

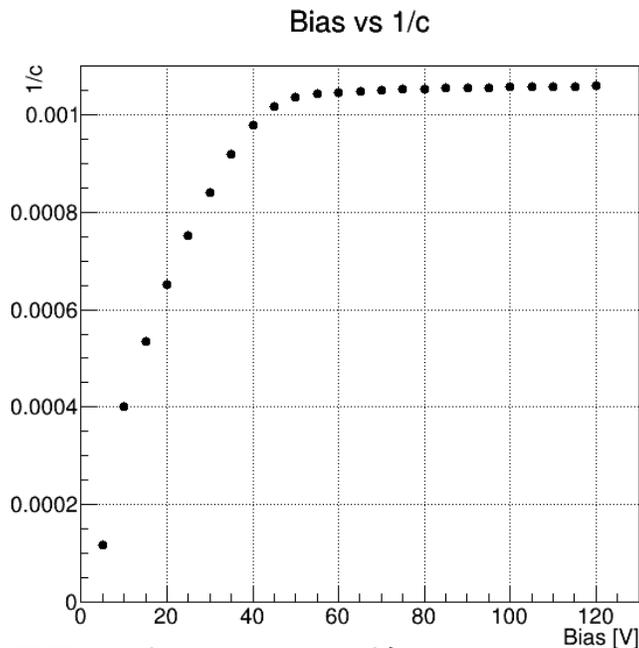
MIP ピークのバイアス電圧依存性の検証 誤差とバックグラウンドの考察 進捗報告

立教大学 村田研 中川研

B4 柳川隼人

Back up 研究背景: MIP ピーク解析の目的

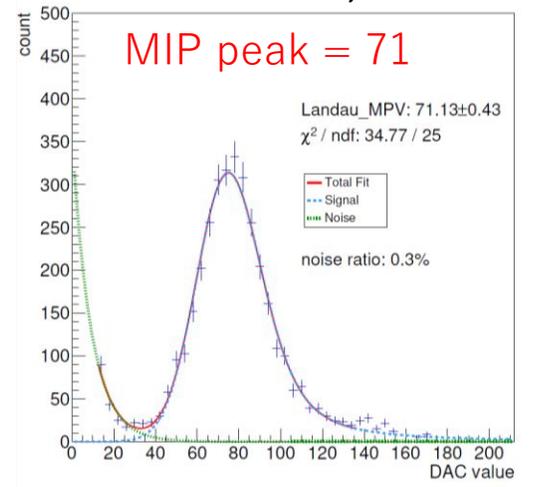
- INTT は通常、バイアス電圧 100 V で稼働している。
- しかし、先行研究のバイアス電圧の異なる実験の解析では、MIP ピークは約 30% 異なった。
- 本研究では、バイアス電圧 50,75,100 V で測定を行い、通常の INTT を用いた実験においてセンサーが完全に空乏化されていることを確認する。



INTTシリコンセンサーの
バイアス電圧による電気容量の変化
データシートより

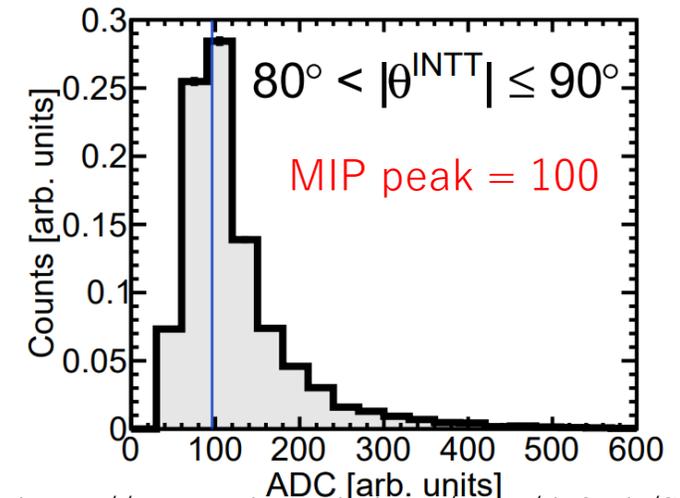
先行研究

Testbeam2021, 50 V
Positron beam, 1 GeV



(NWU)杉山由佳,202402,RHIC-sPHENIX 実験の初年度のデータを用いた中間飛跡検出器INTTの動作検証より

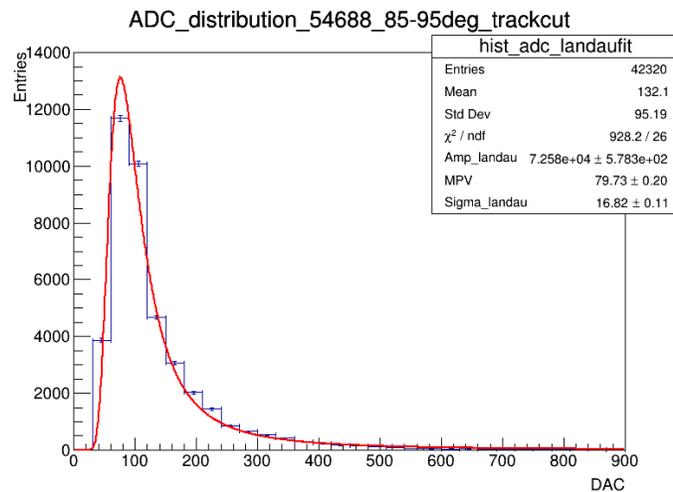
sPHENIX Preliminary Run-24, 100 V
Proton beam, 200 GeV



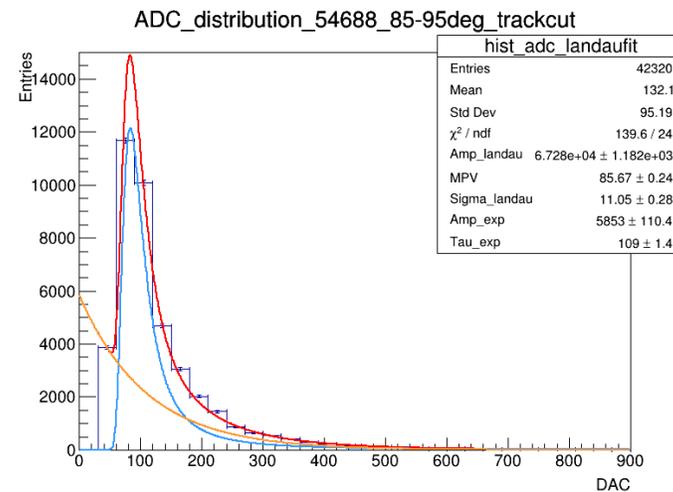
https://www.sphenix.bnl.gov/sites/default/files/2024-10/sphenix-perf-9-24-mip_50889_multi_panel_preliminary.pdf

MIP ピーク位置の特定におけるフィッティングの改善

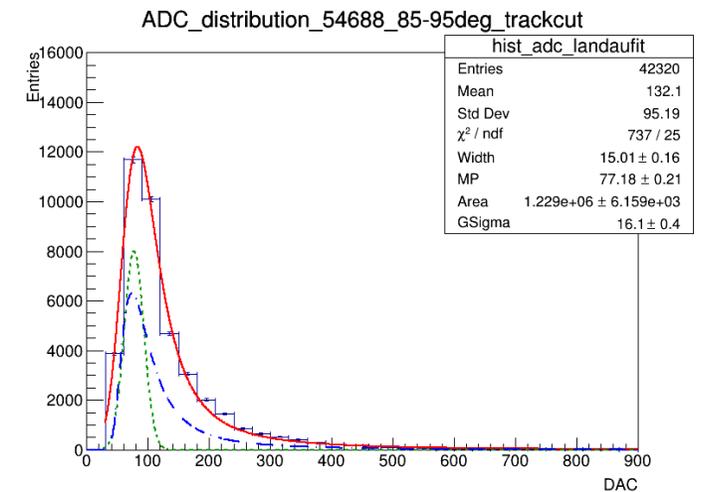
- ランダウ分布と、指数関数やガウス分布によるバックグラウンド成分を仮定し、最適なフィッティング方法を検証している。
- χ^2/ndf が大きい(30 以上)。
- ADC 分布に系統誤差 5% を仮定して様子を見る。



ランダウ分布単体



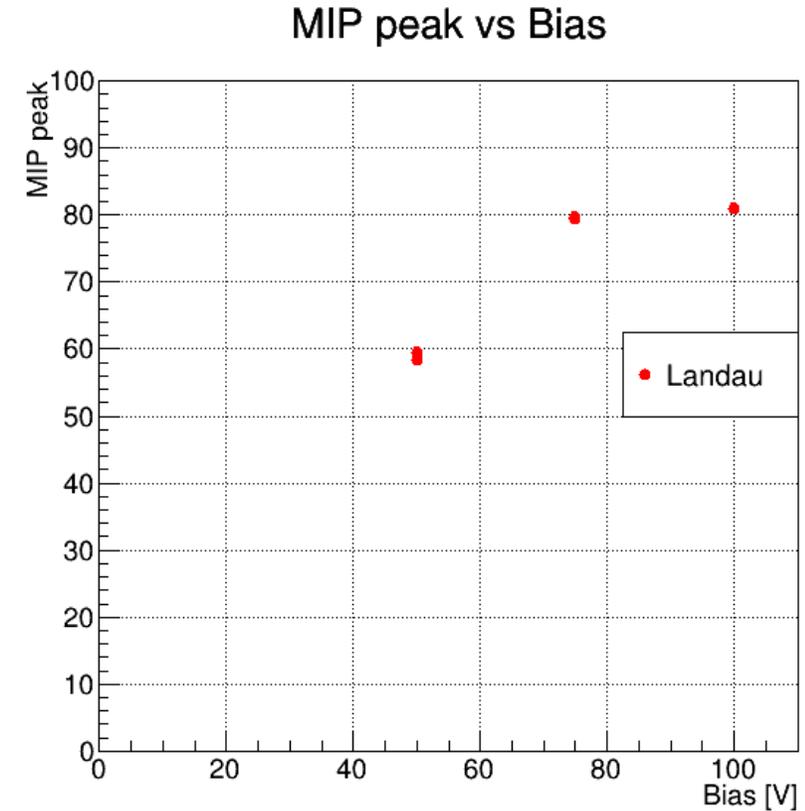
ランダウ分布と指数関数の和



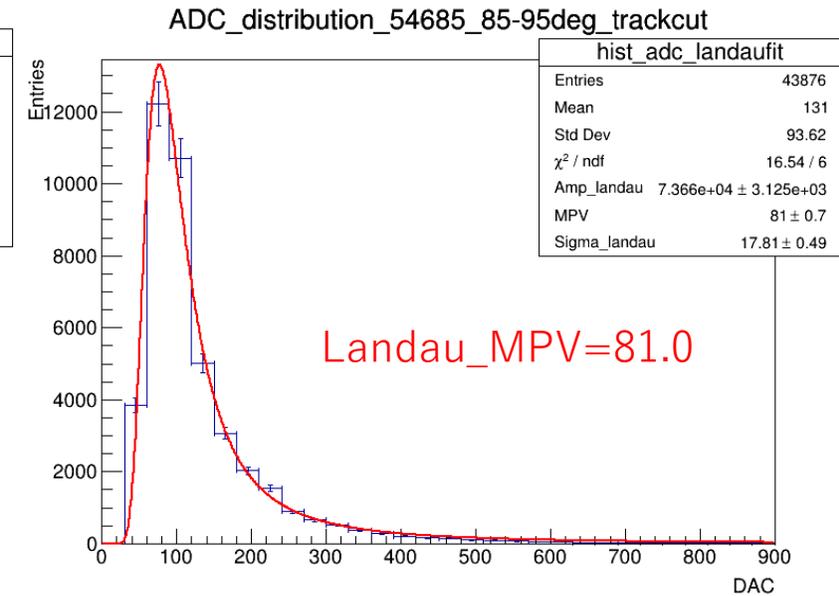
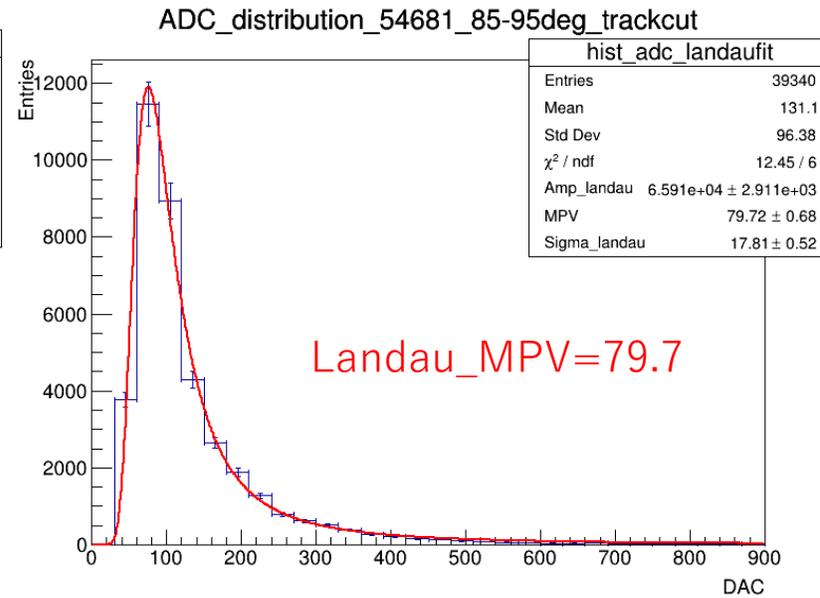
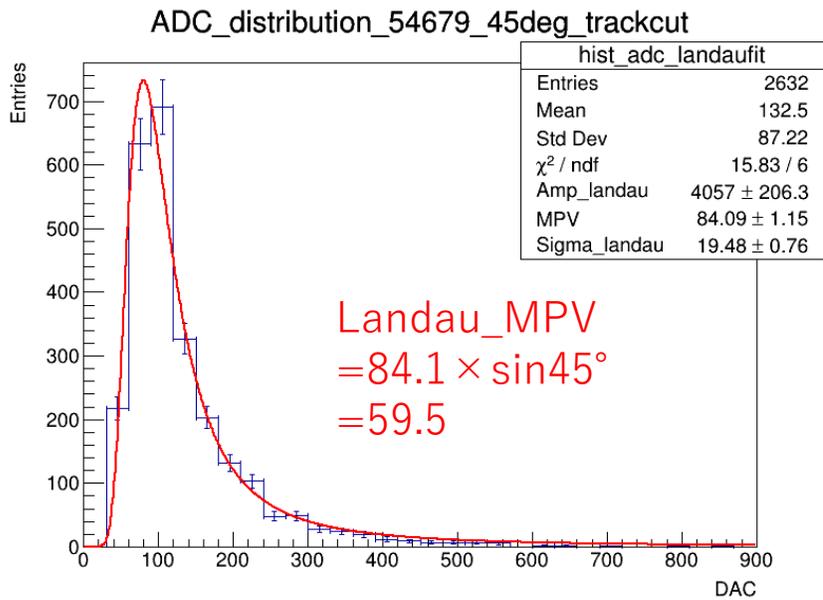
ランダウ分布へガウス分布を畳み込み

フィッティング結果のまとめ

- ランダウ分布によるフィッティングの結果を右の図に示す。
- バイアス電圧 50 V と 100 V の MIP ピークの位置は、先行研究の結果を定量的に再現する。
- バイアス電圧 75 V でほとんど頭打ちになっている。



Run	54679	54681	54685	54686	54687	54688
Bias voltage	50 V	75 V	100 V	50 V	75 V	100 V
MPV	59.5 ± 0.8	79.7 ± 0.7	81.0 ± 0.7	58.4 ± 0.8	79.4 ± 0.7	80.9 ± 0.7
χ^2 / NDF	2.6	2.1	2.8	3.7	3.1	2.8
Sigma	19.5	17.8	17.8	18.3	17.9	18.2
Entries	2632	39340	43876	2848	41270	42318



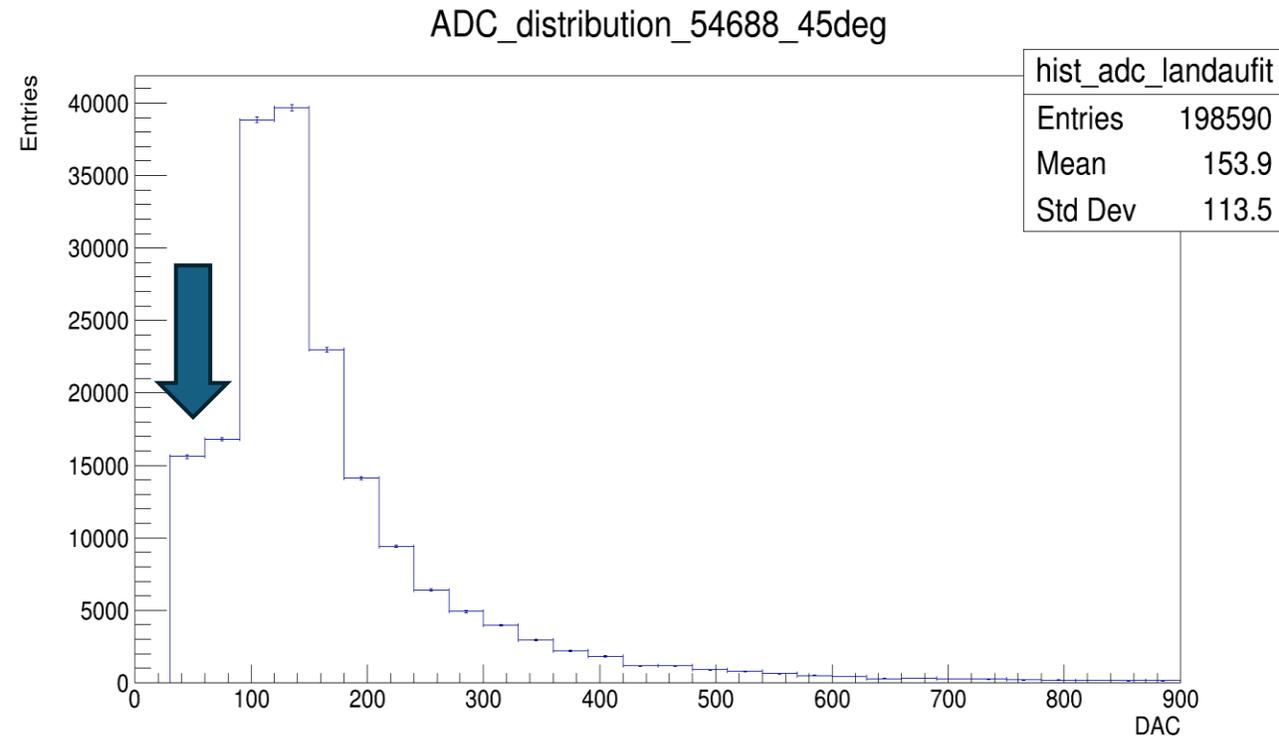
Run	54679	54681	54685	54686	54687	54688
Bias voltage	50 V	75 V	100 V	50 V	75 V	100 V
MPV	59.5 ± 0.8	79.7 ± 0.7	81.0 ± 0.7	58.4 ± 0.8	79.4 ± 0.7	80.9 ± 0.7
χ^2 / NDF	2.6	2.1	2.8	3.7	3.1	2.8
Sigma	19.5	17.8	17.8	18.3	17.9	18.2
Entries	2632	39340	43876	2848	41270	42318

