

## O-4

## リング陰極を用いた小型核融合中性子線源における中性子線発生の方非等方性

## Anisotropy of neutron generation in a small fusion neutron source using a ring cathode

○渡邊響<sup>1</sup>, 加藤雅之<sup>2</sup>, 高原優<sup>2</sup>, 藤田朗人<sup>2</sup>, 山縣宥介<sup>2</sup>, 渡部政行<sup>3</sup>Hibiki Watanabe<sup>1</sup>, Masayuki Kato<sup>2</sup>, Yutaka Takahara<sup>2</sup>, Akito Fujita<sup>2</sup>, Yusuke Yamagata<sup>2</sup>, Masayuki Watanabe<sup>3</sup>

Abstract: In this study, a small neutron source using the D-D fusion reaction is being investigated. The fusion reaction is generated by accelerating and focusing deuterium nuclei at the center of the cathode using a ring-shaped cathode discharge applied with high voltage. The purpose of this research is to investigate the direction dependence of the neutron generation by geometrical shape of the cathode ring. In the experiment, it was observed that the direction of neutron generation becomes anisotropic by changing the shape of the ring-shaped cathode.

## 1. 研究背景と目的

中性子は電荷を持たない核子である。そのため原子や分子との衝突において電気的な相互作用がなく、また電子は中性子に比べ非常に軽いいため、原子核との衝突や原子核反応のみ起こす。以上の理由から中性子の物体の透過率は非常に高く、中性子線はがん治療などに利用されている有用な放射線である。しかし既存の中性子線発生装置は、大型の加速器や原子炉など、装置自体が大型であるため設置場所が限定されている。したがって更なる中性子利用のためには装置の小型化は避けられない問題である。そこで本研究では中性子線源の小型化を目的とし、重水素(D)同士の核融合を用いた小型中性子線源の開発を進めている。その研究過程において中性子線の発生方向に非等方性が生じるという結果が得られた。本研究ではリング陰極を用いた核融合中性子線源の中性子発生方向についての依存性を調べると共に、装置に用いている陰極の形状を変化させることにより、中性子線の発生方向がどのように変化するかを調べることを目的としている。

## 2. 中性子線

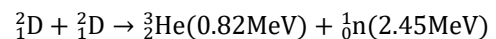
中性子は陽子とともに原子核を構成している核子である。陽子とほぼ同じ質量を持ち、中性子の質量は、電子に比べ1836倍重い。また前述したとおり、中性子は電荷をもたず、原子核内では陽子と核力という強い力によって結合している。中性子は電気的な相互作用が働かないため、容易に原子核付近に近づくことができ、核反応や散乱が起こりやすいという特徴がある。

核反応で発生する高エネルギーを有する中性子線は放射線に分類される。上記、中性子と物質との相互作用を踏まえ、中性子線の遮断には散乱や捕獲、核反応を用いてエネルギーを落とす方法が用いられる。エネ

ルギーを効率よく受け渡すするためには、同じ適度の質量をもった粒子との衝突が有効である。そのため中性子を遮断させる物質には、陽子を多く含む水やポリエチレンブロックなどが用いられる。本実験ではポリエチレンブロックおよび水を用いて中性子線を遮蔽し、安全に実験を行っている。

## 3. D-D 核融合反応

本研究で使用している小型核融合炉は、D-D 核融合反応を用いて中性子線を発生させる。二つの重水素原子核を用いて核融合を起こし、ヘリウム3と中性子を発生させる反応である。以下に核融合反応式を示す。



この核融合反応により生成された中性子は2.45MeVのエネルギーを持つ。

## 4. 中性子線源

本研究では核融合反応を用いた小型の中性子源を開発している。実験装置の概略図を図1に示す。中心部にリング陰極を設置しており、このリング陰極に高電圧を印加することにより、陰極付近にグロー放電が形成される。この過程により電離した重水素原子核は、正電荷を持っているためリング陰極の中心に向かって加速される。加速した原子核はリング陰極通過後、通過前とは逆方向に加速される。その結果、ビーム状の放電が形成される。リング陰極に印加する電圧を-10kV以上にすると、原子核が往復運動することにより、加速された原子核同士がリング陰極の中心付近で衝突する。この時、加速された原子核がポテンシャル障壁を突破できるだけのエネルギーを持っていた場合、核融合反応が起こり、2.45MeVの中性子が発生する。

