

FS09

標準委員会セッション1（リスク専門部会）

地震 PRA 実施基準の改訂について

東京都市大学 ○平野光将、原子力安全基盤機構 ○蛭沢勝三、大阪大学 ○山口彰、東京都市大学 ○村松健

1. 背景と経緯

我が国は世界でも有数の地震国であることから、地震に関する研究が早期から精力的に行われてきた。地震 PRA についても、技術開発の実態を踏まえて、研究機関及び産業界において評価手法の整備検討が進められてきており、総合的な耐震安全性評価手法としての地震 PRA の活用について議論されてきた。このような状況を踏まえ、原子力学会標準委員会は、地震 PRA を実施する場合の考え方、満足すべき要件及び具体的な方法について調査・検討を行い、関連する分野の専門家の意見を踏まえ、地震 PRA の実施基準について規定することとし、2007年3月に“原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準：2007”（以下、“地震 PRA 実施基準：2007”という。）を制定した。地震 PRA 実施基準：2007 は、地震に起因した運転中レベル 1PRA 並びに地震に起因した格納容器破損に至る事故シーケンスを同定する方法についての標準として規定しており、地震により発生する可能性のある火災、溢水及び津波に起因した事象については、適用範囲外としていた。

原子力学会標準委員会では、毎年改定の要否を検討し、5年目には改定を行なうこととしているが、2011年は改定の年に当たるため改定内容あるいは分科会再開などの準備を考えていた。ところが、2011年3月に我が国の観測史上最大の規模の東北地方太平洋沖地震が発生し、東北地方の原子力発電所を初めとする多くの産業施設に甚大な影響を及ぼした。そこで、地震の発生及び影響に関する多くの情報が得られたので、それらを反映した地震ハザードを始めとする地震リスクに関する評価方法の調査、分析及び開発を行い、地震 PRA 分科会を2012年7月に再開した。少し時期は遅れたが、今回の改定は、地震 PRA 実施基準：2007 の定例改定として、最新知見を踏まえた地震 PRA 技術の向上を反映させるとともに、品質や透明性の確保がより適切に行われるよう、要求事項の見直しを行うものである。

特に、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震とそれに続く津波による福島第一原子力発電所事故（以下、“1F 事故”という。）からの教訓や知見は重要なものであり、積極的にそれらの知見を反映した標準とする必要がある。これ以前から、原子力発電所の安全性を客観的に且つ定量的に評価できる手段として、PRA をはじめとするリスク評価の活用は重要であるとの認識が高まっており、さらに、1F 事故を契機に、外的事象の重畳事象が注目され、そのリスク評価の手法の必要性も高まった。これを背景に、リスク専門部会では、地震 PRA に加え津波 PRA や内部溢水 PRA 等の外的事象単独の PRA 標準を策定し、さらに地震重畳を対象としたリスク評価手法に拡張すべく段階的に検討してきている。この PRA 標準の拡張の動きの中で、改定にあたっては、他の外的事象との重畳を想定した評価手法を提供できるような地震 PRA 標準とすることを目指した。

以上の趣旨を踏まえて、考えうる技術課題および構成の見直しを積極的行なった。課題の中にはまだ標準の規定に入れられない技術レベルのものがあつたが、関連の文献あるいは手法の説明を附属書参考に入れることで、規定に入れない課題に取り組む場合の参考とした。

今回改定した地震 PRA 実施基準を用いて地震あるいは地震随伴の事象の PRA を行うことにより、原子力発電所の脆弱性の抽出、並びに安全性向上のための対策を実施することができる有用なリスク情報を獲得することが可能となる。これにより、より広い範囲の事象に対して原子力発電所の安全性を向上させることができると考える。

