

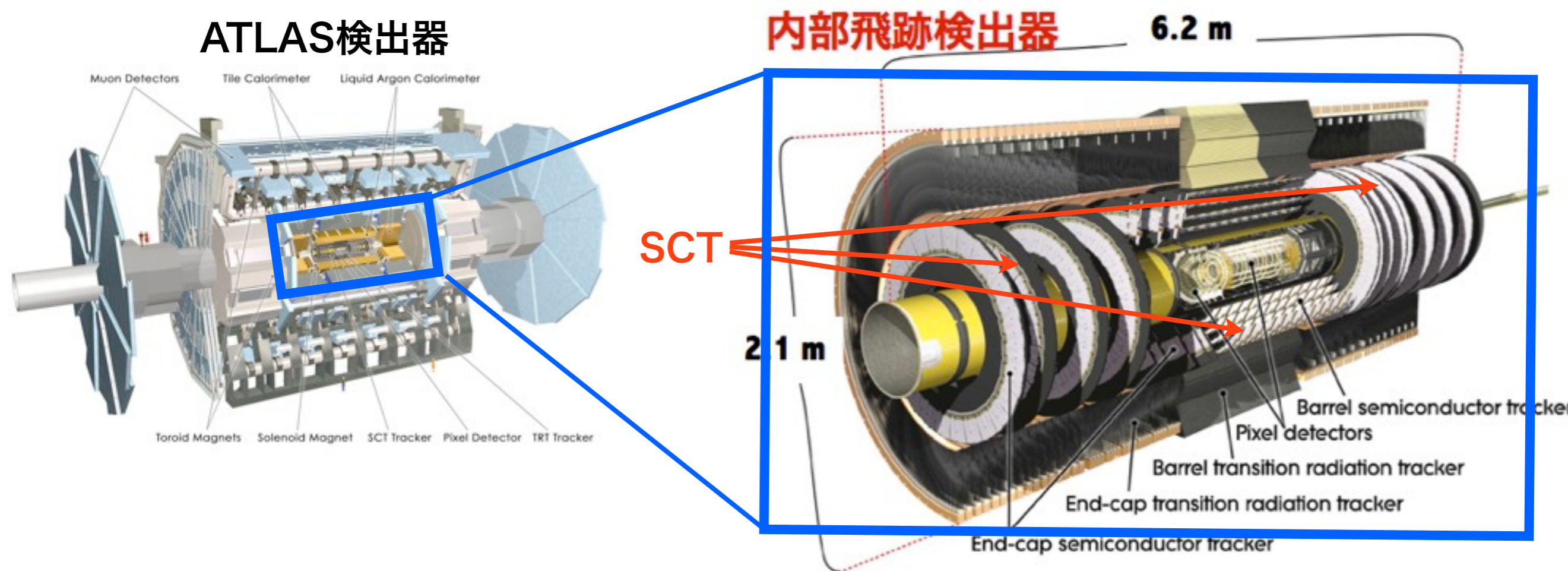
ATLAS実験シリコンストリップ検出器 の性能評価

遠藤理樹、花垣和則、音野瑛俊、岡村航、東城順治^A、織田勸^A、陣内修^B、永井遼^B、池上陽一^C、海野義信^C、近藤敬比古^C、田窪洋介^C、寺田進^C、寄田浩平^D、木村直樹^D、高嶋隆一^E、原和彦^F、永井康一^F、中野逸夫^G、他アトラスSCTグループ

所属：阪大理、九州大^A、東工大^B、KEK^C、早大理工研^D、京都教育大^E、筑波大^F、岡山大^G

Introduction

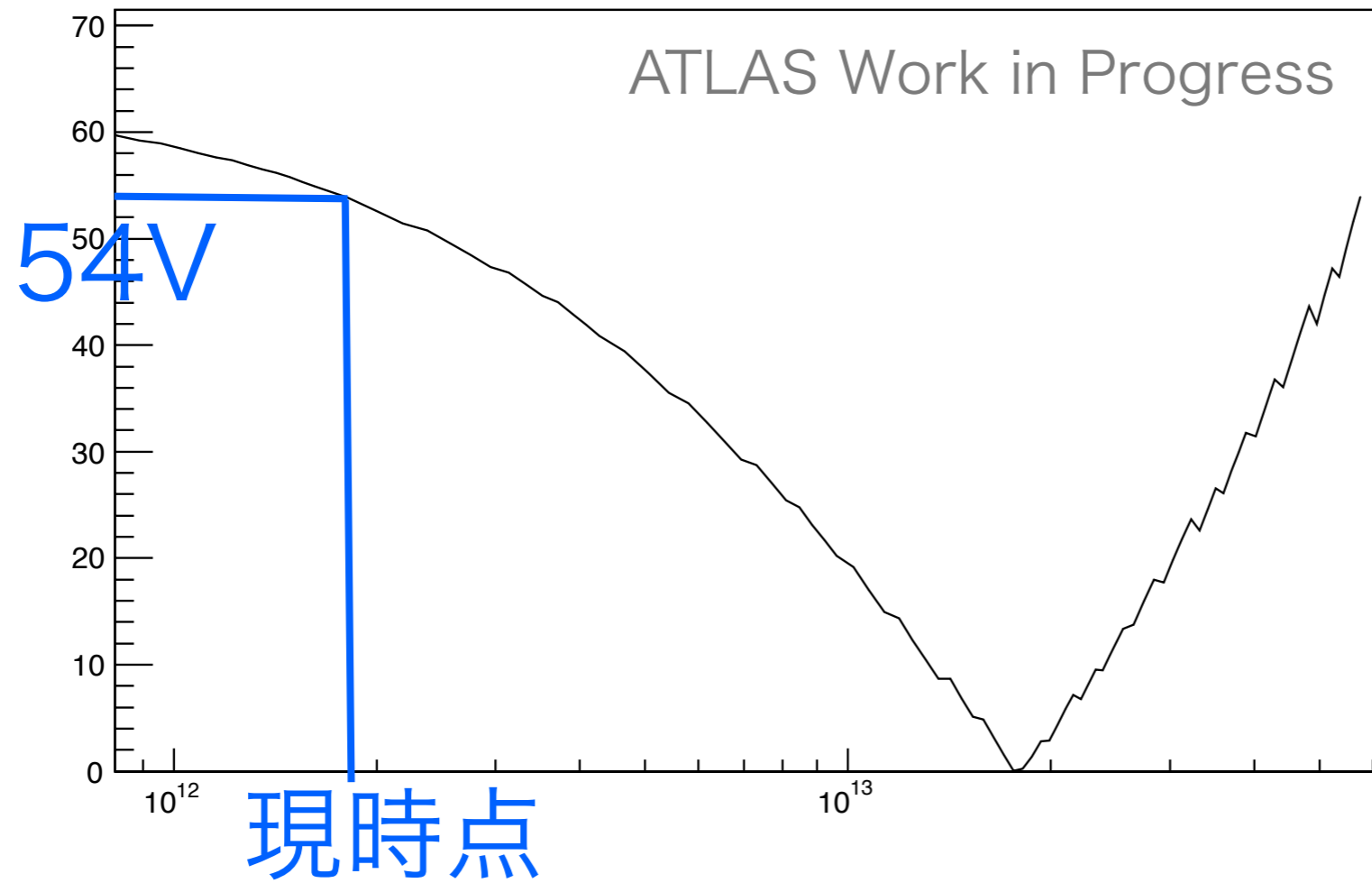
- LHC：陽子陽子衝突型円形加速器
- ATLAS検出器：汎用粒子検出器
- SCT：シリコンストリップ検出器
- **放射線損傷の懸念→パフォーマンスのモニタリング必須**



放射線損傷

- 放射線の照射量に依存して空乏化電圧が変化
 - **空乏化電圧を測定できれば放射線損傷をモニター可能**

空乏化電圧[V]



