

円筒形 IEC 中性子線源における基礎放電実験

Basic research of discharge characteristic on a cylindrical Inertial Electrostatic Confinement neutron source

○松沢拓弥¹, 根津修平², 渡部政行³*MATSUZAWA Takuya¹, NEZU Syuhei², WATANABE Masayuki³

Abstract: IECF (Inertial Electrostatic Confinement Fusion) device is one of the small-sized neutron sources. In the IECF, the nuclear fusion reaction occurs continuously between accelerated ions by negative electric potential. Since neutron hasn't an electric charge and the neutron mass is almost same the proton mass, the neutron beam is good detector for the light element as compared with an X-ray. Such a small-sized neutron source will be applied to the medical and engineering are possible in recent years. The goal of this research is the development of a small-sized cylindrical IECF neutron source with high power ion beam. In the poster, the design and construction of the small neutron sources, the discharge characteristics and the initial experimental results of the neutron emission are presented.

1. はじめに

1 - 1. 中性子の応用

中性子は電荷をほとんど持たず、物質中の透過能力が非常に高い、等の特徴を持つ。電氣的な影響を受けないことから、物質中において原子核とのみ直接相互作用を起こすと考えられている。中性子線は重元素に対する反応性は低い、軽元素、特に中性子に近い質量を持つ軽元素に対する反応性が高い。中性子線はX線などとは対照的な性質を持っているため、X線では検出が難しい水素などに対する各種応用法が期待されている。具体的には、パイプ内での液体の動きを観測する等を目的とした非破壊検査や、空港や地雷原といった場所での爆薬探査、特殊なホウ素化合物を用いたガン治療などが挙げられる。これら中性子の応用が可能な施設は現段階では原子炉といった大型のものに限られており、中性子応用の普及を目指した安価・簡易な中性子発生装置の開発が進められている。

1 - 2. 中性子線源

中性子の発生方法には核反応が欠かせず、その種類は核分裂反応と核破砕反応、そして核融合反応の3つに分類できる。それぞれの反応における代表的な中性子発生方法は核分裂反応：原子炉・ラジオアイソトープ、核破砕反応：大型・中型加速器、核融合反応：加速器である。核分裂反応で利用される方法は中性子の発生量が多く、エネルギー特性の制御も良い為多く利用されている。その一方で装置が大型、利用可能頻度

が低い、高額であるといった問題から中性子応用の普及は進んでいない。核破砕反応を用いた方法は病院の一室に入る程度の大きさでの実現を目指しており、現在実用に向けた研究が進められている。核融合反応を用いた方法では前述の問題を解決し、いつでもどこでも、中性子を利用したい時に手軽に使える装置の実現、そして中性子応用の普及が特に期待されている。

上記に記載した応用例では装置に必要なとされる中性子発生量は 10^9 個/秒とされており、遮蔽やエネルギー選択性を考慮すると最大 10^{12} 個/秒が必要と考えられる。微小角散乱法といった特殊な計測を行わない限り、検査などに必要な中性子量を減らすことは難しく、発生量増大以外の研究進展も重要となる。しかし、一部の計測においては必要な中性子量が少なく済むことから中性子発生量は少ないが、安価・簡易な中性子発生装置の需要はあるものと考えられる。

2. 原理

2 - 1. IECF (Inertial Electrostatic Confinement Fusion)

慣性静電閉じ込め方式核融合(IECF)は1950年頃にP. T. Farnsworth が開発したFusorが原型の装置であり、その概念を図1に示す。IECFが中性子を発生させる原理は、真空容器中央部に幾何学的透過率の高い陰極を配置し、負の高電圧を印加することでイオンを発生させる。発生したイオンは装置中央部に向かって加速し、陰極の反対側へと通り抜ける。通り抜けたイオンは減速し、再び中央部へと加速される。この加速・減速を

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

2 : 日大理工・学部・物理 : Department of Physics, CST., Nihon-U.

3 : 日大理工・教員・量科研 : Institute of Quantum Science, Nihon-U.

