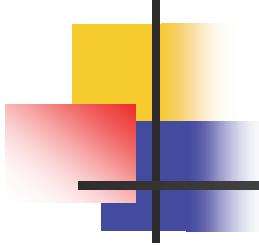


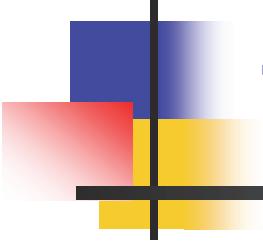
原子力安全の基本的な考え方

名古屋大学 工学研究科 山本章夫

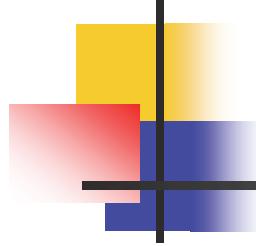


目次

- 安全とは
- 安全と安心
- 原子力安全の目的と原子力安全基本原則
- 核セキュリティと安全
- 安全目標と性能目標
- ALARAとは
- 深層防護とその考え方
- 想定外への対応

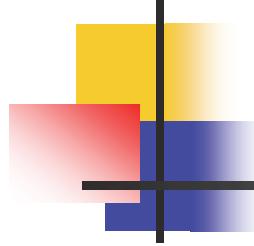


安全とは



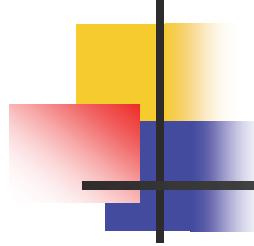
安全とは

- 「①安らかで危険のないこと。平穏無事。②物事が損傷したり、危害を受けたりするおそれのこと。」(出典:広辞苑)
- 「人とその共同体への損傷、ならびに人、組織、公共の所有物に損害がないと客観的に判断されること」
- つまり、危険がないこと、被害を受ける可能性がないこと
- 危険は、具体的に示せるのに対し、安全は「危険が存在しない」という否定の形でしか表せない
- 「～がないこと」を証明することは一般的に難しく「悪魔の証明」とも言われる



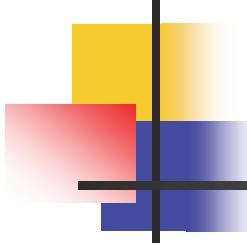
安全とは

- 現時点では、「安全かどうか」は、「危険かどうか」でしか判断できない。
- つまり、安全＝危険がゼロであることであるが…



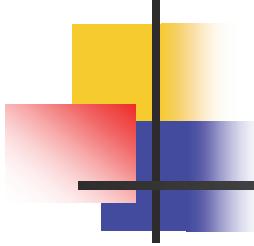
科学技術分野の「安全」

- 科学技術の分野では、「絶対安全」=「危険がゼロ」はあり得ない。(証明できない)
- では、何を持って「安全」と考えるか?
- 「人への危害または損傷の可能性が、許容可能な水準に抑えられている状態」
- 「受け入れ不可能な危険性(リスク)が存在しないこと」



リスクとは?

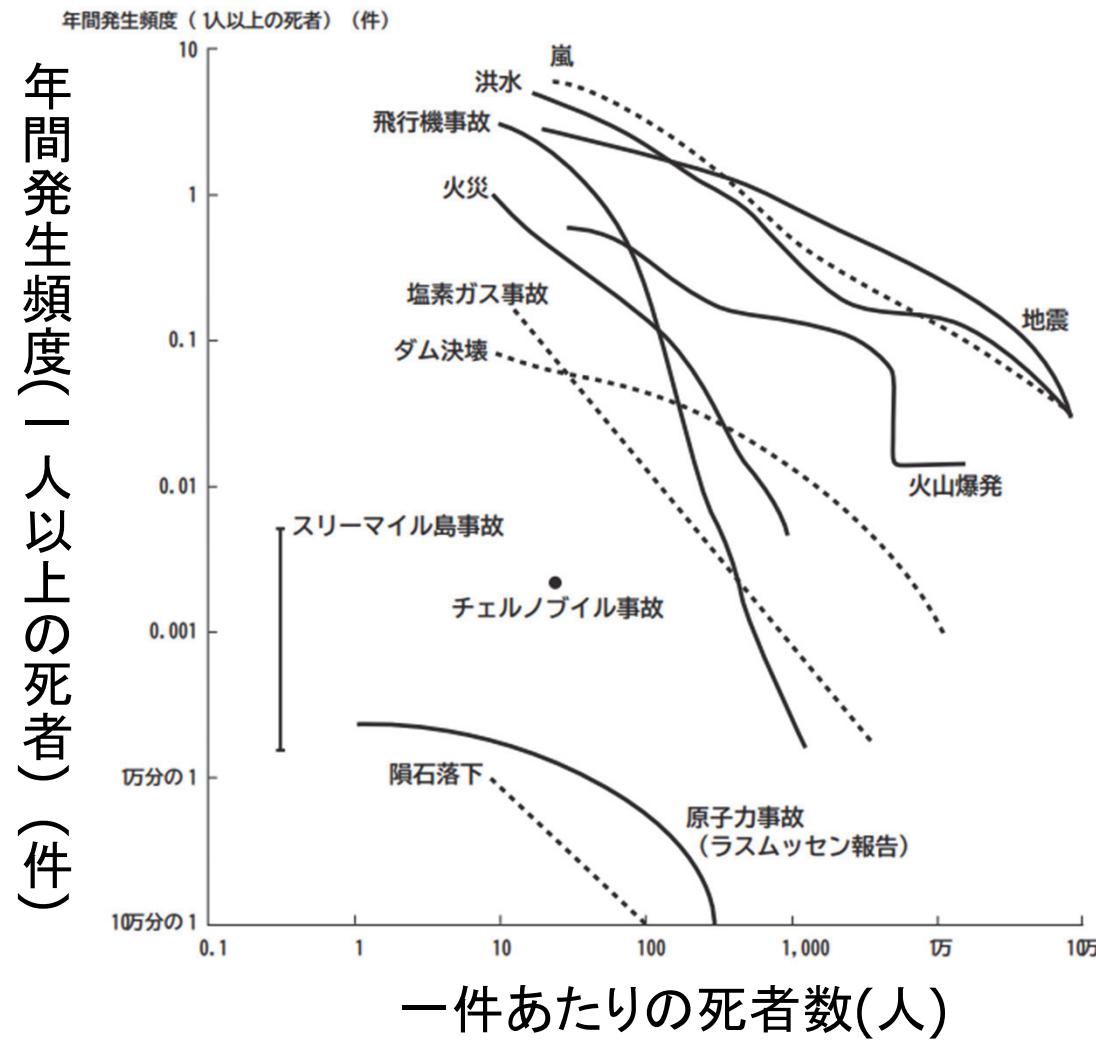
- 語源
 - “Risk”は、海事保険に由来するとされており、語源は、フランス語のrisque、イタリア語のriscoからきているとされる。これらは、ラテン語の「断崖の間を航海する」に由来。
- 意味
 - ある行動に伴って(あるいは行動しないことによって)、危険に遭う可能性や損をする可能性を意味する概念。



リスク(危険性)とハザード

- リスク(危険性)は、被害規模と発生確率から決まる。
 - 一例: リスク = 被害規模 × 発生確率
- ハザード
 - 人や物に障害を与える可能性がある行為、もしくは現象のこと
- 事例
 - 航空機事故: 被害規模大、確率小
 - 自動車事故: 被害規模小、確率大

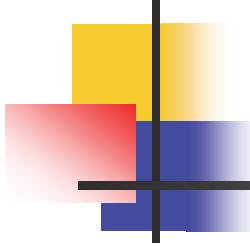
リスク(危険性)と被害規模



出典 : J.H.FREMLIN, Power Production~ WHAT ARE THE RISKS? Oxford University Press (1987)
発電システムの健康リスク 石炭から未来エネルギーまで そして原料探掘から廃棄物処分まで A.F.フリッヂ他
出所)日本原子力学会編 原子力がひらく世紀



