

泊発電所3号機
重大事故等対策有効性評価 成立性確認
補足説明資料

平成25年7月30日
北海道電力株式会社

目次

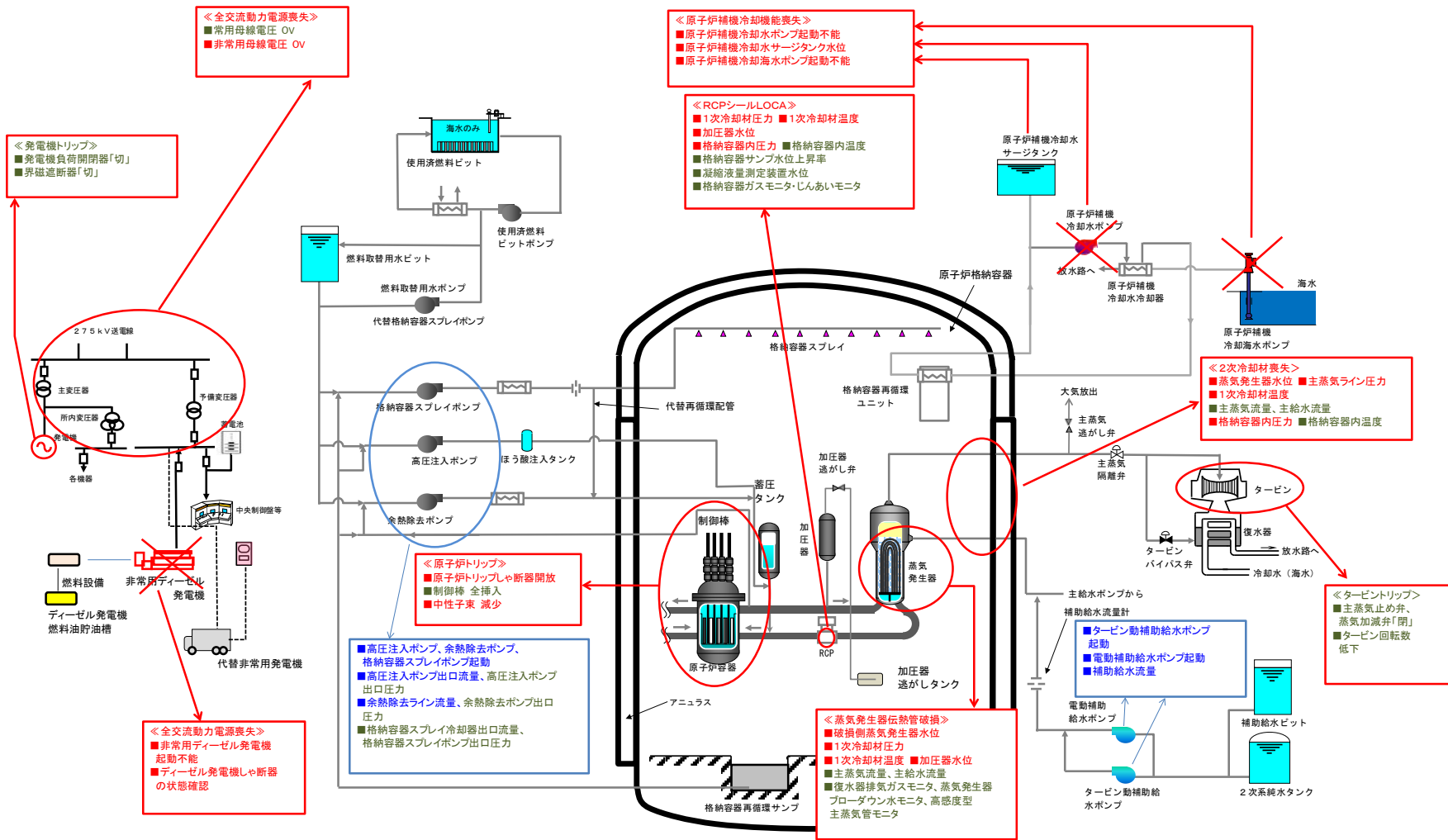
1. 主要解析条件
2. 事故発生直後に確認すべき主要パラメータおよび動作機器
3. 泊発電所の冬期対策
4. 構内アクセス道路およびその斜面の状況
5. 代替屋外給水タンクの使用について
6. 操作および作業の成立性
7. 有効性評価における1次冷却材ポンプシールLOCA時の漏えい量について
8. SBO発生時の長期的な格納容器冷却について
9. 中央制御盤について

1. 主要解析条件

項目	主要解析条件	条件設定の考え方
解析コード	M-RELAP5、COCO	—
原子炉熱出力	102% (2,660MWt×1.02、ATWS以外)	保守的に評価する観点から、定格熱出力に対して、正の定常誤差を考慮した値を設定
1次冷却材圧力	15.41+0.21MPa[gage]	初期1次冷却材圧力を高くすると圧力制限値に対して保守的に評価になること、および冷却材喪失時には流出量を多くし、事象の推移を保守的に評価する観点から、定格値に対して、正の定常誤差を考慮した値を設定
RCPの漏洩率(初期)	約109m ³ /h/台	100D型RCPシールリーク量の最大想定値を評価し、これを上回る量として想定
炉心崩壊熱	FP: AESJ推奨値 アクチニド: ORIGEN2 サイクル末期を仮定	「55Gウラン燃料+1/4MOX燃料炉心」における燃焼度に基づく設定(なお、FP及びアクチニド量が多く崩壊熱が大きくなるサイクル末期を仮定)
蓄圧タンク(保有水量、保持圧力)	29.0m ³ /基, 4.04MPa[gage]	保安規定上の制限値(最低保持圧力、最低保有水量)
代替格納容器スプレイポンプの原子炉への注入流量	30m ³ /h	設計上、RCS保有水量維持に必要な注入流量として設定
2次系強制冷却開始(主蒸気逃がし弁開)	事象発生から30分後	運転員操作余裕時間10分+運転員操作時間20分
1次冷却材圧力の保持	1次冷却材圧力約1.7MPa[gage] (温度約280℃)到達時	蓄圧タンクから1次系への窒素混入防止として設定
蓄圧タンク出口弁閉止	代替交流電源確立+10分	運転員操作時間
2次系強制冷却再開(主蒸気逃がし弁開)	蓄圧タンク出口弁閉止+10分	同上
代替格納容器スプレイポンプ作動	1次冷却材圧力0.7MPa[gage] (温度約170℃)到達時	運転管理上の保守的条件を設定

2. 事象発生直後に確認すべき主要パラメータおよび動作機器

《事故発生直後に確認すべき主要パラメータおよび動作機器》



3. 泊発電所の冬季対策

屋外で作業する要員への対策

- 泊発電所における冬季の屋外作業については、北海道出身・在住の者がほとんどであり、これまでに冬季作業の実績が多数あること、また、屋外作業では、防寒着、手袋等を装備して作業に従事するため冬季においても屋外での作業が可能である。
- 防寒着、手袋等については100着以上の予備を確保しており、不足時や破損等で交換が必要になった場合に備えている。
- 作業時に身体を温めるためのカイロを冬期間に10,000個以上配備している。



防寒着

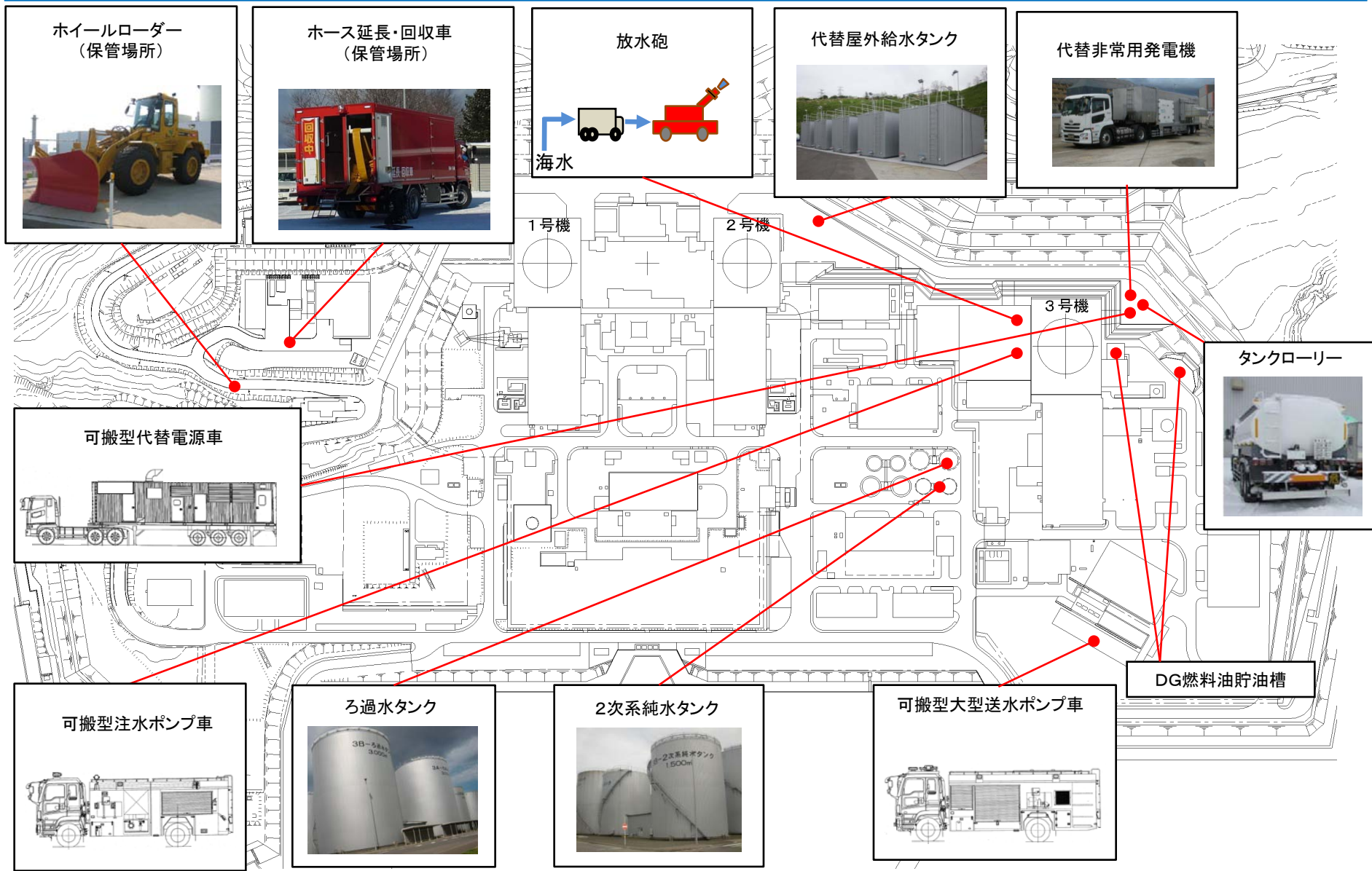
屋外で使用する設備に対する対策

- 屋外で使用する設備は、冬季環境を考慮した設計・仕様としている。

冬季のアクセス

- 気象条件が厳しい冬季においても災害対策要員が宮丘地区から所定の時間で参集可能であることを確認している。
- クローラー車を配備し、宮丘地区からの参集の迅速化を図っている。
- 冬季は、発電所構内および宮丘地区からの参集ルートについて、積雪状況の確認を毎日行っている。また、積雪状況を踏まえて除雪作業を行いアクセスルートを確保している。

3. 泊発電所の冬季対策（屋外設備の機器配置図）



3. 泊発電所の冬季対策（屋外設備の冬季対策）

給水設備

設備名	対策
可搬型注水ポンプ車	<ul style="list-style-type: none"> ・冬タイヤを装着 ・最低使用温度は-19℃として設計・製作 ・ポンプ車は、寒冷地の消防署等で使用されているものと同等 ・内部構成品への保温施工、ヒーター設置、不凍液の使用
可搬型大型送水ポンプ車	
ホース延長・回収車	
放水砲	
代替屋外給水タンク	
ろ過水タンク	<ul style="list-style-type: none"> ・保温施工 ・電気ヒータにより通常5℃以上になるように管理
2次系純水タンク	<ul style="list-style-type: none"> ・保温施工 ・電気ヒータにより通常6℃以上になるように管理

給電設備

設備名	対策
可搬型代替電源車	<ul style="list-style-type: none"> ・冬タイヤを装着 ・最低使用温度は-19℃として設計・製作 ・寒冷時でも機関の始動が可能、内部構成品へのヒーター設置、不凍液の使用
代替非常用発電機	

その他

設備名	対策
タンクローリー	<ul style="list-style-type: none"> ・冬タイヤを装着 ・厳冬期の北海道で一般的に使用されている実績あり
ホイールローダー	<ul style="list-style-type: none"> ・冬タイヤを装着 ・厳冬期の北海道で一般的に使用されている実績あり
DG燃料油貯油槽	<ul style="list-style-type: none"> ・凍結深度(約60cm)以下の地下埋設構造 ・貯蔵燃料は特3号軽油(流動点-30℃以下)