バックグラウンドの検証

- センサーへの入射角度の浅いトラックを用いることで MIP ピークをずらす。

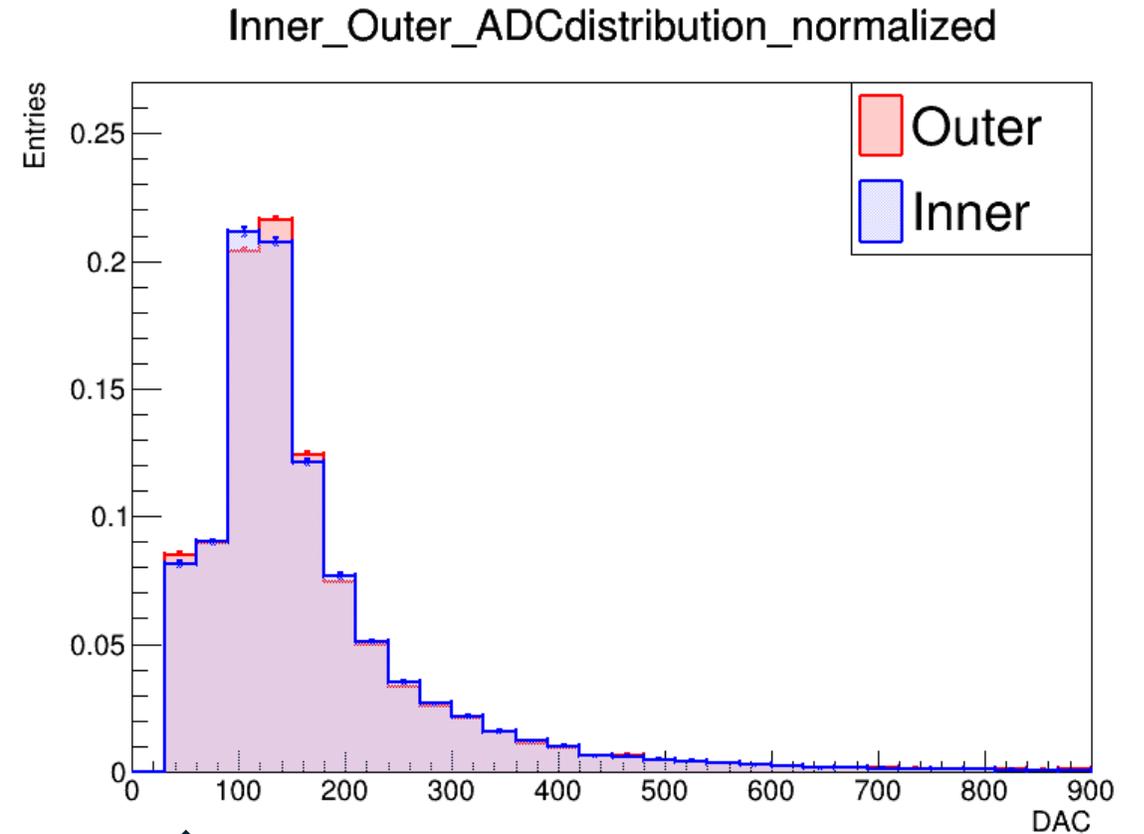
→バックグラウンドの可視化

- 様々な条件でバックグラウンドの変化を確認する。



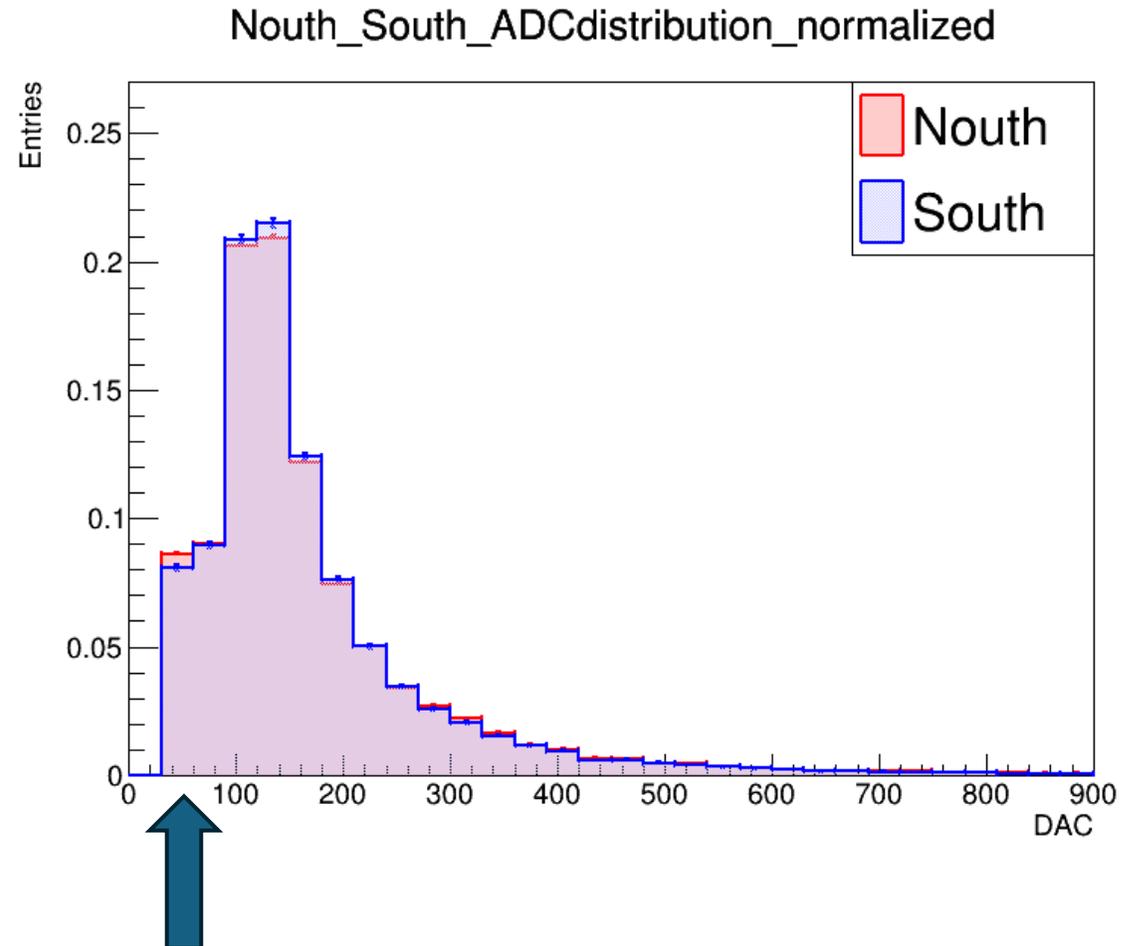
バックグラウンドのレイヤー依存

- レイヤーごとの ADC 分布を右に示す。
- バックグラウンドの割合は Outer レイヤーのほうが大きい。



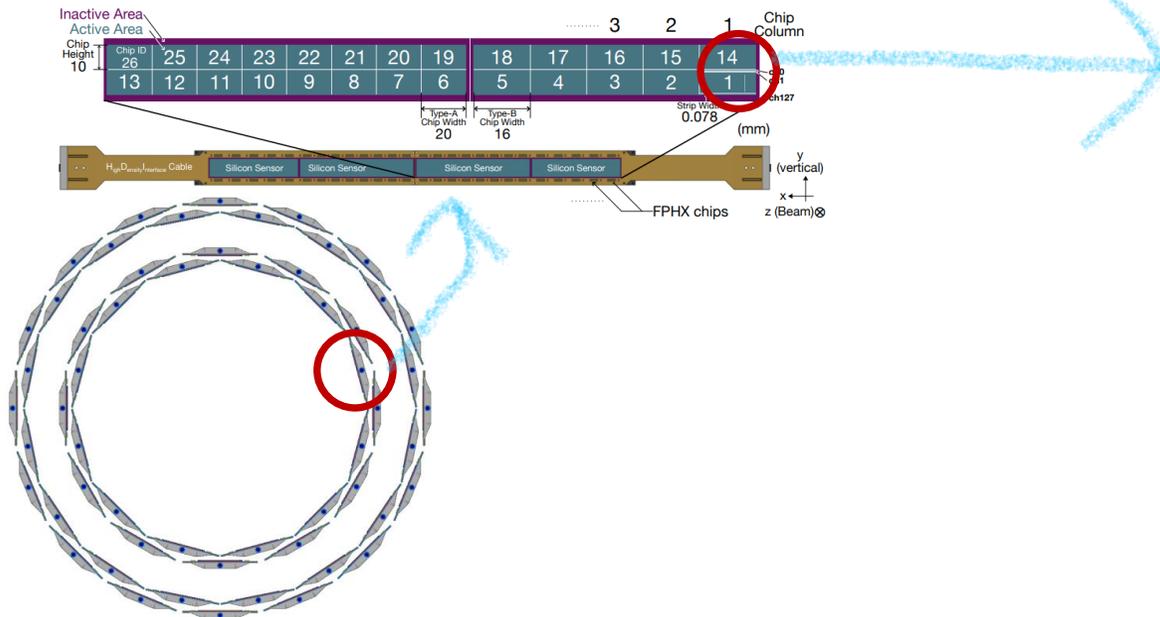
バックグラウンドの方角依存

- INTT を北と南で分けたときの ADC 分布を右に示す。
- バックグラウンドの割合は北の方が大きい。

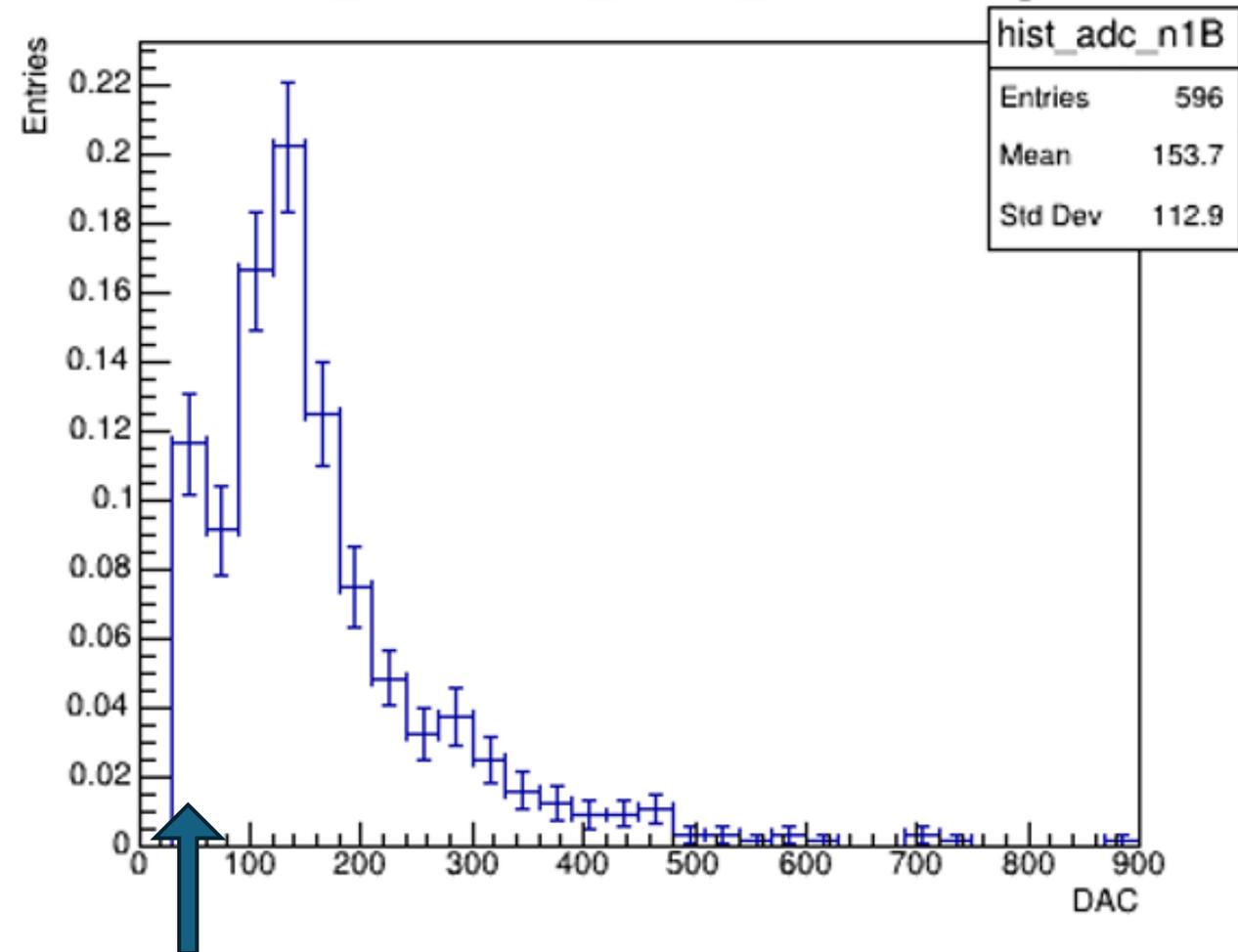


バックグラウンドのチップ依存性

- INTT のある 2 チップを選択し、作成した ADC 分布を右に示す。
- ほとんどのチップに右図のようなバックグラウンドが確認できた。そのため、位置によるバックグラウンドの影響は少ないと考える。

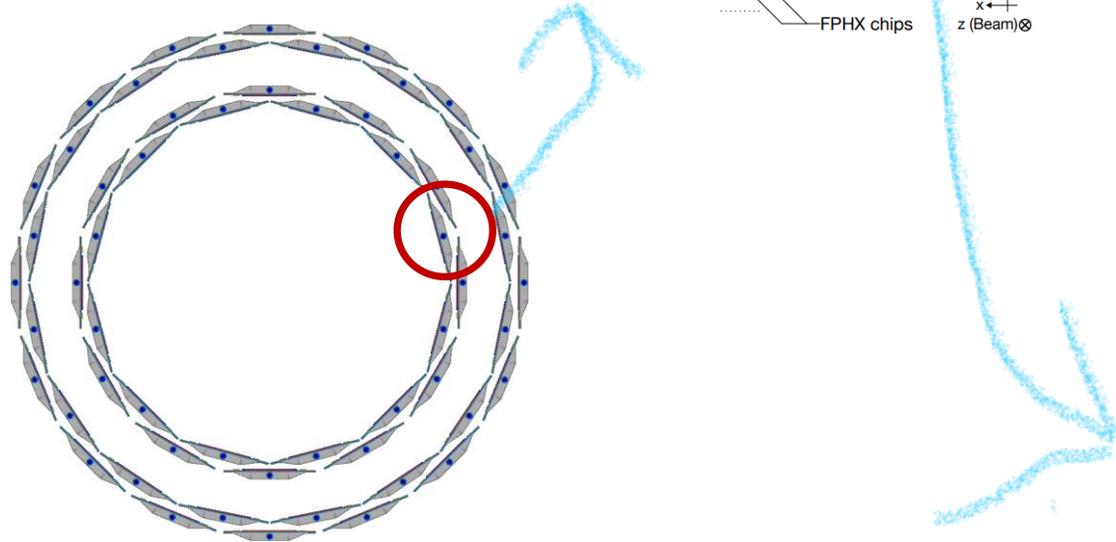
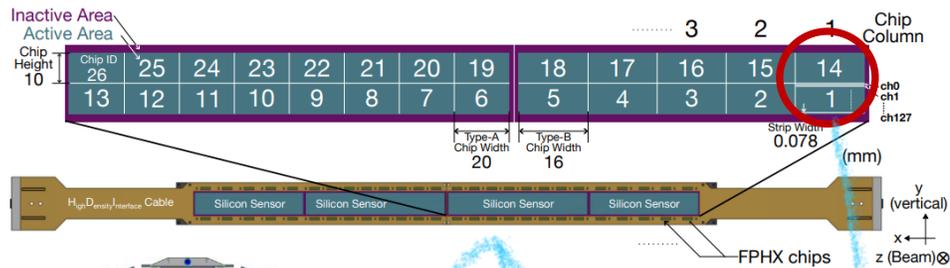
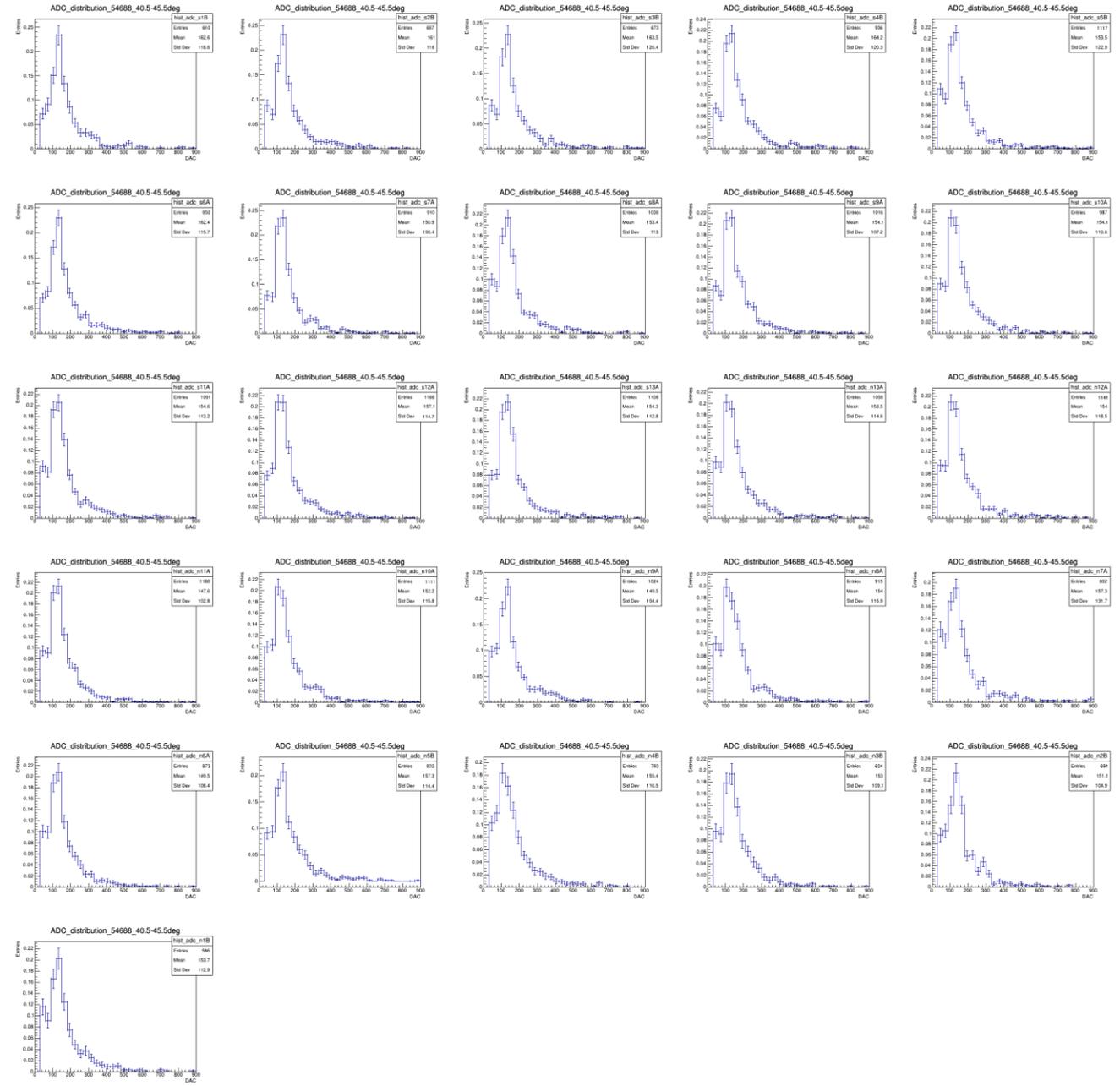


