

1. 解析の状況

前回報告(2018 年 1 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。2018 年度前半の国際会議 (HQL, ICHEP, FPCP, CKM 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。

Belle 実験グループからの 500 本目の投稿論文が Physical Review Letters 誌に投稿され、出版された。この論文は $\Upsilon(4S)$ の $\eta' \Upsilon(1S)$ への崩壊の観測を報告したものである。 $\Upsilon(4S)$ がほぼ 100% の割合で B 中間子対に崩壊するのに対して、この過程は非常に稀なボトムonium 共鳴状態間の遷移である。この測定結果はエキゾチック状態など謎の多い非摂動 QCD の理解のための新しい情報となる。

また、Belle 実験におけるハドロン分光はボトム・チャームクォークを含むものとどまら

ない。Belle 実験の $\Upsilon(1,2,3S)$ のデータから、 $\Xi^0 K$ および $\Xi^- K_S$ に崩壊するストレンジクォーク 3 個からなる Ω バリオンの励起状態が観測された (図 1)。 Ω バリオンの励起状態はこれまで数えるほどしか観測されておらず、今回観測されたものはその中で最も軽いものになる。

現在 Belle 実験のデータ解析とは独立に Belle II 実験のための解析ソフトウェアの整備が進められており、その成果が Belle のデータ解析にも利用されはじめている。特に Full Event Interpretation(FEI)と呼ばれる手法は、従来の反対側の B 中間子をタグする方法に比べて測定効率が格段に良く、ニュートリノを含む終状態における解析で威力を発揮することが期待されている。その最初の成果として B 中間子の $l \nu \gamma$ (l は電子またはミューオン)への崩壊の探索を行った。この崩壊過程はヘリシティ抑制が効かないことを除くと B 中間子の $\tau \nu$ や $l \nu$ への崩壊と同様の新物理に感度がある重要なものである。有意な信号は観測されなかったが(図 2)、分岐比の中心値は標準理論

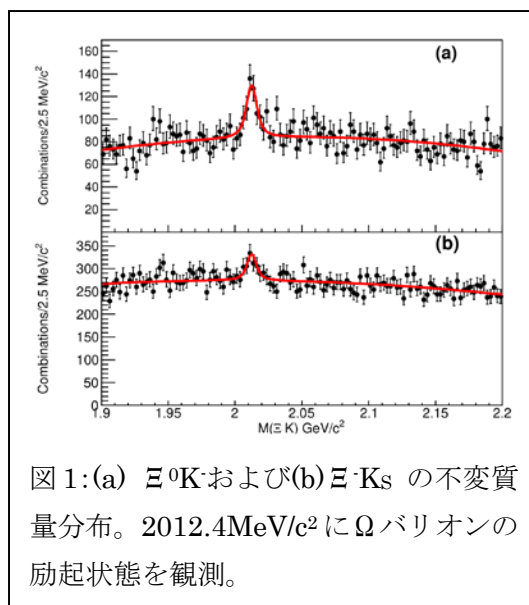


図 1: (a) $\Xi^0 K$ および (b) $\Xi^- K_S$ の不変質量分布。2012.4 MeV/c² に Ω バリオンの励起状態を観測。

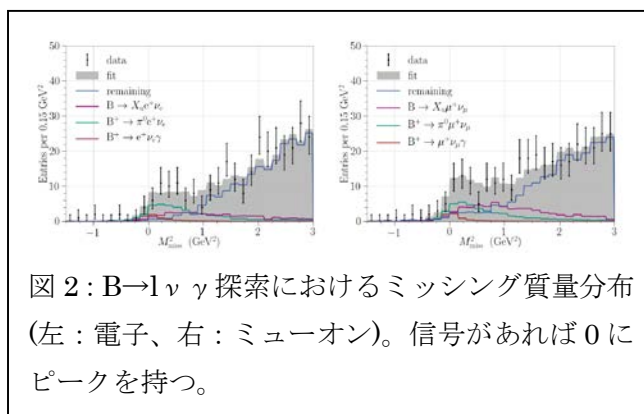


図 2: $B \rightarrow l \nu \gamma$ 探索におけるミッシング質量分布 (左: 電子、右: ミューオン)。信号があれば 0 にピークを持つ。

