

降下火砕物濃度に対するプラントの影響評価（PWR）

平成29年6月22日
電気事業連合会

1. 各発電所の評価について

- I. 各発電所について、降灰によって外部電源が喪失した場合において設計基準対処施設（以下「DB施設」という。）を用いて、原子炉冷却状態が達成・維持できることを確認する

⇒ 評価方法及び結果を 2 ～ 5 に示す。

- II. 各発電所について、更にそれ以上の火山灰濃度によって、仮に非常用DG吸気フィルタが目詰まりし、非常用DGが機能喪失した場合を想定し、重大事故等対処設備（以下、「SA設備」という。）等を用いて原子炉の冷却を継続できることを確認する。

⇒ 評価方法及び結果を 6 ～ 10 に示す。

I-1 評価の前提（DB施設を用いた対応）

1. DB施設による事象収束シナリオの確認の観点

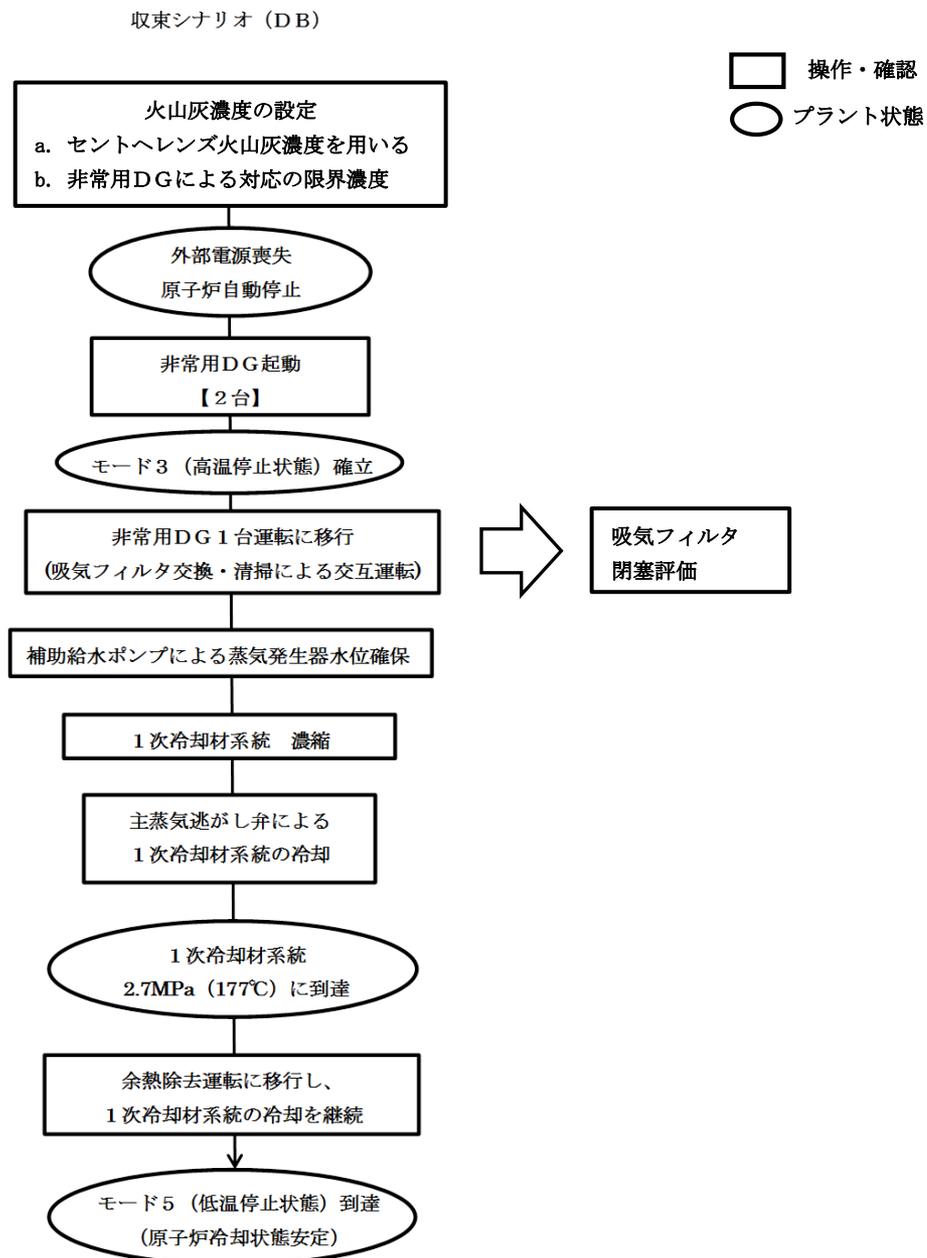
- 降灰によって外部電源が喪失した場合において、事象を収束するシナリオとして、原子炉冷却状態を達成・維持できる設備を選定し、火山灰に対してどの程度耐性があるかを評価する。

2. DB施設による事象収束シナリオ（別図1参照）

- 降灰による外部電源喪失に伴い、原子炉がトリップし非常用DGが起動すると共にブラックアウトシーケンスが作動する。
原子炉は、補助給水及び主蒸気逃がし弁によるSG 2次側冷却により高温停止状態を維持、1次冷却材系統のほう素濃縮後に冷却し、余熱除去運転に移行しつつ低温停止となり、原子炉冷却状態を達成・維持する。
- この間、非常用DGを2台から1台運転とし、非常用DG吸気フィルタの交換・清掃を継続することにより運転を継続する。
- なお、フィルタの閉塞時間の評価、吸気フィルタの交換・清掃時間を試算することで、火山灰に対して、どの程度の耐性があるかの評価する。

I-1-1 評価の前提 (DB施設を用いた対応)

別図 1



1. 吸気フィルタ閉塞時間

➤ 火山灰濃度の設定について

収束シナリオにおいて、以下の濃度を用いて評価を行う。

a. セントヘレンズ火山灰濃度（ $33,400\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）

b. 非常用DGによる対応の限界濃度（フィルタの交換時間が吸気フィルタの閉塞時間となる濃度として算出）

➤ 各火山灰濃度の設定（a～b）での吸気フィルタ閉塞時間の算出

非常用DG吸気フィルタの閉塞時間については、吸気口から火山灰を吸い込みにくい構造であることを考慮せず、粒径にかかわらず全ての火山灰が吸い込まれるという仮定のもと算定する。

また、フィルタの火山灰捕集量は、関西電力にて実施した簡易試験データを用いる。

➤ 対応可能日数

非常用DG吸気フィルタについては、予備フィルタを用いて交換及び清掃を実施することを前提に対応日数を算出する。

⇒ 以上の評価を実施し、PWRプラントの評価結果を 5 に示す。

I-3 評価 (DB施設を用いた対応)

	セントヘレンズ濃度 (約0.033g/m ³)		対応限界濃度	
	吸気フィルタ交換・清掃時間	吸気フィルタ閉塞までの時間	吸気フィルタ交換・清掃時間 (=閉塞までの時間)	セントヘレンズ濃度比
泊1,2号機	約1時間	約104時間	約1.3時間	約78倍 (約2.6g/m ³)
泊3号機	約1時間	約36時間	約1.3時間	約27倍 (約0.9g/m ³)
高浜1,2号機	約0.7時間	約50時間	約1.0時間	約50倍 (約1.6g/m ³)
高浜3,4号機	約0.7時間	約54時間	約1.0時間	約54倍 (約1.8g/m ³)
大飯3,4号機	約0.7時間	約35時間	約1.0時間	約35倍 (約1.1g/m ³)
美浜3号機	約0.7時間	約50時間	約1.0時間	約50倍 (約1.6g/m ³)
伊方3号機	約1.4時間	約38時間	約1.7時間	約23倍 (約0.7g/m ³)
川内1,2号機	約1.4時間	約51時間	約1.7時間	約31倍 (約1.0g/m ³)
玄海3,4号機	約1.4時間	約48時間	約1.7時間	約29倍 (約0.9g/m ³)
敦賀2号機	約1.2時間	約41時間	約1.5時間	約27倍 (約0.9g/m ³)

(注) ・フィルタ交換・清掃時間には、DGの負荷切替時間を含めている。
 ・対応限界濃度の評価では、高い火山灰濃度の下での連続作業であることを考慮し、フィルタ交換・清掃時間に十分な余裕を見込んでいる。

