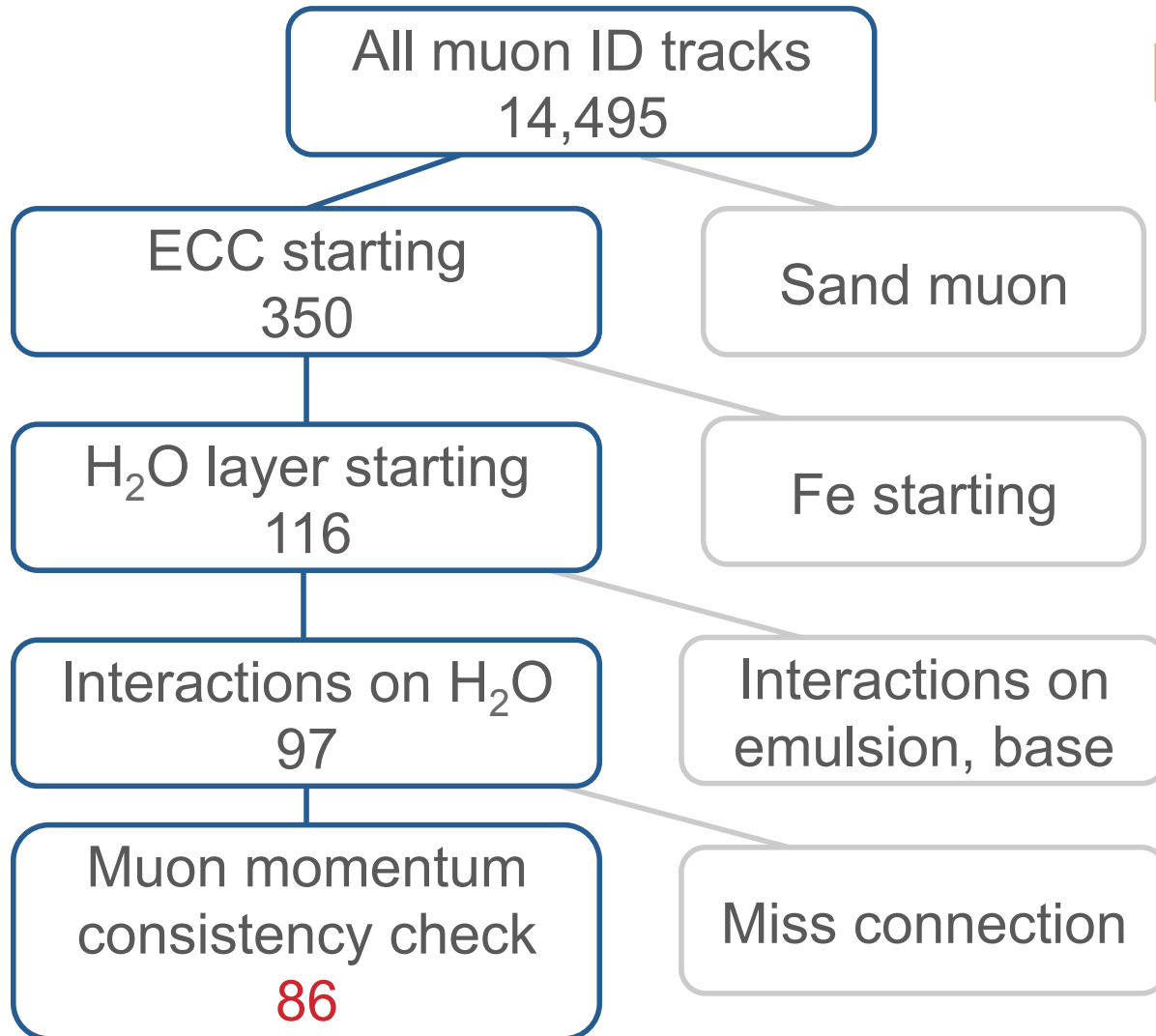


INGRID

- T2K on-axis前置検出器
- 鉄とシンチレータの層構造
- ミューオンを測定する



Event selection



Track multiplicity

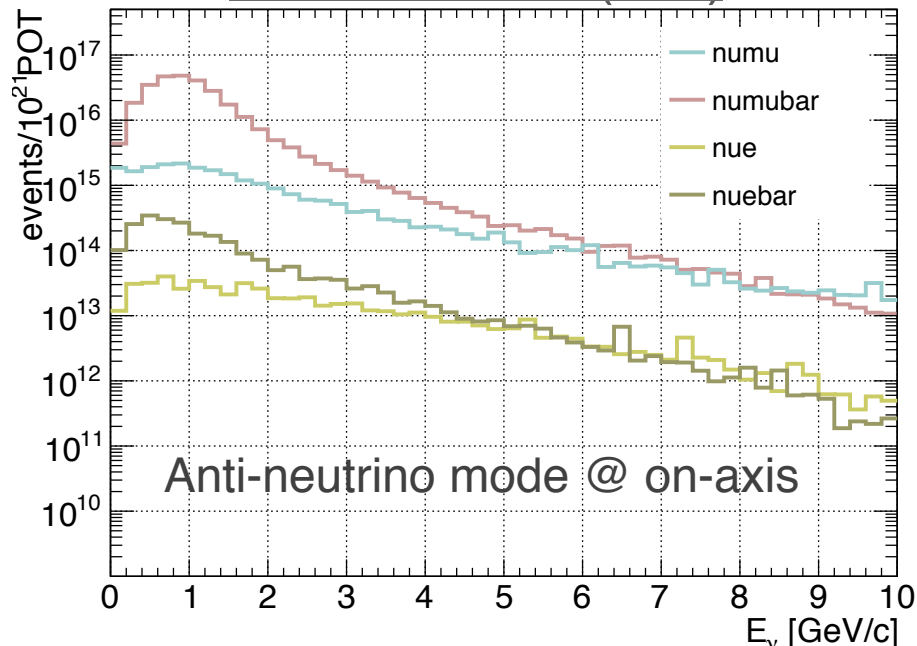
Total: 86 events (MC: 96.3)

