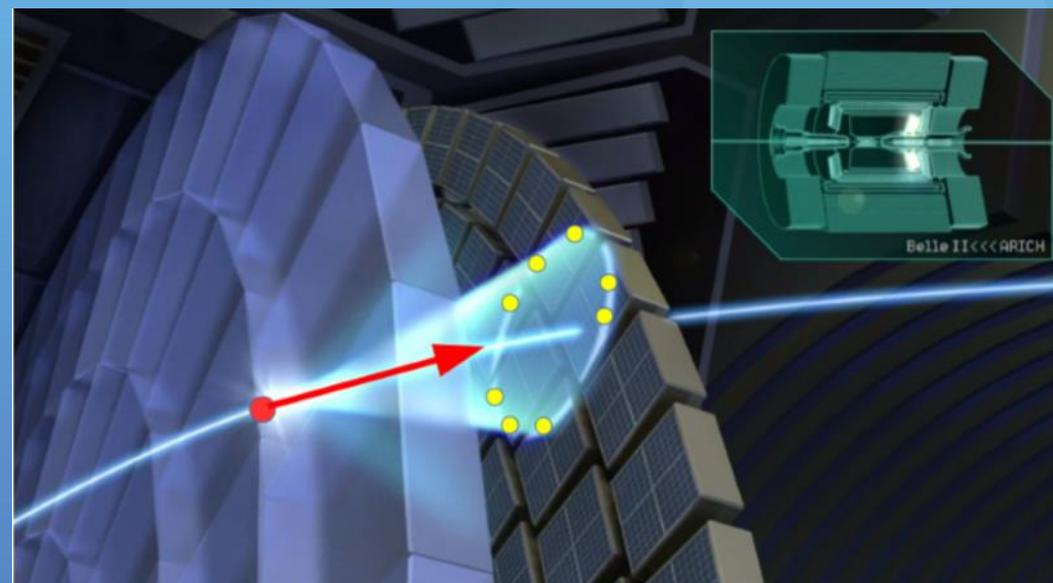




TOHO University



Belle II 実験ARICH検出器の Bhabhaイベントを用いた チェレンコフ角度分解能評価



東邦大学 理学研究科
物理学専攻 修士1年
北村 勇人

目次

1. イントロダクション-Belle II 実験-
 2. ARICH検出器
 - 粒子識別原理
 - 輻射体Aerogel
 - 光検出器HAPD
 - Phase2
 3. 研究概要
 4. 解析
 - ARICHトラック 位置分布
 - ARICHトラック 運動量分布
 - チェレンコフ角度分布
- まとめ

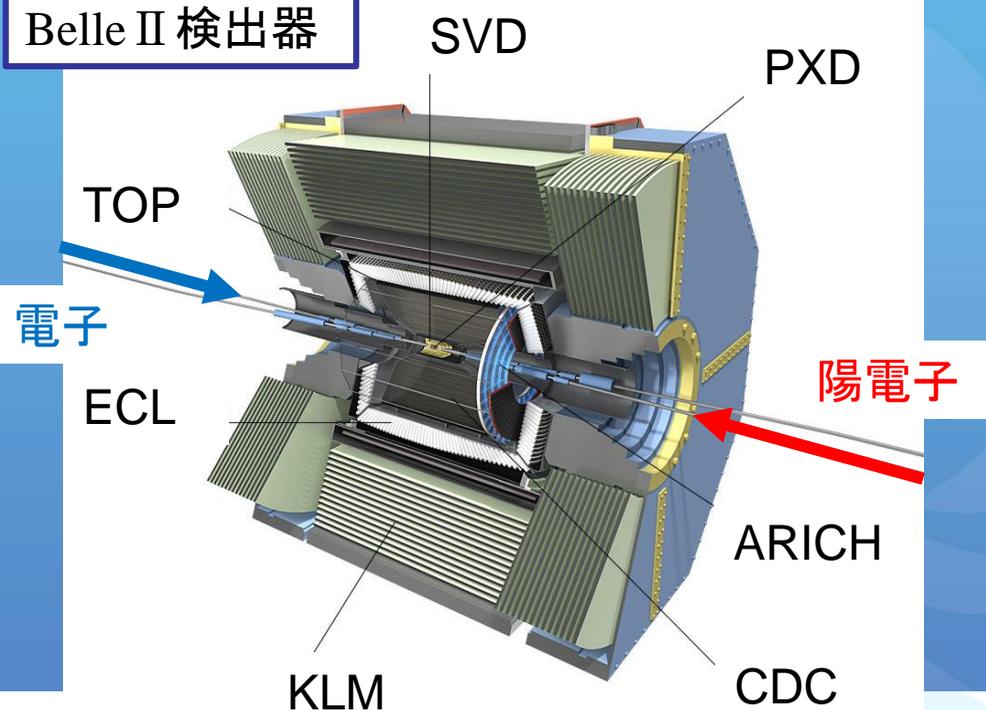
イントロダクション -Belle II 実験-

Belle II 実験

- ・SuperKEK加速器により生成されるB中間子の崩壊を Belle II 検出器で観測
- ・標準理論を超える新物理を探索



Belle II 検出器



「BelleからBelle IIへ」

- ・**加速器のアップグレード**
統計数の増加
KEKB⇒SuperKEKB
ルミノシティを40倍に向上

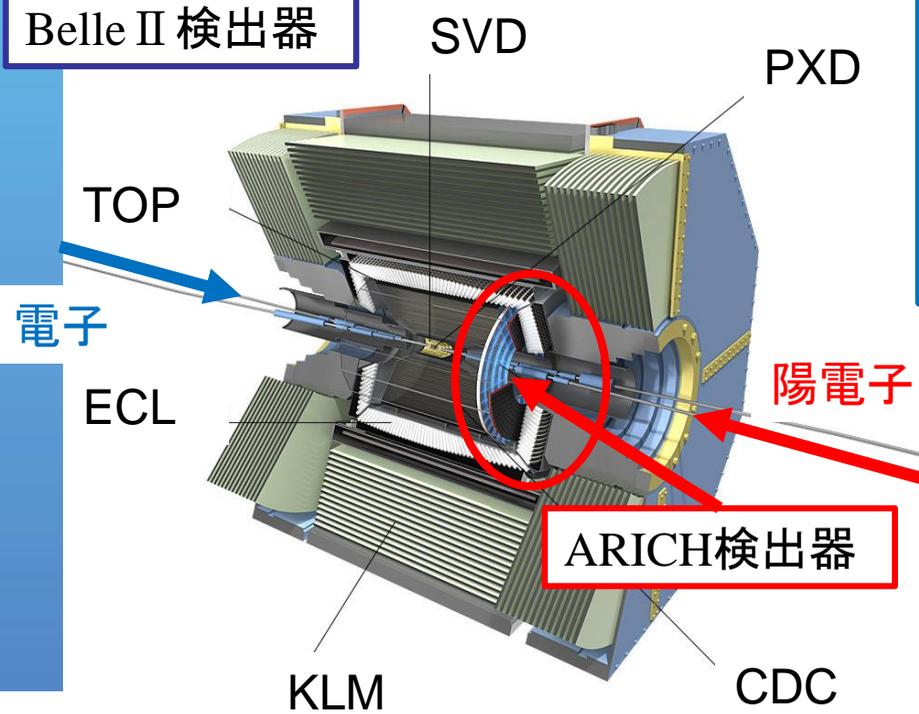
- ・**検出器のアップグレード**
高Beam BGに対する適応
高性能化 etc.

ARICH検出器

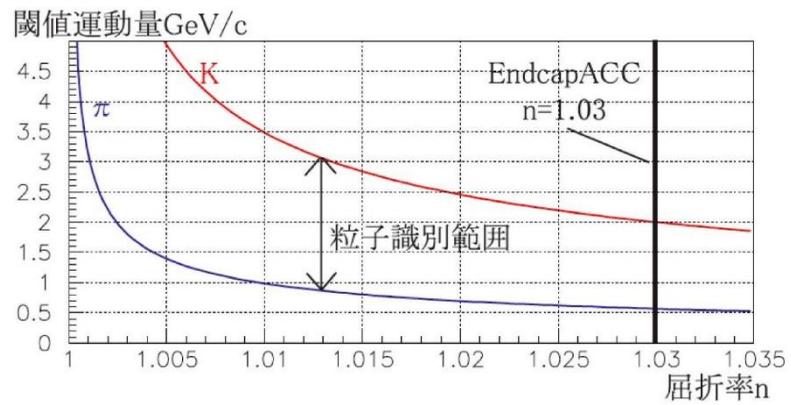
Aerogel Ring Imaging Cherenkov counter

- ・エンドキャップ部におけるK/ π 識別を担う
- ・運動量領域0.5~4.0GeV/cにおいて4 σ の精度が目標@Belle II
- ・リングイメージ型検出器

Belle II 検出器



「ACCからARICHへ」
ACC: 閾値型検出器 @Belle
2つの識別対象粒子のうち
一方だけがチェレンコフ光を発生
識別可能な運動量領域
0.5~2.0GeV/c



ARICH検出器

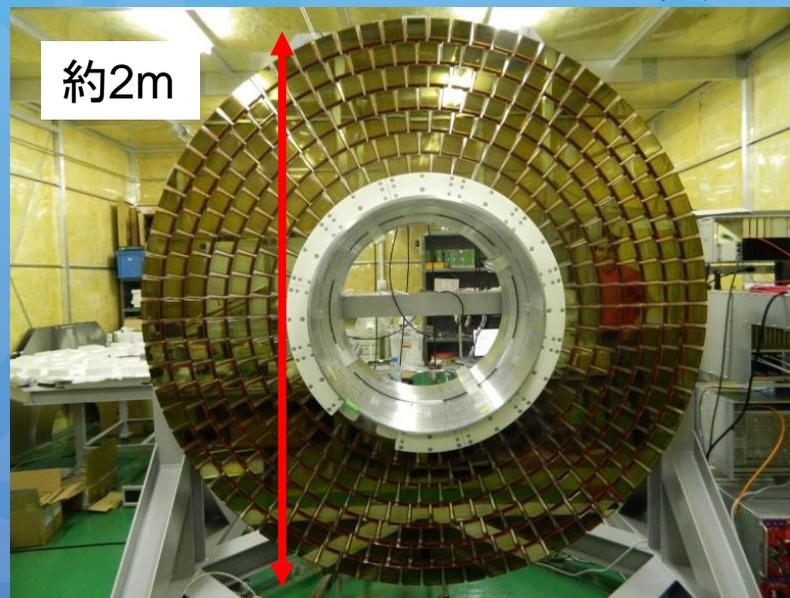
Aerogel Ring Imaging Cherenkov counter

- ・エンドキャップ部におけるK/ π 識別を担う
- ・運動量領域0.5~4.0GeV/cにおいて4 σ の精度が目標
- ・**輻射体**(Aerogel)と**光検出器**(HAPD)から構成