2. 主要な改定点

a) 適用範囲の拡張

地震 PRA 実施基準：2007 で対象としていた炉心損傷評価に加えて、使用済燃料プール内の燃料損傷評価も対象とした。これは従来、その事象が拡大し公衆の生命、財産及び環境の保全に悪影響を及ぼす可能性の観点から原子力発電所のリスク評価において最も注目すべき事象として炉心損傷を対象としてきたが、1F 事故において使用済燃料プール内の燃料損傷の危険性もあったことから、対象範囲とした。

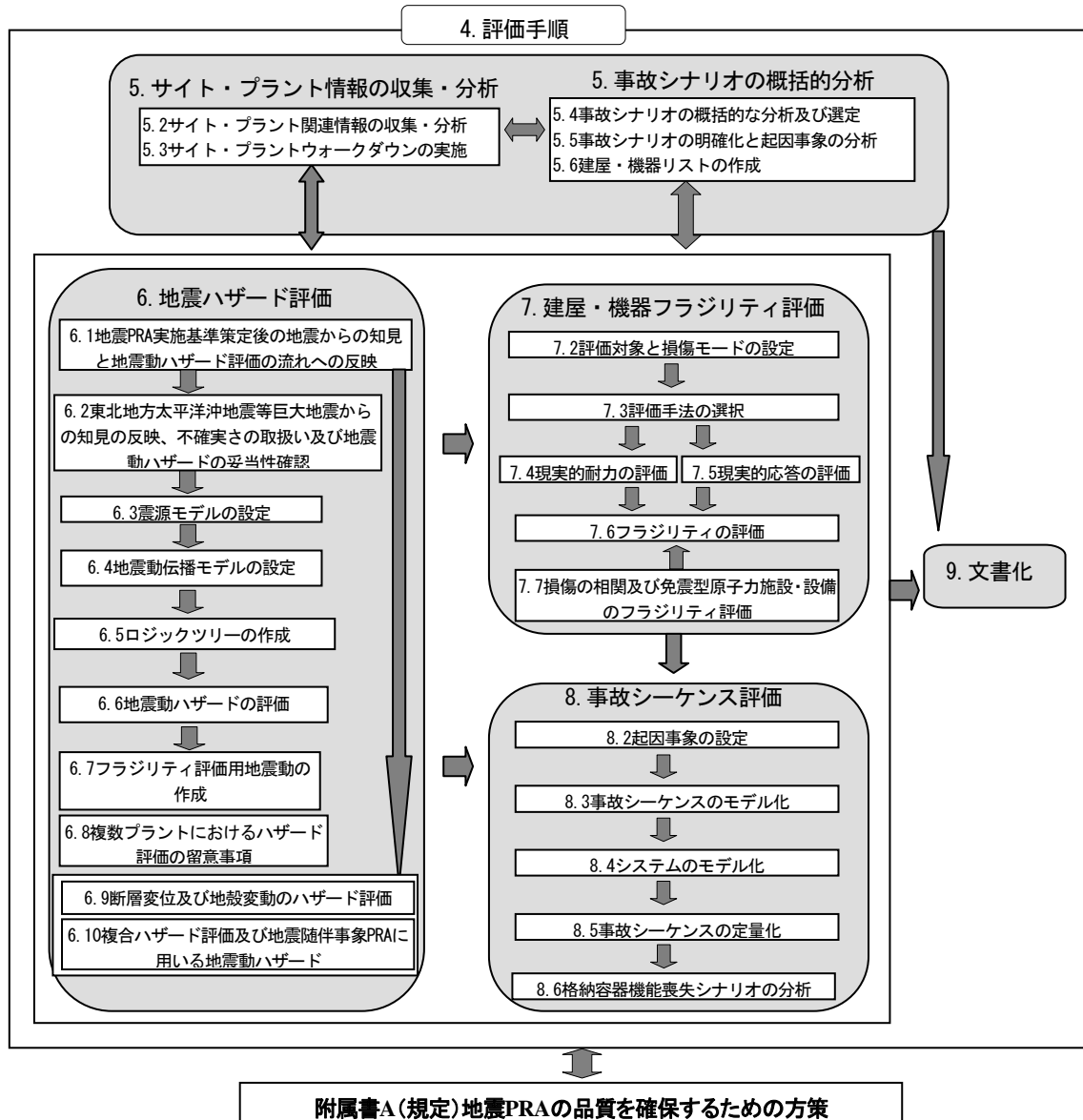


図1. 地震 PRA 標準の手順概要

地震 PRA 実施基準：2007 では範囲外としていた地震により誘起される事象については、火災 PRA 実施基準、内部溢水 PRA 実施基準、そして津波 PRA 実施基準が制定されていることから、地震起因事象の幅広い PRA が可能なように、本地震 PRA 標準において担うべき点を規定した。地震により誘起される事象は火災、内部溢水、そして津波との重畳と、多岐多様な事故様態を示すが、それらのシーケンス評価はそれぞれの実施基準において規定されるが、地震ハザード評価は本標準の方法を用いるよう規定し、建屋・機器フラジリティ評価については対象と

なる機器・構造物のフラジリティ評価の方法を提供できるようにした。例えば、地震と津波の重畳の PRA を行う場合の地震動震源モデルと津波震源モデルを整合させる考え方、津波対策の機器（防潮堤、水密扉など）のフラジリティ評価手法を規定している。地震 PRA 実施基準の全体のプロセスは図 1 のようになる。図中の数字は箇条又は細分箇条を示す。

b) サイト・プラント情報の収集・分析

- ・サイト・プラント情報の収集・分析においては、東北地方太平洋沖地震をはじめとする最近の震害事例などの情報を充実した。
- ・サイト・プラントウォークダウンの対象範囲としては、原子炉建屋から離れたところに整備される移動式設備を含む各種シビアアクシデント対策設備など、並びに防潮堤などの津波 PRA に必要な設備を追加した。さらに、サイト・プラントウォークダウン実施時の具体的な着眼点を充実し、サイト・プラントウォークダウンの実施事例やアクセス性の成立性に関する現場確認の例を追加した。

