

原子力安全目標のありようについて

2024年9月4日

山口 彰

原子力災害対策特別措置法

- **原子力災害の特殊性にかんがみ**、原子力災害の予防に関する原子力事業者の義務等、原子力緊急事態宣言の発出及び原子力災害対策本部の設置等並びに緊急事態応急対策の実施その他原子力災害に関する事項について特別の措置を定めることにより、**核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律**（昭和三十二年法律第百六十六号。以下「規制法」という。）、**災害対策基本法**（昭和三十六年法律第二百二十三号）その他原子力災害の防止に関する法律と相まって、原子力災害に対する対策の強化を図り、もって**原子力災害から国民の生命、身体及び財産を保護すること**を目的とする。
 - 原子力災害：原子力緊急事態により国民の生命、身体又は財産に生ずる被害
 - 原子力緊急事態：放射性物質又は放射線が異常な水準で当該原子力事業者の原子力事業所外へ放出された事態

核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律

- 核原料物質、核燃料物質及び原子炉の利用が平和の目的に限られることを確保するとともに、原子力施設において重大な事故が生じた場合に放射性物質が異常な水準で当該原子力施設を設置する工場又は事業所の外へ放出されることその他の核原料物質、核燃料物質及び原子炉による災害を防止し、及び核燃料物質を防護して、公共の安全を図る
- 製錬、加工、貯蔵、再処理及び廃棄の事業並び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う
- 原子力の研究、開発及び利用に関する条約その他の国際約束を実施するために、国際規制物資の使用等に関する必要な規制を行い
- もつて国民の生命、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。

原子力安全委員会の安全目標案

■ 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**

■ 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**

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8月 原子力安全委員会安全目標専門部会

「日常生活に伴う健康リスク」と事故に起因する放射線被ばくのリスクを比較する。外部事象が「日常生活にもたらす健康リスク」を含むのか？

なぜ、確率で表すのか

- 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。

安全確保活動の深さや広さを共通の指標で示す

安全目標が対象とすべきリスクとは？

- 原子力安全委員会の安全目標案
 - 専門部会での検討過程において「社会的リスク」につき認識されていたが、人の健康被害のみに着目し、社会的リスクについては明文化されなかった
- 原子力規制委員会の考え方
 - 「環境への影響をできるだけ小さくとどめる」観点から定量的目標(CFF-2)を提示した
 - 安全目標体系が有すべき基本構造や定量的目標の上位に位置すべき定性的目標については言及せず
- 社会的影響について、どのように目標を設定すれば良いのか、それを定量化する方法論はあるのか

社会的リスクと抑制の目標のあり方

■ 社会的リスク

- 原子力施設の事故に起因する放射線の放射や放射性物質の拡散は、周辺地域の社会的混乱や環境汚染を引き起こす可能性がある
- たとえ放射線被ばくによる直接的健康被害がなくとも身体的、精神的、経済的被害をもたらす恐れがある

■ 抑制の目標

- 現存する他の原因の事故や自然現象がもたらす同様のリスクの合計を有意に増加させない

■ 原子力基本法

- 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

「有意に増加させない」とは？

- 個人リスクにおける「健康リスクを有意に増加させない」の定量化事例
 - 米国原子力規制委員会：現存する死亡リスクの0.1%を超えない
 - 原子力安全委員会：死亡リスクが年あたり百万分の1程度を超えない
- 社会的リスクについても同様の定量化が望まれる
 - たとえば、他の原因による社会的コストの合計の0.1%を超えない*、という提案など
 - 定性的目標と整合する定量的目標、施設の特徴を踏まえた設計・管理目標（性能目標）導出につながる

* R.S. Denning and R.J. Budnitz, “Impact of probabilistic risk assessment and severe accident research in reducing risk,” *Progress in Nuclear Energy*, **102**, 90 (2018).

