

Belle II 実験における $X(3872) \rightarrow D^0 \bar{D}^0 \pi^0$ 崩壊の 質量分布測定に対する感度の研究

名大理^A、名大KMI^B

平田光^A、飯嶋徹^{A, B}、加藤悠司^B、他 Belle II Collaboration

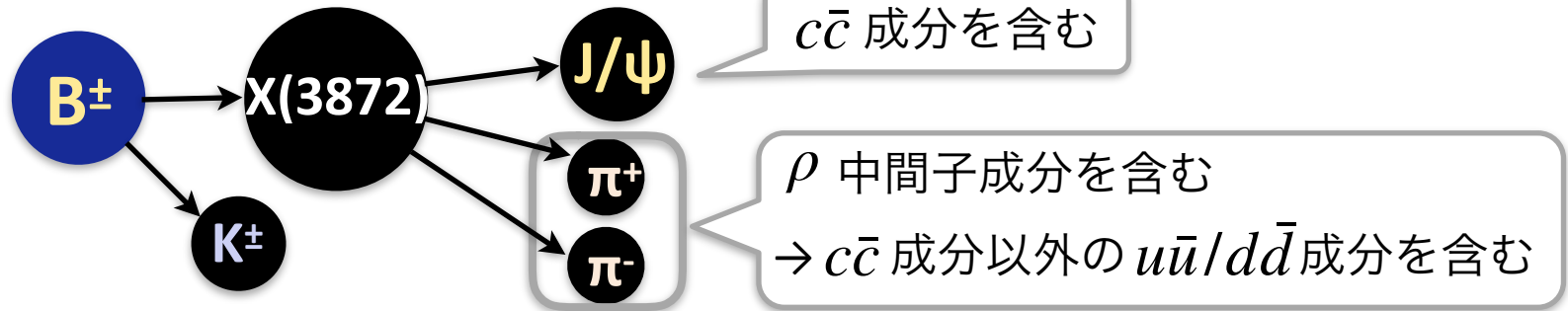
日本物理学会 第74回年次大会

於 九州大学伊都キャンパス

X(3872)

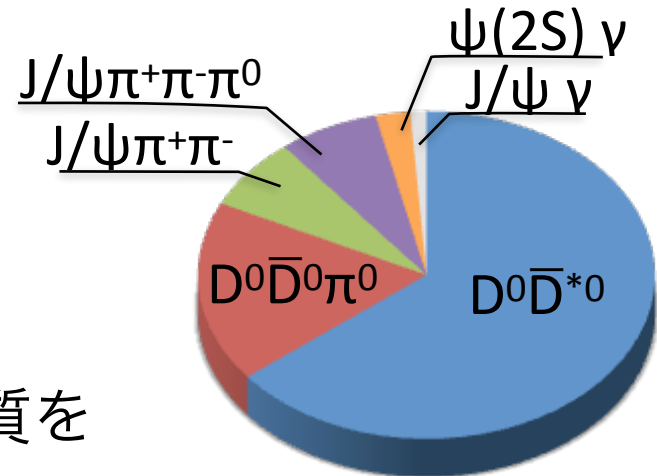
- エキゾチックハドロンの”候補”の一つ

- B中間子の崩壊から発見



- 様々な崩壊過程が発見
 - 質量: $3871.69 \pm 0.17 \text{ MeV}/c^2$
 $\rightarrow D^0 \bar{D}^{*0}$ 閾値と誤差の範囲で一致
 - $J^{PC} = 1^{++}$

