

BL33LEP レーザー電子光

1. 実験等の実施概要

BL33LEPは、8 GeV蓄積電子ビームと外部より入射される紫外（又は深紫外）レーザー光との逆コンプトン散乱によって得られるGeV領域の偏極高エネルギーガンマ線ビームを生成するビームラインであり、そのプロジェクトの目的は物質の基本粒子であるバリオン及びメソンの構造をその構成要素であるクォークのレベルで理解することである。0.7 Tの双極電磁石と粒子飛跡検出器群からなる前方スペクトロメータを用いてクォーク核物理実験を推進する一方、高エネルギーのガンマ線を薄い鉛標的等に当てて対生成した電子・陽電子ビームを利用した新しい検出器の開発試験も行っている。

LEPS実験は国際共同研究で進められており、2013年度は日本、韓国、台湾、アメリカ、カナダ、ロシア、マレーシアの29の大学・研究機関から約100名の研究者が参加した。このうち約25%が外国からの参加者である。ほぼユーザータイムのすべてに相当する年間3430時間の実験を遂行するとともに、装置の維持・改善を共同で行っている。特に、2013年夏には、加速器収納部にあるため、放射線損傷による劣化が顕著であったタギング検出器の新品への置き換えを行った。

主な研究テーマは、 Θ^+ 粒子に代表されるペンタクォークやメソン・バリオン共鳴状態等、3クォークでは説明できないバリオンの探索及び構造の解明、中間子光生成反応の偏極量を含む精密測定によるバリオン共鳴状態の研究や中間子生成機構の研究、核内の中間子の性質の変化の研究である。

2013年度は、重陽子標的中の中性子との光生成反応を用いて Θ^+ を探索する際に大きな背景事象となる重陽子中の陽子からの反応を効率良く除去するため、大面積のスタート・カウンターを導入したセットアップで実験を行った。また、TOP (Time of Propagation) カウンター他、3件の共同利用による検出器試験を実施した。

2. 2013年度の主な研究成果

2013年度は、 $d(\gamma, K^+ \pi^-) X$ 反応による $K^- pp$ 束縛状態探索の解析が進展し、その結果を公表した^[1]。反 K 中間子と核子の間の相互作用を調べるために、反 K 中間子原子核の研究が理論、実験の両面から近年、活発に為されており、そのうちの最も軽い状態 $K^- pp$ は、多くの理論によって束縛状態の存在が予言されている系である。2つのハドロンビームの実験でその存在を示唆するデータが得

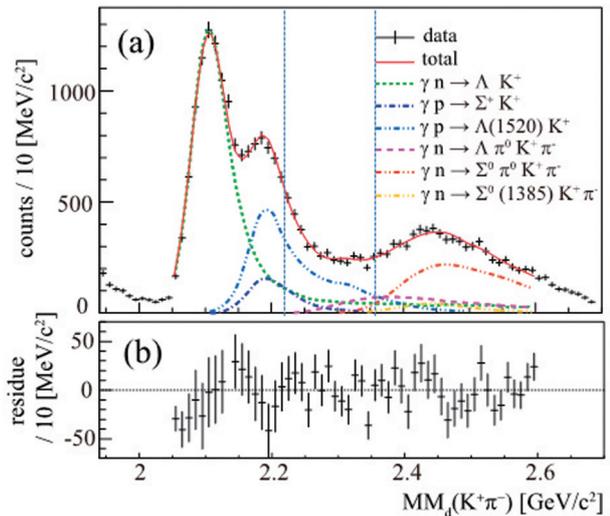


図1 $d(\gamma, K^+ \pi^-) X$ 反応における K^+ と π^- を前方で検出したときの欠損質量スペクトルと既知のquasi-free過程を考慮したフィッティングの結果(a)、及びその残差(b)。

られているが、結果の不一致が見られ、その存否についてはまだ確定していない。ガンマ線ビームを用いた探索はこれまで行われておらず、ハドロンビームとは異なる生成メカニズムが寄与するため、LEPSでの測定は $K^- pp$ 束縛状態に対して新たな知見をもたらすと期待される。解析した反応は、最大エネルギー2.4 GeVビームでの重陽子標的に対する $d(\gamma, K^+ \pi^-) X$ 反応であり、欠損質量スペクトルの中で予想されている質量範囲にバンプ構造があるかを探した。図1に得られた欠損質量スペクトルと既知の反応過程を用いてフィットしたときの結果、及びその残差を示す。質量領域2.22～2.36 GeV/c²においては有意なピーク構造は見つからなかった。見積もられた生成断面積の上限値は Λ 等の典型的なハイペロン生成断面積に比べて非常に小さい（ピーク幅が20 MeVの場合で、1.5～5%）ことが判明した。

3. 新型粒子識別装置 TOP カウンターの性能試験

LEPS2用の検出器開発研究も含めて、2013年度はビームタイムの約25%が検出器性能評価実験であったが、ここではそのうちのTOPカウンター試験について述べる。

TOPカウンターは、電子・陽電子衝突型加速器実験 Belle IIにおいて荷電 K/π 中間子を識別する役割を担う、石英輻射体を用いたリングイメージ型チェレンコフ検出器である。将来的にはLEPS及びLEPS2実験においても導入

