

Belle II実験TOPカウンター

宇宙線シミュレーションを用いた動作試験と較正

名古屋大学N研M2 都築識次

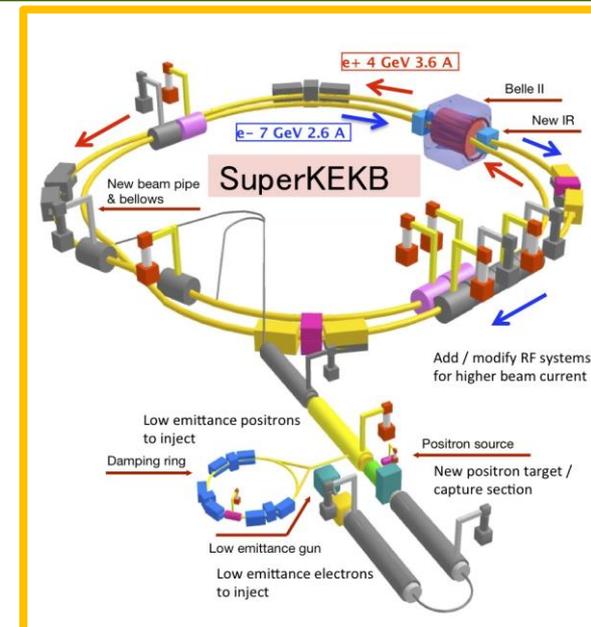
高エネルギー物理春の学校2017

5/20

Belle II 実験

重心系エネルギー10.58 GeVの電子・陽電子衝突実験

B中間子の稀崩壊事象の崩壊分岐比などを高精度で測定することにより、新物理に感度を持つ探索が可能



Belle II 検出器

崩壊点検出器
(SVD・PXD)

飛跡検出器 (CDC)

電磁カロリメータ
(ECL)

粒子識別装置
(TOP・ARICH)

ミュオン検出器
(KLM)

~ 7 m

~ 7.5 m



Belle II 実験

2016 1月	6月	2017 1月	6月	2018 1月	6月	2019 1月
------------	----	------------	----	------------	----	------------

現在

✓ TOPインストール

✓ CDCインストール

✓ Belle II ロールイン

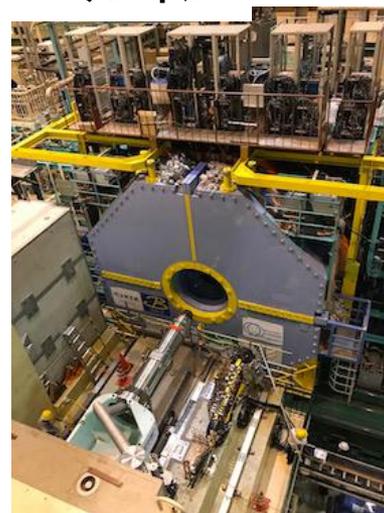
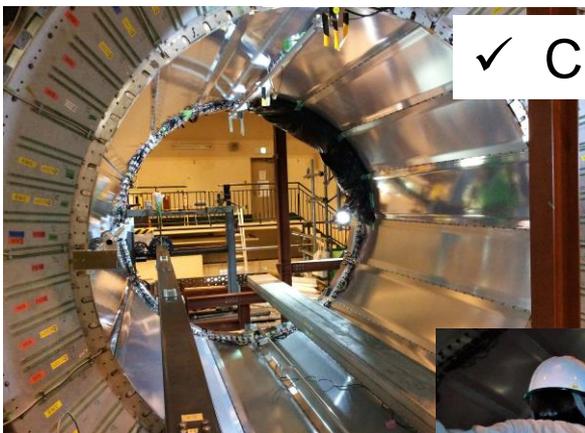
◆ 統合宇宙線線テスト

◆ Phase2
(試運転)

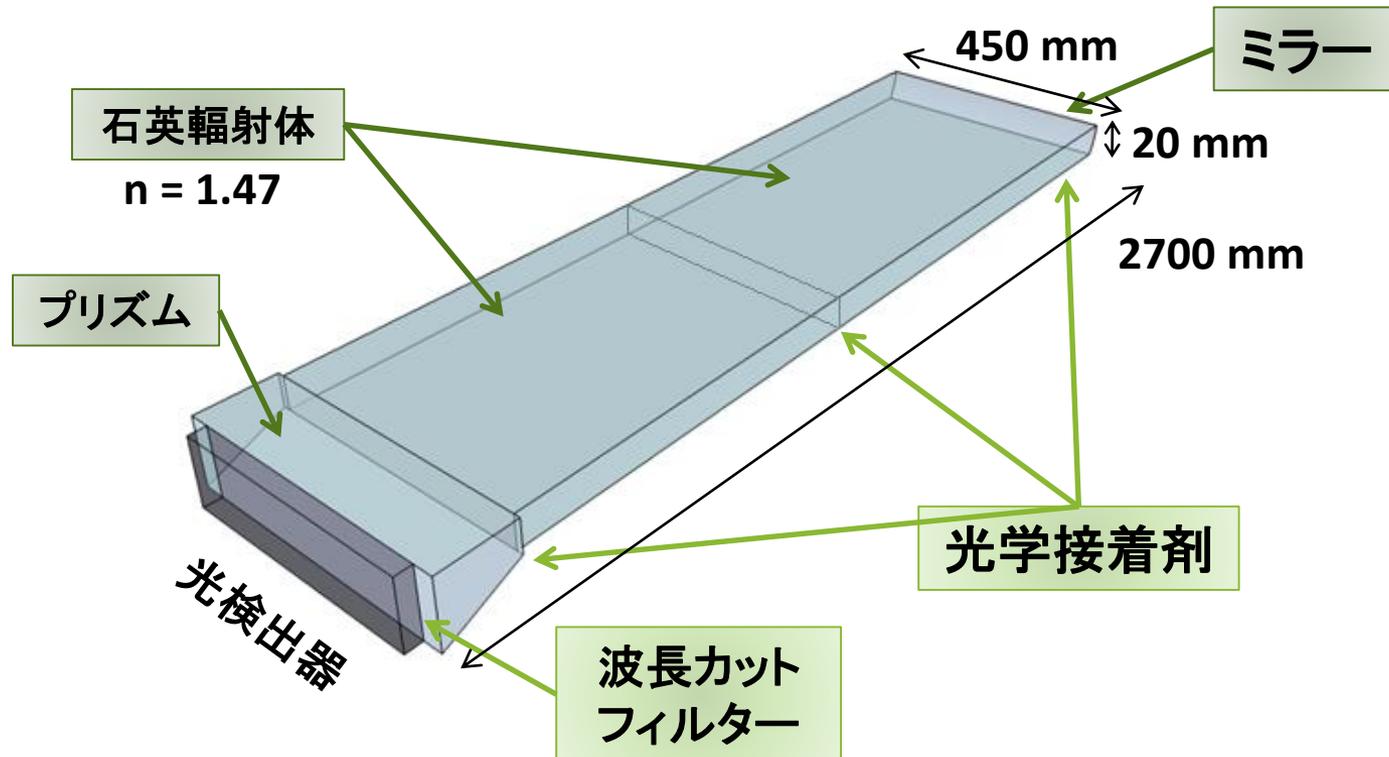
◆ ARICHインストール

◆ SVD・PXD
インストール

◆ Phase3
(本運転)



