

福島第一原子力発電所

特定原子力施設に係る実施計画

(抜粋)

平成 2 5 年 1 2 月

東京電力株式会社

目次

はじめに

I 特定原子力施設の全体工程及びリスク評価

- 1 全体工程・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ I-1-1
 - 1.1 1～4号機の工程・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ I-1-1-1
 - 1.2 5・6号機の工程・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ I-1-2-1
- 2 リスク評価
 - 2.1 リスク評価の考え方・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ I-2-1-1
 - 2.2 特定原子力施設の敷地境界及び敷地外への影響評価・・・・・・・・・・ I-2-2-1
 - 2.3 特定原子力施設における主なリスク・・・・・・・・・・・・・・・・・・ I-2-3-1
 - 2.4 特定原子力施設の今後のリスク低減対策・・・・・・・・・・・・・・・・・・ I-2-4-1

II 特定原子力施設の設計，設備

- 1 設計，設備について考慮する事項
 - 1.1 原子炉等の監視・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ II-1-1-1
 - 1.2 残留熱の除去・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ II-1-2-1
 - 1.3 原子炉格納施設雰囲気監視等の監視等・・・・・・・・・・・・・・・・・・ II-1-3-1
 - 1.4 不活性雰囲気維持・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ II-1-4-1
 - 1.5 燃料取出し及び取り出した燃料の適切な貯蔵・管理・・・・・・・・・・ II-1-5-1
 - 1.6 電源の確保・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ II-1-6-1
 - 1.7 電源喪失に対する設計上の考慮・・・・・・・・・・・・・・・・・・ II-1-7-1
 - 1.8 放射性固体廃棄物の処理・保管・管理・・・・・・・・・・・・・・・・・・ II-1-8-1
 - 1.9 放射性液体廃棄物の処理・保管・管理・・・・・・・・・・・・・・・・・・ II-1-9-1
 - 1.10 放射性気体廃棄物の処理・管理・・・・・・・・・・・・・・・・・・ II-1-10-1
 - 1.11 放射性物質の放出抑制等による敷地周辺の放射線防護等・・・・・・・・・・ II-1-11-1
 - 1.12 作業員の被ばく線量の管理等・・・・・・・・・・・・・・・・・・ II-1-12-1
 - 1.13 緊急時対策・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ II-1-13-1
 - 1.14 設計上の考慮・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ II-1-14-1
- 2 特定原子力施設の構造及び設備，工事の計画
 - 2.1 原子炉圧力容器・格納容器注水設備・・・・・・・・・・・・・・・・・・ II-2-1-1
 - 2.2 原子炉格納容器内窒素封入設備・・・・・・・・・・・・・・・・・・ II-2-2-1
 - 2.3 使用済燃料プール設備・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ II-2-3-1
 - 2.4 原子炉圧力容器・格納容器ホウ酸水注入設備・・・・・・・・・・・・・・・・・・ II-2-4-1
 - 2.5 汚染水処理設備等・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ II-2-5-1
 - 2.6 滞留水を貯留している（滞留している場合を含む）建屋・・・・・・・・・・ II-2-6-1

2.7	電気系統設備	II-2-7-1
2.8	原子炉格納容器ガス管理設備	II-2-8-1
2.9	原子炉圧力容器内・原子炉格納容器内監視計測器	II-2-9-1
2.10	放射性固体廃棄物等の管理施設	II-2-10-1
2.11	使用済燃料プールからの燃料取り出し設備	II-2-11-1
2.12	使用済燃料共用プール設備	II-2-12-1
2.13	使用済燃料乾式キャスク仮保管設備	II-2-13-1
2.14	監視室・制御室	II-2-14-1
2.15	放射線管理関係設備等	II-2-15-1
2.16	放射性液体廃棄物処理施設及び関連施設	II-2-16-1
2.17	放射性固体廃棄物等の管理施設及び関連施設（雑固体廃棄物焼却設備）	II-2-17-1
2.18	5・6号機に関する共通事項	II-2-18-1
2.19	5・6号機 原子炉圧力容器	II-2-19-1
2.20	5・6号機 原子炉格納施設	II-2-20-1
2.21	5・6号機 制御棒及び制御棒駆動系	II-2-21-1
2.22	5・6号機 残留熱除去系	II-2-22-1
2.23	5・6号機 非常用炉心冷却系	II-2-23-1
2.24	5・6号機 復水補給水系	II-2-24-1
2.25	5・6号機 原子炉冷却材浄化系	II-2-25-1
2.26	5・6号機 原子炉建屋常用換気系	II-2-26-1
2.27	5・6号機 燃料プール冷却浄化系	II-2-27-1
2.28	5・6号機 燃料取扱系及び燃料貯蔵設備	II-2-28-1
2.29	5・6号機 非常用ガス処理系	II-2-29-1
2.30	5・6号機 中央制御室換気系	II-2-30-1
2.31	5・6号機 構内用輸送容器	II-2-31-1
2.32	5・6号機 電源系統設備	II-2-32-1
2.33	5・6号機 放射性液体廃棄物処理系	II-2-33-1
2.34	5・6号機 計測制御設備	II-2-34-1
2.35	サブドレン他水処理施設	II-2-35-1

III 特定原子力施設の保安 III-1

第1編 (1号炉, 2号炉, 3号炉及び4号炉に係る保安措置) III-1-1-1

第2編 (5号炉及び6号炉に係る保安措置) III-2-1-1

第3編 (保安に係る補足説明)

1 運転管理に係る補足説明

1.1	巡視点検の考え方	Ⅲ-3-1-1-1
1.2	火災への対応	Ⅲ-3-1-2-1
1.3	地震及び津波への対応	Ⅲ-3-1-3-1
1.4	豪雨, 台風, 竜巻への対応	Ⅲ-3-1-4-1
1.5	5・6号機 滞留水の影響を踏まえた設備の運転管理について	Ⅲ-3-1-5-1
1.6	安全確保等の運転責任者について	Ⅲ-3-1-6-1
2	放射性廃棄物等の管理に係る補足説明	
2.1	放射性廃棄物等の管理	Ⅲ-3-2-1-1-1
2.2	線量評価	Ⅲ-3-2-2-1-1
3	放射線管理に係る補足説明	
3.1	放射線防護及び管理	Ⅲ-3-3-1-1
4	保守管理に係る補足説明	
4.1	保全計画策定の考え方	Ⅲ-3-4-1-1
4.2	5・6号機 滞留水の影響を踏まえた設備の保守管理について	Ⅲ-3-4-2-1
IV	特定核燃料物質の防護	IV-1
V	燃料デブリの取出し・廃炉	V-1
VI	実施計画の実施に関する理解促進	VI-1
VII	実施計画に係る検査の受検	VII-1

はじめに

(1) 特定原子力施設に係る実施計画作成に対する基本方針

本実施計画は、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第64条の2第1項の規定に基づき、特定原子力施設に指定された東京電力株式会社福島第一原子力発電所に関して、同法第64条の3第1項の規定に基づき、作成するものである。

本実施計画の作成にあたっては、原子力規制委員会より示された「措置を講ずべき事項」に対して、特定原子力施設に関する保安又は特定核燃料物質の防護ための措置を可能な限り具体化することを基本とした。

また、本実施計画については、その内容に固執するものではなく、現場の状況や今後の技術開発の状況を踏まえ、現場における作業に支障がないように迅速かつ柔軟に見直し等の対応を行うこととする。本実施計画の取組の実施に向けた基本原則を以下に示す。

- ① 地域の皆さまと作業員の安全確保を大前提に、廃止措置等に向けた中長期の取組を計画的に実施していく。
- ② 中長期の取組を実施していくにあたっては、透明性を確保し、地域及び国民の皆さまのご理解をいただきながら進めていく。
- ③ 実施計画は現場の状況や研究開発成果等を踏まえ、継続的に見直していく。

当社は、本実施計画で具体化された措置等を速やかに実施することで、特定原子力施設から敷地外への放射性物質の影響を極力低減させ、事故前のレベルとすることを目標とする。この目標の達成に向けて現状の大きなリスクは、熔融した燃料（燃料デブリ）及び使用済燃料の冷却不全、再臨界、水素爆発、汚染水の漏えい、自然災害等による放射性物質の放出であり、特に至近の課題解決として以下の内容を最優先事項とするとともに、特定原子力施設全体のリスクの低減や最適化を図っていく。

- ① 汚染水の発生量の低減と確実な処理による汚染水貯蔵量の低減
- ② 使用済燃料の使用済燃料プールからの早期取り出し

また、地震・津波等の基準の見直しが発生した場合には、必要に応じて実施計画へ適切に反映していく。さらに多くの作業がこれまでに経験のない技術的困難性を伴うものであることを認識した上で、海外の事故対応等に係る知見・経験を十分に活用し、廃止措置を安全かつ速やかに実施していくこととする。

(2) 本実施計画に基づく取組に対する経営層の関与

福島における事故の教訓を踏まえ、原子力安全の確保は経営上の最重要課題であると認識し、原子力改革を進めるとともに、トップマネジメントを含む経営層自らが品質保証に深く関与していく。また本実施計画に基づく安全確保や信頼性向上の取組に対して、経営層自らが現場のリスクを強く認識した上で方針を明確にし、実施状況を確認するための仕組みを構築し、適切な資源配分を含めた実効性のある組織運営を実現していく。

また取組の基盤となる安全文化の醸成に対しても、これまで以上に関与を強め、協力企業を含めて組織の隅々まで安全文化が浸透し、醸成されるように努めていく。

2.3 特定原子力施設における主なリスク

2.3.1 はじめに

特定原子力施設の主なリスクは、特定原子力施設が放射能を内在することに起因すると考えられ、また、現在の特定原子力施設において放射能を内在するもの（使用済燃料等）は、以下のように整理できる。

- (1) 原子炉圧力容器・格納容器内の溶融した燃料（燃料デブリ， 1～3号機）
- (2) 使用済燃料プールの燃料（1～4号機）
- (3) 5・6号機の炉心及び使用済燃料プールの燃料
- (4) 使用済燃料共用プールの燃料
- (5) 使用済燃料乾式貯蔵キャスクの燃料
- (6) 放射性廃棄物

ここでは、上記の放射能を内在するものについて、それぞれ個別に現在の状態におけるリスクを定量的もしくは定性的に評価することにより、現在の特定原子力施設のリスクについて評価する。

2.3.2 燃料デブリ（1～3号機）

燃料デブリに関するリスクとしては、原子炉圧力容器・格納容器注水設備（以下、原子炉注水系という）が機能喪失することにより原子炉注水が停止し、原子炉圧力容器及び格納容器内の燃料デブリ等の温度が上昇し、放射性物質が環境中に放出されるリスクが考えられる。原子炉の安定的な冷却状態を維持し、冷温停止状態を維持することは福島第一原子力発電所の最重要課題の一つであることから、このリスクに対しては、原子炉注水系の継続的な信頼性向上を図ってきており、水源・ポンプ・電源等について多重性及び多様性を有した十分信頼性の高い系統構成としている。

確率論的リスク評価による原子炉注水系のリスク評価では、炉心再損傷頻度が約 5.9×10^{-5} /年と評価されており、「施設運営計画に係る報告書（その1）（改訂2）（平成23年12月）」で評価された約 2.2×10^{-4} /年の炉心再損傷頻度からリスクが低減していることが確認できる。今後も、原子炉注水系の小ループ化等により信頼性の向上を図り、リスク低減に努めていく。

また、原子炉注水系の異常時の評価では、想定を大きく超えるシビアアクシデント相当事象（注水停止 12 時間）で3プラント分の放射性物質の放出を考慮した場合においても、実効線量は敷地境界で年間約 6.3×10^{-5} mSv、特定原子力施設から5km地点で約 1.1×10^{-5} mSv、特定原子力施設から10km地点で約 3.6×10^{-6} mSvであり、周辺の公衆に対し、著しい放射線被ばくのリスクを与えることはない。「施設運営計画に係る報告書（その1）（改訂2）（平成23年12月）」では、シビアアクシデント相当事象で3プラント分の放射性物質の放出を考慮した場合に敷地境界の実効線量が年間約 11.1mSv と評価されており、燃料デブリの崩壊熱減衰等によって、原子炉注水系の異常時における被ばくリスクが大きく低減していることが分かる。今後も、燃料デブリの崩壊熱は減衰していくため、原子炉注水系の異常時におけるリスクは低減する方向である。

燃料デブリに関するリスクとしては、水素爆発と臨界も挙げられる。

水素爆発に関するリスクとしては、水の放射線分解によって発生する水素が可燃限界を超えることが想定されるが、原子炉格納容器内窒素封入設備を用いて、原子炉圧力容器及び格納容器に窒素を連続的に封入することにより、その雰囲気中の水素濃度を可燃限界以下としている。原子炉圧力容器もしくは格納容器内で水の放射線分解により発生する水素が、窒素供給の停止から可燃限界の水素濃度に至るまでの時間余裕は 100 時間以上と評価されており、水素爆発のリスクは十分小さいものと考えられる。「施設運営計画に係る報告書（その1）（改訂2）（平成23年12月）」では、この時間余裕は約 30 時間と評価されており、燃料デブリの崩壊熱減衰によってリスクが低減していることが分かる。

臨界については、一般に、溶融した燃料デブリが臨界に至る可能性は極めて低いと考えられており、また、「施設運営計画に係る報告書（その1）（改訂2）（平成23年12月）」において燃料デブリ形状等について不確かさを考慮した評価がなされており、臨界の可能性は低いとされている。実際に、ガス放射線モニタにより短半減期核種の放射能濃度を連

続的に監視してきており、これまで臨界の兆候は確認されていない。これらを踏まえると、燃料デブリの形状等については十分に把握できていないものの、燃料デブリの配置変化等の現状の体系からの有意な変化が生じない限り、臨界となることはないと考えられる。当面、燃料デブリの移動を伴う作業は予定されていないことから、現在の臨界リスクは工学的に極めて小さいものと考えられる。なお、将来の燃料デブリ取り出し工程の際には燃料デブリ形状等が大きく変化する可能性があることから、十分に臨界管理を行いつつ、作業を進めていく必要がある。

