

ミュオン散乱の機械学習による溶融デブリ中の燃料重量の推定

Estimating the weight of fuel in molten debris using muon scattering and machine learning

*杉田 幸¹, 宮寺 晴夫¹, 吉岡 研一¹, 藤牧 拓郎¹

¹東芝エネルギーシステムズ (株)

重元素に対して高い感度を持つミュオン散乱法を用いて、福島第一原子力発電所(1F)から取り出される溶融デブリに含まれる核燃料の量を推定する技術を開発している。シミュレーションによりデブリ性状とミュオン散乱の関係を解析し、蓄積データを機械学習することで核燃料重量が予測可能であることを確認した。

キーワード: デブリ, 福島第一原子力発電所, 非破壊検査, 廃炉, ミュオン, 機械学習

1. 緒言 1Fの廃炉作業において、原子炉建屋内に堆積した溶融デブリの取り出しが計画されている。デブリを適切に管理するためには核燃料の含有量を把握することが重要となる。ミュオン散乱法は宇宙線ミュオンが物質を透過する際の散乱を測定することで、対象内部の情報を得る手法であり、特にウラン等の重元素に対して高い感度を持つことから、溶融デブリの測定への適用が検討されてきた[1]。ミュオン散乱の値は、入射ミュオンのエネルギーおよび物質の組成や透過距離から推定できるが、実際の測定においてはミュオンが広範囲のエネルギースペクトルを持つことや、デブリの組成が非均一であり、多様な性状が想定されることから、ミュオン散乱からデブリの情報を推定する方法の確立が課題となっていた[2]。

2. 解析 本研究では、図1に示すように燃料と構造物がランダムに混合した溶融デブリモデルを大量に作成し、モンテカルロシミュレーションコードMCNP6.1を用いて各条件におけるミュオン散乱の値を評価することで、多様なデブリ性状とミュオン散乱の関係を対応づけるデータベースを作成した。さらにこのデータを機械学習することでミュオン散乱値からデブリ中の核燃料の量を推定する予測モデルを作成した。このモデルの予測精度を評価するために、学習データとは異なるテストデータからデブリ中に含まれる核燃料量を予測した結果、図2に示すように、標準偏差が約5kgのばらつきの範囲内で予測可能であることを確認した。

3. 結論 本技術を用いることで、未知の組成のデブリに対して、ミュオン散乱の測定値から燃料重量が推定できることを確認した。実際の測定に向けては1F環境下での動作を想定した測定装置の開発が必要となるため、引き続き開発を進める。

参考文献

[1] T. Sugita, *et al.*, “Muon Tomography for Measuring Amount of Nuclear Material in Fuel Debris” ICONE26-82139(2018)

[2] T. Sugita, *et al.*, “Estimating fuel weight in molten debris using muon tomography” SNA+MC2020-3299320(2020)

*Tsukasa Sugita¹, Haruo Miyadera¹, Kenichi Yoshioka¹, Takuro Fujimaki¹

¹Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation

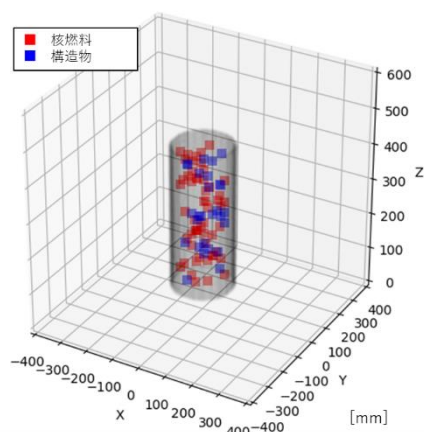


図1 溶融デブリ解析モデル

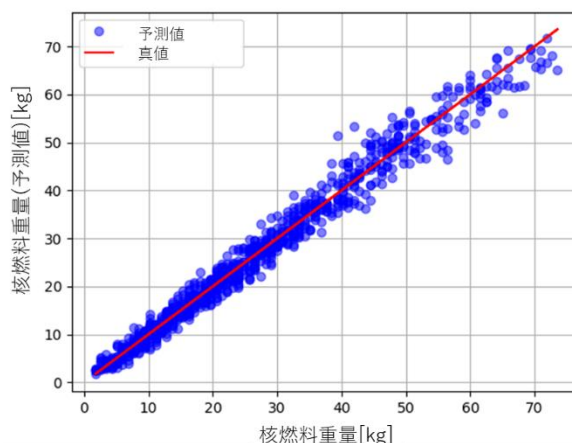


図2 デブリ中の核燃料重量予測結果