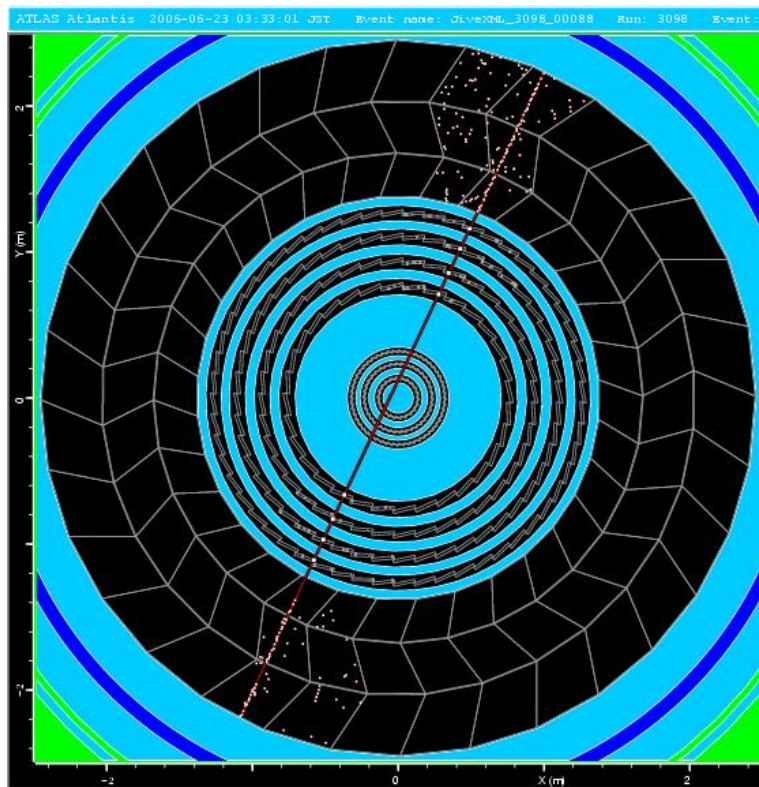


ATLAS実験 宇宙線テストにおける シリコン飛跡検出器の検出効率の評価



筑波大学 数理物質科学研究科
永井 義一

原和彦, 井上孝紀, 美馬寛^A, 田中礼三郎^A,
内藤大輔^A, 近藤敬比古^B, 海野義信^B,
池上陽一^B, 高力孝^B, 寺田進^B, 高嶋隆一^C,
山下良樹^C, 上田郁夫^D, 花垣和則^E,
他アトラスSCTグループ

筑波大物理, 岡山大自然^A, 高工研^B,
京都教育大^C, 東大素^D, 阪大^E

目次

- ✓ 序論
 - ATLAS検出器
 - SCTバレルシリコン検出器
 - 宇宙線テストの概要
- ✓ SCTバレルシリコン検出器の性能評価
 - 宇宙線イベントの再構成
 - SCT検出器の位置補正
 - SCT検出器の検出効率
- ✓ 結論と今後の予定

ATLAS検出器 (A Toroidal LHC ApparatuS)

- 内部飛跡検出器

Pixel : シリコンピクセル検出器

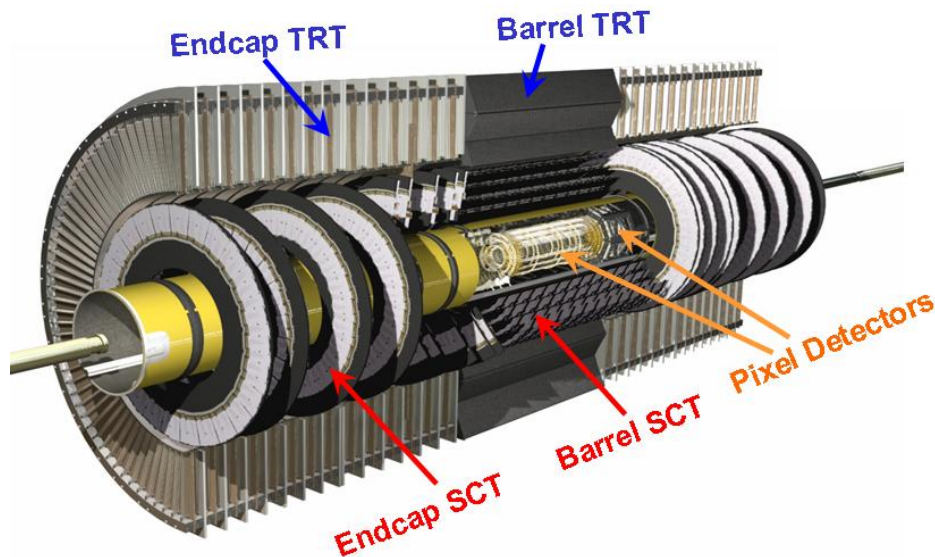
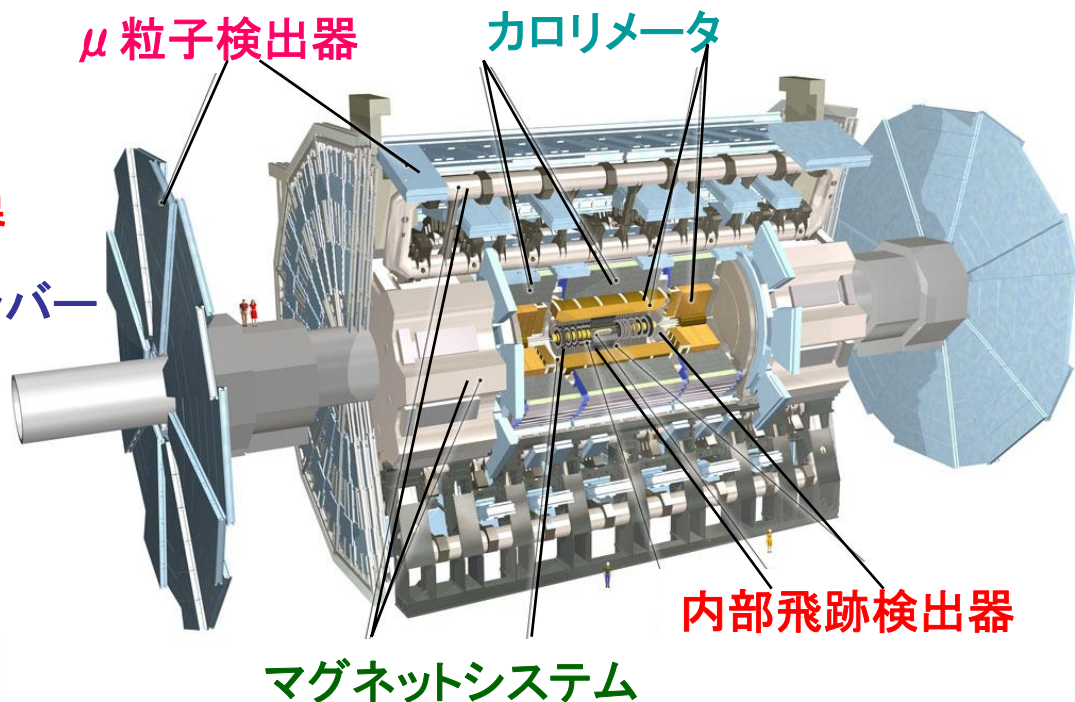
SCT : シリコンマイクロストリップ検出器

TRT : 遷移輻射ストローチューブチェンバー

- カロリメータ

- μ 粒子検出器

- マグネットシステム



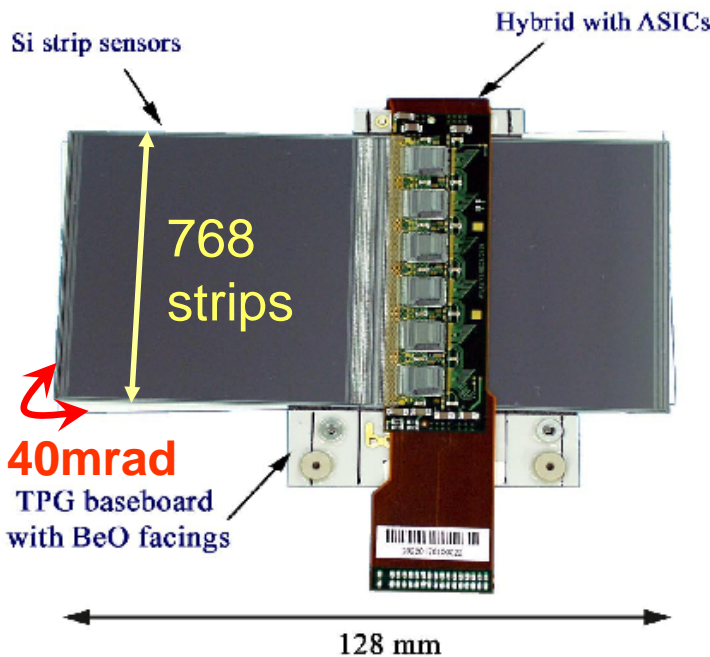
重量 : 7000トン

飛跡検出器 : $|\eta| < 2.5$

カロリメータ : $|\eta| < 4.9$

$$\eta = -\ln \tan \frac{\theta}{2}$$

SCTバレルシリコン検出器



SCTバレルモジュールの特徴

✓ 2次元的な位置測定

シリコンセンサー(6cm × 6cm)を表裏2枚ずつ、ステレオ角**40mrad**で張り合わせることで、単独モジュールで2次元的な位置測定が可能

✓ 位置分解能

ストリップ間隔は**80 μm**、SCTモジュール片面での位置分解能は**23 μm**

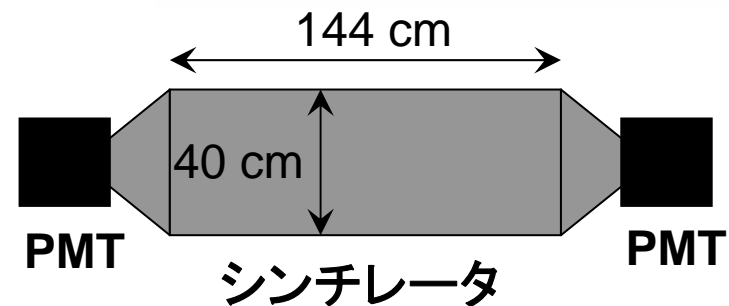
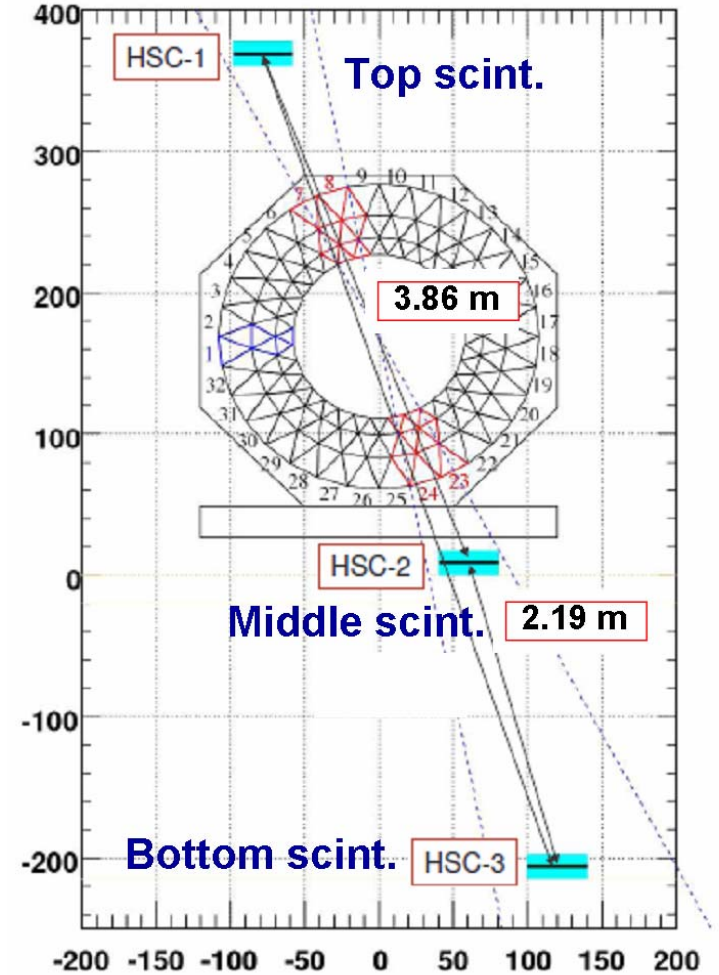
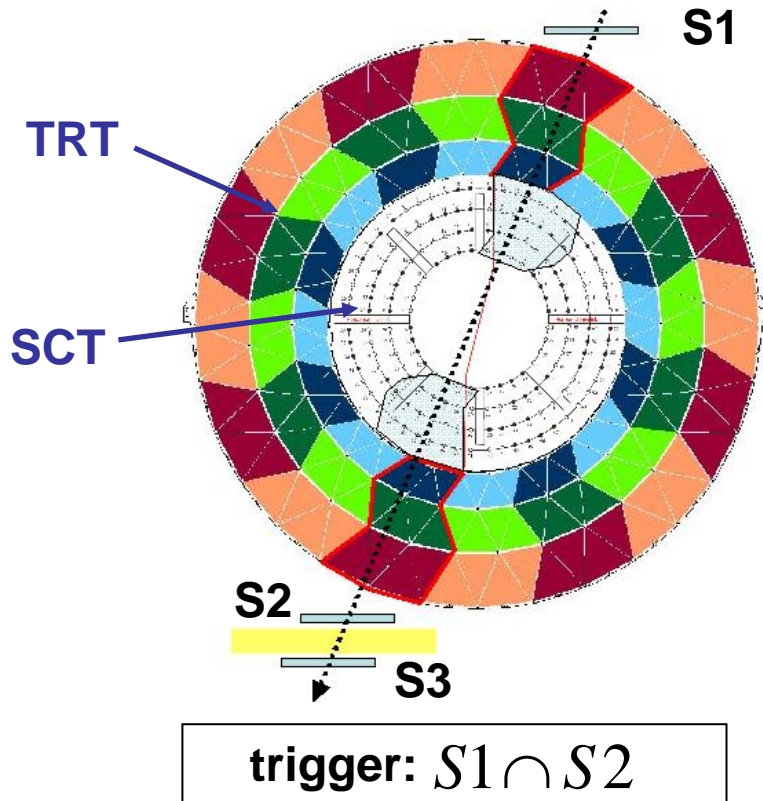
SCTバレルシリコン検出器

