

実施計画変更認可申請中の主な設備に対する耐震クラスの設定について

2021年9月13日

東京電力ホールディングス株式会社

- 第92回特定原子力施設監視・評価検討会（2021年7月12日）において、耐震設計の考え方が示されました。
- 本書は、実施計画変更認可申請中の主な設備に対して、上記の考えを適用した場合の耐震クラスの設定について当社の考え※を示すもの。

<対象設備>

- 大型廃棄物保管庫
- 使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第三施設）におけるHIC保管容量増設
- 1号SFP燃料取出関連設備（1号建屋カバー含む）
- 2号SFP燃料取出関連設備

※本書は、2021年8月25日に原子力規制庁へ提出した資料を基に作成しており、第30回原子力規制委員会（2021年9月8日）にて原子力規制庁より示された耐震設計の考え方の表記の整合に加え、一部表現の適正化等を行ったものです。

実施計画変更認可申請中の主な設備に対する耐震クラスの設定

設備名：大型廃棄物保管庫

シナリオ	地震（Ss900）により想定される当該施設の影響、および放射性物質（放射線）の放出経路（シナリオ）	各シナリオが発生した場合の敷地境界への線量影響（mSv）*1	線量影響を踏まえた耐震クラス*2	共振の有無	波及的影響	供用期間、廃炉活動への影響等	適用する地震力
①	【建屋】 建屋の外壁、天井の遮蔽機能が部分的に喪失し放射線が放出される。	建屋の外壁、天井の部分的な割れや欠損が想定されるが、保守的に壁と屋根が全てなくなった場合の使用済吸着塔からの敷地境界線量の評価を実施。Cs線源に対し概ね1/10の遮蔽効果を有する外壁、天井がないものとした場合、敷地境界への影響増は0.59mSv/y程度（遮蔽なし0.66-遮蔽あり0.066）と想定。なお、建屋の天井については、鉄筋コンクリート(RC)に部分的にヒビが生じる可能性はあるものの、RC部は鉄骨で支持されたデッキプレート上に打設されており、コンクリートの破片が天井から落下し、保管庫内部の機器に影響を与えることはない想定。	Bクラス	【建屋】 無し 【機器】 クレーン有り 架台無し	【建屋】 建屋損傷により架構の変形は生じるが、建屋が倒壊するほどの損傷が発生する可能性は低く、屋根のコンクリートについてもデッキプレートにより支持されており、落下する可能性は低いと考えられ、使用済吸着塔への波及的影響はなし 【機器】 クレーン、架台損傷により当該機器が使用不能となる可能性があるが倒壊まで至らないと考えられ、使用済吸着塔への波及的影響はなし	・供用期間が長期間となるため、適用する地震力はB+クラス（1/2Ss450機能維持、1/2Sd225弾性範囲（共振時のみ））となるが、現在実施しているSs600での評価で包絡できることを確認できる場合は、その評価を用いて認可を得ることを考えている。	B+クラス
②	【機器】 クレーン・架台の健全性が一部失われる。	クレーンについては、レールからの脱線により一時使用不能になる事が考えられるが、倒壊するほどの損傷は発生しないと想定。架台については、地震時でも使用済吸着塔が架台のフレーム内に留まり転倒しない設計とする。使用済吸着塔の接触により架台基礎でボルトのせん断破壊が発生する可能性があるが、架台自体が転倒することはない。使用済吸着塔の損傷は、架台との接触による表面の塗装の剥げやへこみ程度にとどまると想定。このため、機器の損傷による敷地境界線量への影響はないと想定している。					

