

検討中の案

核燃料施設のROPについて

核燃料施設の特徴に着目したリスク評価の視点から

令和2年2月6日

はじめに

○原子力規制検査(ROP)はリスクインフォームドパフォーマンスベースの検査であり、実用炉ではPRAに基づく炉心損傷頻度への影響の大きい設備を安全重要度が高いとして検査及び評価を行う。

○一方、核燃料施設の原子力規制検査においては、実用炉のような炉心損傷頻度という指標のない中で試運用を行ってきた。このため、4月施行にあたり、核燃料施設のリスクとしてどのような指標を用いるかの整理が必要となっている。今回の報告では米国のROPの基本的な考え方に立ち返ることで、核燃料施設のROPの整理を行った。

目次

1. ROPとは
(リスクインフォームドパフォーマンスベースとは)
2. SDP評価及びSL評価の特徴
3. 実用炉のリスクとは
(なぜ実用炉は炉心損傷頻度を用いるのか)
4. 核燃料施設のリスクとは
5. パフォーマンスとは
6. 人と環境へ与える影響とは
7. リスクとパフォーマンスの関係
8. 核燃料施設のSDP評価手法
9. まとめ

1. ROPとは

(リスクインフォームドパフォーマンスベースとは)

○リスク情報に基づき重要度の高い設備や活動を重点的に確認する。実用炉ではPRAを用いて重要度を評価する。

○具体的には、事業者が実施する重要度の高い設備に対する活動を確認する。また、不適合を未然に防ぐ活動(CAP活動)を確認する。

○規制庁が行う評価においても同様に重要度の高い設備や活動の劣化に対してはより厳しい評価を行う。

2. SDP評価及びSL評価の特徴

SDP評価の特徴

- リスク情報に基づく評価である。
- 発生後の事象だけでなく、発生前もしくは発生していても未だ影響が小さい段階での評価が可能。
- 事業者が未然に防ぐことができたかどうかの視点。

SL評価の特徴

- 起きてしまった事象に対する評価。
例：法令違反、保安規定違反など。

検査で発見されるのは発生後の事象がほとんどであることから、SDP評価とSL評価の両方を実施。

3. 実用炉のリスクとは

(なぜ実用炉は炉心損傷頻度を用いるのか)

○実用炉のPRA手法の整備状況は、レベル3(公衆へ与える影響)まで至っておらず、事象が拡大する前の段階のレベル1(炉心損傷確率)及びレベル1.5(格納容器破損確率)にとどまっている状況。

○再処理施設の同様な解析手法では100テラベクレルのCs137が建屋外へ放出される確率を用いる予定。

評価に用いるリスクは本来、人と環境へ与える影響に与えるリスクである。

4. 核燃料施設のリスクとは

核燃料施設の特徴

○核燃料施設では核燃料物質と人(放射線業務従事者)との距離が近い。

○実用炉では配管から漏れるのは冷却水だが、核燃料施設では核燃料物質そのものである。



核燃料物質の潜在的なリスクに着目

4. 核燃料施設のリスクとは

- 人と環境に与える影響度は、UよりPuの方が大きい。
- 液体は、臨界、漏れ、取扱い、水素発生リスクがある。
- 気体及び粉末は飛散するため、吸入のリスクがある。
- 固体は、取扱いが容易で飛散のリスクが低い。
- 高レベル廃棄物は線量が高く被ばくのリスクが高い。発熱している。

核燃料物質の潜在的なリスクの重み付け

	液体	気体(粉末)	固体
Pu	高5	高4	中3
U:濃縮度5%以上	高4	中3	中2
U:濃縮度5%未満	中3	中2	低1
高レベル廃棄物	高5	高4	中3
低レベル廃棄物	中3	中2	低1

上記に加えて、核燃料物質の化学形、温度、圧力、化学的毒性、有機溶媒の混在等が人と環境へ与える影響を考慮する。

4. 核燃料施設のリスクとは

施設の特徴

工場

再処理工場、MOX燃料工場、ウラン燃料工場、ウラン濃縮工場、第二開発室

○工程毎に核燃料物質の性状が変化することに伴い、核燃料物質が人と環境へ与える影響も変化する。

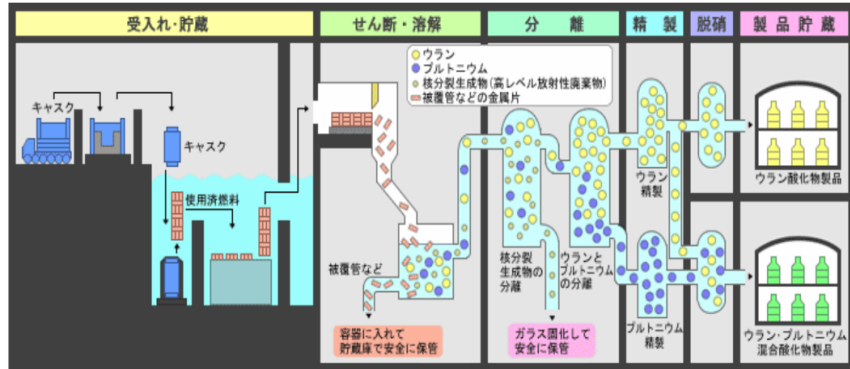
○グローブボックスを介した接触やMOX粉末缶の台車による移動など、人と核燃料物質との距離が近い。

