

シンチレーション式中性子サーベイメータ「NSN4」

“NSN4” Scintillation Based Neutron Survey Meter

乾 大佑* INUI, Daisuke

松中 允亨* MATSUNAKA, Masayuki

布宮 智也* NUNOMIYA, Tomoya

富士電機は、原子力施設、加速器施設、高度医療施設などにおいて中性子による1cm線量当量率^(注1)を測定するシンチレーション式中性子サーベイメータ「NSN4」を開発した。現在、中性子検出器に最も広く利用されている^(注2) ^3He は、自然界にはほとんど存在せず、人工的に製造されるため供給量が限定される。また、テロ対策として、放射性物質などの不審物を検査する必要性から、国際的に需要が増加したことによって ^3He を入手することができず、さらに価格も高騰するなど供給の安定性が国際情勢の影響を受けやすいといった問題がある。そこで、富士電機は、放射線が入射すると発光するシンチレータ^(注3)を検出器に採用することで、 ^3He を使用しないシンチレーション式中性子サーベイメータを製品化した。図1に外観を示す。

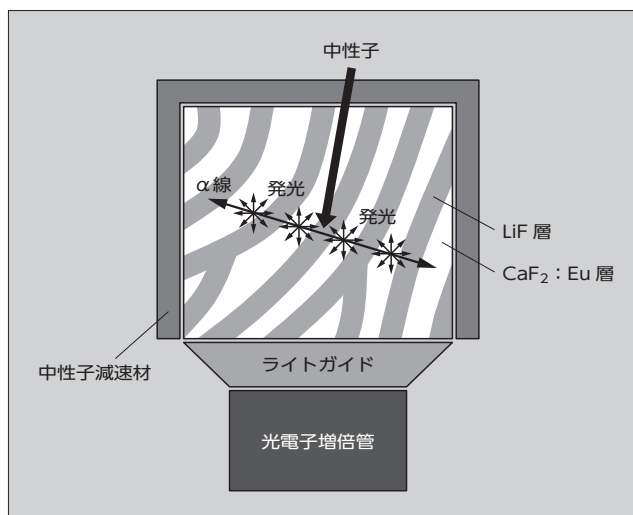


図2 「NSN4」の測定原理概念図

1 中性子測定原理

NSN4では、中性子を検出するシンチレータに、LiF/ $\text{CaF}_2:\text{Eu}$ 共結晶^{(注5)(1)}を採用した。この共結晶は、LiF層と、Euを添加した CaF_2 層を結晶内に併せ持つ構造である。共結晶に中性子が入射すると、LiF層に含まれる ^6Li が中



図1 「NSN4」

性子捕獲反応を起こすことで、荷電粒子である α 線などが発生する。発生した荷電粒子が、シンチレータであるEuを添加した CaF_2 層を通過すると、シンチレータが荷電粒子からの付与エネルギーをシンチレーション光として放出する。LiF/ $\text{CaF}_2:\text{Eu}$ 共結晶はほぼ無色透明であり、図2に概念図を示すように内部で発生した光をライトガイドなどで光電子増倍管に導入し、電気信号として取り出すことで中性子を測定する。

LiF/ $\text{CaF}_2:\text{Eu}$ 共結晶は、単位付与エネルギー当たりの発光量が大きく、光電子増倍管の受光感度に適合した発光波長を持つという特徴がある。また、化学的に安定しているため加工や取扱いが容易である。

2 「NSN4」の特徴

2.1 製品の安定供給

^3He だけでなく、 ^3He を用いた中性子検出器も供給量が限定されており、国外から輸入する必要がある。それに対し、本製品では国内で安定的に生産可能なシンチレータを検出器に採用しているため、従来製品で懸念された安定供給の課題を解決した。

2.2 軽量化

従来の ^3He を用いた製品の質量は約7kgであった。一方、共結晶内の ^6Li 含有量や共結晶サイズ、共結晶周囲の中性子減速材の構造を最適化することにより、NSN4