- 反ニュートリノモード=> Single track (muのみ) のイベントが多い

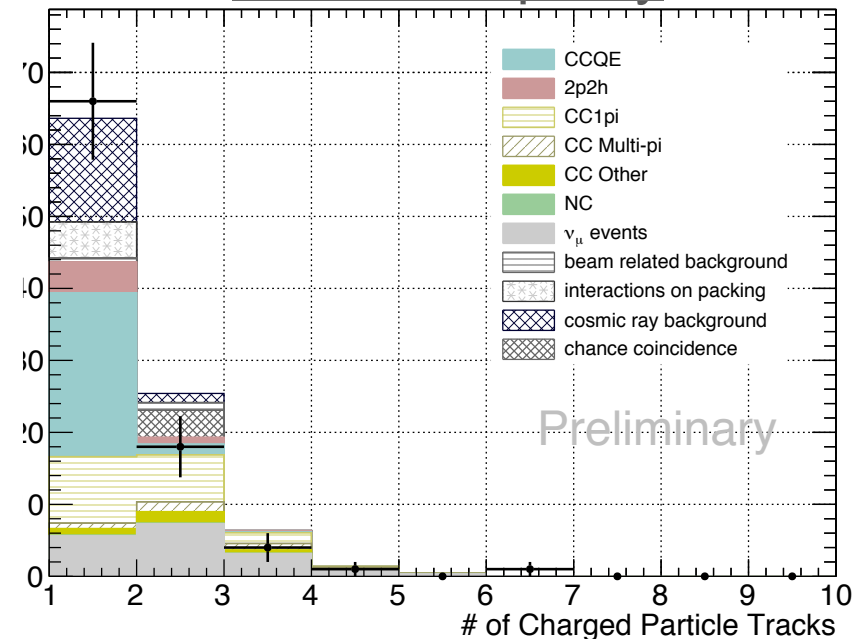
Track Criteria:

- $|\tan\theta_x| \leq 1.3$, $|\tan\theta_y| \leq 1.3$
- # of emulsion layers ≥ 2 (Black), ≥ 10 (MIP)

Neutrino Flux (MC)



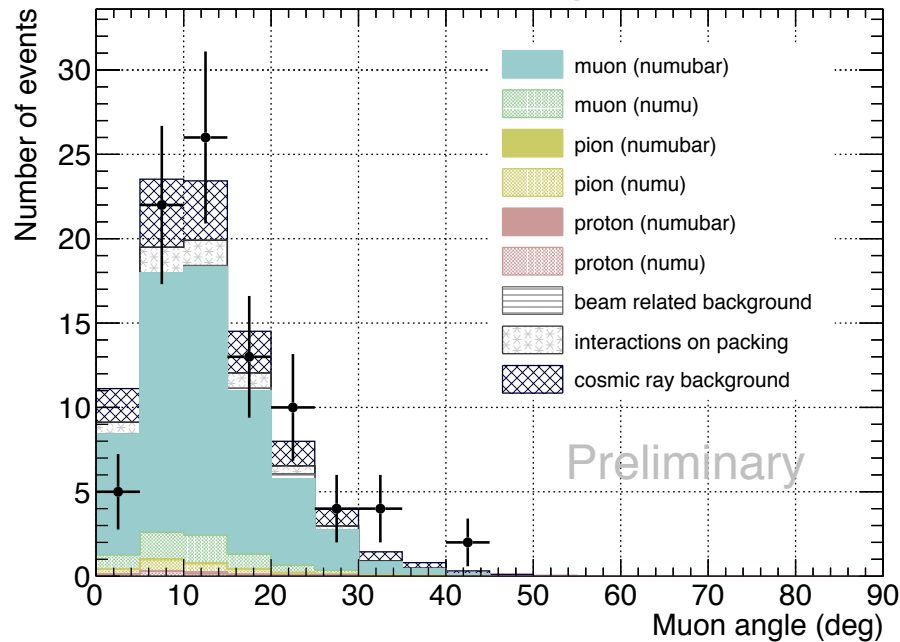
Track multiplicity



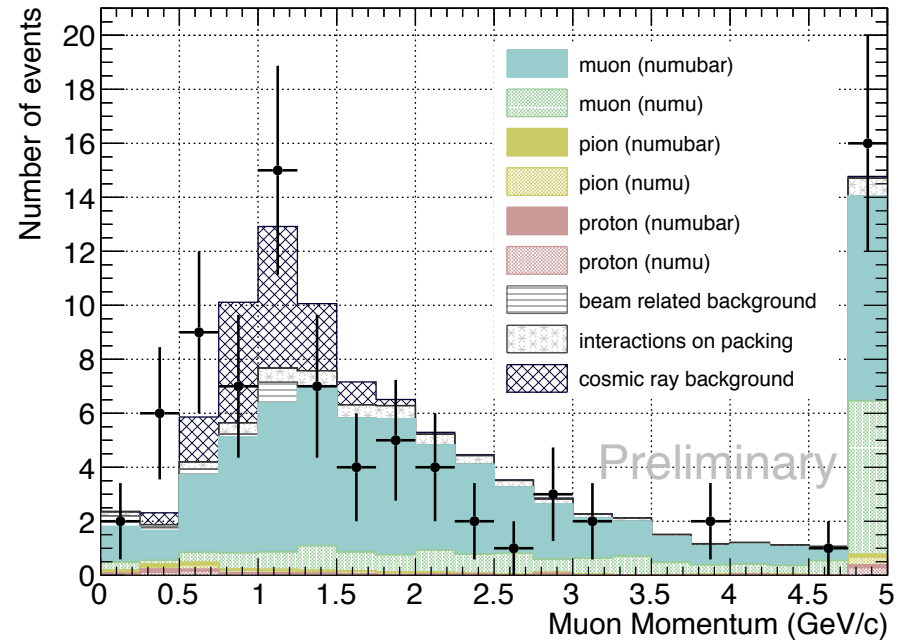
Muon distribution

- 運動量はECC中のMultiple Coulomb scatteringで測定可能
(そのためにECCのなかには鉄板がたくさんある)

