

東通原子力発電所1号機  
安全性に関する総合的評価(ストレステスト)  
一次評価の概要

平成23年12月

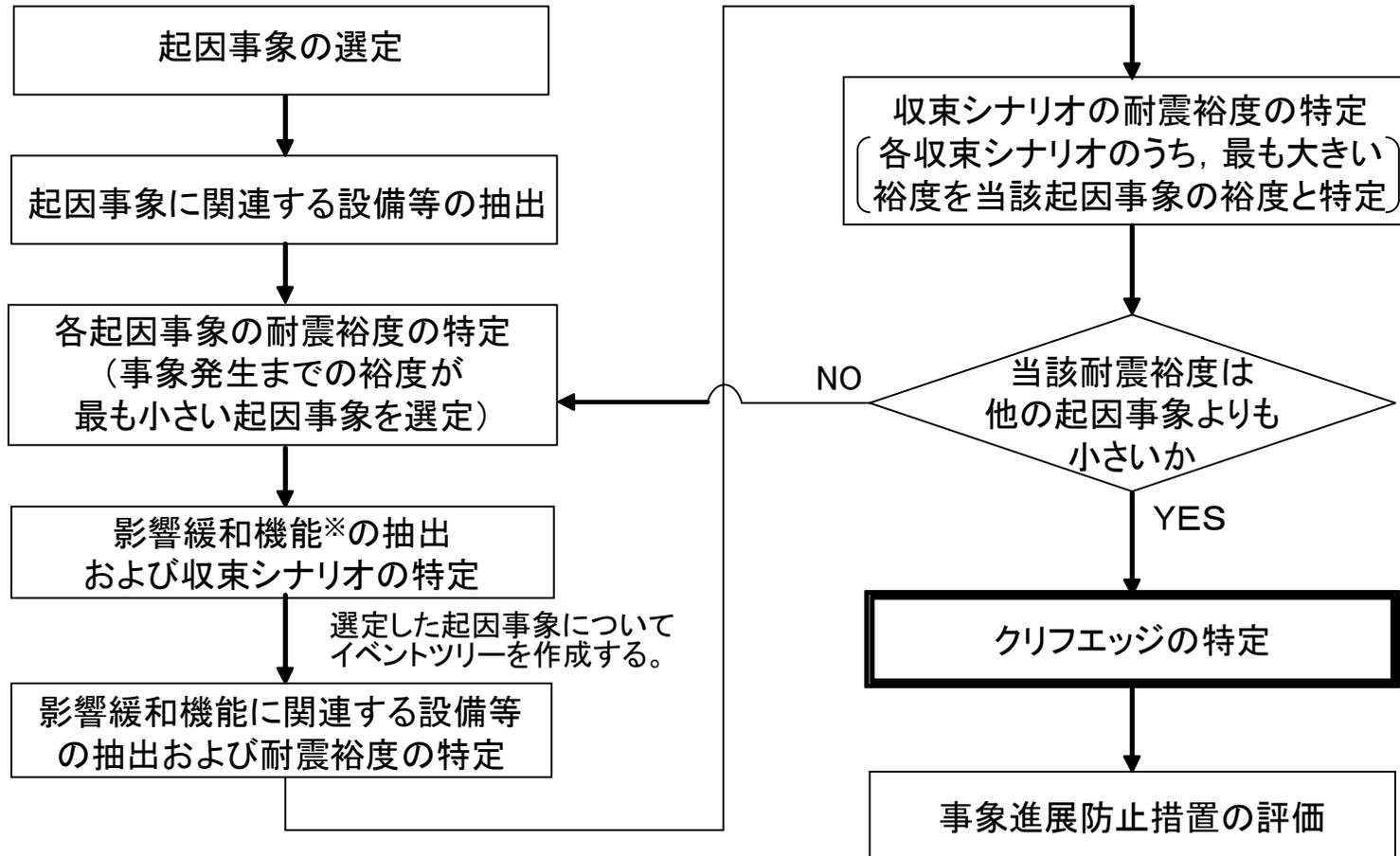
東北電力株式会社



# 地震(1/8)

## ○評価フロー

- 炉心にある燃料と使用済燃料プールにある燃料を対象に以下のフロー図に従って評価を実施する。



※：事象による影響の程度を和らげ、重大な燃料の損傷に至らないよう事象を収束させることができる機能

緊急安全対策の前後を比較することで、その効果を評価する。



## 地震(2/8)

### ○起因事象の評価(原子炉の評価例)

- 地震PSA学会標準※1に基づき、地震を起因とした炉心損傷に至る起因事象として4事象を選定し、設備等の耐震裕度の評価結果を用いて、 $S_s$ の何倍でどのような起因事象が発生するかを特定した。
- 評価の結果、最も耐震裕度が小さい起因事象として「外部電源喪失」事象を特定した。

| 起因事象               | 設備                                  | 耐震裕度※2 |
|--------------------|-------------------------------------|--------|
| 外部電源喪失             | 工学的判断※3<br>( $S_s$ に至るまでに碍子等の破損が発生) | 1.0未満  |
| 原子炉冷却材喪失<br>(配管破断) | 原子炉压力容器<br>(容器と配管の接続部(ノズル))         | 2.02   |
| スクラム失敗             | 制御棒                                 | 2.11   |
| 炉心損傷直結             | 原子炉压力容器<br>(容器を支持する基礎の一部(スカートフランジ)) | 2.01   |

※1：日本原子力学会「原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準(AESJ-SC-P006:2007)」

※2： $S_s$ の何倍で起因事象が発生するか示した値。

※3：東北地方太平洋沖地震を踏まえた外部電源信頼性向上対策を実施しているところであるが、設計基準値等を用いて耐震裕度を評価することが困難なことから、評価上は $S_s$ に至るまでに碍子等の破損が発生と工学的に判断した。





# 地震(4/8)

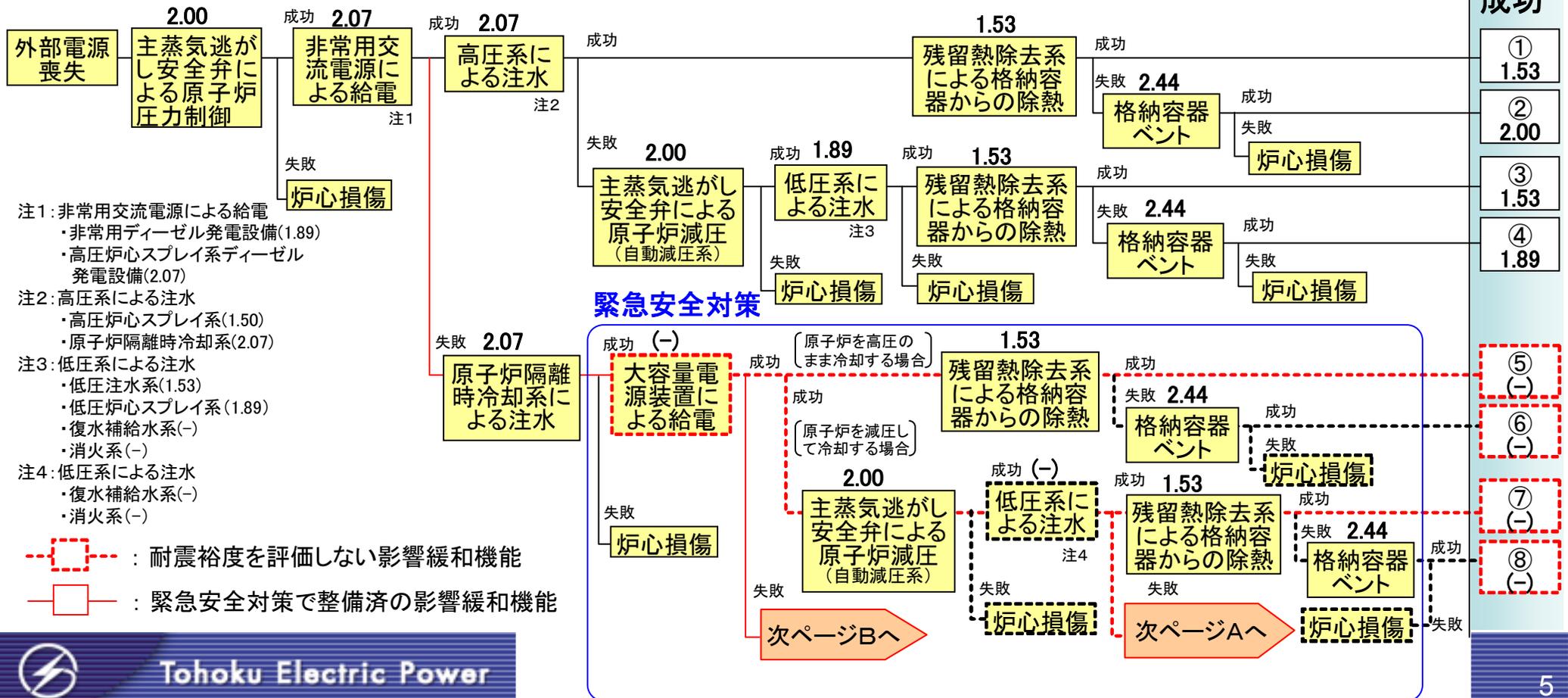
## ○イベントツリーによる冷却手段の特定(原子炉の評価例)

- 「外部電源喪失」の収束シナリオについて評価した結果、最も耐震裕度が大きい収束シナリオは②と⑪であり、そのときの耐震裕度は2.00と特定された。
- 収束シナリオ②と⑪の耐震裕度(2.00)は、他の起因事象が発生する耐震裕度より小さいことから、「外部電源喪失」の収束シナリオの耐震裕度をクリフエッジと特定した。