* 富士電機株式会社パワエレシシステム インダストリー事業本部
会社ソリューション事業部放射線システム部

* 富士電機株式会社パワエレシシステム インダストリー事業本部
東京工場放射線装置部

は約 3.7 kg まで軽量化することができた。これにより、原子力施設などで作業者の持ち運びが容易になり、使用時の利便性が向上した。

2.3 国際市場対応

中性子検出器の安定供給は国際的な課題であるため、海外からの需要が見込まれる。NSN4 は国際規格である IEC 61005：2014 に準拠すると共に、CE マーキングを取得することで、日本国外の多くの国や地域でも販売と使用ができる。また、中性子線源を用いた点検校正をユーザー単独で実施できるよう、ソフトウェアや校正手順を提供している。

3 仕様および機能

NSN4 の仕様および機能を表 1 に示す。NSN4 は JIS Z 4341：2006〔中性子用線量当量（率）サーバイメータ〕

表 1 「NSN4」の仕様および機能

項 目	仕様・機能
測定線種	中性子
測定エネルギー範囲	0.025 eV ～ 15 MeV
検出器	LiF/CaF ₂ ：Eu 共晶体
減速材	ポリエチレン
1 cm線量当量率有効測定範囲	0.1 μSv/h ～ 99.99 mSv/h
1 cm線量当量有効測定範囲	0.01 μSv ～ 99.99 mSv
線量率測定精度	±20%以内（10 μSv/hにて）
線量測定精度	±20%以内（1 μSvにて）
エネルギー依存性	ICRP Publ.74 H*（10）/φレスポンスカーブに準拠
方向依存性	±25%（0 ±90°）
線量率特性	±20%（10 μSv/h基準）
γ線感度	¹³⁷ Csにおいて10 mSv/hまで1%以下
表示器	液晶画面
表示範囲	デジタル最大5桁表示（単位自動切替） 線量率：0.00 ～ 999.99 μSv/h 1.00 ～ 99.99 mSv/h 積算線量：0.00 ～ 999.99 μSv 1.00 ～ 99.99 mSv
外部出力	USBシリアル通信
電 源	○一次電池（単三形アルカリ乾電池6本） ○二次電池（単三形Ni-MH電池6本） ○商用AC電源（ACアダプタ）
トレンド機能	記録件数：最大1,200件 記録周期：10 s、20 s、30 s、60 s、120 s、300 s、600 sから選択可能 記録内容：機体番号、測定日/時刻、線量率、積算線量、トレンド周期、補正カウント、電池電圧、高圧設定値
連続使用時間	12時間以上
使用温度範囲	-10 ～ +45℃
使用湿度範囲	35 ～ 90%（結露なきこと）
外形寸法	W150×H250×L300（mm）
質 量	約3.7 kg