3. 泊発電所の冬季対策（冬季のアクセス）

アクセス時間計測結果

	距離	所要時間	
		車両	徒歩
宮丘地区⇒大和門扉	約3.5 km	14分	63分
大和門扉⇒発電所構内	約2.5 km	5分	25分
合計		19分	88分

訓練内容	日時等	メンバー	所要時間
雪(吹雪); 昼間	平成24年2月2日 気温: -7.2°C 風速: 7.7m/S 積雪(道路): 約5cm*	4名 (30代2名、 40代1名、 50代1名)	1時間24分 (一部道路以外 の坂・平地部を 進み、水路橋を 迂回)
雪(吹雪); 夜間	平成24年2月2日 気温: -7.5°C 風速: 6.8m/S 積雪(道路): 約5cm*	3名 (20代1名、 40代1名、 50代1名)	1時間15分
雪(吹雪、 強風); 夜間	平成24年2月15日 気温: -6.8°C 風速: 18.4m/S 積雪(道路): 約5cm*	4名 (30代1名、 40代2名、 50代1名)	1時間28分 (一部道路以外 の坂・平地部を 進み、水路橋を 迂回)

※道路部以外の積雪は約100cm

災害対策要員 (平成25年7月17日現在)

	技術系社員
宮丘地区	325名
地元4カ町村	104名
合計	429名

宮丘地区からの参集用にクローラー車(1台)を配備
(最大登坂斜度:30度、最高速度:60km/h)



クローラー車

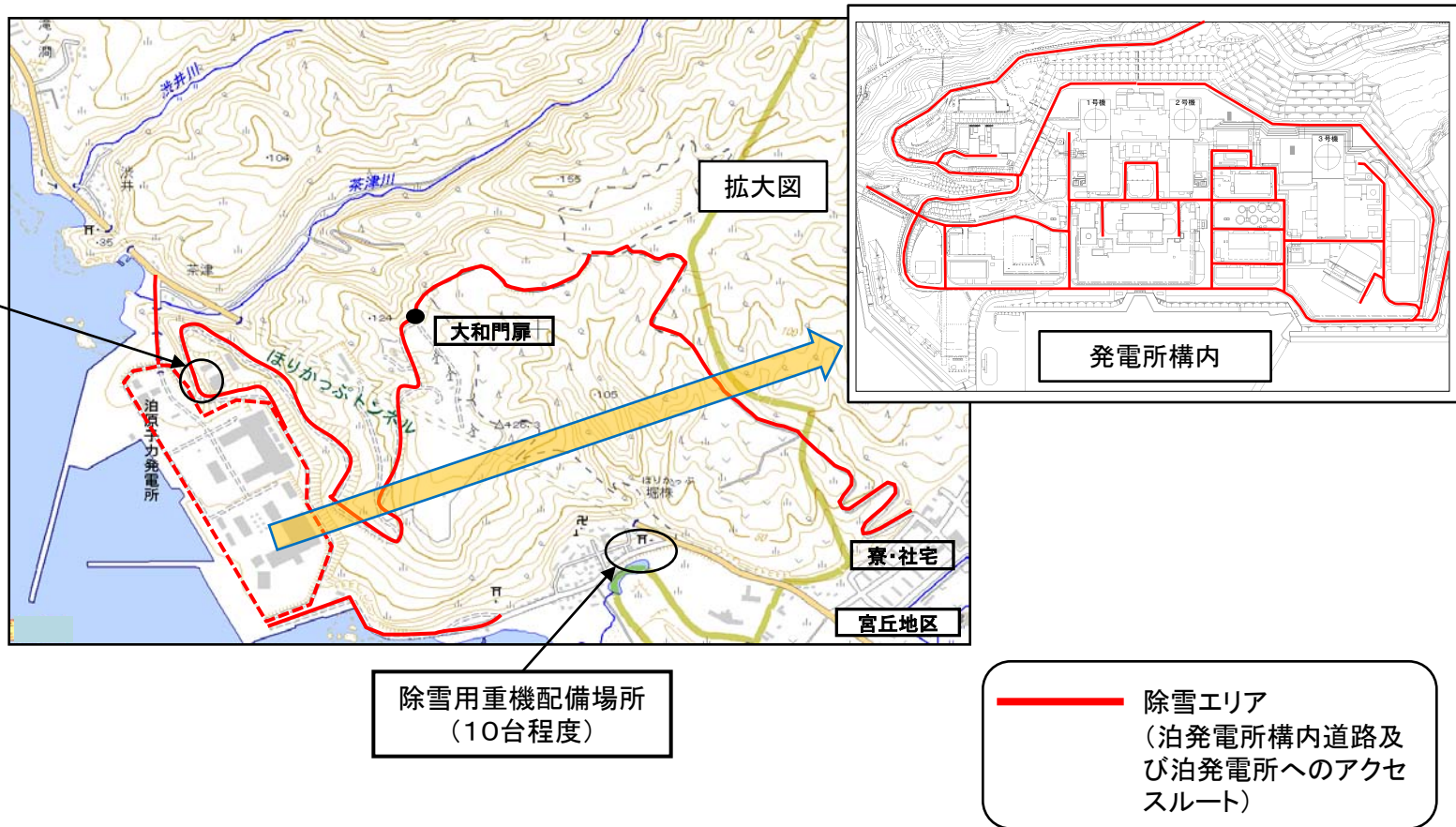


- 条件の厳しい冬季においても宮丘地区からの参集にかかる時間は約88分。
- クローラー車を配備し、宮丘地区からの参集の効率化を図っている。

3. 泊発電所の冬季対策（発電所構内道路及びアクセスルートの除雪）



ホイールローダー
(構内配備:2台)



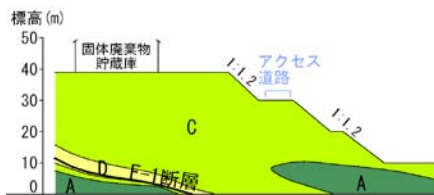
- 冬季は、発電所近郊に配備した除雪用重機(ホイールローダー)により発電所構内および宮丘地区からの参集ルートの除雪作業を行いアクセスルートを確認している。(目安として積雪量は10cm程度以下となるように管理。積雪量にもよるが除雪に要する時間は全体で1時間程度)
- 発電所構内にもホイールローダーを配備しており、緊急時にも対応可能である。

<参考>後志地方(共和)の1976年~2012年における日最大降雪量は58cmである。(気象庁データベースより)

4. 構内アクセス道路およびその斜面の状況（構内アクセス道路の斜面状況）

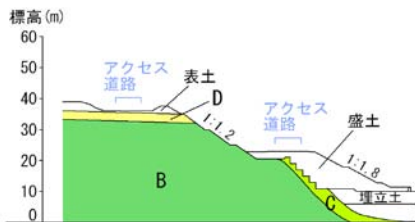
断面④

建設時に風化層を切り取っており、斜面の岩盤は、原子炉建屋の背後斜面の岩盤と同等な岩盤であり、安定していると考えている。なお、表層は表面保護工を実施している。



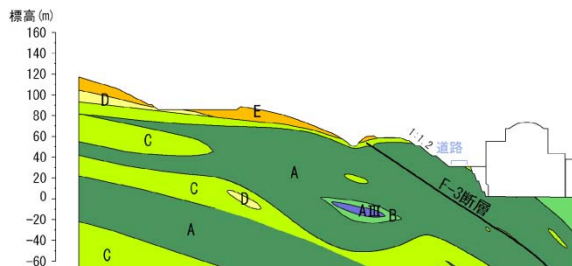
断面⑤

斜面は原子炉建屋背後斜面と同等の岩盤であり、安定していると考えている。なお、盛土部は勾配が緩やかである。



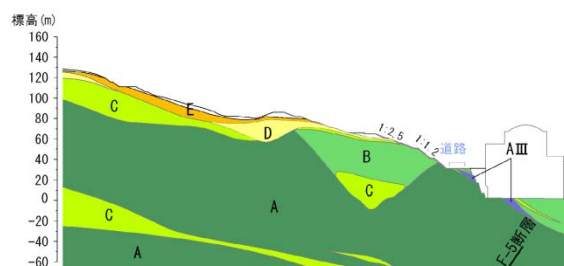
断面①

解析により Ss に対する評価（動的解析：最小すべり安全率 2.0）を実施しているとともに、勾配が比較的急なところは表面保護工を実施している。



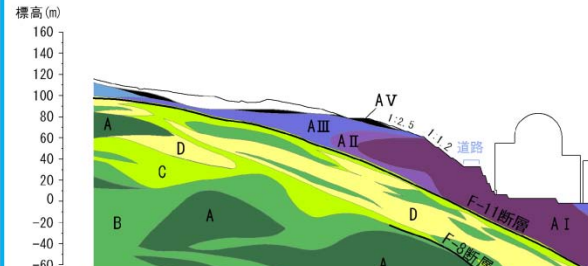
断面②

解析により Ss に対する評価（動的解析：最小すべり安全率 3.0）を実施しているとともに、勾配が比較的急なところは表面保護工を実施している。



断面③

解析により Ss に対する評価（動的解析：最小すべり安全率 2.5）を実施しているとともに、勾配が比較的急なところは表面保護工を実施している。



岩盤分類凡例

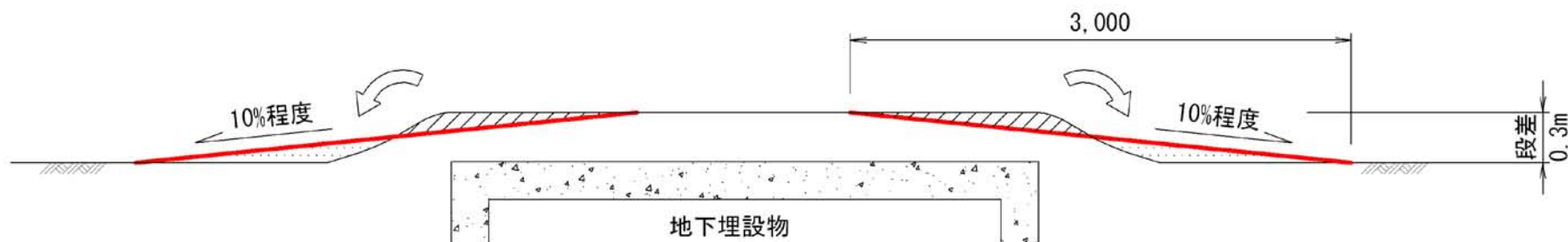
□	礫・砂・粘土				
■	AⅠ 級岩盤	安山岩	■	A 級岩盤	火砕岩類
■	AⅡ 級岩盤		■	B 級岩盤	
■	AⅢ 級岩盤		■	C 級岩盤	
■	AⅣ 級岩盤		■	D 級岩盤	
■	AⅤ 級岩盤		■	E 級岩盤	

リスクレベル

レベル0	■
レベル1	■
レベル2	■

4. 構内アクセス道路およびその斜面の状況（段差想定と段差解消）

段差解消の概念図

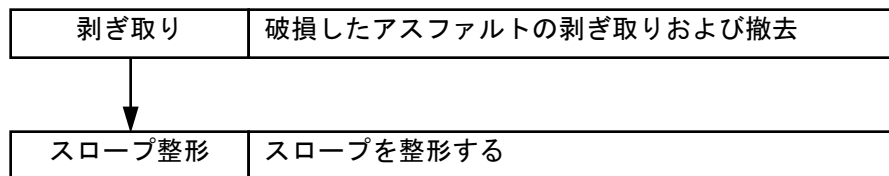


T. P. 10m盤において堆積層・盛土厚は最大約30mであることから、その1%（中越沖地震における柏崎刈羽発電所での実績）である約0.3mを段差として想定。

なお、泊発電所における不等沈下は、基準地震動より、さらに大きい地震動に対し、「鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計」を用いて、0.3m以下であることを確認。

施工手順・時間

バケット容量 0.8 m³ のバックホウによりスロープ整形を行う。



バックホウ 合計 3 + 3 = 6 分 ⇨ **15 分**（作業ロスや余裕を考慮）

・バックホウ

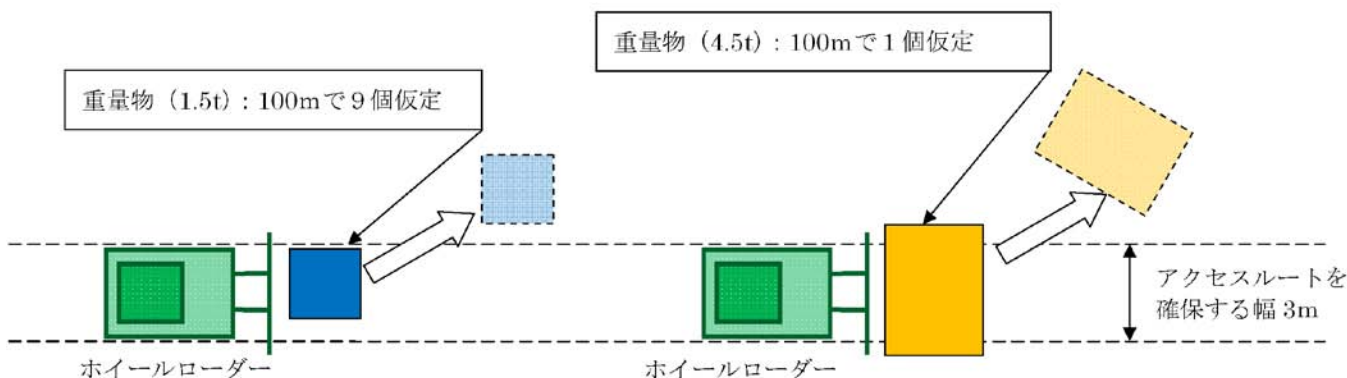
剥ぎ取り : 復旧時間 $T1 = \frac{\text{土量}}{\text{作業能力}} = \frac{0.7}{19} \times 60 = 2.211 \text{ 分} \approx 3 \text{ 分}$

