

熱 - 高速中性子同時計数型比例計数管、イメージングプレート、改良型 CR-39 の
中性子検出特性の研究

Characteristic Test of Thermal/Fast Neutron Simultaneously Counting
Tube, Imaging Plate and Improved CR-39 Track detector

橋本周^{1) 2)} 嶋田和真¹⁾ 飯本武志¹⁾ 小佐古敏荘¹⁾

Makoto HASHIMOTO Kazumasa Shimada Takeshi IIMOTO Toshiso KOSAKO

¹⁾東京大学 ²⁾原子力機構・大洗

熱-高速中性子同時計数型比例計数管及び改良型 CR-39 について、単色中性子に対する応答特性試験を実施した。試験結果が示した熱中性子検出反応と速中性子検出反応の比及び検出効率は、シミュレーションによる予測とよく一致した。

キーワード: 中性子比例計数管 加速器中性子 同時測定 中性子線量計 固体飛跡検出器
PHITS

1. 目的

放射線標準施設の加速器中性子照射設備を用いて、加速器中性子に対する熱-高速中性子同時計数型比例計数管及び改良型 CR-39 の応答特性の実験を行った。この計数管及び改良型 CR-39 では、熱中性子と速中性子を別々の反応で検出し、その計数値と計数比を用いて中性子線量評価を行うことを目的としている。

2. 方法

円筒状の比例計数管については半径方向から、及び改良型 CR-39 の表面の垂直方向から加速器中性子を照射し、その応答を測定する。計数管の応答は PHA で測定・記録し、CR-39 はエッチング処理後に光学顕微鏡でトラック数を計数した。照射した加速器中性子のエネルギーは、144keV、565keV、5MeV、14.8MeV の4点である。散乱中性子の影響は、シャドーコーン法で排除した。

計数管の単一エネルギー中性子に対する応答については、あらかじめ中性子検出器応答評価用モンテカルロ計算コード NRESP-ANT¹⁾²⁾で計算した。また、CR-39 の応答はモンテカルロ計算コード PHITS³⁾を用いて計算した。これらは、前段で示した方法による実験結果と比較し検証した。計数管の試験結果と計算結果の比較検証は、³He による中性子吸収反応と、反跳反応について、単位フラックスあたりの計数率比について行った。

3. 研究成果

①熱-高速中性子同時計数型比例計数管の応答評価

比例計数管の各加速器中性子に対する応答を図1～図4に示す。144keV、565keV の中性子に対する応答では2種類の反応の弁別が適切に行われたが、5MeV、14.8MeV の中性子では両反応の弁別が可能なほどに統計的に有意な中性子吸収反応のピークが得られなかった。144keV と 565keV については、前年度に比して測定回路の動作条件を改善したことで、両反応が以前よりも明確に区別された出力を得ることができた。

144keV、565keV の中性子に対する実験結果から、反跳反応のスペクトルを線形多項式で近似し、その結果から 2 種類の反応による係数を分離させた。その結果を NRESP-ANT による計算結果と比較した。(表 1 参照) 144keV の中性子に対する応答では ^3He による中性子吸収反応は比較的良い一致を示すものの、反跳反応は実験で得られた計数が少なく (主にノイズとの弁別の際の損失を受けていると考えられる)、計数率及び反応数比とも一致しているとは言い難い。565keV の中性子に対する応答では、反応毎の計数率、各反応の反応率比とも、 $\pm 50\%$ に収まっており、ほぼ妥当な評価結果を与えている。

