AESJ-SC-TR010：2025

日本原子力学会
標準委員会　技術レポート

外部ハザードに対するリスク評価手法に関する手引き：2025

２０２５年６月

一般社団法人　日本原子力学会

まえがき

この資料は，外部ハザードに対する原子力発電所のリスク評価を実施するにあたり用いられる一般的なリスク評価手法について，提示するものである。

リスク専門部会では，原子力発電所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プロセスを作成し，**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：2024**（以下，“**外部ハザード選定標準**”という）として発行している。この資料は，**外部ハザード選定標準**に基づいて実施する潜在的な外部ハザードの同定及び特性分析による選別，並びに**外部ハザード選定標準**に則り選定された定量的リスク評価方法に対して用いられるリスク評価手法に関して，一般的なリスク評価手法をその適用可能性に着目して整理したものである。

2025 年 5 月

標準委員会　リスク専門部会

部会長　　髙田　孝

目　　次

1　はじめに

この資料は，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：2024**[(1)]（以下，“**外部ハザード選定標準**”という）に基づき実施される潜在的な外部ハザードの同定，特性分析による選別及び**外部ハザード選定標準**に則り選定された 4 つの定量的リスク評価方法において用いられるリスク評価手法の例を示すものであり，**JIS Q 31010:2022 リスクマネジメントーリスクアセスメント技法**[(2)]（以下，“**JIS Q31010**”という）の附属書に示された 42 のリスクアセスメント技法について，原子力発電所の外部ハザードに関するリスク評価への適用性の観点から整理している。

この資料に記されたリスク評価手法を，評価対象とする外部ハザード，リスク評価方法及び求める評価結果の詳細さに応じて，評価者が適切に選択，又は組み合わせることで，リスク評価を実施できる。また，この資料で扱う手法は外部ハザードに関するリスク評価のみならず，原子力発電所を対象とした内的事象に関するリスク評価，原子力発電所以外の原子力施設を対象としたリスク評価など，その他のリスク評価においても用いることができるものであり，この資料において整理した各リスク評価手法の特徴などを参考とすることができる。

なお，この資料においては，**JIS Q 0073:2010 リスクマネジメントー用語**[(3)]で定義するところのリスクアセスメント技法をリスク評価手法と記載している。

2　リスク評価手法

2.1 リスク評価手法の概要

この資料において扱う 42 のリスク評価手法について，その概要と，外部ハザードに対するリスク評価に適用する際に参考となる記載について，1)～42)に示す。

なお，7)FMEA（FMECA），8)HAZOP，10）SWIFT，などによるハザードの特定，特定したハザードの影響評価，及びその対処措置の検討を，HAZID（Hazard Identification Study）と称することがある[(4) (5)]。

1)　ブレーンストーミング

【手法の概要】

ブレーンストーミングは，知識のある人々のグループ間に自由な会話を促し，奨励して，潜在的故障モード及び関連するハザード，リスク，意思決定のための基準，及び／又は対応選択肢を明らかにする作業である。ブレーンストーミングは，人々の想像力がグループの他人の考え及び意見によって確実に誘発されるように努める特殊な手法を含む。

この手法には有効な議事進行が極めて重要であり，議事進行では，最初の討議のきっかけを与えること，定期的にグループにほかの関連分野への参画を促すこと，及び（通常は極めて活発な）討議からもち上がる問題の把握を含む。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】
定性的及び定量的なリスク評価全体にわたり，支援手法として適用できる。

2) デルファイ技法

【手法の概要】
デルファイ技法は，専門家のグループから信頼性のある意見の一致を得る手順である。デルファイ技法では，専門家が，プロセスが進行するにつれて，ほかの専門家の見解を確認しながら，自分の意見を独自に匿名で表明する。
【外部ハザードに対するリスク評価への適用】
定性的及び定量的なリスク評価全体にわたり，支援手法として適用できる。

3) ノミナルグループ技法

【手法の概要】
ノミナルグループ技法は，ブレーンストーミングと同様にアイデアを集めることを目的としている。見解は，最初グループメンバー間の相互作用なく個別に求め，その後グループで討議を行う。
【外部ハザードに対するリスク評価への適用】
定性的及び定量的なリスク評価全体にわたり，支援手法として適用できる。

4) 構造化又は半構造化インタビュー

【手法の概要】
構造化インタビューでは，インタビューを受ける個々の人々に，回答記入シートにあるあらかじめ用意した一連の質問をして，異なる視点からその見解を求め，その視点からリスクを特定する。半構造化インタビューもこれと類似するが，提起された問題の究明について自由に会話する余地を残している。
構造化インタビュー及び半構造化インタビューは，ブレーンストーミングセッションのために人を集めることが難しい場合，又はグループでの自由な討議が状況的に若しくは参加する人々に不都合な場合に役立つ。
【外部ハザードに対するリスク評価への適用】
定性的及び定量的なリスク評価全体にわたり，支援手法として適用できる。

5) 質問紙調査

【手法の概要】

質問紙調査は，一般にインタビューよりも多くの人々の参加があり，通常，より制限された質問になる。一般に，質問紙調査は，コンピューター又は紙媒体でのアンケートを含んでいる。多くの場合，質問は“はい”若しくは“いいえ”の回答，格付け尺度からの選択，又は一連の選択肢を提供する。これは，結果の統計的分析を可能にし，それがこうした方法の特徴である。自由回答を含む質問を含めることが可能であるが，分析が困難になるので，その数は制限することが望ましい。

質問紙調査は，幅広い利害関係者との協議が有用な状況，特に多数の人々から比較的少ない情報を得る必要がある場合に使用が可能である。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】

定性的及び定量的なリスク評価全体にわたり，支援手法として適用できる。

6) チェックリスト，分類及び分類体系

【手法の概要】

チェックリストは，所定の検討項目をリスト化して纏めたもので，必要な検討事項の漏れを防ぐために用いることができる。リスト化する検討項目は，経験に基づき，随時改定することで質の高いリストとすることができる。また，リスク分類体系は，相互に排他的で，かつ，全体として網羅的であることを意図している。リスク分類は，より詳細な検討のために特定のカテゴリーのリスクを分離することに焦点を合わせることが可能である。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】

