

T2K実験の現状と展望

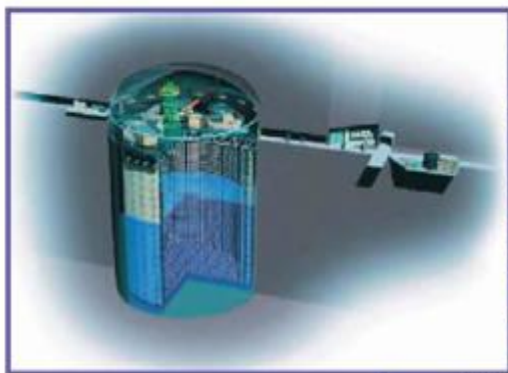
木河達也 (京都大学)

for the T2K collaboration

東京大学宇宙線研究所共同利用研究成果発表会

2019年12月14日

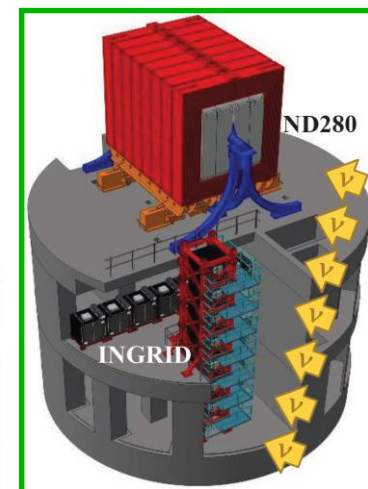
- 長基線ニュートリノ振動実験。
- J-PARCで ν_μ または $\bar{\nu}_\mu$ ビームを生成。
- 前置検出器で振動前のニュートリノを測定。
- 295km離れたスーパーカミオカンデ(SK)で振動後のニュートリノを観測。



Super-Kamiokande
(ICRR, Univ. Tokyo)



Near detector



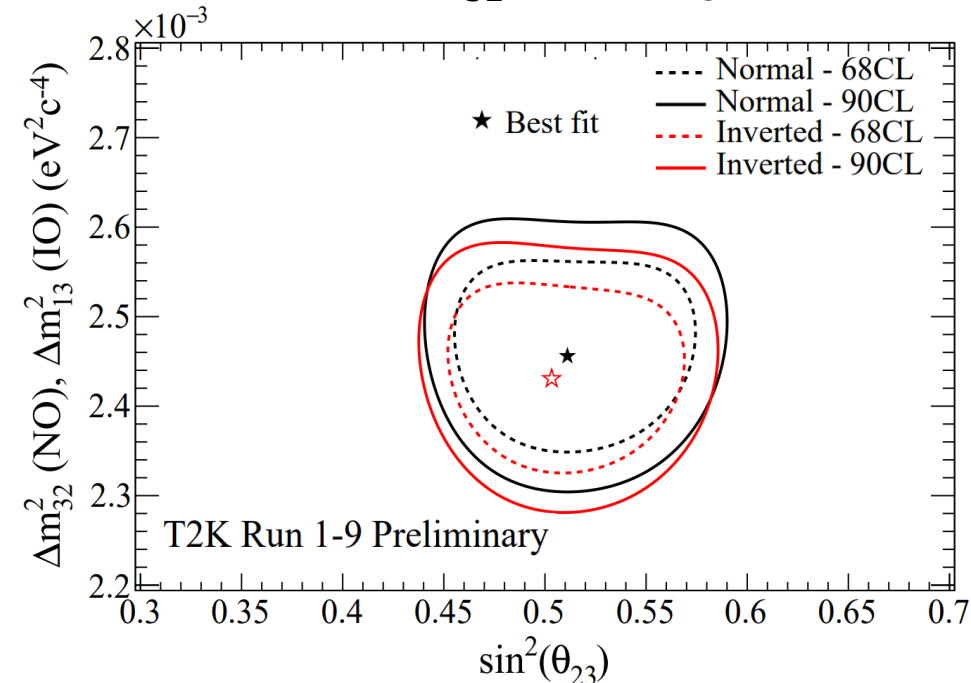
J-PARC Main Ring
(KEK-JAEA, Tokai)



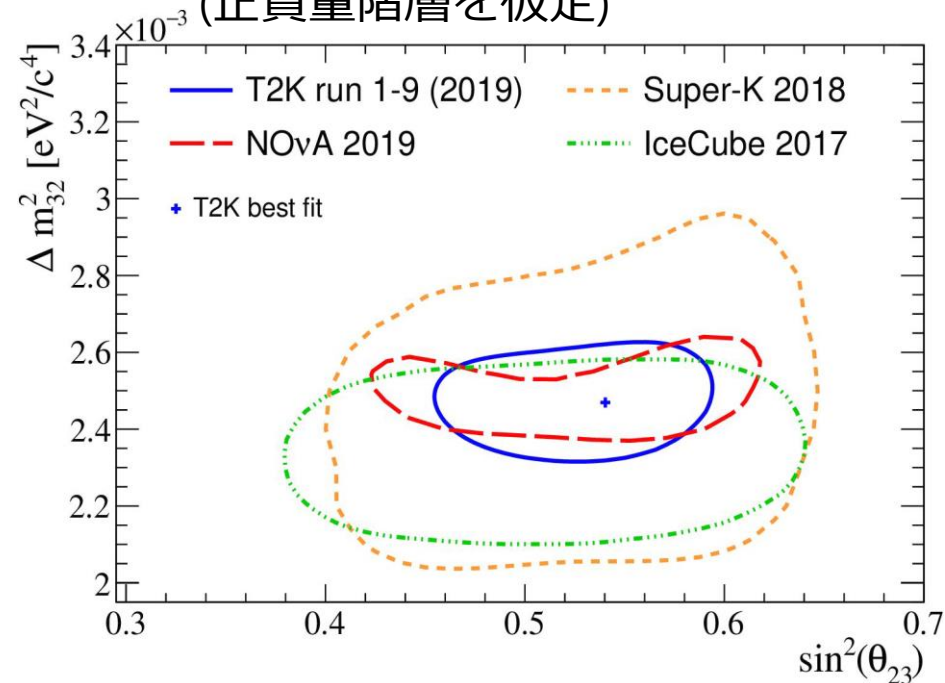
T2K実験の最新結果

- 2010-2018年までの全物理データ(Run1-9)を用いて $\nu_\mu \rightarrow \nu_e, \bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e, \nu_\mu \rightarrow \nu_\mu, \bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_\mu$ 振動を同時解析。
- 混合角 θ_{23} を世界最高精度で測定。
- 最大混合 ($\theta_{23} = 45^\circ$) と無矛盾。

