

柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉

重大事故等対策の有効性評価について
(付録1 事故シナシナグループ及び
重要事故シナシナ等の選定について)

平成29年2月

東京電力ホールディングス株式会社

目 次

はじめに

- 1 炉心損傷防止対策の有効性評価の事故シーケンスグループ抽出及び重要事故シーケンス選定について
 - 1.1 事故シーケンスグループの分析について
 - 1.1.1 炉心損傷に至る事故シーケンスの抽出、整理
 - 1.1.2 抽出した事故シーケンスの整理
 - 1.1.2.1 必ず想定する事故シーケンスグループとの対応
 - 1.1.2.2 追加すべき事故シーケンスグループの検討
 - 1.1.2.3 炉心損傷後の原子炉格納容器の機能への期待可否に基づく整理
 - 1.2 有効性評価の対象となる事故シーケンスについて
 - 1.3 重要事故シーケンスの選定について
 - 1.3.1 重要事故シーケンス選定の考え方
 - 1.3.2 重要事故シーケンスの選定結果
- 2 格納容器破損防止対策の有効性評価における格納容器破損モード及び評価事故シーケンスの選定について
 - 2.1 格納容器破損モードの分析について
 - 2.1.1 格納容器破損モードの抽出、整理
 - 2.1.2 レベル1.5PRAの定量化結果及び影響度を踏まえた格納容器破損モードの検討
 - 2.2 評価事故シーケンスの選定について
 - 2.2.1 評価対象とするプラント損傷状態(PDS)の選定
 - 2.2.2 評価事故シーケンスの選定の考え方及び選定結果
 - 2.2.3 炉心損傷防止が困難な事故シーケンス等に対する格納容器破損防止対策の有効性
 - 2.2.4 直接的に炉心損傷に至る事故シーケンスに対する対策
- 3 運転停止中原子炉における燃料損傷防止対策の有効性評価の運転停止中事故シーケンスグループ及び重要事故シーケンスの選定について
 - 3.1 運転停止中事故シーケンスグループの分析について
 - 3.1.1 炉心損傷に至る運転停止中事故シーケンスグループの検討・整理
 - 3.2 重要事故シーケンスの選定について
 - 3.2.1 重要事故シーケンスの選定の考え方
 - 3.2.2 重要事故シーケンスの選定結果

表

- 第 1-1 表 イベントツリーにより抽出した事故シーケンス
- 第 1-2 表 PRA の結果に基づく新たな事故シーケンスグループの検討
- 第 1-3 表 事故シーケンスグループの主要な炉心損傷防止対策と炉心損傷頻度
- 第 1-4 表 重要事故シーケンス等の選定

- 第 2-1 表 格納容器破損モード別格納容器破損頻度
- 第 2-2 表 プラント損傷状態(PDS)の定義
- 第 2-3 表 評価対象とするプラント損傷状態(PDS)の選定
- 第 2-4 表 格納容器破損防止対策の評価事故シーケンスの選定

- 第 3-1 表 運転停止中事故シーケンスグループ別炉心損傷頻度
- 第 3-2 表 重要事故シーケンス(運転停止中)の選定について
- 第 3-3 表 炉心損傷までの余裕時間について

図

- 第 1-1 図 事故シーケンスグループ抽出及び重要事故シーケンス選定の全体プロセス
- 第 1-2 図 内部事象運転時レベル 1PRA イベントツリー
- 第 1-3 図 地震レベル 1PRA 階層イベントツリー
- 第 1-4 図 地震レベル 1PRA イベントツリー
- 第 1-5 図 津波レベル 1PRA 津波高さ別イベントツリー
- 第 1-6 図 津波レベル 1PRA イベントツリー
- 第 1-7 図 プラント全体の CDF
- 第 1-8 図 各 PRA の結果と事故シーケンスグループ毎の寄与割合

- 第 2-1 図 格納容器破損モード抽出及び評価事故シーケンス選定の全体プロセス
- 第 2-2 図 シビアアクシデントで想定される事象進展と格納容器破損モード
- 第 2-3 図 内部事象運転時レベル 1.5PRA イベントツリー
- 第 2-4 図 内部事象運転時レベル 1.5PRA の定量化結果

- 第 3-1 図 運転停止中の原子炉における事故シーケンスグループ抽出及び重要事故シーケンス選定の全体プロセス

: 今回のご説明範囲

第 3-2 図 定期検査時のプラント状態と主要パラメータの推移

第 3-3 図 運転停止時における燃料損傷に至る事故シーケンスのグループ化(停止時 PRA イベントツリー)

