

日本原子力学会安全部会「福島第一原子力発電所事故に関するセミナー」

議事メモ

本議事メモは発言者の承認を得ておりませんので、講演者及び事務局以外の参加者から頂いた発言については個人名を記載せずに「参加者」と致します。

1. 日時：平成 24 年 5 月 8 日（火） 13：30 ～ 18:00

2. 場所：東京大学 本郷キャンパス 工学部 11 号館 講堂

3. 座長・発表者・参加者

座長： 関村直人（副部会長，東大）

発表者： 阿部清治（部会長，JNES）、宮田浩一（東京電力）、守屋公三明（日立GE）、浦田茂（関電）

その他の参加者：106 名

合計：111 名

4. 議事項目

(1) 開会挨拶とセミナーの趣旨説：関村直人（副部会長，東京大学）

(2) 事故の概要解説

- 福島第一原子力発電所事故について（1号機）：宮田浩一（東京電力）

- 福島第一発電所1号機の安全設計と事故の教訓及び対策：守屋公三明（日立GE）

- 安全確保とストレステストについて：浦田茂（関西電力）

(3) セミナー参加者による総合討論

- 問題認識と論点解説：阿部清治（部会長，JNES）

(4) 閉会挨拶

5. 配布資料

資料1 福島第一原子力発電所事故に関するセミナーシリーズ 第2回

資料2 福島第一原子力発電所事故について（1号機）

資料3 福島第一発電所1号機の安全設計と事故の教訓及び対策

資料4 安全確保とストレステストについて

資料5-1 福島事故では深層防護のどこに問題があったか

資料5-2 認識及び論点

6. 議事概要

6. 1. 開会挨拶と趣旨説明

関村副部会長より以下の趣旨説明があった。福島事故に関し、「何が悪かったのか、何が問題であったのか。今後何をすべきか」について議論をすることを趣旨とする。原子力学会はわが国の学術界、アカデミアを構成する組織であることを踏まえ、学会のなかで原子力安全を専門とする人々で構成された原子力安全部会として何をすべきかの観点を重視しながら、原子力安全セミナーを構成させていただく。原子力安全が根幹にあり、すべての分野に浸透していたかをとということをもう一度問うていきたい。原子力は総合の技術、総合

工学であることを考えると、総合というものに関して課題があったのかなかったのか、特にいろいろな分野間それぞれの隙間に事故というものの誘因があったのではないかについて検討していく。あるいはそういうことを進めていくことが原子力安全部会の役割だと考えている。今回、第2回目だが、事故そのものを解説するというだけでなく、事故によって示された課題を踏まえて今後どのような安全性あるいは安全な原子力工学というものを確立していくためには技術分野間あるいは様々なステークホルダー間の相互理解を進める。本セミナーは公開で行うことにしている。

2月17日に開催された第1回のセミナーでは今回と少し異なり、福島第一原子力発電所事故についていくつかの視点を提示して全体像を解説しながら、議論の論点をいくつか提示し、それについて議論を深めていくという企画であった。講演は以下の4項目について行われた。

1. 安全設計についての問題
2. シビアアクシデント対策について
3. 原子力防災について
4. PSA、運転経験、安全研究について
5. その他の諸問題

原子力安全部会の総会でセミナーの成果、経過、今後の課題を議論し、このセミナーは継続して進めていくべきであり、セミナーの開催趣旨について検討した。第1回セミナーでは福島事故で明らかになった数多くの課題について包括的な議論を行った。第2回以降は、各回で検討課題を限定し、より深みのある議論を目指す。ただし、より具体的イメージを持つための議論にするため、各回に特定の原子炉あるいは使用済み燃料プールで実際に起きた事象を参照しつつ議論する。複数の炉にまたがる問題、たとえばアクシデントマネジメントや水位計の問題などは、個別にもまとめて議論する。議論の結果は産業界や規制庁への「提言」としてまとめるのもオプションとしてありうる。

本日のセミナーでは3件の発表の後にセミナー参加者による総合討論を行う。

6.2. 福島第一原子力発電所事故について (1号機)

東京電力の宮田氏より以下の報告がなされた。福島第一原発が位置する大熊町では、震度6強の地震が発生。プラントパラメータの情報から1号機は正常に原子炉停止しており、外部電源は喪失したものの非常用DGによる給電に成功し、津波が来るまでは問題なかったが、想定以上の津波の到達によって、1から4号機は全域が浸水し、電源盤の機能喪失したことなどから、全交流電源及び直流電源が喪失し、更に崩壊熱除去系も機能喪失するという厳しい状況に至った。この津波は、「地震調査研究推進本部の見解に基づく地震」や「佐竹氏より提案された貞観地震」では考慮されていない広域連動(宮城県沖、三陸沖南部海岸通り、福島県沖、茨城県沖まで)により約15mという想定以上の高さとなり、その被害は電源盤や直流電源の水没によってケーブル接続しても電源確保が困難であるなど、1号機が最も深刻で運転員はなすすべがない状況であった。プラント挙動の要点は以下のとおり。

- 非常用復水器(IC)が殆ど機能しなかった要因：直流(DC)電源喪失によりICインターロックの破断検知機能が喪失したことで、フェイルセーフ設計によりIC接続配管の格納容器(PCV)隔離弁が閉鎖したと推測。
- 原子炉圧力容器(RPV)の減圧：核計装系配管のうち炉外に伸びるSRM/IRM及びTIPのドライブチ

ューブの破損、又は逃し安全弁 (SRV) フランジガスケット部の過温破損により RPV 気相リークが生じた可能性。

- 圧力抑制室 (SC) ベント操作 : MO 弁及び AO 弁の手動操作を試みたが AO 弁設置 (トーラス室) の高線量により断念 (アクセス性に課題) 時間を要したが仮設の空気圧縮機で開操作実施。
- 注水 : 電源不要の DD 駆動消火ポンプが使用できず、消防車 & AM 整備ラインを用いて実施 (高線量、水素爆発によるホース損傷によって注水中断)
- コンクリート浸食 : DECOMP コードによる解析では 70cm 程度で止まると評価
- モニタリング : SC ベント大弁開 (3/12 日 14 時過ぎ) では正門モニタ反応せず、小弁開 (12 日 10 時過ぎ) ではモニタリングの指示が一時的に上昇したが、大きな汚染がないことから、小弁開時は希ガス支配の環境放出の可能性
- 水素爆発 : PCV フランジ部の漏えいが主要因 (SGTS 逆流では、FP はフィルタ除去されるはずなので建屋高線量の説明が不可)

【質疑応答】

Q (参加者): IC の冷却水循環のメカニズムが良く分からない。循環が生じるためには圧力差が必要なのでは?

A (宮田氏): 水頭差だけで流れる設計となっている。

6.3. 福島第一原子力発電所 1 号機の安全設計と事故の教訓及び対策

日立 GE ニュークリアの守屋氏より以下の報告がなされた。

(1) 福島第一発電所 1 号機の安全設計について

プラントは深層防護を基本とし、多重、多様な手段で安全性を確保する設計である。ただし、安全設備の設計では「とにかく安全にする」ということでは具体化できないので、事象シナリオを想定し、そのシナリオに適切な裕度を確保した設計条件を設定することにより、確実に機能する設備を設計している。一方、事象シナリオに含まれない事態についても検討が行われており、多重故障や特定が難しい事象に対しては、設備での対応ではなく、アクシデントマネジメント (AM) 策を前提に機能を追加することで整備してきた。(その後、安全設備の設計として、格納容器と隔離機能、非常用復水器 (IC)、高圧注水系 (HPCI)、原子炉自動減圧系 (ADS)、炉心スプレイ系 (CS)、格納容器冷却系 (CCS) の設計条件等の説明、引き続き、設計の想定を超えた事態をマネジメントする設備 (AM 対策設備) として、耐圧強化ベント、代替注水設備、電源融通、代替注水の水源の説明があった。)

(2) 福島事故からの教訓

福島事故の教訓として、時間の関係でここでは 6 つ取り挙げる。1F1 ではスクラム後、津波到達までは原子炉隔離をうまくマネジメントできたが、津波により、非常用 DG、電源、ポンプがやられ、様々な問題が生じた。

教訓 1 : 電源設備などの重要設備の配置改善と重要設備の可搬と緊急時のアクセス手段。津波に対して、できる限り高い位置に重要機器を配置することが重要。ただし、吸排気口や扉、貫通口があるため、それだけで完全に防ぐことは難しい。そのため、想定高さを超える津波に備え、別の場所からの可搬もしくは仮設による復旧対策、また、電源車や分電盤等を高台や完全水密建屋に常備することが重要。さらに緊急時に機

