

スーパーカミオカンデ LowE及びSK-Gdの最新結果

岡山大学 伊藤慎太郎

目次

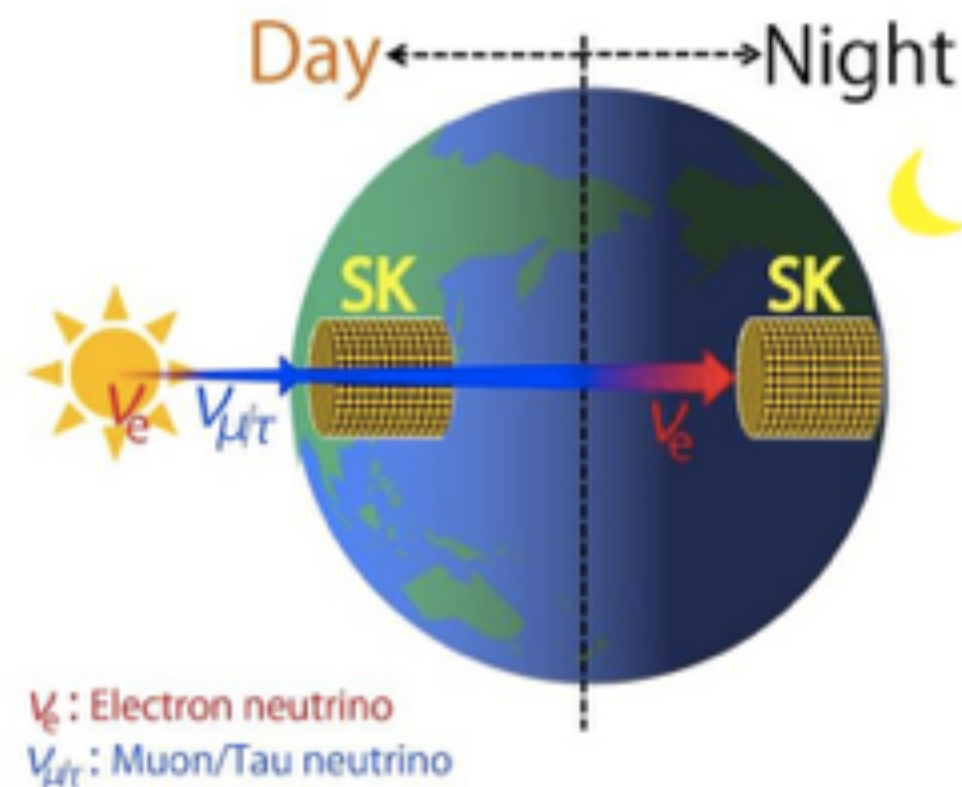
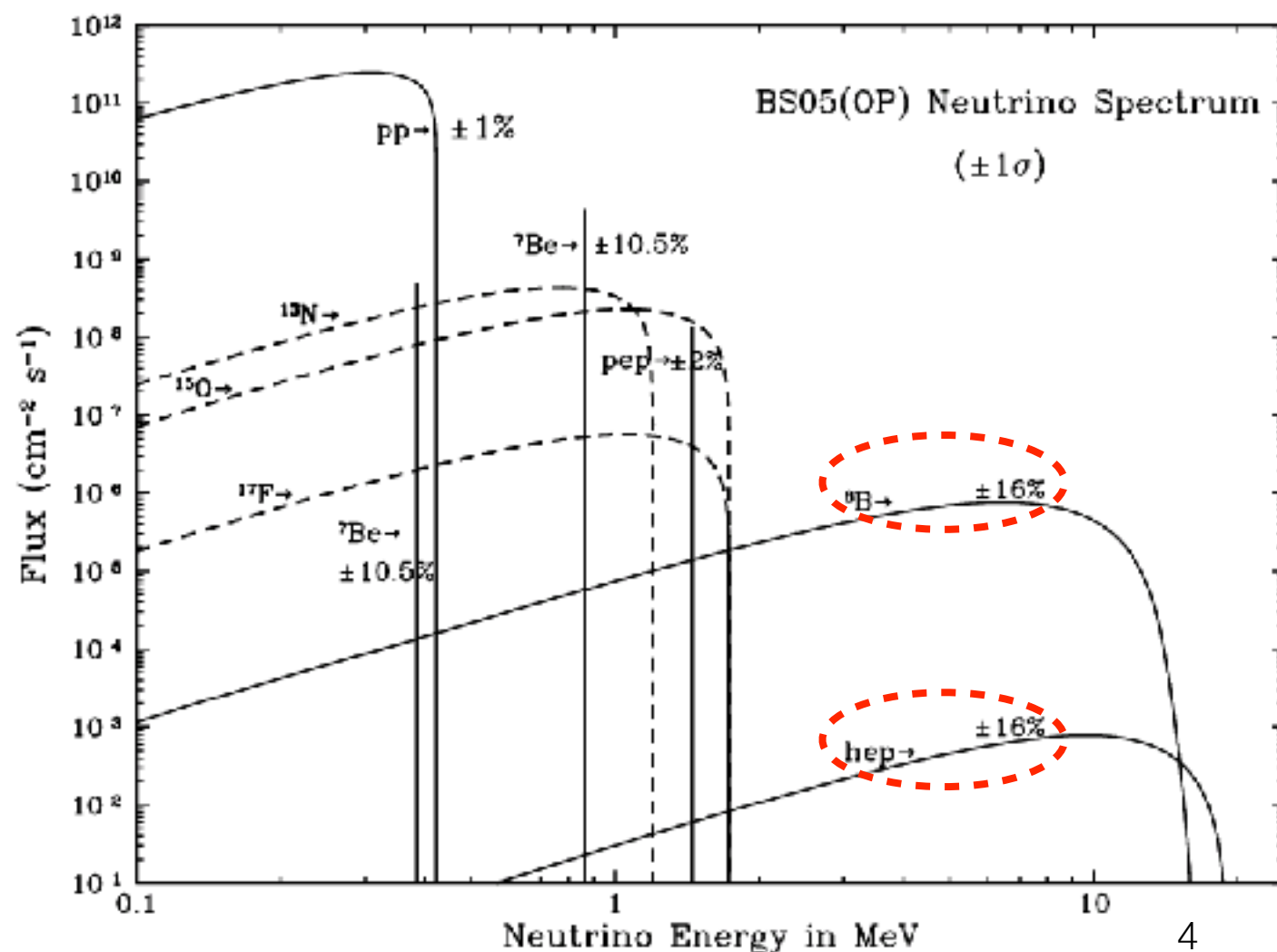
- LowE解析の最新結果
 - 太陽ニュートリノ観測
 - ニュートリノ振動解析
- LowE解析の現状
 - 超新星爆発
 - ゲイン補正
- SK-Gdの成果
 - 超新星背景ニュートリノの探索
 - 高純度硫酸ガドリニウム
 - EGADSの状況
- まとめ

LowE解析の最新結果

—太陽ニュートリノと振動解析—

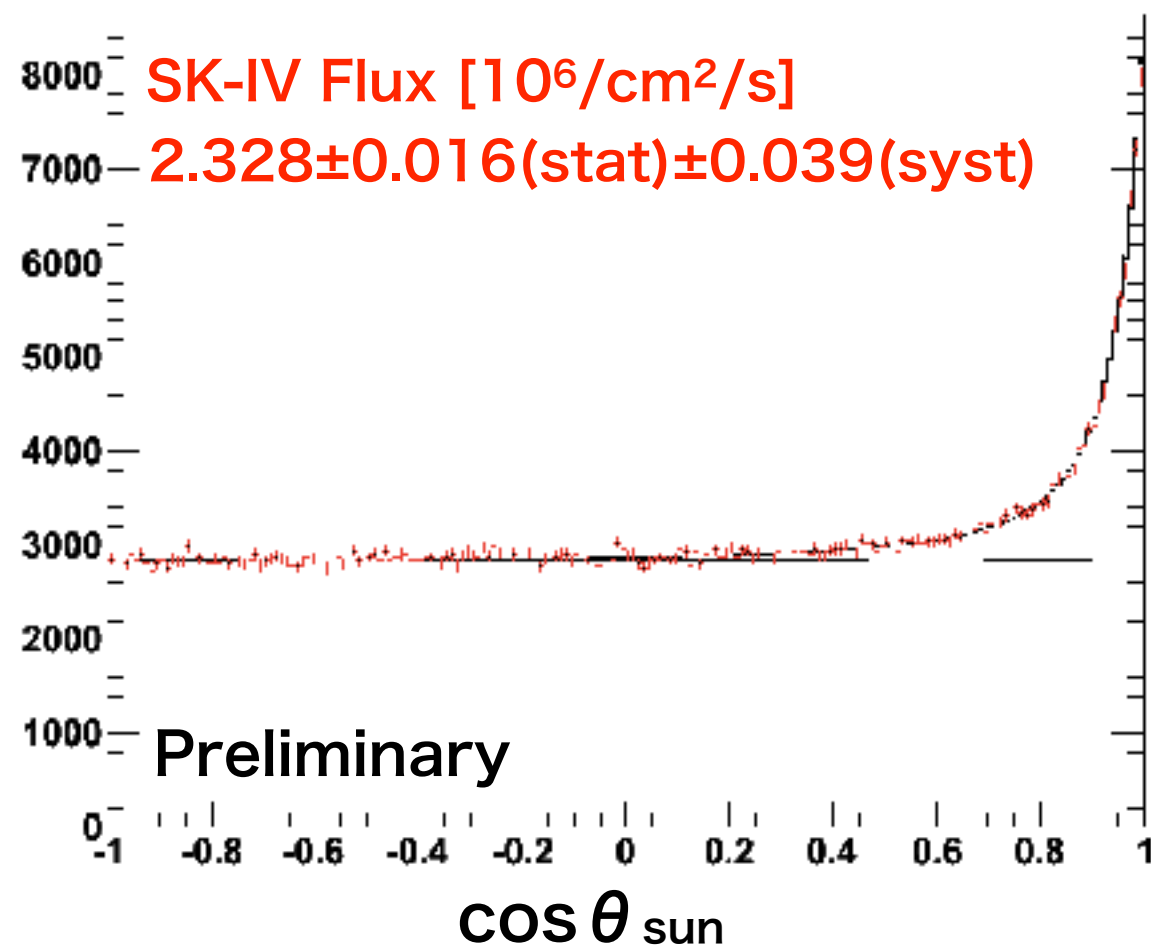
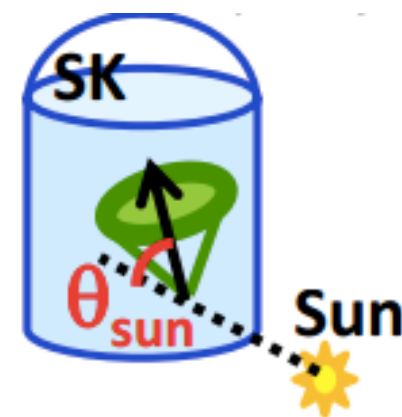
太陽ニュートリノ観測のイントロ

