

標準委員会セッション

地震安全に関わるより高度な意思決定実践の ための地震PRA標準の利活用について (4) 地震PRA標準の利活用に向けた活動について

平塚 大悟

九州電力株式会社

リスク専門部会 外的事象PRA分科会 地震PRA作業会

原子力学会2025年秋の大会
2025年9月12日 北九州国際会議場・AIM

目次

1. 概要

2. 標準活用WGの活動について

2-1. 国内原子力発電所における活用事例の調査

2-2. 国内外の文献調査・分析

2-3. 技術レポート作成におけるアンケート調査

3. まとめ

1. 概要

- 標準委員会 リスク専門部会 外的事象PRA分科会
地震PRA作業会では、日本国内における原子力業界の様々な活動に地震PRAを用いたリスク情報が効果的に活用されることを目指し、地震PRA標準活用WG(標準活用WG)を立上げ、リスク情報を活用するための実践的なアプローチを提供する技術レポート発行に向けた検討を進めている。
- 利活用の促進には、事業者、メーカー、規制機関など、地震PRAに係わる関係者の考え方や課題の把握、利活用に関する期待、課題解決に向けた検討が重要である。このため、技術レポート作成に向けたアンケート調査を実施するなど、関係者のニーズに適った標準の在り方を目指し鋭意取り組んでいる。

2. 標準活用WGの活動について (1/2)

- 標準活用WGでは、地震PRAのリスク情報を効果的に活用するための実践的なアプローチ、活用方法を提供することを目的とした技術レポート発行に向けて活動を進めている。
- 技術レポートは、国内原子力発電所における地震PRAに係わるリスク情報活用事例及び国内外の文献調査・分析結果を事例集として取りまとめ、地震PRAを活用したリスク情報の実践的な活用に向けた方法論を提示するものである。

技術レポート作成に向けた標準活用WGの活動について、現在の活動状況について紹介する。

- 2-1. 国内原子力発電所における活用事例の調査
- 2-2. 国内外の文献調査・分析
- 2-3. 技術レポート作成におけるアンケート調査

2. 標準活用WGの活動について (2/2)

技術レポート作成に係るスケジュール

	2025年度									2026年度												
	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
主要工程									中間報告 ▼					本報告 ▼			制定 ▼				発行 ▼	
国内原子力発電所における活用事例の調査																						
国内外の文献調査・分析																						
技術レポート案、骨子作成																						
転載許諾手続き、誤記確認																						
技術レポートの報告、レビュー																						
審議、発行																						

2-1. 国内原子力発電所における 活用事例の調査（1/3）

- 国内原子力発電所における事業者等への調査を通じた、実務者視点の地震PRAの活用事例の収集及び体系的な整理を行う
 - 地震PRAの結果の示し方
 - 地震PRAを活用した設備の改造工事、運用・操作手順の改善
 - 地震PRAを活用した運転員及び緊急時対応要員への教育・訓練の改善
 - 地震PRAの評価プロセス（ハザード、フラジリティ、事故シーケンス）から得られるリスク情報の活用方法

2-1. 国内原子力発電所における活用事例の調査 (2/3)

(地震PRAの結果の示し方)

メタルクラッド開閉装置保護継電器のデジタル化

- ✓ 地震PRAから特定したリスクプロファイルを活用し、リスクを効果的に低減できる追加措置を抽出。
- ✓ その結果、メタルクラッド開閉装置が地震損傷することで炉心損傷、格納容器破損に至るリスクが大きいと分析。また、既設メタルクラッド開閉装置の fragility において保護継電器がアナログ式であり、機械的機構の耐震信頼性が小さいことが原因と判断。
- ✓ 当該保護継電器をデジタル化することにより、機械的な可動部がなくなり耐震信頼性が向上し fragility が改善され、リスクを低減（CDF（ $1.7\text{E}-06 \rightarrow 8.5\text{E}-07^*$ ）、CFF（ $1.5\text{E}-06 \rightarrow 6.3\text{E}-07^*$ ））。