起因事象: 外部電源喪失

燃料の重大な損傷を防止する安全機能

冷却成功



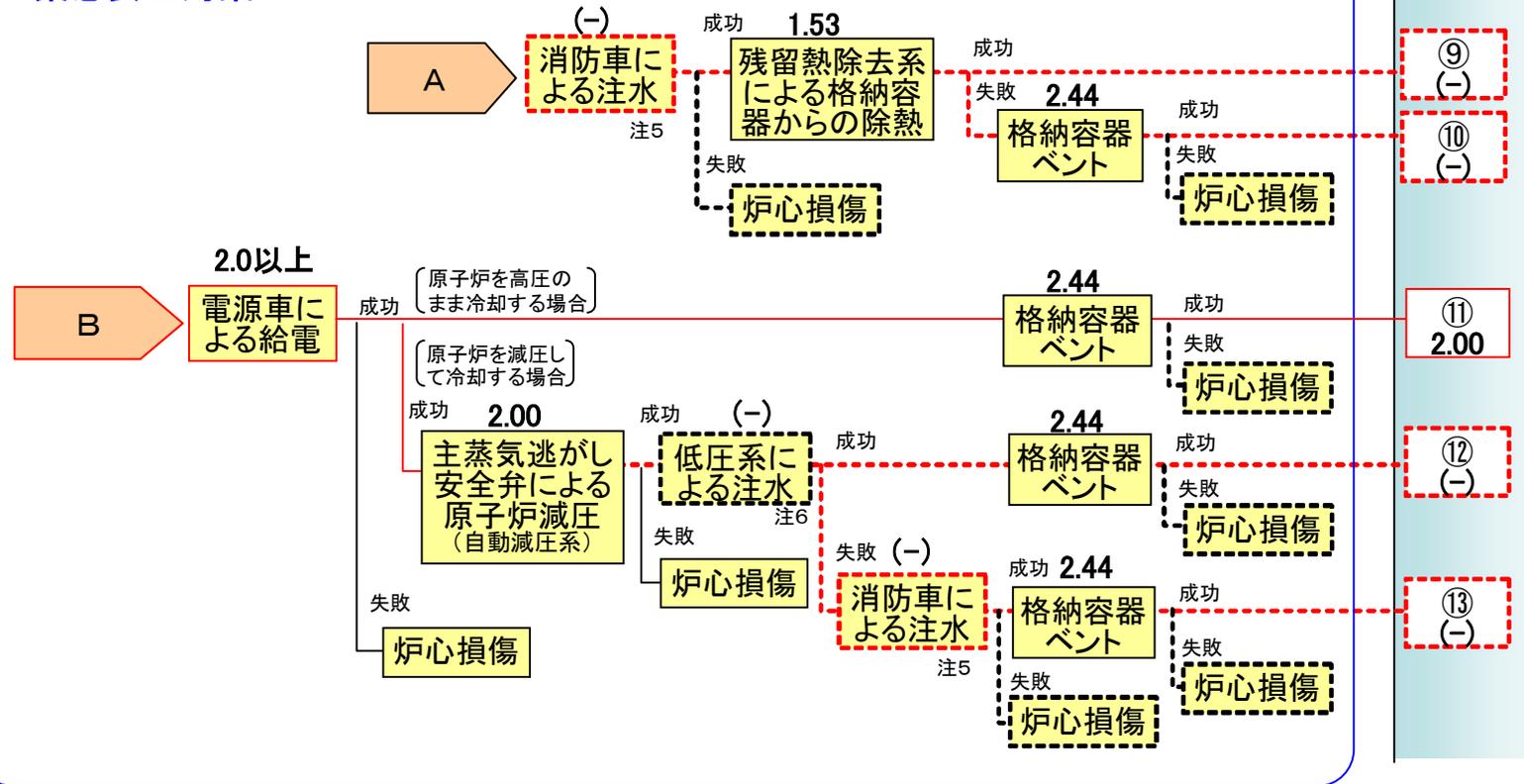
# 地震(5/8)

起因事象:外部電源喪失

燃料の重大な損傷を防止する安全機能

冷却成功

## 緊急安全対策



注5: 消防車による注水  
・消火系経由(-)  
注6: 低圧系による注水  
・復水補給水系(-)  
・消火系(-)

- - - - - : 耐震裕度を評価しない影響緩和機能  
- - - - - : 緊急安全対策で整備済の影響緩和機能



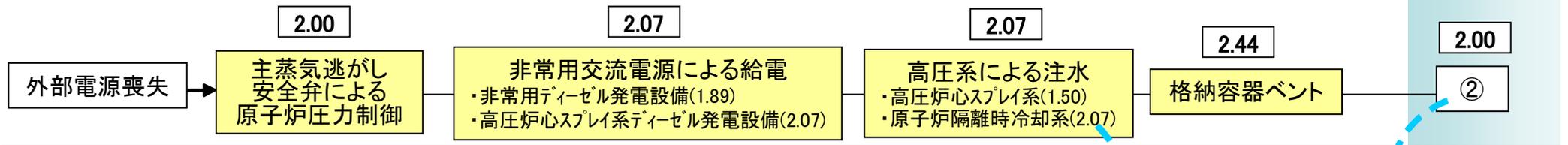
# 地震(6/8)