スロープ整形 : 復旧時間 $T2 = T1 = 3 \text{ 分}$

※道路土工要領（平成21年度版），
道路土工施工指針（昭和61年11月）に準拠

4. 構内アクセス道路およびその斜面の状況（がれき撤去の概念・施工手順と時間）

がれき除去の概念図



《ホイールローダーの仕様》

全長：約6.8m 全幅：約3.3m
高さ：約3.4m 重量：約10 t
最大けん引力：約7,200 kg
最高速度：約50 km/h

施工手順と時間

ホイールローダー（最大けん引力：約7,200kg）によりがれき撤去等を行う。

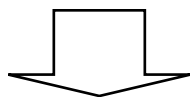
100m当りのがれき撤去時間を算出

○重量物 (1.5 t) : 前進させることにより撤去。

復旧時間 $T_1 = 94\text{m} / 4\text{km/h} = 1.41\text{分}$

○重量物 (4.5 t) : 前進→後退→前進により撤去。

復旧時間 $T_2 = 2 \times (4\text{m} / 2\text{km/h}) + (2\text{m} / 4\text{km/h}) + 2 \times 0.1 = 0.47\text{分}$

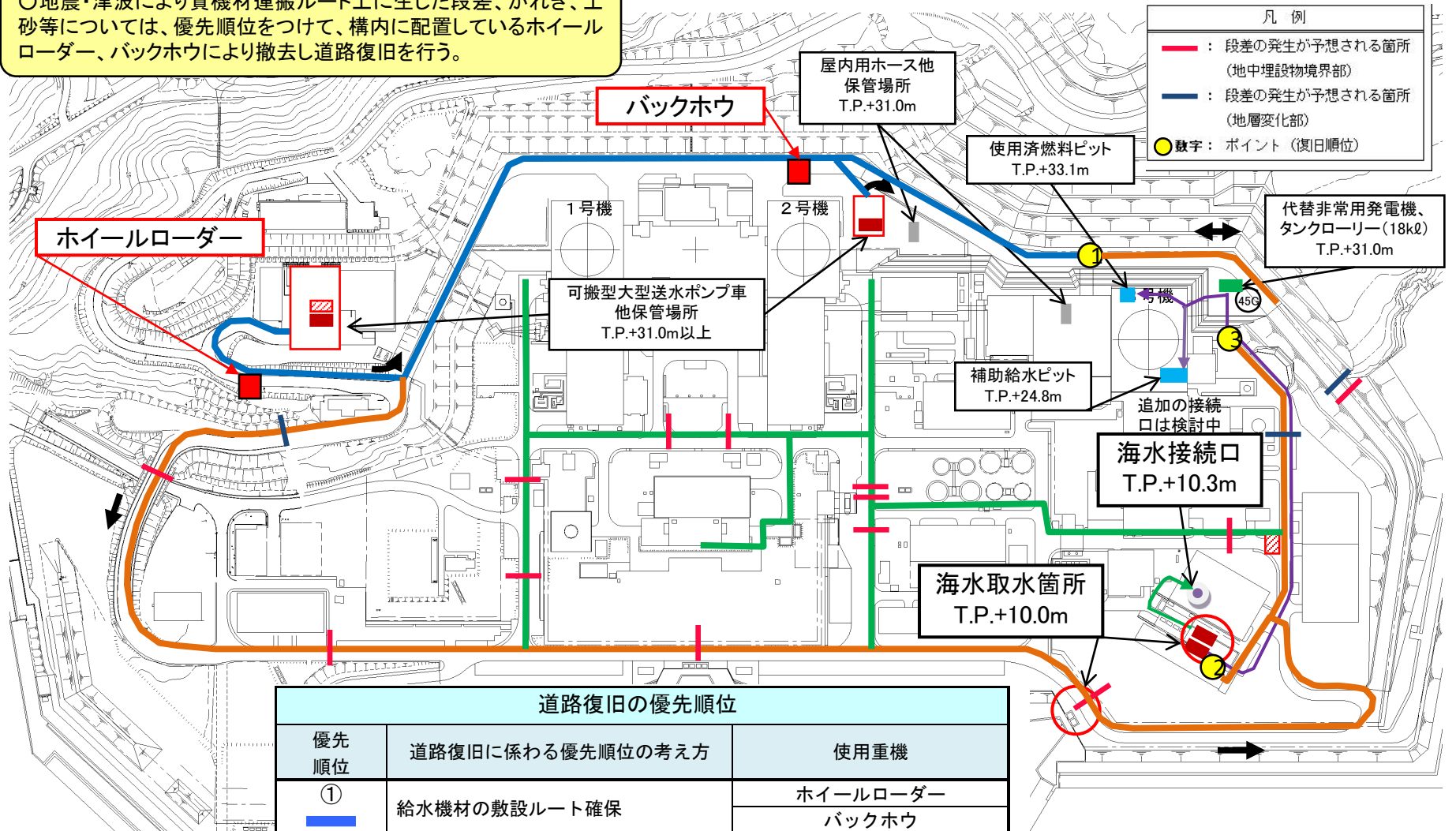


※道路土工要領（平成21年度版）に準拠

100m当りの撤去時間 $T_1 + T_2 = 1.88\text{分} \approx$ 約3分（作業ロスや余裕を考慮） \Rightarrow 2 km/h

4. 構内アクセス道路およびその斜面の状況（構内アクセス道路復旧時間（ルート1））

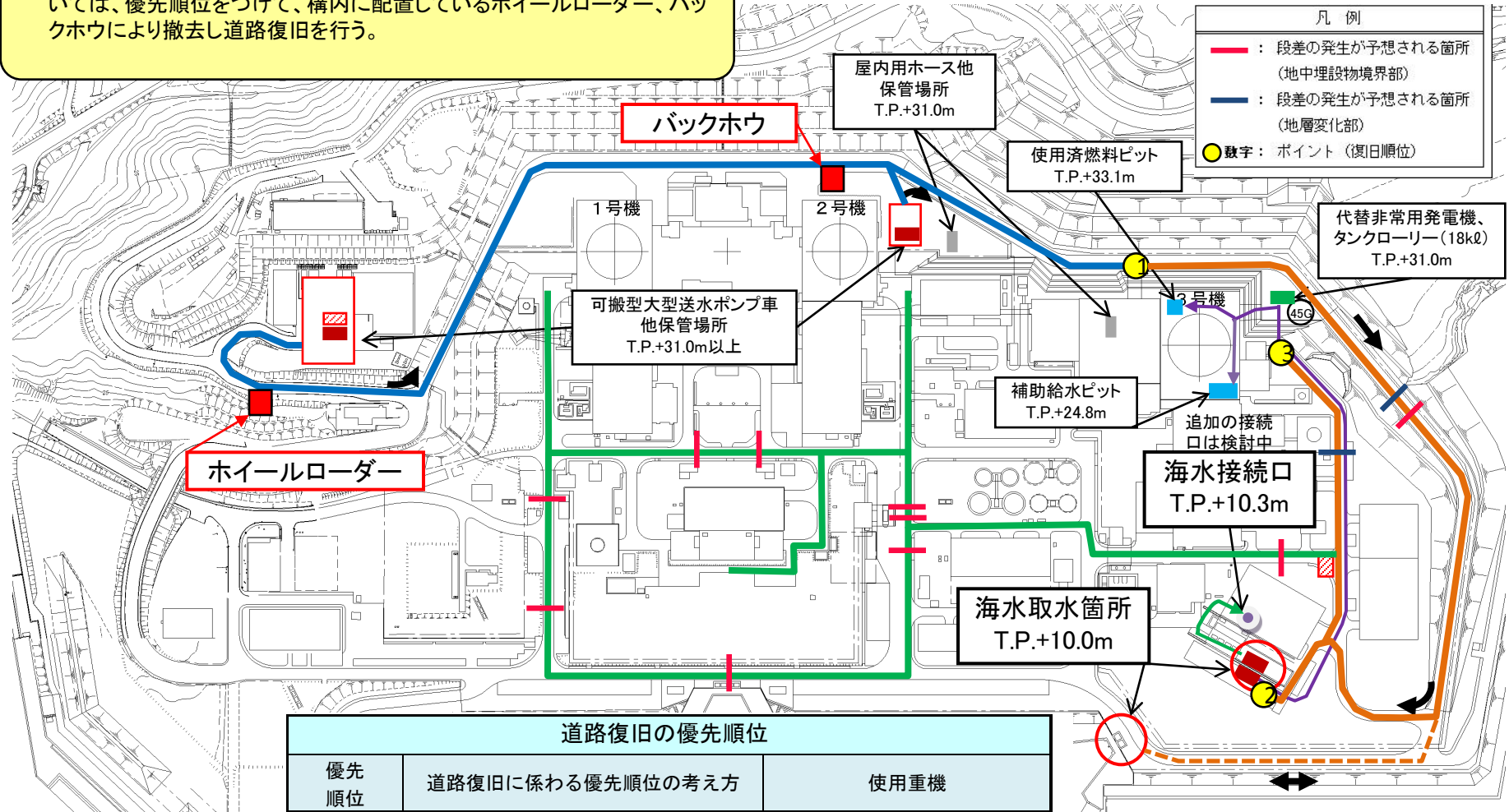
○地震・津波により資機材運搬ルート上に生じた段差、がれき、土砂等については、優先順位をつけて、構内に配置しているホイールローダー、バックホウにより撤去し道路復旧を行う。



道路復旧の優先順位		
優先順位	道路復旧に係わる優先順位の考え方	使用重機
① —	給水機材の敷設ルート確保	ホイールローダー バックホウ
②③ —	3号海水給水ルート確保	ホイールローダー バックホウ
—	1, 2号海水給水ルート確保	ホイールローダー バックホウ

4. 構内アクセス道路およびその斜面の状況（構内アクセス道路復旧時間（ルート2））

○地震・津波により資機材運搬ルート上に生じた段差、がれき、土砂等については、優先順位をつけて、構内に配置しているホイールローダー、バックホウにより撤去し道路復旧を行う。



道路復旧の優先順位		
優先順位	道路復旧に係わる優先順位の考え方	使用重機
① —	給水機材の敷設ルート確保	ホイールローダー バックホウ
②③ —	3号海水給水ルート確保	ホイールローダー バックホウ
—	1, 2号海水給水ルート確保	ホイールローダー バックホウ

5. 代替屋外給水タンクの使用について

津波襲来直後など、T.P.10mでの作業が困難な場合、蒸気発生器給水による炉心冷却をするため、T.P.31mに代替屋外給水タンクを設置した。

本タンク使用により、一定期間、津波襲来などの影響の受けない高所での炉心冷却作業が可能である。

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の事故シナリオにおいて、代替屋外給水タンクの使用が可能である。(図1参照)

図2に代替屋外給水タンクの配置図を示す。

《代替屋外給水タンク仕様》

- ・基数 5 (次項の評価においては、この内2基を3号機で使用することを仮定した)
- ・有効容量 70m³/基(淡水) (総容量 350m³)

