

# BelleII Level1 Triggerの現状

2020/11/27

KEK 古賀太一郎

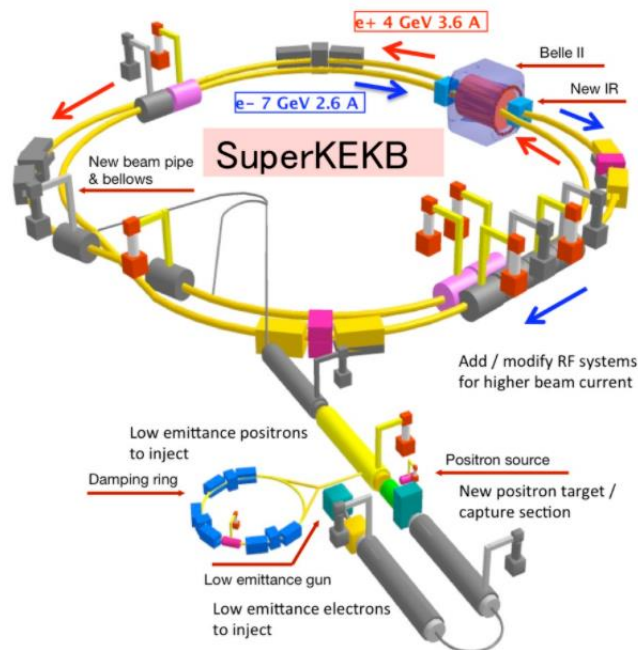
# BelleII実験

-Bファクトリー

- 電子(7GeV)・陽電子(4GeV)衝突型加速器(SuperKEKB)
- 衝突点の周りに粒子検出のための装置(BelleII検出器)
- ルミノシティフロンティア  
KEKBの数十倍のピークルミノシティ.  $50\text{ab}^{-1}$ のデータ取得.

-測定する物理

- B, D,  $\tau$ の精密測定
- ダークマター探索
- ハドロン物理



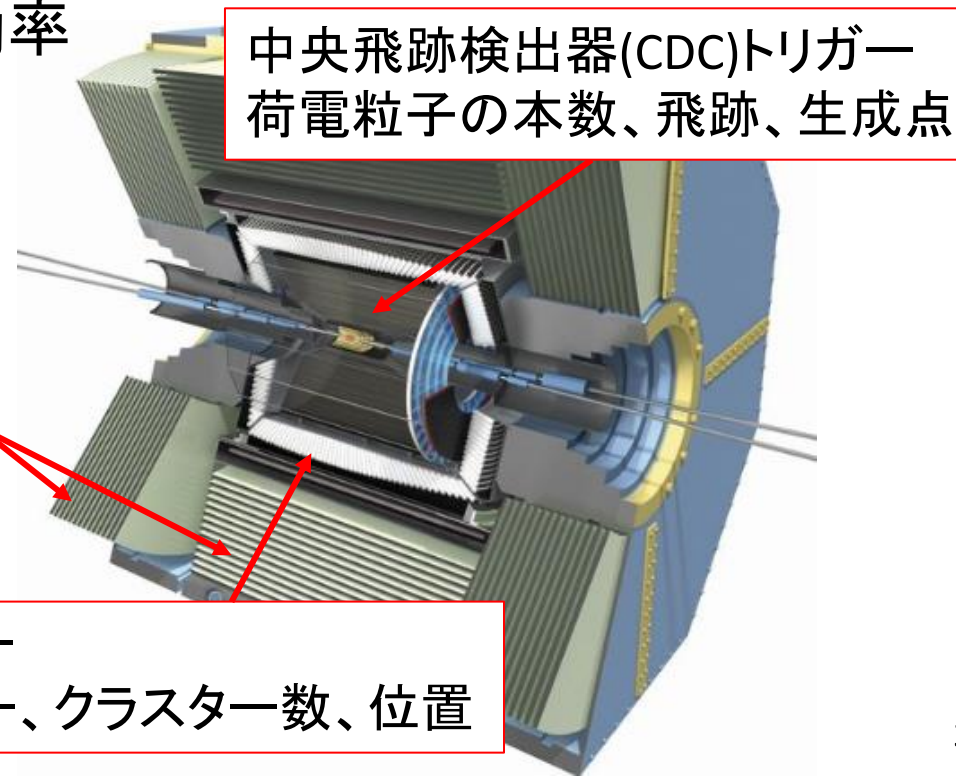
# Level1 trigger

- BelleIIではすべての衝突データを記録しない
- バンチ交差頻度:  $\sim 150000\text{kHz}$  DAQ 許容量:  $30\text{kHz}$
- 物理事象が発生したときのみデータを記録する
  - Level1 trigger (L1)  $< 30\text{kHz}$
  - High level trigger (HLT)  $< 5\sim 10\text{kHz}$



## - Level1 トリガーへの要請

- 物理事象(B, c,  $\tau$ , dark,...)への高効率
- トリガーレート  $< 30\text{kHz}$   
(シグナル/ノイズ比  $> 1$ )
- 遅延  $< 4.4\mu\text{sec}$



中央飛跡検出器(CDC)トリガー  
荷電粒子の本数、飛跡、生成点

ミュオン(KLM)トリガー  
ミュオンの本数、位置

電磁カロリメータ(ECL)トリガー  
荷電粒子・光子のエネルギー、クラスター数、位置

# L1 trigger system

-パイプライン デジタル回路

-専用VMEボード Universal trigger board (UT) を主に使用  
(CDC/ECLTRG hit merger部分は別ボード)

