

安全目標に期待すること

近藤駿介

原子力発電環境整備機構

安全目標検討の歴史－Part 1

TMI事故の教訓を踏まえて**1980**年代に以下を含む取り組みが開始された。

- 原子力防災対策の整備
- **SPDS**を含む**MMI**の改良・ヒューマンエラー対策の整備
- 確率論的リスク評価を踏まえた過酷事故管理の整備

防災対策の計画範囲

- 安全規制行政は、深層防護の哲学（施設の安全性が設計、建設、保守、操作のいずれか一つの要素だけに依存するということが無いようにすることにより、災害の防止上支障のない状態を実現しようとする方針）に基づき、事故防止機能に加えて、設計基準事故を定めてこれに係る事故影響緩和策を用意することを求めていた。
- 防災対策は、災害対策基本法の趣旨を踏まえて、原子炉事故時において災害の防止上支障ないように、あらかじめ敷地外の施設中心から8-10kmの範囲において退避・避難という応急措置を臨機に実施できるようにその計画を準備しておくもの。
- 当然、なぜ8-10kmの範囲なのかという議論が起きた。その範囲を超えて防災対策をあらかじめ準備することは費用対効果の観点で合理性がない、つまり、該当する原子炉にその範囲においてあらかじめ防災対策を講じておくことで、人々のリスクが合理的に達成できる限りにまで小さくなるからだと説明した。

過酷事故管理策の導入

- チェルノブリ事故の発生を見て、炉心損傷時にも格納容器の破損を防止する対策の検討が求められた。
- 検討は内的事象に限ったPRAを参考に実施。工学的安全施設が機能しないと仮定した際に、炉心損傷が進展し、格納容器が破損に至る可能性を合理的に達成できる限り小さくするために、費用との関係において効果的なSPDS、PWR水素ガス燃焼、BWRのCVベント機能を含む追加機材群とその使用手順を過酷事故管理策として提案。EDGの高信頼性を過信し、多様性を求めず。
- 原子力安全委員会は、それらを整備を規制要求とする根拠なしとし、PRAの実施も含む定期安全レビューの結果を踏まえて内容を絶えず改善していく「自主的取り組み」とした。安全目標の必要性の指摘

安全目標検討の歴史—Part 2

IAEA/INSAG-3, 美浜SGTR、阪神淡路大震災、JCO臨界事故、Pu管理／9.11 (Aum真理教事件)、東電データ改ざん問題、etc.

- JCO事故で避難の発生：防災対策の実効性向上
 - 最高責任者を知事から総理に
 - オフサイトセンター/サイトセンター充実
 - 避難計画、防災訓練の義務化 PRAによるフィードバック未了
- 東電データ改ざん：安全文化、品質保証体制の見直し
 - 設置者・規制当局が国民に説明責任を果たせる仕組みへ
 - 規制の責任：検査官はいつでもどこでもどこまでも検査を
 - QA活動の顧客は誰か：国民のはずが、いつの間にか規制者に
- プルトニウム管理実務の発生：実務の先行
 - 脅威分析・リスク評価との相互作用欠落
- INSAG-3 基本安全原則 安全目標に言及 対応の必要性
- 阪神淡路大地震：耐震設計指針の見直し

原子力安全目標

- IAEA INSAGの基本安全原則：著しい放射線影響をもたらす過酷事故の頻度は極めて小さいこと
 - 炉心損傷頻度は 10^{-5} /年
 - 早期大規模放出の可能性は事実上排除されること。格納容器のlate failureを伴う過酷事故は放射線影響が限られた範囲に限定されること
- 原子力安全委員会は安全指標の整備の必要性を認識し、専門部会を設置して検討を開始
 - 部会は、参照できるリスク評価結果がJAEAによる内の事象に限られたレベル2 PRAしかない状況なので、まずは社会にあるリスクやその規制状況をレビュー。
 - その結果、デミニミスレベルに言及しても異端視されることはないことを国民に意見を聞く会も開催して確認
 - このレベルとこれに対応するCDF, LERFを委員会に提示
- 委員会は、人の死を指標に含むことに抵抗ありとして、リスク評価技術の習熟度を見極めつつ適用とし、放置した。

