

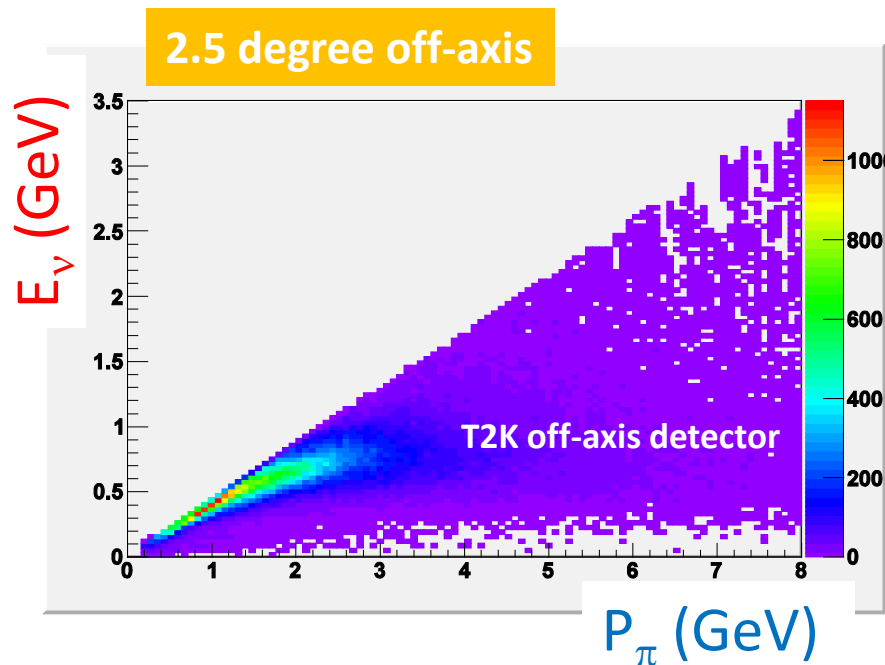
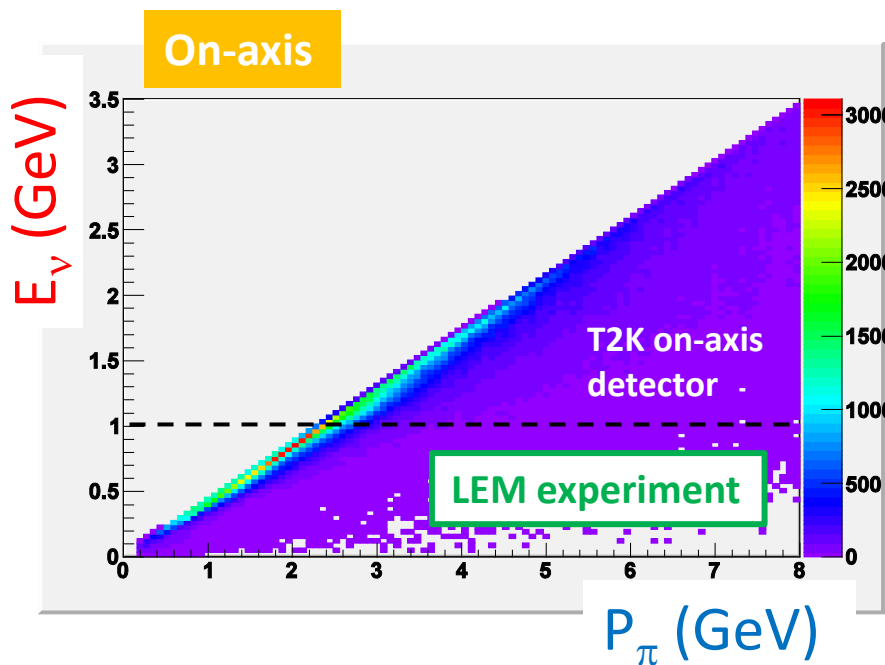
P35 experiment:

J-PARCニュートリノビームにおける
on-axis方向の低エネルギーフラックス測定

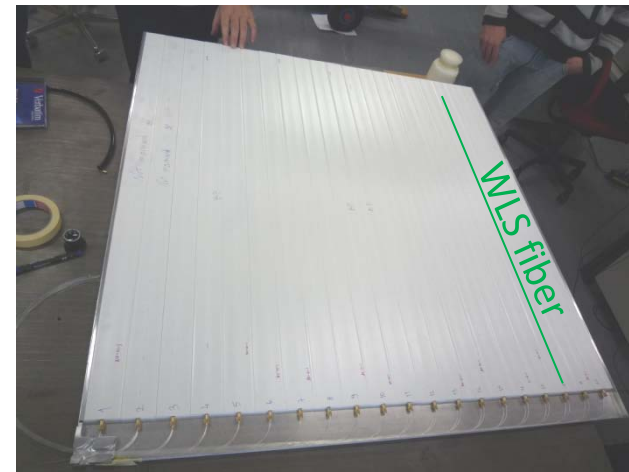
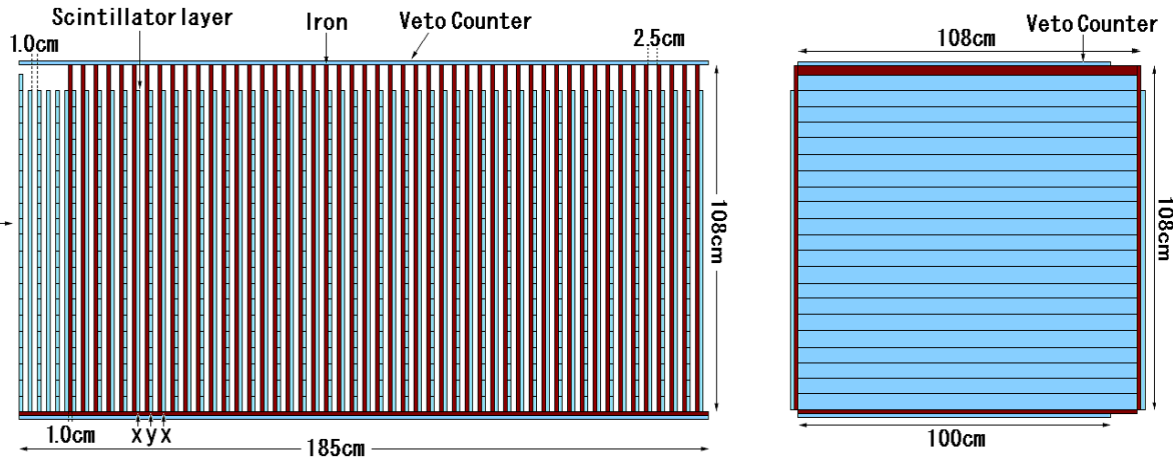
梶裕志, 梶田隆章, Lee Ka Pik,
Thomas McLachlan, 奥村公宏(東大宇宙線研)
他LEM (P35) experiment

