

標準委員会セッション3
(システム安全専門部会、リスク専門部会の合同)
原子力プラントの継続的な安全性向上対策採用の考え方(その2)

3. 安全性向上の対応策を講じる際の意思決定の 実施手順の提案(例示)

平成27年3月22日

長岡技術科学大学 鈴木 雅秀

日本原子力学会2015年春の年会 茨城大学

はじめに

- ✓ 講演1. では「意思決定の考え方」として、不確実性下での意思決定のアプローチについて基礎から議論され、リスクガバナンスの枠組みの下での意思決定プロセスの全体像や意思決定の判断に作用する諸要因が提示された。その上で、リスク情報を活用した意思決定(RIDM)プロセスの事例として、米国NRCの規制ガイドやIAEAの提案する統合的意思決定(IRIDM)プロセスが紹介された。
- ✓ 講演2. では「意思決定プロセスの在り方と課題」として、より具体的に統合的意思決定プロセス(IRIDM)の5つのステップが示され、それぞれの留意点や、課題としてのレジリエンスの取り込みの必要性等が議論され、さらには確率論的なターゲットとしてALARPの枠組みにおける基本安全目標の有効性、などが提言された。

それらを受けて、本講演3. ではいくつかの事例を見ながら「意思決定の実施手順」の提案を我が国の実情に合わせて試みる中で、何が課題かを明らかにする。

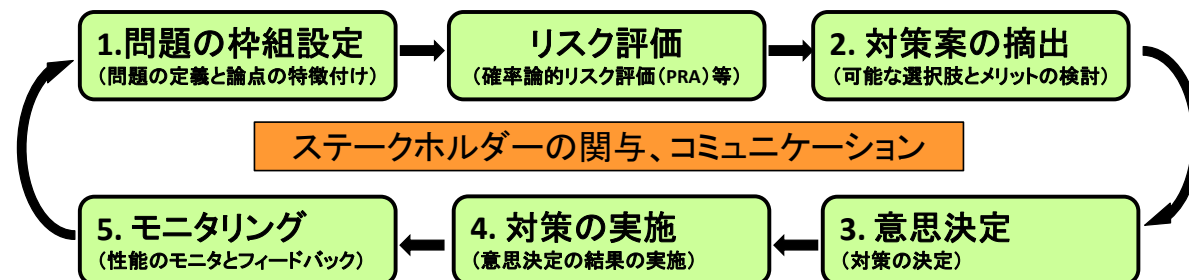
参考とする意思決定プロセス

統合的意思決定プロセス:

講演2でIRGC, INSAG25等を参照して提示された、以下のプロセスを出発点とする。

- | | |
|------------------------------|---------------------------|
| ステップ1. : 問題の枠組み設定
: リスク評価 | ⇒ 問題の定義と論点の特徴づけ
⇒ PRA等 |
| ステップ2. : 対策案の抽出 | ⇒ 可能な選択肢とメリットの検討 |
| ステップ3. : 意思決定 | ⇒ 対策の決定 |
| ステップ4. : 対策の実施 | ⇒ 意思決定の結果の実施 |
| ステップ5. : モニタリング | ⇒ 性能のモニタとフィードバック |

Step 1～5による螺旋的プロセス



リスク情報を活用する際の判断目安

「対策案の抽出」プロセスに「リスク評価」プロセスから得られる情報を活用する際、一つの判断目安として以下がある。

「頻度が $10E-7$ ／年を下回るようなシーケンスは、十分小さく、目標に対して影響がないとみなすことができる」

米国のASMEやNRCのStandard Review Plan(SRP)、日本の原子力学会標準、航空機落下確率基準等における考え方を参照すれば*、

- ✓ 炉心損傷頻度(CDF)及び格納容器破損頻度(CFF)について、米国や我が国での性能目標は、CDFは $10E-4$ ／年、CFFは $10E-5$ ／年程度としている。
- ✓ これらに対して、スクリーニング基準は2ケタを見越し、CDFに対して $10E-6$ ／年、CFFに対しては $10E-7$ ／年が妥当としている。これは、目標に対する相対割合として1%を下回る頻度であるので、これを考慮しない場合であっても目標に対して影響がないとみなすものである。

- 注 *
- ASME/ANS RA-Sa-2009 "Standard for Level1/LERF PRA for NPPs"(EXT-C1)
 - 日本原子力学会AESJ-SC-RKOO:2014「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」
 - 米国SRP3.5.1.6(航空機落下)
 - 航空機落下確率評価基準(H21.6.30原子力安全・保安院)

