

BL31LEP レーザー電子光 II

1. ビームラインの概要

BL31LEPは、ビーム強度の増強や検出器の大型化を意図して建設された2本目のレーザー電子光ビームラインである。高出力の複数レーザーの同時入射によるビーム強度の一桁近い向上と、蓄積リング棟外の広いスペースに専用実験棟を建設し、大立体角・高分解能検出器を設置して実験を行うことを2つの目玉としている。

図1にレーザーーム内に置かれたレーザー入射システムの様子を示す。上下2段に各2台の計4台までのレーザーが設置され、エクパンダーを通過した各レーザー光は2枚のミラーで角度調整された後、上下それぞれのプリズム型ミラーで同方向に収斂し、更に3枚のミラーを通過して加速器収納部側壁からBL31LEPフロントエンド部に入射する。フロントエンド部ミラーチェンバー内の第1ミラーはX線損傷を避けるために中央にスリットの入った上下分離型のミラーとなっており、レーザー光は90°反射されて、蓄積リング内に入射し、その焦点において8 GeV電子ビームと衝突する。長直線ビームラインでは電子ビームの角度発散が非常に小さいため、逆コンプトン散乱によって生じた高エネルギーガンマ線ビームの平行性は最良であり、衝突点から下流135 mにあるLEPS2実験棟内まであまり拡がることなくビームが導かれる（標的上で半値幅15 mm程度）。

BL31LEPにおけるLEPS2実験のための装置としては、



図1 BL31LEPレーザーーム内のレーザー入射システム。上下2段に各2台ずつの計4台のレーザーが設置され、エクパンダーを通過した各レーザー光は2枚のミラーで角度調整された後、上下それぞれのプリズム型ミラーで同方向に向かう。

米国ブルックヘブン (BNL) 研究所より移設された大型のソレノイド電磁石 (直径5 m、重さ400 t) を用いた大立体角荷電粒子スペクトロメータと東北大学電子光理学研究センターにおいて開発された大立体角高分解能電磁カロリメータBGOeggを装備する。BL33LEP (LEPS実験) でのハドロン光生成実験において、ペンタクォーク粒子 Θ^+ の存在の示唆やバリオン共鳴状態の研究などで重要な成果を得てきたが、LEPS2実験では標的回りを覆う大型高分解能検出器を駆使することで、生成機構と同時に崩壊機構も解明し、より詳細に高統計精度で光核反応実験によるクォーク核物理学研究を進めることができる。ソレノイドスペクトロメータ用の磁石内部に入る検出器群 (大口径飛跡検出器や粒子識別検出器) は、2015年度中の完成を目指して順次、開発・製作中である。BGOegg検出器については2012年度の本体設置に引き続いて、読み出し回路系や、付随して用いられるTOF (Time of Flight) 測定用検出器等の準備が進み、2013年12月にはテスト実験が開始された。

2. ビームライン及びソレノイド電磁石のコミッショニング

2013年1月の最初のレーザー電子光ビームの生成成功を受けて、2013年度はビームラインのコミッショニングを行った。まず、4月のマシンスタディにおいて蓄積電子ビームの軌道補正を行い、LEPS2実験棟内標的位置で約10 mm低かったビーム位置を、ほぼ中心に来るように調整した。

逆コンプトン散乱によって得られたガンマ線のエネルギーは、反跳された電子のエネルギーを測定することによって光子ごとに決定することができる。蓄積リング長直線部下流の偏向電磁石 (BM1) が散乱電子の運動量分析器となり、BM1下流のクロッチチェンバーに散乱電子の引き出しスロットを設けて、そこに位置検出器を置くことでエネルギーをタギングする。タギング・カウンターとしては、BL33LEPで使用している検出器とほぼ同様のシンチレーティング・ファイバー・アレイとプラスチックシンチレータ・ホドスコープから成るものを使用することとした。しかし、BL31LEPではクロッチ・アブソーバーとスロット壁の位置関係をBL33LEPの物と少し変更していたために、スロット壁に平行に並べるセットアップでは多量のX線バックグラウンドのために検出器が正常に動作しないことが判明した。そこで、X線遮蔽の方法と検出器の最適位置を決めるためのR&Dを繰り返し、遮蔽体を通さずに直接アブソーバーが見えない狭い領域に検出器を配置すること

で、何とかバックグラウンドの問題を解決した。

LEPS2実験棟内に設置された大型ソレノイド電磁石に対しては、それを励磁するための直流安定化電源(4800 A、320 V)が新たに導入され(図2)、そのための受変電設備の増設を行った。電磁石へのケーブル配線、及び冷却水の配管工事を行った後、夏に励磁試験を行い、米国での使用停止から約10年を経ていたが、問題なく動作することを確認した。発生磁場は、電流値4400 Aで中心磁場0.9 Tであった。



