O-14

円筒型 IECF における中性子発生方向の依存性

The direction dependence of neutrons generated by a cylindrical IECF

○根津 周平[1]，竹内 章博[1]， 渡部 政行[2]
*Shuhei Nezu[1]，Akihiro Takeuchi[1], Masayuki Watanabe[2]

Abstract: The neutron is a elementary particle,which belongs to fermion. Since the penetration of neutron is extremely high, the neutron beam has been applied to medical, industrial, scientific fields. Inertial Electrostatic Confinement Fusion (IECF) is the one of neutron sources by nucleus fusion reaction. The characteristics of our D-D fusion experiment by IECF are as follows. (i) Device is compact. (ii) Portability is high. (iii) Neutron energy is nearly monochromatic. (iv) Controllability is high. (v) Durability of the electrode is high. (vi) Cost is low. The maximum neutron production rate is approximately 10^4 n/s under the conditions that the cathode voltage is 18kV and discharge current is 10 mA. To increase the neutron generation rate, it is necessary to apply a high voltage to the ring cathode. The neutron production rate also increases with increasing the cathode current. It this experiment, maximum cathode voltage is -50kV and the maximum current is 36 mA in this research. Several type of ring-shaped cathodes are also used for the convergence of the nucleus.

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素粒子の一つであり，フェルミ粒子のバリオンに属する．電気的に中性であることから，物質中に入射した場合の透過性が非常に高いこと，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が中性子の特徴と言える．以下に中性子線の応用例のいくつかを示す．例えば中性子ラジオグラフィー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応用した非破壊検査の一種である．従来の X 線等では検出することが困難であった水素原子等の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等が中性子の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．しかしながら，これらの応用に必要な中性子発生量が 10^8～10^{12} 個/s 必要であるため，今後は中性子発生率の向上が必要となる．

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．この核反応は以下の 4 種類に分類できる．①原子炉に代表される核分裂反応，②RI を利用した(α，n)反応，③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④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である．現在使用されている原子炉，加速器等の中性子線源は中性子の発生数が多い等の利点はあるが，装置が大型になることや，暴走の恐れがあること，またコストが高い等の問題により，中性子線の利用は，未だ普及に至っていない．中性子応用を普及するためには小型で持ち運びが容易なこと，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

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，中性子を発生させる実験を行っている．これまでの実験で 10^4 個/s 程度の中性子の発生を確認している．また中性子の発生は等方的でなく電極により発生方向の依存性があることが分かってきた．そこで今回の実験では新たに製作した異なる形状の電極ごとに中性子発生の発生方向依存性を計測することを目的とした．

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．

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.

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．本実験ではリング状の電極を陰極に用いている．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反応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を放電電圧や放電電流により制御できることであり，そのため中性子の発生数や発生時間の制御が容易にできる．以上のことより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].

2-2. 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 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状の陰極を使用していること，また両端の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の電極として，現在，径が異なるリングを 6 種類，軸の長さが違うリングを 3 種類用いて中性子発生量の電極依存性の研究を行っている．

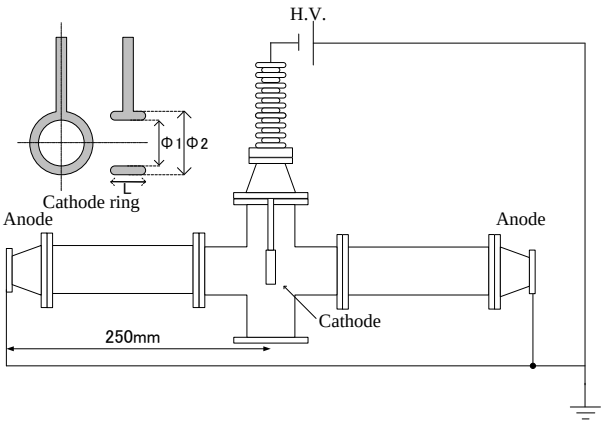

Figure 1 Experimental setup of the cylindrical IECF

円筒型 IECF は電場がほぼ一次元の方向に形成されるため，核融合生成物の放出は方向依存性をもつことが分かってきた．そこで本研究では，リング電極中心を発生源とし距離 60cm，15°間隔で 10 か所計測し中性子発生量の方向依存性を調べた．装置と計測する放射方向の関係を図 2 に示す.

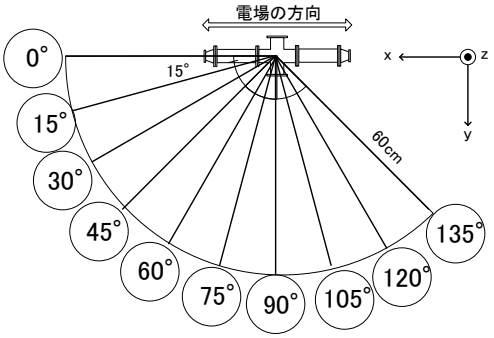

Figure 2　A measurement of dependence of the neutron flux by the angle**.**

３．実験結果

各々のリング電極において 1 秒間に 1cm^{2}辺り中性子が何個飛来したか計測した. 図 3 は軸の長さ L=10mm, リングの内径 Φ1=26mm, リングの外径 Φ2=36mm の電極を用いて図 2 に示す各々の方向における中性子発生量を示したグラフである．この結果からこの実験において核融合により発生した中性子は電場方向(イオンの進行方向)に放出されると推察できる．現在は電極を変えたとき発生量の角度依存がどのようになるか計測している．

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

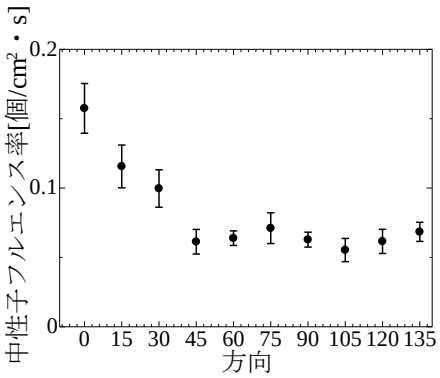

Figure 3 Dependence of the neutron flux by the angle.

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] H.Liskien, A.Paulsen, : Nuclear Data Tables，Vol.　11，No.　7，pp.　569-619，(1973).
[4] 松沢　拓弥　：修士論文，(2013) ．