繰り返す周回イオンにより周回イオン同士、周回イオンと背景粒子、周回イオンがプラズマ内で中性化した加速中性粒子と背景粒子の衝突が発生する。この衝突の際、粒子密度や速度などに依存する確率的な核融合反応を引き起こす。核融合反応の発生する理由は 2 重井戸ポテンシャルの効果やトンネル効果などが考えられるが、詳しい理由はまだ解明されていない。核融合反応によって発生する粒子はガスの種類によって変えることができる。中性子を発生させるためには重水素(D)、三重水素(T)ガスが主に用いられる。この発生方法の特徴はガス種に依り発生する粒子の種類を変更することが可能な点や粒子の持つエネルギーが単色である点、また、発生量や発生時間の調整が自由に出る点などが挙げられる。

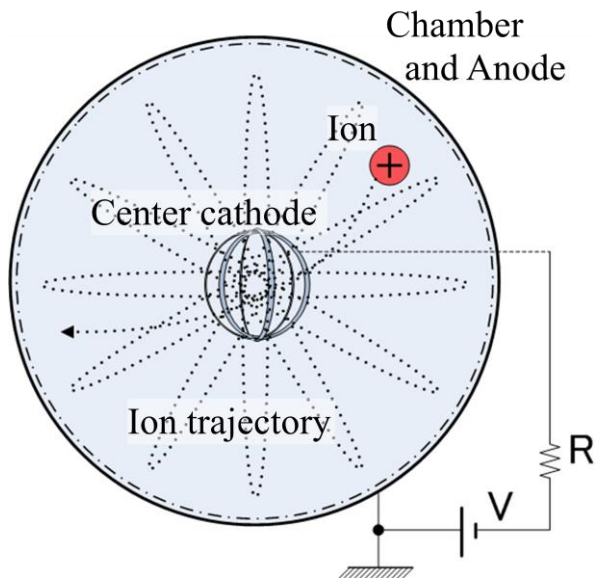


Figure 1. Schematic drawing of IECF device

3. 実験

3 - 1. 目的

本研究の最終的な目標は中性子応用に用いることのできる小型の中性子発生装置の開発である。現在は新規の実験装置を立ち上げた段階にある為、実験装置の原理検証を目的とした中性子の観測を目標に実験装置の構成を進めている。

3 - 2. 内容

本実験では円筒型の電極を用い軸方向の放電による IECF を目指している。現在用いている負電極は直径 ϕ 30mm、幅 10mm などのリング状の電極を用いている。放電に使用しているガスは重水素で、電源は Glassman High Voltage 社製の最大電圧-30kV、最大電流 10mA を使用している。中性子の測定には富士電機社製の中性

子サーベイメータ NSN3 を用いている。

中性子の生成は定常的な発生を目指しているため、真空を引いた後、ポンプを駆動した状態で重水素ガスを充填し、一定の気圧になったら放電により中性子の発生実験を行うという手順を取っている。

本実験装置の特徴は円筒型の IECF 装置において真空容器を陽極としている点である。絶縁性能確保のため真空度は重要であるが、昨年度までは真空リーク量の多さが問題であった。本年度は真空容器を組み直すことで 10^{-3} Pa オーダーの真空度達成に成功している。

4. 実験結果及び結論

現時点で達成している最大印加電圧について重水素放電での放電結果を図 2 に示す。

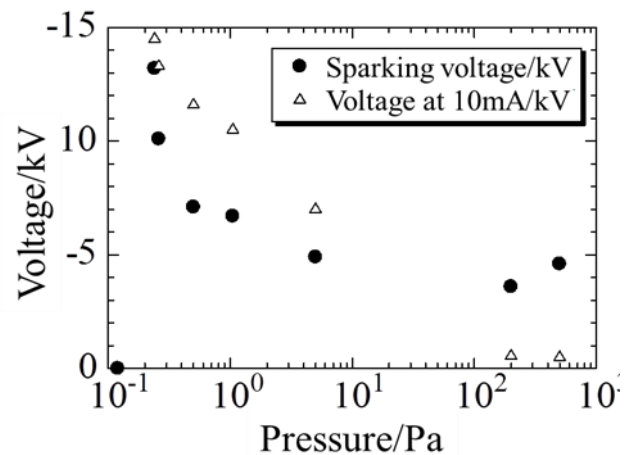


Figure 2. Sparking voltage and Voltage at 10mA vs. Pressure in deuterium gas discharge.

気圧に対する最大電圧の依存性が見られ、その最大電圧は-15kV となっている。最新の結果では中性子発生に必要と考えている-20kV まで一部の条件では近い値まで達成している。

講演では中性子の測定方法や電極の形状などについて議論を行い、装置や実験結果のより詳細な内容は講演にて報告を行う。

5. 参考文献

- [1] 高木俊宜:「電子・イオンビーム工学」, 電気学会, (1995).
- [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).