T2K実験による $|\Delta m_{32}^2|$ と $\sin^2 \theta_{23}$ の信頼領域



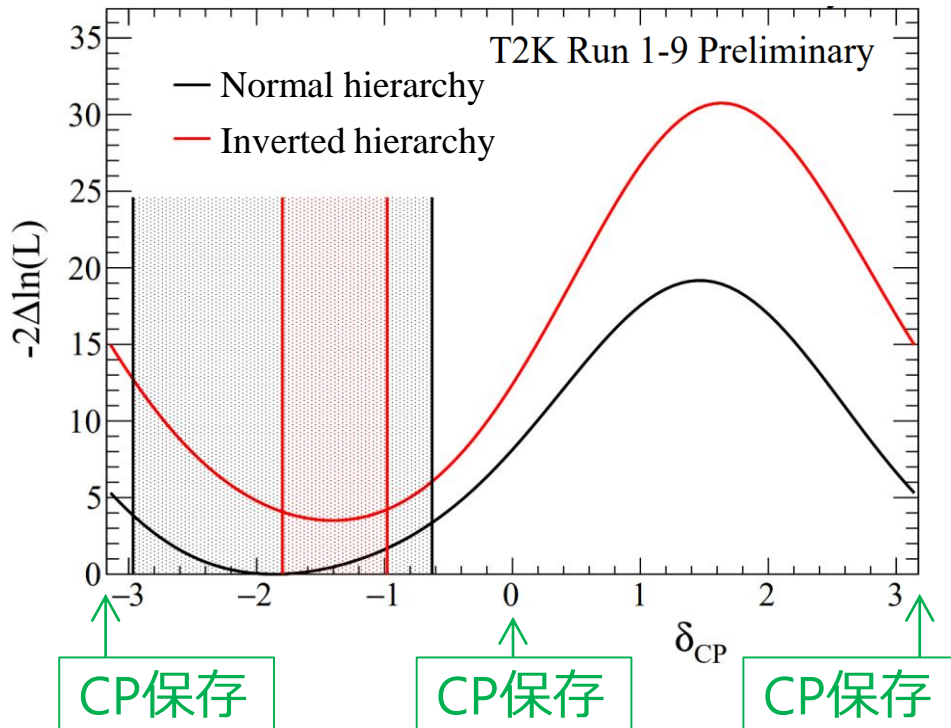
他実験との90%信頼領域の比較
(正質量階層を仮定)



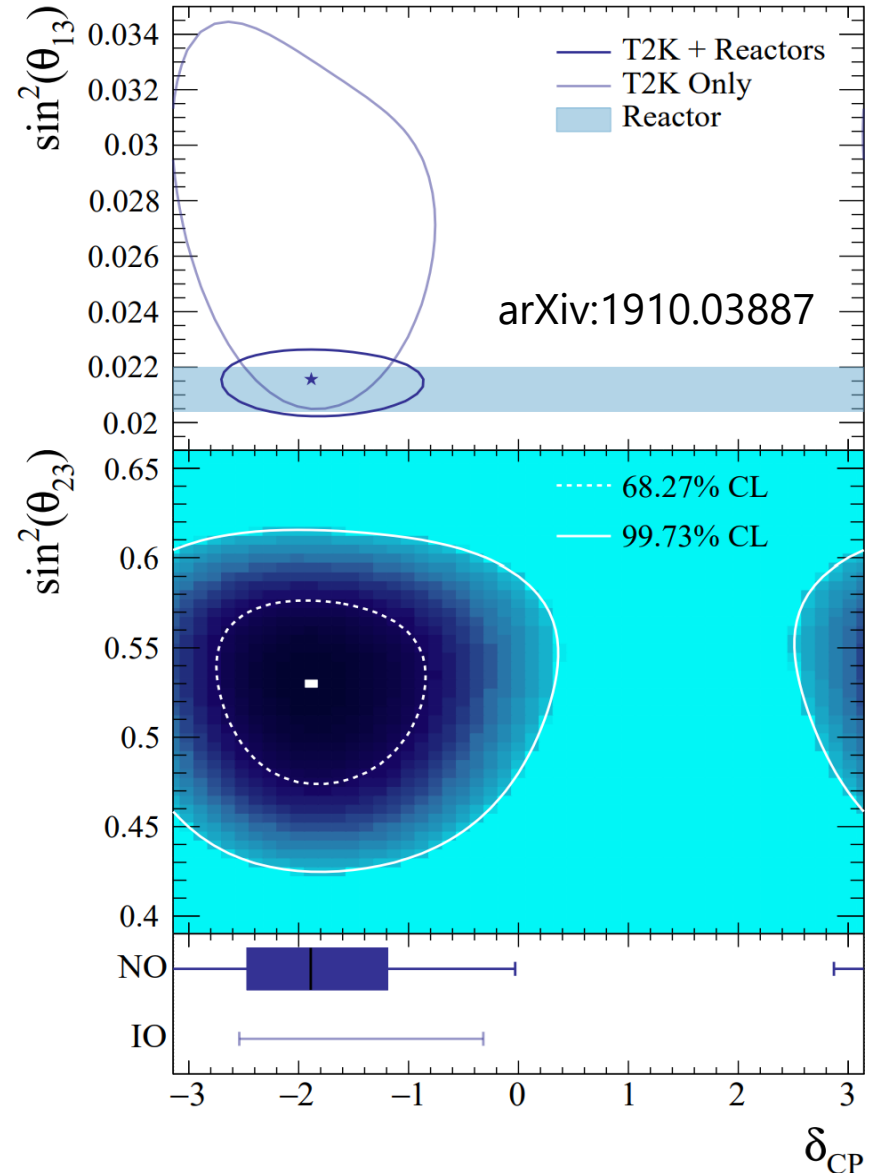
T2K実験の最新結果

- ニュートリノのCP対称性の破れを95% C.L. (2σ)で示唆。
- CP対称性を表す複素位相に99.73% C.L. (3σ)の制限。
論文投稿済[arXiv:1910.03887]

T2K実験による δ_{CP} の95% (2σ)信頼領域



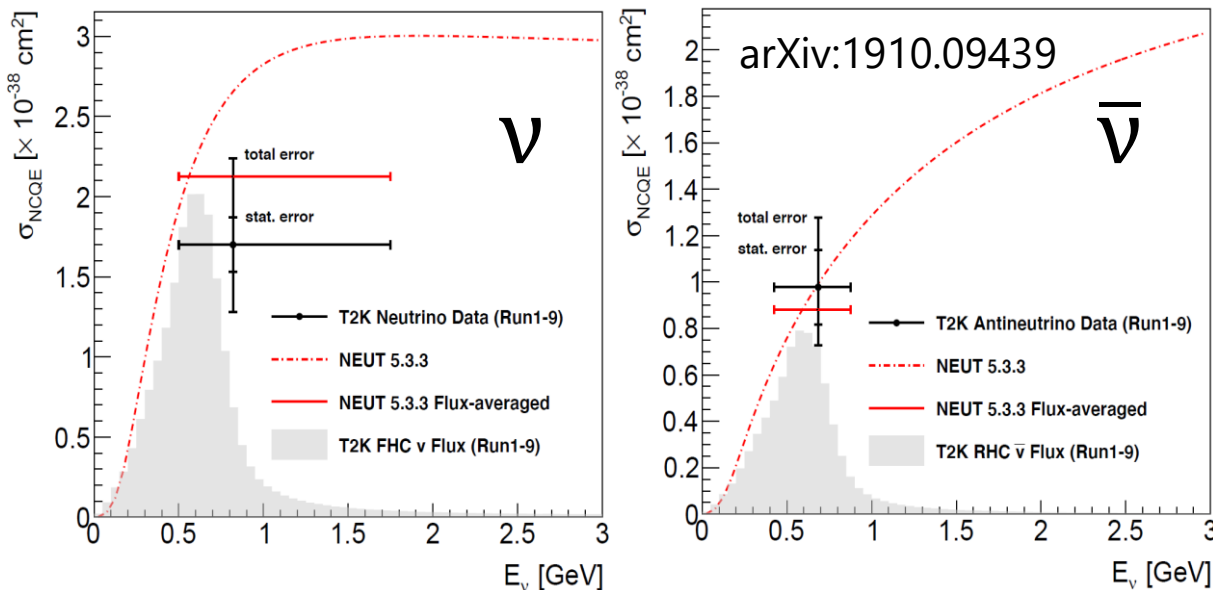
68.27% (1σ)と99.73% (3σ)の信頼領域
T2K Run 1-9



