

Belle II ECL におけるビームバックグラウンドの研究 A STUDY OF BEAM BACKGROUND ON BelleII ECL

熱田真大[#], Zachary John Liptak, 栗木雅夫
Masahiro Atsuta[#], Zachary John Liptak, Masao Kuriki
Hiroshima univ.

Abstract

The Belle II experiment is currently obtaining physics data at the SuperKEKB accelerator in Tsukuba, Ibaraki. Here, electrons and positrons collide at the interaction point of SuperKEKB accelerator to produce B mesons, and their decays are precisely measured by the Belle II detector. The main goal is to capture the deviation from the Standard Model. The SuperKEKB accelerator still boasts the world's largest luminosity, but it will be further upgraded to reach $6 \times 10^{35} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ over a lifetime of about 10 years. With the upgrade of SuperKEKB, the number of electrons in the bunch will be increased and the beam will be squeezed to nano size, which will increase the beam background and interfere with accelerator operation and physics analysis. In order to mitigate such background, we use data acquired by the electromagnetic calorimeter (ECL) of Belle II to understand the background situation due to accelerator parameters and compare it with simulations to improve it. From the results, a beam background model corresponding to the beam parameters will be developed.

1. Belle II 実験

BelleII実験は、KEK の SuperKEKB 加速器を用いた電子陽電子衝突実験である。ビームの衝突により生成された B 中間子などの崩壊を BelleII測定器で観測し、標準理論の検証およびそれを越えた物理を探索することが目的である。粒子と反粒子の性質の違いについてさらに深い階層へと研究を進めるにあたり、ごくまれにしか起こらない事象を十分な統計量で調べるために、膨大な量の衝突・崩壊反応が求められる。

より高い統計量を得るために SuperKEKB 加速器は BelleII実験の前身である Belle 実験で使われていた KEKB 加速器からアップグレードされたものである。それにとともに、Belle 測定器も BelleII測定器にアップグレードされた。SuperKEKBの概略図を Fig. 1 に示す。BelleII測定器の図を Fig. 2 に示す。

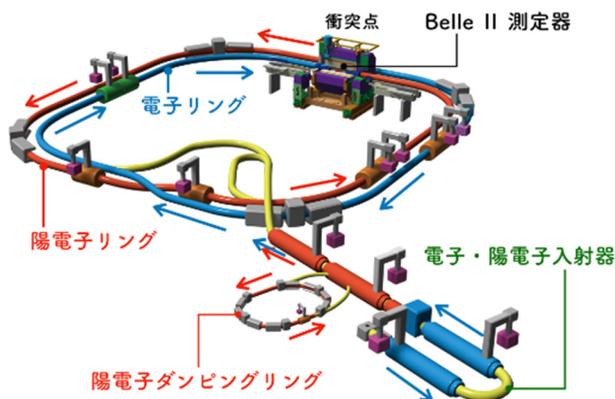


Figure 1: SuperKEKB の概略図[1].

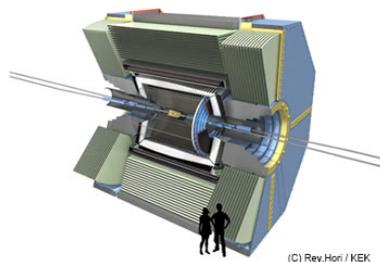


Figure 2: BelleII測定器[2].

KEKBと比較すると、ビーム電流を2倍にし、さらに20分の1の細さのビームを衝突点で交差させる(ナノビーム方式)。

しかし、高輝度を実現すると、それにとまうビーム由来のバックグラウンドが問題となる。本研究では、このビームバックグラウンドに関するスタディをおこなう。

2. ビームバックグラウンド

ビームバックグラウンドとは、ビーム粒子が散乱し設計軌道から離れて、周回するうちにビームパイプと衝突し、発生した電磁シャワーが検出器へ侵入することである。BelleII実験では、前身である Belle 実験と比較して、数十倍スケールでビーム由来のバックグラウンドが増加する。ビームバックグラウンドが引き起こす主な悪影響は、フェイクヒットの増加によるトラッキング性能の低下と放射線被ばくによる検出器の性能低下である[3]。

