

東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故の  
技術的知見に関する意見聴取会  
第3回議事録

原子力安全・保安院原子力発電検査課

# 第3回東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故の 技術的知見に関する意見聴取会議事次第

日 時：平成23年11月25日（金）10：00～12：30

場 所：経済産業省別館10階 1028 共用会議室

1. 開 会

2. 議 題

（1）冷却機能喪失に係る検討について

（2）その他

3. 閉 会

○大村検査課長 それでは、定刻になりましたので、ただいまより第3回「東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故の技術的知見に関する意見聴取会」を開催いたします。

皆様におかれましては、御多忙のところ、御出席いただきまして、誠にありがとうございます。

田中先生はちょっと遅れられるという御連絡がありましたので、後ほどお見えになると思います。

それでは早速ですが、本日の資料、お手元にあるものの確認を行いたいと思います。

議事次第の後に名簿がついております。

資料1 BWR 原子炉冷却系統設備の概要

資料2-1 冷却設備の被害状況について

資料2-2 福島第一原子力発電所1・2・3号機の原子炉冷却及び代替注水の対応について

資料3 非常用炉心冷却機能に関する論点

でございます。

それから、参考資料が1から8までついてございます。このうち、参考資料の7というのがありますけれども、これは前回の意見聴取会の後に、岡本先生から御質問等をいただいておりますので、これにつきましては、電源に関する話でしたので次回以降まとめまして御回答なり御議論いただくことにしたいと思います。

それから一番最後、参考資料の8に電源関係で「外部電源喪失事故の原因と対策」というのがございまして、これは第1回目にこの事故の対策というものがあつたら資料として出して欲しいという御要望がございましたので、対策のところを追加いたしまして配付をさせていただいております。今日の議論とは別だと思っておりますので、これは後ほど見ていただければというふうに思います。

資料については以上でございます。何か過不足等ございましたら言っていただければと思いますが、よろしいでしょうか。

それでは議事に入りたいと思います。今日は議事次第にありますように、冷却機能喪失を中心に検討を行いたいということでございます。

まず、資料の1から3まで通して説明をさせていただきます。その後たっぷり時間をとりまして資料3の論点の各項目につきまして順次検討を行っていくという形で進めさせていただければというふうに思います。

それから、資料がかなり大部になってございまして、事実誤認がないように、できるだけわかりやすく整理してきたつもりでございますけれども、細々した点も含めまして、不十分な点多々あるかと思っております。そうした点に関する御指摘につきましては、今後この意見聴取会でも全体を整理してまいりますので、そのときにまたその段階で改めてお伺いをできればというふうに思いますので、どうぞよろしくお願いをいたします。

それでは、まず、資料1及び2につきまして、古金谷事故故障対策室長から説明をいたします。

○古金谷事故故障対策室長 おはようございます。事故室長の古金谷でございます。

では、資料の御説明に入りたいと思います。資料1、それから資料2。資料2が資料2-1と資料2-2に分かれておりますけれども、資料2-1は冷却設備の概要、それから被害の状況、それから資料2-2は冷却及び代替注水の対応の状況ということで順番に御説明したいと思います。

まず、資料1をごらんください。「BWR 原子炉冷却系統設備の概要」でございます。皆様よく御

存じだと思しますので、簡単におさらいをするという形で資料を御紹介したいと思います。

1 ページをおめぐりいただければと思います。BWR の冷却系がどういったカテゴリに分かれているかということを紹介しております。注水の関係の設備、それから減圧の設備、それから残留熱の除去といったような設備が原子炉周りがございます。このほかに復水器とか、格納容器冷却系、プールの冷却、それからさまざまな機器を冷却する補機の冷却系というものがあるということがございます。これに加えて、今回も事故で使われた代替注水の消火系といったようなところでの注水系もあるということがございます。

2 ページ目に注水設備の概要ということで全体を御紹介しておりますけれども、絵にかいておりますように、大きく分けると注水系等は高压で注水するものと低压で注水するものがあるということがございます。その作動には基本的に電源が必要で、特に交流電源が必要というものがほとんどでございますけれども、中には蒸気タービン駆動のようなもの、あるいは駆動源を必要としないようなもの、今回使用された RCIC や IC といったものが、まさにこれに該当するわけでございますけれども、そういったものが装備されているということがございます。

機能といたしましては、設計上、主に冷却材喪失事故への対応ということでの ECCS 系というものがございます。これは非常用ということでございますが、常用で使用されているものにも大きく区分されるということがございます。

それから、3 ページ目、4 ページ目は高压系の設備についての概要を御説明しております。高压系というのは、大きく分けると2つの種類があるということ御紹介しておりますが、1つは高压注水系 (HPCI あるいは HPCS) といったようなものがございまして、高压の原子炉の圧力の状態 7MPa 程度での注水が可能なものということでございます。

それから、RCIC といわれる隔離時冷却系というものがございまして、これは原子炉の水位を維持するというので、崩壊熱を除去するための給水設備ということでございます。

4 ページ目は、福島第一の1号機、あるいは敦賀の1号機にも装備されておりますけれども、非常用復水器 (IC) の説明でございます。これは RCIC と同じように、冷却材喪失事故時に作用するというもので注水機能はないのですけれども、熱交換をすることで水位を維持する、圧力を調整するという機能がございます。

続きまして、5 ページ目が低压系の説明ということでございます。低压系というのは、原子炉が減圧された後に水が注水される設備ということございまして、そこに書いてございます炉心スプレイ系というものがございます。そのほか、RHR、残留熱除去系ということで崩壊熱を除去するための冷却系というものがございます。

6 ページ目が、減圧の設備でございます。これは先ほどの低压系の注水のためには減圧が必要になるわけですが、その減圧のための設備ということございまして、具体的にはそこに書いております自動減圧系というものが装備されております。これは強制的に SR 弁を開いて蒸気をサプレッションチェンバの方に逃がすというような機能があるものがございます。

7 ページ目は格納容器の冷却系ということございまして、格納容器全体をスプレイするという設備でございます。

8 ページ目が補機冷却系ということでございますけれども、これは原子炉建屋内の熱交換機、ポンプ、モーターといったような機器を冷却するというようなもの、あるいは崩壊熱をとったものを更に海水の方にヒートを逃がすための設備というものでございます。

右の図にございますように、熱交換を繰り返すことで最終的に海水の方に熱を逃がすというよ

うな役割を担っているものでございます。

それから、9ページ目、10ページ目。こちらが代替注水の設備でございます。

9ページ目がAMの設備ということで、メイクアップの冷却系、それからFP消火系の冷却系についての説明ということでございます。こちらの方、いずれもAM対策である既存設備を利用した注水ということで、アクシデントマネジメントの一貫として整備されているというものでございます。

それから、10ページ目でございますけれども、同じく代替注水系ということでございますけれども、ほう酸水の注水、それから消防車による注水というものがございます。今回の福島第一の事故でも最終的な代替注水としては消防車を用いた注水が行われているということでございます。

11ページ目でございますが、いろいろな冷却系の設備をライン構成するために、そのライン途上にありますさまざまな弁の種類について御紹介しているものでございまして、左の方に幾つか種類を書いてございますけれども、こういった弁の操作というところが、今回の事故の対応でも1つ重要な部分を占めていたということでございますので、SR弁あるいは空気作動で動く弁、あるいは電動弁といったようなところ、それからベントで使われましたラプチャーディスクというものについて、後ほどまた御紹介をしたいと思います。

12ページ目は参考ということでございますので、また後ほどごらんいただければというふうに思います。

冷却設備の説明は以上でございます。

続きまして、資料2-1をごらんください。被害状況でございます。

これは前回も電気設備につきまして各プラント、それから他の発電所、福島第二とか女川、東海第二といったようなところとの比較をさせていただきましたけれども、今回はそれと同じような比較対象を、冷却設備について一覧表でお示ししているというものでございます。

2ページ目から比較表がございまして。前回の電気設備との違いとしての特徴は、ざっと見ていただきますと、赤い字で記したものが被害のあった、あるいは作動しなかったというものでございますけれども、高圧系でも×となっているものがほとんどございませぬ。△ということです。△は何かというと、その機器そのものが被害を受けたというわけではなく、電源がだめになったり、あるいはその後に海水系の方に熱を逃がすための海水系がだめになったりして、機能が失われているというようなところがほとんどでございます。

低圧系についても同様のことが言えるかというふうに思います。

3ページ目をごらんください。3ページ目の上の方が残留熱除去系あるいは補機冷却系ということで海水につながっているようなところ、あるいは中間ループといったようなところについての状況をお示ししております。この中には×になっているようなところもございまして、例えば福島第一の1号機のCCSWについては、海に近いところの屋外にある海水をくみ上げて、熱交換するためのポンプということでございまして、やはり海に近いところの建屋、あるいは屋外に設置されているものというものが、津波による被害で機能を失っているというようなことが、特徴としておわかりいただけるかというふうに思います。

その下のところの代替冷却の注水系についても基本的には同様の傾向が示されておまして、△で機能が失われているということで、電源あるいは補機の設備がだめになっていることでの機能喪失ということがこの資料からおわかりいただけるかと思っております。

4ページ目は、福島第一の各号機の被害状況についての詳細を記したものでござい

ます。各号機ごとに高圧系、低圧系、それから格納容器冷却系、代替冷却注水系ということで被害状況を整理させていただいております。

高圧系でいいますと、1号機、2号機、HPCI がだめになっているということ、それから、6号機も高圧系がだめになっているということでございます。一方で、RCIC は2号機、3号機は生きていた。3号機についてはHPCI も生きていたということでございます。

それから、低圧系についてはスプレイ系の機能が失われているということでございます。

それから、格納容器冷却系、あるいは残留熱除去系でございますけれども、こちらも RHR、残留熱除去系がほとんど、RHRS、海のところに逃がす部分でございますけれども、そちらの設備がだめになって RHR 自身もだめになっているというようなことが、この図からおわかりいただけるかと思えます。

それから、代替注水系につきましても、△ということで、これは交流の電源を使うようなものが多くございましたので、そういった電源の喪失というようなところで使えなくなっているところが、多くございました。

こういったようなところが福島第一の冷却系の被害状況ということでございます。

5 ページ目、それから6 ページ目、7 ページ目でございますが、この辺は事故の進展ということについて1、2、3号機と、それから6 ページ目、7 ページ目はほかのプラントについての流れがどうだったかということについて、全体的な流れを御紹介したいと思います。

まず、5 ページ目でございますが、こちら1～3号機の事故の進展ということでございます。これは前回の資料でも同じようなことを少し御紹介いたしましたけれども、1号機については交流電源、それから直流電源も失われて、冷却系が操作不能、IC も恐らく動いていなかったかというふうに思いますけれども、そういった状況で冷却機能が失われて早期に事象が進展してしまったということでございます。

2号機についても直流電源が失われたわけですけれども、RCIC がしばらく機能していたというようなことございまして、しばらくの間は冷却が維持されたわけですけれども、最終的にはRCIC の機能が喪失して事象が進展した。

3号機については直流電源がしばらく機能しておりましたので、RCIC、それから高圧注水系のHPCI、これらがしばらくの間機能して冷却を維持していたわけですけれども、恐らくバッテリーの枯渇だろうというふうに考えられますが、そういったことでこれらも動かなくなって事象が進展してしまったというような状況でございます。

一方で、まず、6 ページ目でございますけれども、こちらの方は冷温停止に至った例でございます。6 ページ目は特に残留熱除去系が一時的に機能喪失されたわけですけれども、それを復旧させたことで最終的に冷温停止までもっていったというものでございます。

基本的なトレンドは同じでございますけれども、まず、RCIC あるいは MUWC、SR 弁といったようなところで、しばらくの間はサブプレッションチェンバをヒートシンクという形にして、冷却あるいは注水を続けているというような状況が続けていく中で、その間に海水に熱を出すためのRCIC 系を、海水ポンプを仮設で設置したり、あるいは電源を仮設ケーブルや電源車でつなげて復旧させるといったようなことを行いまして、海水へのヒートシンクは可能になったということをもって、冷温停止まで冷却することができたというような流れでございます。

