

泊発電所 3 号炉 重大事故等対策の有効性評価

「ECCS再循環機能喪失」

「格納容器バイパス」

令和 5 年 3 月 1 日
北海道電力株式会社

本資料中の[〇〇]は、当該記載の抜粋元として、
まとめ資料のページ番号を示している。

【本日の説明事項】

- 設置許可基準規則第三十七条（重大事故等の拡大の防止等）の要求事項に対応するために、重大事故に至るおそれがある事故が発生した場合において、想定した事故シーケンスグループに対して、炉心の著しい損傷を防止するために必要な措置を講じる設計であることを、次ページ以降に示す。
- 有効性評価を行った結果、整備した炉心損傷防止対策が選定した重要事故シーケンスに対して有効であることが確認できた。泊3号炉において整備した炉心損傷防止対策が先行PWRプラントの対策と同等であることを確認している。
- まとめ資料は、これまでに審査を受けたものから先行審査実績を踏まえ、記載の充実や表現の適正化を図っているが、炉心損傷防止対策や評価結果に変更は無い。

1. ECCS再循環機能喪失	3
2. 格納容器バイパス	12

1. ECCS再循環機能喪失

有効性評価の結果の概要

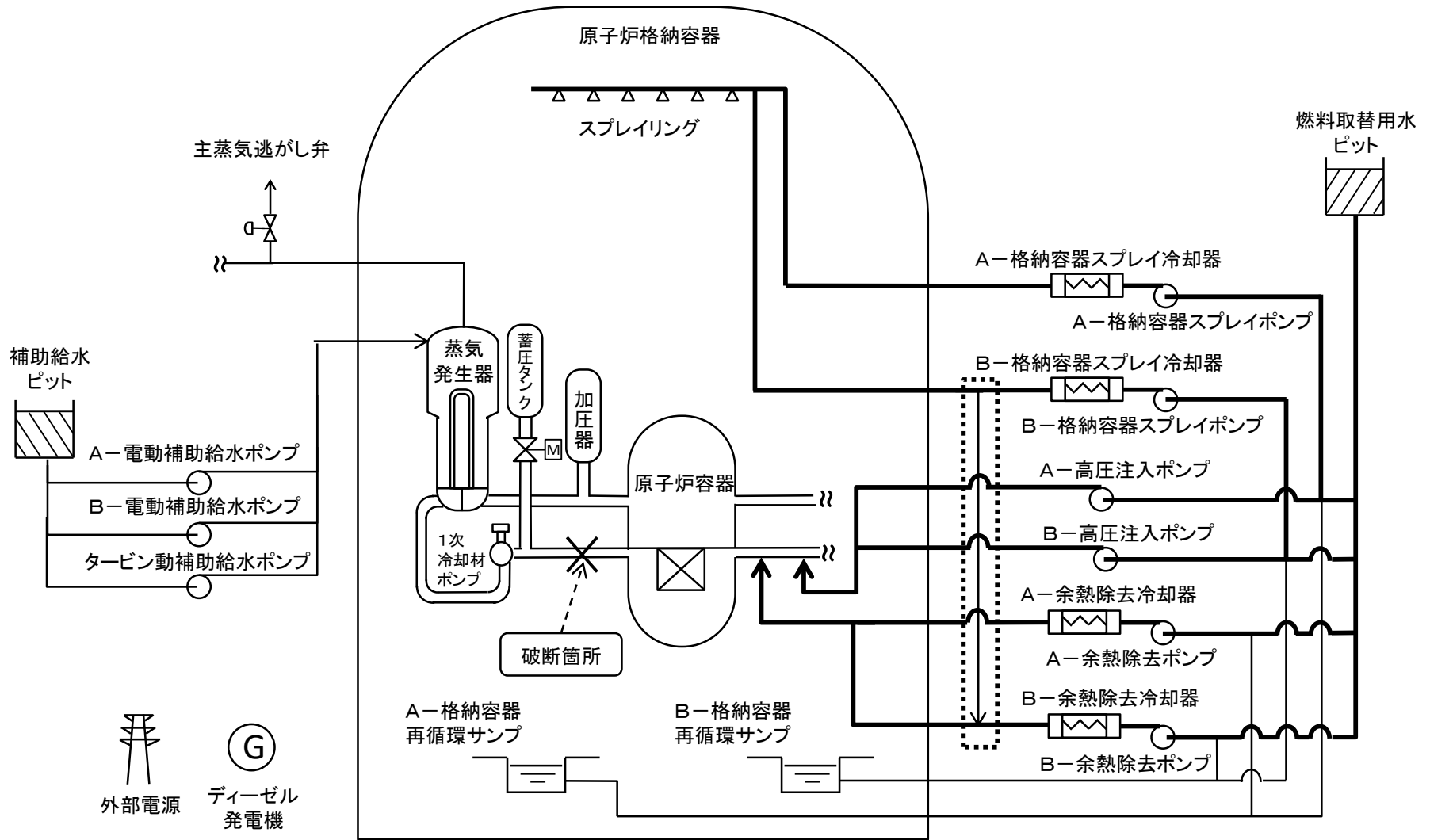
大飯3 / 4号炉
と同様

事故シーケンスグループの特徴 及び炉心損傷防止対策 [7.1.7-1,2]	重要事故シーケンス [7.1.7-5,6]	結 論 [7.1.7-22,23]
<p>原子炉の出力運転中に、原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する配管の破断が発生し、燃料取替用水ピットを水源とした非常用炉心冷却設備による炉心への注水後に、格納容器再循環サンプを水源とする非常用炉心冷却設備の再循環機能（ECCS再循環機能）が喪失することを想定する。このため、緩和措置がとられない場合には、1次冷却系保有水量が減少することで炉心が露出し、炉心損傷に至る。</p> <p>炉心が著しい損傷に至ることなく、かつ、十分な冷却を可能とするため、初期の対策としてB－格納容器スプレイポンプを用いた代替再循環を整備し、安定状態に向けた対策として、代替再循環による炉心冷却を継続する。また、原子炉格納容器の健全性を維持するため、安定状態に向けた対策としてA－格納容器スプレイポンプを用いた格納容器スプレイ再循環による原子炉格納容器除熱手段を整備する。</p>	<p>大破断LOCA時に低圧再循環機能及び高圧再循環機能が喪失する事故</p>	<p>重要事故シーケンスにおいても、格納容器スプレイポンプによる代替再循環を実施することにより、ECCS再循環切替失敗後に炉心損傷することはない。</p> <p>その結果、以下の評価項目を満足している。また、安定状態を維持できる。（評価結果はP9～11参照）</p> <ul style="list-style-type: none"> ①燃料被覆管温度及び酸化量 ②原子炉冷却材圧力バウンダリにかかる圧力 ③原子炉格納容器バウンダリにかかる圧力 ④原子炉格納容器バウンダリにかかる温度

(高圧注入, 低圧注入及び格納容器スプレイ)

[7.1.7-30]

大飯3 / 4号炉
と対策は同様



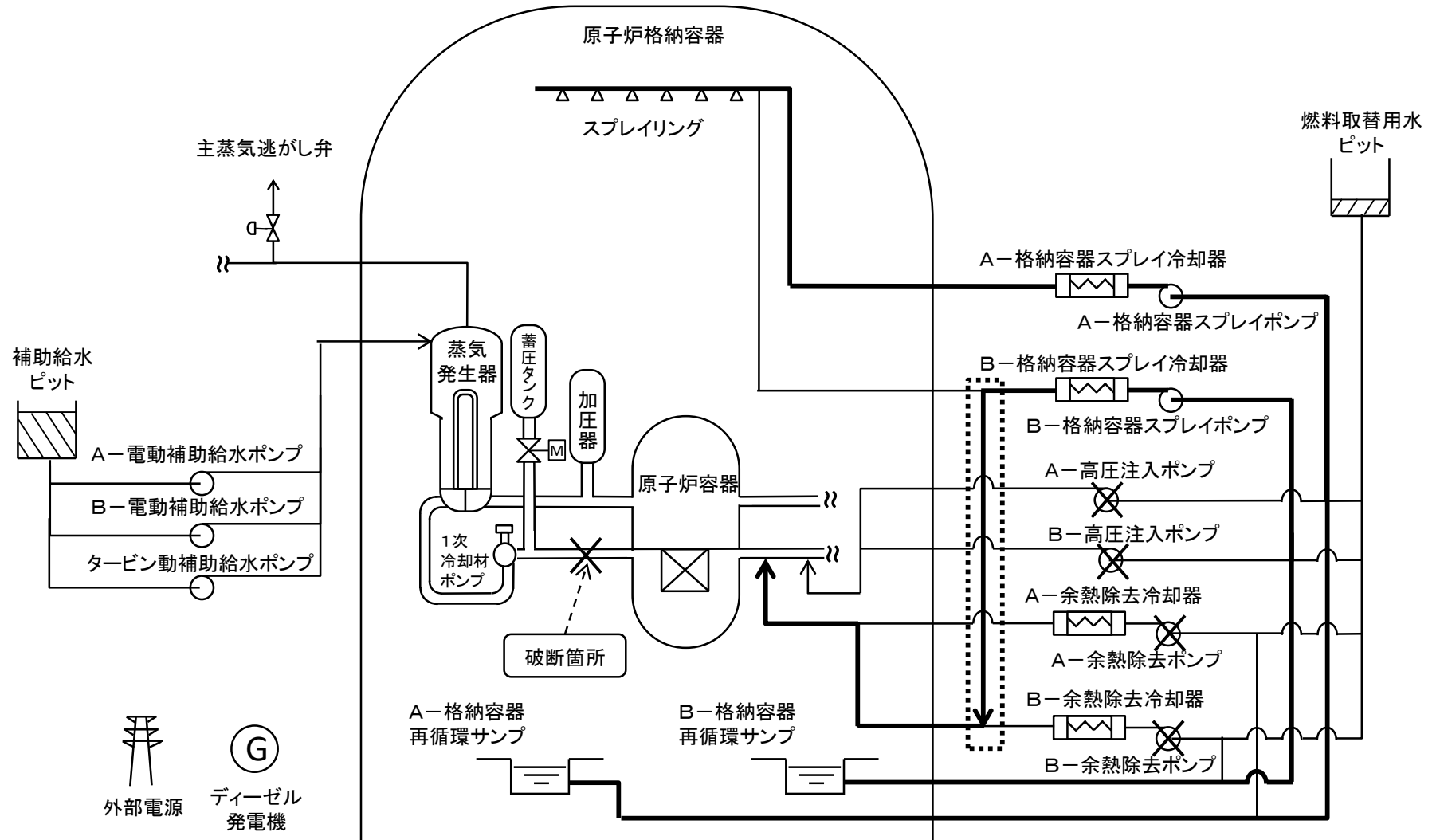
外部電源
ディーゼル発電機

⋯ : 設計基準事故対処設備から追加した箇所

(代替再循環及び格納容器スプレイ再循環)