*1 敷地境界の影響については、今後の詳細評価によって変更となる可能性がある

*2 Sクラス 敷地境界線量：> 5mSv/事故
Bクラス 敷地境界線量：50μSv～5mSv/事故
Cクラス 敷地境界線量：≤50μSv/事故

実施計画変更認可申請中の主な設備に対する耐震クラスの設定

設備名：使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第三施設）におけるHIC保管容量増設

シナリオ	地震（Ss900）により想定される当該施設の影響、および放射性物質（放射線）の放出経路（シナリオ）	各シナリオが発生した場合の敷地境界への線量影響（mSv）*1	線量影響を踏まえた耐震クラス*2	共振の有無	波及的影響	供用期間、廃炉活動への影響等	適用する地震力
①	<p>ボックスカルバートが損傷し、遮へい性能が低下することにより敷地境界線量が上昇する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ボックスカルバートが地震により滑り、隣接するボックスカルバート同士で接触し損傷するものとする。 地震によりHICがボックスカルバート内面に衝突する可能性もあるが、落下試験によりHICの健全性が確認されているため、HICは損傷しないと考えられる。 Ss900に対してボックスカルバートは転倒せず連結ボルトも損傷しない※と考えられるため、HICが横倒しになることはない。 <p>※：3Ci（約600gal）での評価結果に余裕があるため、Ss900に対しても保つと考えられる。</p>	<p>ボックスカルバートは鉄筋コンクリートであり、実際の損傷形態はひび割れの発生と考えられるが、簡易的に評価するため、ボックスカルバート最外周の厚さ40cmのコンクリートが消失し、これによる遮へいが失われた状態を仮定すると、敷地境界への線量影響は施設が健全な場合と比較して100倍程度※1になる。施設による敷地境界への線量影響は0.0153mSv/年であるため、地震による影響は、$0.0153\text{mSv/年} \times 100\text{倍} = 1.53\text{mSv/年}$となる。</p> <p>なお、上記はHICの補強体による遮へいを考慮していない。補強体により線量は1/2程度※2になるため補強体の遮へい効果を考慮すると、$1.53\text{mSv/年} \times 1/2 = 0.77\text{mSv/年}$となる。</p> <p>※1：厚さ20cmのコンクリートで線量が約1/10になる場合、厚さ40cmでは1/10の2乗=1/100となる。 ※2：HICの補強体はSUS製で厚さ10mmであり、この遮へい効果により線量は1/2程度となる（文献値）</p>	Bクラス	<p>【ボックスカルバート】 固定されていないため、固有振動数は確認していないが、滑動しない限りは剛構造と考えている。</p> <p>【クレーン】 有り クレーンのガーダが長いこと共振する（柔構造）と考えている</p>	無し	<ul style="list-style-type: none"> 供用期間は長期間を想定している。 第三施設が地震で損傷した場合、HICの一時保管場所が逼迫し水処理が滞る可能性がある。 供用期間が長期間となるため、適用する地震力はB+クラス（1/2Ss450機能維持、1/2Sd225弾性範囲（共振時のみ））となるが、Ss600での評価で包絡できることが確認できる場合は、その評価で代用することを考えている。 	B+クラス
②	<p>クレーンでHIC取扱中に地震が発生し、HICが横倒しになり、スラリー流出により敷地境界線量が上昇する。</p> <ul style="list-style-type: none"> クレーンはSs900に対して保たないと想定し、取扱中のHICを落とすと考えられる。クレーンがHICを落とした場合でも、ボックスカルバート上部に設けられた転落防止架台により、HICが施設外に転落することはない。 HICベント孔は小さく高性能フィルタも設置されていることから、横倒しになった際のスラリーの流出は少量と考えられるが、保守的に半分程度のスラリーが流出すると想定。 	<p>HICは施設外に転落しないため、流出したスラリーはボックスカルバートの蓋上に溜まるか、蓋が開いていればボックスカルバート内に溜まる。 流出したスラリーによる被ばく線量は評価中。</p>					