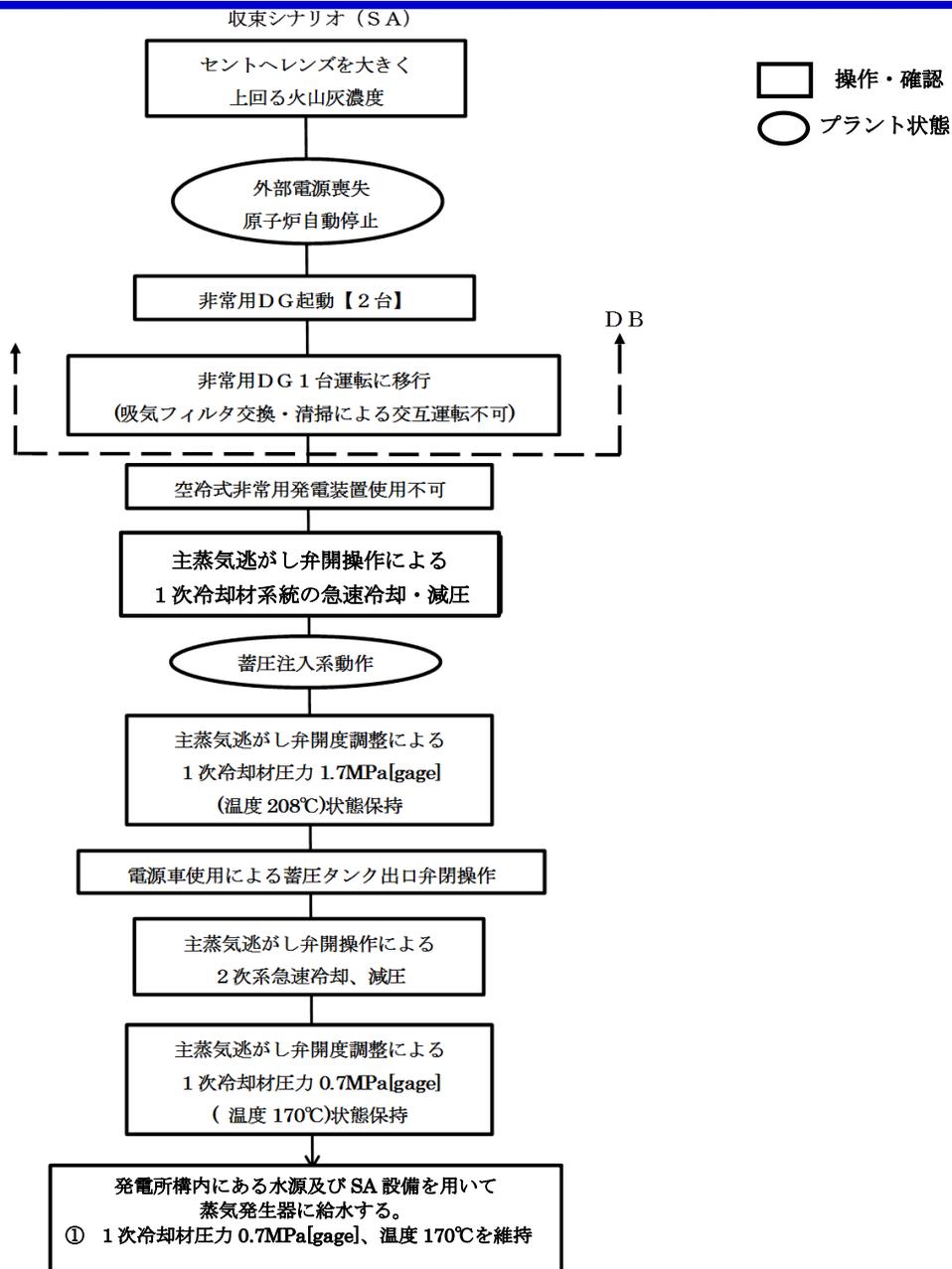
1. SA設備等も含めた事象収束シナリオの確認の観点

- 更に火山灰大気中濃度が高く、フィルタの交換が間に合わなくなり、非常用DGの機能が喪失した場合を想定し、SA設備等を用いて事象が収束することを確認する。

2. SA設備等も含めた事象収束シナリオ（別図2参照）

- 降灰による外部電源喪失に伴い起動した非常用DGの吸気フィルタの交換が間に合わず、空冷式非常用発電装置も運転不能になった場合、全交流動力電源喪失の対応に移行する。この場合、タービン動補助給水ポンプによる蒸気発生器への給水と主蒸気逃がし弁の手動開放により、1次冷却材系統の急速冷却・減圧を行い、蓄圧注入系作動によるほう素濃縮、電源車使用による蓄圧タンク出口弁の閉止後、1次冷却材系統を安定状態（0.7MPa、170℃）に維持する。
- 長期間に亘る火山灰の影響により電源回復が見込めない場合であっても、動力を必要としない水源、さらには電源車の屋内配置等によるポンプ起動による水移送により、非常用DG他の機能回復まで蒸気発生器2次側により炉心冷却を継続する。
- 上記シナリオに対して、蒸気発生器注水を継続して実施できる給水可能期間を評価する。

別図 2



1. 想定する火山灰濃度

非常用DGの吸気フィルタの交換が間に合わなくなる濃度
(フィルタ閉塞時間 \leq フィルタ交換に必要な時間)

2. 収束シナリオ

- SA有効性評価における全交流動力電源喪失シナリオに従い、タービン動補助給水ポンプを用いて、蒸気発生器に給水する。
- 直流電源は、24時間供給可能。
- 淡水源については、発電所構内にある複数のタンク等を利用し、淡水融通を行う。
まず、動力を用いず給水し、その後、動力が必要な場合は、屋内に電源車をあらかじめ配備する等の手段により給水を行う。
- 直流電源が枯渇した場合は、現場操作による注水を継続。

⇒ 以上の評価を実施し、PWRプラントの評価結果を 9 ~ 10 に示す。

II-3 評価 (SA設備を用いた対応)

プラント名	SA設備等を用いた対応			
	外部水源の容量	動力	給水可能期間	合計給水可能期間
泊1,2号機	補助給水タンク (各号炉 : 375m ³) 2次系純水タンク 2基 (1,100m ³) ろ過水タンク 2基 (1,100m ³)	なし	約4.1日	約16.6日
	原水槽 (7,200m ³ 3uと分配して使用)	送水ポンプ車	約12.5日	
泊3号機	補助給水ピット (570m ³) 2次系純水タンク 2基 (900m ³) ろ過水タンク 2基 (900m ³)	なし	約4.1日	約17.5日
	原水槽(7,200m ³ 1,2uと分配して使用)	送水ポンプ車	約13.4日	
高浜1,2号機	復水タンク 2基 (1026m ³) 2次系純水タンク 2基 (1230m ³)	なし	約1.5日	約18.0日
	1, 2号淡水タンク 5基 (7,807m ³ 1,2u、3,4uと分配後の値)	ディーゼル 消火ポンプ	約16.5日	
高浜3,4号機	復水タンク 2基 (1,292 m ³) 2次系純水タンク 1基 (2,554m ³) 淡水タンク 2基 (5,108m ³)	なし	約12.2日	約22.0日
	1, 2号淡水タンク 5基 (7,807m ³ 1,2u、3,4uと分配後の値)	ディーゼル 消火ポンプ	約9.8日	

II-3-2 評価 (SA設備を用いた対応)

