

泊発電所3号炉審査資料	
資料番号	資料1-1
提出年月日	令和4年10月6日

泊発電所3号炉 重大事故等対策の有効性評価

「2次冷却系からの除熱機能喪失」

本資料の位置付け

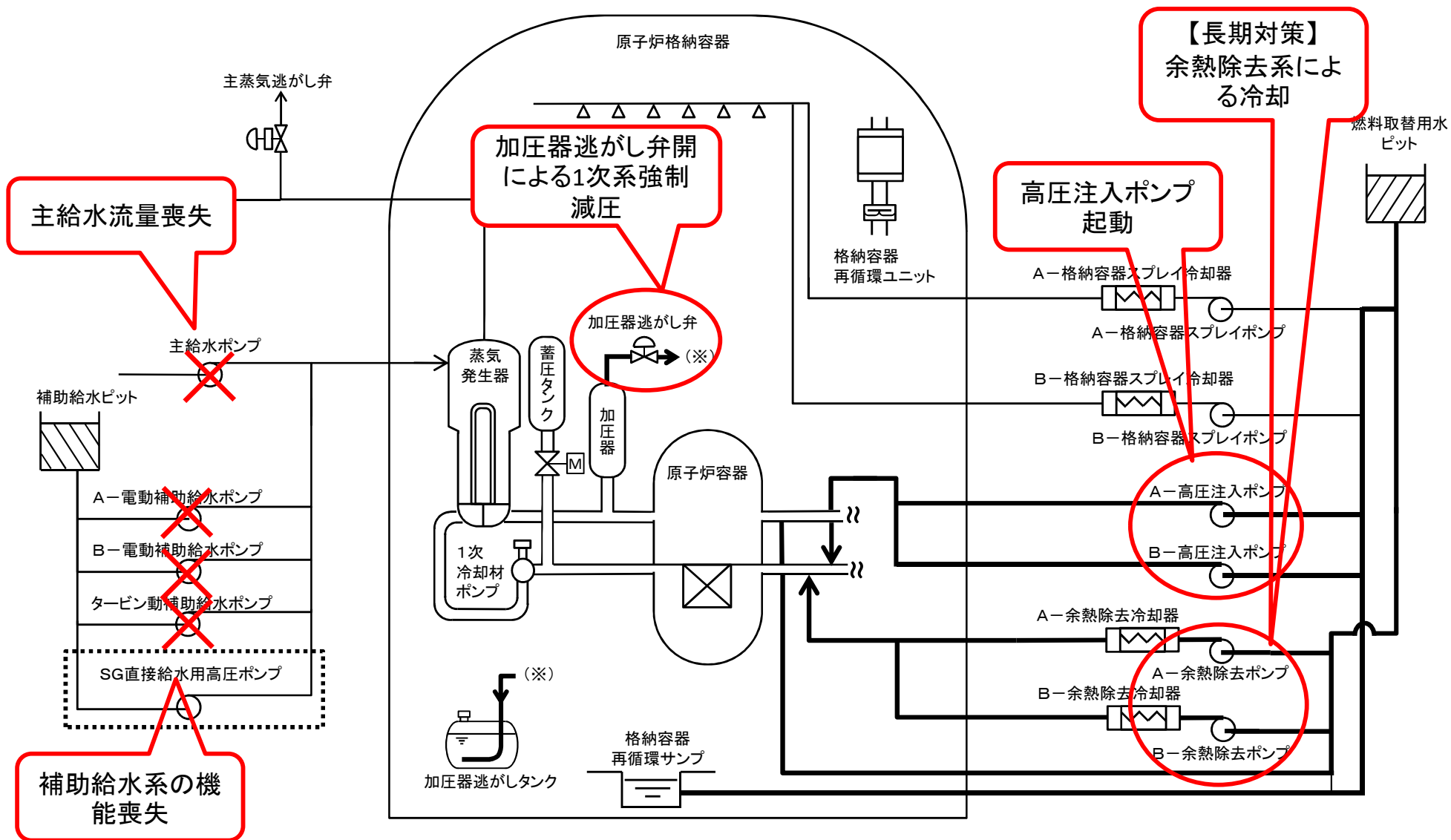
- ・ まとめ資料より、ヒアリングにて口頭でご説明申し上げる箇所を抜粋したものの。
- ・ 本資料中の[〇〇]は、当該記載の抜粋元として、まとめ資料のページ番号「7.1.1-〇〇」を示している。

令和4年10月6日
北海道電力株式会社

事故シーケンスグループの概要

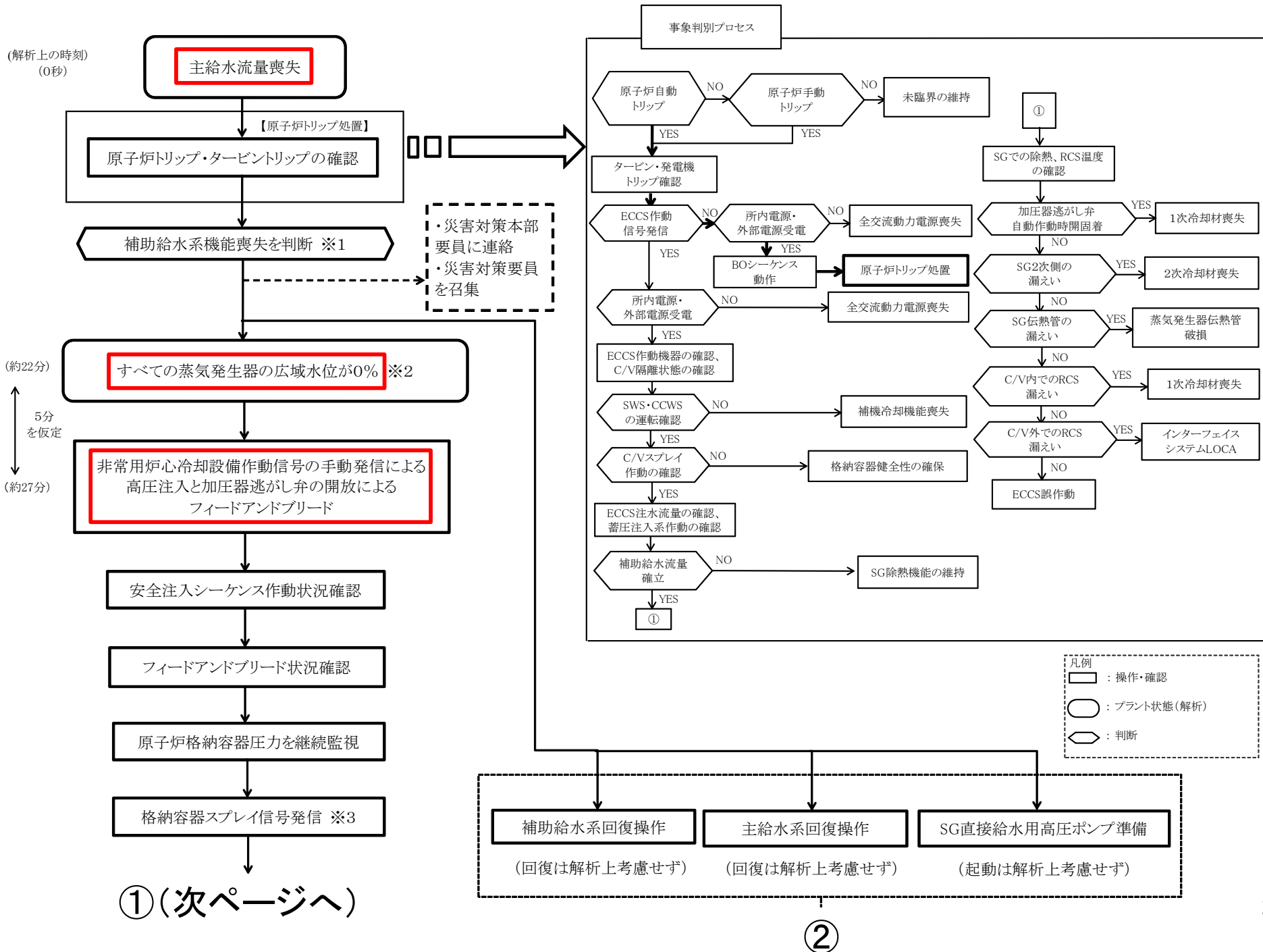
特徴及び炉心損傷防止対策 [1, 2]	重要事故シーケンス [6]	結 論 [20~22]
<p>原子炉の出力運転中に、主給水流量喪失等が発生するとともに、補助給水系機器の故障等により蒸気発生器への注水機能が喪失する。このため、蒸気発生器はドライアウトして、2次冷却系からの除熱機能が喪失することから、緩和措置がとられない場合には、1次系が高温、高圧状態となり、加圧器安全弁等からの漏えいが継続し、炉心損傷に至る。</p> <p>したがって、本事故シーケンスグループでは、1次系を強制的に減圧し、高圧での炉心注水を行うことにより炉心損傷を防止する。長期的には、最終的な熱の逃がし場へ熱の輸送を行うことによって除熱を行う。</p>	<p>主給水流量喪失時に補助給水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、運転員等操作によるフィードアンドブリードを実施することにより、炉心が露出することはない。</p> <p>その結果、燃料被覆管温度及び酸化量、原子炉冷却材圧力バウンダリにかかる圧力、原子炉格納容器バウンダリにかかる圧力及び温度は、評価項目を満足していることを確認した。また、長期的には安定停止状態を維持できる。</p>