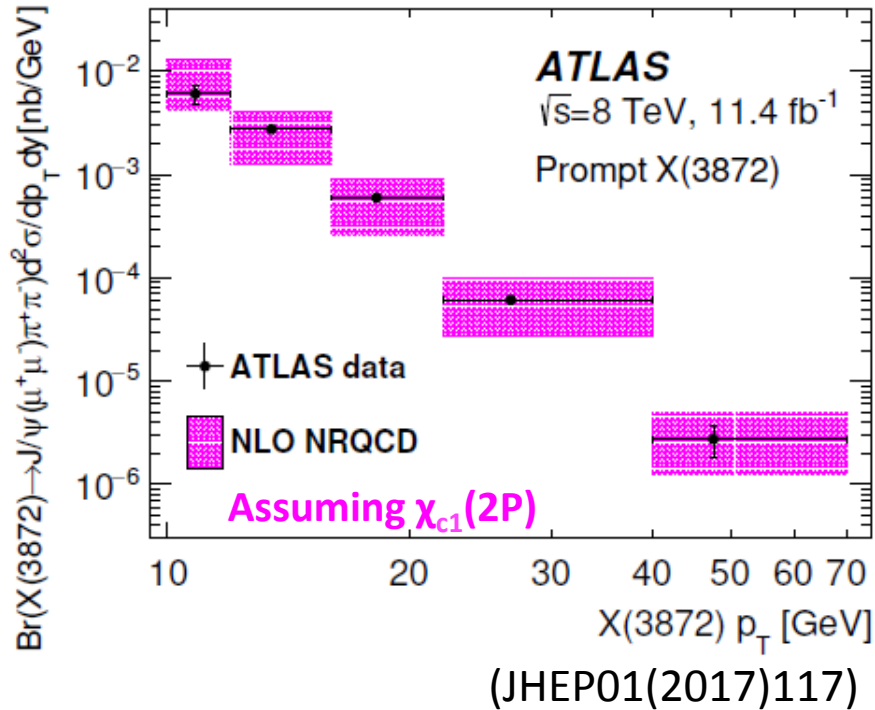
→ $D\bar{D}^*$ 分子状態と解釈すれば、上記の性質を説明可能



崩壊分岐比の割合

現在のX(3872)の内部構造の見解

陽子陽子衝突 (LHC実験) で
直接生成されたX(3872)の微分断面積



- $D\bar{D}^* - \chi_{c1}(2P)$ 混合状態を支持
→ X(3872)の生成・崩壊のさらなる理解が必要

本研究では、全崩壊幅に着目

$$\Gamma_{\text{tot}} < 1.2 \text{ MeV}$$

全崩壊幅の有意な測定を目指す

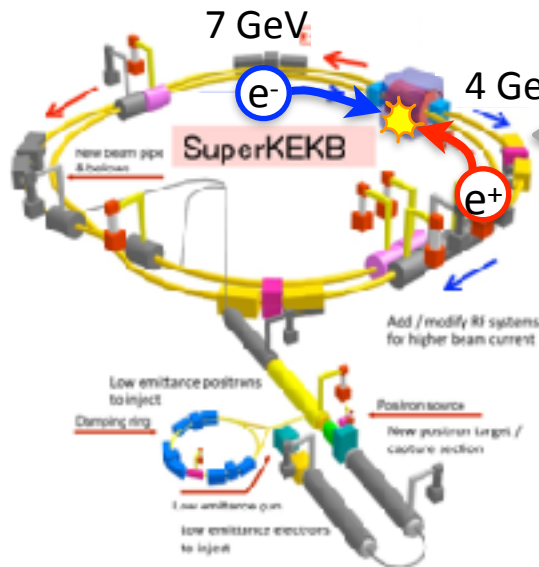
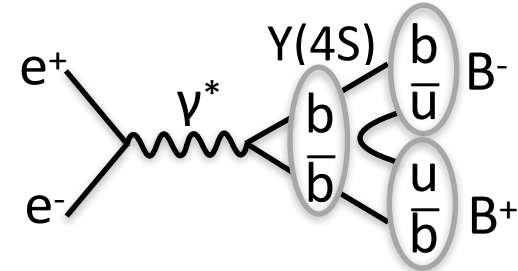
→ 各崩壊過程における

部分崩壊幅が導出可能となる

$$\Gamma(X(3872) \rightarrow f) = \frac{\text{Br}(B^\pm \rightarrow K^\pm X(3872)) \times \text{Br}(X(3872) \rightarrow f)}{\text{Br}(B^\pm \rightarrow K^\pm X(3872))} \times \Gamma_{\text{tot}}$$

Belle II 実験

- 電子陽電子衝突型 Bファクトリー実験
— $\sqrt{s} = 10.58 \text{ GeV}$



大型汎用検出器 Belle II

中央飛跡検出器

崩壊点検出器

Si ピクセル型(2層)
+ストリップ型(4層)