2.3.3 使用済燃料プールの燃料（1～4号機）

使用済燃料プールの燃料に関するリスクとしては、使用済燃料プール冷却系が機能喪失し、使用済燃料プールの冷却が停止し、使用済燃料プール水の温度が上昇すると共に使用済燃料プール水位が低下するリスクが考えられる。このリスクに対しては、使用済燃料プール冷却系の機能喪失後、使用済燃料プール水位が有効燃料頂部+2 mに至るまでの時間余裕が最短で4号機において約27日程度と評価されており、リスクは十分小さいものと考えられる。「施設運営計画に係る報告書（その1）（改訂2）（平成23年12月）」では、この時間余裕は約16日程度と評価されており、燃料デブリの崩壊熱減衰によってリスクが低減していることが分かる。今後も、使用済燃料の崩壊熱減衰及び使用済燃料プール内の燃料取り出しによって、使用済燃料プール冷却系の異常時におけるリスクは低減する方向である。

2.3.4 5・6号機の炉内及び使用済燃料プールの燃料

5・6号機は、震災前と同等の設備により安定的な冷温停止を維持している状況であり、既設設備に関しては、震災前の設計条件を維持している。

この状況下において、放射性物質の系外放出に至るリスクとしては燃料損傷が挙げられ、燃料損傷に至るシナリオとして以下が考えられる。

(1)燃料取扱い時の燃料落下及び使用済燃料への重量物落下による損傷

燃料交換機によって燃料を移動している際、燃料交換機が故障して、その燃料が落下し、炉内の燃料に衝突して燃料が損傷するシナリオと、原子炉建屋天井クレーンから重量物が落下し、使用済燃料プール内の使用済燃料に衝突し損傷に至るシナリオが考えられる。

このシナリオに対しては、燃料交換機・原子炉建屋天井クレーンは既設燃料取扱設備であり、燃料交換機は燃料取扱い中に動力源が喪失しても燃料を保持する機構となっていること、原子炉建屋天井クレーンはブレーキが安全側に動作する機構となっていること、吊り上げられた重量物が使用済燃料プールに貯蔵された燃料上を走行できないインターロックがあることから、こうしたリスクは小さいものと考えられる。なお、燃料取扱事故の評価については、福島第一原子力発電所5・6号炉原子炉設置変更許可申請書 添付書類十により確認している。

(2)仮設設備（滞留水貯留設備）停止による冷却機能喪失

滞留水貯留設備の移送ポンプが長期に停止した場合、地下水の流入により建屋内の水位が上昇し、冷温停止維持に必要な設備に電力を供給している所内高圧母線の被水により電源が停止することで、冷却機能喪失による燃料損傷が考えられる。

このシナリオに対しては、滞留水貯留設備の移送ポンプ停止について評価されており、その期間内に設備が復旧できるため、こうしたリスクは小さいものと考えられる。

（Ⅱ.2.33 参照）

(3)自然災害による冷却機能喪失

まず、地震により使用済燃料プールが損傷し使用済燃料プールの水位が低下するシナリオが考えられる。

このシナリオに対しては、耐震安全性が確保されており、こうしたリスクは小さいものと考えられる。（Ⅱ.2.18, Ⅲ.3.1.3 参照）

次に、津波により炉内の燃料及び使用済燃料プールに貯蔵されている燃料の冷却機能が喪失し、冷却材ならびに使用済燃料プール水の温度が上昇すると共に水位が低下するシナリオが考えられる。

このシナリオに対しては、原子炉及び使用済燃料プールの水位が有効燃料頂部に至

るまでの時間的余裕が、13 日程度（6号機に比べ5号機が短い）と評価されており、仮設水中ポンプ（残留熱除去海水系）の設置*による、冷却機能の回復までに要する時間は十分確保されていることから、こうしたリスクは小さいものと考えられる。（表-1 参照）

今後、自然災害（地震、津波）により冷却機能が喪失し燃料損傷に至るシナリオに対する対策（リスク低減）として使用済燃料を使用済燃料共用プールに搬出する予定である。

そのため、準備が整い次第、原子炉から燃料を使用済燃料プールに移動及び使用済燃料プールから使用済燃料共用プールへ使用済燃料を搬出する予定である。

*：仮設水中ポンプの設置（作業準備、仮設水中ポンプ・制御盤・ホース設置等）には、約 68 時間(2.8 日程度)掛かる見込み。

表-1 原子炉及び使用済燃料プールの崩壊熱による温度上昇率と水位が有効燃料頂部に至るまでの時間的余裕

号機	場所	温度上昇率[°C/h]	時間的余裕 [日]
5	原子炉	0.91	13
	使用済燃料プール	0.32	59
6	原子炉	0.76	16
	使用済燃料プール	0.32	60

補足：平成 24 年 10 月 1 日時点での崩壊熱より算出。

2.3.5 使用済燃料共用プールの燃料

使用済燃料共用プールは、既設の設備を使用して貯蔵燃料の冷却の維持・継続をしている。

なお、使用済燃料共用プールの燃料に関するリスクとしては、使用済燃料プール冷却系が機能喪失し、使用済燃料プールの冷却が停止し、使用済燃料プール水の温度が上昇すると共に使用済燃料プール水位が低下するリスクが考えられる。このリスクに対しては、使用済燃料プール冷却系の機能喪失後、使用済燃料プール水位が有効燃料頂部+2mに至るまでの時間余裕が約 20 日程度と評価されており、リスクは十分小さいものと考えられる。

2.3.6 使用済燃料乾式キャスクの燃料

使用済燃料乾式キャスクに装填した燃料の保管については、現在使用済燃料輸送容器保管建屋に保管されている 9 基を搬出し、使用済燃料乾式キャスク仮保管設備に保管することを計画している。また、現在使用済燃料共用プールに貯蔵中の使用済燃料の一部を使用済燃料乾式キャスクに装填し、使用済燃料乾式キャスク仮保管設備に保管することを計画している。

使用済燃料乾式キャスクについては、除熱、遮へい、密封、臨界防止の安全機能及び必要な構造強度が設計上考慮されている。

また、使用済燃料乾式キャスク仮保管設備において、使用済燃料乾式キャスクは支持架台に支持され基礎に固定された状態で保管する。使用済燃料乾式キャスク仮保管設備は、この保管状況において基準地震動 S_s を考慮しても使用済燃料乾式キャスクの安全機能が維持される設計となっている。

使用済燃料乾式キャスクを取り扱うクレーンは、使用済燃料共用プール、使用済燃料乾式キャスク仮保管設備共に、落下防止対策を施した設計となっている。使用済燃料輸送容器保管建屋から使用済燃料乾式キャスクを搬出する際は、移動式クレーンを使用して行うこととしており、使用済燃料共用プール等と同様の落下防止対策を講じることが出来ないため、万一の使用済燃料乾式キャスクの落下時にも周辺公衆及び放射線業務従事者に対して放射線被ばく上の影響は十分小さくなるように、使用済燃料乾式キャスクの吊り上げ高さを制限する手順を定めて運用する。また、極めて保守的な条件として万一使用済燃料乾式キャスクが落下し、ガス状核分裂生成物が放出されたと仮定しても、敷地境界線量は十分小さい値であることを確認している。

以上のことから、使用済燃料乾式キャスクにかかるリスクは非常に小さい。

2.3.7 放射性廃棄物

特定原子力施設内の放射性廃棄物について想定されるリスクとしては、汚染水等の放射性液体廃棄物の系外への漏えいが考えられるが、以下に示す様々な対策を行っているため、特定原子力施設の系外に放射性液体廃棄物が漏えいする可能性は十分低く抑えられている。なお、汚染水の水処理を継続することで放射性物質の濃度も低減していくため、万一設備から漏えいした場合においても、環境への影響度は継続的に低減される。

【設備等からの漏えいリスクを低減させる対策】

- ・ 耐圧ホースのポリエチレン管化

【漏えい拡大リスクを低減させる対策】

- ・ タンク廻りの堰，土嚢の設置
- ・ 放水路の暗渠化
- ・ 漏えい検知器，監視カメラの設置

また、放射性気体廃棄物については、原子炉格納容器内の温度上昇時の放出がリスクとして考えられるが、これについては燃料デブリに関する注水停止のリスク評価に包含されている。放射性固体廃棄物等については、流動性，拡散性が低いため、I.2.2 に示す敷地内各施設からの直接線・スカイシャイン線に関するリスク評価に包含されている。

2.4 特定原子力施設の今後のリスク低減対策

現状、特定原子力施設の追加的放出等に起因する、敷地外の実効線量は低く抑えられている（2.2 参照）。また、多くの放射性物質を含有する燃料デブリや使用済燃料等において異常時に発生する事象を想定したリスク評価においても、敷地外への影響は十分低いものであると評価している（2.3 参照）。

今後、短中期的に渡って取り組むべき、プラントの安定状態に向けた更なる取組、発電所全体の放射線量低減・汚染拡大防止に向けた取組、ならびに使用済燃料プールからの燃料取り出し等の項目に対し、表 2. 4-1 に代表される様々なリスクが存在している。

表 2. 4-1 は、各項目に対して考えられる代表的なリスク、リスク低減のために実施を計画している対策及び目標時期を纏めたものであり、2.1 で示したリスク低減対策の適切性確認の視点に基づき確認を行ったものである。

特定原子力施設全体のリスク低減のため、特に至近の課題として、

- ① 汚染水の発生量の低減と確実な処理による汚染水貯蔵量の低減
- ② 使用済燃料の使用済燃料プールからの早期取り出し

に最優先に取り組むとともに、同表に示す個々のリスクを低減していくため、設備の信頼性向上対策等の様々な対策を今後計画・実施していく。これらの個別の対策については、リスク低減対策の適切性確認の視点を基本とした確認を行い、期待されるリスクの低減ならびに安全性、被ばく及び環境影響等の観点から、その有効性や実施の要否、時期等を十分に検討し、最適化を図っていくとともに、必要に応じて本実施計画に反映していく。

表2. 4-1 実施を計画しているリスク低減対策ならびに適切性(1/8)

ロードマップ関連項目	想定されるリスク	リスク低減対策	目的	目標時期	個々の対策に対する適切性		
プラントの安定状態維持・継続に向けた計画	・中長期的な温度計故障による原子炉冷温停止状態の監視不能リスク	原子炉圧力容器代替温度計の新設	原子炉圧力容器の既設温度計について、既設温度計の故障に備えて、追加温度計を設置できるように、温度監視が可能な箇所を選定し、各号機の温度監視のバックアップが保たれるようにする。	2号機:平成24年10月 1箇所設置 1号機:平成25年度中期を目途に配管改造工法についてモックアップ試験を行い、工法を確立 3号機:平成26年3月を目途に環境改善を実施後、現場調査を行い、候補系統を具体化	①温度計がメンテナンスできないことにより故障し、使用可能な温度計がなくなった場合は冷却状態の監視ができなくなる。 ②温度が監視できなくなるが、直接的に放射性物質の追加放リスクに影響はない。 ③新旧の温度計はともに建屋内に設置されているため外部事象に対するリスクは小さい。 ④既設温度計は劣化により故障する可能性が増加する。 ⑤2号機の温度計の故障が多いことから2号機を優先的に設置することが妥当である。1, 3号機についても順次設置を検討していく予定である。 ⑥対策を実施することにより直接的に増加するリスクはないが、設置環境の線量が高いため被ばく量が増加する。 ⑦既設の圧力容器温度計等の計器の劣化に備え、設置時期、箇所、方法について検討を実施する。		
		格納容器内監視計器設置	原子炉格納容器内の既設温度計については、故障した場合、メンテナンスや交換ができないことから、原子炉格納容器内部の冷温停止状態の直接監視のために、代替温度計を格納容器貫通部から挿入する。	1号機:平成24年10月設置 2号機:平成24年9月設置、追加設置について、実施時期調整中 3号機:平成26年3月末までに設置予定	①温度計がメンテナンスできないことにより故障し、使用可能な温度計がなくなった場合は格納容器内の冷却状態の監視ができなくなる。 ②温度が監視できなくなるが、直接的に放射性物質の追加放リスクに影響はない。 ③新旧の温度計はともに建屋内に設置されているため外部事象に対するリスクは小さい。 ④既設温度計は劣化により故障する可能性が増加する。 ⑤3号機の原子炉建屋内は線量が高いため、1, 2号機の設置を優先させることは妥当である。3号機については、設置作業ができるよう環境改善後、速やかに設置する計画を立案する。 ⑥対策を実施することにより直接的に増加するリスクはないが、設置環境の線量が高いため被ばく量が増加する。 ⑦既設の格納容器温度計等の計器の劣化に備え、設置時期、箇所、方法について検討を実施する。		
	原子炉の冷却計画	・注水機能停止リスク ・放射性物質の系外放リスク	復水貯蔵タンクへの運用変更と復水貯蔵タンク炉注水ポンプ配管のポリエチレン管化	原子炉注水設備について、水源を仮設バッファタンクから、既設の復水貯蔵タンクに変更することにより、水源保有水量の増加、水源の耐震性向上を図る。さらに配管距離の短縮、ポリエチレン管の新設配管設置により、注水機能喪失及び漏えいリスクの低減を図る。	平成25年7月運用開始	①炉注設備は既に多様性、多重性を備えており、一定の信頼性は確保されているが、期待される更なる信頼性向上が図れない。 ②炉注機能が停止した場合の放射性物質の追加放リスクは大きい。 ③水源を復水貯蔵タンクに変更することにより水源の耐震性が高くなるためリスクは低減する。 ④現行設備でも適切な保全により長期間使用可能と考えており、時間的なリスクの変化は小さい。 ⑤炉注設備の信頼性を向上させることはリスク低減に寄与するため可能な限り早期に実施することが望ましく、既に実施している。 ⑥対策を実施することにより直接的に増加するリスクはないが、設置環境の線量が高いため被ばく量が増加する。 ⑦対策を実施できないリスクはない。	
			循環注水冷却水源の信頼性向上対策	漏えい時の敷地外放出防止対策(堰や漏えい検出設備等の設置検討)	原子炉注水設備の配管等に漏えいが発生した場合の敷地外放出防止・早期検知のために堰や漏えい検知設備を設置する。	平成24年12月末完了	①漏えい時における放射性物質の追加放リスクが低減しない。 ②漏えい時における放射性物質の追加放リスクは大きい。 ③漏えい拡大防止を目的としており、外部事象に対する設備破損リスクは変化しない。 ④漏えい拡大防止を目的としており、時間的にリスクは変化しない。 ⑤可能な限り早期に実施することが望ましく、既に実施している。 ⑥対策を実施するリスクは小さい。 ⑦対策を実施できないリスクはない。
			仮設ハウスの恒久化対策	原子炉注水設備のポンプ等を恒久化したハウス内等に配置することにより、台風、塩害、凍結等の外部事象による設備の故障防止を図る。	平成24年12月末完了	①凍結等の外部事象リスクが低減しない。 ②炉注機能が停止した場合の放射性物質の追加放リスクは大きい。 ③仮設ハウスを恒久化することで外部事象に対するリスクは低減する。 ④仮設ハウスを恒久化するものであり、時間的なリスクは変化しない。 ⑤可能な限り早期に実施することが望ましく、既に実施している。 ⑥対策を実施するリスクは小さい。 ⑦対策を実施できないリスクはない。	
	建屋内循環ループ構築	水処理設備など建屋外に設置された設備を経由しない循環ループを形成し、系外への放リスクを低減する。また、建屋内滞留水をそのまま冷却水として使用することにより、水処理設備等の処理量、あるいは原子炉格納容器からの漏えい水量に依存せずに、原子炉注水量を増加させるシステムが構築出来る。	平成27年3月末完了	①大循環ループからの漏えいリスクが低減しない。 ②屋外に敷設されているループ長が縮小する分、漏えいリスクを低減する。 ③建屋内に設置することで、気象等に関わる外部事象に対するリスクが低減する。 ④現行設備でも適切な保全により長期間使用可能と考えており、時間的なリスクの変化は小さい。 ⑤建屋内循環ループを構築する前段階として、滞留水水质、作業環境や格納容器止水作業等との干渉も含めて取水場所等を検討する必要があるため、目標時期までに対策できるよう、実施に向けての調査・検討を行っている。 ⑥作業員の被ばくリスクに加え、建屋内が高線量となるリスクがある。 ⑦滞留水水质の傾向監視、ライン構成の最適化、除染等の環境改善等を考慮し、効果的な対策となるよう検討していく必要がある。			