ADC_distribution_54688_40.5-45.5deg



Back up

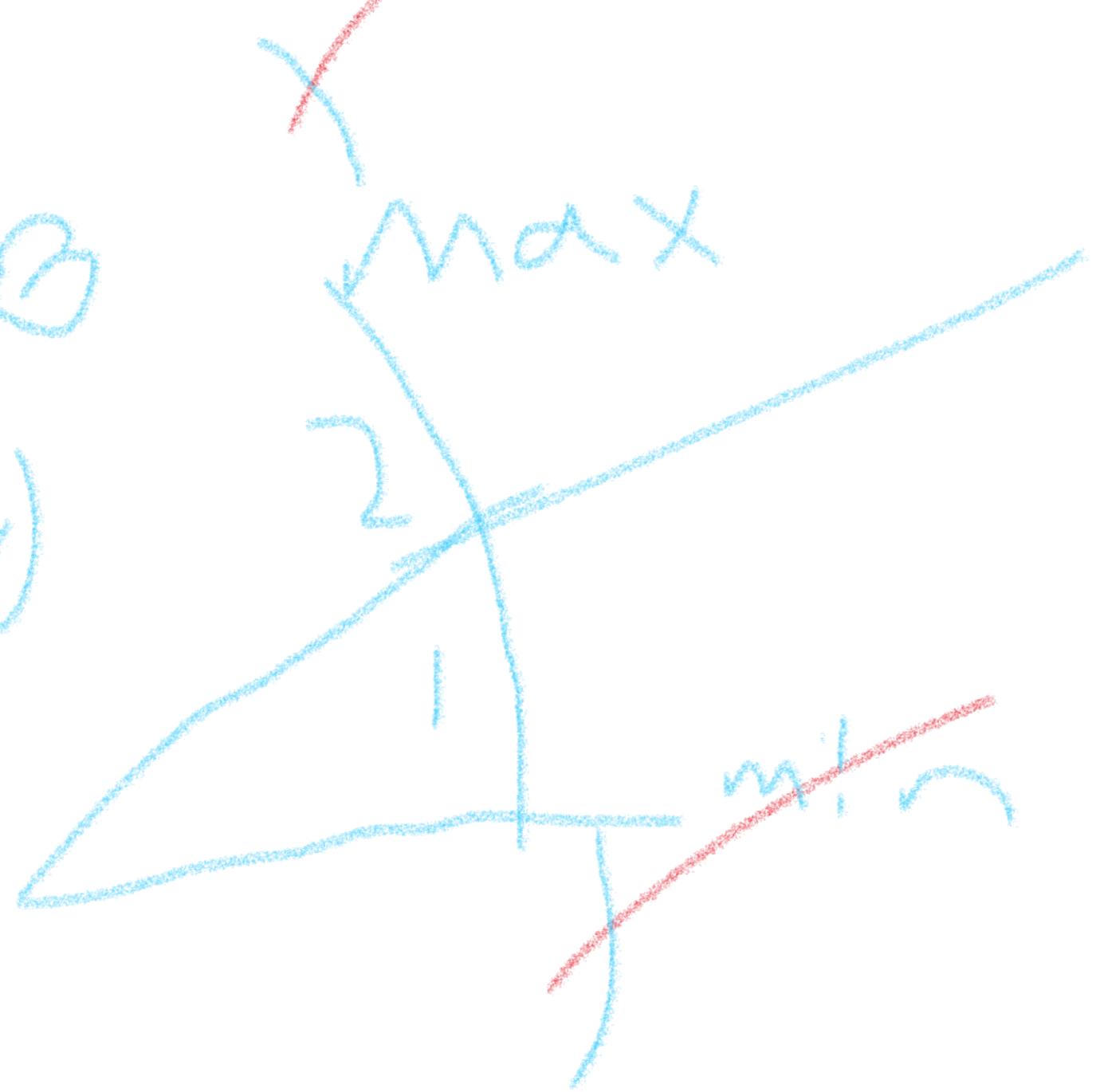
- 各2チップごとの ADC 分布を右に示す。



1 1000

2 450

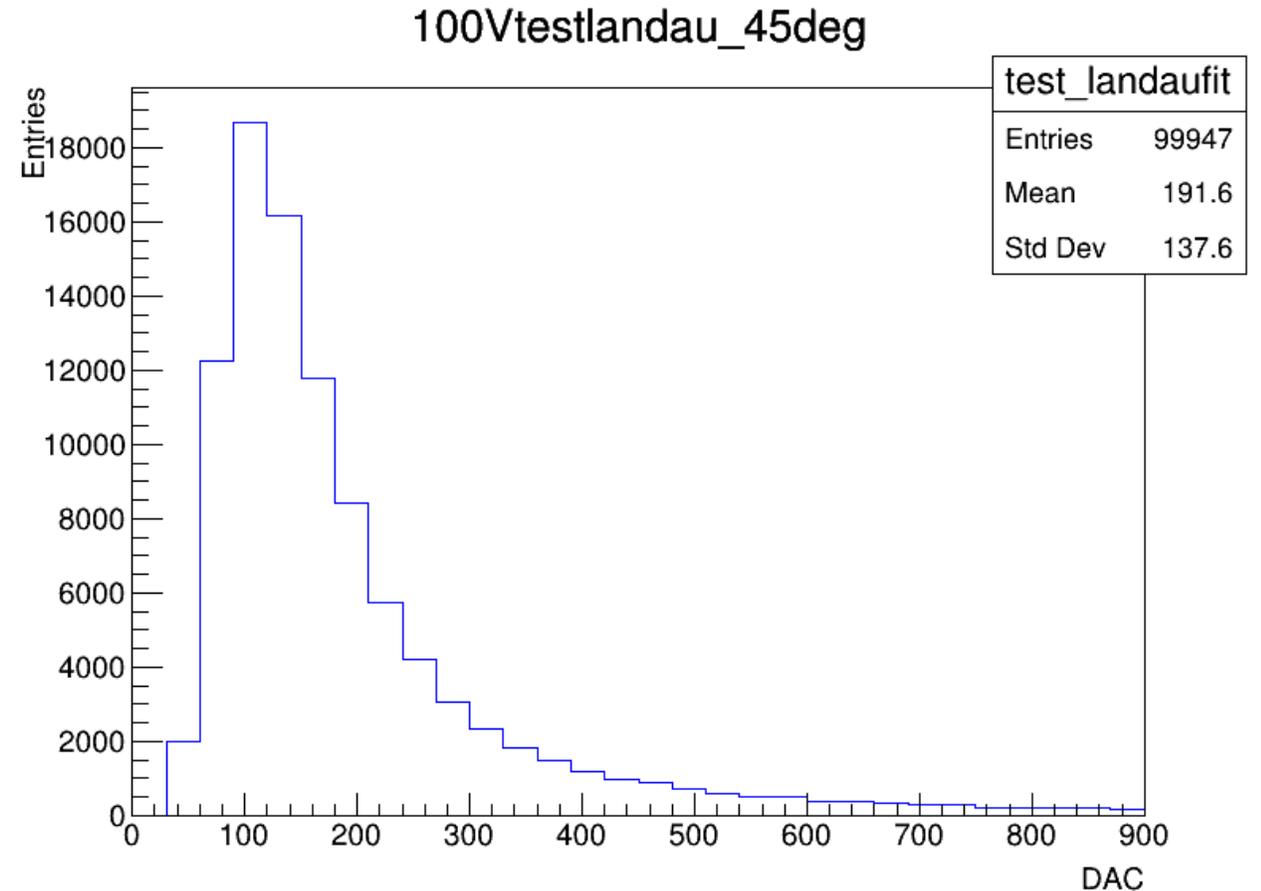
3 2



シータ誤差展望

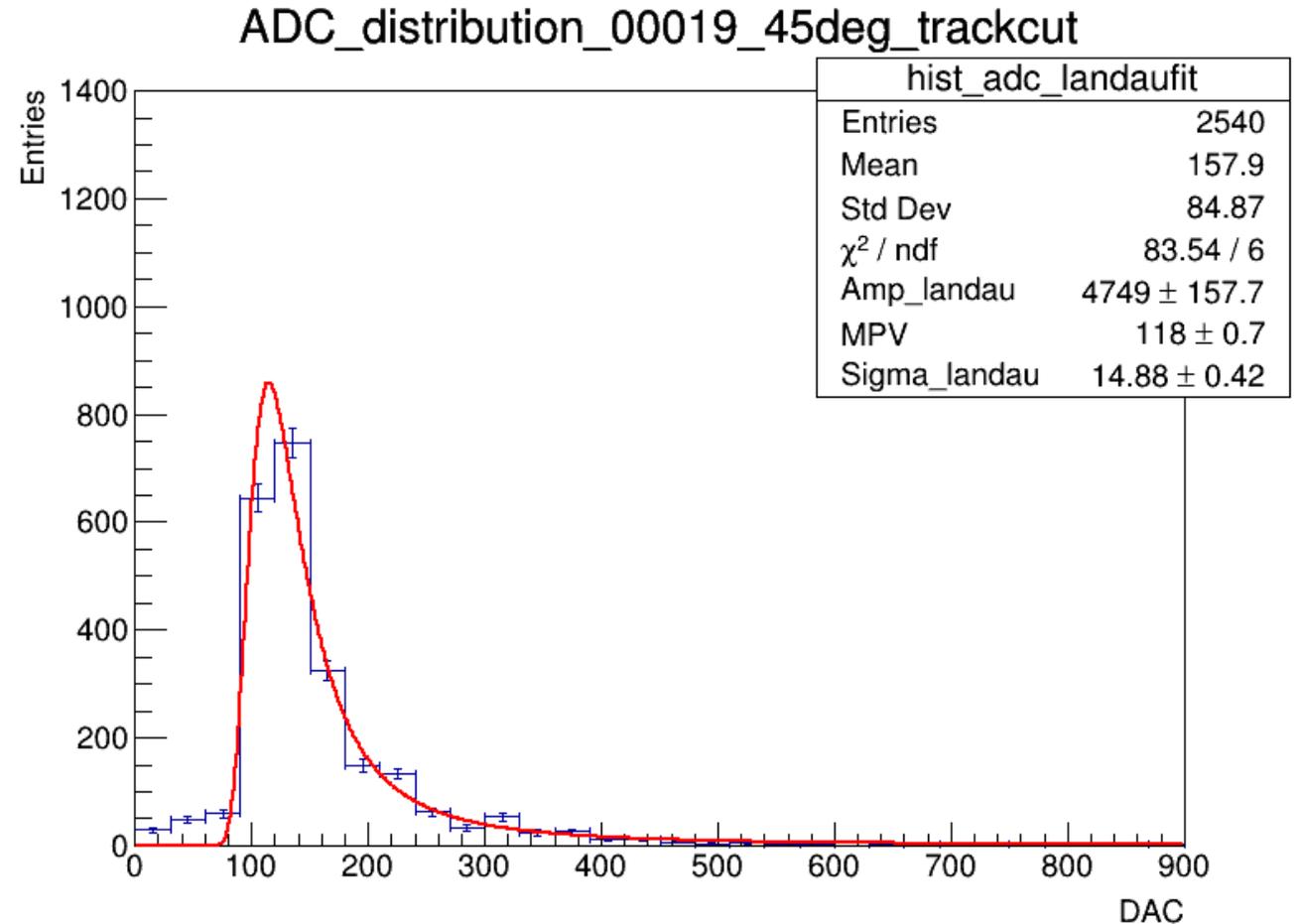
Back up ランダウ分布に従う場合

- ランダウ分布に従う乱数によって ADC 分布を生成した。
- バックグラウンドが存在しない場合このような分布になると考えられる。



Back up MC による ADC 分布の生成

- MC を用いて AuAu 衝突の ADC 分布を作成した。
- 同様にバックグラウンドは存在しない。



sPHENIX実験 INTT シリコン検出器における MIP ピークのバイアス電圧依存性の検証

立教大学 村田研 中川研

B4 柳川隼人

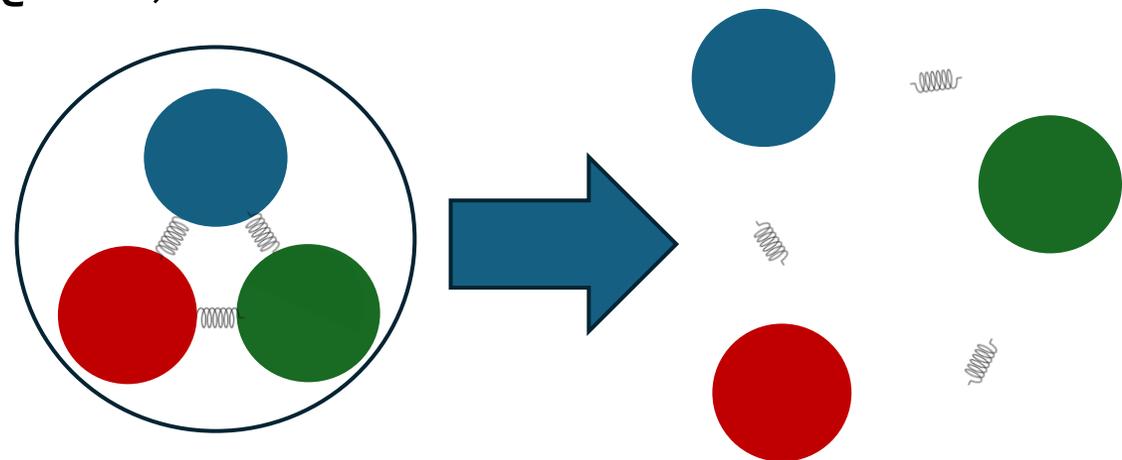
目次

- 研究背景
- 実験に用いるデータセット
- データ選定
- MIPピーク位置の特定
- 結果

研究背景

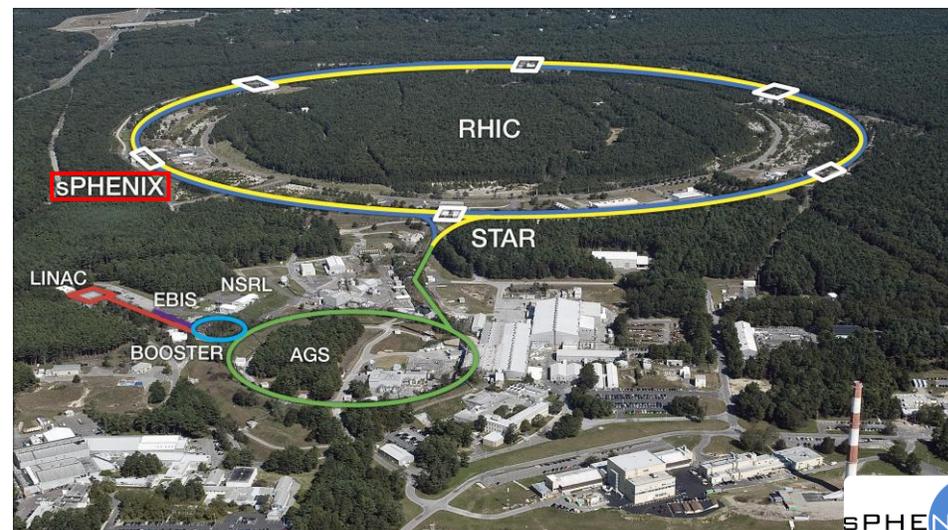
クォーク・グルーオン・プラズマ (QGP)

- QGP はクォークとそれを結びつけるグルーオンがばらばらのプラズマのような状態として振る舞う状態である。
- 宇宙初期のビッグバンの数 $10 \mu\text{s}$ 後は QGP 状態だったと考えられている。



sPHENIX 実験

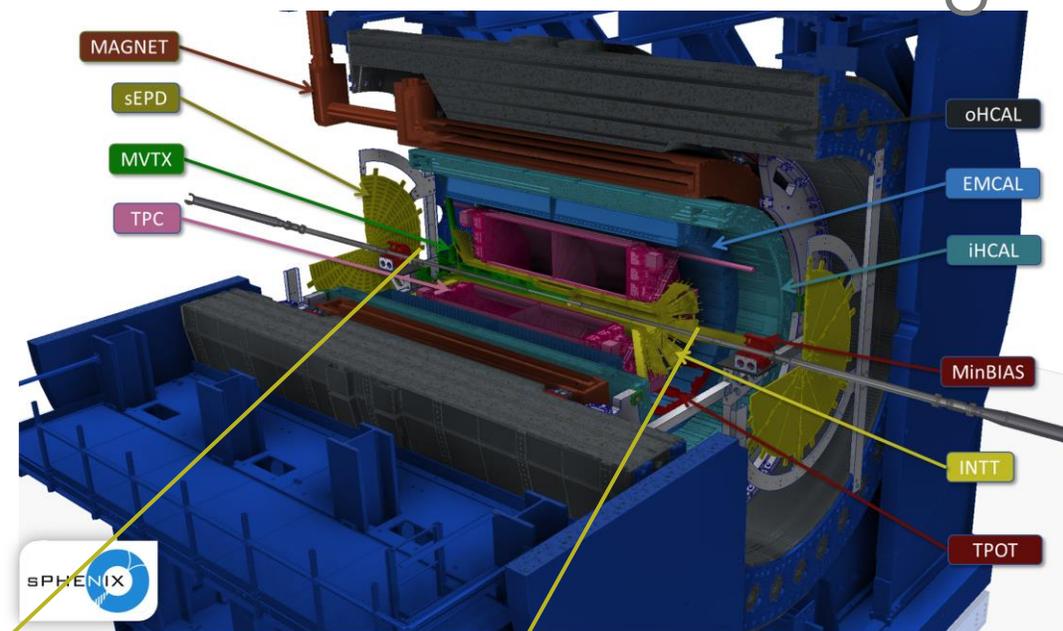
- 現在アメリカのブルックヘブン国立研究所で、高エネルギーの重イオン衝突事象を通して QGP 現象を研究する sPHENIX 実験を行っている。
- QGP は、衝突で生成されるジェットの構造やウプシロンの抑制の測定からその物性が特定できる。



研究背景

sPHENIX検出器

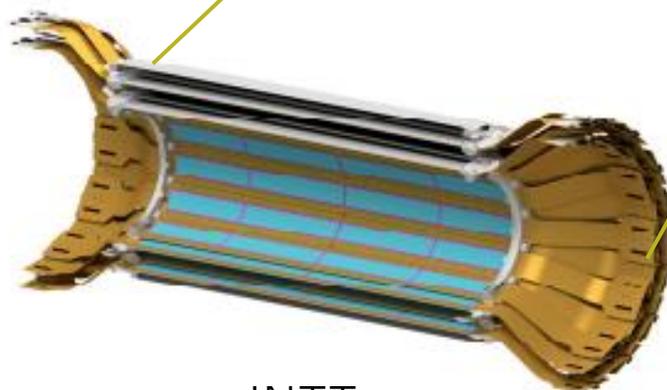
- sPHENIX 検出器は内側から、飛跡検出器、カロリメータ、前方検出器から構成されている。
- 日本グループは主に飛跡検出器のうち INTT を担当している。



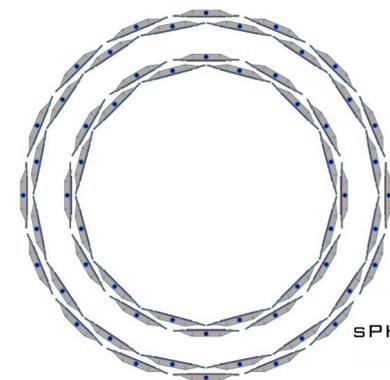
sPHENIX 検出器

INTT

- INTermediate Tracker(INTT) は2層のバレル型シリコンストリップ検出器である。
- シリコンセンサーの優れた位置分解能で、荷電粒子の飛跡を再構成する。