電磁カロリメータ
Cs(Tl)結晶

粒子識別装置

[前方部] Aerogel-RICH
[円筒部] Time of Propagation

超電導ソレノイド

1.5 T

$K_L \cdot \mu$ 検出器

広い運動量領域で、 π^\pm , K^\pm , p , e , μ , γ の検出が可能

- 世界最高ルミノシティ ($8 \times 10^{35} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$) を目指す
- 最終的に550億個のB中間子対データを収集予定
(50 ab^{-1} , Belle の約50倍) → **精密な $\chi(3872)$ の性質測定が可能**

全崩壊幅の測定感度向上のための改良点

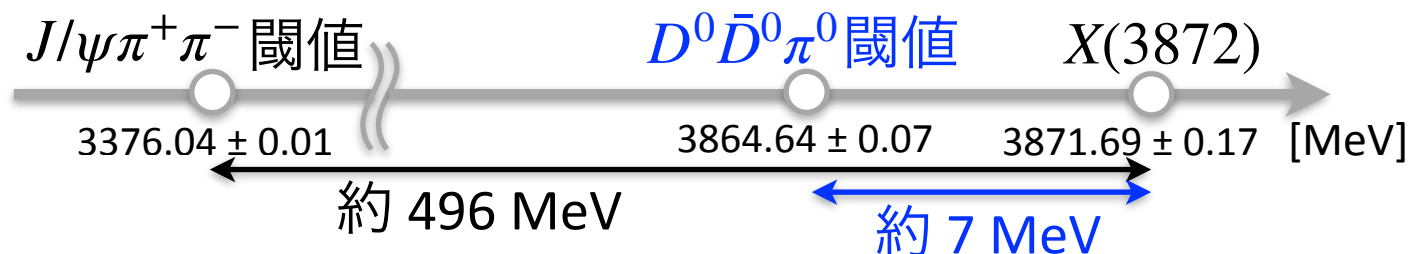
- **先行研究** $X(3872) \rightarrow J/\psi\pi^+\pi^-$ 過程を使用 (Phys. Rev. D 84, 052004 (2011))

不変質量分布の信号事象成分を質量分解能を畳み込んだ
ブライト・ウィグナー分布でフィットすることで測定

$$\Gamma_{\text{tot}} < 1.2 \text{ MeV (90\%信頼度)} < \text{質量分解能 } 1.86 \pm 0.01 \text{ MeV}/c^2$$

“質量分解能の向上が不可欠”

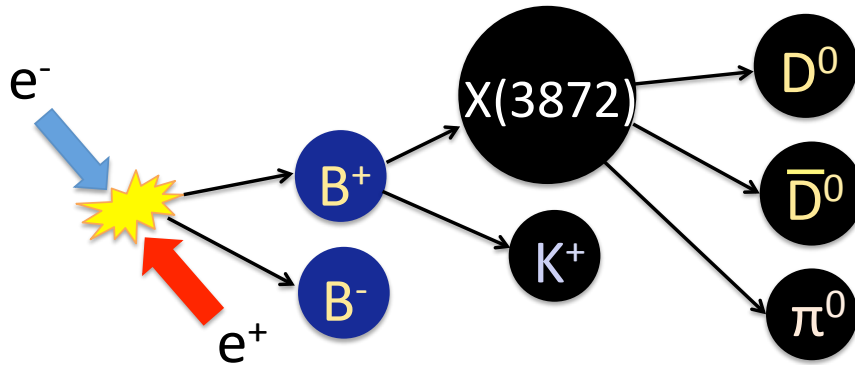
★ Q値が小さいと質量分解能は良い → $D^0\bar{D}^0\pi^0$ 過程に着目



Belle II 実験における**全崩壊幅**測定の感度をシミュレーション
を用いて推定 (※ビームバックグラウンドの影響は考慮しない)

信号事象の再構成と選別

- 本研究では全ての中間状態粒子を再構成



- D^0 中間子の再構成

$$\begin{cases} D^0 \rightarrow K^+ \pi^- \\ D^0 \rightarrow K^+ \pi^- \pi^0 \\ D^0 \rightarrow K^+ \pi^- \pi^- \pi^+ \end{cases}$$

