

外部ハザードリスク評価選定実施基準と評価方法

ーリスク評価の完全性を目指した取組とその意義ー

標準委員会 リスク専門部会

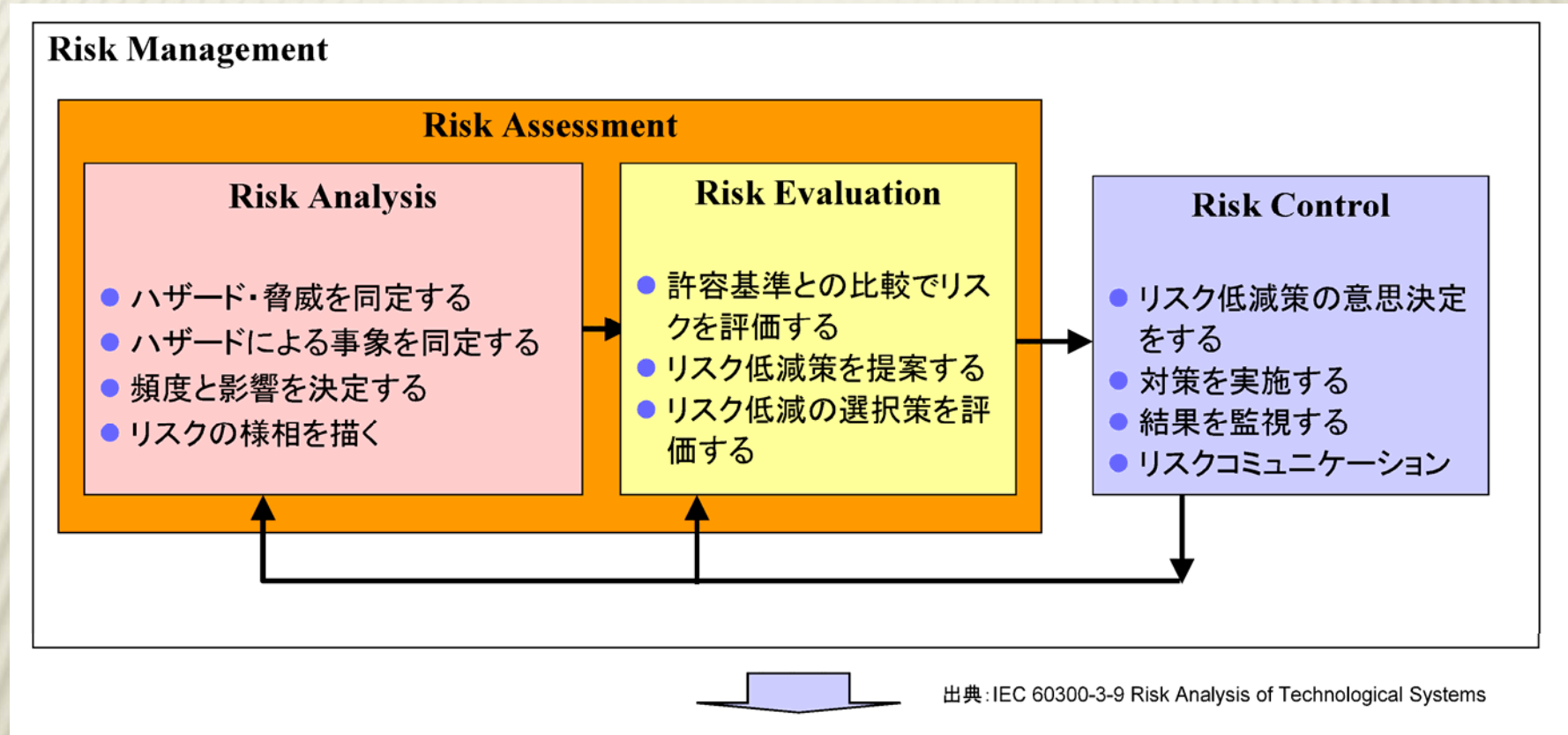
倉本 孝弘

(原子力エンジニアリング；NEL)

