

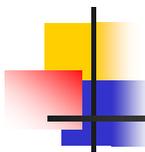
**標準委員会セッション3**  
(システム安全専門部会, リスク専門部会の合同)

**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)

**2. 安全性向上対策の採用に係る意思決定  
プロセスの在り方と課題**

平成27年3月22日

電力中央研究所 山下 正弘



# 目次

---

1. 継続的な安全性向上
2. 意思決定で考慮する要素
3. 意思決定プロセス
4. 課題と解決方策

# 1. 継続的な安全性向上

## リスクガバナンスの枠組みの下でのリスクマネジメントの実施

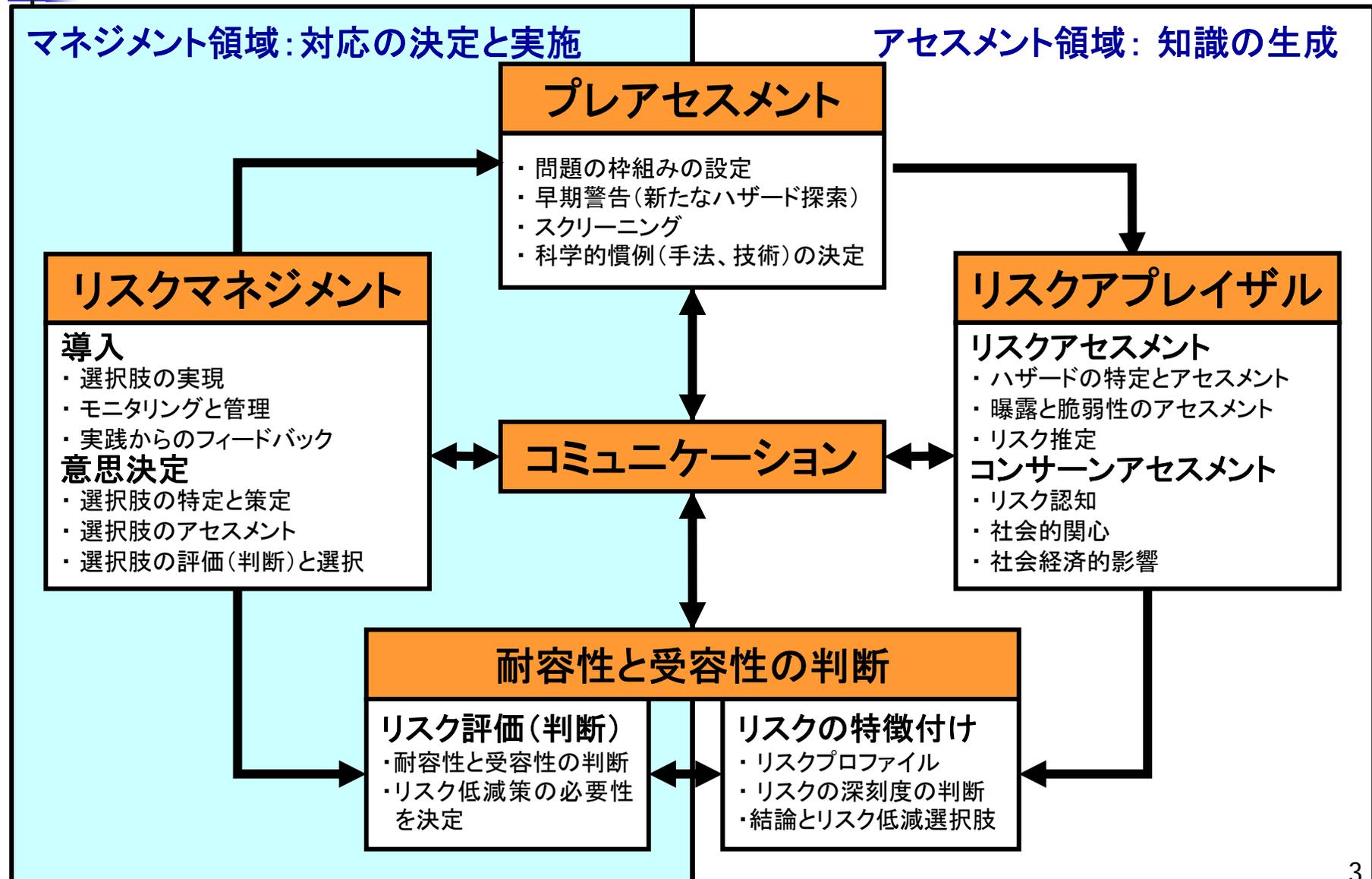
原子力事業者は、立地地域の住民等の多様な外部ステークホルダーの関与や世界の新知見の取り込みを通じて、原子力のリスクに関する問題枠組みを設定し、リスク管理目標の下で適切なリスク評価とリスク判断を行い、必要な安全対策を実施する、という常に安全性向上の更なる高みを目指す「リスクガバナンス枠組み」を構築し、その枠組みの下で各原子力事業者が適切なリスクマネジメントを実施することが求められる。

