



AESJ 日本原子力学会 標準委員会
Standards Committee Atomic Energy Society of Japan

日本原子力学会 標準委員会

外的ハザード事象のリスク評価と
PRA基準の開発計画

その1：外的ハザード事象評価の分類手法の検討

リスク専門部会

(株)原子力エンジニアリング 倉本 孝弘

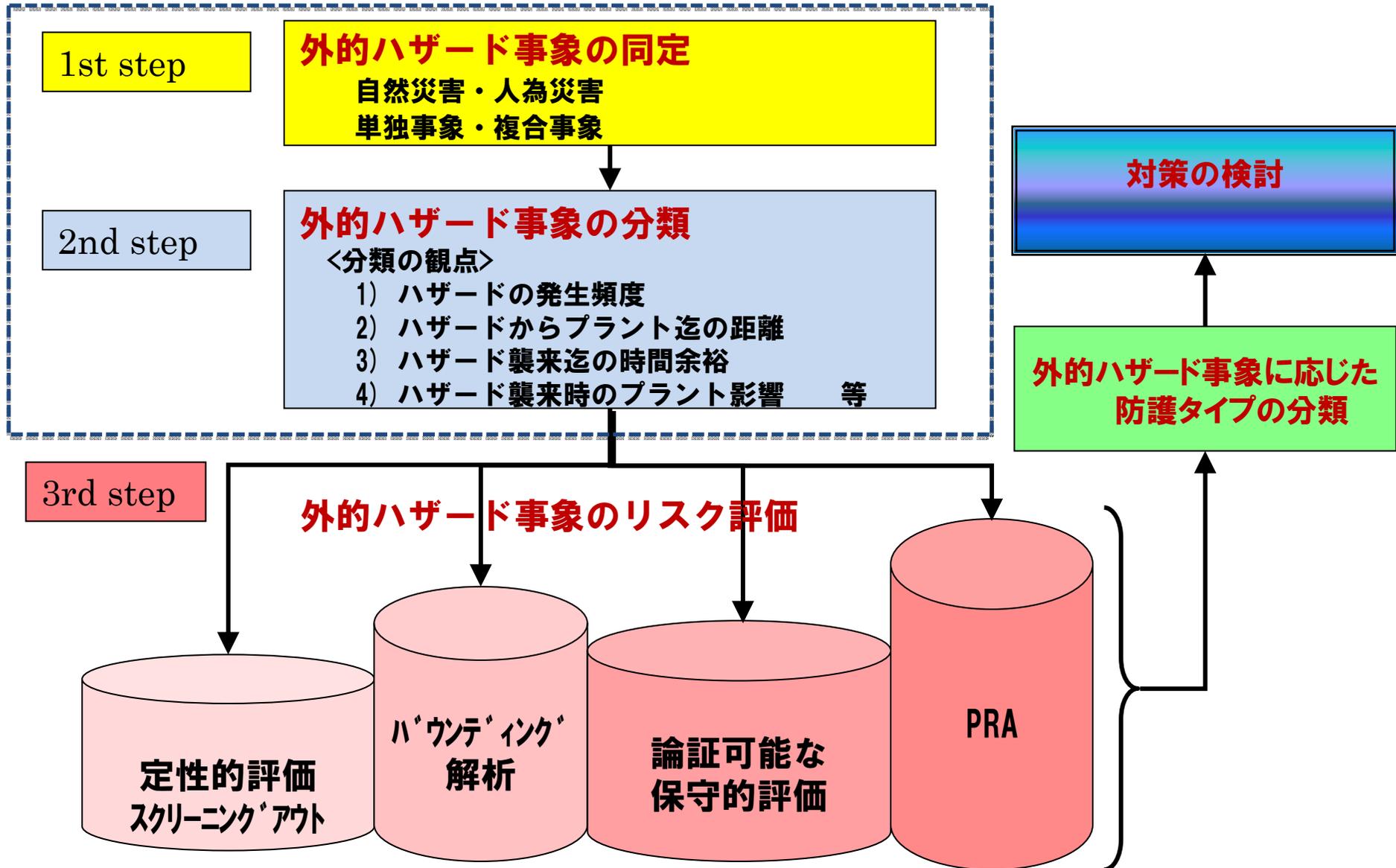
発表内容

1. 既存評価方法の調査・整理
2. 国内に適用できる定性的評価方法の検討
3. 定性的評価方法の適用検討
4. 課題・今後の展開

検討の背景

- 平成23年3月11日に発生した東北大震災の影響による福島事故は、地震並びに津波に起因するリスク評価の重要性があらさまとなった。
- これらの外的ハザードの定量的評価実施にも大きな検討課題はあるが、同時に、従来から有意なリスクがあると想定していなかったその他の外的ハザード事象に対しても、定性的評価を含めてその評価を実施して、リスク影響の有無を判断していくことが必要である。
- この外的ハザード事象に対する評価・判断は、今後の外的事象PRA実施基準の策定に対して、その優先順位付け等の有用な情報を与えることが期待される。

