

## 概略

$\tau$ 粒子のハドロン崩壊は始状態がレプトンのためハドロンからハドロンに崩壊する過程に比べて複雑ではない点や、弱い相互作用のハドロン崩壊では様々な量子数を持った状態、ベクター状態、軸ベクター状態のハドロン系の研究ができる点から低エネルギーでのハドロン状態を調べることに對して理想的な過程である。このような $\tau$ 粒子のハドロン崩壊において昔からある問題で、弱い相互作用でセカンドクラスカレントが観測されていないことが挙げられる。セカンドクラスカレントは粒子のスピンの $(J)$ とパリティ $(P)$ とともにアイソスピン空間におけるパリティ $(G)$ を組合わせて粒子を分類したときに現れるカレントで、積 $PG(-1)^J$ が+1のときをファーストクラスカレント、積 $PG(-1)^J$ が-1のときがセカンドクラスカレントと呼ばれている。弱い相互作用のセカンドクラスカレントの探索には $\eta\pi, \omega\pi$ が適しており、本研究ではBelle II実験で収集されたデータから $\tau \rightarrow \omega\pi\nu_\tau$ の事象を選別し、セカンドクラスカレントの探索を行う。このポスターではBelle II実験でどれほどの感度で探索が行えるのかを評価する。

## 背景

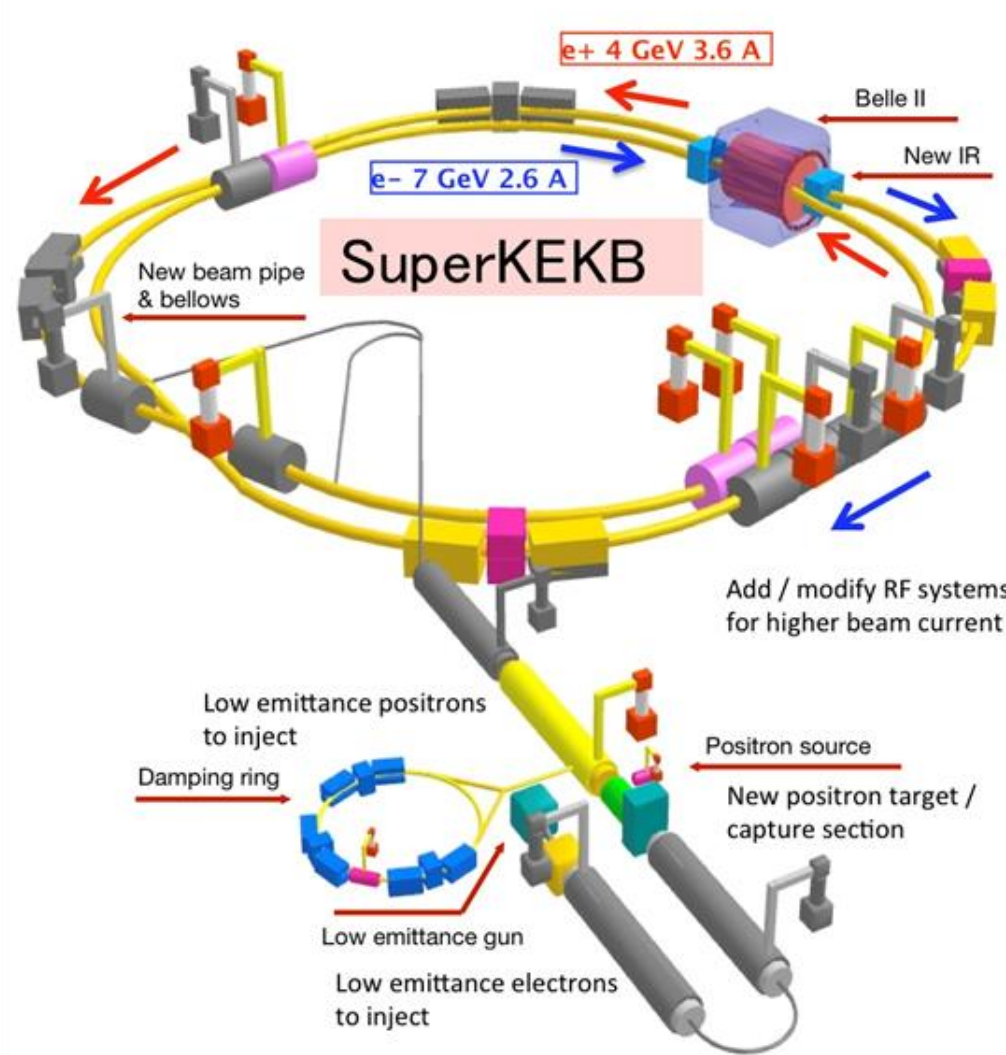
### Belle II 実験

Belle II 実験は高エネルギー加速器研究機構(KEK)でSuperKEKB加速器とBelle II 検出器を用いる高エネルギー実験である。B中間子を大量に生成するため、Bファクトリー実験と呼ばれるが、同時に $\tau$ 粒子を大量に作り出す実験でもある。

### SuperKEKB加速器

電子陽電子非対称円形加速器

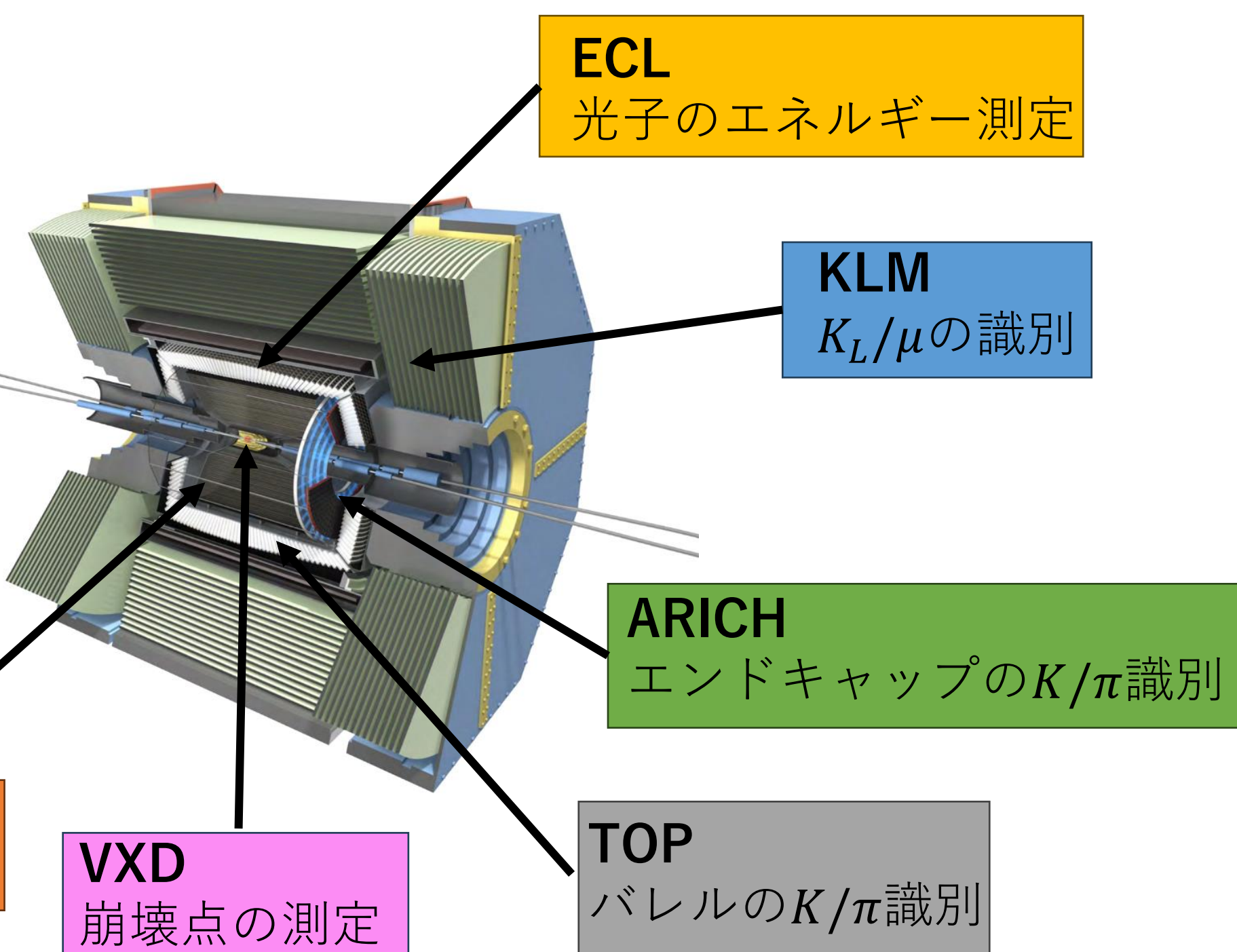
- $E_{e^-} = 7 \text{ GeV}$ ,  $E_{e^+} = 4 \text{ GeV}$
- 重心系エネルギー $\sqrt{s} = 10.58 \text{ GeV}$
- 設計瞬間ルミノシティ:  $6.5 \times 10^{35} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
- 目標積分ルミノシティ:  $50 \text{ ab}^{-1}$
- $\sigma[e^+e^- \rightarrow \tau^+\tau^-(\gamma)] = 0.92 \text{ nb}$



