

平成 22 年 5 月 28 日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2009

課題番号：19360425

研究課題名（和文）任意の応答関数を持たせることが可能な中性子測定器の開発

研究課題名（英文）Development of neutron detectors with desired response functions

研究代表者

瓜谷 章 (URITANI AKIRA)

名古屋大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：10213521

研究成果の概要（和文）：

減速材中に配置した位置敏感型中性子比例計数管に検出される中性子を、その検出位置に応じた適当な重みを掛けただけで足し合わせることにより、任意の形状の応答を持たせることに成功した。ロングカウンターについてはより平坦な応答が得られた。球形の中性子線量計については、中性子の線量換算曲線にほぼ一致する応答が得られた。

研究成果の概要（英文）：

We successfully developed two neutron counters with moderators whose desired response functions We achieved to obtain these response functions by summing up the neutron detection events after multiplying appropriate weighting factors depending on the position of neutron detection in the moderator. The long counter showed a completely flat response. The spherical neutron dose meter showed a response function that was the same to the neutron-dose conversion coefficient curve.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	5,600,000	1,680,000	7,280,000
2008 年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
2009 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
総計	10,800,000	3,240,000	14,040,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・原子力学

キーワード：中性子、ロングカウンター、応答関数、レムカウンター、位置敏感型比例計数管、減速材、中性子の減速、重み係数

1. 研究開始当初の背景

現状の中性子検出器の応答関数は、検出器やそれを囲む減速材の形状、厚さ、材質や、

適当な中性子吸収剤を加えることにより、ハードウェア的に、その応答関数の調節を行っている。このため、使用目的に合致した応答

関数を広いエネルギー範囲にわたって持たせることはほぼ不可能である。したがって、応答が比較的平坦であるといわれるロングカウンターでも、広いエネルギー範囲でみると、相当の変化がある。また、中性子線量計の場合には、エネルギー範囲によっては応答が、中性子線量換算係数を下回る、あるいは上回っており、この場合にはそれぞれ中性子線量の過小評価、過大評価を招くこととなり、中性子被ばく管理上の問題の一つである。

2. 研究の目的

本研究の目的は、使用目的に合致した応答関数を有する中性子測定器を開発することである。しかもこれをハードウェア的に実現させるのではなく、減速材中の中性子の検出位置情報を用いて、ソフトウェア的にこれを実現させるところに、本研究の新規性がある。

具体的には、ロングカウンターのエネルギー応答を完全に平坦なものにすること、球形減速材を有するレムカウンター（中性子線量計）の場合にはその応答を完全に中性子線量換算係数曲線に一致させることを目指す。これらを実現するために、従来まったく試みられることがなかった、減速材中での中性子の検出位置の情報を利用することを考えた。具体的には、減速材中に配置した位置敏感型中性子比例計数管の中性子検出位置ごとに最適な重み係数を乗じた上で加算することにより、使用目的に厳密に合致した応答関数を持たせる。

3. 研究の方法

(1) まずはじめに、ロングカウンターの応答の完全な平坦化に関する研究を進めた。まず、モンテカルロ中性子輸送コードMCNP-4Cを用いて、このロングカウンターの減速材中に配置された中性子熱中性子検出器で検出される中性子の空間分布を、多数のエネルギー点について詳細に計算した。次に、それぞれの検出位置ごとの重みを変化させ、広い中性子エネルギー範囲にわたって平坦な応答を実現する。この操作を式で表すと以下の通りである。エネルギー E_k に対して位置 i で検出される中性子の数(位置応答)を $R(i, E_k)$ 、位置 i に対する重みを W_i とすると、重み付けされた後の応答(重み付き検出効率) $S(E_k)$ は、

$$S(E_k) = \sum_i W_i \times R(i, E_k)$$

と表される。この W_i を最適化することにより、すべてのエネルギー E_k に対して同一の値を示す重み付き検出効率 $S(E_k)$ を得ることが可能となる。

(2) 次に、中性子の線量換算係数に一致する応答を有する中性子線量計の設計検討を進めた。球形減速材中に3本の熱中性子検出用比例計数管を互いが直交するように配置し、ロングカウンターの場合と同様に検出された中性子の位置に対する重みを適当につけることにより、応答関数を調整した。

4. 研究成果

(1) 図1に、長さ20cm、直径20cmの円柱のポリエチレン減速材中の中心軸に、直径1cmの ^3He 位置敏感型比例計数管を配したロングカウンターの正面から中性子を照射した際の、応答を示す(補正前)。エネルギーに対して応答(検出効率)が大きく変化しており、特にMeV領域での変化が著しい。この応答をより平坦化するために、研究の方法で述べた重みを最小自乗法を用いて算出し、上式を用いた補正を行った。補正後は、補正前に比べてより平坦な応答になっていることが見て取れる。今後の課題としては、完全な平坦応答を実現するために、ロングカウンターの形状をハードウェア的に改良することである。