これが6 ページ目の各号機の大きな流れでございます。

それから、7 ページ目でございますけれども、こちらの方はそうした残留熱除去系も最低1系

続生きていたということがございまして、いくつかの設備については機能が喪失したわけですが、電源もあったというような状況の中で少なくとも1系統が動いていたということで、海水へのヒートシンク機能が維持され、冷温停止にもっていったという例でございまして、この6ページ目と7ページ目の冷温停止の時間帯というのを見ていただきますとわかるように、7ページの方は比較的早期に冷温停止にもっていったということでございますが、6ページの方は、復旧のための一定の時間を要したということもありますので、福島第一でいうと20日前後、福島第二の関係でも14日あるいは15日というようなところまで、冷温停止にもっていくのに時間を要したというような状況でございました。

以上が資料2-1の被害状況についての御説明ということでございます。

それから、続きまして資料2-2でございしますが、これが今回、炉心損傷に至った1~3号機の冷却あるいは代替注水の対応状況がどうだったかということについて御紹介している資料でございます。

済みません。目次のページが間違えてございますので、ここは最初に訂正させていただきたいと思いますが、1番目のところは2ページ目で結構ですが、2.のところは10ページから始まっておりまして、それから3.が15ページから、まとめが19ページからということになっておりますので、それぞれ10、15、19ということで訂正いただければというふうに思います。

まず、1号機について2ページ目以降御紹介したいと思います。

1号機はどういったような流れになったかといいますと、最初地震がありまして、それを検知して自動停止した。

その後、地震によって外部電源が喪失したわけですが、非常用ディーゼル発電機が起動しました。冷却系でいいますとICが起動したということでございまして、津波が来る前はICの操作によって圧力を調整していたということでございます。それは左側でございますチャートでもそういったところを読み取れるかと思えます。

ただし、津波が来た後に非常用ディーゼル発電機もだめになりまして、更に直流電源も被水したということで、前回御紹介しましたが、そういったところでHPCIも使用できなくなってICも作動状況が不明、恐らく機能していなかったのではないかというふうに思われます。

また、こうした状況がなかなか緊急対策上、これは発電所の中の本部、発電所長などが全体の指揮をとっている場所でございますけれども、中央操作室からそちらの方への連絡が十分ではなかったということで、ICの状況の本部での理解というものが正しくなされていなかったということが、当時ございました。

3ページ目でございます。ICの冷却の状況について、当時どういった対応をしていたのかということについて、私どもの方で職員にヒアリングをしてみました。

この結果、詳細につきましては、今日お出ししております「参考資料3」ということで、その保安調査の結果については詳細を御紹介しておりますので、またこれは改めてごらんいただければというふうに思います。

資料2-2の3ページ目に記しておりますように、当時操作がどうであったかということについて、かいつまんで申し上げますと、まず、津波が来る前、電源喪失に至るまでは原子炉スクラム事故でMSIVが閉といった場合の手順が手順書として定められておりまして、基本的にはそれに沿ったような対応が進められていたというふうに考えられます。

当然のことながら、手順書での操作というものは中央制御室での制御盤の操作を基本としてお

りますので、今回、津波の後全電源が喪失した後も、まずは現場の確認というよりは、中央制御室の中でどういったものが動いている、どういったものが使えない、表示盤の確認に努めていたということでございます。

その後、建屋の中に入って状況の確認作業を進めたということでございますけれども、なかなか電源がない、建屋の中が暗い、あるいは下の方の階が浸水しているというようなところで、なかなか作業が思うように進まなかったというような状況でございまして、冷却系設備である IC の状況確認についても、恐らく 17 時台に一連の作業が行われていたのではないかというふうに思われますけれども、線量の上昇が確認されて、IC のところに作業員が入って胴側水位の確認といったような動作状況の確認はできなかったというようなことでもございました。

そういった詳細については、参考資料の 3 に書いておりますので、ごらんいただければと思います。当時の状況としては、地震が来た後、津波が来る前は、その下にも少し書いておりますとおり、やはり通常の対応を行っていたということを確認してございまして、大津波の警報が出ていたわけでございますけれども、プラントに影響するような津波が来るというような認識はなかったということでもございますし、当然のことながら、手順書に沿った手順で冷温停止までもっていきけるだろうという認識を持っていたということでもございました。

そういったところで、IC の操作が行われていたということでもございますけれども、参考で 4 ページ目をごらんいただければと思いますが、非常用復水器を持っている発電プラントは、ほかに敦賀の 1 号機がございまして、こちらについては、我々の方で日本原電に依頼をいたしまして、過去にどういった作動状況があったのかということについて調査をお願いいたしまして、関係資料を提出いただきました。その日本原電から提出いただいたものは、参考資料 5 という形で付けさせていただいておりますので、また詳細はごらんいただければと思いますが、同社におきましては、過去 10 年間に落雷といったようなところが背景に、2 度ほど IC を実際に操作していた実績がございました。これは、自動で起動したわけではなくて、手順書に沿った形で IC を手動で起動して操作したということでもございます。

4 ページの右側に、そのときの一例としてプラントの原子炉圧力のプラント記録、チャートを掲載しておりますけれども、原子炉圧力が上がってきては下げ、上がってきては下げという形で、圧力を 6.37～6.86MPa といったような、6 メガ台で調整するということを行っていたということでもございます。

このときにも、使っていたのは 2 つの系統があるわけですが、1 つの系統を手動で弁の開閉作業を繰り返していたという形で、圧力を調整していたということでもございました。

今回、1 号機で操作していたものと類似の操作が行われていたと考えられるかと思えます。

5 ページ目、IC の関係では、弁の開閉のロジックというものが少し焦点になってございまして、今回、IC については外部電源が喪失して、あるいは直流電源も喪失するという事態になりまして、これは隔離動作が働いて、各系統 4 弁あるわけですが、4 弁すべて隔離動作したと考えられております。

こうした電源喪失による隔離動作については、ほかの冷却設備についても我々調査、確認をいたしましたけれども、5 ページ目の括弧書きで明朝体で書いておりますけれども、注水する設備、ECCS あるいは RCIC といったような設備については、制御電源が失われた場合は開維持、fail as is という形で機能するのに対しまして、IC といったようなもの、あるいは格納容器隔離弁といったようなものについては、隔離を優先するという形で、閉まってしまうという形で動作すると



ということがわかりました。

そういった調査結果につきましては、参考資料2をごらんいただければと思います。こちらの方に、私どもの方で事業者に協力を依頼しまして、炉心冷却系及び弁の一覧ということで整理しております。今、私が御紹介した弁のロジックがどうなっているかということにつきましては、3ページ目、4ページ目をごらんいただければと思います。これはBWRの各プラントにつきまして、そのロジックがどうなっているかということについてまとめています。ごらんいただければおわかりになるかと思いますが、ほとんどのECCS系あるいはRCICといったようなものの弁の動作ロジックは、fail as isという形になっているということをございまして、そうではないものということでは、福島第一のIC、fail closeと書いております。それから、4ページ目の一番下のfail close、これも敦賀第一のICということをございまして、基本的には隔離時冷却系、RCICといわれているもの、高圧系の注水系、そういったものについては低圧系も含めてfail as isという形に弁の動作ロジックがなっているということが、今回の調査でわかりました。

資料2-2に戻っていただいて6ページ目、ICの津波襲来時の状況ということでございます。これは、前回も少し触れたものでございますので、詳細な説明は省きたいと思いますが、これまでも御紹介したように、直流電源が喪失して操作不能となったということでございます。fail safeの動作が働いて機能しなかったのではないかと考えられております。

特に、下の左側の図でも、緑色の四角で囲っているところの弁、これは格納容器の内側の弁でございますけれども、これらについては、交流電源で作動するということがございましたので、今回のSBO、交流電源が喪失している状況では、一旦閉まってしまうと、それを再度開けることができない状況にあったということでございます。

ただ、こういったICの津波後の状況については、実は今週の火曜日でございますけれども、東京電力の中での、これまでのいろいろな調査の状況から、ICの動作がどうであったのかということについて評価結果を公表しております。それが参考資料4でございます。

これはまた改めて見ていただければと思いますが、2ページ目でございますプラントのチャート記録、非常に薄くて見えにくいのですが、こういったようなものの状況、それから、10月18日に実際に現地に入りまして、ICの胴側の水位を確認しているということがございまして、A側の方がB側に比べて水位の減りが大きかったということをございまして、A側の水位が65%まで減り、B側が85%だったというのに対して、そういったような状況だったということがわかりましたので、そういった状況を踏まえてICの動作がどうであったかということをございまして、

4ページ目をごらんいただければと思いますが、こちらの方にICの冷却水の水位、水温、稼働状況の関係ということで、イメージということではございますけれども、こういった形でICが機能していたのかということについて推定をしております。

津波が来る前でございますけれども、A系、B系が最初に自動起動して、その間、温度が70℃ぐらいまで上昇しているということをございまして。その後、津波が来る前、ICのA系を3回程度開閉作業しておりますので、その間にA系が100℃まで上がったであろうということをございまして、

その後、津波が来たわけでございますけれども、ICの操作といたしましては、18時18分、18時25分、21時30分にそれぞれ、開けて、閉めて、開けてという操作をしておりますので、その間にA系で一定の蒸発がなされたのではないかと推定をしておりますので、こういった状況から、津波

後も弁を開けたA系について、開いている間には一定の機能が働いていたのではないかということ、この資料で推定しているということでございます。

では、また資料2-2に戻っていただきたいと思いますが、7ページ目、HPCI の状況でございます。これは、前回も若干触れましたけれども、1号機のHPCI は地震発生後、IC が先に起動しましたので、まだ作動してなかったという状況でございます。そうした中で津波が来て、直流電源が失われたということございまして、結果的には使用できない状況になったということでございます。

8ページ目は、1号機の事象進展、これは我々の方で以前解析を行っているものでございまして、事象がこのように進展したのではないかと推定しているシナリオでございます。中身の詳細については、省略したいと思います。

あと1号機の代替注水がどういった形でなされたのかということでございます。IC が失われて、ほかの交流電源の注水系が機能しなかったという中で、消火系を用いた注水が最終的にはなされたわけでございますけれども、それがなかなか思うように迅速にできなかったということでございます。

そちらの上の方にも書いておりますけれども、やはり直流電源がなくなったということで、それから、弁を開けるために必要な圧縮空気がなくなったということもありまして、減圧あるいはベントといったような操作に非常に時間を要したということ。

それから、注水系も2つ目の白丸にも書いておりますけれども、ディーゼル駆動の消火系ポンプが被水等の原因によって使用できなかったという状況にございまして、結果的に炉心損傷を防止するための迅速な注水がうまくできなかったということございました。

10ページ目が2号機の状況でございます。まず、地震、津波後の状況を記載してございますけれども、1号機同様、地震を検知して自動停止しております。主蒸気隔離弁が閉止しまして、IC が1号機でございましたけれども、こちらの2号機はRCIC を手動で起動しているということございまして、このRCIC によって水位あるいは圧力を維持することが行われていたということでございます。

津波襲来後も非常用ディーゼル発電機が機能しなくなって、更に直流電源も失われたわけですが、HPCI が使用できなくなったという状況ではございましたが、RCIC は運転が続いていたということで、しばらくの間は冷却が維持されていたということでございます。

11ページ目、RCIC について少し分析した内容を記載してございます。RCIC については、制御電源が喪失した場合には、先ほど申し上げたように fail as is で弁の状況は開いたままで維持されるということでございますが、一方で、RCIC の加減弁が油圧制御であるが、RCIC タービンで油圧を昇圧するため、運転している限り確保されているわけでございますけれども、制御するための直流電源が失われていたということもありますので、流量が調整できなければ、水位が高になって自動停止することが起きてもおかしくなかったわけでございますけれども、今回はこのRCIC がしばらく運転継続されたことが起きていたということでございます。

ただ、これがどうして行われていたのかということについては、まだ、依然としてはっきりとしたことは言えないわけでございますけれども、1つ可能性として考えられることといたしましては、例えばということ書いておりますけれども、蒸気の中に水分が混入するということで、タービンの効率が落ちて流量が低下して、原子炉水位、注水量が低下して、しばらくの間、原子炉水位高になることなく運転が継続できていたのかなという可能性も考えられるということござ

