

原子力安全と規制(1)

原子力安全はどのようにして確認するか

平成26年8月18日

日本原子力学会原子力安全部会

第2回夏期セミナー

原子力規制庁 技術参与

阿部 清治

説明内容

1. 安全とは何か、リスクとは何か
2. 原子力施設の安全確保の考え方
 - 2.1 原子力施設の基本的安全機能と放射能に対する多重の障壁
 - 2.2 深層防護の考え方と事象分類
 - 2.3 規制の構造、安全研究、国際的取組み
3. 安全解析と安全評価：
確率論的安全評価と決定論的安全評価
4. 原子力施設の安全審査と決定論的安全評価
 - 4.1 原子力施設の安全審査の概要
 - 4.2 立地の妥当性評価
 - 4.3 安全設計の妥当性評価

プロローグ

- 高校生の時、トルストイのアンナ・カレーニナを読んだ。誰の訳だったかは覚えていないが、冒頭は次のようであったと記憶している。
- 「幸福な家庭は皆似通っているけれども、不幸な家庭は一軒一軒違っている。」
- どうしてこの文章が記憶に残ったのか定かでないし、当時この記述の意味するところを理解できていたのかどうかも怪しい。しかし、原子力の安全の仕事に長く従事してきて、自分なりにこの言葉が理解できたと思う。

はじめに

- 「原子力安全と規制」という題目で二つの講義を実施。
- 原子力学会関係者が規制に関する様々な考えを知り、自ら考えることは重要で、各所属先において安全の向上につなげてほしい。
- 本講義では原子力専門家としての立場から、現行規制基準以外も含めた安全の考え方を紹介。このような場で見解を述べ合い、議論できることは安全文化上も重要。
- これらの内容は、研究機関である日本原子力研究所、規制機関である原子力安全・保安院、技術支援組織である原子力安全基盤機構(JNES)で業務を通じ得た経験から、原子力安全と規制に係る講師の個人の見解、考え方を中心にまとめたもの。

はじめに(続き)

「原子力安全はどのようにして確認するか」

- 東京電力福島第一事故発生前までに用いていた資料から作成したものであり、現在の規制基準とは異なる内容が含まれることに留意。また、従来の安全のセオリーをそのまま示したのではなく、講師個人の見解、意見も記載。
- 規制の具体的内容はともかく、基本的な安全確保・安全確認の考え方や方法は事故以降もおおむね変わっていないと認識。
- 組織名や基準名、その内容は原子力規制委員会の発足と新規制基準の策定により変更。これらは各スライドで注記。

1. 安全とは何か、リスクとは何か

- 原子力の安全はどうすれば確認あるいは論証されるのかについて我が国ではじめて解説した書物は、元の原子力安全委員会委員長だった佐藤一男氏が日本原子力研究所在籍中に執筆した「原子力安全の論理」(日刊工業新聞社、昭和59年1月)。(平成18年2月に改訂版出版)
- ここでは、「論理」の内容を私なりの言葉で説明する。
- 安全とは危険の裏返しである。即ち、危険でないことをもって安全であるとする。
- ある種の危険は、危険を及ぼすものと、危険を受け取る人が一緒になった時に初めて生じる、境界問題である。危険を考える時は、どのような危険か、誰にとって危険かを定義する必要がある。

「危険」の例

- 「タバコの危険」と言っても、肺がんになる危険と火災による危険がある。
- 「航空機の危険」も、一般には墜落による乗員・乗客の死亡・傷害であるが、戦闘機のパイロットの死亡と、旅客機事故による乗客の死亡では異なる対応になる。また、航空路下の住民にとっては、航空機が自分の頭の上に落ちてこないかが懸念である。この他、乗員乗客も放射線被ばくという危険もある。
- 「原子力の危険」についても、放射線被ばくによる従事者や周辺公衆の健康影響の他、大規模な事故が起きた時の土地汚染や、あるいは、何の根拠もなしに起きる風評被害等の経済的影響もある。

安全問題を扱うには

- 安全問題とは、様々な危険についての問題。取り扱い
は危険の種類毎に異なる。
- 安全問題を扱う時は、「どんな危険の問題を扱うのか」
を確認して始める必要がある。そして、死亡、病気、事
故、火災、放射線被ばく、経済破綻といった、多種多
様の危険がどれも十分に小さい時に「安全」と言う。
- これは、「幸福」とか「平和」についても同じ。貧困、病
気、不和、家庭内暴力といった様々な不幸がないこと
を「幸福」と言う。戦争、暴動、テロ等がないことを「平
和」と言う。
- 不幸には特定の原因がある。だから、不幸な家庭は
一軒一軒異なっている。そういうものがない幸せな家
庭は皆似通っている。

「境界問題としての危険」

- 原子力の危険を含め、ある種の危険は、危険を及ぼすものと危険を受ける人が一緒になった時にはじめて生じる。
- 危険を発生し得る例：赤ちゃんの目の前の百円玉
- 危険を発生しない例：無人の星の上での核反応。
- 「もの」だけでは安全も危険もない。百円玉の安全といったものもなければ、核反応の危険といったものもない。「もの」と「人（あるいは、人が住む社会）」とが接触する場で、はじめてある種の「危険」が生じる。

危険は度合い(量)で表せる

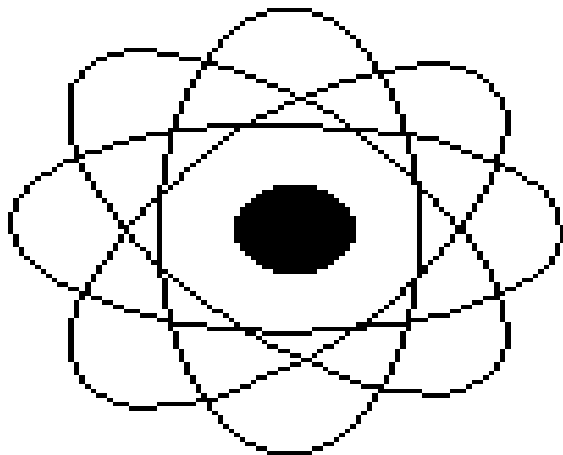


図1-1 危険を及ぼすものと危険を受ける人が近接している状態

離隔を図れば・・・

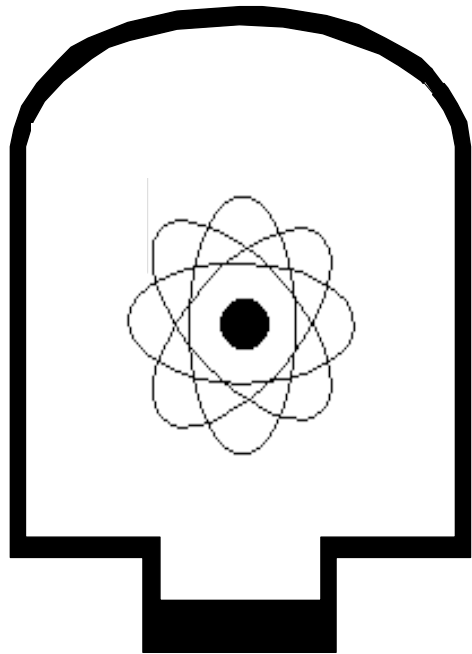


図1-2 危険を及ぼすものと危険を受ける人を離隔した状態

危険は度合いで表される。

- 原子炉と住民の間に十分大きな距離をとり、原子炉を頑丈な格納容器の中に入れて万一の事故時にも放射性物質が外に出ないようにし、重大な事故時には公衆の方をコンクリートの建物の中に退避させる、とすれば、当然危険は小さくなる。
- 遠ざければ危険が小さくなるということは、危険は度合い(量)の概念を持つものであり、その程度は距離の関数になるということ。即ち、ものと人の関係は、絶対安全とか絶対危険ということではなく、定量化する技術が存在するかどうかは別として、「どの程度危険」という度合いで表される。

安全は定量化できない。

- 「安全」は定量化できない。定量化できるのは「危険」の方である。様々な危険を定量化して、それがいずれもが十分小さければ安全であると言う。「安全は危険の裏返し」である。
- 「原子力施設は、たとえ何らかのトラブルが発生しても、それを検知し抑制するための設備が何重にも用意されているから安全」という。これを逆に言えば、「何らかのトラブルが起きた時に、それを検知し抑制するための設備が多重に故障したときに重大な事故になる」。→「確率論的安全評価 (Probabilistic Safety Assessment: PSA) の考え方

危険は定量化できる。

- 危険の度合いを表すためには通例2種類の尺度が用いられる。ひとつは、ある危険な状態がどれ程起きやすいか(発生頻度もしくは発生確率)。もうひとつは、ある危険な状態が発生した場合に、それがどれ程の影響を及ぼすか(直接の死者数、後遺的死者数、事故による経済的影響等、さまざま)。
- 「安全解析」とは、危険の度合いを定量化する試み。決定論的安全評価(Deterministic Safety Assessment)では、ある想定事象は起きるものとして、事象の影響を定量化する。確率論的安全評価(Probabilistic Safety Assessment)では、事象の発生頻度と影響とを定量評価する。

確率論的安全評価での危険の定量化

- 全リスク: $R_T = \sum F_i C_i$

ここで

F_i : ある事象*i*の発生頻度

C_i : その事象による影響

- (例)ある経済活動の予測として、
 - 千円損する事件の頻度が1年に10回
 - 1万円損する事件の頻度が1年に2回
 - 10万円損する事件の頻度が2年に1回
 - 100万円損する事件の頻度が10年に1回

であるとすると、1年間の損失の期待値は

$$\text{千円} \times 10 + 1\text{万円} \times 2 + 10\text{万円} \times 1/2$$

$$+ 100\text{万円} \times 1/10$$

$$= 1\text{万円} + 2\text{万円} + 5\text{万円} + 10\text{万円}$$

$$= 18\text{万円}$$

ある損失を上まわる事件が発生する頻度
(件数/年)