*1 敷地境界の影響については、今後の詳細評価によって変更となる可能性がある

*2 Sクラス 敷地境界線量：> 5mSv/事故
 Bクラス 敷地境界線量：50μSv～5mSv/事故
 Cクラス 敷地境界線量：≤50μSv/事故

実施計画変更認可申請中の主な設備に対する耐震クラスの設定
 設備名：1号SFP燃料取出関連設備（1号建屋カバー含む）（1/2）

シナリオ	地震（Ss900）により想定される当該施設の影響、および放射性物質（放射線）の放出経路（シナリオ）	各シナリオが発生した場合の敷地境界への線量影響（mSv） ^{*1}	線量影響を踏まえた耐震クラス ^{*2}	共振の有無	波及的影響	供用期間、廃炉活動への影響等	適用する地震力
①	大型カバー、燃料取扱設備、オペフロガレキ等が地震の影響により崩落し、使用済燃料プールのライナーを損傷させることで、使用済燃料プールの水位が低下し、燃料が露出する。	敷地境界の実効線量：約 5.3×10^{-3} mSv/事象 使用済燃料プールの水位低下に伴う燃料露出時（BAF水位）の線量影響評価 機動的対応は準備済。被災状況により異なるが、10時間以内での対応を想定して算出。	Bクラス	有り 大型カバーの周波数と燃料取扱設備の周期帯をずらし共振域を外した構造設計としている	【大型カバー、燃料取扱設備、オペフロガレキ等】 崩落による使用済燃料プール、使用済燃料の損傷	・供用期間は、大型カバーはガレキ撤去開始から燃料取り出し完了までの約6年、燃料取扱設備は燃料取り出し期間の約2年を想定。 ・燃料取出関連設備は従来のSs600に対し、主要部材が弾性状態に留まる設計を行っており、「B+クラス(1/2Ss450(水平2方向+鉛直))」で再評価しても一部の主要部材が塑性域に入る可能性は高いが大型カバー・設備ともに倒壊に至らないと想定。 (今後、B+クラスによる影響評価を実施予定) ・廃炉活動への影響として、大型カバー及び燃料取扱設備を設置した後大規模破損が生じ設備復旧に要する期間は約6年 ^{*3} と想定。 ⇒敷地境界線量への影響も小さく、供用期間が6年と短いことから、「B+クラス」で再設計し、燃料取り出し時期を約2年 ^{*4} 遅らせるより、Ss600（水平1方向+鉛直）の設計に基づく、設備設置を進めることで、早期のリスク低減を図りたい。	B+クラス Ss600 (水平1方向+鉛直)
②	大型カバー、燃料取扱設備、オペフロガレキ等が地震の影響により崩落し、使用済燃料プール内に貯蔵している燃料を破損させることで、放射性物質が放出する。	敷地境界での実効線量：約 4.8×10^{-2} mSv/事象 SFP内燃料全数破損時の評価。 原子炉建屋屋根部材や燃料取扱機がSFP内に落下した3号機では、燃料ハンドル部やチャンネルファスナ、チャンネルボックス上部等の変形以外には外観上有意な変形は認められず、解析においても被覆管で破損する可能性がある部位は上部端柱のみだった。1号機では燃料取扱設備等が仮に落下した場合も3号機と同様に燃料上部にのみ影響が発生すると推定され、被覆管が健全である燃料についてはペレットの放出は考えにくい（オペフロガレキ撤去期間中はSFP上の養生により落下による衝撃が緩和され、燃料の損傷程度はより小さくなると想定される）。燃料被覆管上部の変形により核分裂生成物（FPガス）の放出は想定されるため、SFP内燃料全数が破損したと仮定して被ばく量を評価した。					
③	大型カバー、燃料取扱設備、オペフロガレキ等が地震の影響により崩落し、使用済燃料プール内に貯蔵している震災前から破損している燃料からペレットが大規模に放出されることで臨界に至り、放射性物質が放出する。	燃料破損に伴う臨界は下記理由により発生しないと想定されるため、臨界に起因する敷地境界線量の増加は無い（シナリオ②の線量に包絡）。 1号機SFP内には原子炉運転中に水素脆化に起因した被覆管破損燃料が66体存在し、これらは燃料取扱設備等の衝突時に被覆管がさらに破損し、ペレットが拡散することが懸念される。ただし、仮に複数の破損燃料からペレットが拡散しても、実際の燃料配置、UO ₂ 濃縮度、燃焼度、ラック形状等を考慮したモンテカルロ法を用いた概略評価の結果、実効増倍率は1未満となり臨界には至らないと想定している。					
④	地震により大型カバーが損傷して既設原子炉建屋5階鉄骨柱等に接触することで、既設天井クレーンが現状位置より落下し、落下に伴い発生する放射性ダストが大型カバー外に放出する。	敷地境界での実効線量： 1.8×10^{-4} mSv/事象（既設天井クレーン落下時のダスト影響） 換気設備の損傷を想定してフィルタによる放射性物質の捕集（97%）を考慮しない。					
シナリオ⑤、⑥は次項参照							