【1】出典:内閣府原子力委員会ホームページ

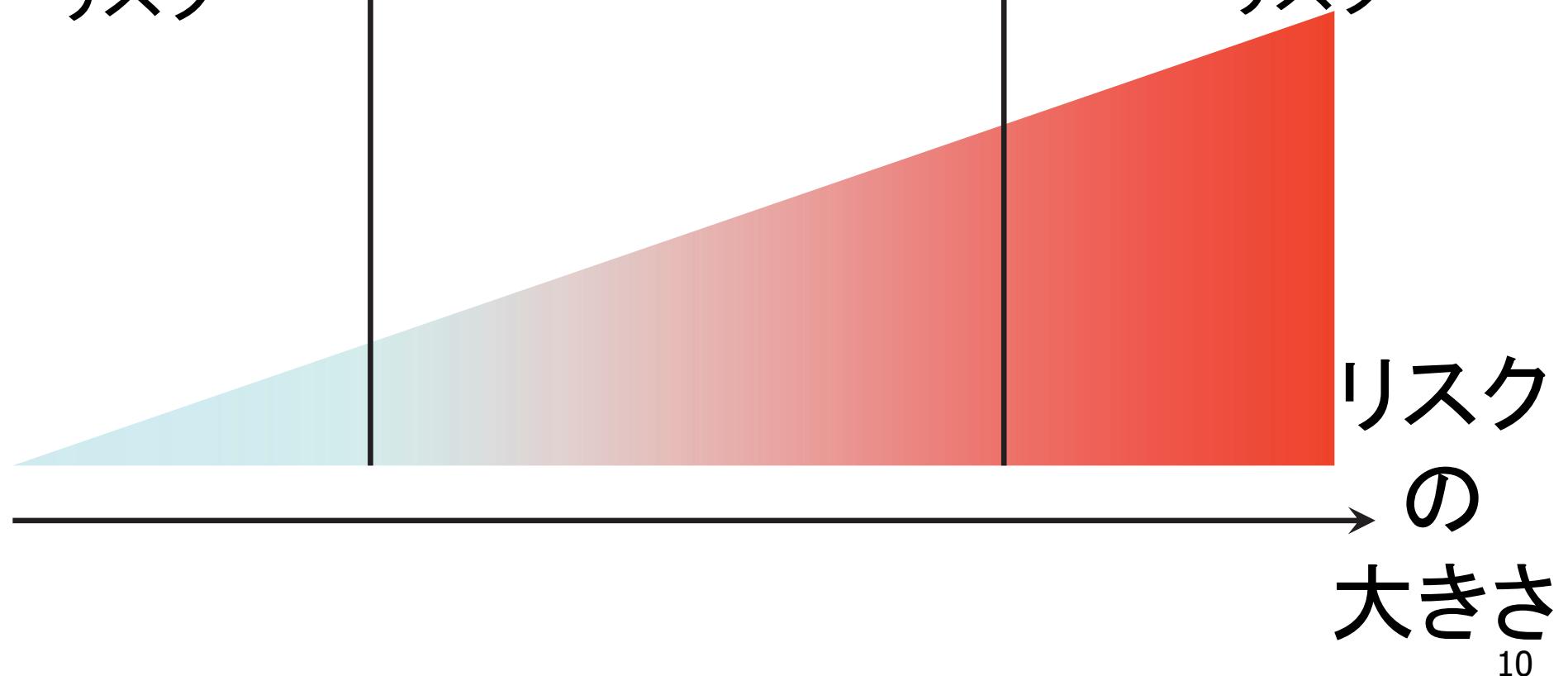


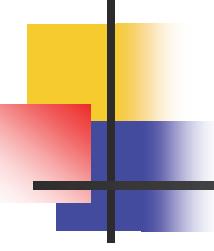
リスクの大きさと安全

広く受け入れ
可能な
リスク

許容可能な
リスク

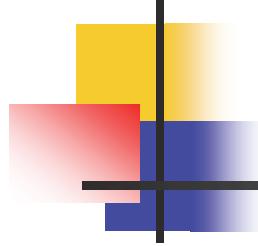
受け入れ
不可能な
リスク





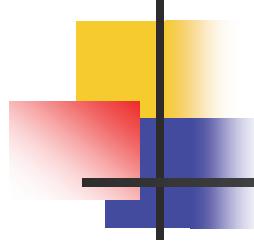
では、どれぐらいのリスクであれば許容可能か
＝どれぐらい危険が少なければ安全といえるか？





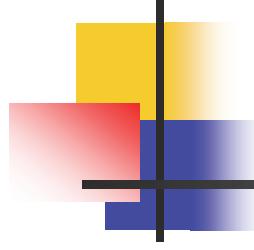
身の回りのリスク

- 日常生活を送る中でみなさんが遭遇するリスクをあげてください。



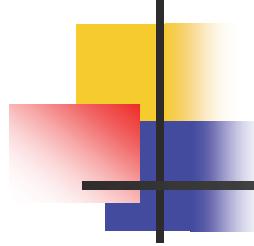
リスクの社会的受け止め方の一例 (労働災害を例にして)

- 皆さん以下のように感じる確率(年間当たりの死亡確率)はどれぐらいでしょうか?
- 危険だ
 -
- 危険かもしれないが、あまり気にならない
 -
- 気にならない
 -



許容できるリスクの設定の考え方の例

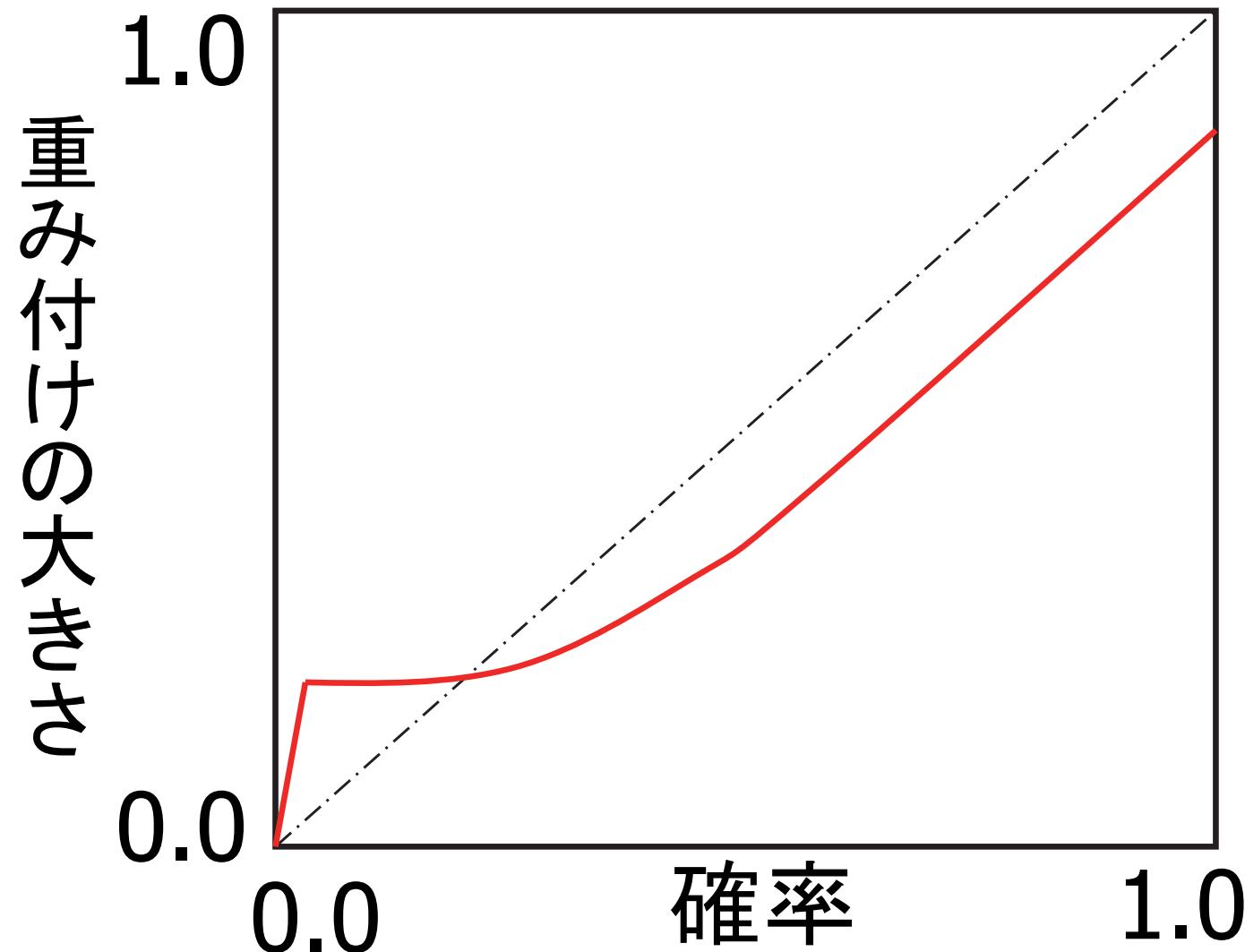
- 身近なリスクに比べて十分に小さい
 - 例:航空機落下による巻き添え
- リスクと、得られる利益(ベネフィット)を勘案して決める
 - 例:医療、食品、自動車

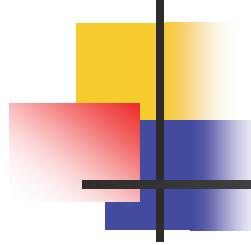


許容できるリスクの考え方

- 社会情勢や社会の価値観で変化
 - 例えば、100年前の日本において許容できたリスクと、現在許容できるリスクは異なる
- もちろん、個人の価値観にもよる

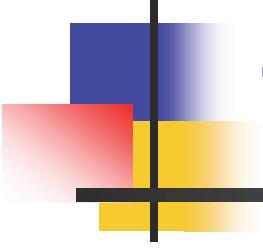
確率は小さいものの 大きな影響がある場合



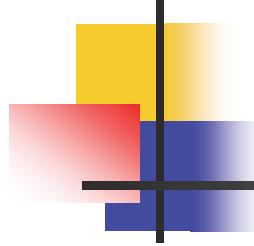


9.11米国テロの後

- 多数の米国人は航空機を使用せず、車をかわりに使用
- このような傾向は約1年間続いた
- この結果、車の事故による死亡が約1600人増加
- この事実は、ほとんど誰にも気づかれなかった

