

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

目 次

3. 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	
3.1.1 内部事象及び外部事象に係る評価	3.1.1- 1
3.1.2 決定論的安全評価	3.1.2- 1
3.1.3 内部事象及び外部事象に係る確率論的リスク評価(PRA)	3.1.3- 1
3.1.4 安全裕度評価	3.1.4- 1
3.1.4.1 地震及び津波随件事象の評価	3.1.4- 3
3.1.4.2 その他の自然現象に対する評価	3.1.4- 70
3.1.4.3 安全裕度評価により抽出された追加措置	3.1.4-117
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	3.2-1

3. 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

3.1.1 内部事象及び外部事象に係る評価

内部事象及び外部事象に係る評価は、川内原子力発電所第2号機第1回安全性向上評価届出書(平成29年9月25日付け原発本第156号、平成30年3月30日付け原発本第360号にて一部補正)(以下「川内2号機第1回届出書」という。)の評価時点以降、蒸気発生器取替工事を実施しているが、当該工事による川内2号機第1回届出書の結果からの大きな変更はないため、改訂の必要はない。

3.1.2 決定論的安全評価

決定論的安全評価は、川内 2 号機第 1 回届出書評価時点以降、蒸気発生器取替工事を実施しているが、川内 2 号機第 1 回届出時に当該工事を含めた評価に対する影響確認を実施していることから、改訂の必要はない。

なお、川内 2 号機第 1 回届出書において、「不確かさを考慮した最適評価(以下「BEPU」という。)手法を含めた最新の評価手法の調査を継続し、評価への適用を検討していく」こととしており、その検討状況を以下に示す。

○ BEPU 手法の検討状況

BEPU 手法については、(一社)日本原子力学会において「統計的安全評価の実施基準:2008」(AESJ-SC-S001:2008)の改定作業が進められているところであり、改定内容等を踏まえ、当社の決定論的安全評価への適用を引き続き検討する。

なお、三菱重工業(株)が開発した解析コード SPARKLE-2^{*}は、最適評価が可能な解析コードであり、炉心損傷防止に関する重大事故等対策の有効性評価に適用している。IAEA 特定安全ガイド No.SSG-25「原子力発電所の定期安全レビュー」(以下「IAEA SSG-25」という。)に基づく評価時に合わせて、この SPARKLE-2 を設計基準事故に適用し、より現実的な挙動を確認する。

※ SPARKLE-2 :

1 次系全体の熱流動と 3 次元炉心動特性との相互作用が評価可能なプラント過渡特性解析コード。設計基準事故の解析に用いられている「プラント過渡特性解析コード MARVEL」等に対して、SPARKLE-2 では、過渡時の出力分布変化やボイド生成に伴う反応度帰還効果を適切に取り込むことで、最小 DNBR や燃料中心温度の最適評価が可能となる。

3.1.3 内部事象及び外部事象に係る確率論的リスク評価(PRA)

内部事象及び外部事象に係る PRA について、川内 2 号機第 1 回届出書の評価時点以降、蒸気発生器取替工事を実施しているが、以下の理由により、改訂の必要はない。

(1) 内部事象 PRA

川内 2 号機第 1 回届出書においては、蒸気発生器の損傷に伴う起因事象として、蒸気発生器伝熱管破損を選定しており、発生頻度の算出にて蒸気発生器伝熱管本数を考慮している。蒸気発生器の取替前後で、蒸気発生器伝熱管本数が 3,382 本から 3,386 本へ変更となったが、蒸気発生器伝熱管破損の発生頻度は以下の式に示すとおり、取替工事前後にて大きく変わらないことから、川内 2 号機第 1 回届出書の結果への影響は小さい。

蒸気発生器伝熱管破損の発生頻度(取替工事前)

$$=1/(4.1 \times 10^{10} \times (1-0.1)) \times (3,382 \times 3) \times 8,760 = 2.4 \times 10^{-3} (\text{／炉年})$$

蒸気発生器伝熱管破損の発生頻度(取替工事後)

$$=1/(4.1 \times 10^{10} \times (1-0.1)) \times (3,386 \times 3) \times 8,760 = 2.4 \times 10^{-3} (\text{／炉年})$$

1:発生実績(件)

4.1×10^{10} :国内 PWR プラントの蒸気発生器伝熱管本数と

発電時間の積分値(本・炉時間)

0.1:伝熱管施栓率

$3,382 \times 3$:取替工事前における本プラントの伝熱管本数(本)

$3,386 \times 3$:取替工事後における本プラントの伝熱管本数(本)

8,760:時間から年への換算係数($8,760 = 365 \times 24$)(時間／年)

(2) 地震 PRA

川内 2 号機第 1 回届出書及び川内原子力発電所第 1 号機第 1 回安全性向上評価届出書(平成 29 年 7 月 6 日付け原発本第 90 号、平成 29 年 7 月 28 日付け原発本第 122 号にて一部補正、平成 30 年 3 月 30 日付け原発本第 359 号にて一部補正)(以下「川内 1 号機第 1 回届出書」という。)における地震 PRA の結果を踏まえると、以下の理由から、蒸気発生器取替工事に伴う川内 2 号機第 1 回届出書の結果への影響は小さい。

- ・ 川内 2 号機第 1 回届出書の結果において、蒸気発生器の損傷を要因とした炉心損傷頻度及び格納容器機能喪失頻度は、全体に対して 1%未満の寄与割合となっている。
- ・ 川内 1 号機第 1 回届出書の結果において、川内 2 号機にて今回取替えを行った蒸気発生器と同一仕様の機器で評価を行っており、蒸気発生器の損傷を要因とした炉心損傷頻度及び格納容器機能喪失頻度は、全体に対して 1%未満の寄与割合となっている。
- ・ したがって、蒸気発生器取替工事实施後も、蒸気発生器の損傷を要因とした炉心損傷頻度及び格納容器機能喪失頻度は、全体に対して低い寄与割合になると考えられる。

(3) 津波 PRA

蒸気発生器は格納容器内に設置していることから、津波による影響を受けないため、蒸気発生器の取替前後で、川内 2 号機第 1 回届出書の結果への影響はない。

なお、地震 PRA については、川内 2 号機第 1 回届出書にて示していた追加措置のうち、安全系(非常用母線)のメタルクラッド開閉装置の保護継電器のデジタル化を完了したことで、第 3.1.3-1 表に示すとおり保護継電器のフラジリティが改善された。その結果、メタルクラッド開閉装置における損傷部位が保護継電器から遮断器となり、フラジリティが改善されたことから、炉心損傷頻度、格納容器機能喪失頻度及び事故時の Cs-137 の放出量が 100TBq を超えるような事故の発生頻度は第 3.1.3-2 表に示すとおり改善された。

第 3.1.3-1 表 メタルクラッド開閉装置のフラジリティ

	損傷モード	評価部位	フラジリティ 加速度中央値 (G)	β_R	β_U	HCLPF (G)	損傷部位
デジタル化前	構造損傷	基礎溶接部	10.52	0.19	0.21	5.51	
	機能損傷	保護継電器 (アナログ)	1.62*	0.13	0.23	0.90*	○
		遮断器	2.68	0.14	0.23	1.47	
デジタル化後	構造損傷	基礎溶接部	10.52	0.19	0.21	5.51	
	機能損傷	保護継電器 (デジタル)	3.74*	0.13	0.23	2.09*	
		遮断器	2.68	0.14	0.23	1.47	○

G : 加速度を重力加速度 (9.8m/s²) で除した無次元数
 β_R : 偶然的な不確実さに起因するばらつきを表す確率密度分布の対数標準偏差
 β_U : 認識論的な不確実さに起因するばらつきを表す確率密度分布の対数標準偏差
HCLPF: 95%信頼度における 5%損傷確率に相当する地震加速度レベルであり、設備が損傷する下限の目安値
※: 上下方向のフラジリティを水平方向に補正した値

第 3.1.3-2 表 地震 PRA の評価結果

	メタルクラッド開閉装置 保護継電器 デジタル化前	メタルクラッド開閉装置 保護継電器 デジタル化後
炉心損傷頻度 (／炉年)	1.0×10^{-6}	6.6×10^{-7}
格納容器機能喪失頻度 (／炉年)	8.7×10^{-7}	5.1×10^{-7}
事故時の Cs-137 の放出量が 100TBq を超えるような事故 の発生頻度 (／炉年)	8.7×10^{-7}	5.1×10^{-7}

3.1.4 安全裕度評価

設計上の想定を超える自然現象の発生を仮定し、評価対象の発電用原子炉施設が、燃料体又は使用済燃料(以下「燃料体等」という。)の著しい損傷を発生させることなく、また、格納容器機能喪失及び放射性物質の異常放出をさせることなく耐えることができるか、安全裕度を評価する。また、燃料体等の著しい損傷並びに格納容器機能喪失及び放射性物質の異常放出を防止するための措置について、深層防護(**defense in depth**)の観点から、その効果を示すとともに、クリフエッジ・エフェクト(例えば、設計時の想定を超える地震及び津波により機器類の損傷、浸水等が生じ、燃料損傷等を引き起こす安全上重要な機器等の一連の機能喪失が生じること。)を特定して、設備の潜在的な脆弱性を明らかにする。これにより、発電用原子炉施設について、設計上の想定を超える自然現象に対する頑健性に関して、総合的に評価する。

安全裕度評価について、川内2号機第1回届出書の評価時点以降、蒸気発生器取替工事を実施しているが、以下の理由により、改訂の必要はない。

(1) 地震単独の評価

川内1号機第1回届出書の「3.1.4 安全裕度評価」における地震単独の評価では、今回取替えを行った蒸気発生器と同一仕様の機器を用いた評価を行っている。この結果と川内2号機第1回届出書の「3.1.4 安全裕度評価」における地震単独の評価結果では、以下のことから、蒸気発生器取替工事は川内2号機第1回届出書の結果を変えるような要因にはならないと考えられる。

- ・ 1号機と2号機とで同じイベントツリーになること
- ・ イベントツリーにおける各ヘディングが失敗する加速度が同等であること
- ・ クリフエッジとなるシナリオが同じシナリオになること

- ・ クリフエッジ機能は蒸気発生器による除熱ではないこと
- ・ クリフエッジにおける地震加速度が同等であること

(2) 津波単独の評価

川内 2 号機第 1 回届出書においては、蒸気発生器の損傷に伴う起因事象は選定していないことから、蒸気発生器の取替前後で川内 2 号機第 1 回届出書の結果への影響はない。

なお、川内 2 号機第 1 回届出書に示していた追加措置のうち、安全系（非常用母線）のメタルクラッド開閉装置（以下「メタクラ」という。）の保護継電器のデジタル化を完了したことで、川内 2 号機第 1 回届出書の地震評価における炉心損傷防止対策（出力運転時、運転停止時）のクリフエッジシナリオで期待していたメタクラ保護継電器のリフト処置が不要となった。

次項以降に川内 2 号機第 1 回届出書において、次回評価することとしていた地震及び津波随件事象並びにその他の自然現象に対する安全裕度評価について示す。

3.1.4.1 地震及び津波随件事象の評価

地震随件事象は、地震による建屋内外での溢水、建屋の背後斜面等の滑り及び剥落並びに地震による建屋内外での火災が考えられる。川内原子力発電所の敷地の立地条件を踏まえると、背後斜面等の滑り及び剥落の要因となる地形が存在しないことから、地震随件事象では建屋内外の溢水及び建屋内外での火災を考慮し、地震の単独評価で得られたクリフエッジに対して、随件事象が及ぼす影響を評価する。

津波随件事象は、津波による建屋内外の火災が考えられる。建屋内火災は、津波単独の評価において、津波高さ 15m まで建屋内への津波の流入がないことが確認されており、建屋内の火災は発生しない。また、津波高さが 15m を超えると建屋内(原子炉格納容器外)の機器のほとんどが浸水・水没するため、プラントの重要な制御・保護機能が不能となり直接炉心損傷となる。そのため、津波随件事象では、津波による建屋外の火災を考慮し、津波の単独評価で得られたクリフエッジに対して、随件事象が及ぼす影響を評価する。

(1) 地震随件事象に対する評価

a. 地震随伴溢水

(a) 建屋内の防護すべき設備に関する溢水評価

イ 評価方法

地震の単独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について、以下の評価を実施する。

(イ) 防護すべき設備の選定

炉心損傷防止対策(出力運転時/運転停止時)、格納容器機能喪失防止対策及び使用済燃料ピット(以下「SFP」という。)燃料損傷防止対策のクリフエッジシナリオの成立のために必要な設備のうち、建屋内に設置されているものを防護すべき設備とする。

なお、構造が単純で外部からの動力の供給を必要としないもの等、溢水による影響を受けない設備は防護すべき設備に選定しない。

溢水影響評価において、防護すべき設備の考え方について、第3.1.4.1-1 図に示す。

(ロ) 溢水源の選定及び溢水量の設定

液体・蒸気を内包する機器のうち、川内2号機第1回届出書のHCLPFがクリフエッジより小さく、クリフエッジ地震加速度により損傷が生じるおそれのある機器を溢水源とする。

なお、SFP については、本体の破損以外にもスロッシングにより、溢水源となり得ることから、溢水源とする。

溢水量の算出に当たっては、溢水源とした機器及び配管の内包水量

を溢水量として想定する。なお、破損箇所を特定できる場合、隔離時間までの漏えい量を評価することにより溢水量を算出する。SFPのスロッシングによる溢水量は、クリフエッジ地震加速度により生じるスロッシング現象を3次元流動解析により評価し、SFP外へ漏えいする水量を設定する。

(ハ) 評価区画及び溢水経路の設定

評価区画は、防護すべき設備を設置している全ての区画について設定する。評価区画は、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区画として設定する。

防護すべき設備が建屋において、床面開口部(機器ハッチ、階段等)及び溢水影響評価において期待することのできる設備(水密扉、堰等)の抽出を行い溢水経路を設定する。また、溢水経路の設定にあたっては、溢水源となる機器から溢水が発生した場合に当該フロア及び下階への溢水伝播を想定する。

(二) 溢水影響評価

溢水は、滞留水又は流水(蒸気を含む)の形態で存在することから、没水影響、被水影響及び蒸気影響の観点から評価を実施する。

I 没水影響に対する評価

建屋内で発生を想定する溢水源、溢水量、評価区画及び溢水経路から算出される溢水水位と防護すべき設備が要求される機能を損なうおそれのある高さ(以下「機能喪失高さ」という。)を比較し、防護すべき設備の機能喪失の有無を評価する。

没水影響評価に用いる溢水水位の算出は、漏えい発生階とその経路

上のすべての評価区画に対して行い、溢水水位 H は以下の式に基づいて算出する。床勾配が評価区画にある場合には、床勾配分の滞留量は考慮せず、第 3.1.4.1-2 図に示すように溢水水位の算出は床勾配高さ^{※1}分嵩上げする。

※1 床勾配の下端から上端までの高さ

$$H=Q/A + h$$

H : 溢水水位[m]

Q : 流入量[m³]

設定した溢水量及び溢水経路に基づき評価対象区画への流入量を算出する。

A : 滞留面積[m²]

評価対象区画内と溢水経路に存在する区画の総面積を滞留面積として評価する。滞留面積は、壁及び床の盛り上がり(コンクリート基礎等)範囲を除く有効面積を滞留面積とする。

h : 床勾配高さ[m](溢水評価区画に床勾配がある場合)

II 被水影響に対する評価

建屋内における溢水源からの直線軌道及び放物線状の飛散による被水又は天井面開口部若しくは貫通部からの被水により、防護すべき設備の機能喪失の有無を評価する。

具体的には、以下のいずれかの判定基準により機能喪失の有無を確認する。

- ・ 防護すべき設備が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^{※2}の範囲外であり、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であること

- ・ 対象設備が、「JIS C 0920 電気機械器具の外郭による保護等級 (IP コード)」による保護構造を有しており、被水の影響により要求される機能を損なうおそれがないこと
- ・ 対象設備が多重性又は多様性を有しており、各々が別区画に設置されていることから、同時に要求される機能を損なうおそれのないこと

※2 溢水源からの直線軌道及び放物線軌道による被水の影響については、プラント・ウォークダウンの実施結果を踏まえて評価する。被水影響範囲の考え方を第 3.1.4.1-3 図に示す。

Ⅲ 蒸気影響に対する評価

地震起因で発生する評価区画内での漏えい蒸気及び評価区画間を拡散する漏えい蒸気により、防護すべき設備の機能喪失の有無を評価する。なお、蒸気の漏えい源が存在しない場合は、蒸気影響に対する評価は不要である。

ロ 評価結果

(イ) 防護すべき設備の選定結果

I クリフエッジシナリオの確認

川内 2 号機第 1 回届出書第 3 章「3.1.4.2 評価結果」(以下「川内 2 号機第 1 回評価結果」という。)に示すように、炉心損傷防止対策(出力運転時／運転停止時)及び SFP 燃料損傷防止対策のクリフエッジシナリオは第 3.1.4.1-4 図から第 3.1.4.1-6 図に示すシナリオとなる。

なお、川内 2 号機第 1 回届出書の評価結果に示すとおり、格納容器

機能喪失防止対策の緩和手段の耐力は炉心損傷防止対策のクリフエッジ地震加速度よりも小さいため、炉心損傷となる地震加速度において格納容器機能喪失に至るものとして取り扱っている。そのため、格納容器機能喪失防止対策のクリフエッジシナリオは、炉心損傷防止対策（出力運転時）と同じクリフエッジシナリオとして評価する。

II 防護すべき設備の選定結果

I 項のクリフエッジシナリオを踏まえ、シナリオ成立のために必要な設備のうち、建屋内に設置されているものの中から、第 3.1.4.1-1 図の考え方に基づき、防護すべき設備を選定した。選定した結果を参考資料-2 に示す。

また、第 3.1.4.1-1 表及び第 3.1.4.1-2 表に、「(ハ) 評価区画及び溢水経路の設定結果」において設定する評価区画ごとの機能喪失高さが最も低い設備を示す。

なお、SFP 燃料損傷防止対策に関する設備は、すべて屋外設備であり、建屋内の防護すべき設備はない。

(ロ) 溢水源の選定結果及び溢水量の設定結果

炉心損傷防止対策（出力運転時／運転停止時）のクリフエッジ地震加速度（ $1.04G^{*3}$ ）により損傷するおそれのある機器を溢水源として選定し、溢水源毎に溢水量を設定した。選定した溢水源及び設定した溢水量を第 3.1.4.1-3 表及び第 3.1.4.1-4 表に、また、各建屋の溢水量を集約した結果を第 3.1.4.1-5 表及び、第 3.1.4.1-6 表に示す。

SFP のスロッシングのモデル化範囲は、SFP フロアレベルの燃料取扱建屋（EL.+13.3m）とした。燃料取扱建屋（EL.+13.3m）の SFP 周辺の概略を第 3.1.4.1-7 図に示す。

SFP スロッシングの3次元流動解析条件を第3.1.4.1-7表に示す。これらの条件を基に、汎用3次元熱流体解析コードFLOW-3Dを用い有限差分法により非定常流れを解いた。SFP スロッシングによる最大溢水量を第3.1.4.1-8表に示す。なお、SFP 燃料損傷防止対策に関する防護すべき設備は、いずれも屋外設備であり、建屋内溢水の影響を受けないことから、スロッシング解析を行わない。

※3 G:加速度を重力加速度(9.8m/s^2)で除した無次元数

(ハ) 評価区画及び溢水経路の設定結果

評価方法に基づき設定した評価区画及び溢水経路を参考資料-2に示す。

溢水経路は、床面開口部(機器ハッチ、階段等)及び溢水評価において期待することのできる設備(水密扉、堰等)を考慮し、「(ロ) 溢水源及び溢水量の設定結果」にて選定した溢水源となる機器について、地震時の損傷による内包流体の流出を配置図上に整理し、各評価区画における溢水経路を設定した。

(ニ) 溢水評価結果

I 没水影響に対する評価結果

溢水量から算出される各評価区画での溢水水位と、当該区画の炉心損傷防止対策(出力運転時/運転停止時)の防護すべき設備の機能喪失高さが最も低い設備の評価結果を第3.1.4.1-9表及び第3.1.4.1-10表に示す。

2B 余熱除去ポンプ出口流量計(2-FT-611)について、発生を想定する溢水水位が当該計器の機能喪失高さを上回る結果となっているものの、

当該計器は「JIS C 0920:電気機械器具の外郭による保護等級(IPコード)」において規定される「表3 第二特性数字で示される水に対する保護等級」の7(以下「IPコード7」という。)に適合する計器であり、耐没水性を有しているため、没水の影響を受けない。

その他の防護すべき設備の機能喪失高さは、発生を想定する溢水水位を上回ることから、没水の影響を受けず、地震単独の評価結果に影響を与えないことを確認した。

II 被水影響に対する評価結果

(I) プラント・ウォークダウンの実施結果

地震随伴溢水評価のうち被水影響評価にあたり必要となる基本的な情報(設計情報、運転・保守管理情報等)について、机上検討では確認が困難な情報を取得し、地震評価において特定されたクリフエッジシナリオに必要な構築物、系統及び機器(以下「SSC」という。)への被水による影響の有無を確認するため、プラント・ウォークダウンを実施した。

i. 実施方法

調査対象とする設備を第3.1.4.1-8図のフローに従い抽出し、第3.1.4.1-9図に示すチェックシートを用い、主に以下について確認を実施した。

- ・調査対象設備から直視できる範囲の溢水源の有無
- ・天井面に開口部又は貫通部の有無

ii. 実施結果

(i) 実施日

平成30年9月25、26日

(ii) 結果

プラント・ウォークダウンの結果、調査対象設備は、被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であり、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であることを確認した。

(II) 被水影響評価結果

プラント・ウォークダウンの結果を踏まえ、各評価区画の代表設備の被水影響に対する評価結果を第3.1.4.1-11表及び第3.1.4.1-12表に示す。また、防護すべき設備すべての被水影響に対する評価結果を参考資料-2に示す。

地震起因による被水影響に対して、防護すべき設備が判定基準のいずれかを満足することから、被水の影響を受けず、地震単独の評価結果に影響を与えないことを確認した。

III 蒸気影響に対する評価結果

蒸気を内包する設備について HCLPF を確認した結果、HCLPF が最も小さい設備である1次系補助蒸気系統の配管の値が1.06Gであり、炉心損傷防止対策(出力運転時／運転停止時)におけるクリフエッジ地震加速度1.04Gを上回っていることから、蒸気影響を受けないことを確認した。

