

第22回女川原子力発電所2号機の安全性に関する検討会

日 時 令和2年2月7日（金曜日）

午前11時00分から

場 所 パレス宮城野 2階 はぎの間

1. 開 会

○司会 それでは、ただいまから第22回女川原子力発電所2号機の安全性に関する検討会を開催いたします。

2. あいさつ

○司会 開会に当たりまして、宮城県環境生活部長の大森から挨拶がございます。

○環境生活部長 皆さん、おはようございます。

暦の上ではもう春になりましたけれども、きのうきょうと大変冷え込みが厳しくなっております。本日はこのように寒い中、また年度末に向かう大変お忙しい中、ご出席を賜りましてまことにありがとうございます。

昨年10月23日に開催いたしました第21回目の会議では、新規制基準適合性審査申請のうち、大規模損壊等について、活発なご議論をいただきました。少し間があきましたけれども、本日第22回目となるこの検討会では、新規制基準適合性審査申請のうち、格納容器破損防止等について東北電力からご説明いただき、委員の皆様にご確認いただきたいというふうに考えております。

また、午前中は水蒸気爆発に関する議題がございますが、十分な検討ができるよう、原子力熱工学の専門家として筑波大学名誉教授の成合英樹先生をお招きいたしました。よろしく願いいたします。

今回も前回に続きまして、午前、午後と長時間の開催となりますけれども、皆様には、それぞれのご専門の分野の知見に基づきまして忌憚のないご意見を賜りたいと考えております。

以上、簡単ではございますけれども、開会に当たっての挨拶とさせていただきます。どうぞよろしくお願いいたします。

○司会 それでは、本検討会の開催要綱第4条の規定に基づき、座長の若林先生に議事の進行をお願いしたいと思います。よろしくお願いいたします。

○座長（若林） それでは、議事に入る前に、本日検討する論点項目について、事務局から説明をお願いいたします。

○事務局 原子力安全対策課長の伊藤と申します。

それでは、本日検討を予定しております論点項目についてご説明をいたします。

まず、A4判の資料－1をごらん願います。この資料では、全体の論点項目を取りまとめており、本日検討を予定しております項目につきましては、網かけの部分となっております。

具体的には、2の「新規制基準適合性審査申請」のうち、「(3)その他」の竜巻、「(8)重大事故対策」の格納容器破損防止等について検討をお願いしたいと考えてございます。

次に、A3判の資料1(別添)のカラーのものをごらん願います。この資料では、委員の皆様方からいただきましたご意見・ご質問を論点項目として整理しているほか、検討会の途中段階でいただきました質問につきましても関連質問として追加しております。また、その質問は第何回の検討会で出されたのかを、質問の末尾に括弧書で示しておりますので参考にさせていただければと思います。

今回検討をお願いする項目につきましては、オレンジ色の枠で囲った部分でございまして、具体的には1枚めくって3ページ目(3)その他の自然現象の63番の関連質問、それからまた1枚めくって4ページ目(8)重大事故対策の80番、それからその下、81番の2つの関連質問、さらに分類「3その他」の(1)安全対策全般(自主対策)の43番でございます。

なお、1ページ目の「1.健全性確認(2)確認手法」16番の1つ目の関連質問につきましては、これまで岩崎委員として記載しておりましたが、議事録を見直したところ鈴木委員の発言でありましたので、申しわけございませんが記載を修正してございます。

また、多くの視点からご意見をいただき、より議論を深めるため、ご欠席の委員に対しましては事前に送付した資料をご確認の上、コメントをいただくようお願いしてございます。

なお、午前中は、水蒸気爆発に関する議題を扱うこととしております。水蒸気爆発に関する議論につきましては、より一層専門性が高い内容となることから、外部有識者の招請について委員からご意見がございました。そのため、座長と相談の上、検討会開催要綱第5第2項に基づき、日本学術会議総合工学委員会原子力安全に関する分科会や、同分科会の福島第一原子力発電所事故調査に関する小委員会等の特任連携会員を務めておられる、筑波大学名誉教授の成合英樹先生を原子力熱工学の専門家としてお招きしております。

事務局からの説明は以上でございます。

○座長 ありがとうございます。皆様よろしいでしょうか。

それでは、早速議事に入らせていただきます。

○事務局 それでは、議事に入りますので、ここからはカメラによる撮影をご遠慮願います。カメラをお持ちの方は撮影をおやめください。

3. 議 事

(1) 各論点の説明・検討

「2 新規制基準適合性審査申請について」

- ・ (8) 重大事故対策 (格納容器破損防止)

