

参 考 資 料

- 参考資料 1 地震、津波及び地震と津波の重畳時における原子炉及び使用済燃料ピットの冷却継続時間の評価について
- 参考資料 2 リラッキングを考慮した個別評価項目への影響について

地震、津波及び地震と津波の重畳時における原子炉及び使用済燃料ピットの
冷却継続時間の評価について

1. 評価実施事項

福島第一原子力発電所事故で発生した事象をふまえ、地震、津波及び地震と津波の重畳の各評価において、全交流電源喪失（以下、「SBO」という。）及び最終ヒートシンク喪失（以下、「LUHS」という。）の影響を考慮した、燃料の重大な損傷を防止するための原子炉及び使用済燃料ピットの冷却継続時間の評価を行う。

2. 評価方法

地震、津波及び地震と津波の重畳時の冷却継続時間の各評価では、SBO及びLUHSの単独の評価に対し、クリフエッジの地震動（1.83Ss）又は津波高さ（T.P.+13.0m）を考慮し、緊急安全対策による給水機能等を果たす設備の使用可否の検討を行う。なお、冷却に使用可能な水量、燃料の貯蔵量等の評価条件については以下のとおりとした。

- (1) 地震時はクリフエッジより裕度が低い設備及び耐震Sクラスより下位の設備は使用できないものとする。使用可能な水源は原子炉で復水タンク及び海水とし、使用済燃料ピットで海水とした。また、使用可能な燃料設備は、非常用ディーゼル発電機貯油槽（A重油）及びドラム缶（ガソリン）とした。
- (2) 津波時は津波によるすべり評価を行い耐性が評価されたものを除いては、クリフエッジとなる津波高さより低い位置にある設備は使用できないものとする。使用可能な水源は、原子炉では復水タンク、2次系純水タンク、原水タンク、海水とし、使用済燃料ピットでは2次系純水タンク、原水タンク、海水とした。また、使用可能な燃料設備は、非常用ディーゼル発電機貯油槽（A重油）及びドラム缶（ガソリン）とした。
- (3) 地震及び津波の重畳時は、上記（1）、（2）をふまえ、使用可能な水源は原子炉で復水タンク及び海水、使用済燃料ピットで海水となる。また、使用可能な燃料設備は、非常用ディーゼル発電機貯油槽（A重油）及びドラム缶（ガソリン）となる。

※ 八田浦貯水池は耐震Sクラスとして設計された設備ではないため、地震時は期待できない。また、八田浦貯水池はクリフエッジとなる津波高さより低い位置にあることから津波時も期待できない。なお、事前に八田浦貯水池の状態を確認し使用可能であれば取水する。

3. 評価結果

地震、津波及び地震と津波の重畳におけるクリフェッジ評価では、外部電源、非常用ディーゼル発電機及び海水ポンプの機能状態は表1に示すとおりであり、地震、津波及び地震と津波の重畳の全ての事故シナリオでSBOとLUHSの重畳状態となる。

表1 プラントのクリフェッジの場合の機能状態

	交流電源		最終ヒートシンク
	外部電源	非常用ディーゼル発電機	海水ポンプ
地震 1.83×Ss	× (耐震Sクラスより下位)	× (海水ポンプ：1.81Ss)	× (海水ポンプ：1.81Ss)
津波 EL. +13.0m	× (主変圧器：11.3m) (予備変圧器：11.3m)	× (海水ポンプ：7.7m)	× (海水ポンプ：7.7m)
地震と津波の重畳	×	×	×

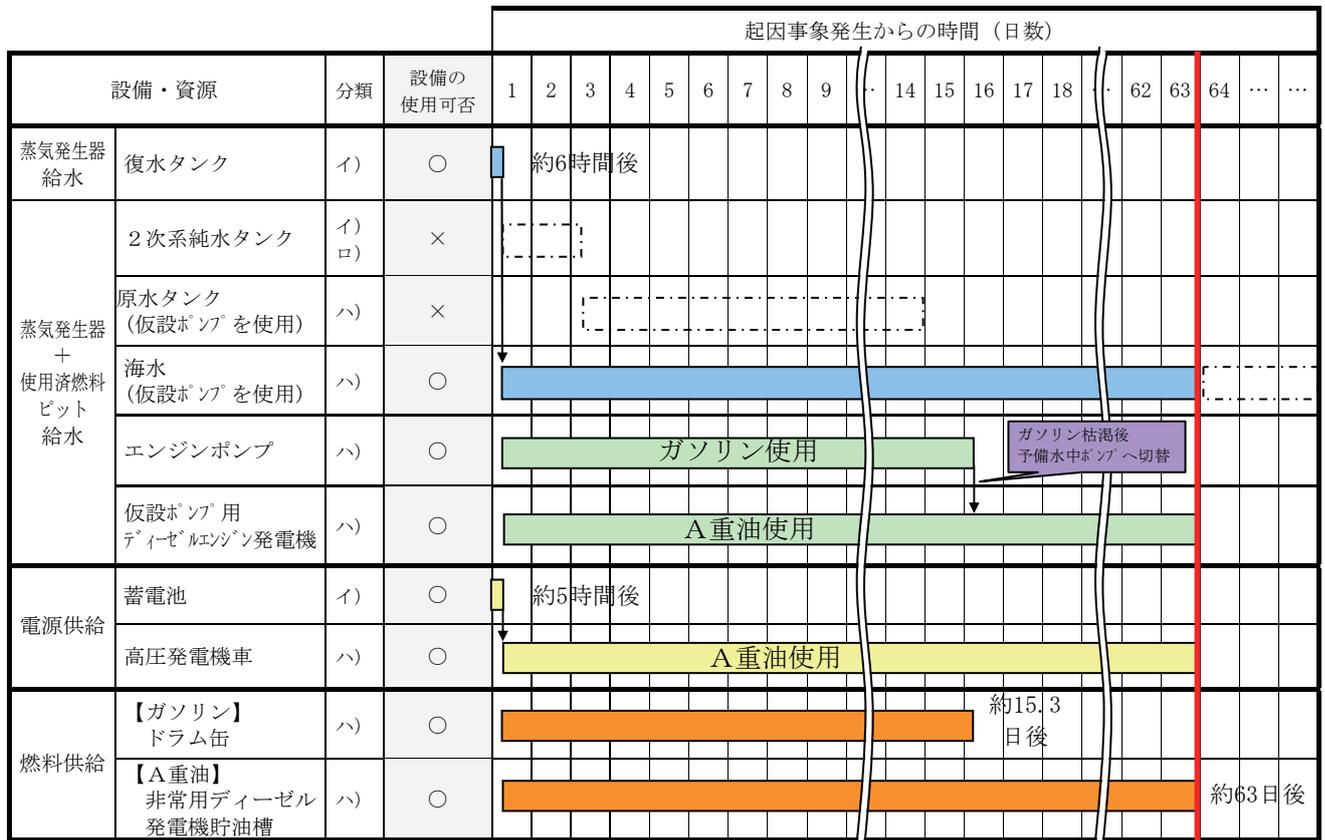
注：括弧内は機能喪失する要因

これらのクリフェッジの場合のいずれの事故シナリオも、原子炉においては緊急安全対策による蒸気発生器を介した2次系からの冷却、使用済燃料ピットにおいては緊急安全対策による使用済燃料ピットへの給水により冷却を行うことができる。

地震、津波及び地震と津波の重畳の各評価において、それぞれの事象発生後、燃料の重大な損傷に至るまでの時間評価結果は以下のとおりとなる（図1～図4参照）。なお、これらの評価は、プラント外部からの支援がない場合であり、十分な時間余裕と考えている。