事例にみる意思決定：

安全上評価すべき重要事故シーケンスの決定：

- ✓ 重大事故に至るおそれがある事故が発生した場合においては、炉心の著しい損傷を防止するために必要な措置を講じる必要がある*。
- ✓ この目的で、炉心の著しい損傷に至る可能性がある想定する事故シーケンスグループとして、以下の事故シーケンスグループについては、必ず、炉心の著しい損傷を防止するために必要な措置を講じ、その有効性を確認する。(以下PWRの例)
 - 2次冷却系からの除熱機能喪失
 - 全交流電源喪失
 - 原子炉補機冷却機能喪失
 - 原子炉格納容器の除熱機能喪失
 - 原子炉停止機能喪失
 - ECCS注水機能喪失
 - ECCS再循環機能喪失
 - 格納容器バイパス(インターフェースシステムLOCA、蒸気発生器伝熱管破損)
- ✓ さらに、個別プラントの評価で、有意な頻度又は影響をもたらす事故シーケンスが抽出された場合はグループに追加する。

ステップ1
問題の枠組み設定

リスクの評価

注* 「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」37条

✓ 地震・津波特有の事象で、必ず想定する事故シーケンスグループと直接的に対応しない事故シーケンス、例えば、以下が抽出される。

- a. 蒸気発生器伝熱管破損(複数本破損)
- b. 原子炉建屋損傷
- c. 複数の信号系損傷
- d. ……
- e. ……

確率論的な解析
(PRA)

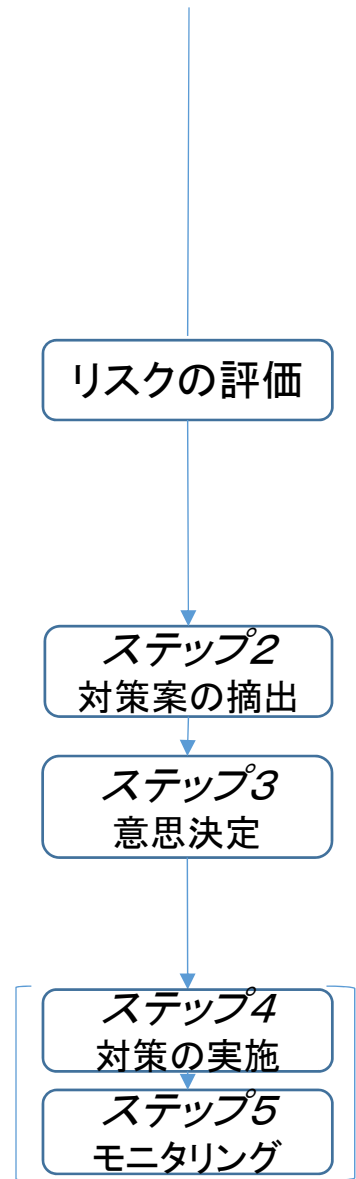


決定論的な
考慮事項

✓ 抽出された事故シーケンスの分析:
各事故シーケンスについてCDF或いは、その全炉心損傷頻度に対する寄与率や、各事故シーケンスの影響の観点から分析を行う。

✓ これらの結果に基づき、総合的判断を実施し、他の緩和措置との兼ね合いなども含め、対策の決定を行う。

⇒参照した事例では、PRAの結果などを検討した総合的判断から、地震及び津波特有の事故シーケンスを新たな事故シーケンスグループとして追加しないという意思決定をしている。



意思決定プロセスの想定事例による検討： ATWS (Anticipated Transient Without Scram) 対策

ステップ1.

(1) 問題の定義

- ✓「反応度制御機能の内的な要因を考慮した信頼性向上を図る。」とする。
- ✓このような問題は、既存設備の維持、管理の中で検討されるか、リスク評価結果の分析によりリスクを低減するための検討、などの背景から設定されるものとする。
ex. 原子力施設におけるトラブル事例の分析、運転経験の検討、
最新知見の反映

(2) アプローチの検討 (判断基準と検討方法の設定)

- ✓「リスク低減の妥当性が説明できるように、対策候補を比較検討とする。」

ステップ2.