○座長 それでは、(1) 各論点の説明・検討のうち、(8) 重大事故対策 (格納容器破損防止) について、東北電力株式会社から説明をお願いいたします。

○東北電力株式会社 東北電力の田中です。

資料-2 を用いまして、水蒸気爆発関連論点整理についてご説明をさせていただきます。

1 枚めくっていただいて、1 ページ目をごらんください。

1 ページ目ですけれども、安全性検討会に対する要望書についてということで、令和元年 10 月に安全性に関する検討会に対しまして、水蒸気爆発についての弊社説明に関する下記の要望書が提出されております。パワーポイントの下側に張りつけておりますのが要望書でございます。

本件については、同 9 月、宮城県議会環境生活農林水産委員会における質疑においても、弊社の説明に関してのご指摘をいただいているところでございます。また、同 12 月には、宮城県内の市民団体より、安全性検討会に対する要望書が別途提出されているところであります。

本資料は、上記のご指摘等を踏まえまして、水蒸気爆発に関する弊社見解について、安全性検討会資料を用いまして補足説明をするものでございます。

5 ページからですけれども、2 章で指摘事項 1 から 4 についてご説明をします。

27 ページからの 3 章において、12 月の要望書に対する弊社見解を整理してご説明させていただきます。

次のページをお願いします。

2 ページ目ですけれども、ご指摘があった 19 回検討会資料に掲載いたしました TRO I 実験の条件、結果の表についての弊社の基本的な見解は次のとおりです。

弊社は、当該の表の作成に当たりまして、以下の文献 1 から 4 と、下に文献 1 から文献 4 のタイトル等をまとめておりますけれども、文献 1 から 4 の記載の数値を使用しており、引用文献の数値の修正は行っておりません。

引用した文献は、水蒸気爆発に関して高い専門性を有した著者が記載したものであり、信頼性が高いものであると考えております。

ご指摘のあった溶融物温度の記載についても、実験に用いた溶融物の物性を踏まえると、文献記載の表現は妥当であると考えており、また実験者自身の論文においても、温度測定に不確

かさがあったと記載をされております。

以上から、当該表の記載は妥当であり、その表に基づき、実機における水蒸気爆発の発生可能性は極めて小さいとした整理は適切であると考えております。

次のページをお願いします。3ページ目です。

TRO I 実験データの整理についてというタイトルですけれども、指摘事項1から4についての個別の見解は5ページからご説明をしますけれども、それに先立ちまして、ご指摘のあったTRO I 実験の主要な条件、結果の表の整理についてご説明をいたします。

弊社は、当該の表の作成に当たり、文献1、文献2に記載の数値を使用しており、引用文献の数値の修正は行っておりません。パワーポイントの下に、19回検討会資料でお示しをしている表があって、右側に文献1と文献2、それぞれの記載されている表から数値を持ってきているということがわかるように記載をしております。

4ページ目についても、表が2/2までありますので、2ページ目の表、2/2の表についても文献1から持ってきているということがわかるように記載をしました。

3ページ目の最後の矢じりですけれども、水蒸気爆発が発生した場合の規模の検討に必要なパラメータ、具体的には機械的エネルギー変換効率ですけれども、こちらは文献3、文献4に基づき記載しているということを書いております。

5ページ目、お願いします。

5ページ目から、個別の指摘事項に関する回答をさせていただきます。

まず、1つ目ですけれども、1つ目はTRO I 実験にかかわる資料には、実験者が報告した溶融物温度と異なるデータが引用されているということです。

これに対して弊社の回答ですけれども、本指摘のもとになったのは以下の点と考えておりません。

19回検討会資料では、TRO I の34～37のケースの溶融物温度については、下に表1、各文献における溶融物温度の比較という表を示しておりますけれども、実験者が報告した文献4の値ではなくて、それをまとめて溶融物温度を「～3000K」と記載した文献1に基づいて記載していたということです。

次のページをお願いします。

6ページですけれども、この指摘事項に対して、弊社の基本的な回答をまず最初にお話しさせていただきますけれども、当該の記載は文献1に基づいて数値を記載したもので、引用文献の数値の修正は行っておりません。