(b) 建屋外の防護すべき設備に関する溢水評価

イ 評価方法

地震により想定される屋外の溢水源を選定し、選定した溢水源がクリフエッジシナリオで必要な設備へ及ぼす影響について、以下の評価を実施する。

(イ) 防護すべき設備の選定

地震単独の評価の炉心損傷防止対策(出力運転時/運転停止時)、格納容器機能喪失防止対策及び SFP 燃料損傷防止対策のクリフエッジシナリオの成立のために必要な設備のうち建屋外に設置されるものを防護すべき設備とする。

(ロ) 溢水源の選定

発電所の敷地内に設置される屋外タンク等、建屋外の液体・蒸気を内包する機器のうち、地震により損傷が生じるおそれのある機器を溢水源とする。

(ハ) 溢水影響評価

建屋外で発生した溢水源による防護すべき設備の機能喪失の有無を評価する。

なお、川内 2 号機第 1 回評価結果の地震及び津波の重畳評価において、地震評価におけるクリフエッジシナリオで要求される各機能が同時に発生した津波により機能を喪失しないことをそれぞれ確認し、事象が重なったとしても第 3.1.4.1-13 表及び第 3.1.4.1-14 表に示す互いのクリフエッジの値に影響しあうことがないことが確認されている。

このため、屋外で発生した溢水の水位が川内 2 号機第 1 回評価結果

の津波単独の評価結果であるクリフエッジ津波高さ 15m(敷地高さ+2m)を超えないことを確認する。

ロ 評価結果

(イ) 防護すべき設備の選定結果

地震単独の評価の炉心損傷防止対策(出力運転時/運転停止時)、格納容器機能喪失防止対策及び SFP 燃料損傷防止対策のクリフエッジシナリオの成立のために必要な設備のうち建屋外に設置されるものを防護すべき設備に選定した。選定した結果を参考資料-2 に示す。

(ロ) 溢水源の選定結果

建屋外の溢水が想定されるものは、循環水管伸縮継手の損傷により発生する溢水、屋外に設置される大型タンク及び小型タンク類の損傷による溢水が想定される。循環水管伸縮継手の損傷により発生する溢水については、溢水が発生する海水ポンプエリア周辺に防護すべき設備がなく、溢水による影響はない。

このため、屋外に設置される大型タンク及び小型タンク類を溢水源に選定した。なお、発電所の敷地内において大型タンクが密集する 1 号機の南側エリアが最も発生水位が高くなることから、当該エリアを代表とし、以下のとおり溢水源を選定した。

【大型タンク】

- ・2 次系純水タンク
- ・ろ過水貯蔵タンク

【小型タンク】

- ・所内用水タンク

- ・補給水処理装置
- ・補助ボイラ給水タンク

(ハ) 溢水影響評価結果

(ロ)項で選定した溢水源から発生する溢水水位の評価結果を第3.1.4.1-15表に示す。溢水による合計水位は約240mmであり、川内2号機第1回評価結果の津波単独の評価結果であるクリフエッジ津波高さ15m(敷地高さ+2m)を超えず、地震単独の評価結果に影響を与えないことを確認した。

また、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等を経由し、建屋内の防護すべき設備が設置されている原子炉補助建屋、制御建屋、中間建屋及び燃料取扱建屋(以下「1次系建屋」という。)に流入する可能性があるが、これらについても、川内2号機第1回評価結果の津波単独の評価においてクリフエッジ津波高さ15m(敷地高さ+2m)まで1次系建屋への流入がないことを確認していることから、建屋内の防護すべき設備も影響を受けない。

第 3.1.4.1-1 表 防護すべき設備の選定結果(炉心損傷防止対策(出力運転時))

評価区画	フロア (EL.[m])	防護すべき設備(代表)*	機能喪失高さ (床上[m])
2A/B-1	13.3	代替電源接続盤(A/B)	1.11
2A/B-2		2A 主蒸気逃し弁(2PCV-3610)	1.82
2A/B-3		2B 主蒸気逃し弁(2PCV-3620)	1.71
2A/B-4	5.0 (中間床)	2C 主蒸気逃し弁(2PCV-3630)	1.90
2A/B-5	5.0	A 蒸気発生器蒸気圧力計(Ⅲ) (2-PT-466)	1.06
2C/B-1	20.3	RTG 補助盤(2RA)	0.08
2C/B-2		原子炉保護系計器ラックRIO 盤 (2P-RIO)	0.11
2C/B-3	13.3	RTG 補助盤用端子盤(制御トレン A) (2ATA-1)	0.32
2C/B-4	5.0 (中間床)	計装用電源装置(2AIV)	0.09
2C/B-5		計装用電源装置(2BIV)	0.10
2C/B-6		A 蓄電池	0.76
2C/B-7		B 蓄電池	0.76
2C/B-8		充電器盤(2ACP)	0.10
2C/B-9		充電器盤(2BCP)	0.10
2I/B-1	20.3	換気空調系集中現場盤(2BLVP)	0.62
2I/B-2	13.3	メタルクラッド・スイッチギア (4-2CM/C)	0.04
2I/B-3		メタルクラッド・スイッチギア (4-2DM/C)	0.04
2I/B-4	5.0	2B タービン補助給水ポンプ室給気 ファン(2VSF40B)	0.10
2I/B-5	-2.0 (中間床)	温度制御器(2TC-2678B)	1.06
2I/B-6	-2.0	タービン動補助給水ポンプ電動弁盤 (2ATAF)	0.38
2I/B-7		タービン動補助給水ポンプ電動弁盤 (2BTAF)	0.41
2I/B-8		タービン動補助給水ポンプ (2-TDAFWP)	0.52

※ 各評価区画において、機能喪失高さが最も低い設備を示す。

第 3.1.4.1-2 表 防護すべき設備の選定結果(炉心損傷防止対策(運転停止時))

評価区画	フロア (EL.[m])	防護すべき設備(代表)*	機能喪失高さ (床上[m])
2A/B-1	13.3	重大事故等対処用変圧器受電盤	0.24
2A/B-5	5.0	格納容器広域圧力計(Ⅳ)(2-PT-953)	0.96
2A/B-6	-2.0 (中間床)	2A スプレイクーラ出口弁 (2V-CP-024A)	1.54
2A/B-7	-2.0	格納容器広域圧力計(Ⅰ)(2-PT-950)	1.21
2A/B-8	-9.0	2B 余熱除去冷却器冷却水第2出口弁 (2V-CC-228B)	4.43
2A/B-9		代替再循環隔離弁(2V-RH-035)	0.85
2A/B-10	-15.0	2A 余熱除去ポンプ出口流量計 (2-FT-601)	1.04
2A/B-11		2B 余熱除去ポンプ出口流量計 (2-FT-611)	1.11
2A/B-12		2B 余熱除去系統 C/V 再循環弁 (2V-SI-193B)	2.06
2A/B-13	-21.0	2A 余熱除去ポンプ(2A-RHRP)	0.81
2A/B-14		2B 余熱除去ポンプ(2B-RHRP)	0.81
2C/B-1	20.3	RTG 補助盤(2RA)	0.08
2C/B-2		原子炉保護系計器ラック RIO 盤 (2P-RIO)	0.11
2C/B-3	13.3	RTG 補助盤用端子盤(制御トレン A) (2ATA-1)	0.32
2C/B-4	5.0 (中間床)	計装用電源装置(2AIV)	0.09
2C/B-5		計装用電源装置(2BIV)	0.10
2C/B-6		A 蓄電池	0.76
2C/B-7		B 蓄電池	0.76
2C/B-8		充電器盤(2ACP)	0.10
2C/B-9		充電器盤(2BCP)	0.10
2C/B-10	5.0	重大事故等対処用入出力盤 (2SAIO)	0.50
2I/B-2	13.3	メタルクラッド・スイッチギア(4-2CM/C)	0.04
2I/B-3		メタルクラッド・スイッチギア(4-2DM/C)	0.04
2I/B-9	5.0	常設電動注入ポンプ(ALPM)	0.40
2I/B-6	-2.0	中央制御室外原子炉停止盤(2AEP)	0.43
2I/B-7		中央制御室外原子炉停止盤(2BEP)	0.43
2FH/B-1	5.0	格納容器広域圧力計(Ⅱ) (2-PT-951)	0.92

※ 各評価区画において、機能喪失高さが最も低い設備を示す。

第 3.1.4.1-3 表 地震に起因する溢水源リスト(管理区域)

建屋	フロア (EL.[m])	溢水源	溢水量 [m ³]	備考	
燃料取扱 建屋	13.3	使用済燃料ピットスロッシング	41.1	—	
原子炉補助 建屋	13.3	樹脂タンク	0.5	—	
		ほう酸補給タンク	1.5	—	
		B 廃液蒸発装置	12.3	—	
		廃液蒸発装置中和剤注入装置	0.4	—	
		廃液蒸発装置消泡剤注入装置	0.3	—	
		ドラム詰バッチタンク	8.0	—	
	5.0 (中間床)	ほう酸濃縮液フィルタ	4.1*	※左記の溢水 源からの合 計量を示す	
	5.0	ほう酸濃縮液タンク			
		ほう酸濃縮液ポンプ			
		ほう酸回収装置	13.9		—
		1 次系薬品タンク	0.1		—
ガス圧縮装置		0.3	—		
-2.0	冷却材陽イオン脱塩塔	0.9	—		
	ほう酸除去脱塩塔	3.7	—		

第 3.1.4.1-4 表 地震に起因する溢水源リスト(非管理区域)

建屋	フロア (EL.[m])	溢水源	溢水量 [m ³]	備考
中間建屋	-2.0	薬液混合タンク	0.1	—

第 3.1.4.1-5 表 設定した各建屋の溢水量(管理区域)

建屋	溢水量[m ³]
燃料取扱建屋	41.1
原子炉補助建屋	46.0

第 3.1.4.1-6 表 設定した各建屋の溢水量(非管理区域)

建屋	溢水量[m ³]
中間建屋	0.1

第 3.1.4.1-7 表 3次元流動解析に用いた評価条件

モデル化範囲	SFPのあるフロアレベル全体
境界条件	上部は開放とし、他は壁による境界を設定
初期水位	EL.+12.93m(高水位警報設定値)
評価用地震波	<ul style="list-style-type: none"> •Ss-1 地震動(スペクトルベース波:Ss1)の 1.89 倍(地震単独の評価における炉心損傷防止対策(出力運転時・運転停止時)のクリフエッジ地震加速度:1.04G)による燃料取扱建屋 EL.+13.3m の応答を使用 •応答スペクトルベースに対し、EW 方向と UD 方向、NS 方向と UD 方向で評価する。
その他	<ul style="list-style-type: none"> •使用済燃料ラックは考慮せず、SFP 内の水は全て揺動する。 •SFP 周りのフェンスによる SFP 水のはね返り挙動は考慮しない。 •SFP-A、SFP-B、燃料取替用キャナル、キャスクピット、燃料検査ピットの全てが水張りされた状態とし、発生する全ての溢水量を評価する。

第 3.1.4.1-8 表 SFP のスロッシングによる最大溢水量

クリフエッジ地震動 EW 方向、UD 方向	41.1m ³
クリフエッジ地震動 NS 方向、UD 方向	34.2m ³

第 3.1.4.1-9 表 炉心損傷防止対策(出力運転時)没水影響評価結果

建屋	区域区分	EL.[m]	評価区画	防護すべき設備	溢水量 [m ³]	滞留面積 [m ²]	床勾配 [m]	①溢水水位 (床上[m])	②機能喪失高さ (床上[m])	影響評価	判定				
原子炉補助 建屋	管理区域	13.3	2A/B-1	代替電源接続盤(A/B)	23.0	969.4	0.1	0.124	1.11	①<②	○				
		5.0	2A/B-5	A 蒸気発生器蒸気圧力計(Ⅲ) (2-PT-466)	41.4	1470.1	0.1	0.129	1.06	①<②	○				
	非管理 区域	13.3	2A/B-2	2A 主蒸気逃し弁(2PCV-3610)	溢水源及び他区画からの溢水伝播なし				1.82	—	○				
			2A/B-3	2B 主蒸気逃し弁(2PCV-3620)					1.71	—	○				
5.0 (中間床)	2A/B-4	2C 主蒸気逃し弁(2PCV-3630)	1.90	—					○						
			0.08	—					○						
制御建屋	非管理 区域	20.3	2C/B-1	RTG 補助盤(2RA)	溢水源及び他区画からの溢水伝播なし				0.11	—	○				
			2C/B-2	原子炉保護系計器ラック RIO 盤 (2P-RIO)					0.32	—	○				
		13.3	2C/B-3	RTG 補助盤用端子盤(制御トレン A) (2ATA-1)					0.09	—	○				
		5.0 (中間床)	2C/B-4	計装用電源装置(2AIV)					0.10	—	○				
									2C/B-5	計装用電源装置(2BIV)	0.76	—	○		
											2C/B-6	A 蓄電池	0.76	—	○
													2C/B-7	B 蓄電池	0.10
											2C/B-8	充電器盤(2ACP)			0.10
		2C/B-9	充電器盤(2BCP)	0.10					—	○					
中間建屋	非管理 区域	20.3	2I/B-1	換気空調系集中現場盤(2BLVP)	溢水源及び他区画からの溢水伝播なし				0.62	—	○				
			13.3	2I/B-2					メタルクラッド・スイッチギア(4-2CM/C)	0.04	—	○			
		2I/B-3		メタルクラッド・スイッチギア(4-2DM/C)					0.04	—	○				
		5.0	2I/B-4	2B タービン補助給水ポンプ室給気 ファン(2VSF40B)					0.10	—	○				
		-2.0 (中間床)	2I/B-5	温度制御器(2TC-2678B)					1.06	—	○				
									2I/B-6	タービン動補助給水ポンプ電動弁盤 (2ATAF)	0.38	—	○		
		-2.0	2I/B-7	タービン動補助給水ポンプ電動弁盤 (2BTAF)							0.41	—	○		
									2I/B-8	タービン動補助給水ポンプ (2-TDAFWP)	0.52	—	○		

第 3.1.4.1-10 表 炉心損傷防止対策(運転停止時)没水影響評価結果

建屋	区域区分	EL.[m]	評価区画	防護すべき設備	溢水量 [m ³]	滞留面積 [m ²]	床勾配 [m]	①溢水水位 (床上[m])	②機能喪失高さ (床上[m])	影響評価	判定
原子炉補助 建屋	管理区域	13.3	2A/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	2A/B-5	格納容器広域圧力計(Ⅳ) (2-PT-953)	41.4	1470.1	0.1	0.129	0.96	①<②	○
		-2.0 (中間床)	2A/B-6	2A スプレイクーラ出口弁 (2V-CP-024A)	溢水源及び他区画からの溢水伝播なし				1.54	—	○
		-2.0	2A/B-7	格納容器広域圧力計(Ⅰ) (2-PT-950)	46.0	1166.6	0.1	0.140	1.21	①<②	○
		-9.0	2A/B-8	2B 余熱除去冷却器冷却水第 2 出口 弁(2V-CC-228B)	46.0	671.0	0.1	0.169	4.43	①<②	○
			2A/B-9	代替再循環隔離弁(2V-RH-035)	46.0	738.6	0.1	0.163	0.85	①<②	○
		-15.0	2A/B-10	2A 余熱除去ポンプ出口流量計 (2-FT-601)	46.0	139.8	0.1	0.430	1.04	①<②	○
			2A/B-11	2B 余熱除去ポンプ出口流量計 (2-FT-611)	46.0	39.5	0.1	1.265	1.11	①>②	○*
			2A/B-12	2B 余熱除去系統 C/V 再循環弁 (2V-SI-193B)	46.0	112.4	0.1	0.510	2.06	①<②	○
		-21.0	2A/B-13	2A 余熱除去ポンプ(2A-RHRP)	46.0	120.3	0.1	0.483	0.81	①<②	○
2A/B-14	2B 余熱除去ポンプ(2B-RHRP)		46.0	119.5	0.1	0.485	0.81	①<②	○		
制御建屋	非管理 区域	20.3	2C/B-1	RTG 補助盤(2RA)	溢水源及び他区画からの溢水伝播なし				0.08	—	○
			2C/B-2	原子炉保護系計器ラック RIO 盤 (2P-RIO)					0.11	—	○
		13.3	2C/B-3	RTG 補助盤用端子盤(制御トレン A) (2ATA-1)					0.32	—	○
		5.0 (中間床)	2C/B-4	計装用電源装置(2AIV)					0.09	—	○
			2C/B-5	計装用電源装置(2BIV)					0.10	—	○
			2C/B-6	A 蓄電池					0.76	—	○
			2C/B-7	B 蓄電池					0.76	—	○
			2C/B-8	充電器盤(2ACP)					0.10	—	○
			2C/B-9	充電器盤(2BCP)					0.10	—	○
		5.0	2C/B-10	重大事故等対処用入出力盤 (2SAIO)					0.50	—	○
中間建屋	非管理 区域	13.3	2I/B-2	メタルクラッド・スイッチギア(4-2CM/C)	溢水源及び他区画からの溢水伝播なし				0.04	—	○
			2I/B-3	メタルクラッド・スイッチギア(4-2DM/C)					0.04	—	○
		5.0	2I/B-9	常設電動注入ポンプ(ALPM)					0.40	—	○
		-2.0	2I/B-6	中央制御室外原子炉停止盤(2AEP)					0.43	—	○
			2I/B-7	中央制御室外原子炉停止盤(2BEP)					0.43	—	○
燃料取扱 建屋	管理区域	5.0	2FH/B-1	格納容器広域圧力計(Ⅱ) (2-PT-951)	41.1	224.3	0.1	0.284	0.92	①<②	○

※ 本計器は、耐没水性(「JIS C 920:電気機械器具の外郭による保護等級(IPコード)」において規定される IPコード 7 に適合)があることから、機能喪失しない。

第 3.1.4.1-11 表 炉心損傷防止対策(出力運転時)被水影響評価結果の例(1/2)

建屋	EL.[m]	評価区画	防護すべき設備	影響評価	判定
原子炉補助 建屋	13.3	2A/B-1	代替電源接続盤(A/B)	被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であり、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である。	○
		2A/B-2	2A 主蒸気逃し弁(2PCV-3610)		
		2A/B-3	2B 主蒸気逃し弁(2PCV-3620)		
	5.0 (中間床)	2A/B-4	2C 主蒸気逃し弁(2PCV-3630)		
	5.0	2A/B-5	A 蒸気発生器蒸気圧力計(Ⅲ) (2-PT-466)		
制御建屋	20.3	2C/B-1	RTG 補助盤(2RA)	被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であり、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である。	○
		2C/B-2	原子炉保護系計器ラック RIO 盤 (2P-RIO)		
	13.3	2C/B-3	RTG 補助盤用端子盤(制御トレン A) (2ATA-1)		
	5.0 (中間床)	2C/B-4	計装用電源装置(2AIV)		
		2C/B-5	計装用電源装置(2BIV)		
		2C/B-6	A 蓄電池		
		2C/B-7	B 蓄電池		
		2C/B-8	充電器盤(2ACP)		
		2C/B-9	充電器盤(2BCP)		

第 3.1.4.1-11 表 炉心損傷防止対策(出力運転時)被水影響評価結果の例(2/2)

建屋	EL.[m]	評価区画	防護すべき設備	影響評価	判定
中間建屋	20.3	2I/B-1	換気空調系集中現場盤(2BLVP)	被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であり、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である。	○
	13.3	2I/B-2	メタルクラッド・スイッチギア(4-2CM/C)		
		2I/B-3	メタルクラッド・スイッチギア(4-2DM/C)		
	5.0	2I/B-4	2Bタービン補助給水ポンプ室給気ファン(2VSF40B)		
	-2.0 (中間床)	2I/B-5	温度制御器(2TC-2678B)		
	-2.0	2I/B-6	タービン動補助給水ポンプ電動弁盤(2ATAF)		
		2I/B-7	タービン動補助給水ポンプ電動弁盤(2BTAF)		
		2I/B-8	タービン動補助給水ポンプ(2-TDAFWP)		

第 3.1.4.1-12 表 炉心損傷防止対策(運転停止時)被水影響評価結果の例(1/2)

建屋	EL.[m]	評価区画	防護すべき設備	影響評価	判定
原子炉補助 建屋	13.3	2A/B-1	重大事故等対処用変圧器受電盤	被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であり、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である。	○
	5.0	2A/B-5	格納容器広域圧力計(Ⅳ)(2-PT-953)		
	-2.0 (中間床)	2A/B-6	2A スプレイクーラ出口弁 (2V-CP-024A)		
	-2.0	2A/B-7	格納容器広域圧力計(Ⅰ)(2-PT-950)		
	-9.0	2A/B-8	2B 余熱除去冷却器冷却水第 2 出口 弁(2V-CC-228B)		
		2A/B-9	代替再循環隔離弁(2V-RH-035)		
	-15.0	2A/B-10	2A 余熱除去ポンプ出口流量計 (2-FT-601)		
		2A/B-11	2B 余熱除去ポンプ出口流量計 (2-FT-611)		
		2A/B-12	2B 余熱除去系統 C/V 再循環弁 (2V-SI-193B)		
	-21.0	2A/B-13	2A 余熱除去ポンプ(2A-RHRP)		
2A/B-14		2B 余熱除去ポンプ(2B-RHRP)			

第 3.1.4.1-12 表 炉心損傷防止対策(運転停止時)被水影響評価結果の例(2/2)

建屋	EL.[m]	評価区画	防護すべき設備	影響評価	判定
制御建屋	20.3	2C/B-1	RTG 補助盤(2RA)	被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であり、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である。	○
		2C/B-2	原子炉保護系計器ラック RIO 盤(2P-RIO)		
	13.3	2C/B-3	RTG 補助盤用端子盤(制御トレン A)(2ATA-1)		
	5.0 (中間床)	2C/B-4	計装用電源装置(2AIV)		
		2C/B-5	計装用電源装置(2BIV)		
		2C/B-6	A 蓄電池		
		2C/B-7	B 蓄電池		
		2C/B-8	充電器盤(2ACP)		
	5.0	2C/B-9	充電器盤(2BCP)		
	5.0	2C/B-10	重大事故等対処用入出力盤(2SAIO)		
中間建屋	13.3	2I/B-2	メタルクラッド・スイッチギア(4-2CM/C)	被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であり、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である。	○
		2I/B-3	メタルクラッド・スイッチギア(4-2DM/C)		
	5.0	2I/B-9	常設電動注入ポンプ(ALPM)		
	-2.0	2I/B-6	中央制御室外原子炉停止盤(2AEP)		
		2I/B-7	中央制御室外原子炉停止盤(2BEP)		
燃料取扱建屋	5.0	2FH/B-1	格納容器広域圧力計(Ⅱ)(2-PT-951)		

