

泊発電所3号機 重大事故等対策有効性評価 成立性確認

平成25年8月27日
北海道電力株式会社

泊発電所 3号機

各事故シーケンス／格納容器破損モードにおける評価事故シーケンス一覧

【炉心損傷防止】

事故シーケンスグループ	評価事故シーケンス
① 2次系からの除熱機能喪失	主給水流量喪失＋補助給水機能喪失
全交流動力電源喪失	全交流動力電源喪失＋原子炉補機冷却機能喪失＋RCPシールLOCA
	全交流動力電源喪失＋原子炉補機冷却機能喪失（RCPシールLOCAなし）
原子炉補機冷却機能喪失	全交流動力電源喪失＋原子炉補機冷却機能喪失＋RCPシールLOCA
② 原子炉格納容器の除熱機能喪失	大LOCA＋低圧再循環機能喪失＋格納容器スプレイ機能喪失
原子炉停止機能喪失	主給水流量喪失＋原子炉停止機能喪失（トリップ失敗）
ECCS注水機能喪失	中小LOCA＋高圧注入機能喪失
③ ECCS再循環機能喪失	大LOCA＋高圧再循環機能喪失＋低圧再循環機能喪失
格納容器バイパス	インターフェイスシステムLOCA
	蒸気発生器伝熱管破損＋破損側蒸気発生器隔離失敗

【SFPの燃料損傷防止】

重要事故シーケンス	評価事故シーケンス
想定事故 1	使用済燃料ピット冷却系及び補給水系の機能喪失
想定事故 2	使用済燃料ピット冷却系配管の破断

【格納容器破損防止】

格納容器破損モード	評価事故シーケンス
雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温）	（格納容器過圧破損） 大LOCA＋ECCS注水機能喪失＋格納容器スプレイ機能喪失
	（格納容器過温破損） 全交流動力電源喪失＋補助給水機能喪失
高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱	全交流動力電源喪失＋補助給水機能喪失
原子炉容器外の溶融燃料－冷却材相互作用	大LOCA＋ECCS注水機能喪失＋格納容器スプレイ機能喪失
水素燃焼	大LOCA＋ECCS注水機能喪失
溶融炉心・コンクリート相互作用	大LOCA＋ECCS注水機能喪失＋格納容器スプレイ機能喪失

【停止中の原子炉の燃料損傷防止】

事故シーケンスグループ	評価事故シーケンス
崩壊熱除去機能喪失（余熱除去系統の故障による停止時冷却機能の喪失）	ミッドループ運転中の余熱除去機能喪失
全交流動力電源喪失	ミッドループ運転中の全交流動力電源喪失＋余熱除去機能喪失
原子炉冷却材の流出	ミッドループ運転中の原子炉冷却材流出
反応度の誤投入	停止中の原子炉への純水流入

本日配付

配布済み

事故シーケンスの概要

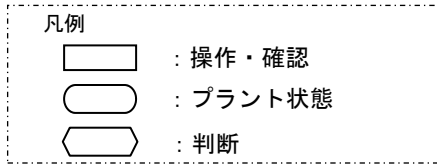
	炉心損傷シナリオ	起因事象	結果の概要
1. 2次冷却系からの除熱機能喪失	蒸気発生器への給水が喪失することなどにより、2次系からの除熱に失敗し、1次冷却系の過温・過圧により炉心損傷に至るシナリオ。	蒸気発生器の水位低下が早く、1次系の温度、圧力上昇の観点で厳しい、主給水喪失時に補助給水機能が喪失する事象を選定。	蒸気発生器ドライアウト後、高圧注入と加圧器逃がし弁開操作による「フィードアンドブリード運転」実施により、炉心冷却が維持され、炉心損傷が防止される結果となった。 これにより、泊発電所3号機の対策が有効と判断した。 (1-1頁より評価内容について説明)
2. 原子炉格納容器の除熱機能喪失	原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する配管に破断が生じた場合に、炉心冷却には成功するものの、原子炉格納容器の除熱に失敗し、格納容器が先行して破損するために炉心損傷に至るシナリオ。	原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する配管の破断のうち、原子炉格納容器の圧力上昇の観点から厳しい大破断LOCAを選定し、緩和系である低圧注入系による再循環炉心冷却機能および格納容器スプレイ機能の喪失を重畳させる事象を選定。	「高圧再循環による炉心への注水」実施時に「格納容器再循環ユニットに原子炉補機冷却水を通水し、原子炉格納容器内の主蒸気を凝縮させて、格納容器内雰囲気を冷却する格納容器内自然対流冷却」による格納容器内の除熱を行うことにより、炉心崩壊熱を除去し、原子炉格納容器破損及び炉心損傷が防止される結果となった。 これにより、泊発電所3号機の対策が有効と判断した。 (2-1頁より評価内容について説明)
3. ECCS再循環機能喪失	原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する配管に破断が生じた場合に、高圧再循環機能及び低圧再循環機能が喪失し、炉心の崩壊熱の除去が不能となり炉心損傷に至るシナリオ。	原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する配管の破断のうち、中小破断LOCAより1次冷却材の系外への流出が多いため再循環切替までの時間が短く、その時点での崩壊熱が高い大破断LOCA事象を選定し、高圧再循環及び低圧再循環の機能喪失を想定	再循環機能喪失時に、格納容器スプレイポンプ及び格納容器スプレイ系と余熱除去系を接続する配管を用いた代替再循環運転により、炉心への注入を行うことにより、炉心損傷が防止される結果となった。 これにより、泊発電所3号機の対策が有効と判断した。 (3-1頁より評価内容について説明)

1. 対応手順の概要フロー

2次系からの除熱機能喪失 (主給水流量喪失+補助給水機能喪失) に対する対応手順

(解析上の時刻)
(0分)

主給水流量喪失



原子炉トリップ・タービントリップ・発電機トリップの確認

蒸気発生器への補助給水なしを確認
(中央制御室での機器作動状況、補助給水流量による確認)

補助給水
回復操作
(解析上
考慮せず)

主給水系
回復操作
(解析上
考慮せず)

SG直接給水用高圧
ポンプ使用準備
(解析上
考慮せず)

(約24分)
↑ 5分
↓ を仮定
(約29分)

全ての蒸気発生器の広域水位0%到達*1

非常用炉心冷却設備作動信号の手動発信による高圧注入と加圧器逃がし弁手動開放によるフィードアンドブリード運転

格納容器圧力を継続監視

格納容器スプレイ作動信号の発信*2

燃料取替用水ピット水位が16.5%となれば、再循環切替を実施する

- * 1 : 運転要領では、全ての蒸気発生器の広域水位が10%未満となればフィードアンドブリード運転を開始する。
- * 2 : 格納容器内圧力0.127MPa (格納容器スプレイポンプが起動する。これにより、格納容器健全性は維持される。)
- * 3 : 1次冷却材温度、圧力が170°C、2.75MPaとなれば、余熱除去ポンプによる冷却へ移行する。

余熱除去系が使用可能か*3

1基以上の蒸気発生器狭域水位 ≥ 下端水位
(解析上
考慮せず)

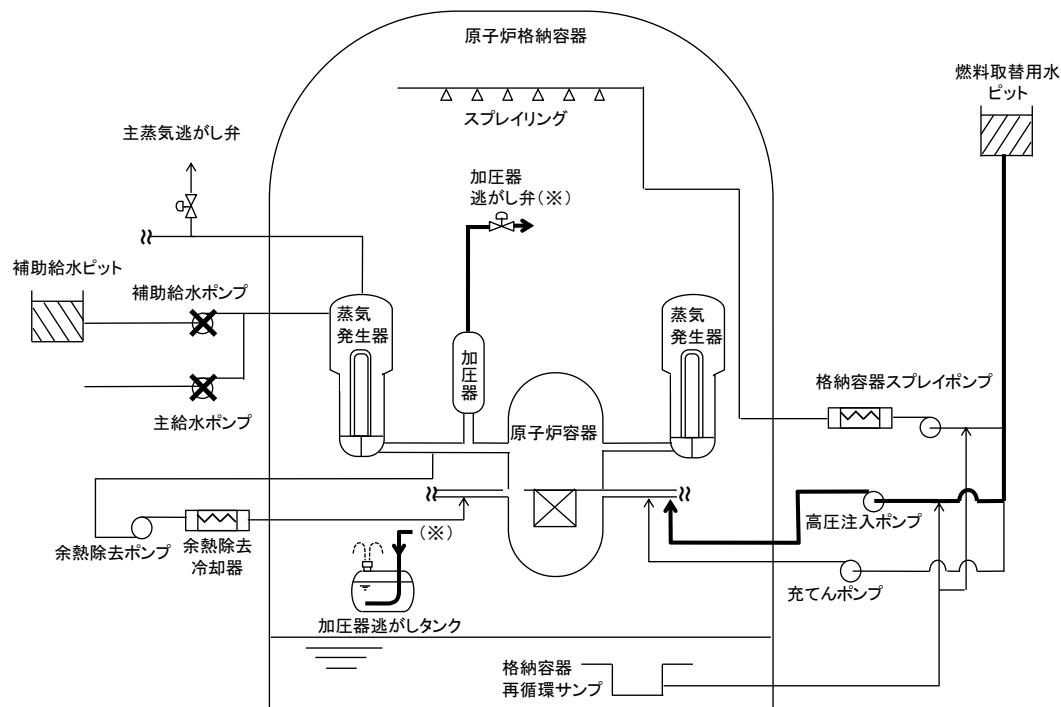
加圧器逃がし弁閉止によりフィードアンドブリード運転停止

余熱除去ポンプ運転による長期冷却

2. 主要解析条件及び重大事故対策概要図（短期対策）

主要解析条件

項目	主要解析条件
解析コード	M-RELAP5
原子炉出力（初期）	100% (2,660MWt) × 1.02
1次冷却材圧力（初期）	15.41+0.21MPa[gage]
1次冷却材平均温度（初期）	304.5℃
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)
原子炉トリップ	蒸気発生器水位低 (狭域水位11%)による
蒸気発生器 ドライアウト判定条件	蒸気発生器広域水位 0%到達
フィードアンドブリード開始 (安全注入信号手動発信+加 圧器逃がし弁手動開)	蒸気発生器ドライアウト後 5分後

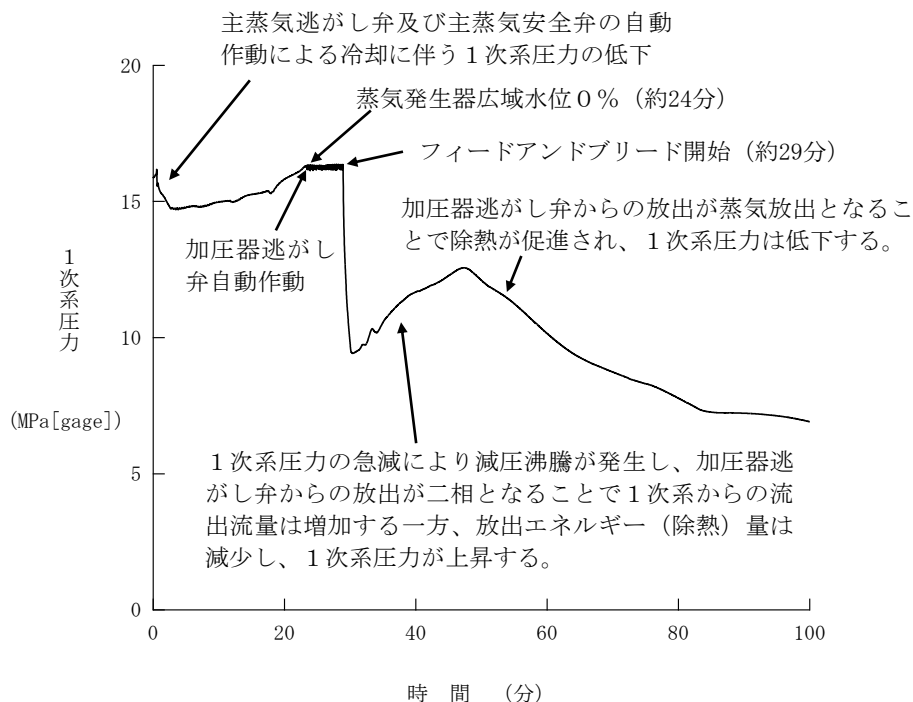


第1図 重大事故対策概要図（短期対策）

3. 主要なパラメータの解析結果 (1)

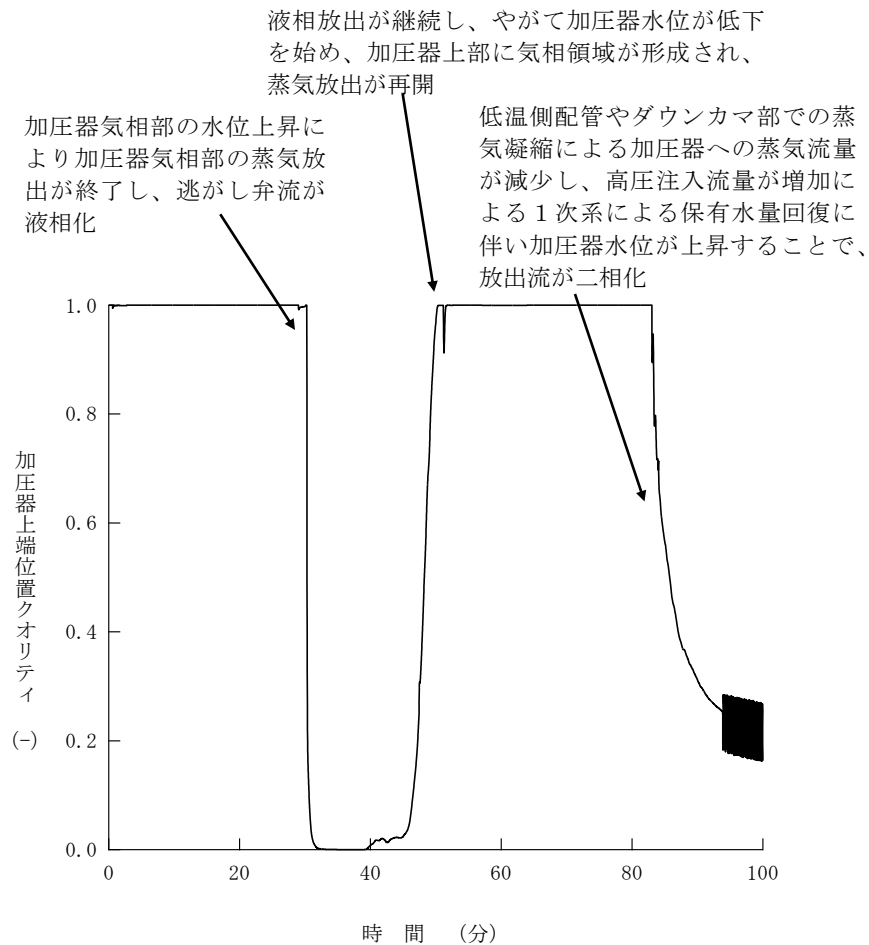
加圧器逃がし弁作動圧力 (単位: MPa[gage])

