

小型線形型 IECF 装置における中性子発生量のリング電極形状に対する依存性 Dependence of neutron generation rate on the ring electrode shape by the small-sized linear IECF

○根津 周平¹, 渡部 政行²
*Shuheï Nezu¹, Masayuki Watanabe²

Abstract: The neutron is subatomic particle. Since a transparency of the neutron is so high, the neutron beam has been applied to wide range of applications in the fields of medical, industrial, nuclear energy. Inertial Electrostatic Confinement Fusion is the one of neutron sources. The characteristics of device are as follows. (i)Required device is small. (ii)Portability is high. (iii)Neutron energy is monochromatic. (iv)Controllability is high. (v)Durability of the device is high. (vi)Cost is low. To product the neutron by a nuclear reaction, it is necessary to apply a high voltage into the plasma. Maximum cathode voltage is -30kV and the maximum current is 10 mA in this research. Two type of ring-shaped cathodes are used for the convergence of the nucleus. The inside diameter of the ring cathodes are ϕ 20 mm or ϕ 26 mm. The outside diameter and the width of the ring cathodes are same of ϕ 36 mm and 20 mm. The neutron production rate increases with increasing the cathode current. The maximum neutron production rate is approximately 10^4 n/s. It will be possible to increase neutron production rate by the optimization of the shape and the size of the ring electrode.

1. はじめに

1-1. 中性子の応用

中性子とは陽子と共に原子核を構成している粒子の一つである。中性子は電荷を持っておらず電氣的に中性の粒子であり、そのため物質中に入射した場合の透過率がとても高いこと、また原子核とのみ直接相互作用を及ぼすこと、特に軽い元素に対しての感度が高いこと、等の特徴を持っている。以下に中性子線の応用例をいくつかを示す。例えば中性子ラジオグラフィと呼ばれる技術がある。この技術は X 線、 γ 線ラジオグラフィと類似した放射線透過法を用いた非破壊検査の一種である。従来の X 線等では検出が難かしかった水素等軽い元素の検出方法として開発されている。また捕獲 γ 線、後方散乱といった、中性子と物質の相互作用を用いた爆薬探査器、ホウ素と中性子の核反応を利用したがん治療(BNCT)等が応用例に挙げられる。以上のように中性子線は様々な分野に応用され、今後も更に発展が期待されているが、これらの応用に必要な中性子発生量が $10^9 \sim 10^{12}$ 個/s 必要であるため、中性子発生技術の更なる開発が必要となる。

1-2. 中性子線源

中性子を発生させるためには核反応を起こす必要がある。その核反応は以下の 3 種類に分類できる。原子炉利用や、Cf 等の RI を利用して中性子を得る核分裂反応、大型加速器を利用して原子核を壊し中性子を得る核破砕反応、そして加速器等で重水素等を加速させ、

原子核同士の衝突による核融合反応から中性子を得る方法がある。現在の中性子発生装置の主流は核分裂反応である。その代表である原子炉等は中性子の発生数が多い等の利点はあるが、装置が大型になる、暴走の恐れがある、コストが高い等の問題により、中性子を利用した工学は、未だ普及に至っていない。中性子応用の普及のためには小型で持ち運び易いこと、低コストで製作できること、また、運転の制御が容易である等の利点を持つ装置の開発が必要不可欠である。

1-3. 本研究の目的

現在、上記の小型、低コスト等の条件を満たす中性子発生技術の一つに慣性静電閉じ込め方式核融合(Inertial Electrostatic Confinement Fusion:略して IECF)と呼ばれる方式の核融合装置がある。本研究室では小型円筒型の IECF を考案し、中性子発生装置の開発を行っている。これまでの実験では 10^4 個/s 程度の中性子の発生を確認している。今回の研究では本装置における電極形状の違いによる中性子発生数の比較を行い、円筒型 IECF のにおける電極形状の最適化を行った。

2. 理論と実験方法

2-1. IECF

IECFとは、1950年代にP.T.Farnsworthが開発したFusor装置^[1]を原型とする核融合方式の一つである。以下にIECF装置で核融合反応が起こる原理を説明する。IECFの概念を図1に示す。真空容器外側に接地した陽

1 : 日大理工・院 (前)・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.