器を使えるよう、アクセスルートや取付口の確保、アクセスルートを確保するための重機の常備も必要。

教訓 2：重要機器の予備直流電源の常備。IC は原子炉隔離時の冷却設備であり、万一の場合は HPCI や原子炉減圧から低圧注水系にその役割を移行するのが設計上の考え。過酷事故 (SA) まで IC の機能を期待する場合、隔離弁をフェイルオープンにする考えもあり得ると思うが、設計基準事故時のバウンダリー機能確保をどう担保するかという別の課題が生じる。やはり、IC は原子炉隔離までの機能なので、隔離弁はフェイルクローズにするのが設計上の考えとして、SA では別途、隔離弁を手動もしくは自動開する別の手段を追加すべきではないか。

教訓 3：AM 実施上必要な計装の信頼性・信憑性と対応操作。今回の事故では計測器の指示値の信憑性に悩んだ。DC 電源が喪失した場合でも計装できるようにバックアップ電源の確保が必要。また、設計では指示値の精度を厳密に要求するが、SA 時には水位があるかどうか、圧力はどの程度かということが分かれば十分。一つの計測器の指示値が正しいのかが悩むより、信憑性を確保するための別の手段を確保することが重要。信憑性がない状況における AM 手順と訓練も重要。

教訓 4：注水系 / 冷却系の多様化。設備設計の条件を超えた想定外での機能喪失を考慮し、設備や水源の多様化が重要。

教訓 5：AM 設備のアクセス性、操作性、実行性。今回の事故では、WW ベント弁へのアクセスや操作性に問題があり、また、ラプチャーディスクの設置により、タイムリーな WW ベント実施の阻害があった。

教訓 6：格納容器バウンダリー防護の多様化。今回、格納容器の温度計は 400℃を示したが、実際にはそれ以上になっていた可能性が高い。そのため、PCV フランジ部等のシール部がもたず、過温破損により放射性物質が放出されたと考えられる。過温破損は格納容器バウンダリー破損の原因のひとつであるが、過圧破損を防ぐためには、水で冷却して水蒸気を発生させ、ベントで放出する対策を取る必要がある。

(3) 今後のあるべき姿と対策

今回の事故では自然災害に対する備えの重要性を改めて認識した。ただ、その脅威に正面から立ち向かうのは限界がある。格納容器の防護が最も重要であり、事業者を中心に国を含めて格納容器を守り切るために戦わなければならない。それには事態の進展に応じた事業者、行政の対応を考える必要がある。また、AM に適したより良い設備を速やかに導入できる規制体制も必要になる。

また、これまでの AM 策がおかしいわけではなく、問題はその実効性にある。AM 策を実効性のあるものに改善する必要がある。それには既存の AM 設備と手順の改善に加え、プラント外からの救援支援が迅速に行える体制を作ることが重要である。

AM 策についてはプラント内部の対策を進めるだけでなく、中長期的に見た対策の改善も必要。例えば、防災建屋を高台に設置し、実作業者の負担軽減のための災害時の前線基地とするなど。

(4) まとめ

設備の設計には想定が必要であるため、想定外をなくすためにはプラント外の支援を想定した AM 策が必要であることを痛感した。これまでのように設計強化の繰り返しだけではなく、あらゆる事故に柔軟に対応できるよう意思決定を行える体制と設備が必要になる。

【質疑応答】

Q (参加者) : SA 時の IC の機能について、教訓 2 では、IC は隔離時の設計で SA 時には使えないと述べていたように思うが、敦賀では格納容器ベントを避ける最も有効な手段と位置づけている。この点についてど

う考えるか？

A (守屋氏): まずは、設計基準を対象とし、フェイルクローズをベースとするのは適切と考えており、決して SA 時に使ってはいけないという意図ではない。SA 時には使える機能は全て使わなければならない。ここで言いたいのは、SA ばかりを考えて設計基準事故を忘れてはいけないということであり、SA 時移行してしまった後は別の考え方に切り替えるということである。

Q (参加者): 1 号機の解析を行ったところ、事故後 12 時間程度でデブリの飛散によるシエルアタックや格納容器直接加熱 (DCH) が起こったと推定されるが、この点についてどう考えるか？

A (守屋氏): 高圧破損はなかったと考えている。データや兆候から高圧破損後の DCH やシエルアタックは起きなかったと考えているが、現状では確実な証拠がないので意見が分かれるところである。

6.4. 安全確保とストレステストについて

関西電力の浦田氏より以下の報告がなされた。

(1) 安全確保対策

福島第一事故から得られた知見として、地震による影響はほぼ想定内であり、津波による影響が大きかった。特に全交流電源喪失及び最終ヒートシンク喪失が深刻な事態を招いた主要因であった。これを踏まえると、「電源確保」「水源確保」「浸水対策」が特に重要であり、それらに対し「多様化と多重化」がキーワードとなる。

大飯発電所を例とすると、電源確保への対応としては、空冷式非常用発電装置と予備電源車を設置しており、さらに今後ガスタービン式恒設非常用発電機の設置も予定しており、電源裕度向上、供給手段の多様化を図っている。ソフト面では、マニュアル整備、訓練の実施、また電源接続部の改造等により、接続時間の大幅短縮などを行っている。水源確保への対応として、多数の消防ポンプ及び可搬式エンジン駆動海水ポンプの配備、また大容量注水ポンプ (海水ポンプ代替) の配備により、多重化、多様化を図った。浸水防止への対応としては、中央制御室に給電する設備および蒸気発生器に給水する設備に対し、高さ 11.4m までの部分について、扉、配管貫通部などにシーリングを施した。

さらに、安全確保対策の効果を確実にするために、福島事故経験者の生の声を反映し、作業環境、通信手段、放射線管理、水素爆発防止及びがれき撤去などについて、着実な作業遂行に必要な措置を講じている。

(2) ストレステストについて

ストレステストの位置づけは以下の通り。現行法令に則った安全性確認、さらに緊急安全対策により、従来以上に慎重に安全性の確認が行われているが、再起動については国民の十分な理解が得られているとはいえず、新たな手続き、ルールに基づく安全評価を実施が必要。設計上の想定を超える事象に対する安全裕度を評価し、緊急安全対策の効果を定量的評価する。評価の視点は、想定を超える事象の評価により、プラントの安全裕度、脆弱性を認識すること。また収束手段の多重性の確認、多重防護の厚みを増すことによる安全性向上を図ることである。

地震の評価は 4 つのステップ、すなわち起因事象の特定、緩和機能の抽出、緩和機能の耐震評価、クリフエッジの特定の順に行う。まず、想定を超えた地震動として、活断層の同時活動、アスペリティ (地震動を強く放出する部分) を敷地近傍に配置するなど、厳しい条件で基準地震動を設定する。ステップ 1 の起因事象の特定においては、それぞれの起因事象に対し、それを引き起こす部位に対して耐震裕度の評価を決定論

的に行い、裕度の低い順に事象を追っていく。ステップ 2 では、起因事象ごとにイベントツリーを展開し、必要な緩和機能を抽出する。ステップ 3 では、イベントツリーの機器ごとに耐震裕度を評価する。それぞれの機器に関与するコンポーネントごとに裕度を評価し、そのうち最小の裕度をその機器の裕度とする。ステップ 4 では、ステップ 3 で算出した裕度をイベントツリーに反映し、最終的に冷却手段が無くなってしまいう値、すなわちクリフエッジを特定する。プラント全体としては、起因事象を裕度の低い順に評価していき、ある事象の裕度が一つ手前の事象のクリフエッジを上回ったところで、そのクリフエッジの値がプラントのクリフエッジとなる。

津波の評価においては、地震の場合と同様に 4 ステップを考えるが、耐震裕度の代わりに水没高さをパラメータとして実施する。

全交流電源喪失の評価では、冷却手段が確保できなくなるまでの時間で評価する。地震と津波が重畳した場合まで考慮すると、地震だけの場合に比べ短くなる。

大飯 3 号機の一次評価では、緊急安全対策によりクリフエッジが向上しており、炉心冷却手段の多様化、多重化が図られたとの結果となった。

6.5. セミナー参加者による総合討論

(関村副部長): 総合討論では、前半のセッションでご講演下さった 3 名に前に出て頂き、QA あるいはパネラーとしてコメント頂く。総合討論の論点については部会でもいろいろ議論してきた。それを踏まえて阿部部会長から“私見”ということで論点提示していただく。