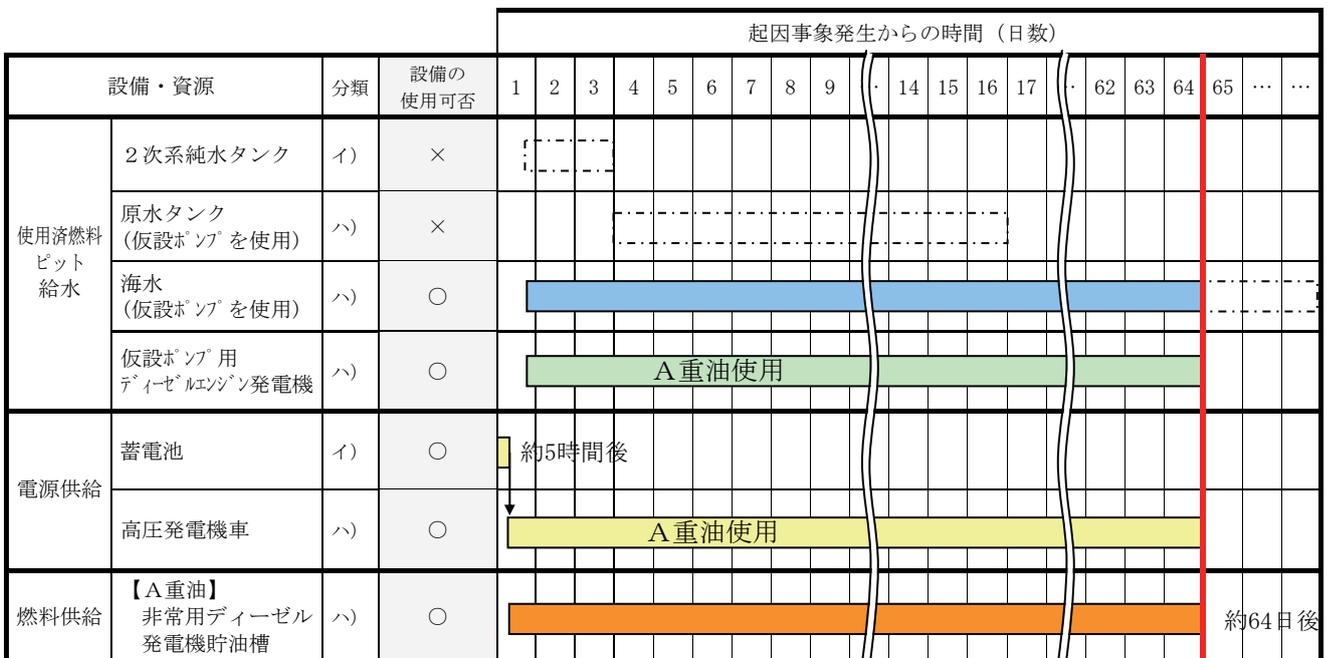
	原子炉 (運転時)	使用済燃料ピット	
		運転時	停止時
地震	約63日後	約63日後	約64日後
津波	約65日後	約65日後	約66日後
地震と津波の重畳	約63日後	約63日後	約64日後

以上



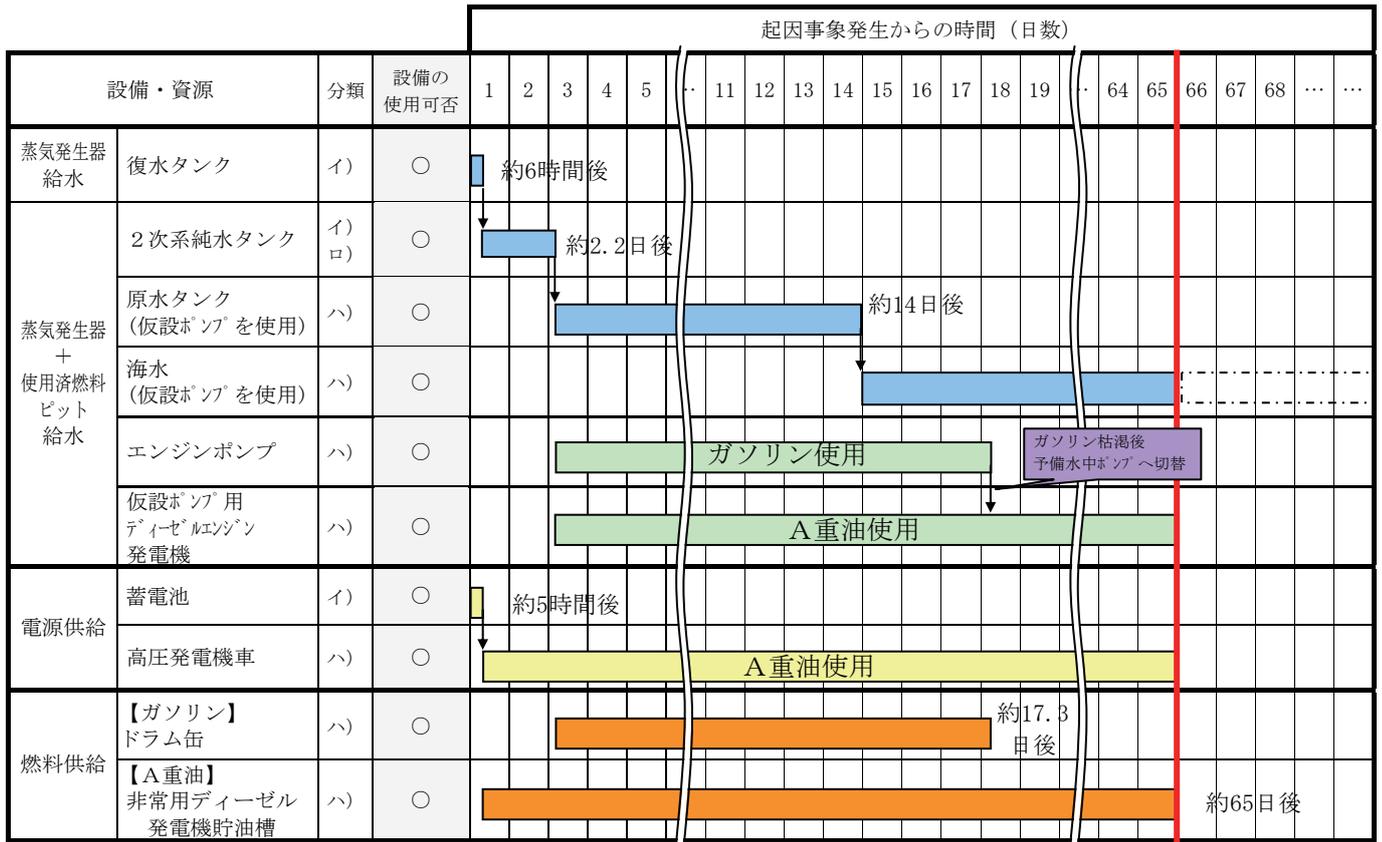
- イ) 工事計画で対象とした設備
- ロ) 実施済みのアクシデントマネジメント設備
- ハ) 緊急安全対策（短期）

図1 プラント運転時の給水及び電源機能の継続時間評価（地震、地震と津波の重畳）



- イ) 工事計画で対象とした設備
- ロ) 実施済みのアクシデントマネジメント設備
- ハ) 緊急安全対策（短期）

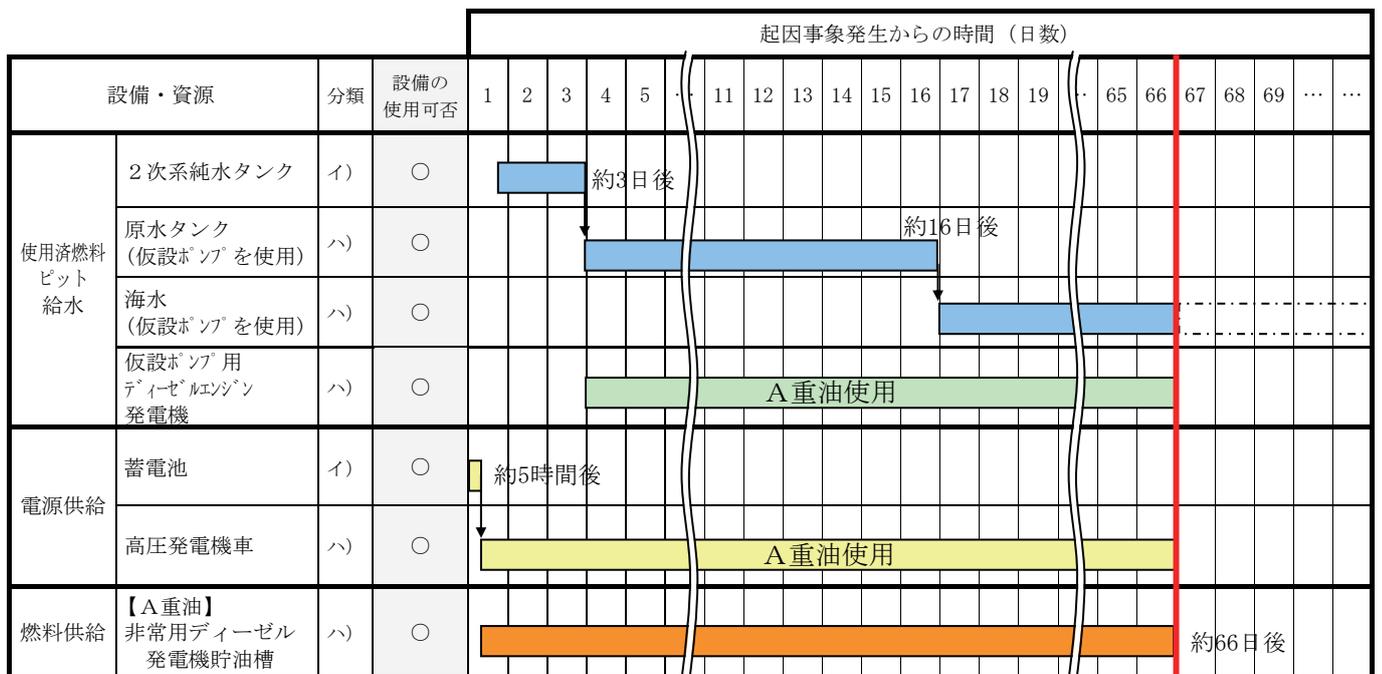
図2 プラント停止時の給水及び電源機能の継続時間評価（地震、地震と津波の重畳）



- イ) 工事計画で対象とした設備
- ロ) 実施済みのアクシデントマネジメント設備
- ハ) 緊急安全対策（短期）

↑
クリフエッジ発生

図3 プラント運転時の給水及び電源機能の継続時間評価（津波）



- イ) 工事計画で対象とした設備
- ロ) 実施済みのアクシデントマネジメント設備
- ハ) 緊急安全対策（短期）

↑
クリフエッジ発生

図4 プラント停止時の給水及び電源機能の継続時間評価（津波）

リラッキングを考慮した個別評価項目への影響について

1. はじめに

本資料は、当社が提出した「玄海原子力発電所の原子炉設置変更許可申請書（1号、2号、3号及び4号原子炉施設の変更）」（平成22年2月8日付け申請、平成22年11月24日付け一部補正）に記載の3号機の使用済燃料貯蔵設備の貯蔵能力を変更した場合、「使用済燃料ラック及び貯蔵する使用済燃料の質量増加」及び「使用済燃料ピットの熱負荷増加」を伴うことから、安全性に関する総合評価（一次評価）の個別評価項目への影響について説明をするものである。