貯蔵施設

使用済燃料貯蔵施設(使用済燃料の中間貯蔵施設)、廃棄物管理施設(高レベル固体廃棄物の中間貯蔵施設)、廃棄物埋設施設(低レベル固体廃棄物及び高レベル固体廃棄物の最終処分)

○核燃料物質を安定な状態で保管する。

再処理工場のリスク評価例



工程毎にリスクを評価

再処理工場

	核燃料物質等の性状	重要度
使用済燃料プール	使用済燃料	低 1
せん断工程	使用済燃料 (粉末)	中 2
溶解工程	使用済燃料 (液体) 温度 高	3 1 合計 高 4
清澄工程	使用済燃料 (液体)	中 3
分離工程	Pu+U 溶液 TBP 含む 温度 高 保守的に Pu:U=1:1 と仮定	(5+3)/2=4 1 1 合計 極高 6
精製工程	Pu 溶液 Pu 溶液 (蒸発缶) U 溶液 U 溶液 (蒸発缶)	高 5 5+1(温度)=極高 6 中 3 3+1(温度)=高 4
ウラン脱硝工程	U 液 温度高	3 1 合計 高 4
MOX 脱硝工程	MOX 液 温度高	4 1 4+1=高 5
貯蔵	U 粉末 MOX 粉末	中 2 中 3
高レベル廃棄物の工程	高レベル廃液 高レベル廃液 (蒸発缶) 高レベル固化体	高 5 極高 6 中 3
低レベル廃棄物の工程	低レベル廃液 低レベル廃液 (蒸発缶) 低レベル固化体	中 3 高 4 低 1

再処理工場においては、使用済燃料、使用済燃料 (粉末)、使用済燃料 (液体)、Pu 溶液、U 溶液、MOX 溶液、MOX 粉末、U 粉末、高レベル廃液、高レベル固化体、低レベル廃液、低レベル固化体の 12 個の核燃料物質の状態が存在する。

MOX燃料工場のリスク評価例

MOX 燃料工場




	核燃料物質等の性状	重要度
MOX 粉末受け入れ工程	MOX 粉末	中 3
粉末造粒工程	MOX 粉末	中 3
グリーンペレット成形工程	MOX ペレット	中 2
焼結工程	MOX ペレット 温度高い 水素雰囲気	2 1 1 合計 高 4
研削工程（乾式）	MOX ペレット（粉末含む）	中 3
ペレット検査	MOX ペレット	中 2
燃料棒へ装荷	MOX ペレット	中 2
端栓溶接から燃料体組立	MOX 燃料棒	低 1

MOX 燃料加工工場においては、MOX 粉末、MOX ペレット、MOX 燃料棒の 3 つの核燃料物質の状態が存在する。

ウラン燃料工場のリスク評価例

ウラン燃料工場（例）



	核燃料物質等の性状	重要度
ウラン粉末受け入れ工程	U 粉末	中 2
粉末造粒工程	U 粉末	中 2
グリーンペレット成形工程	U ペレット	低 1
焼結工程	U ペレット 温度高い 水素雰囲気	1 1 1 合計 中 3
研削工程（乾式）	U ペレット（粉末含む）	中 2
ペレット検査	U ペレット	低 1
燃料棒装荷	U ペレット	低 1
端栓溶接から燃料体組立	U 燃料棒	低 0

ウラン燃料加工工場においては、U 粉末、U ペレット、U 燃料棒の3つの核燃料物質の状態が存在する。

ウラン濃縮工場のリスク評価例

ウラン濃縮工場

	核燃料物質等の性状	重要度
原料シリンダ	UF6 固体	1
	毒性	1
	合計	中 2
発生槽	UF6 気体	2
	温度	1
	毒性	1
	合計	高 4
カスケード（遠心分離）	UF6 気体	2
	毒性	1
	合計	中 3
コールドトラップ	UF6 固体	1
	毒性	1
	合計	中 2
製品回収槽	UF6 固体	1
	毒性	1
	合計	中 2
均質槽	UF6 液体	2
	毒性	1
	温度高い	1
	圧力高い	1
	合計	高 5
製品シリンダ槽	UF6 気体	2
	毒性	1
	温度	1
	合計	高 4
	UF6 固体	1
毒性	1	
	合計	中 2