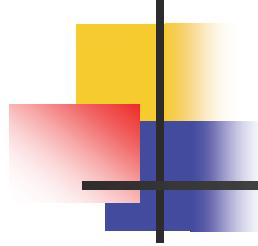


安全と安心



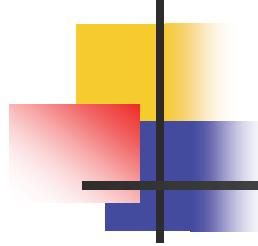
安全と安心

行為	安全	安心	リスク例
飛行機に乗る			
たばこを吸う			
電車に乗る			
入浴する			
コーヒーを飲む			
自家用車を運転する			
スキーをする			



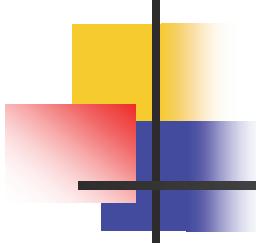
安全と安心

- 「安全とは自然科学で証明される客観的事実、安心とは自ら理解・納得したという主観的事実」
(明治大学理工学部、北野大教授)
- 安全と安心は全く別のものである(?)
- 安心は個人の考え方や価値観に依存するため、定量化することが難しい。



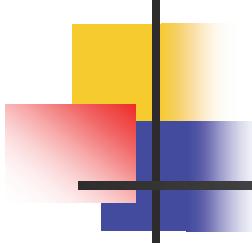
主観的リスクと客観的リスク

- 客観的リスク(安全に関係)
 - ハザードや発生確率など科学的なデータから推定された値
- 主観的リスク(安心に関係)
 - 科学的根拠と無関係に恐れたり、危険と感じたりするもの



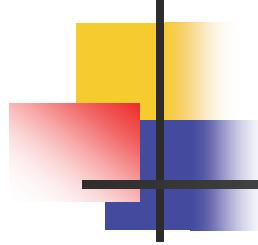
主観的リスクの「もと」は?

- (1) よく分からぬものや新しいもの
- (2) 人工的なもののリスク
- (3) 何年か経ってから病気になるもの
- (4) 遺伝的影响を後の世代に与えるリスク
- (5) 科学的に解明されていないリスク
- (6) 異なる情報源から矛盾する情報が伝わる場合
- (7) 非自発的なリスク
- (8) 不公平に分配されたリスク
- (9) 個人的な予防行動では避けられないリスク
- (10) 普通でない死に方、苦しみながら死ぬリスク
- (11) 見知らない人のリスクよりも、身近な人のリスク



リスクを伝える難しさ

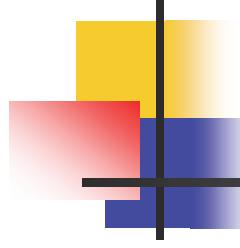
- 一般の人びとのリスク認知には、「恐ろしい」とか「未知なもの」という判断が非常に影響している。
- 一般の人びとのリスク認知は、リスクを「危険有害性」と「生起確率」の積として評価する専門家の判断とは異なる。
- 一般の人びとが「未知なもの」と判断しているリスクについて、専門家が「そのリスクが起こる確率は低い」といくら強調しても、人びとには影響を与えない場合がある。
- 専門家は、人びとが必要としている情報の特徴を知る必要がある。



リスクコミュニケーションとは

■ 定義

- 世の中のあらゆる事象には、**便益・便利さ(ベネフィット)**と**リスク**の二面がある。
- そのリスクから人びとを守るために、情報の主な所有者は、ベネフィットとリスクを人びとに正しく伝え、共に対応を考える必要がある。
- このように、ポジティブな情報だけでなく、ネガティブな情報も公正に伝えて、関係者が**共に考えるコミュニケーション**のことをリスクコミュニケーションという。
- 情報が専門家から一方的に伝えられるものではない。



リスクコミュニケーションが 取り扱う範囲

(1)科学技術

原子力発電、遺伝子組み換え、放射線、食品

(2)環境問題

ゴミ焼却場、オゾン層破壊

(3)消費生活用品

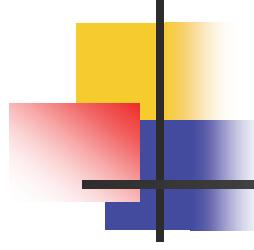
製造物責任法

(4)健康・医療

医療行為について、わかりやすく正確に説明(インフォームドコンセント)

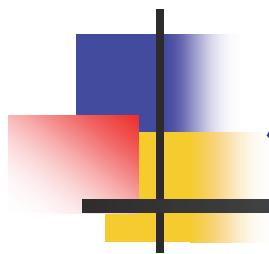
(5)災害

予測行動の啓蒙、避難警報、災害発生後のデマ

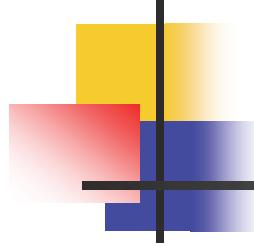


リスクコミュニケーションにおいて専門家が気をつけるべきこと

- 専門家は、事象が発生するメカニズムをよく知っているので、その専門分野においては、技術的に正確なリスク評価をする。これは、**一般市民の認識と異なる場合も多い。**
- 市民は被害の大きさ(ハザード)に基づき判断する傾向があるが、専門家は事象の発生確率も加味したリスクで判断する。

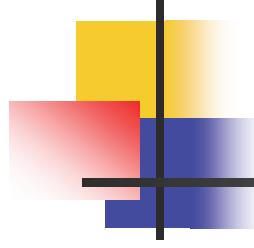


原子力安全の目的と 原子力安全基本原則



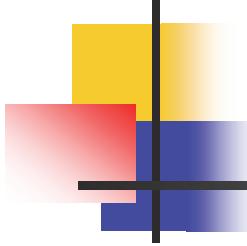
原子力安全の目的

- 「人と環境を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防護すること」
 - 環境の定義は個人・社会の価値観に依存。時代・社会の発展とともに変遷。



原子力安全の目的から基本原則への展開

- 原子力安全の基本原則
 - 3つのカテゴリーに原則を展開
 - カテゴリー1: 責任とマネジメント(原子力安全を実現する基盤)
 - カテゴリー2: 人及び環境の防護(正当性、リスク抑制と継続的取り組み)
 - カテゴリー3: 放射線リスク源の閉じ込め(深層防護に基づく安全確保)



カテゴリー1: 責任とマネジメント

- 原子力安全を実現する基盤(役割、責任、文化)

- ・放射線リスクに関わる人と組織の**安全に対する責務と許認可取得者の役割り**

⇒ **原則1 安全に対する責務**

- ・**安全規制の枠組み**：政府の役割は安全のための法律・行政上の枠組み

⇒ **原則2 政府の役割**

- ・**安全の規制・監視**：規制機関は放射線リスクから人の健康と環境を保護する

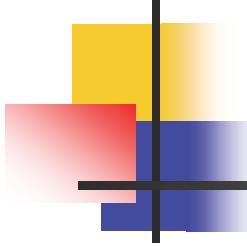
⇒ **原則3 規制機関の役割**

- ・**安全確保の実践**：リーダーシップ（責任と判断）とマネジメント（実践と責務）

⇒ **原則4 安全に対するリーダーシップとマネジメント**

- ・**安全確保の根幹**：原則が継続的に遵守されるための基盤となる安全文化

⇒ **原則5 安全文化の醸成**



カテゴリー2: 人及び環境の防護

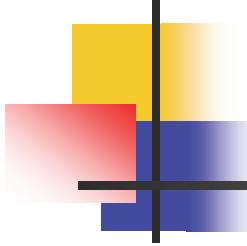
- 正当性、リスク抑制とその継続的取り組み

- ・原子力利用に正当性があること

⇒原則6 原子力の施設と活動の正当性の説明

- ・リスクの制限と抑制がなされていること

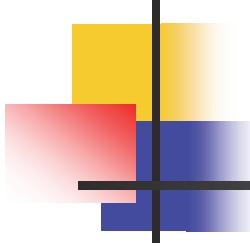
⇒原則7 人および環境へのリスク抑制とその継続的取り組み



カテゴリー3: 放射線リスク源の閉じ込め

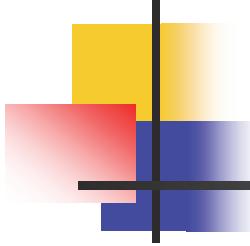
- 深層防護に基づく安全確保

- ・事故の防止と影響の抑制がなされていること
⇒原則8 事故の発生防止と影響緩和
- ・緊急時の準備と対応ができていること
⇒原則9 緊急時の準備と対応
- ・管理下にない放射線リスクの防護措置
⇒原則10 現存する放射線リスク又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



