

安全目標を巡る議論について

更田 豊志



原子力総合シンポジウム2024

2025年1月20日



はじめに

原子力規制委員会では、2020年8月より規制委員、規制庁職員、外部専門家による「継続的な安全性向上に関する検討チーム」において13回の会合を行い、2021年8月に「議論の振り返り」を公表。「ゆらぎ」を与える多様な対話の場の確保と安全目標に関する議論について、さらなる検討が必要とした。

➡ 東京大学/JAEA連携講座の下に「**安全目標に関する検討委員会**」を設置



これに加え、昨年(2024年)は原子力分野における安全目標及びリスク情報活用に関し以下の検討、協議が始動。

✓ 日本原子力学会原子力安全部会・リスク部会「安全目標検討合同WG」

✓ 原子力規制委員会/被規制者間でのリスク情報活用に関する意見交換

(ATENA 2024)



安全目標・性能目標

安全目標

- 利用の正当化にあたって受容を求める個人乃至集団のリスク水準
- 防護の最適化にあたって目指すべきリスクの水準を個人乃至集団に与えるリスクで表現したもの

定量的安全目標

- 健康影響や環境影響などを指標に安全目標を定量化したもの

性能目標

- 定量的安全目標を満たすために必要な各防護層の性能水準を表すもの



IAEA/SF-1 基本安全原則

原則1 安全に対する責任

原則2 政府の役割

原則3 リーダーシップとマネジメント

原則4 正当化：リスクを与える施設/活動は**リスクを上回る便益**をもたらすものでなければならない。多くの場合、便益とリスクに関する判断は、原子力発電計画の着手が国によって決定されるように、政府の最高レベルで行なわれる。他の場合では、提案された施設と活動が正当化されるかどうかを規制機関が決定する。

原則5 防護の最適化：合理的に達成できる**最高レベルの安全を実現**するよう防護を最適化しなければならない。放射線リスクを生じる施設と活動に適用される安全手段は、施設の利用または活動を過度に制限することなく、その存続期間全体を通して合理的に達成できる最高レベルの安全を提供するとき、最適化されていると考えられる。通常運転/異常/事故状態から生じる全てのリスクを評価するとともに、運用期間全体を通して定期的に再評価しなければならない。

原則6 個人のリスクの制限：放射線リスクは所定の制限範囲内に管理しなければならない。

原則7 現在及び将来の世代の防護

原則8 事故の防止：事故の可能性が極めて低いことを確実にするため、実行可能な全ての努力を行わなくてはならない。

原則9 緊急時の準備と対応

原則10 現存または規制されていない放射線リスクの低減のための防護措置の正当化と最適化



求めようとしているレベルのイメージ

正当化レベル？（受容レベル？）

原発の利用と引き換えに受容が求められるリスクのレベル

達成目標レベル？

事業者/規制当局が目指すべきリスクのレベル

介入レベル？

規制の介入が必要となるリスクのレベル

リスクがこれよりも高くなると規制の介入が必要 e.g., 英国のBSL

介入不要レベル？

規制が関心を寄せる必要が無くなるリスクのレベル

リスクがこれよりも低くなると規制の関心対象から外れる e.g., 英国のBSO



安全目標の二面性

- ✓ 「注意したいのは、安全目標の効用の二面性」
「安全目標は、許容リスクを定めるという公衆に向いている面と、規制の合理化、一貫化という面とがある。」(佐藤1983)
- ✓ 「安全目標は上位の概念としては、原子力活動が公衆の健康と環境の防護の観点から、社会から容認されるレベルを示すと同時に、施設、活動、機器が設計、運転で満たすべき要件のレベル」(本間2014)

