

島根原子力発電所2号機
内部溢水について
(審査会合における指摘事項の回答)

平成27年5月
中国電力株式会社

1. 内部溢水についての指摘事項

審査会合における指摘事項に対して回答

■全般

- ✓ 選定されている8つの自然現象が、想定される自然現象を網羅していることを説明すること。(降雨が津波により考慮されていること等)
- ✓ 自然現象による溢水について、自然現象の波及的影響だけでなく、自然現象そのものによる影響評価も示すこと。
- ✓ 考慮すべき自然現象が漏れなく検討されていることを、地震・津波評価との関係も含めて説明すること。※6条で説明。(重畳も含む)
- ✓ 自社の他ユニットや他社の溢水事象も含め、溢水影響評価に反映が必要な過去のトラブルを整理して説明すること。
- ✓ 過去のトラブルの検討事例として、10月27日に発生した原子炉補機海水系熱交換器出口配管からの海水漏えい事象も考慮すること。

1. 内部溢水についての指摘事項

審査会合における指摘事項に対して回答

■防護対象設備の設定(設置許可基準規則 第九条及び第十二条並びに溢水ガイドの要求事項)

- ✓ 内部溢水時の過渡解析及び事故解析(添付十)において、単一故障の想定を考え方を明確に文書で示すこと。
- ✓ 内部溢水を起因として原子炉に外乱が発生した場合の防護の考え方を説明すること。
- ✓ 溢水によって多重故障が想定されるが、溢水によって安全保護機能が喪失しないことを説明すること。
- ✓ 溢水により原子炉に外乱が及ぶ事象の選定について、網羅的に検討すること。また、当該事象に対して、単一(ランダム)故障と溢水による故障の2つの故障を想定しても、緩和系の機能が失われないことを説明すること。
- ✓ 溢水に対する安全上重要な機器の独立性の確保(第12条)や溢水起因で異常な過渡変化や設計基準事故が発生した場合の単一故障の考え方など、防護対象機器の抽出の過程を整理して説明すること。(SA機器も溢水源として抽出すること。)
- ✓ 各安全上重要な機器について、内部溢水に対する多様性や多重性の判断する際のプロセスを説明すること。

■防護対象設備の設定

- ✓ 防護対象を抽出するプロセスにおいて、放射性物質の貯蔵及び閉じ込め機能の取り扱いについて明確にすること。

1. 内部溢水についての指摘事項

審査会合における指摘事項に対して回答

■防護対象設備の設定

- ✓ 防護対象設備の評価対象の除外理由として、図面からの確認だけではなく現場調査も実施していることを示すこと。
- ✓ 建設時の耐環境試験結果と定期検査時の劣化確認(気中絶縁抵抗試験)により、ケーブルが被水した場合でも機能喪失しないと判断できる根拠を説明すること。
- ✓ 溢水による機能を喪失しないとして評価対象外とする設備のうち、外力に弱いと考えられるダンパについても、評価結果を説明すること。
- ✓ 格納容器内耐環境仕様であるとして評価対象外とする設備の被水評価について、試験を実施している場合はその結果を含め、具体的に説明すること。
- ✓ 格納容器内耐環境仕様であるとして評価対象外とする設備について、保全と機能維持の考え方を説明すること。
- ✓ 動作機能の喪失により安全機能に影響しないとして評価の対象外としている設備のうち、状態監視のみの現場指示計については、操作等での確認の必要がないことを説明すること。
- ✓ 動作機能の喪失により安全機能に影響しないとして評価の対象外としている設備について、プラント停止中も含め使用済燃料プールの冷却機能及び給水機能の維持に必要な設備が除外されないことがわかる記載とすること。(記載の適正化)
- ✓ 動作機能の喪失により安全機能に影響しないとして、溢水影響評価の対象外とする理由について、プラント停止後の維持も含むのか明確にすること。
- ✓ 低エネルギー配管に分類した非常用ディーゼル系について、系統の水温の管理を示した上で低エネルギー配管に分類することの妥当性を説明すること。
- ✓ 高エネルギー配管のうち運転時間の短いものを低エネルギー配管としているが、特定期間のみの実績ではなく運転開始からの実績で1%を超えないことを示すこと。

