技術論文

球形減速材付 BF_3 比例計数管のエネルギー応答特性の評価浅野 芳裕^{*1,*}(1987年2月2日受理)
(1987年7月30日再受理)Neutron Response Functions of the Multisphere Moderated BF_3 CounterYoshihiro ASANO^{*1,*}

Presented are experimental and theoretical determinations of multisphere moderated BF_3 counter responses. Eight spheres are used with different thicknesses ranging from 1 to 14 cm of polyethylene moderators, and the central thermal neutron detector is a 2 inch diameter BF_3 counter. The counter responses were measured for thermal and monoenergetic neutrons of energies 0.051, 0.144, 0.350, 0.565, 1.20, 2.50, 5.0, 15.2 MeV. Calculations of the counter responses were also carried out by using one-dimensional discrete ordinates transport code, ANISN-JR. The experimental and theoretical results were in a good agreement except in the case for 1 cm thickness of moderator at neutron energies higher than 2.5 MeV. Energy response functions were finally estimated by using the experimental and calculated results. The measured and calculated sensitivities of the counter for ^{252}Cf neutrons also showed good agreements.

KEY WORDS : neutron response function, multisphere moderated BF_3 counter, discrete ordinates transport code, ANISN-JR

I 緒 言

原子力施設における中性子場の測定を行う場合、通常その対象とする中性子エネルギー範囲は熱領域から十数 MeV におよぶことがある。このような広いエネルギー範囲の中性子を比較的簡易に測定する場合、BONNER カウンタのようなポリエチレンなどの減速材をもった中性子検出器がよく用いられている^{1,2)}。また減速材の厚さを変化させたときの計数率の差を利用して線量当量率

や中性子エネルギースペクトル分布を測定する方法も広く採用されている。このような方法により、線量当量率や中性子エネルギースペクトル分布を測定するためには、減速材をつけた各測定器の感度を精度よく評価しておくことが重要である。

現在までに数々の減速材付中性子検出器の感度が示されている^{2~4)}。これらのうち、角度依存性の小さい球形減速材付中性子検出器の多くは検出器として $^6\text{Li}(\text{Eu})$ シンチレータや ^3He 比例計数管が使用されている。一方、取扱いが簡単で r, n 弁別に優れ、現在でも中性子サーベイメータ等として多数使用されている $^{10}\text{BF}_3$ 比例計数管を用いた減速材付中性子検出器の多くは円筒形状である。減速材が球状の場合でも $^{10}\text{BF}_3$ 比例計数管は円筒形状の場合が多く、したがって輸送計算等を行うことにより感度を求めた場合には $^{10}\text{BF}_3$ 比例計数管を球形に模擬したものが一般的である。また球形の $^{10}\text{BF}_3$ 比例計数管を用いた、同一形状の球形減速材付中性子検出器の感

^{*1} 日本原子力研究所保健物理部；茨城県那珂郡東海村 (〒319-11)

Department of Health Physics, Tokai Research Establishment, Japan Atomic Energy Research Institute; Tokai-mura, Ibaraki-ken 319-11.

^{*} 現在：原子力工学試験センター原子力安全解析所；東京都港区三田 1-4-28 (〒108)

Present Address: Institute of Nuclear Safety, Nuclear Power Engineering Test Center, 1-4-28, Mita, Minato-ku, Tokyo 108.

Counter No.	Moderator thickness ($\Phi_o - \Phi_d$)/2 (mm)	Φ_o [mm]	Φ_d [mm]
0	0 (Bare)	—	—
1	10	110 ϕ	90 ϕ
2	20	130	90
3	30	150	90
4	40	170	90
5	60	210	90
6	80	217	57
7	100	257	57
8	140	337	57

Fig. 1 Cross-sectional view and dimensions of multisphere moderated BF_3 counter.

