

Geant4 に基づく高速無機シンチレータに対するチェレンコフ光検出器の性能評価

Performance evaluation of Cerenkov photodetector against high-speed inorganic scintillator based on Geant4

新潟大学自¹ ○野口 法秀¹, 青木 信也¹, 大坪 隆¹, 武智 麻耶¹, 小林 侑希哉¹

Niigata Univ.¹, [○]Norihide Noguchi¹, Shinya Aoki¹, Takashi Ohtsubo¹, Maya Takechi¹, Yukiya Kobayashi¹

E-mail: noguchi@np.gs.niigata-u.ac.jp

医学物理分野における核医学診断の 1 つに陽電子断層撮影診断法 (PET:Positron Emission Tomography)がある。一般的な PET では、被験者に陽電子崩壊する薬剤を投与し、陽電子と電子の対消滅によって互いに反対方向に放出される 2 本の光子線を 2 台の検出器で同時検出することで薬剤の密度分布画像を得ている。近年、次世代型 PET の 1 つとして、対消滅した光子線の飛行時間 TOF(Time-Of-Flight)情報を加えた TOF-PET に注目が集まっている。

従来の PET は、対消滅点について検出器間の直線上での位置は決められないが、TOF-PET では 2 つの検出器に光子が到達する時間差 $\Delta t=t_2-t_1$ から位置が決められる。定量的には、3 mm のがんの位置を特定する場合、時間分解能 20 ps が要求される。TOF-PET は様々な先行研究が行われており、チェレンコフ放射を利用した TOF-PET 用検出器の高時間分解能が報告されている。

先行研究として、本研究室では大阪大学や埼玉大学、東京都市大学と共同で放射線医学総合研究所の HIMAC において重イオンビームを用いた高時間分解能検出器開発を行なっている。これまでの研究で高屈折率ガラスを用いた重イオンビーム TOF 測定用のチェレンコフ光検出器を開発し、1 核子あたり 420 MeV の ¹³²Xe ビームについて最高で 5 ps の時間分解能を得た。

本研究では、この高屈折率ガラスチェレンコフ光検出器の TOF-PET への応用を目指しており、実験とシミュレーションの 2 方面から検出器の性能について調べた。

実験では、NaI に対するチェレンコフ光検出器の検出効率とチェレンコフ光検出器を 2 台用いた時間分解能測定を行なった。両実験ともに線源距離依存性についても調べた。

シミュレーションには、モンテカルロシミュレーションソフトである Geant4 を用いた。Geant4 は物理現象を細かく設定することができるソフトで原子核物理学・宇宙物理学・医学物理学など幅広い分野で利用されている。このソフトを用いて以下のシミュレーションを行なった。

上記で述べた実験を再現するセットアップを作成し、実験の再現性について確認した。次に、ガラスの材質や形状などを変更して、発生する光量や時間分解能について比較・検証を行なった。そして、ラジエータと PMT (光電子増倍管) の接着剤であるグリースの形状についても変化させて、接続面でのカップリングの時間分解能への寄与を確認した。

これら Geant4 シミュレーションの結果から光電子増倍管の走行時間拡がりやガラスの形状、カップリング (Fig. 1) の有無が時間分解能に影響していることを確認した。

得られたシミュレーション結果を基に走行時間拡がり小さいメタルチャンネル型の PMT と、その PMT の有感領域と同じ面積のガラスを組み合わせて新たに検出器を作成した。その検出器で 1 台あたり約 410 ps が期待されることが分かった。

また、TOF-PET への応用が期待されている LaBr:Ce などの高速無機シンチレータについても数種類、Geant4 でシミュレーションを行った。その結果を基に、チェレンコフ光検出器の相対的な性能評価を行った。

本講演では上記の事項を中心に報告を行う。

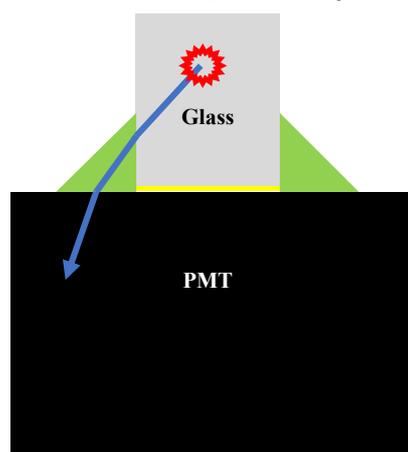


Fig.1 Detector setup diagram, the blue line shows an optical path. And the triangular part is a grease coupling. It serves to prevent the total reflection of Cerenkov light generated in the glass.