1. 内部溢水についての指摘事項

審査会合における指摘事項に対して回答

■ 溢水源の想定

- ✓ 溢水源としては、水・蒸気以外も考慮すること。
- ✓ ほう酸水が水と異なる影響を与える可能性について検討すること。評価不要の場合は、その根拠を示すこと。(分析用の劇薬等についても調査すること)
- ✓ 屋外タンクのうち、影響を考慮する対象から軽油タンクを除外する理由について、タンクの構造等を併せて説明すること。
- ✓ 苛性ソーダ、硫酸のタンクについては化学的影響の検討結果も示すこと。
- ✓ 油系、配管破損を含めた溢水評価を行うこと。
- ✓ 溢水源については、水以外も考慮した上で網羅的に抽出すること。
- ✓ 溢水源や溢水経路の抽出において、現場調査の方針と方法(過去のトラブル事例も踏まえた)について説明すること。
- ✓ 溢水経路に関し、原子炉建屋内の貫通部止水対策等について現場調査の結果を踏まえて説明すること。
- ✓ 耐震B, Cクラスの配管について、どのように抽出したのかを説明すること。溢水源の抽出等に図面やCAD等を使用しているが、現場の確認も併用することでの的確に抽出すること。

1. 内部溢水についての指摘事項

審査会合における指摘事項に対して回答

■ 溢水防護区画及び溢水経路の設定

- ✓ 機器搬出ハッチ等の大開口部からの流出について、定量的な確認の考え方を示すこと。
- ✓ 機能喪失高さの裕度の考え方について、浸水時の揺らぎ等を考慮して説明すること。
- ✓ 溢水伝播フローについて、積極的に溢水先を管理するのであれば、溢水源、溢水のメインストリーム、溢水フローコントロール箇所、溢水の最終貯留場所等をわかりやすく表現すること。
- ✓ 溢水防護区画の水位評価において、区画からの流出量算出に使用した流出係数や堰高さ等を示すとともに、その評価の保守性について説明を追加すること。
- ✓ 溢水防護区画に設置する排水設備としての通水扉が常に排水が期待でき、その排水量を定量的に評価できることを説明すること。
- ✓ 内部溢水評価に係る有効数字と、考慮されている保守性の関係を整理し、説明すること。
- ✓ 溢水経路について、その経路に期待できるとする根拠を説明すること。
- ✓ 各防護区画について、溢水箇所(破損箇所)の特定とアクセス性を含めた隔離作業の成立性を説明すること。(隔離時間80分の考え方を精査すること。)
- ✓ 重要な安全機能を有する系統の作動にあたり、現場操作が必要な設備へのアクセス通路に関する影響評価の結果を示すこと。
- ✓ 溢水により機能を喪失しないとして評価の対象外としている設備のうち、手動弁については、作業員による手動操作が必要ないことを説明すること。
- ✓ 各防護区画について、溢水箇所(破損箇所)の特定とアクセス性を含めた隔離作業の成立性を説明すること。
- ✓ 現場操作が必要な設備へのアクセス通路について、溢水防護区画として設定し、影響評価を実施すること。
- ✓ 放射性物質を内包する液体の漏えい防止に関し、設置許可基準第9条通りに、漏えいした液体が管理区域外へ漏えいしないことを示すこと。

1. 内部溢水についての指摘事項

審査会合における指摘事項に対して回答

■ 想定破損評価に用いる各項目の算出及び溢水影響評価

✓ 被水評価では飛散の直線的な軌道モデルだけでなく、溢水源と対象設備の間に障害物があった場合の飛散の評価についても説明すること。

■ 燃料プールのスロッシング後の機能維持評価

✓ スロッシング解析による溢水量評価の保守性について、解析モデルの不確かさや解析条件設定の観点も含めて説明すること。

✓ 使用済燃料プールのスロッシング評価におけるプール内構造物のモデル化の考え方について、評価の保守性を含めて説明すること。

✓ プール周りのダクトのチャンバについて、地震の揺れによる水の動的荷重も考慮し、チャンバの板接合部からの漏れについても評価すること。(静荷重や水頭圧だけではなく、動的な荷重も考慮して、水が流入するダクト、チャンバ等の強度評価をするべき)

✓ プール周りのダクトの評価について、想定される事象を定義した上でどのような対策(逆流防止ダンパ、立ち上がり配管等)を行ったのか整理して説明すること。

✓ 地震の振れによりチャンバから建屋空調系ダクトへ水が越流する可能性もあるので、そのダクトに越流した水の定量的な評価をすること。(建屋空調ダクトに水が入ると、水が地震により移動するので、これまでの溢水箇所や溢水量の評価が変わる可能性があるため。)

✓ プール周囲のダクトについては、事業者として必要かどうか評価した上で使用するかどうかも含め対策を検討した上で適切な管理を行うこと。

✓ チャンバが壊れないで下階に水が流れた方が望ましくない場合があるので、チャンバが壊れた場合と壊れない場合について、どのような問題があってどのような対策が必要になるか整理すること。