事故シーケンスグループの概要 [27] (主給水流量喪失時に補助給水機能が喪失する事故)

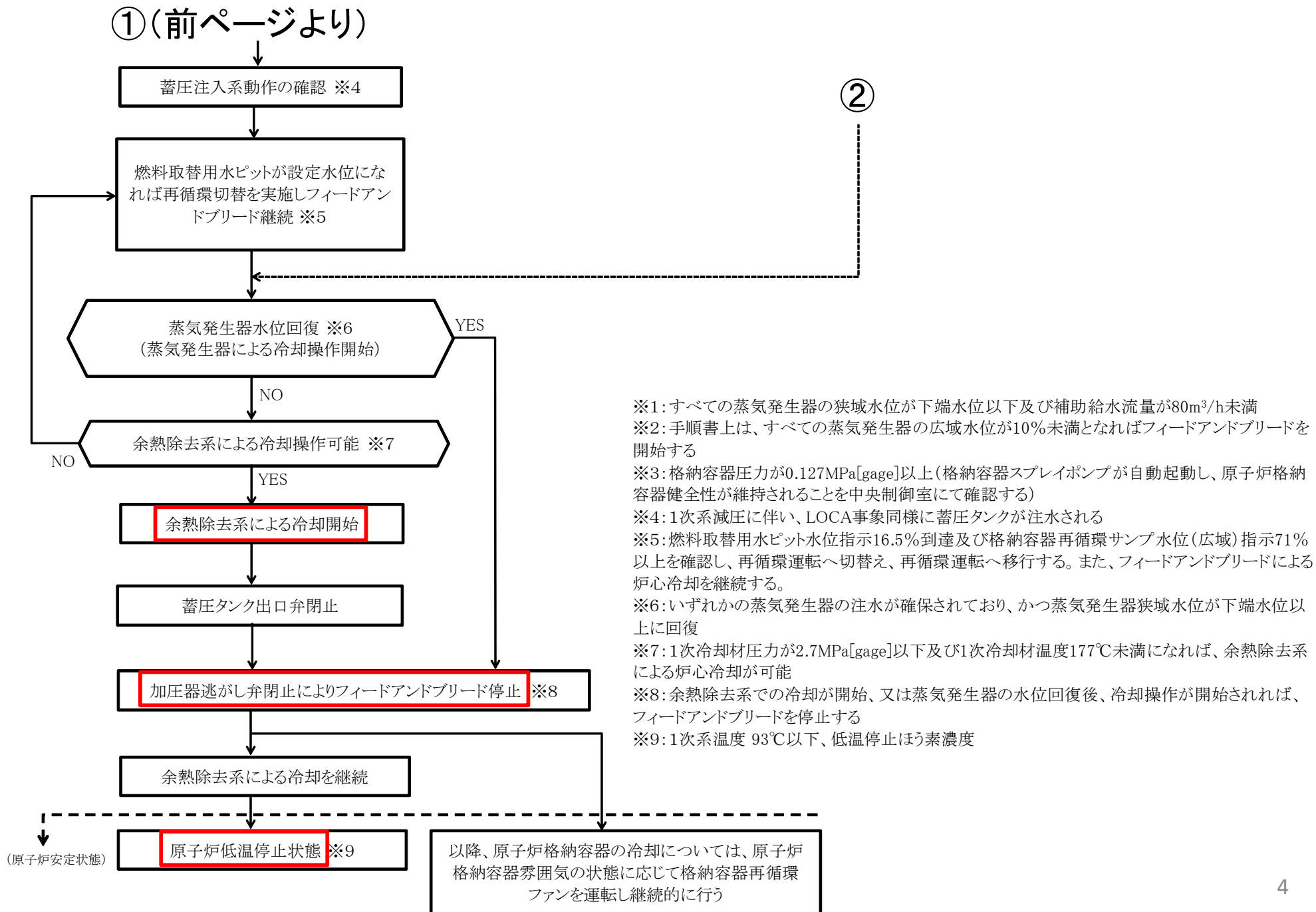


⋯⋯⋯ : 設計基準事故対処設備から追加した箇所

1. 対応手順の概要 (1 / 2) [28]



1. 対応手順の概要 (2 / 2) [28]



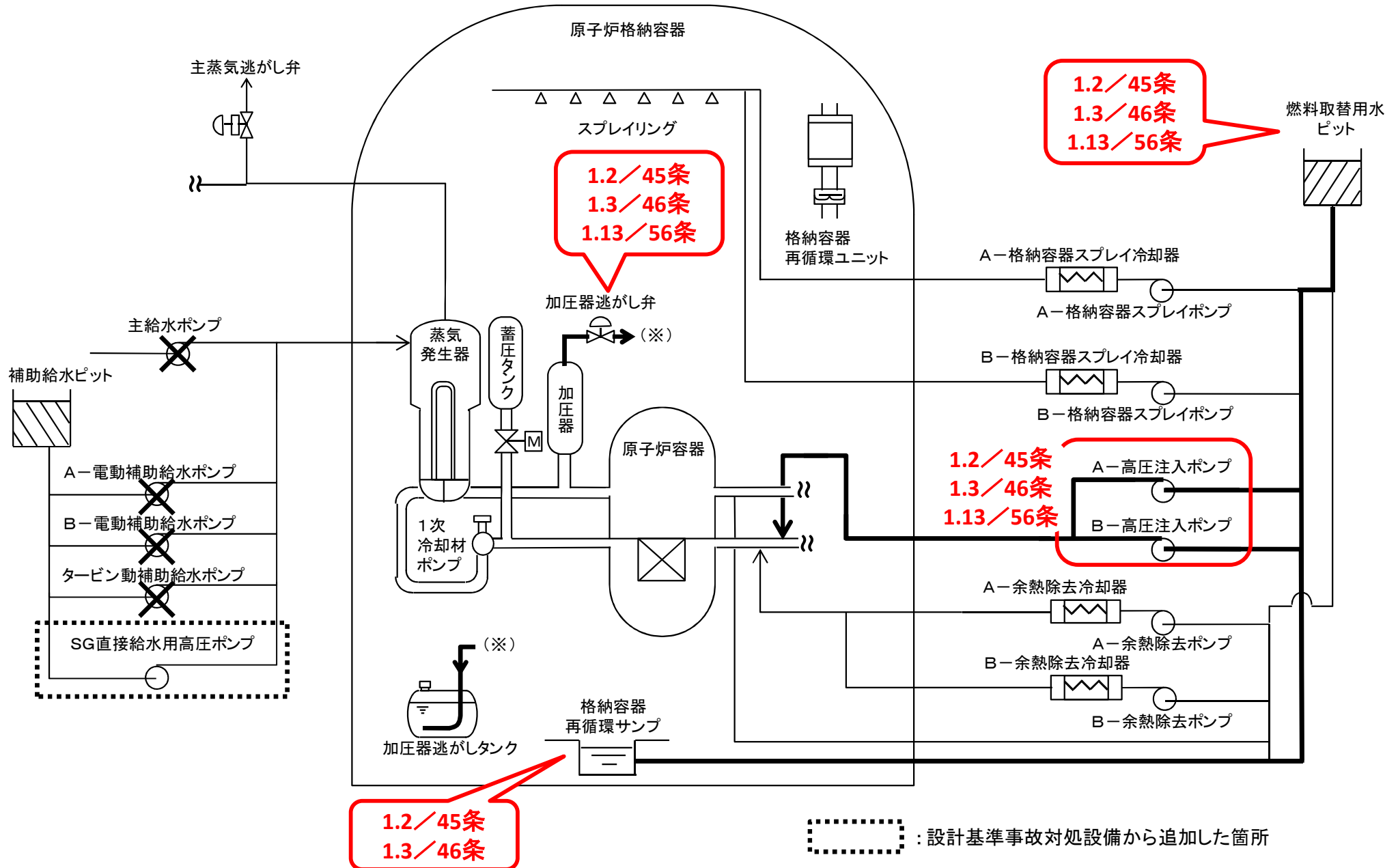
2. 主要解析条件 (1 / 2) [25]