シリンダー**4層**、SCTバレルモジュール**2112枚**から構成される。

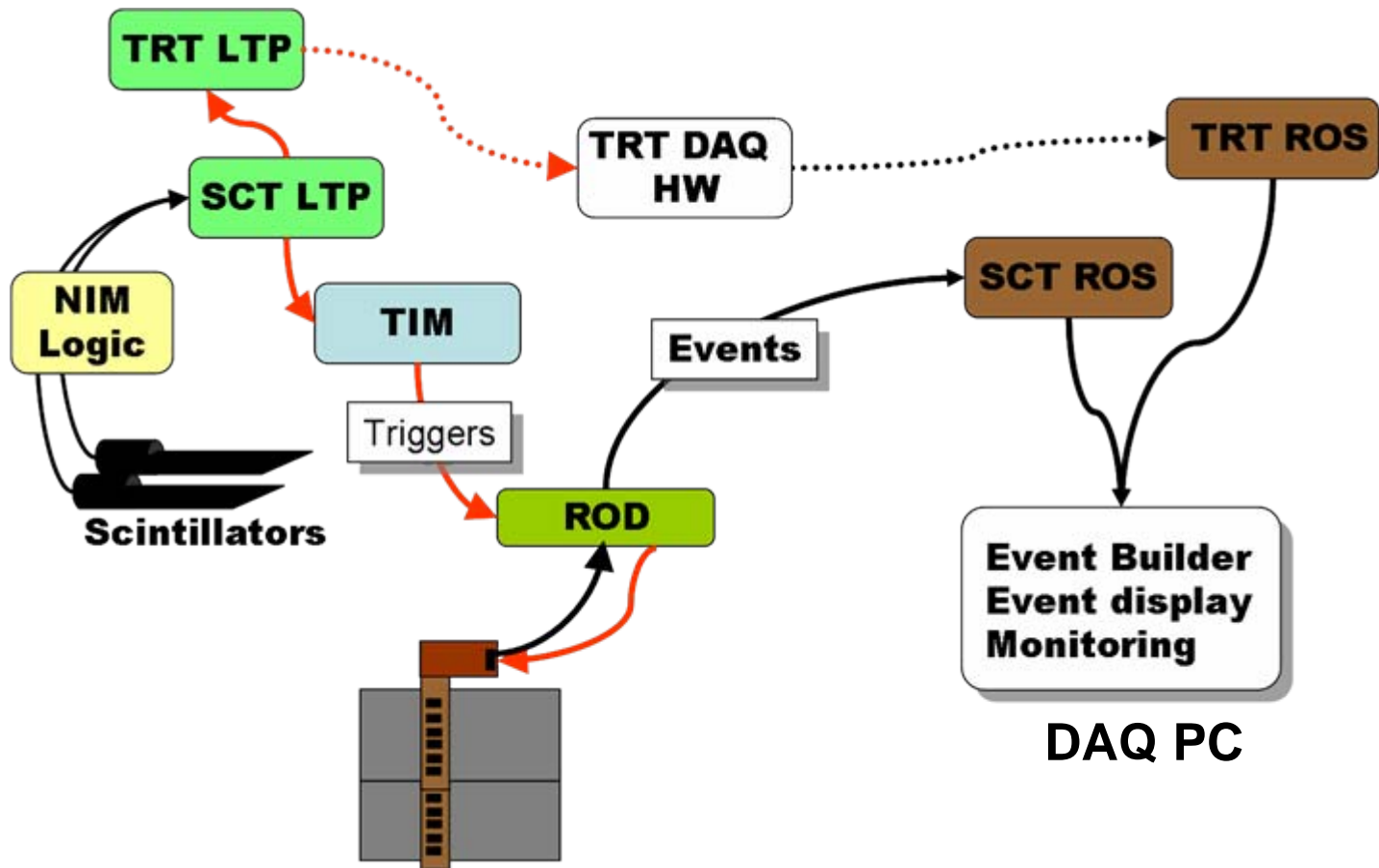
宇宙線テスト概要

目的

- SCTおよびTRT検出器のオペレーションテスト
 - SCT+TRT検出器を同時に扱う
- SCTおよびTRT検出器の性能評価
 - ノイズテスト、検出効率評価 等

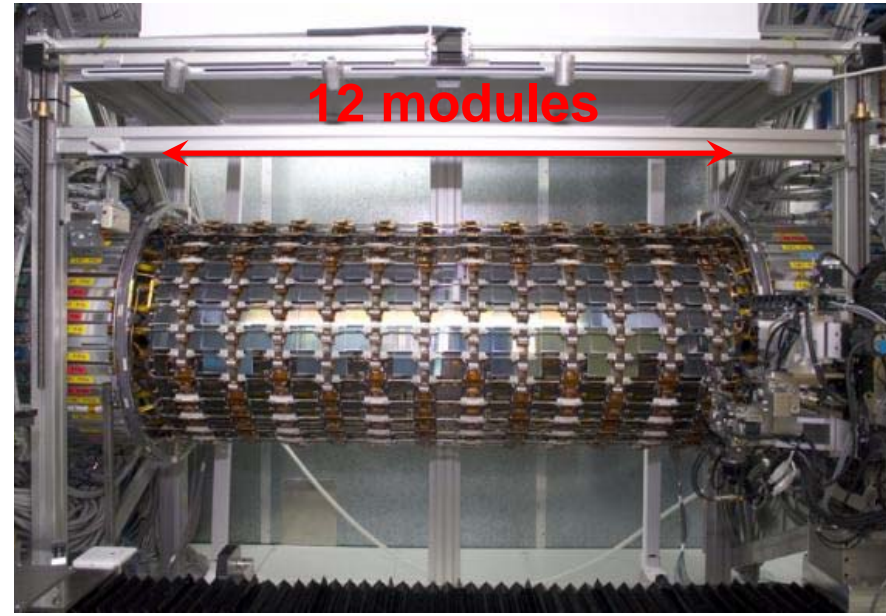
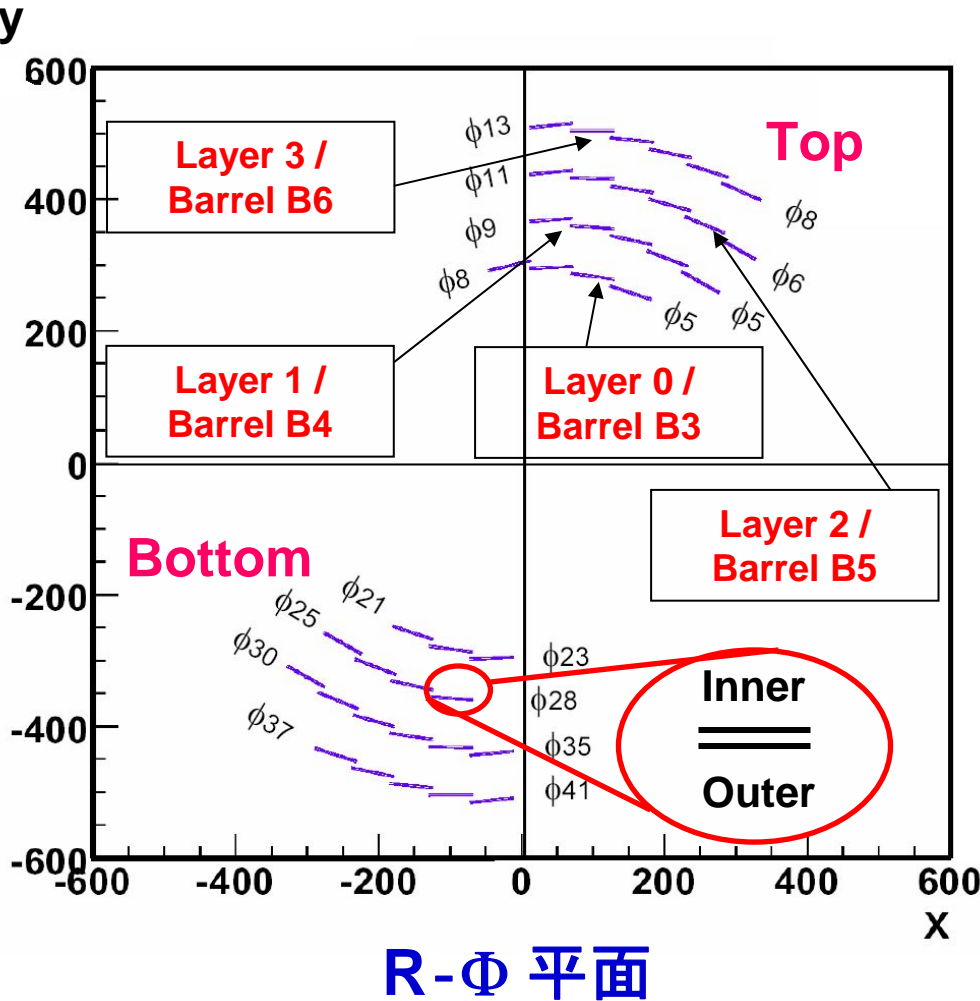


宇宙線テスト概要



データ収集システム

宇宙線テスト概要



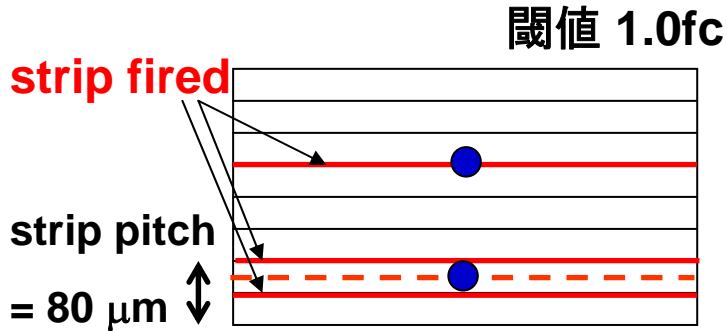
Z-Y 平面

SCTモジュール数 : 468
 (Top=252, Bottom=216)
 (B3,B4,B5,B6) = (84/108/144/132)

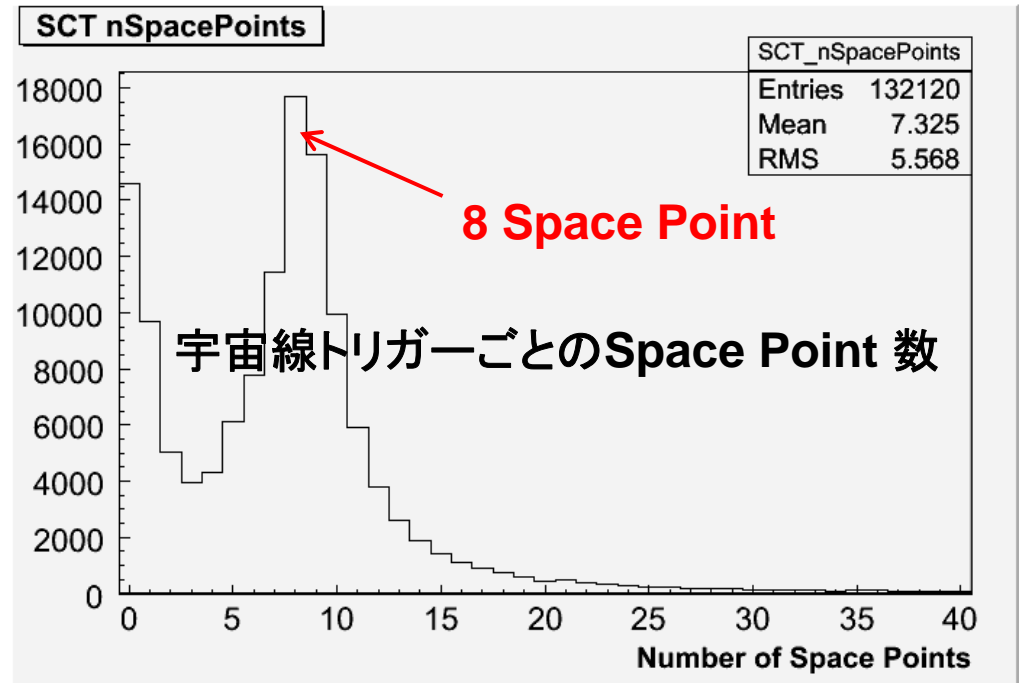
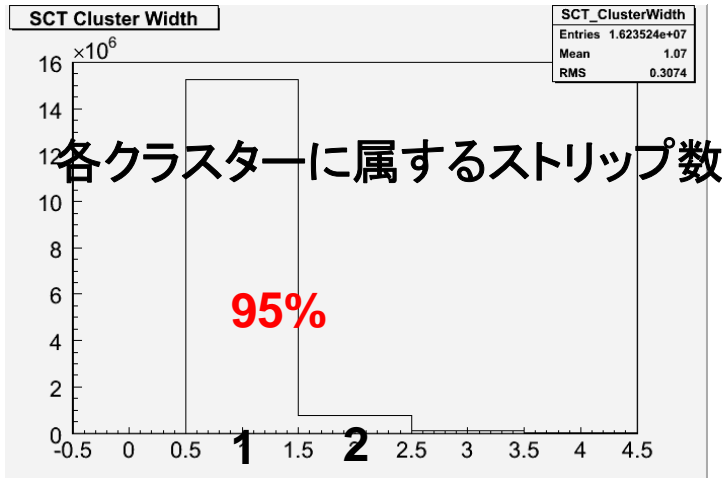
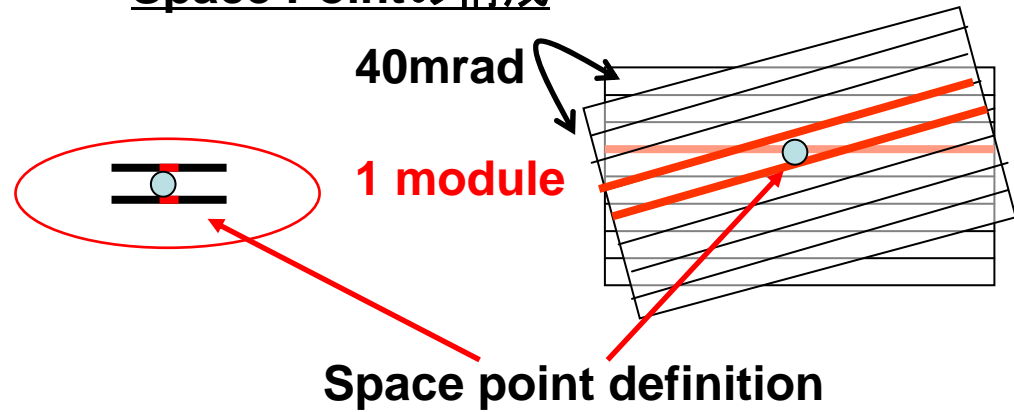
宇宙線トリガーイベント数 : 約132k

ヒットの再構成

ヒット位置とクラスタの構成



Space Pointの構成



トラックの再構成

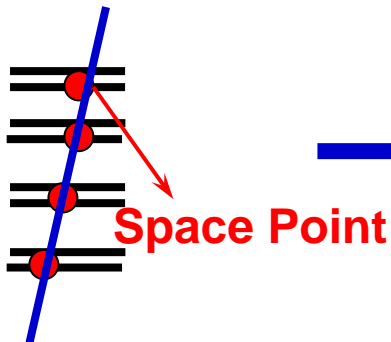
- Space Pointからトラックの候補を探す (**パターン認識**)
 - Space Pointを**R- Φ 平面**および**Z-Y平面**において直線フィットし、 χ^2/ndf でのカットをかけてトラックの候補を選別する。
 - 2つのトラックが同じSpace Pointを共有する場合、 χ^2/ndf が小さいトラックに属させる。