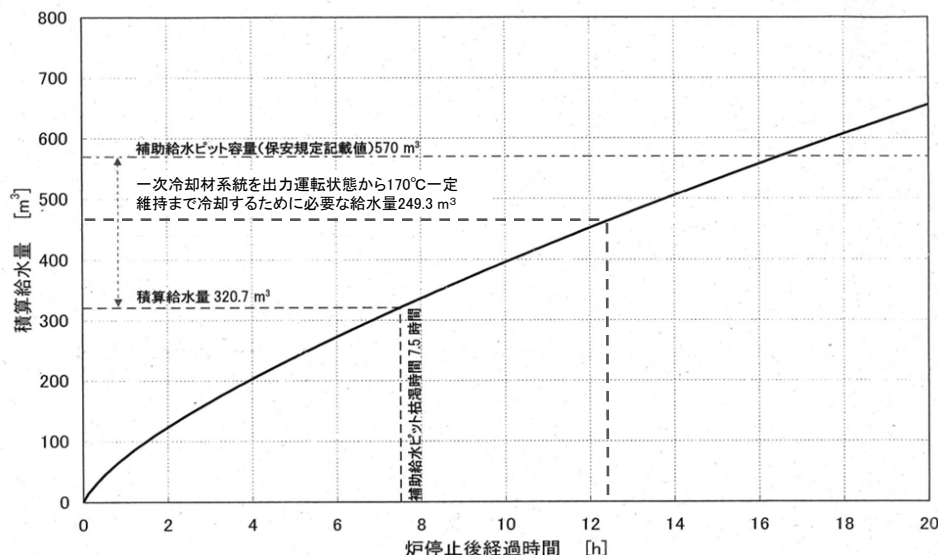


図 炉停止後の経過時間と崩壊熱除去に必要な補助給水量との関係

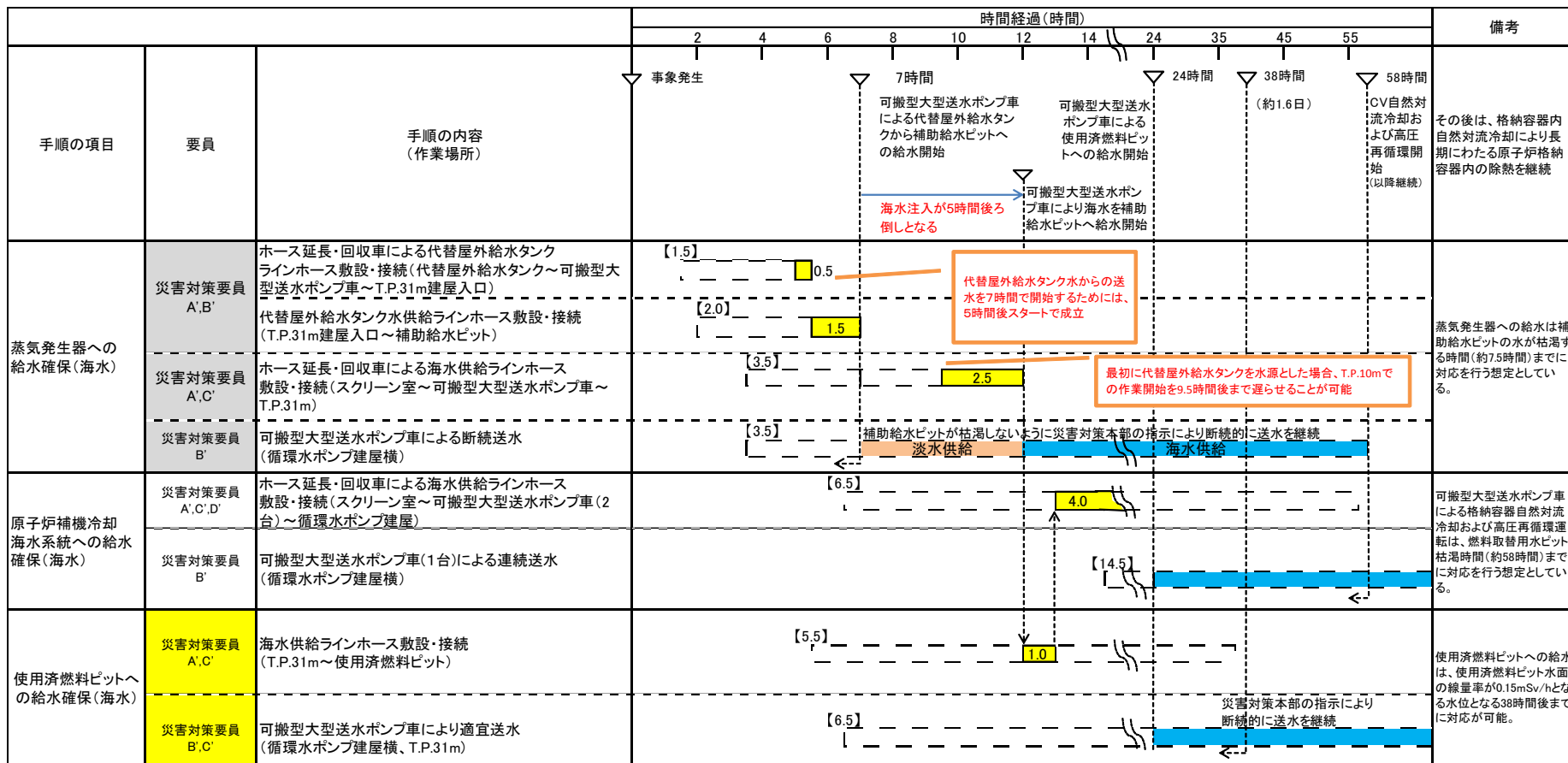
$$320.7\text{m}^3 + 140\text{m}^3 = 460.7\text{m}^3$$

〔補助給水ピット 積算給水量〕 〔代替屋外給水 タンク容量〕

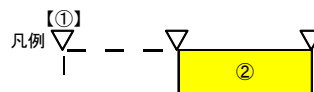
代替屋外給水タンクの使用により、
淡水の枯渇時間が事象発生12.5時間
後となる

5. 代替屋外給水タンクの使用について（対応手順と所要時間）

（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（代替屋外給水タンク））



災害対策要員	通信手段	通信先
A'	衛星携帯電話、トランシーバー	災害対策本部、屋外
B'	トランシーバー	屋外
C'	トランシーバー	屋外
D'	トランシーバー	屋外



- ①：作業が開始できる最早時点
- ②：必要作業時間

図1 代替屋外給水タンクを使用した場合のタイムシーケンス

5. 代替屋外給水タンクの使用について（代替屋外給水タンク配置図）

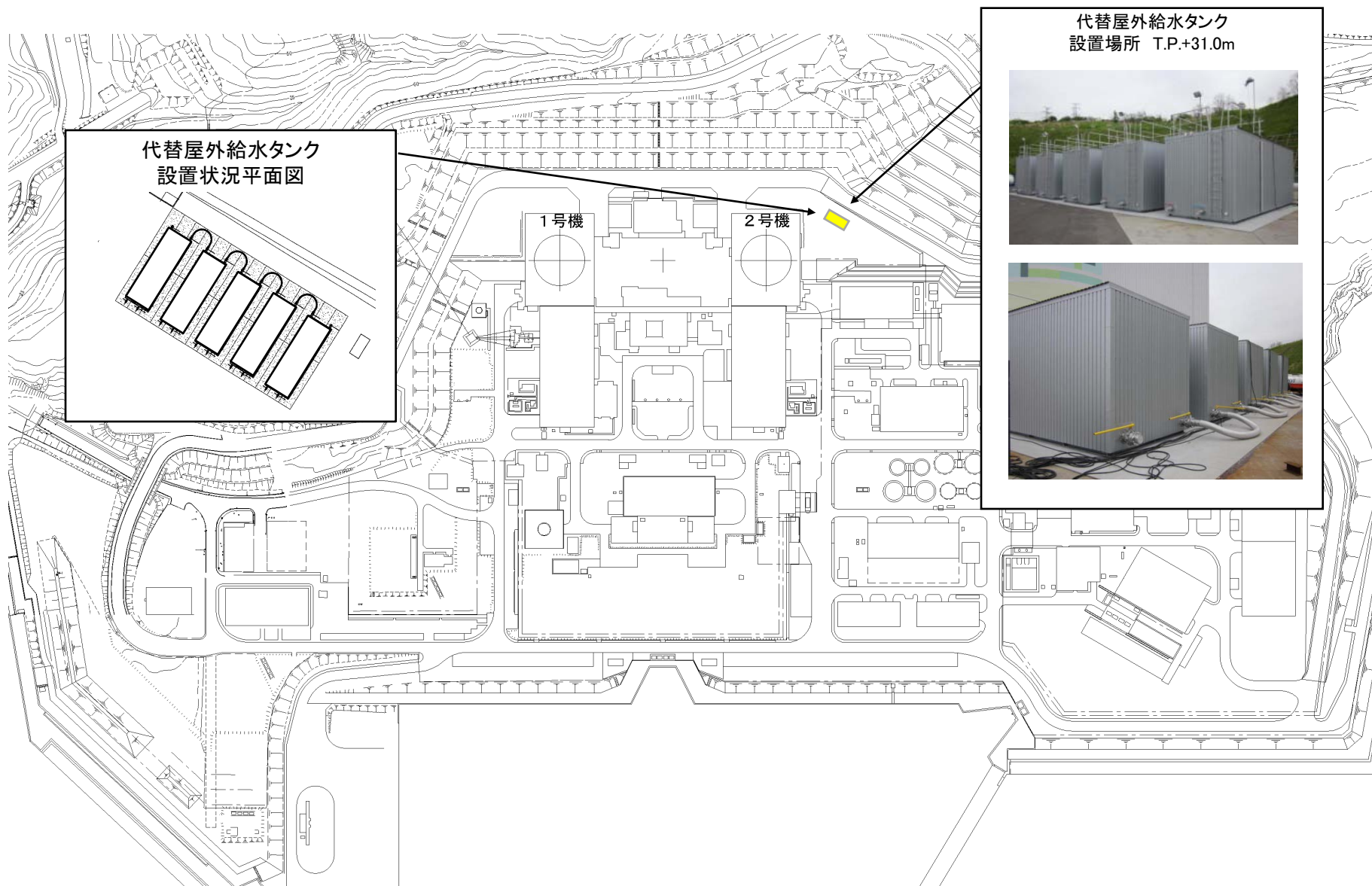
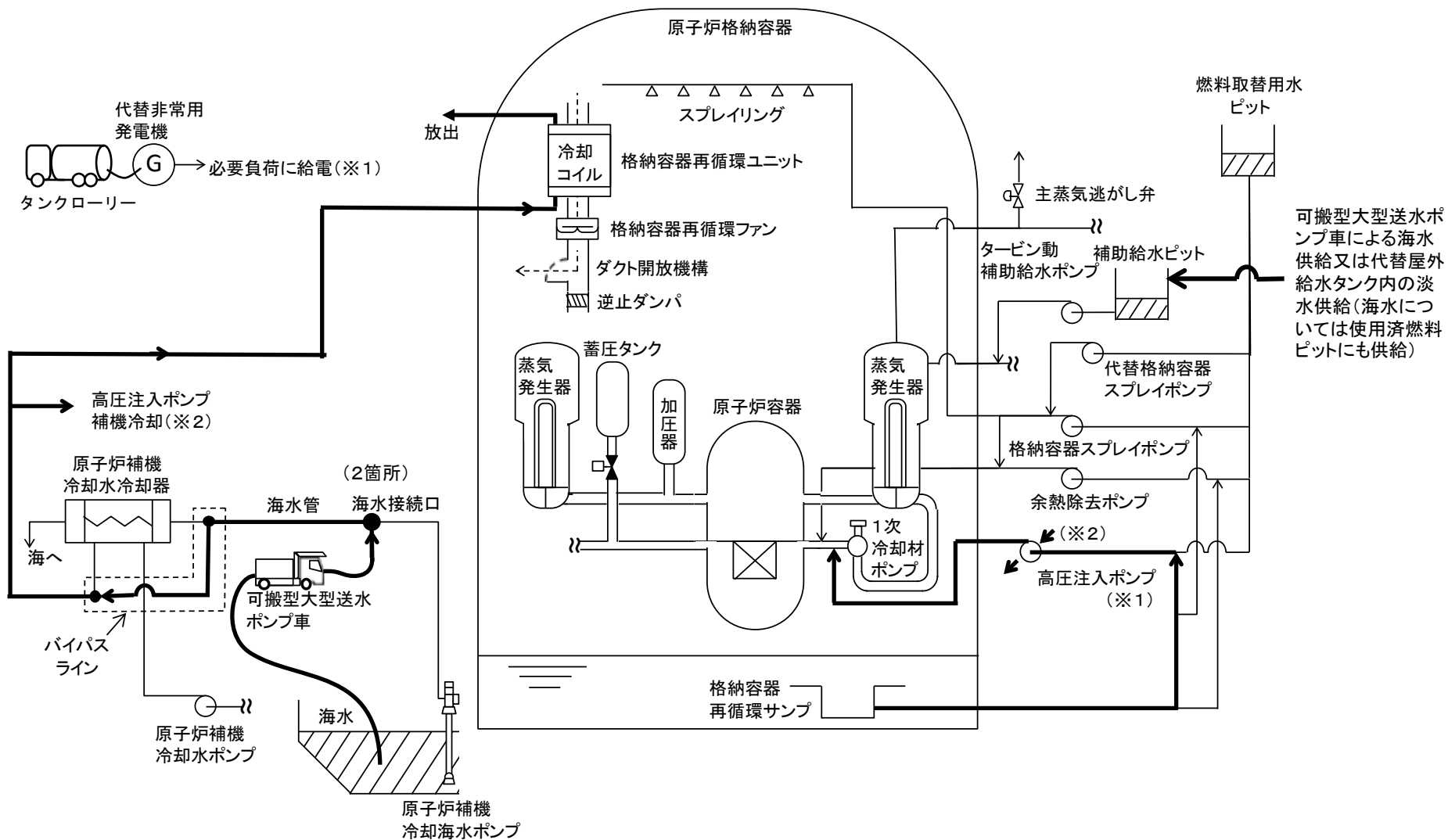