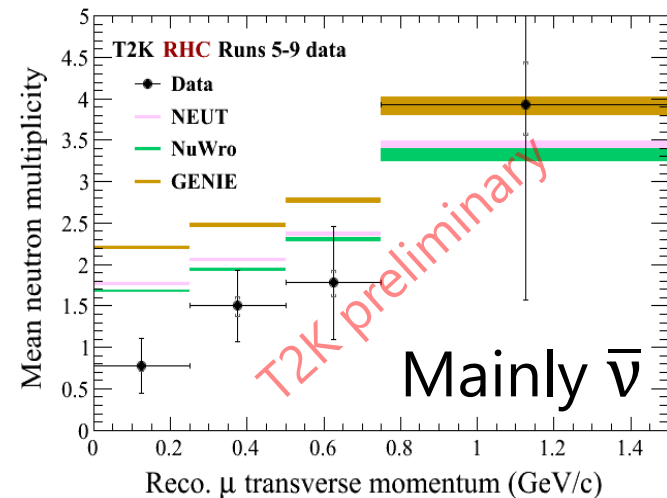
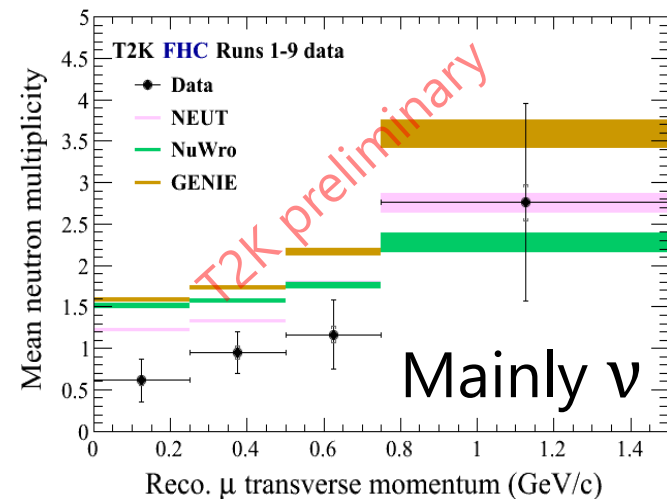
スーパーカミオカンデにおける新測定

- T2KニュートリノビームとSKを用いた中性カレント準弾性散乱断面積測定。(京大 芦田)
PRDに掲載決定 [arXiv:1910.09439]
- ニュートリノ反応からの中性子の測定。(東大ICRR 阿久津)
- いずれもSKにガドリニウムを導入した際(SK-Gd)に重要な研究。