D^0 崩壊の
約26%

- π^0 中間子の再構成

$$\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$$

π^0 崩壊の
約99%

[終状態粒子選別] 粒子識別、飛跡情報(K^\pm, π^\pm)、クラスター情報(γ)

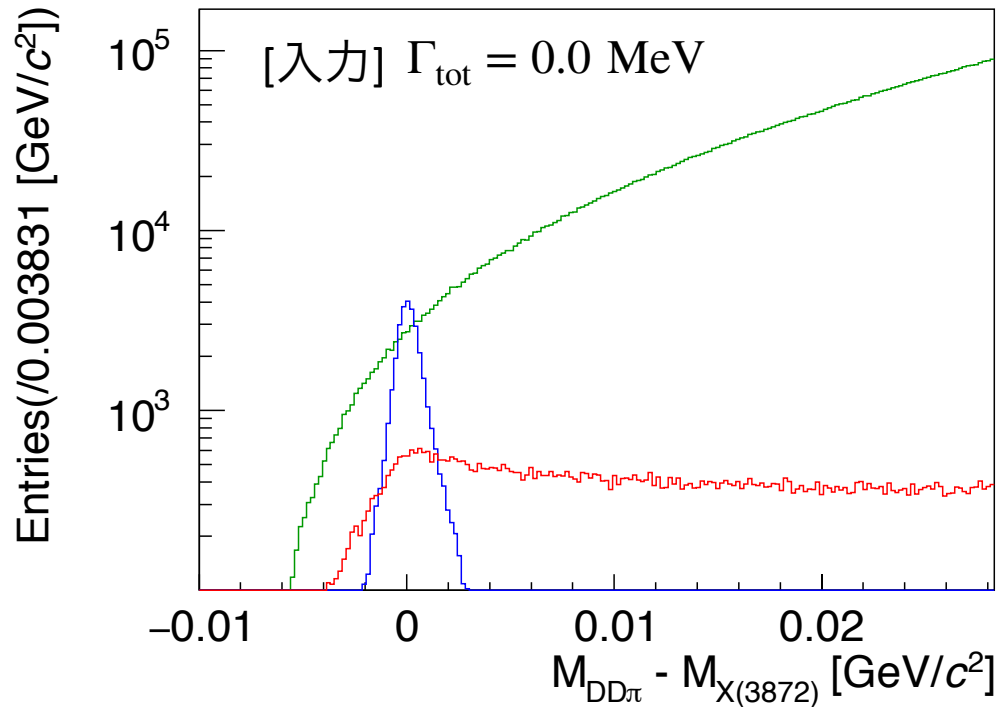
[中間状態粒子選別] 質量、4元運動量とビームエネルギー(B中間子)

- B中間子候補数 (1事象あたり平均3.78)を減らすため、1事象中で最も χ_{BCS}^2 が小さくなる候補1つのみを選んだ。

$$\chi_{BCS}^2 = \left(\frac{\Delta M_{D^0}}{\sigma M_{D^0}} \right)^2 + \left(\frac{\Delta M_{\bar{D}^0}}{\sigma M_{\bar{D}^0}} \right)^2 + \left(\frac{\Delta M_{\pi^0}}{\sigma M_{\pi^0}} \right)^2 + \left(\frac{E_B - E_{\text{beam}}}{\sigma_{(E_B - E_{\text{beam}})}} \right)^2$$

$D^0\bar{D}^0\pi^0$ 不変質量分布

再構成・選別後の不変質量分布



— 正しく再構成できた信号事象
 — 信号事象の組み合わせ間違い
 — 他の $B\bar{B}/q\bar{q}$ 事象由来の背景事象

- 質量分解能: $684 \pm 8 \text{ keV}$
- 1 ab^{-1} あたりの信号数:
 $64.5 \pm \underline{23.9}$

$\text{Br}(B^\pm \rightarrow K^\pm X(3872))$
 $\times \text{Br}(X(3872) \rightarrow D^0\bar{D}^0\pi^0)$
 測定の精度が悪いことが要因