LEM (P35) experiment

- J-PARC PACに提案・承認されたテスト実験
- ニュートリノ (ν) ビームのon-axis方向, 1GeV以下成分を測定
 - この ν -beam成分は既存のどの検出器でもカバーされていない
 - On-axis方向は ν エネルギー(E_ν)と親 π^\pm 運動量(P_π)に良い相関
- 現在・将来の ν 実験のため、 ν fluxの理解を深める



LEM detector

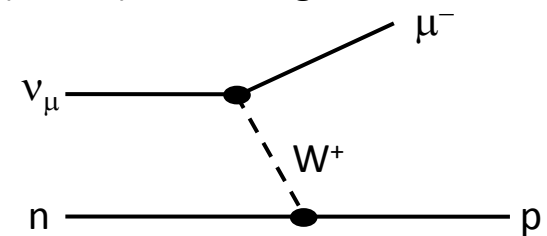


- 鉄+シンチレータのサンドイッチ構造(ともに厚さ1cm)
- シンチレータ層(以後counter plane)は、
xもしくはy方向に光学的に分割
- Wave length shifting fiberによる片面読み出し
- Hit efficiency: 99.7 % with >1.5 p.e. (MIP~10 p.e.)

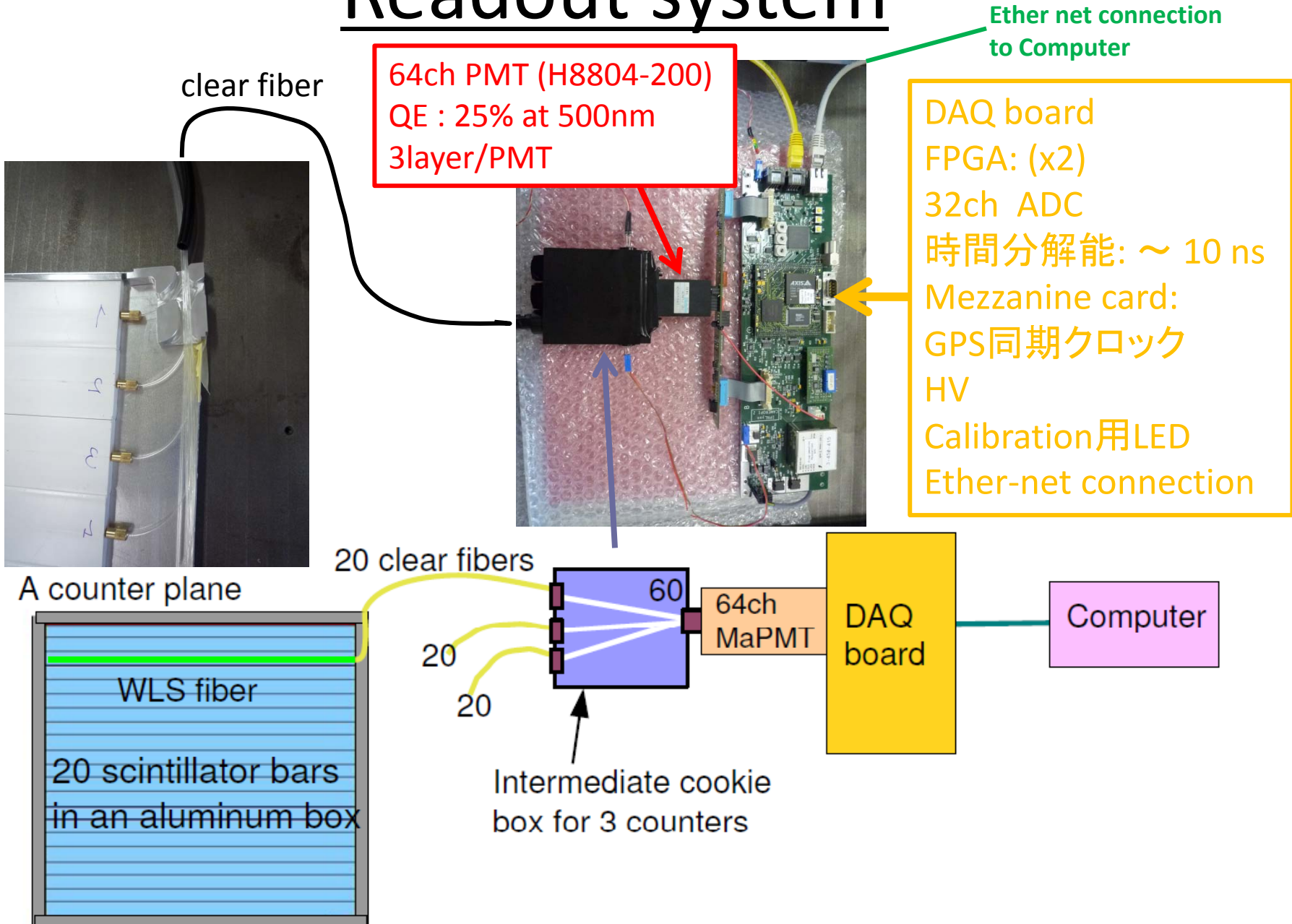
- エネルギー E_ν 測定 \Rightarrow hitから μ 粒子飛跡を同定
 \Rightarrow 運動量、散乱角を再構成
 \Rightarrow CC QEを仮定し E_ν 再構成

$$E_\nu = \frac{1}{2} \cdot \frac{2M_p E_\mu - M_\mu^2}{M_p - E_\mu + \sqrt{E_\mu^2 - M_\mu^2} \cdot \cos \theta_\mu}$$

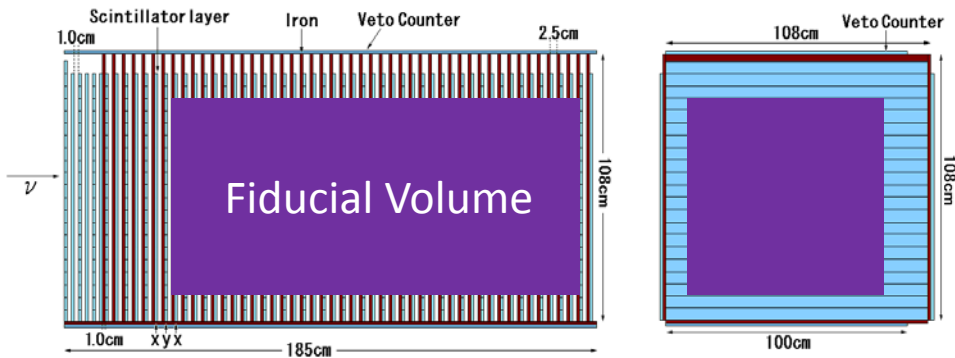
Charged Current Quasi-Elastic (CC QE) Scattering