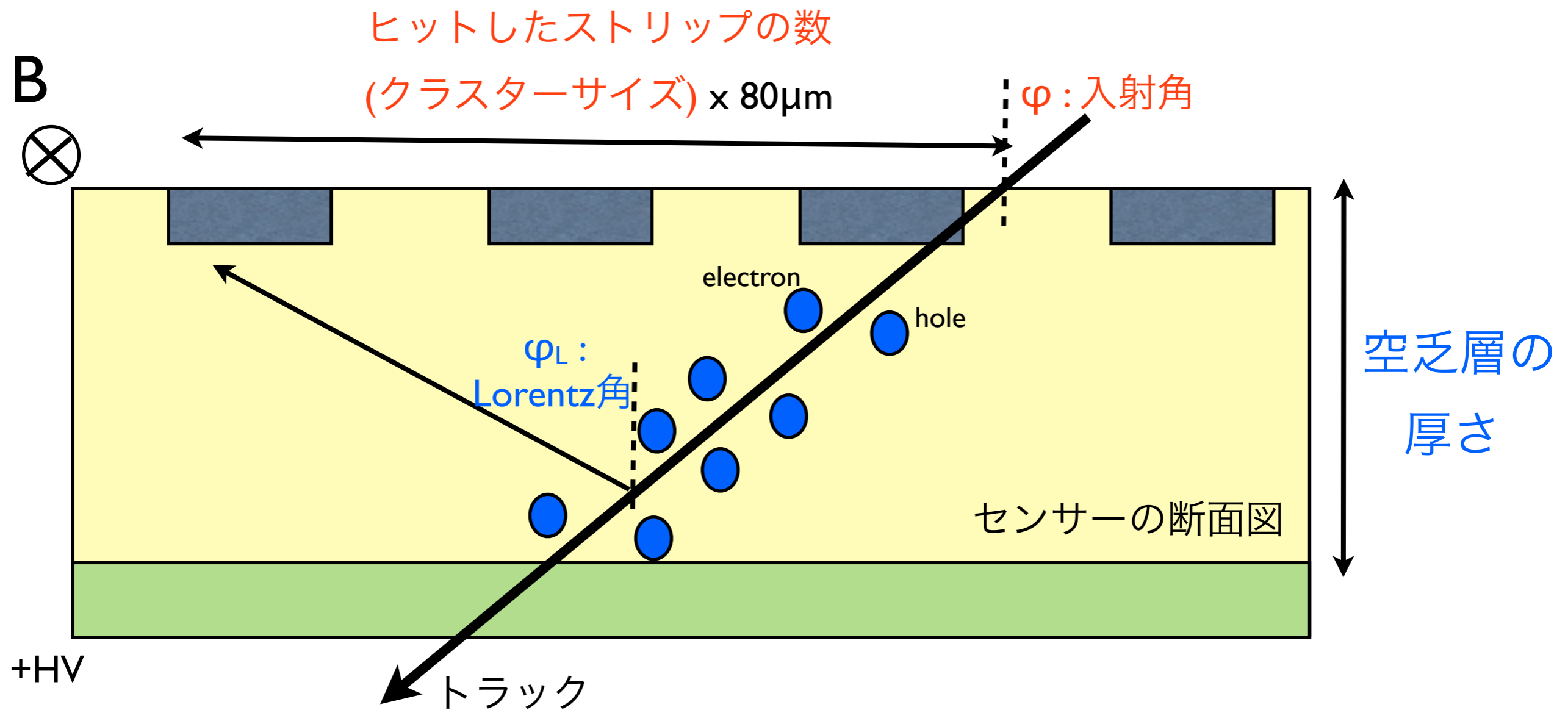
1 MeV equivalent neutron fluence[cm⁻²]

- 初期値：65V
- Hamburg modelによる計算
- fluence : Delivered luminosityとFLUKAを使用

本研究の目的

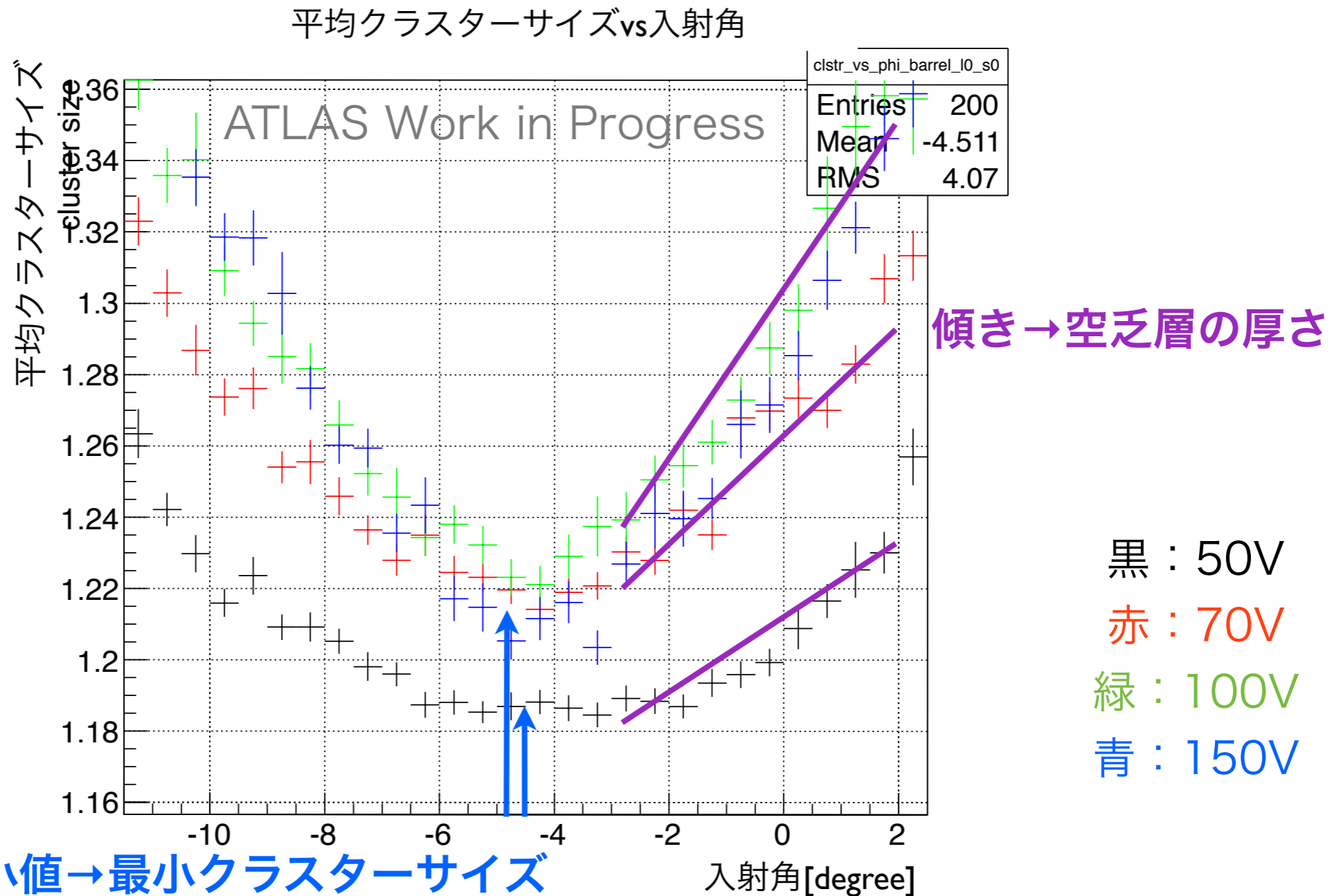
- 通常の物理ランはHV一定→空乏化電圧の測定不可
 - 空乏層の厚さの測定により空乏化の程度の見積り可能
- HVスキャンデータ(2013年1月取得, 陽子鉛ラン)
 - 通常の150Vに加えて50~130V(10Vステップ)でデータ取得
- このHVスキャンデータを解析
 - **通常の物理ランでも空乏層の厚さを見積る方法・判断基準の開発**
 - **空乏化の程度の見積もりができるパラメータの探索**

空乏層の厚さ測定(簡易モデル)