リスク評価の実施、残余のリスク低減のための安全対策の実施、レジリエンスの向上、といったリスクマネジメントを構成する各取組が、それぞれ独立した形で関係性を無視して進められることになると、部分最適の追求に陥り、我が国の原子力利用全体としての安全性向上の最適解は保証されない。

原子力事業は、国民、政府、立地自治体、地域住民等との幅広い関係性を有するため、東京電力福島第一原子力発電所事故を経験した状況にあってはより一層、こうした幅広いステークホルダーとの間でリスク認識と課題を共有する必要がある、こうしたステークホルダーが関与する形での適切なコミュニケーションの存在が、適切な「リスクガバナンス枠組み」の前提条件となる。

# リスクガバナンスの枠組み (IRGC)

## Towards an Integrative Approach



# リスクガバナンスの枠組みの実践

- リスクガバナンスの枠組みは、我が国の原子力発電所全体の安全性向上を総合的に図るための的確な概念である。その中では、手段としてステークホルダーの参画と関与、コミュニケーションが強調される。
- リスクガバナンスの枠組みにおけるプレアセスメントからリスクマネジメントに至る流れは、いわゆるリスクマネジメントのプロセス（例、JISQ31000）と大きくは違いはないが、個社のリスクマネジメントの最適解が目的ではない。
- JEAC4111では、既存プロセスの改善（小さな又は中PDCA）に加えて、原子力安全のための大きなPDCA（前提を大きく超えたリスクへの対応等）を導入した。リスクガバナンスの一環として捉えることができる。
- 安全性向上プロセスには、原子力安全のための大きなPDCAを実践する仕組みが必要である。この仕組みの具体化は、IRGCのWhite PaperをはじめとしてJISQ 31000、INSAG-25等の文書で支援される。
- 以下では、リスクガバナンスの枠組みを具体化する一環として、安全性向上対策の採用に係る（統合的）意思決定プロセスを例示する。

## 2. 意思決定で考慮する要素

(関連するリスク等)

(意思決定で考慮する要素)

1. 事故による放射線リスク

決定論的考慮事項

(深層防護、安全余裕)

確率論的考慮事項

(PRAから得た知見  
PRA品質とスコープ)

義務的要求事項

(法令、規格基準、保安規定等)

2. セキュリティリスク

セキュリティの考慮事項

(安全要件との適切な統合)

3. 対策実施の直接的影響

対策実施の直接的影響

(資金・人的リソース、プラント停止  
作業員の被ばく線量等)

4. 社会・経済的リスク

社会・経済的影響

(土地・資産の損失、  
ビジネスリスク、代替電力等)

5. その他

その他の考慮事項

(組織・管理の問題(例. 訓練等)  
パフォーマンス監視、緊急性等)

(横断的要素)

