

「第 52 回技術士の夕べ」レジュメ

日 時：2016 年 11 月 18 日（金）17:30～20:00
 場 所：日本技術士会葺手第 2 ビル 5 階 AB 会議室
 講演者：阿部 清治氏（日本原子力学会／原子力安全部会 幹事）
 演 題：原子力の安全確保～基本的考え方から現行規制まで～
 司 会：芳中（文責）
 参加者：44 名（講師を含む）

1. はじめに

今回の技術士の夕べでは、日本原子力学会 原子力安全部会から、新規制基準策定にも関わられた阿部清治をお招きして、原子力安全に係る基本的な考え方から現行の規制までを含めて、ご講演いただくこととした。

周知の通り、福島第一原子力発電所事故を受け、原子力規制が見直され、各原子力発電所では新規制基準への適合を含めた再稼働に向けての取組みが行われている情勢である。

このような情勢の中、原子力安全に関する理解を深める必要があると判断し、本講演を企画した。本講演では、通常的时间より、30 分時間を多めに確保し、十分な質疑応答が行えるよう配慮した。部会長からの主旨説明の後、講演頂いた。

2. 講演の概要

本講演は、大きく 5 つのパートに分けて解説があった。なお、内容については、規制庁の公式見解ではなく、阿部氏個人の意見、解釈としてのものであるとの前置きで講演が行われた。

- (1)原子力安全確保について
- (2)原子力安全確保のための国際基準
- (3)原子力安全の確保及び確認の方法
- (4)原子力安全確保の目標
- (5)福島第一原子力発電所事故の教訓を反映しての規制

講演の概要について、各パートの要点を以下に示す。

【原子力安全確保について】

- 安全とは危険の裏返しである。危険が十分小さいことをもって、安全であるという。
- 原子力安全確保の基本的考え方を一語で表せば「隔離」である。
- 隔離は多くの分野に共通するものである。原子力施設の方が一の事故時に周辺の人が過大な被ばくを受けないようにするため隔離が必要。周辺に人口密集地がないことも求めている。
- 原子力施設に共通の基本的安全機能は、「放射性物質及び放射線を閉じ込めること」ただ一つである。通例「止める」、「冷やす」、「閉じ込める」の 3 つを挙げているが、閉じ込めさえできれば、止めるも冷やすも関係ない。このために様々な障壁を設置。
 - 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、原子炉建屋
 - さらに：敷地境界までの距離と防災
- 原子炉が事故を起こすと、その重大性に応じて、大抵は、原子力圧力バウンダリ、被覆管、ペレットの順で密閉性を失っていく。⇒原子力安全の確保は、端的に言えばこれらの障壁を守ること。
- 遠ざければ危険が小さくなるというように、危険は度合で表されるが、安全は定量化できない。

【原子力安全確保のための国際基準について】

- IAEA の国際基準の体系は、最上位に一つの基本的安全原則 (Fundamental Safety Principle)、次に多くの要求事項 (Requirements)、その下に多くのガイド (Guides) という構成となっている。

- 基本安全原則は重要な順に 10 項目ある。その内容は ICRP の勧告にあるような放射線防護の要件を考慮した形となっている。ここに深層防護というワードは出てこない。
- 深層防護は、原子力安全の専門家にはしばしば最高の原則として捉えられているが、IAEA の基本安全原則では、原則レベルで扱われていない。深層防護は、事故の発生防止、事故の影響の防止及び緩和の第一の手段とあるのみ。