ウラン濃縮工場においては、UF6 固体、UF6 気体、UF6 液体の3つの核燃料物質の状態が存在する。

貯蔵、管理、埋設のリスク評価例

使用済燃料貯蔵、廃棄物埋設（二種）

廃棄物管理、廃棄物埋設（一種）

使用済燃料貯蔵

	核燃料物質等の性状	重要度
保管	使用済燃料	低 1

廃棄物管理、廃棄物埋設（一種）

	核燃料物質等の性状	重要度
保管	高レベル固体廃棄物	中 3

廃棄物埋設（二種）

	核燃料物質等の性状	重要度
保管	低レベル固体廃棄物	低 1

4. 核燃料施設のリスクとは

研開炉及び試験炉においては、動的な臨界制御システムを持つ炉と静的な臨界制御システムを持つ炉でリスクが異なる。また、前者においてはリスクは発生するエネルギー（出力）の大きさに比例する。

炉（動的な臨界制御システムを持つ）

研究開発段階発電用原子炉施設（もんじゅ、ふげん）、試験研究用原子炉施設（JRR-3、KURなど）

○動的な臨界制御装置により核分裂の連鎖反応を制御してエネルギーを発生する。保有する核燃料物質の量に応じたエネルギーを発生。

炉（静的：設計により臨界を制御）

試験研究用原子炉施設（NSRRなど）

○パルス炉。設計において核分裂の連鎖反応を抑制。

試験炉、研開炉のリスク評価例

試験炉（高濃縮ウラン（固体）燃料の例）

	核燃料物質等の性状	重要度
燃料製作工程	高濃縮度金属ウラン	2
	飛散する可能性のある場合	1
		合計 中3
炉心（運転中）*	動的な臨界制御システムを使用する場合（スクラム機能有り）	
	動的な臨界制御システムが不要な場合（設計で核分裂の連鎖反応を防止。）	
取り出し後保管	高濃縮度金属ウラン 温度高い	2 1
		合計 中3

*運転中の試験炉については、実用炉に準じた手法を用いる。

研開炉（停止中）

	核燃料物質等の性状	重要度
使用済燃料プール	MOX 燃料（冷）	中2
	MOX 燃料（高）	中3
冷却材のリスク	水	中3
	ナトリウム	中4
低レベル廃棄物の工程	低レベル廃液	中3
	低レベル固体	低1