* 川内1号機第2回安全性向上評価届出時の評価結果

	損傷モード	評価部位	fragility 加速度中央値 (G)	β_R	β_U	HCLPF (G)	損傷部位
デジタル化前	構造損傷	基礎溶接部	9.56	0.19	0.21	5.01	
	機能損傷	保護継電器 (アナログ)	1.46	0.13	0.23	0.82	○
		遮断機	1.84	0.08	0.15	1.26	



デジタル化後	構造損傷	基礎溶接部	9.56	0.19	0.21	5.01	
	機能損傷	保護継電器 (デジタル)	3.41	0.13	0.23	1.90	
		遮断器	1.84	0.08	0.15	1.26	○



メタルクラッド開閉装置
(デジタル化前)

<https://www.da.nra.go.jp/view/NRA100011770?contents=NRA100011770-002-009#pdf=NRA100011770-002-009>

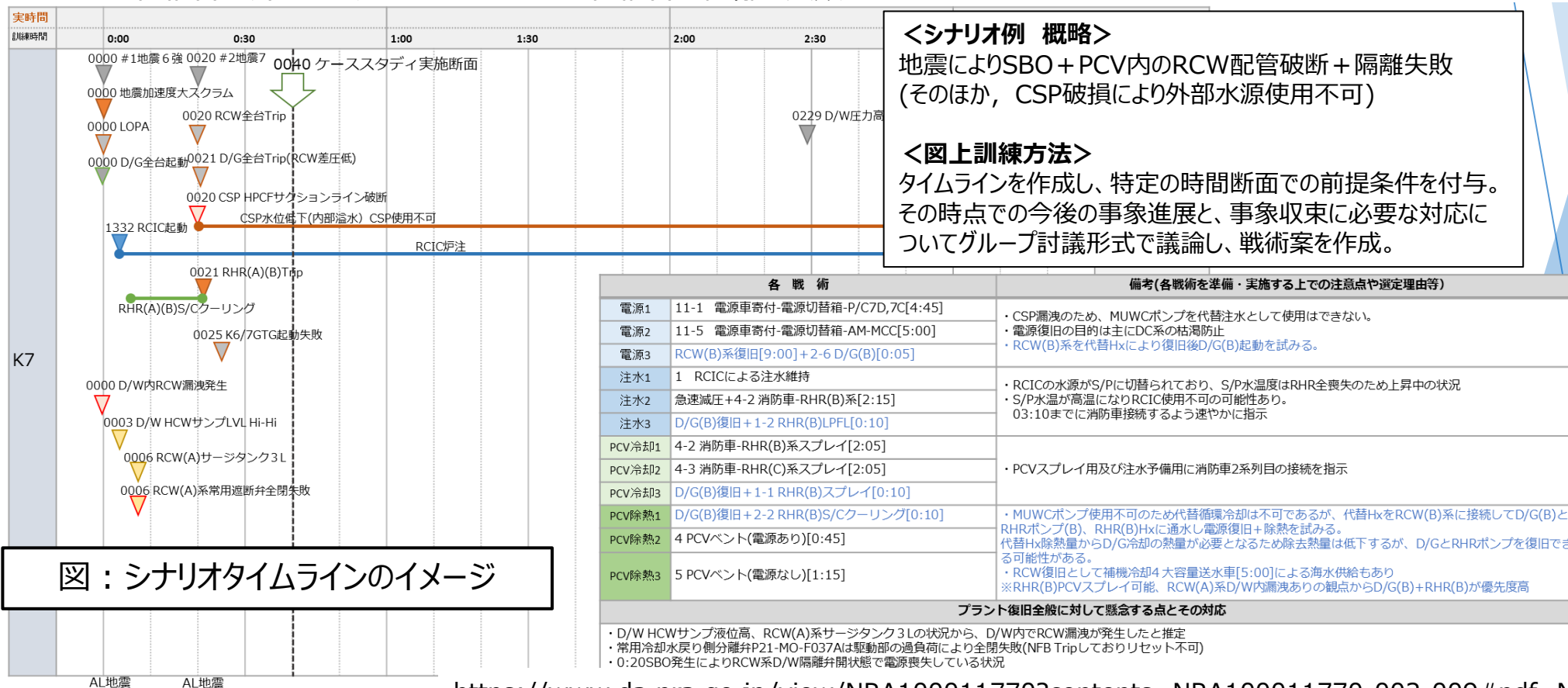
2-1. 国内原子力発電所における活用事例の調査 (3/3)