2. リラッキングの概要

玄海原子力発電所では、3号機の使用済燃料貯蔵設備の貯蔵裕度を確保するため、使用済燃料ラックの材料にボロン添加ステンレス鋼を使用し、稠密化を図る（以下、「リラッキング」という。）計画である。また、リラッキング後の使用済燃料ピットの熱負荷増加に対応するため、使用済燃料ピット冷却器を1基増設する計画である。

3号機の使用済燃料貯蔵設備のリラッキング前後の比較を表1に示す。また、リラッキング後の使用済燃料ラック概要を図1に示す。

表1 3号機の使用済燃料貯蔵設備のリラッキング前後の比較

変更項目	リラッキング前	リラッキング後
ピット数	2	同左
貯蔵能力	1,050体分	約2,080体分
使用済燃料ラック質量 (燃料集合体含む)	約1,200ton	約2,300ton
崩壊熱	12.139MW	14.072MW
ラック材料	ステンレス鋼 (SUS304)	ボロン添加 ステンレス鋼 (B-SUS)
ラック中心間隔	365mm	282mm
冷却器の基数	2基	3基 (1基増設)

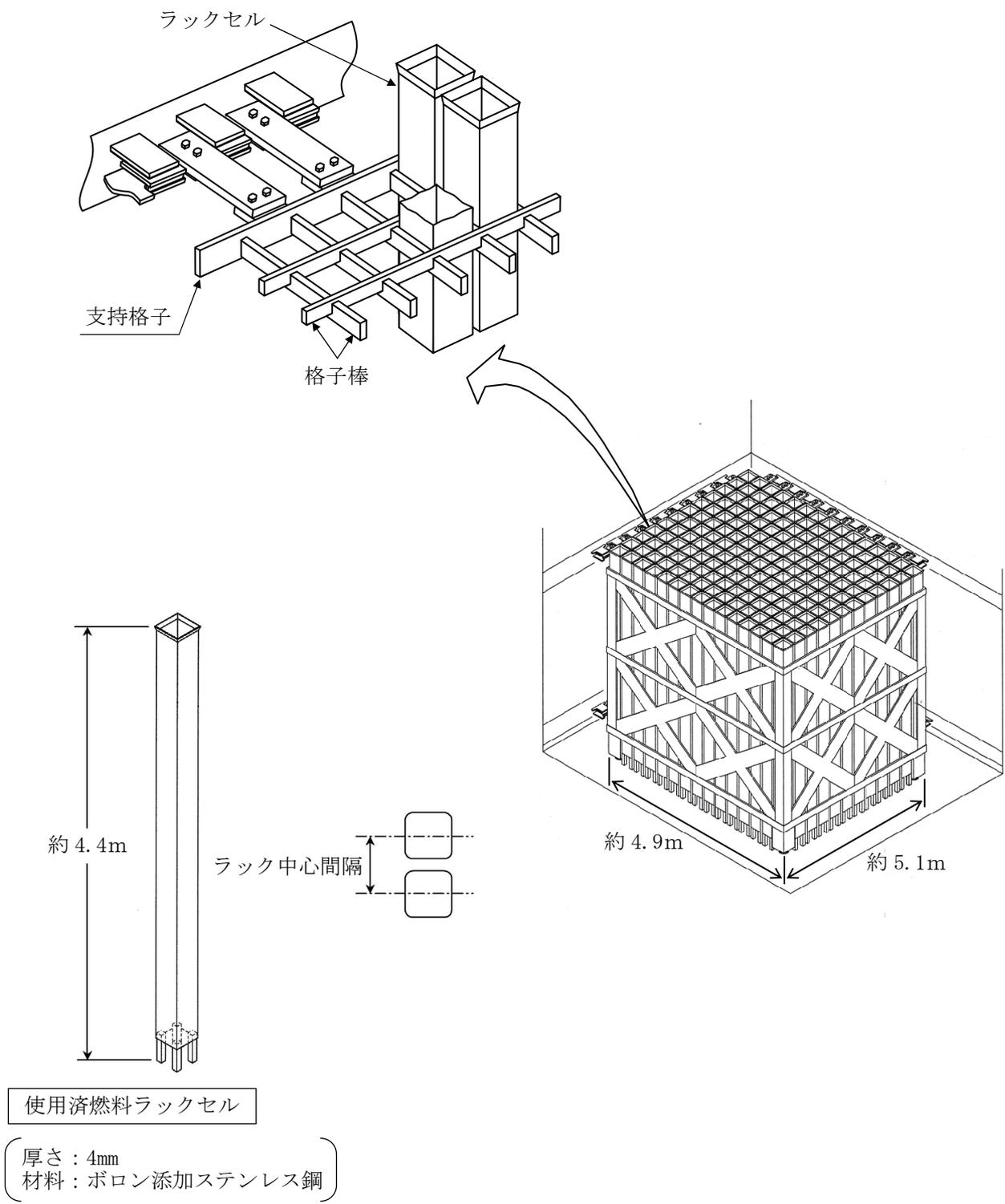


図1 リラッキング後の使用済燃料ラック概要

3. リラッキングに伴う個別評価項目への影響について

リラッキングに伴い「使用済燃料ラック及び貯蔵する使用済燃料の質量増加」と「使用済燃料ピットの熱負荷増加」が発生することから、ストレステストのクリフエッジに影響を与える評価項目を抽出した。

(1) 「使用済燃料ラック及び貯蔵する使用済燃料の質量増加」によるクリフエッジへの影響について

建屋の解析モデルにおいては、質量が入力条件であることから、質量が増加した場合は、耐震裕度の評価に影響を与える可能性がある。

このため、使用済燃料ラック（使用済燃料ピット）の質量が増加（約1,100ton増加）した場合において、個別評価項目のうち「5.1 地震」及び「5.3 地震と津波の重畳」のクリフエッジへの影響を評価する。

(2) 「使用済燃料ピットの熱負荷増加」によるクリフエッジへの影響について

使用済燃料ピットの崩壊熱が増加した場合、必要となる補給水流量が増加するため、タンク等の水源枯渇時間評価及び仮設ポンプ等による燃料消費時間評価に影響を与える可能性がある。

タンク等の水源枯渇時間評価については、給水機能の継続時間評価を実施している「5.4 全交流電源喪失」及び「5.5 最終的な熱の逃し場（最終ヒートシンク）の喪失」のクリフエッジ評価に影響を与える。

仮設ポンプ等による燃料消費時間評価については、仮設ポンプ等による燃料消費時間評価及び高圧発電機車の給電継続時間評価を実施している「5.4 全交流電源喪失」並びに、仮設ポンプによる燃料消費時間評価を実施している「5.5 最終的な熱の逃し場（最終ヒートシンク）の喪失」のクリフエッジ評価に影響を与える。

このため、使用済燃料ピットの崩壊熱が増加（1.933MW増加）した場合において、個別評価項目のうち「5.4 全交流電源喪失」、「5.5 最終的な熱の逃し場（最終ヒートシンク）の喪失」及び参考資料1のうち地震と津波の重畳時における原子炉及び使用済燃料ピットの冷却継続時間の評価のクリフエッジへの影響を評価する。

なお、参考資料1の地震と津波の重畳時の評価は、地震及び津波の個別評価結果を包絡するものである。「5.2 津波」の評価については、リラッキング後においても津波の高さへ影響を与えるものではない。

また、「5.6 その他のシビアアクシデント・マネジメント」の評価については、当社が整備しているシビアアクシデント・マネジメント対策の現状を再確認しているものであり、リラッキングの影響はない。