外的ハザード事象評価の全体構想



検討内容

- (1) 外的ハザードによる潜在的危険性を特定し、リスク影響の大きい有意な外的ハザードを網羅的且つ合理的に抽出する外的ハザード事象の評価方法につき、既存評価方法の調査・整理を実施する。
- (2) 外的ハザード事象の評価方法のうち、以下の定性的評価方法に関して、国内で適用可能な方法を検討する。
 - 外的ハザード事象の同定
 - 外的ハザード事象の分類
- (3) 国内プラントを対象とした外的ハザード事象の定性的評価方法の試評価を実施して適用性をみる。

1. 既存評価方法の調査・整理

外的ハザード評価に関する既存評価方法（1/3）

＜米国IPEEEにおけるハザード評価＞

ハザードグループ	外的事象	評価手法
内部ハザード	内部火災	<ul style="list-style-type: none"> 火災PRA手法 (NUREG/CR-2300、NUREG/CR-2815、NUREG/CR-4840、NUREG/CR-5259)
		<ul style="list-style-type: none"> FIVE手法 (EPRI)
外部ハザード	地震	<ul style="list-style-type: none"> 地震PRA手法 (NUREG/CR-2300、NUREG/CR-2815、NUREG/CR-4840)
		<ul style="list-style-type: none"> 耐震裕度評価手法 (NRC手法/EPRI手法)
	強風及び竜巻 外部洪水 輸送及び周辺施設での事故	<ul style="list-style-type: none"> 下記の段階的スクリーニングを実施して、重要な事象かどうかを判断する。 <ol style="list-style-type: none"> 標準審査指針 (SPR) の評価基準に適合すれば、スクリーンアウト ハザード発生頻度と条件付炉心損傷確率の組合せによる評価が、下記を満たせばスクリーンアウト <ul style="list-style-type: none"> ハザード発生頻度 $< 10^{-5}$ / 炉年 条件付炉心損傷確率 $< 10^{-1}$ / 炉年 ハザード発生頻度と条件付炉心損傷確率の組合せ $< 10^{-6}$ / 炉年 保守的なバウンディング解析による評価が、下記を満たせばスクリーンアウト <ul style="list-style-type: none"> ハザードが炉心損傷を引き起こさない 炉心損傷頻度 $< 10^{-6}$ / 炉年 スクリーンアウトされない事象についてはPRAを実施 (NUREG/CR-2300、NUREG/CR-2815、NUREG/CR-5259)
	雷	<ul style="list-style-type: none"> 雷が外部電源喪失やスクラムに止まらないプラントサイトのみ、雷による影響を検討
	火山活動	<ul style="list-style-type: none"> 活火山の近傍に位置するサイトのみ (NUREG/CR-5024 Suppl. 2)

