

放射線計測による炉心冷却状態監視システム

(1) 機械学習を利用した炉内状況推定

Core Cooling Monitoring System based on Radiation Detection

(1) Analysis of the Reactor Core Conditions with Machine Learning

*杉田 幸¹, 吉岡研一¹, 竹村真¹, 黒田英彦¹, 茂呂居玲¹, 小田直敬¹, 伊藤敏明¹

¹東芝エネルギーシステムズ (株)

原子炉圧力容器(RPV)外部での放射線測定により過酷事故時の炉心冷却状態を監視するシステムを開発している。事故時の放射線分布の時間変化をシミュレーションにより解析し、放射線分布と炉内状況の関係をモデル化することで過酷事故時の燃料冠水状態や燃料溶融率を推定し、炉心冷却状態を把握できることを確認した。

キーワード：炉内状況，炉心冷却状態，過酷事故，放射線計測，機械学習

1. 緒言

過酷事故時の炉内状況を把握するためには、燃料の冷却状態を監視することが重要となる。これまでに炉外の複数点で放射線を測定し、各位置での測定値から炉内状況を推定する技術開発が進められてきた[1]が、過酷事故時には水位の低下、燃料の露出および溶融などの様々な事象が同時に進行するため、複雑な状況に対応した炉内状況推定技術が必要となる。

2. 解析

本研究では、様々な炉内状況における RPV 外の放射線分布を再現するために、炉心から格納容器(PCV)までを再現した原子炉モデルを用いた二次元輸送計算を実施することで、原子炉内のガンマ線分布を解析した。燃料頂部から RPV 底部までのガンマ線を測定する条件とするために、RPV 表面付近に高さ方向に 1m 間隔で合計 10 個の検出器を並べることを想定し、事故進展に伴い水位の低下および燃料の溶融が発生した条件での、各点でのガンマ線強度の時間変化を評価した。単純化のために、溶融した燃料は全て RPV 底部に堆積すると仮定した。ガンマ線強度から炉内状況を推定するために、推定する値となる目的変数を「炉心水位」および「燃料溶融率」とし、推定のための説明変数を全 10 点の「ガンマ線強度」と設定した条件で機械学習を適用することにより、両者の関係性をモデル化した。作成したモデルを用いてガンマ線強度から炉内状況推定するために、テスト用データとして事故開始後 1 時間後に水位が低下して燃料が露出した後、全量が RPV 底部に移行するシナリオでのガンマ線強度の時間変化をシミュレーションにより作成した。このガンマ線強度の時間変化から作成したモデルを用いて炉心水位の推定(図 1)および燃料溶融率の推定(図 2)を行った結果、シナリオ上で設定した冠水状態および溶融状態が推定できることを確認した。

3. 結論

本技術を用いることに放射線計測による炉心冷却状態監視の有効性を確認した。今後さらに複雑な状況を想定したシミュレーション結果を追加することにより、様々な事象に対応したシステムの開発を進める。

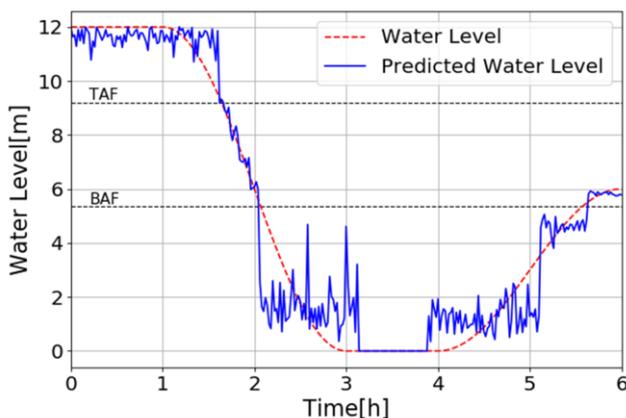


図 1. ガンマ線分布解析による炉心水位の推定

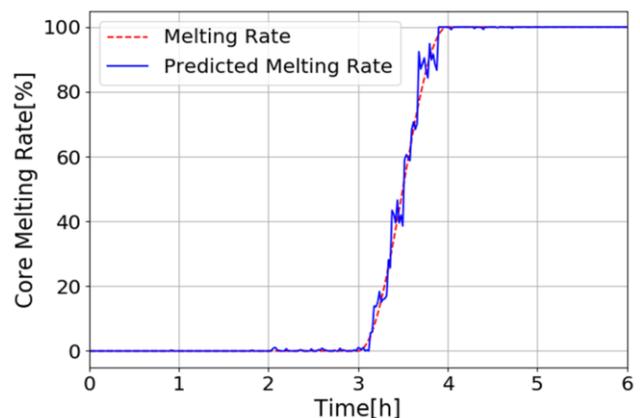


図 2. ガンマ線分布解析による炉心燃料溶融率の推定

参考文献

[1] Hampel R, *et al.*, “Water Level in Boiling Water Reactors-Measurement, Modelling, Diagnostic” Prog. Nucl. Energy 43(2018) No. 1-4, pp. 121-128

*Tsukasa Sugita¹, Kenichi Yoshioka¹, Makoto Takemura¹, Hidehiko Kuroda¹, Akira Moroi¹, Naotaka Oda¹, Toshiaki Ito¹

¹Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation