

核燃料施設等の重要度評価 (検討中の案)

令和2年9月15日

原子力規制庁 核燃料施設等監視部門

添付2 核燃料施設等の安全重要度評価(原子力施設安全)の視点

核燃料施設等では、実用発電用原子炉施設での PRA 等から得られるリスク情報に相当するものとして、取り扱う核燃料物質の潜在的な危険性の視点が重要である。

核燃料物質の潜在的な危険性は、核燃料物質そのものが持つ危険性に加えて、液体や固体などの物質の状態、化学的毒性、有機溶媒などの混在物、温度、圧力などによる危険性がある。

例えば、

- ウランよりプルトニウムの方が臨界になりやすく比放射能が高い。
 - 液体は、臨界、漏れ及び水素発生などのリスクが高い。
 - 気体及び粉末は臨界にはなりにくいが、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く、発熱がある。
- などであり、これらの状態に応じた潜在的な危険性に基づくレベルを以下の表に示す。

表 代表的な核燃料物質等の状態に応じた潜在的な危険性に基づくレベル(例)

	液体	気体 (粉末及びエアロゾル を含む)	固体
プルトニウム	レベル 5	レベル 4	レベル 3
ウラン(濃縮度 5%超)	レベル 4	レベル 3	レベル 2
ウラン(濃縮度 5%以下)	レベル 3	レベル 2	レベル 1
高レベル廃棄物	レベル 5	レベル 4	レベル 3
低レベル廃棄物	レベル 3	レベル 2	レベル 1

その他、核燃料物質の化学的毒性、有機溶媒の混在、温度、圧力などの影響も考慮。

注)本参考は、今後とも性状やレベルの程度等を含め検討を進めるとともに、必要に応じて改訂を行うものとする。

「原子力安全に係る重要度評価ガイド(付属書9)」より抜粋

ハザードマップの設定について

(HMA重要度 : Hazard Map Assessment importance)

- 通常状態(事故時でない)の工程毎の危険性のレベルを算出して、危険性のレベルに応じた保安活動を行う視点として活用する。
- 危険性のレベル数に、 UF_6 等の化学的毒性、有機溶媒の混在による火災、温度、圧力などの要素を1点として加点する。
- 数値自体は意味がなく、重み付けのためだけにある。

ハザードマップ作成にあたり考慮すべき項目 (HMA重要度: Hazard Map Assessment importance)

①化学的毒性、引火性、水素爆発のリスク

- UF₆ (大気中の水分と反応してフッ化水素を発生) +1
- TBPを含む (ドデカンの引火性 加熱すると74度で引火) +1
- 水素を含む (水素爆発) +1

②温度

液体の場合には、温度が高いと沸騰を回避するための冷却が必要、放射性ガスが発生する、濃度が上昇して臨界の安全裕度が低くなることから、リスクが高い。また、焼結炉においては火災のリスクが高い。

- 常温より高い +1
- 常温 +0

③飛散

粉末は飛散の可能性がある。 +1

④圧力

圧力が高いと漏洩のリスクが高まる。

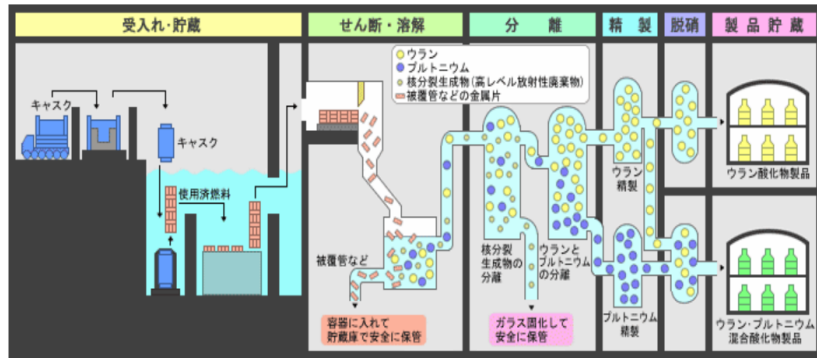
- 常圧より高い +1
- 常圧 +0

その他、例外として、以下が挙げられる。

- ・ 使用者 (非該当) 及び核原料物質使用者は所有する核燃料物質及び核原料物質のリスクが低いことから、HMA重要度: 低1とする。
- ・ 核燃料物質を取り除いた状態の放射性廃棄物においては、以下とする。
 - 埋設 (二種) で取り扱う核燃料物質は低レベルの固体廃棄物であることから、HMA重要度: 低1とする。
 - 埋設 (一種) 及び廃棄物管理は、高レベルの固体廃棄物であり、作業者の被爆のリスクが高いことから、HMA重要度: 中3とする。
- ・ 研究開発炉及び試験炉は運転中以外においてはHMA重要度を適用するが、運転中では適用外とする。理由は、核分裂反応が起きている状態では核分裂エネルギーの危険性を考慮する必要があるため。