図2 代替屋外給水タンク配置図

5. 代替屋外給水タンクの使用について（重大事故対策概要図（長期対策））



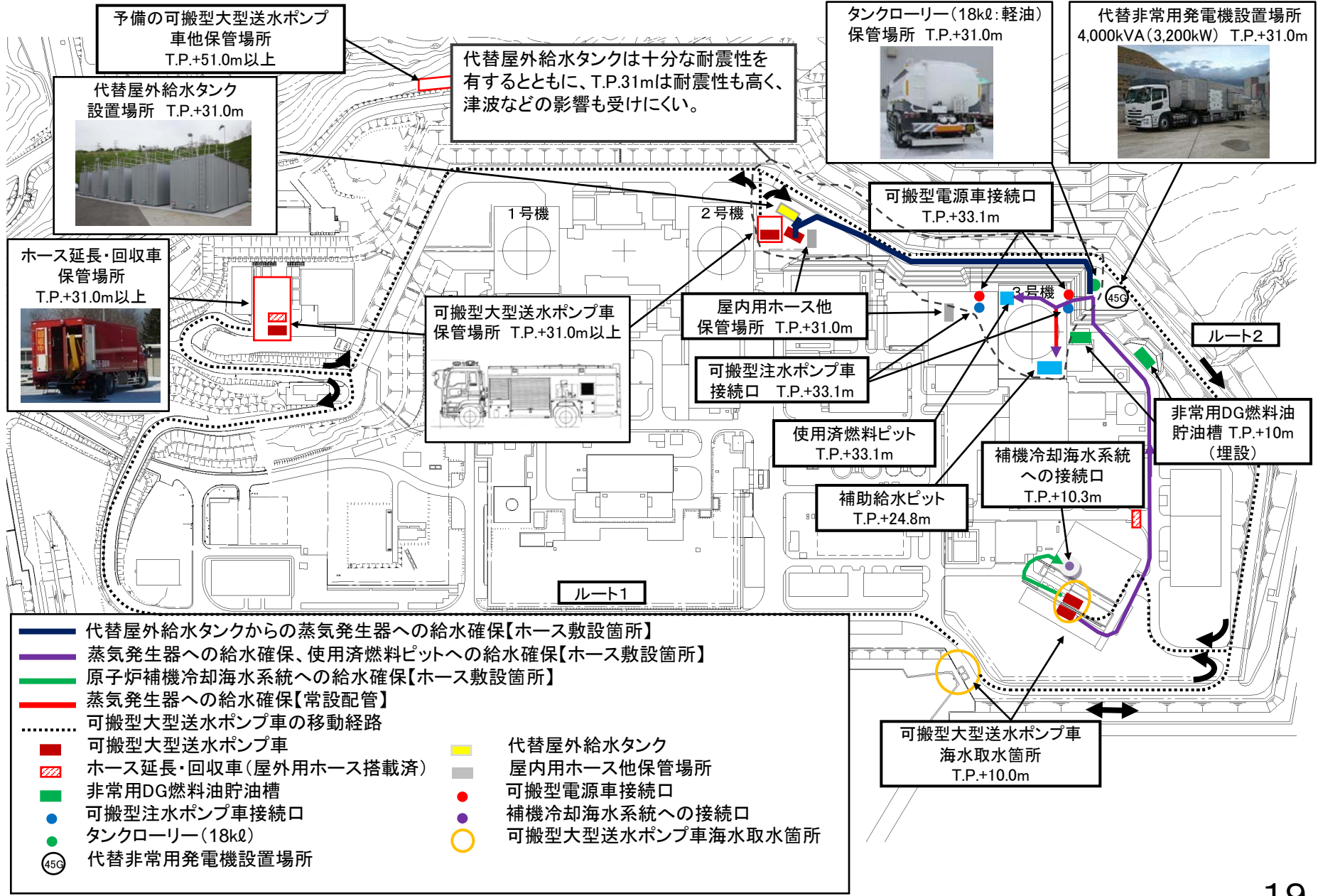
第9図 重大事故対策概要図（長期対策）

5. 代替屋外給水タンクの使用について（現場操作機器リスト）

（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（代替屋外給水タンク））

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	現場手動操作時間：30分	—	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。 電源、作動用空気がない状態においても手動による開閉操作が可能。
タービン動補助給水ポンプ	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。
しゃ断器	代替交流電源	—	—	代替非常用発電機起動後にしゃ断器を投入する。
代替非常用発電機	代替交流電源	起動時間：60分	—	外部電源およびディーゼル発電機の機能が完全に喪失した場合において重大事故等に対処するための必要な電源を供給する。
代替格納容器スプレイポンプ	代替炉心注入	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉への注入流量：30m³/h 原子炉への注入開始圧力：0.7MPa[gage] 注入開始時間：2.2時間 	<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イ系統と余熱除去系統を連絡する配管等を経由して燃料代替用水ピットの水および海水を原子炉に注水する。
アニュラスダンパ操作用可搬型窒素ポンプ	被ばく低減	—	<ul style="list-style-type: none"> 容量：約46.7ℓ、1個 	作動用空気がない場合の代替手段
可搬型大型送水ポンプ車	2次系強制冷却のための海水等供給	<ul style="list-style-type: none"> 給水流量：30m³/h 給水開始時間：7時間 	<ul style="list-style-type: none"> 容量：300m³/h/台 吐出圧力：1.3MPa[gage] 台数：1台 	補助給水ピットの水が枯渇するまでに、補助給水ピット補給配管を経由して代替屋外給水タンクの水および海水を供給する。
	使用済燃料ピットへの海水給水	<ul style="list-style-type: none"> 給水流量：150m³/h 給水開始時間：38時間 		使用済燃料ピット水面の線量率が0.15mSv/hとなる水位までに海水を給水する。
	格納容器自然対流冷却等のための海水供給	通水流量：186.5m ³ /h	<ul style="list-style-type: none"> 容量：300m³/h/台 吐出圧力：1.3MPa[gage] 台数：1台 	原子炉格納容器の破損防止のため、格納容器再循環ユニットおよびその他の必要な補機類冷却のため、原子炉補機冷却海水系統と原子炉補機冷却水系統の接続配管（バイパスライン）等を経由して海水を供給する。
格納容器再循環ユニット	格納容器内自然対流冷却	—	—	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または可搬型大型送水ポンプ車によって海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。
高圧注入ポンプ	高圧再循環	—	—	原子炉格納容器内に注水された水を高圧注入ポンプにて循環することで炉心を冷却する。
3号機DG燃料油貯油槽	代替非常用発電機の燃料確保	必要燃料量（7日間）：約233,520L	燃料保有量：132,000L/基以上 基数：4基	代替非常用発電機が7日間運転できる容量以上の燃料を確保する。
タンクローリー	代替非常用発電機への燃料供給	—	容量：18kL/台	代替非常用発電機とタンクローリーを給油ホースにより接続して燃料を供給する。
代替屋外給水タンク	蒸気発生器への給水確保	—	—	津波の影響を受けない高台に設置 補助給水ピットに淡水を供給（有効容量約70m ³ 、5基の内2基を3号機で使用するものと仮定）

5. 代替屋外給水タンクの使用について（操作機器配置図（全体））



6. 操作および作業の成立性（その1）

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

電源確保作業【 所内電源母線受電準備 】

1. 操作の概要

全交流動力電源喪失時、代替電源として代替非常用発電機からの受電に必要なしゃ断器操作を行う。
2. 必要要員数・操作時間（要求時間）・操作時間（実績）
 - (1) 必要要員数：3名
 - (2) 操作時間（要求時間）：事象発生から約70分後
 - (3) 操作時間（実績）※2：約25分
 （移動時間約2分＋しゃ断器操作約19分
 ＝約21分）
3. アクセス性・作業環境・操作性
 - (1) アクセス性：LEDヘッドランプおよびLED懐中電灯を使用するため支障ない。
 - (2) 作業環境：室温は通常運転状態と同等であり、問題はない。
 - (3) 操作性：通常運転時に行うしゃ断器操作と同様であり容易に操作できる。
 - (4) 連絡手段：中央制御室と現場間の連絡は、携行型通話装置を使用する。



①しゃ断器操作イメージ

※ 実績から余裕を見て操作時間を算定した。

6. 操作および作業の成立性（その1）

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

蒸気発生器2次系による冷却【主蒸気逃がし弁開放操作】

1. 操作の概要

2次系強制冷却のために現場で主蒸気逃がし弁を開放する。

注) R C S圧力1.7 MPaとなる前に主蒸気逃がし弁を全開状態から閉操作を行い、R C S圧力1.7 MPa未満とならないよう注意する。

2. 必要要員数・操作時間（要求時間）・操作時間（実績）

(1) 必要要員数：2名

(2) 操作時間（要求時間）：事象発生から30分までに実施

(3) 操作時間（実績）※：約20分

a. 中央制御室からA-主蒸気逃がし弁までの移動約3分

※移動時間は、異なる5人それぞれが実測した実績値の平均値である。

b. A-主蒸気逃がし弁開放操作 5分

c. B-主蒸気逃がし弁開放操作 5分

d. C-主蒸気逃がし弁開放操作 5分

※開放操作は2人で操作し、A、B、C弁のそれぞれの操作時間を測定した。平均実績時間は約6分である。（蒸気通気なし）

主蒸気ライン圧力が6.93 MPa時は、主蒸気逃がし弁の閉止力が低減され、5分以内で操作可能である。

e. 踏み台の準備（A、B、C弁間の移動時間を含む） 約1分40秒

3. アクセス性・作業環境・操作性

(1) アクセス性：LEDヘッドランプおよびLED懐中電灯を使用するため支障ない。

(2) 作業環境：室温は通常運転状態と同等であり、問題はない。

(3) 操作性：3弁すべてが同一の主蒸気管室に設置されており、アクセス性および操作性に優れている。足場も設置しており、容易にできる。

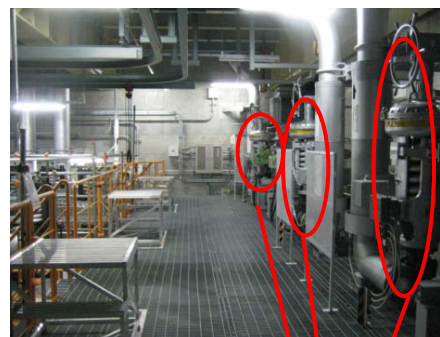
(4) 連絡手段：中央制御室と現場間の連絡は、携行型通話装置を使用する。



①A-主蒸気逃がし弁開操作
（足場使用）



②主蒸気逃がし弁開操作
（照明消灯時）



③主蒸気逃がし弁3台が
同一の主蒸気管室に
設置

主蒸気逃がし弁

※ 手動操作の実績から余裕を見て操作時間を算定した。

6. 操作および作業の成立性（その2）

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

炉心への代替注入

【 代替格納容器スプレイポンプによる原子炉への注入 】

1. 操作の概要

余熱除去ポンプおよび格納容器スプレイポンプによる原子炉への注入ができない場合に、代替格納容器スプレイポンプを用いて燃料取替用水ピットの水を原子炉へ注入する。

代替格納容器スプレイポンプの出入口配管にフレキシブルホースをカップラ接続するとともに、弁操作により注入経路を構成する。

2. 必要要員数・操作要求時間・操作時間（実績）

- (1) 必要要員数：2名
- (2) 操作時間（要求時間）：事象発生から2. 2時間
- (3) 操作時間（実績）※：約30分

3. アクセス性・作業環境・操作性

- (1) アクセス性：LEDヘッドランプおよびLED懐中電灯を使用するため支障ない。
- (2) 作業環境：室温は通常運転状態と同等であり、問題はない。
- (3) 操作性：カップラによる接続であり、容易に操作できる。
- (4) 連絡手段：中央制御室と現場間の連絡は、携行型通話装置を使用する。



①代替格納容器スプレイポンプのイメージ
写真は、代替格納容器スプレイポンプと同様に
免震架台に設置しているSG直接給水ポンプ

※ 過去の類似訓練の実績から余裕を見て操作時間を算定した。

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

被ばく低減および水素爆発防止

【 アニュラス空気浄化ファンダンパ窒素供給操作 】

1. 操作の概要

全交流動力電源喪失時、炉心損傷時の被ばく低減および水素爆発防止のため、アニュラス空気浄化ファンダンパ窒素供給操作を行う。

2. 必要要員数・操作時間（要求時間）・操作時間（実績）

- (1) 必要要員数：1名
- (2) 操作時間（要求時間）：解析上は期待していないが、事象発生後60分以内とした。
- (3) 操作時間（実績）※：接続作業 約15分（前段の作業実施後（事象発生から約40分後）、本操作を実施するが、事象発生から約55分後までに完了できる。）

3. アクセス性・作業環境・操作性

- (1) アクセス性：LEDヘッドランプおよびLED懐中電灯を使用するため支障ない。
- (2) 作業環境：室温は通常運転状態と同等であり、問題はない。
- (3) 操作性：窒素ガスボンベ、および、ボンベ上部に設置している弁は、通常運転時に操作するものと同様なものであること、ならびに、カップラによる接続であるため、容易に操作できる。



①窒素ガスボンベのイメージ
写真は、加圧器逃がし弁用窒素ガスボンベ

※ 類似機器の検証実績から余裕を見て操作時間を算定した。

6. 操作および作業の成立性（その3）

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

電源確保作業【 代替非常用発電機への給油ホース接続操作 】

1. 操作の概要

代替非常用発電機へ給油するため、タンクローリ（18kℓ）と代替非常用発電機とを接続する。

2. 必要要員数・操作時間（要求時間）・操作時間（実績）

- (1) 必要要員数：2名
- (2) 操作時間（要求時間）：事象発生から70分以内
- (3) 操作時間（実績）※：接続作業 約20分（状況判断後、約20分で1号機でのホース接続作業を行ない、その後、移動約7分+接続約8分＝約15分）

3. アクセス性・作業環境・操作性

- (1) アクセス性：夜間は、LEDヘッドランプ、投光器およびバルーンライトを使用するため、支障ない。
- (2) 作業環境：屋外作業は、訓練実績において、冬季と夏季で作業所要時間に相違はない。
- (3) 操作性：カップラによる接続であり、容易に操作できる。
- (4) 連絡手段：屋外現場と緊急時対策所間の連絡は、衛星携帯電話を使用する。



