

4.3 地震と津波との重畳

4.3.1 評価の概要

本評価においては、「4.1 地震」および「4.2 津波」の評価結果を踏まえて、想定を超える「地震」と想定を超える「津波」との重畳を起因として、燃料の重大な損傷に至る耐震裕度および津波高さを特定する。

4.3.2 評価実施事項

- (1) 設計上の想定を超える地震とそれに引き続く設計上の想定を超える津波が発生した場合において、安全上重要な建屋、系統、機器等および燃料の重大な損傷に関係し得るその他の建屋、系統、機器等が損傷・機能喪失するか否かを設計上の想定との比較若しくは地震P S Aの知見を踏まえて評価する。
- (2) (1)の評価結果を踏まえて、発生する起因事象により燃料の重大な損傷に至る事象の過程を同定し、クリフエッジの所在を特定する。またそのときの地震動、津波高さを明らかにする。
- (3) 特定されたクリフエッジへの対応を含め、燃料の重大な損傷に至る事象の過程の進展を防止するための措置について、多重防護の観点から、その効果を示す。

4.3.3 評価方法

炉心にある燃料とSFPにある燃料を対象に、以下の評価を実施する。

なお、地震に伴い発生する津波を考えた場合、その地震と津波の大きさには、ある程度の相関性があるものと考えられるが、それを定量的に示すには、現段階でデータや知見等が十分ではなく、基準地震動 S_s および設計津波高さの震源および波源は、どちらも敷地前面海域の断層群であるが、地震動と津波では断層モデルが異なることから、相関性を適切に考慮することは困難である。さらに本評価では、想定を超える「地震」と想定を超える「津波」との重畳を起因として、燃料の重大な損傷に至る過程を評価するものであることから、耐震裕度と許容津波高さのパラメータは、相互に独立のものとして扱い、両パラメータの全ての組み合わせを考慮することとする。

本方法による評価は、地震と津波に対してあらゆる大きさの組み合わせを考慮しており、相関性を考慮した場合に比べ、安全側の評価となる。

(1) 起因事象の選定

「4.1 地震」および「4.2 津波」において実施した評価結果に基づき、特定されたクリフェッジとしての耐震裕度までの範囲ならびに許容津波高さまでの範囲で、発生する各起因事象を選定する。具体的には、地震または津波より引き起こされる起因事象に対する収束シナリオに対して、地震および津波の影響を評価する。

また、選定された各起因事象の発生や各影響緩和機能に係る耐震裕度または許容津波高さについては、「4.1 地震」または「4.2 津波」において評価した結果を用いる。

(2) 収束シナリオおよびクリフェッジの特定

(1)項にて選定した各起因事象について、「4.1 地震」または「4.2 津波」の検討において特定されている収束シナリオを対象に、各収束シナリオを成立させるための各影響緩和機能に関する耐震裕度と許容津波高さのそれぞれの最小値を求め、それらの最小値の組み合わせを当該収束シナリオに対する地震と津波との重畳への耐力として求める。その上で、全ての収束シナリオから最も耐力を有するシナリオを抽出し、そのシナリオの耐力を地震と津波との重畳によるクリフェッジとして特定する。

(3) 事象の過程の進展を防止する措置の効果の評価

特定されたクリフェッジへの対応を含め、燃料の重大な損傷に至る事象の過程の進展を防止するための措置について、多重防護の観点から、その効果を示す。

4.3.4 評価条件

「4.1.4 評価条件」および「4.2.4 評価条件」に示した最も厳しいプラント状態を評価条件とする。

4.3.5 炉心にある燃料に対する評価結果

(1) 起因事象の選定結果

a. 地震側の起因事象

「4.1.5 炉心にある燃料に対する評価結果」から、考慮すべき起因事象として、以下を対象とした。

- ・主給水喪失
- ・外部電源喪失

- ・補機冷却水の喪失
- b. 津波側の起回事象
 - 「4.2.5 炉心にある燃料に対する評価結果」から、考慮すべき起回事象として、以下を対象とした。
 - ・過渡事象 (T. P. +7.5m~+10.2m)
 - ・過渡事象 + C C W喪失 + 主給水喪失 + 外部電源喪失 (T. P. +10.2m~)

(2) 収束シナリオおよびクリフエッジの特定結果

a. 地震による起回事象をベースとした評価

地震側の起回事象については、「4.1.5(5) 起回事象発生に係る耐震裕度の特定結果」で述べたように、「主給水喪失」と「外部電源喪失」は、「外部電源喪失」にまとめて評価することができる。そのため、本評価においては、「外部電源喪失」のイベントツリーを用いて、既に特定されている収束シナリオを対象に評価を行った。

具体的には、添付資料-4.1.11で示した「外部電源喪失」および「補機冷却水の喪失」のイベントツリーにおける各収束シナリオの各影響緩和機能の評価結果に、各影響緩和機能の許容津波高さの評価結果を加えて評価を行った。

(添付資料-4.3.1)

b. 津波による起回事象をベースとした評価

津波側の起回事象の「過渡事象 (T. P. +7.5m~+10.2m)」については、耐震Cクラス機器である循環水ポンプの機能喪失により発生するものであり、地震との重畳を考えた場合、地震側の評価において同じく耐震Cクラス機器の機能喪失により発生する「外部電源喪失」の評価に包絡される。

以上から、本評価においては、「過渡事象 + C C W喪失 + 主給水喪失 + 外部電源喪失 (T. P. +10.2m~)」のイベントツリーを用いて、既に特定されている収束シナリオを対象に評価を行った。

具体的には、添付資料-4.2.9で示した「過渡事象 + C C W喪失 + 主給水喪失 + 外部電源喪失 (T. P. +10.2m~)」のイベントツリーにおける各収束シナリオの各影響緩和機能の評価結果に、各影響緩和機能の耐震裕度の評価結果を加えて評価を行った。

(添付資料-4.3.2)

この評価結果から、耐震裕度 1.80Ss かつ津波高さ T. P. +13.8m までの地震と津波との重畳に対しては、外部電源喪失等が発生したとしても、炉心

にある燃料の重大な損傷を回避することができることを確認した。このことから、図4. 3. 1に示すように、上述の組み合わせをクリフエッジとして特定した。

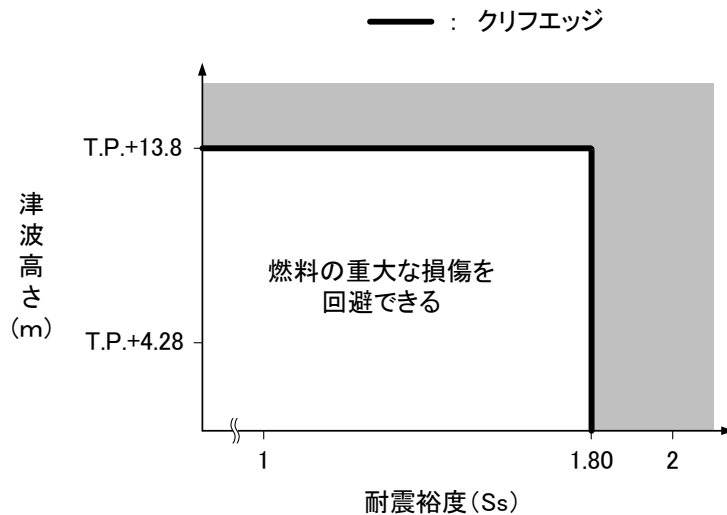


図4. 3. 1 地震と津波との重畳に関するクリフエッジ評価結果
(炉心)

(3) 事象の過程の進展を防止する措置の効果の評価結果

a. 緊急安全対策実施前におけるクリフエッジについて

(2)項と同様にして、緊急安全対策を考慮しないイベントツリーについて評価を行った。

この評価結果から、緊急安全対策実施前においても、耐震裕度 1.66Ss かつ津波高さ T.P. +10.2m までの地震と津波との重畳に対しては、外部電源喪失等が発生したとしても、非常用所内電源の機能喪失による全交流電源喪失、海水系の機能喪失による最終ヒートシンク喪失には至らず、炉心にある燃料の重大な損傷を回避することができることを確認した。このことから、緊急安全対策実施前としては、上述の組み合わせをクリフエッジとして特定した。

(添付資料-4. 3. 3)

(添付資料-4. 3. 4)

b. 緊急安全対策のクリフエッジへの効果

緊急安全対策実施前後におけるイベントツリーの比較により、

- ・ 緊急安全対策において、電源車を配備しプラント監視上必要な計器類等の電源を確保するとともに、消防自動車等を配備し海水を水源とした給水手段を確保したことにより、全交流電源喪失および最終ヒートシンク喪失となった場合でも、タービン動補助給水ポンプ

により蒸気発生器に給水して冷却する収束シナリオが成立する

- ・ 緊急安全対策において、タービン動補助給水ポンプ、蓄電池等の蒸気発生器の除熱に必要な安全上重要な機器が設置されているエリアの扉や壁貫通部にシール施工等を実施したことにより、タービン動補助給水ポンプ等の許容津波高さが T.P.+10.2m から T.P.+13.8m となった
- ・ この結果、図4. 3. 2に示すように、クリフエッジとなる地震と津波との重畳の組み合わせの条件が、耐震裕度 1.66Ss/津波高さ T.P.+10.2m から、耐震裕度 1.80Ss/津波高さ T.P.+13.8m に改善した

といった緊急安全対策による効果が確認できた。

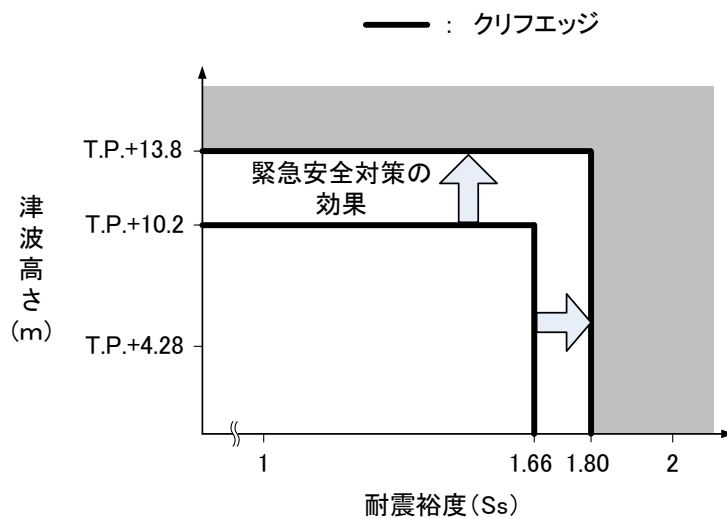


図4. 3. 2 地震と津波との重畳に関するクリフエッジ評価結果
(炉心：緊急安全対策の効果)

4.3.6 SFPにある燃料に対する評価結果

(1) 起回事象の選定結果

a. 地震側の起回事象

「4.1.6 SFPにある燃料に対する評価結果」から、考慮すべき起回事象として、以下を対象とした。

- ・ 外部電源喪失
- ・ SFP冷却機能喪失
- ・ 補機冷却水の喪失
- ・ SFP損傷

b. 津波側の起回事象

「4.2.6 SFPにある燃料に対する評価結果」から、考慮すべき起
因事象として、以下を対象とした。

- ・CCW喪失+外部電源喪失 (T.P. +10.2m～)

(2) 収束シナリオおよびクリフエッジの特定結果

a. 地震による起因事象をベースとした評価

地震側の起因事象については、「4.1.6(5) 起因事象発生に係る耐震
裕度の特定結果」で述べたように、「外部電源喪失」、「SFP冷却機能喪
失」および「補機冷却水の喪失」については、「外部電源喪失」にまとめ
て評価することができる。そのため、本評価においては、「外部電源喪失」
のイベントツリーを用いて、既に特定されている収束シナリオを対象に
評価を行った。

具体的には、添付資料－4. 1. 19で示した「外部電源喪失」のイ
ベントツリーにおける各収束シナリオの各影響緩和機能の評価結果に、
各影響緩和機能の許容津波高さの評価結果を加えて評価を行った。

(添付資料－4. 3. 5)

また、「SFP損傷」については、SFPの耐震裕度2Ssが地震による
クリフエッジであるが、津波による影響で本事象が発生することは考え
られない。

b. 津波による起因事象をベースとした評価

本評価においては、「CCW喪失+外部電源喪失 (T.P. +10.2m～)」の
イベントツリーを用いて、既に特定されている収束シナリオを対象に評
価を行った。

具体的には、添付資料－4. 2. 17で示した「CCW喪失+外部電
源喪失 (T.P. +10.2m～)」のイベントツリーにおける各収束シナリオの各
影響緩和機能の評価結果に、各影響緩和機能の耐震裕度の評価結果を加
えて評価を行った。

(添付資料－4. 3. 6)

この評価結果から、津波高さによらず、SFPの耐震裕度2Ssまでの地
震に対しては、外部電源喪失等が発生したとしても、SFPにある燃料の
重大な損傷を回避することができることを確認した。このことから、図4.
3. 3に示すように、耐震裕度2Ss(津波高さによらない)をクリフエッ
ジとして特定した。

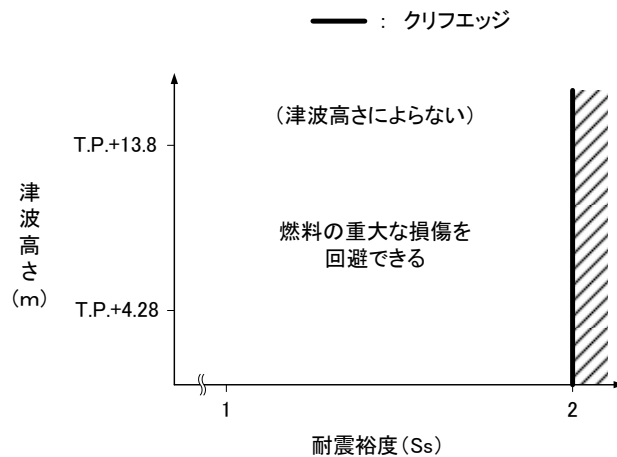


図4. 3. 3 地震と津波との重畳に関するクリフェッジ評価結果 (S F P)

(3) 事象の過程の進展を防止する措置の効果の評価結果

a. 緊急安全対策実施前におけるクリフェッジについて

(2)項と同様にして、緊急安全対策を考慮しないイベントツリーについて評価を行った。

この評価結果から、緊急安全対策実施前においても、耐震裕度 1.66Ss かつ津波高さ T.P.+10.2m までの地震と津波との重畳に対しては、外部電源喪失等が発生したとしても、非常用所内電源の機能喪失による全交流電源喪失、海水系の機能喪失による最終ヒートシンク喪失には至らず、S F Pにある燃料の重大な損傷を回避することができることを確認した。このことから、緊急安全対策実施前としては、上述の組み合わせがクリフェッジとして特定される。

(添付資料-4. 3. 7)

(添付資料-4. 3. 8)

b. 緊急安全対策のクリフェッジへの効果

緊急安全対策実施前後のイベントツリーの比較により、

- ・ 緊急安全対策において、消防自動車等を配備し海水を水源とした給水手段を確保したことにより、全交流電源喪失および最終ヒートシンク喪失となった場合でも、海水を水源としてS F Pに給水して冷却する収束シナリオが成立する
- ・ 緊急安全対策において、消防自動車等を津波の影響を受けない高台に配備し、海水を水源とした給水手段を確保したことにより、クリフェッジが大きくなった
- ・ この結果、図4. 3. 4に示すように、クリフェッジとなる地震

と津波との重畳の組み合わせの条件が、耐震裕度 1.66Ss/津波高さ T.P.+10.2m から、耐震裕度 2Ss (津波高さによらない) に改善したといった緊急安全対策による効果が確認できた。

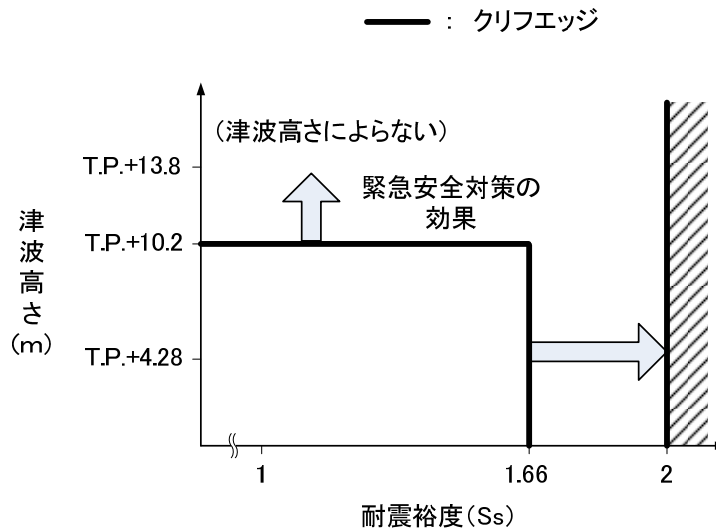


図 4. 3. 4 地震と津波との重畳に関するクリフエッジ評価結果
(SFP : 緊急安全対策の効果)

4.3.7 結論

地震と津波との重畳に対してクリフエッジを生じる起因事象は、炉心にある燃料に対しては、地震側の「外部電源喪失」・「補機冷却水の喪失」および津波側の「過渡事象+CCW喪失+主給水喪失+外部電源喪失」であり、SFPにある燃料に対しては、地震側の「SFP損傷」である。

これらの事象におけるクリフエッジとしての耐震裕度と津波高さの組み合わせは、以下の通りである。

- (1) 炉心にある燃料に対するクリフエッジ
 - ・耐震裕度 1.80Ss/津波高さ T.P.+13.8m
- (2) SFPにある燃料に対するクリフエッジ
 - ・耐震裕度 2Ss (津波高さによらない)

よって、地震と津波との重畳に対するクリフエッジは、炉心にある燃料に関するクリフエッジが、SFPにある燃料に関するクリフエッジよりも、小さいことから、プラントとしてのクリフエッジは、図 4. 3. 5 に示すように、炉心にある燃料に関するクリフエッジと同じであると特定された。

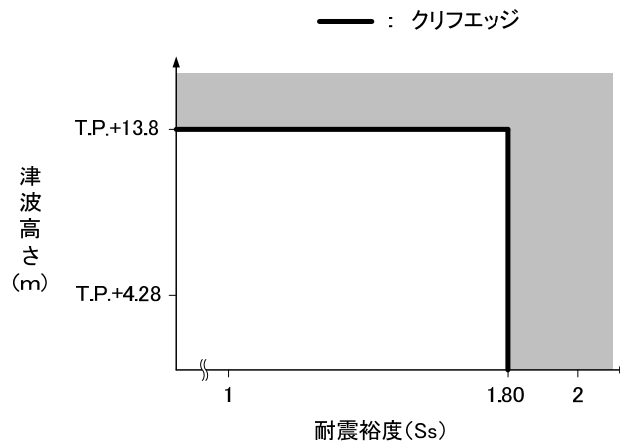


図4. 3. 5 地震と津波との重畳に関するクリフェッジ評価結果
(プラント全体)

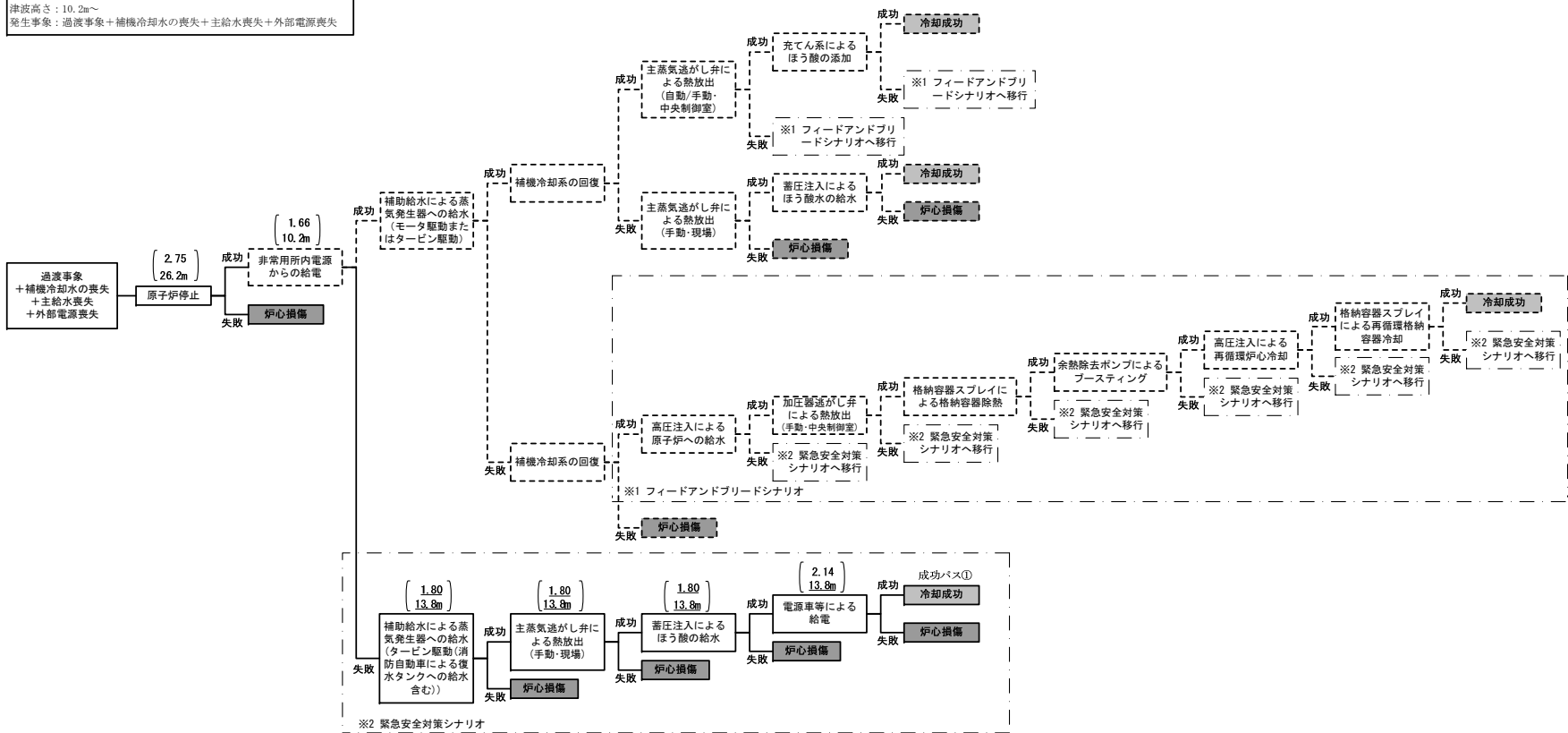
本評価において、これまで実施してきた緊急安全対策が有効に機能しクリフェッジが改善されたことについても確認することができた。

地震については、「4.1.8 結論」に示したとおり、耐震安全性の向上に係る当社独自の取り組みとして、耐震Sクラスの安全上重要な主な機器についてSsの2倍程度の耐震裕度があるかどうかを確認し必要なものは対策を実施すること、およびSFP冷却系設備について耐震Bクラスから耐震Sクラス相当に向上させる対策等を進めており、今後も必要に応じ対策の強化を図っていく。

津波については、「4.2.7 結論」に示したとおり、今回の評価結果は、緊急安全対策として実施した扉等のシール施工等による建屋への浸水防止効果を考慮したものであることから、今後もその効果を維持していくため保守点検を確実に実施するとともに、順次水密扉への取替えを行っている。また、今後においても、海水ポンプエリアへの防水対策の強化等、多重防護の観点での対策を充実することとしている。

以上、今後も更なる改善策を実施していくことにより、信頼性を高めていく。

津波高さ：10.2m～
 発生事象：過渡事象＋補機冷却水の喪失＋主給水喪失＋外部電源喪失



※：破線は一度機能喪失した緩和系は回復しないという前提において、起因事象発生と同時に喪失する成功パスを示すもの

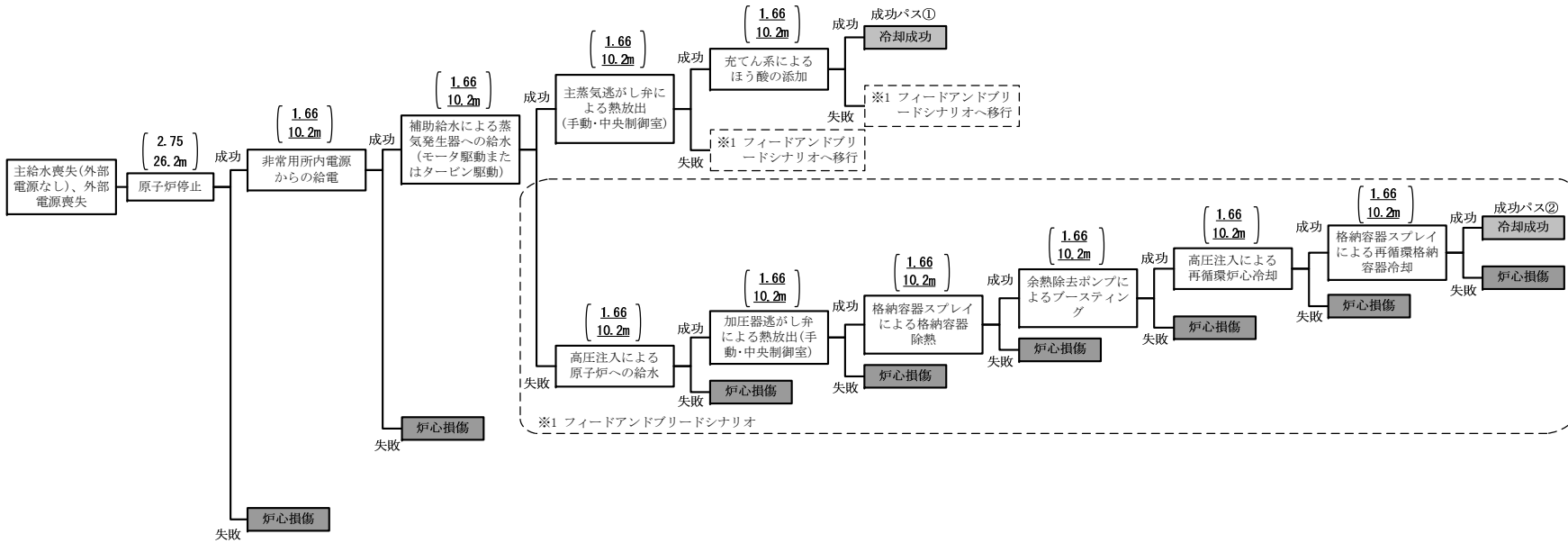
注) イベントツリーの各ヘディングの上に記載している数値は、各緩和系の耐震裕度(上段)と許容津波高さ(下段)である。このうち、下線は、各収束シナリオにおける耐震裕度または許容津波高さの最小値を示すものである。

【耐力】
 成功パス①：1.80Ss/13.8m

地震と津波との重畳への耐力の評価結果 (重畳：炉心損傷)
 <津波による起因事象をベースとした評価>
 [緊急安全対策後]

起因事象：主給水喪失（外部電源なし）

起因事象：外部電源喪失



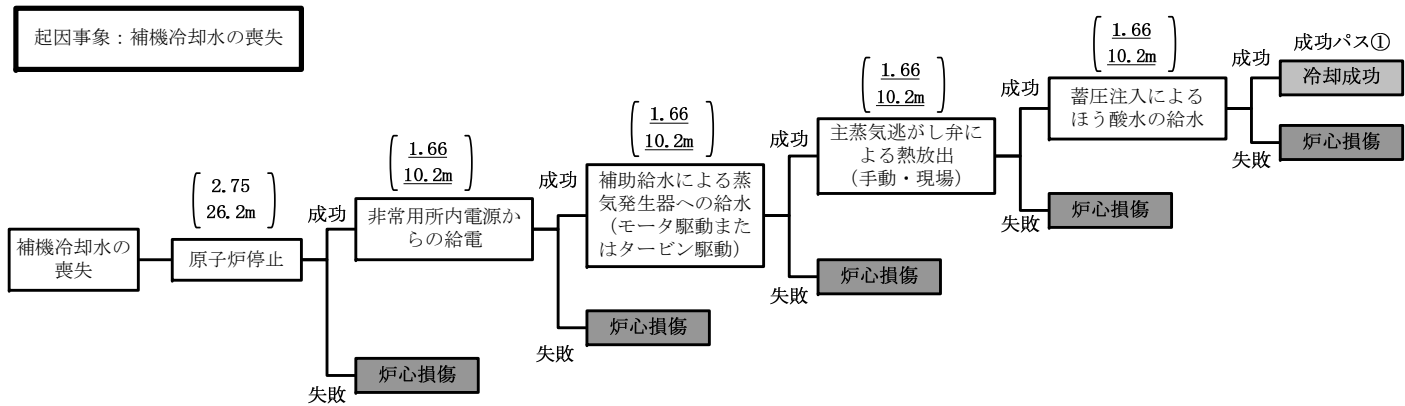
注) イベントツリーの各ヘディングの上に記載している数値は、各緩和系の耐震裕度（上段）と許容津波高さ（下段）である。このうち、下線は、各収束シナリオにおける耐震裕度または許容津波高さの最小値を示すものである。

【耐力】

成功パス① : 1.66Ss/10.2m

成功パス② : 1.66Ss/10.2m

地震と津波との重畳への耐力の評価結果（重畳：炉心損傷）
 <地震による起因事象をベースとした評価>
 [緊急安全対策前]

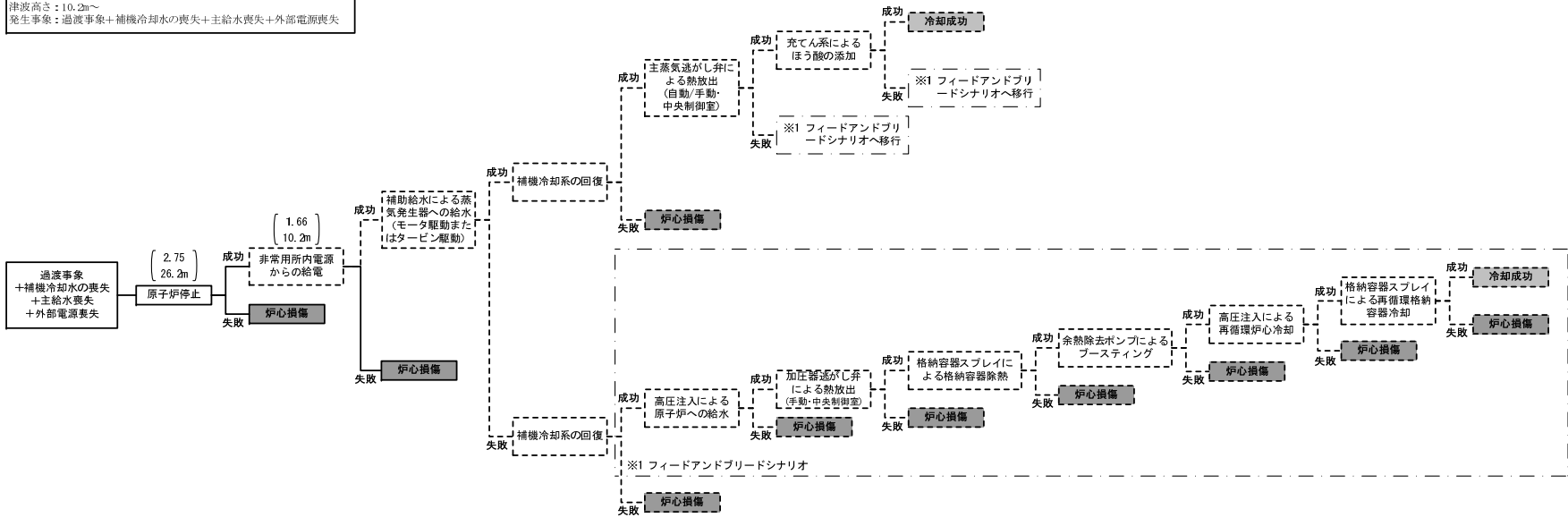


注) イベントツリーの各ヘディングの上に記載している数値は、各緩和系の耐震裕度 (上段) と許容津波高さ (下段) である。このうち、下線は、各収束シナリオにおける耐震裕度または許容津波高さの最小値を示すものである。

【耐力】
成功パス① : 1.66Ss / 10.2m

地震と津波との重畳への耐力の評価結果 (重畳：炉心損傷)
 <地震による起因事象をベースとした評価>
 [緊急安全対策前]

津波高さ：10.2m～
 発生事象：過渡事象+補機冷却水の喪失+主給水喪失+外部電源喪失



※：破線は一度機能喪失した緩和系は回復しないという前提において、起因事象発生と同時に喪失する成功パスを示すもの

注) イベントツリーの各ヘディングの上に記載している数値は、各緩和系の耐震裕度 (上段) と許容津波高さ (下段) である。このうち、下線は、各取束シナリオにおける耐震裕度または許容津波高さの最小値を示すものである。

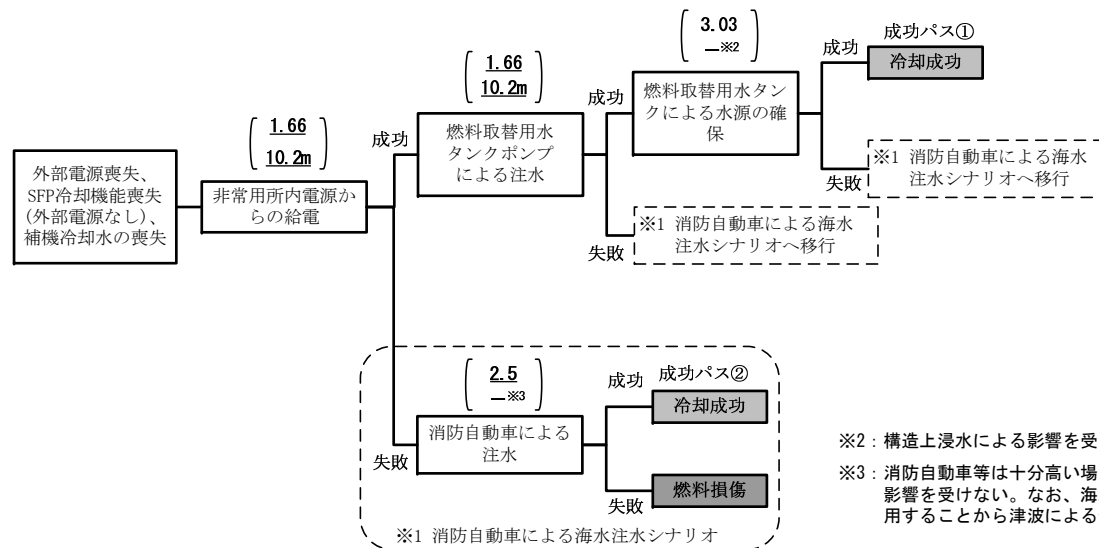
【耐力】
 (起因事象発生時に緩和系の機能が喪失することから、成功パスはない。)