1. 内部溢水についての指摘事項

審査会合における指摘事項に対して回答

■ 海水ポンプエリアの溢水影響評価

✓ 海水ポンプエリアの海水ポンプエリア防水壁ならびに分離壁高さを整理すること。

■ 溢水防護対象設備が設置されている建物外からの溢水影響評価

✓ 循環水系におけるインターロックの設置について、必要性を再度検討し、説明すること。

✓ 想定破損による循環水系配管の伸縮継手部からの溢水時間について、実際に漏えい検知に要する時間の見積りを示した上で、評価で用いた検知時間5分に保守性があることを示すこと。

✓ 屋外タンク等を水源とする溢水評価について、局所的な水位上昇の評価を検討すること。

✓ サブドレン等地下水の排水ポンプが停止した場合、地盤不均等による建屋地下の配管貫通・接続部等からの地下水浸水について、影響の有無を説明すること。

■ 地震起因評価に用いる各項目の算出及び溢水影響評価

✓ 耐震性の評価のうち配管の強度評価において、原子炉安全基盤機構の配管系終局強度試験による疲労線図を適用することを適切と判断した根拠を説明すること。

1. 内部溢水についての指摘事項

後日回答とした指摘事項

- ✓ 安全上重要な機器については多重性又は多様性及び独立性が求められ、同時に機能喪失してはならない事が許可基準要求である。当該溢水によって作動が要求されない設備について対策不要とする考え方は、許可基準が担保されない可能性があるため、安全上重要な機器について溢水でも壊れないことを説明すること。
- ✓ フェイルセーフ機能(フェイルオープン、フェイルクローズ)が、内部溢水に対して喪失しないことを説明すること。
- ✓ 溢水影響評価を基に、溢水対策が網羅的に講じられていること、当該対策が溢水影響に対する防護として妥当であることを説明すること。
- ✓ 運転時及び定期検査時の施設の状況(機器ハッチの開閉状態など)に応じた溢水伝播ルート of 想定について、アクセス性も考慮(隔離時間が遅延することによる溢水量の増加の懸念など)した場合分けも検討すること。(施設状況に応じ、溢水状況が厳しくなるものが違う(溢水総量なのか、伝播していく水量なのか等)と考えられるので、必要に応じケース分けして考慮すべき)
- ✓ (ハッチの運用についても、ルール化されているか)
- ✓ 重大事故等対処設備の溢水影響についても説明すること。

■ 別途回答とした指摘事項

- ✓ 基準津波による海水系ポンプエリアからの海水の流入を考慮しても、ドライサイトが維持され、建屋内への浸水が生じないとしていることについて、具体的な評価を津波防護の項目で示すこと。
- ✓ 復水貯蔵タンク等は重大事故対策の水源になるので、復水貯蔵タンク等に設置する大型タンク遮断弁の有無を念頭におき、重大事故対策の成立性を確認する。

2. 主な指摘事項への回答(その1)