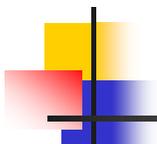
運転経験のフィードバック

標準とグッドプラクティス

最新の科学的知見

# 決定論的アプローチと確率論的アプローチ

	決定論的アプローチ	確率論的アプローチ
考慮要素	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 深層防護</li> <li>■ 安全余裕</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ PRAから得られる知見</li> <li>■ PRAの品質とスコープ</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 決定論的ターゲット</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 確率論的ターゲット</li> </ul>
アプローチ	<p>深層防護の堅持及び安全余裕の確保を基本とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 多段的に防護層を設定して各防護層の信頼性や防護層間の独立性を確保する</li> <li>■ 防護層を構成する系統・設備は十分な安全余裕をもって機能を達成する 等</li> </ul>	<p>リスク指標値を十分に低く抑制することを基本とする。</p> <p>リスク指標値の例</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 炉心損傷頻度</li> <li>■ 格納容器破損頻度、大規模放出頻度</li> <li>■ 健康影響リスク 等</li> </ul>
安全評価	<p>好ましくない影響のリスクが許容水準以下であることを定性的に評価する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 設計基準事象、設計拡張状態を設定して、安全解析の結果が基準に適合することで、防護層の適切性を確認する。</li> </ul>	<p>広い範囲の内部／外部ハザード、機器故障、人的過誤等に起因するリスクを定量的に評価する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ リスク指標値がターゲット以下であることを確認する。</li> </ul>



# 決定論的考慮事項

## 深層防護

- 深層防護は、「放射性物質源」と「人と環境への有害な放射線影響」との間に一連の障壁(多重障壁)を提供する。障壁の健全性を防護するとともにその他の関連する目的を達成するための多段的な複数のレベルを通して、安全に確実さを提供する。
- 新たな安全性向上対策を採用する際には、それが既存の防護層とどのような関係を有するかを明確にし、新たな安全性向上対策が防護層の厚みの増加や防護層間の独立性の向上に資するものであることを確認する。

## 安全余裕

- 設計、運転・保守管理等の各段階における基準規格類は、不確実さを考慮してもなお十分な保守性を有するように、安全余裕をもって定められている。設計基準事故の解析では、保守的な解析手法及びデータを用いるとともに、解析結果と比較する判断基準も十分な保守性を有するように定めている。
- 安全性向上対策の導入は、すでに確保されている安全余裕を増強させる。対策のリスク上の重要性及びPRAの知見等の情報の不確実さを考慮して、対策の導入が安全余裕を増強させる程度を把握する。クリフエッジの回避、予期しない故障が起こり得ることの補償、経年劣化の可能性等の様々な因子を考慮する。

# 確率論的考慮事項

## PRAから得られる知見

- PRAは、設計、運転・保守管理等の情報を論理的に結合するアプローチである。相対的脆弱点の同定など、結果の不確実さも含めて重要な課題を広範に把握する。
- PRAから得られる定性的情報(例. 設計や運転の弱点やバランスの欠落、特定の構築物、系統及び機器や運転員の行動への過度の依存等)も考慮する。
- PRAの結果と安全目標を比較することは意思決定において重要である。また、不確実さ解析を行い、評価結果の不確実さを明示することが求められる。

## PRAの品質

範囲	運転状態(出力運転時、停止時)、対象事象(内部事象、外部事象)及びスコープ(レベル1~3)の組合せで定義される。対策の摘出・選定に関連する運転状態、対象事象及びスコープを取扱う。
詳細度	PRAモデルは、対策案の影響がモデル化される程度に詳細でなければならない。PRAから得られる知見の適用対象を特定して、そのために必要な詳細度のPRAを実施することが適当である。
技術的妥当性	PRA手法・データベースには最新の技術・知見を取り入れ、原子力学会PRA実施基準、ASME/ANS PRA標準等の規定に適合させる。



## 横断的要素

---

### 運転経験のフィードバック

- 当該プラントや類似プラントや他産業のプラントで発生した事象の調査・分析、特に根本原因分析から得られる情報を考慮する。こうした事象を反映して更新した安全解析（決定論的解析、確率論的解析）から得られる知見を考慮する。
- 運転経験は、人的過誤に係る事象、安全系の性能等に係る運転実績等を含めて、グレーディッドアプローチに従って収集する。