INTT



INTTのセンサーの位置を
ビーム方向から見た図



研究背景: エネルギー損失

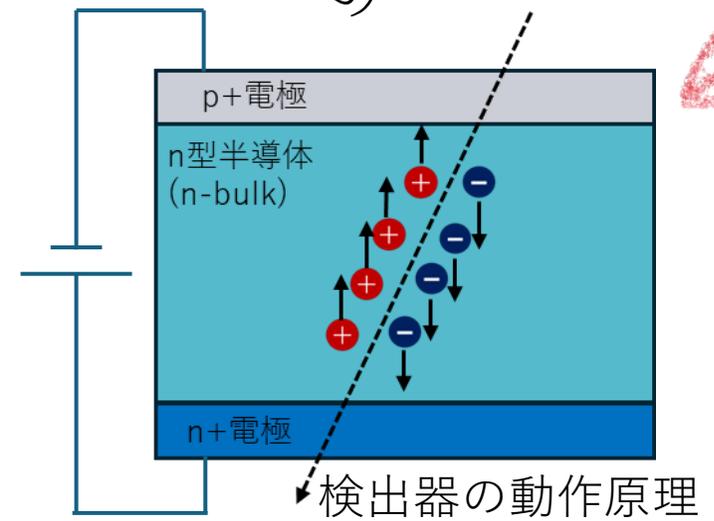
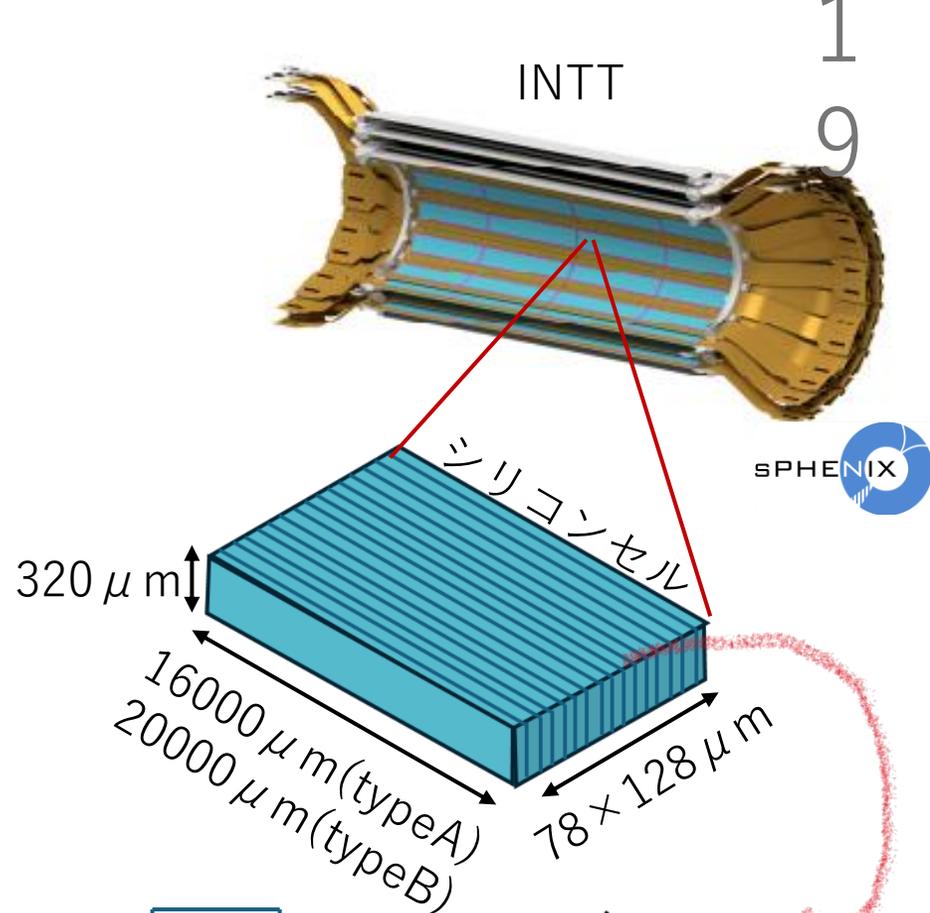
Bethe-Bloch の式

- 荷電粒子が物質を通過するとき、イオン化や励起によってエネルギーを失う。その際のエネルギー損失は以下の式で与えられる。

$$-\frac{dE}{dx} = K z^2 \frac{Z}{A} \frac{1}{\beta^2} \left[\frac{1}{2} \ln \frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2 T_{\max}}{I^2} - \beta^2 - \frac{\delta(\beta\gamma)}{2} \right]$$

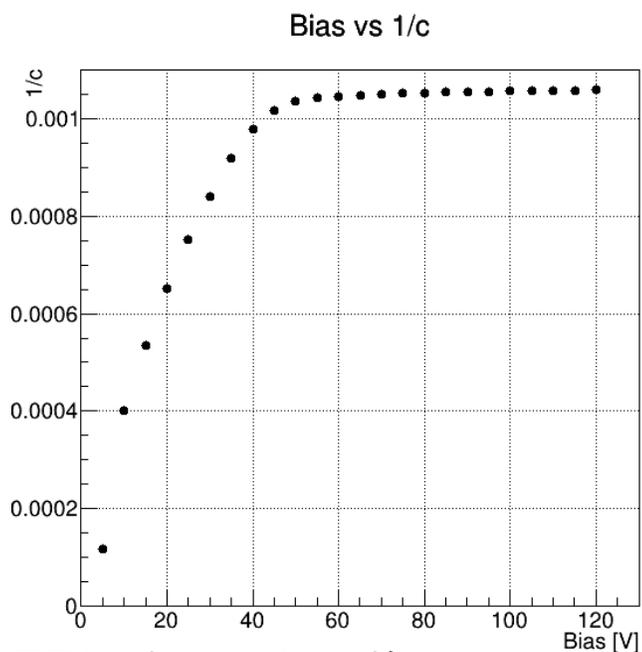
MIP (最小電離粒子)

- 荷電粒子が相対論的運動量で物質を通過するとき、その種類によらずほぼ一定量のエネルギーを落とす。
- その時の粒子を MIP (Minimum Ionization Particle, 最小電離粒子) という。



研究背景: MIP ピーク解析の目的

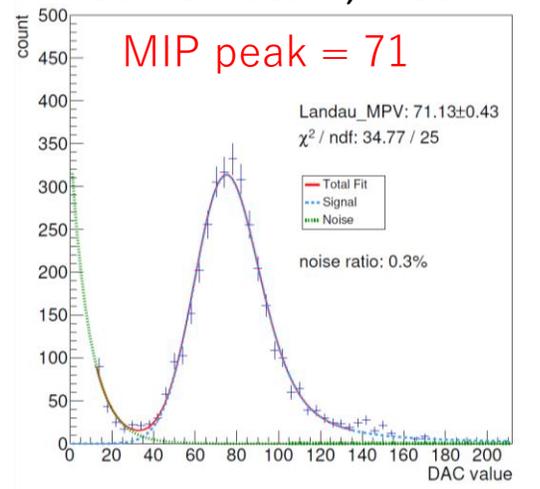
- INTT は通常、バイアス電圧 100 V で稼働している。
- しかし、先行研究のバイアス電圧の異なる実験の解析では、MIP ピークは約 30% 異なった。
- 本研究では、バイアス電圧 50,75,100 V で測定を行い、通常の INTT を用いた実験においてセンサーが完全に空乏化されていることを確認する。



INTTシリコンセンサーの
バイアス電圧による電気容量の変化
データシートより

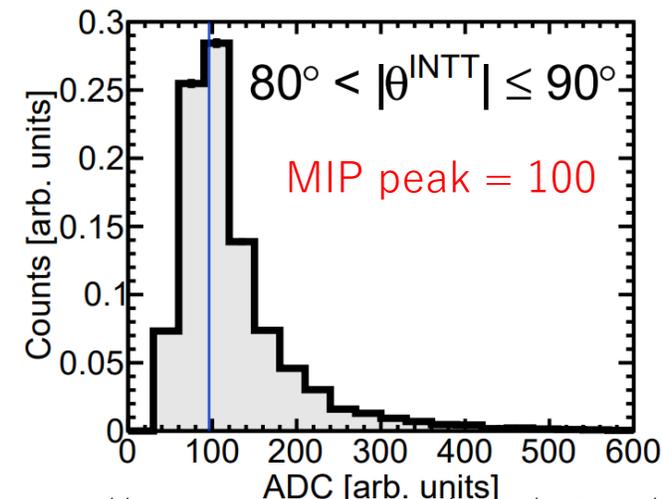
先行研究

Testbeam2021, 50 V
Positron beam, 1 GeV



(NWU)杉山由佳,202402,RHIC-sPHENIX 実験の初年度のデータを用いた中間飛跡検出器INTTの動作検証より

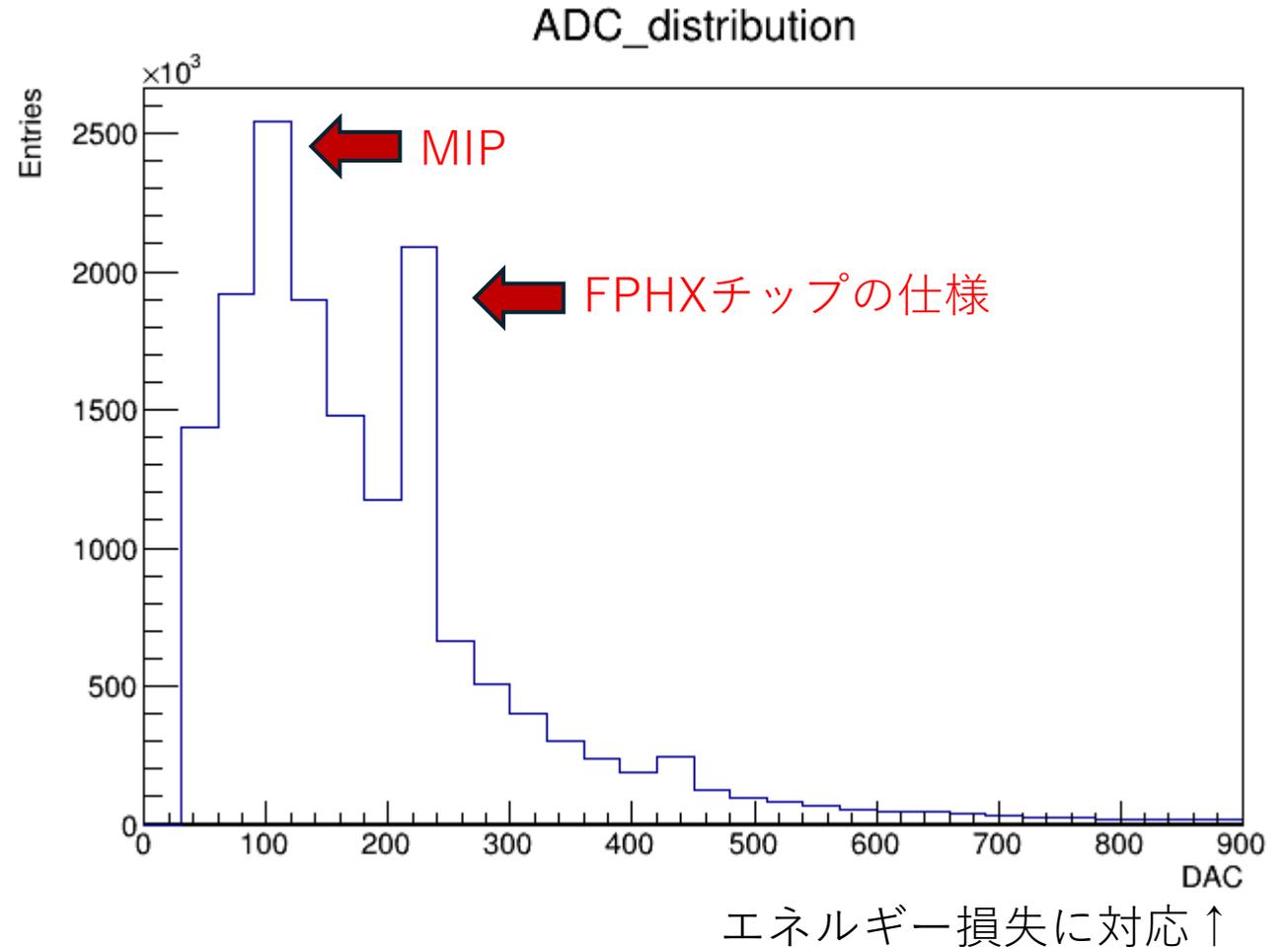
sPHENIX Preliminary Run-24, 100 V
Proton beam, 200 GeV



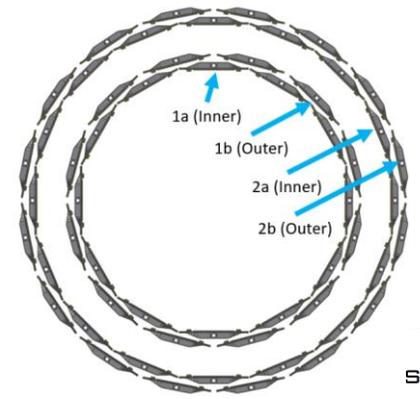
https://www.sphenix.bnl.gov/sites/default/files/2024-10/sphenix-perf-9-24-mip_50889_multi_panel_preliminary.pdf

金・金衝突のデータからADC分布の作成

- 横軸は荷電粒子がセンサーを通った時のエネルギー損失量に対応している。
- DAC 値が100付近のピークは、既に予想されている MIP ピークに等しい。
- DAC値が210 のピークは FPHX チップの仕様によるものである。
- 解析の単純化のため測定データを限定していく。

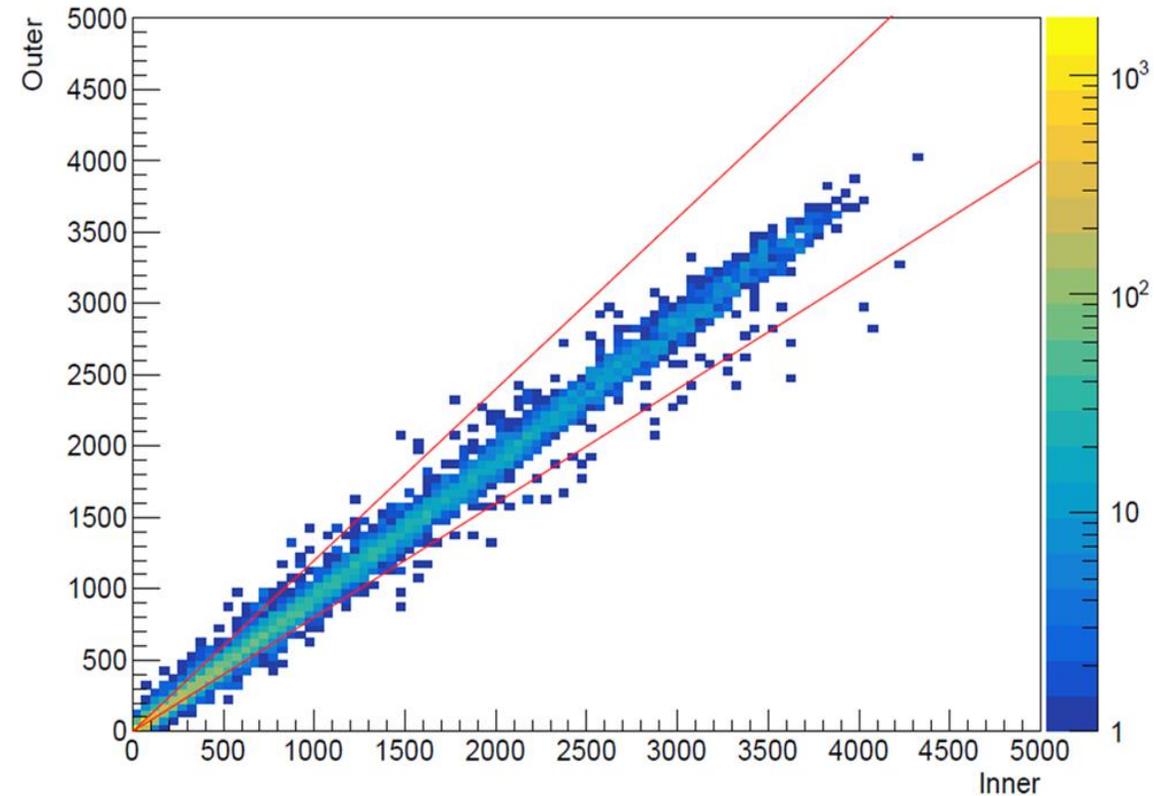


クラスター数のレイヤー間相関を用いたイベント選択

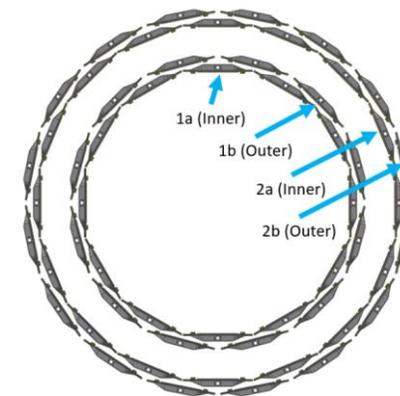


- INTT は2層に分かれており、衝突点から発生した粒子のほとんどは2層を通過する。
- したがって、各イベントで内側と外側の層のクラスター数はほぼ同数である。
- 図は内側と外側のクラスター数をイベントごとにプロットしたものである。
- 内側と外側のクラスター比 1.0 ± 0.2 でカットする。

Inner-Outer z軸はイベント数

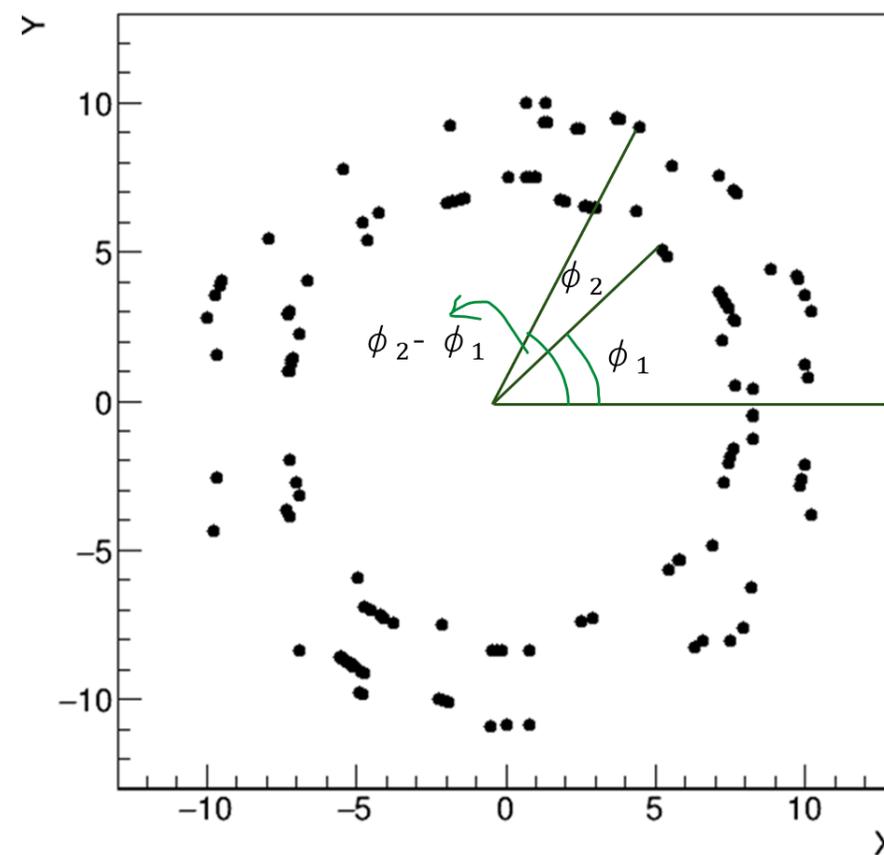


トラッキングによる選定



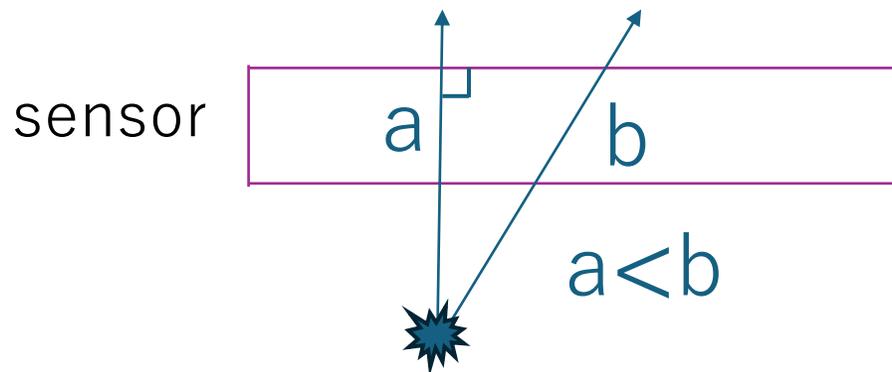
Cluster Positions

- 右の図はビーム方向から見たクラスターの分布でINTTのラダーの位置に対応しています。
- 内側のクラスターの ϕ の大きさを ϕ_1 、外側を ϕ_2 とする。
- 内側のクラスターを一つ選択し、外側のすべてのクラスターについて $\phi_2 - \phi_1$ を計算する。
- $\phi_2 - \phi_1 < 0.1^\circ$ の大きさの条件を満たすクラスターの組から adc 分布を作成する。

