

1 F の施設・設備における 外部電源喪失に対する設計上の考え方について

2023年6月19日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

- 本資料は、第8回技術会合で原子力規制庁殿から示された非常用電源設備の設置要否及び具体的要件に関する事項※をふまえ、1Fの施設・設備における外部電源喪失に対する設計上の考慮について当社の考え方を示すもの。

<当社の考え>

- **非常用電源設備の要否については、耐震クラス分類ではなく、電源喪失によって安全機能を喪失した場合の影響の大きさで判断したい。**
 - ・ 1Fにおける新しい施設・設備の安全設計においては、具体的仕様の前例はないことから、その特徴に応じて必要となる安全機能を選定し、選定した安全機能をどのような設備仕様で達成していくかという段階から考える必要がある。
 - ・ 非常用電源設備の設置要否についても、維持すべき安全機能について、その達成のために電源の確保が必要であるかどうかによって決まるものと考え。
 - ・ 耐震クラス分類は、地震による公衆被ばく線量の大きさによって分類することとしているが、それと同様に非常用電源設備の設置要否の決定についても、想定される様々な異常事象に対して、電源が喪失することに伴う公衆被ばく線量の大きさによって判断することがふさわしいと考える。

※ 第8回技術会合 資料3-1「東京電力福島第一原子力発電所における放射性物質の閉じ込め機能を有する施設・設備に対する非常用電源設備の設置要否及び具体的要件について」（令和5年3月27日、原子力規制庁）

(参考) これまでの経緯①

- 第8回技術会合において、原子力規制庁殿から非密封の核燃料物質又は核燃料物質に汚染されたものを扱う施設・設備を対象に、非常用電源設備の設置要否及び具体的要件が示された。

耐震クラス	非常用電源設備の設置要否	非常用電源設備の具体的要件
Sクラス B+クラス	非常用電源設備（常設）の設置が必要 なお、既設の非常用母線からの給電も「非常用電源設備（常設）の設置」と見なすことができる	i) 台数：1台以上 ¹ ii) 容量：以下の機能を7日間維持する容量 ・放射線監視設備 ・換気空調設備（グローブボックスの換気設備等） ・火災等の警報設備、緊急通信・連絡設備、非常用照明 等 iii) 耐震クラス：上記に示した機能を有する設備（給電先設備）と同じ耐震クラス
Bクラス	非常用電源設備（常設）の設置 又は非常用電源設備（可搬）から給電 できることが必要	「非常用電源設備（可搬）から給電できること」とは、機動的対応の一環として準備している可搬型の電源車等を当該施設・設備に容易かつ確実に接続でき、給電できることをいう。
Cクラス	非常用電源設備（常設又は可搬）の設置等は求めないが、一定期間後に放射性物質の閉じ込め機能等を復旧するための手順等を整備することが必要	「一定期間後に放射性物質の閉じ込め機能等を復旧するための手順等を整備すること」とは、実施計画第三章「特定原子力施設の保安」に定められた応急措置の一環として、復旧体制や手順等を整備することをいう。

- 1 措置を講ずべき事項「Ⅱ.14.⑧信頼性に対する設計上の考慮」において「重要度の特に高い安全機能を有するべき系統」に対して求めている「多重性又は多様性」の適用に当たっては、使用施設等の規制基準（使用施設等の位置、構造及び設備の基準に関する規則第16条等）を踏まえ個別に審査することになるが、現時点では、非常用電源設備の機能喪失時の影響等を考慮し、非常用電源設備が耐震Sクラスであれば「多重性又は多様性」が原則必要と考えられる。

(参考) これまでの経緯②

- 原子力規制庁殿から示された非常用電源設備の設置要否及び具体的要件について、その理由となる考え方は、以下の通りとされている。

- 措置を講ずべき事項の規制要求

措置を講ずべき事項においては、「重要度の特に高い安全機能や監視機能」が非常用電源設備から受電できることを求めており、「重要度の特に高い安全機能や監視機能」に該当する具体的な施設・設備は明記していない。

- 使用施設等の規制要求

実施計画の審査において準用する使用施設等の規制基準においては、仕様規定的に非常用電源設備の設置を求めており、外部電源システムの機能喪失の起因事象を定めることなく、必要な時に必要な機能に対して給電できることを求めている。