	解析設定値	実機設定値
加圧器逃がし弁	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



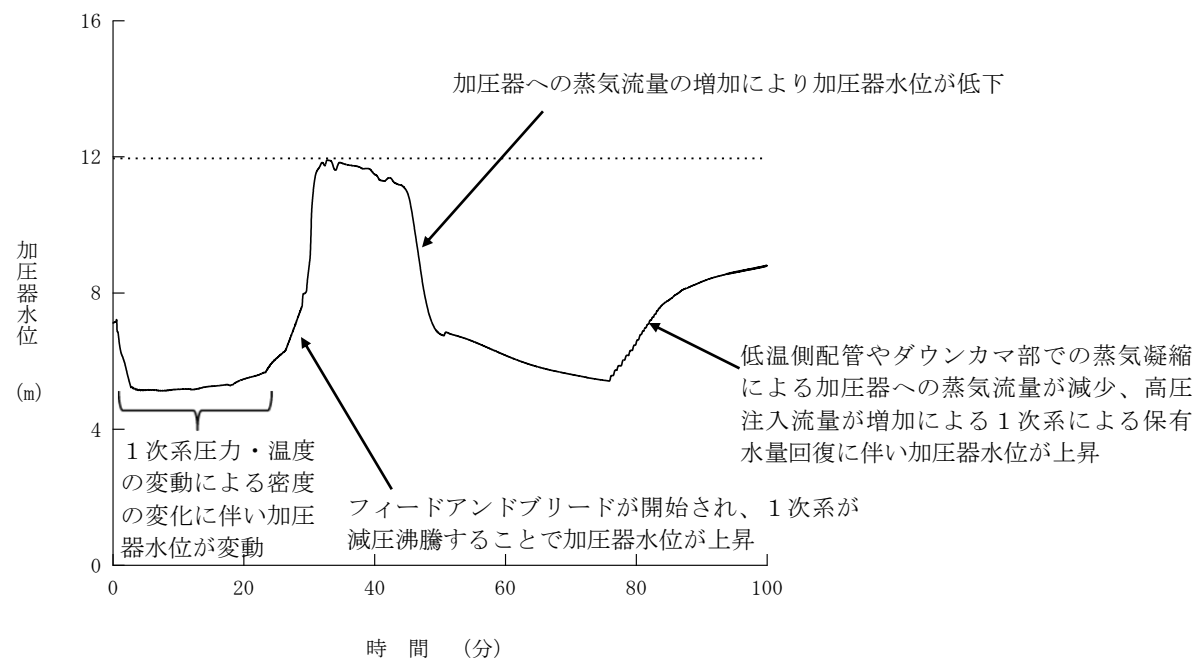
第2図 1次系圧力の推移

2次系による除熱機能が喪失することにより1次系圧力は上昇するが、フィードアンドブリード操作により、1次系圧力は低下する。



第3図 加圧器上端部クオリティの推移

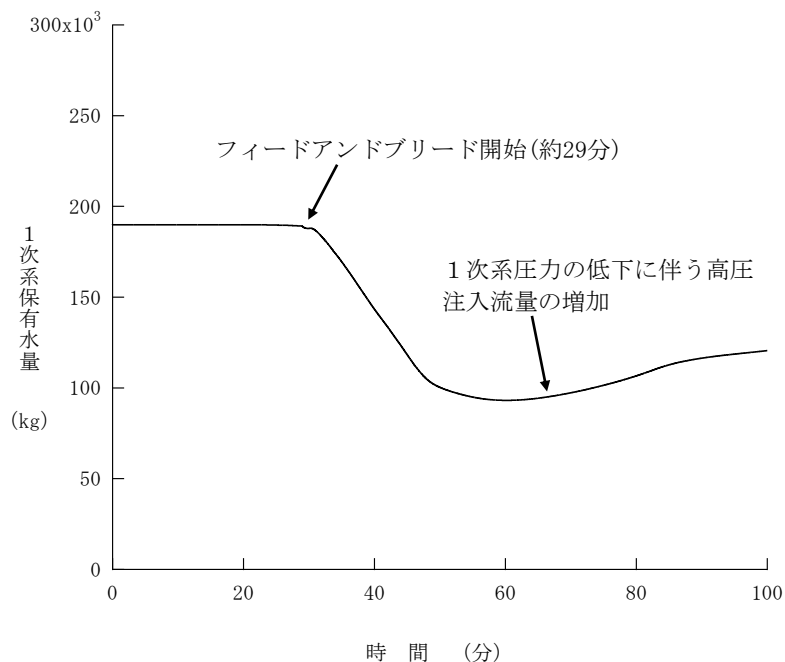
3. 主要なパラメータの解析結果（2）



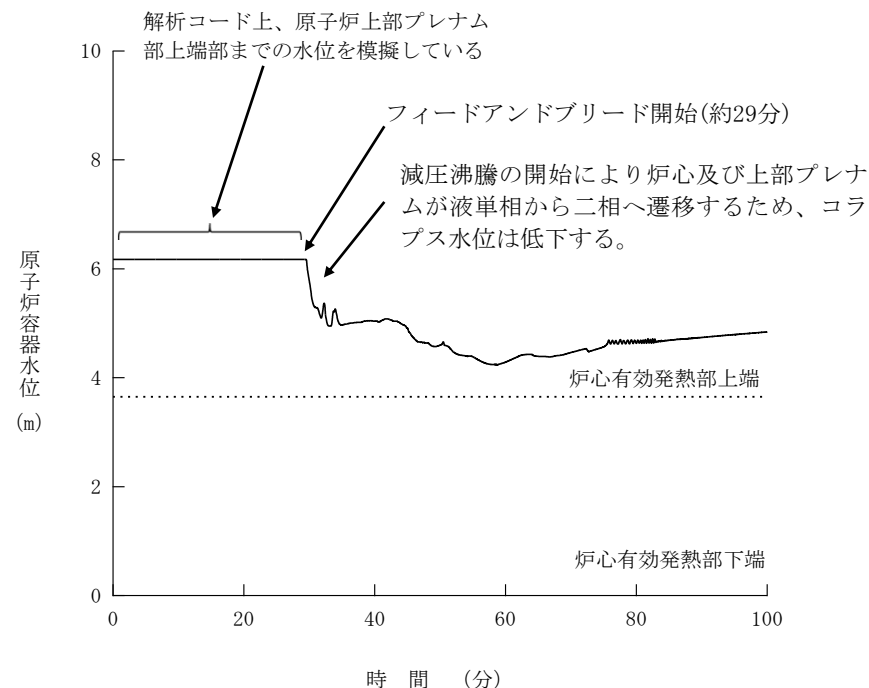
第4図 加圧器水位の推移

※加圧器下端～上端までのコラプス水位を記載

3. 主要なパラメータの解析結果 (3)



第5図 1次系保有水量の推移



第6図 原子炉容器水位※の推移

※原子炉上部プレナム上端部～燃料有効発熱部下端までのコラプス水位を記載

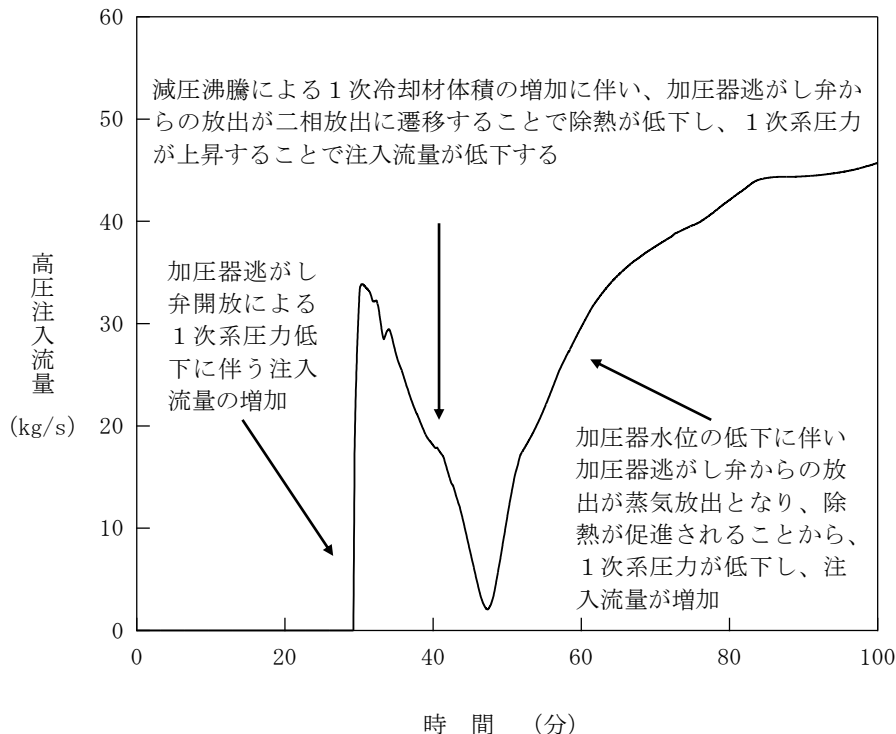
フィードアンドブリード操作に伴う加圧器逃がし弁の手動開操作により一時的に保有水量は減少するが、1次系圧力の低下に伴う高圧注入流量の増加により、1次系保有水量は増加する。

3. 主要なパラメータの解析結果 (4)

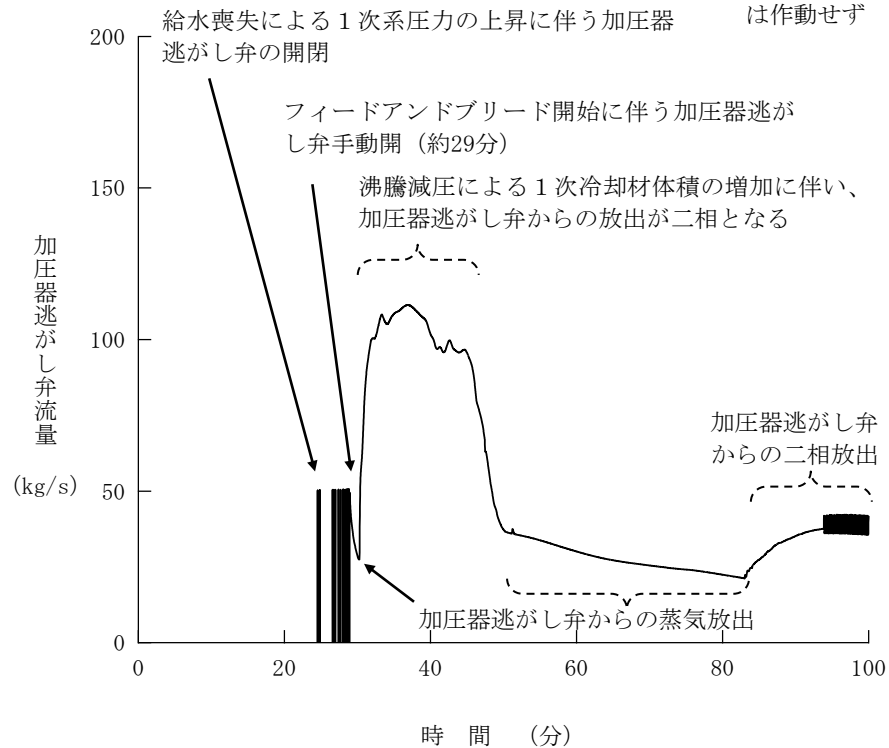
加圧器逃がし弁作動圧力 (単位: MPa[gage])

	解析設定値	実機設定値
加圧器逃がし弁		

※加圧器安全弁は作動せず



第7図 高圧注入流量の推移

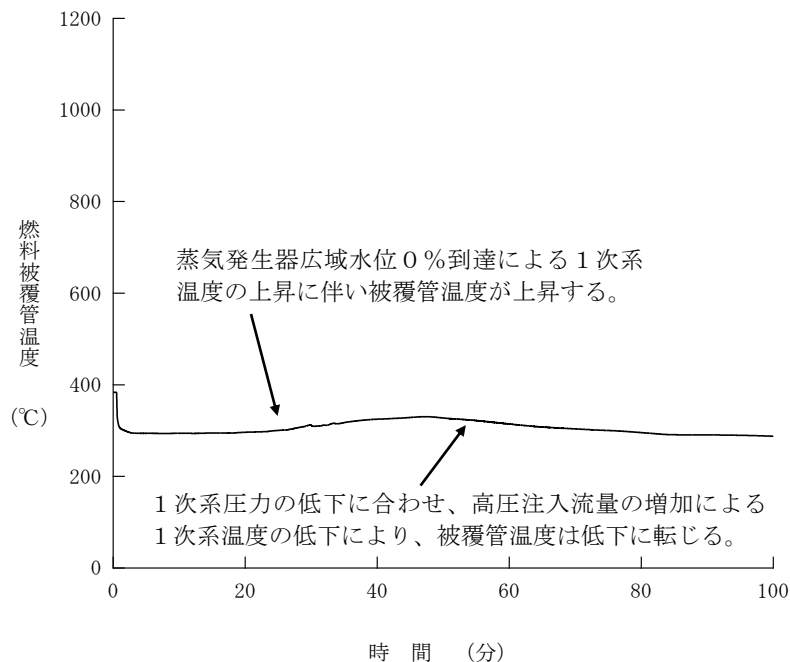


第8図 加圧器逃がし弁流量の推移

フィードアンドブリード操作により、高圧注入が開始される。その後、減圧沸騰による1次系圧力の上昇により一時的に高圧注入流量が低下するが、加圧器水位の低下に伴う1次系減圧により高圧注入流量は再び増加する。

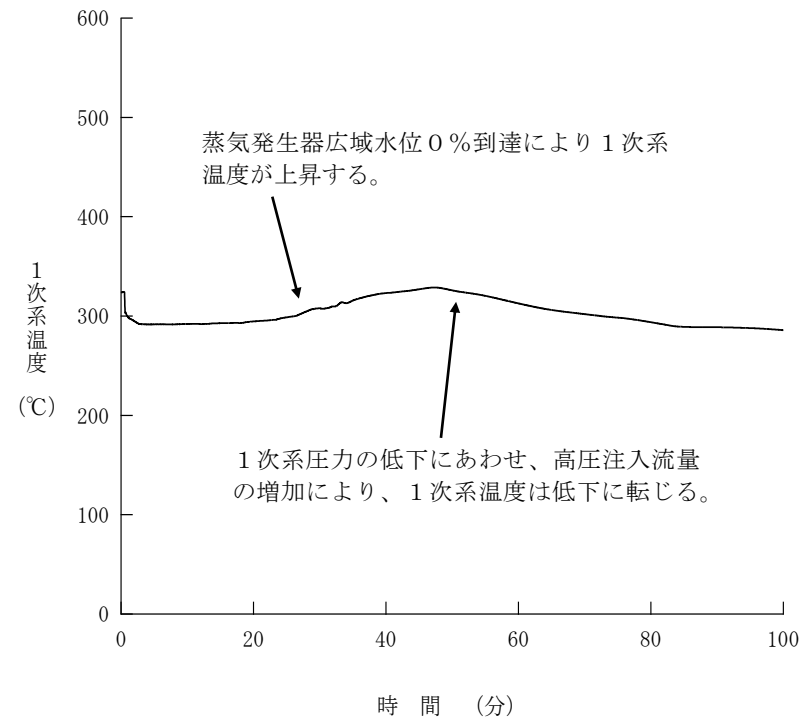
2次系から除熱機能が喪失することにより1次系圧力が上昇し、加圧器逃がし弁が開閉する。フィードアンドブリード操作後は、1次系の減圧沸騰により加圧器逃がし弁からの放出が二相となることで流出流量が増加する。その後放出流量は蒸気放出への移行による減少、二相放出により増加となる。

3. 主要なパラメータの解析結果 (5)



第9図 燃料被覆管温度の推移

蒸気発生器広域水位0%到達による1次系温度の上昇に伴い被覆管温度が上昇するが、1次系圧力の低下に合わせ、高圧注入流量の増加による1次系温度の低下により、被覆管温度は低下に転じる。



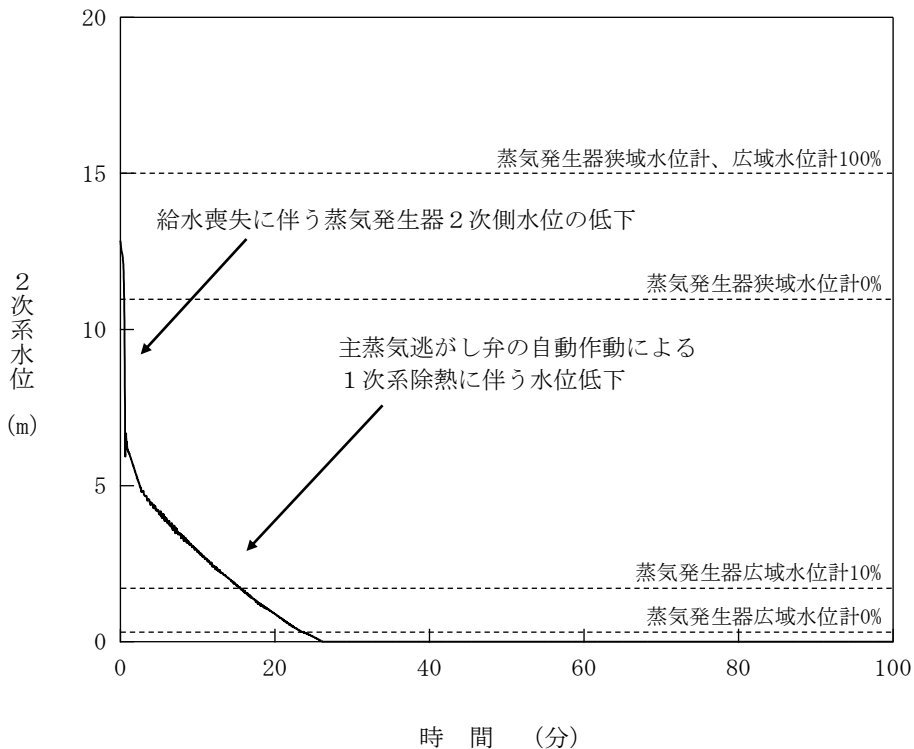
第10図 1次系温度の推移

蒸気発生器広域水位0%到達により1次系温度が上昇するが、1次系圧力の低下に合わせ、高圧注入流量の増加により、1次系温度は低下に転じる。

3. 主要なパラメータの解析結果 (6)