第 3-4 図 事故シーケンスグループごとの寄与割合

別紙

- 1 有効性評価の事故シーケンスグループ選定における外部事象の考慮について
- 2 外部事象(地震)に特有の事故シーケンスについて
- 3 重大事故防止に係る設備についての諸外国の調査結果
- 4 内部事象 PRA における主要なカットセットと FV 重要度に照らした重大事故等防止対策の対応状況
- 5 地震 PRA、津波 PRA から抽出される事故シーケンスと対策の有効性
- 6 「水素燃焼」及び「溶融物直接接触(シェルアタック)」を格納容器破損モードの評価対象から除外する理由
- 7 格納容器隔離の分岐確率の根拠と格納容器隔離失敗事象への対応
- 8 炉内溶融燃料-冷却材相互作用(炉内 FCI)に関する知見の整理
- 9 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉 PRA ピアレビュー実施結果について
- 10 「PRA の説明における参照事項(平成 25 年 9 月 原子力規制庁)」への柏崎刈羽 6 号及び 7 号炉の PRA の対応状況

別添

柏崎刈羽原子力発電所 6/7 号炉 確率論的リスク評価(PRA)について

有効性評価の事故シーケンスグループ選定における 外部事象の考慮について

重大事故の有効性評価に係る個別プラントの事故シーケンスグループ選定に際しては、実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準を定める規則の解釈（以下、「解釈」という。）に「個別プラントの内部事象に関する確率論的リスク評価（PRA）及び外部事象に関する PRA（適用可能なもの）又はそれに代わる方法で評価すること。」と記載されている。

今回の申請書作成にあたって、外部事象に関しては PRA 手法が適用可能な段階にあると判断した地震、津波を対象に出力運転時レベル 1PRA を実施した。

内部溢水、内部火災及びその他の外部事象に関するレベル 1PRA 及び外部事象レベル 1.5PRA 並びに外部事象に関する停止時レベル 1PRA については、PRA 手法の確立に向けた検討が進められている段階であったり、現実的な定量評価の実施に向けて必要なデータ整備を進めていく段階であることから、現段階では「適用可能なもの」に含まれないと判断し、「それに代わる方法」として、これらの外部事象に誘発される起因事象について検討することで、これらの外部事象の影響を考慮した場合の事故シーケンスグループ選定への影響について以下の通り、整理した。

1. 炉心損傷防止対策の事故シーケンスグループの選定に係る検討

1.1 内部溢水、内部火災の影響

今回は PRA の適用を見合わせたが、内部溢水、内部火災についてはレベル 1PRA の手法確立・個別プラントへの展開に係わる検討作業がある程度進んでいる。このことを踏まえ、PRA を念頭にして、内部溢水、内部火災の発生によって誘発される可能性がある起因事象を、定性的な分析によって抽出した。抽出結果を表 1 に示す。

表 1 に示す起因事象が発生した場合、屋内に設置されている安全機器の機能喪失を経て炉心損傷に至る可能性があるが、これらを起因とする事故シーケンスは、同機器のランダム故障・誤操作を想定する内部事象出力運転時レベル 1PRA に用いた起因事象に含まれている。

また、設計基準対象施設によって、溢水、火災の影響拡大防止対策が図られることで、異なる区画等、広範囲における重畳的な安全機器の同時機能喪失発生を防止できると考える。

従って、溢水・火災を起因とした炉心損傷頻度の定量化には上記の課題が残るものの、定性的な起因事象の抽出結果から想定される事故シーケンスは、内部事象出力運転時レベル 1PRA の検討から得られる事故シーケンスの一部として分類出来るため、新たに追加が必要となる事故シーケンスグループが発生する可能性は低いと考える。

表 1 内部溢水／火災により誘発される起回事象の例

起回事象	起回事象を誘発する要因の例
外部電源喪失	・内部溢水／火災による常用母線などの機能喪失 等
非隔離事象	・内部溢水／火災による原子炉冷却材流量制御系の誤動作 ・内部溢水／火災による工学的安全施設制御系の誤動作 等
隔離事象	・内部溢水／火災による主蒸気隔離弁の誤閉止 等
全給水喪失	・内部溢水／火災による給水ポンプの機能喪失 等
大 LOCA	・火災による ADS 作動回路の誤動作 等
RPS 誤動作	・内部溢水／火災による原子炉保護系の故障 等
原子炉補機冷却系故障	・内部溢水／火災による原子炉補機冷却系ポンプの機能喪失 等
手動停止	・内部溢水／火災の発生による安全機能への影響の可能性に伴う計画外停止

1.2 その他の外部事象の影響

その他の外部事象としては、設置許可基準の解釈第六条第 2 項に具体的な自然現象として以下が記載されている。

敷地の自然環境を基に、洪水、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象又は森林火災等から適用されるもの

また、設置許可基準の解釈第六条第 8 項に具体的な人為事象として以下が記載されている。

敷地及び敷地周辺の状況をもとに選択されるものであり、飛来物(航空機落下等)、ダムの崩壊、爆発、近隣工場等の火災、有毒ガス、船舶の衝突又は電磁的障害等。

これらの地震、津波を除く各種自然現象及び人為事象がプラントに与え得る影響について、設計基準及びそれを超える場合、現象等の重量も含めて定性的に分析した結果を別紙 1(補足 1)に示す。

