

川内原子力発電所の その他外的事象に対するストレステスト

2019年8月20日

原子力発電本部 安全性向上グループ長

福井 敏洋

原子炉等規制法43条の3の29においては、発電用原子炉設置者は、原則として、原子力規制委員会規則で定めるところにより、同規則で定める時期（施設定期検査終了後6ヶ月以内）ごとに、当該発電用原子炉施設の安全性について、自ら評価をして原子力規制委員会に届け出た上、その結果等を公表しなければならないと規定されている。

これを受け、実用炉則99条の2から99条の7において、安全性向上のための評価の届出・公表の詳細が定められている。

さらに、行政手続法上の命令に当たらない手続に関連する内規として、「実用発電用原子炉の安全性向上評価に関する運用ガイド」（原規技発第1311273号）が定められている。

出典：実用発電用原子炉に係る新規制基準の考え方について（平成28年6月29日策定、平成30年12月19日最終改訂、原子力規制委員会）

「実用発電用原子炉の安全性向上評価に関する運用ガイド」に基づき、以下の4章構成としている。

第1章 安全規制によって法令への適合性が確認された範囲

第2章 安全性の向上のため自主的に講じた措置

2-1 安全性の向上に向けた継続的取組みの方針

2-2 調査等

(1) 保安活動の実施状況

(2) 国内外の最新の科学的知見及び技術的知見

(3) プラント・ウォークダウン

2-3 安全性向上計画

2-4 追加措置の内容

(1) 構築物、系統及び機器における追加措置

(2) 体制における追加措置

2-5 外部評価の結果

第3章 安全性の向上のため自主的に講じた措置の調査及び分析

3-1 安全性向上に係る活動の実施状況の評価

(1) 内部事象及び外部事象に係る評価 ←

(2) 決定論的安全評価

(3) 確率論的リスク評価 ←

(4) 安全裕度評価 ←

3-2 安全性向上に係る活動の実施状況に関する中長期的な評価

第4章 総合的な評定

4-1 評定結果

4-2 安全性向上計画

参考資料（商業機密、防護上の機密等の公開できない情報）

第3章及び第4章は変更の必要がない場合、5年毎（3-2は10年毎）に実施する

3-1 安全性向上に係る活動の実施状況の評価

(1) 内部事象及び外部事象に係る評価

評価の実施時点における最新の文献及び調査等から得られた科学的知見及び技術的知見に基づき、安全評価の前提となっている内部事象及び外部事象の評価を行う。

(3) 内部事象及び外部事象に係る確率論的リスク評価（PRA）

- ①原子炉等規制法第43条3の6及び第43条の3の14の基準その他関係法令を踏まえ、レベル1PRA及びレベル2PRAを内部事象及び外部事象を対象に実施する。
- ③本評価で対象とする事象については、PRA実施手法の成熟状況に応じ、段階的に拡張していくものとする。今後、検討していく事象の例を以下に示す。
 - (a) 内部溢水及び内部火災
 - (b) 地震及び津波の重畳事象並びに地震及び津波以外の外部事象
 - (c) 使用済燃料貯蔵槽で発生する事象
 - (d) 多数基で同時に発生する事象

(4) 安全裕度評価

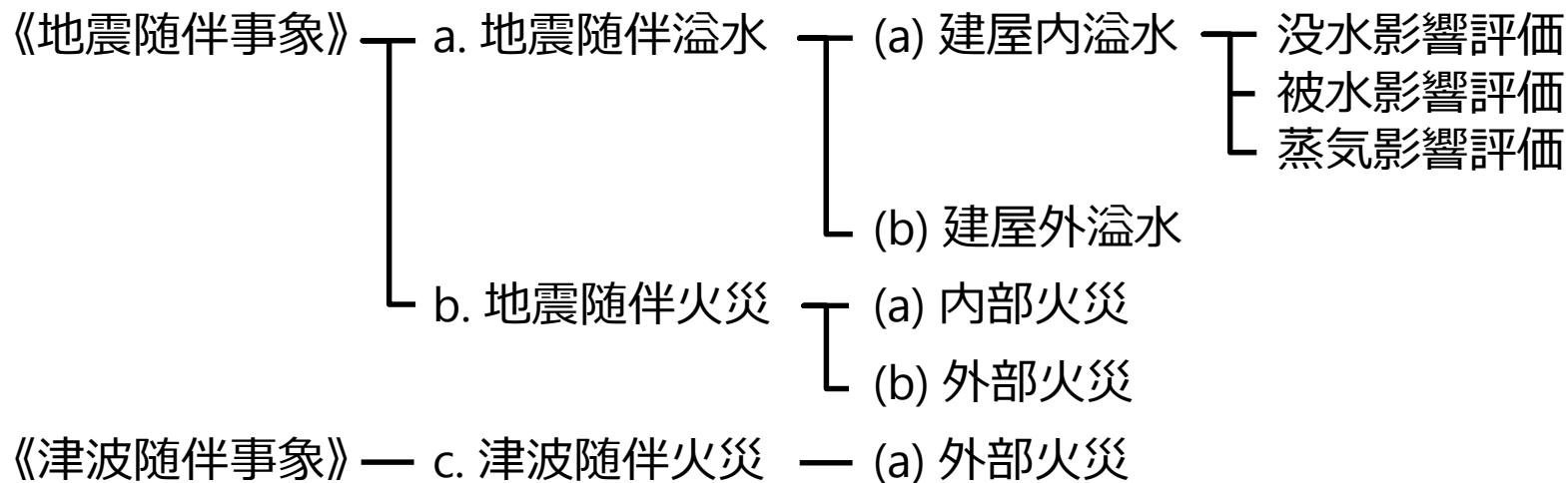
- ①地震及び津波並びにその重畳事象について実施する。また、その他の外的事象について検討を行い、考慮すべきと考えられるものについて評価を実施する。