(地震PRAを活用した運転員及び緊急時対応要員への教育・訓練の改善)

地震PRAを活用した図上訓練の実施

- ✓ 地震PRAから特定したリスクプロファイルを活用し、図上訓練シナリオに活用することを検討。
- ✓ その結果、炉心損傷及び格納容器破損に至るリスクが高く、かつ従前の緊急時訓練においてカバーされていない範囲のシナリオ*を複数抽出。抽出したシナリオについて訓練用タイムラインを作成。
- ✓ グループ討議形式での図上訓練を試行し、事故対応要員の力量を向上。

* : SBO時に格納容器外LOCAが重畳するシナリオ、格納容器隔離に失敗するシナリオなど。



2-2. 国内外の文献調査・分析

- 国内外の地震PRA活用事例に関する学術論文等の文献調査を実施、国内原子力発電所への適用性に関する分析とその結果をとりまとめる。
 - ✓ 米国でのAOT変更など許認可事項変更申請におけるリスクへの影響 ($\Delta CDF/\Delta LERF$) の評価における地震PRAの扱い

2-3. 技術レポート作成におけるアンケート調査（1/8）

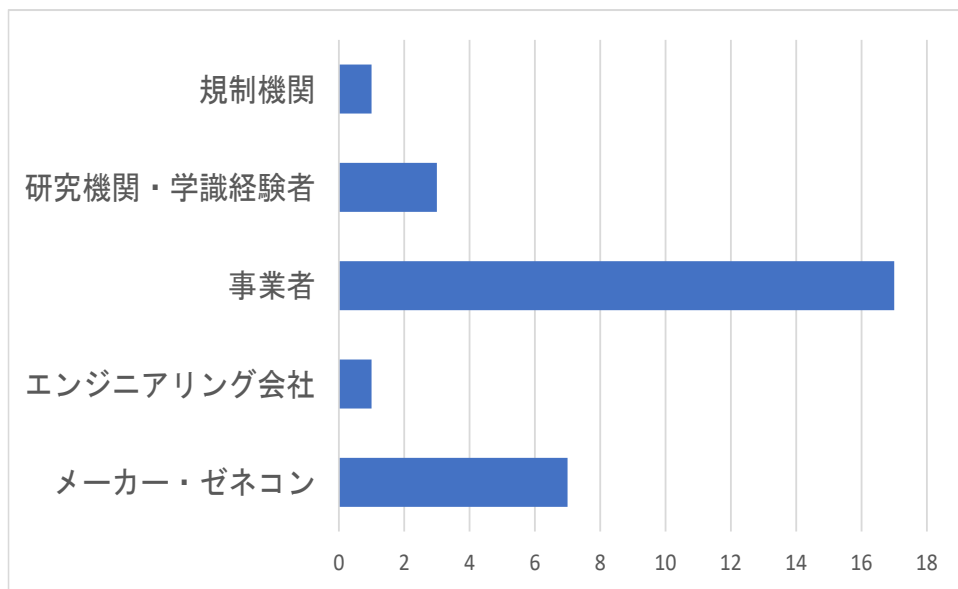
- 技術レポート作成においては、事業者、メーカー、規制機関など様々な立場における、地震PRAのリスク情報活用に関する期待・ニーズと課題・問題意識を把握、課題解決に向けたリソースの有効活用も考慮したうえで検討を進めることが重要と考え、アンケート調査を実施した。
- この調査の結果、様々な視点から利活用に向けた重要な意見を多く抽出することができた。調査の分析結果も踏まえて、今後の技術レポート作成の充実に役立てる。

2-3. 技術レポート作成におけるアンケート調査 (2/8)

