

原子炉燃料の健全性評価のための非破壊分析技術の開発

(6) 中性子と X 線イメージの複合化

Development of Nondestructive Methods Adopted for Integrity Test of Next Generation Nuclear Fuels

(6) Combination between neutron and X-ray radiograms

*加美山 隆¹, 長谷美 宏幸¹, 佐藤 博隆¹, 中島 健²

¹北海道大学大学院工学研究院, ²京都大学原子炉実験所

共鳴吸収イメージングによる物性値の空間分布の取得には膨大な測定時間を要することから、効率化のため、高空間分解能 X 線画像と低分解能中性子画像を基にした物理量マッピング法について検討を行った。

キーワード：非破壊分析法、中性子イメージング、X 線イメージング

1. 緒言

高レベル放射性廃棄物の環境負荷を低減しつつ長期的なエネルギー安定供給を図る次世代原子力システムとして、高速炉システムにおける MA 含有 TRU 燃料の利用が検討されている。MA 含有 TRU 燃料の健全性評価のために、パルス中性子・制動 X 線混在場を用いた総合的な非破壊分析システムを開発し、その実用性を評価することを目的に、京都大学原子炉実験所を中心としたグループによる 4 か年にわたる研究プロジェクトが平成 26 年度からスタートした。本プロジェクトでは幾つかの研究開発項目が挙げられているが、その中でも中性子・X 線混在場の利用として検討しているのが両者を融合した相補的な情報マッピング技術である。これは、中性子と X 線イメージングの長短の特徴を相補的に組み合わせ、効率的に高空間分解能の物理量マッピングイメージを得るという試みで、本プロジェクトで開発する非破壊分析システムを実用化に向けて前進させることが期待される。本講演では、このシステムで利用が検討されている検出器の状況並びにマッピングに用いるためのソフトウェアの開発に関して報告する。

2. 物理量のマッピング

中性子共鳴吸収分光法では熱外中性子を用いるため、一般的な中性子散乱法より高速な飛行時間分析が必要となる。これまでに真空管式のイメージンテンシファイア(I.I.)を用いた中性子/X 線イメージング検出器を試作・検討したが、出力蛍光体の緩和時間により高速な時間分解測定が難しかった。このため、2 次元のガス検出器である GEM 検出器を中性子共鳴吸収検出器の候補として、北海道大学の 45MeV 電子線形加速器施設にて検討した。この結果、GEM 検出器では高エネルギー側ほど検出効率が落ちるものの、本研究で主要な検出範囲と考えている数 100eV 程度までの熱外中性子の飛行時間分析測定には使用可能と評価された。一方、GEM 検出器では空間分解能が 1mm 程度と、最高空間分解能が 0.1mm 以下である I.I.には及ばない。I.I.で得る高解像度の X 線ラジオグラムに GEM 検出器によるイメージを重ねるため、相互情報量を用いた画像の位置合わせ法および解像度の異なるイメージのマッピング法をコード化した。図 1 は、中性子による低解像度密度分布の高解像度 X 線ラジオグラム上へのマッピングシミュレーション結果で、密度分布のぼけが改善されている。同様の実験を実際に実施し、位置合わせと高解像度マッピングの効果を確認できた。

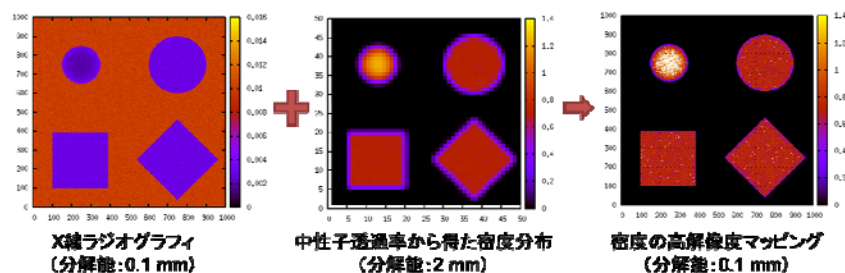


図 1. 低解像度イメージング結果の高解像度マッピングシミュレーション

出力蛍光体の緩和時間により高速な時間分解測定が難しかった。このため、2 次元のガス検出器である GEM 検出器を中性子共鳴吸収検出器の候補として、北海道大学の 45MeV 電子線形加速器施設にて検討した。この結果、GEM 検出器では高エネルギー側ほど検出効率が落ちるものの、本研究で主要な検出範囲と考えている数 100eV 程度までの熱外中性子の飛行時間分析測定には使用可能と評価された。一方、GEM 検出器では空間分解能が 1mm 程度と、最高空間分解能が 0.1mm 以下である I.I.には及ばない。I.I.で得る高解像度の X 線ラジオグラムに GEM 検出器によるイメージを重ねるため、相互情報量を用いた画像の位置合わせ法および解像度の異なるイメージのマッピング法をコード化した。図 1 は、中性子による低解像度密度分布の高解像度 X 線ラジオグラム上へのマッピングシミュレーション結果で、密度分布のぼけが改善されている。同様の実験を実際に実施し、位置合わせと高解像度マッピングの効果を確認できた。

3. 結言

中性子及び X 線イメージングの結果を組み合わせた物理量の高解像度マッピングを行うことに成功し、そのための基本的なプロセスを構築することができた。この結果は本プロジェクトで開発する非破壊分析システムに適用可能で、その実用化に向けた効率的なシステムを構築するための一助になると期待される。

謝辞

本研究は、特別会計に関する法律（エネルギー対策特別会計）に基づく文部科学省からの受託事業として、京都大学が実施した平成 27 年度「次世代原子炉燃料の健全性評価のための非破壊分析技術の開発」の成果を含む。

*Takashi Kamiyama¹, Hiroyuki Hasemi¹, Hirotaka Sato¹ and Ken Nakajima²

¹Faculty of Engineering, Hokkaido University, ²Kyoto University Research Reactor Institute