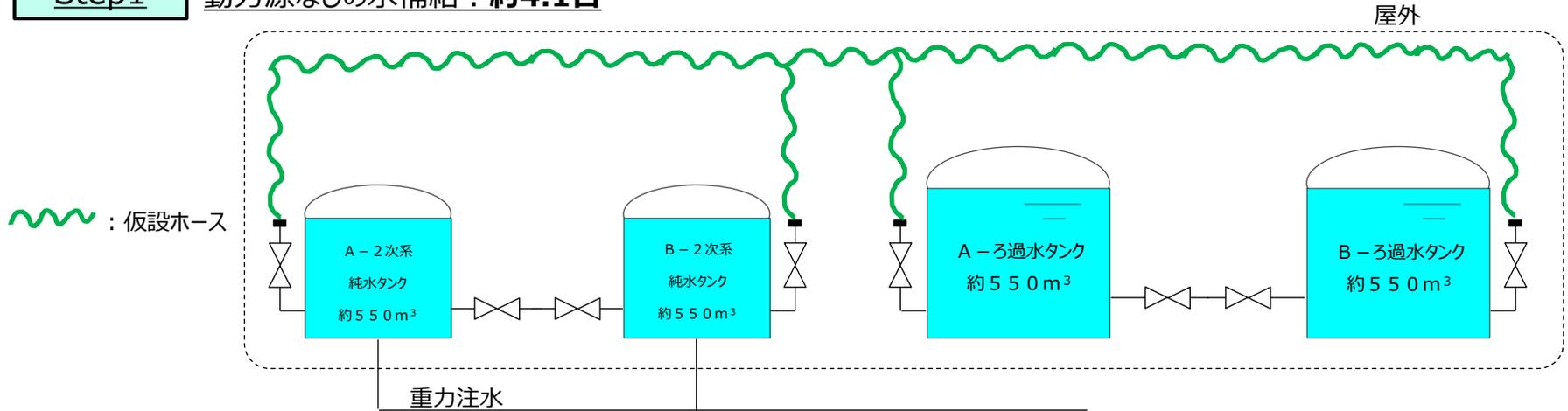
プラント名	SA設備等を用いた対応			
	外部水源の容量	動力	給水可能期間	合計給水可能期間
大飯3,4号機	復水ピット 2基 (2,070m ³) No2,3淡水タンク 2基 (8,500m ³)	なし	約10.8日	約39.0日
	A,B純水タンク 2基 (9,000m ³) A,B淡水タンク 2基 (9,000m ³)	純水ポンプ (電源車)	約28.2日	
美浜3号機	復水タンク 1基 (513 m ³) 2次系純水タンク 1基 (360 m ³)	なし	約1.0日	約36.4日
	No.1,2淡水タンク 2基 (4,000 m ³)	ディーゼル 消火ポンプ	約14.5日	
	A, B 淡水タンク 2基 (4,000 m ³)	電動消火ポンプ (電源車)	約20.9日	
伊方3号機	補助給水タンク (662m ³) 2次系純水タンク3号 (2,640m ³) 脱塩水タンク3号 (2,064m ³) ろ過水貯蔵タンク3号 (2,064m ³)	なし	約17.1日	約20.2日
	脱塩水タンク3号 (残水: 546m ³) ろ過水貯蔵タンク3号 (残水: 546m ³)	ディーゼル駆動 消火ポンプ3号	約3.1日	

II-3-2 評価 (SA設備を用いた対応)

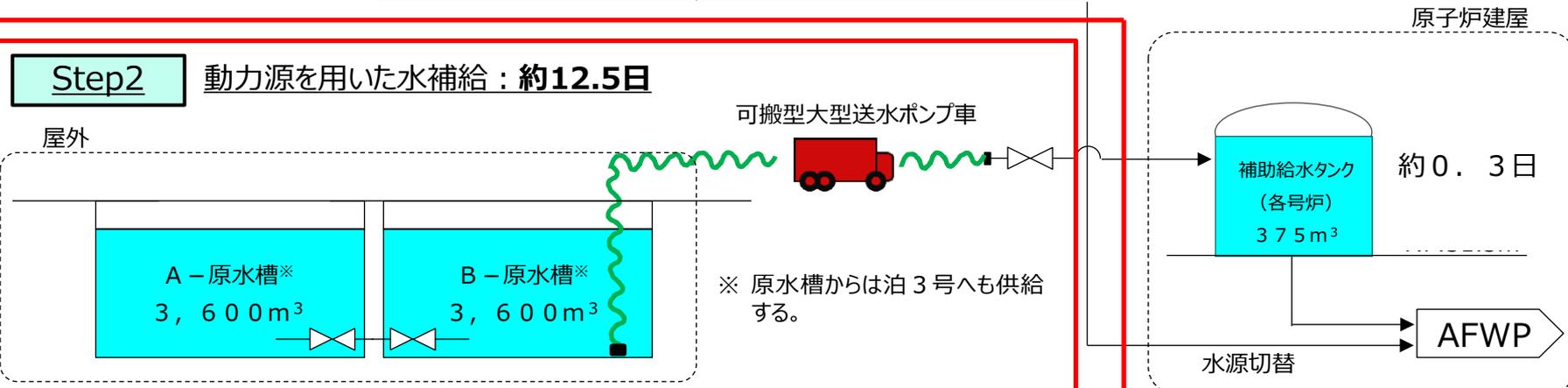
プラント名	SA設備等を用いた対応			
	外部水源の容量	動力	給水可能期間	合計給水可能期間
川内1,2号機	復水タンク (640m ³ ×2基) 2次系純水タンク (930m ³ ×2基) ろ過水貯蔵タンク (2,100m ³ ×2基)	なし	約9.4日	約9.4日
玄海3,4号機	3号復水タンク (970m ³ ×1基) 4号復水ピット (1,020m ³ ×1基) 2次系純水タンク (1,430m ³ ×2基) 原水タンク (6,500m ³ ×2基)	なし	約21.7日	約21.7日
敦賀2号機	復水タンク1基 (930m ³) 2次系純水タンク2基 (9,360m ³)	なし	約22.2日	約36.5日
	原水タンク1基 (1,390m ³) ろ過水タンク1基 (3,280m ³)	ディーゼル駆動 消火ポンプ	約14.3日	