4. 評価

(1) 「使用済燃料ラック及び貯蔵する使用済燃料の質量増加」によるクリフエッジへの影響について

リラッキング前においては、「5. 1 地震」及び「5. 3 地震と津波の重畳」の評価結果より、クリフエッジは、原子炉にある燃料に対しては1. 83 S sであり、使用済燃料ピットにある燃料に対しては2 S sであることが特定されている。

リラッキングに伴う原子炉周辺建屋（使用済燃料ピット設置）の質量増加が、クリフエッジ設備に与える影響について検討した。

a. 建屋応答への影響

原子炉周辺建屋と基礎を共通としている原子炉建屋のモデルを図2に示す。原子炉周辺建屋の代表4質点で床応答スペクトルの変化を比較した結果、最大でも1. 6%程度の増加であった。（図3及び表3参照）

原子炉補助建屋については、原子炉周辺建屋とは基礎が異なるため、影響はない。

b. 原子炉にある燃料のクリフエッジへの影響

原子炉にある燃料のクリフエッジ設備である「6. 6 k V A C電源（メタクラ）」及び「440 V A C電源（パワーセンタ）」については、原子炉補助建屋に設置していることから、耐震裕度への影響はない。

原子炉建屋に設置している設備について、設備分類毎の最小耐震裕度を表4に記載する。原子炉周辺建屋質量増加による応答加速度の最大増分（1. 6%）を考慮しても最小耐震裕度は1. 96 S sであり、1. 83 S sを下回らないことを確認したことから、クリフエッジが変わることはない。（表2参照）

c. 使用済燃料ピットにある燃料のクリフエッジへの影響

使用済燃料ピットにある燃料のクリフエッジ設備である使用済燃料ピットについては、リラッキング後の建屋質量で、原子炉周辺建屋を含む原子炉建屋を評価した結果、2 S sに対し、せん断ひずみが基準値である $4. 0 \times 10^{-3}$ を十分満足することから、クリフエッジへの影響はない。（表2参照）

表2 クリフエッジへの影響について

対象燃料	クリフエッジ設備	設置場所	耐震裕度	
			リラッキング前	リラッキング後
原子炉	6.6 kV AC電源 (メタクラ)	原子炉 補助建屋	1.83 S s	同左
	440 V AC電源 (パワーセンタ)			
使用済燃料 ピット	使用済燃料ピット	原子炉 建屋	2 S s	同左

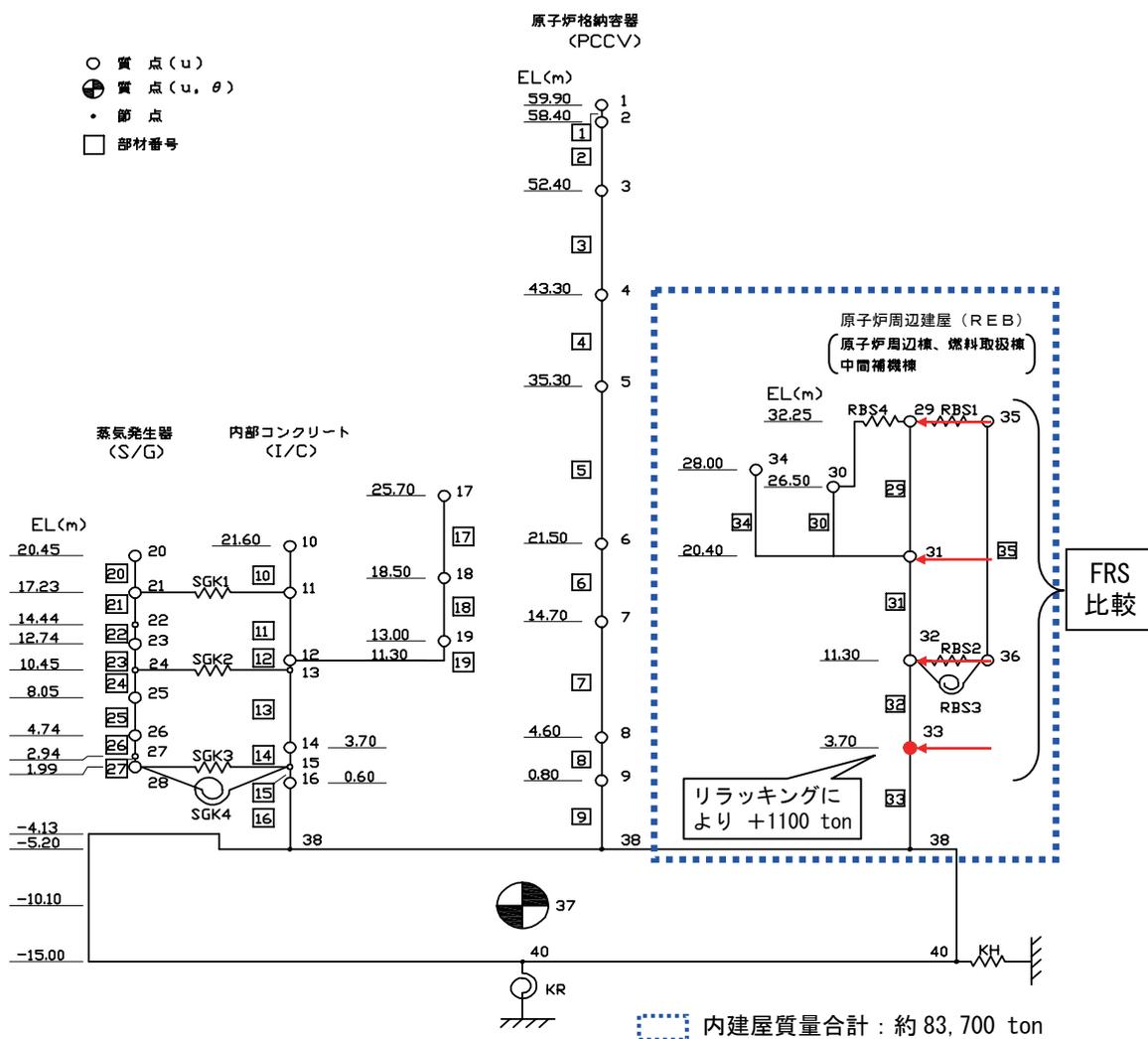
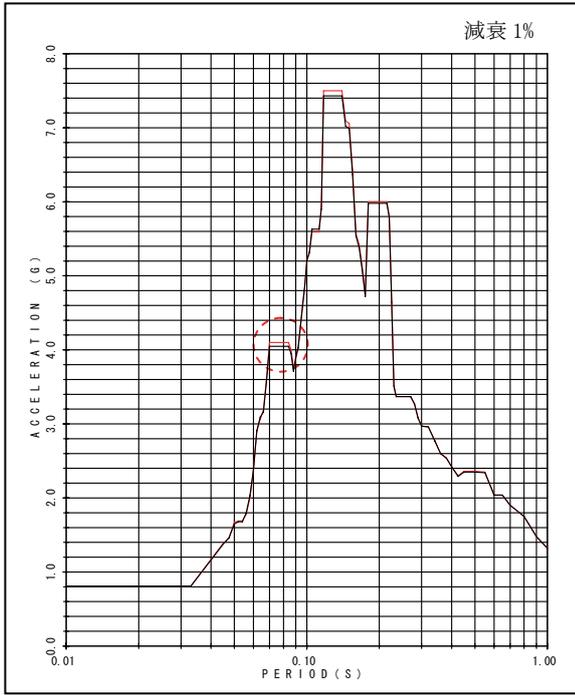
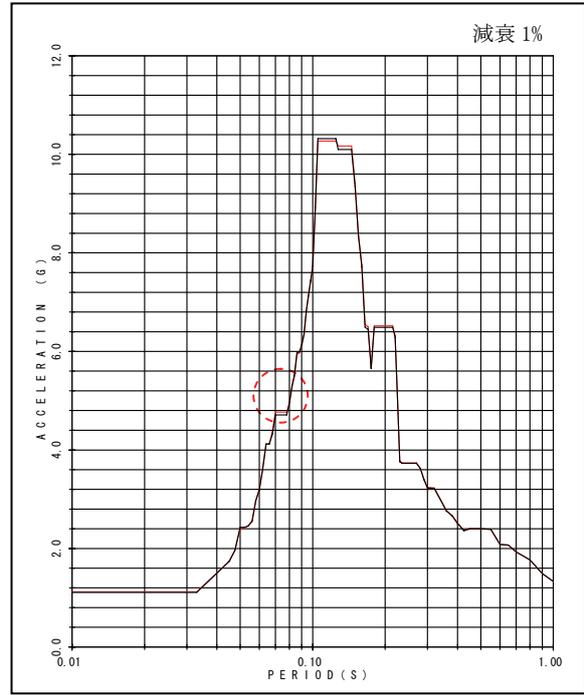