- トラック候補をクラスターを用いて再フィットする (**トラックフィット**)

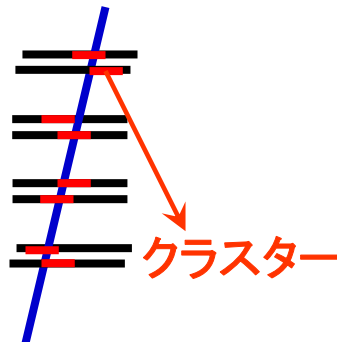
パターン認識

track candidate

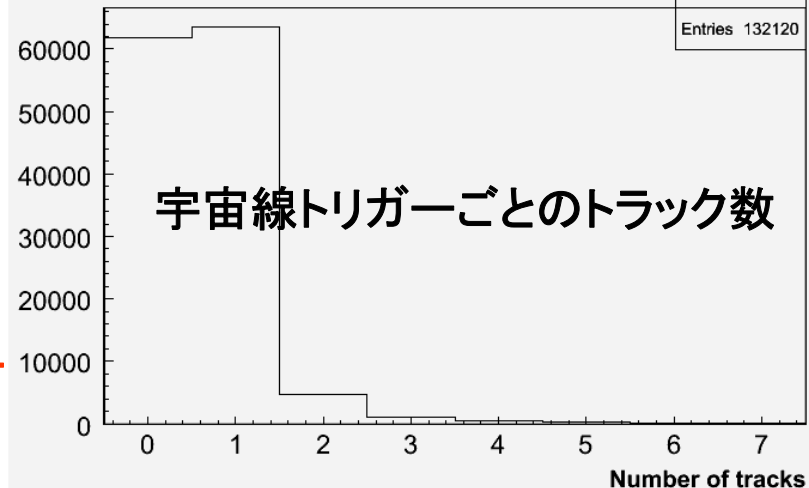


トラックフィット

track



SCT rec tracks



SCT検出器の位置補正

- SCTモジュールの内部精度は数 μm の精度であり、内部位置補正は必要ない。
- SCTモジュールの位置分解能は $23\mu\text{m}$ であり、シリンダーへの取り付け精度は $50\text{-}100\mu\text{m}$ 程度であるために、位置補正を行う。

検出器の**ずれの自由度は6**である。(x, y, z の平行移動 および オイラー角)
→ $468 \times 6 = 2808$ 自由度のパラメータを最適化する必要がある。

$$\chi^2 = \sum_{i \in \text{tracks}} \vec{r}_i^T(\vec{a}, \vec{\pi}_i) \cdot V_i^{-1} \cdot \vec{r}_i(\vec{a}, \vec{\pi}_i)$$

$$\frac{d\chi^2(\vec{a})}{d\vec{a}} = \vec{0}$$

r : 残差ベクトル a : 位置補正パラメータ

π : トラックパラメータ V : 残差の共分散行列

$$\chi^2(\vec{a}) \approx \chi^2(\vec{a}_0) + \left. \frac{d\chi^2(\vec{a})}{d\vec{a}} \right|_{\vec{a}=\vec{a}_0} \Delta\vec{a}$$

$\Delta\vec{a}$: 位置補正定数

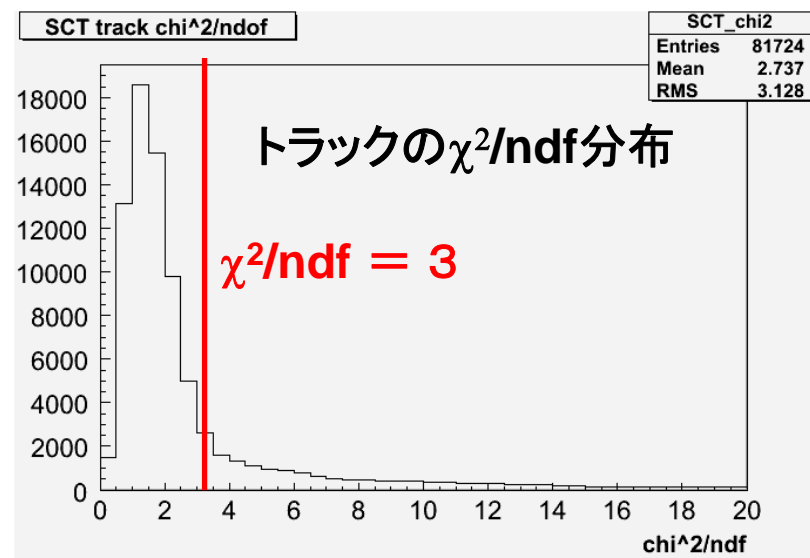
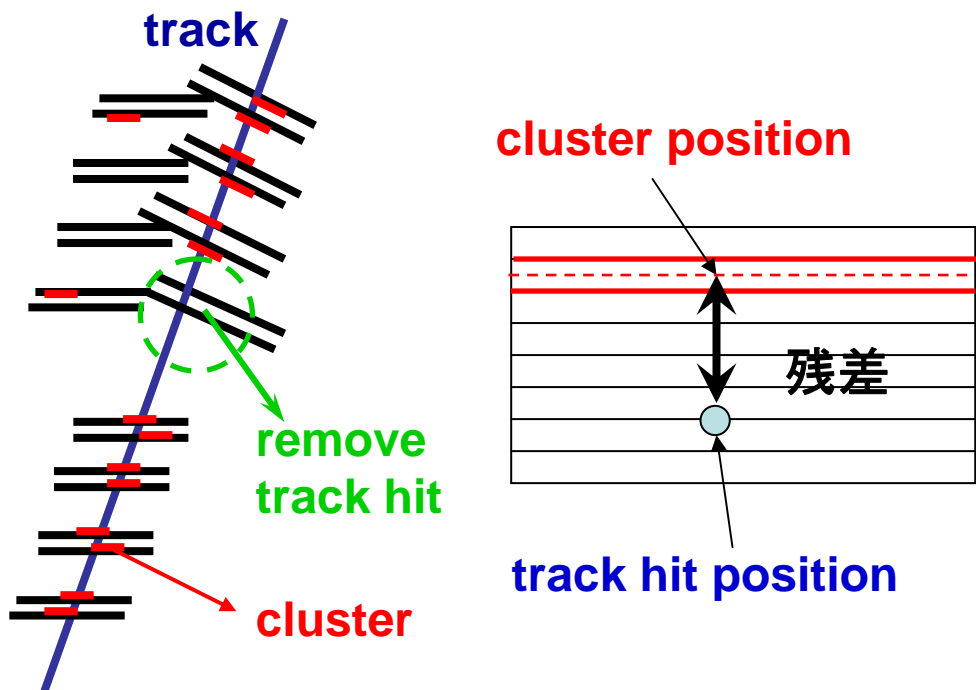
$$\Delta\vec{a} = - \left(\sum_{\text{tracks}} \left(\frac{d\vec{r}_i(\vec{a})}{d\vec{a}_0} \right) \cdot V_i^{-1} \cdot \left(\frac{d\vec{r}_i(\vec{a})}{d\vec{a}_0} \right)^T \right)^{-1} \cdot \left(\sum_{\text{tracks}} \left(\frac{d\vec{r}_i(\vec{a})}{d\vec{a}_0} \right) \cdot V_i^{-1} \cdot \vec{r}_i(\vec{a}_0) \right)$$

2808個の連立方程式

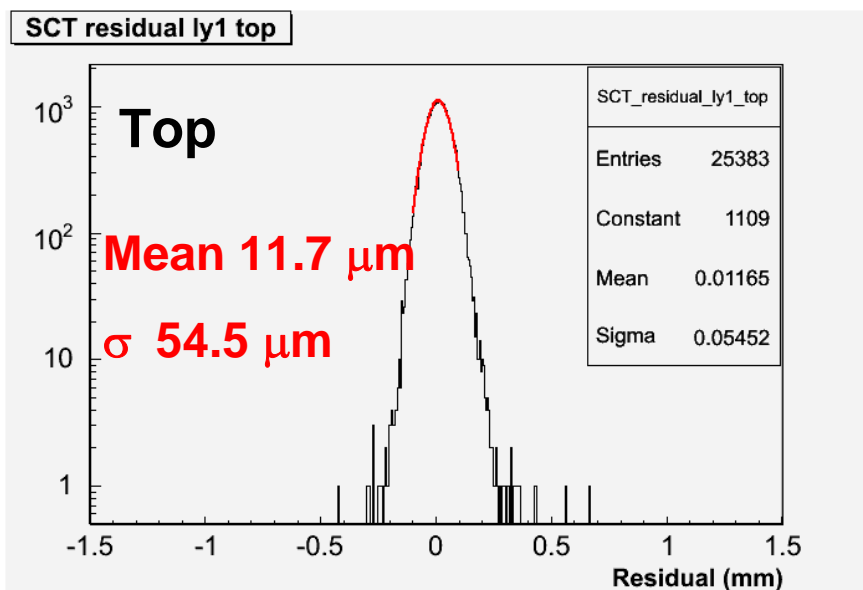
SCT検出器の位置補正

以下の方法でトラックの残差を求め、位置補正の効果を評価する

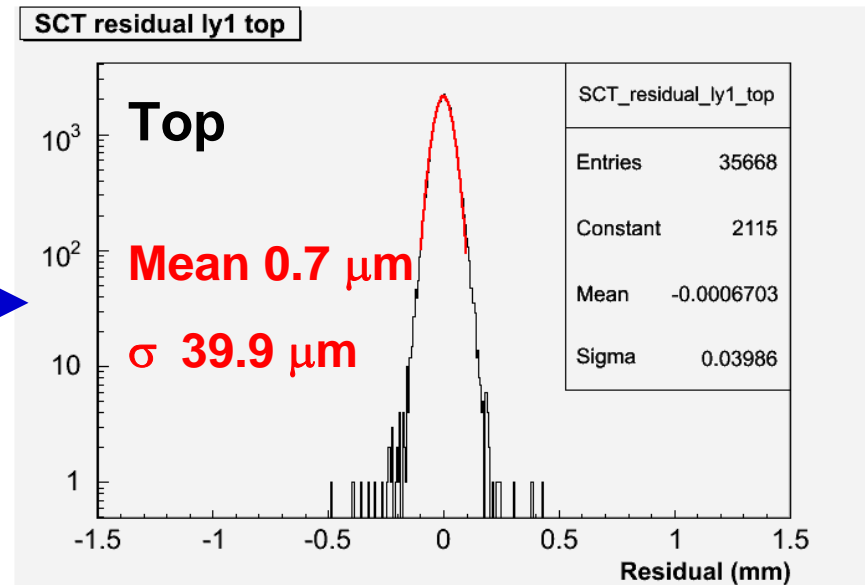
- トラックが $\chi^2/ndf < 3$ を満たす
- トラックに伴う**クラスターが10以上**存在する
- 残差を求めるモジュールの**クラスターをトラックから除外し、再度フィットする**
- SCTモジュール面での**トラックとクラスターの距離を残差とする**



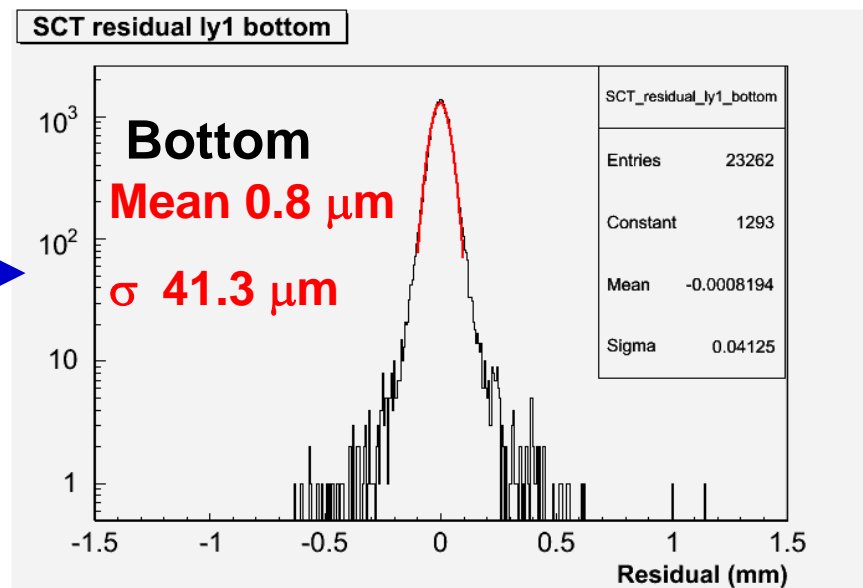
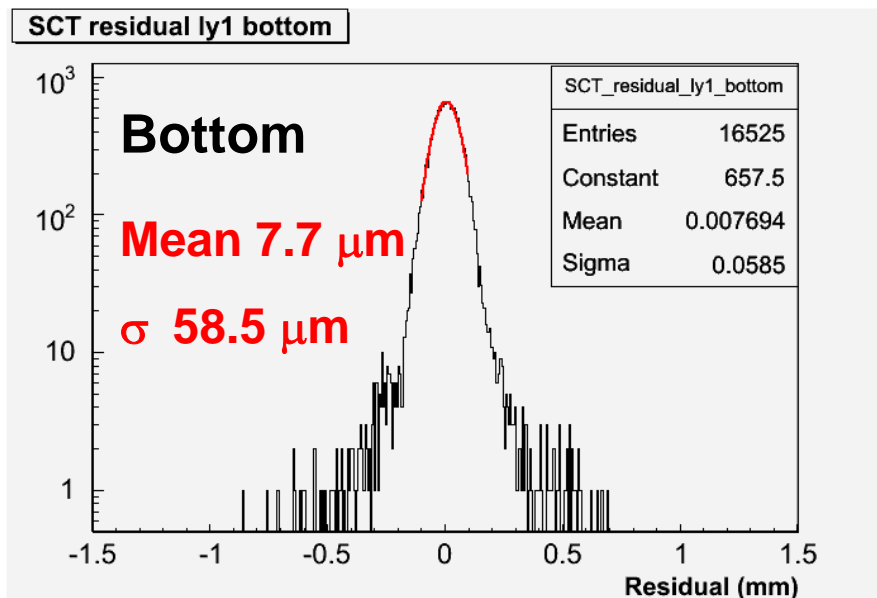
SCT検出器の位置補正