Readout system



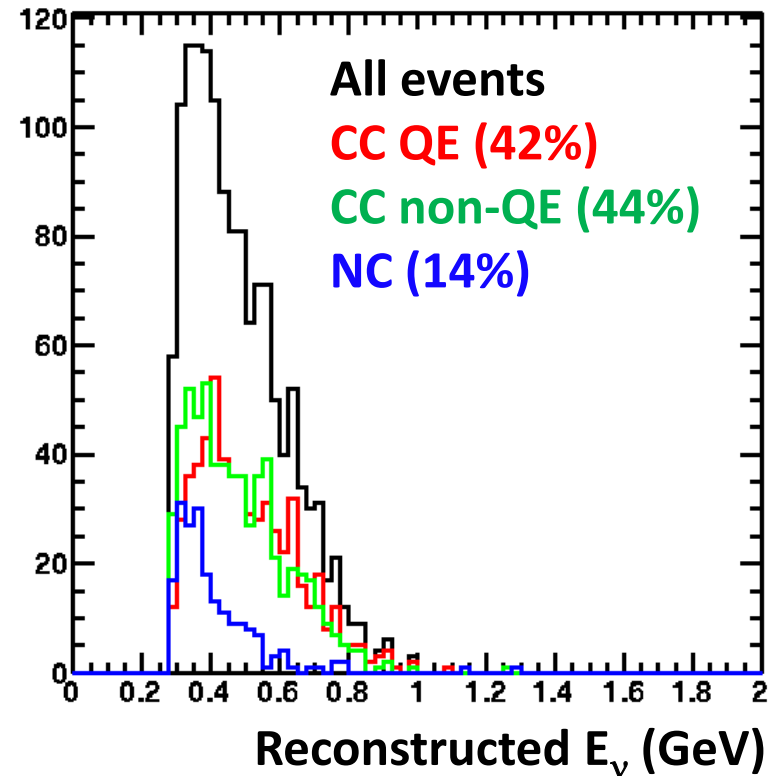
Expected data



Event selection:

- No veto hit
- Fiducial volume cut
- $N_{\text{layer}} \geq 5$
- Selection based on CCQE topology

GEANT4 simulation (100kW x 4 month)



CC QE purityが低い (~42%)

- NC($E_\nu > 1\text{GeV}$)では反跳陽子を μ とmis-ID

- CC non-QEは μ 情報だけではエネルギー再構成できない

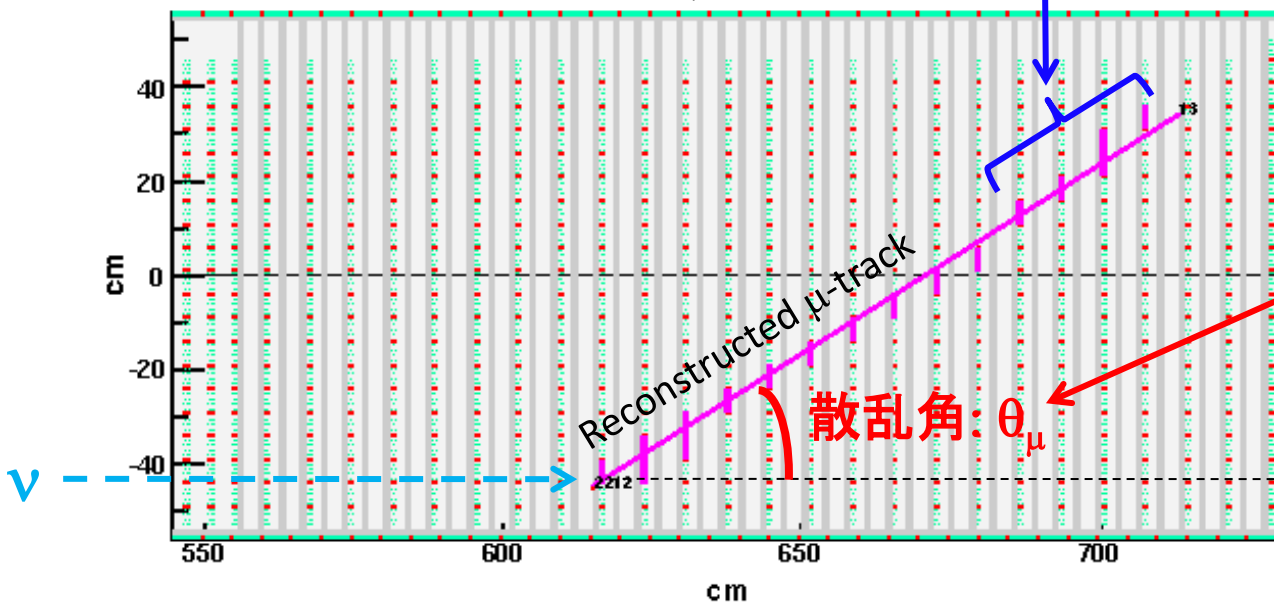
Offline解析によるfinal sample中のCC QE成分の評価が必要

PE_{tail} and cos θ_μ の定義

CC QEとCC non-QE, NCで分布に違いが見えるPE_{tail}, cos θ_μ を用いて、それぞれの事象数を評価する。

NCはprotonをtrackしてしまう。
trackの各layerでphoto-electron数が μ より大きい。
後半4 layerのphoto-electron数, PE_{tail}, を用いる

