

BL31LEP レーザー電子光 II

1. ビームラインの概要

レーザー電子光ビームは蓄積リング内8 GeV電子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であり、その波長が典型的なハドロンの大きさ（ ~ 1 fm）より短くなるため、そのサブ構造であるクォークの世界までの探究に利用可能である。既に1999年度から稼働しているBL33LEP（LEPS実験）においては、このレーザー電子光ビームを主に液体水素標的や液体重水素標的に照射してハドロン光生成反応を行い、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、統計精度の向上や生成・崩壊機構の解明のためには、ビーム強度の増強と検出器の大型化に限界があった。

BL31LEPは2本目のレーザー電子光ビームラインとして、2010年3月に専用ビームライン設置実行計画書がSPring-8に提出され、審査会における審議を経て2010年6月に計画が承認された。BL31LEPにおけるLEPS2実験では、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BL31LEPビームラインの概観図を示す。

2. レーザー入射系とフロントエンド機器

BL31LEPでは4本しかない30 m長直線部の一つを利用している。蓄積電子ビームの角度発散が非常に小さい（ $12 \mu\text{rad}$ ）ので細く平行なレーザー電子光ビームが得られ、その結果、実験ホール外にビームを導くことができ、大型の検出器を設置することが可能となった。図2に加速器収納部内長直線部を模式的に示す。4本のレーザーを同時入射するためには十分に広いレーザー導入口を持つ真空チャンバーが必要であり、長直線部下流ベンディング磁石（B1）からその下流直線部までの真空チャンバーが新たに製作され、2012年夏に既存チャンバーとの交換作業が行われた。B1直ぐ下流のクロッチチャンバーには光子エネルギー標識化のための反跳電子取出し用の3 mm厚アルミ窓が設けられており、シンチレーションファイバーとプラスチックシンチレータから成るタギング検出器が設置される。

レーザーの入射位置が電子ビームとの衝突点（レーザー光の焦点）から離れれば離れる程、大面積のミラーや大口径の真空窓が必要となるため、BL31LEPでは蓄積リング側壁からレーザーを途中入射するように工夫している。レーザーの側壁入射に対応し、生成された高エネルギーガンマ線を引き出すためのフロントエンド部真空チャンバーが2012年9月及び12月にインストールされた。フロントエンド部は入射されたレーザーを長直線部方向に直角反射させる第1ミラーを内装し、駆動機器としては、偏極測定等のために必要に応じて挿入できるアブソーバー付きのモニターミラーと真空バルブのみから成る単純な構成となっている。超高真空部より水冷アルミ窓を通過して取り出されたレーザー電子光ビームは厚さ1 mmのタングステン製

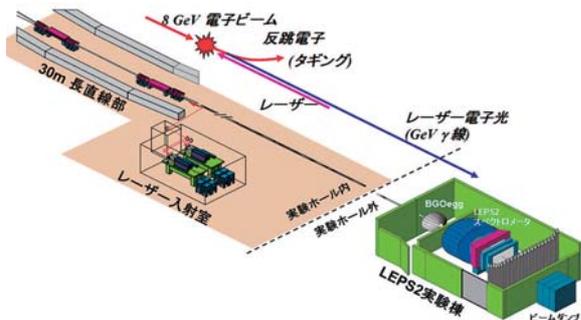


図1 BL31LEPビームラインの概観図。蓄積リング棟実験ホールから側壁を通して蓄積リング内にレーザーが入射され、長直線部で8 GeV電子と逆コンプトン散乱を起こす。生成されたレーザー電子光ビームは蓄積リング棟外のLEPS2実験棟まで輸送される。

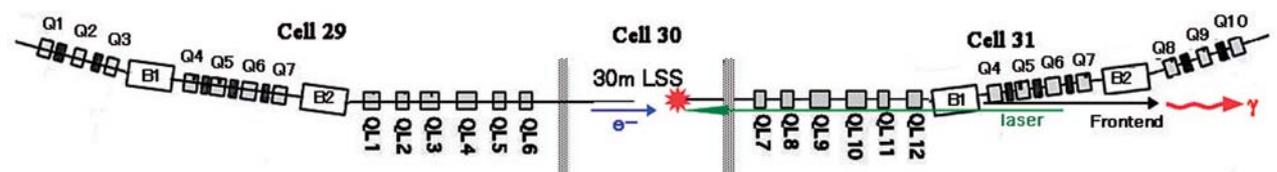


図2 BL31LEP用蓄積リング内長直線部の模式図。B1、B2はベンディング磁石。Q1～10、QL1～12は4重極磁石。フロントエンド機器はCell 31のB1下流に設置されている。

X線アブソーバーと直径7 mmの鉛コリメータを通り、そこで生成された電子・陽電子対をスイープ磁石で取り除いた後、低真空のビーム輸送パイプに入って約100 m下流の実験棟まで導かれる。図3にフロントエンド部とレーザー入射室付近の平面図を示す。