(3) 対策候補の抽出 (利用可能な選択肢とそのメリットの検討)

- ✓ BWRのATWS対策候補の整理。⇒次頁表

ATWS対策候補の例

No.	対策候補	概要	対象とするスクラム失敗の 想定要因 (参考)
①	手動スクラム (手順)	徴候ベースの緊急時手順書における手動スクラム要求	スクラム信号の故障によるスクラム失敗等
②	ホウ酸水注入系(SLC)手動起動 (手順)	徴候ベースの緊急時手順書におけるSLC起動要求	制御棒挿入のための駆動源も含む機械的な故障による制御棒挿入の失敗
③	代替制御棒挿入 (ARI)および再循環ポンプトリップ(RPT)	安全保護系のスクラム信号の検出器とは別の検出器による信号からARIおよびRPTを実施	スクラム信号の故障によるスクラム失敗等 (①と同じ)
④	SLC自動起動化	制御棒挿入失敗に係る状態定義によるSLCの自動起動化	制御棒挿入のための駆動源も含む機械的な故障による制御棒挿入の失敗 (②と同じ)
⑤	制御棒挿入駆動源の多重化	制御棒挿入のための駆動源 (HCU) の多重化	制御棒挿入失敗に加え、既存SLCの機能喪失の組合せによる反応度制御失敗
⑥	SLCシステムの追加設置	2系列設置されているSLCに対し、1系列、もしくは1系統の追加	制御棒挿入失敗に加え、既存SLCの機能喪失の組合せによる反応度制御失敗 (⑤と同じ)

(4) 対策候補の実施範囲の整理

上記の①～⑥の対策について、表中の想定要因(参考)に対して整理する。以下、検討例。

a. スクラム信号の故障によるスクラム失敗： 対策としては、以下の対応策が候補。

①手動スクラム(手順)：事象の判定を適切にすることを手順に含むことで実施。

③代替制御棒挿入(ARI)および再循環ポンプトリップ(RPT)：基本的に信号の故障への後備対策であるが、既設のスクラム関係の設備への悪影響を考慮した対策の成立性に配慮する必要がある。

b. 制御棒挿入のための駆動源も含む機械的な故障による制御棒挿入の失敗：以下の対応策が候補。

②ホウ酸水注入系(SLC)手動起動(手順)：事象の判定を適切にすることを手順に含むことで実施。

④SLCの自動起動化：原子炉に対する外乱を与えることとなるため、原子炉圧力容器を含む一次冷却材圧力バウンダリへの悪影響を考慮した対策の成立性に配慮する必要がある。

c. 制御棒挿入失敗に加え、既存SLCの機能喪失の組合せによる反応度制御失敗：以下の対応策が候補。

⑤制御棒挿入駆動源の多重化：既存のHCU(配管等の配置も含む)に対して追加設置することとなるため、原子炉への外乱となる可能性に加え、全体での保守点検による信頼性の維持への悪影響を考慮した対策の成立性に配慮する必要がある。

⑥SLC系統の追加設置：原子炉に対する外乱を与えることおよび配置上の効果(この場合は、制御棒挿入失敗とSLC自体の多重故障への対策としての設置)を考慮した対策(配置)とする必要がある。そのため、原子炉への外乱となる可能性に加え、建屋の配置への悪影響に配慮する必要がある。

なお、⑤および⑥は、通常、発生確率が非常に小さいことなどの背景から、他の対策(①～④)に比べ有力候補となりにくい。

ステップ3.

(5) 実施範囲の検討

考慮すべき影響を下表に示す。考慮すべき影響については、右の欄に示されたものほどATWSの想定要因と直接の関係性は薄くなり、影響分析も難しくなる。また、下に行くほど検討すべき影響の項目が多くなり、かつ確認すべき範囲が大きくなる。

No.	考慮すべき影響 対策候補	運転手順	スクラム系 (信号系)	原子炉建屋 (配置上の保守点 検影響も含む)	原子炉及び一次冷 却材圧力バウンダリ
①	手動スクラム (手順)	○	-	-	-
②	ホウ酸水注入系(SLC)手 動起動 (手順)	○	-	-	-
③	代替制御棒挿入(ARI)お よび再循環ポンプトリッ プ(RPT)	○	○	-	-
④	SLC自動起動化	○	○	-	○
⑤	制御棒挿入駆動源の多 重化	○	○	○	○
⑥	SLC系統の追加設置	○	○	○	○