原子力学会標準「外部ハザードに対するリスク評価方法の選定に関する実施基準」の策定

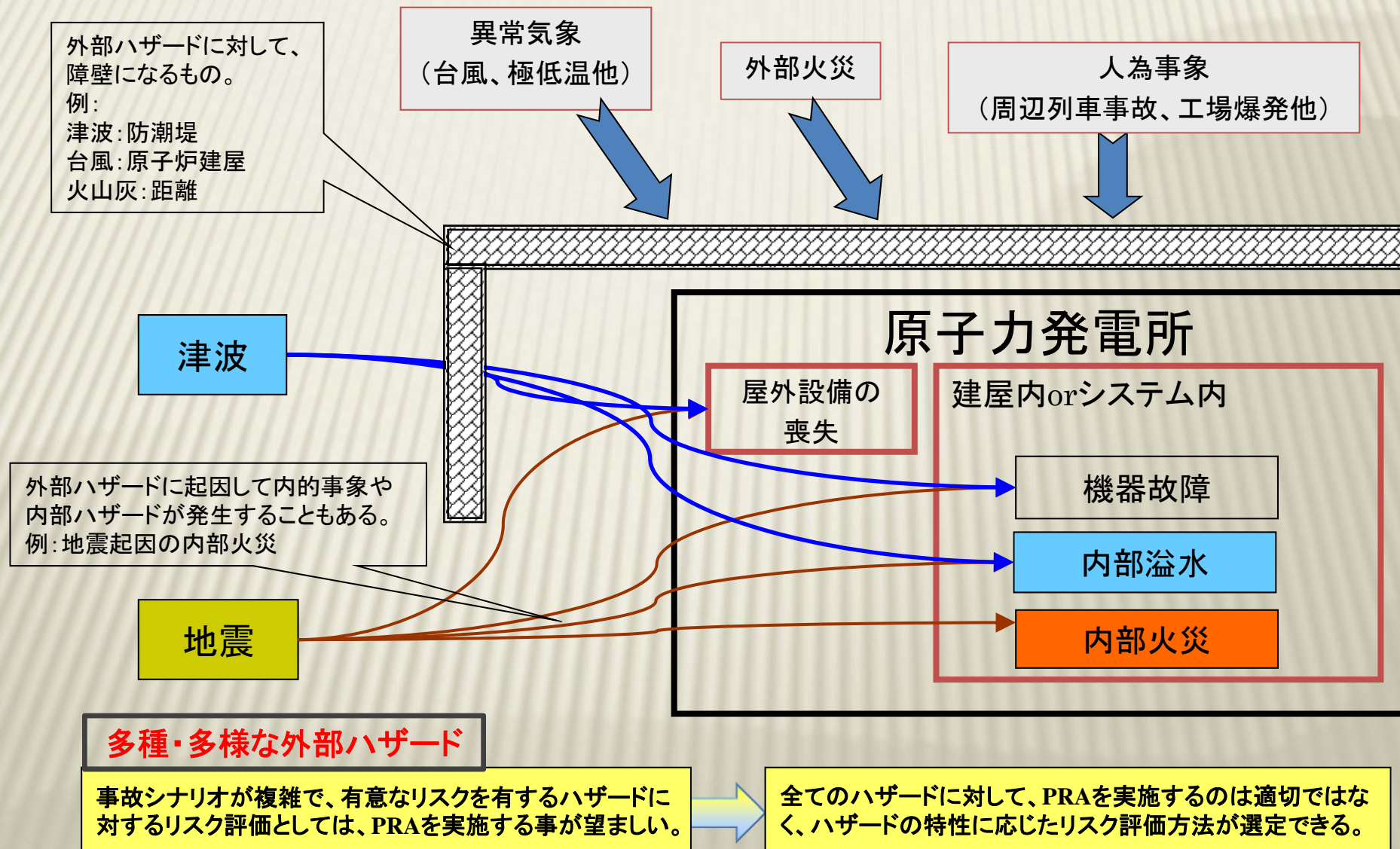
- 2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震とそれに伴う津波による福島第一原子力発電所事故以来、地震、津波などの外部ハザードの影響を評価し対策を立てることの重要性が増している。新安全基準においても、自然現象と外部人為事象に対する設計上の考慮を求めている。
- これらの外部ハザードのリスク評価については、リスクの大小を見ることだけが目的ではなく、その対策を立てることに大きな目的があるため、全ての外部ハザードに対して確率論的リスク評価（PRA）等の詳細なリスク評価が必要ではない。
- リスク評価方法としては、定性的な評価、ハザード分析（発生頻度又は影響評価）、裕度評価、決定論的な炉心損傷頻度（CDF）評価など、様々な方法が考えられる。
- こういう背景から、日本原子力学会・標準委員会・リスク専門部会において、原子力発電所に脅威を与える可能性のある潜在的な外部ハザードを同定し、発生頻度とプラントに対する影響度の観点から、それらの外部ハザードに関するリスク評価方法を選定するプロセスを規定した「**外部ハザードに対するリスク評価方法の選定に関する実施基準**」の策定を進めている。