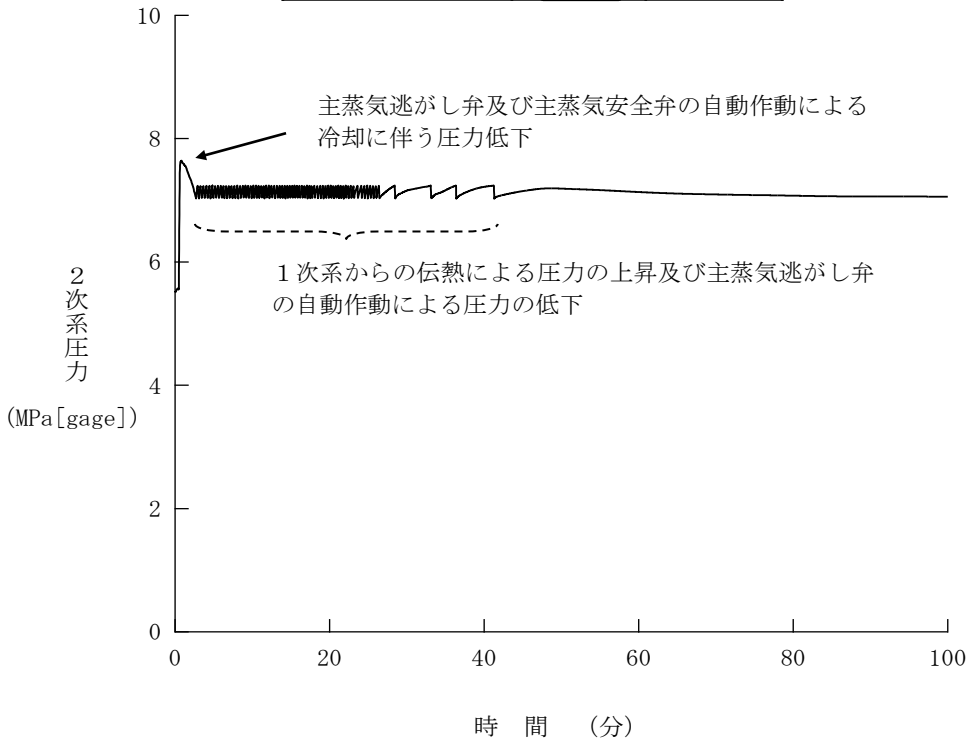
主蒸気逃がし弁・安全弁作動圧力 (単位: MPa[gage])

	解析設定値	実機設定値
主蒸気逃がし弁		
主蒸気安全弁		7.48



第11図 2次系水位の推移

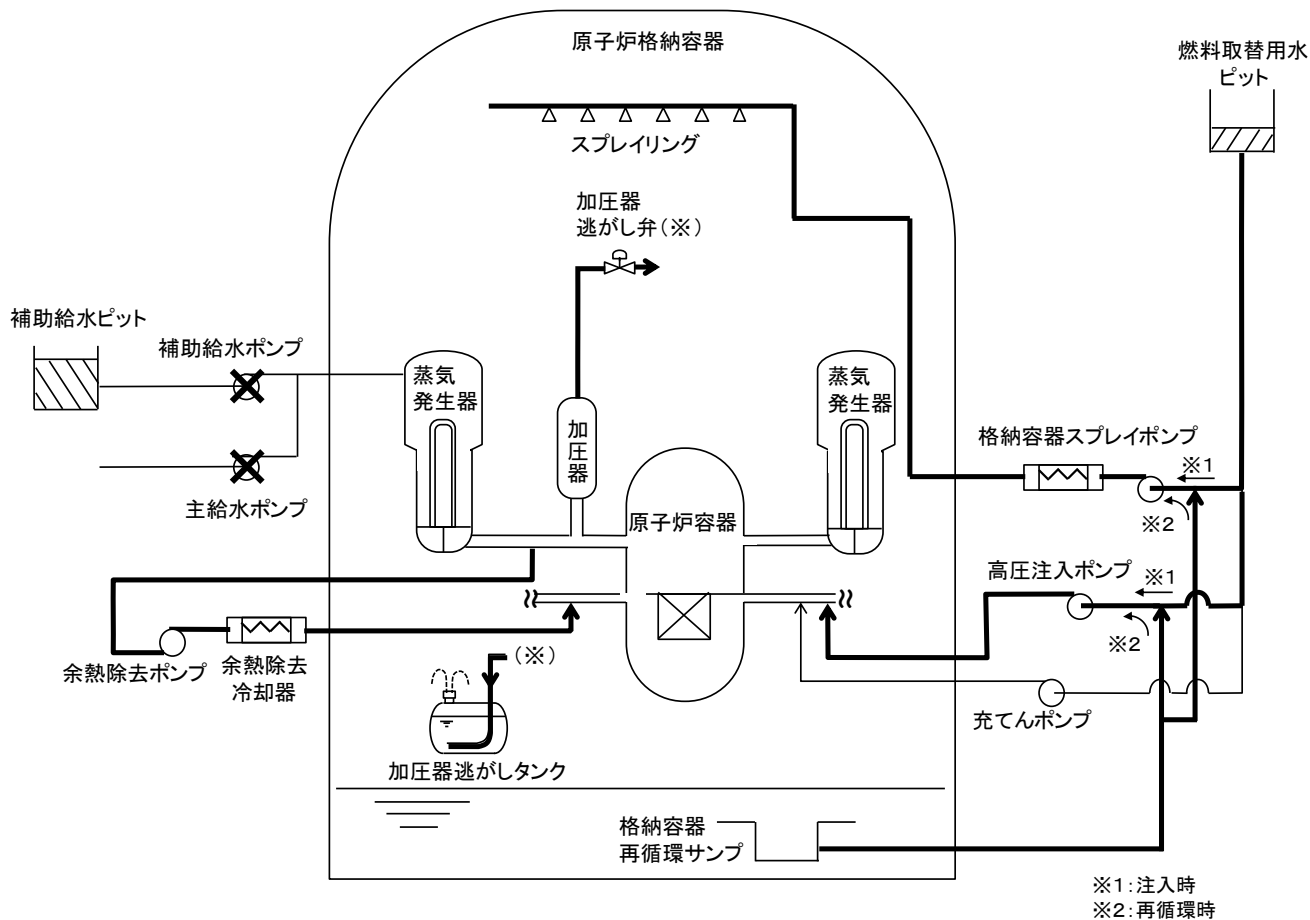
2次系の給水機能喪失に伴い、蒸気発生器水位は大きく低下し、やがて広域水位0%到達となる。



第12図 2次系圧力の推移

事象発生直後、2次系圧力が上昇するが、主蒸気逃がし弁及び主蒸気安全弁の作動により低下する。以降1次系からの伝熱による圧力の上昇及び主蒸気逃がし弁の自動作動により圧力が低下する。

4. 重大事故対策概要図（長期対策）



- ・ 燃料取替用水ピット水位低下後、高圧再循環、格納容器スプレイ再循環による長期的冷却を実施する。
- ・ 1次系圧力・温度低下後、余熱除去系に切替えて長期的に冷却を継続する。

第13図 重大事故対策概要図（長期対策）

5. 使用機器リスト（1）

対象機器	重大事故対策	要求事項	仕様	備考
加圧器逃し弁	1次系フィードアンドブリード運転	手動開放時間：約29分	—	1次系フィードアンドブリード運転の為、加圧器逃がし弁の開操作を行なう。
高圧注入ポンプ	1次系フィードアンドブリード運転 高圧再循環運転	起動時間：約29分	—	炉心損傷を防止するため、1次系フィードアンドブリード運転を行い、燃料取替用水ピットの水を炉心に注入する。 燃料取替用水ピットの水位低下後、高圧再循環運転により、炉心注入を継続する。
余熱除去ポンプ	余熱除去運転	—	—	1次系圧力・温度低下後、余熱除去系に切替えて長期的に冷却を継続する。
余熱除去冷却器	余熱除去運転	—	—	1次系圧力・温度低下後、余熱除去系に切替えて長期的に冷却を継続する。
格納容器スプレイポンプ	格納容器スプレイ	—	—	格納容器圧力上昇時に格納容器スプレイを行い、圧力上昇を抑制する。 燃料取替用水ピットの水位低下後、スプレイ再循環運転により、格納容器内の長期冷却を行なう。
格納容器スプレイ冷却器	格納容器スプレイ	—	—	燃料取替用水ピットの水位低下後、スプレイ再循環運転により、格納容器内の長期冷却を行なう。

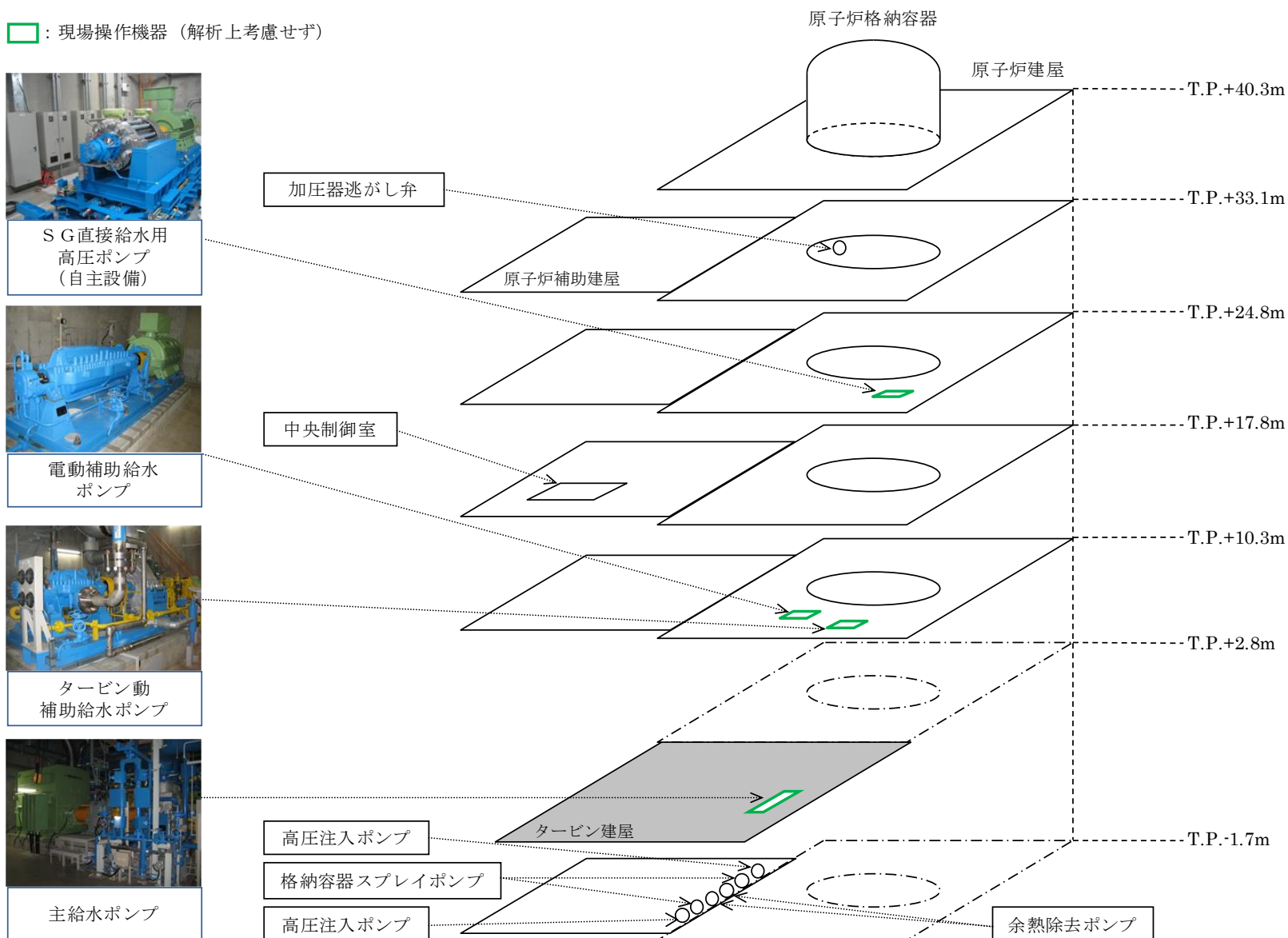
6. 使用機器リスト（2）：有効性評価で期待していない代替機器

対象機器	重大事故対策	要求事項	仕様	備考
S G直接給水用高圧ポンプ（自主）	蒸気発生器直接給水	—	<ul style="list-style-type: none"> ・容量：90m³/h/台 ・揚程：900m ・台数：1台 	1次系を除熱するため、補助給水ピットの水を蒸気発生器に直接給水する。

7. 操作機器配置図 (建屋内)

(主給水流量喪失 + 補助給水機能喪失)

□ : 現場操作機器 (解析上考慮せず)



8. 必要な要員と作業項目

(主給水流量喪失+補助給水機能喪失)

●夜間・休日の初動対応要員

		対応要員数	実働要員	
運転員	3号機中央制御室	6名	6名	
災害対策要員	社員 (当番(指揮、通報))	(1~3号共通)3名	3名 ※5	
	社員 (運転支援、電源、給水等)	(3号)3名	1名 ※4	
	協力会社 (運転支援、電源、給水等)	(3号)4名		
	協力会社(瓦礫撤去、 給油ホース接続)	(1~3号共通)2名		2名 ※6
	協力会社 (消防)	(1~3号共通)8名		8名 ※6
小計		26名	20名	
		余裕	6名★	

●召集要員構成(H25.7.17現在)

召集要員 (技術系社員)	宮丘地区※1	325名
	地元4力町村※2	104名
小計		429名

※1: 宮丘地区からの召集要員とは、社員[社宅、みやおか寮、柏木寮、桜木寮、はまなす寮]

※2: 地元4力町村からの召集要員とは、宮丘地区を除く、地元4力町村(岩内町、共和町、泊村、神恵内村)

※3: 要員数については実際の現場移動時間および作業時間を考慮した人員である。
ただし、今後の更なる要員の検討により変更が必要となる可能性がある。

※4: 災害対策要員(社員3名、協力会社4名)のうち、1名が対応する。

対応要員の内訳	要員 ※3	作業内容	時間	作業場所	
○運転員(3号機中央制御室対応要員) 3号機運転員(4名) ・発電課長(当直) ・副長 ・運転員a ・運転員b ○運転員(現場操作者) 3号機運転員(2名) ・運転員c ・運転員d ○災害対策要員(1名) ・災害対策要員A	運転員a	【蒸気発生器給水回復操作(解析上考慮せず)】 ①電動補助給水ポンプ手動起動 ②タービン動補助給水ポンプ手動起動 ③電動主給水ポンプ手動起動	-	中央制御室	
		【フィード&ブリード運転操作】 ①非常用炉心冷却設備作動信号手動発信操作 ②高圧注入ポンプによる注入確認 ③加圧器逃がし弁全弁開操作	≤約29分		
	格納容器内圧力継続監視(解析上考慮せず)	-			
	燃料取替用水ピット水位継続監視(解析上考慮せず)	-			
	格納容器スプレイ作動(解析上考慮せず)	-			
	再循環切替(解析上考慮せず)	-			
	フィードアンドブリード運転停止(解析上考慮せず)	-			
	余熱除去系による1次系の冷却(解析上考慮せず)	-			
	運転員c 災害対策要員A	【蒸気発生器給水回復操作(解析上考慮せず)】 ①電動補助給水ポンプ起動操作 ②タービン動補助給水ポンプ起動操作	-		原子炉建屋
		【SG直接給水用高圧ポンプによる給水準備 (解析上考慮せず)】 SG直接給水用高圧ポンプ使用準備	-		
運転員d	【蒸気発生器給水回復操作(解析上考慮せず)】 電動主給水ポンプ起動操作	-	タービン建屋		



※5: 社員(当番(指揮、通報))は、緊急時対策所にて、指揮または通報の対応を専属で行う。

※6: 災害対策要員のうち、協力会社(瓦礫撤去、給油ホース接続)および協力会社(消防)は、それぞれの作業を専属で担当することから、他の作業およびサポート要員としては配置しない。したがって、それぞれが担当する作業が発生しない場合であっても、対応要員全員が作業している表記としている。

○要員人数	平日昼間に事故が発生した場合に十分な要員数を確保できるのは当然のことながら、夜間・休日においても、初動対応要員(運転員、災害対策要員)および召集要員(技術系社員)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。
-------	--

★初動対応開始後、サポート要員6名を中央制御室に待機させ、通信手段の不具合や要員の受傷など不測の事態に備える。

9. 対応手順と所要時間

(主給水流量喪失＋補助給水機能喪失)