デミニミス原則

- 法は些事にこだわらず：公的機関は日常的な決定において、個人が取るに足らないとみなす活動よりもかなり低いリスクレベルをさらに減らすために社会的支出を要求すべきではない。そうした要求は、同等の資金でより多くの人命を救うことができる代替の機会に資金を使用する機会を国民から奪うことになるからである。
- 極端な強風、降雨、隕石の落下、電磁パルスなどのもたらすリスクに対しては社会は対策をとっていないことや飲料水中の発がん物質の濃度をある限度以下にすることを求めないのは、そのリスクが十分に小さいから、それをさらに小さくするための投資には合理性がないと社会が判断している、つまり、この倫理原則を共有している所以とされている。
- 英国のALARP判決：リスクは、それを回避するために必要な犠牲（お金、時間、またはトラブルの観点から）が回避により得られる利益に比べて不釣り合いに大きくない限り、回避しなければならない。

耐震設計審査指針の改定

- 阪神淡路大地震の発生を受けて、原子力安全委員会は、地震学的見地から極めて稀ではあるが起きる可能性があり、大きな影響があると想定することが適当な「設計用限界地震動」を定めて、これに対して民間の定めた耐震設計技術規程によって機器、構築物を設計するという指針の見直しを開始。
- 小生は、基準地震動の規定における極めて稀であるが・・・という文学的表現を改め、これを発生頻度が**1/10000**年程度の過酷な地震動とすること、これ以上に過酷な地震動の発生可能性を否定できないことを踏まえて、基準地震動に対して技術規程に基づき設計した上で、地震リスク評価を実施し、クリップエッジが存在しないこと、その施設のもたらすリスク（後刻、残余のリスクと言われるようになったのは不本意であったが）は安全目標に照らして妥当であること確認するシステムとすることを提案。

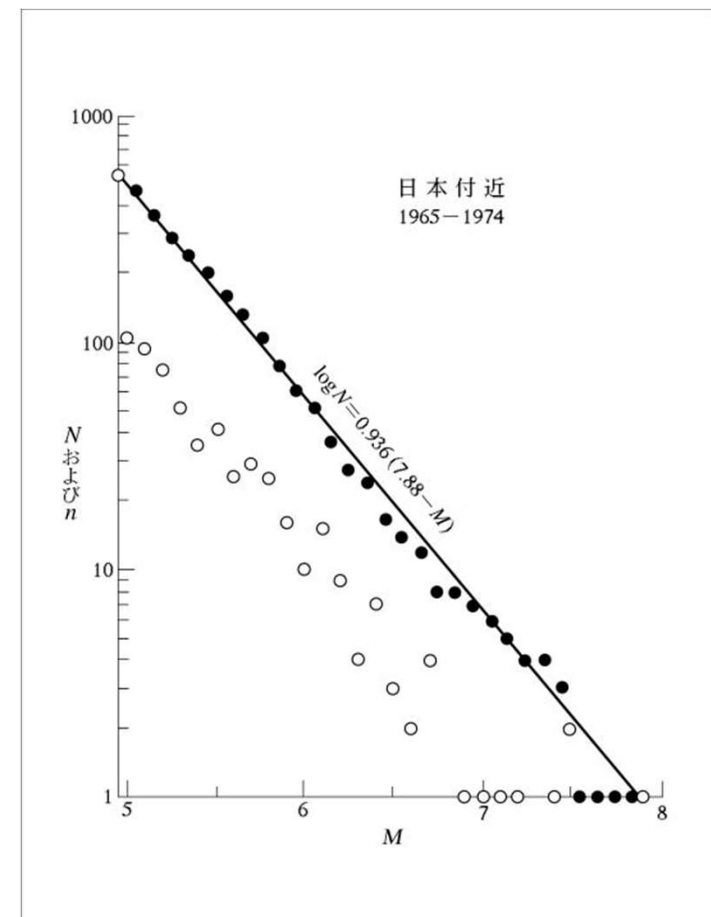
地震学者は特定の地域にはその特性に応じて最悪の地震動があり、それを極めるのが学界の責任とし、その知見が充実にしてきたので、それまでの5万年以内を12-13万年以内に活動が認められる断層を震源として考慮して設計基準地震動を定めることを提案。