地震、津波以外の自然現象及び人為事象について、事故シーケンスの発生可能性を検討した結果、出力運転時を対象として実施した内部事象、地震及び津波レベル 1PRA にて抽出した事故シーケンスグループ以外に新たに追加が必要となる事故シーケンスグループはないものと判断した。

2. 格納容器破損モード選定に係る検討

外部事象レベル 1.5PRA については、地震 PRA のみ学会標準に一部関連する記載があるものの、その他の事象については標準的な PRA 手法が確立されておらず、定量評価を実施できる状況ではないことから、以下のとおり定性的な検討を実施した。

2.1 地震の影響

地震がプラントに与え得る特有の影響について、新たに有効性評価の対象として追加すべき格納容器破損モードの観点で定性的に分析した結果を別紙 1(補足 2)に示す。

また、出力運転時を対象として実施した地震時レベル 1PRA の結果からは、地震特有の炉心損傷モードとして原子炉建屋損傷や格納容器損傷等の炉心損傷直結事象が抽出されている。これらの事象では格納容器も破損に至るが、この場合の格納容器破損は事象進展によって格納容器に負荷が加えられて破損に至るものではなく、地震による直接的な格納容器の閉じ込め機能喪失である。これらについて格納容器破損防止の観点での対策は、緩和系による収束ではなく耐震補強等による発生防止によって達成されるものであり、有効性評価における評価事故シーケンスとしては適切でないと考える。

従って、有効性評価の対象とすべき格納容器破損モードとして、内部事象出力運転時レベル 1.5PRA にて抽出した事故シーケンスグループ以外に新たに追加が必要となる事故シーケンスグループはないものと判断した。

2.2 津波の影響

津波がプラントに与え得る特有の影響について、建屋外部の設備が機能喪失することは想定されるものの、格納容器が津波による物理的負荷(波力・漂流物の衝撃力)によって直接損傷することは想定し難い。また、炉心損傷後の格納容器内の物理化学現象についても内部事象出力運転時レベル 1.5PRA で想定するものと同等と考えられる。

従って、有効性評価の対象とすべき格納容器破損モードとして、内部事象出力運転時レベル 1.5PRA にて抽出した事故シーケンスグループ以外に新たに追加が必要となる事故シーケンスグループはないものと判断した。

2.3 溢水・火災の影響

1.1 に示したレベル 1PRA の観点での起因事象の検討からも、炉心損傷に至る事故シーケンスグループとしては内部事象出力運転時レベル 1PRA で用いた事象以外に追加すべきものは発生しないものと推定しており、格納容器が直接破

損することも想定し難い。また、炉心損傷後の格納容器内の物理化学現象についても内部事象出力運転時レベル 1.5PRA で想定するものと同等と考えられる。

従って、有効性評価の対象とすべき格納容器破損モードとして、内部事象出力運転時レベル 1.5PRA にて抽出した事故シーケンスグループ以外に新たに追加が必要となる事故シーケンスグループはないものと判断した。

2.4 その他外部事象の影響

1.2 に示したプラントに与える影響の検討からは、屋外施設の損傷によるサポート系の機能喪失が想定されるものの、炉心損傷に至る事故シーケンスグループとしては内部事象出力運転時レベル 1 PRA の結果抽出されたシーケンスグループに追加すべきものは発生しないものと推定している。また、炉心損傷後の格納容器内の物理化学現象についても内部事象出力運転時レベル 1.5PRA で想定するものと同等と考えられる。

従って、有効性評価の対象とすべき格納容器破損モードとして、内部事象出力運転時レベル 1.5PRA にて抽出した事故シーケンスグループ以外に新たに追加が必要となる事故シーケンスグループはないものと判断した。

3. 運転停止中の原子炉における燃料損傷防止対策の事故シーケンスグループ抽出に係る検討

停止時レベル 1PRA については、地震、津波、内部溢水、内部火災及びその他の外部事象に関するレベル 1PRA の標準的な PRA 手法が確立されておらず、定量評価を実施できる状況にない。このため、出力運転時の地震、津波レベル 1PRA の評価結果、内部溢水、内部火災及びその他の外部事象に関する整理、図 1 に示す内部事象停止時レベル 1PRA のマスターロジックダイヤグラムを参考に、地震、津波、内部溢水、内部火災及びその他の外部事象によって発生する起因事象を以下の通り定性的に分析し、起因事象の抽出結果を表 2 にまとめた。

更に抽出した起因事象をもとに、内部事象停止時レベル 1PRA にて抽出した事故シーケンスグループ以外に、新たに追加が必要となる事故シーケンスグループの有無を確認した。

