

リスク評価の手法と活用

平成25年9月11日

第3回自主的安全性向上WG会合

山口 彰

PRAとPSA: 安全確保に活用する

- 日本原子力学会の策定するリスク関連の標準は、PRAと呼ぶこととする。PRAから得られる全てを安全確保活動に活用し有効な**安全向上策を構築する一連の行為**がPSAである。
- 原子力安全について**様々な局面で意思決定**が必要となる。それには、**リスク情報を用いることが安全確保**において有効であり重要である。
- リスク情報を**安全確保活動に活用**するという観点からこれをPSAと呼ぶことは適切であると考ええる。
- しかし、そのためには**定量的なリスク評価によりリスク情報を得る必要がある**。その行為にはPRAとの呼称が相応しい。

山口、確率論的安全評価(PSA)と確率論的リスク評価(PRA)、
日本原子力学会誌2012年6月号

原子力安全に関するIAEA閣僚会議に対する日本国政府の報告書
-東京電力福島原子力発電所の事故について-
平成23年6月 原子力災害対策本部

- 教訓27 リスク管理における確率論的安全評価手法(PSA)の効果的利用
 - 原子力発電施設の**リスク低減の取組みを体系的に検討**する上で、これまでPSAが必ずしも効果的に活用されてこなかった。また、PSAにおいても大規模な津波のような稀有な事象のリスクを定量的に評価するのは困難であり、より不確実性を伴うが、そのようなリスクの不確かさなどを明示することで信頼性を高める努力を十分に行ってこなかった。このため、今後は、**不確かさに関する知見を踏まえつつ、PSAをさらに積極的かつ迅速に活用し、それに基づく効果的なアクシデントマネジメント対策を含む安全向上策を構築**する。

日本原子力学会 東京電力福島第一原子力発電所事故に関する調査委員会

• 事故の背景要因

– 事業者の安全意識と安全に関する取組みの不足

- 新たな知見により明らかとなったリスクに対して、これを軽視することによって、必要な安全対策を先延ばしにした。経営判断が優先されたと推測される。
- 規制要求以上の安全対策を自ら進める姿勢に欠けていた。
- 安全を優先させるための俯瞰的なマネジメントの能力に欠けていた。

安全向上(リスク管理)のキーワード 体系的・俯瞰的・自主的

- **リスク低減**の取組みの体系的検討
 - 不確かさに関する知見(リスクの認識)
 - 安全向上策の構築
- 安全向上を自ら進める姿勢
 - PRAの積極的かつ迅速な活用
 - 安全確保活動に活用
 - 様々な意思決定に活用
- 俯瞰的な**マネジメント能力**

新規制基準におけるPRAの要求

- 第三十六条 発電用原子炉施設は、重大事故の兆候がある場合において、炉心の著しい損傷を防止するために必要な措置を講じたものでなければならない。
 - 原子力規制委員会が指定する事故シーケンスグループ
 - 個別プラント評価により抽出した事故シーケンスグループ
 - 個別プラントの内部事象に関する確率論的リスク評価(PRA)及び外部事象に関するPRA(適用可能なもの)又はそれに代わる方法で評価を実施すること
- 安全性向上のための評価の届出・公表<第43条の3の29>(12月施行)
 - 内部事象と外部事象の個別PRA(IPE*、IPEEE**)を求める
- PRAを実施する、使って安全評価する。そしてどうするか？