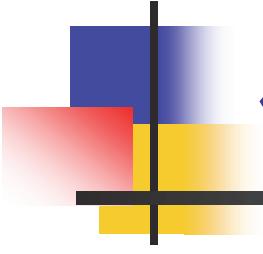
環境を守る、という考え方

- 原子力安全の目的は、人と環境を放射線の有害な影響から防護すること。
- では、環境を放射線の有害な影響から防護するとはどういうことか？
- 最も狭義に考えると、原子力施設から放出された放射性物質が土壤，空気，水，食物などを経由することにより生じる人への間接の被曝を防ぐこと
- 福島第一事故では、土地汚染による生活空間の制限といった社会的影響や土地・建物の喪失というような経済的喪失のような「社会的リスク」が顕在化したが、これを防ぐという考え方もある。これは、環境を「人の生活空間」とする考え方
- 最も広義にとらえると「人」への影響の有無に係らず、「環境」そのものが放射線による悪影響を受けるべきではないということ

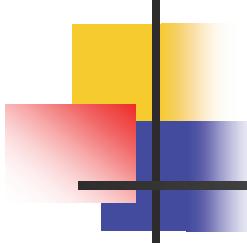


環境を守る、という考え方

- ICRP勧告では、環境を守ることについて、以下のように示している。
 - ICRP1990年勧告では「人が防護されていれば人以外の生物も防護される」という考え方であり、「環境生物は、環境中の放射性物質が人へ至る経路である(経路でしかない)」という受け止め方
 - 環境の防護に关心が集まるようになり、2007年勧告では、環境の防護の目的として「(1)生物種の多様性を維持し、(2)生物種を保存し、(3)生態系(ecosystem)の健全性を保護すること」が掲げられている
 - (個々の個体とは別に)何らかの種の集団が害となる影響を受けるほどの放射線被ばくから生態系を防護することとなっている。つまり、「環境」とは、「生物種同士のかかわり合いを含め、それを取り囲む生物以外の要素も包含する生態系(ecosystem)」のことであるという捉え方
 - 放射線被ばくが「人」の健康に及ぼす影響は、不確実性はあるとしても比較的良く理解されているのに対し、「環境」への放射線の影響は十分に調査されているとは言えない。
 - 化学物質では、標準動植物を導入し、これらに対する影響を評価する手法があるが、同様の考え方が検討されつつある

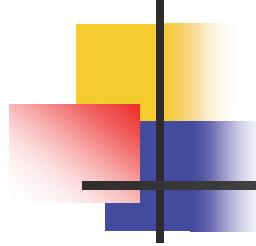


核セキュリティと安全



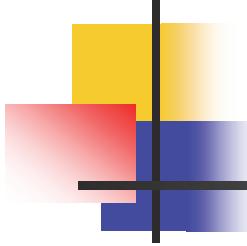
原子力安全と核セキュリティの関係

- 福島第一原子力発電所事故は、原子力施設へのテロ行為により同様の深刻な影響を社会に与える事態を引き起こすことができる可能性を明らかにしている。
- 原子力安全と核セキュリティの共通要素
 - 原子力安全と核セキュリティには多くの共通要素があり、両者とも人、社会及び環境の防護を究極の目標として原子力施設を防護する。その各自的的な目的は人、社会及び環境の防護であり同じもの
 - 安全とセキュリティのいずれもが、基本的に深層防護の方針に沿っており、幾つものレベルもの防護を取り入れている
 - 例えば、偶発的な故障により墜落する航空機が原子力施設にぶつかった場合と、核テロとして原子力施設に衝突する航空機を考えた場合、「航空機が原子力施設に衝突する」と言う現象は同じ
 - 航空機衝突により発生する原子力事故の発生の防止、事故の影響の緩和は、事故だけでなく核テロに対しても有効に機能する可能性がある



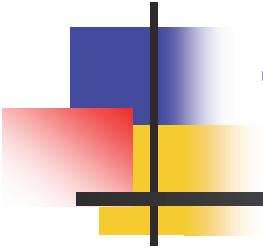
原子力安全と核セキュリティの関係

- 原子力安全と核セキュリティの相反的要素
 - 原子力施設への攻撃や核物質の盗取又は破壊行為、放射性物質の意図的な環境への拡散など、核セキュリティや核物質防護に係る事象は、故意に行われる‘知的な’又は‘計画的な’行為に基づくもの
 - 意図を持って故意に行われる悪意のある行為（核テロ）によるリスクに対応した核セキュリティの対策には、自然現象や施設・設備の故障、その他の内部的な事象又は障害、又は人的過誤によって引き起こされる意図しない事象から生じるリスクに対応した原子力安全の対策とは、全く異なるアプローチが必要
 - アクセス制限と迅速な事故対応
 - 定期検査の際にセキュリティ目的の機器に電源供給ができない
 - 機密情報管理と公開性・品質保証活動の両立

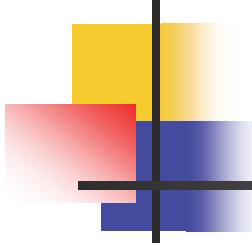


原子力安全とセキュリティの関係

- 原子力安全対策とセキュリティ対策には相反的又は相補的である場合がある
- 安全のための対策と核セキュリティのための対策は、セキュリティの対策が安全を損なわないように、また、安全のための対策がセキュリティを損なわないような統合的な対策として計画、実施しなければならない。
- 安全とセキュリティの間のインターフェースを改善・強化することによって公衆、財産、社会及び環境の防護を最大化することを目標(goal)としなければならない。
- 安全対策とセキュリティ対策のそれぞれを所掌する組織がお互いに情報共有や意見交換を怠らず、この2つの分野が相乗効果を産み出すようにする必要がある

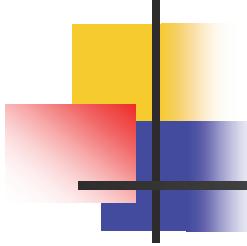


安全目標と性能目標



原子力発電の安全(危険)性

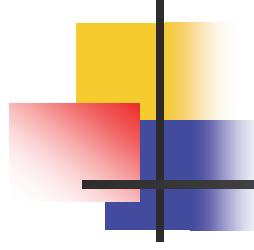
- 原子力発電が「安全」といえるための条件
 - 社会情勢や社会の価値観を反映した「許容できるリスクのレベル」より発電所のリスクが低いこと
 - 発電所をより安全にするための努力が継続されていること(安全文化が醸成されていること)
- では、どこまで安全なら安全か
 - これは、“How safe is safe enough?”問題として古くから知られている。



原子力安全委員会による安全目標(案)

- 安全目標は、原子力安全規制活動の下で事業者が達成すべき、事故による危険性(リスク)の抑制水準を示す定性的目標と、その具体的水準を示す定量的目標で構成する
- 発電用原子炉施設について線量目標値が定められている平常運転時のリスクは対象としない。
- このように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く
- 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

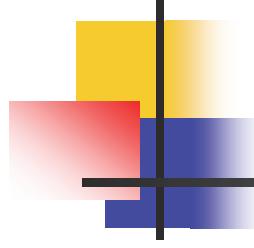




原子力安全委員会による 原子力発電所の安全目標(案)

- 定性的安全目標案
 - 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。
- 定量的安全目標案
 - 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。
 - 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。





他国における原子力発電所の 安全目標

- 米国：急性死亡リスク及びがん死亡リスクが国民が一般にさらされているそれぞれのリスクの**0.1%を超えてはならない。**
 - この値を超えるリスクの付加が直ちに重大なリスクの付加を意味するわけではなく、施設が近傍にあるからといって人々が特別な懸念を抱かずにするほどに低い水準である
- 英国：公衆の個人に対する広く受容されるリスクレベルとして、**年あたり100万分の1未満**
 - 人間の寿命が100歳程度とした場合の寿命期間中の年間死亡リスクを100分の1とすると、100万分の1というリスクは、寿命期間中の年間死亡リスクと比較して非常に小さいとされている。