度をモンテカルロ法によって求めた場合でも、その感度には報告者によってかなりの差が存在する^{5,6)}。したがって現在でも球形の $^{10}\text{BF}_3$ 比例計数管を内蔵した球形減速材付中性子検出器の感度を評価することは重要なことである。そこで、感度が中性子サーベイメータ等と同程度であり安定性に優れた球形の $^{10}\text{BF}_3$ 比例計数管を内蔵した厚さの異なる 8 種類の球形減速材付中性子検出器を製作し、その感度を実験および計算によって評価することとした。これらの結果について述べる。

II 実験および計算方法

製作した球形減速材付中性子検出器の断面図および寸法を Fig. 1 に示す。球形減速材付中性子検出器は中心部に 5.08 cm ϕ の球形 $^{10}\text{BF}_3$ 比例計数管（米国 LND 社、特注品）を配置し、球殻の減速材（ポリエチレン製、密度 0.948 g/cm³）を組み合わせたものである。減速材の厚さがそれぞれ 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 14 cm となるように 8 種類製作した。減速材は製作の容易さおよび $^{10}\text{BF}_3$ 比例計数管の装脱着を容易に行うために半球殻に 2 分割できる構造となっている。

熱中性子に対する球形減速材付中性子検出器の感度試験は、日本原子力研究所に設置されている測定器校正用標準熱中性子場⁷⁾を用いて実施した。標準熱中性子場は黒鉛パイルと ^{252}Cf 線源^{*2}とで構成され、本実験には黒鉛パイルから漏洩する熱中性子を利用する照射場（レムカウンタ用熱中性子照射場⁸⁾）を用いた。熱中性子フルエンス率および熱中性子フルエンス率分布は球形 $^{10}\text{BF}_3$ 比例計数管を用いて測定した。この球形 $^{10}\text{BF}_3$ 比例計数管は金箔放射化法によって値付けされている標準熱中性子場であらかじめ校正を行った⁷⁾。使用した照射場の熱中性子フルエンス率は $2.843 \times 10^2 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \pm 2.0\%$

（1986年1月1日現在）である。照射場の熱中性子フルエンス率分布を Fig. 2 に示す。50 keV 以上の単色中性子線に対する感度試験は電子技術総合研究所の 4 MV パンデグラフ型加速器による標準速中性子場⁹⁾で実施した。照射した中性子エネルギーは 51, 144, 350, 565 keV, (以上 $^7\text{Li}(p, n)^7\text{Be}$ 反応), 1.20, 2.5 MeV (以上 $\text{T}(p, n)^3\text{He}$ 反応), 5.0 MeV ($\text{D}(d, n)^3\text{He}$ 反応), 15.2 MeV ($\text{T}(d, n)^4\text{He}$ 反応) の 8 点である。このうち、中性子エネルギーが 51 keV の場合は加速陽子ビームに対して 60° 方向、他のエネルギーの場合はすべて加速ビームに対して 0° 方向で照射を行った。ターゲット～検出器間距離は 130~150 cm に設定した。中性子フルエンス量は電子技術総合研究所・標準ロングカウンタを基準モニタとして求めた。散乱中性子線は厚さ 50 cm (20 cm Fe + 30 cm ^{10}B 入りパラフィン) のシャドウコーンを用いて一次中性子線を遮断することにより評価した。この場合、各種球形減速材付中性子検出器に合ったシャドウコーンを用意することは困難であり、またシャドウコーンが存在しない場合の散乱中性子線のみに対する感度を測定することは困難である。そこでシャドウコーンがない場合で散乱中性子線のみに対する検出器の感度推定を行うために、散乱中性子線に対する感度が大きいと考えられる減速材の厚さが 1 cm の検出器（カウンタ No. 1）と 2 cm の検出器（カウンタ No. 2）に対して立体角の異なる 2 種類のシャドウコーンを用い、発生中性子のエネルギーが 5.0 MeV のときの散乱中性子に対する感度測定を行った。このとき得られた値^{*3}により、シャドウコーンがない場合の散乱中性子線のみに対する

*3 このときのシャドウコーンが存在しない場合を想定して外挿した散乱線のための推定感度とシャドウコーンを用いたときの感度比はそれぞれカウンタ No. 1 に対して 1.01, カウンタ No. 2 に対して 1.04 であった。

*2 1986年1月1日現在 $6.03 \times 10^8 \text{ Bq}$ (16.3 mCi)。

Fig. 2 Ratio of thermal neutron fluence rate on each axis to the fluence rate at the center of the irradiated field for Rem Counter calibration. X axis intersept at right angles to the graphite pile. Y axis is the horizontal one and Z axis is the vertical one.