## ○安全機能を担う設備の抽出(原子炉の評価例)

■「外部電源喪失」の影響緩和機能として必要な機器を選定し、耐震裕度を評価した。

### 燃料の重大な損傷を防止する安全機能

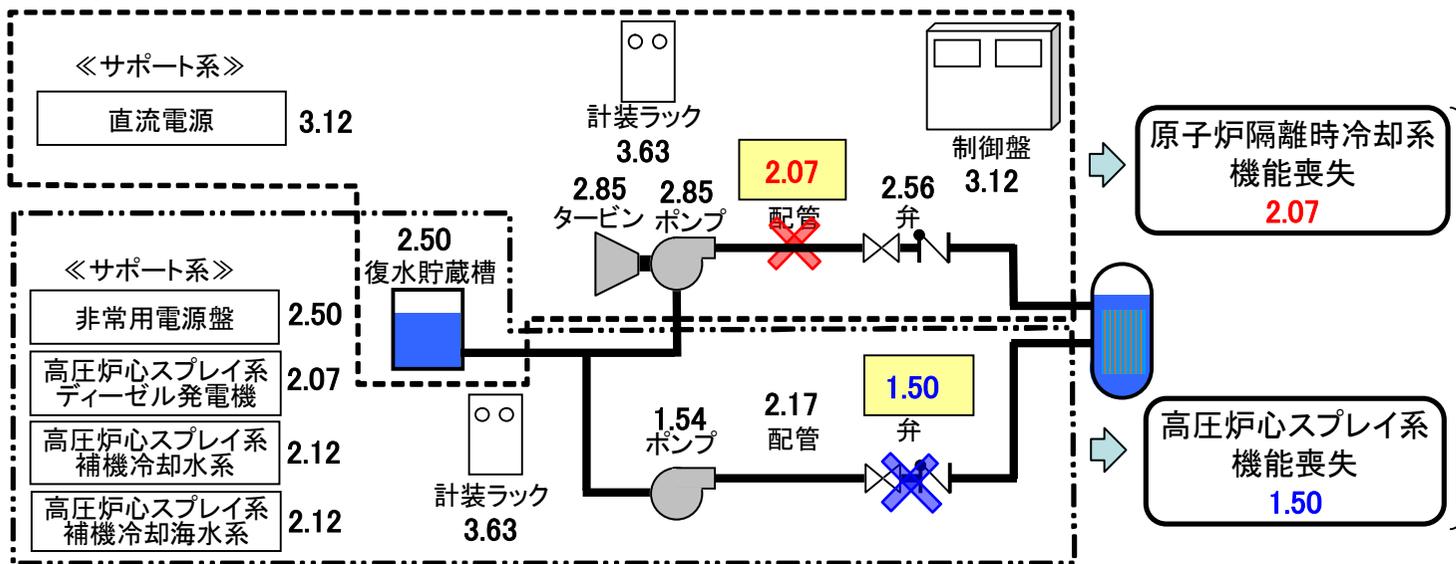
冷却成功



#### 《システムの裕度》

一つの機器損傷で機能喪失

→裕度が最小の機器の値が当該システムの裕度となる



#### 《シナリオの裕度》

安全機能がすべて機能することによりシナリオが成立

→裕度が最小の安全機能の値が当該シナリオの裕度となる

#### 《高圧系注水の裕度》

両システムのどちらかが機能すれば安全機能が達成

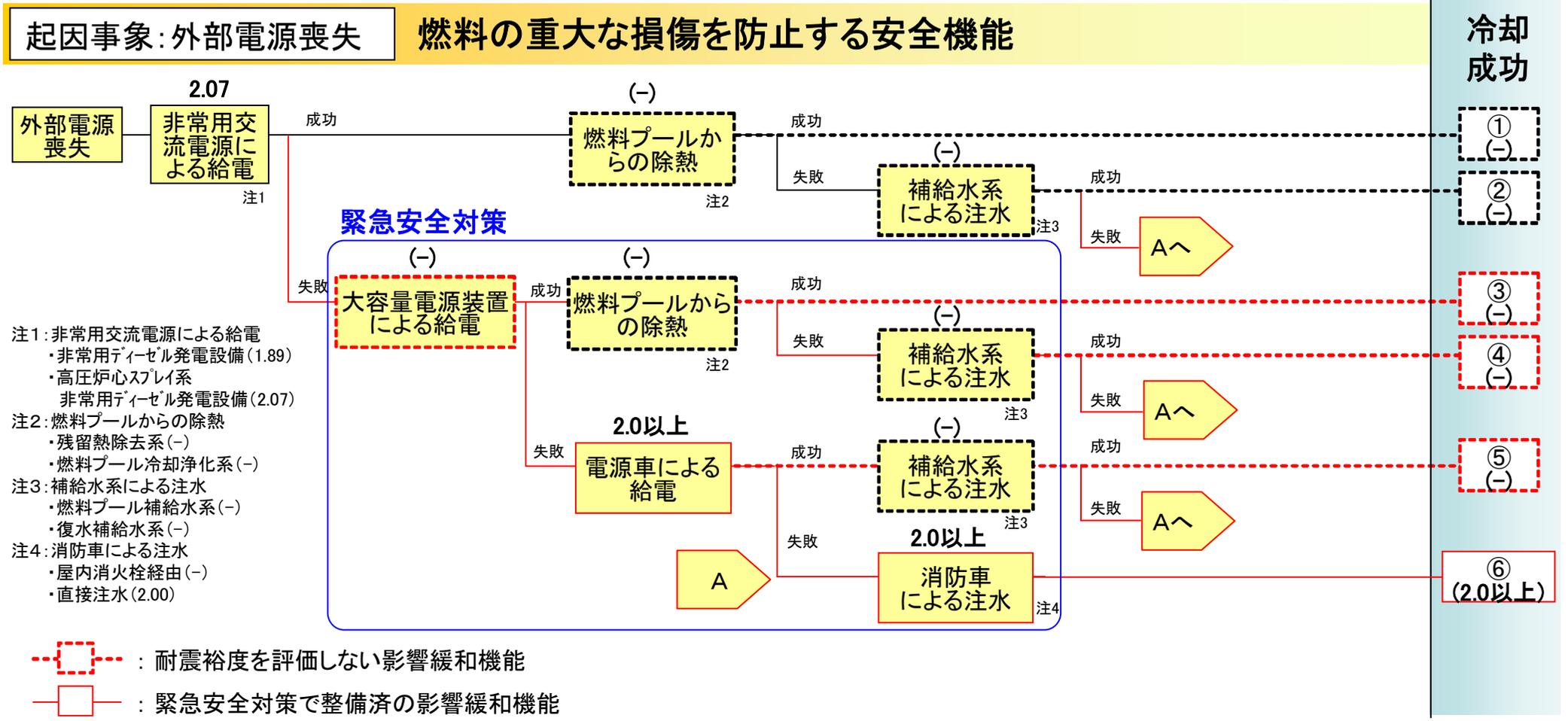
→裕度が最大のシステムの値が安全機能の裕度となる



# 地震(7/8)

## ○使用済燃料プールの評価例

- 「外部電源喪失」の収束シナリオについて評価した結果、クリフエッジとなる設備は消防車であり、そのときの耐震裕度は2.00と特定された。

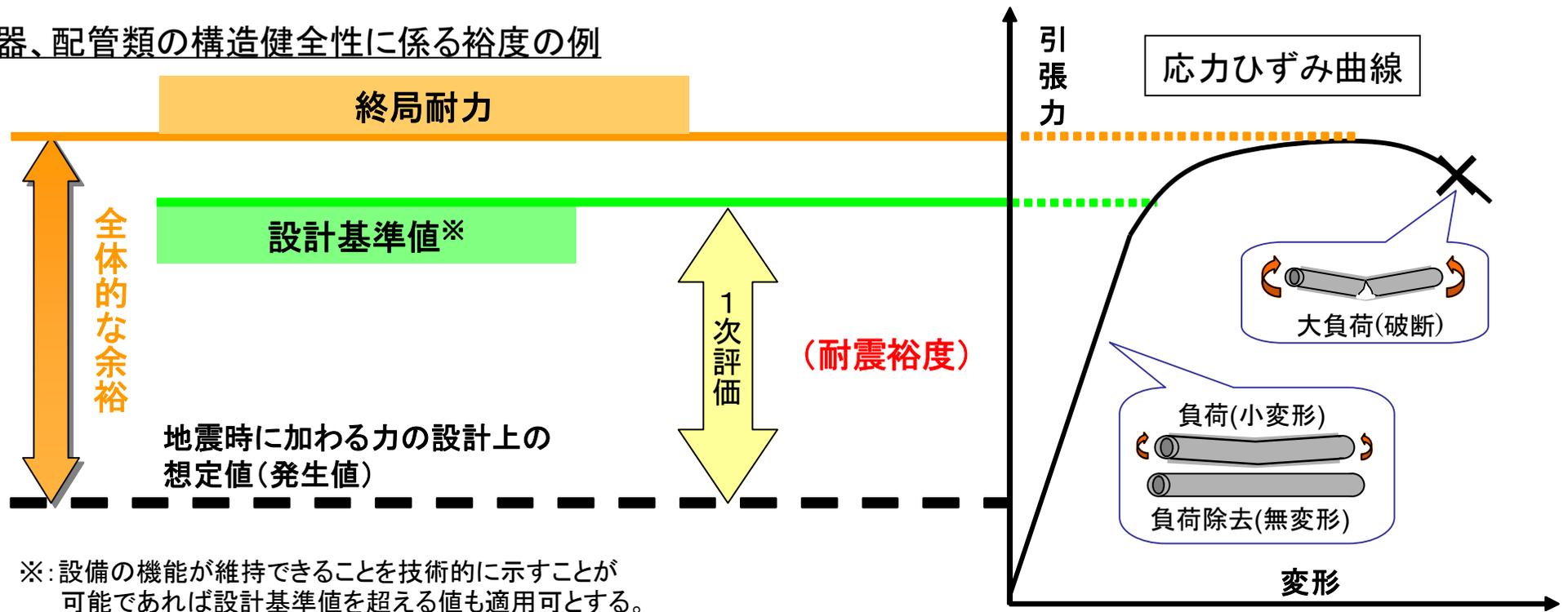


# 地震(8/8)

## ○耐震裕度の評価イメージ

- 基準地震動 $S_s$ において各設備等に加わる力などを評価し、当該設備等が機能を維持できる許容値と比較して、裕度を評価。
- 一次評価では、各施設において当該設備等が機能を維持できる許容値として、設計基準上の許容値(設計基準値)を用いることを基本とする。これ以外の許容値を用いる場合には、妥当性を確認の上、適用する。

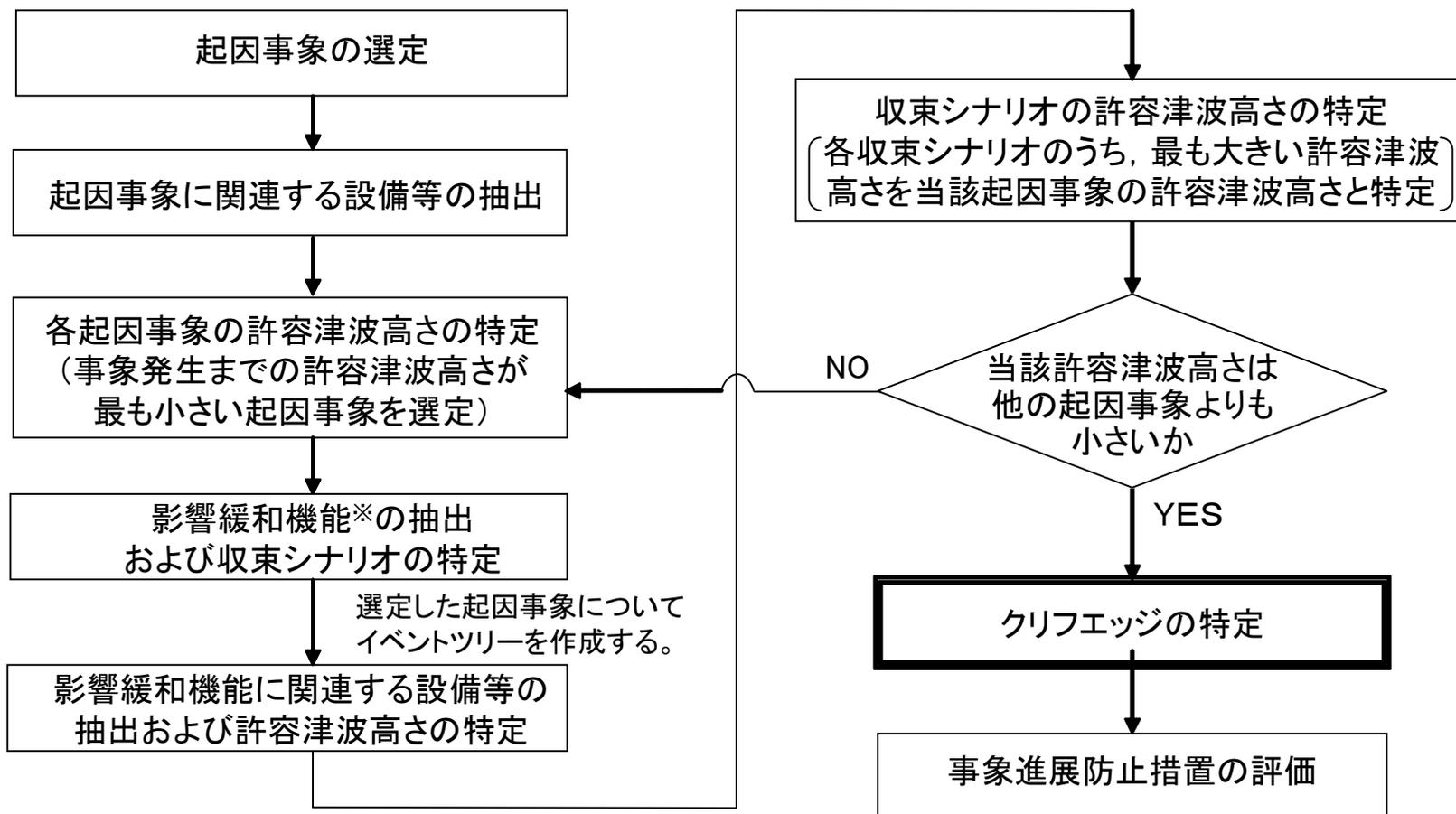
機器、配管類の構造健全性に係る裕度の例



# 津波(1/5)

## ○評価フロー

- 炉心にある燃料と使用済燃料プールにある燃料を対象に以下のフロー図に従って評価を実施する。



※：事象による影響の程度を和らげ、重大な燃料の損傷に至らないよう事象を収束させることができる機能

緊急安全対策の前後を比較することで、その効果を評価する。





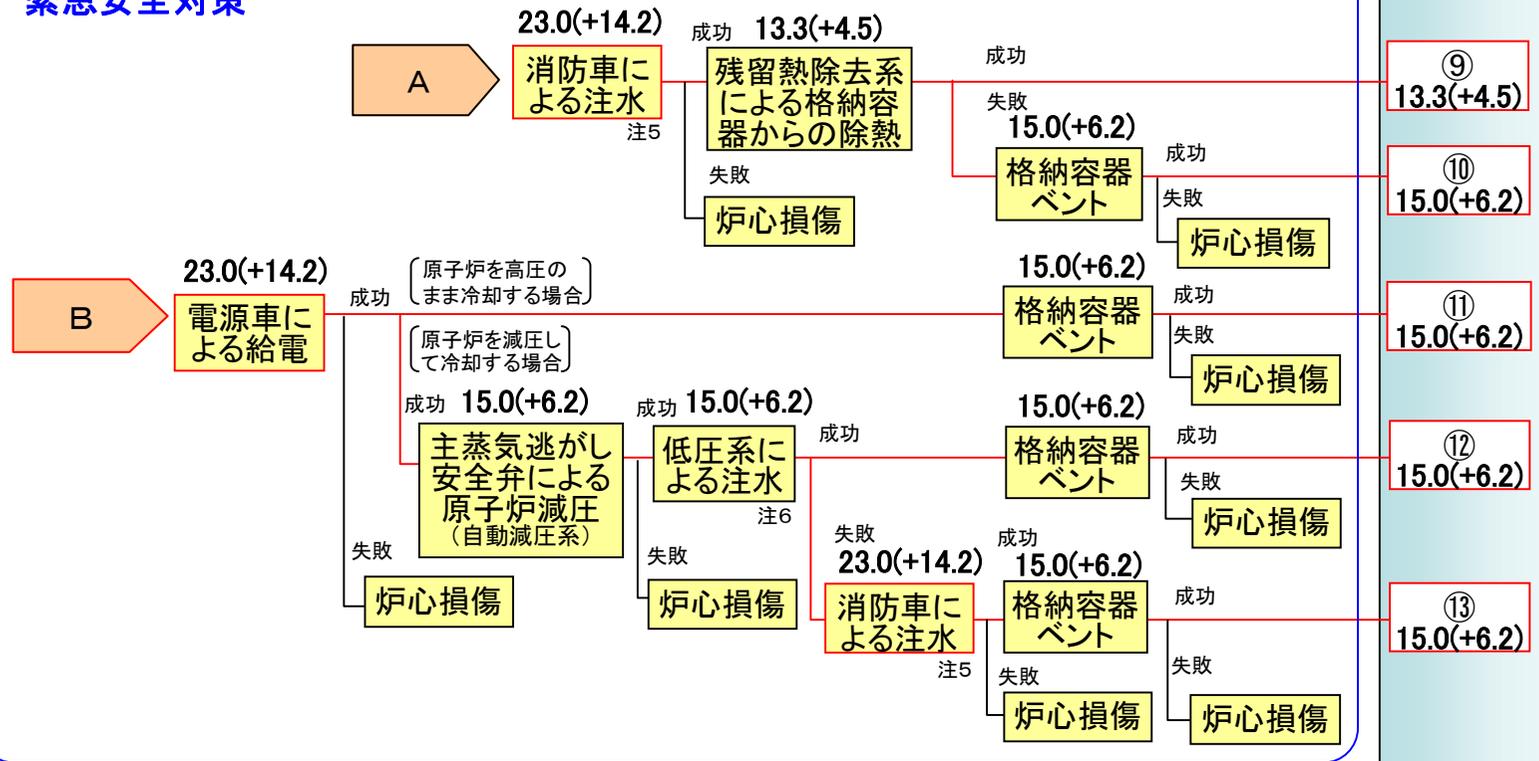
# 津波(3/5)

