

TAx4実験宇宙線空気シャワー ハイブリッド事象解析の現状

大阪電気通信大学
M1 楠森優貴

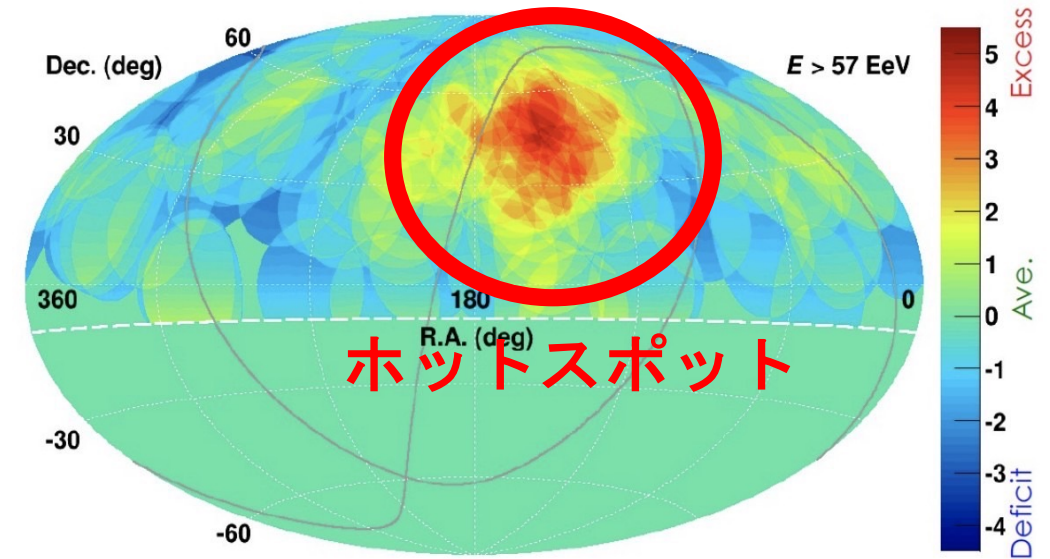




超高エネルギー宇宙線

超高エネルギー宇宙線： 10^{18} eV の宇宙線
発生起源 → 分からない

- TA 実験は超高エネルギー宇宙線の観測を実施
- 超高エネルギー宇宙線の集中する方向を発見
→ この方向に起源天体があると考えられる



57 EeV 以上の宇宙線の到来方向分布

超高エネルギー宇宙線の集中の確実な証拠とは言えない
なぜなら・・・観測統計量が少ない
→あと10年かかる

TAx4実験が計画された



TAx4実験

ホットスポットの証拠をより早く確実に検証するために超高エネルギー宇宙線の検出面積を増やす

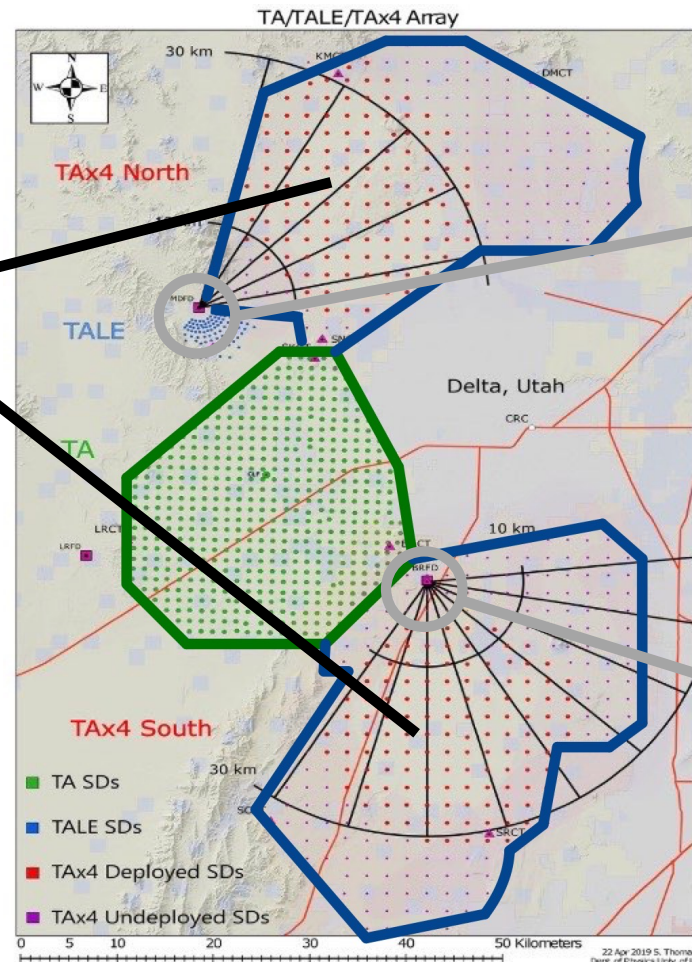
TA実験の検出面積を**4倍**→約2800 km²



SD × 257台

(合計500台設置予定)
2.08 km間隔

TAx4@MD→2019年観測開始
TAx4@BRM→2020年観測開始



FD × 4台 @MD



FD × 8台 @BRM



TAx4実験

ホットスポットの証拠をより早く確実に検証するために超高エネルギー宇宙線の検出面積を増やす

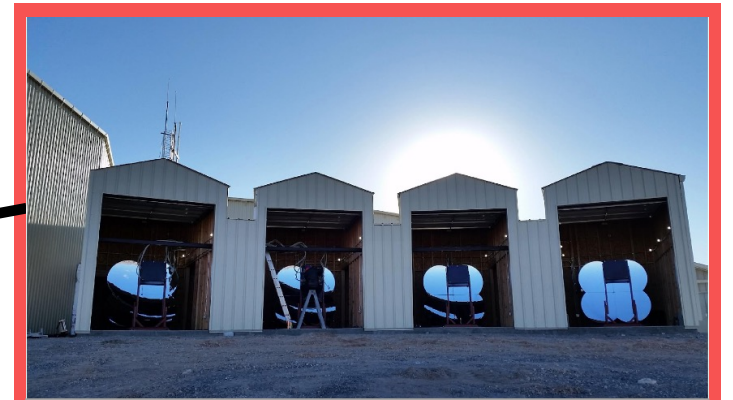
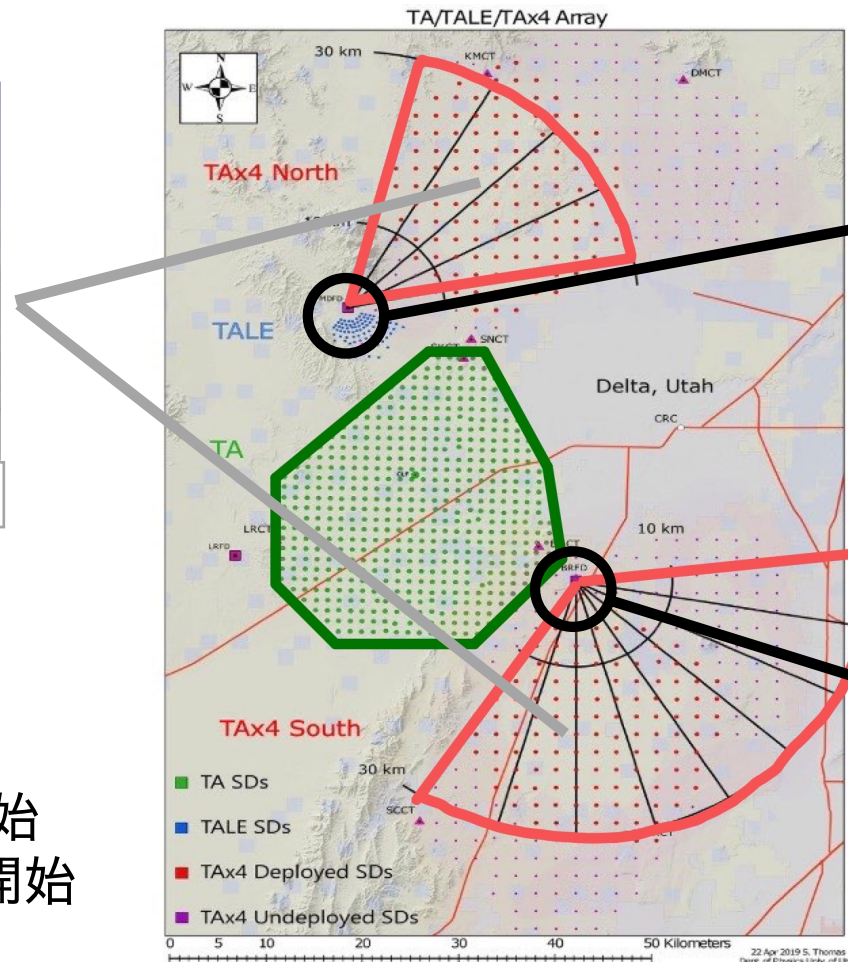
TA実験の検出面積を**4倍**→約2800 km²



SD × 257台

(合計500台設置予定)
2.08 km間隔

TAx4@MD→2019年観測開始
TAx4@BRM→2020年観測開始

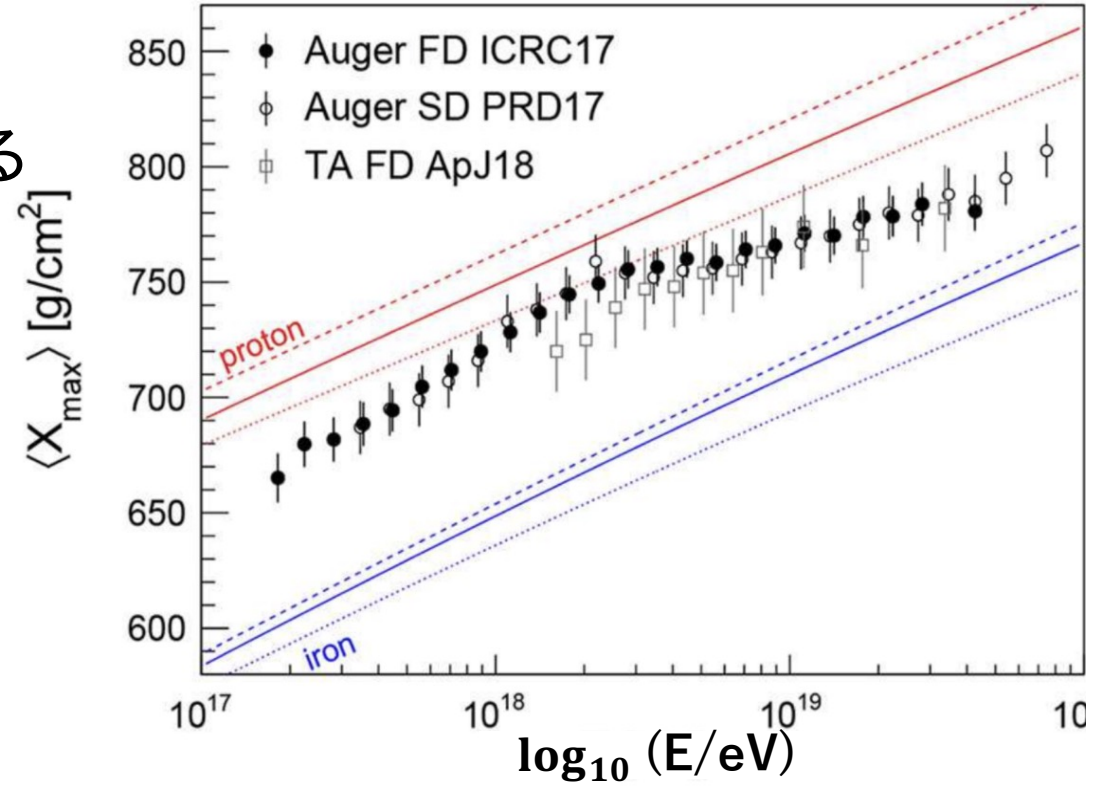


FD × 4台 @MD



FD × 8台 @BRM

- X_{\max} を測定できる大気蛍光望遠鏡(FD)は、一次宇宙線の粒子種を決定するのに重要である
- 起源解明には到来方向に加えて粒子種が重要である
- 宇宙線の粒子種によって伝播過程が異なる
- 特に 10^{19} eV 以上のエネルギー領域ではTA実験による10年間の観測ではイベント数が不十分なので質量組成の同定は難しい

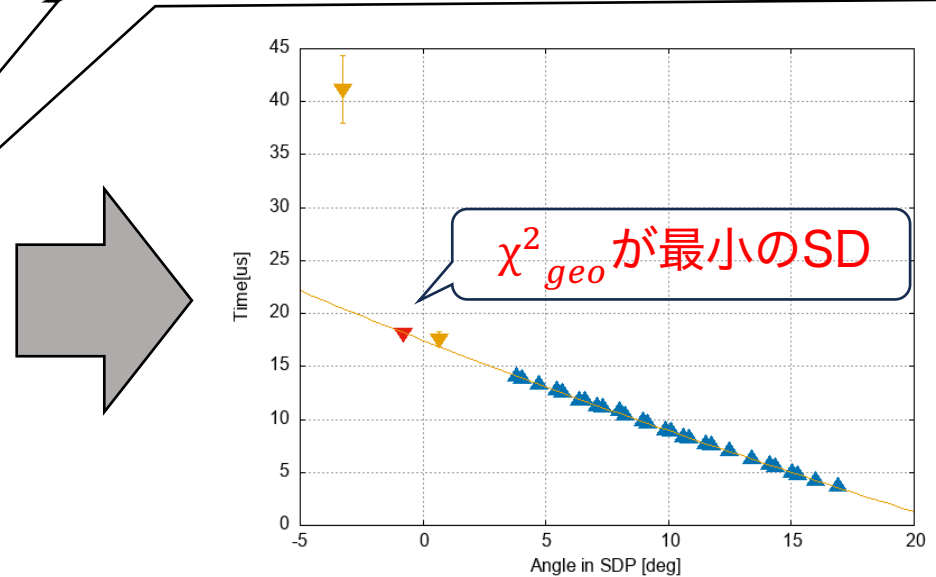
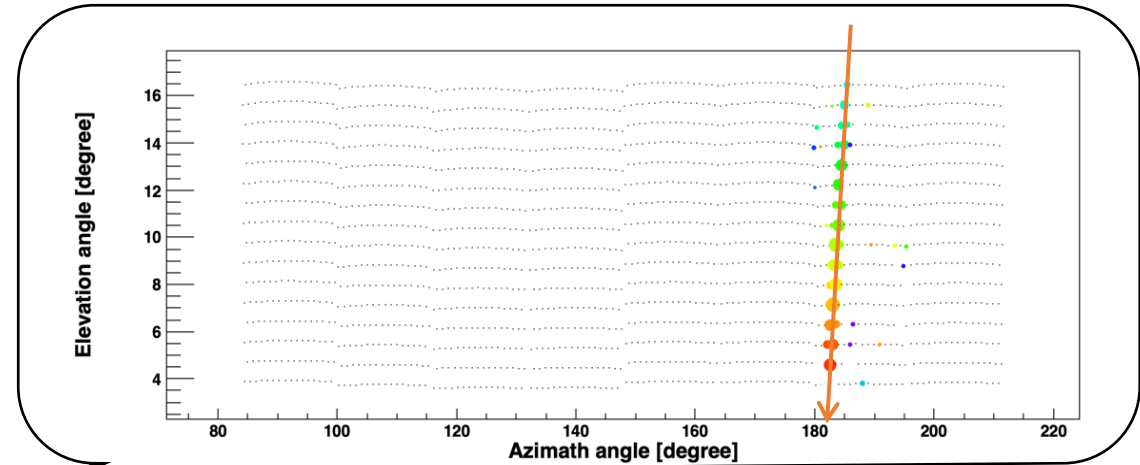
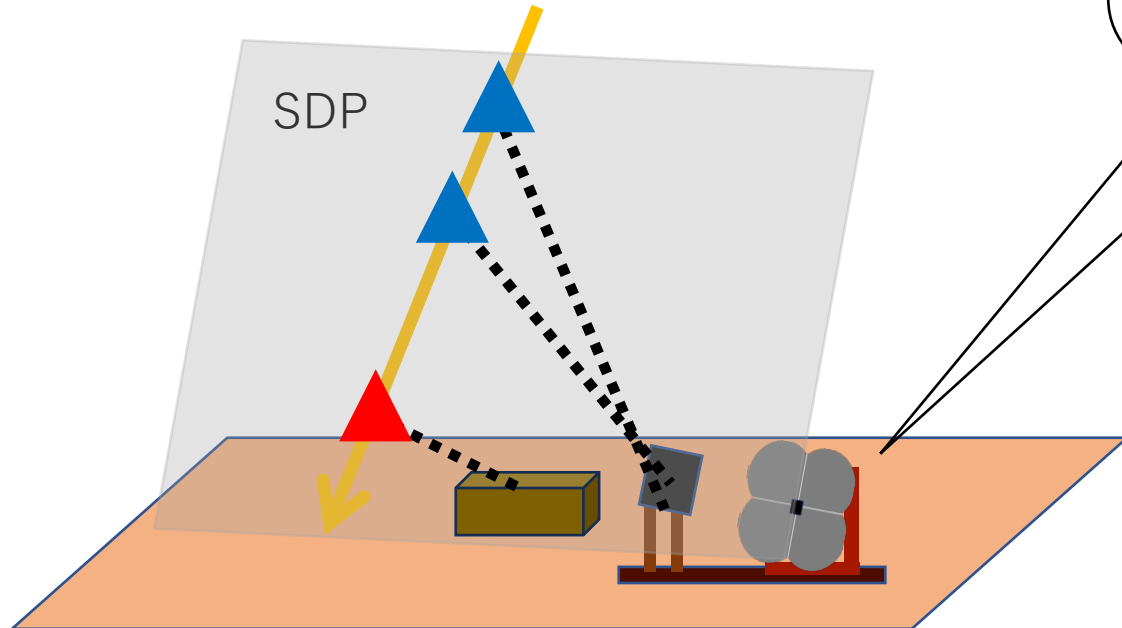


出典: R.A.Batista et al.,
Front.Astron.Space Sci. 6(2019) 23

TA + TAx4 ハイブリッドで 10^{19} eV 以上の質量組成を調べる

空気シャワーのハイブリッド再構成手法

- FDで光を検出したPMTの方向からシャワー平面(SDP)を決定
- FDとコア付近のSDの到来時刻からシャワー軸を決定
 - 1つのSDを再構成に使用している
- 求めたシャワー軸に対して繰り返し空気シャワーシミュレーションを行う
- 各PMTで検出した光子数から実データを最も良く再現する空気シャワーを選ぶ