2つ目の矢じりですけれども、弊社は引用した文献は妥当と考えておまして、またTRO Iの34～37のケースの熔融物温度については、実験に用いた熔融物の物性を踏まえると、「～3000K」という表現は妥当と考えております。

なお書きですけれども、弊社はTRO I実験の主要な実験条件、結果の表において、水蒸気爆発の発生可能性の検討に必要なパラメータ、規模の検討に必要なパラメータを漏れなく記載していると考えております。

以下に、詳細についてお話をさせていただきます。

引用した文献の妥当性に対する弊社の見解ということでまとめております。

引用した文献の著者は、水蒸気爆発に関する国際的なプロジェクト（OECDのSERENA2）の業務を実施しており、こうした分野において高い専門性を有していると考えております。さらに、フランスのカダラッシュ研究所でデブリ実験に携わっている専門家が当該文献の監修をしており、この点からも信頼性があると考えております。

当該文献では、当該分野の高い専門性を有している著者がTRO I実験結果についての整理を行い、考察していることを確認しております。また、引用した文献は、2012年に発行された文献であり、比較的新しく、一般に公開されている文献であるということで、これらの点を踏まえると引用した文献は妥当であると考えております。

次のページ、お願いします。7ページです。

7ページは、熔融物温度の妥当性に対する弊社の考察ということでまとめております。

TRO Iの34～37のケースでは、二酸化ウランとジルコニアの熔融物を使用しております。二酸化ウランとジルコニアが重量比で70対30、mol比で0.52対0.48の混合物は、下にphase diagramという相図を載せておりますけれども、この青点線のものが0.48に当たるところでございます。この固相線温度、液相線温度を見ると、約2800ケルビンから約2900ケルビンということで、熔融物の物性を踏まえ、引用した文献では熔融物温度として「～3000K」と記載したものと考えられるということで記載をしております。

次のページをお願いします。8ページです。

水蒸気爆発の発生可能性の検討に必要なパラメータの充足性に対する弊社の見解をまとめております。

以下に示すTRO I実験の条件と結果の表、何度かお示ししておりますけれども、こちらの表については、空欄の箇所も含めまして文献1に基づき記載をしております。水蒸気爆発が発

生じた実験ケースについては、発生可能性の検討に必要なパラメータである溶融物組成、溶融物温度、外部トリガーの有無が漏れなく記載されていることを確認しております。

また、水蒸気爆発が発生した場合の影響の程度をあらわすパラメータとしては、右端に書いておりますけれども、機械的エネルギー変換効率を記載しております。

なお、影響の程度を示すパラメータとしては、動圧ピークという値もございますけれども、これは容器形状に依存するため、実機での水蒸気爆発の影響を検討する観点からは適切ではないと考えまして、容器形状等の実験体系に依存しない機械的エネルギー変換効率を記載しているものでございます。

次のページをお願いします。9ページです。

9ページから、指摘事項2についての見解でございます。

指摘事項2については、TRO I 実験にかかわる資料には実機の温度での水蒸気爆発が発生したことがわからないようにされていたという指摘でございます。

この指摘に対して弊社の見解ですけれども、本指摘のもとになったのは以下の点と考えております。

下の表を見ながらですけれども、TRO I の34、36、37のケースについては、文献4に記載の溶融物温度より低い温度を記載し、実機の溶融物温度との差分を過小に記載しているというものの、TRO I の35のケースについては2793ケルビンという文献4の値よりも高い値「～3000K」を記載して、実機の溶融物温度との差分を過大に記載しているということが指摘のものと理解をしております。

次のページをお願いします。10ページです。

10ページの弊社の回答の基本的なところを最初にお話しします。

弊社は、TRO I の35の溶融物温度については、実験に基づいた溶融物の物性を踏まえると、「～3000K」という表現は妥当と考えております。実験者はTRO I の35に対して、文献4において、温度測定に不確かさがあつたことを記載しております。