各球形減速材付中性子検出器の感度推定を行い、実際にシャドウコーンを用いて測定した感度との差を散乱中性子線に対する球形減速材付中性子検出器の感度誤差とした。

現状では実験が困難な 50 keV 以下の熱外中性子領域の各球形減速材付中性子検出器の感度情報を得るために 1 次元輸送計算を行った。使用した計算コードは 1 次元 Sn コードである ANISN-JR (Adjoint Type)¹⁰⁾ である。断面積データライブラリーは評価済核データ ENDF/B-IV より作成された MGCL 137 群と原子数密度を用いて MAIL コード¹¹⁾ により実効的な巨視的断面積セットを作成することによって得た。なお中性子 137 群のうち熱中性子領域 (0.5 eV 以下) は 35 群である。ルジャンドル展開には P₅ 近似を用いた。また各位置における中性子フルエンスの収束判定条件を 10⁻⁴ 以下となるように計算を行った。各球形減速材付中性子検出器の感度計算値は、減速材の存在しない裸の状態の球形 ¹⁰B_F₃ 比例計数管の熱中性子感度の実測値により規格化を行った。

III 実験および計算結果

熱中性子および 50 keV 以上の単色中性子を用いて求めた各球形減速材付中性子検出器の感度および感度誤差を Table 1 の上段に示す。ここでカウンタ No. 0 の検出器は減速材の装着されていない裸の球形 ¹⁰B_F₃ 比例計数管である。

各球形減速材付中性子検出器の熱中性子に対する感度誤差には熱中性子フルエンス率の絶対測定に係る誤差、熱中性子照射場の不均一性に係る誤差および統計誤差が含まれている。このうち熱中性子フルエンス率の絶対測定に係る誤差は ±2.0% である。熱中性子照射場の不均一性に係る誤差には Fig. 2 に示されている熱中性子フルエンス率分布の球形減速材付中性子検出器の大きさに相当する範囲の変動幅を用いた。したがって球形減速材付中性子検出器の外径が大きくなるほど、場の不均一性に係る誤差の割合が高くなっている。50 keV 以上の単色中性子に対する実験誤差には照射中性子フルエンス量の絶対測定に係る誤差、散乱中性子線に対する球形減速材付中性子検出器の感度評価誤差および統計誤差を含む。この場合、発生中性子の角度分布に係る誤差は含まれていない。ここで照射中性子フルエンス量の絶対測定に係る誤差は発生中性子エネルギーによって 2~7% の範囲内で評価されている⁹⁾。また、散乱中性子線に対する各球形減速材付中性子検出器の感度評価誤差をシャドウコーンのないときの散乱中性子線のみの推定感度とシャドウコーンを用いたときの感度の差としたことにより、全体の誤差成分のなかでマイナス成分が大きくなった。

1 次元輸送計算の結果、得られた各球形減速材付中性子検出器の感度を Table 1 の下段に示す。減速材の厚さが 1cm の検出器 (カウンタ No. 1) で中性子のエネルギーが 2.5 MeV 以上の場合を除き、実験値と比較的良好一致を示した。

Table 1 Neutron sensitivities (cps/cm⁻²·s⁻¹) of multisphere moderated BF₃ counter. (Experimental normalized with experimental one at thermal neutron energy of counter No. 0.)