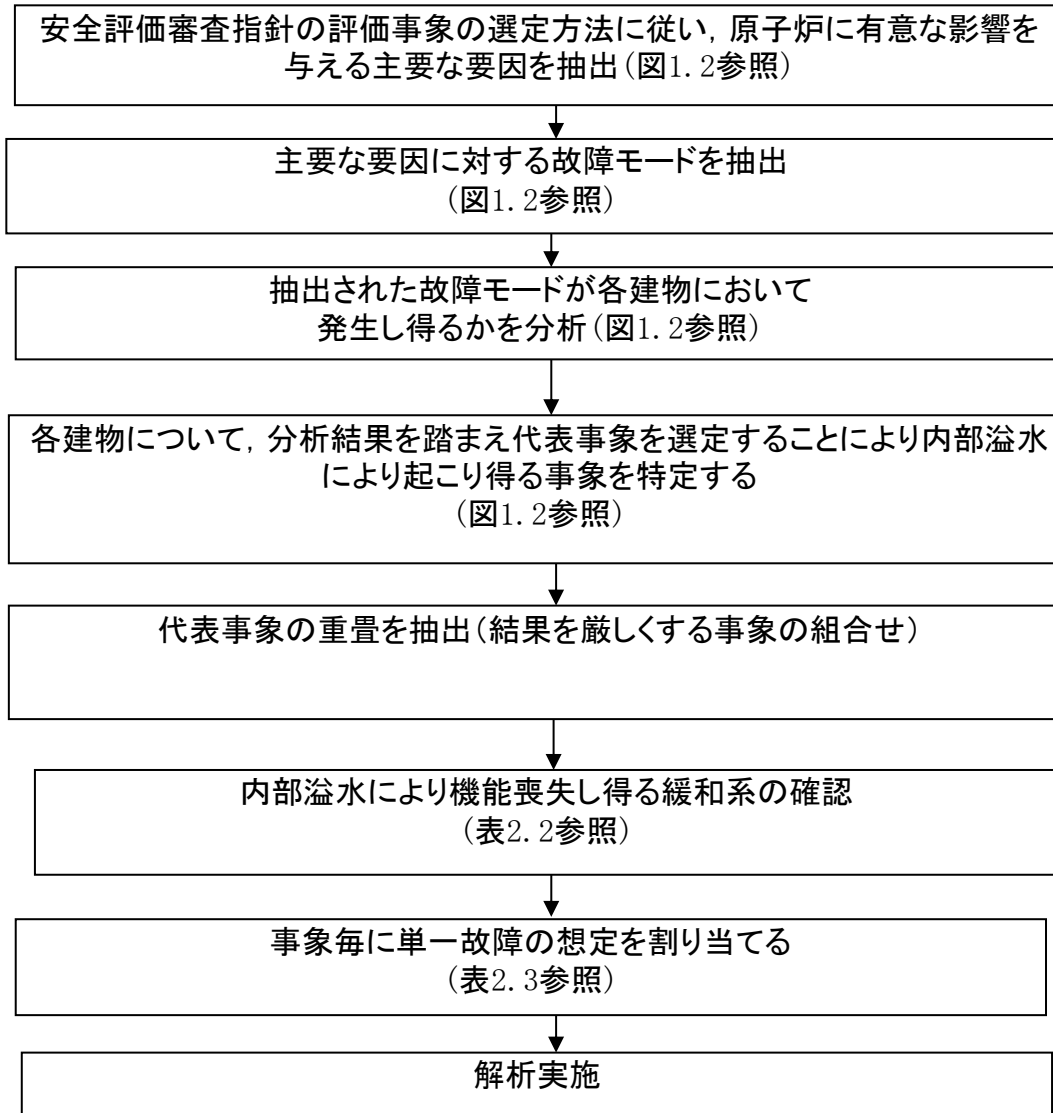
(指摘事項) 溢水によって多重故障が想定されるが、溢水によって安全保護機能が喪失しないことを説明すること。

溢水により原子炉に外乱が及ぶ事象の選定について、網羅的に検討すること。また、当該事象に対して、単一(ランダム)故障と溢水による故障の2つの故障を想定しても、緩和系の機能が失われないことを説明すること。等