「実用発電用原子炉の安全性向上評価に関する運用ガイド」抜粋

【川内2号の炉心に対する評価結果】

○ 地震及び津波随伴事象の評価

地震及び津波の単独評価で得られたクリフエッジに対して、以下の随伴事象が及ぼす影響を評価した。



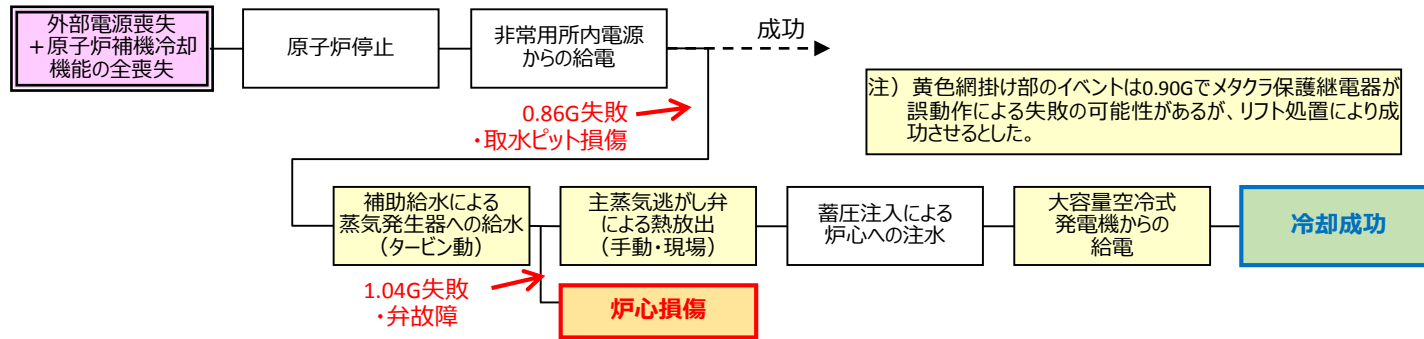
a. 地震随伴溢水

(a) 建屋内溢水

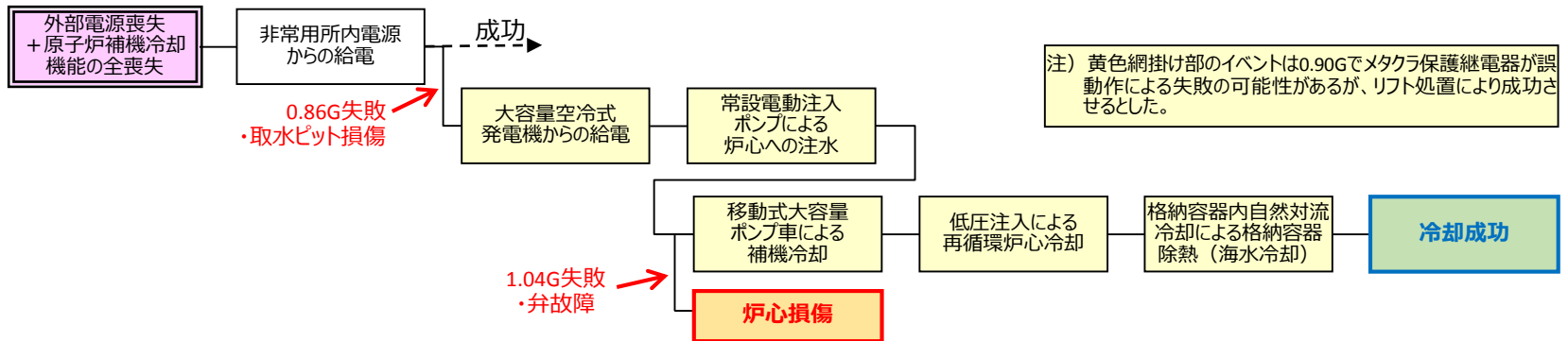
地震評価のクリフエッジシナリオに必要な建屋内設備へのクリフエッジ地震により損傷した機器から発生した溢水による影響を評価する。溢水は滞留水、流水（蒸気を含む）の形態で存在することから、没水、被水、蒸気影響の観点から評価した。

《参考：第1回届出の地震評価におけるクリフエッジシナリオ》

○ クリフエッジシナリオ (地震、炉心、出力運転時)



○ クリフエッジシナリオ (地震、炉心、運転停止時)



○ 没水影響評価 (1/2)

クリフエッジシナリオに必要な設備が設置されている原子炉補助建屋 (A/B) 内の全ての区画について、壁、扉及び堰又はそれらの組合せによって他の区画と分離される評価区画を設定し、評価区画内の溢水の最高水位とクリフエッジシナリオに必要な設備の機能喪失高さを比較し、没水による影響を評価した。

【評価結果】

地震評価のクリフエッジシナリオ成立に必要な設備の機能喪失高さが評価区画内で発生を想定する溢水水位を上回ること、又は、水没する場合においても溢水水位に対する耐没水性能を有していることから、没水の影響を受けないことを確認した。

炉心損傷防止対策 (出力運転時、運転停止時) のA/B内設置機器の評価結果を以下に示す。

《炉心損傷防止対策 (出力運転時) 没水影響評価結果 (A/B内設置機器) 》

EL.[m]	評価区画	防護すべき設備※1	溢水量 [m ³]	滞留面積 [m ²]	床勾配 [m]	① 溢水水位※2 (床上[m])	② 機能喪失高さ(床上[m])	影響評価	判定
13.3	A/B-1	代替電源接続盤 (A/B)	23.0	969.4	0.1	0.124	1.11	①<②	○
	A/B-2	2A 主蒸気逃し弁	溢水源及び他区画からの溢水伝播なし				1.82	—	○
	A/B-3	2B 主蒸気逃し弁					1.71	—	○
5.0 (中間床)	A/B-4	2C 主蒸気逃し弁	溢水源及び他区画からの溢水伝播なし				1.90	—	○
5.0	A/B-5	A蒸気発生器蒸気圧力計 (III)	41.4	1470.1	0.1	0.129	1.06	①<②	○