[7.1.7-30]

大飯3 / 4号炉
と対策は同様



⋯⋯⋯ : 設計基準事故対処設備から追加した箇所

表 主要解析条件 [7.1.7-27]

大飯3 / 4号炉と
条件設定の考え方は同様

項目	主要解析条件	条件設定の考え方	
解析コード	MAAP	本重要事故シーケンスの重要現象である炉心における燃料棒表面熱伝達、沸騰・ボイド率変化等を適切に評価することが可能であるコード。	
初期条件	炉心熱出力 (初期)	100% (2,652MWt) × 1.02	評価結果を厳しくするように、定常誤差を考慮した上限値として設定。炉心熱出力が大きいと崩壊熱及び炉心保有熱も大きくなり、1次冷却材の蒸発量が大きくなることから、炉心水位を確保しにくく、燃料被覆管温度が高くなり厳しい設定。
	1次冷却材圧力 (初期)	15.41 + 0.21MPa [gage]	評価結果を厳しくするように、定常誤差を考慮した上限値として設定。1次冷却材圧力が高いと、非常用炉心冷却設備による注水流量が少なくなるとともに、蓄圧注入のタイミングも遅くなることから、炉心水位を確保しにくくなり厳しい設定。
	1次冷却材平均温度 (初期)	306.6 + 2.2°C	評価結果を厳しくするように、定常誤差を考慮した上限値として設定。1次冷却材温度が高いと、非常用炉心冷却設備による注水流量が少なくなるとともに、蓄圧注入のタイミングも遅くなることから、炉心水位を確保しにくくなり厳しい設定。
	炉心崩壊熱	FP: 日本原子力学会推奨値 アクチニド: ORIGEN2 (サイクル末期を仮定)	17×17型燃料集合体を装荷した3ループプラントを包絡するサイクル末期炉心の保守的な値を設定。燃焼度が高いと高次のアクチニドの蓄積が多くなるため長期冷却時の崩壊熱は大きくなる。このため、燃焼度が高くなるサイクル末期時点を対象に崩壊熱を設定。また、使用する崩壊熱はウラン・プルトニウム混合酸化物燃料の装荷を考慮している。
	蒸気発生器 2次側保有水量 (初期)	50t (1基当たり)	設計値として設定。
	原子炉格納容器 自由体積	65,500m ³	設計値に余裕を考慮した小さめの値として設定。
事故条件	起因事象	大破断 LOCA 破断位置: 低温側配管 破断口径: 完全両端破断	破断位置は、炉心冠水遅れや炉心冷却能力低下の観点から低温側配管とし、原子炉容器と非常用炉心冷却設備の注入配管との間において破断するものとして設定。破断口径は、1次冷却材配管 (約0.70m (27.5インチ)) の完全両端破断として設定。
	安全機能の喪失 に対する仮定	ECCS 再循環機能喪失	ECCS再循環機能として再循環切替時に低压注入系及び高压注入系が喪失するものとして設定。
	外部電源	外部電源あり	外部電源がある場合、非常用炉心冷却設備の作動が早くなり、再循環切替失敗の時期が早くなる。このため、再循環切替失敗時点での炉心崩壊熱が高くなり、炉心水位の低下が早く、代替再循環への切替操作時間の観点で事象進展が厳しくなる。
	再循環切替	燃料取替用水ピット水位低 (16.5%) 到達時。同時に ECCS 再循環切替に失敗。	再循環切替を行う燃料取替用水ピット水位として設定。 燃料取替用水ピット水量については設計値に基づき小さい値を設定。

表 主要解析条件 [7.1.7-28]

大飯3 / 4号炉と
条件設定の考え方は同様

項目	主要解析条件	条件設定の考え方	
重大事故等対策に関連する機器条件	原子炉トリップ信号	原子炉圧力低 (12.73MPa [gage]) (応答時間 2.0 秒)	トリップ設定値に計装誤差を考慮した低い値として、トリップ限界値を設定。検出遅れ、信号発信遅れ時間等を考慮して、応答時間を設定。
	非常用炉心冷却設備作動信号	原子炉圧力異常低 (11.36MPa [gage]) (応答時間 0 秒)	非常用炉心冷却設備作動設定値に計装誤差を考慮した低い値として、非常用炉心冷却設備作動限界値を設定。 非常用炉心冷却設備の作動が早くなることで再循環切替失敗の時期が早くなる。このため、再循環切替失敗時点での炉心崩壊熱が高くなり、炉心水位の低下が早く、代替再循環への切替操作時間の観点で厳しくなることから、応答時間は0秒と設定。
	原子炉格納容器スプレイ作動信号	原子炉格納容器圧力異常高 (0.136MPa [gage]) (応答時間 0 秒)	原子炉格納容器スプレイ作動限界値を設定。 原子炉格納容器スプレイ設備の作動が早くなることで再循環切替失敗の時期が早くなる。このため、再循環切替失敗時点での炉心崩壊熱が高くなり、炉心水位の低下が早く、代替再循環への切替操作時間の観点で厳しくなることから、応答時間は0秒と設定。
	高圧注入ポンプ	最大注入特性 (2台) (0m ³ /h～約 350m ³ /h, 0MPa [gage]～約 15.7MPa [gage])	高圧注入ポンプ及び余熱除去ポンプ注入特性の設計値として設定。 再循環切替時間が早くなるように、最大注入特性を設定。
	余熱除去ポンプ	最大注入特性 (2台) (0m ³ /h～約 1,820m ³ /h, 0MPa [gage]～約 1.3MPa [gage])	炉心への注水量が多いと水源である燃料取替用水ピットの水位低下が早くなるため、再循環切替失敗時点での炉心崩壊熱が高くなり、炉心水位の低下が早く、代替再循環への切替操作時間の観点で厳しい設定。
	格納容器スプレイポンプ	最大流量 (注入時：2台) (再循環時：1台)	再循環切替時間が早くなるように、設計値に余裕を考慮した最大流量として設定。 原子炉格納容器へのスプレイ量が多いと水源である燃料取替用水ピットの水位低下が早くなるため、再循環切替失敗時点での炉心崩壊熱が高くなり、炉心水位の低下が早く、代替再循環への切替操作時間の観点で厳しい設定。
	補助給水ポンプ	非常用炉心冷却設備作動限界値到達の 60 秒後に注水開始	補助給水ポンプの作動時間は、信号遅れ及びポンプの定速達成時間に余裕を考慮して設定。
150m ³ /h (蒸気発生器 3 基合計)		電動補助給水ポンプ 2 台及びタービン動補助給水ポンプ 1 台の補助給水全台運転時 (ポンプ容量は設計値 (ミニフロー流量除く) を想定) に 3 基の蒸気発生器へ注水される場合の注水流量から設定。	

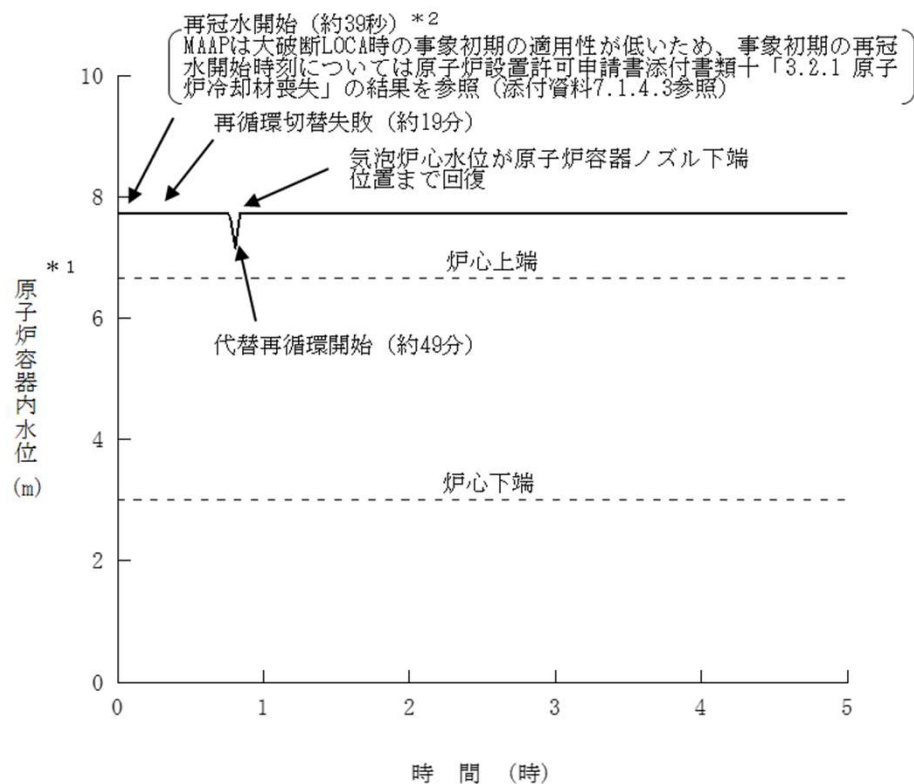
表 主要解析条件 [7.1.7-29]

