

シビアアクシデント対策に関する国内外の状況 及び今後の取組みについて

平成24年4月25日

原子力安全・保安院

これまでのシビアアクシデント(SA)対策の経緯

- 1992年5月 原子力安全委員会が、原子炉設置者によるアクシデントマネジメント(AM)の自主的整備を奨励。
- 1992年7月 通商産業省(当時)が、電気事業者に対し、確率論的安全評価(PSA)の実施及びAMの整備を要請。
- 2002年10月 原子力安全・保安院が、電気事業者から報告のあったAM整備状況について確認。タイプ別代表プラント等(13基)についてAM整備の有効性を評価。
- 2004年10月 原子力安全・保安院が、13基以外のプラントについてAM整備の有効性を評価。
- 2011年3月 東京電力福島第一原子力発電所事故発生。
- 2011年6月 IAEA閣僚会議に対する日本国政府の報告書にて、アクシデントマネジメント対策について、法規制上の要求にすることを表明。
- 2011年10月 原子力安全委員会が、原子力安全・保安院に対して、SA対策のための具体的な方策及び施策について検討を進めるよう要請。
- 2012年1月 今国会へのSA対策を含む原子力組織制度改革法案の提出を閣議決定。
- 2012年2月 原子力安全・保安院が、東京電力福島第一原子力発電所事故の技術的知見について中間とりまとめ。

1. シビアアクシデント対策を含めた深層防護の考え方

1-1. これまでの我が国の安全規制における深層防護の考え方

- これまでの原子炉施設の安全規制は、3つのレベルでの深層防護、単一故障基準、設計上想定される外的事象への考慮等の基本的考え方に基づき行われてきた。※1
- レベル4に相当するアクシデントマネジメントについては、事業者の自主的取組として位置付けられてきた。

○3つのレベルでの深層防護(多重防護) ※平成15年版 原子力安全白書より作成。

レベル	レベルの目的	具体的な施策
レベル1	異常発生防止	個々の構築物、機器や系統の重要度に応じた十分に高い信頼性の確保。(例)フェイルセーフ設計、インターロックの採用等
レベル2	異常拡大防止	異常を早期に発見、異常が拡大しないうちに原子炉の停止等の必要な措置を講じる。(例)原子炉の緊急停止系の設置等
レベル3	事故影響緩和	原子炉の冷却材が喪失するような事故の発生や事故時に放射性物質の放出を防止。(例)緊急炉心冷却装置や原子炉格納容器施設の設置など

※1 なお、安全管理等を含めた広義の多重防護の対策には、アクシデントマネジメント策、防災対策等が含まれるとしている。(平成12年度版 原子力安全白書)

○これまでの我が国におけるアクシデントマネジメントの位置づけ

※「発電用軽水型原子炉施設におけるシビアアクシデント対策としてのアクシデントマネジメントについて」

原子力安全委員会決定文(平成4年5月28日)抜粋

我が国の原子炉施設の安全性は、現行の安全規制の下に、設計、建設、運転の各段階において、①異常の発生防止、②異常の拡大防止と事故への発展の防止、及び③放射性物質の異常な放出の防止、といういわゆる多重防護の思想に基づき厳格な安全確保対策を行うことによって十分確保されている。これらの諸対策によってシビアアクシデントは工学的には現実には起こるとは考えられないほど発生の可能性は十分小さいものとなっており、原子炉施設のリスクは十分低くなっていると判断される。アクシデントマネジメントの整備はこの低いリスクを一層低減するものとして位置付けられる。したがって、当委員会は、原子炉設置者において効果的なアクシデントマネジメントを自主的に整備し、万一の場合にこれを的確に実施できるようにすることは強く奨励されるべきであるとする。