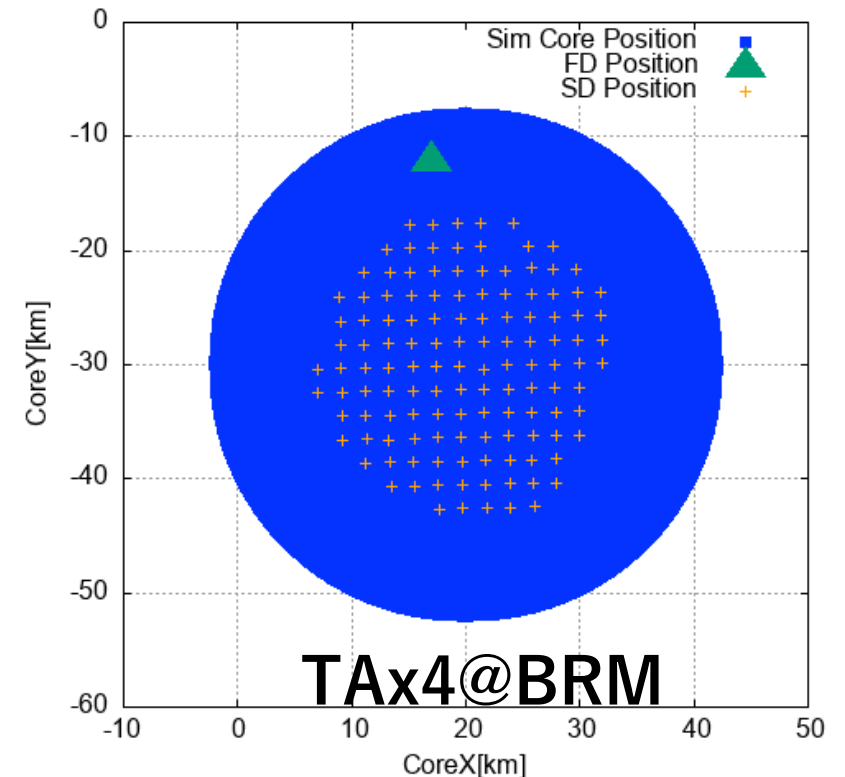
TAx4ハイブリッド解析の性能を
シミュレーションデータを解析して評価をする

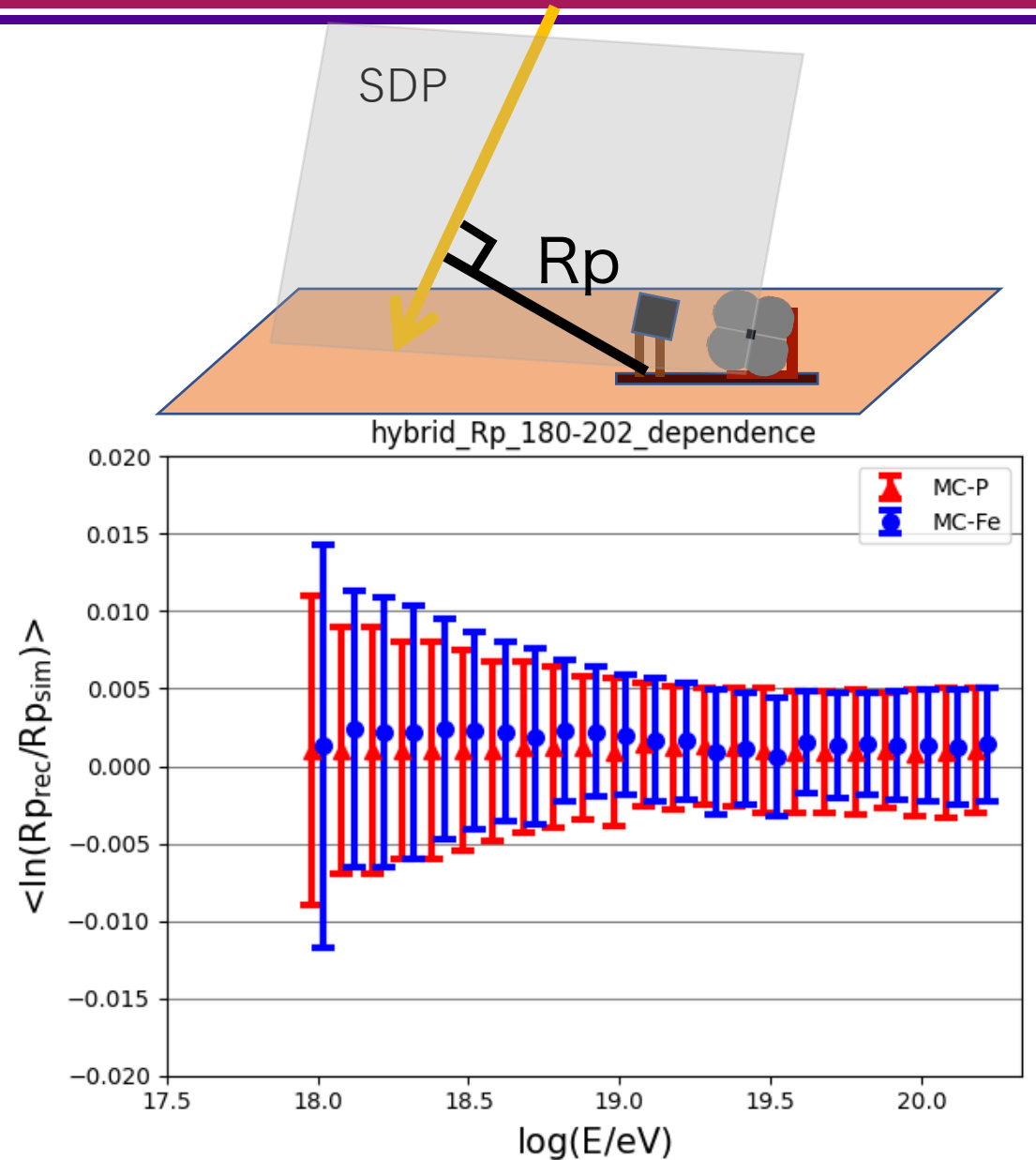
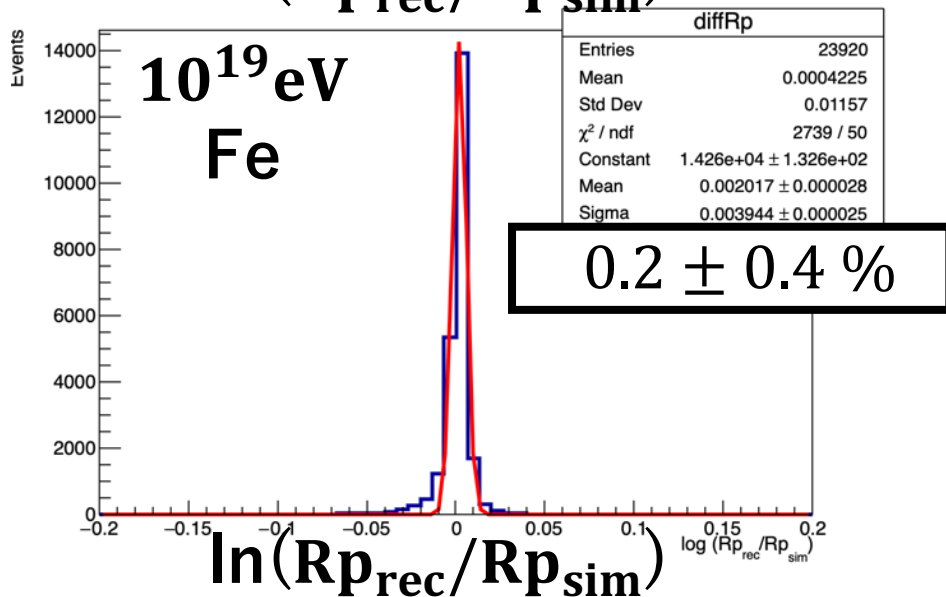
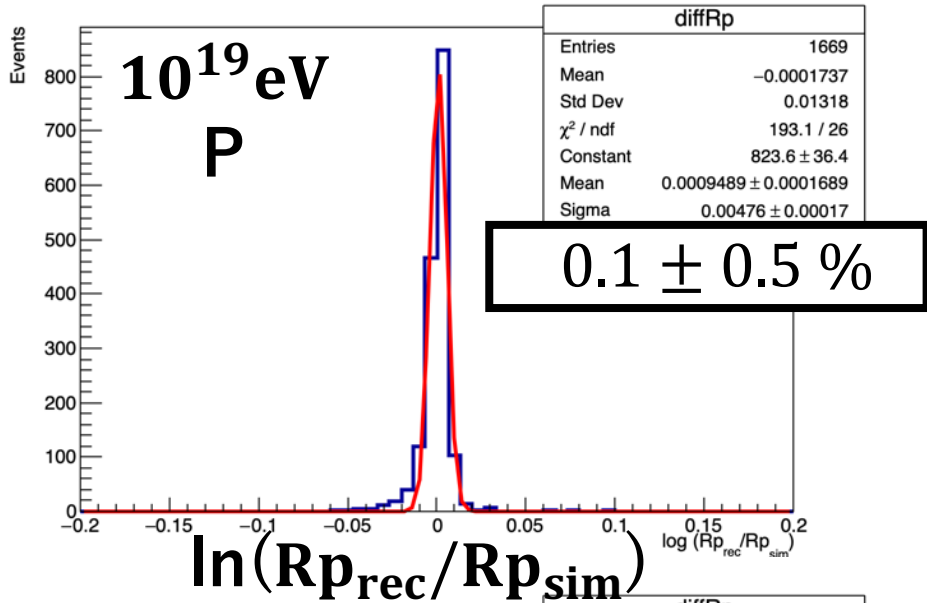
MC シミュレーション条件

粒子種	Proton, Iron
ハドロン相互作用	QGSJET-II-04
エネルギー	$10^{18.0} - 10^{20.2}$ eV
天頂角	0 - 70 度
方位角	0 - 360 度
コア位置	半径 22 kmの円

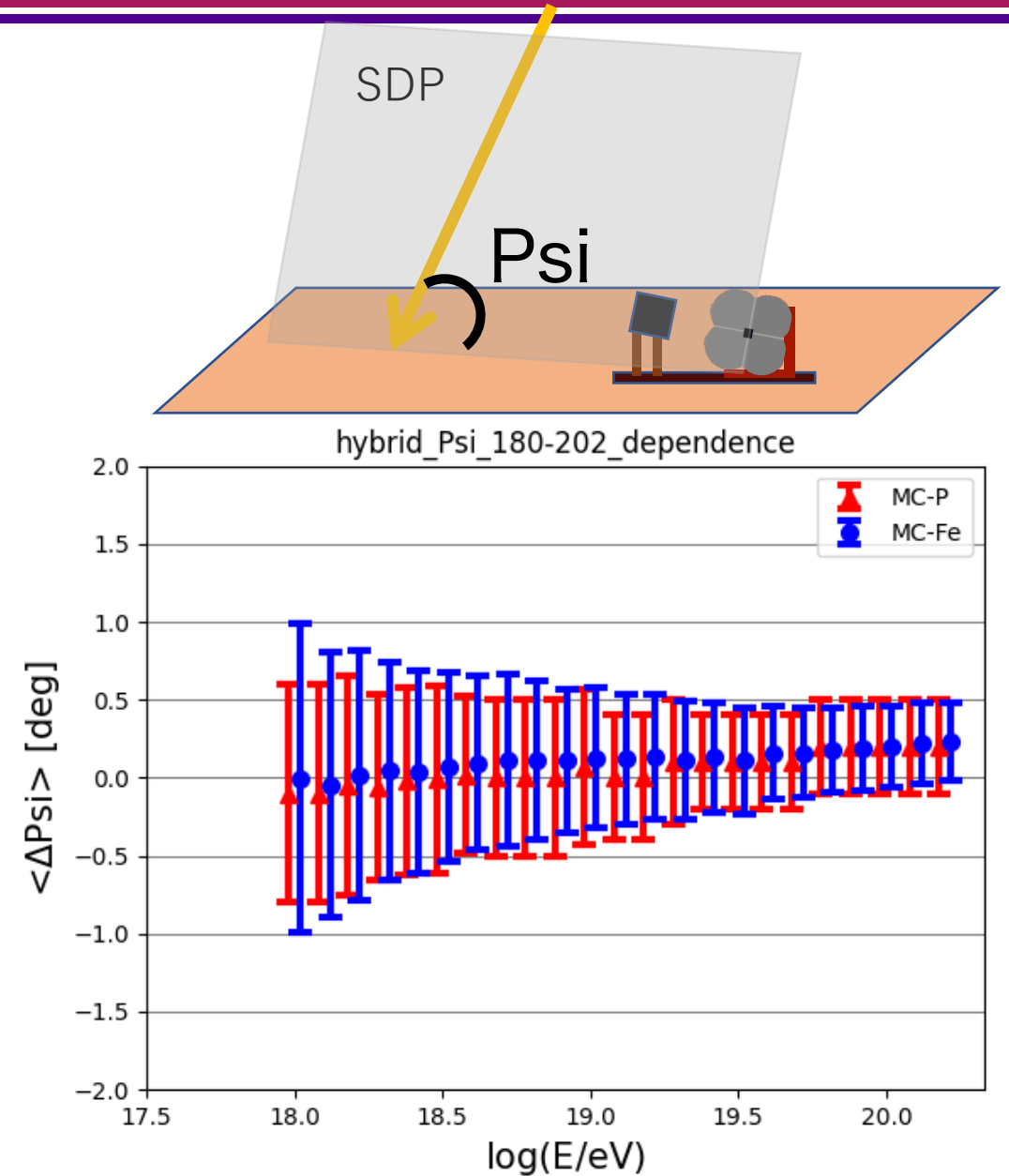
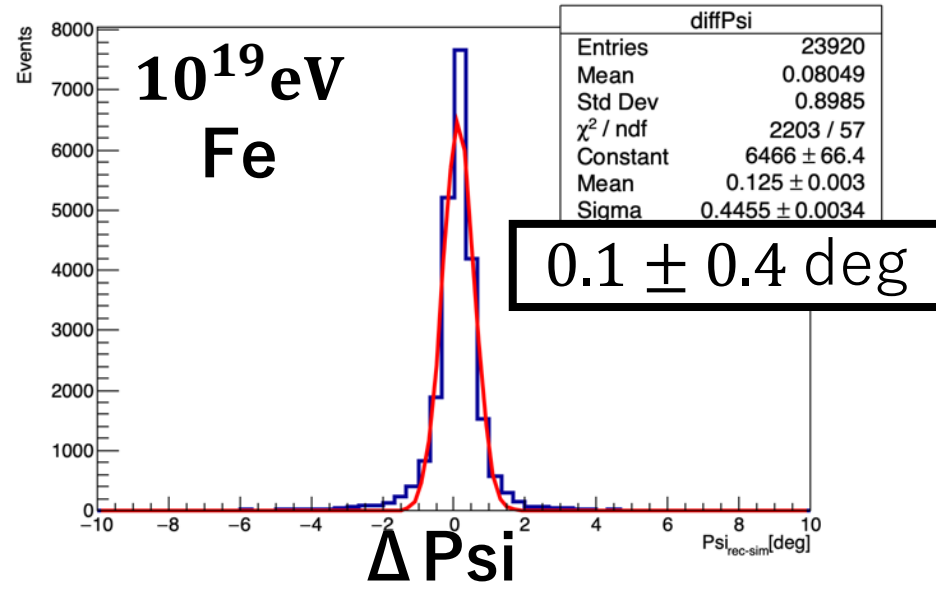
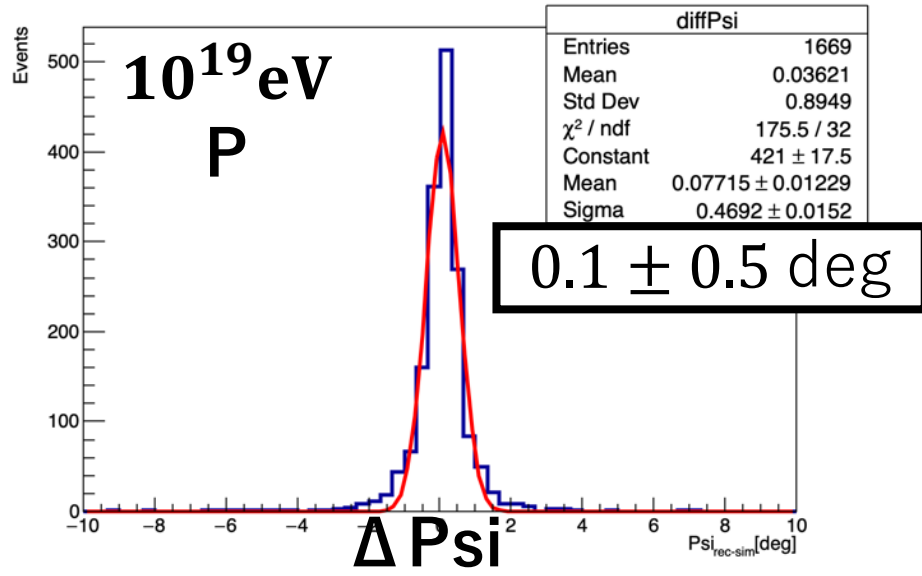
イベントセレクション

1. X_{\max} がFDの視野内
2. 天頂角 < 75 度
3. Saturation PMT なし

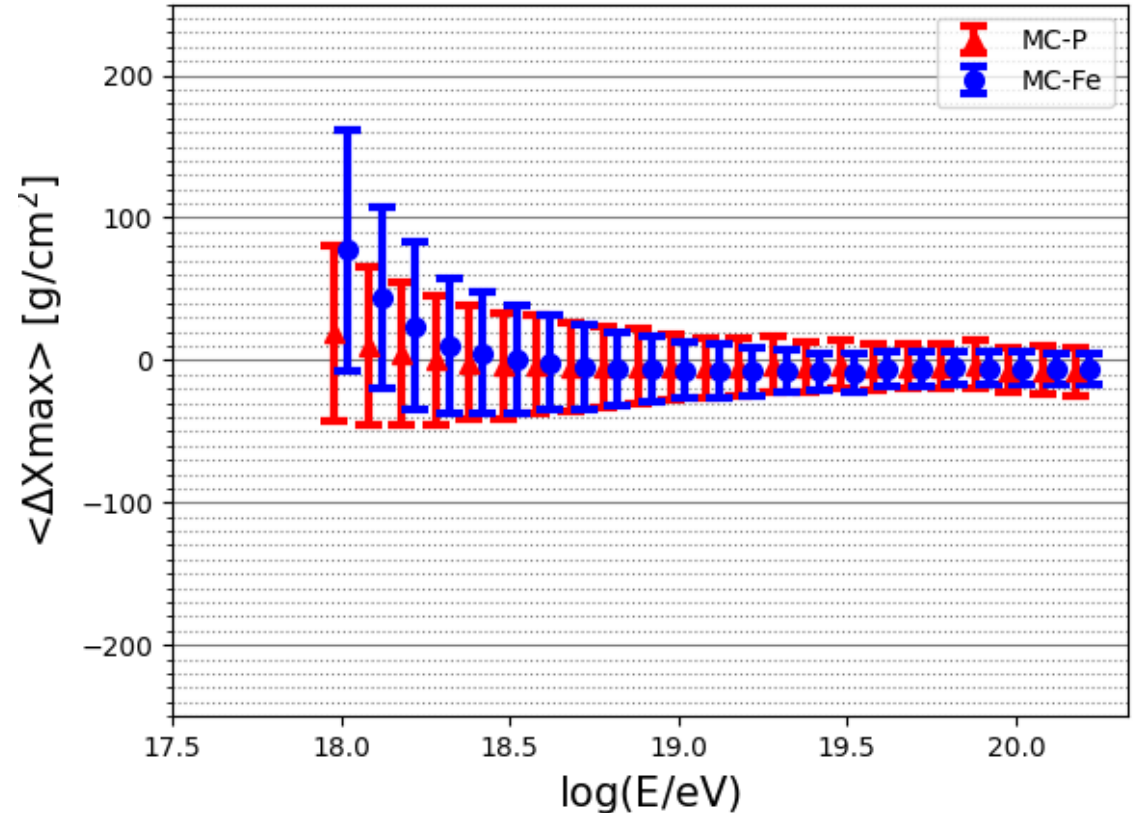
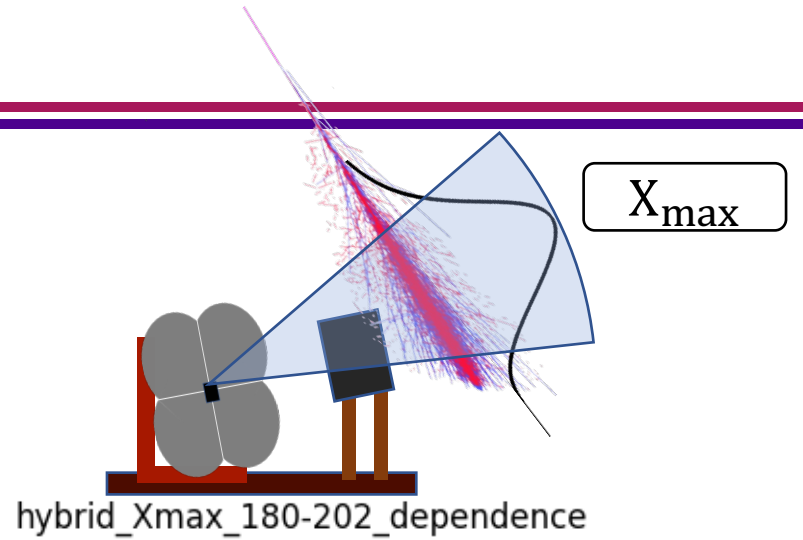
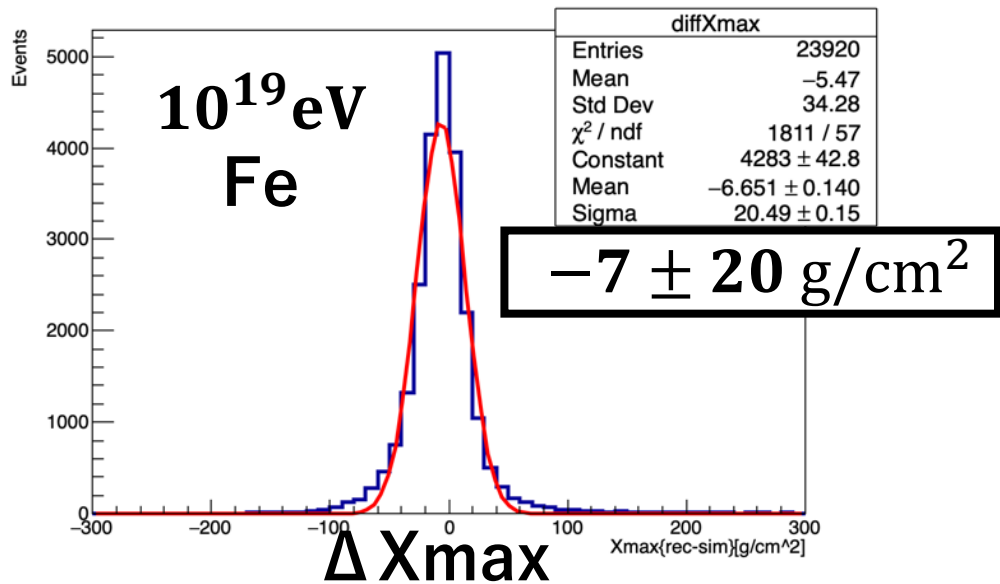
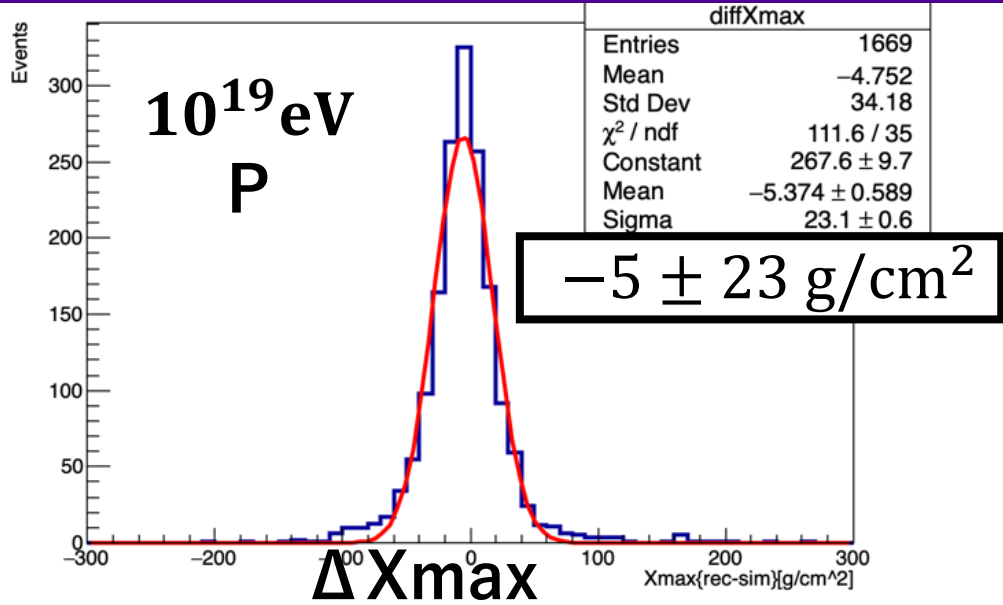