手順の項目	要員	手順の内容	経過時間(分)		備考
			10	30	
状況判断	運転員	<ul style="list-style-type: none"> ●原子炉トリップ・タービントリップ・発電機トリップ確認 ●主給水流量喪失確認 蒸気発生器水位低下、主給水ポンプ故障 主給水流量低下 ●補助給水機能喪失確認 電動補助給水ポンプ自動起動せず、 タービン動補助給水ポンプ自動起動せず、 補助給水流量確立せず (中央制御室) 	10分	プラント状況判断 約24分 蒸気発生器広域水位0%以下 約29分 ECCS作動信号手動発信・フィードアンドブリード運転開始 (加圧器逃がし弁手動開放)	その後は、燃料取替用水ピット水位が16.5%となれば再循環切替を実施し、長期にわたる炉心冷却を継続する。また、余熱除去系を使用できる状態になれば、フィードアンドブリード運転を停止し、余熱除去系により長期にわたる炉心冷却を継続する。
蒸気発生器給水回復操作 (解析上考慮せず)	運転員a	<ul style="list-style-type: none"> ●電動補助給水ポンプ手動起動 ●タービン動補助給水ポンプ手動起動 ●電動主給水ポンプ手動起動 (中央制御室操作) 	適宜実施		
フィードアンドブリード運転操作	運転員b	<ul style="list-style-type: none"> ●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入確認 ●加圧器逃がし弁全弁開操作 (中央制御室操作) 	約5分	継続操作	フィードアンドブリード運転が、解析上、期待している約29分までに実施できる。
格納容器内圧力継続監視 (解析上考慮せず)		<ul style="list-style-type: none"> ●格納容器内圧力継続監視 (中央制御室操作) 		継続監視	格納容器内圧力が0.127MPaとなれば、格納容器スプレイ作動となる。
燃料取替用水ピット水位継続監視 (解析上考慮せず)		<ul style="list-style-type: none"> ●燃料取替用水ピット水位継続監視 (中央制御室操作) 		継続監視	燃料取替用水ピット水位が16.5%となれば、低温再循環切替を実施する。
格納容器スプレイ作動 (解析上考慮せず)		<ul style="list-style-type: none"> ●格納容器スプレイ作動を確認 (中央制御室操作) 			
再循環切替 (解析上考慮せず)		<ul style="list-style-type: none"> ●再循環切替 (中央制御室操作) 			
フィードアンドブリード運転停止 (解析上考慮せず)	<ul style="list-style-type: none"> ●加圧器逃がし弁閉、高圧注入ポンプ停止 (中央制御室操作) 				
余熱除去系による1次系の冷却 (解析上考慮せず)	<ul style="list-style-type: none"> ●余熱除去系による1次系の冷却 (中央制御室操作) 				
蒸気発生器給水回復操作 (解析上考慮せず)	運転員c 災害対策要員A	<ul style="list-style-type: none"> ●現場移動／電動補助給水ポンプ起動操作 ●現場移動／タービン動補助給水ポンプ起動操作 (現場操作) 	適宜実施		
SG直接給水用高圧ポンプによる給水準備 (解析上考慮せず)		<ul style="list-style-type: none"> ●現場移動／SG直接給水用高圧ポンプの使用準備 (現場操作) 	操作後移動		SG直接給水用高圧ポンプの使用準備が完了すれば、蒸気発生器へ給水を開始する。
蒸気発生器給水回復操作 (解析上考慮せず)	運転員d	<ul style="list-style-type: none"> ●現場移動／電動主給水ポンプ起動操作 (現場操作) 	適宜実施		

1. 対応手順の概要フロー

原子炉格納容器の除熱機能喪失 (大LOCA+低圧再循環機能喪失+格納容器スプレイ機能喪失) に対する対応手順

(解析上の時刻)

(0分)

冷却材喪失 (大破断)

原子炉トリップ・タービントリップ・発電機トリップの確認

非常用炉心冷却設備作動信号の発信*1

原子炉格納容器スプレイ作動信号の発信*2

格納容器スプレイの作動不能を確認
(中央制御室での機器作動状況、スプレイ流量による確認)

凡例

- : 操作・確認
- : プラント状態
- : 判断

- * 1 : 以下の機器の自動起動を確認する。
・ 高圧注入ポンプ
・ 低圧注入ポンプ
・ 電動補助給水ポンプ
- * 2 : 格納容器スプレイポンプの自動起動を確認する。
- * 3 : 運転要領では燃料取替用水ピット水位16.5%に到達すれば再循環切替操作を実施する。

(約42分)

再循環モードへ切替操作実施*3

低圧再循環の作動不能を確認*4
(中央制御室での機器作動状況、流量による確認)

原子炉補機冷却系による格納容器自然対流冷却の準備
(原子炉補機冷却系の沸騰防止のために実施するサージタンク加圧)

格納容器スプレイ回復操作

代替格納容器スプレイポンプの準備

代替格納容器スプレイポンプの準備完了

(約4.0時間)

格納容器最高使用圧力到達*5

燃料取替用水ピットへの補給
[解析上 考慮せず]

低圧再循環回復操作
[解析上 考慮せず]

中央制御室での主蒸気逃がし弁による1次冷却系強制冷却
[解析上 考慮せず]

原子炉補機冷却系による格納容器自然対流冷却の準備が完了

[解析上 考慮せず]

[解析上 考慮せず]

30分を仮定

格納容器最高使用圧力到達を確認

(約4.5時間)

原子炉補機冷却系による格納容器自然対流冷却を開始

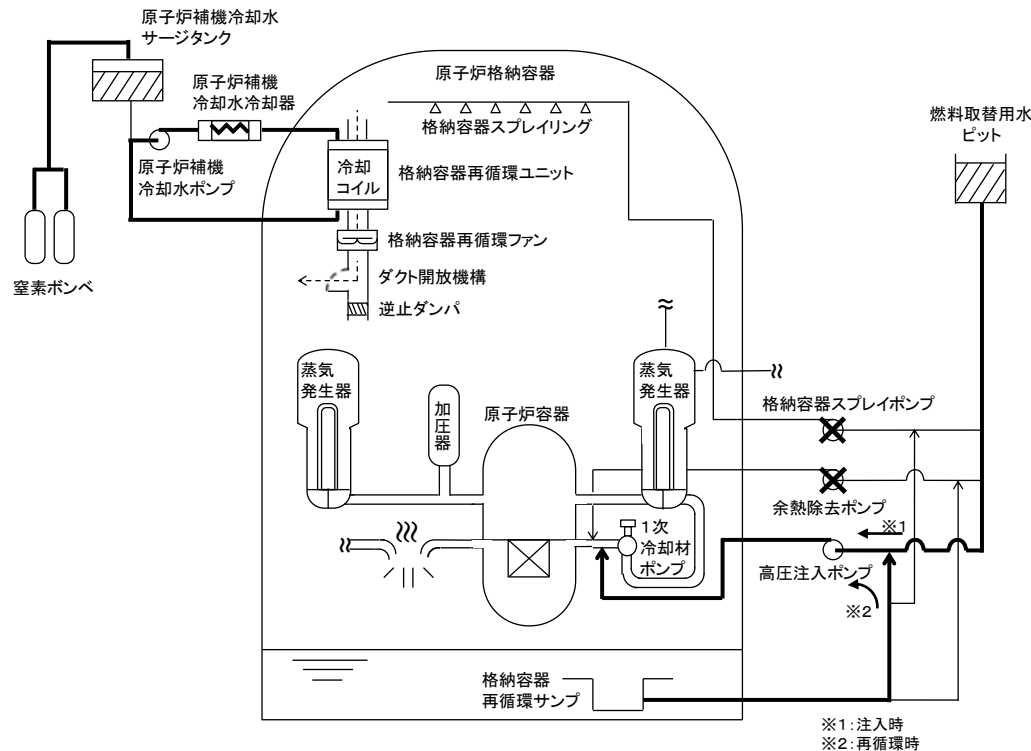
高圧再循環及び格納容器自然対流冷却による長期冷却を継続
炉心冷却維持及び格納容器圧力の低下傾向を確認

- * 4 : 高圧再循環への切替は成功する。
- * 5 : 原子炉格納容器圧力 0.283 MPa [gage]

2. 主要解析条件及び重大事故対策概要図（短期対策）

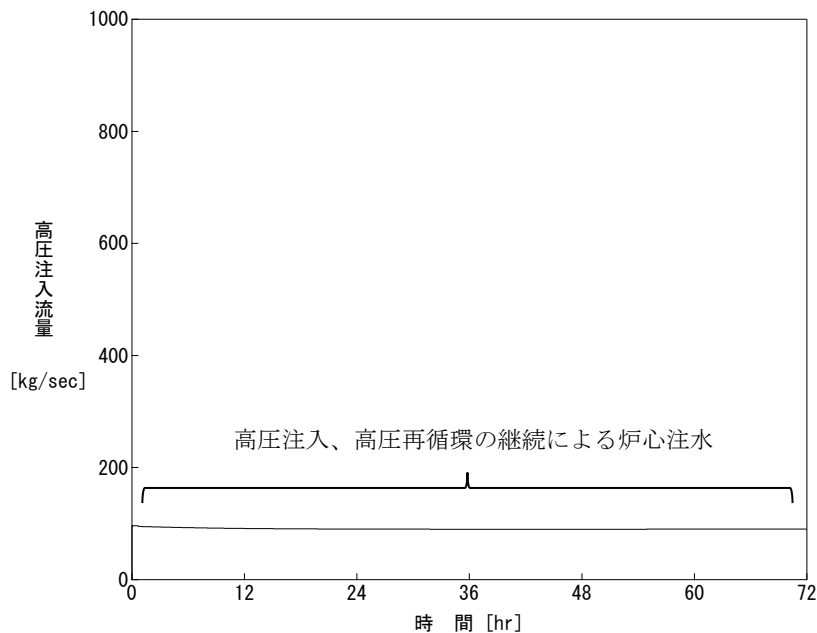
主要解析条件

項目	主要解析条件
解析コード	MAAP
原子炉出力（初期）	100% (2,660Mwt) × 1.02
1次冷却材圧力（初期）	15.41+0.21MPa [gage]
1次冷却材平均温度（初期）	304.5°C
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)
格納容器自然対流冷却開始	格納容器最高使用圧力到達+30分
格納容器再循環ユニットへの通水流量	120m ³ /h × 2台
破断位置、口径	低温側配管の完全両端破断
格納容器自由体積	67,400m ³
1次冷却材体積	264m ³

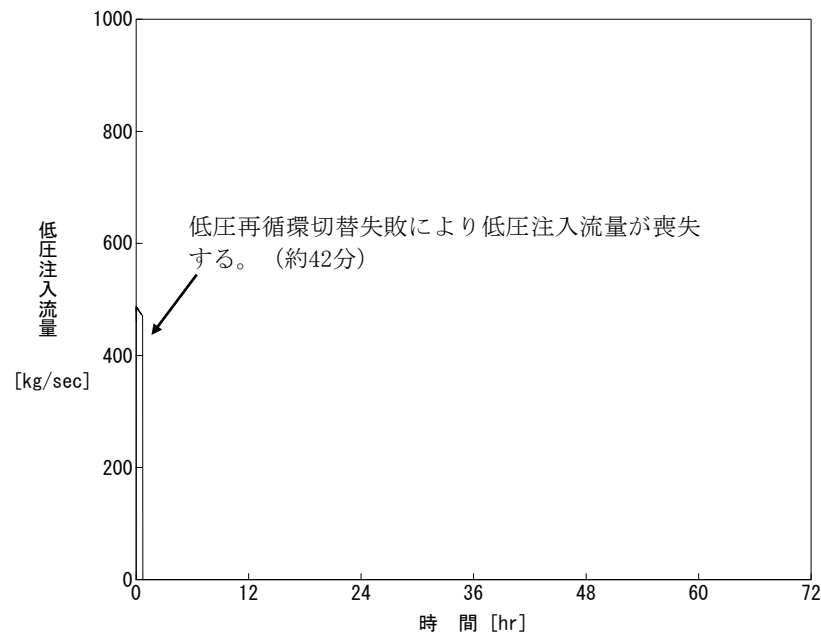


第1図 重大事故対策概要図（短期対策）

3. 主要なパラメータの解析結果 (1)



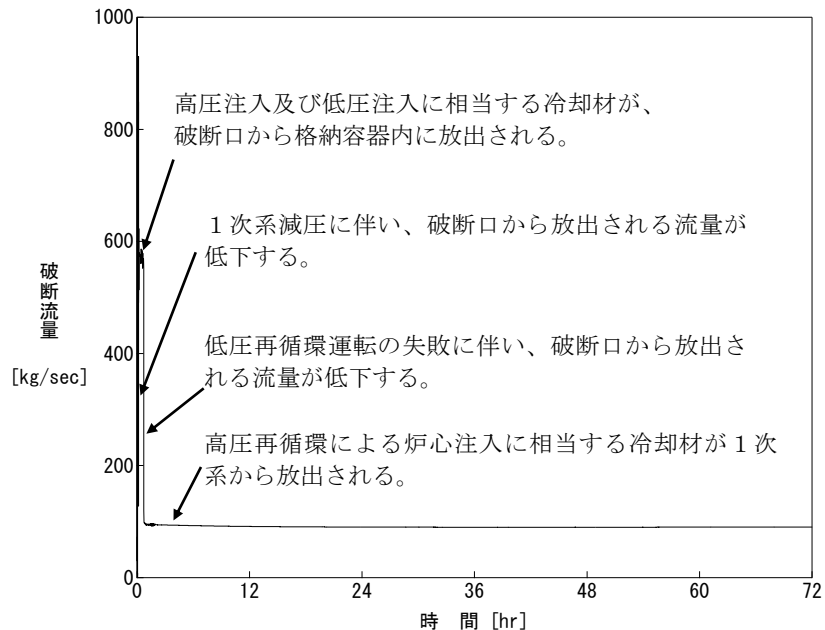
第2図 高圧注入流量の推移



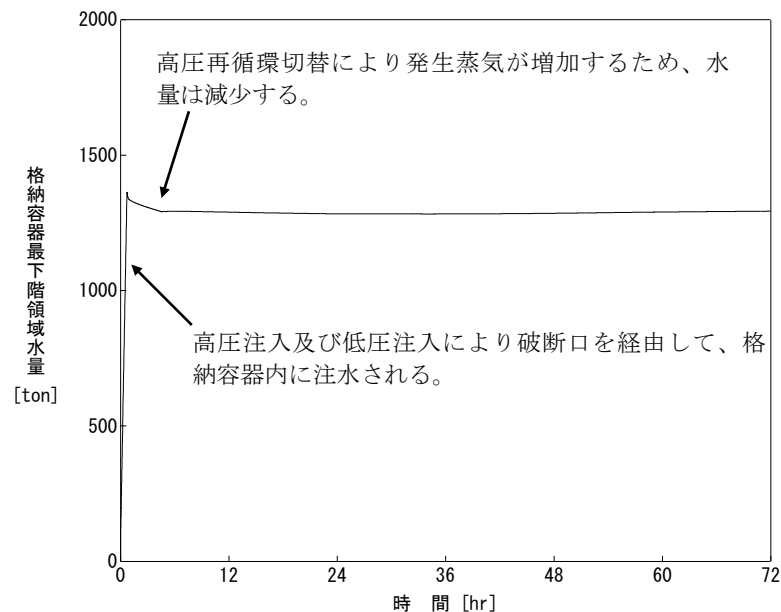
第3図 低圧注入流量の推移

事象発生後、高圧注入及び低圧注入が作動する。その後、再循環運転以降後低圧再循環運転に失敗し、高圧再循環運転のみが継続する。

3. 主要なパラメータの解析結果 (2)



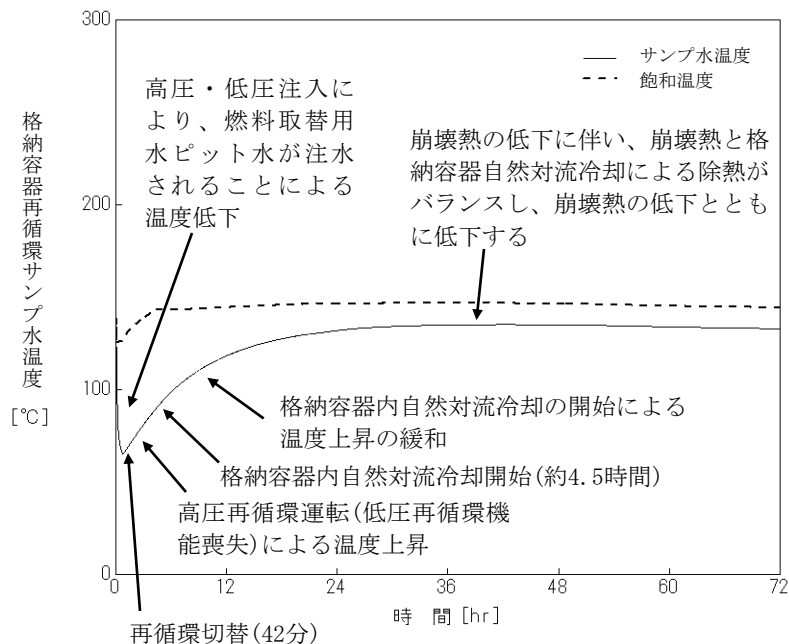
第4図 破断流量の推移



第5図 格納容器最下階領域水量の推移

事象発生後、破断口から冷却材が放出される。以降、高圧注入及び低圧注入に相当する流量が放出され、再循環切替え操作以降、高圧再循環流量に相当する流量に収束する。

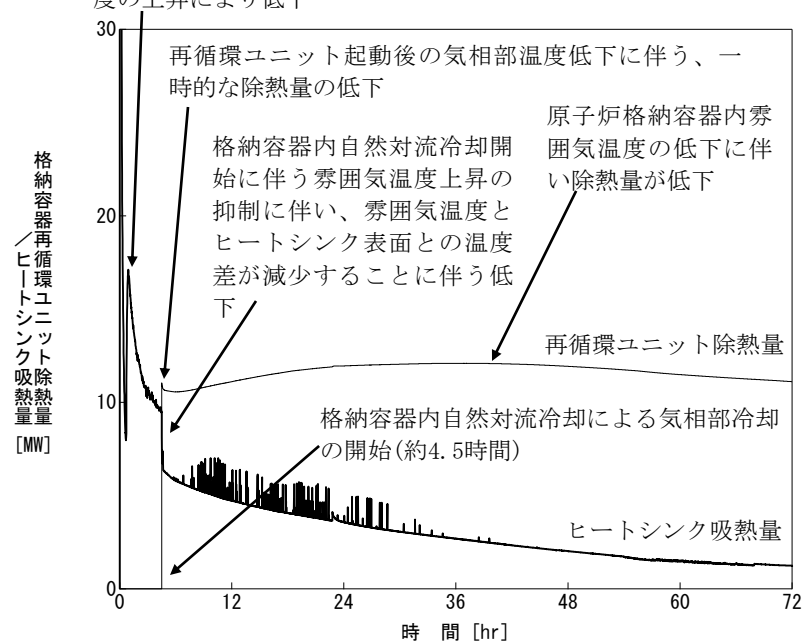
3. 主要なパラメータの解析結果 (3)