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・ポイド率変化、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蓄圧注入のタイミングが遅くなり、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。 初期温度（1次系保有エネルギー）が高いと蓄圧注入のタイミングが遅くなり、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。
事故条件	起因事象	主給水流量喪失	主給水流量喪失が発生するものとして設定。
	安全機能の喪失 に対する仮定	補助給水系機能喪失	補助給水系の機能が喪失するものとして設定。
	外部電源	外部電源あり	外部電源があると、1次冷却材ポンプの運転が継続され、蒸気発生器1次側と2次側の熱伝達促進により蒸気発生器ドライアウトが早くなり、炉心崩壊熱が大きい状態でフィードアンドブリードを開始することから、炉心の冷却上厳しい設定。

2. 主要解析条件 (2 / 2) [26]

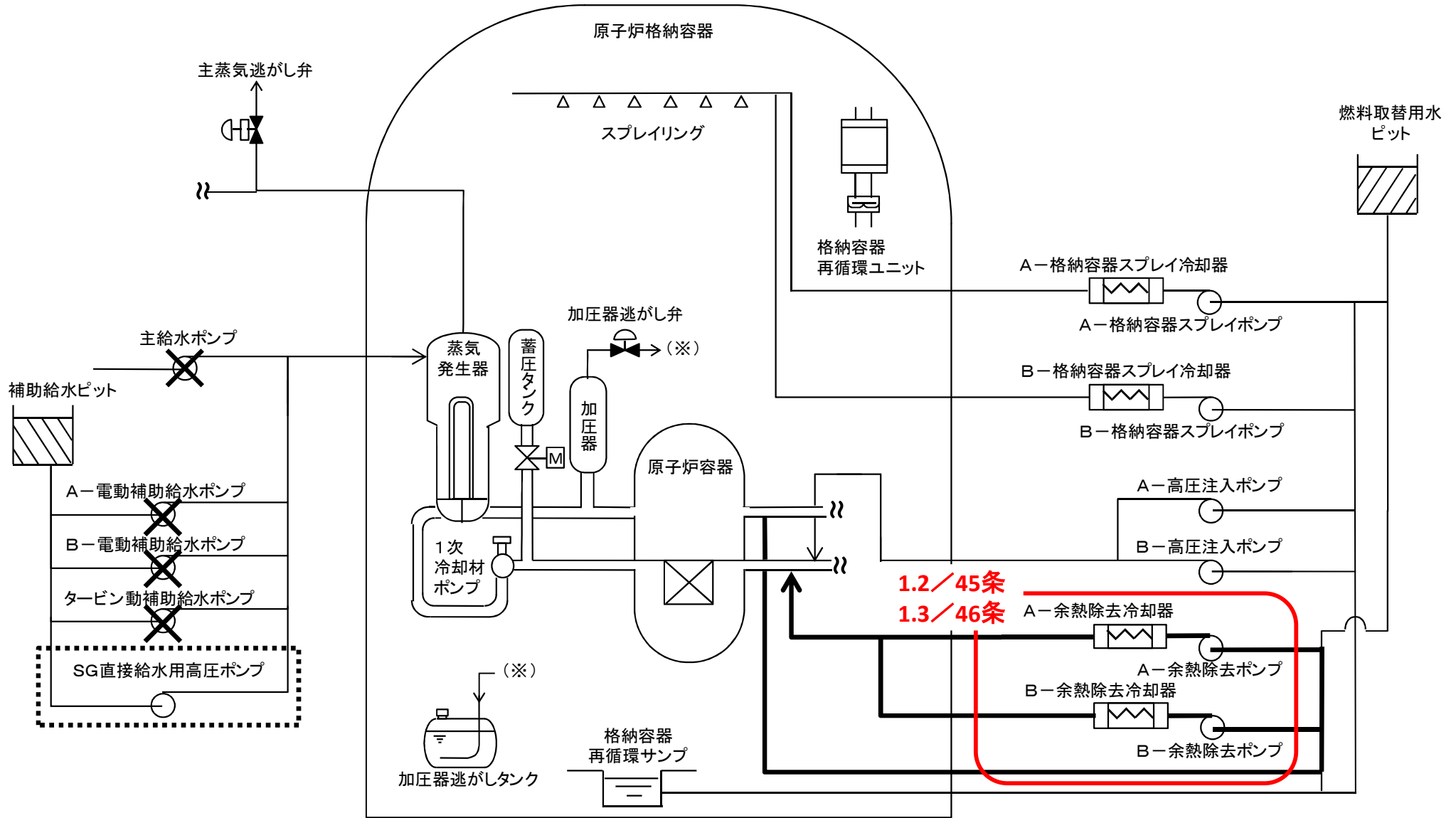
項目		主要解析条件	条件設定の考え方
関連する機器条件に 重大事故等対策に	原子炉トリップ信号	蒸気発生器水位低 (狭域水位11%) (応答時間2.0秒)	トリップ設定値に計装誤差を考慮した低い値として、解析に用いるトリップ限界値を設定。検出遅れや信号発信遅れ時間等を考慮して、応答時間を設定。
	高圧注入ポンプ	最小注入特性 (2台) (高圧注入特性： 0 m ³ /h～約230m ³ /h, 0 MPa [gage]～約13.0MPa [gage])	炉心冷却性が厳しくなる観点から、設計値に注入配管の流路抵抗等を考慮した値として、炉心への注水量が少なくなる最小注入特性を設定。
	加圧器逃がし弁	95t/h (1個当たり) (2個)	設計値として設定。
関連する操作条件に 重大事故等対策に	フィードアンドブリード 開始 (非常用炉心冷却設備作動 信号手動発信+加圧器逃が し弁手動開)	蒸気発生器水位 (広域) 0%到達から5分後	蒸気発生器がドライアウトに至る水位として設定した蒸気発生器水位 (広域) からフィードアンドブリード開始までの運転員等操作時間余裕として、蒸気発生器ドライアウト検知に対する時間余裕として2分、「非常用炉心冷却設備作動」信号手動発信及び高圧注入ポンプの起動確認として2分、加圧器逃がし弁の手動開として1分を想定しており、必要な時間を積み上げて設定。 なお、運転要領における操作開始条件として設定されている蒸気発生器水位 (広域) 10%の根拠は、広域水位計器は全て停止中に使用するため低温で校正されており、出力運転状態でドライアウトに至った時の指示に計器誤差を見込んだものとしている。

3. 重大事故等対策の概略系統図（短期対策） [添7.1.1.7-1]