地震と津波との重畳への耐力の評価結果 (重畳：炉心損傷)
 <津波による起因事象をベースとした評価>
 [緊急安全対策前]

起因事象：外部電源喪失

起因事象：SFP冷却機能喪失（外部電源なし）

起因事象：補機冷却水の喪失



※2：構造上浸水による影響を受けない。

※3：消防自動車等は十分高い場所に保管されており、津波による影響を受けない。なお、海水は津波の影響がない状況から使用することから津波による影響を受けない。

注) イベントツリーの各ヘディングの上に記載している数値は、各緩和系の耐震裕度（上段）と許容津波高さ（下段）である。このうち、下線は、各収束シナリオにおける耐震裕度または許容津波高さの最小値を示すものである。

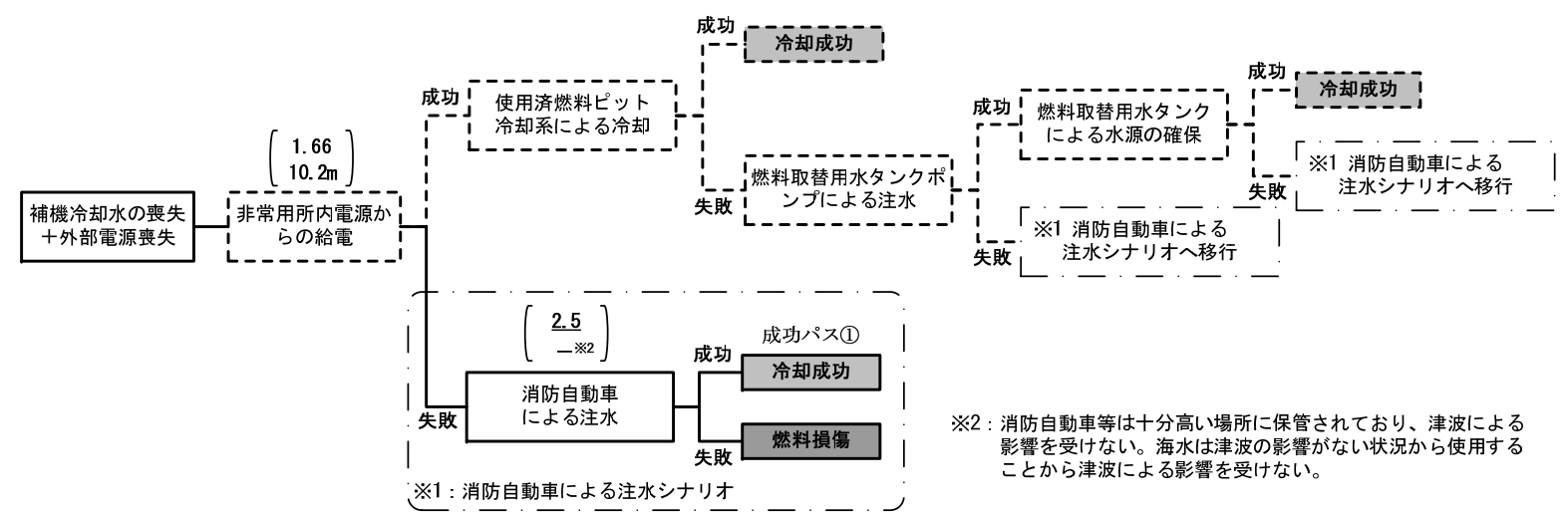
【耐力】

成功パス①：1.66Ss/10.2m

成功パス②：2.5Ss(津波の影響を受けない)

地震と津波との重畳への耐力の評価結果（重畳：SFP）
 <地震による起因事象をベースとした評価>
 [緊急安全対策後]

津波高さ：10.2m～
 発生事象：補機冷却水の喪失＋外部電源喪失



※2：消防自動車等は十分高い場所に保管されており、津波による影響を受けない。海水は津波の影響がない状況から使用することから津波による影響を受けない。

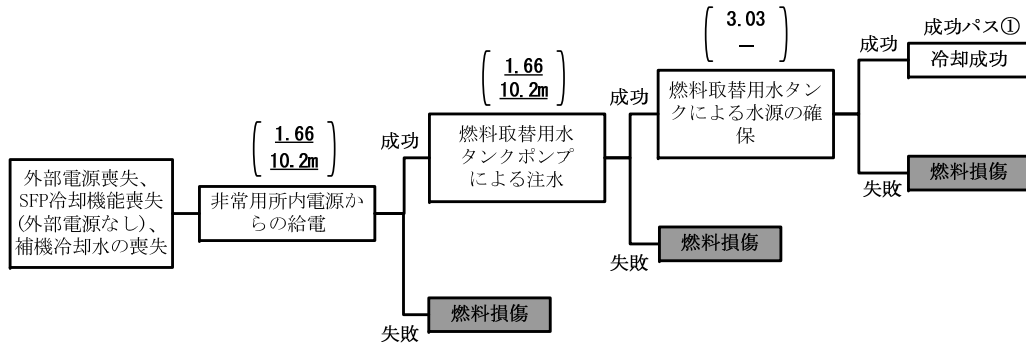
※：破線は一度機能喪失した緩和系は回復しないという前提において、起回事象発生と同時に喪失する成功パスを示すもの

注) イベントツリーの各ヘディングの上に記載している数値は、各緩和系の耐震裕度(上段)と許容津波高さ(下段)である。このうち、下線は、各収束シナリオにおける耐震裕度または許容津波高さの最小値を示すものである。

【耐力】
 成功パス①：2.5Ss
 (津波の影響を受けない)

地震と津波との重畳への耐力の評価結果 (重畳：SFP)
 <津波による起回事象をベースとした評価>
 [緊急安全対策後]

| |
|------------------------|
| 起回事象：外部電源喪失 |
| 起回事象：SFP冷却機能喪失（外部電源なし） |
| 起回事象：補機冷却水の喪失 |

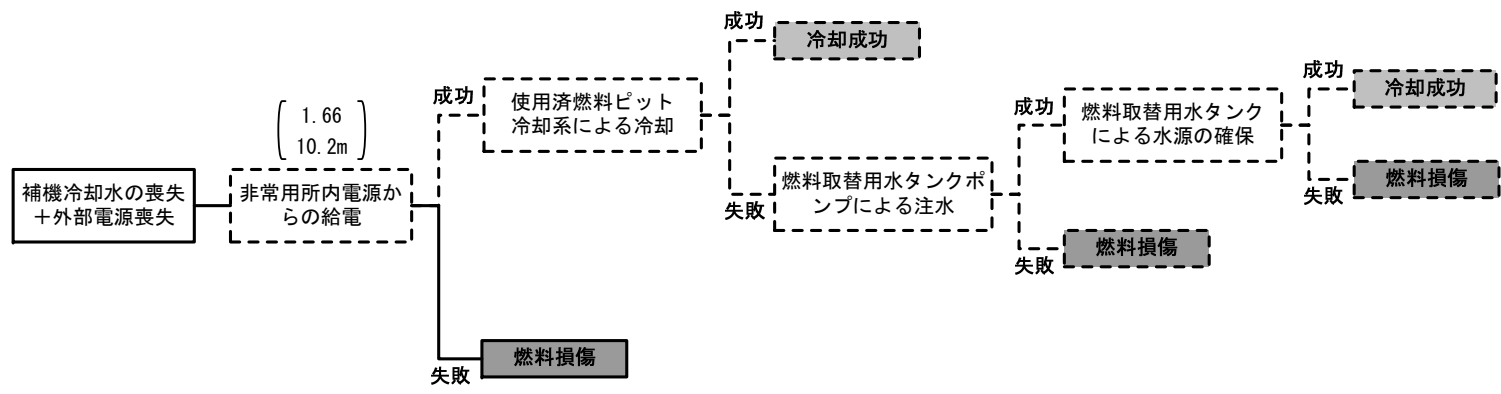


注) イベントツリーの各ヘディングの上に記載している数値は、各緩和系の耐震裕度（上段）と許容津波高さ（下段）である。このうち、下線は、各収束シナリオにおける耐震裕度または許容津波高さの最小値を示すものである。

【耐力】
成功パス① : 1.66Ss/10.2m

地震と津波との重畳への耐力の評価結果（重畳：SFP）
 <地震による起回事象をベースとした評価>
 [緊急安全対策前]

津波高さ：10.2m～
 発生事象：補機冷却水の喪失＋外部電源喪失



※：破線は一度機能喪失した緩和系は回復しないという前提において、起因事象発生と同時に喪失する成功パスを示すもの

注) イベントツリーの各ヘディングの上に記載している数値は、各緩和系の耐震裕度（上段）と許容津波高さ（下段）である。このうち、下線は、各収束シナリオにおける耐震裕度または許容津波高さの最小値を示すものである。

【耐力】
 起因事象発生時に緩和系の機能が喪失することから、成功パスはない。

地震と津波との重畳への耐力の評価結果（重畳：SFP）
 <津波による起因事象をベースとした評価>
 [緊急安全対策前]

4.4 全交流電源喪失

4.4.1 評価の概要

本事象は、原子炉の出力運転中または停止中に送電系統または所内主発電設備の故障等により、外部電源が全て喪失し、かつD/Gの起動失敗または運転継続失敗により所内の全ての交流電源が喪失することを想定する。

事象発生により、原子炉は制御棒の自重落下により自動停止するが、停止後も崩壊熱が発生するため、継続的に除熱する必要がある。通常、プラント停止における原子炉停止後の崩壊熱除去は、S/G 2次側からの除熱後に余熱除去系、原子炉補機冷却水系および原子炉補機冷却海水系等により継続的に行う。また、SFPにおける使用済燃料の崩壊熱除去については、通常、SFP水浄化冷却系、原子炉補機冷却水系および原子炉補機冷却海水系等により継続的に行う。

よって、炉心およびSFPにおける燃料の崩壊熱除去に必要な補機は交流電源を駆動源とするものがほとんどであり、これらの系統の機能停止もあわせて想定する。

全交流電源喪失によって機能停止する系統を含めた、伊方発電所第2号機の出力量時と通常停止時における主要な系統を図4.4.1に示す。

本評価は、上記で想定した事象発生時における燃料の重大な損傷に至る過程を明らかにし、その過程の進展を踏まえて、事象の継続時間を評価することでクリフエッジを特定するとともに、事象進展を防止するための措置の効果を確認する。

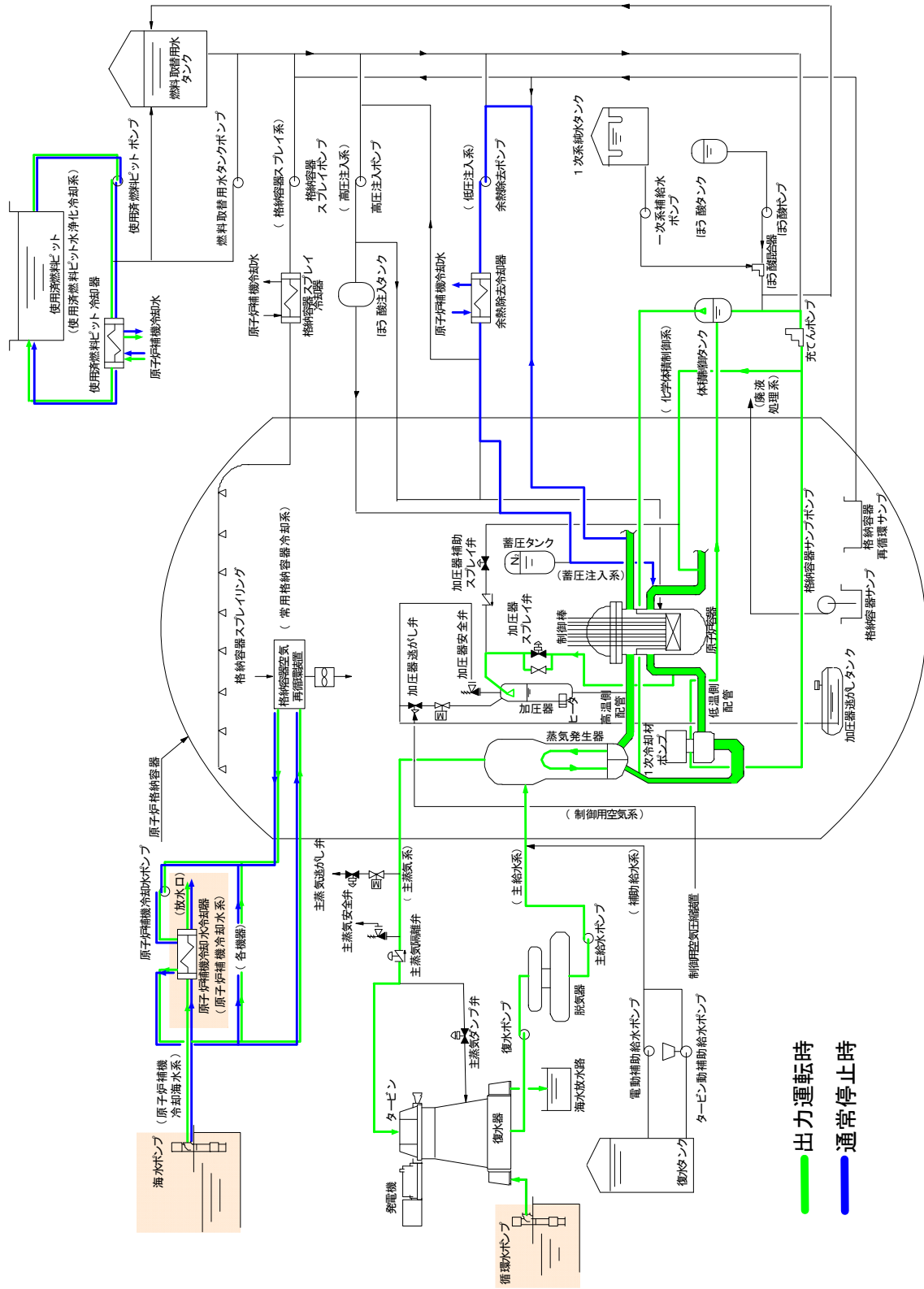


図 4.4.1 伊方発電所第2号機基本系統図

4.4.2 評価実施事項

全交流電源喪失に対して、以下の(1)～(3)の項目について評価を実施する。

- (1) 内の事象P S Aの知見を踏まえて、全交流電源喪失を起因事象として燃料の重大な損傷に至る事象の過程を明らかにする。
- (2) (1)において特定された事象の過程および外部電源喪失から全交流電源喪失への進展過程を踏まえ、全交流電源喪失の継続時間を明らかにし、クリフエッジの所在を特定する。
- (3) 特定されたクリフエッジへの対応を含め、燃料の重大な損傷に至る事象の過程の進展を防止するための措置について、多重防護の観点から、その効果を示す。

4.4.3 評価方法

炉心にある燃料とS F Pにある燃料を対象に以下の評価を実施する。

- (1) 外部電源喪失から全交流電源喪失までの事象の過程の特定
外部電源喪失から全交流電源喪失に至る事象の過程をイベントツリーで特定し、事故シナリオの分析をするとともに、それらに対するD/G等のバックアップ電源の構成を明らかにして、バックアップ電源の有効性および限界（バックアップ電源の継続時間等）を明らかにする。
- (2) 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の特定
全交流電源喪失を起因事象として、燃料の重大な損傷に至る事象の過程をイベントツリーで特定し、事故シナリオの分析をするとともに、全交流電源喪失時に、燃料の重大な損傷を防止するために使用できる防護措置（緩和システム等）を明らかにする。
- (3) 全交流電源喪失の継続時間およびクリフエッジの所在の特定
(2)において特定した事象の過程に基づき、全交流電源喪失の継続時間評価を実施する。
評価にあたっては、(2)で特定した防護措置が機能維持している間は、

燃料の重大な損傷に至る事象進展を防止できることから、防護措置の機能継続が可能な時間を評価し、クリフエッジの所在を特定する。

(4) 事象の過程の進展を防止する措置の効果の確認

(2)において特定した防護措置ごとに、燃料の重大な損傷の防止または燃料の重大な損傷までの時間余裕増加に関する効果を明らかにする。

また、防護措置の効果を多重防護の観点から確認する。具体的には防護措置が機能喪失した場合には、その機能を代替する防護措置を明らかにするとともに、機能を果たす防護措置の種類と数を確認する。

4.4.4 評価条件

(1) 全交流電源喪失時においては、交流電源を駆動源とする動的機器および間接的に除熱を要する機器は全て機能喪失するものとし、外部電源およびD/Gの機能は回復しないものとする。

(2) 基本的にはプラント外部からの支援は受けられないものと仮定するが、外部からの支援の仕組みや空輸等の輸送手段が確立している場合には、それを含めた評価を実施するものとする。

(3) 全交流電源喪失発生時の状況として、厳しい運転条件となるように、機能別に以下の想定とし、炉心およびSFPを対象として評価を実施する。

a. 電源機能については、電源車の負荷として厳しい条件となる、2号機が全出力運転状態を初期状態とする場合（以下、「運転時」という。）について評価を実施する。なお、評価に用いる全交流電源喪失時に必要な電気容量の妥当性について確認する。

（添付資料－3. 4. 6）

b. 除熱機能については、運転時と燃料が原子炉からSFPに全て取り出された状態を初期状態とする場合（以下、「停止時」という。）について評価を実施する。また、評価に用いる全交流電源喪失時に必要な水量の妥当性について確認する。

（添付資料－4. 4. 1）

(4) 複数号機間の相互作用の可能性の考慮として、電源車、消防自動車の燃料は発電所で共通に使用することから、他号機の状況を加味して厳しい状態を想定する。具体的には、電源車および消防自動車の燃料は、発電所で共用としていることから、2号機にとって評価結果が厳しくなるよう、1, 3号機においても全交流電源喪失が発生し、緊急安全対策（短期）および設備強化対策（平成24年8月17日時点）により整備した対応を実施している状態を仮定し、それぞれ最も評価結果が厳しくなるような運転状態を想定する。また、評価に用いる全交流電源喪失時における電源車および消防自動車に必要な燃料の妥当性について確認する。

なお、可搬型消防ポンプおよび可搬型消防ポンプの運転に必要な燃料（ガソリン）を配備することで、S/Gへの海水供給手段を別途整備しているが、本評価においては予備として使用しない扱いとした。また、電源車の燃料である重油について、1, 2, 3号機D/G燃料油貯油槽および3号機補助ボイラ燃料油貯蔵タンクに加えて、重油屋外貯蔵所に追加備蓄しているが、本評価においては予備として使用しない扱いとした。

（添付資料－4. 4. 2）

また、ろ過水タンクA, Bおよび脱塩水タンク1号（以下、これらのタンクを総称して「淡水タンク」という。）については、1, 2号機間では共用するが、1, 2号機と3号機間では共用しない。

(5) 評価にあたっては、平成24年8月17日時点の伊方発電所における施設と管理状態を対象として実施する。また、評価にあたって考慮する防護措置は、下記のイ)～ニ)に示す分類で区別し、それぞれの分類における防護措置の効果を明確にする。

イ) 工事計画で対象とした設備

ロ) 整備済みのアクシデントマネジメント策

ハ) 緊急安全対策（短期）

ニ) 設備強化対策（緊急安全対策に係る実施状況報告書にて計画されているもののうち設置済みの設備）

なお、設置されていないが計画が明らかになっている設備による防護措置は参考とし、設置済みの設備（上記イ)～ニ)）による防護措置とは区別する。

- (6) 特定した防護措置については、手順の整備および教育・訓練等が実施されているもののみを評価において考慮する。
- (7) 外部電源喪失から全交流電源喪失および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において、地震、津波等の外部事象による設備への影響は考慮しない。
- (8) 継続時間評価において、全交流電源喪失発生後、炉心については、緊急安全対策として整備した手順に従い、タービン動補助給水ポンプにより1次冷却材温度約170℃、圧力約0.7MPaの状態まで移行し、電源車による余熱除去系等の運転によりその状態を維持し、崩壊熱除去を行うものとして評価する。
- また、SFPについては、貯蔵されている燃料から発生する崩壊熱によって蒸散する水を給水し、SFPを通常水位-20cmに維持するものとして評価するが、停止時においては、電源車によるSFP水浄化冷却系等の運転により崩壊熱除去を行い、電源車の燃料である重油が枯渇した後は、消防自動車により蒸散する水を給水するものとして評価する。

4.4.5 評価結果

- (1) 外部電源喪失から全交流電源喪失までの事象の過程の特定

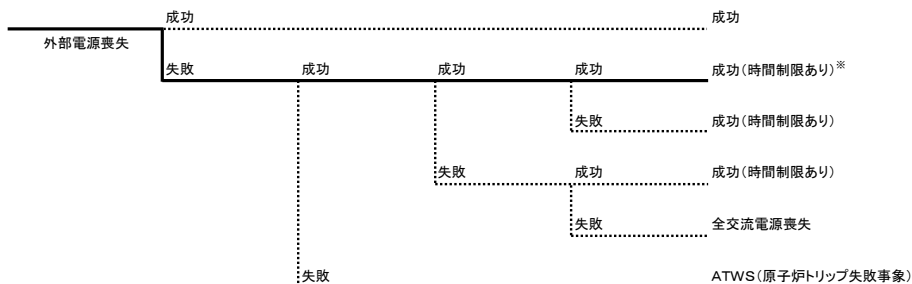
2号機に接続可能な送電線は、187kV送電線2ルート4回線と、66kV送電線1回線で構成されている。また、所内のバックアップ電源として、2台のD/Gを設置している。

(添付資料-4.4.3)

外部電源喪失に至る事象の過程としては、187kV送電線2ルート4回線と66kV送電線1回線が同時に停電することにより発生する。さらに、2台設置したD/Gの起動失敗または運転継続失敗が同時に発生することで、外部電源喪失から全交流電源喪失に至る。なお、2号機は、主蒸気ダンプ容量約40%の設計であり、外部電源喪失時に運転中の負荷を主蒸気ダンプ系等に吸収させることで、安定的な状態に移行（所内単独運転）させることも期待できる。

上記の検討により外部電源喪失から全交流電源喪失に至る事象の過程を抽出した結果をイベントツリーで図4.4.2に示す。

| 起因事象 | 所内単独運転 | 原子炉停止 | D/Gによる電源供給機能 | | 状態 |
|------|--------|-------|--------------|--------------|----|
| | | | イ) | イ) | |
| | | | D/G-Aによる電源供給 | D/G-Bによる電源供給 | |



- イ) 工事計画で対象とした設備
 - ロ) 整備済みのアクシデントマネジメント策
 - ハ) 緊急安全対策(短期)
 - ニ) 設備強化対策(緊急安全対策に係る実施報告書にて計画されているもののうち設置済みの設備)
- ※ 本イベントツリーに記載されているイベントのうち、実線のイベントについてD/Gの運転継続可能時間を評価した

図 4.4.2 外部電源喪失から全交流電源喪失に至る事象の過程

外部電源喪失時においてD/Gは、原子炉を低温停止に移行するために必要な機器へ電源供給を行うとともに、低温停止に移行した後は、その状態を維持するために必要な機器に給電する。

このため、D/Gの運転継続可能時間については、燃料タンク（68kℓ×2基）の容量と、原子炉を低温停止に移行するために必要な機器および原子炉の低温停止を維持するために必要な機器の負荷に応じた燃料消費量により算出され、約6.8日間連続運転することが可能である。

(添付資料－4.4.4)

(2) 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の特定

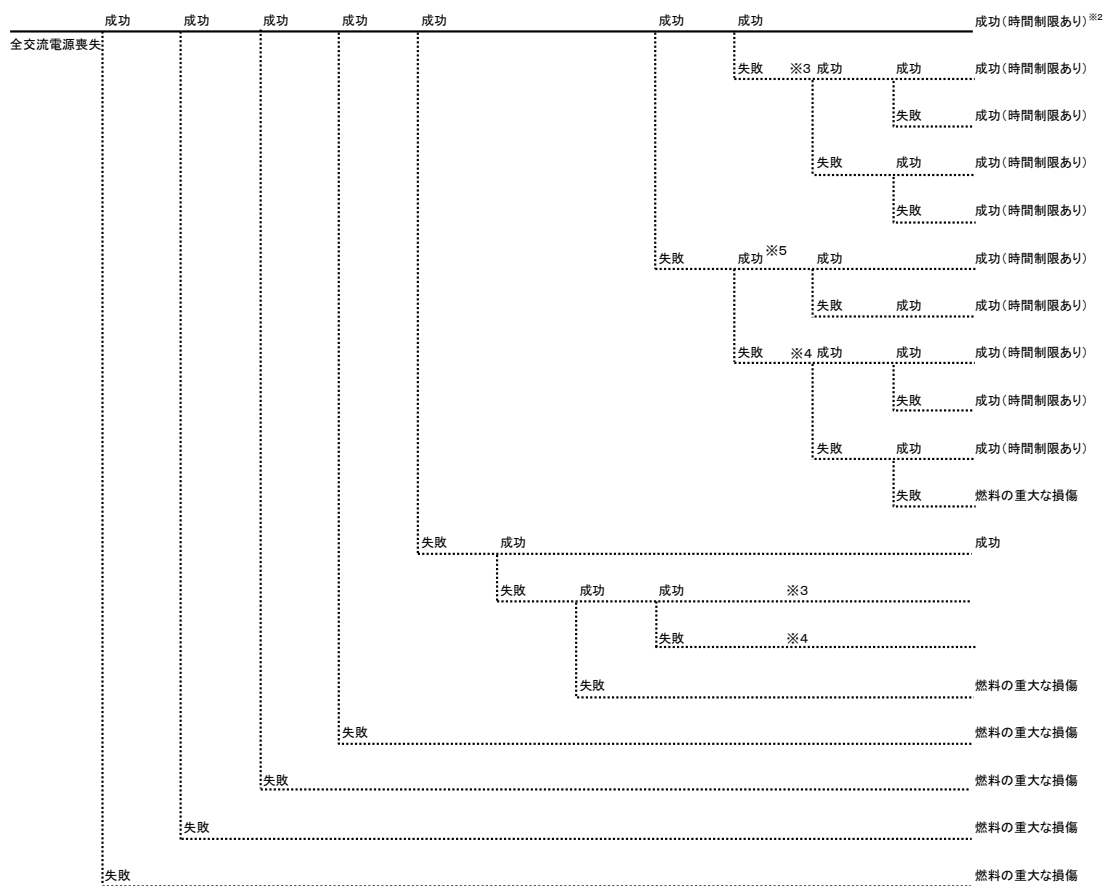
事象の過程として、炉心については全交流電源喪失が発生した場合、その発生とほぼ同時にタービン動補助給水ポンプが起動し、復水タンク2号等を水源としてS/G2次側への給水が行われ、S/Gを介して炉心の除熱が行われる。その後、余熱除去系を用いた炉心の除熱に切り替える。これら除熱機能が失われ、炉心からの崩壊熱を除去できなくなった場合、最終的には燃料の重大な損傷に至る。

また、全交流電源喪失に伴い、蓄電池から中央制御室等のプラント監視に必要な箇所に給電が開始される。その後、蓄電池枯渇までに電源車から

の電源供給を行う。これら電源機能が失われることで、S/G水位等のプラント監視機能が喪失し、S/Gの水位制御ができなくなり、最終的には燃料の重大な損傷に至る。

この過程を炉心の除熱機能および電源機能を達成するシステムによるイベントツリーで図4.4.3に示す。

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|--------------|------------------------------|-----------------------|----------------|----------------------|-------------------|--------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------|----|
| 起回事象 | イ) | イ) | イ) | イ) | ニ) | ニ) | ハ) | ロ) | ニ) | ハ) | ハ) | 状態 |
| | 蓄電池による電源供給 | タービン動補給水ポンプの起動、主蒸気逃がし弁による熱放出 | 復水タンクを水源とするS/G給水による除熱 | 蓄圧注入によるほう酸水の給水 | 電源車(1,825kVA)からの電源供給 | 多様化電源(配電線)からの電源供給 | 電源車(300kVA)による電源供給 | 2次系純水タンクを水源とするS/G給水による除熱 | 代替電源からの電源供給による余熱除去設備による冷却 | 淡水タンクを水源とするS/G給水による除熱 | 海水を水源とするS/G給水による除熱 | |
| 電源機能 ^{※1} | ◎ [蓄電池容量] | - | - | - | ◎ [重油] | ○ | ○ [軽油] | - | - | - | - | |
| 除熱機能 ^{※1} | - | ◎ | ◎ [水源] | - | - | - | - | ◎ [水源] | ◎ [1,825kVA電源車] | ○ [水源、軽油] | ○ [水源、軽油] | |



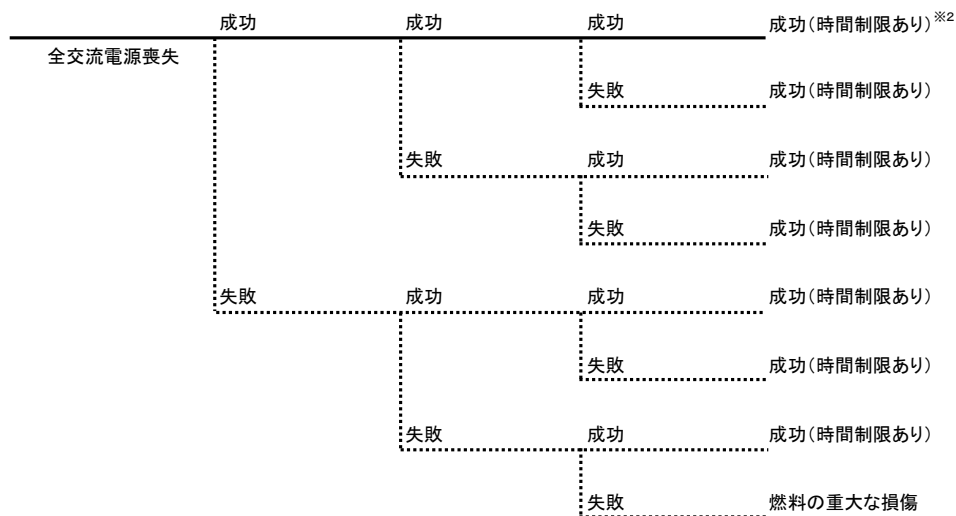
- イ) 工事計画で対象とした設備
- ロ) 整備済みのアクシデントマネジメント策
- ハ) 緊急安全対策(短期)
- ニ) 設備強化対策(緊急安全対策に係る実施報告書にて計画されているもののうち設置済みの設備)
- ※1 電源機能、除熱機能の各防護措置のうち◎の防護措置を用いた継続時間評価を実施した
- ※2 本イベントツリーに記載されているイベントのうち、実線のイベントについて電源機能および除熱機能の継続時間を評価した
- ※3, 4 同様の分岐を考慮しているが、以降の記載を省略している
- ※5 余熱除去系による冷却へ切り替えるまでは淡水タンクまたは海水により除熱機能を維持する

図 4.4.3 全交流電源喪失から燃料の重大な損傷に至る事象の過程 (炉心)

事象の過程として、SFPについては、全交流電源喪失に伴い除熱機能が喪失するため、運転時においてはSFPへの給水を行うことで、停止時においては、SFP水浄化冷却系を用いた冷却およびSFPへの給水を行うことで燃料を継続して除熱する。これら除熱機能が失われ、燃料の崩壊熱を除去できなくなった場合、最終的には燃料の重大な損傷に至る。

この過程をSFPの除熱機能を達成するシステムによるイベントツリーで図4.4.4および図4.4.5に示す。

| | | | | |
|--------------------|--------------------------|---|--------------------|----|
| 起因事象 | イ) | ロ) | ハ) | 状態 |
| | 2次系純水タンクを水源とするSFP給水による除熱 | 淡水タンクを水源とするSFP給水による除熱 | 海水を水源とするSFP給水による除熱 | |
| 除熱機能 ^{※1} | ◎ [水源、1.825kVA電源車] | ◎ [水源、軽油、1.825kVA電源車 ^{※3}] | ◎ [水源、軽油] | |

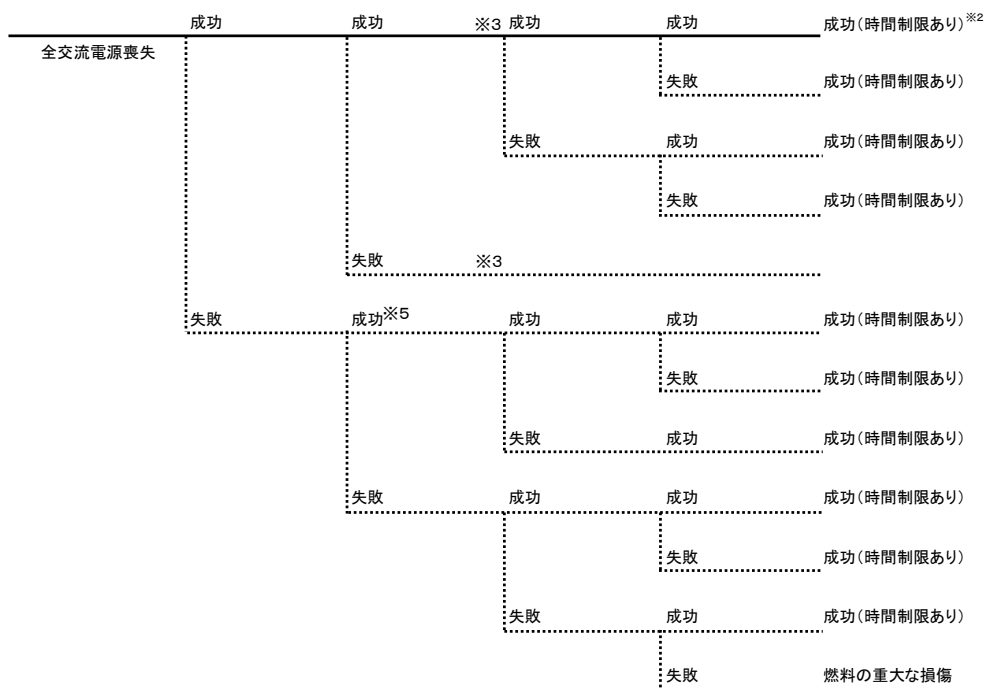


- イ) 工事計画で対象とした設備
- ロ) 整備済みのアクシデントマネジメント策
- ハ) 緊急安全対策(短期)
- ニ) 設備強化対策(緊急安全対策に係る実施報告書にて計画されているもののうち設置済みの設備)