Event display for CC QE with $P_\mu = 655$ MeV

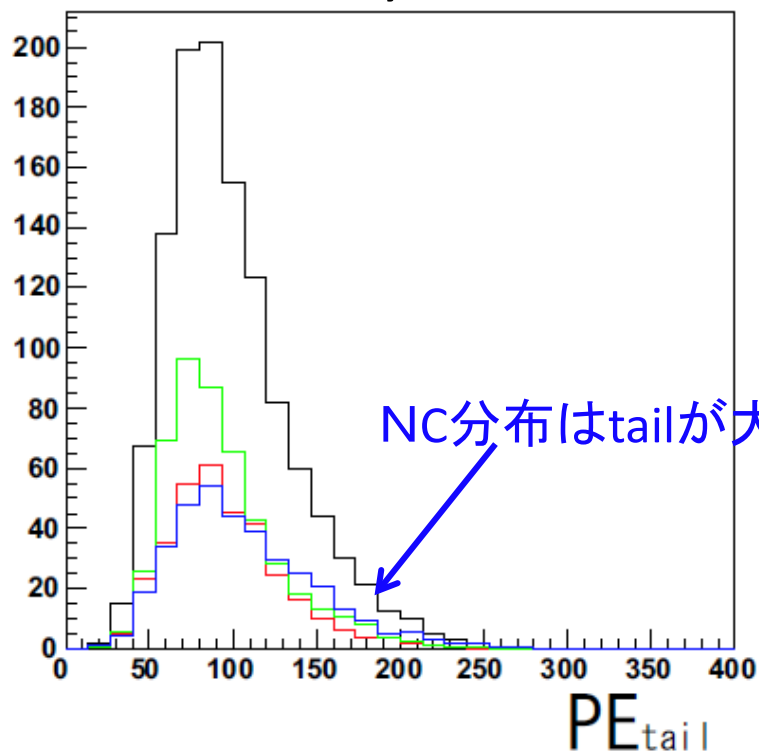


CC non-QEは前方散乱で
断面積が大きくなるため、
cos $\theta_\mu \sim 1$ にpeak

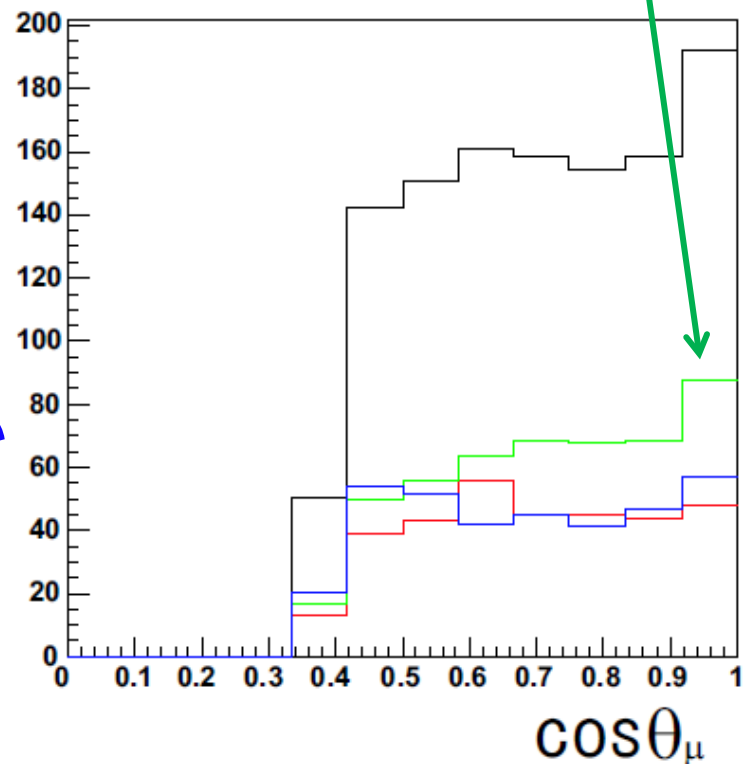
Final sampleの PE_{tail} と $\cos\theta_{\mu}$ 分布

MC simulation
50 kW x 6 month統計

All events, CC QE
CC non-QE, NC



CC non-QEは $\cos\theta_{\mu} \sim 1$ にpeak

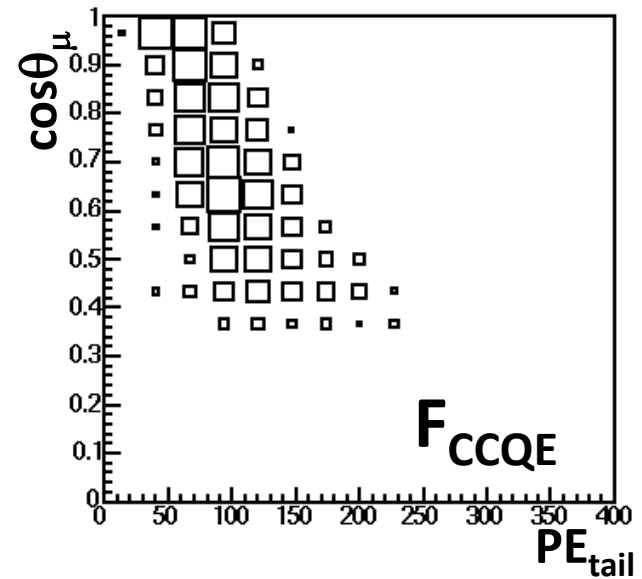


これらの分布にfitting \Rightarrow CC QE event数を評価

Fitting procedure

以下のFitting関数 $F(PE_{tail}, \cos\theta_{\mu})$ をデータの $PE_{tail}, \cos\theta_{\mu}$ 2D分布にfitting CC QE event数を評価

E_{ν} 100 MeV binごとにこのfittingを行い
エネルギー分布を求める



$$F(PE_{tail}, \cos\theta_{\mu}) = N_{obs} \cdot (P_1 \cdot F_{CCQE}(PE_{tail}, \cos\theta_{\mu}) + P_2 \cdot F_{CCnonQE}(PE_{tail}, \cos\theta_{\mu}) + (1 - P_1 - P_2) \cdot F_{NC}(PE_{tail}, \cos\theta_{\mu})),$$

$F_{CCQE}, F_{CCnonQE}, F_{NC}$: CC QE, CC non-QE, NC成分の2D分布 (MCにより決定)