Muon angle

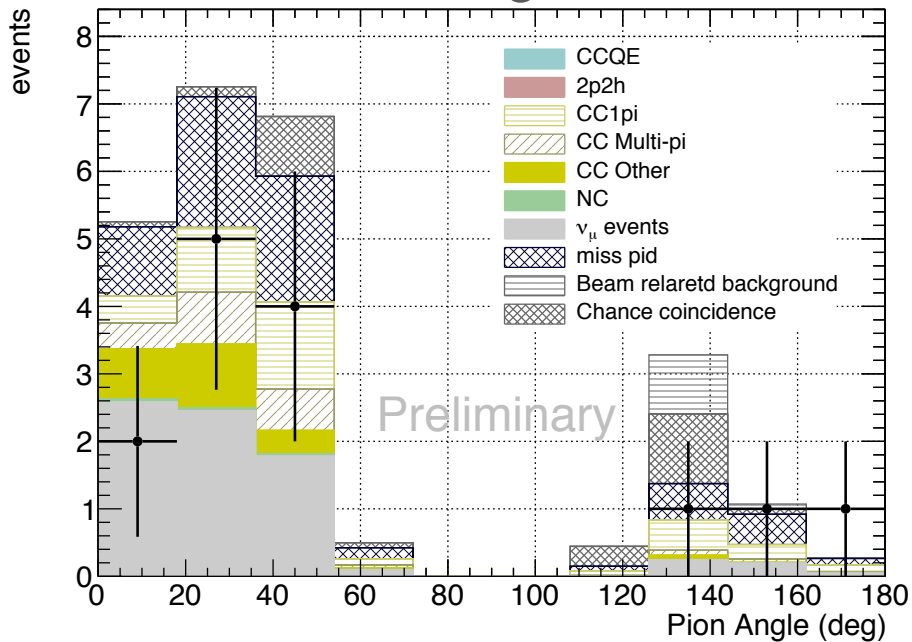


Muon momentum

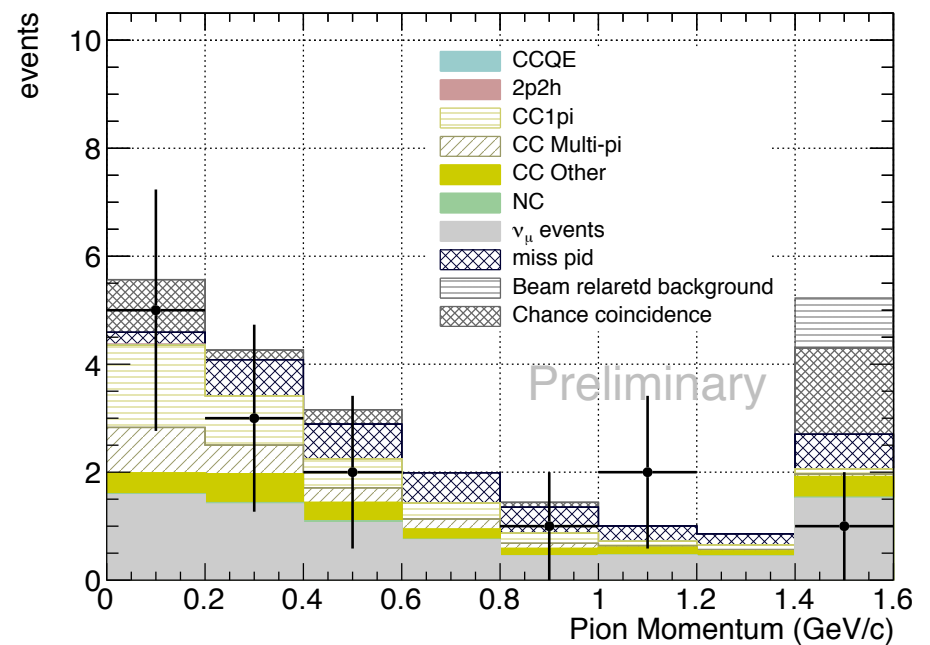


Pion distribution

Pion angle



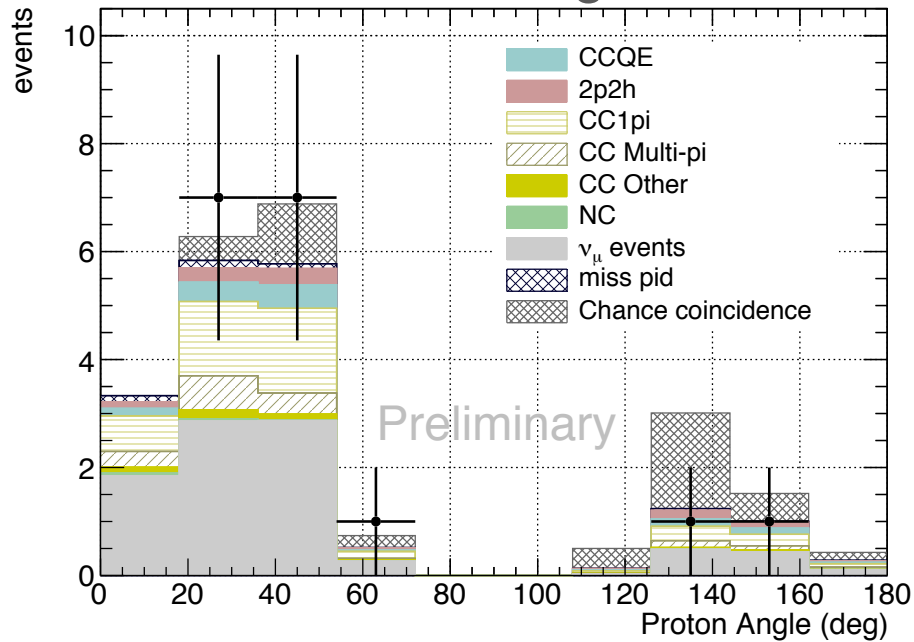
Pion momentum



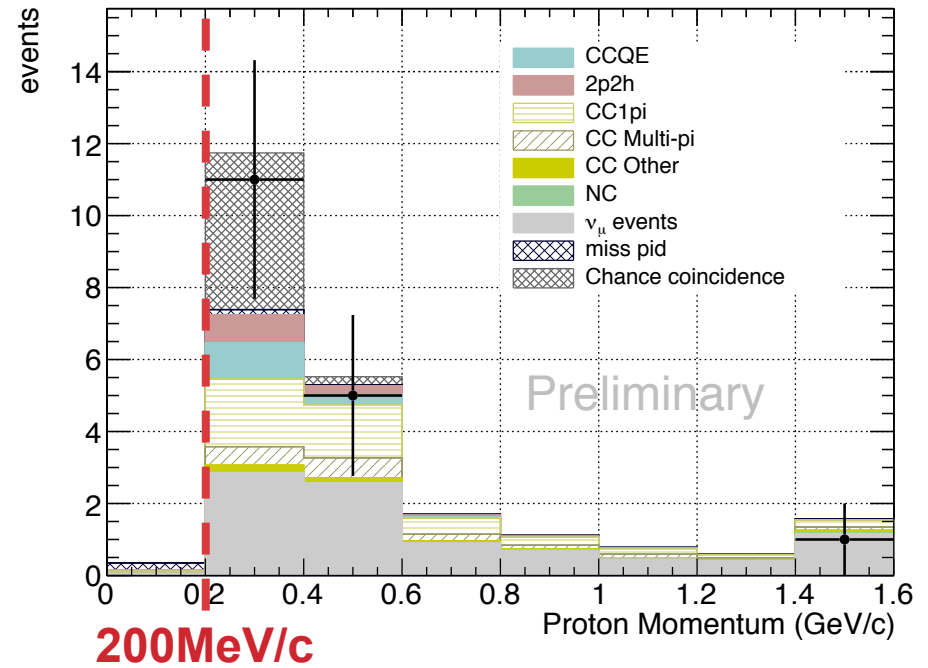
Proton distribution