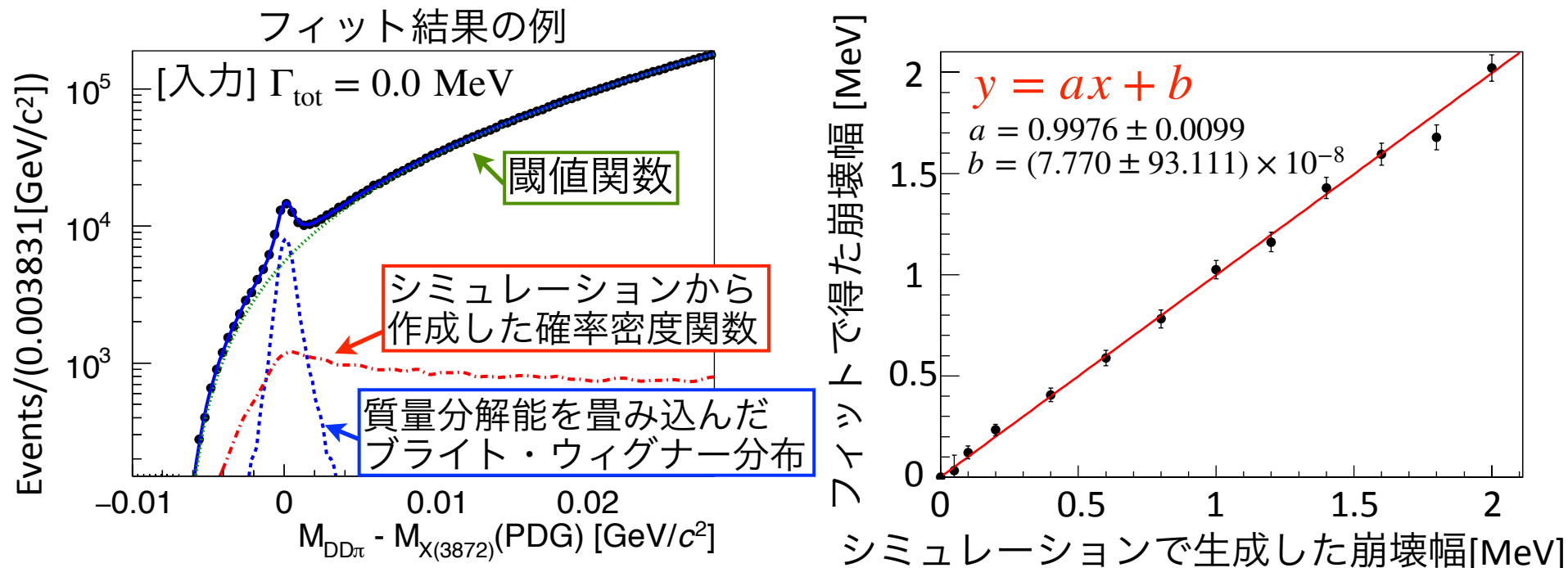
→ 先行研究で用いた $J/\psi\pi^+\pi^-$ 過程と比較すると、
 信号数は半分程度だが、質量分解能は3倍良いことがわかった