c) 事故シナリオの拡張と充実

- ・使用済み燃料プール内燃料の損傷の考慮を新たに規定し、それらの事故シナリオのスクリーニングの考え方の例についても取りまとめた。
- ・事故シナリオの分析・選定においては、1F 事故の反映として、余震、経年劣化複数基立地、緊急時対策所における緊急時の復旧対応、シビアアクシデント対策、地盤変状などの新たな課題も特別に項目として起こし、事故シナリオを広範に分析・選定することを規定した。また、炉心損傷に加えて、使用済み燃料プール内燃料の損傷シナリオの分析・選定を新たに規定した。
- ・広範に選定した事故シナリオのうち、発生頻度及び拡大可能性の観点からスクリーニングし、除外されなかった事故シナリオを、事故シーケンス評価の対象とする。スクリーニングは、対象設備の損傷確率などを用いて、評価対象事故シナリオが炉心損傷に繋がる可能性を評価し、波及的な影響を及ぼす可能性がある SSCs の損傷確率又は炉心損傷確率などと比べて、スクリーニングで除外できるか否かを判断する。
- ・原子炉容器などの大型静的 SSCs の損傷（緩和系で抑制不可）、計装/電源系などの広範囲な影響を及ぼす SSCs の損傷、二次的な影響を考慮した事故シナリオから地震起因としての起因事象を分析することを規定した。

d) 地震ハザード評価

- ・地震 PRA 実施基準：2007 の発行以来発生した耐震設計に大きく影響を及ぼす地震、特に地震ハザード評価の枠組みに最も大きな影響を及ぼした、新潟県中越沖地震と東北地方太平洋沖地震から得られた知見を中心に調査、分析し、地震ハザード評価手法に反映した。主な反映内容を次に示す。
 - ①サイト周辺の深部地下構造のモデル化の地震動評価への影響
 - ②巨大地震に伴う大きな余震や誘発地震の扱い方
 - ③地殻変動ハザードと断層変位ハザードの評価
 - ④地震動と津波の重畳
 - ⑤複数基立地の取り扱い 等