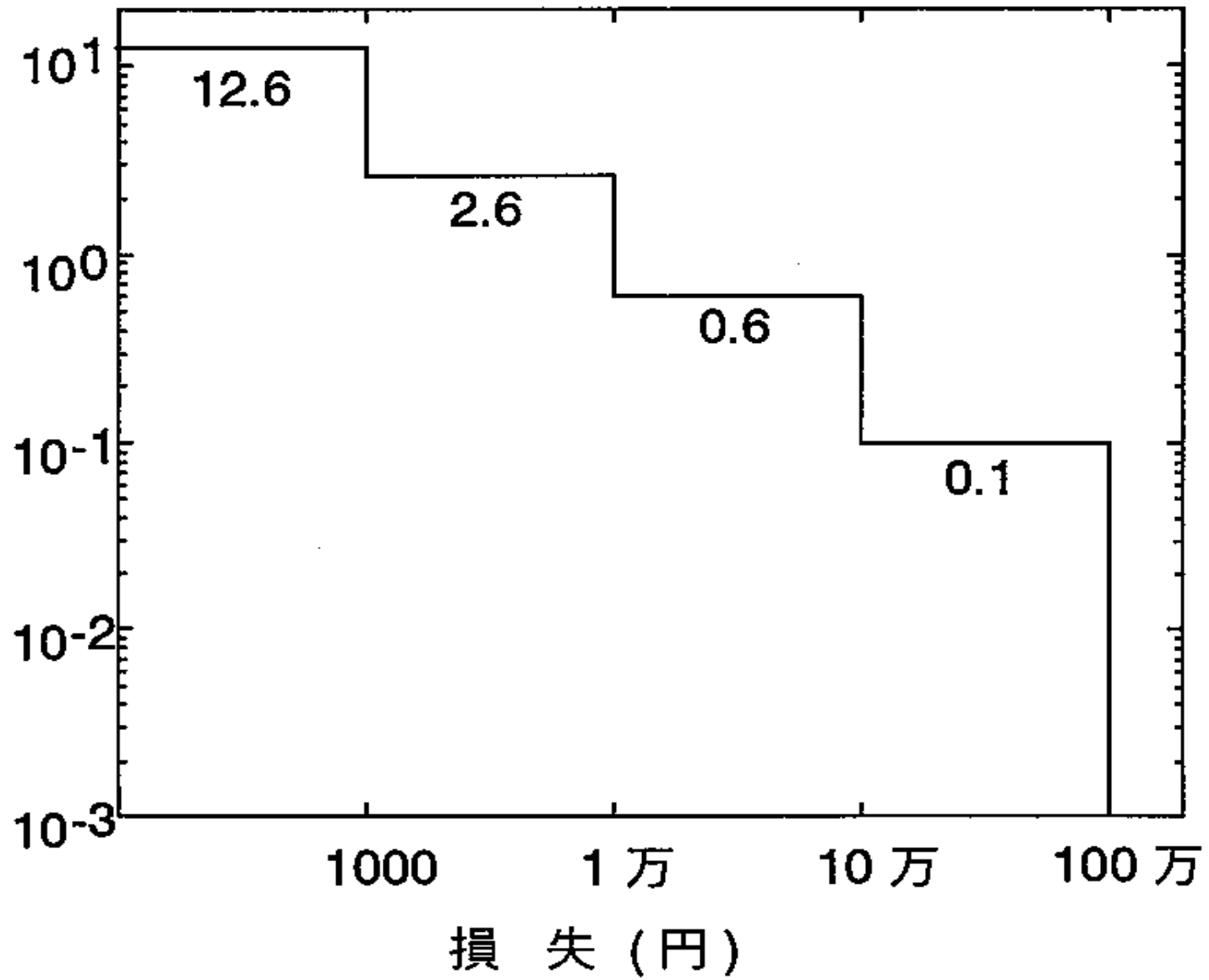


図1-3 リスク曲線の例

「どの程度安全なら十分安全なのか」 (How safe is safe enough?)

- 個々人の価値観によるところが大きいから、この問題には明確な答えがない
- ひとつの判断基準は、「損失が利益より小さければよい」というもの。

$$\begin{aligned} & (\text{約束された利益}) + (\text{可能性としての利益の期待値}) \\ & > (\text{約束された損失}) + (\text{可能性としての損失の期待値}) \end{aligned}$$

- しかし人にとってのお金の価値は金額に比例しないこともある。利益は、損失以上に定量化が困難。利益を得る人と損失を被る人が異なる場合もある。
- 一方で、最小のリスクは互いに受け容れ合わないと我々の生活が成り立たない。

2. 原子力施設の安全確保の考え方

ここで考える「安全問題」

- 原子力の安全確保及び規制の最大の目的は、公衆に放射線災害をもたらすことを防止すること。
- ここでは、「原子力施設で重大な事故が起き、施設周辺の公衆が放射線被ばくし、健康影響を生じる」という危険だけを対象とする。

2. 1 原子力施設の基本的安全機能と放射能に対する多重の障壁

- 「基本的安全機能」は、「放射性物質及び放射線を閉じ込めること」ただひとつ。
- 原子力発電所の基本的安全機能は、「止める」、「冷やす」、「閉じ込める」の3つとされているが、閉じ込めさえできれば、止めるも冷やすも関係ない。
- 閉じ込めのためには、様々な障壁を設置。
- 原子力発電所では、
 - －1次の障壁：燃料ペレット、燃料被覆管、原子炉圧力バウンダリ
 - －2次の障壁：格納容器、原子炉建家
 - －更に、敷地境界までの距離

工学的障壁の健全性確保

- 放射性物質閉じ込めのための工学的障壁は、自然に起きる劣化のため、あるいは事故時に生じる高温や高内圧のためにその機能を低下あるいは喪失する可能性。
- 障壁自体の設計において運転期間を通しての環境条件に耐えるような材料を選び、容量を確保。
- 事故時に障壁にかかる過大な熱や内圧を低減するため、原子炉停止系、原子炉冷却系、格納容器冷却系等の安全設備（「止める」、「冷やす」ための設備）を用意。
- 更には、こうした、障壁を直接防護するための安全設備（「フロントライン系」）を動かすために、電源系や機器冷却系といった、下支えのための安全系（「サポート系」と言う）を用意。

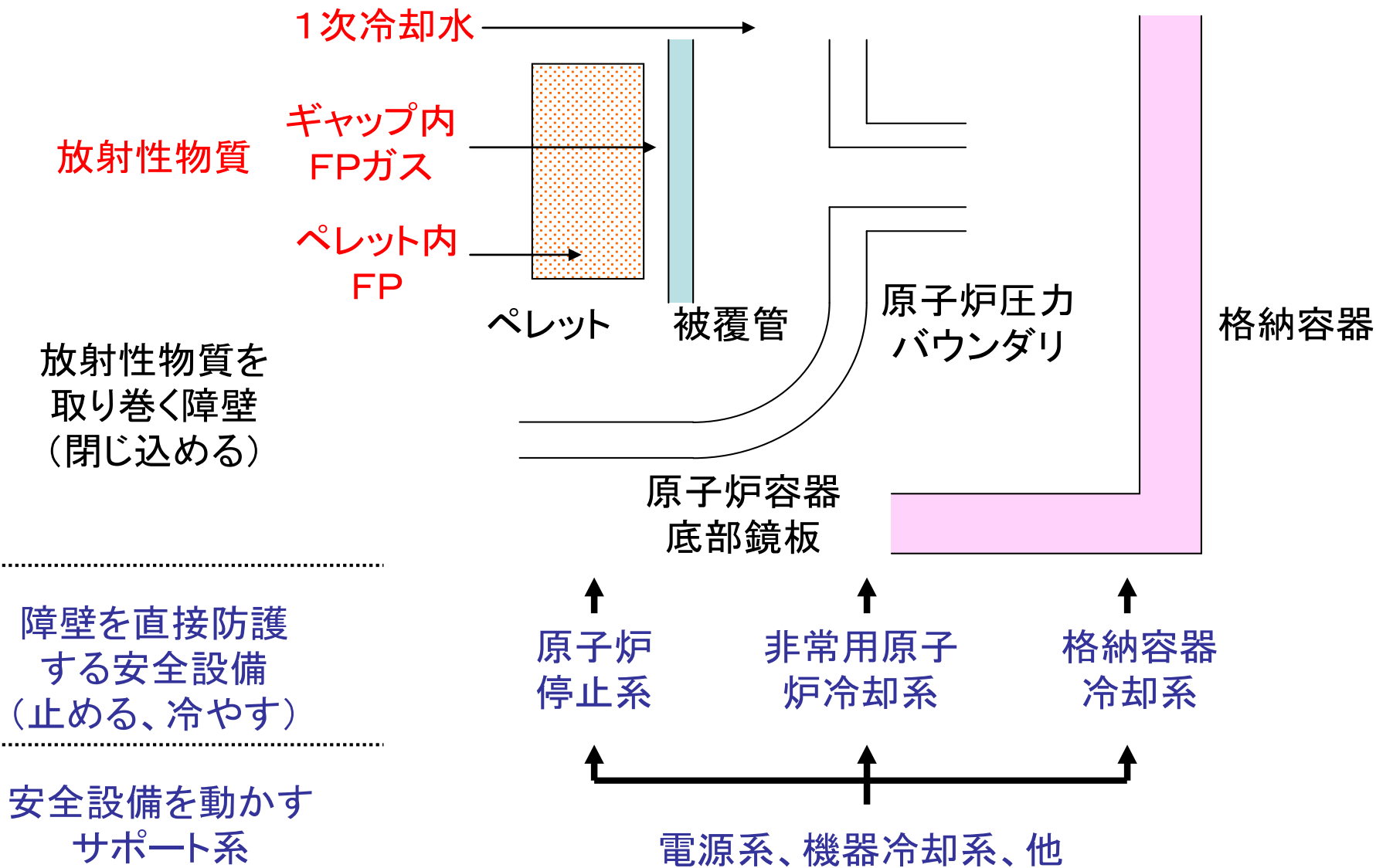


図2-1 放射性物質閉じ込めのための多重の障壁とそれを護るための安全設備の例

多重の障壁とそれを護るための安全設備の関係

- 原子炉が事故を起こすと、その重大性に応じて、たいていは、原子炉圧力バウンダリ、被覆管、ペレットの順で密閉性を失っていく。
- 原子力安全の確保とは、端的に言えばこれらの障壁を守ること。
- 原子力の危険とは、これらの障壁が破れ、障壁内に閉じ込められていた放射性物質が流出する、あるいは、そうした放射性物質からの放射線が十分に遮蔽されないままに放出されること。
- 放射性物質の閉じ込めのために多重の障壁を設けるのは他の原子力施設でも同様。ただし、障壁の数や頑健さは施設によって異なる。