原子力損害賠償とリスク

- 1954年 Atomic Energy Act⇔原子力損害賠償
- 設計基準と深層防護で安全確保(想定事象と不確かさ)
 - 安全解析における“不確かさの科学”の重要性は認識
 - 定量的方法が存在しなかった
- 原子力委員会は潜在的な損害の評価・検討に着手(1956)
 - WASH-740: 大型原子力発電所の重要事故の理論的可能性と影響について、ブルックヘブン国立研究所(原子力委員会、1957)
 - 事故のリスクを知ること、原子力損害賠償法(Price Anderson Act)の根拠とする
 - 死者3,400人、負傷者43,000人、財産損害は7B\$(格納建屋考慮せず、炉心の半分放出)
- 1957年9月2日、原子力損害賠償法が10年時限立法で制定、賠償上限を560M\$とする

WASH-740は原子力発電所の重大事故でどのような影響があり得るかを示したが、その確からしさについては示せなかった

確率と影響度の関係

- 1964年、原子力委員会は賠償限度を再評価するためWASH-740の改訂を試みる
 - 多くの人は、事故影響はもう少し小さいはずだと考えていた
 - 主要なシナリオは、大口徑配管破断により炉心は冷却できず溶融する。
 - 災害の影響範囲はペンシルバニア州全域に広がり、死者数は43,000人、財産損害は以前の評価の数倍以上
 - 発電所の出力が大幅に増加したこと、放射性物質放出を抑制する固有の現象の知見がなく考慮されなかったことがその理由
- 原子力委員会の反応
 - もし事故が起こり、安全システムが作動しなければ大きな損害になる
 - きわめてあり得そうにない事態だから、実質的に脅威にはなり得ない
 - しかし公衆は、破局的な事態というだけで心配になるだろう

確からしさ(確率)と影響度の関係が議論の核心となる
小さい確率を考えれば、影響度はいくらでも大きく評価できる

WASH-740改訂の評価(1965年)

- C. Beck委員長 (Steering Committee)
 - 破局的状況に至る全ての過程を理解し、防護(Safeguard)し、それが全ての条件で意図した通りに機能することを確認する客観的で定量的な方法がないことが問題である。
 - この技術のmost baffling and insoluble enigma(もっとも悩ましく解決困難な“なぞとき”)は
 - 仮想的な条件での損害を計算することは簡単で単純
 - その確率(確からしさ)を計算する客観的で定量的な方法がない
 - これまでに原子力ではいくつかのニアミスが起きている。これは重大事故の確率が低いことと整合しない
- 賠償責任限度はそのまま継続することとなった

そもそもWorst Caseや保守的な想定とはどのような意味か
定量的にリスクを評価する必要性、運転経験により確度を高める可能性

リスク評価への批判と期待

- 非常用炉心冷却系(ECCS)問題(1971年)
 - 国立アイダホ原子炉実験所でのブローダウンの実験、非常用炉心冷却設備(ECCS)が機能しなかった
 - これは原子炉の事故の実験ではなく、計算コードの開発のため
- 確率論的リスク評価の必要性が指摘(原子力委員会の議論)
 - “Highly unlikely”はどの程度”Unlikely”かを示さない限り、原子力安全評価は極めて脆弱
- Benedict教授とRasmussen教授(MIT)はリスクトリプレットと公衆の健康と財産を評価すべきと指摘するレター(1972年3月17日)
 - 失敗確率の評価
 - さまざまな失敗についての影響度の評価
 - 核分裂生成物の放散の評価
 - 公衆の健康と財産に対する核分裂生成物の影響の評価
- プロとコン
 - 原子炉の設計と運転はあまりに複雑で、データが欠落。定量的リスク評価は不可能である(Ernst, 1972、AEC原子力安全タTF: Study of Reactor Licensing Process)
 - 原子力分野外との協力で複雑システムを解析(ベル研究所の開発した方法)
 - 統計とはデータを扱う学理である、確率はデータの欠如を扱う学理である(Kaplan)

かくしてReactor Safety Study (WASH-1400)のプロジェクトが開始

安全目標:ACRSの提案(1980年10月)

- 1979年3月:TMI事故、1979年秋にNRCが依頼
- 競合技術(主に石炭火力)より低い(将来原子炉の)社会リスク
- 個人(住人と従事者)に及ぼす(複数基)のサイトリスクは十分小さい
 - 事故やがんの死亡リスクを有意に増加させない
 - 公平性の問題が生じない(個人リスクの増加と直接的便益のバランス)
- 安全設計は事故の防止と影響緩和を重視
 - シビアアクシデントの確率が極めて低いこと
 - 大規模炉心溶融事故においても周辺に住む個人の死亡確率が極めて低いこと
- 特定の安全目標をリスクが下回るようALARAコスト-便益基準による適切な対策
- リスクの評価では軽水炉の全ての事故を考慮し、大きな不確かさを踏まえ平均値を用いること
- 事故の可能性をさらに下げるインセンティブが働くこと。ただし技術に不当なペナルティを課したり、社会への過度なコスト負担がないようにすること