つまり、当該施設・設備が有する放射線リスクや耐震性に関わらず、原則的に非常用電源設備の設置を求めている。

- 非常用電源設備の設置等に係る審査方針

使用施設等の規制基準の要求事項を踏まえ、措置を講ずべき事項における「重要度の特に高い安全機能や監視機能」の1つとして、非密封の核燃料物質又は核燃料物質に汚染されたものを扱う施設・設備の放射性物質の閉じ込め機能及びその監視機能等を位置づけ、当該施設・設備の潜在的放射線リスクや供用期間、同発電所での機動的対応等も考慮し、具体的な非常用電源設備の設置要否は以下とする。

(以下略)

- 1Fの施設・設備の耐震クラス分類は、地震による安全機能喪失時の公衆被ばく線量の大きさをもとに決定することとしている※。
- ここで、耐震クラス分類における公衆被ばく評価は、地震に対する設計上の考慮として、施設・設備に必要な耐震強度を決定するためのものであり、地震影響によって喪失する安全機能は必ずしも電源だけに限らない。
- また、高い耐震クラスに分類されたとしても、主たる閉じ込め機能を有する施設・設備が静的機器である場合など、必ずしも電源の供給を必要とするとは限らない。
- 以上のとおり、耐震クラス分類と電源要否は直接結びつくものではなく、電源の確保に関する設計上の考慮として、非常用電源の設置要否を決定するためには、平常時や事故時として想定される様々な異常事象に対し、外部電源喪失が伴うことを仮定した場合の公衆被ばく線量の大きさによって判断することがふさわしいと考える。

※ 東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における耐震クラス分類と地震動の適用の考え方
(令和4年11月16日, 原子力規制庁)

- 使用許可基準規則(第27条)では、**使用前検査対象施設**において、必要な安全機能の確保のために必要に応じて非常用電源設備の設置を要求しており、規則の解釈においてその具体的対象を管理区域の排気設備や、放射線監視設備、火災等の警報設備、緊急通信・連絡設備、非常用照明灯 等としている。
- 使用前検査対象施設は、非密封のプルトニウム1g以上（密封の場合は450g以上）など、政令※に定める**基準量を超える核燃料物質を取り扱う施設**である。
- 使用施設の中でも特に使用前検査対象施設は**アルファ核種による内部被ばくのリスクが高い**ことから、一般公衆および従事者に対する放射線防護が重要であるため、管理区域の排気設備に対して非常用電源が要求されるものと考えられる。
- 1Fの施設・設備においては、必ずしもウランやプルトニウムなどの核燃料物質を主として取り扱う施設ばかりではなく、一定量以上のセシウムやストロンチウムなどの放射性物質を非密封で取り扱う場合があることから、一般公衆および従事者に対する放射線防護の重要性を鑑み、**取り扱う放射性物質の量や性状（固体、液体、スラリー等）に応じた被ばくリスクの大きさ**によって、非常用電源からの給電の要否を判断することは妥当と考える。

※ 核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律施行令（第四十一条）

(参考) α核種とγβ核種の内部被ばく影響の違い

- プルトニウムなどのα核種は、セシウムやストロンチウム、コバルトなどのγ・β核種と比べ、内部被ばくの影響がおよそ 10^3 倍程度大きい。
- またα核種は、内部取り込み時に体外からの計測が困難でもあり、α核種を非密封で取り扱う場合には、内部取り込みのリスクに対して特に慎重な防護が必要である。

核種	内部被ばく換算係数※ ($\mu\text{Sv/Bq}$)
U-238	8.0E+00
Pu-238	1.1E+02
Pu-239	1.2E+02
Pu-240	1.2E+02
Pu-242	1.1E+02
Am-241	9.6E+01

核種	内部被ばく換算係数※ ($\mu\text{Sv/Bq}$)
Cs-134	2.0E-02
Cs-137	3.9 E-02
Sr-90	1.6E-01
Co-60	3.1E-02
Sb-125	1.2E-02

※ 出展 ICRP Pub.72 Table A2

- 非常用電源設備の設置などの外部電源喪失に対する安全対策の要否については、施設・設備に異常が発生した際において、**電源がないことによる公衆被ばく線量への影響の大きさ**に応じて決めることとする。
- 具体的には、事故時・平常時として想定される様々な異常事象に対し、外部電源喪失が伴うことを仮定した場合の公衆被ばく線量が以下を超える場合には、外部電源喪失に対して安全対策を備える。