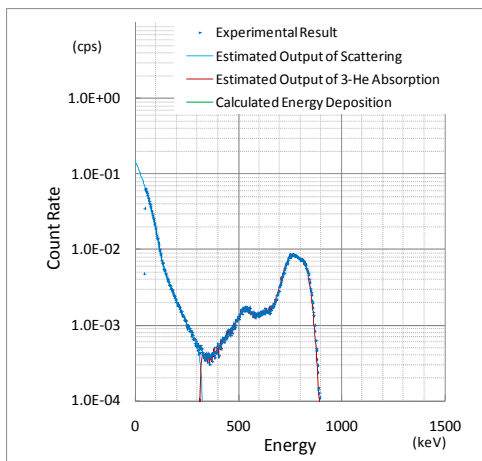


図 1 144keV 中性子に対する応答

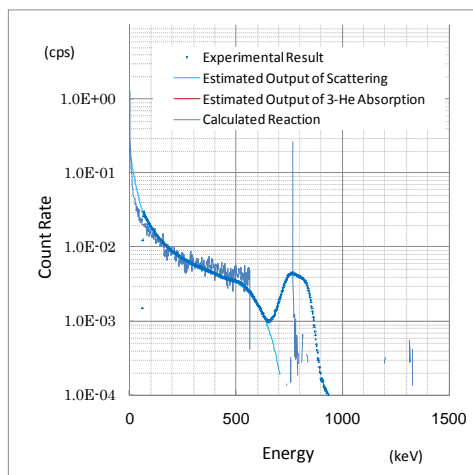


図 2 565keV 中性子に対する応答

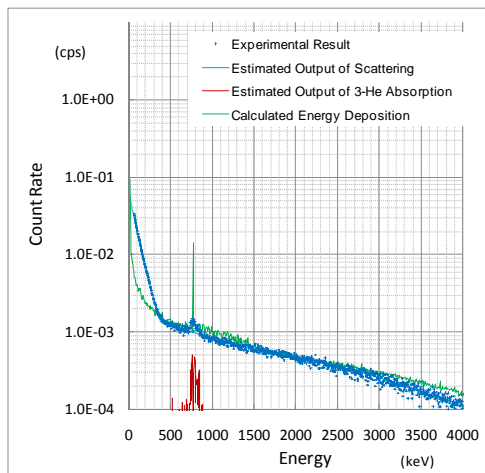


図 3 5MeV 中性子に対する応答

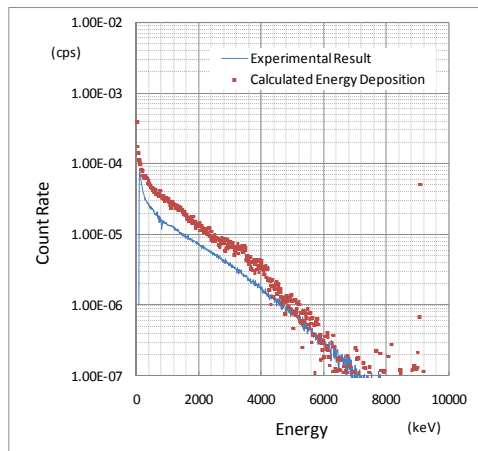


図 4 14.8MeV 中性子に対する応答

表 1. 熱-高速中性子同時計数型比例計数管の応答の実験値と計算結果の比較

Incident Neutron Energy	^3He Absorption (cps)			Scattering (cps)			Ratio (Scattering/ ^3He Absorption)		
	Exp	Cal	E/C	Exp	Cal	E/C	Exp	Cal	E/C
144keV	0.713	0.526	1.36	3.77	7.88	0.478	5.30	15.0	0.420
565keV	0.307	0.238	1.29	4.82	5.05	0.954	15.7	21.2	0.741

②改良型 CR-39 の応答評価

改良型 CR-39 の各種ラジエーターにおける中性子エネルギーごとの検出効率を表 2 に示す。それに、本学の黒鉛パイル熱中性子場において求めたポリアミドラジエーター付きの検出効率を加えて、図 5 に改良型 CR-39 の中性子エネルギーごとの検出効率を図にした。

次に、モンテカルロシミュレーションコード PHITS を用いて、検出器の単一中性子に対する応答を計算し、実験値と比較したものを図 6 に載せる。計算値はラジエーターによる検出効率の増加分（ラジエーター増感効果と呼ぶ）であり、実験値もラジエーター無しの検出効率を差し引いた値で比較した。

表 2 改良型 CR-39 の中性子エネルギーごとの検出効率の実験結果

Energy(MeV)	ポリエチレンラジエーター付き		ポリアミドラジエーター付き	
	sensitivity(Tracks/n)	error	sensitivity(Tracks/n)	error
14.8	1.31×10^{-4}	1.63×10^{-5}	7.50×10^{-5}	1.14×10^{-5}
5.0	1.40×10^{-4}	2.76×10^{-5}	1.00×10^{-4}	8.91×10^{-6}
0.565	6.05×10^{-5}	1.15×10^{-5}	6.24×10^{-5}	1.03×10^{-6}
0.144	3.20×10^{-5}	1.24×10^{-6}	3.34×10^{-5}	1.01×10^{-6}