図2 原子炉建屋の解析モデル

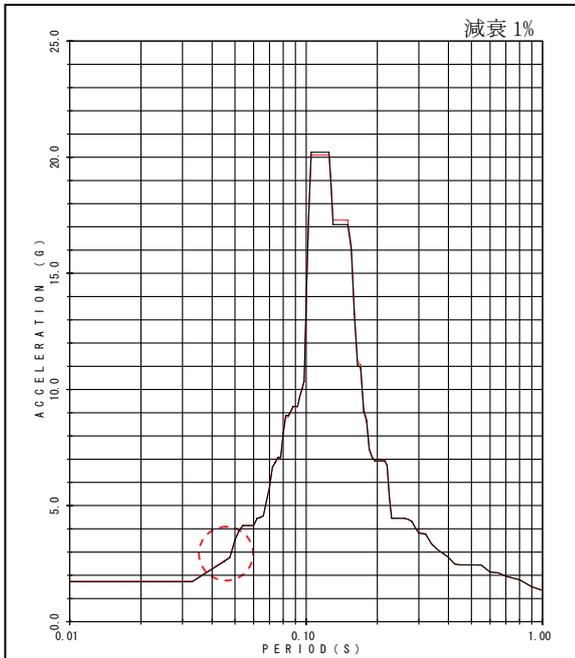
— リラッキング前
 — リラッキング後



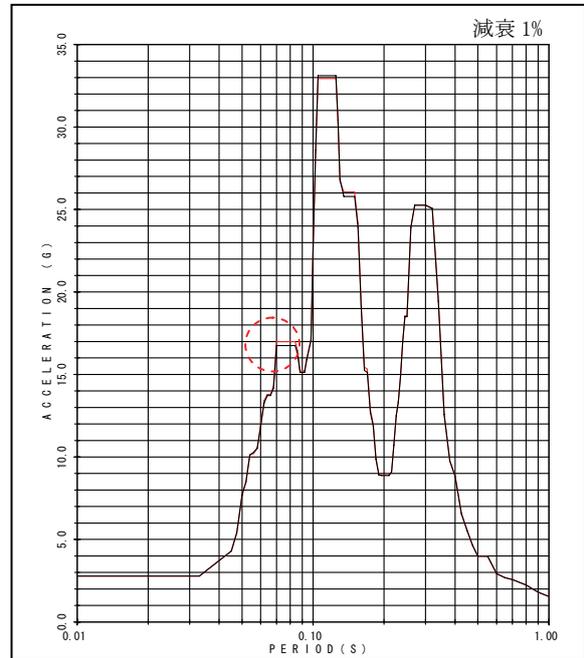
質点 33



質点 32



質点 31



質点 29

図 3 床応答曲線比較

表3 各質点における応答加速度の最大増分割合

質点番号	33	32	31	29
最大増分割合 (全周期帯)	約1.3%増	約1.3%増	約1.6%増	約1.5%増

表4 原子炉建屋設置の設備の最小耐震裕度

設備分類 (対象設備)	最小耐震裕度 [Ss]	
	リラッキング前	リラッキング後 (概算値※)
容器 (加圧器)	2.07	2.03
弁・配管 (主蒸気ライン配管)	2.04	2.00
動的機器 (ディーゼル機関)	2.03	1.96
伝送器 (加圧器圧力計)	3.33	3.26
電気盤 { ディーゼル発電機 制御盤 }	2.85	2.81

※応答加速度の最大増分（1.6%）を考慮

(2) 「使用済燃料ピットの熱負荷増加」によるクリフエッジへの影響について

「5. 4 全交流電源喪失」におけるクリフエッジは、高圧発電機車及び仮設ポンプ用ディーゼルエンジン発電機の燃料であるA重油の枯渇までの時間である。また「5. 5 最終的な熱の逃し場（最終ヒートシンク）の喪失」におけるクリフエッジは、仮設ポンプ用ディーゼルエンジン発電機の燃料であるA重油の枯渇までの時間である。

崩壊熱増加に伴い必要補給水流量が増加するため、水源の切替時間がわずかに早まることから、仮設ポンプを使用開始する時間もわずかに早まる。

このため、崩壊熱増加に伴うクリフエッジへの影響として、A重油の枯渇までの時間について検討した結果、表5に示すとおり、「5. 4 全交流電源喪失」ではプラント運転時において、約65日後であったクリフエッジ発生までの時間が、約64日後になり、プラント停止時において、約66日後であったクリフエッジ発生までの時間が、約65日後になる。（表5及び図6、7参照）

「5. 5 最終的な熱の逃し場（最終ヒートシンク）の喪失」でも、プラント運転時及び停止時において、仮設ポンプを使用開始する時間がわずかに早まるが、評価結果に影響はなかった。（表5及び図8、9参照）

また、参考資料1の地震と津波の重畳時における原子炉及び使用済燃料ピットの冷却継続時間の評価についても、プラント運転時及び停止時において、仮設ポンプを使用開始する時間がわずかに早まるが、評価結果に影響はなかった。（表5及び図10、11参照）

なお、緊急安全対策で配備した設備については、リラクキング後において必要補給水流量が増加するが、設備仕様の余裕の範囲内であり、設備の変更は生じない。（表6及び図4、5参照）

表5 クリフエッジへの影響について

評価項目	対象燃料		リラクキング前	リラクキング後
	5. 4 全交流電源 喪失	原子炉	プラント運転時	約65日後
使用済燃料 ピット		プラント運転時	同上	同上
		プラント停止時	約66日後	約65日後
5. 5 最終的な熱の逃し場 (最終ヒートシンク) の喪失	原子炉	プラント運転時	約378日後	同左
	使用済燃料 ピット	プラント運転時	同上	同上
		プラント停止時	約413日後	同左
参考資料1 地震と津波の重畳時 における原子炉及び 使用済燃料ピットの 冷却継続時間の評価	原子炉	プラント運転時	約63日後	同左
	使用済燃料 ピット	プラント運転時	同上	同上
		プラント停止時	約64日後	同左

表6 リラッキング前後の緊急安全対策設備比較

補給ルート	対象燃料		必要補給水流量 ^{※1}		設備仕様 (既配備設備)	設備変更 要否
			リラッキング [※] 前	リラッキング [※] 後		
原水タンク →消火用水槽	原子炉 + 使用済燃料 ピット	プラント 運転時	約 31m ³ /h	約 35m ³ /h	約 38m ³ /h ^{※2}	否
			—	—		
八田浦貯水池 →消火用水槽			約 31m ³ /h	約 35m ³ /h	仮設ポンプ 48m ³ /h×1台	否
			—	—		
取水ピット →消火用水槽			約 31m ³ /h	約 35m ³ /h	同上	否
			約 41m ³ /h	同左		
消火用水槽 →復水タンク	原子炉	プラント 運転時	約 23 m ³ /h	約 24 m ³ /h	仮設ポンプ 46.8 m ³ /h×1台	否
			約 41m ³ /h	同左		
消火用水槽 →使用済燃料 ピット	使用済燃料 ピット	プラント 停止時	約 21m ³ /h	約 24m ³ /h	仮設ポンプ 30m ³ /h×1台	否
			同上	同上		
		プラント 運転時	約 8m ³ /h	約 11m ³ /h	同上	否
			同上	同上		