発電所構内の水源を用いて水補給が可能な期間は約16.6日

Step1 動力源なしの水補給：約4.1日



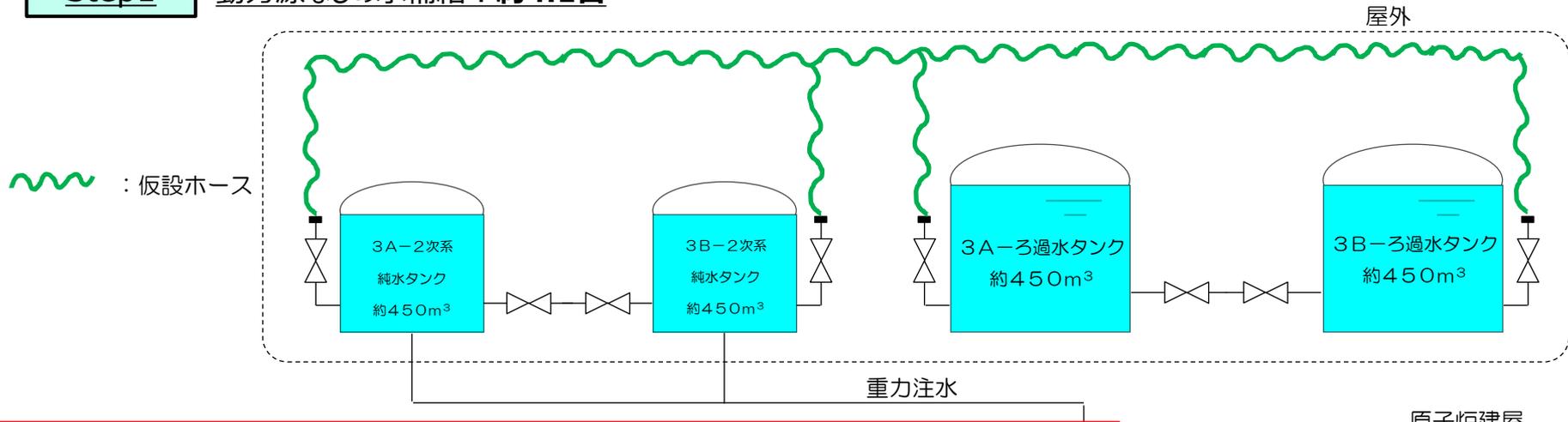
Step2 動力源を用いた水補給：約12.5日



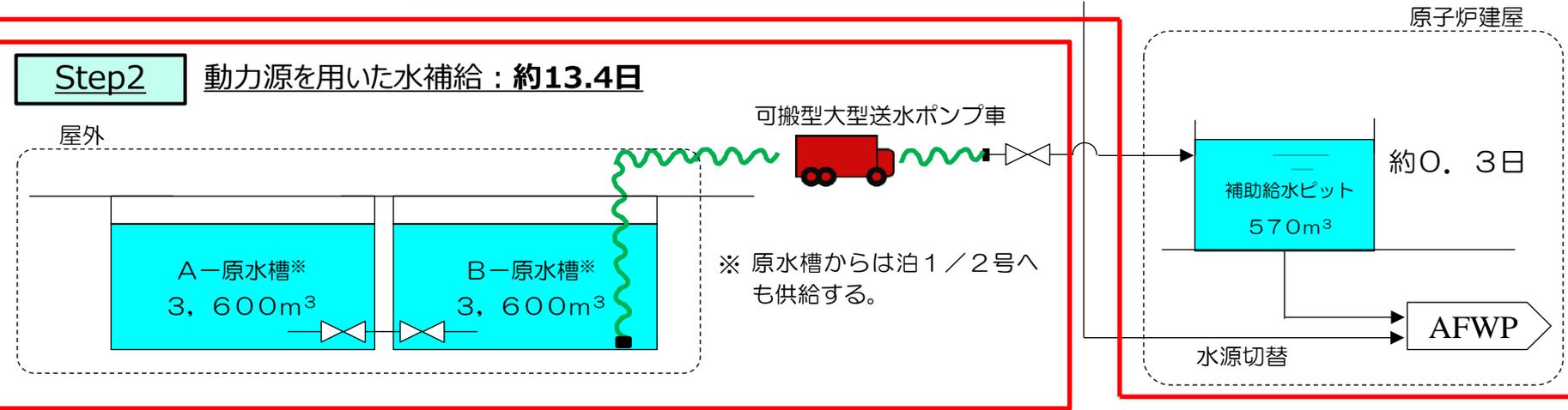
Step3 更なる対応として、万一水源枯渇の場合には可搬型大型送水ポンプ車等を用いて海水補給

発電所構内の水源を用いて水補給が可能な期間は約17.5日

Step1 動力源なしの水補給：約4.1日



Step2 動力源を用いた水補給：約13.4日

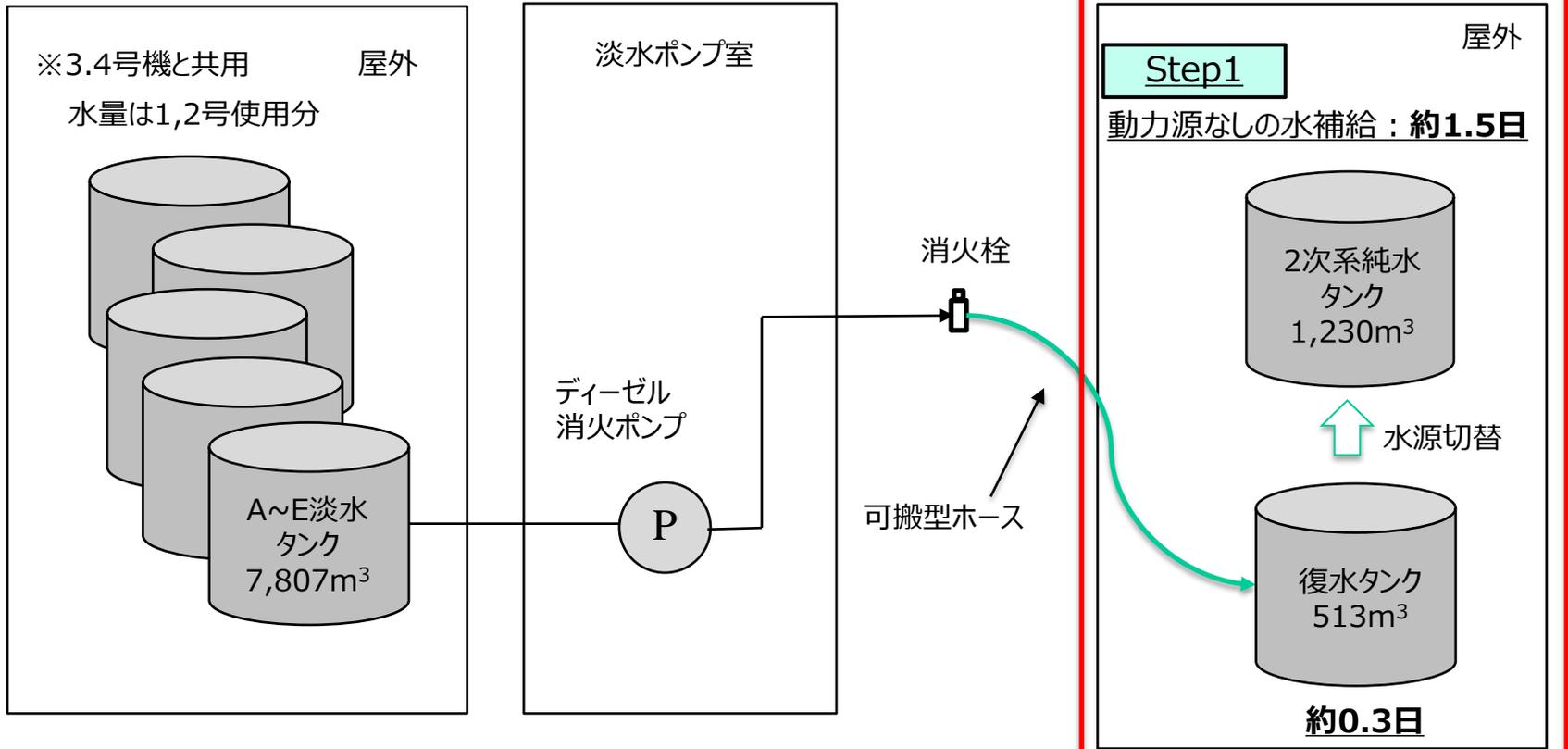


Step3

更なる対応として、万一水源枯渇の場合には可搬型大型送水ポンプ車等を用いて海水補給

発電所構内の水源を用いて水補給が可能な期間は約18.0日

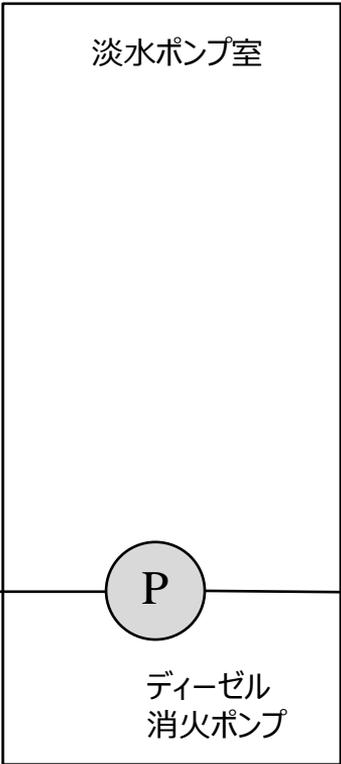
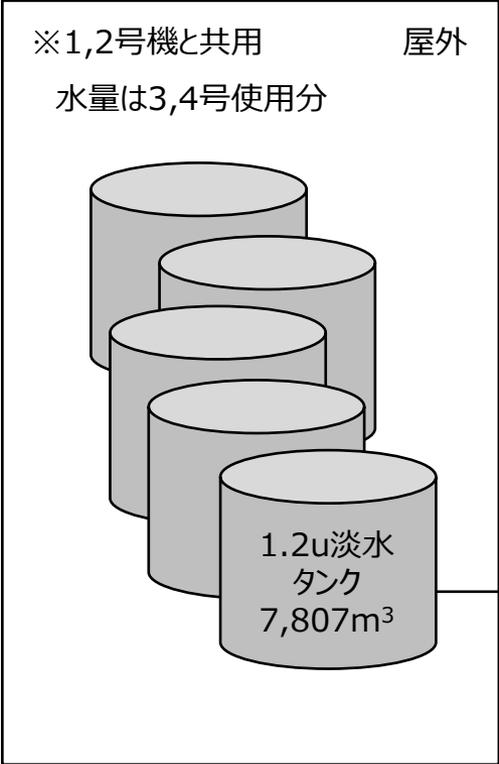
Step2 動力源を用いた水補給：約16.5日