第 3.1.4.1-13 表 川内 2 号機第 1 回評価結果におけるクリフエッジ地震加速度

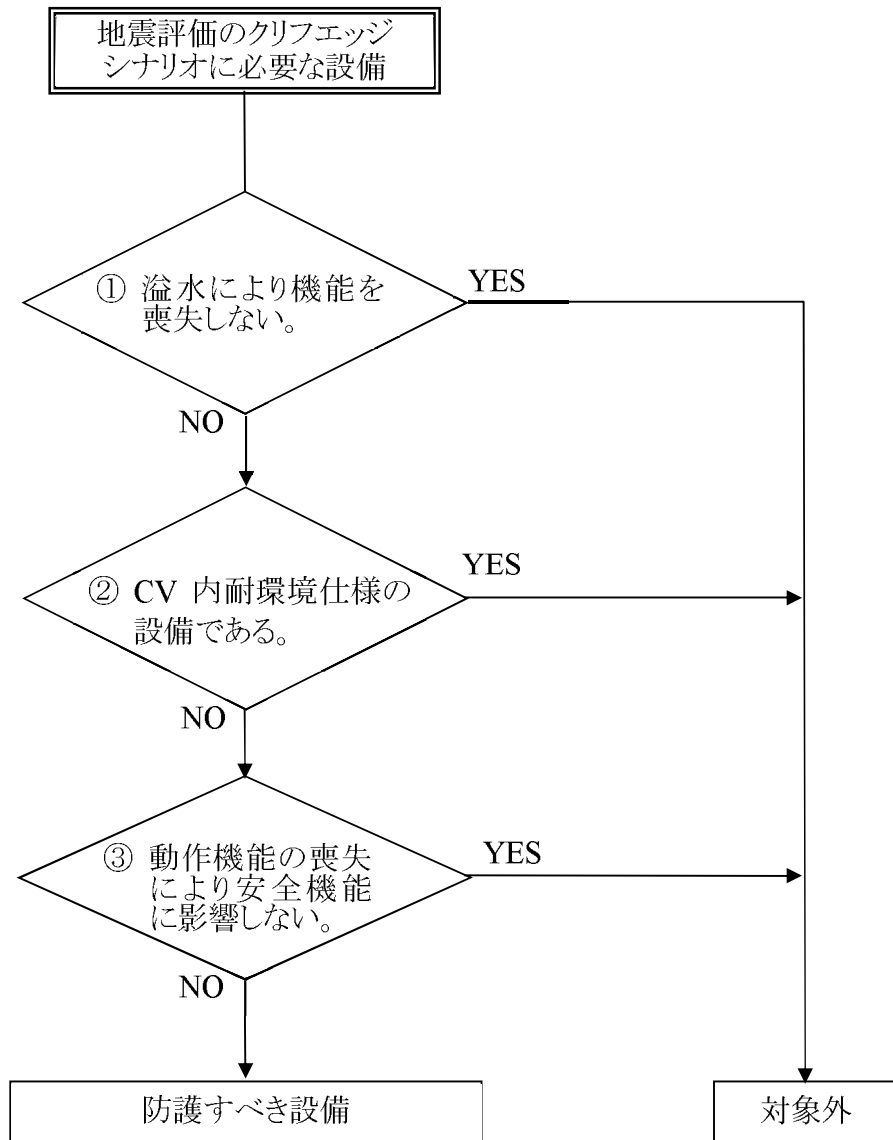
評価項目			クリフエッジ 地震加速度
地震	出力運転時	炉心	1026Gal
		格納容器	1026Gal
		SFP	1149Gal
	運転停止時	炉心	1026Gal

第 3.1.4.1-14 表 川内 2 号機第 1 回評価結果におけるクリフエッジ許容津波高さ

評価項目			クリフエッジ 許容津波高さ
津波	出力運転時	炉心	15m
		格納容器	15m
		SFP	27m
	運転停止時	炉心	15m

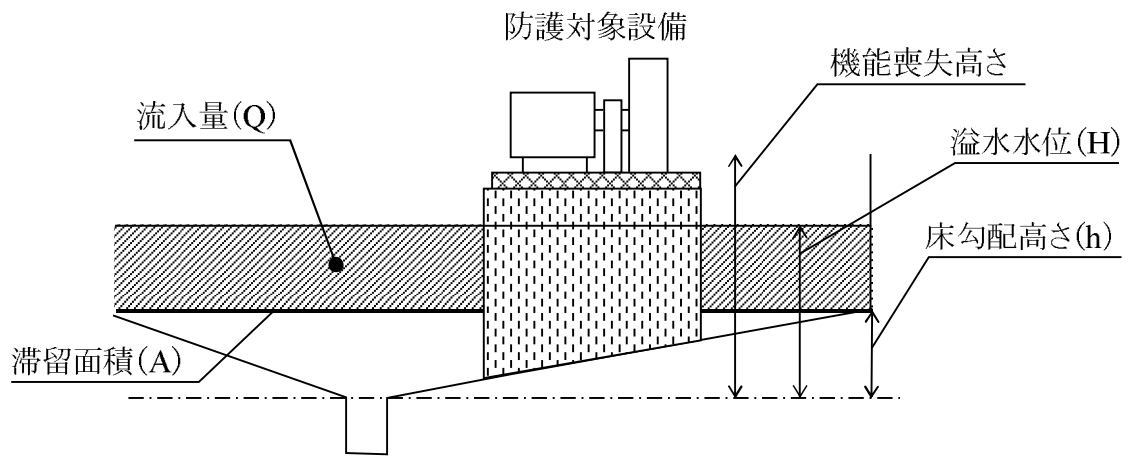
第 3.1.4.1-15 表 大型タンク及び小型タンク類の溢水水位評価結果

溢水水位[mm]		合計水位 [mm]
大型タンク	小型タンク類	
約 160	約 80	約 240

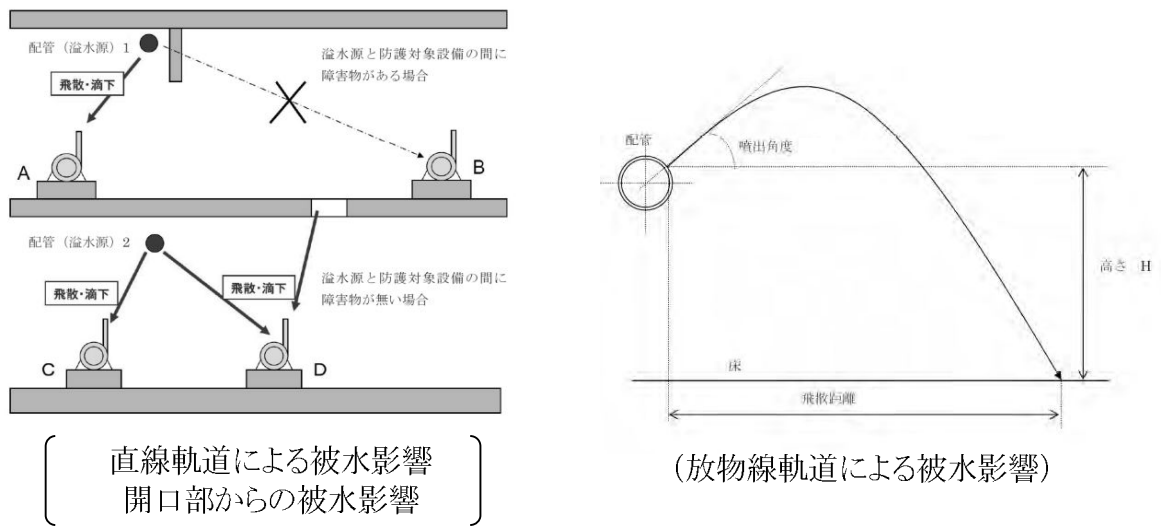


- ① 構造が単純で外部から動力の供給を必要としない容器、熱交換器、フィルタ、安全弁、逆止弁、手動弁、配管類等
- ② 想定される溢水に対して要求される機能を損なわない設計としている原子炉格納容器内に設置された設備
- ③ フェイル位置で要求される機能を損なわない弁及びバウンダリ維持の観点から地震の機器リストに含まれている機能要求のないポンプ

第 3.1.4.1-1 図 防護すべき設備の考え方

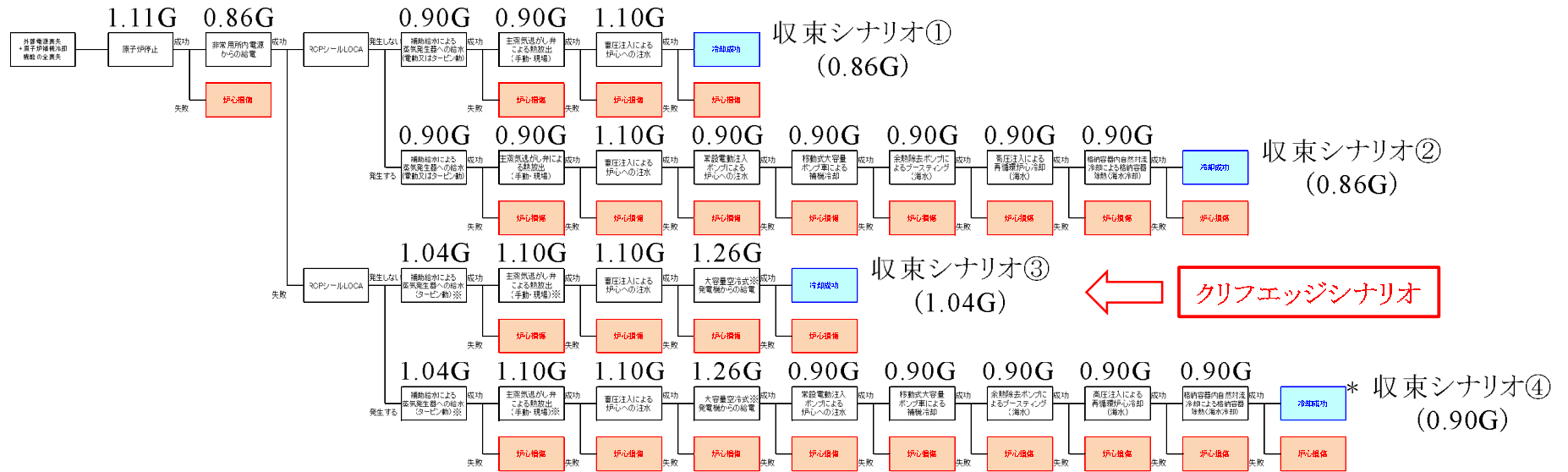


第3.1.4.1-2図 溢水水位算出の考え方



第 3.1.4.1-3 図 被水影響範囲の考え方

起因事象:外部電源喪失+原子炉補機冷却機能の全喪失

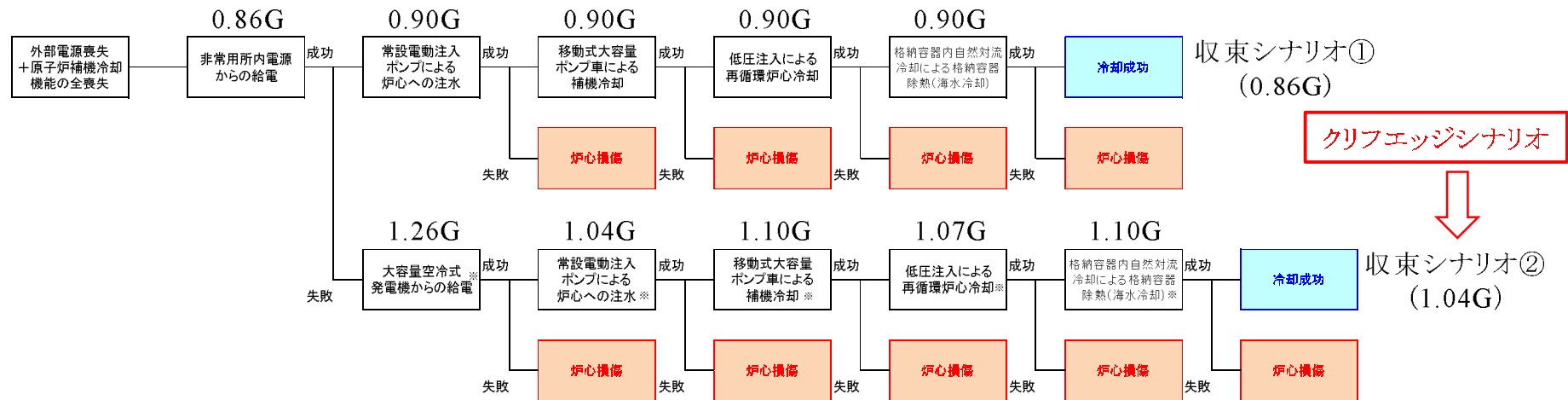


*地震加速度 0.86-1.10G 未満の範囲において、RCPシールLOCA の発生を想定しないが、参考として発生した場合の収束シナリオの耐力を記載

※:0.90G でメタクラ保護継電器の誤動作による失敗の可能性はあるが、リフト処置により成功させることとした。

第 3.1.4.1-4 図 地震出力運転時炉心損傷防止対策におけるクリフエッジシナリオ

起因事象:外部電源喪失+原子炉補機冷却機能の全喪失

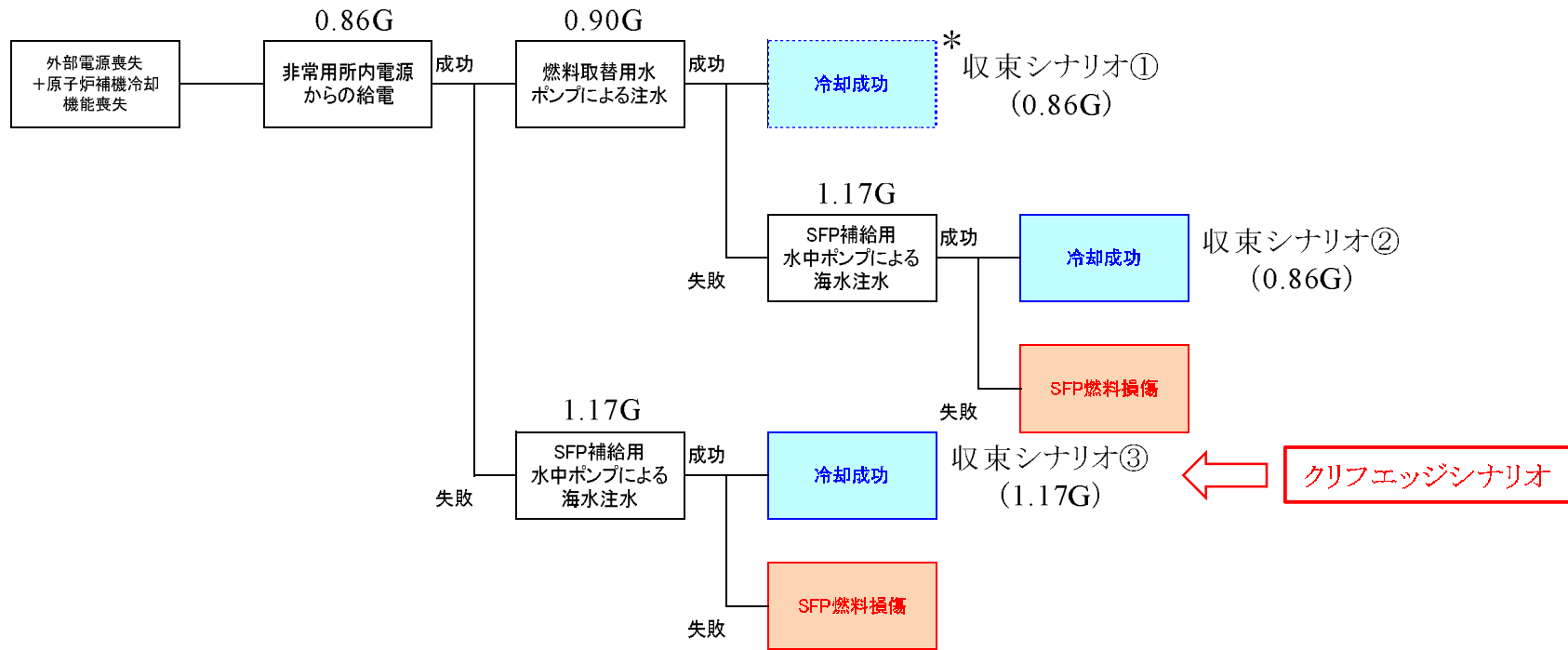


3.1.4-29

※:0.90G でメタクラ保護継電器の誤動作による失敗の可能性があるが、リフト処置により成功させることとした。

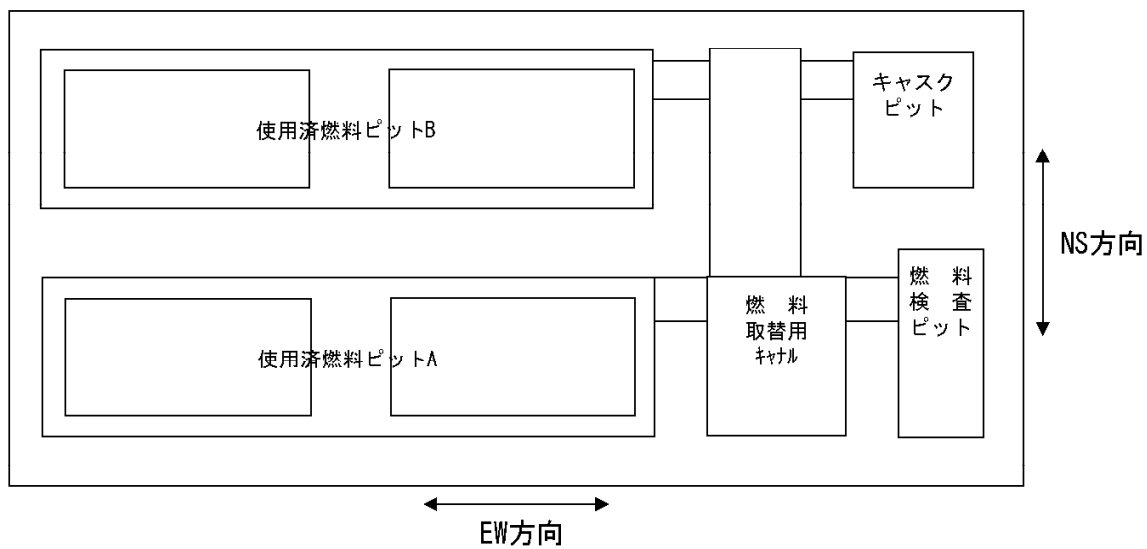
第 3.1.4.1-5 図 地震運転停止時炉心損傷防止対策におけるクリフエッジシナリオ

起因事象:外部電源喪失+原子炉補機冷却機能喪失

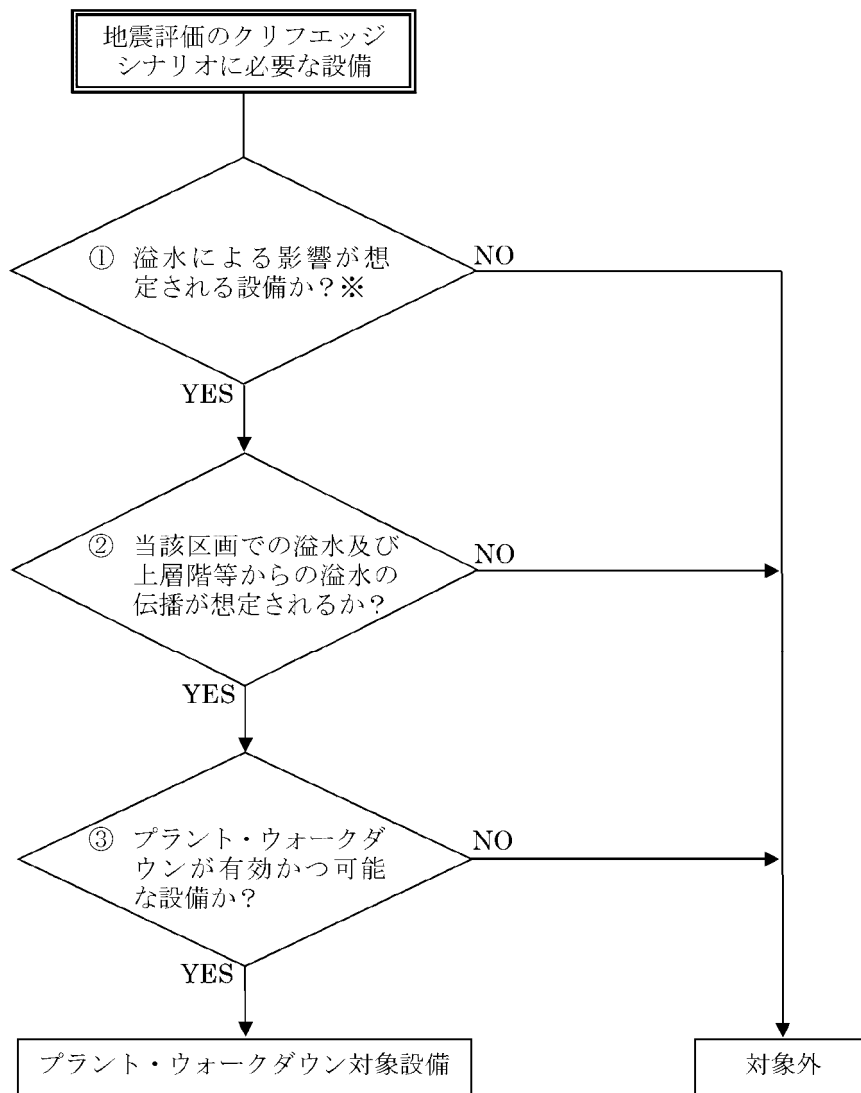


*炉心燃料損傷防止または格納容器機能喪失防止に燃料取替用水タンク保有水を使用することを想定し、SFP燃料に対する評価では、当該成功シナリオを評価に含めず、参考として耐力を示す。