ある地域におけるマグニチュードの地震数 $n(M)$ は

$$\log n(M) = a - bM$$

という関係に従う。この式は、提唱者の名前を取って「ゲーテンベルク・リヒターの式」と呼ばれる。

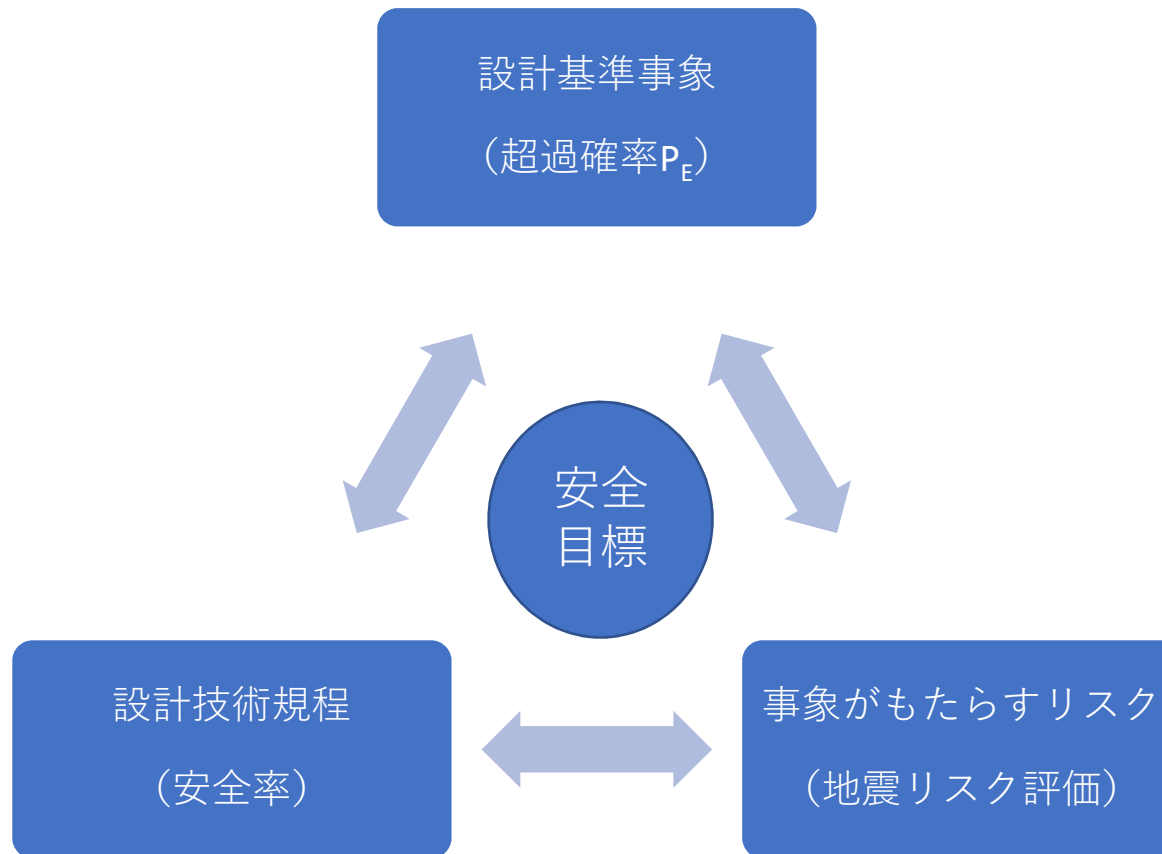
地震リスク評価は、各発電所敷地に対してこの関係を得て実施される。



原子力施設に対する設計基準地震動 (新規制基準)