- 水標的で、 $200\text{MeV}/c$ 以上のprotonを検出することに成功！

Proton angle

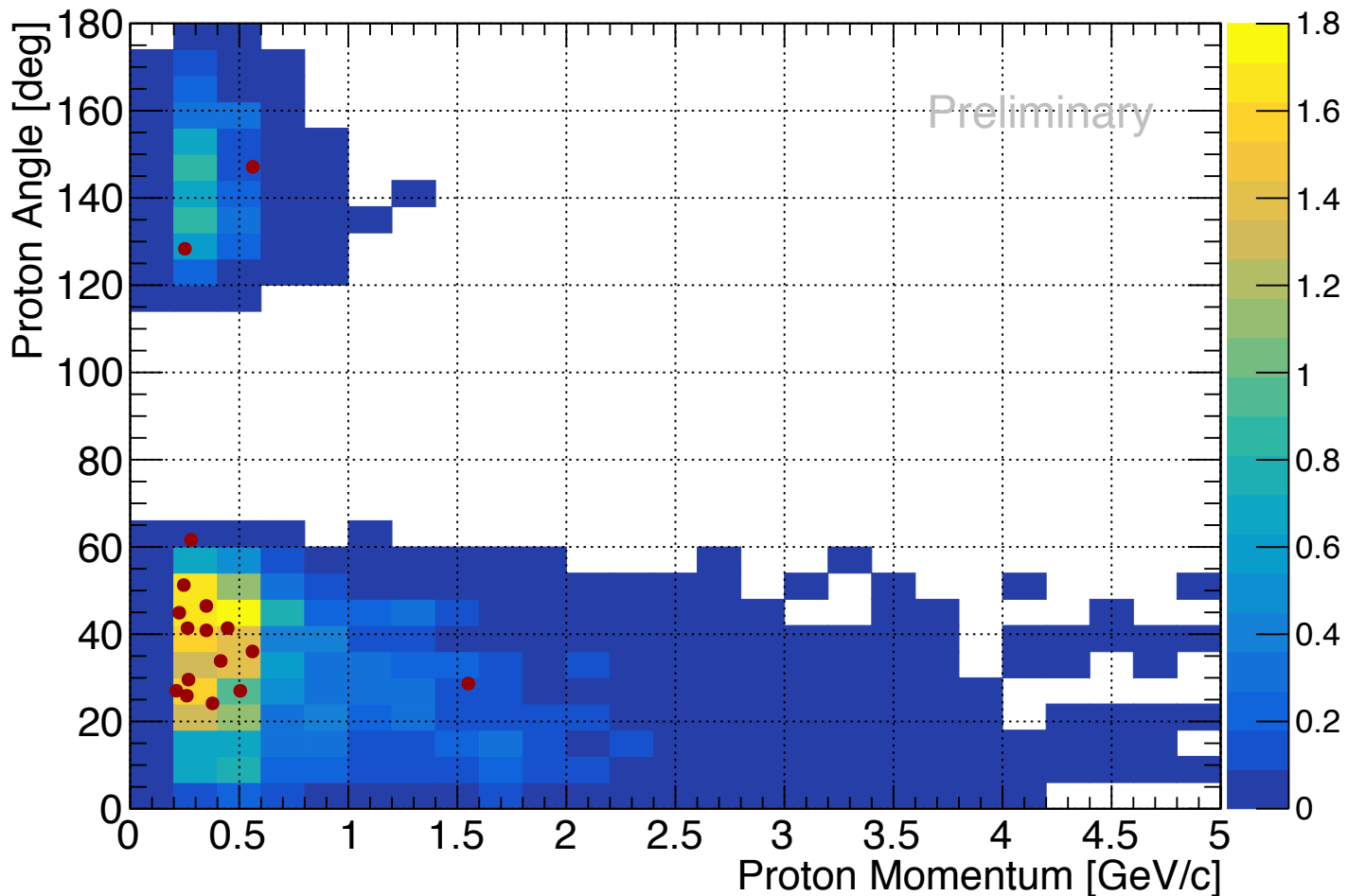


Proton momentum



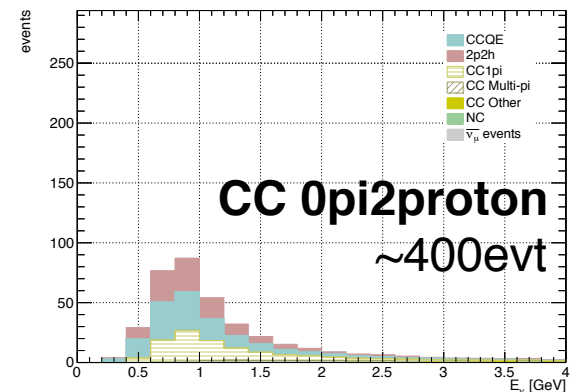
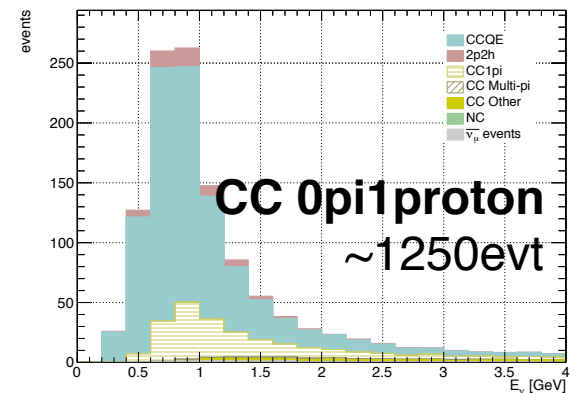
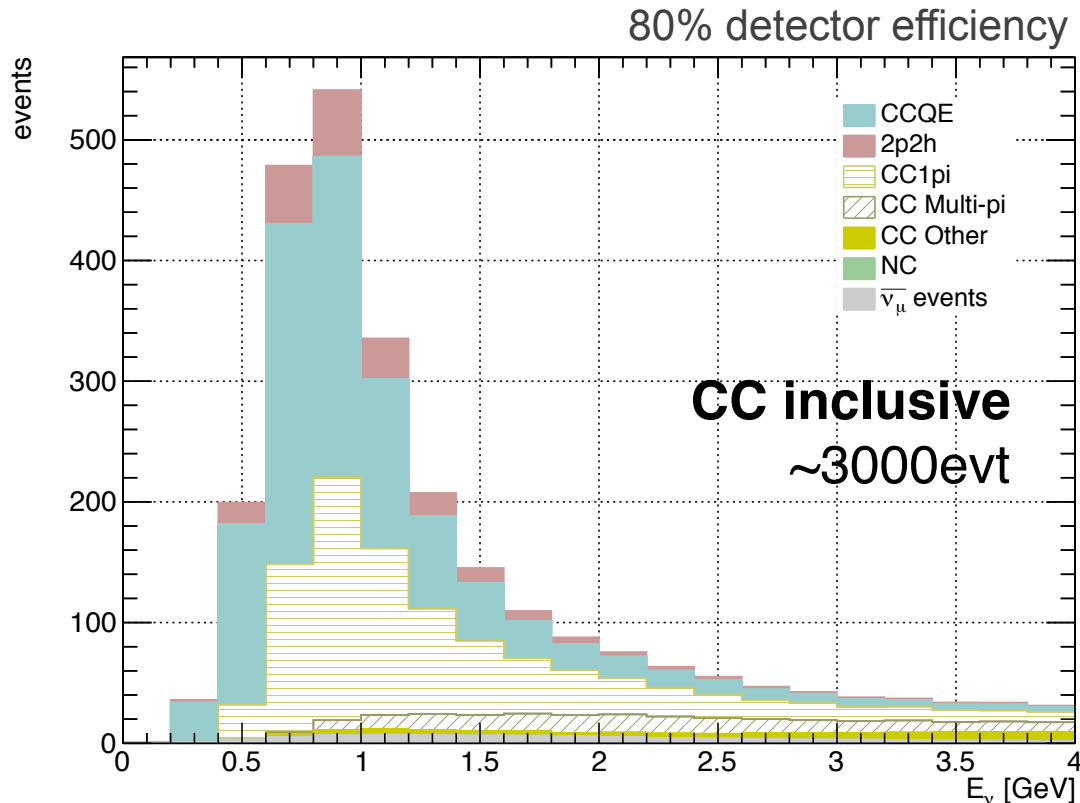
Proton distribution