1: 日大理工・学部・物理 2: 日大理工・院(前)・量子 3: 日大・教員・量科研

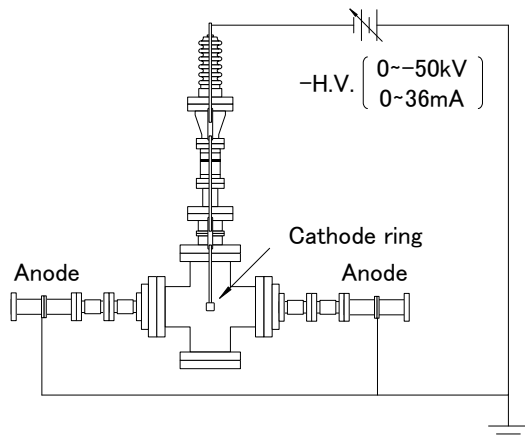


Figure 1. Schematic drawing of neutron generator

5. 実験方法

中性子線は中性子サーベイメータを用いて計測し、中性子フルエンス率を換算した。リング陰極を用いた核融合中性子線源から発生する中性子線の発生方向を調べるために、リング陰極中心から 90cm の位置に中性子サーベイメータを設置し、その距離を固定したまま測定角度を 15° ごとに、位置を変化させ中性子フルエンス率を計測した。実験装置の概略と計測方向の角度を図 2 に示す。リング陰極の形状により、装置の正面と背面で中性子線が対称に発生していると想定し、測定方向は 180° までとした。

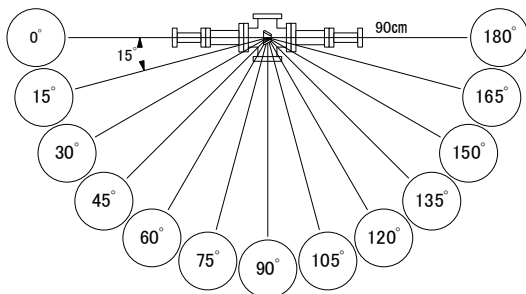


Figure2. Schematic diagram of anisotropic measurement of neutron beam generation

実験に使用したリング陰極の一例について、リング陰極の形状を図 3 に示す。リング陰極の開き角  $a$  が変化することによって中性子線の発生方向がどのように変化するかについても同様に調べた。リング陰極は 180° 方向側を支点とし、リング陰極中心を通る軸に平行な場合を 0 度、それから 40 度まで 10 度ごとに変化させたリング陰極を作成し、実験を行った。

6. 実験結果とまとめ

開き角が 0, 30, 40 度の場合の中性子線発生方向の非等方向性を調べた結果を図 4 に示す。この実験においてリ

ング陰極の開き角は 0 度であり、放電電流は 6mA である。また中性子フルエンス率は距離 90cm で測定したものを距離 15cm でのデータとなるように変換して表示している。

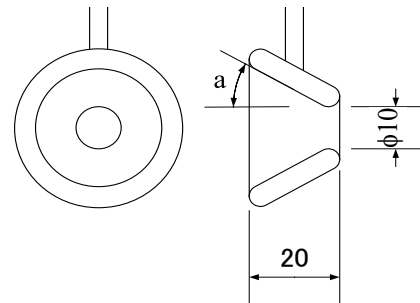


Figure3. Geometry of a ring cathode

実験結果より、中性子線の発生量はリング陰極の開き角が 0 度の場合には方向による依存性は見られなかった。また、開き角の増加に伴いすべての計測角度において中性子線の増加が観測された。この結果に関しては現在、考察中である。

また中性子線の発生量は 165 度まで測定角度と共に増加することが分かった。リング陰極の形状により中性子発生を増加・制御できる可能性が示唆される。加えて、測定角度 180 度で減少することも観測された。

今回の実験では開き角の絞っている方向に中性子が多く放出されている。今後は、開き角が 10 度、20 度の場合のリング陰極でも同様の実験を行い、中性子線の発生量の方向依存性とリング陰極の開き角による関係についてさらに調べる予定である。

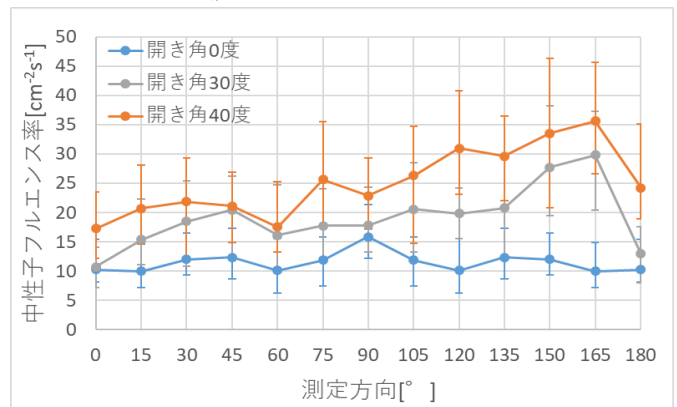


Figure4. Anisotropy measurement results of neutron generation

7. 参考文献

[1] 吉野興平：放射線測定の基礎  
 [2] Yibin B. Gu, Jalal B. Javedani & George H. Miley: “A Portable Cylindrical Electrostatic Fusion Device for Neutronic Tomography”, Fusion Technology, vol26, pp929-932, (1994).