表2. 4-1 実施を計画しているリスク低減対策ならびに適切性 (2/8)

ロードマップ関連項目		想定されるリスク	リスク低減対策	目的	目標時期	個々の対策に対する適切性
プラントの安定状態維持・継続に向けた計画	原子炉の冷却計画	・原子炉压力容器・格納容器内不活性雰囲気維持機能喪失リスク	原子炉压力容器・格納容器への窒素供給装置の増設	窒素供給装置は常用している2台の内1台の運転で、原子炉格納容器内の水素濃度を可燃濃度(4%)以下に維持するのに十分な性能を保持している。また運転号機が停止しても予備の装置を起動するまでの余裕時間も十分確保(100時間以上)されていることから、常用1台の運転で問題はないが、更なる信頼性向上のため、常用の窒素ガス分離装置を1台増設する。	平成25年3月末完了	①原子炉格納容器内窒素封入設備は、非常用電源を装備した窒素供給装置の設置により多重性を確保しているものの、常用機器の長期間停止を伴う点検等を行う場合には、常用機器が単一状態となる。 ②現状の設備設置状況でも機器の多重性を確保していること、運転号機が停止した場合の停止余裕時間も十分に確保(100時間以上)されていることから、今回の更なる信頼性向上対策が無くとも、水素爆発の可能性は十分に低く抑えられていると考えている。 ③高台に設置することにより、外部事象に対するリスクは低減する。 ④設備の経年的な劣化により窒素供給設備が故障するリスクが増加するが、装置の増設により、より適切な保守管理が可能となる。 ⑤窒素供給装置の信頼性を向上させることはリスク低減に寄与するため、早期に実施することが望ましく既に実施している。 ⑥対策を実施するリスクは小さい。 ⑦実施できないリスクはない。
			水素の滞留が確認された機器への窒素ガス封入	サブプレッションチェンバ(S/C)気相部等の高濃度の水素滞留が確認された機器について、窒素ガスの封入等により不活性状態にする。	1号機 S/C: 対応済(窒素封入方針を検討中) 2号機 S/C: 平成25年度上期より対応中 3号機 S/C: S/C内閉空間気相部の水素残留状況の調査を検討中	①今回確認されたサブプレッションチェンバ内の高濃度の水素は、事故初期に発生したものの残留物であると考えられ、酸素濃度が低いことや現在まで閉空間内に安定して存在してきてきたことを鑑みると、水素爆発が発生する緊急性は低いと考えられる。しかしながら、水素パージを行わなければ、この状況が継続する。 ②サブプレッションチェンバは格納容器の一部であること、閉空間の容積によっては水素の残留量が大きい可能性があることから、万一水素爆発が発生した際に放射性物質が放出されるリスクがあるが、本対策により低減ができる。 ③水素パージにより外部事象に対する水素爆発のリスクは低減する。 ④事故後現在まで安定した状態を維持していることや水の放射線分解の寄与は小さいと考えられること、格納容器内については窒素封入により不活性状態は維持され、格納容器ガス管理設備により水素濃度を監視していることから、時間的リスクが急激に増加することはないと考えられる。 ⑤サブプレッションチェンバ補修工事等の関連工事や現場線量環境を考慮した上で、現場調査等を慎重に行い、高濃度の水素が確認された場合には、早期に対策を実施する必要がある。 ⑥建屋内の高線量作業であるため、作業員の被ばくリスクに加え、水素濃度の挙動を確認しつつ作業を行う必要がある。 ⑦現場の状況を踏まえて安全に水素パージができるように窒素封入方法を検討する必要がある。

表 2. 4-1 実施を計画しているリスク低減対策ならびに適切性 (3/8)

ロードマップ関連項目	想定されるリスク	リスク低減対策	目的	目標時期	個々の対策に対する適切性	
プラントの安定状態維持・継続に向けた計画	・放射性物質の系外放出リスク	滞留水移送・淡水化装置周りの耐圧ホースのポリエチレン管化	滞留水移送・処理設備において耐圧ホースを使用している箇所をより信頼性の高いポリエチレン管等に交換することにより、滞留水、処理水の漏えいリスク、漏えい水による他の設備損傷リスク、漏えい時の作業環境悪化リスクの低減を図る。	平成 25 年 12 月末完了	①滞留水移送ラインからの放射性物質の追加放出リスクが低減しない。 ②漏えい時における放射性物質の追加放出リスクは大きい。 ③ポリエチレン管等へ取替を行うことにより、地震等の外部事象に対するリスクは低減する。 ④ポリエチレン管等へ取替を行うことにより、時間的な設備劣化損傷リスクは低減する。 ⑤可能な限り早期に実施することが望ましく、既に実施している。 ⑥対策を実施するリスクは小さい。 ⑦ポリエチレン管等の敷設が出来ない場合は、堰等により漏えいの拡大防止を図る。	
		滞留水処理設備の信頼性向上	タンク増設、及びRO濃縮水一時貯槽のリプレース	滞留水または処理水の貯留場所確保のためにタンクを増設する。	半期毎に増設計画を報告	①日々増加し続ける滞留水・処理水の保管場所が無くなり、貯留できなくなるリスクがある。 ②漏えい時における放射性物質の追加放出リスクは大きい。 ③貯蔵量を確保することが目的であり、外部事象に対するリスクは変化しない。 ④タンクの経年劣化により漏えいリスクは増加する。 ⑤貯留場所確保のため、計画的に増設していく必要があり、既に実施している。 ⑥滞留水・処理水貯蔵量の増加により、漏えいリスクは増加する。 ⑦タンク設置場所には限界があるため、緩和措置として、地下水流入量低減対策を確実に実施する必要がある。
		タンクエリアへの堰等の設置	タンクエリアに堰等を設置することにより、貯蔵タンクからの漏えいの早期発見と大規模漏えい時の系外への拡大防止	タンク設置に合わせ順次実施	①漏えい時における放射性物質の追加放出リスクが低減しない。 ②漏えい時における放射性物質の追加放出リスクは大きい。 ③漏えい拡大防止を目的としており、外部事象に対するリスクは変化しない。 ④漏えい拡大防止を目的としており、時間的にリスクは変化しない。 ⑤可能な限り早期に実施することが望ましく、既に実施している。 ⑥対策を実施するリスクは小さい。 ⑦対策を実施できないリスクはない。	
		多核種除去設備の設置	本設備により、汚染水処理設備の処理済水に含まれる放射性核種(トリチウムを除く)を十分に低い濃度まで除去することにより、汚染水貯蔵量の低減ならびにタンク貯留水の放射能濃度低減による漏えい時の環境影響の低減を図る。	平成 25 年 3 月より A 系ホット試験を開始	①大量の放射性物質を含んだ汚染水を保有し、漏えいするリスクが低減しない。 ②漏えい時における放射性物質の追加放出リスクは大きい。 ③汚染水の処理により外部事象に対するタンク等からの大量の放射性物質を含んだ汚染水が漏えいするリスクは低減できる。 ④多核種除去設備の稼動が遅れることにより、汚染水貯留量が増加しタンク等からの大量の放射性物質を含んだ汚染水が漏えいするリスクは増加する。 ⑤可能な限り早期に実施することが必要であり、ホット試験を実施中である。 ⑥二次廃棄物の長期保管ならびに漏えいリスクが発生する。 ⑦対策を実施できないリスクはないが、実施できない場合タンクを増設し汚染水を貯留する。	
		可能なトレンチから順次、止水・回収の実施	トレンチ内の滞留水を回収し、系外への漏えい防止を図る。	平成 25 年 3 月末までに検討可能なトレンチ等から順次、止水・回収を実施 2,3号機海水配管トレンチ：平成 26 年度内のトレンチ内汚染水除去完了	①津波の浸入等により滞留水が敷地外へ流出するリスクが低減しない。 ②漏えい時における放射性物質の追加放出リスクは大きい。 ③対策を実施することにより津波の浸入等による滞留水が敷地外へ流出するリスクは低減する。 ④現在でも適切な管理を行っているが、高濃度滞留水のコンクリート健全全部中の拡散を評価したところ、トレンチ部は 10~13 年で外表面に達するリスクがある。 ⑤止水方法の成立性等を検討し、可能なトレンチから順次実施していくことが望ましく、また、並行して津波対策を実施予定。 ⑥対策を実施するリスクは小さいが、トレンチ内滞留水の処理が必要となる。 ⑦現場の状況を踏まえた止水方法等を検討する必要がある。	
		建屋の津波対策 (建屋開口部の閉鎖・水密化)	仮設防潮堤を超える津波が建屋開口部から浸入し、建屋地下に滞留している高濃度滞留水が系外へ漏えいしないよう建屋開口部の閉鎖・水密化等を行う。	平成 25 年 3 月末まで継続検討を実施。検討状況に応じて対策を実施	①津波の浸入等により滞留水が敷地外へ流出するリスクが低減しない。 ②漏えい時における放射性物質の追加放出リスクは大きい。 ③対策を実施することにより津波の浸入等による滞留水が敷地外へ流出するリスクは低減する。 ④現在でも適切な管理を行っている上、水処理の継続により、滞留水中のインベントリは低減していく方向であるが、時間的なリスクの変化は小さい。 ⑤現場状況を勘案し、対策の必要な箇所については、可能な限り早期に実施することが望ましい。 ⑥対策を実施するリスクは小さい。 ⑦現場の状況を踏まえた止水方法等を検討する必要がある。	

表2. 4-1 実施を計画しているリスク低減対策ならびに適切性(4/8)

ロードマップ関連項目		想定されるリスク	リスク低減対策	目的	目標時期	個々の対策に対する適切性
プラントの安定状態維持・継続に向けた計画	滞留水処理計画	・滞留水の発生量の増加リスク	サブドレンの復旧	建屋周辺の地下水を汲み上げる設備(サブドレン)を復旧し、地下水位を下げることにより、建屋内への地下水流入量の低減を図る。	平成25年度以降:サブドレン復旧	①建屋への地下水流入量が減少しないため、汚染水の増加リスクは低減しない。 ②漏えい時における放射性物質の追加放出リスクは大きい。 ③地下水流入量低減を目的としており、外部事象に対するリスクは変化しない。 ④水処理の継続により、滞留水中のインベントリは低減していく方向であるものの、建屋への地下水の流入量を低減できないため、建屋内滞留水の漏えいリスクが増加する。 ⑤可能な限り早期に実施していく必要があり、復旧計画を検討中。 ⑥対策を実施するリスクは小さいが、サブドレン水の浄化が必要となる。 ⑦他の地下水流入量低減対策として、地下水バイパスを早期に稼働することで地下水流入量抑制を図る。
			地下水バイパスの設置	建屋周辺の地下水は山側から海側に向かって流れていることから、建屋山側の高台で地下水を揚水し、その流路を変更して海にバイパスすることにより、建屋周辺の地下水位を段階的に低下させ、建屋への地下水流入量の低減を図る。	準備が整い次第、段階的に実施	①建屋への地下水流入量が減少しないため、汚染水の増加リスクは低減しない。 ②漏えい時における放射性物質の追加放出リスクは大きい。 ③地下水流入量低減を目的としており、外部事象に対するリスクは変化しない。 ④水処理の継続により、滞留水中のインベントリは低減していく方向であるものの、建屋への地下水の流入量を低減できないため、建屋内滞留水の漏えいリスクが増加する。 ⑤干渉する作業などはないことから、可能な限り早期に実施することが望ましい。 ⑥揚水井稼働により建屋の周辺地下水位が下がりすぎ、建屋の汚染水が流出するリスクやバイパスの揚水井に汚染した地下水を引き込み、海域へ放出されるリスクへの対応が必要である。 ⑦揚水井を稼働しても建屋への地下水流入が想定どおり減少しない場合も考慮し、水処理・貯留場所の確保を行う必要がある。

表2. 4-1 実施を計画しているリスク低減対策ならびに適切性(5/8)

