確率的安全余裕評価に向けた過酷事故解析コードの低次元モデルの開発

Development of Reduced Order Model of Severe Accident Analysis Code for Probabilistic Safety Margin Analysis

*松下 柾輝 [1]，遠藤 知弘 [1]，山本 章夫 [1]，北尾 卓己 [2]
[1]名古屋大学，[2]原子力エンジニアリング

確率的安全余裕評価に向けて、過酷事故解析コード(MAAP, RELAP/SCDAPSIM)による事故進展結果を入力パラメータの内挿により推定する低次元モデル(Reduced Order Model：ROM)を開発した。本発表では、MAAP の全交流電源喪失＋冷却機能喪失の事故シナリオにおける 1 次系圧力変化を再現する ROM の結果を示す。

キーワード：ROM，特異値分解，過酷事故解析, MAAP

1. 緒言

原子力発電所の過酷事故のリスク評価は、福島第一原子力発電所の事故以降、最重要項目となっている。近年、事故進展の時間依存性や従属性を考慮したリスク評価手法として CMMC カップリング手法が適用された[1]。文献[1]では多数の事故シナリオを計算するために、原子炉内の物理現象に対して大幅な近似を施した高速な簡易コードを用いている。リスクの定量評価のためには、精緻な物理現象の考慮が望まれるが、計算コストが問題となる。そこで本研究では、詳細な物理現象を考慮した過酷事故解析コード MAAP の解析結果を高速に再現する ROM の作成を行った。

2. 解析

MAAP の入力パラメータの 1 つである崩壊熱に対して、相対標準偏差 10 %の正規分布を仮定し、73 回ランダムサンプリングを実施した。1 サンプル当たりの解析結果は、時間ステップ 200 s で、事故発生後 29800.5 s までの 150 個のプラントパラメータの経時変化のデータとなる。サンプリングした解析結果を用いて 73×150 の時系列データの行列を作成した。この行列に対して特異値分解を用いた低ランク近似を実施した。右特異ベクトルは経時変化データの時間に関する基底を示し、左特異ベクトルと特異値の積はその基底に対応する展開係数を示す。ランダムサンプリングした崩壊熱と展開係数との相関を用いて ROM を作成した。ランダムサンプリングしていない崩壊熱での ROM による結果と MAAP による解析結果と比較した。

3.結果・考察

PWR の全交流電源喪失＋冷却機能喪失における 1 次系圧力変化について、ROM による結果と MAAP による解析結果の比較を図 1 に示す。崩壊熱の値は、核データ不確かさにより平均値に比べて 1.08 倍だけ高いとした。ROM で考慮した基底は 150 個のうち 3 個のみだが、1 次系圧力の時間変化を概ね評価できている。この理由は、考慮した基底 3 個は、MAAP による解析結果の傾向を 97%以上網羅することができるからである。しかし、圧力容器が破損し、格納容器内圧力まで 1 次系圧力が減少する部分については再現性があまり良くない。考慮する基底の数を増やせば、この部分における再現性も向上すると考えられる。

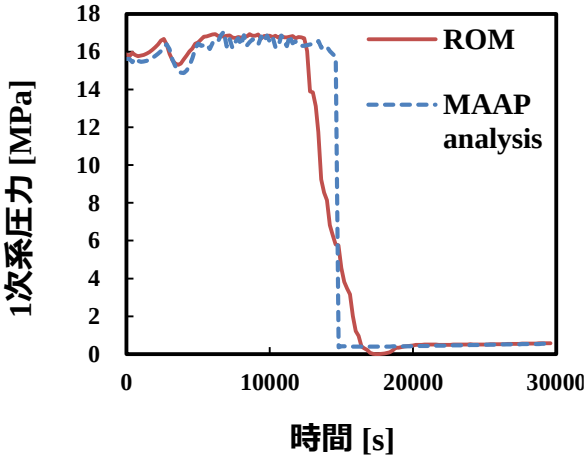

図 1 ：ROM による 1 次系圧力変化の推定

参考文献

[1] S. Otsuki, T. Endo, A. Yamamoto, “Development of Dynamic Probabilistic Risk Assessment Model for PWR Using Simplified Plant Simulation Method,” Proceedings of ICAPP 2017, Fukui and Kyoto, Japan, April 24–28, 2017 (2017). [CD-ROM]

* Masaki MATSUSHITA [1], Tomohiro ENDO [1], Akio YAMAMOTO[1], Takumi KITAO[2]
[1]Nagoya Univ., [2]Nuclear Engineering, Ltd.