※1 各評価区画において、最も機能喪失高さが低い設備を示す。

※2 溢水水位 = (溢水量) / (滞留面積) + (床勾配)

○ 没水影響評価（2/2）

《炉心損傷防止対策（運転停止時）没水影響評価結果（A/B内設置機器）》

EL.[m]	評価区画	防護すべき設備※1	溢水量 [m ³]	滞留面積 [m ²]	床勾配 [m]	① 溢水水位※2 (床上[m])	② 機能喪失高さ(床上[m])	影響評価	判定	
13.3	A/B-1	重大事故等対処用変圧器受電盤	23.0	969.4	0.1	0.124	0.24	①<②	○	
5.0	A/B-5	C/V広域圧力計 (IV)	41.4	1470.1	0.1	0.129	0.96	①<②	○	
-2.0 (中間床)	A/B-6	2A C/Vスプレイ冷却器出口弁	溢水源及び他区画からの溢水伝播なし					1.54	—	○
-2.0	A/B-7	C/V広域圧力計 (I)	46.0	1166.6	0.1	0.140	1.21	①<②	○	
-9.0	A/B-8	2B RHR冷却器冷却水第2出口弁	46.0	671.0	0.1	0.169	4.43	①<②	○	
	A/B-9	代替再循環隔離弁	46.0	738.6	0.1	0.163	0.85	①<②	○	
-15.0	A/B-10	2A RHRポンプ出口流量計 (2-FT-601)	46.0	139.8	0.1	0.430	1.04	①<②	○	
	A/B-11	2B RHRポンプ出口流量計 (2-FT-611)	46.0	39.5	0.1	1.265	1.11	①>②	○※3	
	A/B-12	2B RHR系統C/V再循環弁	46.0	112.4	0.1	0.510	2.06	①<②	○	
-21.0	A/B-13	2A RHRポンプ	46.0	120.3	0.1	0.483	0.81	①<②	○	
	A/B-14	2B RHRポンプ	46.0	119.5	0.1	0.485	0.81	①<②	○	

※1 各評価区画において、最も機能喪失高さが低い設備を示す。

※2 溢水水位 = (溢水量) / (滞留面積) + (床勾配)

※3 JIS C 0920（電気機械器具の外郭による保護等級）のIPコード7の耐没水性を有することから機能喪失しない。

C/V：格納容器、RHR：余熱除去

○ 被水影響評価（1/2）

クリフエッジシナリオに必要な設備に対して溢水源からの直線軌道及び放物線軌道の飛散による被水及び天井面の開口部又は貫通部からの被水による影響を評価した。

【評価結果】

発生する溢水源からの被水の影響を受けないことを確認した。

炉心損傷防止対策（出力運転時、運転停止時）のA/B内設置機器の評価結果の例を以下に示す。

《炉心損傷防止対策（出力運転時）被水影響評価結果（A/B内設置機器の例）》

EL.[m]	評価区画	防護すべき設備	影響評価	判定
13.3	A/B-1	代替電源接続盤 (A/B)	溢水源からの直線軌道及び放物線軌道の飛散による被水の範囲外にあり、かつ、天井面の開口部又は貫通部からの被水の影響を受ける範囲外にあることから、被水の影響を受けない。	○
	A/B-2	2A 主蒸気逃し弁		
	A/B-3	2B 主蒸気逃し弁		
5.0 (中間床)	A/B-4	2C 主蒸気逃し弁		
5.0	A/B-5	A蒸気発生器蒸気圧力計 (III)		

○ 被水影響評価（2/2）

《炉心損傷防止対策（運転停止時）被水影響評価結果（A/B内設置機器の例）》

EL.[m]	評価区画	防護すべき設備	影響評価	判定
13.3	A/B-1	重大事故等対処用変圧器受電盤	溢水源からの直線軌道及び放物線軌道の飛散による被水の範囲外にあり、かつ、天井面の開口部又は貫通部からの被水の影響を受ける範囲外にあることから、被水の影響を受けない。	○
5.0	A/B-5	C/V広域圧力計 (IV)		
-2.0 (中間床)	A/B-6	2A C/Vスプレイ冷却器出口弁		
-2.0	A/B-7	C/V広域圧力計 (I)		
-9.0	A/B-8	2B RHR冷却器冷却水第2出口弁		
	A/B-9	代替再循環隔離弁		
-15.0	A/B-10	2A RHRポンプ出口流量計 (2-FT-601)		
	A/B-11	2B RHRポンプ出口流量計 (2-FT-611)		
	A/B-12	2B RHR系統C/V再循環弁		
-21.0	A/B-13	2A RHRポンプ		
	A/B-14	2B RHRポンプ		

○ 蒸気影響評価

クリフエッジシナリオに必要な設備に対し、クリフエッジ加速度で発生する漏えい蒸気による影響を評価した。

【評価結果】

蒸気内包設備の地震評価の評価指標がクリフエッジ加速度（1.04G）を上回っており、蒸気影響を受けないことを確認した。

(b) 建屋外溢水

クリフエッジ地震により損傷した機器から発生した溢水による地震評価のクリフエッジシナリオに必要な建屋外設備への影響を評価した。

【評価結果】

津波評価において、屋外で発生を想定する溢水水位を上回る敷地高さ+2mを想定しており、建屋外溢水の影響を受けないことを確認した。

なお、屋外で発生した溢水がタービン建屋、屋外タンクヤード及び配管トレンチを經由し、原子炉補助建屋等の1次系建屋へ流入する可能性があるが、1次系建屋についても、津波評価において敷地高さ+2mまでの水密性を確認していることから、建屋内設備も影響を受けない。

b. 地震随伴火災

地震評価のクリフエッジシナリオに必要な設備への地震起因で発生する火災による影響を評価した。

(a) 内部火災

- ・ クリフエッジシナリオに必要な設備が設置される火災区画・区域内の可燃物を火災源と選定
- ・ 選定した火災源について、クリフエッジシナリオに必要な設備への影響を地震評価の評価指標等により確認