第 3.1.4.1-6 図 地震 SFP 燃料損傷評価におけるクリフエッジシナリオ



第 3.1.4.1-7 図 SFP 周辺の概略



※ 以下の設備は、溢水の影響を受けても要求される機能を損なうことはないため、溢水による影響を想定しない。

- ・構造が単純で外部から動力の供給を必要としない容器、熱交換器、フィルタ、安全弁、逆止弁、手動弁、配管類等
- ・想定される溢水に対して要求される機能を損なわない設計としている原子炉格納容器内に設置された設備
- ・フェイル位置で要求される機能を損なわない弁及びバウンダリ維持の観点から地震の機器リストに含まれている機能要求のないポンプ

第 3.1.4.1-8 図 調査対象とする設備の抽出フロー

川内原子力発電所 2号機 地震随伴溢水プラントウォークダウンチェックシート

SSC名: _____

機器番号: _____

区 画: _____ 設置建屋: _____

[チェック対象項目]	良	否
A)対象SSCから直視できる範囲に溢水源となり得る機器はあるか。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B)天井面に開口部又は貫通部がないか。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

総合評価

実施日: _____

実施者: _____

第 3.1.4.1-9 図 プラント・ウォークダウンチェックシート(1/2)

SSC名: _____

A)対象SSCから直視できる範囲に溢水源となり得る機器はあるか。

- | | Y | N | U | N/A |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1. 対称SSCから直視できる範囲に破損を想定する溢水源がない。 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. 溢水源からの放物線軌道による噴射を想定した場合においても対象SSCが被水しない。 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

B)天井面に開口部又は貫通部がないか。

- | | Y | N | U | N/A |
|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1. 天井面に開口部又は貫通部がない。 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. 天井面開口部に密封処置等の流入防止対策があるか。 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. 天井面貫通部に密封処置等の流入防止対策があるか。 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

気づき事項を記載

(記号の説明) Y: YES, N: NO, U: 調査不可, N/A: 対象外

第 3.1.4.1-9 図 プラント・ウォークダウンチェックシート(2/2)

b. 地震随伴火災

(a) 地震随伴内部火災

イ 評価方法

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建屋内の火災による影響について、以下の評価を実施する。

(イ) 防護すべき設備の選定

炉心損傷防止対策（出力運転時）、格納容器機能喪失防止対策及び SFP 燃料損傷防止対策のクリフエッジシナリオの成立のために必要な設備のうち、建屋内に設置されているものを防護すべき設備とする。

なお、運転停止時には定検作業による分解点検、資機材の搬入等、設備の状態及び周辺環境が日々異なることから、炉心損傷防止対策（運転停止時）においては、「運用により火災発生の防止、又は早期発見・消火が可能であるか」という観点で、定性的に評価する。

(ロ) 評価区画の設定

評価区画は、3 時間以上の耐火能力を有する耐火壁によって囲まれ、他の区画と分離されている建屋内の区画とし、選定した防護すべき設備が設置されているすべての区画に対して設定する。

(ハ) 火災源の選定

(ロ) 項にて設定した評価区画にある可燃物を種類で分類し、火災源の選定を行う。選定にあたっては、可燃物及び可燃物を内包する機器等が地震により損傷した場合にどのような過程を経て火災に至るか想定が困難であるため、評価区画で想定される火災原因となる可燃物を選定する。

(二) 火災による影響評価

(ハ)項にて選定された火災源について、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により確認する。

- ・ 火災源となる機器、若しくは可燃物を内包する機器のクリフエッジ地震での損傷による火災発生の有無
- ・ 火災源となる可燃物の物質特性(引火点等)からの火災発生の可能性の有無
- ・ 火災源となる機器、若しくは可燃物を内包する機器の材質及び構造により火災の影響が限定的か
- ・ 運用により火災発生の防止、又は早期発見・消火が可能か

ロ 評価結果

(イ) 防護すべき設備の選定結果

I クリフエッジシナリオの確認

「3.1.4.1(1)a. 地震随伴溢水」の第3.1.4.1-4図から第3.1.4.1-6図に示すシナリオとなる。

なお、「3.1.4.1(1)a. 地震随伴溢水」と同様に格納容器機能喪失防止対策のクリフエッジシナリオは、炉心損傷防止対策(出力運転時)と同じクリフエッジシナリオとして評価した。

II 防護すべき設備の選定結果

I項のクリフエッジシナリオを踏まえ、シナリオ成立のために必要な設備のうち、建屋内に設置されているものを防護すべき設備として選定した。選定した結果を参考資料-2に示す。

(ロ) 評価区画の設定結果

評価方法に基づき、設定した評価区画を参考資料-2 に示す。

(ハ) 火災源の選定結果

(ロ)項にて設定した評価区画にある可燃物を火災源として選定した。選定した火災源を第 3.1.4.1-16 表に示す。

なお、可燃物の選定にあたっては評価区画内で想定される火災として、油火災、可燃性ガス火災、電気火災及びその他可燃物による火災があることから、その原因となる以下の可燃物を抽出した。

【油火災】

- ・潤滑油火災

【可燃性ガス火災】

- ・水素ガス火災

【電気火災】

- ・電気盤火災
- ・ケーブル火災

【その他可燃物火災】

- ・モータ絶縁物火災
- ・火気使用作業火災及び持込み可燃物による火災(運転停止時のみ)

(二) 火災による影響評価結果

(ハ)項で抽出された火災源について、クリフエッジシナリオに必要な設備への影響を評価した。その評価結果を第 3.1.4.1-17 表に、以下に評価内容を示す。

I 潤滑油火災

潤滑油は引火点(約 180℃)以上に加熱されないと着火しにくい物質である。ここで、川内原子力発電所における原子炉格納容器内、原子炉補助建屋内、燃料取扱建屋内、制御建屋内又は中間建屋内に設置されている潤滑油内包機器の潤滑油の引火点は 220～262℃であり、第 3.1.4.1-18 表に示すとおり、評価区画の室内温度及び機器運転時の潤滑油温度に対して、十分に高く、潤滑油を内包している機器(以下「潤滑油内包機器」という。)が損傷したとしても、防護すべき設備へ影響を及ぼす火災は発生しない。

なお、炉心損傷防止対策(出力運転時)の防護すべき設備が設置される評価区画内の潤滑油内包機器の HCLPF を第 3.1.4.1-19 表に、SFP 燃料損傷防止対策の防護すべき設備が設置される評価区画内の潤滑油内包機器の HCLPF を第 3.1.4.1-20 表に示す。各評価区画内の潤滑油内包機器について、HCLPF が地震単独の評価における炉心損傷防止対策(出力運転時)でのクリフエッジ地震加速度(1.04G)及び SFP 燃料損傷防止対策のクリフエッジ地震加速度(1.17G)を上回っていることから、潤滑油内包機器は損傷しない。

運転停止時においては、潤滑油内包機器が保守点検作業により分解されている状況が想定され、地震により潤滑油が漏えい・拡大し、火災が発生する可能性がある。しかし、仮に潤滑油火災が発生したとしても、作業中においては常時作業員が現地に滞在していることから、早期に火災を感知し、消火することが可能である。さらに、作業中断時には、不燃シートによる養生管理や作業エリアの周辺に可燃物・引火物がないことの確認等を実施する運用としており、防護すべき設備へ影響を及ぼす火災は発生しない。

II 水素ガス火災

評価区画内の水素を内包している系統(以下「水素内包系統」という。)には、体積制御タンク(関連配管含む。)等があり、炉心損傷防止対策(出力運転時)の防護すべき設備が設置される評価区画内の水素内包系統の HCLPF を第 3.1.4.1-21 表に示す。各評価区画内の水素内包系統について、HCLPF が地震単独の評価における炉心損傷防止対策(出力運転時)でのクリフエッジ地震加速度(1.04G)を上回っていることから、水素内包系統の損傷による火災は発生しない。なお、SFP 燃料損傷防止対策の防護すべき設備が設置される評価区画内には、水素内包系統はない。

運転停止時においては、水素がガス減衰タンクに回収されている状態であることから、評価区画内での防護すべき設備へ影響を及ぼす火災は発生しない。

III 電気盤火災

川内 2 号機第 1 回届出書の評価結果において、炉心損傷防止対策(出力運転時)のクリフエッジシナリオに必要な電気盤の HCLPF は、炉心損傷防止対策(出力運転時)でのクリフエッジ地震加速度(1.04G)を上回っていることを確認しており、当該設備の損傷による火災は発生しない。なお、SFP 燃料損傷防止対策のクリフエッジシナリオに必要な電気盤はない。

また、評価区画内に存在するその他の電気盤については、金属製の筐体に覆われており、盤内構成品の火災が発生しても筐体により電気盤外への火災の影響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。

なお、運転停止時においても、上記と同様である。

IV ケーブル火災

川内 2 号機第 1 回届出書の評価結果において、炉心損傷防止対策（出力運転時）のクリフエッジシナリオに必要なケーブル（ケーブルトレイ）の HCLPF は、炉心損傷防止対策（出力運転時）でのクリフエッジ地震加速度（1.04G）を上回っていることを確認しており、当該設備の損傷による火災は発生しない。なお、SFP 燃料損傷防止対策のクリフエッジシナリオに必要なケーブル（ケーブルトレイ）はない。

また、評価区画に存在するその他のケーブルが着火したとしても、難燃性材料が使用されており、筐体や電線管に収納されているため、ケーブルの火災の影響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。

なお、運転停止時においても、上記と同様である。

V モータ絶縁物火災

川内 2 号機第 1 回届出書の評価結果において、炉心損傷防止対策（出力運転時）及び SFP 燃料損傷防止対策のクリフエッジシナリオに必要なモータの HCLPF は、それぞれ炉心損傷防止対策（出力運転時）でのクリフエッジ地震加速度（1.04G）及び SFP 燃料損傷防止対策のクリフエッジ地震加速度（1.17G）を上回っていることを確認しており、当該設備の損傷による火災は発生しない。

また、評価区画に存在するその他のモータについては、モータ絶縁物の量が限定されており、空気との接触面も限られていることから、防護すべき設備に影響を及ぼすような火災は発生しない。

運転停止時においては、モータの保守点検によりモータ絶縁物が露出し、火災が発生する可能性がある。しかし、仮にモータ絶縁物による火災が発生しても、作業中においては、常時作業員が現地に滞在していることから早期に火災を感知し、消火することが可能である。また、作業中断時には、不燃シートによる養生管理や作業周辺のエリアで可燃物・引火物がないことの確認等を実施する運用としており、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。

VI 火気使用作業火災及び持込み可燃物による火災(運転停止時のみ)

火気使用作業時は、火気使用場所の養生や消火用具の準備を行い、火災の発生防止及び作業員による火災の早期の検知・消火が可能な運用を整備している。

また、有機溶剤等の可燃物を持ち込む場合には、火災区画毎の可燃物の火災荷重(潜在的発生熱量)を管理し、持込量を制限していること及び危険物を仮置する場合は、密閉容器を使用し、近傍に溶接作業等による火気、その他着火源になるような機械、設備がないことを確認する運用としていることから、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。

第 3.1.4.1-16 表 地震随伴内部火災における火災源の選定結果

想定される火災	火災源	選定理由
油火災	潤滑油	発火性又は引火性物質として消防法で定められる危険物であり、地震により漏えいし、火災が発生する可能性があるため、火災源に選定
可燃性ガス火災	水素ガス	高圧ガス保安法で定められる可燃性のガスであり、かつ、地震により系外へ漏えいした場合に空気により可燃性混合気体を形成し、静電気等の非常に小さなエネルギーで火災が発生する可能性があるため、火災源に選定
電気火災	電気盤	盤内の構成品が地震により破損、過電流が発生することにより、電氣的に過熱され、火災が発生する可能性があるため、火災源に選定
	ケーブル	ケーブルが地震により損傷、過電流が発生することにより、電氣的に過熱され、火災が発生する可能性があるため、火災源に選定
その他可燃物火災	モータ絶縁物	モータ固定子コイルが電氣的に加熱され、モータ絶縁物が発火する可能性があるため、火災源に選定
	火気使用作業及び持込み可燃物*	定期点検時には、火気使用作業及び有機溶剤等を使用した保守作業が想定されるため、火災源に選定

※プラント運転停止時のみに想定される。

第 3.1.4.1-17 表 地震随伴内部火災 影響評価結果一覧表(1/2)

火災源	評価結果 (影響有無)	評価内容
潤滑油	無	<p>使用されている潤滑油は引火点が高く、評価区画の室内温度及び機器運転時の潤滑油温度に対して、十分に高いことを確認しており、防護すべき設備へ影響を及ぼす火災は発生しない。</p> <p>なお、潤滑油内包機器の HCLPF が地震単独の評価におけるクリフエッジ地震加速度を上回っており、潤滑油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	無	<p>水素内包系統の HCLPF が地震単独の評価におけるクリフエッジ地震加速度を上回っており、水素内包系統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>
電気盤	無	<p>クリフエッジシナリオに必要な電気盤の HCLPF が地震単独の評価における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、評価区画内に存在するその他の電気盤においては、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、上記と同様である。</p>

第 3.1.4.1-17 表 地震随伴内部火災 影響評価結果一覧表 (2/2)

火災源	評価結果 (影響有無)	評価内容
ケーブル	無	クリフエッジシナリオに必要なケーブル(ケーブルトレイ)の HCLPF が地震評価の評価における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ため、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。 運転停止時においても、上記と同様である。
モータ絶縁物	無	クリフエッジシナリオに必要なモータの HCLPF が地震評価の評価における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、筐体により限定されること、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。 運転停止時においては、早期の火災感知・消火が可能であり、適切な火災発生防止対策が施されていることから、防護すべき設備へ影響を及ぼす火災は発生しない。
火気使用作業及び 持込み可燃物*	無	火気使用作業時及び持込み可燃物に対し、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火災は発生しない。

※プラント運転停止時のみに想定される。

第 3.1.4.1-18 表 潤滑油の引火点、室内温度及び機器運転時の潤滑油温度

潤滑油品種	潤滑油内包機器	引火点 [°C]	室内温度 [°C]	機器運転時の 潤滑油温度 [°C]
RIX タービン 56	余熱除去ポンプ 原子炉補機冷却水ポンプ 海水ポンプ電動機 他	244	40	177
			40	95
			—	85
RIX タービン 32	タービン動補助給水ポンプ 電動補助給水ポンプ 他	228	40	70
			40	80
RIX タービン 46	1次冷却材ポンプ電動機	232	49	85
マリン T104	ディーゼル発電機	262	40	80
ダイヤモンド フリーズ MS56F	空調用冷凍機	220	40	75

第 3.1.4.1-19 表 炉心損傷防止対策(出力運転時)の防護すべき設備が設置される
評価区画毎の潤滑油内包機器の HCLPF 評価結果

評価区画	機器名称(潤滑油内包機器)	HCLPF [G]
A/B5-2	2A モニタタンクポンプ	10.57
	2B モニタタンクポンプ	10.57
	A ほう酸濃縮液ポンプ	8.96
	B ほう酸濃縮液ポンプ	8.96
	2A 1次系補給水ポンプ	9.25
	2B 1次系補給水ポンプ	9.25
	2A 燃料取替用水ポンプ	4.78
	2B 燃料取替用水ポンプ	4.78
	2A ガス圧縮機	11.03
	2B ガス圧縮機	11.03
A/B6-1	廃液蒸発装置中和剤注入装置(ポンプケース)	4.11
	廃液蒸発装置消泡剤注入装置(ポンプケース)	4.93
I/B1-6	2号タービン動補助給水ポンプ	4.33
I/B1-8	A 空調用冷水ポンプ	8.95
	B1 1次系補助蒸気復水ポンプ	22.14
	B2 1次系補助蒸気復水ポンプ	22.14
	A 空調用冷凍機	2.84
C/V1-1	燃料取替クレーン	115.97
	燃料移送装置 走行駆動装置(ウォーム減速機)	7.54
	燃料移送装置 水圧制御装置水圧ポンプ	3.06
	格納容器ポーラクレーン	1.33
	2A1 次冷却材ポンプモータ	1.10
	2B1 次冷却材ポンプモータ	1.10
	2C1 次冷却材ポンプモータ	1.10
	2A 格納容器再循環ファン	1.63
	2B 格納容器再循環ファン	1.63
	2C 格納容器再循環ファン	1.63
	2D 格納容器再循環ファン	1.63
	2A 格納容器冷却材ドレンポンプ	21.66
	2B 格納容器冷却材ドレンポンプ	21.66
	2A 格納容器サンプポンプ	24.20
2B 格納容器サンプポンプ	24.20	

G: 加速度を重力加速度(9.8m/s²)で除した無次元数

第 3.1.4.1-20 表 SFP 燃料損傷防止対策の防護すべき設備が設置される評価区画
毎の潤滑油内包機器の HCLPF 評価結果

評価区画	機器名称(潤滑油内包機器)	HCLPF [G]
FH/B3-1	新燃料エレベータ駆動装置	21.51
	燃料移送装置 走行駆動装置(ウォーム減速機)	7.54
	燃料移送装置 水圧制御装置水圧ポンプ	3.06

G: 加速度を重力加速度 (9.8m/s^2) で除した無次元数

第 3.1.4.1-21 表 炉心損傷防止対策(出力運転時)の防護すべき設備が設置される
評価区画毎の水素内包系統の HCLPF 評価結果

評価区画	機器名称(水素内包系統)	HCLPF [G]
A/B5-2	体積制御タンク水位 (2LT-120)	8.14
	体積制御タンク水位 (2LT-121)	8.14
	水素マニホールド供給ヘッド圧力	8.14
	体積制御タンク水素供給圧力	8.14
	体積制御タンク窒素供給圧力	8.14
	体積制御タンクベントライン圧力	8.14
	ベントヘッド圧力	8.14
	体積制御タンク圧力	8.14
	水素 5vol%以上内包配管(A/B5-2、EL.+ 5.0m)	1.54
	水素 5vol%以上内包配管(A/B5-2、EL.+5.0m、中間床)	1.54
A/B6-1	水素 5vol%以上内包配管(A/B6-1、EL.+13.3m)	1.54

G: 加速度を重力加速度 (9.8m/s^2) で除した無次元数

(b) 地震随伴外部火災

イ 評価方法

地震により想定される屋外の火災源を選定し、選定した火災源がクリフエッジシナリオで必要な設備へ及ぼす影響について、以下の評価を実施する。

(イ) 火災源の選定

発電所の敷地内及び敷地周辺から想定される火災に対して、地震随伴の観点で外部火災源を選定する。

(ロ) 防護すべき設備等の選定

地震単独の評価の炉心損傷防止対策(出力運転時・運転停止時)、格納容器機能喪失防止対策及び SFP 燃料損傷防止対策のクリフエッジシナリオの成立のために必要な設備を防護すべき設備とする。

また、アクセスルートの復旧に必要な資機材及びアクセスルート付近で発生した火災を消火するために必要な資機材についても対象とする。

(ハ) 火災による影響評価

選定された防護すべき設備及びアクセスルートに対する地震随伴外部火災の影響を以下の観点から評価する。

I 屋内に設置された防護すべき設備への影響

屋内に設置された防護すべき設備への影響は、火災源からの輻射熱によるコンクリート製の建屋外壁の表面温度上昇に伴う外壁損傷の有無を評価することにより確認する。

具体的には、火災源と防護すべき設備が設置される最も近い建屋外壁の表面温度を求め、火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される温度(200℃)未満であることを確認する。下記に評価条件及び評価方法を示す。

(I) 評価条件

- ・ 火災を想定する油タンクについては、地震によりタンク及び防油堤が損傷し、防油堤外まで油が漏えいするとする。
- ・ 「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド、原子力規制委員会(平成25年6月)(以下「評価ガイド」という。)」の考えに基づき、火炎の高さは燃焼半径の3倍とする円筒火炎モデルとする。想定する円筒火炎モデルを第3.1.4.1-12図に示す。
- ・ 火災源と評価対象の距離は、評価上厳しくなるよう、火災源から評価対象までの水平距離とする。
- ・ 火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射熱で建屋外壁が昇温されるものとする。
- ・ 外壁の表面から大気への放熱は考慮しないこととする。

(II) 評価方法

火災による建屋外壁の表面温度上昇は、外壁が火炎に暴露される時間(火災の燃焼継続時間)と火炎の輻射強度に依存する。

火災の燃焼継続時間は、燃料の量、燃焼面積(燃焼半径)及び燃料の質量低下速度により決定される。火災の燃焼継続時間 τ は下式にて求める。

$$\tau = \frac{V \cdot \rho}{3600 \cdot \pi R^2 \cdot M}$$

ここで、

τ : 燃焼継続時間[h]

V : 燃料量[m³]

R : 燃焼半径[m]

M : 燃料の質量低下速度[kg/m²s]

ρ : 燃料の密度[kg/m³]

火炎の輻射強度 E は、燃焼する可燃物によって決まる定数である火炎の輻射発散度 R_f と、火炎と受熱面との相対位置関係によって定まる形態係数 ϕ の積であり下式にて求める。

$$E = R_f \cdot \phi$$

ここで、

E : 火炎の輻射強度[W/m²]

R_f : 火炎の輻射発散度[W/m²]

ϕ : 形態係数

(出典: 評価ガイド)

形態係数 ϕ は、火炎と受熱面との相対位置関係によって定まる係数であり、第 3.1.4.1-12 図に示す円筒火炎モデルにおいて、燃焼半径を R 、火炎の高さを H 及び火災源と受熱面との距離を L として、下式にて求めることができる。

$$\phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{A - 2n}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right) - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{n-1}{n+1}} \right) \right\}$$

ただし、

$$m = \frac{H}{R} = 3, \quad n = \frac{L}{R}, \quad A = (1+n)^2 + m^2, \quad B = (1-n)^2 + m^2$$

R : 燃焼半径[m]

H : 火災の高さ[m]

L : 火災源と評価対象との距離[m]

(出典: 評価ガイド)