(回答)「内部溢水により想定される事象の確認結果」により説明。

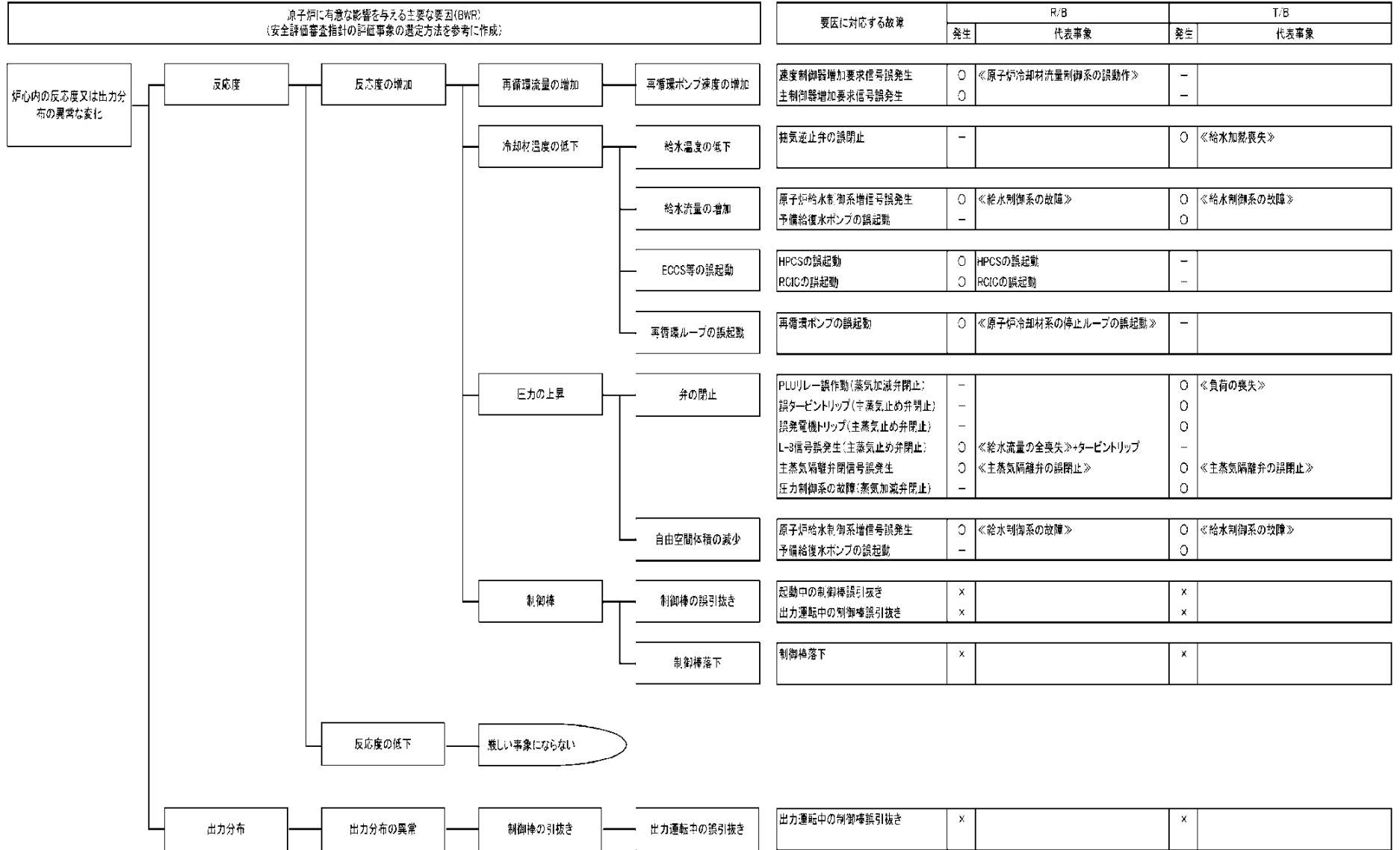
内部溢水により原子炉に外乱が及ぶ場合について、重畳事象も含めどのような事象が起こる可能性があるか分析を行い、発生する可能性のある事象に対して、単一故障を想定した場合においても収束が可能であるか、また、安全停止が可能であるかについて解析的に確認を行った。

2. 主な指摘事項への回答(その1)



2. 主な指摘事項への回答(その1)

図1.2 外乱分析図



2. 主な指摘事項への回答(その1)

R/Bにおける抽出事象及び重畳考慮の要否

抽出された事象	重畳	重畳を考慮しない理由※
原子炉冷却材の停止ループの誤起動	—	部分出力状態での発生事象であり重畳による影響が小さい
原子炉冷却材流量の喪失	—	①
原子炉冷却材流量制御系の誤動作	考慮	—
給水流量の全喪失+タービントリップ	考慮	—
主蒸気隔離弁の誤閉止	考慮	—
逃がし弁開放	—	①
給水制御系の故障(流量減少)	—	①
給水制御系の故障(流量増加)	考慮	—
HPCSの誤起動	—	②(上部プレナムへの注水で蒸気が凝縮し圧力が低下)
RCICの誤起動	考慮	—

T/Bにおける抽出事象及び重畳考慮の要否

代表事象	重畳	重畳を考慮しない理由※
給水加熱喪失	考慮	—
原子炉冷却材流量の喪失	—	①
負荷の喪失	考慮	—
主蒸気隔離弁の誤閉止	考慮	—
原子炉圧力制御系の故障	—	①
給水流量の全喪失	—	①
給水制御系の故障(流量増加)	考慮	—

2. 主な指摘事項への回答(その1)

表2.2 機能喪失を仮定する緩和機能

緩和機能		R/B内で内部溢水	T/B内で内部溢水
MS-3機能	再循環ポンプトリップ	喪失を仮定	喪失を仮定
	逃がし安全弁 (逃がし弁機能)	喪失を仮定	—
	タービン・バイパス弁	—	喪失を仮定
タービン系(RPS)		—	喪失を仮定

表2.3 単一故障の仮定と解析への影響

単一故障を仮定する機能	解析への影響
原子炉停止機能	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉保護系に単一故障を仮定する。 ・原子炉保護系は多重化されているため影響はない。
炉心冷却機能	<ul style="list-style-type: none"> ・内部溢水により1区分, 単一故障により更に1区分の炉心冷却機能が喪失したとしても, 残りの区分により炉心冷却が可能であるため解析には影響しない。
放射能閉じ込め機能	<ul style="list-style-type: none"> ・評価事象において燃料は破損しない。

2. 主な指摘事項への回答(その1)