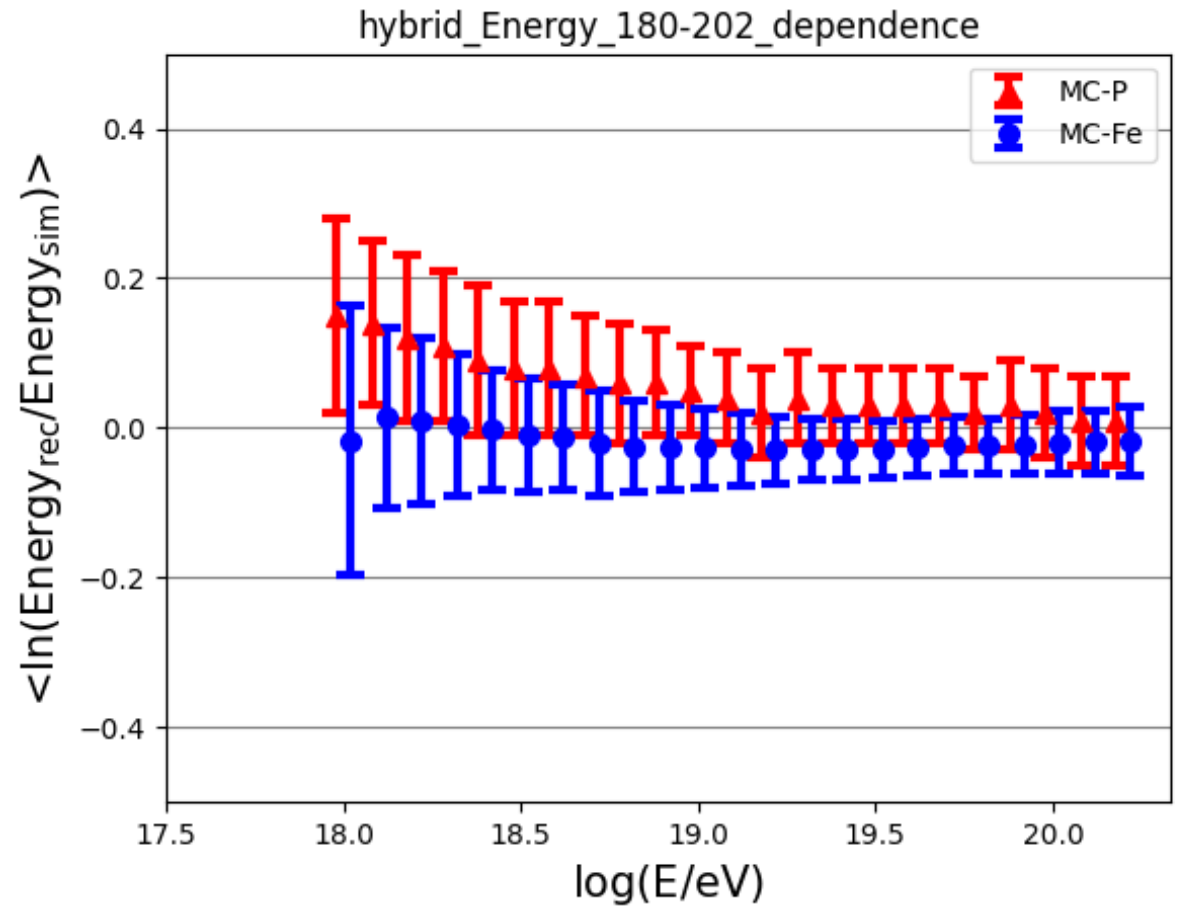
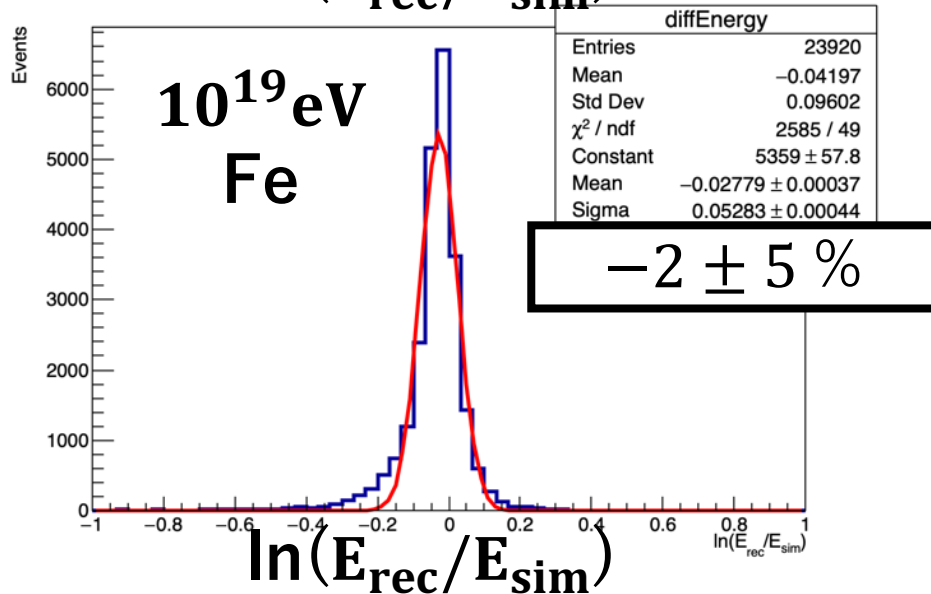
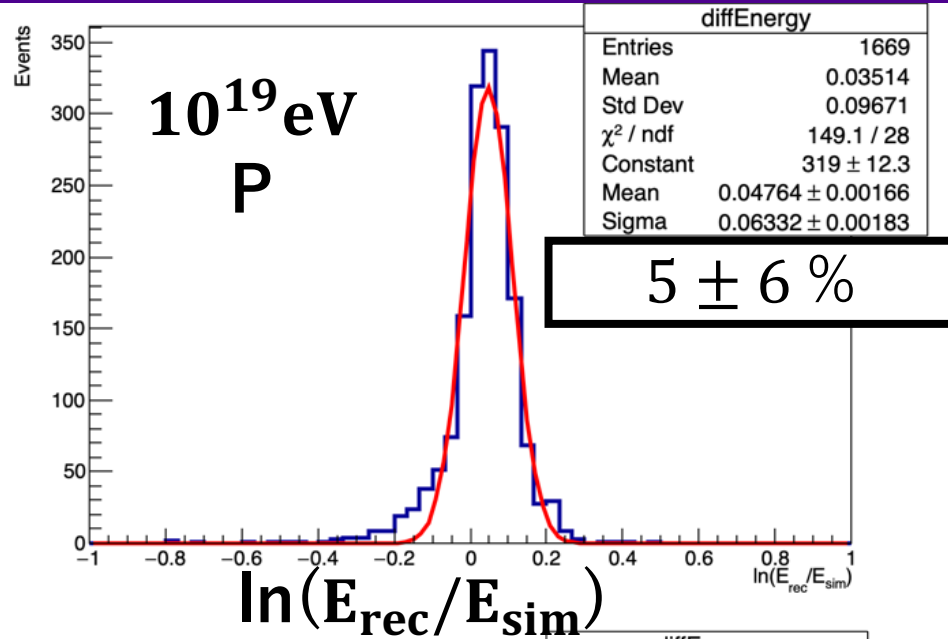


決定精度 Psi



決定精度 Xmax







実データ解析

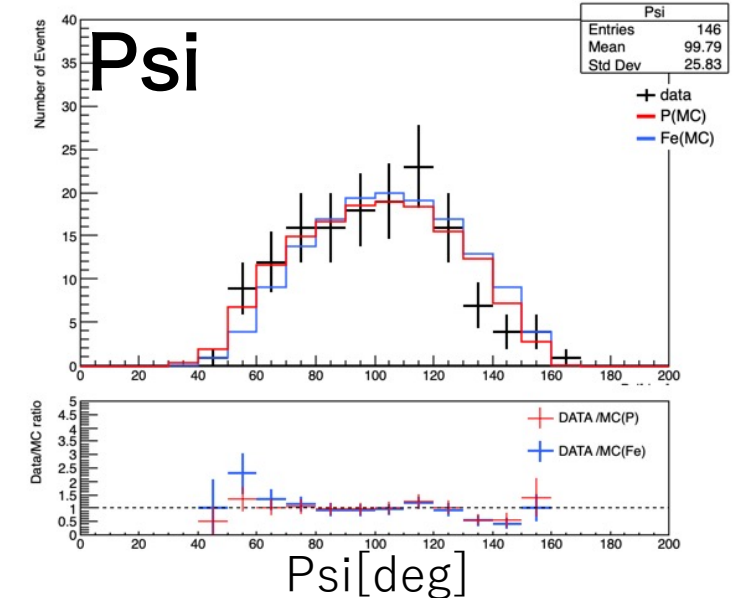
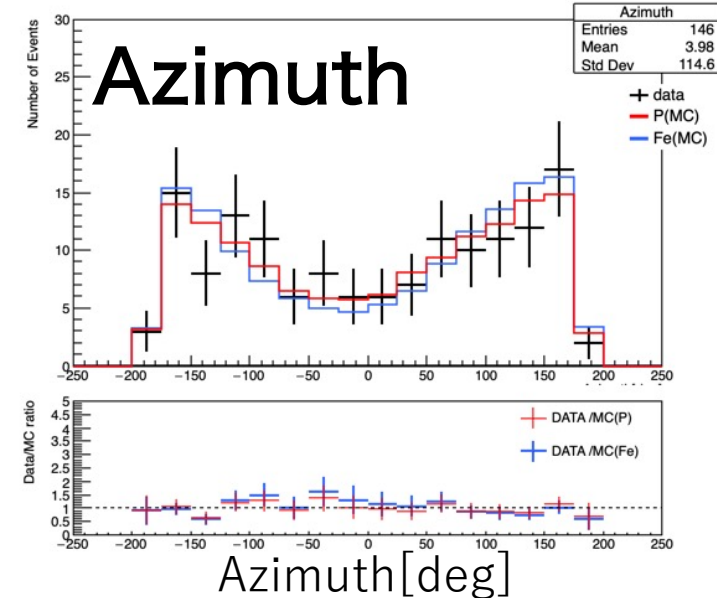
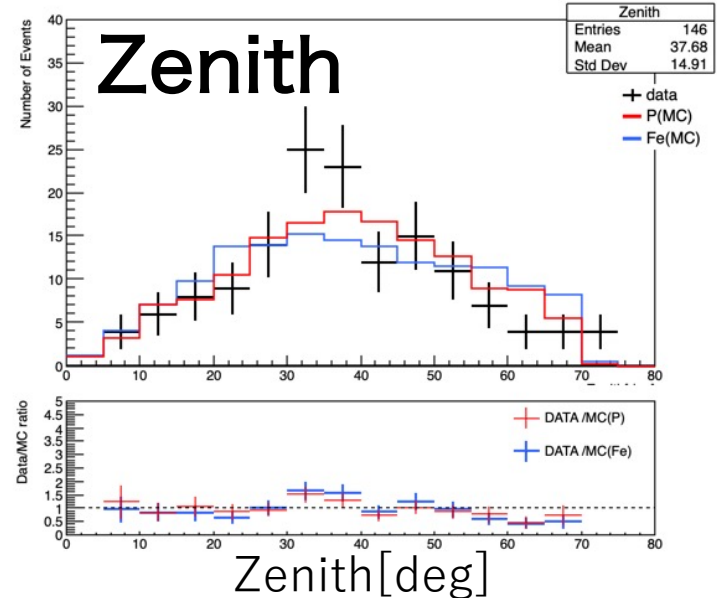
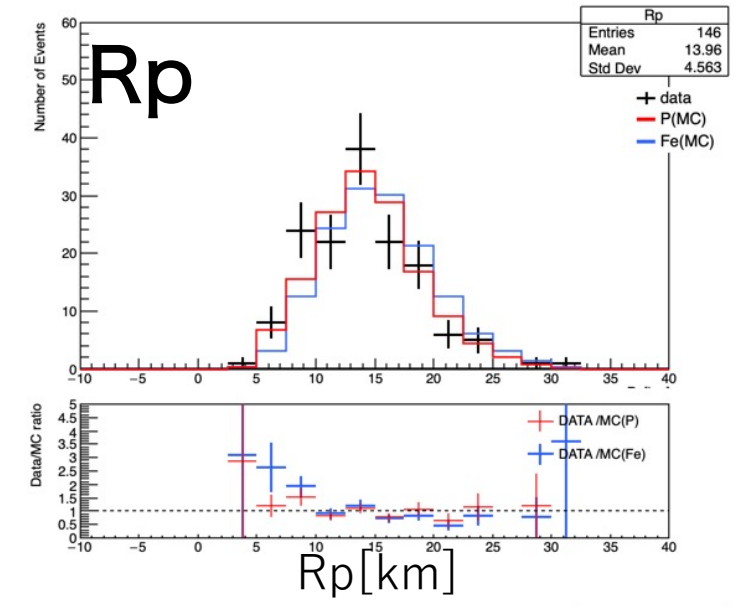
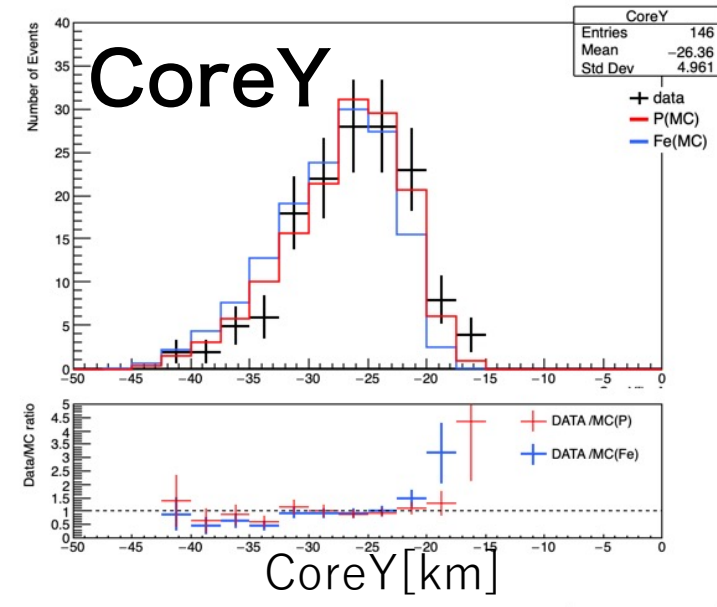
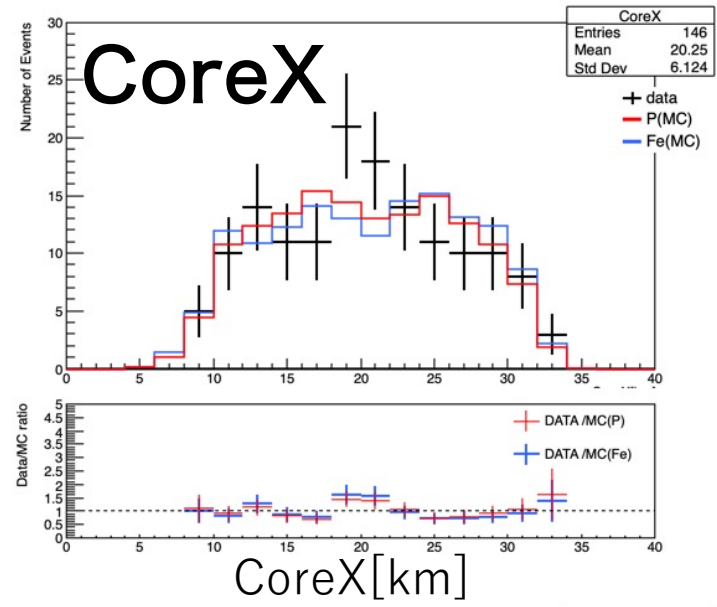
- TAX4@MD
 - 2019年10月 -2022年10月(~3年)
 - (イベントセレクション後243イベント)
- TAX4@BRM
 - 2020年7月 - 2022年10月(~2年)
 - (イベントセレクション後146イベント)

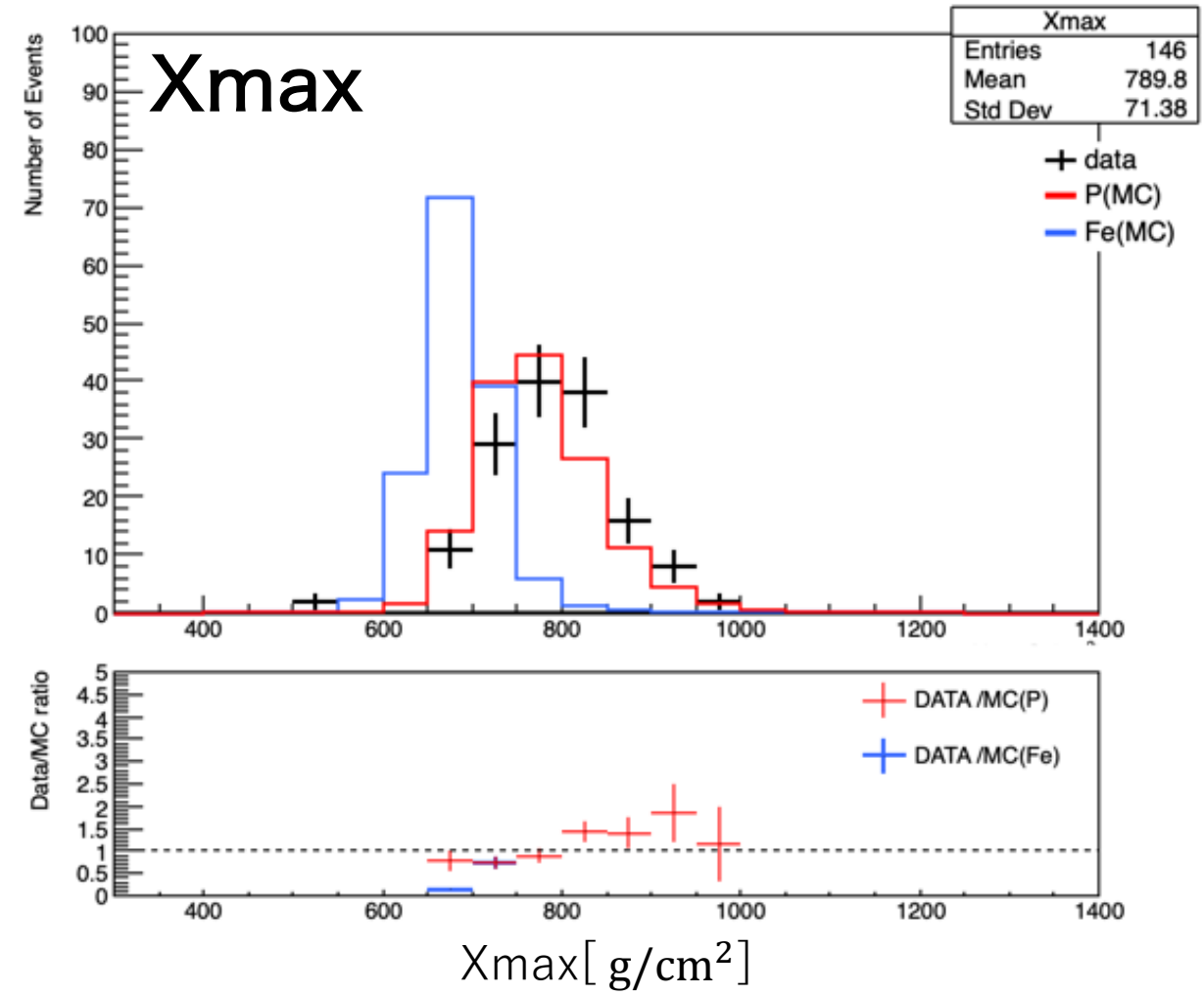
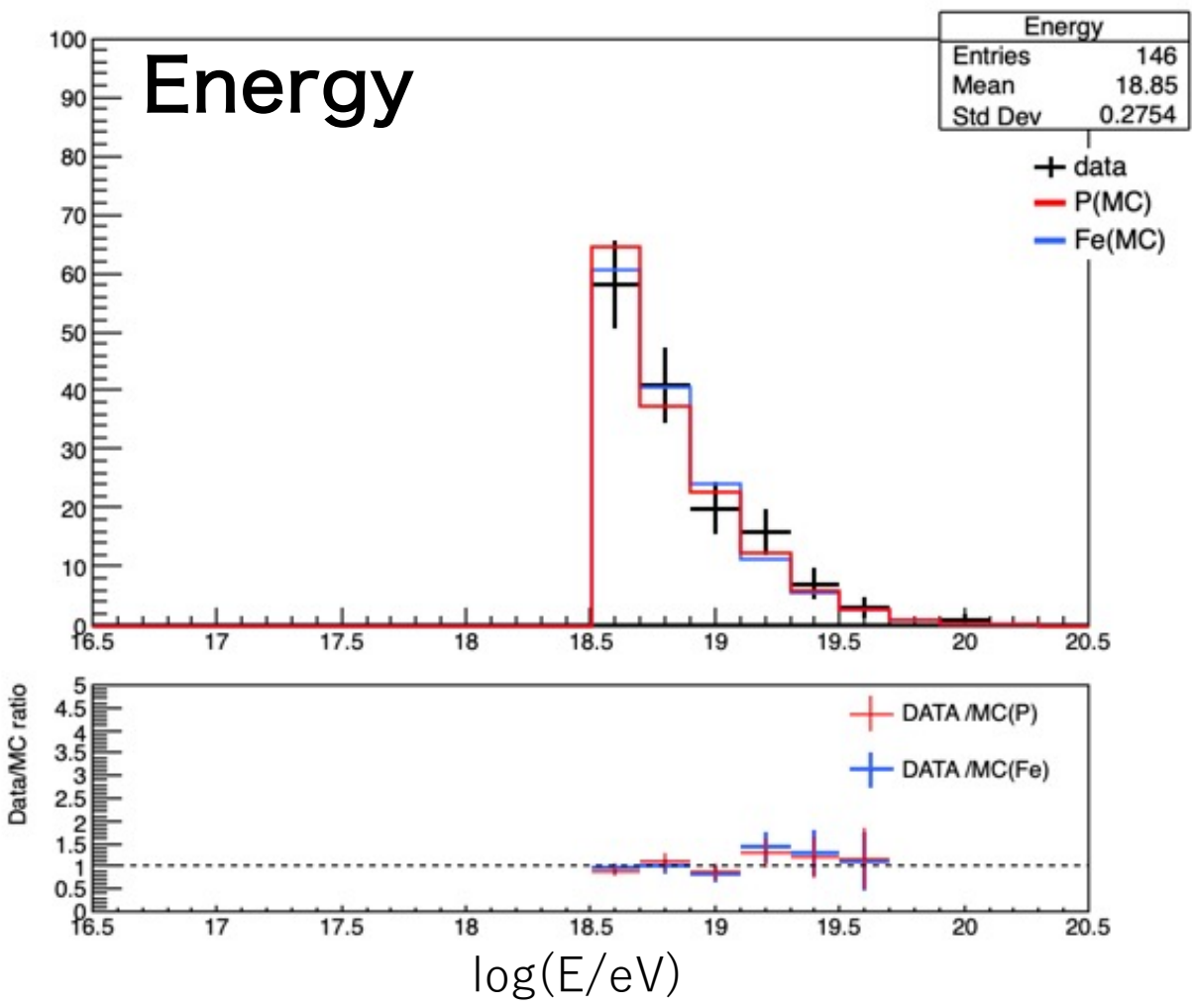
イベントセレクション