※1 上段は「5. 4 全交流電源喪失」及び「5. 5 最終的な熱の逃し場（最終ヒートシンク）の喪失」の流量

下段は参考資料1 地震と津波の重畳時における原子炉及び使用済燃料ピットの冷却継続時間の評価の流量

※2 タンク水頭圧による実績流量

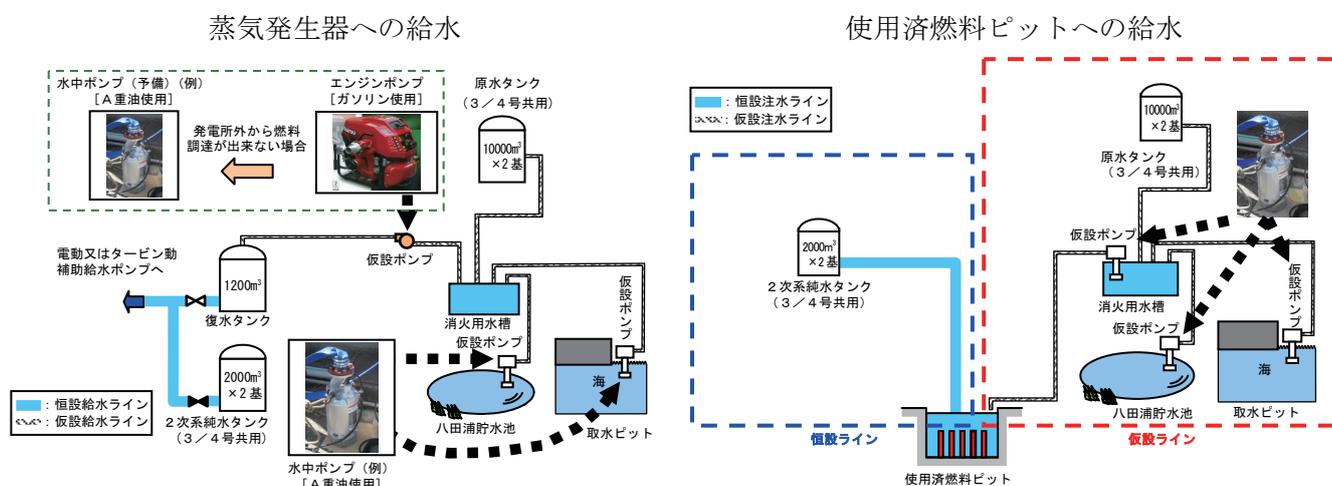
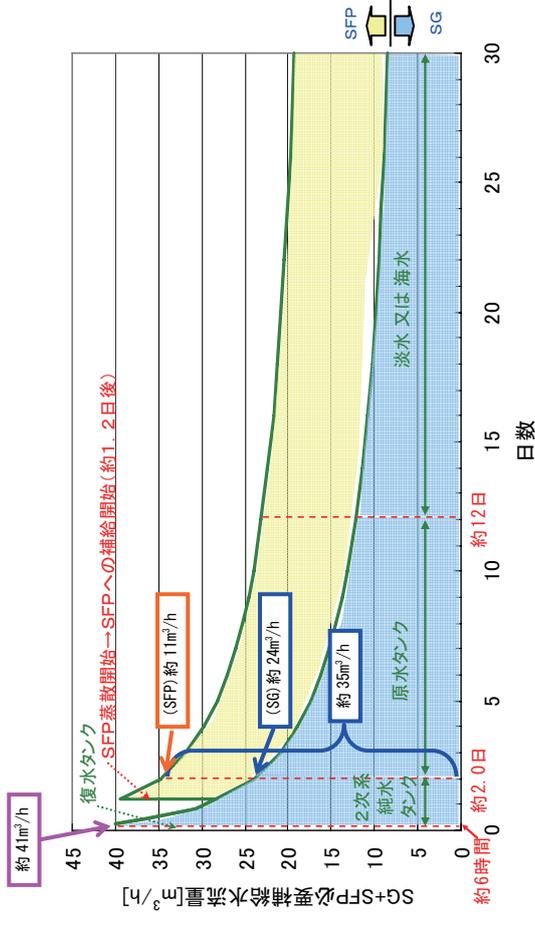
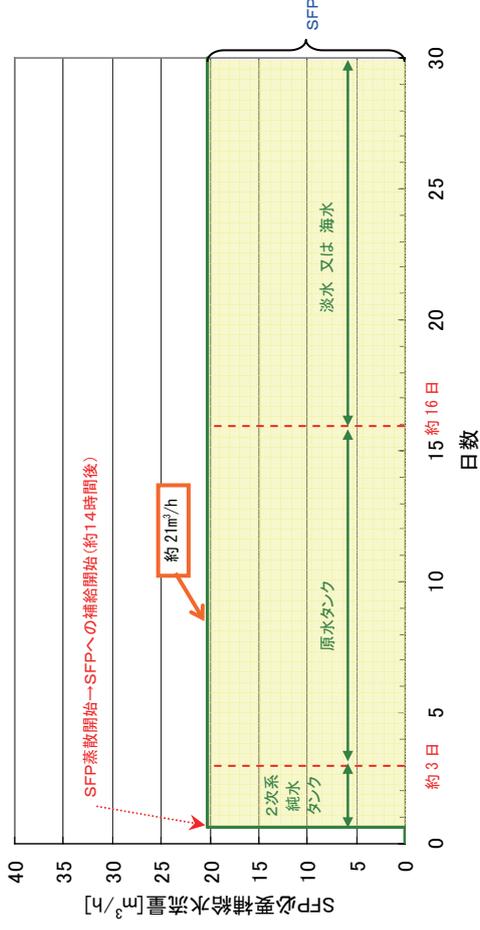


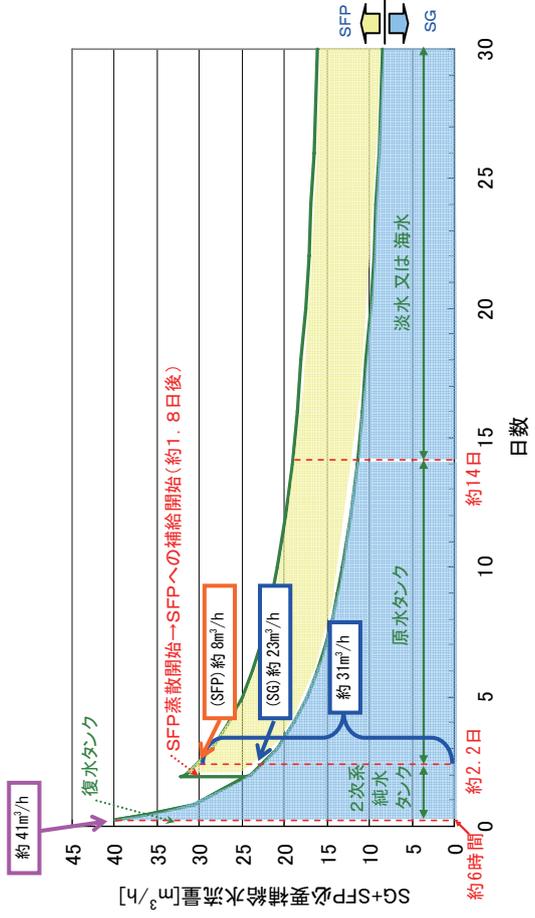
図4 緊急安全対策の概要（代替水源の長期確保）



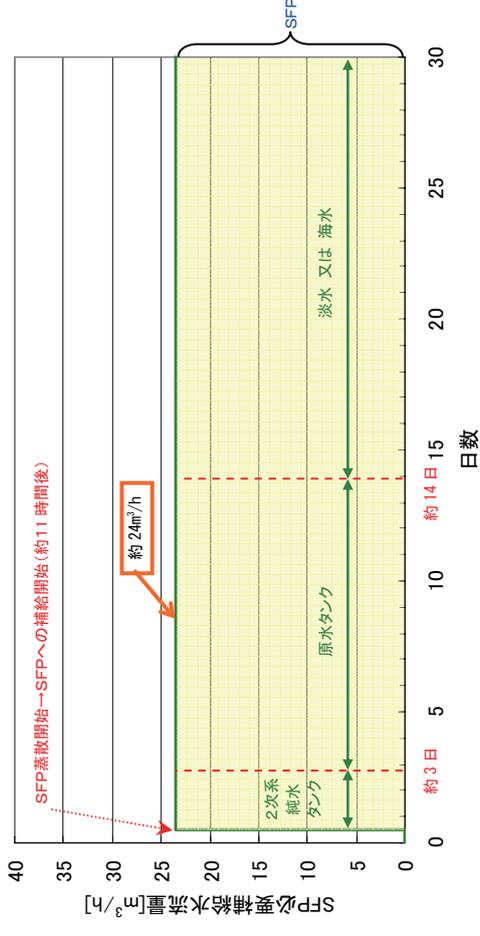
(a) プラント運転時 [リラッキング前]



(c) プラント停止時 [リラッキング前]



(b) プラント運転時 [リラッキング後]



(d) プラント停止時 [リラッキング後]

- : 「5. 4 全交流電源喪失」及び「5. 5 最終的な熱の逃し場 (最終ヒートシンク) の喪失」の流量・・・①
- : 参考資料1 地震と津波の重量時における原子炉及び使用済燃料ピットの冷却継続時間の評価の流量・・・②
- : ①、②共通

図5 プラント運転時及びプラント停止時における必要補給水流量

5. まとめ

リラッキング前後のクリフェッジを比較した結果を表7へ示す。リラッキング後のクリフェッジは、「5. 4 全交流電源喪失」において、クリフェッジ発生までの時間が、わずかに減少するだけであり（プラント運転時 約65日後 ⇒ 約64日後、プラント停止時 約66日後 ⇒ 約65日後）、その他の項目へは影響ない。

(参考)

当社においてはリラッキングを考慮し、以下の安全対策工事を実施中である。

(1) 使用済燃料ピット冷却系の耐震性の強化工事（平成24年8月完了予定）

使用済燃料ピット冷却系は耐震Bクラスであるが、耐震Sクラス相当の評価を実施し、万が一の場合でも、使用済燃料ピット冷却系が損傷しないように必要に応じて耐震補強する。

(2) 使用済燃料ピットへの代替補給水ラインの建屋内恒設化工事（平成24年7月完了予定）

使用済燃料ピットの冷却を長期間行えるよう緊急安全対策（短期対策）において、仮設ポンプ及び仮設ホースを配備しているが、万が一（高線量時）の場合でも、確実に代替水源から使用済燃料ピットへ補給が行えるように建屋内に恒設化ラインを設置し、建屋外に配管取り合いを設ける。

(3) 使用済燃料ピット監視装置の信頼性向上工事（平成24年5月完了予定）

使用済燃料ピット監視装置（水位計、温度計、監視カメラ）を設置し、電源を非常用電源から供給する。なお、中央制御室へ監視機能に移設する工事については、今後の運転計画に伴い実施時期を検討する。