次に、火災の輻射強度 E、燃焼継続時間 t、温度伝導率 α 及び外表面からの深さ x を用いて、下式にて火災源からの輻射熱による外壁の表面温度を算出する。下式は、輻射熱を受けた外壁内部の温度分布を算出する一次元非定常熱伝導方程式による温度評価式である。評価モデルを第 3.1.4.1-13 図に示す。

$$T = T_0 + \frac{2E\sqrt{\alpha t}}{\lambda} \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{4\alpha t}\right) - \frac{x}{2\sqrt{\alpha t}} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\right) \right]$$

(出典: 伝熱工学、東京大学出版会)

表面温度を T_w とすると、 T_w は上式に $x=0$ を代入した下式にて算出できる。

$$T_w = T_0 + \frac{2E\sqrt{\alpha t}}{\sqrt{\pi} \cdot \lambda}$$

ここで、

T_0 : 表面初期温度[°C]

α : 温度伝導率[m²/s] (コンクリートの場合: $\alpha = \lambda_c / (\rho_c \cdot C_{pc})$)

λ_c : コンクリートの熱伝導率[W/m・K]

ρ_c : コンクリートの密度[kg/m³]

C_{pc} : コンクリートの比熱[J/kg・K]

t : 燃焼継続時間[sec] = τ

なお、燃焼半径 R は、地震によりタンク及び防油堤が損傷し、防油堤外まで油が漏えいすると想定しており、漏えいした油の規模により変化することから、燃焼半径 R と表面温度 T_w との関係について考察する。燃焼半径 R の増大に伴い、表面温度 T_w も上昇するが、収束する傾向がみられる。

この収束条件を、燃焼半径が 1m 増大した時の表面温度の増分が 0.01%を下回った時点とし、この時点での表面温度を外壁表面最高温度とする。この温度が、コンクリート圧縮強度が維持される温度(200°C)未満であることを確認する。

II 屋外に設置された防護すべき設備への影響

火災源と屋外設備との離隔距離等の配置情報を確認することにより、影響を確認する。

III 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を確認することにより、影響を確認する。

ロ 評価結果

(イ) 火災源の選定結果

発電所の敷地内及び敷地周辺から想定される火災には、森林火災、発電所敷地内の危険物タンクの火災を含む近隣の産業施設の火災・爆発及び航空機墜落による火災がある。

森林火災については、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影響評価を実施し、必要とされる防火帯幅 16m に対し、約 20m の防火帯幅を設けている。そのため、仮に地震により森林火災が発生しても、影響を受けないため、火災源に選定しない。

近隣の産業施設の火災・爆発のうち発電所敷地外の石油コンビナート等の火災・爆発は、燃料保有量が最も多い川内発電所の原油タンク及び重油タンクから発電所施設までの離隔距離が必要とされる危険距離(延焼防止に必要な距離)以上確保されていることから、火災源に選定しない。また、発電所敷地外の半径 10km に存在する危険物貯蔵施設については、発電所と危険物貯蔵施設の間には山林(標高約 100m)の障壁があり、火災時の輻射熱による影響を受けないことから、火災源に選定しない。

また、航空機墜落による火災及び発電所港湾内に入港する船舶の火災は地震起因で発生しないことから、火災源に選定しない。

このため、発電所敷地内の危険物タンクの火災に対して、地震起因による発生の可能性を検討した。検討内容を第 3.1.4.1-22 表に示す。その結果、「補助ボイラ燃料タンク」を地震随伴外部火災で想定する火災源に選定した。

(ロ) 防護すべき設備等の選定結果

川内 2 号機第 1 回届出書の評価結果を踏まえ、クリフエッジシナリオに必要な設備等を選定した。選定結果を参考資料-2 に示す。

なお、川内 2 号機第 1 回届出書の評価結果に示すとおり、格納容器機能喪失防止対策の緩和手段の耐力は炉心損傷防止対策のクリフエッジ地震加速度よりも小さいため、炉心損傷となる地震加速度において格納容器機能喪失に至るものとして取り扱っている。そのため、格納容器機能喪失防止対策の防護すべき設備は、炉心損傷防止対策(出力運転時)と同じ防護すべき設備として選定した。

(ハ) 地震随伴外部火災影響評価結果

I 屋内に設置された防護すべき設備への影響

(イ) 項で選定した補助ボイラ燃料タンクについて、屋内設備が設置されている建屋との配置関係を参考資料-2 に示す。補助ボイラ燃料タンクと屋内設備が設置されている建屋との間には 1 号機建屋が設置されており、配置関係上、直接火災源からの輻射熱の影響を受けることはない。

II 屋外に設置された防護すべき設備への影響

屋外に設置された防護すべき設備等の配置図を参考資料-2 に示す。屋外に設置された防護すべき設備等は火災源である補助ボイラ燃料タンクから十分な離隔距離があること、火災源の設置高さ EL.+13.0m より高台に設置されていることから、火災による影響を受けないことを確認した。

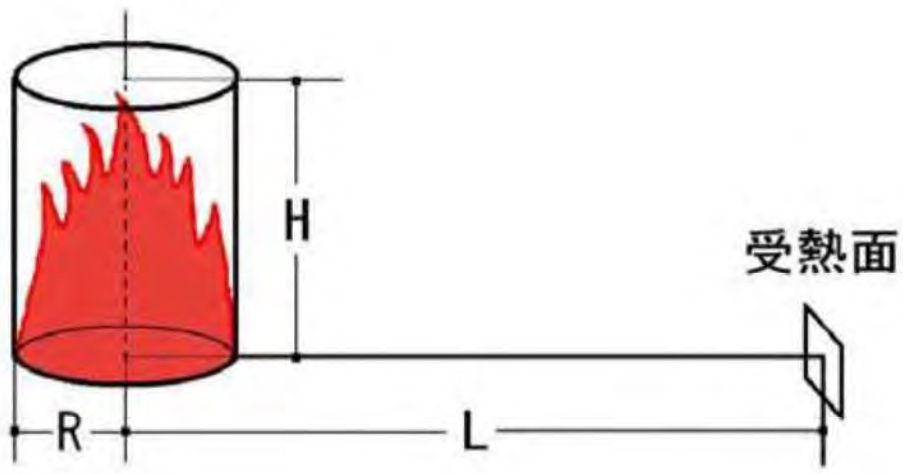
Ⅲ アクセスルートへの影響

消火活動に必要な設備である化学消防車及び小型動力ポンプ付水槽車は、参考資料-2 で示す配置図のとおり、外部火災源に対して十分な距離が確保されており、また、火災源までのアクセスルートも確保されており、適切な消火活動を行えることを確認した。

第 3.1.4.1-22 表 発電所敷地内の危険物タンクに対する地震による火災源の検討

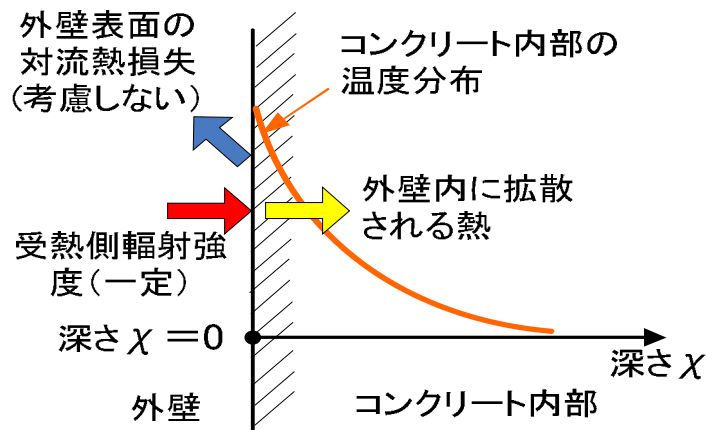
発電所敷地内の危険物タンク	地震による火災発生のお想定要否	検討内容
補助ボイラ燃料タンク	○	地震によりタンクが損傷し、火災が発生することが想定されることから火災源として選定する。
油計量タンク	×	油計量タンクが貯蔵している油は引火点の高いタービン油であり、引火点以上に加熱されないとなら着火しにくく、かつ、着火源となり得る設備（電気盤）がタンクの近傍にないため、火災源に選定しない。
大容量空冷式発電機用燃料タンク	×	クリフエッジ地震加速度（炉心損傷防止対策（出力運転時・運転停止時）／格納容器機能喪失防止対策：1.04G、SFP 燃料損傷防止対策：1.17G）以上の耐力（5.5G）を有しており、クリフエッジ地震により損傷しないため、火災源に選定しない。
ディーゼル発電機燃料油貯油そう	×	消防法に基づきコンクリート構造物に収納された地下埋設タンクとなっており、構造物とタンクの間には乾燥砂を詰めて、不燃物に囲われた状態で埋設されていることから、火災源に選定しない。
ディーゼル発電機燃料油貯蔵タンク	×	消防法に基づきコンクリート構造物に収納された地下埋設タンクとなっており、構造物とタンクの間には乾燥砂を詰めて、不燃物に囲われた状態で埋設されていることから、火災源に選定しない。
ディーゼル消火ポンプ燃料タンク	×	コンクリート造の消火ポンプ室内に設置された小規模タンクであり、漏えいした燃料によって火災が発生しても建屋内火災でとどまることから、火災源に選定しない。

G: 加速度を重力加速度 (9.8m/s²) で除した無次元数



受熱面が輻射帯の底部と同一平面上に仮定して評価する。

第 3.1.4.1-12 図 外部火災で想定する火炎モデル(出典:評価ガイド)



第 3.1.4.1-13 図 外壁温度評価モデル

(2) 津波随件事象に対する評価

a. 津波随伴火災

(a) 津波随伴外部火災

イ 評価方法

津波により想定される屋外の火災源を選定し、選定した火災源がクリフエッジシナリオで必要な設備へ及ぼす影響について、以下の評価を実施する。

(イ) 火災源の選定

発電所の敷地及び敷地周辺から想定される火災に対して、津波随伴の観点で外部火災源を選定する。

(ロ) 防護すべき設備等の選定

津波単独の評価の炉心損傷防止対策(出力運転時・運転停止時)、格納容器機能喪失防止対策及び SFP 燃料損傷防止対策のクリフエッジシナリオの成立のために必要な設備を防護すべき設備とする。

また、アクセスルートの復旧に必要な資機材及びアクセスルート付近で発生した火災を消火するために必要な資機材についても対象とする。

(ハ) 火災による影響評価

選定された防護すべき設備及びアクセスルートに対する津波随伴外部火災の影響を以下の観点から評価する。

I 屋内に設置された防護すべき設備への影響

屋内に設置された防護すべき設備への影響は、第 3.1.4.1-14 図に示すように津波の遡上波によって火災源が建屋近傍まで漂流し、火災源が

建屋外壁を直接加熱した場合を想定し、火災源によって加熱された建屋外壁が崩壊しないことを確認する。

具体的には、評価対象となる建屋外壁を選定し、当該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)の反力が失われないことを確認する。

(I) 評価対象となる建屋外壁の選定

防護すべき設備が設置された建屋の屋外に面する外壁のうち最も脆弱な外壁にて火災が発生することを想定する。抽出にあたり、壁厚並びに壁の鉛直方向圧縮応力度及びコンクリート強度を用いて下式より得られる軸力比を整理し、最も脆弱な外壁を選定する。選定においては、熱の影響を受けやすい最小の壁厚、かつ最大の軸力比を有する外壁を選定する。

$$\text{軸力比} = \frac{\text{鉛直方向圧縮応力度 } \sigma_v (\text{N/mm}^2)}{\text{コンクリート強度 } F_c (\text{N/mm}^2)}$$

(II) 火災による影響評価

(I)により選定された建屋外壁が選定した火災源に内包される油が着火した際に発生する火炎の温度を包絡できる温度(1,200℃)の火炎によって直接加熱されることを想定し、火炎にさらされた外壁の温度分布、並びに、当該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)の反力の経時変化を有限要素法(以下「FEM」という。)解析を用いて確認する。解析コードは汎用コード ABAQUS であり、材料(コンクリート及び鉄筋)の物性(密度、比熱、熱伝導率、ヤング率)の温度依存性を考慮する。

FEM 解析に用いたモデルを第 3.1.4.1-15 図に示し、評価条件を第 3.1.4.1-23 表に示す。解析モデルは、第 3.1.4.1-15 図の中央に示す積層シェル要素を用いており、積層シェル要素では複合材を考慮することが可能であり、層(レイヤー)ごとに材料特性が変えられることから、鉄筋の位置のレイヤーは鉄筋の材料物性を与え、コンクリートの位置のレイヤーにはコンクリートの材料物性を与える。

レイヤーのモデルを第 3.1.4.1-15 図の右図に示す。レイヤーの境界条件としては、外壁の下端は固定とし、上端は鉛直方向下向きにのみ変形するとしており、すなわち、圧縮剛性を無限大とし、引張剛性を無限小とした。外壁の節点反力は、外壁の熱膨張による応力を拘束することで、鉛直方向下向きに作用する圧縮力及び外壁の上部の構造物の重さを合算することで導き出す。

この解析モデルを使い、0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 時間の計 6 ケースの燃焼継続時間での外壁の温度分布及び節点反力の経時変化を求め、外壁の厚さ方向の温度分布が均一となる 96 時間後まで反力が失われていないことを確認することにより建屋外壁が崩壊しないことを確認する。なお、外壁の反力が失われた場合、反力はゼロとなる。

II 屋外に設置された防護すべき設備への影響

火災源と屋外設備との離隔距離等の配置情報を確認することにより、影響を確認する。

III 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を確認することにより、影響を確認する。

ロ 評価結果

(イ) 火災源の選定結果

発電所の敷地内及び敷地周辺から想定される火災には、「3.1.4.1(1)b.(b) 地震随伴外部火災」と同様に森林火災、近隣の産業施設の火災・爆発（発電所敷地内の危険物タンクの火災を含む）、航空機墜落による火災、発電所港湾内に入港する船舶の火災及び津波の遡上波によって漂流する発電所敷地内の車両等や航行不能となった小型船舶による火災がある。

森林火災及び近隣の産業施設の火災・爆発のうち発電所敷地外の石油コンビナート等の火災・爆発は、「3.1.4.1(1)b.(b) 地震随伴外部火災」と同様に火災源に考慮する必要はなく、航空機墜落による火災についても、津波起因で発生しない。発電所港湾内に入港する船舶の火災は、発電所港湾内に入港する燃料等輸送船が想定されるが、津波警報等発表時には、燃料搬送を停止し、緊急退避（離岸）をする運用としていることから、津波による影響を受けないため、火災源に考慮しない。また、遡上波によって漂流する発電所敷地内の車両等や航行不能となった小型船舶による火災は、その保有する燃料油は発電所構内の屋外に存在する危険物タンクに比べ少量であり、燃料が漏えいしたとしても影響は極めて小さいと考えられることから、火災源に考慮しない。

このため、発電所構内の屋外に存在する危険物タンクについて、津波起因による火災発生の可能性を検討した。検討内容を第 3.1.4.1-24 表に示す。その結果、津波随伴外部火災で想定する火災源を以下のとおり選定した。

- ・補助ボイラ燃料タンク
- ・油計量タンク

・大容量空冷式発電機用燃料タンク

(ロ) 防護すべき設備等の選定結果

川内 2 号機第 1 回届出書の評価結果を踏まえ、クリフエッジシナリオに必要な設備等を選定した。選定結果を参考資料-2 に示す。

なお、川内 2 号機第 1 回届出書の評価結果に示すとおり、格納容器機能喪失防止対策及び SFP 燃料損傷防止対策でのクリフエッジ津波高さは炉心損傷防止対策のクリフエッジ津波高さと同じとなるため、炉心損傷となる津波高さにおいて格納容器機能喪失及び SFP 燃料損傷に至るものとして取り扱っている。そのため、格納容器機能喪失防止対策及び SFP 燃料損傷防止対策の防護すべき設備は、炉心損傷防止対策(出力運転時)と同じ設備を防護すべき設備として選定した。

(ハ) 火災による影響評価結果

I 津波単独の評価における遡上解析結果の確認

川内 2 号機第 1 回届出書の津波単独の評価結果であるクリフエッジシナリオでの津波高さ(EL.+15m)を踏まえた遡上解析の結果より、原子炉補助建屋付近の遡上波高さは、最大で約 EL.+13.5m であり、想定される漂流物の大きさは 50cm 以下のものに限定されている。また、建屋が遡上波により浸水している時間は、約 2 時間であることを確認した。

II 屋内に設置された防護すべき設備への影響

(I) 評価対象となる建屋外壁の選定

防護すべき設備が設置された建屋のうち屋外に面する外壁を抽出し、抽出した外壁の壁厚並びに壁の鉛直方向圧縮応力度及びコンクリート

強度より得られる軸力比により評価対象となる建屋外壁を以下のとおり選定した。

建屋 : A/B、I/B、C/B

壁厚 : 0.8m

軸力比 : 0.0155

(II) 火災による影響評価結果

(I)にて抽出した建屋外壁における燃焼継続時間3時間での温度分布の経時変化を第3.1.4.1-16図に、節点反力経時変化を第3.1.4.1-17図に示す。評価の結果、第3.1.4.1-17図に示すように、外壁の節点反力が最大となる燃焼継続時間3時間の場合であっても、節点反力が96時間経過後まで失われずに維持されていることを確認した。

III 屋外に設置された防護すべき設備への影響評価結果

I項でのクリフエッジシナリオでの津波高さ(EL.+15m)における遡上解析の結果を踏まえた上で、屋外に設置された防護すべき設備の配置情報を確認した。

屋外に設置された防護すべき設備の配置情報を参考資料-2に示す。屋外に設置された防護すべき設備の保管場所の敷地高さが遡上波に比べて十分に高いことから、漂流した火災源の影響を受けないことを確認した。

IV アクセスルートへの影響評価結果

I 項でのクリフエッジシナリオでの津波高さ(EL.+15m)における遡上解析の結果を踏まえた上で、アクセスルートへの影響を確認した。

I 項での遡上解析の結果では、建屋周辺の EL.+13m 付近では約 50cm の津波が到達し、消火活動に必要な設備である化学消防車及び小型動力ポンプ付水槽車は EL.+13m に配置していることから、水没してしまうことが想定される。しかし、移動式大容量ポンプ車及び放水砲は、参考資料-2 で示す配置図のとおり、津波遡上高さ比べて十分に高い、緊急用保管エリア(敷地高さEL.+33m)に保管されており、遡上波の水位低下後は、消火活動が可能であることを確認した。

第 3.1.4.1-23 表 火災影響評価の主な評価条件

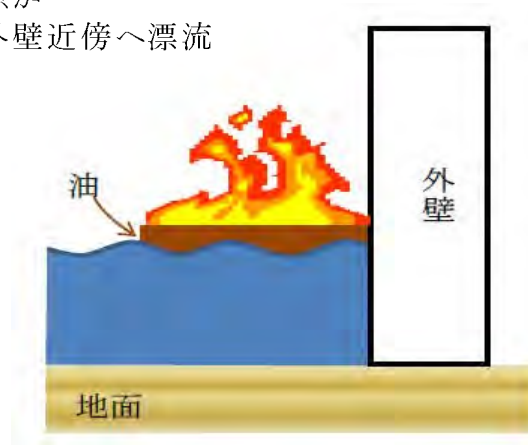
項目		単位	評価条件
火災源		—	<ul style="list-style-type: none"> 補助ボイラ燃料タンク 油計量タンク 大容量空冷式発電機用燃料タンク
加熱条件	外壁表面初期温度	℃	50 (3.1.4.1(1)b.(b) 地震随伴外部火災と同条件)
	火炎温度	℃	1,200* (燃焼継続時間まで一定)
評価条件		—	<ul style="list-style-type: none"> 津波の遡上波によって火災源が建屋近傍まで漂流し、火災源が建屋外壁を直接加熱した場合を想定する。 火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、建屋外壁の加熱側壁面は1,200℃一定で加熱されるものとする。 外壁の表面から大気への放熱は考慮しないこととする。 燃焼継続時間 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 時間の計 6 ケースを評価する。 燃焼継続時間以降は加熱側壁面を断熱条件とする。 火災発生から 96 時間経過後まで外壁の節点反力の経時変化を評価し、96 時間後まで維持されていることを確認する。
モデル及び境界条件		—	<ul style="list-style-type: none"> 外壁の一部を切り出した梁状のモデルとし、厚さ方向に鉄筋位置を考慮できる積層シェルでモデル化する。 積層シェル要素はシェル要素に壁厚方向のレイヤーを多層構造で持たせたもので鉄筋位置には鉄筋の物性を持つレイヤーを、その他のレイヤーにはコンクリートの物性を持つレイヤーを重ねている。 外壁の下端は固定とし、上端は鉛直方向下向きにのみ変形する。(圧縮剛性を無限大とし、引張剛性を無限小とする。)

※選定した火災源に内包される油が着火した際に発生する火炎の温度を包絡できる温度

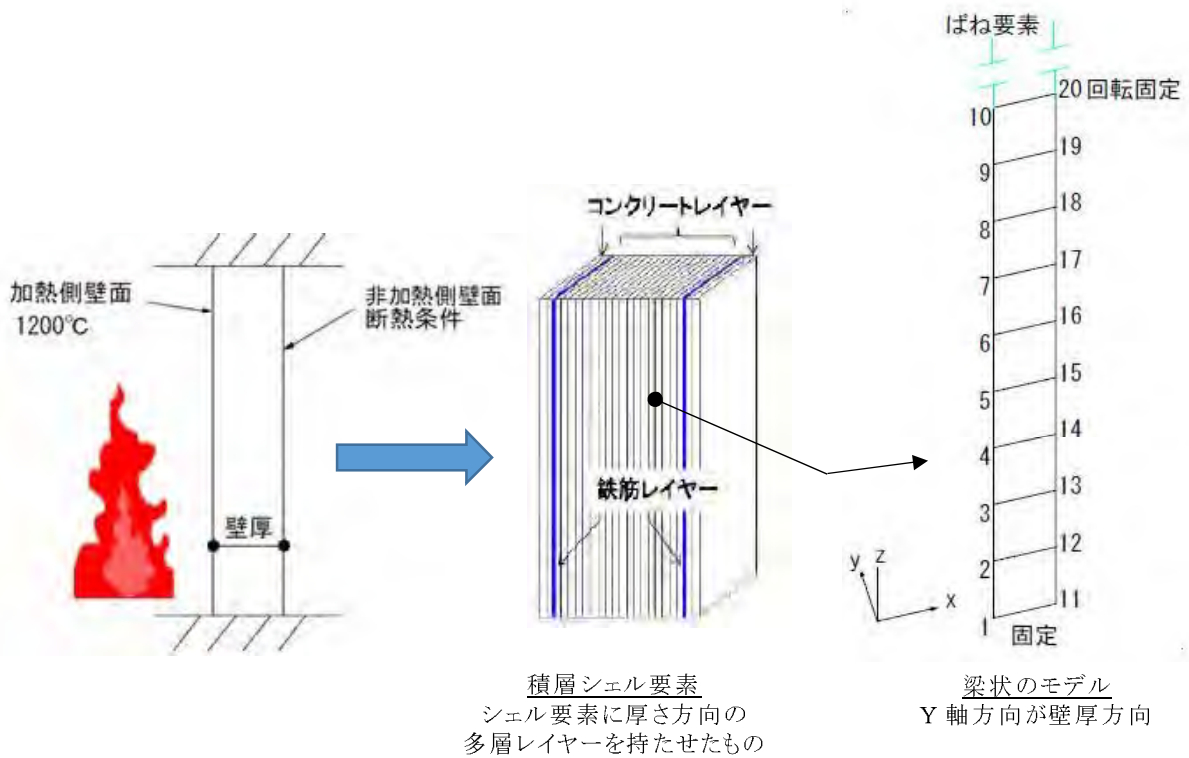
第 3.1.4.1-24 表 発電所敷地内の危険物タンクに対する津波による火災源の検討

