

「常陽」の既許可申請書におけるナトリウム噴出量の評価方法

1. はじめに

「常陽」の設置変更許可申請書（平成 23 年 11 月 30 日 変更 その 19 まで、以下、「申請書」という）に記載の「仮想事故」では、運転床上へのナトリウム噴出量（230kg）を仮想して、これを入力とした運転床上でのナトリウム燃焼解析を実施し格納機能が維持されることを確認している。噴出量 230kg の仮想について、MK-II 炉心（100MW）の申請時に作成された技術資料[1]にその評価方法が記載されているため、その評価方法について調査した。

2. 技術資料の構成

技術資料[1]に記載の評価方法を整理してその概要を表 1 に示す。技術資料[1]の評価では、ナトリウム噴出量評価上重要となる評価項目を同定し、各評価項目について評価を行っている。技術資料[1]に記載の評価では CAMEL コードを用いて一つの代表的なプラグからのナトリウム噴出量を評価し、それに基づいてその他のプラグの噴出量を評価している。また、技術資料[1]では、低爆速火薬を用いた耐衝撃模擬試験の解析による CAMEL コードの保守性の確認、現実的な解析条件を用いた場合の噴出量の評価、耐衝撃試験からのスケール効果による流出量の推定が行われている。以下にこれらの概要を説明する。

3. ナトリウム噴出量の評価

- ・ ナトリウム噴出量は CAMEL コードを用いて解析する。CAMEL コードは有効破壊エネルギーをガス気泡としてモデル化し、ガス気泡の圧力によるナトリウムスラグの運動とプラグ下面への衝突によるインパクト圧、これらの圧力による炉容器の変形とプラグを固定するボルトの伸び、ボルトの伸びで生じる経路を通したナトリウムの流出を解析する（p. 249～の記述、及び p. 260 の図 9 参照）。炉容器の変形は、首下部は円筒形、炉容器側胴部は 2 次曲線の変化を仮定して解析する（p. 249～）。プラグの運動は質点の運動方程式を用いて解析する（p. 225～）。
- ・ ガス気泡の初期圧力は、再臨界事故時に発生する炉心平均のピーク圧力を用いる（p. 229）。その膨張と周囲ナトリウムからの冷却による減圧を SUGAR コードで解析した。ナトリウムの流出はガス気泡が浮上してプラグ底面に到達するまで（2.0s）続くとした（p. 229 の結論、及び p. 235, 236 の図 3 と図 4 参照）。
- ・ 解析の結果、MK-II 炉心では約 230kg のナトリウムが炉容器外に流出するとされた。

4. 耐衝撃試験解析

- ・ もんじゅ耐衝撃試験の解析を行い、CAMEL コードによる評価が安全側であることを確認する。
- ・ 火薬のエネルギーをポリトロップ変化するガスに置き換え、初期圧をパラメトリックに変化させた解析を実施し、水流出量が最も小さくなる条件で解析した場合でも実験結果より変形量、水流出量ともに大きな値となることから、CAMEL コードによる評価は安全側である（p. 254,

255)。

5. ナトリウム噴出解析条件の見直し

- ・ 申請書に記載したケースでは炉容器側胴部の炉容器厚みを実際の 4cm から内部構造物の強度を考慮して 26.9cm とし、首下部も同じ厚みを用いている。これは首下部の変形によるエネルギー吸収を小さく評価するため保守的な想定である。
- ・ 現実には首下部には内部構造物がないので、実際の 4cm の厚みとした現実的評価ケースの解析を実施した。首下部の変形によるエネルギー吸収の増加によって漏洩量は 222kg から 4kg に低減した (p. 263 § 3.1 及び p. 267 表 5, 6 参照)。

6. 耐衝撃試験からのスケール効果による流出量の推定

- ・ 耐衝撃試験と「常陽」仮想事故時のスケール効果を考慮して耐衝撃試験結果の水流出量から「常陽」のナトリウム流出量を推定すると、高々10～30kg であり、申請書記載の 230kg より一桁小さい数値となる (p. 264, 265)。

7. まとめ

- ・ CAMEL コードは耐衝撃模擬試験の解析により、十分保守側の結果を与えることを確認した。また、耐衝撃試験からのスケール効果を考慮して「常陽」のナトリウム噴出量を推定すると、CAMEL コードによるナトリウム噴出量 230kg よりも一桁小さな量となり、CAMEL コードが保守的な結果を与えることは MK-II 炉心の変更申請当時から認識されていた。
- ・ また、CAMEL コードを用いて評価したプラグからのナトリウム噴出量 230kg は原子炉容器の変形によるエネルギー吸収の観点から保守的な解析条件によって得られた値であり、現実的な解析条件を適用すれば噴出量は 4kg まで低減されることも MK-II 炉心の変更申請当時すでに認識されていた。

参考資料

- [1] 動燃事業団、「高速実験炉「常陽」出力上昇計画成果報告書」分冊 3、「JOYOPR-5S090-00 ナトリウム噴出量についての説明書」、「JOYOPR-5S091-00 耐衝撃模擬試験に基づくナトリウム噴出量の評価」、1977 年 3 月。

以上

表1 技術資料[1]に記載のナトリウム噴出量の評価方法

評価項目	評価の概要
エナジェティクスにより放出されるエネルギー	照射用炉心 100MWth 出力の場合、出力逸走により放出されるエネルギー（有効破壊エネルギーに換算）を 120MW-sec とした。
ナトリウム噴出量の評価ツール	CAMEL コード
プラグに作用する圧力	有効破壊エネルギーに対応する炉心膨張挙動を非凝縮性ガス気泡の膨張で模擬する。ガス気泡の圧力によるナトリウムスラグの運動とプラグ下面への衝突によるインパクト圧を解析する。
スラグインパクト圧	ガス気泡の圧力によるナトリウムスラグの運動とプラグ下面への衝突によるインパクト圧を解析した。
スラグインパクト後の圧力	SUGAR コードで解析。
プラグ応答	CAMEL コードにて評価。 質点の運動方程式を用いる。炉容器内圧力、重力、ボルトの抗力を考慮する。評価対象のプラグは一つ。
ナトリウム噴出量	プラグ間隙ギャップ部の曲がり部、流路断面積変化による圧力損失、摩擦損失を考慮する。
考慮する噴出流路	炉心上部機構とその他の小プラグの間隙 なお、大回転プラグと小回転プラグはフリーズメタルシールによりナトリウム漏洩は生じないと判断（p. 233 図 1）。
ナトリウム噴出時間	気泡のナトリウム中での浮力による上昇速度を評価し、ガス気泡がカバーガスに到達する時間を評価し、気泡の浮上後はナトリウム噴出が停止するとした。
主要 3 プラグ以外からのナトリウム噴出量	噴出ファクターFを算出して評価。炉心上部機構からのナトリウム噴出量を基準としてその他のプラグからの噴出量を算出する。噴出ファクターFの算出に際して考慮するのは、プラグ重量、受圧面積、ボルト長さ、全ボルト断面積、及び流路断面積。