第6図 格納容器再循環サンプル水温度の推移

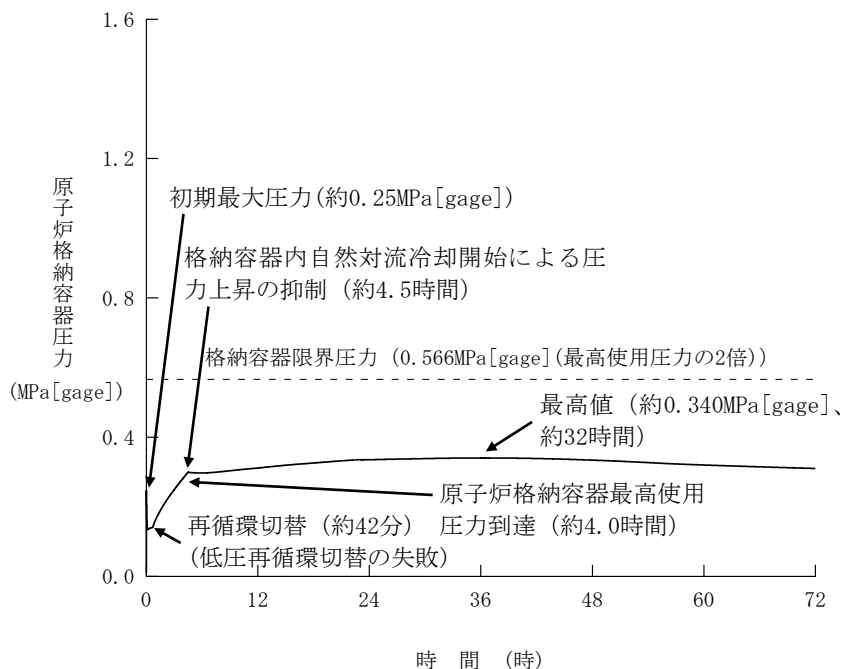
事象発生後、高圧注入及び低圧注入が作動し低下する。再循環運転切替後上昇するが、格納容器自然対流冷却により、上昇は緩和され、長期的に低下する。

高圧再循環切替により炉心発生蒸気が増加するためヒートシンク除熱量が増加するが、ヒートシンク温度の上昇により低下

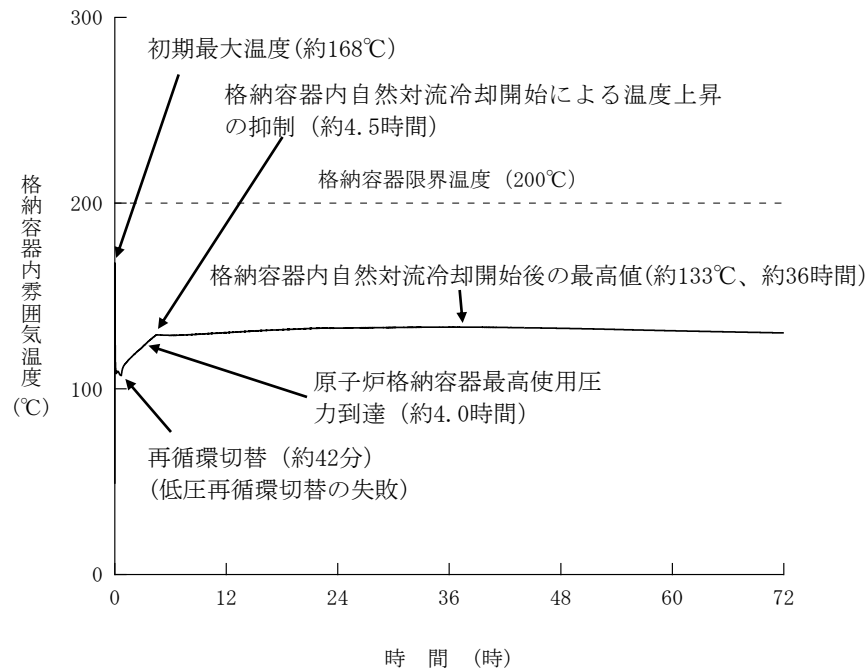


第7図 格納容器からの除熱量の推移

3. 主要なパラメータの解析結果 (4)



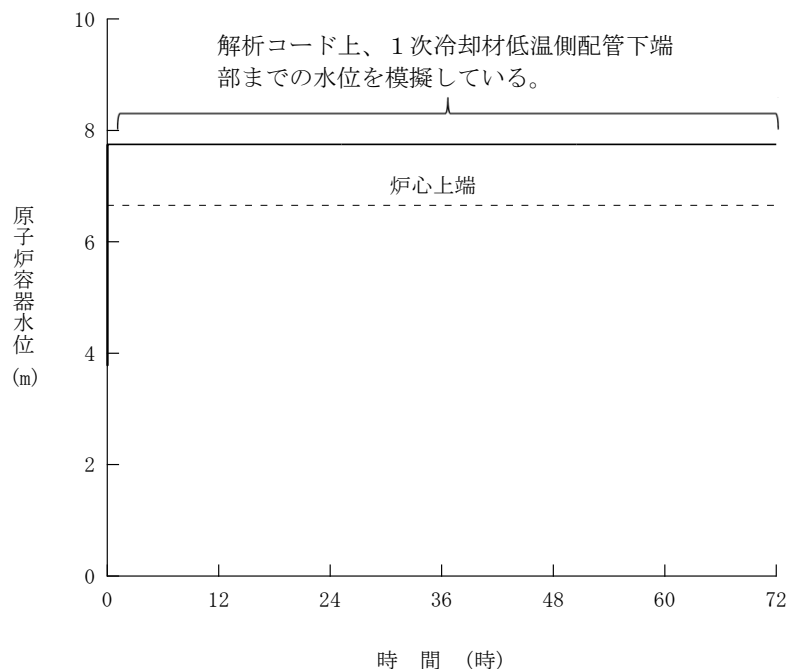
第8図 原子炉格納容器圧力の推移



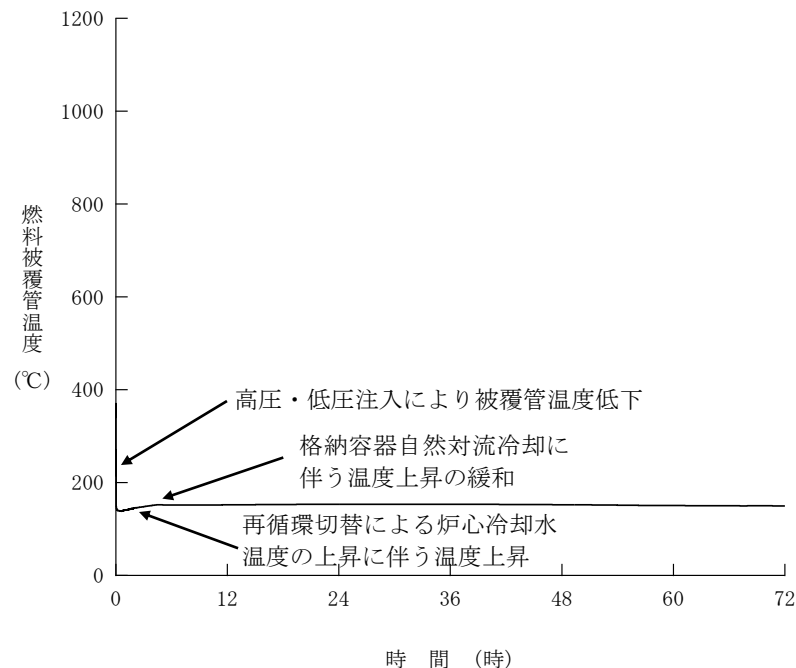
第9図 格納容器雰囲気温度の推移

大破断LOCAの発生により、1次冷却材が原子炉格納容器に放出されることで、原子炉格納容器内圧力及び雰囲気温度は上昇するが、格納容器内自然対流冷却により、原子炉格納容器圧力及び雰囲気温度の上昇は抑制され、限界圧力、限界温度未達となる。

3. 主要なパラメータの解析結果（5）



第10図 原子炉容器水位の推移

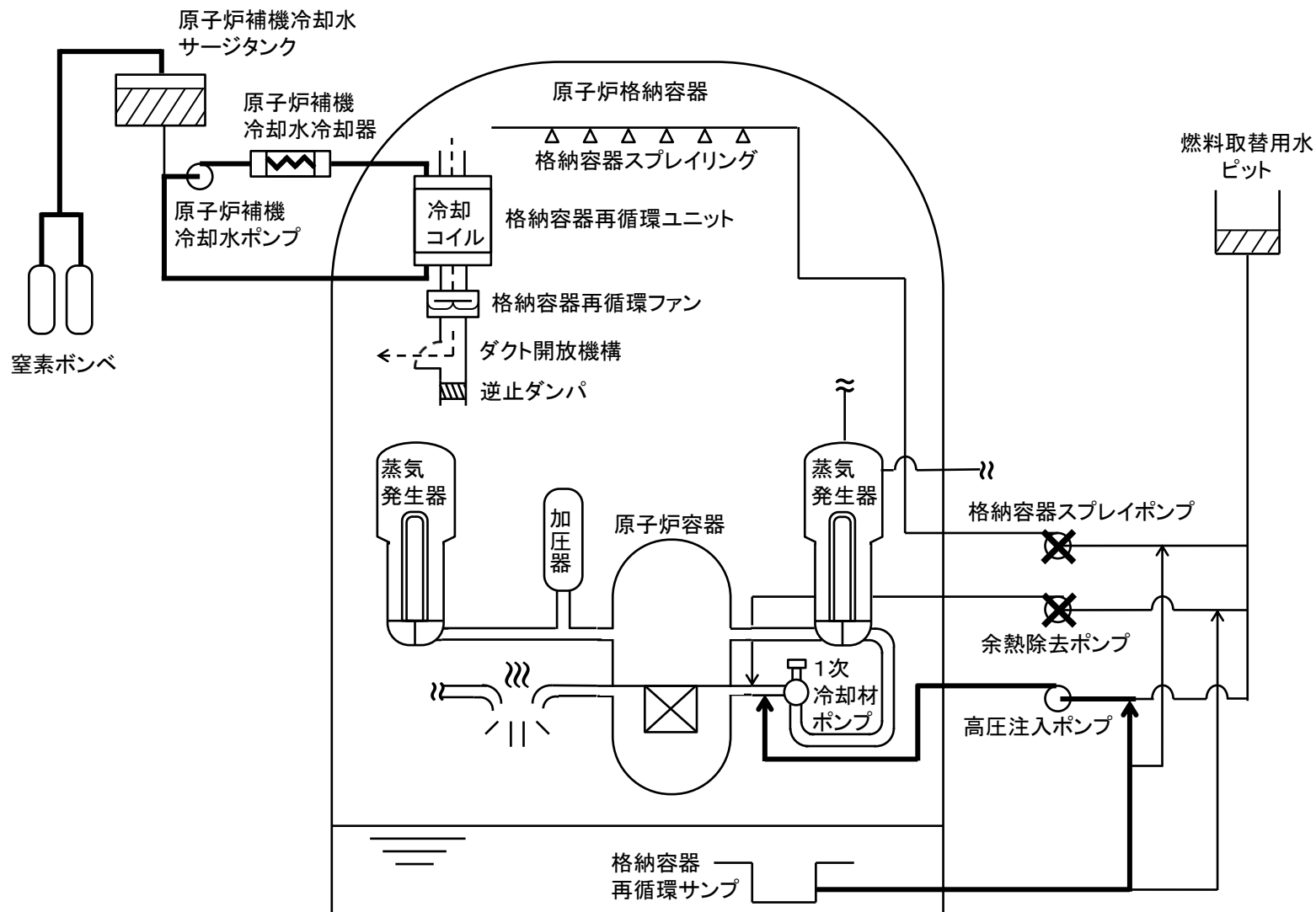


第11図 燃料被覆管温度の推移

大破断LOCAの発生により、一時的に低下するが、高圧注入及び低圧注入が作動し水位を回復する。再循環切替後も、高圧再循環が継続するため炉心は冠水状態を維持する。

事象発生後、高圧注入及び低圧注入が作動し低下する。再循環切替後も、高圧再循環が継続するため炉心は冠水状態を維持し、冷却材温度の変化に伴い変動する。

4. 重大事故対策概要図（長期対策）



第7図 重大事故対策概要図（長期対策）

5. 使用機器リスト (1)