リスクマネジメントの考え方



リスク評価 (Risk Assessment) の方法は、ハザード並びにそれによる影響の厳しさにより、適切なものが選択される。

原子力発電所の脅威となるハザード



実施基準の構成

1. 適用範囲
2. 引用規格
3. 用語及び定義, 略語
4. 選定手順
5. 情報の収集
6. 潜在的な外部ハザードの同定
7. 特性分析による選別
8. 定量的リスク評価方法の選定
9. 文書化

実施基準の適用範囲

(1. 適用範囲)

- この実施基準は、原子力発電所（以下，“プラント”ともいう）の安全性に脅威を与える可能性のある外部ハザードを網羅的に同定し、リスクとして炉心損傷を対象とし、シナリオ、発生頻度、プラントに対する影響の観点から、外部ハザードに関するリスク評価方法を選定する手順を規定する。
- 本選定においては、人為ハザードの中でテロ攻撃のような意図的なものは、外部ハザードの対象範囲外とする。
- なお本実施基準は、原子力発電所以外の原子力施設に対して、及び原子力発電所の炉心損傷以外のリスクに対しても、炉心損傷リスクに代えて対象とするリスクを適切に設定することにより準用可能である。また、設計段階の原子力発電所においては、設計の進捗度に応じてその情報の確定度合が変わるため、その後に評価結果も変更があり得ることに留意して、本実施基準を適用する。

外部ハザードに対するリスク評価方法の選定の流れ (4. 選定手順)

5. 情報の収集

対象プラントの評価に必要な情報を収集する。

6. 潜在的な外部ハザードの同定

対象プラントに対して、脅威を与える可能性のある潜在的な外部ハザードを同定する。

7. 特性分析による選別

7.1 特性分析要素の選定

外部ハザードそれぞれに対して、いずれの特性分析要素（発生、到達、影響）に着目するかを選定する。

7.2 特性分析の実施

外部ハザードそれぞれに対して、選定した要素に応じた特性分析基準と照合させる方法で、対象プラントに炉心損傷リスクを有する可能性があるものの選別を行う。

8. 定量的リスク評価方法の選定

特性分析で炉心損傷リスクを有する可能性がある外部ハザードに対して、事象の特徴に応じた定量的リスク評価方法を選定する。

5. 情報の収集

- プラント設計図書
- 周辺地域の気象観測記録、施設設置状況
- 航空機、船舶航路に関する法令上の制限

など、対象プラントの評価に必要な情報を収集することを規定。

また、対象プラントにおける現状把握のため、サイト・プラントウォークダウンを実施することを規定。

6. 潜在的な外部ハザードの同定

- 対象プラントに対して脅威を与える可能性のある潜在的な自然ハザード、人為ハザード（複合事象含む）を同定することを規定。
- 同定にあたって使用する 「外部ハザードリスト」を作成して、実施基準において提示。
- なお、外部ハザードリストの使用の際には、下記のハザードの有無を確認し、必要に応じてリストに追加する。
 - ✓ 対象プラント・サイト固有の外部ハザード
 - ✓ 新たに観測された外部ハザード
 - ✓ 新知見から想定される外部ハザード