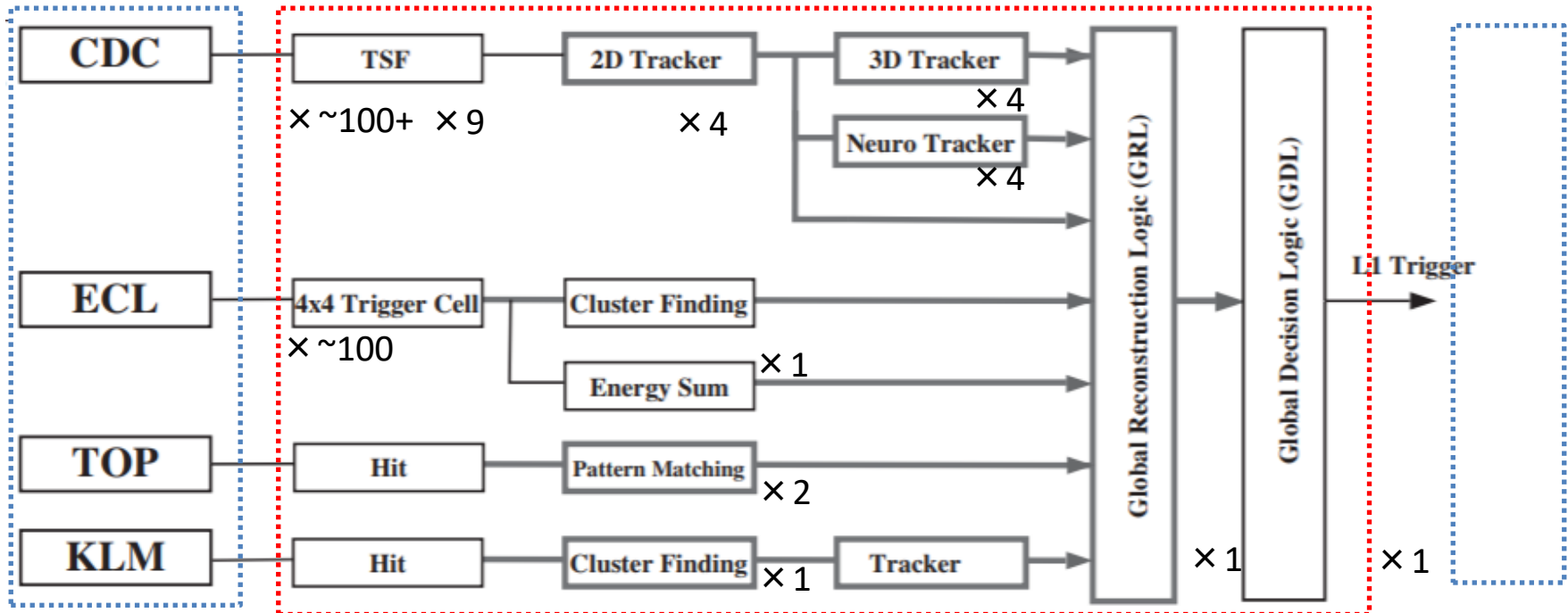
□:ボード  
—:光通信

system clock  
127MHz

検出器フロントエンド

Level1 トリガー

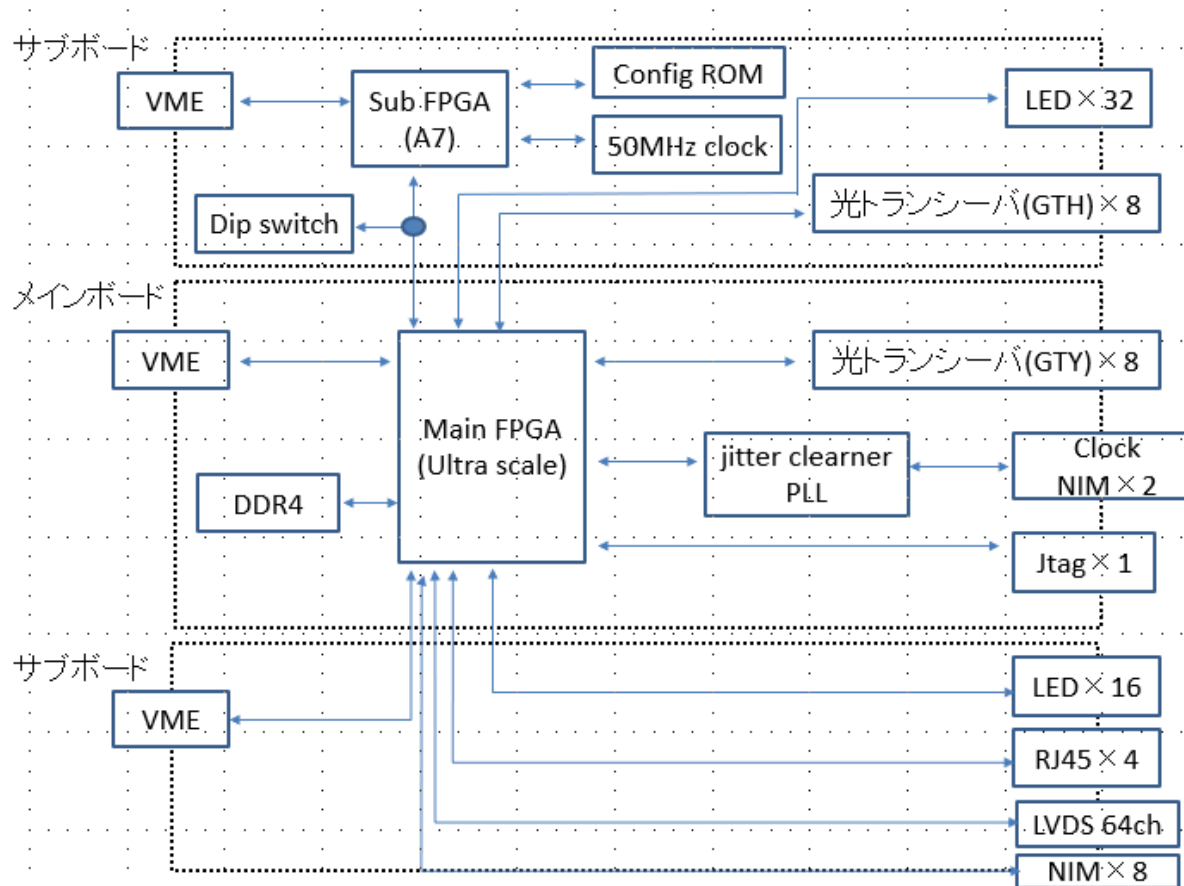
DAQ



# UT board



|            | UT3   | UT4   |
|------------|---|---|
| FPGA       | Virtex6 XC6VHX380/565T                          | Virtex Ultrascale XCVU080/160                     |
| Logic gate | 382k/580k                                       | 975k/2026k  |
| IO         | 8Gbps × 4 × 8, 5Gbps × 4 × 8<br>NIM, LVDS, RJ45 | 25Gbps × 4 × 8, 15Gbps × 4 × 8<br>NIM, LVDS, RJ45 |



# CDC

-CDC:セントラルドリフトチェンバー

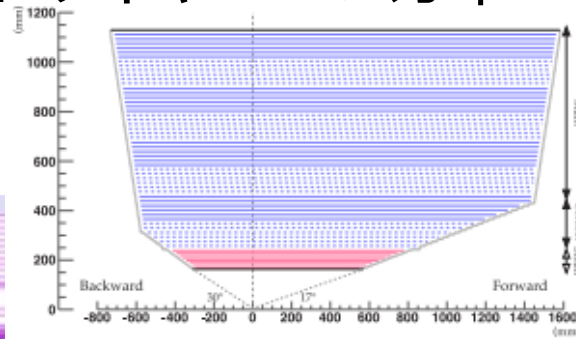
-荷電粒子の飛跡を再構成. 本数、電荷、運動量、生成点

-エネルギー損失( $dE/dx$ )で粒子識別

-He:C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> ガス増幅

-センスワイヤー~1.4万本  
フィールドワイヤー~4.2万本

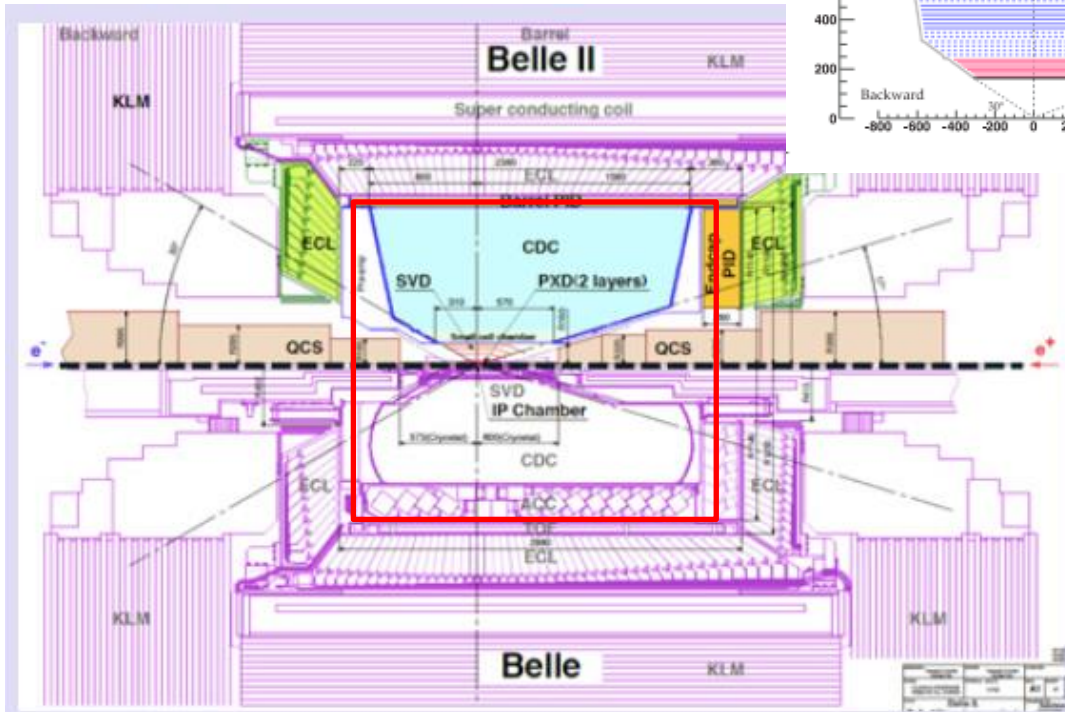
-ドリフトタイム~500ns



axial



stereo

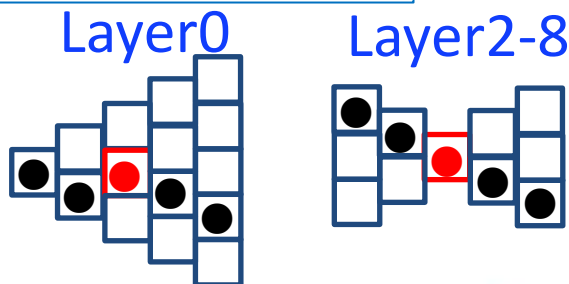


# CDC trigger

- 荷電粒子の数、 $\phi$ 、 $pt$ 、 $z$ 位置を測定
- CDChit merge→クラスタリング→2Dハフ変換→ニューラルネットワーク(3D  $z$ 位置測定)  
(short trackはパターン認識)
- $pt > 0.35\text{GeV}$ , バレル領域に感度
- $z$ 位置でbeam background排除(rate~50%)