- 太陽の核で起こる核反応によって生成されるニュートリノを観測。
- Super-Kamiokandeでは ^8B と hep に感度がある。
 - エネルギースペクトラムの精密測定
 - 太陽方向の観測
 - 時間変動の観測
- ➔ MSW効果による、昼夜でのfluxの差を測定できる。



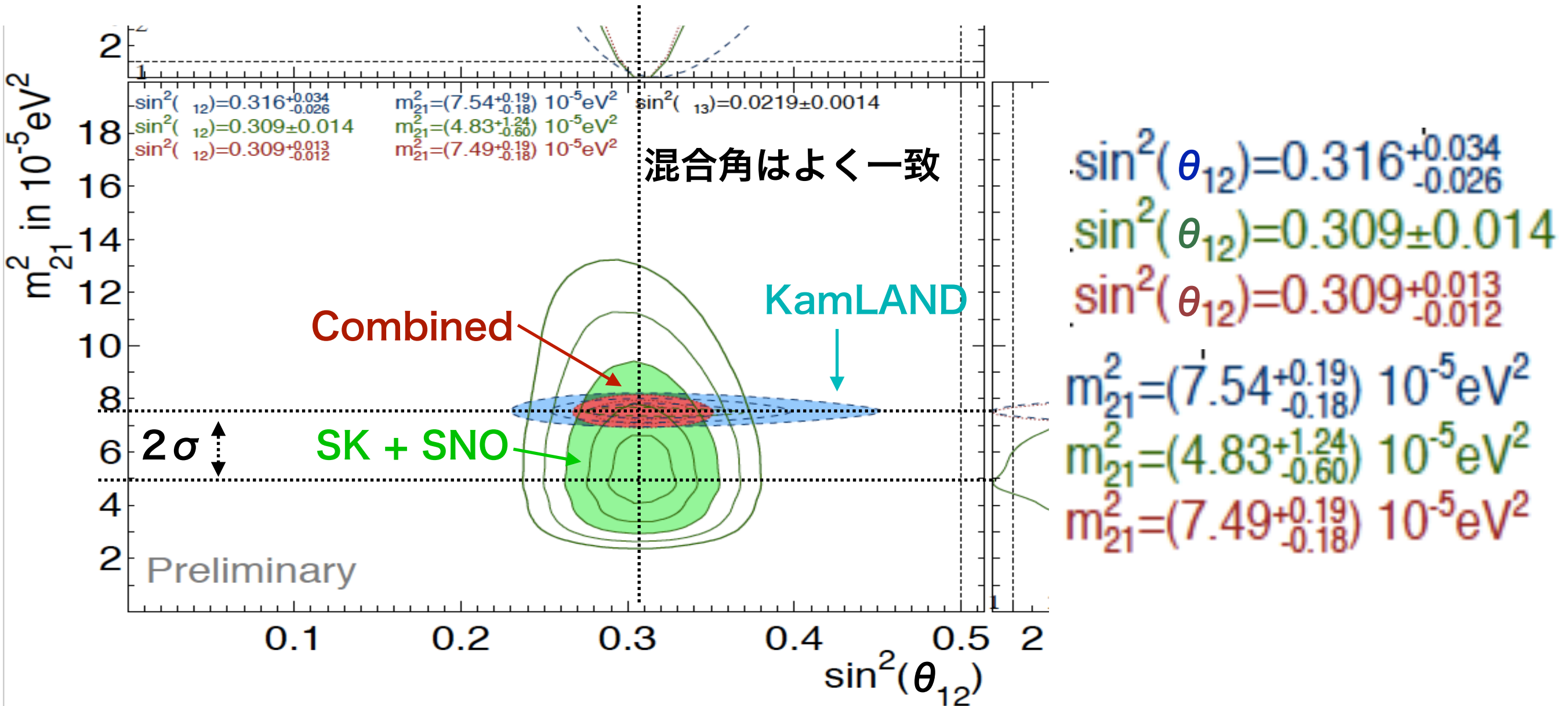
SKでの ^8B 太陽ニュートリノの観測

- ^8B 太陽ニュートリノと電子の弾性散乱: $\nu_e + e^- \rightarrow \nu_e + e^-$
- 太陽方向との角度(θ_{sun})は太陽方向と相関をもつ。
- SK-I~IVで観測を続けている。
 - 去年の発表より、**約280日分**アップデート
 - これまで**約5500日**で**約89000個**の太陽ニュートリノを観測。
 - 各phaseでのfluxは互いに無矛盾。



SK Phase	Energy threshold [MeV]	Livetime [day]	^8B Flux [$10^6/\text{cm}^2/\text{s}$]
I	4.5	1496	$2.38 \pm 0.02 \pm 0.08$
II	6.5	791	$2.41 \pm 0.05^{+0.16}_{-0.15}$
III	4.0	548	$2.40 \pm 0.04 \pm 0.05$
IV	3.5	2645	$2.33 \pm 0.02 \pm 0.04$

太陽ニュートリノ振動解析



- 電子ニュートリノ(太陽ニュートリノ, SK + SNO) と 反電子ニュートリノ(原子炉ニュートリノ, KamLAND)との比較。
- 混合角 $\sin^2(\theta_{12})$ はよく一致しているが、質量二乗差 m_{21}^2 は 2σ 離れている。
- ➔ これが合わなければCPT対称性が破れる。さらなる観測を。

LowE解析の現状

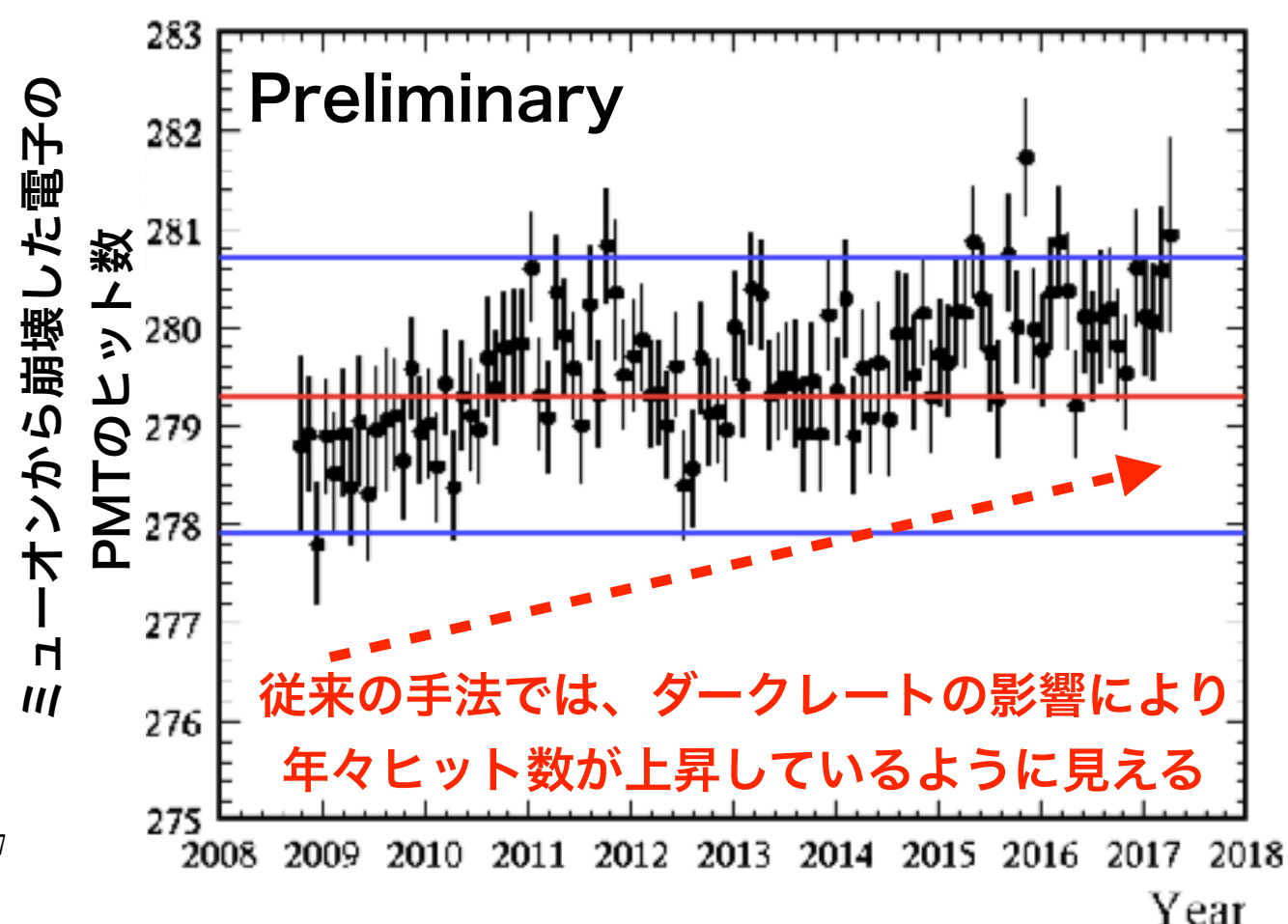
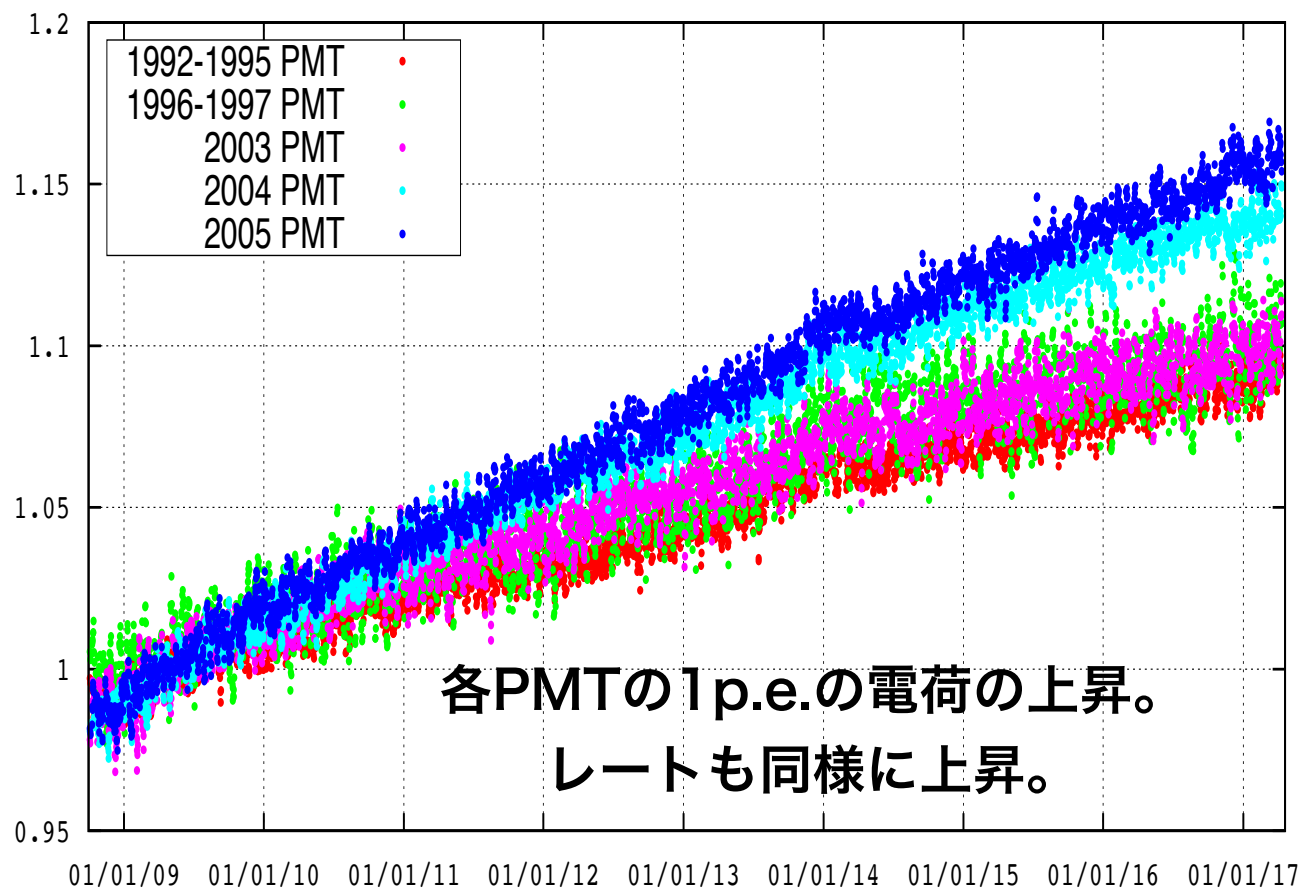
—超新星爆発とゲイン補正—