起因事象: 外部電源喪失

燃料の重大な損傷を防止する安全機能

冷却成功

## 緊急安全対策



- 注5: 消防車による注水  
 ・消火系経由(23.0(+14.2))  
 注6: 低圧系による注水  
 ・復水補給水系(15.0(+6.2))  
 ・消火系(13.3(+4.5))

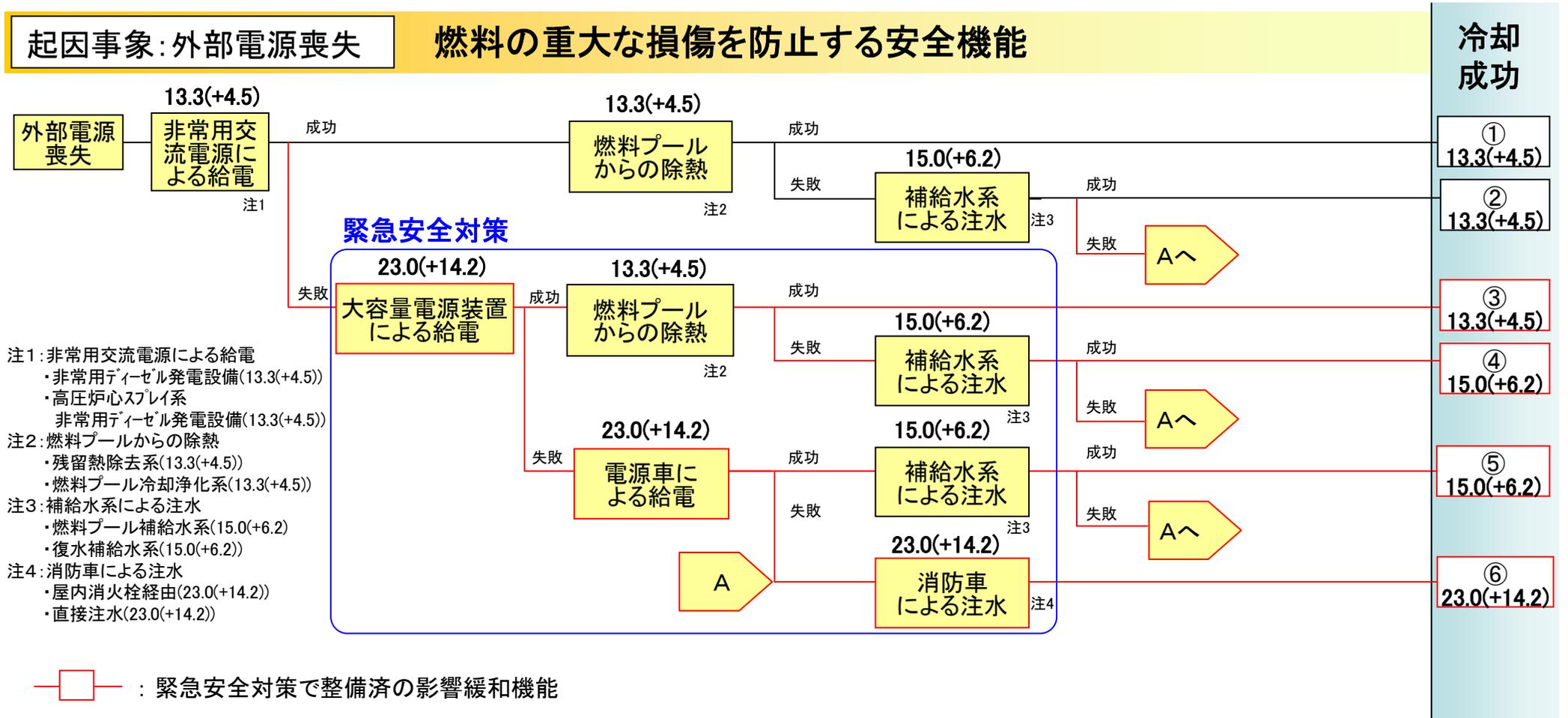
—□— : 緊急安全対策で整備済の影響緩和機能



# 津波(4/5)

## ○使用済燃料プールの評価例

- 「外部電源喪失」の収束シナリオについて評価した結果、クリフエッジとなる設備は高台にある消防車であり、そのときの津波高さは23.0m(設計津波高さ8.8m+14.2m)と特定された。

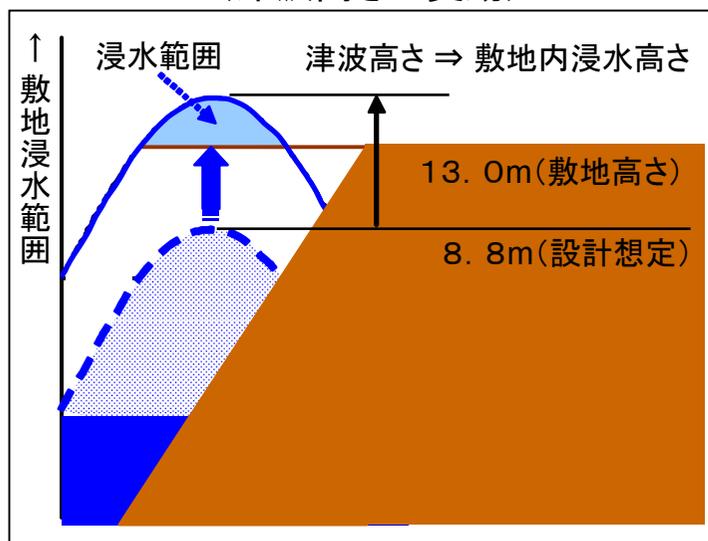


# 津波(5/5)

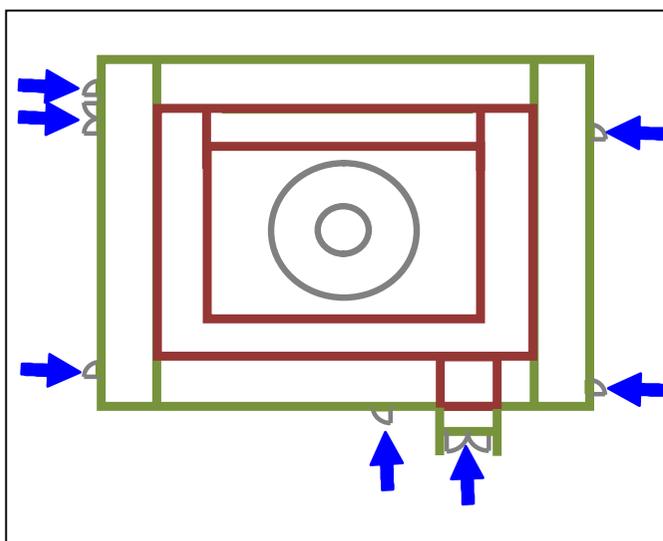
## ○許容津波高さの評価イメージ

- 設計津波高さを大きくしていき、敷地高さを越えた浸水を想定
- 各設備の設置高さや津波による浸水高さ(建屋内は流入する海水の浸水高さ)を比較し、機能喪失する津波高さ(許容津波高さ)を評価
- 評価にあたっては扉の水密対策などを考慮

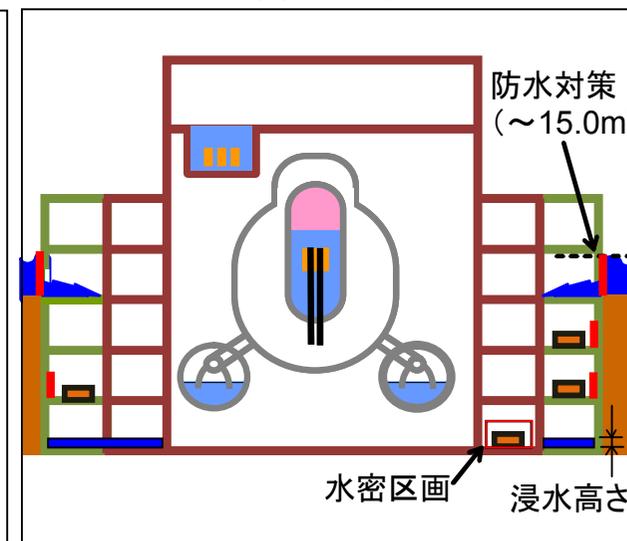
敷地への浸水  
(津波高さの変動)



原子炉建屋(1階)外扉からの浸水  
(平面図)



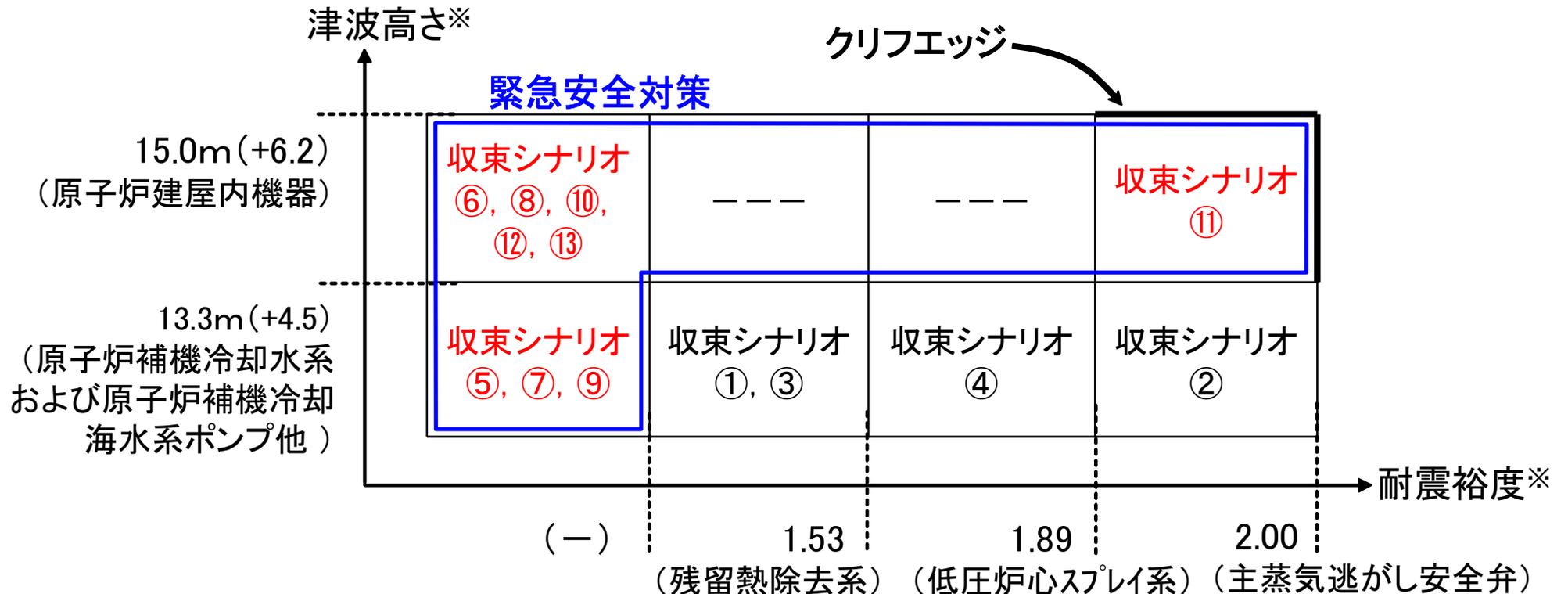
原子炉建屋内への浸水  
(断面図)