「二面性」と言っても相反するという意味ではない。

前掲の「正当化レベル」は「介入レベル」に近いかも知れないし、「目標レベル」は「介入不要レベル」に等しいかも知れない。



社会に向けた側面

- ✓ 安全目標を健康被害の発生確率の抑制水準として定めるのは、実際にそうした健康被害が生じることを容認するものではない。安全目標をこのように定めることによって様々な原子力利用活動に係るリスク管理者にそれぞれの分野で健康被害の可能性を抑制するために行うべき活動の深さや広さを共通の指標で示すことができるからである。(原安委2003)
- ✓ 継続的イノベーションの実現には技術/社会間相互作用の変革が必要であり、キーポイントは社会における新技術や新知見に対するリスク認知にある。(松岡2023)
- ✓ 許容レベルを示すことは容認/拒絶の選択に資すると考えられるが、その意思決定は、本来、受け容れる社会の側でなされるべきもの。(佐藤1983)
- ✓ リスクに対する受け止めの多様性を鑑みると、どこまで意思決定に寄与しうるかは推測し難い。



規制に向けた側面

- ✓ 原子力安全規制活動によって達成し得るリスクの抑制水準として、確率論的なリスクの考え方をを用いて示す安全目標を定め、安全規制活動等に関する判断に活用。(原安委2003)
- ✓ 安全規制活動が事業者に対してどの程度発生確率の低いリスクまで管理を求めめるのかという、原子力利用活動に対して求めるリスクの抑制の程度を定量的に明らかにする。(原安委2003)
- ✓ 安全目標は、原子力規制委員会が原子力施設の規制を進めていく上で達成を目指す目標である。(原規委2013) 安全目標は基準ではなく、規制を進めていく上で達成を目指す目標である。(原規委2016)

「安全目標に関する検討委員会」における議論は徐々に「規制に向けた側面」に議論が絞られていくことを期待している。

論点の例

- ✓ 影響(被害)の把握と限界
- ✓ 公平さ
- ✓ 防護の最適化、ALARA、ALARP
- ✓ 継続的な安全性向上
- ✓ 必要なリスク情報
- ✓ 評価の不確かさ
- ✓ 破局的噴火
- ✓ 戦争、テロ

各論点において、東京電力・福島第一原子力発電所事故の経験が深く考慮されるべきことは言うまでもない





米国NRCの安全目標政策声明 (USNRC 1986, 村松2024)

定性的安全目標 Qualitative Safety Goals

- 原子力発電所の運転による影響により公衆一人一人が生命と健康に重大な追加的リスクを負うことがないレベルの防護が提供されるべきである。
- 原子力発電所の運転による生命と健康への社会的リスクは、他の現実的な代替発電技術によるリスクと同等かそれ以下であるべきであり、他の社会的リスクへの重大な追加であってはならない。

定量的目的 Quantitative Objectives: QHOs (Quantitative Health Objectives)

- 発電所近傍(敷地境界から1マイルまで)の平均的個人の急性死亡リスクは、米国民の他の事故による死亡リスクの0.1%を超えない。
- 発電所近傍(敷地境界から10マイルまで)の住民の癌死亡リスクは、全ての他の癌による死亡リスクの総和の0.1%を超えない。

注：「他の現実的な代替発電技術によるリスク」には石炭火力発電による大気汚染を想定



旧・原子力安全委員会の安全目標案 (原安委2003)

(1) 定性的目標案

原子力利用活動に伴って放射線の放射や放射性物質の放散により公衆の健康被害が発生する可能性は、公衆の日常生活に伴う健康リスクを有意には増加させない水準に抑制されるべきである。

(2) 定量的目標案

原子力施設の事故に起因する放射線被ばくによる、施設の敷地境界付近の公衆の個人の平均急性死亡リスクは、年あたり百万分の1程度を超えないように抑制されるべきである。

また、原子力施設の事故に起因する放射線被ばくによって生じ得るがんによる、施設からある範囲の距離にある公衆の個人の平均死亡リスクは、年あたり百万分の1程度を超えないように抑制されるべきである。