※全6セクター



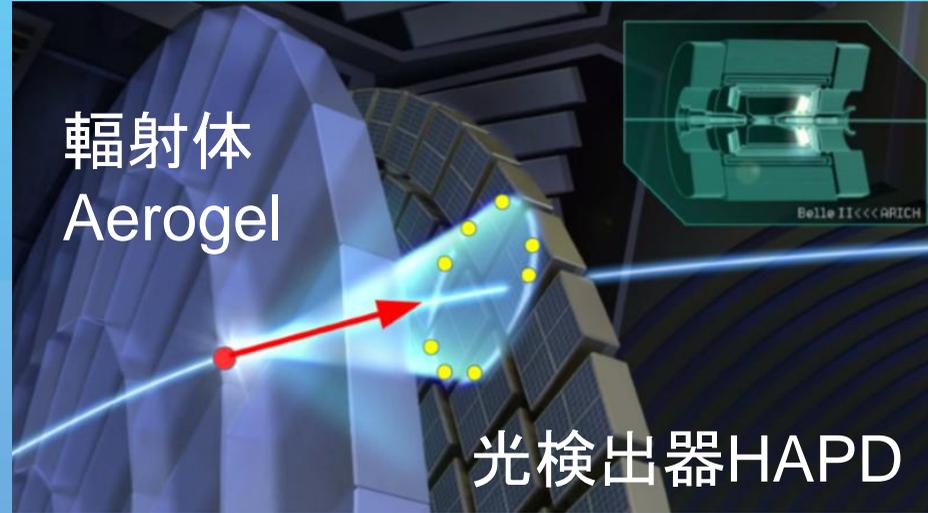
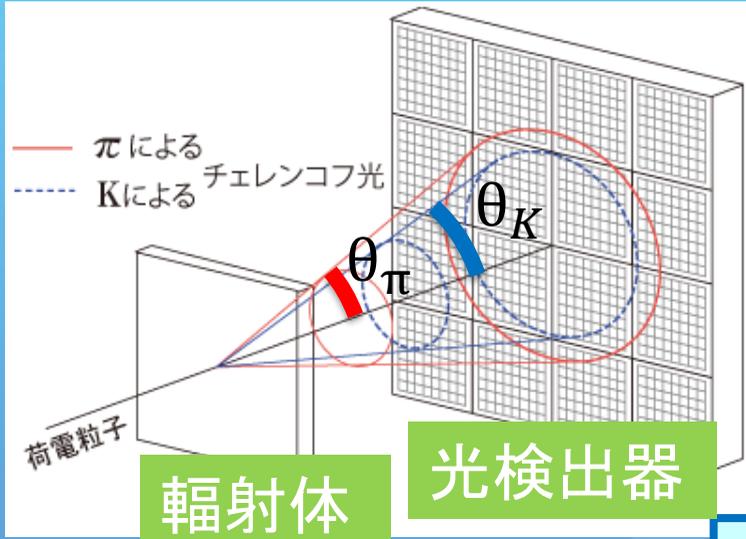
輻射体(Aerogel):248枚



光検出器(HAPD):420台

ARICH検出器 -粒子識別原理-

Aerogel Ring Imaging Cherenkov counter



- ①荷電粒子が輻射体を通過するとチェレンコフ光が発生
- ②チェレンコフ光を光検出器で検出
- ③検出光子群からリングイメージを再構成
- ④2次元リングイメージより輻射角度(チェレンコフ角)を測定

$$\cos\theta_c^h = \frac{1}{n} \sqrt{\left(\frac{m_h}{p}\right)^2 + 1}$$

θ_c^h : チェレンコフ角
 n : 屈折率
 p : 運動量
 m_h : 静止質量

4GeV/cにおける θ_c^K と θ_c^{π} の角度差約23mrad

ARICH検出器 - 輻射体Aerogel-

Silica(SiO_2)Aerogel

- ・Silica粒子を3次的に配列した多孔構造
- ・体積の約90%以上が空気⇒低屈折率
- ・高い透過性を有する
- ・ARICH検出器全体で248枚使用

1層のみ

総厚み: 40mm

⇒発生光子数多
⇒角度分解能悪

2層構造

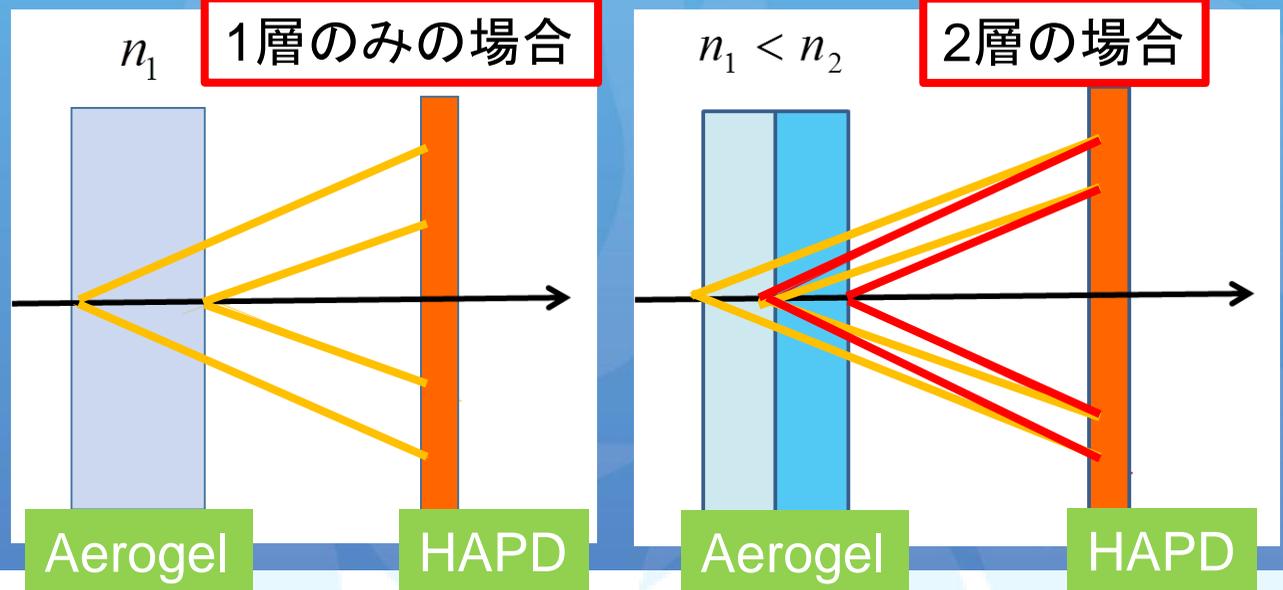
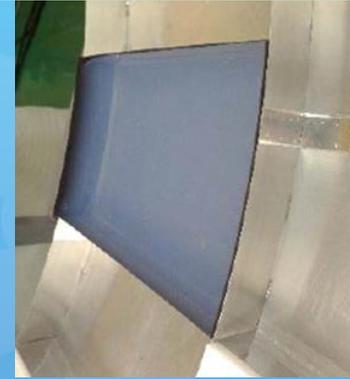
総厚み: 40mm

上流: $n=1.045$
下流: $n=1.055$
⇒発生光子数多
⇒角度分解能良

デュアルレイヤー方式

支持体

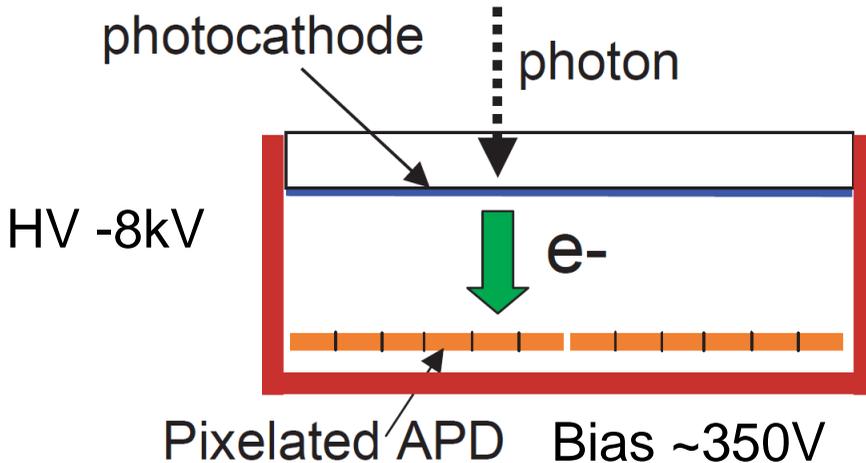
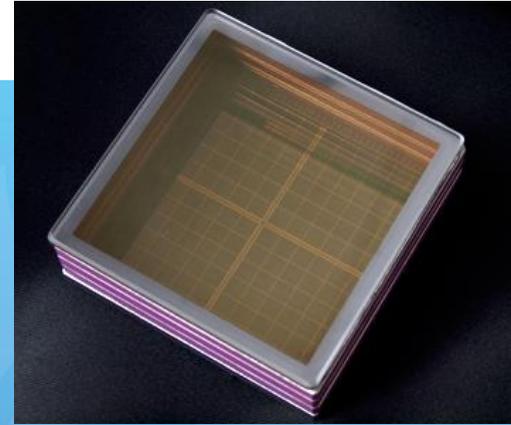
1層の厚み: 20mm



ARICH検出器 - 光検出器HAPD-

Hybrid Avalanche Photo-Detector

- ・浜松ホトニクスと共同開発
- ・APD: 4.9mm × 4.9mmのピクセル
- ・1光子検出性能を有する
- ・読み出しチャンネル数は144ch
- ・ARICH検出器全体で420台使用



HAPD 仕様

外寸	73 × 73mm ²
感度領域	64%
ピクセル数	144(36 × 4 chips)
量子効率	~30%
Bombardment Gain	1400~2000
Avalanche Gain	40
Total Gain	~10 ⁵

ARICH検出器 -Phase2-

Belle II Phase2

- ・Belle II システムを用いたデータ取得およびデバックを目的
- ・Belle II 実験として、約 500pb^{-1} のデータを収集

Belle II & ARICH検出器略歴

2016年2月~ Phase1 SuperKEKB試験運転

2017年9月 Belle II 検出器へARICH検出器インストール

2018年2月~ 宇宙線テスト

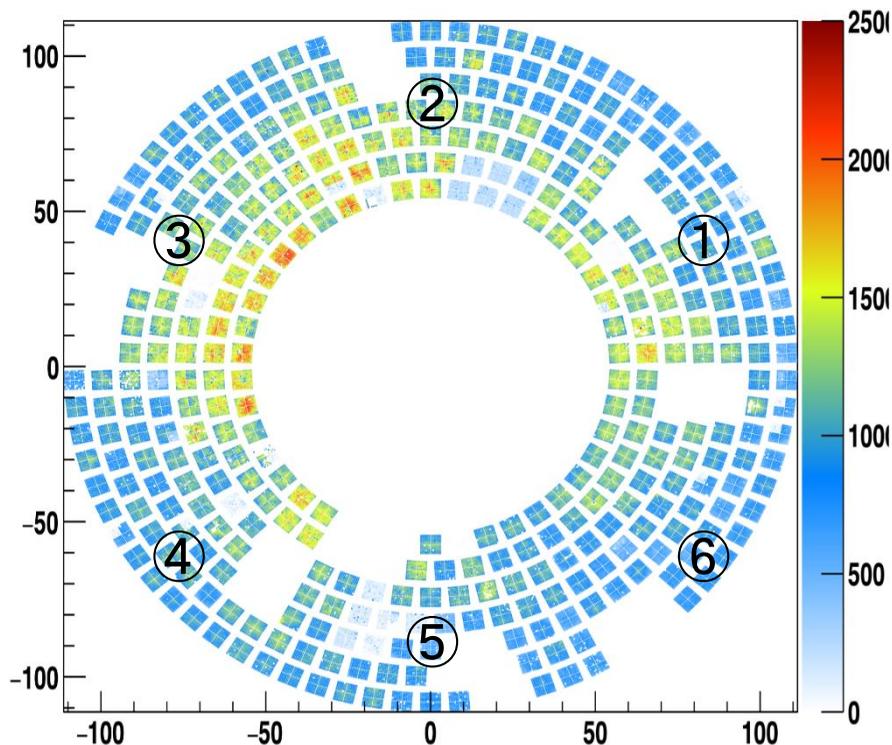
2018年3月19日~7月17日 Phase2 ビームデータ取得 (4/26初衝突)

2018年9月~ ARICH検出器取り外し(Phase3へ向けた調整)

