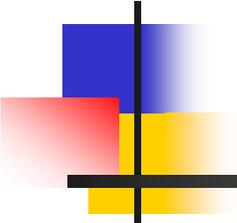


標準委員会セッション1(標準委員会 原子力安全検討会・分科会)
「再処理施設における原子力安全の基本的考え方」

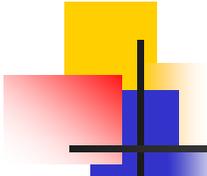


再処理施設における原子力安全の 基本的考え方

平成29年3月27日

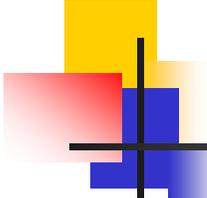
山本 章夫(名古屋大学)
(代理:河井 忠比古(原安進))

日本原子力学会 2017年春の年会 東海大学 湘南キャンパス



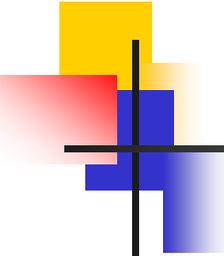
原子力安全の考え方(1/2)

- IAEAの基本安全原則SF-1や日本原子力学会技術レポートの原子力安全の目的(Safety Objectives) = 人と環境を, 原子力の施設と活動に起因する放射線の有害な影響から防護すること
- 原子力安全の目的を達成するため下記対策を取る
 - a. 人の放射線被ばくと放射性物質の環境への放出を抑制する
 - b. 施設とその活動の安全の管理の喪失に結びつくかもしれない事象の可能性を防止する
 - c. そのような事象が万一発生しても, その影響を緩和する
- 再処理においても原子力安全の目的は上記と同じ



原子力安全の考え方(2/2)

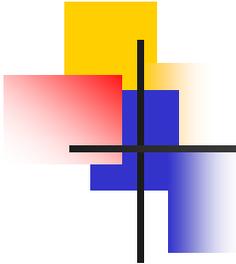
- 原子力安全の目的を達成する上で有効な手段が、防止と緩和を組み合わせる深層防護である
- 深層防護は、複数の独立した防護レベルを組み合わせることによって実現され、それらが全て機能しなかった時に、有害な影響が引き起こされる。深層防護は広く一般産業でも用いられている
- 深層防護の考え方は原子炉施設と共通であるが、個別の適用(実装)は施設のリスク, 形態, 特性等によって変化する得るので再処理の特徴を踏まえて適用する
- なお, 原子力安全を扱うため, 放射線の関係しない純粋な意味での化学プロセスや産業(工業)プロセスによるハザードは対象としない



深層防護の実装の基本的考え方(1/5)

実装方針

- 複数の防護の目的(防護レベル、守るべきもの)を設定
- 防護の目的を達成するため(防護レベルを突破されないため)の防止策と緩和策を設定
- 異なった防護レベル間の防止策・緩和策は独立性を有するように設定する。
 - ここでの「独立性」は、従来の「多重性・多様性・独立性」と同一の意味合いではないと思われる。
- 以上のことから、深層防護全体として、原子力安全の目的を達成する



深層防護の実装の基本的考え方(2/5)

総体としての有効性評価

- PRAを実施し、全ての事故シーケンスについて、深層防護により安全目的が達成されていることを確認する
- 決定論的と確率論的の違いはあるが、旧安全評価指針により、プラント全体としての信頼度を確認したのと同じ考え方
- あるサブ目的を達成するための機器・手順・管理は、全てのシーケンスに対して同一である必要はなく、シーケンス毎に異なる可能性がある。
- 逆に、ある機器・手順・管理に着目した場合、シーケンス毎に違うサブ目的に対する防止策、あるいは緩和策に用いられる可能性がある

深層防護の実装の基本的考え方(3/5)

一つの実装および有効性評価の方法(原子炉施設の場合)