# 地震・津波の重畳(1/2)

## ○原子炉の評価例

- 「地震」および「津波」の評価結果から、考慮すべき起因事象は「外部電源喪失」となった。
- クリフエッジとなる設備は、地震は主蒸気逃がし安全弁であり、そのときの耐震裕度は2.00、津波は、原子炉建屋内機器であり、そのときの津波高さは15.0m(設計津波高さ8.8m+6.2m)と特定された。



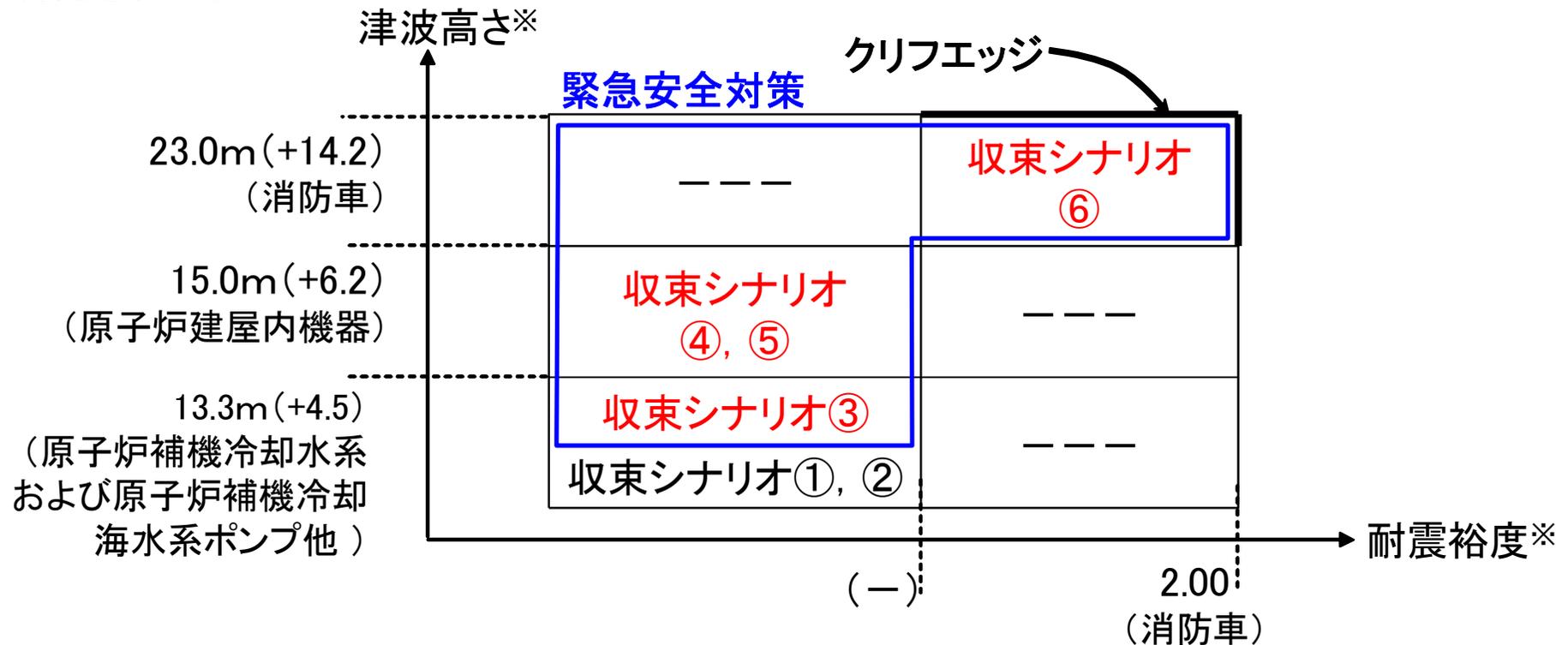
※：基準地震動 $S_s$ は内陸地殻内断層の「震源を特定せず策定する地震動」、土木学会手法による設計津波は三陸沖のプレート境界地震による。震源と波源が異なるため重畳することは考え難いが、地震と津波との重畳の評価にあたっては、保守的に、これらの地震と津波を重畳させ、耐震裕度と許容津波高さを組み合わせて評価している。



## 地震・津波の重畳(2/2)

### ○使用済燃料プールの評価例

- 「地震」および「津波」の評価結果から、考慮すべき起因事象は「外部電源喪失」となった。
- クリフエッジとなる設備は、地震は消防車であり、そのときの耐震裕度は2.00、津波は、消防車であり、そのときの津波高さは23.0m(設計津波高さ8.8m+14.2)と特定された。



※：基準地震動 $S_s$ は内陸地殻内断層の「震源を特定せず策定する地震動」、土木学会手法による設計津波は三陸沖のプレート境界地震による。震源と波源が異なるため重畳することは考え難いが、地震と津波との重畳の評価にあたっては、保守的に、これらの地震と津波を重畳させ、耐震裕度と許容津波高さを組み合わせて評価している。

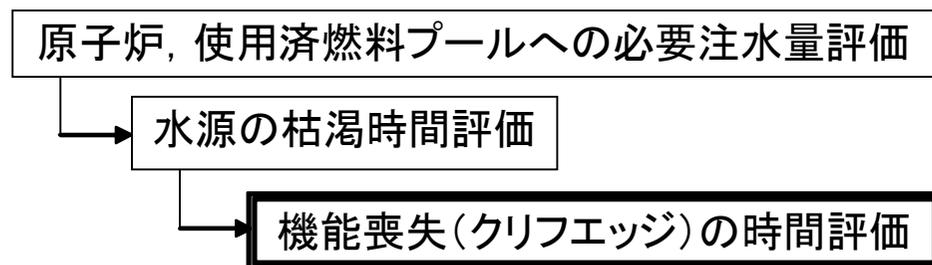


# 全交流電源喪失(1/3)

## ○評価フロー

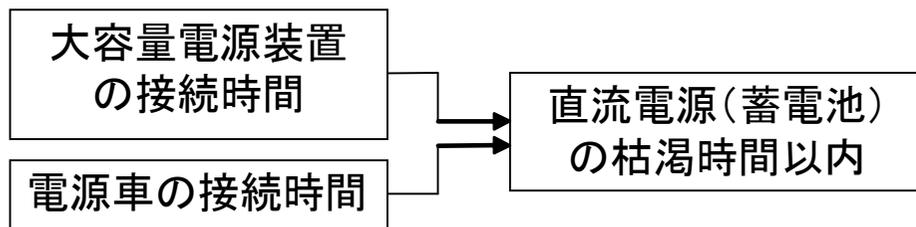
- 炉心にある燃料と使用済燃料プールにある燃料を対象に、以下の過程を特定する。
  - 外部電源喪失から全交流電源喪失までの事象の過程
  - 全交流電源喪失から燃料の重大な損傷までの事象の過程
- 全交流電源喪失の継続時間およびクリフェッジの所在を特定する。