発電所敷地内の危険物タンク	津波による火災発生の想定要否	検討内容
補助ボイラ燃料タンク	○	津波によりタンクが損傷し、火災が発生することが想定されることから火災源として選定する。
油計量タンク	○	津波によりタンクが損傷し、火災が発生することが想定されることから火災源として選定する。
大容量空冷式発電機用燃料タンク	○	津波によりタンクが損傷し、火災が発生することが想定されることから火災源として選定する。
ディーゼル発電機燃料油貯油そう	×	消防法に基づきコンクリート構造物に収納された地下埋設タンクとなっており、構造物とタンクの間には乾燥砂を詰めて、不燃物に囲われた状態で埋設されており、津波により火災は発生しないため、火災源に選定しない。
ディーゼル発電機燃料油貯蔵タンク	×	消防法に基づきコンクリート構造物に収納された地下埋設タンクとなっており、構造物とタンクの間には乾燥砂を詰めて、不燃物に囲われた状態で埋設されており、津波により火災は発生しないため、火災源に選定しない。
ディーゼル消火ポンプ燃料タンク	×	コンクリート造の消火ポンプ室内に設置された小規模タンクであり、漏えいした燃料によって火災が発生しても建屋内火災でとどまることから、火災源に選定しない。

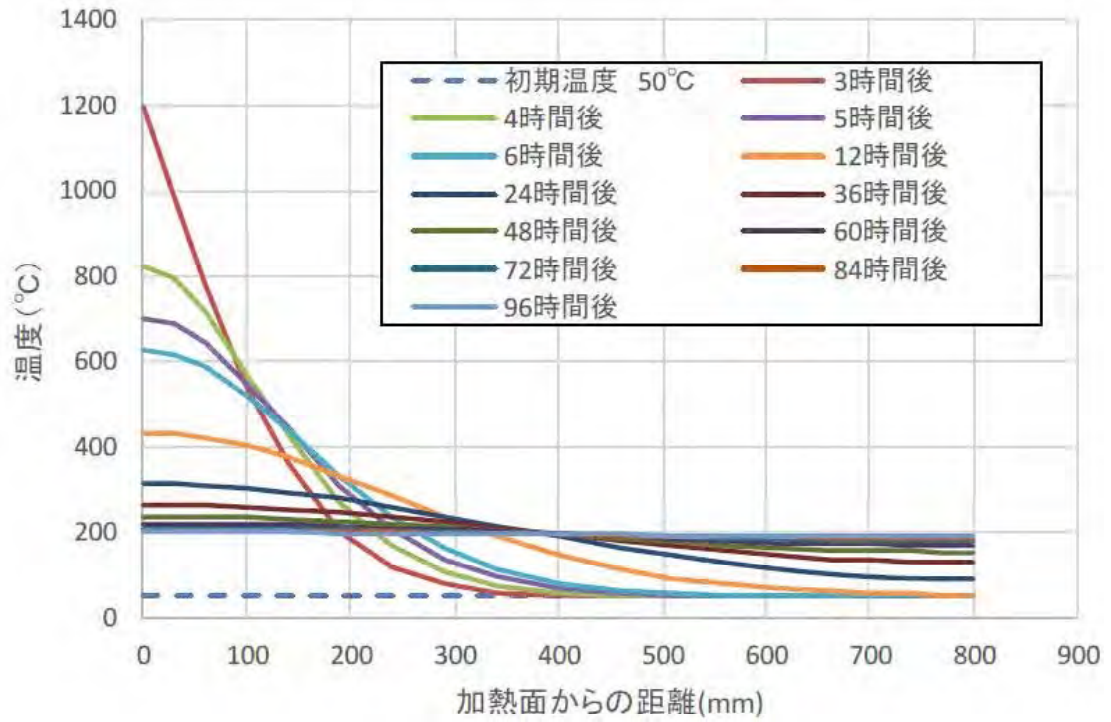
火災源が
建屋外壁近傍へ漂流



第 3.1.4.1-14 図 遡上波により移動する火災源イメージ

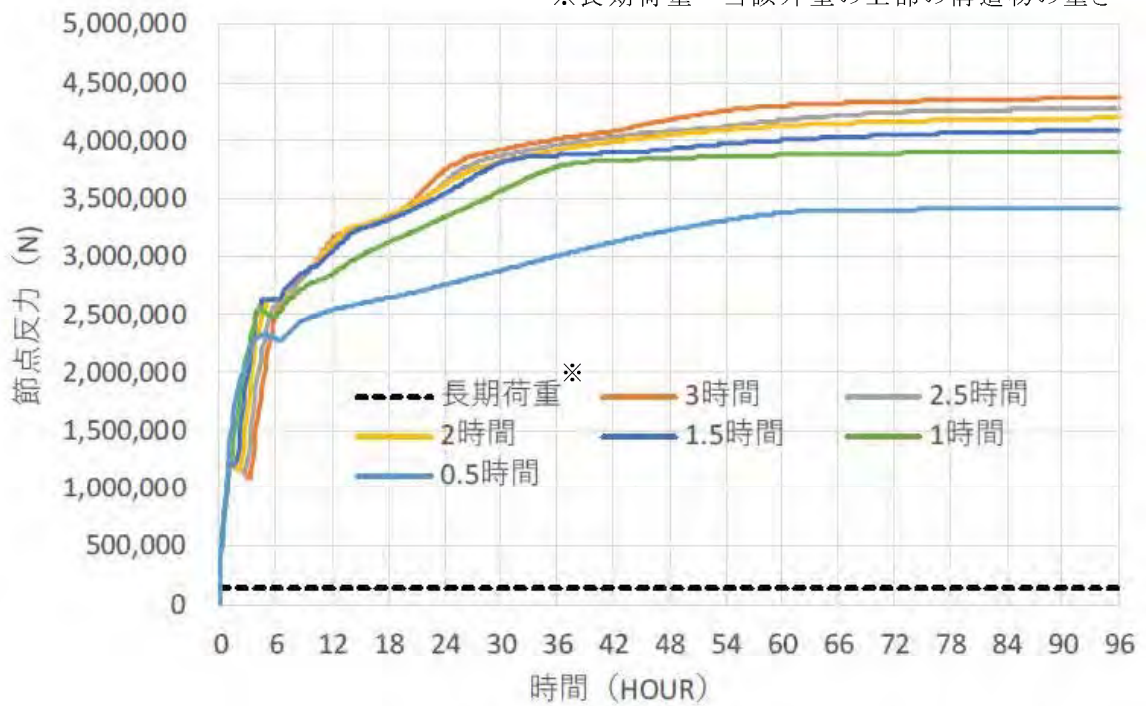


第 3.1.4.1-15 図 計算モデル(境界条件及び温度条件)



第 3.1.4.1-16 図 評価対象外壁における温度分布(燃焼継続 3 時間)

※長期荷重=当該外壁の上部の構造物の重さ



第 3.1.4.1-17 図 FEM 解析による火災影響評価結果(節点反力経時変化)

3.1.4.2 その他の自然現象に対する評価

地震・津波以外の外的事象に対する安全裕度評価を以下に示す。

(1) 欧州ストレステスト調査

地震・津波以外の自然現象に対する安全裕度評価は、国内には実績がなく、「EU “Stress tests” specifications」(平成 23 年 5 月 25 日、欧州委員会 (European Commission) 及び欧州原子力規制機関グループ (ENSREG; European Nuclear Safety Regulators’ Group) 制定)」に具体的な評価手法が規定されておらず、また、欧州の各プラントが作成した報告書にも具体的な評価手法が公開されていないことから、欧州への訪問調査を行い、評価方針を検討した。

この訪問調査結果を踏まえ、その他の自然現象に対する安全裕度評価を実施するにあたり、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か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方針とした。

(2) その他の自然現象に関する検討

その他自然現象に対する安全裕度評価を実施するにあたり、以下のとおり、考慮すべきと考えられる事象を抽出した。

a. その他の自然現象の選定

評価事象の選定には、以下に示す IAEA SSG-25 の安全因子 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。

また、自然現象に係る外部ハザードについて網羅的に抽出するため、国外の基準として「Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants (IAEA, April 2010)」を、日本の自然現象を網羅する観点から「日本の自然災害(国会資料編纂会 1998 年)」を参考にした。

選定結果を第 3.1.4.2-1 表に示す。

この内、外部からのミサイル(隕石)については、川内原子力発電所 2 号炉設置変更許可申請書(平成 25 年 7 月 8 日付け発本原第 86 号、平成 26 年 9 月 10 日付け発規規発第 1409102 号にて許可)添付書類十追補 2 に記載のとおり、隕石が川内原子力発電所に衝突する確率については、概略計算で 1.63×10^{-12} / 炉・年であることから評価対象事象とはしない。

b. 年超過確率 10^{-6} 相当のハザードの設定

第 3.1.4.2-2 表に、第 3.1.4.2-1 表に示す事象の内、年超過確率 10^{-6} 相当のハザードの値が算出できる事象及びその値を示す。これらの事象に対する評価を(3)項に示す。

c. その他の事象

年超過確率 10^{-6} 相当のハザード値が算出できない、その他の事象については、以下のように分類し、定性的に評価した。

(a) 敷地の立地や敷地の地理的条件により、発生しても影響が起これ得ない事象

敷地の立地や敷地の地理的条件により、年超過確率 10^{-6} 相当の事象が発生しても発電所への影響が起これ得ない事象及びその根拠を第 3.1.4.2-3 表に示す。

(b) 影響が他の事象に包絡される事象

年超過確率 10^{-6} 相当の事象の影響が、本項で評価する他の事象に包絡される事象及びそれを包絡する事象を第 3.1.4.2-4 表に示す。

(c) 予想される影響が運用で対処できる事象

年超過確率 10^{-6} 相当の事象の影響が、既に整備されている運用で対処できる事象及びその根拠を第 3.1.4.2-5 表に示す。

(3) その他の自然現象に対する安全裕度評価結果

第 3.1.4.2-2 表に示す外部ハザードに対する安全裕度評価結果は次のとおりである。

a. 竜巻を含む強風(台風)

(a) 竜巻を含む強風(台風)に対する設計について

竜巻に対する設計では、過去に発生した竜巻及び竜巻ハザードの年超過確率により、基準竜巻を設定しており、日本で過去に発生した最大の竜巻が藤田スケールで F3 であることから、風速 92.0m/s を安全側に数字を切り上げて、最大風速 100.0m/s を設計値として考慮し、以下のとおり対策をしている。

安全施設は、最大風速 100.0m/s の竜巻が発生した場合においても、竜巻による風圧力による荷重、気圧差による荷重及び飛来物の衝突荷重を組み合わせた荷重等に対して安全機能を損なわないために、飛来物の発生防止対策及び竜巻防護対策を行っている。

なお、強風(台風)に対する影響については、敷地付近で観測された最大瞬間風速が、枕崎特別地域気象観測所での観測記録 62.7m/s(1945年9月17日)であることから、竜巻の評価で想定している風荷重による影響及び飛来物による影響の対策に包絡される。

イ 飛来物の発生防止対策

竜巻により発電所構内の資機材等が飛来物となり、竜巻から防護すべき施設(以下「竜巻防護施設」という。)が安全機能を損なわないために、以下の対策を行う。

- ・飛来物となる可能性のあるものを固縛、建屋内収納又は撤去する。

- ・車両の入構の制限、竜巻の襲来が予想される場合の車両の待避又は固縛を行う。

ロ 竜巻防護対策

固縛等による飛来物の発生防止対策ができないものが飛来し、安全施設が安全機能を損なわないように、以下を行う。

- ・竜巻防護施設の外殻となる施設、竜巻防護ネット、防護壁及び水密扉により、竜巻防護施設を防護し構造健全性を維持し安全機能を損なわない設計とする。
- ・竜巻防護施設の構造健全性が維持できない場合には、代替設備若しくは予備品の確保又は損傷した場合の取替若しくは補修が可能な設計とすることにより安全機能を損なわない設計とする。

また、竜巻の発生に伴い、雹の発生が考えられるが、雹による影響は竜巻防護設計にて想定している設計飛来物の影響に包絡される。

更に、竜巻の発生に伴い、雷の発生も考えられるが、雷は電氣的影響を及ぼす一方、竜巻は機械的影響を及ぼすものであり、竜巻と雷が同時に発生するとしても個別に考えられる影響と変わらないことから、各々の事象に対して安全施設の安全機能を損なわない設計としている。

(b) 年超過確率 10^{-6} 相当の竜巻の風速

川内原子力発電所 2 号炉設置変更許可申請書(平成 25 年 7 月 8 日付け発本原第 86 号、平成 26 年 9 月 10 日付け発規規発第 1409102 号にて許可)添付書類六に記載されている竜巻のハザード曲線により算出した年超過確率 10^{-6} 相当の風速は 104.7m/s であり、これによる発電所施設の損傷の有無を確認することにより、発電所への影響を評価する。

(c) 各建屋・機器の健全性評価

竜巻荷重により機器等に発生する可能性のある影響について、川内原子力発電所第2号機の既工事計画認可申請書(平成25年7月8日付け発本原第88号、平成27年5月22日付け発規規発第1503181号にて認可)別添1-4「竜巻防護ネットの強度計算書」(以下「竜巻防護ネットの強度計算書」という。)の風速100.0m/sの基準竜巻に対する評価値を基に、風速104.7m/sの場合を評価する。

なお、厳密には、各評価項目の結果は非線形特性であるが、本評価では、104.7m/sが100.0m/sとあまり差がないことから簡易的に比較を行い、定量的に評価することとした。

具体的には、竜巻防護ネットの強度計算の健全性評価項目である、せん断ひずみ度、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、104.7m/sと100.0m/sとの比の自乗倍となる。

一方、せん断ひずみ度、貫通防止に必要な厚さ及び竜巻防護ネットへの衝撃に対する許容値と風速100.0m/s時のこれらの評価値との比を裕度と定義すると、上記の風速比の自乗(=1.10)が裕度以下であることを確認できれば、建屋・機器の健全性は確保されると評価できる。

イ 風荷重に対する健全性評価結果

(イ) 建屋

原子炉建屋、原子炉補助建屋等の安全上重要な設備が設置されている建屋について、風速104.7m/sの竜巻による風荷重に対する影響評価結果を第3.1.4.2-6表に示す。いずれも、裕度が風速比の自乗

よりも大きいことから、風速 104.7m/s の竜巻に対しても、各建屋の健全性は確保されると評価できる。

(ロ) 屋外に設置されている安全上重要な機器

屋外に設置されている安全上重要な機器について、風速 104.7m/s の竜巻による風荷重に対する影響評価結果を第 3.1.4.2-7 表に示す。いずれも、裕度が風速比の自乗よりも大きいことから、風速 104.7m/s の竜巻に対しても、各機器の健全性は確保されると評価できる。

(ハ) 外部電源(送電鉄塔、送電線)

風荷重に対して設計上の配慮はされているものの、ここで想定する風荷重に対しては、送電鉄塔の倒壊や送電線の切断等により、外部電源が喪失すると想定する。

ロ 竜巻による飛来物に対する健全性評価結果

(イ) 建屋

原子炉建屋、原子炉補助建屋等の安全上重要な設備が設置されている建屋について、風速 104.7m/s の竜巻による飛来物の衝突に対する影響評価結果を第 3.1.4.2-8 表に示す。いずれも、裕度が風速比の自乗よりも大きいことから、風速 104.7m/s の竜巻による飛来物の衝突に対しても、各建屋に貫通は生じず、建屋貫通による内包設備への影響はないと評価できる。

(ロ) 屋外に設置されている安全上重要な設備

屋外に設置されている安全上重要な設備を竜巻から防護するために設置されている竜巻防護ネットについて、風速 104.7m/s の竜巻による飛来物の衝突に対する影響評価結果を第 3.1.4.2-9 表に示す。いずれも、裕度が風速比の自乗よりも大きいことから、風速 104.7m/s の竜巻による飛来物の衝突に対しても、竜巻防護ネットに貫通は生じず、屋外に設置されている安全上重要な設備への影響はないと評価できる。

なお、最も厳しい結果を与えるよう、飛来物が垂直姿勢で衝突したまま全てのエネルギーを失うと想定しているが、実際には飛来物はネット上で傾き、回転しながら、側面が周囲の構造物に衝突し、衝突荷重が分散されることから、現実的な衝突荷重は小さくなる。

衝突評価で仮定する、運動エネルギー及び貫通力が最大となる鋼製飛来物の形状(寸法:4m×0.3m×0.2m、質量:135kg)を考慮すると、接触するネット目合いの数は、垂直姿勢:16点、水平姿勢:130点であることから、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。

また、吸収エネルギー評価においては、第 3.1.4.2-1 図に示すとおり、竜巻防護ネット架構の配置を考慮し、ネットのコーナー部を一部切り欠いて展開方向寸法を短く設定し、保守的にエネルギー吸収の有効面積を小さめに評価している。このネットの切り欠き部の寸法を考慮すると、展開方向のエネルギーを吸収できる面積が広がり、現実的には裕度が最低でも 1.33 以上は確保できると考えらえる。

(ハ) 屋外にある一部の可搬型重大事故等対処設備

可搬型重大事故等対処設備については、固縛等により相応の耐性を有していること、また、保管場所については、分散して複数箇所設け、

それぞれ最低でも 350m 程度、最大で 1,160m 程度離隔していることから、風速 104.7m/s の竜巻時であっても全てが同時に影響を受ける可能性は小さいと考えられる。

(d) 発電所への影響の評価

(c)項の評価結果より、年超過確率 10^{-6} 相当の竜巻に対して、各建屋・設備の健全性を評価したところ、変圧器・送電線等の機能喪失により外部電源喪失が起きる可能性があるが、安全上重要な設備に影響は発生せず、炉心及び SFP 内の使用済燃料の健全性は損なわれないことを確認した。

b. 落雷

(a) 落雷に対する設計について

落雷の規格基準として、電中研の研究報告「発電所および地中送電線の耐雷設計ガイド」を参照し、500kV 送変電所の最大想定雷撃電流推奨値である 150kA を設計雷撃電流とし、以下のとおり対策している。

雷害防止対策として、建築基準法に基づき高さ 20m を超える原子炉格納施設等へ日本工業規格 (JIS) に従った避雷設備を設置するとともに、構内接地網と接続することにより、接地抵抗の低減や雷撃に伴う構内接地系の電位分布の平坦化を図っている。更に、安全保護回路への雷サージ抑制を図る回路設計とすることにより、安全施設の安全機能を損なわない設計としている。

(b) 年超過確率 10^{-6} 相当の雷撃電流

当社の落雷位置評定システムからのデータを基に、年超過確率 10^{-6} に相当する最大雷撃電流値を求めた。この値は、「原子力発電所の耐雷指針 (JEAG 4608-2007)」に基づき、以下のように求めることができる。

- ① 発電所を含む 60km 四方のエリアで発生した落雷の最大電流値毎の雷撃回数を累積した曲線 (累積頻度分布曲線) を求める。
- ② 発電所の 2km 四方における雷撃数及び原子炉建屋の落雷の収集面積 (原子炉建屋の高さの 3 倍で囲まれる面積) より、原子炉建屋への年間雷撃回数を求める。
- ③ ②の年間雷撃数を基に、再現期間 10^6 年間の原子炉建屋への雷撃数を求め、この逆数に対応する電流値を①の累積頻度分布曲線から読み取る。

この結果、年超過確率 10^{-6} に相当する最大雷撃電流は 340kA となる。この雷撃電流に対する設備の損傷の有無を確認し、発電所への影響を評価する。

(c) 各設備の影響評価の前提条件

落雷により影響を受けると考えられる設備は、それぞれ分散されていることから、落雷により同時損傷する可能性は非常に小さいと考えられるが、本評価では複数設備の同時損傷を考慮している。また、簡単のため、直撃雷の最大雷撃電流値及び誘導雷サージの雷サージ電圧値に関わらず対象とする設備が必ず損傷するものとしており、年超過確率 10^{-6} に相当する最大雷撃電流及び雷撃位置、その落雷により各設備に発生する雷サージ電圧を算出し、各設備の耐力との比較を行うことはせず、以下の前提条件のもと評価を行う。

イ 直撃雷による設備損傷

屋外設備への直撃雷により、直撃雷を受けた設備の機能喪失を想定する。ただし、連続して複数の屋外設備に直撃雷は生じないものとする。

ロ 誘導雷サージによる設備損傷

屋外ケーブル(金属材料が使われていない光ケーブルを除く)からの誘導雷サージが、それに接続される設備に流れ、当該回路の機能喪失に至ると想定する。誘導雷サージによる機能喪失範囲は、屋外ケーブルで常時接続されている屋外機器及び建屋内機器の接続部位までが持つ機能が喪失することとする。

なお、建屋内機器の接続部位がしゃ断器等で開放又は引き出し位置で縁切りされている場合には、接続されている屋外機器のみが誘導雷サージの影響を受け、機能喪失することとする。