### 標準と良好な実践

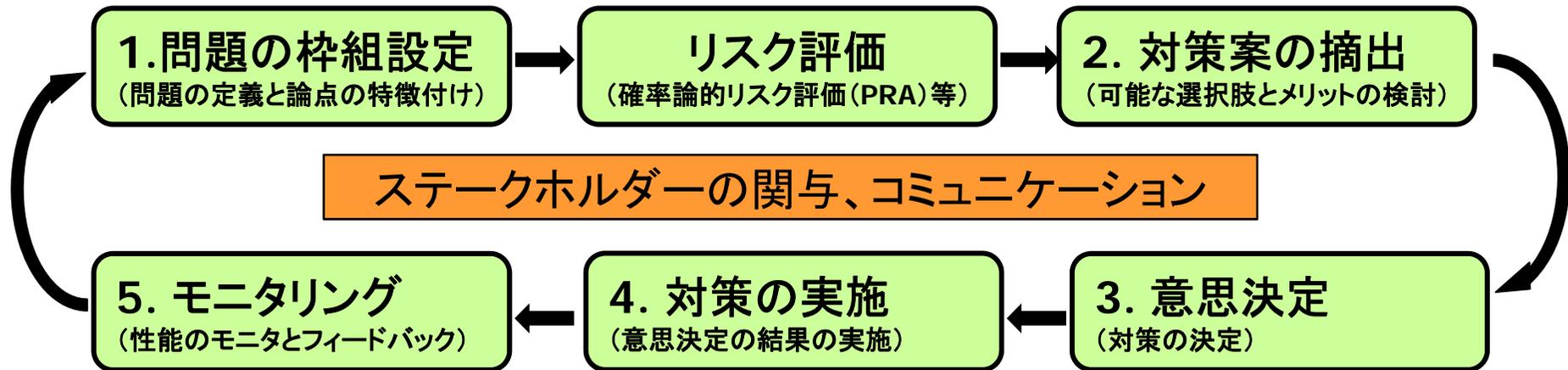
- 標準や規格、当該プラント、類似プラント等における経験等における設計や運転活動の基盤となる良好な工学手段や適切なマネジメント手段を把握して考慮する。
- 国際的な最新の規格基準及び良好な実践を考慮する。これらは、意思決定で考慮するPRAを含めた安全解析にも適切に考慮する。

### 最新の科学技術的知見

- 地震や津波等自然現象に対する最新の科学的知見、特に予測の不確かさが大きい場合の取扱いについて問題提起がなされている。
- 時々刻々変化する社会情勢や安全性に関する価値観や意思決定の透明性に関する社会要請等に対して感受性を高め柔軟に対応することの必要性も指摘されている。9

### 3. 意思決定プロセス

#### Step 1～5による螺旋的プロセス



#### Step3での評価と決定

##### 対策案による考慮する要素の充足度合の評価

- 要素に応じて、ターゲットの達成度合(例. 深層防護、PRAの結果等)、適合確認(例. 法令、規格基準等)、定性的評価(例. 社会・経済的影響等)、定量的評価(例. 対策実施コスト等)の結果に基づいて充足度合を判断・評価する。

##### 考慮する要素の相対的重み付けと意思決定

- 各要素の相対的重みは対策案に依存する。各要素の間で適切なバランスを達成する意思決定を導出するような重み付けを行う。
- 重み付けと意思決定では、専門分野を包絡した複数分野横断型のパネル等を用いる。また、定性的又は定量的コストベネフィット分析が適用可能であればその結果を考慮する。



## 意思決定における留意点

- 意思決定の過程は、論理性、包括性、透明性、再現性及び実証性があり、ステークホルダーが追跡でき、かつ理解できるものとする。ステークホルダーが、意思決定の過程とその結果が適切であると見なすこと確実にする。
- 意思決定にはバイアスが掛かることを考慮して、第三者的機関を配するガバナンス体制を敷くこと、第三者評価の仕組みを導入すること等も考慮する。
- 考慮する要素に対する対策案の評価から得られる定量的情報及び定性的情報を包括的に考慮する。(例. 特定の領域での改善が別の領域では悪影響を及ぼす可能性を見逃さないなど)
- PRAの結果を活用して、特定の特性に弱点がないこと、過度に依存しないこと等を確実にするために、安全対策全体のバランスに留意する。
- 解決すべき問題に関連するすべての専門領域を網羅するチームを取り入れることが良好な実践である。
- 各要素の相対的な重み付けを考慮するとともに、対策案を考慮に入れて、各要素の間で適切なバランスを達成する意思決定を導出する。なお、考慮する要素の相対的な重み付けは、問題の枠組み、対策案の態様、情報の品質等に依存する。