超新星爆発モニター: SN watch

- 残念ながら、昨年の発表会から今日まで超新星爆発は観測されていない。
- 来たる超新星爆発に備えて、SKでは超新星爆発が起きた時に来る大量の超新星ニュートリノ(SN)を常にモニターしている(SN watch).
 - 大量のSNが来れば、アラームが鳴り、いち早く世界に情報を発信できるようにしている。
- 来たる時のために、抜き打ちで訓練を行っている。
 - レーザーダイオードによる擬似信号やアラームのみ鳴らすなど。
 - 後者はT2Kが走っていても行える。
- 例えば1万イベントの方向性同定のためのフィットに約15分かかっている。
 - 現在改良中で、並列計算を用いて半分以下にすることを目指している。

PMTのノイズのゲイン、レートの上昇

- PMTのノイズのゲイン、レートが年々上昇している。
- 水の透過率(光の通りやすさ)の効果をエネルギー計算の際に入れて補正しているが、ノイズのゲイン、レートの上昇により、**透過率が上がっているように見える**。
- ➔ この影響が大きく、従来の手法では正しく計算できなくなった。
- ➔ 年々PMTのヒット数が増えているように見える。
 - 各PMT毎のノイズの影響をエネルギー計算に新たに導入。
 - いくつかのキャリブレーションデータで、ゲイン補正後の時間変動を確認。