### <注水機能継続時間評価>

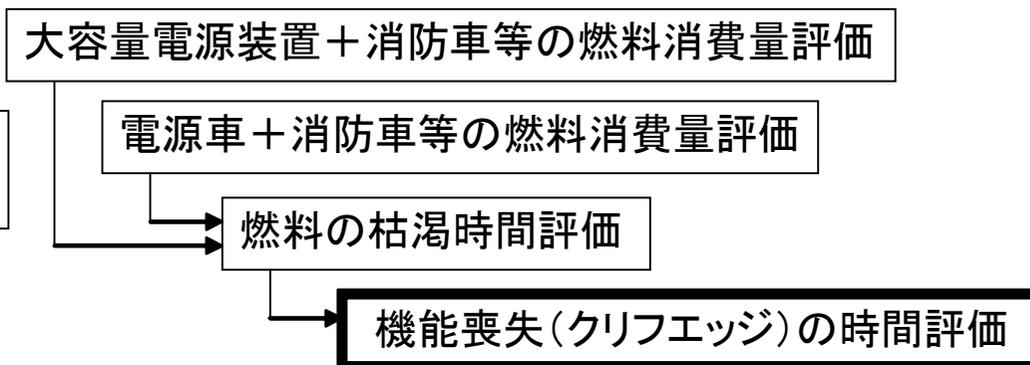


### <電源機能継続時間評価>

#### ・接続時間確認



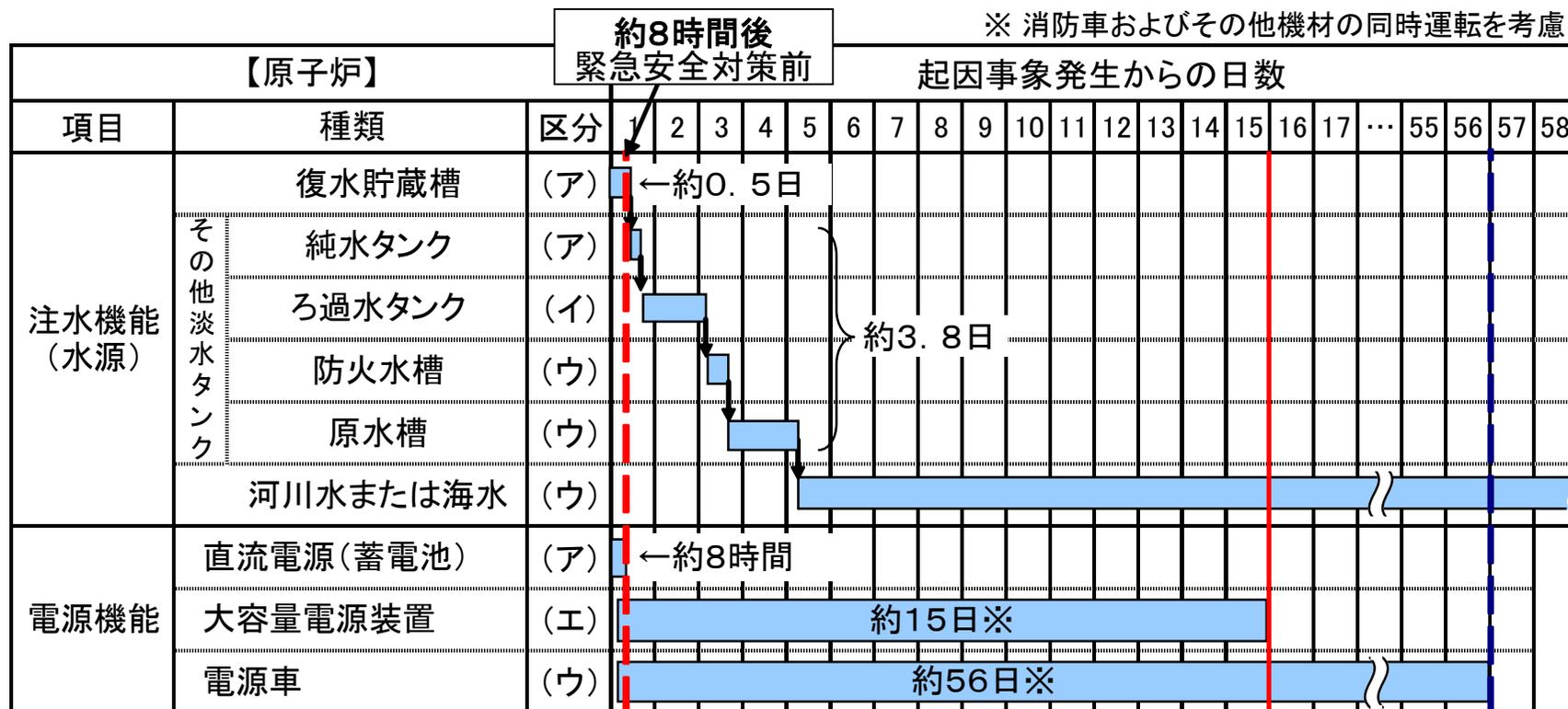
#### ・運転継続時間評価



# 全交流電源喪失(2/3)

## ○原子炉の評価例

- 運転時に全交流電源喪失が発生した場合，原子炉への注水は直流電源(蓄電池)から電源供給を受ける原子炉隔離時冷却系により実施される。
- その後，大容量電源装置により海水ポンプ等を起動することで，炉心の冷却を残留熱除去系を用いた冷却に切り替えるが，大容量電源装置の運転に必要な軽油は約15日後，電源車の運転に必要な軽油は約56日後に枯渇するため，この期間がクリフエッジとなる。



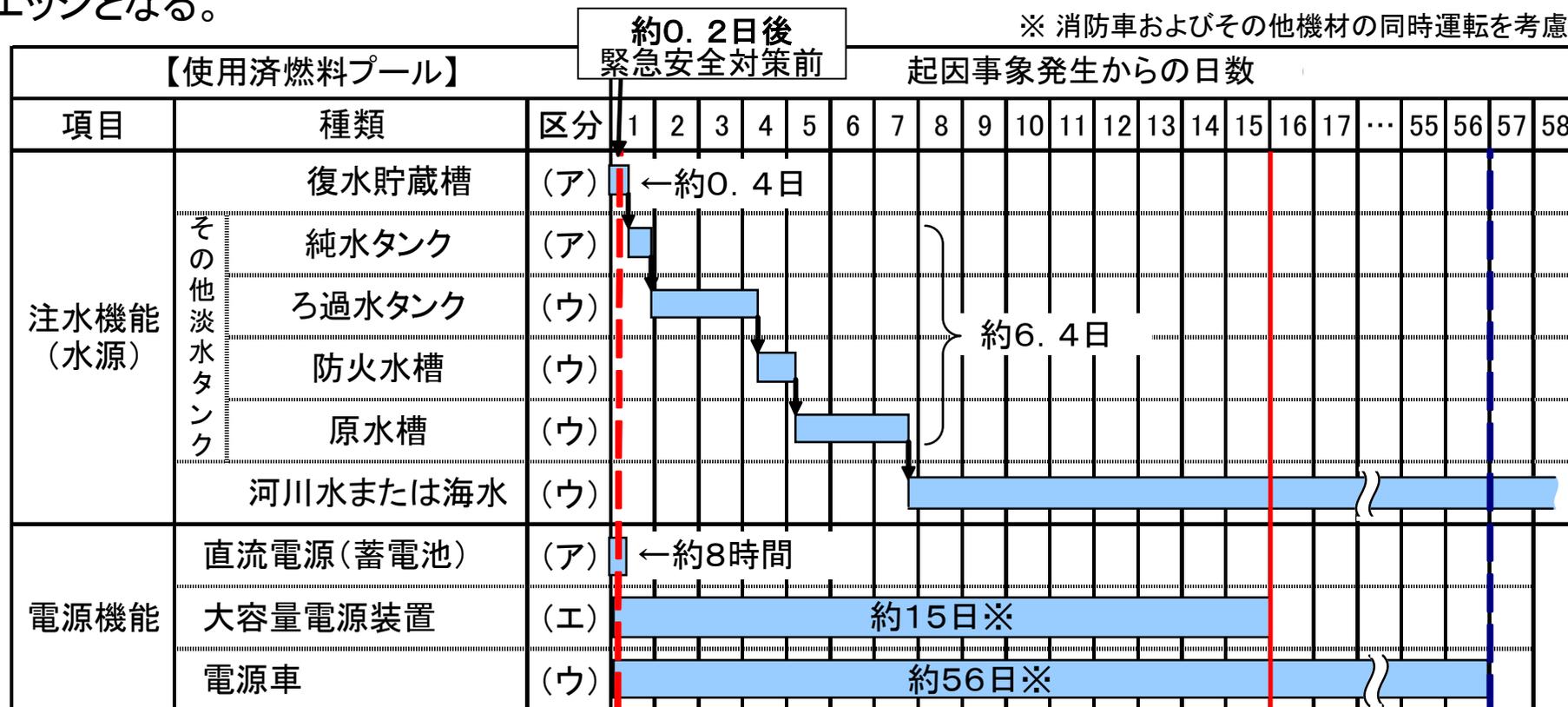
区分：(ア)基本設計段階で採用した設備 (イ)アクシデントマネジメント設備 (ウ)緊急安全対策(短期) (エ)緊急安全対策(中長期)



# 全交流電源喪失(3/3)

## ○使用済燃料プールの評価例

- 使用済燃料プールにある燃料の崩壊熱により、使用済燃料プールの水温が上昇することで水が蒸発していくため、他の水源から消防車を用いて使用済燃料プールへ水の補給を行う。
- 消防車の運転に必要な軽油は、電源機能と共用のため、大容量電源装置の運転に必要な軽油は約15日後、電源車の運転に必要な軽油は約56日後に枯渇するため、この期間がクリフエッジとなる。



区分：(ア)基本設計段階で採用した設備 (イ)アクシデントマネジメント設備 (ウ)緊急安全対策(短期) (エ)緊急安全対策(中長期)

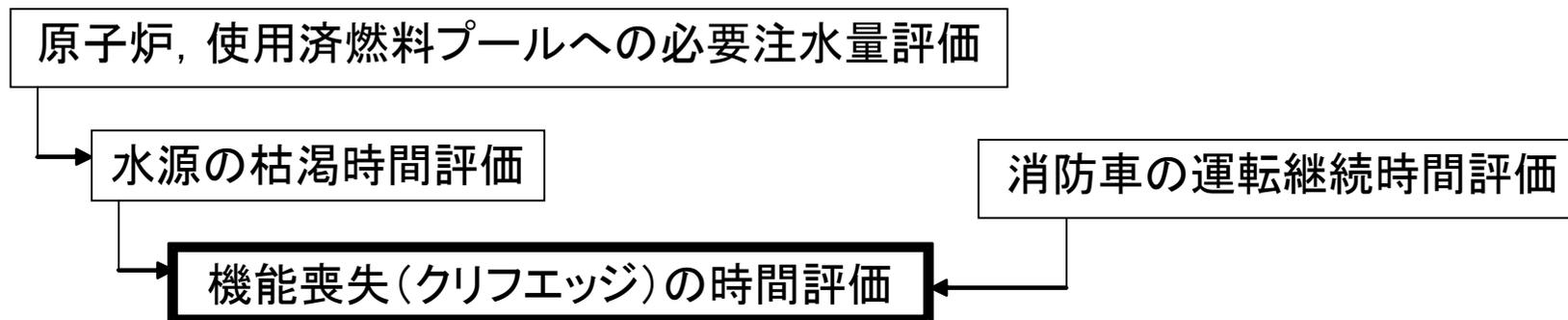


# 最終的な熱の逃がし場の喪失(1/3)

## ○評価フロー

- 炉心にある燃料と使用済燃料プールにある燃料を対象に、以下の過程を特定する。
  - 最終ヒートシンク喪失から燃料の重大な損傷までの事象の過程
- 最終ヒートシンク喪失の継続時間およびクリフエッジの所在を特定する。

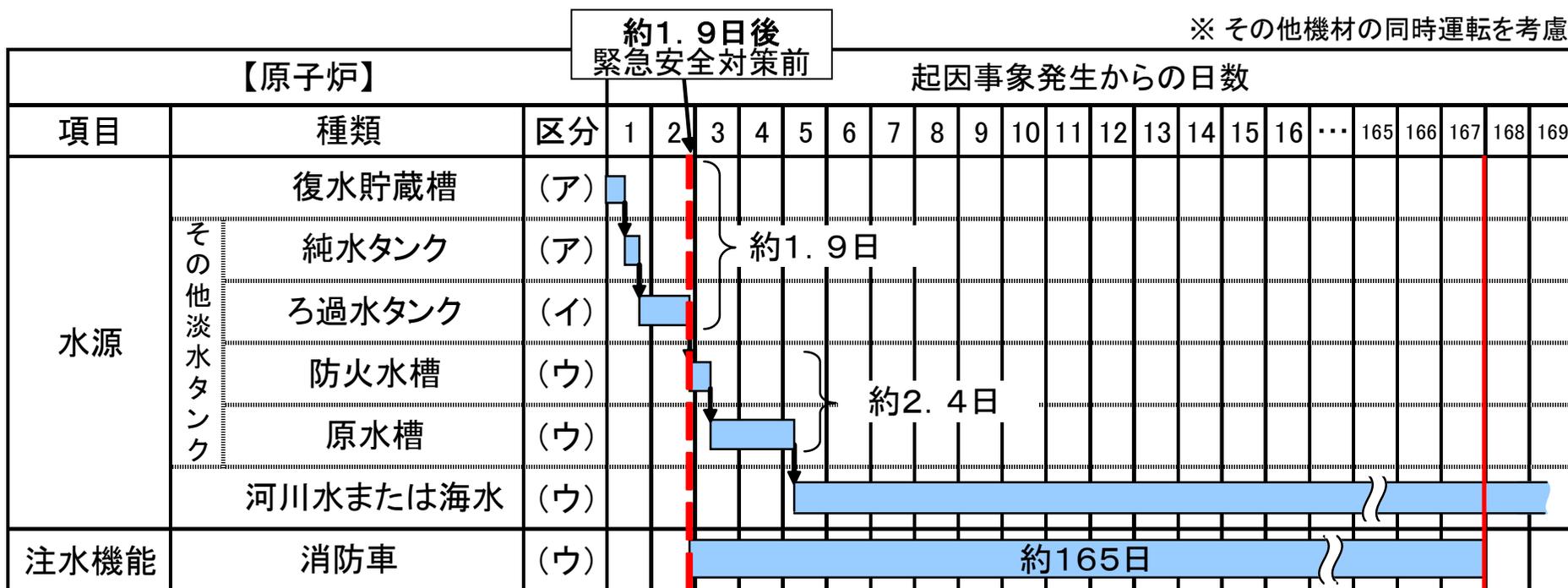
### <注水機能継続時間評価>



# 最終的な熱の逃がし場の喪失(2/3)

## ○原子炉の評価例

- 原子炉隔離時冷却系による注水，主蒸気逃がし安全弁による原子炉減圧後には，アクシデントマネジメント策による代替注水を実施し，その後，格納容器ベントによる格納容器の除熱・減圧が実施される。
- 復水貯蔵槽へ水の補給を実施するため，消防車を用いるが，消防車の運転に必要な軽油は，約167日後に枯渇するため，この期間がクリフエッジとなる。