1. X_{\max} がFDの視野内
2. 天頂角 < 75 度
3. Saturation PMT なし

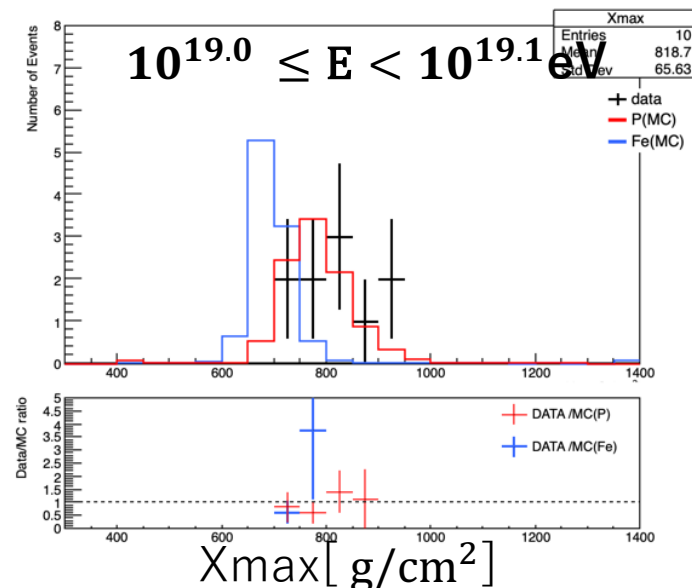
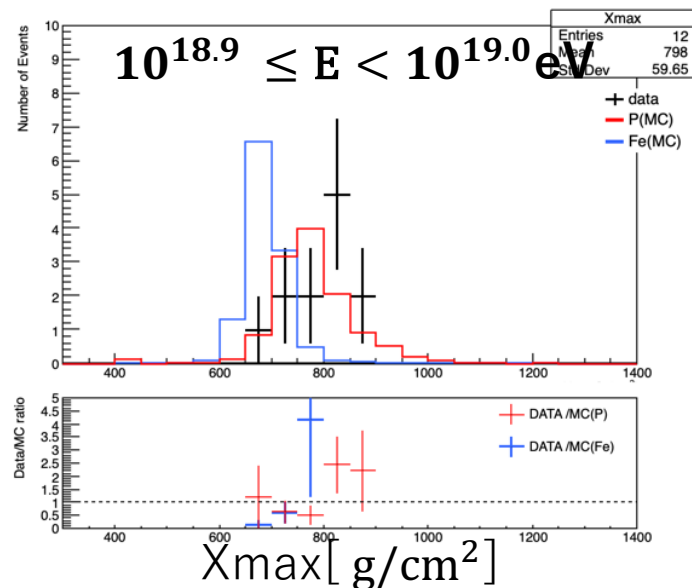
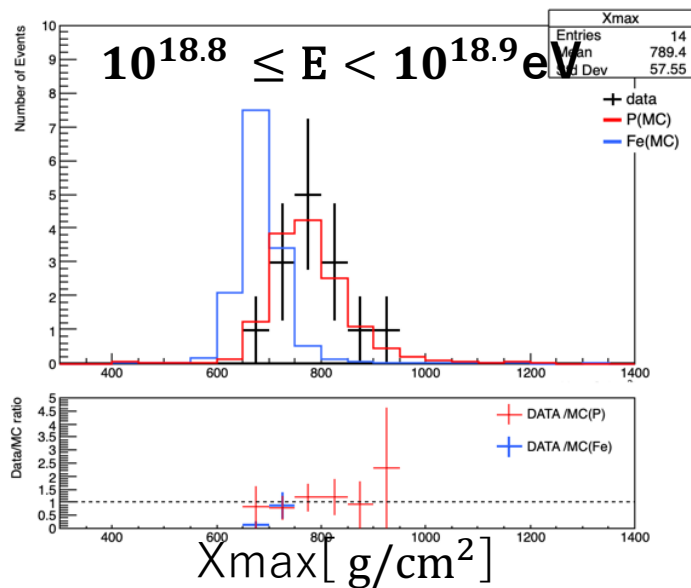
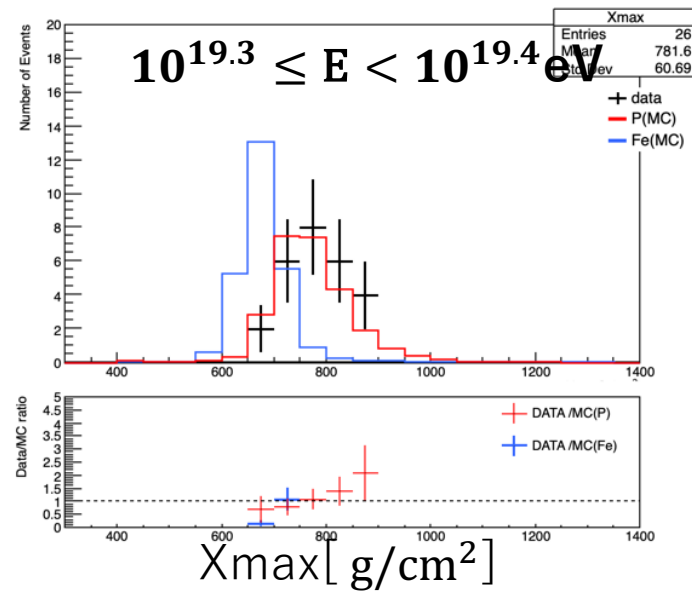
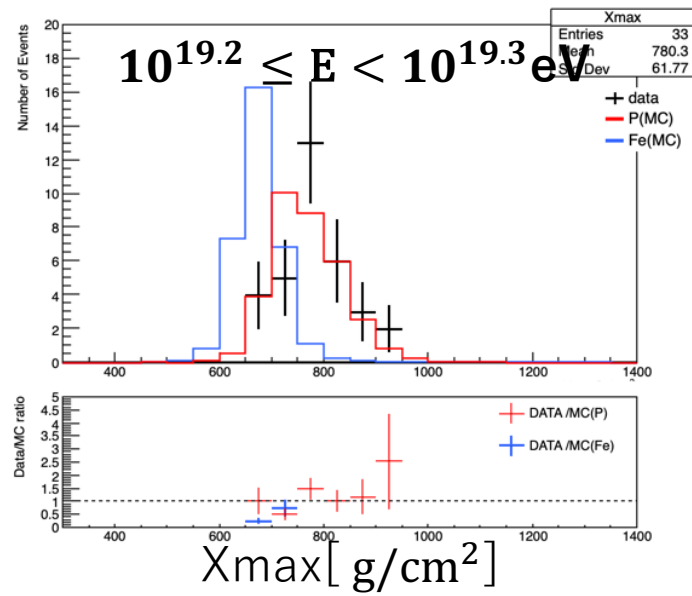
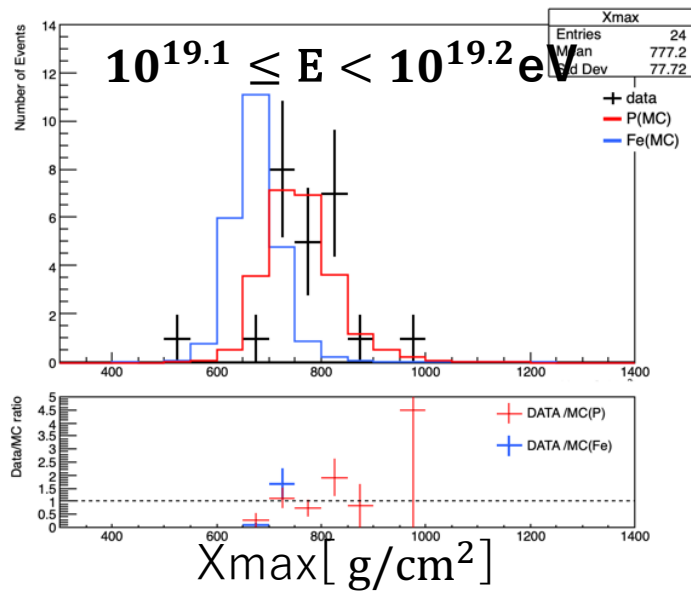
再構成数	832
イベントカット1	429
イベントカット2	424
イベントカット3	422
$E > 10^{18.5} \text{ eV}$	149
$NPE \geq 1000$	146

Data/MCの比較 146 events

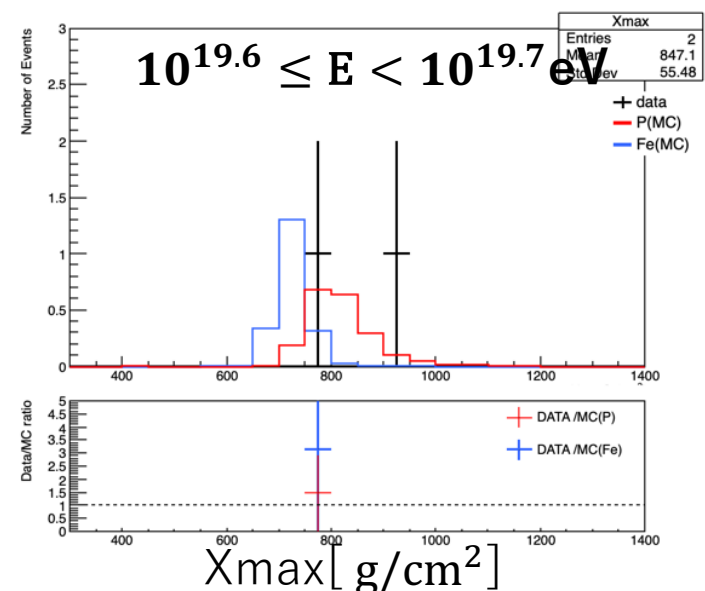
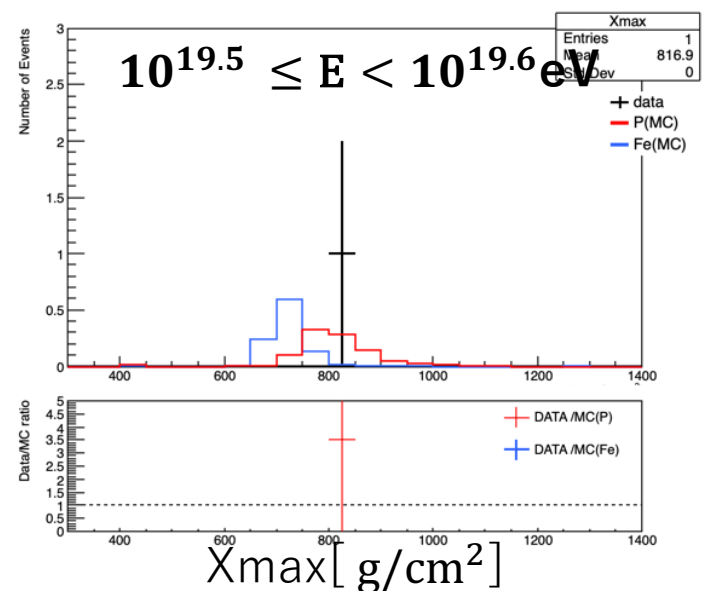
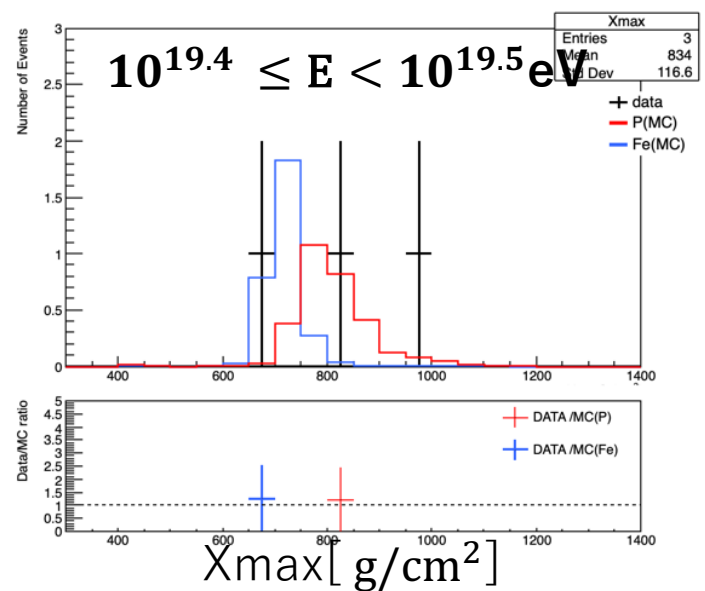
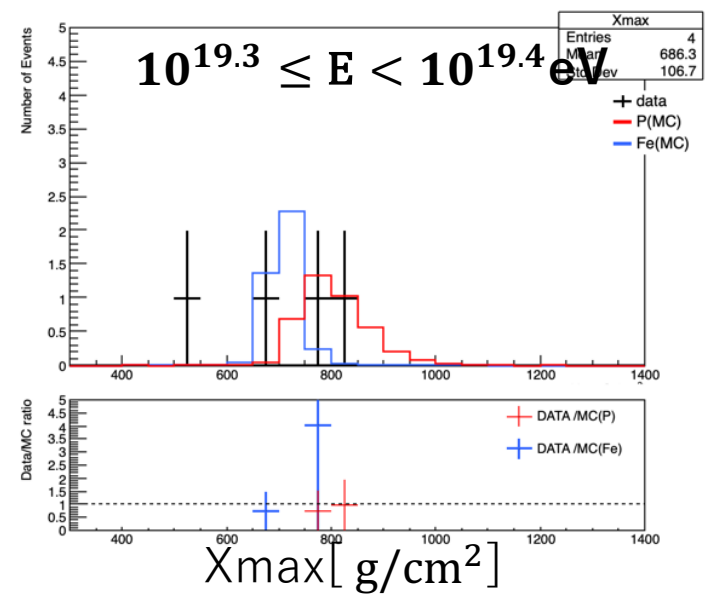
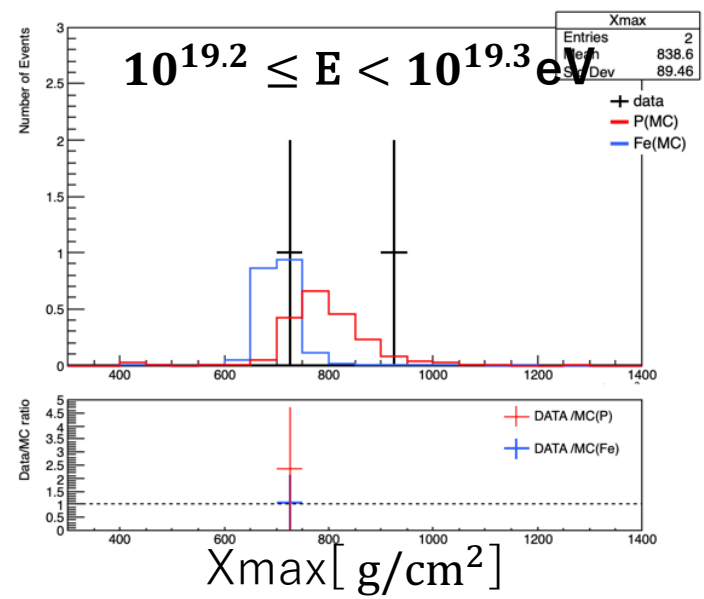
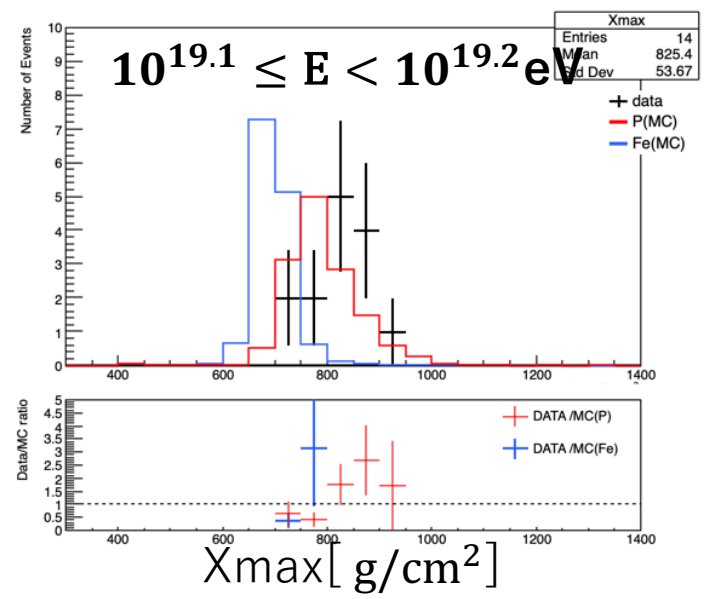




Data/MCの比較 $X_{max} \ 10^{18.5} \leq E < 10^{19.1} \text{ eV}$



Data/MCの比較 $10^{19.1} \leq E < 10^{19.7} \text{ eV}$





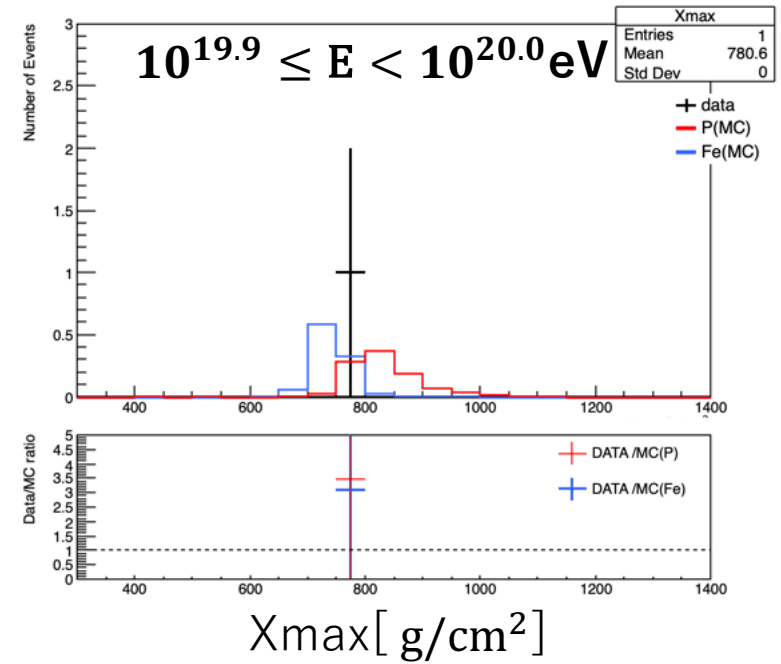
Data/MCの比較 $X_{max} \ 10^{19.7} \leq E < 10^{20.0} \text{eV}$

$10^{19.7} \leq E < 10^{19.8} \text{eV}$

なし

$10^{19.8} \leq E < 10^{19.9} \text{eV}$

なし



まとめと今後

➤ まとめ

- TAx4実験 ハイブリッド解析の性能評価を行った

[$10^{19.0}$ eV ・ Protonのとき]

Xmax : -5 ± 23 g/cm²
Energy: 5 ± 6 %

[$10^{19.0}$ eV ・ Ironのとき]

