

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。BL33LEPと同様に紫外（又は深紫外）レーザー光と8 GeV蓄積電子との逆コンプトン散乱によって得られる高エネルギーの偏極ガンマ線ビームを用いてクォーク核物理実験を国際共同研究として推進する。広いレーザー入射口を持つ真空チャンバーの導入により、最大4台のレーザーの同時入射が可能である。（2014年度の実験では、3台の355 nm紫外レーザーを使用。）電子ビームの角度発散が水平方向でも12 μrad と非常に小さい長直線ビームラインを使用することにより、細く平行性の良いレーザー電子光ビームが得られ、その結果、蓄積リング棟外の広いスペースに建設されたLEPS2実験棟までビームを導くことができる。LEPS2実験棟には、米国より移設した大型のソレノイド電磁石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で開発された大立体角高分解能電磁カロリメータBGOeggを設置して実験を行う。2013年度後半からBGOeggのコミッショニングを行ってきたが、2014年度はBGOeggを中心とする検出器群を用いて、本格的に物理実験を開始した。それと並行して、ソレノイド・スペクトロメータ系の検出器製作を進めている。

2. LEPS2/BGOegg実験

BL31LEPにおけるLEPS2実験としては、先ず、 η' 中間子が原子核に束縛された状態である η' -核の探索を主要テーマとして実験を行った。 η' 中間子は π 中間子や η

中間子と同じ擬スカラー中間子の仲間であるが、 $U_A(1)$ 異常と呼ばれる量子効果のために η 中間子よりも2倍近く大きい質量を持っている。そのために実験、理論両面から特別に興味を持たれている中間子である。最近の理論研究によれば、物質の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' 中間子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。

LEPS2/BGOegg実験では、質量数 A の標的に対する $A(\gamma, p)X$ 反応で前方に放出された陽子を測定し、その欠損質量分布から、 X の中に η' 中間子と $(A-1)$ 核との束縛状態を探索する。その際、束縛された η' 中間子が核内の核子(N)と $\eta'N \rightarrow \eta N$ 転換を起こすことによって生じる η 中間子を同時に捕えることで、欠損質量スペクトル中のバックグラウンドを減少させる。BGOegg検出器は、この η 中間子が崩壊するときに放出するすべてのガンマ線を検出して η 中間子を同定するために使われる。図1に1320本のBGO結晶から組み上げられたBGOegg検出器とその断面模式図を示す。24°～144°の広い極角領域を覆い、世界で最高のエネルギー分解能（1 GeVガンマ線に対して1.3%）を誇る電磁カロリメータである。図2にLEPS2/BGOegg実験の検出器セットアップを示す。ガンマ線ビームに含まれる電子・陽電子等の荷電粒子は上流のVeto検出器（3 mm厚のプラスチックシンチレータ）によって同定され、解析時に除去される。2 cm厚の炭素、もしくはポリエチレンの標的がBGOegg検出器内に設置され、前方に放出される荷電粒子に対しては、ド

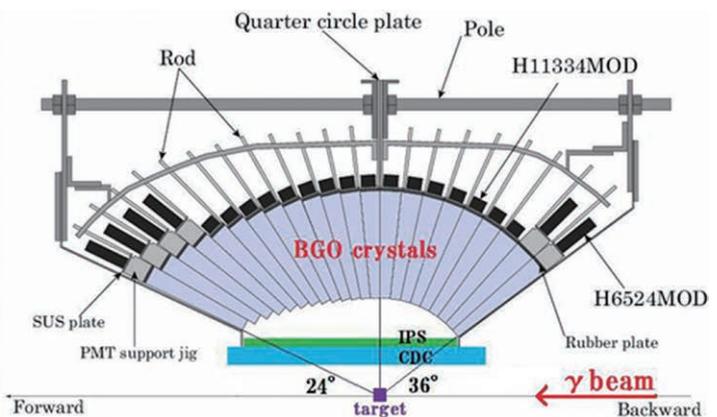
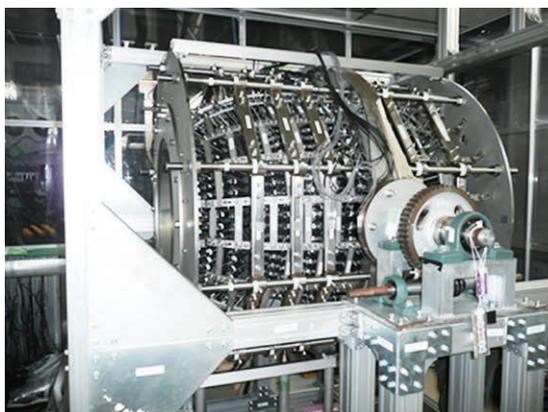