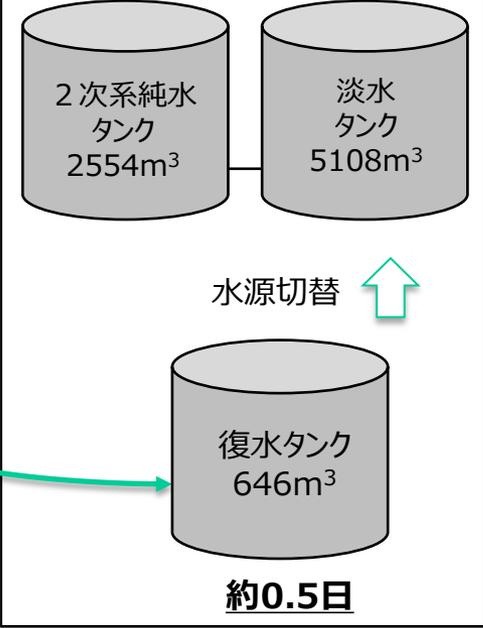
Step3 更なる対応として、万一水源枯渇の場合には送水車を用いて海水補給

発電所構内の水源を用いて水補給が可能な期間は約22.0日

Step2 動力源を用いた水補給：約9.8日



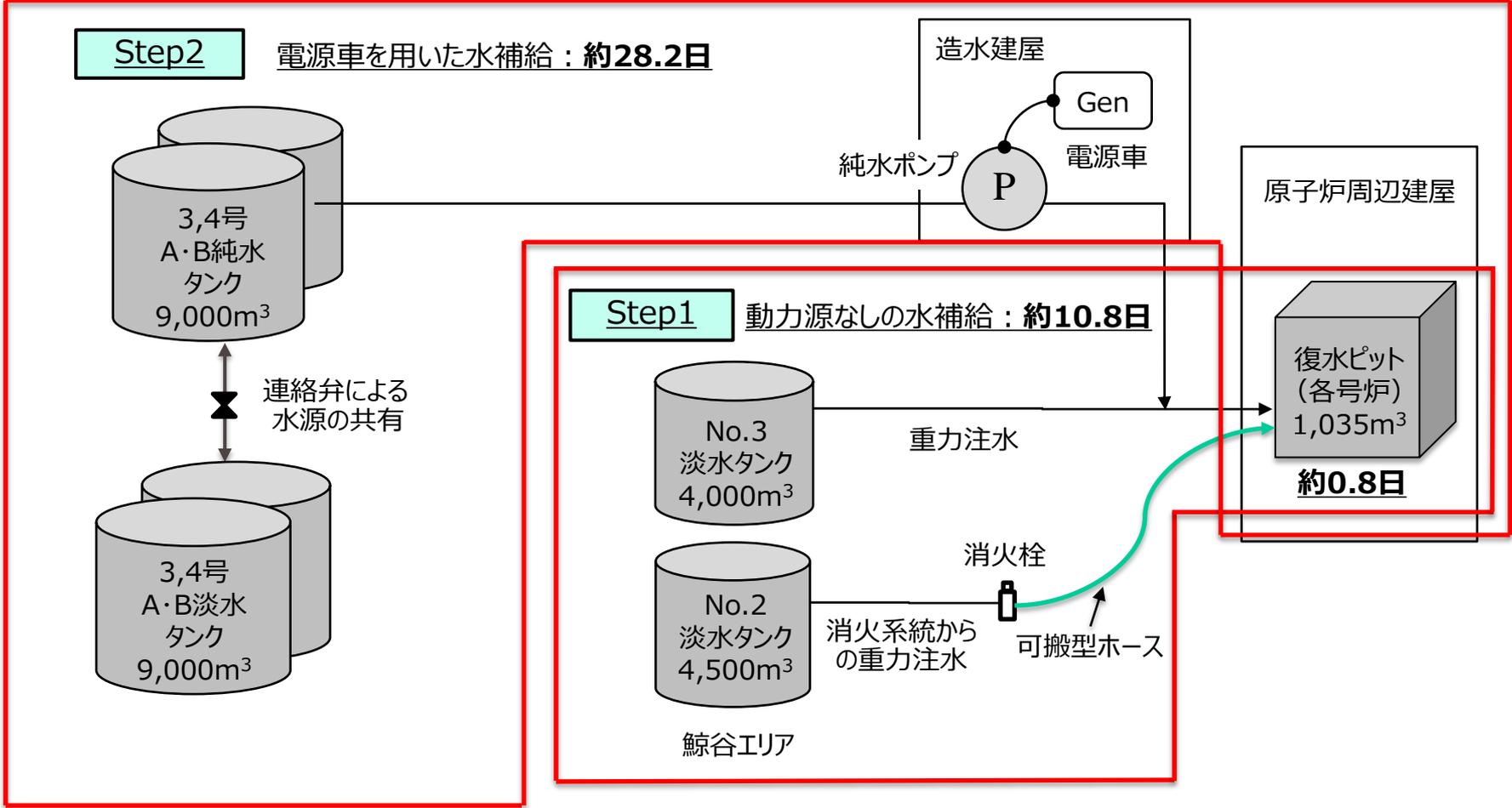
Step1 動力源なしの水補給：約12.2日



Step3 更なる対応として、万一水源枯渇の場合には消防ポンプを用いて海水補給

発電所構内の水源を用いて水補給が可能な期間は約39.0日

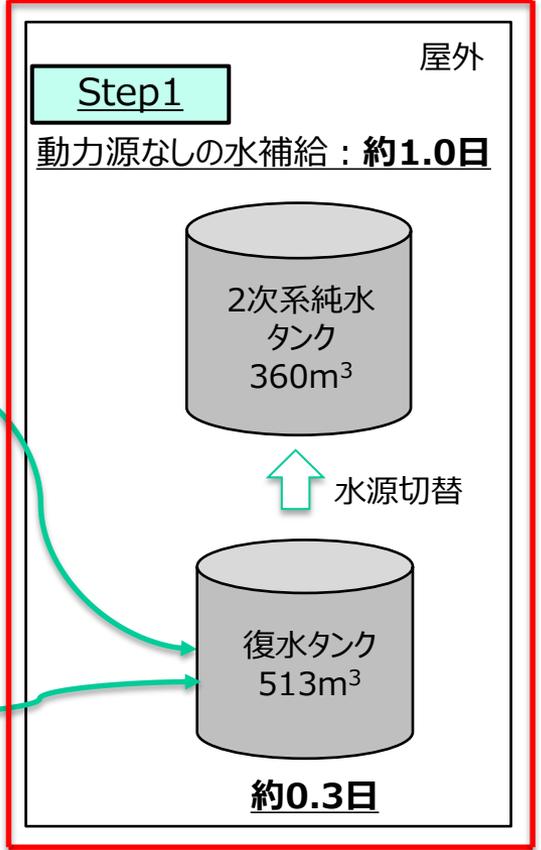
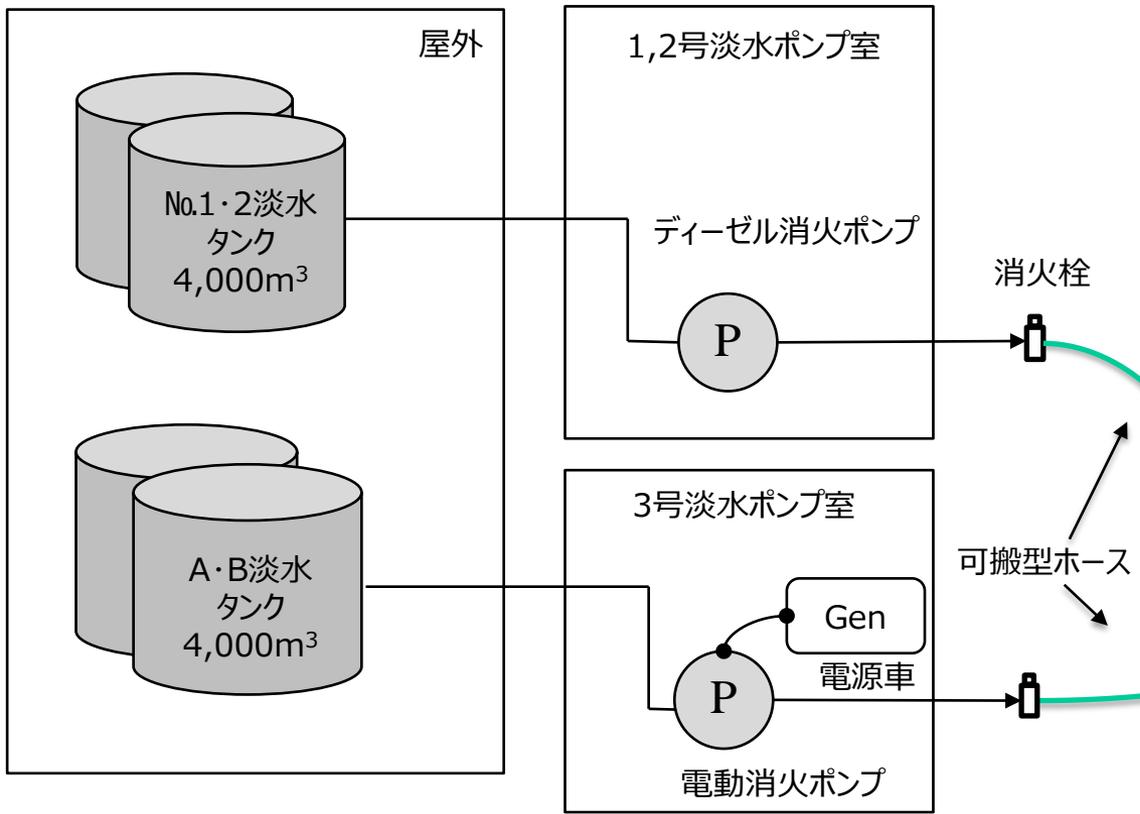
Step2 電源車を用いた水補給：約28.2日