安全重要度分類と耐震重要度分類

- 安全機能の区分：安全機能を有するSSCを、安全機能の性質に応じて2分類。
 - 異常発生防止系：PS (Prevention System)
 - 異常影響緩和系：MS (Mitigation System)
- 重要度分類：PS及びMSのSSCをその安全機能の重要度に応じて、クラス1～クラス3に3分類。
- 耐震重要度分類：耐震設計上の施設別重要度を、地震により発生する可能性のある放射線による環境への影響の観点から分類。

2.2 深層防護の考え方と事象分類

- 原子力安全確保の基本となる考え方は深層防護 (Defense in Depth) の思想。
- 深層防護とは、多段の安全対策を用意しておくことと、各段の安全対策を考える時には他の段で安全対策が採られることを忘れ、当該の段だけで安全を確保するとの意識(「前段否定、後段否定」)。
- 立地、設計、運転、防災という各分野で多段の安全策。

原子炉の安全設計における「3レベルの安全性」

- 第1のレベル: 異常・故障の発生防止。実証された技術、十分裕度のある設計、外的衝撃に対する防護設計、高い品質管理システムに基づく保守管理等。
- 第2のレベル: 異常・故障の事故への拡大防止。制御棒を自動挿入して原子炉を停止すること等。
- 第3のレベル: 事故の影響緩和。非常用炉心冷却系(ECCS)や格納容器等。

内的事象と外的事象を想定しての設計

- 安全に係わる構築物・システム・機器(SSC)の故障・損傷は、内的誘因によっても外的誘因によっても引き起こされる。
- ここで内的誘因とは、設計・製造・運転・保守等、システムや機器に内在する原因。近年特に重視されているものとしては、人的因子、経年劣化等。
- 外的誘因とは、地震や航空機の墜落、タービン・ミサイル等、SSCの外部から与えられる特定の衝撃。
- 各SSCは、それらの安全上の重要性に応じ、それらが運転中に受けると考えられる荷重条件、環境に対して十分な信頼性を有するように設計される(6章)。

その他、安全設計における考え方

- 多重性: 同一の機能を有する同一の性質の系統又は機器が2つ以上あること
 - 多様性: 同一の機能を有する異なる性質の系統又は機器が2つ以上あること
 - 独立性: 分離を図ることにより、共通要因又は従属要因によって、同時にその機能が阻害されないこと
 - フェイルセーフ: 異常動作が起こっても常に安全側へ作動する設計のこと
 - インターロック: 誤った操作によるトラブルを防止するシステム
-
- 新規制基準では「位置的分散」も導入。(私は「多様性」の定義を拡張して、その一部としている。)

シビアアクシデントに対する対策

- シビアアクシデント(SA)とは、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。
- 1979年3月28日のスリーマイル島2号機の事故を契機に、各国で過酷事故対策(アクシデント・マネジメント:AM)を整備。
- まずはSAの発生防止。安全系以外の既存設備の有効利用、あるいは、新設の設備によって、炉心損傷を防止。
- SA発生後の対策も。

定常運転

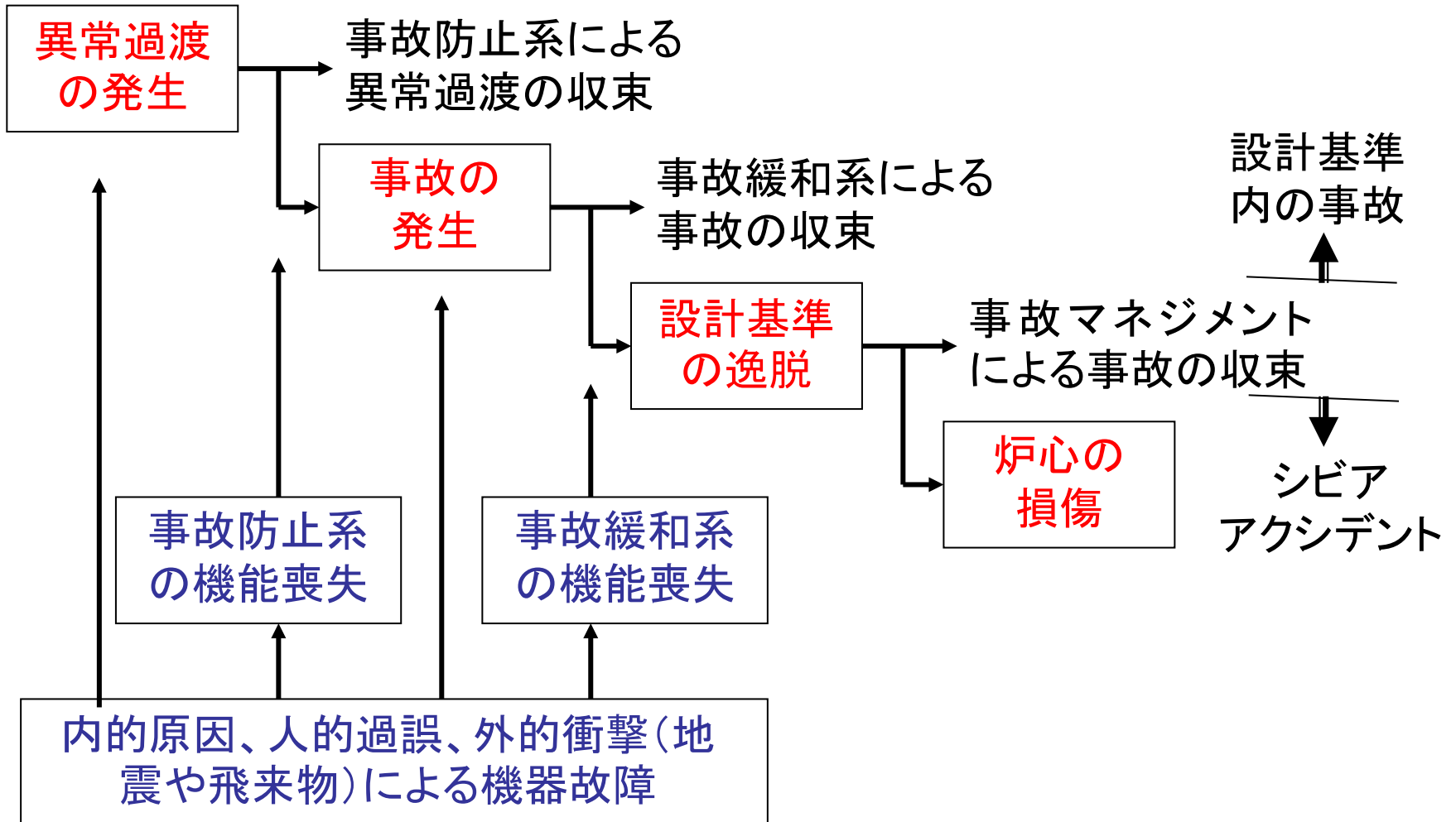


図2-2 原子力発電所における深層防護と
アクシデント・マネジメント(1)

シビアアクシデント

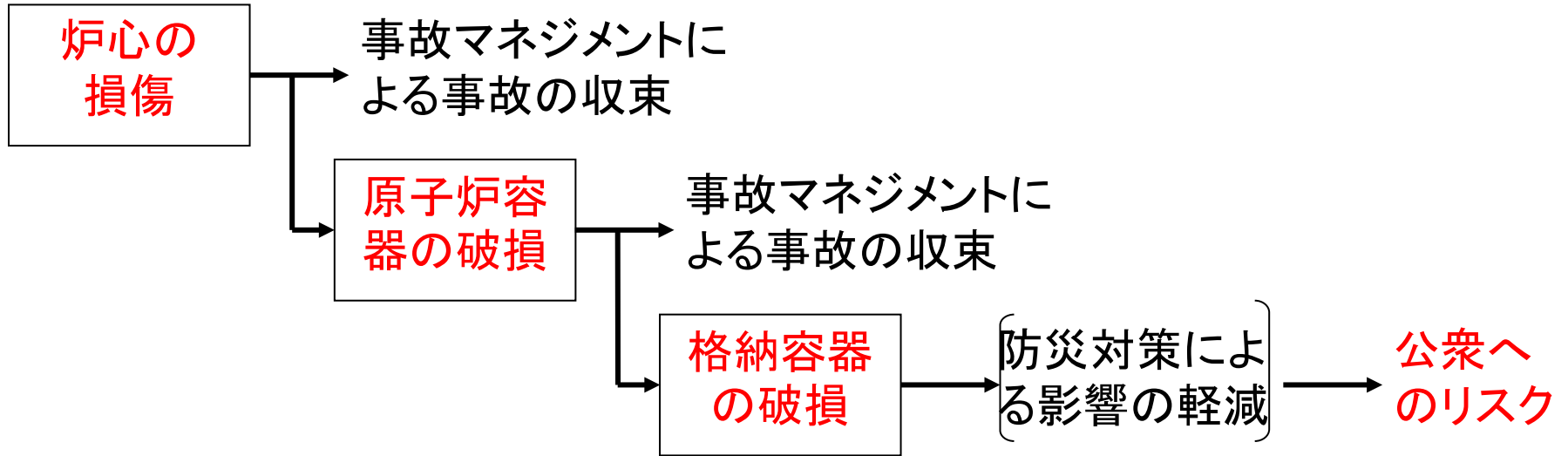


図2-3 原子力発電所における深層防護と
アクシデント・マネジメント(2)