※吹出し・赤枠は各SA設備と技術的能力審査基準／設置許可基準規則との関連性を示している。

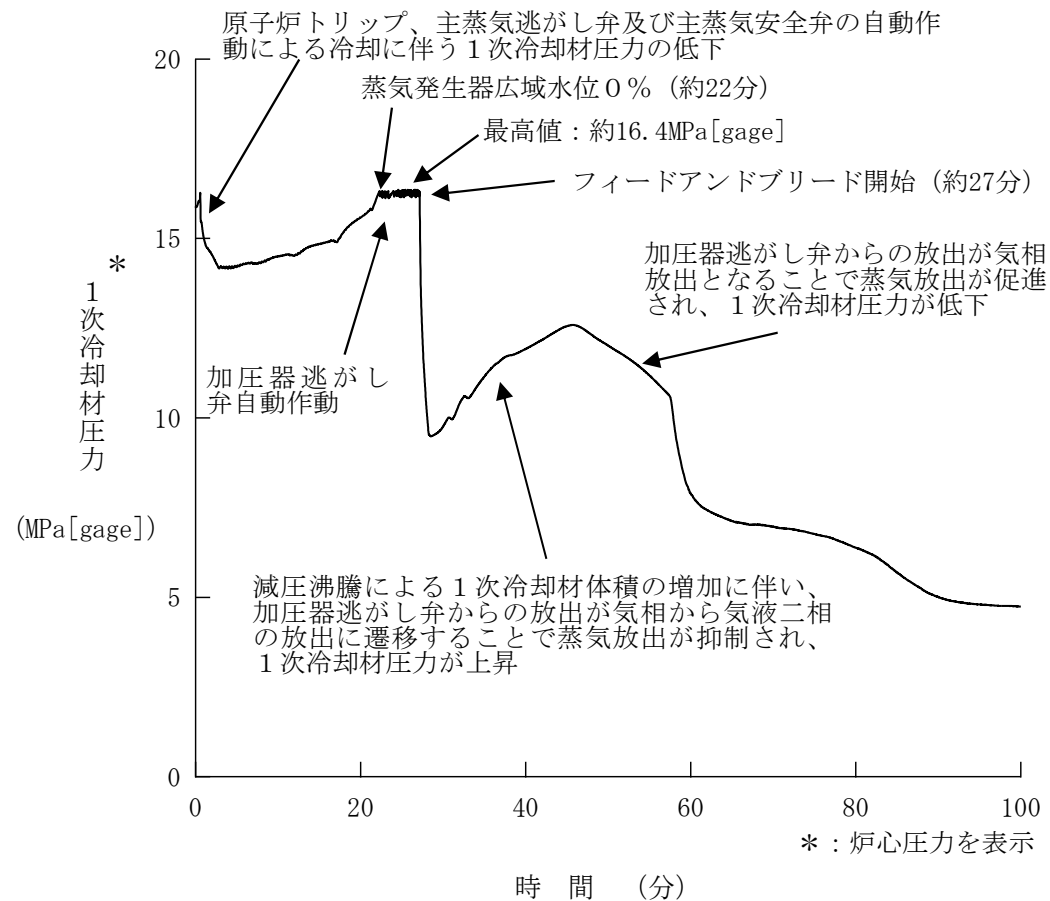
3. 重大事故等対策の概略系統図（長期対策） [添7.1.1.7-1]



⋯⋯ : 設計基準事故対処設備から追加した箇所

※赤枠は各SA設備と技術的能力審査基準／設置許可基準規則との関連性を示している。

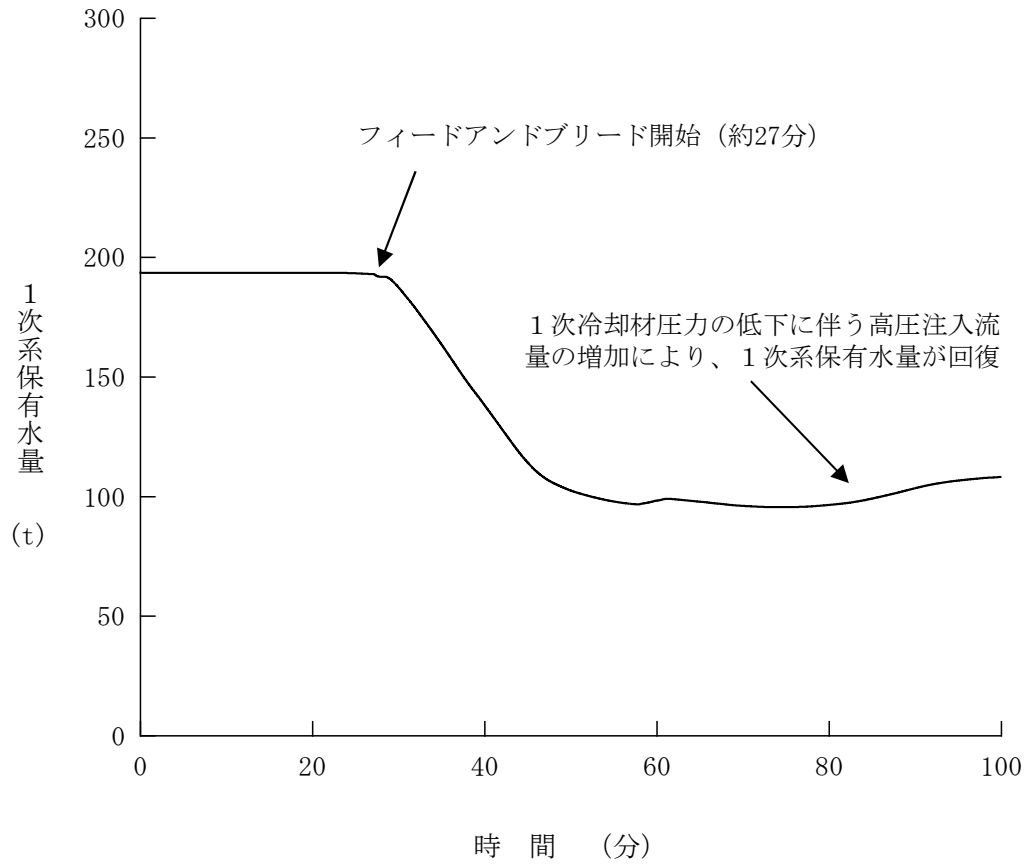
4. 主要なパラメータの解析結果(1 / 4) [30]



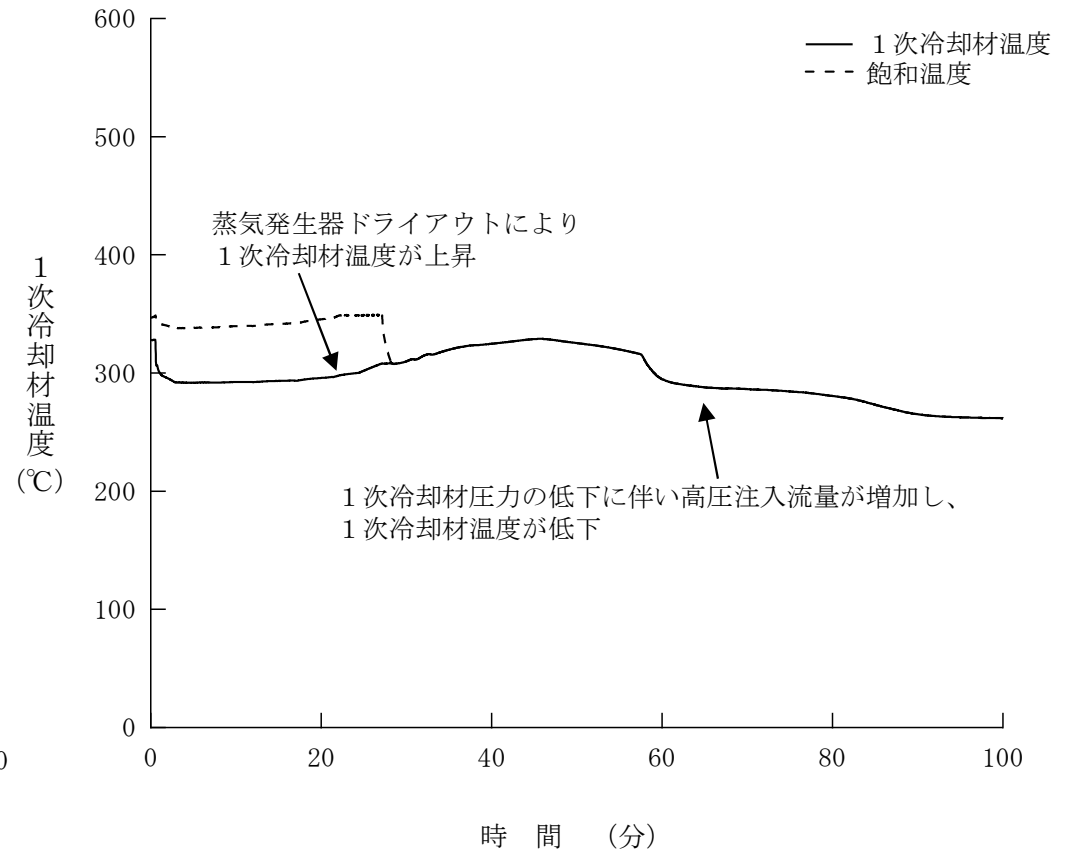
第1図 1次冷却材圧力の推移

1次冷却材圧力は、2次冷却系からの除熱機能喪失により一時的に上昇し、約16.4MPa[gage]に到達するが、フィードアンドブリードにより低下する。このため、原子炉冷却材圧力バウンダリにかかる圧力は約16.7MPa[gage]にとどまり、最高使用圧力の1.2倍(20.592MPa[gage])を下回る。

