慣性静電閉じ込め型 DD 核融合装置における中性子応用

Neutron Applications of the IEC-type DD Fusion Device

○竹内 章博¹, 宮内 敦吏², 野口 邦和³, 渡部 政行⁴ *Akihiro Takeuchi¹, Atsuri Miyauchi², Kunikazu Noguchi³, Masayuki Watanabe⁴

Abstract: The neutron is one of the constituent particles of an atomic nucleus. Since neutrons have no charge, interactions of the neutron are performed only by colliding with its passed-through substance. As a result, the neutron is used in various fields such as basic research, medical, industrial. This research purposes to measure and utilize neutrons by nuclear fusion neutron source. A neutron is measured by 2 different types of experiments as follows. (i) Measurement of a fast neutron flux by a neutron survey meter. (ii) Measurement of a radioactive decay of an activated metal by the irradiation of a thermal neutron fluence.

1. はじめに

1-1. 中性子

中性子は陽子とともに原子核を構成する粒子の一 つである.質量は陽子よりわずかに大きく,電荷を持 たない.そのためクーロン力による物質との相互作用 がなく,原子核との衝突による核反応を起こすことが できる.この核反応の種類としては,原子核と中性子 の衝突により中性子が跳ね返される散乱と原子核の中 に取り込まれる吸収などがある.図1に入射する中性 子のエネルギーに対する核反応断面積の関係を示す. 核反応の起こりやすさを表す核反応断面積は中性子の エネルギーにより異なり,一般的に中性子のエネルギ ーが高くなるほど反応断面積は小さくなる.



Figure 1. Neutron cross section^[1]

1-2. 中性子線の利用

基礎・応用研究から産業・医療利用にわたる幅広い 分野で中性子線が利用されている.例えば,中性子を 原子核に吸収させることで安定な原子核を不安定な原 子核である放射性核種に変換することができ,そこか ら放出されるγ線を測定することで元々の物質が特定 できる元素分析が挙げられる.また中性子の透過性を 用いた非破壊検査の一種であるラジオグラフィやホウ 素と中性子の核反応により生じるα粒子によってがん 細胞を内部から死滅させる方法であるがん治療 (BNCT)などがある.

しかしながら一般的に中性子を利用できる施設は限 られ原子炉や加速器,また中性子線源として利用でき る放射性同位体は非常に限られている.中性子の更な る利用普及には小規模の中性子発生装置の開発が不可 欠である.

1-3. 本研究の目的

本研究室で開発が行われている慣性静電閉じ込め型 DD 核融合装置を小型中性子線源として利用すること を目的とした研究を行っている.今回の研究では慣性 静電閉じ込め型 DD 核融合装置による DD 核融合反応 の発生確認と中性子束の測定を行った.

2. 理論と実験方法

2-1. 実験装置

慣性静電閉じ込め型DD核融合装置の概略図を図2に 示す.真空容器内部の中央にリング状の陰極を,また 真空容器外側の両端に陽極を設置している.真空容器 内を重水素ガスで満たし,電極間に高電圧を印加する ことで,放電を発生させ,重水素ガスをプラズマ化す る.生成された重水素イオンはリング状陰極の中央部

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

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

3: 日大歯学・教員: Nihon University School of Dentistry

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

に加速され、印加電圧が十数kVを超えた条件でイオン の衝突により核融合反応が起こる.重水素ガスを使用 しているためDD核融合反応による2.45MeVの中性子 が発生する.放電時の様子を図3に示す.プラズマが直 線状に形成されていることが分かる.



Figure 2. Experimental device and setup



Figure 3. State of discharge

2-2. 実験方法

霧箱の中に水素を多く含んでいる物質であるプラス チックを挿入し,装置から放出される中性子を霧箱に 照射した.水素原子核と中性子による弾性衝突で生じ る反跳陽子の飛跡の可視化をした.さらに霧箱の中の 空気中の窒素原子核と中性子による反跳窒素原子核の 観測も行った.

中性子サーベイメータにより線量を測定し,装置から出る2.45MeV中性子束を算出した.また,ポリエチレンで中性子を減速させ熱中性子にし,銀の板に照射して放射化させた.放出されるβ線をGM管で測定して熱中性子束を算出した.

3. 実験結果

霧箱を用いて反跳原子の飛跡を可視化した写真を図 4,5に示す.図4が反跳陽子,図5が反跳窒素原子核の飛 跡である.これら飛跡の反跳角と飛跡の長さから割り 出した反跳原子の速度から入射粒子の質量を算出する と,陽子とほぼ同じの1.09と求まった.このことから入 射粒子が中性子であることが確認できた.また,入射 中性子のエネルギーを反跳陽子のエネルギーと反跳角 から見積もった結果,2.47MeVとなりDD核融合反応が 起こり中性子が発生していることが確認できた.

リング状陰極に印加する電圧が-30kVで放電電流が 7mAの条件で中性子サーベイメータを使って2.45MeV 中性子束を測定した結果,中性子束は9.6cm⁻²·s⁻¹と求ま った.

また銀を使った放射化法の実験で、その生成放射能 をGM管で測定した.リング状陰極に印加する電圧が-30kVで放電電流が10mAの条件で熱中性子束が 5.73cm⁻²·s⁻¹程度であることがわかった.現在は銀で求 めた熱中性子束の整合性を確認するために他の物質を 用いた放射化の実験を行い γ 線を計測する準備を進め ている.

講演では放射化による中性子計測についての議論を 行い,実験結果のより詳細な内容を報告する予定であ る.



Figure 4. Photograph of a recoil proton



Figure 5. Photograph of a recoil nitrogen

参考文献 [1] JENDL-4.0: JAERI Nuclear Data Center