ざいますが、こういったメカニズムがどういう形で実際に機能したのかということについては、更に検討が必要だと考えてございます。

12 ページ目、こちらの方は、2号機の解析結果ということで、事象進展の様子を我々の方で分析したものでございます。詳細は割愛したいと思います。

13 ページ目、今、解析のグラフを12 ページ目にも載せておりましたけれども、1つ2号機について特徴的なことをここで申し上げますと、PCV の圧力が非常に低い圧力で維持できていたという現象がございます。これは、12 ページ目で行った解析の結果からは、PCV から漏えいがないという前提でありましたら、この13 ページ目の左下のグラフの赤線で書いておりますように、ドライウエルの圧力が上昇するような解析結果が出ます。ですから、実際の黒い丸で記録されているような実圧力の実測からすると、これはなかなか再現できないという状況でございまして、一定の漏えいを前提とした分析を行えば、左上の図のような形でグラフが実態と類似した形での挙動が再現できるということでございます。

したがって、2号機については、PCV のどこかの部分で、例えばフランジの部分、あるいは貫通部といったようなところで漏えいが早期になされていたのではないかとこの可能性が考えられます。

そうした場合に、やはりこういったPCVからの漏えいを避けるという意味では、温度をサブプレッションプールの方にどんどん逃がさなければいけないということでございますけれども、RCICがサブプレッションプールを水源として運転継続できるのは、10～24時間ぐらいということでは期待できませんので、やはりこういったところで少し今後の冷却機能を維持するということでの課題があるのかなと考えております。

14 ページ目、2号機の代替注水の状況でございます。これは、基本的には1号機と同じような流れでございまして、やはり電源がない、あるいは圧縮空気が枯渇しているということで、弁の操作が非常に難航したということでございます。

特に2号機については、代替注水するに当たって、原子炉の減圧をSR弁、PCVベントということでやろうとしたわけですが、これがなかなかうまく進まないという状況もありまして、注水が早期にできなかったということがございました。

2号機については、あと電源設備でパワーセンターが一部生きていたところもありましたので、そこに電源車をつないで、そこから交流電源を復活させて、CRDあるいはSLCといったようなところでの注水を試みたということはございましたけれども、ここもそういった作業をしている中で、1号機の爆発というような影響でケーブルの損傷、電源車の停止といったような事態が発生いたしまして、注水が思うようにできなかったという事態がございました。

更に3号機の爆発の影響も海水注入に当たっては作業中断ということで、時間を要する結果になってしまったということでございます。

15 ページ目、3号機の状況でございます。まず、地震、津波後の状況は、2号機と似たような形でございます。まず地震で自動停止をして、その後、地震、津波の前はRCICが手動で起動させているということで、水位、圧力を調整してきたということでございますが、津波が襲来した後は、非常用ディーゼル発電機が機能喪失したということでございます。

ただ、2号機と違うのは、直流電源が機能していたということで、RCICが継続できた。その後、HPCIも起動したということでございます。

16 ページ目が、そのHPCIについて記載してございます。これは、RCICの停止後に別の直流電

源で HPCI は動くことになっておりましたので、HPCI の自動起動がなされたという状況でございまして、これが作動している間は圧力も低位で推移していたという状況が続いていたということでございます。

ただ、HPCI が定格流量で推移していた場合には、いずれ水位が上昇して水位高でトリップするということがございますので、ここもトリップせずに運転が続いていたということがございまして、その辺のメカニズムについては更に検証が必要かと思っております。

あと、以前解析をしたときに、3号機の挙動を再現するために、HPCI 系統での損傷を仮定した分析を行って挙動を再現したということがございましたけれども、その後の東京電力による調査によると、実際に損傷していたら入ることができないような部屋に職員が入っていたということが判明しておりますので、こういった解析上仮定したような蒸気漏えいはなかなか考えづらいのではないかということも東京電力の方では調査として指摘している状況でございます。

ただ、いずれにしましても、こういったところの影響については、地震よっての破断ということもございまして、次回以降検討したいと考えております。

17 ページ目は、1、2号機と同じような事象進展の解析結果ということでございますので、詳細は省略したいと思います。

18 ページ目、代替注水の状況でございますけれども、基本的には1、2号機と同じようなことで、なかなか代替注水の作業が思うように進まなかったということでございます。特に水源の確保ということで、防火水槽を使ったり、あるいは2号機の前に海水がたまっていた逆洗弁ピットから海水を注入したりということをしてございまして、そこもいずれはなくなったということで、最後は海から直接注入するというので、水源の確保も非常にいろいろなものを使って作業しなければならなかったという状況があったということでございます。

最後の 19 ページ目、20 ページ目が、こういった設備の被害を受けた対応の状況についてまとめてございまして、詳細は次の資料 3 の方で論点という形で紹介したいと思いますので、ここでの説明は簡単にしたいと思いますけれども、高圧系の関係で言いますと、やはり直流電源が非常に重要であったということで、それから、IC について申し上げますと、閉まった弁を、特に内側の弁でございまして、開くことができずに、思うように機能させることができなかったということが 1 つ論点としてあろうかと思っております。

初期対応につきましては、特に IC の操作ということで、これは非常に劣悪な環境であったということは想像できるわけでございますけれども、状態把握に時間を要するというので早急に対応することがなかなか困難であったということと言えるかと思っております。

全体的な冷却機能の確保という点でございますと、先ほどの資料 2-1 で△という形で紹介しておりますけれども、冷却ポンプというよりも海水系のポンプ、最終的にヒートシンクに熱を逃がすところの冷却機能、そういったところの喪失、それから、電源の喪失というところで、冷却機能が維持できなかったということが全体的なトレンドとして言えるかと思っております。

あと注水というところで言いますと、水源確保というところで、非常に苦労していたということが伺い知れます。

減圧操作についても、先ほどの代替注水のところで申し上げましたけれども、電源がない、あるいは圧縮空気がないところで、非常に SR 弁あるいは PCV ベントというところでの操作が時間を要したということがございました。

あと、シビアアクシデント対応機器ということで言いますと、ディーゼル駆動の消火ポンプと

いうところが、これはタービン建屋の地下での設置もありまして、被水しているような状況もありまして、使用できなかった。あるいは使用しようと思っていれば燃料が切れていたところもありまして、迅速にうまく使うことができなかつたということがございます。

それから、最後に残留熱除去機能の確保ということでございます。先ほどの2号機の例で、若干申し上げましたけれども、格納容器の圧力抑制機能を維持するためにも、やはり残留熱除去の機能が重要ではないかということでございます。

資料2-2の説明については、以上でございます。

○大村検査課長 説明が長くなりまして、誠に恐縮ですけれども、冒頭申し上げましたように資料3の論点、ここまで一気に説明させていただきまして、その後、逐次御検討いただくことにしたいと思います。

それでは、資料3の論点につきまして、山形管理官の方から説明いたします。

○山形原子力安全基準統括管理官 それでは、資料3に基づきまして、非常用炉心冷却機能に関する論点を御説明させていただきます。

まず、今回の議論の目的と前提でございますけれども、前回までの議論におきまして地震により外部電源が喪失し、更に1～3号機のD/G、M/C、P/Cそれぞれ電気系統のほとんどが海側タービン建屋地下に設置されていたため、津波による水没・被水ですべて機能喪失をいたしました。

この結果、交流に加え直流電源も失う完全な電源喪失状態に陥ったわけですが、このような状況下で先ず取り組むべきは炉心冷却の確保でございますけれども、今、説明がございました種々の対応にもかかわらず、最終的には1～3号機すべて炉心冷却機能の喪失及び炉心溶融に至っております。

今回の議論でございますけれども、今回の非常用炉心冷却機能に関しましては、炉心冷却機能を喪失したシビアアクシデントに至った今回の事故の教訓を踏まえて、どのような対策を講ずるべきかということを目的としております。

まず、議論の前提でございますけれども、前回、電源対策につきまして議論をしております。しかし、その対策が行われたとしても、直流電源は機能維持している（外部からの繋ぎ込みを含む）ものの、何らかの原因により、①全交流電源喪失（SBO）、②既設の最終ヒートシンクの喪失（LUHS）が発生・継続したと想定して、今回は論点をまとめております。

なお、本稿では今までアクシデントマネジメントという言葉の使い方は、電気事業者の自主保安という形で整理しておりましたけれども、今回は規制について議論しておりますので、シビアアクシデント対策という言葉の使い方は、規制要求すべき対策と整理してございます。

では、具体的論点の方に入らせていただきます。

まず、☆が付いていますが、これからこのような対策をとった方がいいのではないかと方向性を示しております「1. 高圧での冷却」から始めさせていただきます。

1号機につきましては非常用復水器（IC）がございましたけれども、原子炉停止後の除熱機能として設置許可では考慮されてございます。ICは駆動源を必要としないという特徴がございまして、先ほど説明した部分ですが、直流電源及び交流電源が喪失しシビアアクシデントに至るような場合でも、作動可能であれば状況を緩和させることが可能であったと推定できます。ただし、津波が来た時点ですべての電源が喪失していたため、有効な対策がとることができなかった。

仮に、津波来襲時にICが作動していたとしても、直流電源喪失に伴い内側隔離弁の閉動作が行

われるようになっていきます。したがって、直流電源が喪失した時点で同弁は閉となります。なお、先ほど説明がありましたけれども、他の事業者も含めまして、IC以外の高圧での注水機能の隔離弁は、すべてアズ・イズのロジックとなっております。

津波来襲後のICの作動状況に関して、本部でICが作動していると誤認するなど、現場との意思疎通が難しい状況にございまして、これが混乱の原因の1つになっております。改めて電源の必要性が認識されたと思っております。

このようなことを踏まえて☆で対策の方向性ということで、まずシビアアクシデント（その前兆を含む）など、炉心冷却を最優先すべき状況の判断基準を明確にすべきではないか。そして、その判断を可能とするようなハード（計装系、状況を確認に行くための装備（線量計、マスク等）と、ソフト（その際の操作を明記した手順書等）が必要ではないか。

☆2、隔離弁のうち事故後に閉状態が維持される可能性があるものも、事故後に注水を可能とするために、幾つか考え方はあるかと思いますが、逆止弁の採用、弁の撤去、外部から強制的に開とするシステムなどが考えられますが、どのような対策が適切かという論点。

☆3、ICに限らず、シビアアクシデントを防止・緩和するために重要なもの、圧力容器の除熱ですとか注水機能については、必要な時には強制的に確実に開にできるメカニズムが必要ではないかという論点。

☆4、シビアアクシデントが起こりますと大量の水素が発生いたします。そして、格納容器内の水素濃度は当初は非常に高かった状況と思われますが、内側隔離弁の電動弁は着火源となる危険性はないのかという論点。

☆5、中央操作室での計装を維持するための電源対策は勿論のこと、その情報が中央指揮所、事故対策本部などで、同じ情報が得られるようなシステムの強化が必要ではないかという論点でございます。

続きまして、ICの胴側に給水できている限り弁が開いていれば長時間冷却が可能です。AM策として胴側に整備されたディーゼル駆動消火ポンプを使って水を入れることがございますけれども、このポンプがタービン建屋地下階にございましたので被水し、セルモータが地落して稼働できなかったものと推定しております。

また、このDD/FPというのは代替注水としてもAM策として期待されておりましたけれども、結局それも使えなくて消防車に頼ったということでございます。なお、DD/FPは当然消火系でございますので、建屋全体に張り巡らされております。また、1～4号機間で共用されておまして、地震等によりますリークのリスクも抱えております。

☆6、シビアアクシデント対策。先ほども御説明しましたが、シビアアクシデント対策という言葉の使い方は、規制として要求すべき対策として位置づけられた給水設備の駆動源は、電動と電動以外に多様化する。また、被水を避けるために津波の来ない別建屋とするか、既存建屋で地下に置かなければならないのであれば建屋、部屋の水密化、排水設備が必要だろう。また、発電所内すべて同じような地下に置くのではなく位置的分散、1台は高いところ、1台は低いところというような分散を図るべきではないかという論点。

☆7、その一環として消火系設備をシビアアクシデント対策としての位置づけるのであれば、設備の信頼性の向上が必要と思います。例えば被水しない対策に加えまして、IC胴側への給水及び原子炉への代替注水のためのラインについては、通常の消火系のラインから簡易に切り替えられるようにする。また、地震時における信頼性を向上させるため、耐震性の強化を行う必要が生

じるかと考えてございます。

次に2号機、3号機でございますけれども、これはRCICとHPCIでございます。直流電源で駆動できるわけですが、2号機におきましては直流、交流電源が喪失しましたので、RCICは制御電源として直流電源が必要ですが、津波の到達前に起動していたRCIC、このところが3日ほど継続して動いております。先ほども御説明がありましたように、蒸気流量が何らかの原因で絞られたか、何かでバランスしていたものと推定されておまして、今後、解明が必要でございます。