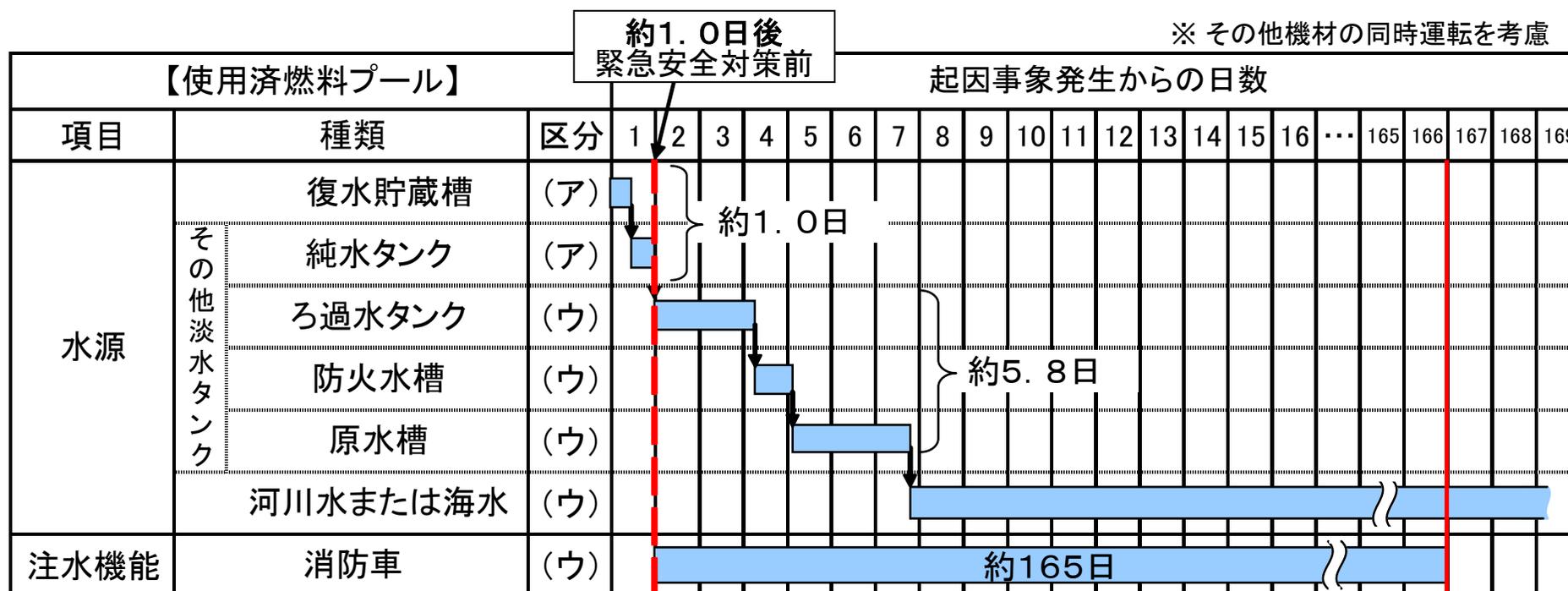
区分：(ア)基本設計段階で採用した設備 (イ)アクシデントマネジメント設備 (ウ)緊急安全対策(短期)



# 最終的な熱の逃がし場の喪失(3/3)

## ○使用済燃料プールの評価例

- 使用済燃料プールにある燃料の崩壊熱により、使用済燃料プールの水温が上昇することで水が蒸発していくため、他の水源から消防車を用いて使用済燃料プールへ水の補給を行う。
- 消防車の運転に必要な軽油は約166日後に枯渇するため、この期間がクリフエッジとなる。



区分：(ア)基本設計段階で採用した設備 (イ)アクシデントマネジメント設備 (ウ)緊急安全対策(短期)

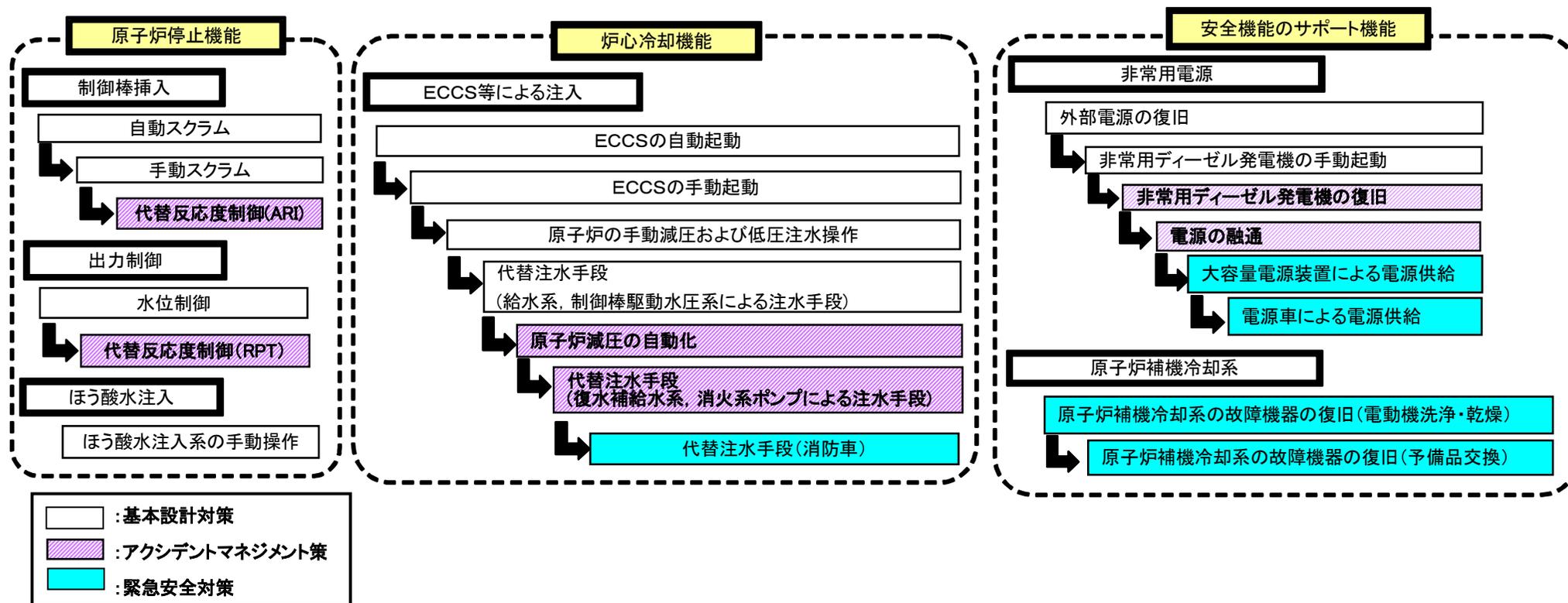


# その他のシビアアクシデント・マネジメント(1/2)

## ○評価結果

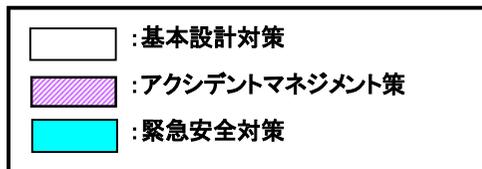
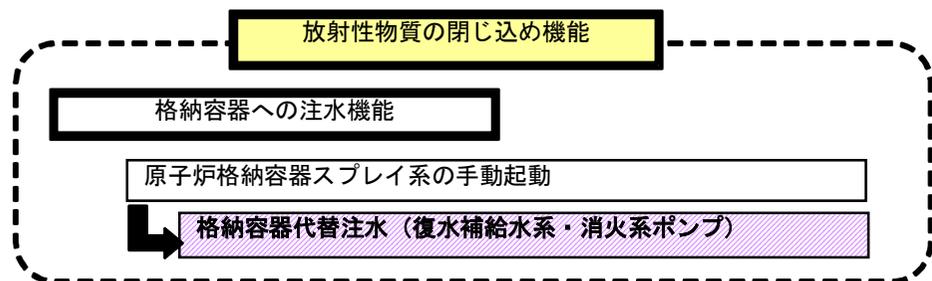
- 基本設計段階で採用した防護措置, シビアアクシデント・マネジメント策で取り入れた防護措置 および緊急安全対策等で整備した防護措置は, 「原子炉停止機能」「原子炉および格納容器への注水機能」「格納容器除熱機能」「電源機能」毎に, 多重性・多様性を有していることが確認できた。