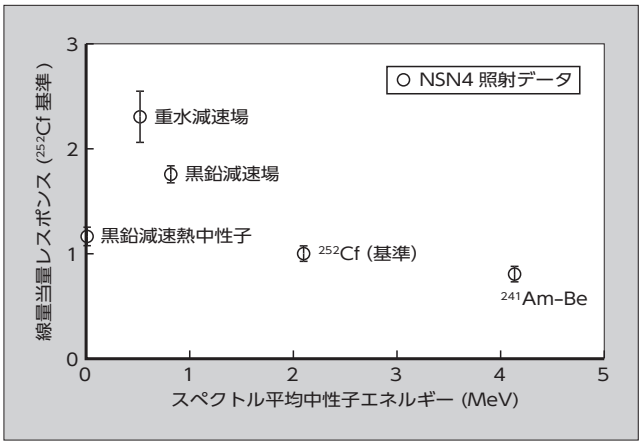


図 3 連続エネルギー中性子に対する線量当量レスポンス

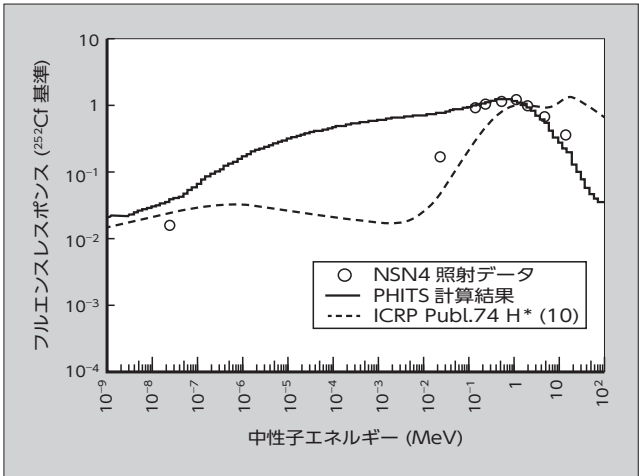


図 4 単色エネルギー中性子に対するフルエンスレスポンス

タ〕および IEC 61005：2014〔Radiation protection instrumentation-Neutron ambient dose equivalent（rate）meters〕に準拠している。図 3 に連続エネルギー中性子に対する線量当量レスポンスを、図 4 に単色エネルギー中性子に対するフルエンスレスポンスを示す。図 3 に示すとおり、黒鉛減速熱中性子が位置する低エネルギー領域を含めた、幅広いエネルギー範囲で良好なレスポンス（線量当量レスポンス 0.5 以上）が得られた。図 4 には、照射試験に使用可能な単色エネルギーの中性子場の入手性が限定されるため、実際の取得データに加え、粒子・重イオン輸送計算コード PHITS の計算結果を示す。8 桁以上の幅広いエネルギー範囲にわたり、ICRP74 のレスポンスカーブに近い応答を実現できた。

謝 辞

NSN4 の開発過程において、名古屋大学大学院工学研究科の渡辺賢一准教授、および株式会社トクヤマ殿の協力を得た。ここに感謝の意を表す。

- 〈注 1〉1 cm 線量当量（率）：ICRU 球を単一方向の面平行ビームの中性子または光子で照射したときの、入射方向に沿った入射面から主軸上 1 cm の深さにおける線量当量（率）である。なお、中性子の 1 cm 線量当量率はフルエンスに換算係数を乗じて求める。
- 〈注 2〉シンチレーション：放射線が物質中の原子または分子を励起し、この励起エネルギーが光として放出される現象、および放出される光をいう。
- 〈注 3〉 ^3He ： ^3He の同位体の一つである。大気中の存在比は、 ^4He の約 100 万分の 1 である。リチウム (^6Li) に陽子ビームを照射して得たトリチウム (^3H) のベータ崩壊（半減期 12.3 年）によって ^3He を生成する。
- 〈注 4〉シンチレータ：シンチレーションを起こす物質の総称であり、放射線検出器として広く用いられる。
- 〈注 5〉共晶体：2 成分以上を含む液体から同時に析出する 2 種以上の結晶の混合物をいう。
- 〈注 6〉レスポンス：測定値を基準値で除した値である。
- 〈注 7〉フルエンス：断面積 da を持つ球に入射する中性子数を dN としたとき、 dN を da で除した値である。
- 〈注 8〉PHITS：あらゆる物質中でのさまざまな放射線挙動を、核反応モデルや核データなどを用いて模擬するモンテカルロ

計算コードである。日本原子力研究開発機構が中心となって開発した。

参考文献

- (1) Kawaguchi, N. et al. “Fabrication and characterization of large size $^6\text{LiF}/\text{CaF}_2$: Eu eutectic composites with the ordered lamellar structure”. Nucl. Instrum. Meth. A652, 2011, p.209–211.
- (2) Sato, T. et al. “Features of Particle and Heavy Ion Transport code System (PHITS) version 3.02”. J. Nucl. Sci. Technol. 55(5–6), 2018, p.684–690.

発売時期

2020 年 1 月

お問い合わせ先

富士電機株式会社
営業本部社会ソリューション統括部営業第四部
(03) 5435-7049





＊本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。