新しいゲイン補正後のヒット数

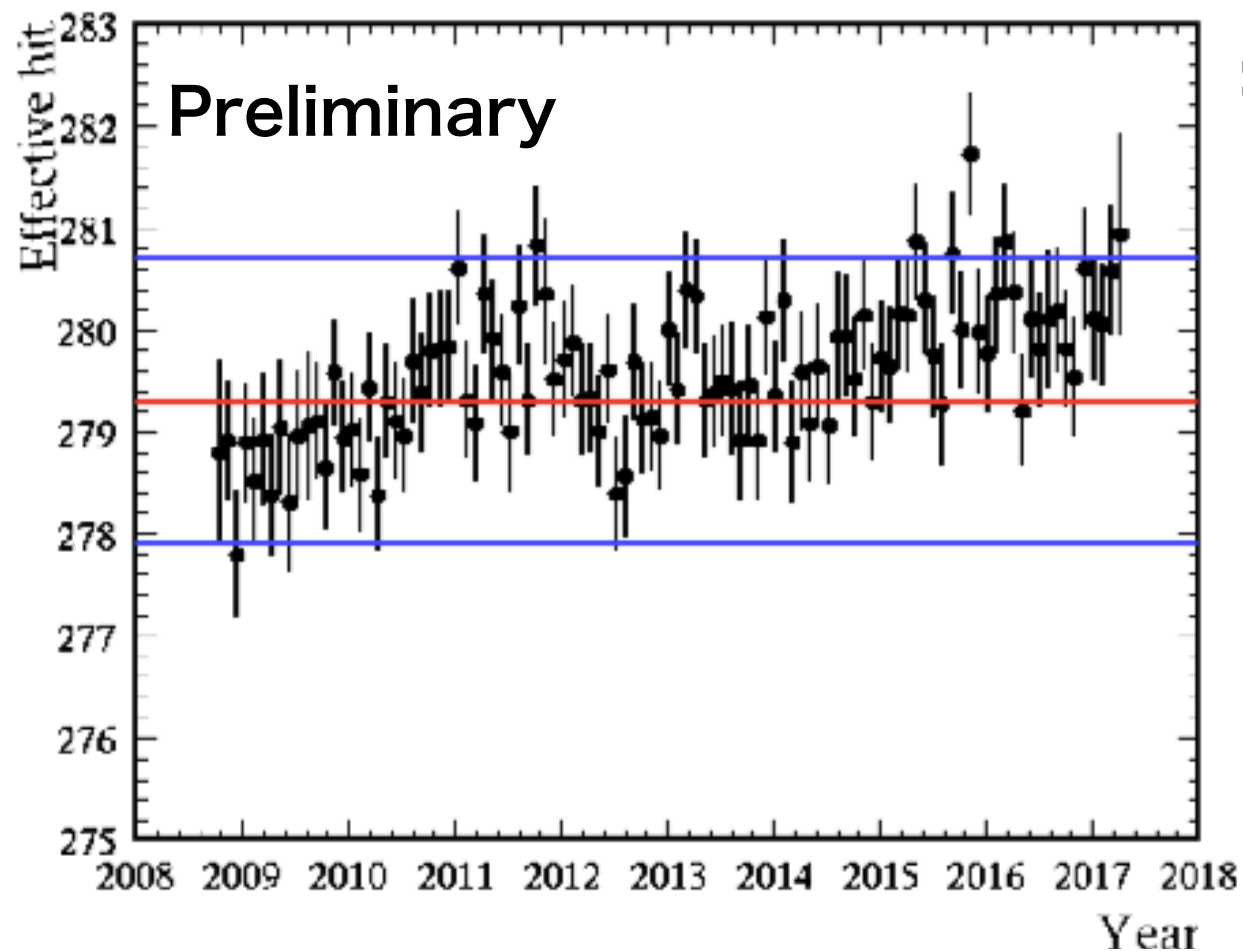
LowEではいくつかの手法を用いてキャリブレーションを行っている。

- 前述のミュオンから崩壊した電子
- 中性子発生装置:DTG
- 電子線LINAC

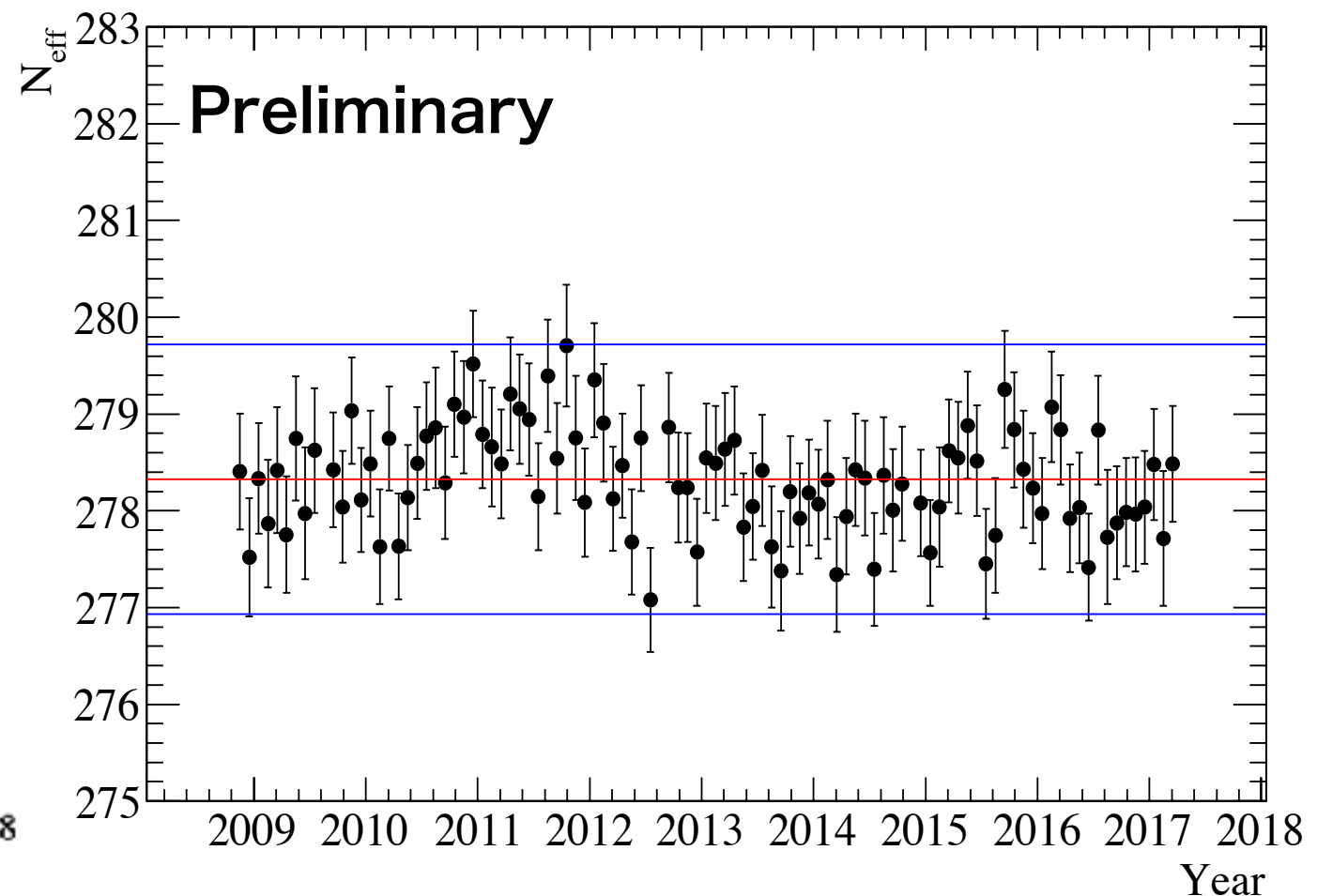
⇒0.5%の精度でエネルギーを決定する。

など

ミュオンから崩壊した電子のヒット数の時間変動



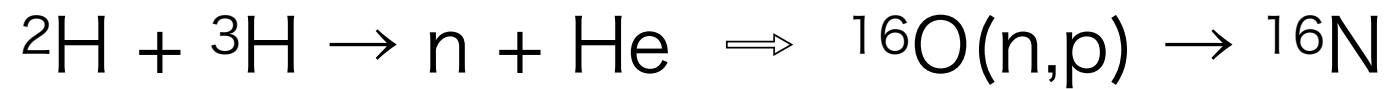
従来の手法(前ページと同じ)



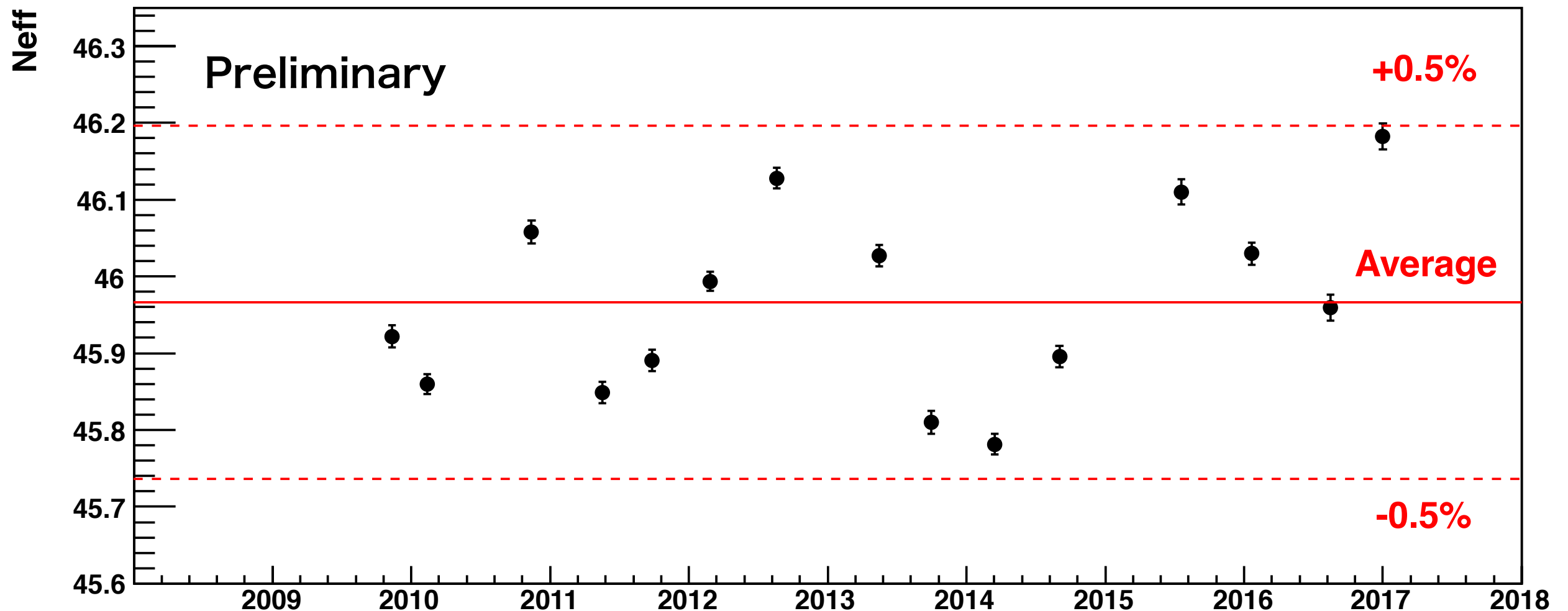
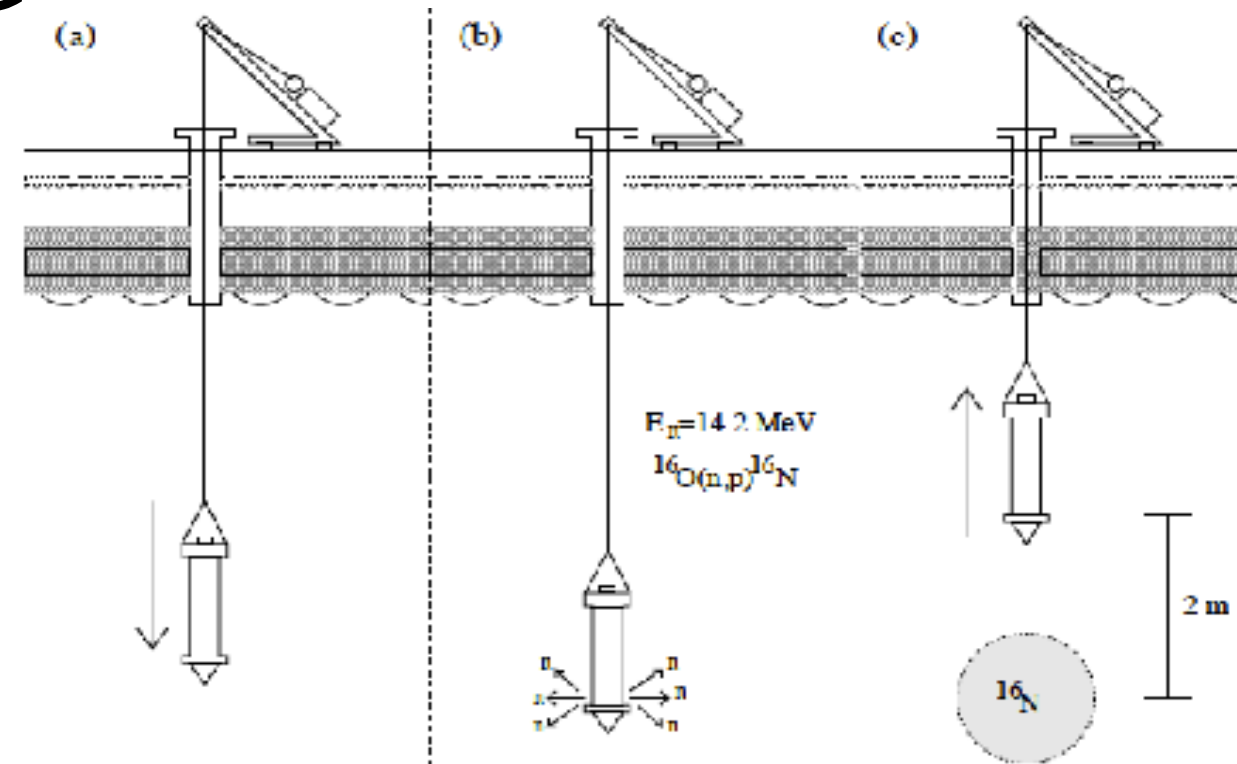
新しい計算によるヒット数

DTG

- Deuteron-Tritium Generator (DTG)