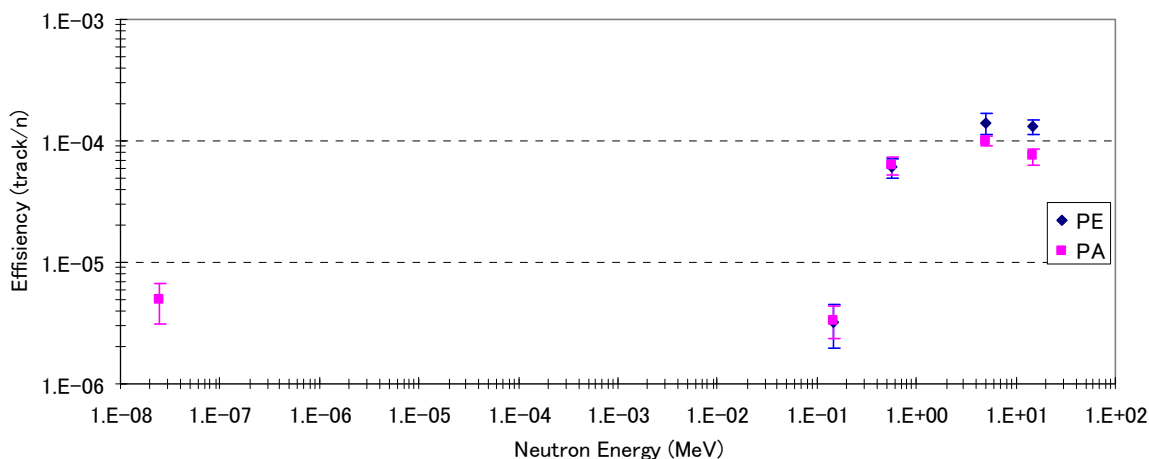


図 5 改良型 CR-39 の中性子エネルギー感度

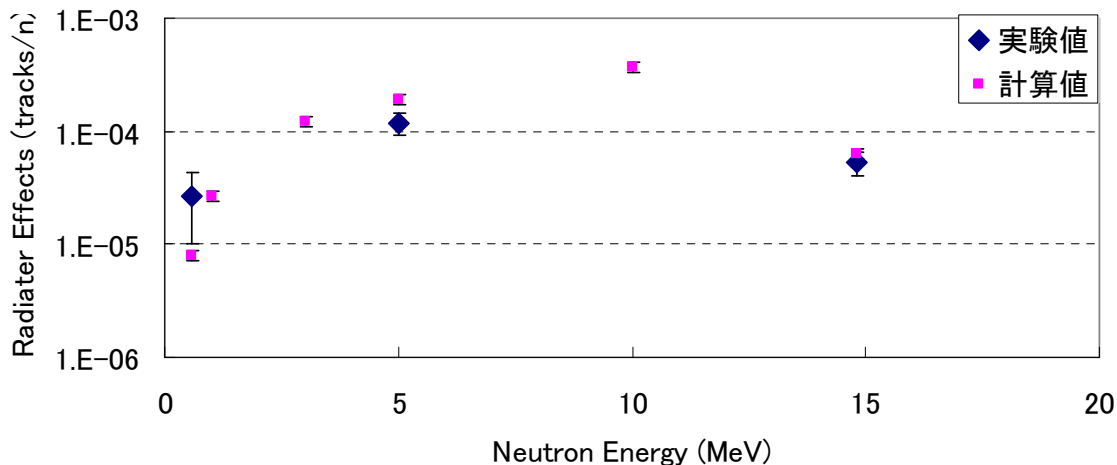


図 6 ポリエチレンによるラジエーター効果の PHITS による計算値と実験値との比較

4. 結論・考察

熱・高速中性子同時計数型比例計数管について、加速器中性子で応答評価を行い、2種類の反応が十分に得られる状況では、計算結果と試験結果は妥当な整合を示した。これより、NRESP-ANTによる応答評価は妥当な結果を示しているとみなせる。

改良型 CR-39 のラジエーター増感効果を PHTIS により再現することが出来た。しかし、144keV の中性子に対してはラジエーター増感効果が得られなかった。このため、中性子エネルギーの検出下限を調べるために、時間の都合上実験できなかった 250keV の照射を行い、評価したい。また、14.8MeV の高エネルギー中性子に対する感度を増加させるためにラジエーターの更なる改良を行う。金属を挿入した多層ラジエーター (図 7) を考案し、PHITS による計算にて増感効果の増加、及び線量当量に対する相対感度のエネルギーレスポンスの変動の低減を確認した。(図 8)