外的ハザード評価に関する既存評価方法（2/3）

＜ASME/ANS PRA Standardにおけるハザード評価＞

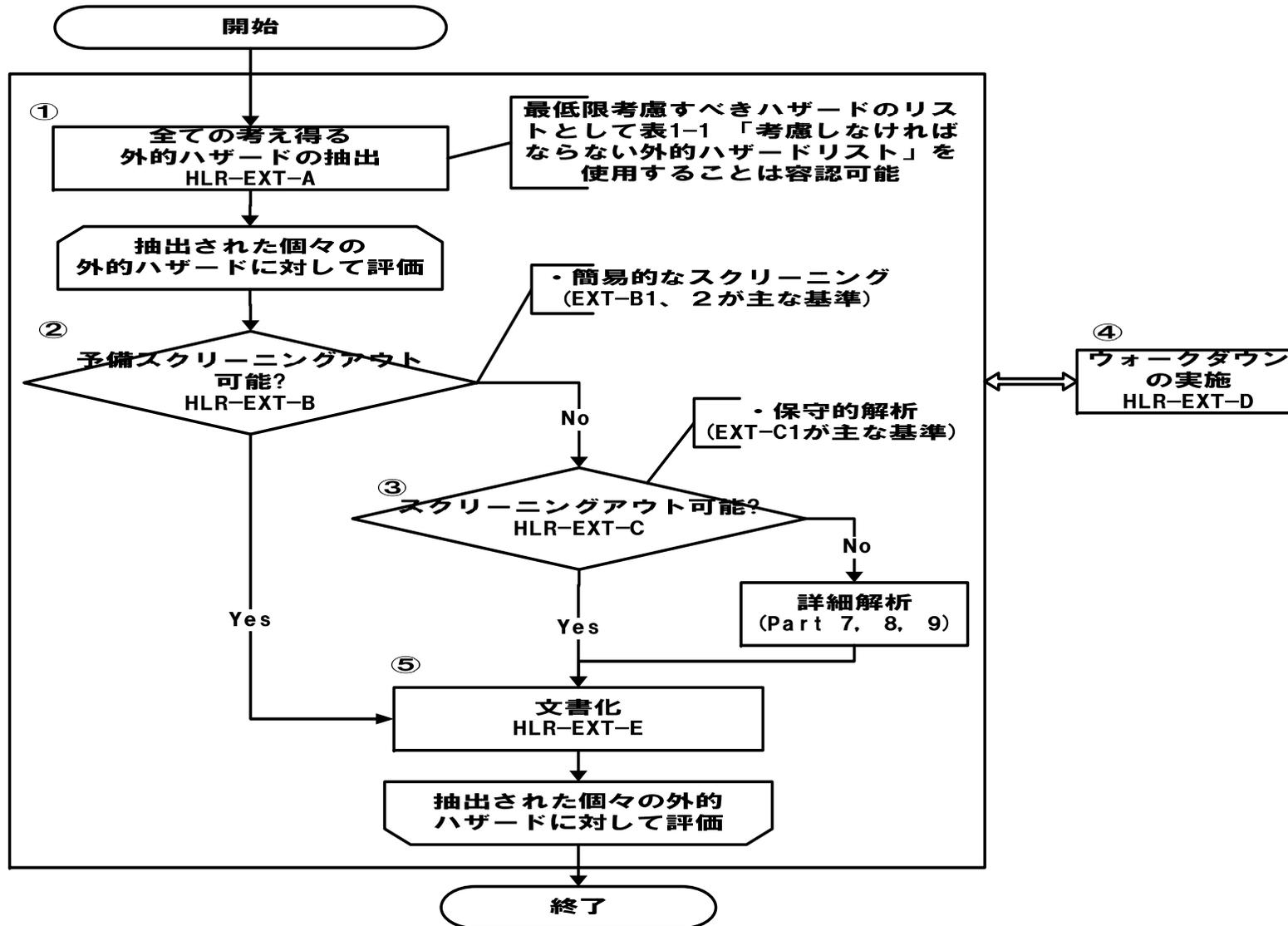
ハザードグループ	外的事象	評価手法	
内部ハザード	内部溢水	<ul style="list-style-type: none"> ・ 下記の手順で実施（内部溢水PRAのための特別な評価手法なし） ①プラントの分割、②溢水源の特定と特徴付け、③シナリオの設定、④内部溢水誘発起因事象、⑤事故シーケンス及び定量化 	
	内部火災	<ul style="list-style-type: none"> ・ 火災PRA手法（EPRI/NRCのNUREG/CR-6850） 	
		<ul style="list-style-type: none"> ・ 火災PRA手法（EPRI） 	
		<ul style="list-style-type: none"> ・ FIVE手法（EPRI） ・ 火災防護に係る重要度決定プロセス手法（NRCのFPSDP） 	
外部ハザード	地震	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地震PRA手法（NUREG/CR-2300、NUREG/CR-2815、NUREG/CR-4840、EPRI TR-103959他） 	
	その他の外部ハザード共通	<ul style="list-style-type: none"> ・ スクリーニング及び保守解析 ①定性的な予備スクリーニング ②保守的なバウンディング解析（IPEEEの段階的スクリーニングと同様の手法） ・ スクリーニングアウトされない事象は下記の手法により解析 	
		強風	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地震PRAと類似の手法を適用（NUREG/CR-2300、NUREG/CR-2815、NUREG/CR-4458他） ①強風ハザード解析、②強風フラジリティ解析、③強風プラント応答解析
		外部洪水	<ul style="list-style-type: none"> ・ その他の事象のPRAと同様の手法（NUREG/CR-2300、NUREG/CR-2815、NUREG/CR-5477他） ①外部洪水ハザード解析、②外部洪水フラジリティ解析、③外部洪水プラント応答解析
		その他の事象	<ul style="list-style-type: none"> ・ 下記の3手法を適用したPRA解析（NUREG/CR-2300、NUREG/CR-2815他） ①外部ハザード解析、②外部ハザードフラジリティ解析、③外部ハザードプラント応答解析
		航空機落下	<ul style="list-style-type: none"> ・ 上記のPRA手法
<ul style="list-style-type: none"> ・ DOEのPRA標準（ハザード施設への航空機の衝突についての解析） 			

