

【保安規定】 停止機能及び冷却機能を喪失した場合の対策について

令和 2 年 11 月 11 日
原子力科学研究所

【R2. 10. 27 審査会合コメント】

停止機能と冷却機能が喪失した場合のホウ酸投入の可否、その場合の対応に係るシーケンスの想定とその対応について整理して説明すること。

原子炉の停止機能を喪失した場合に、原子炉を停止させるためには、原子炉プールへのホウ酸投入と重水ダンプ弁の手動開操作の二つの手段がある。

原子炉停止機能を喪失した場合の想定フローを図 1 に示す。原子炉停止機能を喪失（制御棒 6 本のスクラム不可及び重水ダンプ弁の操作不可）の場合には、中央制御室にて中性子計装設備（線形出力系及び安全系）により原子炉出力を確認する。制御棒が完全にスクラムしない場合でも制御棒が臨界位置からある程度炉心に挿入されれば、原子炉は未臨界になり原子炉出力が低下することから、運転員は原子炉の出力が低下することを確認する。制御棒がほとんど挿入されず、出力低下がない又は少ない場合には、原子炉プールへのホウ酸投入又は重水ダンプ弁の手動開操作により、原子炉負の反応度を添加する必要がある。ホウ酸を投入する場合には、炉心の燃料が健全であることが条件となるため、中央制御室にてプロセス監視設備により 1 次冷却系の運転状態を確認する。1 次冷却系による強制冷却運転が維持されている場合には燃料の健全性が維持されていることから、原子炉建家炉頂部からのホウ酸投入作業を実施する。一方、強制冷却運転が維持されていない場合には、燃料破損が発生し、原子炉建家炉頂部の線量が上昇することが想定されるため、ホウ酸投入作業は実施せず、原子炉建家地階カナル下室に設置されている重水ダンプ弁の手動開操作（弁の構造を図 2 に、設置場所を図 3 に示す。）を実施する。また、中央制御室にて原子炉出力、1 次冷却系の運転状態が確認できない場合には、炉心の燃料の健全性は維持できていないものとして、重水ダンプ弁の手動開操作を実施する。

減速材温度効果を考慮すると、原子炉の停止に必要な負の反応度は 0.6% $\Delta k/k$ である。停止機能及び冷却機能を同時に喪失した場合、炉心の温度は上昇する。保守的に重水タンク（外径 2.0m、高さ 1.6m）までの領域全てを炉心領域として考慮した場合、20MW 運転が継続したと仮定すると、炉心領域の減速材温度は 60 秒間で約 56.9°C 上昇する。減速材温度係数は $-2.1 \times 10^{-2}\% \Delta k/k/^\circ C$ （過剰反応度最小炉心）であることから、約 1.19% $\Delta k/k$ の負の反

度が印加されることとなり、原子炉は未臨界となって出力が低下する。出力が低下すればキセノン効果によりさらに負の反応度（最大約 5% $\Delta k/k$ 、24 時間後で約 2% $\Delta k/k$ ）が印加されるため、出力低下により炉心温度が低下し、減速材温度効果により印加された負の反応度がなくなったとしても、比較的長時間（約 1 日程度）にわたり未臨界状態が維持できることとなる。

この場合は原子炉建家地階のカナル下室に設置されている重水ダンプ弁の手動開操作により停止機能を回復させる。カナル下室には 1 次冷却材の出口側配管が設置されており、原子炉定格運転中は 1 次冷却材に含まれる N-16^{*1}（半減期 7.2 秒）の影響で 1 次冷却材配管表面が高線量となっているが、1 次冷却系が停止した場合には N-16 を含む 1 次冷却材がカナル下室の配管まで流れなくなるため、N-16 の影響が無くなり、カナル下室の線量が低くなることから十分な作業時間をとることが可能である。

重水ダンプ弁は 2 系統あり、どちらかの重水ダンプ弁が少しでも開けば重水タンク中の重水が抜けて約 7% $\Delta k/k$ の負の反応度が印加されるため、キセノン効果が無くなったとしても炉心が再び臨界状態に戻ることはない。