(阿部部会長): 前半のセッションでの議論も踏まえて、安全管理や規制のどこに問題があってこのような事故が起きたのか、どういったことを考えねばならないのかを述べる。まずは、安全確保策と深層防護の関係についての私見を述べる。原子力安全は何によって担保されるかということと安全設計と安全管理 (マネジメント) である。資料 5-2 の図 1 の 2 段目と 3 段目が安全設計に関すること。安全設計は二つに分かれている。一つは個々の SSC の設計であって、それぞれが十分な性能を持っているということ。もう一つはそういうもので構成されるものが全体として安全性能をもっているかということ。それから、その上に示しているのが安全管理であって、事故時の対処や防災である。一番下にあるのが、そういうことを考える上では事故故障の誘因まで考える必要があるということを示したものだが、ここについては最後に述べる。

さらに、図 1 には右側に行くにつれてレベルが示してある。まず、レベル 1 が示されていないが、レベル 1 というのは、個々の系統や機器が十分な信頼性をもっていて故障を起こさないということ。これは設計指針そのものの要求であって、規模の小さい事象についても“もつ”ように作るということで、図中には書きにくかったので入れていない。

レベル 2 と 3 は評価指針で求めていることで、異常過渡や設計基準事故に対してちゃんとした設計がなされているということ。

レベル 4 が今回一番問題になっているところであるが、SA に対して AM を行うということ。ただし、AM というのは規制の要求ではなくて事業者の自主保安という位置づけ。AM はフェーズ 1 とフェーズ 2 の二つに分かれていて、フェーズ 1 は設計基準事故を超えたときに、それが SA を引き起こすのを防止するためのもの。フェーズ 2 は SA が起きてから状態を緩和するためのもの。

レベル 5 というのはレベル 4 を超えたときに起こることへの対応というわけではなく、SA が起きたとき

に施設の外で対応するもので、その評価を立地指針で見ているものと、防災指針で防災対策が有効かどうかを見ているものがある。

一番下の事故故障の誘因の考慮について、現状の規制の考え方では、特定の要因で事故が起きたらどうなるか？を考えているわけではない。どういう原因で起きようとも事故はこのように進展するだろうという考え方。それに対して、特定の事象に注目してもなおかつそれぞれの機器が信頼性を保てるか？ということ、前段（レベル2や3）のところでは見ているわけであるが、後段（レベル4）のところには無い。今回の事故で明らかになったのは、この後段のところではいくつか欠けているものがあつたということ。SA対策というのは規制としては対象外となっていた。AMの検討を始めた時点では、いずれはSAへの対応についても規制の対象となるという共通認識があつたが、その前に事故が起きてしまった。SA対策を考えるときには、設計だけでは対応できない部分がありマネジメントが重要となる。したがって、マネジメントと設計を合わせて考えたときに、どういうことをやらなければならないか？ということだと思ふ。

守屋氏の発表にもあつたが、従来の考え方は、設計基準の中で最適化を図るというものだった。AMを考えるにあたっては同様に、「従来の設計基準の中で悪影響を及ぼさない」という前提のもとで考えられてきた。しかし、始めからSAを考えてから設計やマネジメントを考えるとどうなるのか？ということも一つの検討点だと思つている。

地震、津波、航空機落下については、設計指針では、「こういうことがあつても大丈夫なように」と書いてあるだけ。それが本当にそうなつていたのか？という問題がある。SAの問題とか、後段のところのマネジメントのところでは考えていたか？とか、あるいは外的事象についての想定そのものが良かったのか？という問題である。

福島事故によって再確認されたこと、あるいは欠けていたと思われることとしては、まず、深層防護の重要性は再認識したが、各段の安全対策には脆弱性があつたということ。また、先ほど述べたように、原子力安全は安全設計と安全管理によって担保されるが、深層防護の後段に行くほど安全管理の役割が大きくなるはずで、そうした前提のもとでSAに対しては、安全管理を助けるものとの位置づけで設計を考えるべきではなかつたか？ということ。さらに、SA対策の分野で、設計と管理の役割分担、あるいは設計者と運転者の理解の共有はどうあるべきか？こういったことを考えていきたいと思つている。

続いて、ずいぶん反対のことを言っているように聞こえるかもしれないが、具体的に考えられることについては具体的な安全対策と規制が必要ではないか？ということと、もう一方で、具体的に考えるのが困難なことについても最低限何らかの対策を必要とするのではないか？ということ。このうち前者については、従来の安全対策では、事故や故障の誘因によって事故進展や事故影響が変わるということを十分に考慮していなかつた。外的誘因については、今回の事故で見られるように、例えば地震や津波のために後段の安全対策がうまくいかなかつたことがいろいろある。それぞれの外的誘因を考えるのは難しいかもしれないが、考えられる範囲で考えていくことが重要ではないか？ただし、どう考えても考えきれないことがあるから、安全設計だけではなくて、オンサイト/オフサイトの対応まで含めての総合的対応が別途必要ではないかと思つている。

それから、SA対策の重要性を再認識したということ。実際のSA条件下でのAMの困難さについては認識が不十分だった。具体的には、放射線レベルが高くなつてしまつたり、水素爆発が起きてしまつたりすることもあり得るわけなので、そういう場合の困難さについても認識が不十分だった。

また、SA 対処まで含めての最適設計はどうあるべきか？ということ。DBA で安全側に想定したことが SA では逆のことがある。DBA 対処から SA 対処まで通しての最適設計を考えるべきではないか？個別の話としては、水位計は SA 条件下では正しい値を示さないこともわかった。これも大きな問題であるが、第3回セミナーでの論点とする。それから制御室の居住性にも問題があった。

共通原因故障の対策は重要であるが、地震を除いて、外的事象についての安全対策や規制に具体性が欠けていた。外的事象については、経験（歴史地震、歴史津波などのデータを含む）を超える低頻度事象についての対策が不十分であったことも教訓である。

それから、安全設計における多様性の重要性も再認識した。多様性の中にはメカニズムの多様性だけでなく機器配置の多様性も含まれる。その他にどのような多様性を考えるべきか？どれほどの多様性があれば十分か？マネジメントまで含めて考えるべきか？等の検討課題がある。

原子炉に直結しない設備の設計要件も必要。使用済燃料プールについては設計基準が無いので、設計基準をどうすべきか？とか、SA 対策をどうすべきか？といったことが挙げられる。外的誘因に対する防護設計（例えば防潮堤とか水密扉など）については安全重要度分類などが決められていないので、検討が必要ではないか？

非常に重要な問題だと思っているが、今回の事故では情報伝達のためのシステムがみんなやられてしまっている。SPDS が途絶えてしまったためにサイトと本店の間での十分な情報伝達ができなかったのではないかと考えている。それから、環境モニタリングのための設備がやられてしまっている。これらのうち、外的誘因に係るものは論点4、5として今回議論し、その他は第4回セミナーでの論点とする。

それから防災対策の重要性も再認識した。一言で言えばわが国の原子力防災は実効的ではなかったということで、住民への情報伝達にもいろんな問題があった。これは第4回セミナーでの論点とする。

こういう問題をふまえて、これから規則類を決めていかなければならない。今はいろんな提案がなされているが、これら提案の中には本当に有効であるかどうか再確認しなければならないものもずいぶんあるような気がする。規制側としては、性能規定化やリスク情報・安全目標の活用が必要と言いつけてきたわけであるが、規制は性能要求を示し、事業者は具体策を示すといった役割分担をもう一度思い出す必要がある。

また、内的事象と地震以外には PSA は実施されていない。リスク情報の活用についても具体的にきちんとやったのは耐震指針を決めたということのみで、それ以外についてはほとんどやられていないと思う。それから、外的誘因に対する防護設計についての判断基準について検討が必要と思っている。地震、津波、航空機落下、火災、テロといった種々の外的誘因に対し、原則としては共通の考え方が必要。その上で、個々の外的誘因は個々の影響をもたらす、必要な設備も異なることも考えて、対応が必要だろうと思っている。今申し上げたことをまとめると以下のとおり。

論点1：設計とマネジメントの関係を明確にし、また、外的事象や SA まで対象としての、包括的な安全対策はどうあるべきか。深層防護の後段ほど、設計以上にマネジメントの役割が大きい。まずマネジメントのあり方を考え、しかる後に設計要件を考えるべきではないか。

論点2：設計における「相反性」をどう考えるか。

論点3：実際に有用な AM 策及びそのための設備の整備を図るべきではないか。

論点4：それぞれの外的誘因を考慮しての安全対策と規制が必要ではないか。

論点5：外的誘因については、経験データでカバーされない低頻度事象にも対策が必要ではないか。

論点6：それぞれの外的誘因を考慮したとしても、目指すべき共通の安全レベルがあるのではないか。また、確率論的安全評価と決定論的ルールとの関係を再確認して基準を策定するべきではないか。こういうことに注目して議論していただきたいと考えているが、前半のセッションで具体的なことについてもずいぶん触れられているので、具体的な中身のことも含めて自由に議論していただければと思う。