大飯3 / 4号炉と
条件設定の考え方は同様

項目		主要解析条件	条件設定の考え方
関連する機器条件に 重大事故等対策に	蓄圧タンク保持圧力	4.04MPa[gage] (最低保持圧力)	炉心への注水のタイミングを遅くする最低の圧力として設定。
	蓄圧タンク保有水量	29.0m ³ (1基当たり) (最小保有水量)	炉心への注水量を少なくする最小の保有水量を設定。
	代替再循環流量	200m ³ /h	再循環切替時間約19分時点での崩壊熱に相当する蒸発量(約112m ³ /h)を上回る流量として設定。
関連する操作条件に 重大事故等対策に	代替再循環開始	再循環切替失敗の30分後 (この間は注水がないと仮定)	運転員等操作時間として、格納容器スプレイポンプによる代替再循環の現場での系統構成や中央制御室での代替再循環開始操作等に余裕を考慮して、代替再循環の開始操作に30分を想定して設定。なお、運用上はMAAPの炉心水位の予測の不確かさを考慮し、格納容器スプレイポンプによる代替再循環を実際に見込まれる操作時間であるECCS再循環切替失敗から15分後(訓練実績:13分)までに開始する。

評価結果①（燃料被覆管温度及び酸化量）

大飯3 / 4号炉
と評価結果は同様



* 1 : 原子炉容器内水位の推移はMAAPによる解析結果を示しており、
入口ノズル下端を上限とした気泡炉心水位を表示
* 2 : 原子炉設置許可申請書添付書類十「3.2.1 原子炉冷却材喪失」の結果

図 原子炉容器内水位の推移 [7.1.7-38]

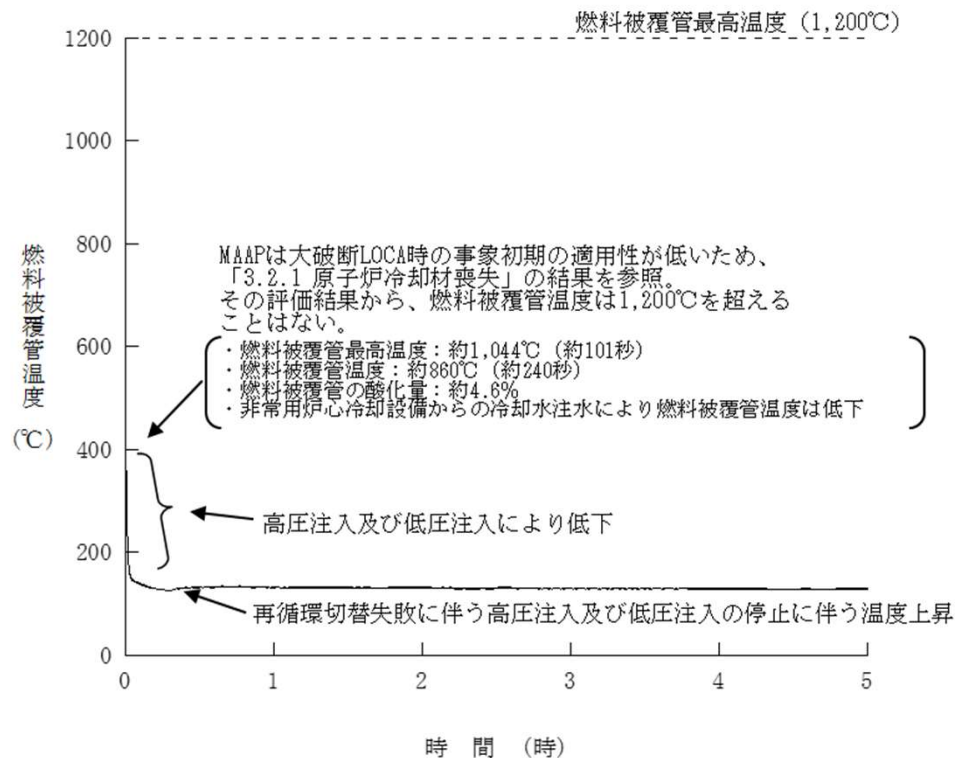


図 燃料被覆管温度の推移 [7.1.7-38]

■ 評価項目 [7.1.7-12]

燃料被覆管の最高温度は破断直後の炉心露出により一時的に上昇するが、非常用炉心冷却設備による炉心注水により低下する。非常用炉心冷却設備の性能は、原子炉設置許可申請書添付書類十「3.2.1 原子炉冷却材喪失」における1次冷却材管の完全両端破断を仮定した解析で評価しており、この場合でも燃料被覆管の最高温度は約1,044°Cであり、燃料被覆管の酸化量は約4.6%である。このため、本事象においても燃料被覆管最高温度1,200°C、燃料被覆管の酸化量15%以下である。

大飯3 / 4号炉
と評価結果は同様

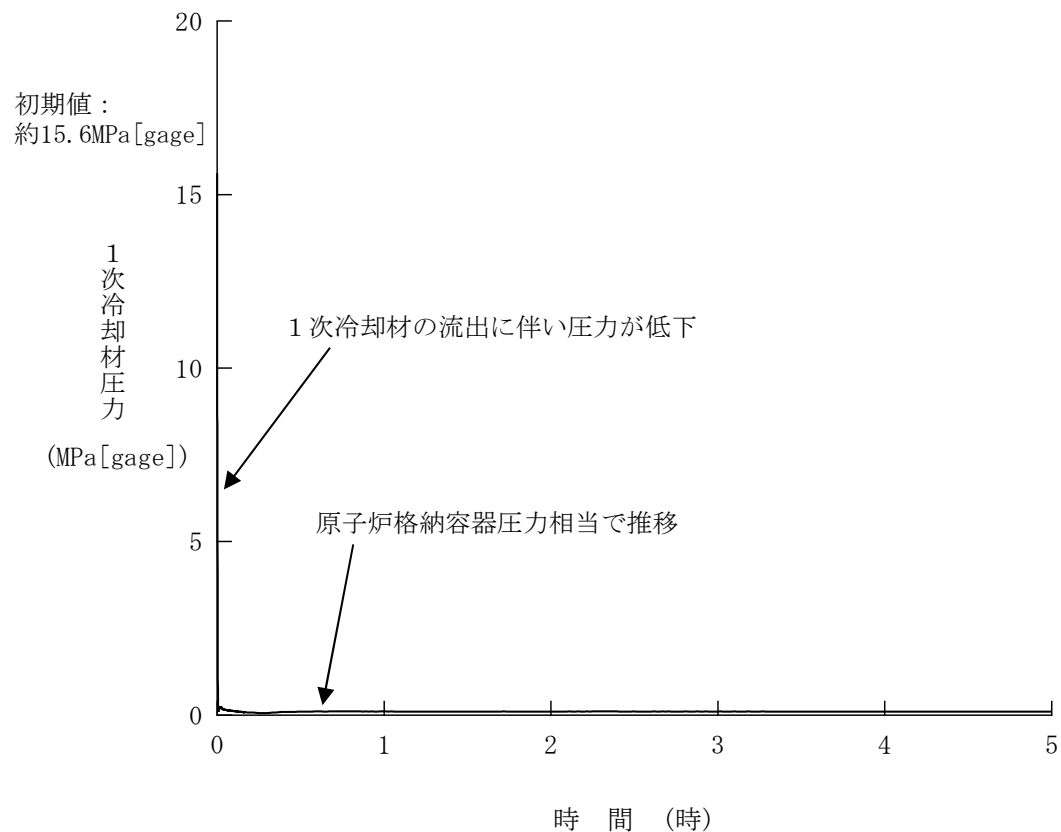
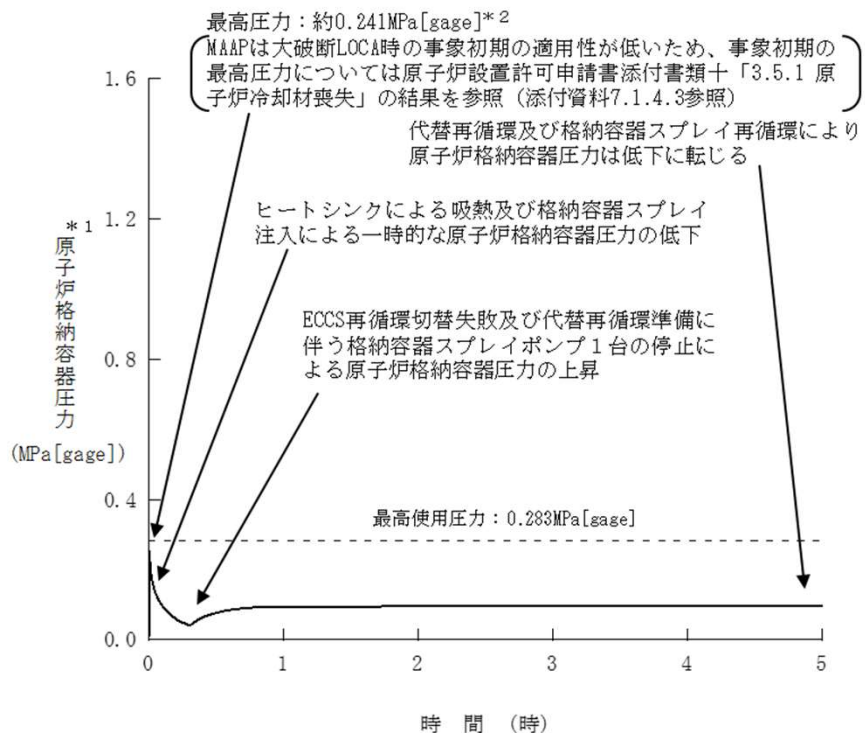