また、全ての交流電源が喪失したという状況で炉心の冷却が最優先でございますが、動いているかどうかというのはなかなか把握が難しく、結局11日夜中になって作動していることが判明したわけでございます。こういう炉心冷却を最優先すべき状況において、その機器が動いているかどうか直ちに確認する等の対応を、あらかじめ決めておく必要があったのではないかと考えてございます。

☆8、これは先ほど☆1で出てきましたが、シビアアクシデント（その前兆を含む）の判断基準を明確化すべきではないかということ。

☆9、一方、ABWR-IIはまだ提案されているようなものですが、RCICの駆動タービンに発電機が付いておまして、直流電源の充電を行うことができるAdvanced RCICが提案されてございます。このようにセルフスタンディングで駆動するような設備が有効ではないかという論点でございます。交流電源に依存しない蒸気駆動のHPCIですが、やはり直流電源がないと作動ができなかったということでございます。

また、HPCI、RCICはサプレッションチェンバを水源としておりますので、その近くに設置しておまして、地下階でございます。津波等による水没のリスクがあるということで、☆10でありますけれども、津波の来襲時にもHPCI、RCICの作動を確保するためには、水没・被水させないための建屋、ポンプ室の水密化、排水設備が必要であらうかと思っております。

直流電源につきましては前回議論したところですが、

3号機にも2号同様、RCIC、HPCIでございます。

3号機を作動させるために必要な直流電源は水没を免れておりましたので、RCICは起動できております。ただし、停止した原因は制御電源である直流の枯渇による可能性がございますが、2号機でも長期間作動しておりますので、更なる原因の解明が必要と考えております。

RCIC停止後、HPCIは自動起動しております。そして13日に停止。この時点で原子炉圧力容器は0.8MPaまで低下しておりましたので、交流電源があり低圧系が動かされれば利用できたのではないかと思います。逆に言うと交流電源がなかったので利用できなかったということです。

「2. 低圧注水」でございますけれども、今回、高圧での冷却機能が維持されている間に、原子炉の減圧操作、低圧注水系が適切に作動する必要があったわけですが、常設の低圧注水系統は津波により機能喪失しておりました。

具体的には、2号機ではRCICを長時間運転しておりますとサプレッションチェンバの温度が上昇してまいりまして、その冷却のためには残留熱除去系が必要なんですけれども、この残留熱除去系、海水系も冷却系も水没または被水して使えない状況になってございます。

ちなみに先ほど御説明がありましたが、2号機の方は交流電源が確保でき、また、それにより格納容器スプレーで格納容器の熱除去し圧力上昇を抑制しております。また、緊急安全対策ではベントによる熱除をしております。

☆11、このようなことから防潮壁やスクリーンの強化が必要である。

☆12、代替 RHRS または空冷のヒートシンクということで、ヒートシンクの多様化を検討する必要があるのではないかと考えますが、これは格納容器と非常に密接に関連しますので、議論は次々回としたいと思います。

「3. 代替注水について」でございますけれども、代替高圧注水につきましては CRD、SLC、交流を電源としておりますので、これについては☆13、簡易に交流電源が供給できる。電源の供給口については前回議論をしているところでございます。

5 ページ、原子炉圧力容器の減圧及び代替低圧注水でございます。

AM 策として整備されておりました復水補給水系は非常に吐出圧が低いということで、原子炉圧力容器の減圧をしなければ入りません。ただし、今回のような劣悪な環境では、圧力容器の減圧と注水ラインの構成及び注水実施をタイミングよく行うというのは非常に難しかったかと思えます。また、先ほど申しましたように AM 策の DD/FP は津波による被水で停止し活用できなかった。

特に、今回のようにすべての電源が喪失するという、炉心損傷に至るまでの時間が非常に短いシーケンスで、圧力容器減圧と代替低圧注水の準備を短時間で行わなければならないわけです。また、消防車の方は圧は 6～7 気圧でございますので、そこまで原子炉圧力は下げなければならない。ですから原子炉圧力が低下すれば RCIC や HPCI が停止してしまいますので、代替注水への切替えを迅速に行う必要がございます。

☆14、圧力容器の減圧で、途中で逃し安全弁の機能喪失（圧力室素切れ、直流電源喪失）があったことを踏まえ、弁の蓄圧タンクのバックアップシステムですとか、直流電源の確保が必要である。なお、ベント弁については次々回に議論の予定でございます。

☆15、シビアアクシデント対策としての位置づけられた代替注水設備の駆動源というのは信頼性を増す必要がありまして、駆動源の多様化などございます。これは☆6 と同じ内容です。

☆16、注水までの時間を短縮化するために、できるだけ吐出圧力の高いポンプ、耐震強化された注水ライン、建屋外から簡易に接続できるような注水口の整備、手順の整備・訓練が必要ではないかと考えてございます。

最後ですが、今回は BWR に特化して議論していただいておりますけれども、PWR はまた改めて別途検討の機会を設けたいと思っております。

以上です。

○大村検査課長 ありがとうございます。

それでは、検討に入りたいと思います。説明が非常に長くなり申し訳ございませんでした。

検討の進め方ですけれども、冒頭申し上げましたように幾つかの項目に分けて検討していただければと思います。

論点に沿って御議論いただければと思いますが、まず論点ペーパーの高圧での冷却のところ、1 号機は IC、それから、IC への供給ということで DD/FP の件などが出ておりますので、その辺りにまず焦点を絞っている御意見、御質問などをいただければと思います。

それでは、よろしく願いいたします。

○奈良林教授 まずアイソレーションコンデンサーの作動ということですので、これについてまず意見を述べたいと思います。

津波が来るまでは運転員がオン・オフをしていたというのは、先ほどの原子炉圧力の下部にありますので、これは適切な対応をしていたと思います。ただ、そのときに次に大きな津波が来る



ということを予見していれば、2機同時にフルで動かしたはずですね。ですから津波を早く検知するということをしなないと、そのモードが切り替えられないと思います。

参考資料4ということで東電さんの資料が配られていますが、図3の一番最後のところ、最初の津波が来るまでの間の作動のところで、水温が上昇するだけで沸騰していないということになっていますけれども、ここはもう一度ちゃんと評価していただきたいと思います。冷たい水に対して蒸気凝縮して温度差が非常に大きいので、相当の熱伝達が入るはずで、多分、まずここで蒸気が出ていたのではないかと思うんです。出たとするとアイソレーションコンデンサーは建屋から外に蒸気が噴き出すようになっていますので、アイソレーションコンデンサーの試運転をした人に聞きますと、轟音がとどろくような音がして作動するという事になっていますので、ちょうどLOCAが起きたような印象を与えるのではないかと思うんです。非常に勢いよく蒸気も噴射しますので、このところをよく確認いただきたいと思います。

18時18分で動かしているんですけども、ここで作動したとしたら、なぜ10分も経たないで閉めてしまったか。本来ちゃんとここで冷やし切っていればまた事態は変わったと思うんですけども、なぜ閉めてしまったのか。又聞きではっきりはわからないんですが、蒸気の出が弱かったので止めたということをや聞きで聞きました。明日福島に行きますので、東電さんからもう一回説明を聞きたいと思うんですけども、蒸気の出が悪かったということであれば、当然このいろんな事故の経緯を見ると、炉心で水素が出ている可能性があります。そうするとアイソレーションコンデンサーに水素、不溶性ガスが入ると作動性能が大幅に低下します。ですので、10分で止めたというのは私は水素がICの伝熱管の中にたまって冷却能力が落ちて、それで止めたのではないかと考えているのですが、このところは事故の分析について大事なことになりますので、明日是非東電さんから回答いただくようお願いいたします。

その後の21時30分からもそうなんですけれども、本来、冷却が非常に必要だとあれば動かさなければしるはずで、ですから、本来止めてはいけないので、これは津波が来て冷却モードを必死でやっているはずなので、止めたということであれば判断ミスになりますし、水素が来て能力が落ちていて仕方なく諦めて止めたということかどうか、ここは非常に大事なポイントだと思います。

アイソレーションコンデンサーをちゃんと使い切っていれば炉心溶融は防げたはずですので、この辺は事故の技術的知見として非常に重要なポイントだと思います。

○古金谷事故故障対策室長 先生御指摘のアイソレーションコンデンサーを18時18分に開けて、25分に閉めたというところについては、参考資料3にあるとおり、今回我々はヒアリングをしています。

○奈良林教授 覚えていないということで閉操作を行っていると書いてありますね。そうすると、今、参考資料4の水位が低下したというのはおかしいと思うんです。このグラフで水位が低下しているというのは、だから参考資料3の図3のイメージ図というのは、かなりいい加減だと思います。

○古金谷事故故障対策室長 我々も東京電力から聞いている話では、あくまでまだこれはイメージということでございますので、この辺は我々としても更に検証が必要なのかなと考えております。

津波の前に100℃を超えて、蒸気が出ていたのではないかという話については、ここも更に確認してまいりたいと思いますけれども、参考資料3の方でも少し書いていたかと思うんですが、

自動起動したときにも最初に音を確認しているということでございまして、当時すぐに 100℃まで上がっているということはないかもしれませんが、もう少し機能している可能性もあるかもしれないなと思います。

○奈良林教授 非常に重要なことで、音がしているということはそこでちゃんと沸騰状態に入って、蒸気を出して、多分轟音状態にはなっているはずですので、LOCA と誤解する可能性もありますので、非常にこのところの見極めは大事です。

○古金谷事故故障対策室長 ただ、この東京電力の参考資料 4 で、非常に見にくいんですが、2 ページ目のチャートの記録がございまして、見えないのでまた見やすくうまく線を手書きで書くなりして御紹介をしたいと思っておりますけれども、A系のところに黒い字で真ん中ほどに津波到達ごろに 100℃到達ということがございます。これはA系の温度の変化というものがこれだとほとんど見えないのでおわかりいただけないかもしれませんが、東京電力の言うところでは、そのころに 100℃まで上がっていたということもありますので、この辺の上昇の程度とか、その辺が実際どうなのかということも引き続き確認が必要かなと考えております。

○大村検査課長 岡本教授、どうぞ。

○岡本教授 別の話というか、資料 3 が重要だと思うので、これについて確認なんですけれども、今、ディーゼル駆動消火ポンプは被水のため使えなかったと書いてあるんですが、これを確認したいんですけれども、資料 2-2 の 9 ページによれば、この表の中には 5 時半に DD/FP 起動で 1 時 48 分に不具合による停止を確認となっております、1 時 48 分に津波が来て、起動が止まったという理解なんですか。それとも DD/FP というのは複数あるということでしょうか。

○古作事故故障対策室（班長） DD/FP は各号機 1 台がタービン地下に設置されています。その部屋に扉がついているということで、ほかとは若干状況が変わってもおかしくはないかなと思うんですけれども、その詳細ははっきりしないところではございます。実際、運転員が起動して確認をしているということがありますので、なぜというところは若干不透明なところはございます。

○岡本教授 ということは、この 2 ページの下の記載は間違いで、資料 2-2 の方が正しいという理解でよろしいのでしょうか。

○山形原子力安全基準統括管理官 一度は起動したけれども、先ほど言いましたように別部屋になっておりますので、若干時間の遅れがあつて水が入ってきた。そして多分地絡だと思っておりますけれども、動かなくなったと理解しております。

○岡本教授 5 時半の段階では使えたんだけど、1 時 48 分には津波の水が入ってきて使えなくなったという理解でよろしいわけですか。これは地下何階に設置されているのですか。1 階ですね。ほかのものと一緒のレベルに置いてある。ただし、水密性がある程度あったので時間の遅れがあつたということなんですか。それともだれかが扉を開けたおかげで水が入ってきた。

○山形原子力発電安全基準統括管理官 それはわからないですけれども、場所的に少し離れたところで、かつ、バッテリー室のように大きなところではなく、少し小さな部屋、独立した戸のある部屋になってございます。

○岡本教授 わかりました。では、この記載はぱっと見ると矛盾があるように思えますので、基本的には設置場所が問題であるということに関しては了解しました。

ついでなんですけれども、上の☆ 4 です。BWR なので格納容器内に酸素がないと思うんですが、ここで電動弁が着火原となる危険性というふうに書かれたのは、PWR だったら何となくわかるんです。