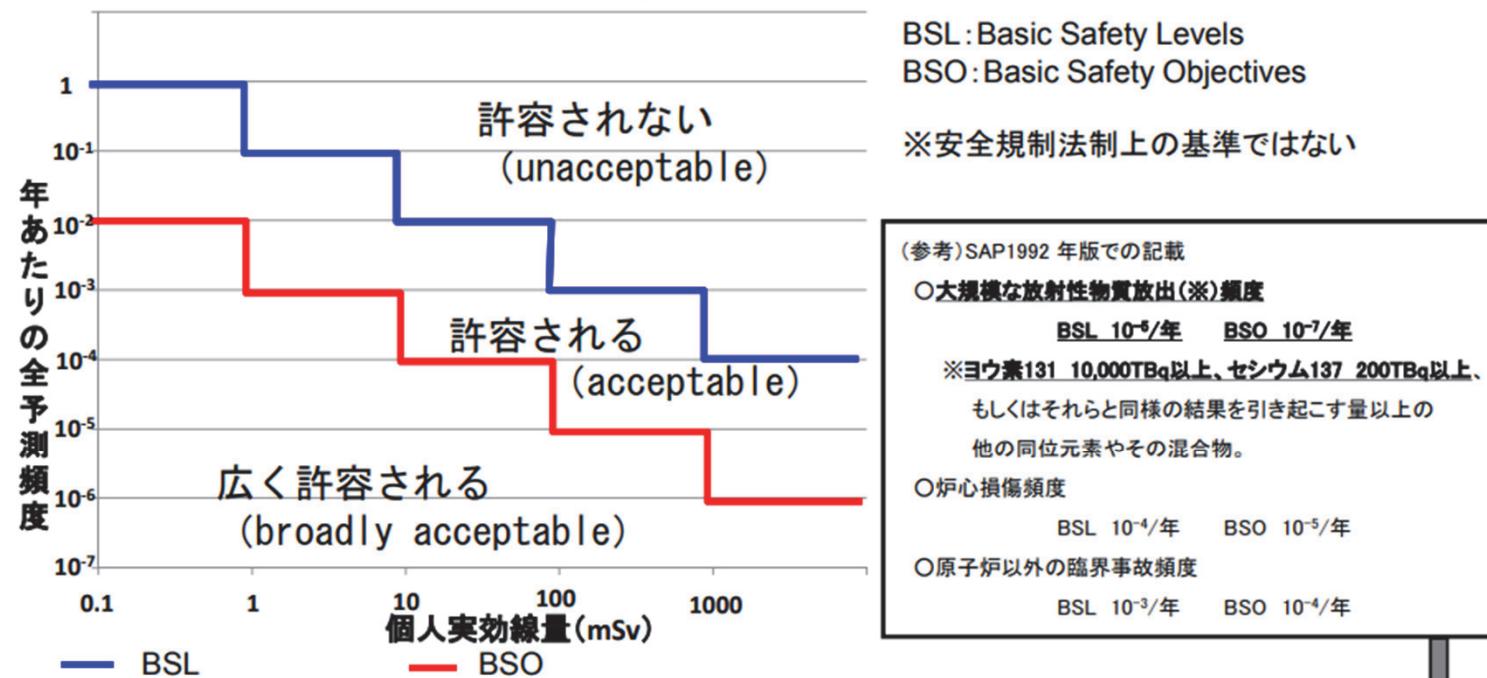
英国における安全目標

英國における安全目標 核物質施設の安全評価原則 2006 年版
(Safety Assessment Principles for Nuclear Plants:SAP)

英國では、個別施設に対する実効線量と頻度をあわせた目標を定めている。

○事故による敷地外の公衆に対する個人リスク BSL: 1×10^{-4} /年 BSO: 1×10^{-6} /年

○個別施設の事故に対する頻度及び線量目標 下図



○社会的リスク BSL 1×10^{-5} /年 BSO 1×10^{-7} /年

(放射線被ばくで100名以上の即発か最終的に死亡をもたらす事故の全リスク)

※「Safety Assessment Principles for Nuclear Facilities (2006)」より作成 8



【4】出典: 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 44

日本におけるリスクの状況

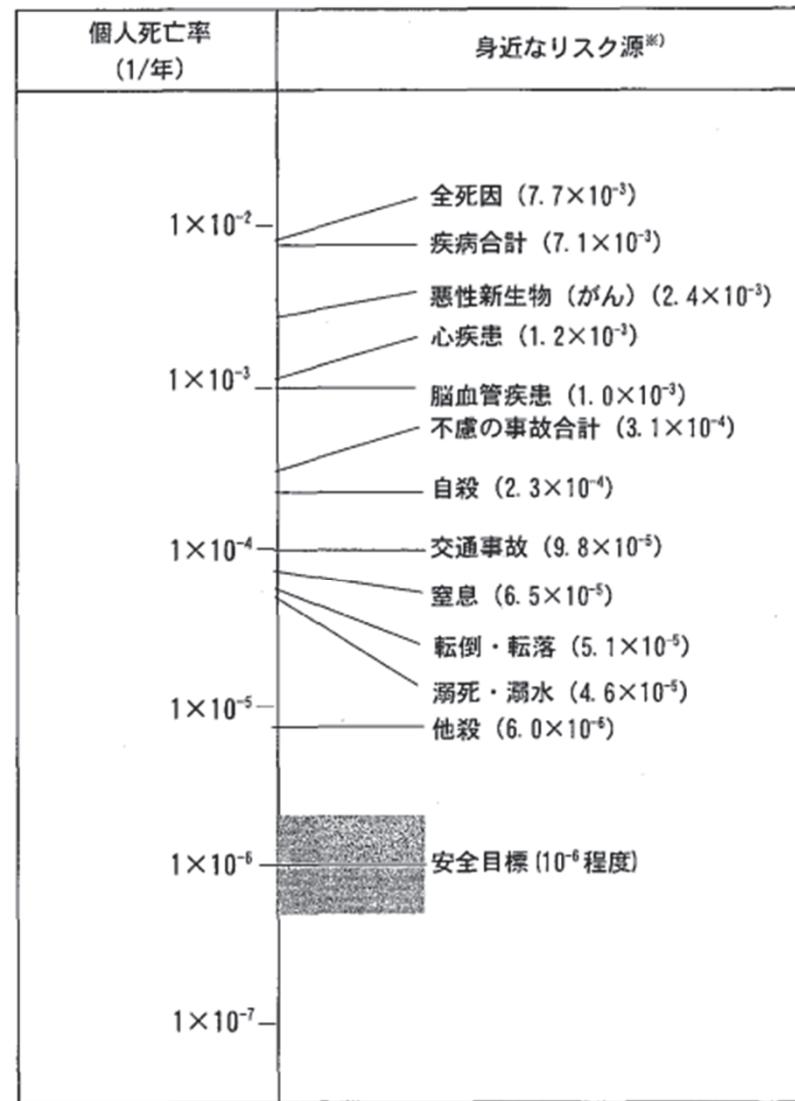
死 因	10万人あたりの年間死亡者数(2001年)	個人年間死亡率(1/年) (2001年)	地域格差(注)(2001年)
全死因	770	7.7×10^{-3}	$6.0 \times 10^{-3} \sim 1.0 \times 10^{-2}$
疾病合計	710	7.1×10^{-3}	$5.5 \times 10^{-3} \sim 9.4 \times 10^{-3}$
悪性新生物(がん)	240	2.4×10^{-3}	$1.7 \times 10^{-3} \sim 3.1 \times 10^{-3}$
心疾患	120	1.2×10^{-3}	$8.4 \times 10^{-4} \sim 1.6 \times 10^{-3}$
脳血管疾患	100	1.0×10^{-3}	$6.0 \times 10^{-4} \sim 1.6 \times 10^{-3}$
不慮の事故合計	31	3.1×10^{-4}	$2.1 \times 10^{-4} \sim 5.4 \times 10^{-4}$
交通事故	9.8	9.8×10^{-5}	$5.0 \times 10^{-5} \sim 1.9 \times 10^{-4}$
転倒・転落	5.1	5.1×10^{-5}	$3.5 \times 10^{-5} \sim 1.0 \times 10^{-4}$
溺死・溺水	4.6	4.6×10^{-5}	$1.7 \times 10^{-5} \sim 1.0 \times 10^{-4}$
窒息	6.5	6.5×10^{-5}	$3.9 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-4}$
自殺	23	2.3×10^{-4}	$1.6 \times 10^{-4} \sim 3.7 \times 10^{-4}$
他殺	0.6	6.0×10^{-6}	$1.0 \times 10^{-6} \sim 1.1 \times 10^{-5}$

(注) 都道府県毎の値の最小値と最大値で示した。

(出典:「人口動態統計」(厚生労働省)より算出)



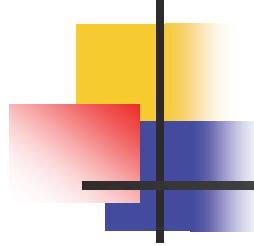
安全目標と身近なリスク源



※) 出典：「人口動態統計」(厚生労働省) 2001年データより



【4】出典: 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 46



性能目標で用いられる指標

- 炉心損傷確率、Core Damage Frequency, CDF, [1/y]
- 格納容器損傷確率、Containment Failure Frequency, CFF, [1/y]
- 大規模放出確率、Large Release Frequency, LRF, [1/y]
- 早期大規模放出確率、Large Early Release Frequency, LERF, [1/y]
- 放射性物質放出量, [Bq]

原子力規制委員会による性能目標

[図 II-8-1]

性能目標の設定について

	<u>目的</u>	<u>現状の目標</u>	<u>今後の目標</u>
人の保護※1	炉心損傷防止	炉心損傷頻度 (CDF) 10^{-4} ／炉年程度	同 左
環境の保護	格納容器機能喪失防止	格納容器機能喪失頻度 (CFF) 10^{-5} ／炉年程度	同 左
	放射性物質の大規模な放出防止	設定なし	放射性物質の大規模な放出防止 の観点からの性能目標の設定が 必要 大規模放出頻度 (頻度、放出量)