極を配置し、また中央部に荷電粒子に対して幾何学的に透過率の高い陰極を配置する。陰極に印加された高電圧は電極間に急峻な電位ポテンシャルを形成する。この電位ポテンシャルがグロー放電を発生させ、ガスをプラズマ化する。この放電によって生成された多量のイオンは十数kV以上の電圧によって陰極の中心部に加速、収束される。その過程で陰極の中心部に加速された一部のイオンが核融合反応を起こす。実験で用いるガス種は重水素(D)であり、これらイオン同士の核融合により中性子が発生する。IECFと他の中性子線源との違いは核融合反応が電圧、電流に強く依存することであり、中性子の発生数や発生時間の制御ができる等の利点がある。またIECFは装置の構造の簡易さから小型の中性子源として期待されている^[2]。

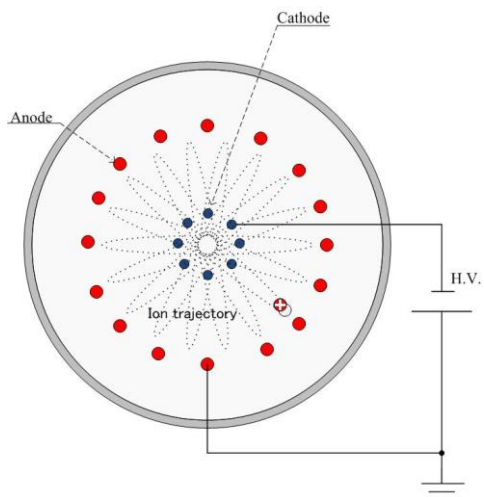


Figure 1 General concept of the IECF^[3]

2-2. 実験方法

本研究室では軸方向の放電を用いた小型中性子源を新たに考案し中性子発生源の開発を行っている。円筒型のIECF装置の概略図を図2に示す。本装置の特徴は核融合を起こす電極部にリングを使用していること、また真空容器を陽極として兼用していることである。実験に用いるリング状電極として、現在、径が異なるリングと幅が異なるリングを制作し中性子発生量の最適化を行っている。

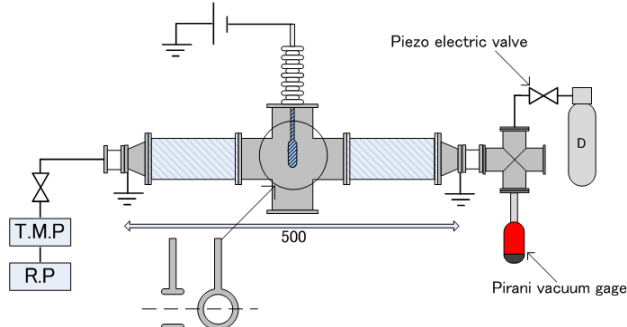


Figure 2 Experimental setup of the cylindrical IECF

円筒型IECFの特徴はビーム状の放電がリング状陰極の中心を通るので陰極衝突によるイオンロスが少なく、プラズマが陰極を覆うこともないため、陰極の冷却性に特に優れており、放電の大電流化が容易である。

3. 実験結果

これまでの中性子発生の実験では陰極リング径が違う2種類の電極を使い、印加電圧-18kVでの放電電流の値に対する中性子発生数の変化を計測し比較した。図3に異なる陰極リング形状による中性子発生量の比較を示す。中性子発生数は電極形状に強く依存することが確認できる。現在、さらに陰極リング径が違う電極を4種類、またその径は同じで軸方向に長い電極を3種類作製し、中性子発生量の電極形状依存性についての考察を深めている段階である。

講演では陰極リング形状の変化に伴う中性子発生数の依存性について議論を行い、装置や実験結果の、より詳細な内容を講演にて報告する予定である。

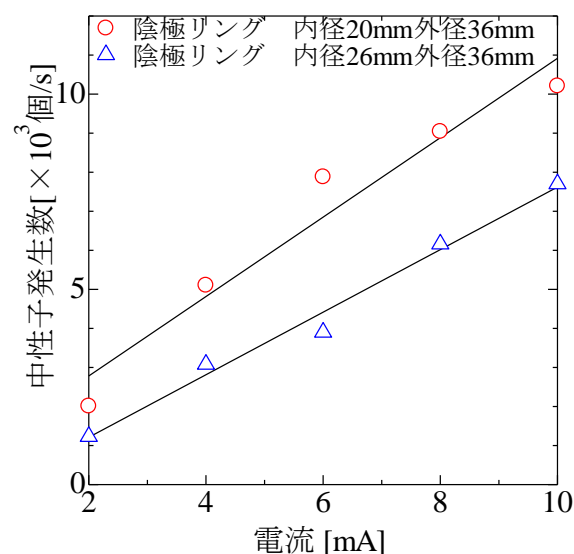


Figure 3 Dependence of current on neutron production rate.

- : the inside and outside diameters are 20mm and 36mm,
- △: the inside and outside diameters are 26mm and 36mm,

4. 参考文献

- [1] P. T. Farnsworth : U.S.Patent No.3,258,402 , (1966) .
- [2] 吉川潔, 他: 「慣性静電閉じ込め核融合研究の現状」, J. Plasma Fusion Res. , Vol. 83, No. 10, pp. 795-811, (2007).
- [3] 谷内康行: 「慣性静電閉じ込め核融合装置の中性子生成機構の研究」, 東海大学紀要 工学部, Vol. 50, No. 1, pp. 9-14, (2010).
- [4] 松沢 拓弥 : 修士論文, (2013) .