(1) 事故時における追加的な公衆被ばく線量※1	5 mSv/事象以下
(2) 平常時における追加的な公衆被ばく線量※2	1 mSv/事象以下

- ※1 発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針において、「周辺公衆の実効線量の評価値が発生事故当たり5 mSvを超えなければリスクは小さいと判断する」とされている。
- ※2 線量限度等を定める告示で平常時の一般公衆の線量限度として1mSv/年と定められていること、また、設置許可基準規則第27条や第29条の解釈において、通常運転時の線量影響は、ALARAの考え方の下、実効線量で50μSv/年が達成できるものであることが定められてることを参考に、事故事象以外の発生事象における非常用電源の要否のしきい値として設定。
なお、措置を講ずべき事項では、1Fの状況を踏まえて、施設内に保管されている発災以降発生した瓦礫や汚染水等による敷地境界における実効線量を1mSv/年未満とすることが要求されている。

- ここで、措置を講ずべき事項における「**重要度の特に高い安全機能や監視機能**」を「**その機能の喪失により公衆が被ばくする線量の評価値が、発生事故当たり5 mSvを超えるもの**」として考えると、(1)については措置を講ずべき事項の要求にもとづく対応と考えられる。

- 発電炉における運転時の異常な過渡変化・設計基準事故の考え方や、使用施設における設計評価事故の考え方などを参考に、1Fにおける平常時と事故時の考え方を以下の通りとする。

(1) 平常時

通常運用している状態に加えて、動的機器の単一故障又は誤動作若しくは運転員の単一誤操作など、1F廃炉作業において通常発生する可能性がある事象※1

- ※1 およそ100年に1回程度発生する可能性がある事象
例えば、3.16, 2.13規模の地震等により生じる影響

(2) 事故時

動的機器の多重故障など、発生する頻度は稀であるが、施設及び周辺公衆に対して、1F廃炉作業において通常発生する可能性がある事象よりも重大な影響を与えるおそれのある事象※2

- ※2 単一故障が重なることから、 $100^2 =$ およそ10000年に1回程度発生する可能性がある事象
例えば、60m/s級の竜巻や900gal規模の地震等により生じる影響

