

IECF 中性子線源の高電圧領域における中性子発生安定化

Stabilization of the neutron emission in the high voltage discharge of the IECF neutron source

○宮内 敦吏¹, 久保 有理子², 斎藤 圭吾², 渡部 政行³*Atsuri Miyauchi¹, Kubo Yuriko², Saitou Keigo², Masayuki Watanabe³

Abstract: Long-term stabilization of the neutron emission rate in the small cylinder type ‘Inertial Electrostatic Confinement Fusion’(IECF) equipment is the purpose of this research. The neutron is one of the 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. 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. Currently the maximum neutron production rate is achieved approximately 10^5 n/s.

1. 序論

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。また中性子は磁気モーメントを持つが、電荷を持たない粒子である。このことから物質中に入射した場合、その高い透過性を持つと同時に、原子核とのみ直接相互作用を及ぼすことから、様々な分野への応用が検討されている。例えばガン細胞・組織に集積したホウ素と中性子の核反応を利用した放射線治療(BNCT)と呼ばれる医療がある。この治療はX(γ)線と類似した放射線治療の一種である。従来のX(γ)線などの放射線治療では、ガン細胞のみを破壊することが困難であったがBNCTではエネルギーの低い中性子線を用いるため、ガン細胞に集積したホウ素とのみ反応することができ、正常細胞にほとんどダメージを与えない。この技術は最先端の治療法であり、現在は臨床研究の段階である。中性子線を様々な分野への応用例が挙げられるが、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。中性子発生量としては $10^6 \sim 10^{14}$ 個/sが必要であるとされ、中性子発生技術の更なる開発向上が必要となる。

1-2. 中性子線源

中性子を発生す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。

(1)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、(2)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(3)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、装置が大型である。また暴走の恐れがある、コストが高い等の問題により、未だ普及に至っていない。中性子の応用のを広く普及させるためには小型で持ち運びが可能であり、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中性子発生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として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。本研究室では独自の構造をもつ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 10^5 個/s程度の中性子の発生を確認している。今回の実験では先行研究で用いた中性子発生装置と新たに組み直した中性子発生装置における中性子発生数の比較、また定常の中性子を生成するにあたり放電を安定化させるため、高電圧用の抵抗を多く用いることで放電を長時間安定化させることを目的とした実験を行った。

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

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^[1]が開発した Fusor 装置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^[2,3]。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し、グロー放電を発生させる。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。

2-1. 実験方法

本研究室では軸方向の放電を用いた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。IECF 装置の概略図を図 1 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。現在、先行研究の中性子発生装置と新たに組立した装置との比較を行っている。まず図 2 に表すそれぞれの角度で中性子の発生数を測定することで中性子発生方向依存性を調べた^[4]。

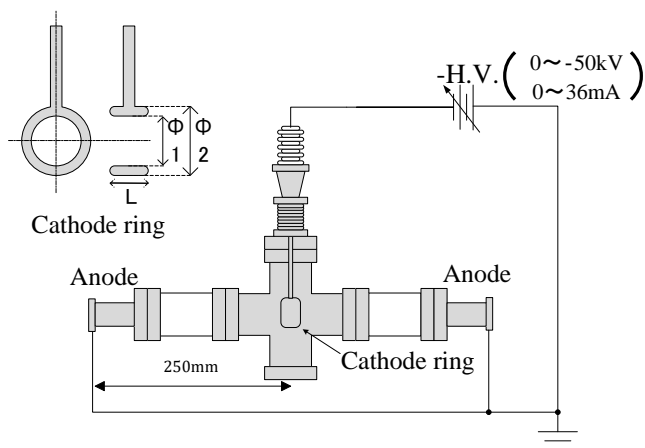


Figure 1 Experimental setup of the cylindrical IECF.

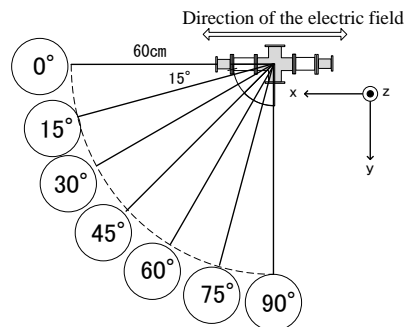


Figure 2 Measurement angle of the neutron flux

3. 実験結果

この中性子発生方向依存性を調べる実験では軸の長さ $L=20\text{mm}$ 、リングの内径 $\Phi 1=26\text{mm}$ 、リングの外径 $\Phi 2=36\text{mm}$ のリング電極を用いて実験を行った。その結果を図 3 に示す。図 3 は各々の方向における 1 秒間に 1cm^2 辺り中性子発生数を示したグラフである。中性子発生数は方向に大きく依存することが確認できる。講演では各々の出力変化に伴う中性子発生数について議論を行い、放電の安定化や装置詳細な内容を講演にて報告する予定である。

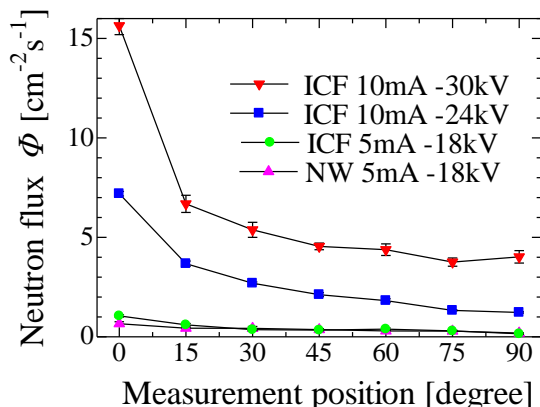


Figure 3 Angular dependence of the neutron flux

4. 参考文献

[1] P. Farnsworth, et. al., “Electric discharge device for producing interactions between nuclei”, U.S. Patent 3258402, June 28, 1966.

[2] George H. Miley, et. al., “Inertial-electrostatic confinement (IEC) fusion for space power”, AIP Conference Proceedings 217, 67 (1991).

[3] 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).

[4] 根津 周平: リング電極を用いた円筒型慣性静電閉じ込め核融合における中性子放出特性(2015)。