外部ハザード選定標準の“**表 E.1　外部ハザードに関わる特性分析要素の選定の例**”には外部ハザードの例示が幅広く纏められている。また，特性分析要素として，発生，到達，影響のどの観点に着目した検討をすればよいかが示されている。外部ハザードに対するリスク評価をする場合，これらを参考にチェックリストを準備することが推奨される。

定量的な評価はできない。

7) 故障モード・影響解析（FMEA）／故障モード・影響及び致命度解析（FMECA）

【手法の概要】[(5) (6)]

故障モード・影響解析（Failure Mode and Effects Analysis ：FMEA）は，コンポーネント，システム又はプロセスが，どのように設計の意図を満たすことに失敗するかを明らかにするために用いる手法である。故障モード・影響及び致命度解析（Failure Mode, Effects and Criticality Analysis ：FMECA）は，FMEA を拡張し，明らかになった故障モードを，その重要性又は致命度によってさらに分類するものである。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】

外部ハザードがある機器に影響を与えた場合，それによってシステムがどのように影響

を受けるか，プラントにどのような影響を与えるかを解析することができる。確率論的リスク評価（PRA）において起因事象を特定する際に用いられるが，ほかのリスク評価方法においても，同様の分析を行う際に用いることができる。

8) HAZOP スタディーズ

【手法の概要】[5] [7]

HAZOP（Hazard and Operability）は計画中又は既存の，製品，プロセス，手順，システムなどを対象に系統的な調査を行い，所定の動作目的に対するリスクを特定する分析手法である。

分析に当たっては，Guide Word（*）を用いて，着目するプロセス又はシステムの流量，圧力，温度といったパラメーターの変動（Deviation）を想定し，変動の原因（機器の故障，誤操作，など），所定の動作目的に対して予想される影響・結果を考察するとともに，安全対策案を考案し，ワークシートに整理する。

（*）Guide Word は，Deviation の設定に役立つ語句として HAZOP で一般に用いられる。No，より多く，より少なく，と同様に，の一部，逆又は反対，以外，適合性が Guide Word の代表例である。これにシステムパラメーターを加えることで Deviation を想定する。例えば，配管の流量（システムパラメーター）に着目して，流量なし（設計で意図したことが起こらない）（＝”No”＋流量），高流量（＝”より多く”＋流量），低収量（＝”より少なく”＋流量），逆流（＝”逆”＋流量）を変動（Deviation）として想定し，検討に用いる。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】

HAZOP は，再処理施設，ウラン加工施設におけるリスクの検討に活用されている。

一般に，HAZOP では一度に一つの故障を想定するので，多重故障及び共通原因故障の評価には適していない。

外部ハザードに対するリスク評価に適用する場合は，Deviation として潜在的な外部ハザードを選定し，予想される影響，防止策，緩和策を検討してワークシートに整理することが考えられる。

9) シナリオ分析

【手法の概要】

現在あるリスク及び別のリスクの将来の進展を検討し，その影響を調べることによって，リスクを特定する，記述的モデル展開を行う分析手法である。

シナリオ分析は，脅威及び機会の両方がどのように進展するかの予想に使用でき，時間枠が短期と長期のあらゆる種類のリスクに使用できる。ただし，時間枠が短期かつデータが良質な場合に比べ，時間枠が長期又はデータが貧弱な場合には，評価者の想定・仮定がより多く含まれたものとなる。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】

外部ハザードが原子力発電所にどのように作用を及ぼすか，設備機能に影響が出た場合事象がどのように進展するかを分析するときに利用することができる。

10) 構造化"What-if 手法"

【手法の概要】[(5)]

構造化"What-if 手法"（Structured “What-if” Technique：SWIFT） は，“もし～ならばどうなるか”という問いかけ（What-if）をチームで行い，リスクの要因となる事象とその結果を分析する。この手法の特徴は，What-if の問いかけに対して，問いかけるべき標準的な語句リスト（ガイドワード）が整備されており，構造的なアプローチが可能な点にある。

この手法は，要因が複雑に絡み合う事象などの，詳細な分析には適さない。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】

外部ハザードの定性的なリスク評価にあたり，当該手法の構造的アプローチを参考にすることができる。

11) シンディニックアプローチ

【手法の概要】

シンディニックス（cindynics）は，文字どおり，危険の科学を意味する。シンディニックアプローチは，多くの異なる結果を引き起こすことがある，無形のリスク源及びリスクドライバーを特定する。特に，矛盾，曖昧さ，省略，知識不足などを特定及び分析する。

シンディニックアプローチの目的は，災害を防止するためにとる全ての管理策にもかかわらず，なぜ災害が依然として起こるのかを理解することである。このアプローチは，組織の経済効率を改善するために拡張されてきた。この手法は，多様な結果をもたらし得る組織内の体系的なリスク源及びリスクドライバーを究明する。これは戦略的なレベルで適用され，システムが新しい目的に向かって進展する際に望ましい又は望ましくない形で作用する要因を特定するために使用可能である。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】

定性的及び定量的なリスク評価全体にわたり，支援手法として適用できる。

12) 特性要因図（魚の骨線図又は石川線図）

【手法の概要】

特性要因図（魚の骨線図又は石川線図）では，望ましい又は望ましくない事象，影響，問題又は状況の考え得る原因を特定するために，チームによる取組を使用する。人的，技術的及び組織的な原因を扱うために，考え得る誘発要因を広いカテゴリーに整理している。情報は，特性要因図（魚の骨線図又は石川線図）に描かれる。

特性要因図は，既に発生した事象の根本原因分析を実施するときに，又はまだ発生してい

ない結果に寄与するかもしれない要因を特定するために使用可能である。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】

定性的及び定量的なリスク評価全体にわたり，支援手法として適用できる。

13) ちょう(蝶)ネクタイ分析

【手法の概要】[(5)]