作業は空気呼吸器またはよう素フィルタ付きの全面マスク、アノラックスーツを装備し、警報機付きポケット線量計を装着して被ばく管理を行いながら実施する。作業着手のためには原子炉建家入口にグリーンハウスの設置、装備の装着等で 1 時間程度が見込まれる。原子炉建家内での作業時間は原子炉建家入域し原子炉建家地階カナル下室の重水ダンプ弁設置位置まで約 5 分、ダンプ弁の開操作に約 5 分、退出に約 5 分の計約 15 分程度が見込まれる。作業は運転員 2 名により実施可能である。常設のエリアモニタを確認（エリアモニタが機能喪失している場合には可搬型のサーベイメータにより確認する）し、作業エリアの空間線量が 200mSv/h 以下である場合には、重水ダンプ弁の開操作を実施する。作業中も可搬型サーベイメータにより空間線量を監視し、作業場所の空間線量が 200mSv/h 以上になった場合には作業を中断し、原子炉建家から退出する。

原子炉建家 1 階における空間線量は燃料破損の程度にもよるが、設計基準事故想定程度の破損（炉心全体の 0.4%）の場合は空气中に放出された希ガス FP を線源として評価すると約 160mSv/h となる。カナル下室は原子炉建家地階の遮へい壁及び扉で隔離された区画にあり、燃料破損による空間線量の影響は低く、1 次冷却材中に含まれる Na-24^{*2}（半減期約 15 時間）の影響が支配的となり、原子炉停止 1 時間後における空間線量は約 10mSv/h と想定される。

本作業に必要な呼吸保護具、アノラックスーツ、グリーンハウス設置に必要な資材、可搬型サーベイメータについては、保安規定の下位規定である「JRR-3 非常用防護資機材管理要領」に必要な数量、保管場所、管理の方法を定めて管理している。

以上のことから、停止機能及び冷却機能を喪失した場合に、重水ダンプ弁開操作により停止機能を回復することが可能である。

- * 1 : 原子炉運転中、炉心において1次冷却材中に含まれる O-16 が中性子を吸収することで N-16 が生成される。生成された N-16 は1次冷却材とともに冷却配管内を流れる。N-16 は短半減期 (7.2 秒) であるが高いエネルギーのガンマ線を放出するため、炉心から出た直後の1次冷却材配管周りの空間線量が高くなる。
- * 2 : 原子炉運転中、炉心において1次冷却材中に不純物として含まれる Na-23 が中性子を吸収することで Na-24 が生成される。生成された Na-24 は1次冷却材とともに冷却配管内を流れる。Na-24 の半減期は約 15 時間であり、比較的高いエネルギーのガンマ線を放出するため、1次冷却材配管周りの空間線量が高くなる。

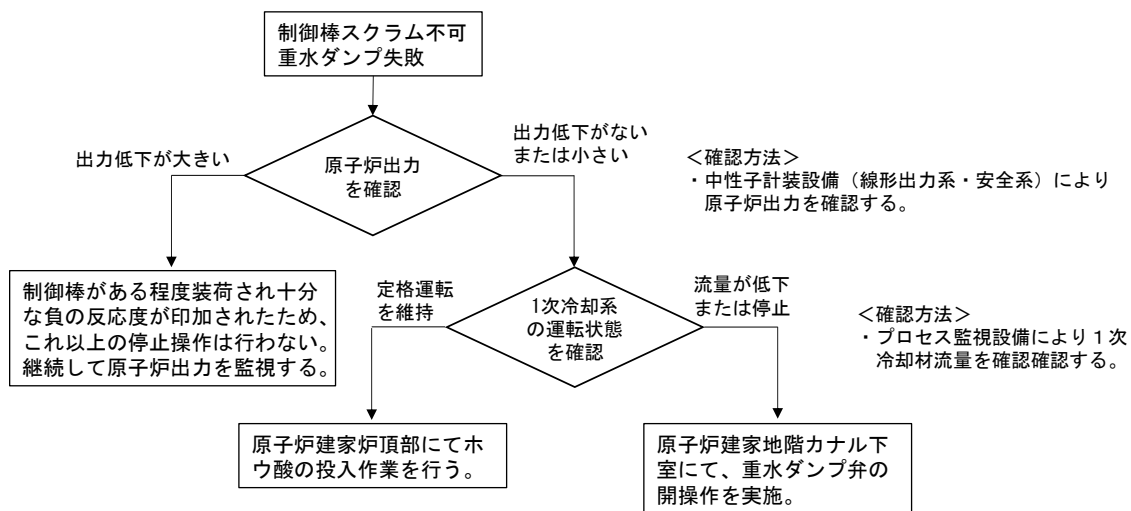
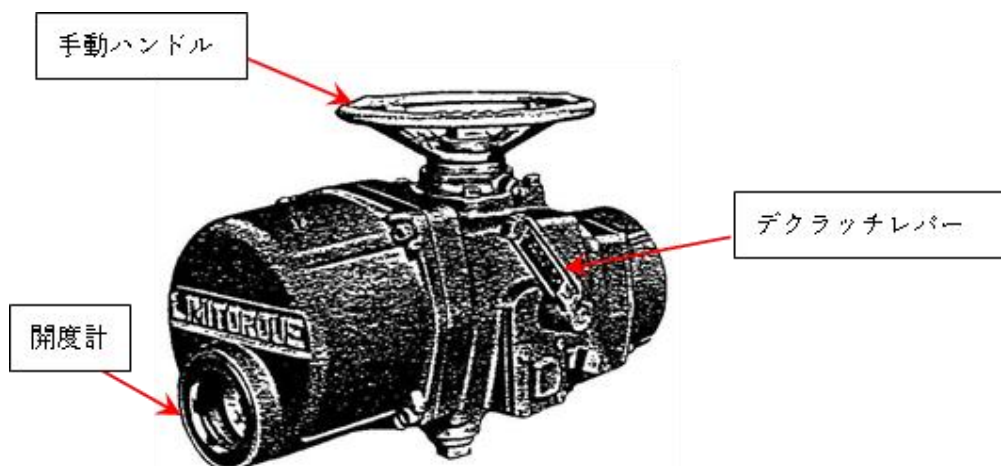