2019年2月~ Phase3へ

ARICH検出器 -Phase2-

Distribution of hits



番号はセクター番号

冷却能力不足⇒部分的に稼働
(セクター1,4,5,6 & セクター2,3,6)
⇒新しい冷却システムを導入

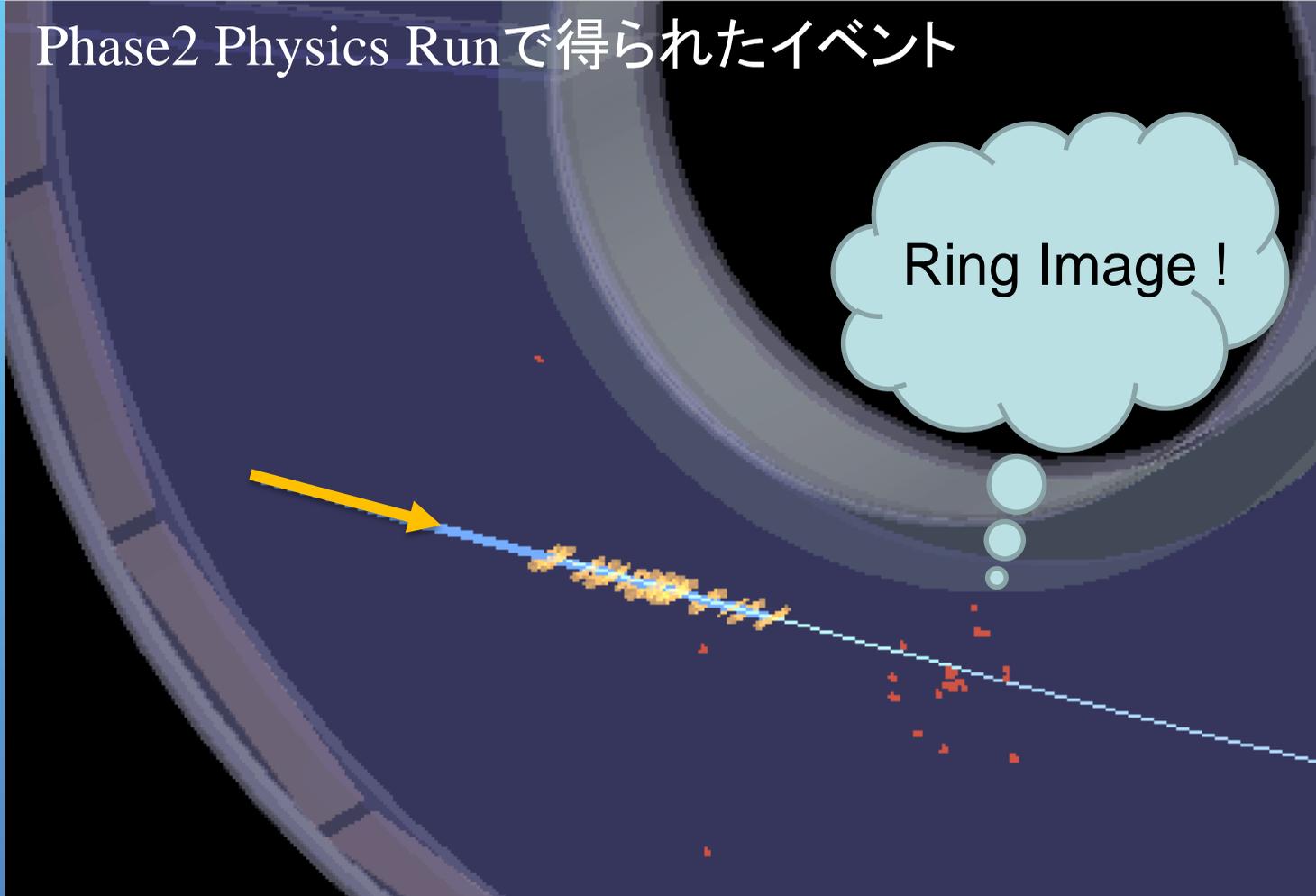
信号読み出し回路Mergerボード
⇒不調によりMasked(10/72)
⇒2018年9月~詳しくチェック&調整

光検出器HAPD
⇒NoisyチャンネルによりMasked
⇒HAPD単位(7/420)
⇒APD単位(17/1680)
⇒2018年9月~詳しくチェック&調整

現在、Phase3へ向けた調整作業中

ARICH検出器 -Phase2-

Phase2 Physics Runで得られたイベント



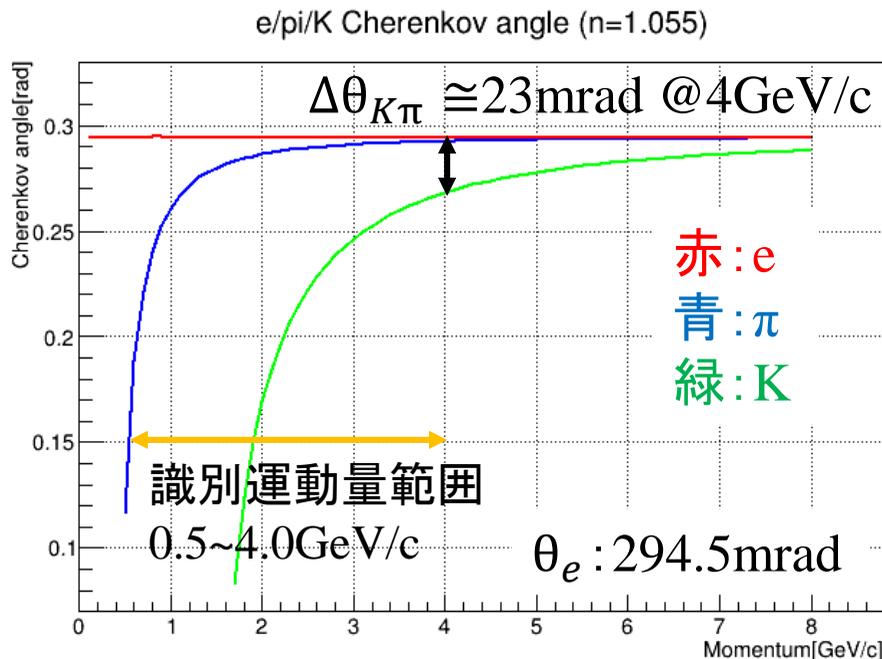
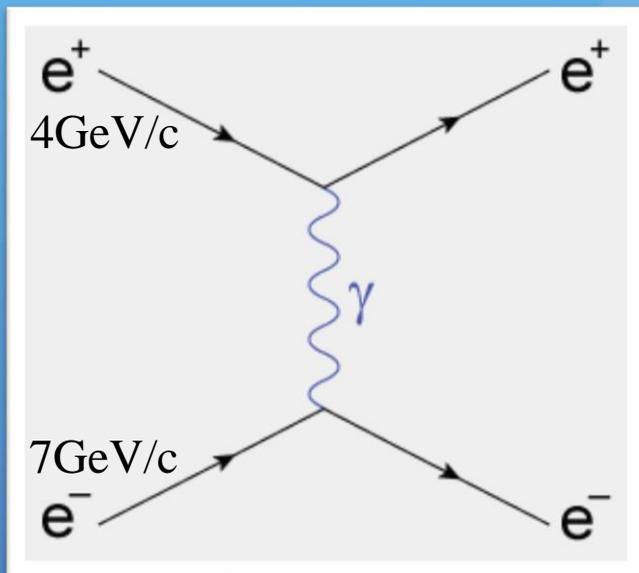
Ring Image !

研究概要

Bhabhaイベントを用いたチェレンコフ角度分解能評価

- Phase2におけるARICH検出器のチェレンコフ角度分解能を評価する
- Bhabha⇒ARICHを用いずにイベントの同定が可能&大量にデータ取得可能
- 電子のチェレンコフ角 θ_e の運動量依存性がフラットになる

Bhabha [$e^+e^- \rightarrow e^+e^-$]



チェレンコフ角の運動量依存性

研究概要

Bhabhaイベントを用いたチェレンコフ角度分解能評価

・Phase2において**セクター2,3,6**を稼働し、データ取得したRunを解析

・Bhabha skim条件

✓トラックが生成したとされるPoint

$\text{abs}(d0) < 2$: ビーム軸からの距離 & $\text{abs}(z0) < 4$: ビーム軸方向の距離

✓2TracksのCMSにおける開き角 $> 2.88\text{rad}$

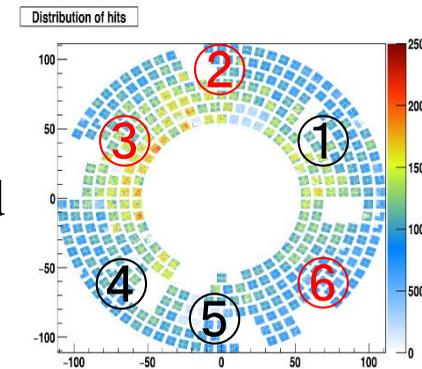
✓e-ID ($P_{\text{CMS}} > 0.5\text{GeV}$, $E/p > 0.8$) ≥ 1 ← **カロリメータによる情報**