実施範囲の検討について： ATWS対策としての実施範囲を対策候補の中から、どの対策までを実施するかについての課題は以下の通り。

- ✓ ATWS対策のようにスクラム関連設備の信頼性により発生頻度が小さいと判断できる場合、実施するかどうかについて発生頻度、確率による判断の比重は小さくなる。
⇒単に可能な限りリスクを抑制するという判断でどこまで対応策を検討するかが課題となる。
- ✓ また、いくつかの対策候補が挙がるが、影響範囲がATWSの要因のスクラム関連設備の範囲である場合は検討対象となるが、その範囲を超えた建屋、原子炉等の場合は検討対象とすると検討における不確実さが大きくなる。
⇒対策候補の再絞り込みの必要性。
- ✓ 一方、運転手順の改訂/整備にて制御できる場合は意思決定が容易であるようにも考えられるが、対応操作が追加されたとしても本来の重要な操作を含めて適切に優先度付けることは依然として重要であり、採用したとしても検討の結果、優先度の低い対応操作となる可能性は高い。
⇒対策の効果を判断する必要性。
- ✓ さらに、本対策を他の問題へ適用する場合には、更に負の影響を引き起こす可能性および改善の効果の拡大について検討する必要がある。例えば、④のSLC自動化については、運転中プラントに対する誤作動の影響を分析することとなる。また、⑥のSLCシステムの追加設置については、追設範囲をポンプ、タンク、電源に拡大すると注水機能(水源含む)、電源機能の強化に活用できる可能性がある。
⇒適用範囲拡大の議論は、元々定義した問題の意図からかけ離れる可能性があり、再度プロセスとして問題を再定義、再設定すべき。

「安全性向上対策採用の考え方に関するタスク」では、この他、意思決定プロセスの事例検討として、SBO (Station Blackout) 対策、自然現象及び人為事象に対する安全性向上対策を考慮する際の考え方、を対象に分析している。