影響の把握と限界

- ✓ 災害の影響を健康影響のみで捉えず、環境汚染なども考慮するべきではないか。
 - ✓ 健康影響を被ばくの影響のみで捉えてよいか。災害関連死(坪倉2024)などの放射線被ばく以外の健康影響も考慮すべきではないか。
 - ✓ すべての影響を捉えようとするのは現実的でなく、適切な絞り込みが必要。この際、留保した対象に適切に言及することも重要。
 - ✓ 定量的安全目標において放射線被ばく以外の健康影響を指標化するのは著しく困難であり、現実的ではないのではないか。
-
- ✓ シナリオ、発生確率、影響の大きさを表すリスクのみで安全目標を与えることが出来るか。どれだけ発生確率が小さくとも倫理的に許されない被害の大きさというものがあるのではないか。



公平さ

- ✓ 地域間、世代間、個人間における不平等に対する考慮
- ✓ 突出した個人を生まない(線量限度の適用、個人のリスクの制限SF-1原則6)ことは安全目標においてどのように考慮されるべきか
- ✓ 正しいことが分からない場合 ➡ 民主的な合意形成に委ねる
合意されたなら(皆が正しいと考えているので)正しいことにする (大屋2024)
- ✓ 将来世代の利害を代弁する現行世代による民主的決定、でいいか？ (大屋2024)
非同一性問題 (Derek Parfit)
将来世代の存在と利害自体が現行世代の決定により影響を受ける
理論的には解決不能という見通しで解決



防護の最適化と安全目標

- ✓ 安全目標の策定にあたって、防護の最適化(ALARP、ALARA)との関係にきちんと言及すべきではないか。あるいは、防護の最適化を定性的安全目標の一項目とすべきではないか。
- ✓ 防護の最適化はリスクレベルに拘わらず必要と考えるか、極めて低いリスクレベルではその必要無しと捉えられるべきか。
- ✓ 過剰規制の抑止として機能する比例原則と、合理的に達成できる最高レベルの安全を求める防護の最適化との関係については、検討することが望ましい。
(成川2024)



防護の最適化

ALARP(As Low As Reasonably Practicable)



合理的に実行可能な限り、出来るだけリスクを低くしなければならないというALARPはリスクのレベルに拘わらず英国事業者の法的義務。

IAEA/SF-1 原則5：防護の最適化 (Optimization of Protection)



合理的に達成できる最高レベルの安全を実現するよう防護を最適化しなければならない。

放射線リスクを生じる施設と活動に適用される安全手段は、施設の利用または活動を過度に制限することなく、その存続期間全体を通じて合理的に達成できる最高レベルの安全を提供するとき、最適化されていると考えられる。

米国Atomic Energy Act of 1954



規制当局は、健康を保護し、生命または財産に対する危険を最小限に抑える (to minimize danger) ために必要または望ましいとみなす基準類を定める権限を有する。(Minimize dangerが介入を正当化し得る)

放射線防護における最適化 (ICRP)



防護の最適化は、正当化、線量限度の適用とともに3つの基本原則の1つ

“すべての被曝を合理的に達成できるかぎり低く保つこと”と“防護の最適化”と“ALARA”とは、ICRPの体系の中で同一の概念であることは、今では明確 [Pub. 42 \(1984\)](#)

防護の最適化—これは同義語“ALARA”としても知られている [Pub. 55 \(1988\)](#)

最適化プロセスが履行されるべき方法は、我々の現代社会における個人の公平性、安全文化、及び利害関係者の関与の増大している役割を反映して、今日ではより広く考えられている。

[Pub. 101 part 2 \(2005\)](#)

最適化の原則は、経済的及び社会的要因を考慮して、(被ばくすることが確実でない場所での)被ばくの発生確率、被ばくする人の数、及び個人線量の大きさのいずれをも合理的に達成できる限り低く抑えるための線源関連のプロセスである [Pub. 103 \(2007\)](#)