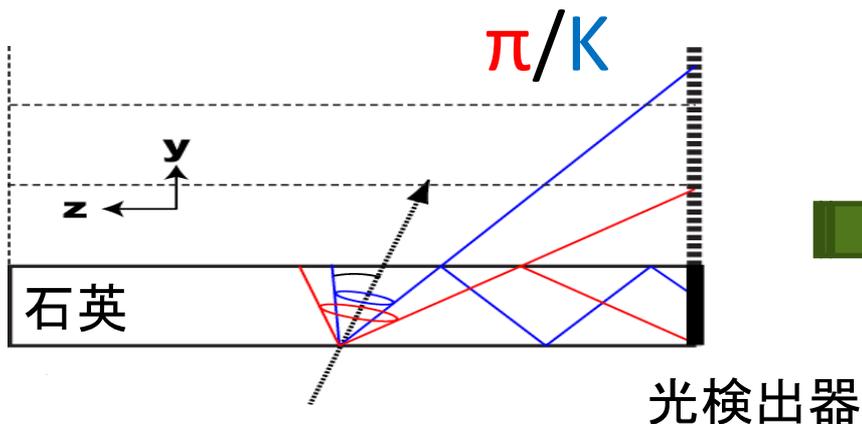
粒子識別装置 TOPカウンター



衝突点で生成された粒子が石英中でチェレンコフ光を発生し、光検出器で測定されるまでの、粒子の飛行時間と光の伝搬時間 (Time Of Propagation) を測る装置

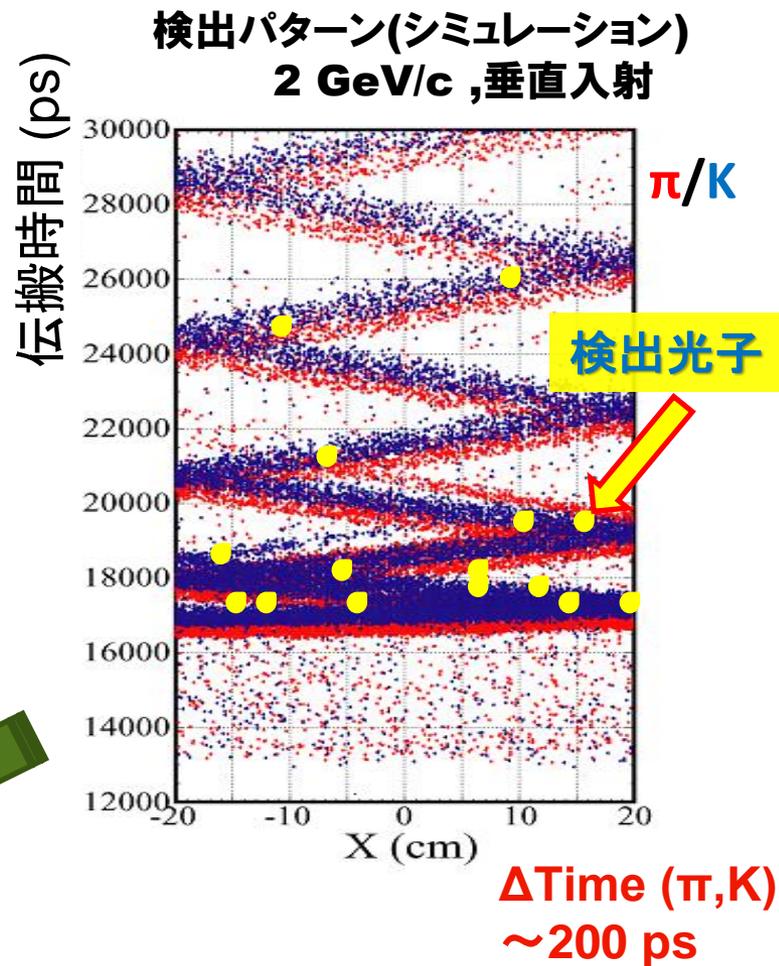
TOPによる粒子識別

チェレンコフ光の放出角度 \Rightarrow 質量



3 GeV の π 中間子に対して

	Belle I (ACC+TOF)	Belle II TOP
識別効率	89%	95%
誤識別率 (Kを π と判定)	12%	5%



1イベントにつき、 ~ 20 光子検出
 π/K どちらのパターンに近いかを判定

研究課題

これまでのTOP動作検証の問題点

宇宙線の飛跡測定が十分に出来なかったため、平均的に1イベントあたり20光子程度検出されることまでしかチェックできなかった

統合宇宙線テスト (今年6月開始)