Layer1 / Barrel 4 位置補正前

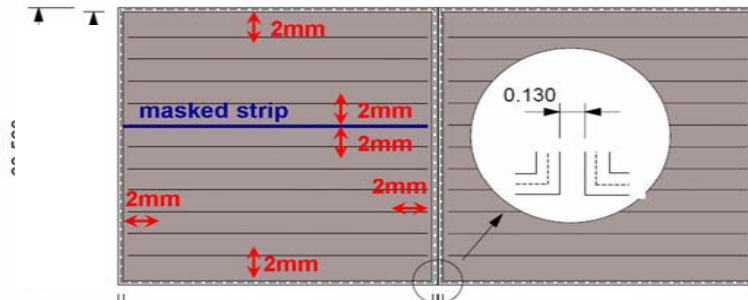
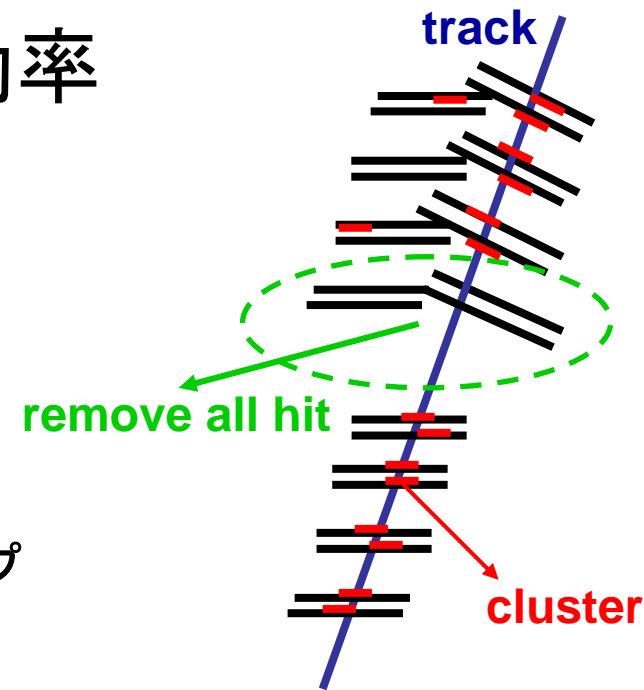


Layer1 / Barrel 4 位置補正後

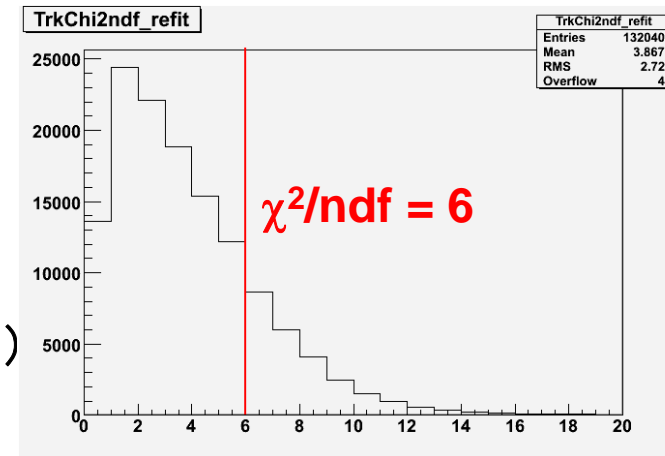


SCT検出器の検出効率

- トラックが $\chi^2/ndf < 40$ を満たす
- クラスタをトラックから除外し、再度トラックをフィットする (リフィットトラック)
- リフィットトラックが $\chi^2/ndf < 6$ を満たす
- リフィットトラックに伴うクラスタが10以上存在する
- リフィットトラックの位置がモジュール端および異常ストリップ (noisy, dead, etc...) から2 mm以上離れている

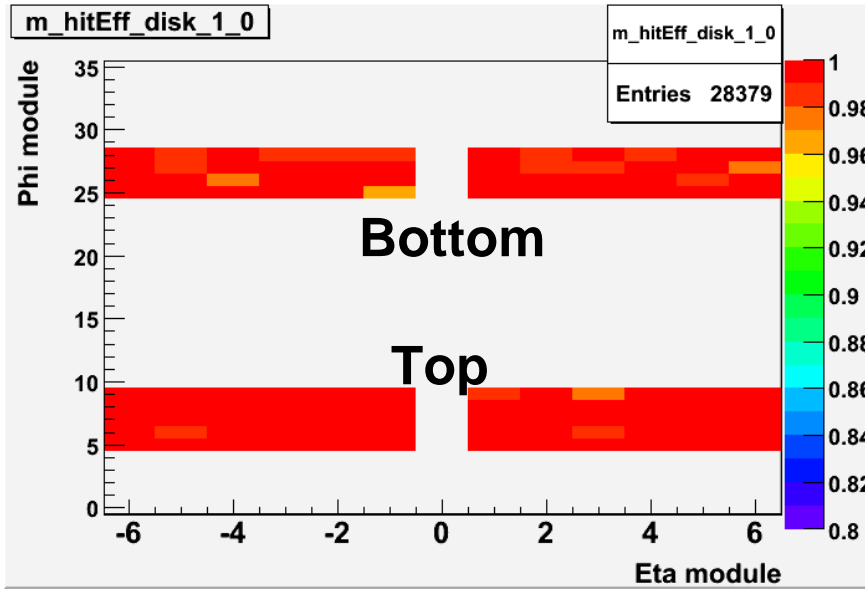


- ⇒ 以上を満たす場合、トラック予想位置とする (ヒット予想点)
- ⇒ ヒット予想点より±2 mmの範囲内でクラスタを調べる (ヒット観測点)

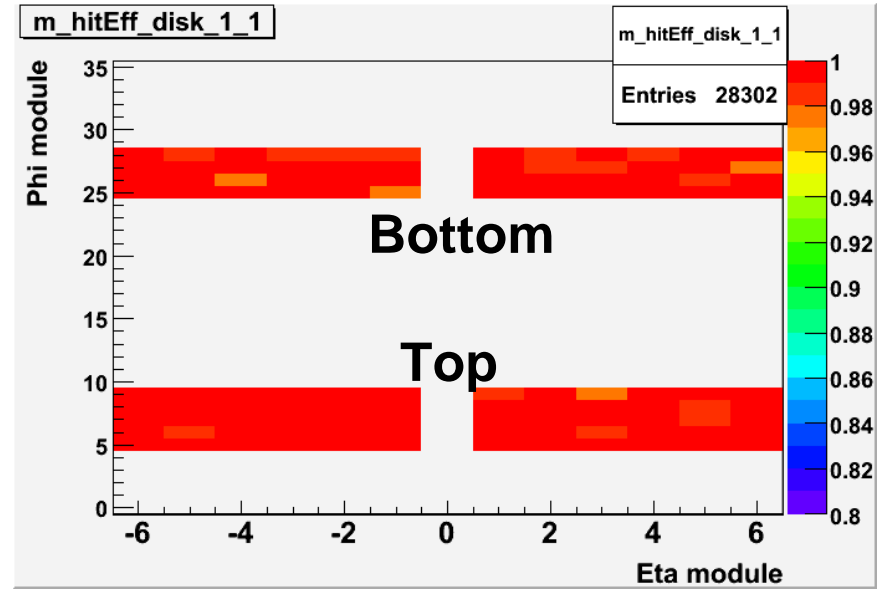


$$\text{(検出効率)} = \text{(ヒット観測点の数)} / \text{(ヒット予想点の数)}$$

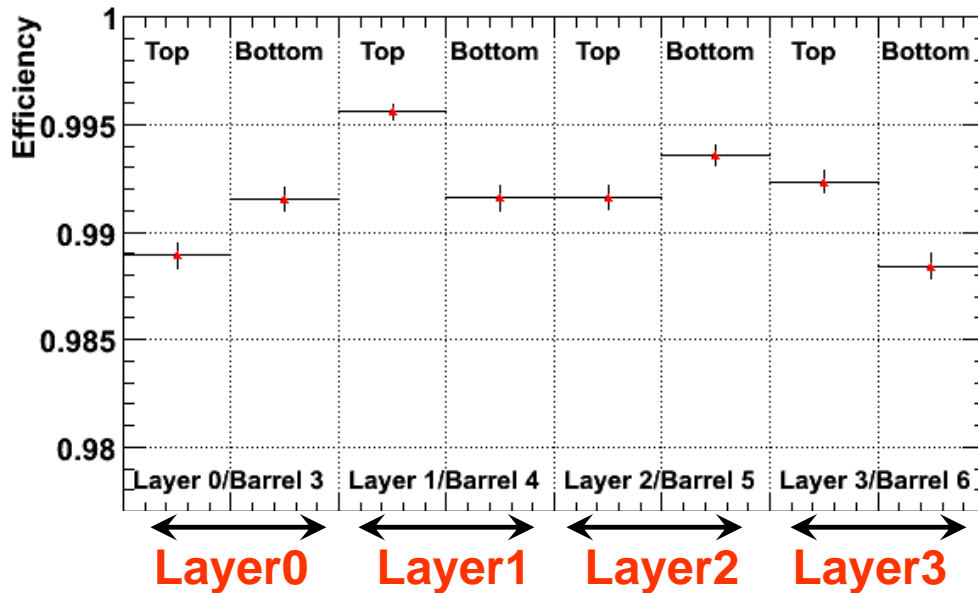
SCT検出器の検出効率



Layer1 / Barrel 4 Outer



Layer1 / Barrel 4 Inner



Top total : 99.21 ± 0.03 %

Bottom total : 99.12 ± 0.03 %

結論

• SCT検出器の性能評価

- SCT検出器の位置補正の結果、残差分布の $\sigma \sim 40\mu\text{m}$ 程度まで改善した
- 各SCTモジュールについて検出効率を見積もり、Top・Bottomともに99%以上の検出効率を得られた

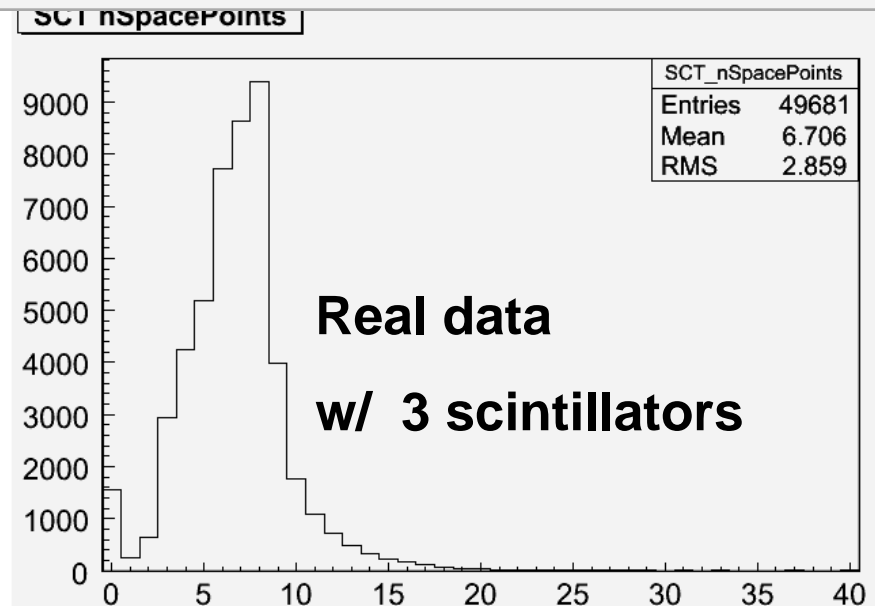
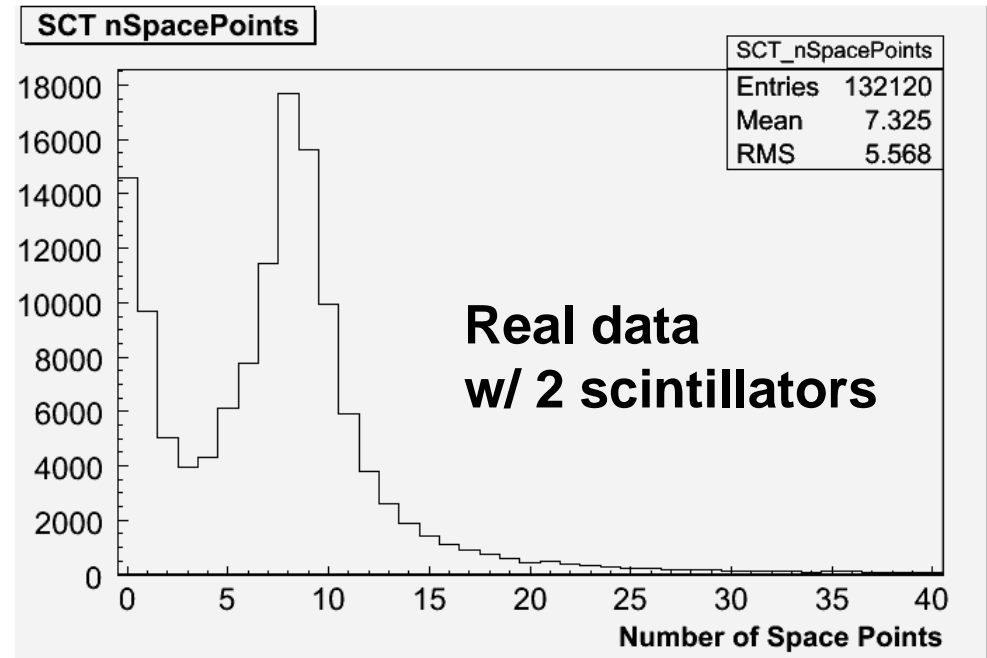
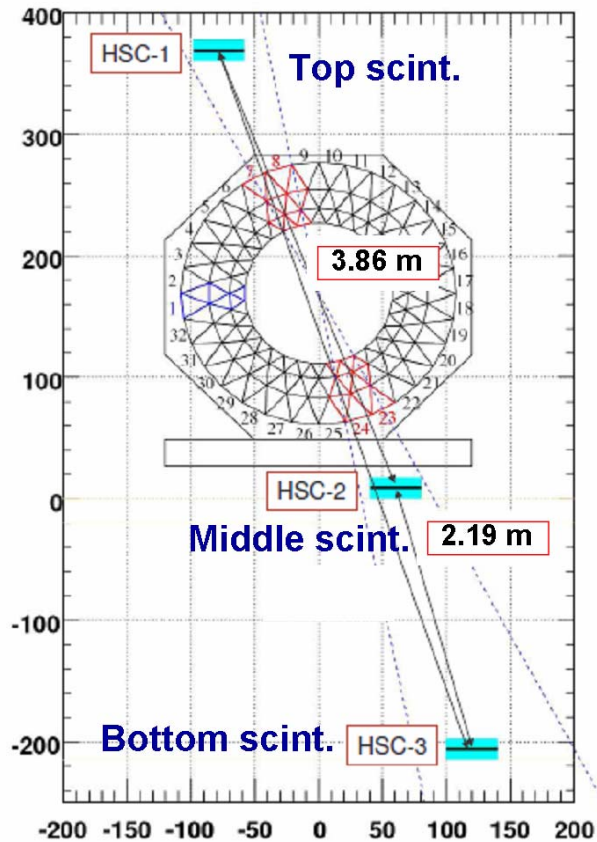
今後の予定