性能要求

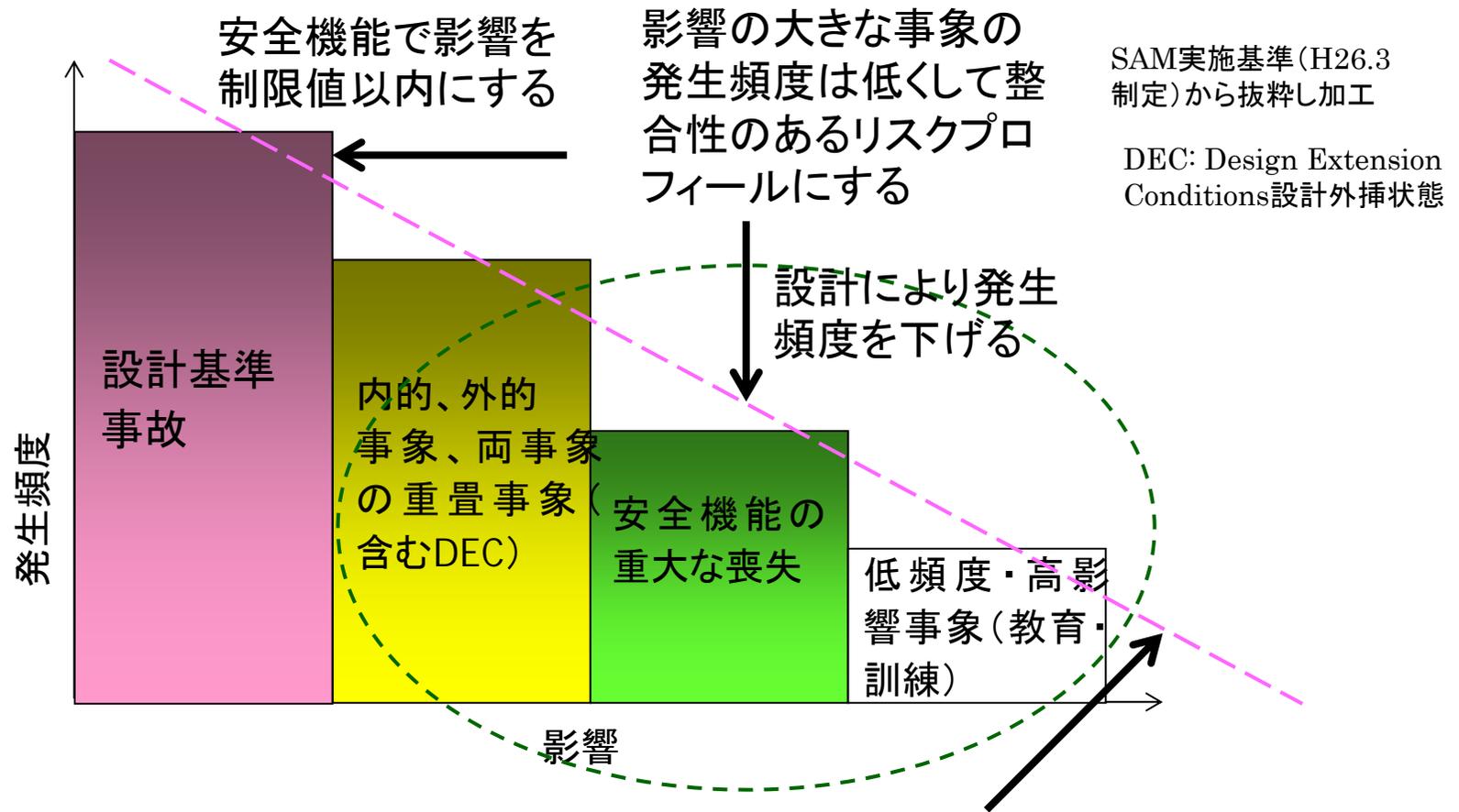
	事故の発生防止	炉心に閉じ込め	原子炉容器に閉じ込め	格納容器内に閉じ込め	サイト内に閉じ込め
防止	異常発生を防止	DBAを防止	重大事故を防止	格納容器損傷を防止	放射性物質放出を防止
緩和	異常の段階で検知・収束	工学的安全施設で収束	格納容器に閉じ込めて収束	放射性物質放出を管理	敷地外緊急対応
有効性評価	原子炉計装 原子炉保護	設計基準事象発生頻度と影響度	レベル1 PRA 炉心損傷シナリオ	レベル2 PRA ソースタームCV破損シナリオ	レベル3 PRA 放射性物質放出シナリオ
性能目標	設備の信頼度目標	工学的安全系の信頼度目標	炉心冷却形状維持の信頼度目標 10 ⁻⁴ /炉年	格納容器の信頼度目標 10 ⁻⁵ /炉年	放出管理の信頼度目標Cs ¹³⁷ 100TBq 10 ⁻⁶ /年

深層防護の実装の基本的考え方(4/5)

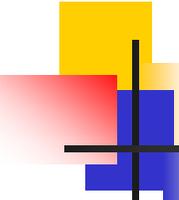
バックキャストの視点から各層が考えるべきこと
深層防護はシステム論

- 深層防護とは、多層の防護レベルの**総合力で安全を守る仕組み**
 - **各層が独立**であるということは、一つの原因等で同時に複数の層の防護機能を失わないということ
 - **各層で機能を補完することを否定するものではない**
- 各層で何を行うかを問う前に考えるべきこと
 - 現状は、「対象となっている概念は第何層か？」というように、自分の担当している事象への興味が主体
 - **深層防護全体で、何から何を守るかを共有する必要**
- 原子力システムで守るべきものとは？
 - 原子力リスク…