防護の最適化の原則は、個々人の被ばく線量分布の不公平さを制限し、社会、環境、経済の要因を考慮して、すべての被ばくを合理的に達成可能な限り低く維持または低減することを目的とする [Pub. 146 \(2020\)](#)



英国におけるリスク許容性フレームワーク (HSE 1988, ONR 2014)

TOR: Tolerability of Risk

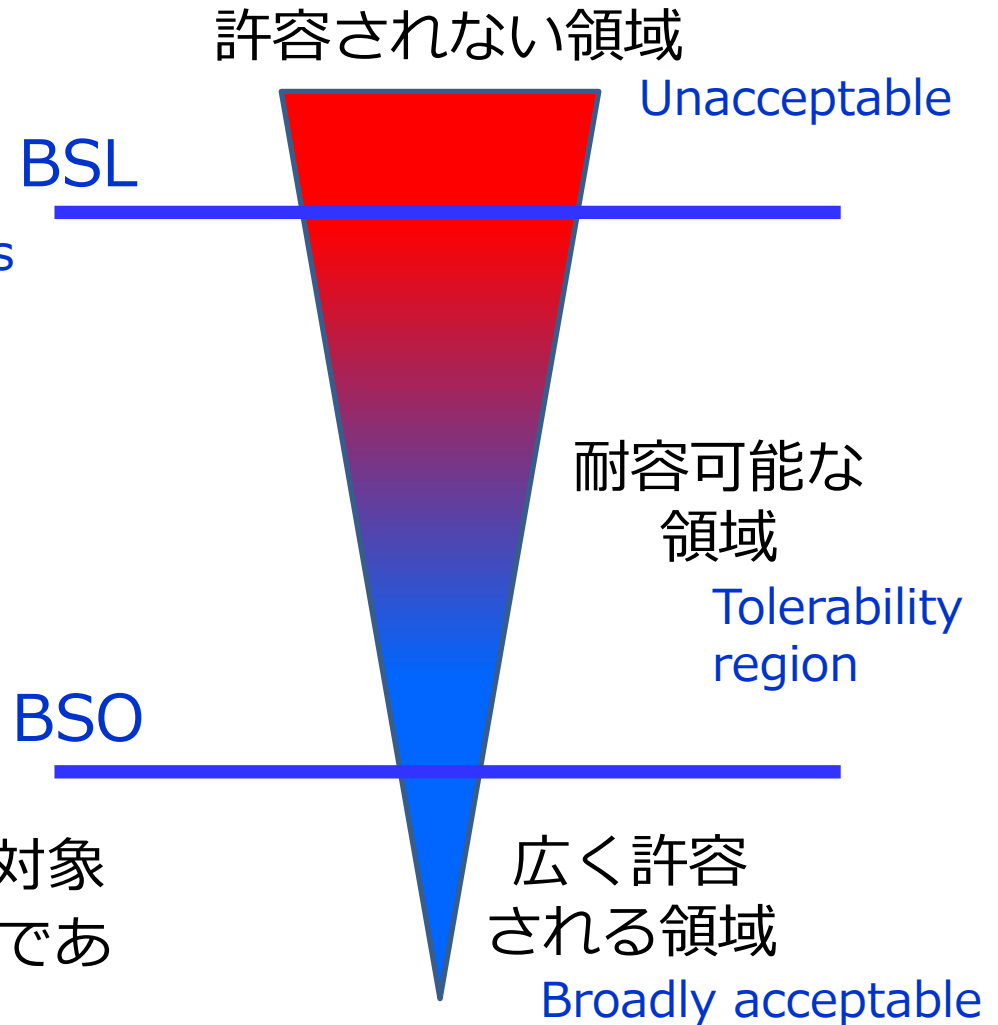
- リスクがBSLより高い状態は許容されず、規制当局が介入する

BSL: Basic safety levels

- リスクがBSL未満BSO以上であれば規制当局はALARPが適切に行われていることを監視する

BSO: Basic safety objectives

- リスクがBSO未満になると規制当局の主要な関心対象から外れる。しかし、ALARPが事業者の法的義務であることに変わりはない



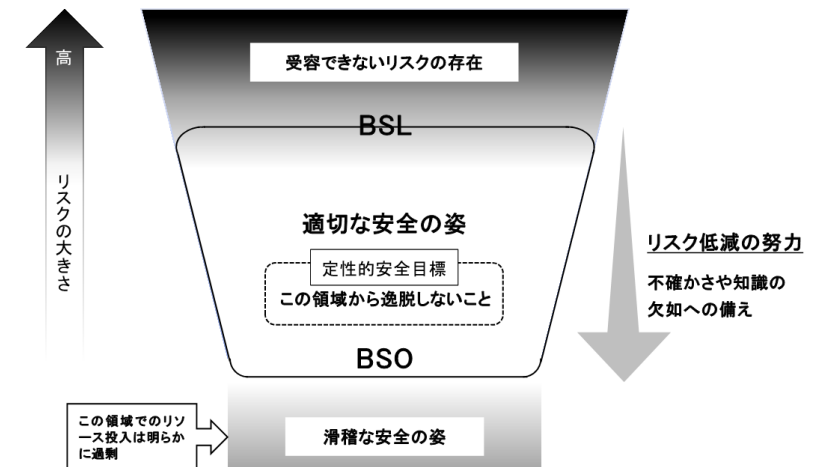


ALARP適用下限の有無

TORではリスクがBSOよりも小さい領域をBroadly acceptable region (No need for detailed working to demonstrate ALARP)としていることもあって、ALARPは耐容可能な領域においてのみ適用されるといった解釈がしばしば見られるが、英国においてALARPはリスクレベルの高低に拘わらず事業者の法的義務である。(ONR 2024)

弥生研究会における検討では、リスクがBSOよりも小さい領域を「滑稽な安全の姿」と呼び、「この領域での深慮なきリソース投入は明らかに過剰」と表現している。(山口2018)