○山形原子力安全基準統括管理官 これは事故当初といいますか、少し時間が経った後になりますけれども、そのような段階では高い水素濃度ではなくて、それが出た後になりますと水の放射線分解による水素の方が、今の例えば少し時間が経った後ですと、そのような状況になってくる。そうすると着火原というのは非常に心配になってくるということです。

○岡本教授 酸素濃度は5%、4%、5%、5%ですけれども、そこまで酸素濃度が放射線分解でできる。それにはどのくらいのかかるのでしょうか。数か月。

○山形原子力安全基準統括管理官 水蒸気の発生量次第でございますが、今回の場合は水蒸気の発生量が多い状態が長く続いておりましたので、水素及び酸素の分圧は低い状態でございますけれども、仮に冷却がうまくいって今のような状態になりますと、格納容器全体が冷えて60℃程度になっていきますと水蒸気分圧も下がりますので、少し心配な状況になってございます。

○岡本教授 わかりました。そういうことであれば強制的にどこかイグナイターのようなもので燃やしてしまうとか、そういう積極的な対応の方がよくて、電動弁が着火原となる危険性があるから使わないというのは全く逆の議論かなと。コーションだということで理解はいたしました。

とりあえず以上です。

○大村検査課長 どうぞ。

○渡邊グループリーダー ICについて幾つか聞きたいことがあるんですけども、まずICの設計思想でわからないところがあって、55℃/hで冷却速度が超えてしまうので止めたということなんですけども、もともとICというのは圧力制御が主たる目的なので、そんなに早く冷却する必要性はないはずなんです。だからこれがどうしてそういう制約をつけるほど冷却速度がでかくなるようなシステムだったのかというのがまず疑問なんです。

直接これで止めなくても、電源がなくなって結局弁が閉まって使えなくなってしまうことはあったんでしょうけれども、ただ、本当にこういう設計思想というのはどういうときに使おうとしていたのかというのはよくわからなくなってしまうので、そこを少しははっきりさせていただきたいなと思います。

2つ目は、今日、敦賀1号機のICの作動状況の例が御紹介あったんですけども、どうして敦賀1号機であって福島第1の例がなかったのかなというのが疑問で、実際に福島では1回も使ったことがないのかというのが疑問です。

実は運転手順書が先月、東電さんから公表されてまして、それを見ていると敦賀のような運転にはICを使わないんです。要するにMSIV閉誤を伴う原子炉スクラムのときにICはどこにもフローチャートに出てこない。逃し弁で圧力制御をしてHPCIで水位を制御するというやり方をとって、どうも図1と運転手順が違うのかなという気がします。

全電源喪失のときにICを使うようになっているんですけども、ICを使うときの前提がHPCI水位で推移を確保した後に圧力を制御するという前提になっていて、今回のようにHPが作動する前に圧力高でICが先に作動するということが手順書上は読めない。では手順書のフローチャートをつくったときの描いたシナリオと今回のシナリオは何が違うのか。外部電源が喪失した、全交流電源が喪失したということ自体は手順書の中で1つの事象として考えているのに、どうも違うシナリオをとっている。そこが少しわからないなという感じがします。

東電さんが今週出した資料4の中で、先ほど奈良林先生もおっしゃった沸騰しているのではないかという話なんですけども、70℃というのがいっぱい書かれていて、この70℃までの上昇というものを出したのは、恐らく55℃/hの冷却速度を10分間やった結果だと私は理解しているんですけども、

この辺の説明をもう少しすれば先ほどの御質問はクリアーになるのかなと思います。

もう一つ、設置許可申請書に復水タンクの冷却水は補給しなくても2基のタンクで8時間、別の資料によると6時間となっていますけれども、原子炉を冷却することができる。この時間というのは弁の開閉を一生懸命やった上での話なのか、それとも実際に何もせずにできるような設計思想を最初は持っていたのか、ここに書かれている申請書の記載のまま読もうとすると、もうほとんど何もしなくてもこのぐらいの時間は持つだろうというように私なんかは認識してしまうんですが、どうもそうではなくて、手動操作を一生懸命やるとこのぐらい持ちますよということがここに書かれているのかなという感じも今するんですが、そこの整合はどうなっているのかというのを調べていただきたいと思います。

○古作事故故障対策室（班長） 何点かあろうかと思いますが、最初はICの性能の観点ですが、最後におっしゃっていただいた設置許可で水の補給なしで8時間ということが大前提の条件です。そのときには基本的には水量で決まる。8時間というのは水量です。トータルの熱量をどれだけとれるかということで水量で決まっています。

一方でスピードで言うと蒸気量になってきまして、ここは詳細は詰めて今JNESの方に解析をお願いしているようなところもありますので、そこも含めて御紹介できればと思いますけれども、基本的には結構速く送るような状態になっていまして、その結果として55°C/hという速度ではなく、早々に落ちるという状況になってございます。

手順の関係でございまして、今、御紹介いただいた外部電源喪失での手順では敦賀においても同じでございまして、まずHPCIが作動ということで水位を維持して、その後、ICを手動起動しまして圧力制御をするということになっていて、基本的には一緒でございまして。

福島第一と敦賀の違いといいますと手順で、敦賀はICを使うという決め打ちをしております。一方で福島第一の同じ場所はSRVとICを「または」でつないでおりまして、実際にはSRVでやったのではないかと思います。運転員に聞いても、当人の記憶の中での話ですので断定ではないですけれども、直近で、20年ぐらい作動実績はないのではないかとということです。昔に作動した経験はあるというようなことを聞いているということではございますが、やはり主体はSRVなのではないかと考えてございます。

設置許可の8時間というのは先ほど御紹介したところでございまして、その点は敦賀も同じで、基本路線は8時間程度、水を確保しておく。その後は補給をするという設備状況でございまして。

○渡邊グループリーダー 今の御回答に対して1つ確認なんですけれども、参考資料3の2ページに55°C/h以下の運転制限というのは、今までの繰り返しの運転操作の訓練を通じて体に身にしているという答えになっているんですが、どうも今の回答だと体に身にしているとは思えません。使ったこともなさそうだし、SRVをベースにしているんだったらこういう格好にはならないのではないか、こういう回答にはならないのではないかと思います。

○古作事故故障対策室（班長） これは言葉尻なかなかはっきりしなくて申し訳ございません。55°C/hというのはICを使った55°C/hではなくて、一般論として炉を制御するに当たって温度を急に下げないという趣旨での回答でございました。なので、この場合のこの場所という意味ではなくて全般論です。

このとき地震が結構長く続いて、2～3分続いていましたので立てる状況になかったということとございまして、まずは身の安全を確保するというところで、一時しゃがんだ状態でした。その

後、立てるようになって状況確認を始めた。その確認のときに炉圧が下がっているという確認がとれたので、ICを止めるという操作に入ったということです。なので敦賀ですと地震はありませんので、下がっている段階で確認がとれて手動で操作ができたということではございますが、今回の場合は確認をした時点で既に炉圧が下がっている、イコール温度が下がっているということで停止動作に入ったというところで違いが出てございます。

○渡邊グループリーダー もう一点なんですけれども、今、止めたという話はわかりました。ICに限った話ではない。要するに冷却速度だけを見ていた。そのときに、まだその段階だと水位は多分はかかっていたというか、見られていたのかなという気がするんですが、もともとの手順だとHPCIを動かすことを前提にしているということであれば、止めた段階でHPCIを動かすということは頭の中になかったのかどうか。要するに止めてHPCIを動かしていれば、また別な展開になっていたなという気がするんですけれども、手順を見る限りではHPCIを優先するという形になっているので、どうもそこが解せないんです。

○古作事故故障対策室（班長） HPCI優先なのは全交流電源喪失なんですけれども、当初はまだ交流があり、手順としてはその前のスクラムでMSIV閉というものだったので、これは圧力制御というところで。

○渡邊グループリーダー MSIV閉を伴う原子炉スクラムにはICは手順書の中に出てきていないんです。

○古作事故故障対策室（班長） 表題にはないんですけれども、運転員の操作のところにはICまたはSRVとなっています。

○渡邊グループリーダー フローチャートにはないんですよ。

○古作事故故障対策室（班長） 手順書の流れのところにはあるんです。

○渡邊グループリーダー 記載の中にはあるんですか。

○古作事故故障対策室（班長） あるんです。

○渡邊グループリーダー フローチャートにはなくて。

○古作事故故障対策室（班長） はい。なので、言われるようにSRVを基にしているんだろう意識を感じます。ですが、そのSRVで圧力制御、圧力調整という項目の中には、操作の中にICまたはSRVと書いてございます。実際、今回はICが作動していましたので、それでICを継続して使うことになったということでございます。

○渡邊グループリーダー ということは、フローチャートそのものが全交流電源のところにはSRVまたはICとちゃんとフローチャートに書いてあるのに、要するにMSIV閉スクラムのときにはそれが書いていないということなんですね。

○古作事故故障対策室（班長） もう少しちゃんとお話をしますと、スクラムのところの手順に項目では原子力圧力調整となつてございまして、当直長のところはSRVによる原子炉圧力制御指示となつておるのでございますが、操作員Aの操作内容としては、SRVを順次「手動開」または非常用復水器使用により原子炉圧力「7.6MPa」～「6.27MPa」に維持、実施報告と書いてございまして、実態としては両方どちらか選択して使えるところになつてございまして。表記上どうかというところはございますが。

○渡邊グループリーダー SBOのときと書き方は違っているのですか。

○古作事故故障対策室（班長） そうですね。ここの内容でも部分によって書き方は変わりますので、そこはICが使える状態にはなつてございます。

○大村検査課長 ほかの先生方いかがでございましょうか。

○二ノ方教授 やはり IC の作動状況の件です。要は 6 時半に閉操作を行ったそれなりの理由はあると思いますが、結果的に閉じたということが本部の方に伝わったかどうか分からないということが言われています。現実問題として、ホットラインが 1 本あった。それを使って連絡がされて認識はされていたと考えてよろしいわけですか。所長はそれを認識されていたということですか。

○古金谷事故故障対策室長 その点は緊急対策本部というか、所長あるいは幹部が発電所の中にある本部でございませけれども、そちらの方では IC についてはずっと作動しているという認識を持っていたということでございまして、その辺の実際の操作と本部での認識というものが食い違っていたということ。

○二ノ方教授 それは確実に確認されたわけですか。

○古金谷事故故障対策室長 それは、そういうことでございます。

○二ノ方教授 そうすると、いわゆる中央制御室と本部との間のコミュニケーションラインというものが、全電喪になったとき以来ほとんどなくなったというわけですね。ホットライン 1 本あるかないか。ドコモとかそういう携帯等の手段全部含めて。

○古金谷事故故障対策室長 1 つありますのは、先生御指摘のとおり、通常、所内は PHS の電話を使っているということでございますが、電源がなくなってアンテナのバッテリーが枯渇して動かなくなって、所内は通信できなくなった。それから、プラントのパラメータを本部の方で表示するシステムがあるわけでございますけれども、こちらの方も機能しなくなって、本来であれば同時にプラントのパラメータが把握できるようなシステムが本部の方にもあったわけですが、そちらの方も機能しなかったという実態がございました。

○二ノ方教授 そういう状況のときに、現場の判断、実際の操作とか、実際にその後ずっとしばらく続いたのだらうと思いますが、そういう事態のときに、現場に任されている判断や権限はどうなっているのでしょうか。現場と緊急対策本部との間の関係、所長との間の関係を御説明いただければありがたい。

○古金谷事故故障対策室長 基本的な考えとして我々が理解しているのは、プラントの操作については中央操作室の方で基本的に判断して行うということかと思えます。ただ、当然これだけの事態でございませるので、さまざまな周辺の対策も必要になる状況かと思えますので、そういったことを含めた総合的な対応については、本部と一体となっていく必要があったかと思えますけれども、そういったところは今回、情報伝達の部分が非常に遅くなっていたということがございましたので、そこがうまくできなかったところがあったのかなと思えます。

○二ノ方教授 実際問題として、迅速で正確な情報が伝えられて、それに基づいて的確な判断を行う。その判断が結局現場の方に伝わらなければいけないということで、その 1 つの失敗例としては例えばアイソレーションコンデンサーが閉状態のままであったとか、そういう操作ができなかったということと考えるとよろしいわけですか。こういうことに関して規制側から、今後情報伝達の手段の確保とか、そういうところについては何か具体的に要求されるべきではないのですか。

