

K7-71

## D-D 核融合反応を応用した小型中性子源の開発 Development of a small neutron source applying D-D fusion reaction

○清水 尚輝<sup>1</sup>, 宮内 敦史<sup>2</sup>, 渡部 政行<sup>3</sup>\*Naoki Shimizu<sup>1</sup>, Atsuri Miyauchi<sup>2</sup>, Masayuki Watanabe<sup>3</sup>

Abstract: Cosmic rays are a high energy radiation in outer space and high altitude region. An incorrect action of electronic devices (semiconductors) in spacecraft and aircraft are considered to be caused by these cosmic rays. A neutron beam, which falls in a high altitude region, is from a secondary cosmic ray generated by collision of cosmic radiation with the Earth's atmosphere. In general, neutron has a very high transmittance of substances, because it has no electric charge. In this research, the influence of neutron beam on semiconductor has been investigating. In the presentation, the development of a small D-D nuclear fusion type neutron source is introduced in details.

### 1. 研究背景と目的

航空機が飛行する 1 万メートル程度の高高度や国際宇宙ステーションが運用する宇宙空間では、地球の大気や地磁気による放射線の拡散・吸収が少ないため、地上に比べ放射線の線量が多い。それらの領域における放射線は一般的にそのエネルギーも高く、航空機等に搭載された半導体や宇宙飛行士自身にも影響を与える恐れが高い。本研究室では近年、宇宙放射線の半導体への影響を調べることを目的とした研究をスタートした。特に本研究では、航空機が飛行する 1-3 万メートル程度の高度において線量が多い宇宙線である中性子線に着目し、その半導体への影響を調べることを目的としている。本講演では本研究を進めるうえで必要な小型 D-D 核融合型中性子源の開発状況や中性子発生実験の結果に関して報告する。

### 2. 中性子とは

中性子とは、陽子とともに原子核を構成する核子の一つである。質量や大きさが陽子とほぼ同じであるが、電荷を持たないため電氣的に中性の核子である。クーロン力による物質との相互作用が働かないため中性子は透過性が非常に高い放射線といえる。一般的に中性子の遮蔽には水やポリエチレンブロックを用いる。

#### 2-1. 2 次宇宙線である中性子

地球の大気は宇宙線が衝突した際に、その放射線のエネルギーを拡散もしくは吸収する。また地球磁場は荷電粒子を地球に到達させる前に逸らす役割をしている。この大気や磁場と宇宙線の衝突が起こる際に大気粒子と入射陽子の相互作用によって中性子が発生する。

この中性子が 2 次宇宙線として地上に到達する。図 1 にそれぞれの宇宙放射線の実効線量率の高度依存性を示す。中性子の実効線量率は 10-25km の領域で平坦であり、地上に向けて大気の影響により線量が急激に減少することが確認できる。

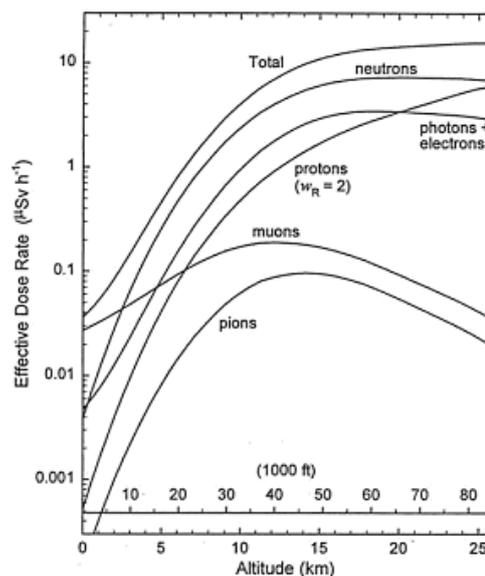


Figure 1 Altitude dependence of effective dose rate [1]

#### 2-2. 中性子のエネルギー分布

素電荷  $e$  を持つ荷電粒子が電位差 1 V で加速される時に得るエネルギーが 1 eV である。この eV が中性子の持つエネルギーの単位に用いられる。中性子は数 MeV のような高エネルギーの中性子線から数  $\mu\text{eV}$  以下の低エネルギーまでの幅広い分布を持つ。表 1 に中性子の名称とそのエネルギーの値を示す。

1:日大理工・学部・航宇:Department of Aerospace engineering, CST,Nihon-U.