図2 BNLから移設した大型ソレノイド電磁石用に新規導入した、最大出力電流4800 Aの直流安定化電源。

3. BGOegg実験

BGOegg検出器本体は、長さ220 mm(20放射長)の $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ (BGO)結晶1320本を、卵型に組み上げた形状をしており、高エネルギー分解能(1 GeVガンマ線に対して1.3%)で大立体角($24^\circ \sim 144^\circ$ の極角領域)を覆う電磁カロリメータである(図3、左図)。稠密にセグメント化してあるため、電磁シャワーの重心から3 mmの分解能で入射位置も求められる。BGOegg内側には荷電粒

子検出用のインナー・プラスチックシンチレータと円筒型ドリフトチェンバー(CDC)が組み込まれ、また、前方に抜ける荷電粒子に対しては、ドリフトチェンバー(DC)と標的から約12 mの距離に2 m×3.5 mの高抵抗板チェンバー(RPC)・アレイを設置して、方向と飛行時間の測定を行う。

BGOegg実験はLEPS2プロジェクトの最初の実験として遂行され、その主要テーマとして、 η' 核(η' 中間子が原子核に束縛された状態)の探索を行う。 η' 中間子は $U_A(1)$ 異常と呼ばれる効果のために他の擬スカラー中間子(π 、 η)よりも2倍以上大きい質量を持っているが、最近の理論研究によれば、ハドロン質量の起源の鍵となるカイラル対称性の自発的破れが有限密度では部分的に回復する効果と $U_A(1)$ 異常とが関係して、 η' メソンは原子核中で質量が大きく減少し、引力ポテンシャルにより原子核に束縛されると予想されている。

信号・高圧ケーブルの配線や読み出し回路系、及びデータ収集プログラム等の整備を経て、2013年12月にテスト実験を開始した。図3の右図にBGOeggで検出された2つのガンマ線から計算された不変質量分布を示す(前方の約半数のBGO結晶のみ使用)。これは約10分間の測定データであるが、 π^0 中間子のみならず η 中間子もはっきりと見えており、BGOegg検出器が予期した性能を十分発揮していることを確認することができた。2014年度前期からはフルセットアップでの炭素標的、ポリエチレン標的での η' 核探索実験を行う。BGOegg検出器内側に挿入する液体水素標的の準備も進めており、2014年秋から実験に使用することを目指している。また、並行して大立体角荷電粒子スペクトロメータ系の検出器製作も進め、今後、2つの測定器で包括的にハドロン物理実験を推進していく予定である。

大阪大学 核物理研究センター
 與曾井 優

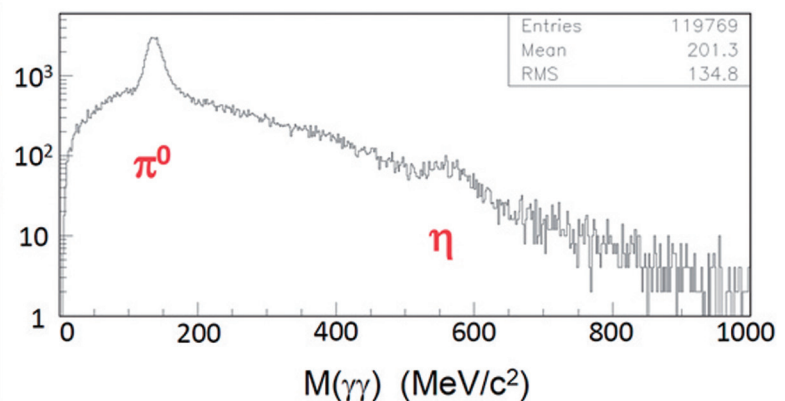
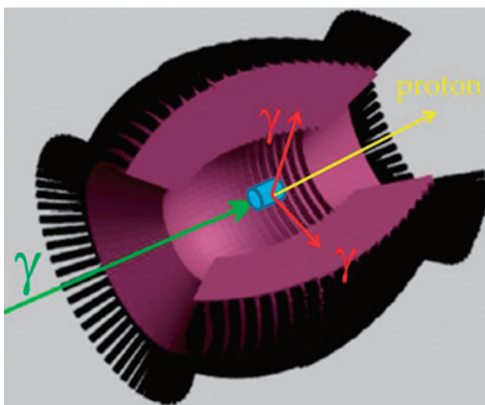


図3 大立体角高分解能電磁カロリメータBGOeggの模式図(左)と検出された2つのガンマ線のエネルギーから算出された不変質量分布(右)。