事象分類とリスクの適切な抑制

- IAEA基本的安全原則その5「防護の最適化」:「安全のために設置者によって投入されるリソースや、規制の対象範囲および厳格さとその適用は、放射線リスクの大きさとその制御可能性に見合ったものでなければならない。」
- 「リスクが適切に抑制されている」とはどういう状態か。また、どうすれば達成できるか。
- ひとつの考え方は、全リスク R_T (→スライド15)がある一定値以下であること。
- 原子力安全規制では、ひとつのリスク目標値だけで安全性を判断することはしない。「事象分類」の考え方を採用し、比較的頻繁に起きる事象については厳しい許容限度、めったに起きない事象については相対的に緩やかな許容限度を定めることによって、発生頻度レベル毎にリスクの抑制。

事象 (event) とは

- 施設の運転時に経験された「運転時の事象」 (Operational Event)。
- 確率論的安全評価で用いる「発端事象」 (Initiating Event)。
- 決定論的安全評価で用いる「想定事象」 (Postulated Event)
- 発端事象、想定事象は、将来起きるかも知れない出来事について安全評価を行うために定義するものであり、広範囲の事象スペクトルを代表するもの。

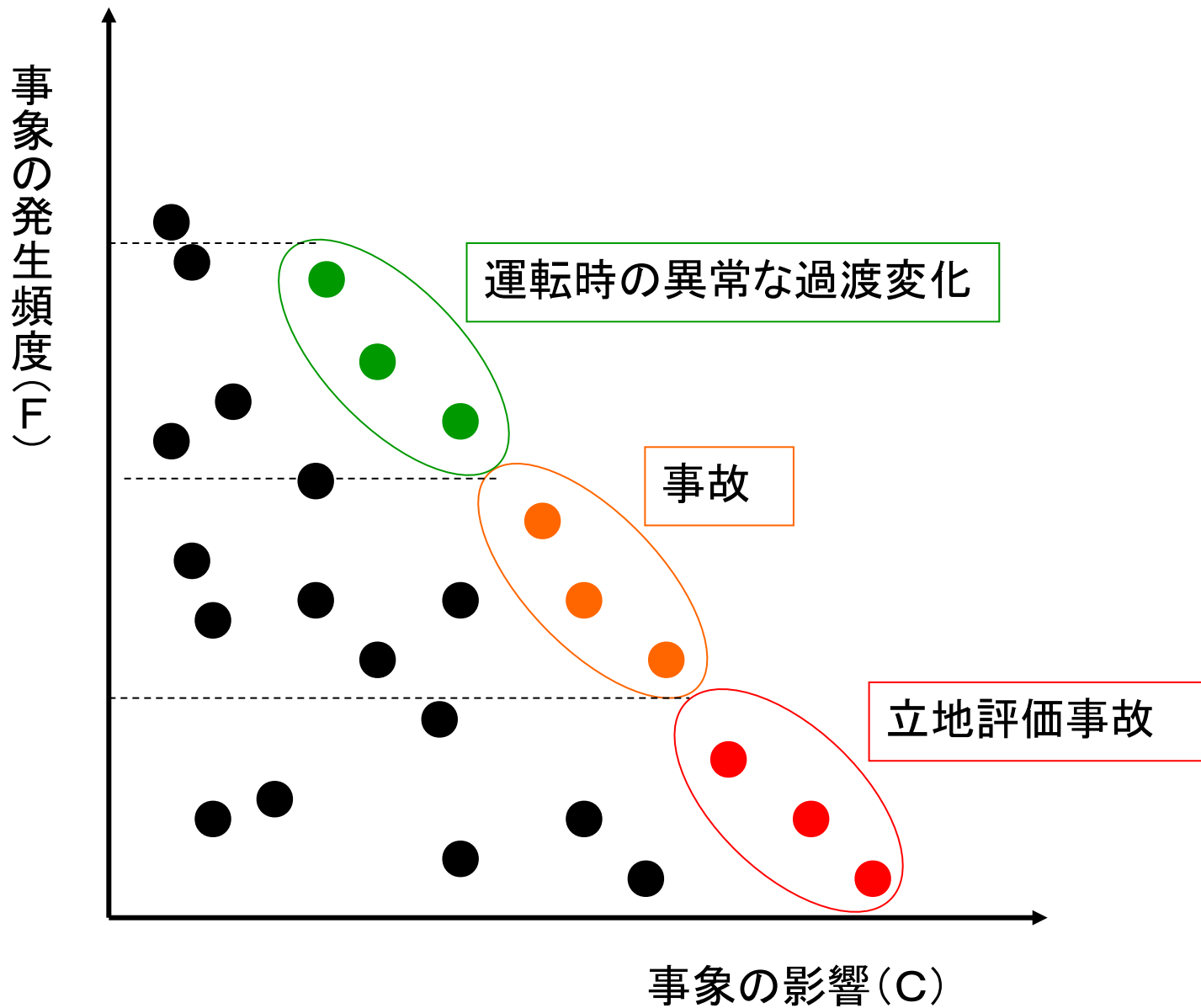


図2-4 リスクの抑制法(その1)

発生頻度で事象分類し、各事象の影響を判断基準値以下に抑制

原子力発電所での事象分類と影響の抑制水準

- 平常運転時：公衆の被ばく線量について年間50 μ Svという努力目標。
- 「運転時の異常な過渡変化」(施設の寿命期間中に発生すると予想される外乱によって生じる異常状態)に対しては、事象の原因となった故障部等の復旧を除き、格段の修復なしに通常運転に復帰できること。
- 「事故」(影響が運転時の異常な過渡変化を超え、発生頻度はまれな事象)に対しては、①炉心が溶融あるいは著しい損傷に至らないことと、②周辺公衆の被ばく線量評価値が5mSvを超えないこと

原子力発電所での事象分類と影響の抑制水準 (続き)

- 「事故」より発生頻度の低い事象は「立地評価事故」。「重大事故」と「仮想事故」の2通り。
 - 重大事故の発生を仮定しても、周辺の公衆に放射線障害を与えないこと。
 - 仮想事故の発生を仮定しても、周辺の公衆に著しい放射線障害を与えないこと。また、集団線量に対する影響が十分小さいこと。
-
- 新規制基準で、「重大事故」(注:旧立地評価事故の「重大事故」とは異なる)への対処が規制要件となり、立地評価の考え方は大きく変わることになった。

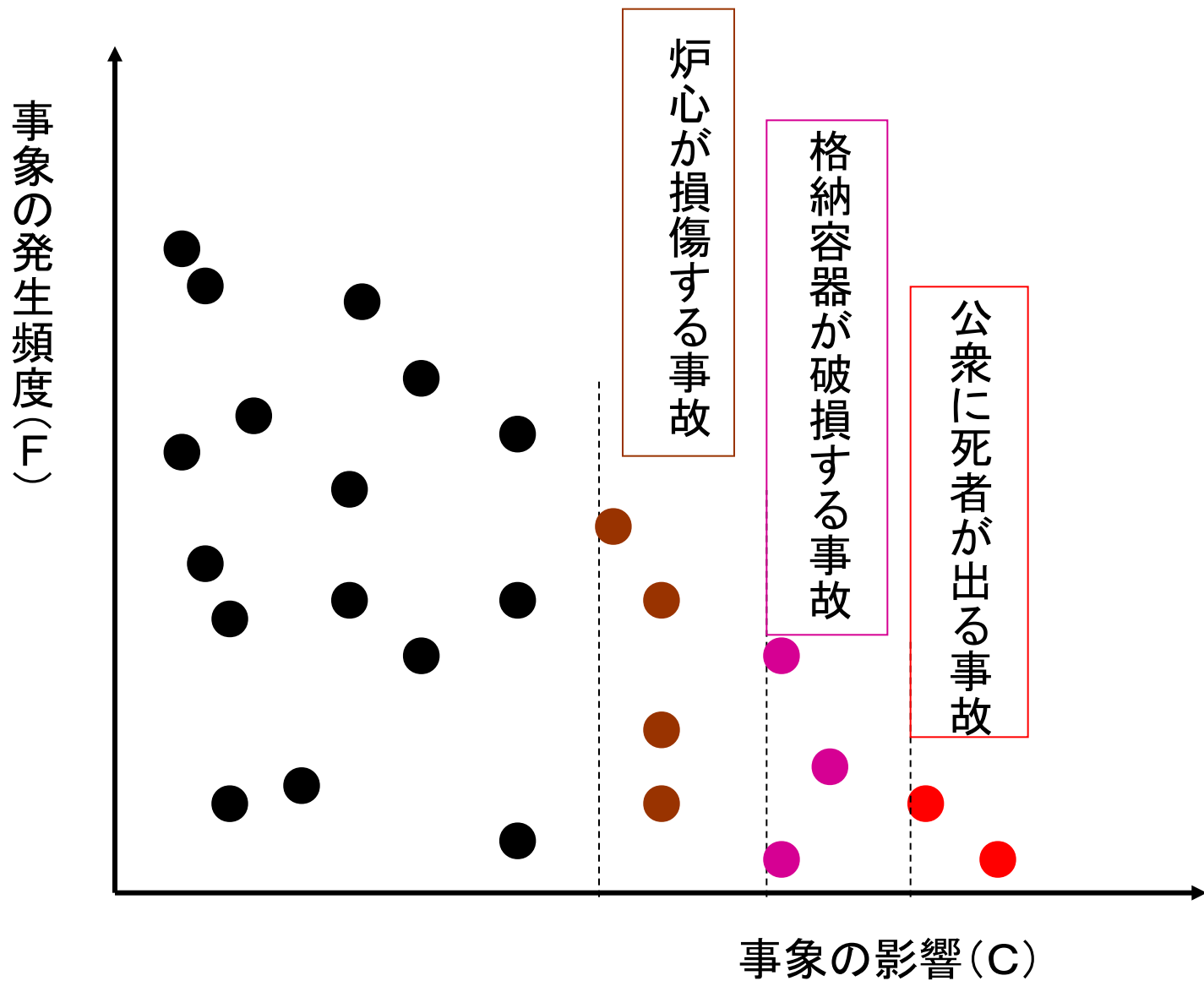


図2-5 リスクの抑制法(その2)