* Individual Plant Examination

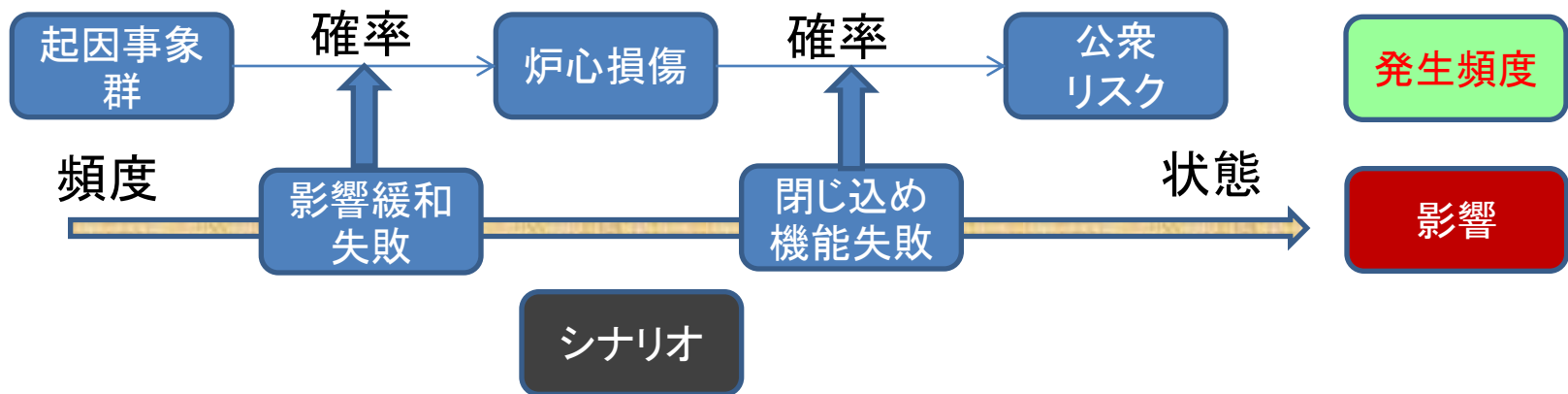
** IPE for External Event

リスク管理と意思決定

- リスク管理とは(米国国土安全保障省)
 - リスクを同定し、分析し、コミュニケーションするプロセスであり、
 - リスクを受容し、忌避し、転換し、あるいは受容可能なレベルにコントロールすること
 - それを実施されるアクションのコストと効果を考慮しつつ行うこと
- 意思決定プロセスは、リスク的洞察(Risk insight)と性能指標(Performance based)に拠る(NUREG-2150, NRC, 2012)
- “a prudent combination of defense-in-depth and risk insights”(深層防護とリスク的洞察を賢明に組み合わせる)ことにより設計基準外事故を防護するロバストな能力が備わる(近藤駿介原子力委員長、PSAM Tokyo, 2013)
- リスク評価は潜在的可能性のある暴露シナリオについて貴重なそして現実的な洞察を与える。その他の技術的分析と相まって、リスク評価は適切な深層防護方法を決定するための情報をもたらす(NRCのGeorge Apostolakis委員、PSAM Tokyo, 2013)

PRA: 起因事象から公衆リスクまで

- PRA: 確率論的安全評価 (Probabilistic Risk Assessment)
 - 施設を構成する機器・系統等を対象として、発生する可能性がある事象(故障・異常)ならびにその組み合わせを網羅的・系統的に分析・評価し、リスクを生じうる事象の発生確率(又は頻度)と、それらが発生した場合の被害の大きさを定量的に評価すること
 - 原子力発電所を対象とする場合には、過渡事象、原子炉冷却材喪失事故等の事象(起因事象)の発生に、事象を収束させる或いは影響を緩和するための設備の機能喪失等が加わり、炉心の損傷、格納容器の破損等に至る可能性がある事故シーケンスを網羅的に抽出し、その発生確率(又は頻度)を評価し、さらに周辺公衆が受ける健康リスクを評価する。