の予想値に近く、Belle II 実験の初期段階での観測が期待できる。

2. Belle II の活動状況

2017 年 12 月に Belle II のすべてのコンポーネントの据付を完了し、測定器 2018 年 1 月には最終収束電磁石 (QCS) を測定器内部の所定の位置まで前進させた。その後、RVC (Remote Vacuum Connection) 技術によって QCS 側真空パイプと Belle 側の真空パイプの接続に成功した。これは手の届かない位置の真空パイプを、新たに導入した堅牢に接続する初めての試みであり、その成功は、衝突点建設の非常に重要な最後の工程が実機によって確認されたことを意味する。翌年 2 月 14 日からソレノイドを立ち上げ、検出器全体で宇宙線収集を行い、データ収集システムの試験をし、各検出器補正用宇宙線データを集め、Phase2 実験開始に向け準備を行った。3 月 19 日から、SuperKEKB 加速器のメインリングの運転が開始された。Belle II 側は 24 時間体制の実験シフトに加え、加速器側とのリエゾンとして BCG (Belle 2 Commissioning Group) シフト体制を敷き、衝突に備えた。約 1 ヶ月後の 4 月 25 日夜から、初めての衝突運転が開始され、Belle II の各検出器の高圧電源を印加し、筑波実験棟地下 3 階にある Belle II 制御室に約 50 人の研究者が今か今かとイベントディスプレイを見つつ、初衝突イベントを待った。トリガー条件などを確認しながら待つこと数時間、日付が変わった 26 日 0 時 38 分に初めて衝突イベントを確認 (図 1)、一同歓声をあげてこれを祝った (図 2)。この模様はローリング時と同じくインターネット配信され、一般の方々から大きな反響を得たと同時に、Belle II グループの KEK 以外の研究機関ともエキサイティングな様子が共有できたようである。

Phase2 運転の要求である(1)ルミノシティ $O(10^{34})\text{cm}^{-2}\text{sec}^{-1}$ 達成と(2)Belle II で観測されるバックグラウンドレベルが崩壊点検出器 (VXD) を壊してしまうものではないことの確認という二つの項目を 4 ヶ月弱という限られた運転時間で行うため、日中に、SuperKEKB 加速器コミッショニンググループが主導し、ナノビーム光学の検証のために β 関数を絞り、ルミノシティを向上させるマシンスタディを行い、深夜に Belle II グループが衝突データ収集を行うというモードで運転を行った。Belle II 側では、実験シフトが操作する高電圧制御

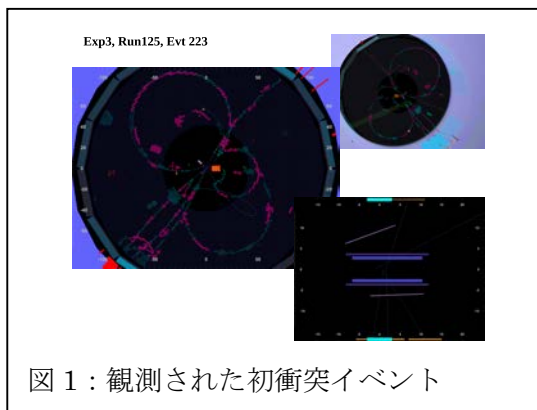


図 1：観測された初衝突イベント



図 2：初衝突イベント観測し、歓喜に湧く Belle II 制御室

Phase2 運転の要求である(1)ルミノシティ $O(10^{34})\text{cm}^{-2}\text{sec}^{-1}$ 達成と(2)Belle II で観測されるバックグラウンドレベルが崩壊点検出器 (VXD) を壊してしまうものではないことの確認という二つの項目を 4 ヶ月弱という限られた運転時間で行うため、日中に、SuperKEKB 加速器コミッショニンググループが主導し、ナノビーム光学の検証のために β 関数を絞り、ルミノシティを向上させるマシンスタディを行い、深夜に Belle II グループが衝突データ収集を行うというモードで運転を行った。Belle II 側では、実験シフトが操作する高電圧制御