• 地下ATLAS実験場での宇宙線テスト準備

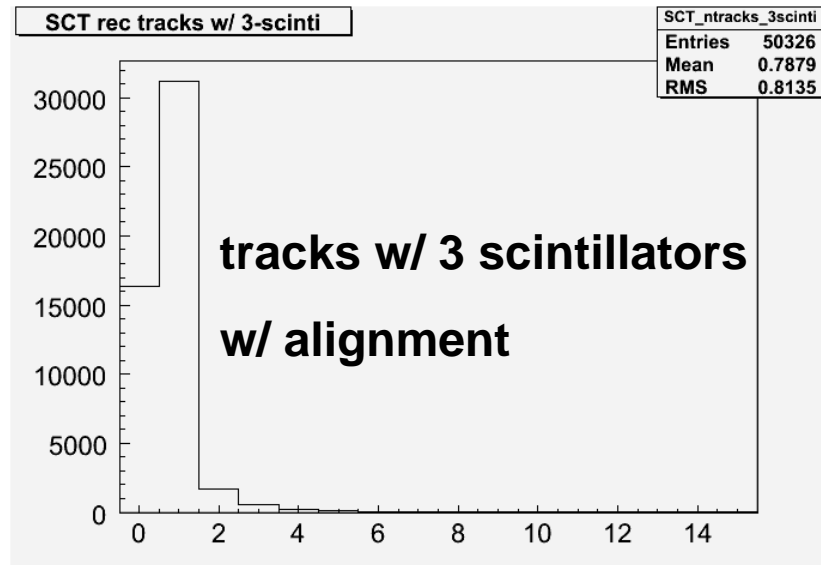
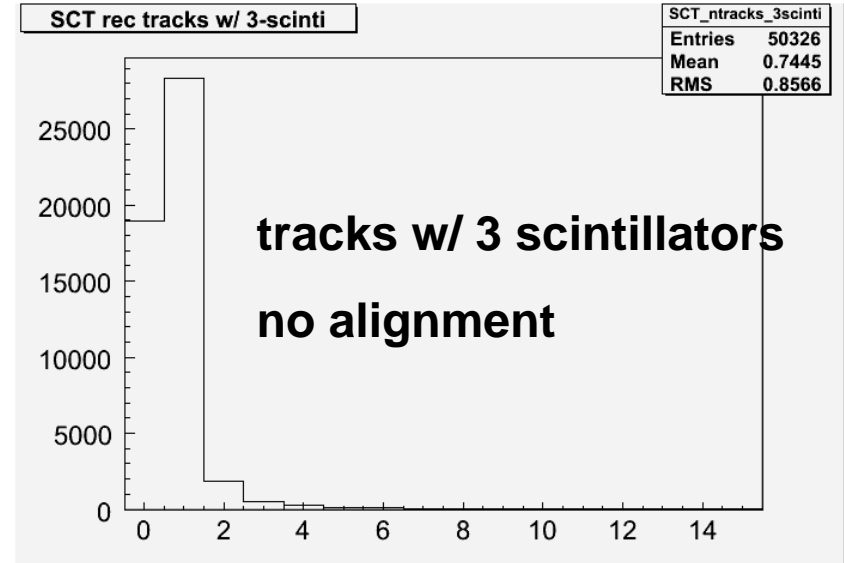
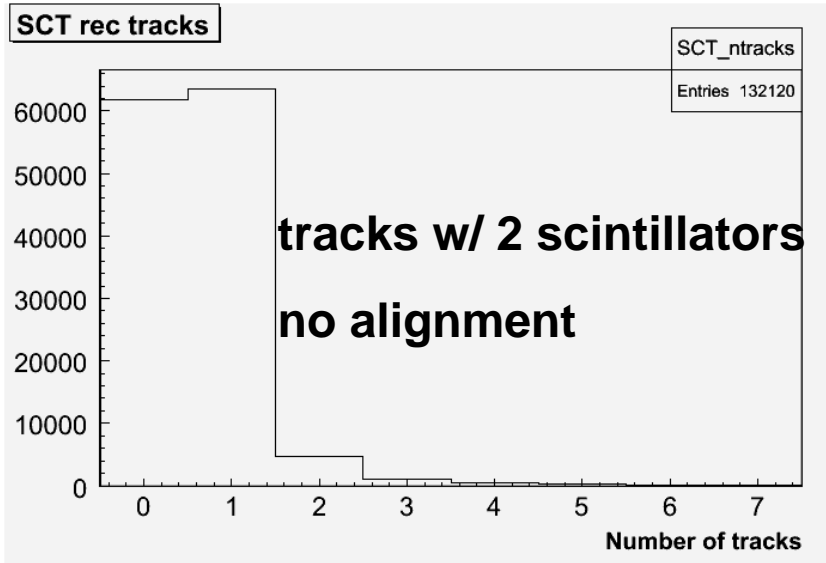
- バレルSCT検出器は地下のATLAS検出器にすでに組み込まれている
- 5月以降に予定されている地下ATLAS実験場での宇宙線テストに備え、準備を進める