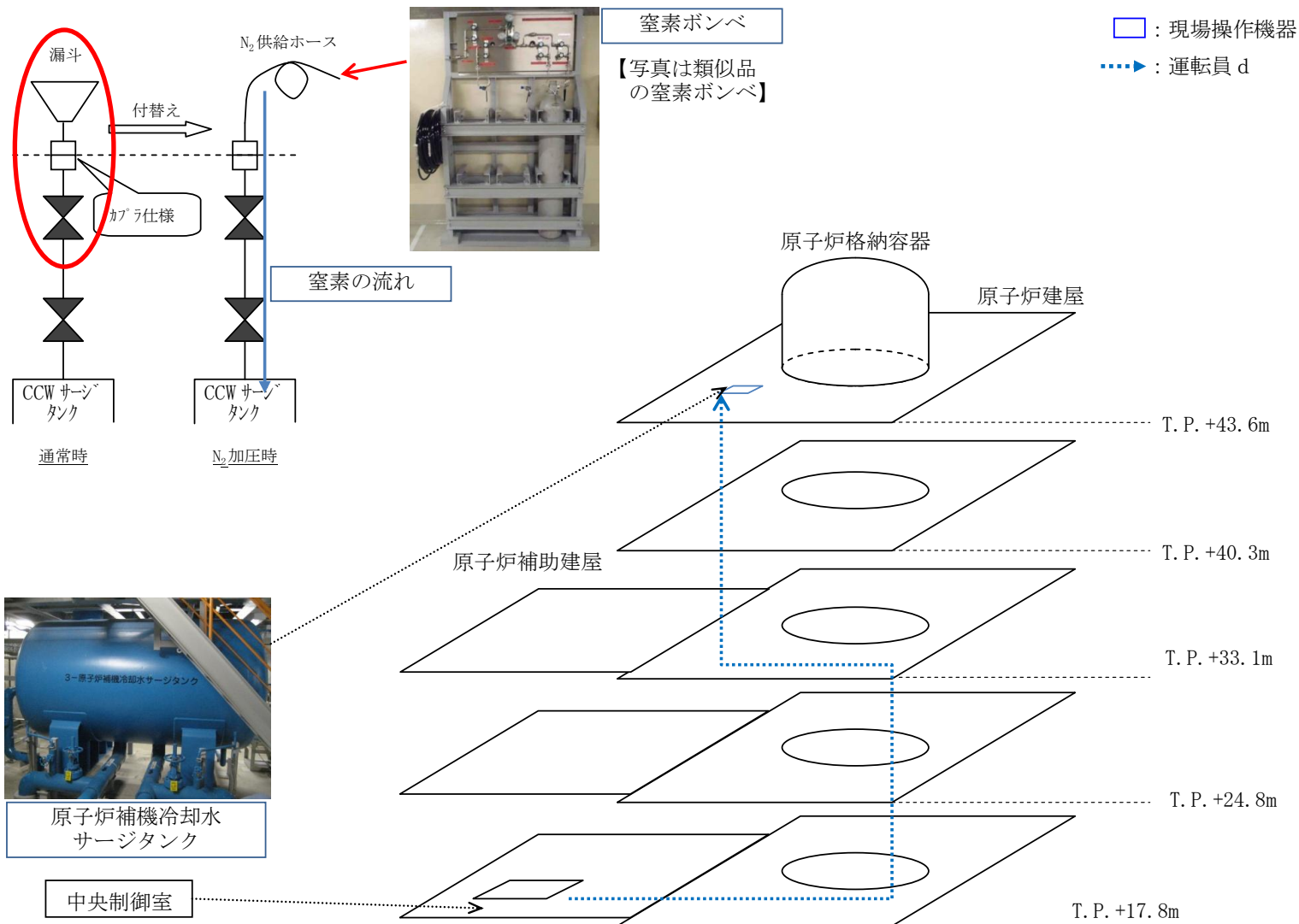
対象機器	重大事故対策	要求事項	仕様	備考
主蒸気逃し弁	2次系強制冷却	—	—	崩壊熱を除去するのに十分な容量があり、各主蒸気管に1個あることから多重性を有する。
電動補助給水ポンプ	2次系強制冷却	—	—	通常の給水システムの機能が失われた場合でも、崩壊熱を除去するのに十分な冷却水を供給する。
高圧注入ポンプ	高圧炉心注入 高圧再循環運転	—	—	炉心損傷を防止するため、燃料取替用水ピットの水を炉心に注入する。燃料取替用水ピットの水位低下後、高圧再循環運転により、炉心注入を継続する。
余熱除去ポンプ	低圧炉心注入	—	—	炉心損傷を防止するため、燃料取替用水ピットの水を炉心に注入する。
格納容器再循環ユニット	格納容器内自然対流冷却	・格納容器自然対流冷却開始時間：約4.5時間	—	重大事故等発生時には、格納容器再循環ユニット内の冷却コイルに原子炉補機冷却水を通水することにより、格納容器再循環ファンが停止している場合においても、格納容器自然対流冷却を行う。
原子炉補機冷却水ポンプ	格納容器内自然対流冷却	・格納容器自然対流冷却開始時間：約4.5時間	—	格納容器再循環ユニット内の冷却コイルに原子炉補機冷却水を通水する。
原子炉補機冷却水冷却器	格納容器内自然対流冷却	・格納容器自然対流冷却開始時間：約4.5時間	—	格納容器再循環ユニット内の冷却コイルに通水した原子炉補機冷却水を冷却する。
原子炉補機冷却水サージタンク加圧用可搬型窒素ポンプ	格納容器内自然対流冷却	・格納容器自然対流冷却開始時間：約4.5時間	・容量：約46.7ℓ、2個 (+予備2個)	格納容器再循環ユニット内の冷却コイルに通水した原子炉補機冷却水が沸騰するのを防止するため、原子炉補機冷却水システムを加圧する。

6. 使用機器リスト（2）：有効性評価で期待していない代替機器

対象機器	重大事故対策	要求事項	仕様	備考
代替格納容器スプレィポンプ	代替格納容器スプレィ	—	<ul style="list-style-type: none"> ・容量：150m³/h/台 ・揚程：300m ・台数：1台 	原子炉格納容器スプレィ系統の配管を通じて燃料取替用水ピットの水および海水を格納容器にスプレィする。

7. 操作機器配置図（建屋内）（1）

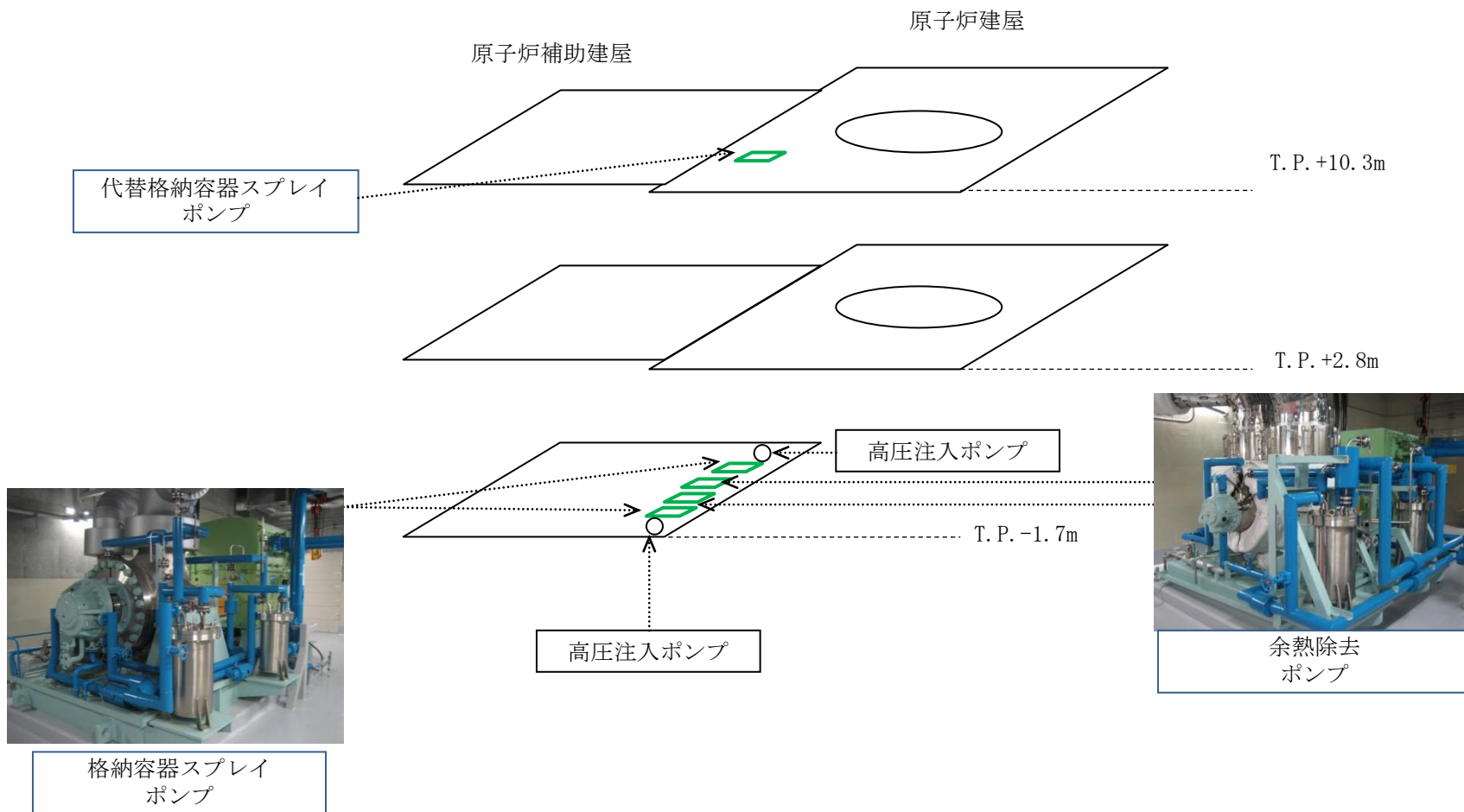
（大LOCA+低圧再循環機能喪失+格納容器スプレイ機能喪失）



7. 操作機器配置図（建屋内）（2）

（大LOCA+低圧再循環機能喪失+格納容器スプレイ機能喪失）

□：現場操作機器（解析上考慮せず）



8. 必要な要員と作業項目

(大LOCA+低圧再循環機能喪失+格納容器スプレイ機能喪失)

●夜間・休日の初動対応要員

		対応要員数	実働要員	
運転員	3号機中央制御室	6名	6名	
災害対策要員	社員 (当番(指揮、通報))	(1~3号共通)3名	3名 ※5	
	社員 (運転支援、電源、給水等)	(3号)3名	1名 ※4	
	協力会社 (運転支援、電源、給水等)	(3号)4名		
	協力会社(瓦礫撤去、給油ホース接続)	(1~3号共通)2名		2名 ※6
	協力会社(消防)	(1~3号共通)8名		8名 ※6
小計		26名	20名	
		余裕	6名★	

対応要員の内訳	要員 ※3	作業内容	時間	作業場所			
○運転員(3号機中央制御室対応要員) 3号機運転員(3名) ・発電課長(当直) ・副長 ・運転員a	運転員a	【格納容器スプレイ系機能回復操作(解析上考慮せず)】 格納容器スプレイポンプ手動起動	—	中央制御室			
		【再循環切替操作】 再循環切替操作	—				
		【低圧再循環機能回復操作(解析上考慮せず)】 低圧再循環機能回復操作	—				
		【2次系による1次系強制冷却操作(解析上考慮せず)】 主蒸気逃がし弁開放	—				
		【格納容器自然対流冷却の準備】 原子炉補機冷却水系加圧操作	≤約4.5時間				
		【格納容器自然対流冷却】 格納容器再循環ユニットによる格納容器自然対流冷却操作	≤約4.5時間				
		【燃料取替用水ピット補給操作(解析上考慮せず)】 燃料取替用水ピット補給操作	—				
		○災害対策要員(1名) ・災害対策要員A	運転員b		【格納容器スプレイ系機能回復操作(解析上考慮せず)】 格納容器スプレイポンプ起動操作	—	原子炉補助建屋
			運転員c 災害対策要員A		【代替格納容器スプレイポンプ起動準備(解析上考慮せず)】 代替格納容器スプレイポンプ起動準備	—	原子炉建屋
			運転員c		【低圧再循環機能回復操作(解析上考慮せず)】 低圧再循環機能回復操作	—	原子炉建屋 原子炉補助建屋
	運転員d	【燃料取替用水ピット補給ラインアップ操作(解析上考慮せず)】 燃料取替用水ピット補給ラインアップ	—	原子炉補助建屋			
		【格納容器自然対流冷却の準備】 原子炉補機冷却水系加圧操作	≤約4.5時間	原子炉建屋			
		【代替格納容器スプレイポンプ準備(解析上考慮せず)】 代替格納容器スプレイポンプ受電準備	—	原子炉補助建屋			

※5: 社員(当番(指揮、通報))は、緊急時対策所にて、指揮または通報の対応を専属で行う。

※6: 災害対策要員のうち、協力会社(瓦礫撤去、給油ホース接続)および協力会社(消防)は、それぞれの作業を専属で担当することから、他の作業およびサポート要員としては配置しない。したがって、それぞれが担当する作業が発生しない場合であっても、対応要員全員が作業している表記としている。

●召集要員構成(H25.7.17現在)

召集要員	宮丘地区※1	325名
	地元4力町村※2	104名
小計		429名

※1: 宮丘地区からの召集要員とは、社員[社宅、みやおか寮、柏木寮、桜木寮、はまなす寮]

※2: 地元4力町村からの召集要員とは、宮丘地区を除く、地元4力町村(岩内町、共和町、泊村、神恵内村)

※3: 要員数については実際の現場移動時間および作業時間を考慮した人員である。*

ただし、今後の更なる要員の検討により変更が必要となる可能性がある。

※4: 災害対策要員(社員3名、協力会社4名)のうち、1名が対応する。

○要員人数	平日昼間に事故が発生した場合に十分な要員数を確保できるのは当然のことながら、夜間・休日においても、初動対応要員(運転員、災害対策要員)および召集要員(技術系社員)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。
-------	--

★初動対応開始後、サポート要員6名を中央制御室に待機させ、通信手段の不具合や要員の受傷など不測の事態に備える。

(大LOCA+低圧再循環機能喪失+格納容器スプレイ機能喪失)

手順の項目	要員	手順の内容	経過時間(分)							備考								
			10	20	30	40	50	1	2		3	4	5	6	7			
状況判断	運転員	<ul style="list-style-type: none"> ●原子炉トリップ・タービントリップ・発電機トリップ確認 ●非常用炉心冷却設備作動信号の発信の確認 ●1次冷却材喪失の判断 1次冷却材圧力低下、加圧器水位低下、格納容器内圧力上昇、格納容器内温度上昇、格納容器再循環サンプル水位上昇、格納容器高レンジエリアモニタ指示値上昇 ●高圧・低圧注入自動作動を確認 高圧注入ポンプ起動確認、余熱除去ポンプ起動確認 ●格納容器スプレイ機能喪失確認 格納容器スプレイポンプ運転状態の確認 ●補助給水ポンプ起動確認 	10分													その後は、高圧再循環および格納容器内自然対流冷却により長期冷却を実施する。		
格納容器スプレイ系機能回復操作 (解析上考慮せず)	運転員a	●格納容器スプレイポンプ手動起動 (中央制御室操作)																
再循環切替操作		●再循環切替操作、低圧再循環機能喪失確認 (中央制御室操作)					約5分											
低圧再循環機能回復操作 (解析上考慮せず)		●低圧再循環機能回復操作 (中央制御室操作)																
2次系による1次冷却系強制冷却操作 (解析上考慮せず)		●主蒸気逃がし弁開放操作 (中央制御室操作)																
格納容器自然対流冷却準備		●原子炉補機冷却系加圧操作準備 (中央制御室操作)					約5分											
格納容器自然対流冷却		●格納容器再循環ユニットによる格納容器自然対流冷却操作 (中央制御室操作)														約5分	●格納容器自然対流冷却が、解析上、期待している約4.5時間までに実施可能。 ●原子炉補機冷却系加圧操作が完了すれば、格納容器自然対流冷却可能となる。	
燃料取替用水ピット補給操作(解析上考慮せず)		●燃料取替用水ピット補給操作 (中央制御室操作)																
格納容器スプレイ系機能回復操作 (解析上考慮せず)		運転員b	●現場移動/格納容器スプレイポンプ起動操作 (現場操作)															
代替格納容器スプレイポンプ準備 (解析上考慮せず)		運転員c 災害対策要員A	●現場移動/代替格納容器スプレイポンプ起動準備 (現場操作)															解析上考慮していないが、事象発生から約40分までに、代替格納容器スプレイポンプの起動準備を行う想定としている。
燃料取替用水ピット補給ラインアップ操作 (解析上考慮せず)		運転員c	●現場移動/燃料取替用水ピット補給ラインアップ操作 (現場操作)															
低圧再循環機能回復操作 (解析上考慮せず)	●現場移動/低圧再循環機能回復操作 (現場操作)																	
代替格納容器スプレイポンプ準備 (解析上考慮せず)	運転員d	●現場移動/代替格納容器スプレイポンプ受電準備 (現場操作)																
格納容器自然対流冷却準備		●現場移動/原子炉補機冷却系加圧操作準備 (現場操作)																
		●原子炉補機冷却系加圧操作 (現場操作)																

凡例 ①:操作が開始できる最早時点 ②:必要操作時間

各操作・作業の必要時間については、実際の現場移動時間および作業時間を確認した上で算出している。(一部、類似の機器に対する作業時間により算出)

1. 対応手順の概要フロー

ECCS再循環機能喪失 (大LOCA+高圧再循環機能喪失+低圧再循環機能喪失) に対する対応手順

(解析上の時刻)
(0分)

(約19分)

(約49分)

30分
を仮定

冷却材喪失 (大破断)

原子炉トリップ・タービントリップ・発電機トリップの確認

非常用炉心冷却設備作動信号の発信*1

原子炉格納容器スプレイ作動信号の発信*2

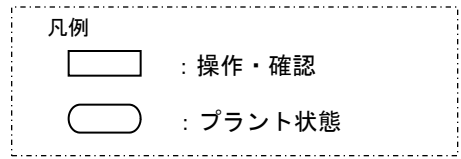
再循環モードへ切替操作実施*3

高圧/低圧再循環の作動不能を確認
(中央制御室での機器作動状況、流量による確認)*4

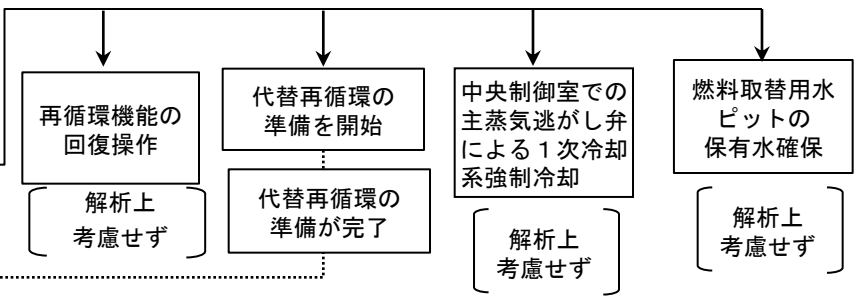
代替再循環による1次冷却系の冷却を開始*5

代替再循環により1次冷却系の冷却が維持されることの確認

代替再循環による1次冷却系の長期冷却を継続する



- * 1 : 以下の機器の自動起動を確認する
 - ・高圧注入ポンプ
 - ・低圧注入ポンプ
 - ・電動補助給水ポンプ
- * 2 : 格納容器スプレイポンプの自動起動を確認する
- * 3 : 運転要領では燃料取替用水ピット水位16.5%に到達後実施する。