- 内部溢水を起因として発生する過渡的な事象に対して、単一故障を想定しても、影響緩和系により事象は収束し、原子炉が安全停止を維持できることを確認した。

表4.1 R/B, T/Bにおける内部溢水発生時の解析結果

項目	単位	R/Bでの事象		T/Bでの事象	判断の目安
		主蒸気隔離弁の誤閉止	給水制御系の故障	給水制御系の故障	
中性子束	%	初期値を超えない	117	659	—
原子炉水位	—	冠水を維持	冠水を維持	冠水を維持	—
燃料被覆管温度ピーク値	°C	沸騰遷移に至らない	沸騰遷移に至らない	約700	1,200以下
原子炉冷却材圧力バウンダリ圧力ピーク値	MPa [gage]	8.52	7.47	8.68	10.34以下

2. 主な指摘事項への回答(その2)

(指摘事項)各安全上重要な機器について、内部溢水に対する多様性や多重性の判断する際のプロセスを説明すること。

(回答)重要度の特に高い安全機能並びに燃料プール冷却機能及び燃料プールへの給水機能を有する設備について、安全区分・系統と多重性・多様性の関係を整理した。

(安全区分を有する安全機能の例)安全区分(I, II, III)にて多重性・多様性を有する以下の機能については、3区分に分類される安全区分の系統のうち、2区分以上が機能維持することを基本とし、2区分以上が機能維持できない場合は、個別に安全機能を確認し、各安全機能が維持(炉心冷却機能については独立した2系統以上が機能維持)することを確認した。

評価対象	原子炉設備												
安全機能	原子炉の緊急停止機能	未臨界維持機能		炉心冷却機能								原子炉隔離時注水機能	
				事故時炉心冷却機能						高圧炉心スプレイ系			
系統	制御棒及び制御棒駆動系(水圧制御ユニット)	制御棒及び制御棒駆動系(水圧制御ユニット)	ほう酸水注入系		自動減圧系及びA-残留熱除去系(低圧注水モード)又は低圧炉心スプレイ系			自動減圧系及びB又はC-残留熱除去系(低圧注水モード)			原子炉隔離時冷却系	高圧炉心スプレイ系	
					自動減圧系	残留熱除去系	低圧炉心スプレイ系	自動減圧系	残留熱除去系				
系統区分	-	-	A	B	-	A	-	-	B	C	-	-	-
安全区分	-	-	-		I			II			III	II	III
多重性又は多様性	有	有			有								有

評価対象	原子炉設備										燃料プール							
安全機能	手動逃がし機能		崩壊熱除去機能	閉じ込め機能						監視機能	冷却機能				給水機能			
				格納容器隔離弁		非常用ガス処理系		可燃性ガス濃度制御系			燃料プール冷却系		残留熱除去系					
系統	逃がし安全弁	自動減圧系	残留熱除去系		格納容器隔離弁		非常用ガス処理系		可燃性ガス濃度制御系		事故時計装系	燃料プール冷却系		残留熱除去系		燃料プール補給水系	残留熱除去系	
			A	B	内側	外側	A	B	A	B		A	B	A	B		A	B
系統区分	-	-	A	B	内側	外側	A	B	A	B	A	B	A	B	-	A	B	
安全区分	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	-	I	II	-	I	II
多重性又は多様性	有		有		有		有		有		有		有				有	