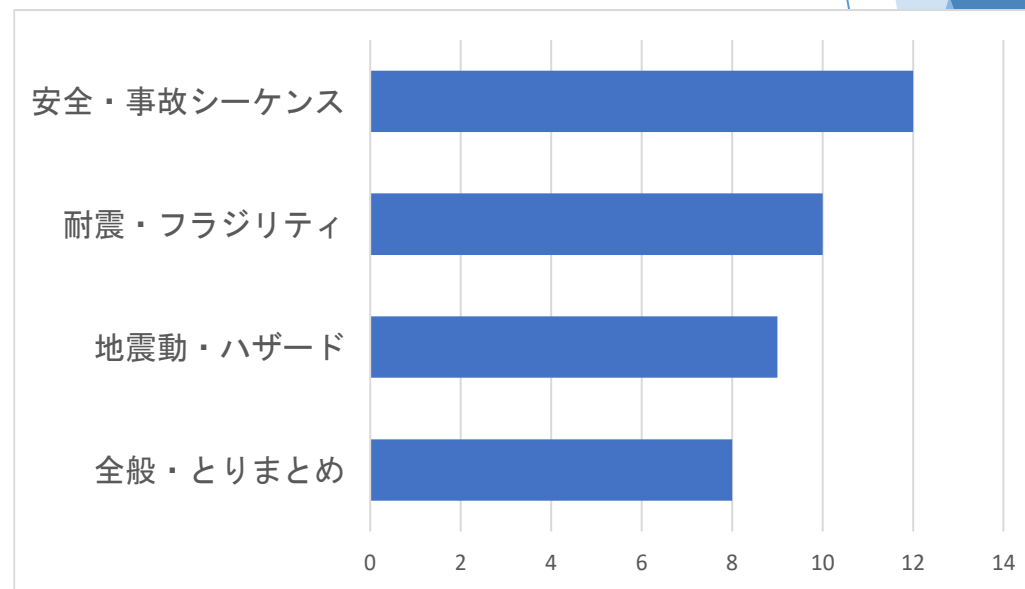
アンケート実施時期：2025年6月

アンケート対象：原子力業界関係者（回答者：約30名）

業種



業務内容（兼務等による重複あり）



2-3. 技術レポート作成におけるアンケート調査（3/8）

【地震PRAから得られるリスク情報を活用した各社の取り組みについて】

内容	具体例（回答から抜粋・要約）	件数
重要事故シーケンスの選定	新規制基準適合性審査	3
設計の経年化に関する評価	安全性向上評価届出	2
運転員及び緊急時対応要員への教育・訓練プログラム策定への活用	—	2
設備の改造工事・運用手順や操作手順の改善（提案）	・メタルクラッド開閉装置のデジタル化工事 ・格納容器隔離信号未発信時の格納容器隔離弁の閉止手順の追加 ・簡易評価によるCDF影響評価を用いた改善提案（設備対応、運用見直し等） ・発電所内変圧器の耐震補強工事の実施判断に活用（検討中）	4
地震時の応答相関を考慮した安全性評価	建屋の3次元地震応答解析結果に基づく機器間の地震応答相関を考慮したフラジリティ評価	1
マルチハザードの考慮	火山噴火による降下火砕物を主荷重とする建屋影響検討において、年超過確率 10^{-2} 相当の地震動を従荷重として組み合わせる。	1