図 1次冷却材圧力の推移 [7.1.7-35]

■評価項目 [7.1.7-12]
 1次冷却材圧力は、初期値（約15.6MPa[gage]）以下となる。このため、原子炉冷却材圧力バウンダリにかかる圧力は、1次冷却材圧力と1次冷却材ポンプ吐出部との差（高々約0.6MPa）を考慮しても、約16.2MPa[gage]以下であり、最高使用圧力の1.2倍（20.592MPa[gage]）を十分下回る。

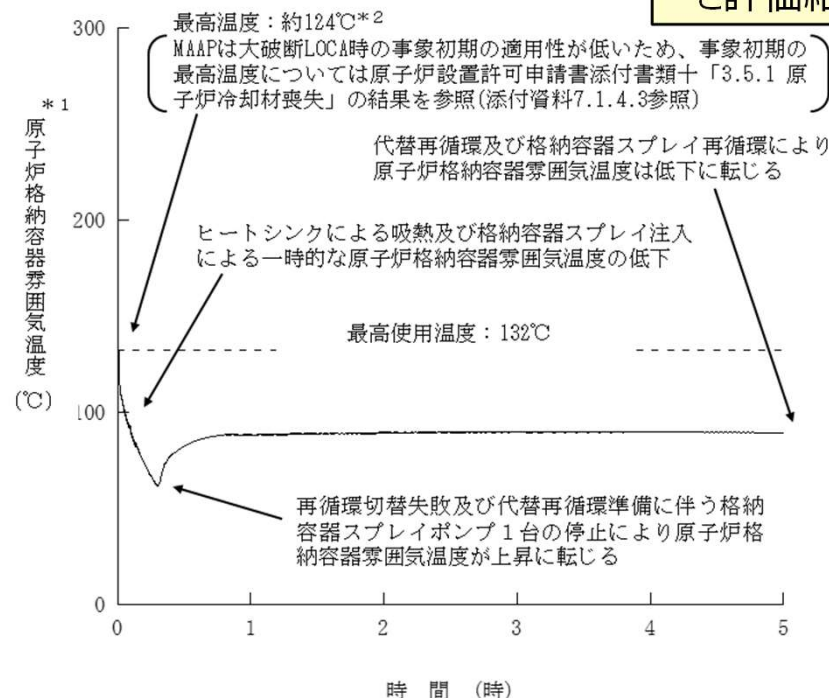
評価結果③④ (CVバウンダリにかかる圧力及び温度)

大飯3 / 4号炉
と評価結果は同様



* 1 : 原子炉格納容器圧力の推移はMAAPによる解析結果を示している
* 2 : 原子炉設置許可申請書添付書類十「3.5.1 原子炉冷却材喪失」の結果

図 原子炉格納容器圧力の推移 [7.1.7-40]



* 1 : 原子炉格納容器雰囲気温度の推移はMAAPによる解析結果を示している
* 2 : 原子炉設置許可申請書添付書類十「3.5.1 原子炉冷却材喪失」の結果

図 原子炉格納容器雰囲気温度の推移 [7.1.7-40]

■ 評価項目 [7.1.7-12,13]

原子炉格納容器圧力及び温度は、事象発生直後からの原子炉格納容器スプレイにより抑制できる。原子炉格納容器スプレイ設備の性能は、原子炉設置許可申請書添付書類十「3.5.1原子炉冷却材喪失」における1次冷却材管の完全両端破断を仮定した解析で評価しており、この場合でも原子炉格納容器バウンダリにかかる圧力及び温度の最高値はそれぞれ約0.241MPa[gage]及び約124°Cにとどまる。このため、本事象においても原子炉格納容器バウンダリにかかる圧力及び温度は、原子炉格納容器最高使用圧力 (0.283MPa[gage]) 及び最高使用温度 (132°C) を下回る。

2. 格納容器バイパス

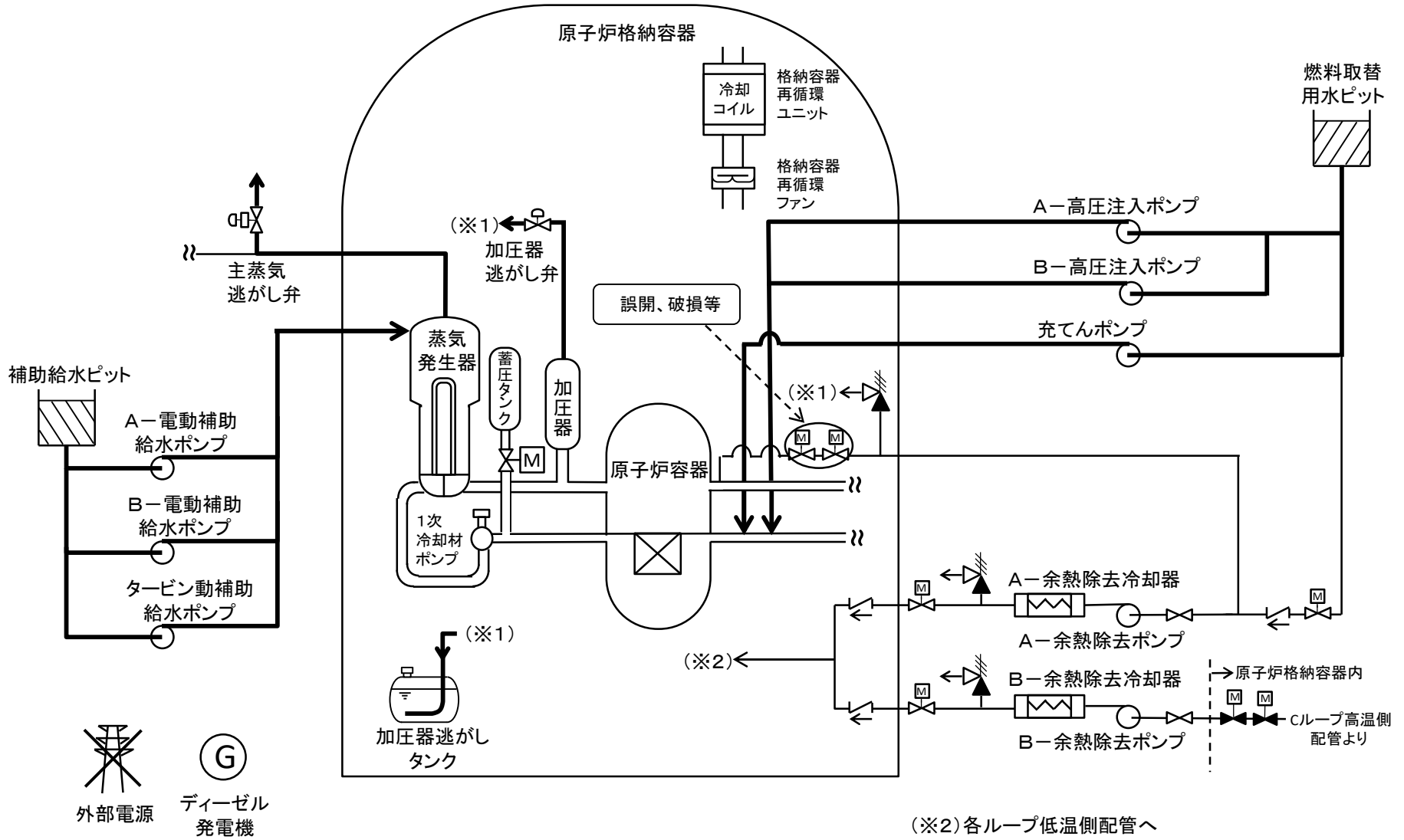
有効性評価の結果の概要

大飯3 / 4号炉
と同様

事故シーケンスグループの特徴 及び炉心損傷防止対策 [7.1.8-1,2]	重要事故シーケンス [7.1.8-11]	結 論 [7.1.8-43,44]
<p>原子炉の出力運転中に原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器が破損し、さらに1次冷却材が原子炉格納容器外へ漏えいすることを想定する。このため、破損箇所から1次冷却材が流出し、原子炉容器内水位が低下することから、緩和措置がとられない場合には、原子炉容器内水位の低下により炉心が露出し、炉心損傷に至る。</p> <p>炉心が著しい損傷に至ることなく、かつ、十分な冷却を可能とするため、初期の対策として蒸気発生器2次側への注水と主蒸気逃がし弁の開操作による2次冷却系強制冷却、加圧器逃がし弁の開操作による1次冷却系の減圧並びに高圧注入ポンプ等による炉心注水を整備し、安定状態に向けた対策として、余熱除去系による炉心冷却を継続する。さらに、余熱除去系の接続に失敗する場合を想定して、充てんポンプ及び加圧器逃がし弁を用いたフィードアンドブリード、主蒸気逃がし弁を用いた蒸気発生器による除熱及び格納容器スプレイポンプを用いた代替再循環を整備する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・インターフェイスシステム LOCA ・蒸気発生器伝熱管破損時に破損側蒸気発生器の隔離に失敗する事故 	<p>重要事故シーケンスにおいても、蒸気発生器2次側への注水と主蒸気逃がし弁の開操作による2次冷却系強制冷却、加圧器逃がし弁の開操作による1次冷却系の減圧並びに高圧注入ポンプ及び充てんポンプによる炉心注水を実施することにより、炉心損傷することはない。</p> <p>その結果、以下の評価項目を満足している。また、安定状態を維持できる。(評価結果はP23～27参照)</p> <ul style="list-style-type: none"> ①燃料被覆管温度及び酸化量 ②原子炉冷却材圧力バウンダリにかかる圧力 ③原子炉格納容器バウンダリにかかる圧力 ④原子炉格納容器バウンダリにかかる温度