- 敷地周辺の地質・地質構造並びに地震活動性等の地震学及び地震工学的見地から施設の供用期間中に極めてまれではあるが発生する可能性があり、施設に大きな影響を与えるおそれがあると想定することが適切な地震動
- 「内陸地殻内地震」に分類される検討用地震の選定の際に考慮すべき活断層は、後期更新世以降の活動性が否定できないものとする事、及びその認定には最終間氷期の活動の有無によることができる。後期更新世（12～13万年前以降）の評価が明確にできない場合、中期更新世（40万年前以降）まで遡ること

安全目標、設計基準事象 (DBE)の超過確率、構造設計基準の安全率の関係



原子炉等規制法の指示するところ

第一条「この法律は**原子力基本法の精神にのっとり**、原子炉による災害を防止して公共の安全を図るために、原子炉の設置及び運転等に関し、大規模な自然災害及びテロリズムその他の犯罪行為の発生も想定した必要な規制を行い、もって国民の生命、健康及び財産の保護、環境の保全並びに我が国の安全保障に資することを目的とする。」とある。

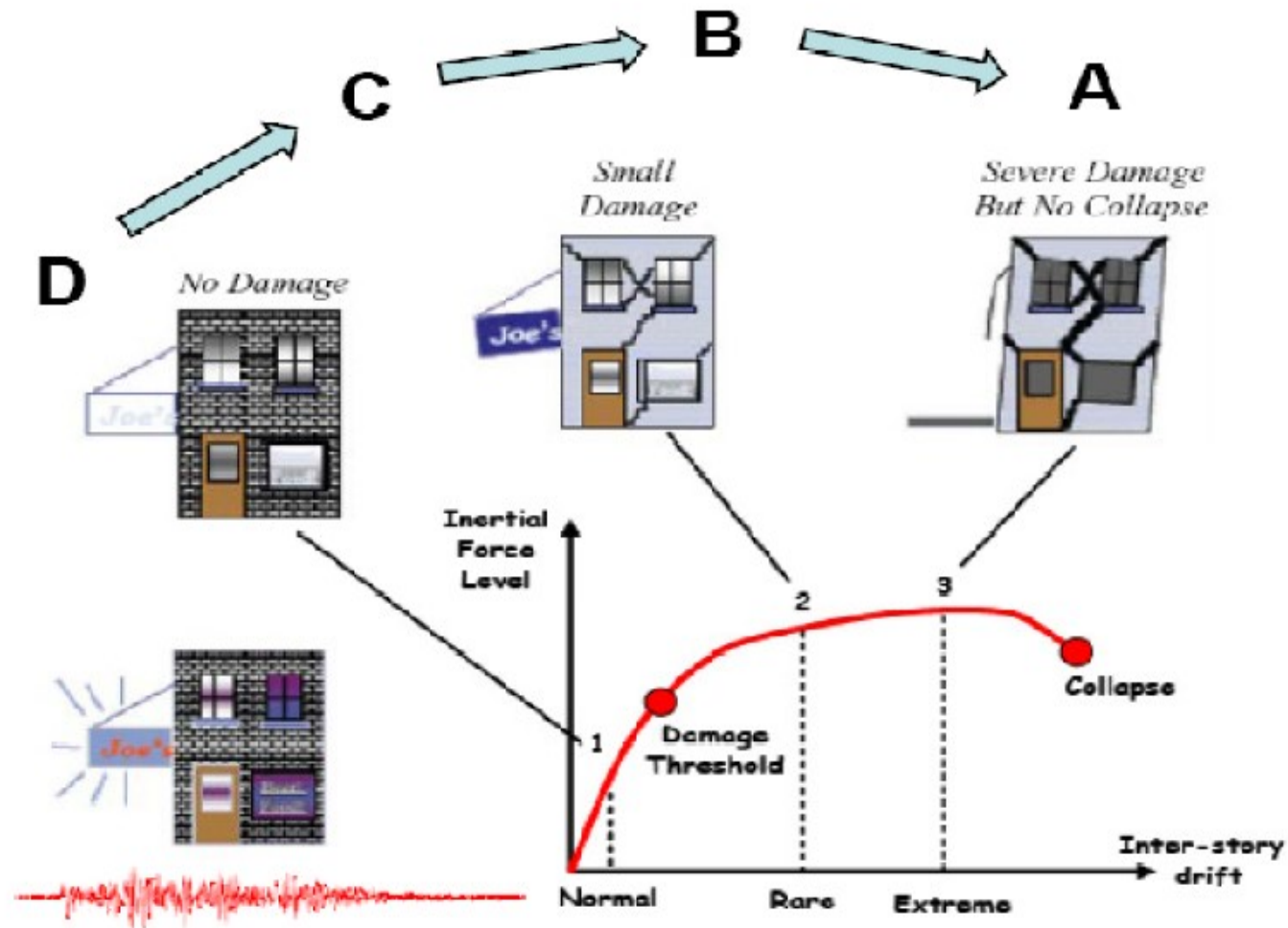
原子力基本法第二条が「**安全の確保については確立された国際的な基準を踏まえ、国民の生命、健康及び財産の保護、環境の保全並びに我が国の安全保障に資することを目的として行うものとする**」としているところを踏まえれば、「確立された国際的な基準を踏まえ、原子炉による災害の防止を図るために、大規模な自然災害及びテロリズムその他の犯罪行為の発生も想定した必要な規制を行い・・・」という指導原理を提示していると言える。

