

現象関連ダイアグラムを用いた高速炉レベル 2PRA 評価手法の検討

(1) ULOF 事象への適用性検討

Study on Level-2 PRA evaluation methods using phenomenological relationship diagram for fast reactors

(1) Applicability to ULOF event

*石津 朋子¹、渡辺 大貴¹、藤田 哲史¹、井上 正明¹¹原子力規制庁長官官房技術基盤グループ

高速炉のレベル 2PRA 評価手法として、現象関連ダイアグラム(以下「PRD」という。)を用いた事故シナリオの定量化手法の検討を行っている。本報告では、炉心流量低下型スクラム失敗事象(以下「ULOF 事象」という。)の炉心物質再配置及び事故後除熱過程(以下「PAMR/PAHR」という。)への適用例について報告する。
キーワード： 高速炉、ULOF 事象、現象関連ダイアグラム、事故後除熱過程

1. はじめに レベル 2PRA では、複雑な事象進展においても、結果を支配する因子の分岐条件及び分岐確率の設定はより客観性・説明性を持たせることが求められる。このため、原子力規制庁では、PRD を用いたシナリオの定量化手法を検討している。高速炉のレベル 2PRA では、事象進展に応じて炉心及び炉容器・1 次系構造の状態が時々刻々変化するうえ、再臨界が発生する場合には炉心状態が急激に変化するためシナリオを定量化することは難しいことが課題であるが、本報では ULOF 事象を対象に定量化を試みた。

2. シナリオ定量化の検討実績 除熱失敗事象では、現象の変化や事象進展がほぼ連続的であるため、プラント動特性解析等の解析結果を PRD に適用し、シナリオを定量評価した実績がある[1]。一方、ULOF 事象では、再臨界が発生すると現象が急激に変化するため定量評価が難しい。しかし、既存の解析結果のデータベースに基づき支配因子の変化に対するエネルギー変化等に注目してエネルギー伝達因子に確率密度を与えて伝搬させることにより、評価可能な見通しである[2]。

3. PRD の ULOF 事象 PAMR/PAHR 過程への適用性検討 ここでは、典型的な高速炉を対象とした ULOF 事象の PAMR/PAHR 過程における試評価の例を説明する。図 1 は、再臨界発生後に炉心物質(デブリ)が炉心から炉心支持板、炉容器底部へ移行する挙動を示している。図 2 は、炉容器内保持の観点から重要となるデブリの安定冷却性を評価するための PRD を示す。それぞれの堆積場所に存在するデブリ質量に基づき、再臨界の発生などの核的現象に基づくデブリベッド冷却性をサブ PRD として下位展開して評価した(図中の Sub-PRD N)。同時に、デブリベッド形状やポロシティ等の支配因子の不確かさを考慮して、Lipinski [3]や Gabor ら[4]のドライアウト熱流束の実験相関式等を用い、熱流動現象に基づく冷却可能性をサブ PRD として下位展開して評価した(図中の Sub-PRD T)。これらの評価結果を演算することにより、それぞれの堆積場所でのデブリの安定冷却性の確率密度分布を評価した。評価結果は安定冷却性 S についてまとめ、 S は以下のようにデブリベッドが安定冷却するまでの尤度として定義した。

$$S = 1 - \left(\frac{H}{H_d} \right)$$

ここで H は熱流束、 H_d はドライアウト熱流束を示している。試評価の結果、炉容器底部での安定冷却性の確率密度分布は、全体の約 50% で S が約 0.62~0.7 の値をとることが分かった。

4. まとめ 高速炉の ULOF 事象の PAMR/PAHR 過程を対象として、PRD を用いて安定冷却性の確率密度を定量化できる見通しを得た。

謝辞： 本PRD評価において協力と貴重な助言をいただいた独国カールスルーエ工科大学の F. Gabrelli 氏、W. Maschek 氏、M. Flad 氏、C. Matzerath Boccaccini 氏、A. Rineiski 氏に謝意を表する。

参考文献 [1]09 原熱報 0010, 平成 26 年 1 月、[2]「高速炉に対する SA 対策の評価に関する研究」、RREP-2019-1003, 平成 31 年 3 月、[3] R.J. Lipinski, Nucl. Techn. 65, April 1984、[4] J.D. Gabor, et al, Proc. Fast Reactor Safety Meeting, Beverly Hills, 1974.

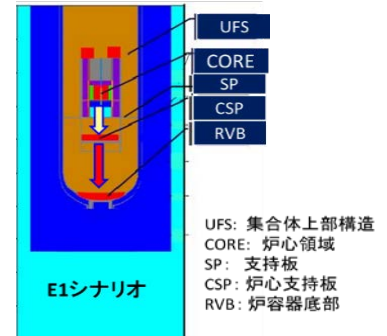


図 1 炉心物質再配置シナリオの例

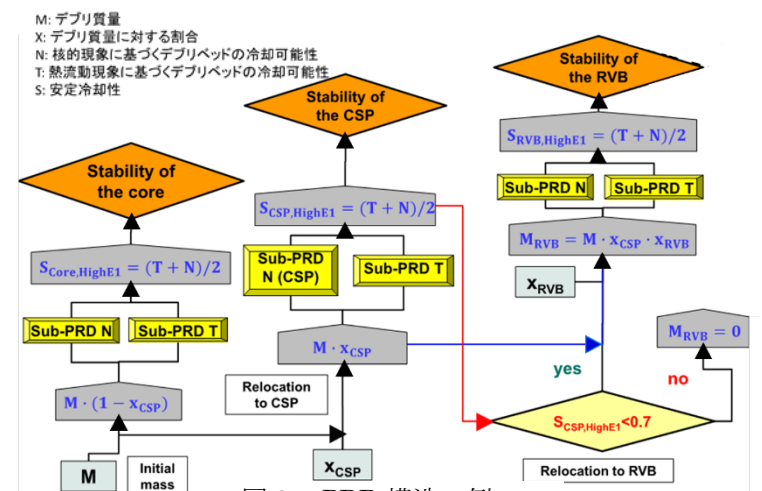


図 2 PRD 構造の例

*Tomoko Ishizu¹, Hiroki Watanabe¹, Satoshi Fujita¹, and Masaaki Inoue¹

¹Regulatory Standard and Research Department, Secretariat of Nuclear Regulation Authority(S/NRA/R)