Neutron energy	Counter			
	0	1	2	3
Thermal (0.025 eV)	$\frac{1.42 \pm 2.0\%}{1.42}$	$\frac{1.17 \pm 7.5\%}{9.44 \times 10^{-1}}$	$\frac{8.47 \times 10^{-1} \pm 9.5\%}{7.06 \times 10^{-1}}$	$\frac{6.51 \times 10^{-1} \pm 12.5\%}{5.35 \times 10^{-1}}$
51 keV	$\frac{3.14 \times 10^{-3} \pm 67.9\%}{2.16 \times 10^{-3}}$	$\frac{2.12 \times 10^{-1} \pm 7.5\%}{1.56 \times 10^{-1}}$	$\frac{9.22 \times 10^{-1} \pm 7.2\%}{7.51 \times 10^{-1}}$	$\frac{1.58 \pm 7.7\%}{1.26}$
144 keV		$\frac{1.32 \times 10^{-1} \pm 4.0\%}{1.10 \times 10^{-1}}$	$\frac{7.21 \times 10^{-1} \pm 3.8\%}{6.45 \times 10^{-1}}$	$\frac{1.28 \pm 3.7\%}{1.19}$
350 keV		$\frac{1.18 \times 10^{-1} \pm 7.0\%}{6.88 \times 10^{-2}}$	$\frac{6.99 \times 10^{-1} \pm 6.1\%}{5.14 \times 10^{-1}}$	$\frac{1.48 \pm 5.7\%}{1.09}$
565 keV		$\frac{6.67 \times 10^{-2} \pm 3.4\%}{4.95 \times 10^{-2}}$	$\frac{4.79 \times 10^{-1} \pm 2.9\%}{4.28 \times 10^{-1}}$	$\frac{1.11 \pm 2.7\%}{9.81 \times 10^{-1}}$
1.20 MeV		$\frac{3.58 \times 10^{-2} \pm 16.8\%}{2.62 \times 10^{-2}}$	$\frac{3.18 \times 10^{-1} \pm 4.8\%}{2.80 \times 10^{-1}}$	$\frac{8.70 \times 10^{-1} \pm 4.0\%}{7.45 \times 10^{-1}}$
2.50 MeV		$\frac{2.74 \times 10^{-2} \pm 17.4\%}{1.24 \times 10^{-2}}$	$\frac{2.40 \times 10^{-1} \pm 5.0\%}{1.58 \times 10^{-1}}$	$\frac{6.75 \times 10^{-1} \pm 4.0\%}{4.80 \times 10^{-1}}$
5.0 MeV		$\frac{1.06 \times 10^{-2} \pm 6.2\%}{5.52 \times 10^{-3}}$	$\frac{9.47 \times 10^{-2} \pm 3.5\%}{8.02 \times 10^{-2}}$	$\frac{2.98 \times 10^{-1} \pm 3.3\%}{2.71 \times 10^{-1}}$
15.2 MeV			$\frac{2.35 \times 10^{-2} \pm 18.4\%}{2.38 \times 10^{-2}}$	$\frac{1.32 \times 10^{-1} \pm 5.9\%}{8.92 \times 10^{-2}}$

各球形減速材付中性子検出器の実験値と計算値の比を **Fig. 3** に示す。ここで点線で示された直線は実験値と計算値の比の平均値を示す。減速材厚が 1cm の検出器 (カウンタ No. 1) の感度の実験値と計算値の比は他の検出器の実験値と計算値の比に比較して大きな値を示した。また減速材の厚さを増すことによって実験値と計算値の比の平均値が 1.0 に近づいているように、実験値と計算値は一致する傾向にある。同様に実験値と計算値の比の変動幅は小さくなる傾向が認められる。また中性子エネルギーが 144 keV ~ 5.0 MeV の範囲で球形減速材付中性子検出器の直径が大きい場合 (カウンタ No. 6 以上), 実験値の感度が計算値に比較して中性子エネルギーが増加するとともに小さくなる傾向が認められた。

IV 実験および計算結果の検討

Table 1 に示されているように、熱中性子による感度試験の場合には比較的誤差が大きい。この原因の大半は照射場の熱中性子フルエンス率分布の不均一によるもの

であり、検出器の実効中心の考え方を導入すれば誤差は大幅に改善されるものと思われる。また減速材の厚さが薄い場合も同様に比較的誤差が大きい。この原因は、中性子エネルギーに対して減速材の厚さが薄いために検出器は十分な感度を有せず、したがって統計的誤差が増加したためである。また散乱中性子線に対する感度が高くなるため、相対的に散乱中性子線に対する感度評価誤差が高くなるためでもある。**Fig. 3** に示されているように、減速材の厚さが薄くまた中性子エネルギーが高い場合、実験値と計算値が大きく異なる理由は中性子の平均自由行程に比較して減速材などの厚さが薄いためであると考えられ、計算で使用した減速材の自己遮蔽係数等を検討する必要があると思われる。また球形減速材付中性子検出器の直径が大きい場合、中性子のエネルギーが増加するに伴い実験値の感度が計算値に比較して小さくなる傾向が存在する原因は、ターゲットから放出される発生中性子の角度分布の影響と思われる。すなわち、中性子フルエンスの絶対測定は加速ビームに対して 0° 方向

and calculated results are shown in the upper and lower columns, respectively. Calculated results are