4. 主要なパラメータの解析結果(2 / 4) [32, 34]

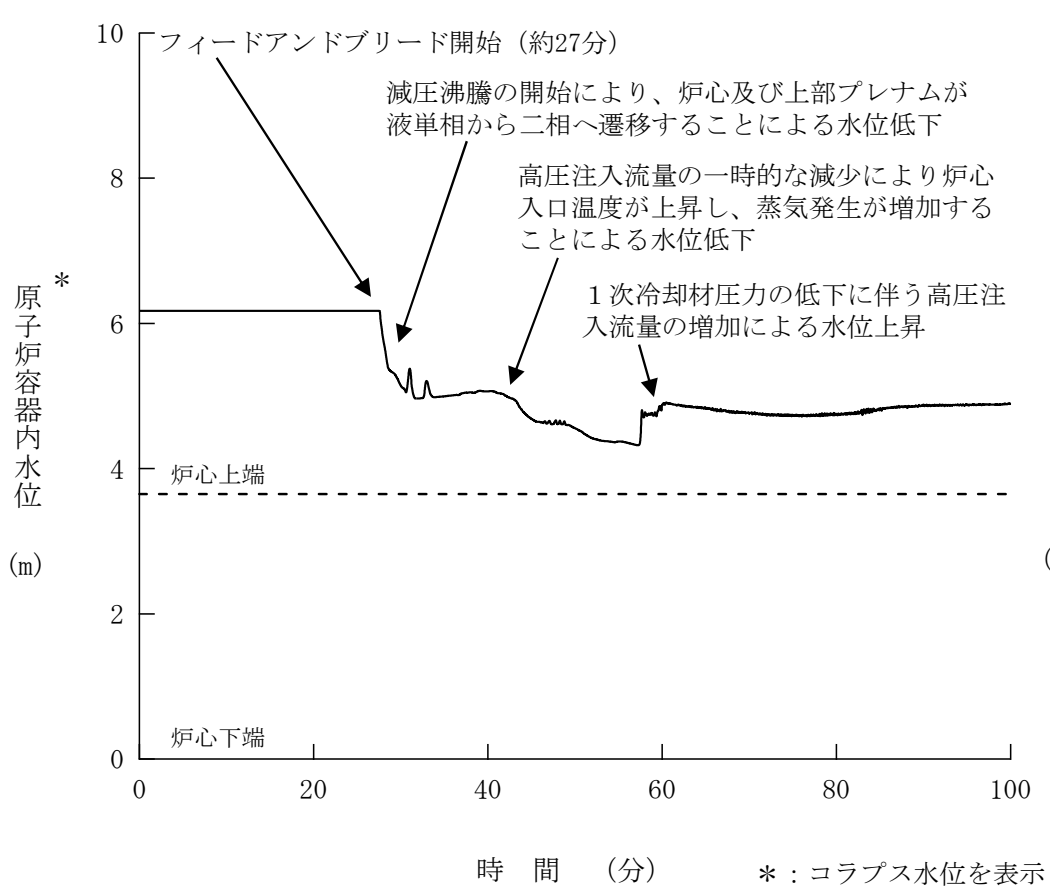


第2図 1次系保有水量の推移

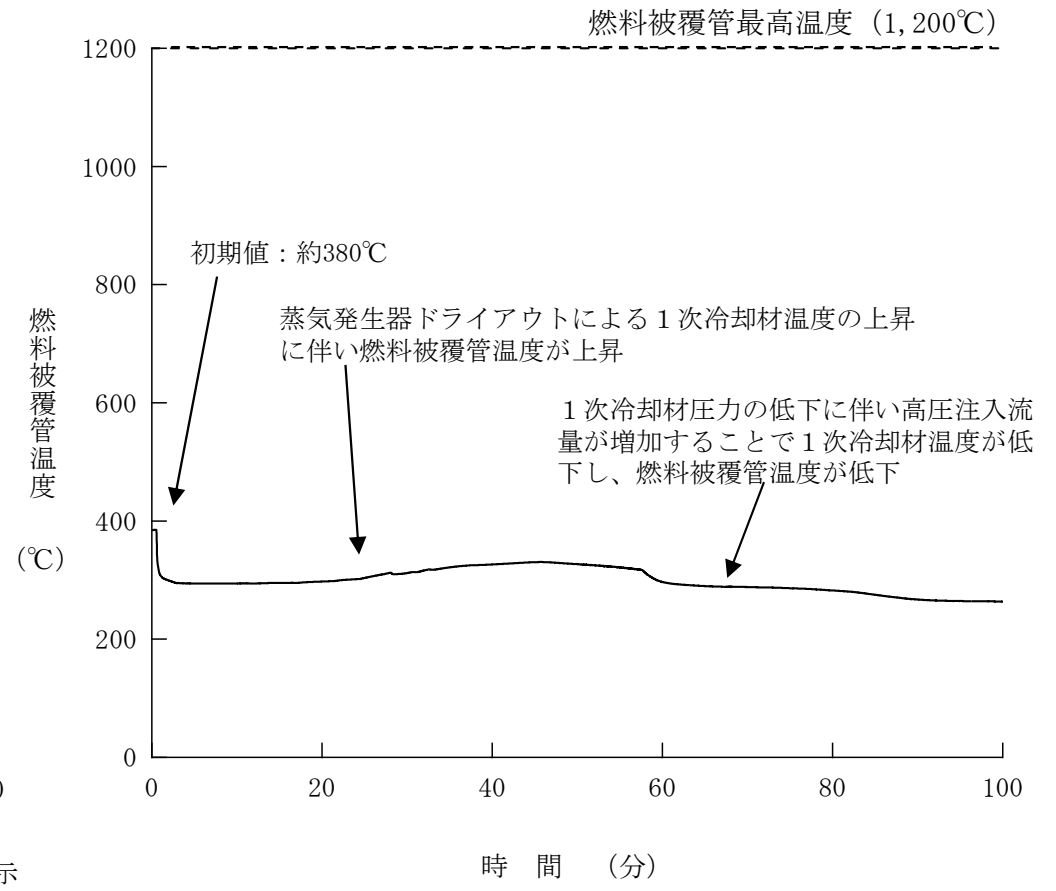


第3図 1次冷却材温度の推移

4. 主要なパラメータの解析結果 (3 / 4) [32, 34]