ハ 誘導雷サージによる誤信号の発信

設計想定以上の雷サージにより機器が誤動作する可能性があるが、機器の誤動作が起こったとしても、落雷による瞬間的な誤信号であれば、運転員による適切な操作がなされることから、影響はないとする。

ニ 建屋内のみで構成される機器

建屋内のみで構成される機器については、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されることから、影響はないとする。

ホ 屋外にある可搬型重大事故等対処設備

屋外にある可搬型重大事故等対処設備については、原子炉建屋、海水ポンプエリアから離隔をとり、それらと同時に影響を受けない場所に分散して配備しているとともに、可搬型重大事故等対処設備同士の距離を十分に離して複数箇所に分散して保管していることから、落雷により、同時に全ての設備が機能喪失することはないと評価する。

以上の前提条件のイメージ図を第 3.1.4.2-2 図に示す。

(d) 炉心(出力運転中)の健全性評価

イ 炉心冷却成功シナリオの成立性評価

送電線は架空地線で直撃雷の確率低減対策を実施しているが、設計基準を超える落雷を受けることから、送電系損傷により外部電源喪失に至ると想定する。

また、海水ポンプは、防護壁及び竜巻防護ネットで構成される耐雷サージ性の高いファラデーケージ内に設置されており、直撃雷により機能喪失することは考えられないが、屋外ケーブルに常時接続されていることから、誘導雷サージによる機能喪失に至ると想定する。

これらのことから、外部電源喪失＋原子炉補機冷却機能の全喪失を起因事象とするイベントツリーの成功シナリオが成立するか評価する。このイベントツリーを第 3.1.4.2-3 図に示す。

また、外部電源喪失＋原子炉補機冷却機能の全喪失を起因事象とするシナリオに必要な屋外設置の影響緩和機器、それらの耐雷評価結果及び判断根拠を参考資料-2 に示す。

成功シナリオに必要な影響緩和機器のうち、屋内設備との常時接続のある屋外設備である復水タンク元弁、復水タンク水位計、大容量空冷式発電機本体が機能喪失することで、「補助給水による蒸気発生器への給水(タービン動)」、「主蒸気逃がし弁による熱放出(手動・現場)」及び「大容量空冷式発電機による給電」の操作に失敗し、炉心冷却は成功しない。

ロ 炉心冷却を成功させるための代替措置

収束シナリオに必要な影響緩和機器のうち、屋内設備と常時接続のある屋外設備である復水タンク元弁、復水タンク水位計及び大容量空冷式発電機本体が機能喪失するが、以下のとおり代替手段を検討した。

復水タンク元弁が機能喪失することで、「補助給水による蒸気発生器への給水(タービン動)」操作時の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、運転員が手動操作により系統構成することで、補助給水による蒸気発生器への給水(タービン動)を行うことができる。

復水タンク水位計が機能喪失することで、「主蒸気逃がし弁による熱放出(手動・現場)」操作時の復水タンクの保有水の枯渇有無の監視及び復水タンクへの海水給水が失敗することになるが、復水タンク水位計の機能喪失に対しては、代替パラメータ計器による復水タンク水位の監視が運転基準等に既に整備されており、補助給水流量計及びタービン動補助給水ポンプ入口圧力計を使用すること並びに復水タンク現場水位計又は仮設ホース水位計の直接監視で、復水タンクの保有水の枯渇有無の監視を行うことができ、主蒸気逃がし弁による熱放出(手動・現場)は可能である。

また、大容量空冷式発電機本体の給電機能が落雷の影響により機能喪失することで「大容量空冷式発電機からの給電」に失敗することになるが、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。

以上のことから、年超過確率 10^{-6} 相当の雷撃電流により、変圧器・送電線等の機能喪失から外部電源喪失、原子炉補機冷却機能の全喪失に加え、炉心冷却成功シナリオに必要な影響緩和機器である復水タンク元弁、復水タンク水位計、大容量空冷式発電機が機能喪失するが、それぞれ代替手段を講じることにより炉心燃料の重大な損傷に至る進展に対する対応が可能である。

(e) 炉心(停止中)の健全性評価

イ 炉心冷却成功シナリオの成立性評価

(d)項と同様に、外部電源喪失＋原子炉補機冷却機能の全喪失を起因事象とするイベントツリーの成功パスが成立するか評価する。このイベントツリーを第3.1.4.2-4図に示す。

また、外部電源喪失＋原子炉補機冷却機能の全喪失を起因事象とするシナリオに必要な屋外設置の影響緩和機器、それらの耐雷評価結果及び判断根拠を参考資料-2に示す。

成功シナリオに必要な影響緩和機器のうち、屋内設備との常時接続のある屋外設備である大容量空冷式発電機本体及び燃料取替用水タンク水位計が機能喪失することで、「大容量空冷式発電機による給電」及び「低圧注入による再循環炉心冷却」の操作に失敗し、炉心冷却は成功しない。

ロ 炉心冷却を成功させるための代替措置

収束シナリオに必要な影響緩和機器のうち、屋内設備と常時接続のある屋外設備である、大容量空冷式発電機本体及び燃料取替用水タンク水位計が機能喪失するが、以下のとおり代替手段を検討した。

大容量空冷式発電機本体の給電機能が落雷の影響により機能喪失することで「大容量空冷式発電機からの給電」に失敗することになるが、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。なお、中容量発電機車からの給電を行うまでの間は、燃料取替用水タンク水を余熱除去ポンプスルーにより一次冷却材系統低温側配管へ注入する「燃料取替用水タンクからの重力注入」により原子炉へ注入を行う。

また、代替パラメータ計器による燃料取替用水タンク水位の監視が運転基準等に既に整備されており、SA 用低圧炉心注入及びスプレイ積算流量計等並びに格納容器再循環サンプ広域水位計を使用することで、燃料取替用水タンクの水位確認が可能である。

以上のことから、年超過確率 10^{-6} 相当の雷撃電流により、変圧器・送電線等の機能喪失から外部電源喪失、原子炉補機冷却機能の全喪失に加え、炉心冷却成功シナリオに必要な影響緩和機器である大容量空冷式発電機及び燃料取替用水タンク水位計が機能喪失するが、それぞれ代替手段を講じることにより炉心燃料の重大な損傷に至る進展に対する対応が可能である。

(f) SFP 内の使用済燃料の健全性評価

イ SFP 内の使用済燃料冷却成功シナリオの成立性評価

(d) 項と同様に、外部電源喪失＋原子炉補機冷却機能の全喪失を起因事象とするイベントツリーの成功パスが成立するか評価する。このイベントツリーを第 3.1.4.2-5 図に示す。

また、外部電源喪失＋原子炉補機冷却機能の全喪失を起因事象とするシナリオに必要な屋外設置の影響緩和機器、それらの耐雷評価結果及び判断根拠を参考資料-2 に示す。

年超過確率 10^{-6} 相当の落雷を考慮した場合でも、SFP 補給用水中ポンプによる SFP への海水注水に成功することから、SFP 内の使用済燃料の重大な損傷に至る進展に対する対応が可能である。

(g) 発電所への影響の評価

(d)~(f)項のとおり、超過確率 10^{-6} 相当の落雷を考慮した場合でも、発電所への影響はないと評価する。

c. 高温

(a) 高温に対する設計について

高温に対する設計では、外気温 33.0℃と設定しており、屋外機器等は、使用温度 40~50℃の性能のものを設置している。

(b) 年超過確率 10^{-6} 相当の高温

国内の原子力施設周辺の気象官署 32 地点における、観測開始年から 2012 年までの日最高気温データを Station Year 法(以下「SY 法」という。)により合併し、合併したデータを基に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} 相当の日最高気温を求め、これらの内の最大値とした。

各地点における、確率値の算出手順を以下に示す。

- ① 各地点におけるデータ X_i^j を Gumbel 分布にフィッティングし、この 2 年確率値 (M2) を確率分布の中央値、10 年確率値 (M10) を確率分布の広がりとする。

ここで、 i はデータを大きい方から並べた順、 j は地点を表す。

- ② 以下の式により、各地点の M2 及び M10 からデータを規準化する。

$$Y_i^j = \frac{X_i^j - M2^j}{M10^j - M2^j}$$

- ③ 規準化したデータ Y_i^j を 32 地点分、合併し、これを Y_t とする。

- ④ Hazen プロットを用い、 Y_t の最適極値分布 Y_t を求める。

- ⑤ 各地点における確率値 X_t^j を以下の式で求める。

$$X_t^j = (M10^j - M2^j) Y_t + M2^j$$

気象データを収集した気象官署 32 地点を第 3.1.4.2-10 表に示す。

この結果、年超過確率 10^{-6} に相当する高温は 39.3℃となる。この温度に対する設備の損傷の有無を確認し、発電所への影響を評価する。

(c) 発電所への影響の評価

(a)項のとおり、安全上重要な屋外設備については設計温度内であることから、それらの機能は維持される。

また、高温の影響により海水温度が上昇し、十分な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ため、発電所への影響はないと評価する。

d. 低温、凍結

(a) 低温に対する設計について

低温に対する設計では、極値 -6.7°C を下回る -7.0°C と設定しており、屋外機器等で凍結のおそれのあるものについては、ヒートトレースや凍結防止保温等にて対策を施すとともに、海水ポンプ潤滑水バックアップライン(所内用水)の凍結防止ブロー等を行なっていることより、安全施設の安全機能を損なわない設計としている。

(b) 年超過確率 10^{-6} 相当の低温

国内の原子力施設周辺の気象官署 32 地点における、観測開始年から 2012 年までの日最低気温データを SY 法により合併し、合併したデータを基に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} 相当の日最低気温を求め、これらの内の最小値とした。

この結果、年超過確率 10^{-6} に相当する低温は -11.9°C となる。この温度に対する設備の損傷の有無を確認し、発電所への影響を評価する。

(c) 各設備の損傷評価

低温・凍結により、安全上重要な屋外設備に発生する可能性のある影響について、以下のとおり評価した。

イ 燃料取替用水タンク

燃料取替用水タンクは、燃料取替用水タンク加熱器により常時加熱されており、影響ないと評価する。

ロ 復水タンク

復水タンクは、2次系補助蒸気により加熱できるような構造になっており、冬季及び外気温度が低下した場合は、加熱することとしており、影響ないと評価する。

ハ 屋外配管

安全上重要な機器に淡水を供給する系統として、海水ポンプ潤滑水バックアップライン(所内用水)があったが、無給水軸受を採用した海水ポンプに取り替えており、潤滑水のバックアップは必要ない。

ニ 可搬設備

屋外に設置されているディーゼル機関等を有する可搬設備は、低温時には、暖機運転することになっている。

(d) 発電所への影響の評価

(c)項の評価結果から、年超過確率 10^{-6} 相当の低温に対し、影響を受けると思われる屋外設備を評価した結果、影響はないと評価された。

なお、凍結防止処置や暖機運転については、当該事象の進展は遅く、公的機関等の情報により、事前の予測が十分可能であることから、実施可能である。

e. 降雪(積雪)

(a) 積雪に対する設計について

建築基準法に基づき、積雪量 30cm として積雪荷重を設定し、それに対し機械的強度を有する構造とすることで、安全施設の安全機能を損なわない設計としている。

なお、阿久根特別地域気象観測所での観測記録(1939~2000 年)によれば、積雪の深さの月最大値は、38cm(1963 年 1 月 25 日)であることから、積雪量 38cm 時の積雪荷重に対する強度評価も行っている。

(b) 年超過確率 10^{-6} 相当の積雪量

国内の原子力施設周辺の気象官署 32 地点における、観測開始年から 2012 年までの月最深積雪データを SY 法により合併し、合併したデータを基に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} 相当の月最深積雪を求め、これらの内の最大値とした。

この結果、年超過確率 10^{-6} に相当する積雪量は 64.2cm となる。この積雪量に対する設備の損傷の有無を確認し、発電所への影響を評価する。

(c) 各設備の影響評価

降雪(積雪)により、設備等に発生する可能性のある影響について、以下のとおり、損傷、機能喪失を評価した。

イ 「雪の多量吸込み」による空調吸気口、冷却口の閉塞

ディーゼル発電機の吸排気口及び海水ポンプモータ排気口の高さが確保されており雪の多量吸込による閉塞は発生しない。評価結果を第 3.1.4.2-11 表に示す。

ロ 各建屋の積雪荷重に対する評価

安全上重要な建屋は、第 3.1.4.2-12 表のとおり、積雪荷重に対して十分な余裕を有している。

ハ 外部電源(送電鉄塔、送電線)

設計基準を超える降雪(積雪)により、着雪による絶縁不良で、外部電源が喪失することを想定する。

(d) 発電所への影響の評価

(c)項から、年超過確率 10^{-6} 相当の積雪時には、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・設備については影響がなく、また、当該事象の進展は遅く、公的機関等の情報により、事前の予測が十分可能であり、除雪等を行うことにより、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。

f. 降雨(流木)

(a) 降雨に対する設計について

枕崎特別地域気象観測所での観測記録(1937~2012年)によれば、発電所周辺地域における日最大1時間降水量の最大値は、127.0mm(2000年6月25日)である。

降水に対しては、構内排水施設を設けて海域に排水し、安全上重要な設備が安全機能を損なわない設計としている。

なお、排水施設(雨水排水処理装置)は、観測記録を上回る降水量160mm/hの排水能力を有している。

(b) 過去最大値(極値)に対する影響評価

九州地方における至近の降雨事象として記憶に新しい九州北部豪雨がある。

2017年7月5日から6日にかけて、対馬海峡付近に停滞した梅雨前線に向かって暖かく非常に湿った空気が流れ込んだ影響等により、線状降水帯が形成・維持され、同じ場所に猛烈な雨を継続して降らせたことから、九州北部地方で記録的な大雨となった。

九州北部地方では、7月5日から6日までの総降水量が多いところで500mmを超え、7月の月降水量平年値を超える大雨となったところがあった。また、福岡県朝倉市や大分県日田市等で24時間降水量の値が観測史上1位の値を更新するなど、これまでの観測記録を更新する大雨となった。

1時間降水量 :129.0mm (福岡県朝倉市7月5日)

24時間降水量 :545.5mm (福岡県朝倉市7月6日)

なお、日本最大の降水記録は、1 時間降水量:153mm/h(千葉県香取 1999 年 10 月 27 日、長崎県長浦岳 1982 年 7 月 23 日)である。

(a)項のとおり、発電所の排水施設(雨水排水処理装置)は、観測記録を上回る降雨強度 160mm/h の雨水を排水する能力を有しているため、日本最大の降水記録に対しても影響はないと評価する。

(c) 年超過確率 10^{-6} 値に対する影響評価

国内の原子力施設周辺の気象官署 32 地点における、観測開始年から 2012 年までの日最大 1 時間降雨量データを SY 法により合併し、合併したデータを基に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} 相当の日最大 1 時間降雨量を求め、これらの内の最大値とした。

この結果、年超過確率 10^{-6} に相当する 1 時間降水量は 252.0mm となる。この降雨量に対する設備の損傷の有無を確認し、発電所への影響を評価する。

1 時間降水量が 252.0mm の場合、発電所の雨水排水能力 160.0mm/h を超えてしまうことになるが、降雨が発電所内にもたらすと考えられる影響は、降雨により発生する敷地内の洪水(浸水)、あるいは、排水処理設備又はオーバーフロー管が水を排出できないことにより、屋根の上等に水が溜まり、屋根が崩壊する、といった状況である。

また、発電所外からもたらされると考えられる影響は、川内川上流域において、局地的な降雨による斜面崩壊に伴い、流木が発生し、洪水と共に発電所周辺海域に押し寄せてくるといった状況であり、以下のとおり評価を行った。

(d) 各建屋、設備の損傷評価

イ 降雨による影響

(イ) 発電所敷地

1 時間降水量が年超過確率 10^{-6} に相当する 252.0mm となり、発電所の雨水排水設備の排水能力を超えた場合、EL.+13m の敷地で溢れた水は、海側に向かって EL.+8m を経由して EL.+5m の敷地への下り勾配を自然流下し海域に流出するため、降り続いたとしても、EL.+13m の敷地に雨水が貯留し続けることはなく、敷地高さ+2m の許容津波高さ(EL.+15m)を超えることはないと考えられ影響はないと評価される。

これを発電所において実際に確認するため、プラント・ウォークダウンを実施し、以下の観点の調査を行った。

I プラント・ウォークダウンの実施結果

(I) 実施方法

第 3.1.4.2-6 図に示すチェックシートを用い、主に以下について確認を実施した。

i 敷地山側斜面から流れ込んだ時の雨水の流れが想定どおりになっているか

豪雨発生時に想定される雨水の流れとして、第 3.1.4.2-7 図に示すように、敷地形状より、敷地東側の山側斜面からの雨水の流入が想定される。

この敷地山側斜面からの流入雨水が、固体廃棄物貯蔵庫があることにより、勢いが緩和され、安全上重要な建屋に直接影響を及ぼすような水の流れとならないことを確認した。

また、流れ込んだ敷地前面に固体廃棄物貯蔵庫があることで、雨水の流れが限定されかつ分岐した上で、排水経路（構内主要道路）へと流れ込むことが想定されるが、障害物等により、水の流路を妨げるようなものがないことを確認した。

- ii 排水能力を超える豪雨発生時に想定する排水経路上に、障害物等が存在せず排水経路が確保されているか

第 3.1.4.2-7 図に示すように、排水能力を超える豪雨発生時に想定される排水経路（構内主要道路）上に水の流れを妨げるような障害物等の有無を確認する。また、図面化されていない、または図面上では読み取れないような段差、くぼみなどの有無について確認した。

加えて、発生した雨水が、合流し、局所的に水位が高くなると想定される箇所周辺に安全上重要な設備の有無について確認した。

（Ⅱ）実施結果

- i 実施日

平成 30 年 12 月 6 日

- ii 結果

プラント・ウォークダウンの結果、敷地外から敷地内に流れ込む雨水が建屋周辺に滞留することなく、発電所敷地を自然流下するための排水経路が確保されていることを確認した。

(ロ) 建屋屋上

各建屋の屋上についても、雨水排水設備を備えており、発電所の構内に設置された排水系統を通じて海域に放出している。屋上の雨水排水設備の排水能力を超えた場合、雨水は建屋屋上から溢れ、壁を伝い、建屋外の敷地側溝へと自然流下するため、屋上貯留される雨水は限定的である。また、建屋の屋上のオーバーフロー管から流出する雨水又は壁をつたい自然流下する雨水が別の建屋の屋上へと流れ込み、水量が増幅するような建屋の配置になっていないことを確認している。なお、屋上の貫通配管部については、シール施工され建屋内部に雨水は流入しないことを確認している。

(ハ) 海水ポンプエリア

海水ポンプエリアについては、海水ポンプ設置エリア、海水ストレーナ設置エリア、海水管ダクトに設置されている床ドレンライン及びトレンチ排水ポンプ等で排水する仕組みとなっているが、排水処理量を上回る場合には、排水ピットに設置されている水位計が、水位が高くなった場合に、中央制御室に警報を発する。この場合、重大事故等対処設備以外の可搬の水中ポンプにて排水することが可能である。

また、海水ポンプモータの没水により海水ポンプが機能喪失する場合であっても、既に整備している原子炉補機冷却機能の全喪失時の手順により、発電所を安全に停止できる。

(ニ) みやま池

発電所の南側にみやま池があり、発電所の補給水、雑用水に利用するための淡水を貯水している。降雨により、みやま池の満水位

(EL.+17.4m)を超える余水が発生した場合は、越流堰天端を流下し、発電所敷地内の水路を通じて海へ自然流下する。

また、みやま池の東側に土石流危険渓流域(流域面積 293,500m²)と急傾斜地崩壊危険箇所(面積約 3,300m²)があるが、みやま池が満水位のときに、この土石流危険区域及び急傾斜地崩壊危険個所の両方の崩壊が発生し、全量の土砂がみやま池に流入したとしても、みやま池の最高水位 EL.+17.4m から周辺地形(正門付近 EL.+23m 程度)との標高差が約 6.0m(貯水量にして約 62 万 m³)あるため、みやま池の貯水位が約 1m 上昇したうえで、みやま池に貯留されることとなり、溢水は発生しない。また、このときのみやま池の水位より算出した越流量は、下流側水路の排水能力を超えず、十分に排水でき、影響がないことを確認した。

ロ 流木による影響(海水取水口の閉塞事象)

九州北部豪雨のような局地的な降雨による斜面崩壊に伴い、流木が発生し、洪水と共に発電所周辺の海域へ押し寄せ、海水ポンプや循環水ポンプの取水に伴う海水の流れにより、取水口へ流入し、海水取水経路の閉塞を引き起こすことが想定される。

取水口には、除塵装置として、取水口スクリーン、トラッシュレイキ付バースクリーン及びロータリースクリーンが設置されており、くらげ、流木及びその他漂流物を除去できる。

くらげ、流木及びその他漂流物の襲来により除塵装置スクリーン前後の水位差が生じれば、除塵装置の自動動作状況を確認し、必要に応じ循環水ポンプの取水量の調整を行うことにより、運転を継続することができる。

循環水ポンプの取水量の調整に伴い、復水器真空度が低下すれば発電機出力を抑制し、運転を継続することもできる。

なお、海水取水経路が閉塞した場合であっても、既に整備している原子炉補機冷却機能の全喪失時の手順により、発電所を安全に停止できる。

(e) 発電所への影響の評価

(d)項の評価結果より、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 を超えることはなく、安全上重要な建屋内に雨水は流入しない。

また、九州北部豪雨のよう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、流木及び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、原子炉補機冷却機能全喪失への対応手順により、原子炉を安全に停止できる。

第 3.1.4.2-1 表 その他の自然現象に対する評価にて検討する事象の
選定結果

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、渇水、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	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

第 3.1.4.2-2 表 年超過確率 10^{-6} 相当のハザード値

外部ハザード	評価事象	年超過確率 10^{-6} 相当のハザード値	(参考) 設計想定値
竜巻を含む強風	竜巻	104.7m/s (風速)	100.0m/s (風速)
落雷	落雷	340kA (最大雷撃電流)	150kA (最大雷撃電流)
気象	高温	39.3°C (外気温)	33.0°C (外気温)
	低温、凍結	-11.9°C (外気温)	-7.0°C (外気温)
	降雪、積雪、暴風雪	64.2cm (積雪量)	30.0cm (積雪量)
	降雨	252.0mm (1 時間降水量)	160.0mm (1 時間降水量)