### Belle II 検出器

直接識別可能粒子  
( $e^\pm, \pi^\pm, K^\pm, \gamma, \mu^\pm, K_L, p$ )

$dE/dx$ やチェレンコフ放射角、ECLの情報等から $\pi, e, K, p, \mu, d$ の尤度を計算している。



### セカンドクラスカレント

粒子のスピン $(J)$ 、パリティ $(P)$ 、アイソスピン空間におけるパリティ $(G)$ を用いてハドロン生成過程を二つに分類できる。

- ファーストクラスカレント (FCC)  
 $J^{PG} = (0^{++}, 0^{--}, 1^{+-}, 1^{-+})$
- セカンドクラスカレント (SCC)  
 $J^{PG} = (0^{-+}, 0^{+-}, 1^{++}, 1^{--})$

弱い相互作用では今まで観測されていない。

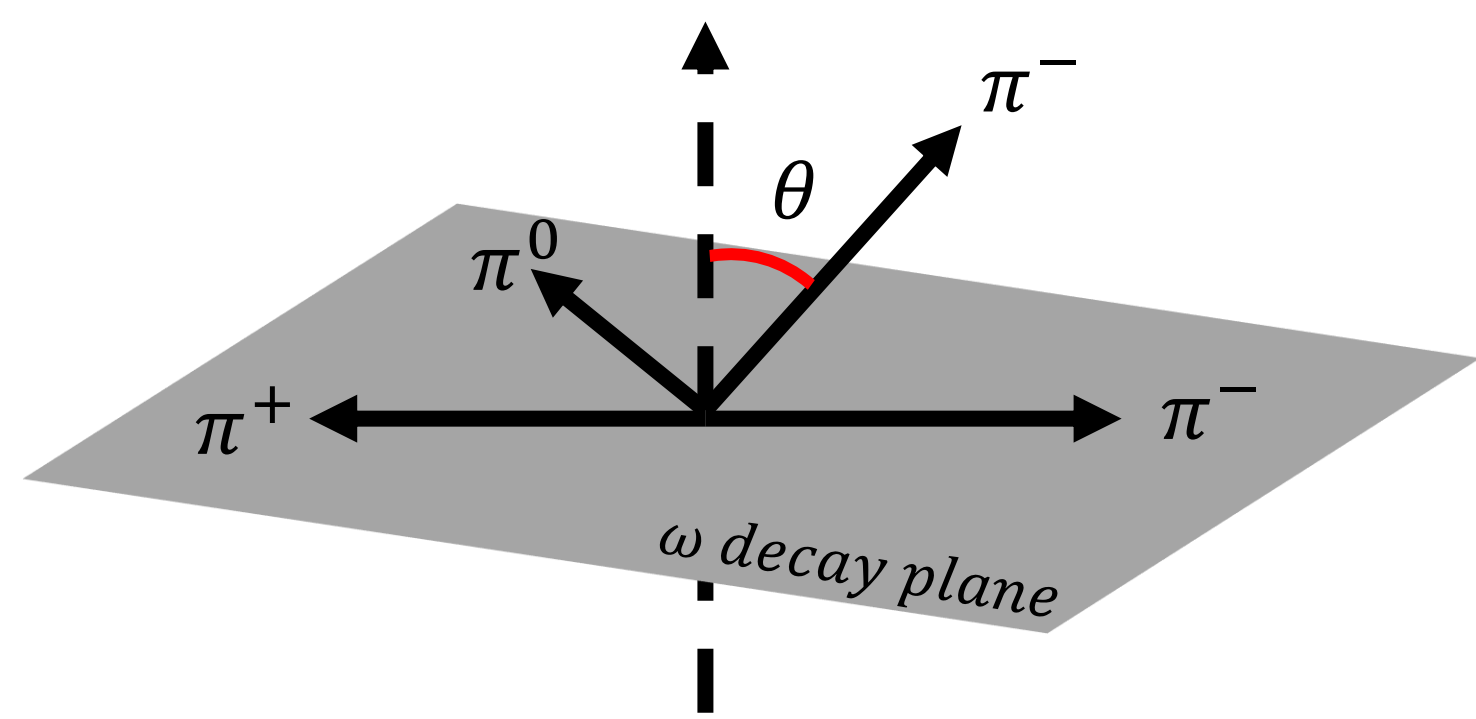
$\tau \rightarrow X\nu_\tau$  ( $X$ は中間粒子)は $J^{PG} = 0^{--}, 1^{+-}, 1^{-+}$ の時FCCに分類され、 $J^{PG} = 0^{-+}, 1^{++}$ の時SCCに分類される。 $J^{PG} = 1^{++}$ の時、 $\tau \rightarrow b_1(1235)\nu_\tau \rightarrow \omega\pi\nu_\tau$ の過程で崩壊し得る。このため、 $\tau \rightarrow \omega\pi\nu_\tau$ はセカンドクラスカレントの探索に適した崩壊である。