ロードマップ関連項目	想定されるリスク	リスク低減対策	目的	目標時期	個々の対策に対する適切性	
プラントの安定状態維持・継続に向けた計画	電気系統設備の信頼性向上	・単一故障による電源停止リスク	タービン建屋内所内高圧母線設置及び重要負荷の供給元変更	1系統で供給していた重要負荷に対し、タービン建屋2階に設置する2系統の所内高圧母線から供給できるようにすることで信頼性を向上させる。	タービン建屋内所内高圧母線設置：平成25年2月末完了 重要負荷の供給元変更：平成25年7月末完了	①1系統で電源供給している重要負荷については、電源喪失時は一部小型発電機にて機能維持ができるが、機能喪失に繋がるリスクは低減しない。 ②重要度の高い原子炉注水設備の更なる信頼性向上に寄与するとともに、使用済燃料プール設備の一部の動的機器について、電源を2系統から供給できるようになるため、燃料の損傷による放射性物質の追加放出リスクを低減できる。 ③タービン建屋2階に設置されている所内高圧母線から供給できることにより、津波に対する電源喪失リスクは低減する。 ④長期的には、電気設備の経年的な劣化故障による重要負荷の電源喪失のリスクは増加する。 ⑤可能な限り早期に実施することが望ましく、既に実施している。 ⑥対策を実施するリスクは小さい。 ⑦対策を実施できないリスクはない
		・津波浸水による電源喪失リスク	共用プール建屋の防水性向上	所内共通ディーゼル発電機A、Bが設置されている共用プール建屋に対して津波対策として防水性を向上させる。	平成25年9月末完了	①共用プール建屋内への津波の浸入による所内共通ディーゼル発電機の電源供給機能喪失のリスクは低減しない。 ②共用プール建屋内への津波の浸入を防止することで、所内共通ディーゼル発電機の電源供給機能が維持できるため燃料の損傷による放射性物質の追加放出リスクは低減する。 ③津波による所内共通ディーゼル発電機の電源供給機能喪失のリスクを低減できる。 ④時間的なリスクの変化はない。 ⑤可能な限り早期に実施することが望ましく、実施に向け検討を進めている。 ⑥対策を実施するリスクは小さい。 ⑦現場の状況を踏まえた方法を検討する必要がある。
		・電源喪失時の復旧遅延リスク	小型発電機・電源盤・ケーブル等の資材の確保	津波・地震による全交流電源喪失を伴う異常時に備えて、重要設備の復旧作業に必要な屋外照明等の資材を確保する。	平成25年3月末完了	①津波や地震により全交流電源喪失を伴う異常が発生した場合に、屋外照明等が無いことにより重要な設備の緊急復旧作業が遅延するリスクがある。 ②放射性物質の追加放出リスクはないが、全交流電源喪失等の異常が発生した場合に、照明が無いことにより重要な設備の緊急復旧作業が遅延するリスクがある。 ③復旧資材の確保に対して外部事象に対するリスクはない。 ④時間的なリスクの変化はない。 ⑤可能な限り早期に実施することが望ましく、既に実施している。 ⑥対策を実施するリスクは小さい。 ⑦対策を実施できないリスクはない
			所内高圧母線M/C(非常用D/G M/Cを含む)の免震重要棟からの遠方監視・操作装置の新設	免震重要棟からの遠方監視・操作を可能とし、異常の早期検知を図る。	平成24年12月末完了	①電源喪失時に異常の検知等が遅れることで復旧作業が遅延するリスクがある。 ②対策を実施することで原子炉注水設備等の重要負荷の電源供給機能の長期機能喪失を防止することができるため、燃料の損傷等による放射性物質の追加放出リスクは低減する。 ③対策を実施することで外部事象に対する電源供給機能の長期喪失リスクは低減する。 ④時間的なリスクの変化はない。 ⑤可能な限り早期に実施することが望ましく、既に完了している。 ⑥対策を実施するリスクは小さい。 ⑦対策を実施できないリスクはない。

表2. 4-1 実施を計画しているリスク低減対策ならびに適切性(6/8)

ロードマップ関連項目		想定されるリスク	リスク低減対策	目的	目標時期	個々の対策に対する適切性	
発電所全体の放射線量低減・汚染拡大防止に向けた計画	海洋汚染拡大防止計画	・放射性物質が地下水に流出した際の海洋への放出リスク	遮水壁の設置	建屋内の汚染水が地下水に流出した場合、汚染された地下水が地下の透水層を経由して海洋に流出することを防止する	平成26年度半ば完了	①汚染水が地下水に流出した場合の汚染水が海洋等へ流出するリスクが低減しない。 ②汚染水が地下水に流出した場合、放射性物質の追加放出リスクは大きい。 ③敷地内の汚染水保管設備が破損した場合、遮水壁が汚染水流出の歯止めとなるため、外部事象に対するリスクは低減できる。 ④汚染水流出の歯止めが目的であり、リスクの時間的な変化はない。 ⑤干渉する作業などはないことから、早期に設置することが望ましく、既に実施している。 ⑥地下水ドレンでくみ上げた水により構内の保管水量が増加する。 ⑦対策を実施できないリスクはない。	
		・港湾内の放射性物質の海洋への拡散リスク	港湾内海底土の浚渫・被覆等	港湾内の環境改善のために海底の汚染土の除去と大型船舶の航路・泊地を確保することを目的に、港湾内海底土の浚渫・被覆等を実施する。浚渫した土は航路・泊地エリア外に一時的に集積させることとし、集積した土については再拡散防止のため、被覆等を実施する。	平成25年度半ば以降着手	①港湾内の海底土が波浪等により再拡散し、港湾外に放出するリスクが低減しない。 ②波浪等により海底土が再拡散した場合、放射性物質の追加放出リスクは大きい。 ③対策を実施することで外部事象により海底土が再拡散するリスクは低減する。 ④海底土の拡散防止が目的であり、リスクの時間的な変化はない。 ⑤港湾内の船舶航行及び海上作業の輻輳状況を把握した上で、実施時期を検討する。 ⑥海底土が再拡散しない施工方法を選択することによりリスクは小さくなる。 ⑦対策を実施できないリスクはない。	
	放射性廃棄物管理及び敷地境界の放射線量低減に向けた計画	ガレキ等	・敷地内被ばくリスク	瓦礫類の覆土式一時保管施設の増設 または一時保管エリアAの追加遮へい	施設内に保管されている発災以降発生した瓦礫や汚染水等による敷地境界線量1mSv/年未満を達成するため、瓦礫等の保管施設の増設等を実施する。また、これらの作業により、敷地内全体の雰囲気線量も低減され、作業環境の改善にもなる。	平成25年3月末完了	①「措置を講ずべき事項」に要求されており、対策を実施しない場合、平成25年3月末時点での敷地境界線量1mSv/年未満の目標達成が困難となる。 ②敷地境界線量の目標達成が目的であり、放射性物質の追加放出リスクは小さい。 ③対策を実施することにより、竜巻等による瓦礫等の飛散するリスクは低減する。 ④敷地境界線量の目標達成が目的であり、時間的なリスクの変化はない。 ⑤平成24年度内に達成することを目標としており、作業としては既に実施している。 ⑥対策を実施することで、作業員等への被ばくが発生する。その為、線量管理等を適切に実施することが必要。 ⑦対策を実施できない場合、施設内に保管されている発災以降発生した瓦礫や汚染水等による平成25年3月末時点での敷地境界線量1mSv/年未満が達成できなくなる。なお、代替策は時間的な制約から困難である。また、保管施設設置場所は限界があるため、放射性廃棄物の減容等を確実に実施する必要がある。
				覆土式の伐採木一時保管槽の設置		平成25年3月末完了	
		水処理二次廃棄物	・敷地内被ばくリスク ・放射性物質の系外放出リスク	使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第三施設、第四施設）の設置		第三施設：平成25年4月着手 第四施設：着手済	
	気体廃棄物	・放射性物質の系外放出リスク	吸着塔保管施設の遮へい設置ならびに吸着塔の移動	2号機ブローアウトパネルの閉止	2号機原子炉建屋ブローアウトパネルを閉止することで、原子炉建屋から大気への放射性物質の放出を抑制する。	平成25年3月末完了	
						3, 4号機使用済燃料取出用カバーの設置, フィルタ付換気設備の設置・運転	使用済燃料プールから燃料を取り出すにあたって、作業時の放射性物質の舞い上がりによる大気への放射性物質放出を抑制するため、カバー並びに換気設備の設置を行う。
	敷地内除染計画	・敷地内被ばくリスク	敷地内の除染計画の策定・実施	敷地内の雰囲気線量を低減させることにより、作業被ばくを低減させると共に、ノーマスクエリア等を拡大し、作業員の作業負担軽減を図る。	段階的に計画・実施	①対策を実施しない場合、敷地内の雰囲気線量が低減しない。 ②被ばく抑制が目的であり、放射性物質の追加放出リスクは小さい。 ③外部事象に対するリスクは小さい。 ④時間的なリスクの変化はない。 ⑤対象範囲が広範囲であること、一部雰囲気線量が非常に高い所もあることから、段階を踏んで、計画的に実施していくことが必要。現在、その認識の基、比較的に効果が見込めるエリアを選定し、作業を実施している。 ⑥対策を実施することで、作業員等への被ばくが増加する。その為、線量管理等を適切に実施することが必要。 ⑦現場の線量に応じた除染方法を検討する必要がある。	

表2. 4-1 実施を計画しているリスク低減対策ならびに適切性（7/8）

ロードマップ関連項目		想定されるリスク	リスク低減対策		目的	目標時期	個々の対策に対する適切性	
使用済燃料 プールからの 燃料取出計画	1～4号機 使用済燃料 プール	・冷却機能喪失リスク	1～4号機使用済燃料プール循環冷却設備の信頼性向上対策	予備品の確保	SFP冷却については、震災後設置した冷却設備等により継続してプールの冷却・浄化等を実施している。昨年に設置した設備の故障等により、冷却機能が一時停止する事象が発生したため、これらの再発を防止するため予備品の確保並びに電源の多重化を行う。	平成25年3月末完了	①電源停止等により冷却機能が一時的に喪失するリスクが低減しない。 ②冷却機能が長期間喪失した場合の使用済燃料からの放射性物質の追加放出リスクは大きい。 ③外部事象に対するリスクは継続する。 ④長期的には、電気設備の経年的な劣化故障による重要負荷の電源喪失のリスクは増加する。 ⑤可能な限り早期に実施することが望ましく、既に実施している。 ⑥対策を実施するリスクは小さい。 ⑦対策を実施できないリスクはない。	
				所内電源（M/C）多重化		平成25年3月末完了		
	共用プール	・被災したキャスクの腐食等のリスク	1～4号機使用済燃料プールから共用プールへの燃料移動	1～4号機使用済燃料プールには約3,000体の燃料集合体が保管（1号機：392体、2号機：615体、3号機：566体、4号機：1533体）されており、これらの崩壊熱を除去するため、震災後に使用済燃料プール循環冷却系を設置している。これら冷却設備については、震災直後に設置した設備であるため、信頼性向上対策等を実施することで冷却機能が継続できるような対策を講じているが、これら機能が長時間停止した場合、使用済燃料の崩壊熱により、最悪の場合、使用済燃料が溶融し、大気へ放射性物質を放出する可能性が考えられる。その為、使用済燃料をより信頼性の高い冷却機能を有し、雰囲気線量が低く管理しやすい、共用プールに移送し、保管・管理を実施する。	共用プールには保管容量6840本に対して、既に6377本保管している。今後、使用済燃料プールから使用済燃料を受け入れるため、十分に冷却が進んだ使用済燃料を乾式キャスクに移し、共用プールの燃料受入容量を確保する。	3号機：平成27年度上半期取出開始 4号機：平成25年11月取出開始 1,2号機：判断ポイントにより、プランの絞り込みや修正・変更を行う 1号機(最短)：平成29年度上半期取出開始 2号機(最短)：平成29年度下半期取出開始	平成25年6月以降順次実施	①対策を実施しない場合、使用済燃料プールからの燃料移送が困難となり、使用済燃料プールでの冷却機能喪失時におけるリスク等が低減されない。 ②冷却機能が長期間喪失した場合の使用済燃料からの放射性物質の追加放出リスクは大きい。 ③乾式キャスクに移し、高台の仮保管施設に移動することにより津波に対するリスクが低減する。 ④対策を実施しない場合、使用済燃料プールからの燃料移送が困難となり、使用済燃料プールでの冷却機能喪失時におけるリスク等が低減されない。 ⑤使用済燃料取り出しのために空き容量確保のため、計画的に実施する必要がある。 ⑥キャスク移送時の燃料落下防止対策等を講じる。 ⑦従前より実績のある取扱作業であるが、共用プール内の燃料払い出し作業と受け入れ作業の輻輳による遅延が発生しないよう工程管理を検討する必要がある。
	共用プール	・冷却機能喪失リスク	キャスク保管建屋から共用プールへのキャスク移動	キャスク保管建屋には、震災前から保管している乾式燃料キャスクがあり、震災の影響により海水等を被っており、腐食等の影響が懸念される。また、パトロール時の線量、温度測定で異常の無いことを確認しているものの、常用の監視系は使用できない状況である。その為、これらキャスクを共用プールに移送し、キャスク本体の健全性を確認する。	キャスク保管建屋から共用プールへのキャスク移動	キャスク保管建屋には、震災前から保管している乾式燃料キャスクがあり、震災の影響により海水等を被っており、腐食等の影響が懸念される。また、パトロール時の線量、温度測定で異常の無いことを確認しているものの、常用の監視系は使用できない状況である。その為、これらキャスクを共用プールに移送し、キャスク本体の健全性を確認する。	平成25年5月完了	①対策を実施しない場合、密封機能の健全性等、懸念材料が払拭されないこととなる。 ②乾式燃料キャスク内には既に使用済燃料（キャスク9基内に合計408本）を保管しており、キャスクの密封機能等の健全性が確認・維持されなければ、保管した使用済燃料からの放射性物質放出の抑制機能が確認できない。 ③再度津波等が発生した場合、キャスク保管建屋に海水等が浸水し、キャスクの密封機能等の健全性に影響を与える可能性がある。 ④腐食等の進展によりキャスクの密封機能等の健全性が損なわれる可能性がある。 ⑤キャスクをキャスク保管建屋から移送するための準備、受入側の共用プールの準備ができ次第、これら復旧作業を順次実施する計画である。 ⑥キャスクを移送するにあたっては、移送時のキャスク落下防止対策等を講じる。 ⑦監視について検討する必要がある。