(参考) 閉じ込め機能に関する非常用電源要否の例

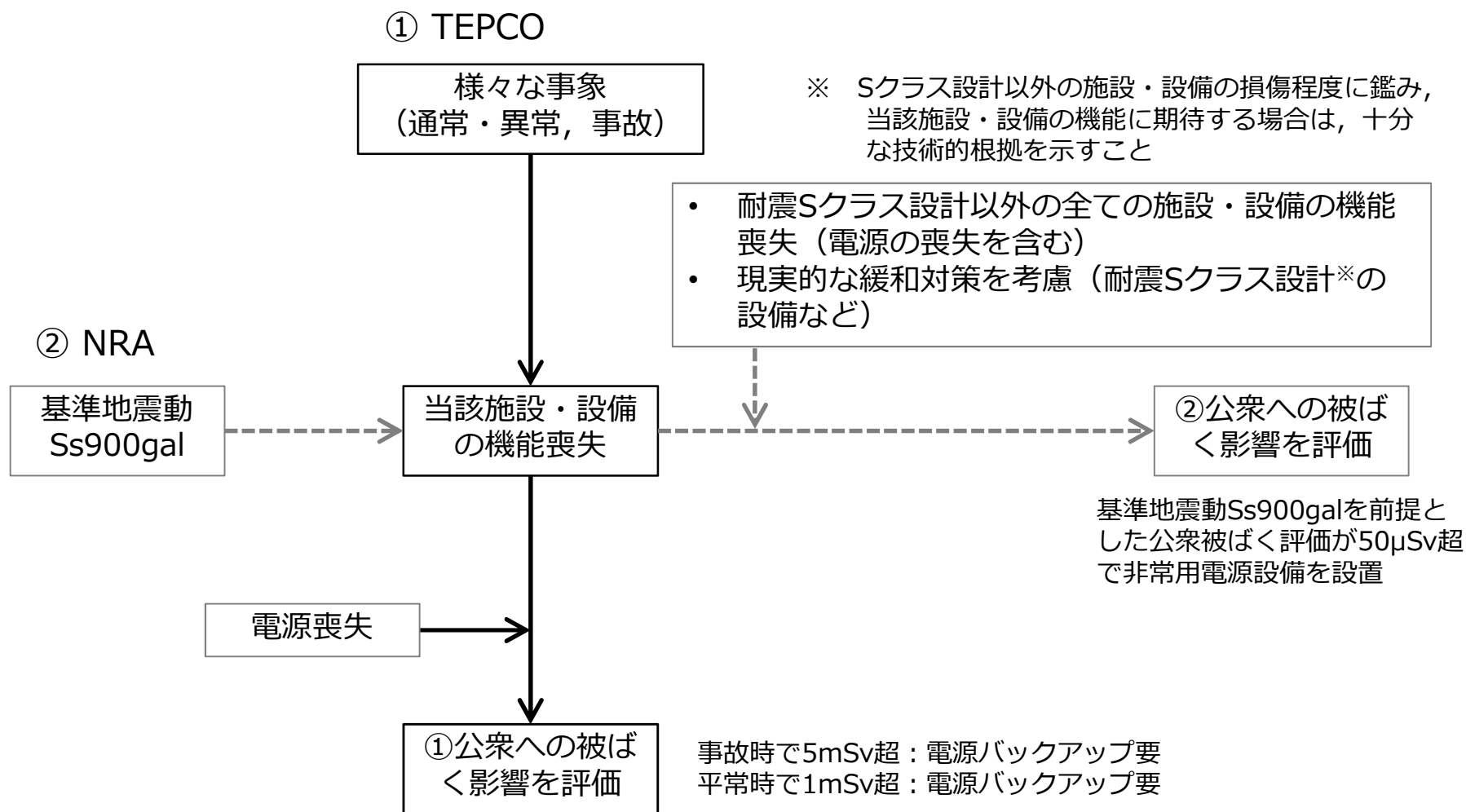
- 非密封の放射性物質を取り扱う以下の4つの施設・設備における、閉じ込め機能に対する非常用電源の設置要否は以下の通りと考える。(現在審査中の4件については①と②で結果に差異はない)

施設	① 電源が喪失することに伴う公衆被ばく影響の評価による非常用電源設備の設置要否判断			② 耐震クラス分類による非常用電源設備の設置要否判断		
		公衆被ばく線量評価 (仮※1)	非常用電源要否	主たる安全機能※2の耐震クラス	空調ファン耐震クラス	非常用電源要否
放射性物質分析・研究施設第2棟	平常時	約 2.8×10^{-7} mSv (フィルタ下流部の損傷)	要求なし	B+ (一部S)	C※3	要求なし
	事故時	約0.2mSv (フィルタ上流部の損傷)				
ALPS スラリー安定化処理設備	平常時	空調機能喪失時 約0.09μSv/事象 (暫定) (ダンパ隔離なし)	要求なし	B+	C※3	要求なし
	事故時	裸の被ばく評価 約0.78mSv (暫定)				
廃スラッジ回収施設	平常時	空調機能喪失時 約0.21μSv/事象 (暫定) (ダンパ隔離なし)	要求なし	B	C※3	要求なし
	事故時	裸の被ばく評価 約0.4mSv (暫定)				
ゼオライト土嚢等回収設備	平常時	電源喪失による放出なし (機器内に閉じ込め)	要求なし	B	C※3	要求なし
	事故時	裸の被ばく評価で 約1.2mSv (暫定)				

※1 平常時/事故時のシナリオについては今後精査する

※2 主たる安全機能は静的機器のため、電源は不要(耐震クラスと電源要否は直接結びつかない)

※3 「間接的な施設・設備の損傷を考慮した場合に、耐震設計上の主たる機能を有する施設・設備に波及的な影響を及ぼさず、フロー1で定めた耐震クラスの決定の際の線量評価に影響がない場合は、間接的な施設・設備は下位の耐震クラスとしても良い。」ことからCクラスと評価している。



公衆への被ばく影響を評価していることは同じでも、①と②では前提としている条件が異なり、結果は必ずしも一致しない。

- 外部電源喪失に対する安全対策（以下、電源バックアップ設備）については、電力を供給すべき時間的余裕や必要な電源容量に応じ、常設の非常用電源に限らず、**可搬型の電源設備**または**電力の供給を必要としない可搬型設備**を用いた人的対応も含めた設計によって達成することを考慮する。