2.1 ビームバックグラウンドスタディの目的

目標ルミノシティにおける物理事象のレートは約 15 kHz に対して、トリガーシステムの最大平均トリガーレートは 30 kHz である。つまり、Signal/Noise 比を 1 以上にすることが必要である。

[#]m212141@hiroshima-u.ac.jp

そのためには、少しでもビームバックグラウンドを抑制するためにどのような原因でどの程度のバックグラウンドが発生するのかを理解する必要がある。

2.2 ビームバックグラウンドの種類

SuperKEKB 加速器からのバックグラウンドは、ビーム衝突由来のものと同様に周回によって発生するものに分けられる。さらに詳細にわけられ、以下のように示される[3]。

ビーム衝突由来

- 二光子過程
- Radiative Bhabha 散乱 など

周回ビーム由来

- ビーム-ガス散乱(Coulomb, bremsstrahlung)
- Touschek 散乱

本研究で着目するのは、周回ビーム由来のバックグラウンドである。その説明を Fig. 3 に示す。

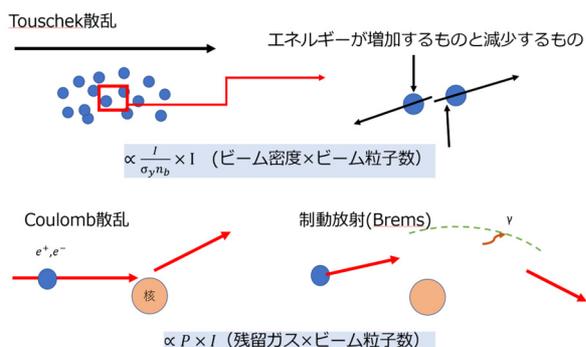


Figure 3: Touschek 散乱と Coulomb 散乱の図.

Touschek とは、バンチ内の粒子同士がある程度以上近づくと大きくクーロン散乱される事象である。散乱確率はビーム密度とビーム粒子数に比例する。ビームガス散乱は、リングの周回中に残留ガスとの散乱である。ビームガスの散乱確率は残留ガス圧とビーム粒子数に比例する[3,4]。

このようにビーム電流の増強とビームを細く絞ることによって、周回ビーム由来のバックグラウンドが深刻化する。

3. 研究内容

3.1 概要

本研究のおおまかな流れは以下の通りである。

- モンテカルロシミュレーション(以下 MC)をもとにバックグラウンドの要因別の寄与を求める。
- ECL で得られたデータと比較し、補正する。
- 上記 2 つを様々なビームパラメータで実行し、ビームパラメータに対するビームバックグラウンドの関係を導く。

このようにしてより現実に近いバックグラウンドモデルを作成することが本研究の目的である。

3.2 ECL(電磁カロリメーター)

本研究で着目するのは ECL と呼ばれる Belle II 検出器に含まれる検出器のひとつである。ECL は重い物質に数十 MeV 以上のエネルギーをもつ γ や e^\pm が入射すると、対生成と e^\pm からの制動放射により、電磁シャワーが形成されることを利用して、入射した γ や e^\pm のエネルギーの測定をおこなう。

Cs(Tl)結晶とフォトダイオードで構成されている。電子や光子が入射すると電磁シャワーとなり、エネルギーに比例した量の光を発生させる。これを光検出器で検出し、エネルギーを測定する。

ECL は衝突点を覆い囲むように設置されている。ECL の Cs(Tl)結晶とフォトダイオードを Fig. 4 に示す。ECL の概略図を Fig. 5 に示す。

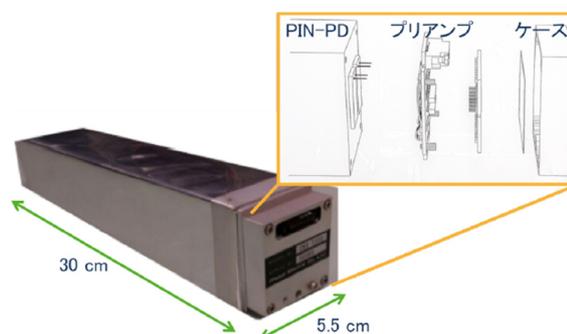


Figure 4: Cs(Tl)結晶とフォトダイオード.これを 1 セルとして、衝突点を円筒状に囲むように計 8700 セル設置されている[5].