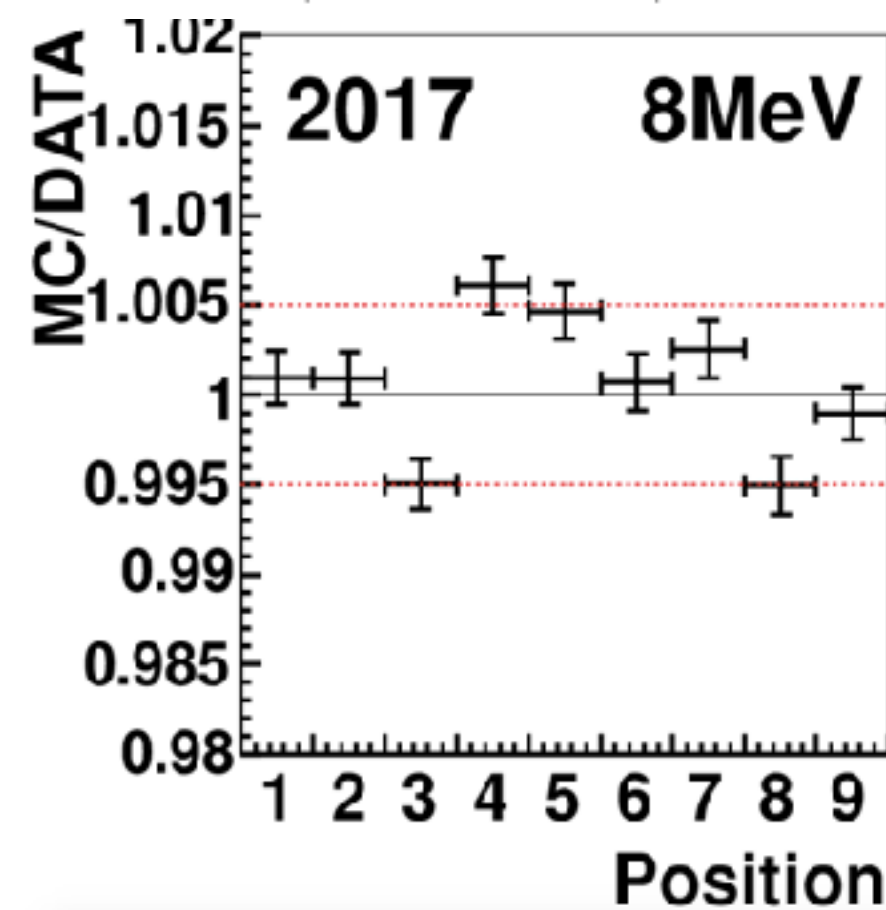
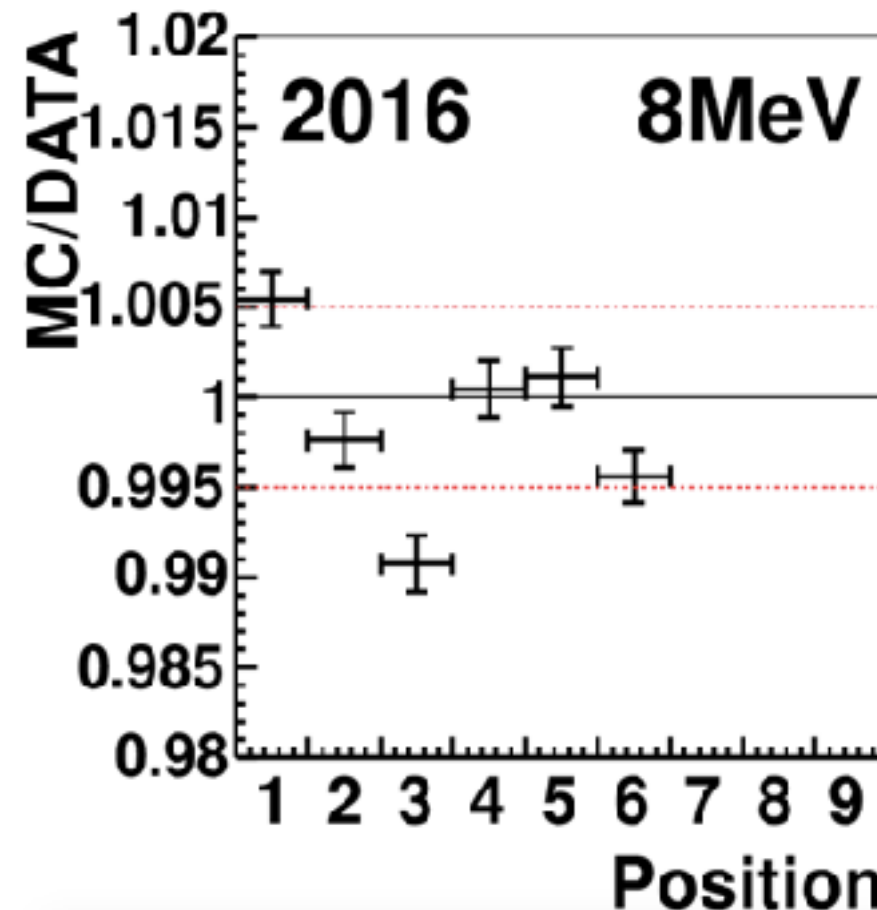
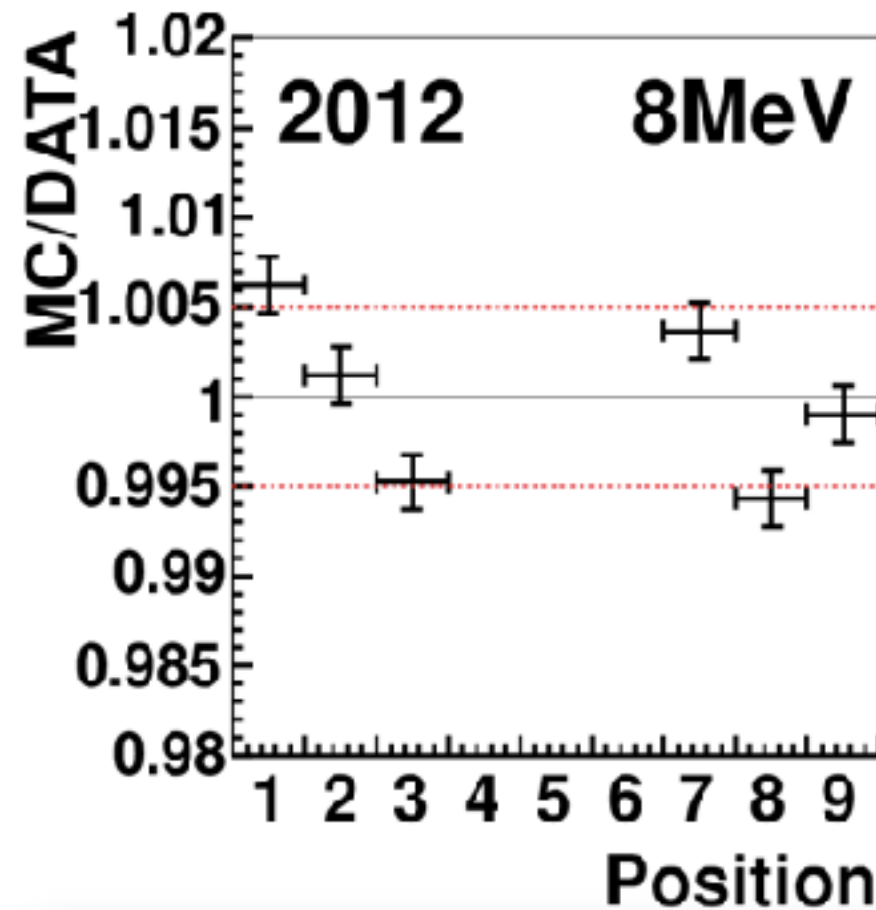
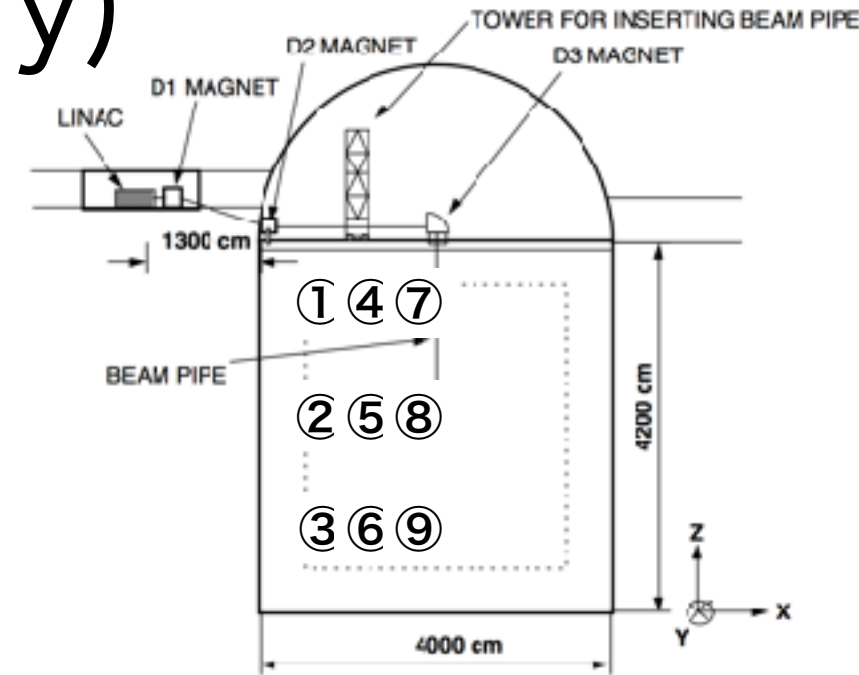


- ^{16}N がベータ、ガンマ線を出す。
- 2009年~2017年の変動(データ)



LINAC (Preliminary)