Xmax : -7 ± 20 g/cm²
Energy: -2 ± 5 %

- TAx4 @BRM 2年分の実データとMCのパラメータ比較を行った
 - MCと基本的に一致

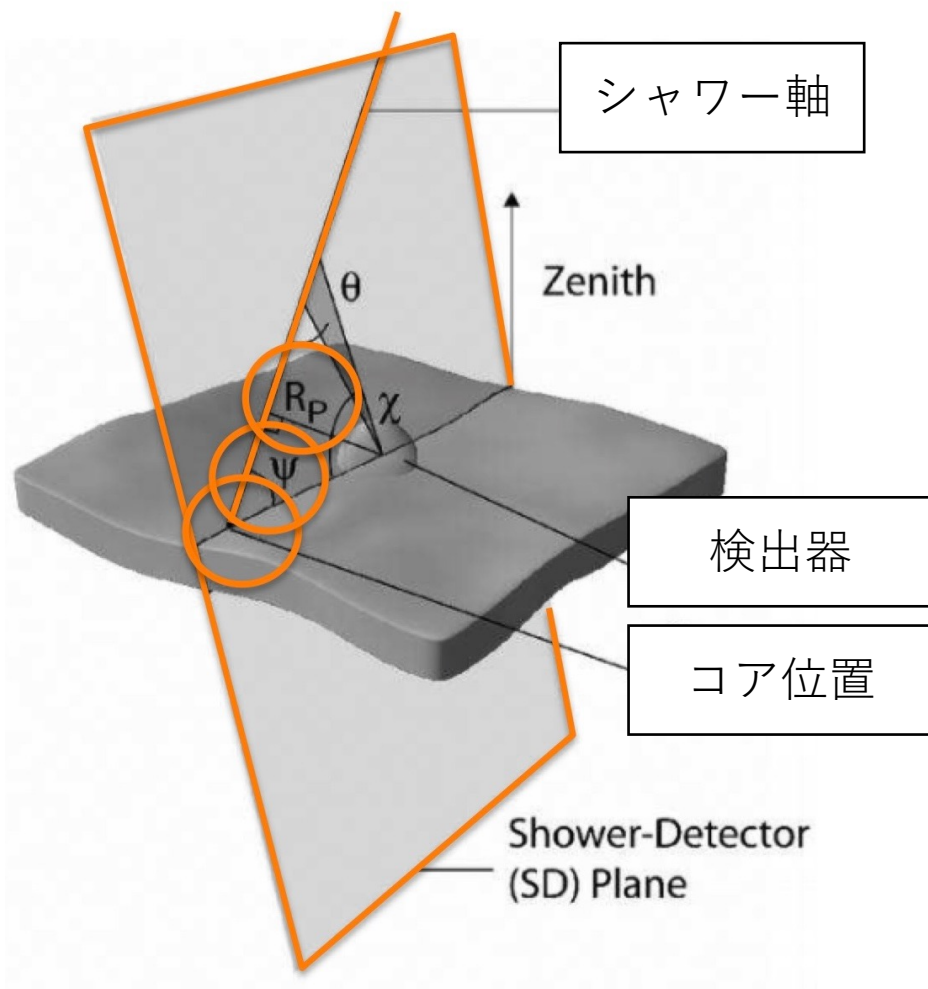
➤ 今後

- イベントセレクション条件の最適化
- TAx4@MDの解析を行う
- 質量組成の解析を進める



Back up

パラメータの説明



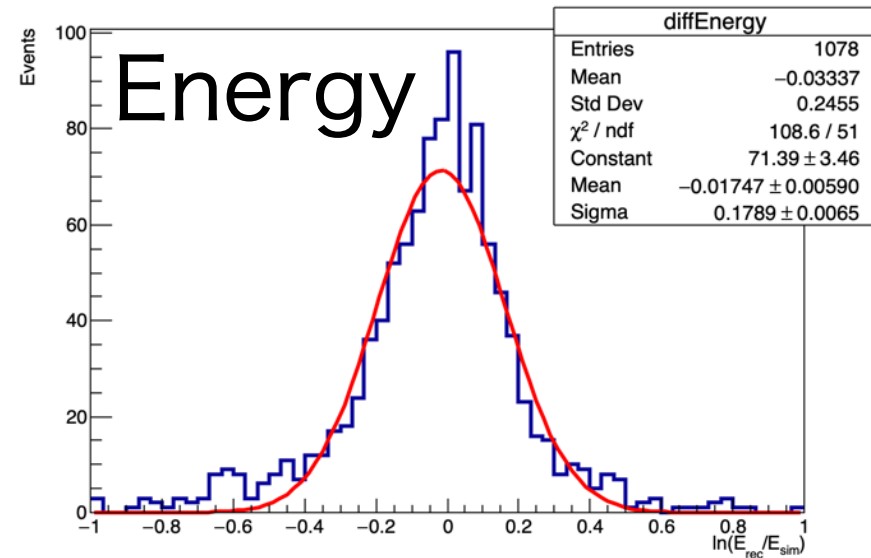
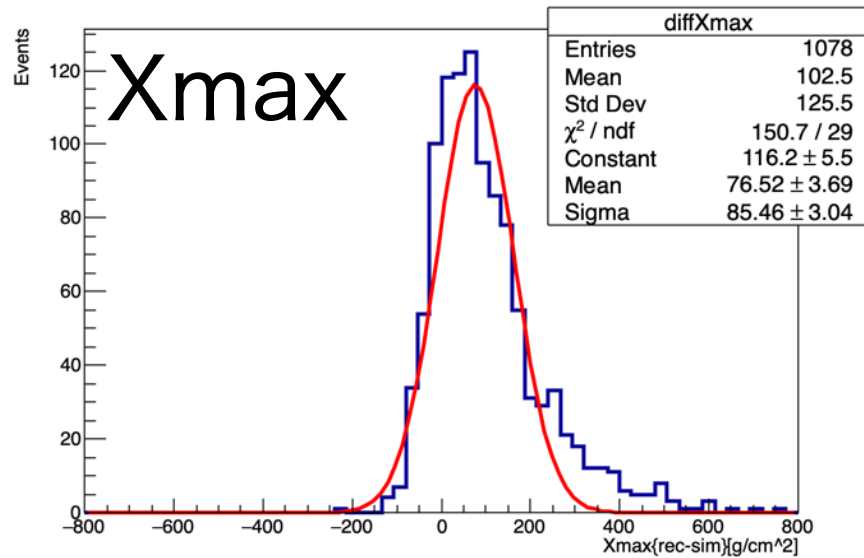
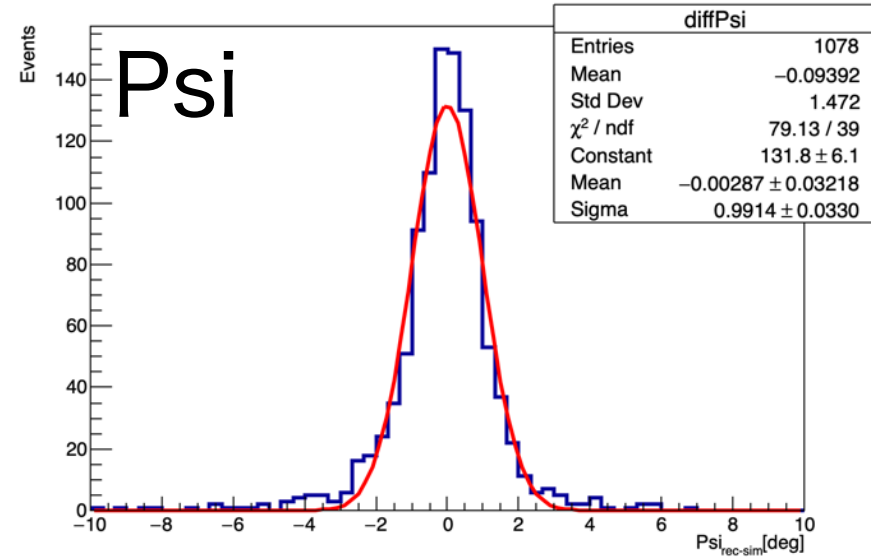
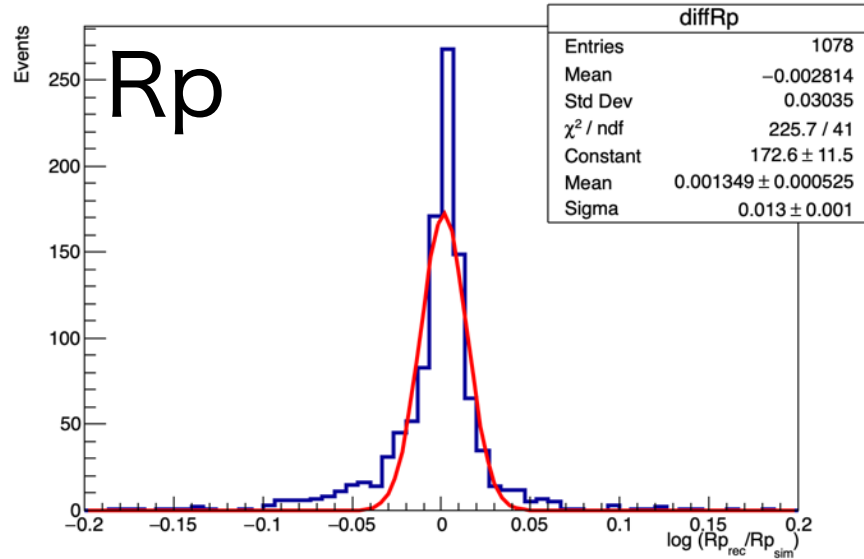
- シャワー軸 : 空気シャワーの中心軸
- コア位置 : シャワー軸と地表面との交点
- ψ : シャワー軸と地表面のなす角
- R_p : シャワー軸と検出器の最短距離



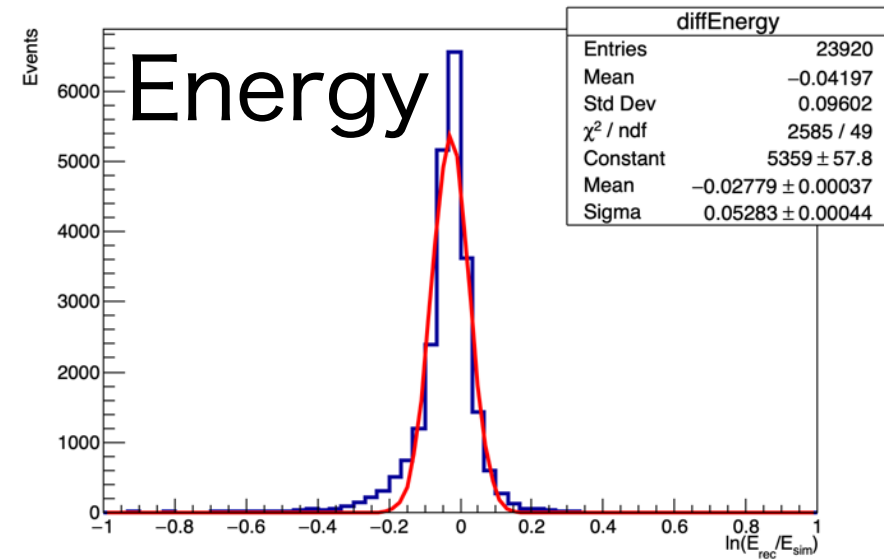
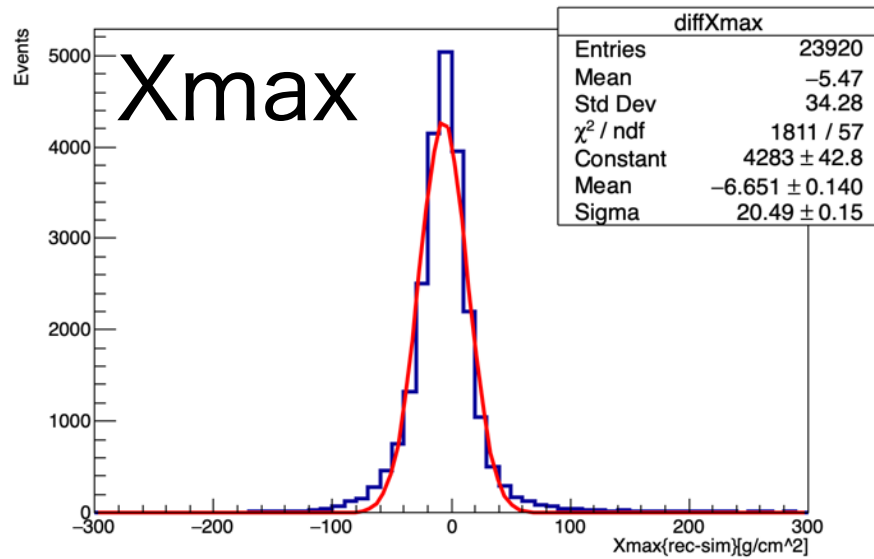
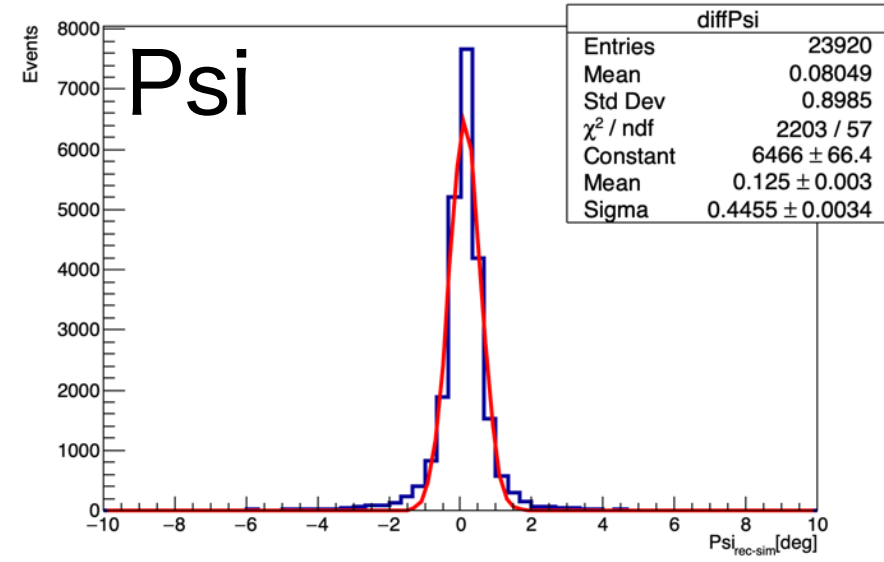
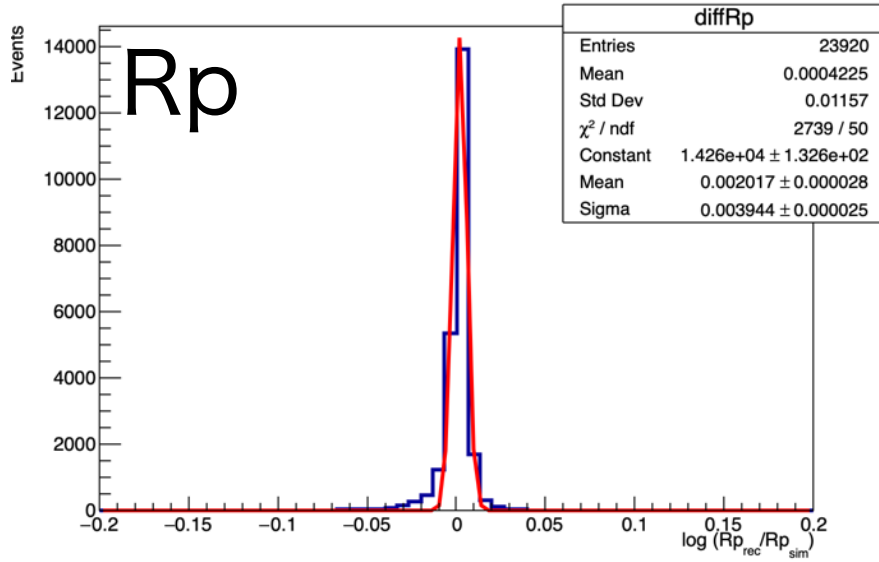
TA TAx4 決定精度 比較

	Energy [eV]	$\ln(R_{p\text{rec}}/R_{p\text{sim}})$ [%]	$\Delta\psi$ [deg]	ΔX_{max} [g/cm ²]	$\ln(E_{\text{rec}}/E_{\text{sim}})$ [%]
TAx4 @BRM ハイブリッド (proton)	$10^{18.0}$	0.1 ± 0.9	-0.1 ± 0.8	19 ± 61	15 ± 13
	$10^{19.0}$	0.1 ± 0.5	0.1 ± 0.5	-5 ± 23	5 ± 6
	$10^{20.0}$	0.1 ± 0.4	0.2 ± 0.3	-7 ± 16	2 ± 6
	Energy [eV]	$\ln(R_{p\text{rec}}/R_{p\text{sim}})$ [%]	$\Delta\psi$ [deg]	ΔX_{max} [g/cm ²]	$\ln(E_{\text{rec}}/E_{\text{sim}})$ [%]
TA Hybrid (Prpton)	$10^{18.2\sim}$			-4 ± 17	~ 6
TAx4 @BRM モノ (Proton)	$10^{19.0}$	-0.5 ± 11.9	0.6 ± 8.9	4 ± 74	-7 ± 27
	$10^{19.5}$	-0.2 ± 9.6	0.7 ± 9.5	-3 ± 90	-5 ± 35
	$10^{20.0}$	0.4 ± 8.7	1.4 ± 7.2	-22 ± 107	-11 ± 27

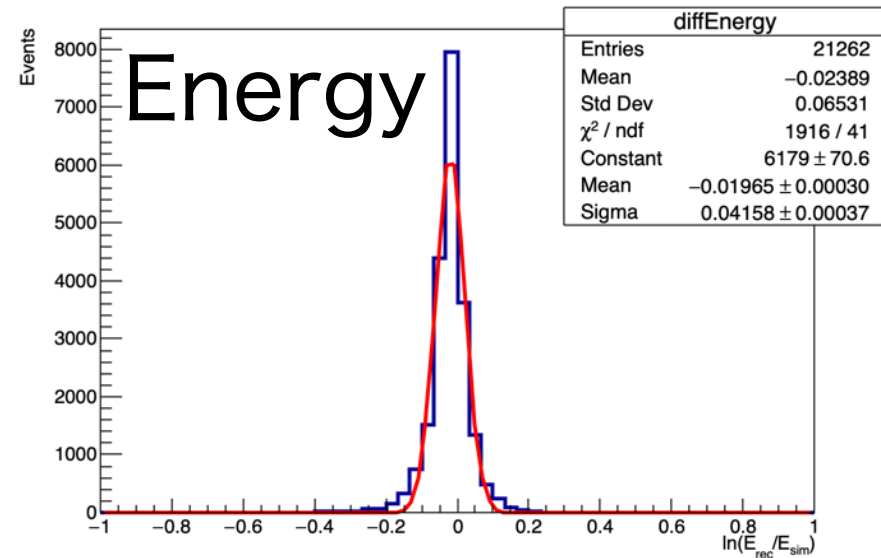
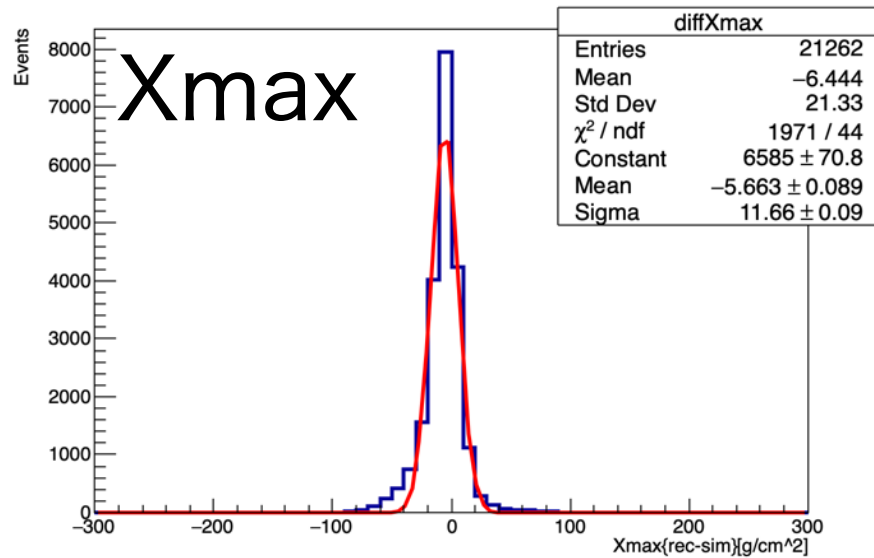
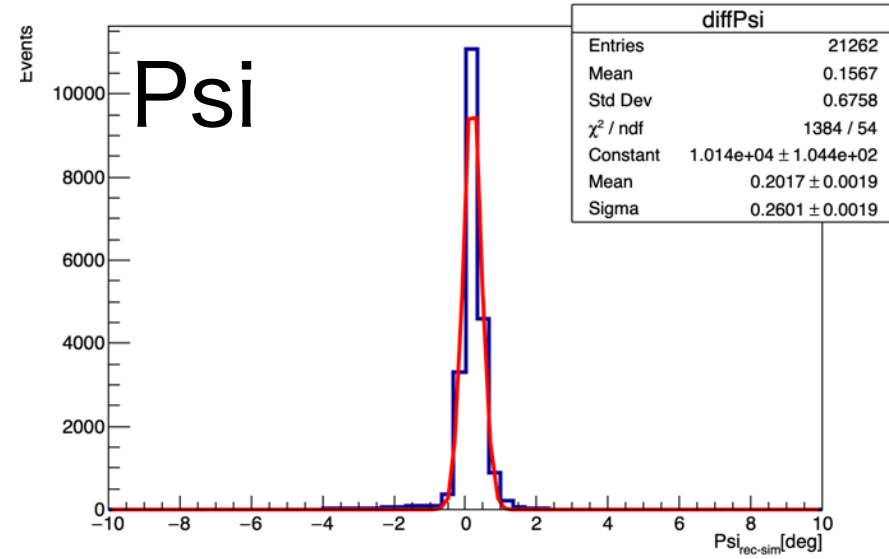
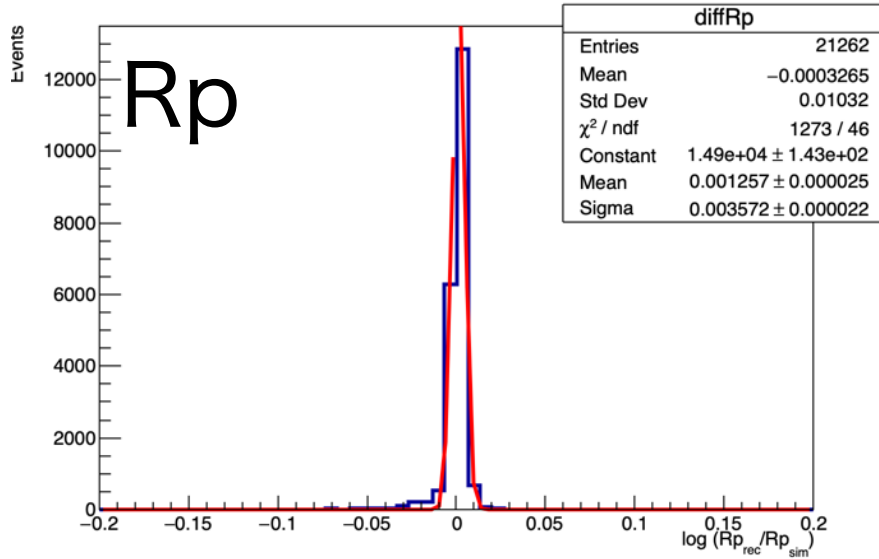
決定精度 Fe E = $10^{18.0}$ eV