外部ハザードリストの作成プロセス

■ 単一ハザードの同定

- 日本国内の自然災害・人為（産業）災害実績につき、以下の文献を基に収集・分析してリストを作成：

国会資料編纂会，“日本の自然災害”（1998）

日外アソシエーツ，“日本災害史事典 1868-2009”（2010）

日外アソシエーツ，“産業災害史事典”（2010）



- 加えて、原子力発電所に対する外部ハザードとして、国際的に認識されている以下の文献中の外部ハザードリストを調査し、上記の不足分があれば、リストに追加：

米国ASME/ANS PRA Standards (ASME/ANS RA-Sa-2009) (2009)

IAEA NS-R-3, “Site Evaluation for Nuclear Installations” (2003)

IAEA SSG-3, “Development and Application of Level 1 PSA for Nuclear Power Plants “ (2010)

- 近年観測された新たな外部ハザード（太陽フレアによる磁気嵐、等）をリストに追加：

■ 複合事象（ハザードの組み合わせ）の同定

- 単一ハザードを同定した後に、ハザードの組み合わせにつき論理的に発生し得るものを考え、考慮に入れるべきハザードの組み合わせを同定：

随件事象 原因共有事象

外部ハザードリスト (1/3)

ハザードの種類		外部ハザード		
自然ハザード	地震	地震動	地震動	
			地盤変動	地盤沈下
				地盤隆起
				地割れ
				液状化現象
				地滑り
				土石流
				地震による洪水
				地震による火災
				地震災害による津波
	火山災害による津波			
	津波	津波	隕石による津波	
	風水害	潮位変化	静振	
			高潮	
			波浪・高波	
			異常潮位	
			満潮	
			海流異変	
			低潮位	
強風		暴風(台風)		
		竜巻		
		暴風による火災 暴風による砂嵐		
気圧変化	高圧			
	低圧			
	急激な圧力変化			
豪雨	豪雨による洪水			
	豪雨による鉄砲水			
	豪雨による地滑り			
	豪雨による土石流			
雷	落雷(電流)			
	落雷による火災			
風水害	温度変化	高温		
		低温		
		高海水温		
		低海水温		
		氷晶		
		氷壁		
		氷結		
		旱魃		
		霜, 白霜		
		霧		
降雹	降雹			

外部ハザードリスト (2/3)

ハザードの種類		外部ハザード	
自然ハザード	火山	火山噴火	火山弾(大きな噴石)
			火山礫(小さな噴石)
			火砕流
			溶岩流
			土石流
			火砕サージ
			爆風
			洪水
			降灰
			火災(山林火災)
			火山ガス滞留
			熱湯
			山体崩壊
	雪害	豪雪	積雪
			豪雪による雪崩
		融雪	融雪による雪崩
			融雪による洪水
			融雪による地滑り
	その他	生物学的事象	動物
			海生物(貝, クラゲ, 等)
			海藻
		塩害	海塩粒子による絶縁破壊
			腐食
		隕石	石
			隕石による衝撃波
		火災	
		海岸浸食	海岸浸食
		水面下の浸食	水面下の浸食
		カルスト	カルスト
		海氷による川の閉塞	海氷による川の閉塞
		湖若しくは川の水位降下	湖若しくは川の水位降下
		太陽フレアによる磁気嵐	太陽フレアによる磁気嵐
	複合事象	地震動・地盤変動・津波(原因共有事象・随件事象)	
火山噴出・地震動・地盤変動・津波(原因共有事象・随件事象)			
温度変化・湖若しくは川の水位降下(随件事象)			
潮位変化・強風・豪雨・雷・塩害(原因共有事象)			
潮位変化・強風・豪雪・温度変化・雷・塩害(原因共有事象)			
潮位変化・強風・融雪・温度変化・雷・塩害(原因共有事象)			
潮位変化・強風・降雹・温度変化・雷・塩害(原因共有事象)			