### $\tau \rightarrow \omega\pi\nu_\tau$ でのセカンドクラスカレントの探索

- $\tau \rightarrow \omega\pi\nu_\tau$ は
- $\tau \rightarrow \rho\nu_\tau \rightarrow \omega\pi\nu_\tau$  (FCC)
- $\tau \rightarrow b_1(1235)\nu_\tau \rightarrow \omega\pi\nu_\tau$  (SCC)

FCCとSCC両方の成分を含むため、この二つを識別する必要がある。FCCとSCCで $\omega$ 粒子のスピン偏極に違いがある。 $\omega$ 粒子のスピン偏極の違いは崩壊角度分布 $F(\cos\theta)$ で表される。

崩壊角 $\theta$   
 $\omega$ 中間子の静止系において、 $\omega$ 中間子から崩壊した $\pi^+, \pi^-, \pi^0$ がある平面( $\omega$  decay plane)に垂直な方向と4番目の $\pi$ の方向のなす角



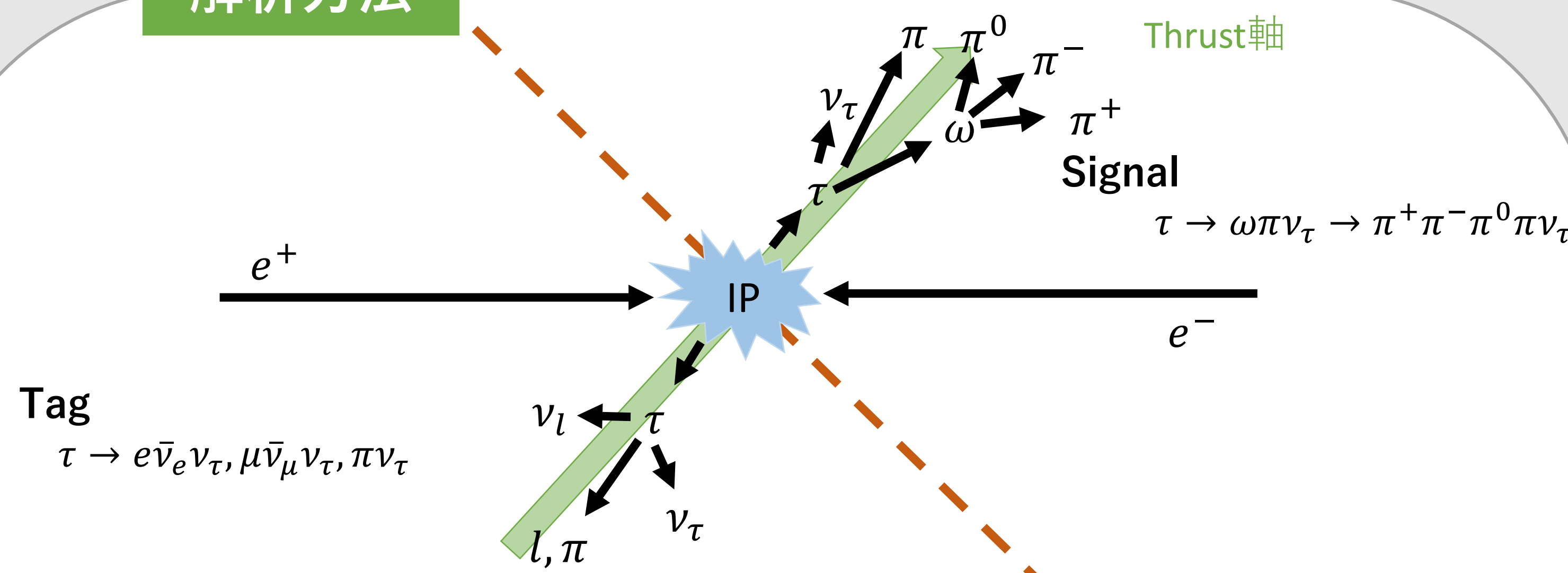
$\tau \rightarrow \omega\pi\nu_\tau$ の崩壊角度分布 $F(\cos\theta)$ を見ると