(インターフェイスシステムLOCA)
(2次冷却系強制冷却, 1次冷却系強制減圧及び炉心注水) [7.1.8-59]

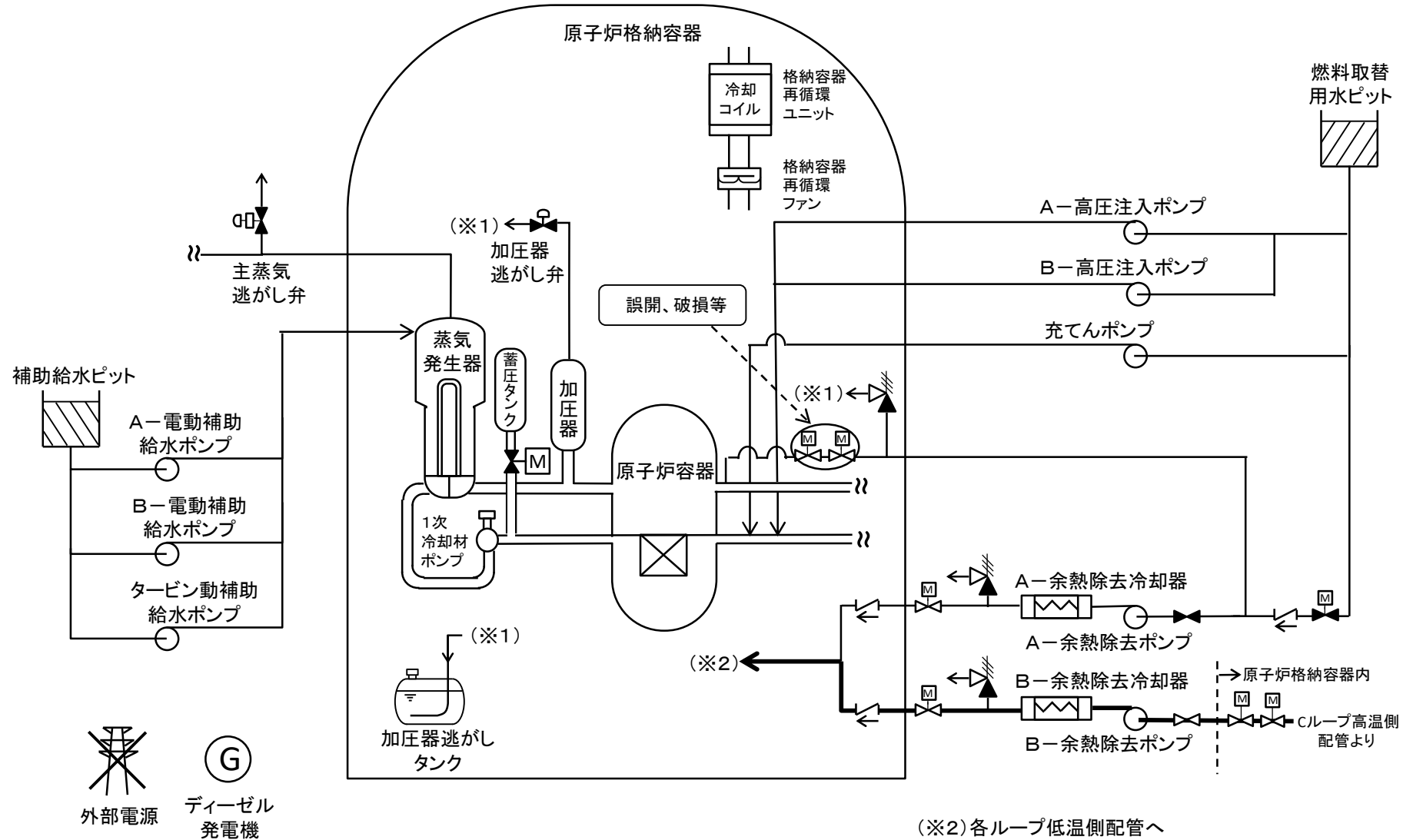
大飯3/4号炉
と対策は同様



(※2)各ループ低温側配管へ

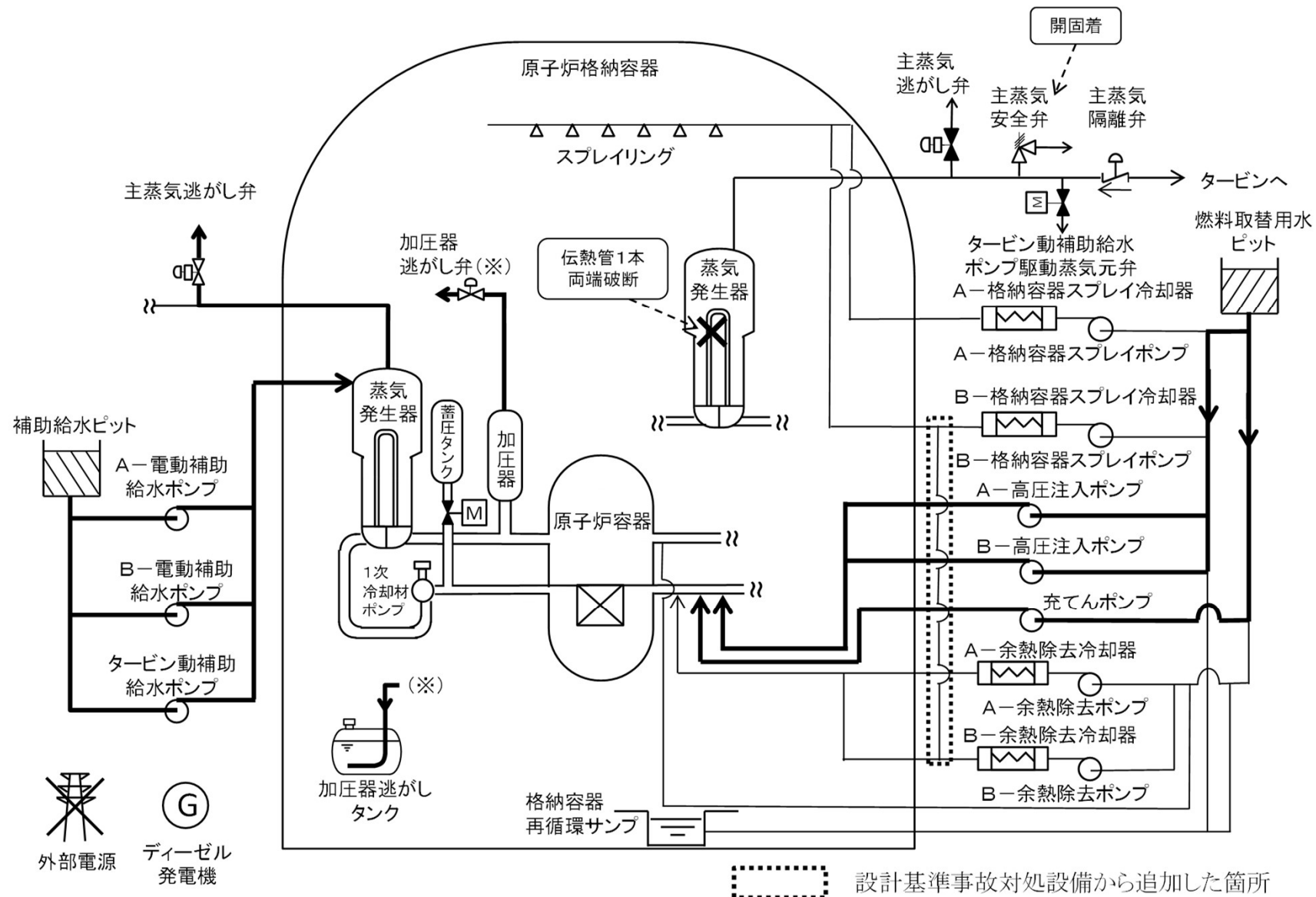
(インターフェイスシステムLOCA) (健全側余熱除去系による炉心冷却) [7.1.8-59]

大飯3 / 4号炉
と対策は同様



(蒸気発生器伝熱管破損時に破損側蒸気発生器の隔離に失敗する事故)
(2次冷却系強制冷却, 1次冷却系強制減圧及び炉心注水) [7.1.8-60]

大飯3 / 4号炉
と対策は同様



大飯3 / 4号炉と
条件設定の考え方は同様

表 主要解析条件 (1 / 3) [7.1.8-53]
(インターフェイスシステムLOCA)