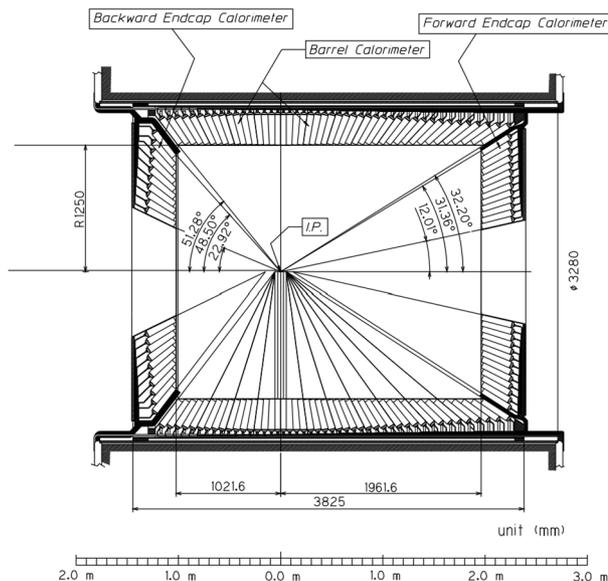


Figure 5: ECL の断面概略図 (r-z 平面図)[5].

この測定器に着目した理由は、ビームバックグラウンドの空間分布を他の測定器に比べて詳細にみることができ、感受角度が広く、より広い範囲のバックグラウン

ドをみる事ができること、の 2 点である。Figure 6 に BelleII測定器の断面図を示す。

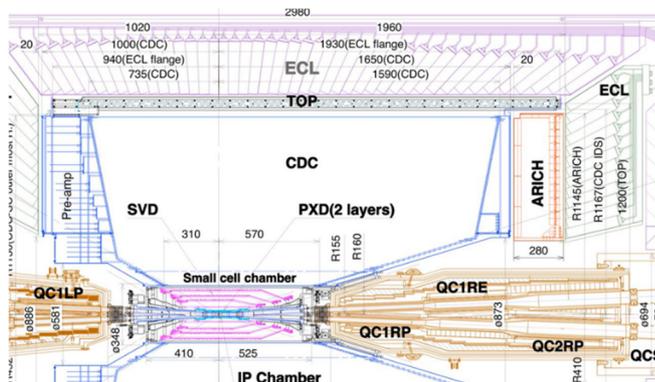


Figure 6: BelleII測定器の断面図[4].

Figure 6 に示されるように ECL は衝突点を覆い囲むように比較的の外側に設置されている。

3.3 モンテカルロシミュレーション(MC)

主に SAD と Geant4 を用いてシミュレーションをおこなう [6,7]。

SAD は、1986 年から KEK で開発された、加速器設計のための汎用計算ツールである。加速器設計以外にもシミュレーション試運転や改良に使われる。

Geant4 はモンテカルロ法を用いて物質中における粒子の飛跡をシミュレーションするためのツールである。Cern によって開発され、高エネルギー分野、素粒子分野で多くつかわれる。

SAD では、SuperKEKB のメインリングのラティスが設定されており、Geant4 では BelleII検出器やその周辺の機器が設定されている。

シンクロトロン放射の寄与は、Touschek 散乱とビームガス散乱に対して無視できるほど小さい [2]。このことから、今回はシンクロトロン放射の寄与は含めずに計算している。

MC では散乱の要因ごとに計算される。今回は、Touschek 散乱、Coulomb 散乱、Bremsstrahlung の3つについてのシミュレーション結果を使い、色分けした上で足し合わせ、空間分布をみた。

ここで、Touschek 散乱とビームガス散乱は周回中に発生する事象であるので SAD でイベント生成、メインリングでのビームの運動の計算が行われた後、Belle II 検出器付近で Geant4 にパラメータが渡され、各コンポーネントにおけるエネルギー損失が計算される。

今回は MC campaigns で得られたものを使用した。ビーム光学を Table 1 に示す。

Table 1: 使用したビーム光学

LER	$\beta_y^*=0.8$ mm	$\beta_x^*=60.0$ mm	CW=80 %
HER	$\beta_y^*=0.8$ mm	$\beta_x^*=60.0$ mm	CW=40 %

ここでは Phase3 でのメインリングのジオメトリを使用している。以上のパラメータの MC で得られた energy deposition の空間分布を Fig. 7, Fig. 8 に示す。