なお、米国では許認可の変更に際し、品質の高いPRAで不確かさを踏まえつつ“Adequate Protection”であることを示せば、リスク指標(CDF, LERF)の小さな増加を容認するとしている。(USNRC 2018)



TORとALARP (ONR 2014)



BSLとBSOは、規制者の意思決定の指針となるTORの枠組みを指標化したもの。

BSLは、新規施設が満たすべき線量/リスクを示すものであり、既存施設のベンチマークとなるものである。一方、BSOは安全性のさらなる向上を追求することが資源や税金を有効に活用することとも、的を絞った妥当な規制アプローチとも一致しないと考えるレベルに設定されている。

これに対して、事業者はBSOが満たされているかどうかに関係なく、ケースバイケースでリスクを合理的に実行可能な限り低減(ALARP)する義務を負う。このため、事業者等がBSOを設計目標値として使用すること、あるいは、ALARPが達成されたことを示す代替指標として使用することは一般的に不適切である。



比例原則と防護の最適化 (成川2024)

比例原則は、行政の権力活動一般に妥当する原理であり、不適合な規制、不必要な規制、過剰な規制を禁止するものである。次の3つの部分原則からなる：

- 適合性原則：当該措置により目的達成が可能であること
- 必要性原則：当該措置が目的達成に必要な限度を超えてはならず、より侵害的でない他の手段により目的を達成できる場合でないこと
- 狭義の比例原則：当該措置が名あて人に及ぼす不利益と当該措置により実現される公共の利益が均衡していること。均衡原則、相当性原則ともいう

日本国憲法第13条による憲法原則と位置づける

- ✓ 最適化と比例原則とが相反しているとも思われませんが、「過剰規制の抑止として機能する比例原則と、合理的に達成できる最高レベルの安全を求める防護の最適化との関係については、検討することが望ましい。」(成川2024)