### 炉心損傷の防止

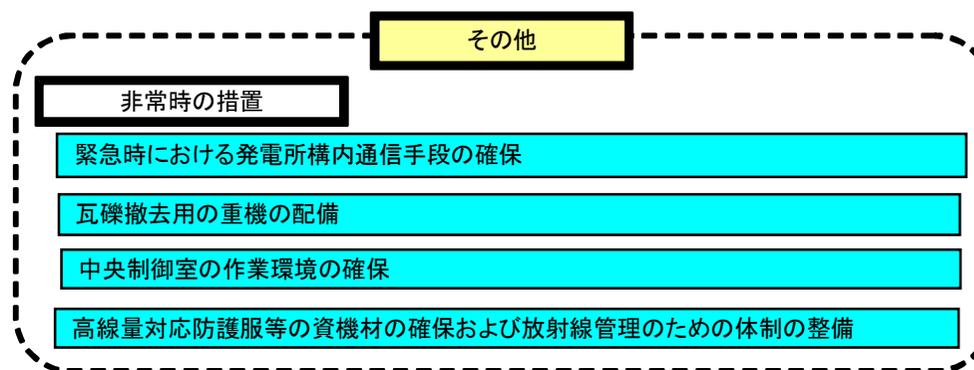
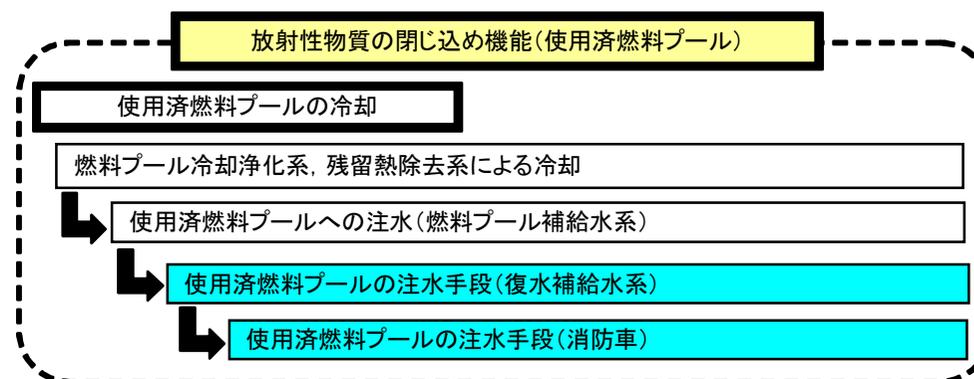


# その他のシビアアクシデント・マネジメント(2/2)

## 格納容器機能喪失の防止



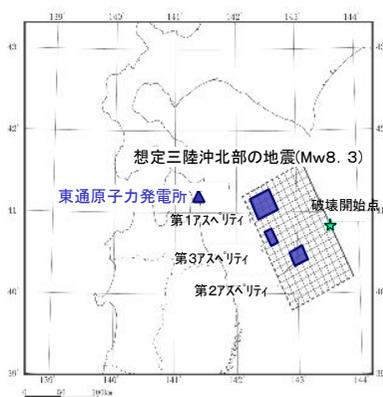
## その他



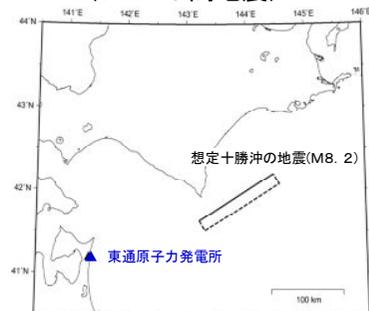
# 参考(1/2): 基準地震動( $S_s$ )の設定

- 基準地震動 $S_s$ の策定にあたり、検討用地震として、プレート間地震の想定三陸沖地震( $M_w 8.3^*$ )、海洋プレート内地震の想定十勝沖地震( $M 8.2$ )および内陸地殻内地震(活断層)の横浜断層( $M 6.8$ )による地震、敷地東方沖断層( $M 6.8$ )による地震を選定し、地震の不確かさを考慮した保守的な地震動評価を実施している。
- 上記の地震動評価結果をすべて包絡する「震源を特定せず策定する地震動」(450ガル)を基準地震動 $S_s$ として策定している。

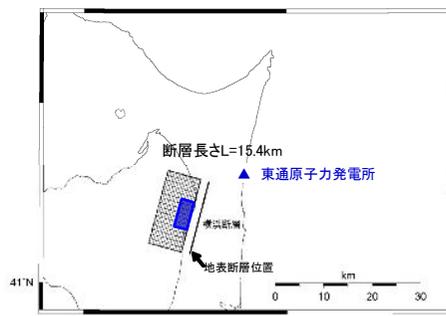
※: $M_w$ (モーメントマグニチュード)とは、断層運動の大きさを表す単位。



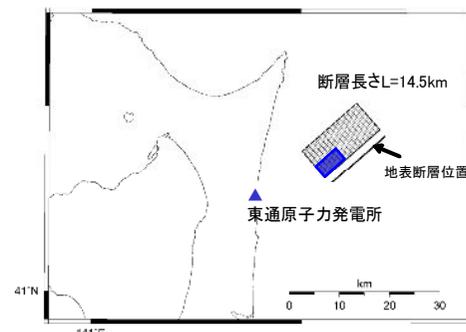
想定三陸沖北部の地震( $M_w 8.3$ )  
(プレート間地震)



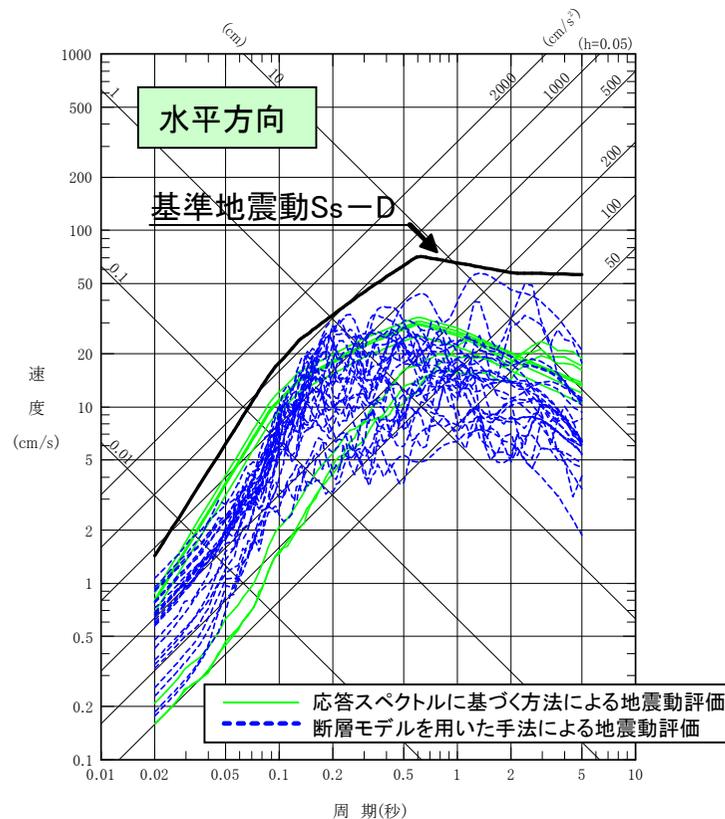
想定十勝沖地震( $M 8.2$ )  
(海洋プレート内地震)



横浜断層による地震( $M 6.8$ )  
(内陸地殻内地震)



敷地東方沖断層による地震( $M 6.8$ )  
(内陸地殻内地震)



基準地震動 $S_s$ : 450ガル



# 参考(2/2): 設計津波高さ設定の条件

## 1. 基準断層モデルの設定

- ▶ 「原子力発電所の津波評価技術」(土木学会, H14.2)を参考に, 日本海溝沿いで発電所に影響を及ぼすと想定される地震の活動域(図1)に, 想定される地震規模に応じた波源を個別に設定(図2)。

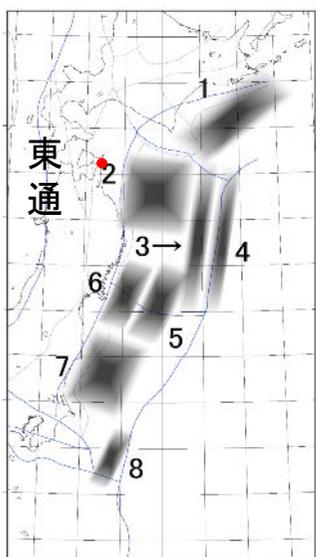


図1 地震の活動域

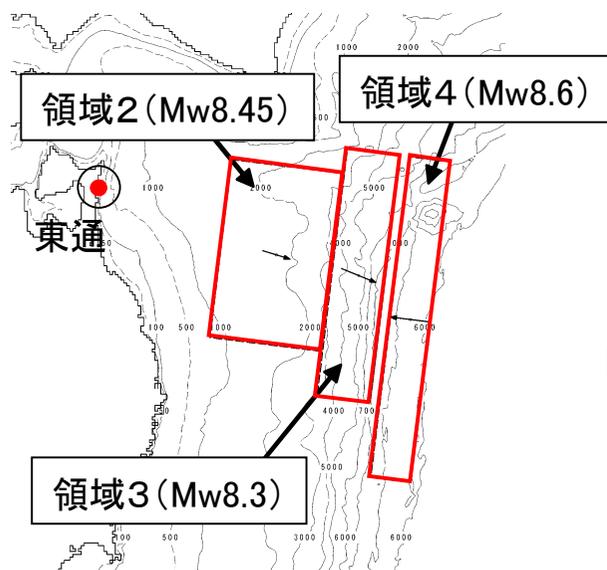


図2 基準とする津波波源の位置

## 2. 不確かさの考慮

- ▶ 「津波波源の不確かさ」を考慮するため, 基準断層モデルの諸条件(位置, 走向, 傾斜角, すべり角)を変化させた多数のパラメータスタディ\*を実施(代表例: 図3, 図4, 図5)。

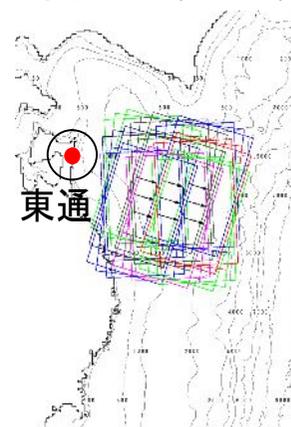


図3 領域2の位置・走向のパラメータスタディ

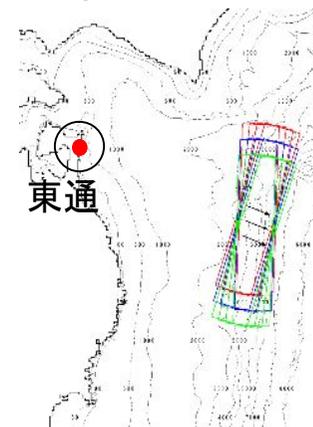


図4 領域3の位置・走向のパラメータスタディ

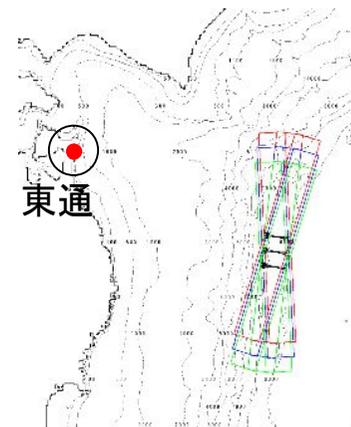


図5 領域4の位置・走向のパラメータスタディ

- ▶ 上記検討の結果, 敷地における最大水位上昇ケースは, 「領域3」の検討ケースで, 最大水位上昇量は, 8.12m。

## 3. 設計津波高さ

- ▶ 上記2. の最大水位上昇ケースに潮位条件(朔望平均満潮位 0.61m)を足し合わせて設計津波高さを算出。

設計津波高さ

8.8m

\*: 津波の断層モデルの諸条件(断層パラメータ)を合理的な範囲内で変化させた検討(数値シミュレーション)を多くのケースで実施すること。