表 2. 4 - 1 実施を計画しているリスク低減対策ならびに適切性 (8 / 8)

ロードマップ関連項目		想定されるリスク	リスク低減対策	目的	目標時期	個々の対策に対する適切性
原子炉施設の解体・放射性廃棄物処理・処分にに向けた計画	放射性廃棄物処理・処分にに向けた計画	・廃棄物保管容量の不足リスク	雑固体廃棄物焼却設備の設置	敷地内で発生した放射性固体廃棄物等を焼却、減容するため焼却設備を設置する。	平成 26 年度下期設置完了	①対策を実施しない場合、保管する放射性固体廃棄物等が増加するとともに、保管・管理に係る業務が継続する。 ②放射性固体廃棄物等が増加するが、放射性物質の追加放出リスクは小さい。 ③保管物が火災等の外部事象によって、飛散する可能性がある。 ④対策を実施しなかった場合、放射性固体廃棄物等の保管リスクは時間的に増加する。 ⑤対策には建屋の建設から必要であり、長期に渡って時間を必要とする。現在既に設計に入っており、H26 年度下期供用開始に向け、作業を進めている。 ⑥放射性固体廃棄物等を焼却することから、大気へ放射性物質を放出する可能性がある。その為、適切な処理設備を設置するとともに、放出管理も併せて実施し、敷地外への影響がないことを確認する。 ⑦対策を実施できない場合は継続的に保管エリアを確保する必要がある。
その他	火災対策	・発電所周辺・所内火災の延焼リスク	防火帯の形成・維持 発電所内火災対策の策定・実施	発電所周辺大規模火災から発電所重要設備の防護のため、防火帯を形成するとともに、発電所内火災から重要設備の防護・延焼防止のため対策を策定・実施する。	平成 25 年 3 月末完了 平成 25 年 12 月	①発電所敷地内外で大規模火災が発生した場合に、設備の機能喪失ならびに放射性物質の舞い上がりが発生する可能性がある。 ②大規模火災によって放射性物質の追加放出リスクがある。 ③対策を実施することで大規模火災等の外部事象に対し、リスクを低減することができる。 ④リスクは時間的に変化しない。 ⑤計画的に実施していく必要がある。 ⑥防火帯の形成のために新たな森林の伐採が必要となり、保管エリアの確保・伐採木の自然発火に対する対策が必要となる。 ⑦現場の状況に応じた対策（カメラによる監視・火報の設置・巡視等）を検討・実施し、火災の早期検知に努めるとともに迅速な初期消火を行える体制を構築する必要がある。

原子炉注水系に関する確率論的リスク評価

1.1 目的

事故後の原子炉の状況において最も重要な原子炉を冷やす機能である原子炉注水系について、多重故障等の厳しい条件に基づき、原子炉注水系の機能が喪失した際の相対的な脆弱性を体系的に把握することは、安全性を向上させる上で有用な役割を果たすものである。

ここでは、原子炉注水系に対して影響が大きい事象を選定し、その後の事象進展の確率を、設備構成や故障率を基に推定し、原子炉圧力容器内及び格納容器内の燃料（以下、炉心という）が再損傷に至る頻度を評価する（別紙－1，2参照）。

1.2 方針

1号機から3号機は、津波襲来後の数日の間にシビアアクシデントに至ったものとみられており、その間で一定量の放射性物質（FP）が環境に放出されたものと考えられる。このような状況を考慮し、ここでの評価方針としては、原子炉圧力容器内及び格納容器内に残存しているFPの相当量が環境へ放出される事象を対象とする。

1.3 評価対象

本評価では、原子炉圧力容器内及び格納容器内に残存しているFPの相当量が環境へ放出される事象として、炉心再露出及び炉心再損傷に至る頻度を評価対象とする。なお、原子炉注水系が一定時間停止すると、炉心再露出に至ることから、原子炉注水系が停止する事象を原子炉注水系機能喪失と呼ぶ。

また、格納容器の気密性を確保できていないと考えられることから、炉心の再損傷後から放出までの評価は炉心の再損傷頻度と同等として取り扱う。

評価対象とした原子炉注水系の構成を図－1に、原子炉注水系の電源構成を図－2に示す。

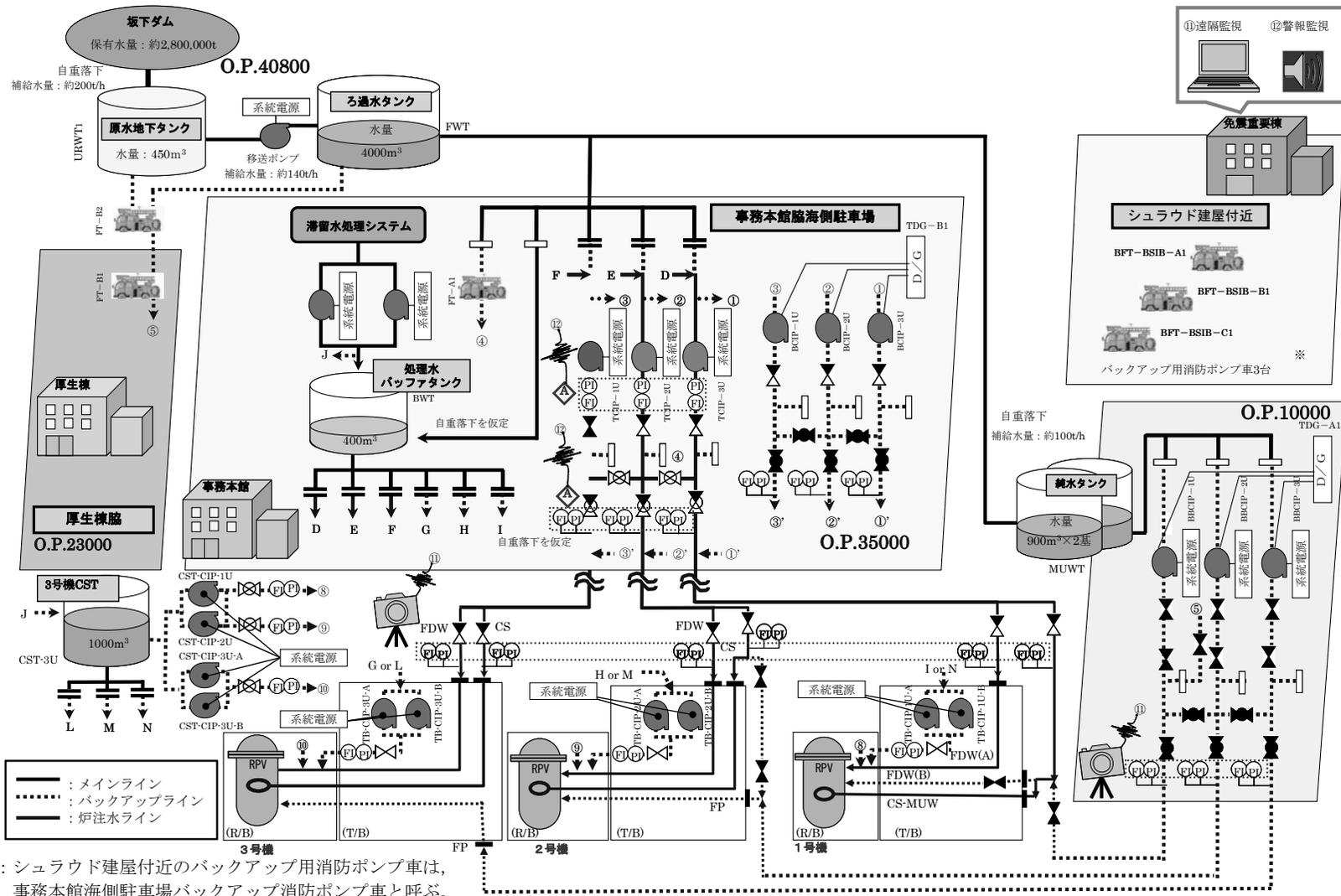
原子炉注水系機能喪失に至る起因事象は、安定的な原子炉への注水を阻害する要因（ハザード）が発電所内、所外のどちらに起因するかに分けて選定し、以下のとおりとした。

○ハザード発生箇所が発電所内の場合

- (1) 常用高台炉注水ポンプトリップ
- (2) 注水ライン機能喪失
- (3) 一次水源からの供給機能喪失
- (4) 外部電源喪失（地震を除く）
- (5) 所内共通 M/C(1A)/(1B) 盤火災

○ハザード発生箇所が発電所外の場合

- (6) 外部電源喪失（地震）
- (7) 大津波事象



※：シュラウド建屋付近のバックアップ用消防ポンプ車は、事務本館海側駐車場バックアップ消防ポンプ車と呼ぶ。

略語	TCIP-1/2/3U：1号/2号/3号用常用高台炉注水ポンプ	FT-A1：事務本館海側駐車場消防ポンプ
	BCIP-1/2/3U：1号/2号/3号用非常用高台炉注水ポンプ	FT-B1：厚生棟脇消防ポンプ
	BBCIP-1/2/3U：1号/2号/3号用純水タンク脇炉注水ポンプ	FT-B2：ろ過水タンク脇消防ポンプ
	TBCIP-1/2/3U-A/B：1号/2号/3号用タービン建屋内炉注水ポンプ	BFT-BSIB-A1/B1/C1 事務本館海側駐車場バックアップ消防ポンプ車
	CST-CIP-1/2/3U：1号/2号/3号用CST炉注水ポンプ	

図-1 原子炉注水系の構成

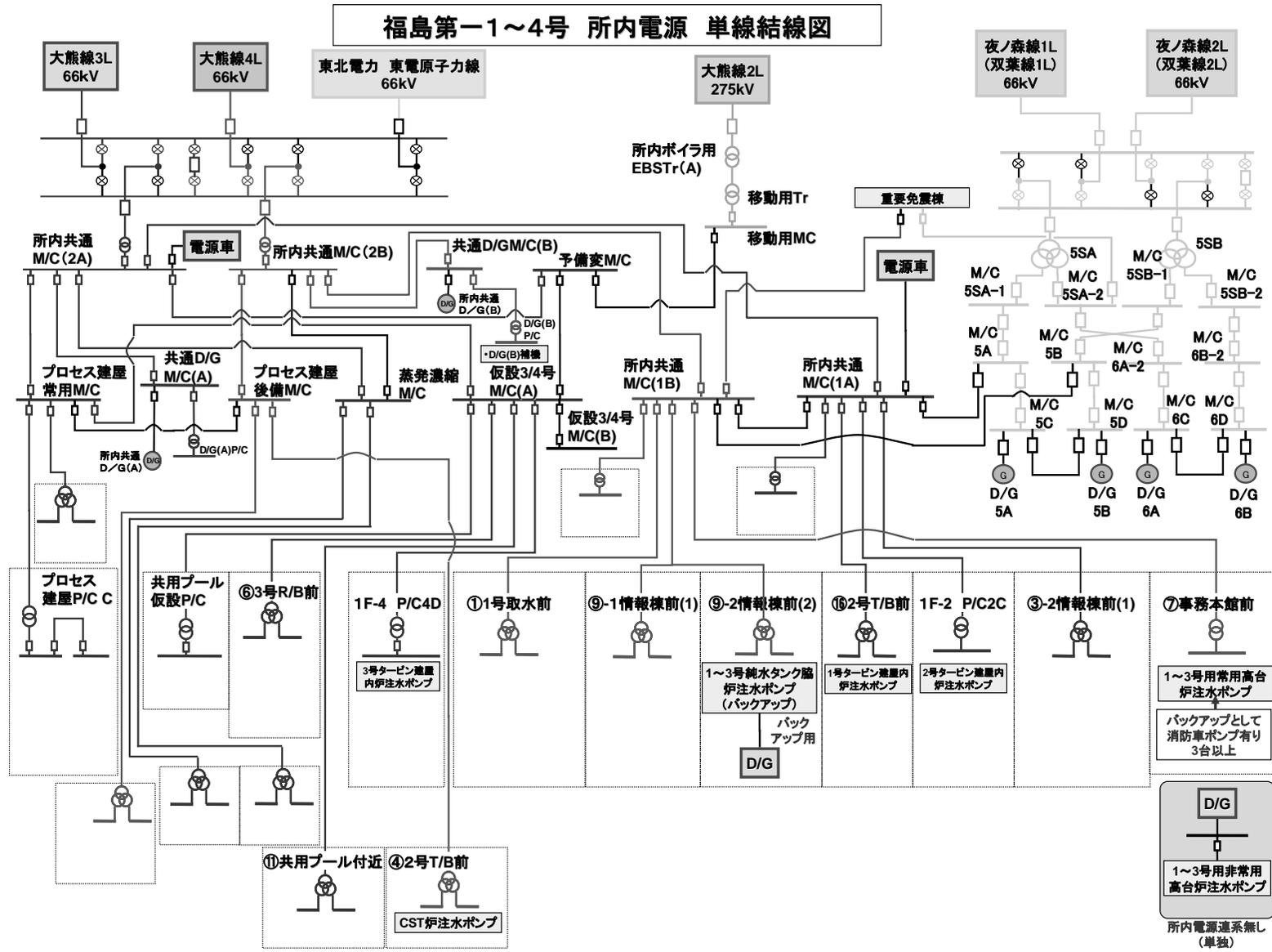


図-2 原子炉注水系の電源構成

1.4 原子炉注水系機能喪失の判定条件

これまで比較的安定して冷却してきた燃料が露出すると、燃料温度は上昇する。ただし、原子炉停止から時間が経過していることから、炉内の崩壊熱量は大幅に低減しており、燃料が露出しても直ちに燃料が熔融し、FP が環境に放出されることにはならない。