※1 除熱機能の各防護措置のうち◎の防護措置を用いた継続時間評価を実施した。
 ※2 本イベントツリーに記載されているイベントのうち、実線のイベントについて 除熱機能の継続時間を評価した。
 ※3 2次系純水タンクを経由した淡水補給時には電源が必要であるが、消防自動車による直接注水時には不要。

図 4.4.4 全交流電源喪失から燃料の重大な損傷に至る事象の過程
(SFP：運転時)

| | | | | | |
|--------------------|--------------------------|------------------------------|---|--------------------|----|
| 起因事象 | イ) | ロ) | ハ) | ニ) | 状態 |
| | 2次系純水タンクを水源とするSFP給水による除熱 | 代替電源からの電源供給によるSFP水浄化冷却系による冷却 | 淡水タンクを水源とするSFP給水による除熱 | 海水を水源とするSFP給水による除熱 | |
| 除熱機能 ^{※1} | ◎ [水源、1.825kVA電源車] | ◎ [1.825kVA電源車] | ◎ [水源、軽油、1.825kVA電源車 ^{※4}] | ◎ [水源、軽油] | |



- イ) 工事計画で対象とした設備
 - ロ) 整備済みのアクセシブルマネジメント策
 - ハ) 緊急安全対策(短期)
 - ニ) 設備強化対策(緊急安全対策に係る実施報告書にて計画されているものうち設置済みの設備)
- ※1 除熱機能の各防護措置のうち◎の防護措置を用いた継続時間評価を実施した。
 ※2 本イベントツリーに記載されているイベントのうち、実線のイベントについて 除熱機能の継続時間を評価した。
 ※3 同様の分岐を考慮しているが、以降の記載を省略している。
 ※4 2次系純水タンクを経由した淡水補給時には電源が必要であるが、消防自動車による直接注水時には不要。
 ※5 SFP水浄化冷却系による冷却へ切り替えるまでは淡水タンクまたは海水により除熱機能を維持する

図 4.4.5 全交流電源喪失から燃料の重大な損傷に至る事象の過程
(SFP: 停止時)

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から、炉心およびSFPにある燃料の重大な損傷を防止するための機能とシステムが把握できた。

これらに係る設備は以下のとおりであり、保全プログラムまたは社内マニュアルに従って設備の保全を実施することで健全性の維持および確認を実施している。

○炉心における除熱機能

タービン動補助給水ポンプ、復水タンク 2 号、2 次系純水タンク 2 号、淡水タンク (ろ過水タンク A, B、脱塩水タンク 1 号)、消防自動車、海水ポンプ、原子炉補機冷却水ポンプ、原子炉補機冷却水冷却器、余熱除去ポンプ、余熱除去冷却器

○SFPにおける除熱機能

2 次系純水タンク 2 号、純水サービスポンプ、淡水タンク (ろ過水タンク A, B、脱塩水タンク 1 号)、消防自動車、海水ポンプ、原子炉補機冷却水ポンプ、原子炉補機冷却水冷却器、使用済燃料ピットポンプ、使用済燃料ピット冷却器

○電源機能

蓄電池、電源車、D/G 燃料油貯油槽、3 号機補助ボイラ燃料油貯蔵タンク

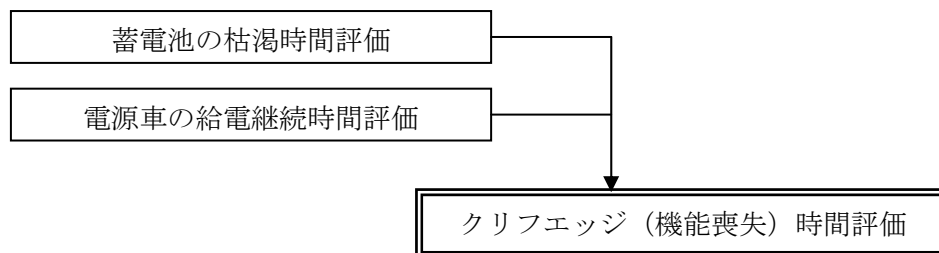
なお、水源として使用するタンクについては、緊急安全対策策定時に他号機も含めた割り当てを設定しており、評価に用いる保有水量は、復水タンク 2 号については保安規定記載値、その他のタンクについては運用水位とした。

(添付資料－ 4. 4. 5)

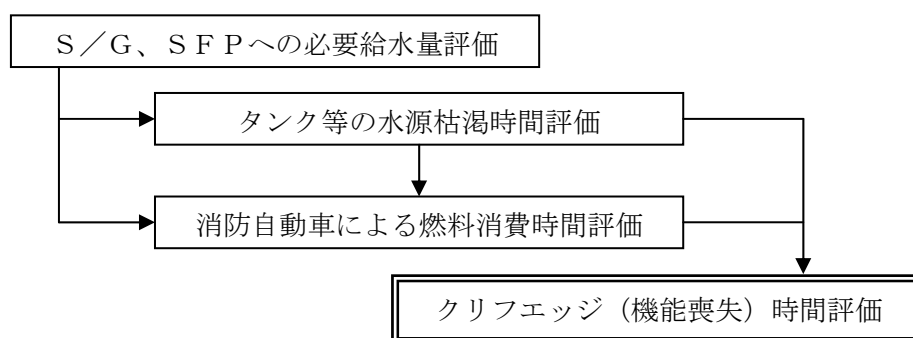
(3) 全交流電源喪失の継続時間およびクリフェッジの所在の特定

(2) の結果より、全交流電源喪失が発生した場合に、炉心および SFP における燃料の重大な損傷を防止するためには、電源機能および除熱機能が継続する必要があり、両機能の継続可能時間の評価について、以下の a. および b. に示すとおり実施し、クリフェッジ所在の特定を行った。また、継続時間評価のフロー図は以下のとおりである。

< 電源機能の継続時間評価 >



<除熱機能の継続時間評価>



a. 運転時の継続時間に係る評価およびクリフェッジの特定

(a) 電源機能継続に係る評価

電源機能の一つである電源車に用いる燃料（重油）は発電所で共用としていることから、4.4.4(3)および(4)に記載したとおり、他号機について、燃料消費上最も厳しい評価となるように、1, 2, 3号機とも運転時に全交流電源喪失が発生したと想定して評価を実施した。

全交流電源喪失が発生した場合、(2)に記載したとおり、蓄電池から中央制御室等のプラント監視上必要な箇所に給電が開始され、約5時間は電源供給が可能である。

(添付資料－4.4.6)

蓄電池枯渇後の電源として、配備した電源車により、電源を供給することが可能である。

(添付資料－3.4.2)

また、電源車による電源供給は、訓練により蓄電池が枯渇するまでに実施可能であることが確認されており、その後、電源車から継続的に電源を供給するためには、電源車の運転に必要な燃料（重油）を補給する必要がある。

(添付資料－3.4.11)

発電所に備蓄してある燃料のうち、電源車使用にあたって期待している重油（632kℓ）を全て消費するまでの時間を評価すると、重油は約17.4日後に枯渇することから、2号機における運転中の電源機能の継続時間は図4.4.6に示すとおり約17.4日間となる。

| 電源機能に係る防護措置 | | 全交流電源喪失発生からの時間[日] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|--|-------------------|-----------|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------------|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|
| 機能 | 分類 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | | |
| 電源機能 | ①蓄電池 | イ) | 約5時間後 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ②電源車〔重油〕 ・非常用ディーゼル発電機燃料油貯油槽(1,2,3号機):530kl利用 ・3号機補助ボイラ燃料油貯蔵タンク:102kl利用 | ニ) | 約17.4日後 → | | | | | | | | | | | | | | | | | ★重油枯渇 | | | | | | | | | | | | | |
| | | 発電所備蓄燃料より電源車に燃料供給 | | | | | | | | | | | | | | | | | 外部から燃料調達により運転継続 | | | | | | | | | | | | | | |

- イ) 工事計画で対象とした設備
- ロ) 整備済みのアクシデントマネジメント策
- ハ) 緊急安全対策(短期)
- ニ) 設備強化対策(緊急安全対策に係る実施状況報告書にて計画されているものうち設置済みの設備)

図 4.4.6 運転時の電源機能継続時間に係る評価結果

(b) 除熱機能継続に係る評価

i. 炉心にある燃料に対する評価結果

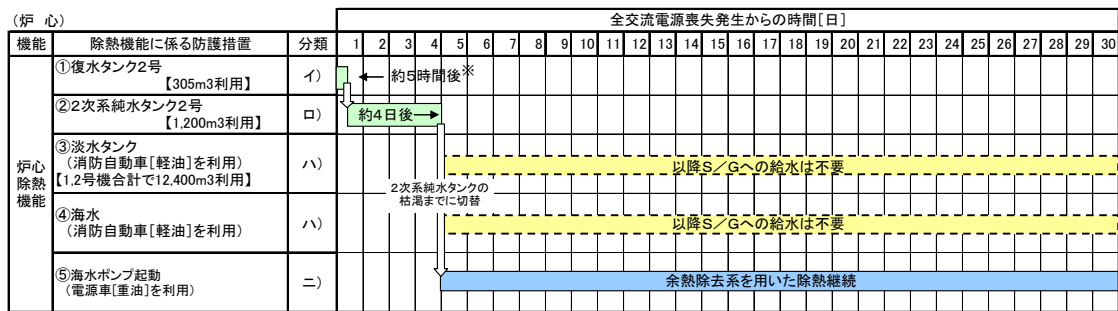
運転時に全交流電源喪失が発生した場合、S/Gからの蒸気を駆動源とするタービン動補助給水ポンプが自動起動し、S/G 2次側への給水を行い、炉心の除熱を行う。

水源としては、復水タンク 2号、2次系純水タンク 2号、淡水タンクの順に切り替え、最終的には消防自動車を用いて海水を取水し、復水タンク 2号または2次系純水タンク 2号に給水することで、S/G 2次側への給水を確保することが可能である。なお、S/Gへの給水源は復水タンク 2号を除いてSFPへの給水評価に用いる水源と同様であり、両者に同時に給水するとして評価した。

(添付資料-3.4.3)

また、海水系統は健全であることから、電源車により海水ポンプ等を起動することで、炉心の除熱を余熱除去系による除熱に切り替えることが可能である。

2次系純水タンク 2号の枯渇までに炉心の除熱を余熱除去系による除熱に切り替えると想定して、各水源へ切り替えた場合の枯渇時間については、図 4.4.7 に示すとおり、復水タンク 2号では約 5時間、2次系純水タンク 2号へ切り替えることで約 4日間継続して給水が可能であり、以降除熱のためのS/Gへの給水は不要となる。



- イ) 工事計画で対象とした設備
- ロ) 整備済みのアクシデントマネジメント策
- ハ) 緊急安全対策(短期)
- ニ) 設備強化対策(緊急安全対策に係る実施状況報告書にて計画されているものうち設置済みの設備)

図 4. 4. 7 運転時の炉心除熱機能継続時間に係る評価結果

ii. S F Pにある燃料に対する評価結果

運転時に全交流電源喪失が発生した場合、S F Pの除熱機能が喪失し、使用済燃料の崩壊熱により、S F Pの水温が上昇することで水が蒸散していくため、他の水源から消防自動車を用いて、S F Pへ給水を行う必要がある。

水源としては、2次系純水タンク2号、淡水タンクの順に切り替え、最終的には消防自動車を用いて海水を取水し、S F Pへの給水を確保することが可能である。なお、S F Pへの給水源はS/Gへの給水評価に用いた水源と同様であり、両者に同時に給水するとして評価した。

(添付資料-3.4.4)

各水源へ切り替えた場合の枯渇時間については、図 4. 4. 8 に示すとおり、2次系純水タンク2号では約4日後、淡水タンクへ切り替えることで約28日後となり、最終的に海水に切り替えた場合、水源は無量大となる。

しかし、消防自動車を用いて淡水もしくは海水を給水するには、消防自動車の運転に必要な燃料(軽油)を補給する必要がある。発電所に備蓄してある軽油(20kl)は他号機にも使用するため、4.4.4(4)に記載したとおり、燃料消費上最も厳しい評価となるケースを検討した。その結果、2号機が運転中、1,3号機が停止中に全交流電源喪失が発生し、外部からの支援が受けられないと仮定した場合、図 4. 4. 8 に示すとおり発電所に備蓄してある軽油が約43.0日

後に枯渇することから、2号機における運転中のSFPに関する除熱機能の継続時間は約43.0日間となる。

(添付資料－4.4.7)

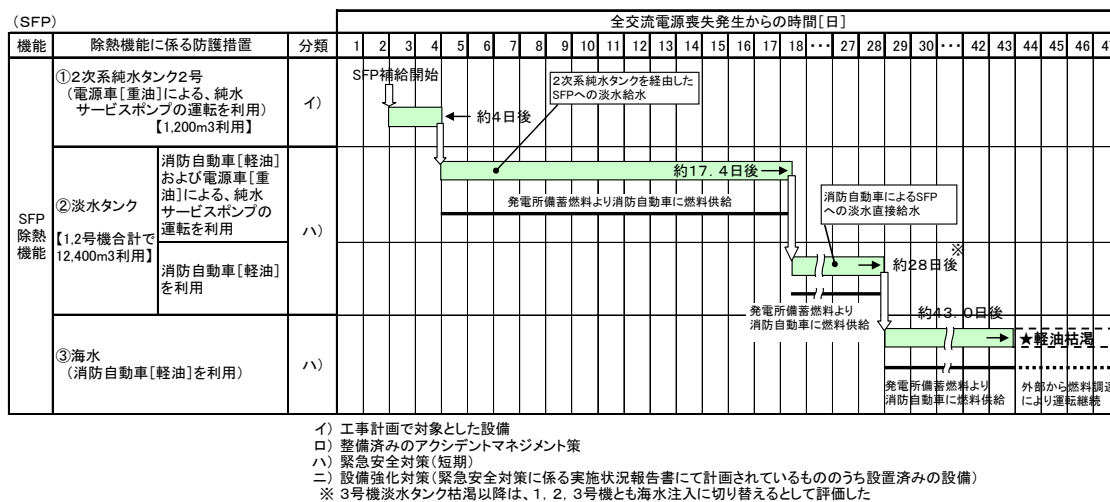
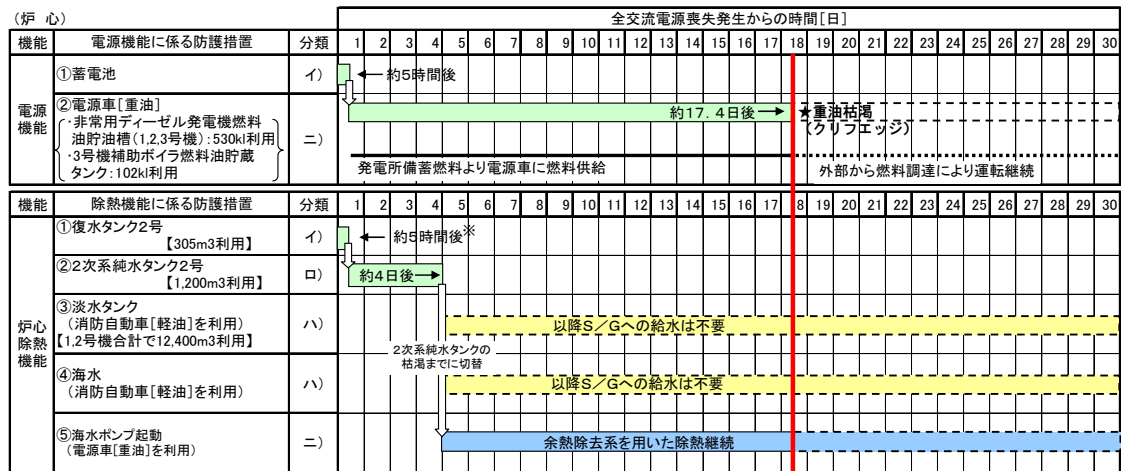


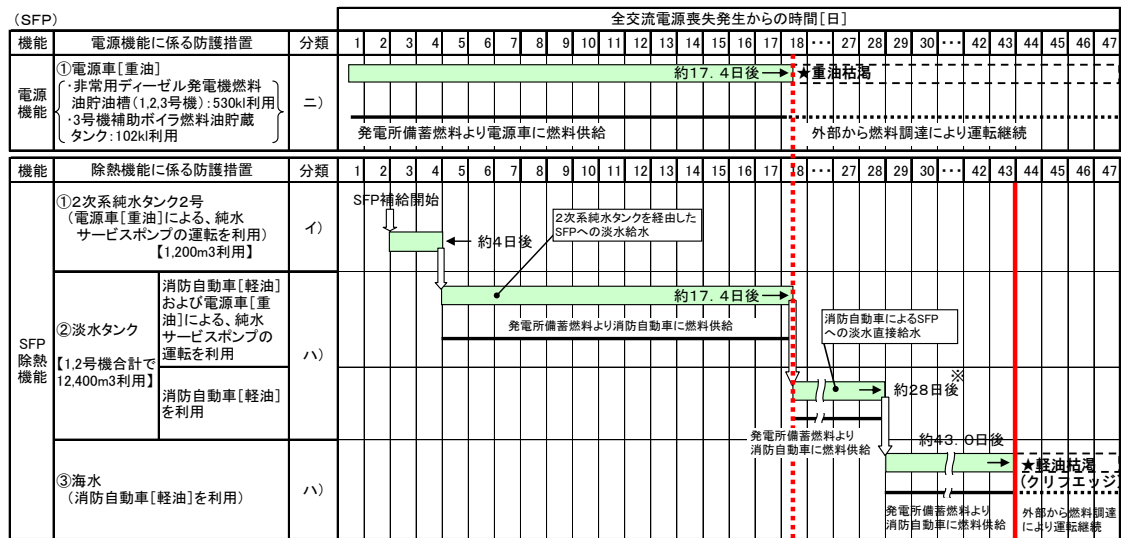
図 4.4.8 運転時のSFP除熱機能継続時間に係る評価結果

(c) クリフエッジ所在の特定

(a) 電源機能および(b)除熱機能の継続時間評価より、運転時のクリフエッジは図 4.4.9 に示すとおり、炉心では電源機能の継続に必要な電源車の燃料である重油が枯渇する全交流電源喪失発生から約 17.4 日後となり、SFPでは除熱機能の継続に必要な消防自動車の燃料である軽油が枯渇する全交流電源喪失発生から約 43.0 日後となる。



※:保安規定にて規定されている復水タンクの水量を使用



- イ) 工事計画で対象とした設備
- ロ) 整備済みのアクシデントマネジメント策
- ハ) 緊急安全対策(短期)
- ニ) 設備強化対策(緊急安全対策に係る実施状況報告書にて計画されているものうち設置済みの設備)
- ※ 3号機淡水タンク枯渇以降は、1, 2, 3号機とも海水注入に切り替えるとして評価した

図 4.4.9 運転時のクリフェッジ所在の特定結果

b. 停止時の継続時間に係る評価およびクリフェッジの特定

(a) 電源機能継続に係る評価

電源車の負荷は保守的に運転時と同様の消費があるとして評価した。よって、a. (a)と同様となり、停止中の電源機能の継続時間は約 17.4 日間となる。

(b) 除熱機能継続に係る評価

停止時には炉心の燃料はSFPに取り出されているため、SFPについてのみ評価を行った。

i. SFPにある燃料に対する評価結果

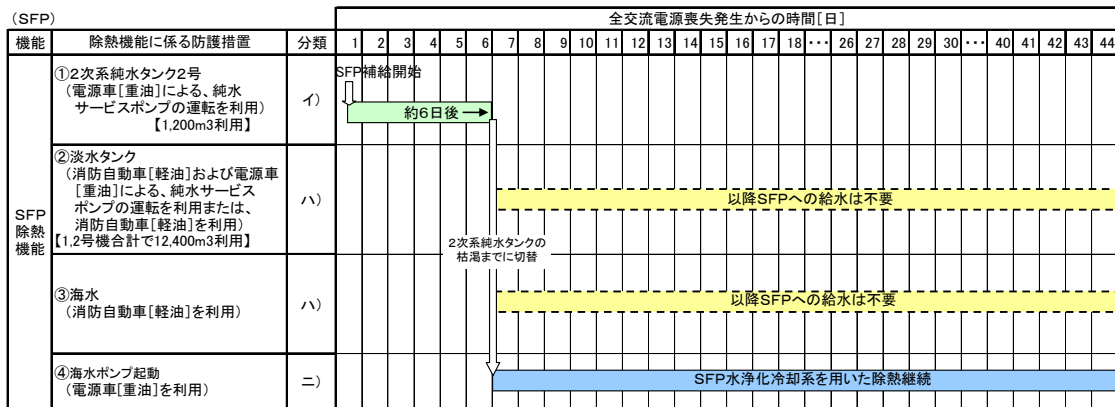
停止時に全交流電源喪失が発生した場合、SFPの除熱機能が喪失し、使用済燃料の崩壊熱により、SFPの水温が上昇することで水が蒸散していくため、他の水源から消防自動車を用いて、SFPへ給水を行う必要がある。

水源としては、2次系純水タンク2号、淡水タンクの順に切り替え、最終的には消防自動車を用いて海水を取水し、SFPへの給水を確保することが可能である。

(添付資料－3. 4. 4)

なお、海水系統は健全であることから、電源車により海水ポンプ等を起動することで、使用済燃料の除熱をSFP水浄化冷却系による除熱に切り替えることが可能である。

2次系純水タンク2号の枯渇までに使用済燃料の除熱をSFP水浄化冷却系による除熱に切り替えた場合、2次系純水タンク2号の枯渇時間は図4.4.10に示すとおり、約6日後となり、以後除熱のための直接給水は不要となる。



- イ) 工事計画で対象とした設備
- ロ) 整備済みのアクシデントマネジメント策
- ハ) 緊急安全対策(短期)
- ニ) 設備強化対策(緊急安全対策に係る実施状況報告書にて計画されているものうち設置済みの設備)

図4.4.10 停止時のSFP除熱機能継続時間に係る評価結果

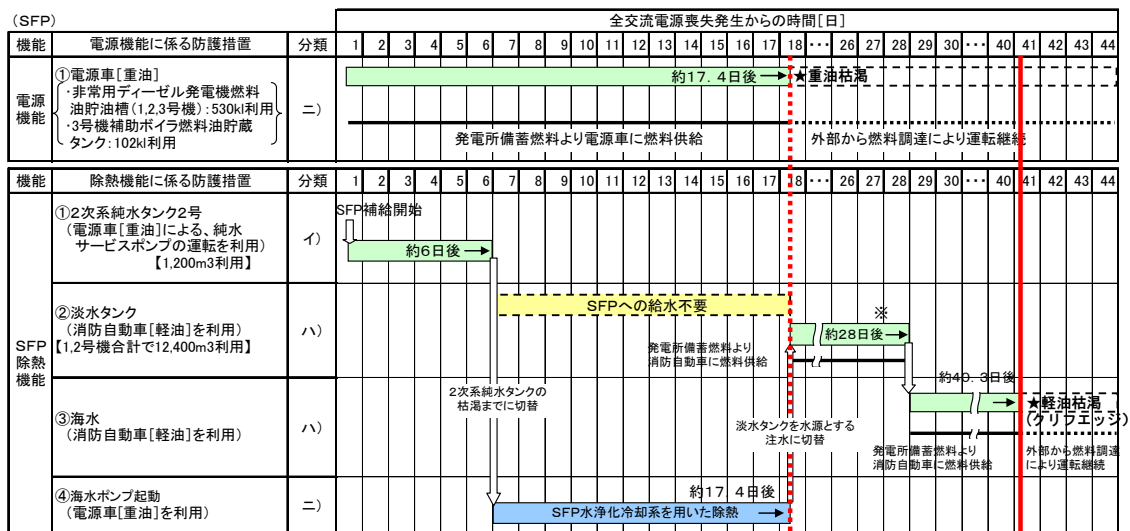
(c) クリフエッジ所在の特定

(a) 電源機能および(b)除熱機能の継続時間評価より、全交流電源喪失発生後約 17.4 日後に電源車の燃料である重油が枯渇することで、SFP 水浄化冷却系を用いた除熱機能が喪失するが、消防自動車により淡水もしくは海水を給水することで除熱機能を維持することが可能である。

しかし、消防自動車を用いて淡水もしくは海水を給水するには、消防自動車の運転に必要な燃料（軽油）を補給する必要がある。発電所に備蓄してある軽油（20kℓ）は他号機にも使用するため、4.4.4(4)に記載したとおり、燃料消費上最も厳しい評価となるケースを検討した。その結果、1, 2, 3号機とも停止中に全交流電源喪失が発生し、外部からの支援が受けられないと仮定した場合、図 4.4.11 に示すとおり、発電所に備蓄してある軽油が約 40.3 日後に枯渇することから、2号機における停止中のSFPに関する除熱機能の継続時間は約 40.3 日間となる。

(添付資料－ 4. 4. 7)

よって、停止時のクリフエッジは、図 4.4.11 に示すとおり、SFP の除熱機能継続に必要な消防自動車の燃料である軽油が枯渇する全交流電源喪失発生から約 40.3 日後となる。



- イ) 工事計画で対象とした設備
- ロ) 整備済みのアクシデントマネジメント策
- ハ) 緊急安全対策(短期)
- ニ) 設備強化対策(緊急安全対策に係る実施状況報告書にて計画されているものうち設置済みの設備)
- ※ 3号機淡水タンク枯渇以降は、1, 2, 3号機とも海水注入に切り替えるとして評価した

図 4.4.11 停止時のクリフエッジ所在の特定結果

以上の結果により、運転時および停止時のクリフエッジは表 4.4.1 のとおりとなった。

表 4.4.1 クリフエッジの特定結果

| | 2号機運転時 | 2号機停止時 |
|-----|-----------|-----------|
| 炉心 | 約 17.4 日後 | —※ |
| SFP | 約 43.0 日後 | 約 40.3 日後 |

※：停止時の炉心については、燃料が全て SFP へ取り出されているため評価不要。

(4) 事象の過程の進展を防止する措置の効果の確認

運転時における炉心および SFP、停止時における SFP それぞれについて、(2)において特定した防護措置の効果をもとに、a. および b. に示すように、緊急安全対策実施前のクリフエッジおよび平成 24 年 8 月 17 日時点のクリフエッジを比較することで緊急安全対策と設備強化対策のうち実施済みの設備の効果について、図 4.4.12～図 4.4.14 のように評価した。

a. 緊急安全対策前のクリフエッジ

(a) 運転時

炉心のクリフエッジは蓄電池の枯渇であり、約 5 時間後であった。

また、SFP のクリフエッジは保有水が温度上昇し、蒸散が顕著となる水温 100℃ 付近に到達する時点であり、約 55 時間後であった。

(b) 停止時

SFP のクリフエッジは保有水が温度上昇し、蒸散が顕著となる水温 100℃ 付近に到達する時点であり、約 15 時間後であった。

b. 平成 24 年 8 月 17 日時点のクリフエッジ

(a) 運転時

(3)に示すとおり、平成 24 年 8 月 17 日時点では、緊急安全対策および設備強化対策により、炉心については電源機能として電源車が加わったことおよび除熱機能として代替電源を用いた余熱除去系による除熱が可能となったことから、クリフエッジは約 17.4 日後となった。また、SFP については、除熱機能の種類に淡水タンクおよび海からの

給水による除熱が可能となったことから、クリフエッジは約 43.0 日後となった。

(b) 停止時

(3)に示すとおり、平成 24 年 8 月 17 日時点では、緊急安全対策および設備強化対策により、除熱機能として代替電源を用いた S F P 水浄化冷却系による除熱および淡水タンク、海からの給水による除熱が可能となったことから、S F P のクリフエッジは約 40.3 日後となった。

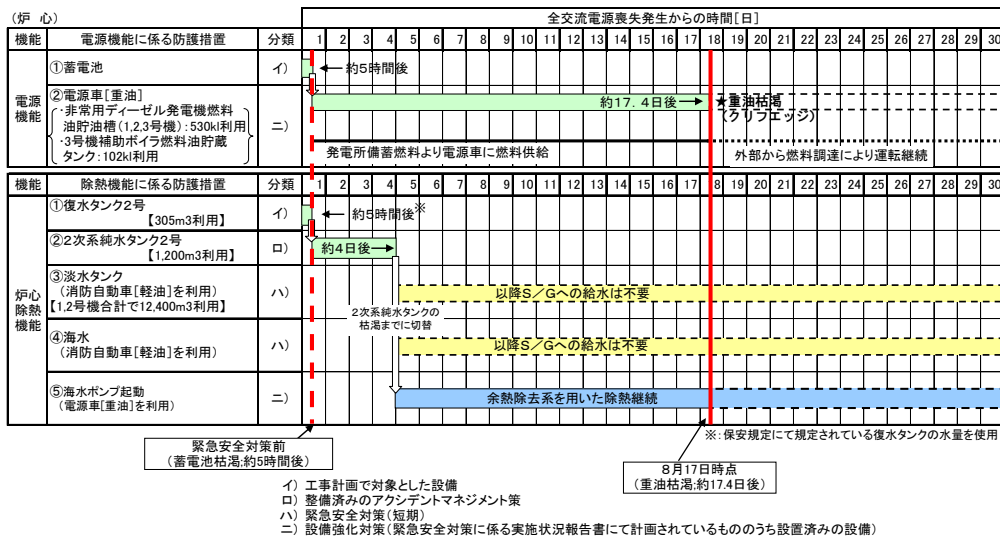


図 4.4.12 運転時の炉心に対する防護措置の効果

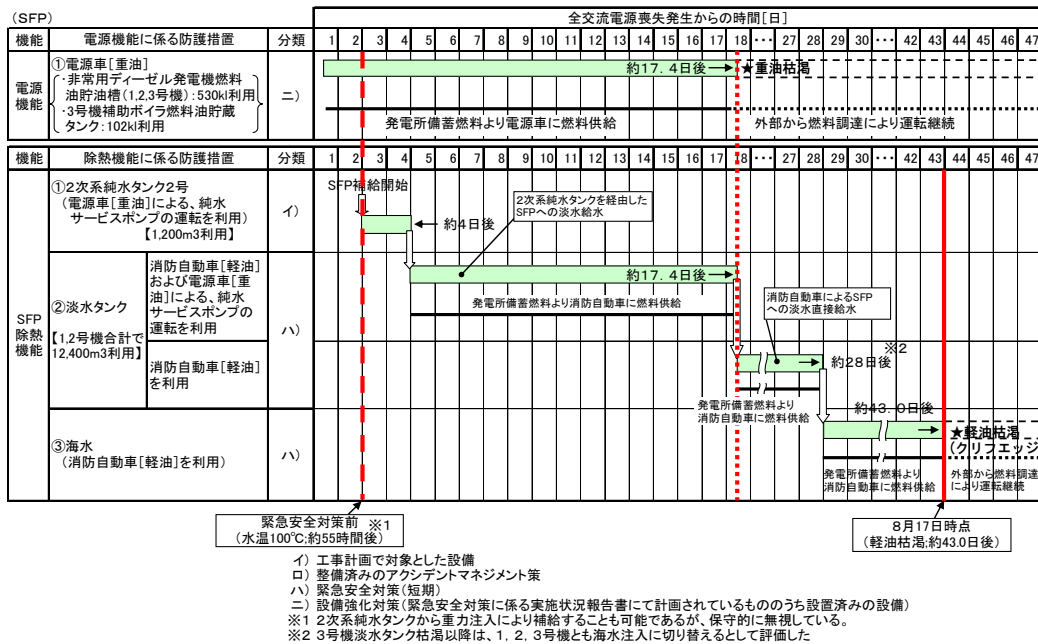


図 4.4.13 運転時の S F P に対する防護措置の効果

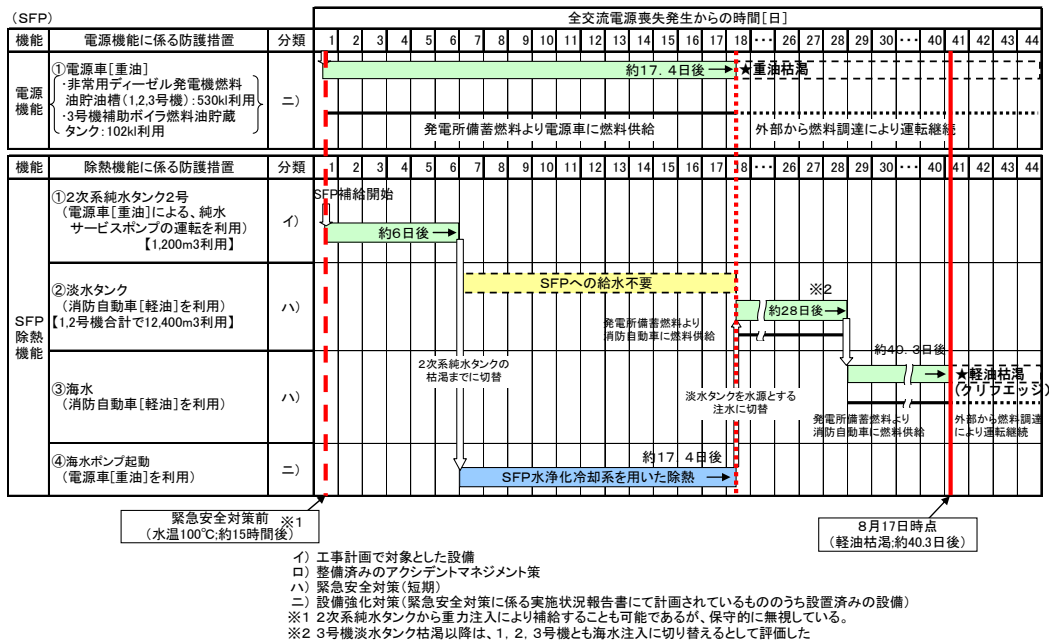


図 4.4.14 停止時の S F P に対する防護措置の効果

上記の a. および b. において評価したクリフエッジおよび防護措置の効果を表 4.4.2 のとおり整理した。

表 4.4.2 防護措置の効果

| | | 緊急安全対策前 のクリフエッジ | 平成 24 年 8 月 17 日 時点のクリフエッジ |
|-------------|-------|--------------------|-------------------------------|
| 2 号機 運転時 | 炉 心 | 約 5 時間後 | 約 17.4 日後 |
| | S F P | 約 55 時間後 | 約 43.0 日後 |
| 2 号機 停止時 | S F P | 約 15 時間後 | 約 40.3 日後 |

さらに、このクリフエッジを防止する対策として、発電所への継続的な燃料輸送手段を確立しており、発電所の備蓄分が枯渇するまでに陸路による補給を行うこととしている。また、陸路による燃料補給が困難な場合を想定して、海路または空路による補給を行うことができる契約を結んでおり、継続して燃料を調達することが可能である。*

(添付資料－ 3. 6. 6)