項目	主要解析条件		条件設定の考え方	
解析コード	M-RELAP5		本重要事故シーケンスの重要現象である炉心における沸騰・ボイド率変化、気液分離・対向流等を適切に評価することが可能であるコード。	
初期条件	炉心熱出力 (初期)	100% (2,652MWt) × 1.02	評価結果を厳しくするように、定常誤差を考慮した上限値として設定。 炉心熱出力が大きいと崩壊熱が大きくなり、1次冷却材の蒸発量及び燃料被覆管温度評価の観点から厳しい設定。	
	1次冷却材圧力 (初期)	15.41 + 0.21MPa [gage]	評価結果を厳しくするように、定常誤差を考慮した上限値として設定。 1次冷却材圧力が高いと2次冷却系強制冷却による1次冷却系の減温、減圧が遅くなり、非常用炉心冷却設備注水のタイミングが遅くなることに伴い、比較的低温の冷却材が注水されるタイミングも遅くなることから厳しい設定。	
	1次冷却材平均温度 (初期)	306.6 + 2.2°C	評価結果を厳しくするように、定常誤差を考慮した上限値として設定。 1次冷却材平均温度が高いと2次冷却系強制冷却による1次冷却系の減温、減圧が遅くなり、非常用炉心冷却設備注水のタイミングが遅くなることに伴い、比較的低温の冷却材が注水されるタイミングも遅くなることから厳しい設定。	
	炉心崩壊熱	FP：日本原子力学会推奨値 アクチニド：ORIGEN2 (サイクル末期を仮定)	17×17型燃料集合体を装荷した3ループプラントを包絡するサイクル末期炉心の保守的な値を設定。燃焼度が高いと高次のアクチニドの蓄積が多くなるため長期冷却時の崩壊熱は大きくなる。このため、燃焼度が高くなるサイクル末期時点を対象に崩壊熱を設定。また、使用する崩壊熱はウラン・プルトニウム混合酸化物燃料の装荷を考慮している。	
	蒸気発生器 2次側保有水量 (初期)	50t (1基当たり)	設計値として設定。	
事故条件	余熱除去システム入口隔離弁の誤開 又は破損		余熱除去システム入口隔離弁の誤開又は破損による余熱除去システムの圧力上昇により、余熱除去システムからの漏えいが発生するものとして設定。	
	起回事象	破断箇所	破断口径	余熱除去冷却器出口逃がし弁及び余熱除去ポンプ入口逃がし弁の2台については、実機における口径を基に設定。 余熱除去系機器等からの漏えいについては、実機での破断面積に係る評価結果を上回る値として、NUPEC報告書の値を基に設定。 また、余熱除去系機器等の破断面積の評価においては、余熱除去システムの圧力挙動の評価結果を踏まえ、配管破断は生じることではなく、余熱除去システムの低压側に静的に1次冷却系の圧力、温度相当まで加圧及び加温されるものとしている。
		原子炉格納容器外の余熱除去冷却器出口逃がし弁	約2.5cm (1インチ)	
		原子炉格納容器内の余熱除去ポンプ入口逃がし弁	約7.6cm (3インチ)	
		原子炉格納容器外の余熱除去系機器等	約2.9cm (1.15インチ)	
安全機能の喪失 に対する仮定	余熱除去系入口隔離弁の誤開又は破損が発生した側の余熱除去機能喪失		余熱除去系入口隔離弁の誤開又は破損が発生した側の余熱除去系が機能喪失するものとして設定。	
外部電源	外部電源なし		外部電源がない場合、常用系機器の機能喪失及び工学的安全施設の作動遅れの観点で炉心冷却上厳しい設定。	

大飯3 / 4号炉と
条件設定の考え方は同様

表 主要解析条件 (2 / 3) [7.1.8-54]
(インターフェイスシステムLOCA)

項目	主要解析条件	条件設定の考え方	
重大事故等対策に関連する機器条件	原子炉トリップ信号	原子炉圧力低 (12.73MPa[gage]) (応答時間2.0秒)	トリップ設定値に計器誤差を考慮した低い値として、トリップ限界値を設定。検出遅れ、信号発信遅れ時間等を考慮して応答時間を設定。
	非常用炉心冷却設備作動信号	原子炉圧力異常低 (11.36MPa[gage]) (応答時間2.0秒)	非常用炉心冷却設備作動設定値に計器誤差を考慮した低い値として、非常用炉心冷却設備作動限界値を設定。検出遅れ、信号発信遅れ時間を考慮して、応答時間を設定。
	高圧注入ポンプ	最大注入特性 (2台) (高圧注入特性: 0 m ³ /h ~ 約350 m ³ /h, 0 MPa[gage] ~ 約15.7 MPa[gage])	設計値に注入配管の流路抵抗等を考慮した最大注入特性を設定。 原子炉冷却材圧力バウンダリ外への1次冷却材の漏えい量が多く推移するため、設備環境等に与える影響の観点から厳しい設定。
	補助給水ポンプ	非常用炉心冷却設備作動限界値到達から 60秒後に注水開始	補助給水ポンプの作動時間は、信号遅れとポンプの定速達成時間に余裕を考慮して設定。
		150 m ³ /h (蒸気発生器3基合計)	電動補助給水ポンプ2台及びタービン動補助給水ポンプ1台の補助給水全台運転時(ポンプ容量は設計値(ミニフロー流量除く)を想定)に3基の蒸気発生器へ注水される場合の注水流量から設定。
	蓄圧タンク保持圧力	4.04 MPa[gage] (最低保持圧力)	炉心への注水のタイミングを遅くする最低の圧力として設定。
	蓄圧タンク保有水量	29.0 m ³ (1基当たり) (最小保有水量)	最小の保有水量を設定。
	主蒸気逃がし弁容量	定格主蒸気流量 (ループ当たり)の10% (1個当たり)	定格運転時において、設計値として各ループに設置している主蒸気逃がし弁1個当たり定格主蒸気流量(ループ当たり)の10%を処理できる流量として設定。
余熱除去系逃がし弁吹止まり圧力	余熱除去冷却器出口逃がし弁及び 余熱除去ポンプ入口逃がし弁の設計値	余熱除去系逃がし弁は設計値にて閉止するものとして設定。	

大飯3 / 4号炉と
条件設定の考え方は同様

表 主要解析条件 (3 / 3) [7.1.8-55]
(インターフェイスシステムLOCA)

項目	主要解析条件	条件設定の考え方	
重大事故等対策に関連する操作条件	2次冷却系 強制冷却開始	非常用炉心冷却設備作動信号 発信から25分後	運転員等操作時間として、事象判断に10分、非常用炉心冷却設備作動信号のリセット操作、余熱除去ポンプ停止操作、余熱除去系統の中央制御室からの隔離操作等に14分、主蒸気逃がし弁開操作に1分を想定し、必要な時間を積み上げて設定。
	補助給水流量の調整	蒸気発生器狭域水位内	運転員等操作として、蒸気発生器狭域水位内に維持するように設定。
	加圧器逃がし弁の 開閉操作	加圧器逃がし弁の開閉操作に係る 条件成立後	運転員等操作として、加圧器逃がし弁の開閉操作に係る条件が成立すれば適宜開閉するよう設定。
	高圧注入から 充てん注入への 切替操作	非常用炉心冷却設備停止条件 成立から4分後	運転員等操作時間として、蓄圧タンク隔離に2分、高圧注入ポンプの停止に1分、充てんポンプの起動に1分を想定して設定。
	充てん流量の調整	加圧器水位計測範囲内	運転員等操作として、加圧器水位計測範囲内を維持するように設定。

大飯3 / 4号炉と
条件設定の考え方は同様

表 主要解析条件 (1 / 3) [7.1.8-56]
(蒸気発生器伝熱管破損時に破損側蒸気発生器の隔離に失敗する事故)

項目	主要解析条件	条件設定の考え方	
解析コード	M-RELAP5	本重要事故シーケンスの重要現象である炉心における沸騰・ボイド率変化, 気液分離・対向流等を適切に評価することが可能であるコード。	
初期条件	炉心熱出力 (初期)	100% (2,652MWt) × 1.02	評価結果を厳しくするように, 定常誤差を考慮した上限値として設定。 炉心熱出力が大きいと崩壊熱が大きくなり, 1次冷却材の蒸発量及び燃料被覆管温度評価の観点から厳しい設定。
	1次冷却材圧力 (初期)	15.41 + 0.21MPa [gage]	評価結果を厳しくするように, 定常誤差を考慮した上限値として設定。 1次冷却材圧力が高いと2次冷却系強制冷却による1次冷却系の減温, 減圧が遅くなり, 非常用炉心冷却設備注水のタイミングが遅くなることに伴い, 比較的低温の冷却材が注水されるタイミングも遅くなることから厳しい設定。
	1次冷却材平均温度 (初期)	306.6 + 2.2°C	評価結果を厳しくするように, 定常誤差を考慮した上限値として設定。 1次冷却材平均温度が高いと2次冷却系強制冷却による1次冷却系の減温, 減圧が遅くなり, 非常用炉心冷却設備注水のタイミングが遅くなることに伴い, 比較的低温の冷却材が注水されるタイミングも遅くなることから厳しい設定。
	炉心崩壊熱	FP: 日本原子力学会推奨値 アクチニド: ORIGEN2 (サイクル末期を仮定)	17×17型燃料集合体を装荷した3ループプラントを包絡するサイクル末期炉心の保守的な値を設定。燃焼度が高いと高次のアクチニドの蓄積が多くなるため長期冷却時の崩壊熱は大きくなる。このため, 燃焼度が高くなるサイクル末期時点を対象に崩壊熱を設定。また, 使用する崩壊熱はウラン・プルトニウム混合酸化物燃料の装荷を考慮している。
	蒸気発生器 2次側保有水量 (初期)	50t (1基当たり)	設計値として設定。
事故条件	起回事象	1基の蒸気発生器の 伝熱管1本の両端破断	起回事象として, 1基の蒸気発生器の伝熱管1本が瞬時に両端破断するものとして設定。
	安全機能の喪失 に対する仮定	主蒸気安全弁1個の開固着	破損側蒸気発生器隔離失敗の想定として, 原子炉トリップ後に主蒸気逃がし弁が動作した時点で, 破損側蒸気発生器につながる主蒸気安全弁1個が開固着するものとして設定。
	外部電源	外部電源なし	外部電源がない場合, 常用系機器の機能喪失及び工学的安全施設の作動遅れの観点で炉心冷却上厳しい設定。

大飯3 / 4号炉と
条件設定の考え方は同様

表 主要解析条件 (2 / 3) [7.1.8-57]
(蒸気発生器伝熱管破損時に破損側蒸気発生器の隔離に失敗する事故)