設計オブジェクト

- 原子炉の特定危険状態 (hazard states) の発生頻度を制限
- 事故による個人の早期死亡あるいは晩発死亡のリスクを制限
- 早期あるいは晩発死亡の社会リスク (Overall societal risk) を制限
- コスト便益基準を用いたALARPアプローチの採用
 - 経済的コストを含む
 - 統計的な夭折の防止を金額を割り当てる
- まれであるが多数の早期死亡をもたらす事故を重視

Table 1. ACRS trial limits on occurrence of hazard states. Abbreviation: LSFM, large-scale fuel melt. [Adapted from (12), table 1, p. 185]

Hazard state	Goal level	Upper nonacceptance limit
Significant core damage*	$<3 \times 10^{-4}$ per reactor year	$<1 \times 10^{-3}$ per reactor year
LSFM†	$<1 \times 10^{-4}$ per reactor year	$<5 \times 10^{-5}$ per reactor year
Large-scale uncontrolled release‡	<0.01 per LSFM	<0.1 per LSFM

*More than 10% of noble gas inventory leaking into primary coolant. †More than 30% of oxide fuel becoming molten. ‡More than 10% of iodine inventory and 90% of noble gas released.

希ガスの10%
以上が一次冷
却材に放出

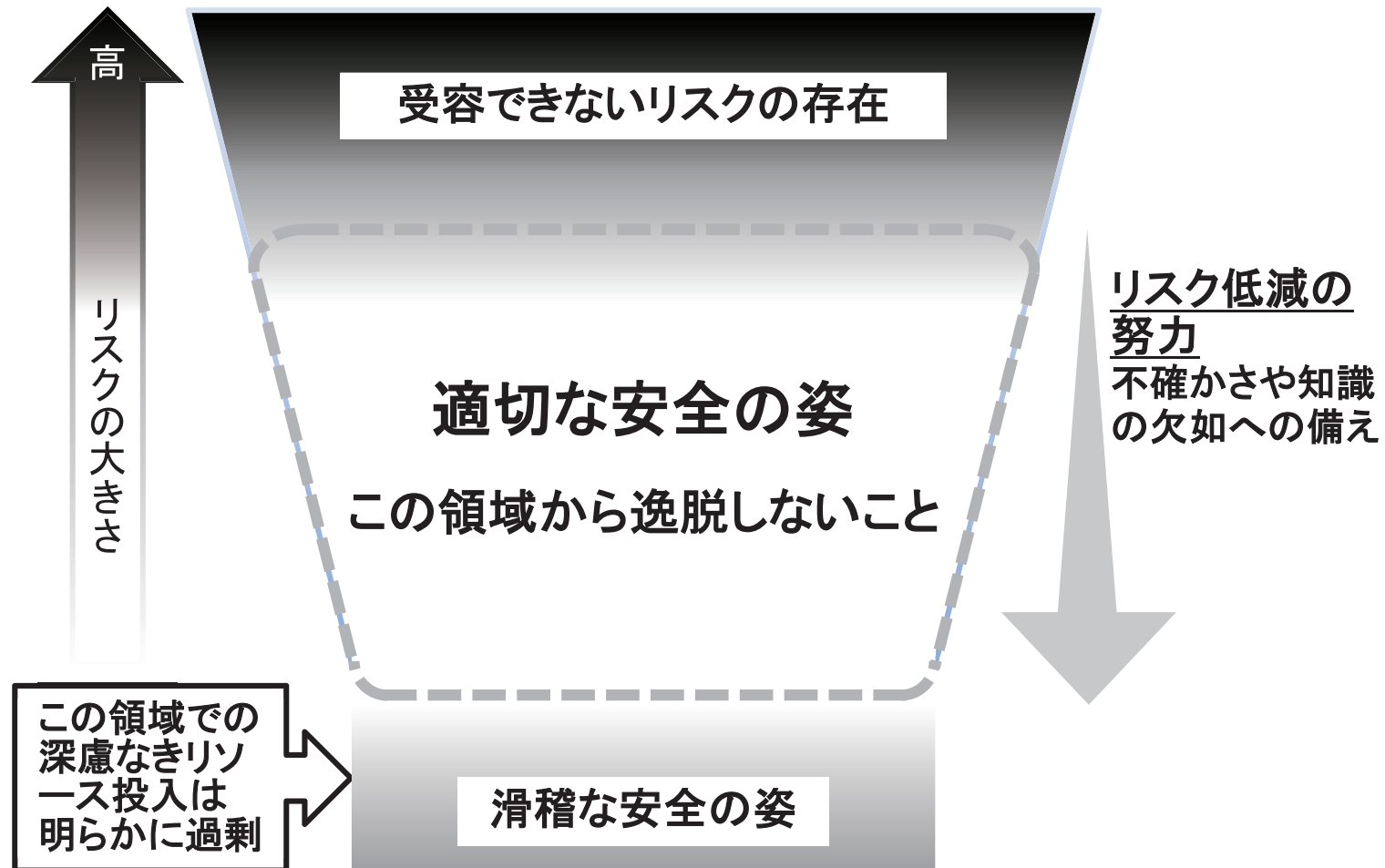
酸化物燃料の
30%が溶融

ヨウ素の10%、
希ガスの90%
が放出

安全確保の付帯要件：良い規制の5原則（1991年）

- 自立性 (independence)
 - 安全規制は、**高い倫理感と専門性**のみに拠るべきであるが、決して規制が孤立するようであってはならない。客観的で先入観のない判断を行い、その結果と根拠を文書化する
- 寛容性 (openness)
 - 公共サービスである安全規制は公開のもとで行われ、関係者（議会、他の行政機関、事業者、公衆、国際的な原子力コミュニティ）の**自由なコミュニケーション**が維持されなければならない
- 費用対効果性 (Efficiency)
 - 納税者や事業者は最善の規制活動を享受する権利がある。現実的な規制がなされなければならない。リスク低減効果と整合させつつ**投入資源を最小化**する必要がある。規制の能力を向上させ、規制の決定を不当に遅延してはならない。
- 明瞭性 (Clarity)
 - 規制は**首尾一貫して論理的で实际的**であること、機関の目標や目的と整合することが求められる
- 首尾一貫性 (信頼感) (Reliability)
 - 研究と運転経験についての最新知見に基づくこと、規制判断を安易に不当に覆すことのないこと、文書化した手順により迅速、公平かつ断固たる態度で運営されること、これにより**原子力利用の実施と計画が安定的になされる**べきである