- FCCのみの時は $F(\cos\theta) = 1 - \cos^2\theta$ の分布が見られる。

- SCCが存在する時は $F(\cos\theta) = 1 - \cos^2\theta$ のほかに $F(\cos\theta) = (\text{一定})$ の成分が観測される。

$\tau \rightarrow \omega\pi\nu_\tau$ の崩壊角度分布を調べることでセカンドクラスカレントの寄与を導出することができる。

## 解析方法



$e^+e^- \rightarrow \tau^+\tau^-(\gamma)$ 事象での $\tau \rightarrow \omega\pi\nu_\tau$ の終状態 $\tau \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\nu_\tau$ の事象を以下の選別条件をかけて収集する。

- 荷電粒子の選別条件
  - 粒子識別に関する尤度  $PID > 0.1$
  - ビーム軸に平行な軸(z軸)での荷電トラックの軌跡とビーム衝突点との最近傍距離  $-3.0 \text{ cm} < dz < 3.0 \text{ cm}$
  - ビーム軸に垂直な面(x-y平面)での荷電トラックの軌跡とビーム衝突点との最近傍距離  $dr < 1.0 \text{ cm}$
- 光子の選別条件
  - バレル部で観測される  $-0.8660 < \cos\theta_\gamma < 0.9563$
  - 光子のエネルギー  $E_\gamma > 100 \text{ MeV}$
- Thrust軸に垂直な平面(上図の点線)でイベントをsignal側とtag側に分ける。
- 全粒子の電荷の合計が0
- $0.9 < \text{thrust} < 0.99$