項目	主要解析条件	条件設定の考え方	
重大事故等対策に関連する機器条件	原子炉トリップ信号	原子炉圧力低 (12.73MPa[gage]) (応答時間2.0秒) あるいは 過大温度 ΔT 高 (1次冷却材温度等の関数) (応答時間6.0秒)	トリップ設定値に計器誤差を考慮した低めの値として、解析に用いるトリップ限界値を設定。検出遅れや信号発信遅れ時間等を考慮した遅めの値として、応答時間を設定。
	非常用炉心冷却設備作動信号	原子炉圧力低と加圧器水位低の一致 (12.04MPa[gage], 水位検出器下端) (応答時間2.0秒)	非常用炉心冷却設備作動設定値に計器誤差を考慮した低めの値として、解析に用いる非常用炉心冷却設備作動限界値を設定。検出遅れや信号発信遅れ時間を考慮した遅めの値として、応答時間を設定。
	高圧注入ポンプ	最大注入特性 (2台) (高圧注入特性: 0 m ³ /h ~ 約350m ³ /h, 0 MPa[gage] ~ 約15.7MPa[gage])	設計値に注入配管の流路抵抗等を考慮した最大注入特性を設定。 原子炉冷却材圧力バウンダリ外への1次冷却材の漏えい量が多く推移するため、設備環境等に与える影響の観点から厳しい設定。
	補助給水ポンプ	非常用炉心冷却設備作動限界値到達から 60秒後に注水開始	補助給水ポンプの作動時間は、信号遅れとポンプの定速達成時間に余裕を考慮して設定。
		150m ³ /h (蒸気発生器3基合計)	電動補助給水ポンプ2台及びタービン動補助給水ポンプ1台の補助給水全台運転時(ポンプ容量は設計値(ミニフロー流量除く)を想定)に3基の蒸気発生器へ注水される場合の注水流量から設定。
主蒸気逃がし弁容量	定格主蒸気流量(ループ当たり)の10% (1個当たり)	定格運転時において、設計値として各ループに設置している主蒸気逃がし弁1個当たり定格主蒸気流量(ループ当たり)の10%を処理できる流量として設定。	

大飯3 / 4号炉と
条件設定の考え方は同様

表 主要解析条件 (3 / 3) [7.1.8-58]
(蒸気発生器伝熱管破損時に破損側蒸気発生器の隔離に失敗する事故)

項目	主要解析条件	条件設定の考え方	
重大事故等対策に関連する操作条件	①破損側蒸気発生器への補助給水停止 ②破損側蒸気発生器につながる ・タービン動補助給水ポンプ駆動 蒸気元弁閉操作 ・主蒸気隔離弁閉操作	原子炉トリップ後10分で開始し、約2分で完了	運転員等操作時間として、事象発生を検知・判断に10分、①及び②の操作に約2分を想定し、必要な時間を積み上げて設定。
	健全側蒸気発生器につながる 主蒸気逃がし弁開操作	破損側蒸気発生器隔離操作完了後1分で開始	運転員等操作時間として、破損側蒸気発生器隔離操作完了後、主蒸気逃がし弁の中央開操作に1分を想定し、必要な時間を積み上げて設定。
	補助給水流量の調整	蒸気発生器狭域水位内	運転員等操作として、蒸気発生器狭域水位内に維持するように設定。
	加圧器逃がし弁の開閉操作	加圧器逃がし弁の開閉操作に係る条件成立後	運転員等操作として、加圧器逃がし弁の開閉操作に係る条件が成立すれば適宜開閉するよう設定。
	高圧注入から充てん注入への切替操作	非常用炉心冷却設備停止条件成立から2分後	運転員等操作時間として、高圧注入ポンプの停止に1分、充てんポンプの起動に1分を想定して設定。
	充てん流量の調整	加圧器水位計測範囲内	運転員等操作として、加圧器水位計測範囲内を維持するように設定。
	余熱除去系による炉心冷却開始	余熱除去運転条件成立後	余熱除去運転条件が成立すれば、余熱除去系による炉心冷却を開始するよう設定。

(インターフェイスシステムLOCA)

燃料被覆管最高温度 (1,200°C)

大飯3 / 4号炉
と評価結果は同様

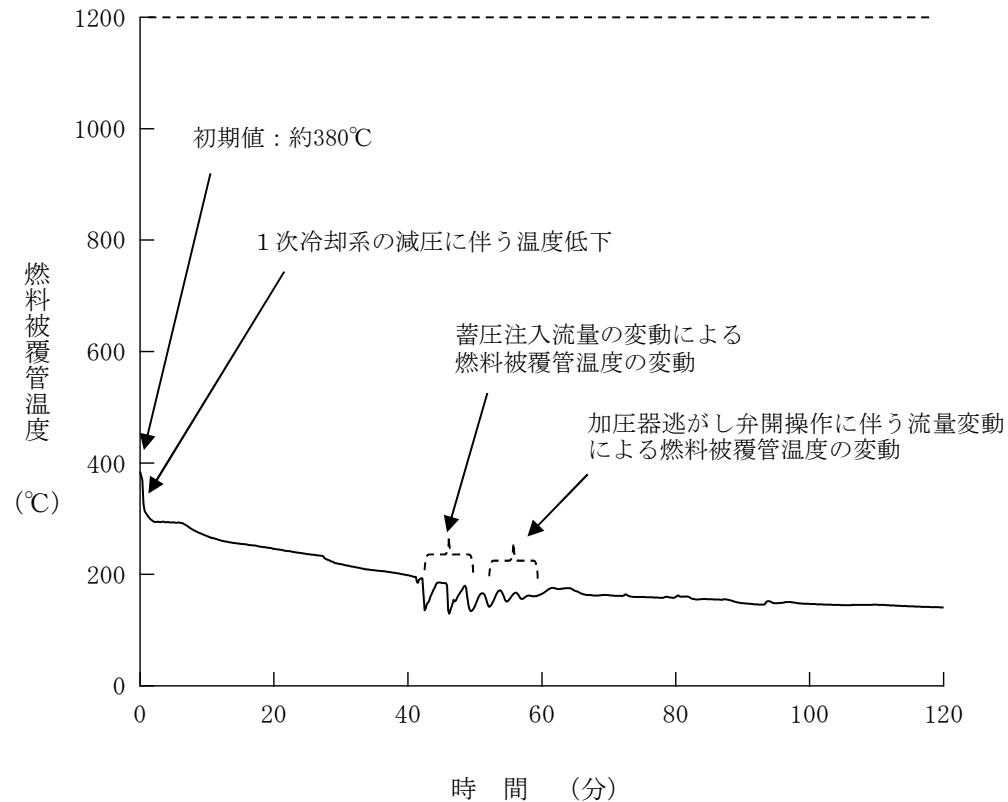


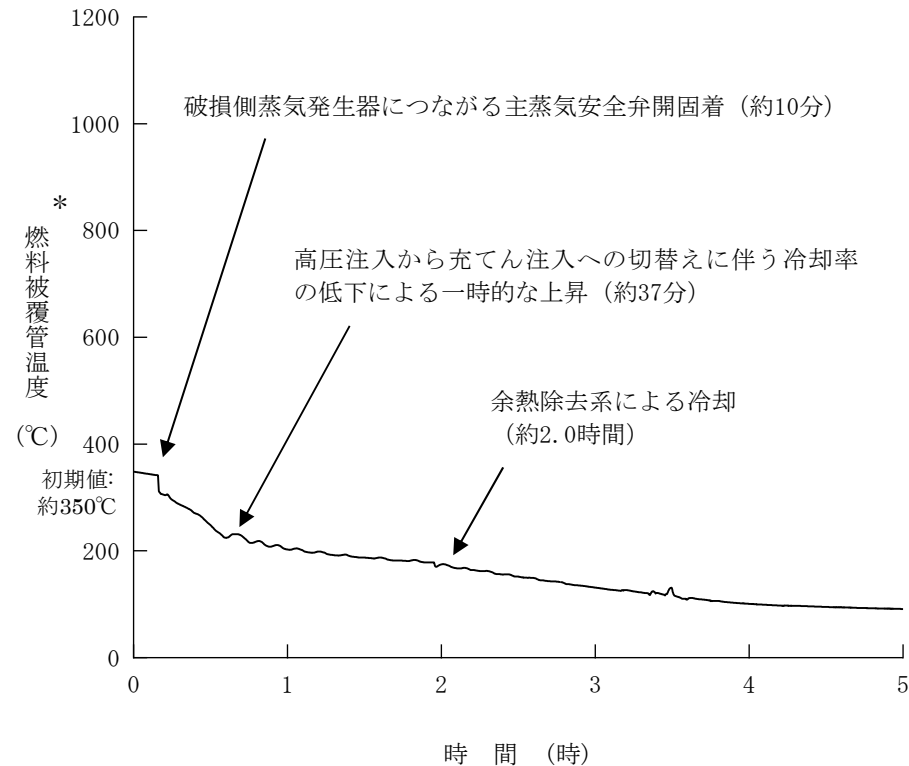
図 燃料被覆管温度の推移 [7.1.8-74]

■ 評価項目 [7.1.8-21]

燃料被覆管の最高温度は、炉心は冠水状態にあることから初期値（約380°C）を上回ることなく、1,200°C以下となる。また、燃料被覆管の酸化量は酸化反応が著しくなる前の燃料被覆管厚さの1%以下であり、15%以下となる。

(蒸気発生器伝熱管破損時に破損側蒸気発生器の隔離に失敗する事故)

大飯3 / 4号炉
と評価結果は同様



* : 燃料被覆管温度は、炉心部ノード単位の燃料被覆管温度最高点の温度を示す。

図 燃料被覆管温度の推移 [7.1.8-80]

■ 評価項目 [7.1.8-24]

燃料被覆管の最高温度は、炉心は冠水状態にあることから初期値 (約350°C) を上回ることなく、1,200°C以下となる。また、燃料被覆管の酸化量は酸化反応が著しくなる前の燃料被覆管厚さの1%以下であり、15%以下となる。