影響が一定以上の事象の発生頻度の総和を一定値以下に抑制

2. 3 規制の構造、安全研究、国際的取組み

- 原子力施設の安全についての第一義的な責任は事業者にある。
- 安全は、安全設計(及び立地)と安全管理によって確保される。
- 規制当局は、事業者による安全確保活動の適切さを確認する。
- 安全設計の妥当性は、設置許可時に確認した後、運転期間中それぞれの構築物・系統・機器が十分な信頼性を有することを維持基準で確認する。
- 安全管理(保安活動)の妥当性は、事業者が規制当局に提出した保安規定に沿って適切に実施されていることを、保安検査で確認する。

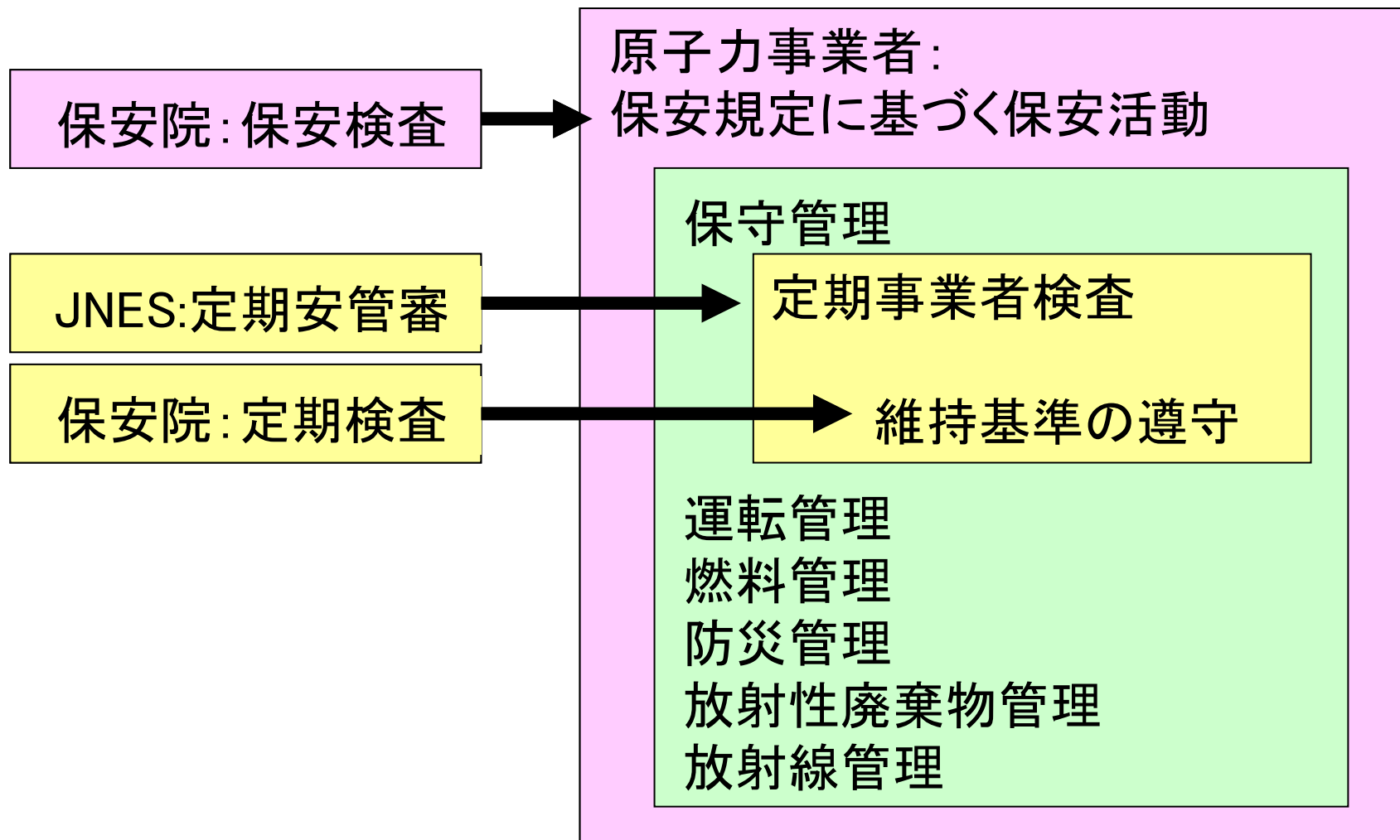


図2-6 設備の信頼性維持と保安活動の関係

- 旧保安院、旧JNESの業務はすべて原子力規制庁の業務になった。

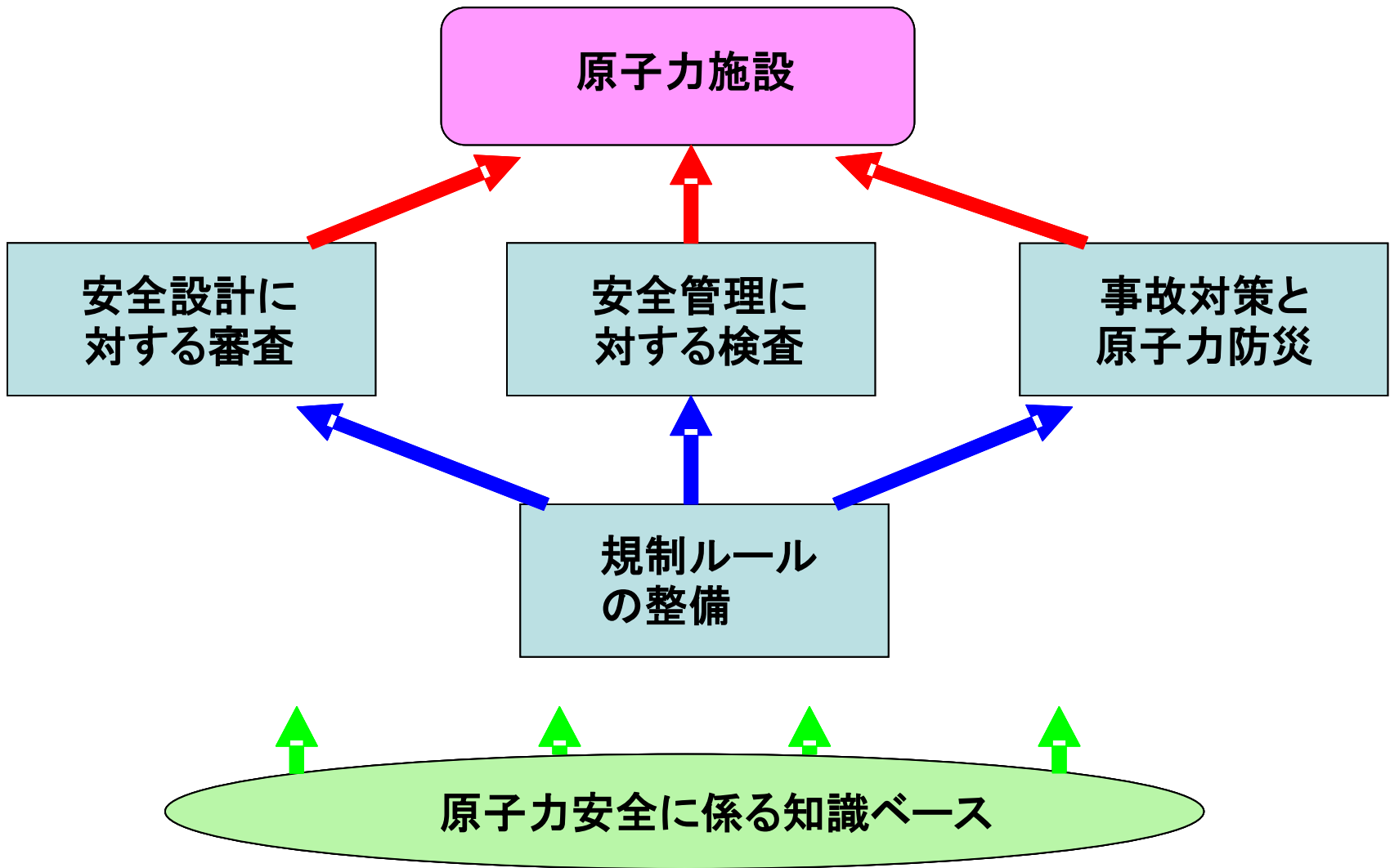


図2-7 規制の構造

法令順守の確認と自主保安の奨励

- 規制の第一義的な役割は、施設設備が指針や基準の要求を満足していることや、事業者の安全管理活動が保安規定の約束どおりに実施されていること（コンプライアンス）の確認。
 - これに加えて、事業者が一層の安全性を求めて自主的な保安活動を行うことを奨励することも、広い意味での規制の役割。典型的な例はシビアアクシデント対策（アクシデントマネジメント）
-
- 新規制基準で、「重大事故」（シビアアクシデント）への対策は規制要件となった。
 - しかし、事業者は規制基準を満足するだけでなく、自主的努力によってより高い安全性を達成することが当然に期待されている。

原子力安全研究

- 原子力施設の安全についての第一義的な責任は事業者にある。その責任の中には、施設もしくは活動の安全性を証明するような証拠の呈示も含まれる。
- 規制当局は、原則として、規制上のルールを整備する上で、あるいは、規制上の判断をする上で必要な研究を行う。
- 即ち、規制当局あるいはその技術支援機関が行う安全研究は一般的な意味での「原子力の安全に関する研究」ではなく、「規制に役立つ研究」あるいは「規制を支援する研究」である。