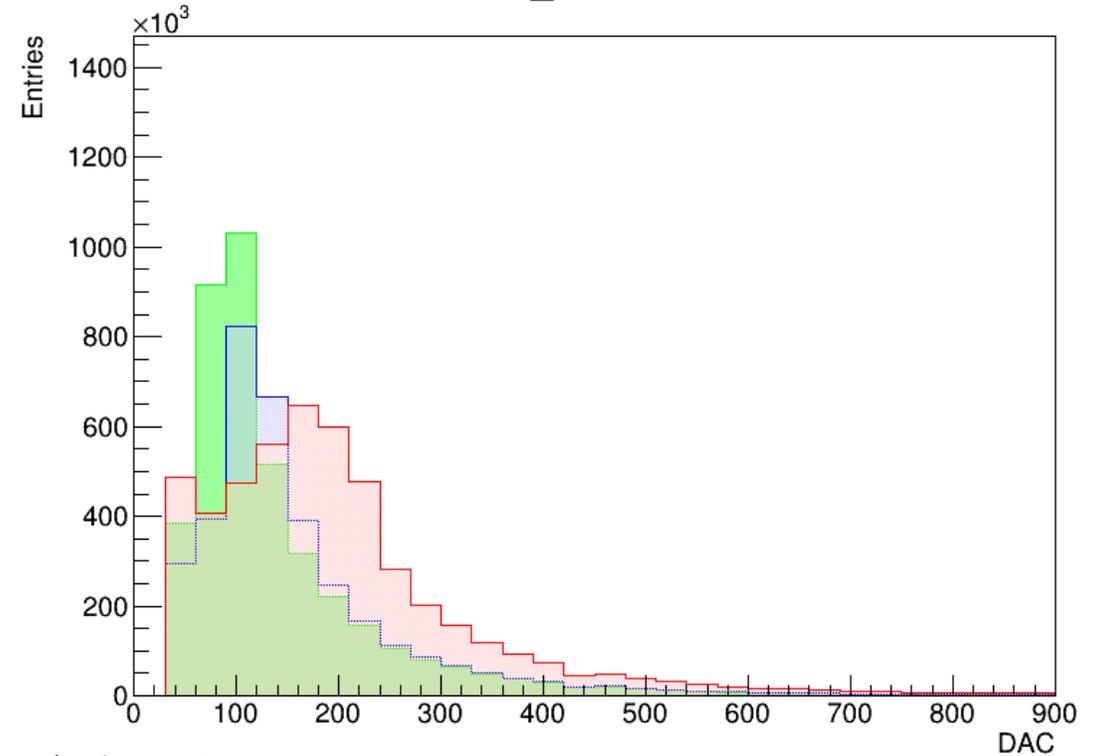


荷電粒子の通過距離設定によるエネルギー損失分布への制限²⁴

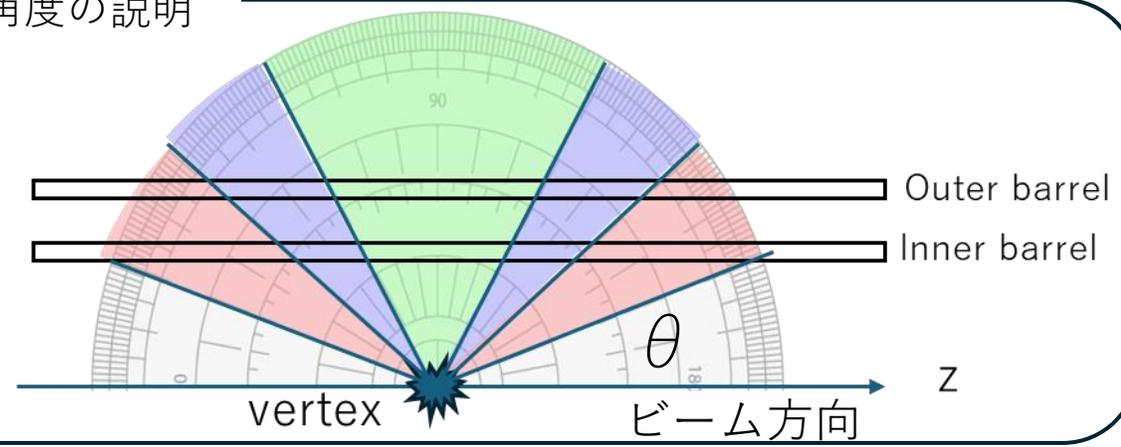
- 角度ごとにADC分布を作成するとMIPピークは図のように異なり、浅い入射角度 θ が選択されるとMIPピークは高くなる。
- 角度 θ を限定することで、より単純な解析が可能となる。
- 本研究では、センサーへの入射角度が垂直に近いトラックを用いる($85^\circ < \theta < 95^\circ$)。



ADC_distribution

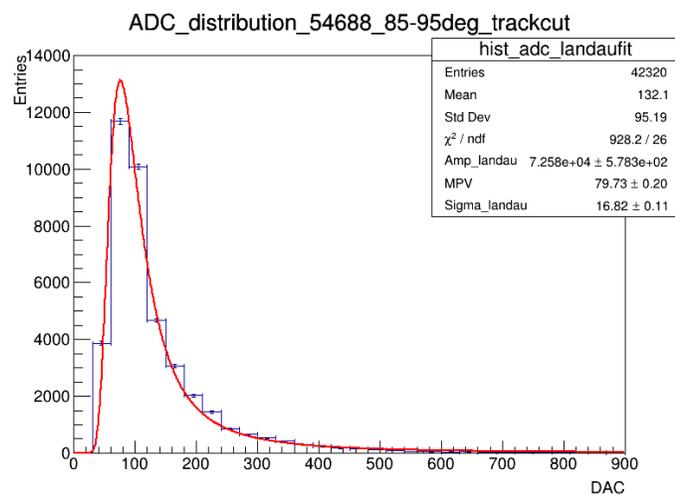


角度の説明

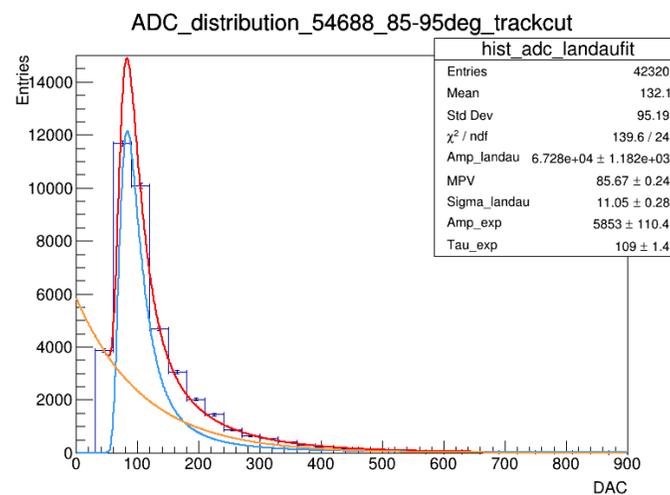


フィッティングを用いた MIP ピーク位置の特定

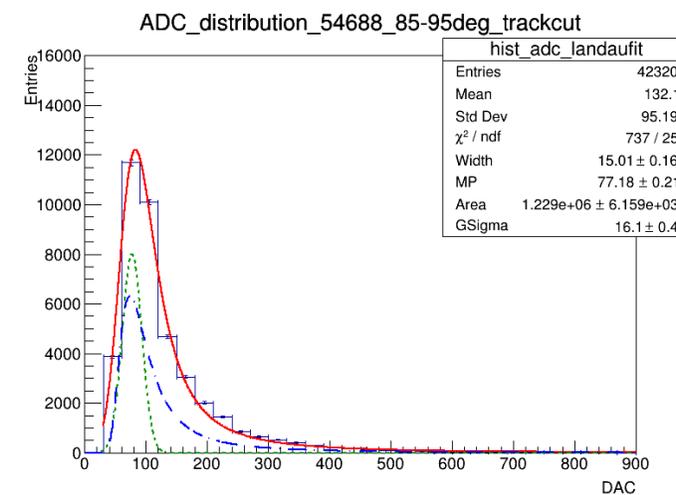
- 荷電粒子がシリコンセンサーを通過する際のエネルギー損失量は、ランダウ分布でよく記述できる。
- ランダウ分布と、指数関数やガウス分布によるバックグラウンド成分を仮定し、最適なフィッティング方法を検証する。
- 現状、適切なフィッティングは行えていない。



ランダウ分布単体



ランダウ分布と指数関数の和



ランダウ分布へガウス分布を畳み込み

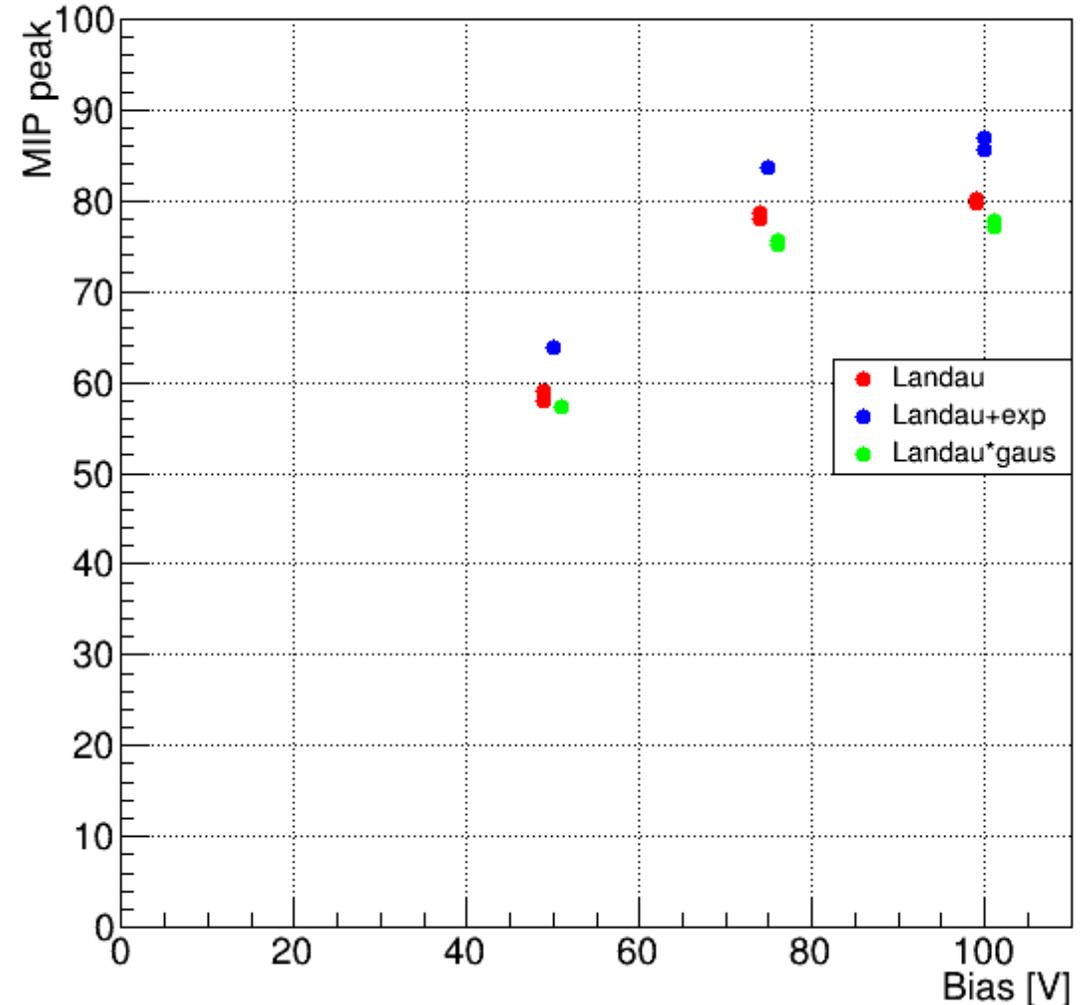
フィッティングの現状の結果のまとめ

- 各フィッティングの結果を右の図に示す。
- フィッティングの結果が信用できないため、誤差はまだ設定していない。
- 定性的には先行研究の結果に従っている。

誤差の決定が可能な場合

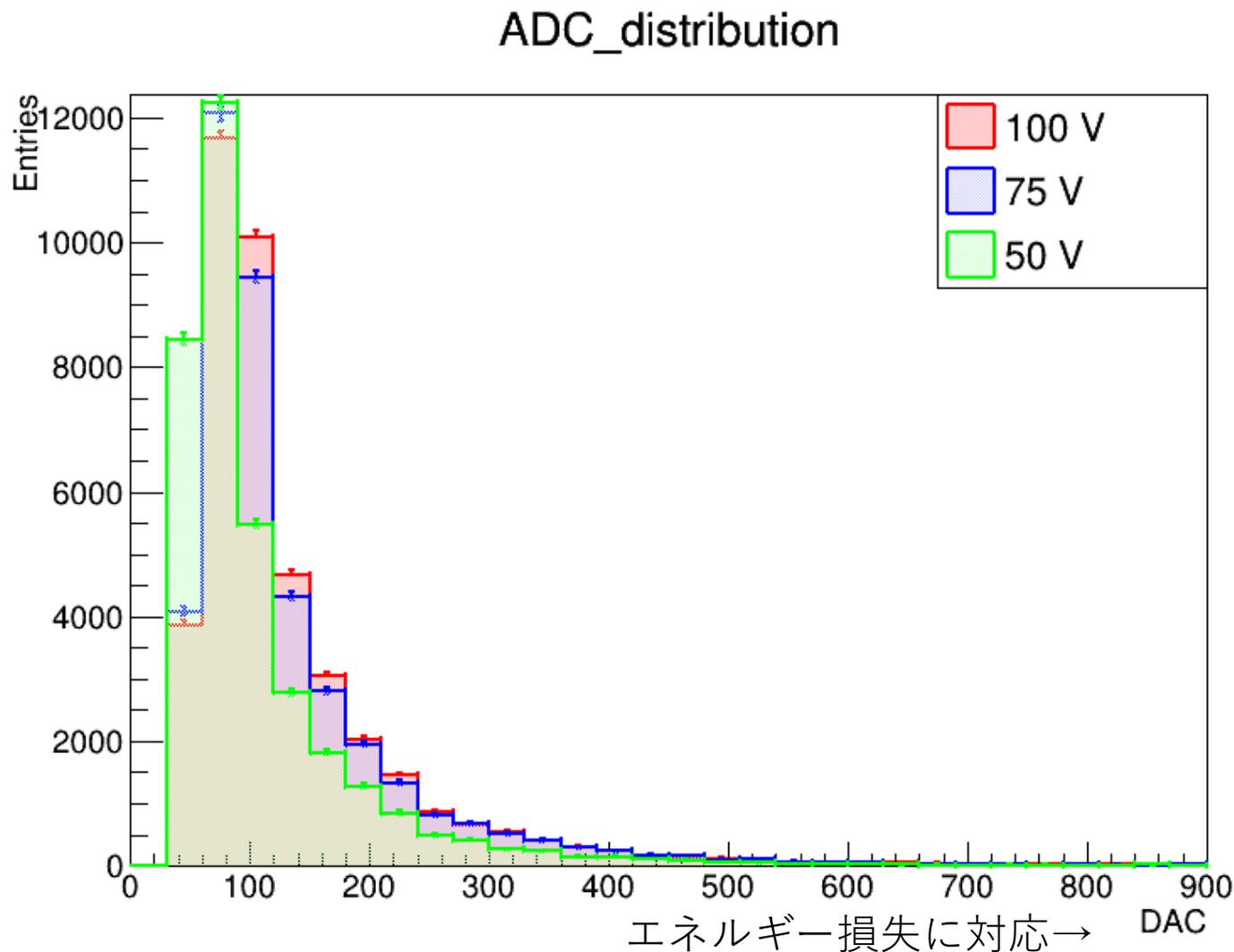
- バイアス電圧 50 V と 100 V の MIP ピークの位置を用い、先行研究との比較を行う。
- バイアス電圧 75 V で頭打ちになっていることを確認する。

MIP peak vs Bias



ADC 分布の重心を用いた MIP ピーク位置の特定

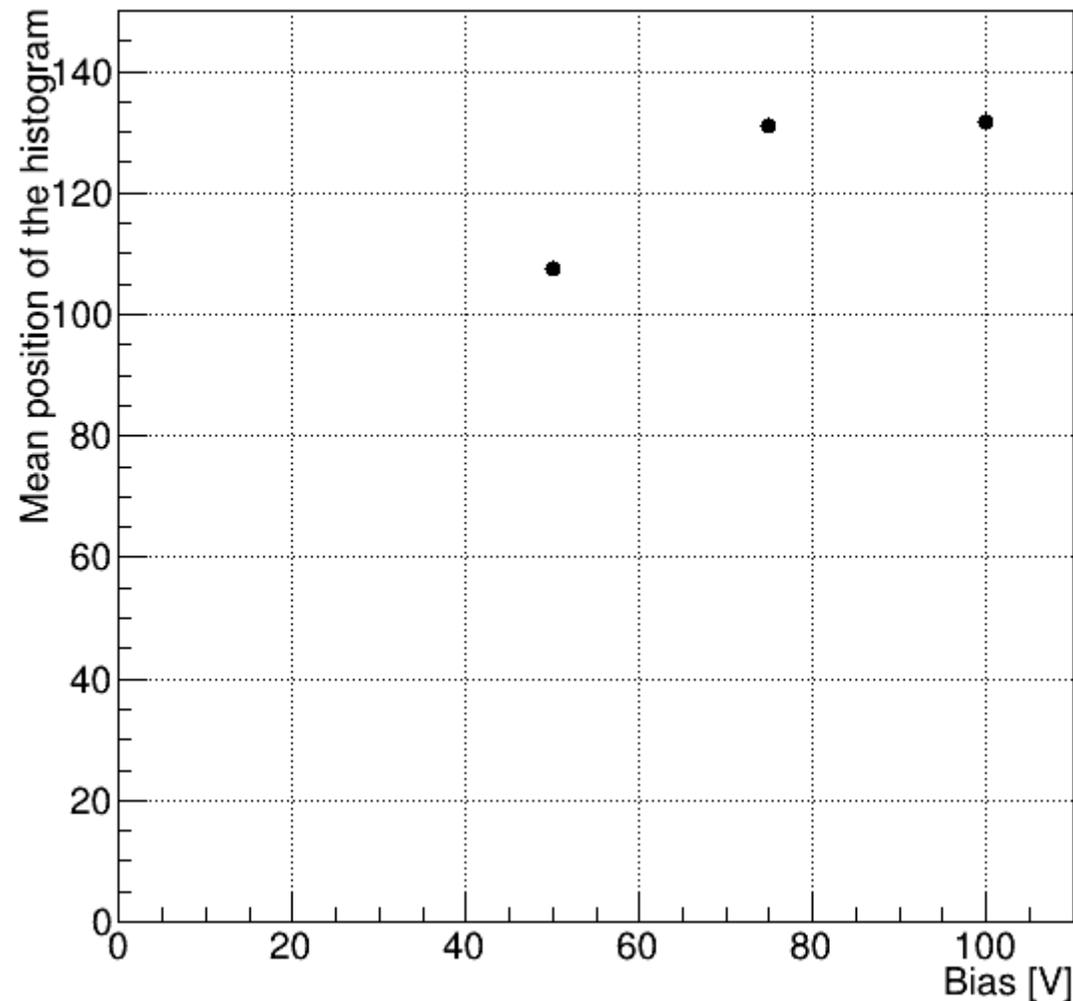
- 図のようにバイアス電圧 50 V と 100 V のデータの ADC 分布は明らかに異なる。
- 分布の重心を比較することで MIP ピークの違いを求める。