✓ $\frac{\text{CMSにおけるtrack1の運動量}}{\text{CMSにおけるBeam Energy}} > 0.35$

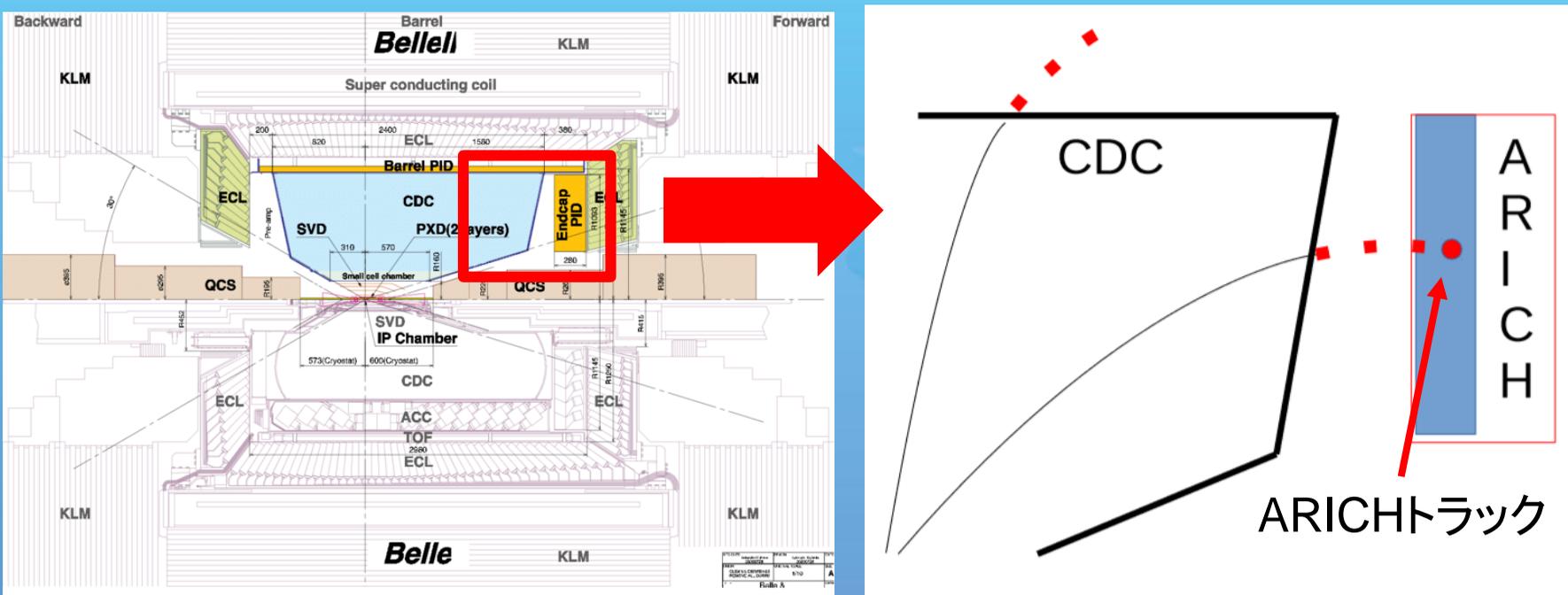
✓ CMSにおけるガンマ線の最大Energy > 0.35

✓ track1と中性クラスターとの間における最大の角 $> 2.618\text{rad}$

・Bhabha MCシミュレーションとの比較も行った



ARICHTトラック位置分布



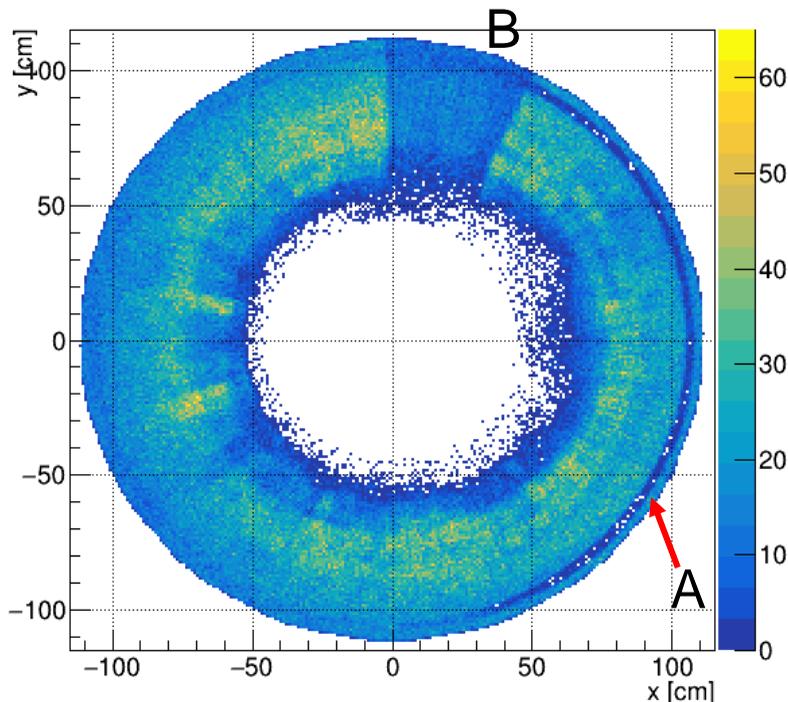
ドリフトチェンバー(CDC)から外挿されたトラックが Aerogelの面にヒットするトラックを「ARICHTトラック」とする

ARICHトラック位置分布 (データ)

チェレンコフ光子
ヒット位置分布

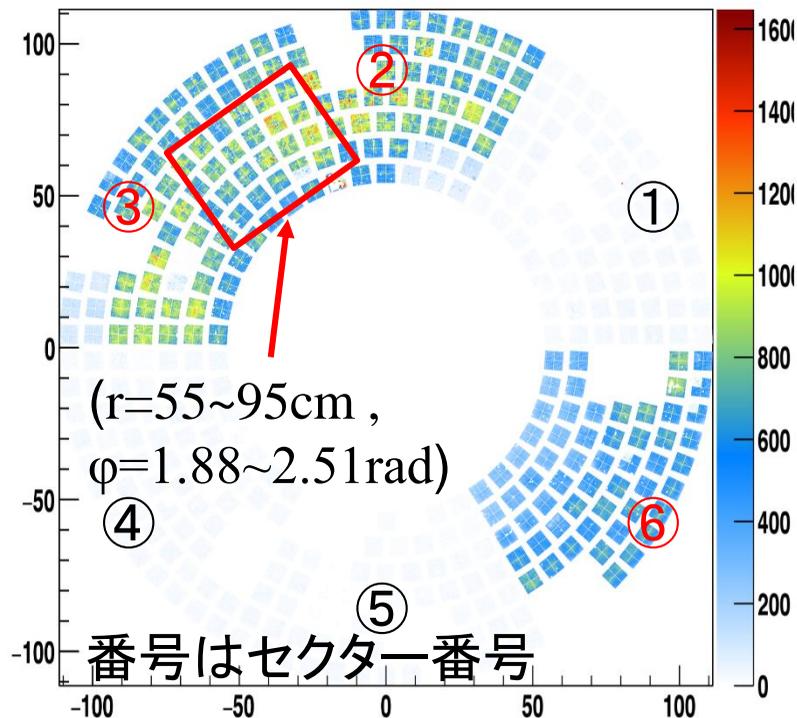
データ

ARICH track hits distribution (run3772 to 4559)



データ

of hits



A. カロリメータを通過していないトラック(?)

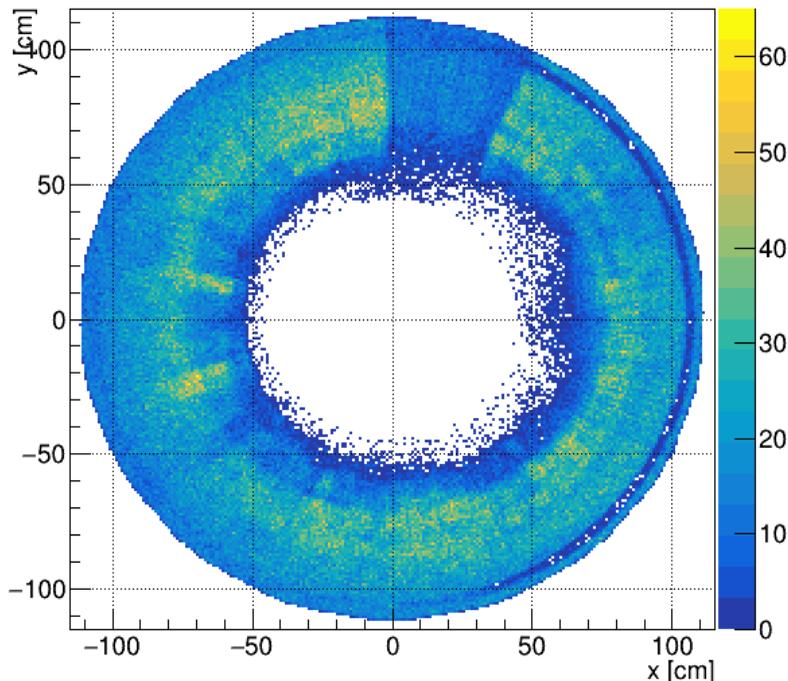
B. ドリフトチェンバーにおけるデータの問題により抜けている(?)

Noisy & Maskedチャンネルの少ないエリアを選別

ARICHトラック位置分布 (データ vs. MC)

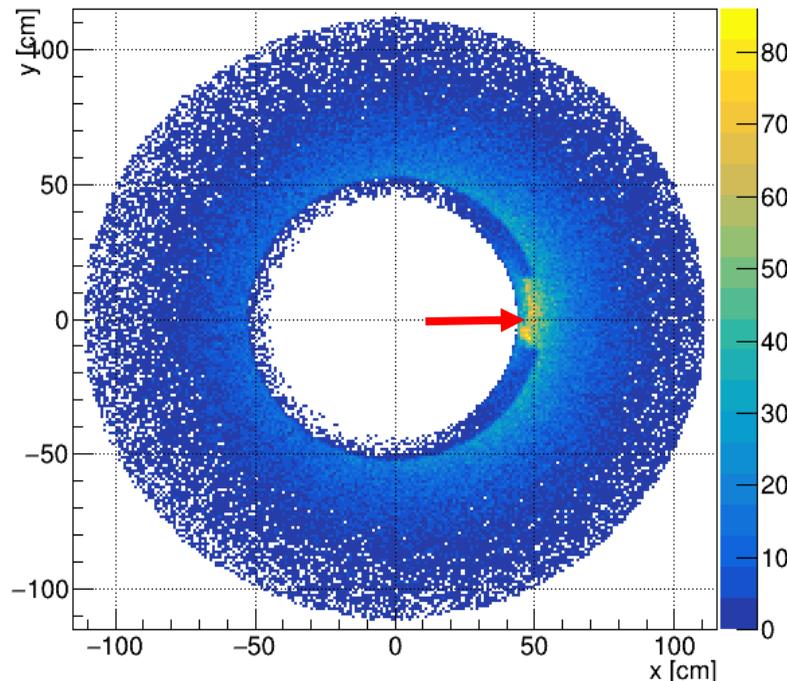
データ

ICH track hits distribution (run3772 to 4559)



MC

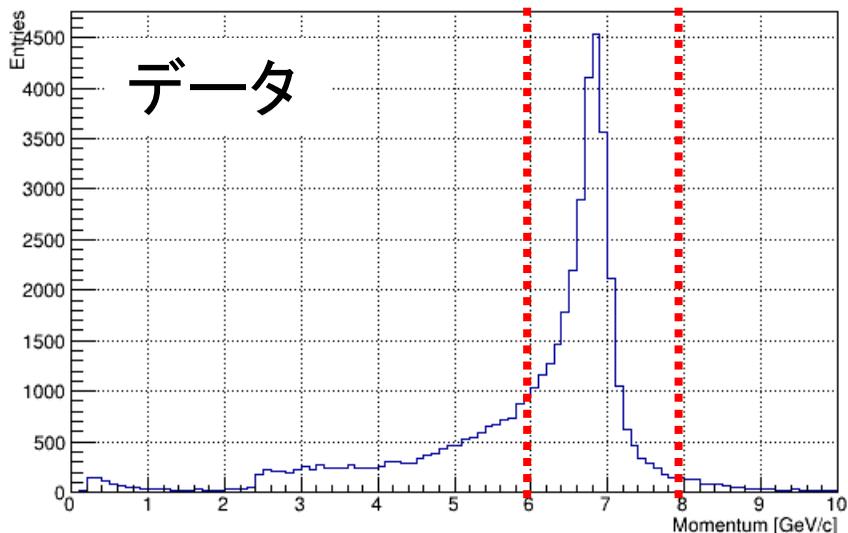
ARICH track hits distribution (Bhabha MC)



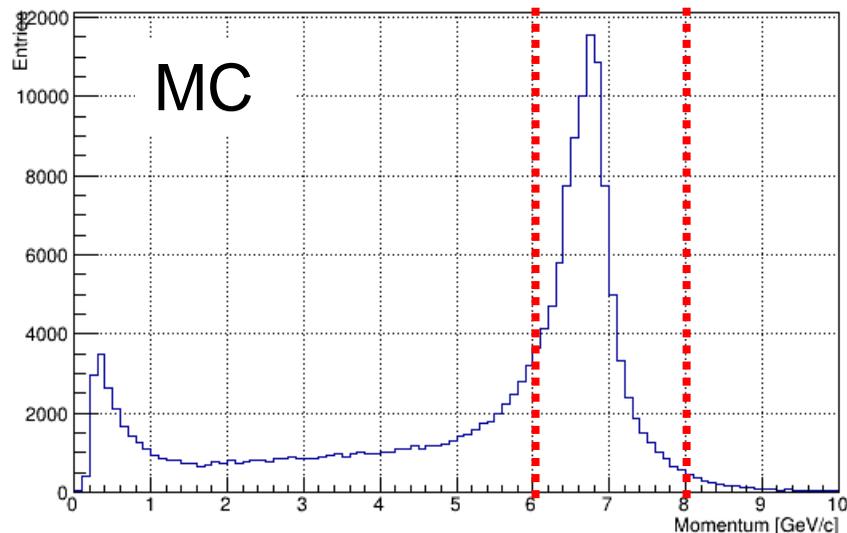
$r=50\text{cm}$, $\phi=0\text{rad}$ 付近にあるピークが何故できているのかは不明
位置によるセレクションをかけずに全エリアを使った

ARICHトラック運動量分布(データ vs. MC)

ARICH track momentum distribution (run3772 to 4559)



ARICH track momentum distribution (Bhabha MC)