- 電子線LINAC
- SKにビームパイプを挿し込み、電子線を入射する。
- 5~16 MeVの電子線をいくつかの位置に打ち込む。

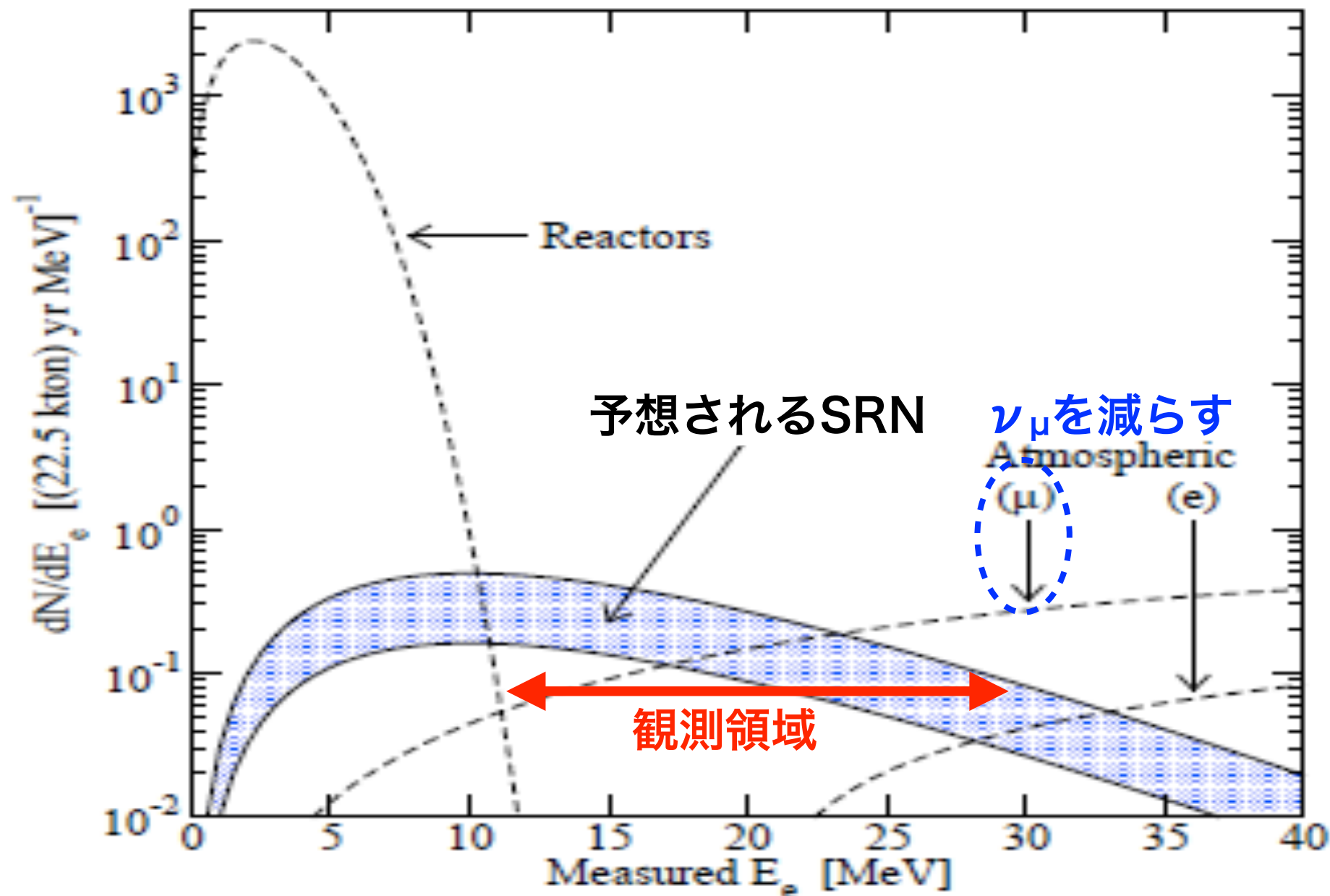


データ、MC共にノイズによるヒット数の時間変動は補正できた。今後は、キャリブレーションの最終確認をして、新手法によるLowE解析を行っていく。

SK-Gdの成果

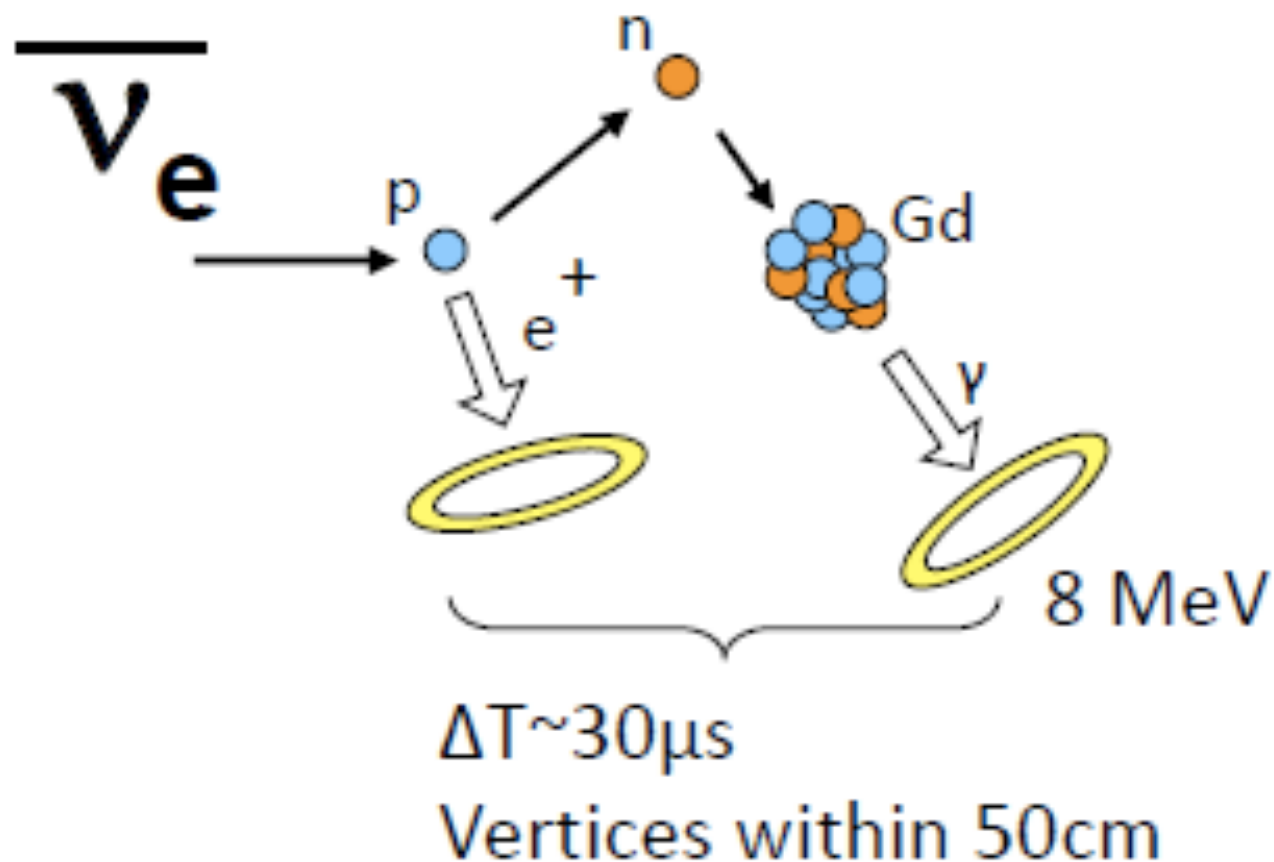
イントロ — 超新星背景ニュートリノ

- **超新星背景ニュートリノ** (Supernova Relic Neutrinos, SRN) とは、過去の超新星爆発で放出され、現在も宇宙を漂っているニュートリノ。
- 過去にSKでも探索を行ったが、まだ見つかっていない。
 - ➔ バックグラウンド(ν_μ CCなど)を大幅に減らすことで、観測領域を広げる。

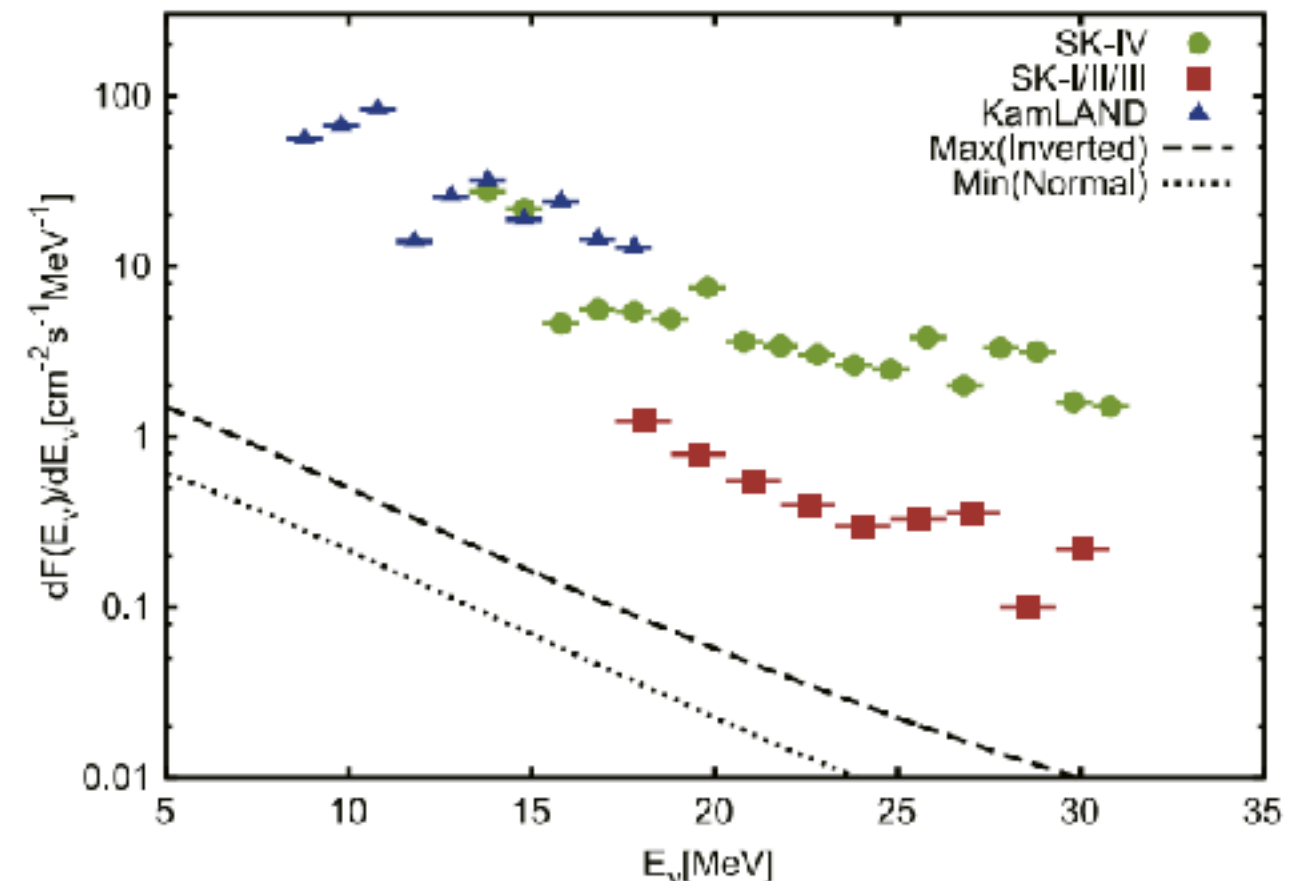


SK-Gd

- SKにガドリニウムGdを0.1%(硫酸ガドリニウム0.2%)を導入して、**中性子同時計測**を可能にすることで、反電子ニュートリノのSRNを観測する。
 - **約90%**の中性子捕獲効率。
 - 大幅なバックグラウンドの除去が期待できる。
 - 現在の上限值から1桁改善を目指す。