ADC 分布の重心を用いた MIP ピーク位置の特定

- 図にバイアス電圧に対する ADC 分布の重心の位置を示した。
- ADC 分布の重心の位置はバイアス電圧が 75 V の位置で頭打ちになっている。
- 現在運用されている INTT のバイアス電圧は 100 V で問題ないと考えられる。
- 先行研究との比較はできない。

MIP peak centroid vs Bias



Back up

ガウス分布を畳み込む

- エネルギー損失の分布の特徴荷電粒子が物質を通過する際のエネルギー損失分布は統計的性質を持つ。実験結果では理論値よりも広がりが大きくなる。
- 電子の束縛エネルギーの影響 Landau分布は自由電子を仮定しているが、固体中の電子は束縛されている。この影響がエネルギー損失分布を変化させる。

※電子の束縛エネルギーとは→原子核や結晶格子内で特定の状態に束縛されている電子が、自由になるために必要なエネルギー。電子が物質内の異なるエネルギー準位間を移動する際のエネルギーギャップや、電子が完全に物質を脱出するのに必要なエネルギーとして現れる。

解析に用いるデータセットについて

- Run24の金・金衝突のデータを用いて、エネルギー損失の印加バイアス電圧による依存性を見る。
- 対象のRunデータはバイアス電圧が、50V,75V,100Vのデータ2セットを用いる。
- 実験データに対し、以下の処理が行われた。

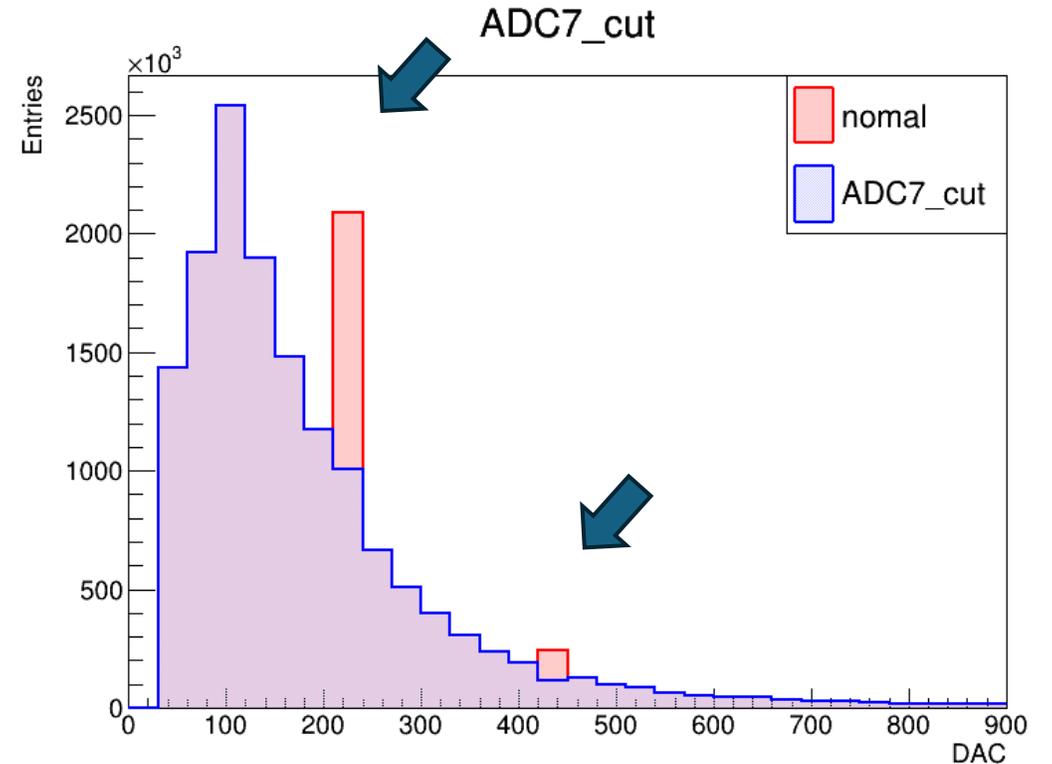
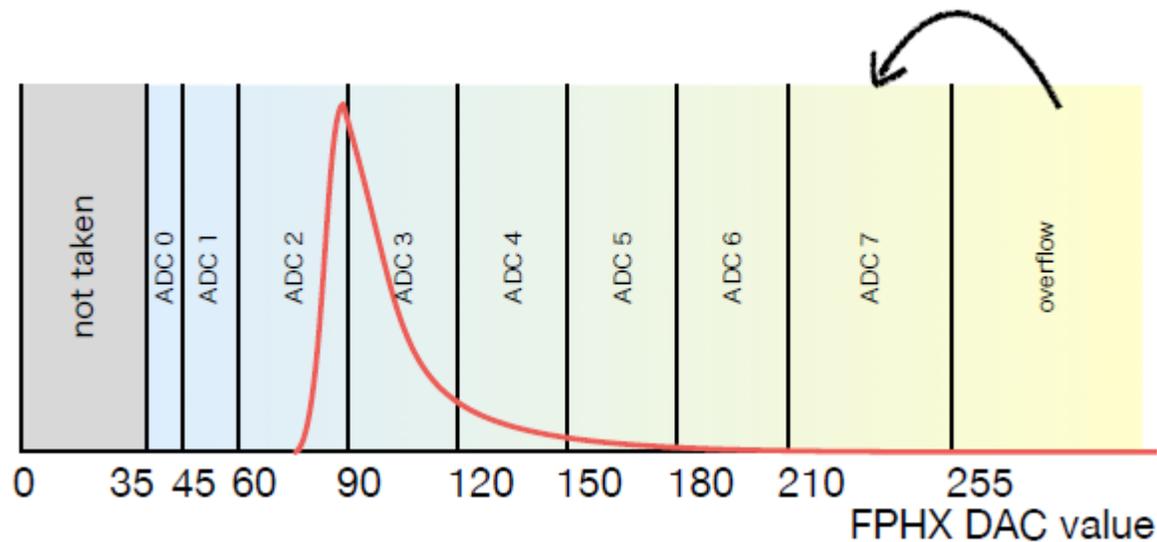
Date/Time	Run#	Run Type	Mag	Bias voltage
2024/10/16 1:11	54679	beam	on	50V
2024/10/16 1:41	54681	beam	on	75V
2024/10/16 2:05	54685	beam	on	100V
2024/10/16 2:19	54686	beam	on	50V
2024/10/16 2:30	54687	beam	on	75V
2024/10/16 2:46	54688	beam	on	100V

- 用いたイベント数は10kである。
- Run 50377のホットチャンネルの解析結果を用いて、ホットチャンネルのかっこ。
- bco_diffタイミングカットによる無関係なヒットの除去。
- vertexの再構成。
- ヒットのクラスタリング

Back up

FPHX ADC のオーバーフローとその補正

- FPHX チップは DAC 値が 255 までのヒットを処理できるが、実際にはそれ以上の DAC 値のヒットも処理している。
- そのため、単一ヒットによる DAC210 を持つクラスターの重みを 1 から $S_{210}^{255} / S_{210}^{\infty}$ に補正する。
- 過去の結果から $S_{210}^{255} / S_{210}^{\infty}$ の値は 1/3 に近いことが分かっているため、そのように設定した。



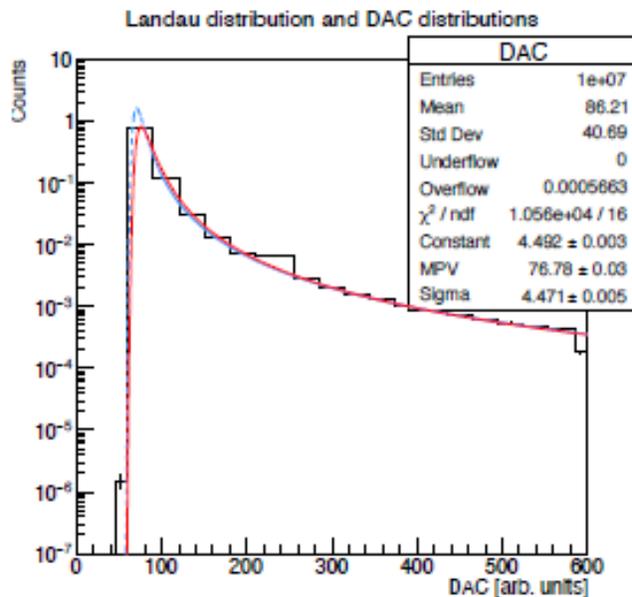
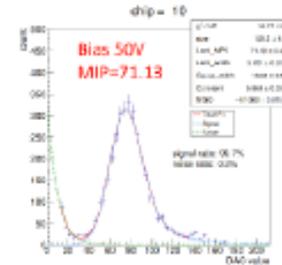
Back up

The modification factor for hits with ADC7

Parameters of landau distribution were taken from Yuka's study of DAC scan in the test beam experiment:

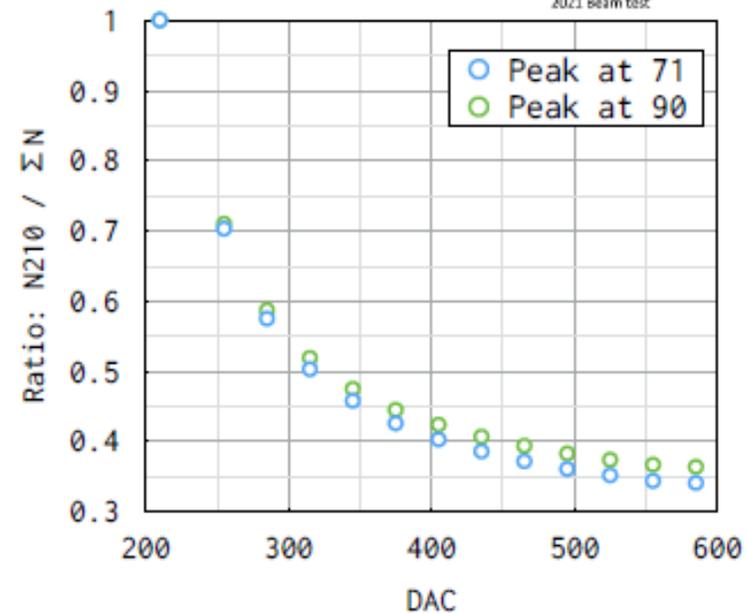
- MPV: 71.13
- width: 3.251

Note: The peak position is expected to at DAC 90



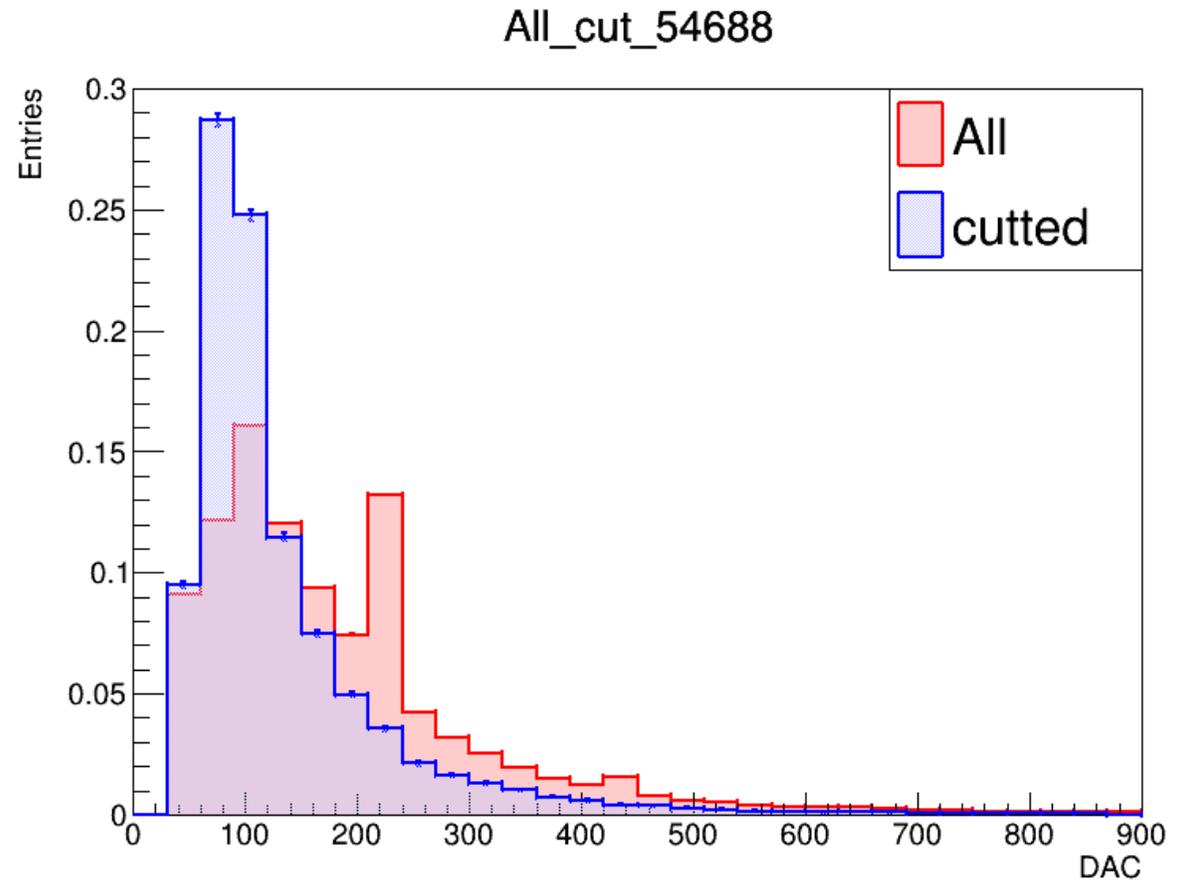
ADC	DAC	Value	Ratio
9	210	0.00651	100%
10	255	0.00276	70.3%
11	285	0.00206	57.5%
12	315	0.00162	50.3%
13	345	0.00127	45.8%
14	375	0.00105	42.6%
15	405	0.000869	40.3%
16	435	0.000726	38.6%
17	465	0.000632	37.2%
18	495	0.00054	36.1%
19	525	0.000472	35.2%
20	555	0.000421	34.4%
21	585	0.000181	34.1%