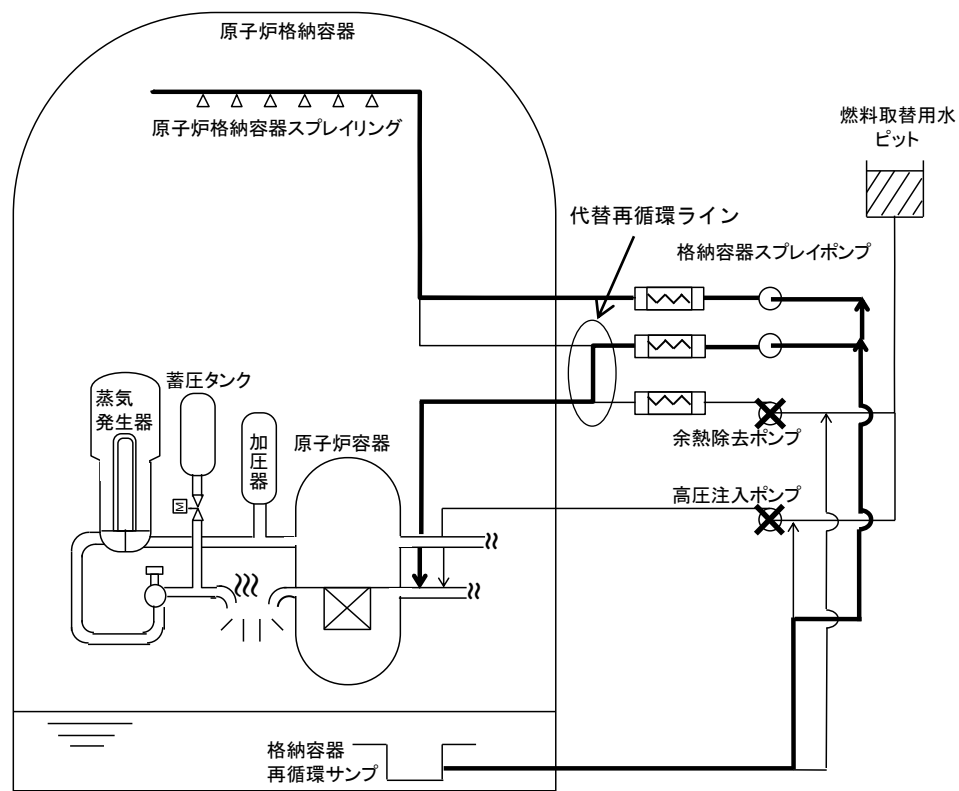


- * 4 : 格納容器スプレイ再循環への切替は成功する。
- * 5 : 準備が完了すれば、その段階で実施する。

2. 主要解析条件および重大事故対策概要図（短期・長期対策）

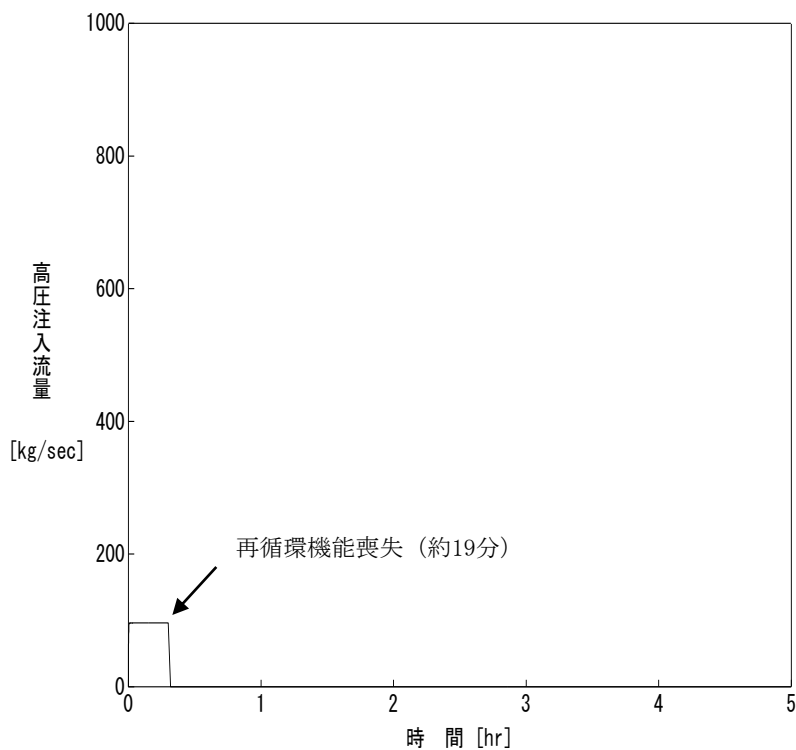
主要解析条件一覧

項目	主要解析条件
解析コード	MAAP
原子炉出力（初期）	100% (2,660 MWt) × 1.02
1次冷却材圧力（初期）	15.41+0.21MPa [gage]
1次冷却材平均温度（初期）	304.5℃
炉心崩壊熱	FP：日本原子力学会推奨値 アクチノド：ORIGEN2 (サイクル末期を仮定)
代替再循環開始	再循環切替失敗後 + 30分 (この間は注水がないと仮定)
代替再循環注水流量	200m ³ /h
破断位置、口径	低温側配管の完全両端破断

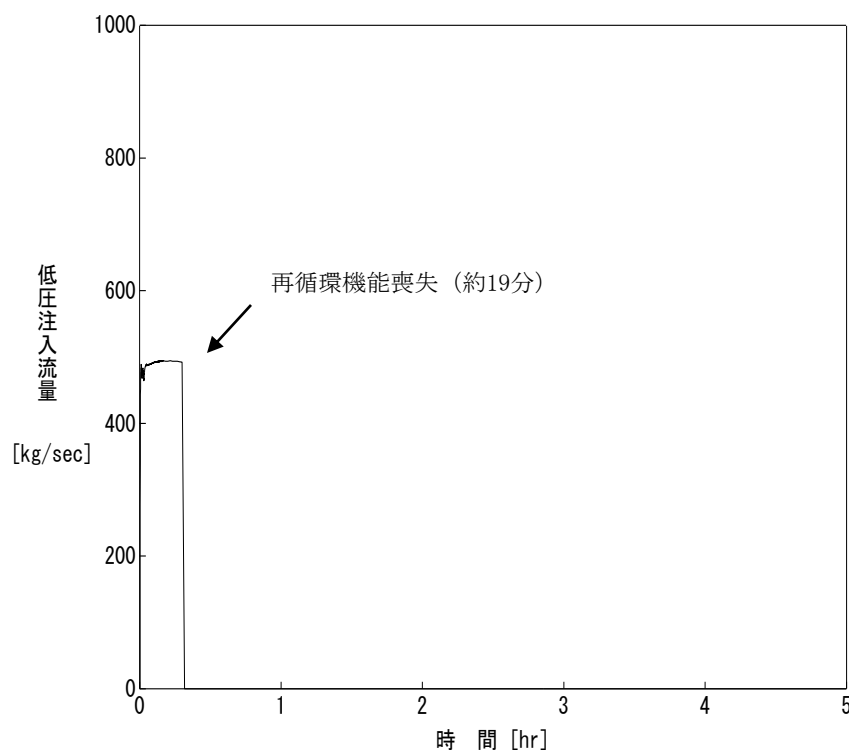


第1図 重大事故等対策概要図（短期・長期対策）

3. 主要なパラメータの解析結果 (1)



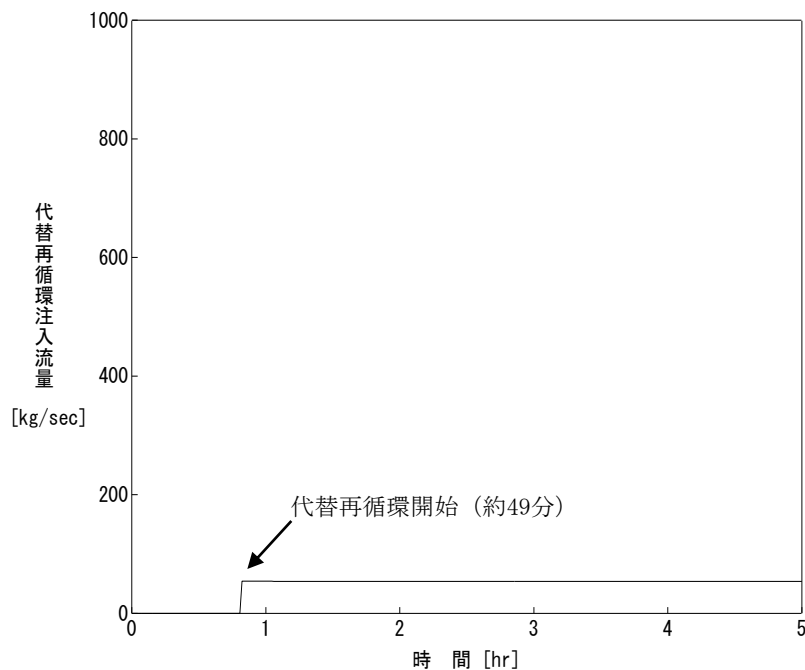
第2図 高圧注入流量



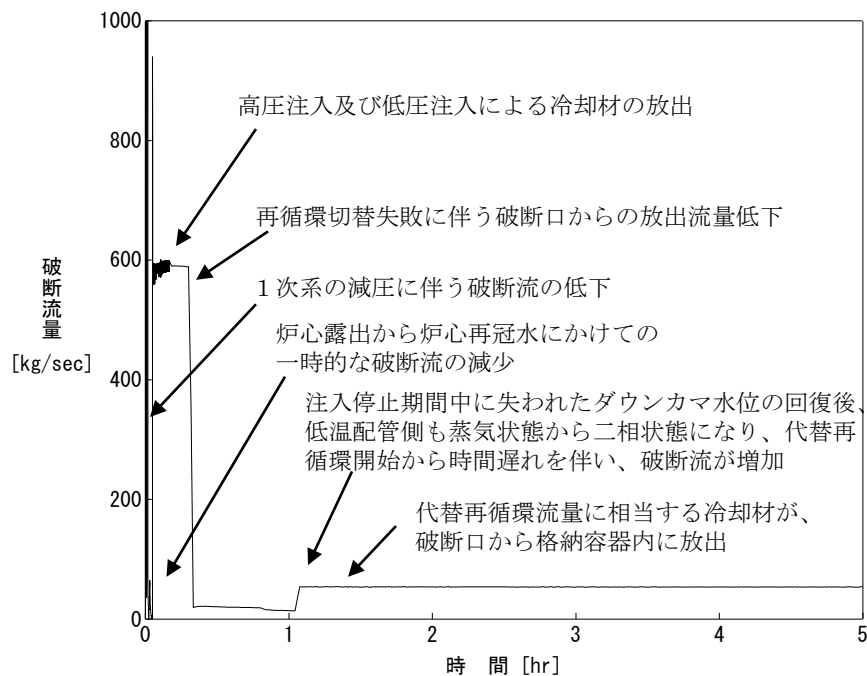
第3図 低圧注入流量

本事象は、大破断LOCA時に高圧、低圧注入及び格納容器スプレイ注入に成功するが、再循環運転移行時に高圧及び低圧再循環運転に失敗する想定であり、格納容器スプレイ再循環運転のみが継続している状態となる。

3. 主要なパラメータの解析結果 (2)



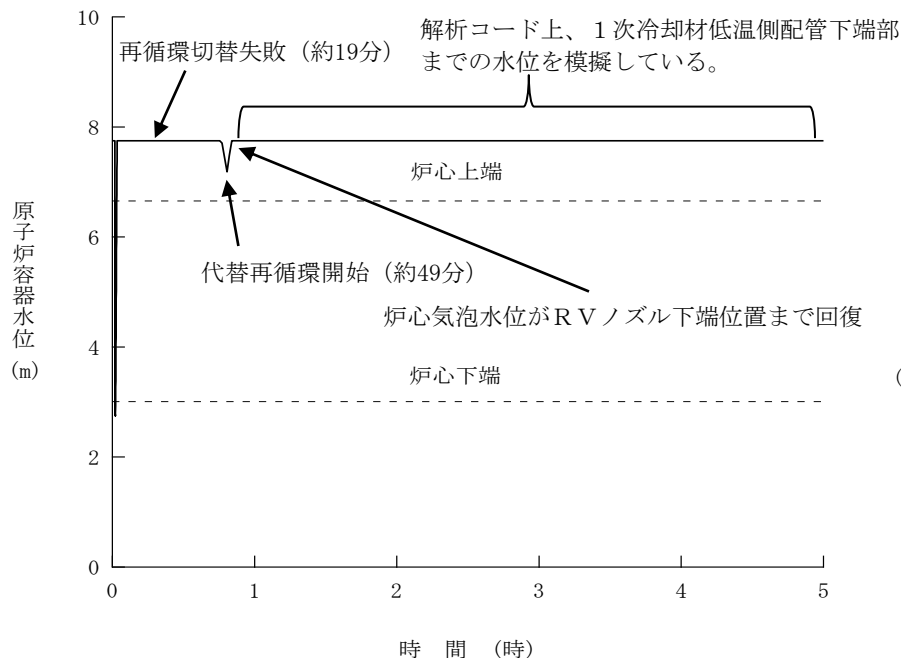
第4図 代替再循環注入流量



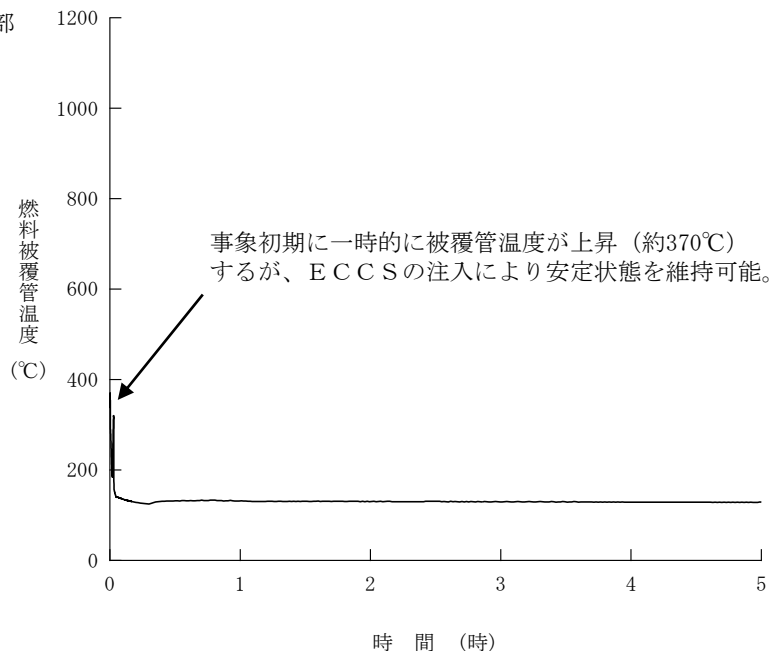
第5図 破断流量

再循環切替失敗から30分後に、代替再循環運転に移行することで、破断口から放出される流量は、代替再循環流量に相当する流量に収束する。

3. 主要なパラメータの解析結果 (3)



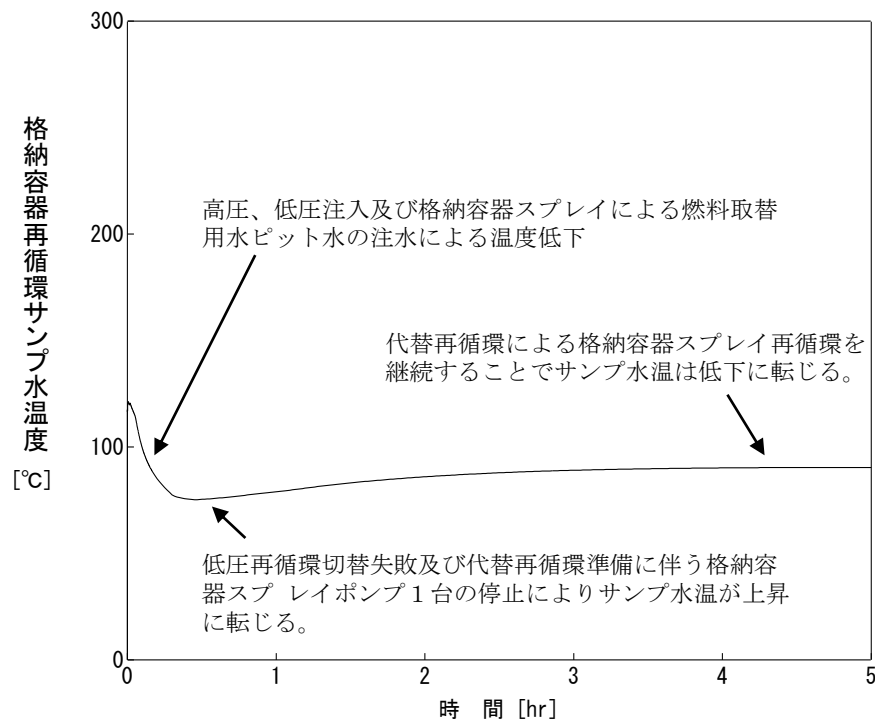
第6図 原子炉容器水位の推移



第7図 燃料被覆管温度の推移

再循環切替失敗後、注入機能が失われることにより原子炉容器水位は一時的に低下するが、再循環切替失敗後30分で代替再循環を開始することにより原子炉容器水位は回復し、炉心は露出しない。