決定精度 Fe $E = 10^{19.0}$ eV

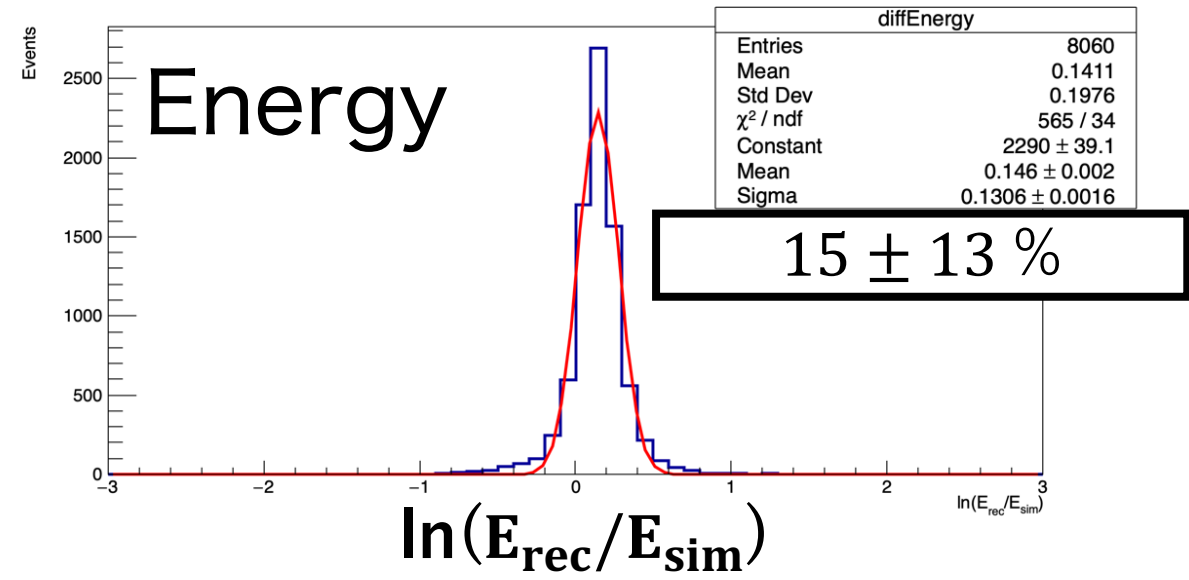
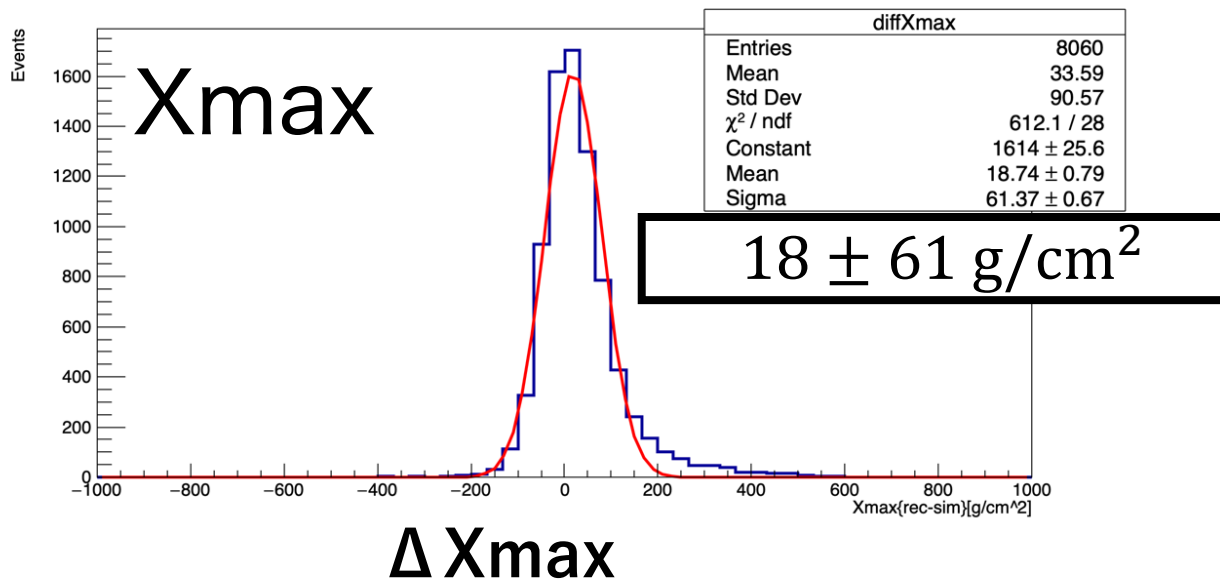
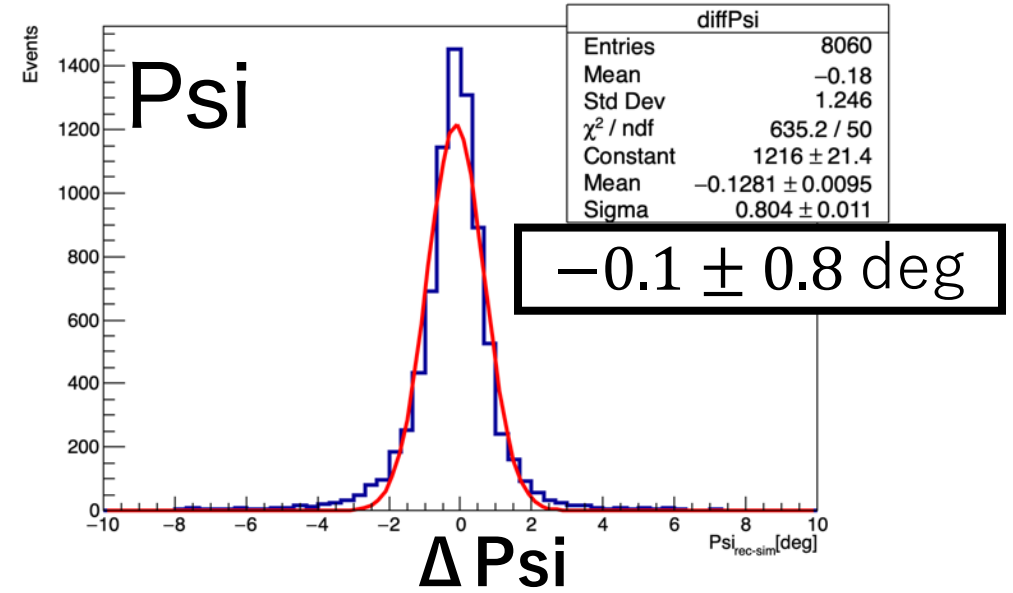
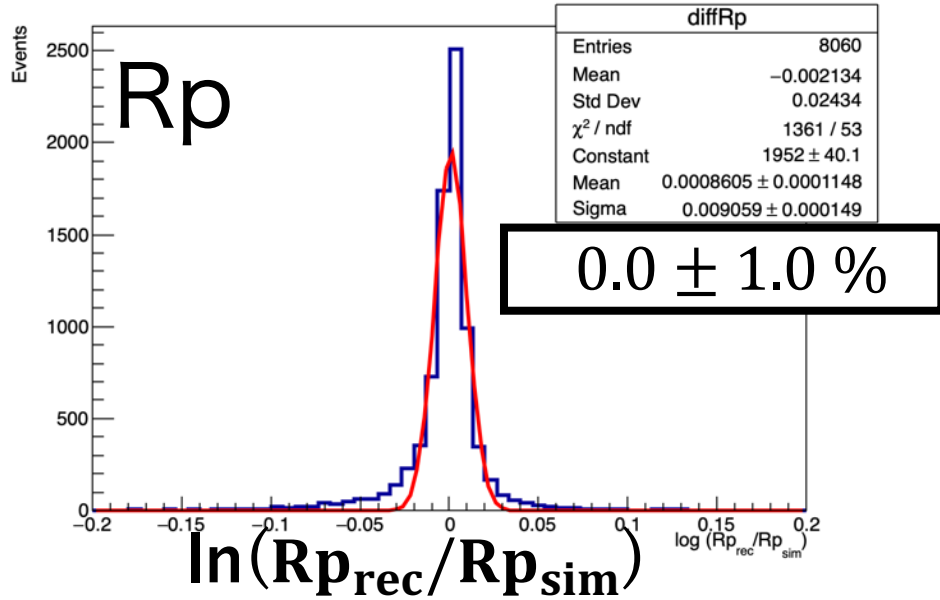


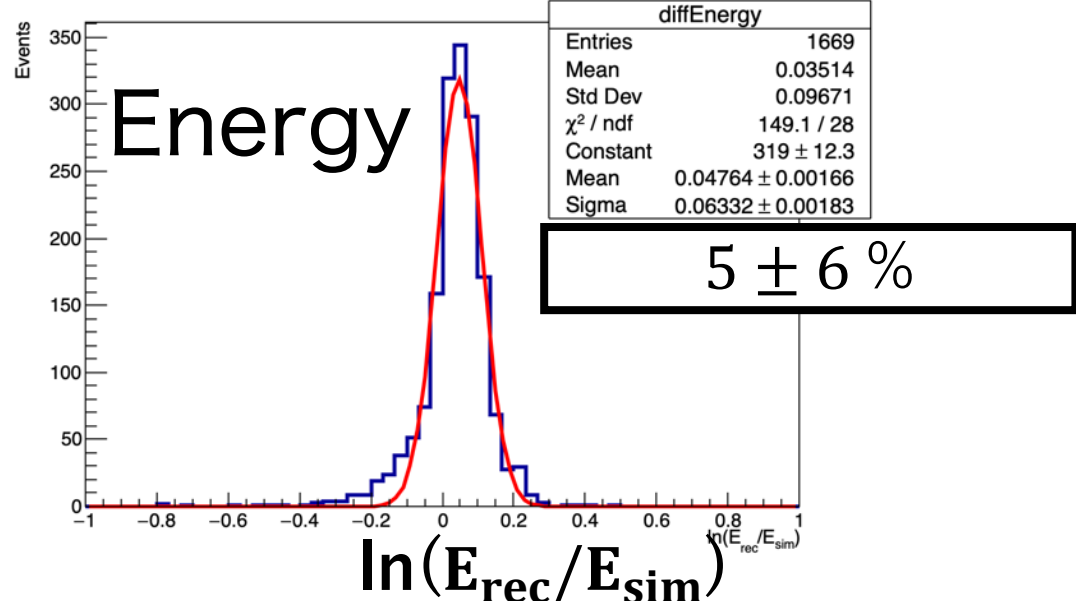
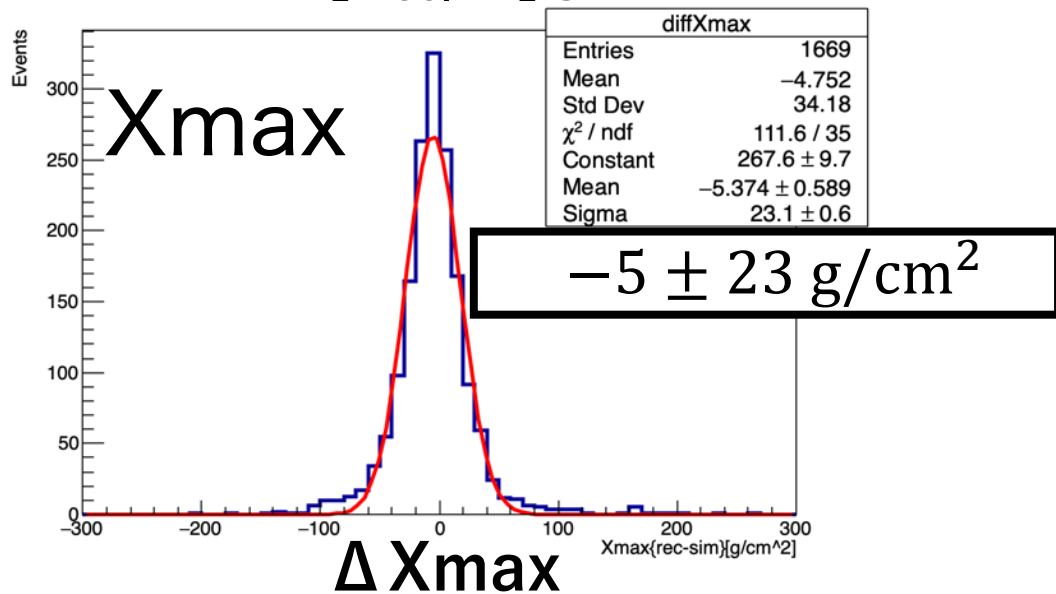
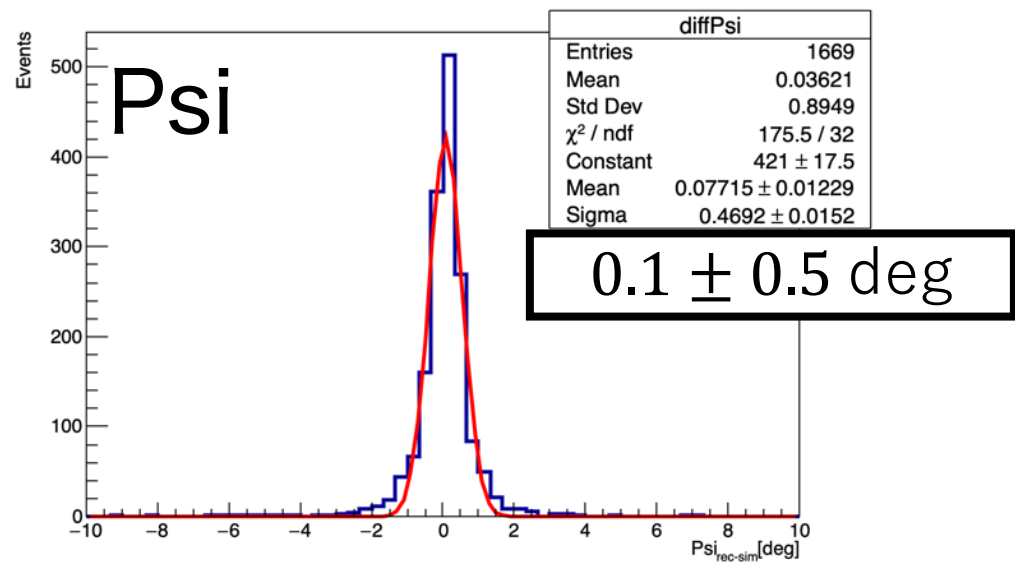
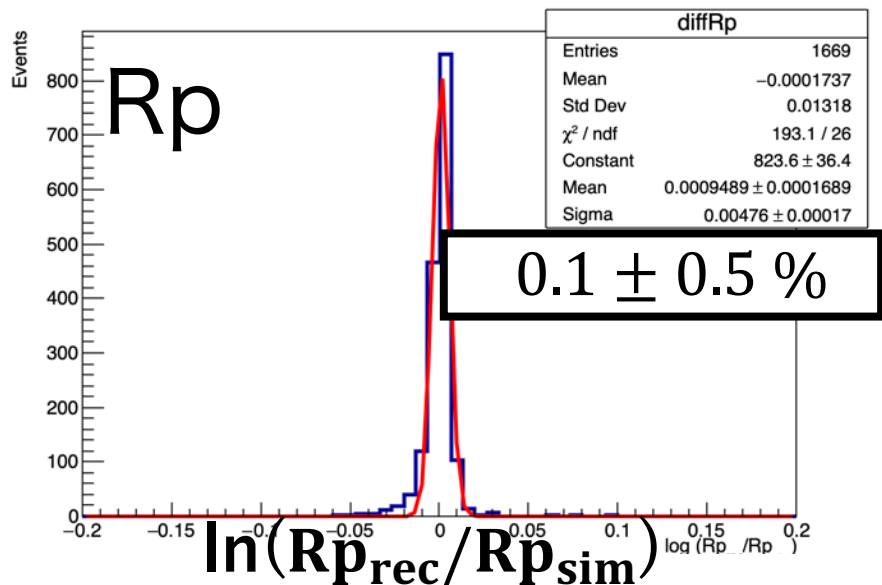
決定精度 Fe $E = 10^{20.0}$ eV



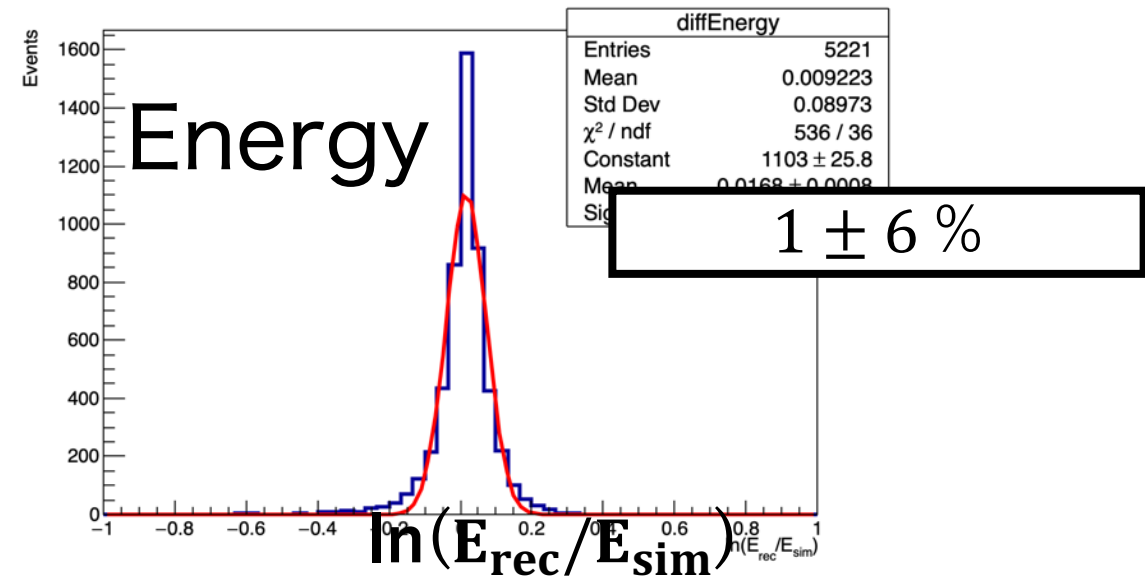
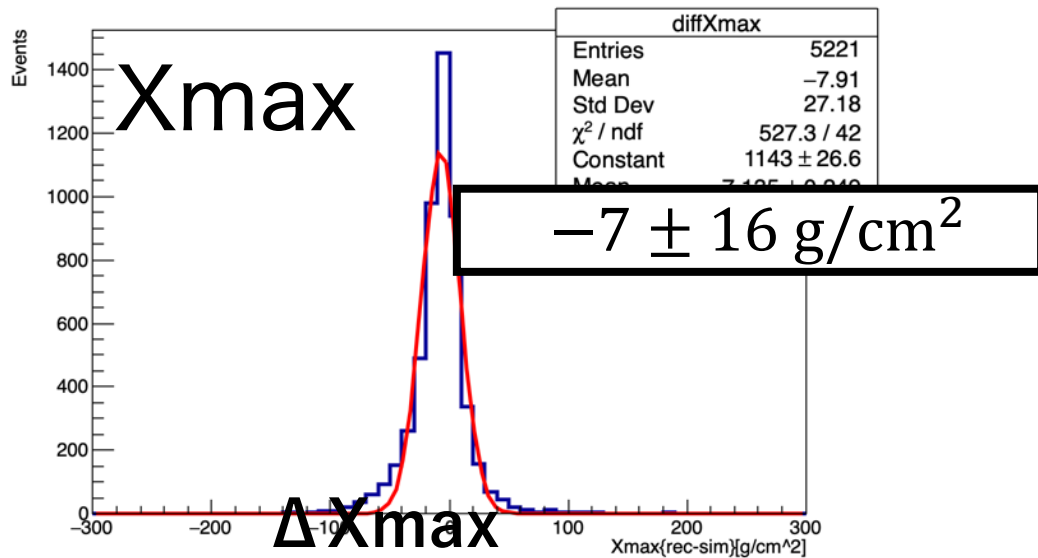
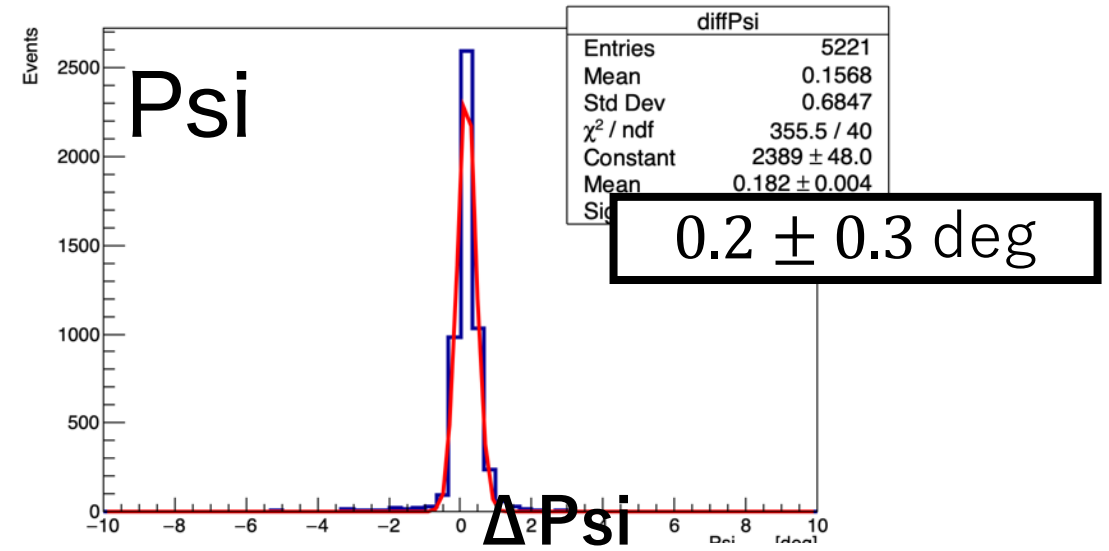
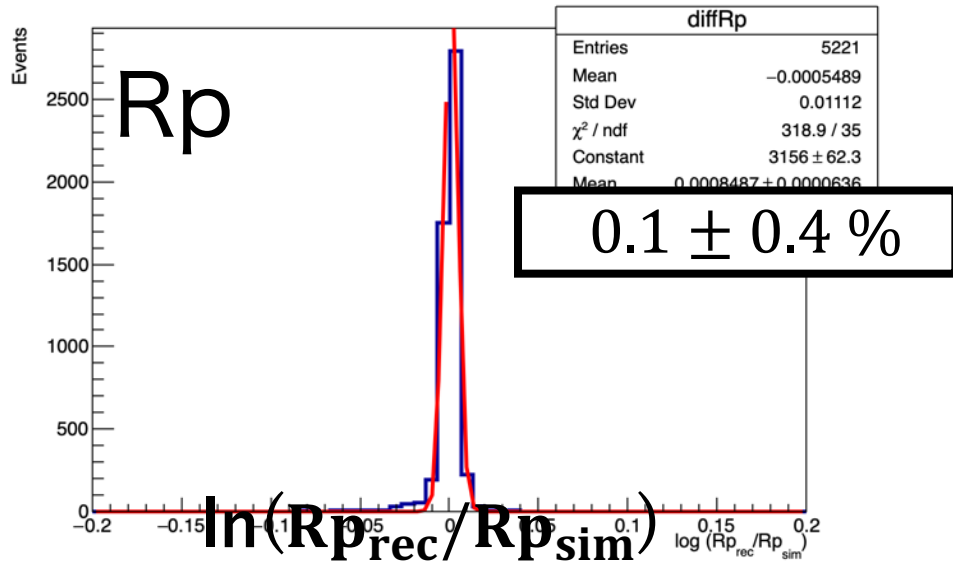


