

## 小型核融合中性子線源における中性子線の発生量および発生方向のリング陰極形状依存性

### Dependence of Neutron Production and Direction on Ring Cathode Geometry in Small Fusion Neutron Sources

○渡邊響<sup>1</sup>, 高原優<sup>1</sup>, 藤田朗人<sup>1</sup>, 山縣有介<sup>1</sup>, 渡部政行<sup>2</sup>

\*Hibiki Watanabe<sup>1</sup>, Yutaka Takahara<sup>1</sup>, Akito Fujita<sup>1</sup>, Yusuke Yamagata<sup>1</sup>, Masayuki Watanabe<sup>2</sup>

Abstract: In our laboratory, we are developing a compact fusion neutron source using the D-D fusion reaction. In the experiment, deuterium is ionized by applying high voltage to a ring cathode. The generated deuterium nuclei are accelerated and focused to the center of the ring cathode by an electric field, causing a fusion reaction and producing neutron beams. Previous studies have shown that the amount and direction of neutron beam generation can be controlled by changing the geometry of the ring cathode. In this study, the dependence of neutron production on the amount and direction of neutron production by changing the shape of the ring cathode was investigated.

#### 1. 研究背景と目的

高エネルギーを有する中性子は、放射線の一種である。電荷を有さないことから物体の透過率が高く、原子核とのみ相互作用を受けるなどの特徴がある。そのため、がん治療や構造物の非破壊検査など様々な分野への応用が期待されている。しかしながら、既存の中性子線源は、大型の加速器や原子炉などが主であり、装置が大型であるため設置場所が限定されるなど問題点も多い。そのため更なる中性子線の利用のためには装置の小型化が必須である。

そこで本研究では重水素原子核同士の核融合反応を用いた、小型かつ制御性の高い中性子線源の開発を行っている。本装置では核融合反応を発生させるために円筒状のリング陰極を用いている。これまでの研究から、リング陰極の形状によって、中性子線の発生量や発生する方向を制御できることがわかってきた。そこで本研究では、リング陰極の幾何学的な形状を変化させた場合における、中性子線の発生量や発生方向の依存性について調べることを目的として研究を行った。

#### 2. 中性子線

中性子は陽子とともに原子核を構成する核子の一種である。陽子と同程度の質量を持ち、電子と比べて1836倍重い粒子である。前述のとおり電荷を有さないためクーロン相互作用を受けない。そのため物体の透過率高く、容易に原子核と相互作用を起こす。中性子は単体で存在する場合、不安定であり、15分程度で陽子、電子、反電子ニュートリノにβ崩壊する。そのため中性子単体を保存することは困難であり、中性子線利用のためには中性子線を生成しなければならない。

#### 3. 小型核融合中性子線源

本研究で開発している小型核融合中性子線源の装置概略図及び作成したリング陰極の一例を図1に示す。装置中心にリング陰極を設置し、そのリング陰極の左右に接地した陽極を配置する。装置内部へ重水素ガスを注入し、陽極と陰極間に高電圧を印加することにより、重水素を電離しプラズマを形成する。電離した重水素原子核は、リング陰極の作る電場によってリング陰極中心に向かって加速、収束され、リング陰極中心付近を往復運動することによって、ビーム状の放電を形成する。リング陰極への印加電圧が約10kV以上になると、重水素原子核同士が衝突することによって核融合反応が起こり、中性子が発生する。このときに発生する中性子は2.45MeVの単色のエネルギーを持つ。核融合反応式を以下に示す。

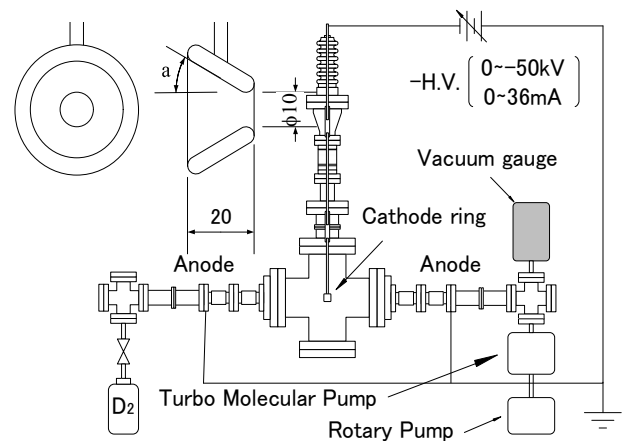
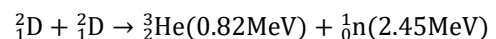


Figure1. Schematic of compact fusion neutron source and cathode ring

作成したリング陰極は長さ20, 内径を  $\phi 10$  としたものを基準とし, リング陰極の片側の内径を固定したまま, 反対側の開き角  $a$  を変化させた.

#### 4. シミュレーション

リング陰極周辺における重水素原子核の数密度分布, 重水素原子核の粒子分布等について電磁界計算ソフト CSTStudio を用いてシミュレーションを行った. その結果を図2, 3に示す. リング陰極への印加電圧を-30kVとし, 放電電流が 10mA の条件で計算した. 数密度では色によって密度を表しており, 粒子分布では粒子の持つエネルギーを色で表している.