(関村副部長) : 総合討論の進め方として、論点1～3についてまず議論していただき、その後、論点4～6について議論いただく。また、阿部部長から「具体的な中身についても」という提案があったので、まずは、宮田氏、守屋氏の方から論点1～3についてどう議論するかという視点について、それから論点4～6について議論する際に具体的な形で提示できるものがあればいい。

(宮田氏) : 論点1についてはマネジメントということで、阿部部長のご指摘の通りと思う。深層防護のうちレベル1～3はある想定を行ってその想定に対する安全設計を明確な基準を定めて対策するという。一方で、今回の事故ではっきり出たと思っているのは、福島第一原発(1F)の状況と第二原発(2F)の状況でなぜこれほどの差が出たかということ。個人的見解であるが、2Fはある程度設備が残っていたのが明暗を分けた。もちろん海水系が全部失われるという事態は、3.11以前であれば、とんでもない事故には違いないが、待機要員が残っていたとか、電源系がそれなりに使えたということもあって、2Fの方は、そういう設備を駆使して緊急時対応のもとで運転員が数日間一所懸命サポートしたため、1Fのような事態を回避できた。一方、1Fは非常に設備の状況がひどかったため、運転員においても、オンサイト/オフサイトの人間がサポートしようにもできなかった。そういった点が今後の対策を行う上で大きなヒントになるのではないかなと思う。

(守屋氏) : 論点1について。プラントの安全設計を行ってきた者として、SAまで含めた最適化という考え方が、本当に実効性があるのかどうかということを実際に考えたときに、非常に迷っているところがある。400年に1回や100年に1回という議論があるが、起こってしまうと1なので、そればかりを考えて設計に重点を置くというのはどうかと思う。原子炉の過渡事象や、冷却材喪失というのは今回起こっていないのだが、設計上はある頻度で起こりうるとしているもの。指針に瑕疵があったかどうかということが世間からいろいろ言われているところであるが、設計基準事故への対応の要求として基本的な考え方は間違っていないように思う。細則ではいろいろ変更が必要と思うが、基本的にはそれは変わらないのではないかな。

問題は設計想定を超えたものであるが、先ほど述べたように、我々も、考えていなかったというわけではなくて、マネジメントで対処しようということで事業者とともに努力をしてきたところである。反省としては、あるところまでくるとその先は何とかなるだろうと、今思えば甘い考えで打ち切りを行ってきたことがある。やはり、如何にしてマネジメントするか、徹底的に最後の最後まで守りきるにはどういうことをやっていけばいいのか？ということと一緒に考えて、その姿を示すべき。これら全てを設計に入れるというのは、本当に機能するのか？という点で疑わしいというのが率直な感想。このへんのバランス感覚をしっかり持った上でもう一度考えていくことが必要。

(関村副部長): 率直なご意見をいただいた。深い議論に役立つご発言だったように思う。論点 1 ~ 3 について、まずは阿部部長の方から少し絞り込んだ問題提起をしていただいでから討論を始めたい。

(阿部部長): 論点 1 について少し補足する。従来の SA 対策は設計基準内の安全性に悪影響を及ぼさないことを前提としてなされてきた。しかし一方、福島事故の教訓だけに基いて本来の設計基準事象を蔑ろにするのも合理性を欠く。外的事象対策、SA 対策を含め、最適な安全対策はどう考えたらよいか？こういった問題だと認識している。それから、プラント設計をいくら頑健にしても限界がある。安全設計だけでなく、オンサイト/オフサイトの対策を含めた総合的な体制を考えた上で、プラント設計の強化・改善を図るべきではないか？

それから論点 2 の“相反性”について、1号機の IC は LOCA を防ぐための破断検出回路動作により隔離され、その結果炉心冷却の喪失となった。また、格納容器ベントは、隔離機能重視でラプチャーディスクを設置し、フェイルクローズ設計として AO 弁を採用したため、事故状況下での開操作が困難だった。つまり、閉めることを優先したために開けることが難しかったということ。これと正反対のことが TMI 事故で起こっている。加圧器逃し弁について指摘されたことだが、開けることを優先すると閉じることに失敗しやすく、閉じることを優先すれば開けることに失敗しやすい。この相反性を考慮した上での最適設計はどうあるべきか？ということ。

また、AM 設備は、設計基準を超えた、想定に近い状態でのマネジメントが目的であって、詳細な仕様規格を定めて適用することは適切ではない。規制側は性能要求を明示し、その具体化は事業者の自主的考案によるべきではないかということ。これが元々からの考え方だと思っている。事故が起きた後であってもこうした基本的考え方を間違えないようにする必要がある。

(関村副部長): 論点 1、2、3 はそれぞれ独立しているものではない。設計における相反性と AM をどうするか？さらにマネジメントと設計の関係をどうするか？について議論を始めてもらいたい、まずは守屋氏からご意見を願いたい。

(守屋氏): 先ほど話題となった IC にフォーカスを当ててみたい。今回の事故では、タラレバの話の中で結果として「もし IC が使えていれば」ということが指摘されているが、阿部部長から話があったように、起こったことは破断検知回路のフェイルセーフ。やはり、一次系のバウンダリーが出ている箇所なので、設計上はあの部分が破断もしくは漏えいするというポテンシャルがあるため、破断検知をしてそれに対して閉めるという基本動作をするというのは設計の考え方の基本と思う。今回アンラッキーなことが 2 つか 3 つあり、NHK が説明していた内容を見て納得したのだが、DC が先に死んで、AC が少し生き残って死ぬまでに隔離弁を動かし続けるというシナリオというのは正直考えつかなかった。

GE との間で、最初のころ IC の使い方ですいぶんかみ合わないところがあった。あるとき「DC が死んでいるんだ」と言ったところ「じゃあダメだ」ということで意見が一致した。プラントメーカーとしては、AC は非常用であっても万が一動かなくなる可能性はあると考えていたが、DC は、きちんと管理しさえしていれば、機能喪失するなどということをはなかなか考えつかなかった。しかも AC よりも先に逝くという順番はきわめて思いつきにくかったというのが正直なところ。ただ、マネジメントを考える上で大事なことは、起

こった事実から逆に何をすべきか？ということを考えること。例えて言えば、御巢鷹山の航空機事故の際、あんな場所の隔壁がなくなってしまうということは想定しなくても、どんなことがあってもちゃんと飛行機をコントロールすれば無事だったかもしれない。そういった、シナリオに依存しないものをしっかりもっておかないと、人間が思ったとおりに全てのものが動くと考えるのは思い上がりだと思ふ。シナリオどおりにならないということをきちんと持つておくということと、そこをどうマネジメントするかということとを両輪としてしっかり考えるべき。

(関村副部長): 浦田氏が先ほどストレステストの話をご紹介されていたので、設計と対策をどうつなげていくのかについてご意見いただきたい。

(浦田氏): 阿部部長が示された論点2について所感を述べる。TMIの話と相反性の話があったが、ICの話とベントの話で、逃がし弁の動作が大き事故につながったというのは事実と思ふ。ただ、PWRの加圧器逃がし弁の機能に対する要求事項としては加圧防止の観点があるので、機能としては必要なもので、それが閉じなかったということは品質保証の問題ではないか？と思っている。

それから論点1について、想定を超えた深層防護の後段ほどマネジメントの役割が大きいということが述べられて、マネジメントのあり方から入って、後から設計がついてくるといったご指摘があったが、若干違和感がある。ストレステストをやっていて、設計を超えた領域に入ってくると設計要件という言葉が定義しにくくなってきて、臨機の対応というのがメインになってくる。ストレステストをやっていく上で、ある想定以上のことが起こったらどうなるかということをやってきたわけだが、一つ思い当たるのは可搬式のポンプをもってきてホースでつないでいくというもの。これは傍から見るとあやふやというか、時間もかかるし人がいなかったらどうするか？などの話もあって、「初めから配水管を張っておけばいいじゃないか」という話も出た。もちろん、配水管についても将来的には設けていくという考えだが、可搬式の良いところは設備がフィックスされておらず柔軟な対応ができるということ。例えば、配水管を張っていても漂流物などで配水管がつぶれてしまったら使えなくなるが、可搬式のポンプとホースであれば機材を高台に置いておけば使える。もちろん時間も労力もかかり相反性のようなものがあるが、両者の組み合わせの形というのが一番重要ではないかと思ふ。消防ポンプも設けているので、取水源としても使えるし排水にも活用できるのではないか。このように施設や機器にはいろいろな使い方があり、ストレステストでそういった評価をしたわけではないが、マネジメントのための役割としては思い当たるものがある。それに対していわゆる性能要件や設計要件がついてくるかという、ついてこないのではないかというのが感想。