外的ハザード評価に関する既存評価方法（3/3）

＜IAEAのレベル1 PSA実施ガイダンスにおけるハザード評価＞

ハザードグループ	外的事象	評価手法
ハザード共通		<ul style="list-style-type: none"> ハザードのスクリーニング <ol style="list-style-type: none"> ①スクリーニング基準の設定（定性的、定量的）、②定性的スクリーニング ③定量的スクリーニング（発生頻度、重要なパラメータ） 下記のハザードはスクリーンアウトしない <ul style="list-style-type: none"> 内部ハザード：すべてのハザード 外部ハザード：地震ハザード、強風ハザード、人為ハザード スクリーニングアウトされない事象は、下記の手法により解析
内部ハザード	内部ハザード共通	<ul style="list-style-type: none"> 下記の定量的評価 <ol style="list-style-type: none"> ①バウンディング評価によるスクリーニング ②スクリーンアウトされないハザードの詳細解析 バウンディング評価及び詳細解析は、一貫した下記の手順で実施（内部ハザードPRAのための特別な評価手法なし） <ol style="list-style-type: none"> ①プラント情報の収集、②ハザード解析、 ③内的事象のレベル1PRAと内部ハザードのレベル1PRAとの統合、 ④定量的／定性的解析、⑤内部ハザードのCDFへの寄与の定量化
	内部火災	<ul style="list-style-type: none"> 下記の手順で実施（内部火災PRAのための特別な評価手法なし） <ol style="list-style-type: none"> ①データ収集、②火災区画の解析、③火災PRA機器の選定、④影響によるスクリーニング、 ⑤CDFへの寄与によるスクリーニング、⑥火災の詳細解析、⑦内部火災リスクの定量化
	内部溢水	<ul style="list-style-type: none"> 下記の手順で実施（内部溢水PRAのための特別な評価手法なし） <ol style="list-style-type: none"> ①データ収集及び内部溢水の可能性評価、②溢水シナリオの特定、 ③影響によるスクリーニング、④CDFへの寄与によるスクリーニング、 ⑤溢水の詳細解析、⑥内部溢水によるリスクの定量化
外部ハザード共通	地震・強風・外部洪水 その他の自然ハザード 人為ハザード	<ul style="list-style-type: none"> 下記の手順で実施（外部ハザードPRAのための特別な評価手法なし） <ol style="list-style-type: none"> ①外部ハザードのバウンディング解析、②外部ハザードのパラメータ化、 ③外部ハザードの詳細解析、④外部ハザードの頻度評価、 ⑤構造物及び機器のフラジリティ解析、⑥外部ハザードのレベル1PRAへの統合

ASME/ANS標準の外的ハザード評価 (1/2)



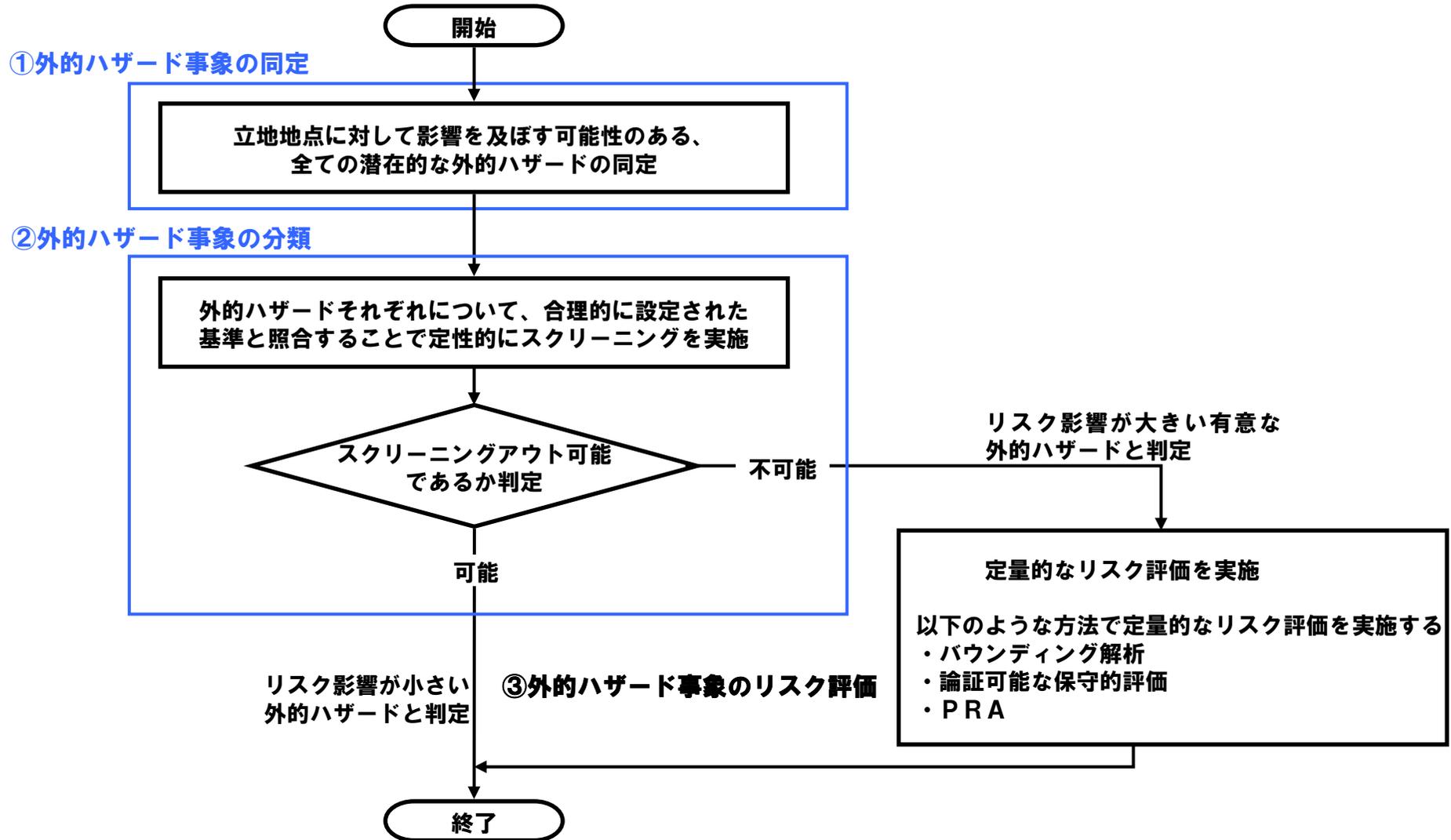
ASME/ANS標準の外的ハザード評価 (2/2)