ちょう（蝶）ネクタイ分析は，原因から結果までのリスクの経路を記述し，分析する簡易な図式方法である。事象[ちょう（蝶）ネクタイの結び目で表す]の原因を分析する FTA の考え方（左側）と，結果を分析する ETA（右側）とを組み合わせたものと見ることができる。ただし，ちょう（蝶）ネクタイ分析で重要なのは，原因とリスクとの間，及びリスクと結果との間のバリアである。ちょう（蝶）ネクタイ図は，FT 図及び ET 図を起点に構成できるが，ブレーンストーミングで検討し，直接描くことのほうが多い。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】

基本的に FT 図及び ET 図と同等の表現方法であり，FT 図及び ET 図で代替できるため，新たなリスク評価方法又は分析方法とは言えないと考えられる。

14) 危険要因分析重要管理点（HACCP）

【手法の概要】

危険要因分析重要管理点（Hazard Analysis and Critical Control Points：HACCP）は，食品の安全管理の目的で整理された手法である。食品の製造プロセスのなかで製品の品質及び安全に重大影響を与えるパラメーター（温度，濃度など）を管理点として設定し，そのパラメーターを常時監視することでリスクを管理する。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】

製造プロセスのリスク管理に用いられる手法であり，外部ハザードのリスク管理には適さない。

15) 防護層解析（LOPA）

【手法の概要】

防護層解析（Layer of Protection Analysis：LOPA）は，事象又はシナリオに付随するリスクの半定量的な算定方法であり，リスクを抑制又は緩和するため十分な対策であるか否かを解析する。原因・結果の対からリスクの原因を防ぐための防護層を特定し，リスクを許容水準まで低減しているかどうかを判定するための等級計算を実施する。各防護層によるリスク低減度を解析することで，リスクの低減に要する資源を有効に配分するための判断情報として使うことができる。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】

運転，システム及びプロセスを対象とした解析ができ，これらのもつリスクに対して最も

重要な防護層を明らかにすることで，資源の最適配分に資することができるが，適用できるのは一つの原因・結果の対及び一つのシナリオであり，共通原因故障などを含む複雑な相互作用には適さない。

16) ベイズ解析

【手法の概要】

ベイズ解析は，一般に，データ及び主観的な情報の両方が存在するような問題において，両方の種類の情報を意思決定において使用することを可能にする。ベイズ解析は，ベイズの定理に基づいており，既知の情報（事前分布）を基にその後の測定（事後分布）を解析する手法である。

ベイズ解析は，判断及び経験の両方のデータからの推論の手段である。特定の状況のために開発されたリスクモデル内のパラメーターについて推論を行うためにベイズ解析を使用することが可能である。例えば，事象の確率，事象の発生率又は事象までの時間である。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】

PRA の分野においては，ベイズ解析は，個別プラントの故障率などを算出する際に，他プラントの故障率（一般パラメーター）を事前分布として，個別プラントの故障率分布（事後分布）を算出するなどの際に用いられる。外部ハザードについても，適切に事前分布を設定することができれば，限られたデータから希有な外部ハザードの発生頻度及び設備損傷確率を評価する際に活用できる[8]。

17) ベイジアンネットワーク（BN）及び影響図

【手法の概要】[9]

ベイジアンネットワーク（Bayesian Network ：BN，ベイズネットともいう。）は，そのノードが確率変数（離散及び／又は連続）を表すグラフモデルである。ノードは，変数間の直接的な依存関係を表す有向アークによって接続される。基本的なBNは不確かな事象を表す変数を含んでおり，起こりやすさ若しくはリスクの推定，又は指定された結果をもたらす主なリスクドライバーの推測のために使用可能である。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】

PRA の分野において，ベイジアンネットワークは人間信頼性評価及びマルチユニット動的 PRA 評価などで用いられるケースがあり，外部ハザードについても，マルチハザードの評価への適用例もある。[10]。

18) 事業影響度分析（BIA）

【手法の概要】

事業影響度分析（Business Impact Analysis :BIA）は，主要な事業プロセスなどの中断がどのように組織の運営に影響するのか分析を行い，組織の運営管理に必要となる能力を

明らかにする手法である。

事業影響度分析は，アンケート，インタビュー，構造化ワークショップ，又はこれらの組み合わせを用いて実施し，組織運営における重大なプロセス及び関連する相互依存性，プロセスの損失の影響，復旧時間などに対する理解を得ることができる。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】

組織の運営への影響を評価する手法であり，外部ハザードに対するリスク評価への適用は難しい。

19) 原因・結果解析（CCA）

【手法の概要】

原因・結果解析（Cause Consequence Analysis : CCA）は事象の木解析（Event Tree Analysis : ETA）と故障の木解析（Fault Tree Analysis : FTA）を組み合わせた手法である。決定事象から始めて，発生可能性がある条件又は起因事象の結果を緩和するように設計されたシステムなどの失敗を表す分岐ゲートの組合せによって結果を解析する。アウトプットは，どのようにシステムが故障するか，その原因と結果との両方を示す図表であり，ET図の分岐点にあたるところには，特定の条件（Success criteria など）を記載したボックスで示す。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】

ETA と FTA の組合せであることから，外部ハザードによるシステム機能喪失のシナリオ分析に用いることができる。

20) 事象の木解析（ETA）

【手法の概要】

事象の木解析（Event Tree Analysis : ETA）は，起因事象が発生したとして，それに続く事象の進展を分析し，図示する手法である。起因事象からスタートし，起因事象に続く事象の影響を緩和するために設計されている様々なシステムの成否を 2 通りの分岐によって結んでいき，どのような事象（状態）に進展するかを分析する。分岐は成功か失敗の 2 通りであるため，部分的な成功を表現することはできないが，定性的評価及び定量的評価のいずれの場合にも用いることができる手法である。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】

事故シーケンスの分析において使用することができ，各シーケンスの発生頻度についても評価できる。

21) 故障の木解析（FTA）

【手法の概要】[11]

故障の木解析（Fault Tree Analysis : FTA）は，その発生が好ましくない事象（頂上事象）

について，発生に繋がる全ての要因，発生経路を分析するための手法である。要因は演繹的，論理的に展開していき，頂上事象とその要因との相互関係を樹形図で図示する。定性的評価及び定量的評価に用いることができる。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】