他のインストール済みBelle II検出器と共にデータを取得するので、

- 100 μm ~ 数 mmの精度で飛跡が再構成される
- 磁場中であれば運動量も測定される

⇒ チェレンコフ光の発生角度、伝搬経路が推定できる

TOPカウンター本来の粒子識別性能まで試験が可能

TOP全16台に関して、より本番に近い動作検証を進めていく

動作検証の方針

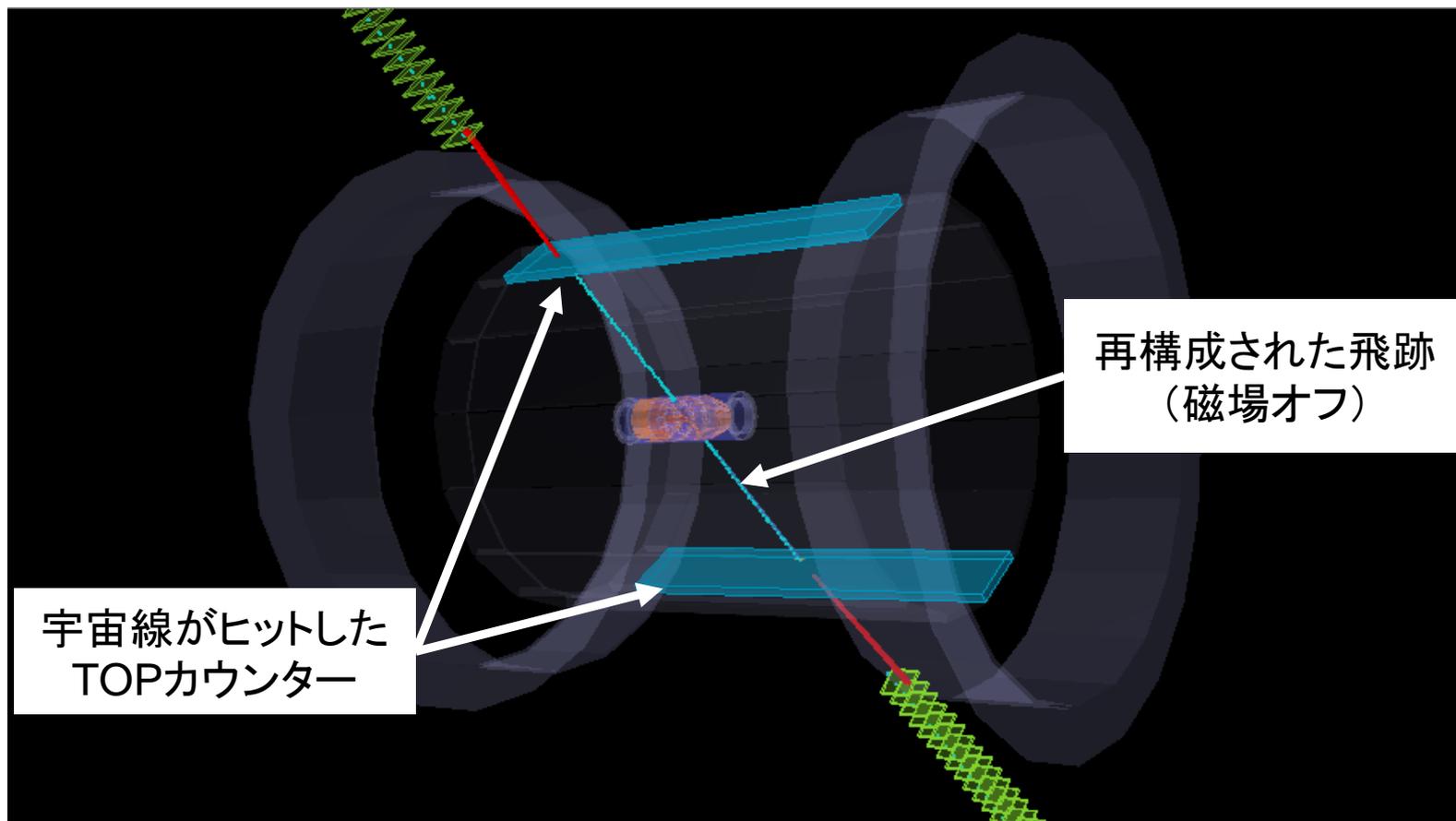
統合宇宙線テストのシミュレーションを用いて、期待されるTOPの動作を調べ、実際の測定結果と比較する。

現在、シミュレーションのデータで

1. 検出される光子数と宇宙線の入射角度の関係
2. もしも、TOP内部に問題があったら、どのようにデータが変化するか

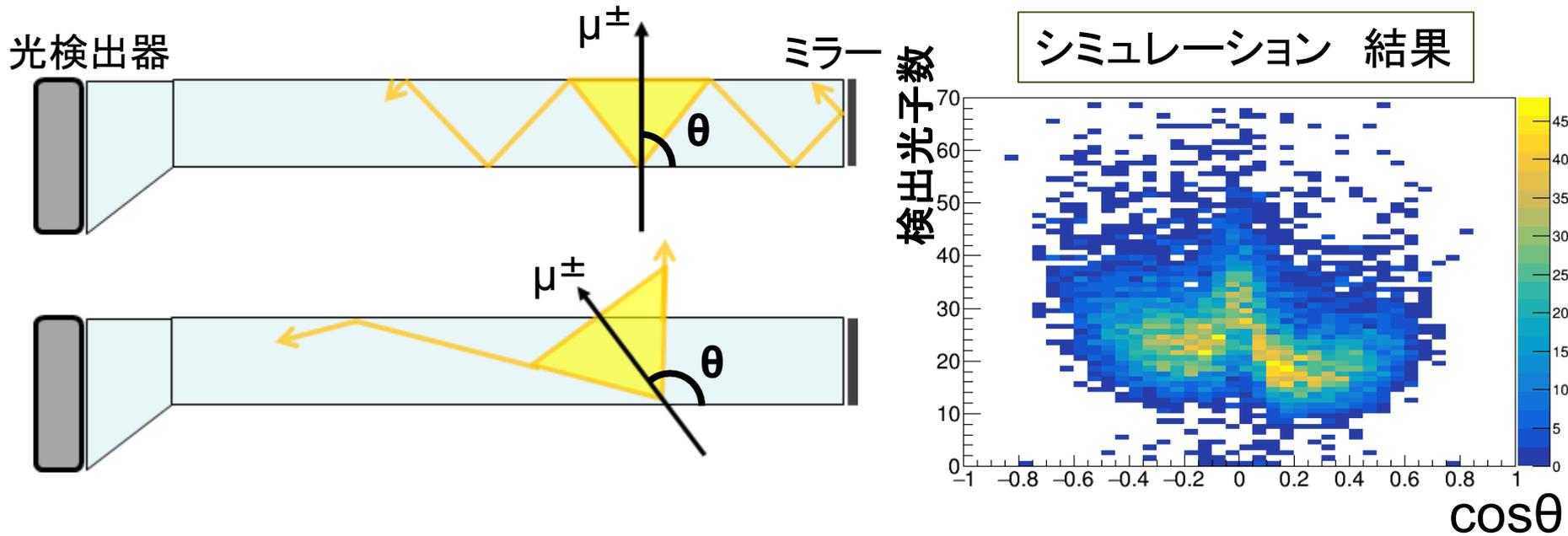
を調べた

シミュレーション (イベント選別)



宇宙線ミュオンを生成し、各検出器の動作をシミュレーションする
Belle II検出器の中心付近を通過しているイベント、
余計な電子がTOPに当たっていないイベントを解析する