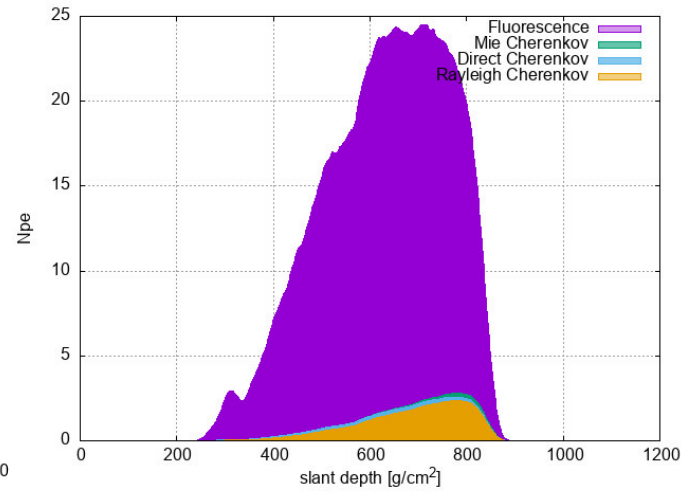
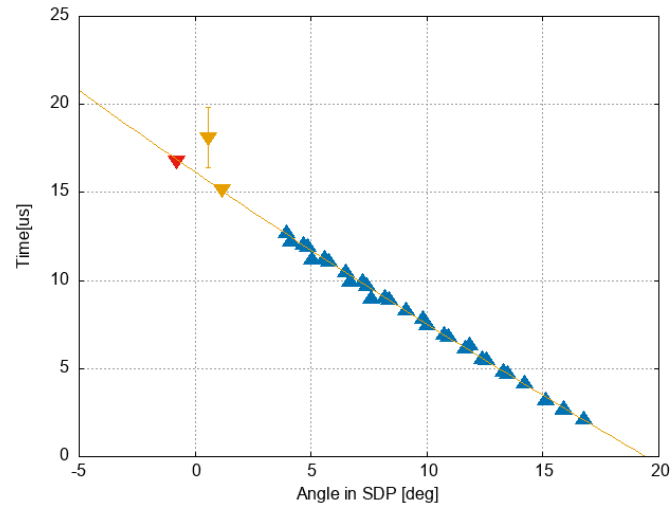
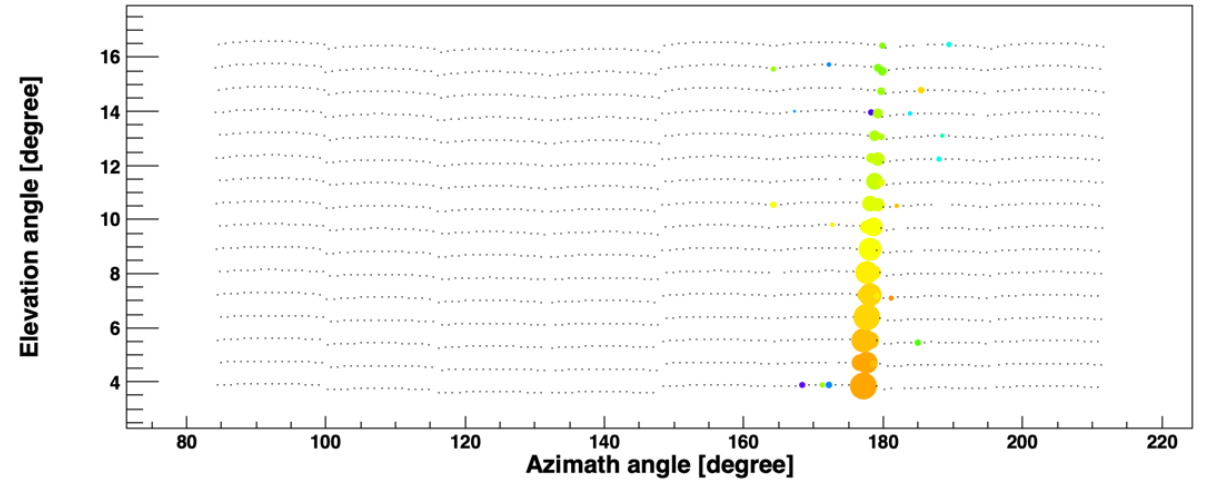
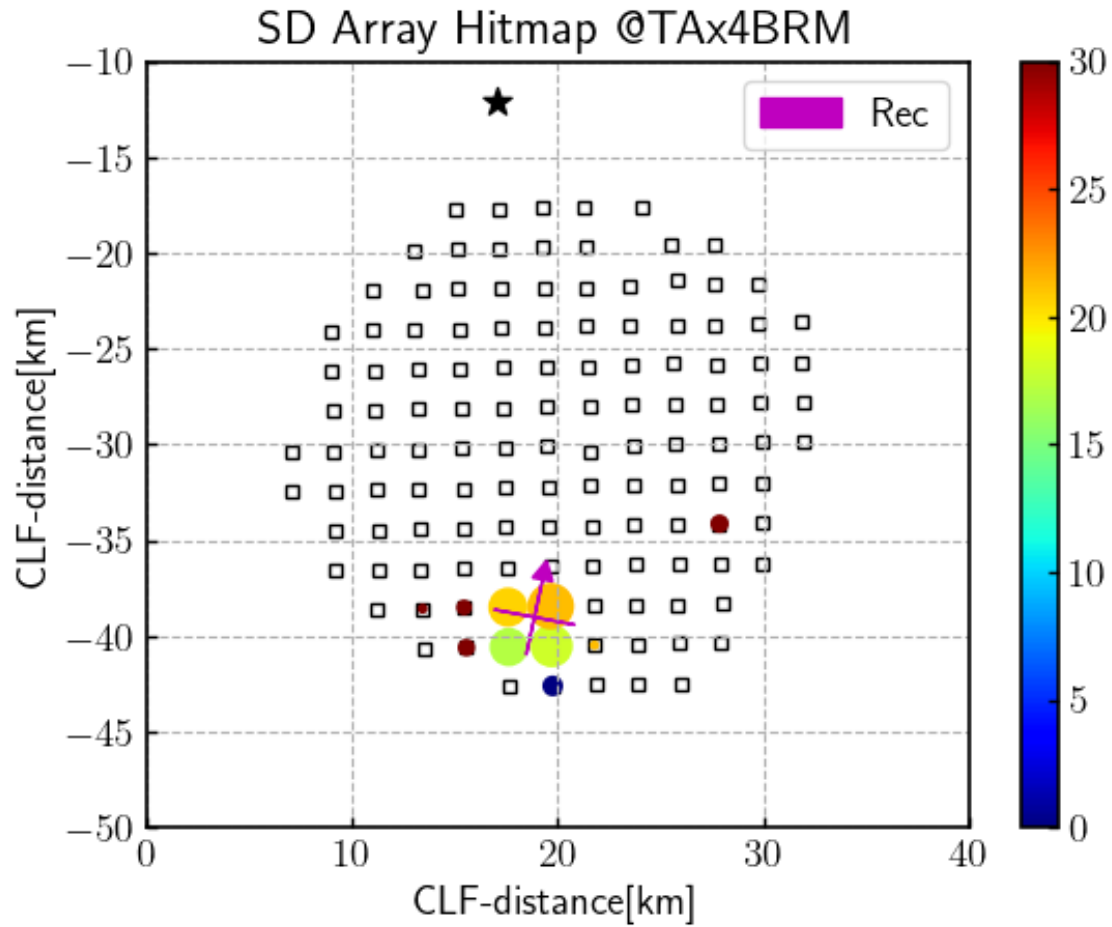
決定精度 $P E = 10^{18.0} \text{ eV}$

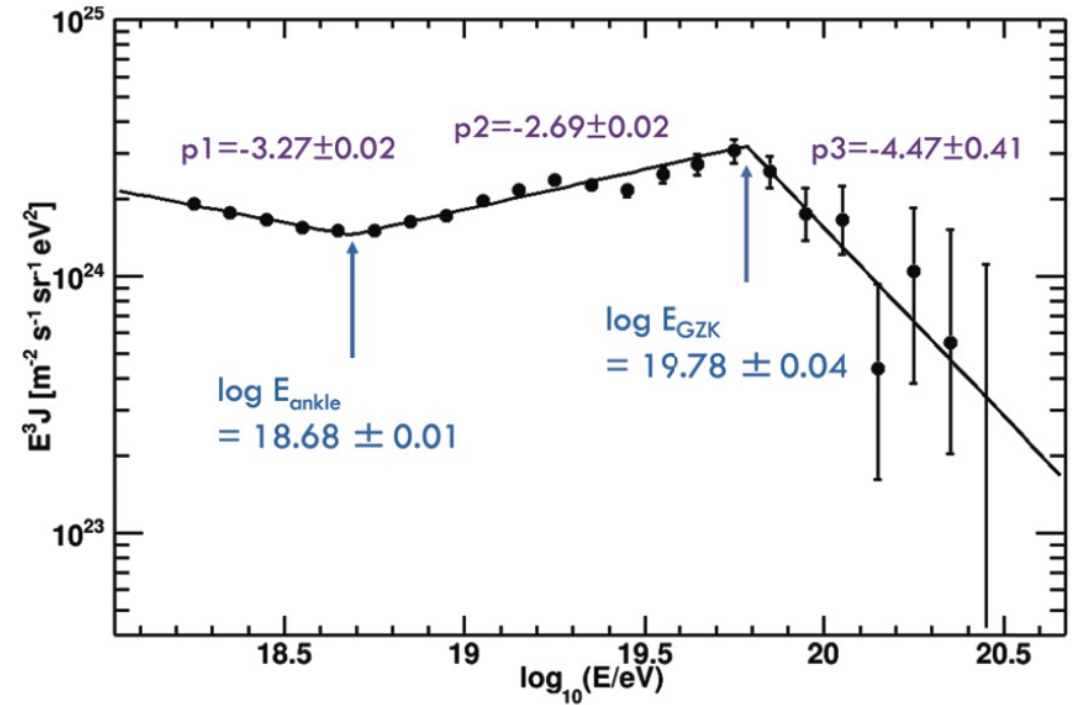
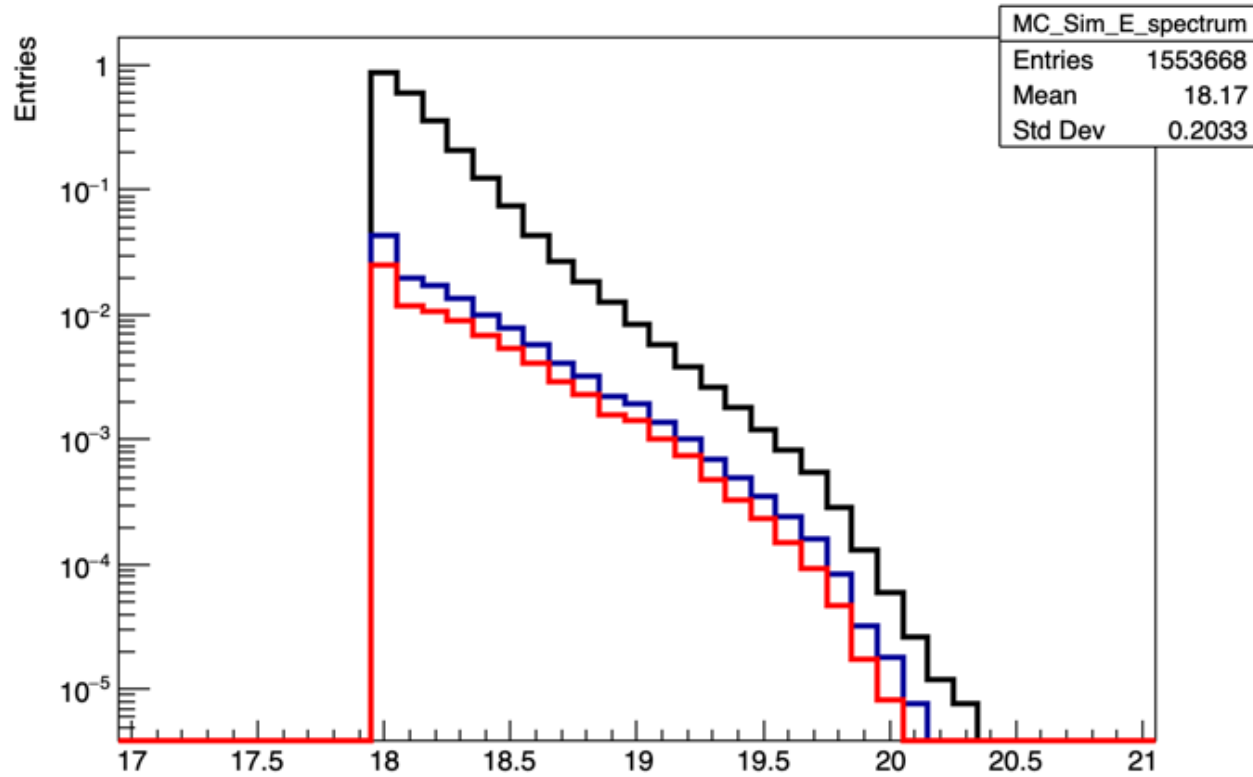




決定精度 $P E = 10^{20.0} \text{ eV}$



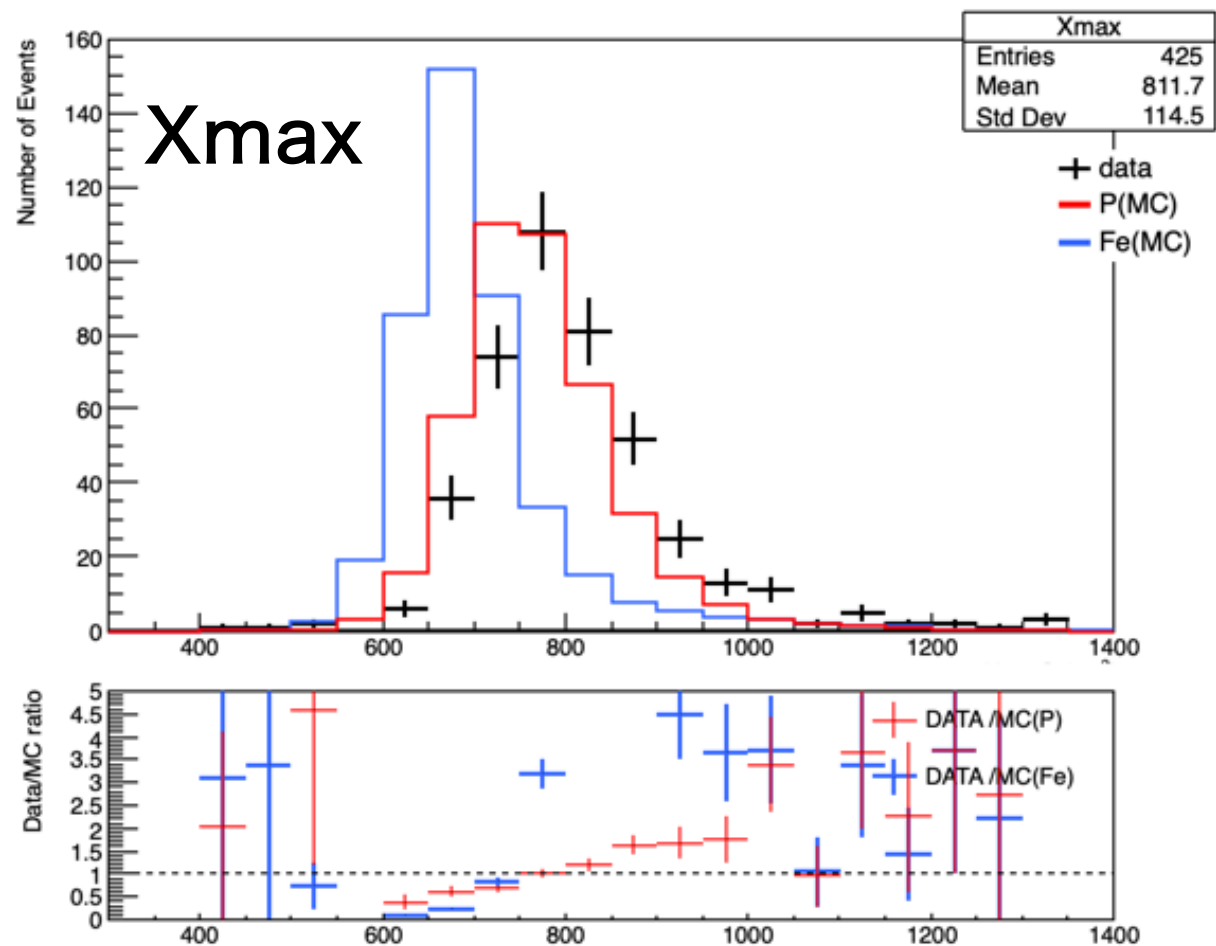
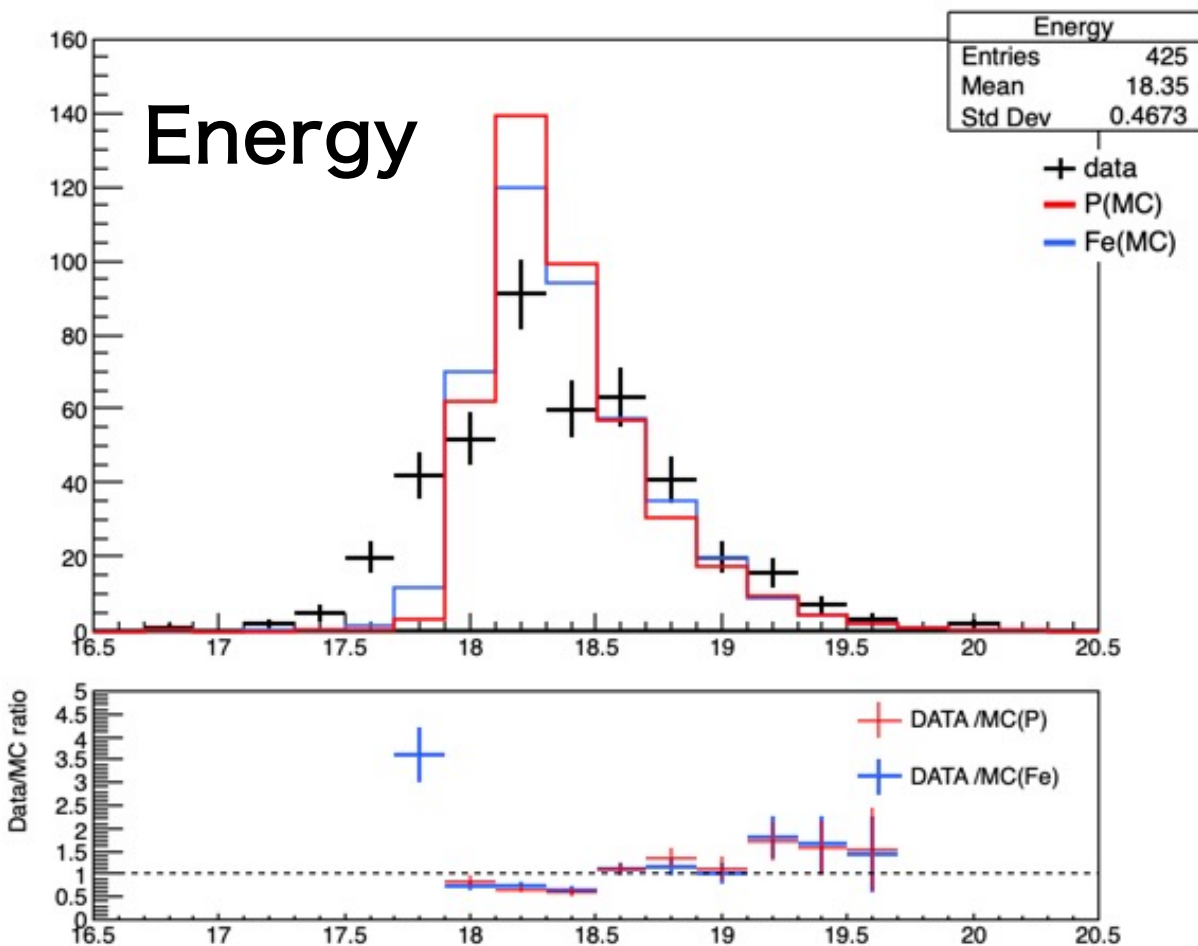


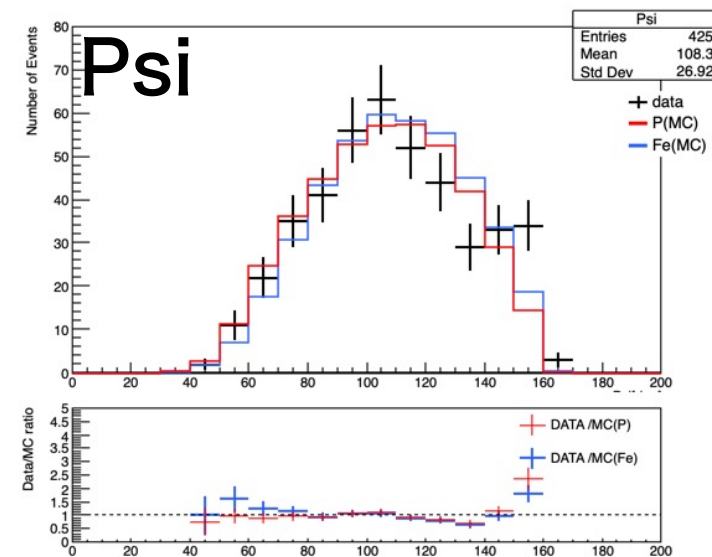
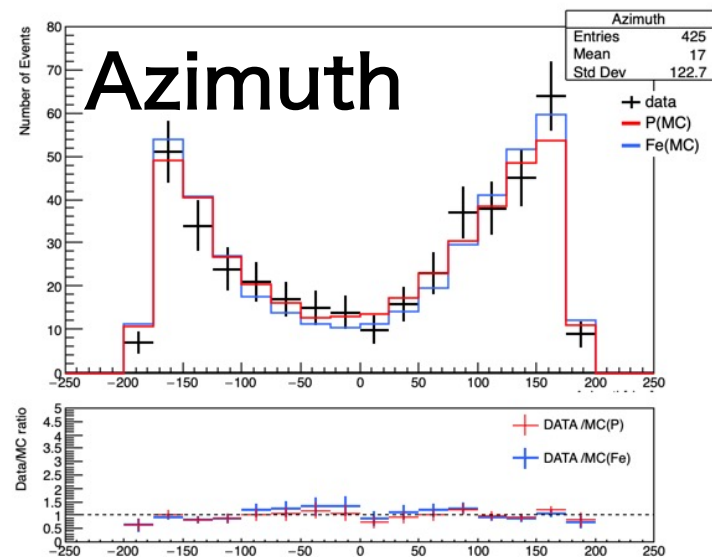
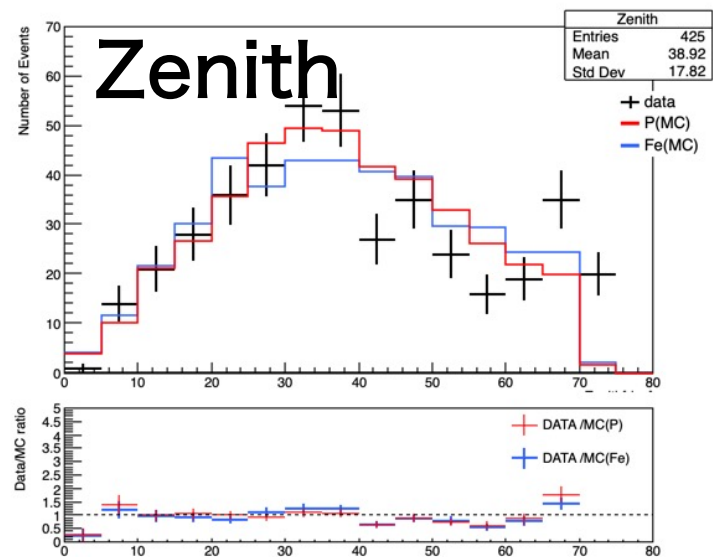
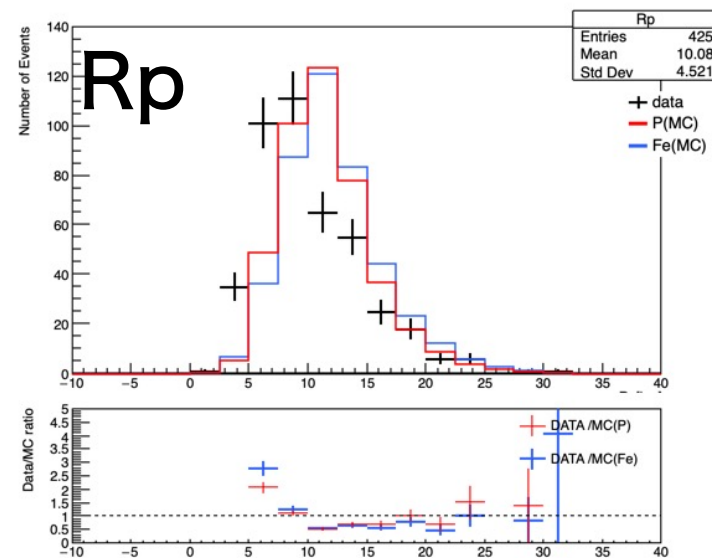
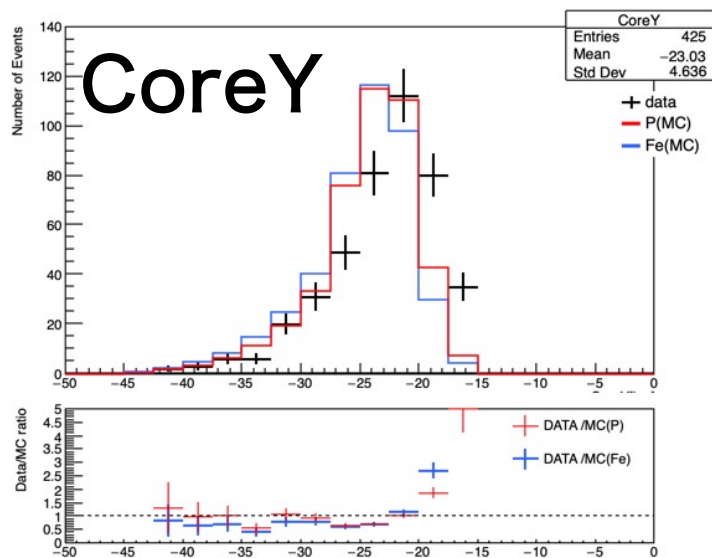
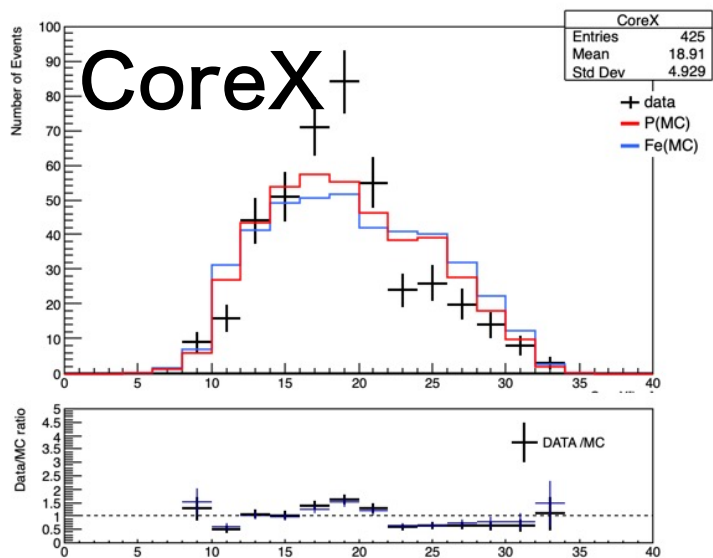