3.1 出力運転時と運転停止中のプラント状態等の差異

運転停止中における燃料損傷防止対策の事故シーケンスグループの抽出においては、出力運転時を対象に実施した整理を参考に評価を行ったが、評価に当たってはその前提として、出力運転時と運転停止中のプラント状態等の差異を把握することが重要と考え、その整理を行った。整理にあたり、一般的な出力運転時と運転停止中の違いとして以下の観点に着目し、それぞれについて事故シーケンスグループの抽出において、考慮が必要であるか確認した。

- ・崩壊熱，原子炉冷却材の温度・圧力

運転停止中の崩壊熱、原子炉冷却材の温度・圧力は出力運転時と比べ、小さくなるため、事象進展は緩やかになるが、事故シーケンスグループの抽出においては影響しない。

- ・燃料損傷防止に必要となる機能

運転停止中の燃料損傷防止に必要となる機能は、出力運転時と異なり、原子炉停止機能、高圧注水機能等が不要となる。そのため、事故シーケンスグループの抽出においてはこれらの差異について考慮する必要がある。

- ・原子炉水位，原子炉圧力容器・原子炉格納容器の状態

原子炉水位の変化は時間余裕へ影響するものの、事故シーケンスグループ抽出には影響しない。

運転停止中は原子炉圧力容器・原子炉格納容器が開放されている状態も考えられるが、これらの状態に依らず、運転停止中の必要な機能は変化しないため、事故シーケンスグループの抽出において考慮不要である。

- ・緩和設備・サポート系設備の状態

運転停止中において、一部の緩和設備及びサポート系設備の点検又は試験によりその機能に期待できない状態も想定される。ただし、期待できる設備は少なくなるものの、必要な機能は保安規定により担保されるものであり、また既に内部事象停止時レベル 1PRA でこれら設備の点検又は試験により機能に期待できないことは考慮されている。そのため、本観点は事故シーケンスグループの抽出において考慮不要である。

- ・停止時特有の作業の影響

運転停止中において、出力運転時と異なり、点検作業等に伴う開口箇所が発生など現場の状態が異なることが考えられる。そのため、事故シーケンスグループの抽出においてはこれらの差異について考慮する必要がある。

以上より、運転停止中における燃料損傷防止対策の事故シーケンスグループの抽出においては、出力運転時を対象に実施した整理を参考にする際は「燃料損傷防止に必要となる機能」、「停止時特有の作業の影響」について考慮する必要がある。

3.2 地震の影響

個々の機器が地震を受けた際に損傷する可能性は運転時と停止時で異なるものではないが、各系統の機能喪失がプラントに与える影響の観点では運転時と停止時で異なり、停止時には、燃料の崩壊熱除去に関連する系統が重要となる。

停止時に燃料の崩壊熱除去を継続している系統は崩壊熱除去に関する系統及びそのサポート系であり、フロント系としては残留熱除去系、サポート系としては原子炉補機冷却系及び外部電源が該当する。

地震により原子炉補機冷却系又は残留熱除去系が機能喪失すると「崩壊熱除去機能喪失」の起因事象が発生し、また、碍子、所内電源設備等の送受電設備が損傷すると「外部電源喪失」の起因事象が発生する。これらの起因事象が発生した場合、屋内に設置されている安全機器の機能喪失を経て燃料損傷に至る可能性があるが、事故シーケンスは、同機器のランダム故障・誤操作を想定する内部事象運転停止時レベル 1PRA にて抽出されたものに含まれる。

地震特有の事象として、原子炉建屋、原子炉格納容器の建屋・構築物の損傷、格納容器バイパス、原子炉冷却材圧力バウンダリ（Excessive-LOCA）、計測制御電源喪失の発生が挙げられるが、これらについては出力運転中を対象とした炉心損傷に至る事故シーケンスの抽出における考え方と同様、損傷の規模に応じて、機能を維持した設計基準事故対処設備や重大事故等対処設備、可搬型の機器等で炉心損傷防止を試みるものとする。一方、損傷の程度が大きく、設計基準事故対処設備又は重大事故等対処設備に期待できない場合には、大規模損壊対策を含め、建屋以外に分散配置した設備や可搬型の機器を駆使し、影響緩和を図ることで対応するべきものとする。

したがって、運転停止時の地震の発生を考慮しても、内部事象停止時レベル 1PRA において抽出した事故シーケンスグループ以外に新たに追加が必要となる事故シーケンスグループはないものとする。

3.3 津波による影響

停止時には点検等に伴い、運転時には無い開口が生じている可能性が考えられるが、運転時の津波 PRA においても、地下開口部からの浸水を考慮していることから、浸水及びその伝播経路については運転時と停止時において相違はないものとする。各系統の機能喪失がプラントに与える影響の観点では運転時と停止時で異なり、停止時には、燃料の崩壊熱除去に関連する系統が重要となる。