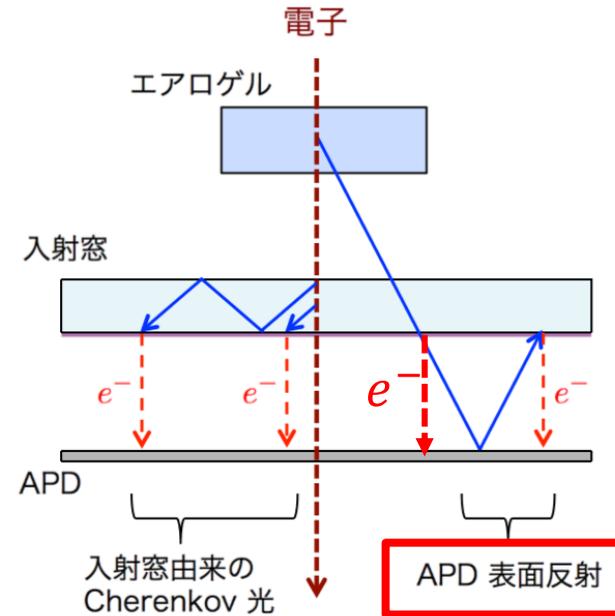
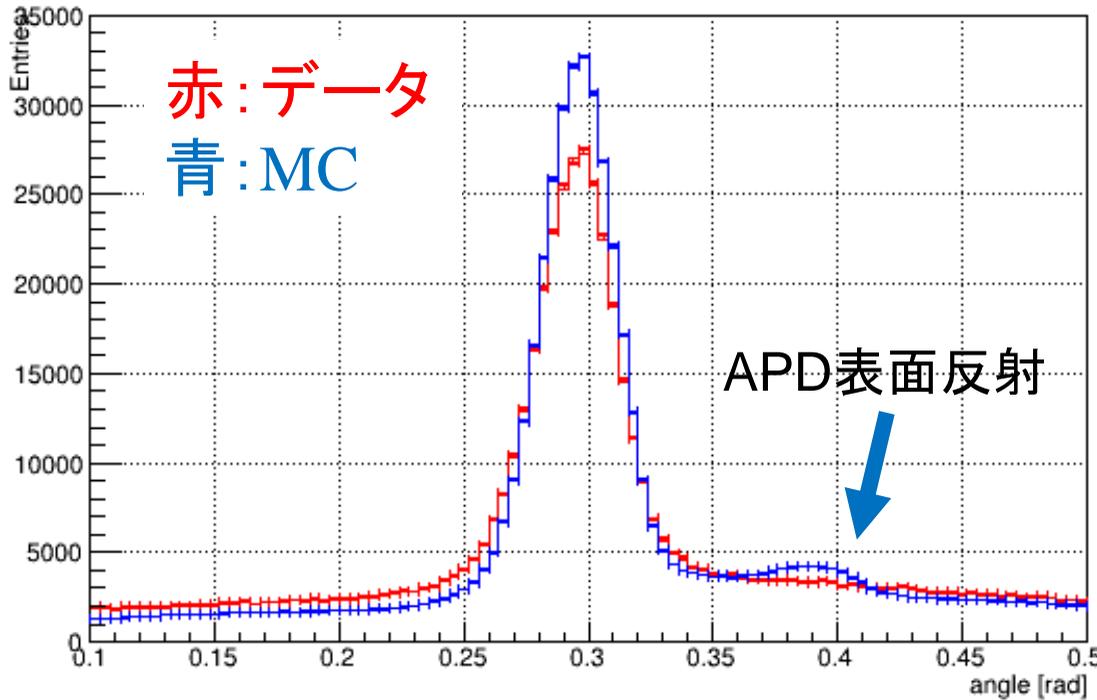


- ・約7GeV/cの位置にBhabhaイベントによるピークが存在
- ・6~8GeV/cの範囲でカット

チェレンコフ角度分布(データ vs. MC)

MC:電子ビームテスト
(垂直入射)結果を反映

Cherenkov angle distribution (Data vs. MC)



MCでみられるAPD表面によるチェレンコフ光反射によるピークがデータではみられない⇒今後の課題

チェレンコフ角度分布(データ)

チェレンコフ角度分解能評価

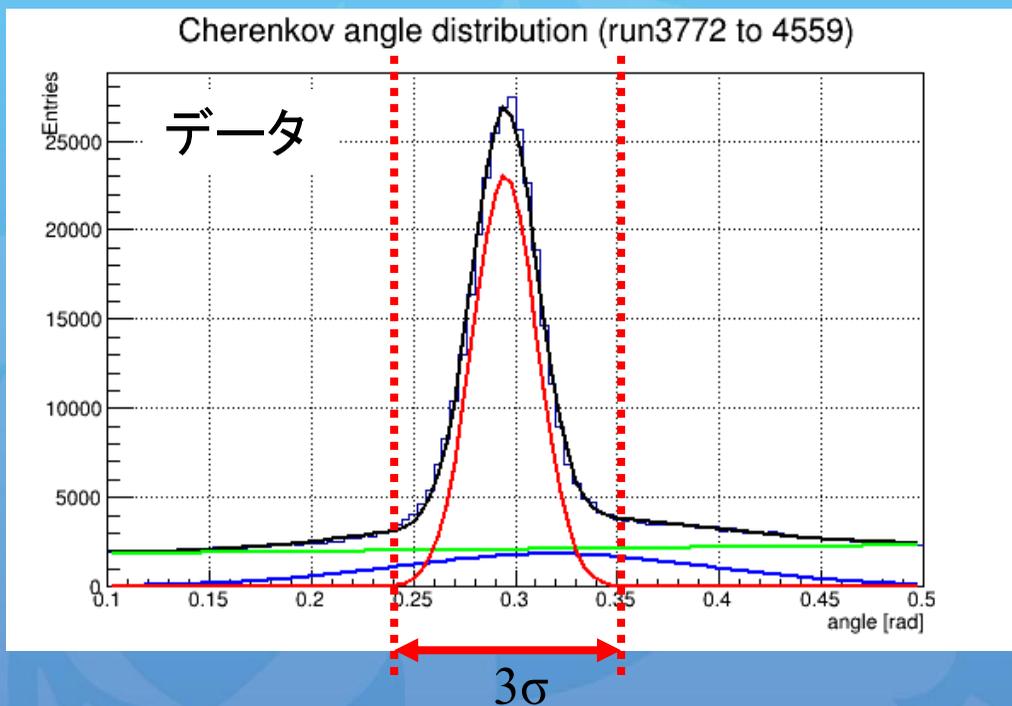
- ①ガウス(赤)+ガウス(青)
+1次関数(緑)でフィッティング
(赤:Signal, 青+緑:それ以外)
- ②1トラックあたりの有効光子数
 N_{pe} を算出

$$N_{pe} = \frac{\text{Entries}_{3\sigma}^{\text{Red}}}{\text{トラック数}}$$

- ③1トラックあたりのチェレンコフ
角度分解能 σ_{track} を算出

$$\sigma_{\text{track}} = \frac{\sigma}{\sqrt{N_{pe}}}$$

- ④4GeV/cにおけるK/ π の
チェレンコフ角度差約23mrad
よりK/ π 識別性能を算出



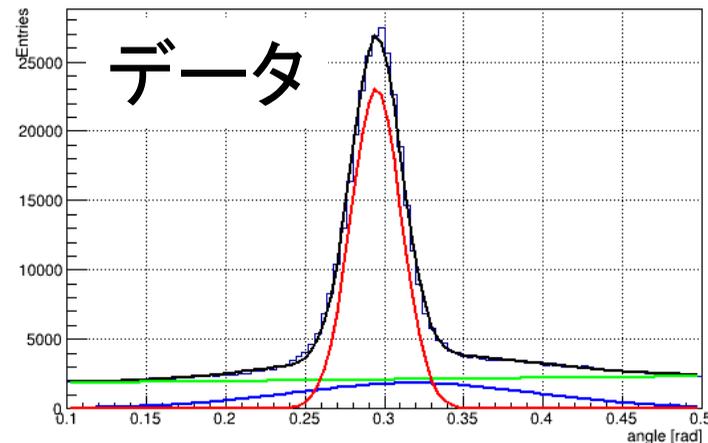
チェレンコフ角度分布(データ vs. MC)

結果

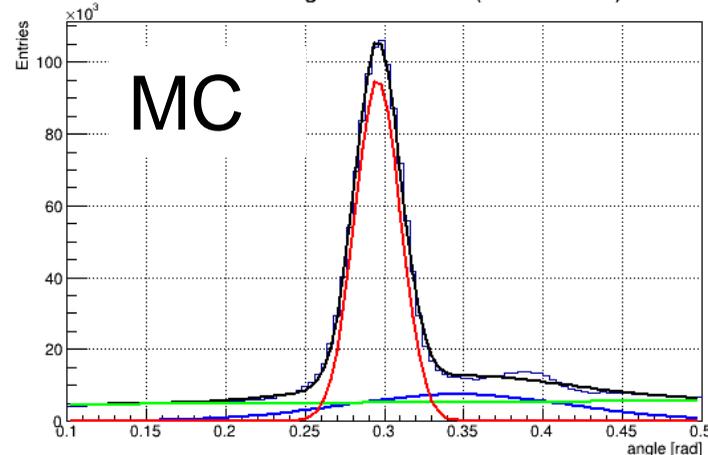
	データ	MC
μ [rad]	0.2948	0.2957
σ [rad]	0.0159	0.0144
N _{pe} 1トラックあたりの 有効光子数	9.03	10.21
σ _{track} [mrad] 1トラックあたりの 角度分解能	5.29	4.51
K/ π 識別性能	4.3 σ	5.1 σ

@4GeV/c
K/ π のチェレンコフ角
角度差約23mrad

Cherenkov angle distribution (run3772 to 4559)



Cherenkov angle distribution (Bhabha MC)



まとめ

- Belle II 実験において、ARICH検出器はエンドキャップ部におけるK/ π 識別を担う
- ARICH検出器は輻射体Aerogelと光検出器HAPDより構成されている
- Phase2ではリングイメージを捉えることに成功
- しかし、冷却能力不足によりほぼ全てのRunにおいて、部分的に稼働

- **研究の目的: Bhabhaイベントを用いて、Phase2におけるARICH検出器のチェレンコフ角度分解能を評価する**
- MCシミュレーションとの比較も行った
- トラック位置分布と運動量分布による制限をかけ、チェレンコフ角度分布を確認

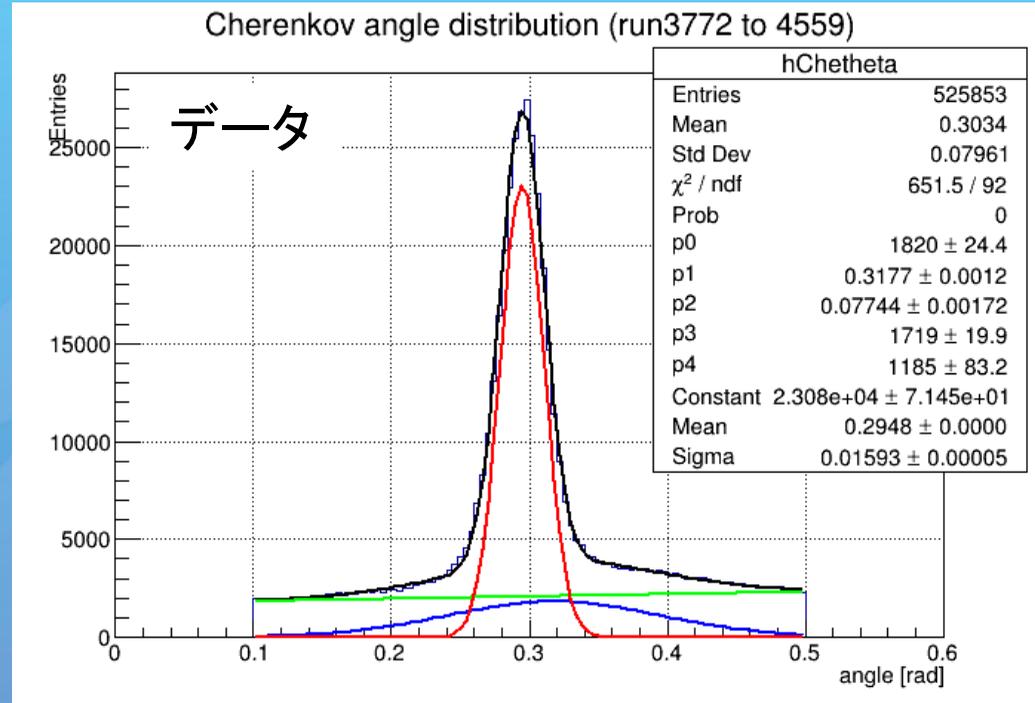
- データではAPD表面によるチェレンコフ光反射のピークがみられない(課題)
- データでは、**角度分解能5.29mrad**であることがわかった