これらも含め、意思決定に係る課題と方向性をまとめている。

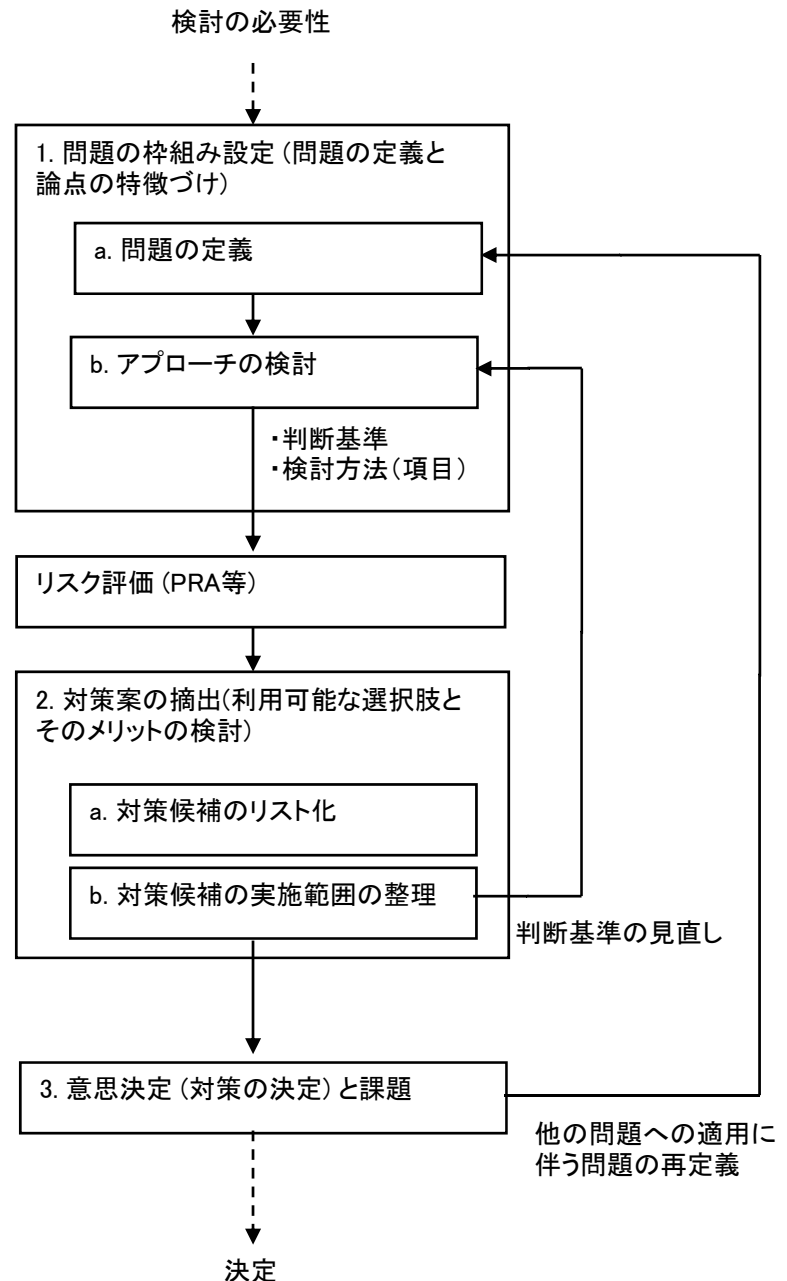
(1) ATWS対策の検討結果より

ATWS対策のようにスクラム関連設備の信頼性によりある程度発生頻度を抑制できていると判断できる場合は、実施するかどうかについて発生頻度、確率による判断の比重は他の要素に比べ小さくなると考えられる。この場合は、単に可能な限りリスクを抑制するという判断でどこまで対応策を検討するかが課題である。対応策の検討では、いくつかの対策候補が挙がるものの、影響範囲がATWSの要因のスクラム関連設備の範囲である場合は検討対象となるが、その範囲を超えた建屋、原子炉等の場合は検討対象とすると検討における不確実さが大きくなるため、もともと対策候補からは影響範囲の観点でスクリーニングアウトすべきと考えられる。

一方、運転手順の改訂/整備にて制御できる場合は意思決定が容易であるようにも考えられるが、対応操作が追加されたとしても本来の重要な操作を含めて適切に優先度付けることは依然として重要であり、採用したとしても検討の結果、優先度の低い対応操作となる可能性は考慮しておく必要がある。

また、本対策を他の問題へ適用する場合には、更に負の影響を引き起こす可能性および改善の効果の拡大について検討する必要がある。

フローはより細かな改善や改良点はあるものの統合的意思決定プロセスは有効である。



(2) SBO対策

基本的な課題はATWS対策の検討と同等である。追加された課題としては、実施範囲の検討において、設備等の追設では、多重性をどの程度持たせるかが課題となる。付与する多重性は、発生要因の起りやすさの考え方により依存するものと考えられる。発生要因が起りやすいと考える場合は、追設設備の多重化が必要となるが、起りにくいという位置づけの場合は、多重化は不要となる。

(3) 自然現象及び人為事象に対する安全性向上対策を考慮する際の考え方

事例収集の一環として、自然現象及び人為事象に対して原子炉施設の安全性向上対策を考慮する際に、原子炉施設側で起こりうる事故シーケンスが抽出されることが確認され、各発電所の安全審査で同様な議論がされ、個別炉ごとに特有の事故シーケンスが抽出されると予想される。一方、脆弱性の判断については、抽出された自然現象のハザードや発生頻度が定量化できれば、これらの事故シーケンスの発生頻度も定量化され、どの自然現象に対して脆弱なのか把握できる。例えば、ハザード頻度が定量化できなくても、立地地点の自然環境や事故シーケンスの分析結果を活用して、総合的な観点から立地地点特有の安全性向上方策を見出せる可能性はあると考える。

意思決定プロセス構築の課題と解決の方向性

- ✓ 具体例の検討では、意思決定に活用する評価方法として、リスク評価結果および定性的な分析を想定して検討してきたが、CDFを用いる評価など、着実に定着しつつあると考えられる。
- ✓ 一方、外部ハザードに対するリスク評価方法の定量的リスク評価方法としては、1) 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、2) 裕度評価、3) 定論的なCDFの考慮、および4) 詳細なリスク評価が選択肢として挙げられている。定量的評価を用いる場合は、これらの選択肢もあることを考慮し、選択肢の幅を拡大することが種々の課題に対し柔軟な対応を可能とすると考えられるが、まだ今後の議論の進展が必要である。
- ✓ 安全性向上のための意思決定プロセスにおいて、同一/類似案件の意思決定については前回の判断の根拠を参照し、改善を検討することが重要になると考えられる。この場合、意思決定サイクルにおける記録が重要となる。記録方法については、個々の運用において設定すればよいと考えられるが、その重要性は明確である。



p.2で挙げた統合的意思決定プロセスは、これまでのところ、基本的にはステップ3までの検証であるが、有効に働くと考えられる。モニターからフィードバックを行うプロセスを完結させることが、上記3つ目の項目に対する対応でもある。

結言(今後の課題)

- ✓ 統合的意思決定プロセスの有効性はこれまでの範囲で確認できたと考えられるが、さらに意思決定が難しい局面は今後出てくるものと考えられる。その場合に、C/B解析なども視野に、PRAなどの技術的整備が必要となるが、もっと重要なことは、ALARPなどの整備と、PSR+指針などによる継続的な改善の確保の中で、実際に有効に作動する環境を構築することであり、その中で、ステークホルダーとの関係など重要な因子も検討していく必要がある。

御清聴ありがとうございました。