※ 「3号機審査質問回答」の「(No. 12) 地震、津波及び地震・津波の重畳時における冷却継続時間の評価」11頁～18頁参照

また、設備強化対策としてすでに設置済みである、伊方発電所に隣接する変電所から構内まで敷設した配電線が使用可能な状態であれば、当該配電線を使用することで、安全系機器に電源を供給することができ、継続的に燃料の損傷に至る事象の進展を防止することが可能である。

(添付資料－ 3. 4. 2)

4.4.6 結論

4.4.5 で示したとおり、緊急安全対策(短期)および設備強化対策により、燃料の重大な損傷に至る過程の進展を防止するための措置を講じた結果、全交流電源喪失が発生した場合に、発電所外部からの燃料補給がない場合でも炉心で約 17.4 日間、SFPで約 40.3 日間は必要な機能を維持することができる。

なお、クリフエッジを防止するための対策として、発電所構内に備蓄している燃料で炉心およびSFPの除熱を継続している期間内に、陸路、海路または空路による継続的な燃料補給を行うことで機能維持が可能である。

さらに、伊方発電所に隣接する変電所から構内まで敷設した配電線(設備強化対策として設置済み)を用いることによっても、燃料の重大な損傷に至る過程の進展を防止し、電源機能および除熱機能の維持が可能であることから、十分クリフエッジの発生を防止することが可能である。また、緊急安全対策(短期)において配備した300kVAの電源車1台を1, 2, 3号機共通の予備機として使用可能な運用としている。

全交流電源喪失時に必要な水量の妥当性

1. まえがき

伊方発電所における全交流電源喪失時において、蒸気発生器2次側への給水による炉心の崩壊熱除去および使用済燃料ピットへ水を補給することで貯蔵燃料の崩壊熱による水位低下を補うために必要な水量に関する評価を実施した。

2. 評価条件

全交流電源喪失時において、蒸気発生器および使用済燃料ピットの水源となるタンクの容量を表1に、各タンクの有効水量を表2に示す。

(1) タンク容量および基数

表1 各タンクの容量および基数

| タンク名称 | 2号 | (参考) | |
|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | 1号 | 3号 |
| 復水タンク容量 [m ³] | 約390 (約390×1基) | 約390 (約390×1基) | 約740 (約740×1基) |
| 2次系純水タンク容量[m ³] | 約1,500 (約1,500×1基) | 約1,500 (約1,500×1基) | 約3,000 (約3,000×1基) |
| 淡水タンク容量 [m ³] | 約14,500 (約6,000×2基, 約2,500×1基) | | 約6,000 (約3,000×2基) |

注: 伊方3号機の場合は復水タンクを補助給水タンクと読み替える。(以下同様)

(2) 各タンクにおける有効水量

表2 各タンクにおける有効水量

| 供給先 | タンク名称 | 2号 | (参考) | | 備考 |
|----------------------------------|-----------------------------|--------|-------|-------|--|
| | | | 1号 | 3号 | |
| 蒸気発生器 | 復水タンク水量[m ³] | 305 | 305 | 610 | 使用可能な水量は保安規定での要求水量とした |
| 蒸気発生器 および 使用済 燃料 ピット | 2次系純水タンク水量[m ³] | 1,200 | 1,200 | 2,600 | 使用可能な水量はタンクの自動補給開始レベルとした |
| | 淡水タンク水量[m ³] | 12,400 | | 5,200 | 使用可能な水量はタンクの自動補給開始レベルとし、1,2号機については、各タンクの合計容量を共用するものとした |

注: 2次系純水タンクおよび淡水タンクの有効水量については、それぞれ3桁目以降を切捨処理とし有効数字2桁で評価した。

(3) 蒸気発生器への必要給水流量算出に用いた崩壊熱の評価

蒸気発生器への必要補給水流量の計算に必要な炉心の崩壊熱の評価は、表3に示すような厳しい前提条件として、核分裂生成物(FP)崩壊熱に関しては、「軽水型動力炉の非常用炉心冷却系の性能評価指針(昭和56年7月20日原子力安全委員会決定、平成4年6月11日一部改定)」においてその使用が認められている、日本原子力学会推奨値(不確定性(3σ)込み)を用い、アクチニド崩壊熱に関しては、十分実績のあるORIGEN2コード評価値(不確定性(20%)込み)を用いる。

表3 崩壊熱評価条件

| | 1, 2号炉 | (参考) 3号炉 |
|------|--|--|
| 燃烧条件 | ウラン燃料 ・燃烧度: 3回照射燃料 55,000MWd/t 2回照射燃料 36,700MWd/t 1回照射燃料 18,300MWd/t ・ウラン濃縮度: 4.8wt% | ウラン燃料 ・燃烧度: 3回照射燃料 55,000MWd/t 2回照射燃料 36,700MWd/t 1回照射燃料 18,300MWd/t ・ウラン濃縮度: 4.8wt% MOX燃料 ・燃烧度: 3回照射燃料 45,000MWd/t 2回照射燃料 35,000MWd/t 1回照射燃料 15,000MWd/t ・Pu含有率: 4.1wt%濃縮ウラン相当 |

注1: 1,2号炉は、55,000MWd/t燃料使用等に伴う原子炉設置変更許可申請(平成14年4月申請)安全審査における評価条件。

注2: 3号炉は、MOX燃料使用等に伴う原子炉設置変更許可申請(平成16年11月申請)安全審査における評価条件。

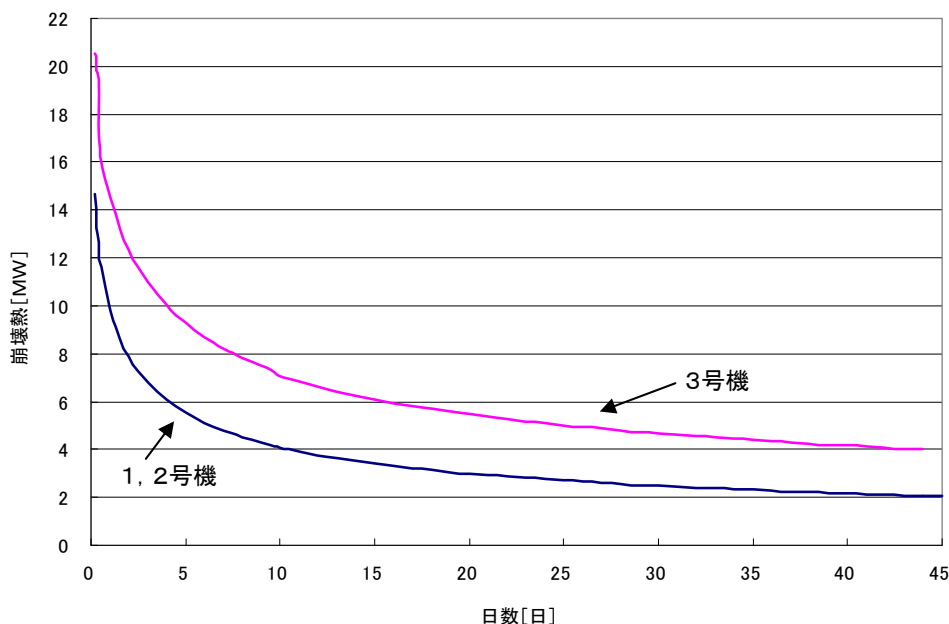


図1 崩壊熱計算結果

(4) 蒸気発生器への必要補給水流量等の計算

原子炉を全出力運転状態から、1次冷却材の圧力を約0.7MPa、高温側温度を約170℃(低温側約150℃)の状態まで冷却するために必要な蒸気発生器への補給水量は以下の式を用いて計算する。

$$\text{SG必要補給水量} = \frac{\text{除熱量[kJ]}}{([\text{SG2次側飽和蒸気エンタルピー}] - [\text{補給水エンタルピー}]) \times \text{補給水密度}} \quad [\text{m}^3]$$

また、原子炉からの崩壊熱を除去し、1次冷却材の圧力を約0.7MPa、高温側温度を約170℃(低温側約150℃)の状態に維持するための蒸気発生器への必要補給水流量は以下の式で計算する。

$$\text{SG必要補給水流量} = \frac{\text{崩壊熱[kW]} \times 3600}{([\text{SG2次側飽和蒸気エンタルピー}] - [\text{補給水エンタルピー}]) \times \text{補給水密度}} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

【計算条件】

除熱量：1次冷却系統構成材および冷却材の顕熱等の合計[kJ]

タンク保有水：40℃、大気圧

補給水密度：992[kg/m³]

SG2次側飽和蒸気エンタルピー(150℃)と補給水エンタルピー(40℃)の差：2578[kJ/kg]
(日本機械学会蒸気表から引用)

(5) 使用済燃料ピットへの必要給水流量算出に用いた崩壊熱の評価

使用済燃料ピットへの必要補給水流量計算は、運転時および停止時について評価を実施した。停止時における燃料の崩壊熱は表4および表5に示すような厳しい前提条件とし、運転時は停止時の条件から1回および2回照射の燃料を炉心に再装荷していることと、取出し後の冷却期間を30日とし、運転開始直後の状態とすることを考慮した。

また、核分裂生成物(FP)崩壊熱に関しては、「軽水型動力炉の非常用炉心冷却系の性能評価指針(昭和56年7月20日原子力安全委員会決定、平成4年6月11日一部改定)」においてその使用が認められている日本原子力学会推奨値(不確定性(3σ)込み)を用い、アクチニド崩壊熱に関しては十分実績のあるORIGEN2コード評価値(不確定性(20%)込み)を用いる。

表4 崩壊熱評価条件

| | 1、2号炉 |
|--------|---|
| 燃焼条件 | ・燃焼度：3回照射燃料 55,000MWd/t 2回照射燃料 36,700MWd/t 1回照射燃料 18,300MWd/t ・ウラン濃縮度：4.8wt% |
| 照射回数 | 3サイクル照射後取出 |
| 運転期間 | 13ヶ月 |
| 停止期間 | 30日 |
| 燃料取出期間 | 9.5日 |

注：伊方1,2,3号炉55,000MWd/t燃料使用等に伴う原子炉設置変更許可申請(平成14年4月申請)安全審査における使用済燃料ピット冷却設備の評価条件

表5 崩壊熱評価条件(参考)

| | 3号炉 | | |
|--------|---|---|---------|
| | MOX燃料 | ウラン燃料 | 1,2号炉燃料 |
| 燃焼条件 | ・燃焼度: 3回照射燃料 45,000MWd/t 2回照射燃料 35,000MWd/t 1回照射燃料 15,000MWd/t ・Pu含有率:4.1wt%濃縮ウラン相当 | ・燃焼度: 3回照射燃料 55,000MWd/t 2回照射燃料 36,700MWd/t 1回照射燃料 18,300MWd/t ・ウラン濃縮度:4.8wt% | |
| 照射回数 | 3サイクル照射後取出 | 同左 | 同左 |
| 運転期間 | 13ヶ月 | 同左 | 同左 |
| 停止期間 | 30日 | 同左 | 同左 |
| 燃料取出期間 | 7.5日 | 同左 | 2年冷却後輸送 |

注:伊方3号炉MOX燃料使用等に伴う原子炉設置変更許可申請(平成16年11月申請)安全審査における使用済燃料ピット冷却設備の評価条件

(6)使用済燃料ピットへの必要補給水流量の計算

使用済燃料ピットの冷却機能が喪失することによる使用済燃料ピットの水温上昇および保有水量減少(蒸散)を補うための使用済燃料ピットへの必要補給水流量を以下の式で計算する。

使用済燃料ピット保管の燃料の崩壊熱Qによる保有水の蒸散量 $\Delta V / \Delta t$ (m^3/h)は以下の通りである。

$$\Delta V / \Delta t = (Q \times 3600) / (\rho \times hfg) (m^3/h) \text{※1}$$

$$\rho (\text{飽和水密度}) : 958 \text{kg/m}^3 \text{※2}$$

$$hfg (\text{飽和水蒸発潜熱}) : 2,257 \text{kJ/kg} \text{※2}$$

$$Q (\text{SFP崩壊熱}) : 4,706 \text{kW} (\text{伊方2号炉}) \text{※3} [\text{運転時} : 1,505 \text{kW}]$$

$$: 4,629 \text{kW} (\text{参考、伊方1号炉}) \text{※3} [\text{運転時} : 1,428 \text{kW}]$$

$$: 11,715 \text{kW} (\text{参考、伊方3号炉}) \text{※3} [\text{運転時} : 5,488 \text{kW}]$$

※1 $(\rho \times \Delta V)$ kgの飽和水が蒸気になるための熱量は $hfg \times (\rho \times \Delta V)$ (kJ)で、使用済燃料の Δt 時間あたりの崩壊熱量 $Q \Delta t$ に等しい。なお、保有水は保守的に大気圧下での飽和水(100℃)として評価する。

※2 日本機械学会蒸気表から引用。

※3 表6～表8参照

表6 燃料取出スキーム(2号炉)

| 取出燃料 | 冷却期間 | 燃料数 | 崩壊熱(MW) |
|-------------|-------------------|------------|---------|
| 定検時取出燃料1 | 9.5日 | 1/3炉心(40体) | 1.252 |
| 定検時取出燃料2 | 9.5日 | 1/3炉心(40体) | 1.359 |
| 定検時取出燃料3 | 9.5日 | 1/3炉心(41体) | 1.501 |
| 1サイクル冷却済み燃料 | 1×(13ヶ月+30日)+9.5日 | 1/3炉心(40体) | 0.195 |
| 2サイクル冷却済み燃料 | 2×(13ヶ月+30日)+9.5日 | 1/3炉心(40体) | 0.108 |
| 3サイクル冷却済み燃料 | 3×(13ヶ月+30日)+9.5日 | 1/3炉心(40体) | 0.071 |
| 4サイクル冷却済み燃料 | 4×(13ヶ月+30日)+9.5日 | 1/3炉心(40体) | 0.055 |
| 5サイクル冷却済み燃料 | 5×(13ヶ月+30日)+9.5日 | 1/3炉心(40体) | 0.047 |
| 6サイクル冷却済み燃料 | 6×(13ヶ月+30日)+9.5日 | 1/3炉心(40体) | 0.042 |
| 7サイクル冷却済み燃料 | 7×(13ヶ月+30日)+9.5日 | 1/3炉心(40体) | 0.038 |
| 8サイクル冷却済み燃料 | 8×(13ヶ月+30日)+9.5日 | 1/3炉心(40体) | 0.036 |
| 9サイクル冷却済み燃料 | 9×(13ヶ月+30日)+9.5日 | 3体 | 0.002 |
| 合計 | — | 444体 | 4.706 |

注1:伊方1,2,3号炉55,000MWd/t燃料使用等に伴う原子炉設置変更許可申請(平成14年4月申請)安全審査における使用済燃料ピット冷却設備の評価条件。

注2:伊方2号炉の使用済燃料ピットの燃料保管容量は444体。

表7 燃料取出スキーム(参考、1号炉)

| 取出燃料 | 冷却期間 | 燃料数 | 崩壊熱(MW) |
|-------------|-------------------|------------|---------|
| 定検時取出燃料1 | 9.5日 | 1/3炉心(40体) | 1.252 |
| 定検時取出燃料2 | 9.5日 | 1/3炉心(40体) | 1.359 |
| 定検時取出燃料3 | 9.5日 | 1/3炉心(41体) | 1.501 |
| 1サイクル冷却済み燃料 | 1×(13ヶ月+30日)+9.5日 | 1/3炉心(40体) | 0.195 |
| 2サイクル冷却済み燃料 | 2×(13ヶ月+30日)+9.5日 | 1/3炉心(40体) | 0.108 |
| 3サイクル冷却済み燃料 | 3×(13ヶ月+30日)+9.5日 | 1/3炉心(40体) | 0.071 |
| 4サイクル冷却済み燃料 | 4×(13ヶ月+30日)+9.5日 | 1/3炉心(40体) | 0.055 |
| 5サイクル冷却済み燃料 | 5×(13ヶ月+30日)+9.5日 | 1/3炉心(40体) | 0.047 |
| 6サイクル冷却済み燃料 | 6×(13ヶ月+30日)+9.5日 | 39体 | 0.041 |
| 合計 | — | 360体 | 4.629 |

注1:伊方1,2,3号炉55,000MWd/t燃料使用等に伴う原子炉設置変更許可申請(平成14年4月申請)安全審査における使用済燃料ピット冷却設備の評価条件。

注2:伊方1号炉の使用済燃料ピットの燃料保管容量は360体。

表8 燃料取出スキーム(参考、3号炉)

| 取出燃料 | 冷却期間 | MOX燃料 | | ウラン燃料 | | 伊方1, 2号炉燃料 | | |
|-------------|--------------------|--------|----------|----------|----------|-----------------|-------|----------|
| | | 燃料数 | 崩壊熱 (MW) | 燃料数 | 崩壊熱 (MW) | 冷却期間 | 燃料数 | 崩壊熱 (MW) |
| 定検時取出燃料1 | 7.5日 | 16体 | 0.955 | 39体 | 1.670 | - | - | - |
| 定検時取出燃料2 | 7.5日 | 16体 | 1.084 | 39体 | 1.810 | - | - | - |
| 定検時取出燃料3 | 7.5日 | 8体*2 | 0.557 | 39体 | 1.941 | - | - | - |
| 1サイクル冷却済燃料 | 1×(13ヶ月+30日)+7.5日 | 16体*1 | 0.171 | 39体 | 0.229 | - | - | - |
| 2サイクル冷却済燃料 | 2×(13ヶ月+30日)+7.5日 | 16体*1 | 0.085 | 39体 | 0.124 | 2年 | 40体×2 | 0.126×2 |
| 3サイクル冷却済燃料 | 3×(13ヶ月+30日)+7.5日 | 16体*1 | 0.061 | 39体 | 0.081 | 1×(13ヶ月+30日)+2年 | 40体×2 | 0.083×2 |
| 4サイクル冷却済燃料 | 4×(13ヶ月+30日)+7.5日 | 16体*1 | 0.051 | 39体 | 0.062 | 2×(13ヶ月+30日)+2年 | 40体×2 | 0.058×2 |
| 5サイクル冷却済燃料 | 5×(13ヶ月+30日)+7.5日 | 16体*1 | 0.048 | 39体 | 0.052 | 3×(13ヶ月+30日)+2年 | 40体×2 | 0.049×2 |
| 6サイクル冷却済燃料 | 6×(13ヶ月+30日)+7.5日 | 16体*1 | 0.045 | 5体 | 0.006 | - | - | - |
| 7サイクル冷却済燃料 | 7×(13ヶ月+30日)+7.5日 | 16体*1 | 0.044 | - | - | - | - | - |
| ... | ... | ... | ... | - | - | - | - | - |
| 68サイクル冷却済燃料 | 68×(13ヶ月+30日)+7.5日 | 16体*1 | 0.020 | - | - | - | - | - |
| 69サイクル冷却済燃料 | 69×(13ヶ月+30日)+7.5日 | 8体*2 | 0.010 | - | - | - | - | - |
| ... | ... | ... | ... | - | - | - | - | - |
| 73サイクル冷却済燃料 | 73×(13ヶ月+30日)+7.5日 | 8体*2 | 0.010 | - | - | - | - | - |
| 小計 | - | 1,168体 | 5.108 | 317体 | 5.975 | - | 320体 | 0.632 |
| 合計 | 燃料体数 | 1805体 | | 崩壊熱 (MW) | | 11.715 | | |

* 1: 2回照射MOX燃料8体、3回照射MOX燃料8体 * 2: 3回照射MOX燃料8体

注1: 伊方3号炉MOX燃料使用等に伴う原子炉設置変更許可申請(平成16年11月申請)安全審査における使用済燃料ピット冷却設備の評価条件。

注2: 伊方3号炉の使用済燃料ピットの燃料保管容量は1805体。

3. 評価結果(運転中)

2. に示した評価条件を用いて蒸気発生器および使用済燃料ピットへの必要補給水流量を評価した結果を示す。

水源切替時等の必要流量を表9に、必要流量を用いて算出した各タンクの使用可能期間を表10に、それぞれの経過日数による変化を図2～図7に示す。

また、淡水タンクからの補給流量および海からの補給流量の測定結果を表11に示す。

(1) 水源切替時等の必要流量

表9 水源切替時等の必要流量

| | | 2次系純水タンクへ切り替える際の必要流量 | 使用済燃料ピット補給開始時の必要流量 | 淡水タンクへ切り替える際の必要流量 | 海水へ切り替える際の必要流量 |
|-----|-----|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| 2号機 | | 約21m ³ /h | 約13m ³ /h | 約2m ³ /h | 約2m ³ /h |
| 参考 | 1号機 | 約21m ³ /h | 約14m ³ /h | 約2m ³ /h | 約2m ³ /h |
| | 3号機 | 約29m ³ /h | 約34m ³ /h | 約9m ³ /h | 約9m ³ /h |

注1: 評価結果のうち、使用済燃料ピット補給開始時の必要流量は蒸気発生器および使用済燃料ピット両者に供給した場合を、それ以降の切り替え時の必要流量は使用済燃料ピットのみに供給した場合の必要流量を示す。

注2: 使用済燃料ピットへの補給量評価は、安全審査等で使用済燃料ピット冷却性評価に用いる設計熱負荷をベースに評価した。

(2) 使用可能期間

表10 各タンクの使用可能期間

| | | 復水タンクでの給水可能時間 | 2次系純水タンクからの給水可能日数 | 淡水タンクからの給水可能日数 |
|-----|-----|---------------|-------------------|----------------|
| 2号機 | | 約5時間 | +約4日 | +約101日 |
| 参考 | 1号機 | 約5時間 | +約4日 | +約101日 |
| | 3号機 | 約9時間 | +約4日 | +約24日 |

(3) 流量測定結果

表11 流量測定結果

| | | 淡水補給流量(脱塩水タンク) | 淡水補給流量(ろ過水タンク) | 海水供給流量 |
|-----|-----|----------------------|----------------------|----------------------|
| 2号機 | | 約69m ³ /h | 約59m ³ /h | 約73m ³ /h |
| 参考 | 1号機 | | 約69m ³ /h | |
| | 3号機 | 約69m ³ /h | 約69m ³ /h | |

注: 伊方3号機の場合は、ろ過水タンクをろ過水貯蔵タンクと読み替える。

2号機(運転中の補給水量)

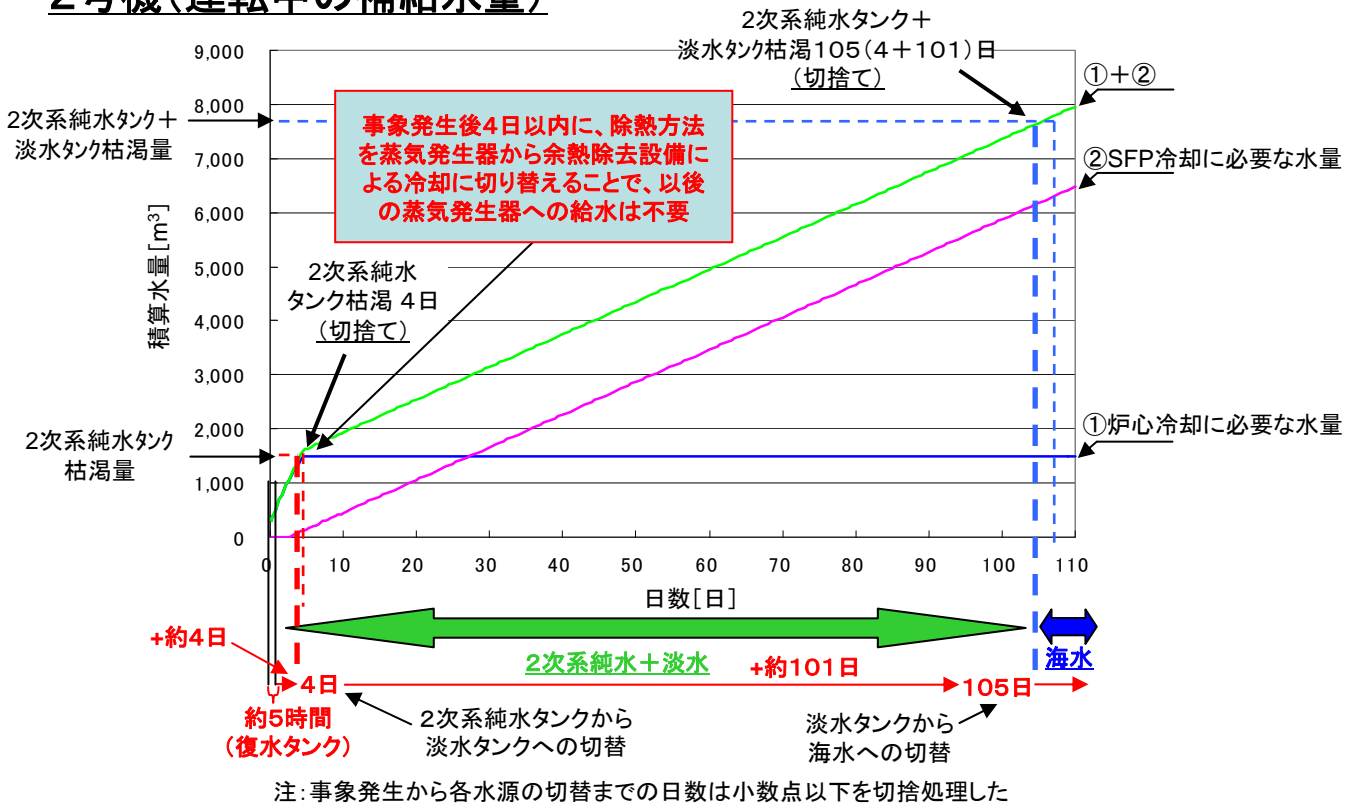


図2 2号機運転中における補給水量

2号機(運転中の補給水流量)

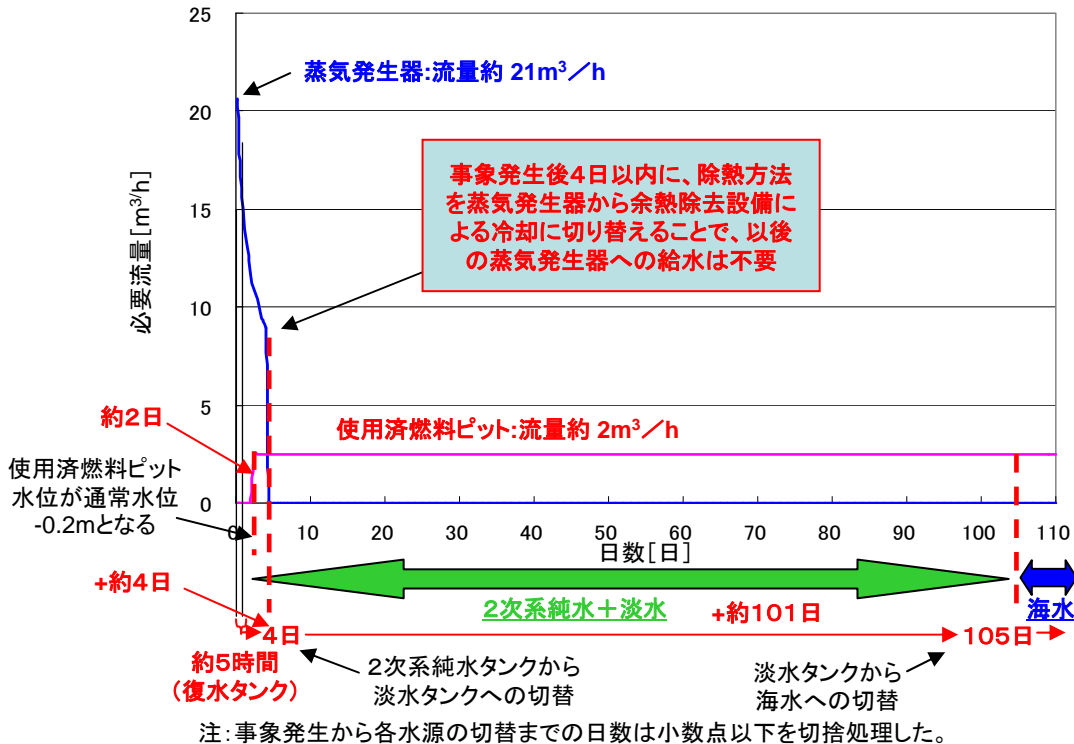


図3 2号機運転中における補給水流量

(参考)

1号機(運転中の補給水量)

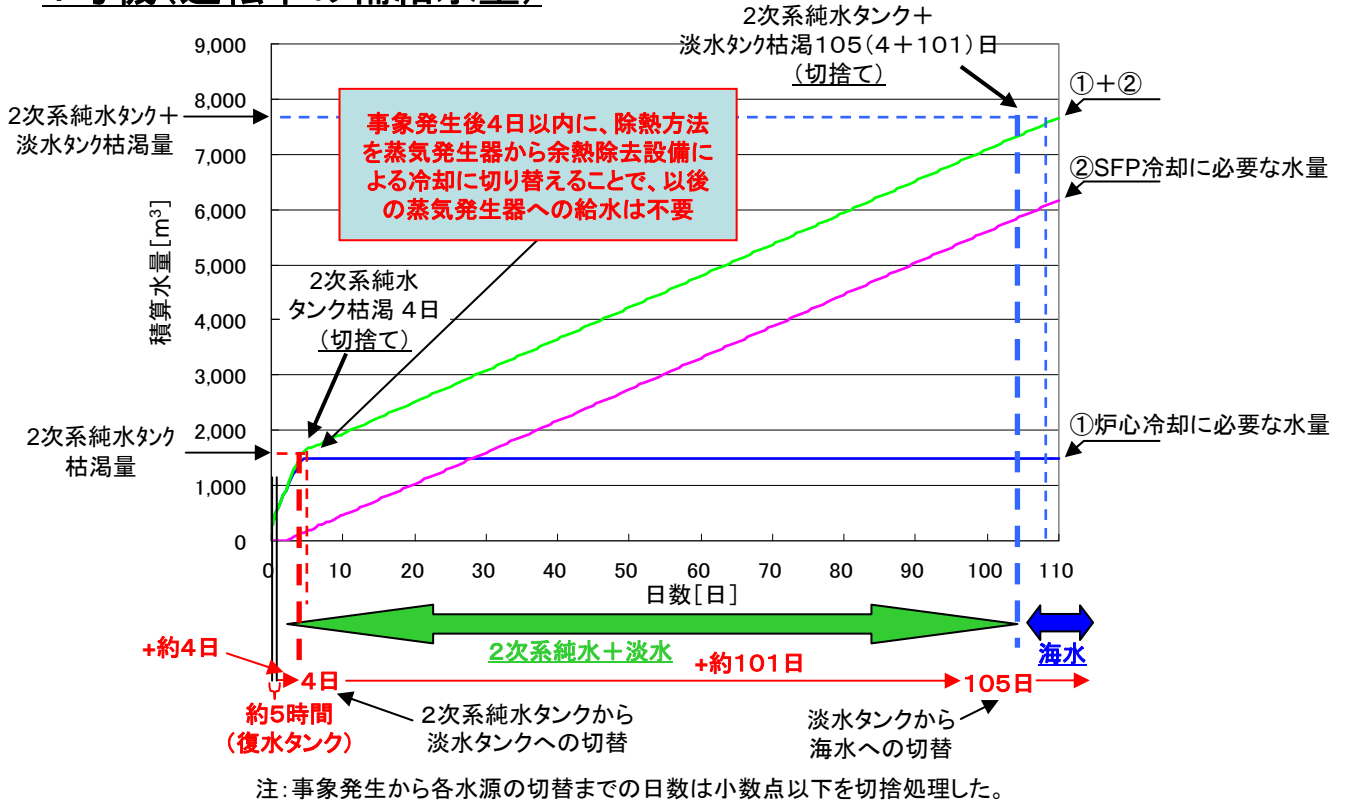


図4 1号機運転中における補給水量

(参考)

1号機(運転中の補給水流量)

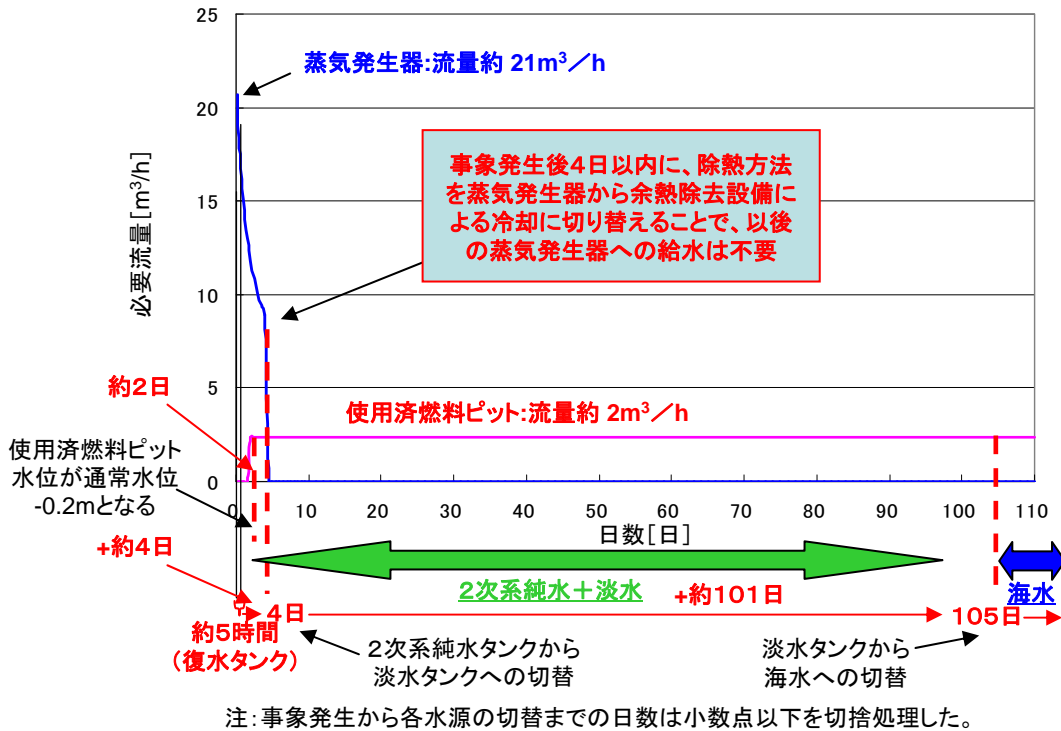
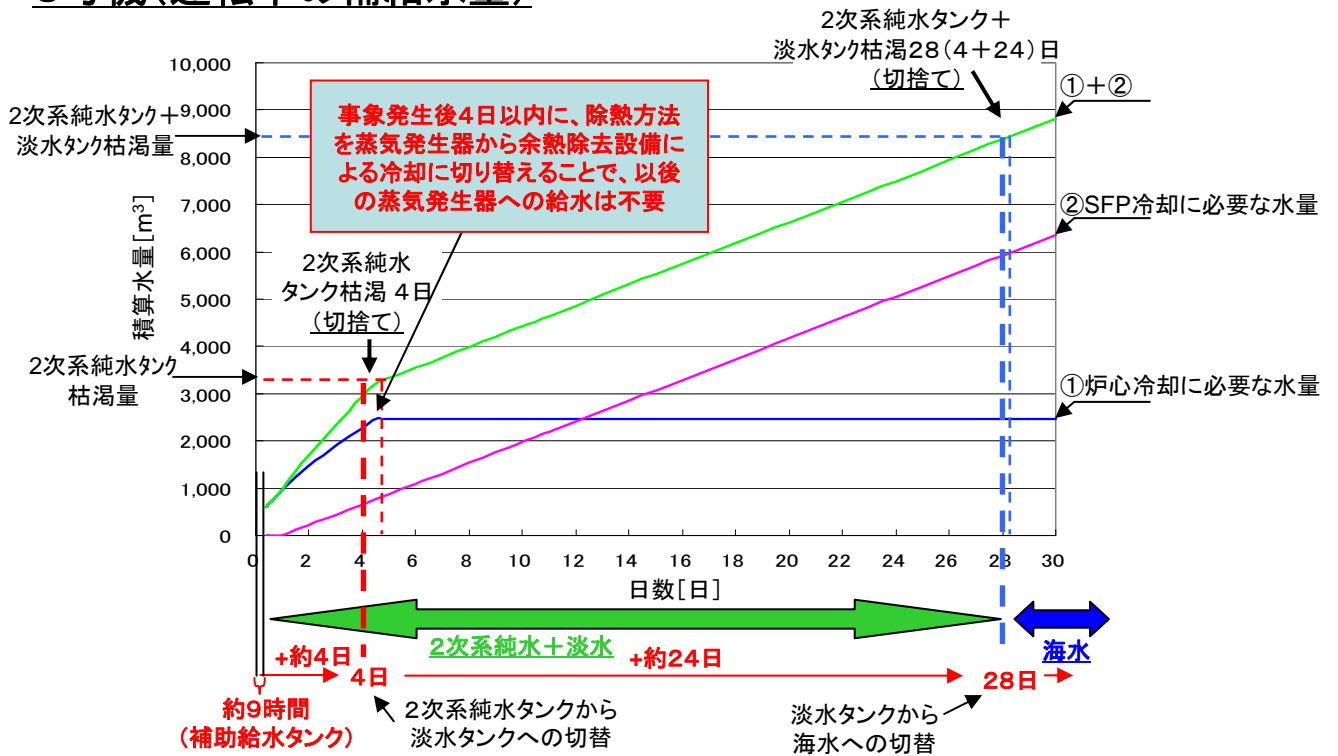