①タンクローリに給油ホースを接続



③代替非常用発電機に給油ホースが接続されている状態



②代替非常用発電機に給油ホースを接続

※ 検証結果から余裕を見て操作時間を算定した。

6. 操作および作業の成立性（その4）

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

蒸気発生器への給水確保

【 海水供給ラインホース敷設・接続 】

【 ホース延長・回収車による海水供給ラインホース敷設・接続 】

【 可搬型大型送水ポンプ車による断続送水 】

1. 操作の概要

全交流動力電源喪失時、蒸気発生器2次系への給水源である補助給水ピットが枯渇しないよう海水を供給する。

2. 必要要員数・操作時間（要求時間）・操作時間（実績）

(1) 必要要員数：2名

(2) 操作時間（要求時間）：事象発生から約7.5時間以内
（補助給水ピットの水が枯渇するまでの時間）

(3) 操作時間（実績）※：事象発生から5.5時間後

内訳：前段の作業完了後（事象発生から1.5時間後）に実施。

1. 5時間（海水供給ラインホース敷設・接続）

2. 5時間（ホース延長・回収車による海水供給ラインホース敷設・接続）

3. アクセス性・作業環境・操作性

【 海水供給ラインホース敷設・T.P.31mでの接続 】

(1) アクセス性：夜間は、LEDヘッドランプ、LED懐中電灯を使用するため、支障ない。

(2) 作業環境：室温は通常運転状態と同等であり、作業環境に問題はない。
屋外作業は、訓練実績において、冬季と夏季で作業所要時間に相違はない。

(3) 操作性：カップラ接続のため、問題はない。

(4) 連絡手段：屋外現場と緊急時対策所間の連絡は、衛星携帯電話を使用し、屋外現場間はトランシーバーを使用する。

【 ホース延長・回収車による海水供給ラインホース敷設・接続 】

(1) アクセス性：瓦礫撤去および道路補修後にホース敷設を行なうため、問題なし

(2) 作業環境：屋外作業は、訓練実績において、冬季と夏季で作業所要時間に相違はない。

(3) 操作性：ホース延長・回収車により、移動しながら車上よりホースを下ろし、敷設していくことから、作業は容易である。

(4) 連絡手段：屋外現場間はトランシーバーを使用する。



①ホース延長・回収車



②ホース延長・回収車



①補助給水ピットへの供給ライン接続



②補助給水ピットへの供給ホース敷設状況

※ 過去の類似訓練の実績から余裕を見て操作時間を算定した。

6. 操作および作業の成立性（その5）

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

蒸気発生器への給水確保

【 海水供給ラインホース敷設・接続 】

【 ホース延長・回収車による海水供給ラインホース敷設・接続 】

【 可搬型大型送水ポンプ車による断続送水 】

3. アクセス性・作業環境・操作性

【 可搬型大型送水ポンプ車による断続送水 】

- (1) アクセス性：夜間は、LEDヘッドランプ、投光器およびバルーンライトを使用するため、問題なし。
- (2) 作業環境：屋外作業は、冬季と夏季で作業所要時間に相違はない。
- (3) 操作性：消防車の設計・製作の豊富な経験を有するメーカー製のものであり、緊急車両としての優れた操作性を有している。
ホースについては、カップラで接続する仕組みであり、容易に接続可能である。
取水ポンプは人力で取水箇所而降ろすことのできる軽量なものであり、操作性に関し特に問題となるところはない。
- (4) 連絡手段：屋外現場間はトランシーバーを使用する。



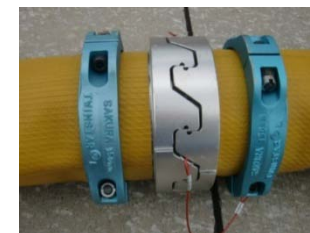
②Φ100ホース継手



③Φ100ホース継手(接続時)



④Φ150ホース継手



⑤Φ150ホース継手(接続時)



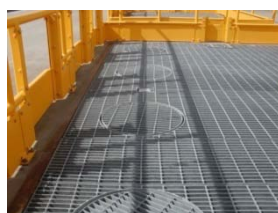
①可搬型大型送水ポンプ車のイメージ
写真は、泊1, 2号機用の中型送水ポンプ車



①送水ポンプ車操作盤



⑥送水ポンプ車に搭載している
取水ポンプ



⑦送水ポンプ車取水場所
スクリーン室上部グレーチング



⑧送水ポンプ車取水場所
3号機取水口上部グレーチング

6. 操作および作業の成立性（その6）

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

使用済燃料ピットへの給水確保

【 海水供給ラインホース敷設・接続 】

【 可搬型大型送水ポンプ車による断続送水 】

1. 操作の概要

使用済燃料ピット水位低下時の冷却、遮蔽、著しい損傷の進行緩和および臨界防止のため、可搬型大型送水ポンプ車による海水給水を行う。

2. 必要要員数・操作時間（要求時間）・操作時間（実績）

(1) 必要要員数：4名

(2) 操作時間（要求時間）：事象発生から38時間以内

（使用済燃料ピット水面の線量率が0.15mSv/hとなる水位（通常水位－3.3m）となる時間）

(3) 操作時間（実績）※：事象発生から8時間後

内訳：補助給水ピットへの給水開始（事故発生から7時間後）後から実施。

1. 0時間（海水供給ラインホース敷設・接続）

3. アクセス性・作業環境・操作性

【 海水供給ラインホース敷設・接続 】

(1) アクセス性：夜間の屋外作業は、LEDヘッドランプ、LED懐中電灯を使用するため、問題はない。

屋内作業は、LEDヘッドランプおよびLED懐中電灯を使用するため、問題はない。

(2) 作業環境：室温は通常運転状態と同等であり、作業環境に問題はない。

屋外作業は、訓練実績において、冬季と夏季で作業所要時間に相違はない。

(3) 操作性：カップラ接続のため、問題はない。

(4) 連絡手段：屋外現場と緊急時対策所間の連絡は、衛星携帯電話を使用し、屋外現場間はトランシーバーを使用する。



①使用済燃料ピットへの供給ホース敷設状況イメージ
写真は、補助給水ピットへの供給ホース



②ホース敷設状況

※ 類似訓練の実績から余裕を見て操作時間を算定した。

6. 操作および作業の成立性（その7）

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

使用済燃料ピットへの給水確保

【 海水供給ラインホース敷設・接続 】

【 可搬型大型送水ポンプ車による断続送水 】

3. アクセス性・作業環境・操作性

【 可搬型大型送水ポンプ車による断続送水 】

- (1) アクセス性：夜間は、LEDヘッドランプ、LED懐中電灯を使用する。また、T.P. 10mの作業についてはがれき撤去後に行うため、支障ない。
- (2) 作業環境：屋外作業は、訓練実績において、冬季と夏季で作業所要時間に相違はない。
- (3) 操作性：消防車の設計・製作の豊富な経験を有するメーカー製のものであり、緊急車両としての優れた操作性を有している。
ホースについては、カップラで接続する仕組みであり、容易に接続可能である。
取水ポンプは人力で取水箇所へ降ろすことのできる軽量なものであり、操作性に関し特に問題となるところはない
- (4) 連絡手段：屋外現場間はトランシーバーを使用する。



①可搬型大型送水ポンプ車のイメージ
写真は、泊1, 2号機用の中型送水ポンプ車



⑥送水ポンプ車に搭載している
取水ポンプ



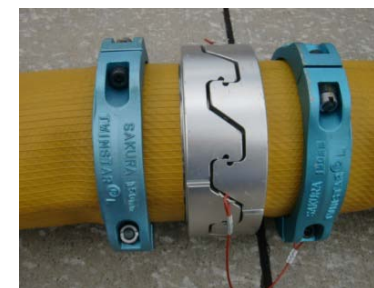
②Φ100ホース継手



③Φ100ホース継手(接続時)



④Φ150ホース継手



⑤Φ150ホース継手(接続時)



⑦送水ポンプ車取水場所
スクリーン室上部グレーチング



⑧送水ポンプ車取水場所
3号機取水口上部グレーチング

6. 操作および作業の成立性（その8）

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

原子炉補機冷却海水系統への給水確保

【 ホース延長・回収車による海水供給ラインホース敷設・接続 】

【 可搬型大型送水ポンプ車による断続送水 】

1. 操作の概要

格納容器自然対流冷却および高圧再循環運転のため、可搬型大型送水ポンプ車により原子炉補機冷却海水系統に海水を供給する。

2. 必要要員数・操作時間（要求時間）・操作時間（実績）

(1) 必要要員数：4名

(2) 操作時間（要求時間）：事象発生から58時間後以内
（燃料取替用水ピットの水が枯渇する時間）

(3) 操作時間（実績）※：事象発生12時間後

内訳：使用済燃料ピットへの給水準備完了（事故発生から8時間後）後に実施。

4. 0時間（ホース延長・回収車による海水供給ラインホース敷設・接続）

3. アクセス性・作業環境・操作性

【 ホース延長・回収車による海水供給ラインホース敷設・接続 】

(1) アクセス性：夜間は、LEDヘッドランプ、LED懐中電灯を使用する。
また、T.P.10mの作業についてははがれき撤去後に行うため、支障ない。

(2) 作業環境：屋外作業は、訓練実績により、冬季と夏季で作業所要時間に相違はない。

(3) 操作性：ホース延長・回収車により、移動しながら車上よりホースを下ろし、敷設していくことから、作業は容易である。

(4) 連絡手段：屋外現場間にはトランシーバーを使用する。



①ホース延長・回収車



②ホース延長・回収車

※ 類似訓練の実績から余裕を見て操作時間を算定した。

6. 操作および作業の成立性（その9）

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

原子炉補機冷却海水システムへの給水確保

【 ホース延長・回収車による海水供給ラインホース敷設・接続 】

【 可搬型大型送水ポンプ車による断続送水 】

3. アクセス性・作業環境・操作性

【 可搬型大型送水ポンプ車による断続送水 】

- (1) アクセス性：夜間は、LEDヘッドランプ、LED懐中電灯を使用する。
また、T. P. 10mの作業についてはがれき撤去後に行うため、支障ない。
- (2) 作業環境：屋外作業は、冬季と夏季で作業所要時間に相違はない。
- (3) 操作性：消防車の設計・製作の豊富な経験を有するメーカ製のものであり、緊急車両としての優れた操作性を有している。
ホースについては、カップラで接続する仕組みであり、容易に接続可能である。
取水ポンプは人力で取水箇所以降ろすことのできる軽量なものであり、操作性に関し特に問題となるところはない。
- (4) 連絡手段：屋外現場間はトランシーバーを使用する。



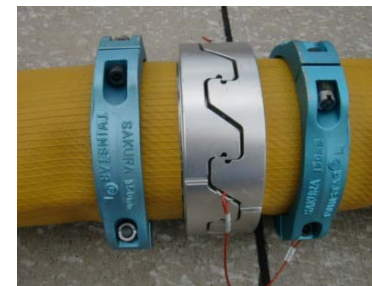
②Φ100ホース継手



③Φ100ホース継手(接続時)



④Φ150ホース継手



⑤Φ150ホース継手(接続時)



①可搬型大型送水ポンプ車のイメージ
写真は、泊1, 2号機用の中型送水ポンプ車



⑥送水ポンプ車に搭載している
取水ポンプ



⑦海水供給ラインホース接続箇所



⑧送水ポンプ車取水場所
スクリーン室上部グレーチング



⑨送水ポンプ車取水場所
3号機取水口上部グレーチング

7. 有効性評価における1次冷却材ポンプシールLOCA時の漏えい量について

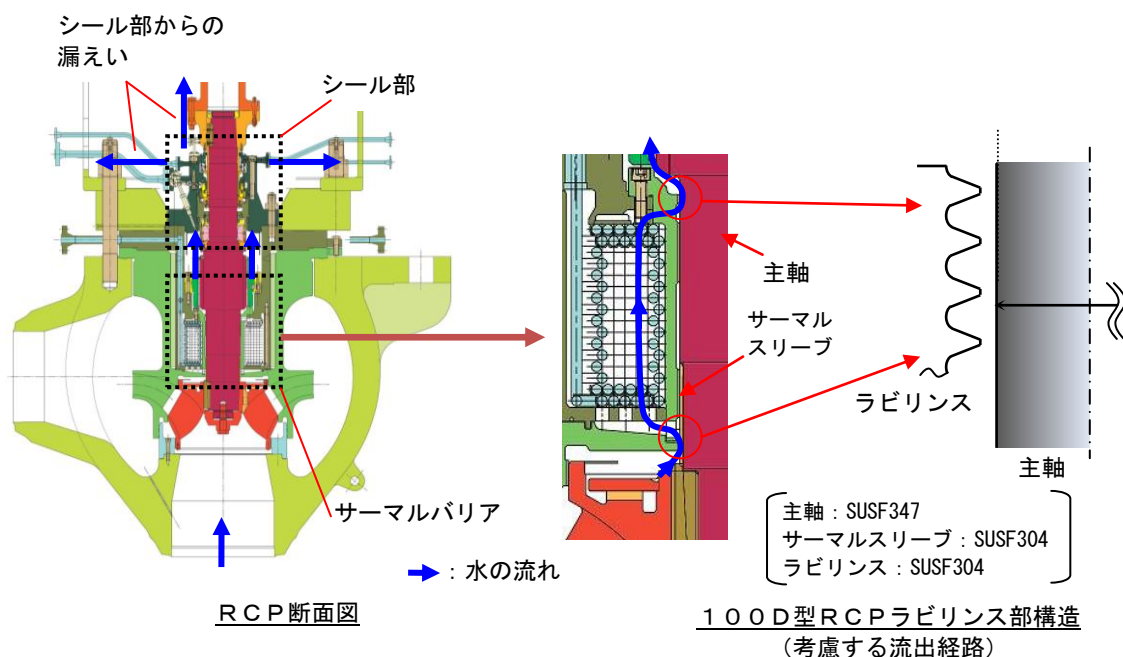
1. 有効性評価におけるRCPシール漏えい量について

有効性評価における100D型RCPシール部からの漏えい量については、シール部が機能喪失した場合の最大の値として、約109m³/h（480gpm相当）を設定している。

以下に漏えい量の算出方法及び有効性評価における使用値について説明する。

2. 漏えい量評価方法

RCPシールLOCA時に漏えい量が最大となる全シール（No. 1、2、3）の機能喪失時の流出流量は、シール部や配管等の流出経路の構造によって決まるが、保守的に、シール部や配管等の抵抗は考慮せず、それ以外で最も狭い流路であるサーマルバリア付近のラビリンス部の抵抗のみ考慮して評価を行う。下図の通り、ラビリンス2箇所の抵抗で流量が制限される。