<High Level Requirements>

- ①立地地点に対して影響を及ぼす可能性のある、全ての潜在的な外的ハザード(すべての自然及び人為的ハザード)を同定しなければならない。
【HLR-EXT-A】
- ②予備スクリーニングを行う場合には、定義されたスクリーニング基準のセットを使って実施されなければならない。
【HLR-EXT-B】
- ③スクリーニングのために、バウンディング解析、又は保守的であると論証可能な解析を実施する場合には、定義された定量的なスクリーニング基準を使って実施されなければならない。
【HLR-EXT-C】
- ④外的ハザードのスクリーニングアウトの根拠は、プラント及びその周辺のウォークダウンを通じて、裏付けなければならない。
【HLR-EXT-D】
- ⑤外的ハザードのスクリーニングアウトに関する文書化は、適用すべきサポート要求と矛盾があってはならない。
【HLR-EXT-E】

2. 国内に適用できる定性的評価方法の検討

外的ハザードの分類の評価フロー



①外的ハザード事象の同定

- 潜在的な外的ハザード事象を、可能な限り網羅的に同定する事が必要。

→国内において利用可能な潜在的な外的ハザードリスト

✓自然災害

✓人為災害

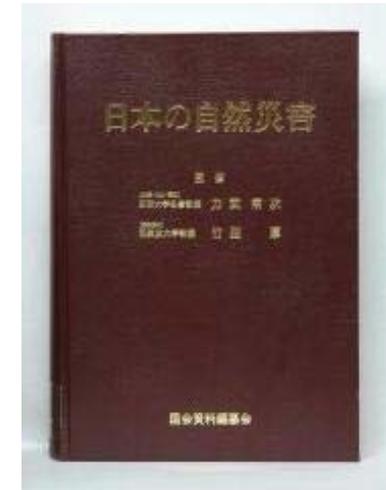
- 以下の国内外文献に記載のある自然災害を調査・整理し、外的ハザードリストを作成した。

✓日本の自然災害（国会史料編纂会）

西暦416年～1995年迄に発生した主要な自然災害が、2次災害を含めてまとめられている。

✓ASME/ANS標準、IAEA NS-R-3

考慮すべき潜在的な外的ハザード（自然災害・人為災害）が、示されている。



潜在的な外的ハザード事象リスト

外的ハザードの種類		外的ハザード
自然災害	地震・津波災害	・地震動 ・地盤沈下 ・地盤隆起 ・地割れ ・泥湧出 ・液状化現象 ・地滑り ・土石流 ・山崩れ ・崖崩れ ・洪水 ・津波 ・火災
	火山災害	・火山弾 ・火山礫 ・火砕流 ・溶岩流 ・土石流 ・火砕サージ ・爆風 ・降灰 ・洪水 ・津波 ・山林火災 ・火山ガス滞留 ・火山ガスによる冷害 ・熱湯 ・地震 ・山体崩壊(崩落)
	気象災害	・暴風(風) ・暴風による火災 ・暴風による雪崩 ・ <u>暴風による砂嵐</u> ・風浪/高波 ・海水位の異常な上昇 ・豪雨(浸水) ・豪雨による洪水 ・豪雨による土石流 ・豪雨による鉄砲水 ・豪雨による山崩れ ・豪雨による地滑り ・豪雨による崖崩れ ・高潮 ・ <u>静振</u> ・ <u>風津波</u> ・ <u>霧</u> ・豪雪による荷重 ・豪雪による雪崩 ・吹雪 ・豪雪による洪水 ・融雪による山崩れ ・融雪による地滑り ・落雷(電流) ・落雷による火災 ・降雹 ・霜 ・竜巻 ・ <u>海水による川の閉塞</u> ・ <u>湖もしくは川の水位下降</u> ・干魃 ・高温 ・低温(氷結) ・海流異変(原因は黒潮)
	その他の災害	・ <u>森林火災</u> ・ <u>海岸浸食</u> ・ <u>生物学的事象</u> ・ <u>隕石</u> ・ <u>満潮</u> ・ <u>毒性ガス</u> ・ <u>河川の流路変更</u>
人為災害	・ <u>航空機落下</u> ・ <u>人工衛星</u> ・ <u>輸送事故</u> ・ <u>船舶の衝突</u> ・ <u>タービンミサイル</u> ・ <u>産業又は軍事施設事故</u> ・ <u>パイプライン事故</u> ・ <u>ボーリング工事の影響によるガス異常噴出</u> ・ <u>油流出</u> ・ <u>サイト内の貯蔵庫からの化学物質放出</u> ・ <u>治水構造物の破損による洪水及び波</u>	