【原子力安全の確保及び確認の方法】

- 安全設計は、施設の全体設計とそれを構成する構築物・系統・機器 (SSC) の設計に分けられる。安全機能を有する SSC は、機能 (異常発生防止系、異常影響緩和系) と重要度 (クラス 1 ~ クラス 3) で分類される。安全上の重要度に応じて所定の機能が求められる。
- SSC の損傷、故障に係る誘因には、内在誘因 (人的因子、経年劣化等) と外的衝撃 (地震や津波等の自然現象、航空機落下やテロ等の施設外人為事象、施設内で生じる衝撃 (火災、浸水、タービンミサイル等)) がある。
- SSC の設計では、当該機器が所定の容量、性能を有すると共に、環境条件、荷重条件に耐えること、特に地震動等、外部からの衝撃に耐えること、過渡事象や事故 (設計基準事象) 時の環境条件、荷重条件に耐えることが求められる。
- シビアアクシデントは設計基準を大幅に超える事象。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、結果として炉心の重大な損傷に至る事象である。
- 日本では、スリーマイル島 2 号機の事故を契機に過酷事故対策を整備 (事業者の自主保安としてのシビアアクシデント対策にとどまった)。～発生防止、安全系以外の有効利用、新規設備による炉心損傷の防止、発生後の対応など。
- 原子力施設は、深層防護の考え方にに基づき、たとえ何らかのトラブル (発端事象=起因事象) が起きても、それが拡大して事故につながらないように、様々な安全設備が用意してある。
- PSA は、発端事象が発生した時に安全系が機能しない場合に大きな事故につながると考え、発端事象と安全系の成功・失敗で事故シーケンスを分類する。
- PSA は、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であるが、事象の進展過程で起きうるあらゆる現象をモデル化しようとする中、その中には必ずしも十分な知見が得られないものもある。必然的に工学的判断を多用することになり、定量化の結果にも大きくてかつ一様でない不確かさが含まれる。むしろ、結果がどれほど不確定なのかを知る手法。
- 決定論的安全評価は、規制上のルールの一つ。評価の対象となる危険、定量評価の方法 (保守的な方法で評価)、評価結果と比較すべき判断基準等を予め定めた評価。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。

【原子力安全確保の目標】

- リスクの表現で全リスク = Σ (各事象の発生頻度 × 影響) として表される。横軸に損失、縦軸に頻度をとったリスク曲線 (右下がり) として表すこともある。
- 原子力安全委員会では、リスク抑制水準を安全目標として定め、安全規制活動での判断に活用することを決定。その設定案では、以下のようなことが考えられていた (全体の規制活動の参考として使用。個別の施設への適用は、経験を積んだ段階で適用することとしていた。)
 - ～原子力事故に起因する放射線被ばくによる、施設敷地境界付近の公衆の個人平均急性死亡リスク、年あたり 100 万分の一を超えないよう抑制。
 - ～原子力事故に起因する放射線被ばくによって生じうるがんによる、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、年あたり 100 万分の一を超えないよう抑制。
- 施設の評価をするため、原子力発電所の性能目標として、2つの指標値を設定した。内的事象、外的事象両方を対象としている。
 - ～炉心損傷頻度 (Core Damage Frequency : CDF) 10^{-4} 年程度
 - ～格納容器機能喪失頻度 (Containment Failure Frequency : CFF) 10^{-5} 年程度

【福島第一原子力発電所事故の教訓を反映しての規制】

(1) 従来と現行（新規制基準）の対比

- **[従来]**種々の誘因事象（地震、津波、航空機落下等）への対処は求められていたが、ランダム故障への対処の妥当性を確認することが中心。「有意な全ての誘因事象」についての具体的な規制基準はなかった。また、低頻度の誘因事象について設計基準ハザードが過小評価になるものがあった（津波想定のための土木学会の手法は、「歴史津波」に基づき、それぞれの領域の断層は別個に動くと仮定）。
- **[現行]**誘因事象（地震、津波等の自然現象、航空機落下等の施設外人為事象、施設内での火災や浸水などの施設内事象など）それぞれについての対処の妥当性を確認する。ガイドを作成（基準地震動及び耐震設計、基準津波及び耐津波設計、火山、竜巻、外部火災、内部溢水、内部火災など）。
- **[従来]**炉心損傷を起こさないための設計の妥当性を確認することが中心。
- **[現行]**炉心が損傷する事故（重大事故）の防止・緩和のための対処策（設計及びマネジメント）の妥当性も確認する。～審査では、生き残っている機器で事故を収束できるかどうかの評価等、PSA、シビアアクシデントの研究が活かされている。
- **[現行]**地震動以外の誘因事象に対する SCC の設計要求が具体化。地震動に対する設計要求を強化。重大事故対処が規制の対象になった。