○古金谷事故故障対策室長 今回の資料 3 でも論点 5 という形で少し記させていただいておりますけれども、そういった情報を得るシステムの強化は、資料 3 の 2 ページ目でございますが、そういったところで我々の方としても問題提起させていただいております。

○大村検査課長 今の点につきましては緊急安全対策の中でも電源車等の電力を使って、そういうコミュニケーションを確保するという事で対策はとられることとなっております。

今日、東京電力の方にもオブザーバーで来られていますので、今の中操と本部とのコミュニケーションであるとか、現場の判断、この辺りについて今のような議論でいいのかどうか、もしコメントがあればお話いただければありがたいのですが。

○東京電力 所長が認識していたという話は、政府事故調さんの方での確認事項と伺っておりますので、当社からそれが事実かどうかとか、そういうところを現状をお話できるようなところではございません。つまり、今のところ弊社の方としてはきちんとお答えできない。

ただ、インタビューにもありますとおり、なかなかコミュニケーションがとれなくて、中操の方からも具体的に連絡はしていたんだけど、具体的な連絡事項まではわからないというところもございますので、そういった電源喪失の中でコミュニケーションがしっかりできなかったというところはございますが、所長が IC の件を認識していたかということは、政府事故調さんの方で調べられているという話ですので、私どもの方からお話することはできないということです。

○二ノ方教授 やはり気になりまして、例えばそういう正確な情報がきちんと伝わっているかどうかとか、どこまで情報が伝わっていたかとか、どこから所長の判断とか本部の方の判断が現場の方に伝わっていたか伝わっていなかったかというところは、具体的に精査する必要があると思います。例えばいろんなそういう通信手段がいつ途切れたかとか、いつ回復したかとか、そういうデータをそのうち是非調べていただきたいと考えます。

○大村検査課長 そのコミュニケーションとか計装の関係はテーマの1つに挙がっていますので、今後の意見聴取会で年明けになると思うんですけども、そのときに少し取り扱わせていただきたいと思います。

○二ノ方教授 よろしくお願いします。

○山口教授 資料3の話なんですけれども、2ページに☆1からずっと書いてありまして、1番目のところの炉心冷却を最優先すべき状況の判断基準、それから、その判断を可能とするための対策。ここは私は賛成です。今の AM の整備報告書なんかも、例えば代替注水なんかは炉心の液が低下することを確認してから注水しなさいと書いてある。ところが、今回は炉心の水位がどうなっている状況かというのがわからない状況で判断しなければいけなかった。それを考えると AM の手順書にあるように何らかのパラメータを見て、その上で判断するというのは、AM の策の基本としては適切ではなくて、AM は非常事態のときに対処すべきものですので、そういうパラメータなどがないという前提でどれだけできるのか。それを基本に決めるという意味で☆1は非常に賛成いたします。

関連して今、議論にもありましたけれども、情報が得られるシステムの強化なんですけど、この辺りも今回例えば事故で何が生き残っていればこういう状態が防げたかというものをいろいろ考えると、多分、1号機が水素爆発しなければ防げて、そのためには IC が重要だった。これは多分皆さん御意見があったとおりになだと思います。

そのときに今、監視の話と関連して5番目の☆で情報が得られるシステムの強化。これは確かに重要で、そのために先ほど例えばいろいろな場所で得られるようにするとか、電源車を使ってというお話があったんですけども、やはりこれも現実には今回、監視が得られないということは想定しなかったんですけど、ああいう形でパラメータが何も見られなくなってしまった。今回特に例えば重要免震棟なんていうのがあったのは非常に運がよかったと言えばあれですけども、そういう面もあるわけなんです。そうすると☆5で情報が得られるシステムの強化というそれだけではまずくて、それがなくなるときに現場でいかに適切に判断するかというところを考える必要が

ある。

その関連で言えば、☆3とか☆2とか、外部から強制的に開とするシステムとか、必要なときに確実に動作させることができるメカニズムとか、それがセットで考えられるべきだと思います。

AM策のところでは基本的には1～5というのは適切な提案だと思うんですが、その中でアクシデントマネジメントを考えると基本としては、そういう情報が得られないときに対処できるというものをベースにして、するものとセットで考えるべきで、その点から言えば☆5のシステムの強化というのはAMというよりも、むしろ設計でちゃんとやりますという話なので、そこだけでは片手落ちかという印象を受けます。

以上、最初の高圧注入のところでの話としてはおおむねいいんですが、今のような観点でパラメータがない、あるいは異常な状態、監視できない。そういうものを前提としたときにAMがきちんととれるかという観点で、整理し直していただくことが必要なのではないかと思います。

○大村検査課長 ありがとうございます。

○奈良林教授 この間、2週間ほど前なんですが、岡本先生と一緒にフランスとスイスに行ってきました。それで☆1とか☆2に関係するんですけども、スイスのライブシュタットではバルブを操作するのに、これはベント弁なんですけど、シャフトをずっと離して、遮蔽壁の外に出して、放射線も浴びないし熱い靴底が溶けるような環境でバルブを操作をしなければいけないというようなことではなくて、操作をする人の安全を守って着実に手動でも開けられる装備がされていました。そういうしっかりした装備がちゃんとスイスには付いているんです。

ですから、今回こういう事故が起きてしまって非常に残念なわけですけども、そういったスイスの方では着実にバルブを操作できる非常に重要なものについては、例えば電源が落ちてでもバルブを操作できるようにしておくことは非常に大事だと思います。ですから、今、緊急安全対策がとられましたけれども、実際にスイスの深い現実的な対策がとられているということを踏まえて、もう一度見直していただく必要があるのではないかと思います。

今ここに書いてありますけれども、マスクとか線量計を使わなければいけないという環境で緊急安全対策を求めるといのは非常に酷な話で、今回非常に厳しい環境の中でそういった作業をされている方が大勢、東電さんもいたわけですが、そういうことをしなくてもできるような装備も日本の発電所にもつけるべきだと思います。

スイスではヒートシンクがちゃんとしっかり用意してありました。これはスリーマイルアイランドの直後に設置したということで、非常に強力なヒートシンクを持っています。これは地下水を利用するというシステムです。ですから今回サプレッションプールの冷却ができなくて、PCVの圧力も上がって、炉圧もその影響を受けてしまいますので、なかなか代替注水の消防車のポンプでも注水ができなかった。

それで今、1号機はアイソレーションコンデンサー、2号機、3号機についてはちゃんとサプレッションプールの冷却ができていれば、もっと適切なタイミングでしっかりした注水ができたと思うんです。ですからサプレッションプールの冷却を多様なヒートシンクによってしっかり冷却することをちゃんとやるべきだと思います。

海からずっと海水の冷却系でやって、最終的にRHRを復旧できたというのは、今、福島第二サイトあるいは福島第一の5、6でやられていますけれども、これはものすごい大変な作業です。お聞きしているともものすごい長さの電線(約9km)も引かれていますし、重いケーブルを敷設する作業です。ですから、そういう作業をしなくてもちゃんとヒートシンクが着実に確保できると



という仕組みを今の発電所に持たせるべきだと思うんです。勿論、深層防護の観点からそういった機材を備えておくことは必要ですけれども、それにも増してそういう作業を必要としないアクシデントマネジメントが非常に重要だと思います。

☆4なんですけれども、いろいろとデータを見てみると、ベント作業をやった後に数時間後に水素爆発が起きているように見えるんです。1号機と3号機。2号機は上が建屋のブローアウトパネルが開いて水素の逃げ道がありましたけれども、いろいろと調べてみるとSGTSのラインと耐圧ベントが今、接続されて併用になっています。そうするとSGTSのシステムのバタフライ弁はフェイルオープンなんです。それで耐圧ベントと系統が接続されていて、そこを仕切っているのがバタフライバルブ1個なんです。そのバタフライバルブがもしリークしていると、換気空調系の方にSGTSのラインから水素が行ってしまいます。そうすると、火花が着火原になるということが書いてありますけれども、建屋の外でそういうことが起き得る可能性がありますので、SGTSのラインと耐圧ベントの系統の分離とか、バタフライ弁のリークがしないようにとか、こういった対策をしっかりとる必要があると私は思います。そこら辺のところもよくわかりませんので、バタフライ弁のリークはあるかないか、そういったテストも実際にやっていただきたいと思います。

あと、格納容器の中は高温になりますといろいろな電動弁とか、あるいはSR弁の電磁弁のコイルが高温になるとどこまで持つかという問題があると思います。ですから、非常に格納容器の中が高温になった状態で、そういった機器の作動を求めるというのは非常に大変だと思います。

格納容器の内圧が上がって減圧した後、水位計のリファレンスレグが高温になっていますので、当然減圧沸騰して失われます。水位計の機能回復は手押しポンプでリファレンスより水を送って回復したと聞いていますので、このアクシデントマネジメント上、そういう意味が非常に大事ですので、そういったことがちゃんと設備としてリファレンスレグへの補給水ができるように考えていただきたいと思います。

○大村検査課長 ありがとうございます。

今の水素での検討は格納容器の格納機能辺りを含めまして、次々回になると思うんですけれども、そこで検討させていただきたいと思います。

○勝田准教授 説明ありがとうございました。

まず、簡単な質問からです。東電のヒアリングの件なんですけど、保安調査の件なんですけれども、これについて今後どういうふうに進めていく予定があるのかないのかというのを聞きしたいと思います。

この中身については東電職員と書いてあるんですが、具体的に本当に作業をした人なのか、それとも作業した人を指揮した立場の人なのかということを知りたい。

あとは、これは恐らく1名だと思うんですが、複数の人から聞くことは今後考えているのか、もしくは1号機以外のことについて今後調べていく予定があるのか、それを教えてほしいと思います。もしそうでないのであれば、これはあくまでも1人の意見なので、これに振り回されるのは危険かもしれないので、そこら辺を今後どういうふうに進めているのかというのが1つあります。

恐らく今回の話にはならないのかもしれませんが、水素爆発の件については結局、事故が起こるまではどの程度その危険性を現場が理解していたのか、個人的にわからないところがあります。そういうものを踏まえた上で今後はデザインしていかないといけないと思うので、そこら辺を教えてほしいのがあります。

あとは今回いろんな対策について議論がされているわけですが、勿論それによって作業者の人たち、あるいは指揮する人たちの能力が問われていって訓練していくこととなります。勿論それは通常の運転についても、機器の事故の場合も必要ではあると思うんですけども、むしろ事故の場合は極端なことを言えば訓練をしなくても作業できるような、練習していなくても簡単に作業できるようなことも本当は必要かもしれないと、そこら辺、トレーニングなしでもシンプルに復旧作業ができるような考え方も1つあるのではないかという気がしています。

例がいいかどうか分からないのですが、今回ロボットが入ることになって、日本でやってきたようなかなり複雑で洗練された技術よりも、むしろシンプルで本当にコントローラー1つで簡単にできた、もしくは無線ではなく有線でできたようなことが活きたということもありますので、むしろシンプルに考えることがもしかしたら必要なのかなという気もしています。

計測装置について、勿論、信頼性向上ということが書かれているんですが、具体的にはどういうことをすれば信頼性向上になるのかなというのが、ちょっと私もこれから考えていきたいとは思っているところです。結局、幾らモニターが見られたとしても、果たしてこれが正しいのかというのはいつまで経ってもその疑念はつきまとうので、それをどういうふうに考えればいいのかという気はしています。極端なことを言えば、本当に炉心がのぞき窓でも付いているぐらいな、本当にそのぐらいのことがないと信用できないという話になってしまいます。そういうものをどういうふうに考えていけばいいのかというのがあります。

それにつながるかもしれないんですが、これは極端な話かもしれないですけども、核融合の分野ではそれを目指しているわけですが、リアルタイムのシミュレーションが究極な目標としては1つあるんです。これは勿論実現するのは難しいわけなんですけれども、もしかしたらリアルタイムにシミュレーションして内部がどういうふうに動いているかというものを判断の目安とするような、そういう研究開発ももしかしたらこれから必要なのかなという気がしています。これはアイデアだけなので具体的な話ではありません。

事故が起きたとき、今までの過去の1回、2回ときには例えば電気の流れについて見てきました。今回も冷却水ということで水の流れを見ていたんですが、恐らくこれから考えないといけないのは事故が起きたときの内部の汚染された水の流れ、もしくは気体の流れ。気体の流れというのは恐らく水素爆発の話にもつながるかもしれないんですが、事故が起きたときにどこにどういうふうに物が流れているかというのを調べた上で、例えばモニタリング装置をどこに置くかというのを考えていかなければいけないので、そういうことがこれから問われていくのかなという気がしています。