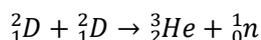
2:日大理工・院(前)・量子:Graduate School of Quantum Science and Technology, CST,Nihon-U.

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

Table 1 Classification of neutrons by its energy

エネルギーに応じた名称	エネルギーの範囲
冷中性子	$E < 0.026 \text{ eV}$
熱中性子	$0.001 < E < 0.01 \text{ eV}$
熱外中性子	$0.1 < E < 10^2 \text{ eV}$
低速中性子	$0.1 < E < 10^3 \text{ eV}$
中速中性子	$1 < E < 500 \text{ keV}$
高速中性子	$0.5 < E < 20 \text{ MeV}$
超高速中性子	$20 \text{ MeV} < E$

本研究では重水素の原子核同士を衝突・融合させる D-D 核融合反応を用いて中性子を発生させている。発生する中性子のエネルギーは約 2.45 MeV であり、高速中性子に分類される。以下に D-D 核融合反応式を示す。



### 3. 小型 D-D 核融合型中性子源

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。その核反応として (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、(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は中性子の発生数が多いなどの利点があるが、装置が大型で、また炉の暴走の恐れがあること、建設・運用コストが高いなどの問題で、未だ中性子を利用した産業の普及には至っていない。中性子を利用した科学・工学の普及には小型で持ち運び易く、低コストで開発でき、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。本研究では慣性静電閉じ込め方式核融合 (IECF) を応用した小型核融合型中性子源の開発を行っている。

### 4. 実験装置および実験内容

本研究で使用している円筒型 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状陰極を用いていることである。リング状陰極の両側に 2 個の陽極を設置している。実験では、リング状陰極に高電圧を印加することで陰極付近にグロー放電を発生させる。グロー放電中の重水素原子核はリング陰極に向かって加速され、リング陰極の中心を通過する。通過した重水素原子核はまたリング陰極に加速され、結果的にビーム状の放電が形成される。印加電圧が 10kV 以上の条件で重水素原子核同士の核融合が

生じる。この核融合反応により 2.45eV の中性子がほぼ等方的に放出される。

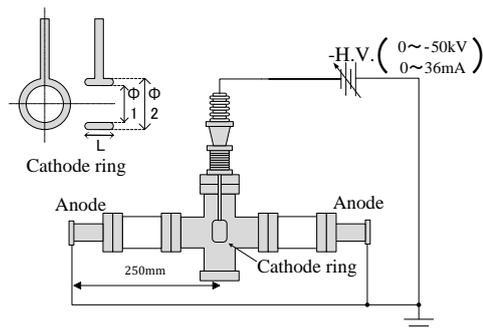


Figure 2 Experimental device and setup

### 5. 実験結果とまとめ

実験ではリング陰極を流れる電流が一定の条件で、印加電圧を変化させ中性子の発生 (線量) を計測した。印加電圧を 10~20kV の電圧領域で、印加電圧を 2.5kV ずつ増加させ、各電圧に対して各 5 回計測し、その平均を実験値とした。実験結果を図 3 に示す。横軸はリング陰極に印加した電圧値であり、縦軸は中性子の発生数である。この実験における中性子の計測はリング陰極中心部から約 80cm の位置で行っている。

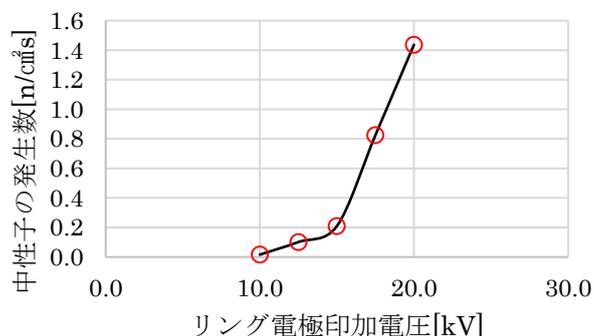


Figure 3 Number of neutron generation rate

実験結果から核融合反応による中性子の発生を確認することができた。リング陰極に印加する電圧の増加に対して中性子発生数が増加することも確認した。印加電圧が 20kV の実験において、距離 80cm の位置における中性子数は 1.44 n/cm²/s であった。今後、異なる実験条件における中性子発生の特性を調べる予定である。

### 6. 参考文献

[1] 文部科学省 宇宙線被ばく線量の測定法 資料第 2-4 号  
 [2] 松沢 拓弥 : 修士論文, (2013)  
 [3] 竹内 章博 : 修士論文, (2016)