ニュートリノ中性カレント準弾性散乱断面積測定



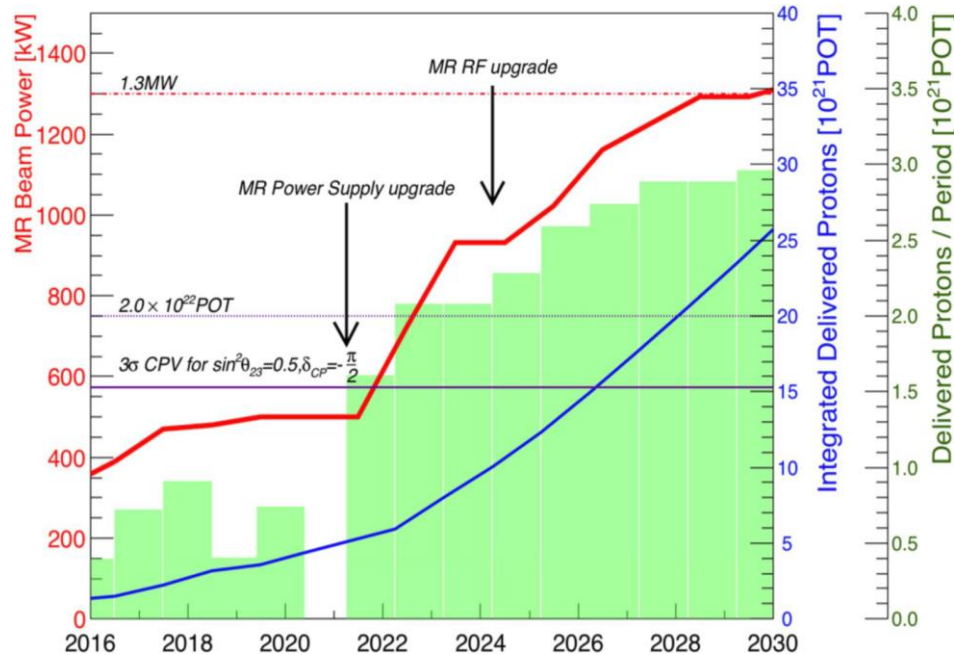
ニュートリノ反応からの
中性子の平均多重度測定



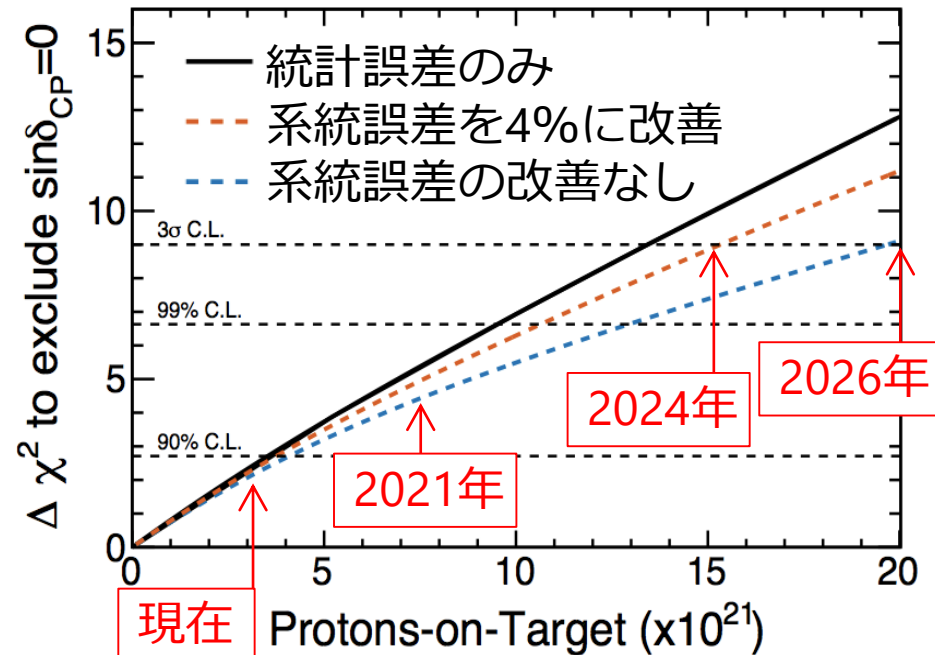
T2K実験の今後の戦略

- 現在は統計誤差が支配的。→ より多くのデータが必要。
- 2019年11月からビーム運転を再開し、496kWで運転中。2020年2月まで運転。
- 2020年後半はSK-Gdで初データ取得。
- 2021年は加速器アップグレードのためシャットダウン。
- 統計が増えるにつれて、系統誤差削減の重要性も増す。

T2K実験のデータ取得のシナリオ



ニュートリノCP対称性破れの探索感度



T2K実験における系統誤差

- ニュートリノフラックスの不定性。
→ NA61実験のT2Kレプリカ標的におけるハドロン生成データを用いることで約半分になる見込み。
- スーパーカミオカンデの検出器応答の不定性。
→ キャリブレーションの改良やボトムアップでの系統誤差の見積もりで良くなるかもしれない。
- ニュートリノ反応に起因する系統誤差が支配的。
→ 様々なニュートリノ反応の精密測定が必要。

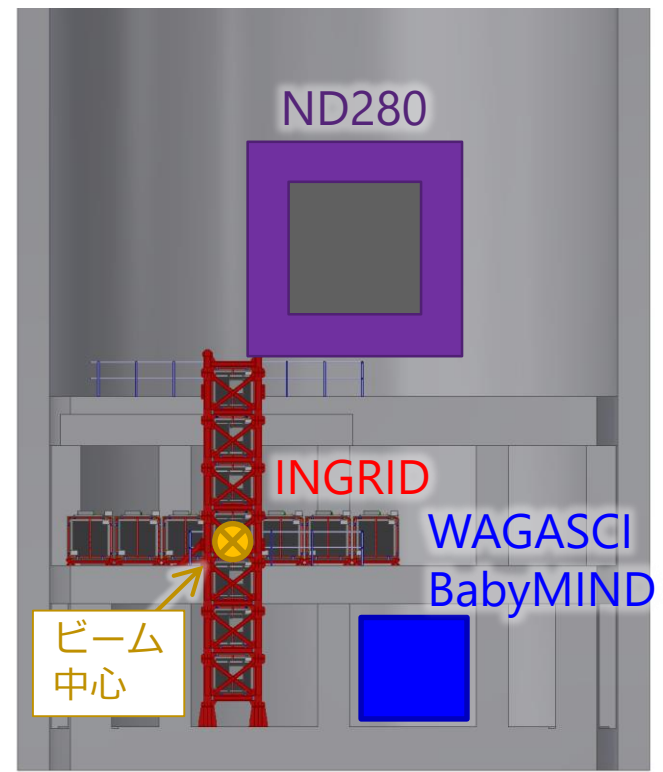
スーパーカミオカンデの事象数の系統誤差

	ν_e 候補事象	$\bar{\nu}_e$ 候補事象
フラックス+ニュートリノ反応 (ND280により制限)	3.02%	2.86%
ND280により制限されないニュートリノ反応	7.80%	4.72%
ニュートリノ反応後のハドロン反応	3.02%	2.31%
スーパーカミオカンデ検出器	2.83%	3.79%
計	8.81%	7.03%

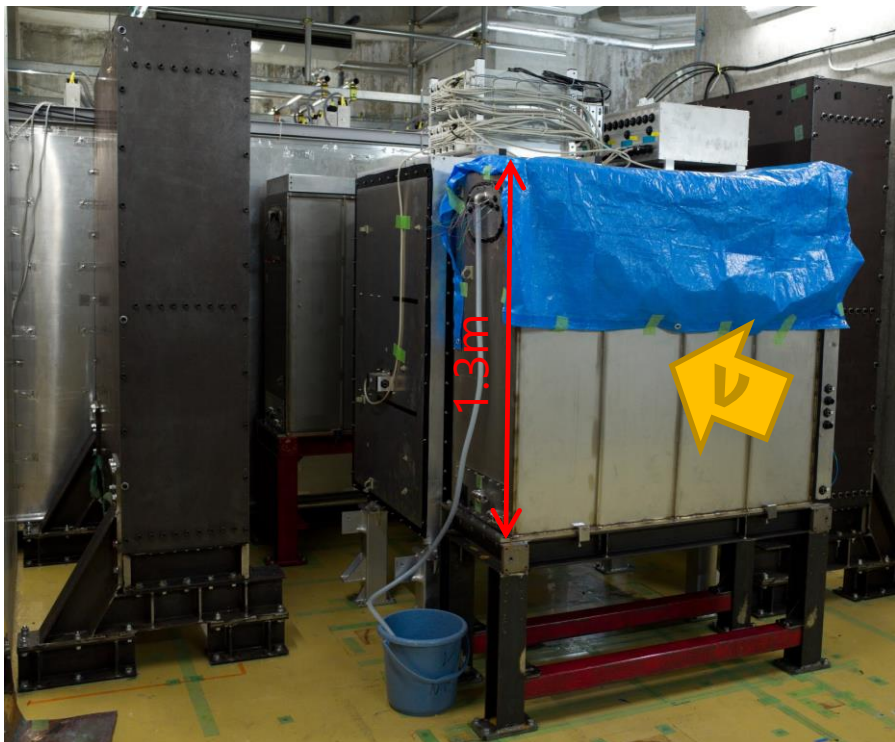
WAGASCI-BabyMIND検出器

- ND280とニュートリノエネルギーが異なる前置検出器ホールの最下階に新ニュートリノ検出器を導入。
- 2019年2月にインストールが完了、11月よりビームデータ取得を開始。