第 3.1.4.2-3 表 敷地の立地や敷地の地理的条件により、発生しても影響が
起こり得ない事象(1/2)

外部ハザード	検討事象	根拠
洪水	洪水、河川の迂回	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こり得ない。また、発電所に影響を及ぼす湖が存在しない。
水理地質学的及び水理学的ハザード	湖又は河川の水位低下・上昇、静振	発電所に影響を及ぼすような湖が存在しない。
	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、影響が起こり得ない。
	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こり得ない。

第 3.1.4.2-3 表 敷地の立地や敷地の地理的条件により、発生しても影響が
起こり得ない事象 (2/2)

外部ハザード	検討事象	根拠
気象	雪崩	発電所周辺及び敷地内において、雪崩が発生するような斜面、山との離隔距離が十分に確保されているため、発生しても影響が起こり得ない。
	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こり得ない。
	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こり得ない。
	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こり得ない。

第 3.1.4.2-4 表 影響が他の事象に包絡される事象

外部ハザード	検討事象	根拠
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。

第 3.1.4.2-5 表 予想される影響が運用で対処できる事象

外部ハザード	検討事象	根拠
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設計で考慮している。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、原子炉補機冷却海水系統機能喪失、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。

第 3.1.4.2-6 表 風荷重に対する主要建屋の影響評価結果

建屋	設計(風速 100.0m/s)			B) 自乗値	影響 評価	結果
	せん断 ひずみ度*	基準値	A) 裕度			
原子炉建屋	0.039×10^{-3}	2.0×10^{-3}	51.28	1.10	A>B	○
原子炉補助建屋	0.010×10^{-3}		200.0		A>B	○
ディーゼル建屋	0.056×10^{-3}		35.71		A>B	○
主蒸気管室建屋	0.067×10^{-3}		29.94		A>B	○

※せん断ひずみ度は最も裕度が低く評価されたケースを示している。

第 3.1.4.2-7 表 風荷重に対する機器の影響評価結果

機器	設計(風速 100.0m/s)			B) 自乗値	影響 評価	結果
	応力 [MPa]*	基準値	A) 裕度			
海水ポンプ (据付面基礎ボルト)	33	210	6.36	1.10	A>B	○
海水ポンプモータ (外扇カバー取付ボルト)	42	184	4.38		A>B	○
復水タンク(胴板)	32	226	7.06		A>B	○
燃料取替用水タンク (胴板)	45	267	5.93		A>B	○

※応力値は最も裕度が低く評価されたケースを示している。

第 3.1.4.2-8 表 飛来物の衝突に対する建屋の影響評価結果

建屋	設計(風速 100.0m/s)			B) 自乗値	影響 評価	結果
	貫通防止に 必要な厚さ	最小 厚さ	A) 裕度			
原子炉建屋	20.6cm	40cm	1.94	1.10	A>B	○
原子炉補助建屋	20.6cm	30cm	1.45		A>B	○
ディーゼル建屋	20.6cm	50cm	2.43		A>B	○
主蒸気管室建屋	20.6cm	50cm	2.43		A>B	○
ディーゼル発電機 燃料貯油そう基礎	22mm	45mm	2.05		A>B	○
ディーゼル発電機 燃料貯蔵タンク基礎	22mm	45mm	2.05		A>B	○

第 3.1.4.2-9 表 飛来物の衝突に対する竜巻防護ネットの影響評価結果

評価内容	評価部位	設計(100.0m/s)			B) 自乗値	影響 評価	結果
		評価値	許容値	A) 裕度			
吸収エネルギー評価※1	屋外タンク エリア	223.2kJ	282kJ※3	1.26	1.10	A>B	○
破断評価※2	屋外タンク エリア	13.5kN※4	15kN	1.11		A>B	○

※1 飛来物衝突時の吸収エネルギーが最大となるよう、飛来物の衝突姿勢を垂直姿勢、衝突位置をネットの中央位置で想定

※2 飛来物衝突時の引張荷重が最大となるよう、飛来物の衝突姿勢を垂直姿勢、衝突位置をネットの端部位置で想定

※3 竜巻防護ネットの強度計算書には、259kJ と記載されている。その後、最新知見を反映し、ネットの張力と伸びの関係となる等価剛性に関する係数を 1.056 とし計算した結果が 282kJ である。

※4 竜巻防護ネットの強度計算書には、12.8kN と記載されている。その後、最新知見を反映し、ネット端部位置への衝突を考慮するためのオフセット係数を 1.9 とし計算した結果が 13.5kN である。

第 3.1.4.2-10 表 気象データを収集した 32 気象官署

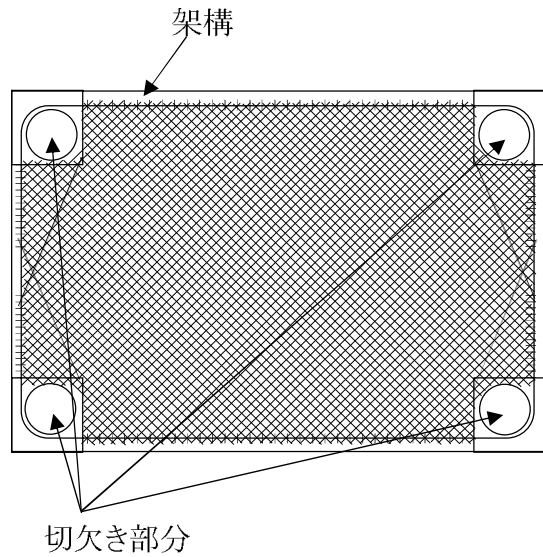
都道府県	気象官署
北海道	寿都、小樽、函館
青森県	むつ、八戸
岩手県	大船渡
宮城県	石巻、仙台
福島県	小名浜
新潟県	新潟、高田
茨城県	水戸
千葉県	銚子
静岡県	御前崎、浜松
石川県	金沢、輪島
福井県	福井、敦賀
京都府	舞鶴
鳥取県	米子、鳥取
島根県	松江
広島県	呉
愛媛県	松山、宇和島
福岡県	福岡
長崎県	平戸
大分県	大分
鹿児島県	鹿児島、阿久根、枕崎

第 3.1.4.2-11 表 各吸排気口の高さと積雪高さの比較

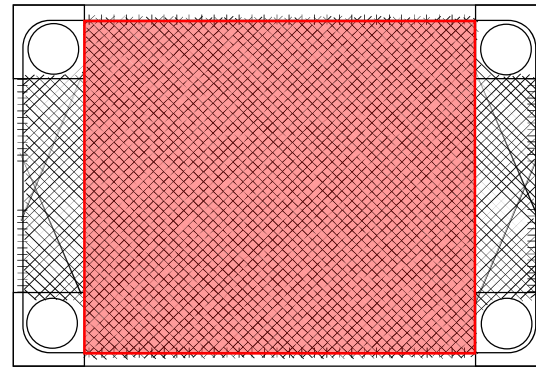
吸排気口	設置面からの高さ	積雪深さ	結果
ディーゼル発電機の吸排気口	約 2m	64.2cm	○
海水ポンプモータ排気口 (モータ下端高さ)	約 2m		

第 3.1.4.2-12 表 各建屋の積雪荷重に対する強度評価結果

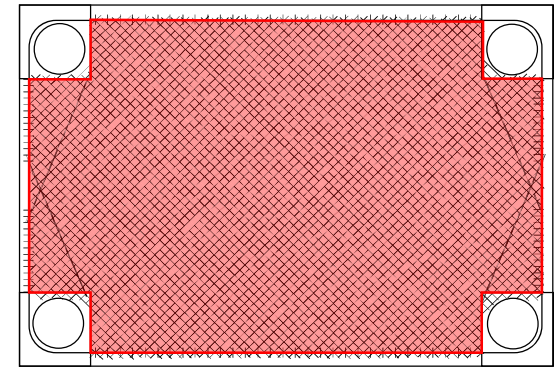
建屋	許容積載荷重 [N/m ²]	積雪荷重[N/m ²]	結果
		積雪量 64.2cm	
原子炉建屋	6,200	1,284	○
原子炉補助建屋	8,100		
燃料取扱建屋	4,400		
ディーゼル建屋	8,100		
主蒸気管室建屋	8,100		



(a) 竜巻防護ネット概要図

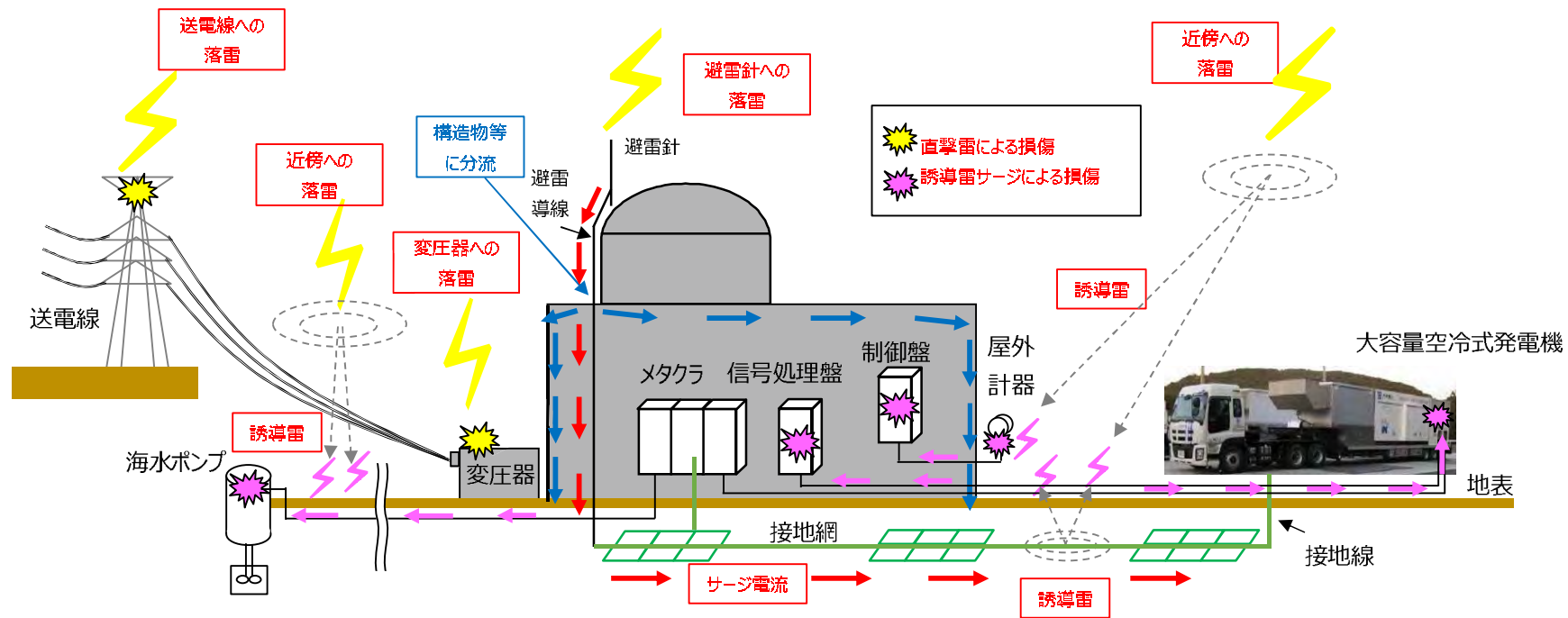


(b) 竜巻防護ネットの強度計算書での有効面積



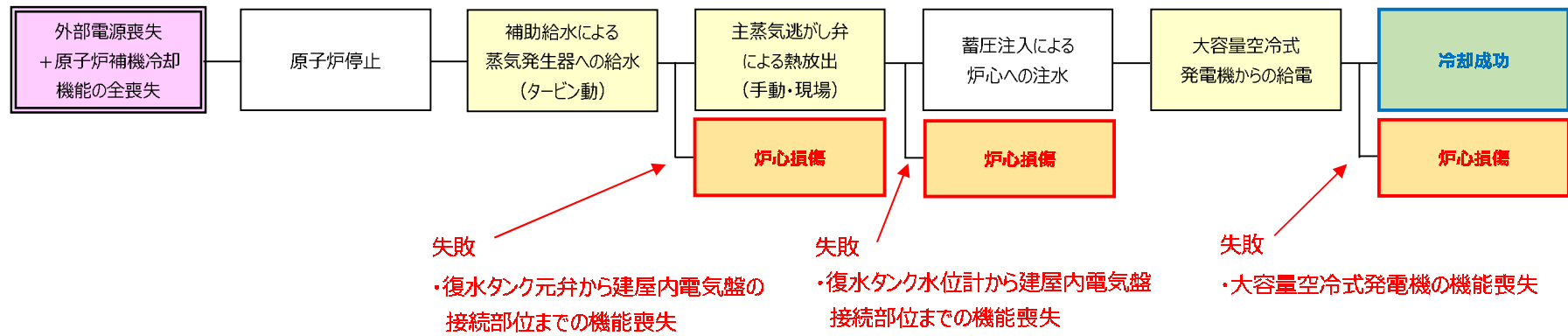
(c) 現実的な有効面積

第 3.1.4.2-1 図 竜巻防護ネットのネット切欠き部を考慮した評価方法



第 3.1.4.2-2 図 落雷による影響のイメージ

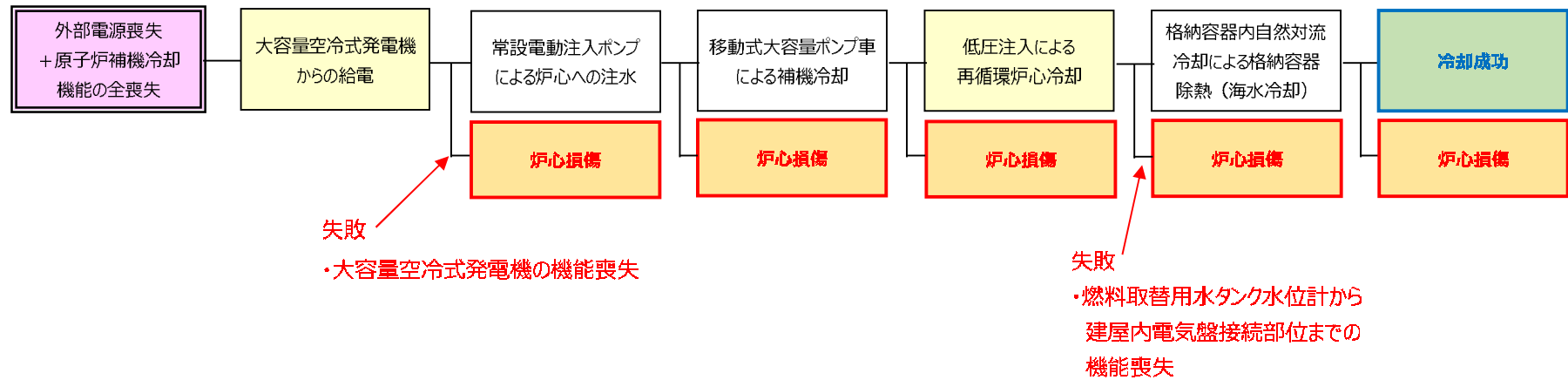
起因事象：外部電源喪失 + 原子炉補機冷却機能の全喪失



3.1.4-111

第 3.1.4.2-3 図 落雷評価における評価シナリオ(炉心(出力運転時))

起因事象：外部電源喪失 + 原子炉補機冷却機能の全喪失



3.1.4-112

第 3.1.4.2-4 図 落雷評価における評価シナリオ(炉心(停止時))

起因事象：外部電源喪失 + 原子炉補機冷却機能の全喪失



第 3.1.4.2-5 図 落雷評価における評価シナリオ(SFP)

川内原子力発電所 安全裕度評価（豪雨に対する評価）
プラント・ウォークダウンチェックシート

1. 雨水が敷地山側斜面から流れ込んだ時の流れの想定

地点名：_____

[チェック対象項目]

- | | | |
|---|-------------------------------|-------------------------------|
| 1) 排水能力(160mm/h)を超える豪雨発生時に想定する敷地山側斜面からの流れ込みが、固体廃棄物貯蔵庫があることにより、勢いが緩和されるか | 是
<input type="checkbox"/> | 否
<input type="checkbox"/> |
| 2) 固体廃棄物貯蔵庫があることにより分岐した水の流れが、排水経路（構内主要道路）に流れ込むにいたり、妨げるようなものがない。 | 有
<input type="checkbox"/> | 無
<input type="checkbox"/> |

気づき事項を記載

実施日：_____

実施者：_____

第 3.1.4.2-6 図 プラント・ウォークダウンチェックシート(1/2)

川内原子力発電所 安全裕度評価（豪雨に対する評価）
プラント・ウォークダウンチェックシート

2. 雨水排水経路の確保

地点名： _____

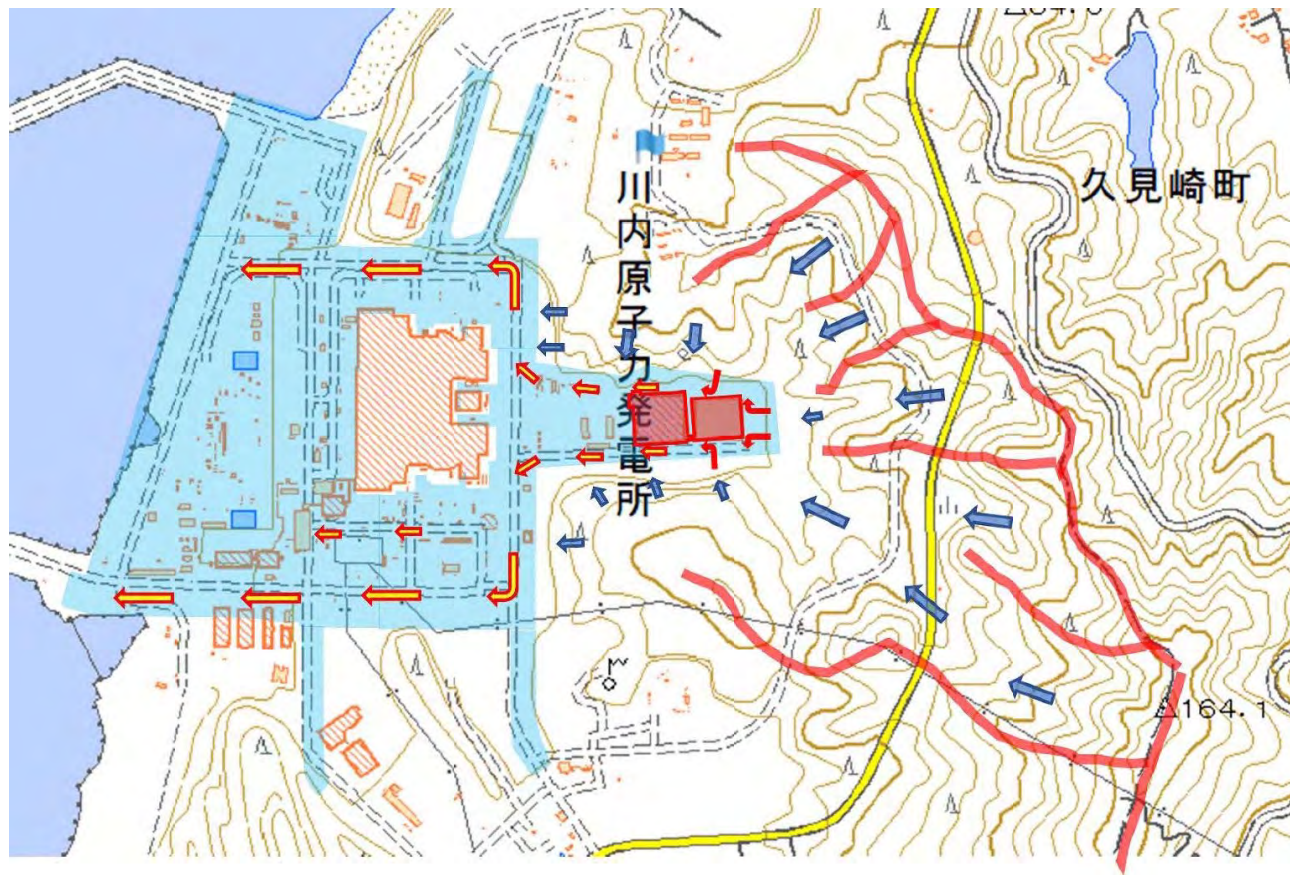
[チェック対象項目]

- | | | |
|--|-------------------------------|-------------------------------|
| 1) 排水能力(160mm/h)を超える豪雨を想定した場合においても、排水経路（構内主要道路）において水の流れを妨げるようなものがない。 | 有
<input type="checkbox"/> | 無
<input type="checkbox"/> |
| 2) 発生した雨水の合流が想定される箇所周辺に安全上重要な設備がない。 | 有
<input type="checkbox"/> | 無
<input type="checkbox"/> |

気づき事項を記載

実施日： _____

実施者： _____



- : 尾根線
- ← : 山側斜面からの雨水の流れ
- : 固体廃棄物貯蔵庫
- ⇐ : 敷地上に溢れた雨水の流れ

第 3.1.4.2-7 図 豪雨発生時の山側斜面からの流込み及び排水経路

3.1.4.3 安全裕度評価により抽出された追加措置

安全裕度評価により抽出された追加措置及び期待される効果について以下に示す。

(1) 地震及び津波随件事象並びにその他の自然現象に対する安全裕度評価結果の所員への教育

地震及び津波随件事象並びにその他の自然現象に対する安全裕度評価の結果について、教育を行う。設計基準を超える地震、津波が起こった際に予想される随件事象として溢水や火災の影響を知ること及び設計基準を超えるその他の自然現象が発生した場合に予想されるプラント挙動を知ることにより、緊急時対応要員の対応能力が向上する。

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

IAEA No.SSG-25に基づく評価を実効的に行うためには、新規制基準に基づく運転実績、運転経験を入力とすることが必要と考えており、現在、これらを蓄積しているところである。

評価を行うために必要かつ十分なデータが蓄積すると考えられる新規制基準への適合性審査合格後約5年が経過する、特定重大事故等対処施設の設置後の届出時にIAEA SSG-25に基づく評価を実施する。

それまでの期間は、「2.2.1 保安活動の実施状況」において、保安活動の実施状況調査及びその傾向分析を継続する。