Step3 更なる対応として、万一水源枯渇の場合には送水車を用いて海水補給

発電所構内の水源を用いて水補給が可能な期間は約36.4日

Step2 動力源を用いた水補給：約35.4日



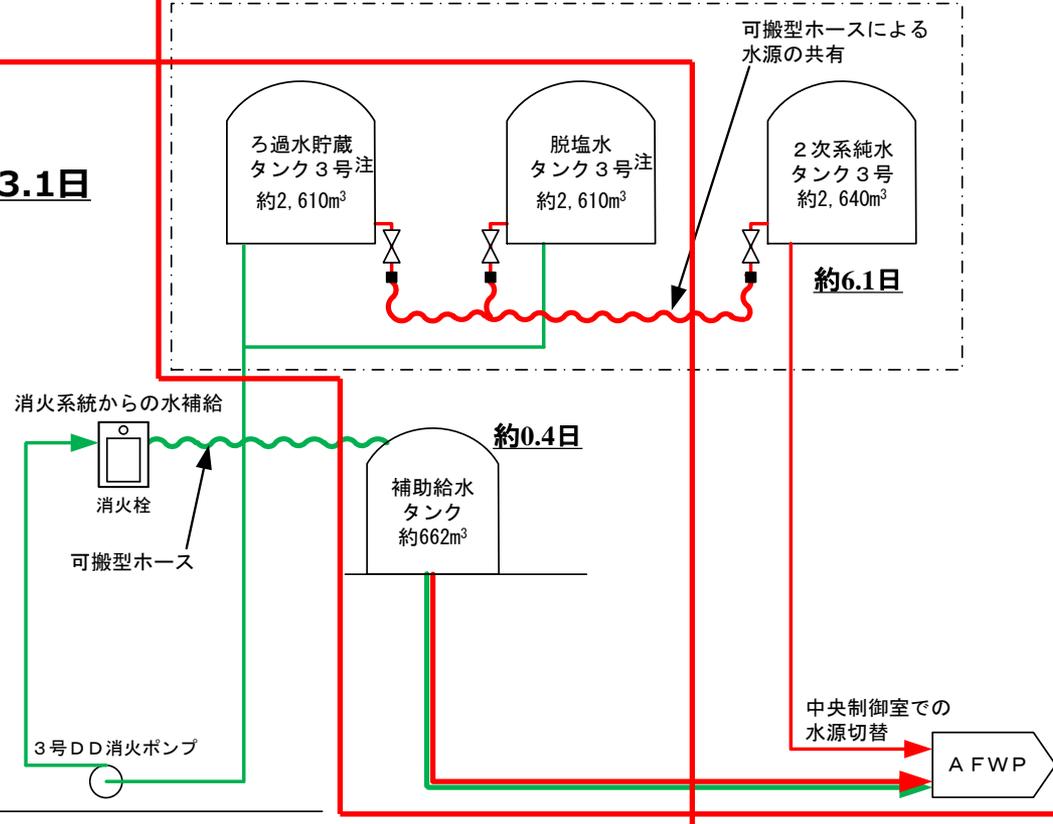
Step3 更なる対応として、万一水源枯渇の場合には送水車を用いて海水補給

発電所構内の水源を用いて水補給が可能な期間は、約20.2日

Step1 動力源なしの水補給：約17.1日

Step2
動力源を用いた水補給：約3.1日

注：可搬型ホース接続配管の立ち上がり高さ
と消火ポンプ取出管台高さの違いにより、
動力源を用いれば更に給水可能。

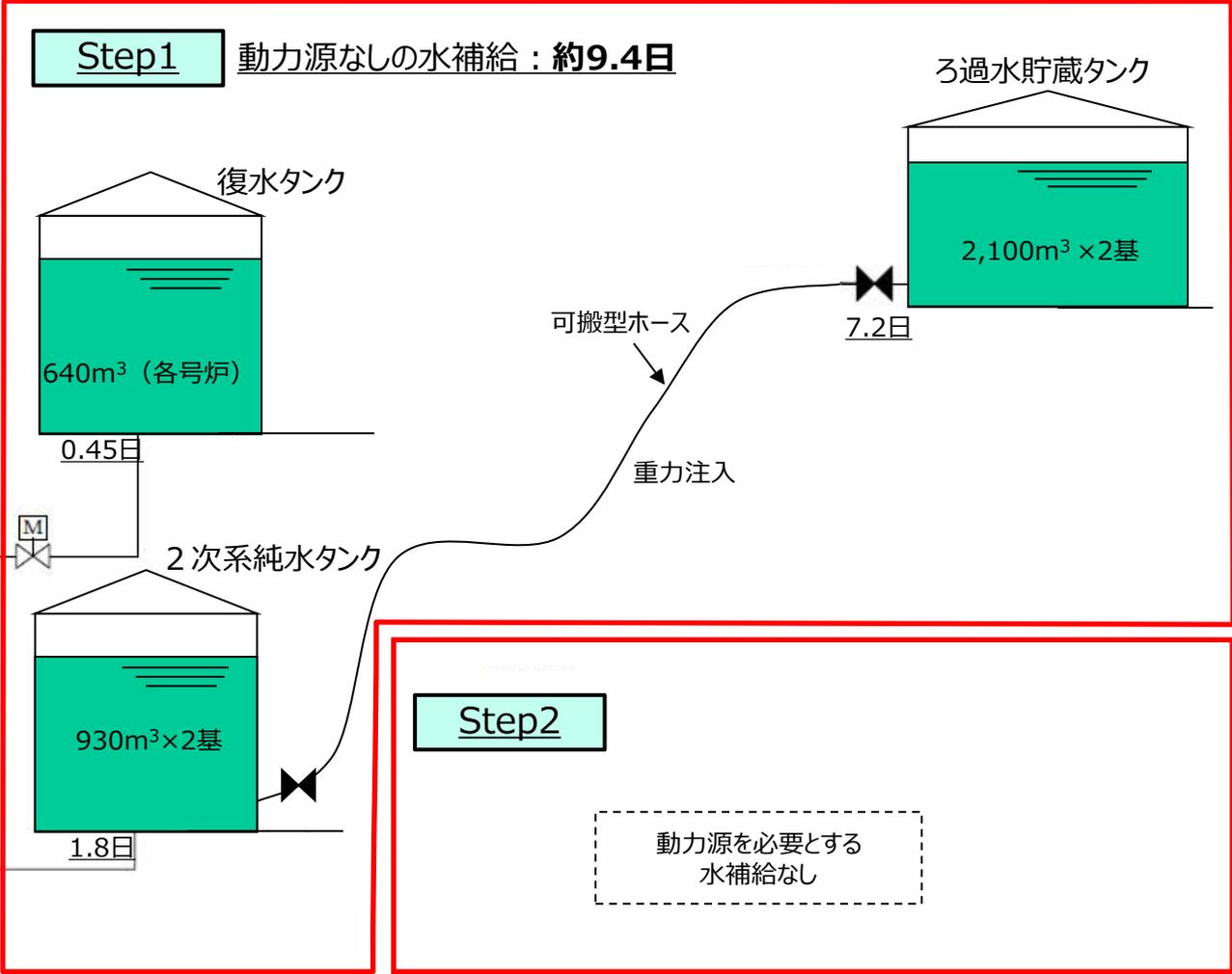


※発電所構内の1, 2号水源も用いれば、更に約45.3日