No.	4	5	6	7	8
	$4.54 \times 10^{-1} \pm 15.5\%$	$2.30 \times 10^{-1} \pm 17.5\%$	$1.10 \times 10^{-1} \pm 17.5\%$	$5.39 \times 10^{-2} \pm 22.5\%$	$1.10 \times 10^{-2} \pm 27.5\%$
	3.95×10^{-1}	2.06×10^{-1}	1.10×10^{-1}	5.41×10^{-2}	1.24×10^{-2}
	$1.80^{+7.3}_{-9.5}\%$	$1.45^{+7.3}_{-9.4}\%$	$9.47 \times 10^{-1} \pm 7.2\%$	$4.90 \times 10^{-1} \pm 7.2\%$	$1.08 \times 10^{-1} \pm 7.2\%$
	1.45	1.21	7.89×10^{-1}	4.21×10^{-1}	1.01×10^{-1}
	$1.53^{+3.7}_{-5.2}\%$	$1.37^{+3.6}_{-5.0}\%$	$9.67 \times 10^{-1} \pm 3.5\%$	$5.15 \times 10^{-1} \pm 3.6\%$	$1.19 \times 10^{-1} \pm 3.3\%$
	1.49	1.37	9.70×10^{-1}	5.49×10^{-1}	1.39×10^{-1}
	$1.96^{+5.6}_{-8.5}\%$	$1.93^{+5.6}_{-8.0}\%$	$1.51^{+5.6}_{-7.7}\%$	$8.64 \times 10^{-1} \pm 5.5\%$	$2.64 \times 10^{-1} \pm 6.6\%$
	1.48	1.58	1.25	7.93×10^{-1}	2.32×10^{-1}
	$1.53^{+2.4}_{-3.7}\%$	$1.72^{+2.7}_{-3.7}\%$	$1.49^{+2.6}_{-3.4}\%$	$1.03^{+2.3}_{-3.4}\%$	$3.38 \times 10^{-1} \pm 2.4\%$
	1.42	1.68	1.43	9.98×10^{-1}	3.42×10^{-1}
	$1.36^{+5.4}_{-7.5}\%$	$1.79^{+3.7}_{-5.1}\%$	$1.64^{+3.7}_{-5.0}\%$	$1.33^{+4.0}_{-4.9}\%$	$6.13 \times 10^{-1} \pm 3.5\%$
	1.20	1.69	1.66	1.37	6.60×10^{-1}
	$1.13^{+3.8}_{-5.9}\%$	$1.59^{+3.7}_{-5.1}\%$	$1.58^{+3.7}_{-4.7}\%$	$1.42^{+3.6}_{-4.4}\%$	$9.09 \times 10^{-1} \pm 3.5\%$
	8.61×10^{-1}	1.43	1.57	1.52	1.03
	$5.54 \times 10^{-1} \pm 3.3\%$	$9.48 \times 10^{-1} \pm 3.4\%$	$1.08^{+3.3}_{-3.8}\%$	$1.17^{+3.3}_{-3.7}\%$	$1.01^{+3.6}_{-3.9}\%$
	5.33×10^{-1}	1.03	1.24	1.39	1.26
	$2.76 \times 10^{-1} \pm 5.1\%$	$4.92 \times 10^{-1} \pm 3.4\%$	$6.23 \times 10^{-1} \pm 2.7\%$	$7.42 \times 10^{-1} \pm 2.8\%$	$8.43 \times 10^{-1} \pm 2.3\%$
	1.91×10^{-1}	4.34×10^{-1}	5.65×10^{-1}	7.19×10^{-1}	8.54×10^{-1}

で求められており、本実験条件下では中性子エネルギーが 5.0 MeV のときで減速材厚が 14cm の場合（カウンタ No. 8）、検出器の接線方向の反応断面積は 0° 方向に比較しておよそ 6% 減少する¹²⁾。