レーザーはレーザー入射室内の2台の定盤上に355 nm 紫外レーザーと266 nm 深紫外レーザーがそれぞれ最大4台ずつ置かれ、プリズム型ミラーを通して4台同時入射が可能な構成となっている。前者によるガンマ線の最大エネルギーは2.4 GeVで大強度($\sim 10^7$ Hz)であり、後者の場合は強度は一桁落ちるが最大エネルギーが2.9 GeVとなる。どちらのビームを利用するかは実験によって使い分ける。現状では355 nmのPaladinレーザー3台(16W2台、24W1台)と266 nm Frequad-HCレーザー(1W)2台が装着されており、残りは、今後順次整備していく予定である。尚、レーザー入射室から出たレーザー光を90度反射させて加速器収納部内に導く第2ミラーは放射線遮蔽された小型光学ハッチの中に設置されている。

3. LEPS2実験棟と測定装置

蓄積電子とレーザー光の衝突点より約135 m下流に18 m×12 mの敷地面積を持つLEPS2実験棟が理化学研究所の全面的なサポートを受けて建設され、2011年3月

に竣工した。その後、2年間かけて大型検出器の運転に必要なインフラ施設として、受変電設備や冷却設備を整備した。

LEPS2実験で用いる大立体角荷電スペクトロメータ系は鉄ヨークの直径が5 mで総重量が約400トンの1 Tソレノイド磁石の中に設置される。磁石は米国ブルックヘブン国立研究所(BNL)でK中間子稀崩壊実験(E949)に使用されていた物であり、長さ2.22 m、直径2.96 mの空洞領域を有している。BNLでのE949検出器解体作業の後、磁石はディスク上に分割されて海上輸送され、2011年11月にLEPS2実験棟内への搬入・据付が行われた(図4左)。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年度稼働を目指して、開発・製作が進められている。

実験棟の上流側スペースには、大立体角電磁カロリメータBGOeggが設置されている。東北大学電子光学学研究中心で建設された、20放射長のBGO結晶を1320本、卵型に組上げた世界最高エネルギー分解能を持つカロリメータであり、2012年12月に移送された(図4右)。荷電スペクトロメータ系が稼働するまでLEPS2実験はBGOeggを中心とした装置で実験を行う予定であり、2012年度には前方300チャンネル分のデータ読み出しが可能となり、ビームコミッション時に試験データの取得を行った。

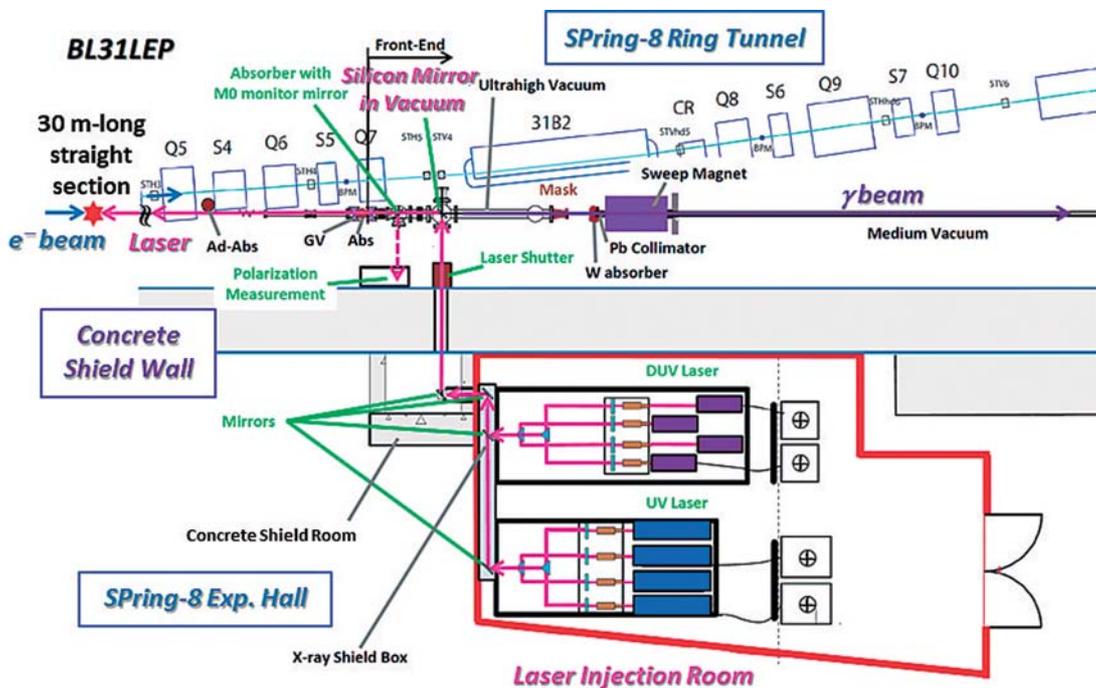


図3 レーザー入射室及び収納部内フロントエンド部。同時入射された、紫外(UV)または深紫外(DUV)レーザー光4本が小型コンクリート遮蔽室、収納部側壁を経てフロントエンド部に入射し、ミラーで反射して長直線部へ向かい電子ビームと衝突する。