深層防護の実装の基本的考え方(5/5)

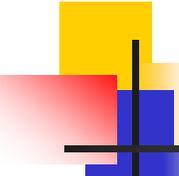


高影響は低頻度となるように、発生を防止するとともに影響を緩和する。



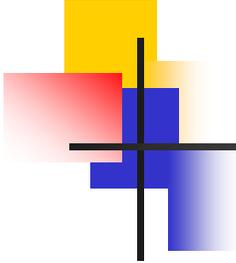
再処理施設での深層防護の実装の考え方

- 深層防護は，再処理施設でも，原子炉施設でも，その考え方は共通である
- しかし，再処理施設で深層防護を実装する際には設備特性を踏まえてグレーデッドアプローチを適用する
- すなわち，原子炉施設と再処理施設との間で、放射性物質の量，同位体組成，化学的ハザードの特徴，想定される内部ハザード及び外部ハザードの種類，安全機能喪失時の影響などの差を考慮して，適切な防護レベルの数、対応手段とする
- ただ，深層防護の各レベルは，1つのレベルの失敗が他のレベルの有効性を低下させることを回避するために実用可能な限り独立していることが重要



グレーデッドアプローチの考え方(1/3)

- 安全確保におけるグレーデッドアプローチとは、安全対策の厳格さは、その対策の失敗に伴う潜在的なリスクに見合ったものとするべきであるという考え方
- グレーデッドアプローチの考え方は、安全対策に関わる全ての活動分野に適用される基本的考え方
→ 設計, 建設, 運転, 品質保証, 深層防護, 安全解析, レビューなどの全ての分野に適用
- グレーデッドアプローチの適用は、安全解析または工学的判断によって妥当性が証明される事が必要
- 新知見が得られた場合には、知見の信頼度を確認しつつ、安全対策の全体としての最適化を図っていくことが重要である



グレーデッドアプローチの考え方(2/3)

グレーディングのプロセス(1/2)

Step1: 製品/活動のgraded controlの必要性



Step2: 各評価領域についての重要度を評価し、一次グレード(等級:grade)を決定する



Step3: 分類(Classification)を特定する(可能ならば)



Step4: 他の要素を勘案し、一次グレード(preliminary grade)の変更の可能性を検討する



Step5: グレード(grade)を確定する



Step6: グレード(grade等級)に適切な制御/管理(controls)を割付け/指定する。

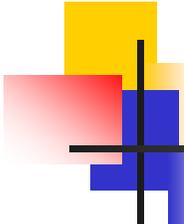


Step7: Graded controlの実施

グレーデッドアプローチの考え方(3/3)

グレーディングのプロセス(2/2)

Step	補足説明	
	グレーディング(等級づけ)の方法	安全分類 (機器の重要度分類)
Step1	Graded Approachは全ての制御・管理行為に適用できる。	主に製品(部品、SSCs)に適用する。
Step2~3	重要な影響が予想される領域で、活動不適切、製品が故障した場合の重要度を定める判断基準を策定	安全機能を、安全重要度でカテゴリー分けし、それに属するSSCsをクラス分類。 <ul style="list-style-type: none"> 安全機能は、影響と頻度の2軸でカテゴリー分け。 性能要件を実施するSSCsのカテゴリーとクラスは同一。 SSCsのクラス分類では、影響の程度(機能喪失程度, 点検容易度など), 必要とされるまでの時間的余裕を考慮。
Step4	他要素の例: ①外部制約条件(契約, 規格, 規則), ②実績・運転経験, ③アクセス性(テスト時, 検査時, 保守時, 運転中など), ④委託契約先の使用範囲, ⑤ヒューマンファクター, マンマシンインタフェース管理(MMIC), ⑥取替えコスト	



再処理施設でのグレーデッドアプローチの適用(1/2)

- ①施設で使用, 処理, 貯蔵される放射性物質の種類, 物理的あるいは化学的な形態(分散可能性)
 - ・再処理施設においては, 容易に分散する形状(非密封の溶液状, 粉末状及び気体状)で大量の放射性物質及びその他の危険物質がある(原子炉施設では炉心に閉じ込め)
 - ・再処理施設のプロセスは常温で低圧である(原子炉施設は高温で高圧)
 - ・再処理施設は, 現場で作業員が常に放射性物質を取り扱っている(原子炉施設では現場は無人である)
- ②施設の運転の規模(スループット), 及び貯蔵されている製品や廃棄物等の危険物質の量
 - ・再処理施設においては, 施設内の内蔵放射エネルギーが定常的である(原子炉施設では核分裂で絶えず大量に生成される)