逆ベータ反応



主なSK-Gdの成果 —高純度Gd—

- SK-Gdにて、今後も太陽ニュートリノ観測を続けるには、硫酸ガドリニウム中の放射性不純物(U, Th, Ra)を除去しなければならない。
- いくつかの企業に製造を依頼。我々は放射性不純物の測定を行う。
- 寿命の長い放射性元素 ^{238}U , ^{232}Th : ICP-MS (神岡)
 - S. Ito et al. PTEP 2017 113H01
- 寿命の短い放射性元素 ^{226}Ra など: Ge検出器 (Canfranc, 神岡)

Preliminary

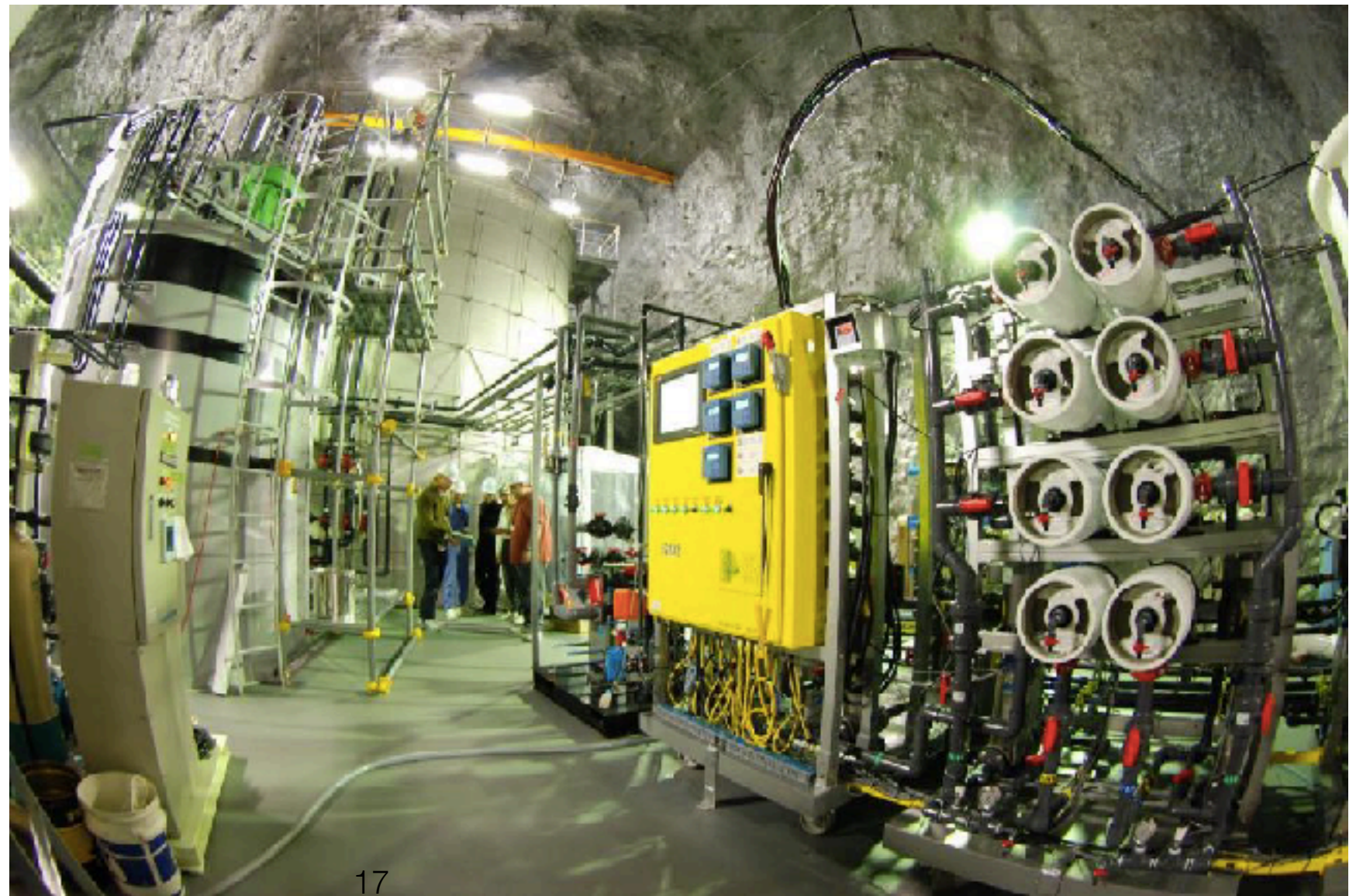
単位: [mBq/kg]

主な放射性不純物	^{238}U	^{232}Th	^{226}Ra
市販のもの	50	100	5
目標	<5	<0.05	<0.5
Company A	<0.04	0.02 ± 0.01	<0.25
Company B	<0.04	0.06 ± 0.01	<0.18
Company C	0.64 ± 0.10	1.77 ± 0.27	0.7 ± 0.4

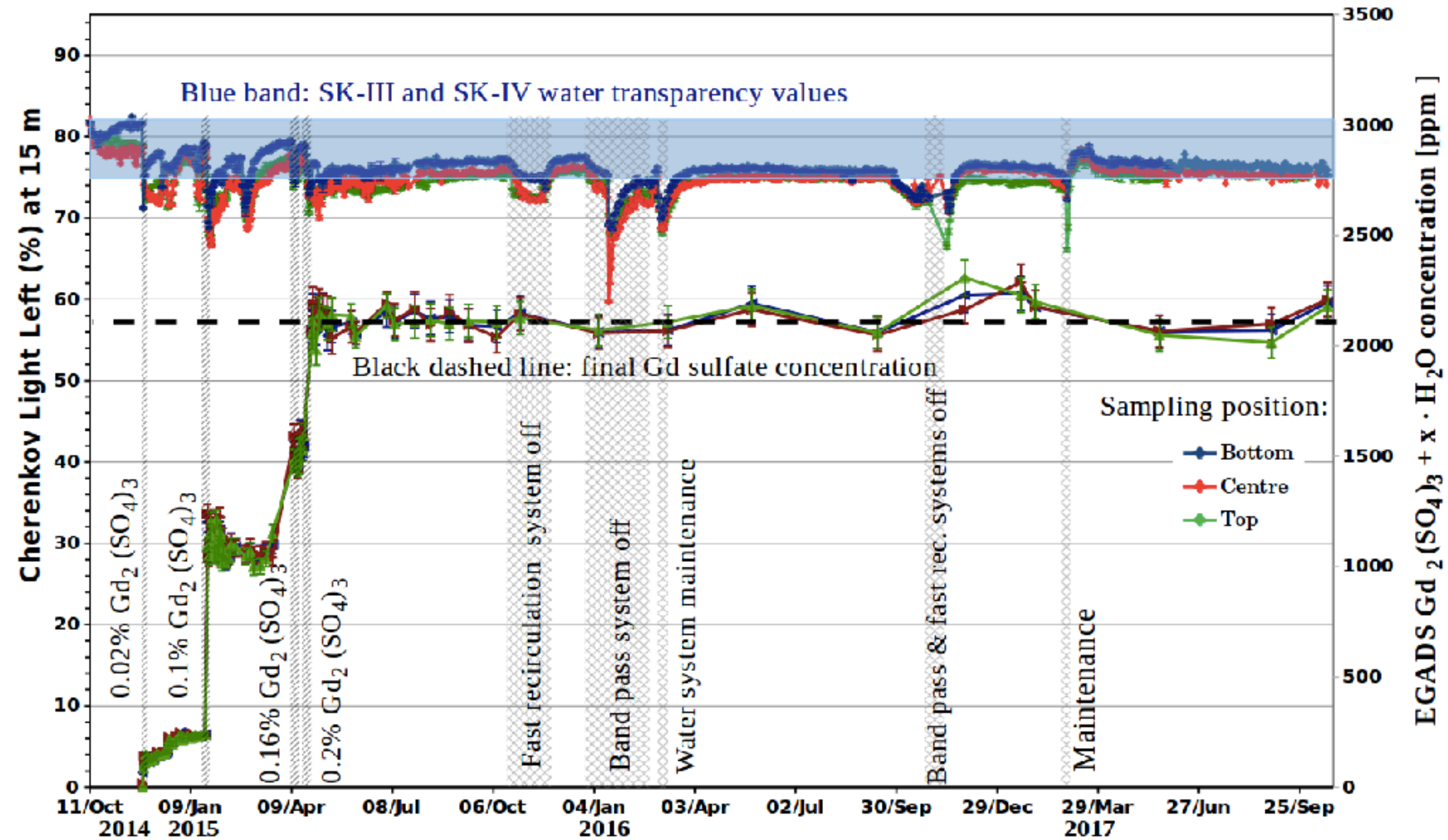
ついに、1社が目標達成した!!