停止時に燃料の崩壊熱除去を継続している系統は崩壊熱除去に関する系統及びそのサポート系であり、フロント系としては残留熱除去系、サポート系としては原子炉補機冷却系及び外部電源が該当する。外部電源について、運転時の津波 PRA では期待していないことから、停止時においても期待しないものとする。そのバックアップとなる非常用電源が重要となる。

津波により海水が建屋内へ浸水すると、海水が機器の設置高さに到達した時点で、原子炉補機冷却水系の機能喪失が発生し、「崩壊熱除去機能喪失」の起因事象が発生する。以降、海水の浸水高さに応じて「全交流動力電源喪失」「直流電源喪失」が発生すると考えられる。浸水高さに応じて発生する起因事象が異なるという考え方は、出力運転時を対象とした津波 PRA と同様である。また、燃料損傷防止対策も出力運転時を対象とした津波 PRA と同様、津波による浸水防止である。したがって、運転停止時の津波の発生を考慮しても、内部事象停止時レベル 1PRA において抽出した事故シーケンスグループ以外に新たに追加が必要となる事故シーケンスグループはないものと判断した。

なお、プラント停止時において、必要な浸水防止対策がすべて喪失することがないように複数の同時点検等は実施しないなど、少なくとも 1 区分は機能維持可能な運用とする。

3.4 内部溢水，内部火災の影響

個々の機器が溢水又は火災の影響を受けた際に損傷する可能性は運転時と停止時で異なるものではないが、各系統の機能喪失がプラントに与える影響の観点では運転時と停止時で異なり、停止時には、燃料の崩壊熱除去に関連する系統が重要となる。

停止時に燃料の崩壊熱除去を継続している系統は崩壊熱除去に関する系統及びそのサポート系であり、フロント系としては残留熱除去系、サポート系としては原子炉補機冷却系及び外部電源が該当する。

内部溢水、内部火災により原子炉補機冷却系又は残留熱除去系が機能喪失すると「崩壊熱除去機能喪失」の起因事象が発生し、外部電源設備が機能喪失すると「外部電源喪失」の起因事象が発生するが、これらを起因とする事故シーケンスは、同機器のランダム要因による同系統の機能喪失を想定する内部事象運転停止時レベル 1PRA にて抽出された事故シーケンスに含まれている。

したがって、運転停止時の内部溢水又は内部火災の発生を考慮しても、内部事象停止時レベル 1PRA において抽出した事故シーケンスグループ以外に新たに追加が必要となる事故シーケンスグループはないものと判断した。

なお、停止時においても必要な溢水、火災の影響拡大防止対策を講じ、異なる区画等、広範囲における重畳的な安全機器の同時機能喪失の発生を防止する*。

※ 溢水：定期検査時等でのハッチ開放時の運用（9 条-別添 1-補足 21）に示すように異区分の安全機器の点検中に当該ハッチを開放しないなど、溢水が複数の安全機能に影響しないよう対応を実施する

火災：原子炉停止中も必要な防護処置等は実施される

3.5 その他の外部事象の影響

地震、津波以外の自然現象及び人為事象について、出力運転時の整理（別紙 1（補足 1））を参考に起因事象が発生し得るかを確認した。確認の結果、出力運転時と運転停止中を比較し、プラント状態、必要な機能の違いが評価に影響しないことを確認した。

その他の自然現象の発生に伴う起因事象は、内部事象停止時レベル 1PRA において抽出される起因事象に包含されるため、内部事象停止時レベル 1PRA において抽出した事故シーケンスグループ以外に新たに追加が必要となる事故シーケンスグループはないものと判断した。

4. まとめ

今回の事故シーケンスグループ等の選定に際して、現段階で PRA を適用可能と判断した出力運転時地震レベル 1PRA、出力運転時津波レベル 1PRA 以外の外部事象について、定性的な分析・推定から新たに追加すべき事故シーケンスグループ等は発生しないものと評価した。

なお、今回定性的な分析とした各 PRA や地震発生時に想定される地震随伴津波、地震随伴火災および地震随伴溢水を対象とした PRA については、手法整備の研究及び実機プラントへの適用の検討を順次進めていく予定である。