Backup

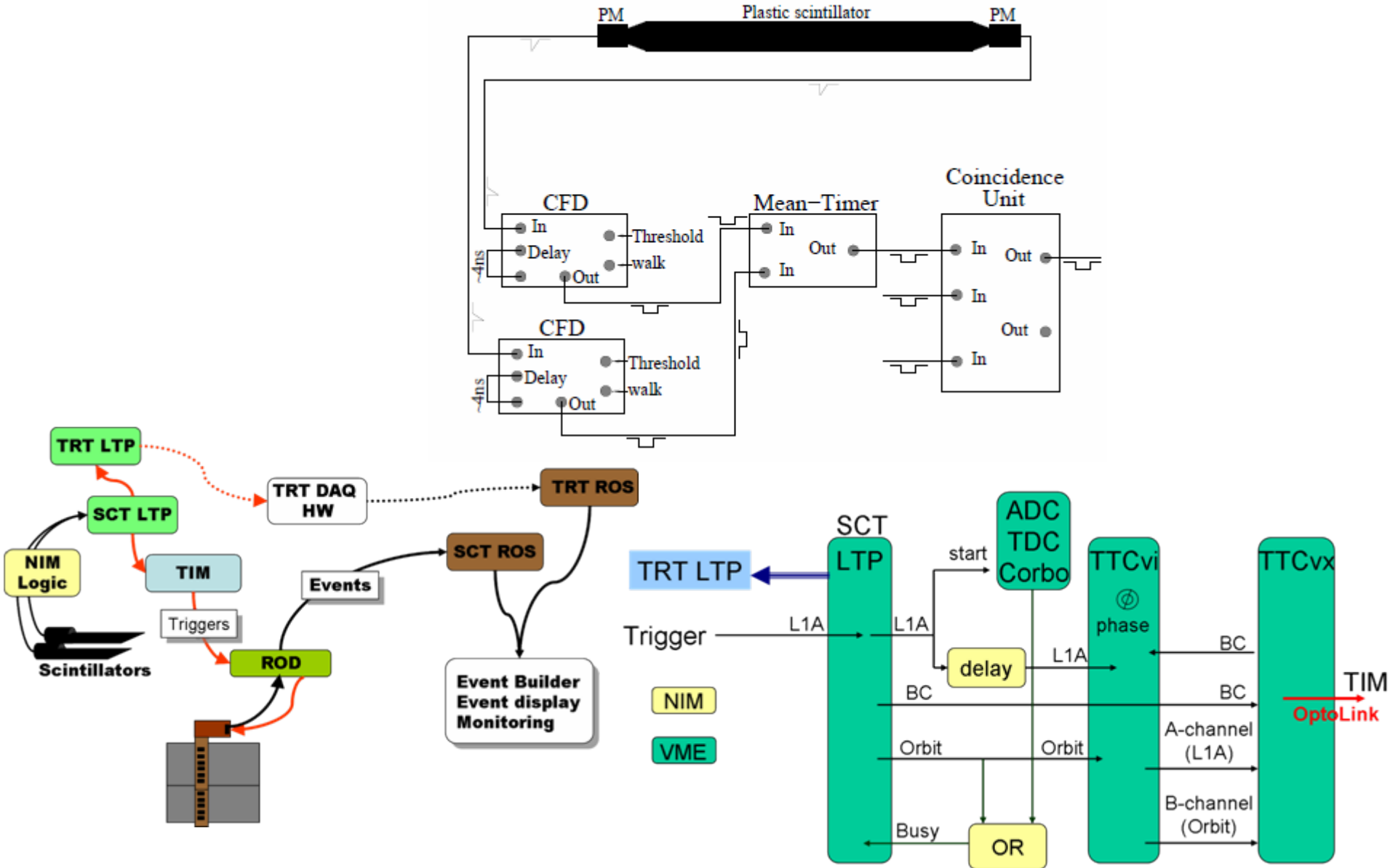
Number of Spacepoints



Number of Tracks

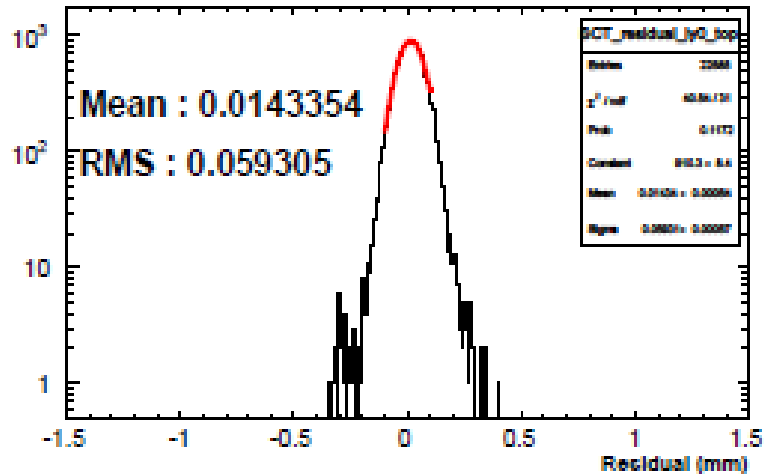


Trigger Timing

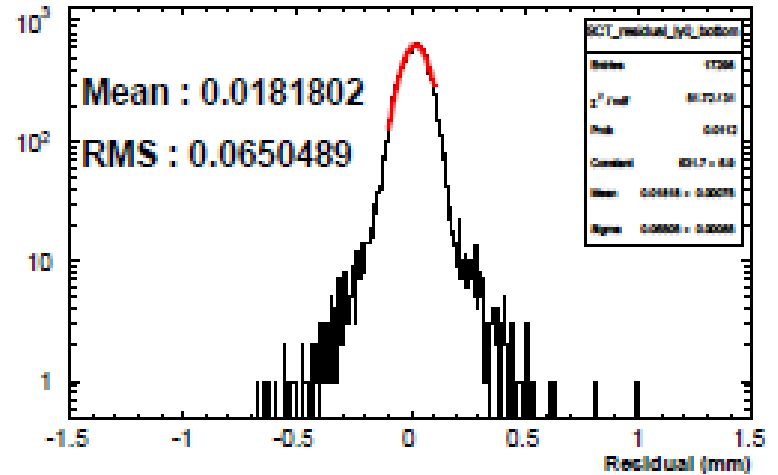


no alignment ly0 & ly1

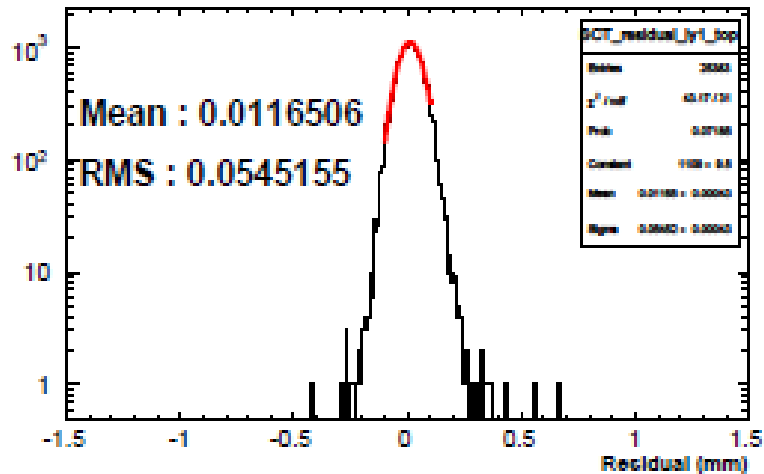
SCT residual ly0 top



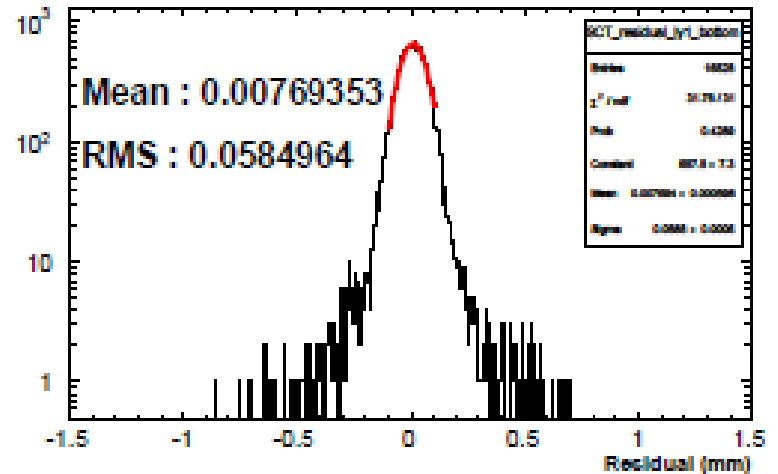
SCT residual ly0 bottom



SCT residual ly1 top

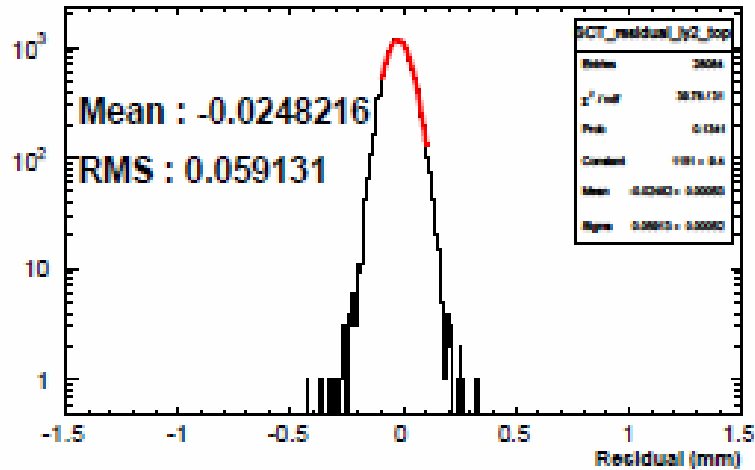


SCT residual ly1 bottom

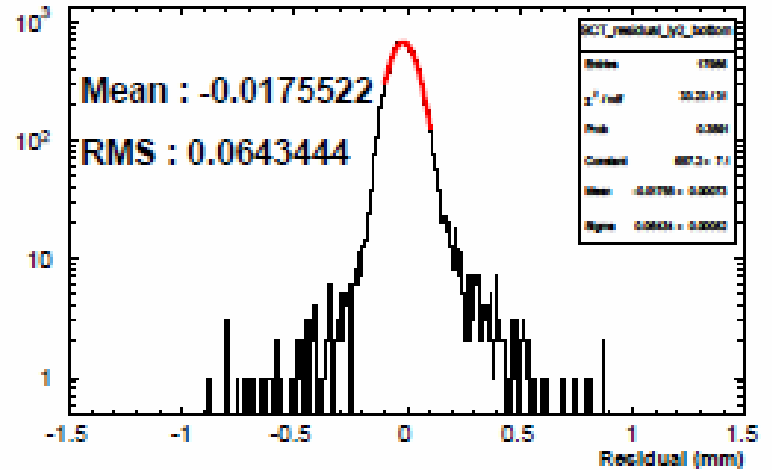


no alignment ly2 & ly3

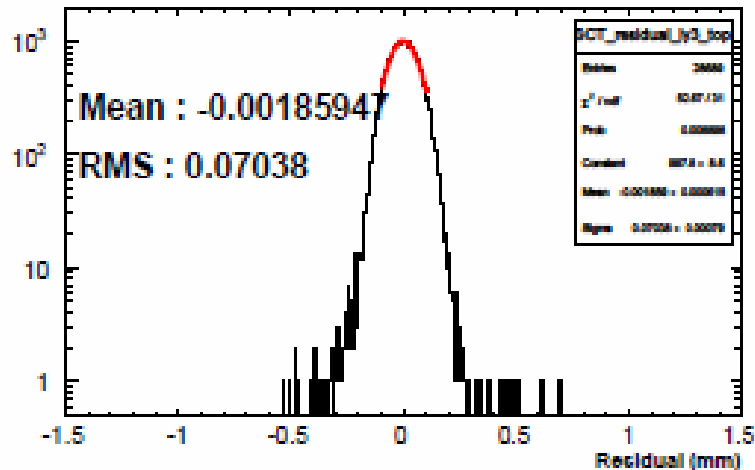
SCT residual ly2 top



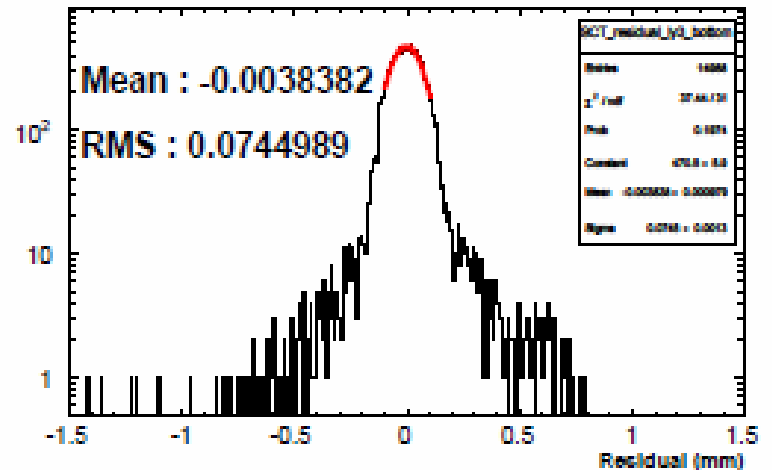
SCT residual ly2 bottom



SCT residual ly3 top

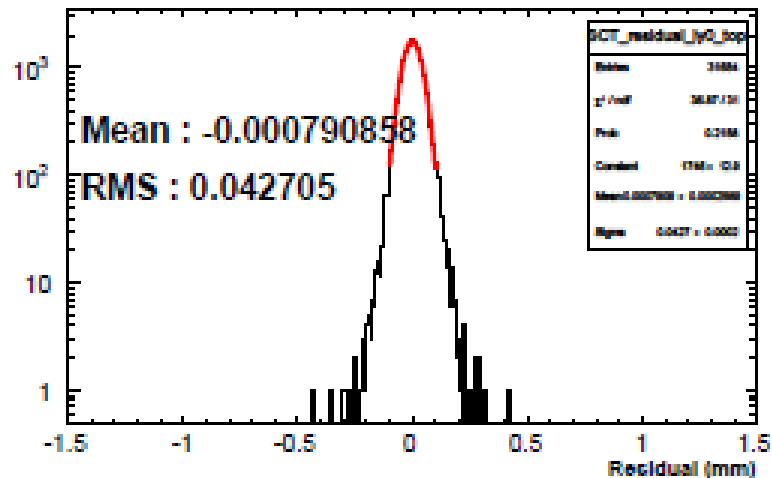


SCT residual ly3 bottom

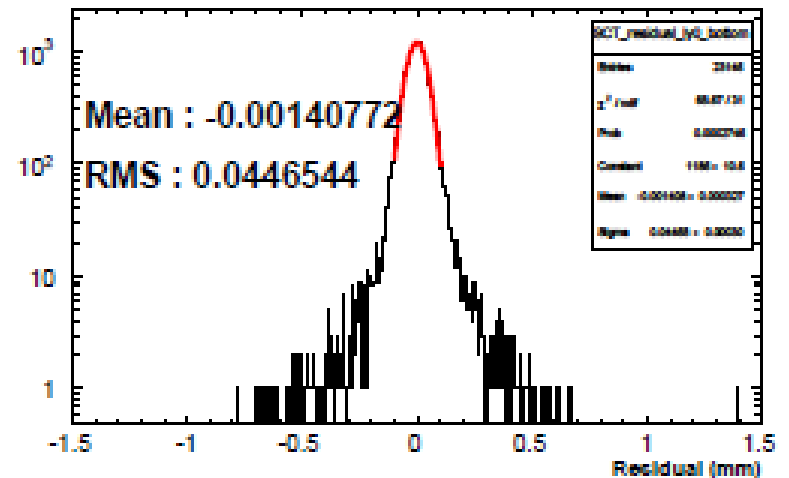


local alignment ly0 & ly1

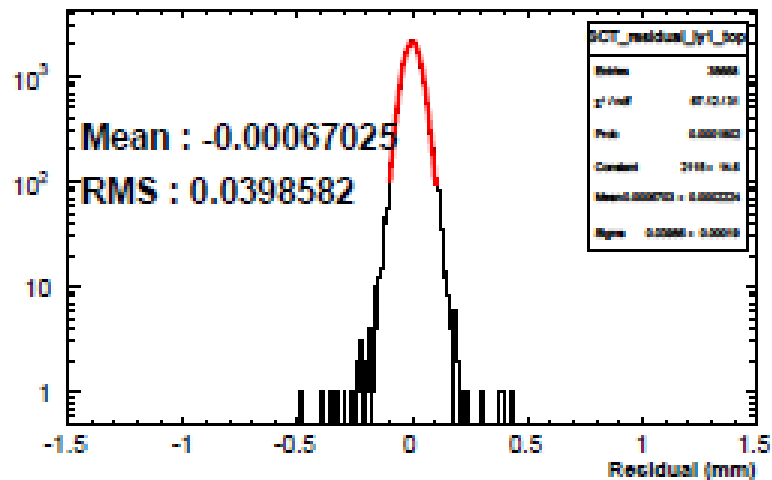
SCT residual ly0 top



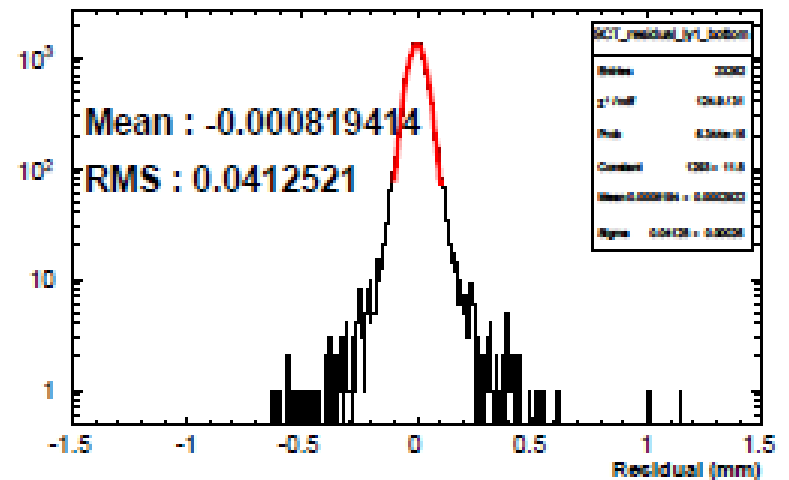
SCT residual ly0 bottom



SCT residual ly1 top

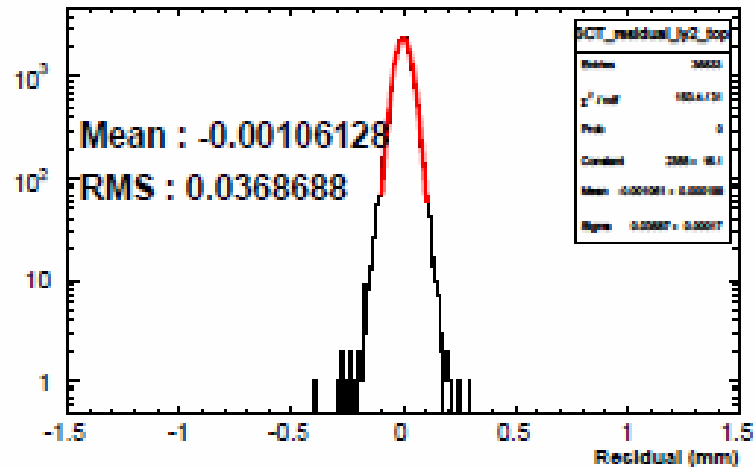