2-3. 技術レポート作成におけるアンケート調査（4/8）

【地震PRAから得られるリスク情報を活用した各社の取り組みについて（検討中）】

内容	具体例・補足説明（回答から抜粋・要約）	件数
地震ハザードの説明性向上	・大加速度の頭打ちを考慮できる確率分布を適用した場合の地震ハザード評価 ・低頻度の地震ハザードの説明性向上	1
OLM実施可否スクリーニング、リスク管理措置の検討	—	2
設備改造（耐震補強含む）／運用変更／作業に伴うリスク評価への活用	・地震PRAのFV重要度および脆弱性改善を仮定した感度解析により、CDF（CFF）低減に効果的な設備の抽出、あわせてリスク低減効果とリソース投入が妥当かの検証を行うことで対策対象設備の選定（試行段階）	3
教育訓練へのリスク情報活用	・地震PRAの結果として得られるカットセットから、ドミナントな組合せおよびシナリオを抽出、これをテーマとした机上訓練を検討。現時点では、事故防止の戦術検討要員を中心に机上訓練のトライアル中。さまざまな要員が参加し、より規模の大きい訓練への展開の可否、課題抽出を行っている。 ・運転員対象の操作訓練、緊要要員対象の教育・訓練へのリスク情報活用。	2
地震PRAモデルの品質確保	・ハザードなど入力条件が変更となった場合に地震PRAモデルをどのように更新（メンテナンス）していくか。 ・現状の評価モデルは、サイズが大きくなっており評価時間が長い傾向があるため、活用の幅を広げるためにも評価の高速化が課題	2
地震起因の複合ハザードPRAの高度化	・地震により引き起こされる津波・火災等との複合ハザードに着目したPRA手法の整備を進めている。課題として、複合ハザードの分類体系・評価フローの標準化、複合ハザードを考慮した脆弱性モデルの構築、時間関係を考慮してモデル構築などがある。	1
FV重要度高の設備に対する脆弱性の改善成果の共有化（事例集化）	—	1

2-3. 技術レポート作成におけるアンケート調査 (5/8)

【リスク情報活用で期待する分野について】

項目	具体的内容（回答から抜粋・要約）
保守作業への活用 （リソースの最適化・保守優先度・OLM）	限られた保守資源（時間・要員・費用）をリスクに見合った形で重点配分することで、保守活動の合理化・効率化
基準地震動策定・基準地震動変更後の対応への活用	- 基準地震動を超過するような地震観測記録が得られた際の確率論の観点からの合理的な説明 - 基準地震動の策定において、決定論と確率論のバランスを検討することで説明性向上 - 地震PRAのリスク情報も活用した評価・規制体系による合理化
設備設計の合理化 耐震補強・追加設備導入に関する判断	- 機器数（主に可搬）の最適化や機器のメンテナンス頻度の最適化 - 本当にそのスペックが必要かコストに見合ったものか判断 - 多数の可搬設備について、リスク重要度を踏まえて合理化を図りたい。運転員・保守要員の負担軽減を期待。 - 建屋・構造物の効果的な補強対象の絞り込み - 年超過確率の地震動等を用いて入力荷重値をアップデートすることでよりリーズナブルな設計が可能 - 耐震重要度分類にリスクの観点を取り入れる／耐震設計と地震PRAを有機的に連携させる - 新設炉の計画について、設計初期の段階から地震PRAの知見を活用、設計手戻り防止や設計の合理化 - リスク情報を活用し、「当該事象の発生頻度が非常に低いことから新たな対策は不要」として説明できると様々な合理化、合理化した分をその他の真に必要な安全対策に回す
大規模地震経験後の点検・確認の合理化	- 点検・耐震評価対象の設備を限定して、再起動までの時間を短縮 - 大規模な地震が起こった時の建屋の点検・確認の合理化
複合ハザードへの対応	- 地震とその他の荷重組合せ - ハザード間の因果関係や施設間の依存関係を考慮したリスク情報が整備されれば、サイト全体のリスク低減方策の検討にも活用可能
プラントの耐力・リスクに関する对外説明	- 定量的な指標として活用、地震要因のリスクがどの程度なのか、見える化 - 対話活動における説明性の向上
原子力以外への活用	道路や鉄道土木構造物の地震時リスク評価に活用