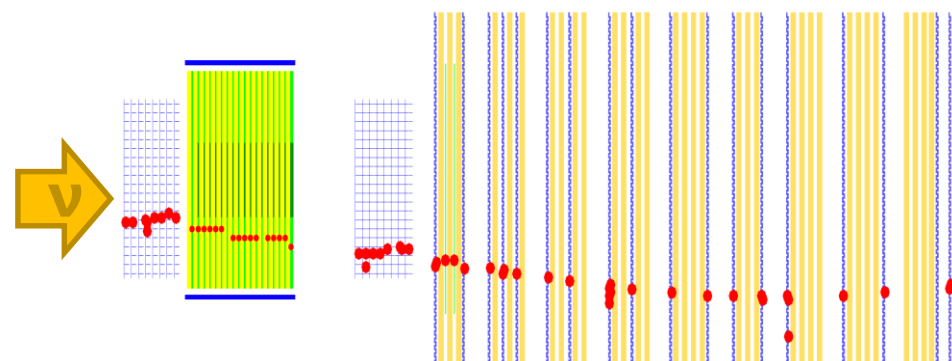
上流から見た前置検出器ホール



インストールが完了した検出器群



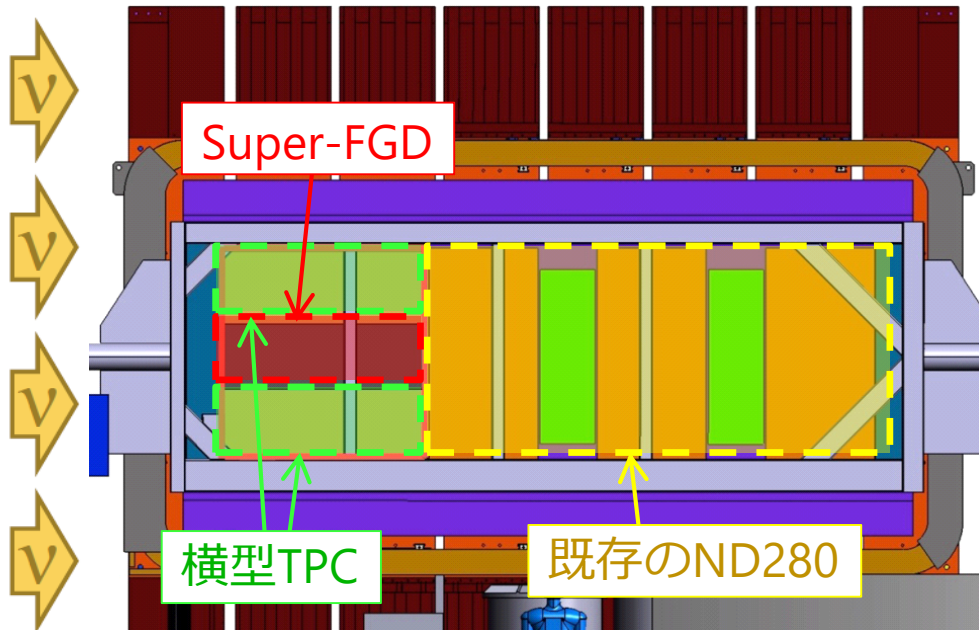
ビーム事象のイベントディスプレイ



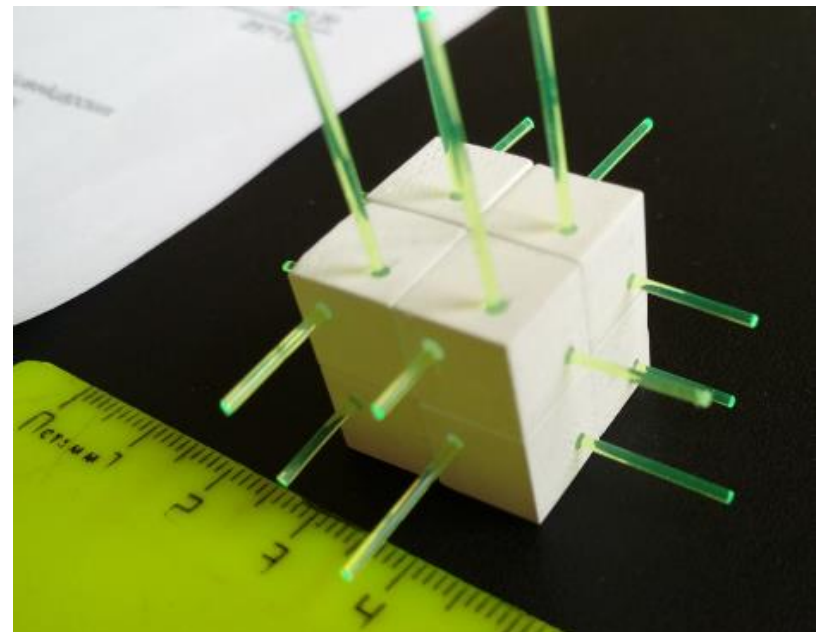
ND280アップグレード

- $1 \times 1 \times 1 \text{cm}^3$ の立方体シンチレータを約200万個並べて3方向からファイバーで読み出す新飛跡検出器(Super-FGD)。
- Super-FGDの下流だけでなく上下にもTPCを配置。
- 全方向への3次元飛跡を再構成できる。
- ν_e/γ 識別能力や低運動量の粒子の検出効率も向上。
- 2021年の加速器アップグレード中にインストール予定。

アップグレード後のND280の概念図



Super-FGDのシンチレータ

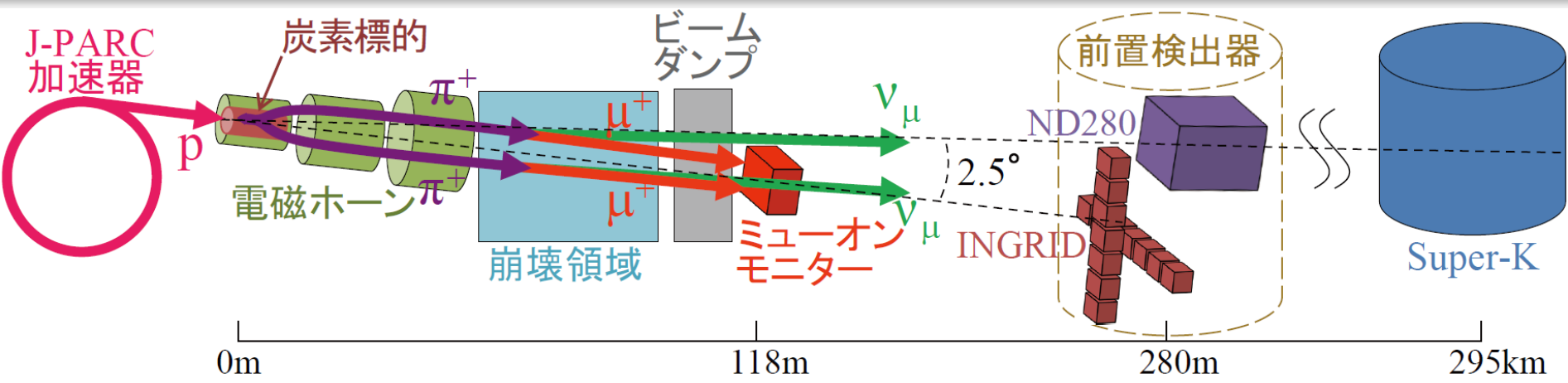


まとめ

- T2K実験はニュートリノにおけるCP対称性の破れを95%C.L. (2σ)で示唆。
- CP対称性を表す複素位相に対して99.73%C.L. (3σ)の制限も与えた。
- 現在は統計誤差が支配的で、2019年11月よりビーム運転を再開。
- 2020年はSK-Gdで初データ取得、2021年は加速器と前置検出器ND280のアップグレードが計画されている。
- 系統誤差ではニュートリノ反応の不定性に起因するものが支配的であり、ニュートリノ反応の精密測定が重要。
- 2019年に導入されたWAGASCI-BabyMIND検出器やND280アップグレードにより系統誤差の低減を目指す。