外部ハザードリスト (3/3)

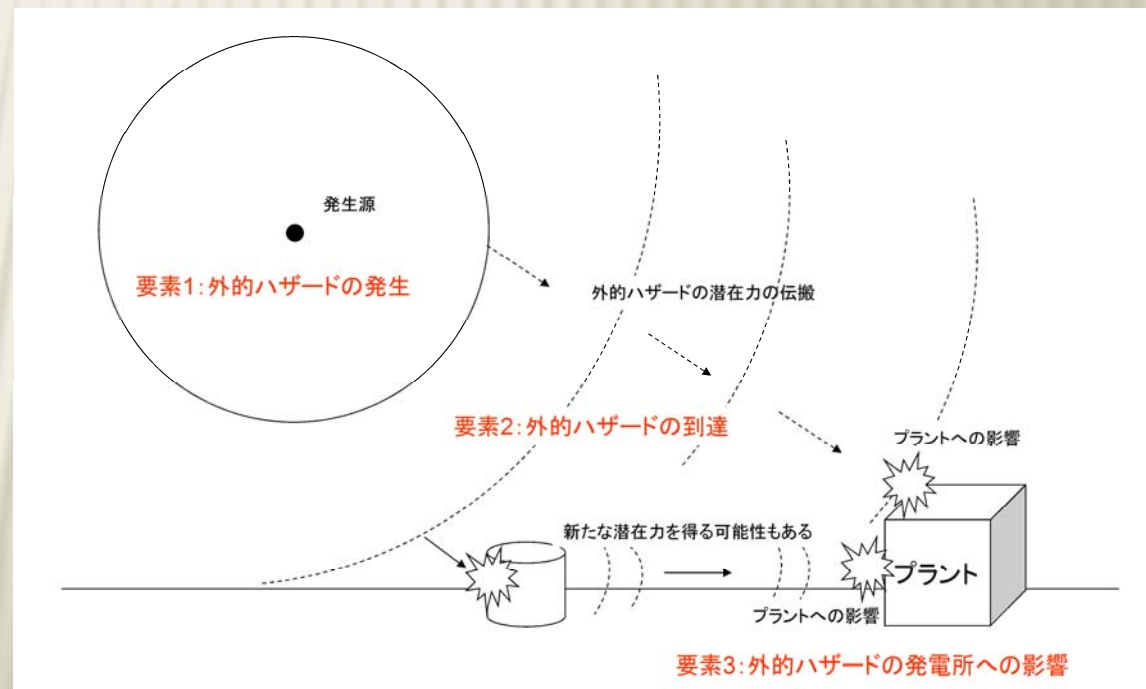
ハザードの種類		外部ハザード
人為ハザード	海上災害	船舶事故による油流出
		船舶による化学物質放出
		船舶の爆発
		船舶の衝突
	航空災害	航空機落下
	鉄道災害	鉄道事故による爆発
		鉄道事故による化学物質放出
		鉄道の衝突
	道路災害	交通事故による爆発
		交通事故による化学物質放出
		車の衝突
	危険物等災害	工場事故による爆発
		工場事故による化学物質放出
		鉱山事故による爆発
		鉱山事故による化学物質放出
		土木・建築現場の事故による爆発
		土木・建築現場の事故による化学物質放出
	林野火災災害	森林, 原野及び牧野における火災
	大規模火事災害	市街地の火災
	その他	人工衛星の落下
河川の流路変更		
治水構造物の破損による洪水及び波		
電磁的障害		

7. 特性分析による選別

- 外部ハザードリストの中には、その特性から、明らかに炉心損傷リスクがないと判断できる事象も含まれている。
- 外部ハザードの特性を分析することにより、対象プラントに対して炉心損傷リスクを有する可能性のあるハザードを選別する方法を規定。