再処理工場のHMA重要度(例)

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 温度 高	1 1 合計 中2
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	高5
	Pu 溶液 (蒸発缶) U 溶液 U 溶液 (蒸発缶)	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	中2
	MOX 粉末	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HMA重要度(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HMA重要度(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	1
	温度高い	1
	水素雰囲気	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HMA重要度 (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	UF 6 固体	1
	毒性	1
	合計	中 2
発生槽	UF 6 気体	2
	温度	1
	毒性	1
	合計	高 4
カスケード (遠心分離)	UF 6 気体	2
	毒性	1
	合計	中 3
コールドトラップ	UF 6 固体	1
	毒性	1
	合計	中 2
製品回収槽	UF 6 固体	1
	毒性	1
	合計	中 2
均質槽	UF 6 液体	3
	毒性	1
	圧力高い	1
	合計	高 5
製品シリンダ槽	UF 6 気体	2
	毒性	1
	温度	1
	合計	高 4
	UF 6 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。

その他の施設のHMA重要度(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

試験炉、研開炉のHMA重要度(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

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
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

HMA重要度を4つのグループに分類 緑’、白’、黄’、赤’

HMA 重要度	グループ	人と環境へ与える影響度
低 1 以下	緑’	<u>人と環境へ与える影響</u> は限定的かつ極めて小さい。
中 2 中 3	白’	<u>人と環境へ与える影響</u> は中程度である。
高 4 高 5	黄’	<u>人と環境へ与える影響</u> は大きい。
極高 6 以上	赤’	<u>人と環境へ与える影響</u> は極めて大きい。

評価結果

- 二種埋設施設(低レベル放射性廃棄物:固体廃棄物を保管)・・・最大は**緑**'
- 使用済燃料貯蔵(使用済燃料をキャスクに入れた状態で保管)・・・最大は**緑**'
- ウラン燃料加工工場・・・最大は**白**'(焼結工程)
- 廃棄物管理施設(高レベル放射性廃棄物:固体廃棄物を保管)・・・最大は**白**'
- ウラン濃縮工場・・・最大は**黄**'(UF_6 均質化工程)
- MOX燃料加工工場・・・最大は**黄**'(焼結工程)
- 再処理施設・・・最大は**赤**'(Pu及びHLW蒸発缶工程／TBP含む分離工程)

グレーデッドアプローチにつながる評価結果になる可能性 (各施設のリスクに応じた評価結果の範囲) 検討中の案

		評価結果				
		緩い				厳しい
		第1区分	第2区分	第3区分	第4区分	第5区分
		追加対応なし	追加検査1	追加検査2	追加検査3	
		事業者の自立的な改善が見込める状態 緑'	事業者が行う安全活動に軽微な劣化がある状態 白'	事業者が行う安全活動に中程度の劣化がある状態 黄'	事業者が行う安全活動に長期間にわたる又は重大な劣化がある状態 赤'	プラントの運転が許容されない状態
低い 人 と 環 境 へ 与 え る リ ス ク 高い		・使用済燃料貯蔵施設 ・廃棄物埋設施設(二種) ・使用施設(政令第41条非該当施設)				
		・加工施設(低濃縮U) ・廃棄物埋設施設(一種) ・廃棄物管理施設	・加工施設(低濃縮U) ・廃棄物埋設施設(一種) ・廃棄物管理施設			
		・加工施設(MOX) ・加工施設(U濃縮) ・使用施設	・加工施設(MOX) ・加工施設(U濃縮) ・使用施設	・加工施設(MOX) ・加工施設(U濃縮) ・使用施設(Pu、高濃縮U液体のみ)		
		・再処理施設	・再処理施設	・再処理施設	・再処理施設	
		発電用原子炉施設(参考)	発電用原子炉施設(参考)	発電用原子炉施設(参考)	発電用原子炉施設(参考)	発電用原子炉施設(参考)

- 人と環境へ与えるリスクに応じた評価。
- リスクの低い施設には緩く、リスクの高い施設には厳しく。

危険性に基づくレベル(例)の表について (何かのレベルに対応しているか?)