もう一つ思い浮かぶのは、美浜2号機で蒸気発生器の伝熱管破断事故が起きたが、こちらは先ほどのTMIの場合とは逆に、作動用の空気が供給されずに加圧器逃がし弁が開かなかった。これに対して、当時元々安全系でも何でもない加圧器補助スプレーによって減圧を実施した。つまりマニュアルにはなかったマネジメントで事故を回避できたということ。想定をして始めからどのようなマネジメントが可能かを考えることそのものが想定を超えた場合を考える上で矛盾するところもあって、想定を超えたところをどう想定するか？というのが課題ではないかと思ふ。そのためには、普段から自分たちの設備や施設にどういうものがあるかを熟知しておくことや使い方の訓練、念のための設備の備蓄が重要ではないかと思ふ。

(関村副部長): 結局は、設計とマネジメントの関係そのものの議論をしていく必要があるということと理解。1F1 の具体例について宮田氏の方から何かご意見があればお願いしたい。

(宮田氏): 1F1 ではないが、2号機の格納容器のベントをトライしていたのだが、実際には圧力を下げることはできなかった。3/14 の午前中だったと思うが、AO 弁を開けたのだが、格納容器の圧力がラプチャーディスクの設計圧を超えてなかったので開けられなかった。ラプチャーディスクは隔離機能のためのバックアップとして「不用意な隔離機能喪失を避ける」という設計だったわけであるが、実際には今回の事故の中で考える時間はたくさんあった。開けたいと思ったときに開けられなかったということが最もつらい状況だった。例えば、ラプチャーディスクの設定について、水素を早く吐き出すという要求に対してどうしておくべきか? など、そういうことも考えたときに、判断するための時間的余裕もふくめて、AM においてどう開けるのか? といった設計を考えていくのが必要と思う。

(関村副部長): 論点 1 ~ 3 の意味合いは同じということと、その内容をさらに深くご呈示いただいた。会場からもご意見ご質問をいただきたい。

(参加者): 化学プラントの設計をやっていた。マネジメントについては、いったい何がそこで起こっているかということを理解しないとマネジメントも対策もできない。DC 電源も AC 電源も無くなって全ての計器が見えなくなったということだが、電気を無くしても、圧力、温度、液面は現場に行けば現場の計器で見られるような対策が必要。原子炉の場合は放射線のため近寄れないのだが、やはりそこを何とかして、非常時のコントロールルームでダイレクトに測れたり見られたりするようにしないとイケないのではないか? バルブについても、MO 弁や AO 弁などあるが、AO 弁よりは MO 弁がたくさんあって、それらを作動させるために非常用発電機を付けるというが、そのための設備やケーブル、スイッチがやられてしまうと作動できないわけで、化学プラントでは手動のハンドル操作で動くのだが、これも原子炉の場合は危険で近づけないということであれば、必ず違う種類のバックアップ、例えば小さな弁によって全てマニュアルで操作できるようにするなどの設計変更をしなければ、やはり原子炉を安心して運転できないのではないか? そういった議論がなされていないのではないか?

(関村副部長): 今の話は、阿部部長が大前提とした安全確保策と深層防護をどう考えていくべきかという部分に関わることなので、阿部部長の方からご意見いただきたい。

(阿部部長): 具体的な設計や安全管理のあり方については、自分は一番遠いところにいるのであまりハッキリしたことは言えないのだが、電源の問題が一番大事であって、ご指摘のように、AC 電源や DC 電源が無くなったらどうするかということが重要であるということは今やっと認識したところ。このとき DC 電源が無くなっても一番あてになるのは手動。そういうことまで含めて、さらにフェイルクローズなのかフェイルオープンなのかも考えて、設計として縦型に用意するのかパラレルに用意するのかといったことを考えていくのだろうと思う。それ以上具体的なことは、自分は考えが及ばないので設計者やメカニクの方々にお任せしたい。

(浦田氏): 弁の開操作について、先ほど紹介した緊急安全対策の中で、タービン用の給水ポンプというのが蒸気駆動になるが、駆動のための電源は DC。DC 電源で開くようになっているが、同じように DC がもし無ければ運転員が現場に走って行って手でハンドルを回して駆動する。また、蒸気発生器の二次側の蒸気を大気中に直接放出するための蒸気逃がし弁についても、SBO すなわち電気が無い条件では作動しなくなるのだが、これに対しても運転員が走って行って現場のハンドル操作で弁を開けるといった手順を今回整備した。もう一つ、中央制御室との連絡のために有線ケーブルを引っ張って行って連絡をとるというのもある。これについても、電源は別のバッテリーから蓄電する。こういった対策を考えている。

(阿部部会長): もう一点付け加える。ご指摘のあった放射線量の高い場合の問題がある。前々から実効的な防災対策や AM を考える上で、外的事象でいろんなところがやられている状況や、SA が起きて放射線量が高くて近づけなくなっているとか、水素爆発によって近づけないなど、具体的な状況の認識が甘かったと思う。こういう問題については、想定できることを広げて行って対策ができるかどうかを考えていかなければならないと思っている。

(守屋氏): 自分の説明の仕方が悪かったと思うが、先ほど示した教訓の 3 番目のところで同じようなことを挙げた。基本的に計装系に関しては重要なことなので、今回のような過酷な事故の中でも、精度は別としても状態を把握できるようにしていくというのはご指摘のとおり。しかし、やはりそれでもダメだった場合であっても、計装が見えなくてもやらなければいけないことは日頃からシミュレーションしておくべき。ストレステストの使い方として、こういうことが起きた場合に何時間炉心が耐えられるか？といったことを把握することはできる。仮に計装系が使えなくて分からなくても、「これを超えたらどうなるか？」とか、「ここまでいったら次はこれをやらなければならない」など、そういう手順は分かるし、プラントのキャパシティを考えると「ここまで行っているはずである」といったことは分かるので、そういったことを組み合わせさせて AM を考えていくということが今回の教訓。

(参加者): 東電の資料によると、IC 作動によって RPV の圧力が下がるということになっている。温度勾配が 55°C / 時を超えると機器に悪影響があるということだったが、もし IC がずっと動いていたとすると、非常事態の場合にはそのまま働かせっぱなしで炉心損傷を防げるのか？できれば安心できる回答をいただいて帰りたいのだが、つまり、IC 作動で温度勾配は高くなるのだろうが、非常時の場合はそれで走ってもいいのではないかということ。

(宮田氏): 「こうしたらどうだったか？」というのはたくさんあると思う。3/11 の 14:46 以降どういう状態だったかという、大きな地震が来て外部電源が無くなって IC で冷却を始めた。これは普通の手順。ただし、その後 10m を超える津波がくるというのを運転員は全く想定していなかった。大津波警報は出たが最初は 3m という警報だった。その後 6m となったが、6m なら設計上大丈夫だった。しかし、たしか 15:30 頃に 10m 以上となったわけだが、それまでの間、手順に反するような行為をできたか？ということ。あくまでも結果として、そこで IC を開けっ放しにしておけば少しは良かったんじゃないか？ということについては、可

能性はあったと思う。ただし、津波が起きたことによって、フェイルセーフが働いて弁が閉まるという方向に向かったことは変わらなかったと思う。どの程度改善に寄与したか？というところがかなり難しかったと思う。

(参加者): 今回はそうだったと思うが、IC が働いていたとすると、そのまま動かしておれば危険な事象に至らなかったのか？ということを知りたい。すなわち、海水系が使えない状況でも、運転員が走って行ってIC だけ働かせていれば炉心損傷に至らなかったのかということ。

(宮田氏): あくまでもタラレバの世界で、IC が動いていればそうだったかもしれないが、今回はそうではなかったのではないかと、ということを示した。

(守屋氏): IC は、ある程度圧力の高い状態で安定させるための設備なので、仮に動いていたとしても、今回の事故で最後は RHR に持っていけない限り事故は収束できない。2号機や3号機を見てわかるように今回は8時間の設計キャパシティがあつて、3日間マネジメントしたが、結局は低圧海水系での冷却ができなかったため、途中で失速せざるを得なかったということを見ると、本当にタラレバの話になるが、仮にIC が働いて、8時間で水がなくなっていくわけなので、二次側に水を補給できるとして、この作業をずっと続けてそのうちに海水系を復活させてつなぎこむことができれば、成功したという話は作れるが、結局のところは海水系を回復させなければならない。IC はテンポラリーにリカバーするだけで、そこから最終的な着地点に行くまでの道のりが2ステップくらいあるので、そのところを忘れないで考えなければならない。