- 4GeV/cにおけるKと π のチェレンコフ角の角度差が約23mradであるため、 4.3σ のK/ π 識別能力を有していることがわかった
⇒ 要求されている角度分解能を満たしているといえる

Back up

チェレンコフ角度分布(データ詳細)

μ [rad]	0.2948
σ [rad]	0.0159
i 3σ entries	320208
ii BG entries	53250
i - ii Signal	266958
Nbg 1トラックあたりの BG光子数	1.80
Npe 1トラックあたりの 有効光子数	9.03
σ_{track} [mrad] 1トラックあたりの 角度分解能	5.29
K/ π 識別性能 (4GeV/c)	4.3 σ



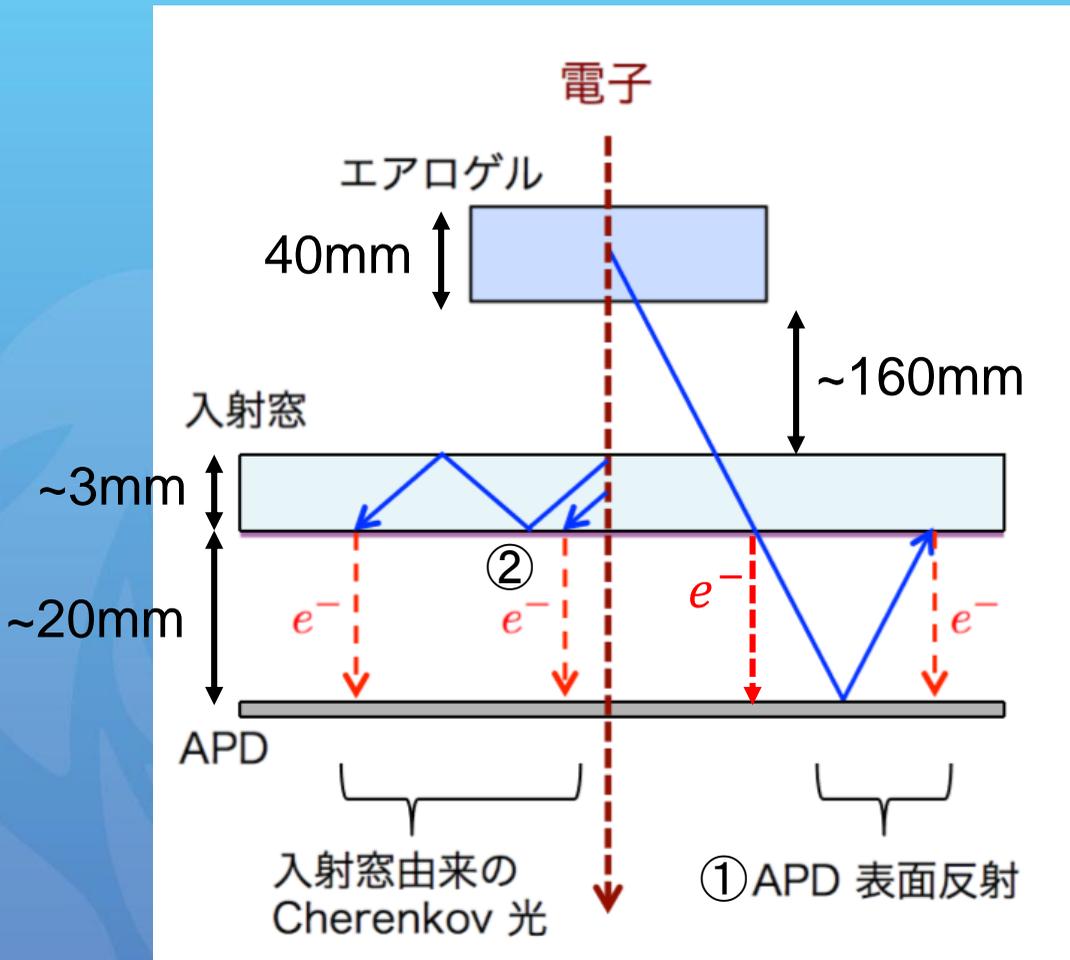
$$\sigma_{\text{track}} = \frac{\sigma}{\sqrt{N_{\text{pe}}}}$$

of Track:29552

BG

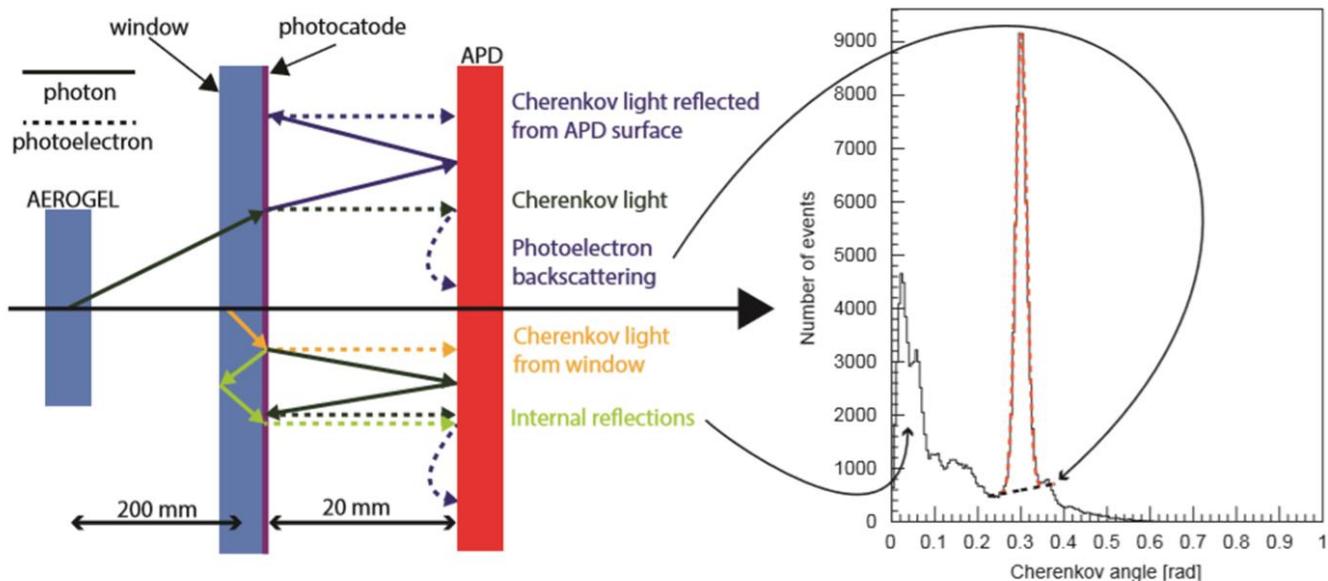
①APD 表面反射により Cherenkov ピーク中心値より大きな 0.35 rad 付近にピークを作ると考えられる。

②HAPD光子入射窓の屈折率: 1.47
例) $0.5 \text{ GeV}/c$ 電子ビーム
 $\theta_c = 0.82 \text{ rad} >$ 入射窓の臨界面角 (0.75 rad)
より全反射が起こる。



4.4 Background contribution

From the position of incident Cherenkov light on photon detector we can determine Cherenkov angle and fill histogram it. On the right side of Fig. 14, we see that we do not get only one gaussian peak per incident charged particle of selected momentum (as in Fig. 4), but also additional background. Background can be explained by Cherenkov light that is reflected from APD surface and then produces photoelectron, by photoelectron backscattering, Cherenkov light from window, and internally reflected Cherenkov light. All this contributions are schematically shown in Fig. 4.



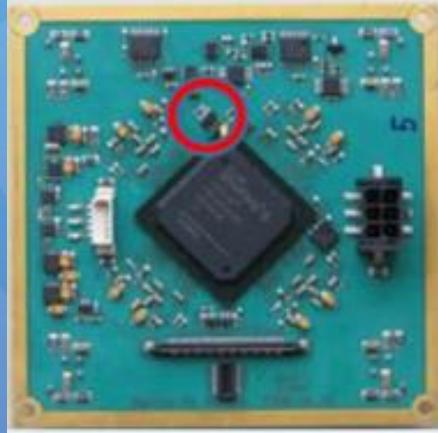
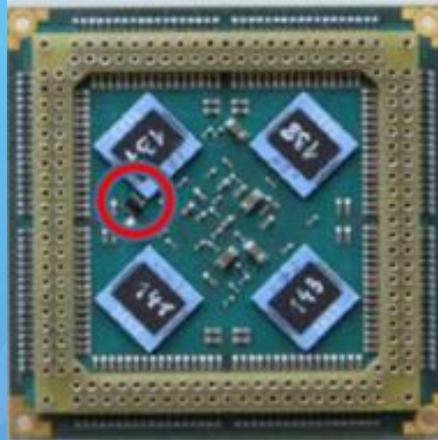
新冷却システム

Front-Endボード

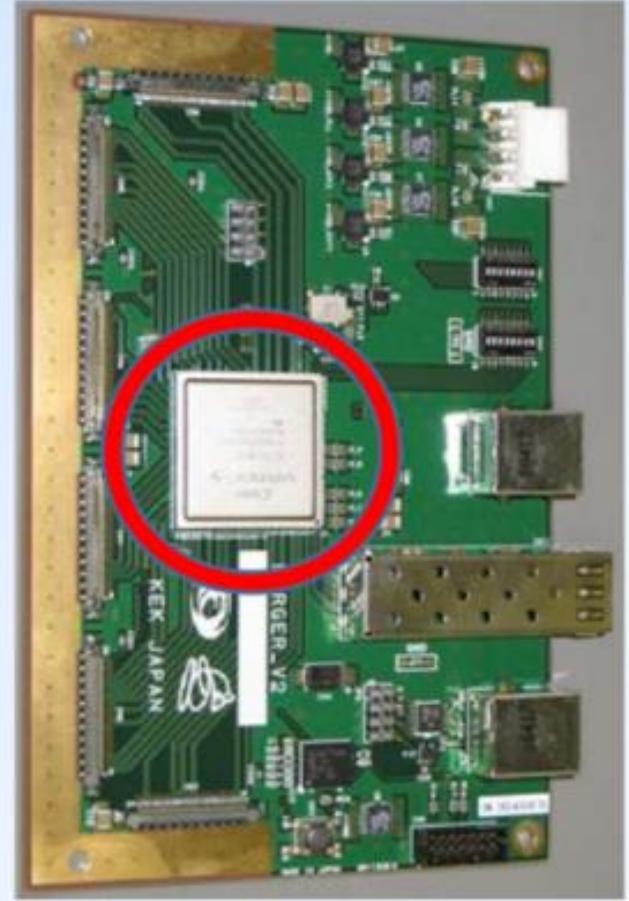
Mergerボード

⇒コア(FPGA)が高温
(FEB:~50°C , MB:~60°C)