N_{obs} : 測定事象数

P_1 : CC QE normalization

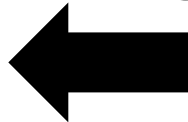
P_2 : CC non-QE normalization

今回は以下デモンストレーションでこの方法の感度を見積もった

Pseudo-data: 以下条件の
統計数のMC sampleを用意

- 50 kW of p-beam power
- 6 month (1.5×10^7 s) 運転

Fitting

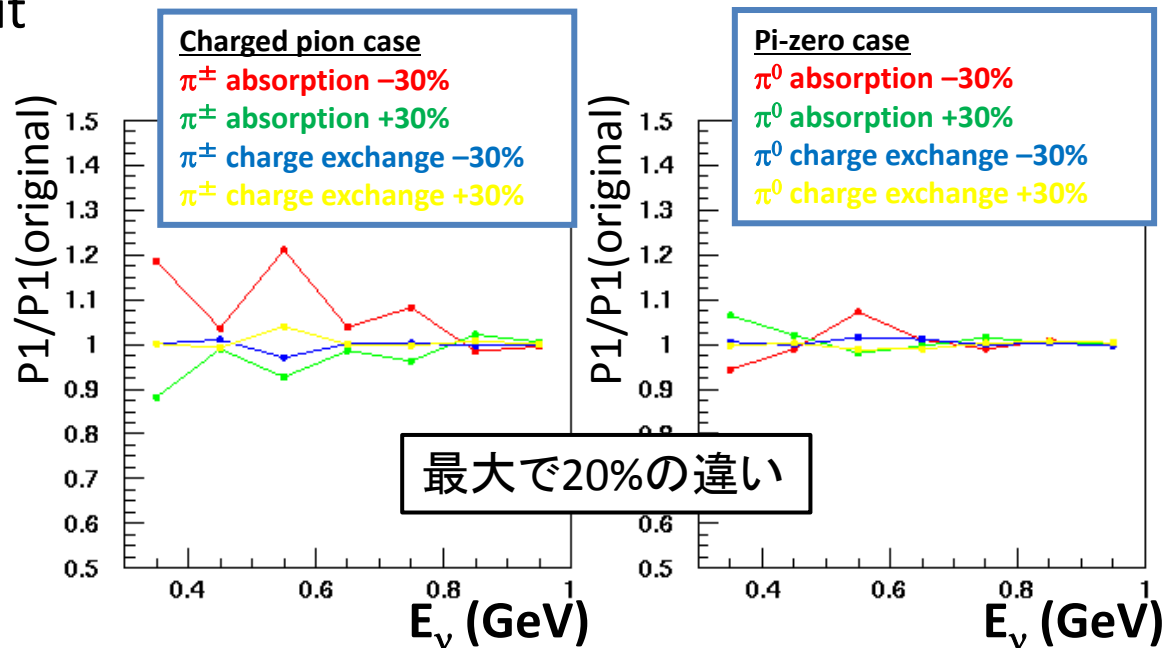
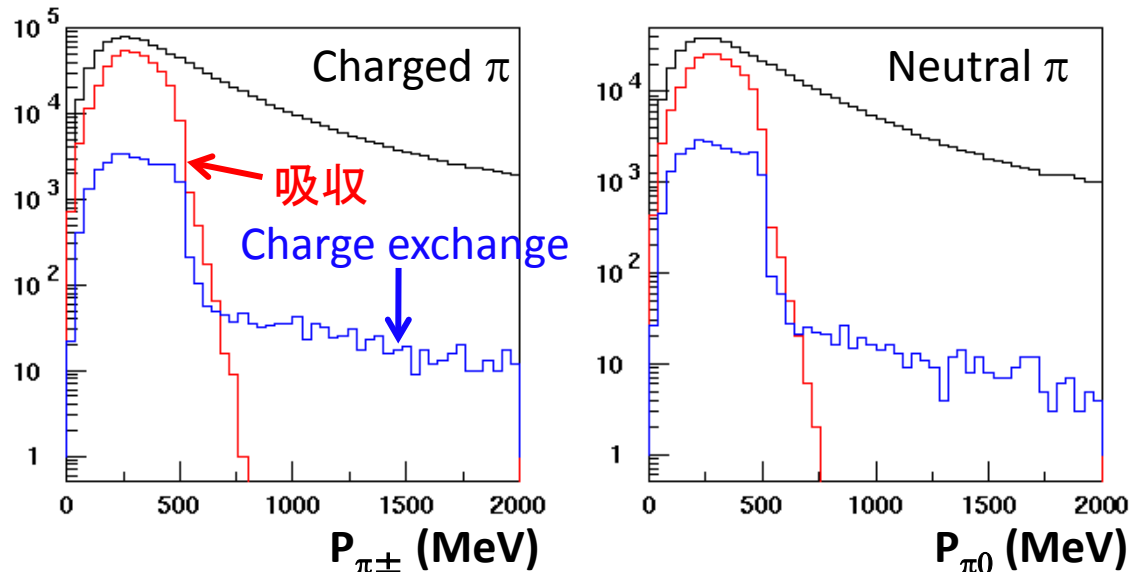


Fitting function $F(PE_{tail}, \cos\theta_{\mu})$

$F_{CCQE}, F_{CCnonQE}, F_{NC}$ 関数はpseudo-dataと
独立なMC sampleから決定
(8倍の統計)

Pion核内効果の結果への影響

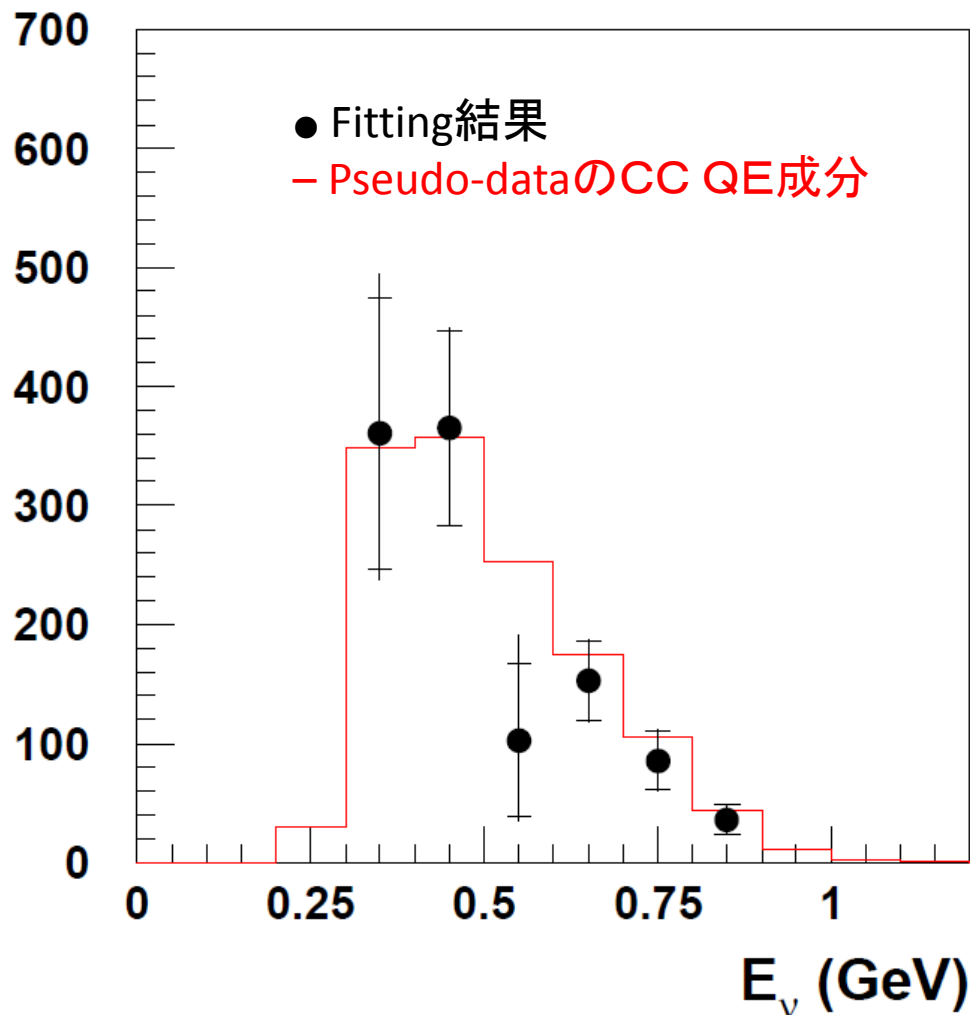
- MC分布に不定性
⇒ Fit結果に影響
- 今回はPionに関し以下の核内効果を±30%変化
 - 核内吸収
 - charge exchange
- $F_{CCnonQE}$, F_{NC} 関数を作り、fit結果への影響を見た。
- これはconservativeな操作であり、本番ではT2Kや他実験の結果を用いてより正確なstudyをする。