(参加者): IC 作動の際、温度勾配が大きくても壊れないと想定して良いか？

(守屋氏): 設計条件としては、飽和条件で二次側は大気圧の水の状態設計されているので、その範囲内であれば問題ない。ただし、何度も何度も急速に落とすと良くないが、ある意味一生に一度、急速に減圧して温度を下げることで壊れることはない。通常時はオススメしないが万が一の場合はやっていただいても構わない。

(参加者): マネジメントの問題で、基本的に運転の訓練がちゃんとやられていたのか？IC にしても運転員が操作をして閉めたときに津波が来た。現場に行けば、弁は開けようとするだけで簡単に開くはず。そういう操作を真っ先にやらなければならないところをやっていなかった。どこにバルブが付いているかを運転員が本当に熟知していたのか？格納容器のベントも同じで、現場で開ける訓練をしっかりとやっていれば「事故の時にはここには行けない」ということが事前にわかったはず。そういう意味でも訓練が足りなかったのではないかと思う。

フェイルクローズの話について。電動弁はもともとフェイルクローズの設計ができない構造。回路だけの話。システム全体としてはフェイルクローズの設計ではない。それから、破断検出回路は、本当にコンプレッサーのAとBがあつて、それぞれがセパレートして独立の電源をもった設計であつたのか？おそらく一つの回路で両方閉めてしまうということになっていたのではないかと？設計としてまだ考える余地はあるのではないかと？

(関村副部長): まず、マネジメントというのがどういうところまで行われてきたのか？手順書だけではなくて訓練も含めて、そういったことについてご説明いただきたい。

(宮田氏): 訓練に関しては、今回の事態に対応できるだけの訓練ができていなかったというのはご指摘のとおり。ただ、大元に戻ってしまうが、訓練といっても全くシナリオのない状態ではできない。これまではシナリオの中でやってきた。今回は完全に電源が無くなってしまった状態で、ベントなどを現場で操作するという状況にならざるを得なかったわけだが、こういう想定の下で訓練ができてなかったというのはその通りなので、きわめて重要な教訓として受け止めている。

(関村副部長): その点については、例えば NEI などでは SBO のシミュレーションを行ってきているわけで、国際的なスタンダードから考えるとどうなのか？

(宮田氏): 米国では 9.11 でテロが起きて、あれ以降、航空機衝突を想定した対策を行っているらしいという情報は入ってきたが、具体的に何をやっているのかは知らされていなかった。昨年 5 月に初めて中身を聞いた。内側の隔離弁はどうしようもないので外側を開けに行くなど、そういうことを実際に米国ではやられているし、NRC が全世界の原子力保有国に対して政府間での調整をして、「全ての国が対応してくれたが日本だけはやらなかった」と言っていたそうだ。それを知ったのは昨年 5 月であったので、きわめて大きな反省点となった。

(守屋氏): 宮田氏の説明のとおりであり、私が説明した教訓の中でも述べたように、「AM、AM」と言って「設計を超えたことについても考えていますよ」と言ってきたが、正直言って実効性という観点で、現場で決められた時間で AM ができるような設計の配慮がなされていたか？ということが反省点。例えば弁を付け替えるなど、システムとして変えられないのであれば、ちゃんとアクセスするための手順とルートをきちんと整備して、決められた条件・時間の枠の中で実行できるようにしなければならなかった。

先ほどの IC の件については、説明を簡略に行ってしまったが、隔離弁そのものはフェイルクローズではないので、問題になっているのは検知回路。先ほどはあのように言ったが、議論はいろいろあるのだと思う。その際、やはり、福島ばかりを考えて福島に偏らせるのもどうかと思う。あり得べき設計基準内の話は当然あって、IC の部分は一次系のバウンダリーを外に出してしまっているわけなので、ここに対して万が一破断を検知した場合は閉めに入るというのは全く間違っているというわけではない。破断検知をした場合や検知ができなくなった場合にどうするかという課題だろうと思う。間違った誤信号があったときや本当は閉めなかった方が良かったという場合に、じゃあどういう具合にマネジメントするか？というような使い分けで整理した方が全体としてのバランスが良いのではないかと思う。ここはいろいろなリスクを想定して評価をしてみて、トータルでどちらが良い姿かを考えていく必要がある。

(関村副部長): 論点 1 ~ 3 について、そろそろ時間なのであと一件くらいご意見をいただいて後半に移りたい。

(参加者): 守屋氏のご説明の中で、非常用の DG とか電源をタービン建屋の下やいろんな場所に置いているから良いといった説明があったが、耐震設計の審査指針からいうと、クラスの違うものを共存させるのは良くないのではないかとタービン建屋は B クラス、非常用電源、メタクラなどは AS クラス。また、それが 1F の方は水に浸かっているということは、そういう設計だったのだと思うが、AM で、例えば DG を地上に置かれたということは、電源関係がもし高いところであれば助かっていたのではないかとと思う。そのあたりの設計と AM の関係についてご意見うかがいたい。

(守屋氏): 耐震については、会場におられる方のほうがむしろ正しい答えをお持ちかもしれないが、初期型の BWR については、DG などの重い機器は 2 階や 3 階に上げておくと耐震性が悪くなるので、地上階より下においてある。限られたリアクタービルのスペース、タービン建屋のスペースの中でどこに置けるのかというと、それほど選択肢はない。

もう一つ。(炉を)日本に持ってきたとき、日本は耐震要件が厳しく、岩着させる必要があるのですが、どうしても地下階ができてしまい、1 階あるいは地下階に重い機器や DG を持ってくることになる。そうすると、努力をしても(津波に対して)絶対大丈夫という配置はできないだろうというのが正直なところ。例え 2 階に上げたとしても 2 階のところまで何が来たら、またそこが想定外となってしまうので、そういうことの繰り返しをいくらやっても今回の反省を踏まえたものにはならないだろうというのが個人的な考え。配置でできる対処についてはもちろんやって、そこを超えたら終わりということではなくて、どうマネジメントするかということも両方考えなければならないと思う。

(参加者): それを理解した上で言ったつもりだったが。AM でメタクラやバッテリーについて、増設された DG を地上に持ってこられたわけだから、それらを地上に持ってくることはできなかったのか?ということ。

(守屋氏): そういうことも含めて回答したつもりだった。一つは新設と既設の差があり、既設の場合はリアクタービルを建て替えるわけにはいかないの、今の技術ではできるといっても実際にはできないこともある。できる or できないというよりも、今回は 1 階でも被水しているので、その手法としての限界はあったと思う。関電のストレステストの話でもあったように、もっと別のところに命綱をもっておかないと、絶対とは言えないが、絶対に近い解にはならないのではないかと考えている。

(関村副部会長): ここで、論点 1～3 について阿部部会長にまとめていただき、今後さらに検討すべき課題を整理していただいてから、論点 4～6 について議論する。

(阿部部会長): 今度の事故を見ても皆様のご意見を聞いても、やはりとても大事だと思うのは、次のことまできちんと考えておくということだと思う。AM の最初のステップはちゃんと考えていた。その結果良いこともあった。例えば消防車のポンプで注水するということがマニュアルには入っていないが、それ以前に、ちゃんと使えるのだということも AM で考えていたわけである。その延長としてある程度の AM ができた。SA は非常に広い範囲のことなので、いくら訓練してもその通りに物事が進むと考えているわけではないが、

もう一步踏み込んで考えておくことで救われることがずいぶんある。これからはそういうことを考えていくことが実効的な AM だと思う。

―― 休憩 → 論点 4 から議論再開 ――

(阿部部会長): 論点 4 から始めると、それぞれの外的誘因を考慮しての安全対策と規制が必要ではないか。現行の設計指針では、考慮すべき外的誘因は明記しているものの、地震を除き、個々の外的誘因に対しての設計要求は必ずしも具体的になっていない。耐震設計指針はあるが、その他の外的事象の指針はない。全体として故障はランダムに起きるという発想で書かれているのではないか。深層防護の第 1 のレベル「機器の信頼性確保」ではある程度が外的誘因を考えているものの、後段のレベルでは外的誘因の影響を考えてない。安全委員会の指針は基本設計に対する指針であるにすぎず、後段までを対象として有意なすべての外的誘因を考慮しての安全対策と規制を考えるべきではないか。