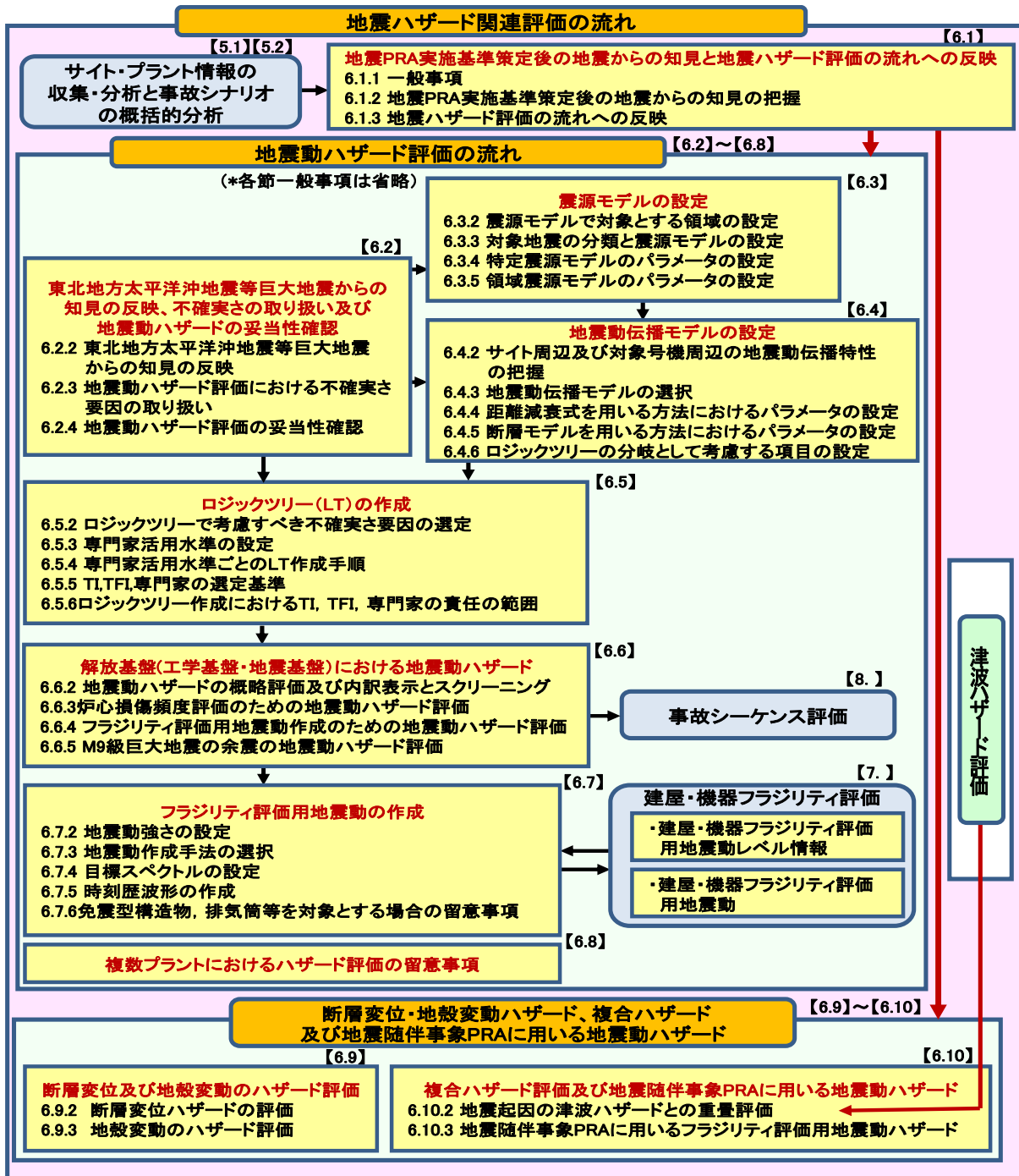


図2. 地震ハザード評価の流れ

e) 建屋・機器フラジリティ評価

- ・津波をはじめとする地震に起因する他のリスク評価に関連する要求事項を明確にした。例えば、本震経験後の津波による現実的応答評価に資するために、本震による構造的損傷後の影響を必要に応じて評価することを要求している。
- ・2007年以降に得られた基準地震動を超える地震動による被害及びシミュレーション解析等を踏まえた新たな知見を追加した。例えば、応答解析に基づく方法及び応答係数に基づく方法による現実的応答の評価において、地震応答解析に用いる解析モデルは、地震観測記録のシミュレーション解析等や使用実績に基づき、建物・構築物の三次元応答やそれが安全上重要な機器・配管系に及ぼす影響に留意し、損傷限界までの現実的応答の評価に適

したものとし、三次元応答による影響として、床の変形、ねじれ及びロッキング等に配慮することを規定している。

- 1F 事故等の知見を踏まえて、シビアアクシデント対策設備及びそれらの搬入路、使用済燃料プール、免震重要棟のフラジリティ評価を要求事項として明確化した。また、地震起因の斜面崩壊による建屋や施設への影響を、斜面の安定性による間接評価のみならず、崩壊後の土塊の移動や構造物への衝突による衝撃力などを考慮した直接評価についても要求事項として明確化した。
- 地殻変動及び断層変位に起因した地盤変状によるフラジリティ評価を要求事項として明確化した。

f) 事故シーケンス評価

- 起因事象の設定においては、地震動大きさによっては、単一の異常発生防止系(P S)が機能喪失して単一故障起因事象が発生する場合と複数のP Sが機能喪失して多重故障起因事象が発生する場合があるので、それぞれの起因事象設定の考え方を附属書(参考)に記述した。また、地震動大きさによっては、起因事象発生と同時に複数の異常影響緩和系(M S)が機能喪失し炉心損傷につながることに留意することも記述とした。