全崩壊幅測定に重要な質量分解能が良いサンプルを得られた

フィットの線型性の確認

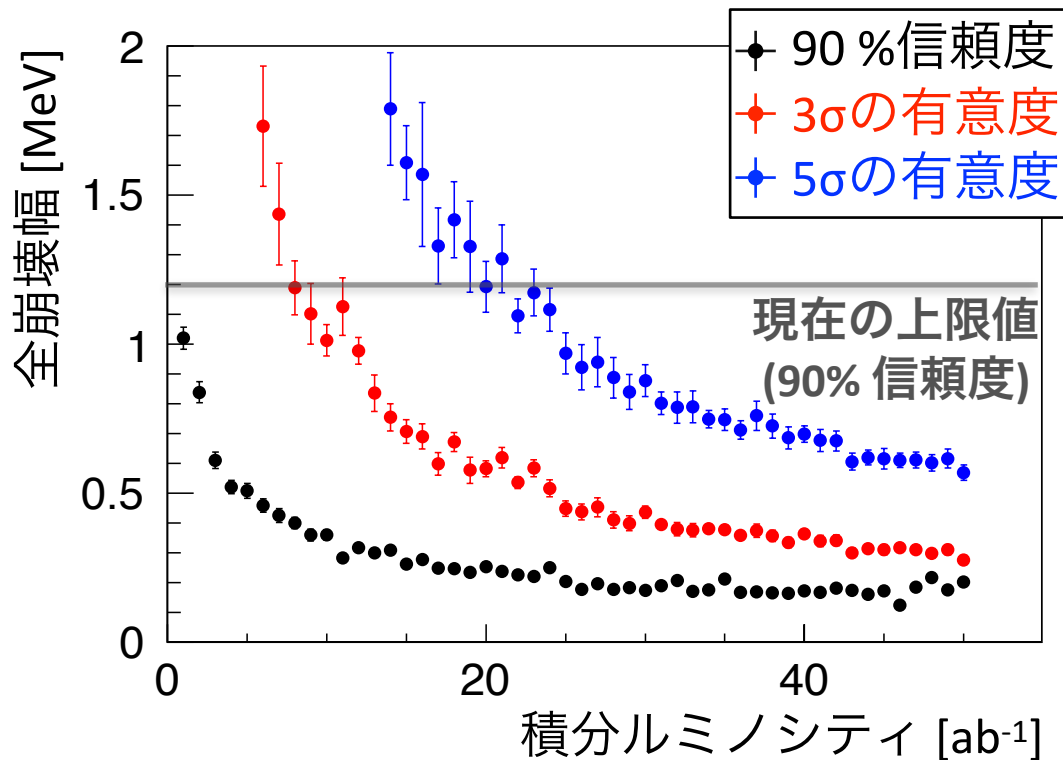
- 全崩壊幅は不変質量分布をフィットすることで求める。
 - フィット結果が分布を再現することを確認
- 正しい全崩壊幅が得られるのか調べた
 - フィットで得た全崩壊幅と真の全崩壊幅の関係の線型性を確認

“バイアスなく全崩壊幅を測定可能”



感度推定

- 擬似データを用いて $\chi(3872)$ の全崩壊幅測定感度を推定



- Belle II 実験収集予定の全データ (50 ab⁻¹) を用いれば、

[90%信頼度] 約180 keV

[3 σ の有意度] 約280 keV

[5 σ の有意度] 約570 keV

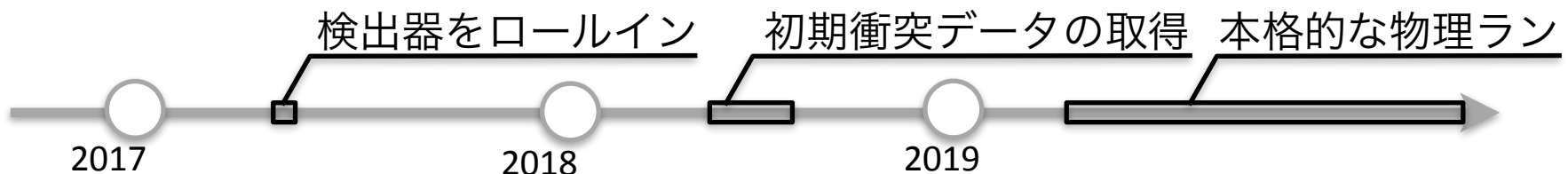
まで測定が可能

- Belle II は**全崩壊幅を有意に測定できる可能性がある**
- 今後、質量分解能や背景事象(形やビームバックグラウンド)の影響を詳しく調査 → 系統誤差削減につなげる

まとめと展望

- X(3872)の各崩壊過程における部分崩壊幅を導出するため、Belle II 実験で全崩壊幅の有意な測定を目指す
- シミュレーションを用いてX(3872)の全崩壊幅の感度の推定
 - 質量分解能が良い $D^0\bar{D}^0\pi^0$ 過程を用いることに着目
 - バイアスなく全崩壊幅を得られることを確認
 - Belle II 実験で収集予定の全データを用いれば、
 - **$3\sigma(5\sigma)$ の有意度で約280 keV (約570 keV)まで測定可能**

[今後] 質量分解能や背景事象の影響を調査→系統誤差を削減する
 cuspである可能性の検証のため、質量分布の精密測定を検討



いよいよ、Belle II 実験が本格始動!