$$\frac{N(\text{DAC} = 210)}{\sum_{\text{DAC}=210}^{\text{DAC}} N}$$



0.35 is reasonable for the modification factor

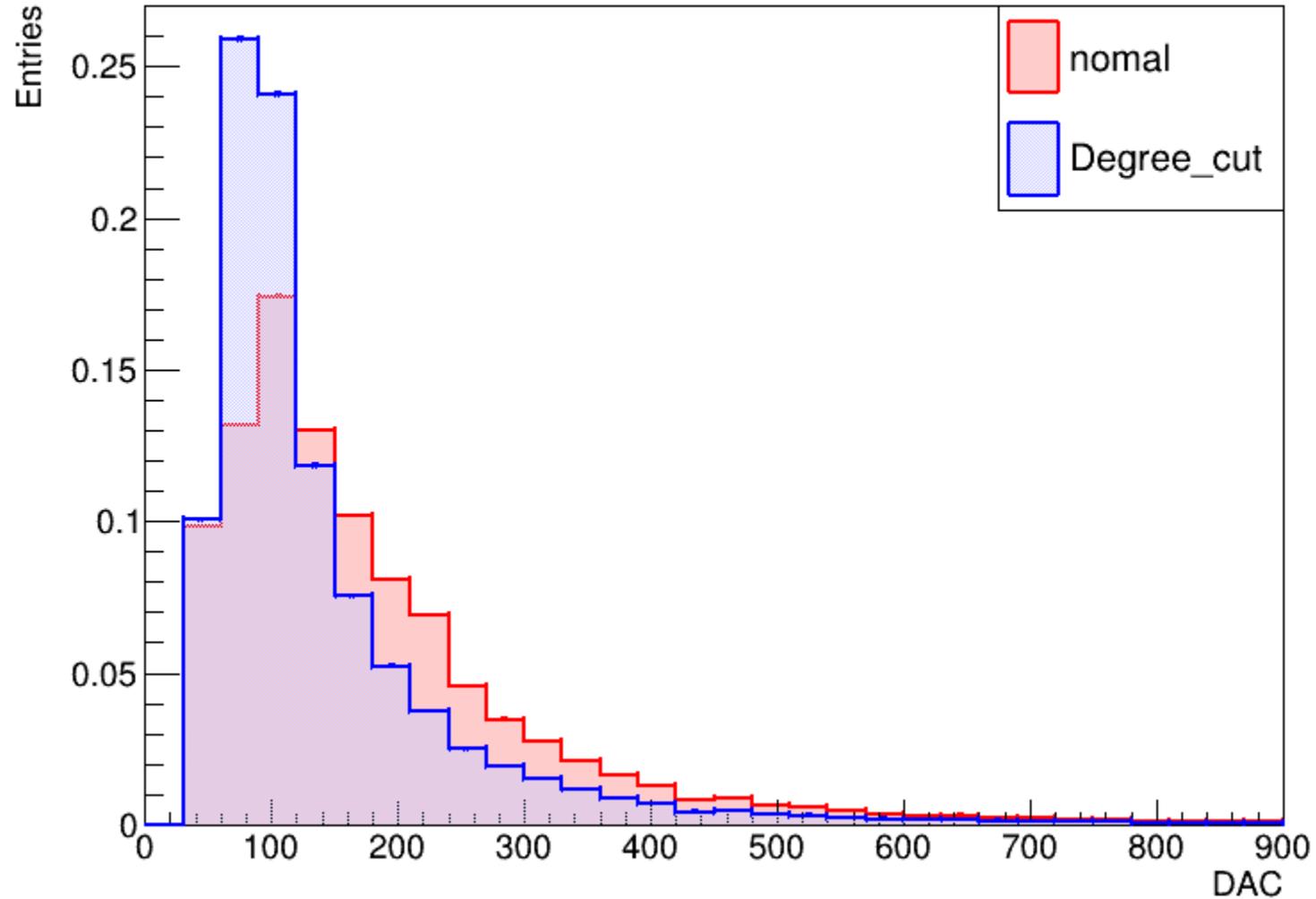
Back up



元のADC分布からの変化

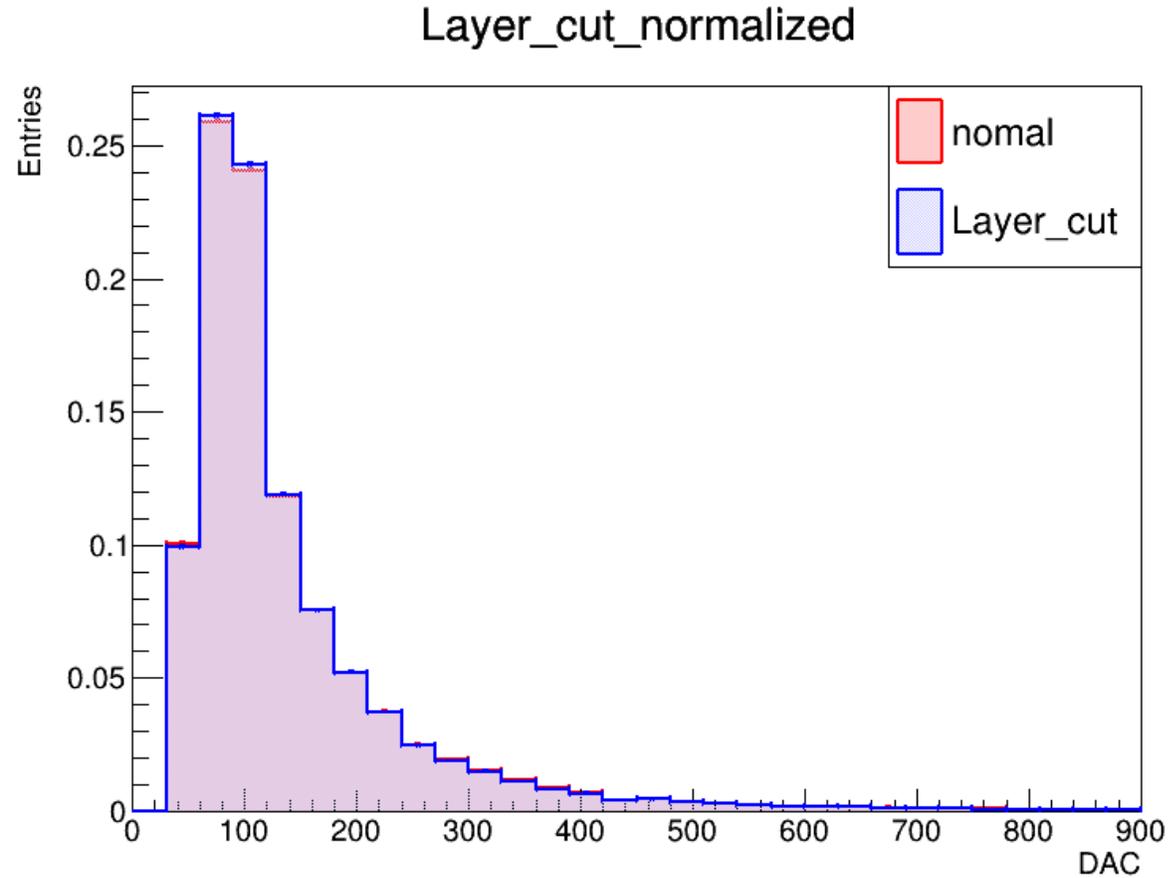
Back up

Degree_cut_normalized

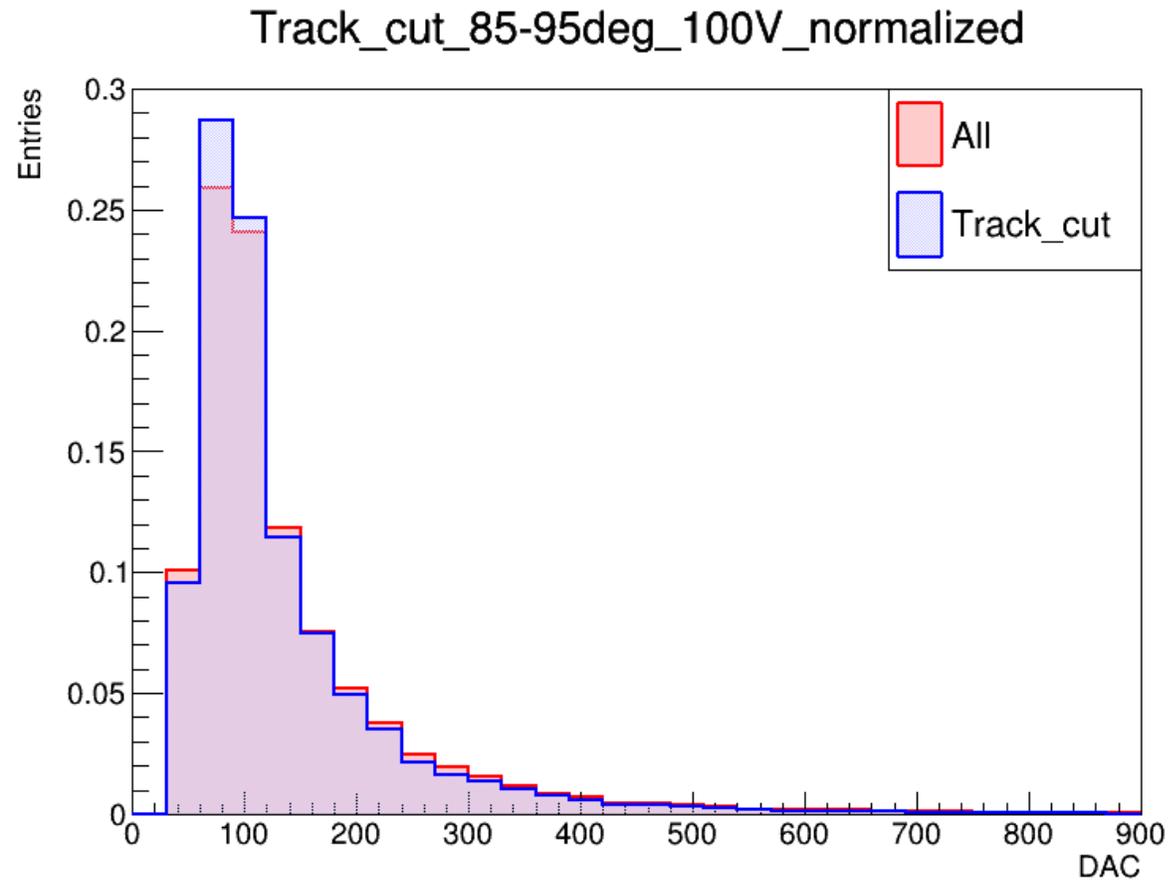


Back up

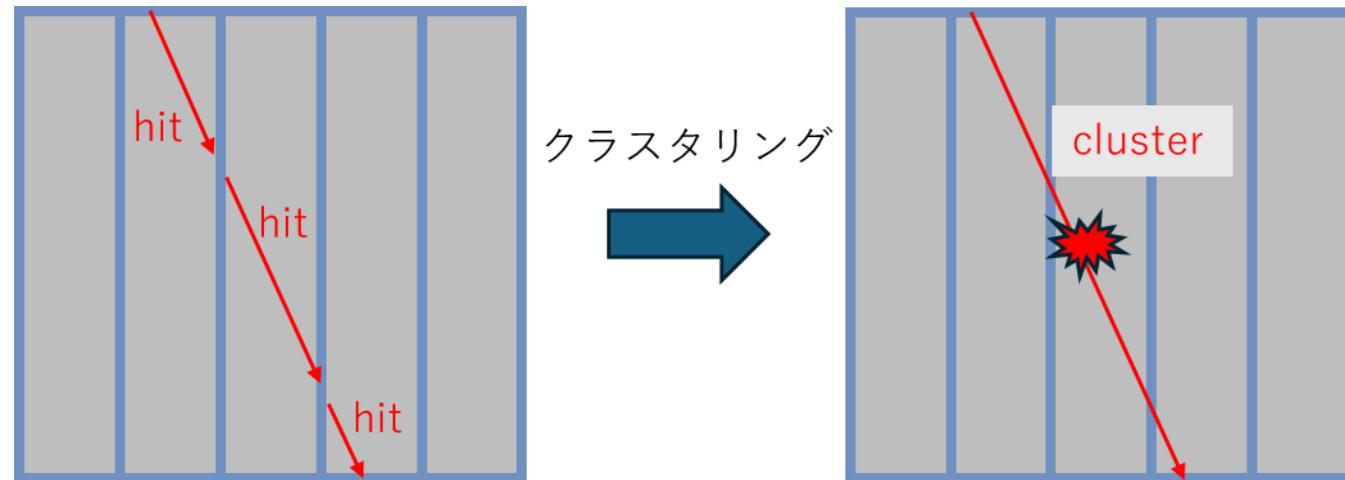
レイヤーによるイベント選定の効果



Back up トラッキング効果



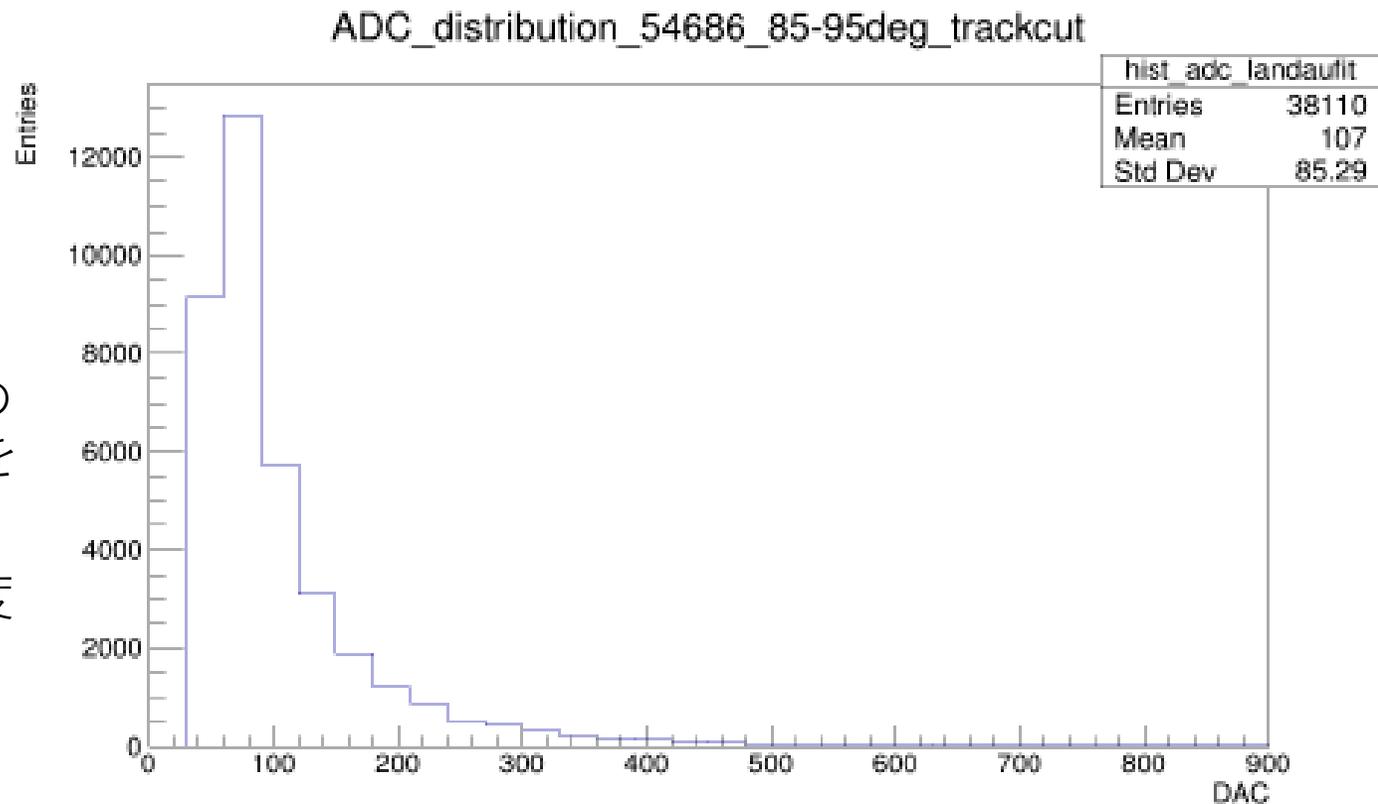
Back up



Back up

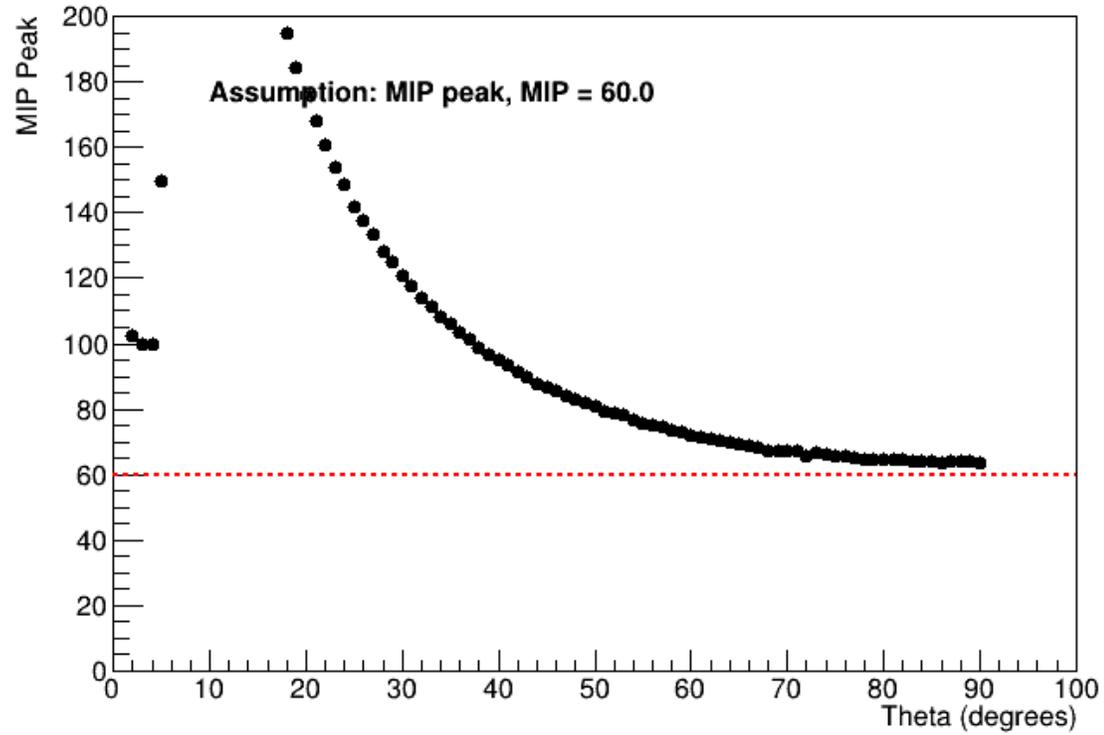
角度 θ の選定による MIP ピークの補完

- 図は Run54686 のバイアス電圧 50 V で測定されたデータから作成した ADC 分布である。
- MIP ピークが DAC60 のあたりに存在するが、ピークの一部が DAC35 の測定の下限を下回っている可能性がある。
- そこで角度 θ の設定によるエネルギー損失の制限を行うことによって、MIP ピーク全域を評価する。
- このためにシミュレーションによって、角度選択による MIP ピークの位置の遷移を確認し、適切な角度の選択を行った。

