

Belle Group 活動報告

1. 解析の状況

前回報告(2016年9月)後も引き続き Belle 実験で収集した全データを使って Belle 実験としての最終結果や新しいプロセス・崩壊モードの解析、新しい解析手法の開発が進められている。2016年度後半の国際会議 (CKM, LLWI, Moriond など)や学術誌に新しい結果を発表した。その中のいくつかについて報告する。

$B \rightarrow K^* \ell \ell$ 崩壊にはさまざまな角分布に新物理に感度のある物理量が含まれており、LHCb による P_5' と呼ばれるパラメータの $B \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$ での測定に標準理論で説明できないアノマリーが報告されている。前回報告後に Belle 実験では $B \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$ と $B \rightarrow K^* e^+ e^-$ とで別々に測定を行い、統計的には不十分ではあるものの前者では LHCb と同様のアノマリーが確認されたが後者ではアノマリーの兆候は見えないという結果となった (図 1)。

2005年に Belle で $B \rightarrow J/\psi K \omega$ 崩壊の中に発見された共鳴状態 $X(3915)$ はその後 BaBar 実験での結果や二光子事象の解析から 0^{++} 状態であり、 $\chi_{c0}(2P)$ と特定されて 2014年版の PDG に掲載されていたが、その後の BaBar データの再解析により 2^{++} 状態が必ずしも棄却しきれておらず、また $X(3915) \rightarrow DD\text{-bar}$ 崩壊が発見されていないことから 2016年版の PDG では $\chi_{c0}(2P)$ としての掲載を見送られた。今回 Belle では $e^+e^- \rightarrow J/\psi DD\text{-bar}$ について J/ψ とひとつの D を再構成して残りの D を反跳

として捕える手法で $DD\text{-bar}$ の質量分布から $\chi_{c0}(2P)$ としてよりふさわしい候補となりうる $X^*(3860)$ 共鳴状態を発見した (図 2)。従って $X(3915)$ は既存のチャーモニウムには収まらない粒子である可能性が再浮上した。

D 中間子は標準理論では CP 非対称性がごく小さく、有意な CP 非対称性の測定は新物理

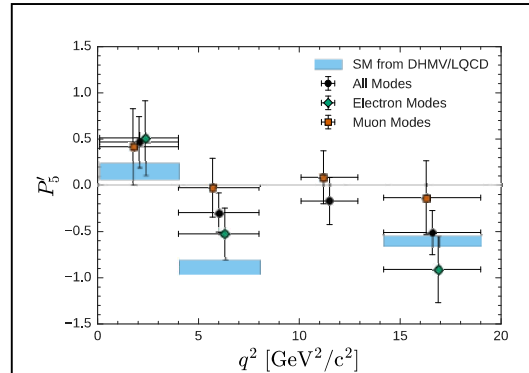


図 1 : $B \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$ と $B \rightarrow K^* e^+ e^-$ での P_5' の q^2 分布の測定結果。左から 2 番目のデータ点でミューオンモードのみ標準理論からのずれが見られる。

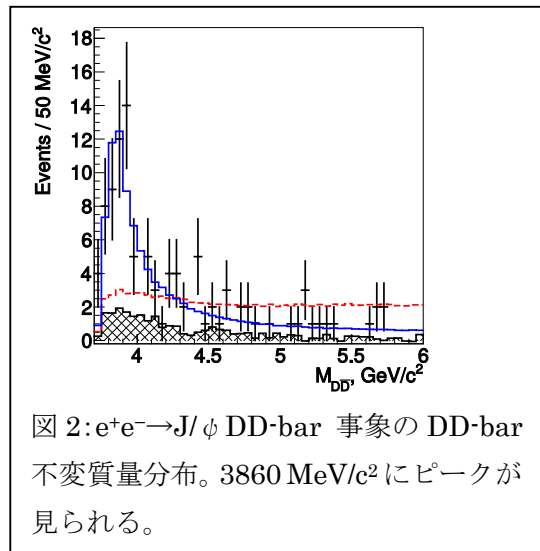


図 2: $e^+e^- \rightarrow J/\psi DD\text{-bar}$ 事象の $DD\text{-bar}$ 不変質量分布。3860 MeV/c² にピークが見られる。

の信号である可能性が高い。今回小林・益川行列要素により抑制された崩壊モードである $D^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$ と $D^0 \rightarrow K_S K_S$ について統計がそれほど高くないが、2% 程度の誤差の範囲内で CP 対称性がなりたっていることを確認した。また、 $D^0 \rightarrow K_S \pi^+ \pi^- \pi^0$ の 4 体崩壊で時間変換に奇 (T-odd) である量に着目し、その CP 対称性が 0.2% 以下で成り立っていることを確かめた。