- 水標的で、 $200\text{MeV}/c$ 以上のprotonを検出することに成功！



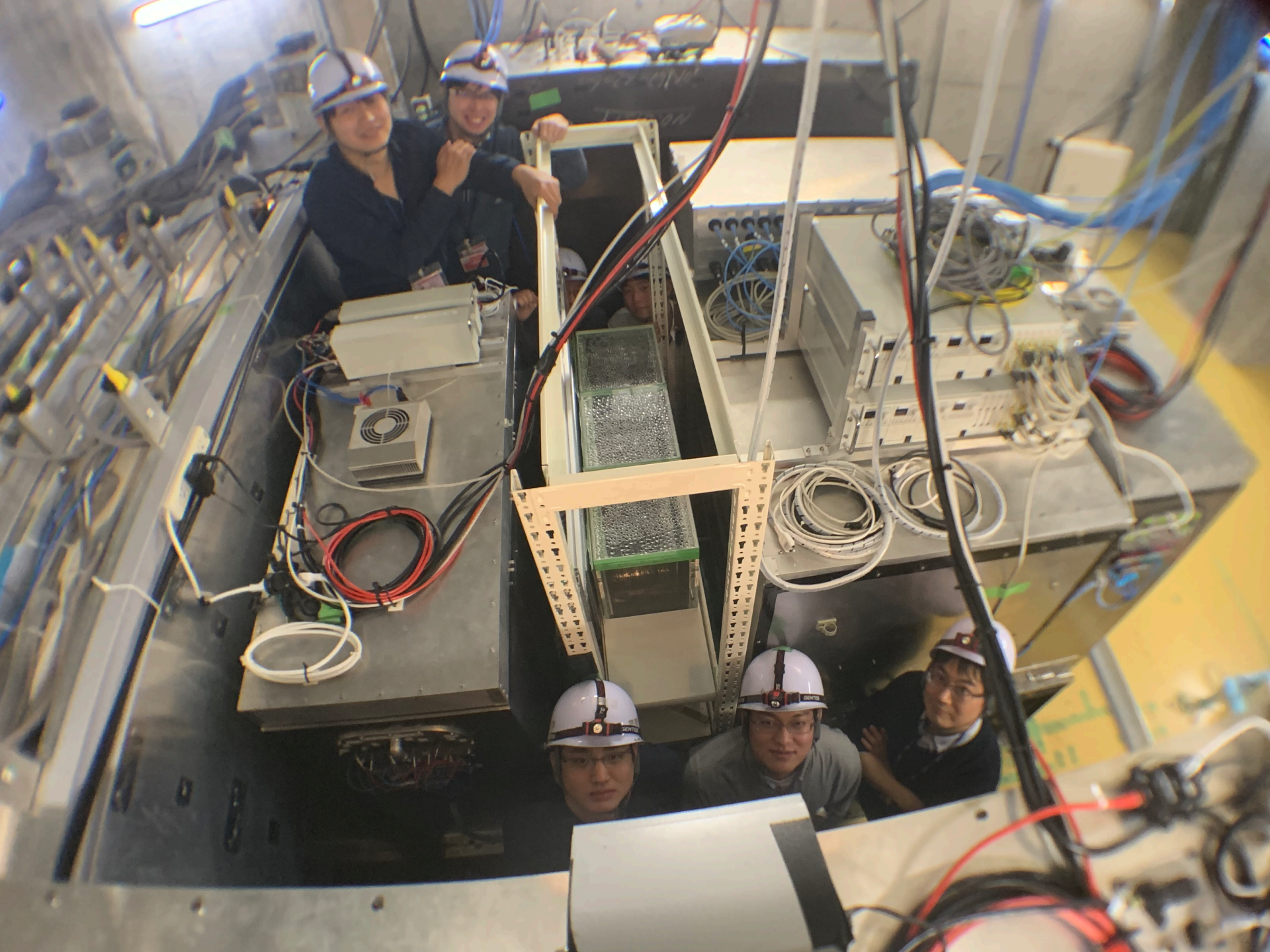
NINJA物理ラン

- ニュートリノ反応の数×20倍以上
- 反ニュートリノのパイロットランから、ニュートリノモードの物理ランへ
(ニュートリノモードだと、たくさん陽子がでてきてうれしい)



まとめと展望

- NINJA実験: 水標的ニュートリノ反応の精密測定を行なっている
- 2017-2018にかけてパイロットランを行い、水標的ニュートリノ反応からの陽子を200MeV/cの閾値で観測することに初成功!
- 2019年11月から先週まで物理ランのビーム照射
=> 現像、(ひたすら)スキャンをして大統計のデータ解析へ

