

中性子輸送計算に基づく検出確率を用いた未知放射線源の放射能強度推定

Inverse Estimation of Unknown Radioactive Source using Detection Probability

based on Neutron Transport Calculation

*菅谷 信二¹, 遠藤 知弘¹, 山本 章夫¹

¹名古屋大学

福島第一原子力発電所の燃料デブリ取り出しにおいて、放射線源分布を事前に調査する必要がある。その手法の開発に資するため、簡単な体系にて中性子検出確率の計算と、この検出確率を用いた中性子源からの放出率の推定を行い、結果の妥当性を検討した。

キーワード：放射能強度，逆問題，ML-EM 法，MPMI 法，検出確率

1. 緒言 福島第一原子力発電所では、過酷事故を起こした原子炉の廃炉が行われている。燃料デブリ取り出し工程の詳細検討や、燃料デブリ取り出し時における未臨界の確保のため、原子炉圧力容器・格納容器(RPV/CV)内の燃料(放射性物質)の種類/分布を知る必要がある。1号機における燃料デブリ取り出し工法の方針が2018年上半期に確定される予定であり、炉内の状況を早急に把握することが求められる。文献[1]などでRPV/CV内の状況評価の取り組みが行われているが、様々な手法を用いた推定により、精度・信頼性を高める必要がある。本研究では、複数位置における放射線計測値に基づいた放射能強度の空間分布の逆推定について検討する。

2. 逆問題解法 RPV/CV内の構造や燃料デブリの分布は複雑である。また、RPV/CVの内部または周辺にて検出器を設置し、放射線を検出できる場所は限られている。このため、拘束条件(測定点)の数より未知数(放射能強度)の数が多い状況となる。この逆問題のもっともらしい解を推定する手法として①Maximum Likelihood-Expectation Maximization (ML-EM) 法、②Moore-Penrose Matrix Inverse (MPMI) 法を比較する。

ML-EM法はベイズ推定に基づき尤度を最大化する手法であり、放射能

強度推定への適用性を期待できる。ML-EM法においては(1)式の反復計

算により、放射能強度の事前推定値と放射線計数を考慮する。ここで、 A_j は計測した時間幅で線源 j から放出される放射線の数、 y_i は検出器 i で検出される放射線の数、 C_{ij} は線源 j の放射線が検出器 i に検出される確率、 I は検出器の総数、 J は線源の総数、 k はML-EM法の反復回数を表す。一方、 C_{ij} , A_j , y_i の関係は連立1次方程式で表される。劣決定系の場合でも一般化逆行列を用いると、ある1個の解が得られる。本研究ではMoore-Penrose逆行列を用いて、L2ノルム最小の解を得る。

$$A_j^{k+1} = \frac{A_j^k}{\sum_{i=1}^I C_{ij}} \sum_{i=1}^I \frac{y_i C_{ij}}{\sum_{j=1}^J C_{ij} A_j^k} \quad (1)$$

3. 計算条件 格納容器下部をある程度再現し、r方向、z方向ともに実寸の約1/10としたFig.1の体系を対象とする。格納容器底面に中性子源を2cm間隔で分割して計32個想定する。検出確率 C_{ij} は、PARTISN5.97を用いたエネルギー2群の輸送計算により求める。1つの検出器 i に対する1つの中性子源 j からの検出確率 C_{ij} は、随伴源として検出器領域 i に巨視的検出断面積 $S_{g=1}^+ = 0$, $S_{g=2}^+ = 0.01$ [1/cm]を与えた随伴輸送計算を実施し、中性子源位置 j における随伴中性子束から求められる。2群断面積は、SCALE6.2.1/NEWTを用いてENDF-B/VII.1ライブラリを基に0.625eVを境界として縮約計算する。計数の不確かさは計測時間により低減が可能として、考慮しない。

4. 結果・考察 中性子放出率密度の真値と推定値をFig.2に示す。MPMI法による推定では、L2ノルム最小の解を求めているため、全体的に真値より過小評価する傾向を示した。また、MPMI法により推定された分布には凹凸があり、検出器付近で極大値を持つ傾向がある。一方、ML-EM法の推定結果は真値により近く、比較的なだらかな分布である。実際の状況として、測定点の少なさ、燃料デブリ分布がペデスタルの内側と外側でそれぞれおよそ一定となることが十分想定されるため、分布推定にはML-EM法がより適していると考えられる。今後は、より詳細な計算を行うため、体系の複雑化、エネルギー多群化、制御棒挿入機構部の中性子源の想定を行いたい。

参考文献

- [1] “平成25年度補正予算 廃炉・汚染水対策事業費補助金(原子炉内燃料デブリ検知技術の開発) 完了報告,” http://www.ird.or.jp/_pdf/201509to10_07.pdf?v=3, International Research Institute for Nuclear Decommissioning, (2016).

*Shinji Sugaya¹, Tomohiro Endo¹ and Akio Yamamoto¹

¹NAGOYA Univ.

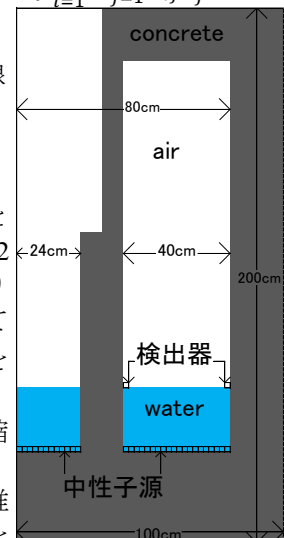


Fig. 1 体系図

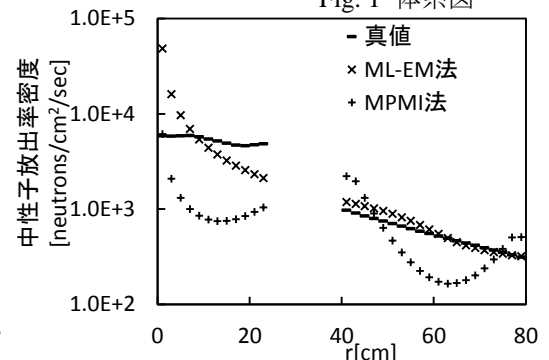


Fig. 2 中性子放出率密度