(2) 外的事象対策、深層防護に関する議論

- 外的事象をひとまとめにするのではなく、各現象の特徴に応じた頑強性を持たせるべき。
- 外的事象対策を一般論で済まさないこと。それぞれの外的事象が施設にどのように影響を及ぼし得るかを個別に考えて、それをどう防ぐかを具体的に考えること。
- 深層防護の重要性が再認識された。深層防護各段の具体的な対応が不十分であれば、深層防護は何の役にも立たない。
- ある誘因によって複数の機器が故障するときこれらは従属故障である。地震や津波、航空機落下などは典型的な共通原因故障である。ひょっとして空集合を求めているのではないか？
- 個別誘因事象に対する安全の問題を考えるにあたって、従来通り深層防護の枠組みを用いるのは、どうもしっくりこない。ただ、今のところ深層防護に代わるアプローチは確立していないし、国際社会も「深層防護の考え方そのものは事故の後でも有効である。問題は深層防護の適用のあり方である。」でとどまっている。
- 層間の独立性は深層防護の重要な精神（要素）そのものではあるが、ここで、各層の完全な独立はあり得ない。知識、データがより限られている低頻度高影響事象に対してこそ、深層防護はより重要な戦略である。

(3) 現行規制基準まとめと今後の改善

- 現行規制は、大きな事故は施設内外の誘因事象による共通原因故障で起きるとの考えの下、それぞれの誘因事象の特徴を踏まえた強固な対策を求めている。また、設計基準内の事故への対処のみでなく、重大事故対策（炉心損傷防止、格納容器破損防止）も求めている。
- リスク情報の活用、防災、廃棄物埋設の分野において、技術の現状を踏まえた規制が行われるようになった。
- 規制の改善が必要な項目として、検査、立地評価（特に人口密集地の排除）、安全重要度分類と耐震重要度分類、全基準の体系的整理、バックフィット基準、炉規法以外の問題への対処（例：廃棄物埋設に係る国による制度的管理）を阿部氏は挙げていた。

3. 質疑応答

Q1. 初期のころは PSA といっていたと記憶している。どういういきさつで PRA となったか。

A1. 安全とは危険の裏返し。信頼性解析においても同じ。アンアライビティを評価し、それが十分小さいことを以って信頼性が高いとしている。リスク評価は安全評価と同意であり、どちらを用いるかは、その人の趣味による。ヨーロッパでは、当初より PSA を用いていた。アメリカは PRA を用いていた。日本では、当初は PSA を用いていたが、規制委員会になった際、PRA を用いるようになった。



Q2. 性能要求規制と規範的規制があるが、わが国は両方の規制をどのように考えているか。また、事業者の一義的責任（まず考えるのは事業者だと理解し、規制当局が批判する立場）は、本来の安全のあり方とは違うような気がする。細かいところにいけばいくほど、規制がいうことを満足すればという方向になりかねない。

A2. 規制の要求は、通常、Requirement（性能要求）と Guide（このように作れば要求を満足できること）の構成になっている。Guide を満たせばそれでよいが、その通りしなくてもよい。原則は、一般には Requirement（性能要求）を満たせばよいとされる。女川では、津波について様々な対策を考えており、ギリギリでシビアアクシデントを免れた。それぞれの事業者がちゃんと対策を考えていくことがとても大事なことでないと認識している。

