O-42

核融合反応を用いた小型中性子線源の中性子計測と利用

Neutron measurement and utilizations of the compact nuclear fusion neutron source

○竹内 章博[1]，野口 邦和[2]，渡部 政行[3]
*Akihiro Takeuchi[1]，Kunikazu Noguchi[2]，Masayuki Watanabe[3]

Abstract: The neutron is a constituent of an atomic nucleus. Since neutron has no charge, interactions of the neutron are performed only by colliding with its passed-through substance. 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 types of experiments as follows. (i) photomultiplier tube detects recoil protons by striking out of the plastic scintillator by neutron. (ii)The metal is irradiated with neutrons, it is activated, and measurement of a neutron fluence rate is conducted.

１．はじめに

1-1. 放射線

放射線は直接的または間接的に，荷電粒子のクーロン力を介し物質を電離する能力を持つ粒子または電磁波である．放射線が物質中を通過する際に，電離や励起を起こし物質になんらかの変化を与え，逆に物質は放射線に作用して，そのエネルギーや進行方向などを変える．電離とは原子の軌道電子が外に追い出され，正の電荷をもった陽イオンと，原子核に束縛されない自由電子に分離することをいう．また励起とは原子に外からエネルギーが与えられて，原子核に近い内側の軌道にある電子が，原子核から遠い外側の軌道に移り，もとの軌道に空席ができることをいう．

1-2. 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を起こさず，原子核との衝突による核反応を起こす．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．

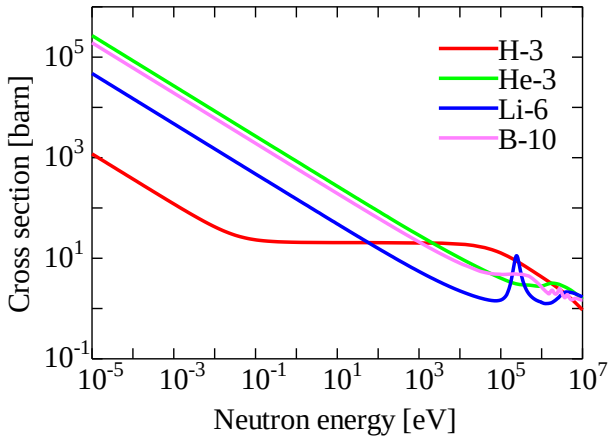

Figure 1. Neutron cross section [1]

1-3. 中性子の利用

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させ，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．最近では，原子力発電所の使用済み核燃料から出る高エネルギー放射性廃棄物を中性子による核反応で放射能を軽減させる研究も行われている．

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．中性子の利用普及には小規模の中性子発生装置の開発が望ましい．

１：日大理工・院（前）・量子：Graduate School of Quantum Science and Technology，CST., Nihon-U.
２：日大歯学・教員：Nihon University School of Dentistry
３：日大・教員・量科研：Institute of Quantum Science，Nihon-U.

1-4. 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方式核融合を用いた小型中性子線源による中性子の利用実現を目的とした研究を行っている．今回の研究では発生する中性子の計測を行い中性子線源の装置の特性を調べた．

２．理論と実験方法

2-1. 中性子の計測

放射線が物質と相互作用すると，その物質中の原子や分子内の電子を少しエネルギーの高い状態に励起する．この励起された原子や分子は10μsから1nsで励起前の状態である基底状態に戻る．この過程でエネルギーの一部を光（シンチレーション光）として放出する．シンチレーション光はとても微弱な光で肉眼では見ることはできない．しかしながら発光した光を計測することで放射線のエネルギーなどを求めることができる．中性子の場合は核反応を起こして放出される荷電粒子やγ線などを計測して間接的に中性子を計測する．主な検出方法としては反跳陽子法，放射化法などがある．反跳陽子法は中性子と水素原子との弾性衝突により生じる反跳陽子を計測する方法である．この方法にはポリビニルトルエンに2種類の蛍光物質を混ぜたプラスチックシンチレータを使用する．発生したシンチレーション光は可視光より波長の短い電磁波のため，プラスチックシンチレータの中を進むことができない．プラスチックシンチレータ内には蛍光物質が混ざっているため第一の蛍光物質がシンチレーション光を吸収して波長が340nmの紫外線に変換される．次に第二の蛍光物質がその紫外線を吸収して，もう少し波長が長い紫色の可視光に変換される．この可視光はプラスチックシンチレータの中を長い距離移動できることから，その光を検出器で検出することが可能となる．また，放射化法は中性子による物質の放射化で生成される放射性同位体の放射能を計測することで中性子フルエンス率を求めることができる計測方法である．放射化させる物質には核反応断面積が大きく，箔または直径が小さいワイヤーなどの形状を用いる．

2-2. 実験方法

プラスチックシンチレータに含まれる水素原子と中性子による弾性衝突で生じる反跳陽子によるシンチレーション光を光電子増倍管で増幅し大きな電気パルスにして検出し中性子のエネルギー計測を行う．また，金属の放射化反応により発生する放射線を計測することで中性子生成数を求める．放射化の計測実験は中性子による元素分析と同じ方法であり中性子利用の実証の第一歩となる．

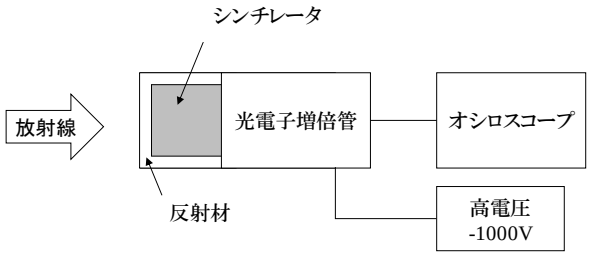

Figure 2. Experimental setup of radiation measurement

３．実験結果

反跳陽子法および放射化法における計測はシンチレーション方式を用いる．シンチレータを含む実験系概略図を図 2 に示す．まずは中性子の計測と同じ方法で標準線源を用いてγ線のスペクトルを計測した．図 3 に Cs137 を用いた放射線の計測結果を示す. Cs137 のγ線 662keV にピークを確認できた．現在，中性子のエネルギーを求める反跳陽子計測と中性子発生量を求める放射化計測による実験を進めている．

講演では中性子計測の実験結果について報告する予定である．

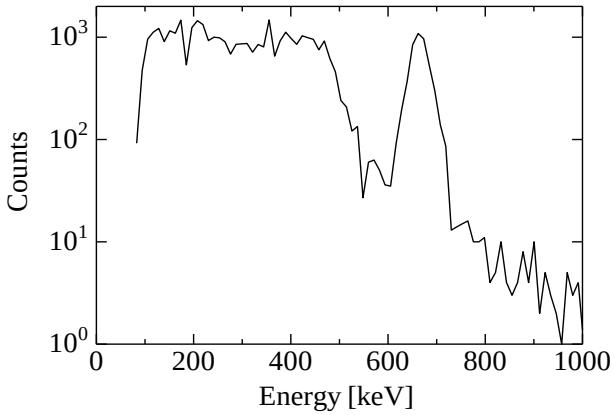

Figure 3. Cs-137 spectrum

４．参考文献

[1] JENDL-4.0：JAERI Nuclear Data Center
[2]野口正安，富永洋：「放射線応用計測　基礎から応用まで」日刊工業新聞社
[3]長哲二：「放射線計測学」南山堂
[4]西谷源展，山田勝彦，前越久：「放射線技術学シリーズ　放射線計測学（改訂 2 版）」オーム社