Data/MC 重み付け (P+Fe)

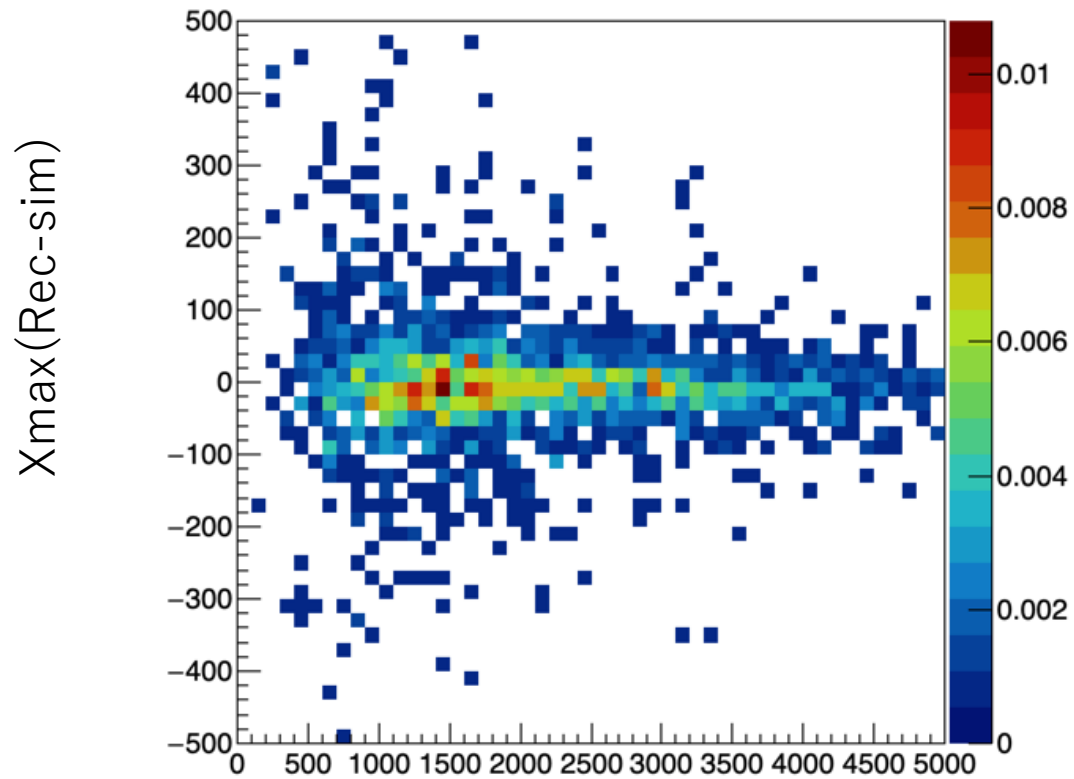
$10^{18.0} - 10^{20.2} \text{ eV}$





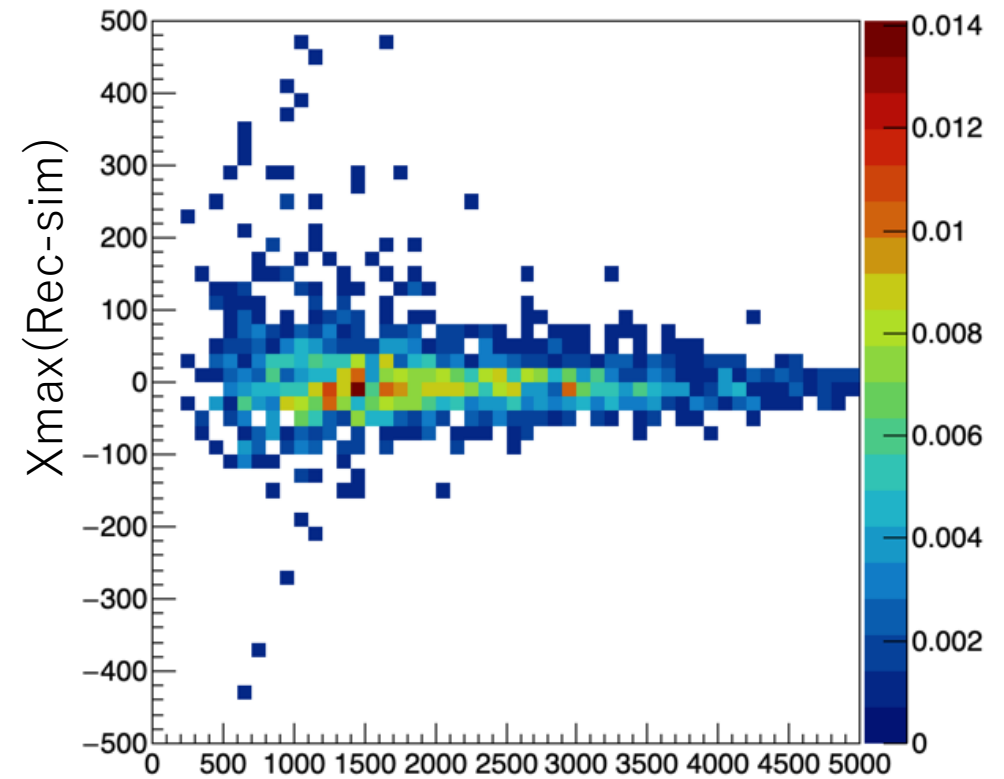


dXmax vs. NPE $10^{18.5}$ eV proton



NPE

Cutなし

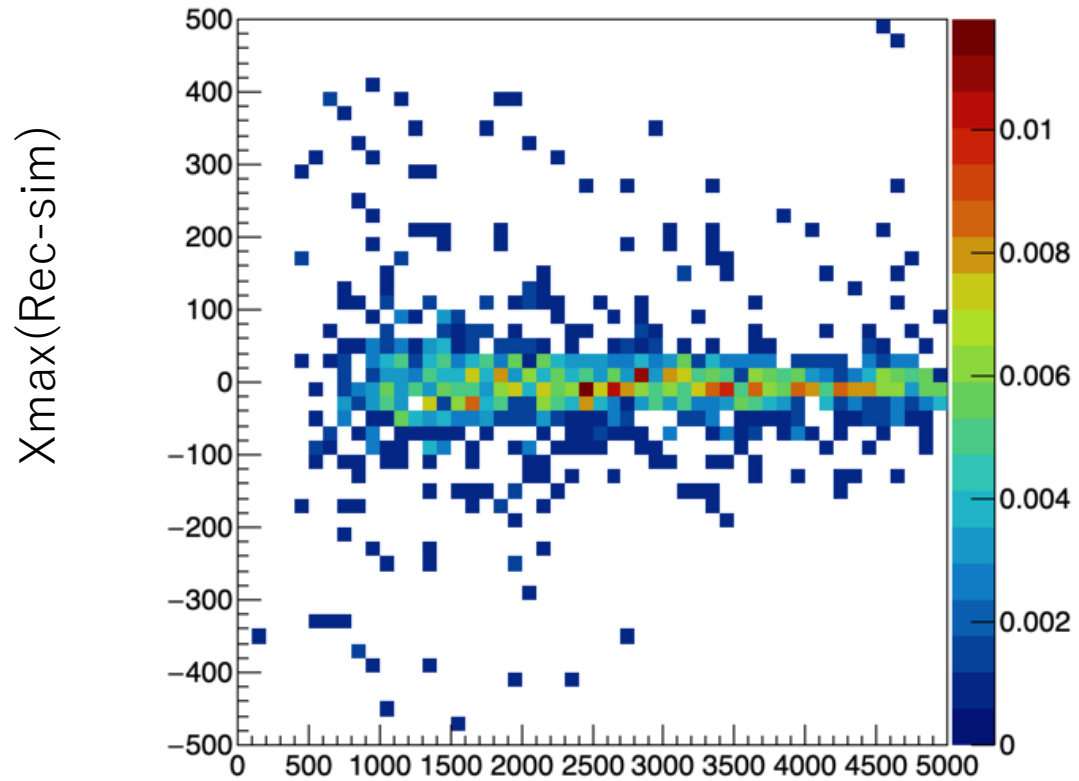


NPE

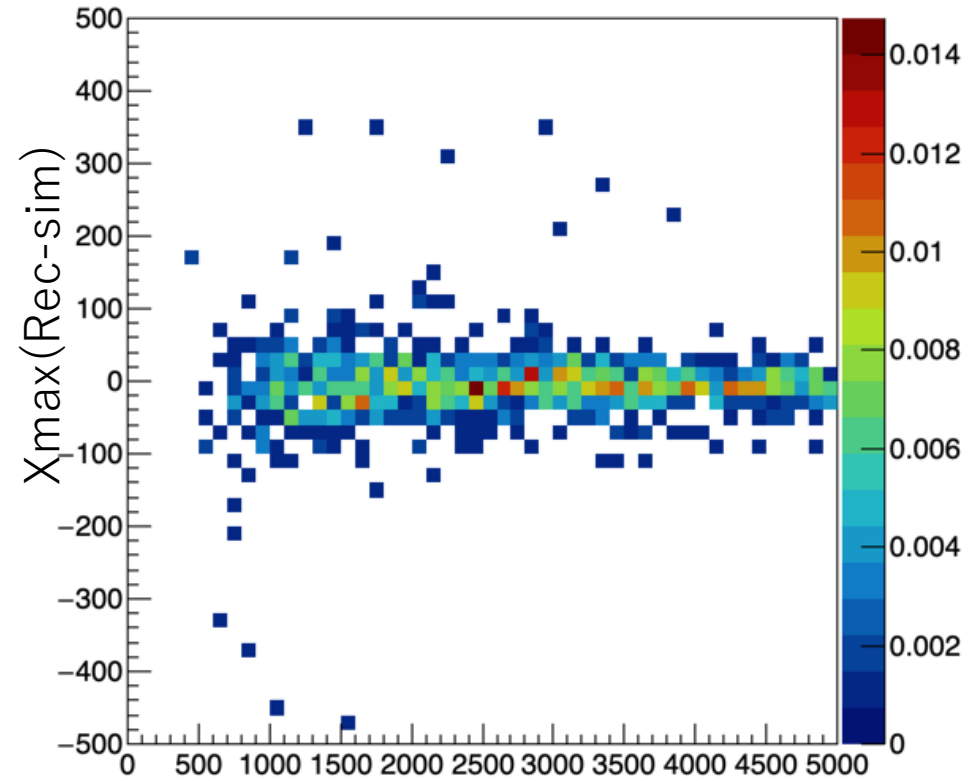
Cutあり



dXmax vs. NPE $10^{19.0}$ eV proton



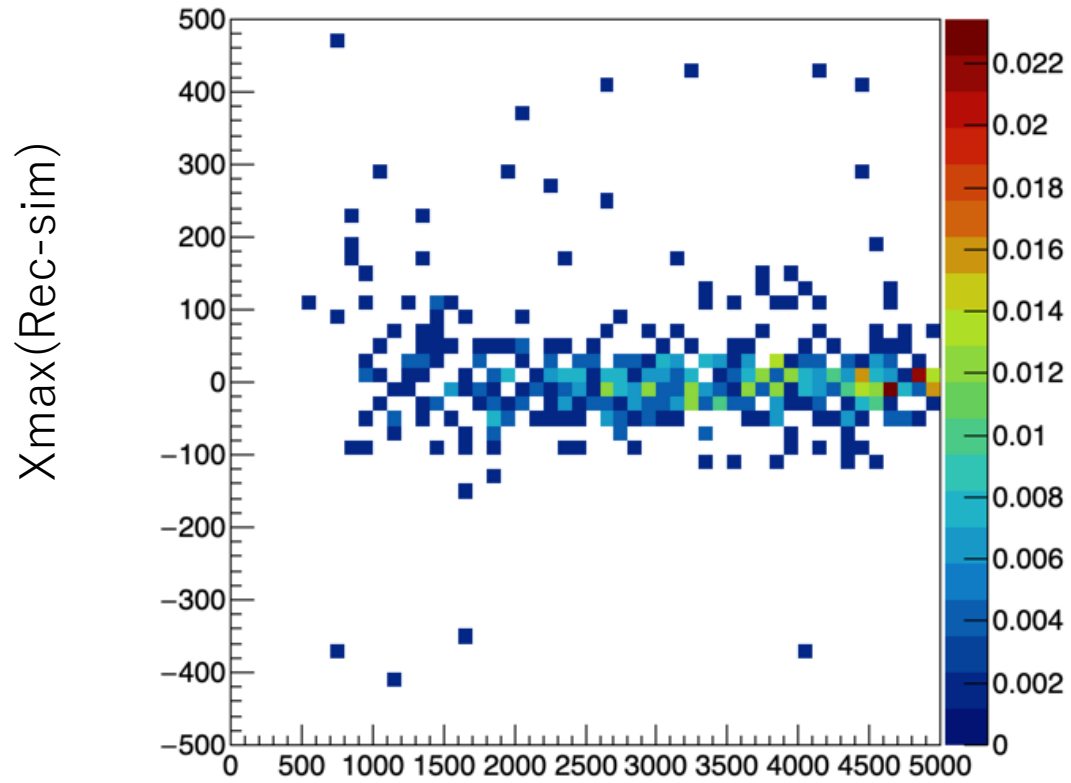
INFL
Cutなし



NPE
Cutあり

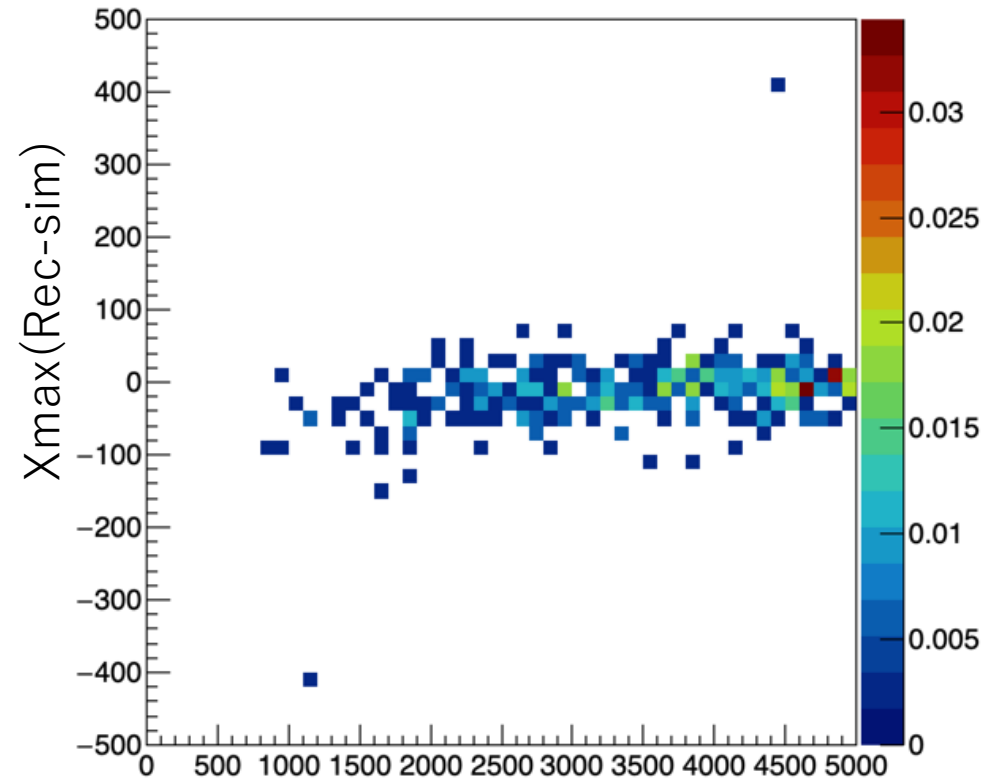


dXmax vs. NPE $10^{19.5}$ eV proton



NPE

Cutなし

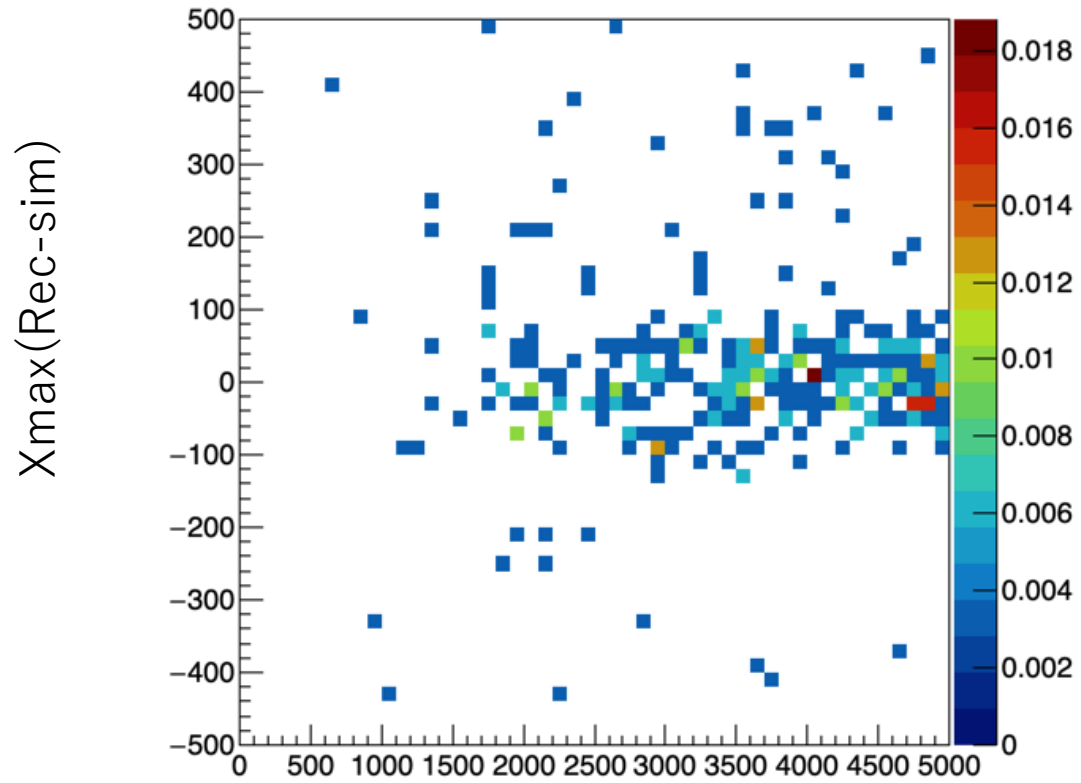


NPE

Cutあり

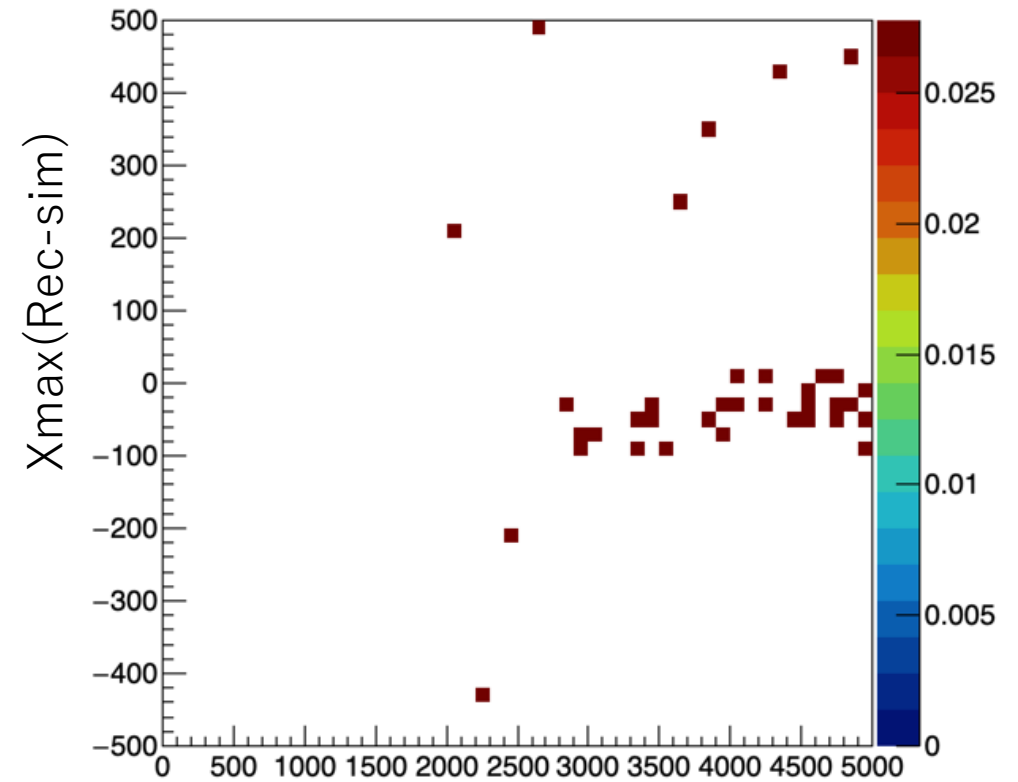


dXmax vs. NPE $10^{20.0}$ eV proton



NPE

Cutなし



NPE

Cutあり