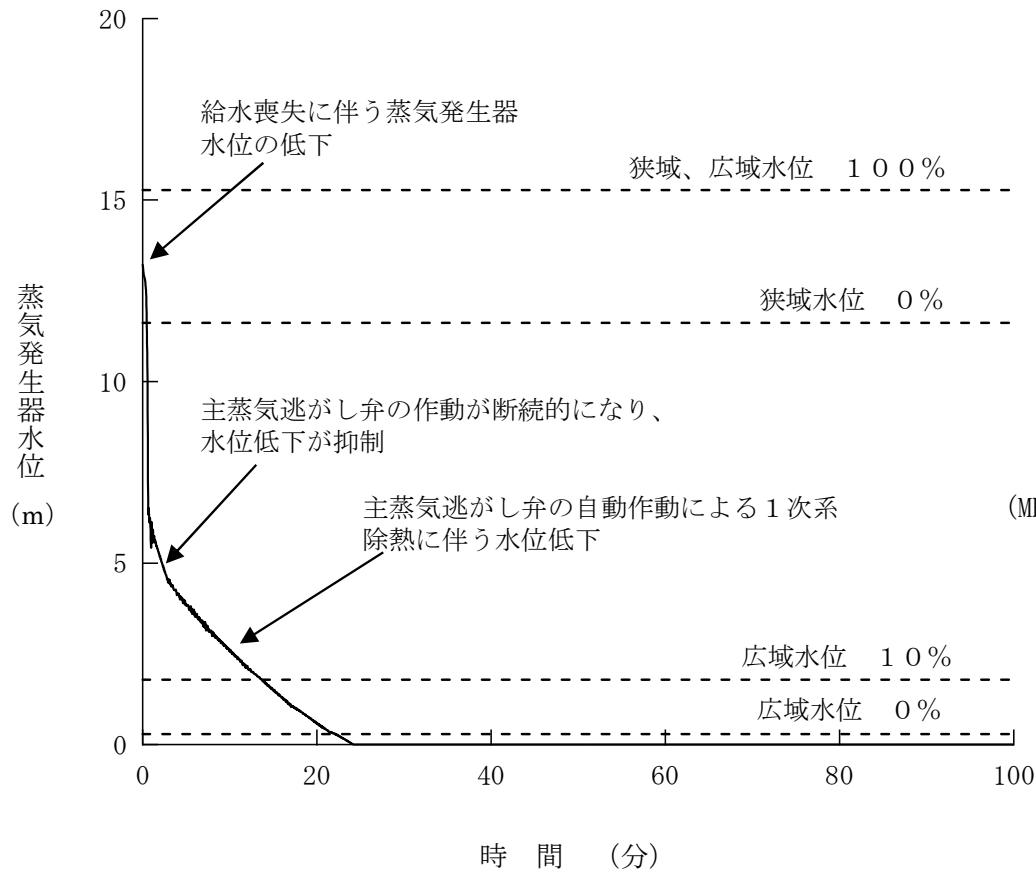
第4図 原子炉容器内水位の推移



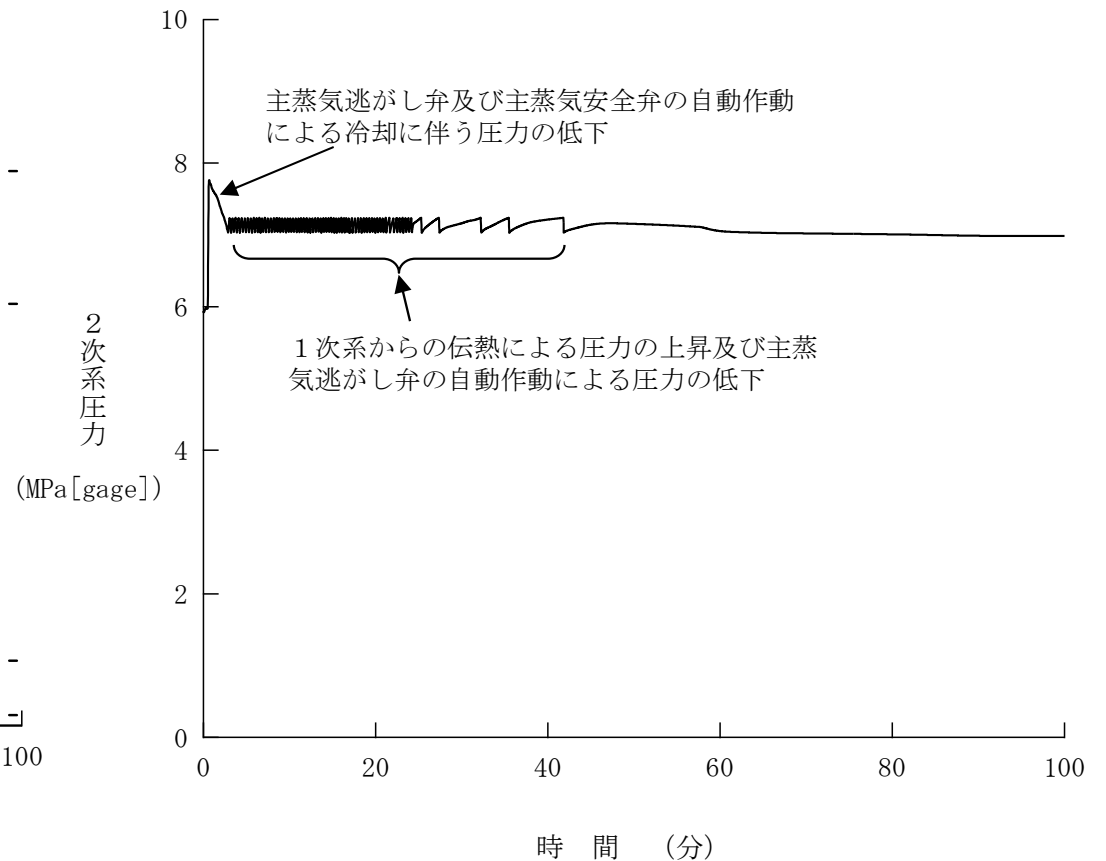
第5図 燃料被覆管温度の推移

燃料被覆管温度は、炉心は冠水状態にあることから初期値 (約380°C) 以下にとどまり、1, 200°C以下となる。

4. 主要なパラメータの解析結果(4 / 4) [35]



第6図 蒸気発生器水位の推移



第7図 2次系圧力の推移

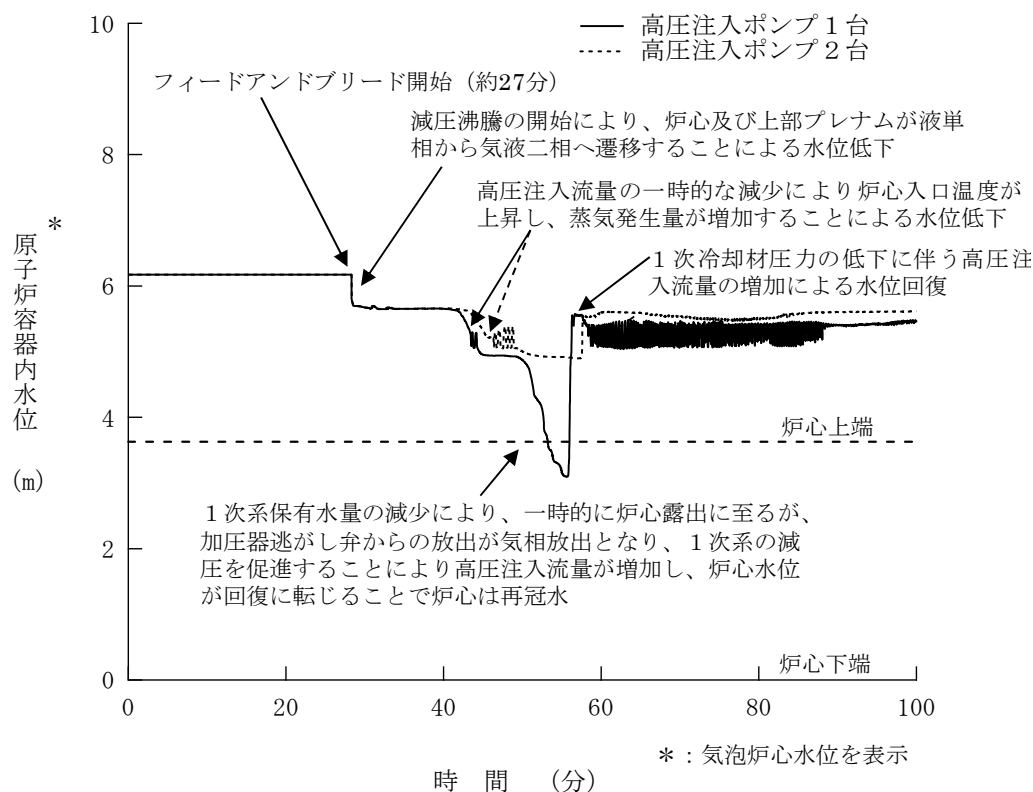
5. 解析コード及び解析条件の不確かさの影響評価（1 / 3）

項目	影響評価(一例)
解析コードの不確かさ	炉心における燃料棒表面熱伝達に係る燃料棒表面熱伝達モデルは、ORNL/THTF試験解析の結果から、燃料棒表面熱伝達について最大で40%程度小さく評価する不確かさを持つことを確認している。よって、不確かさを考慮すると、実際の燃料棒表面熱伝達は解析結果に比べて大きくなり、燃料被覆管温度は低くなることから、評価項目となるパラメータに対する余裕は大きくなる。
解析条件の不確かさ	本重要事故シーケンスにおいて想定する高圧注入ポンプの運転台数は2台であるが、炉心注水流量が評価項目となるパラメータに与える影響を確認する観点で、高圧注入ポンプを1台運転とした場合の感度解析を実施する。 (2 / 3)参照
操作時間余裕の把握	フィードアンドブリードの操作時間余裕を確認するため、解析上の操作開始条件は蒸気発生器ドライアウトの5分後であるのに対し、5分遅い蒸気発生器ドライアウトの10分後に操作開始した場合の感度解析結果を示す。 (3 / 3)参照