再処理施設でのグレーデッドアプローチの適用(2/2)

③ 放射性物質が関係するプロセス, 技術及び危険化学物質
(反応可能性及び反応速度)

- ・再処理施設においては, 事故が発生してもその進展速度が遅い(原子炉施設の事故対応は数秒, 数分で対応を要求される場合がある),

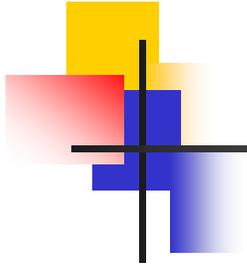
④ 放射性廃液の放出経路, 及び放射性廃棄物の貯蔵

⑤ 施設の安全運転を妨げる可能性のある外部ハザードの規模, 及び離隔の程度

⑥ 立地条件(サイトに関連する外部ハザード, 人口密集地との離隔の程度を含む)



- ・深層防護レベルは5層も必要でない?
- ・ソフト対策(手順書等)でも十分である(時間余裕有り)?
- ・多重性, 多様性, 独立性の考え方(復旧を期待)?



参 考 资 料

深層防護の実装の基本的考え方

レベル	目的	目的を達成するための手段	関連する施設状態	DECの位置付け	
1	通常運転からの逸脱の防止。安全上重要な施設の故障の防止	<ul style="list-style-type: none"> ・通常運転からの逸脱及び安全上重要な設備の故障の防止 ・マネジメントシステムや多重性, 独立性, 多様性 ・健全かつ保守的に立地, 設計, 建設, 保守, 運転及び改造 	通常運転	1	1
2	通常運転からの逸脱の検知及び制御	<ul style="list-style-type: none"> ・通常運転からの逸脱を検知し制御 ・異常な過渡変化(AOO)が事故状態への進展を防止 ・起因事象の防止, 影響最小化, 安全状態に復帰さす措置。 	通常運転時の異常な過渡変化(AOO)	2	2
3	設計基準で想定する事象の制御 ⁽¹⁾	<ul style="list-style-type: none"> ・全ての事象を設計基準(design basis)の中で評価 ・固有の安全機能(features), フェイルセーフ設計, 追加の機器及び手順 ・工学的安全機能(features) 	設計基準で想定する事象 ⁽¹⁾	3a	3
				3b	4a
4	レベル3の失敗に起因する事故影響の緩和	<ul style="list-style-type: none"> ・事故進展の防止及びシビアアクシデントの影響緩和 ・サイト外の汚染, 高い放射線レベルを回避, 最小化 ・早期の, または, 大規模な放射能の放出実質的排除 	シビアアクシデント	4	4b
5	事故による放射能の放出, 高放射線の影響の緩和	<ul style="list-style-type: none"> ・事故による放射能の放出又は放射線影響の緩和 <ul style="list-style-type: none"> - 緊急時対応設備 - 緊急時対応の計画及び手順 		5	5

(1)DS478や最新のSSR2/1ではレベル3に一部のDECが含まれるとの解釈もある。

深層防護の実装の基本的考え方

プラント運転状態の定義

従来の考え方

設計基準(Design Basis)		設計基準超過領域(アクシデントマネジメント)		
運転状態		事故状態		
通常運転	過渡変化	設計基準事故 DBAs	設計基準事故 超過領域 (BDBA)	過酷事故(炉心溶融) Severe Accident