図1 スクラム失敗事象発生時想定フロー



<重水ダンプ弁の操作手順>

- ① 手動に切り替えるためデクラッチレバーを押し込む。
- ② 手動ハンドルを開方向に回す。

図2 重水ダンプ弁概要図

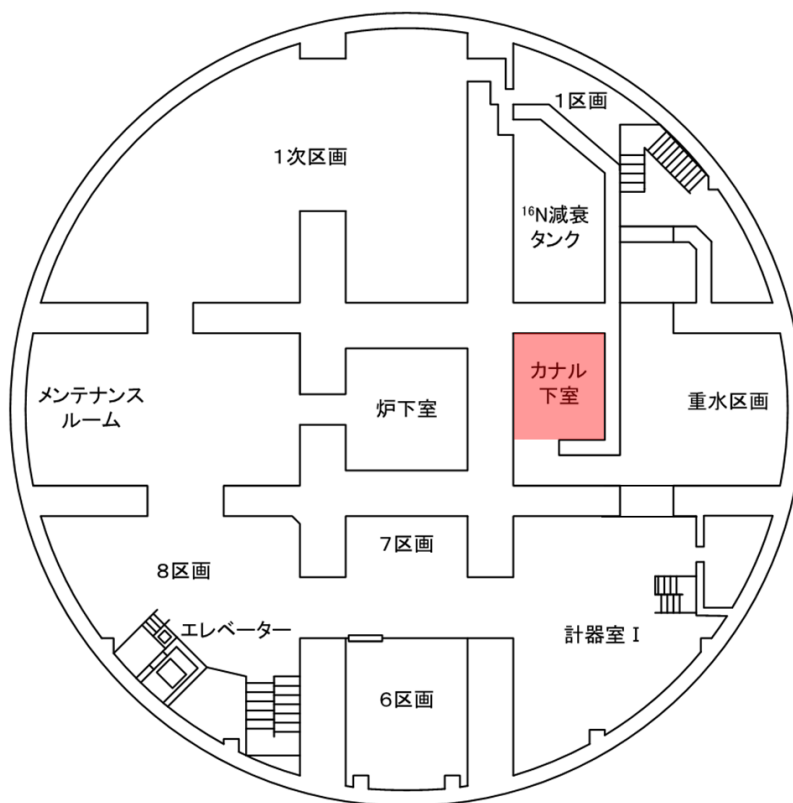


図3 重水ダンプ弁設置場所（原子炉建家地階カナル下室）

JRR-3 における原子炉停止後のキセノン効果について

原子炉停止後における核分裂生成物（主に Xe）の毒物効果（キセノン効果）については、原子炉停止後の Xe135 及び Sm149 の濃度から反応度を計算できる。JRR-3 における原子炉停止後の Xe ビルドアップによる反応度変化について図 4 に示す。Xe 反応度は原子炉停止直後の約 3.5% $\Delta k/k$ から時間経過とともに上昇し、停止から 9 時間後には最大で約 8.5% $\Delta k/k$ となり約 5% $\Delta k/k$ 増加する。その後、Xe 反応度は徐々に減少し、停止から 24 時間後には約 5.5% $\Delta k/k$ となり、原子炉停止直後からの増加量は約 2% $\Delta k/k$ となる。