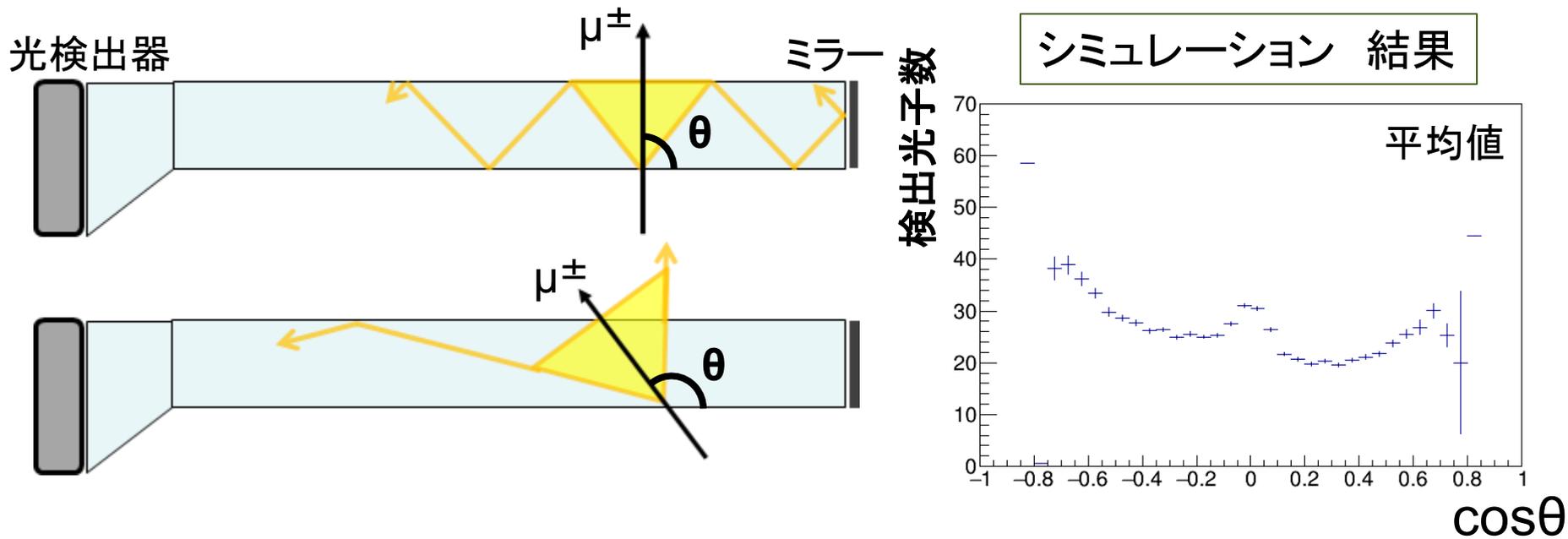
検出光子数とミュオン入射角度



ミュオンの入射角度によって、石英中におけるチェレンコフ光の伝搬の様子は大きく変わる。

これまでは入射角度を
考慮できなかった

検出光子数とミュオン入射角度



ミュオンの入射角度によって、石英中におけるチェレンコフ光の伝搬の様子は大きく変わる。

これまでは入射角度を考慮できなかった

入射角度ごとに分けて解析を進めれば、より詳細に動作検証ができる

TOPに問題がある場合の想定

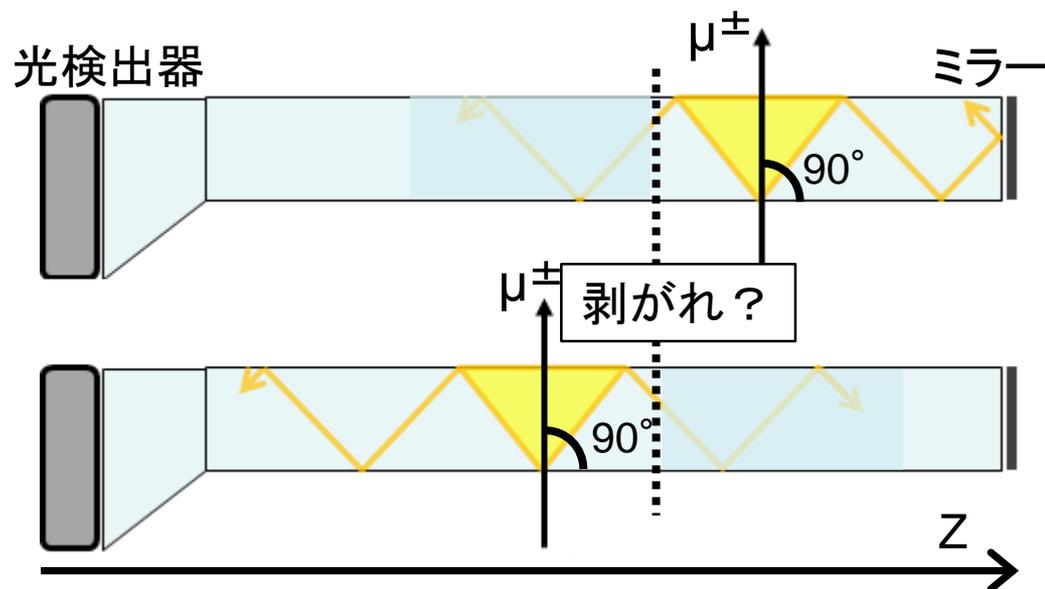
もし、実際の測定がシミュレーションと異なっていた場合、その原因調査が重要課題となる。

⇒ 可能性のある事態について、シミュレーションで発見方法を考察する

例) 石英の接着が剥がれてしまっていたら...

検出光子数が減少、特に剥がれた場所の前後で大きな変化があるはず

→ ミューオンの入射位置と
検出光子数の関係を見る
(入射角度に関しても分割)

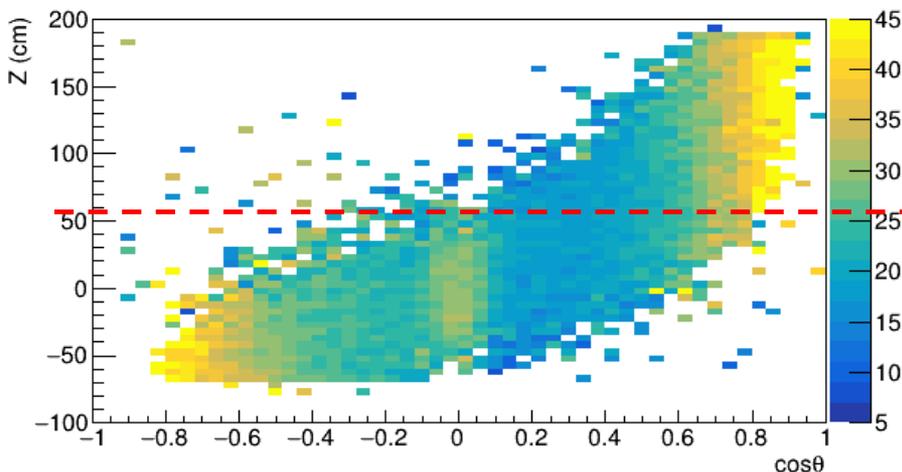


シミュレーション結果 (極端な例)