【評価結果】

クリフエッジシナリオに必要な設備が、地震随伴内部火災による影響を受けないことを確認した。

火災源	評価結果	評価内容
潤滑油	影響無	<p>評価区画の室内温度及び潤滑油内包機器の運転時の潤滑油温度に対して使用されている潤滑油の引火点は十分に高いことから、防護すべき設備へ影響を及ぼす火災は発生しない。なお、内包機器の地震評価の評価指標がクリフエッジ地震加速度を上回っており、内包機器は損傷しない。</p> <p>運転停止時においては、運用等により早期の火災感知・消火が可能であることから、防護すべき設備へ影響を及ぼす火災は発生しない。</p>
水素ガス	影響無	<p>水素内包システムの地震評価の評価指標がクリフエッジ地震加速度を上回っており、システムの損傷による火災は発生しない。</p> <p>運転停止時においては、水素ガスは回収されている状態であることから、防護すべき設備へ影響を及ぼす火災は発生しない。</p>

（続き）

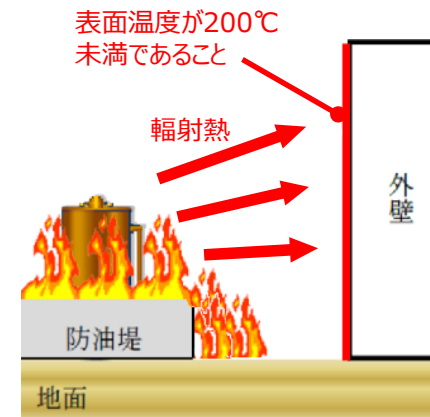
火災源	評価結果	評価内容
電気盤	影響無	<p>クリフエッジシナリオに必要な電気盤の地震評価の評価指標がクリフエッジ地震加速度を上回っており、電気盤の損傷による火災は発生しない。また、その他の電気盤においても、金属製の筐体により覆われており、火災の範囲は限定されることから、防護すべき設備へ影響を及ぼすような火災は発生しない。</p> <p>運転停止時においても、設備の状態に変更はない。</p>
ケーブル	影響無	<p>クリフエッジシナリオに必要なケーブルの地震評価の評価指標がクリフエッジ地震加速度を上回っており、ケーブルの損傷による火災は発生しない。また、難燃性材料の使用や金属製の電線管、トレイへ敷設されており、火災の範囲は限定されることから、防護すべき設備へ影響を及ぼすような火災は発生しない。</p> <p>運転停止時においても、設備の状態に変更はない。</p>
モータ絶縁物	影響無	<p>クリフエッジシナリオに必要なモータの地震評価の評価指標がクリフエッジ地震加速度を上回っており、モータの損傷による火災は発生しない。また、筐体に覆われていること並びに絶縁物の量も限定されていることから、防護すべき設備へ影響を及ぼすような火災は発生しない。</p> <p>運転停止時には、運用等により早期の火災感知・消火が可能であることから、防護すべき設備へ影響を及ぼす火災は発生しない。</p>
火気使用作業 及び 持込可燃物※	影響無	<p>火気使用作業時及び持込可燃物に対し、運用等により早期の火災感知・消火が可能であることから、防護すべき設備へ影響を及ぼすような火災は発生しない。</p>

※運転停止時のみ

(b) 地震随伴外部火災

地震により想定される屋外の火災源を選定し、選定した火災源について、クリフエッジシナリオに必要な設備への影響を以下の観点から評価した。

- 屋内設備への影響：火災源からの輻射熱による建屋外壁の健全性を評価することにより屋内設備への影響を確認
- 屋外設備への影響：火災源と屋外設備との離隔距離等の配置情報により影響を確認
- アクセスルートへの影響：火災源とアクセスルートの復旧/消火に必要な資機材との離隔距離等の配置情報により影響を確認



輻射熱による建屋外壁の健全性評価イメージ

【評価結果】

クリフエッジシナリオに必要な設備及びアクセスルートの復旧/消火に必要な資機材が、地震随伴外部火災による影響を受けないことを確認した。

火災源		評価結果	評価内容
危険物 タンク火災	補助ボイラ 燃料タンク	影響無	地震によりタンク内油が全量流出し火災が発生した場合において、建屋外壁の表面温度は183℃であり、健全性は確保できるため、屋内設備への影響はない。 また、屋外設備である復水タンクは、鉄筋コンクリート製の防護壁で囲まれており、直接火災源からの輻射熱の影響を受けることはない。その他の屋外設備は火災源から十分な離隔距離があること及びアクセスルートの復旧/消火に必要な資機材が火災の影響を受けない高台に保管されていることから火災による影響はない。

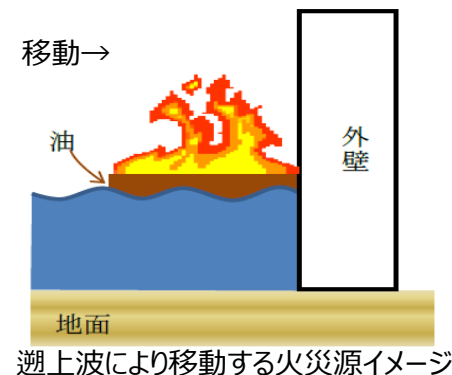
※ 1号の評価、補助ボイラ燃料タンクは1号のみの設備であり2号には影響を及ぼさない

c. 津波随伴外部火災

津波評価のクリフエッジシナリオに必要な設備への津波起因で発生する火災の影響を評価した。

(a) 外部火災

- 地震随伴外部火災評価に加え、津波随件事象では、遡上波による火災源の移動を考慮し、クリフエッジシナリオに必要な設備への影響を評価



【評価結果】

クリフエッジシナリオに必要な設備及びアクセスルートの復旧/消火に必要な資機材が、津波随伴外部火災による影響を受けないことを確認した。

想定される火災源		評価結果	評価内容
危険物 タンク火災	補助ボイラ 燃料タンク	影響無	遡上波により火災源が建屋近傍に移動した場合において、建屋が浸水している時間は2時間程度であり、温度1,200℃で建屋外壁が直接加熱された場合においても、外壁の上部の構造物の重さ及び火災源によって加熱され発生する荷重（熱膨張による荷重）の反力は失われず、外壁は崩壊しないことを確認し、建屋内の必要な設備の健全性は確保できる。 また、遡上波の水位低下後は、消火活動が可能であることから影響を受けない。
	油計量タンク	影響無	
	大容量空冷式 発電機用燃料タンク	影響無	