アクシデントマネジメントは事象者自主取組として位置づけ

1. シビアアクシデント対策を含めた深層防護の考え方

1-2. IAEAにおける深層防護の考え方

- シビアアクシデント対応(第4層)及びサイト外の緊急時対応を含めた5つのレベルで定義。
- 2011年に原子力発電所の設計に関する安全基準を改定、それまでのBeyond Design-Base Accidents(B-DBA)に代わり、新たに設計拡張状態(Design Extension Condition)を定義。
- 設計拡張状態(DEC)は、設計基準事故として考慮されていない事故の状態であるが、最適評価手法に従ってプラントの設計プロセスで考慮する状態(シビアアクシデント状態を含む)と定義。

深層防護のレベル	レベルの目的	必須の手段	備考
第1の防護レベル	通常運転からの逸脱と安全上重要な設備の故障を防止	品質管理と工学的手法に従ってプラントを健全かつ保守的に立地、設計、建設、保守、運転。	
第2の防護レベル	プラントの運転時に予想される事象が事故の状態に拡大するのを防止	設計で特定の系統・設備を設置。有効性を安全解析で確認。	
第3の防護レベル	炉心への損傷や重大な所外放出を防止	設計では事故の進展可能性を想定。固有の工学的安全施設、安全系、手順書を用意。	設計基準事故
第4の防護レベル	深層防護の第3層の防災レベルが失敗した結果の事故の影響を緩和	閉じ込め機能を確実にし、放射性物質の放出を合理的に達成可能な限り低く維持。	設計拡張状態 ※シビアアクシデント状態を含む
第5の防護レベル	放射性物質の放出による放射線の影響を緩和	緊急時管理センターの整備。緊急時対応に対する緊急時計画と緊急時要領の確立。	

※IAEA「Safety of Nuclear Power Plants: Design」SSR(Specific Safety Requirements)2/1より作成

(設計拡張状態(Design Extension Condition))

設計基準事故として考慮されていない事故状態で、最適評価手法に従ってプラントの設計プロセスで考慮され、放射性物質の放出は許容制限値以内に制限される。

1. シビアアクシデント対策を含めた深層防護の考え方

1-3. 欧州原子力規制協会(WENRA)における深層防護の考え方(新設炉)

- シビアアクシデント対応(第4層)及びサイト外の緊急時対応を含めた5つのレベルで定義。
- 第3層を3a(従来の第3層に相当)と3b(多重故障を考慮)に分類。炉心溶融事故は第4層に分類。
- 多重故障及び炉心溶融事故のいずれも発電所の当初の設計として取扱い。

	深層防護のレベル	レベルの目的	必須の手段	関係する発電所状態の区分
発電所の当初の設計	レベル1	異常運転と故障の予防	保守的な設計と建設・運転での高い品質	通常運転
	レベル2	異常な運転と故障の制御	制御、制限及び防護設備、及び他の監視機能	運転時の異常な過渡変化
	レベル3	放射能の放出を制限し、炉心損傷状態への拡大を予防するための事故の制御	安全系事故手順	DiDレベル3.a 想定単一起因事象
		放射能の放出を制限し、炉心損傷状態への拡大を予防するための事故の制御	工学的安全施設事故手順	DiDレベル3.b DiDレベル3.aに伴う安全系の考えられる故障または無効を含む特定の多重故障
レベル4	放射性物質の早期または大量の放出を招く可能性がある状況の実質的排除 所外放出を抑えるための炉心溶融を伴う事故の制御	炉心溶融を緩和するための工学的安全施設 炉心溶融を伴う事故の管理(シビアアクシデント)	想定炉心溶融事故(短期及び長期)	
緊急時計画	レベル5	放射性物質の重大な放出の放射線影響の緩和	所外緊急時対応介入レベル	

Safety Objectives for New Power Reactors Study by WENRA Reactor Harmonization Working Group, December 2009, RHWG, WENRAより抜粋