■ 7. 1 特性分析要素の選定

- 外部ハザードがプラントへ影響を及ぼすまでの要素を踏まえ、外部ハザードの特性からどの要素に着目して分析を行うかを選定する。
(複数の要素に着目して分析を行っても良い。)



7. 特性分析による選別 (続き)

■ 7. 2 特性分析の実施

- 選択した要素に応じて以下の定性的な基準と照合し、有意な炉心損傷リスクの可能性の有無を判断する。

- ✓ 要素1 :

ハザードの発生する頻度が極めて小さい。【基準1】

判断例：“温度変化(夏の高温, 或いは(氷結(低温))”ハザードは、対象プラントの気候条件では発生しない。

- ✓ 要素2 :

ハザードがプラントに影響を与えるほど近傍で発生しない。【基準2】

判断例：対象プラントの地理的領域(半径160kmの範囲)に火山は存在せず、“降灰”を除く“火山噴出”に係わるハザードは発生しない。

ハザードが進展するタイムスケールが、対処時間に比べて十分に長い。【基準3】

判断例：“海岸浸食”ハザードは、その進展に長時間を要するため、プラントにおいて対策を取る時間余裕が十分ある。

- ✓ 要素3 :

ハザードがプラントに到達したと仮定しても、炉心損傷につながる起因事象を引き起こさない。

【基準4】

判断例：“霜”ハザードは、たとえ発生しても、プラントに対して炉心損傷を引き起こす脅威にならない。

8. 定量的リスク評価方法の選定

- 特性分析で炉心損傷リスクを有する可能性があるとは判断された外部ハザードに対しては、なんらかの定量的リスク評価を行う必要がある。
- 外部ハザード毎に想定されるハザード発生頻度、プラントに対する影響、事故シナリオを鑑み、評価者が必要とする評価結果の形態に応じて、**下記の内で相応しい定量的リスク評価方法を選定することを規定。**
 - **ハザード発生頻度分析若しくは影響度分析によるリスク判断**
 - 事故シナリオを検討することなく、ハザード発生頻度若しくはプラントに対する影響度を定量的に判断することにより、当該外部ハザードが有意な炉心損傷リスクをもたらし得ないと評価できると考えられる場合。
 - **裕度評価**
 - 事故シナリオを検討する必要があるが、ハザード発生頻度の評価が実施困難である場合、或いは、発生頻度の不確実さが極めて大きい場合。
 - 当該外部ハザードの炉心損傷リスクに対する裕度を評価することが適切であると考えられる場合。
 - **決定論的なCDF評価**
 - 事故シナリオを検討する必要があり、ハザード発生頻度の評価が実施可能である場合。
 - **PRA等の詳細なリスク評価**
 - 上記の評価を実施したとしても、炉心損傷リスクを有すると判断される場合。

8. 定量的リスク評価方法の選定 (続き)

定量的 リスク評価 方法	評価の特徴	ハザード 発生頻度 評価	事故シナリオ評価	
			プラントへの 影響	プラントの 応答
ハザード発生頻度分析によるリスク判断	ハザード発生頻度のみで判断	○保守的でよい	×	×
影響度分析によるリスク判断	プラント耐性のみで判断	×	○保守的でよい (プラント耐性評価)	×
裕度評価	ハザード発生頻度は不要、ハザードレベルに応じた事故シナリオ評価を実施	×	○決定論的でよい	○決定論的でよい
決定論的なCDF評価	ハザード発生頻度と事故シナリオ評価を実施	○保守的でよい	○決定論的でよい	○決定論的でよい

定量的リスク評価方法の具体例（1/4）

■ ハザード発生頻度分析若しくは影響度分析によるリスク判断 （外部ハザードの例： 強風、気圧変化）

＜ハザード発生頻度分析＞

- ・プラントに影響を与える可能性のあるハザードレベル（設計基準を有する外部ハザードにおいては設計基準が該当する）を設定し、それを超過する外部ハザード発生頻度を、保守的な解析により定量的に評価。
- ・当該ハザード発生頻度が判断基準値を下回ると評価できる場合には、当該ハザードは有意な炉心損傷リスクを有しないものと判断する。