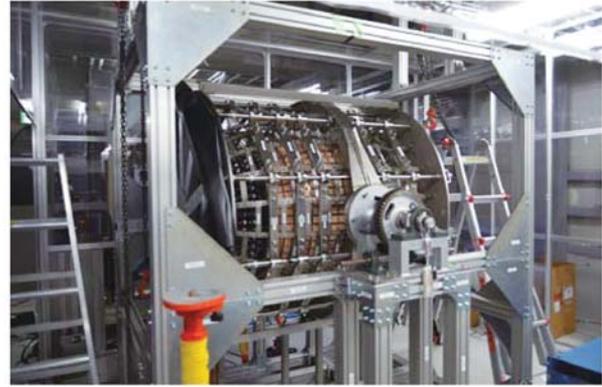


図4 (左)BNLから移設した直径5 mの大型ソレノイド電磁石。LEPS2実験棟中央の1.5 m深さのピットの中に据え付けられている。(右)LEPS2 実験棟上流の恒温ブース中に設置された、電磁カロリメータBGOegg。

4. レーザー電子光ビームの生成

2013年1月11日の使用前自主検査を経て、1月27日のマシンスタディ中にBL31LEPのためのコミッショニング時間をいただき、レーザー入射によるレーザー電子光ビームの初生成が確認された。図5に2回目のビームコミッショニング時に得られたガンマ線のエネルギースペクトルを示す。測定はLEPS2実験棟のビーム軸上に置かれた直径8 cm、長さ30 cmの大型BGO検出器を用いて行われた。計数率を抑えるためレーザー入射有り、無しそれぞれのスペクトルは蓄積電子電流が0.1 mA、1 mA時に測定されたが、図では電流値と測定時間で規格化している。レーザー入射無しの場合の残留ガスによる制動放射ガンマ線に加え、レーザー入射有りではコンプトン端を持ったレーザー電子光スペクトルが2桁程度優越した強度で得られていることが分かる。また、アルミコンバータとファイバーシンチレータから成るビームプロファイルモニターによってビーム形状も測定され、ビーム拡がり平均2乗根で

6～7 mm程度であることが確認された。長直線部における電子ビームの平行性のおかげで、ほぼコンプトン散乱角とコリメータで決まるビーム幅となっている。

355 nm レーザーを3台同時入射したときのビーム強度は、レーザー入射前後での蓄積電子ビームの寿命の差から計算され、2.4 GeVまでの全エネルギー領域で7 MHzであった。また、ビームプロファイルモニターでの計数率からコンバータの厚さや対生成断面積、ビーム軸上の物質による吸収、コリメータによる低エネルギー光子の除去等を考慮して算出した値も約7 MHzであった。得られたビーム強度は期待されていた値の半分程度であったが、入射光学系が最適化されていなかった可能性もあり、今後改善していく。

2月のユーザータイム中には、生成されたレーザー電子光ビームを炭素標的に試験的に照射して、BGOeggを300チャンネルだけ部分稼動した状態で測定を行い、既に、2個のガンマ線の不変質量分布スペクトルにきれいに π^0 中間子のピークを観測している。今後、全1320チャンネル稼動のための準備を進め、2013年秋以降からフルセットアップでの本実験を目指す。また、並行してLEPS2用大立体角荷電スペクトロメータ系の建設も進め、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

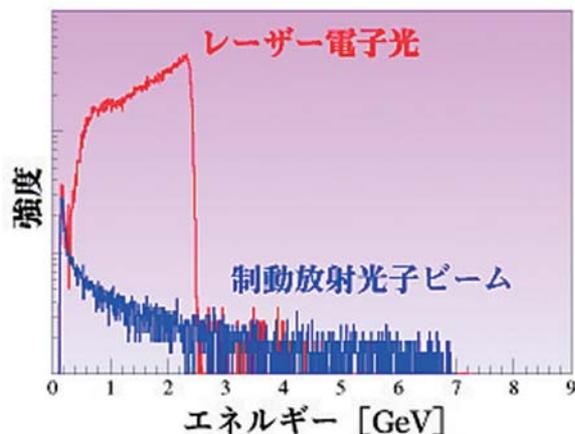


図5 大型BGO検出器で測定されたレーザー電子光ビームのエネルギースペクトル。レーザー入射無しの時に測定された制動放射光子スペクトルと規格化して重ねている。