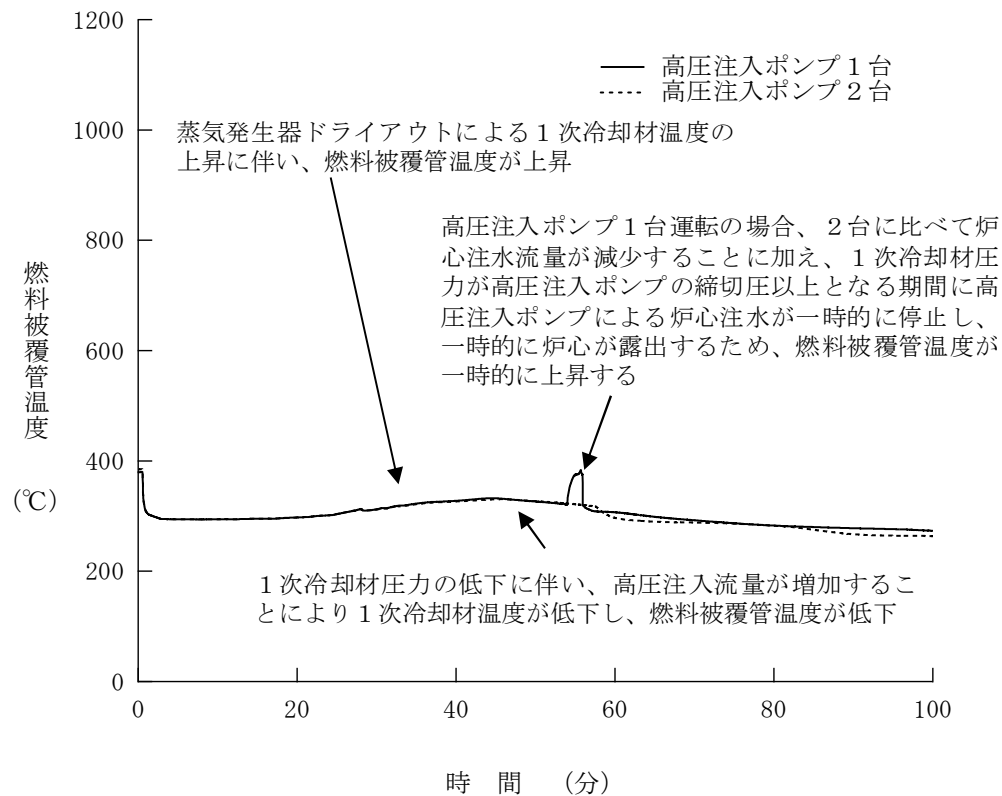
解析コード及び解析条件の不確かさの影響評価の範囲として、運転員等操作時間に与える影響、評価項目となるパラメータに与える影響及び要員の配置による他の操作に与える影響を確認した。その結果、解析コード及び解析条件の不確かさが運転員等操作時間に与える影響等を考慮した場合においても、運転員等によるフィードアンドブリードにより、1次系の減温、減圧、1次系保有水量の確保を行うこと等により、評価項目となるパラメータに与える影響は小さいことを確認した。

この他、評価項目となるパラメータに対して、対策の有効性が確認できる範囲内において操作時間余裕がある。また、要員の配置による他の操作に与える影響はない。[11～19]

(高圧注入ポンプ1台の場合の影響確認) [37, 38]



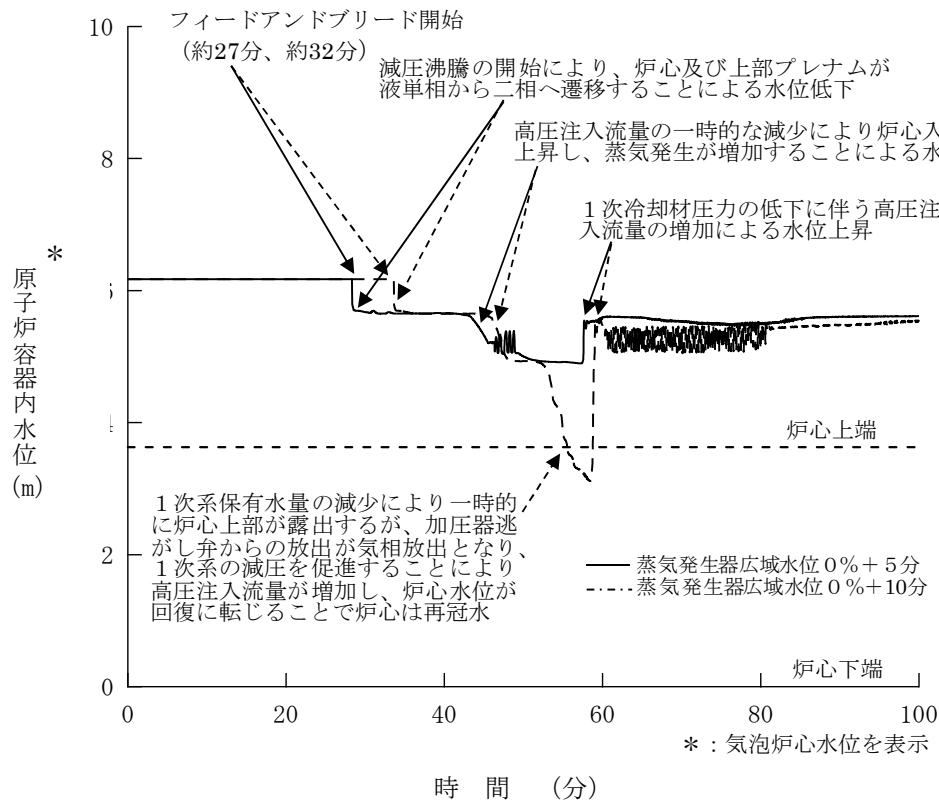
第8図 原子炉容器内水位の推移



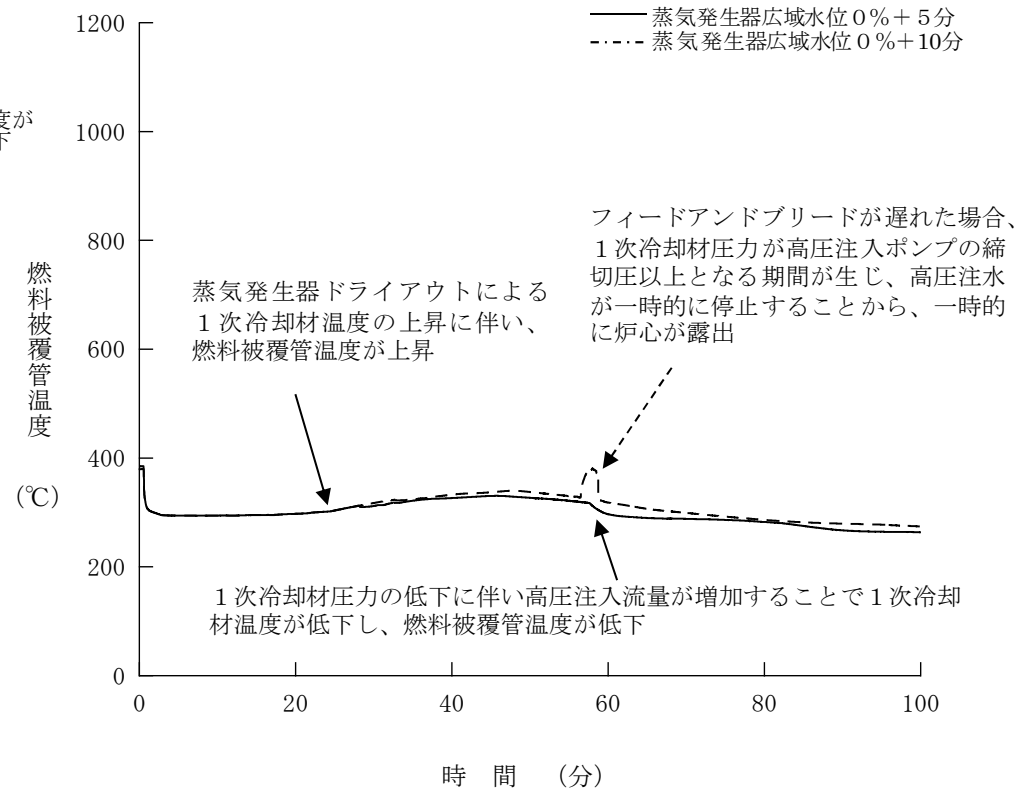
第9図 燃料被覆管温度の推移

高圧注入ポンプによる炉心注水量が減少し、一時的に注水が停止し、一時的に炉心上部が露出するが、炉心注水の回復に伴って再冠水する。このため、燃料被覆管温度の炉心露出時の最高値は初期値と同程度であり、その後も低く推移することから、評価項目となるパラメータに与える影響は小さいことを確認した。