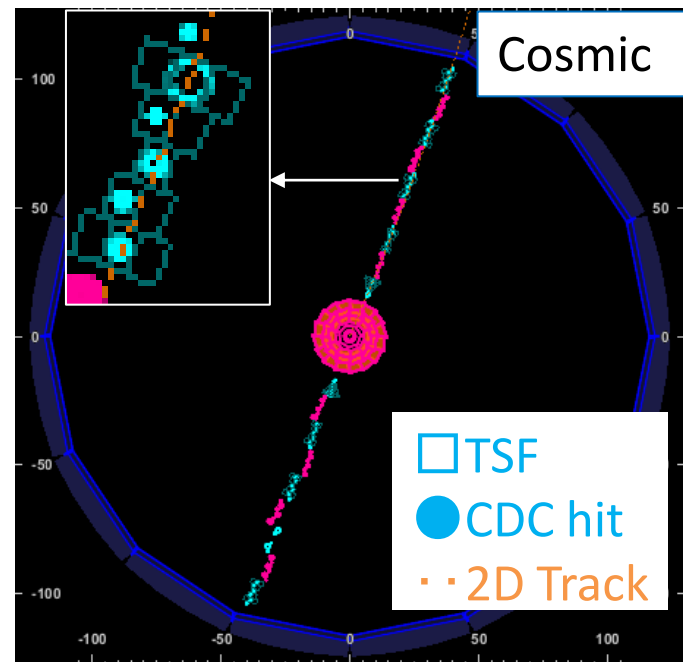
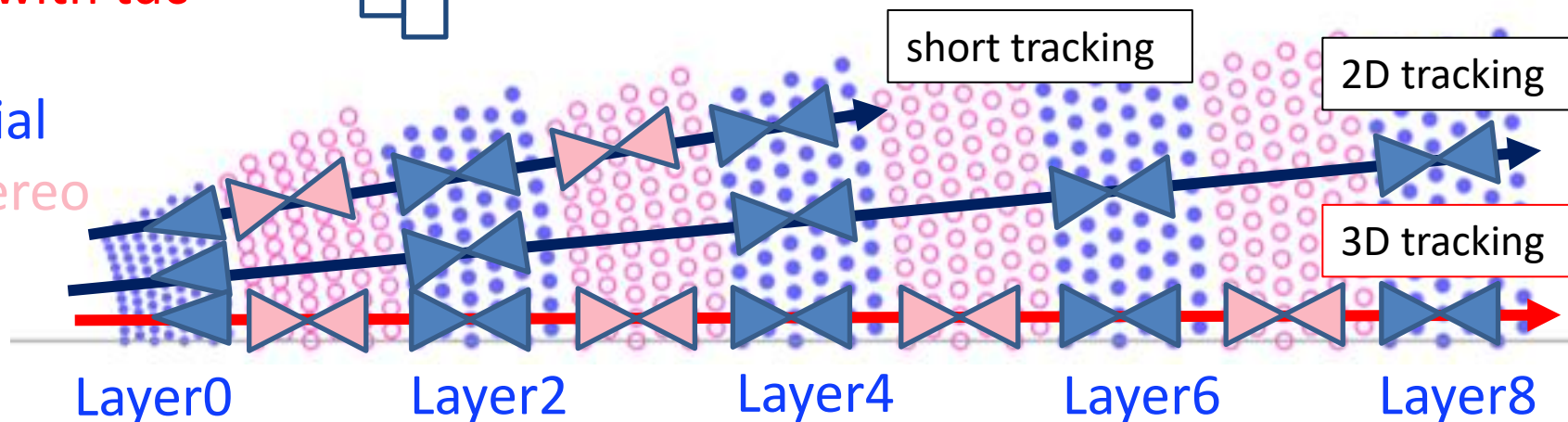
TSF clustering pattern

- CDC wire hit
- TSF
- hit with tdc



CDC wire structure

- axial
- stereo

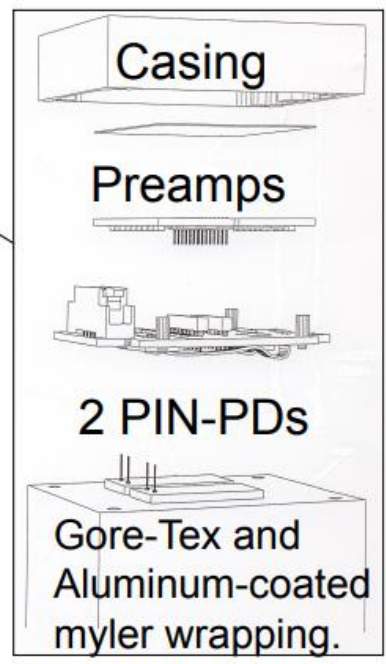
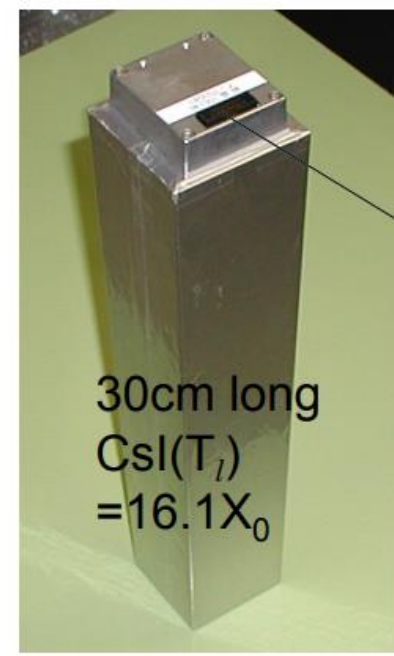


# ECL

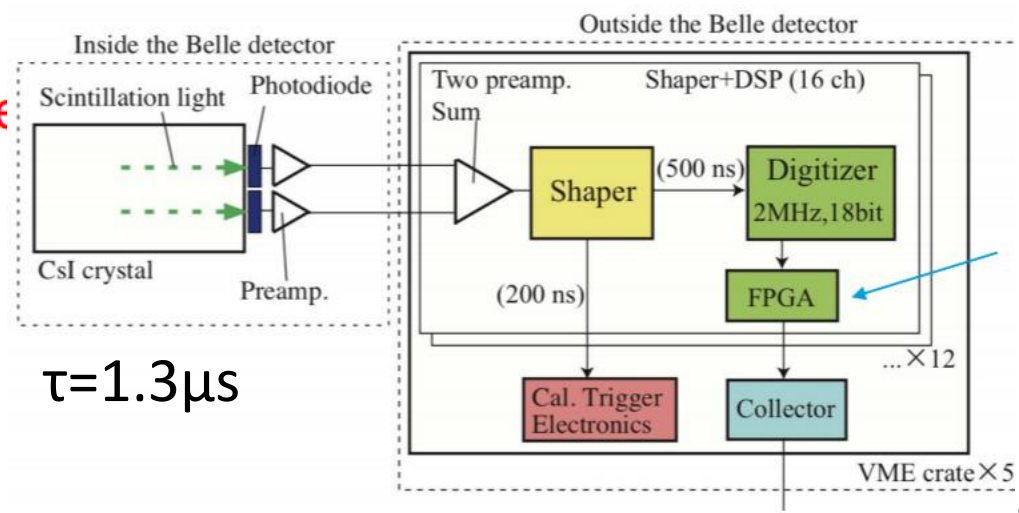
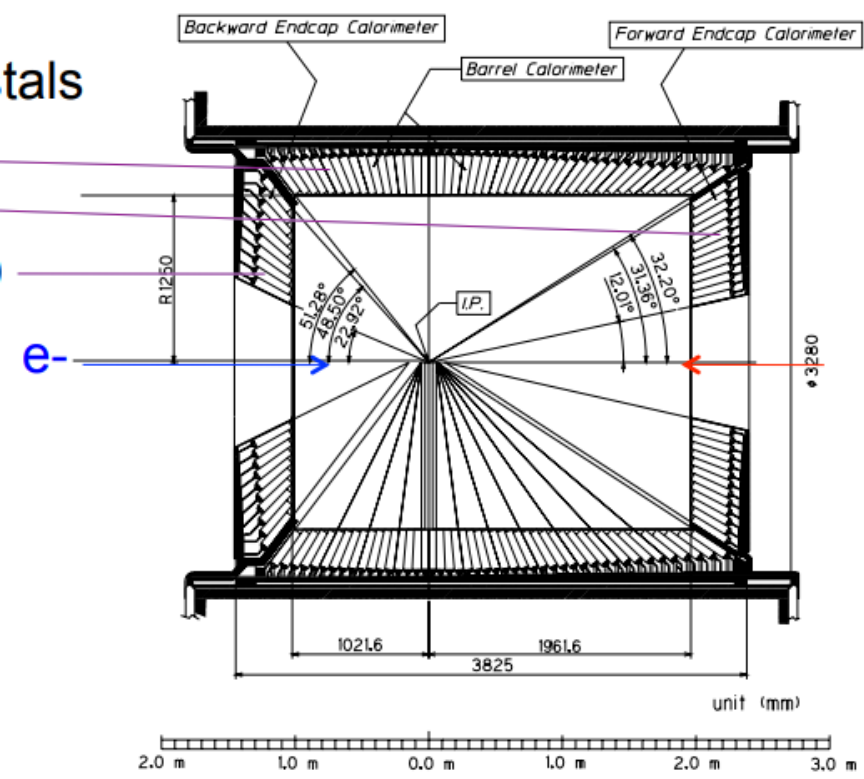
合計8736本