○ その他の自然現象に対する評価

地震、津波以外のその他の自然現象に対する安全裕度評価は、国内で評価実績がないことから、評価実績のある欧州へ訪問調査を行い評価方針を検討した。

《評価方針》

- 欧州調査の内容を踏まえ、設計基準事故及び重大事故の設計で想定されている事象より大きい規模且つかなり可能性の低い事象として、年超過確率 10^{-6} 相当のハザードによる発電所に対する影響を評価する。

◆ その他の自然現象の選定

IAEA SSG-25「安全因子7：ハザード解析」で示されているプラントの安全性に影響を与える可能性がある代表的な外部ハザードのうち、地震、津波、人為事象を除く自然現象から検討事象を選定した。

外部ハザード	検討事象
洪水	洪水、河川の迂回
竜巻を含む強風	竜巻、強風、風（台風）、ハリケーン
落雷	落雷
火災	森林火災、草原火災
気象	高温、低温、凍結、氷の蓄積、氷結、氷晶、氷壁、霜・白霜、降雪、積雪、暴風雪、雹、あられ、雪崩、降水・豪雨・降雨（流木による影響含む）、高湿度、濃霧、もや、濁水、干ばつ、砂嵐（塩を含んだ嵐）、塩害、塩雲、極限的な圧力（気圧高低）
太陽風	太陽フレア、磁気嵐
水理地質学的及び水理学的ハザード	高潮、満潮、海水面高・低、波浪、高波、湖又は河川の水位低下・上昇、静振、地滑り、斜面崩壊、土砂崩れ（山崩れ、がけ崩れ）、土石流、地下水による地滑り、極端な地下水位低下、地下水による浸食、土壌の収縮又は膨張、泥湧出、陥没・地盤沈下・地割れ、地面の隆起、海岸浸食、カルスト、高温水（海水温高）、低温水（海水温低）、毒性ガス、水蒸気
火山ハザード	火山（火山活動、降灰）
生物学的汚染	生物学的事象、動物、水中の有機物
外部からのミサイル	隕石※

※ 隕石については、落下確率が 1.63×10^{-12} ／炉・年であることから評価対象事象とはしない。

◆ 年超過確率 10^{-6} 相当のハザードの算定

以下の事象については、年超過確率 10^{-6} 相当のハザードを算定した。この値に対する発電所への影響を評価する。

外部ハザード	検討事象	年超過確率 10^{-6} 相当のハザード	算定方法	(参考)設計想定
竜巻を含む強風	① 竜巻	104.7m/s (風速)	設置変更許可申請書添付書類六に記載の竜巻のハザード曲線により算定	100.0m/s (風速)
落雷	② 落雷	340kA (最大雷撃電流)	当社の落雷位置評定システムからのデータを基に、川内原子力発電所付近で発生した落雷の最大電流値毎の雷撃回数を累積した累積頻度分布曲線を求め、年超過確率 10^{-6} 年の値を算定	150kA (最大雷撃電流)
気象	③ 高温	39.3℃ (外気温)	国内の原子力施設周辺の気象官署32地点における、観測開始年~2012年までの気象データを基に、SY法 (Station-Year Method) を用いて最適極値分布を求め、これから川内原子力発電所周辺の気象官署3地点 (鹿児島、阿久根、枕崎) の年超過確率 10^{-6} 年の値を求め、これらの内の最大値とした。	33.0℃ (外気温)
	④ 低温、凍結	-11.9℃ (外気温)		-7.0℃ (外気温)
	⑤ 降雪、積雪、暴風雪	64.2cm (積雪量)		30.0cm (積雪量)
	⑥ 降雨	252.0mm (1時間降水量)		160.0mm (1時間降水量)

➤ 敷地の立地及び周囲の地理的条件により、発生しても影響が起り得ない事象

外部事象	検討事象	理由
水理地質学的及び水理学的ハザード	洪水	川内川がある方向の発電所北東から南東にかけては標高100~200mの丘陵地帯となっており、発生しても影響が起り得ない。また、発電所に影響を及ぼす湖が存在しない。
	湖又は河川の水位低下・上昇、静振	
	地滑り、土砂崩れ（山崩れ、がけ崩れ）、土石流、地下水による地滑り	発電所周辺に影響を及ぼすような地滑り、土砂崩れ（山崩れ、がけ崩れ）、土石流の素因となる地形が存在しない。
	極端な地下水位低下	発電所では地下水を利用していない。
	土壌の収縮又は膨張、泥湧出、陥没・地盤沈下、地割れ、地面の隆起、地下水による浸食	発電所及び周辺の地盤に関する地質調査、文献調査より、安全上重要な施設は、十分な支持性能を有する地盤に支持され、周辺地盤の変状による不等沈下、液状化、揺すり込み沈下等の影響がなく、地殻変動による基礎地盤の傾斜及び撓みの影響がないことを確認している。
	海岸浸食	事象進展が遅く、発生しても影響が生じる前に対策を施すため、影響が起り得ない。
	カルスト	カルスト地形が存在しない。
	毒性ガス、水蒸気	発電所及び周辺の地盤に関する地質調査、文献調査より、発電所及び周辺には、熱水変質鉱物（過去に火山活動による毒性ガスや水蒸気の湧出があったことを示す地層）が存在するが、熱水変質活動の年代は古い（3~4百万年前）ことを確認している。また、発電所及び周辺において、低周波地震が認められず、熱水活動も認められないことを確認している。
	低温水（海水温低）	低温になった海水が流れ込んできたとしても、冷却器の熱交換機能に影響はない。また、海水温が約-1.8℃になると凍り始めるが、海面約10cmのところまで氷が徐々に形成され海中は凍らないため、海水取水機能の閉塞は起り得ない。
	気象	雪崩
渇水、干ばつ		みやま池が枯渇し、原水・補給水系に影響を及ぼす場合は停止することとする。なお、原子炉停止に必要な最終的な取水源としては、海水を利用するため、発生しても影響が起り得ない。
砂嵐（塩を含んだ嵐）、塩害、塩雲		周囲に大規模な砂地が存在しない。また、碍子に付着することで絶縁機能が損なわれる可能性があるが、事象進展が遅く、十分管理が可能であるため発生しても影響が起り得ない。
高湿度、濃霧、もや		屋外設備については、防滴仕様、防水仕様となっており、高湿度・濃霧等の影響は生じない。また、屋内設備については、空調で管理されていることから、発生しても影響が起り得ない。

