

中性子計測用プラスチックシンチレータ EJ-276 を用いた中性子弁別計測

Neutron discrimination measurement using plastic scintillator EJ-276 for neutron measurement

○山縣宥介¹, 藤田朗人¹, 高原優¹, 渡邊響¹, 渡部政行²

Yusuke Yamagata¹, Akito Fujita¹, Yutaka Takahara¹, Hibiki Watanabe¹, Masayuki Watanabe²

Neutrons were used mainly for academic research in condensed matter physics and basic science until around 2000. but their industrial use has been expanding in recent years. However, the facilities required for the routine use of neutrons are large, and the construction and maintenance costs are high in present. In order to expand the industrial use of neutrons in the future, it is necessary to have high power, small size, and relatively low cost. Therefore, a compact neutron source using inertial electrostatic confinement fusion is being developed in this laboratory. In order to develop a compact neutron source, it is necessary to accurately measure the neutrons produced. The objective of this study is to construct a neutron measurement system using plastic scintillators for fast neutrons. In the experiment, we discriminated neutron radiation from other signals.

1. 研究背景と目的

高エネルギーを有する中性子線は放射線の種類である。物質等の透過性が非常に高い特性を生かし、現在では癌治療用放射線源や非破壊検査用放射線源などの産業分野へ中性子線は応用されている。しかしながらさらに身近な場面で中性子利用を行うには設備が大型であり、建設および維持へのコストが高いことが問題点である。以上の理由から中性子利用の広い普及には至っていない。そこで本研究では小型化かつ低コストの中性子発生装置の実現を目標とした研究開発を行っている。このような中性子源の開発において、中性子のエネルギーや発生量などを正確に計測することが重要となる。本研究では小型中性子源の性能を、より多くの情報で評価すること目的として、高速中性子検出用のプラスチックシンチレータを用いた中性子計測システムの構築を行った。以下にその詳細を報告する。

2. 小型核融合中性子源

本研究では「慣性静電閉じ込め方式核融合」を応用した小型核融合型中性子源の実験を行っている。本研究で使用している装置の概略図を Fig.1 に示す。本実験装置は、リング状の陰極を実験装置の中心に設置し、その両側に二つの陽極を設置した構造となっている。実験では、予め真空容器内に重水素ガスで満たしておく。その後リング陰極に負の高電圧を印加することでグロー放電を発生させる。このグロー放電により発生した重水素の原子核は、リング陰極が作る強い電場により、リング陰極に向かって急速に加速され、リング陰極の中心部を通り過ぎる。通り過ぎた原子核は再度、リング陰極の電場により再加速され、その結果としてまたリング陰極の中心部を通り過ぎる。リング陰

極への印加電圧の増加に伴い、グロー放電が収束し始め、最終的にビーム状の放電が形成される。リング陰極リングへ印加する電圧が -10kV 程度以上から次第に原子核同士の衝突が起こり始め、核融合反応が生じる。以上が本実験装置において核融合反応が起き、中性子線が発生する原理である。

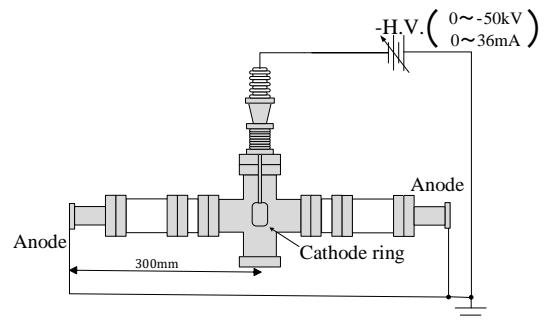


Fig.1 Schematic drawing of experimental device

3. シンチレーション計測系

本研究ではシンチレーション検出器を用いた中性子計測を行っている。シンチレーション検出器について以下で説明する。

3. 1. シンチレーション検出器

シンチレーションはある種の物質に放射線が入射した際に、発生する短いパルスのことを指す。この光は非常に微弱であり、光電子増倍管を用いることで増幅させる。これらのシンチレータと光電子増倍管を合わせた計測系をシンチレーション検出器と呼ぶ。今回使用したシンチレータの詳細を以下に示す。

3. 2. プラスチックシンチレータ

本研究で用いたシンチレータはプラスチックシンチ

1 : 日大理工・院 (前期)・量子 : Graduate School of Quantum Science and Technology, CST, Nihon-U

2 : 日大・教員・量科研 : Institute of Quantum Science, Nihon-U

レータである。プラスチックシンチレータは、有機結晶シンチレータを溶媒に溶かし、固体化させることで作られる。今回実験で用いた EJ-276 は水素と炭素が含まれており、中性子と反応しやすい物質で構成されている。