防護の最適化と継続的改善

- ✓ 技術水準やコストなどに照らして最善のリスク低下が図られているかをそれぞれの時点で判断することは難しい。経時変化を捉えて改善(リスク低下)が進んでいるかを見るのが現実的。個別の施設に対して定期的乃至機会を捉えて評価し、リスクの低下を定量的に確認していくべき。(欧PSR、米バックフィット)
- ✓ 既設炉の使用期限を巡って、どのように老朽化(高経年化)を評価するかという議論が行われたが、機器の物理的变化だけでなく、知識・認識・熟度などにおける経年変化を捉え、“欠け”を見つける努力が重要。“欠け”の探求に決定的な策はないが、施設や人の挙動を網羅的に検討する確率論的リスク評価(PRA)は今のところ最も有益な手法の一つ。
- ✓ 定期的なリスクの再評価には、各種の性能目標の存在が有益



必要なリスク情報

- ✓ PRA：機器の偶発的な故障と人的過誤とによって発生する事故を扱うもの
 - ➔ 内的事象PRA、ランダム事象PRA
- ✓ PRA：地震、津波、火山活動、火災などによって引き起こされる事故を扱うもの
 - ➔ 外的事象PRA、個別ハザードPRA
- ✓ 複合PRA(例えば地震＋津波)、相関PRA(例えば地震起因火災・溢水)、多数機PRA
- ✓ 米国では1990年に発行されたNUREG-1150において個別の原発に対する評価結果を公表、比較(内的5機・外的2機)
- ✓ 個別ハザードの寄与が諸外国とは大きく異なり、かつ、サイト毎でも大きく異なる我が国では、個々の原発に関する評価がより重要
- ✓ 新技術の導入がリスクに与える効果を定量化することは今後の大きな技術課題
- ✓ 成熟していない評価で得られた結果を活用するための手法、仕組みも重要



評価の不確かさ

- ✓ 不確かさはあらゆる評価に存在する。決定論的評価においても保守的手法(EM)から最適評価と不確かさ評価(BEPU)への移行は大きな課題。
- ✓ 確率論的リスク評価(PRA)は、現象、事象、故障、誤操作、判断ミスや対策の実施などについて、まだ実際には起きたことがない組み合わせ(シーケンス)を追うものであり、理論や実験には限界がある。このため、評価結果は実施主体が採っているモデルや専門家意見の解析手法(Expert Elicitation)などに大きく左右される。したがって、評価の手法、プロセスが妥当なものであるかについて、社会の“参加”、“関与”は不可欠。この際、より広い分野の学术界、施設の現場、各方面における意思決定者、ステークホルダーなどのそれぞれに届く表現、発信方法をとることが求められる。
- ✓ 認識論的不確かさの評価については、技術的に十分主張できる解釈の分布の中央値、分布形状、範囲に基づくモデルの構築を目指すSSHAC 3などのアプローチが一定の成果を挙げつつあるものの、今後とも探求が必要である。



破局的噴火

- ✓ 設計対応が不可能な破局的噴火に対する考え方については社会的な合意が重要。
「巨大噴火は、広域的な地域に重大かつ深刻な災害を引き起こすものである一方、その発生の可能性は低頻度な事象である。現在の火山学の知見に照らし合わせて考えた場合には運用期間中に巨大噴火が発生する可能性が全くないとは言い切れないものの、これを想定した法規制や防災対策が原子力安全規制以外の分野においては行われていない。したがって、巨大噴火によるリスクは、社会通念上容認される水準であると判断できる。」(原規委2018)

テロ、戦争

- ✓ 安全目標における扱いについて言及する必要があるか



おわりに

- ✓ 安全目標について議論し、安全目標を策定するためのプロセス、要件、定量的目標の例に繋がる提案を目指している
- ✓ 安全目標と安全文化との関係(Meserve 2001)など、論点は他にも多数
- ✓ 議論を進める過程で決定的に欠けているものが特定されれば、それも重要な成果
- ✓ 安全目標の策定過程では社会との対話(コミュニケーション)が重要となるが、放射線防護分野と工学的安全性分野のような隣接専門分野間ですら困難があることを改めて経験している。対話においては須く双方の“わかる”が求められるが、特定の集団における“わかりやすい”概念や論理、用語が、集団の外にとってはしばしば難解、理解不可能。社会との対話では、双方のスキルアップが必要だが、これには実践あるのみかも知れない。