Backup

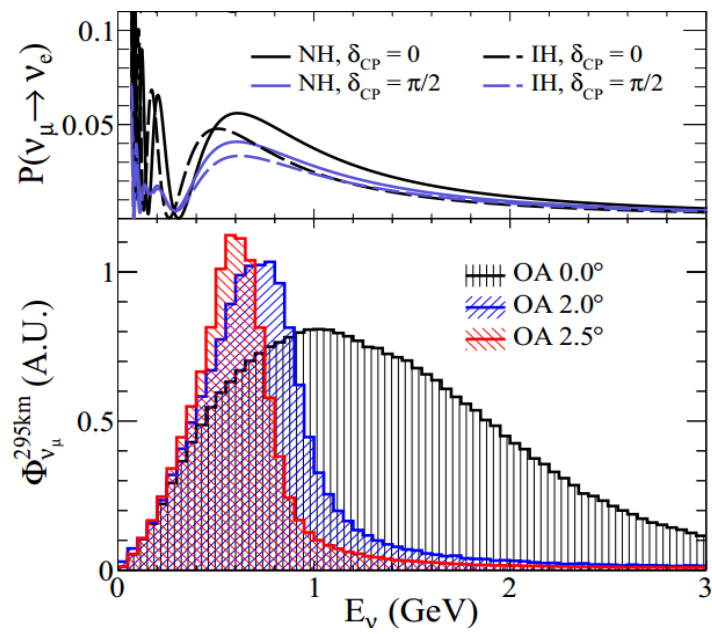
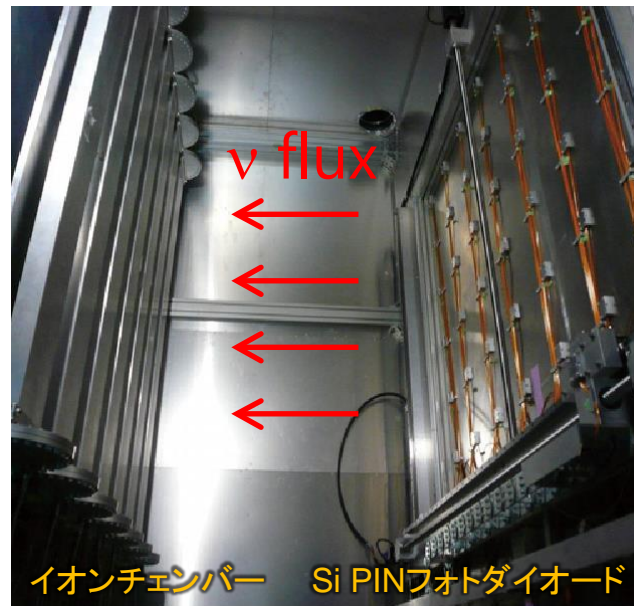
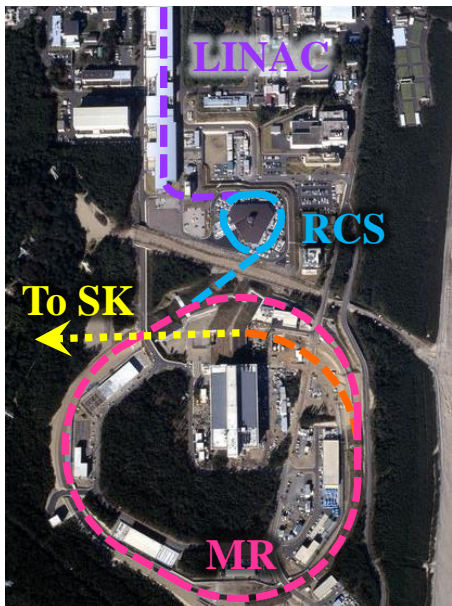
T2K実験のビームライン