望ましくない事象がどのように発生するか，その経路を分析するために用いることができる。また，機器の故障率などを用いて起因事象の発生頻度を求めることができるため，PRA において事象の木解析（ETA）におけるシナリオの分岐確率及び起因事象発生頻度を求める際に用いられる。

22） 人間信頼性分析（HRA）

【手法の概要】

人間信頼性分析（Human Reliability Assessment：HRA）は，運転，システム及びプロセスに及ぼすヒューマンエラーの影響評価に用いることができる。定性的な HRA をエラーの可能性及びその原因分析の目的で使用すれば，エラーの低減に寄与するこができる。定量的な HRA を使用すれば，ヒューマンエラーに関する確率を故障の木解析（FTA）又はその他の手法に提供できる。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】

リスク評価において広く適用されており，詳細なリスク評価を始め各種のリスク評価手法に適用することができる。

23） マルコフ解析

【手法の概要】[(12)]

マルコフ解析は,システムの将来の状態が現在のシステムの状態だけに依存している場合に使用する。マルコフ解析プロセスは,定量的手法であり,状態間の変化の確率（遷移確率）が離散的でも連続的でも適用可能である。この方法は,高次のマルコフプロセスを採用することによって,より複雑なシステムに拡張できる。マルコフ解析は手計算でも実施できるが，この手法の性質上，コンピュータプログラムの使用に向いている。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】

外部ハザードが顕在化した後にシステムが取りうる状態間の遷移確率が，直前の状態だけに依存しているのならば，外部ハザードに対してもマルコフ解析の手法は適用可能である。

24） モンテカルロシミュレーション

【手法の概要】

多くのシステムは，非常に複雑であるため，解析的手法を用いて不確かさの影響をモデル化することができないが，モンテカルロシミュレーションでは，インプットを無作為の変数

とみなし,インプットのサンプリングによって多数回のシミュレーションを実行し,多数個の出力を得ることによって,様々な状況でのシステムへの不確かさの影響を評価できる。この手法は,解析的手法では解くことが極めて難しい複雑な状況を取り扱うことができる。モンテカルロシミュレーションは,異なる次の二つの目的に使用できる。

－ 解析的モデルにおける不確かさの伝ぱ

－ 解析的手法を用いることができないときの発生確率計算

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】

モンテカルロシミュレーションは，地震等の外的事象 PRA においても有用なツールであり，実際に地震ハザード，フラジリティ，炉心損傷確率の評価などに活用されている。

25) プライバシー影響分析（PIA）及びデータ保護影響分析（DPIA）

【手法の概要】

プライバシー影響分析（Privacy Impact Analysis：PIA）（プライバシー影響アセスメントとも呼ばれる）及びデータ保護影響分析（Data Protection Impact Analysis : DPIA）は，インシデント及び事象がどのように個人のプライバシーに影響を与える可能性があるかを分析し，それをマネジメントするために必要な機能を特定及び定量化する。PIA 及び DPIA は，個人のプライバシー及び個人データに対する潜在的な影響を特定するための提案を評価するためのプロセスである。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】

プライバシー影響分析は一般的に個人情報保護などに関する影響を評価する手法であり，外部ハザードのリスク評価への適用は難しいと考えられる。

26) 因果マッピング

【手法の概要】

因果マッピングは，議論の連なりの形をしている個人の認識を受け取り，それを検討及び分析に適した有向グラフにし，事象，原因及び結果をマップに表示することが可能である。一般に，マップは，一連の異なる分野からの参加者が資料の導出，構造化及び分析の作業を行うワークショップ環境において作成する。必要に応じて，認識を文書からの情報によって補強する。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】

定性的及び定量的なリスク評価全体にわたり，支援手法として適用できる。ほかのリスク評価手法と併用することが可能である。

27) クロスインパクト分析

【手法の概要】

クロスインパクト分析は，所定の事象のセットのうちの一つが実際に発生した後の，それ

らの事象の発生確率の変化を評価するために設計された一連の手法に付けられた一般名称である。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】

クロスインパクト分析は，予測調査において，また異なる要因がどのように将来の決定に影響するかを予測する分析手法として使用される。シナリオ分析と組み合わせることで，作られるどのシナリオの可能性が最も高いかを決定することが可能である。これは，例えば，複雑なプロジェクト，セキュリティリスクのマネジメントなど，複数の相互作用するリスクが存在する場合に使用可能である。

28) 毒性リスクアセスメント

【手法の概要】

化学薬品，微生物などの環境ハザードへのばく露に対する，動植物及び人に対する影響を分析する手法である。動植物及び人の潜在的なばく露の程度の評価，ばく露の程度に対する影響の大きさの評価を行い，環境ハザードによる影響の程度を評価する。環境ハザード一般に適用可能であり，被ばく評価，被ばく管理で用いられている手法と類似している。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】

化学物質などのばく露による影響及び/又はばく露にいたる経路が明らかであり，長期間のばく露によるリスクを評価する手法であり，ばく露に至る経路及び/又はその可能性についても評価の必要な外部ハザードについては，適用が難しいものと考えられる。

29) バリューアットリスク（VaR）

【手法の概要】

バリューアットリスク（Value at Risk：VaR）は，所定の信頼水準内で，特定の期間にわたっての金融資産ポートフォリオの生じ得る損失額の指標を与えるために，金融部門で広く使用されている。VaR を超える損失は，規定された小さな発生確率でだけ発生する。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】

バリューアットリスクは一般的に金融分野のリスク管理に使用される指標であり，外部ハザードのリスク評価への適用は難しいと考えられる。

30) 条件付きバリューアットリスク（CVaR）又は期待ショートホール（ES）

【手法の概要】

期待ショートホール（Expected Shortfall：ES）とも呼ばれる条件付きバリューアットリスク（Conditional Value at Risk：CVaR）は，最悪の a %の場合の金融ポートフォリオからの予想損失の尺度である。これは，VaR に類似した尺度であるが，ポートフォリオ値の分布の下側（損失）の裾部の形状に，より敏感である。CVaR（a）は，一定の時間割合にだけ発生する損失からの予想損失である。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】