Q3. 深層防護は伝わらない。多重防護だと分かる。この違い。どう伝えれば分かるか。独立性の考え方も同じと考えてよいか。

A3. 深層防護と多重防護とは同じ。深層防護（多重防護）と多重障壁は別のものとの考えもあるが、私は両者は同じものと考えている。各障壁を守ることが深層防護そのものとなる（バリアを多重に設けて、それぞれをバリアを守ることが深層防護である）。独立性については、それぞれを独立に守ることは当然のことであり、同時にバリアが破れないようにする必要がある。地震、津波のように同時にバリアが破れる事象に対してどうすればよいのかは考えなければならない。PSA に限界があるのと同様、深層防護にもカバーしきれないところ、限界がある。

Q4. 継続的改善が必要とされる。何で安全原則に入っていないがなぜか。どのように新規制基準へは取り入れられているか。

A4. 安全原則の議論の際に継続的改善が議論されたかどうかは記憶にない。おそらく、議論されていない。一方、新規制基準では、基準を守ることと同時に、継続的改善として、安全性向上を図ることが明確に記載され、位置づけられている。従前は定期安全レビューという枠組みの中で実施していたが、実施すること自体は強制力をもって実施されることになる。

Q5. 田中委員長は、ある原子力発電所の再稼働に係る評価、会見において、安全とは言えないと発言された。今回の話を伺う限り、危険ではないといってもよかったのではないか。

A5. 本人ではないので、回答は難しいが、一つ、これで十分安全だと思っはいけないというのが背

景にある。ある種のクライテリアを満足することで十分安全だとは言えるが、これでいいんだということになってしまうのは良くない。

Q6. 今回の講演ではないが、人口密集地について、埋設施設についても避けるべきとの話があったと記憶している。今日の講演の中でも関連の事項があったが、埋設施設に対しては、垂直方向の離隔があり、将来的な居住者の変動を考えると、水平方向については意味がないのではないかと。

A6. 埋設施設の建設について、人口密集地を避けるべきとすることを主張しているわけではない。結果として人口密集地を避けることは必要ないという結論が出てもおかしくないが、新規の立地審査を行うときに考えなくていいのか、議論をきちんとすべきとの主旨で発言している。

Q7. 技術的能力の評価、審査について、新規基準ではどうなっているか。

A7. 現行の審査では、技術的能力の評価は2つある。従来の技術的能力の評価(旧指針に従った評価)、シビアアクシデント対処に対する技術的な審査をすることになっている。さらに、マネジメントがキチンとできるかどうかについても審査している。

Q8. ICは常用で用いるものであり、非常用と訳すことに疑問を感じている。原子炉の格納容器を隔離するために閉まるのは当然。また、日本は、NRCのように体系化された解説書がなく、学ぶ場がないのも問題である。

A8. 常用系を含めて、どれだけのことがやれるかを考えて見直すべきと考えている。フェイルクローズ(バリアを破れないようにする)という意味があるが、流れが止めてしまうことになる。フェイルセーフはとても難しい問題を含んでいる。片方にいけば別のことがだめになる場合がある。今あることを使って何ができるのかを考えなければならない。ご指摘のように、なぜ、そうになっているのかという理由までを含めてきちんと理解できるものにし、体系的なことを学べるようにしておく必要があると思う。

Q9. スリーマイルが起きた時に、日本では起こらないとされていた。人災、不可抗力、想定外という受け答えがあるが、釈然としない。原子力発電所はシステム設計上、何か問題があるように思える。ひとつの切り口はコストではないか。原子力発電所はさんざん安いといわれた。安くするために何か犠牲になっているのではないかと。コストをさげるために安全性を犠牲にしているのでは。もう少しアピールすべき。如何か。