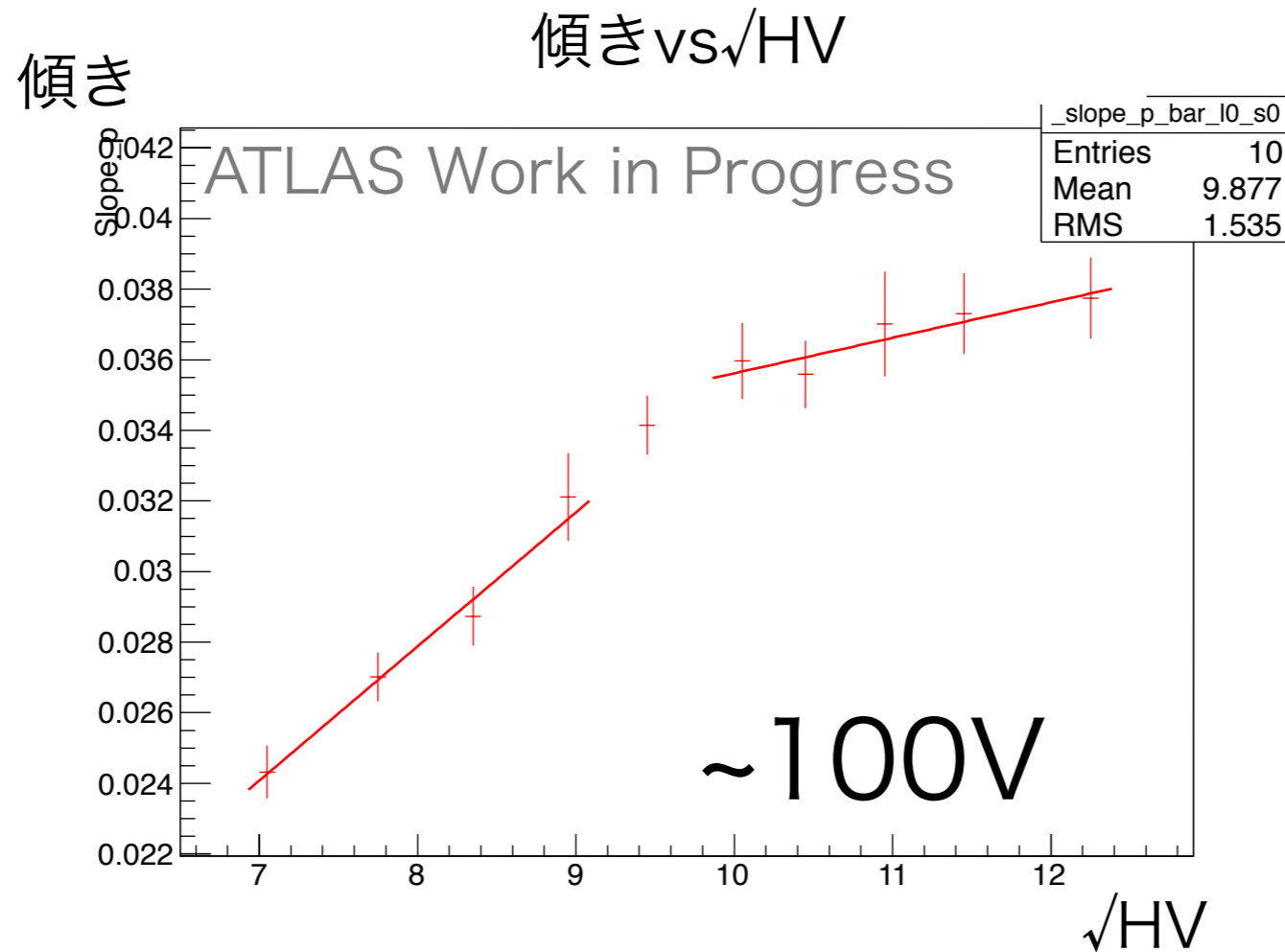
- クラスターサイズ \propto 空乏層の厚さ $\times (\tan(\phi) - \tan(\phi_L))$

平均クラスターサイズvs入射角



- クラスターサイズ \propto 空乏層の厚さ $\times (\tan(\phi) - \tan(\phi_L))$
- 傾きが空乏層の厚さを意味=HV依存性を持つ
- HV依存性が確かに存在

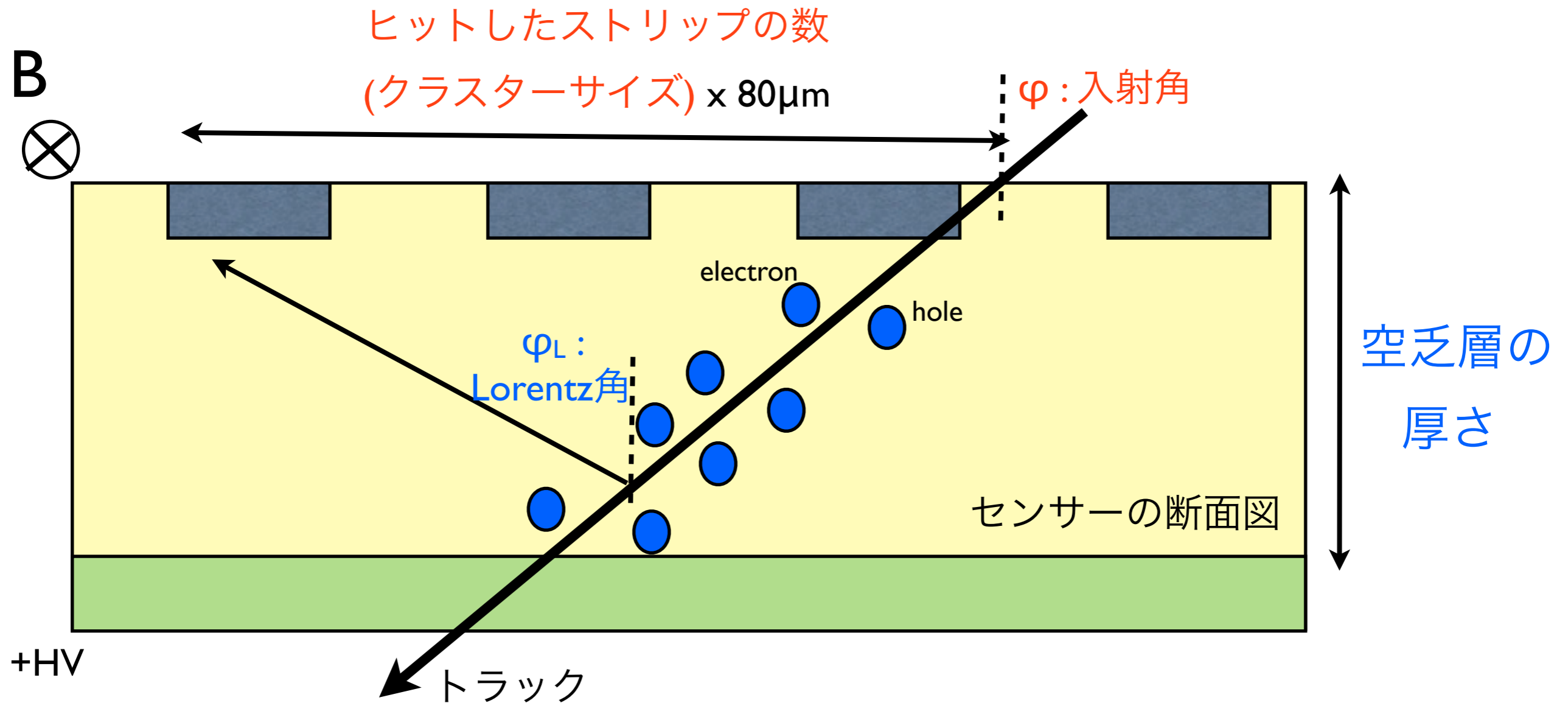
空乏化電圧



- 空乏層の厚さはHVの平方根に比例
- 予想値(54V)とは大きく異なる
- 上手く見えず→他の手法を模索

$$d = \sqrt{2\epsilon V / q N_{eff}}$$

空乏層の厚さ測定



$$f(\phi) = (a|\tan \phi - \tan \phi_L| + b) \otimes \text{Gaussian}(\phi) = \int_{-\infty}^{+\infty} (a|\tan \phi' - \tan \phi_L| + b) \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(\phi - \phi')^2}{2\sigma^2}\right) d\phi'$$