バリューアットリスクは一般的に金融分野のリスク管理に使用される指標であり，外部ハザードのリスク評価への適用は難しいと考えられる。

31） 合理的に実現可能な程度に低い（ALARP）及び合理的に実現可能な範囲で（SFAIRP）

【手法の概要】[13][14]

ALARP（As Low As Reasonably Practicable : ALARP）及び SFAIRP（So Far As is Reasonably Practicable : SFAIRP）は，“合理的に実現可能な”という原則を具体的に表現する頭字語である。ALARP は，一般に，リスクのレベルを合理的に実現可能な限り低くすることを要求している。また，SFAIRP は，一般に，合理的に実現可能な範囲で安全性を確実にすることを要求している。この「合理的に実現可能である」ということは，国によっては法律又は判例法で定義されている。

ALARP 及び SFAIRP は，リスクに対応する必要があるかどうかを決定するための基準として使用される。これらは，安全関連リスクに対して最も一般的に使用され，法域によっては立法者が使用している。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】

ALARP の目的は，リスクを「合理的に実施可能な限り低く保つ」ことであり，リスクを完全にゼロにすることは不可能である場合でも，合理的かつ実行可能な範囲でリスクを最小限に抑える，といった概念である。ALARP 及び SFAIRP はリスク評価を活用した意思決定を行う際の考え方の一つであり，外部ハザードの影響緩和策の策定などに活用できる。

32） 頻度及び人数（F-N）曲線

【手法の概要】

F-N 曲線は，リスク分析結果を表現する方法であり，横軸に“指定されたレベルの危害”をとり，縦軸に“その危害の発生する頻度”をとったグラフとして表すものである。横軸に死傷者数（N），縦軸に N 人以上の死傷者数が発生する頻度（F）を示し，右下がりのグラフになって表れることが多い。

ある母集団に対し類似の性質のリスクの比較に適している。また，リスクの許容範囲を F-N 曲線で表現することにも使われている。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】

外部ハザードに対するリスク評価結果の比較において，F-N 曲線を活用できるが，外部ハザードのリスク評価には適さない。

33） パレート図

【手法の概要】

パレート図は，重大な全体的効果を生み出すような，限られた数のタスクを選択するため

のツールである。これは，問題の 80 %が原因の 20 %によって生み出される，又は作業の 20 %を行うことによって，人は利益の 80 %を生み出せるという考えのパレート原理（80:20 の法則としても知られている。）を使用している。パレート分析は，考え得る多くの行動が注目すべきものとして競合的に存在している場合に，作戦レベルで有用である。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】

定性的及び定量的なリスク評価全体にわたり，支援手法として適用できる。ほかのリスク評価手法と併用することが可能である。

34） 信頼性重視保全（RCM）

【手法の概要】

RCM（Reliability Centered Maintenance : RCM）は，あらゆる種類の機器に要求する，運転の安全性，アベイラビリティ及び経済性を効率的かつ効果的に達成するように，故障の管理において実現するとよい方針を明らかにする方法である。RCM は，現在，幅広い様々な産業界が用いる実証済みの方法である。RCM では，リスク分析として，保全を行わないときの各故障の頻度の推定と故障影響を組み合わせたリスクマトリックスによってリスクレベルのカテゴリーを定める。これらの結果から，機器に適用可能で有効な予防保全要求事項並びにその故障の原因となる劣化機構を特定するための決定プロセスを提供する。このプロセスを通じた作業の最終結果は，保全作業の実施又は運用の変更のようなほかの対策の必要性に関する決定である。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】

RCM の目的は，保全方法の検討，策定であるが，リスクアセスメントの基本ステップを踏むことから，リスクに基づいた手法といえる。故障モード・影響及び致命度解析（Failure Mode, Effects and Criticality Analysis : FMECA）と同じ種類のリスク評価手法であるが，その中間的成果として，各故障の頻度の推定と故障影響を組み合わせたリスクマトリックスによってリスクレベルのカテゴリーを定めることから，外部ハザードによる故障が特定できれば，そのリスクの簡易評価として利用可能と思われる。ただし，頻度と影響をカテゴリー分けする際の客観的な判断基準の設定が必要であり，外部ハザードのリスク評価には適さない。

35） リスク指標

【手法の概要】

リスク指標は，定性的な尺度（評点）を表す数字であり，それを用いた採点方式などによってリスクの大きさを順序付けする方法をリスク指標と呼ぶ。あるシステムに対する様々なリスクを順序付けるには，まずリスクを構成する要素を分析し，それら構成要素に発生確率及び/又は影響度に応じた評点を与え，構成要素間の関係に基づき評点を加減乗除することによって当該リスクの指標を算出する。評点の与え方及び計算方法には任意性があるた

め，既知のシステムに適用して妥当性を確認するとか，感度解析を実施して敏感な要素を見つけて評点を調整するなど，適切さを確認することが望ましい。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】

リスク評価の結果に基づきハザード，リスクの要因などに順序をつける手法であり，外部ハザードの発生頻度，外部ハザードのリスクを定量評価する手法ではないが，外部ハザードが複数ある場合に，それらの発生確率と被害の大きさに評点を与えることでリスク指標を計算し，どの外部ハザードが重要かを順序付けるなどに活用できる。FV 重要度，RAW などのリスク重要度指標に基づく事故要因の分析は，このリスク指標の一例である。

36） 費用／便益分析（CBA）

【手法の概要】[15]

費用／便益分析（Cost and benefit analysis：CBA）は，複数の事業計画，改善策などがある場合に，最も効果的又は最も利益が期待できる選択をするための手法であり，定性的評価，定量的評価，又は定性的評価及び定量的評価を組み合わせた評価を実施し，想定される総費用及び/又は想定される総便益を金銭的価値に置きかえて比較・検討する。費用及び便益を適正に金銭的価値に置き換えることが重要であり，必要な場合には不確かさを確率で重み付けするなどして考慮する。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】