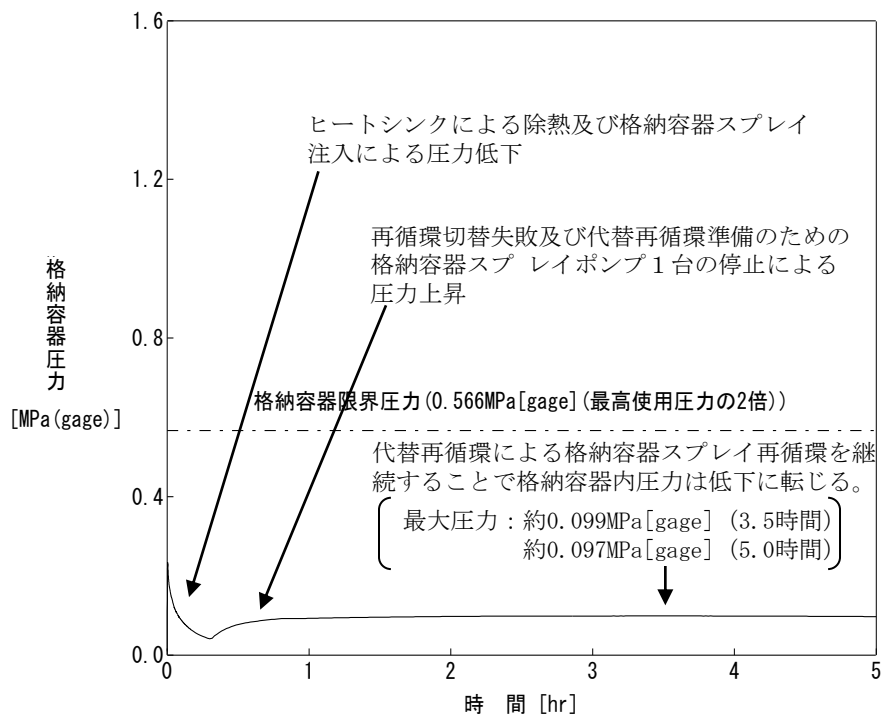
3. 主要なパラメータの解析結果（4）



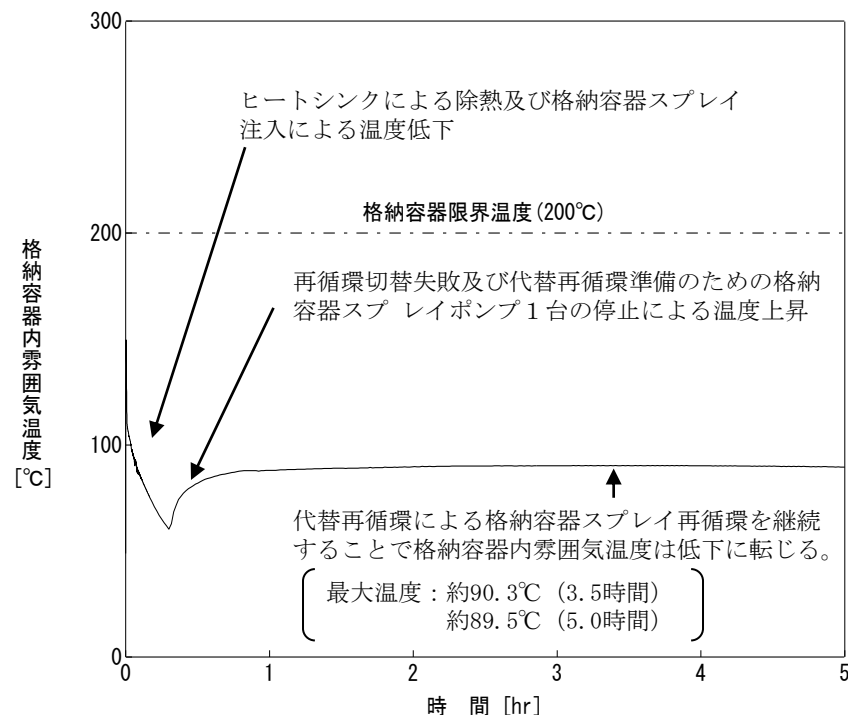
第8図 格納容器再循環サンプル水温度の推移

格納容器再循環サンプル水の温度は、再循環冷却の失敗等で上昇するが、代替再循環による冷却等の効果により低下する。

3. 主要なパラメータの解析結果 (4)



第9図 格納容器圧力の推移



第10図 格納容器内雰囲気温度の推移

事象発生直後からの格納容器スプレイにより格納容器の健全性は維持される。

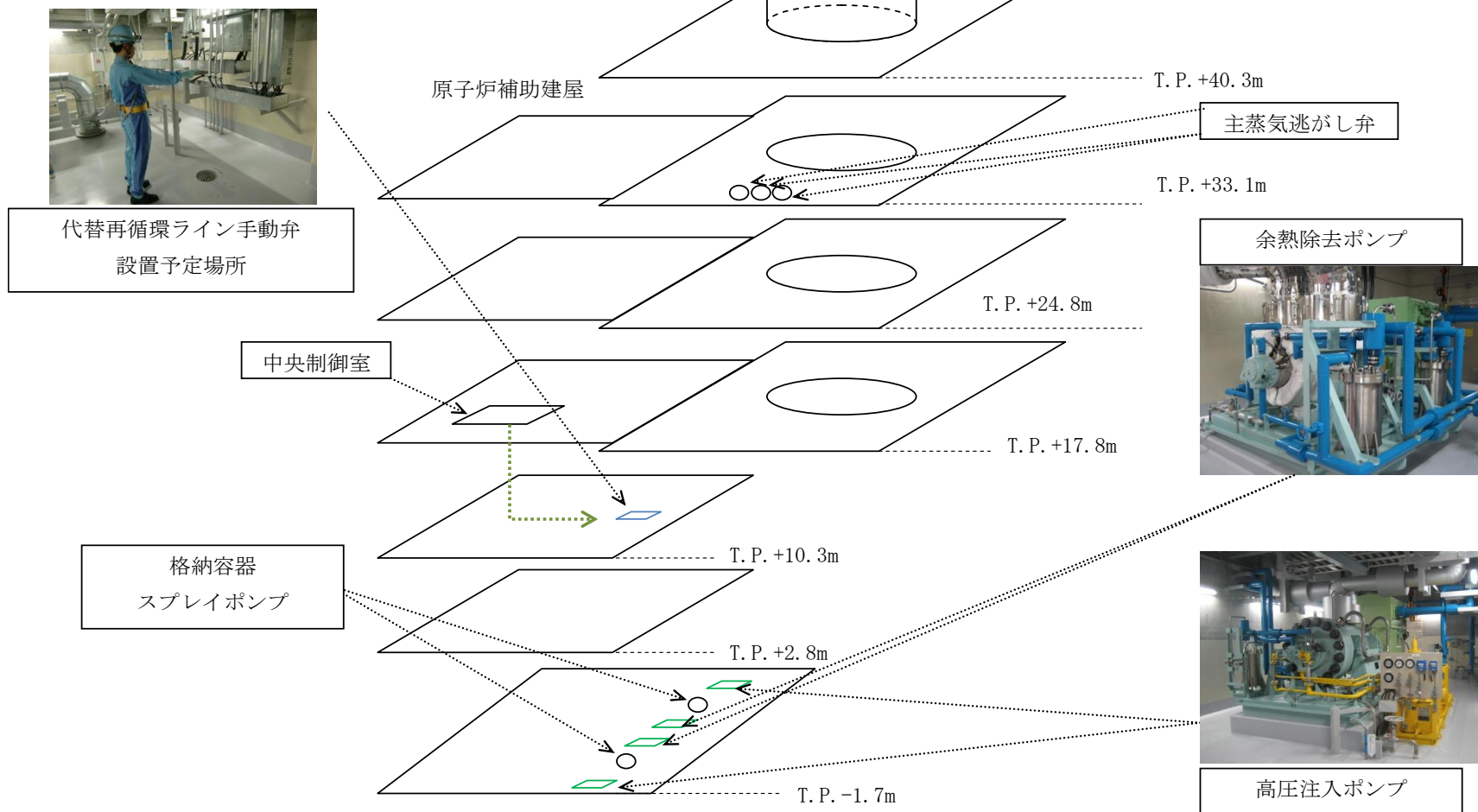
4. 使用機器リスト

対象機器	重大事故対策	要求事項	仕様	備考
主蒸気逃し弁	2次系強制冷却	—	—	崩壊熱を除去するのに十分な容量があり、各主蒸気管に1個あることから多重性を有する。
電動補助給水ポンプ	2次系強制冷却	—	—	通常の給水システムの機能が失われた場合でも、崩壊熱を除去するのに十分な冷却水を供給する。
高圧注入ポンプ	高圧炉心注入	—	—	炉心損傷を防止するため、燃料取替用水ピットの水を炉心に注入する。
余熱除去ポンプ	低圧炉心注入	—	—	炉心損傷を防止するため、燃料取替用水ピットの水を炉心に注入する。
代替再循環配管	代替再循環運転	代替再循環開始時間：約49分	・口径：4インチ	格納容器スプレイ系統と余熱系統を連絡する配管により、余熱除去系統による再循環ができない場合でも、格納容器スプレイ系統を用いた炉心への再循環が可能となる。 現場での手動弁の操作により、代替再循環へのラインの切替えが可能。
格納容器スプレイポンプ	格納容器スプレイ代替再循環運転	代替再循環開始時間：約49分	—	格納容器圧力上昇時に格納容器スプレイを行い、圧力上昇を抑制する。余熱除去系統による再循環ができない場合に、代替再循環配管を経由することにより、炉心への再循環を行なう。
格納容器スプレイ冷却器	代替再循環運転	代替再循環開始時間：約49分	—	余熱除去系統による再循環ができない場合に、代替再循環配管を経由することにより、炉心への再循環を行なう。

5. 操作機器配置図（建屋内）

（大LOCA+高圧再循環機能喪失+低圧再循環機能喪失）

- : 現場操作機器
- : 現場操作機器（解析上考慮せず）
- > : 運転員 d



6. 必要な要員および作業項目

(大LOCA+高圧再循環機能喪失+低圧再循環機能喪失)

●夜間・休日の初動対応要員

		対応要員数	実動要員
運転員	3号機中央制御室	6名	6名
災害対策要員	社員 (当番(指揮、通報))	(1~3号共通)3名	3名 ※4
	社員 (運転支援、電源、給水等)	(3号)3名	0名
	協力会社 (運転支援、電源、給水等)	(3号)4名	0名
	協力会社(瓦礫撤去、給油ホース接続)	(1~3号共通)2名	2名 ※5
	協力会社(消防)	(1~3号共通)8名	8名 ※5
小計		26名	19名
		余裕	7名★

対応要員の内訳	要員 ※3	作業内容	時間	作業場所
○運転員(3号機中央制御室対応要員) 3号機運転員(4名) ・発電課長(当直) ・副長 ・運転員a ・運転員b	運転員a	【再循環切替操作】 再循環切替操作 格納容器スプレイ再循環成功を確認 高圧および低圧再循環切替不能確認	事象発生後 約19分で 実施	中央制御室
		【高圧および低圧再循環機能回復操作(解析上考慮せず)】 高圧および低圧再循環機能回復操作	—	
○運転員(現場操作者) 3号機運転員(2名) ・運転員c ・運転員d	運転員b	燃料取替用水ピットへの補給(解析上考慮せず)	—	
		【代替再循環操作】 ①3B-格納容器スプレイポンプ停止 ②3B-格納容器スプレイポンプによる代替再循環操作	≤約49分	
		【2次系による1次系の冷却(解析上考慮せず)】 主蒸気逃がし弁開放	—	
	運転員c	【高圧および低圧再循環機能回復操作(解析上考慮せず)】 高圧および低圧再循環機能回復操作	—	原子炉補助建屋
	運転員d	燃料取替用水ピットへの補給ラインアップ(解析上考慮せず)	—	原子炉補助建屋
		【代替再循環の準備】 代替再循環ライン手動弁開操作	≤約49分	原子炉補助建屋

●召集要員構成(H25.7.17現在)

召集要員	宮丘地区※1	325名
(技術系社員)	地元4カ町村※2	104名
小計		429名

※1: 宮丘地区からの召集要員とは、社員(社宅、みやおか寮、柏木寮、桜木寮、はまなす寮)

※2: 地元4カ町村からの召集要員とは、宮丘地区を除く、地元4カ町村(岩内町、共和町、泊村、神恵内村)

※3: 要員数については実際の現場移動時間および作業時間を考慮した人員である。
ただし、今後の更なる要員の検討により変更が必要となる可能性がある。

※4: 社員(当番(指揮、通報))は、緊急時対策所にて、指揮または通報の対応を専属で行う。

※5: 災害対策要員のうち、協力会社(瓦礫撤去、給油ホース接続)および協力会社(消防)は、それぞれの作業を専属で担当することから、他の作業およびサポート要員としては配置しない。したがって、それぞれが担当する作業が発生しない場合であっても、対応要員全員が作業している表記としている。

○要員人数	平日昼間に事故が発生した場合に十分な要員数を確保できるのは当然のことながら、夜間・休日においても、初動対応要員(運転員、災害対策要員)および召集要員(技術系社員)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。
-------	--

★初動対応開始後、サポート要員7名を中央制御室に待機させ、通信手段の不具合や要員の受傷など不測の事態に備える。

7. 対応手順と所要時間

(大LOCA+高圧再循環機能喪失+低圧再循環機能喪失)

手順の項目	要員	手順の内容	経過時間(分)												備考
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	
状況判断	運転員	<ul style="list-style-type: none"> ●原子炉トリップ・タービントリップ・発電機トリップ確認 ●非常用炉心冷却設備作動信号発信を確認 ●1次冷却材喪失を判断 1次冷却材圧力低下、加圧器水位低下、格納容器内圧力上昇、格納容器内温度上昇、格納容器再循環サンプ水位上昇、格納容器高レンジエアモニタ指示値上昇 ●格納容器スプレイ作動を確認 ●補助給水ポンプ起動確認 ●補助給水流量確立の確認 (中央制御室)	10分 19分 再循環切替開始 49分 代替再循環開始	備考: その後は、代替再循環継続により長期にわたる炉心冷却を継続する。											
再循環切替操作	運転員a	<ul style="list-style-type: none"> ●再循環切替操作 ●格納容器スプレイ再循環成功を確認 ●高圧および低圧再循環切替不能確認 (中央制御室操作)	約3分												
高圧および低圧再循環機能回復操作 (解析上考慮せず)		<ul style="list-style-type: none"> ●高圧および低圧再循環機能回復操作 (中央制御室操作)	適宜実施												
燃料取替用水ビットへの補給 (解析上考慮せず)		<ul style="list-style-type: none"> ●燃料取替用水ビットへの補給 (中央制御室操作)													
代替再循環操作		<ul style="list-style-type: none"> ●3B-格納容器スプレイポンプ停止 ●3B-格納容器スプレイポンプによる代替再循環操作 (中央制御室操作)	約2分 約15分												格納容器スプレイ系と余熱除去系を接続配管を用いた代替再循環を、解析上、期待している約49分までに実施できる。
2次系による1次系の冷却操作 (解析上考慮せず)	運転員b	<ul style="list-style-type: none"> ●主蒸気逃がし弁開放 (中央制御室操作)													
高圧および低圧再循環機能回復操作 (解析上考慮せず)	運転員c	<ul style="list-style-type: none"> ●現場移動/高圧および低圧再循環機能回復操作 (現場操作)	適宜実施												
燃料取替用水ビットへの補給ラインアップ (解析上考慮せず)		<ul style="list-style-type: none"> ●燃料取替用水ビットへの補給ラインアップ (現場操作)	操作後移動												
代替再循環の準備	運転員d	<ul style="list-style-type: none"> ●現場移動/代替再循環ライン手動弁開操作 (現場操作)						約10分							<ul style="list-style-type: none"> ●格納容器スプレイ系と余熱除去系を接続配管を用いた代替再循環を、解析上、期待している約49分までに実施できる。 ●代替再循環ラインアップが完了すれば、代替再循環操作が可能となる。

凡例 ①: 操作が開始できる最早時点 ②: 必要操作時間