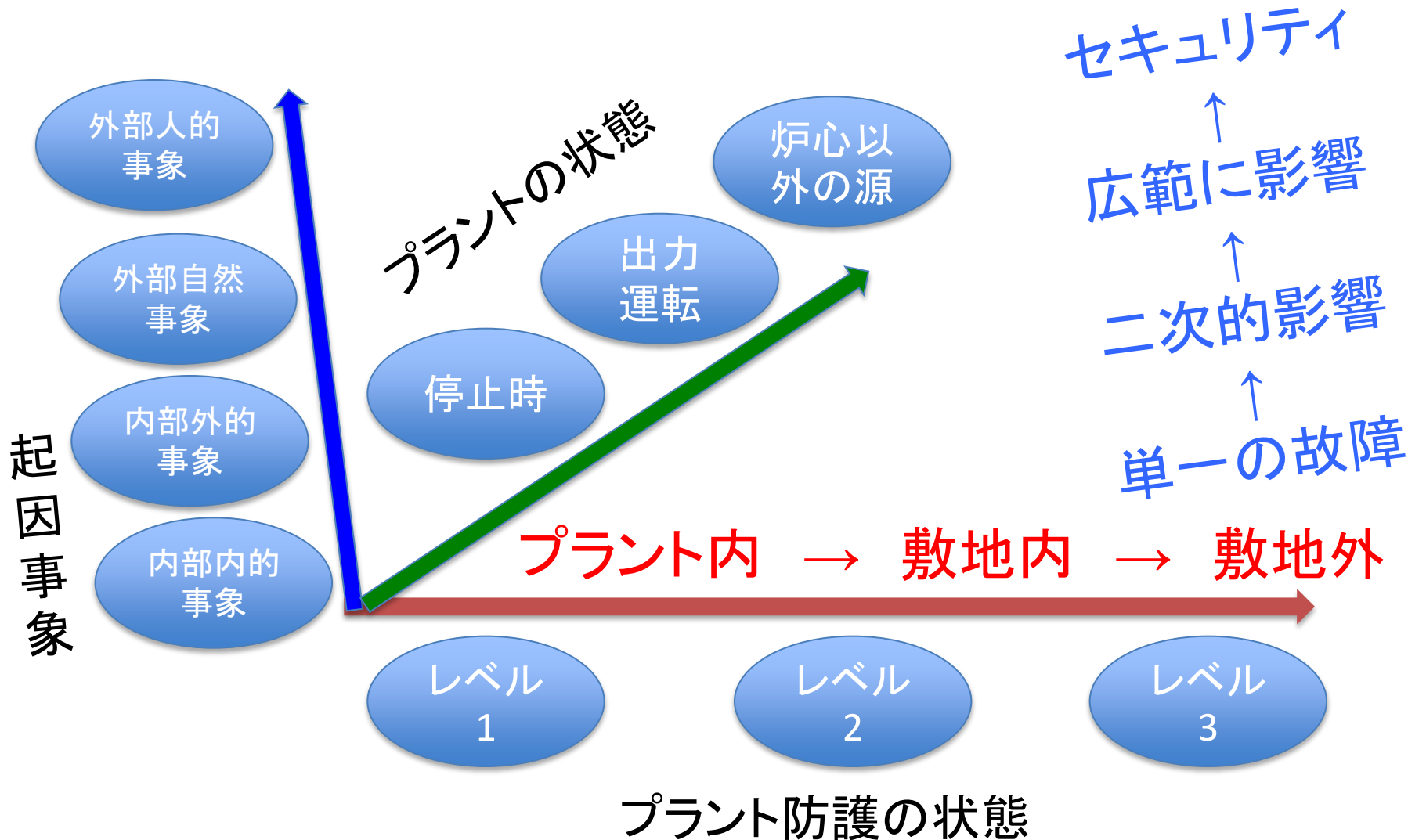
リスク評価の一般的枠組み

- ハザードとフラジリティとシーケンスを評価し、シナリオと頻度と影響度を理解する
- ハザード評価
 - ハザードの大きさと発生頻度
 - 内部事象では起因事象、外部事象では自然現象など
- フラジリティ評価、システムモデリング⇒不確かさを解きほぐす技術
 - ハザードに対する関連設備等の機能喪失確率
 - 内部事象では故障率、外部事象では条件付き損傷確率
- シーケンス評価
 - 原子力発電所の安全機能喪失ならびに放射能ハザードの顕在化(炉心損傷など)の頻度と影響度
 - 放射能ハザードの顕在化に影響する因子につき不確かさを評価
 - 内部事象では、サポートシステムの寄与、人間の関与などに留意
 - 外部事象では、冗長度の低下、誘発事象、環境条件の劣化などに留意

PRAの三つのレベル

- レベル1 PRA
 - 防止あるいは緩和対策の全てもしくは部分的失敗により炉心損傷に至る内部事象と内的及び外的ハザードを考慮する
 - それぞれに起因する炉心損傷頻度(CDF)を評価する
 - その他のリスク源(燃料プールの冷却喪失や漏洩)を考慮する
- レベル2 PRA
 - 格納容器バウンダリ外部への放射性物質放出の特性、影響度、頻度を評価する
 - レベル1PSAの設備の状態に基づきそれぞれの状況にて格納容器の応答を解析する
 - 環境への放出の観点から格納容器損傷シーケンスを定め放出カテゴリを設定する
- レベル3 PRA
 - 敷地外の影響解析により、潜在的な放出による公衆へのリスクを、個人と社会的リスクとして評価する