- 現場の設備及び事業者が実施している保安活動の程度(パフォーマンスのレベル)が、取り扱っている核燃料物質の危険性の程度(ハザードのレベル)に応じたものになっていることから考案したもの。
- 臨界、比放射能、崩壊熱、吸入しやすさ、取扱いの難易度などのさまざまな危険性の種類を1つの表で表している。
- 経験則に基づくもののため、今後、ハザードマップ作成活動を通じて適宜必要な箇所を修正していく。

危険性のレベルに応じたパフォーマンスの要求

- 取り扱う核燃料物質の危険性のレベルに応じたパフォーマンス(設備、保安活動)求められる。

例えば、

①セル>②グローブボックス>③フード>④設備なし

①セルで取り扱う: Pu溶液、U溶液、高レベル廃棄物

②グローブボックスで取り扱う: Pu粉末

③フードで取り扱う: U粉末(低濃縮)

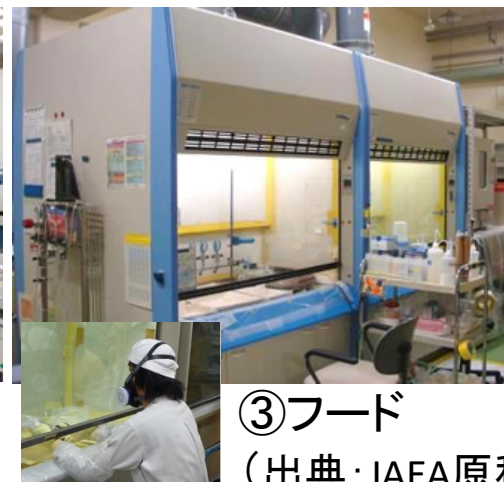
④設備なし(管理区域内): Uペレット(低濃縮)



①セル(出典: JAEA原科研HP)



②グローブボックス
(出典: (株)アセンドHP)



③フード
(出典: JAEA原科研HP)

「ハザード(危険性)」と「リスク」と 「求められるパフォーマンス」は比例関係

例えば、

- **ハザード(危険性)**は、ビンの中の毒物が人に与える影響
- **パフォーマンス**は、ビンの健全性、ふたの締め具合
- ビンに亀裂が生じる、ふたが緩むといった、**パフォーマンスの劣化が発生**すると毒物が漏れ出して人が死亡する**リスクが発生**する。
- ビンに**求められるパフォーマンスの程度**(厚み、材質、製造過程における品質管理の程度、ふたの締め具合の確認頻度など)は、**毒物が人に与える影響(ハザード)の程度に応じたもの**となる。
- **発生するリスクの程度**は、ビンの中の**毒物が人に与える影響(ハザード)の程度に応じたもの**となる。

今後の予定

- 前述の作成方法及び作成例に従って、各施設におけるハザードマップを作成して頂くことを検討中です。
- 危険性の要素(温度、混在物など)について、前述以外で考慮すべきものがあればお知らせ頂くことを検討中です。
- 次回以降の検討会において、「ハザードマップは、リスク重要度の視点として活用できるか。」について、議論させていただく予定です。

後日改めて、メールなどで依頼することを検討中です。

以下、参考

従来の検査と新しい検査の比較

従来の検査制度

- 起きてしまった事象に対する検査。

例：法令違反、保安規定違反など。

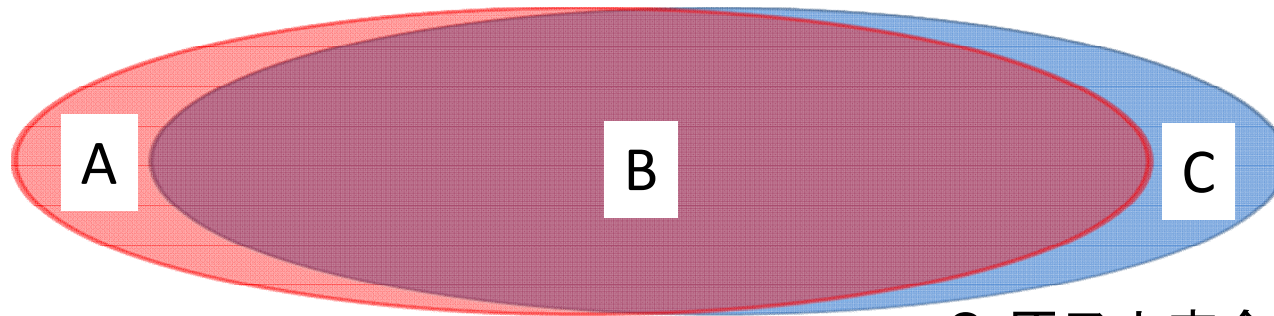
新しい検査制度

- リスクの視点を用いることで、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指摘が可能であり、事業者の未然防止活動を促す効果がある。
- 未然に防ぐことができたかどうかの視点。
- リスク重要度を活用して検査及び評価を実施する。