2-3. 技術レポート作成におけるアンケート調査（6/8）

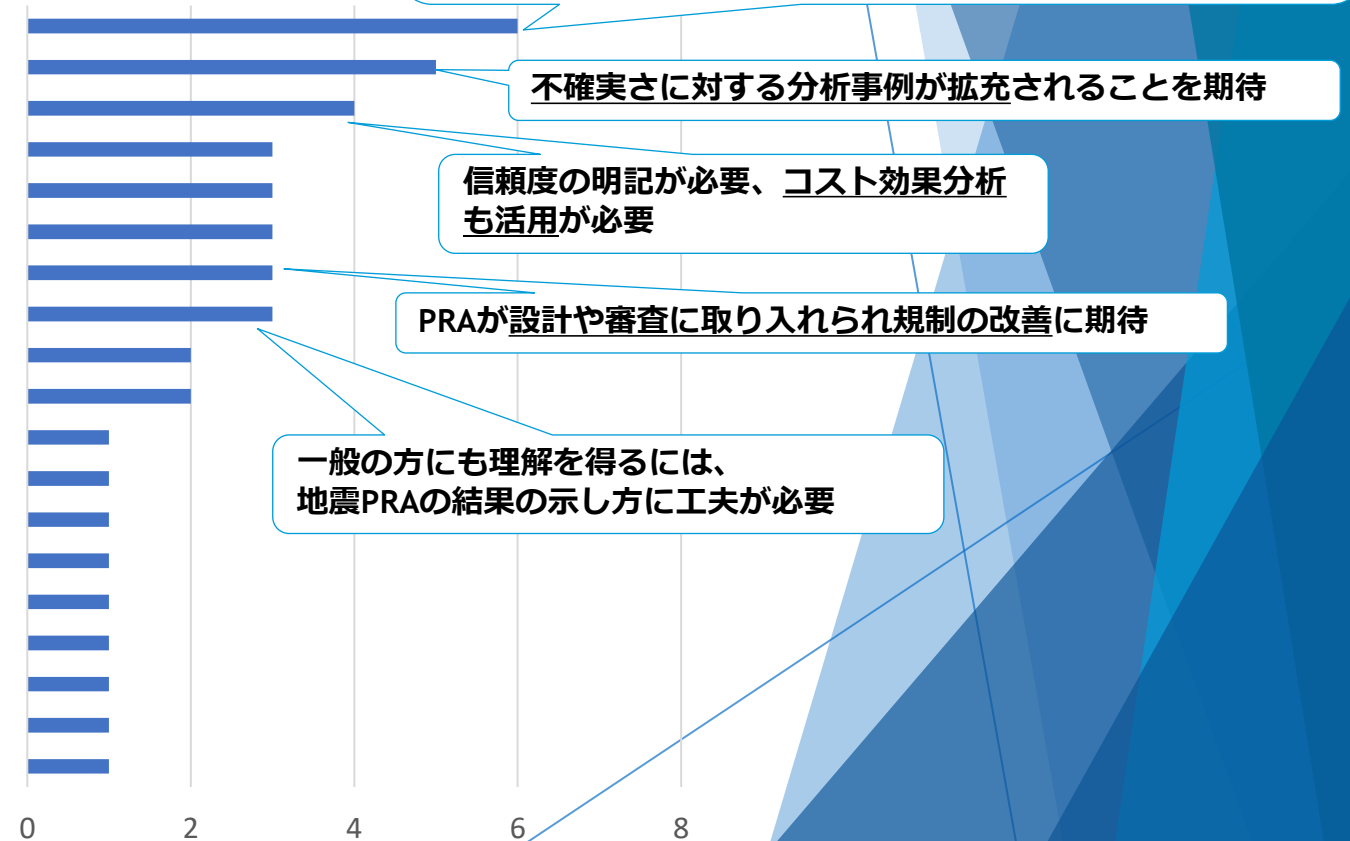
【リスク情報活用を進める上での課題や障害について】

項目	具体的内容（回答から抜粋・要約）
確率論的地震ハザードに関する課題	・規制側や訴訟対応で受け入れられにくい（決定論を中心とした規制体系） ・確率論は補完的な検討であるにもかかわらず、SSHAC対応の負担が大きい ・サイト毎のハザードレベルが大きく異なる（共同が難しい） ・年超過確率は一定期間で再評価が必要（過去の評価の信頼度の確認が必要） ・「現実的ハザード評価において排除すべき保守性」の共通認識が必要
リスク評価に対する理解・認識に関わる課題	・リスク情報の共通理解と信頼性の確保 ・リスクに対する受け止め方にバラツキがある（リスクで考えることに対する抵抗） ・意思疎通や設計上の連携がうまくいっていない ・新しい枠組みの構築や事業者としてのニーズが打ち出しにくい風潮 ・定量値の不確かさが大きいという印象により活用が進んでいない ・確率に基づくわかりやすい説明により、安全に対する考え方の社会の変容や浸透も課題 ・（規制も事業者も）耐震設計と同様に保守性のある（安全側の）評価に寄りがち
規制の枠組みに関わる課題	・双方をより効果的に融合させた設計・規制体系を確立させることが大きな課題 ・地震動評価については決定論が主流で、確率論は参考扱いになっている ・地震PRAの活用を可能とするルートが規制基準に明確に記載されていない
OLM導入に関わる課題	・運転中保全（OLM）でΔCDFのようなリスク指標が適切に評価されるか、あるいは現状を適切と考えて良いのか ・地震PRAの活用において、具体的な活用方法が明確になっていない ・PRA結果に影響するかもしれないかの判断となる閾値が明確ではない
PRAモデルに関する課題	・内的事象PRAや外的事象PRAの詳細度や保守性が揃っていないと、プラントにとって厳しい事象を見誤る可能性がある ・PRAモデルの品質を対外的に示す必要がある ・PRAモデルの高度化は、一方でモデルの複雑化を招き、技術者のノウハウ継承、開発コストの増大がネックになる
フラジリティ評価に関連する課題	・標準的なフラジリティ値があると有益

2-3. 技術レポート作成におけるアンケート調査 (7/8)

【課題解決として期待する活用事例リスト（案）の項目について】

- H-03 結果の示し方（わかりやすい説明）
- H-01 地震リスクの不確実さ
- H-04 結果の示し方（信頼度の付記）
- S-03 安全性向上評価届出書、外的事象特有の活用事例