## -ECL:電磁カロリメータ

- 光子・電子のエネルギー測定 識別
- 荷電粒子と中性粒子の識別 (CDCに飛跡があるかどうか)



tals



$$\tau = 1.3 \mu\text{s}$$

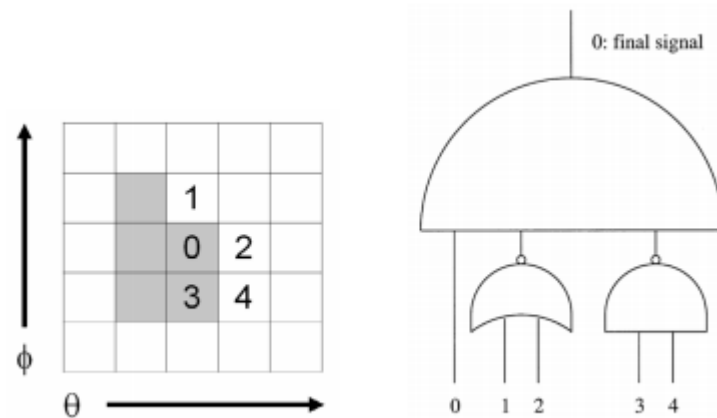
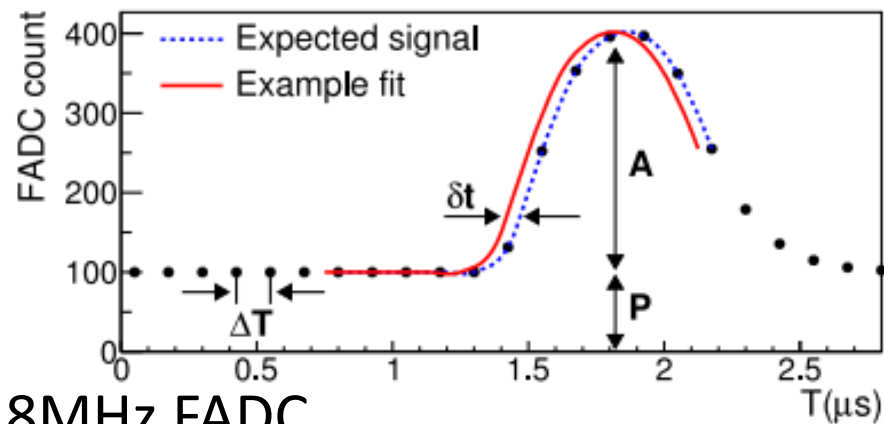
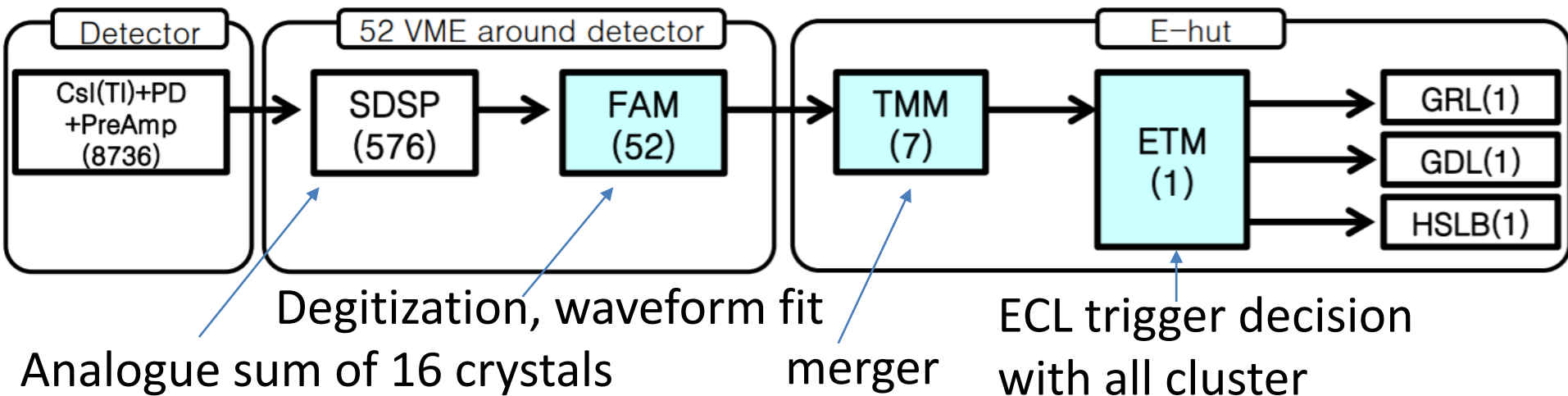


# ECL Trigger

-光子・荷電粒子クラスターの数、位置、エネルギーを測定

-4×4クリスタルが最小単位(TC)

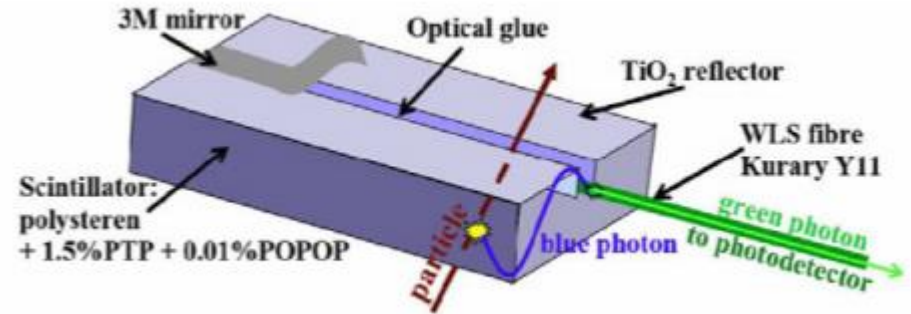
-Digitization with fit -> Merger -> Clustering