＜影響度分析＞

- ・当該外部ハザードのプラントへの影響を保守的に仮定したとしても、プラントにおける炉心損傷につながる起因事象の発生、及び、安全機能を有するSSCが損なわれる事が無いことを、決定論的評価により確認する。
- ・この確認ができる場合には、当該ハザードは有意な炉心損傷リスクを有しないものと判断する。

定量的リスク評価方法の具体例（2/4）

■ 裕度評価（外部ハザードの例：津波）

- ・多数の事故シナリオを対象として，炉心損傷につながる起因事象の発生や安全機能を有するSSCの機能喪失に対するハザードの影響を決定論的に設定することにより，炉心損傷リスクが必ず起こるハザードレベル，及び，支配的な事故シナリオを導出する。
- ・ここで導出されるハザードレベルとプラントに影響を与える可能性のあるハザードレベルとの比を当該ハザードの炉心損傷に対する裕度として算出する。
- ・この結果，裕度が判断基準値を上回ると評価できる場合には，当該ハザードは有意な炉心損傷リスクを有しないものと判断する。
- ・本評価手法の例としては，地震事象に対する耐震余裕評価手法，福島第一原子力発電所における事故を踏まえた安全性に関する総合評価（所謂「ストレステスト」）がある。

定量的リスク評価方法の具体例（3/4）

■ 決定論的なCDF評価（外部ハザードの例：火山による降灰）

- ・炉心損傷につながる支配的な事故シナリオを対象として, 炉心損傷につながる起因事象の発生や安全機能を有するSSCの機能喪失に対するハザードの影響を決定論的に設定する（SSCが必ず機能喪失をする, 若しくは, 必ず成功するという仮定を行う）ことにより, ハザードにより引き起こされるプラントの条件付き炉心損傷確率（CCDP）を定量的に評価し, ここで算出されたCCDPに, プラントに影響を与える可能性のあるハザードレベルを超過する外部ハザード発生頻度を乗じる事によりCDFを評価する。
- ・ここでのCCDP評価としては, 詳細なPRAモデルを使用する等による, バウンディング解析, 若しくは, 保守的な解析を実施することが可能である。
- ・この結果, CDFが判断基準値を下回ると評価できる場合には, 当該ハザードは有意な炉心損傷リスクを有しないものと判断する。

定量的リスク評価方法の具体例（4/4）

■ PRA等の詳細なリスク評価（外部ハザードの例：地震動）

- ・炉心損傷リスクを有すると判断される外部ハザードに対しては、確率論的リスク評価(PRA)を適用する詳細なリスク評価を行う。
- ・ここでの全ての評価において、PRAを実施することが望ましいが、複雑な事故シナリオを考慮する場合や事象の重畳を考慮する場合等により評価技術が未成熟な事象においては、決定論的評価及び工学的判断による評価を適用することも可能である。
- ・決定論的評価及び工学的判断による評価手法の例としては、内部火災事象に対するFIVE手法がある。
また、決定論的に支配的な炉心損傷シーケンスを同定し、その支配的なシーケンスに対してのみPRAを実施することも、その例である。

まとめ

- 日本原子力学会・標準委員会・リスク専門部会では、原子力安全における外部ハザードの影響評価の重要性に鑑みて、原子力発電所において、潜在的に炉心損傷につながるリスクを有する外部ハザードを網羅的に同定し、発生頻度とプラントに対する影響の観点から、それらの外部ハザードに関するリスク評価方法を選定する実施基準の策定を進めており、現在、公衆審査中で、終了後、正式に発行する予定である。
- 本実施基準は、リスク評価方法選定に関する基本原則、要件を示したものである。今後引き続き、ここで示した定量的リスク評価実施に関する要件及び具体的な方法についても、実施基準もしくはガイドラインとして、同じくリスク専門部会における策定の議論をしていく予定である。
- これらの実施基準に従って、全ての外部ハザードに対するプラントの安全性を把握し、さらに、各ハザードに対する適切な対策の立案を実施していくことが期待されるものである。