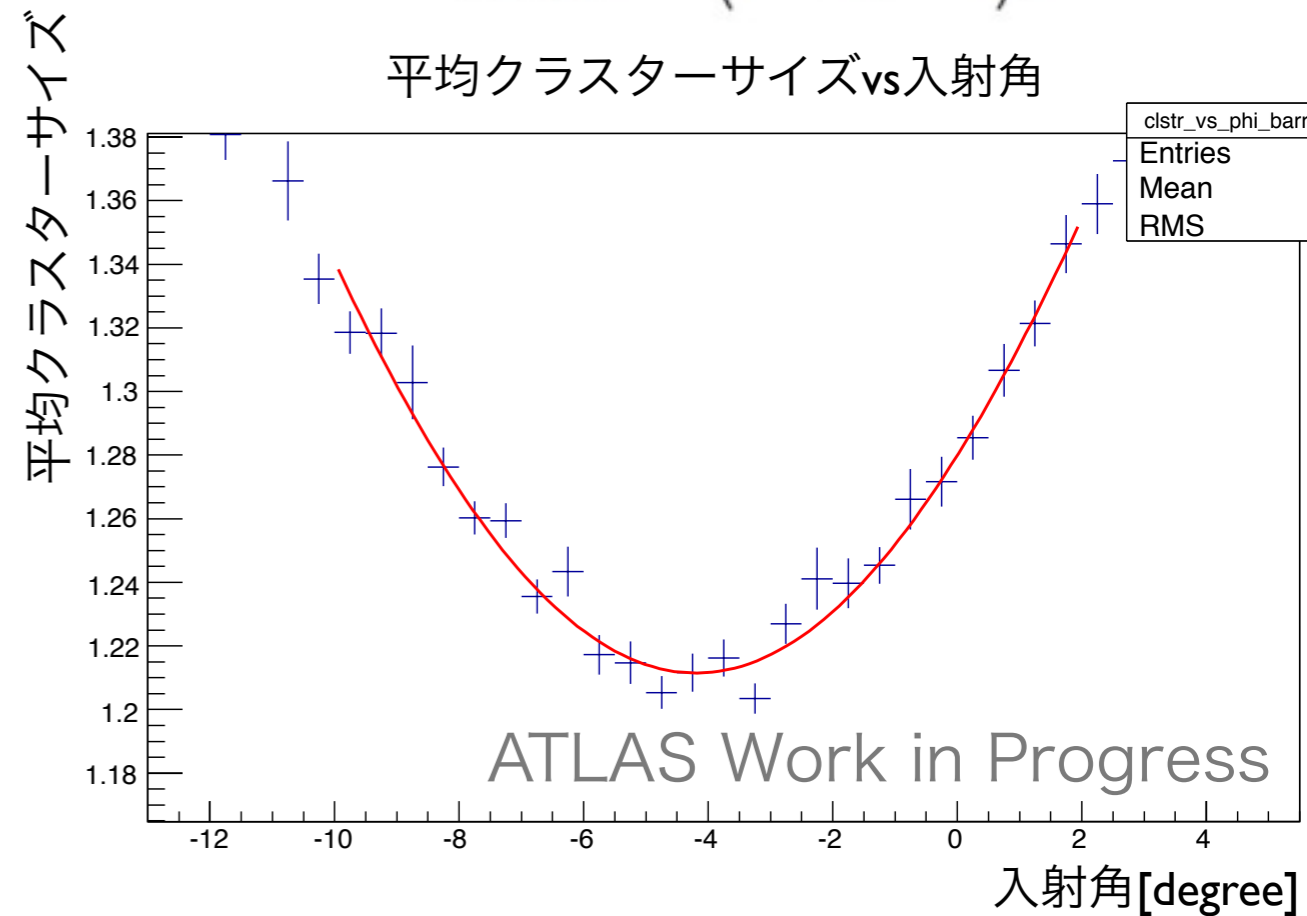
- a : 空乏層の厚さ, b : 最小クラスターサイズ, ϕ_L : Lorentz角, σ : diffusion, 測定のぶれ, etc...

空乏層の厚さの測定手法

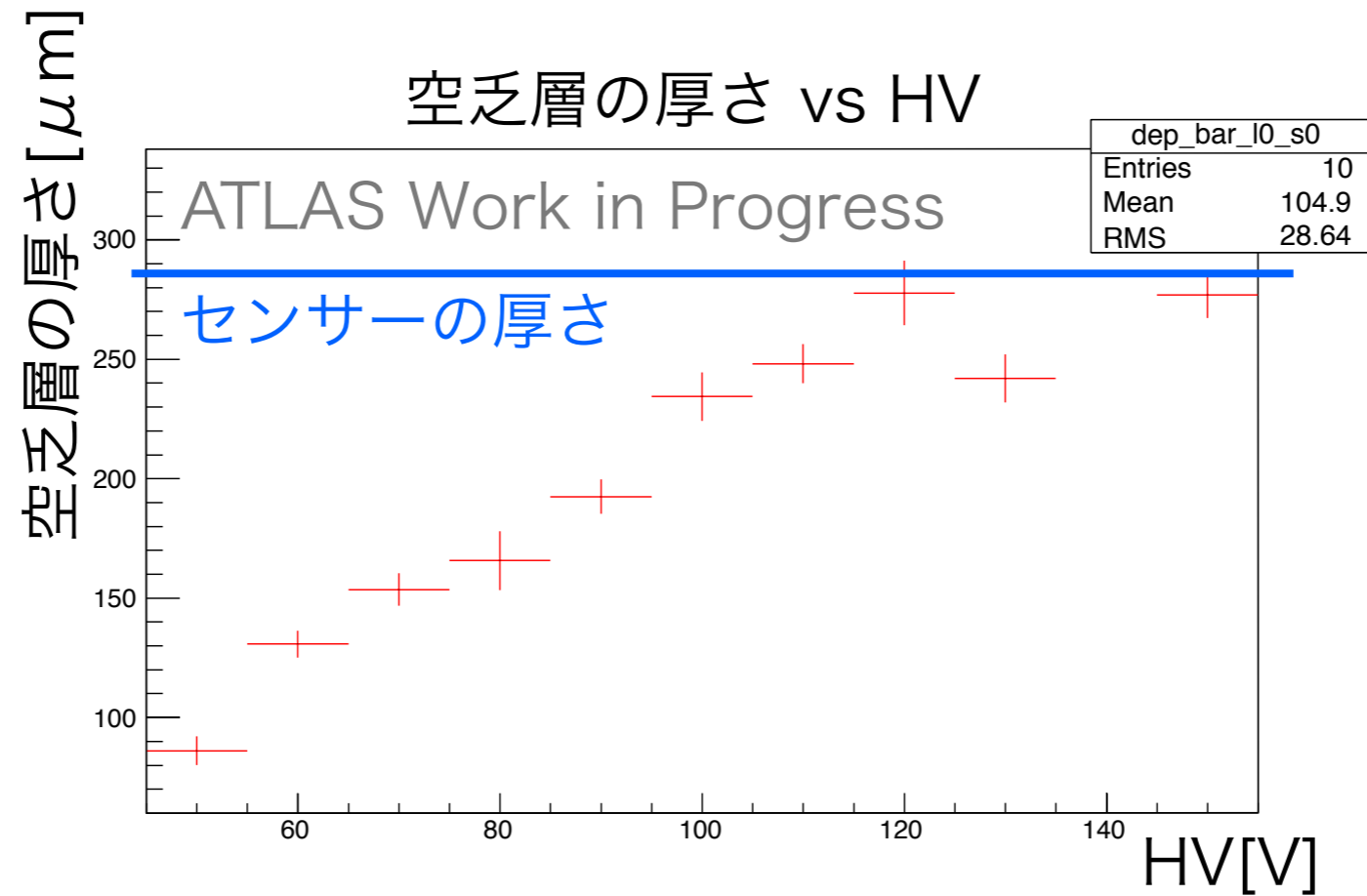
$$f(\phi) = (a|\tan \phi - \tan \phi_L| + b) \otimes \text{Gaussian}(\phi) = \int_{-\infty}^{+\infty} (a|\tan \phi' - \tan \phi_L| + b) \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(\phi - \phi')^2}{2\sigma^2}\right) d\phi'$$

- a : float
- ϕ_L : fixed, 放物線fitで見積もり
- b : fixed, 放物線Fitで見積もり
- σ : fixed, 150Vの他のランをfitして見積もり