以上、感想です。

○大村検査課長 何点かございました。

水素爆発については次々回ありますので、そのときに検討させていただきたいと思います。

インタビューの件ですが、その辺の詳しい状況をお願いします。

○古金谷事故故障対策室長 今回特に、やはり1号機は早期に事象が進展したということがございましたので、そこについて保安調査をしてきたということでございまして、今後必要に応じてやっていきたいと考えております。

この調査をだれに聞いたのかということについては、余り個人を特定するような形での御回答はできかねるところではあるんですけども、当然中央制御室の操作をよくわかっている方ということで複数の方にヒアリングをさせていただきますので、1人ではなくて複数の方に聞いていると

ということで御理解をいただければと考えております。

以上です。

○大村検査課長 時間も押してまいりましたが、では、ごく簡単に。

○渡邊グループリーダー 前回、私の意見に反映された形になっていると思うので、資料3の2ページの☆2のところ逆止弁の採用、弁の撤去、外部から強制的に開という3のオプションをここに挙げてあるんですけども、多分、弁の撤去はないと思います。そうすると逆止弁はどうかという話になると、逆止弁はこちら向きしかなくて、要は反対からのものはいいけれども、蒸気破断が起こったときには何の役割もしないので、これもどうかと。むしろ強制開とするメカニズムはいいことはわかるんですが、ほかのフェイル・アズ・イズでこういうシステムになっているものがPWRとかでもあるかもしれないので、その辺どういうつくりになっているのかというのを調べていただいて、対策案を検討した方がいいのかなという感じがします。

○大村検査課長 ありがとうございます。

○JNES 今の☆2に関してなんですけれども、シビアアクシデント対策としてフェイル・アズ・イズがいいかわかりませんが、事故解析や何かほかの事象に対してどういう影響を与えるのかということは、少し確認しておいた方がいいのではないかと思います。

○大村検査課長 それでは、次のパートに行きたいと思うんですけども、2号機及び3号機について3ページ目以降ですが、ここではRCIC、HPCIで、☆で言えば8～9ということで再掲のものがダブっておりますけれども、このパートにつきまして何か御意見なりあればよろしくお願ひします。

○二ノ方教授 報告書のまとめ方に関してですが、1.で高压での冷却となっています。高压の冷却の中で1号機、2号機、3号機。それから、4ページ目になってやっと低压注水が2.で出てくる。それが代替注水になってきているわけです。高压注水のセクションで、部分的に減圧から低压注水に移る範囲、その辺の操作の内容も高压注水のところに入っている。タイトルを変えられるか、もう少し中身の再構築というか、構成を考えていただいた方がいいと思うんです。

そのときに考えていただきたいのは、今回の事故の一連のタイムラインという意味では、高压の状態から減圧を行い、直ちに注水を行って熱を運ばなければいけない、除熱源を確保しなければいけない。その(減圧、注水、除熱)の3点セットでいくわけです。別々に議論していると、それらの関連性が理解されにくいところがありますので、どこかで減圧と注水、RHRの機能が1つでもなくなったらだめなんだという議論を、どこかでやっていただきたいと思います。

最終的にRHRがなくなったときにはどうすればよかったかという、(PCV破損の後にフィード&ブリードで)実際にはやっているわけです。蒸気は環境に放出してしまっていたんです。(事故初期においては)実際にはベントによる大気への放出のことですが、そういう除熱のいろんなモード、多様性ということについて最後にちょっと触れてありますが、そういう多様性が今回非常に重要であるということが指摘された事故だと思います。そこを少し強化して書いていただければいいと思います。

○田中教授 ありがとうございます。今の二ノ方委員と同じでございまして、システム的に全体を見るということが大事かなと思うので、それをしっかりどこかに書くことと、☆8はハードとソフトでそうかと思うんですけども、ここに挙がっていること以外にも対応できるものもあるし、ハード、ソフト別々に考えるのではなくて、これについてもシステム的に考えていって、本当に必要なものは何であるかというのは、もう少し掘り下げが必要かなと思いますので、よろ

しく願います。

○渡邊グループリーダー 事象の進展の話なんですけれども、資料3にはRCICがなぜ停止せずに動いていたかに関しては、さらなる検討が必要だと書いてあるんですが、ではなぜ止まったのかということもちゃんと調べなければいけないと思いますけれども、それを追記しておいてください。

3号機の方が少し問題というか厄介な感じだと思うんですが、RCICが動いていてHPに切り替えて、HPに切り替えたときに一時的に圧力が下がったという状況になっていまして、資料2-2を見ると余りその理由が書いていないですけれども、東電から7月末に出された資料によると、テストバイパス弁を使って流量を一部サプレッションプールに流していた。要するに流量を絞った関係で圧力が下がったという見解が示されているんですが、それはまだ保安院として公式な見解としては認めていないということなんでしょうか。

というのは、それが通常の運転手順だ、HPの運転手順だという格好で東電は発表しているんですけれども、どうも非常用炉心冷却系に対してそういう運転をするのかというのが非常に解せない。どうして補助系であるRCICに対してそういう運転はしないのか。RCICはただ単に動かしているだけなんですけれども、どうも設計思想としては逆なのではないか。補助系を手動で制御しながらやって、ECCSは自動できちんと動くようにするというのが本来の設計思想なのではないかなと思うんですが、どうもその辺が今回の要するに東電の発表とうまく頭の中が整理できないというか、合致しないなという感じがしますので、そこをもう少しクリアーにしていきたいなと思います。

HPとRCICの3号機の場合は別の直流電源で切り替えていったということで、RCICは電源なので多分なくなっただろう。HPはあんな短い時間だったんだけれども、何でなくなったのかなというのもよくわからない。別のバッテリーだったらもう少し持ってもいいのかなと。だからHPが最後に止まった理由が今度はよくわからない。そこに疑問があります。もう少し調べていただければと思います。

○古作事故故障対策室(班長) まだ整理できていないので、個人的な所見のような状態ですけれども、操作の観点は東電さんで対外的に御発言されてはおりますが、東電さんとして正式見解として我々の方にお話をさせていただいていない状況で、我々としても認定以前の問題になってございます。

止まった理由でございますが、2号はバッテリーはないので動作状況でということで、どこの動作状況がというのがわからない状況でございますけれども、3号機につきまして特にHPCIについては炉圧が下がってございます。ある程度1MPaぐらいで維持していたというか、結果としてそこでキープされていたものが、すんと落ちたところで止まっているというトレンドになっております。なので場合によっては蒸気管圧力低でトリップした可能性もありますし、その後、バッテリーが枯渇しているという話もあるので、そのタイミングで枯渇した可能性もございます。まだ特定はできておりませんが、プラントのデータという観点ではそういう可能性がございます。

○大村検査課長 いかがでしょうか。

○奈良林教授 先ほど言い忘れたんですが、水素の話に戻りますけれども、制御盤の充電用のモバイル電源を持っているんです。ですから今回非常に残念なのは制御盤の電源が失われてめくら運転になってしまった。それで冷却系もいろいろと操作が遠隔でできなくなったということなので、是非制御盤の電源を確保することを最優先に考えていただきたい。

それから、ICのロジック回路が電源落ちて誤信号を出すようではだめで、少なくとも回路の方の電源をバッテリーでサポートするとか、外電が落ちてDGが起動するまでここでも変な信号を出していますけれども、そういうことがないようにバッテリーのバックアップをちゃんとして、そのバッテリーの方も枯渇しないように制御盤の電源から充電できるようにする。

今、3ページの☆9でABWR-IIでAdvanced RCICと書いてありますけれども、これは当然今のプラントにでもこういったことをしっかり考えていただいて、スタンドアロンでHPCIの蒸気タービンとかRCICがちゃんと動くようにしていただきたいと思います。

蒸気タービンなんですが、たしかバロメトリックコンデンサという蒸気の冷却系がありますね。それとサプレッションプールの温度とか、そこら辺をはっきりさせていただきたいと思うんですけども、そこら辺はわかっていますか。

○古作事故故障対策室（班長） 確認ですけれども、バロメトリックコンデンサは確かにございますが、それとサプレッションプールの温度というのは。

○奈良林教授 2つに分けるべきかもしれません。サプレッションプールの温度でポンプのNPSHに関係してきますね。そちら側で注水できなくなった可能性もあると思うんです。それから、蒸気タービンの方は最後に止まったのは蒸気の圧力低なのか、タービンとしての復水側のコンデンサに問題があったのか、そこら辺がいろんなデータを拝見していてもわからないので、その辺をはっきりしていただければと思います。

○古作事故故障対策室（班長） 論点それぞれあろうかと思いますが、確認をいたします。

○大村検査課長 よろしければもう一つパートがありますので。低圧の方ですけれども、4ページ目から最後までということで、「2. 低圧注水」「3. 代替注水について」いずれも低圧の注水の話で、☆でいきますと11～16ぐらいまでとなります。この部分につきまして御意見なり御質問なりあればよろしく願いいたします。

○岡本教授 注水の前の減圧の話はどこですのかなと思ったので、その前だったのかもたしかなんですけども、先ほど二ノ方先生もおっしゃられていましたが、1号機、2号機は電池がなかったので減圧できなかったんですけども、多分これは資料の中にも書いてありますが、厳しい判断で、どこで減圧するか非常に重要な判断だったと思います。

最初にいろいろな発電所を聞いていると、とにかく減圧して低圧系で冷却するプラントもあれば、比較的高圧で維持をして崩壊熱が下がるのを待って減圧していくというプラントもある。そういうところは今回のほかの女川とか東海第二などいろいろな減圧のパターンとられているんですけども、そこら辺はいろいろ事業者さんごとに減圧の考え方が非常にいろいろあって、どれが正しいということにはならないと思うんですけども、どういう場合にはどういう減圧がとかいうのは、ちょっと場合によってはいろいろスタディしておいた方が今後のためにいいのかなと。正解は多分ないんだと思うんですけども、こういうふうな減圧をするとうまくいかないとか、こういう減圧をするとうまくいくということは、ある程度わかってくるのかなと思っています。

逆に言うと、そういうスタディはされていて、福島第一では可能な限り高圧で維持しようということで、基本的にはADSとかSRVとか使っていない。それで最終的には減圧したんですか。

○古作事故故障対策室（班長） 作業としてはSRVを手動開して減圧するという操作をしています。

○岡本教授 そのときに低圧注水が遅れた、代替注水が遅れたという判断なのか。1号機の場合はどういうわけか減圧されていますので、夜中5時ぐらいから代替注水をされて80t入れられて

いると書いてあるんですけども、非常にここにもしっかり書いてあって、減圧のタイミングと注水のタイミングというのは非常にむずかしい。ほとんど時間がないということであれば、逆に言うとその部分をしっかり今回の事象も含めて評価をした上で、今後どういうふうに、こういうことが二度とあっては困りますけれども、考えていかなければいけないか。場合によったらもう少し早い時間に、電池がいっぱいある間に減圧とかそういう手もあったのかなというのは、少し考えています。

後でいろいろああすればよかった、こうすればよかったというのは考えたかもしれないんですけども、今後につなげるために非常に重要な視点だと思しますので、その辺りの減圧のプロシージャについての評価を是非教えていただけたら、大体ここに書いてあるとおおり、☆13 とか☆14 は同じようなことが書かれているので、結局同じことになろうかと思えますけれども、基本的には電源の重要性が非常に重要になってきて、特に直流電源の重要性だと思えますけれども、その辺りのプロシージャの細かいところを是非教えていただければと思います。

○奈良林教授 今、岡本先生がおっしゃられたことは非常に重要なことだと思います。SR 弁で減圧するという事は、減圧すると同時に蒸気がサプレッションプールに出て水位も失われます。たしか3号機だったと思うんですけども、アクシデントマネジメント、注水が遅れてせっかく減圧したのにまた上がってしまっています。そうすると、今度は消防ポンプで水も入らなくなってしまいますので、そこら辺の手順を実際の各発電所のアクシデントマネジメントの手順をしっかりといただかなければいけないし、注水できたとしても量が足りないと SRV の減圧で失った水位を回復するというのは結構大変だと思いますので、今、16 番に書いてありますけれども、吐出圧力の高いポンプとか、しっかりした流量を持っているポンプといったものがアクシデントマネジメントの注水には必要だと思います。そのところは是非検討していただきたいと思えます。