図5 1号機運転中における補給水流量

(参考)

3号機(運転中の補給水量)

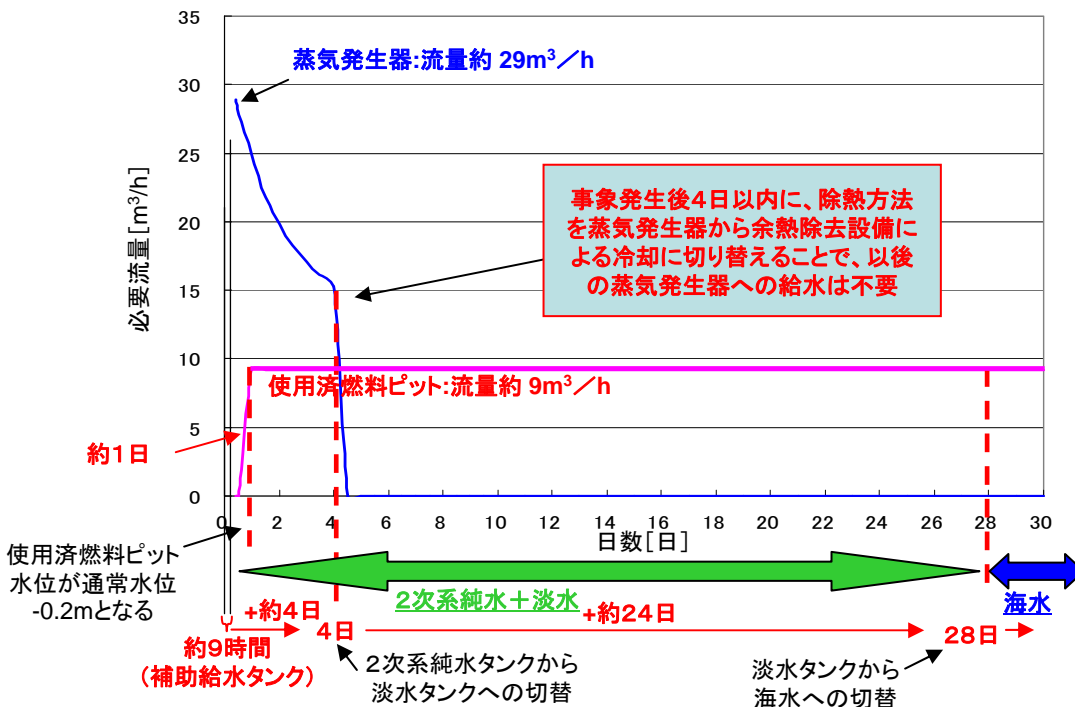


注: 事象発生から各水源の切替までの日数は小数点以下を切捨処理した。

図6 3号機運転中における補給水量

(参考)

3号機(運転中の補給水流量)



注: 事象発生から各水源の切替までの日数は小数点以下を切捨処理した。

図7 3号機運転中における補給水流量

4. 評価結果(定検中)

2. に示した評価条件を用いて評価した使用済燃料ピットの水位維持に必要な流量を表12に、必要流量を用いて算出した各タンクの使用可能期間を表13に、使用済燃料ピットへの補給が無い場合における燃料露出までの日数を表14に、それぞれの経過日数による変化を図8～図10に示す。

(1)使用済燃料ピットの水位維持に必要な流量

表12 使用済燃料ピットの水位維持に必要な流量

| | 2号機 | (参考) | |
|---------------------------|------|------|-------|
| | | 1号機 | 3号機 |
| 必要補給流量[m ³ /h] | 約7.8 | 約7.7 | 約19.5 |

注:上記評価結果は安全審査等で使用済燃料ピット冷却性評価に用いる設計熱負荷で評価した。

(2)使用可能期間

表13 使用可能期間

| | | 使用済燃料ピット水位NWLから-20cmまでの所要時間 | 2次系純水タンクからの給水可能日数 | 燃料取替用水タンクからの給水可能日数 | 淡水タンクからの給水可能日数 |
|-----|-----|-----------------------------|-------------------|--------------------|----------------|
| 2号機 | | 約17時間 | +約6日 | — | +約33日 |
| 参考 | 1号機 | 約13時間 | +約6日 | — | +約33日 |
| | 3号機 | 約10時間 | +約5.5日 | — | +約11日 |

注1:上記評価結果は使用済燃料ピットのみに供給した場合の給水可能期間を示す。

注2:燃料取替用水タンクからの補給は保守的に無視した。

注3:淡水タンクからの給水可能日数はSFP水浄化冷却系を使用しない場合の日数を記載した。

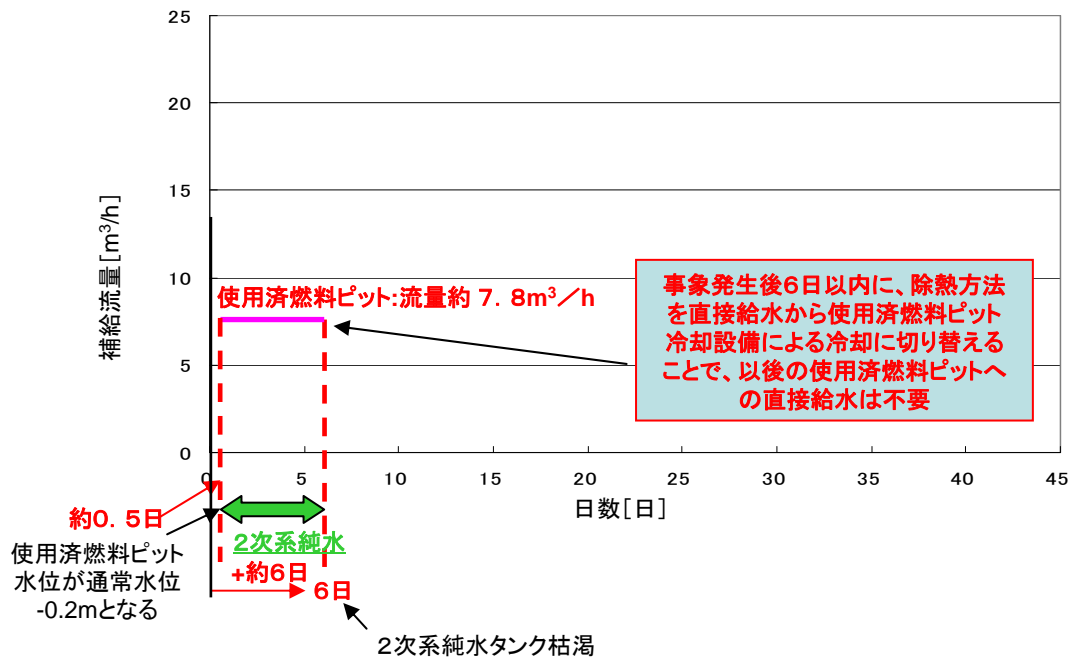
(3)全給水不能時の使用済燃料ピットにおける燃料露出までの所要日数

表14 燃料露出までの所要日数

| | 2号機 | (参考) | |
|------------|-------|-------|------|
| | | 1号機 | 3号機 |
| 定検中[日] | 約6.0 | 約5.1 | 約4.4 |
| 運転中[日](参考) | 約16.1 | 約14.0 | 約7.7 |

注:上記評価結果はスロッシングによる溢水量を使用済燃料ピット保有水量から差し引いた値で評価した。

2号機(定検中の補給水流量)

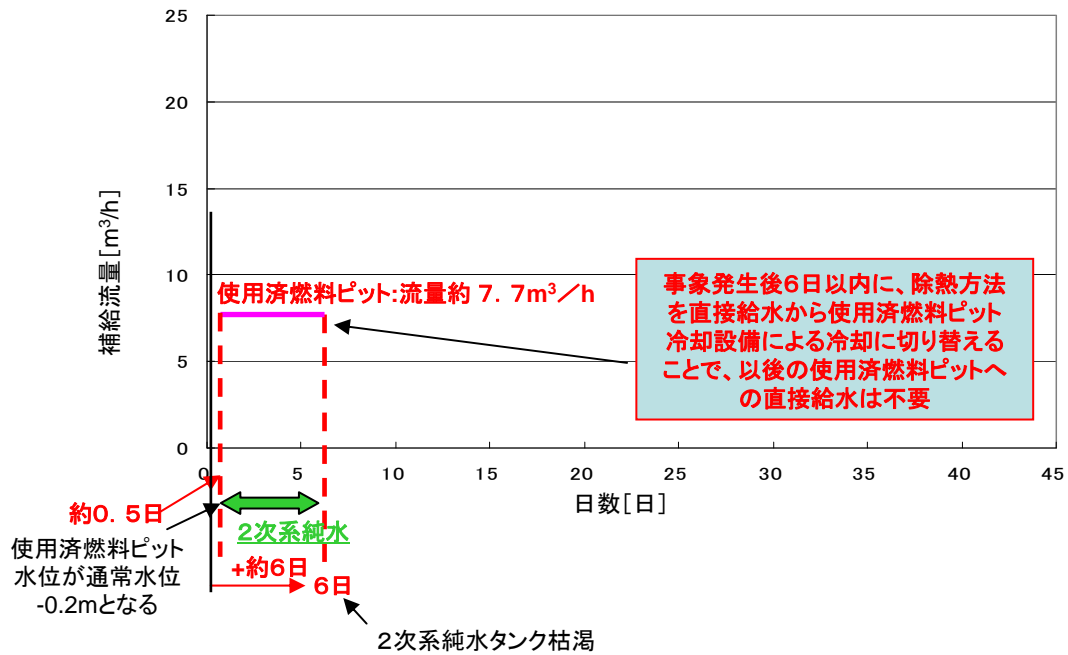


注: 事象発生から所内水源の枯渇までの日数は小数点以下を切捨処理した。

図8 2号機定検中における補給水流量

(参考)

1号機(定検中の補給水流量)



注: 事象発生から所内水源の枯渇までの日数は小数点以下を切捨処理した。

図9 1号機定検中における補給水流量

(参考)

3号機(定検中の補給水流量)

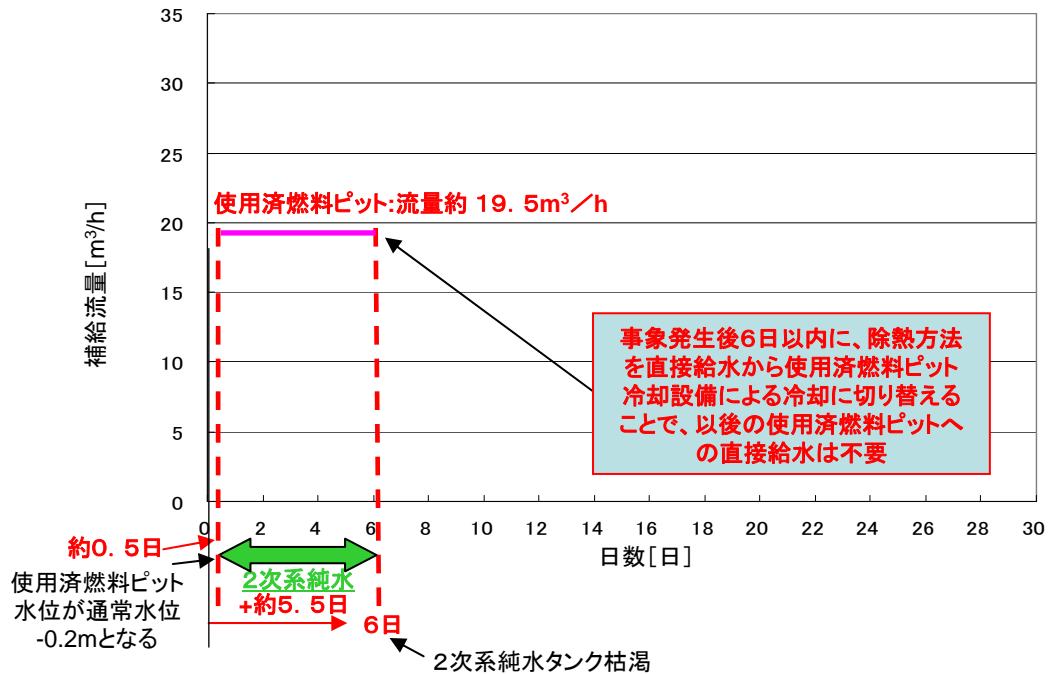


図10 3号機定検中における補給水流量

5. まとめ

蒸気発生器および使用済燃料ピットへの必要補給水流量の評価結果および流量測定の結果から、全交流電源喪失時において、蒸気発生器2次側への給水による炉心の崩壊熱除去および使用済燃料ピットへ水を補給することで貯蔵燃料の崩壊熱による水位低下を補うことが継続的に可能であることを確認できた。また、緊急安全対策(短期)および実施済みの設備強化対策の効果を確認することができた。

電源機能および除熱機能の継続時間評価に用いた燃料消費率等の条件について

1. 電源機能持続に係る評価

伊方発電所では、1,825kVA 仕様の電源車による電源供給を実施する。本電源車は重油を燃料とするが、評価にあたっては、以下の表1に示す燃料(重油)の貯蔵量を適用する。

表1. 評価条件

| 項 目 | 内 容 |
|-----------|--|
| 電源車負荷 | 全負荷運転(1, 825kVA:1, 460kW) |
| 電源車燃料消費率 | 378ℓ/h/台 (全負荷運転時) |
| 燃料(重油)貯蔵量 | 632kℓ ・1, 2号機D/G燃料油貯油槽:68kℓ×4基 ・3号機D/G燃料油貯油槽:129kℓ×2基 ・3号機補助ボイラ燃料油貯蔵タンク:102kℓ (重油屋外貯蔵所:20kℓは、予備として使用しない) |
| その他 | 電源車は蓄電池枯渇後に運転開始すればよいが、クリフエッジ評価においては保守側に事象発生直後に電源車を運転開始するとしてクリフエッジを算出した。 |

2. 除熱機能継続に係る評価

除熱機能については、炉心除熱機能と使用済燃料ピット(以下、「SFP」という)除熱機能の双方について評価する必要がある。復水タンク(3号機は補助給水タンク)および2次系純水タンクからの給水は、タンクから直接行われるが、淡水タンク(脱塩水タンク1号、ろ過水タンクA・B、脱塩水タンク3号、ろ過水貯蔵タンク3号)からの給水は、消防自動車(軽油駆動)により行われる。淡水タンク枯渇後は、消防自動車または可搬型消防ポンプ(ガソリン駆動)により海水給水が行われるが、本評価においては、可搬型消防ポンプは予備として使用しない扱いとした。

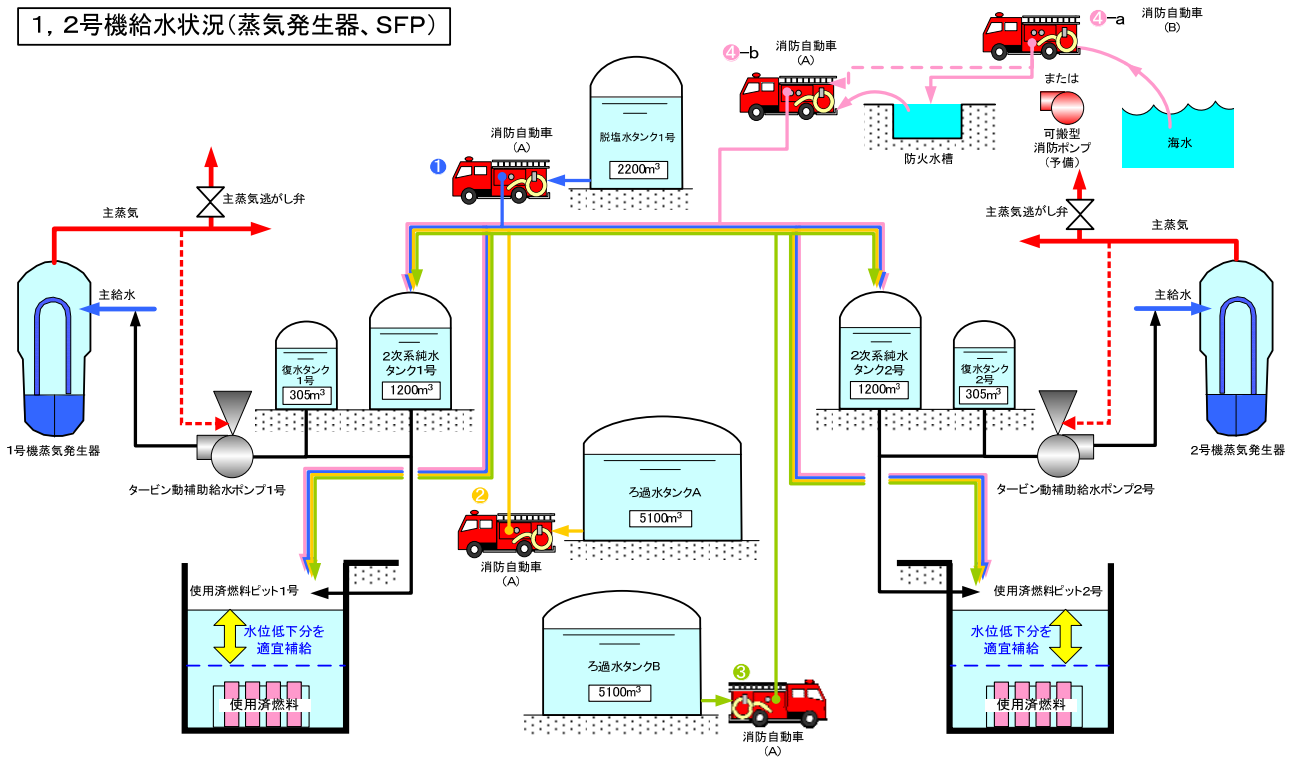
また、本評価においては、複数号機間の相互作用の可能性の考慮として、1, 3号機においても全交流電源喪失(以下、「SBO」という。)が発生し、消防自動車による給水が必要となり、2号機とともに発電所備蓄の軽油を消費する想定とした。

図1に給水手順図を示す。復水タンク、2次系純水タンク枯渇後、1, 2号機共用で1台、3号機専用で1台割り当てた消防自動車により淡水タンクより給水を行う。淡水タンク枯渇後は、消防自動車1台により海水を防火水槽に汲み上げ、これを消防自動車1台により1, 2, 3号機に給水する手順としている。

表2. 評価条件

| 項 目 | 内 容 |
|-------|---|
| 必要給水量 | 1, 2, 3号機のプラント運転状態(運転/停止)の全ての組み合わせについてSBO発生から必要な給水量を1日単位で算出 |
| 燃料消費率 | 消防自動車(軽油):45ℓ/h/台 (可搬型消防ポンプ(ガソリン):9ℓ/h/台は、予備として使用しない) |
| 燃料貯蔵量 | 軽油 ・屋外貯蔵所:20kℓ (ガソリン屋内貯蔵所:1.98kℓは、予備として使用しない) |

1, 2号機給水状況(蒸気発生器、SFP)



3号機給水状況(蒸気発生器、SFP)

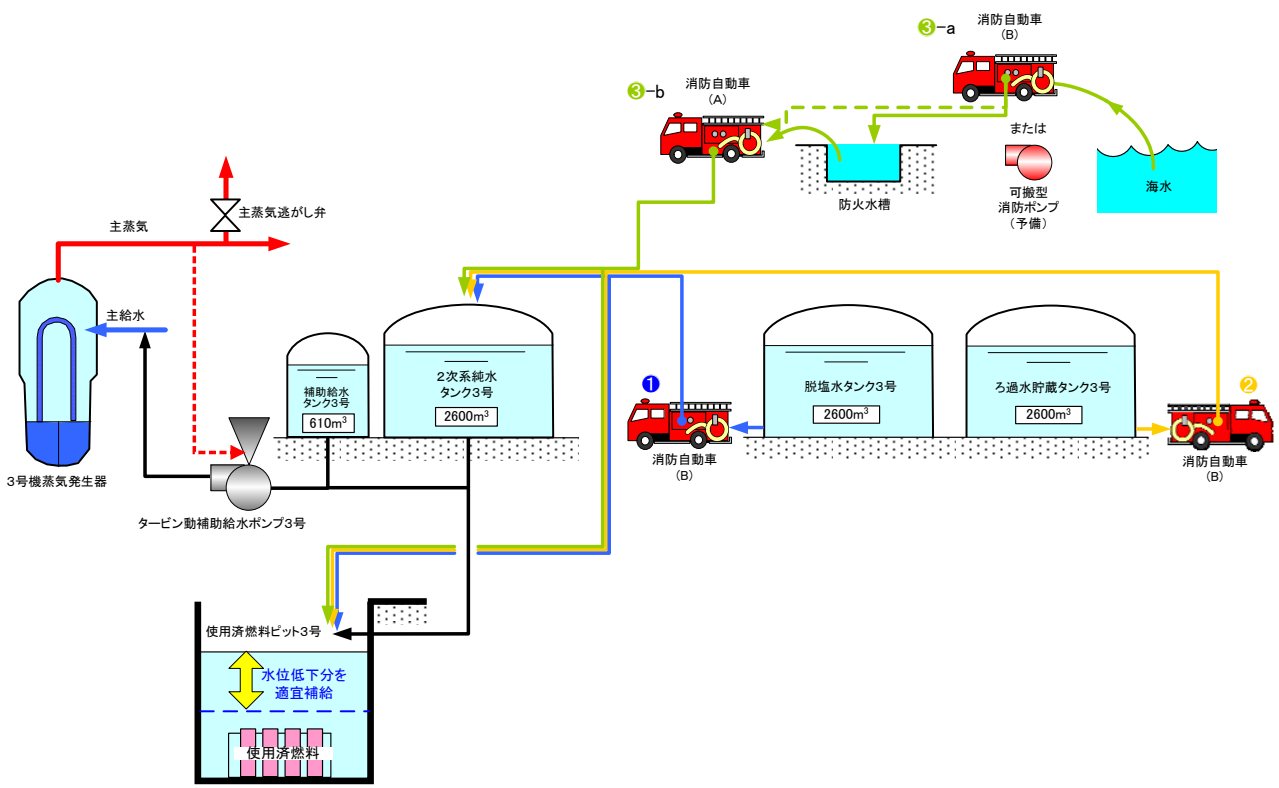
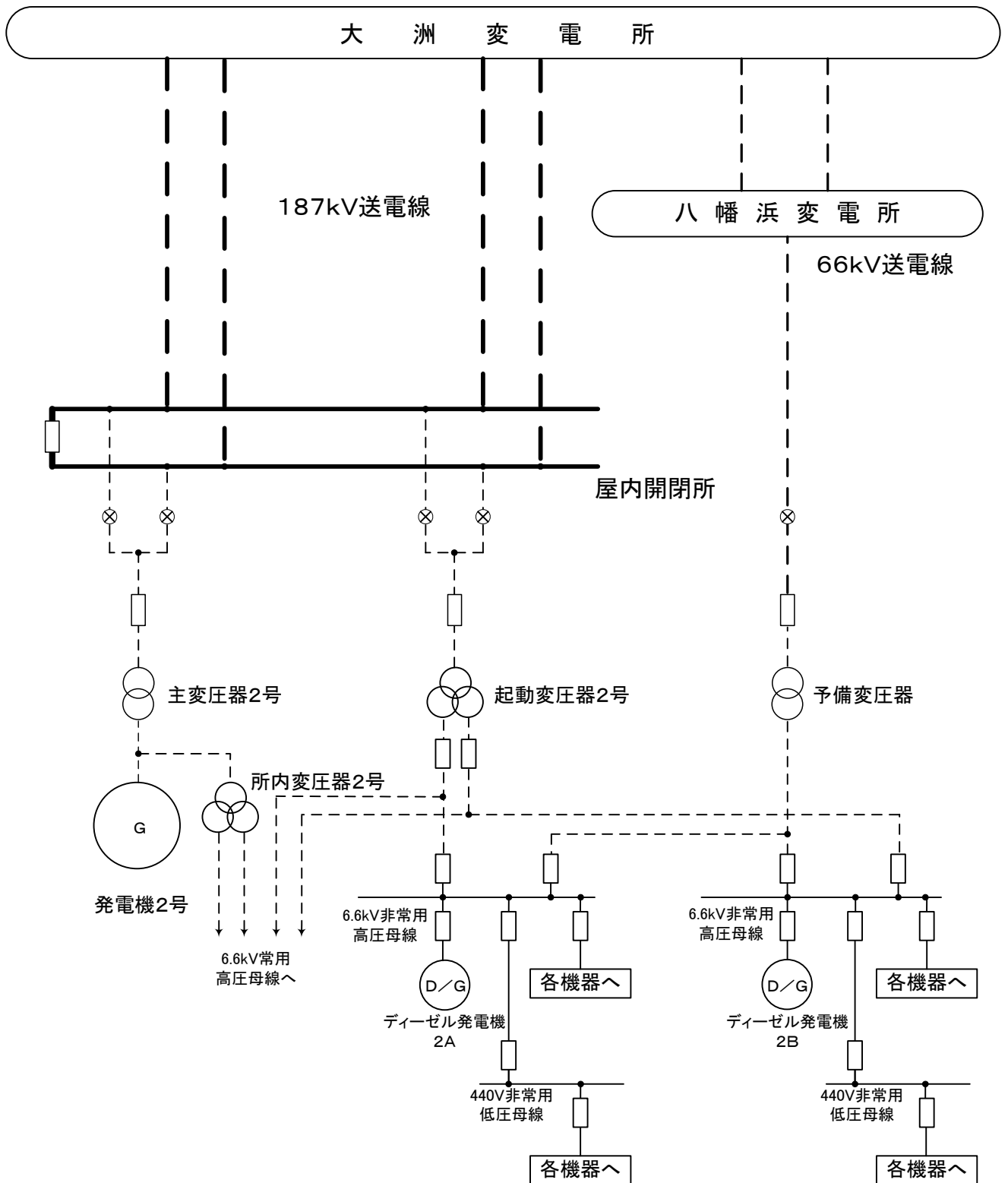


図1. 除熱のための給水手順

伊方2号機 電源構成概要図



伊方2号機 非常用ディーゼル発電機の運転継続可能時間

非常用ディーゼル発電機にて電源供給を必要とする負荷を下表のとおりとし、非常用ディーゼル発電機の運転継続可能時間を算出する。
使用可能な燃料貯油槽容量は約68kℓ×2基、燃費は約0.25kℓ/MWhである。

- ① 「低温停止移行」(20時間)に必要な燃料消費量は以下のとおり、約28kℓとなる。

$$\text{燃料消費量} = 0.25\text{kℓ/MWh} \times 111\text{MWh} (\text{※1}) = \text{約}28\text{kℓ}$$

- ② 「冷却維持」のため、非常用ディーゼル発電機の運転時間は以下のとおり約144時間となる。

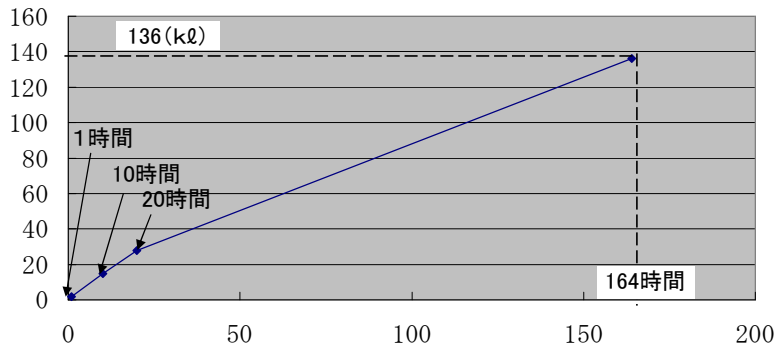
$$\text{運転時間} = (136\text{kℓ} - 28\text{kℓ}) / (0.25\text{kℓ/MWh} \times 3.0\text{MW}) = \text{約}144\text{時間}$$

上記①②より、非常用ディーゼル発電機の運転継続可能時間は約164時間となり、約6.8日間となる。

【単位:kW】

| 主要機器 | 1台あたりの容量 | ① 「低温停止移行」 | | | | | | ② 「冷却維持」 | |
|----------------------------|----------|---------------------------------|-------|----------------------------------|-------|----------------------------|-------|----------|----|
| | | 外部電源喪失事象発生 ～ 不要機器停止追加機器起動 | | 不要機器停止追加機器起動 ～ 余熱除去系インサービス | | 余熱除去系インサービス ～ 低温停止到達 | | 低温停止維持 | |
| | | A系 | B系 | A系 | B系 | A系 | B系 | A系 | B系 |
| 充てんポンプ | 120 | 0 | 120 | 120 | 120 | 120 | 0 | 120 | 0 |
| 海水ポンプ | 395 | 395 | 395 | 395 | 395 | 790 | 395 | 395 | 0 |
| 電動補助給水ポンプ | 279 | 279 | 279 | 279 | 279 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 原子炉補機冷却水ポンプ | 213 | 426 | 426 | 213 | 213 | 426 | 213 | 426 | 0 |
| 余熱除去ポンプ | 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 160 | 160 | 160 | 0 |
| その他メタクラ、パワーセンタ、コントロールセンタ | — | 2,375 | 2,035 | 2,284 | 1,607 | 1,976 | 914 | 1,932 | 0 |
| 合計負荷容量 | — | 3,475 | 3,255 | 3,291 | 2,614 | 3,472 | 1,682 | 3,033 | 0 |
| 非常用ディーゼル発電機の運転継続可能時間(累積時間) | — | | | | | | | | |

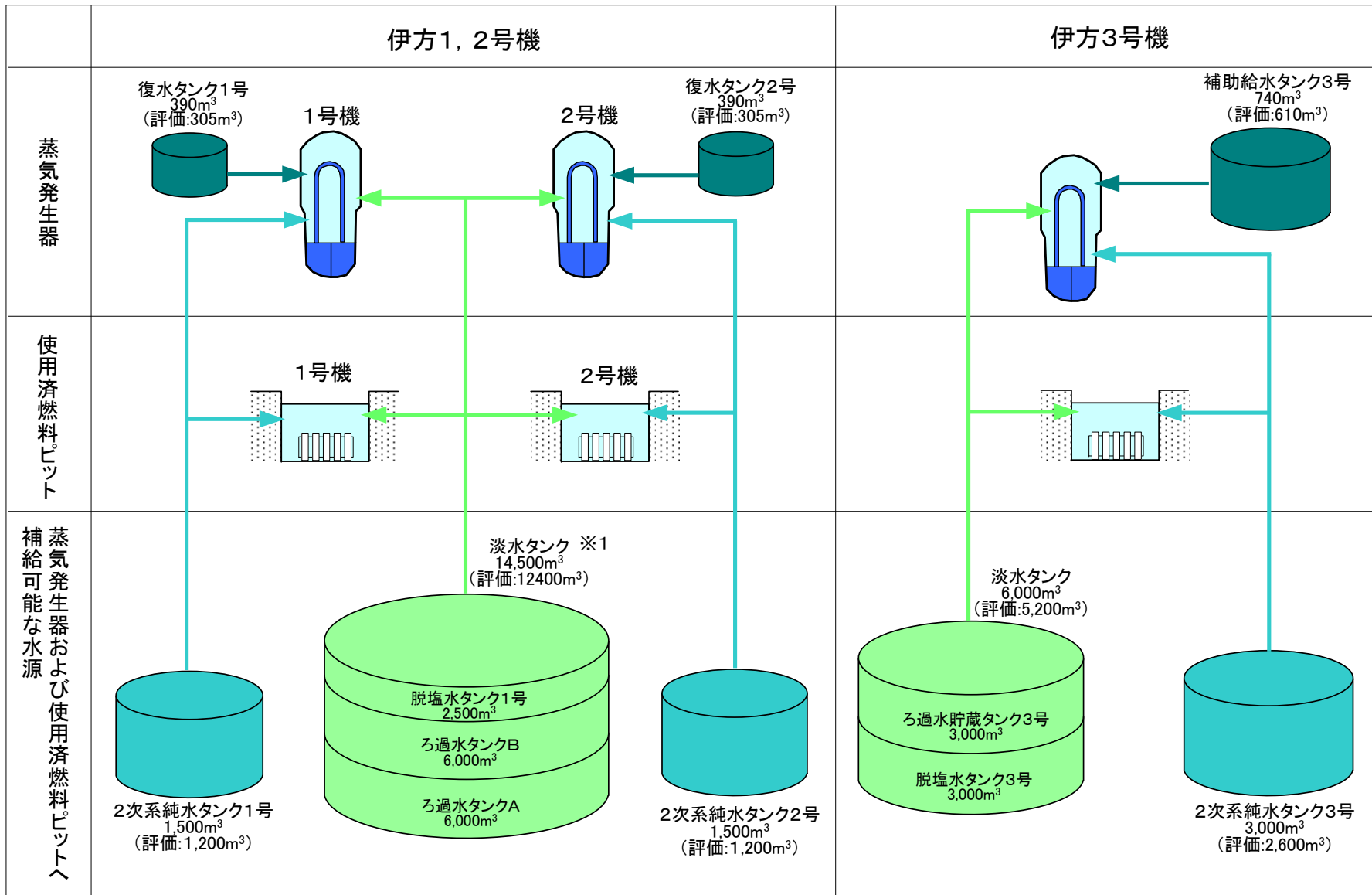
燃料消費量(累積)
(kℓ)