150V…通常の物理ラン
でセンサーにかけるHV



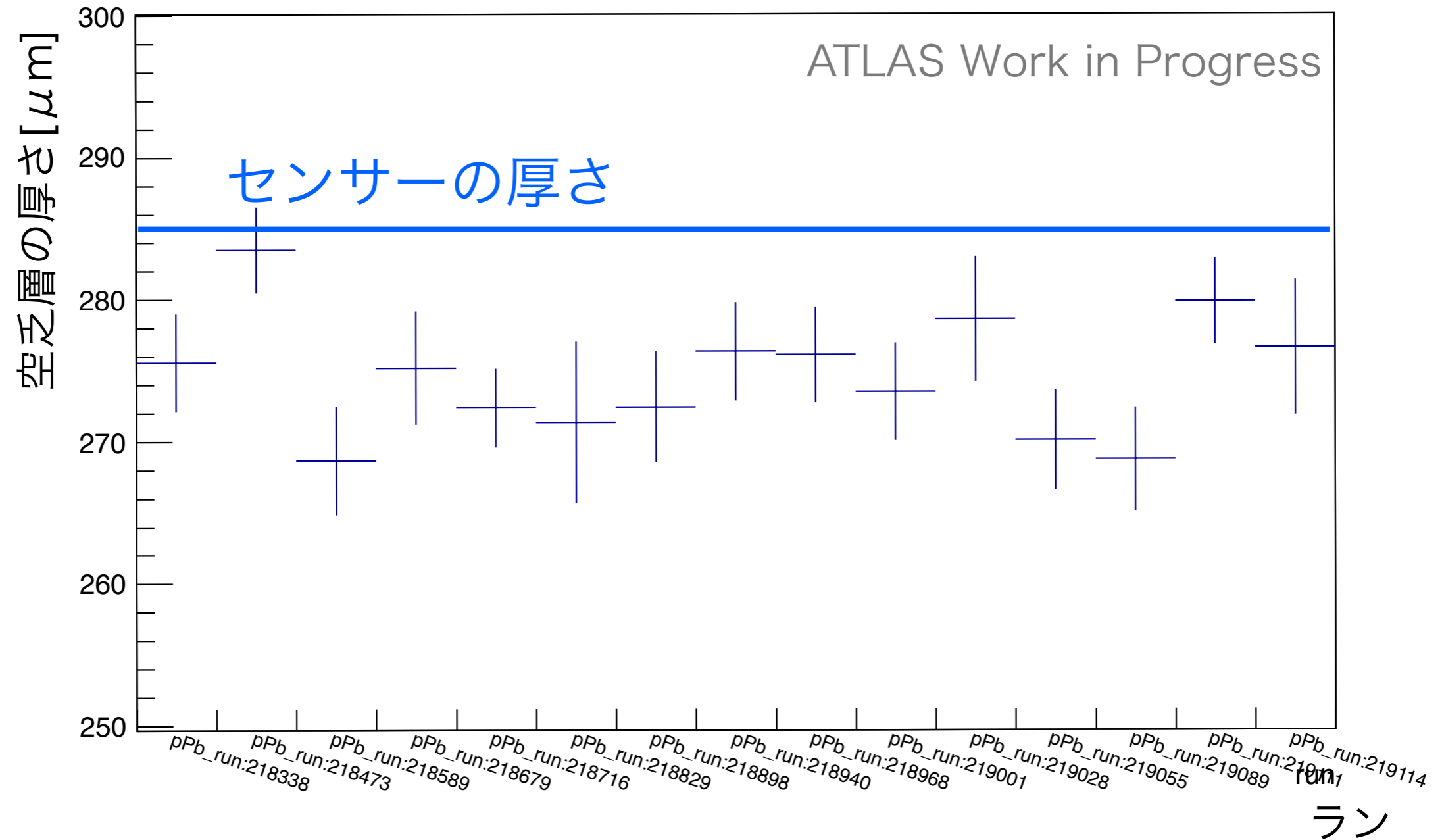
空乏層の厚さ vs HV



- 空乏層は120V以降で全空乏化しているように見える
- 予想値(54V)とは異なるが明確なHV依存性と全空乏化の様子は見て取れる

空乏層の厚さの安定性

空乏層の厚さvsラン

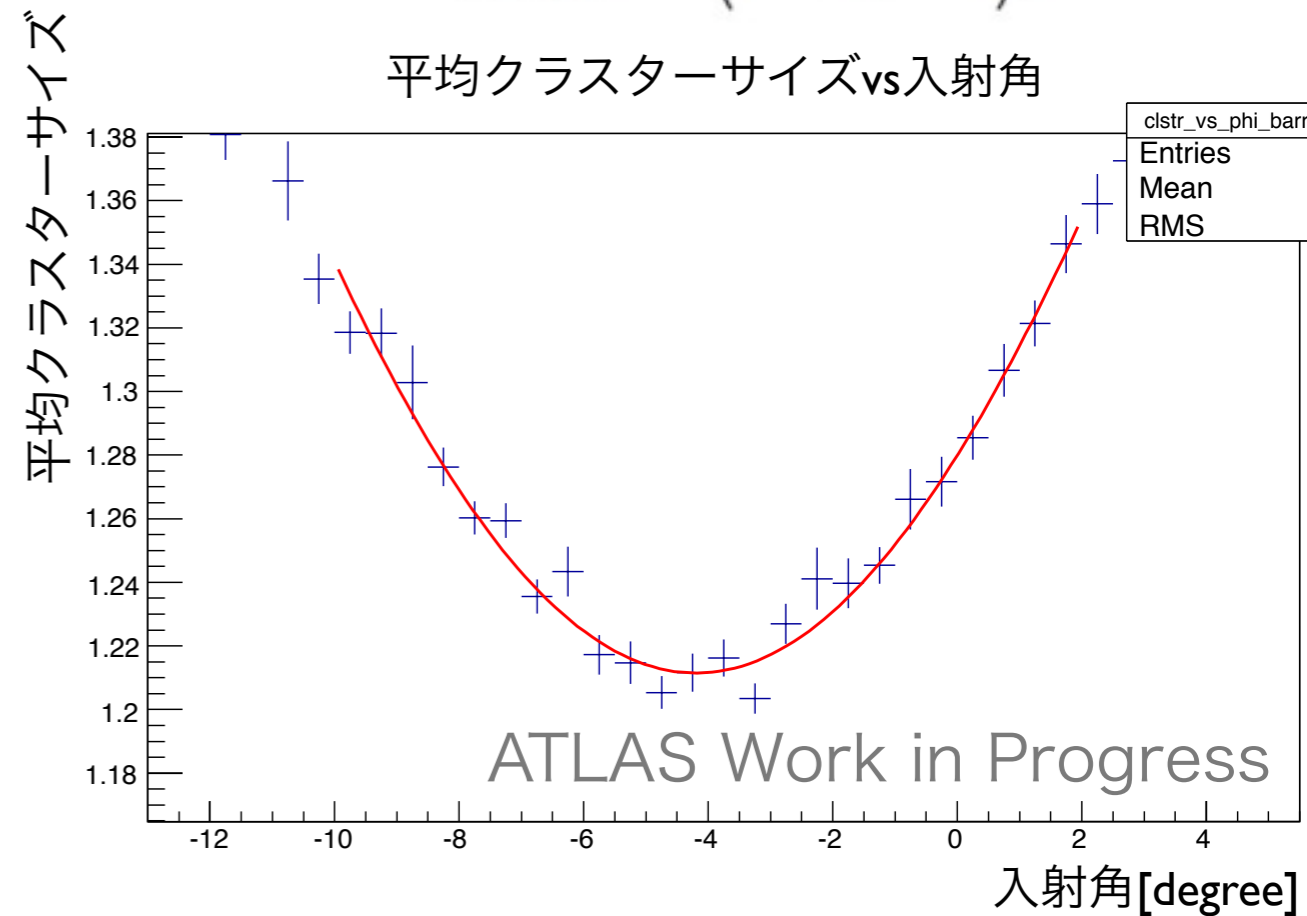


- 各ラン毎で安定

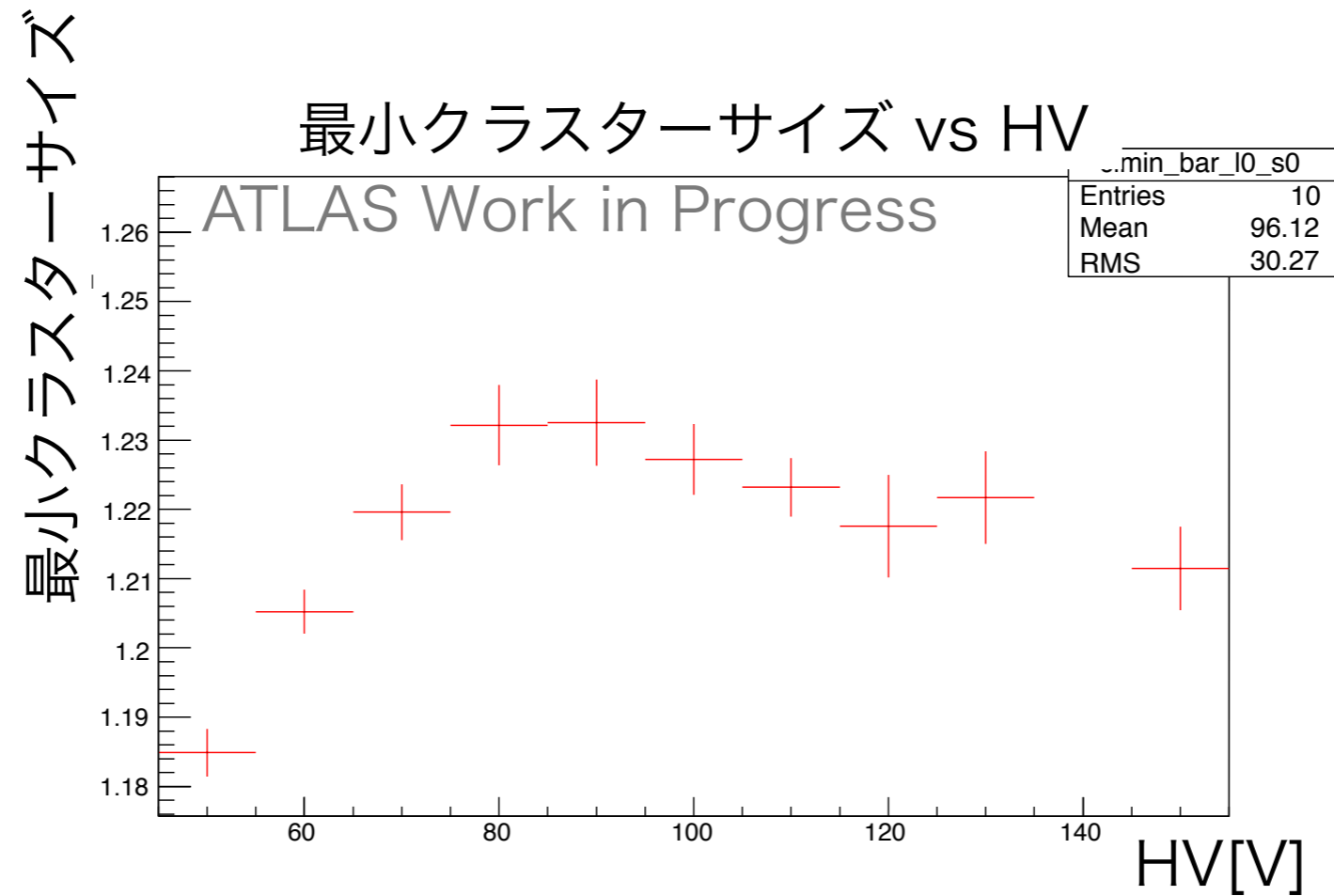
最小クラスターサイズの測定手法

$$f(\phi) = (a|\tan \phi - \tan \phi_L| + b) \otimes \text{Gaussian}(\phi) = \int_{-\infty}^{+\infty} (a|\tan \phi' - \tan \phi_L| + b) \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(\phi - \phi')^2}{2\sigma^2}\right) d\phi'$$