3. 3. 光電子増倍管

前述の通り、光電子増倍管は光を増幅する装置である。光電子増倍管の機能を大きく分けると、光が入り1次電子を発生させる光電面とその1次電子を増幅する電子増倍部から構成されている。電子増倍部にはダイノードが設けられており、電子が衝突することで2次電子が飛び出し、電子が増幅していく。この過程を何回も繰り返すことで、微弱なシンチレーション光に比例した計測可能な電気信号を発生させる。以上が光電子増倍管の計測原理である。

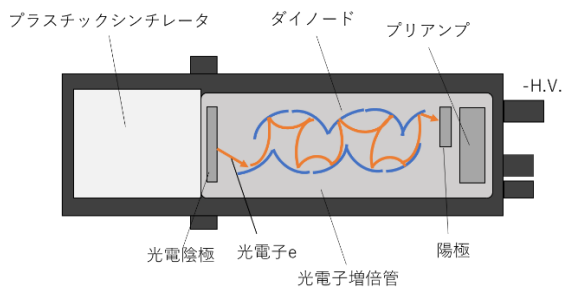


Fig.2 Schematic diagram of scintillation detector

4. パルス波形弁別

放射線の計測を行う際、中性子線以外にも装置内での制動放射による X 線が発生する。その他にも光電子増倍管内のノイズや、稀ではあるがシンチレータ内での中性子と原子核の非弾性散乱による γ 線等が発生する。これらの電磁放射線などは中性子線同様に計測してしまう。加えてプラスチックシンチレータは計測される波高の違いで波形弁別を行うことができない。そこで有機シンチレータの中には中性子線と電磁放射線とでシンチレーション光の減衰時間が異なる特性がある。これを利用した技術をパルス波形弁別 (Pulse Shape Discrimination : 以下 PSD) といい、式(1)で与えられる。

$$PSD = \frac{S_2 - S_1}{S_2} \quad (1)$$

また、その概略図を Fig.3 に示す。本研究で用いたプラスチックシンチレータも同様に放射線の種類により減衰時間が異なることから PSD を用いた放射線の弁別を行った。以下に結果を示す。

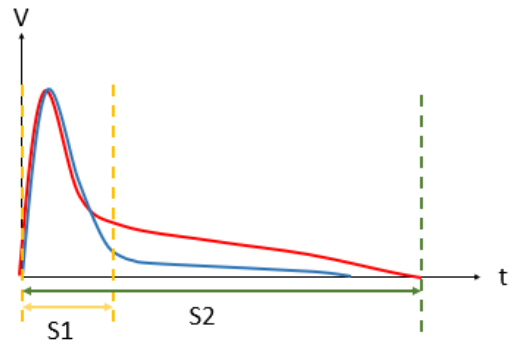


Fig.3 Schematic drawing of PSD

5. 結果

今回、中性子計測実験と予備実験として γ 線計測実験を行った。中性子計測実験ではリング陰極への印加電圧を -35kV、放電電流を 15mA、として計測を行った。 γ 線計測には本研究室が保有する密封線源 Co60 を使用した。それぞれの実験で計測された波形より PSD を行った。以下に結果を示す。今回両実験とも、線源からの距離は 25cm、計測時間は 30 分とした。

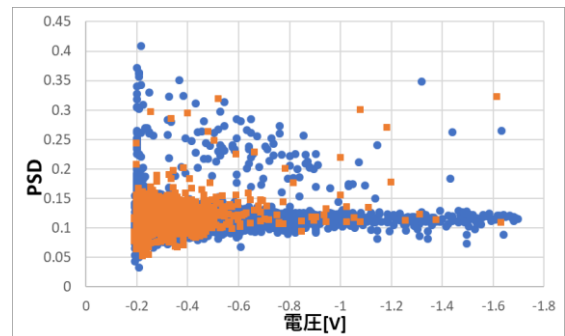


Fig.4 PSD for neutron and Co60 measurements

Fig.4 の結果からも PSD 値が 0.2 を境に弁別できていることが確認できる。実際に弁別した波形などの詳細は当日に報告する。

6. 参考文献

- [1] I.A. Pawelczak, S.A. Ouedraogo, A.M. Glenn, R.E. Wurtz, L.F. Nakae : Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 711 (2013) 21-26
- [2] 吉野興平 放射線測定の基本, (2017)
- [3] 長谷川純, 堀田栄喜, 高倉啓, 宮寺晴夫 レーザー研究 第46巻第10号, (2018)
- [4] 加藤雅之, 日本大学理工学研究科量子理工学専攻 2021年度修士論文, 2022