CC QE成分の E_ν 分布

MC simulation
50 kW x 6 month統計

- エネルギー領域 ($300 < E_\nu < 900$ MeV) でCC QE事象数を評価
- Fit結果はCC QE分布を再現
 - 誤差20-30 %
 - Pion核内効果の不定性も考慮
 - 統計誤差が優勢 (50kW x 6monthを仮定)
- データ取得後、詳細な解析を行う
 - Purity向上のためEvent selectionを最適化
 - Fitting procedureの最適化
 - 他の系統誤差の見積もり



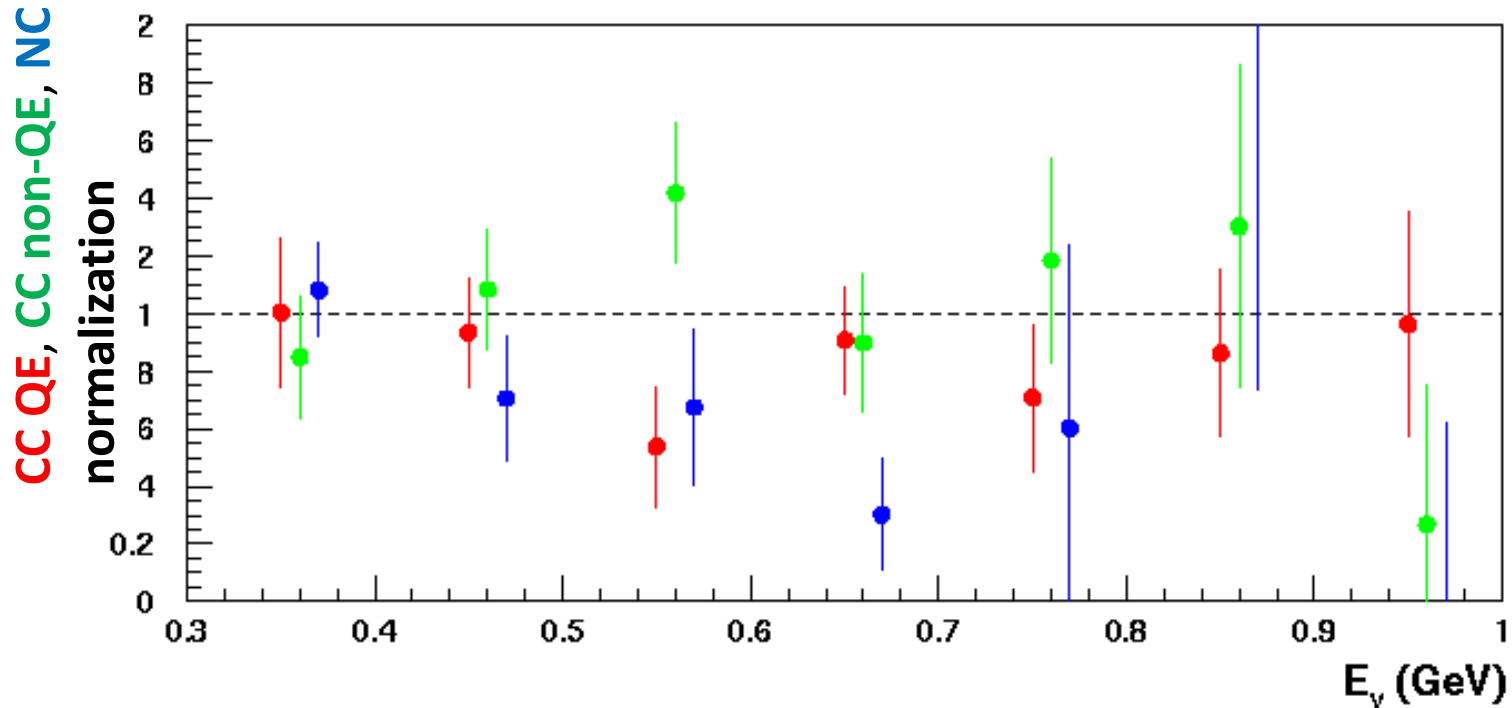
Plan for installation

- Nov 2010 – Feb 2011
number-zero plane製作(Oct-Nov)
Mass production of counter planes at Bern.
- Apr 2011 – May 2011
Detector assembling at ICRR
- June 2011
Calibration and cosmic-ray test
- July 2011 –
Installation during the summer shutdown

Summary

- LEM(P35)実験はJ-PARC ν -beamの「on-axis, $E_\nu < 1\text{GeV}$ 」成分を測定するテスト実験
- ND280 hallにLEM detectorを設置、 ν -beamを測定
 - p-beam power > 50kW
 - 6 month (1.5×10^7 s) operation
- Iron+scintillator型検出器
 - 散乱 μ 運動量、散乱角を測定
 - CC QE散乱を仮定して E_ν 再構成
- E_ν 分布測定精度をsimulationによる評価
 - 20-30 % ($300 < E_\nu < 900\text{MeV}$)
 - 統計誤差が優勢
- 今後
 - Counter plane製作@Bern (2010年11月-2011年2月)
 - Assemble@ICRR (2011年4-6月)
- 2011年7月- インストール、秋より実験開始

各エネルギー領域でのfit結果



CC QE, CC non-QE, NC normalizationを統計誤差とともに評価
(normalization = 1 \Rightarrow MC期待値通り)

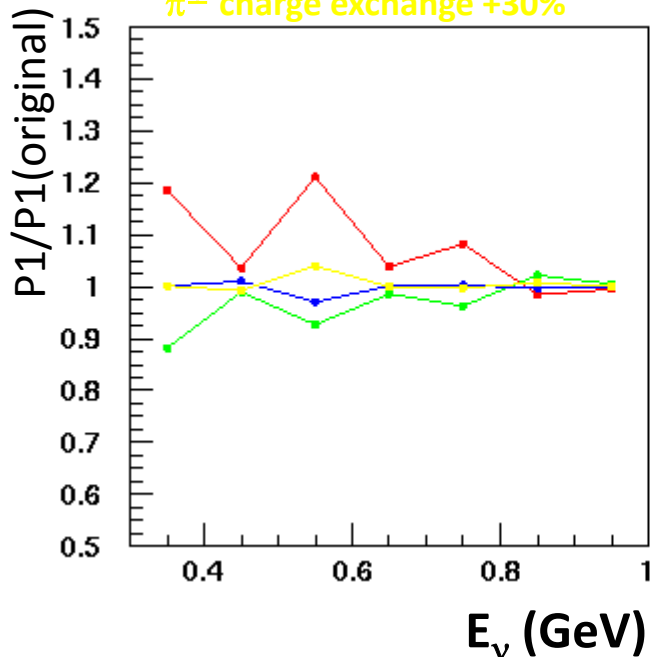
誤差の範囲ないで正しいCC QE normalizationが得られている

CC QE normalizationの変化

π^\pm, π^0 の核内吸収、charge exchangeの比率を変化
各条件のときのCC QE normalization (縦軸はオリジナル結果との比)