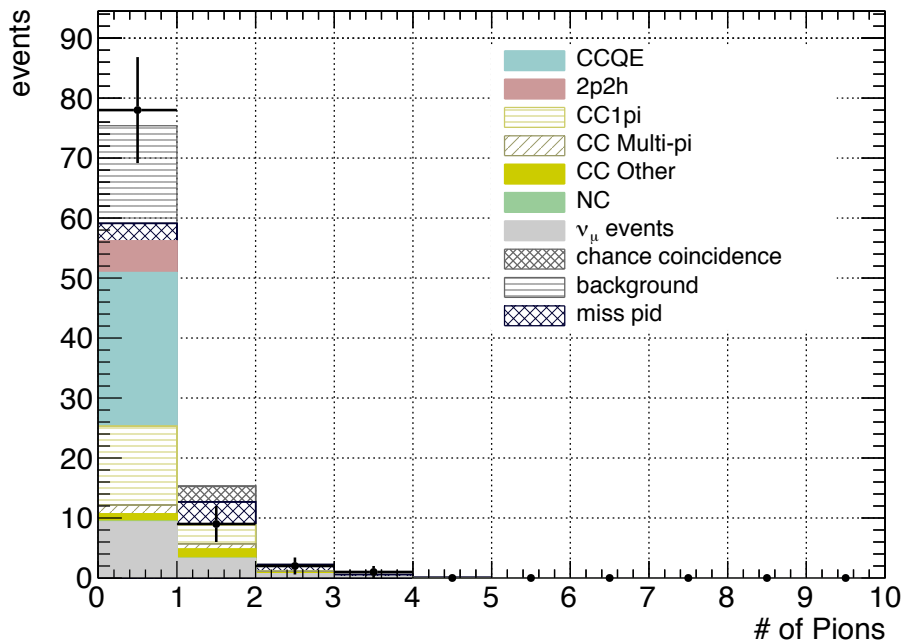


Pion/Proton Tracks

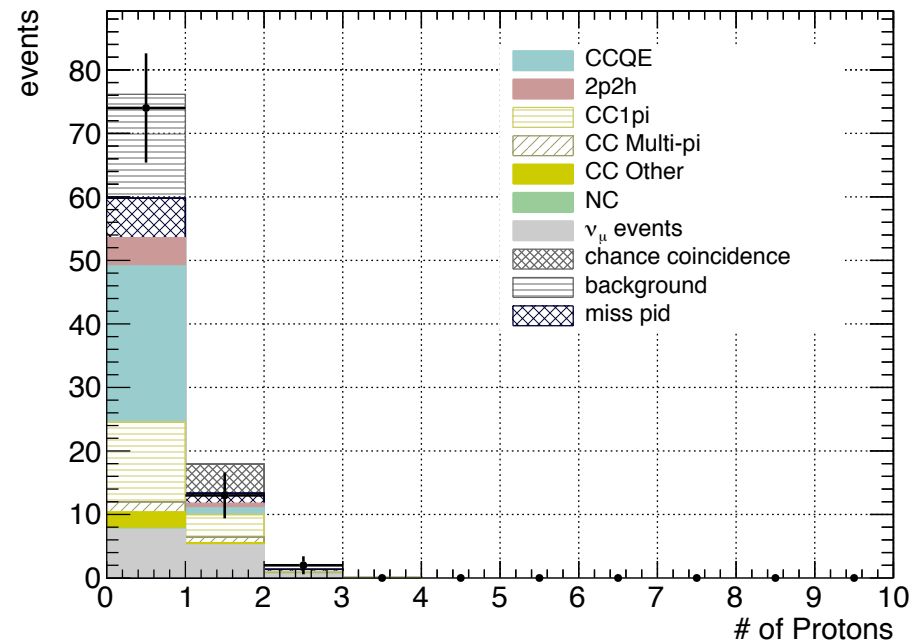
Vertex Criteria:

- Minimum distance from muon track $< 50\mu\text{m}$

of Pion tracks



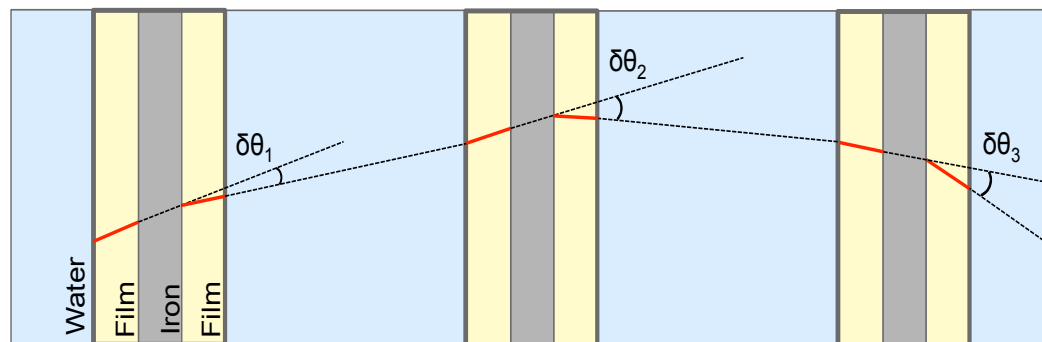
of Proton tracks



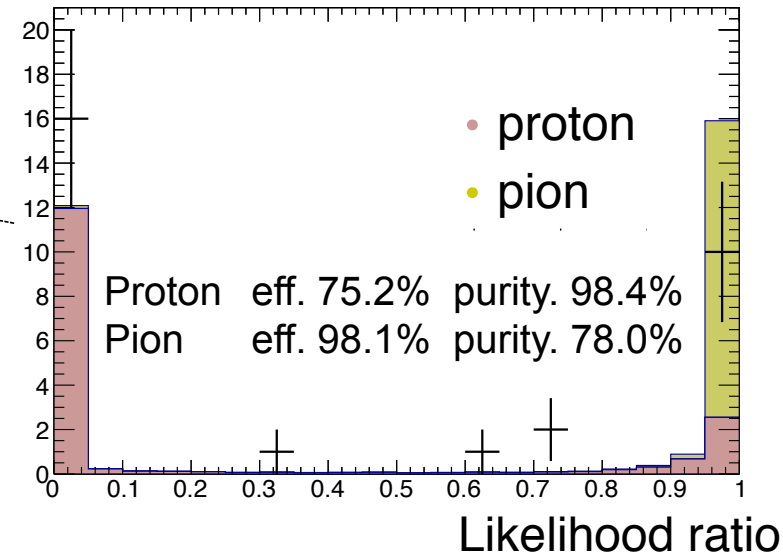
運動量測定と粒子識別

原子核乾板で測れるもの

- Multiple Coulomb scatteringによる運動量 ($P\beta$) 測定
=> 測定精度: 20~30% (水標的検出器では初の試み)
- 運動量とエネルギー損失(飛跡の濃さ)を用いた粒子識別