- a : float
- ϕ_L : fixed, 放物線fitで見積もり
- b : fixed, 放物線Fitで見積もり
- σ : fixed, 150Vの他のランをfitして見積もり
- Fit結果を式に代入して極小値を求める



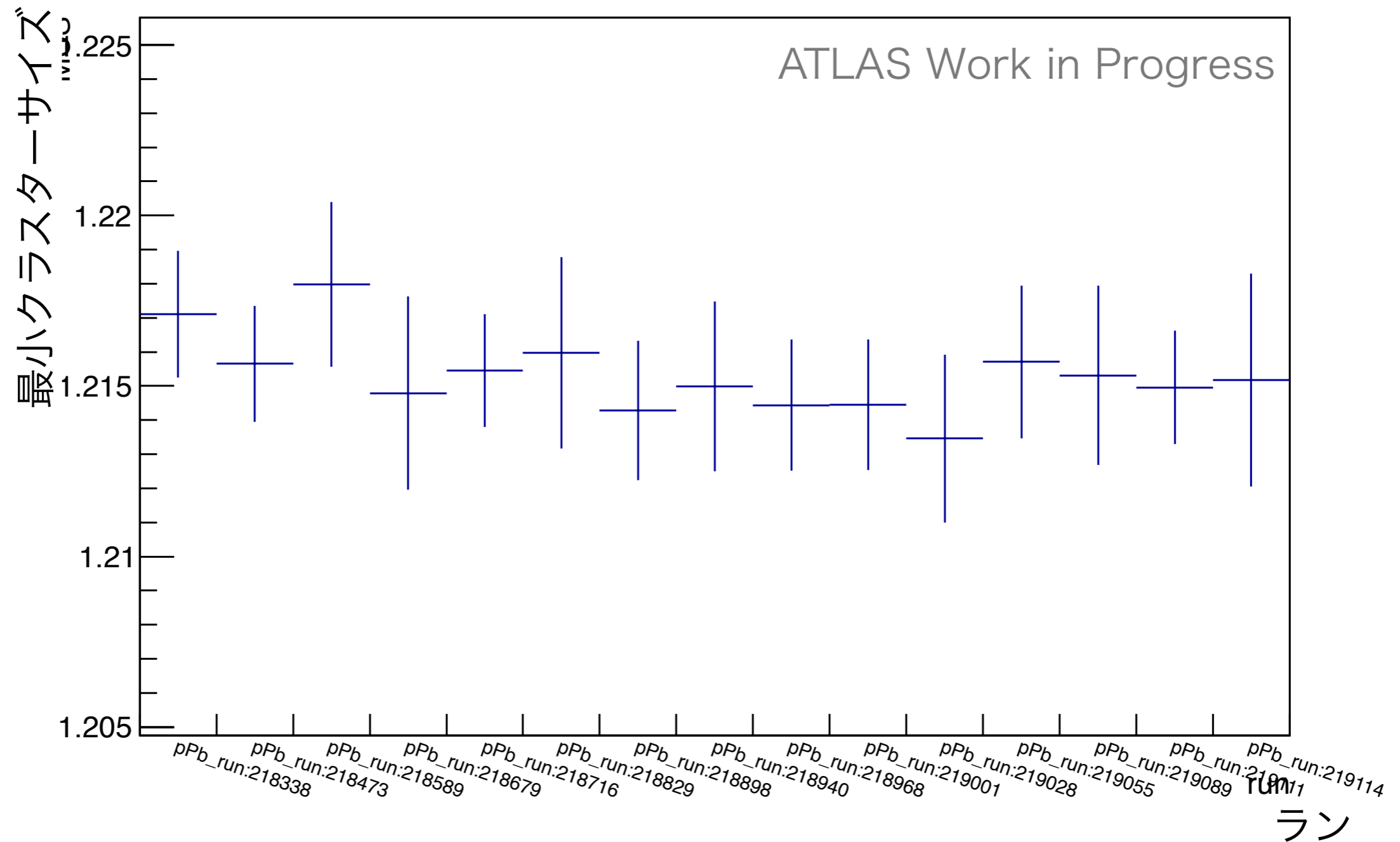
最小クラスターサイズ vs HV



- 80Vで全空乏化しているように見える
- 予想値(54V)とは異なるが明確なHV依存性と全空乏化の様子は見て取れる

最小クラスターサイズの安定性

最小クラスターサイズvsラン



- 各ラン毎で安定

結論

- 空乏層の厚さ・最小クラスターサイズを評価
 - 空乏化電圧は予想値と異なるが明確なHV依存性・全空乏化を確認
 - 他のラン毎の数値も安定
 - **空乏層の厚さ・最小クラスターサイズで通常の物理ランの空乏化の程度のモニタリング可能**

backup

Hamburg model [1]

$$\Delta N_{eff}(\Phi, t) = N_C(\Phi) + N_a(\Phi, t, T) + N_Y(\Phi, t, T)$$

Donor removal & Stable acceptor	$N_C(\Phi) = N_{C0}(1 - e^{-c\Phi}) - g_C\Phi$	
Unstable acceptor	$N_a(\Phi, t, T) = -g_a\Phi \exp(-\Theta(T)_a t / \tau_a)$, $\Theta(T)_a = \exp\left(\frac{E_a}{k_B} [1/T_R - 1/T]\right)$	
Reverse annealing	$N_Y(\Phi, t, T) = -g_y\Phi(1 - 1/(1 + \Theta(T)_y t / \tau_y))$, $\Theta(T)_y = \exp\left(\frac{E_y}{k_B} [1/T_R - 1/T]\right)$	
Parameters	<p>Standard Silicon</p> $N_{C0} = 0.70 \times N_{eff,0}$ $c = 0.075 \text{ cm}^{-1} / N_{C0}$ $g_a = 0.018 \text{ cm}^{-1}$ $\tau_a = 2.29 \text{ days (20}^\circ\text{C} \equiv T_R)$ $E_a = 1.09 \text{ eV}$ $g_C = 0.017 \text{ cm}^{-1}$ $g_y = 0.059 \text{ cm}^{-1}$ $\tau_y = 480 \text{ days (20}^\circ\text{C)}$ $E_y = 1.33 \text{ eV}$ $N_{eff,0} = 1.026 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$	<p>Oxygenated Silicon</p> $N_{C0} = 0.45 \times N_{eff,0}$ $c = 0.075 \text{ cm}^{-1} / N_{C0}$ (??) $g_a = 0.014 \text{ cm}^{-1}$ $\tau_a = 2.917 \text{ days (20}^\circ\text{C} \equiv T_R)$ $E_a = 1.09 \text{ eV}$ $g_C = 0.020 \text{ cm}^{-1}$ $g_y = 0.048 \text{ cm}^{-1}$ $\tau_y = 800 \text{ days (20}^\circ\text{C)}$ $E_y = 1.33 \text{ eV}$ $N_{eff,0} = 1.026 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$