確立された国際基準：IAEAの原子力安全原則5「原子力利用を不当に妨げることなく、合理的に達成できる限り最高水準の安全性を達成すること」を指すと解すべきか

結論

- 安全向上は、絶えず意味のある安全向上の取り組みをなしているかを問い続ける終わりなき旅である。
- その判断に客観性を与えるためには定量的な議論が大切で、そのために**PSA**を活用すべき。
- そうすることは、黒川委員長が福島事故の原因に挙げた我々の陥りがちな**GROUPISM**（分野、組織の縦割り）を克服するためにも必要である。

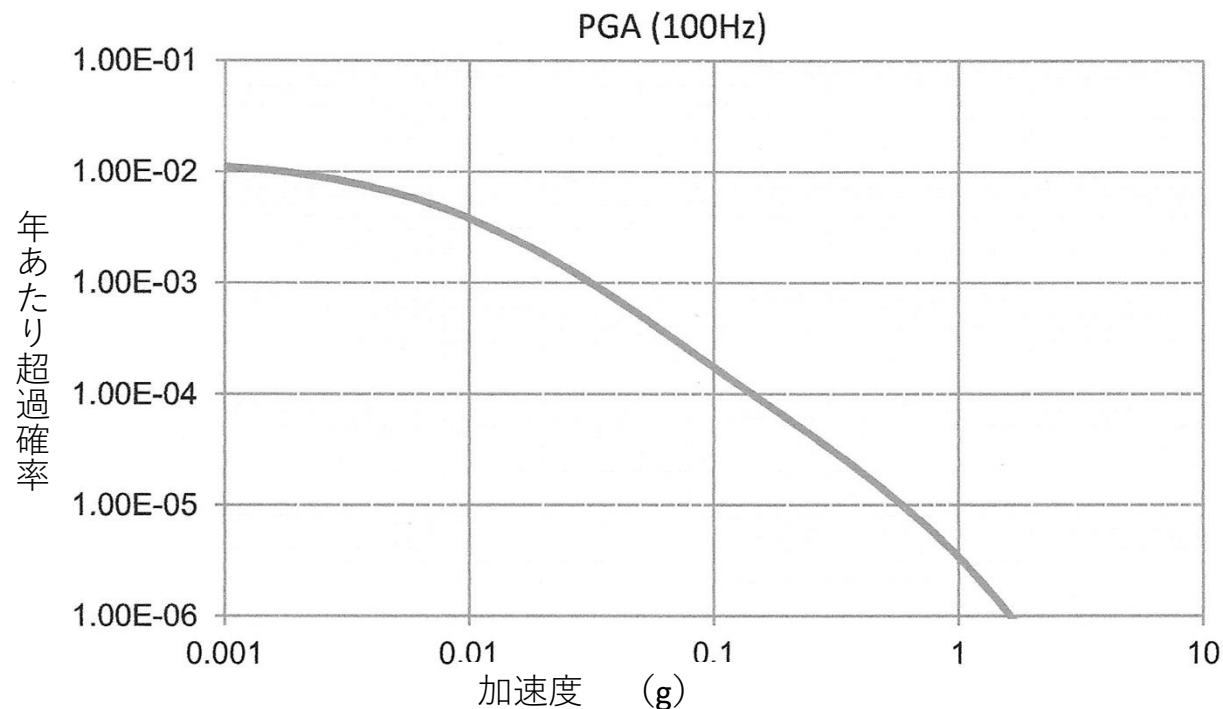
設計コードで選択する設計条件”X”