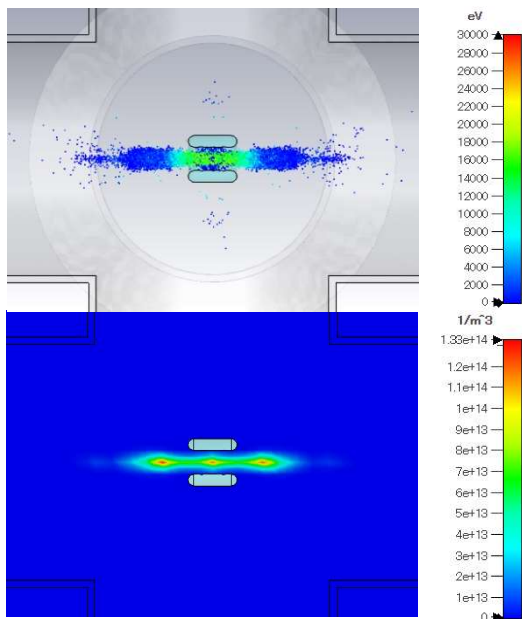


Figure.2 Simulation results of 0° opening angle of ring cathode

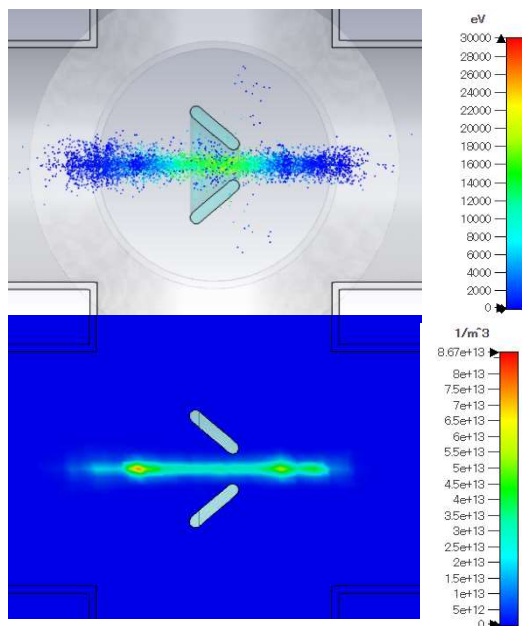


Figure.3 Simulation results of 40° opening angle of ring cathode

リング陰極中心付近でのエネルギーは 10keV から 20keV 程度であることが確認できる. したがって, 本装置においてはリング陰極中心付近において核融合反応が激しく中性子線が多く発生していると考えられる.

また重水素原子核の数密度について, リング陰極の開き角が 0 度の場合においては中心及びリング陰極の左右に密度の高い部分が現れていることが確認できる. 中心での密度増加はリング陰極が円筒状であることによるホローカソード効果の影響であると考えられる. また, 左右の密度増加は重水素原子核が往復運動における, 方向転換時の速度低下によるものであると考えられる.

リング陰極の開き角が 40 度の場合ではリング陰極の左右で密度が高い部分が現れるが, 開いている側のほうがより高密度となることが見て取れる.

#### 5. 方向依存性

中性子の発生方向について計測した結果を図4に示す. 方向については, リング陰極の中心軸を基準にリング陰極の開いている側を 0 度とし, 極角方向を計測した. 中性子線の測定には中性子サーベイメータを使用し, 中性子フルエンス率を換算した.

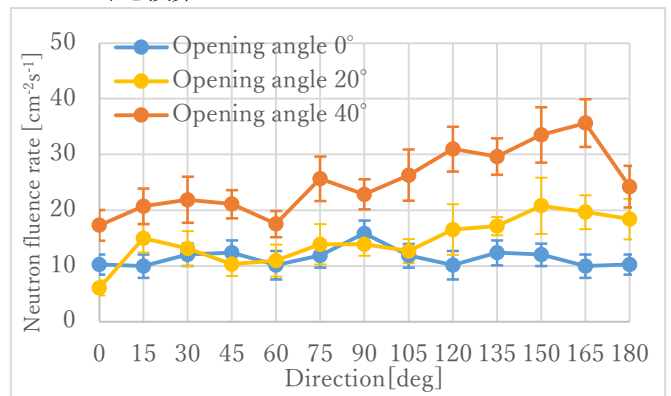


Figure.4 Angular dependence of neutron generation direction in experiments with ring cathodes of different shapes

開き角 0 度の場合には方向依存性は見られなかった. 開き角 40 度の場合では, 中性子線の発生量は 165 度も増加し, 180 度で減少する傾向が得られた. また開き角の増加に伴って, 全体的な中性子線発生量の増加も見られた.

講演ではその他異なる形状のリング陰極と合わせて, CSTStudio を用いたシミュレーションの結果とともに中性子線の発生量及び発生方向に関する実験結果について報告する予定である.

#### 6. 参考文献

- [1] G.E.Bacon 岡部哲治訳 中性子物理学 (1973)
- [2] Yibin B. Gu, et al, Fusion Technology, vol26, pp929-932, (1994).