# KLM

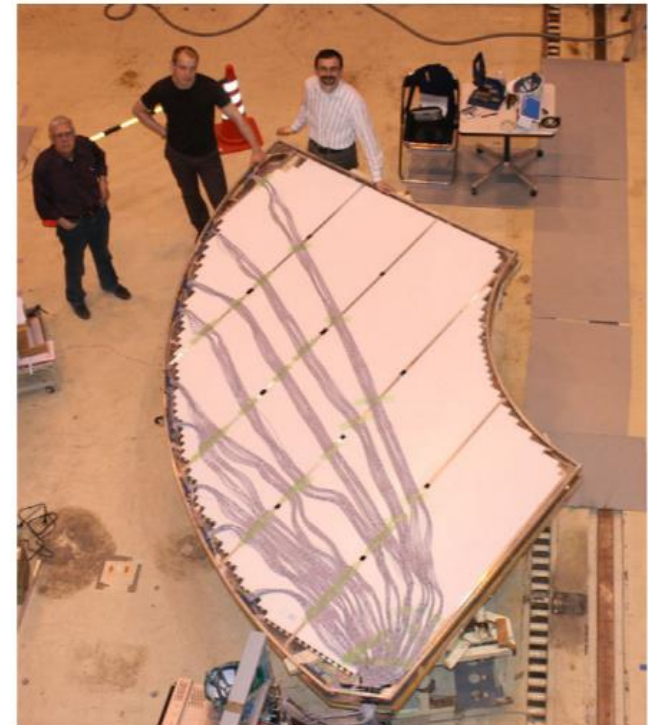
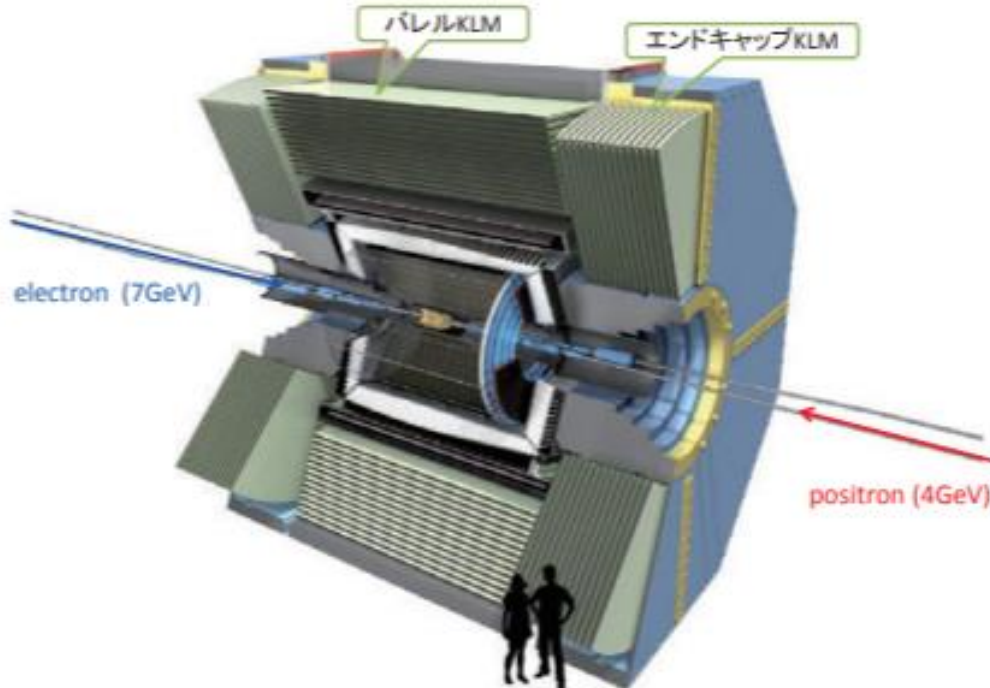
-KLM:KL/ $\mu$ 検出器

- $\mu$ の同定
- $K_L^0$ の検出



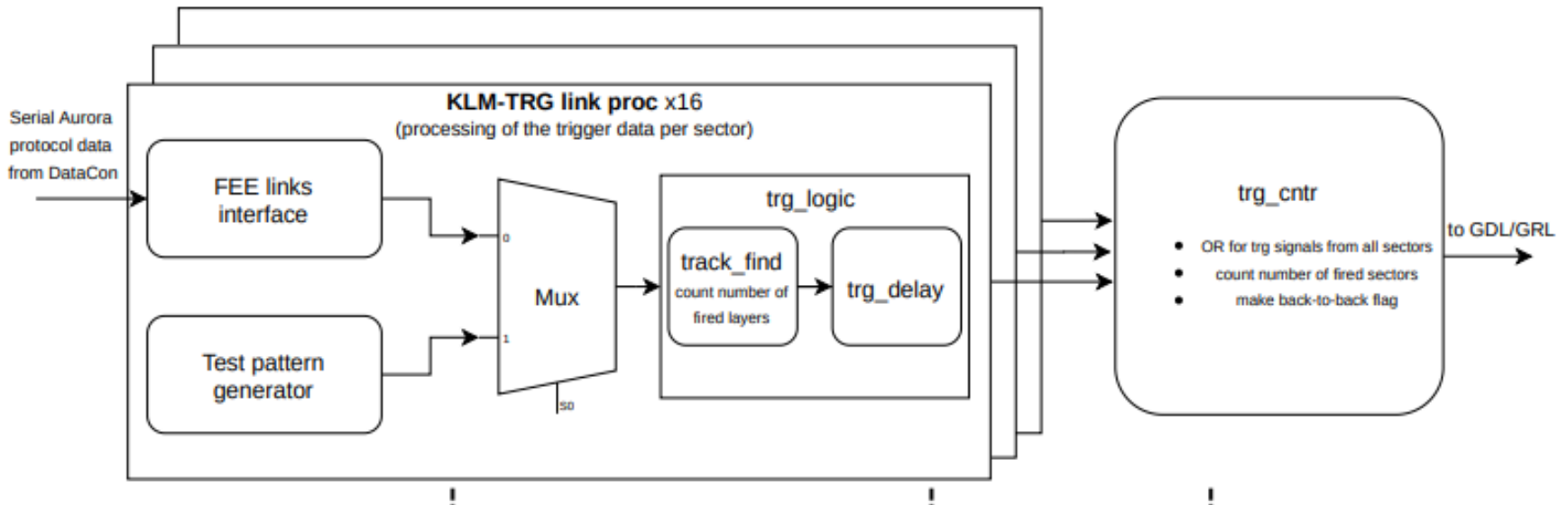
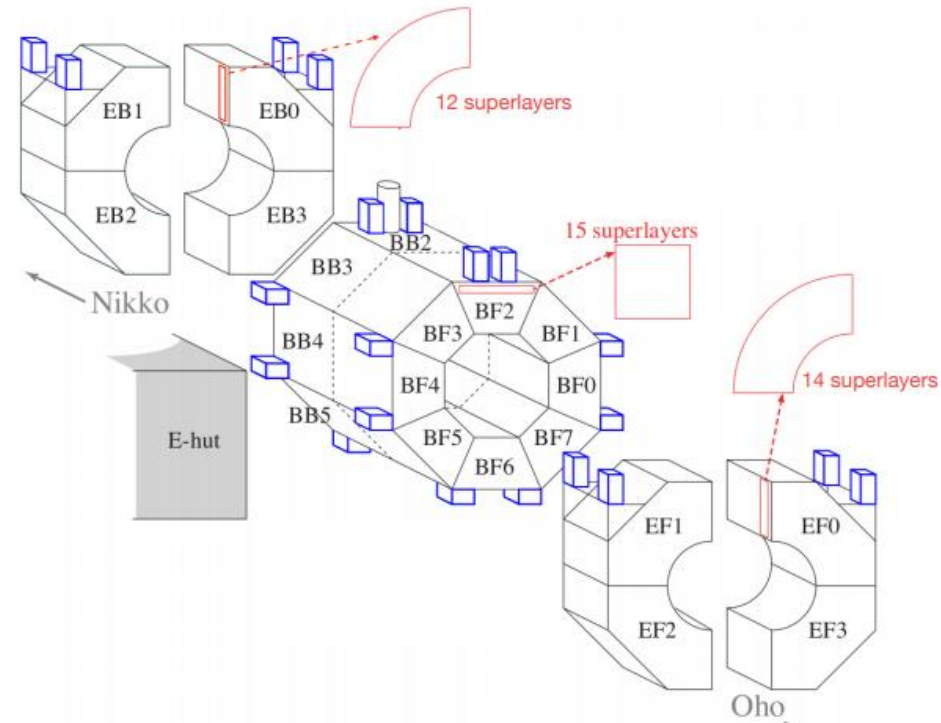
-鉄+プラスチックシンチレータ or RPCのサンドイッチ構造 × 15

- BelleII でendcapとbarrelの一部をプラシンへ交換  
(放射線による不感への耐性)



# KLM Trigger

- セクター毎に $\mu$ 粒子判定
- セクター毎のシンチレータヒット数をカウント  $N > 7$ なら $\mu$ と判断
- 将来はトラッキング可能に
- セクター位置でのback to back判定