[1] G. Lindstrom et al., NIM A 466(2001) 308-326

M. Moll, Radiation Damage in Silicon Particle Detectors, Dissertation, Hamburg 1999. 11

2012.11.8

$$V_D = \frac{ed^2 |N_{eff}|}{2\epsilon'\epsilon_0}, \quad d = 285 \mu\text{m}$$

近藤氏のスライド

各パラメータのHV依存性

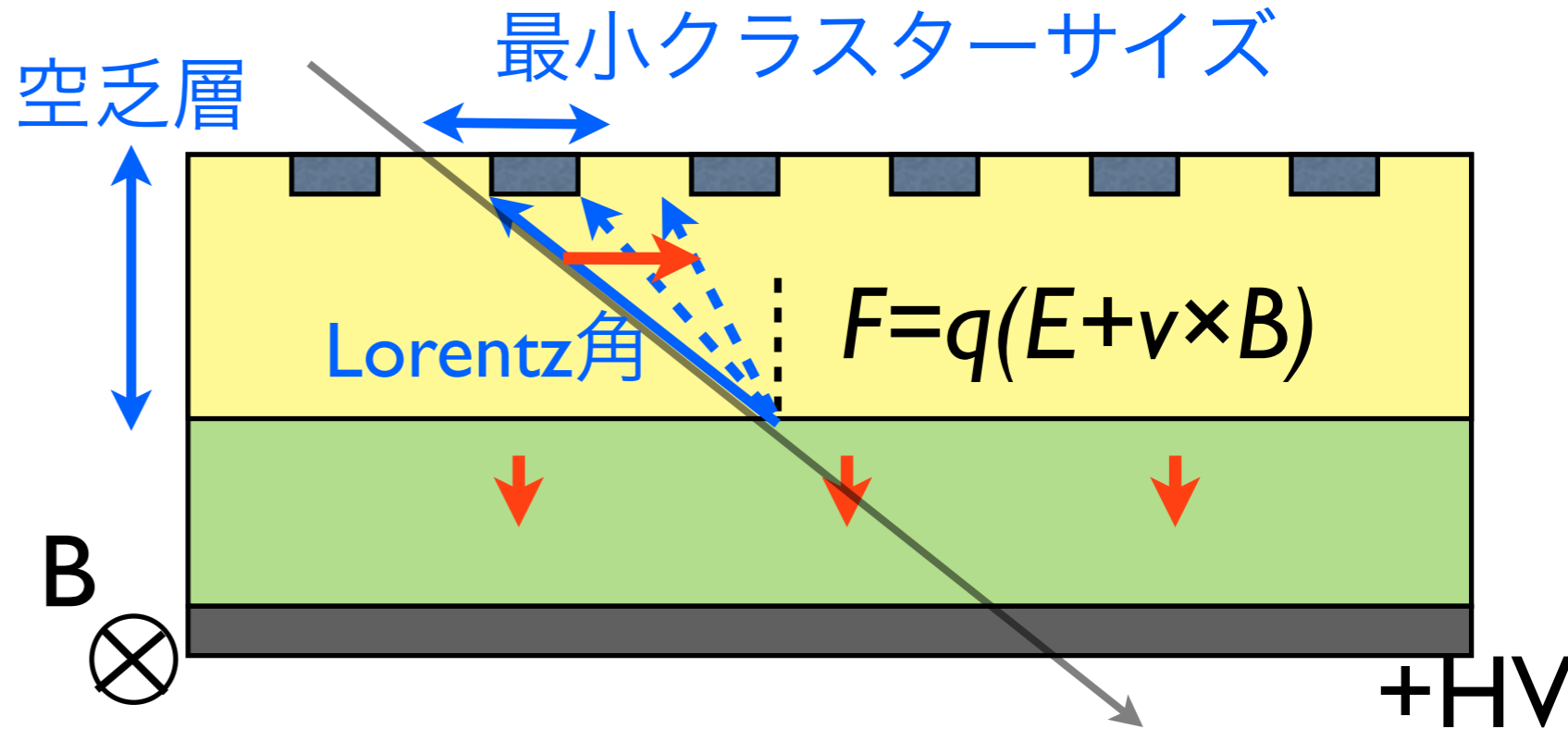
- 空乏層

- HVに依存して広がっていき全空乏化後は一定になる

- Lorentz角

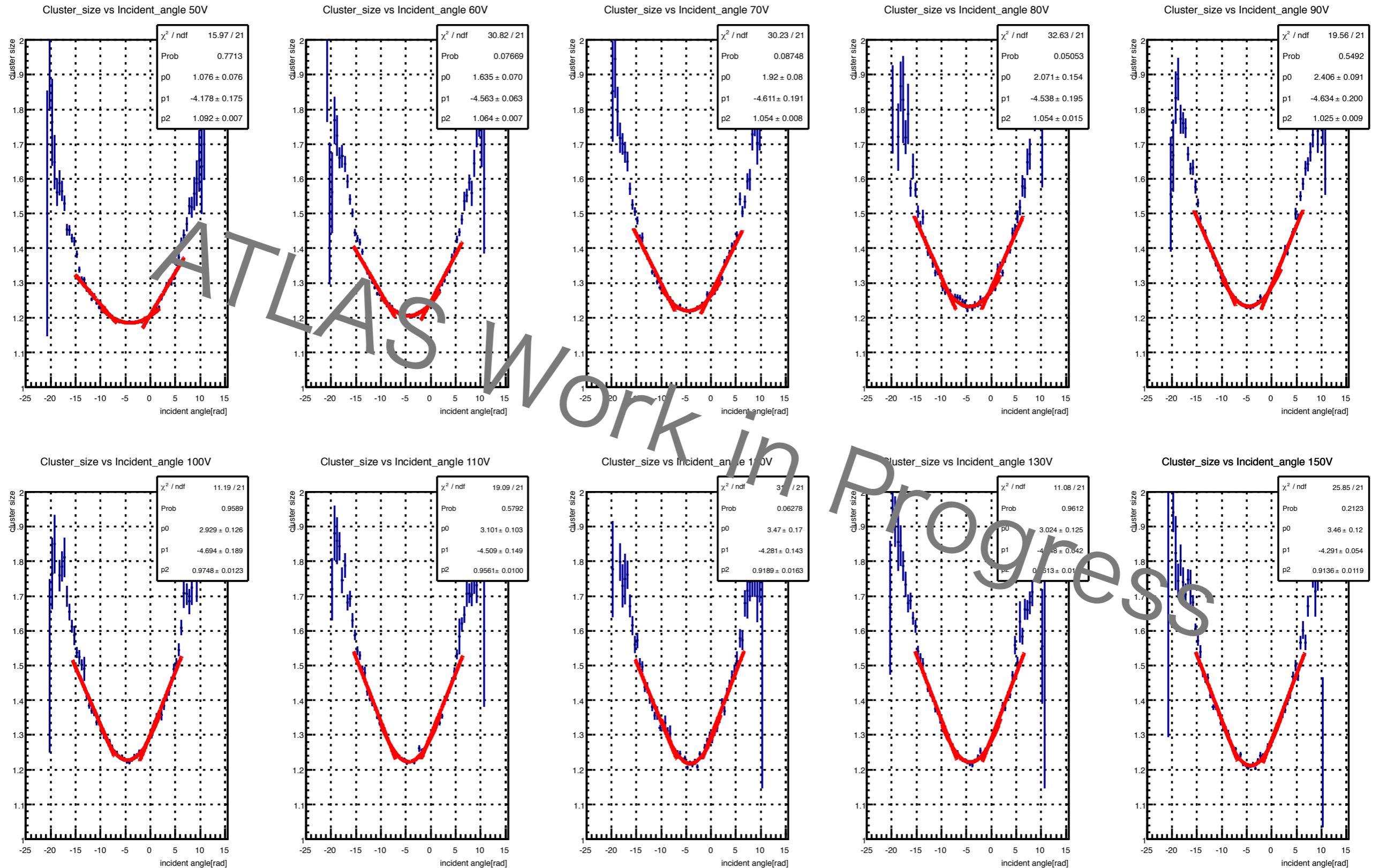
- HVを大きくすると力の上向き成分が大きくなるのでLorentz角は小さくなる(全空乏化後も小さくなり続ける)