以 上

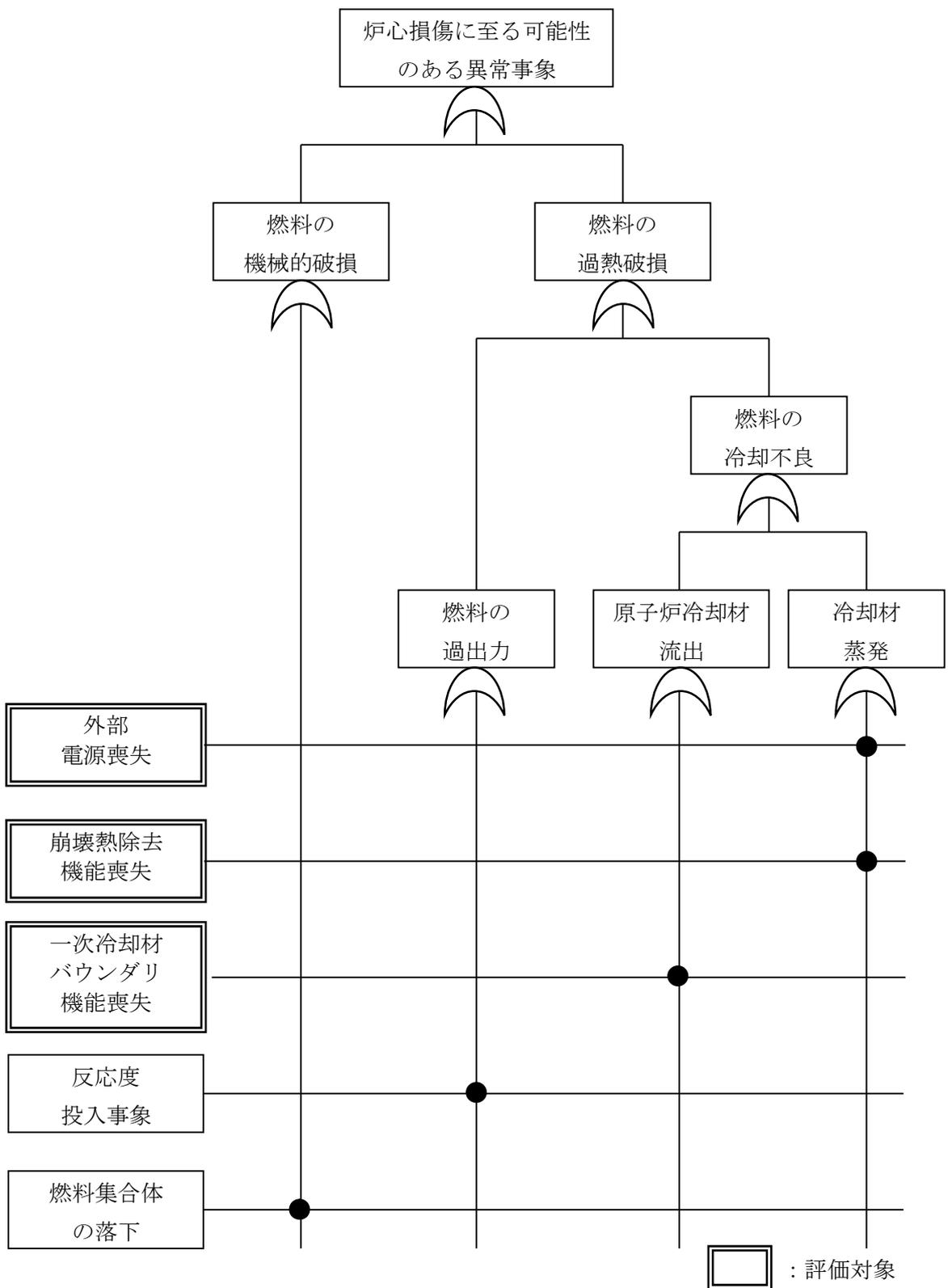


図1 炉心損傷に至る可能性のある異常事象マスターロジックダイヤグラム

表 2 運転停止中原子炉における各外部事象で発生する起因事象及び事故シーケンスの抽出結果

想定される系統・機器の損傷				起因事象	主な炉心損傷防止対策
地震	津波	内部火災・内部溢水	その他の外部事象		
・外部電源設備（送受電設備）の損傷※ ¹	・外部電源設備（受電設備）の水没※ ¹	・外部電源設備（送受電設備）の機能喪失	・外部電源設備（送受電設備）の機能喪失（積雪, 低温, 火山, 風（台風）, 竜巻, 地滑り）	外部電源喪失	<ul style="list-style-type: none"> ・常設代替交流電源設備 ・代替原子炉補機冷却系 ・低圧代替注水系（常設・可搬） ・津波による浸水防止※³
<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉補機冷却系の損傷 ・残留熱除去系の損傷 	<ul style="list-style-type: none"> ・建屋内浸水による原子炉補機冷却系・冷却海水系、残留熱除去系ポンプ等の水没 	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉補機冷却系ポンプの機能喪失等 	<ul style="list-style-type: none"> ・海水系の閉塞（火山, 生物学的事象, 風（台風）, 竜巻） 	崩壊熱除去機能喪失	
—※ ²	—	—	—	一次冷却材バウンダリ機能喪失	—
<ul style="list-style-type: none"> ・建屋・構築物（原子炉建屋） ・建屋・構築物（格納容器・圧力容器） ・格納容器バイパス ・原子炉冷却材圧力バウンダリ喪失（E-LOCA） ・計測制御電源喪失 	—	—	—	直接炉心損傷に至る事象	<ul style="list-style-type: none"> ・出力運転中の地震 PRA に基づき、直接炉心損傷に至る可能性のある起因事象を抽出しているが、別紙 2 に示すとおり、評価方法にはかなりの保守性を有し、かつ、大きな不確かさを有する。出力運転中の取り扱いと同様、機能維持した設計基準事故対処設備、及び炉心損傷防止対策を柔軟に活用し影響緩和を図ることで対応すべきものと考え