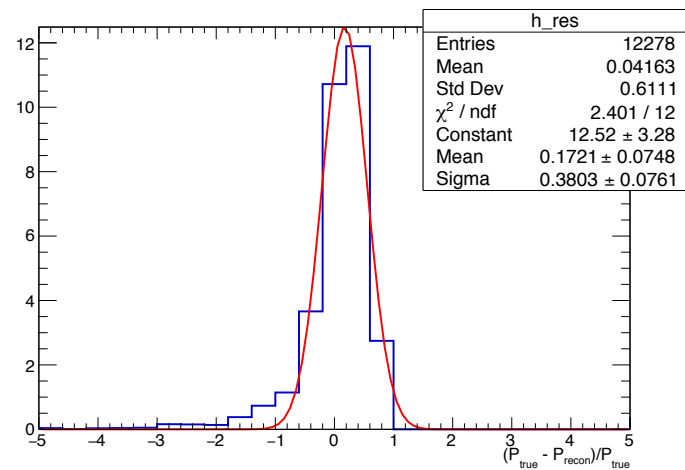
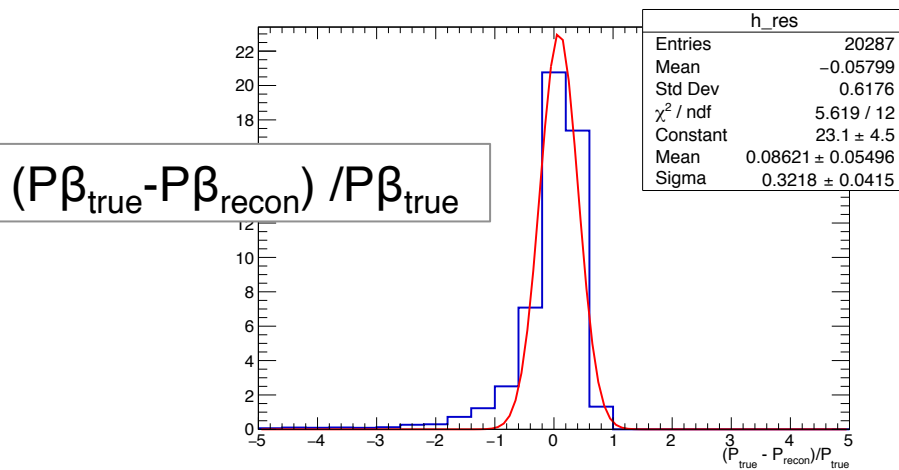
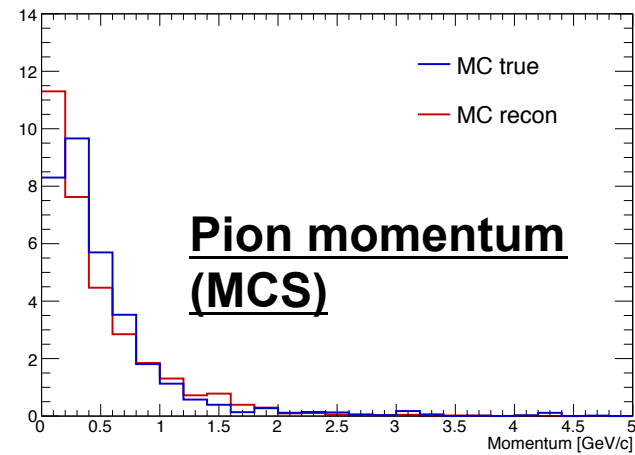
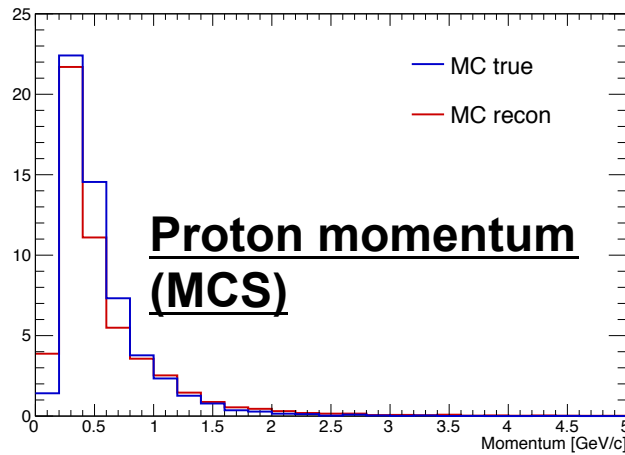


$$\theta_0 = \frac{13.6 \text{ MeV}}{\beta c p} z \sqrt{x/X_0} \left[1 + 0.038 \ln(x/X_0) \right]$$

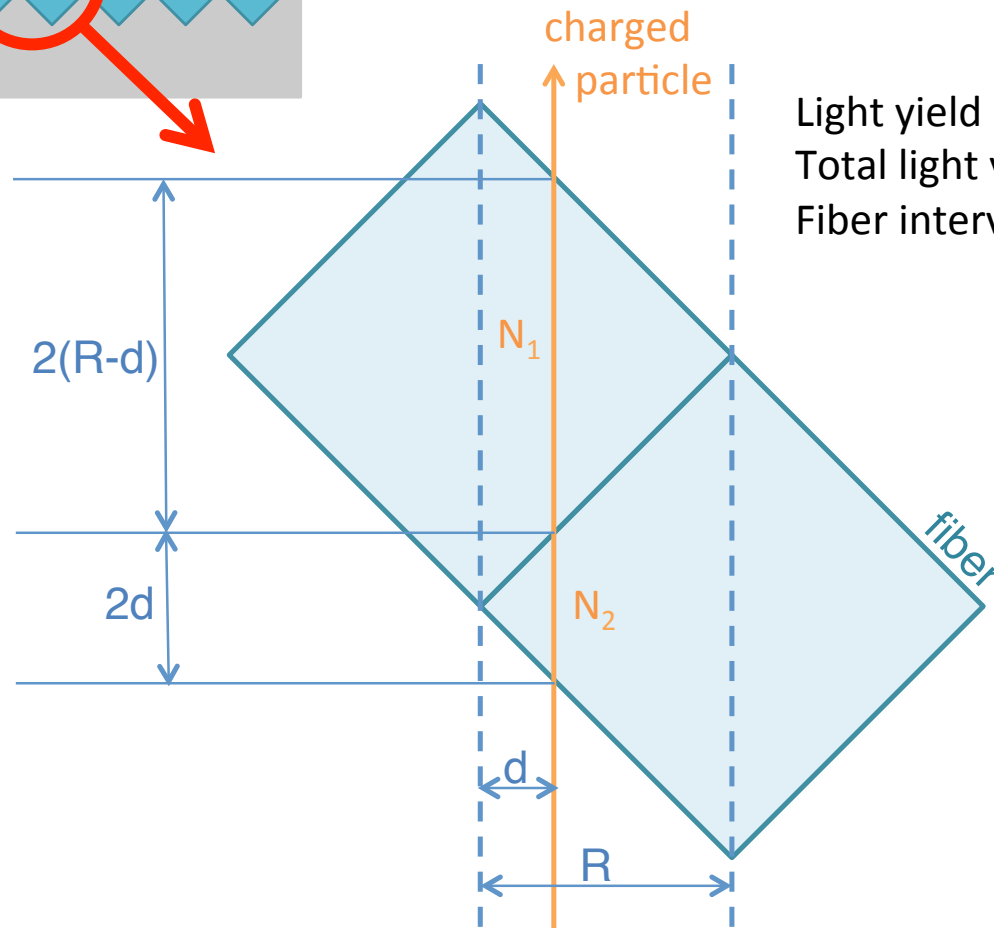
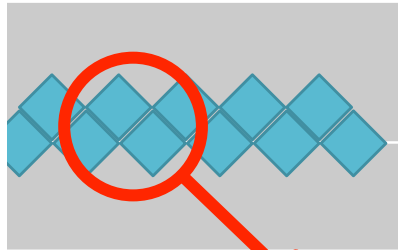