「外的誘因についての PSA」とか「外的誘因についてのストレステスト」など、安全対策や規制を考えるための手法は既に成熟していると思う。これをどう使っていくのが問題。ストレステストは決定論な手法だという説明があったが、その前に、ストレステストというのは大きく分けると、知見なのか？それとも規則・ルールなのか？ということが重要だと思う。ストレステストは、PSA と関係づけて言えば、PSA から頻度概念や安全裕度などのばらつきなどを取り払ったものだが、こういうことが起きたらどうなるのか？という知見であって、規則ではない。なので、PSA の結果も、ストレステストの結果もそれだけでは判断基準にはならない。そういうものも考えた上で、決定論的なルールはどうあるべきかを考えるのだと思う。PSA の実施状況について言えば、外的誘因を包括的に考慮した PSA (IPEEE) がなされていない。至急にやらなければならない仕事。

経験データでカバーされない低頻度事象にも対策が必要ではないか。対津波設計は設計基準としては 3.1m だった。それに対して設置者の自主努力によって、土木学会の評価手法を用いてかさ上げして 5.6m にした。しかし、土木学会の手法がもともと参照しているのは 400 年間の歴史津波である。安全委員会の設計指針を見ると、「予想される自然現象のうち最も苛酷と考えられる条件」とあって「過去の記録の信頼性を考慮のうえ、少なくともこれを下回らない苛酷なものであって、統計的に妥当とみなされるものをいう」とあり、この規定に照らし合わせると、土木学会の手法はまさにこの通りになっている。経験データを参照できる期間を超えて、経験データの最大値で良いのか？ということに関しては、二つの津波の波源の連動は無いのだとするなら、そういう結論がつけられるのかもしれない。しかし、経験データの範囲ではそういうことはなかったが、これを超す期間ではそういう事もあり得るとするのであれば、単純に経験データを参照するだけではまずい。経験データのないところまで含めて、我々は発想力豊かにして考えていかなくてはならない。

最終的には、こういうものは規制のためのルールにしていかなくてはならないわけだが、そのやり方としては、PSA 等の結果も参照して判断基準を作成すべきではないか。それぞれの外的誘因について、まずはハザードを評価して、その発生頻度が一定値を超えるなら対策をして、リスクを適切に抑制するというのがきわめて一般的な考え方である。そういう事を考えるときに、定量的な安全目標とか、原子力発電所の性能目標は既に提案されているわけなので、これを参考にして耐津波設計として防潮堤、水密扉、機器の配置はどうか？を総合的に考えて、これなら外的事象に対して十分安全ですというものを作っていくべきではないか。

外的事象のルールメイキングは、決して、津波で終わるわけではなく、航空機落下やその他いろんな外的事象について、具体的に考えていく。一方で、考えつかない問題もあるだろうから、それについては十分な対策を考えていくということ。

(関村副部会長): 非常に深い観点での議論が必要な 4・5・6 として提示して頂いた。これを宮田氏から一言頂き、浦田氏も一言コメントを頂いていたうえで、フロアからご質問を頂きたいと思う。

(宮田氏): 外的関連は阿部部会長がおっしゃる通りと理解している。特に地震については、耐震設計手法という確立された手法があって、地震動を設定した上で、これこれこういう設計手法のもとに、こういう判断基準で設計する。その結果として、たとえば中越沖地震では、当時の基準地震動の 2 倍を超える地震を経験しても、所外の変圧器の火災などの外側でのことは別として、安全上重要な設備には全く影響が無いといった設計余裕がもたらされていた。一方で、それ以外の、例えば今回の津波などもそうだが、この高さまでの安全性を持ちなさいということで、海水系がちゃんと安全に出来ているようにするぐらいのことしかなかった。したがって、(阿部部会長のご指摘は) 地震以外の外的事象に対しても設計余裕をもたらすという意味で重要な議論と思う。

(浦田氏): ストレステストをやった知見から一言。決定論で決めて行くので、先ほど「津波高さ 11.4m まではシールに成功してそこまでは保つ」と言ったが、じゃあ 20m の津波が来たらどうするのか？あるいは「このポンプで大丈夫です」という場合にそのポンプがつぶれたらどうするのか？そうしたら「発電機でこのポンプを動かす」と言っているそのポンプがつぶれたらどうなるのか？と、どんどん青天井になる。そこに決定論のある意味での限界があると思う。それをどこで割り切るかというのは、基準もそうだが、専門家の方々の工学的な判断で条件を決めるというのがあると思う。じゃあリスク論で行くという話になると、リスクもやはり安全目標とか性能目標等、ある基準があって、それ以下のものは二グリジブルスモール (negligible small) の状況であると判断することが必要ではないかと思う。

(関村副部会長): 論点 4・5・6 は非常に広範な検討すべき点を含んでいる。地震は方法論としてもある意味では確立されているが、それぞれの外的誘因を考慮して、それ以外のものに対してどういう風に我々が安全対策や規制に繋げていけるのか、難しい問題であるが詰めて行かなくてはいけない。一方で、低頻度事象の話はどうやってそれに含めていくのかというのは、今の話にあったように確率論的な方法論、決定論的な確認をして、規制にどういう風につなげていくべきなのか。一歩進む、二歩進むというのはどうしたら良いのかという非常に難しい問題を含んでいる。ご意見やご質問がありましたらお願いしたい。

(参加者): 先ほどの設計のマネジメントの話とかなり関係するが、今我々が一番考えなくてはいけないというのは、新設炉に対する設計ではなく、既設炉に対して如何に安全性を確保していくのかということ。あまり拙速に安全であるということを言い切るのはなかなか難しい。これだけ大きなことが起きたのだから、それを理解してしっかり分析した上で、議論を進めていくことが極めて重要。阿部部会長の論点 4・5・6 に関して、PSA から学ぶことは非常にたくさんあるはず。ストレステストというのは PSA を非常に極端な条件

のもとでやったものだと言われたが、私はそれは大分違うなと思う。やはり、PSA みたいなことを既設炉に対してやっていくという、すなわち IPEEE まさにそれをきっちりやっていくことが必要。福島炉の事故を踏まえて PSA をやると今までとは違った非常に緻密な PSA 出来るのではないかと思う。阿部さんの意見に基本的には賛成だが、ただ今までの PSA とはかなり違った、地震は地震、津波は津波で PSA をやるのではなくて、両方をセットでやる必要がある。そこから得られる知見はすごく大きいと思う。

(阿部部会長): 2つの事を申し上げたい、昔から地震の PSA については十分なされてきた。おっしゃるように、今度の事故に鑑みれば、これをさらに精度良くすることは可能だと思う。ただ、地震については、既にこれまでの評価で、内の事象よりもずいぶん大きなリスクがあるのではないかというのが見出され、結果として耐震指針は大幅に強化されている。今回の事故ではたしかに想定した地震動を上回ったところはあるけれども、ごくわずか。それに対して、津波の PSA はやってこなかった。結果として大きな見落としをやってしまった。したがって、PSA の方法をもっと成熟させるといったこと以上に、やってないものをして、本当に弱点がないのかを最初に見極めるといってもっと大事ではないかと思う。したがって、外的事象に対しては、火災や内の浸水など、そういうことについて粗くても良いからとりあえず IPEEE を行って、十分に安全だという事を確認することが先決ではないかと思っている。

(参加者): 全く同感。耐震設計審査指針を見直すとか、対津波設計指針を新しく作るとか、それももちろん必要だが、我々が考えなくていけないのは、設計指針ではなくてきっちりとした評価を行う事である。ある設計クライテリアを満足しなければ今度はマネジメントだとか、そちらで如何にリスクを低減させるか、というところで対応できるのではないかという風に思う次第。

(関村副部会長): ご指摘の点、4・5・6の部分と先ほどの設計の話があったが、まとめて頂き感謝したい。

(守屋氏): 今のご議論非常にその通りだと思う。PSA をやったからといって全て解決では無く、問題はそこから何を導き、何をなすべきかというのが重要となる。PSA は一つの手法でしかないので、そこで見つけられた脆弱な部分を設計でカバーするのか、マネジメントでそれを下げる(カバーする)のかというのが一つのポイントだろう。阿部部会長の「ストレステストは裏を返せば PSA」という指摘は、我々設計している側からすると一つの理解だと思う。「PSA でリスクを計算し低くなりましたので割り切っているんですか？」というのについては、今回の津波のように、あるところを超えてしまったらほとんどハザードが1である。別の言い方をすれば、クリフエッジがそこにあって、頻度は400年に1度かもしれないが、そこを超えてしまった瞬間に地の果てまで落ちてしまうような崖だったとすると、その崖をそのままにしておくのか、やはりそこには途中にセーフティーネットを張って、足の骨ぐらいは折れるかもしれないが、致命傷にはならないようにするなど、そういう対策をやるのかやらないのかというのが一つの大きなポイントだと思っている。今後、我々も規制者を含めた中で、その辺の技術的なコミュニケーションをちゃんと持った上で考える必要がある。単に再稼働の可否判定のような使い方をされると、全然違う世界に行ってしまうという気がする。ご承知とは思いますが念のために言わせていただいた。