A9. スリーマイルの事故のときに日本は安全管理が徹底しているからそんなことはありませんという説明があった。実際、当時のアメリカがひどかったのは事実(蒸気が漏れていた状態を放置して運転した等)ではあったが、何かをやらなかったために理屈をつけた面がある。チェルノブイリがおきたとき、炉型がちがうので起きないと言う説明があった。日本の場合は、自然現象に配慮することが重要であったが、日本で起きうることをちゃんと評価できなかったことが問題である。

福島事故に対して他国の反応も同様であり、皆、表向きは、自国の原子炉では問題ないとしている。実際にはかなりショックを与えている。一回キチンと立ち止まって見るのが重要。

安全を担保するために金がかかるのは当然(防潮堤等)であるが、電源(エネルギー)の選択をどうするかを考えるのは推進側の仕事になる。原子力の規制においては、そういうことを忘れて、安全かどうかを見ている。通常の常識(原子力以外)と違い、コストはいっさい見ずに十分安全かどうかをみていくことを規制当局は徹底的に進めるということ。

Q10. シビアアクシデントの規制基準化（梶本）を検討してきた。当時考えていたアクシデントマネジメントが有効であるとして、それをベースに当時は、規制基準にしようとしてきた。でもその基準を守ったとしても、今回の事故は防げなかった。検討が不足している部分があった。その中でも重大なのは電源系が健全であるとの前提になっていたことである。こういうことが安全委員会の基準に記載されていないということで、意識されていなかった。よく分かっていないところに問題が潜んでいる。見えているのは、氷山の一角に過ぎないかも知れない。そんな中で、安全に対してこれから考えなければいけないのは、何か。

A10. 原子力安全について、考えなければいけないものは山のようにある。知らないところに落とし穴がある。継続的改善の余地はあちらこちらにある。具体的にどうしたらよいかということにアイデアはない。一つ言えることは、考えることをやめないこと。本当か、これでいいのかと考えることが重要。

Q11. 深層防護に何層あるか。よく説明を聞くのは5層の深層防護だが、5層目になると防災になる。設計する立場からすると第5層は見えない。安全の専門家の立場として、5層を含むか。どのように考えているか。

A11. シビアアクシデントの解析からすると防災に問題があるとして指摘をすることがある。例えば、ラディエーションモニタの例で、その電源がどこからとられているかなどを考えていないケースなど。シビアアクシデントが発生したとき、その電源は活着しているのか死んでいるのか。このように、防災を考えるとき、シビアアクシデントがどのように起きるかを知っておく必要がある。一人ひとりの専門は狭い。防災の人と施設の人がいっしょに考えないといけない。どうやって、非専門の部分との連携をするかが重要である。

Q12. 安全目標がきちっと決まっていない。どういうことか。国民に明示すべきではないか。安全目標がこういうものでどうやっているかを説明してもらうことが必要。誰がどのように決めていくことになっているのか。

A12. リスクを評価して安全向上を図ることと、安全目標を決めて国民の理解を求めることは全く別の話。

福島事故の状況を考えると「安全目標でこうしているから」は、受け入れられないと考えている。我々が福島事故に対して、どんなことを反省し、見直ししているのか、安全性の向上に対して実績を示していく必要がある。

リスクの専門家がリスクの数字だけをねじりまわしている。実際の状態の評価になっておらず、そのことを危惧している。現実のリスクを見た評価を行う必要がある。

4. 所感

阿部氏の個人的見解としつつも、安全の基本的な考え方や、新規制基準、安全原則を決める際、背景にあった議論の状況など、貴重な講演を聴講することができた。現在、2016年のIRRSを受け、検査制度などが大きく変わろうとしている動きもある。

原子力に携わる者は「安全」を守る義務がある。現行規制基準では安全対策に対して様々な要求がなされているが、その主旨をしっかり理解した上で、真摯に向き合い、対応しなければならない。

事故に対処するためには、日ごろの備えが重要であると思うし、質疑応答の中でもあった、これからの原子力安全に対し「考えることを止めないこと」という言葉が印象に残っている。肝に銘じて、精進していきたい。

以 上