BDBA: Beyond Design Basis Accident

DBAs: Design Basis Accidents

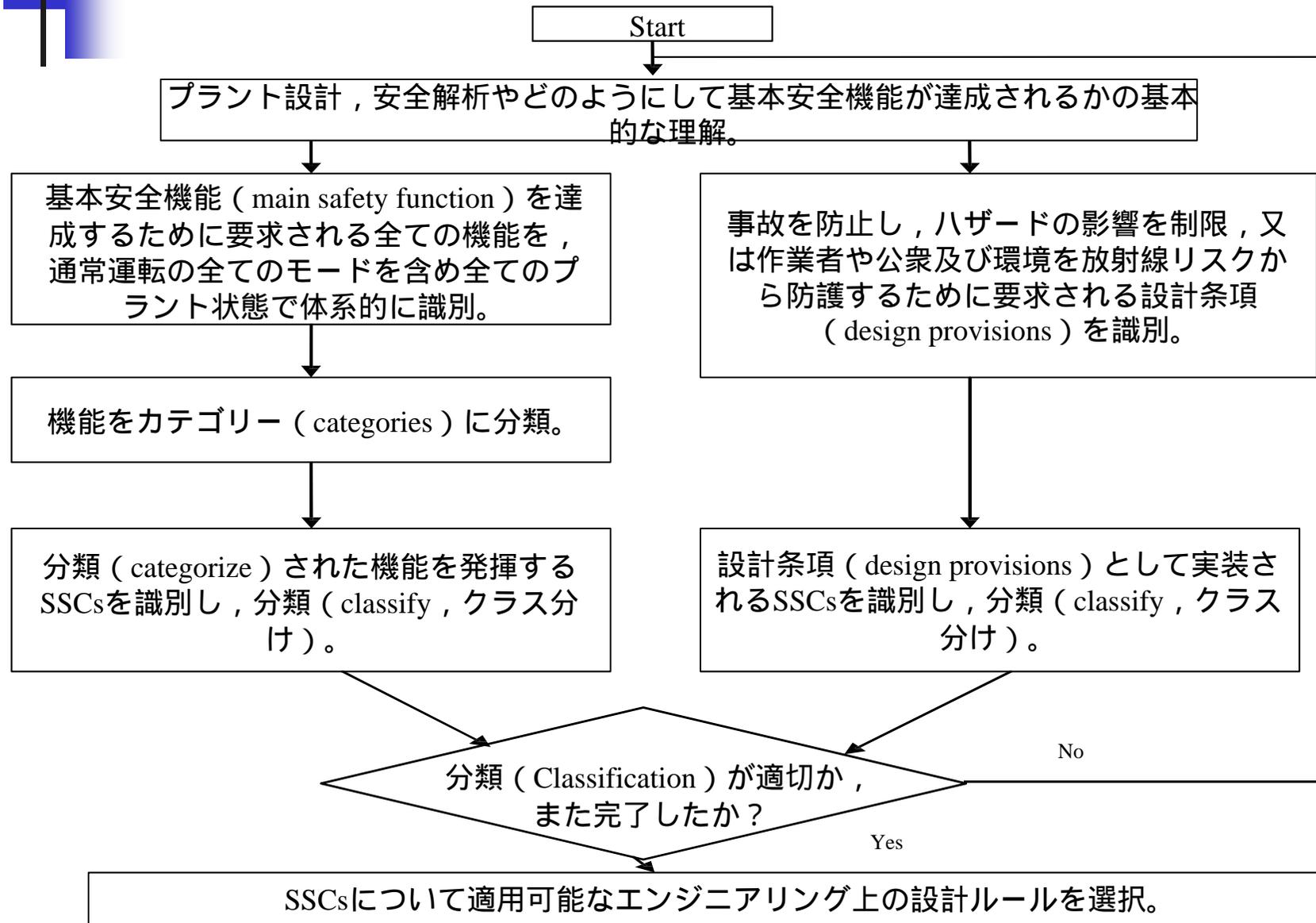
最新のSSR-2/1の考え方

設計対象領域(Plant Design Envelope)				設計対象超過領域	
運転状態		事故状態			
通常運転	過渡変化	設計基準事故 DBAs	設計外挿状態(DECs)		実際的に想定し得ない領域 (Conditions Practically Eliminated)
			重大な燃料損傷無し	燃料溶融有り	

DECs: Design Extension Conditions

グレーデッドアプローチの考え方

IAEA安全基準(SSG-30)の機器の重要度分類のフローチャート



グレーデッドアプローチの考え方

IAEA安全基準 (SSG-30) の安全機能のカテゴリー分け

安全解析で仮定する安全機能と安全機能のカテゴリー分けとの関係

安全解析で仮定する安全機能	安全機能が機能しない時の影響の重篤度		
	高	中	低
過渡変化の後に制御された状態に移行させる機能	安全カテゴリ 1	安全カテゴリ 2	安全カテゴリ 3
設計基準事故の後に制御された状態に移行させる機能	安全カテゴリ 1	安全カテゴリ 2	安全カテゴリ 3
安全状態に移行させ維持する機能	安全カテゴリ 2	安全カテゴリ 3	安全カテゴリ 3
設計外挿状態DECsの影響を緩和する機能	安全カテゴリ 2 or 3	カテゴリ分け無し ^a	カテゴリ分け無し ^a

a. 設計外挿状態DECsの緩和のために専用に設置された機能が機能しない場合には中及び低の重篤度の影響は考えられない。