接着面にエアギャップを入れて比較する

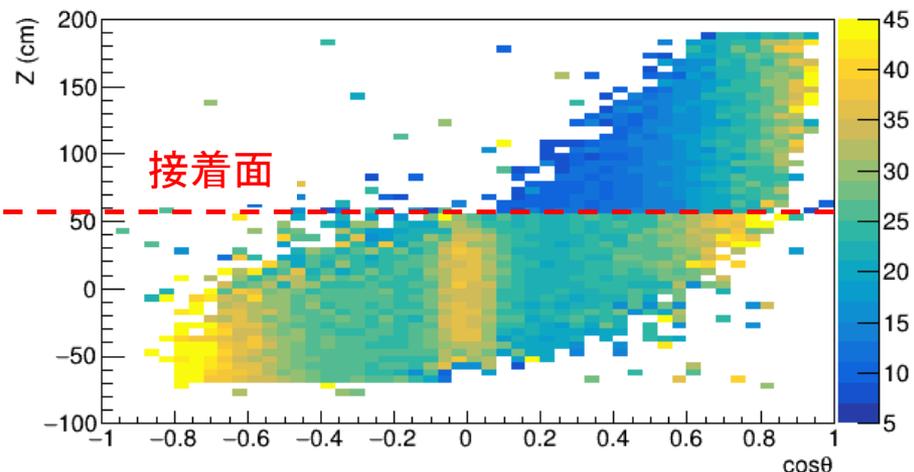
正常な場合

検出光子数



100%剥がれた場合

検出光子数



接着面を境に検出光子数の変化が確認できた

今後、剥がれの割合を調整し、それを発見できる統計量の関係性を調べる

最後に、さらなる測定計画

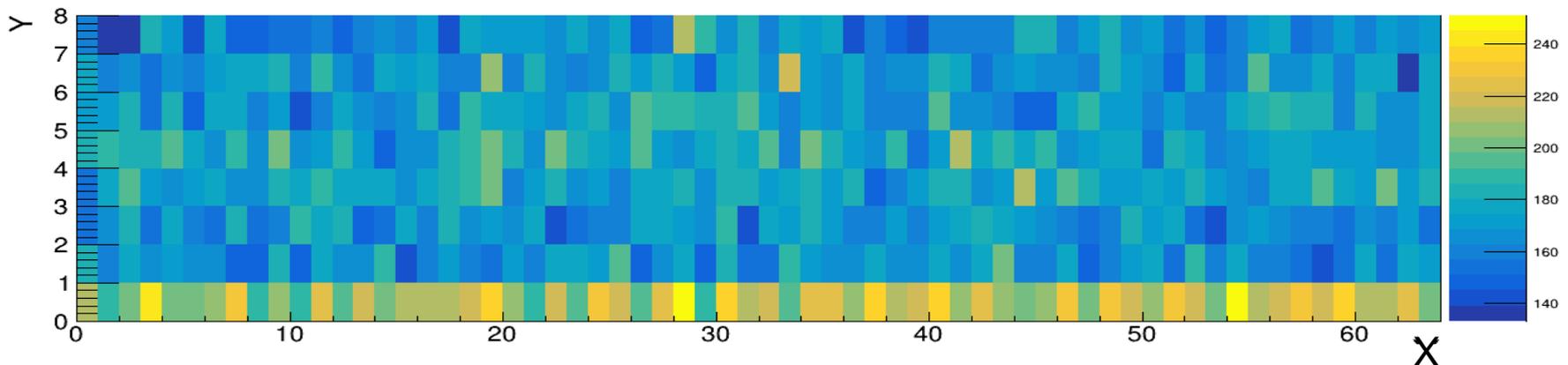
シミュレーションと実際の結果を比較することで光検出効率の絶対量が測定可能。

--- 宇宙線の入射位置・角度を絞って、光検出器のチャンネルごとに全イベント合計の検出光子数を比較する。

これを測定すれば、粒子識別の計算にパラメータとして反映できる

⇒ TOPの性能を最大化することに貢献

光検出器のチャンネルごとに期待される光子数（多数の宇宙線イベントでの積分量）

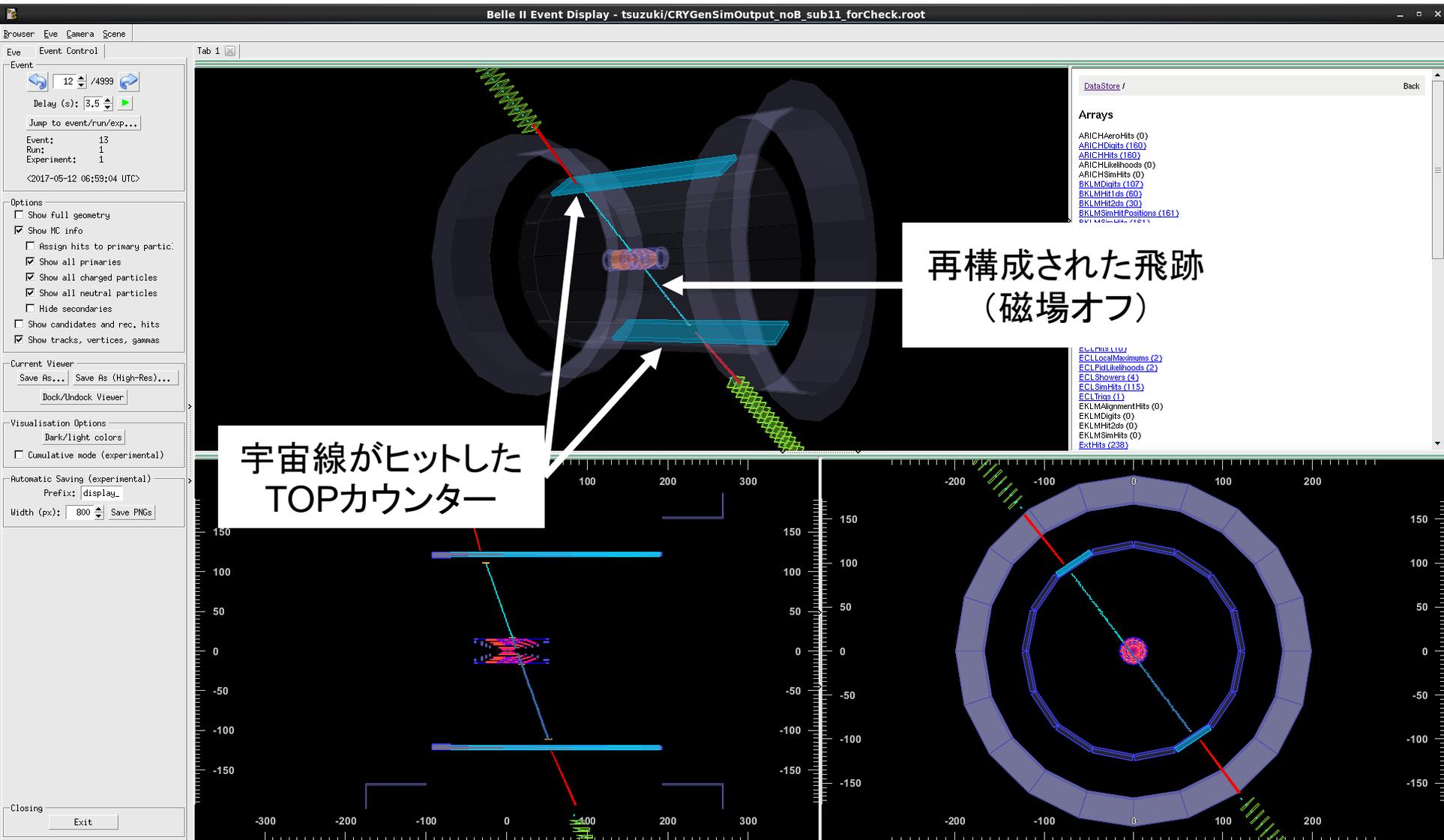


まとめ