大飯3 / 4号炉
と評価結果は同様

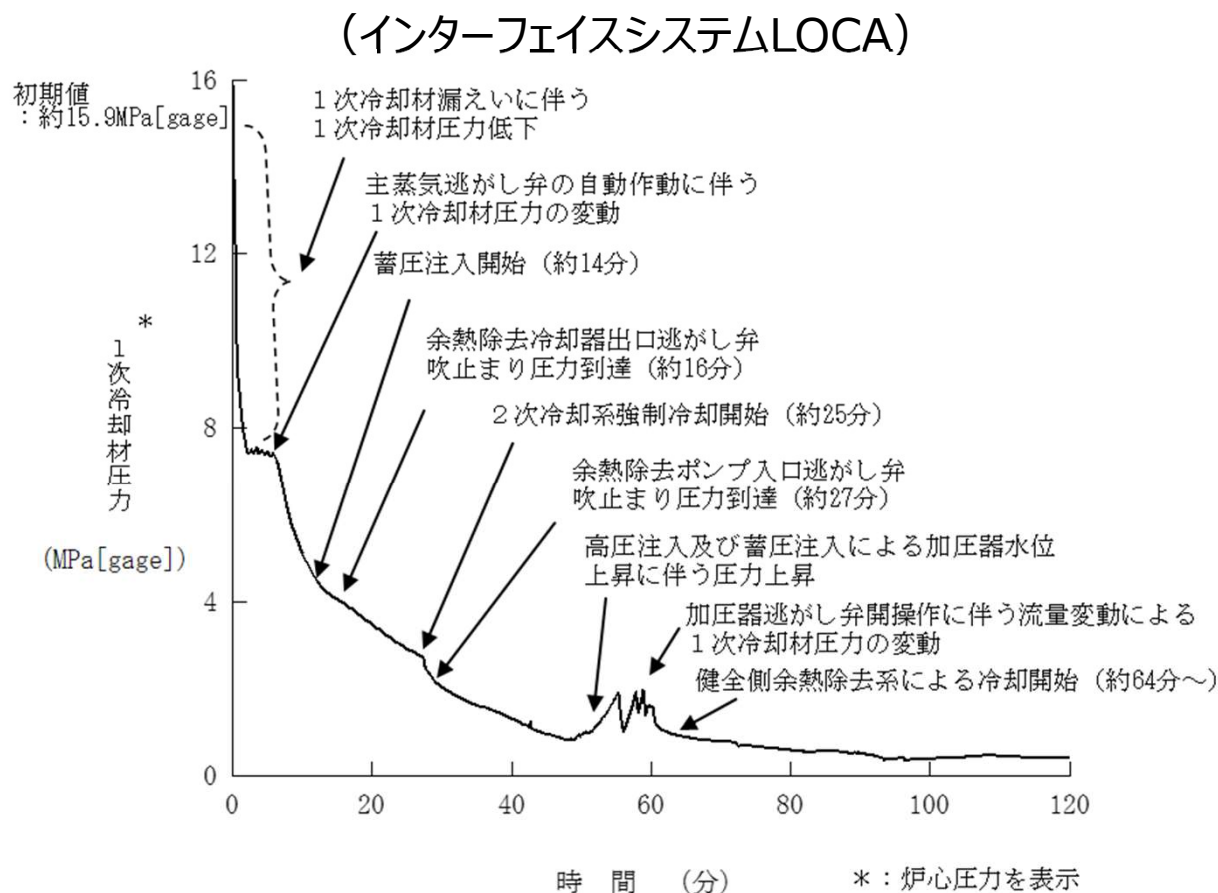


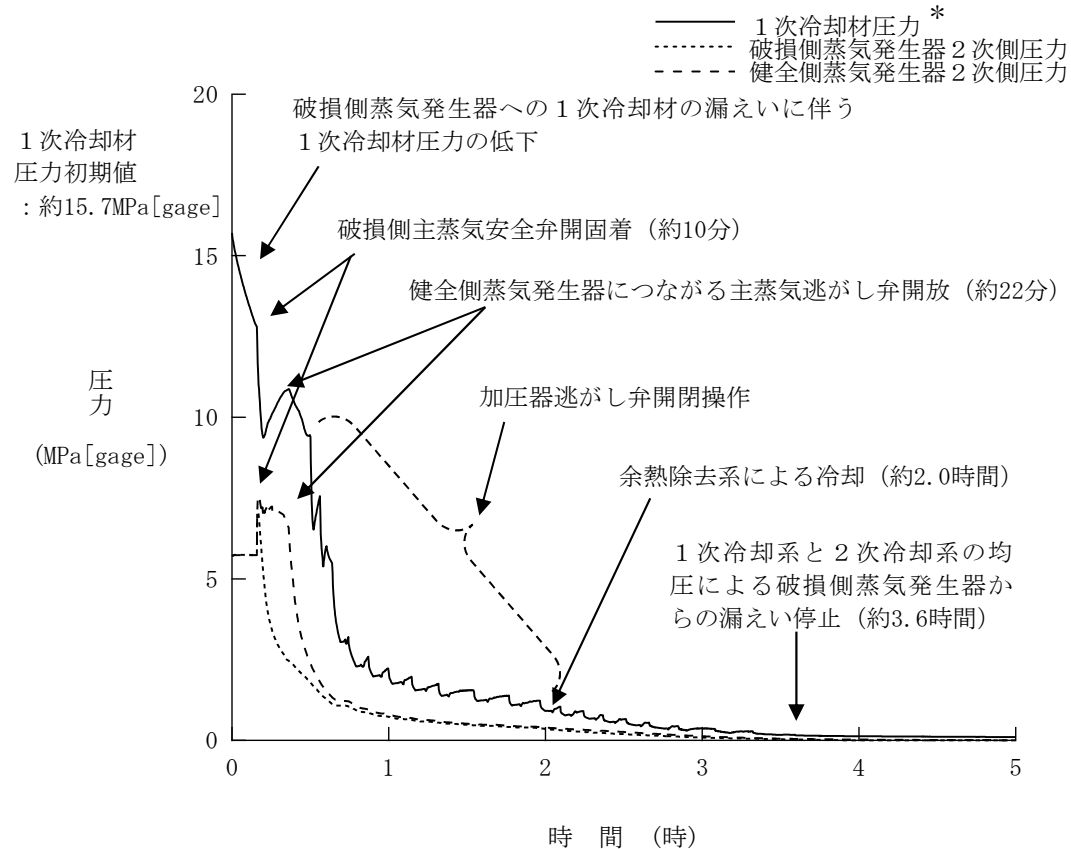
図 1次冷却材圧力の推移 [7.1.8-69]

■ 評価項目 [7.1.8-21]

1次冷却材圧力は第7.1.8.9図に示すとおり、初期値 (約15.9MPa[gage]) 以下となる。このため、原子炉冷却材圧力バウンダリにかかる圧力は1次冷却材圧力と1次冷却材ポンプ吐出部との差 (高々約0.3MPa) を考慮しても、約16.2MPa[gage]以下であり、最高使用圧力の1.2倍 (20.592MPa[gage]) を十分下回る。

（蒸気発生器伝熱管破損時に破損側蒸気発生器の隔離に失敗する事故）

大飯3 / 4号炉
と評価結果は同様



* : 加圧器サージ管接続部の圧力を表示

図 1次冷却材圧力の推移 [7.1.8-76]

■ 評価項目 [7.1.8-24,25]

1次冷却材圧力は、初期値（約15.7MPa[gage]）以下となる。このため、原子炉冷却材圧力バウンダリにかかる圧力は、1次冷却材圧力と1次冷却材ポンプ吐出部との差（高々約0.5MPa）を考慮しても、約16.2MPa[gage]以下であり、最高使用圧力の1.2倍（20.592MPa[gage]）を十分下回る。

評価結果③④ (CVバウンダリにかかる圧力及び温度)

27

大飯3 / 4号炉
と評価結果は同様

(インターフェイスシステムLOCA)

■ 評価項目 [7.1.8-21,22]

原子炉格納容器内の余熱除去ポンプ入口逃がし弁の動作により、加圧器逃がしタンクから原子炉格納容器内に漏えいした1次冷却材による原子炉格納容器圧力及び温度の上昇はわずかである。なお、原子炉格納容器スプレイ設備の作動に至った場合、原子炉格納容器スプレイ設備の性能は、原子炉設置許可申請書添付書類十「3.5.1原子炉冷却材喪失」における1次冷却材管の完全両端破断を仮定した解析で評価しており、この場合でも原子炉格納容器バウンダリにかかる圧力及び温度の最高値はそれぞれ約0.241MPa[gage]及び約124℃にとどまる。このため、本事象においても原子炉格納容器バウンダリにかかる圧力及び温度は、原子炉格納容器最高使用圧力(0.283MPa[gage])及び最高使用温度(132℃)を下回る。

(蒸気発生器伝熱管破損時に破損側蒸気発生器の隔離に失敗する事故)

■ 評価項目 [7.1.8-25]

加圧器逃がし弁の開閉操作により、加圧器逃がしタンクから原子炉格納容器内に漏えいした1次冷却材による原子炉格納容器圧力及び温度の上昇はわずかである。なお、原子炉格納容器スプレイ設備の作動に至った場合、原子炉格納容器スプレイ設備の性能は、原子炉設置許可申請書添付書類十「3.5.1原子炉冷却材喪失」における1次冷却材管の完全両端破断を仮定した解析で評価しており、この場合でも原子炉格納容器バウンダリにかかる圧力及び温度の最高値はそれぞれ約0.241MPa[gage]、約124℃にとどまる。このため、本事象においても原子炉格納容器バウンダリにかかる圧力及び温度は、原子炉格納容器最高使用圧力(0.283MPa[gage])及び最高使用温度(132℃)を下回る。