* 1 敷地境界の影響については、今後の詳細評価によって変更となる可能性がある

* 2 Sクラス 敷地境界線量：> 5mSv/事故
 Bクラス 敷地境界線量：50μSv～5mSv/事故
 Cクラス 敷地境界線量：≤50μSv/事故

* 3：設備復旧に要する期間：約6年
 供用期間中に設計地震力を超える地震により設備損壊時の影響
 設備等の解体撤去：約2.5年
 設備再設置：約3.5年

* 4：再設計に要する期間：約2年
 1/2Ss 450（水平2方向+鉛直）で再設計
 カバー再評価・設計見直し：約1年
 カバー再設計後 機器再評価・設計見直し：約1年

実施計画変更認可申請中の主な設備に対する耐震クラスの設定
 設備名：1号SFP燃料取出関連設備（1号建屋カバー含む）（2/2）

シナリオ	地震（Ss900）により想定される当該施設の影響、および放射性物質（放射線）の放出経路（シナリオ）	各シナリオが発生した場合の敷地境界への線量影響（mSv）*1	線量影響を踏まえた耐震クラス*2	共振の有無	波及的影響	供用期間、廃炉活動への影響等	適用する地震力
⑤	大型カバーアンカーボルト接合部破損等のカバー架構崩落による原子炉建屋（以下、R/Bという）が損傷する。	<p>大型カバー架構崩落によりR/Bが損傷する可能性は低く、敷地境界線量の増加はないと想定</p> <p>Ss600による滞留水を考慮したR/Bの地震応答解析では、地下1階のせん断ひずみは最大0.09×10^{-3}であり、また、Ss900を入力地震動とした場合には、最大せん断ひずみは0.12×10^{-3}である。地震動が変わることによって、発生する最大せん断ひずみは1.3～1.4倍程度と想定される。</p> <p>一方で、Ss600を用いた大型カバーの設置を考慮したR/Bの地震応答解析によると、耐震壁のせん断ひずみは、0.18×10^{-3}である。このため、大型カバーを設置した状態でSs900を受けた場合には、耐震壁の最大せん断ひずみは$0.3 \sim 0.4 \times 10^{-3}$になると想定される。これは、鉄筋コンクリート造耐震壁の終局点のせん断ひずみである4.0×10^{-3}よりも十分小さい値であることから、R/B外壁に損傷が発生する可能性は低く、R/Bの耐震性に大きな影響をあたえないと想定される。</p> <p>また、東北地方太平洋沖地震のシミュレーション解析結果から、R/Bの耐震壁に生じたひずみは最大でも0.14×10^{-3}であるため、R/Bの耐震性に影響を与えるひび割れが生じた可能性は低く、また、水素爆発によりオペフロより上の鉄骨部が損傷、飛散したものの、オペフロより下の鉄筋コンクリート部においては、外観上大きな損傷は確認できていない。アンカーの設置に当たっては、調査を踏まえてひび割れ等を避けるなどの工夫による構造上の配慮を行っており、あわせて今後の準備工事においてアンカー削孔時に壁面強度を確認する。仮に大型カバーの接続部（アンカー部）が損傷するとしても、アンカーの降伏またはコーン破壊が想定され、アンカーが塑性化するか、一部の壁がコーン状に破壊されることが想定される。このため、R/B外壁全体が損傷する可能性は低く、PCVや地下滞留水に影響を及ぼすことはない想定される。</p>	（前項参照）	（前項参照）	（前項参照）	（前項参照）	（前項参照）
⑥	大型カバーやガレキ撤去用天井クレーンが落下し、ウェルプラグが損傷することでその直下にあるPCVヘッドが損傷又は変形が生じ、放射性物質が放出される。	<p>敷地境界での実効線量：約2×10^{-3} mSv/事象</p> <p>仮に大型カバーやガレキ撤去用天井クレーンが落下し、ウェルプラグが損傷することでその直下にあるPCVヘッドが損傷又は変形が生じた場合は、1号機PCV圧力は、現状では10 kPa程度の正圧となっているため、PCVヘッドの損傷によってPCV内部のガスが大気に開放された場合、差圧分のPCVガスが放出されるものと想定される。</p> <p>また、開口部の復旧までの期間（1年と仮定）、PCVヘッド開口部からPCV内部のガスの放出が継続すると想定される。</p>					