- 今年6月から始まる統合宇宙線テストでは、初めてBelle II検出器の飛跡再構成を使ったTOPカウンター動作検証が可能となる。
- 現在、シミュレーションのデータを解析し、実際のデータをいかに理解するかをスタディしている。
- 今後、実際の測定とシミュレーションを比較した結果から、TOPカウンターの現在の状態を調査していく。

Back up

イベントディスプレイ



チェレンコフ光 リングイメージ

- チェレンコフ光

$$\cos\theta_c = 1/(n\beta)$$

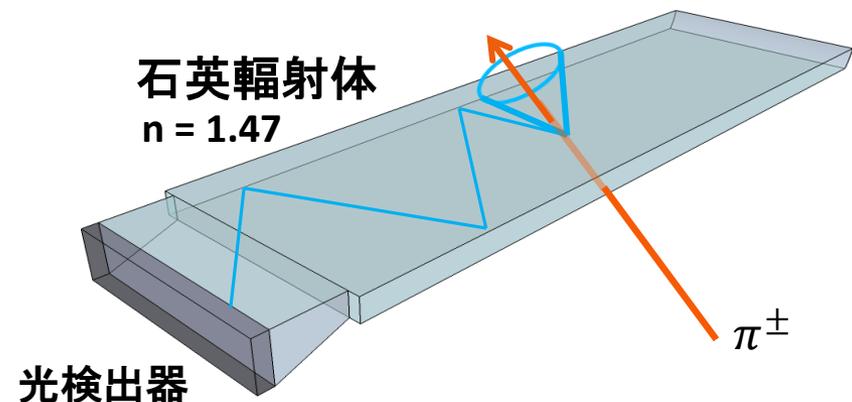
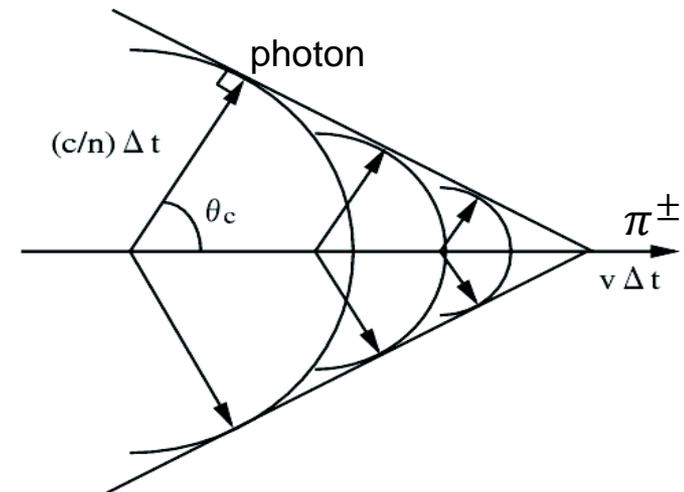
- TOPカウンター

---チェレンコフ光の角度 θ_c の情報から
粒子の速度 β が分かる。

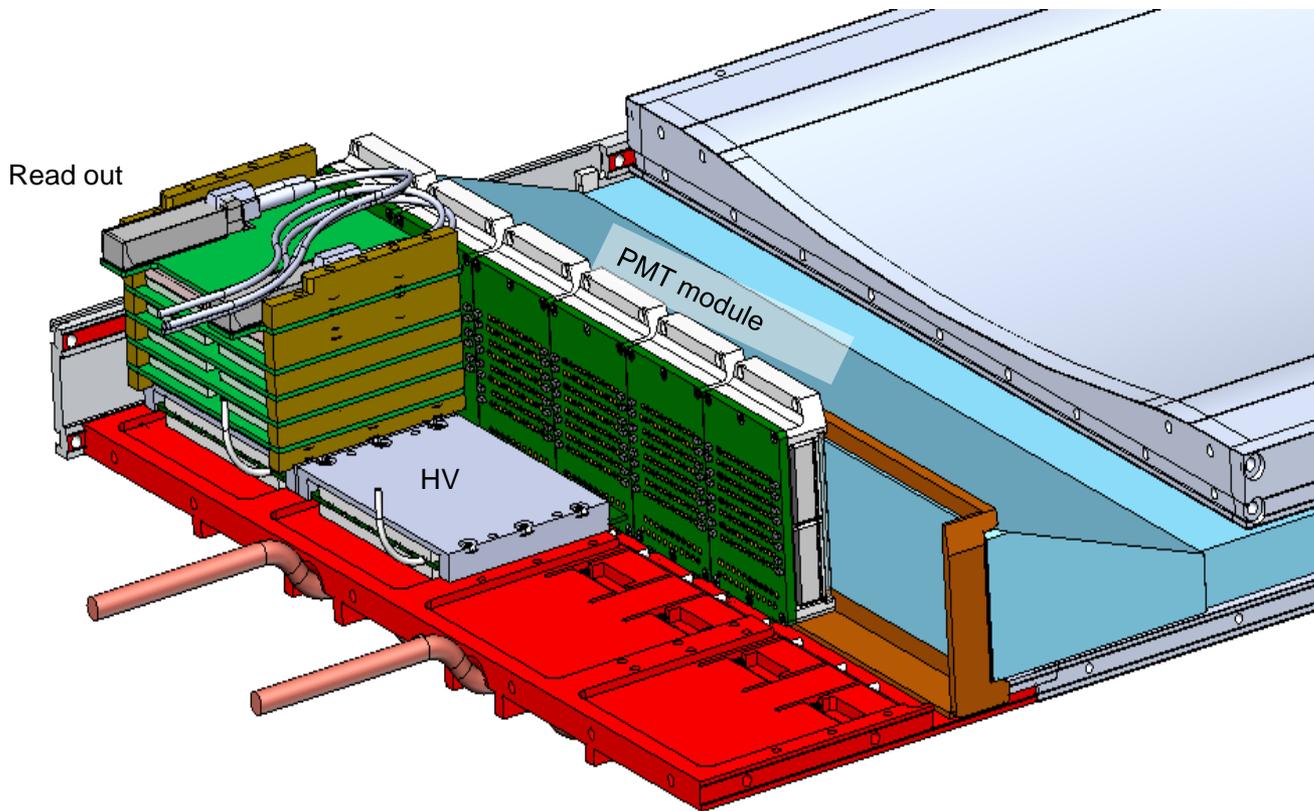
⇒ **Particle ID** (特に、 K^\pm と π^\pm)