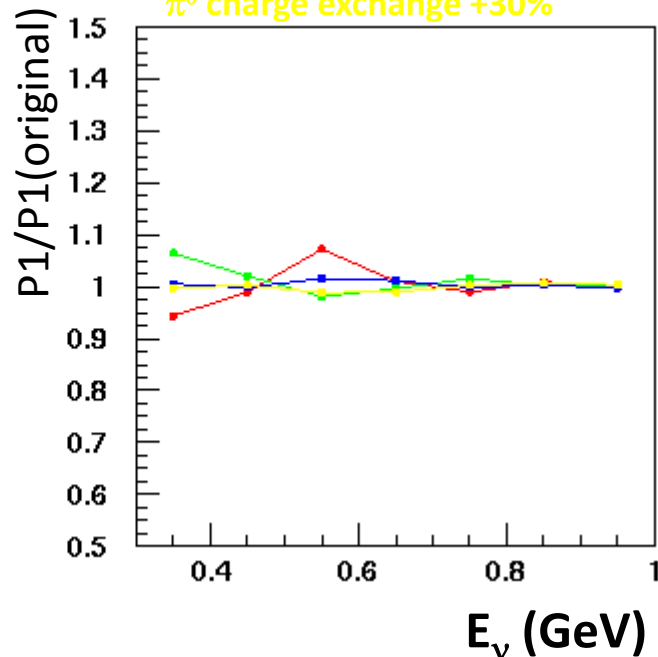
Charged pion case

- π^\pm absorption -30%
- π^\pm absorption +30%
- π^\pm charge exchange -30%
- π^\pm charge exchange +30%



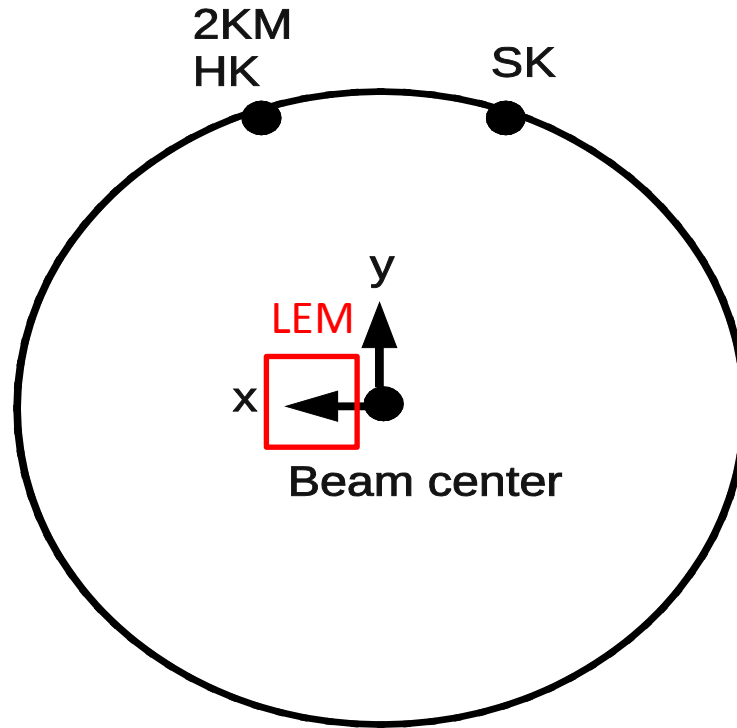
Pi-zero case

- π^0 absorption -30%
- π^0 absorption +30%
- π^0 charge exchange -30%
- π^0 charge exchange +30%



CC QE normalizationは最大20%変化

LEM position

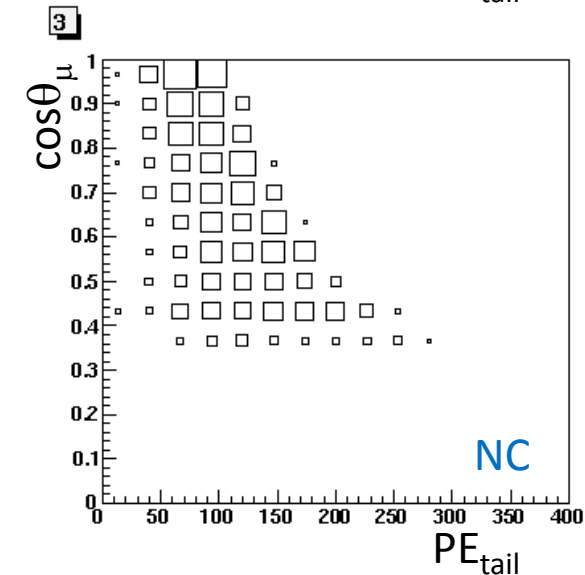
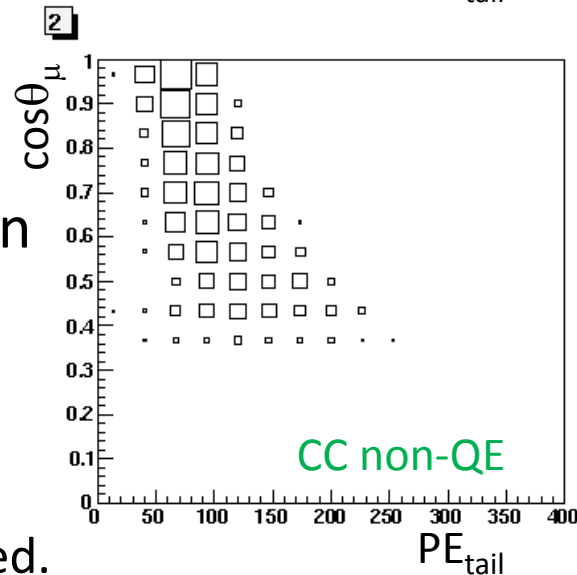
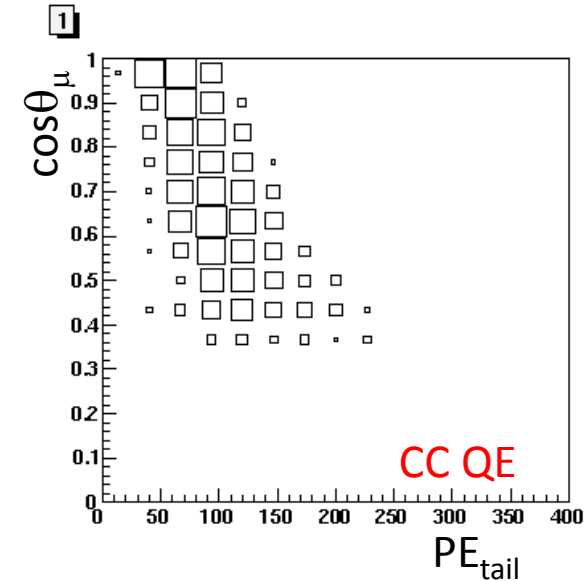
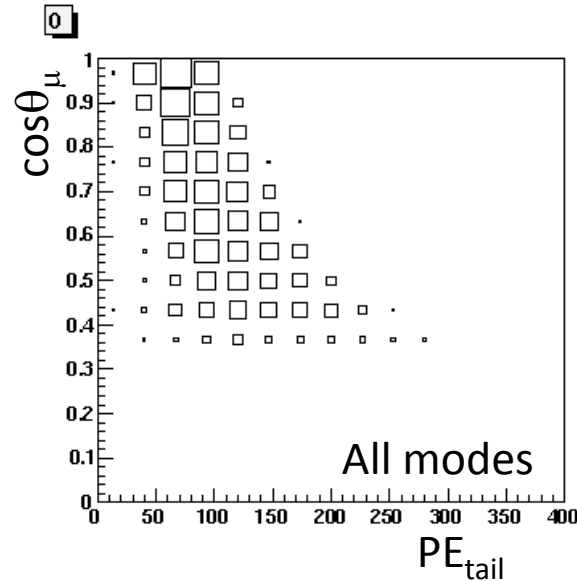