下線は、ASME/ANS標準、IAEA NS-R-3で示されており、リストアップしたハザード

②外的ハザード事象の分類

- ①の外的ハザード事象それぞれについて、下記基準による評価（○×）を実施する。不確かさが大きい判断となる場合には△と評価する。

【基準1】 当該のハザードは既存のPRAにおいて評価される事象か

【基準2】 既存評価（設置許可申請等）結果を利用して、プラントの安全性が損なわれることがないことが確認できるか

【基準3】 発生頻度が極めて小さいことが明確か

【基準4】 当該のハザードの影響が及ぶ範囲内に、プラントが存在しないことが確認できるか

【基準5】 当該のハザードが進展していくタイムスケールが、プラントの寿命に比べて十分長いか

【基準6】 ハザードが到達したと想定しても、炉心損傷につながる起因事象を引き起こさないことが明らかか



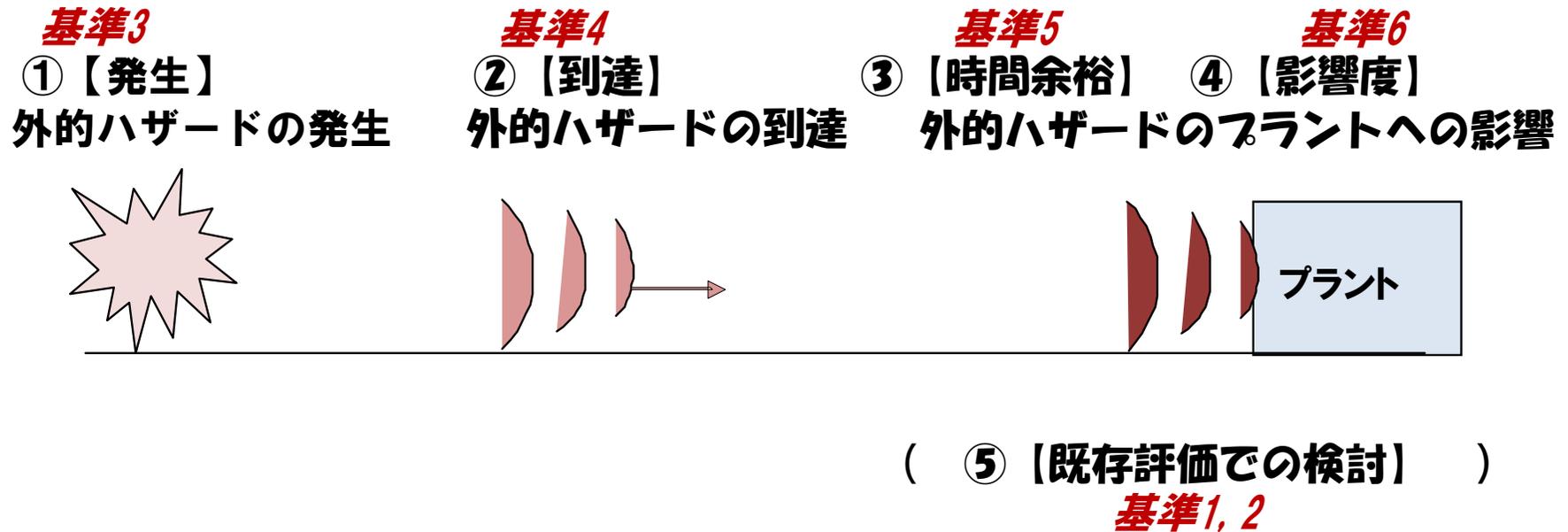
- 基準との照合状況に基づき、外的ハザード事象を分類する。

A： 基準2～6のいずれかが○ → 定量的リスク評価不要

B： 基準2～6には○はないがいずれかが△ → 不確かさを確認の上で判断を行う

C： 基準いずれにおいても× → 定量的リスク評価要

外的ハザード事象の分類の観点



3. 定性的評価方法の適用検討 (外的ハザード事象の同定・分類)