質量、運動量、速度の関係式

$$\frac{p}{m} = \beta \gamma = \beta / \sqrt{1-\beta^2}$$



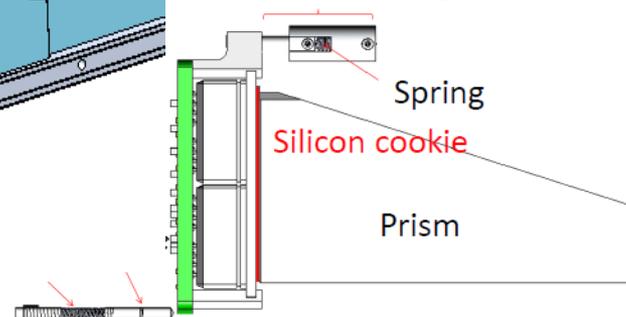
TOPカウンター



PMT module (4 PMTs)

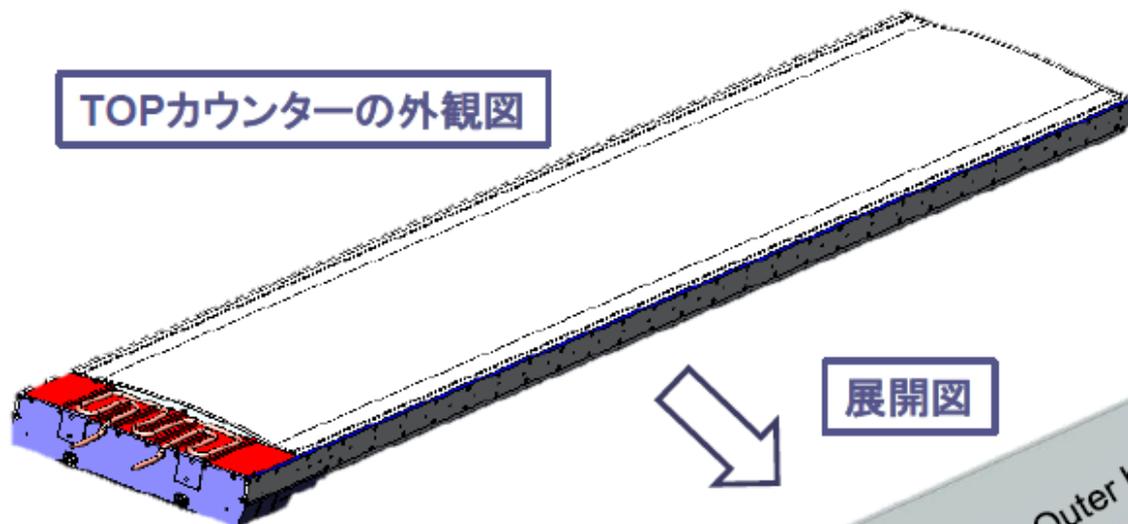


Screw hole plunger

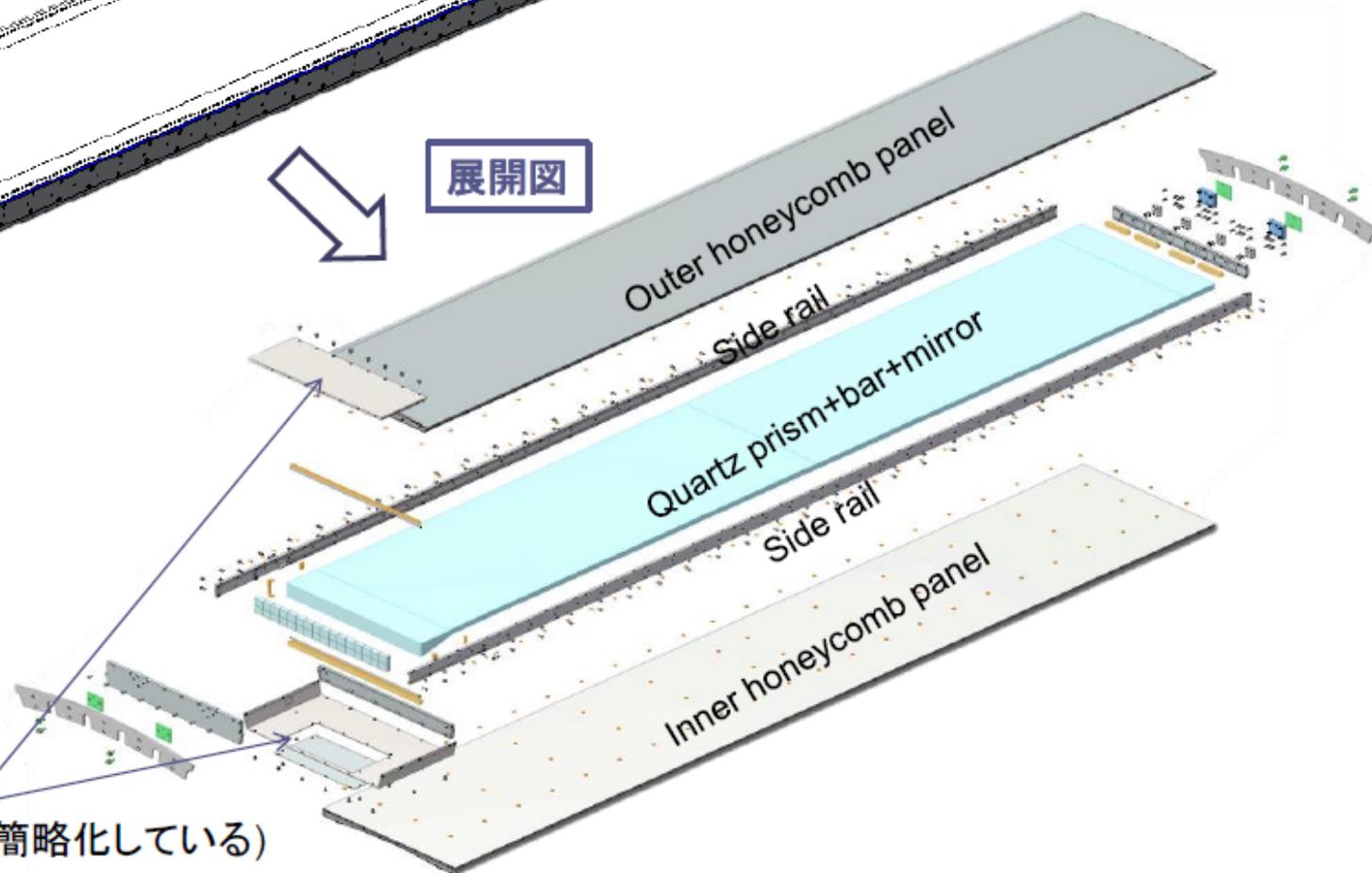


TOPカウンター構造

TOPカウンターの外観図



展開図



リードアウトカバー(簡略化している)