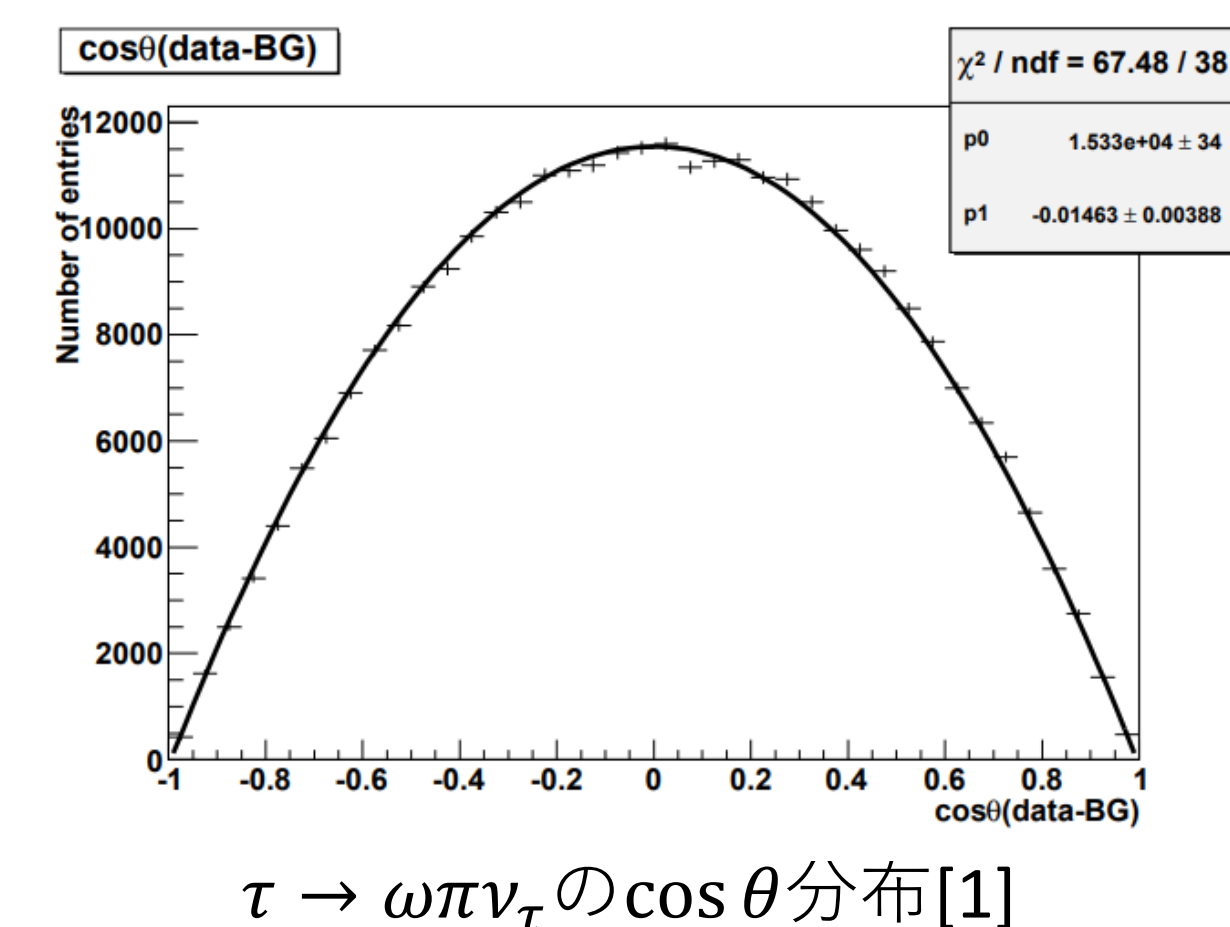
質量分布 $m(\pi^+\pi^-\pi^0)$ から $\tau \rightarrow \omega\pi\nu_\tau$ の事象を抽出する。

選別した $\tau \rightarrow \omega\pi\nu_\tau$ の事象を用いて $\cos\theta$ の分布を生成し、以下の関数で

$$Y = \frac{Y_{MAX}}{4} \cdot 3 \left( (1 - \epsilon)(1 - \cos^2\theta) + \frac{2}{3}\epsilon \right)$$

(Fitパラメータは $Y_{MAX}, \epsilon$ )

Fitし、SCCの寄与の大きさ $\epsilon$ を測定する。



[1]R.Takasaka. タウ粒子崩壊 $\tau \rightarrow \pi - \omega\nu_\tau$ 崩壊におけるセカンドクラスカレントの探索, Master's thesis, Nara Women's University (2009).

## 期待される感度

Belle実験での先行研究( $594.7 \text{ fb}^{-1}$ )の $\cos\theta$ 分布[1]がBelle II実験でも得られると仮定すると、SCCの寄与の大きさ $\epsilon$ は

$$\epsilon = -0.0170 \pm 0.0039(\text{stat})$$

系統誤差を考慮せず統計誤差のみで上限値を計算すると、

$$\epsilon < 0.0050 (90\% \text{ C.L.})$$

本発表では統計量が $594.7 \text{ fb}^{-1}$ から $1 \text{ ab}^{-1}$ に増えた時の上限値の予想値を見積もる。統計量を増やした $\cos\theta$ 分布より