外的ハザード事象の同定・分類の試評価（1/3）

外的ハザードの種類	外的ハザード	【基準1】 当該の事象は既存のPRAにおいて評価される事象か	【基準2】 既存評価(設置許可等)結果を利用して、プラントの安全性が損なわれることがないことが確認できるか	【基準3】 発生頻度が極めて小さいことが明確か	【基準4】 当該のハザードの影響が及ぶ範囲内に、プラントが存在しないことが確認できるか	【基準5】 ハザードが進展していくタイムスケールが、プラントの寿命に比べて十分長いか	【基準6】 ハザードが到達したと想定しても、炉心損傷につながる起因事象を引き起こさないことが明らかか	外的ハザード事象の分類結果 (定量的リスク評価の実施要否) A: 定量的リスク評価不要: 基準2~6のいずれかが○ B: 不確実さ確認の上で判断を行う: 基準2~6に○はないがいずれかが△ C: 定量的リスク評価要: いずれも×	
自然災害	地震・津波災害	地震動	○(地震PRA)	△	×	×	×	×	B (ただし、基準4の不確実さが大きいので、定量的リスク評価が必要) → 地震PRA
		地盤沈下	×	×	×	×	×	×	C
		地盤隆起	×	×	×	×	×	×	C
		地割れ	×	×	×	×	×	×	C
		泥湧出	×	×	×	×	×	×	C
		液状化現象	×	×	×	×	×	×	C
		地滑り	×	△	×	×	×	×	B
		土石流	×	×	×	×	×	×	C
		山崩れ	×	×	×	×	×	×	C
		崖崩れ	×	×	×	×	×	×	C
	洪水	×	△	×	×	×	×	B	
	津波	○(津波PRA)	△	×	×	×	×	B (ただし、基準4の不確実さが大きいので、定量的リスク評価が必要) → 津波PRA	
	火災	×	×	×	×	×	×	C	
	火山災害	火山弾(大きな噴石)	×	×	×	△(活火山からの距離次第)	×	×	B
		火山礫(小さな噴石)	×	×	×	△(活火山からの距離次第)	×	×	B
		火砕流	×	×	×	△(活火山からの距離次第)	×	×	B
		溶岩流	×	×	×	△(活火山からの距離次第)	×	×	B
		土石流	×	×	×	△(活火山からの距離次第)	×	×	B
		火砕サージ	×	×	×	△(活火山からの距離次第)	×	×	B
爆風		×	×	×	△(活火山からの距離次第)	×	×	B	
降灰		×	×	×	×	×	×	C (広範囲に影響が及ぶ可能性がある)	
洪水		×	△	×	△(活火山からの距離次第)	×	×	B	
津波		×	△	×	△(活火山からの距離次第)	×	×	B	
火災(山林火災)	×	×	×	△(活火山からの距離次第)	×	×	B		
火山ガス滞留	×	×	×	△(活火山からの距離次第)	×	○	A		
火山ガスによる冷害	×	×	×	△(活火山からの距離次第)	×	×	B		
熱湯	×	×	×	△(活火山からの距離次第)	×	×	B		
地震	×	△	×	△(活火山からの距離次第)	×	×	B		
山体崩壊(崩落)	×	×	×	△(活火山からの距離次第)	×	×	B		

外的ハザード事象の同定・分類の試評価（2/3）

外的ハザードの種類	外的ハザード	【基準1】 当該の事象は既存のPRAにおいて評価される事象か	【基準2】 既存評価（設置許可等）結果を利用して、プラントの安全性が損なわれることがないことが確認できるか	【基準3】 発生頻度が極めて小さいことが明確か	【基準4】 当該のハザードの影響が及ぶ範囲内、プラントが存在しないことが確認できるか	【基準5】 ハザードが進展していくタイムスケールが、プラントの寿命に比べて十分長いか	【基準6】 ハザードが到達したと想定しても、炉心損傷につながる起因事象を引き起こさないことが明らかか	外的ハザード事象の分類結果 (定量的リスク評価の実施要否) A: 定量的リスク評価不要・基準2~6のいずれかが○ B: 不確実な確認の上で判断を行う・基準2~6に○はないがいずれかが△ C: 定量的リスク評価要・いずれも×		
自然災害	気象災害	暴風(風)	×	△	×	×	×	×	B (ただし、基準4の不確実さが大きいいため、定量的リスク評価が必要) → 地震PRA	
		暴風による火災	×	△	×	×	×	×	B	
		暴風による雪崩	×	×	×	×	×	×	C	
		暴風による砂嵐	×	×	×	○	×	×	A	
		風浪・高波	(○)(影響は津波に包含される)	×	×	×	×	×	C (ただし、津波PRAに包含)	
		海水位の異常な上昇	(○)(影響は津波に包含される)	×	×	×	×	△	C (ただし、津波PRAに包含)	
		豪雨(浸水)	(○)(影響は津波に包含される)	×	×	×	×	×	C (ただし、津波PRAに包含)	
		豪雨による洪水	×	△	×	×	×	×	B	
		豪雨による土石流	×	×	×	×	×	×	C	
		豪雨による鉄砲水	×	×	×	×	×	×	C	
		豪雨による山崩れ	×	×	×	×	×	×	C	
		豪雨による地滑り	×	△	×	×	×	×	B (ただし、基準4の不確実さが大きいいため、定量的リスク評価が必要) → 津波PRA	
		豪雨による崖崩れ	×	×	×	×	×	×	C	
		高潮	(○)(影響は津波に包含される)	△	×	×	×	×	B	
		静振	(○)(影響は津波に包含される)	×	×	×	○(プラント周辺に湖・ダムが無い場合)	×	×	A
		風津波	(○)(影響は津波に包含される)	×	×	×	×	×	×	C (ただし、津波PRAに包含)
		霧	×	×	×	×	×	○	×	A
		豪雪による荷重	×	△	×	×	×	×	×	B
		豪雪による雪崩	×	×	×	×	×	×	×	C
		吹雪	×	×	×	×	×	○	×	A
		豪雪による洪水	(○)(影響は津波に包含される)	△	×	×	×	×	×	B
		融雪による山崩れ	×	×	×	×	×	×	×	C
		融雪による地滑り	×	△	×	×	×	×	×	B
		落雷(電流)	○(外部電源喪失起因事象で考慮)	△	×	×	×	×	×	B
		落雷による火災	×	△	×	×	×	×	×	B
		降雹	×	×	×	×	×	×	○	A
		霜	×	×	×	×	×	×	○	A
		電巻	×	×	×	×	×	×	×	C
		海水による川の閉塞	(○)(影響は津波に包含される)	×	×	×	○(プラント周辺に河川が無い場合)	×	×	A
		湖若しくは川の水位下降	×	×	×	×	○(プラント周辺に河川が無い場合)	×	×	A
早魃	×	×	×	×	×	○	○	A		
夏の高温	×	×	×	×	×	×	○	A		
氷結(低温)	×	△	×	×	×	×	○	A		
海流異常(原因は黒潮)	×	×	×	×	×	×	○	A		