対応可能（動力源なし：約7.3日、動力源あり：約38日）

Step3

更なる対応として、万一水源枯渇の場合には中型ポンプ車等を用いて海水補給

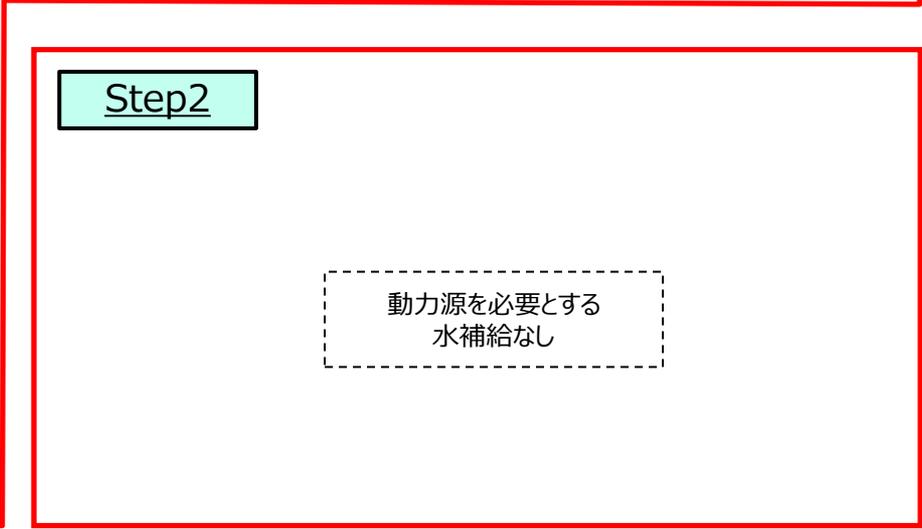
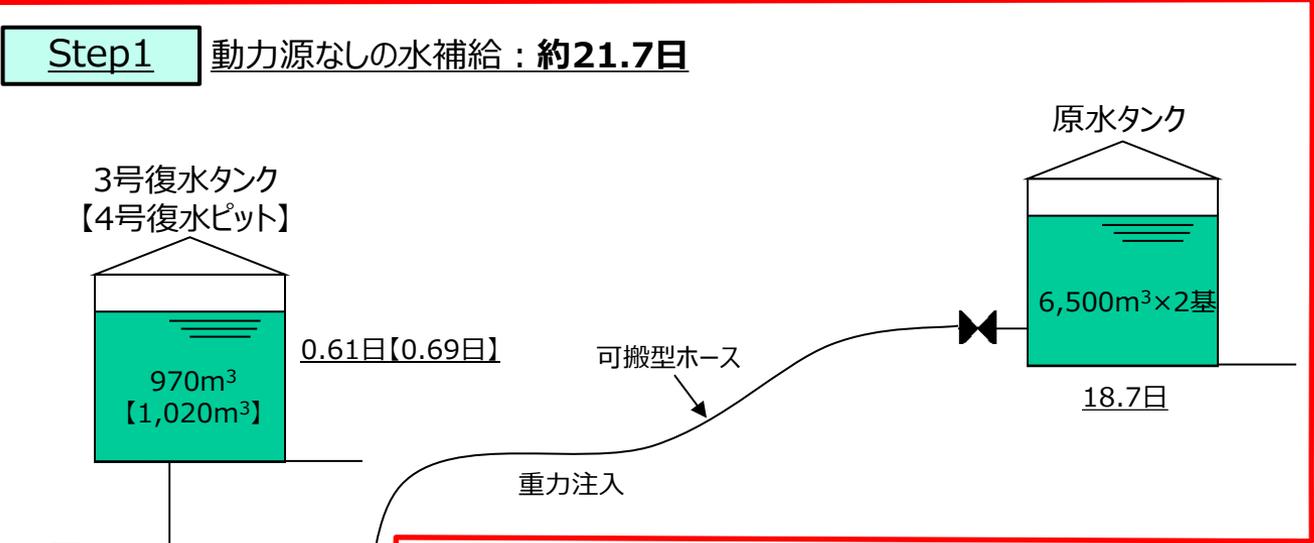
発電所構内の水源を用いて水補給が可能な期間は約9.4日



Step3

更なる対応として、万一水源枯渇の場合には移動式大容量ポンプ車等を用いて海水又は貯水池の淡水を補給

発電所構内の水源を用いて水補給が可能な期間は約21.7日

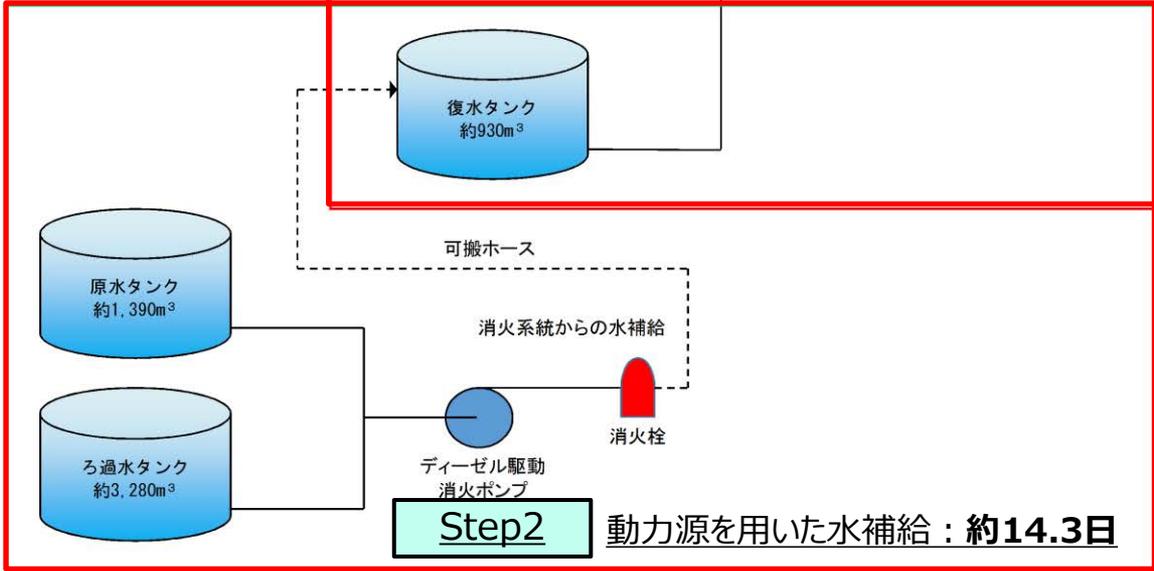
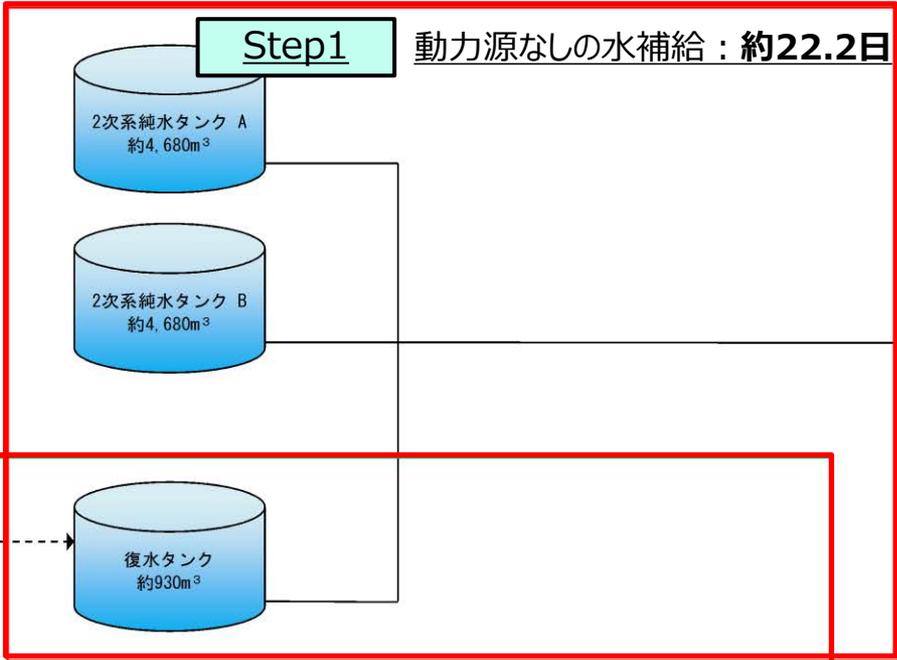