J-PARC加速器

ミュオンモニター

Off-axis法

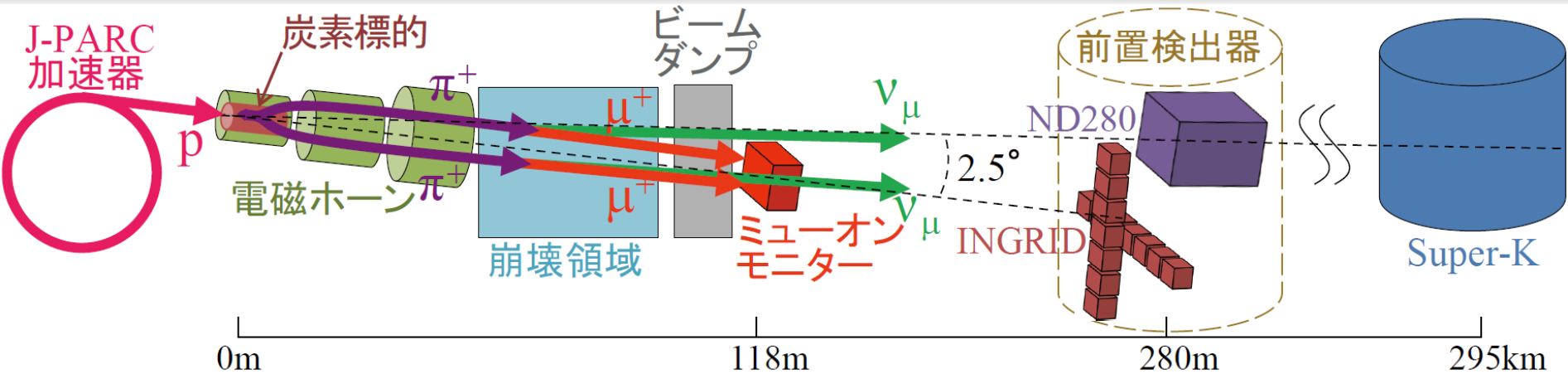


- 3つの加速器
- 陽子を30GeVに加速

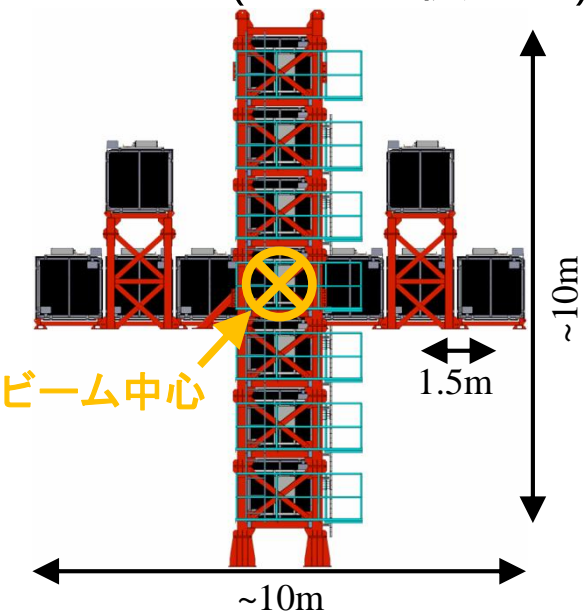
- 2種類の独立な検出器
- 7×7のアレイ

- ビーム中心を2.5度ずらす
- ナローバンドなビームを実現

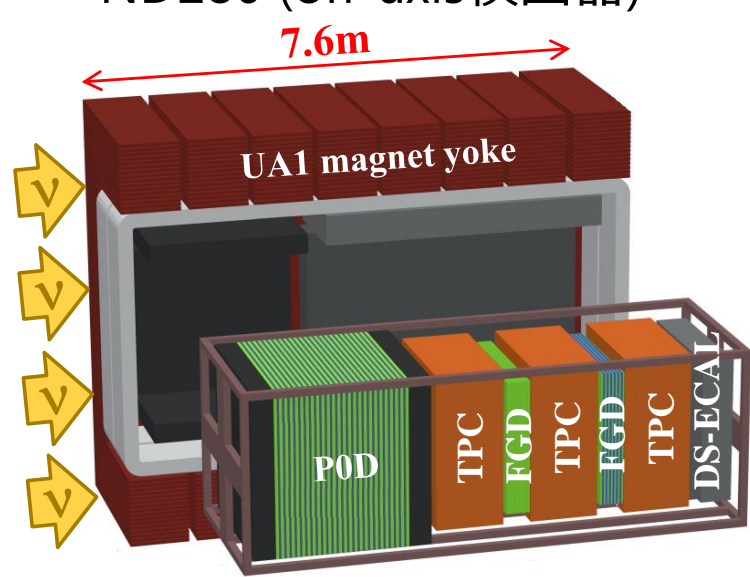
T2K実験のニュートリノ検出器



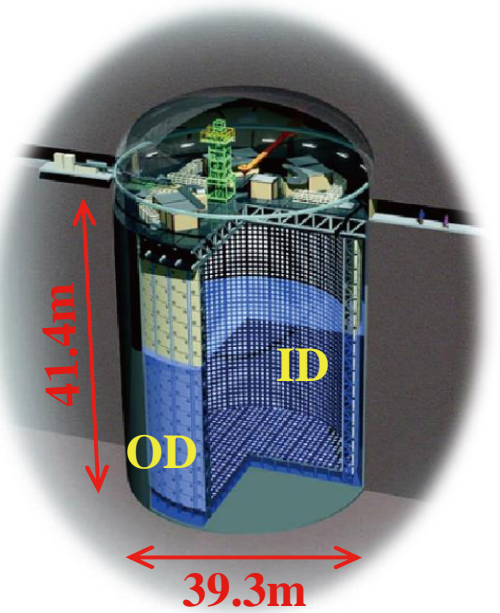
INGRID (on-axis検出器)



ND280 (off-axis検出器)