リスク評価のスコープ

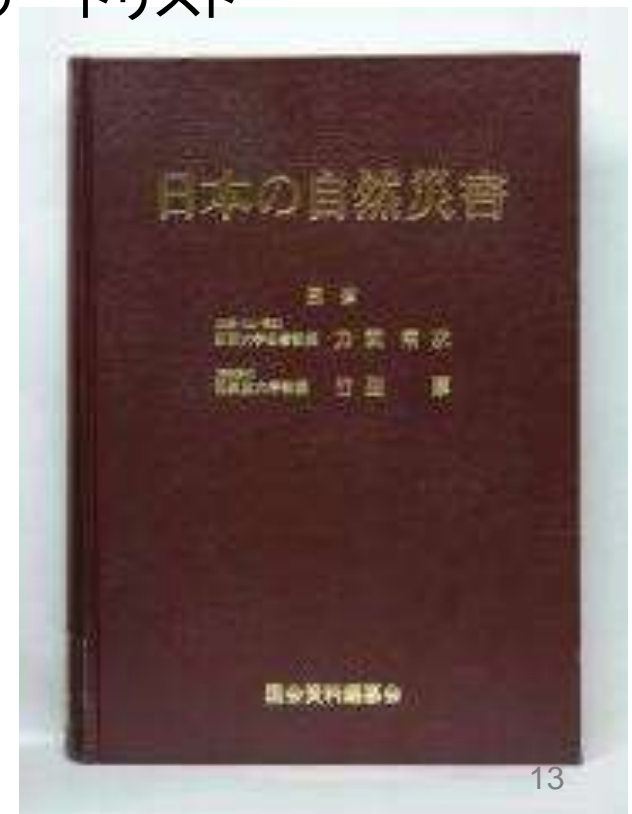


リスク評価のための標準

分科会	策定標準	状況(2013. 9. 3)
レベル1PRA分科会	レベル1PSA標準:2008	改定作業中
レベル2PSA分科会	レベル2PSA標準:2008	発行済み
レベル3PSA分科会	レベル3PSA標準:2008	発行済み
レベル1PRA分科会	停止時PSA標準:2010	発行済み
レベル1PRA分科会	PSA用パラメータ推定標準:2010	発行済み
地震PRA分科会	地震PSA標準:2007	改定作業中。地震起因事象のフラジリティ評価を規定。
リスク情報活用ガイドライン分科会	リスク情報活用標準:2010	発行済み
津波PRA分科会	津波PRA標準:2011	改定(地震随伴への拡張)中。
内部溢水PRA分科会	内部溢水PRA標準2012	発行済み 地震起因内部溢水PRAへの拡張。
火災PRA分科会	内部火災PRA標準(案)	新規策定作業中
PRA品質確保分科会	PRA品質確保標準(案)	新規策定作業中
リスク専門部会	外部ハザードリスク評価方法選定実施基準	新規策定作業中
リスク専門部会	PRA共通用語集:2011	発行済み

外的事象による包括的リスク評価

- 外的事象は境界条件と限界条件を定めがたい
 - 新知見の追求と網羅的な分析
 - 特性(影響ベクトル)に応じた適切な手法の選択
- 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	<ul style="list-style-type: none"> 地震・津波災害 <ul style="list-style-type: none"> 地震動 液状化現象 洪水 地盤沈下 地滑り 津波 火災 地盤隆起 土石流 山崩れ 泥湧出 崖崩れ
火山災害	<ul style="list-style-type: none"> 火山災害 <ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 気象災害 <ul style="list-style-type: none"> 暴風(風) 暴風による火災 暴風による雪崩 暴風による砂嵐 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 静振 風津波 霧 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 降雪 霜 竜巻 海水による川の閉塞 湖もしくは川の水位下降 干魃 高温 低温(氷結) 海流異変(原因は黒潮)
その他の災害	<ul style="list-style-type: none"> その他の災害 <ul style="list-style-type: none"> 森林火災 海崖浸食 生物学的事象 隕石 満潮 毒性ガス 河川の流路変更
人為災害	<ul style="list-style-type: none"> 人為災害 <ul style="list-style-type: none"> 航空機落下 人工衛星 輸送事故 船舶の衝突 タービンミサイル 産業又は軍事施設事故 パイプライン事故 ボーリング工事の影響によるガス異常噴出 油流出 サイト内の貯蔵庫からの化学物質放出 治水構造物の破損による洪水及び波

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

PRAを活用して安全向上、But...