5. パフォーマンスとは

原子力の安全を保つための設備や活動の総称。

よいパフォーマンスから原子力安全が生まれる。

- 安全機能維持の適切性
- 閉じ込めの防護層の適切性
- 手順書の適切性
- 教育訓練の適切性
- 施設管理の適切性 など

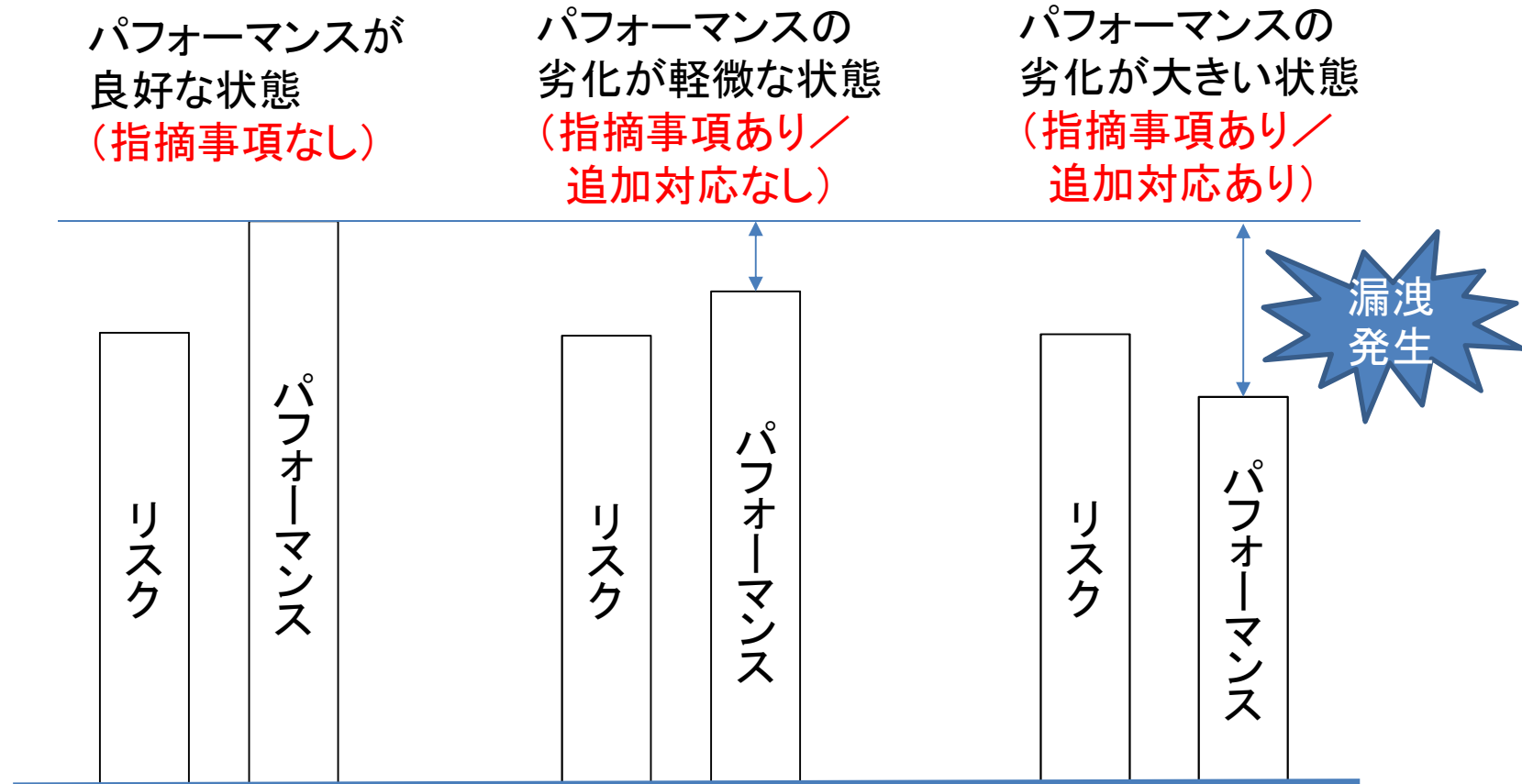
6. 人と環境へ与える影響とは

- 漏洩、臨界、火災などを意味する。
- 追加対応の程度を決める際に判断の材料となるもの。

追加対応の程度	評価結果
追加対応なし	人と環境へ与える影響が限定的かつ極めて小さなものであり、事業者の改善措置活動により改善が見込める水準
追加対応あり (軽い)	人と環境へ与える影響は中程度であり、規制関与の下で改善を図るべき水準
追加対応あり (中程度)	人と環境へ与える影響が大きく、厳しい規制関与の下で改善を図るべき水準
追加対応あり (重い)	人と環境へ与える影響が大きく、極めて厳しい規制関与の下で改善を図るべき水準

7. リスクとパフォーマンスの関係（イメージ）

リスクを回避するための設備や活動をパフォーマンスとすれば



パフォーマンスが低下すれば、人と環境への影響（漏洩など）が発生する。

8. 核燃料施設のSDP評価手法

「リスク」、「パフォーマンス劣化の程度」及び「人と環境への影響度」の3つにより評価を行う。

現場の状況により容易に判断可能なもの

- リスク(核燃料物質が持つ潜在的なリスク)
- 人と環境への影響度(漏洩、臨界、火災など)

詳細な評価が必要なもの

- パフォーマンス劣化の程度

評価の視点

- 「リスク」に見合った活動を事業者は行っていたか。
- 「人と環境への影響度」はどれくらいか。
- 「パフォーマンス劣化の程度」はどれくらいか。

8. 核燃料施設のSDP評価手法

検査官が実施する初期スクリーニングにおいては、以下の視点に相当する事象は事業者へ強く改善を求める必要がある可能性があることから、本庁でも評価を行うものとして取り扱う。

- 人と環境へ影響が発生した事象
- 人と環境へ影響が発生する前の状態であっても改善することが望ましいもの(例:リスクが高いもの)

リスクが高いもの(例)

- 人と環境へ影響を与えるリスクの高い工程(重要度が中2以上)及びにそれらの工程につながる気体処理系
- 運転中の炉で起きた事象

9. まとめ

○米国ROPの考え方の原点に立ち返ることで、実用炉での炉心損傷頻度に相当する核燃料施設の特徴に応じたリスクとして、「核燃料物質の潜在的なリスク」の提案を行った。

○本手法の長所は、PRAのような解析手法の開発が不要で費用及び人的資源を投入せずともよいこと、UよりPuの方が危険であることや吸入しやすいものは危険であることなど、現場で作業する人が自らリスクを捉えて改善する活動にもつながる手法である。また、PRAのようにリスク評価に設備を用いないことから、施設によらず適用可能である。

○核燃料物質の潜在的なリスクは概念的なものであり、PRAにおける機器の故障率のような不確実性はなく、危険性に近いものである。