外的ハザード事象の同定・分類の試評価（3/3）

外的ハザードの種類		外的ハザード	【基準1】 当該事象は既存のPRAにおいて評価される事象か	【基準2】 既存評価(設置許可等)結果を利用して、プラントの安全性が損なわれることがないことが確認できるか	【基準3】 発生頻度が極めて小さいことが明確か	【基準4】 当該ハザードの影響が及ぶ範囲内に、プラントが存在しないことが確認できるか	【基準5】 ハザードが進展していくタイムスケールが、プラントの寿命に比べて十分長いか	【基準6】 ハザードが到達したと想定しても、炉心損傷につながる起因事象を引き起こさないことが明らかか	外的ハザード事象の分類結果 (定量的リスク評価の実施要否) A: 定量的リスク評価不要: 基準2~6のいずれかが○ B: 不確かさ確認の上で判断を行う: 基準2~6に○はないがいずれかが△ C: 定量的リスク評価要: いずれも×	
自然災害	その他の災害	森林火災	×	×	×	×	×	×	B (ただし、基準4の不確かさが大きいいため、定量的リスク評価が必要) → 地震PRA	
		海岸浸食	(○)(影響は津波に包含される)	×	×	×	×	○	×	A
		生物学的事象	×	×	×	×	×	○	×	A
		隕石	×	×	×	△	×	×	×	B
		満潮	(○)(影響は津波に包含される)	×	×	×	×	×	○	A
		毒性ガス	×	×	×	×	×	×	○	A
		河川の流路変更	×	×	×	×	○(プラント周辺に河川が無い場合)	○	×	A
人為災害	航空機落下	×	△	×	×	×	×	×	B	
	人工衛星	×	×	△	×	×	×	×	B	
	輸送事故	×	×	×	×	×	×	×	C	
	船舶の衝突	×	×	×	×	×	×	×	C	
	タービンミサイル	×	○	×	×	×	×	×	B (ただし、基準4の不確かさが大きいいため、定量的リスク評価が必要) → 津波PRA	
	産業又は軍事施設事故	×	×	×	×	○(10km圏内に当該施設が無い場合)	×	×	A	
	パイプライン事故	×	×	×	×	○(10km圏内に当該施設が無い場合)	×	×	A	
	ホーリング工事の影響によるガス異常噴出	×	×	×	×	○(10km圏内に当該施設が無い場合)	×	×	A	
	油流出	×	×	×	×	×	×	×	C	
	サイト内の貯蔵庫からの化学物質放出	×	×	×	×	×	×	×	C	
治水構造物の破損による洪水及び波	(○)(影響は津波に包含される)	×	×	○	○(周辺に治水構造物が無い場合)	×	×	A		

4. 課題・今後の展開

外的ハザード事象のリスク影響把握の体系的な評価方法に関し、定性的評価方法（外的ハザード事象の同定・分類）につき国内で適用可能な評価方法の検討を実施した。



- **定性的評価方法の精緻化・確立**
 - ✓ 外的ハザード事象の同定：随伴事象の扱いを含めた同定事象の体系的整理が必要
→ハザードリストの更新
 - ✓ 外的ハザード事象の分類：ハザード分類における基準の具体的判断基準の構築が必要
→定性的評価におけるスクリーニングアウト事象を増やせるように
- **定量的評価方法の調査・検討**
 - ✓ バウンディング解析
 - ✓ 論証可能な保守的評価
- **評価方法の標準化**
 - ✓ 事象分類において、国内全体評価ができるもの、個別プラント評価をすべきものを検討
 - ✓ 原子力学会実施基準の作成も検討
- **評価の実施、安全確保活動への活用**
 - ✓ 原子力学会での外的事象PRA実施基準策定の必要性・優先順位付け
 - ✓ プラント総合安全評価
 - ✓ 外的事象に対するプラント防護対策の検討