原子力規制検査の評価は2つ

リスク重要度(A、B)
安全重要度評価の対象

法令違反(B、C)
規制対応措置評価の対象



A: 事業者
自主活動

B: 原子力安全に関わる
法令要求事項

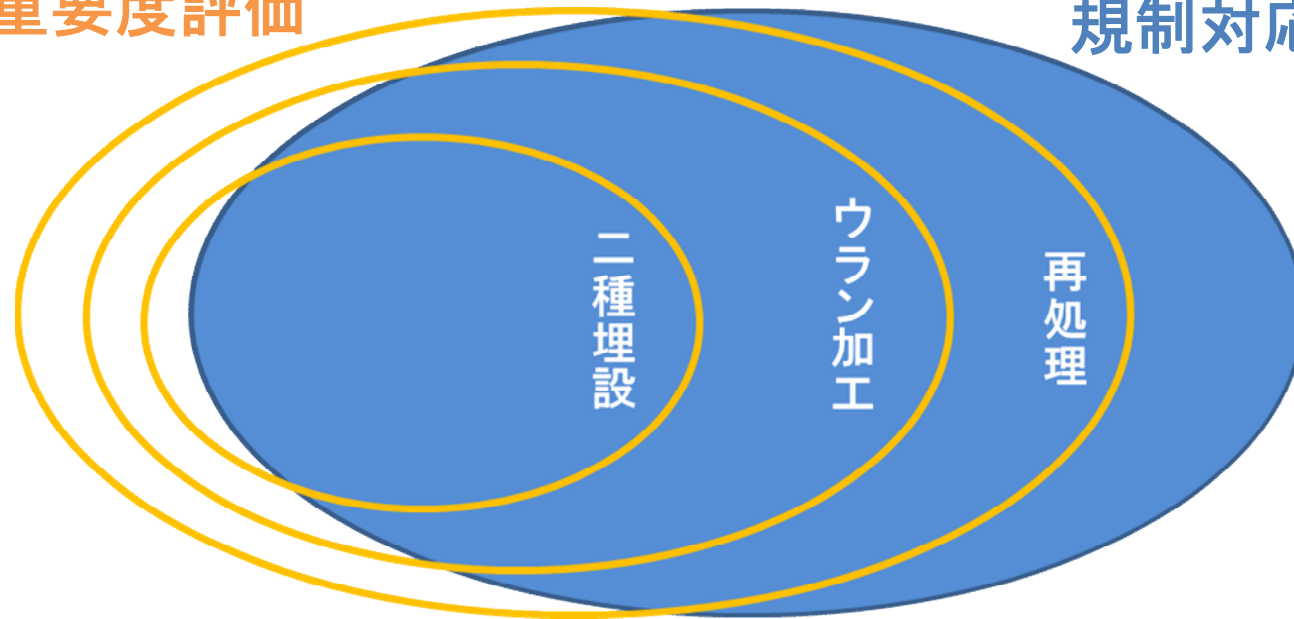
C: 原子力安全に実質的な
影響を及ぼさない法令違反
や意図的で悪質な行為

- 原子力規制検査の評価には、**リスク重要度を活用する安全重要度評価(上図AとB)**と、**法令違反に基づく規制対応措置評価(上図BとC)**の2つがある。
- 安全重要度評価においては、事業者が**発生前に未然に防ぐための対策を実施しておくべきだったか**という視点で、**リスク重要度を活用した評価を行う。**

核燃料施設の評価の特徴

安全重要度評価

規制対応措置評価



- **安全重要度評価は、人と環境へ与えるリスクに応じたもの**になるため、リスクの低い施設（例：二種埋設（低レベル固体廃棄物埋設）など）は緩い評価となり、リスクの高い施設（例：再処理施設）は厳しい評価となる。
- **一方、規制対応措置評価は、法令違反、保安規定違反等**あり、施設によらず許可取り消しという厳しい評価があり得る。