## 対策案による考慮する要素の充足度合

### 決定論的考慮事項(深層防護、安全余裕)

- 対策案は、新規制基準が要求する水準の深層防護及び安全余裕を確保したプラントに対して、その水準を一層向上させる。深層防護及び安全余裕の充足度合を評価するために、より高い水準のベンチマークが必要になる。
- 国内外の革新的基準、ベストプラクティスをベンチマークとして、防護層の信頼性や頑健性、防護層間のバランスの在り方、防護層間、特に第3層と第4層の間で確保されるべき独立性等を対策案が充足している度合を定性的に評価する。

### 確率論的考慮事項(PRAから得られる知見、PRAの品質)

- PRAの結果から対策案を採用した場合のリスクへの影響を評価できる。確率論的ターゲットを自主的に設定して、これをベンチマークとして対策案によるリスク低減効果の有意性を評価する。
- 個々の対策案によるリスクへの影響が小さく、確率論的ターゲットが有効に機能しない場合には、確率論的ターゲットから演繹した系統、機器等の信頼性ターゲットをベンチマークとすることが実用的である。
- PRAの品質に対する要求は、PRAから得られる知見に期待する役割に依存する。原子力学会PRA実施基準、ASME/ANSのPRA標準、NEIガイダンス等を用いてPRAの役割に応じたPRA品質が確保されていることを確認する。



# 考慮する要素の重み付けと意思決定

## 要素の重み付け

- 要素の重み付けは、主観的かつ工学的判断に依存する。また、問題の枠組み、対策案の態様、得られた情報の品質等に依存する。
- 要素間で適切なバランスを達成する意思決定を導出する重み付けとする。決定論的知見と確率論的知見が相反する場合には、保守側の知見の重み付けを増加させる。

## 意思決定(対策案の採否)

- 必要な専門分野を包絡する複数分野横断型パネル(審議)を用いて意思決定する。
- 要素の充足度合、重み付けを考慮するとともに、適用できる場合にはコストベネフィット分析を参考にする。
- 該当要素に対して、アプローチ、重み付け、制限条件及び関連する知見を考慮する。
- 横断的要素(運転経験、標準とグッドプラクティス、最新の科学的知見)を適切に考慮する。
- 対策案の境界条件、不確実さ、補償手段及びその他のリスク低減対策を考慮する。
- 様々なリスクの(低減又は増加)バランスをどのようにして達成したかを明確にする。

# 不確実さ、知識の欠如、曖昧さ

## 不確実さ(Uncertainty)



偶然的な不確実さ(Aleatory uncertainty)

事象のランダムな発生に由来  
(確率論的モデルに取り込む)

認識論的不確実さ(Epistemic uncertainty)

- パラメータの不確実さ
- モデルの不確実さ
- 完全性の不確実さ

故障率、極限強さ等の不確実さ、  
現象等に係る知識状態の不完全さ、事  
象の除外、知識の欠如等に由来  
(確率分布、不確実さ解析、感度解析)

知識の欠如のある部分(Unknown unknowns/Ignorance)は、深層防護、安全余裕、レジリエンス、性能の監視等によって対応する。

## 曖昧さ(Ambiguity)

リスクアセスメントの結果に対して有意で論理的な複数の解釈を引き起こすこと。同一の評価結果に対する異なる解釈(解釈の曖昧さ)と、何が耐容可能であるかの決定を支援するクライ14テリアの考え方の違い(規準の曖昧さ)がある。

## 4. 課題と解決方策

### 継続的な安全性向上(論点)

#### リスクガバナンスの枠組みにおける関係組織の在り方

リスクマネジメントの実効性を上げるためには、技術基盤の開発の関係機関・組織による整合的かつ一貫的な推進、関係機関・組織が合意したロードマップの策定とそのローリング、リスク解析の実施に必要な専門家の確保の仕組み、PRA品質確保の仕組み、国内外の良好な実践等の情報収集と伝達、人材育成の仕組み等を一体的かつ継続的に検討していくべきである。

#### リスクマネジメントに係る原子力学会の役割

原子力学会は、安全は多くの分野・領域の隙間から破綻するとの認識の下、異分野の研究者間、産業界と規制当局の間、研究者と実務者の間での情報交換や様々な交流が必要であること、俯瞰的な技術課題マップの準備と短期的視点に加えて中長期的ロードマップの提示とそのローリングを行うこと等の取り組みの必要性を明確にした。