SCT residual ly1 bottom

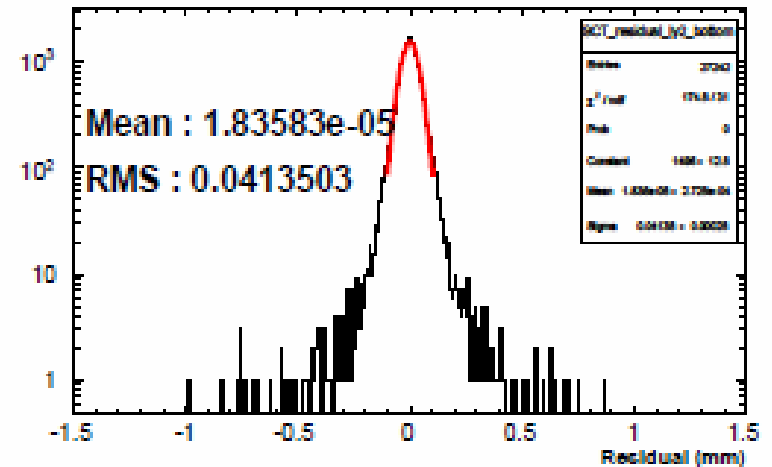


local alignment ly2 & ly3

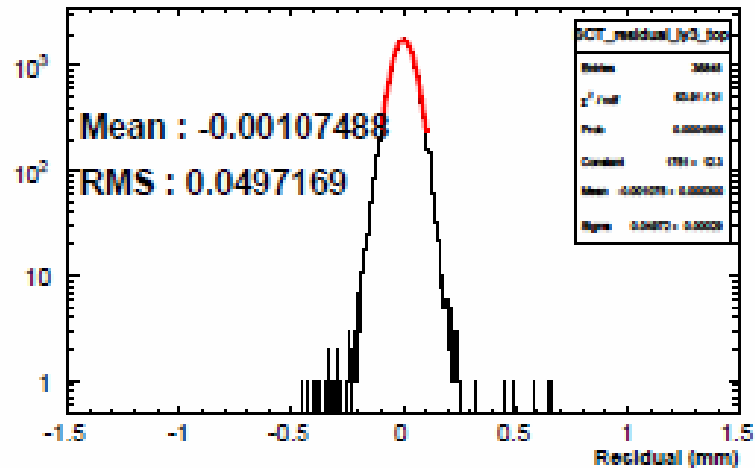
SCT residual ly2 top



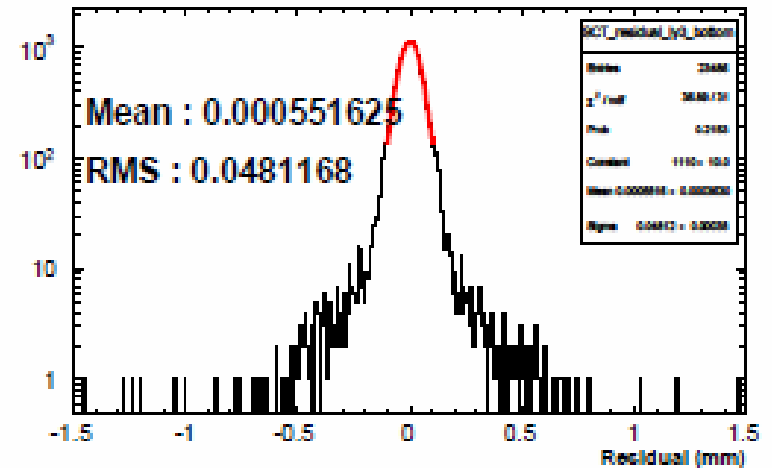
SCT residual ly2 bottom



SCT residual ly3 top

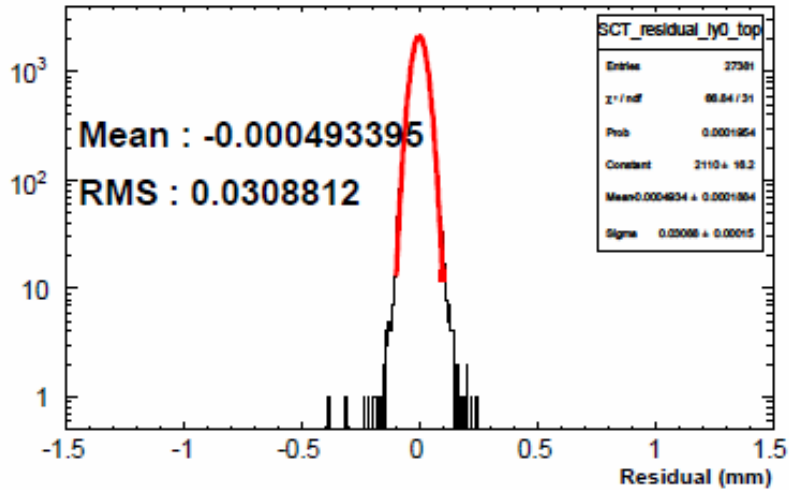


SCT residual ly3 bottom

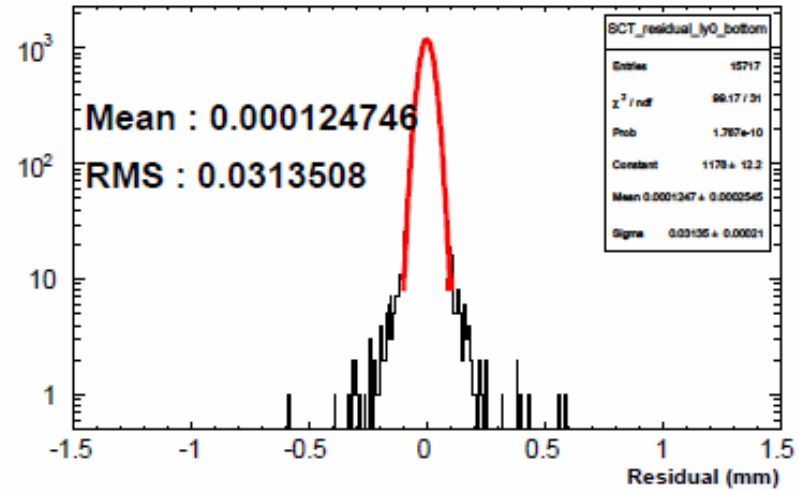


Geant 4 simulation ly0 & ly1

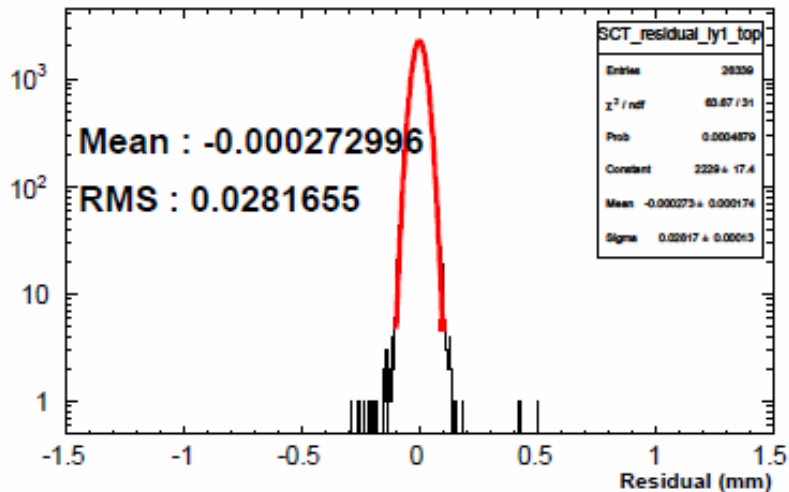
SCT residual ly0 top



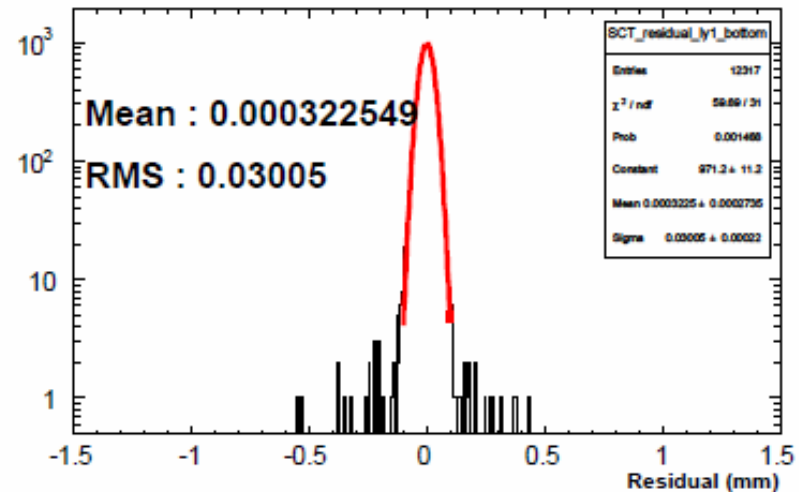
SCT residual ly0 bottom



SCT residual ly1 top

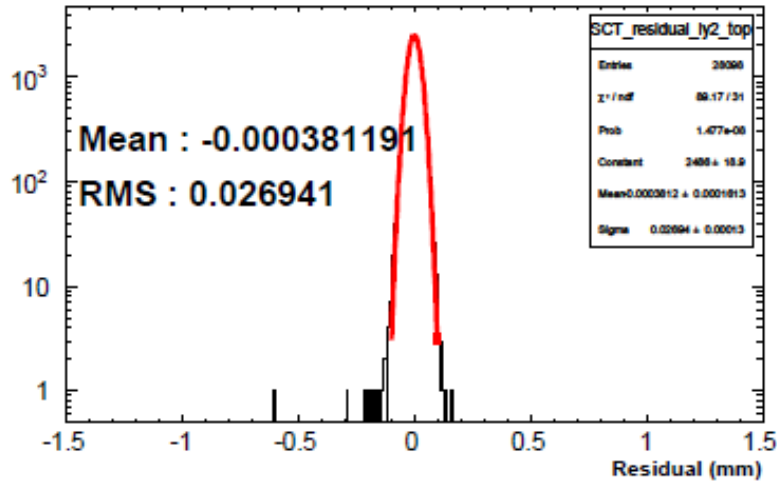


SCT residual ly1 bottom

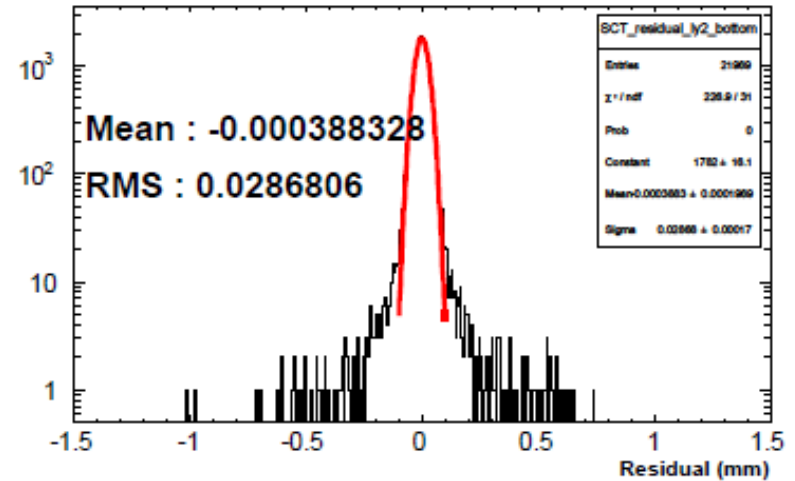


Geant 4 simulation ly2 & ly3

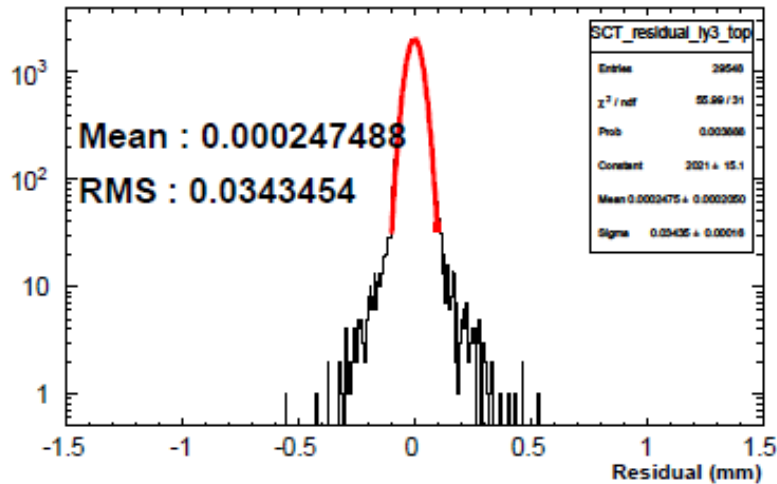
SCT residual ly2 top



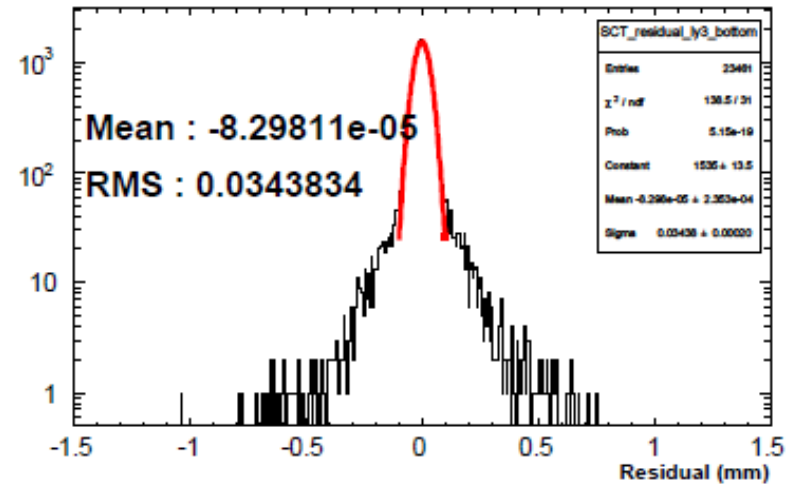
SCT residual ly2 bottom



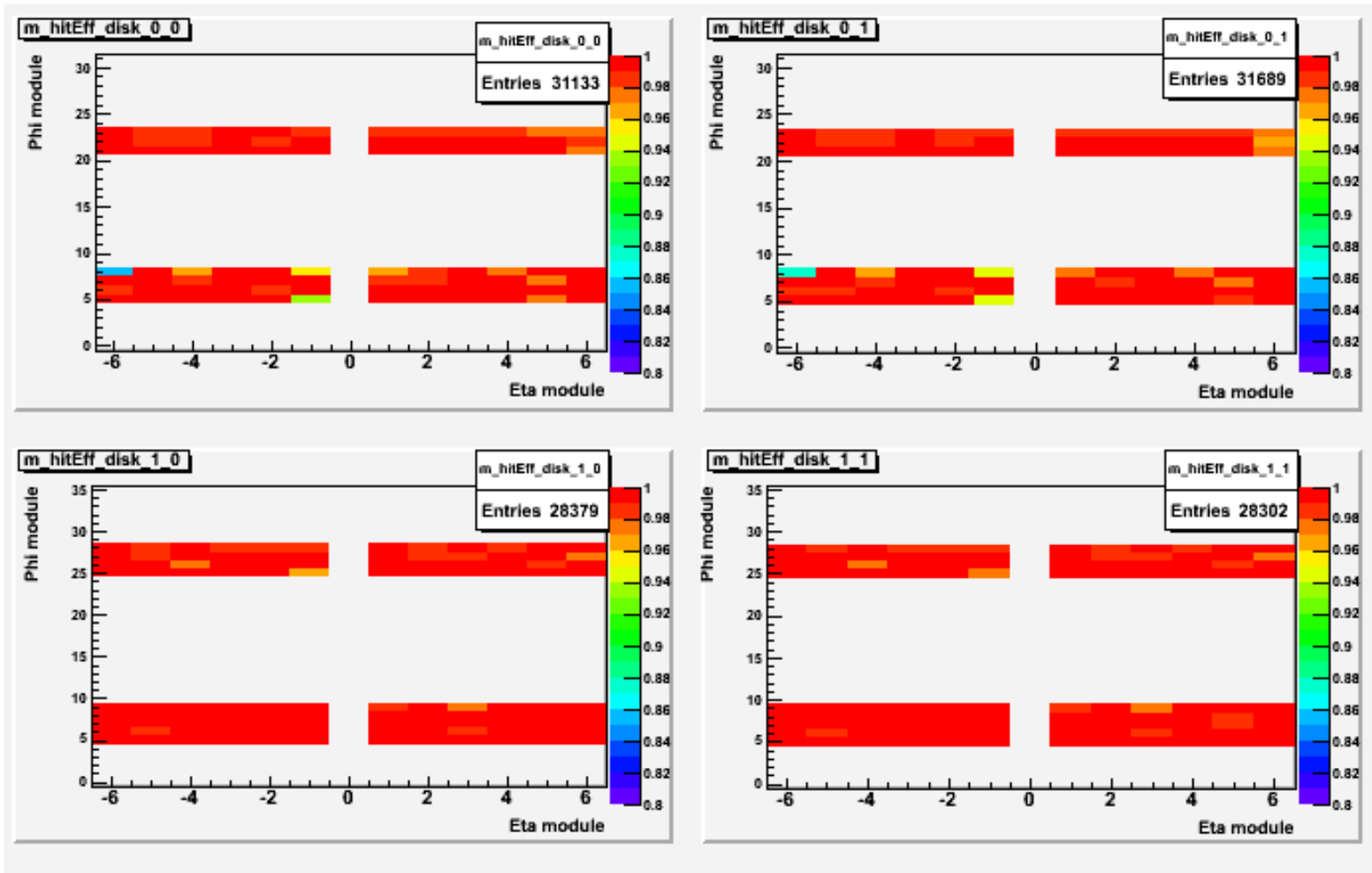
SCT residual ly3 top



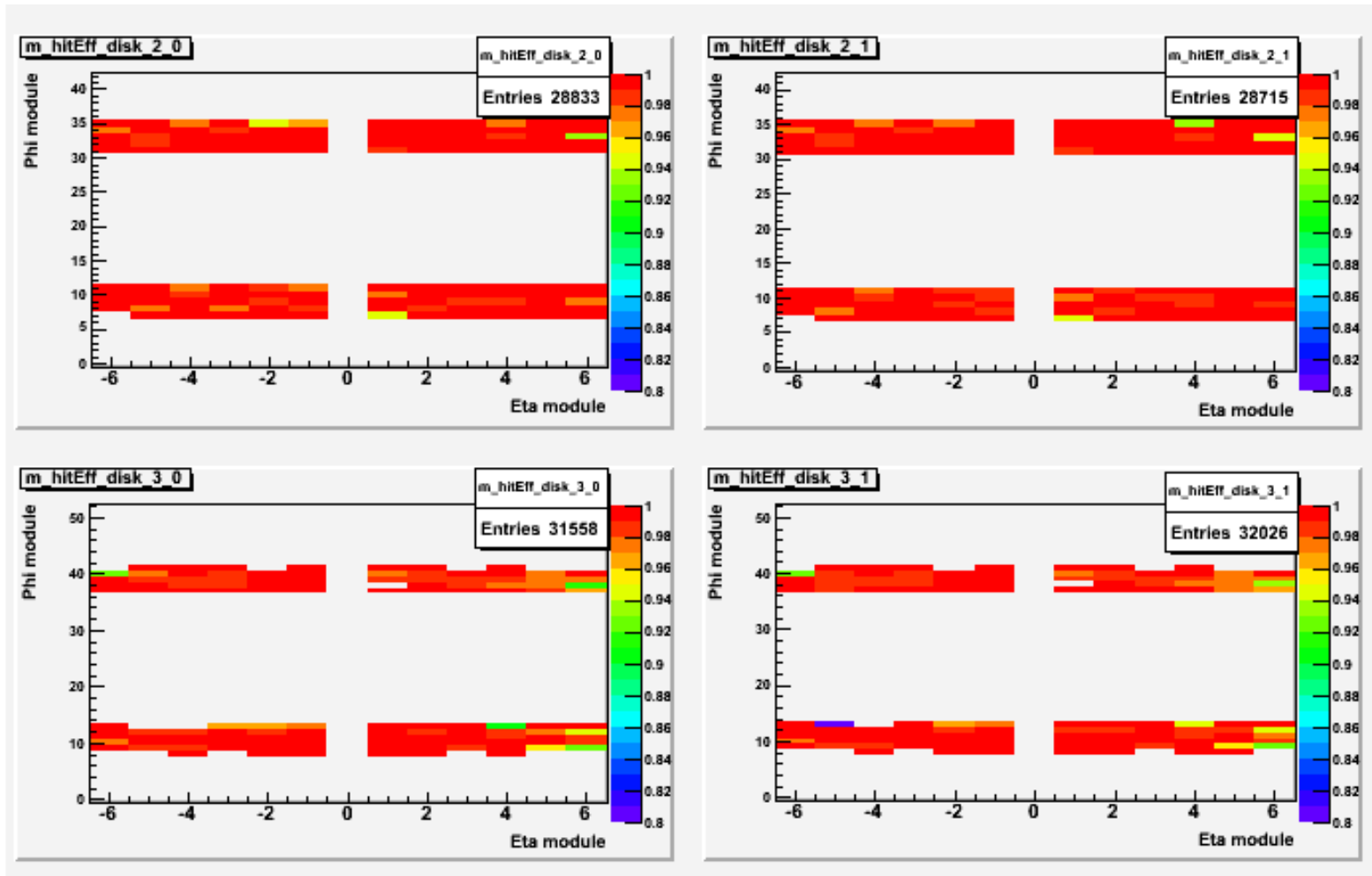
SCT residual ly3 bottom



Efficiency map ly0 & ly1



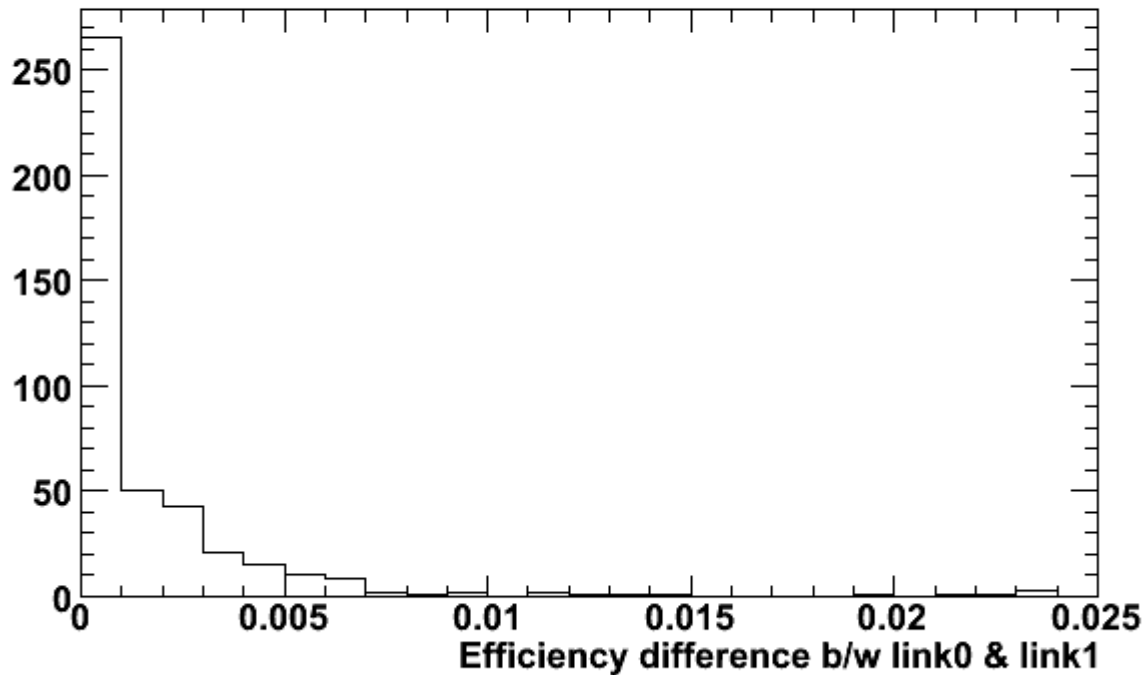