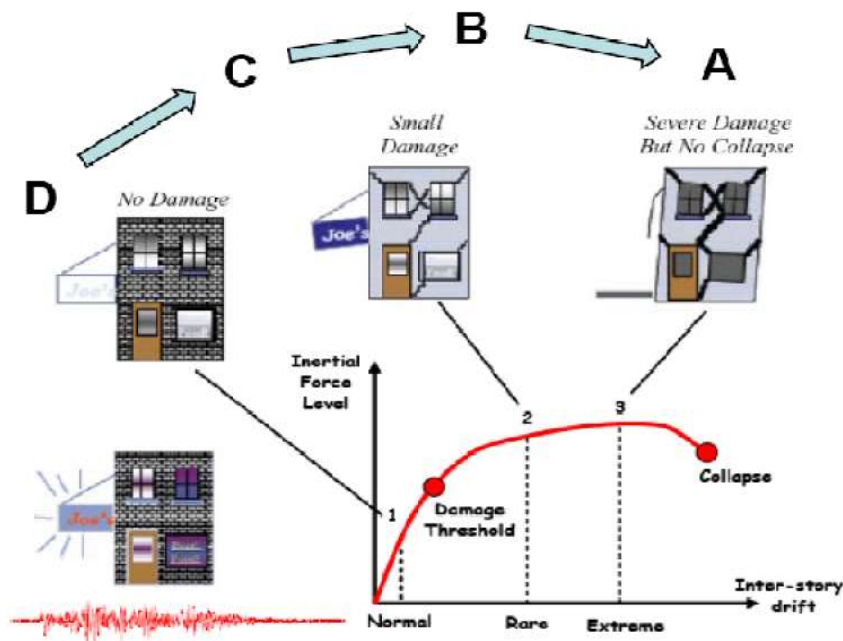
Dr. Annie Kammerer : US Regulatory Guide 1.208 Performance-Based Approach to Define the Site-Specific Earthquake Ground Motion, IAEA International Workshop on Seismic Safety of Nuclear Installations March 2010

GR確率論的地震ハザード解析(PSHA)

サイトにおける地震動のピーク加速度(PGA)とその超過確率の関係（地震ハザード曲線）は以下のように評価される（不確実性を表す幅を省略。またハザードの指標はPGAに限らない）。