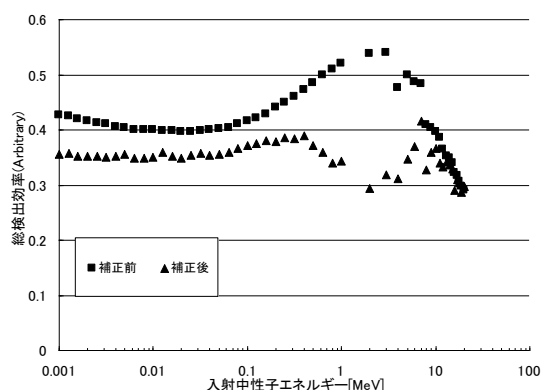


図1 ロングカウンターに対する応答の平坦化の様子

(2) 次に、応答関数が中性子線量換算係数に一致する中性子線量計の開発を試みた。直径 26cm のポリエチレン減速球内に、3本の直径 1cm の ^3He 位置敏感型比例計数管を、互いに直交するように配置した。計算により評価した本線量計の応答と、中性子線量換算係数を図 2 に示す。

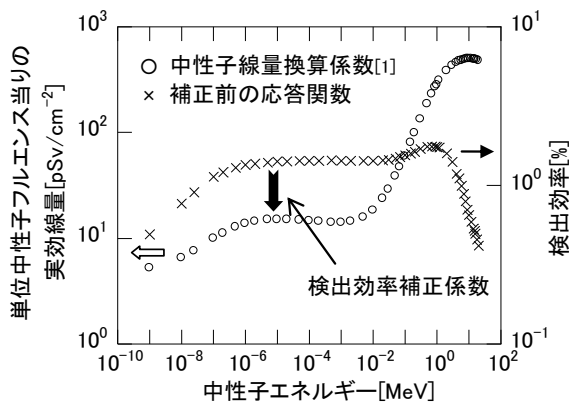


図 2 補正前の応答関数と中性子線量換算係数

補正を行う前は、両者の形状は一致していない。つぎに、ロングカウンターの場合と同様に、中性子検出位置に応じた重みをかけた上で、中性子検出数を積算する方法により、この応答関数を中性子線量換算係数に近づけることを試みた。図 3 は、一方向からの入射中性子に対して、重みを決定し、応答関数を補正した例である。全エネルギー範囲において、応答関数と中性子線量換算係数は良い一致を示している。その応答が、中性子線量換算係数とほぼ同一形状を持つ中性子線量計は、世界的にみてもこれまでに例が無い。今後の課題としては、中性子の入射に偏りがある場合に生じる応答関数と中性子線量換算係数のずれの補正方法の検討である。

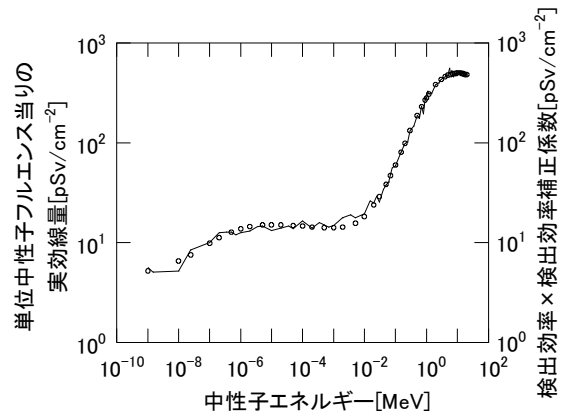


図 3 補正後の応答関数と中性子線量換算係数

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 7 件)

1. 渡辺賢一、重山武蔵、鈴木陽介、瓜谷章
“Flat-Response Neutron Detector Using the Spatial Distribution of Thermal Neutrons in the Moderator”
2010 Symposium on Radiation Measurements and Applications, 平成 22 年 5 月 25 日、米国ミシガン大学。
2. 大塚準平、渡辺賢一、瓜谷章 「平坦応答を有する中性子検出器の出力不安定性改善に関する検討」 日本原子力学会中部支部第 41 回研究発表会 平成 21 年 11 月 30 日 名古屋大学。
3. 重山武蔵、鈴木陽介、渡辺賢一、瓜谷章
「位置敏感型比例計数管を使用した一球減速型中性子検出器の開発」 日本原子力学会 2009 年春の年会 平成 21 年 3 月 24 日 東京工業大学。
4. 重山武蔵、鈴木陽介、渡辺賢一、瓜谷章
「位置敏感型比例計数管を使用した一球減速型中性子線量計の開発」 日本放射線安全管理学会第 7 回学術大会 平成 20 年 12 月 4 日 金沢歌劇座。
5. 重山武蔵、鈴木陽介、渡辺賢一、瓜谷章
「全方位型中性子線量計の開発」 2008 年日本原子力学会秋の大会 平成 20 年 9 月 5 日 高知工科大学。
6. 重山武蔵、鈴木陽介、渡辺賢一、瓜谷章
「完全平坦応答を有する単一球減速型中性子検出器の開発」 2008 年春季第 55 回応用物理学関係連合講演会 平成 20 年 3

月 30 日 日本大学理工学部船橋キャンパス.

7. 鈴木陽介、瓜谷章、渡辺賢一、重山武蔵
「完全平坦応答を有するロングカウンターの開発」 2007 年日本原子力学会秋の大会 平成 19 年 9 月 28 日 北九州国際会議場.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
○取得状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

瓜谷 章 (URITANI AKIRA)
名古屋大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：10213521

(2) 研究分担者

原野 英樹 (HARANO HIDEKI)
独立行政法人 産業技術総合研究所・計測標準研究部門・主任研究員
研究者番号：60302775

松本 哲郎 (MATSUMOTO TETSUROU)
独立行政法人 産業技術総合研究所・計測標準研究部門・研究員
研究者番号：70415793

渡辺 賢一 (WATANABE KENICHI)
名古屋大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：30324461