(関村副部長): 重要なお指摘である。論点 5・6 に対して、低発生頻度の事象の取り扱いと、再稼働の基準について良く考えなくてはならない。現行のものについてどういう考え方でいくかは、非常に重要な今後の議論であると思う。

(参加者): 今の話とは違うが多分論点となっているのは、対策をどうするのか、どういう考えで規制をやるのか、そういう話だと思う。その前に、ベースとなるものを提供するというので、今回の福島事故ではどういう問題があったのかというテキストブック的なものを原子力学会原子力安全部会で作った方が良いのではないかと思うが、そういう予定はあるか。

(関村副部長): 事故調で作っているものとは別にインディペンデントなものとして学会で作るということか？

(参加者): そのとおり。事故調でやっているのは、政治などでもっと対策とれたのではないかという風な話が多く物理的な事象がどうであったかなどといった話が余り多くないと聞いている。そういうものではなくて、物理的にどういった事が起こったのかという事をまとめ、みんなの共有の財産にしていくべきなのではないか。

(阿部部長): 原子力学会の原子力安全部会は、原子力安全についての知見が一番高い専門家の集まりだと思っている。いろんな方がいろんな角度で事故の分析をするというのは良いことなので、そういう事について何だかんだというつもりはないが、少なくとも技術的な観点では、ここにお集まりの方々以上のエキスパートは世の中にいないと思う。なので、こういう所できちんと議論をして、最初に関村副部長からご紹介あったように、その結果を提言とかの形にまとめていきたい。もう一方で、従来の規制はどういうベースでやっていたのかという事についても共通理解を図っていきたくて思っており、そのために Defense in Depth というのはいったいどういうものなのかや、それに照らして日本の規制を見た時に、どんなところが抜けていたのかをご説明していきたいと思っている。

(参加者): 今日お話しいただいたことはスポット的にはよくわかるのだが、全体的にシステムチックには理解しにくい。今回 3 つの炉で事故が起こり、それを簡単に理解できるとは思っていないが、それを「トータルのにはこのようなことが起きて、この中の一部がこうなっている」といった具合にまとめたものは無いので、そういうものがあると役に立つのではないかとって発言した。

(関村副部長): 我々は我々の特徴を出したことを進めていく。それだけですべて完結するわけでは無い。原子力学会でも事故調査はやっており、その他の機関もやっているのだから、ここだけですべての機能を果たすのは難しいと思う。むしろ安全部会の特徴を生かしたものはしっかりやっていきたい。セミナーの中でも、今回はたまたま 1 号機について議論させて頂いたが、次回以降は 2 号、3 号など他のプラントとの比較も行い、皆様のご意見を踏まえながら、全体としてまとめていき、皆さんにもご批判も受けながら、どういう風にしていったら良いか、アウトプットも考えて行く。ご主旨は大変理解できるので、今後の我々のセミナー

一の参考とさせていただきます。

(参加者): 原子力機構の第四世代型の安全設計を担当している。こちらでもストレステストや外的事象について議論している。ストレステストで「余裕」ができたのだが、マージンは何処まで考えれば良いのかということについて、議論はしたのだが相場観がわからなかった。外的事象に対して安全設計をどこまで考えれば良いかということについて、論点6にもあったように、安全目標を使ってやってみようとしたが、外的事象は不確実さが大きすぎて頻度では表し難くうまくいかなかった。一方、IAEAの design requirementsの中で、外部ハザードの地震では「クリフエッジに至らないように適切なマージンを持つ事」という要求があり、これは地震以外の事象に対しても適用できると思う。この「適切なマージン」はストレステストで示すことが可能と思われる。そこで、地震のハザードカーブを描き、設計基準の十分の一ぐらいの外部事象の発生頻度に相当するハザードの intensity に対して余裕を持たばよいのではないか？ということ整理してみると、国内既設炉だとだいたい 1.6~1.8 倍になり、最大でも 2 倍という事が分かった。津波に対しては 1.2~1.5 倍程度で、最大でも 1.6 倍程度考えていけばよいのではないか。強風に対しては 1.2~1.3 倍。そのような感じで、「設計基準に対して余裕として何倍か？」ということを設定すればよいのではないかと考えているが、いかがか？

(阿部部会長): まず、私は PSA をずっとやってきて、PSA はあるところまで有効な手法だというのはもちろん信用しているほうだが、しかし、PSA の中に含まれる不確実さをどれくらい考えるのかをきちんと理解しないと危なくてしかたがない。したがって、先ほども言ったが、「使い方」が重要となる。設計基準の何倍ということをおっしゃったが、例えば今度の津波をみると、設計基準は 3.1m で実際に来た津波は 13m であり、つまり 4 倍だった。なぜ起こったかということ、連動があったかなかったかといったクリティカルに異なる状況というものがあったからである。実際に津波が来る前にそこまでの事を我々がきちんと考えられたのかどうかということになると、例えば津波のハザードの評価をきちんと考えていなかったわけである。したがって、あるところまでは PSA の結果を使う事は必要だが、それを判断に用いるときに、我々に本当に判断するだけの技術的な能力があるのかを良く考えながらやっていかないとまずいと思う。

(参加者): ただし、設計する側は、何か設定しないと設計できない事がある。

(阿部部会長): おっしゃる通り。例えば私は津波の設計基準は 5.6m でも良いと思っている。ただし、それより上に分からないことがあり得るという事を考えると、その設計基準は何に対する設計基準なのか？例えば、防潮堤を作る時の設計基準として 5.6m としても、それを超す場合をきちんと考えておかななくてはならない。それは機器の配置とか水密扉とか、そういういろんなことを考えて、「こういうものが破られる条件付き確率は多分これぐらい低いだろうから、全体としては上手くいくね」という所まで考えなくていけない。

(関村副部会長): 今の点が、論点4から論点6の一つのとりまとめになっていると思う。

(村松氏): PSA について一言言わせて頂きたい。多くの方は、PSA は数字を決めてくれるのでそれによっ

で判断できるのではないかと考えているのではないかと思う。PSA をやった人間は必ずしもそう思っていない。PSA には2つあって、数字というのは非常に大事なものであるが、もう一つ重要なことは、現象を体系的に考えてシナリオを明確にし、それによって有効なコスト効果のある対策をするということ。むしろ後者のほうが重要と思う。数字のほうは、1ケタとか2ケタ、特に10のマイナス5乗とか6乗とかになるとすごく大きい(小さい)のは皆知っている。それでも6乗と8乗は違う。そういう違いをちゃんと入れて、「こっちのシナリオは大事でこっちのシナリオはそれほどではない」ということを考えるのだと思う。最初の論点の中で、「設計で考えられる範囲というのは限られており、マネジメントを加えて初めて合理的にできる」という議論があったが、それをやるための手段として PSA がある。合理的にやるためにはシナリオをちゃんと考えなくてはならず、確率もオーダーで良いから考えて判断していくという事が重要。それをしないと、どういう結果が出てくるかということ、出来る範囲だけで対策をして、それで良いのと言いたくなってしまふ。でもそうではない。ちゃんと考えればもっと合理的な方法があって、対策のできる範囲が広がるはず。それをやってはじめて出来るぐらいの大変な問題を、我々は今取り扱っているのだと思う。

(関村副部長): 大変重要な点に感謝する。この点も含め、我々が今後なすべきことをもう少しまとめていければと思う。まだ、ご意見あると思うので、お申込みのときの安全部会のアドレスにお寄せいただき、次回以降のセミナーに盛り込んでいきたい。新田副部長の方から閉会の方に移らせて頂く。

6.6. 閉会挨拶

(新田副部長): 本日は長時間にわたり深い議論ができた。今後の予定として、6月22日に2、3号機の原子炉に関する問題、8月10日には4号機のSFPと防災に関する問題、9月には学会秋の大会でセミナーの報告をさせて頂きたい。日時は未定だが、福島第二、女川、東海第二の原子炉に関する問題に関しても必要に応じて議論していきたい。関村副部長からの連絡にもあったように、HPの方にもご意見いただくと内容もさらに充実してくると思うので、積極的に皆さまの参加をお願いしたい。

以上