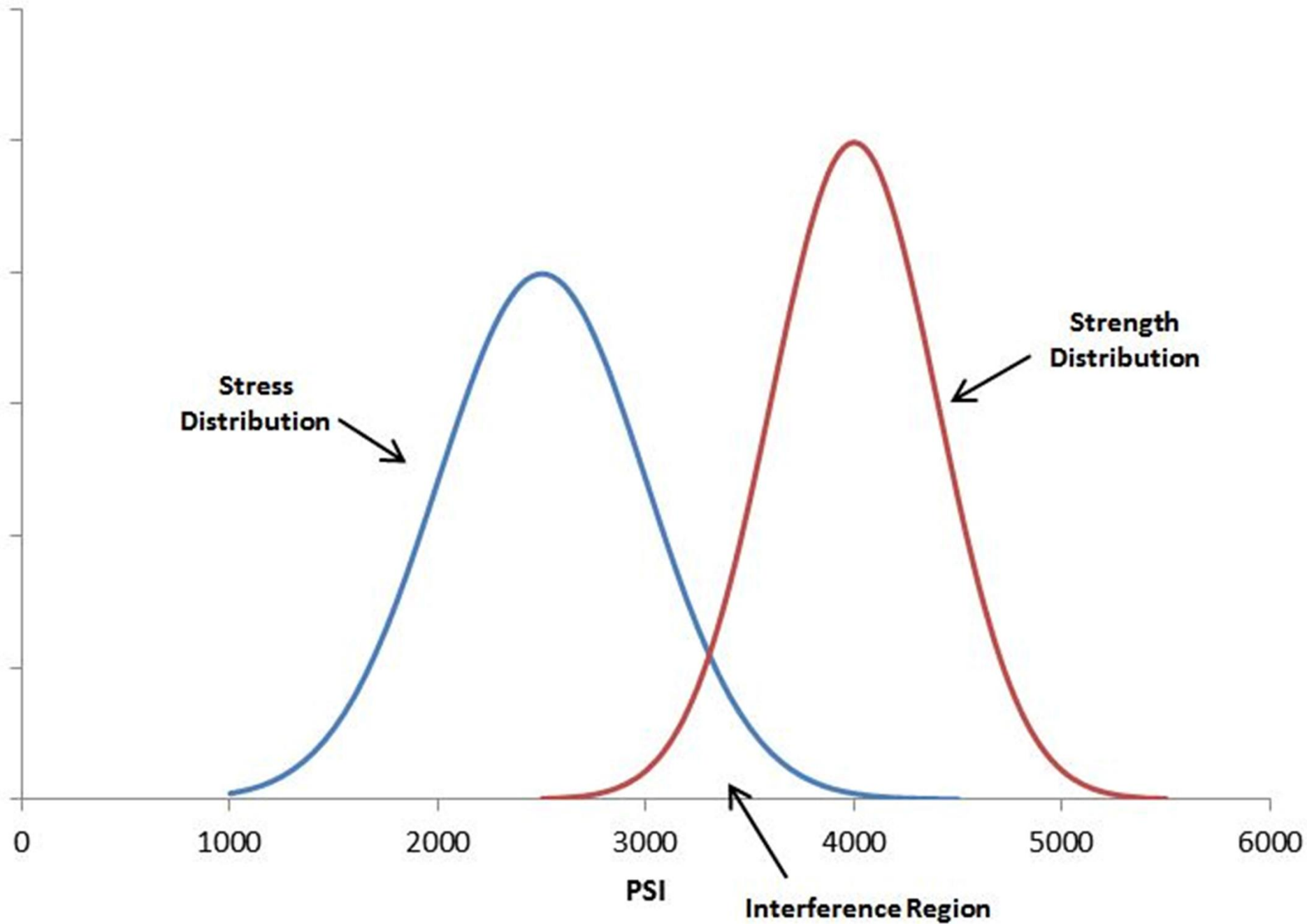
この曲線を得るには断層知見に関する認識論的不確かさに関する地震学者コミュニティの意見分布を総合する。NRCは専門家の選定、役割を含むこの手続きをシニア地震ハザード解析委員会（SSHAC）運営マニュアルに整備。