多重故障及びシビアアクシデントを発電所の当初の設計として取扱い

2. 考慮対象とする外的事象の考え方

2-1. 現行の我が国の設計基準における外的事象の取扱い

- 外的事象に対する設計を行うためには、設計上の想定が必要。
- 我が国では外的事象(自然現象、外部人為事象)について、設計上の考慮が要求されている。
例えば、
 - 自然現象については、過去の記録の信頼性を考慮の上、少なくともこれを下回らない苛酷なものであって、統計的に妥当とみなされるものを予想される「自然現象のうち最も苛酷と考えられる条件」とし、これを設計上の考慮とする。
 - 航空機落下については、発生確率が 10^{-7} (回/炉・年)を超えなければ、「想定される外部人為事象」として設計上の考慮は必要としないと判断してきた。^{※1}
- 設計上の想定を超える外的事象については、設計上及び保安上の規制要求は行われてこなかった。^{※2}
- なお、地震及び津波については、現在、関連する指針の改定の検討が進められている。

○発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針(平成2年8月30日原子力安全委員会決定)

指針2. 自然現象に対する設計上の考慮

1. 安全機能を有する構築物、系統及び機器は、その安全機能の重要度及び地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響を考慮して、耐震設計上の区分がなされるとともに、適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計であること。
2. 安全機能を有する構築物、系統及び機器は、地震以外の想定される自然現象によって原子炉施設の安全性が損なわれない設計であること。重要度の特に高い安全機能を有する構築物、系統及び機器は、予想される自然現象のうち最も苛酷と考えられる条件、又は自然力に事故荷重を適切に組み合わせた場合を考慮した設計であること。
 - 「予想される自然現象」とは、敷地の自然環境を基に、洪水、津波、風、凍結、積雪、地滑り等から適用されるものをいう。
 - 「自然現象のうち最も苛酷と考えられる条件」とは、対象となる自然現象に対応して、過去の記録の信頼性を考慮の上、少なくともこれを下回らない苛酷なものであって、かつ、統計的に妥当とみなされるものをいう。

指針3. 外部人為事象に対する設計上の考慮

1. 安全機能を有する構築物、系統及び機器は、想定される外部人為事象によって、原子炉施設の安全性を損なうことのない設計であること。
 - 「外部人為事象」とは、飛行機落下、ダムの崩壊、爆発等をいう。
2. 原子炉施設は、安全機能を有する構築物、系統及び機器に対する第三者の不法な接近等に対し、これを防御するため、適切な措置を講じた設計であること。

※1：実用発電用原子炉施設への航空機落下確率に対する評価基準(平成14年7月30日原子力安全・保安院)

※2：発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針(平成18年9月19日原子力安全委員会決定)においては、「『残余のリスク』の存在を十分認識しつつ、それを合理的に実行可能な限り小さくするための努力が払われるべき」とされている。

2. 考慮対象とする外的事象の考え方

2-2. IAEAの安全基準における外的事象の取扱い

- IAEA安全基準においては、我が国と同様に外的事象の設計上の想定に対する設計対応を求めている。これに加えて、外的事象の発生確率と可能性のある有害な影響を最小にするように、設計及び配置を求めている。