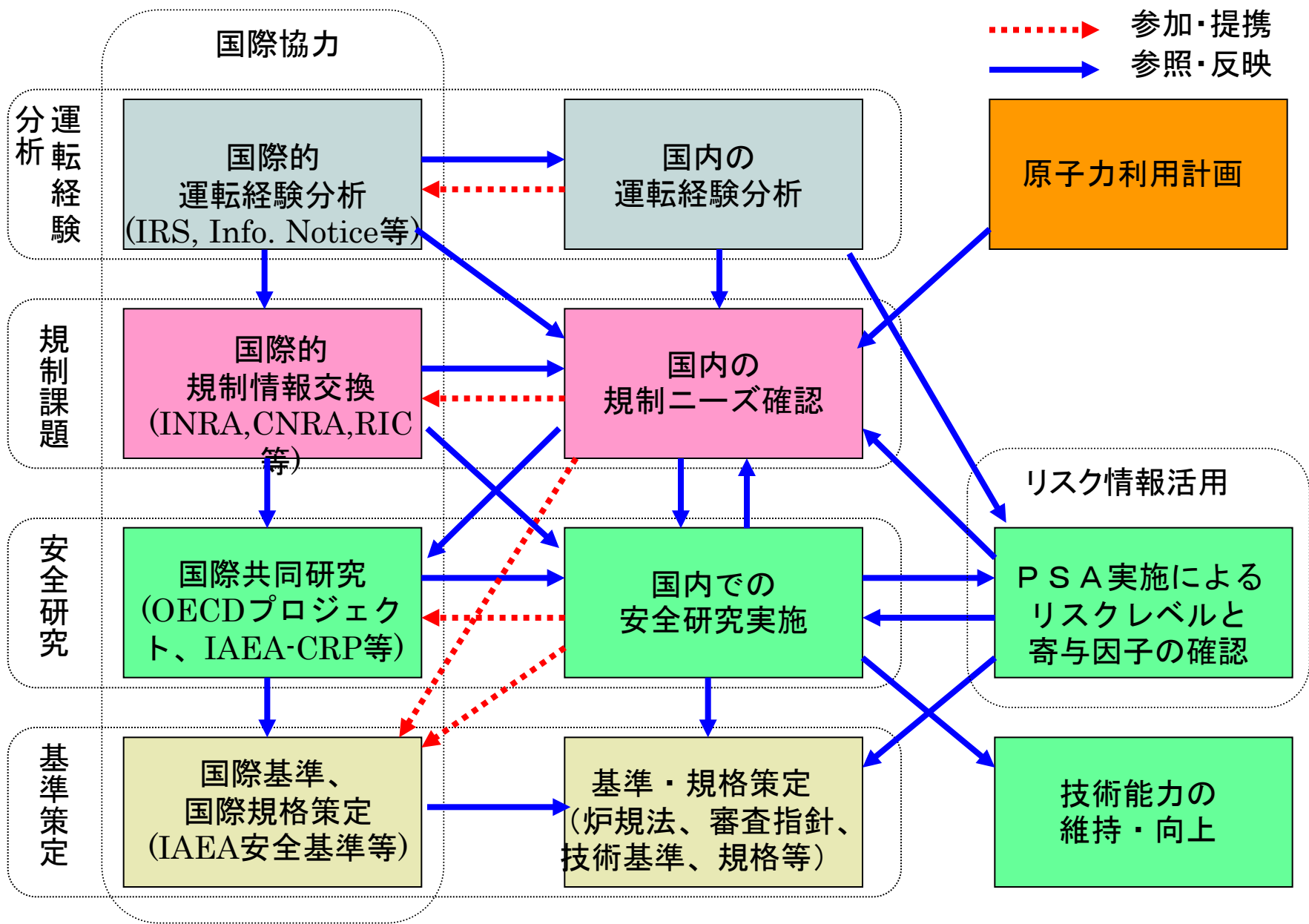


図2-9 安全研究の位置づけ

国際的な原子力安全への取組み

- ・ 規制当局の国際協力の相手は、他国の規制当局と国際機関。
- 協定に基づく二国間の規制情報交換。
- 国際原子力規制者会議 (International Nuclear Regulators Association: INRA) での意見交換。
- 国際原子力機関 (International Atomic Energy Agency: IAEA) と経済協力開発機構 (Organization for Economic Cooperation and Development: OECD) の原子力機関 (Nuclear Energy Agency: NEA) という2つの国際機関の多くの活動に参加。
- 近隣アジア諸国への協力。

国際基準の策定とその遵守状況の確認

- IAEAの最大の使命は原子力安全に係る国際共通ルールを安全基準(Safety Standards)や条約の形で確立すること。
- IAEA安全基準は、「基本的安全原則(Fundamental Safety Principles)」、「要求事項(Requirements)」、「ガイド(Guides)」という構成。
- 国際基準の遵守状況の確認のためには、
 - 原子力安全条約及び「使用済み燃料管理及び放射性廃棄物管理の安全に関する条約(合同条約)」での締約国レビュー会合
 - IAEA「総合規制レビューサービス(Integrated Regulatory Review Service:IRRS)」

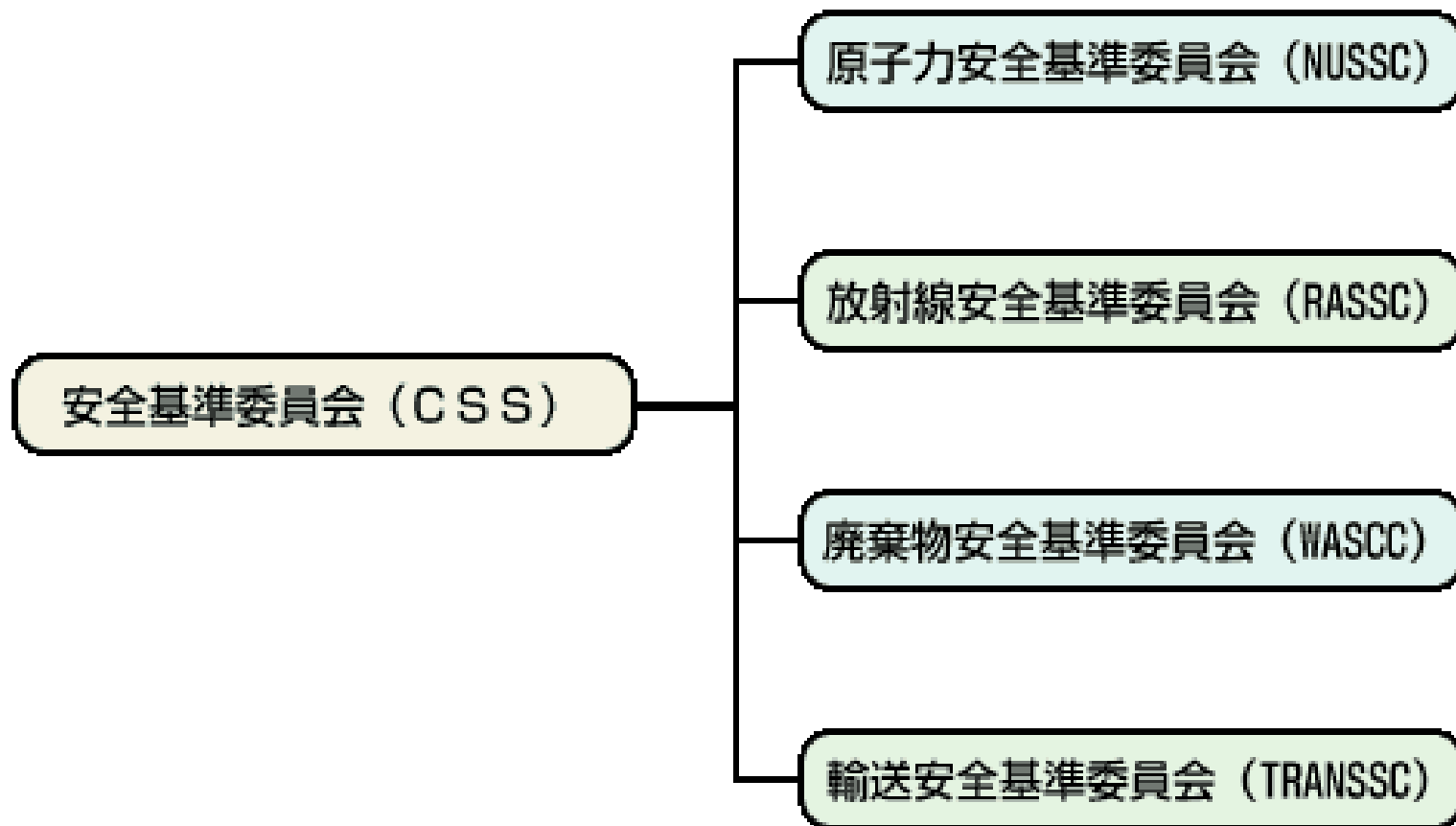


図2-10 IAEA安全基準委員会(CSS)の構成

3. 安全解析と安全評価 「安全解析」と「安全評価」の定義

- 安全解析 : Safety Analysis、安全評価 : Safety Assessment
- 安全解析とは安全の度合いを定量化すること、安全評価とは定量化に加えて結果の善し悪しまで判断まですること？
- そもそもAnalysisとは分解・分析。安全解析はたいていSynthesis、総合化。
- 本講義ではきちんと定義しないまま用いる。

解析の「時制」:安全に関する解析の3分類

- 事前解析:ことが起きる前の予測解析。本章で扱っている「安全解析」はその代表。将来どの程度の危険が伴うのかを、前もって占うための解析。また、実験を行う前にその結果を前もって予測する解析。
- リアルタイム解析:ことが起きている最中に、そのマネジメントのために行う解析。時間を追って次々入ってくる情報を短時間で分析し、何が起きているか、どうすればよいかを即時に判断するためのもの。
- 事後解析:ことが起きてしまったあとに、ことの内容・経緯・重大性等を分析するための解析。例えば、施設なり事業なりで事故が起きてしまったあとに、事故の原因を分析し再発を防止するために行う解析。

それぞれの解析には固有の難しさ

- 事前解析:そもそも将来予測。高精度の解析結果を得ることは困難。まずは、将来どんなことが起きそうかを想定。安全解析では、「解析の対象として想定する事故シナリオ」を定めることが決定的に重要。
- 事後解析:すでに起きたことの再現。事故とか実験の結果が厳然としてあるので、一般には高精度。しかしその分、より高い精度が要求される。事故時に観測されたデータには多くの欠落がある。欠落部分を埋めて全体を再現することは容易でないことも。
- リアルタイム解析:ことが起きている最中の現状分析と将来予測。事象進展時に入ってくるデータとその順序の予測が必要。データの欠落・誤りに対する事前検討も必要。