- 最小クラスターサイズ： $\text{クラスターサイズ} = \text{空乏層} \times (\tan(\phi) - \tan(\phi_L))$

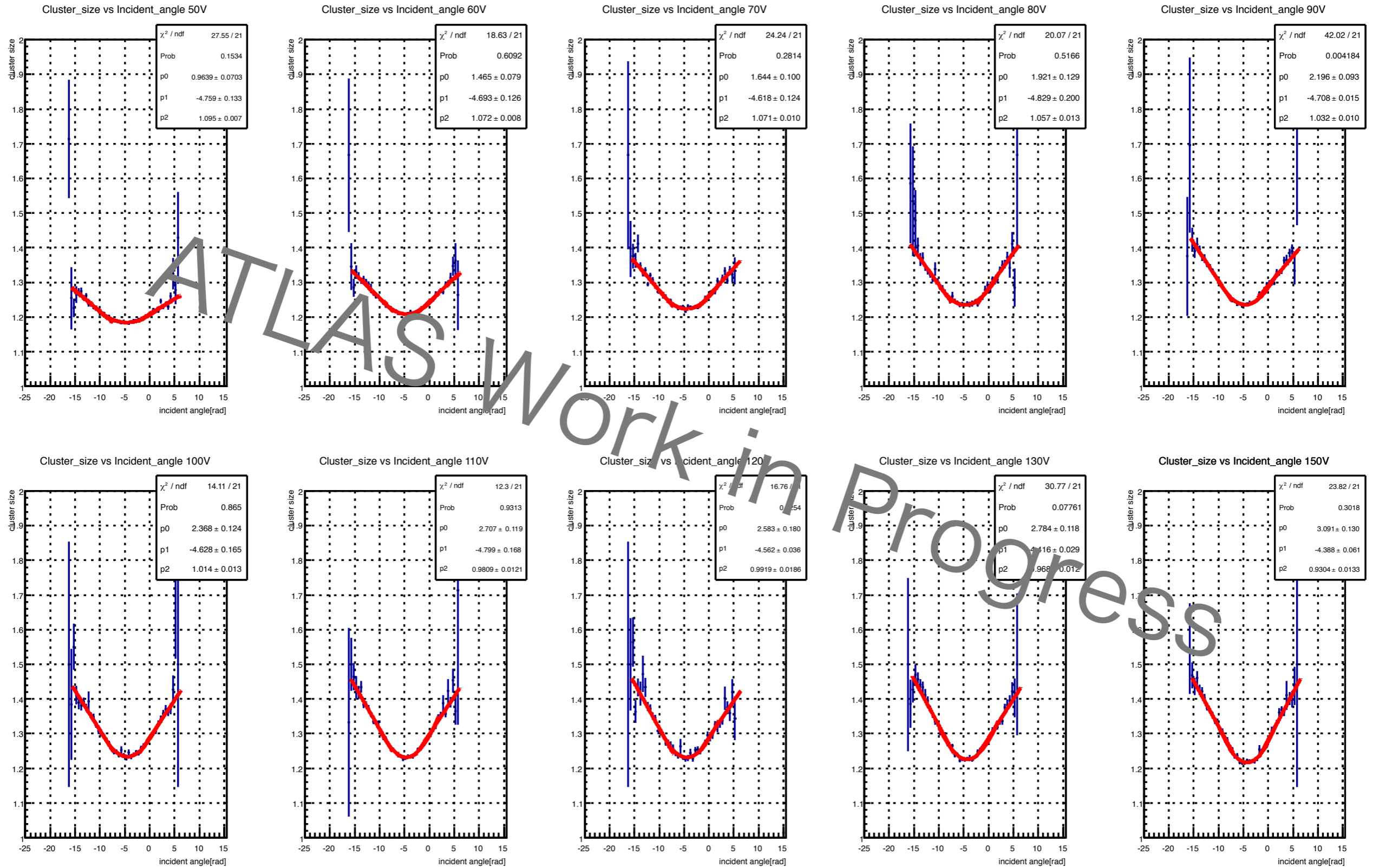


	全空乏化前	全空乏化後
空乏層	増加(寄与大)	一定
Lorentz角	減少	減少
最小クラスターサイズ	増加	減少

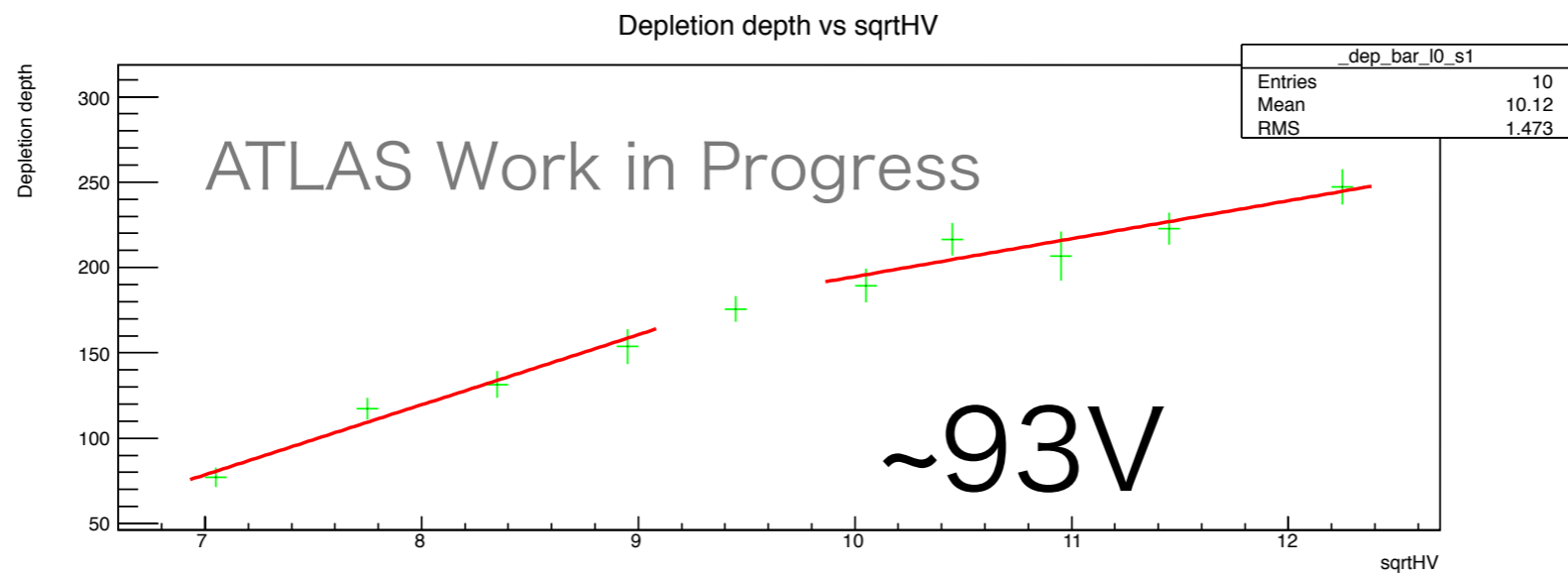
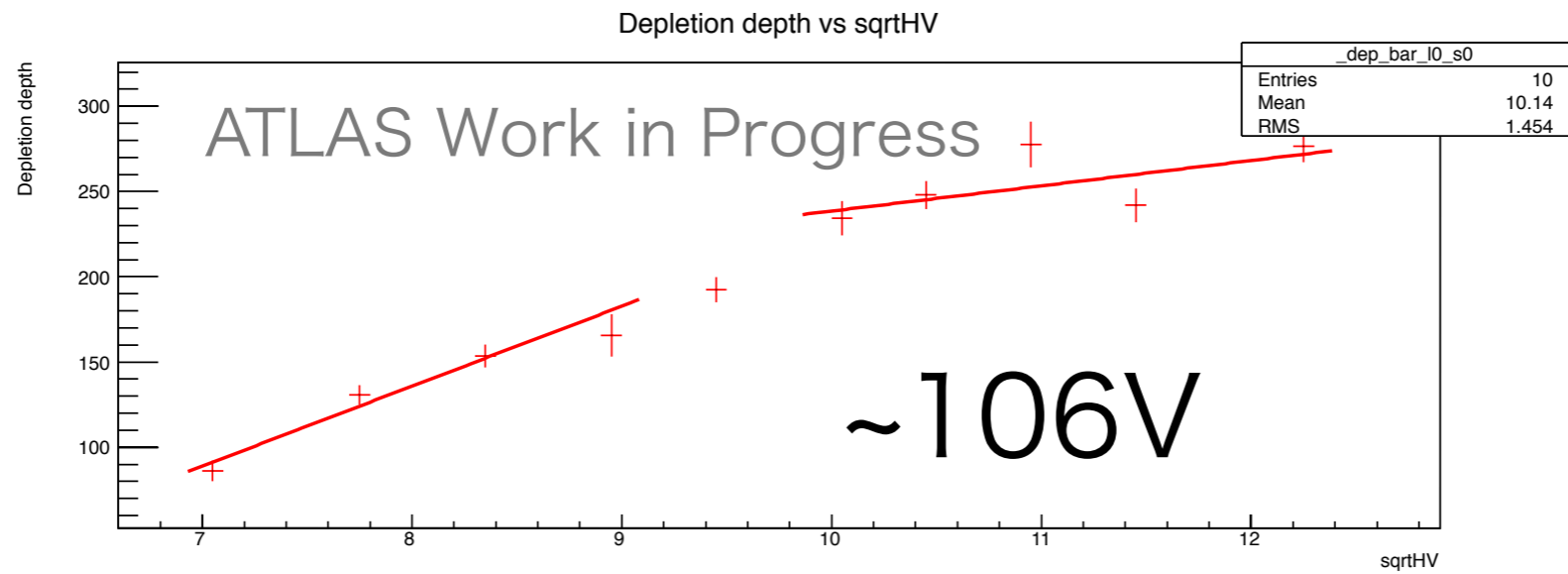
Fitting for side0



Fitting for side 1



空乏化電圧(Lorentz Fit)



空乏化電圧

(最小クラスターサイズ(補正前) vs \sqrt{HV})