➤ 影響が他の事象に包絡される事象

外部事象	検討事象	理由
水理地質学的及び水理学的ハザード	高潮、満潮、海水面高・低、波浪、高波	津波に包絡される。
気象	氷の蓄積、氷結、氷晶、氷壁、霜、白霜	低温・凍結に包絡される。
	雹・あられ	降雪・積雪に包絡される。また、降雹による衝突は竜巻（飛来物衝突）に包絡される。
	極限的な圧力（気圧高低）	竜巻に包絡される。

➤ 予想される影響が運用で対処できる事象

外部事象	検討事象	理由
火災	森林火災、草原火災	発電所における可燃物の量（植生）、気象条件、発火点等について最も厳しい条件を用いて、最大規模の森林火災を考慮している。また、森林火災が拡大するまでには時間的余裕が十分にあり、予め放水する等の必要な安全措置を講じることができる。
火山	火山（火山活動、降灰）	破局的噴火への発展の可能性がある場合は、燃料の移送計画を策定し、燃料を発電所から搬出する運用を整備している。
生物学的汚染	生物学的事象（くらげ）	くらげが原子炉補機冷却系統等に影響を与える場合には、海水冷却機能喪失、原子炉補機冷却機能喪失の手順により対応できる。
太陽風	太陽フレア、磁気嵐	太陽フレアに伴う磁気嵐により、南九州変電所～川内原子力発電所特高開閉所間の長距離送電線に地磁気誘導電流が発生し、主変圧器の焼損が発生することで外部電源喪失が生じる可能性があるが、外部電源喪失の手順で対応できる。
水理地質学的及び水理学的ハザード	高温水（海水温高）	海水温度が上昇し、十分な原子炉補機冷却機能が得られない場合には、海水ポンプ、原子炉補機冷却水冷却器・ポンプの追加起動を行う。それでも冷却機能を満足できない場合は原子炉を停止する。

◆ その他の自然現象に対する安全裕度評価結果 (1/5)

① 竜巻に対する評価

年超過確率 10^{-6} 相当の風速 (104.7m/s) に対して、以下の観点で影響を評価した。

- 竜巻に対する健全性評価項目のせん断ひずみ度、応力、貫通防止に必要な厚さ及び竜巻防護ネットへの衝撃は風速の自乗に比例することから、年超過確率 10^{-6} の風速と設計竜巻との比の自乗 $\left(\frac{104.7}{100.0}\right)^2$ が、設計竜巻に対する裕度 (例 $\frac{\text{評価基準値}}{\text{せん断ひずみ度}}$) 未満であることを確認

【評価結果】

建屋、機器等の裕度の範囲内にあり、年超過確率 10^{-6} の風速に対しても裕度があることを確認した。

➤ 風荷重に対する主要建屋及び機器の健全性評価結果への影響 ➤ 飛来物の衝突による建屋の評価結果への影響

建屋	設計 (風速100m/s)			B) 自乗値	影響評価	判定
	せん断ひずみ度	基準値	A)裕度			
R/B	0.039×10^{-3}	2.0 $\times 10^{-3}$	51.28	1.10	A>B	○
A/B	0.010×10^{-3}		200.0		A>B	○
DG/B	0.056×10^{-3}		35.71		A>B	○
MSL/B	0.067×10^{-3}		29.94		A>B	○

機器	設計 (風速100m/s)			B) 自乗値	影響評価	判定
	応力	基準値	A)裕度			
SWP	33MPa	210MPa	6.36	1.10	A>B	○
SWPモータ	42MPa	184MPa	4.38		A>B	○
復水タンク	32MPa	226MPa	7.06		A>B	○
RWST	45MPa	267MPa	5.93		A>B	○

R/B: 原子炉建屋、A/B: 補助建屋、DG/B: ディーゼル発電機建屋、MSL/B: 主蒸気配管建屋、SWP: 海水ポンプ、RWST: 燃料取替用水タンク

建屋	設計 (風速100m/s)			B) 自乗値	影響評価	判定
	貫通防止に必要な厚さ	最小厚さ	A)裕度			
R/B	20.6cm	40cm	1.94	1.10	A>B	○
A/B	20.6cm	30cm	1.45		A>B	○
DG/B	20.6cm	50cm	2.43		A>B	○
MSL/B	20.6cm	50cm	2.43		A>B	○
DG燃料貯油そう基礎	22.0mm	45mm	2.05		A>B	○
DG燃料貯蔵タンク基礎	22.0mm	45mm	2.05		A>B	○

➤ 竜巻防護ネットの評価結果への影響

評価内容	設計 (風速100m/s)			B) 自乗値	影響評価	判定
	評価値	許容値	A)裕度			
吸収エネルギー評価	223.2kJ	282.0kJ	1.26*1	1.10	A>B	○
破断評価	13.5kN	15.0kN	1.11*2		A>B	○