(フィードアンドブリードの操作開始が5分遅い場合の影響確認) [44]



第10図 原子炉容器内水位の推移



第11図 燃料被覆管温度の推移

1次冷却材温度がより高くサブクール度が小さい状態で減圧を開始することで沸騰開始までの減圧幅が小さくなり、高圧注入ポンプによる炉心注水量が減少し、一時的に注水が停止し、一時的に炉心上部が露出するが、高圧注入ポンプによる炉心注水流量の回復に伴って再冠水することにより、燃料被覆管温度の炉心露出時の最高値は初期値以下となり、その後も低く推移することから、約10分の操作時間余裕があることを確認した。

6. 必要な要員及び作業項目 [添7.5.2.1-4]

●夜間・休日の発電所災害対策要員(発電所常駐)33名の構成

災害対策本部要員	3名
運転員(3号炉中央制御室)	6名
災害対策要員	9名
災害対策要員(支援)	15名
合計	33名

●参集要員の構成

参集要員 (技術系社員)	宮丘地区及び地元4力町村	489名
-----------------	--------------	------

平成28年10月1日現在

NO.	作業項目
①	蒸気発生器注水回復操作
②	SG直接給水用高圧ポンプによる注水準備
③	フィードアンドブリード操作
④	再循環切替
⑤	余熱除去系による炉心冷却
⑥	蓄圧タンク出口弁操作

重大事故等対策時に必要な要員は、合計10名である。
携行型通話装置による通信連絡手段の確保が必要な場合は、
上記要員に加え、上記要員以外の災害対策要員も準備を行う。

中央制御室 対応要員	運転員 (現場操作員)	災害対策要員	参集要員	作業 項目 NO.	作業内容	時間	操作場所
1名	-	-	-	-	運転操作指揮	発電課長(当直)	-
1名	-	-	-	-	運転操作指揮補佐	副長	-
1名[a]	-	-	-	①	電動主給水ポンプ起動操作	-	中央制御室
				④	再循環切替操作	-	
				⑤	余熱除去系による炉心冷却	-	
				⑥	蓄圧タンク出口弁閉止	-	
1名[b]	-	-	-	①	補助給水系統ポンプ起動操作	-	
				③	非常用炉心冷却設備作動信号手動発信操作	-	
					高圧注入ポンプによる注水確認	-	中央制御室
					加圧器逃がし弁開放操作	≦約27分	
				⑤	フィードアンドブリード停止	-	
-	1名[c]	-	-	①	補助給水系統ポンプ起動操作・失敗原因調査	-	原子炉建屋
				②	SG直接給水用高圧ポンプの使用準備	-	
-	1名[d]	-	-	①	電動主給水ポンプ起動操作・失敗原因調査	-	タービン建屋
				②	SG直接給水用高圧ポンプへの給電操作	-	原子炉建屋
-	-	1名[A]	-	①	補助給水系統ポンプ起動操作・失敗原因調査	-	原子炉建屋
				②	SG直接給水用高圧ポンプの使用準備	-	
6名		1名	[0名]	合計7名			

()は他作業後移動してきた要員

○要員人数	平日昼間に事故が発生した場合は十分な要員数が確保できるのは当然のことであるが、夜間や休日においても、発電所災害対策要員により、事故収束作業に必要な要員が確保できる体制となっている。
○その他	作業を実施する上で必要な各種通信設備や工具、これらの作業を夜間もしくは通常照明がない状態においても実施できるように照明設備を準備している。

7. 対応手順と所要時間 [29]

必要な要員と作業項目			経過時間(分)		備考
手順の項目	要員(名) (作業に必要な要員数) 【 】は他作業後移動してきた要員	手順の内容	10	20	
			事象発生 原子炉トリップ 約22分 蒸気発生器広域水位0% 約27分 フィードアンドブリード開始 (非常用炉心冷却設備作動信号手動発信、 加圧器逃がし弁手動開放) プラント状況判断		
状況判断	発電課長(当直)	3号 1			
	副長	1			
蒸気発生器注水回復操作 (解析上考慮せず)	運転員a, b	2	10分		
	運転員a	【1】	5分		適宜実施
	運転員b	【1】	5分		適宜実施
	運転員c 災害対策要員A	2	10分		適宜実施
SG直接給水用高圧ポンプによる注水準備 (解析上考慮せず)	運転員c 災害対策要員A	【2】		55分	SG直接給水用高圧ポンプの使用準備が完了すれば、蒸気発生器へ注水を開始する。
	運転員d	【1】		20分	
フィードアンドブリード操作	運転員b	【1】		5分	フィードアンドブリードが、解析上、期待している約27分までに実施できる。
再循環切替	運転員a	【1】		5分	燃料取替用水ピット水位指示16.5%到達及び格納容器再循環サンプル水位(広域)指示71%以上を確認し、再循環運転へ切替え、再循環運転へ移行する。また、フィードアンドブリードによる炉心冷却を継続する。
余熱除去系による炉心冷却	運転員a	【1】			継続操作
	運転員b	【1】		5分	1次冷却材圧力が2.7MPa[gage]以下及び1次冷却材温度が177℃未満になれば、余熱除去運転による炉心冷却が可能となる。余熱除去系統での冷却が開始、又は蒸気発生器の水位回復後、冷却操作が開始されればフィードアンドブリードを停止する。
蓄圧タンク出口弁操作	運転員a	【1】		5分	

・上記要員に加え、災害対策本部要員3名にて関係各所に通報連絡を行う。
 ・携行型通話装置による通信連絡手段の確保が必要な場合は、上記要員に加え、上記要員以外の災害対策要員も準備を行う。
 ・各設定時間は操作場所、操作条件並びに実際の現場移動を含む作業時間を考慮した上で解析上の仮定として設定したものであり、運転員は手順書に従って各操作条件を満たせば順次操作を実施する。
 また、運転員が解析上設定した操作余裕時間内に対応できることは訓練等に基づき確認している。(一部の機器については想定時間により算出)

8. 必要な資源の評価 [19, 20]

【水源に関する評価】

燃料取替用水ピット(1,700m³:有効水量)を水源とするフィードアンドブリードでの高圧注入ポンプによる炉心注水については、燃料取替用水ピット水位が再循環切替水位(16.5%)に到達後、再循環運転に切り替え、以降は格納容器再循環サンプを水源とするため、燃料取替用水ピットへの補給は不要である。

なお、外部電源喪失を想定した場合でも同様の対応である。

【燃料消費に関する評価】

外部電源の喪失は想定していないが、仮に外部電源が喪失してディーゼル発電機からの給電を想定し、事象発生後7日間ディーゼル発電機を全出力で運転した場合、約527.1kLの軽油が必要となる。

緊急時対策所用発電機による電源供給については、事象発生直後からの運転を想定して、7日間の運転継続に約7.4kLの軽油が必要となる。

7日間の運転継続に必要な軽油はこれらを合計して約534.5kLとなるが、ディーゼル発電機燃料油貯油槽の油量(540kL)にて供給可能である。

【電源に関する評価】

外部電源の喪失は想定していないが、仮に外部電源が喪失してディーゼル発電機からの給電を想定した場合においても、重大事故等対策時に必要な負荷は設計基準事故時に想定している非常用炉心冷却設備作動信号により作動する負荷に含まれることから、ディーゼル発電機による電源供給が可能である。