リスク評価の結果を活用した意思決定のための手法であり，潜在的なリスクをもつ外部ハザードの選定，外部ハザードのリスク評価には適さない。

37） 決定木解析

【手法の概要】

決定木は，不確かな結果を考慮して順番に置いた選択肢及び結果を表す。起因事象又は最初の決定で始まり，発生する可能性がある事象及び決定の選択肢による異なる経路及び結果をモデル化する。不確かさがある場合に最善の行動方針の選択に用いることができ，プロジェクトリスクの管理などにも使用される。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】

リスク評価においては，事象の木解析（ETA）に含まれる。

38） ゲーム理論

【手法の概要】

ゲーム理論は，可能性のある多くの将来状況を踏まえて，可能性のある異なる決定の結果をモデル化する手法である。将来状況は，異なる意思決定者（例えば，競合者）によって，又は技術若しくは試験の成功，失敗などの外部事象によって決定される可能性がある。ゲーム理論は，ほかのプレイヤーに関する情報の価値又は可能性のある異なる結果（例えば，あ

る技術の成功）を決定するために使用することも可能である。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】

ゲーム理論は複数のプレイヤーが自分の選択が他者に与える影響を考慮しながら最適な戦略を決定する数学的な理論であり，外部ハザードのリスク評価には適さない。

39） 多基準分析（MCA）

【手法の概要】[15]

多基準分析（Multi-criteria analysis：MCA）とは，複数の基準で代替案を評価し選択を支援しようとする分析手法の総称である。リスクと効率性だけでなく，被ばくと作業環境といった時として相反する複数の目的が意思決定において考慮されなければならない環境下で意思決定の支援のために用いられる手法である。課題としては，最終的な判断のために複数の基準で評価された評価値を統合するが，その統合に当たって恣意的にならないようにすることが挙げられる。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】

複数の代替案の中から意思決定をしていくための評価手法であり，外部ハザードのリスク評価には適さない。

40） リスク登録簿

【手法の概要】

リスク登録簿は，リスクに関する情報をまとめ，リスクにさらされている人々及びリスクのマネジメントに責任を負う人々に，それを知らせるものである。リスク登録簿は，個々のリスク及びそれらをどのように管理するかに関する情報を，記録及び追跡するために使用する。リスクに関する情報を利害関係者に伝達し，特に重要なリスクを強調するために使用可能である。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】

リスク登録簿はリスクに関する情報を記録し，追跡する手段として使用する手法であり，外部ハザードのリスク評価には適さない。

41） リスクマトリックス（結果及び起こりやすさマトリックス又はヒートマップ）

【手法の概要】

リスクマトリックス（結果及び起こりやすさマトリックス又はヒートマップ）は，リスクを，その結果及び起こりやすさに従って表示し，リスクの重大性に関する格付けを表示するために，これらの特性を組み合わせる方法である。

マトリックスを受容性の度合いで領域分けすることで，受容できない領域のリスクに対しては起こり易さを下げるか被害を小さくする対策を打つことによって，受容可能な領域へ移すといった手段として活用することができる。

【外部ハザードに対するリスク評価への適用】
外部ハザードに対するリスク評価結果をマトリックスにあてはめることによって，外部ハザードのリスクプロファイル表現に活用できるが，外部ハザードのリスク評価には適さない。

42) S 字曲線

【手法の概要】
リスクが様々な結果の値をもつことがある場合には，それらを結果の確率分布として表示することが可能である。データは，累積分布としてプロットすることも可能であり，これは，ときには S 字曲線と呼ばれる。確率分布は，パラメトリック又は非パラメトリックの場合がある。
S 字曲線は，受容可能なリスクを表す結果値を考察するときに有用なツールである。これは，結果が特定の値を超える確率をより容易に知ることを可能にするデータ提示手段である。
【外部ハザードに対するリスク評価への適用】
定量的なリスク評価における，支援手法として適用できる。

2.2 外部ハザードに対するリスク評価への適用性

JIS Q31010 の附属書にリスク評価手法として記載された 42 の各リスク評価手法について，**外部ハザード選定標準**における次のリスク評価方法への適用性を**表 1** に示す。

a) 潜在的な外部ハザードの同定，特性分析による選別
b) 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
c) 裕度評価
d) 保守的条件設定に基づく CDF 評価
e) PRA などの詳細なリスク評価

ここでは，外部ハザード選定標準のリスク評価において，何らかの利用が可能であると考えられる **JIS Q31010** のリスク評価手法を“○：適する”，利用可能性のないリスク評価手法を“＼：適さない“とした。

表 1－リスク評価手法まとめ表（「外部ハザード選定標準」のリスク評価方法としての適用性）(1/3)

リスク評価手法名※	「外部ハザード選定標準」のリスク評価方法としての適用性 （○：適する　＼：適さない　N/A：適用範囲外）					備考
	潜在的な外部ハザードの同定，特性分析による選別	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	裕度評価	保守的条件設定に基づく CDF 評価	PRA などの詳細なリスク評価	
1) ブレーンストーミング	○	○	○	○	○	
2) デルファイ技法	○	○	○	○	○	
3) ノミナルグループ技法	○	○	○	○	○	
4) 構造化又は半構造化インタビュー	○	○	○	○	○	
5) 質問紙調査	○	○	○	○	○	
6) チェックリスト，分類及び分類体系	○	○				定量的な評価は実施できない。
7) 故障モード・影響解析（FMEA）／故障モード・影響及び致命度解析（FMECA）		○ （影響度分析）	○	○	○	
8) HAZOP スタディーズ	○	○				一度に一つの故障だけを想定するため，多重故障及び共通原因故障を含めた評価には適さない。
9) シナリオ分析	○	○	○	○	○	
10) 構造化“What-if”技法（SWIFT）	○	○	○	○	○	詳細なリスク評価に必要な，リスク及びハザードの特定に使用できる。
11) シンディニックアプローチ	○	○	○	○	○	
12) 特性要因図（魚の骨線図又は石川線図）	○	○	○	○	○	
13) ちょう（蝶）ネクタイ分析		○ （影響度分析）	○	○	○	
14) 危険要因分析重要管理点（HACCP）	N/A					製造プロセスのリスク監視（モニタリング）の手法であり，リスク評価の手法ではない。
15) 防護層解析（LOPA）			○	○	○	一つのシナリオに対する評価しかできないため，特定条件下における最適化などに使用が限定される。また，共通原因を含むなど複雑な評価には適さない。
16) ベイズ解析		○ （発生頻度分析）				適切な事前分布の設定ができれば，プラント個別故障率，設備損傷確率，稀有な外部ハザードの発生頻度などの評価に適用できる。
17) ベイシアンネットワーク及び影響図					○	