Cherenkov angle of K / π at TOP counter

$$\cos \theta_c = \frac{1}{n\beta} = \frac{1}{n \cdot \frac{p}{\sqrt{m^2 + p^2}}} = \frac{\sqrt{m^2 + p^2}}{np} \quad (\text{natural unit})$$

$$K^\pm : 494 \text{ MeV}/c^2$$

$$\pi^\pm : 140 \text{ MeV}/c^2$$

$$n : 1.47$$

4GeV	$K^\pm \Rightarrow 46.73$ degrees $\pi^\pm \Rightarrow 47.10$ degrees		Angular difference : 6.46mrad
3GeV	$K^\pm \Rightarrow 46.41$ degrees $\pi^\pm \Rightarrow 47.08$ degrees		Angular difference : 11.56mrad
2GeV	$K^\pm \Rightarrow 45.52$ degrees $\pi^\pm \Rightarrow 47.00$ degrees		Angular difference : 25.83mrad

TOPカウンターの原理と識別能力

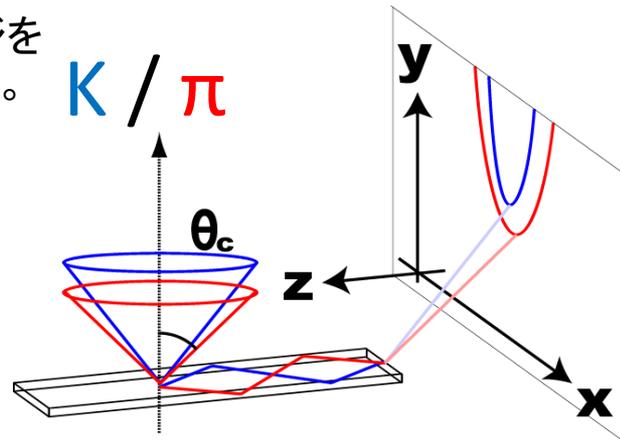
・粒子識別の原理

チェレンコフ光が、リングイメージを保存しつつ光検出器に到達する。

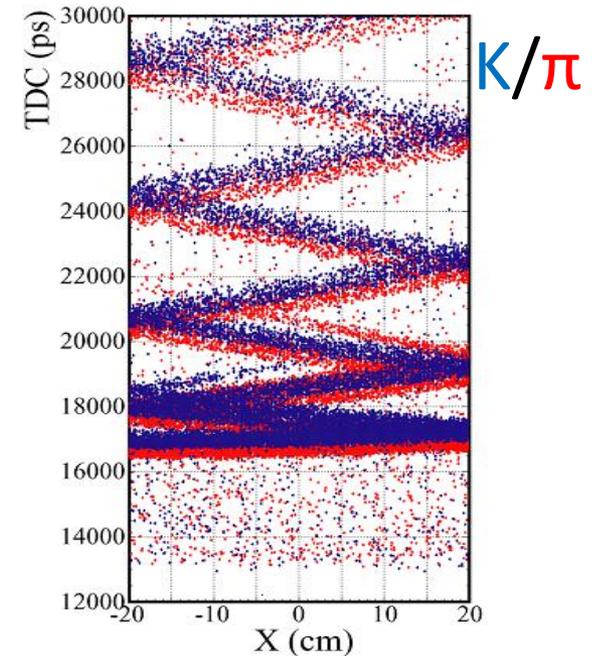
$$\cos \theta_c = \frac{1}{n\beta}$$

(θ_c : チェレンコフ角)

$$m = \frac{p\sqrt{1-\beta^2}}{\beta}$$



TOPカウンターのリングイメージ



シミュレーション
2GeV/c , $\theta = 90^\circ$

xと時間tの情報でリングイメージを再構成
(Likelihood scanで最小値探索) ⇒ 粒子識別

$$TOP \text{ 識別能力} = \frac{\Delta Time(\pi, K)}{\text{時間分解能}} \times \sqrt{\text{検出光子数}}$$

と近似できる。

物理解析での PID

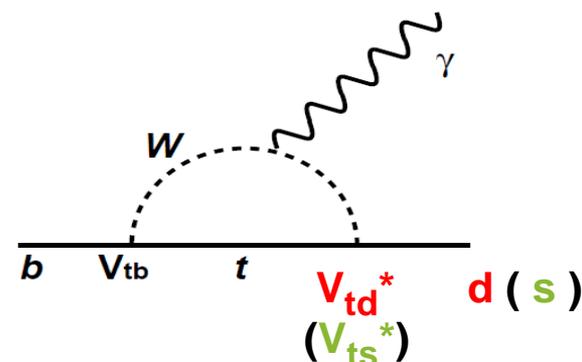
- $K^+(us)$ と $\pi^+(ud)$ の識別

⇒ sクォークに崩壊したのか、dクォークに崩壊したのかを識別

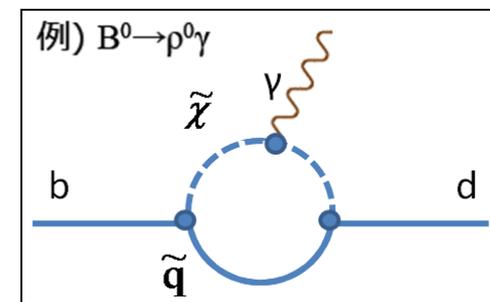
- 解析の例 $|V_{td}/V_{ts}|$

事象	崩壊分岐比
$B^0 \rightarrow \rho^0 \gamma \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma$	8.6×10^{-7}
$B^0 \rightarrow K^* \gamma \rightarrow K^+ \pi^- \gamma$	4.3×10^{-5}

~50倍



高い精度で測定することで
標準模型からのズレ(=新物理の寄与)を発見する。



Belle II 実験

重心系エネルギー10.58 GeVの電子・陽電子衝突実験

B中間子の稀崩壊事象の崩壊分岐比などを高精度で測定することにより、
新物理に感度を持つ探索が可能

Belle II 検出器