○IAEA安全要件(SSR2/1 原子力発電所の安全:設計)※1

<外的危険事象>

- 設計において、サイト評価のプロセスで明確にした、自然現象と人為的なものによる外的事象(すなわちプラントの外に起源をもつ事象)を考慮しなければならない。扱わなければならない自然事象による外的事象は気象、水文学、地質学および地震事象を含んでいる。扱わなければならない人為事象による外的事象は近くの産業および輸送路に起因するものである。短期的には、プラントの安全は、電力供給および消火隊のような所外サービスの利用の可能性に依存することを許してはならない。設計面では、活用する必要のある所外サービスの最大の時間遅れを決定するためにサイト特有の条件で遅延することを考慮に入れなければならない。
- 他の安全上の要求事項と整合をとって、外的事象の発生確率と可能性のある有害な影響を最小限にするように、安全上重要な設備を設計し、配置しなければならない。
- 設計で考慮した外的事象の結果として、安全上重要な設備(電源ケーブルおよび制御ケーブルを含む)のある建造物とその他のプラントの構築物との間でのいかなる相互作用も最小化するための特性を準備しなければならない。
- 安全上重要な設備が、設計で考慮する外的事象の影響に耐えうることが確実になるように、そうでない場合は、プラントを保護するために静的障壁のようなその他の設備を備えて、必要な安全機能が働くことが確実になるように設計しなければならない。
- プラントの耐震設計には、地震事象からの保護と、クリフエッジ効果の回避のために、十分な安全余裕を持たせなければならない。
- 複数のユニットのある発電所サイトについては、特定の危険事象が敷地内の複数のプラントに同時に影響を与える可能性を、設計は考慮しなければならない。

*1 :IAEA「Safety of Nuclear Power Plants: Design」SSR(Specific Safety Requirements)2/1

2. 考慮対象とする外的事象の考え方

2-3. 米国における外的事象の取扱い

- 米国においては、我が国と同様に外的事象の設計上の想定に対する設計対応を求めている。
- 米国における設計上の自然現象の想定は、歴史的データ等を考慮の上で、歴史的に報告された自然現象のうち最も苛酷なものへの考慮を求めている。

○米国NRC 一般設計指針(10CFR50 Appendix General Design Criteria for Nuclear Power Plants)
クライテリオン2 自然現象に対する防護のための設計基準

安全上重要な構築物、系統および機器は、それらの安全機能を果たす能力を失うことなく地震、竜巻、ハリケーン、洪水、津波および静振のような自然現象の影響に耐え得るよう設計されなければならない。かかる構築物、系統および機器の設計基準には次の事を考慮しなければならない。

- (1) 歴史的データの精度、量、およびその集積期間が限られていることに対して十分な余裕をもって、当該サイトおよびその周辺地域において歴史的に報告された自然現象のうち最も苛酷な事例を適切に考慮
- (2) 通常時および事故時の条件と自然現象との適切な組み合わせ
- (3) 果たすべき安全機能の重要度

2. 考慮対象とする外的事象の考え方

2-4. 米国における外的事象による大規模喪失への考慮

- 米国では、9.11後、2002年に暫定保証措置命令を発出。そのB.5.b項において、爆発・火災によりプラントが大規模に喪失した状況下で、炉心冷却、格納容器及び燃料プール冷却の能力を維持するか、復帰させることを意図したガイダンスと戦略を策定・実施することを要求。(現在は10CFR50.54(hh)(2)及び10CFR50.150に規定)