	可搬型設備 (人的対応)	常設非常用電源 (非常用D/G等)
人的対応によらず、 直ちに電源の供給が必要 となる場合	×	○ (自動起動)
速やかな電源の供給が必要であるが、 時間的余裕の範囲内 で、電源設備の手動起動による電源供給が可能である場合	×	○ (手動起動でも可)
事象進展に 十分な時間的余裕があり 、可搬型の電源設備または電源を必要としない可搬型設備を用いた人的対応が可能である場合※	○ (施設・設備の設計、 供用期間 に応じ、可搬または常設を合理的に選択可能)	

※ 人的対応が可能である場合とは、事象進展の時間的余裕の範囲内で要求される対応を達成するために**必要な体制や力量の確保**、**資機材のメンテナンスや保管場所の成立性**、**アクセスルート**の確保など、異常時の対応手順の成立性が検証されている必要がある。

- 電源バックアップ設備の多重化等の信頼性の確保については、電源を供給すべき先の設備に要求される信頼性と同等とする。（直接関連系^{※1}の考え方）
 - 平常時においては、異常の発生に加えて、さらに電源バックアップ設備に異常が発生する多重故障の発生までは考慮しない。
 - 事故時においては、電源バックアップ設備にも何らかの異常の発生を仮定した場合においても、事故による公衆被ばく公衆線量への追加的影響を5mSv以下とする。

- よって、電源バックアップ設備の多重化等の要否については、以下の通りとする。

平常時の備えとして、電源バックアップ設備を配備する場合	1系列以上 ^{※2}
事故時の備えとして、電源バックアップ設備を配備する場合	2系列以上 ^{※2} (多重性または多様性および独立性 ^{※3})

- ※1 安全機能を直接果たす構築物，系統及び機器が，その機能を果たすために直接必要となる構築物，系統及び機器
- ※2 電源バックアップ設備がメンテナンスや単一故障などで使用できない場合においては，必要台数を維持するための予備系統を備えるか，または必要な台数が維持されない場合には施設の運転を停止するなどの運用上の配慮が必要である
- ※3 多重性または多様性および独立性の確保については，電源設備だけでなく，電源を供給する先の設備本体とあわせて確保する必要がある

- 電源バックアップ設備の耐震性の確保についても同様に、電源を供給すべき先の設備に要求される耐震クラスと同等とする。

■ 電源バックアップ設備の使命時間の考え方

⇒ 異常時の対応手順に応じ、**電源の供給を期待する期間**の機能維持が必要
(異常発生から7日目以降※は発電所外からの支援を期待しても良い)

例1) 原子炉注水ポンプや使用済燃料プールの循環ポンプなどは、間欠的な動作によって目的を達成可能であり、7日間の連続運転は不要

例2) 高レベルのダストを閉じ込めるための空調ファンなどは、給油などの一時的な場合を除き、ダスト濃度が高い期間中は概ね連続的に運転を継続する必要がある

※ 至近の実施計画申請において、外部からの支援は原則として7日目以降に期待できるとしており、それまでの間は1Fとして活動を維持する必要がある

その他の外部電源喪失に対する備え

- 今後設置する1Fの施設・設備の設計において、遮へい機能や閉じ込め機能といった安全機能を直接的に有する構築物、系統及び機器以外であっても、以下の施設・設備については、**機能維持の目的、時間的余裕をふまえて必要に応じ**、外部電源喪失に備えた設計とする。
- 加えて、1F全体としての環境モニタリング活動や、建築基準法や消防法で要求される火災警報、予備電源、非常用照明等は別途、法令要求等を満足する必要がある。

施設・設備	機能維持の目的	外部電源喪失に対する備え
放射線監視設備	<ul style="list-style-type: none"> 異常時の閉じ込め機能の確保を確認するため 	<p>施設・設備の特徴をふまえて必要に応じ、</p> <p>常設の非常用電源からの電力供給（D/G、バッテリー等）</p> <p>または</p> <p>時間的余裕がある場合には、可搬型の代替電源設備または電力の供給を必要としない可搬型設備を用いた人的対応</p>
火災等の警報・消火設備	<ul style="list-style-type: none"> 火災による波及的影響により、上位クラスの安全機能を損なうことがない設計とするため 	
緊急通信・連絡設備	<ul style="list-style-type: none"> 施設内の人に対し必要な指示をするため 施設外と異常時に必要な連絡をするため 	
非常用照明等	<ul style="list-style-type: none"> 施設内の人々が安全に避難するため 夜間等の復旧作業のため 	