Fitting procedure

$E_\nu = 0.3-0.4$ GeV

$$F(\text{PE}_{\text{tail}}, \cos \theta_\mu) = P_1 \cdot F_{\text{CCQE}}(\text{PE}_{\text{tail}}, \cos \theta_\mu) \\ + P_2 \cdot F_{\text{CCnonQE}}(\text{PE}_{\text{tail}}, \cos \theta_\mu) \\ + P_3 \cdot F_{\text{NC}}(\text{PE}_{\text{tail}}, \cos \theta_\mu)$$

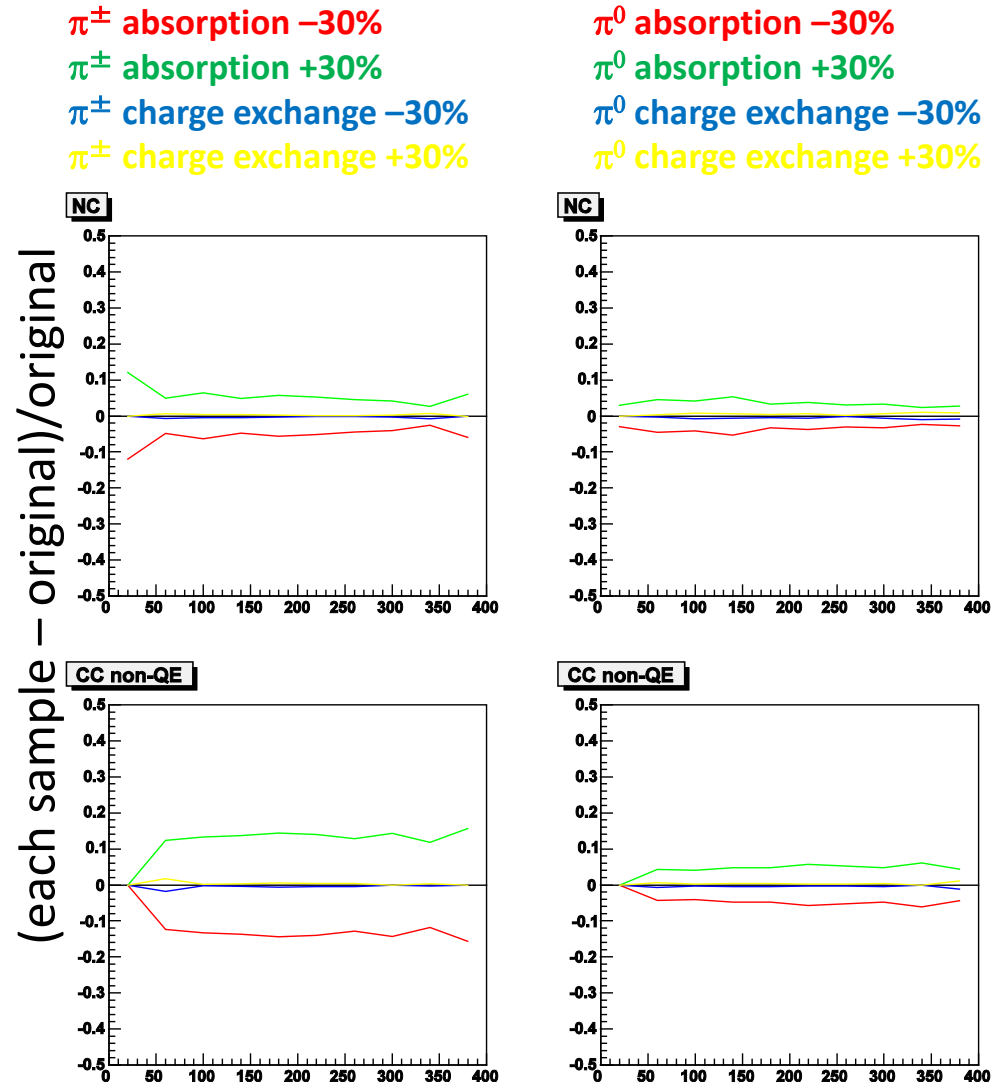
P_1, P_2, P_3 are free parameters which describe normalizations of each mode.



- Fitting to 2D distribution
 - In every 100 MeV bins
- Function F_{CCQE} , F_{CCnonQE} , and F_{NC}
 - MC distributions are used.

Difference of PE_{tail} distribution

- The shape is not changed so much while the normalization is largely changed.
- The difference is large in case of
 - Absorption
 - π^\pm
 - CC non-QE
- At most 20 % difference is expected.



Difference of $\cos\theta_\mu$ distribution

- The shape is not changed so much while the normalization is largely changed.
- The difference is large in case of
 - Absorption
 - π^\pm
 - CC non-QE
- At most 20 % difference is expected.

π^\pm absorption -30%
 π^\pm absorption +30%
 π^\pm charge exchange -30%
 π^\pm charge exchange +30%

π^0 absorption -30%
 π^0 absorption +30%
 π^0 charge exchange -30%
 π^0 charge exchange +30%