Front-End ボード



Mergerボード



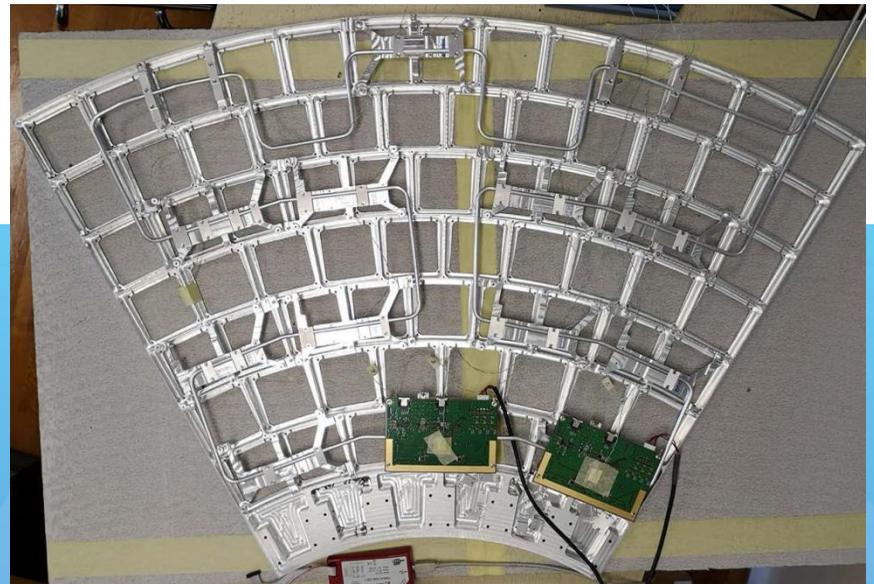
新冷却システム

パイプに冷水を流し、冷却プレートにより信号読み出し回路を冷却する

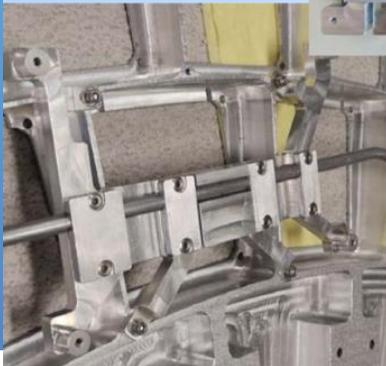
・Merger: $50\sim 70^{\circ}\text{C} \Rightarrow 30\sim 50^{\circ}\text{C}$

・FEBs: $40\sim 60^{\circ}\text{C} \Rightarrow \sim 30^{\circ}\text{C}$

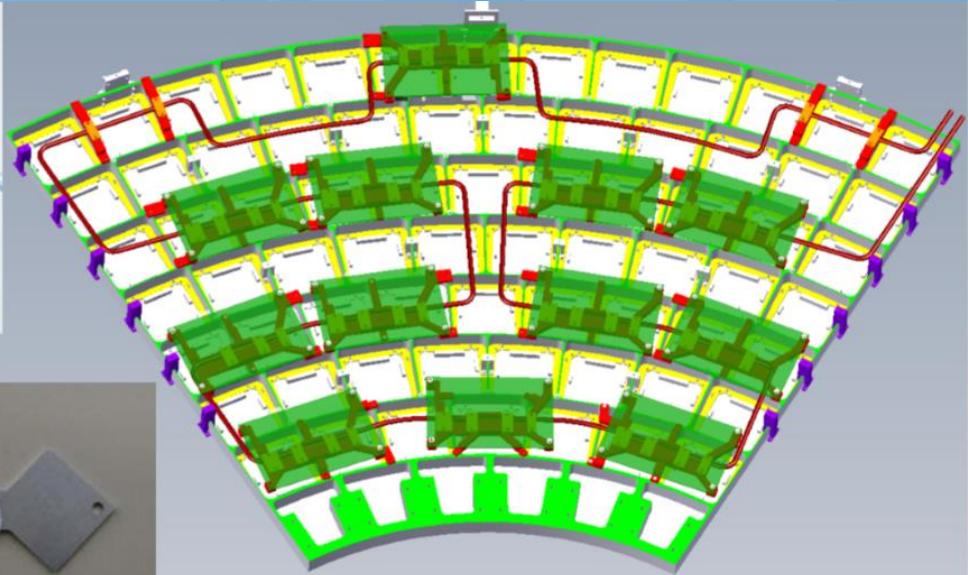
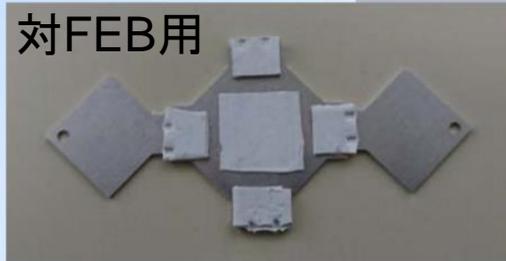
効果的な冷却が得られる



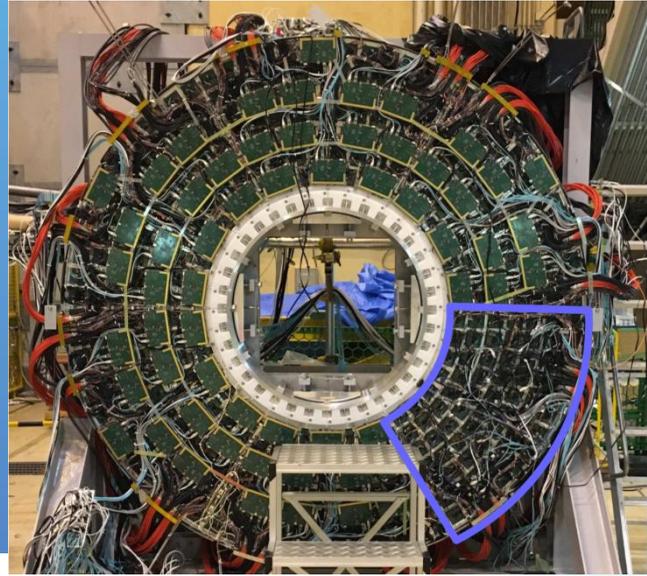
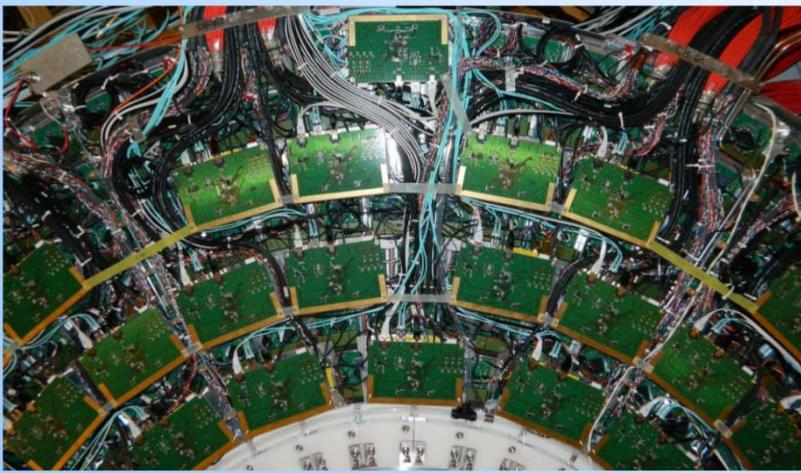
対Merger用



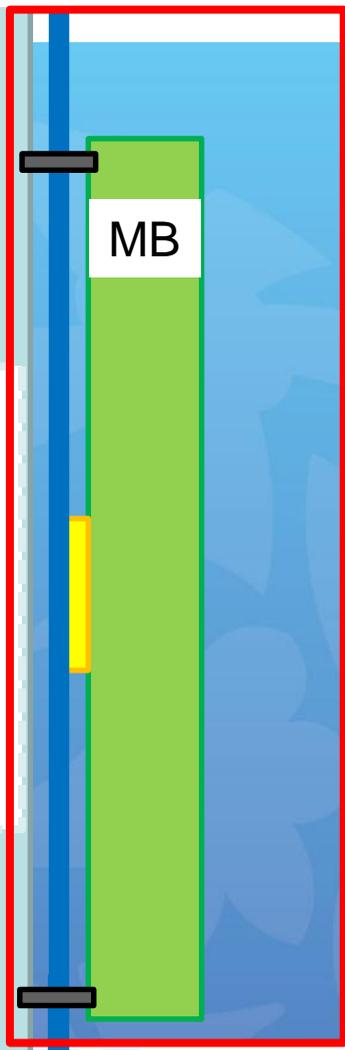
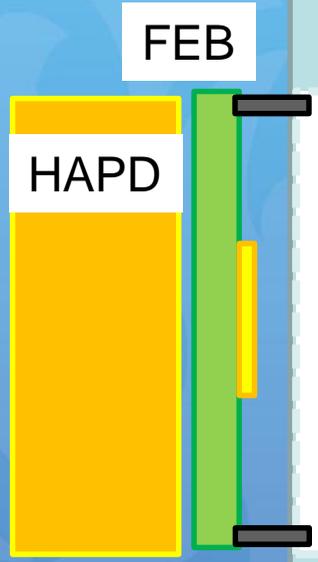
対FEB用



新冷却システムInstall①

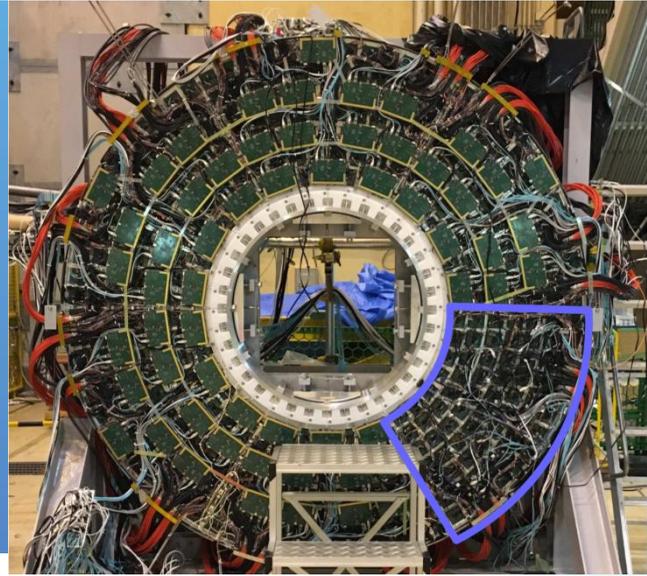
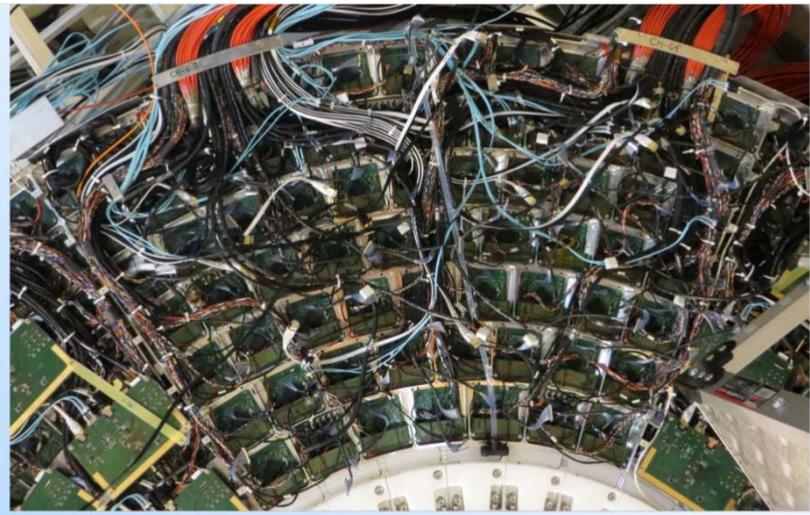


Al pipe(water)
Al structure



①MBおよび
MBホルダーを取り除く

新冷却システムInstall②



Al structure

FEB

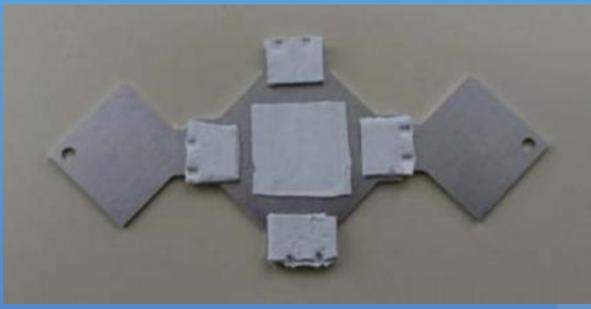
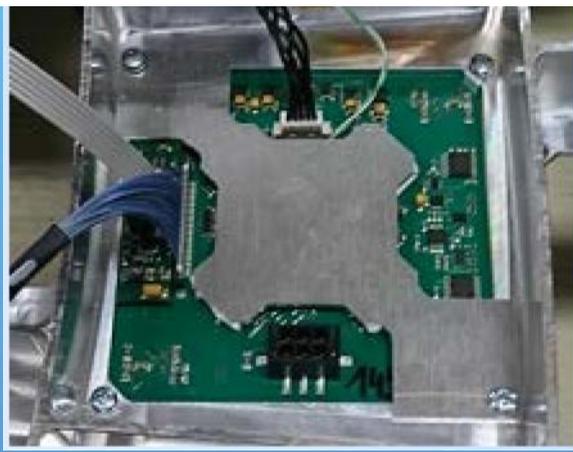
HAPD