文献



- (ATENA 2024) 原子力エネルギー協議会, 原子力発電所の安全性向上のためのリスク情報活用に関する意見交換について, 2024年12月23日, 原子力規制委員会CNO会議
- (佐藤1983) 佐藤一男, 米国における「安全目標」の動向とその意義, 日本原子力学会誌, Vol.25, No.4, (1983)
- (本間2014) 本間俊充, 原子力のリスクと安全目標, NSAコメンタリーNo.21「福島第一原子力発電所事故と原子力のリスク」, pp.133-157, 原子力システム研究懇話会, (2014)
- (原安委2003) 原子力安全委員会安全目標専門部会, 安全目標に関する調査審議状況の中間とりまとめ, (2003)
- (松岡2023) 松岡猛, 継続的イノベーションの検討, 2023年1月26日, 原子力総合シンポジウム2022
- (原規委2013) 原子力規制委員会, 平成25年第2回委員会資料5, 2013年4月10日
- (原規委2016) 原子力規制委員会, 実用発電用原子炉に係る新規制基準の考え方について, 2016年6月29日策定, 2016年8月24日改定
- (USNRC 1986) USNRC, Safety Goals for the Operations of Nuclear Power Plants; Policy Statement, Aug. 4, 1986
- (村松2024) 村松健, 確率論的リスク評価と安全目標の概要, 2024年8月1日, 第1回安全目標に関する検討委員会
- (坪倉2024) 坪倉正治, 病院避難と災害関連死と, 2024年11月27日, 第3回安全目標に関する検討委員会
- (大屋2024) 大屋雄裕, 倫理(学)的に考えること, 2024年9月4日, 第2回安全目標に関する検討委員会
- (成川2024) 成川隆文, 防護の最適化に関する国際比較 - 日本 -, 2024年12月26日, 第4回安全目標に関する検討委員会
- (HSE 1988) Health and Safety Executive, The Tolerability of Risk from Nuclear Power Stations, 1988.
- (ONR 2024) Office of Nuclear Regulation, Regulating duties to reduce risks to ALARP, ONR Technical Assessment Guide, 2024.
- (山口2018) 山口彰, 竹内純子, 菅原慎悦, 「安全目標」再考 - なぜ安全目標を必要とするのか? -, 弥生研究会, UTNL-R-497, (2018)
- (USNRC 2018) USNRC, An Approach for Using Probabilistic Risk Assessment in Risk-Informed Decisions on Plant-Specific Changes to Licensing Basis, Regulatory Guide 1.174, Rev.3, (2018)
- (ONR 2014) Office of Nuclear Regulation, Safety Assessment Principles for Nuclear Facilities, 2014, Rev.2020.
- (原規委2018) 原子力規制委員会, 原子力発電所の火山影響評価ガイドにおける「設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価」に関する基本的な考え方について, 2018年3月7日資料6・了承
- (Meserve 2001) R. Meserve, The Evolution of Safety Goals and Their Connection to Safety Culture, AESJ/ANS Topical meeting on Safety Goals and Safety Culture, Milwaukee, Wisconsin, June 18, 2001.



御清聴、ありがとうございました。

本報告は下記の方々の御協力の下に調べました。

平野 雅司, NRA 村松 健, JAEA
本間 俊充, NRA 荻野 徹, 京都大学
高原 省五, JAEA 鄭 嘯宇, JAEA
成川 隆文, 東京大学

*"Plans are nothing; planning is everything."
Dwight D. Eisenhower*