米国のB.5.bフェーズ2及び3の要求事項の例※1

設備		運転・管理		
安全機能	緩和戦略	指揮・統制の強化	BWRに対するサイト対応戦略の強化	PWRに対するサイト対応戦略の強化
<ul style="list-style-type: none"> ○BWR <ul style="list-style-type: none"> ・RPVの水位制御 ・格納容器の隔離 ・格納容器の健全性 ・放出の緩和 ○PWR <ul style="list-style-type: none"> ・RCSのインベントリ制御 ・RCSの熱除去 ・格納容器の隔離 ・格納容器の健全性 ・放出の緩和 	<ul style="list-style-type: none"> ○BWR <ul style="list-style-type: none"> ・RCIC又は非常用復水器の手動運転 ・RPVの減圧及び可搬式ポンプを用いる注水を許すためのDC電源 ・給水と復水の利用 ・ホットウェルへの水補給 ・CSTへの水補給 ・CRD水補給の最大化 ・RWCUを隔離するための手順 ・格納容器ベント配管の手動「開」 ・ドライウェルへの注水 ・可搬式スプレイ ○PWR <ul style="list-style-type: none"> ・RWSTへの補給 ・インベントリ喪失を軽減するためのSGの手動減圧 ・タービン(又はディーゼル)駆動AFWポンプの手動運転 ・SGの手動減圧と可搬式ポンプの使用 ・CSTへの水補給 ・可搬式ポンプを用いる格納容器の冠水 ・可搬式スプレイ 	<ul style="list-style-type: none"> ・境界条件 ・所外と所内の通信・連絡 ・通報/EROの始動 ・初期運転対応措置 ・初期損傷評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・RCIC又は非常用復水器の手動運転 ・RPVの減圧及び可搬式ポンプによる注入を可能とするDC電源 ・給水及び復水の使用 ・ホットウェルへの水補給 ・CSTへの水補給 ・CRD水補給の最大化 ・RWCU隔離手順 ・格納容器ベントラインの手動開放 ・ドライウェルへの注入 ・可搬式スプレイ 	<ul style="list-style-type: none"> ・RWSTへの補給 ・インベントリ喪失を軽減するためのSGの手動減圧 ・タービン(又はディーゼル)駆動AFWポンプの手動運転 ・SGの手動減圧及び可搬式ポンプの使用 ・CST/AFWSTの補給 ・可搬式ポンプによる格納容器冠水 ・可搬式スプレイ

2. 考慮対象とする外的事象の考え方

2-4. (参考)米国における外的事象による広域喪失への考慮

○10CFR50.54該当部分

10CFR50.54(hh)

(2) Each licensee shall develop and implement guidance and strategies intended to maintain or restore core cooling, containment, and spent fuel pool cooling capabilities under the circumstances associated with loss of large areas of the plant due to explosions or fire, to include strategies in the following areas:

- (i) Fire fighting;
- (ii) Operations to mitigate fuel damage; and
- (iii) Actions to minimize radiological release.

(2) 認可取得者は、爆発または火災によってプラントの大部分が喪失した状況で、炉心冷却、格納容器及び使用済燃料プール冷却の機能を維持または復旧することを目的としたガイダンス及び方策を作成し、実施しなければならない。なお、以下の分野における方策を含むこと。

- (i) 消火活動。
- (ii) 燃料損傷を緩和するための活動。
- (iii) 放射性物質の放出を最小化するための対策。

発電用軽水型原子炉施設におけるシビアアクシデント対策規制の基本的考え方について (報告書案の概要)

平成24年3月23日
原子力安全・保安院

1. 深層防護における厳格な前段否定の考え方の適用

想定に対する十分な対策により安全性を確保するとともに、想定を超えることは起こりえるとの前提にたち、想定を超えたものは次の層で事故進展を防止。

- ①適切な設計上の想定と対策(福島事故の知見を踏まえた設計上の想定の見直し)
- ②設計上の想定を超える外的事象が発生した場合でも、多重・共通要因故障による安全機能喪失の発生を防止
- ③多重・共通要因故障による安全機能喪失が発生した場合でも、炉心損傷の発生を防止
- ④炉心損傷が発生した場合でも、格納容器の機能喪失及び大量の放射性物質の放出を防止

2. 内的事象・外的事象を広く包含した対策の実施

- ① 確率論的安全評価により、既存安全機能の喪失及び炉心・格納容器損傷に至る事故シーケンスを類型化して特定し、ハード・ソフトの対策を実施。
- ② 航空機落下、火災、テロ等によるプラントの大規模な喪失に備えた緩和戦略の策定。

3. 総合的なリスク評価と継続的改善

- ① 事業者は、原子炉施設全体に係るリスクを事業者の自主的取組も含めて総合的に評価。性能目標との比較を行うとともに、安全性向上に資する措置を講じる。
- ② 事業者の安全性の向上のための評価から得られた一般的教訓、安全研究の成果、国内外の最新知見・運転経験等を踏まえて、規制基準を継続的に改善。

シビアアクシデント対策の深層防護



シビアアクシデント対策の主な審査等のイメージ(対策 I を例として)