# GRL/GDL

-GRL: Global reconstruction logic

-ECL cluster, CDC track, KLM sectorの情報を全部受け取る  $\phi$ マッチング

-イベントごとのCDC track数カウント (500ns drift time)

-将来はMVAやNeural Netも？

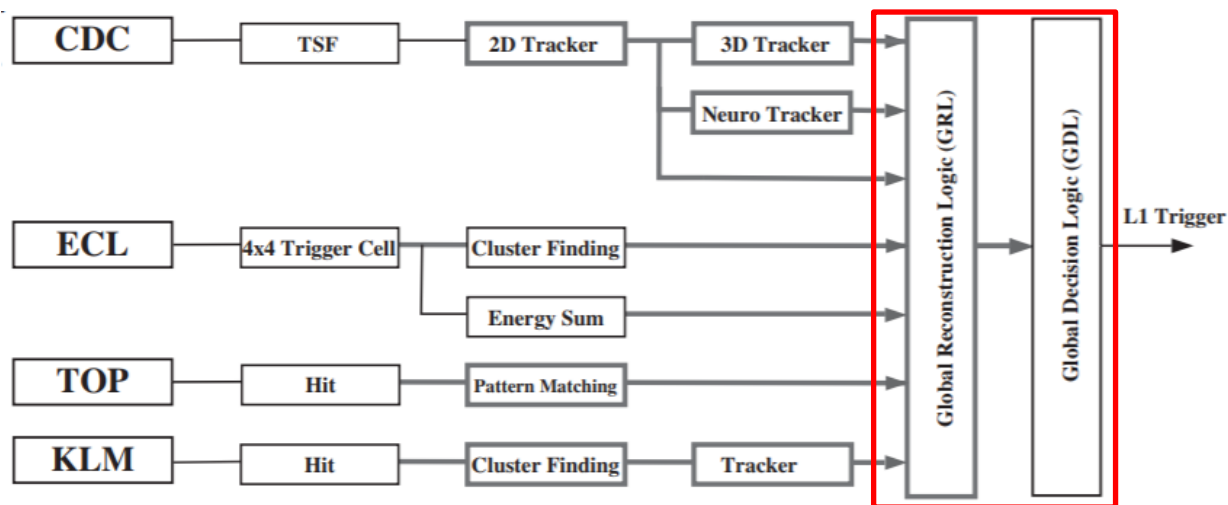
-GDL: Global decision logic

-各検出器、GRLからの情報をもとにL1を発行

-トリガー条件の判定 タイミング信号とのコインシデンス

-条件の例: #ECL cluster  $\geq 4$ , #CDC-KLM matching  $\geq 1$

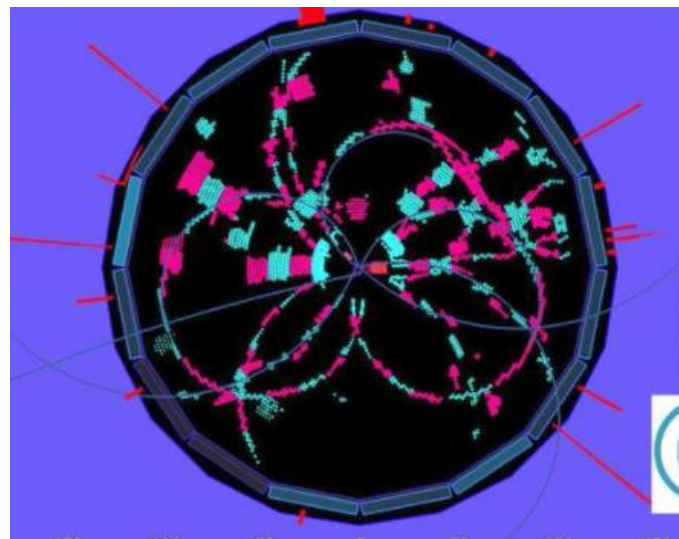
-遅延削減のためGRL $\leftrightarrow$ GDLはLVDS接続



# トリガー条件 B物理用

-Bの崩壊:multiplicityが高い  
100%に近い効率でトリガー可能

-将来的にも高いB効率を保つ  
-B解析でトリガー由来の誤差のことを  
考えなくてすむようにしたい

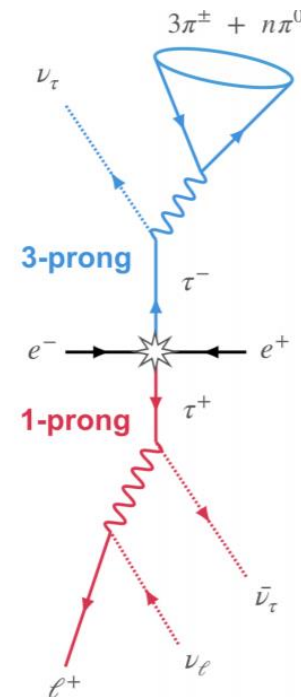


| 主なトリガー条件   | BB効率 (MC) |
|--|-----------|
| #CDC track $\geq 3$ 本                                    | 94%       |
| #CDC track $\geq 2$ 本,<br>$\Delta\phi$ angle $> 90$ deg. | 95%       |
| ECL energy sum $> 1$ GeV                                 | 95%       |
| #ECL cluster $\geq 4$ 個                                  | 99%       |

## BBペア数測定 系統誤差

| Source                       | systematics on $N_{B\bar{B}}$ (%) |
|------------------------------|-----------------------------------|
| luminosity measurement       | 0.9                               |
| selection efficiency         | 0.6                               |
| beam energy spread and shift | 0.5                               |
| tracking efficiency          | 0.1                               |
| trigger efficiency           | 0.2                               |
| Total                        | 1.2                               |

# トリガー条件 $\tau$ 物理用



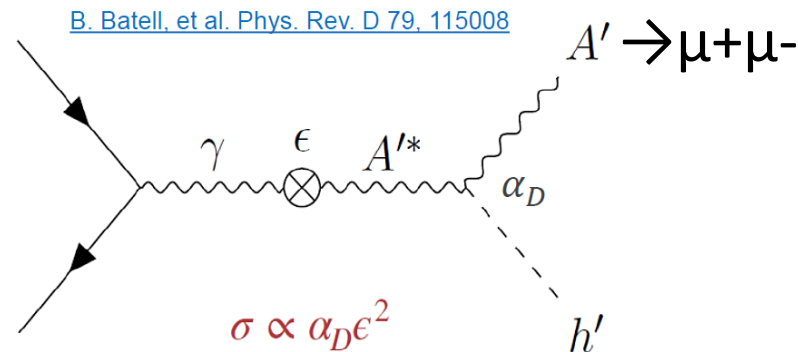
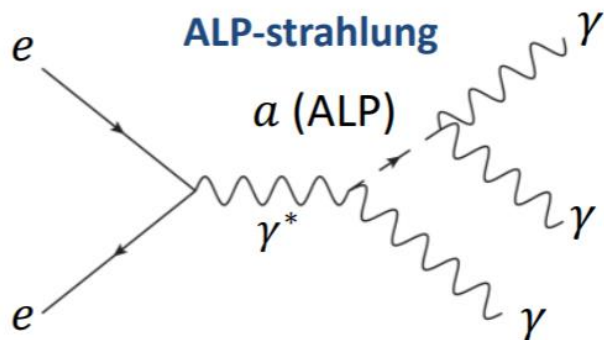
- $\tau$ の崩壊:multiplicityが小さい
- 1(3)-prong decay: 荷電粒子1(3)個
- CDC short trackやECL clusterを駆使

-今後に向けて新しい条件も検討中

| 主なトリガー条件   | 物理のターゲット  |
|--|---|
| #CDC track $\geq 2$ 本, $\Delta\phi$ angle $> 90^\circ$               | 3,1 prong decay                                   |
| #CDC track $\geq 1$ , short track $\geq 1$ , $\Delta\phi > 90^\circ$ | 3,1 prong decay @endcap                           |
| ECL energy sum $> 1\text{GeV}$                                       | decays with electron, $\pi^0$ , LFV with $\gamma$ |
| #ECL cluster $\geq 3$ , one of $E > 300\text{MeV}$                   | decay with charged $\pi$                          |
| #CDC-KLM matching $\geq 1$   | decay with $\mu$                                  |