※リスク評価手法名の前に記載した番号は本文 **2.1** と対応する。

表 1－リスク評価手法まとめ表（「外部ハザード選定標準」のリスク評価方法としての適用性）(2/3)

リスク評価手法名※	「外部ハザード選定標準」のリスク評価方法としての適用性（○：適する　＼：適さない　N/A：適用範囲外）					備考
	潜在的な外部ハザードの同定，特性分析による選別	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	裕度評価	保守的条件設定に基づく CDF 評価	PRA などの詳細なリスク評価	
18) 事業影響度分析（BIA）	N/A					ハザードの影響そのものではなく，ハザードの影響を受けた後の，組織運営能力などについて評価する手法であり，外部ハザードのリスク評価には適さない。
19) 原因・結果解析（CCA）	＼	＼	○	○	○	
20) 事象の木解析（ETA）	＼	＼	○	○	○	
21) 故障の木解析（FTA）	＼	＼	○	○	○	
22) 人間信頼性分析（HRA）	＼	＼	○	○	○	
23) マルコフ解析	＼	＼	＼	＼	○	外部ハザードが顕在化した後にシステムが取りうる状態間の遷移確率が，直前の状態だけに依存している場合にだけ適用可能となる。
24) モンテカルロシミュレーション	＼	○	＼	＼	○	
25) プライバシー影響分析（PIA）及びデータ保護影響分析（DPIA）	N/A					一般的に個人情報保護などに関する影響を評価する手法であり，外部ハザードのリスク評価には適さない。
26) 因果マッピング	＼	＼	○	○	○	
27) クロスインパクト分析	＼	＼	○	○	○	
28) 毒性リスクアセスメント	N/A					動植物及び人に対するリスクを評価する手法であり，外部事象がプラントへ与える影響の評価に用いることはできない。
29) バリューアットリスク（VaR）	N/A					金融分野のリスク管理に使用される指標であり，外部ハザードのリスク評価には適さない。
30) 条件付きバリューアットリスク（CVaR）又は期待ショートホール（ES）	N/A					金融分野のリスク管理に使用される指標であり，外部ハザードのリスク評価には適さない。
31) 合理的に実現可能な程度に低い（ALARP）及び合理的に実現可能な範囲で（SFAIRP）	N/A					リスク評価の結果を活用した意思決定を行う際の考え方の一つであり，リスクを評価する手法ではない。
32) 頻度及び人数（F-N）曲線	N/A					リスク結果の分析・管理策の判断選択に関する手法であり外部ハザードのリスク評価には適さない。
33) パレート図	○	○	○	○	○	

※リスク評価手法名の前に記載した番号は本文 **2.1** と対応する。

表 1－リスク評価手法まとめ表（「外部ハザード選定標準」のリスク評価方法としての適用性）(3/3)

リスク評価手法名※	「外部ハザード選定標準」のリスク評価方法としての適用性（○：適する　＼：適さない　N/A：適用範囲外）					備考
	潜在的な外部ハザードの同定，特性分析による選別	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	裕度評価	保守的条件設定に基づく CDF 評価	PRA などの詳細なリスク評価	
34) 信頼性重視保全（RCM）	N/A					リスク情報活用の手法であり，リスク評価の手法ではない。
35) リスク指標	N/A					リスク評価結果を活用した分析のための手法であり，リスク評価の手法ではない。
36) 費用便益分析（CBA）	N/A					リスク結果の分析・管理策の判断選択に関する手法であり，リスク評価の手法ではない。
37) 決定木解析	＼	＼	○	○	○	
38) ゲーム理論	N/A					競合する他社に与える影響を評価し，最適な選択を検討するための評価手法である。ハザードの影響を評価するものではなく，外部ハザードに関するリスク評価には適さない。
39) 多基準分析（MCA）	N/A					リスク結果の分析・管理策の判断選択に関する手法であり，リスク評価の手法ではない。
40) リスク登録簿	N/A					リスクに関する情報を記録，追跡する手段であり，外部ハザードに関するリスク評価には適さない。
41) リスクマトリックス（結果及び起こりやすさマトリックス又はヒートマップ）	N/A					リスク結果の分析・管理策の判断選択に関する手法であり，リスク評価の手法ではない。
42) S 字曲線	＼	＼	○	○	○	

※リスク評価手法名の前に記載した番号は本文 **2.1** と対応する。

3　まとめ

原子力発電所の外部ハザードに関するリスクは，**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：2024** の規定及びこの資料で示したリスク評価手法を適切に組み合わせることによって評価できる。

参考文献

(1) （一社）日本原子力学会，“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:2024”，AESJ-SC-RK008:2024（2025）

(2) 日本産業規格 JIS Q 31010:2022 リスクマネジメントーリスクアセスメント技法

(3) 日本産業規格 JIS Q 0073:2010 リスクマネジメントー用語

(4) （社）日本船舶海洋工学会　大規模海上浮体施設の構造信頼性および設計基準研究委員会　最終報告書　2009 年 10 月

(5) Det Norske Veritas: Marine Risk Assessment, the Health and Safety Executive (2002).