ここで、炉心再損傷の判定条件として、炉心の温度が上昇し、3 プラント同時に炉心損傷した際の敷地境界の線量が 5mSv 以下となることとした。添付資料-1 の手法により原子炉注水系機能喪失からこの判定条件に至るまでの時間を評価した結果、原子炉注水系機能喪失から、34 時間後までに炉心への注水に成功すれば、炉心再損傷を防止できるものとし、34 時間以内に注水を復旧できない場合を炉心再損傷とした。

1.5 評価結果

起因事象発生から炉心再損傷に至るまでの頻度を評価した。

炉心再損傷が発生する頻度（点推定値）は表-1 及び図-3 に示すとおりであった。各起因事象の評価結果の概要について以下に示す。

(1) 常用高台炉注水ポンプトリップ

常用高台炉注水ポンプの共通原因故障による 3 台の機能喪失により、ポンプトリップし、炉注水の再開に失敗することにより炉心が再損傷に至るシナリオである。

本モードの炉心再損傷頻度への寄与割合は 1%未満である。

(2) 注水ライン機能喪失

注水ラインの破損により炉注水が中断し、炉注水の再開に失敗することにより炉心が再損傷に至るシナリオである。

本モードの炉心再損傷頻度への寄与割合は 1%未満である。

(3) 一次水源からの供給機能喪失

一次水源（バッファタンク）への給水が途絶えること等で、一次水源が枯渇することにより炉注水が中断し、炉注水の再開に失敗することにより炉心が再損傷に至るシナリオである。

本モードの炉心再損傷頻度への寄与割合は 1%未満である。

(4) 外部電源喪失（地震を除く）

外部電源喪失（地震を除く）により外部電源の供給が途絶え、炉注水の再開に失敗することにより炉心が再損傷に至るシナリオである。

本モードの炉心再損傷頻度への寄与割合は 1%未満である。

(5) 所内共通 M/C(1A)/(1B) 盤火災

所内共通 M/C(1A)/(1B) 盤火災により、常用高台炉注水ポンプへの電源の供給が途絶え、炉注水の再開に失敗することにより炉心が再損傷に至るシナリオである。

本モードの炉心再損傷頻度への寄与割合は 1%未満である。

(6) 外部電源喪失（地震）

地震により外部電源の供給が途絶え、炉注水の再開に失敗することにより炉心が再

損傷に至るシナリオである。

本モードの炉心再損傷頻度への寄与割合は1%未満である。

(7) 大津波事象

大津波が襲来したことにより、注水ラインが流され、炉注水が中断し、注水ラインの復旧に失敗し、炉注水の再開に失敗することにより炉心が再損傷に至るシナリオである。大津波事象の発生頻度を700年に一回と見込んだこと、漂流物等により注水ラインが損傷した場合代替手段が少なくなること、及び、注水ライン損傷後の復旧作業が難航（漂流物による作業環境の悪化、滞留水の漏えいに伴う線量上昇による作業環境の悪化）することにより、注水ラインの復旧に失敗し、炉注水の再開に失敗する割合が大きくなるため、炉心再損傷頻度が大きくなる。

本モードの炉心再損傷頻度への寄与割合は約99%である。

表-1 炉心再損傷頻度の評価結果

ハザード発生箇所	起回事象	起回事象発生頻度 (／年)	炉心再損傷頻度 (／年)	寄与割合 (%)
発電所内	常用高台炉注水ポンプトリップ	4.8×10^{-3}	4.8×10^{-11}	1%未満
	注水ライン機能喪失	1.2×10^{-2}	3.1×10^{-7}	1%未満
	一次水源からの供給機能喪失	2.0×10^{-1}	2.0×10^{-9}	1%未満
	外部電源喪失（地震を除く）	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-9}	1%未満
	所内共通M/C(1A)/(1B)盤火災	4.5×10^{-2}	4.5×10^{-10}	1%未満
発電所外	外部電源喪失（地震）	5.7×10^{-1}	6.1×10^{-9}	1%未満
	大津波事象	1.4×10^{-3}	5.8×10^{-5}	99%
—	合計	—	5.9×10^{-5}	100%

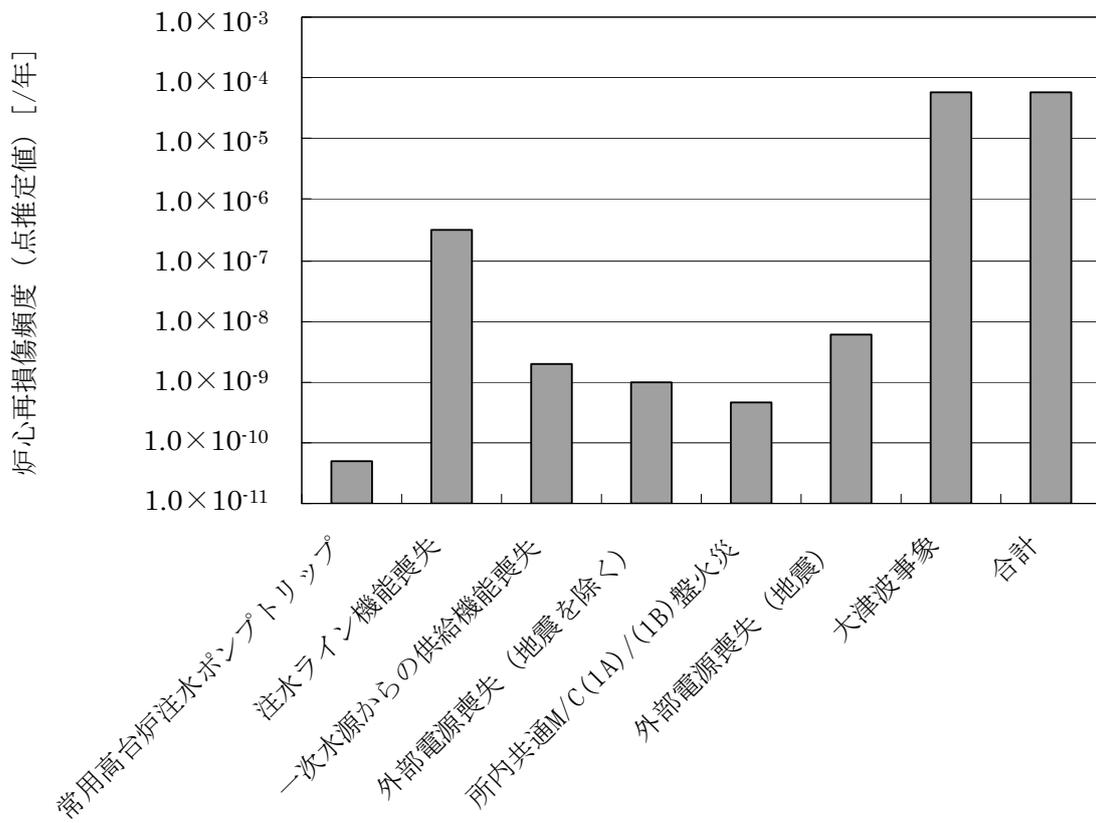


図-3 炉心再損傷頻度の評価結果

1.6 別紙

- 別紙-1 確率論的リスク評価手法
- 別紙-2 事故シーケンスの定量評価

確率論的リスク評価手法

1. 評価手法

評価手法ではまず、安定的な原子炉圧力容器及び格納容器への注水を阻害する起回事象の選定を行い、成功基準を決定し、事象の進展を考慮してイベントツリーを作成した。イベントツリーの各要素（以下、「ヘディング」という。）に対してフォールトツリー等によりシステムをモデル化し、従属故障及び人間信頼性の解析を行うとともに必要なデータベースを作成した後、事故シーケンスを定量化して炉心再損傷頻度を評価した（図－ 1 参照）。

2. 起回事象の選定と成功基準の設定

2.1. 起回事象

炉心再損傷に至る要因は、燃料の冷却不良によるものであり、原子炉注水系の機能が喪失し、炉心に冷却水が供給されないことにより発生する。原子炉注水系の機能が喪失に至る起回事象及び起回事象発生頻度は、表－ 1 のとおりとする。

なお、今回の評価では、設備の故障、人的過誤等により、システムの信頼性が損なわれることにより炉心が再損傷する事象を選定している。

選定にあたり、安定的な原子炉への注水を阻害する要因（ハザード）が発電所内、所外どちらに起因するかで分類した。ここで、発電所内に起因するものとしては、内的事象、内的溢水、内的火災のハザードグループが考えられ、一方、発電所外に起因するものとしては、地震、強風、外部溢水、その他の外的事象などのハザードグループが考えられる。

発電所内に起因するハザードグループのうち、内的事象としては、常用高台炉注水ポンプによる安定的な原子炉への注水を直接的に阻害する「常用高台炉注水ポンプトリップ」、「注水ライン機能喪失」、「一次水源からの供給機能喪失」、「外部電源喪失（地震を除く）」¹を代表して選定することとした。なお、「内的溢水」については、発電所内の各機器（ポンプ、電源盤、タンクなど）の配置から、発生可能性が小さいと考え、評価対象外としている。また、「内的火災」として、常用高台炉注水ポンプを始め、比較的多くの炉注水ポンプが所内共通 M/C(1A)/(1B)盤より受電されているため、これを代表して選定することとした。

発電所外に起因するハザードグループのうち、実際に東北地方太平洋沖地震によって発生した外部電源喪失及び大津波事象を踏まえ、「外部電源喪失（地震）」、「大津波事象」を選定することとした。なお、上記以外のハザード及びハザード随伴事象は、地震による外部電源喪失及び大津波事象に比べれば無視しうるものとして、評価対象外とした。

¹ 発電所外での落雷、台風等のハザードによる発電所内への電源供給喪失も含まれる。

表-1 起回事象及び起回事象の発生頻度

ハザード発生箇所	起回事象	要因	頻度 (/年)	備考
発電所内	常用高台炉注水ポンプトリップ	共通原因故障による全台ポンプトリップ	4.8×10^{-3}	仮設ポンプの時間故障率(実績と故障件数0.5件(仮定)から算出)と共通要因故障データから算出
	注水ライン機能喪失	R/B内	9.0×10^{-4}	EPRIのTechnical Report 1013141を参考に算出。
		T/B内	8.4×10^{-4}	
		屋外	1.0×10^{-2}	
	一次水源からの供給機能喪失	タンクの破損・損傷等による一次水源枯渇等	2.0×10^{-1}	仮設ポンプ(実績と故障件数0.5件(仮定)から算出), タンク破損及び閉塞の時間故障率((社) 日本原子力技術協会「故障件数の不確実さを考慮した国内一般機器故障率の推定」を参照) から算出
	外部電源喪失(地震を除く)	発電所外での落雷, 台風等	1.0×10^{-1}	停止時PSR-PSA(平成20年度実績)での 9.4×10^{-3} /年の10倍程度と仮定
所内共通M/C(1A)/(1B)盤火災	所内共通M/C(1A)/(1B)盤火災	4.5×10^{-2}	NUREG/CR-6850を参考に設定	
発電所外	外部電源喪失(地震)	地震	5.7×10^{-1}	外部電源喪失の実績から算出
	大津波事象	大津波	1.4×10^{-3}	「科学」2011年10月号(岩波書店)「東北地方太平洋沖地震の断層モデルと巨大地震発生のスーパーサイクル」(東京大学地震研究所:佐竹健治氏)による700年に1回を適用

2.2 成功基準

原子炉注水系の機能に発生した異常事象を収束させるために必要な安全機能を抽出し、各緩和系の成功基準を設定した。1~3号機全ての炉心の崩壊熱を除去するために必要な注水を行うために必要な最小設備数は表-2、水源は表-3のとおりとしている。具体的には、平成24年12月7日時点での注水量1号機 $4.5\text{m}^3/\text{hr}$ 、2号機 $6\text{m}^3/\text{hr}$ 、3号機 $6\text{m}^3/\text{hr}$ で十分に冷却できていることから、3基共用のポンプは $20\text{m}^3/\text{hr}$ 1台、1基用のポンプは $10\text{m}^3/\text{hr}$ 1台を成功基準としている。

表－2 各緩和系の成功基準

緩和系	成功基準	備考
常用高台炉注水ポンプ	3 台中 1 台運転	
タービン建屋内炉注水ポンプ	2 台中 1 台運転	1 プラント当たり
CST 炉注水ポンプ	2 台中 1 台運転	1・2 号機共用
	2 台中 1 台運転	3 号機用
非常用高台炉注水ポンプ	3 台中 1 台運転	
事務本館海側駐車場消防ポンプ (FT-A1)	1 台中 1 台運転	
ろ過水タンク脇消防ポンプ (FT-B2) 及び厚生棟脇消防ポンプ (FT-B1)	2 台中 2 台運転 (FT-B1, FT-B2)	
純水タンク脇炉注水ポンプ	3 台中 1 台運転	
事務本館海側駐車場バックアップ 消防ポンプ	3 台中 1 台運転	

表－3 各緩和系とその水源の関連性

緩和系	水源
常用高台炉注水ポンプ	処理水バッファタンク
	ろ過水タンク
タービン建屋内炉注水ポンプ	処理水バッファタンク
	3 号機 CST
CST 炉注水ポンプ	3 号機 CST
非常用高台炉注水ポンプ	処理水バッファタンク
	ろ過水タンク
事務本館海側駐車場消防ポンプ (FT-A1)	ろ過水タンク
ろ過水タンク脇消防ポンプ (FT-B2) 及び厚生 棟脇消防ポンプ (FT-B1)	原水地下タンク
	ろ過水タンク
純水タンク脇炉注水ポンプ	純水タンク
事務本館海側駐車場バックアップ消防ポンプ	－ (海水可)

2.3. イベントツリーの作成

炉心再損傷頻度の評価に際しては、選定した起因事象に対して各緩和系の作動や故障を考慮して、炉心再損傷に至る事象の進展をイベントツリーとして展開し、定量化する方法を採用した。

イベントツリー解析では、まず起因事象の発生から炉心再損傷に至るまでの設備の故障や緩和操作等をヘディングとして列挙した。次に、事象の進展を考慮し個々のヘディングにおける分岐の有無を決定し、さらに各ヘディングの分岐確率を設定した。ヘディングの分岐確率は、成功基準や時間余裕を考慮して実績データ及び後述するフォールトツリー解析を用いて評価した（図-2参照）。