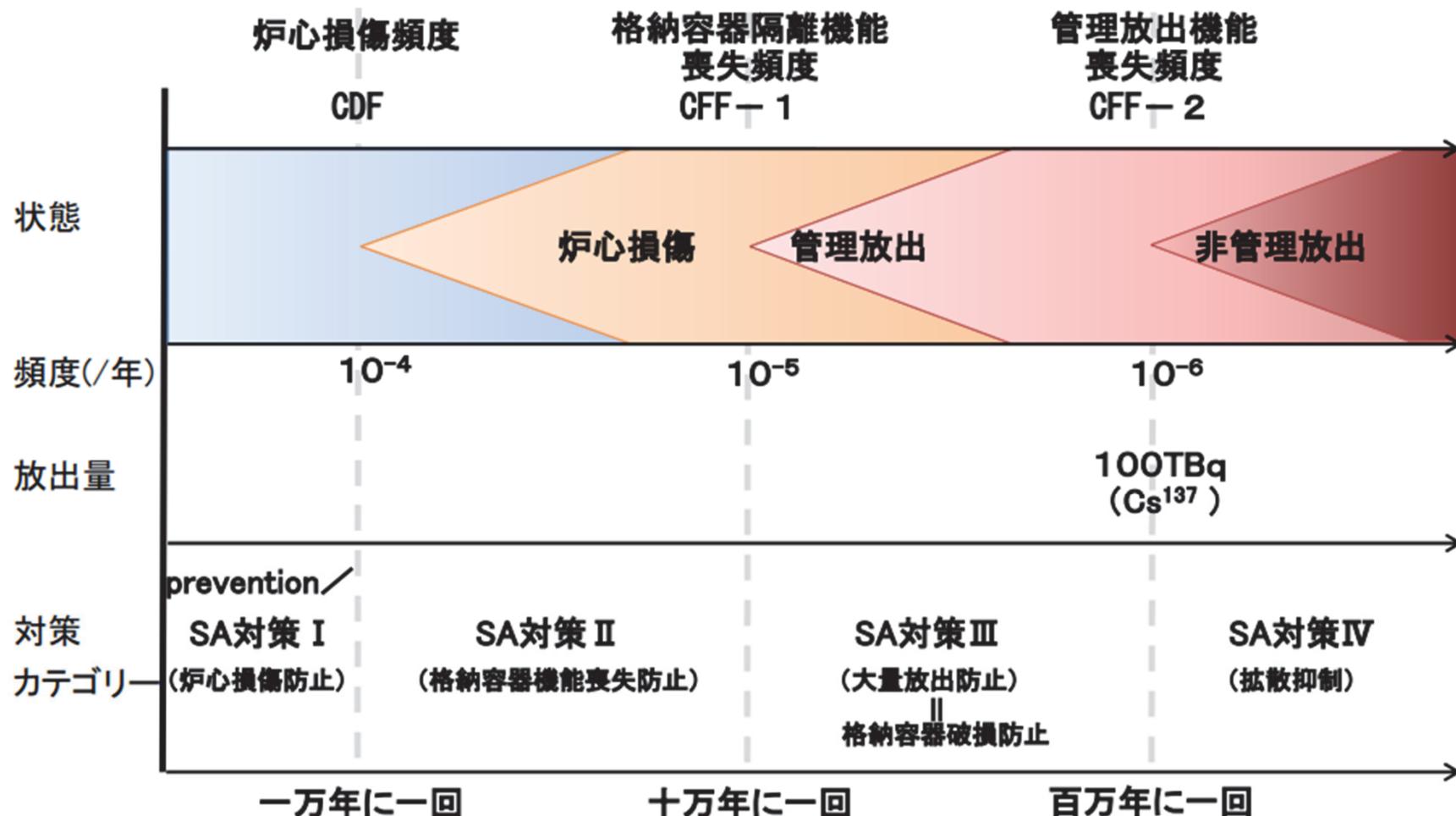
※1 公衆の個人死亡リスク

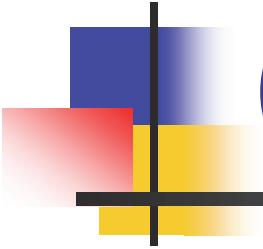
39

原子力規制委員会による性能目標

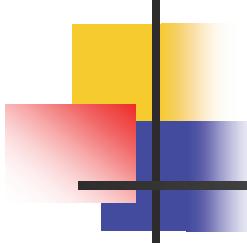
資料6-2

放射性物質放出量と発生頻度との関係（概念図）



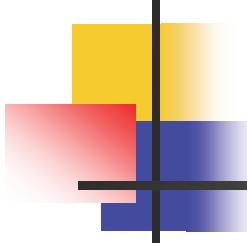


合理的に達成できる限り (ALARA)とは



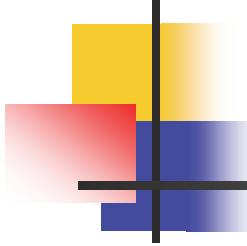
ALARA, ALARP, SAHARA

- ALARA
 - As Low As Reasonably Achievable
 - 日本語に訳すと、「合理的に」達成可能な限り低く
 - もともとは放射線防護で用いられていた用語
- ALARP
 - As Low As Reasonably Practicable
 - 合理的に実行可能な限り低く
 - 英国HSE(Health and Safety Executive)により示された概念
 - 英国外ではありません用いられておらず、米国では、ALARAと同義の言葉として用いられている
- SAHARA
 - As High As Reasonably Achievable
 - 合理的に達成可能な限り高い安全性
 - Finlandの規制当局であるSTUKのコンセプト



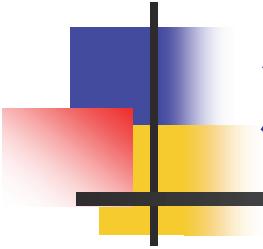
ALARA, ALARPの論点

- Reasonablyは「合理的に」か？
- 何を持って"reasonable"と判断するのか？かかる費用とそれによって得られる便益が釣り合うところが"reasonable"か？
- 以下のケースはALARAの考え方で説明できるか
 - 女川原子力発電所の敷地高さは社内の「サムライ」の強い主張により15mに設定され、津波の被害を最小限に抑えることができた
 - 福島第一原子力発電所の敷地高さ(10m)は、標準的な津波予測手法に基づく津波高さ(約6m)より高かったため、敷地高さを超えるような津波に対する防護策は採られなかった

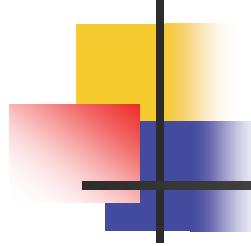


ALARA, ALARPの論点

- Reasonableの意味
 - If you think that someone is fair and sensible you can say that they are reasonable. (Collins 英語辞書)
 - 論理的で説明性があり、多くの人が納得すること
 - 日本語の「合理的」と異なるニュアンス
 - 合理化→コスト削減
 - つまり、「合理的に達成できる限り」を字面だけで考えると誤る。
- ALARP(ALARA)の状態を見つけ出す簡単な方程式はない www.hse.gov.uk/risk/theory/alarp.htm
- ALARAは技術や社会の変化に応じて変わっていくもの。
- 従って、常にALARAの状態であるかどうかを社会との対話をしつつ確認する必要がある→最高水準の原子力安全の達成



深層防護とその考え方



深層防護：自動車

- 異常発生の防止
 - Ex.シフトレバーを“P”にしないとエンジンがかからない
- 異常の緩和、事故への進展防止
 - Ex.ブレーキアシスト(急ブレーキを踏んだとき、自動的にブレーキ力を高める)
 - アンチスキッドブレーキ
- 人的被害の防止
 - シートベルト
 - エアバッグ
- 人的被害の緩和
 - 救急医療搬送

深層防護: サイバーセキュリティ分野

Defense in Depth

複数の防護

- Military defensive strategy to secure a position using multiple defense mechanisms.