表7 リラッキングのクリフエッジへの影響

評価項目	クリフエッジの基準	対象燃料	上段：クリフエッジ 下段：(対象となる設備)		備考
			リラッキング前	リラッキング後	
5. 1 地震	基準地震動 S s	原子炉	1. 8 3 S s (6. 6 K V A C 電源メタクラ) (4 4 0 V A C 電源パワーセンタ)	同左	メタクラ及びパワーセンタは使用済燃料ピットとは基礎が異なる建屋に設置されており、リラッキング後においても、評価結果に影響はない。
		使用済燃料ピット	2 S s 以上 (使用済燃料ピット)	同左	リラッキングにより質量が増加するが、評価結果は基準値を十分満足しており、評価結果に影響はない。
5. 2 津波	設計想定津波高さ T. P. + 2. 1 m	原子炉	T. P. + 1 3. 0 m (約 6. 1 倍) (タービン動補給水ポンプ)	同左	リラッキング後においても影響はない
		使用済燃料ピット	T. P. + 2 4. 6 m (約 1 1. 7 倍) (仮設ポンプ等の資機材保管場所)	同左	同上
5. 3 地震と津波の重畳	地震 基準地震動 S s	原子炉	1. 8 3 S s (6. 6 K V A C 電源メタクラ) (4 4 0 V A C 電源パワーセンタ)	同左	メタクラ及びパワーセンタは使用済燃料ピットとは基礎が異なる建屋に設置されており、リラッキング後においても、評価結果に影響はない。
		津波	T. P. + 1 3. 0 m (約 6. 1 倍) (タービン動補給水ポンプ)	同左	リラッキング後においても影響はない
	津波	使用済燃料ピット	2 S s 以上 (使用済燃料ピット)	同左	リラッキングにより質量が増加するが、評価結果は基準値を十分満足しており、評価結果に影響はない。
		津波	T. P. + 2 4. 6 m (約 1 1. 7 倍) (仮設ポンプ等の資機材保管場所)	同左	リラッキング後においても影響はない
5. 4 全交流電源喪失	燃料の重大な損傷を防止するための機能の継続時間	原子炉 + 使用済燃料ピット	約 6 5 日後 (プラント運転時) (高圧発電機等の燃料枯渴)	約 6 4 日後 (プラント運転時) (同左)	リラッキングに伴う使用済燃料ピット熟負荷増加により、使用済燃料ピット蒸散開始までの時間が短くなり、仮設ポンプによる給水開始時期が早まる。
		使用済燃料ピット	約 6 6 日後 (プラント停止時) (仮設ポンプ用ディーゼルエンジン発電機の燃料枯渴)	約 6 5 日後 (プラント停止時) (同左)	
5. 5 最終的な熱の逃し場 (最終ヒートシンク)の喪失	燃料の重大な損傷を防止するための機能の継続時間	原子炉 + 使用済燃料ピット	約 3 7 8 日後 (プラント運転時) (仮設ポンプ用ディーゼルエンジン発電機の燃料枯渴)	同左	リラッキングに伴う使用済燃料ピット熟負荷増加により、使用済燃料ピット蒸散開始までの時間が短くなり、仮設ポンプによる給水開始時期がわずかに早まるが、評価結果に影響はない。
		使用済燃料ピット	約 4 1 3 日後 (プラント停止時) (仮設ポンプ用ディーゼルエンジン発電機の燃料枯渴)	同左	
参考資料 1 地震と津波の重畳 時における原子炉 及び使用済燃料ピ ットの冷却継続時 間の評価	地震 津波 基準地震動 S s 設計想定津波高さ T. P. + 2. 1 m 燃料の重大な損傷を防止するための機能の継続時間	原子炉 + 使用済燃料ピット	約 6 3 日後 (プラント運転時) (高圧発電機等の燃料枯渴)	同左	同上
		使用済燃料ピット	約 6 4 日後 (プラント停止時) (仮設ポンプ用ディーゼルエンジン発電機の燃料枯渴)	同左	