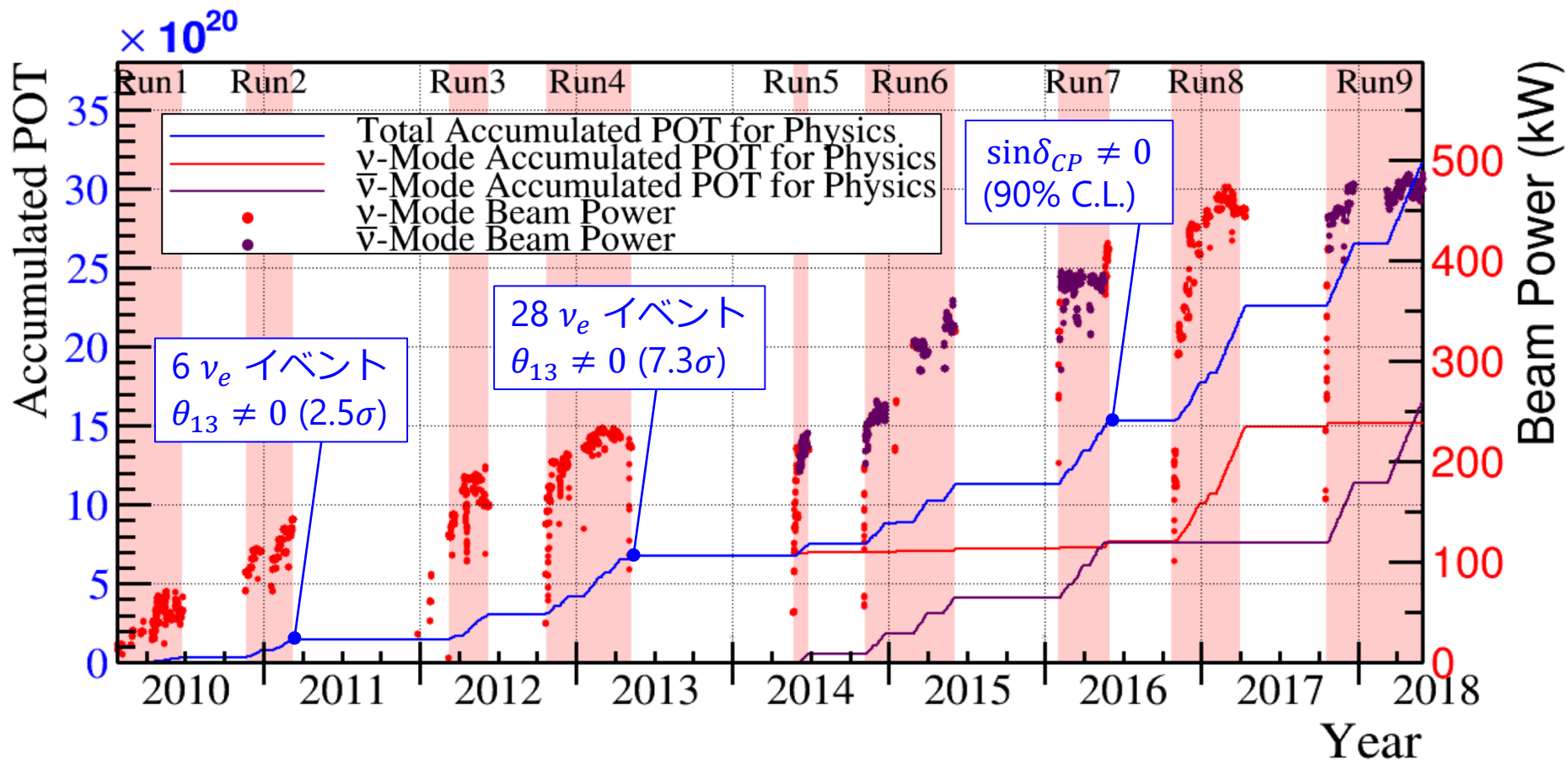
スーパーカミオカンデ



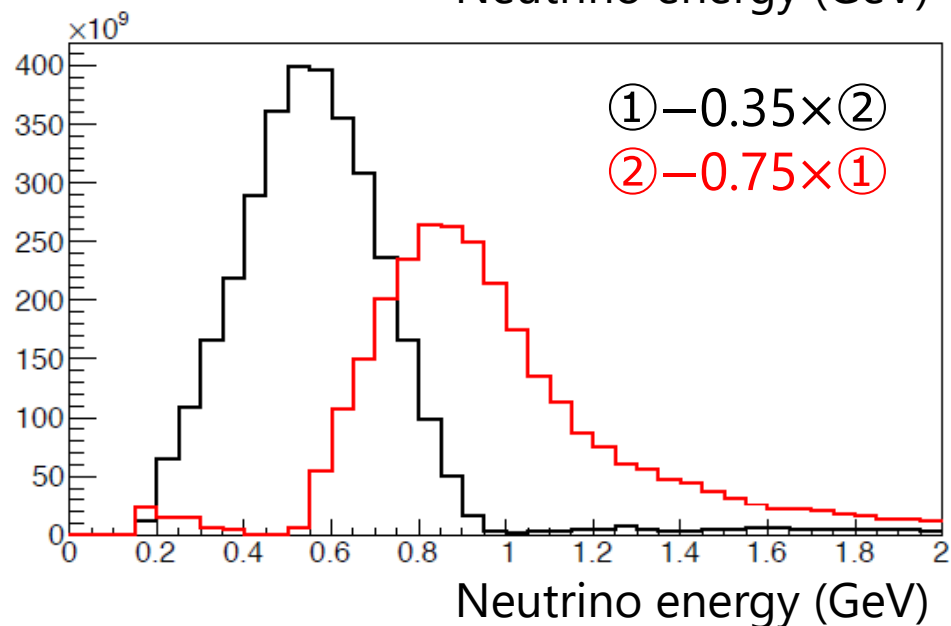
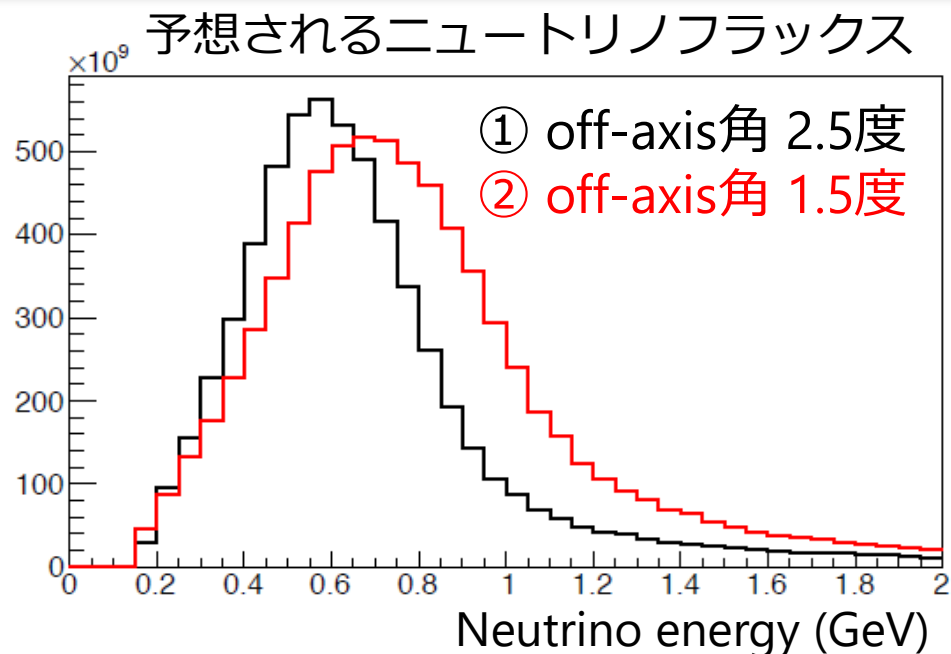
- 16台の同一モジュール
- 鉄とシンチレータのサンドイッチ
- 複合型検出器(FGD, TPC等)
- 0.2Tの磁場
- 50kt水チェレンコフ検出器
- J-PARCから295kmの位置

データ取得

- 3.16×10^{21} POT (Proton on Target)のデータを取得。
 - ν mode: 1.51×10^{21} POT (47.83%)
 - $\bar{\nu}$ mode: 1.65×10^{21} POT (52.17%)
- 485kWの強度での安定したビーム運転を達成。



- 前置検出器ホール最下階のoff-axis角1.5度の場所に設置。
- Off-axis角2.5度のND280とはニュートリノのエネルギー分布が異なる。
- 異なったエネルギーのニュートリノに対するニュートリノ反応を測定。
- さらにND280とデータの差し引きをすることで、シャープなエネルギー分布のニュートリノに対するニュートリノ反応を測定。



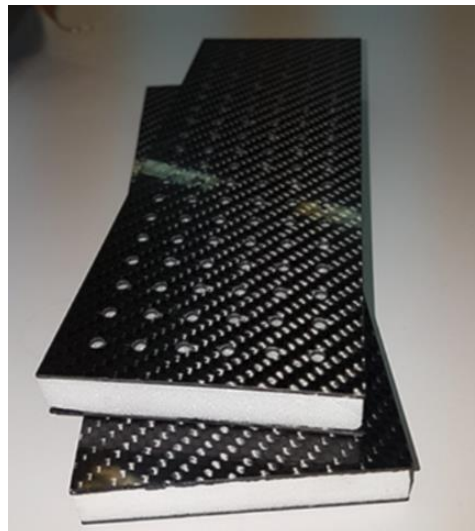
ND280アップグレードの状況

- 様々な開発が進行中。

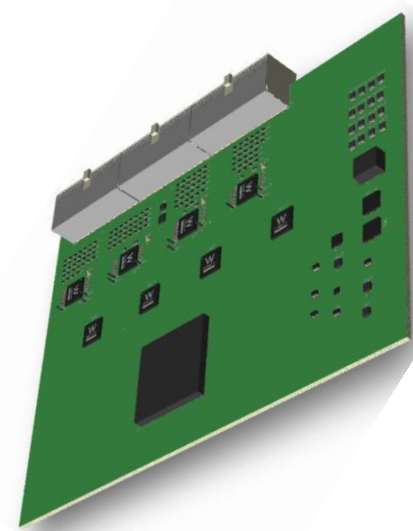
シンチレータ組み立て



支持構造



エレクトロニクス



波長変換ファイバー



MPPCインターフェイス



シミュレーション