V 検出器感度の評価ならびに ²⁵²Cf 中性子に対する適用結果

IIIおよびIV章の結果より、減速材厚が 1cm の検出器（カウンタ No. 1）の感度を除き、他の検出器の感度は実験値と、計算値に実験値と計算値の比の平均値を乗じた値が熱エネルギーから 15 MeV までの広いエネルギー領域でよく一致していることが示された。したがって各検出器の感度に対する実験値の内挿法として計算値に実験値と計算値の比の平均値を乗じた値を使用してもよいものと判断できる。また減速材厚が 1cm の検出器（カウンタ No. 1）の感度は以下のようにして求めた。実験値と計算値が比較的一致しているエネルギーが 565 keV 以下の中性子に対する感度は、他の検出器の感度を求めた

方法と同様の方法により得た。また 565 keV 以上のエネルギー領域では比較的实验値の数が多いことにより、このエネルギー領域の中性子に対する感度は実験値を内挿することにより求めた。得られた各球形減速材付中性子検出器の感度を Fig. 4 (A), (B), (C)に示す。実測値もあわせて Fig. 4 に示した。ここで裸の球形 ¹⁰BF₃ 比例計数管の感度についても減速材厚が 0cm の検出器（カウンタ No. 0）として記載した。

Fig. 4 に示された球形減速材付中性子検出器の感度の信頼性を確認する目的で、放出中性子スペクトルが比較的明らかにされている ²⁵²Cf 中性子に対する各球形減速材付中性子検出器の感度を計算で求め、実測値との比較を行った。計算では ²⁵²Cf から放出される中性子エネルギースペクトルとしてマクスウェル分布¹³⁾を使用した。実験および計算に使用した ²⁵²Cf 中性子線源の放出率は国家標準¹⁴⁾と比較測定を行うことにより ±2.5% の精度で求められている。実験は床面より 5m の高さの位置にグレーチング構造の床が付設されている 12m（幅）×

Fig. 3 Ratio of experimental and calculated results of multisphere moderated BF_3 counter response. Dashed lines indicate average ratio.

Fig. 4 (a) Energy response of multisphere moderated BF_3 counter. Counters No. 0, No. 1, and No. 2.

Fig. 4 (b) Energy response of multisphere moderated BF_3 counter. Counters No. 3, No. 4, and No. 5.

12 m (奥行)×11.2 m (高さ)の部屋の中心部に ^{252}Cf 線源を置いて行った。また、検出器と線源との距離を変化させて各検出器の計数率測定を行い、計数率が距離の逆2乗に比例することを利用して散乱中性子線による影響

の評価を行った。得られた結果を **Table 2** に示す。計算値と実測値が良い一致をしていることが **Table 2** に示されている。この結果、各球形減速材付中性子検出器の感度は高い信頼性で評価されていることが確認できた。

Table 2 The measured and calculated sensitivities of multisphere moderated BF₃ counter for ²⁵²Cf neutrons.

Counter No.	1	2	3	4	5	6	7	8
Thickness of moderator (mm)	10.0	20.0	30.0	40.0	60.0	80.0	100.0	140.0
C (Calculation)* (cps/n·cm ⁻² ·s ⁻¹)	0.039 ₉	0.30 ₆	0.79 ₉	1.2 ₃	1.5 ₉	1.5 ₃	1.2 ₈	0.73 ₀
E (Measurement) (cps/n·cm ⁻² ·s ⁻¹)	0.039 ₅	0.31 ₃	0.83 ₃	1.3 ₁	1.6 ₀	1.5 ₃	1.3 ₃	0.76 ₁
C/E	1.01	0.98	0.96	0.94	0.99	0.97	0.95	0.96

$$* C = \int R(E) f(E) dE.$$

$R(E)$: Counter response functions.

$f(E)$: Neutron energy spectrum emitted from ²⁵²Cf (Maxwellian $T=1.42$ MeV¹³⁾).