(6) JIS C 5750-4-3,ディペンダビリティマネジメント−第 4-3 部 : システム信頼性のための解析技法－故障モード・影響解析（FMEA）の手順

(7) IEC61882, Hazard and operability studies (HAZOP studies) - Application guide

(8) Extreme external events in the design and assessment of nuclear power plants, IAEA-TECDOC-1341, IAEA, Vienna 2003

(9) 磯崎 隆司 ベイジアンネットワーク：ベイジアンネットワークにおける因果発見,人口知能学会誌　25 巻 6 号（2010 年 11 月）

(10) SMiRT-25, “EXTERNAL MULTI-HAZARD PROBABILISTIC RISK ASSESSMENT METHODOLOGY AND APPLICATIONS: A REVIEW OF THE STATE OF-THE-ART”, H. Sandu, P. Patel, Y. Mihara (2019)

(11) 日本産業規格 JIS C 5750-4-4,ディペンダビリティ　マネジメント−第 4-4 部：システム信頼性のための解析技法−故障の木解析（FTA）

(12) IEC61165, Application of Markov techniques

(13) HSE Hazardous Installations Directorate (HIDs) Approach to As Low As Reasonably Practicable (ALARP) Decisions, HSE, 2008

(14) Reducing risks, protecting people, HSE, 2001

(15) （一社）日本原子力学会，“原子力発電所の継続的な安全性向上のためのリスク情報を活用した統合的意思決定に関する実施基準：2019”, AESJ-SC-S012：2019（2019）

付録　標準委員会，専門部会，分科会　委員名簿

1. 標準委員会　委員名簿

（2025.6.4 現在）

No.	役職	氏名（敬称略）	所属
1.	委員長	山本　章夫	名古屋大学
2.	副委員長	西山　裕孝	（国研）日本原子力研究開発機構
3.	幹事	毎熊　成公	九州電力（株）
4.	委員	青野　竜士	（国研）日本原子力研究開発機構
5.	委員	阿部　弘亨	東京大学
6.	委員	井口　哲夫	元名古屋大学
7.	委員	石川　顕一	東京大学
8.	委員	糸井　達哉	東京大学
9.	委員	乾　智彦	関西電力（株）
10.	委員	今井　俊一	東京電力ホールディングス（株）
11.	委員	井村　諭	三菱重工業（株）
12.	委員	牛尾　直史	原子燃料工業（株）
13.	委員	小澤　隆	（一社）日本電機工業会
14.	委員	木倉　宏成	東京科学大学
15.	委員	黒田　理知	東芝エネルギーシステムズ（株）
16.	委員	中島　正人	（一財）電力中央研究所
17.	委員	佐々木　隆之	京都大学
18.	委員	曽根田　秀夫	日立 GE ベルノバニュークリアエナジー（株）
19.	委員	髙田　孝	東京大学
20.	委員	竹山　弘恭	中部電力（株）
21.	委員	田中　裕治	日本原燃（株）
22.	委員	戸澤　克弘	富士電機（株）
23.	委員	成宮　祥介	東京大学
24.	委員	西田　明美	（国研）日本原子力研究開発機構
25.	委員	古川　智弘	（国研）日本原子力研究開発機構
26.	委員	椋木　敦	日揮（株）

2. リスク専門部会　委員名簿

（2025.5.15 現在）

No.	役職	氏名（敬称略）	所属
1.	部会長	髙田　孝	東京大学
2.	副部会長	桐本　順広	（一財）電力中央研究所
3.	幹事	竹下　明	中部電力（株）
4.	幹事	沼田　健	関西電力（株）
5.	幹事	水野　聡史	東京電力ホールディングス（株）
6.	幹事	山中　勝	日本原子力発電（株）
7.	委員	江藤　淳二	（株）三菱総合研究所
8.	委員	大鳥　靖樹	東京都市大学
9.	委員	柿木　俊平	原子燃料工業（株）
10.	委員	栗坂　健一	（国研）日本原子力研究開発機構
11.	委員	倉本　孝弘	（株）原子力エンジニアリング
12.	委員	佐藤　寿樹	東芝エネルギーシステムズ（株）
13.	委員	佐藤　親宏	テプコシステムズ（株）
14.	委員	高田　毅士	（国研）日本原子力研究開発機構
15.	委員	武部　和巳	日本原燃（株）
16.	委員	田中　太	三菱重工業（株）
17.	委員	玉置　等史	（国研）日本原子力研究開発機構
18.	委員	三輪　修一郎	東京大学
19.	委員	森山　実	日本エヌ・ユー・エス（株）
20.	委員	廣川　直機	日立 GE ニュークリア・エナジー（株）
21.	委員	吉田　一雄	（国研）日本原子力研究開発機構

3. 外的事象 PRA 分科会　委員名簿

（2025.4.23 現在）

No.	役職	氏名（敬称略）	所属
1.	主査	糸井　達哉	東京大学
2.	幹事	桐本　順広	（一財）電力中央研究所
3.	委員	足立　高雄	（株）大林組
4.	委員	内山　泰生	大成建設（株）
5.	委員	渡邉　貴裕	東京電力ホールディングス（株）
6.	委員	沼田　健	関西電力（株）
7.	委員	越智　大輔	中部電力（株）
8.	委員	佐藤　寿樹	東芝エネルギーシステムズ（株）
9.	委員	砂川　雅志	北海道電力（株）
10.	委員	前田　佳祐	（株）テプコシステムズ
11.	委員	中島　正人	（一財）電力中央研究所
12.	委員	西田　明美	（国研）日本原子力研究開発機構
13.	委員	片桐　康寛	（株）原子力エンジニアリング
14.	委員	廣川　直機	日立 GE ニュークリア・エナジー（株）
15.	委員	髙橋　容之	鹿島建設（株）
16.	委員	三輪　英紀	三菱重工業（株）
17.	委員	西野　裕之	（国研）日本原子力研究開発機構

AESJ-SC-TR010:2025

日本原子力学会技術レポート

外部ハザードに対するリスク評価手法に関する手引き:2025

2025 年 7 月 17 日　初版　第 1 刷発行

発行所　一般社団法人 日本原子力学会
（〒105-0004）東京都港区新橋 2-3-7
（新橋第二中ビル 3 階）
電話（03）3508-1263；FAX（03）3581-6128