図1 大立体角高分解能電磁カロリメータBGOegg（左）とその断面模式図（右）。

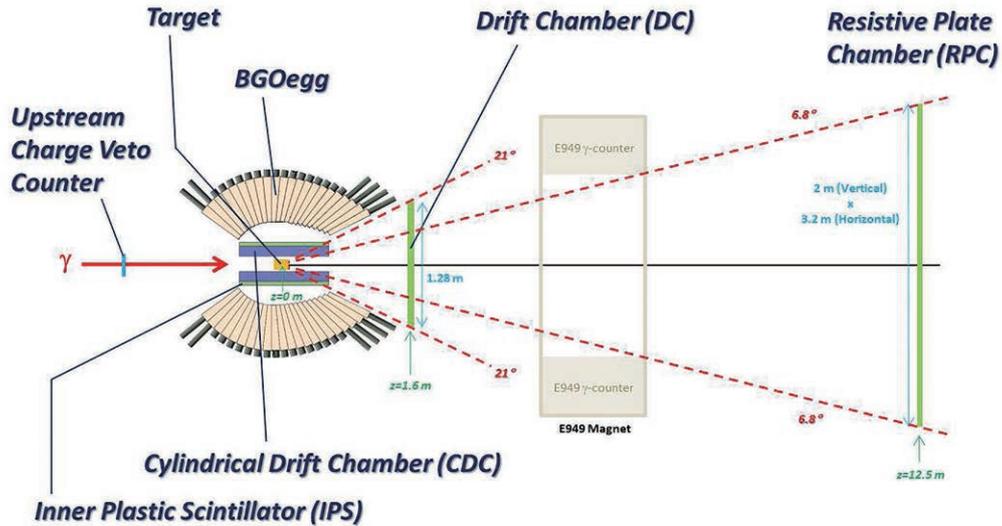


図2 LEPS2/BGOegg実験の検出器セットアップ

ドリフトチェンバー (DC) と標的から約 12.5 m の距離に置かれた 2 m×3.2 m の高抵抗板チェンバー (RPC) ・アレイによって、方向と飛程時間 (TOF) が測定される。特に、この RPC は LEPS2 での TOF 測定のために独自に開発された検出器で、試作機の時間分解能としては約 50 ps を達成している [1]。また、BGOegg と標的の間には、インナー・プラスチックシンチレータ (IPS) と円筒型ドリフトチェンバー (CDC) が組み込まれ、側方に放出される荷電粒子も測定できるようになっている。現在、2014A 期に取得したデータの解析が進行中である。

3. 液体水素標的システムの開発

光核反応による η 、 ω 、 η' 等の中間子束縛原子核の生成が確認された場合、その生成機構を理解するためには素過程である核子との中間子光生成反応の断面積やビー

ム非対称度などの偏極観測量の測定が非常に重要であり、特に、核子による η' 中間子の光生成反応については、測定データが極めて少ない。また、水素標的の場合は運動学的に完全な測定 (反応に関与したすべての粒子を測定) が可能なため、各検出器の正確な較正に対して非常に有用である。そこで、原子核標的による実験と並行して、BGOegg 検出器内に挿入する液体水素標的の準備を進めてきた。