以上のことから、原子炉停止後 24 時間はキセノン効果による負の反応度の印加により、原子炉の未臨界状態が維持される。

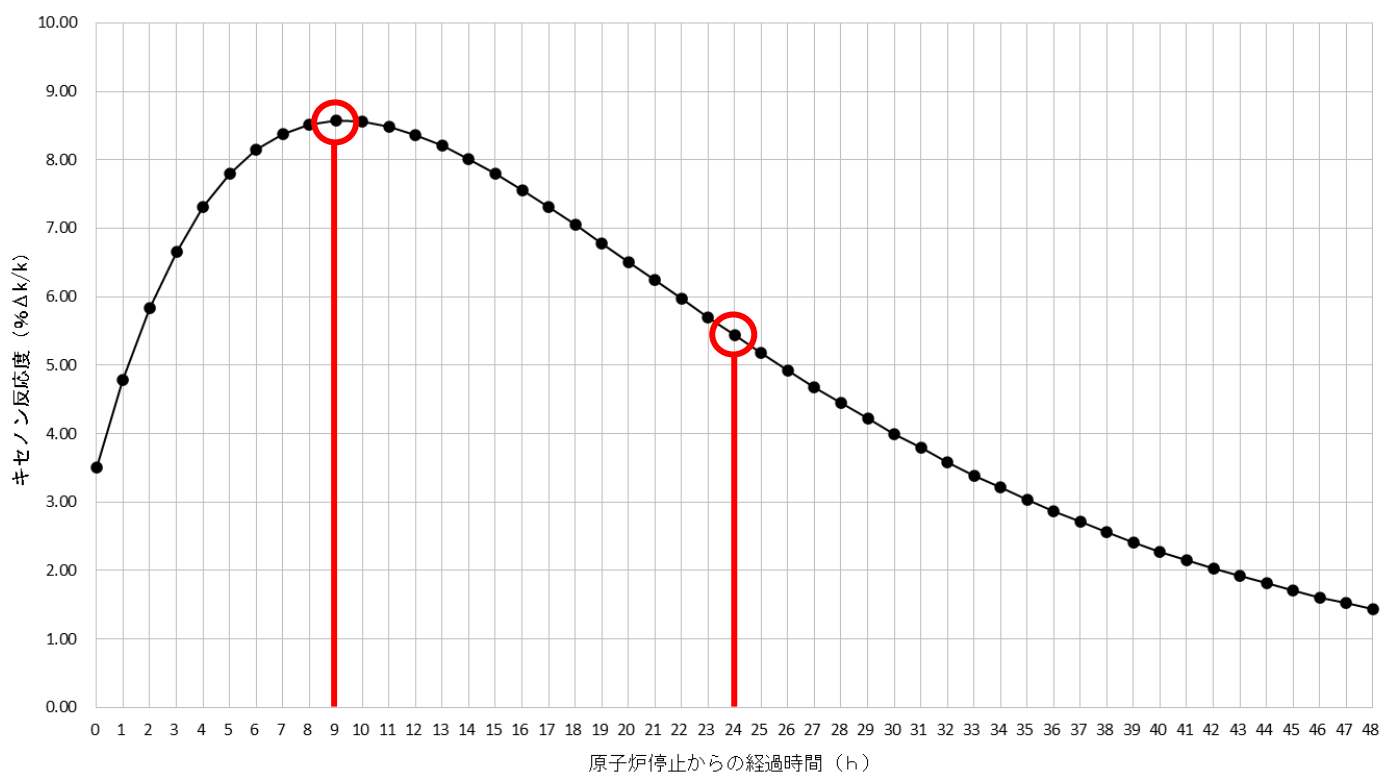


図 4 原子炉停止後の Xe ビルドアップによる反応度変化