一つの防護に頼らない

- Less emphasis is placed on a single perimeter wall

多様な防護

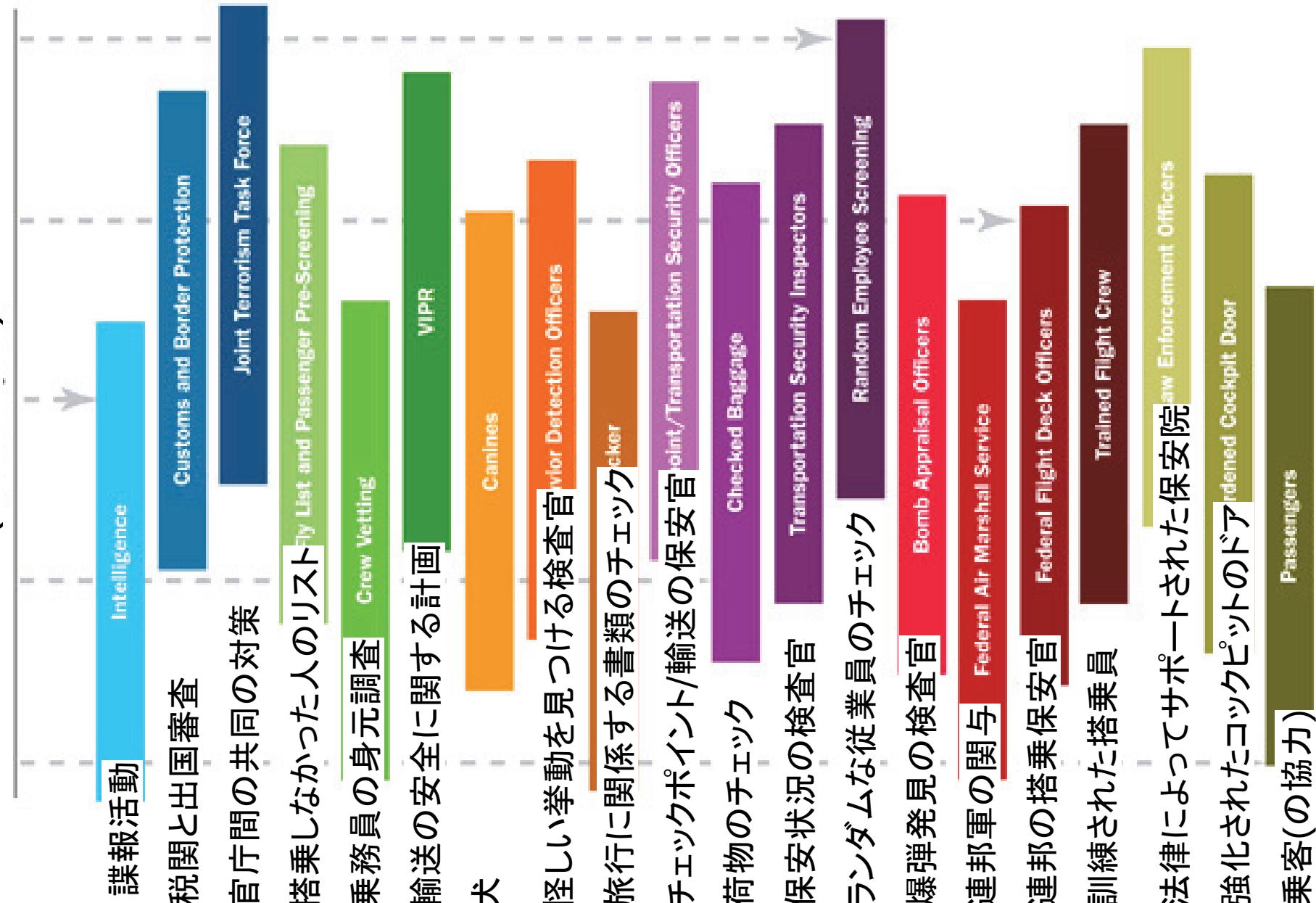
- Several barriers and different types of fortifications
- Objective is to win the battle by attrition. The attacker may overcome some barriers but can't sustain the attack for such a long period of time.

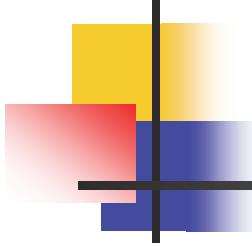


"Krak des Chavaliers", Syria

航空(セキュリティ)分野

テロリスト(ハイジヤック)の進入経路



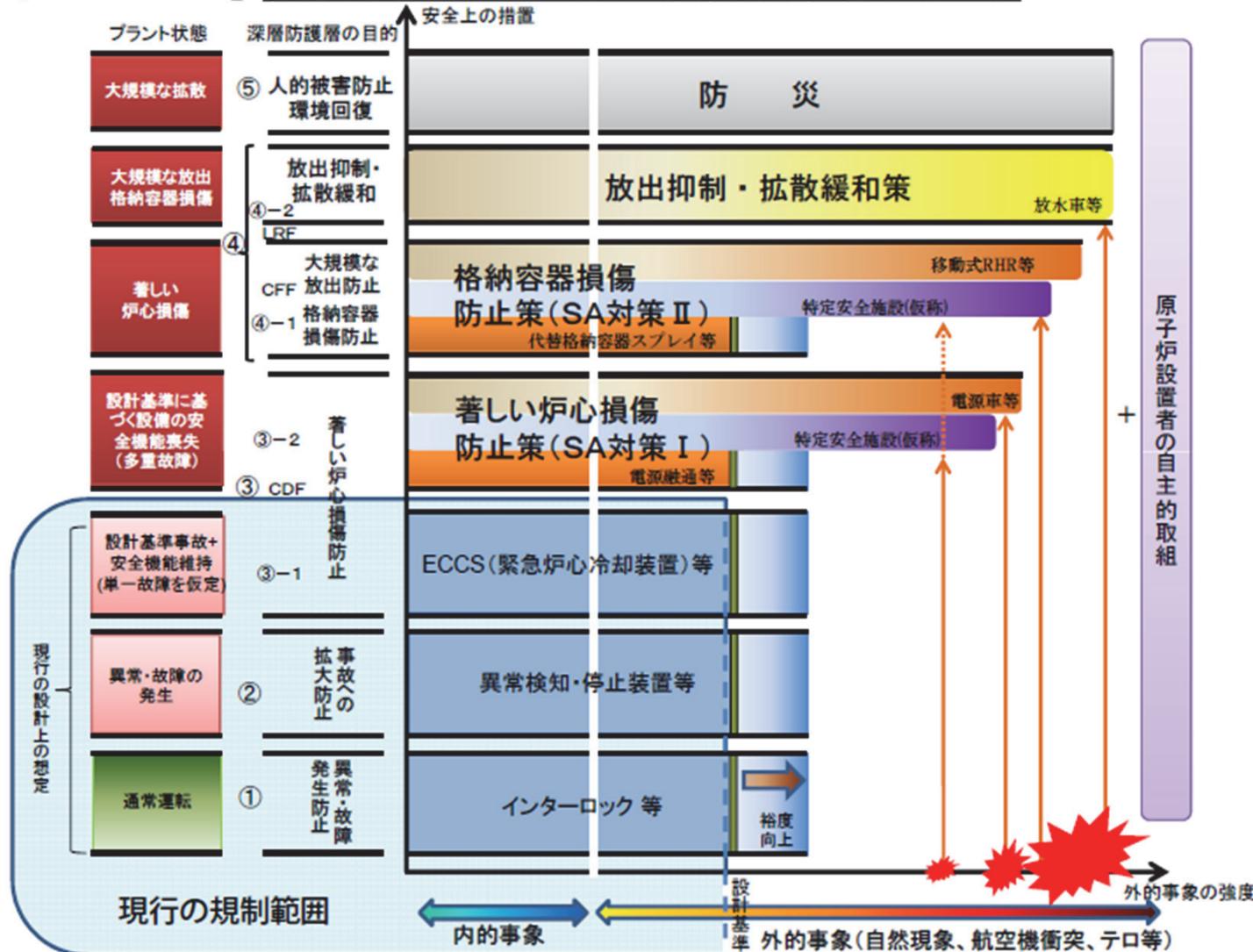


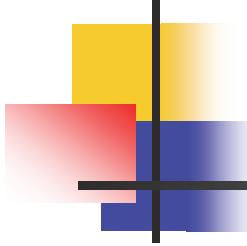
原子力分野

- 第1層：異常状態の防止
 - 安全文化、保守的設計、建設・運転・保守の高い品質
- 第2層：異常運転の検知と制御、異常状態の緩和
 - 計装系、制御系、安全保護系
- 第3層：設計基準事故の緩和、過酷事故の防止
 - 工学的安全施設、主として常設機器による自動対応
- 第4層：過酷事故の緩和
 - 過酷事故対応機器(恒設および可搬)、過酷事故マネージメント
- 第5層：周辺における放射線影響緩和
 - 敷地外緊急時対応

現行規制基準

[図 II-1-5] 新たなシビアアクシデント対策規制の枠組のイメージ

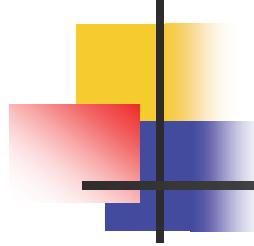




基本に立ち返って:なぜ深層防護?