確率論的安全評価と決定論的安全評価： 安全評価の2つの手法

- 安全評価の方法には、次の2つの手法がある。
 - 確率論的安全評価
(Probabilistic Safety Assessment: PSA)
 - 決定論的安全評価
(Deterministic Safety Assessment: DSA)
- 両者とも、「事前解析(未来予測)」のための手法である。

安全評価の2つの手法(続き)

- 確率論的安全評価では、様々な事象の発生する確率 (Probability) あるいは頻度 (Frequency) を定量化する。加えて、各事象のもたらす影響 (Consequence) も定量化することがある。そして、通例、確率あるいは頻度と影響の積をリスク (Risk) と定義する。
- 決定論的安全評価では、「あらかじめ定められた幾つかの事象 (想定事象)」が発生すると仮定して、(すなわち、各事象の発生する確率あるいは頻度の定量化はせずに、) 各事象のもたらす影響を定量評価する。

確率論的安全評価の用途と特徴

- 確率論的安全評価(PSA)は、施設や事業がもたらすリスクを、できるだけあるがままに定量化しようとする手法。(たとえ、確率あるいは頻度の評価まででも。)
- 代表例は、原子力発電所で炉心が溶融するような過酷な事故(シビアアクシデント)を対象としたPSA。
- 事象の進展過程で起き得るあらゆる現象をモデル化しようとする、その中には必ずしも十分に知見が獲られていないものもある。
- 必然的に、PSAでは工学的判断を多用することになるし、また、定量化の結果にも大きな不確実さが含まれることになる。
- むしろ、PSAは、平均値や最確値と共に、「結果がどれほど不確定なのか」を知るための手法。

決定論的安全評価の用途と特徴

- 決定論的安全評価は、安全審査のような「公式プロセス」において、施設や事業が十分安全かどうかを判断するのに用いる。規制上のルールのひとつである。
- そこでは、評価の対象となる危険、定量評価の方法、評価結果と比較すべき判断基準(Criteria)等はあらかじめ定められている。
- ①あらかじめ定められた「想定事象」について危険の程度を定量化し、②その結果をあらかじめ定められた「判断基準」と比較する。③すべての解析の結果が判断基準を満足すれば、対象となる施設や事業は十分安全と判断する。
- 定量化の過程では、(ルールであるから)できるだけ不確実さが入り込まないようにする。そのため、定量化の方法にも判断基準にも大きな安全裕度を用意する。⁵²

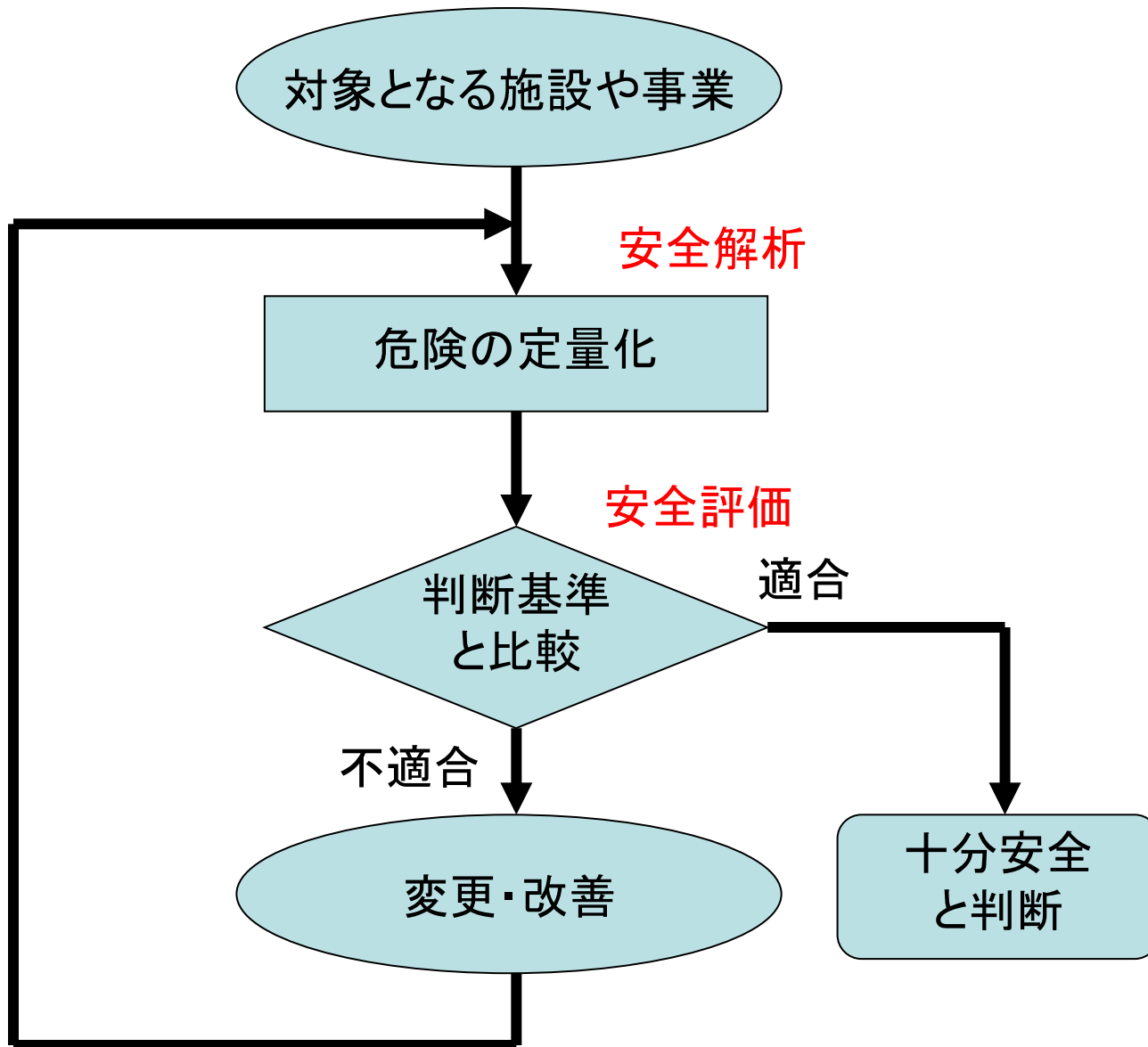


図3-1 決定論的安全評価での安全性の判断手順

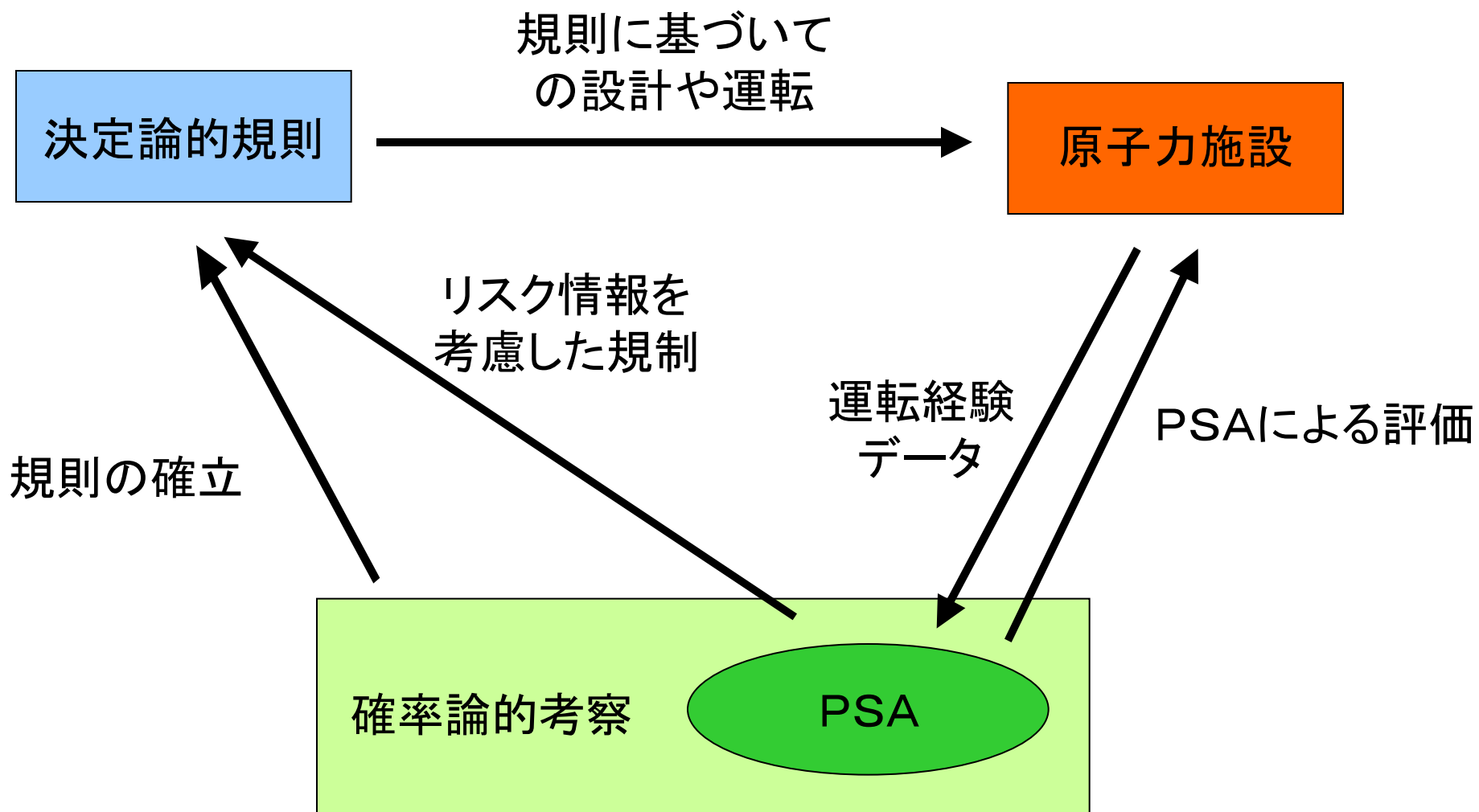


図3-2 確率論的考察と決定論的規則の関係

確率論的安全評価と決定論的安全評価の比較 (まとめ)