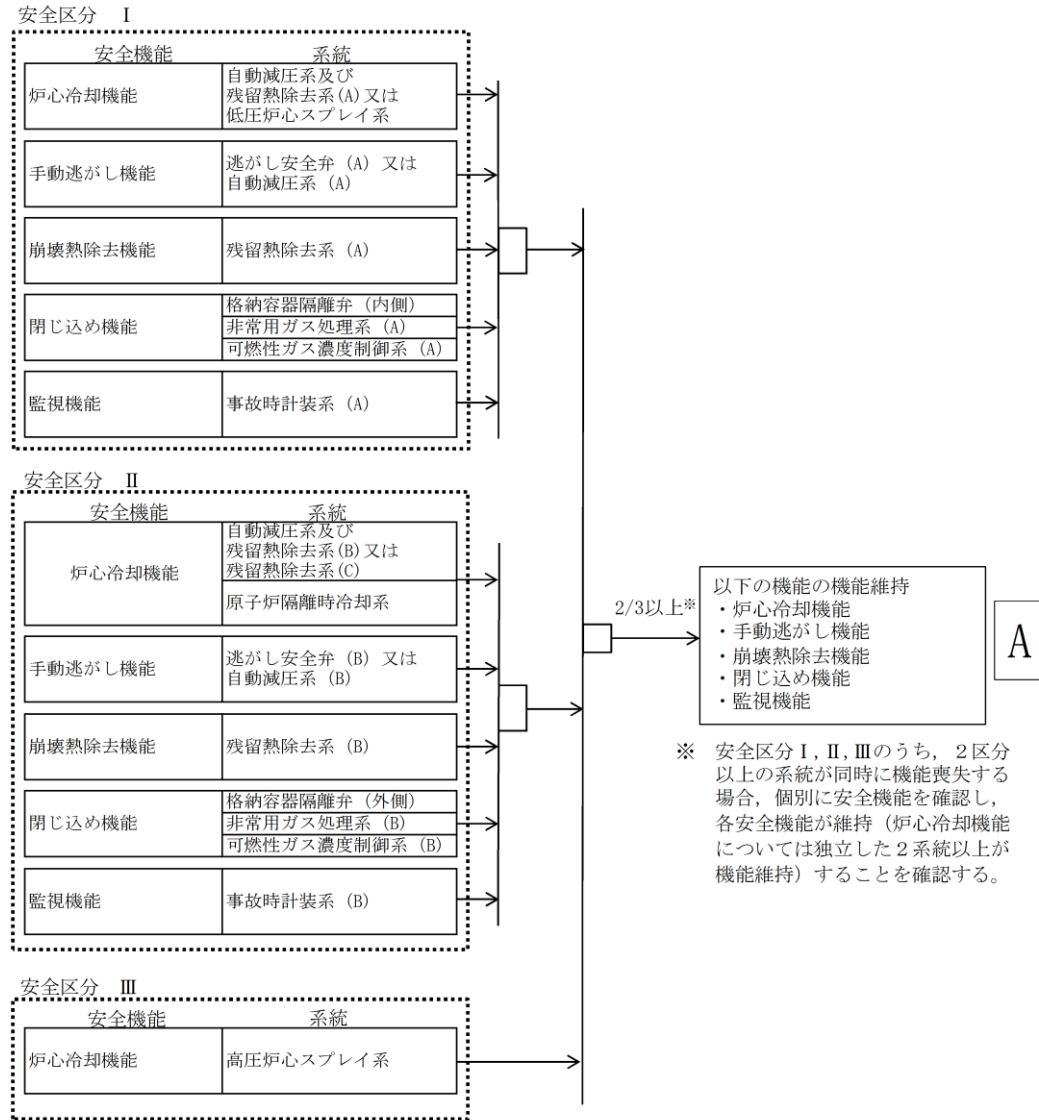


図1 安全区分を有する機能の判定基準

2. 主な指摘事項への回答(その2)

■ 想定破損の評価例

評価方法

- ① 溢水を想定する区画の破損系統の確認し、溢水防護対象設備の評価を実施
- ② 溢水を想定する区画での溢水防護対象設備の評価(溢水防護区画内漏えい)
- ③ 溢水の伝播区画の溢水防護対象設備の評価(溢水防護区画外漏えい)
- ④ 溢水を想定する区画及び伝播区画の溢水影響評価結果の総合判定

【溢水を想定する区画】

建物	区域区分	EL [m]	溢水を想定する区画	破損系統 (安全区分)	溢水量 [m ³]
原子炉建物	管理区域 (二次格内)	8.8	R-B1F-07N	原子炉補機冷却系 (常用系)	208
				原子炉補機冷却系 (I)	199
				消火系	74
				復水輸送系	76

①

【溢水を想定する区画 (最大溢水水位)】

No.	建物	区域区分	EL [m]	溢水を想定する区画	当該区画の破損系統 (安全区分)	溢水の伝播区画	溢水防護対象設備								判定	詳細確認結果	
							各系統の安全区分			燃料プール冷却及び給水機能		緊急停止機能及び未臨界維持機能					
							I	II	III	燃料プール冷却系 燃料プール補給水系	I	II	制御棒及び 制御棒駆動系	ほう酸水注入系			
1	原子炉建物	管理区域 (二次格内)	8.8	原子炉補機冷却系 (常用系)	-	×	○	○	○	×	○	○	○	○	○	②	
			1.3	-	-	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	③	
			-	-	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	④
			-	総合判定	-	×	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○