① 放射線監視設備

- 閉じ込め機能（動的・静的問わず）の喪失により、放射性物質の放出のおそれがある場合には、閉じ込め機能がその機能を達成していることを確認するため、換気空調系の排気口等の放射線モニタまたは建屋開口部などについて外部電源喪失時にも放射線監視を可能とする
- なお、別途、1F全体としての環境モニタリングは必要（モニタリングポスト）

② 火災等の警報・消火設備

- 火災等の波及影響による安全機能の喪失を防止するため、区画、防火板、可燃性の材料を不燃性または難燃性材料で養生する等の対策を行う
- 火災等の波及影響による安全機能の喪失により、公衆または従事者の過度の放射線影響が想定される場合には、安全機能を有する機器等を保護するため、外部電源喪失時にも火災の検知、消火を可能とする
- なお、別途、建築基準法、消防法などの要求を満足する

③ 緊急通信・連絡設備

- 施設内に人が立ち入らない設計の場合は外部電源喪失への備えは不要とする
- 復旧作業や臨時に人の立ち入りが必要となる場合には、可搬型通信連絡装置等を携行する
- 施設外との連絡手段については、緊急時対策所等に一括して設ける場合には個々の施設・設備には設置しない

④ 非常用照明等

- 施設内に人が立ち入らない設計の場合は外部電源喪失への備えは不要とする
- 復旧作業や臨時に人の立ち入りが必要となる場合には、可搬型照明等を携行する
- なお、別途、建築基準法、消防法などの要求を満足する