評価手順は以下の通りである。

- ①ラビリンス部の圧損係数を評価
- ②ラビリンス出口で臨界流となることを確認
- ③Henry Fauske の式を用いて、臨界流量を算出し、漏えい量の評価

ラビリンス通過流量の算出の流れを別紙に示す。

3. 評価結果および漏えい量の設定

入力条件として、100D型RCPのラビリンス部隙間形状および出入口条件（入口：290℃、15.4MPa[gage]、出口：0MPa[gage]）を与え、上記評価手順にて算出した結果、100D型RCPシールの漏えい量は約99m³/h（約436gpm）となる。

有効性評価においては、一定の保守性（10%）を見込み、シール機能喪失時に考え得る最大限の漏えい量として約109m³/hを設定した。

以 上

RCPシール漏えい量評価におけるラビリンス通過流量算出方法

1. 計算の考え方

ラビリンスを通過する流れは、入口では水単相流であるが、圧力損失によって圧力が低下し、ラビリンス最下段手前では出口との圧力差の関係で臨界流となる(図1)。

計算では、水単相流または臨界流となるかを判別して流量を計算する。

2. 計算方法

計算フローを図2に示す。各計算式は以下の通りである。

2.1 ラビリンス通過時の圧力損失(水単相流)(文献1)

$$\xi = \frac{\Delta P}{\rho u^2 / 2} = 1 + \xi' + z \cdot (a + \xi' \cdot b) \quad (1)$$

式(1)右辺 ξ' はラビリンス隙間幅が十分小さい場合、0.5となる。また、係数a, bは図3に示す線図から求める。

2.2 臨界流流量

臨界流流量は次式の Henry-Fauske の式(文献2)を用いて計算する。

$$\left(\frac{Q_c}{A}\right)^2 = \left[\frac{x_0 v_g}{n P} + (v_g - v_{l0}) \left\{ \frac{(1-x_0)N}{s_{qE} - s_{lE}} \frac{ds_{lE}}{dP} - \frac{x_0 C_{Pg} \left(\frac{1}{n} - \frac{1}{\gamma} \right)}{P(s_{g0} - s_{lE})} \right\} \right]^{-1} \quad (2)$$

ここで、 $N = \frac{x_{gl}}{0.14}$ である。

記号

A : 流路断面積[m²]
g : 重力加速度[m/s²]
P : 圧力[Pa]
u : ラビリンス通過流速[m/s]
S_{lE} : 液のエントロピ[J/kgK]
v_g : 気相の比体積[m³/kg]
x : 蒸気乾き度[-]
ζ : 抵抗係数[-]
n : polytropic exponent[-]

a, b : 係数[-]
Q_c : 臨界流量[kg/s]
ΔP : 圧力損失[Pa]
S_{qE} : 熱平衡エントロピ[J/kgK]
S_{g0} : 蒸気のエントロピ[J/kgK]
v_l : 液相の比体積[m³/kg]
z : ラビリンス段数[-]
ρ : 密度(液相)[kg/m³]
γ : isentropic exponent[-]

文献

- 1: I. E. Idelichik, "Handbook of Hydraulic Resistance, 4th Edition", pp.655-656.
- 2: Henry, R. E. and Fauske, H. K., "The Two-Phase Critical Flow of One-Component Mixtures in Nozzles, Orifices and Short Tubes", J. of Heat Transfer, Trans. ASME, May 1971.

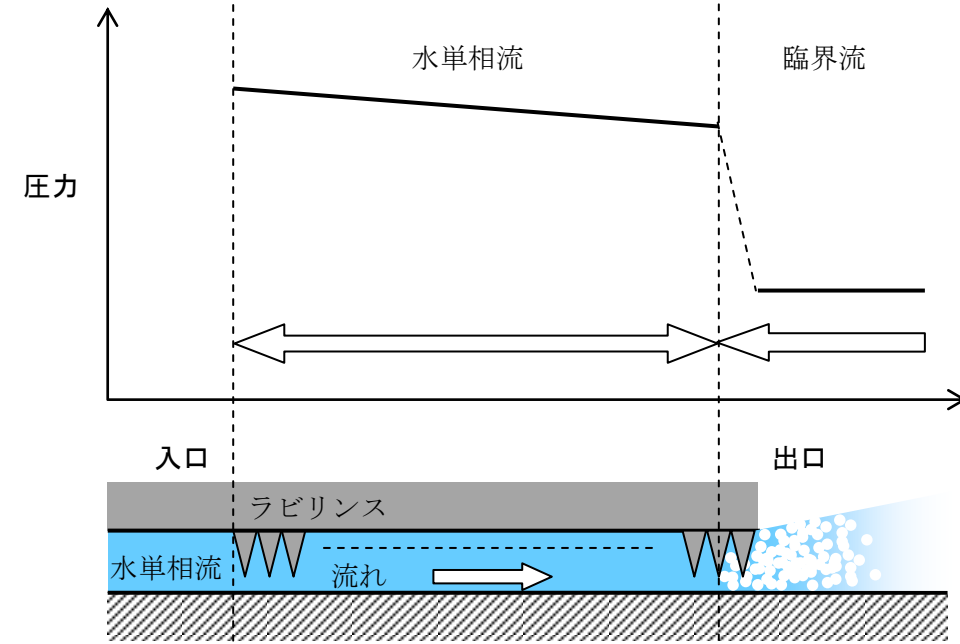


図1 計算モデル

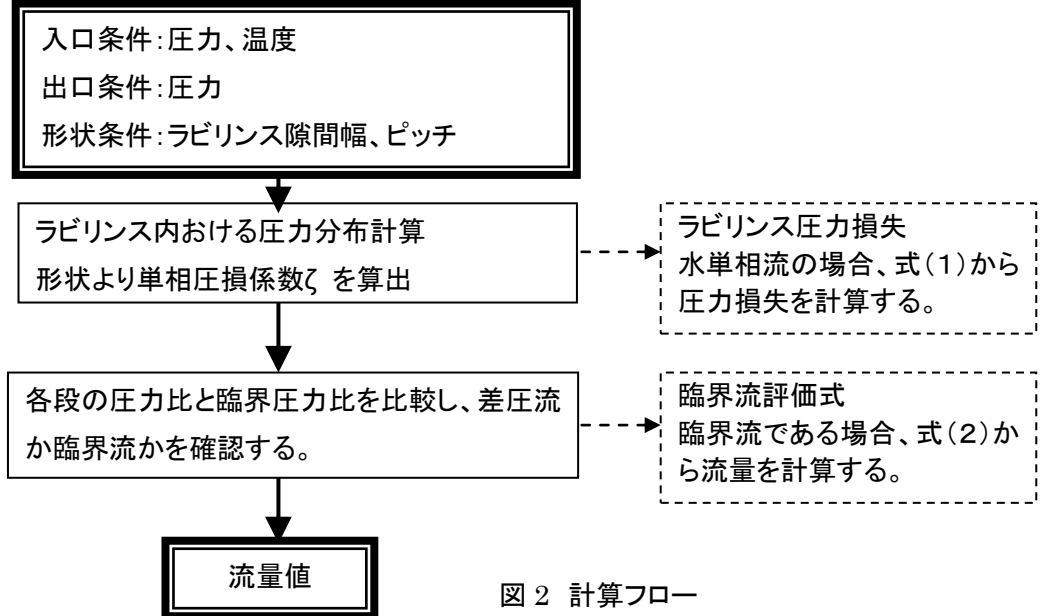


図2 計算フロー

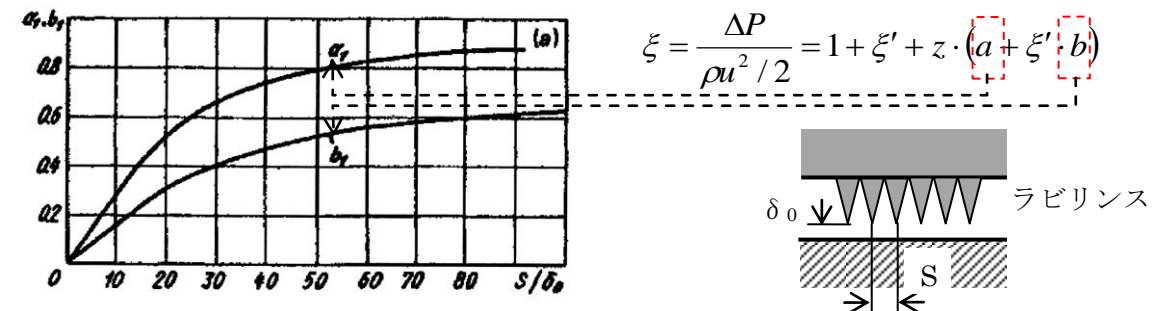


図3 ラビリンス抵抗式における係数(a, b)

8. SBO 発生時の長期的な格納容器冷却について

SBO 発生時の長期的な格納容器の冷却は、事象発生後約 24 時間後から、格納容器再循環ユニットを用いた自然対流冷却に移行する。

事故発生後 24 時間経過時点で、格納容器内で新たに発生するエネルギー量 (RCP からの漏えい熱量) は、5~6MW 程度である。(第 15 図参照)

一方、格納容器再循環ユニットによる格納容器内の除熱量は、図 1 より、以下の条件

○冷却水温度 32°C、冷却水流量 82m³/h/台

○格納容器内雰囲気温度 100°C

において、約 $3.2 \times 10^6 \text{kcal/h/台} \times 2 \text{ (台)} = \text{約 } 7.4 \text{MW}$ となり、発生エネルギー量を上回る。

第 14 図より、事象発生後 12~24 時間後の 12 時間では約 7°C の温度上昇があり、これが継続すると事象発生から約 3.1 日後には 110°C に至り、格納容器再循環ユニット (図 2) のダクト開放機構が開く。その後は、格納容器内の発生エネルギー量を除熱量が上回ることから、格納容器内圧力、温度は徐々に低下傾向となり、安定状態に至る。

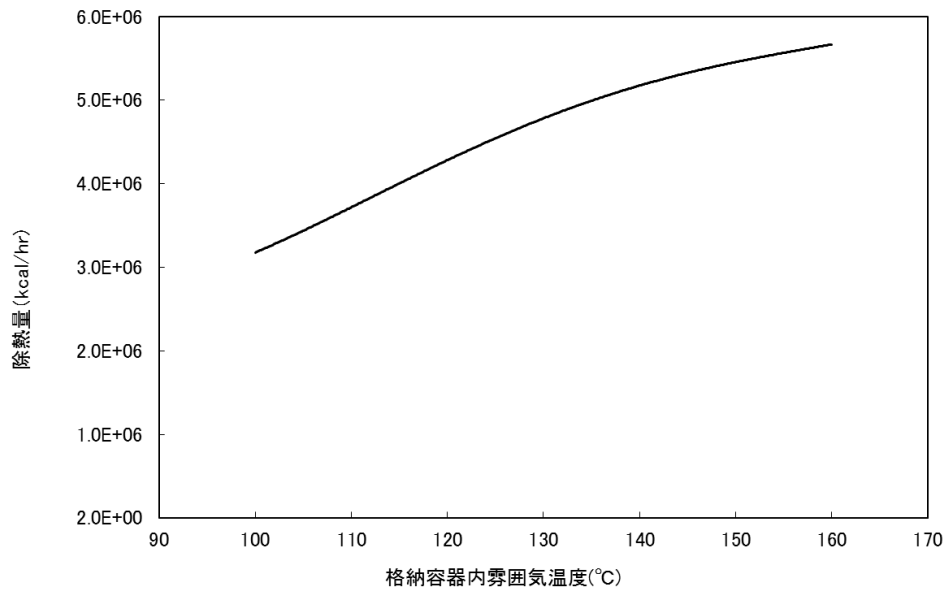


図 1 重大事故時の格納容器再循環ユニットの除熱性能曲線

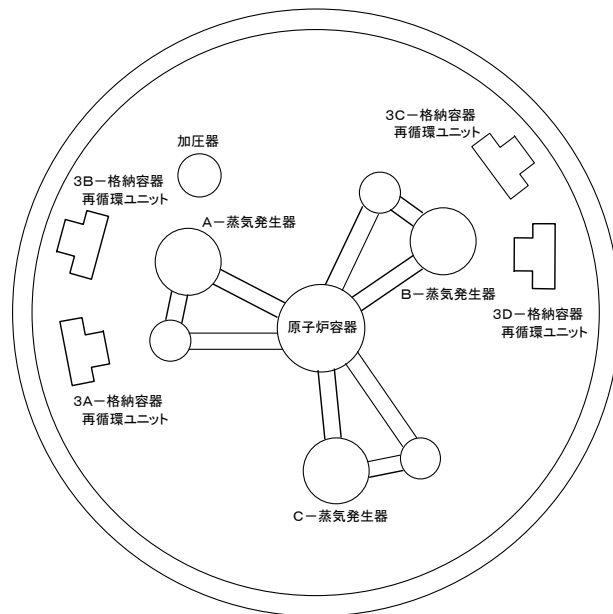
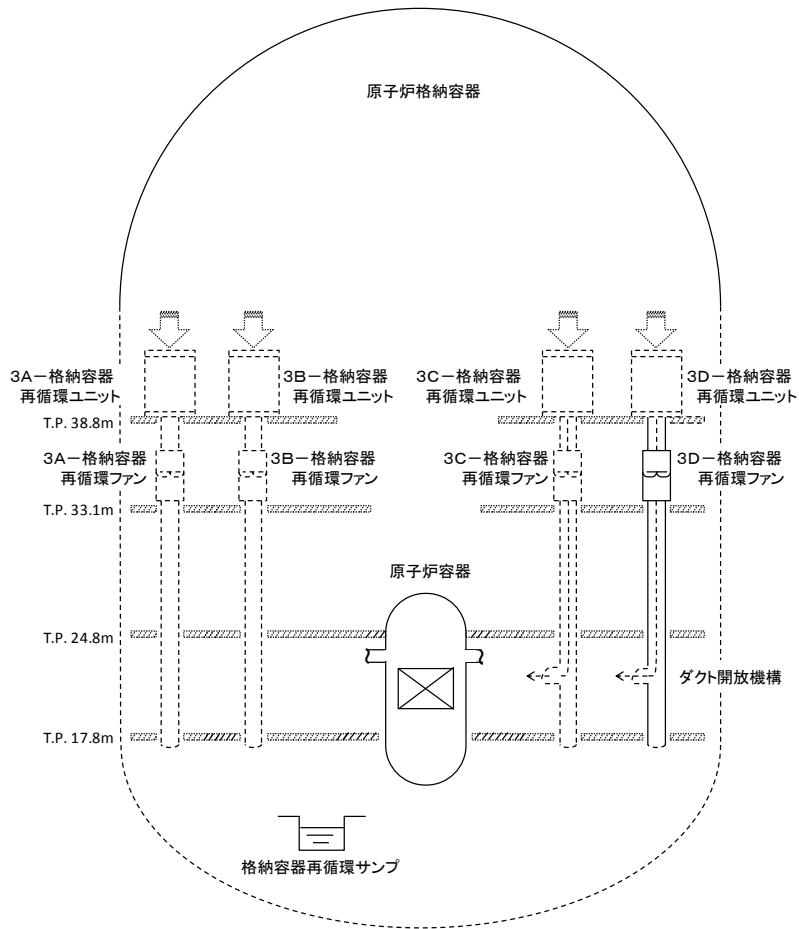