非常用ディーゼル発電機の運転継続可能時間 (累積時間)

※1: (3475(kW)+3255(kW))×1(時間)+(3291(kW)+2614(kW))×9(時間)+(3472(kW)+1682(kW))×10(時間)=111MWh

伊方発電所の使用可能な水源の割り当て(運転時)

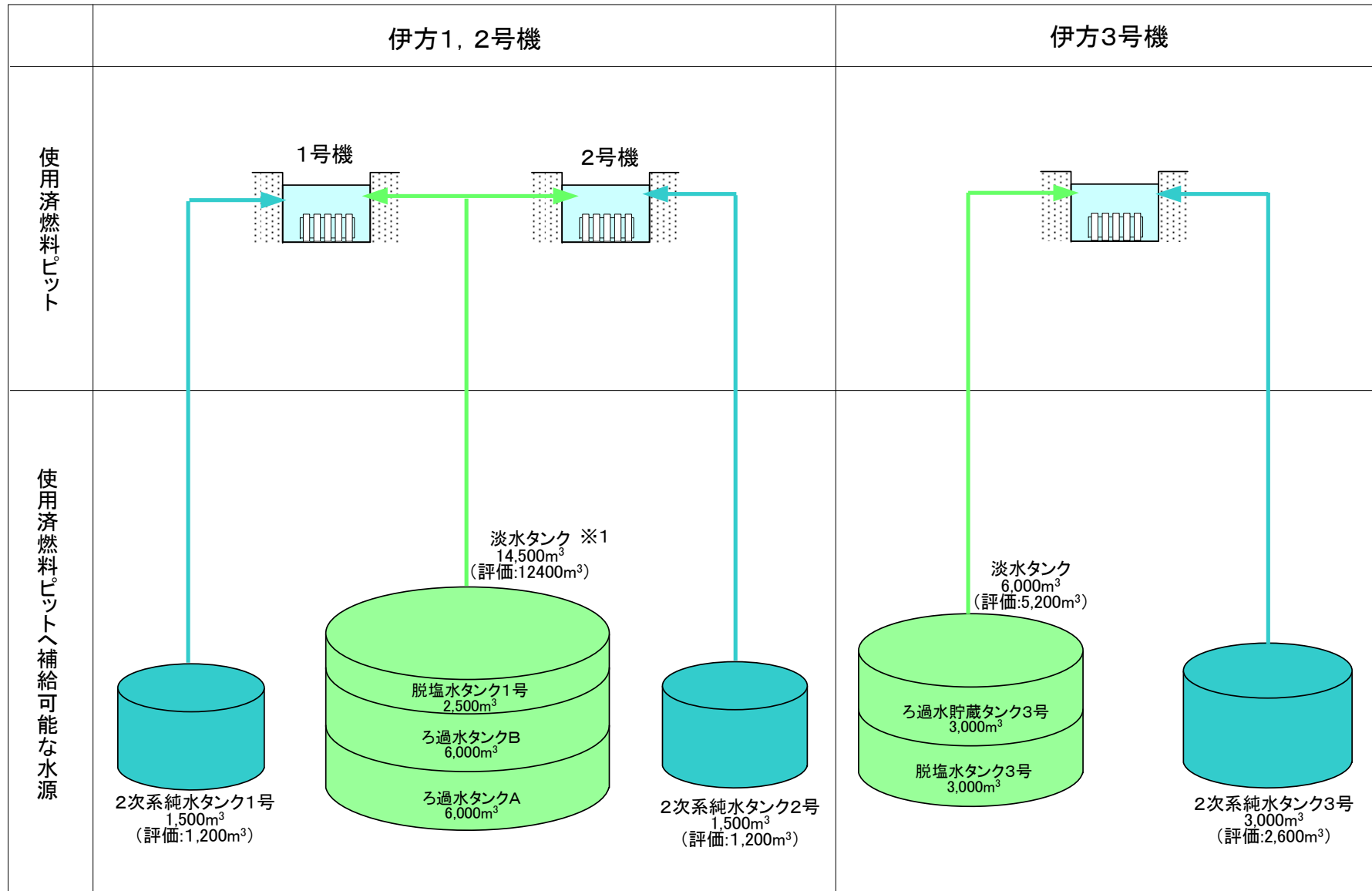


4-4-40

添付資料-4.4.5(1/2)

※1: 1, 2号機共用の水源については、100%容量を共用する
 ※2: 本資料で示している矢印は水源の割り当てを示しており、実際の補給経路とは異なる

伊方発電所の使用可能な水源の割り当て(停止時)



4-4-41

添付資料-4.4.5(2/2)

※1: 1, 2号機共用の水源については、100%容量を共用する
 ※2: 本資料で示している矢印は水源の割り当てを示しており、実際の補給経路とは異なる

全交流電源喪失時に必要な蓄電池容量の妥当性

1. 供給負荷、評価方法

○供給負荷：全交流電源喪失事象発生後、手順書に定める以下の操作（不要負荷の切り離し等）を行い、必要最低負荷への電源供給を行う。

0～1分：電源喪失に伴い、各遮断器動作、ディーゼル発電機初期励磁、タービン動補助給水ポンプ起動、計装用電源負荷（計器・制御機器）等に必要な直流電源を供給。

1～30分：上記負荷等への給電が継続された状態となるため、メタクラ・パワーセンタ制御電源等の不要負荷切り離し（電源「切」）。

30～300分：2Aは30～60分で非常用密封油ポンプを停止。2Bは上記状態を継続。

蓄電池2A負荷パターン

【単位：A】

| 負荷名称 | 0～10秒 | 10～60秒 | 1～30分 | 30～60分 | 60～300分 |
|---|-------|--------|-------|--------|---------|
| 計装用電源2A, 2C ディーゼル発電機盤2A ディーゼル発電機励磁機2A メタクラ・パワーセンタ制御電源2A, 2C タービン動補助給水ポンプ盤2号 電動補助給水ポンプ盤2A 非常用密封油ポンプ起動盤2号 他 | 約 543 | 約 343 | 約 296 | 約 166 | 約 138 |

蓄電池2B負荷パターン

【単位：A】

| 負荷名称 | 0～10秒 | 10～60秒 | 1～30分 | 30～300分 |
|---|-------|--------|-------|---------|
| 計装用電源2B, 2D ディーゼル発電機盤2B ディーゼル発電機励磁機2B メタクラ・パワーセンタ制御電源2B, 2D タービン動補助給水ポンプ盤2号 電動補助給水ポンプ盤2B コントロールタワ非常用照明直流分電盤 他 | 約 482 | 約 333 | 約 286 | 約 152 |

○ 評価方法：電池工業会規格「据置蓄電池の容量算出法（SBA S 0601）」による。

2. 給電可能時間

1項に示す評価条件の元に、事象発生後5時間経過した時点での蓄電池必要容量を算出した結果を次に示す。

| 号機 | 名称 | 設備容量 | | 必要容量 |
|-----|-------|---------|---|---------|
| 2号機 | 蓄電池2A | 1,600Ah | > | 1,290Ah |
| | 蓄電池2B | 1,600Ah | > | 1,380Ah |

全交流電源喪失時のプラント運転状態による燃料枯渇時間

| パターン | プラント運転状態 | | | 燃料の枯渇日数(日) | |
|------|----------|-----|-----|-------------|---------------|
| | 1号機 | 2号機 | 3号機 | 重油 (電源車) | 軽油 (消防自動車) |
| ① | 運転中 | 運転中 | 運転中 | 17.4 | 60.5 |
| ② | 停止中 | 停止中 | 停止中 | 17.4 | <u>40.3</u> |
| ③ | 運転中 | 運転中 | 停止中 | 17.4 | 46.9 |
| ④ | 停止中 | 停止中 | 運転中 | 17.4 | 45.3 |
| ⑤ | 停止中 | 運転中 | 運転中 | 17.4 | 50.8 |
| ⑥ | 運転中 | 停止中 | 運転中 | 17.4 | 50.8 |
| ⑦ | 停止中 | 運転中 | 停止中 | <u>17.4</u> | <u>43.0</u> |
| ⑧ | 運転中 | 停止中 | 停止中 | 17.4 | 43.0 |

4.5 最終的な熱の逃し場（最終ヒートシンク）の喪失

4.5.1 評価の概要

本事象は、原子炉の出力運転中または停止中に、海水ポンプおよび循環水ポンプ等の故障により、常用および非常用の海水を取水するポンプ全てが機能喪失することにより、最終ヒートシンク機能が喪失することを想定する。

事象発生により、原子炉は制御棒の自重落下により停止するが、停止後も崩壊熱が発生するため、継続的に除熱する必要がある。通常、プラント停止における原子炉停止後の崩壊熱除去は、S/G 2次側からの除熱後に余熱除去系、原子炉補機冷却水系および原子炉補機冷却海水系等により継続的に行う。また、SFPにおける使用済燃料の崩壊熱除去については、通常、SFP水浄化冷却系、原子炉補機冷却水系および原子炉補機冷却海水系等により継続的に行う。

よって、炉心およびSFPにおける燃料の崩壊熱除去には最終ヒートシンクが必要となることから、これらの系統の機能停止もあわせて想定する。

最終ヒートシンク喪失によって機能停止する系統を含めた、伊方発電所第2号機の出力運転時と通常停止時における主要な系統を図4.4.1に示す。

本評価は、上記で想定した事象発生時における燃料の重大な損傷に至る過程を明らかにし、その過程の進展を踏まえて、事象の継続時間を評価することでクリフエッジを特定するとともに、事象進展を防止するための措置の効果を確認する。

4.5.2 評価実施事項

最終ヒートシンク喪失に対して、以下の(1)～(3)の項目について評価を実施する。

- (1) 内の事象PSAの知見を踏まえて、最終ヒートシンク喪失を起因事象として燃料の重大な損傷に至る事象の過程を明らかにする。
- (2) (1)において特定された事象の過程を踏まえ、最終ヒートシンク喪失の継続時間を明らかにし、クリフエッジの所在を特定する。
- (3) 特定されたクリフエッジへの対応を含め、燃料の重大な損傷に至る事象の過程の進展を防止するための措置について、多重防護の観点から、その効果を示す。

4.5.3 評価方法

炉心にある燃料とSFPにある燃料を対象に以下の評価を実施する。

(1) 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の特定
最終ヒートシンク喪失を起因事象として、燃料の重大な損傷に至る事象の過程をイベントツリーで特定し、事故シナリオの分析をするとともに、最終ヒートシンク喪失時に、燃料の重大な損傷を防止するために使用できる防護措置（緩和システム等）を明らかにする。

(2) 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の特定
(1)において特定した事象の過程に基づき、最終ヒートシンク喪失の継続時間評価を実施する。

評価にあたっては、(1)で特定した防護措置が機能維持している間は、燃料の重大な損傷に至る事象進展を防止できることから、防護措置の機能継続が可能な時間を評価し、クリフエッジの所在を特定する。

(3) 事象の過程の進展を防止する措置の効果の確認

(1)において特定した防護措置ごとに、燃料の重大な損傷の防止または燃料の重大な損傷までの時間余裕増加に関する効果を明らかにする。

また、防護措置の効果を多重防護の観点から確認する。具体的には防護措置が機能喪失した場合には、その機能を代替する防護措置を明らかにするとともに、機能を果たす防護措置の種類と数を確認する。

4.5.4 評価条件

(1) 最終ヒートシンク喪失時においては、常用および非常用の海水を取水するポンプ全てが機能喪失することで、間接的に除熱を要する機器も機能喪失するものとし、全ての常用および非常用の海水を取水するポンプの機能は回復しないものとする。ただし、外部電源については健全とする。

(2) 基本的にはプラント外部からの支援は受けられないものと仮定するが、外部からの支援の仕組みや空輸等の輸送手段が確立している場合には、それを含めた評価を実施するものとする。

(3) 最終ヒートシンク喪失発生時の状況として、厳しい運転条件となるように、以下の想定とし、炉心およびSFPを対象として評価を実施する。

除熱機能は、2号機が全出力運転状態を初期状態とする場合（以下、「運転時」という。）と燃料が原子炉からSFPに全て取り出された状態を初期状態とする場合（以下、「停止時」という。）について評価を実施する。また、評価に用いる最終ヒートシンク喪失時に必要な水量の妥当性について確認する。
(添付資料－4. 5. 1)

(4) 複数号機間の相互作用の可能性の考慮として、消防自動車の燃料は発電所で共通に使用することから、他号機の状況を加味して厳しい状態を想定する。具体的には、消防自動車の燃料は、発電所で共用としていることから、2号機にとって評価結果が厳しくなるよう、1, 3号機においても最終ヒートシンク喪失が発生し、緊急安全対策（短期）および設備強化対策（平成24年8月17日時点）により整備した対応を実施している状態を仮定し、それぞれ最も評価結果が厳しくなるような運転状態を想定する。また、評価に用いる最終ヒートシンク喪失時における消防自動車に必要な燃料の妥当性について確認する。

なお、可搬型消防ポンプおよび可搬型消防ポンプの運転に必要な燃料（ガソリン）を配備することで、S/Gへの海水供給手段を別途整備しているが、本評価においては予備として使用しない扱いとした。

(添付資料－4. 5. 2)

また、ろ過水タンクA, Bおよび脱塩水タンク1号（以下、これらのタンクを総称して「淡水タンク」という。）については、1, 2号機間では共用するが、1, 2号機と3号機間では共用しない。

(5) 評価にあたっては、平成24年8月17日時点の伊方発電所における施設と管理状態を対象として実施する。また、評価にあたって考慮する防護措置は、下記のイ)～ニ)に示す分類で区別し、それぞれの分類における防護措置の効果を明確にする。

イ) 工事計画で対象とした設備

ロ) 整備済みのアクシデントマネジメント策

ハ) 緊急安全対策（短期）

ニ) 設備強化対策（緊急安全対策に係る実施状況報告書にて計画されているもののうち設置済みの設備）

なお、設置されていないが計画が明らかになっている設備による防護措置は参考とし、設置済みの設備（上記イ）～ニ）による防護措置とは区別する。

- (6) 特定した防護措置については、手順の整備および教育・訓練等が実施されているもののみを評価において考慮する。
- (7) 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において、地震、津波等の外部事象による設備への影響は考慮しない。
- (8) 継続時間評価において、最終ヒートシンク喪失発生後、炉心については、緊急安全対策として整備した手順に従い、タービン動補助給水ポンプにより1次冷却材温度約170℃、圧力約0.7MPaの状態まで移行し、余熱除去系等の運転によりその状態を維持し、崩壊熱除去を継続的に行うものとして評価する。

また、SFPについては、貯蔵されている燃料から発生する崩壊熱によって蒸散する水を給水し、SFPを通常水位-20cmに維持するものとして評価するが、停止時においては、SFP水浄化冷却系等の運転により、崩壊熱除去を継続的に行うものとして評価する。

4.5.5 評価結果

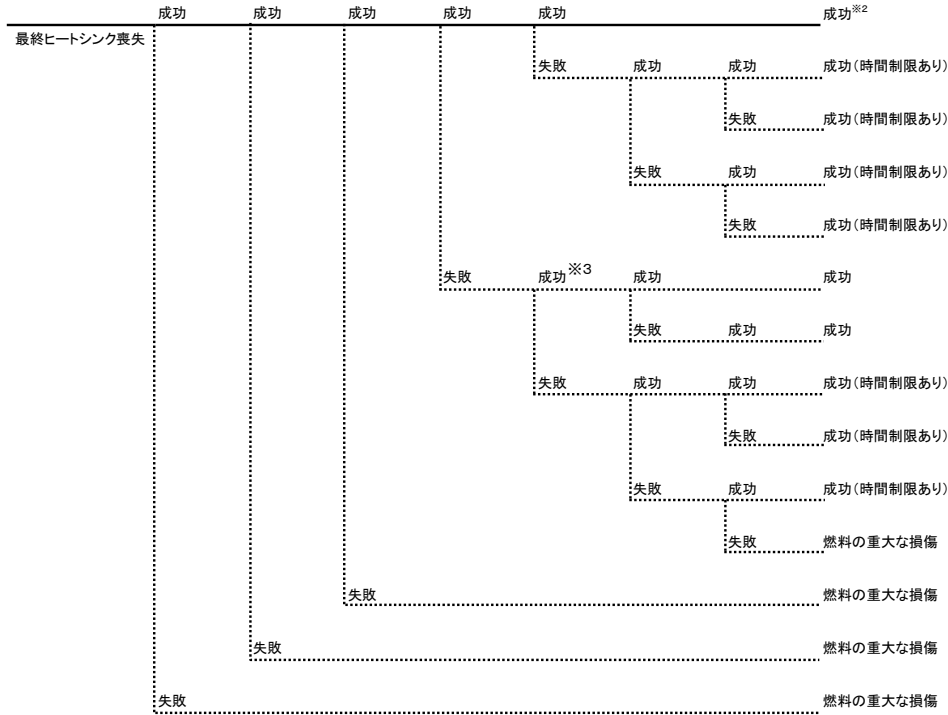
- (1) 最終ヒートシンク喪失から燃料の重大な損傷までの事象の過程の特定

2号機の原子炉補機冷却海水系は、4台の海水ポンプから独立した2系統の海水供給母管に接続される構成となっており、これら4台の海水ポンプおよび循環水ポンプ等の海水を取水するポンプ全てが運転不能となることで、最終ヒートシンク喪失に至る。

事象の過程として、炉心については、最終ヒートシンク喪失が発生した場合、タービン動補助給水ポンプまたは電動補助給水ポンプにより、復水タンク2号等を水源としてS/G2次側へ給水を行うことで、S/Gを介して炉心の除熱が行われる。その後、余熱除去系等を用いた炉心の除熱に切り替える。これら除熱機能が失われ、炉心からの崩壊熱を除去できなくなった場合、最終的には燃料の重大な損傷に至る。

この過程を炉心の除熱機能を達成するシステムによるイベントツリーで図4.5.1に示す。

| | | | | | | | | |
|--------------------|------------------------------------|-----------------------|----------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|----|
| 起因事象 | イ) | イ) | イ) | ロ) | 二) | ハ) | ハ) | 状態 |
| | タービン動または電動補助給水ポンプの起動、主蒸気逃がし弁による熱放出 | 復水タンクを水源とするS/G給水による除熱 | 蓄圧注入によるほう酸水の給水 | 2次系純水タンクを水源とするS/G給水による除熱 | 海水取水用水中ポンプによる余熱除去設備による冷却 | 淡水タンクを水源とするS/G給水による除熱 | 海水を水源とするS/G給水による除熱 | |
| 除熱機能 ^{※1} | ◎ | ◎ [水源] | — | ◎ [水源] | ◎ | ○ [水源、軽油] | ○ [水源、軽油] | |



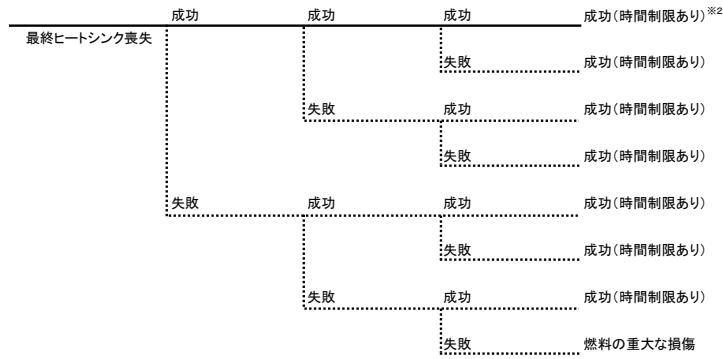
- イ) 工事計画で対象とした設備
- ロ) 整備済みのアクセシブルなメンテナンス策
- ハ) 緊急安全対策(短期)
- ニ) 設備強化対策(緊急安全対策に係る実施報告書にて計画されているものうち設置済みの設備)
- ※1 除熱機能の各防護措置のうち◎の防護措置を用いた継続時間評価を実施した
- ※2 本イベントツリーに記載されているイベントのうち、実線のイベントについて除熱機能の継続時間を評価した
- ※3 余熱除去設備による冷却へ切り替えるまでは淡水タンクまたは海水により除熱機能を維持する

図 4.5.1 最終ヒートシンク喪失から燃料の重大な損傷に至る事象の過程 (炉心)

事象の過程としてSFPについては、最終ヒートシンク喪失に伴い、除熱機能が喪失するため、運転時においてはSFPへの給水を行うことで、停止時においては、SFP水浄化冷却系を用いた冷却またはSFPへの給水を行うことで燃料を継続して除熱する。これら除熱機能が失われ、燃料の崩壊熱を除去できなくなった場合、最終的には燃料の重大な損傷に至る。

この過程をSFPの除熱機能を達成するシステムによるイベントツリーで図4.5.2および図4.5.3に示す。

| | | | | |
|--------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|----|
| 起回事象 | イ) | ハ) | ハ) | 状態 |
| | 2次系純水タンクを水源とするSFP給水による除熱 | 淡水タンクを水源とするSFP給水による除熱 | 海水を水源とするSFP給水による除熱 | |
| 除熱機能 ^{※1} | ◎ [水源] | ◎ [水源、軽油] | ◎ [水源、軽油] | |

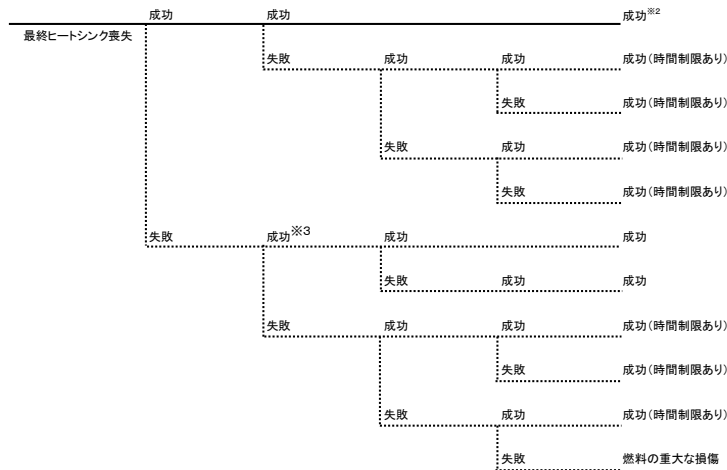


- イ) 工事計画で対象とした設備
- ロ) 整備済みのアクシデントマネジメント策
- ハ) 緊急安全対策(短期)
- ニ) 設備強化対策(緊急安全対策に係る実施報告書にて計画されているものうち設置済みの設備)

※1 除熱機能の各防護措置のうち◎の防護措置を用いた継続時間評価を実施した。
 ※2 本イベントツリーに記載されているイベントのうち、実線のイベントについて 除熱機能の継続時間を評価した。

図 4.5.2 最終ヒートシンク喪失から燃料の重大な損傷に至る事象の過程 (SFP: 運転時)

| | | | | | |
|--------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------|----|
| 起回事象 | イ) | 二) | ハ) | ハ) | 状態 |
| | 2次系純水タンクを水源とするSFP給水による除熱 | 海水取水用水中ポンプによるSFP水浄化冷却系による冷却 | 淡水タンクを水源とするSFP給水による除熱 | 海水を水源とするSFP給水による除熱 | |
| 除熱機能 ^{※1} | ◎ [水源] | ◎ | ◎ [水源、軽油] | ◎ [水源、軽油] | |



- イ) 工事計画で対象とした設備
- ロ) 整備済みのアクシデントマネジメント策
- ハ) 緊急安全対策(短期)
- ニ) 設備強化対策(緊急安全対策に係る実施報告書にて計画されているものうち設置済みの設備)

※1 除熱機能の各防護措置のうち◎の防護措置を用いた継続時間評価を実施した。
 ※2 本イベントツリーに記載されているイベントのうち、実線のイベントについて 除熱機能の継続時間を評価した。
 ※3 SFP水浄化冷却系による冷却へ切り替えるまでは淡水タンクまたは海水により除熱機能を維持する

図 4.5.3 最終ヒートシンク喪失から燃料の重大な損傷に至る事象の過程 (SFP: 停止時)

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から、炉心およびSFPにある燃料の重大な損傷を防止するための機能とシステムが把握できた。

これらに係る設備は以下のとおりであり、保全プログラムまたは社内マニュアルに従って設備の保全を実施することで健全性の維持および確認を実施している。

○炉心における除熱機能

タービン動補助給水ポンプ、電動補助給水ポンプ、復水タンク 2 号、2 次系純水タンク 2 号、淡水タンク (ろ過水タンク A, B、脱塩水タンク 1 号)、消防自動車、原子炉補機冷却水ポンプ、原子炉補機冷却水冷却器、余熱除去ポンプ、余熱除去冷却器、海水取水用水中ポンプ

○SFPにおける除熱機能

2 次系純水タンク 2 号、純水サービスポンプ、淡水タンク (ろ過水タンク A, B、脱塩水タンク 1 号)、消防自動車、原子炉補機冷却水ポンプ、原子炉補機冷却水冷却器、使用済燃料ピットポンプ、使用済燃料ピット冷却器、海水取水用水中ポンプ

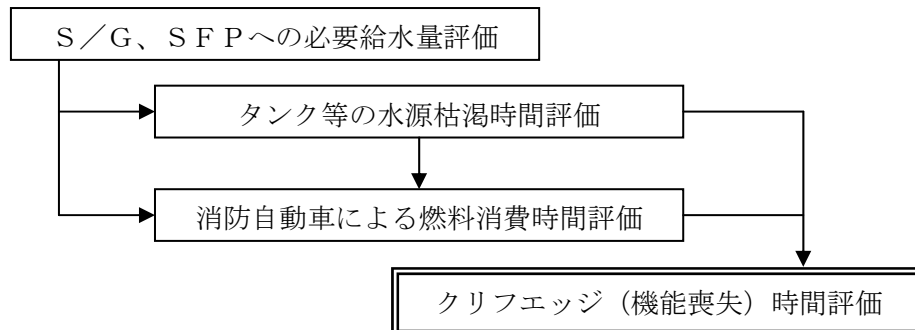
なお、水源として使用するタンクについては、緊急安全対策策定時に他号機も含めた割り当てを設定しており、評価に用いる保有水量は、復水タンク 2 号については保安規定記載値、その他のタンクについては運用水位とした。

(添付資料－ 4. 5. 3)

(2) 最終ヒートシンク喪失の継続時間およびクリフエッジ所在の特定

(1)の結果より、最終ヒートシンク喪失が発生した場合に、炉心およびSFPにおける燃料の重大な損傷を防止するためには、除熱機能が継続する必要がある、その継続可能時間の評価について、以下の a. および b. に示すとおり実施し、クリフエッジ所在の特定を行った。また、継続時間評価のフロー図は以下のとおりである。

< 除熱機能の継続時間評価 >



a. 運転時の継続時間に係る評価およびクリフェッジの特定

(a) 除熱機能継続に係る評価

i. 炉心にある燃料に対する評価結果

運転時に最終ヒートシンク喪失が発生した場合、タービン動補助給水ポンプまたは電動補助給水ポンプが起動し、S/G 2次側への給水を行い、炉心の除熱を行う。

水源としては、復水タンク 2号、2次系純水タンク 2号、淡水タンクの順に切り替え、最終的には消防自動車を用いて海水を取水し、復水タンク 2号または2次系純水タンク 2号に給水することで、S/G 2次側への給水を確保することが可能である。なお、S/Gへの給水源は復水タンク 2号を除いてSFPへの給水評価に用いる水源と同様であり、両者に同時に給水するとして評価した。

(添付資料－3. 4. 3)

また、海水取水用水中ポンプを用いることで、炉心の除熱を余熱除去系による除熱に切り替えることが可能である。

2次系純水タンク 2号の枯渇までに炉心の除熱を余熱除去系による除熱に切り替えると想定して、各水源へ切り替えた場合の枯渇時間については、図 4.5.4 に示すとおり、復水タンク 2号では約 5 時間、2次系純水タンク 2号へ切り替えることで約 4 日間継続して給水が可能であり、以降除熱のためのS/Gへの給水は不要となる。

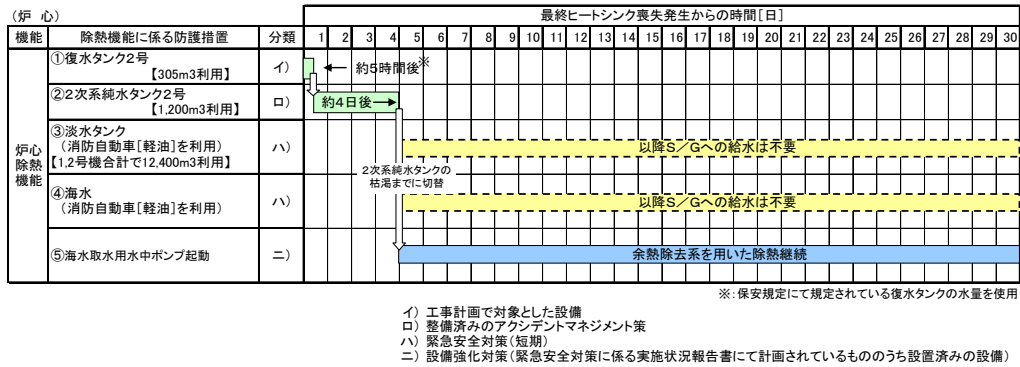


図 4.5.4 運転時の炉心除熱機能継続時間に係る評価結果

ii. SFPにある燃料に対する評価結果

運転時に最終ヒートシンク喪失が発生した場合、SFPの除熱機能が喪失し、使用済燃料の崩壊熱により、SFPの水温が上昇することで水が蒸散していくため、他の水源から消防自動車を用いて、SFPへ給水を行う必要がある。

水源としては、2次系純水タンク2号、淡水タンクの順に切り替え、最終的には消防自動車を用いて海水を取水し、SFPへの給水を確保することが可能である。なお、SFPへの給水源はS/Gへの給水評価に用いた水源と同様であり、両者に同時に給水するとして評価した。

(添付資料－3.4.4)

各水源へ切り替えた場合の枯渇時間については、図 4.5.5 に示すとおり、2次系純水タンク2号では約4日後、淡水タンクへ切り替えることで約28日後となり、最終的に海水に切り替えた場合、水源は無量大となる。

しかし、消防自動車を用いて淡水もしくは海水を給水するには、消防自動車の運転に必要な燃料(軽油)を補給する必要がある。発電所に備蓄してある軽油(20kℓ)は他号機にも使用するため、4.5.4(4)において記載したとおり、燃料消費上最も厳しい評価となるケースを検討した。その結果、1,2,3号機とも運転中に最終ヒートシンク喪失が発生し、外部からの支援が受けられないと仮定した場合、図 4.5.5 に示すとおり、発電所に備蓄してある軽油が約60.5日後に枯渇することから、2号機における運転中のSFPに関する除熱機能の継続時間は約60.5日間となる。

(添付資料－4.5.4)

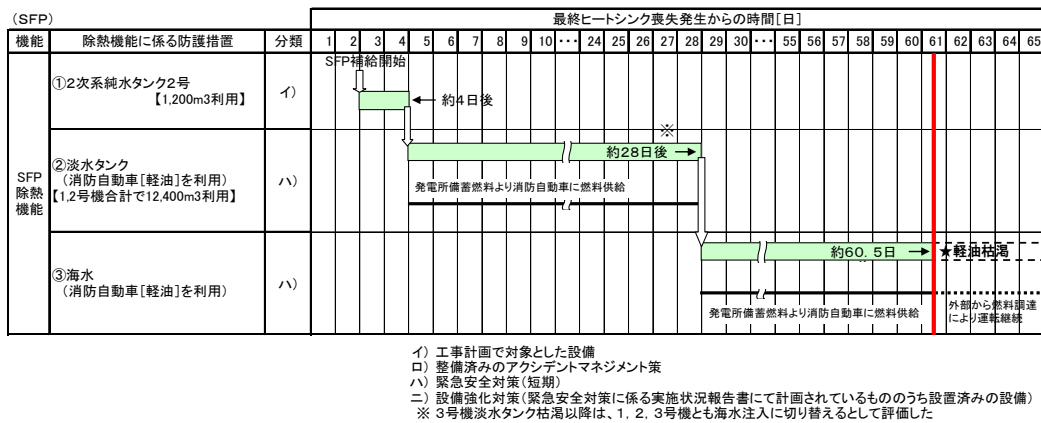


図 4.5.5 運転時の S F P 除熱機能継続時間に係る評価結果

(b) クリフエッジ所在の特定

(a) 除熱機能の継続時間評価より、運転時は、図 4.5.6 に示すとおり、炉心では海水取水用水中ポンプを用いて余熱除去系を運転することで継続的に除熱機能を維持することができ、SFPでは除熱機能の継続に必要な消防自動車の燃料である軽油が枯渇する最終ヒートシンク喪失発生から約 60.5 日後がクリフエッジとなる。