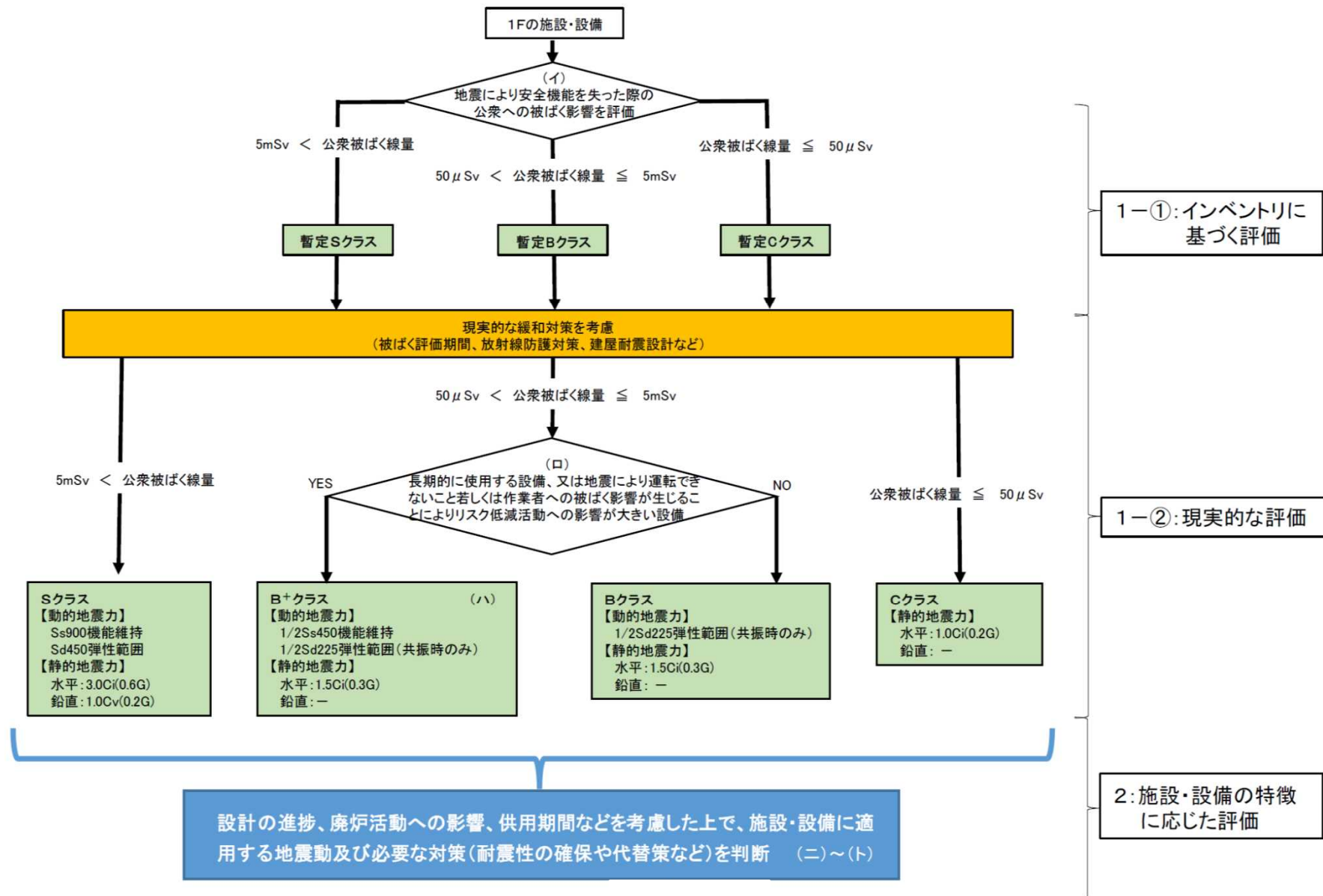
6. 電源の確保

- 重要度の特に高い安全機能や監視機能を有する構築物、系統及び機器が、その機能を達成するために電力を必要とする場合においては、外部電源(電力系統)又は非常用所内電源のいずれからも電力の供給を受けられ、かつ、十分に高い信頼性を確保、維持し得ること。
- 外部電源系、非常用所内電源系、その他の関連する電気系統の機器の故障によって、必要とされる電力の供給が喪失することがないよう、異常を検知しその拡大及び伝播を防ぐこと。

7. 電源喪失に対する設計上の考慮

- 全交流電源喪失に対して、原子炉圧力容器内・原子炉格納容器内及び使用済燃料貯蔵設備の冷却を確保し、かつ復旧できること。これを達成するために、電源車、ポンプ車を含む代替電源及び代替給水設備を備えること。

(参考) 耐震クラス分類のフロー



(参考) 使用許可基準規則の要求と解釈

使用施設等の位置、構造及び設備の基準に関する規則	使用施設等の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈
<p>(非常用電源設備)</p> <p>第二十七条 <u>使用前検査対象施設</u>には、外部電源系統からの電気の供給が停止した場合において、監視設備その他当該使用前検査対象施設の安全機能を確保するために必要な設備を使用することができるように、<u>必要に応じて非常用電源設備を設けなければならない</u>。</p>	<p>第27条 (非常用電源設備)</p> <p>1 第27条に規定する「非常用電源設備」とは、非常用電源設備(非常用ディーゼル発電機、無停電電源等)及び安全機能を確保するために必要な施設への電力供給設備(ケーブル等)をいう。</p> <p>2 非常用電源系は、停電等の<u>外部電源系統の機能喪失時における安全機能の確保のために必要な以下の設備</u>のために、十分な容量、機能を有すること。</p> <ul style="list-style-type: none">一 放射線監視設備二 管理区域の排気設備三 火災等の警報設備、緊急通信・連絡設備、非常用照明灯 等

<発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に関する指針（抜粋）>

1. 線量目標値

発電用軽水炉施設の通常運転時における環境への放射性物質の放出に伴う周辺公衆の受ける線量を低く保つための努力目標として、施設周辺の公衆の受ける線量についての目標値（以下「線量目標値」という。）を実効線量で年間50マイクロシーベルトとする。

（中略）

ここで設定した線量目標値は、周辺監視区域外の線量限度及び周辺監視区域外における放射性物質の濃度限度の規制値に代わるものではなく、いわゆる「as low as reasonably achievable」の考え方に立って周辺公衆の受ける線量を低く保つための努力目標値であるこの線量目標値が達成できないことをもって、運転停止、出力制限等の措置を必要とするような安全上の支障があると解すべきものではない。

（以下略）