取り組みの具体的な推進、例えば、「原子力安全に関する他のアカデミアを含めた俯瞰的な討論と協働のための「場」を構築するとともに、主導的な役割を果たす」こと、また、規制組織、被規制組織を問わず、安全性向上の裏付けとなる安全研究及び標準策定活動を強化していくこと、原子力安全に係る技術的側面だけでなく社会的側面の研究に取り組むことが期待される。

## 意思決定で考慮する要素(論点)

### レジリエンスの取り込み

事故には低頻度であるが影響の大きいものがある。事故シナリオは多様であり、特定の事故シナリオを想定する考え方では対処できない。事故の発生防止だけではなく、想定外の事象の発生に備えて、事故の影響緩和、被害拡大防止、防災計画等も含めて、重層的な対策の検討が実施されるべきである。

事故への適切な対応及び事故からの早期の復旧を考慮した対策を講じて「レジリエンス」を向上させることが重要である。「レジリエンス」の考え方を取り込み、リスクをマネジメントすることで事故の影響を抑制することが重要である。「レジリエンス」を取り入れるアプローチを具体化する検討が必要である。

### PRAの品質の確保

内部ハザード(火災、溢水等)、外部ハザード(地震、津波等)、複合ハザード(地震と津波の重畳等)等の対象事象の拡大、PRAのスキープの拡大(レベル1~3)、マルチユニットのPRA等、PRA手法の拡大に合わせて、品質を確保する実施基準が必要となる。

原子力学会では、現在まで、PRA実施基準の制定が主体的に推進されてきた。今後もリスク情報を活用した意思決定の適用拡大の時間軸と整合したPRA実施基準の制定計画の策定とそのローリングが継続的に実施されることが期待される。

## 意思決定プロセス(論点)

### 決定論的ターゲット

決定論的考慮事項の要求を明確にするには、レファレンスレベルを定めることが有効である。その中では、深層防護の各層の信頼性や頑健性、防護層間のバランス、防護層間の独立性(特に、第3層と第4層の独立性)等の在り方が考慮される。

安全目標(Safety Objectives)を設定した上で、安全機能への要求まで展開したレファレンスレベルを設定することが望まれる。暫定的には、国内外の革新的基準、ベストプラクティスを整理して、これをレファレンスレベルとして用いることが考えられる。

### 確率論的ターゲット

対策を効果的に摘出するためには、ALARP(合理的に達成可能な限りリスクを低減)の枠組みにおける基本安全目標(BSO)に相当する確率論的ターゲットを定めることが有効である。

環境への影響の抑制、決定論的ターゲットへの展開も考慮に入れた安全目標の策定に向けた検討が行われるべきである。暫定的には、旧原子力安全委員会の下で策定された安全目標案、性能目標案及び原子力規制委員会が言及した環境への影響抑制の視点に基づいて、確率論的ターゲットを自主的に暫定してはどうか。

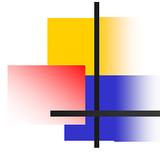
## 意思決定プロセス(論点)

### PRAから得られる知見の不確実さ

- 不確実さの大きな新たな知見(例えば外的事象における新たな学説など)が得られた時に、それが原子力発電所に与えるリスクとなり得る場合には、ある程度のリスク低減効果が見込める対策の中で、時間を要さないものについて優先して実施することが望ましい。
- 外部事象PRAでは、内的事象PRAに比べて、サイトのハザード、建屋・設備の脆弱性等の不確実さが原因で、PRA結果の不確実さが大きいという懸念がある。不確実さ解析によるPRA結果の不確実さ分布、感度解析による結果への影響など、不確実さに係る情報は提供される。対策案の抽出・選定の意思決定を行う中での不確実さの取り扱い、アプローチを明確にしておく必要がある。

リスク情報を活用した意思決定における認識論的不確実さの取り扱いは、米国NRCのガイダンス(NUREG-1855等)に整備されている。その中で、必要な不確実さ解析、感度解析、バウンディング解析等を含めたアプローチ、意思決定の場への不確実さの情報の伝達、不確実さを踏まえた性能監視の在り方等が提示されている。

当該ガイダンス等を参考にして、我が国の現状を踏まえたガイダンスを策定することが望ましい。



ご清聴ありがとうございました。