# トリガー条件 dark/low multi物理用

-物理ごとに異なる終状態 それぞれにトリガーを用意する



-将来はトリガー条件が厳しくなる luminosityが低い今がチャンス

| 主なトリガー条件  | 物理のターゲット                  |
|---|---------------------------|
| #CDC track $\geq 2$ 本, $\Delta\phi$ angle $> 30^\circ$    | Z' search                 |
| #CDC-KLM matching $\geq 1$                                | Z' search                 |
| #ECL cluster ==1, ECL energy $> 1\text{GeV}$              | single photon, axion, ALP |
| #ECL cluster ==1, ECL energy $> 0.5\text{GeV}$<br>@barrel | high mass dark photon     |
| ECL cluster back to back, $E < 2\text{GeV}$               | two-photon fusion, ALP    |
| #ECL cluster ==1, ECL energy $> 2\text{GeV}$<br>@endcap   | $\pi^0$ form factor, ISR  |

# トリガー条件 veto

表 1: 物理事象の反応断面積

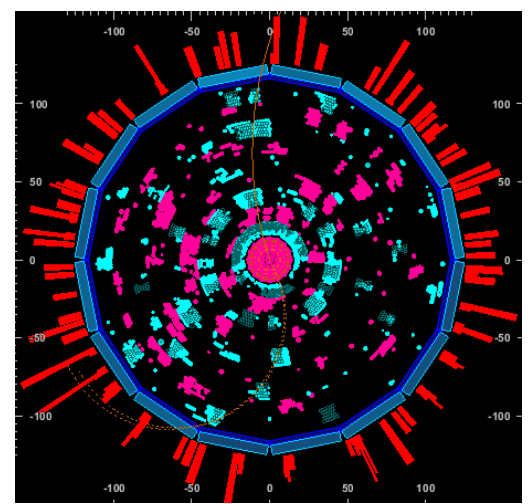
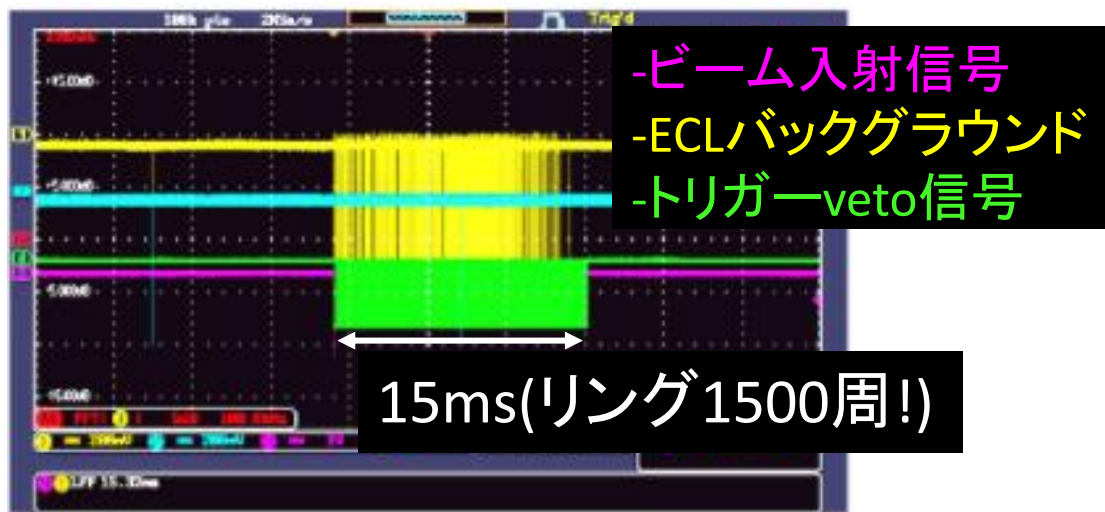
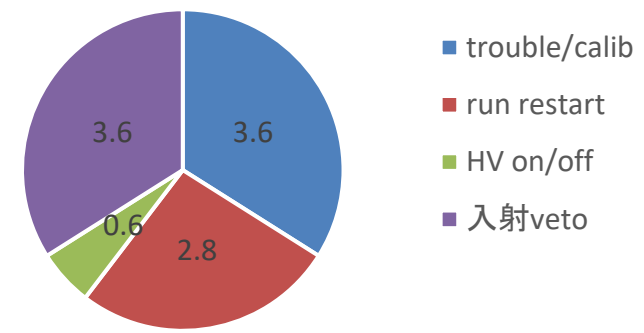
| Process         | $\sigma$ (nb) | Rate (Hz)          |
|-----------------|---------------|--------------------|
| $\Upsilon$ (4S) | 1.2           | 960                |
| Continuum       | 2.8           | 2200               |
| $\mu^+\mu^-$    | 0.8           | 640                |
| $\tau^+\tau^-$  | 0.8           | 640                |
| Bhabha          | 44            | 350 <sup>3</sup>   |
| $\gamma\gamma$  | 2.4           | 19 <sup>3</sup>    |
| Two photon      | 12            | 10000 <sup>4</sup> |
| Total           | 67            | ~15000             |

1/100

- Bhabha散乱 ( $e+e^- \rightarrow e+e^-$ ) veto
  - 断面積が大きい ECL triggerでveto
  - 条件:  $E1 > 4.5\text{GeV}$ ,  $E2 > 3.0\text{GeV}$ ,  $160 < \Delta\phi_{\text{CM}} < 200\text{deg}$ ,  $165 < \Sigma\theta_{\text{CM}} < 190\text{deg}$
  - 現在はvetoなし 今後  $\times 10, 100$ にプレスケール

- 入射ビームバックグラウンド veto
  - ビーム入射後 数~十数ms 入射バンチ前後をveto
  - DAQ dead time ~数% 今後の改善が必要

deadtime (%) 2020秋



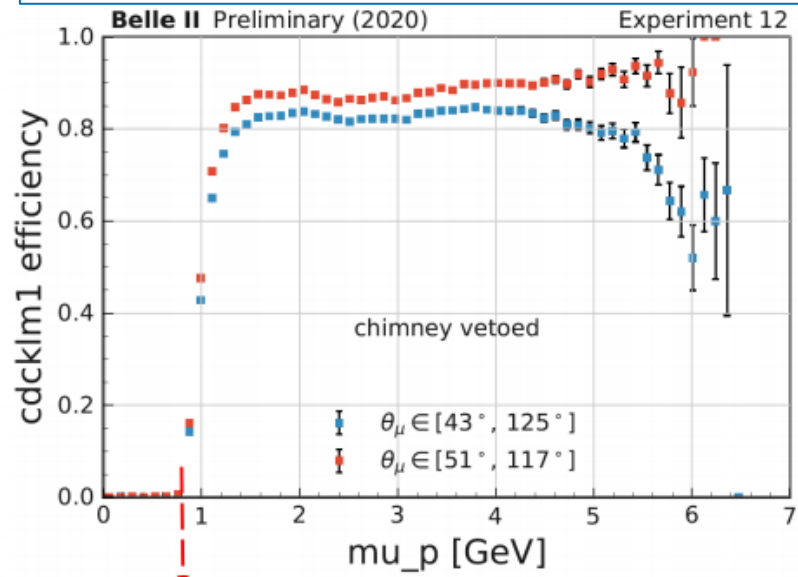


# トリガー性能評価

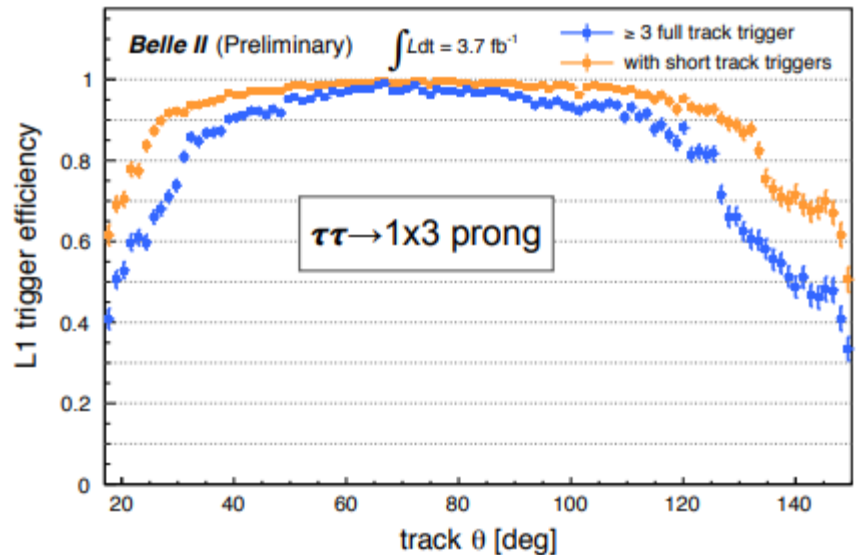
-CDCとECLトリガーの独立性を利用してデータで評価

$$\epsilon_{\text{CDC}} = \frac{\#(\text{CDC \& ECL triggered events})}{\#(\text{ECL triggered events})}$$