- 決定論的安全評価(DSA)は安全審査において安全設計や立地条件の妥当性評価に使用。
 - そこでは、過渡事象や事故、あるいは重大事故や仮想事故が起きると無条件に想定し、保守的な入力値とモデルに従って解析を行い、その結果を保守的に定めた判断基準と比較して合否を判定。
 - 通例の「原子力発電所の確率論的安全評価(PSA)」では、過酷事故を対象として、事故の発生頻度や事故が起きた時の影響を定量化。
 - PSAでは一般に最確評価を行うが、入力値やモデルの不確かさが最終結果にどのような影響を及ぼすかを調べる感度解析や不確実さ解析も実施。
-
- 新規制基準で、安全審査におけるDSA、PSAの使用は次スライドのように変わった。

新規制基準における安全評価

- 運転時の異常な過渡変化及び(設計基準)事故に対する安全設計の妥当性は、従来通り、DSAによって確認される。
- 立地(敷地)の妥当性を立地評価事故で確認することはなくなった。
- 重大事故対策が規制の対象となり、申請者は過去のPSA及び申請者のPSAで重要と判明した事故シーケンス及び格納容器破損モードに対し、炉心損傷防止対策及び格納容器防止対策を用意し、安全審査においてそれらの有効性が評価されることになった。

4. 原子力施設の安全審査と決定論的安全評価

4.1 原子力施設の安全審査の概要

- 原子力施設を立地・建設するに当たっては、事業者は国の安全審査を受けて当該施設の安全設計及び立地の妥当性を証明しなければならない。
 - 発電用原子炉についての安全審査は、経済産業省原子力安全・保安院による1次審査と、原子力安全委員会による2次審査から成る。
 - 原則として、原子力安全委員会が作成した「安全審査指針類」に沿って審査される。
-
- 規制委の発足と新規制基準の策定により、次スライドのように変わった。

原子力規制委員会による基準適合性審査 (現在なされているのはバックフィット審査)

- いわゆる「ダブルチェック」は廃され、原子力規制委員会による一元的な審査となった。
- 基本設計の審査と後段規制を組み合わせて規制するという枠組みは変わらない。
- 安全設計の妥当性と申請者の技術的能力を審査。
- 安全設計の妥当性審査の基準は、「実用発電用原子炉及びその附属設備の位置、構造及び設備に関する規則」(「設置許可基準規則」)とその解釈。
- 技術的能力審査の対象は、申請者が有するべき一般的技術能力と重大事故への対処能力。

主要な安全審査指針及び基準の役割

- ・ 従来の原子力施設の安全審査で参照された主要指針は、「立地指針」、「設計指針」(及び、「重要度分類指針」、「評価指針」)
 - ・ 立地指針は、施設の立地条件を判断するためのもの
 - ・ 設計指針は、施設を構成する構築物・系統・機器(SSC)それぞれが、安全上の重要度に応じた信頼性(reliability)を有することを判断するためのもの。
 - ・ 評価指針は、そういうSSCで構成された施設が、全体として(システムとして)十分な安全性能を有する設計であることを判断するためのもの。
-
- ・ 新規制基準で、「設計指針」は「設置許可基準規則」に置き換わっており、「立地指針」は今後適用されることはなくなっている。

外的事象への対処についての共通の考え方

- 外的事象については、原則として共通の考え方が適用される。
- それぞれの外的事象のハザードを評価する。それが十分小さければ安全設計の対象としない。そうでなければ、設計評価において各SSCがその重要度に応じて、当該外的事象がもたらす荷重に耐えることを確認する。
- 戦争やテロのような意図的な人為事象は、一般には安全審査での安全評価の対象からは外される。ただし、これは意図的な人為事象がリスク上重要でないからではない。「別途対処する」ことは必要。

決定論的安全評価による安全審査

- 評価指針では
 - あらかじめ定めた複数の「運転時の異常な過渡変化」及び「事故」が起きたと仮定し、
 - それぞれの事象について、「単一故障の仮定」等、結果が最も厳しくなるような条件下で解析を行い、
 - その結果を、運転時の異常な過渡変化及び事故それぞれに対してあらかじめ定めた「判断基準」と比較し、
 - 全事象が判断基準を満足することを確認する。
- こうした安全の評価法は「決定論的安全評価」手法。

決定論的安全評価による安全審査(続き)

- 原子力施設は、規制上のルール(及び事業者の安全管理上のルール)に従って設計・建設・運転される。これらのルールは、ほとんどの場合、「何々に従って何々すること」と決定論的。
- この規制ルールは、従来から、専門家の工学的判断によって定められてきた。
- 「決定論的安全評価」は規制ルールのひとつ。
- 安全審査では、あらかじめ定めた想定事象について、あらかじめ定めた手法でその影響を定量評価した結果を、あらかじめ定めた判断基準と比較して合否を判定(→スライド53)。
- 決定論的安全評価を含め、規制ルールをすべて満足した施設は、「工学的判断として十分安全」。

安全解析の結果に基づいての規制上の判断

- 安全解析の結果の利用については、「判断基準」との比較によって可否判断に使う場合と「参考」に留める場合とがある。
- 一般に、決定論的安全評価の結果は可否判断に用い、確率論的安全評価の結果は参考に留める。
- 解析なしの判断もあり得る(例:旧設計指針、現設置許可基準規則によるSSCの信頼性の判断)。
- 「安全解析」の最終目標が公衆や従業員の安全であっても、個々の安全解析の最終出力は必ずしも公衆や従業員のリスクそのものではない(例:ECCSの性能評価では最高被覆管温度や最大被覆管酸化厚。レベル1PSAでは炉心損傷事故発生頻度)。ただ、そういう値が十分小さければ、工学的判断として、公衆や従業員の安全が保たれると推測できる。

4. 2 立地の妥当性評価 基本的な要求事項

- (A) 立地点において、大きな事故の誘因となるような事象が過去にも将来においてもないこと。
- これは、実際には、施設の安全を脅かすあらゆる外的事象のハザードが、設計では対処できないほどに大きなものではないこと、かつ、それらのハザードに対する安全設計が妥当であること。
- (B) 施設で起き得る重大な事故が公衆に及ぼすリスクが、十分に小さいこと。
- 「立地評価事故」を想定し、それぞれについての解析結果があらかじめ用意された「判断基準」を満足すれば、施設の立地条件は適切であると判断。
-
- 新規基準で、(B)の「立地評価事故」は実態としてなくなっており、たぶん、重大事故対策の有効性評価で置き換えられている。

立地指針

- 「安全審査の際、万一の事故に関連して、その立地条件の適否を判断するためのもの」。
 - 原則的立地条件は次の3項目。
 - ①大きな事故の誘因となるような事象が過去においてなかったことはもちろんであるが、将来においてもあるとは考えられないこと。また、災害を拡大する事象も少ないこと。
 - ②原子炉は、その安全防護設備との関連において十分に公衆から離れていること。
 - ③原子炉の敷地は、その周辺も含め、必要に応じ公衆に対して適切な措置を講じうる環境にあること。
-
- 新規制基準で「立地指針」は実態としてなくなったが、今後も「原則的立地条件」は同様と考えられる。

立地指針の要求

- ①は、敷地周辺の環境条件が施設の安全に影響を及ぼさないための要求。この要求は、実際には、多様な外的事象についてハザードの評価を行い、それが一定レベルを超えるようであれば当該ハザードに対する防護設計を行うことで解決される。
 - ②及び③は、施設で発生しうる大きな事故が敷地周辺の社会環境に影響を及ぼさないための要求。
 - これに加えて、「防災指針」により、万一公衆に影響を及ぼすような重大な事故が発生したときの対応のあり方を定めている。
-
- 新しい規制で全面的な見直しが進んでいるが、「原則的立地条件」そのものが大きく変わることはないと考えられる。

4. 3 安全設計の妥当性評価 設計指針

- 設計指針及びその下位指針・下位基準は「安全審査において、安全確保の観点から設計の妥当性について判断する際の基礎を示す」ためのもの。
 - これらの指針・基準に従えば、原子力施設を構成する個々の機器・構造物は、それらが運転中に受けると考えられる荷重条件、環境条件下で、それらの安全上の重要度に応じ、十分な信頼性を有すると判断。
-
- 新規制基準で「設計指針」等は「設置許可基準規則」及びその解釈と参照標準等に置き換わっている。
(以下のスライドも同様。)

評価指針

- 評価指針及びその下位指針・下位基準は「安全審査において、原子炉施設の安全評価の妥当性について判断する際の基礎を示す」ためのもの。
- 設計指針を満足するSSCで構成される原子力施設が、全体として十分な安全性能を有することの確認。
- 原子力施設で起き得るさまざまな事象のうち、幾つかの代表的事象を選定し、それらを推定される発生頻度によって「運転時の異常な過渡変化」と「事故」に分類。その上で、これらの各事象が起きたと想定して事象の進展解析を実施。
- すべての解析結果が「異常過渡」及び「事故」それぞれに対して用意した「判断基準」を満たせば、施設全体として十分な安全設計がなされていると判断。

安全設計の妥当性の判断基準

- 設計指針：個々のSSCの設計が設計指針に準拠していることを確認し、その通りであれば、各機器は十分な信頼性を有すると判断。
- 評価指針：施設で発生し得る様々な事象を包絡するような「設計基準事象」を想定し、それぞれについての解析結果があらかじめ用意された「判断基準」を満足すれば、施設の安全設計は十分であると判断。
- 施設を構成するSSCは、重要度に応じて設計指針でその信頼性が担保される。そういうSSCであれば、設計基準事象の発生頻度は一定値以下と考えることができ、また、安全系の作動についても「単一故障の仮定」で良しとされる。

おわりに

- 安全設計の基本的考え方について説明
- 加えて、設計と関わり合う諸問題についても説明
- 今はまず、安全を確保する、確認するとか、規制とはどんなものかとか、そういうことについておおまかに理解してほしい。
- 福島第一事故以前は、このような安全対策により、我が国の原子力は十分に安全と考えていた。