2. Belle II の活動状況

前回報告以降も各検出器の製作・組み込み及び宇宙線試験を進めている。中央飛跡検出器 (CDC) は、2016 年 10 月に Belle II 構造体への組み込みが完了した。その後、内側のバーテックス検出器 (VXD) の組み込み試験も予定通りに行われた。それと並行して、VXD の電子回路の冷却に用いられる液体 CO₂ 冷却装置もヨーロッパから運送されて、筑波実験棟 B1 に設置された。2017 年 1 月には、前置増幅器周りの電子回路に修正を加えた後方の電磁カロリメーターも組み込まれた。3 月末には、一部不具合の見つかった K_L・ミューオン検出器 (KLM) を入れ替える作業を行い、4 月に予定されているロールインに向けて準備が着々と進んでいる。前回の報告から 2 回の全体会議、BPAC やデータ収集システムを焦点にした PAC などを行ってきたが、データ収集、宇宙線試験、シフト体制、最初に取りのデータのエネルギーなどへ議論の焦点が移ってきた。

今回は、組み込まれた CDC の宇宙線試験について詳しく取り上げる。CDC には、14,336 本のセンスワイヤーが張られており、そこからの微弱信号を 299 枚の Frontend board (48ch/board) で、増幅、整形を行い、さらに、ドリフト時間を 1nsec 単位のデジタル情報として、信号の大きさを FADC のデジタル情報として、Belle II 全体のデータ収集システムに転送している。CDC を Belle II 構造体に組み込み後に、299 枚分の電源ケーブル、データ収集用光ファイバーケーブル、トリガー用光ファイバーケーブル、トリガー信号やクロック

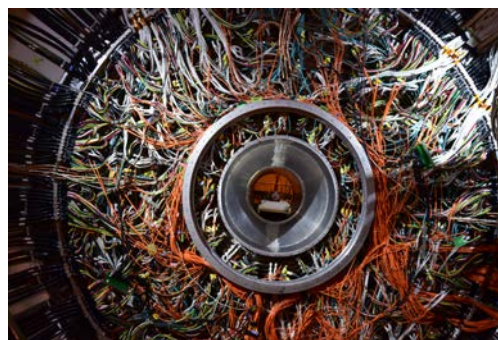


図 3 : ケーブル配線後の CDC

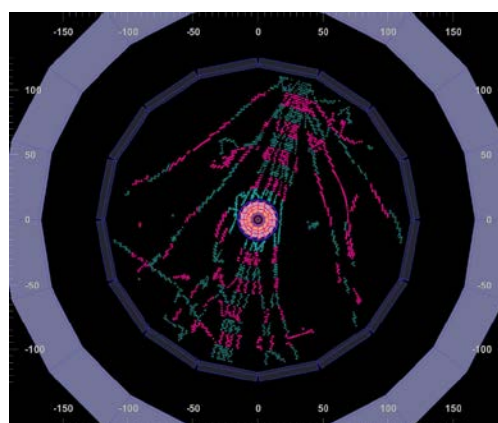


図 4 : 宇宙線中のシャワーイベント

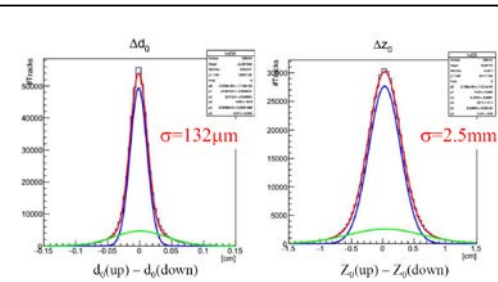


図 5 : 宇宙線による CDC の性能評価。
左図 : XY 平面、右図 : Z 方向

の信号の大きさを FADC のデジタル情報として、Belle II 全体のデータ収集システムに転送している。CDC を Belle II 構造体に組み込み後に、299 枚分の電源ケーブル、データ収集用光ファイバーケーブル、トリガー用光ファイバーケーブル、トリガー信号やクロック

ク信号を受けるケーブル、ファームウェアのダウンロード用ケーブルや高電圧ケーブル等の敷設を行った（図 3）。その後、残念なことに FPGA の発熱の冷却が十分でないことが発覚し、現場で全ボードの冷却方式を改良することを行ってから宇宙線データを取得することが可能となった。

図 4 に宇宙線ではあるが測定器内でシャワーを起こして、多くの飛跡が CDC 全体でとらえられているイベントを示す（まだ磁場がかけていないので、運動量の小さな粒子の真っ直ぐな飛跡や途中で折れ曲がったデルタ線と思われる飛跡も観測されている）。この図から CDC 全体が動作していることがよくわかると同時に、Belle II のデータ収集システムも動作していることが示されている。CDC グループでは、収集されたデータから通常の 1 本の宇宙線イベントを用いることによって、各ワイヤーで異なる時間原点である T_0 やドリフト時間とドリフト距離の関係式をレイヤー毎、入射角度毎に較正係数を求めるなどのことを行い、各ワイヤーの位置分解能が期待されている $130\mu\text{m}$ 程度まで達成していることを確かめた。その後、合計 6 枚使われているエンドプレートの相対位置を宇宙線データから求めることも行った（まだ、途中段階であるが十分に良い結果が得られている）。さらにこれらの結果を総合して、1 本の宇宙線を CDC の上部と下部で別々の飛跡として解析して、2 本の飛跡に対する仮の衝突点に最も近くへ内挿した XY 平面の位置と Z 方向の位置の違いから CDC の性能評価を行った。結果は図 5 に示す通りで、すでにモンテカルロシミュレーションで期待されるような分解能がどちらの方向でも得られている。