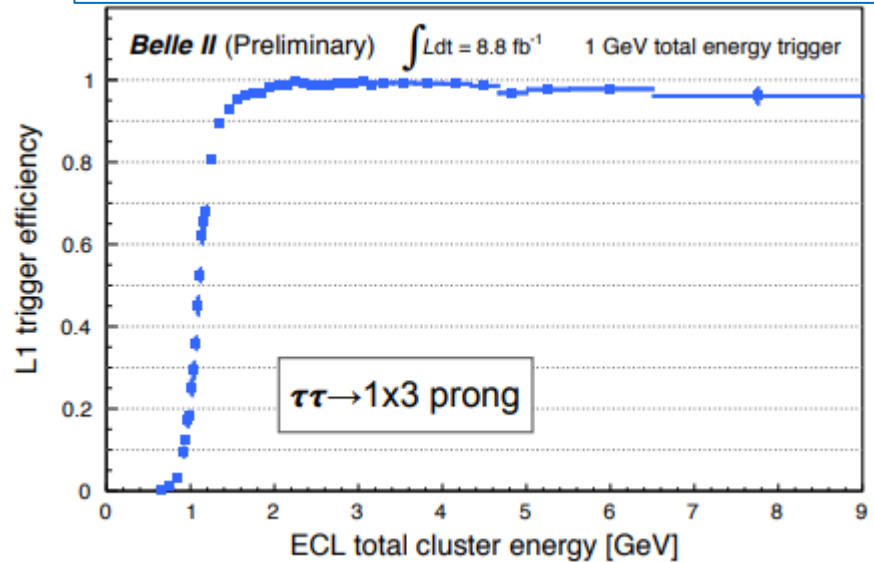
CDC-KLM matching trigger efficiency



CDC three track trigger efficiency



ECL energy > 1 GeV trigger efficiency

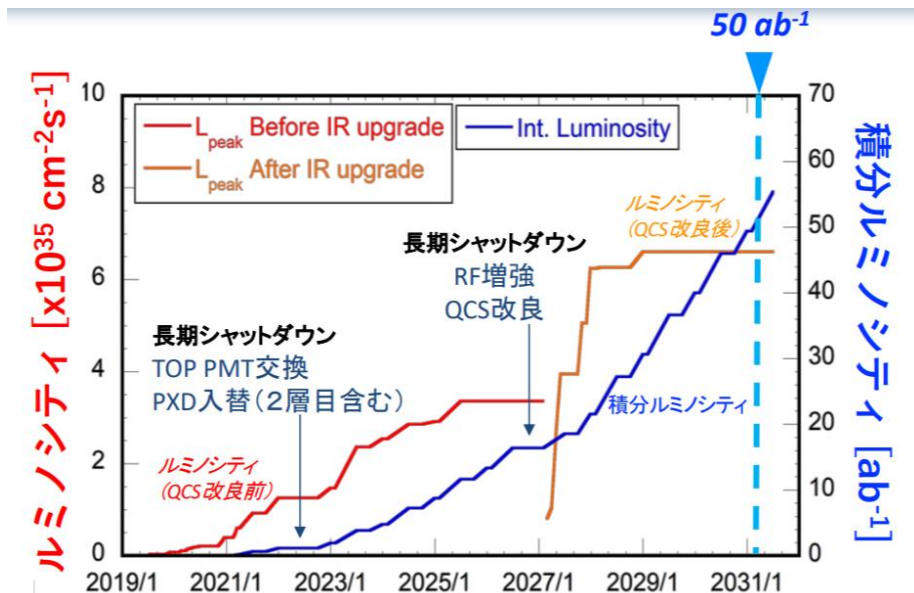


# 運転状況

-2019年から本格的な物理ランを開始  
 2020年6月に $L=2.4 \times 10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ を達成 (世界記録更新)

-現在のトリガーレートは $\sim 4 \text{kHz} \ll \text{DAQ limit of } 12 \text{kHz}$   
 できるだけ緩い条件でTRG運転中  
 (本来は $< 0.5 \text{kHz}$ にしないといけない)

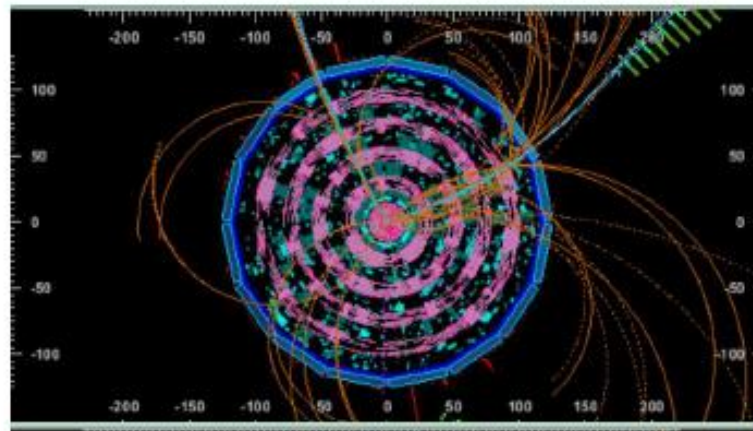
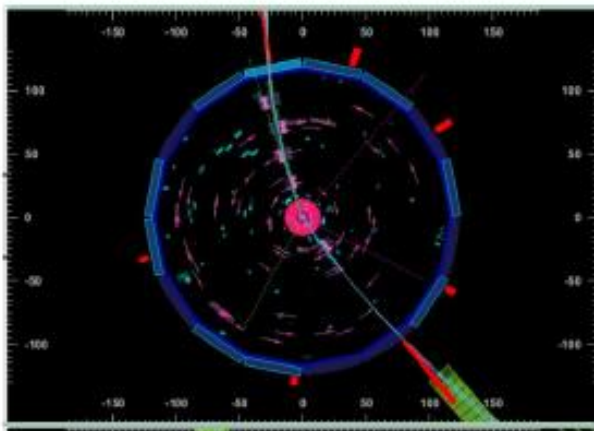
-今期BelleIIは比較的安定に運転中  
 (加速器が不安定、)



| Trigger bits         | Rate among total L1 (kHz) |
|----------------------|---------------------------|
| B/D physics          | <b>1.2</b>                |
| KLM                  | <b>0.2</b>                |
| CDC short track bits | <b>0.3</b>                |
| CDC dark             | <b>0.1</b>                |
| ECL dark/ $\tau$     | <b>0.8</b>                |
| Bhabha               | <b>0.7</b>                |
| Other calibration    | <b>0.7</b>                |
| <b>Total L1</b>      | <b>4.0</b>                |

# Upgrade計画

- Level1 トリガーシステムは 最大ルミノシティ( $8 \times 10^{35} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )下のBGでも動くように十分に設計されて作られた.... わけではない
  - 信頼できるシミュレーションがトリガー/バックグラウンドともになかった
  - Belleでの経験をもとにデザイン
- 最近ようやく将来に向けたsimulation studyが進行中
  - how much luminosity is acceptable with present TRG system
  - bottleneck of each subsystem and how to improve
- 場合によっては大規模なupgradeが必要
  - TRGは弱小グループ manpowerが足りていない
  - 興味がある人/instituteぜひお願いします



# Summary

- BelleII Level1 トリガー
  - CDC, ECL, KLM + GRL, GDL
  - B,  $\tau$ , dark 物理ごとに様々なトリガー条件を用意
- BelleIIは2019年から本格的な物理ランを開始  
現在はluminosityが低いのでゆるゆるのトリガー条件で運転中
- 今後はluminosityとバックグラウンド増加に向けたupgradeが重要

backup