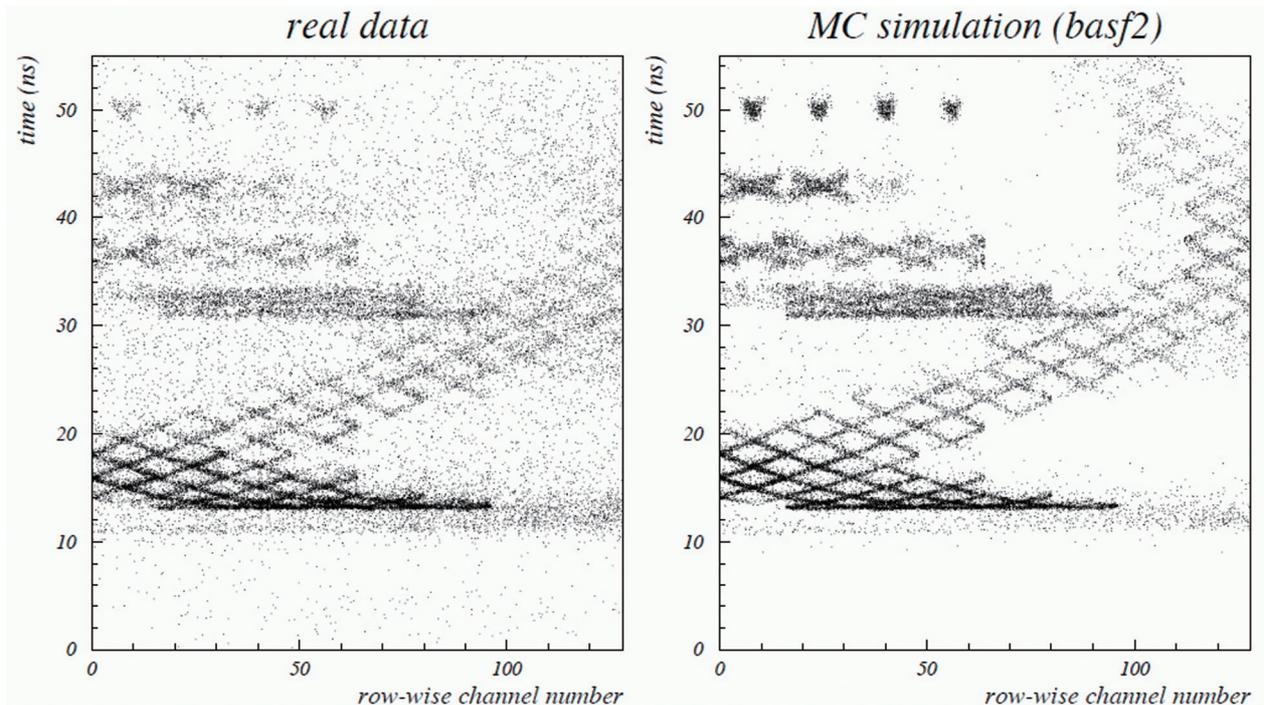


図2 TOPカウンターで測定した2 GeV/c陽電子のリングイメージ。
CFDで収集した垂直入射のときの実データ(左)とシミュレーションによる予測(右)。

することを検討しており、名古屋大学を中心とする Belle II 用 TOP 開発グループと LEPS グループとのコラボレーションで、2012年度～2013年度にかけて試作機の性能評価実験を行った^[2]。

ビームとしてはガンマ線を1 mm厚の鉛標的に照射し、対生成した電子・陽電子を双極電磁石で偏向させて、その中の2 GeV/cの陽電子を選んで用いた。TOP試作機は、ほぼ最終仕様と同じ $2539 \times 450 \times 20 \text{ mm}^3$ の石英輻射体と片側端にミラー、他端に2列に並べた32個の光検出器 MCP-PMT (Micro-channel Plate Photomultiplier Tube) で構成され、荷電粒子の通過によって生じるチェレンコフ光は輻射体中を全反射しながら伝搬し、MCP-PMTで検出される。チェレンコフ光の伝搬時間と検出位置からリングイメージを再構成し、入射荷電粒子の速度を測定する。信号の読み出しは、開発中のASICを用いた信号波形読み出し装置と、CFD (Constant Fraction Discriminator) と TDCを用いた読み出し装置の2種類をテストした。

図2に垂直入射したときのデータから再構成したリングイメージをMCP-PMTの位置を横軸、光子検出時間を縦軸にして示す。図の左はCFDを用いて収集した実データの積分で、右はモンテカルロ・シミュレーションによる予測である。実データとシミュレーションのリングイメージは良く一致しており、TOPカウンターの光学系が良く理解できている。各チェレンコフ光の縞の幅もよく一致しており、50 psec以下の時間分解能で期待通り動作していることが確認できた。また、ASIC読み出し装置については

動作の不安定さ等の問題点を見出し、今後の開発に対して有用なデータが取得できた。

参考文献

- [1] A.O. Tokiyasu et al.: *Phys. Lett. B* **728** (2014) 616.
- [2] K. Matsuoka et al.: *Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. A* **732** (2013) 357.

大阪大学 核物理研究センター
與曾井 優