○古作事故故障対策室（班長） 岡本先生にお話いただいた減圧の手順の関係は、済みません、少し代替注水のところで書こうと思っていて、書き漏らしたところで申し訳ございませんでした。

3号の減圧でございますが、13日の9時08分にSR弁を手動で開いて急速減圧ということでございます。そのときに資料2-2の18ページをごらんいただければと思いますが、そのタイミングの前にPCVベント関係ということでベント操作は事前にして、減圧がしっかりできるようにという作業はしておりました。ただ、ベントの操作というのがなかなか閉まってしまうとか、もろもろあって十分下げることができなかったというところでどたばたしているうちに、先ほど奈良林先生がおっしゃっていただいたように、水位が下がっていくという状況になっているという時系列でございます。

先ほど奈良林先生が言われた下がっていたのにまた上がったしまったというのは、下がっていたのはHPCI作動のときのタイミングでございまして、HPCIが止まってしまったので入れなければということで、代替注水を始めようというところだったんですけども、起動したタイミングでは既に炉圧が上がってしまったということで、SR弁での減圧操作に入るという時系列です。

○岡本教授 確認ですけども、SRVを開けたのが3月13日の9時。ということは既に燃料は露出した後ですか。8時に燃料露出推定と書いてあります。消防ポンプによる海水注水が9時25分で、その前は9時07分だとすると、既に格納容器の圧力は何らかの別の原因で低下しているんですけども。

○古作事故故障対策室（班長） 今つけていますのが非常に横軸の長いもので詳細がわかりませんので、そこはまた拡大しながら御説明できればと思いますが、奈良林先生がお話されていたよ

うに、SR弁が手動開ではなくて安全弁の形で吹いているところで、水位は下がっているということとは実態として水位の確認はとれています。

○岡本教授 わかりました。手動で減圧したわけではなくて、自動減圧したということなんですね。結局、手動で減圧操作というのは考えられなかったということなんですね。

○古作事故故障対策室（班長） 作業はベントとの組み合わせですので、併せて検討して詰めていったところですよ。結局SR弁を吹いてしまうと水位が下がってしまって、そのあと注入できなくなればどうしようもない。

○岡本教授 わかるんですけども、1号機のイベントがあったので時間はかかったかもしれませんが、蓄電池があったわけですね。8時間プラス $\alpha$ で非常に引き延ばして使われていたと思うんですけども、そのときに早めに何とか減圧をしていれば、ベントラインの構成も含めて電池のあるうちに何らかのアクションができていればよかったのかなという気は若干しているものですから、少しお聞きしたということです。

○古作事故故障対策室（班長） 私もたればと言えば、HPCIが作動しているときに、たまたまかもしれませんが、炉圧が下がっていたということですので、そこでの判断方法ということが今後の対応としての議論にはなっていないのかなと思っています。それはHPCIで1MPaというところがどうしてなのかということも含めての対応ぶりになると思いますけれども、あとは先ほど岡本先生がおっしゃっていただいたように、高圧維持の整理なのか、早めの低圧なのかということも、その論点の1つに入ろうかと思っていますので、御意見を踏まえながら考えていきたいと思っています。

○岡本教授 たればの話は今後につなげるためのたればの話でございますので、非常に重要な視点だと思っていますので、よろしく願いできればと思います。

○大村検査課長 どうぞ。

○山口教授 低圧注水のところで幾つか指摘されているところは、ざっと見ると大体緊急安全対策でやられている話が多いのかなという気もします。それで今回特に低圧の辺りなども含めて、ずっと事故の進展を見ていくと、本来ずっと作動していかなければいけないものが機能しなかったという状態ではなくて、むしろしかるべきして止まった。バッテリーの枯渇とか原因はいろいろな原因があるにせよ、本来こういう条件があったので動いていなければいけないはずだったというものが止まったというのではなくて、むしろ進展はこの状況を考えるなるべくしてなったというように思いますので、そういう意味ではここで書かれている対策というのは緊急安全対策と整合して、低圧注水についてはこういうところかなと。幾つか炉心関係とか少し先で議論するということはあるかなと思います。

1点だけ、低圧注水になると事象の進展でもいろいろな分岐というものが出てくるとは思いますし、私も重要だなと思うのは岡本先生が御指摘されている、岡本先生はスタディをしているとおっしゃったんですけども、やはりこの辺になってくると冷却に時間的に余裕があるというのが非常に大事で、その後にアクシデントマネジメントとしてどういう対策をとるかという意味では、ちゃんとスタディをして、例えばストレステストなどもその一報なんですけれども、どういうアクシデントマネジメントをやるのかということを理解できるようにする。

それに関連して言えば、8番目辺りにハードとソフトが必要ではないかという話があるんですけども、もう一点、事前にスタディをして、どういうことが起こり得て、どういう手順をいろんな場合を考えて用意しておけばいいのかという、そういうところも1つ加えておくということがいいかと思っています。

○大村検査課長 ありがとうございます。

○渡邊グループリーダー 1つ質問なんですけれども、消火系のディーゼル駆動のポンプは吐出圧はどのぐらいですか。

○古作事故故障対策室（班長） 基本的には参考資料2にびしっと書いておりますが、おおむね通常の消火系の圧と同じで0.6~0.7MPa程度です。

○渡邊グループリーダー 今回小耳に挟んだんですけれども、ブースターポンプ的に使った、多段式につないだという話も聞いていて、そうすると6~7ぐらいのものを2段、3段つなぐと実際にはどのぐらいになるのかなど。要はそういう話がもしあれば。

○古作事故故障対策室（班長） 今、言われていたのは大分後になって、初動の1号とかではなくて3号の海水からとるといような状況になったときに、ホースが大分長くなって、そこで大分圧力が落ちてしまって送水ができなくなるということがあって、直結につないだというものです。なのでブースターで圧力を増すということではありません。

○大村検査課長 どうぞ。

○JNES 高圧注水系も低圧注水系も代替注水系についてもなんですけれども、水源の妥当性というものについて少し検討する必要があるのではないかと思います。淡水で事故の時間軸がどのぐらいになるかという観点はあるんだろうと思うんですが、淡水系でどの程度持っていくか、淡水から海水へどういうタイミングで切り替えるかということをし検討していく必要があるのではないかと思います。

○大村検査課長 ありがとうございます。

一通り各項目について今日は御意見をいただいたということでございますので、そろそろ予定していた時間も近づいてきました。どうぞ。

○勝田准教授 簡単に言います。その他の話に入る前に、先ほど海水等の話があったんですが、事故のときふと思ったのは、日本の技術としては特にいわゆる精密技術が強いということで、純水をつくる技術は結構日本はあったと思っていたんですが、事故が起きたときにAREVAとかいろんなものが入ってきたんですけれども、日本のそういう純水をつくる技術というのがなぜすぐ適用できなかったのか。ふと思ったところがあって、もしそういうものが、これも新しい技術の話なんですけど、そういうものはどうなのかなど。これはアイデアなんですけど、1つの例です。

これはその他の話に入っていくんですが、結局今回BWRということでもくくってあるんですけれども、そもそも例えばサプレッションチェンバーを使うということについても、個人的にはできれば頼らないでやりたいものでありまし、特有の話もあるし、そうではない話もきっとあるはずなんです。特にPWRのことが書かれているんですが、全く形が違うということで、また違う議論がかなり必要になると思っています。そこを整理してもらって、特に今回の議論ではなるべく早く水を注入とあったんですが、では本当に早くしていいのかという議論はあると思います。以前、美浜事故が起こったんですが、そのときに冷たい水を入れたときに果たして炉の壁はどうなったのかというのはいまいまだ分析されていないような気がしています。そこら辺の兼ね合いも含めて、是非のその他のところを含めた上で、最終的には一覧表と言うんでしょうか、ただBとPだけではなく、もっと細かいタイプまで分けて、これは地震に強いもの、弱いもの、内圧が上がるにしてもどのぐらいで上がりやすいものなのかという、そこら辺も分類してあって、一覧表みたいなものがつくってあればすごくわかりやすいのかなという気はしました。

以上です。



○大村検査課長 ありがとうございます。今の点につきましては、今回は事故が実際に起こっていますので、その事象に沿ってできるだけ抽出、教訓を得ていくということです。PWR については、これは起こっていないものですから、そうすると一体こんなことが起こったらどうかなという、ある程度推測とか予測を交えてやらなければいけないので、逆に言えばある程度限界があるなと思いますけれども、できるだけいろんなシステムについて、教訓を展開していければと思っています。

○二ノ方教授 この場に及んで「てにをは」で申し訳ありませんが、一番最初のところの目的と前提のところ。要は3行目の「水没・被水でほぼ全てが機能喪失した」という言い方があいまいで、要するに外部電源が喪失し、基本的には津波による水没・被水でほぼ電源を必要とする重要機器の機能を喪失したと言うのであればより分かり易いと思いました。ただし、そうしますと、この結果の「この」の意味が、どうもそういうことではなくなってしまいますので、多少「てにをは」を修正した方がいいのではないかと思います。

○大村検査課長 ありがとうございます。その辺は整理をしますので、その辺りでもう少ししっかりと御意見いただければと思います。

○奈良林教授 その他のところで先ほど意見が出ましたけれども、PWR もやはり SG の圧力を維持したまま蒸気タービン動の補助給水ポンプで注水するか、その補助給水ポンプがもし水没した場合に、今度は SG を減圧して注水しなければいけないですね。ですから B と P 共通でして、注水のタイミングをどう考えるか、そして、そのときに水を失わないようにしてちゃんとしっかり冷却につないでいくということの検討が非常に重要だと思いますので、ここは技術的知見で非常に重要な知見だと思いますので、ここの検討を全国の発電所について水平展開でしっかりした注水ができるようにという仕組みを解析評価も含めてやっていく必要があるかなと思います。

○大村検査課長 ありがとうございます。

○渡邊グループリーダー 資料の訂正をしていただきたいんですけども、資料1の4ページの文章は多分間違っているのではないかと思います。2行目に RCIC の代わりに IC がある。これは IC と RCIC は代わるものではないので、こういう書き方はやめていただきたい。

それから、その次の原子炉冷却材喪失事故 (LOCA) による云々のときに IC が利用できない場合。このときに IC は使いません。LACA のときには IC は使えませんので、これは主蒸気管破断事故の間違いでしょう。SLB の間違いだと思います。ここは確認して修正していただいた方がいいと思います。

○大村検査課長 おっしゃるとおりでございます。

それで、ほぼ予定した時間になりましたので、今日はこの辺りで検討終了したいと思います。

○安井審議官 本日は長時間ありがとうございました。まさに注水の問題と先ほどおっしゃったように減圧と、格納容器の除熱、多分次々回になる格納容器の機能維持。これらは一体のものでありまして、どういうふうによったら限られた時間でやれるかなということです。今日は前半をやって、次々回はそれを含めた全体のシステムをできるだけ議論するようにしたいと思います。

私も当時いろいろ関係した体験から、奈良林先生がおっしゃったようにシビアアクシデント状態になるとマヌーバビリティと言いますか、何とか現状を克服するために確実に動かせる。しかもそのためにはシステムはシンプルでないといけないし、人間が無理をせずに確実にやれるという機能が重要です。今まではどちらかというと、防止にすべてがいていましたので、格納容器の隔離弁も何しろ閉まるということがすべてになっていたんですけども、先をもう一段これか

ら考えていかなければいけないことになったと思っております、そういう意味ではこれからまた幅広い御議論をいただくことになるかと思っておりますけれども、よろしくお願ひしたいと思ひます。

○大村検査課長 最後に事務連絡でありますけれども、先生方にはあらかじめお知らせしておりますが、急な話ですけれども、明日、福島第一原子力発電所、福島第二原子力発電所の現地の確認を行うことにしたいと考えておひまして、私が同行いたしますので、御参加される先生方はよろしくお願ひしたいと思ひます。

次回は第4回になりますが、意見聴取会は12月9日の17時から、ちょっと遅い時間で恐縮なんですけれども、夕方に予定をしております。テーマは主要機器等への地震の影響についてということですので、別途耐震分野で意見聴取会が開催されておりますが、その先生方と合同で開催ということをお考えたいと思ひしておりますので、御多忙のところ恐縮でございますが、御対応よろしくお願ひしたいと思ひます。

それでは、本日はこれで散会とさせていただきます。どうもありがとうございました。