図3に製作した液体水素標的システムの側面図、及び上流から見た図を示す。また、図の左上には標的部分の拡大図が示されている。液体標的の厚さは 4 cm で、標的セルは、物質量を減らすために 125 μm 厚の UPILEX フィルムできており、4K GM 冷凍機に直結している液溜めから細い配管で標的セルに液化された水素を流し込む構造になっている。標的近くで標的以外から発生する

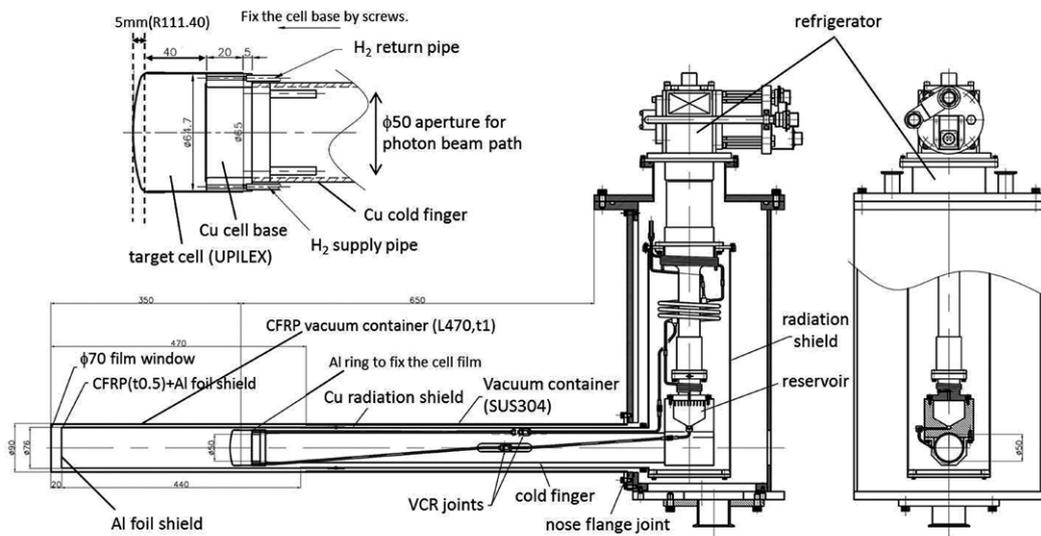


図3 BGOegg 内に挿入する液体水素標的システムの側面図 (左) と上流から見た図 (右)。左上は標的セル部分の拡大図。

ガンマ線を極力抑えるために、標的セルを冷やす銅製の筒は50φの空洞部を有し、また、下流側の真空容器窓は標的から35 cm下流に設置されている。そのためにノーズ部分は約1 mと非常に長い構造になっている。また、ノーズの材質もBGOegg検出器が見込む範囲は金属ではなく、炭素強化繊維プラスチック(CFRP)として、物質量を減らしている。液溜めは、水素ガスの300 Lバッファ・タンクと配管で繋がれており、タンクから標的セルまでが閉じた系を為している。実際の運転に際しては、約1.7気圧の水素ガスをタンクに詰め、セル部分が100%液化された状態では、全体の圧力が約1気圧になるようにしている。冷凍機をヒーターで温度コントロールしながら運転して、この状態を保ち、BGOegg内部に挿入して実験に供する。標的セルの製作やガスコントロール系のR&Dを繰り返した後、液体水素標的システムをインストールし、2014年11月から実験に使用することができた。今後、データの解析を進め、陽子による種々の中間子の光生成断面積やビーム非対称度を導出し、核子共鳴の研究等を進めて行く。

参考文献

- [1] N. Tomida et al.: *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A* **766** (2014) 283.

大阪大学 核物理研究センター
與曾井 優