*1 現実的な吸収エネルギー評価の裕度は、1.33以上は確保できると考えらえる。

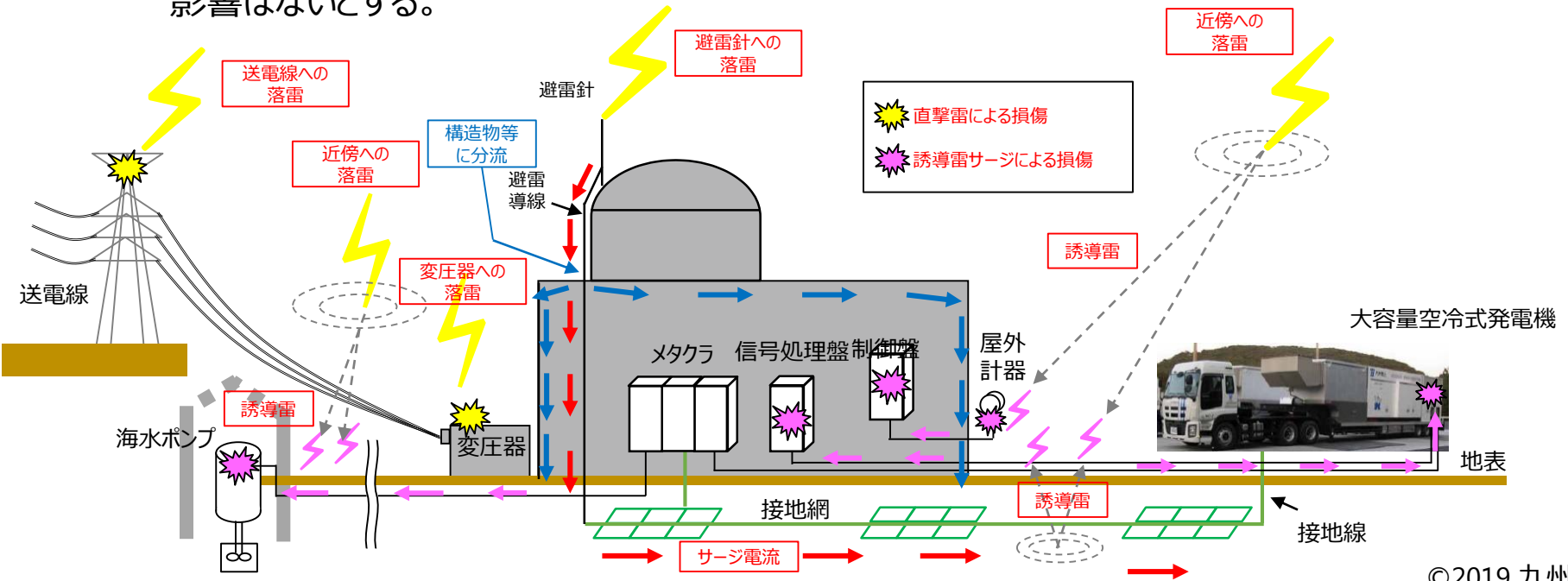
*2 現実的な破断評価の裕度は、9.02程度になると考えられる。

◆ その他の自然現象に対する安全裕度評価結果 (2/5)

② 落雷に対する評価

年超過確率 10^{-6} 相当の最大雷撃電流 (340kA) に対して、以下の条件により発電所への影響を評価した。

- 屋外設備への直撃雷による損傷は、変圧器や送電線の機能喪失を想定
- 誘導雷サージによる損傷は、屋外ケーブルと常時接続の屋外機器及び建屋内機器の接続部位までの機能喪失を想定
- 起因事象は、変圧器や送電線の機能喪失に伴う外部電源喪失及び海水ポンプ機能喪失に伴う原子炉補機冷却機能の全喪失を想定
- その他の屋内設置機器については、建屋が鉄筋コンクリート造であり、かつ、十分に接地されており、また、その鉄筋量は一般建屋よりも多く緻密な格子状の空間遮蔽が形成されていることから、耐雷サージ性の高いファラデーケージになっており、建屋内部の過渡電位分布が平坦化されることから、影響はないとする。

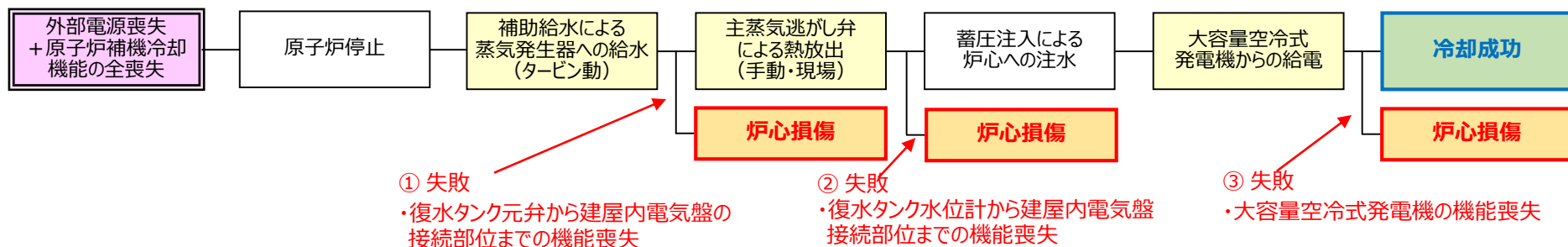


◆ その他の自然現象に対する安全裕度評価結果 (3/5)

【評価結果】

起因事象：外部電源喪失 + 原子炉補機冷却機能の全喪失

➤ 評価シナリオ (炉心出力時)