Momentum reconstruction

- 30~40% resolution

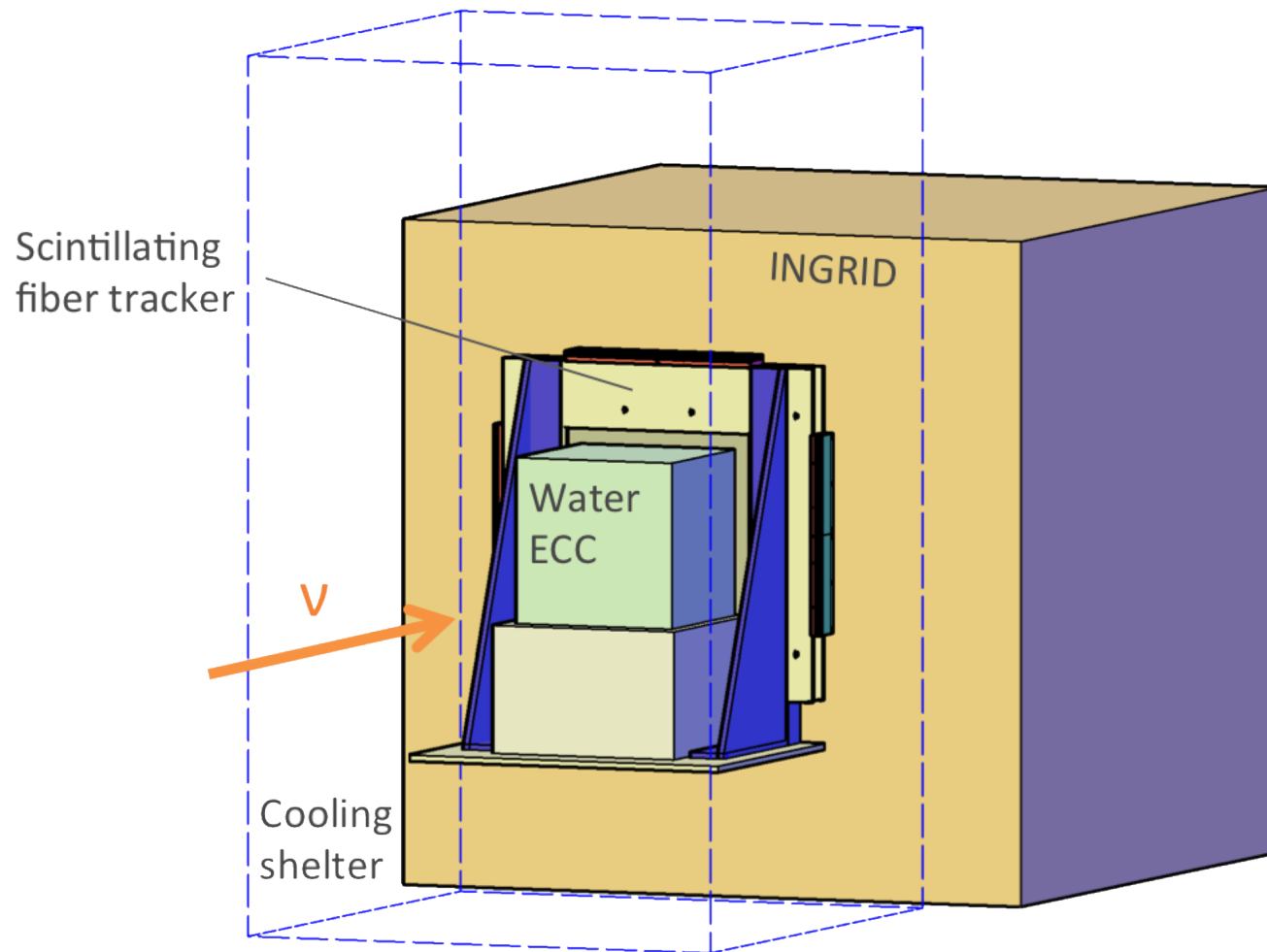


SFT



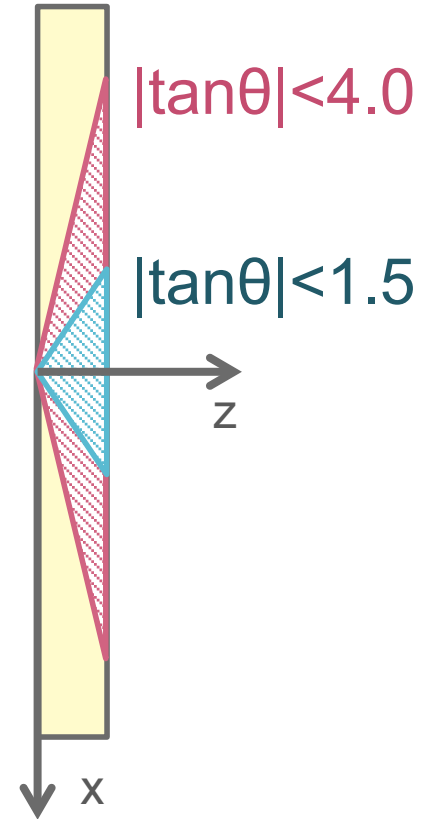
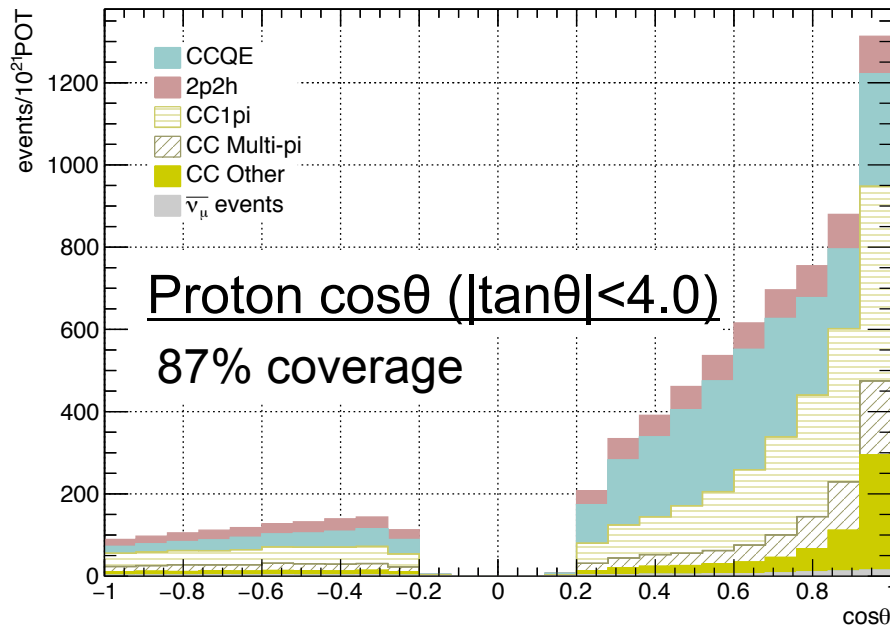
Light yield in each fiber : N_1, N_2
 Total light yield : $N_1 + N_2 = N$
 Fiber interval : R

SFT



Acceptance

- muon acceptance: depends on MRD
(BabyMIND: $-1.5 < \tan\theta_x < 2.5$, $|\tan\theta_y| < 1.5$)
- others: $|\tan\theta| < 4.0$ ($|\tan\theta| < 1.5$ for test runs)



Momentum threshold

muon, pion -> negligible
proton -> $\sim 200\text{MeV}/c$