Efficiency map ly2 & ly3



Efficiency Diff b/w link 0 & link 1

Diff b/w link0 & link1

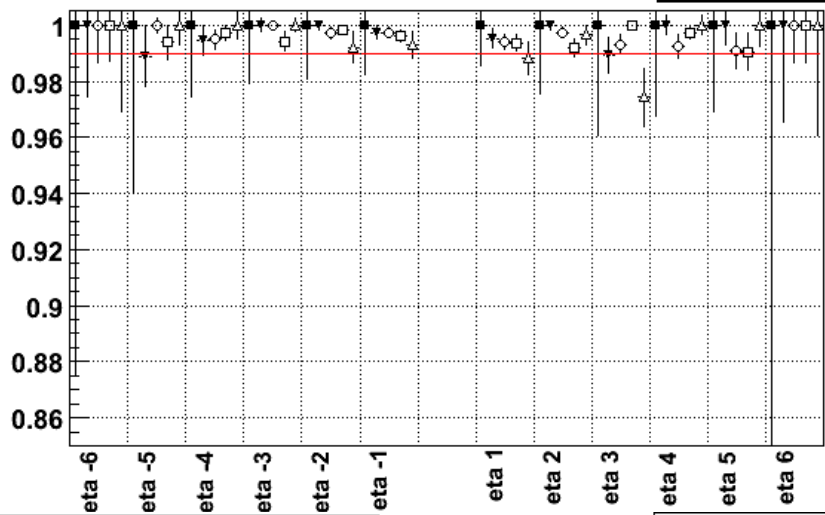
h_ModEff_link0_vs_link1	
Entries	435
Overflow	6



Efficiency detail ly1

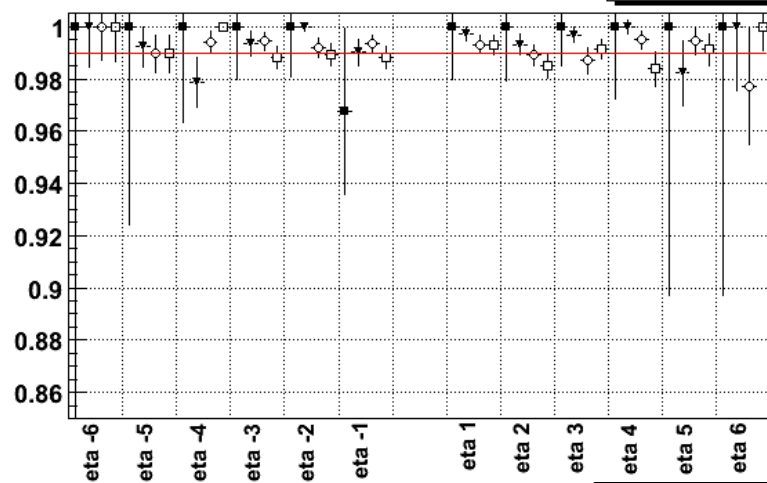
Module Eff layer1 link0 Top

- phi 5
- ▼ phi 6
- phi 7
- phi 8
- △ phi 9



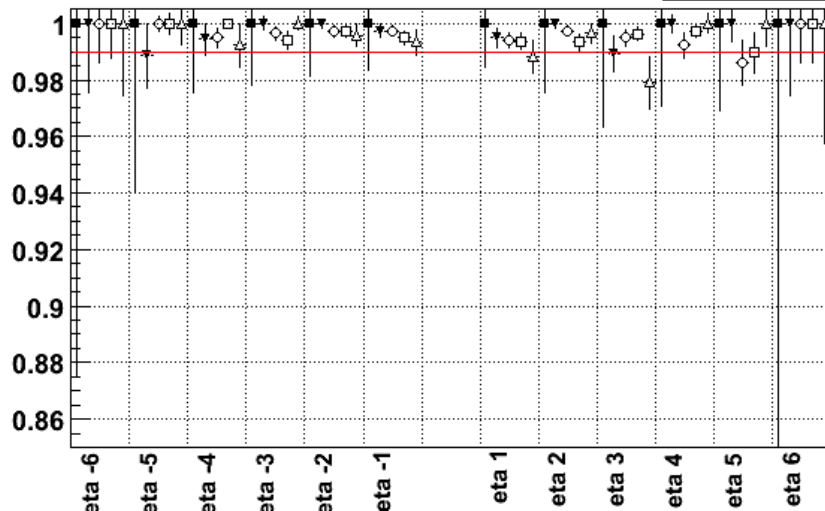
Module Eff layer1 link0 Bottom

- phi 25
- ▼ phi 26
- phi 27
- phi 28



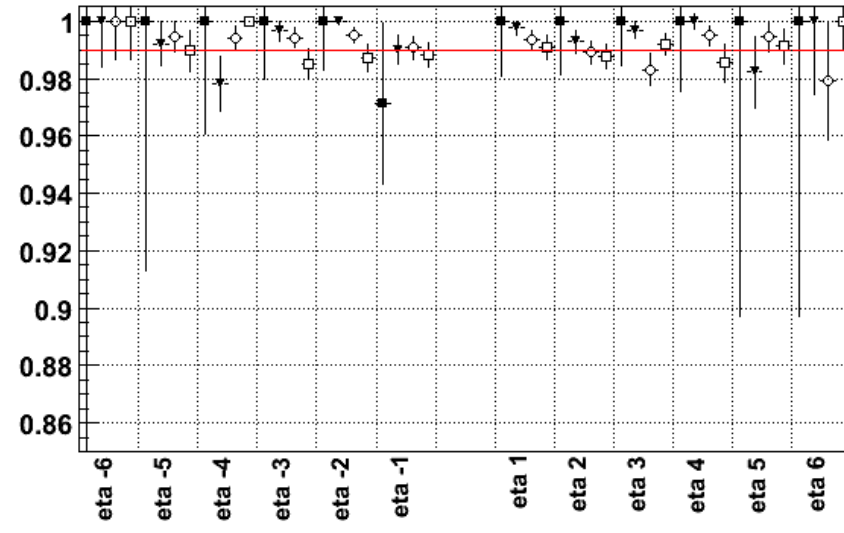
Module Eff layer1 link1 Top

- phi 5
- ▼ phi 6
- phi 7
- phi 8
- △ phi 9

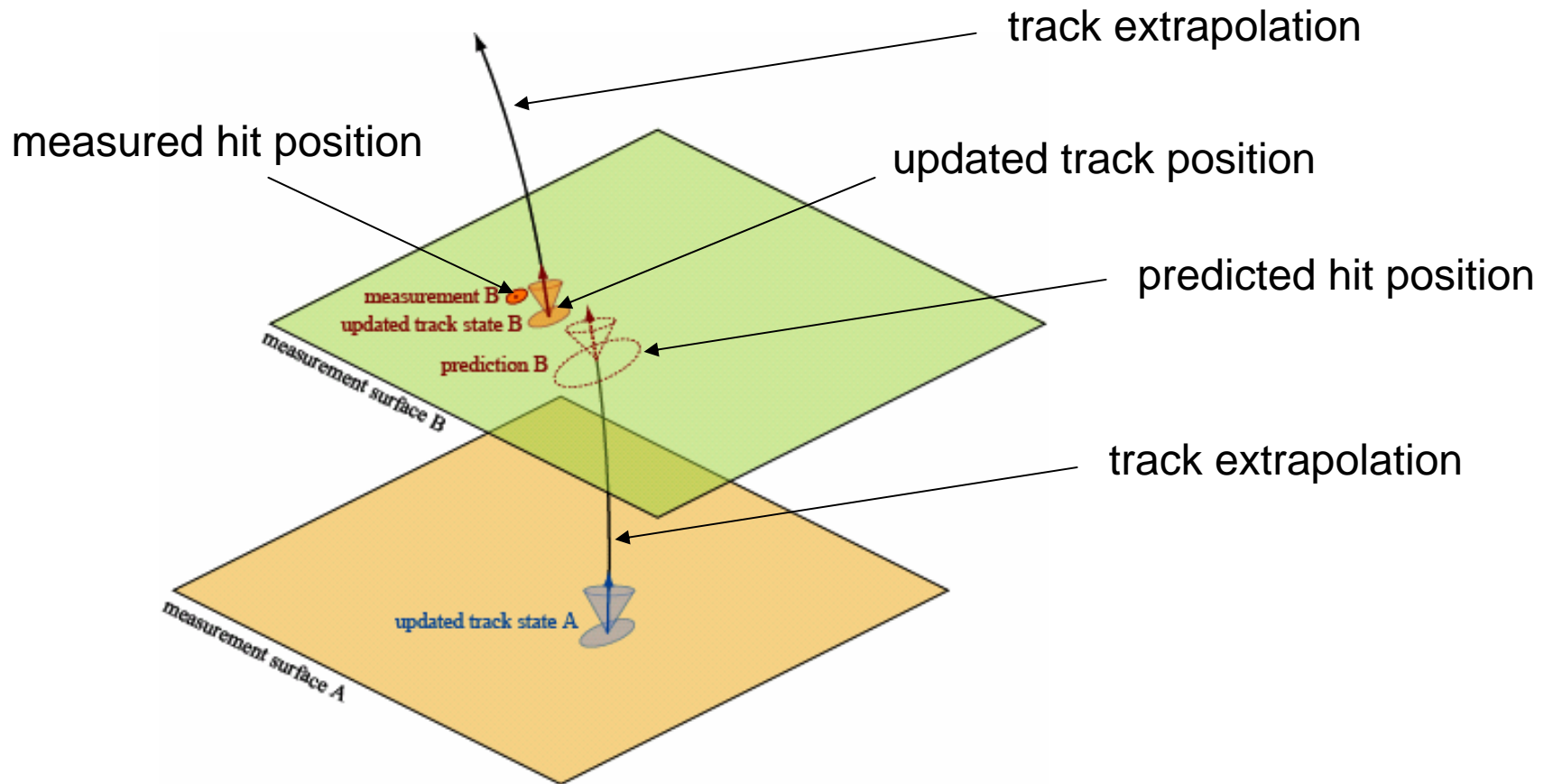


Module Eff layer1 link1 Bottom

- phi 25
- ▼ phi 26
- phi 27
- phi 28



Kalman Filtering



LHC加速器 (Large Hadron Collider)

現在CERN研究所にて建設中の陽子-陽子衝突型加速器

重心系エネルギー $\sqrt{s} = 14\text{TeV}$

LHC (Large Hadron Collider) @ CERN



LHC加速器のスケジュール

2007年末 $\sqrt{s} = 900\text{GeV}$

検出器の較正・加速器の調整

2008年春

$\sqrt{s} = 14\text{TeV}$ での物理実験の開始

実験目的

- ✓ Higgs粒子の探索
- ✓ 標準理論の検証
- ✓ 標準理論を越える物理の探索