

論文題目：KOTO実験に用いるInner Barrel検出器の製作と宇宙線ミュオンを用いた性能評価

著者：大阪大学大学院理学研究科物理学専攻 博士前期課程2年 豊田高士

概要：

KOTO実験は、茨城県東海村の大強度陽子加速器施設 J-PARCで行われる、中性K中間子の稀な崩壊モード「 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ 崩壊」を探索する実験である。 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ 崩壊で生成された π^0 は、すぐに2つの γ 線に崩壊する。一方、ニュートリノは本実験では観測できない。そこで、KOTO実験では K_L の崩壊領域を検出器で覆い、終状態に「2つの γ 線以外の粒子が観測されない」ことを要求してシグナル事象の同定を行う。したがって、これらの検出器の検出効率を向上させることが、背景事象の削減につながる。

KOTO実験では、 K_L の崩壊領域を覆う検出器として新たに γ 線検出器「Inner Barrel検出器」を追加し、検出効率を向上させる予定である。Inner Barrel検出器は、鉛とプラスチックシンチレータを積層した検出器であり、32個のモジュールを組み合わせて円筒形にする。それぞれのモジュールは、プラスチックシンチレータに埋め込まれた400本の波長変換ファイバーを通じて光電子増倍管(PMT)で読み出される。Inner Barrel検出器は、より高い検出効率を実現するために1MeVのエネルギー損失に対してPMTで得られる光電子数が5~個以上となることが要求される。

本研究の目的は、この要求を満たすようにInner Barrel検出器を製作することである。以下、私がこのInner Barrel検出器を性能を満たすように製作するために行ったことについて述べる。

Inner Barrel検出器を読み出すPMTで得られる光電子数は、波長変換ファイバーの光量に大きく左右され、かつ、波長変換ファイバーの光量にはばらつきがある可能性が指摘されていたので、私はまず波長変換ファイバーの光量を測定具を製作した。そして、自作した波長変換ファイバーの光量測定具の測定精度を調べて十分な測定精度があることを確認し、順々に納品されてくる波長変換ファイバーの光量を測定した。その結果、波長変換ファイバーの光量はバッチによってばらつきがあり、課せられた光電子数の要求を満たさない波長変換ファイバーが存在することが分かった。この段階で、すでに購入予定の10分の1程度の量の波長変換ファイバーが製造されており、波長変換ファイバーの製造元であるSt. Gobain社と交渉をしながら、なんとかより光量の良い波長変換ファイバーを手に入れようとしたが、予算執行の時間的制限もあり、購入したファイバーの30%は要求を満たさないものであった。そこで私は、「ポリマーライトガイドを使用し、要求を満たさない波長変換ファイバーの使用量を減らす」、「波長変換ファイバーの光量にもとづいて、すべてのシンチレータが光電子数の要求を満たすように波長変換ファイバーを組み合わせて各シンチレータに接着する」という対策を提案し、これらの案が採用された。

Inner Barrel検出器に必要な部材がそろったところで、シンチレータと波長変換ファイバーの接着作業を開始した。シンチレータの接着作業は、8名の作業員を企業から雇って彼らとともにいった。Inner Barrel検出器に必要なシンチレータの枚数は800枚にのぼ

り、すべてのシンチレータを接着し終えるために約半年の期間を要した。私はこの間、現場指揮の一人として波長変換ファイバーの切断作業やシンチレータの管理に従事した。

波長変換ファイバーとシンチレータの接着作業を終えた後、一つ目のモジュールの製作を行った。製作したモジュールの獲得光電子数を宇宙線ミュオンを用いて測定した結果、1 MeVのエネルギー損失に対する獲得光電子数は 5.6 ± 0.2 個であり、Inner Barrel 検出器に課せられた要求を満たすことを確認した。また、製作した実機モジュールの基本性能として、実機モジュール中の光の減衰長、実機モジュール中の光の伝播速度、実機モジュールの時間分解能を宇宙線ミュオンを用いて測定した。