- H-13 SSHAC以前と今後の地震ハザード評価
- H-09 非常に稀な地震動はSsとせずSA対策で対応
- H-07 PRAの活用による規制の改善(一般論)
- H-05 結果の示し方（発生した場合の条件付きの評価）
- H-06 地震PRAと決定論的な耐震評価をつなぐ部分部分の活用（一般論）
- H-02 結果の示し方（評価の現状の説明）
- S-20 バックフィットの実施の判断指標として、確率論を適用
- S-14 SSCsの多重性や多様性を十分に考慮できないことの解決
- S-13 地震PRAにより定量的に免震構造の採用による安全性の向上を示す活動
- S-05 多重化されている系統の完全従属扱いの見直し
- S-05 炉心損傷直結事象の精緻化
- S-02 「地震リスクは不確実さが大きい」という先入観
- H-12 基準地震動の新知見対応（発生した場合の条件付きの評価）
- H-11 非常に稀な地震動はSsとせずSA対策で対応
- H-10 基準地震動の新知見対応（1スルーの年超過頻度による評価）



2-3. 技術レポート作成におけるアンケート調査（8/8）

【課題解決を期待する事項（活用事例リスト以外）】

項目	具体的内容（回答から抜粋・要約）
建屋フラジリティ評価	・局所的な損傷も評価できるモデルによりフラジリティを評価 ・3D-FEMによりより詳細に評価を実施する手法の検討は、中長期的な課題の検討として重要
技術伝承と人的リソース確保	・専門知識を有する人材の育成と、継続的な技術支援体制の確保が不可欠 ・制度面・運用面での整備が求められる（研修制度や外部支援の活用に関する方針が整理されることが望まれる）
PRAモデル	・PRAモデルに対するグレーテッドアプローチとして、目的に応じた合理的なPRAモデルの在り方の検討（解決時期として、国内における地震PRAの活用が一定程度成熟したタイミング）
新型炉	・国際的な競争を考えると、新型炉の具体化が進むタイミングを意識して課題解決することが必要 ・5年後くらいに解決されているとよい
ピアレビュー	・【ASME標準】ピアレビューに先駆けて、早期の対応が望ましい

3. まとめ

- 標準活用WGでは、地震PRAに係わるリスク情報を実務に活かすための技術レポート作成に向けた活動を進めており、国内外の事例調査や関係者へのアンケート調査を通じて、実践的な活用方法の提示を目指している。
- 今後の技術レポート発行に向けて、関係者間の連携と情報共有をさらに強化した活動を進めていくことで、地震PRAに係わるリスク情報の実効的な利活用を推進していく。