次回はこの多層ラジエーターを用いて高エネルギー中性子に対する照射実験を行いたい。

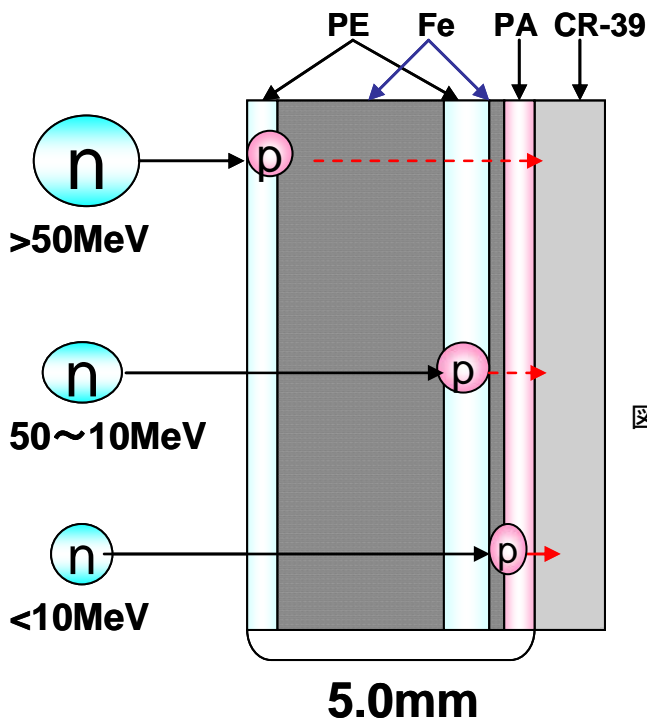


図 7 多層ラジエーターPFAm-5 の構造
10MeV に対する感度を抑えるために、ポリエチレン[PE]より水素の含有量が少ないポリアミド[PA]を代わりに第 5 層に挿入

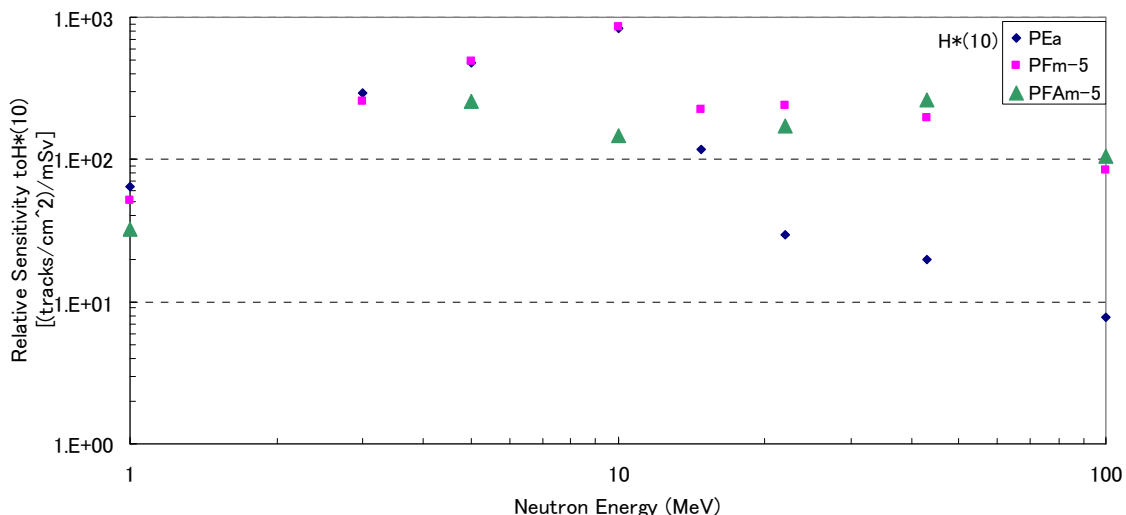


図8 多層ラジエーターPFAm-5の1cm線量当量に対する相対感度の中性子エネルギー依存性
 赤点はポリエチレンと鉄の5層構造[PFm-5]、青点は従来の厚さ1mmポリエチレン[PE1]
 緑点はポリエチレンと鉄とポリアミドの5層構造[PFAm-5]

5. 引用(参照)文献等

- 1) N.Takeda, K.Kudo, H.Toyokawa, T.Torii, M.Hashimoto, T.Sugita, G.Dietze, X.Yang, "A development of NRESPG Monte Carlo code for the calculation of neutron response function for gas counters," Nucl. Instrum. and Meth. in Phys. Res., A422, 69(1999)
- 2) X.Yang. et al. "A study of the influence of neutron scattering due to wall on the response functions of gas counters using a new version of the NRESP Monte Carlo code," Bull. Electrotechnical Laboratory , 56, 863 (1992).
- 3) Iwase, H (2002) "Development of General-Purpose Particle and Heavy Ion Transport Monte Carlo Code" *J. Nucl. Sci. Technol*, 39 1142.