- 燃料の重大な損傷(炉心損傷と燃料プールの燃料損傷)に直結する可能性が高い事象については、安全機能の設定を省略して保守的に直結事象とできることに加えて、安全機能を設定した現実的なモデルにより最適評価することも可能であることを規定した。また、移動式設備を含むシビアアクシデント対策の扱いについては、各事業者で整備された内容(設備、運転員操作)を評価モデルに反映する際に必要な条件を、耐震性、アクセス性、利用可能時間/許容時間などの観点から規定した。
- 成功基準の設定においては、シビアアクシデント対策を考慮する場合の成功基準の例を附属書(参考)に示した。また、シビアアクシデント対策の利用を有効とする時間設定の考え方を規定した。
- 起因事象の階層化における階層イベントツリーの作成においては、複数システムの同時機能喪失の重要な組み合わせを見落とさないための考え方の例を附属書(参考)へ追記した。また、イベントツリー及びフォールトツリーの作成においては、シビアアクシデント対策を考慮する場合の例を附属書(参考)に示した。
- 事故シーケンスの条件付き発生確率の評価においては、地震による起因事象発生確率算出手法の格納容器バイパスの例も附属書(参考)に示した。
- 近年あがってきた新たな課題のうち具体的な手法がまだ確立されていないものについて、重大な燃料の損傷頻度へのそれらの課題の影響への理解を少しでも助けるため、感度解析を充実した。感度解析項目の例として、“余震の影響”“リレーチャタリングの影響”“地盤変状の影響”を新たに附属書(参考)に示した。
- 損傷の相関の取扱いにおいては、複数基立地の解析を実施する場合の新たな例として“電源融通を考慮する場合”相関係数(応答及び耐力の相関係数)の感度を見た場合”を附属書(参考)に示した。