2.4. システムのモデル化

イベントツリーの定量化においては、各ヘディングに対して、対象となるシステムの非信頼度を得るために、フォールトツリー手法によりシステムのモデル化を行った。

フォールトツリーは、成功基準に基づき、頂上事象を明確にしてシステムの機能喪失に至る原因を展開し作成した。フォールトツリー解析では、システムや機器の運転状態や待機状態を考慮して各状態におけるシステムの非信頼度を評価した。

フォールトツリーの作成においては、機器の故障及びその復旧、従属故障、人的過誤等の構成要素を考慮した。

(1) 機器の故障及びその復旧

フォールトツリー解析において、主要な機器故障として待機中の機器の起動失敗、起動後の運転継続失敗を考慮した。

- ・ 起動失敗

デマンド故障確率を用いた。

- ・ 運転継続失敗

システム起動後も引き続き機能が必要な機器については、時間あたりの運転継続失敗率を考慮して、運転継続失敗確率 q' として、下記の式を用いた。

$$q' = \lambda' \times T_M$$

ここで、 T_M は使命時間であり、24時間を使用した。 λ' は故障率である。

使命時間については、3月11日の東北地方太平洋沖地震・大津波において、原子炉注水系機能喪失後、24時間以内に注水を再開できていることから、24時間あれば、多重化等の新たな対応が可能と考え、24時間を設定している。

- ・ 復旧

バックアップ操作や、故障の復旧が期待できる場合には、これらによる機能回復を考慮した。

(2) 従属故障の解析

システム信頼性評価で考慮すべき従属故障は、系統間の従属性と、機器間の従属性である。これらの従属性については、イベントツリー及びフォールトツリーの定量化の過程で考慮した。

なお、機器間従属性として共通原因故障を考慮しており、その評価対象は、仮設ポンプ等の2台又は3台起動失敗、2台又は3台継続運転失敗、仮設D/G等の2台起動失敗、及び2台継続運転失敗等である。

(3) 人間信頼性解析

人間信頼性解析は、以下のように分類し、ヒューマンエラーハンドブック(NUREG/CR-1278)のTHERP手法に基づき、作業環境を考慮に入れた工学的判断値を含めて失敗確率を算定した。なお、ここでは操作のための時間余裕等を考慮している。また、監視・復旧チームについては、福島第一原子力発電所免震棟にて、24時間体制で十分な能力のあるメンバーが常駐している。

・事象発生後の人的過誤

事象発生後、操作員に対して要求される手動操作や、操作員が対応可能なバックアップ操作について、その操作失敗を考慮した。

2.5. データベースの作成

(1) 起因事象の発生頻度

各起因事象の発生頻度は、原子炉注水系の実績及び文献値等を用いた(表-1参照)。

(2) 機器故障率関連データ

機器故障率関連データに関しては、原子炉注水系の実績及び文献値等を基に設定した。

(3) 共通原因故障データ

共通原因故障の評価に用いた β ファクタ値等は、米国LERに基づく分析結果等のデータソースを参考にした。

なお、 β ファクタ値等は、福島第一・1~3号機の様な状況を想定したものでないことから、仮設ポンプ、仮設D/G等に設定した β ファクタ値を一桁大きくして感度解析(点推定値)を実施した。その結果、各起因事象の中で、機器の多重故障による影響が比較的高かった常用高台炉注水ポンプトリップ、注水ライン機能喪失及び外部電源喪失(地震)時の炉心再損傷頻度に対する感度(常用高台炉注水ポンプトリップ時の炉心再損傷頻度は約 4.8×10^{-11} /年から約 9.6×10^{-10} /年、注水ライン機能喪失は約 3.2×10^{-7} /年から約 1.9×10^{-6} /年、外部電源喪失(地震)時の炉心再損傷頻度は約 6.1×10^{-9} /年から約 2.3×10^{-8} /年)が認められ、評価結果の合計値への感度(約 5.9×10^{-5} /年から約 6.1×10^{-5} /

年)も若干増加することから、データの不確実さとして認識しておく必要がある。

(4) 人的過誤確率データ

人的過誤の評価は、ヒューマンエラーハンドブック (NUREG/CR- 1278) の THERP 手法を用いた。従ってこの評価に用いるデータも NUREG/CR-1278 の値、及び、炉注水停止後の時間余裕 34 時間を考慮した工学的判断値を用いた。

(5) 時間余裕データ

時間余裕は、燃料の崩壊熱の大きさから評価され、崩壊熱が小さいほど、時間余裕が大きくなる。

2.6. イベントツリーの定量化

選定された起因事象ごとに作成したイベントツリーに、起因事象の発生頻度を設定し、イベントツリーの分岐にフォールトツリーを結合することにより、各事故シーケンスを定量化した (別紙-2 参照)。

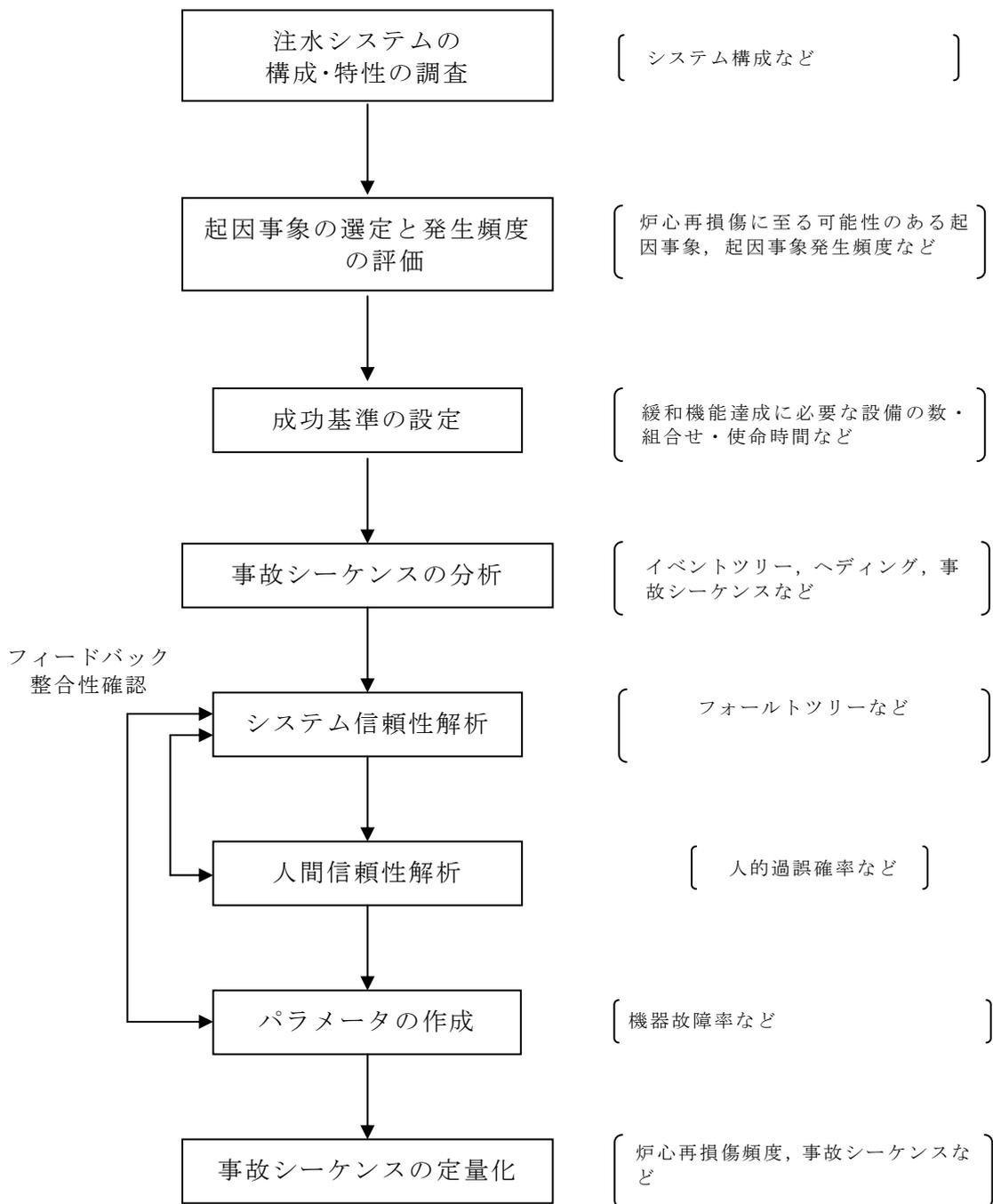


図-1 作業フロー

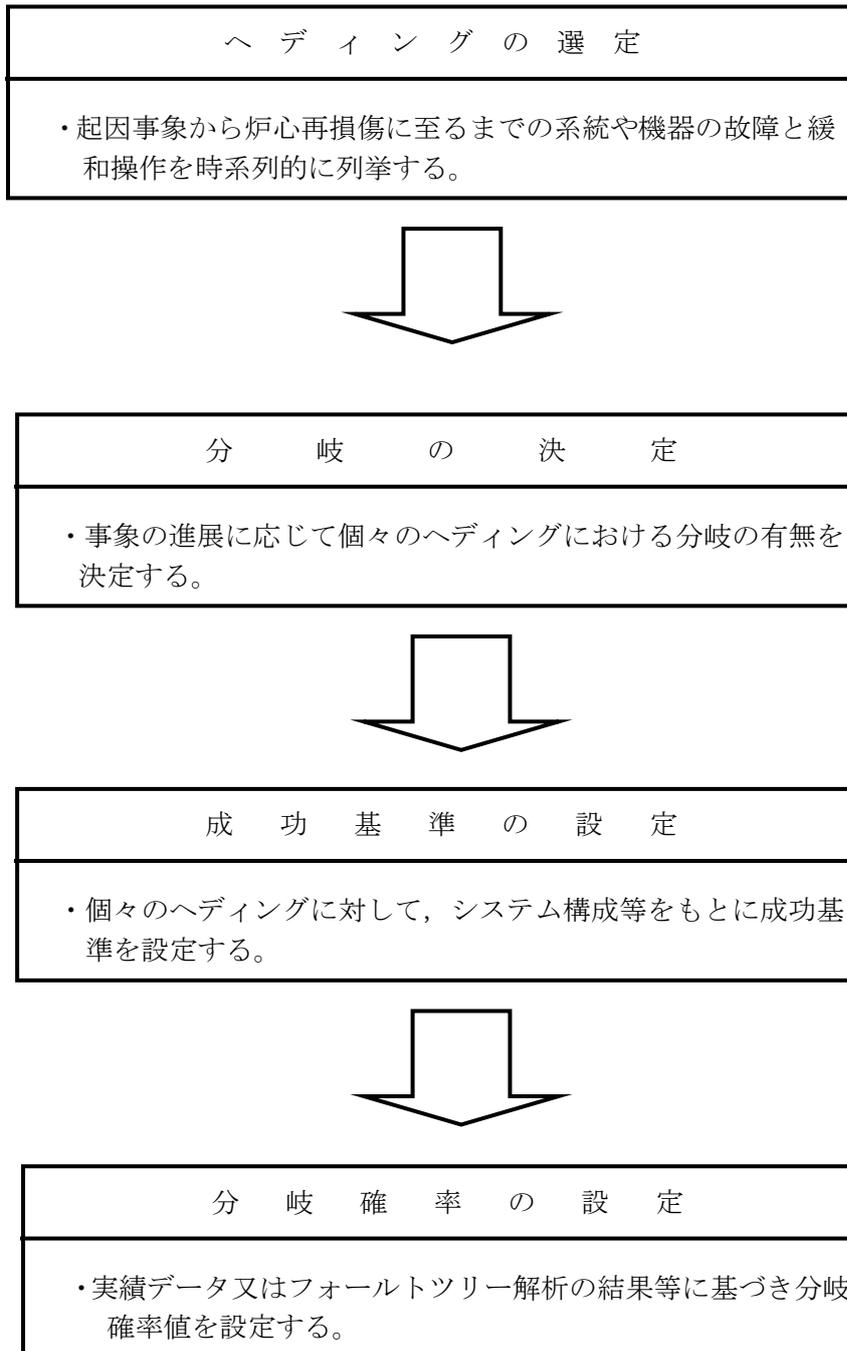


図-2 イベントツリー解析の流れ

事故シーケンスの定量評価

(1) 常用高台炉注水ポンプトリップ

常用高台炉注水ポンプトリップ時は、図-1に示すとおり、十分な能力を有する要員が待機していない場合には、復旧作業の着手失敗により、炉心再損傷に至るシナリオの頻度の寄与は大きい。

一方、図-1に示すとおり、十分な能力を有する要員が待機している場合には、注水設備の多重性は十分に確保されているため、緩和設備の多重故障により炉心再損傷に至るシナリオの頻度の寄与は小さい。

常用高台炉注水ポンプトリップ	復旧作業の着手	タービン建屋内炉注水ポンプ	CST炉注水ポンプ	非常用高台炉注水ポンプ	事務本館海側駐車場消防ポンプ車	ろ過水タンク脇及び厚生棟脇消防ポンプ車	純水タンク脇炉注水ポンプ	事務本館海側駐車場バックアップ消防ポンプ車	No.	終状態	発生頻度(／年)						
4.8E-03	1.0E-08	1.7E-03							1	-							
		1.1E-03							2	-							
		7.6E-02								3	-						
		1.0E-02									4	-					
		2.2E-02										5	-				
		1.5E-04											6	-			
		1.4E-04												7	-		
															8	CD	9.7E-19
															9	CD	4.8E-11
														合計値	4.8E-11		

図-1 常用高台炉注水ポンプトリップのイベントツリー

略語（以下、同様）

CD：炉心再損傷

(2) 注水ライン機能喪失

単一箇所の配管等の破損により、注水ラインが 3 プラントとも使用不能となる想定をしており、表-2-1 に示すとおり、破損箇所は原子炉建屋内 (R/B) 内、タービン建屋内 (T/B 内)、屋外に場合分けしている。なお、給水系及び CS 系を併用して注水しているが、起回事象発生時には、どちらの系の注水も中断している保守的な仮定を置いている。

