

小型円筒型 IECF 装置における中性子発生量の長時間運転の安定化

Long-term stabilization of the neutron emission rate in the small cylinder type IECF equipment

○宮内 敦吏¹, 竹内 章博², 渡部 政行³*Atsuri Miyauchi¹, Akihiro Takeuchi², Masayuki Watanabe³

Abstract: Long-term stabilization of the neutron emission rate in the small cylinder type IECF equipment the neutron is one of subatomic particles. 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 (IECF) is one of neutron sources by nucleus fusion reaction. 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 to the plasma. Maximum cathode voltage is -50kV and the maximum current is 36 mA in this research. The maximum neutron production rate is approximately 10^4 n/s.

1. はじめに

1-1. 中性子とその応用

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り、核子と呼ばれている。中性子の質量は陽子とほぼ同じである。また中性子は電荷を持たないことから、電気的に中性の粒子である。そのため物質中に入射した場合、その透過率が非常に高いこと、また原子核とのみ直接衝突を介して相互作用をすること、特に軽い元素との比較的強い相互作用があること、等の特徴を持っている。この中性子の性質を利用することで、産業・医療・工業・原子力エネルギーといった幅広い分野への応用が可能となった。中性子を利用するためにはそれぞれの用途に合わせた中性子数や中性子エネルギーが重要となる。中性子発生量は $10^6 \sim 10^{14}$ 個/sが必要であるとされ、中性子発生技術の更なる開発が必要となる。以下の図 1 に応用の例を示す。

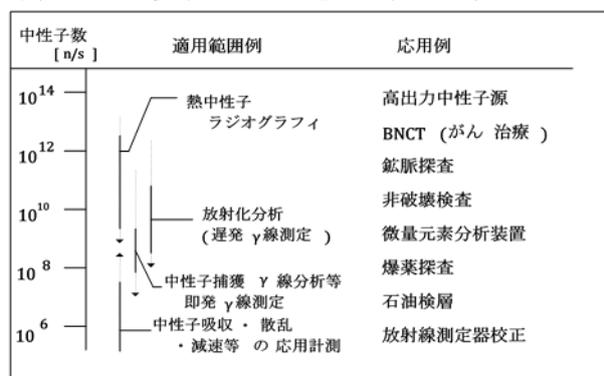


Figure 1 Neutron application and necessary neutron strength

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。本研究では中性子発生装置における印加電圧の違いによる中性子発生数の比較すること、放電回路の最適化を行うことでまた中性子発生量の長時間安定化を試みることを目的としている。この中性子発生量の長時間安定化には高電圧用の抵抗を多く用いる。

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

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

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

2. 理論と実験方法

2-1. 慣性静電閉じ込め方式核融合(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。真空容器外側に接地した陽極を配置し、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。真空容器内に燃料ガスを充填し、高電圧を印加することで電極間に急峻な電位ポテンシャルを形成により、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 以上の高電圧を印加することにより、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であり、これら重水素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]。

2-1. 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、中性子発生量に最適な径のリングで印加する電圧を変化させて行っている。

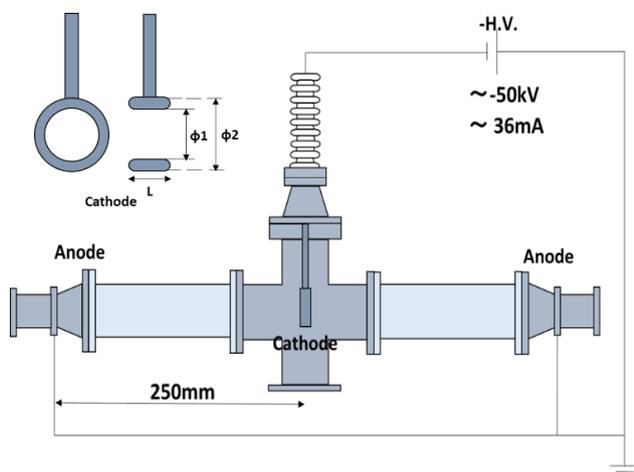


Figure 2 Experimental setup of the cylindrical IECF

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ためので陰極衝突によるイオンの損失が少なく、プラズマが陰極を覆うこともないため、陰極の冷却性にも特に優れており、放電の大電流化が容易である。

3. 実験結果

中性子発生の実験では陰極リング径を固定し、印加電圧を変化させ検出角度に対する中性子発生数の変化を計測し比較した。図 3 に印加電圧による中性子発生量の比較を示す。中性子発生数は印加電圧に依存することが確認できる。

講演では最適な陰極リング形状で高電圧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。

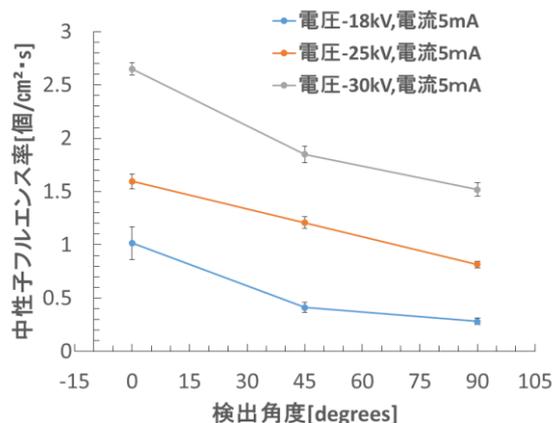


Figure 3 Neutron fluence rate every angle

4. 参考文献

- [1] 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).
Vol. 50, No. 1, pp. 9-14, (2010).
- [2] 松沢 拓弥: 修士論文, (2013).
- [3] 根津 周平: 修士論文, (2015).