Fig. 4 (c) Energy response of multisphere moderated BF₃ counter. Counters No. 6, No. 7, and No. 8

VI 結 論

角度依存性が少なく、中性子サーベイメータ等と同程度の感度を有し、安定でかつ使用勝手の良い、球形¹⁰BF₃比例計数管を用いた8種類の球形減速材付中性子検出器を製作し、その感度を熱中性子および単色エネルギー中性子を用いて測定した。あわせて1次元輸送計算を行い、比較検討を行った。この結果、種々の感度が提案されていた¹⁰BF₃比例計数管内蔵型の球形減速材付中性子検出器の感度を十分高い精度で評価することができた。そしてこれらの検出器を放射線防護上、とくに必要と思われる熱領域から15 MeVまでの中性子エネルギー範囲の放射線管理用サーベイメータ等の校正用規準器として利用することが確認された。製作された2種類以上の本検出器を用いることにより、球形¹⁰BF₃比例計数管内

蔵型の検出器の特徴を生かした精度の高い線量当量値等を得ることができ、本検出器は放射線管理上有効であると考えられる。また、1次元 Sn コード ANISN-JR で MGCL-137 群を用い、Adjoint Type で計算を行えば、熱中性子領域から15 MeVの中性子エネルギー範囲で、よい精度で感度が得られることが確認できた。

本実験を行うに当たり、電子技術総合研究所 道川太一博士（現在：(株)日本放射線エンジニアリング）、木下民祥氏の両氏には有益なご助言と多大なるご協力をいただいた。また感度計算にあたっては日本原子力研究所プラント安全解析研究室 片倉純一博士、坂本幸夫博士の両氏、動力試験炉部 助川武則博士、(株)ヴィジブル・インフォメーションセンター 杉田武志氏の各氏にご協力をいただいた。さらに本研究を進める当たり、(財)放射線計測協会 上沢輝夫氏、日本原子力研究所保健物理部 備後一義博士をはじめ同部線量計測課の方々のご協力をいただいた。ここに深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) M. AWSCHALOM and R.S. SANNA ; Applications of bonner sphere detectors in neutron field dosimetry, *Radiat. Prot. Dosimet.*, **10**, 89(1985).
- 2) D. NACHTIGALL and G. BURGER: Dose equivalent determinations in neutron fields by means of moderator techniques, *In "Topics in Radiation Dosimetry, suppl. 1 to Radiation Dosimetry"* (ed. by Attix and Roesch), p.385 (1972), Academic Press Inc., New York.
- 3) 関口 晃他；微弱線量中性子測定の標準化に関する実験的研究，昭和54，55年度科学研究費補助金

- 研究成果報告書, 東大工学部, p.33 (1981).
- 4) Y. UWAMINO and T. NAKAMURA; Two types of multi-moderator neutron spectrometers : Gamma-ray insensitive type and high efficiency type, *Nucl. Instrum. Methods Phys Res.*, **A239**, 299 (1985).
 - 5) M.P. DHAIRYAWAN, P.S. NAGARAJAN and G. VENKATARAMAN; Response functions of spherically moderated neutron detectors. *Nucl. Instrum. Methods*, **169**, 115 (1980).
 - 6) C.E. BURGART and M.B. EMMET; Monte Carlo calculations of the response functions of Bonner Ball Neutron Detectors, ORNL-TM-3739 (1972).
 - 7) 浅野芳裕, 吉田 真; 測定器校正用熱中性子場の製作と特性試験, 保健物理, **19**, 341 (1984).
 - 8) 浅野芳裕; 標準熱中性子照射場による測定器の校正, JAERI-M-85-134, p.181 (1985).
 - 9) 道川太一; 最近の中性子標準の国際比較, 保健物理, **19**, 188 (1984).
 - 10) Ward W. ENGLE, Jr.; A users manual for ANISN, K-1693 (1963).
 - 11) Y. NAITO, S. TSURUTA, T. MATSUMURA and T. OHUCHI; MGCL-PROCESSOR : A Computer code system for processing multigroup library MGCL, JAERI-M 9396 (1981).
 - 12) H. LISKIEN; Neutron production cross sections and energies, Atomic Data & Nuclear Data Tables 15, p. 57 (1975); Nuclear Data Tables 11, p.569 (1973).
 - 13) David G. MADLAND, Raphael J. LABAUVE and J. Raytord Nix; Differential and integral comparisons of three representations of the prompt neutron spectrum for the spontaneous fission of ^{252}Cf , LA-UR-84 3557 (1984).
 - 14) 工藤勝久; Cf-252 中性子源放出率の国際相互比較の結果, 原子力誌, **27**, 829 (1985).