起回事象発生の検知など、復旧作業の着手に成功する場合には、図-2-1 から図-2-3 に示すとおり、注水ラインとは異なる複数の注水ラインが利用可能であるため、緩和設備の多重故障により、炉心再損傷に至るシナリオの頻度の寄与は小さい。

一方、起回事象発生の検知に失敗するなど、復旧作業（機能喪失注水ライン隔離を含む）の着手に失敗した場合には、図-2-1 から図-2-3 に示すとおり、炉心再損傷に至るシナリオの頻度の寄与は大きい。

なお、タービン建屋内 (T/B 内) 及び原子炉建屋内 (R/B 内) の注水ラインは、炉注水状態を監視する流量計 (FI) や圧力計 (PI) がなく、建屋内の注水ライン機能の喪失時には、原子炉圧力容器内及び格納容器内の温度・圧力の上昇により検知するため、屋外注水ラインより検知できる確率は相対的に小さく設定している。

表-2-1 注水ライン機能喪失の起回事象発生頻度

発生頻度 [/年]	位置	配管割合 [%]	最終的な起回事象発生頻度 [/年]
1.2E-02	R/B	8%	9.0E-04
	T/B	7%	8.4E-04
	屋外	85%	1.0E-02

注水ライン機能喪失(既設-R/B内)	機能喪失注水ライン隔離	復旧作業の着手	アクセス	復旧	タービン建屋内炉注水ポンプ	CST炉注水ポンプ	ろ過水タンク脇及び厚生棟脇消防ポンプ車	純水タンク脇炉注水ポンプ	No.	終状態	発生頻度(/年)
9.0E-04	4.0E-03								1	-	0.0E+00
									2	-	
									3	-	
									4	-	
									5	-	
									6	-	
									7	CD	
									8	-	
									9	-	
									10	-	
									11	-	
									12	CD	
									13	-	
									14	-	
									15	-	
									16	-	
									17	CD	
									合計値	9.9E-08	

図-2-1 注水ライン機能喪失のイベントツリー (R/B内) (1/3)

注水ライン機能喪失(既設-T/B内)	機能喪失注水ライン隔離	復旧作業の着手	アクセス	復旧	タービン建屋内炉注水ポンプ	CST炉注水ポンプ	ろ過水タンク脇及び厚生棟脇消防ポンプ車	純水タンク脇炉注水ポンプ	No.	終状態	発生頻度(/年)
8.4E-04	4.0E-03								1	-	1.5E-17
									2	-	
									3	-	
									4	-	
									5	-	
									6	-	
									7	CD	
									8	-	
									9	-	
									10	-	
									11	-	
									12	CD	
									13	-	
									14	-	
									15	-	
									16	-	
									17	CD	
									合計値	9.2E-08	

図-2-2 注水ライン機能喪失のイベントツリー (T/B内) (2/3)

注水ライン機能喪失(屋外)	復旧作業の着手	アクセス	復旧	タービン建屋内炉注水ポンプ	CST炉注水ポンプ	ろ過水タンク脇及び厚生棟脇消防ポンプ車	純水タンク脇炉注水ポンプ	No.	終状態	発生頻度(／年)		
1.0E-02			1.0E-04					1	-	2.6E-17		
									2		-	
						1.7E-03					3	-
							1.1E-03				4	-
								2.2E-02			5	-
									1.5E-04		6	CD
			1.0E-04								7	-
						1.7E-03					8	-
							1.1E-03				9	-
								2.2E-02			10	-
									1.5E-04		11	CD
			1.2E-05								12	-
						1.0E+00					13	-
							1.0E+00				14	-
								1.0E+00			15	-
									1.0E+00		16	CD
合計値									1.2E-07			

図-2-3 注水ライン機能喪失のイベントツリー (屋外) (3/3)

(3) 一次水源からの供給機能喪失

一次水源からの供給機能喪失時は、図-3に示すとおり、十分な能力を有する要員が待機していない場合には、復旧作業の着手失敗により、炉心再損傷に至るシナリオの頻度の寄与は大きい。

一方、図-3に示すとおり、十分な能力を有する要員が待機している場合には、水源の多重性は十分に確保されているため、緩和設備の多重故障により炉心再損傷に至るシナリオの頻度の寄与は小さい。

一次水源からの供給機能喪失	復旧作業の着手	常用高台炉注水ポンプ	タービン建屋内炉注水ポンプ	CST炉注水ポンプ	非常用高台炉注水ポンプ	事務本館海側駐車場消防ポンプ車	ろ過水タンク脇及び厚生棟脇消防ポンプ車	純水タンク脇伊注水仮設ポンプ	事務本館海側駐車場バックアップ消防ポンプ車	No.	終状態	発生頻度(／年)
2.0E-01	1.0E-08	2.6E-03								1	-	4.0E-16 2.0E-09
		4.1E-03							2	-		
		1.1E-03						3	-			
		7.8E-02					4	-				
		1.0E-02				5	-					
		2.2E-02			6	-						
		1.5E-04		7	-							
		1.4E-04	8	-								
		CD	9	CD								
		CD	10	CD								
合計値											2.0E-09	

図-3 一次水源からの供給機能喪失のイベントツリー

(4) 外部電源喪失（地震を除く）

外部電源喪失（地震を除く）時は、図－４－１に示すとおり、十分な能力を有する要員が待機していない場合には、復旧作業の着手失敗により、炉心再損傷に至るシナリオの頻度の寄与は大きい。

一方、図－４－２及び図－４－３に示すとおり、十分な能力を有する要員が待機している場合には、非常用D/G、電源車及び消防車のように、代替電源の多重性及び多様性が十分に確保されているため、緩和設備の多重故障により炉心再損傷に至るシナリオの頻度の寄与は小さい。

外部電源喪失(地震を除く)	復旧作業の着手	外電復旧	No.	終状態	発生頻度(／年)
			1 - 9	TE1へ	-
1.0E-01		1.0E-01	10 - 18	TE2へ	-
	1.0E-08		19	CD	1.0E-09
				合計値	1.0E-09

図－４－１ 外部電源喪失（地震を除く）時のイベントツリー（1/3）

外電復旧成功	常用高台炉注水ポンプ再起動	タービン建屋内炉注水ポンプ	CST炉注水ポンプ	非常用高台炉注水ポンプ	事務本館海側駐車場消防ポンプ車	ろ過水タンク脇及び厚生棟脇消防ポンプ車	純水タンク脇炉注水ポンプ	事務本館海側駐車場バックアップ消防ポンプ車	No.	終状態	発生頻度(／年)
	1.3E-04								1	-	
		1.7E-03							2	-	
			1.1E-03						3	-	
				7.6E-02					4	-	
					1.0E-02				5	-	
						2.2E-02			6	-	
							1.4E-04		7	-	
								1.4E-04	8	-	
									9	CD	2.6E-15
										合計値	2.6E-15

図－４－２ 外部電源喪失（地震を除く）時のイベントツリー（2/3）

(TE1：外電復旧成功時)

外電復旧失敗	常用高台炉注水ポンプ再起動	タービン建屋内炉注水ポンプ	CST炉注水ポンプ	非常用高台炉注水ポンプ	事務本館海側駐車場消防ポンプ車	ろ過水タンク脇及び厚生棟脇消防ポンプ車	純水タンク脇炉注水ポンプ	事務本館海側駐車場バックアップ消防ポンプ車	No.	終状態	発生頻度(／年)
	1.8E-04								10	-	
		1.8E-03							11	-	
			1.2E-03						12	-	
				7.6E-02					13	-	
					1.0E-02				14	-	
						2.2E-02			15	-	
							1.5E-04		16	-	
								1.4E-04	17	-	
									18	CD	4.4E-15
										合計値	4.4E-15

図－４－３ 外部電源喪失（地震を除く）時のイベントツリー（3/3）

(TE2：外電復旧失敗時)

(5) 所内共通 M/C(1A)/(1B) 盤火災

所内共通 M/C(1A)/(1B) 盤火災時には、図-5に示すとおり、十分な能力を有する要員が待機していない場合には、復旧作業の着手失敗により、炉心再損傷に至るシナリオの頻度の寄与は大きい。

一方、図-5に示すとおり、十分な能力を有する要員が待機している場合には、非常用D/G、電源車及び消防車のように、代替電源の多重性及び多様性は十分に確保されているため、緩和設備の多重故障により炉心再損傷に至るシナリオの頻度の寄与は小さい。

所内共通 M/C(1A)/ (1B)盤火 災	復旧作業 の着手	常用高台 炉注水ボ ンプ再起 動	タービン 建屋内炉 注水ポン プ	CST炉注 水ポンプ	非常用高 台炉注水 ポンプ	事務本館 海側駐車 場消防ボ ンプ車	ろ過水タ ンク脇及 び厚生棟 脇消防ボ ンプ車	純水タン ク脇炉注 水ポンプ	事務本館 海側駐車 場バック アップ消防 ポンプ車	No.	終状態	発生頻度 (/年)
4.5E-02	1.0E-08	1.0E+00	1.0E+00	1.1E-03	7.6E-02	1.0E-02	2.2E-02	7.6E-02	1.4E-04	1	-	5.3E-13 4.5E-10
		2	-									
		3	-									
		4	-									
		5	-									
		6	-									
		7	-									
		8	-									
		9	CD									
		10	CD									
合計値											4.5E-10	

図-5 所内共通 M/C(1A)/(1B) 盤火災時のイベントツリー

(6) 外部電源喪失（地震）

地震による外部電源喪失には、図－6－1に示すとおり、十分な能力を有する要員が待機していない場合には、復旧作業の着手失敗により、炉心再損傷に至るシナリオの頻度の寄与は大きい。また、図－6－3に示すとおり、外電復旧が失敗した場合には、地震の影響により、注水設備の再起動が困難になっていることから、炉心再損傷に至るシナリオの頻度の寄与は大きい。

一方、図－6－2に示すとおり、十分な能力を有する要員が待機していることにより、外電復旧に成功する場合には、緩和設備の多重故障により炉心再損傷に至るシナリオの頻度の寄与は小さい。

外部電源喪失(地震)	復旧作業の着手	外電復旧	No.	終状態	発生頻度(／年)
			1-9	STE1へ	-
5.7E-01		5.0E-01	10-18	STE2へ	-
	1.0E-08		19	CD	5.7E-09
				合計値	5.7E-09

図－6－1 外部電源喪失（地震）時のイベントツリー（1／3）

外電復旧成功	常用高台炉注水ポンプ再起動	タービン建屋内炉注水ポンプ	CST炉注水ポンプ	非常用高台炉注水ポンプ	事務本館海側駐車場消防ポンプ車	ろ過水タンク脇及び厚生棟脇消防ポンプ車	純水タンク脇炉注水ポンプ	事務本館海側駐車場バックアップ消防ポンプ車	No.	終状態	発生頻度(／年)
	7.5E-04								1	-	
		1.1E-02							2	-	
			7.2E-03						3	-	
				3.6E-01					4	-	
					3.4E-02				5	-	
						6.8E-02			6	-	
							8.3E-04		7	-	
								8.3E-04	8	-	
								4.3E-04	9	CD	9.1E-13
									合計値		9.1E-13

図－6－2 外部電源喪失（地震）時のイベントツリー（2／3）
（STE1：外電復旧成功時）

外電復旧失敗	常用高台炉注水ポンプ再起動	タービン建屋内炉注水ポンプ	CST炉注水ポンプ	非常用高台炉注水ポンプ	事務本館海側駐車場消防ポンプ車	ろ過水タンク脇及び厚生棟脇消防ポンプ車	純水タンク脇炉注水ポンプ	事務本館海側駐車場バックアップ消防ポンプ車	No.	終状態	発生頻度(／年)
	9.3E-03								10	-	
		1.9E-02							11	-	
			1.6E-02						12	-	
				3.6E-01					13	-	
					3.4E-02				14	-	
						6.8E-02			15	-	
							3.9E-03		16	-	
								4.3E-04	17	-	
									18	CD	4.3E-10
									合計値		4.3E-10

図－6－3 外部電源喪失（地震）時のイベントツリー（3／3）
（STE2：外電復旧失敗時）

(7) 大津波事象

大津波（2011年3月11日に発生した津波規模を想定）が襲来した際には、OP. 10,000の地上高付近に設置されている、タービン建屋内炉注水ポンプ、CST炉注水ポンプ、純水タンク脇炉注水ポンプによる注水機能が失われているとした保守的な仮定を置いている。

図-7に示すとおり、津波対策により強化したOP. 10,000の地上高にある炉注水ラインに損傷がない場合には、高台に設置している注水設備による注水は継続可能である。

一方、図-7に示すとおり、注水ラインが損傷した場合には、原子炉圧力容器及び格納容器への注水が途絶え、津波被害（漂流物による作業環境の悪化、滞留水の漏えいに伴う線量上昇による作業環境の悪化）により現場にアクセスすることが困難になることが予想され、事務本館海側駐車場バックアップ消防車のための新しい注水ラインの確保に失敗すること、及び、並行で作業を進めると想定される常用高台炉注水ポンプ、非常用高台炉注水ポンプ、事務本館海側駐車場消防ポンプ及びろ過水タンク脇及び厚生棟脇消防ポンプからの炉注水ラインの復旧にも失敗することにより、炉心再損傷に至るシナリオの頻度の寄与は大きい。

大津波事象	炉注水ライン機能喪失	復旧作業の着手	常用高台炉注水ポンプ再起動	タービン建屋内炉注水ポンプ	CST炉注水ポンプ	非常用高台炉注水ポンプ	事務本館海側駐車場消防ポンプ車	ろ過水タンク脇及び厚生棟脇消防ポンプ車	純水タンク脇炉注水ポンプ	事務本館海側駐車場バックアップ消防ポンプ車	No.	終状態	発生頻度(／年)
	1.4E-03	5.0E-01									1	-	
			4.4E-01								2	-	
				1.0E+00							3	-	
					1.0E+00						4	-	
						6.4E-01					5	-	
							4.6E-01				6	-	
								1.0E+00			7	-	
									1.0E+00		8	-	
										1.0E+00	9	-	
											10	CD	5.8E-05
			0.0E+00								11	CD	0.0E+00
												合計値	5.8E-05

図-7 大津波事象時のイベントツリー