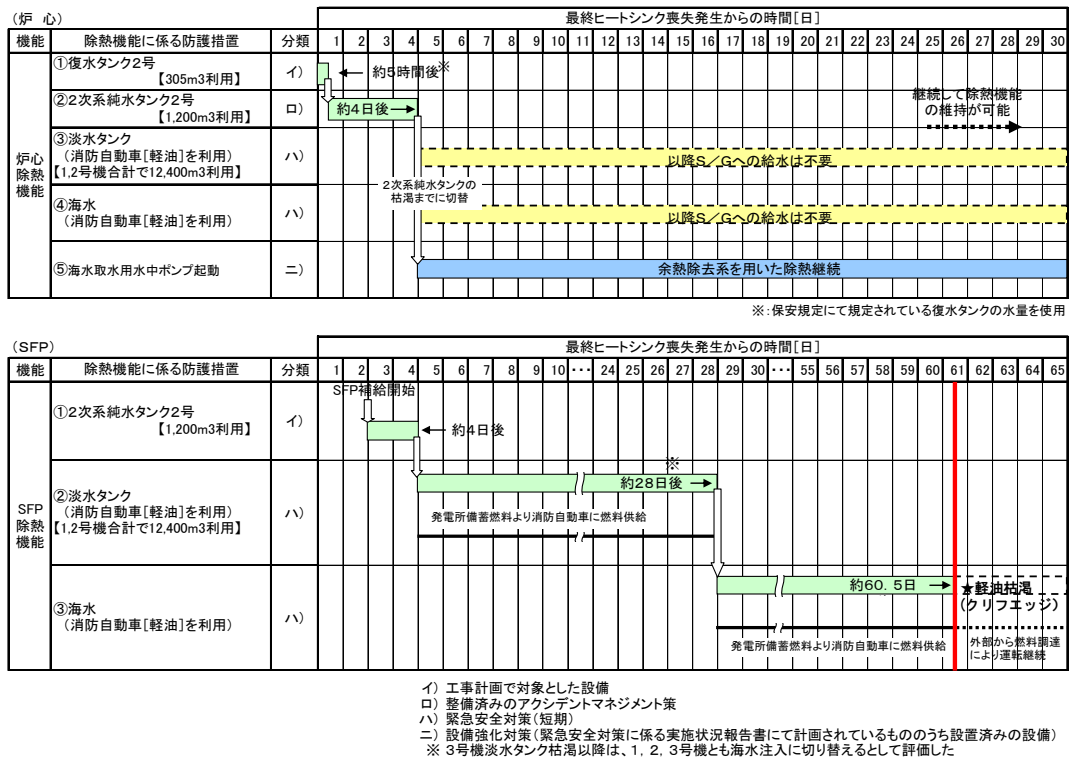


図 4.5.6 運転時のクリフエッジ所在の特定結果

b. 停止時の継続時間に係る評価およびクリフエッジの特定

(a) 除熱機能継続に係る評価

停止時には炉心の燃料はSFPに取り出されているため、SFPについてのみ評価を行った。

i. SFPにある燃料に対する評価結果

停止時に最終ヒートシンク喪失が発生した場合、SFPの除熱機能が喪失し、使用済燃料の崩壊熱により、SFPの水温が上昇することで水が蒸散していくため、他の水源から消防自動車を用いて、SFPへ給水を行う必要がある。

水源としては、2次系純水タンク2号、淡水タンクの順に切り替え、最終的には消防自動車を用いて海水を取水し、継続的にSFPへの給水を確保することが可能である。

(添付資料-3.4.4)

なお、海水取水用水中ポンプを用いることで、使用済燃料の除熱をSFP水浄化冷却系による除熱に切り替えることが可能である。

2次系純水タンク2号の枯渇までに使用済燃料の除熱をSFP水浄化冷却系による除熱に切り替えた場合、2次系純水タンク2号の枯渇時間は図4.5.7に示すとおり、約6日後であり、以後除熱のための直接給水は不要となる。

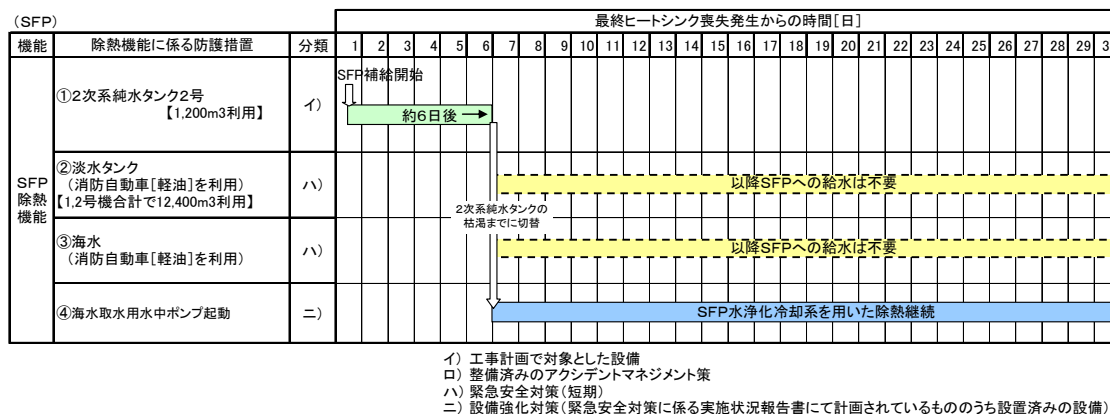


図 4.5.7 停止時のSFP除熱機能継続時間に係る評価結果

(b) クリフエッジ所在の特定

(a) 除熱機能の継続時間評価より、停止時は、図 4.5.8 に示すとおり海水取水用水中ポンプを用いて S F P 水浄化冷却系を運転することで継続的に除熱機能を維持することができる。

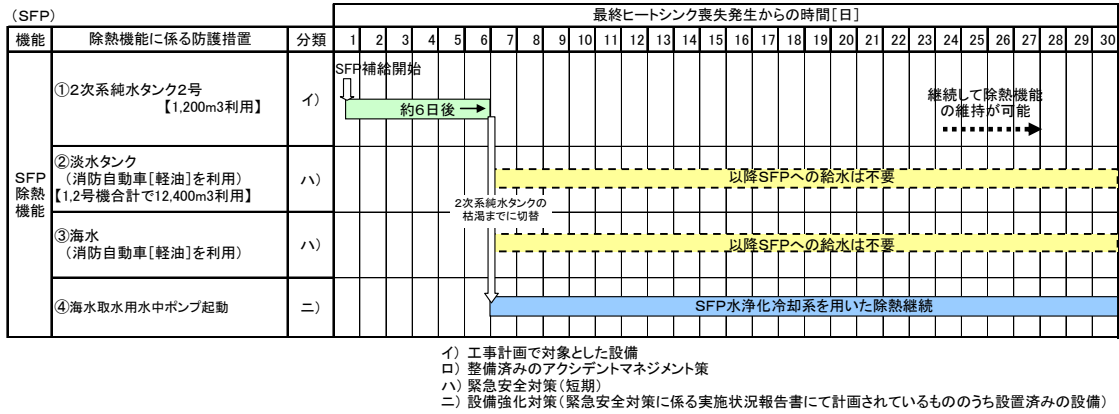


図 4.5.8 停止時のクリフエッジ所在の特定結果

以上の結果により、運転時および停止時のクリフエッジは表 4.5.1 のとおりとなった。

表 4.5.1 クリフエッジの特定結果

| | 2号機運転時 | 2号機停止時 |
|-------|-----------|--------|
| 炉心 | —※1 | —※2 |
| S F P | 約 60.5 日後 | —※1 |

※1：継続して除熱機能の維持が可能。

※2：停止時の炉心については、燃料が全て S F P へ取り出されているため評価不要。

(3) 事象の過程の進展を防止する措置の効果の確認

運転時における炉心およびSFP、停止時におけるSFPそれぞれについて、(1)において特定した防護措置の効果をもとに、緊急安全対策実施前のクリフェッジおよび平成24年8月17日時点のクリフェッジを比較することで緊急安全対策と設備強化対策のうち実施済みの設備の効果について、図4.5.9～4.5.11のように評価した。

a. 緊急安全対策前のクリフェッジ

(a) 運転時

炉心およびSFPのクリフェッジは2次系純水タンク2号の枯渇であり、約4日後であった。

(b) 停止時

SFPのクリフェッジは2次系純水タンク2号の枯渇であり、約6日後であった。

b. 平成24年8月17日時点のクリフェッジ

(a) 運転時

(2)に示すとおり、平成24年8月17日時点では、緊急安全対策および設備強化対策により、炉心については除熱機能として海水取水用水中ポンプによる余熱除去系による除熱が可能となったことから、継続して除熱機能の維持が可能となった。また、SFPについては、除熱機能として淡水タンクおよび海からの給水による除熱が可能となったことから、クリフェッジは約60.5日後となった。

(b) 停止時

(2)に示すとおり、平成24年8月17日時点では、緊急安全対策および設備強化対策により、SFPの除熱機能として海水取水用水中ポンプによりSFP水浄化冷却系による除熱が可能となったことから、継続して除熱機能の維持が可能となった。

上記の a. および b. において評価したクリフエッジおよび防護措置の効果を表 4.5.2 のとおり整理した。

表 4.5.2 防護措置の効果

| | | 緊急安全対策前 のクリフエッジ | 平成 24 年 8 月 17 日 時点のクリフエッジ |
|-------------|-------|--------------------|-------------------------------|
| 2 号機 運転時 | 炉 心 | 約 4 日後 | —※ ¹ |
| | S F P | 約 4 日後 | 約 60.5 日後 |
| 2 号機 停止時 | S F P | 約 6 日後 | —※ ¹ |

※¹：継続して除熱機能の維持が可能。

さらに、このクリフエッジを防止する対策として、発電所への継続的な燃料輸送手段を確立しており、発電所の備蓄分が枯渇するまでに陸路による補給を行うこととしている。さらに、陸路による燃料補給が困難な場合を想定して、空路による補給を行うことができる契約を結んでおり、継続して燃料を調達することが可能である。^{※²}

(添付資料－3. 6. 6)

※² 「3号機審査質問回答」の「(No. 12) 地震、津波及び地震・津波の重畳時における冷却継続時間の評価」11頁～18頁参照

4.5.6 結論

4.5.5 で示したとおり、緊急安全対策（短期）および設備強化対策により、燃料の重大な損傷に至る過程の進展を防止するための措置を講じた結果、最終ヒートシンク喪失が発生した場合に、発電所外部からの燃料補給がない場合でも運転時の S F P で約 60.5 日間、炉心および停止時の S F P においては継続して除熱機能の維持が可能である。

なお、クリフエッジを防止するための対策として、発電所構内に備蓄している燃料で S F P の除熱を継続している期間内に、陸路または空路による継続的な燃料補給を行うことで機能維持が可能である。

さらに、海水ポンプモータが使用不能となった場合を想定し、海水ポンプモータ予備品を各号機 1 台ずつ配備している。

最終ヒートシンク喪失時に必要な水量の妥当性

1. まえがき

伊方発電所における最終ヒートシンク喪失時において、蒸気発生器2次側への給水による炉心の崩壊熱除去および使用済燃料ピットへ水を補給することで貯蔵燃料の崩壊熱による水位低下を補うために必要な水量に関する評価を実施した。

2. 評価条件

最終ヒートシンク喪失時において、蒸気発生器および使用済燃料ピットの水源となるタンクの容量を表1に、各タンクの有効水量を表2に示す。

(1) タンク容量および基数

表1 各タンクの容量および基数

| タンク名称 | 2号 | (参考) | |
|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | 1号 | 3号 |
| 復水タンク容量 [m ³] | 約390 (約390×1基) | 約390 (約390×1基) | 約740 (約740×1基) |
| 2次系純水タンク容量[m ³] | 約1,500 (約1,500×1基) | 約1,500 (約1,500×1基) | 約3,000 (約3,000×1基) |
| 淡水タンク容量 [m ³] | 約14,500 (約6,000×2基, 約2,500×1基) | | 約6,000 (約3,000×2基) |

注: 伊方3号機の場合は復水タンクを補助給水タンクと読み替える。(以下同様)

(2) 各タンクにおける有効水量

表2 各タンクにおける有効水量

| 供給先 | タンク名称 | 2号 | (参考) | | 備考 |
|----------------------------------|-----------------------------|--------|-------|-------|--|
| | | | 1号 | 3号 | |
| 蒸気発生器 | 復水タンク水量[m ³] | 305 | 305 | 610 | 使用可能な水量は保安規定での要求水量とした |
| 蒸気発生器 および 使用済 燃料 ピット | 2次系純水タンク水量[m ³] | 1,200 | 1,200 | 2,600 | 使用可能な水量はタンクの自動補給開始レベルとした |
| | 淡水タンク水量[m ³] | 12,400 | | 5,200 | 使用可能な水量はタンクの自動補給開始レベルとし、1,2号機については、各タンクの合計容量を共用するものとした |

注: 2次系純水タンクおよび淡水タンクの有効水量については、それぞれ3桁目以降を切捨処理とし有効数字2桁で評価した。

(3) 蒸気発生器への必要給水流量算出に用いた崩壊熱の評価

蒸気発生器への必要補給水流量の計算に必要な炉心の崩壊熱の評価は、表3に示すような厳しい前提条件として、核分裂生成物(FP)崩壊熱に関しては、「軽水型動力炉の非常用炉心冷却系の性能評価指針(昭和56年7月20日原子力安全委員会決定、平成4年6月11日一部改定)」においてその使用が認められている、日本原子力学会推奨値(不確定性(3σ)込み)を用い、アクチニド崩壊熱に関しては、十分実績のあるORIGEN2コード評価値(不確定性(20%)込み)を用いる。

表3 崩壊熱評価条件

| | 1, 2号炉 | (参考) 3号炉 |
|------|--|--|
| 燃焼条件 | ウラン燃料 ・燃焼度: 3回照射燃料 55,000MWd/t 2回照射燃料 36,700MWd/t 1回照射燃料 18,300MWd/t ・ウラン濃縮度: 4.8wt% | ウラン燃料 ・燃焼度: 3回照射燃料 55,000MWd/t 2回照射燃料 36,700MWd/t 1回照射燃料 18,300MWd/t ・ウラン濃縮度: 4.8wt% MOX燃料 ・燃焼度: 3回照射燃料 45,000MWd/t 2回照射燃料 35,000MWd/t 1回照射燃料 15,000MWd/t ・Pu含有率: 4.1wt%濃縮ウラン相当 |

注1: 1,2号炉は、55,000MWd/t燃料使用等に伴う原子炉設置変更許可申請(平成14年4月申請)安全審査における評価条件。

注2: 3号炉は、MOX燃料使用等に伴う原子炉設置変更許可申請(平成16年11月申請)安全審査における評価条件。

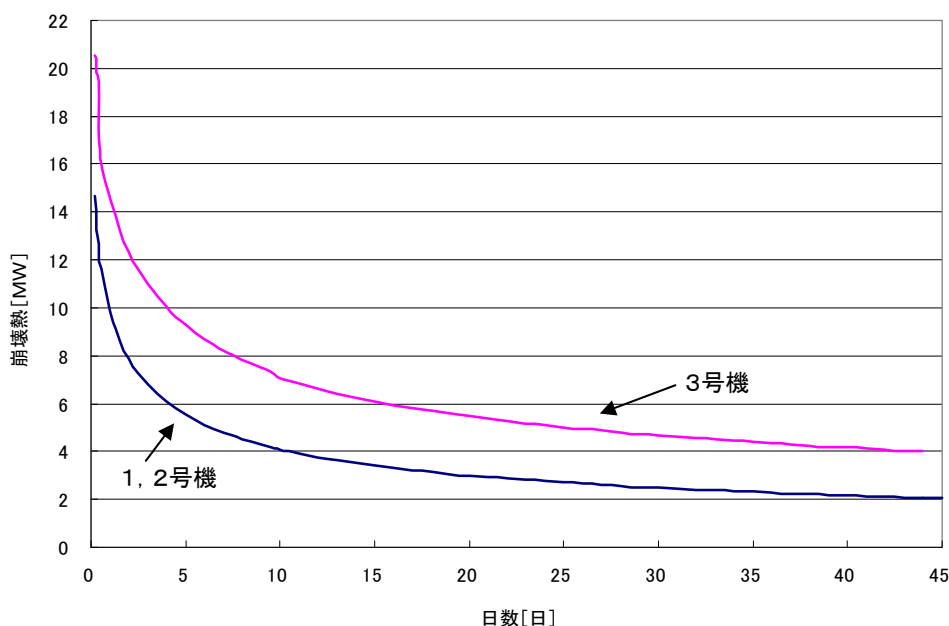


図1 崩壊熱計算結果

(4) 蒸気発生器への必要補給水流量等の計算

原子炉を全出力運転状態から、1次冷却材の圧力を約0.7MPa、高温側温度を約170℃(低温側約150℃)の状態まで冷却するために必要な蒸気発生器への補給水量は以下の式を用いて計算する。

$$\text{SG必要補給水量} = \frac{\text{除熱量[kJ]}}{([\text{SG2次側飽和蒸気エンタルピー}] - [\text{補給水エンタルピー}]) \times \text{補給水密度}} \quad [\text{m}^3]$$

また、原子炉からの崩壊熱を除去し、1次冷却材の圧力を約0.7MPa、高温側温度を約170℃(低温側約150℃)の状態に維持するための蒸気発生器への必要補給水流量は以下の式で計算する。

$$\text{SG必要補給水流量} = \frac{\text{崩壊熱[kW]} \times 3600}{([\text{SG2次側飽和蒸気エンタルピー}] - [\text{補給水エンタルピー}]) \times \text{補給水密度}} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

【計算条件】

除熱量：1次冷却系統構成材および冷却材の顕熱等の合計[kJ]

タンク保有水：40℃、大気圧

補給水密度：992[kg/m³]

SG2次側飽和蒸気エンタルピー(150℃)と補給水エンタルピー(40℃)の差：2578[kJ/kg]
(日本機械学会蒸気表から引用)

(5) 使用済燃料ピットへの必要給水流量算出に用いた崩壊熱の評価

使用済燃料ピットへの必要補給水流量計算は、運転時および停止時について評価を実施した。停止時における燃料の崩壊熱は表4および表5に示すような厳しい前提条件とし、運転時は停止時の条件から1回および2回照射の燃料を炉心に再装荷していることと、取出し後の冷却期間を30日とし、運転開始直後の状態とすることを考慮した。

また、核分裂生成物(FP)崩壊熱に関しては、「軽水型動力炉の非常用炉心冷却系の性能評価指針(昭和56年7月20日原子力安全委員会決定、平成4年6月11日一部改定)」においてその使用が認められている日本原子力学会推奨値(不確定性(3σ)込み)を用い、アクチニド崩壊熱に関しては十分実績のあるORIGEN2コード評価値(不確定性(20%)込み)を用いる。

表4 崩壊熱評価条件

| | 1、2号炉 |
|--------|---|
| 燃焼条件 | ・燃焼度：3回照射燃料 55,000MWd/t 2回照射燃料 36,700MWd/t 1回照射燃料 18,300MWd/t ・ウラン濃縮度：4.8wt% |
| 照射回数 | 3サイクル照射後取出 |
| 運転期間 | 13ヶ月 |
| 停止期間 | 30日 |
| 燃料取出期間 | 9.5日 |

注：伊方1,2,3号炉55,000MWd/t燃料使用等に伴う原子炉設置変更許可申請(平成14年4月申請)安全審査における使用済燃料ピット冷却設備の評価条件

表5 崩壊熱評価条件(参考)

| | 3号炉 | | |
|--------|---|---|---------|
| | MOX燃料 | ウラン燃料 | 1,2号炉燃料 |
| 燃焼条件 | ・燃焼度: 3回照射燃料 45,000MWd/t 2回照射燃料 35,000MWd/t 1回照射燃料 15,000MWd/t ・Pu含有率:4.1wt%濃縮ウラン相当 | ・燃焼度: 3回照射燃料 55,000MWd/t 2回照射燃料 36,700MWd/t 1回照射燃料 18,300MWd/t ・ウラン濃縮度:4.8wt% | |
| 照射回数 | 3サイクル照射後取出 | 同左 | 同左 |
| 運転期間 | 13ヶ月 | 同左 | 同左 |
| 停止期間 | 30日 | 同左 | 同左 |
| 燃料取出期間 | 7. 5日 | 同左 | 2年冷却後輸送 |

注: 伊方3号炉MOX燃料使用等に伴う原子炉設置変更許可申請(平成16年11月申請)安全審査における使用済燃料ピット冷却設備の評価条件

(6)使用済燃料ピットへの必要補給水流量の計算

使用済燃料ピットの冷却機能が喪失することによる使用済燃料ピットの水温上昇および保有水量減少(蒸散)を補うための使用済燃料ピットへの必要補給水流量を以下の式で計算する。

使用済燃料ピット保管の燃料の崩壊熱Qによる保有水の蒸散量 $\Delta V / \Delta t (m^3/h)$ は以下の通りである。

$$\Delta V / \Delta t = (Q \times 3600) / (\rho \times hfg) (m^3/h) \text{※1}$$

ρ (飽和水密度) : 958kg/m³※2

hfg(飽和水蒸発潜熱): 2,257kJ/kg※2

Q(SFP崩壊熱): 4,706kW(伊方2号炉) ※3 [運転時: 1,505kW]

: 4,629kW(参考、伊方1号炉) ※3 [運転時: 1,428kW]

: 11,715kW(参考、伊方3号炉) ※3 [運転時: 5,488kW]

※1 $(\rho \times \Delta V)$ kgの飽和水が蒸気になるための熱量は $hfg \times (\rho \times \Delta V)$ (kJ)で、使用済燃料の Δt 時間あたりの崩壊熱量 $Q \Delta t$ に等しい。なお、保有水は保守的に大気圧下での飽和水(100℃)として評価する。

※2 日本機械学会蒸気表から引用。

※3 表6～表8参照

表6 燃料取出スキーム(2号炉)

| 取出燃料 | 冷却期間 | 燃料数 | 崩壊熱(MW) |
|-------------|-------------------|------------|---------|
| 定検時取出燃料1 | 9.5日 | 1/3炉心(40体) | 1.252 |
| 定検時取出燃料2 | 9.5日 | 1/3炉心(40体) | 1.359 |
| 定検時取出燃料3 | 9.5日 | 1/3炉心(41体) | 1.501 |
| 1サイクル冷却済み燃料 | 1×(13ヶ月+30日)+9.5日 | 1/3炉心(40体) | 0.195 |
| 2サイクル冷却済み燃料 | 2×(13ヶ月+30日)+9.5日 | 1/3炉心(40体) | 0.108 |
| 3サイクル冷却済み燃料 | 3×(13ヶ月+30日)+9.5日 | 1/3炉心(40体) | 0.071 |
| 4サイクル冷却済み燃料 | 4×(13ヶ月+30日)+9.5日 | 1/3炉心(40体) | 0.055 |
| 5サイクル冷却済み燃料 | 5×(13ヶ月+30日)+9.5日 | 1/3炉心(40体) | 0.047 |
| 6サイクル冷却済み燃料 | 6×(13ヶ月+30日)+9.5日 | 1/3炉心(40体) | 0.042 |
| 7サイクル冷却済み燃料 | 7×(13ヶ月+30日)+9.5日 | 1/3炉心(40体) | 0.038 |
| 8サイクル冷却済み燃料 | 8×(13ヶ月+30日)+9.5日 | 1/3炉心(40体) | 0.036 |
| 9サイクル冷却済み燃料 | 9×(13ヶ月+30日)+9.5日 | 3体 | 0.002 |
| 合計 | — | 444体 | 4.706 |

注1:伊方1,2,3号炉55,000MWd/t燃料使用等に伴う原子炉設置変更許可申請(平成14年4月申請)安全審査における使用済燃料ピット冷却設備の評価条件。

注2:伊方2号炉の使用済燃料ピットの燃料保管容量は444体。

表7 燃料取出スキーム(参考、1号炉)

| 取出燃料 | 冷却期間 | 燃料数 | 崩壊熱(MW) |
|-------------|-------------------|------------|---------|
| 定検時取出燃料1 | 9.5日 | 1/3炉心(40体) | 1.252 |
| 定検時取出燃料2 | 9.5日 | 1/3炉心(40体) | 1.359 |
| 定検時取出燃料3 | 9.5日 | 1/3炉心(41体) | 1.501 |
| 1サイクル冷却済み燃料 | 1×(13ヶ月+30日)+9.5日 | 1/3炉心(40体) | 0.195 |
| 2サイクル冷却済み燃料 | 2×(13ヶ月+30日)+9.5日 | 1/3炉心(40体) | 0.108 |
| 3サイクル冷却済み燃料 | 3×(13ヶ月+30日)+9.5日 | 1/3炉心(40体) | 0.071 |
| 4サイクル冷却済み燃料 | 4×(13ヶ月+30日)+9.5日 | 1/3炉心(40体) | 0.055 |
| 5サイクル冷却済み燃料 | 5×(13ヶ月+30日)+9.5日 | 1/3炉心(40体) | 0.047 |
| 6サイクル冷却済み燃料 | 6×(13ヶ月+30日)+9.5日 | 39体 | 0.041 |
| 合計 | — | 360体 | 4.629 |

注1:伊方1,2,3号炉55,000MWd/t燃料使用等に伴う原子炉設置変更許可申請(平成14年4月申請)安全審査における使用済燃料ピット冷却設備の評価条件。

注2:伊方1号炉の使用済燃料ピットの燃料保管容量は360体。

表8 燃料取出スキーム(参考、3号炉)

| 取出燃料 | 冷却期間 | MOX燃料 | | ウラン燃料 | | 伊方1, 2号炉燃料 | | |
|-------------|--------------------|--------|----------|----------|----------|-----------------|-------|----------|
| | | 燃料数 | 崩壊熱 (MW) | 燃料数 | 崩壊熱 (MW) | 冷却期間 | 燃料数 | 崩壊熱 (MW) |
| 定検時取出燃料1 | 7.5日 | 16体 | 0.955 | 39体 | 1.670 | - | - | - |
| 定検時取出燃料2 | 7.5日 | 16体 | 1.084 | 39体 | 1.810 | - | - | - |
| 定検時取出燃料3 | 7.5日 | 8体*2 | 0.557 | 39体 | 1.941 | - | - | - |
| 1サイクル冷却済燃料 | 1×(13ヶ月+30日)+7.5日 | 16体*1 | 0.171 | 39体 | 0.229 | - | - | - |
| 2サイクル冷却済燃料 | 2×(13ヶ月+30日)+7.5日 | 16体*1 | 0.085 | 39体 | 0.124 | 2年 | 40体×2 | 0.126×2 |
| 3サイクル冷却済燃料 | 3×(13ヶ月+30日)+7.5日 | 16体*1 | 0.061 | 39体 | 0.081 | 1×(13ヶ月+30日)+2年 | 40体×2 | 0.083×2 |
| 4サイクル冷却済燃料 | 4×(13ヶ月+30日)+7.5日 | 16体*1 | 0.051 | 39体 | 0.062 | 2×(13ヶ月+30日)+2年 | 40体×2 | 0.058×2 |
| 5サイクル冷却済燃料 | 5×(13ヶ月+30日)+7.5日 | 16体*1 | 0.048 | 39体 | 0.052 | 3×(13ヶ月+30日)+2年 | 40体×2 | 0.049×2 |
| 6サイクル冷却済燃料 | 6×(13ヶ月+30日)+7.5日 | 16体*1 | 0.045 | 5体 | 0.006 | - | - | - |
| 7サイクル冷却済燃料 | 7×(13ヶ月+30日)+7.5日 | 16体*1 | 0.044 | - | - | - | - | - |
| ... | ... | ... | ... | - | - | - | - | - |
| 68サイクル冷却済燃料 | 68×(13ヶ月+30日)+7.5日 | 16体*1 | 0.020 | - | - | - | - | - |
| 69サイクル冷却済燃料 | 69×(13ヶ月+30日)+7.5日 | 8体*2 | 0.010 | - | - | - | - | - |
| ... | ... | ... | ... | - | - | - | - | - |
| 73サイクル冷却済燃料 | 73×(13ヶ月+30日)+7.5日 | 8体*2 | 0.010 | - | - | - | - | - |
| 小計 | - | 1,168体 | 5.108 | 317体 | 5.975 | - | 320体 | 0.632 |
| 合計 | 燃料体数 | 1805体 | | 崩壊熱 (MW) | | 11.715 | | |

* 1: 2回照射MOX燃料8体、3回照射MOX燃料8体 * 2: 3回照射MOX燃料8体

注1: 伊方3号炉MOX燃料使用等に伴う原子炉設置変更許可申請(平成16年11月申請)安全審査における使用済燃料ピット冷却設備の評価条件。

注2: 伊方3号炉の使用済燃料ピットの燃料保管容量は1805体。

3. 評価結果(運転中)

2. に示した評価条件を用いて蒸気発生器および使用済燃料ピットへの必要補給水流量を評価した結果を示す。

水源切替時等の必要流量を表9に、必要流量を用いて算出した各タンクの使用可能期間を表10に、それぞれの経過日数による変化を図2～図7に示す。

また、淡水タンクからの補給流量および海からの補給流量の測定結果を表11に示す。

(1) 水源切替時等の必要流量

表9 水源切替時等の必要流量

| | | 2次系純水タンクへ切り替える際の必要流量 | 使用済燃料ピット補給開始時の必要流量 | 淡水タンクへ切り替える際の必要流量 | 海水へ切り替える際の必要流量 |
|-----|-----|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| 2号機 | | 約21m ³ /h | 約13m ³ /h | 約2m ³ /h | 約2m ³ /h |
| 参考 | 1号機 | 約21m ³ /h | 約14m ³ /h | 約2m ³ /h | 約2m ³ /h |
| | 3号機 | 約29m ³ /h | 約34m ³ /h | 約9m ³ /h | 約9m ³ /h |

注1: 評価結果のうち、使用済燃料ピット補給開始時の必要流量は蒸気発生器および使用済燃料ピット両者に供給した場合を、それ以降の切り替え時の必要流量は使用済燃料ピットのみで供給した場合の必要流量を示す。

注2: 使用済燃料ピットへの補給量評価は、安全審査等で使用済燃料ピット冷却性評価に用いる設計熱負荷をベースに評価した。

(2) 使用可能期間

表10 各タンクの使用可能期間

| | | 復水タンクでの給水可能時間 | 2次系純水タンクからの給水可能日数 | 淡水タンクからの給水可能日数 |
|-----|-----|---------------|-------------------|----------------|
| 2号機 | | 約5時間 | +約4日 | +約101日 |
| 参考 | 1号機 | 約5時間 | +約4日 | +約101日 |
| | 3号機 | 約9時間 | +約4日 | +約24日 |

(3) 流量測定結果

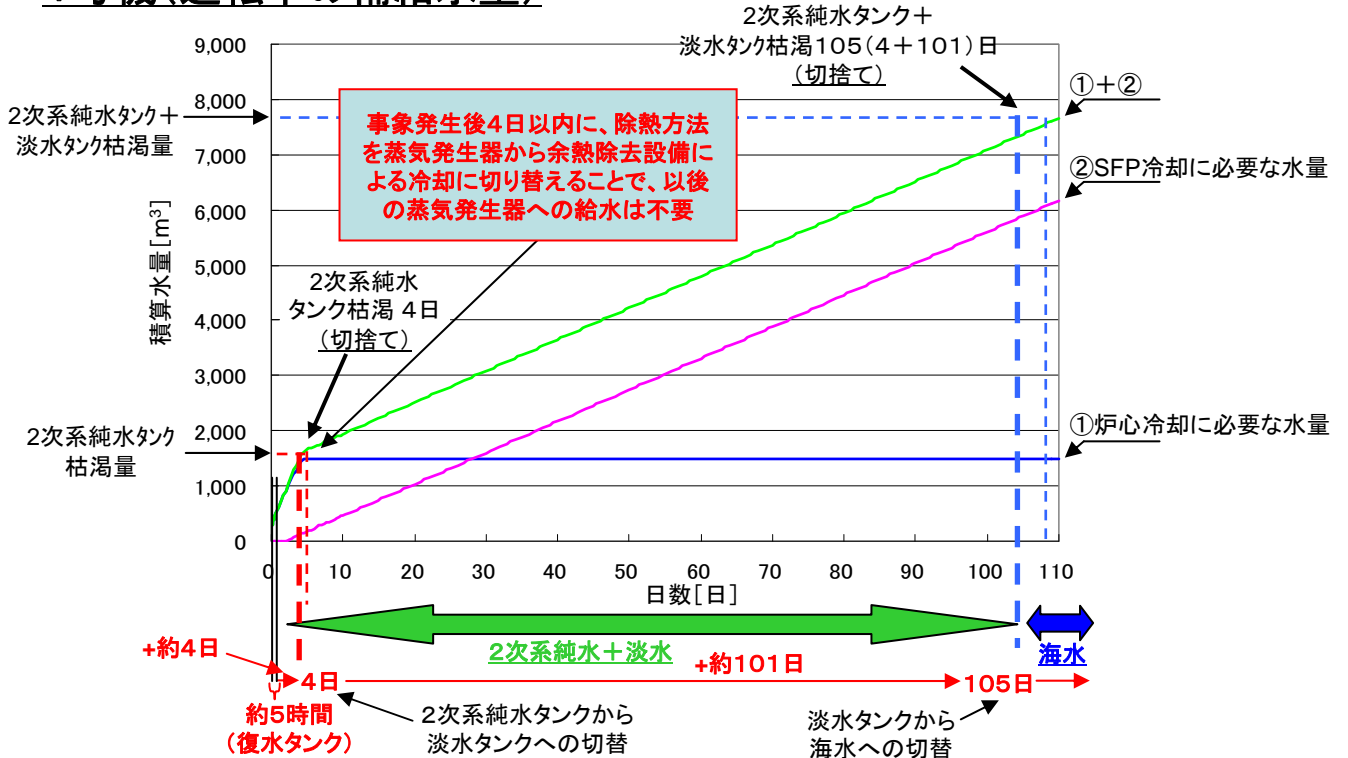
表11 流量測定結果

| | | 淡水補給流量(脱塩水タンク) | 淡水補給流量(ろ過水タンク) | 海水供給流量 |
|-----|-----|----------------------|----------------------|----------------------|
| 2号機 | | 約69m ³ /h | 約59m ³ /h | 約73m ³ /h |
| 参考 | 1号機 | | 約69m ³ /h | |
| | 3号機 | 約69m ³ /h | 約69m ³ /h | |

注: 伊方3号機の場合は、ろ過水タンクをろ過水貯蔵タンクと読み替える。

(参考)

1号機(運転中の補給水量)