①MBおよび
MBホルダーを取り除く

新冷却システムInstall③

FEB cooling plate

②FEBにcooling plateを取り付ける

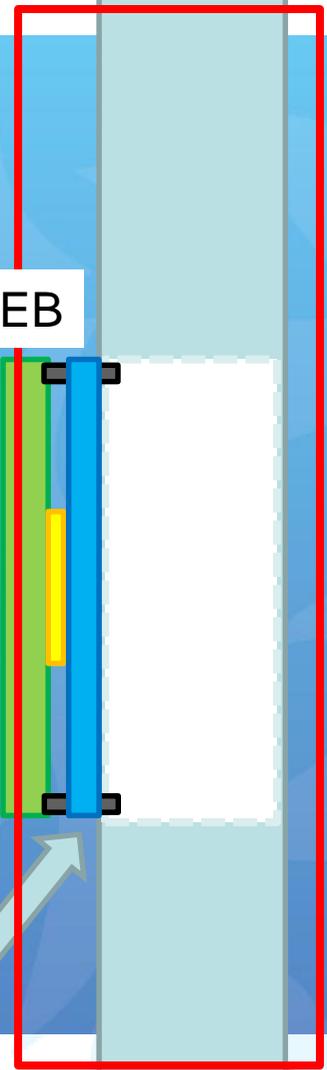


FEB cooling plate

Al structure

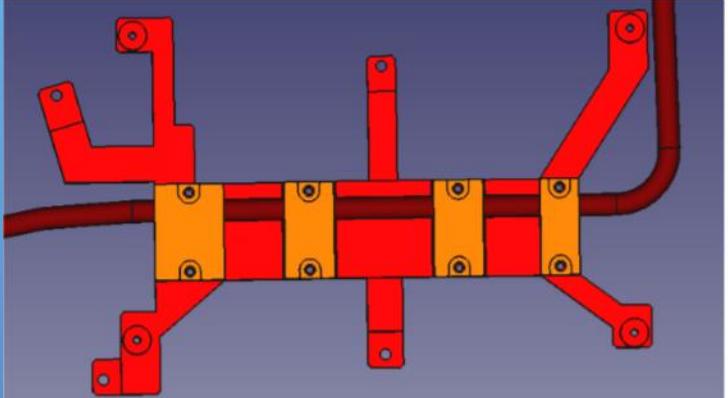
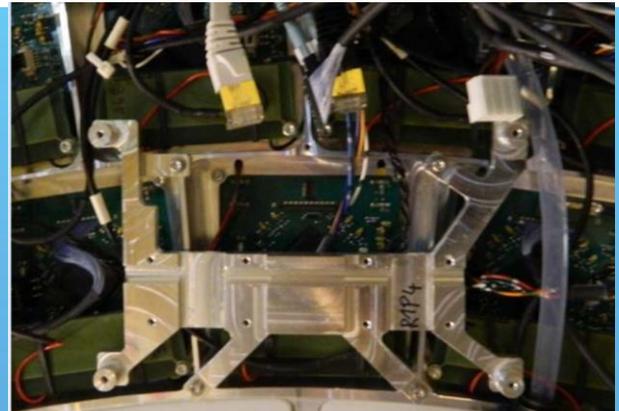


FEB



新冷却システムInstall④

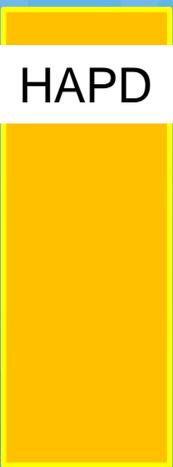
new merger supports and cooling bodies



Al structure

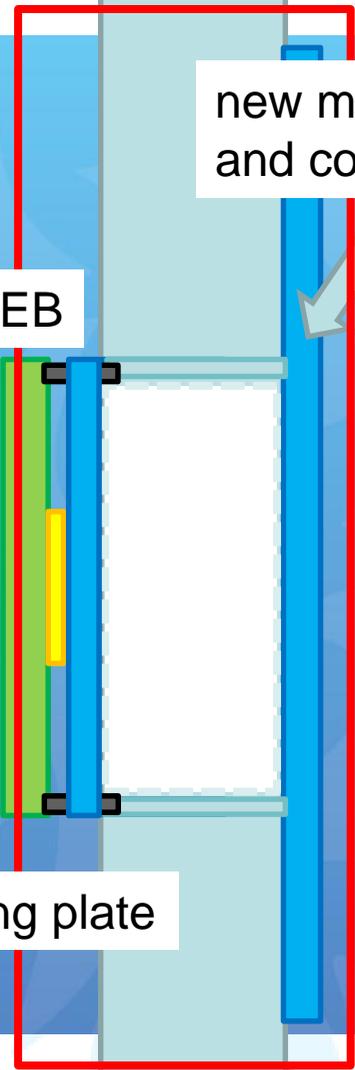
new merger supports and cooling bodies

FEB



HAPD

FEB cooling plate



③Al structureに merger supports & cooling bodiesを取り付ける

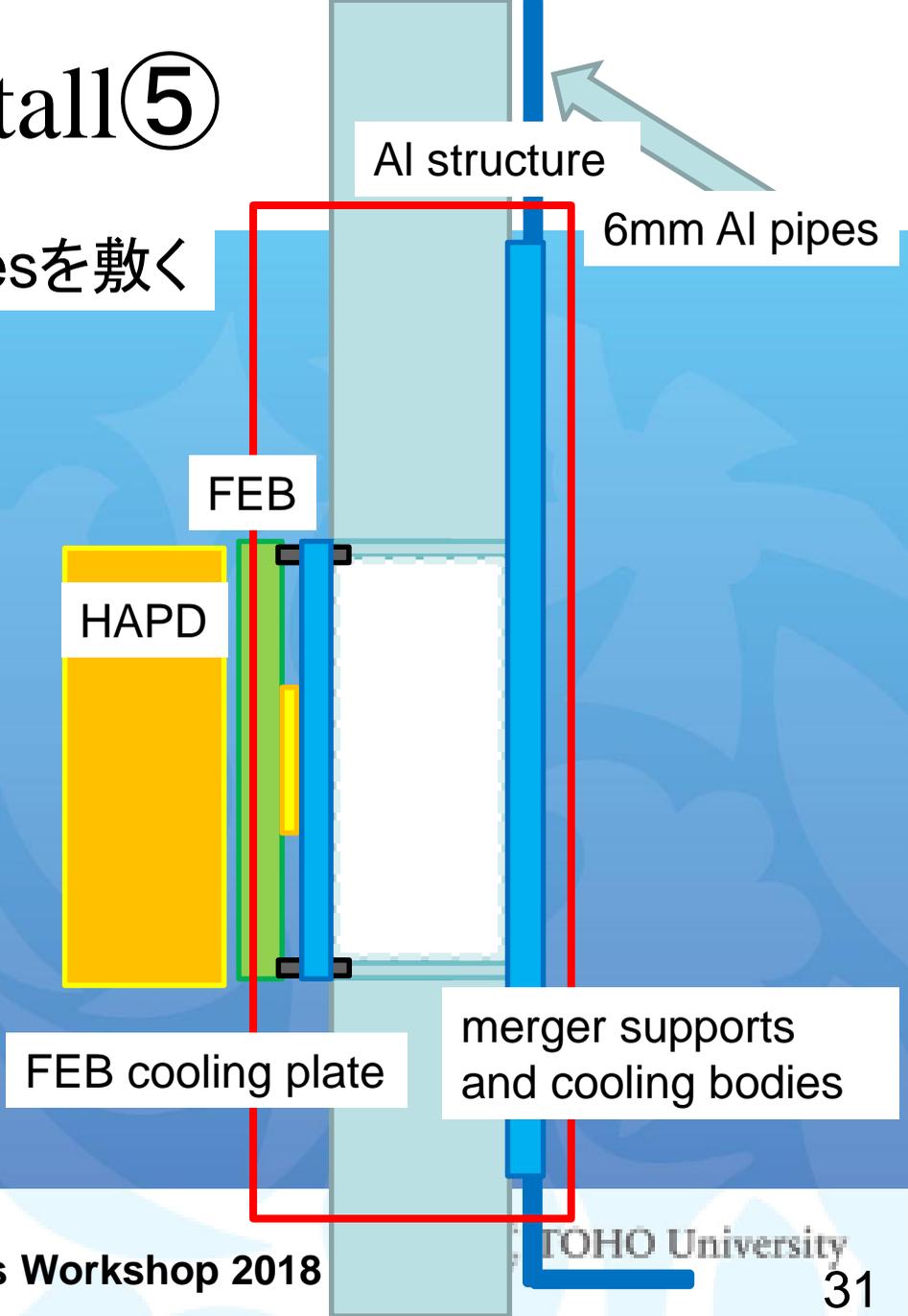
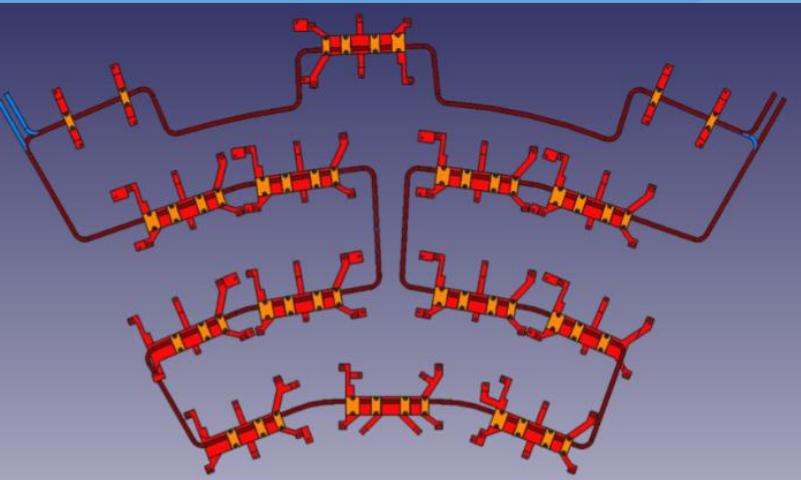
2018年11月1日

Flavor Physics Workshop 2018

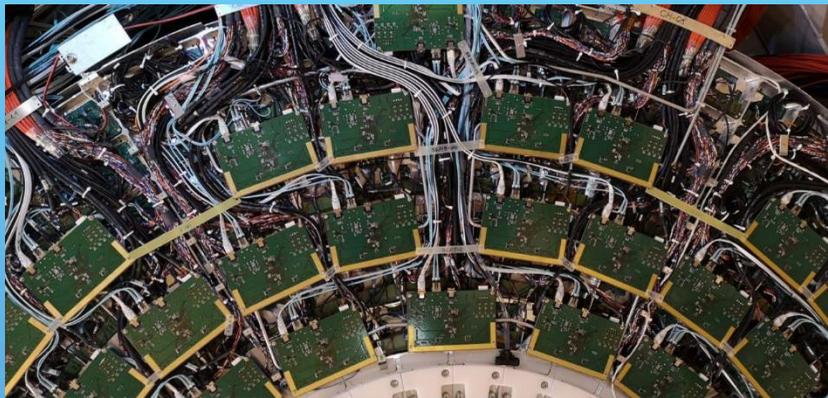
新冷却システムInstall⑤

6mm Al pipe

④6mm Al pipesを敷く



新冷却システムInstall⑥



⑤MBを取り付ける