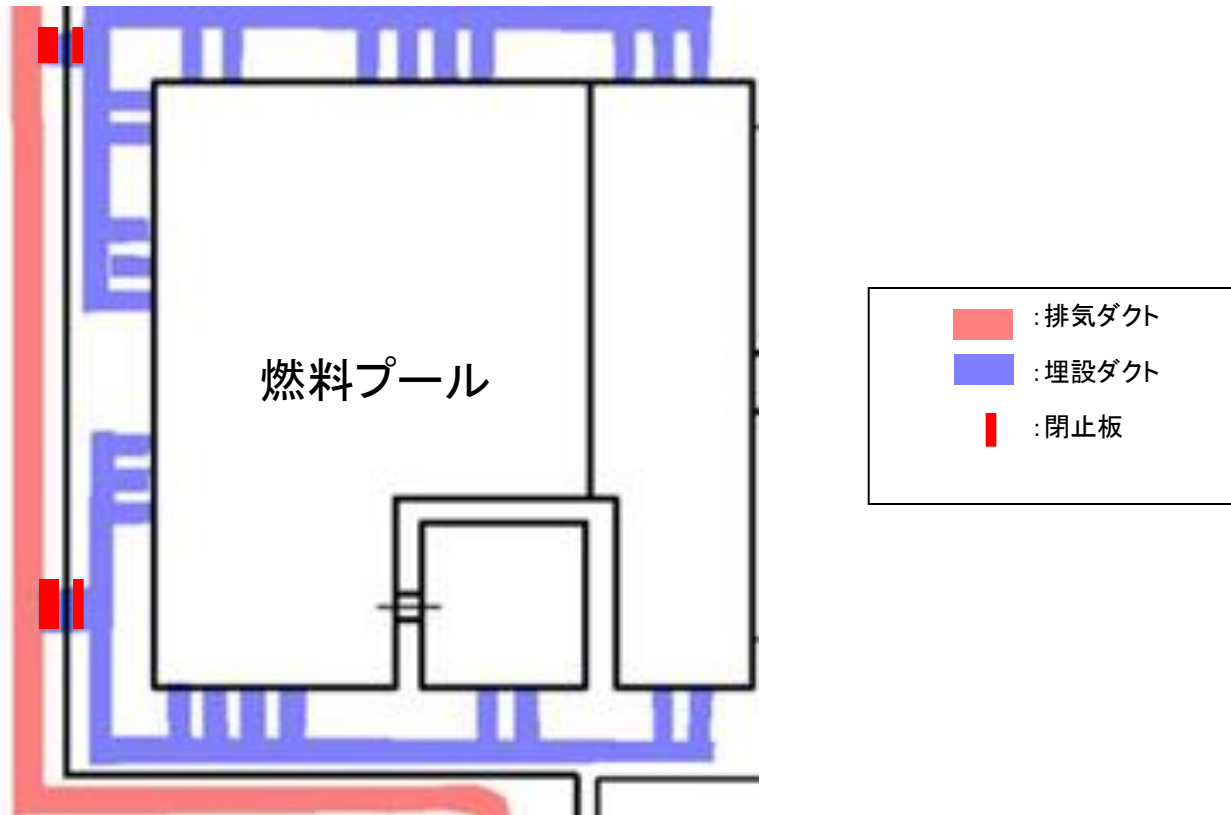
【溢水を想定する区画 (最大溢水水位以外)】

No.	建物	区域区分	EL [m]	溢水を想定する区画	当該区画の破損系統 (安全区分)	溢水の伝播区画	溢水防護対象設備								判定	詳細確認結果	
							各系統の安全区分			燃料プール冷却及び給水機能		緊急停止機能及び未臨界維持機能					
							I	II	III	燃料プール冷却系 燃料プール補給水系	I	II	制御棒及び 制御棒駆動系	ほう酸水注入系			
2	原子炉建物	管理区域 (二次格内)	8.8	原子炉補機冷却系 (I)	-	×	○	○	○	×	○	○	○	○	○	②	
			1.3	-	-	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	③	
			-	-	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	④
			-	総合判定	-	×	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○	④
3	原子炉建物	管理区域 (二次格内)	8.8	復水輸送系	-	×	○	○	○	×	○	○	○	○	○	②	
			1.3	-	-	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	③	
			-	-	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	④	
			-	総合判定	-	×	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○	④
4	原子炉建物	管理区域 (二次格内)	8.8	消火系	-	×	○	○	○	×	○	○	○	○	○	②	
			1.3	-	-	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	③	
			-	-	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	④	
			-	総合判定	-	×	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○	④

2. 主な指摘事項への回答(その3)

(指摘事項) プール周囲のダクトについては、事業者として必要かどうか評価した上で使用するかどうかも含め対策を検討した上で適切な管理を行うこと。

(回答) 燃料プールのスロッシングにより、燃料プールの水がダクト吸入口から埋設ダクトを經由して、空調換気系の排気ダクトへ流入することを防止するため、埋設ダクト出口側の躯体壁面へ閉止板を設置する。本対策により、排気ダクトへプール水が流入することはない。



流入防止対策後の燃料プール廻りのダクト敷設状況