- 設計技術規程の作成者は、与えられた設計用地震動に対して（ASMEなど権威ある機関の定めた）工学的に適切な安全率の内包する技術体系をこれまで苦労して築き上げてきた。
- よって、安全率を安全目標に対する適合性の観点から設計用地震動の超過確率に応じて変化させたり、設計点を左のD,C,B,Aに選ぶことには賛同が得られなかった。

Dr. Annie Kammerer : US Regulatory Guide 1.208 Performance-Based Approach to Define the Site-Specific Earthquake Ground Motion, IAEA International Workshop on Seismic Safety of Nuclear Installations March 2010

耐震設計技術規定



IAEA Fundamental safety Principles

Principle 5: Optimization of protection

Protection must be optimized to provide the highest level of safety that can reasonably be achieved.

- 3.21. The safety measures that are applied to facilities and activities that give rise to radiation risks are considered optimized if they provide the highest level of safety that can reasonably be achieved, without unduly limiting its utilization.

Principle 2: Role of government

- 3.10. The regulatory body must:
 - Have adequate legal authority, technical and managerial competence, and human and financial resources to fulfil its responsibilities;
 - Be effectively independent of the licensee and of any other body, so that it is free from any undue pressure from interested parties;
 - Set up appropriate means of informing parties in the vicinity, the public and other interested parties, and the information media about the safety aspects (including health and environmental aspects) of facilities and activities and about regulatory processes;
 - Consult parties in the vicinity, the public and other interested parties, as appropriate, in an open and inclusive process.

深層防護

- 深層防護は事故防止策のみならず事故影響緩和策を備え、安全確保の成否が設計、建設、保守、運転のどの要素にも単一で依存することのないシステムを実現しようという哲学であり、各層の独立性を強調するあまり、ある層を機械的に全く否定する多層システムを構成するべしとするものではない。
- IAEAの安全基準は5層のデフェンスレベルを示しているが、そこにおいても、慎重な言い回しながら、よく設計・施工され、定期的に検査されている原子炉圧力容器の大破損の想定必要性はオミットできるとされている（米国のNRCのGeneral Design Criteriaにおいても、無条件ではないとしつつ、安全上重要な流体系配管のような受動的機器の単一故障の想定必要性はオミットされている）。
- 低いレベルにおいては、安全確保の観点からそのレベルの不確実性の程度に応じてそれを補う追加措置を求めて受け入れ可能な安全裕度を確保する趣旨である。関心事に対して
 - フォールトトレラントシステム 冗長設計（情報、資源、時間余裕）
 - 安全マージン：物理的、時間的（見地から対策まで）
 - レジリアアンス：頑健かつ柔軟な組織的対応能力
 - CDF、LRF: あまりに多くの要素が関係していて設計者は惑うが。

USNRC NTTFR 2013：深層防護の歴史を検討すると、 以下のような一般的なコンセンサスがある

- なぜ深層防護が必要なのか：設計、建設、保守、および施設の運用に関する知識の不足（または不確実性）がある。
- 深層防護の目的：設計、建設、保守、施設の運用に関する知識の欠如（または不確実性）があるので、それによるプラントへの損傷を回避し、事故の確率を許容可能な低さに維持して、公衆衛生と安全の保護を確保する。
- 深層防護のために使われるアプローチまたは戦略：高レベルで、事故の防止策と事故影響の緩和策を並行して追求。事故の防止はイベントの発生を防止して事故シーケンスの進行を防ぐ。事故影響の緩和は過酷事故の進行を停止させ、重大な影響を格納する。マルチバリアの概念に似ている。
- 深層防護のアプローチや戦略を実施する方策には、品質保証、冗長性、独立性、監視、封じ込め、緊急時計画などがある。
- 深層防護の妥当性の判断基準：プラントの全体的な冗長性と多様性が十分であること、さまざまなレベルの深層防護の防護ラインの故障などいろいろな事故シーケンスの結果が目指す被害頻度曲線の内側にとどまること。