※ 1：出力運転時 PRA では全交流動力電源喪失・直流電源喪失を起因事象として取り扱っているが、停止時 PRA では緩和系として取り扱っているため起因事象の抽出の対象としない（事故シーケンスとしては全交流動力電源喪失（外部電源喪失＋全非常用ディーゼル発電機喪失）、直流電源喪失を設定）。

※ 2：原子炉冷却材圧力バウンダリ喪失は「E-LOCA」として直接炉心損傷に至る事象に整理する。

※ 3：プラント停止時において、必要な浸水防止対策がすべて喪失することがないように複数の同時点検等は実施しないなど、少なくとも 1 区分は機能維持可能な運用とする。

設計基準を超える降水事象に対する事故シーケンス抽出

1. 起回事象の特定

(1) 構築物，系統及び機器（以下，設備等）の損傷・機能喪失モードの抽出

降水事象により設備等に発生する可能性のある影響について，国外の評価事例や国内で発生したトラブル事例も参照し，以下のとおり，損傷・機能喪失モードを抽出した。

- ① 建屋天井に対する荷重
- ② 敷地内での雨水の滞留による屋外機器の没水
- ③ 建屋内浸水による機器の没水または被水
- ④ 降水によるアクセス性や作業性の悪化

(2) 評価対象設備の選定

(1)項で抽出した各損傷・機能喪失モードに対し，影響を受ける可能性のある設備等の内，プラントの運転継続や安全性に影響を及ぼす可能性のある設備等を評価対象設備として選定する。

具体的には，以下に示す建屋及び屋外設置の設備等を評価対象設備として選定した。

<建屋>

- ・原子炉建屋
- ・コントロール建屋
- ・タービン建屋
- ・廃棄物処理建屋

<屋外設備>

- ・送変電設備
- ・軽油タンク及び非常用ディーゼル発電設備燃料移送系（以下，軽油タンク等）

(3) 起回事象になりうるシナリオの選定

(1)項で抽出した各損傷・機能喪失モード毎に，(2)項で選定した評価対象設備への影響を検討の上，発生可能性のあるシナリオを選定した。

① 建屋天井に対する荷重

建屋に対する雨水荷重により発生可能性のあるシナリオは以下のとおり。

<建屋>

- 原子炉建屋

原子炉建屋屋上が雨水荷重により崩落した場合に、建屋最上階に設置している原子炉補機冷却系のサージタンクが物理的に機能喪失することで、原子炉補機冷却系が喪失し、最終ヒートシンク喪失に至るシナリオ。また、雨水が下層階へ伝播し、ディーゼル発電設備及び非常用電源盤が没水又は被水により機能喪失し、全交流動力電源喪失に至るシナリオ。

○タービン建屋

タービン建屋屋上が雨水荷重により崩落した場合に、タービンや発電機に影響が及び、タービントリップに至るシナリオ。また、タービン建屋熱交換器エリア屋上が雨水荷重により崩落した場合に、没水又は被水により原子炉補器冷却系及び同海水系が機能喪失し、最終ヒートシンク喪失に至るシナリオ。また、循環水ポンプが機能喪失し、復水器真空度低からプラントスクラムに至るシナリオ。

○コントロール建屋

コントロール建屋屋上が雨水荷重により崩落した場合に、建屋最上階に設置している中央制御室が物理的に又は没水若しくは被水により機能喪失し、計測制御系機能喪失に至るシナリオ。その後、中央制御室の下階に位置している直流電源設備へ雨水が伝播し直流電源喪失に至るシナリオ。

○廃棄物処理建屋

廃棄物処理建屋屋上が雨水荷重により崩落した場合に、RIP M/G セットや換気空調補機常用冷却水系が没水又は被水により機能喪失し、プラントスクラムに至るシナリオ。

② 敷地内での雨水の滞留による屋外機器の没水

敷地内で雨水が滞留した場合に、非常用ディーゼル発電設備燃料移送系の燃料移送ポンプが没水し機能喪失する可能性があり、降水の影響により屋外の送変電設備の機能喪失と重畳し、全交流動力電源喪失に至るシナリオ。

③ 建屋内浸水による機器の没水または被水

本損傷・機能喪失モードにより発生する事故シーケンスは、発生原因が浸水によるものであり、対策は建屋周辺の止水対策となるため、重大事故防止対策の有効性の確認のためのシーケンスには適さない。よってこの損傷・機能喪失モードは考慮しない。