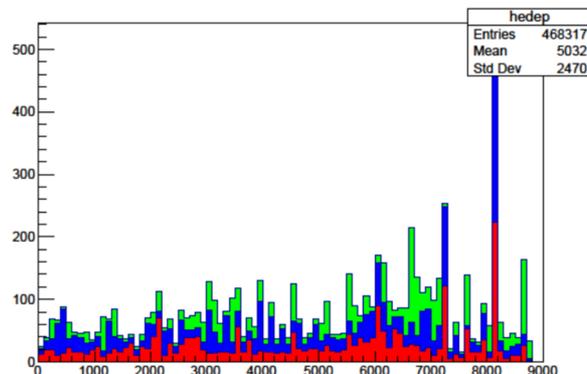


Figure 7: HER の single beam での ECL における energy deposition の空間分布。

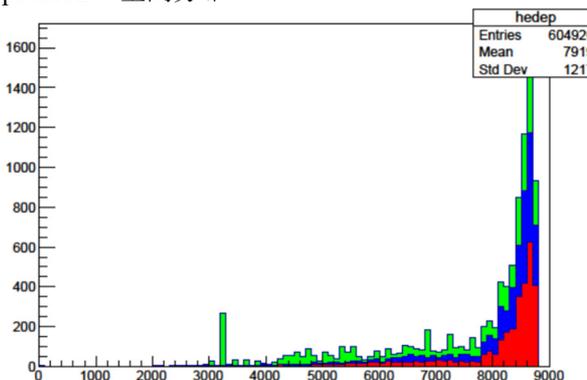


Figure 8: LER の single beam での ECL における energy deposition の空間分布。縦軸は energy deposition (MeV) を示し、横軸は Cell ID を示す。Cell ID については、1-2000 までが Backward endcap, 2000-7000 が Barrel, 7000-8700 が Forward endcap を示している。

3.4 ECL Data

現在、ECLdata を取得している段階である。今回使用するものは Single-beam run のデータである。ここでは、B 事象などのビームを衝突させることで発生する物理事象が含まれない。そのおかげでビーム周回由来のビームバックグラウンドのみをみる事ができる。

3.5 Data/MC

MC ではビームバックグラウンドのそれぞれの要因 (Touschek やビームガス散乱など) が占める割合が分かっているが、Data ではそれが分からない。そこで、本研究

では、MCをDataにフィッティングすることで、Dataにおける要因それぞれが占める割合を推定できると考えている。そのために必要になるものがData/MCである。

真空度や未知のパラメータによってDataとMCではDataのほうが数倍多いことが予想される[2]。

より実際に近いビームバックグラウンドのモデルをつくるにはMCを補正する必要がある。ここで得られたData/MCを使ってMCを補正し、バックグラウンド量を推測する。

4. おわりに

ECL データを用いたビームバックグラウンドモデルを構築する第一歩として、Touschek 散乱、Coulomb 散乱、Bremsstrahlung の3成分のモンテカルロシミュレーションによってenergy depositionの空間分布を作成した。各セルにおける要因別ビームバックグラウンド量を知ることが可能となった。

今後の展望としては、Dataを取得、Data/MCを計算し、より現実に近いビームバックグラウンドモデルをつくることが目標である。

謝辞

修士としてこの研究を進めるにあたり、終始協力してくださった加速器物理学研究室各位には深く感謝します。

参考文献

- [1] <https://www-superkekb.kek.jp/>
- [2] <https://belle.kek.jp/welcome/>
- [3] Yuki Yoshi Ohnishi *et al.*, “Accelerator design at SuperKEKB”, Progress of Theoretical and Experimental Physics, Volume 2013, Issue 3, March 2013, 03A011; <https://academic.oup.com/ptep/article/2013/3/03A011/1556583#22649662>
- [4] Hikaru Tanigawa, “A study of beam background from SuperKEKB on Belle II Silicon Vertex Detector”, 修士論文, 2018.
- [5] Mika Kano, “SuperKEKB 加速器第二期試験運転における Belle II 実験電磁カロリメータでの放射線量測定”, 修士論文, 2019.
- [6] <https://acc-physics.kek.jp/SAD/>
- [7] <https://geant4.web.cern.ch/>