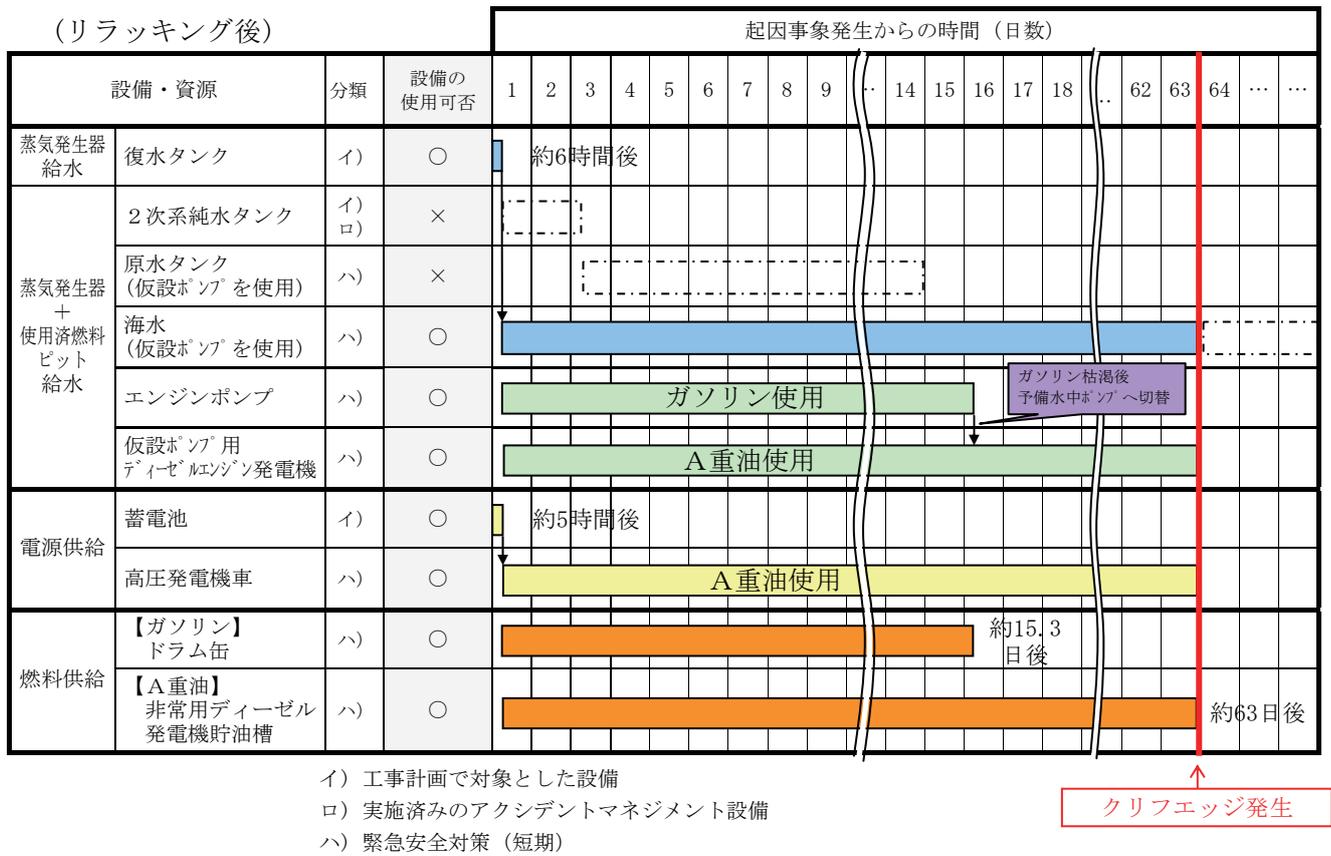
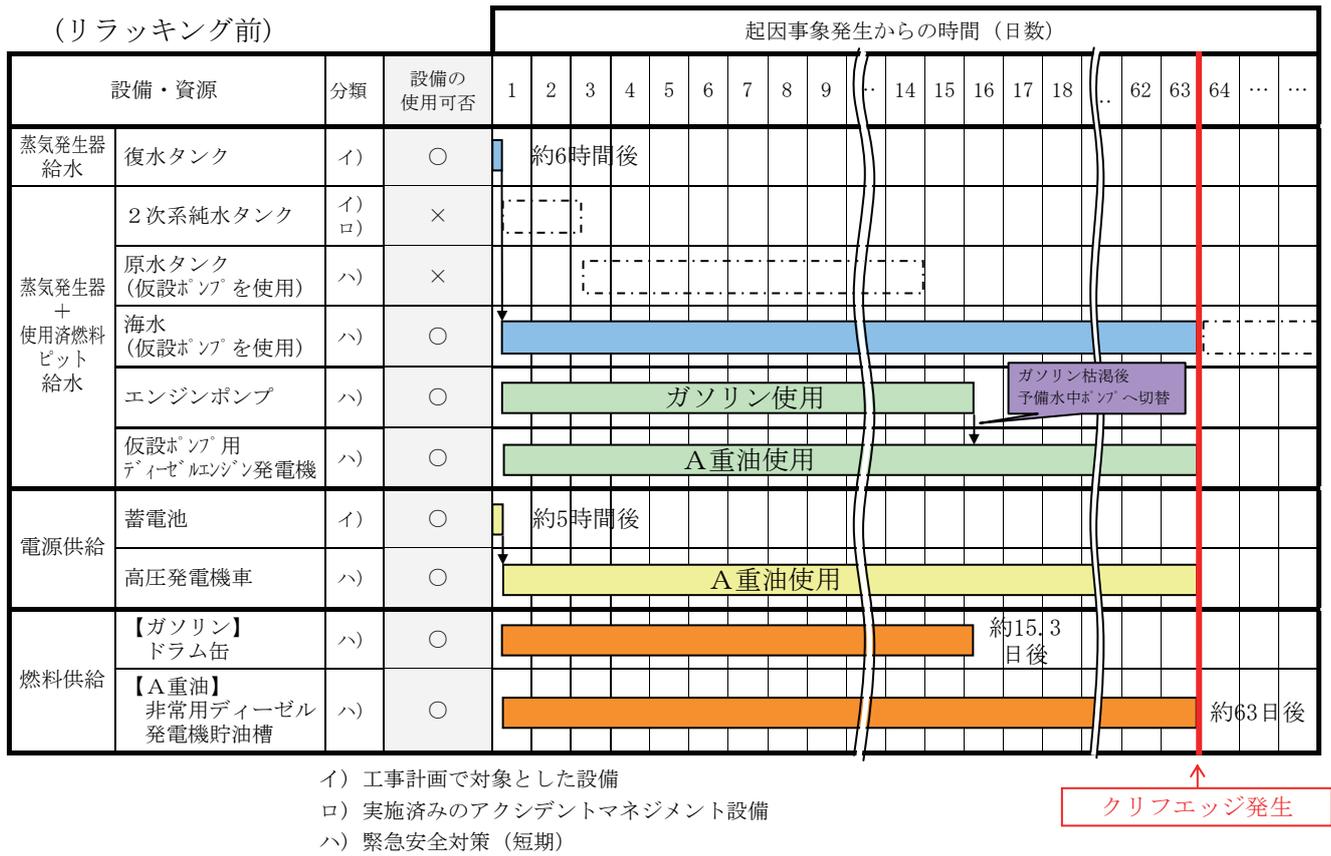
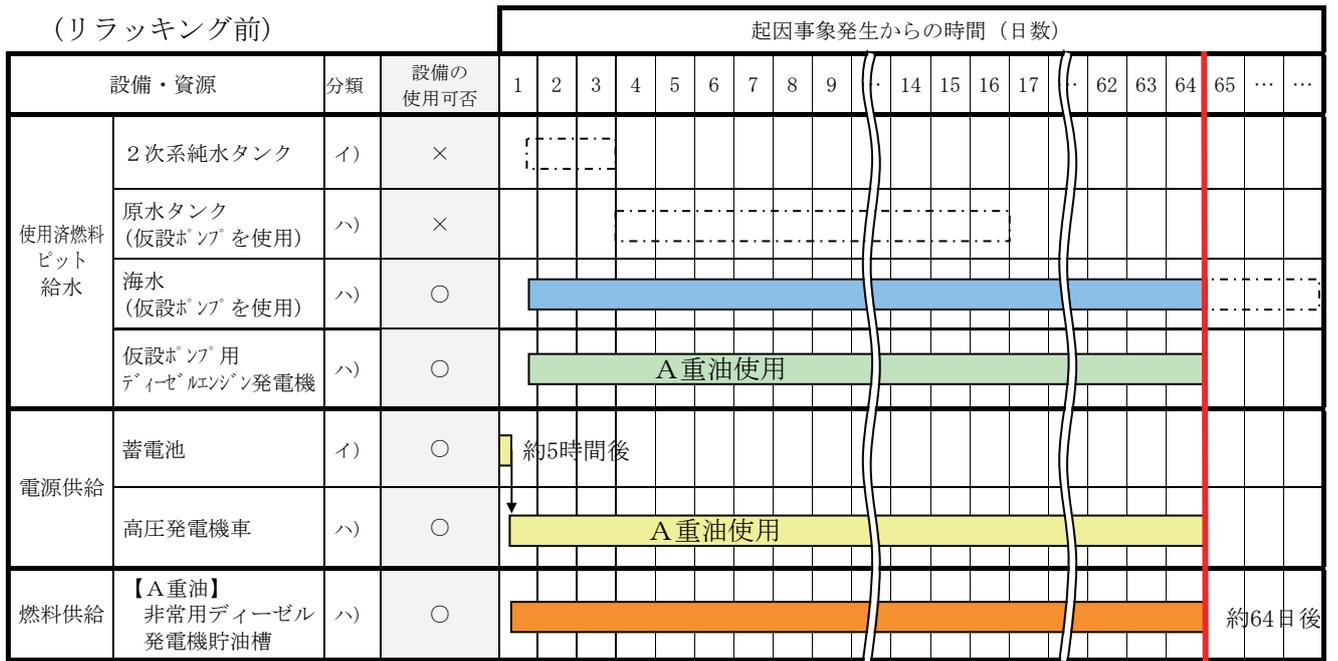
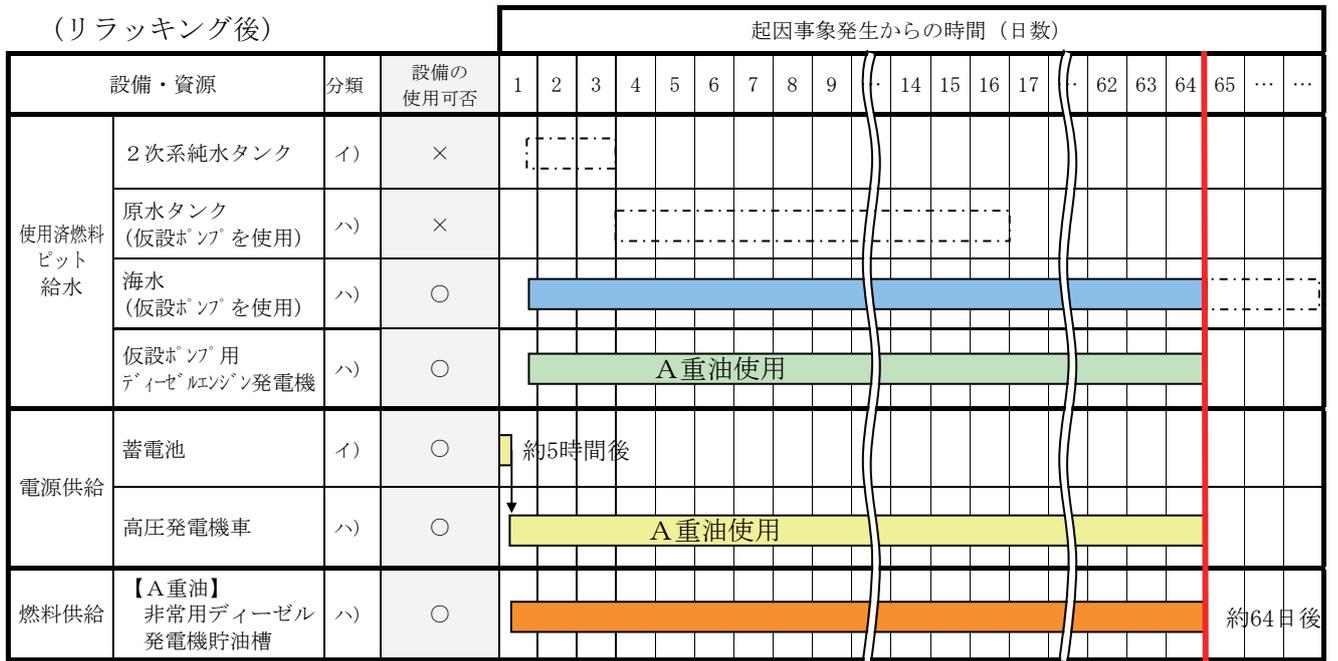


図10 リラッキング前後のプラント運転時の給水及び電源機能の継続時間評価
(参考資料1 地震と津波の重畳時における原子炉及び使用済燃料ピットの冷却継続時間の評価について)



- イ) 工事計画で対象とした設備
- ロ) 実施済みのアクシデントマネジメント設備
- ハ) 緊急安全対策 (短期)

クリフエッジ発生



- イ) 工事計画で対象とした設備
- ロ) 実施済みのアクシデントマネジメント設備
- ハ) 緊急安全対策 (短期)

クリフエッジ発生

図11 リラッキング前後のプラント停止時の給水及び電源機能の継続時間評価
 (参考資料1 地震と津波の重畳時における原子炉及び使用済燃料ピットの冷却継続時間の評価について)