*1 敷地境界の影響については、今後の詳細評価によって変更となる可能性がある

*2 Sクラス 敷地境界線量：> 5mSv/事故
 Bクラス 敷地境界線量：50μSv～5mSv/事故
 Cクラス 敷地境界線量：≤50μSv/事故

実施計画変更認可申請中の主な設備に対する耐震クラスの設定
 設備名：2号SFP燃料取出関連設備

シナリオ	地震 (Ss900) により想定される当該施設の影響、および放射性物質 (放射線) の放出経路 (シナリオ)	各シナリオが発生した場合の敷地境界への線量影響 (mSv) ^{*1}	線量影響を踏まえた耐震クラス ^{*2}	共振の有無	波及的影響	供用期間、廃炉活動への影響等	適用する地震力
①	燃料取扱設備に搭載しているクレーン等が地震の影響により走行台車から脱落し、使用済燃料プールのライナーを損傷させることで、使用済燃料プール水位が低下し、燃料が露出する。	敷地境界の実効線量：約 9.9×10^{-4} mSv/事象 使用済燃料プールの水位低下に伴う燃料露出時 (BAF水位) の線量影響評価 機動的対応は準備済。被災状況により異なるが、10時間以内での対応を想定して算出。	Bクラス	有り 構台/原子炉建屋の周波数と燃料取扱設備の周期帯をずらし共振域を外した構造設計としている	【燃料取扱設備】 崩落による使用済燃料プール、使用済燃料の損傷	・供用期間は、燃料取り出し完了までの約2年を想定 ・燃料取出関連設備は従来のSs600に対し、主要部材が弾性状態に留まる設計を行っており、「B+クラス(1/2Ss450 (水平2方向+鉛直))」で再評価しても一部の主要部材が塑性域に入る可能性は高いが設備・構台ともに倒壊に至らないと想定 設備：燃料取扱機及びキャスク取扱クレーンは、一部塑性域に入る可能性が高いが、使用済燃料プールに落下することは無いと想定 構台：柱梁等が塑性域に入る可能性が高いが倒壊には至らないと想定 (今後、B+クラスによる影響評価を実施予定) ・廃炉活動への影響として、構台及び燃料取扱設備を設置した後に大規模破損が生じ設備復旧に要する期間は約3年 ^{*3} と想定 ⇒敷地境界線量への影響も小さく、供用期間が2年と短いことから、「B+クラス」で再設計し、燃料取り出し時期を約2年 ^{*4} 遅らせるより、Ss600 (水平1方向+鉛直) の設計に基づく、設備設置を進めることで、早期のリスク低減を図りたい。	B+クラス Ss600 (水平1方向+鉛直)
②	燃料取扱設備に搭載しているクレーン等が地震の影響により走行台車から脱落し、使用済燃料プール内に貯蔵している燃料を破損させることで、放射性物質が放出する。	敷地境界の実効線量：約 1.3×10^{-1} mSv/事象 SFP内燃料全数破損時の評価 原子炉建屋屋根部材や燃料取扱機がSFP内に落下した3号機では、燃料ハンドル部やチャンネルファスナ、チャンネルボックス上部等の変形以外には外観上有意な変形は認められず、解析においても被覆管で破損する可能性がある部位は上部端栓のみだった。2号機にて燃料取扱設備等が仮に落下した場合も3号機と同様に燃料上部にのみ影響が発生すると推定され、ペレットの放出は考えにくい。燃料被覆管上部の変形によりFPガスの放出は想定されるため、SFP内燃料全数が破損したと仮定して被ばく量を評価した。					

* 1 敷地境界の影響については、今後の詳細評価によって変更となる可能性がある

* 2 Sクラス 敷地境界線量：> 5mSv/事故
 Bクラス 敷地境界線量：50μSv～5mSv/事故
 Cクラス 敷地境界線量：≤50μSv/事故

* 3：設備復旧に要する期間：約3年
 供用期間中に設計地震力を超える地震により設備損壊時の影響
 設備等の解体撤去：約1年
 設備再設置：約2年

* 4：再設計に要する期間：約2年
 1/2Ss 450 (水平2方向+鉛直) で再設計
 構台再評価・設計見直し：約1年
 構台再設計後
 機器再評価・設計見直し：約1年