- 手法がない
- データがない
- モデルがない
- ツールがない
- 人がいない
- 知見がない
- 検証できない
- 範囲が膨大



PRAを実施しない、
活用しない理由はい
くらでもあげられる

リスクとシビアアクシデントとPSA

- 世界の原子力安全関係者は、TMI事故やチェルノブイリ事故の経験を貴重な教訓として、発電用原子炉施設における、設計で想定した事象を大幅に超えて炉心の重大な損傷に至る事象(シビアアクシデント)のリスクを抑制することが重要と認識した
- このため、施設の設備の誤動作や誤操作の発生時にいくつもの安全装置が作動しないことによる災害の発生可能性とその影響の大きさを推定し、それからシビアアクシデントのリスクを定量化する確率論的安全評価手法(PSA)技術が開発されてきている

安全目標に関する調査審議状況の中間とりまとめ、平成 15 年12月、
原子力安全委員会 安全目標専門部会

シビアアクシデントとは?

- きわめて**確率の低いプラント状態**であって、設計基準事故条件を超えたもの。安全系の多重故障状態により生起し、重大な炉心損傷に至り、放射性物質放出の**障壁の多くまたは全ての脅威**となる可能性のあるもの
 - 出典: Severe Accident Management, IAEA
- 設計基準を大幅に超える事象であって、**安全設計の評価上想定された手段**では適切な炉心の冷却又は反応度の**制御ができない状態**であり、その結果炉心の重大な損傷に至る事象をいう
 - 発電用軽水型原子炉施設の性能目標について、一安全目標案に対応する性能目標について一、原子力安全委員会、平成18年3月

原子力発電所の安全確保 シビアアクシデントの特徴と対応方針

- 知識は不完全で不確かさが大きい
- 安全設計の評価上想定された手段がうまく機能しない
- 放射性物質放出の障壁が脅威にさらされ、放射性物質放出が懸念される

- 安全確保(リスク管理)の原則
 - 不確かな事象、未知な事象への備え
 - 安全設計が機能しない不確かさへの備え
 - 放射性物質放出(公衆のリスク)の観点からのリスク管理

フルスコープ(レベル3まで)PRAが必要

包括的リスク評価のために 手法の選択(基準と手法)

基準1:ハザードの発生頻度が極めて小さいことが明確である。

- 「温度変化(夏の高温, 或いは(氷結(低温)))」ハザードは, 評価対象プラントの地理条件においては, 発生することはない。

基準2:ハザードがプラントに影響を与えるほど近傍で発生しない。

- 評価対象プラントの地理的領域(半径160kmの範囲)に火山は存在せず, 「降灰」を除く「火山噴出」に係わるハザードは, 発生しないと判断できる。

基準3:ハザードが進展するタイムスケールが, プラントでの対処時間と比べて十分に長い。

- 「海岸浸食」ハザードは, その進展に長時間を要するので, プラントにおいて対策を取る時間余裕が十分にある。

基準4:ハザードがプラントに到達したと仮定しても, 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である。

- 「霜」ハザードは, 発生したとしても, プラントに対して炉心損傷を引き起こす脅威にならない。

総合的リスク判断(影響度分析、発生頻度分析):バウンディング解析などの分析に基づく保守的な判断

決定論的強靱性評価:炉心損傷につながるシナリオの安全裕度、クリフエッジなどを評価

決定論的リスク評価:炉心損傷につながるシナリオの発生頻度と影響を決定論的に評価

PRA:リスクプロフィールや不確かさが複雑で、発生頻度だけでは適切なリスク管理が困難な場合に実施

“信頼される”安全確保 PRAに拠る

- 安全が確認された原子力発電所は再稼働する
 - 安全対策の規制基準への適合性を、専門性をもって判断
 - ゼロリスクはない、絶対安全はない
 - 原子力規制に対する国民の信頼回復が最大の課題
- 安全確保活動の深さと広さを定めること
 - 定量的安全目標は事業者のリスク管理のための定量指標
 - ALARAの発想の浸透(もっとも適切な方法の選択の原則)
- そのリスクを社会に受け容れていただけるのか
 - 社会の受けとめ方(安心できない)
 - 広く社会と対話を行うときの共通言語
- あらゆるスコープの事象、シビアアクシデントを扱うのであれば、データや手法が不十分であるのは当然
- PRAをやってみる、リスクを見積もる、活用する、使える方法で
- そして継続的安全向上と、社会との対話
 - Unresolved Safety Issue How safe is safe enough?