用パネルの整備を含む中央コントロールシステムの補強など、データ収集システムの信頼性を向上させる努力をした。一方、加速器グループの協力のもと Belle II バックグランドグループ及び BCG シフトが中心となり、ビームに起因するノイズ低減の努力をし、適宜バックグランドスタディを実施した。衝突データとしては 7 月 17 日までの Phase2 運転期間で、約 500pb^{-1} の積分ルミノシティを得た。これらのデータは、各検出器の高精度の補正係数導出後に、再構成処理され、解析が行われた。図 3 は今回のデータ解析によって再構成された B 中間子の質量分布である。

6 月の Belle II グループ全体会議において、SuperKEKB 加速器グループからのルミノシティ達成状況と今後の改善についての報告及び Belle II バックグランドグループからのビームノイズに関する研究結果を踏まえ、Phase2 の要求項目は満たされたという認識が示され、Phase3 運転開始に向けて VXD の据付を行うことが決定された。

シリコンストリップ検出器 (SVD) とピクセル検出器 (PXD) から構成される VXD の準備については、SVD はシリコンラダーの製作と配置が順調の行われ 7 月には全システムを完成、8 月には宇宙線テストを開始、宇宙線の飛跡の信号を得ることに成功した (図 4)。一方、PXD は、ドイツでのラダー作成時に問題が発生し、全数の完成が間に合わず、2 層を設置する予定のところ第 1 層は予定通りだが第 2 層は一部だけ据え付けることとなった。9 月には KEK にて PXD のを真空パイプの周りに設置し、10 月から SVD と一体化し、VXD 完成後に宇宙線を用いて総合試験をし、12 月に Belle II 検出器に据付予定である。

また、Phase2 運転時にエアロゲル RICH 検出器 (ARICH) では読み出し電子回路の冷却が不十分であることが判明し、すべてのチャンネルをオンにできない状態であった。この改善のため、昨年据え付けた前方エンドキャップを構造体から分離し、ARICH の読み出し回路にアクセスできる状態にした。現在、冷却強化作業が進行中で、11 月中に終了予定、その後、再び前方エンドキャップを構造体に据え付ける予定である。これらの作業に加えて、Phase2 で判明した実験遂行上の問題点、例えばデータ収集システムの弱点などを改善し、Phase3 運転に向かう予定である。

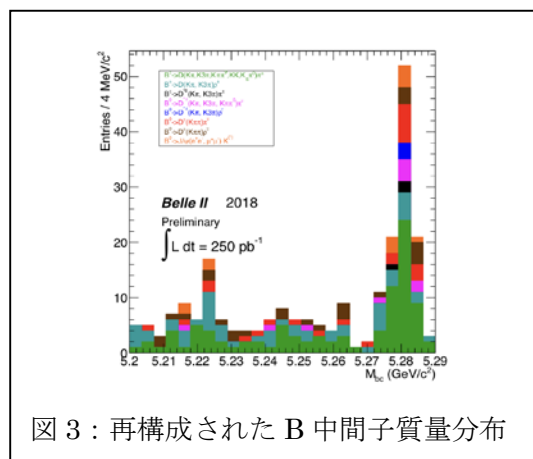


図 3：再構成された B 中間子質量分布

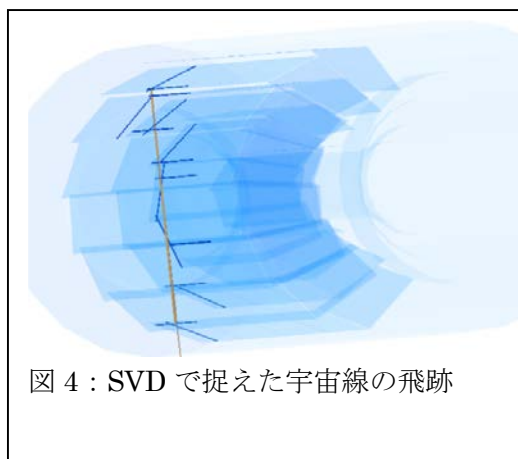


図 4：SVD で捉えた宇宙線の飛跡