④ 降水によるアクセス性や作業性の悪化

降水により屋外現場へのアクセス性や屋外での作業性に影響を及ぼす可能性があるものの、設計基準対象施設のみで対応可能なシナリオであれば基本的に屋外での現場対応はなく、仮にアクセス性や屋外の作業性へ影響が及んだ場合であっても問題はない。

そのため上記①～③の影響評価の結果として、電源車の接続といった屋外での作業が必要になるケースが確認された場合に、別途、詳細検討するものとする。

(4) 起回事象の特定

(3)項で選定した各シナリオについて、想定を越える降水事象に対しての裕度評価（起回事象発生可能性評価）を実施し、事故シーケンスグループ抽出にあたって考慮すべき起回事象の特定を行った。

① 建屋天井に対する荷重により発生可能性のあるシナリオ

雨水荷重が各建屋天井の許容荷重を上回った場合には、(3)項で選定した各シナリオが発生する可能性はあるものの、最終ヒートシンク喪失、タービントリップ及びプラントスクラムについては、運転時の内部事象レベル 1PRA でも考慮していること、計測制御系機能喪失及び直流電源機能喪失については、地震や津波のレベル 1PRA でも考慮していることから追加のシナリオではない。

なお、年超過発生確率 10^{-7} /年相当の降水（159.2 mm/h）時には、一部の屋上において雨水の流入量が排水量を上回る。このうち原子炉建屋とタービン建屋の間の2mギャップ（MSトンネル室直上除く）及びタービン建屋東側HVACエリアの屋上では、建屋パラペット高さまで雨水が滞留する可能性があり、これらの箇所では天井が損傷する可能性が否定できない。仮にこれらの箇所の天井が崩落するもっとも厳しい状況を考えた場合には、**雨水の伝播経路上にある原子炉補機冷却系サージタンク水位計、ディーゼル発電設備、非常用電源盤及びタービン建屋の常用機器が没水又は被水し、機能喪失することで最終ヒートシンク喪失と全交流動力電源喪失が発生する可能性がある。この時、原子炉建屋最地下階においてRCICが没水により機能喪失する可能性もあることからAM要請以降に整備したアクシデントマネジメント策に期待しない場合には、炉心損傷に至る。但し、このような事故シーケンスは津波PRAで考慮されていることから追加の事故シーケンスグループではない。**

② 敷地内での雨水の滞留による屋外機器の没水

全交流電源喪失については、運転時の内部事象レベル 1PRA でも考慮していることから追加のシナリオではない。

なお、年超過発生確率 10^{-7} /年相当の降水時においても一部滞留水が発生するものの、排水用フラップゲートから滞留水をすみやかに海域に排水することが可能である。よって、敷地内での雨水の滞留による屋外機器の没水は、有意な頻度又は影響のある事故シーケンスの要因とはなりえないと考えられるため、考慮すべ

き起因事象としては選定不要であると判断した。

2. 事故シーケンスの特定

1. (3)項にて起因事象となりうるシナリオを以下のとおり選定した。

- 原子炉建屋の天井が崩落した場合に、原子炉補機冷却系が機能喪失し、最終ヒートシンク喪失に至るシナリオ。
- タービン建屋の天井が崩落した場合にタービンや発電機に影響が及びタービントリップに至るシナリオ。
- タービン建屋熱交換器エリアの天井が崩落した場合に、原子炉補機冷却系及び同海水系が機能喪失し、最終ヒートシンク喪失に至るシナリオ
- タービン建屋熱交換器エリアの天井が崩落した場合に、循環水ポンプが機能喪失し、復水器真空度低からプラントスクラムに至るシナリオ
- コントロール建屋の天井が崩落した場合に、建屋最上階に設置している中央制御室が物理的に又は没水もしくは被水により機能喪失し、計測制御系機能喪失に至るシナリオ。さらには中央制御室の下階に位置している直流電源設備が溢水により機能喪失に至るシナリオ。
- 廃棄物処理建屋の天井が崩落した場合に、RIP M/Gセットや換気空調補機常用冷却水系が没水又は被水により機能喪失し、プラントスクラムに至るシナリオ。
- 降水の影響により屋外の送変電設備が機能喪失し外部電源喪失が発生している状態で、燃料移送ポンプが没水により機能喪失し、非常用ディーゼル発電設備（ディタンク）の燃料枯渇により、全交流電源喪失に至るシナリオ。

上記シナリオについては、いずれも運転時の内部事象や地震、津波レベル1PRAのいずれかにおいて考慮しているものであり、追加すべき新たなものはない。

また、1. (4)項での起因事象の特定結果のとおり、年超過発生確率 10^{-7} /年相当の降水時においてはタービン建屋東側HVACエリアの天井崩落によりタービントリップが発生する可能性が否定できないものの、緩和設備に期待できることから有意な影響又は頻度を持つ事故シーケンスとはならない。

従って、降水事象を要因として発生しうる有意な頻度又は影響のある事故シーケンスは生じないと判断した。

以上