52 実船実験による使用済燃料運搬船内の線量率分布測定と 事故時における推定

On Board Measurements of Dose Rates in a Spent Fuel Transport Vessel and Estimation at Accidents

> 海上安全研究領域 放射性物質輸送安全研究グループ *植木 紘太郎 小田野 直光 大西 世紀

I 緒言

平成 13 年 11 月、関西電力高浜発電 所において、使用済燃料運搬船「六栄 丸」による実船実験を実施し、輸送容 器周囲、本船のハッチカバー上および 操舵室等において、中性子及びガンマ 線の線量率を測定し、線量率分布の特 性を検討した。本船には高浜発電所か らむつ小河原港へ向け、6 基の NFT-14P キャスクが第 2 および第 3 船倉にそれ ぞれ3基ずつ積載されていた。

本実船実験の解析には、連続エネル ギーモンテカルロコード MCNP 4C¹⁰が用 いられた。NFT-14P キャスクの遮蔽解 析では、14 体の使用済燃料集合体を 収納したバスケットを詳細にモデル化 し、「六栄丸」に関しては、NFT-14P キ ャスクが第 2 および第 3 船倉にそれぞ れ 3 基ずつ積載されている状態を忠実 に再現する等、モンテカルロ法の利点 を十分に生かした遮蔽解析を行なっ た。

さらに、運搬船が何らかの事故に遭 遇し、キャスクに対しては中性子遮蔽 材であるレジンが喪失、運搬船に関し てはハッチカバーが損傷し、蛇紋岩コ ンクリートが喪失したものと仮定し た。そして、これまでに得れている遮 蔽性能実験データを基に、事故時の線 量率を推定した。

Ⅱ キャスク周囲の線量率分布とその 特性

本実船実験に供したキャスクは、6

基とも「NFT-14P]と称されるもので、 加圧水型原子炉の使用済燃料を 14 体 収納し、輸送することが出来る。 今回の輸送に供した 6基の NFT-14P キャスクに収納された使用済燃料の最 大燃焼度は 46,000 MWD/MTU に 達 する ものがあり、我が国の原子力発電所に おける高燃焼度化のステップ1の目標 値である 45,000 MWD/MTUは、すでに 達成されつつあると考えられる。平均 燃焼度は 40,000 MWD/MTU 前後であっ た。また、冷却日数は短いもので 694 日、長いもので 2188日であり、初期 濃縮度は 2.80 %から 4.02%とかなりの差 が見られた。それなので、遮蔽解析に 必要な使用済燃料から発生する中性子 やガンマ線の線源強度を計算する際に は、 ORIGEN コードを用い、それぞれ の集合体ごとに濃縮度、燃焼度および 冷却日数等を考慮した計算を行った。 また、各キャスクの実効増倍計数 keff に関しても、それぞれの集合体ごとに 濃縮度および燃焼度を考慮した計算を 行った。

ー例として、測定された中性子線 量率の最大値は、キャスク表面で下部 トラニオンの上部に於いて 16.5µSv/h で あり、表面から1 mでは同じく下部ト ラニオンから 1m離れた測定点で、 2.8µSv/hであった。また、ガンマ線線 量率も容器表面では下部トラニオン中 央及び底部中央が 12µSv/h、表面から 1m の位置では、底部中央で 4µSv/h を示し ており、いずれも下部方向に最大値が

集中している。

しかし、これらの測定値は、使用済 燃料輸送容器の表面及び表面から 1m における規準値である 2000µSv/h 及び 100µSv/h と比較し、中性子とガンマ線 をたし合わせても、規準値に対し、表 面で 1/75 以下、表面から 1m の位置で も 1/15 以下であり、大きな安全裕度を 有している。

Ⅲ ハッチカパー上の線量率分布とその特性

今回の輸送に供した 6基の NFT-14P 輸送容器は、第1図に示すように、「六 栄丸」の第2及び第3船倉にそれぞれ 3基ずつ積載されている。第2図に第 3船倉ハッチカバー上の中央におい て、船首一船尾方向で測定された中性 子及びガンマ線の線量率を示す。

第 2 図から、ハッチカバー上におけ る線量率分布は、全ての測定点で、ガ ンマ線の方が中性子よりも約 2 倍高い 値を示している。この要因としては、 第 1 図に示すように、各ハッチカバー には、特に中性子遮蔽を目的とした蛇 紋岩コンクリートが施工してあること があげられる。この蛇紋岩コンクリー トは普通コンクリートよりも水素が 2~3 倍くらい多く含まれているので、 特に中性子に対する遮蔽性能が優れて いる。

また、第 2 図からハッチカバー上に おける全線量率の最大値は、 0.15µSv/h である。この値は、船体表面及び表面 から 1m における規準値であるそれぞ れ 2000µSv/h 及び 100µSv/h と比較しても、 非常に大きな安全裕度があることが明 らかである。

Ⅳ モンテカルロ解析

本実船実験の解析には、緒言で述べ たように、連続エネルギーモンテカル ロコード MCNP 4C¹を用いた。解析は主 として第3船倉ハッチカバー上の中心 線上の船首 - 船尾方向で行った。これ は、本ハッチカバー内の蛇紋岩コンク リートの厚さが20cmで最も薄く、した がって、測定精度も他よりも良いから である。MCNP 4Cの計算結果の相対標 準偏差 (Fractional Standard Deviation) は、一 部をのぞき5%前後であり、モンテカ ルロ計算として信頼性の高い結果が得 られた。

Ⅴ 事故時における線量率の推定

運搬船が何らかの事故に遭遇し、積載されているキャスクに対しては中性子遮蔽材であるレジンが喪失、運搬船に関してはハッチカバーが損傷して蛇紋岩コンクリートが喪失したものと仮定し、これまでに得れている遮蔽性能の線量率を推定する。第3図に²⁵²Cf中性子線源を用いて測定した各種遮蔽材の線量率減衰特性、すなわち遮蔽性能の比較を示す"。

NF-T-14P キャスクのレジンの厚さは 16.8 cm であり、「六栄丸」の第 3 船倉 ハッチカバー内の蛇紋岩コンクリート は 20cm である。したがって、それら が完全に喪失したものとすれば、中性 子はレジンが 12.5 倍、蛇紋岩コンクリ ートが 10 倍程度増加するものと推定 される。また、ガンマ線に対しては、 文献から"、それぞれ、4 、50 倍程度 の増加が見込まれる。

参考文献

 J. F. Briesmeister, Editor, "MCNPTM-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 4C," Los Alamos National Laboratory, LA-13709-M (2000).
K. Ueki, et al., "Systematic Evaluation of Neutron Shielding Effects for Materials," Nucl. Sci. Eng., 124, 455 (1996).

3. N. M. Schaeffer, "Reactor Shielding for Nuclear Engineers," U. S. Atomic Energy Commission, (1973)



第1図第2及び第3船倉にそれぞれ3基のNFT-14Pキャスクを 積載した「六栄丸」のモンテカルロ計算モデル図