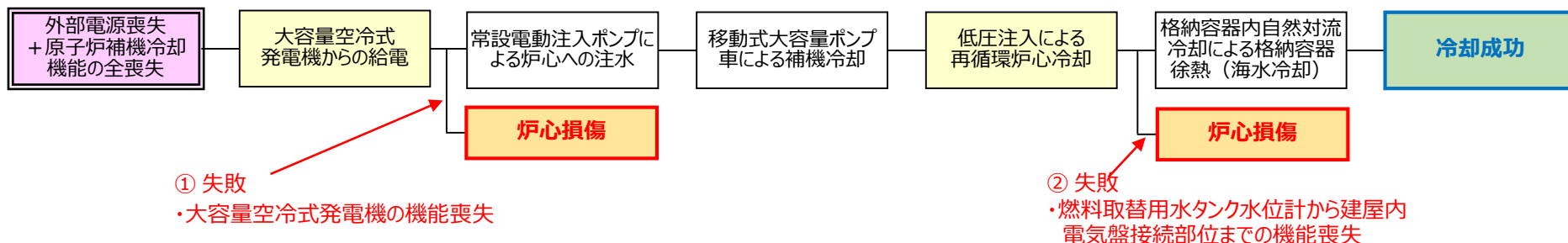
評価シナリオに必要な機能	評価シナリオで失敗となるヘディング
① 復水タンク元弁動作機能	タービン動補助給水による蒸気発生器への給水不能
② 復水タンク水位監視機能	主蒸気逃がし弁による熱放出不能
③ 大容量空冷式発電機からの給電機能	大容量空冷式発電機からの給電不能

《炉心冷却を成功させるための代替措置》

- ① 復水タンク元弁の遠隔操作不能及び制御信号発信不能に伴うタービン動補助給水ポンプ蒸気入口弁の遠隔操作不能となるが、手動操作による系統構成により、補助給水による蒸気発生器への給水 (タービン動) が可能である。
- ② 復水タンク水位計の機能喪失により、タンク水位の監視不能となるが、代替パラメータ計器を用いることで主蒸気逃がし弁による熱放出 (手動・現場) が可能である。
- ③ 大容量空冷式発電機が使用できない場合でも、中容量発電機車を用いることで、評価シナリオに必要な補機への給電が可能である。

◆ その他の自然現象に対する安全裕度評価結果 (4/5)

➤ 評価シナリオ (炉心停止時)



評価シナリオに必要な機能	評価シナリオで失敗となるヘディング
① 大容量空冷式発電機からの給電機能	大容量空冷式発電機からの給電不能
② 燃料取替用水タンク水位監視機能	低圧注入による再循環炉心冷却

≪ 炉心冷却を成功させるための代替措置 ≫

- ① 大容量空冷式発電機が使用できない場合でも、中容量発電機車を用いることで、評価シナリオに必要な補機への給電が可能である。
- ② 燃料取替用水タンク水位計の機能喪失により、タンク水位の監視不能となるが、代替パラメータ計器を用いることで低圧注入による再循環炉心冷却が可能である。

◆ その他の自然現象に対する安全裕度評価結果 (5/5)

その他、年超過確率 10^{-6} 相当のハザードを設定した事象に対する評価結果を以下に示す。

検討事象	年超過確率 10^{-6} 相当のハザード	評価結果
③ 高温	39.3℃ (外気温)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 安全上重要な屋外設備は設計温度内であることから、機能維持できる。 ➤ また、海水温度が上昇し、十分な冷却な機能が得られない場合には、海水ポンプ、原子炉補機冷却水冷却器、ポンプの追加起動を行うが、それでも冷却機能を満足できない場合は原子炉を停止する。
④ 低温、凍結	-11.9℃ (外気温)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 事象の進展が遅く、公的機関等の情報により事前の予測が可能であり、凍結防止処置や暖気運転等の必要な安全措置を講じることで発電所への影響はない。
⑤ 降雪、積雪、暴風雪	64.2cm (積雪量)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 着雪による絶縁不良で外部電源喪失が起きる可能性があるが、送電鉄塔、送電線以外の建屋・設備については、「雪の多量吸込み」及び「積雪荷重」による影響がない。 ➤ また、事象の進展が遅く、公的機関等の情報により事前の予測が可能であり、除雪等を行うことでアクセスルート等の確保が可能であることから、外部電源喪失時の手順により、原子炉を安全に停止できる。
⑥ 降雨	252.0mm (時間降水量)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 発電所の雨水排水設備の排水能力を超える可能性があるが、溢れた水は海側に向かって敷地の下り勾配を自然流下するため、雨水が貯留し続けることはなく、敷地高さ+2mを超えないことから、安全上重要な建屋内に雨水は流入しない。 ➤ また、九州北部豪雨の様な局地的な降雨により発生した流木が、発電所周辺の海域へ押し寄せ海水取水経路の閉塞を引き起こす可能性があるが、くらげ、流木、その他漂流物が原子炉補機冷却系統等に影響を与える場合には、海水冷却機能喪失、原子炉補機冷却機能喪失の手順により、原子炉を安全に停止できる。

【改善が必要な主な事項 (1)-№3】 確率論的リスク評価 (PRA) (続き)

【今後の改善計画】

届出時期 項目	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度
新検査制度				▽ 本格運用開始
RIDM導入※1	フェーズ1 (既存ツールを用いたリスク情報活用実践による機能の整備及び仕組みの構築等)			フェーズ2 (改善及び活用範囲拡大)
内部事象PRA	モデル高度化 (内部事象L1・L1.5) ※2			モデル高度化継続
地震PRA	モデル構築 ・課題の抽出・研究計画の立案 ・既に明確な課題への対応方針検討		評価手法の構築等※3	
津波PRA	評価手法高度化※3			
その他	内部火災PRA※4			
	研究開発		パイロット	
	内部溢水PRA※4			
	研究開発	パイロット		

- ※1 「リスク情報活用の実現に向けた戦略プラン及びアクションプラン」(平成30年2月8日電気事業連合会公表)に基づく計画
- ※2 PWRパイロットプラントによる高度化より導入する内容として主に以下の項目が該当する。
○イベントツリー等の高度化 ○PRAパラメータの高度化 ○人間信頼性評価の高度化
- ※3 原子力研究センター(NRRC)の研究の進捗を踏まえて、適宜、評価モデルに取り込むとともに、届出に反映
- ※4 「NRRC研究ロードマップ」(2019年3月27日NRRC公表)に基づく計画

「2018年6月NRA面談資料」をupdate

END