図2 格納容器再循環ユニット配置概要図

9. 中央制御盤について

9.1 構成

中央制御盤は、原子炉及び主要な関連設備の集中的な監視操作を可能とした運転コンソール、運転員の指揮及び監督を行うための指令コンソール、運転員のプラント設備全体の状態把握を支援するための大型表示盤で構成する。(添付1、2)

9.2 機能

運転コンソールには、安全系設備の監視操作機能を有する安全系FDP^(注1)、常用系設備の監視操作及び安全系設備の監視機能を有する常用系VDU^(注2)、警報表示機能を有する警報用VDU^(注2)等を設け、運転員が原子炉及び主要な関連設備の監視及び操作を集中して行えるようにしている。運転コンソールに設置している安全系FDPは多重化構成であり、耐震性を有し、非常用電源からの給電を行っている。

指令コンソールには、常用系設備及び安全系設備の監視機能を有する常用系VDU及び警報表示機能を有する警報用VDU等を設け、運転員の指揮及び監督を行う者が原子炉及び主要な関連設備の状態を把握し、運転員への適切な指示が行えるようにしている。

大型表示盤には、系統を表現した画面上に主要パラメータ及び代表警報を表示し、運転員のプラント設備全体の状態把握を支援できるようにしている。

(注1) Flat Display Panel の略

(注2) Visual Display Unit の略

9.3 特徴

監視及び操作の機能を集中したコンパクトコンソールの適用、運転員の情報共有化及びプラント設備全体の情報把握の容易化を可能とした大型表示盤の適用、監視及び操作の集約化を図ったタッチオペレーションの適用により、運転員の負担軽減及び情報の共有化を図っている。

また、中央制御室の環境条件、中央制御室の配置及び作業空間、中央制御盤の盤面配置、表示システム並びに制御機能に留意し、運転員が誤操作することなく適切に運転操作できるようにしている。

9.4 中央制御盤の耐震性

運転コンソールは、同じ構造の供試体を製作し、加振台に供試体を据え付け、設置床面における最大応答加速度を上回る加速度で加振することにより供試体の機械的強度及び電気的機能の健全性を確認している。

また、運転コンソールに設置している安全系FDPの監視操作機能に関する原子炉安全保護盤等の盤、計器、電源に対し同様の方法により機械的強度及び電気的機能の健全性を確認している。

耐震性確認結果

名 称	据付場所 (m)	水平加速度		鉛直加速度	
		評価加速度※ (m/s ²)	確認済 加速度 (m/s ²)	評価加速度※ (m/s ²)	確認済 加速度 (m/s ²)
①運転コンソール	原子炉補助建屋 T.P.17.8	7.60	24.5	4.78	14.7
②安全系FDP プロセッサ	原子炉補助建屋 T.P.17.8	7.60	24.5	4.78	9.8
③安全系マルチ プレクサ	原子炉補助建屋 T.P.17.8	7.60	24.5	4.78	9.8
④原子炉安全保護盤	原子炉補助建屋 T.P.17.8	7.60	24.5	4.78	9.8
⑤工学的安全施設 作動盤	原子炉補助建屋 T.P.17.8	7.60	24.5	4.78	9.8
⑥安全系現場制御 監視盤	原子炉補助建屋 T.P.17.8	7.60	24.5	4.78	9.8

※評価加速度：据付場所における基準地震動（S_s）に対する最大応答加速度

中央制御盤の概要

特徴

- ・ 監視及び操作の機能を集中したコンパクトコンソール
- ・ 運転員の情報共有化及びプラント設備全体の状態把握の容易化を可能とした大型表示盤
- ・ 監視及び操作の集約化を図ったタッチオペレーション画面

ハード操作器, バイパス表示灯

原子炉トリップ等はハード操作器を設置する。
バイパス時は常時表示する。

警報用VDU

警報の重要度に応じた色別の警報表示を行う。

常用系VDU

監視情報と操作情報を集約し、監視操作性を向上させる。

①安全系FDP

安全系設備の監視操作機能を有する。

大型表示盤

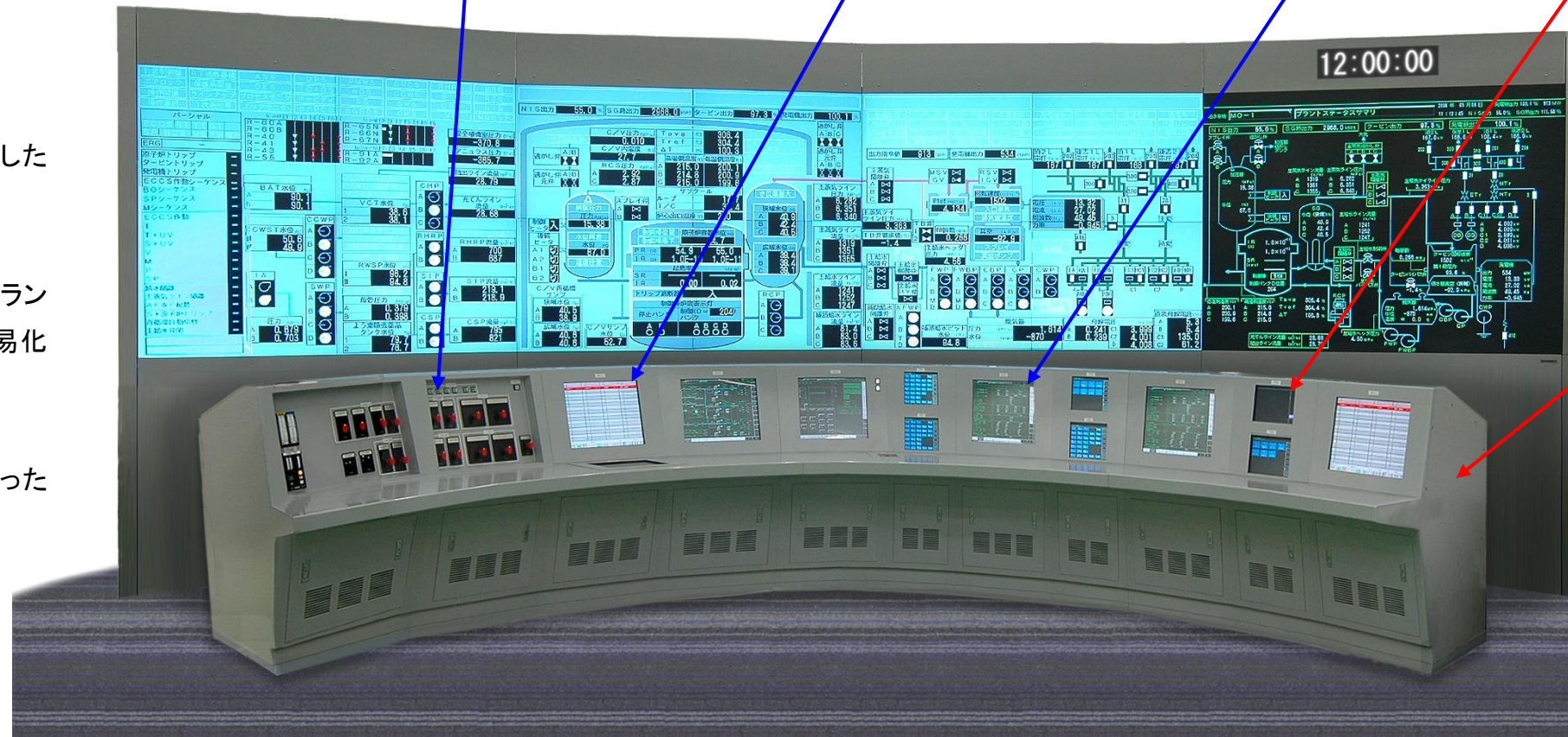
運転員の情報共有化及びプラント設備全体の状態把握容易化を可能とする。

①運転コンソール

従来盤の統合・集約化、座位による監視操作の実現により運転員の負担軽減を図る。

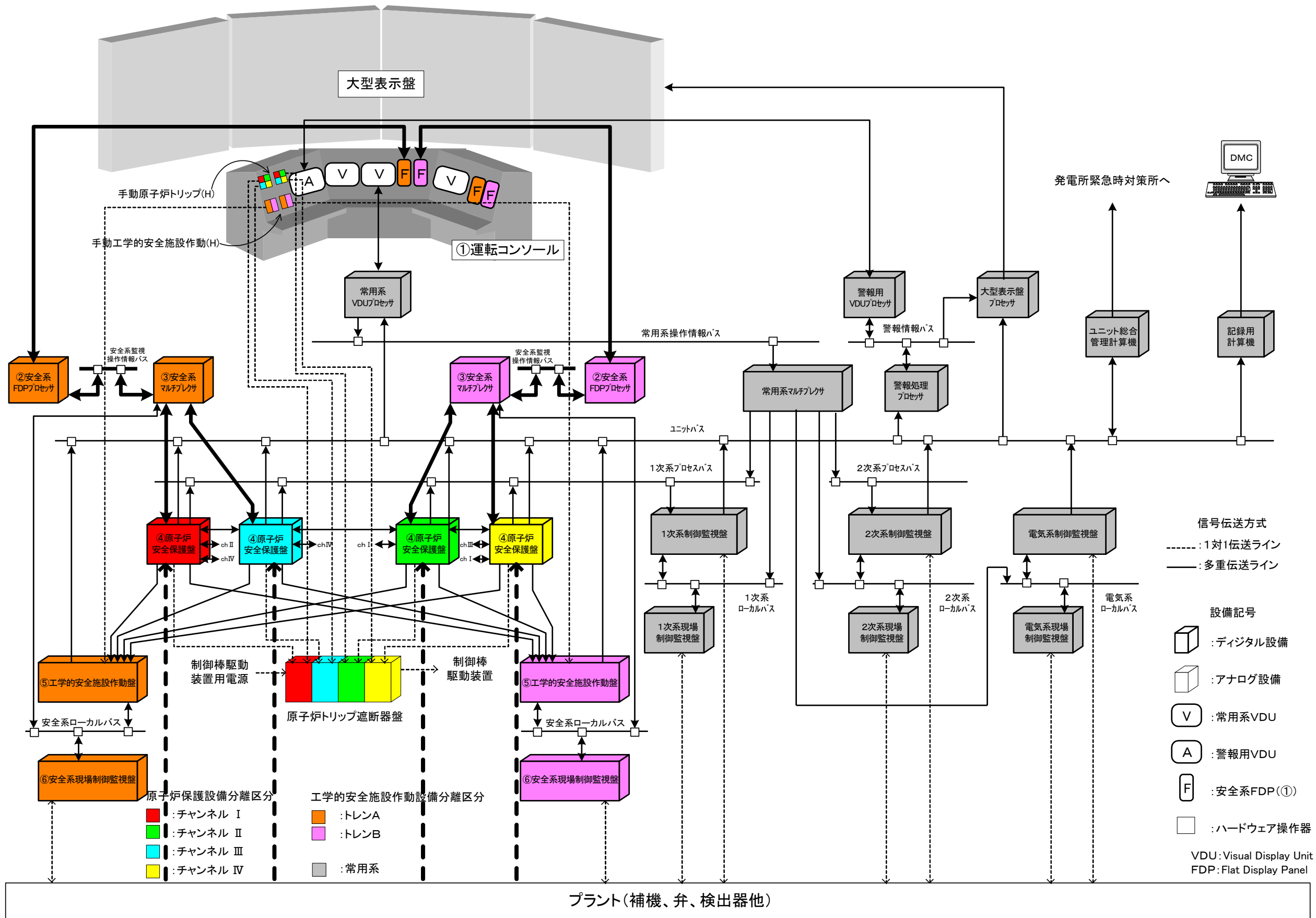
指令コンソール

運転員の指揮及び監督を行うため原子炉及び主要な関連設備の状態把握を可能とする。



□ : 耐震設備

□ : 非耐震設備



中央制御盤のデータ伝送ルート

(注) 監視操作情報の信号の流れを概略示したものであり、端末の台数は実機と一致しない。