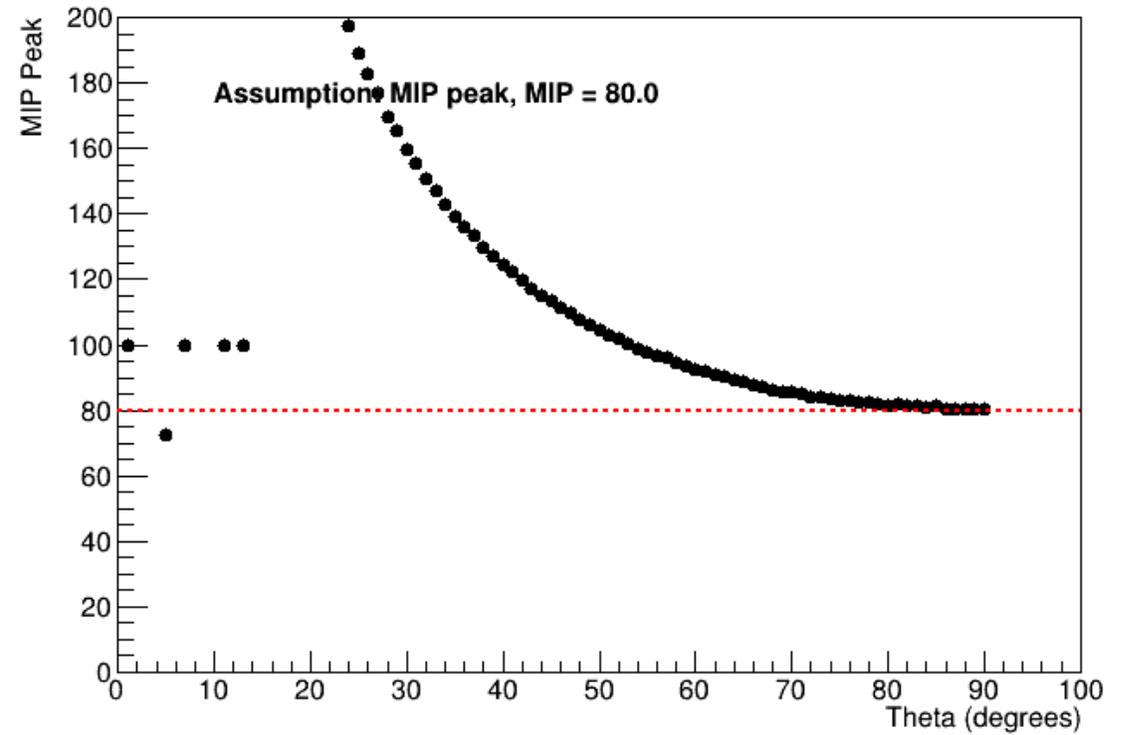


Back up

MIP_transition_test

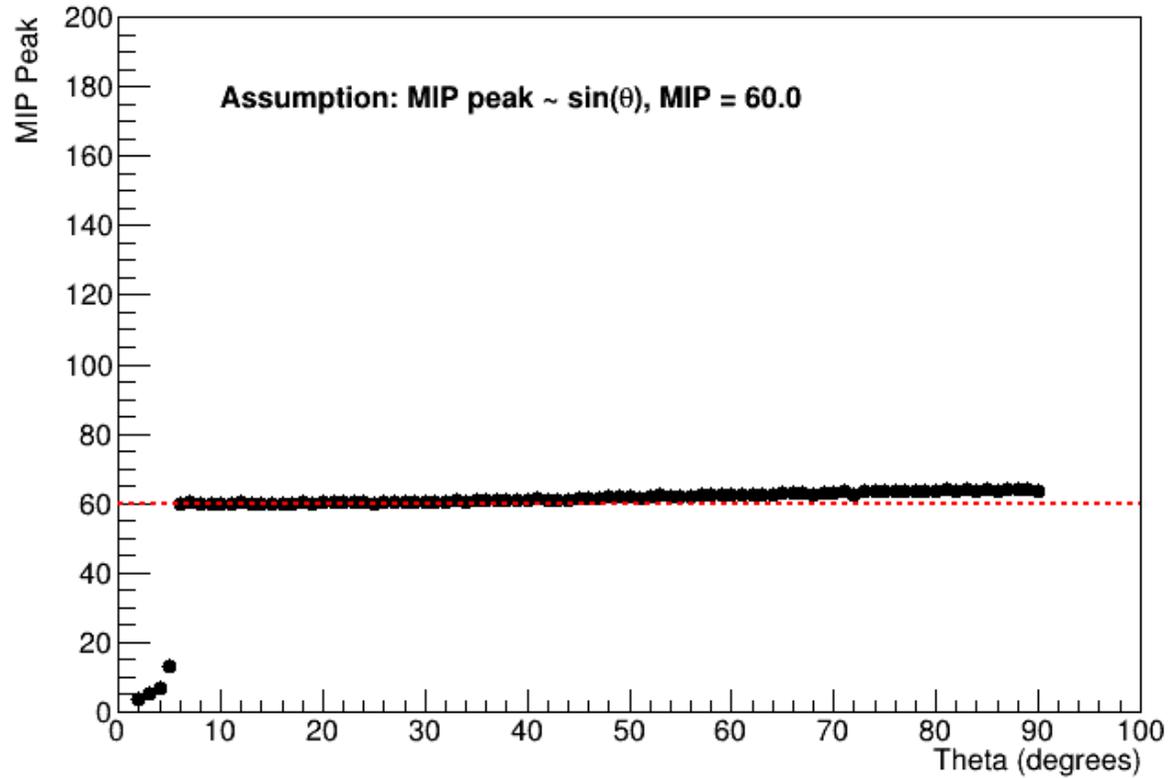


MIP_transition_test

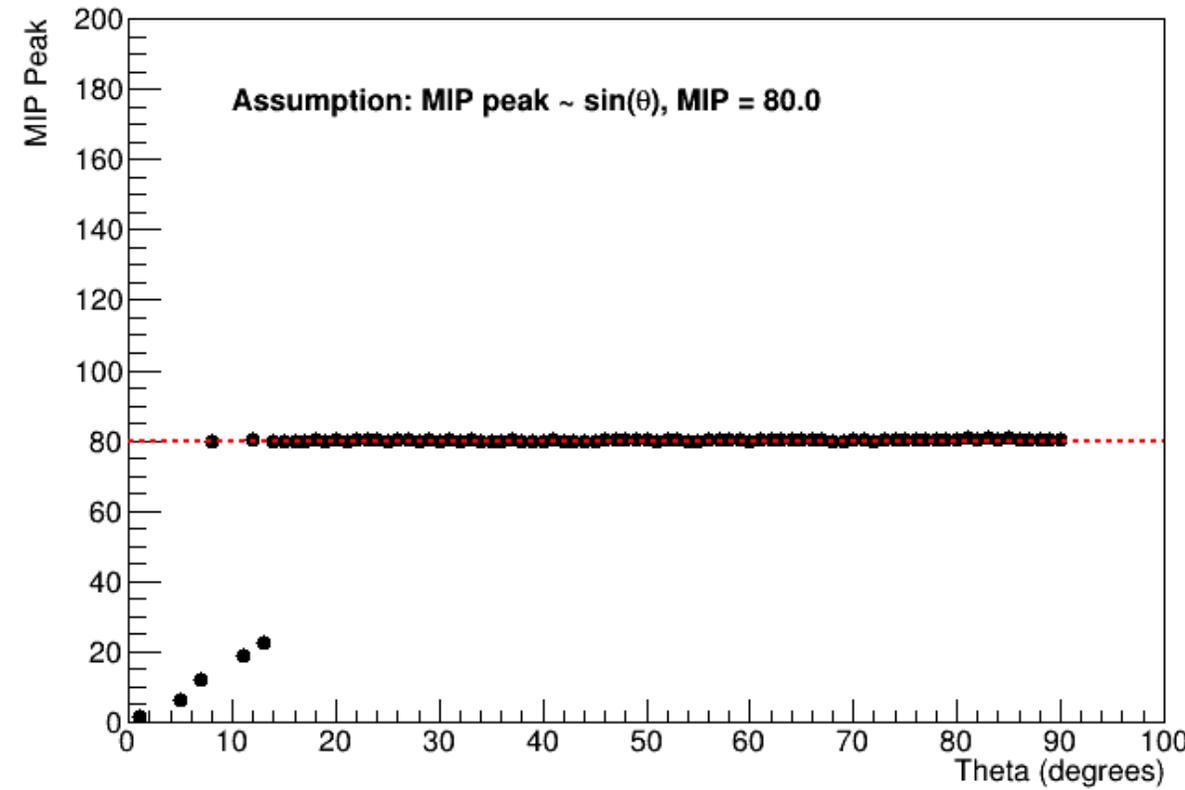


Back up

MIP_transition_sin_test

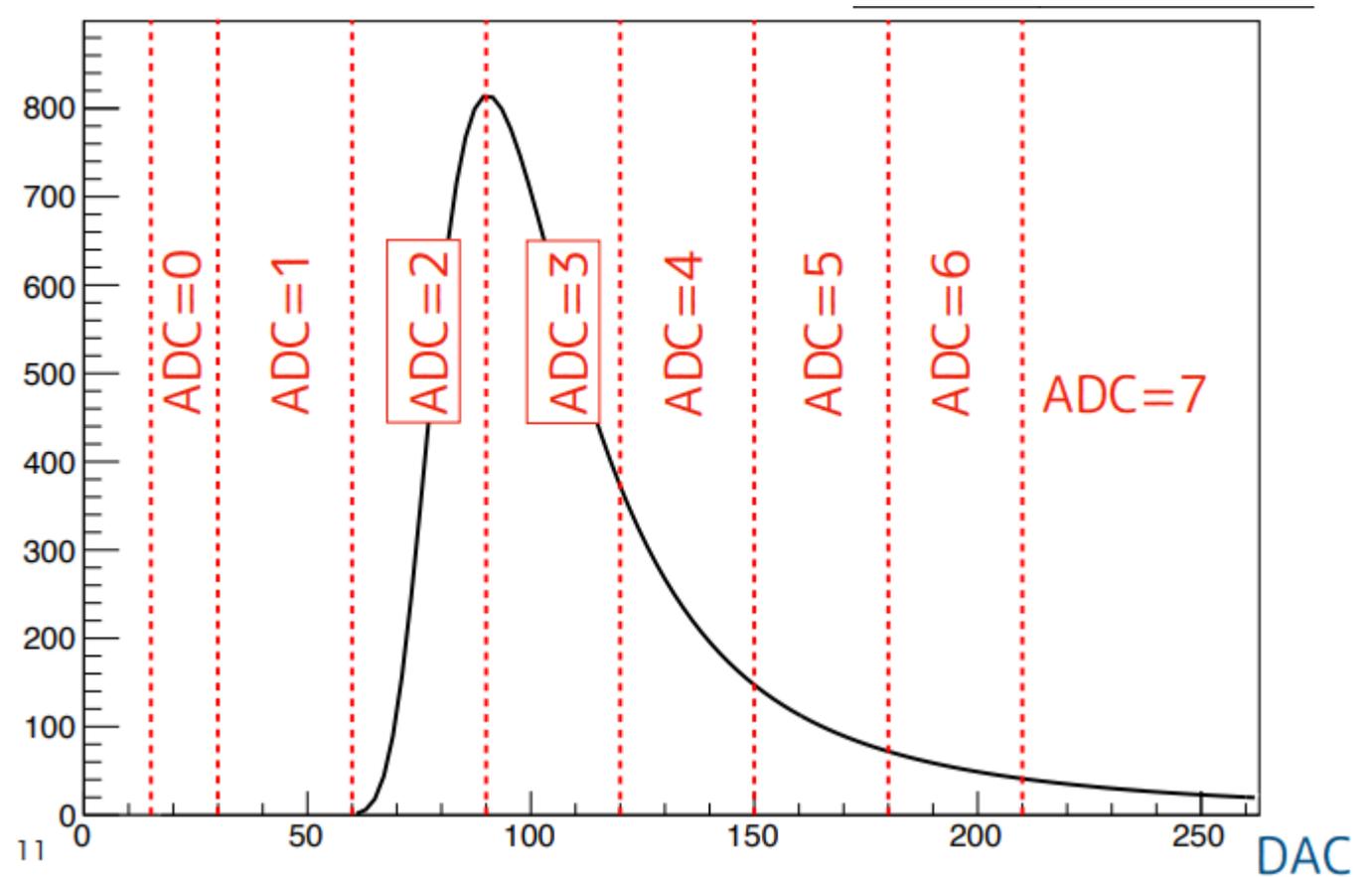


MIP_transition_sin_test



Back up

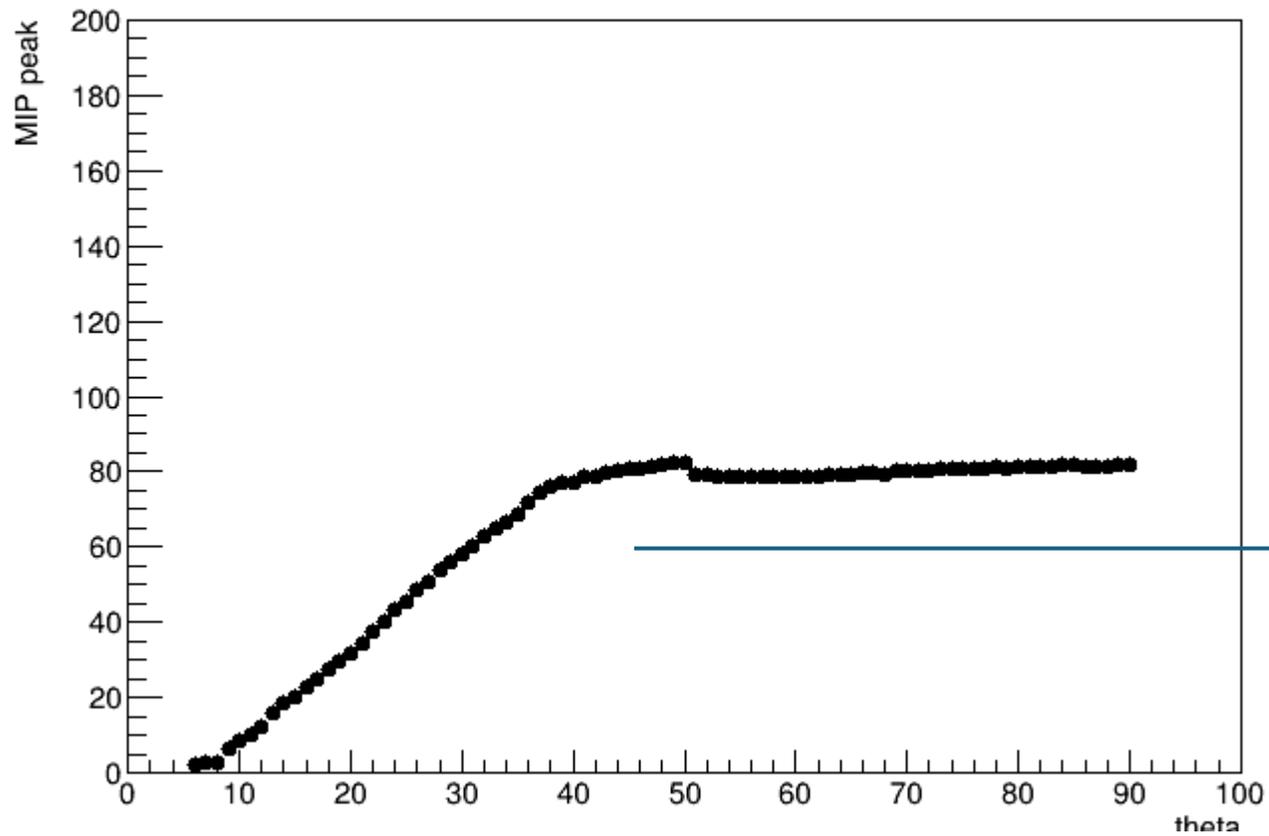
- $V = 4 \times \text{DAC} + 210$



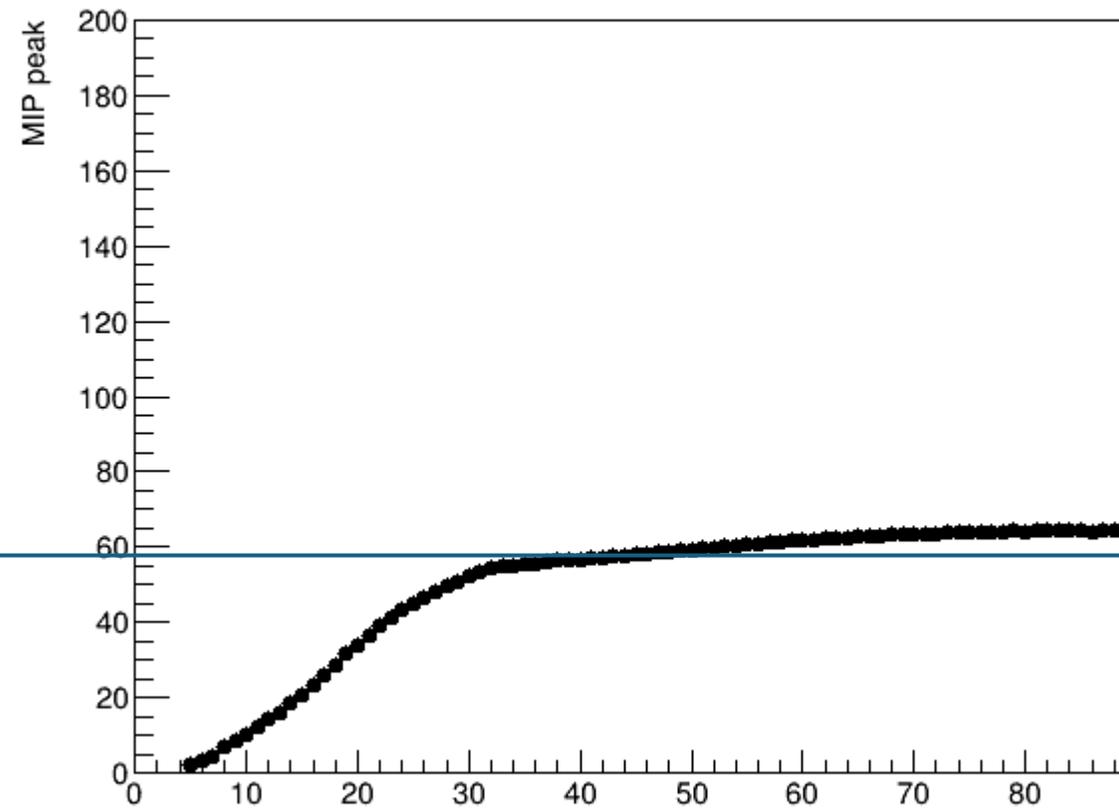
ADC	0	1	2	3	4	5	6	7
DAC	35-45	45-60	60-90	90-120	120-150	150-180	180-210	210-

横σにし
てみたり
なはは

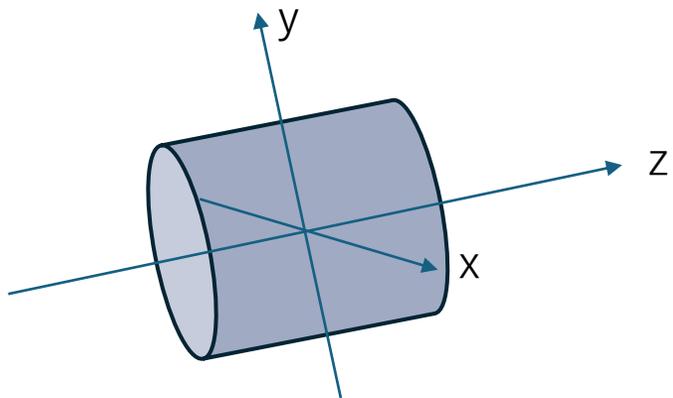
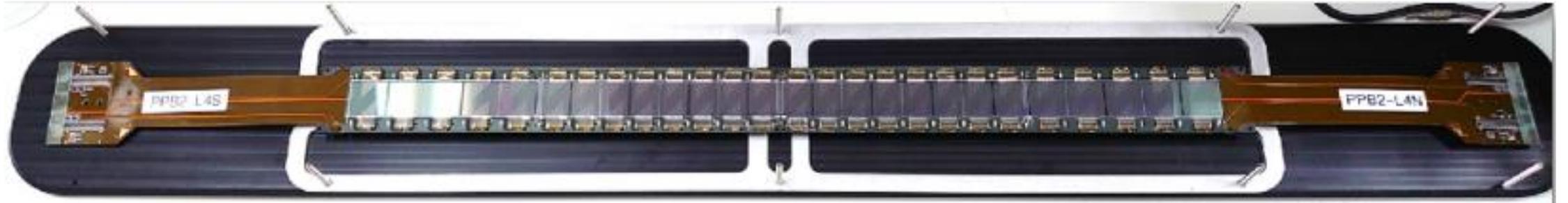
MIP_transition_sin_54688



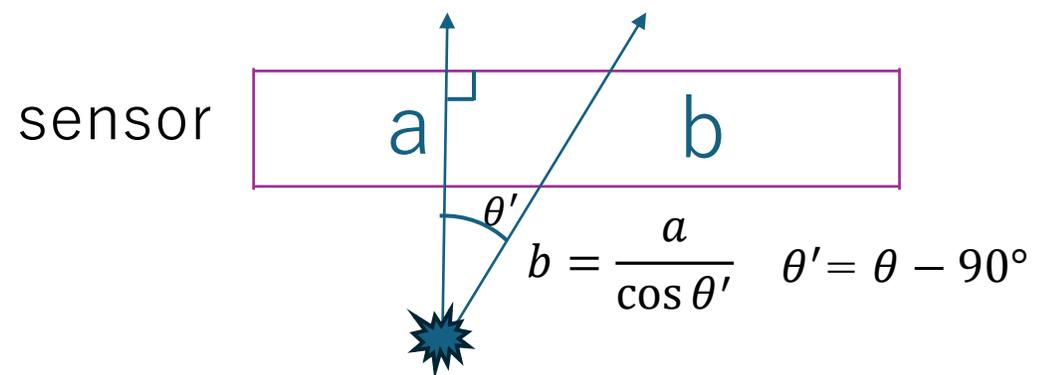
MIP_transition_sin_54679



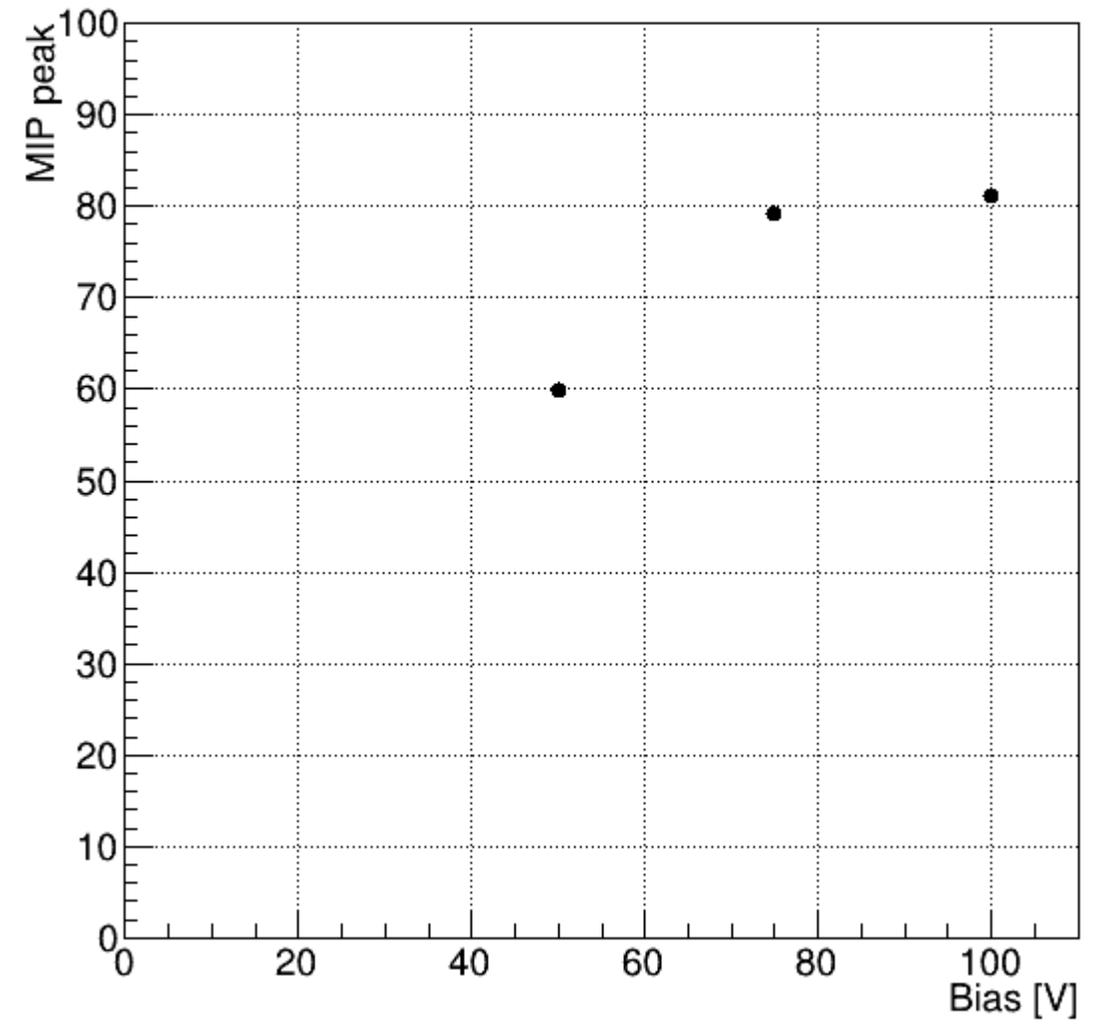
Back up



\vec{z} : ビーム軸方向
 \vec{y} : 鉛直上向き
 $\vec{x} \equiv \vec{y} \times \vec{z}$.
 θ, ϕ : 円柱座標の極角と方位角



MIP peak vs Bias



- 100V: 131.7 ± 0.5
- 75V: 131.0 ± 0.5
- 50V: 107.6 ± 0.5