$$\epsilon = -0.0170 \pm 0.0030(\text{stat})$$

これより上限値の予想値は

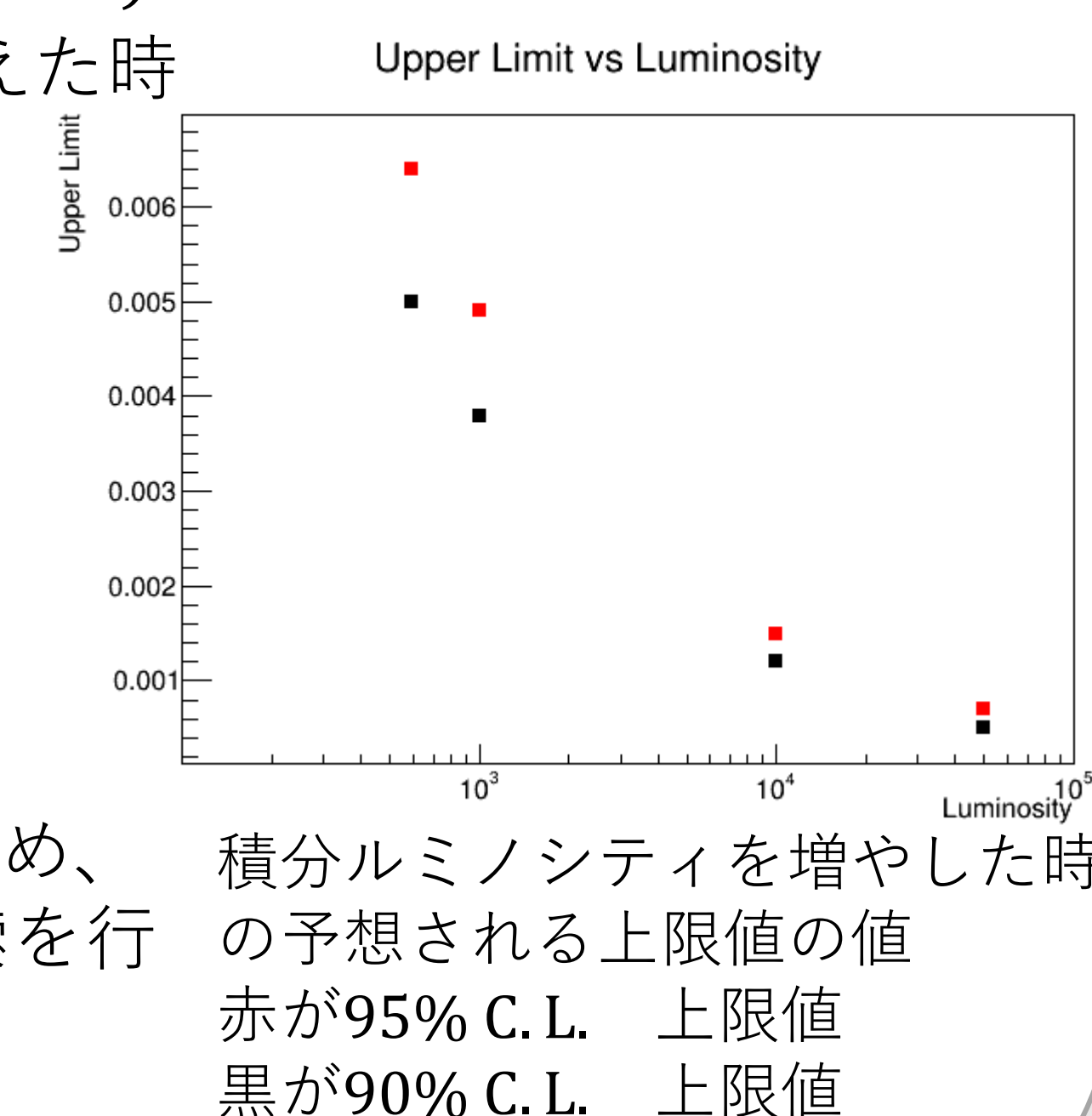
$$\epsilon < 0.0038(90\% \text{ C.L.})$$

この値はBaBar実験の上限値

$$\epsilon < 0.0069 (90\% \text{ C.L.})[2]$$

に比べ、約1.8倍感度が良くなることわかる。

現在最も良い感度はBaBar実験の結果であるため、世界最高感度でセカンドクラスカレントの探索を行える。



積分ルミノシティを増やした時の予想される上限値の値  
赤が95% C.L. 上限値  
黒が90% C.L. 上限値

[2]B.Aubert and M.Bonaet al.(BABAR Collaboration), BABAR-CONF08/015,SLAC-PUB-13339, arXiv:0807.4900 (2008)

## まとめ・今後

- 統計量が $1 \text{ ab}^{-1}$ に達すると予想される上限値は $\epsilon < 0.0038 (90\% \text{ C.L.})$ であり、世界最高感度の1.8倍感度でセカンドクラスカレントの探索を行える。
- 今後、 $e^+e^- \rightarrow q\bar{q}$  ( $q = u, d, s, c$ )や $e^+e^- \rightarrow e^+e^-e^+e^-$ などバックグラウンドと $e^+e^- \rightarrow \tau^+\tau^-(\gamma)$ を区別する条件を決定する。