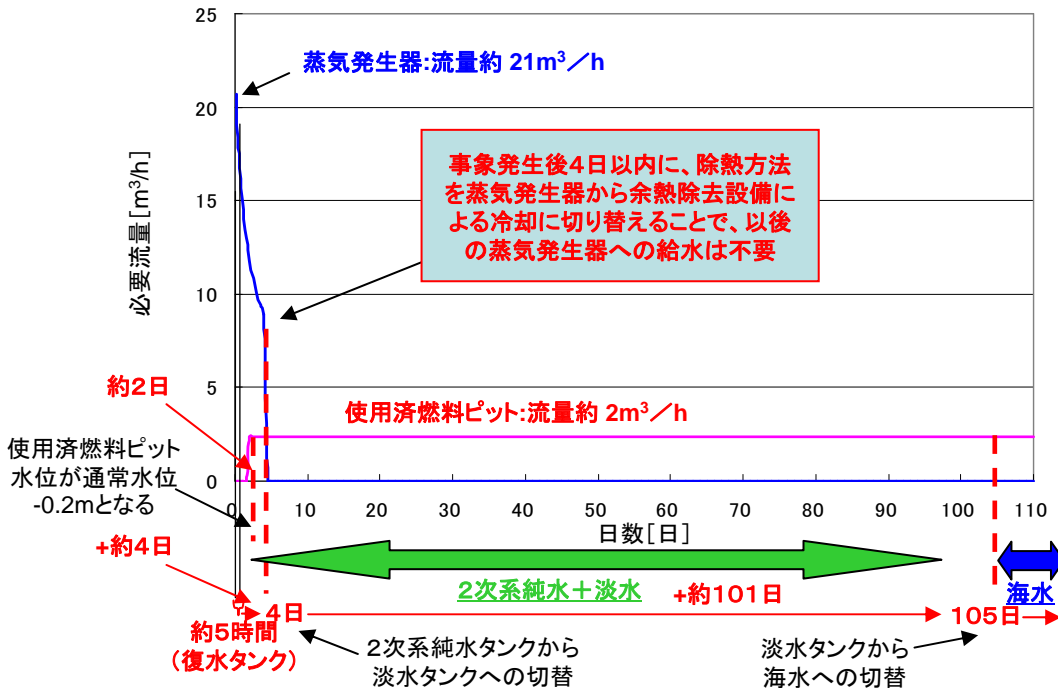


注: 事象発生から各水源の切替までの日数は小数点以下を切捨て処理した。

(参考)

図4 1号機運転中における補給水量

1号機(運転中の補給水流量)

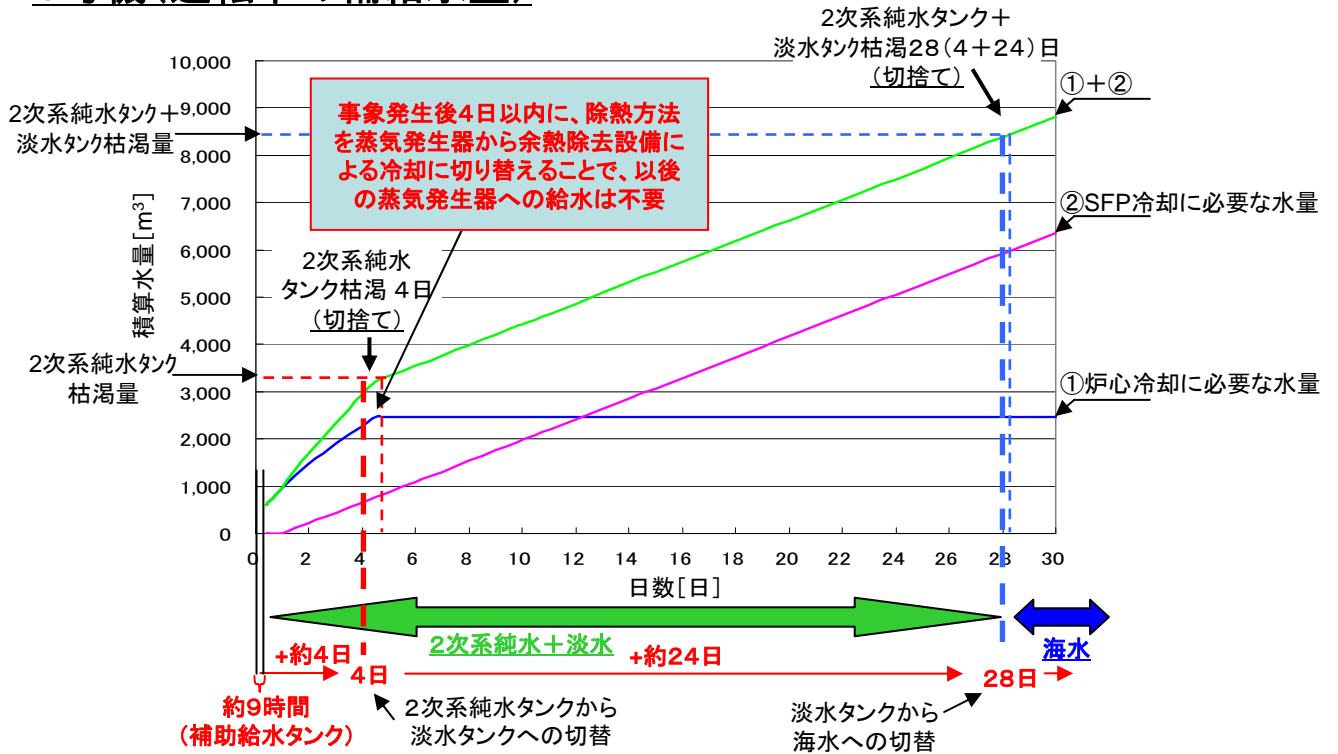


注: 事象発生から各水源の切替までの日数は小数点以下を切捨て処理した。

図5 1号機運転中における補給水流量

(参考)

3号機(運転中の補給水量)

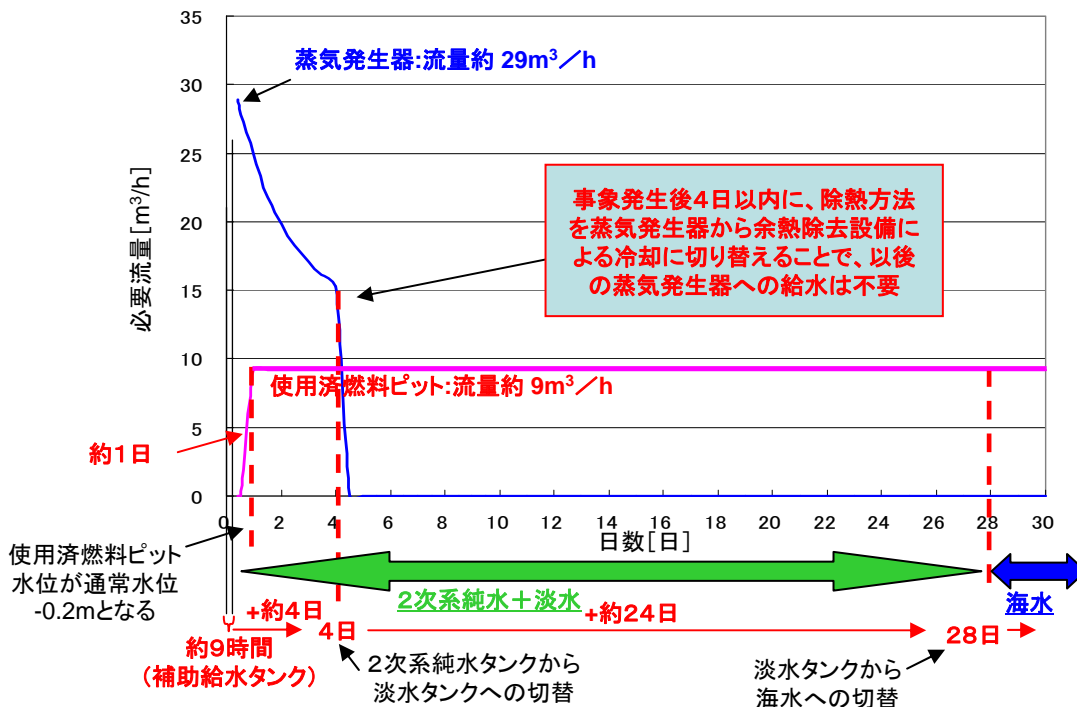


注: 事象発生から各水源の切替までの日数は小数点以下を切捨処理した。

図6 3号機運転中における補給水量

(参考)

3号機(運転中の補給水流量)



注: 事象発生から各水源の切替までの日数は小数点以下を切捨処理した。

図7 3号機運転中における補給水流量

4. 評価結果(定検中)

2. に示した評価条件を用いて評価した使用済燃料ピットの水位維持に必要な流量を表12に、必要流量を用いて算出した各タンクの使用可能期間を表13に、使用済燃料ピットへの補給が無い場合における燃料露出までの日数を表14に、それぞれの経過日数による変化を図8～図10に示す。

(1) 使用済燃料ピットの水位維持に必要な流量

表12 使用済燃料ピットの水位維持に必要な流量

| | 2号機 | (参考) | |
|---------------------------|------|------|-------|
| | | 1号機 | 3号機 |
| 必要補給流量[m ³ /h] | 約7.8 | 約7.7 | 約19.5 |

注: 上記評価結果は安全審査等で使用済燃料ピット冷却性評価に用いる設計熱負荷で評価した。

(2) 使用可能期間

表13 使用可能期間

| | | 使用済燃料ピット水位NWLから-20cmまでの所要時間 | 2次系純水タンクからの給水可能日数 | 燃料取替用水タンクからの給水可能日数 | 淡水タンクからの給水可能日数 |
|-----|-----|-----------------------------|-------------------|--------------------|----------------|
| 2号機 | | 約17時間 | +約6日 | - | - |
| 参考 | 1号機 | 約13時間 | +約6日 | - | - |
| | 3号機 | 約10時間 | +約5.5日 | - | - |

注1: 上記評価結果は使用済燃料ピットのみにも供給した場合の給水可能期間を示す。

注2: 燃料取替用水タンクからの補給は保守的に無視した。

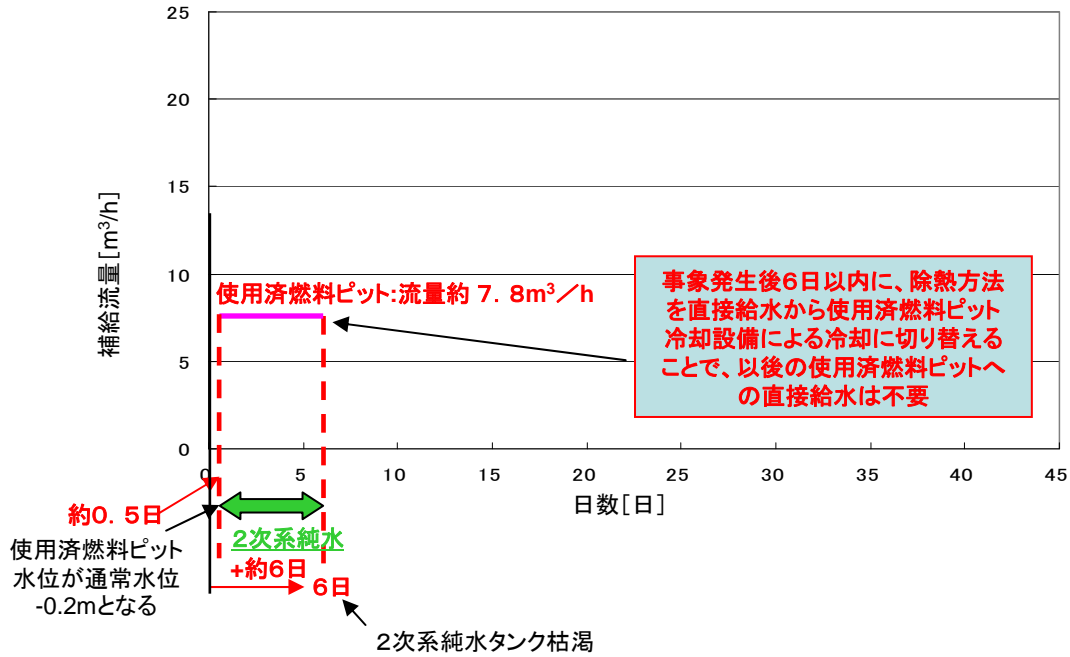
(3) 全給水不能時の使用済燃料ピットにおける燃料露出までの所要日数

表14 燃料露出までの所要日数

| | 2号機 | (参考) | |
|------------|-------|-------|------|
| | | 1号機 | 3号機 |
| 定検中[日] | 約6.0 | 約5.1 | 約4.4 |
| 運転中[日](参考) | 約16.1 | 約14.0 | 約7.7 |

注: 上記評価結果はスロッシングによる溢水量を使用済燃料ピット保有水量から差し引いた値で評価した。

2号機(定検中の補給水流量)

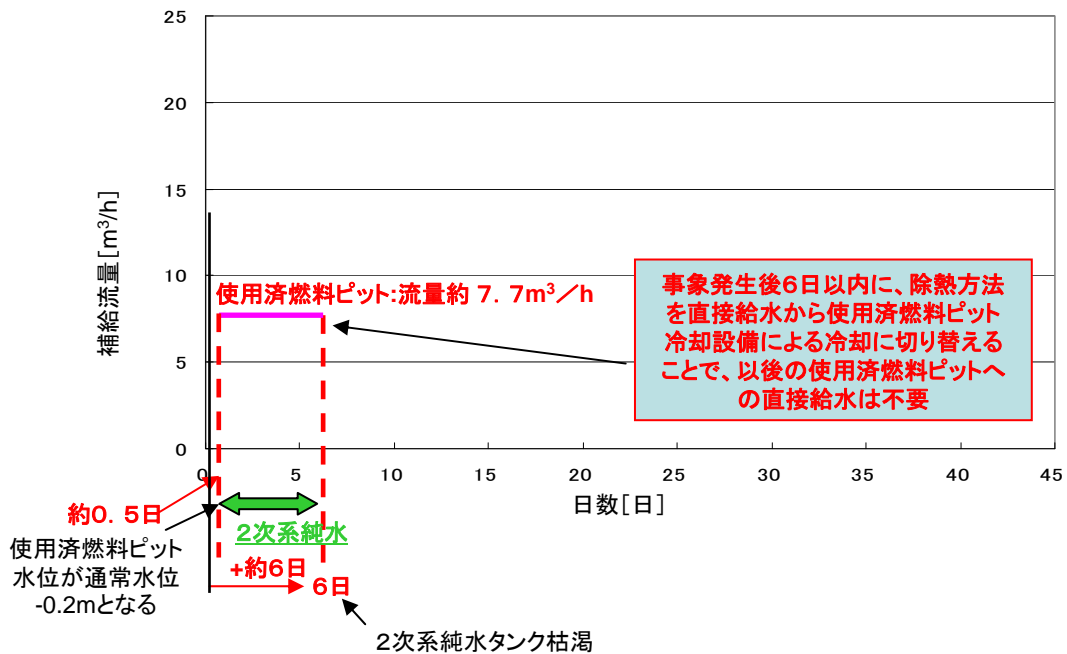


注: 事象発生から所内水源の枯渇までの日数は小数点以下を切捨処理した。

図8 2号機定検中における補給水流量

(参考)

1号機(定検中の補給水流量)



注: 事象発生から所内水源の枯渇までの日数は小数点以下を切捨処理した。

図9 1号機定検中における補給水流量

(参考)

3号機(定検中の補給水流量)

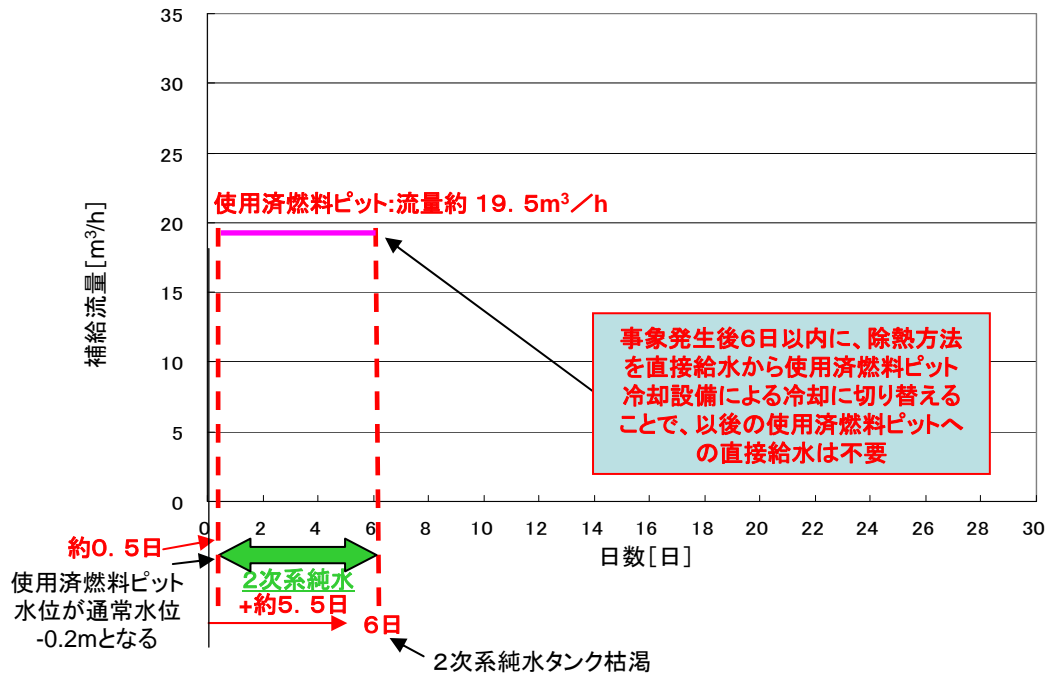


図10 3号機定検中における補給水流量

5. まとめ

蒸気発生器および使用済燃料ピットへの必要補給水流量の評価結果および流量測定の結果から、最終ヒートシンク喪失時において、蒸気発生器2次側への給水による炉心の崩壊熱除去および使用済燃料ピットへ水を補給することで貯蔵燃料の崩壊熱による水位低下を補うことが継続的に可能であることを確認できた。また、緊急安全対策(短期)および実施済みの設備強化対策の効果を確認することができた。

除熱機能の継続時間評価に用いた燃料消費率等の条件について

1. 除熱機能継続に係る評価

除熱機能については、炉心除熱機能と使用済燃料ピット(以下、「SFP」という)除熱機能の双方について評価する必要がある。復水タンク(3号機は補助給水タンク)および2次系純水タンクからの給水は、タンクから直接行われるが、淡水タンク(脱塩水タンク1号、ろ過水タンクA・B、脱塩水タンク3号、ろ過水貯蔵タンク3号)からの給水は、消防自動車(軽油駆動)により行われる。淡水タンク枯渇後は、消防自動車または可搬型消防ポンプ(ガソリン駆動)により海水給水が行われるが、本評価においては、可搬型消防ポンプは予備として使用しない扱いとした。

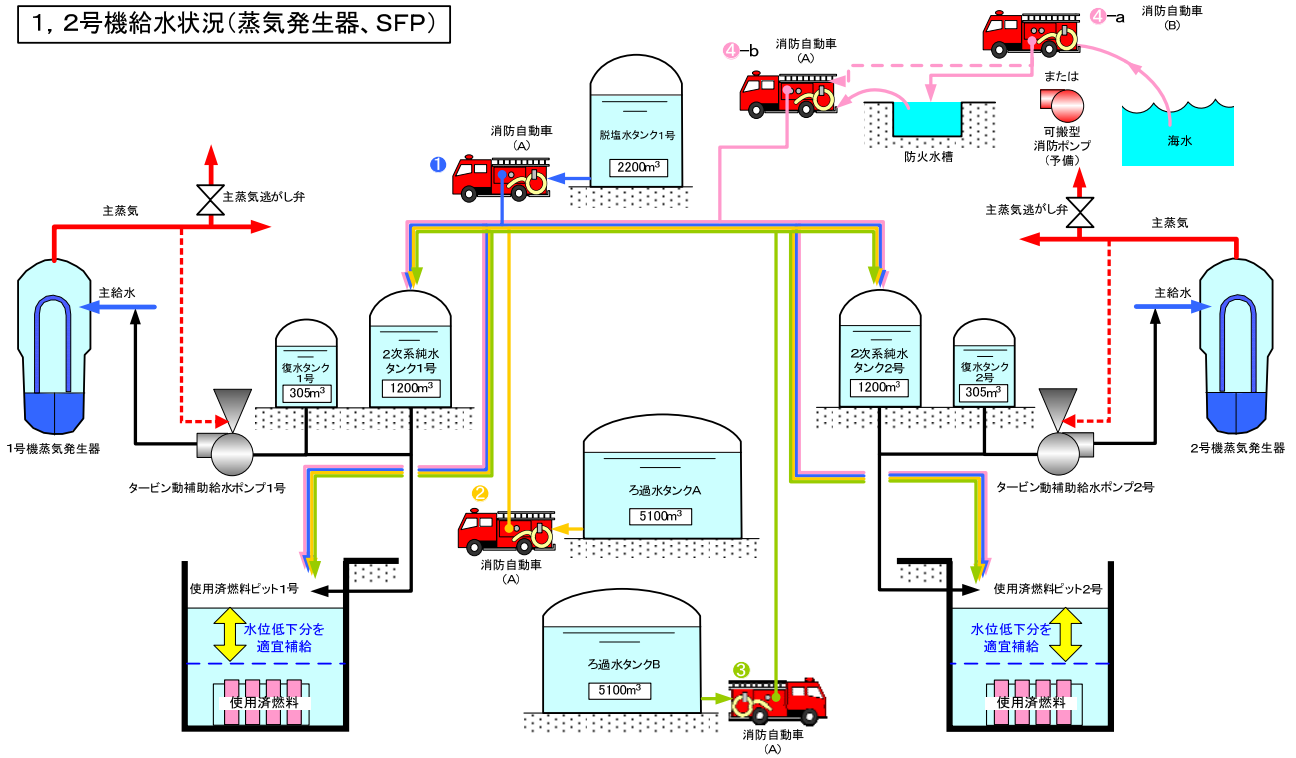
また、本評価においては、複数号機間の相互作用の可能性の考慮として、1, 3号機においても、最終ヒートシンク喪失(以下、「LUHS」という)が発生し、消防自動車による給水が必要となり、2号機とともに発電所備蓄の軽油を消費する想定とした。

図1に給水手順図を示す。復水タンク、2次系純水タンク枯渇後、1, 2号機共用で1台、3号機専用で1台割り当てた消防自動車により淡水タンクより給水を行う。淡水タンク枯渇後は、消防自動車1台により海水を防火水槽に汲み上げ、これを消防自動車1台により1, 2, 3号機に給水する手順としている。

表1. 評価条件

| 項 目 | 内 容 |
|-------|--|
| 必要給水量 | 1, 2, 3号機のプラント運転状態(運転/停止)の全ての組み合わせについてLUHS発生から必要な給水量を1日単位で算出 |
| 燃料消費率 | 消防自動車(軽油):45ℓ/h/台 (可搬型消防ポンプ(ガソリン):9ℓ/h/台は、予備として使用しない) |
| 燃料貯蔵量 | 軽油 ・屋外貯蔵所:20kℓ (ガソリン屋内貯蔵所:1.98kℓは、予備として使用しない) |

1, 2号機給水状況(蒸気発生器、SFP)



3号機給水状況(蒸気発生器、SFP)

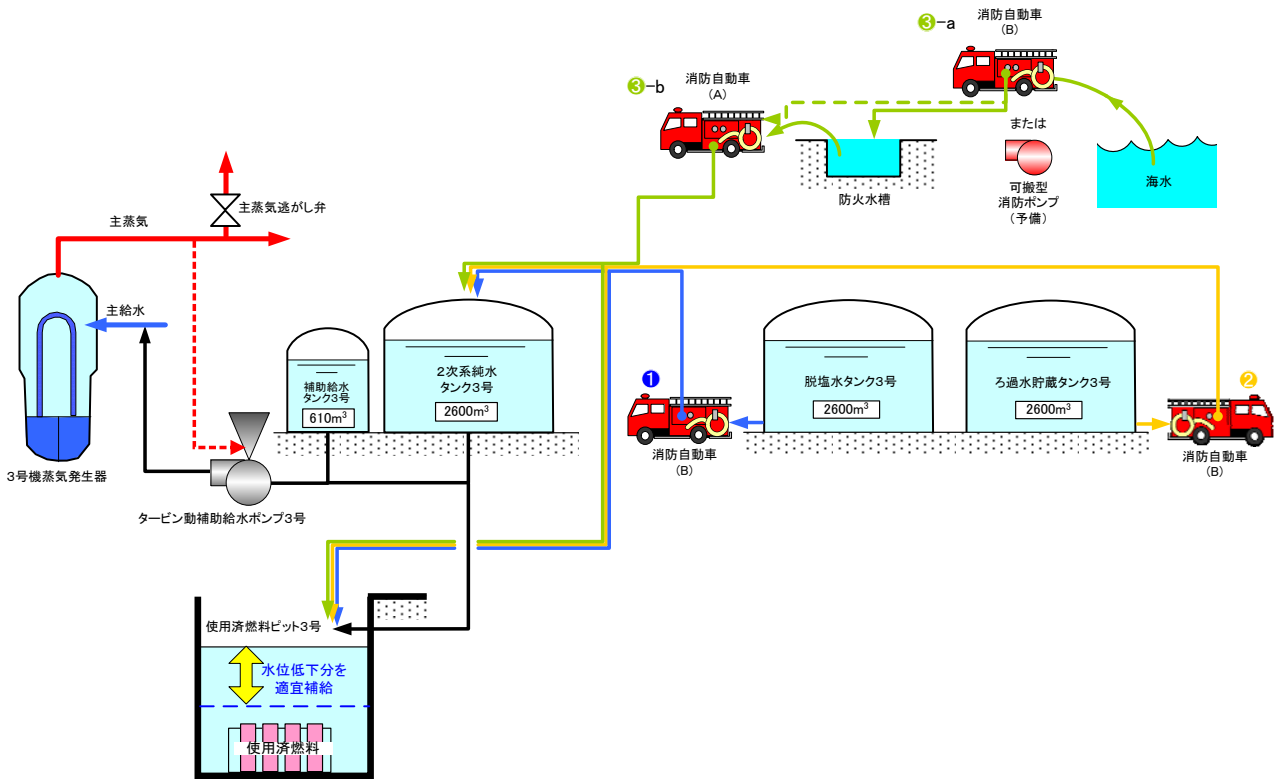
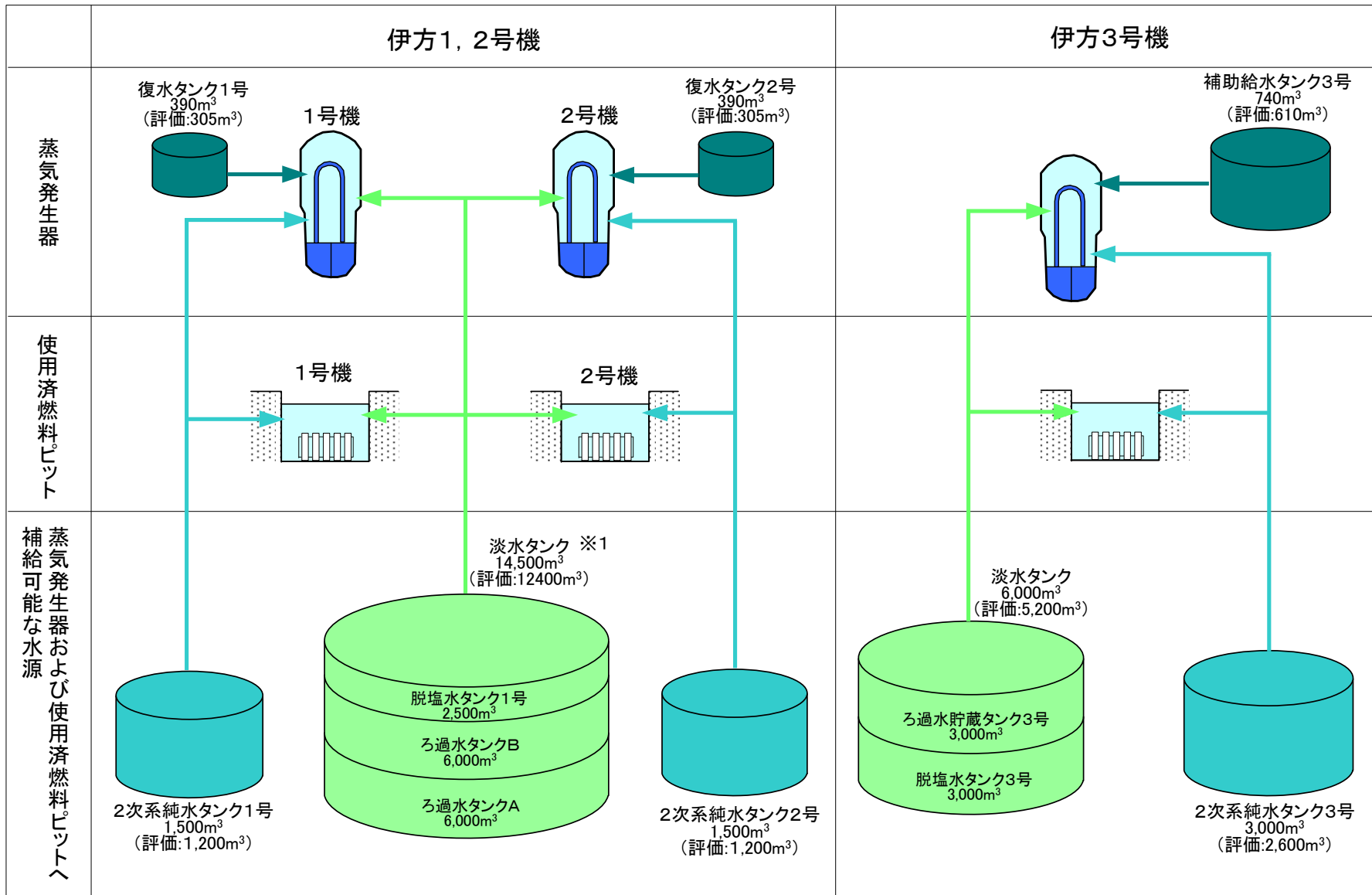


図1. 除熱のための給水手順

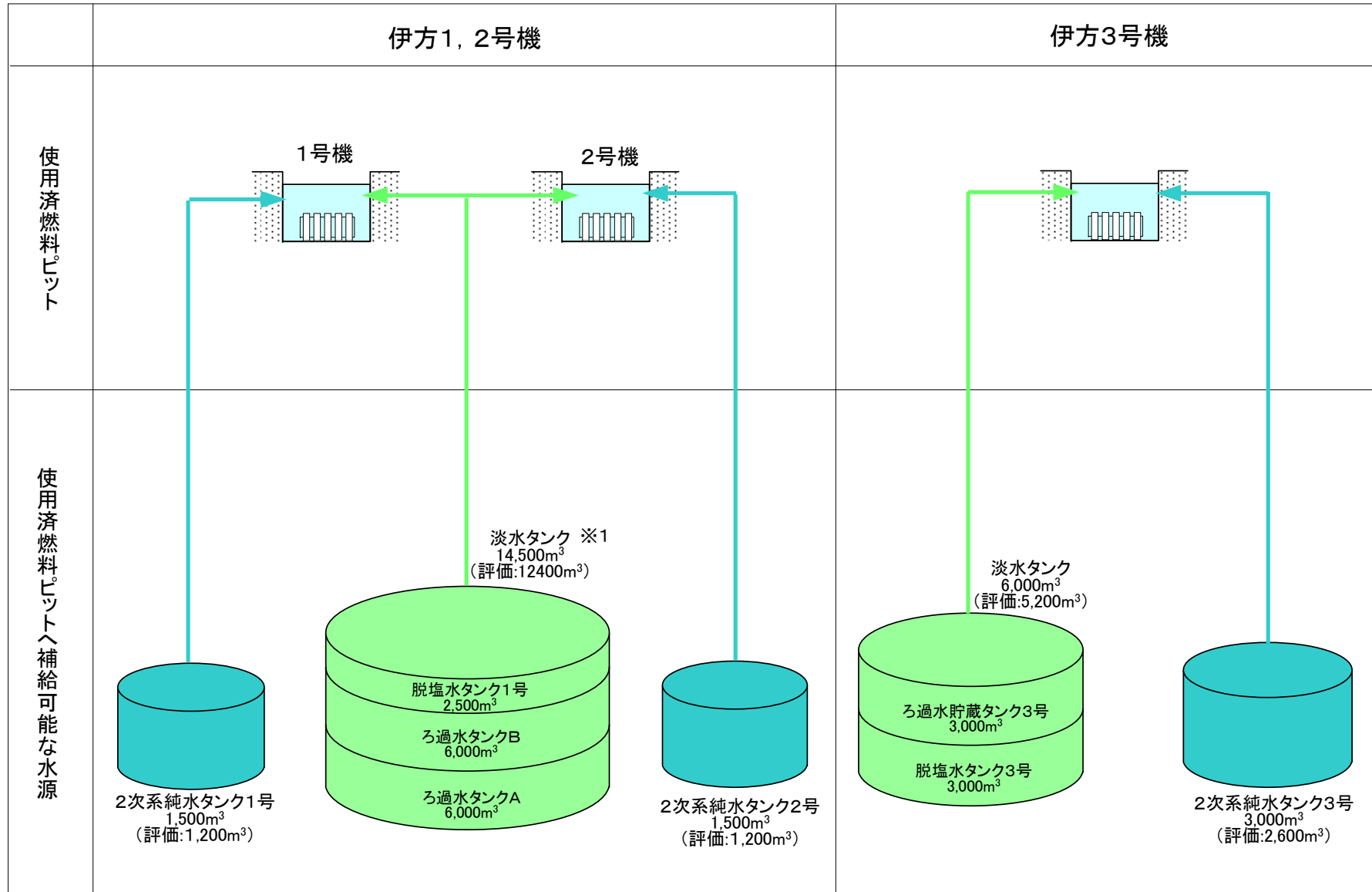
伊方発電所の使用可能な水源の割り当て(運転時)

4-5-31



※1: 1, 2号機共用の水源については、100%容量を共用する
 ※2: 本資料で示している矢印は水源の割り当てを示しており、実際の補給経路とは異なる

伊方発電所の使用可能な水源の割り当て(停止時)



4-5-32

添付資料-4. 5. 3(2/2)

※1: 1, 2号機共用の水源については、100%容量を共用する
 ※2: 本資料で示している矢印は水源の割り当てを示しており、実際の補給経路とは異なる

最終ヒートシンク喪失時のプラント運転状態による燃料枯渇時間

| パターン | プラント運転状態 | | | 燃料の枯渇日数(日) |
|------|----------|-----|-----|---------------|
| | 1号機 | 2号機 | 3号機 | 軽油 (消防自動車) |
| ① | 運転中 | 運転中 | 運転中 | <u>60.5</u> |
| ② | 停止中 | 停止中 | 停止中 | — ※ |
| ③ | 運転中 | 運転中 | 停止中 | 169.5 |
| ④ | 停止中 | 停止中 | 運転中 | 86.3 |
| ⑤ | 停止中 | 運転中 | 運転中 | 70.5 |
| ⑥ | 運転中 | 停止中 | 運転中 | 71.3 |
| ⑦ | 停止中 | 運転中 | 停止中 | 327.0 |
| ⑧ | 運転中 | 停止中 | 停止中 | 344.2 |

※: 継続して除熱機能の維持が可能。