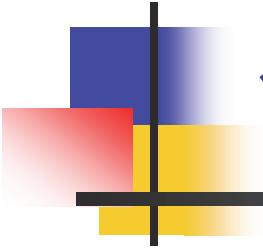
- 不確かさが全くない世界では、深層防護は不要
 - 例えは、事故の原因、発生頻度、事故進展などが全て判明していたら、深層防護は不要。
- 深層防護は不確かさへの備え
 - そのためには、どのような特性が必要とされるか?
- 単一の防護策では、「銀の弾丸^{*)}」にならない
 - 万能の(完璧な)単一の防護策(防止策または緩和策)はなく、必ず弱点がある(と考える)
 - 従つて、多種の防護策を複数組み合わせることで、全体としての信頼性をできるだけ向上させる

*)銀の弾丸:銀の弾丸(ぎんのだんがん、英語: silver bullet)とは銀で作られた弾丸で、西洋の信仰において狼男や悪魔などを撃退できるとされ、装飾を施された護身用拳銃と共に製作される。現代においては文字どおりの弾丸を意味するものではなく、狼男や悪魔を1発で撃退できるという意味から転じた比喩表現として用いられる場合が多い。例えば、ある事象に対する対処の決め手や特効薬、あるいはスポーツで相手チームのエース選手を封じ込める選手などを表現する場合に用いられる。(出典: Wikipedia)



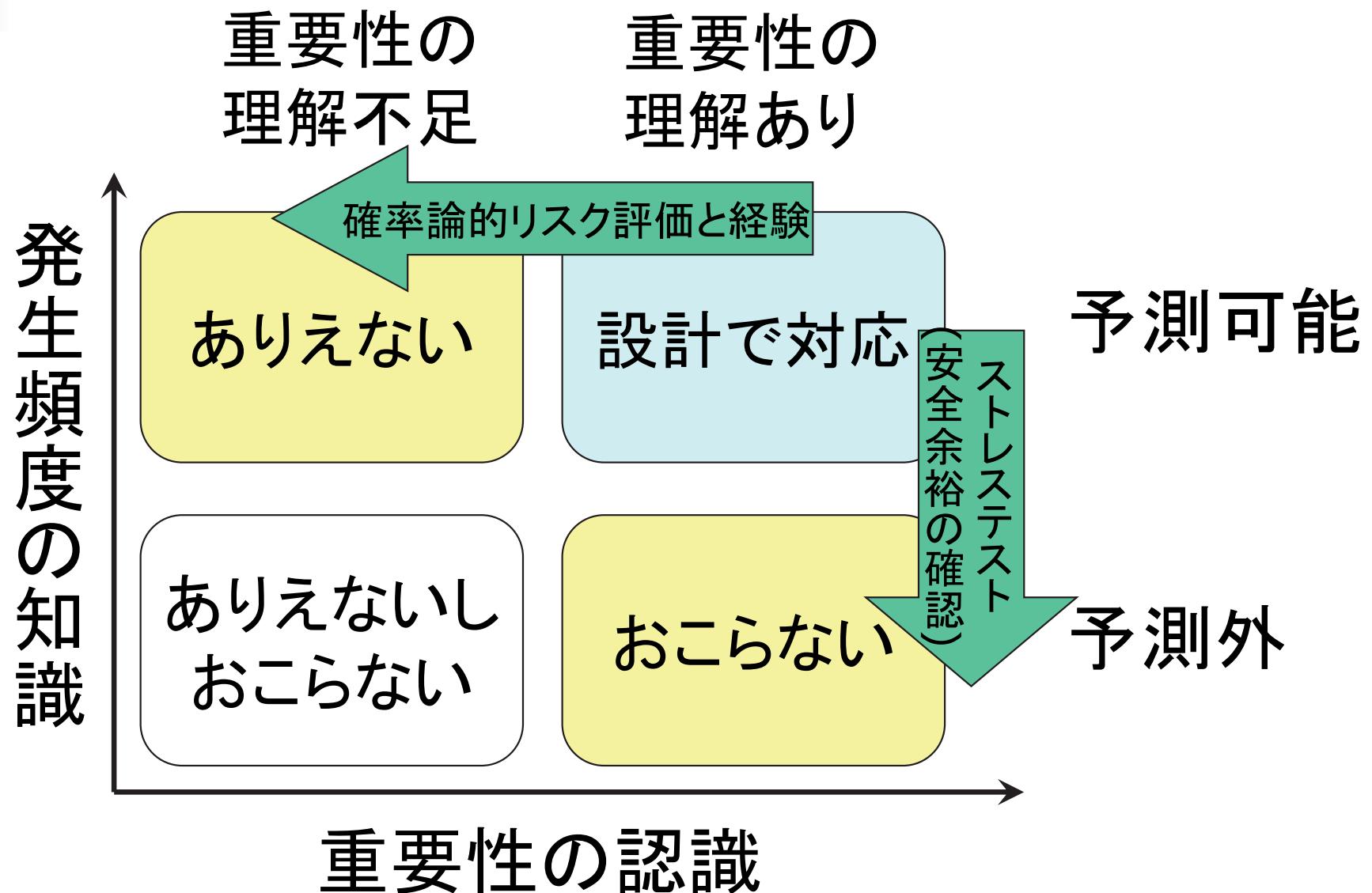
深層防護の概念

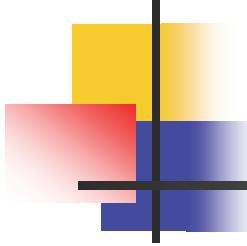
- 深層防護とは、不確かさへの備えとして、多種の防護策を組み合わせることで、全体として防護の信頼性をできるだけ向上させる概念である。
- 全工学分野の安全設計で重要な概念



想定外とその対応

想定外の分類: 予想外と重要性の理解





想定外事象に対する対応は可能か?

- 想定外事象の範囲を狭める努力を継続的に実施
- それでも、想定外事象は必ず残ることの認識が重要
- 「想定外」なのは、事故の原因
- 事故の結末は想定可能
- 従って、想定外事象の影響を小さくするための対策は可能

米国の対策例(テロ対策)

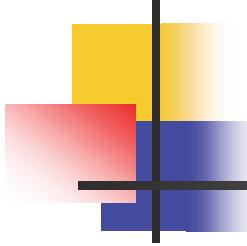
[図 II-2-9]

米国における外的事象による大規模喪失への考慮

米国のB.5.bフェーズ2及び3の要求事項の例

指揮・統制の強化	緩和戦略	
	安全機能	設備・運転・管理
<ul style="list-style-type: none">・境界条件の明確化・所外と所内の通信・連絡・通報/ERO(※)の始動 ※Emergency Response Organization・初期運転対応措置・初期損傷評価	○BWR <ul style="list-style-type: none">・原子炉圧力容器(RPV)の水位制御・格納容器の隔離・格納容器の健全性・放出の緩和	○BWR <ul style="list-style-type: none">・原子炉隔離時冷却系(RCIC)又は非常用復水器の手動運転・RPVの減圧及び可搬式ポンプを用いる注水を許すための直流(DC)電源・外部水源からRPVへの冷却水補給・ホットウェル(復水器)への水補給・復水貯蔵タンク(CST)への水補給・制御棒駆動系(CRD)水補給の最大化・原子炉冷却材浄化系(RWCU)を隔離するための手順・格納容器ベント配管の手動「開」・ドライウェルへの注水・可搬式スプレー
	○PWR <ul style="list-style-type: none">・1次冷却設備(RCS)のインベントリ制御・RCSの熱除去・格納容器の隔離・格納容器の健全性・放出の緩和	○PWR <ul style="list-style-type: none">・燃料取替用水タンク(RWST)への補給・インベントリ喪失を軽減するための蒸気発生器(SG)の手動減圧・タービン(又はディーゼル)駆動 補助給水系(AFW)ポンプの手動運転・SGの手動減圧と可搬式ポンプの使用・CSTへの水補給・可搬式ポンプを用いる格納容器の冠水・可搬式スプレー

出典:B.5.b Phase 2 & 3 Submittal Guideline (NEI06-12)



福島第一事故との対比

内容	福島第一事故	米国テロ対策
電源喪失	交流・直流電源の同時喪失は想定外	交流・直流の同時喪失、中央制御室の機能喪失などを想定
原子炉の減圧	減圧に必要な逃し安全弁を開くのに時間を要す	持ち運びできる直流電源で逃し安全弁の開閉をする準備を義務づけ
原子炉の冷却	1号機のICの動作状況が当初的確に把握できなかつた可能性	交流・直流電源がない状態でICやRCICを手動運転する方法のマニュアル化
格納容器ベント	ベント弁を開けるのに時間を要した	ベント弁を手動で開けるための準備を義務づけ

出典一覧

No.	ライセンス	出典情報
【1】	 BY	内閣府原子力委員会ホームページ, http://www.aec.go.jp/jicst/NC/tyoki/bunka1/houkoku1/20-24.pdf
【2】	‡	いらすとや
【3】	‡	原子力安全の基本的考え方について 第I編 原子力安全の目的と基本原則, 標準委員会 技術レポート(2013年6月), 日本原子力学会
【4】	 BY	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, https://www.nra.go.jp/data/000198792.pdf
【5】	‡	発電用軽水型原子炉施設におけるシビアアクシデント対策規制の基本的考え方について(報告書案), 平成24年8月, 原子力安全・保安院, https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/3537352/www.nsr.go.jp/archive/nisa/shingikai/800/34/007/7-1.pdf
【6】	‡	OTN Architect Day Security Breakout Session Dave Chappelle 14 December 2011, https://www.slideshare.net/OTNArchbeat/rationalization-and-defense-in-depth-two-steps-closer-to-the-clouds?related=2