主なSK-Gdの成果 —EGADS—

- Evaluating Gadolinium's Action on Detector System (EGADS)
- 200t 試験用タンク、240個のPMT
- 水の循環システムや透過率などの試験をしている。
- 2015年4月に本番同様の0.2%の硫酸ガドリニウムを導入した。
➔ 約2年半運転した。



主なSK-Gdの成果 —EGADS—



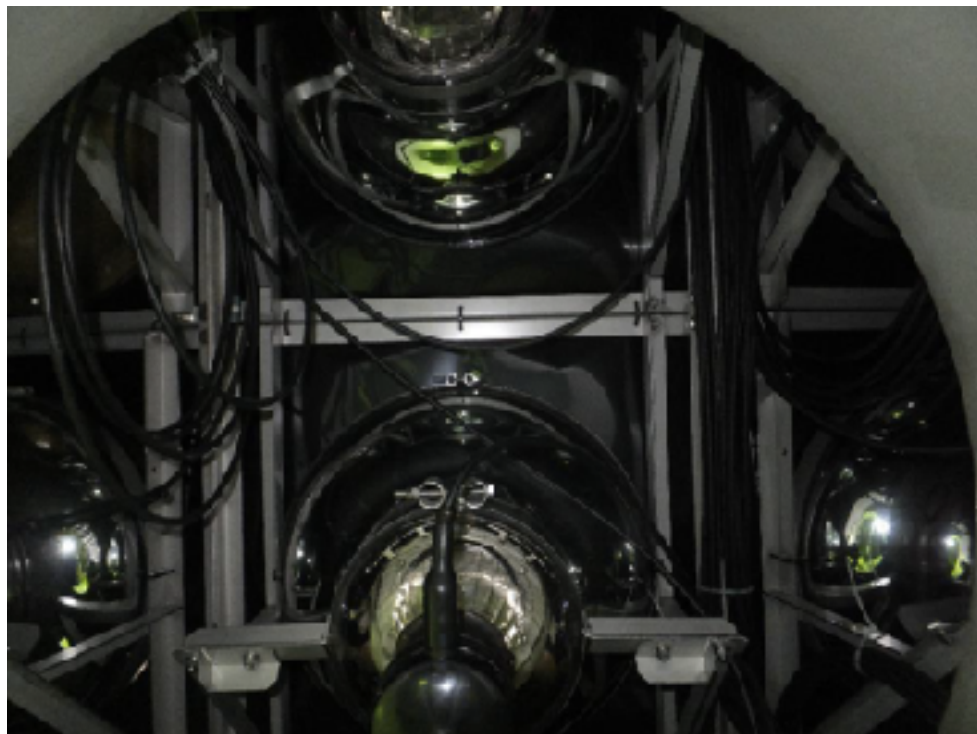
水の透過率は安定。Gdの濃度も安定。

EGADS Tank Open

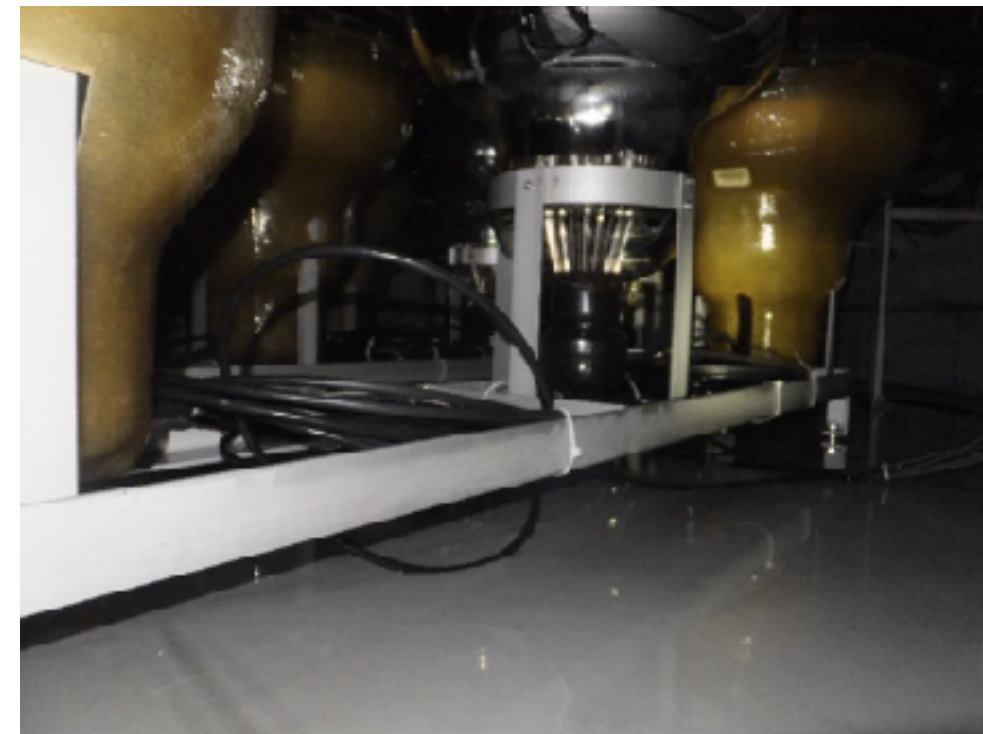
- 前述の高純度GdをEGADSへ導入するため、EGADS内のGd水を捨てて、洗浄、中の点検
- 10/20~10/23: 排水。
- 10/23~10/26: 純水を溜めた。Gdの濃度が<1ppmであることを確認。
- 10/27~11/6: タンクを開けて、中に入って作業。
- 現在、純水で循環している。年明けに新Gdを導入予定。本番に向けて、EGADSを走らせる。



EGADSトップ部分



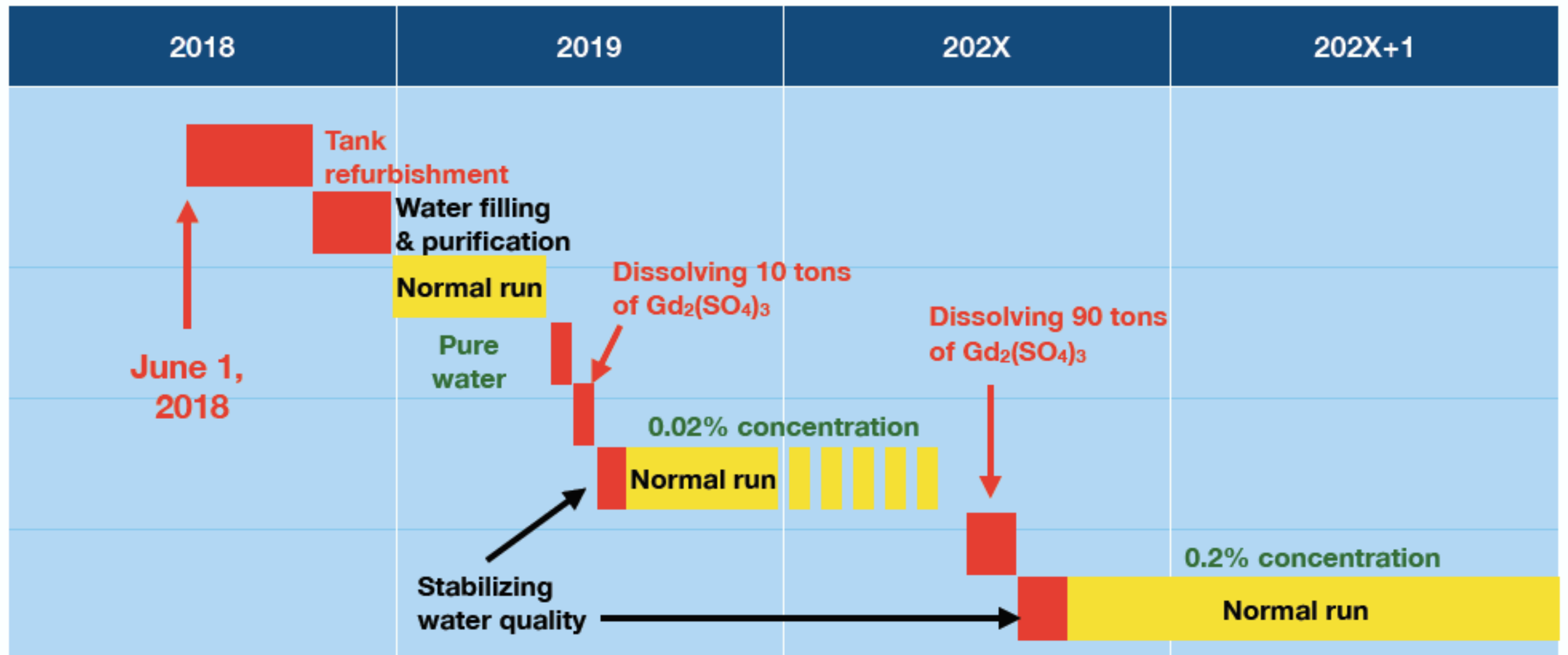
EGADS側面の裏部分



EGADS底部分

スケジュール

- 来年の6月にtank openと水漏れの補修工事を予定。
- Tank openの間は、EGADSをSNの代替機として使う予定。
➔ ベテルギウス爆発時の高いレート(100 kHz)にも耐えられる。
- SK-Gd本番に向けての準備は着々と進んでいる。



全体のまとめ

- LowEのまとめ

- 前回の発表から太陽ニュートリノ解析をアップデート。
- 振動解析: 太陽ニュートリノグローバル解析と原子炉ニュートリノ解析の
質量二乗差の違いは 2σ
- 来たる超新星爆発に向けて、SN watchを改良中。
- ダークノイズのゲイン、レートの上昇の影響の補正。
- キャリブレーションデータの最終確認の後、新手法によるLowE
解析を行う。

- SK-Gdのまとめ

- 低放射性不純物の硫酸ガドリニウムができた。
- 試験のため、EGADSへの導入を予定。現在は純水循環。
- Tank open, Gd導入に向けて、準備は順調に進んでいる。