適切な安全と滑稽な安全

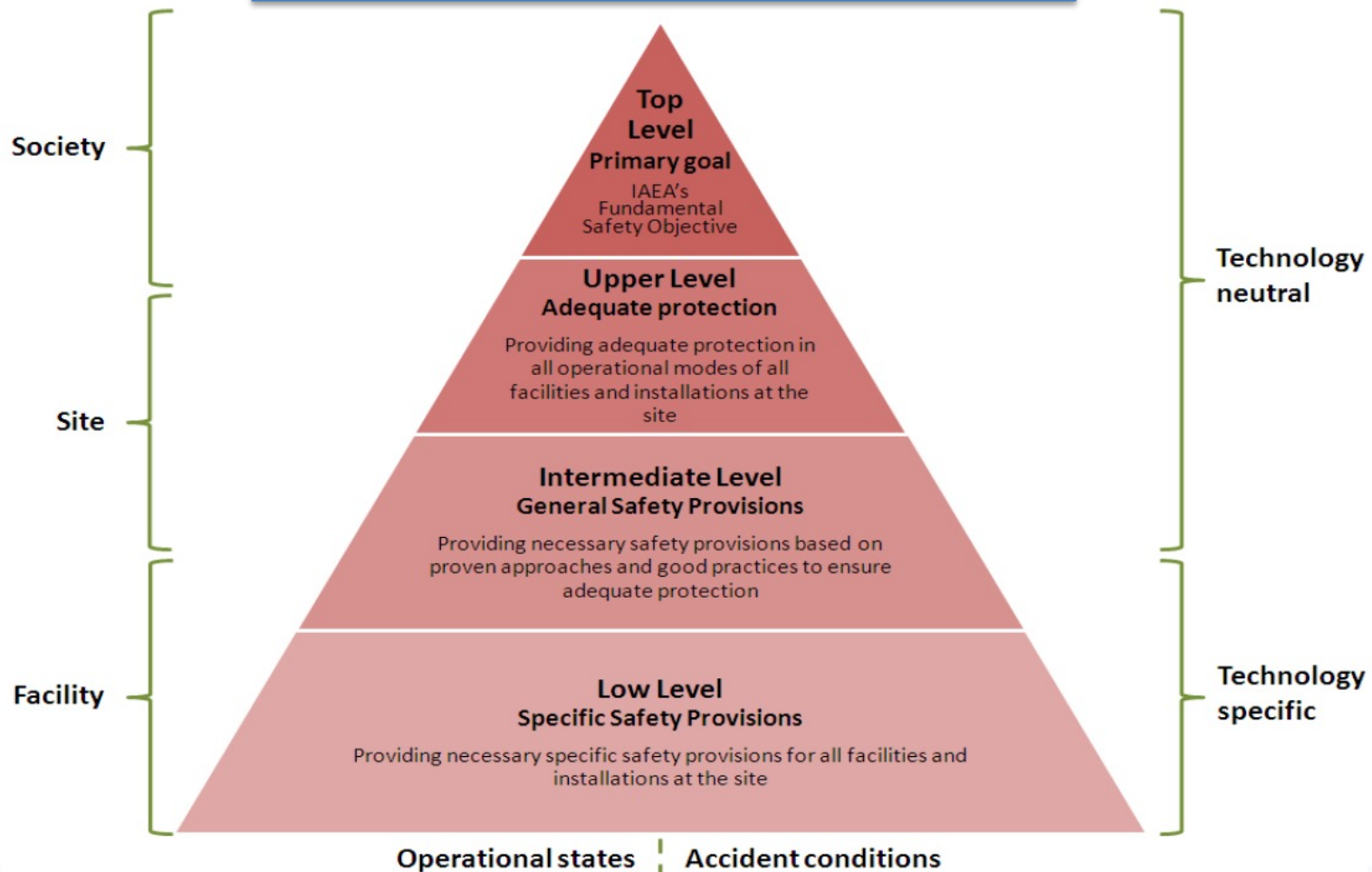


山口, 竹内, 菅原, 「安全目標」再考—なぜ安全目標を必要とするのか?—東京大学弥生研究会, 安全目標に関する研究会, UTNL-R-497, 2018年3月

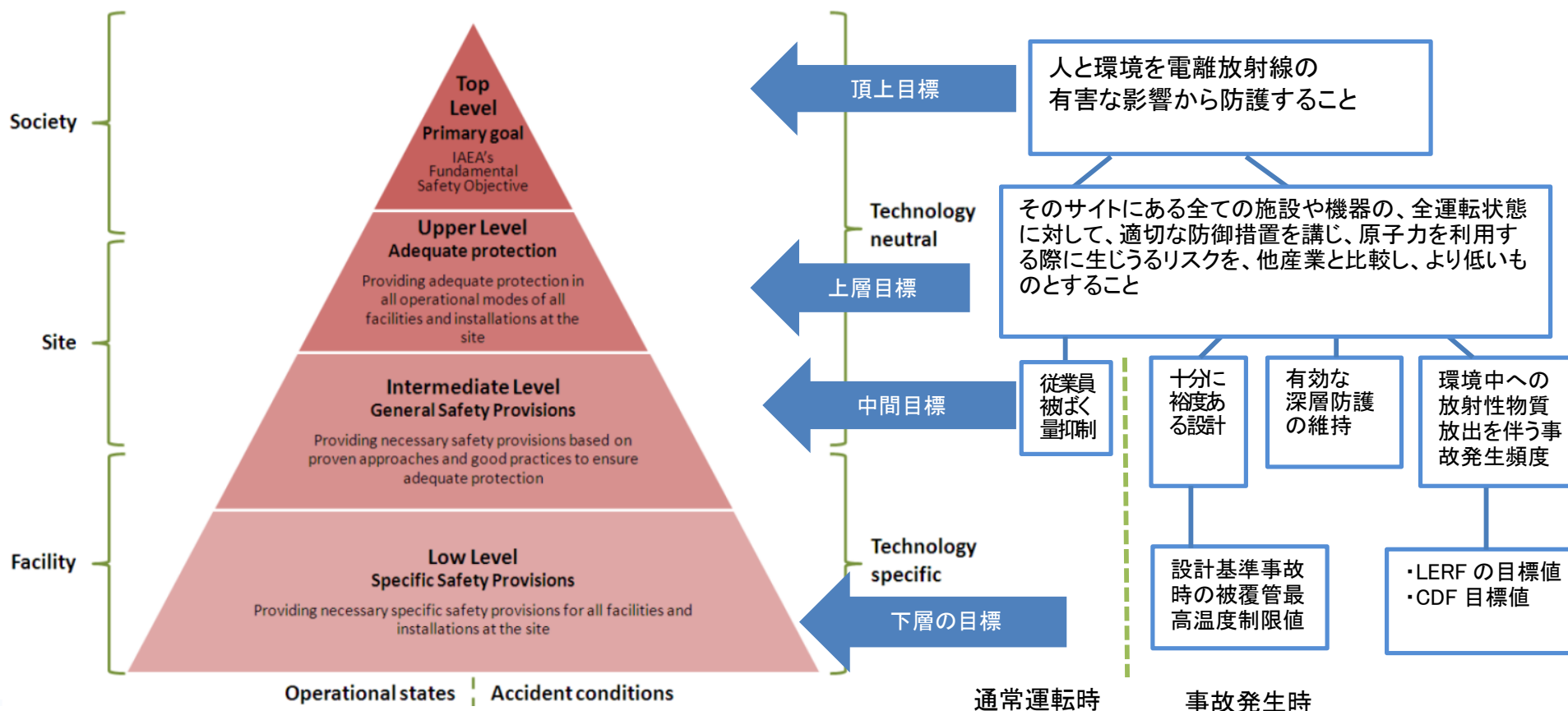
安全目標の階層構造

- 最上位に普遍的な目標を掲げ、上位から下位に向け具体化、定量化、細分化
- 通常運転状態から事故状態までを対象とする

例：IAEAが提案する安全目標の階層構造



基準やサロゲート目標までへの展開の考え方



安全目標の階層的構造の提言

健康リスク

社会リスク

最上位目標 (原子力安全の目的)	原子力の施設と活動に起因する放射線の有害な影響から人と環境を防護する				
上位目標	放射線の放射や放射性物質の拡散による公衆の健康リスクは、公衆の日常生活において現存する健康リスクの合計を有意に増加させない水準に抑制されるべきである		放射線の放射や放射性物質の拡散により環境を害し、或いは広範囲にわたる社会的混乱をもたらすリスクは、他の原因による事故や自然事象がもたらす同様のリスクの合計を有意に増加させない水準に抑制されるべきである		
中位目標	通常運転時安全基準	設計基準事象に対する安全基準	重大事故時の健康リスクに対する確率論的定量目標	重大事故に対する安全基準 (Cs ¹³⁷ 放出量 100TBq未満)	重大事故時の社会的リスクに対する確率論的定量目標
下位目標 (Surrogate)			性能目標 (CDF/CFF目標)		性能目標 (CDF/CFF目標, Cs ¹³⁷ 放出量 100TBq超頻度 < 10 ⁻⁶ /炉年)

山口、菅原、佐治、「安全目標」再考 我が国でのあり方を問う、日本原子力学会誌、Vol.62, No.3 (2020)

議論のポイント

- 原子力災害対策特別措置法
 - 原子力災害の特殊性ゆえ、原子力災害に対する対策の強化を図り、もって国民の生命、身体及び財産を保護
- 原子力基本法
 - 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
- 安全目標はいかにあるべきか
 - どのような構造であるべきか(全体像)
 - 何を対象とするのか(安全の範囲)
 - どのように表現するのか(性能を明確化)
 - 安全確保の付帯要件
 - なんのために使うのか(安全の品質)