Step3

更なる対応として、万一水源枯渇の場合には移動式大容量ポンプ車等を用いて海水又は貯水池の淡水を補給

全交流動力電源喪失のシナリオに基づく対応（敦賀2号機）

発電所構内の水源を用いて水補給が可能な期間は約36.5日



Step3

更なる対応として、万一水源枯渇の場合には可搬型代替注水中型ポンプを用いて海水補給

降下火砕物に対する評価対象施設の抽出（PWR 例）

（1）設計基準対象施設のうち評価対象施設の抽出

設置許可基準規則6条(外部からの衝撃による損傷の防止)の対応として、「原子力発電所の火山影響評価ガイド」に基づき、評価対象施設を抽出している。

評価対象施設は、屋内設備は当該設備を内包する建屋により防護する設計とすることで、屋外設備、建屋及び屋外との接続がある設備(屋外に開口している設備又は外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する設備)に分類し、以下の通り抽出している(表1)。

また、降下火砕物の特徴からその影響因子となり得る荷重、閉塞、摩耗、腐食、大気汚染及び絶縁低下を抽出し、評価対象施設の構造や設置場所等を考慮して、各設備に対する影響因子を以下の通り整理している(表1)。

表1 評価対象施設の抽出結果及び影響因子

分類	評価対象施設	影響因子
屋外設備	<ul style="list-style-type: none"> ・海水ポンプ※1 ・海水ストレーナ※1 ・復水タンク※1 ・燃料取替用水タンク※1 	荷重、腐食、閉塞、磨耗
建屋	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋 ・原子炉補助建屋 ・燃料取扱建屋 ・ディーゼル建屋 等※3 	荷重、腐食
屋外との接続がある設備（屋外に開口している設備又は外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する設備）	<ul style="list-style-type: none"> ・主蒸気逃がし弁（消音器） ・主蒸気安全弁（排気管） ・タービン動補助給水ポンプ（蒸気大気放出口） ・排気筒※3 ・ディーゼル発電機（機関、消音器） ・取水設備 	閉塞、磨耗、腐食
	<ul style="list-style-type: none"> ・換気空調設備（給気系外気取入口） 	閉塞、磨耗、大気汚染
	<ul style="list-style-type: none"> ・制御用空気圧縮機 	閉塞、磨耗
	<ul style="list-style-type: none"> ・安全系電気計装盤 	絶縁低下

※1：建屋によって防護されるプラントもある。

※2：プラントによって建屋構成は異なる場合がある。

※3：屋外設備に分類されるプラントもある。

さらに、降下火砕物の気中濃度が増加することによって、設備への影響が増長し、再検討を要する影響因子について検討する（表2）。

表2 降下火砕物の気中濃度増加に伴う再検討要否整理表

影響因子	影響の増長の有無等	再検討の要否
荷重	想定する降下火砕物の層厚は厚くならないことから、荷重の増長なし。	不要
閉塞	濃度が増加することによって影響を受ける可能性のある設備（ディーゼル発電機機関のフィルタ及び海水ポンプモータ（開放型））については、影響の再評価が必要。	一部要
腐食	評価対象施設は、外装の塗装や耐腐食材料の使用等をしていることから、短期での腐食により安全機能を損なうことはない。	不要
磨耗	降下火砕物は、砂より硬度が低くもろいことから、磨耗によって短期での安全機能に影響を及ぼさないと考えられる。	不要
大気汚染	中央制御室の換気空調系の再循環運転をすることとしているため、影響なし。	不要
絶縁低下	評価対象施設は空調管理された区域に設置されていることから影響なし。	不要

表1及び表2の結果から、降下火砕物の気中濃度の増加に伴い、設備への影響評価の再検討が必要な設備は、降下火砕物による閉塞時間評価を行っている、ディーゼル発電機機関のフィルタ、及び開放型の海水ポンプモータが影響評価の対象となる。

ディーゼル発電機機関のフィルタについては、フィルタ閉塞までの時間延長、及びフィルタ取替・清掃時間短縮のための対策を実施することにより、より高濃度の降下火砕物への対応を図る。

開放型の海水ポンプモータについては、海塩粒子等の影響を考慮してモータ内部や固定子は全て耐食性に優れた複数層の塗料や絶縁材で保護されており、短期間であれば降下火砕物による化学的影響を受けることはなく、防塵フィルタを取り外して運転することにより、より高濃度の降下火砕物への対応が可能である。

以上、降下火砕物の気中濃度が増加することにより、対策の対象となり得るのは、ディーゼル発電機機関のフィルタ閉塞のみとなった。

(2) 重大事故等対処設備等のうち評価対象施設の抽出

降下火砕物の襲来に対して設計基準対象施設で対応できなくなった場合においても、重大事故等対処設備等を用いて、事象を収束させることができる。事象を収束させるために必要な設備に対して、屋内設備は当該設備を内包する建屋により防護する設計

とすることで、屋外設備、建屋及び屋外との接続がある設備を分類して以下のとおり抽出する。

また、評価対象施設の構造や設置場所等を考慮して、各設備に対する影響因子を以下のとおり整理し、評価した結果、評価対象施設が概ね健全となることを確認した。(表3)

表3 重大事故等対処設備等に対する評価対象施設及び影響因子

必要な機能	検討対象機器	分類	評価対象施設 ^{※1}	影響因子	評価方法・結果等
蒸気発生器2次給水設備	・タービン動補助給水ポンプ	当該設備を内包する建屋	・原子炉周辺建屋	荷重、腐食	設計基準対象施設として評価を実施
(電源)	なし	—	—	—	—
2次系減圧設備	・主蒸気逃がし弁	当該設備を内包する建屋	・原子炉周辺建屋排気管	荷重、閉塞、腐食	設計基準対象施設として評価を実施
SFPへの補給 ^{※2}	・ディーゼル消火ポンプ	屋外との接続がある設備	・各ポンプ室及び換気口 ・各ポンプ建屋・室	荷重、腐食	建屋の構造健全性確認又は除灰をすることで機能維持を確認。
水源	・復水タンク ・2次系純水タンク ・淡水タンク	屋外設備	・復水タンク ^{※3} ・2次系純水タンク ・淡水タンク	荷重、腐食	タンクの構造健全性確認又は除灰をすることで機能維持を確認
(淡水を補給するポンプ) ^{※2}	・ディーゼル消火ポンプ ・純水ポンプ	屋外との接続がある設備	・各ポンプ室及び換気口 ・各ポンプ建屋・室	荷重、腐食	建屋の構造健全性確認又は除灰をすることで機能維持を確認。
(電源)	・電源車 ^{※4}	屋外設備	・電源車	荷重、閉塞、磨耗、腐食	使用する場合は、建屋に格納するため影響なし。
緊急時対策所	・緊急時対策所	当該設備を内包する建屋	・緊急時対策所	荷重、腐食	建屋の健全性確認又は除灰をすることで機能維持を確認。
(換気空調系)	・空気換気装置	屋外との接続がある設備	・緊急時対策所	荷重、腐食	換気空調系の外気取り入れダンパの閉止等により、緊急時対策所の居住性を確保。
(電源)	・緊急時対策所用電源車	屋外設備	・緊急時対策所用電源車	荷重、閉塞、磨耗、腐食	使用する場合は、建屋に格納するため影響なし。
通信設備(有線)	・有線系通話装置 ・携行型通話装置	当該設備を内包する建屋 屋外設備	・各操作対象設備の建屋、室、制御建屋(中央制御室)、緊急時対策所 ^{※5}	荷重、閉塞、腐食	一部建屋については、建屋の健全性確認又は除灰をすることで機能維持を確認。

※1：斜字は自主的に配備している設備

※2：重力注水等で駆動源を使用せず対応できるプラントもある。

※3：復水タンクについては、ピット式の屋内設備であるプラントもある。

※4：純水ポンプ等の電動のポンプに使用する。

※5：屋外操作については、付近の盤から携行型通話装置をドラムリール等により延長し、使用する。