また、仮にTRO I の35の溶融物温度が実機相当と想定した場合であっても、水蒸気爆発発生可能性の整理に影響はありません。

以下に詳細をお話しします。

1つ目の矢じりが、TRO I - 35の溶融物温度として、この表現が妥当であることは前述、先ほどお話ししたとおりです。

2番目の矢じりですけれども、TRO I - 35の溶融物温度の推移は、測定の困難さもあり、

同じシリーズで実験したTRO I - 36の溶融物温度の推移とは異なっております。

下の図をごらんください。

下の左手にあるのがTRO I - 35のケースの温度測定結果で、右手にあるのがTRO I - 36の実験ケースです。TRO I - 36のほうを先に見てご説明を少しさせていただきますけれども、TRO I - 36を見ていただきますと、Power inputと青く書いてある部分が階段状に上がっているところが見てとれるかと思います。これに応じて緑色で表現したメルトの温度、溶融物の温度は緑線で書いてありますけれども、順調に上がっているというのが見てとれるかと思います。これを見ながら、隣のTRO I - 35のほうの挙動を見ていただきたいんですけども、Power inputのほうは同じく階段状に上がっておりますけれども、緑色で示した溶融物温度は単調な増加ということではなくて測定できていない期間があるというような状況になっております。この部分を上記の矢じりの3つ目でご説明をしておりますので、お話をします。

実験者は、文献4におきまして、TRO I - 35の温度測定について以下のとおり分析をしております。頂部の瓦れき状のクラストは、輻射熱伝達に対して断熱の役割をしたため、3800秒までの間、溶融物温度は測定されなかったということが1点目。

2点目は、この実験では溶融プールからのガス噴出があり、4500秒後の溶融温度測定はガスの影響を受けた。この噴出により、溶融物温度の測定が困難であったということが記載されております。

最後の矢じりで、なお書きですけれども、TRO I - 35は外部トリガーが有る条件で水蒸気爆発が発生しているケースでございますので、仮にTRO I - 35の溶融物温度が実機相当ということであっても、水蒸気爆発が発生した実験ケースの整理に影響はありません。

次のページをお願いします。11ページ目でございます。

指摘事項3についてのご説明でございます。

指摘事項の3番目については、実機には水蒸気爆発のトリガーはないという説明に関連したもので、検討会でTRO I 実験では実機付近の温度では外部トリガーなしの自発的水蒸気爆発は発生していないという説明があり、その根拠として、TRO I の実験者が2003年に著した論文が引用されました。しかし、TRO I 実験者が温度の測定に習熟し正確な評価ができるようになったのは2007年論文からということで、2003年の論文を根拠に否定することは不正確というご指摘でございます。

本指摘のもとになったのは以下の点であると考えております。

TRO I-13、14の溶融物温度について、2003年発行の論文3に基づき、温度測定に対する考察を実施することで溶融物温度は実機条件の温度より高いと整理し、実機付近の温度では外部トリガーなしの自発的水蒸気爆発は発生していないと整理していることに対する指摘と理解をしています。下の表の中で示した当該箇所というところで、TRO I-13、14に対する考察をしている部分でございます。

次のページ、お願いします。12ページです。

12ページは、TRO I-13、14の溶融物温度に対する弊社の見解をまとめております。2007年論文におきまして、TRO I-13、14の溶融物温度についての記載はありません。実験者は、文献3において、TRO I-13、14の温度測定について以下のとおり分析をしています。TRO I-13番のケースと14番のケースの温度測定のグラフを下に張りつけております。こちらを見ながらですけれども、TRO I-13では、測定時に通気口から大量のガスが出てきたこと及び測定温度が3500ケルビン到達後も溶融物への加熱は続いていたことを考慮すれば、実際の温度が3500ケルビン程度以上である可能性が非常に高いということが記載されています。

TRO I-14の右側のほうですけれども、こちらは2種類の高温計が用いられましたが、それぞれの高温計の最高温度は4000ケルビン、3200ケルビンであることを示しており、極めて高い温度における測定は不確かさを排除できないとしているということでございます。

よってということで、溶融物の物性の観点からもTRO I-13、14は実機条件よりも高い温度にて水蒸気爆発が発生したケースであり、水蒸気爆発が発生した実験ケースは外部トリガーを与えた場合または溶融物温度が高い場合という整理は適切と考えております。

次のページをお願いします。13ページです。

指摘事項4番ですけれども、水蒸気爆発の可能性は小さいという説明の適否についても改めて検討いただきたいというコメントでございまして、前述までの1から3の指摘を踏まえまして、19回の検討会資料に修正を加えて説明をいたしますということで記載しております。

下に反映項目を4つ挙げておりますけれども、上2つは1から3の指摘の中でご説明をしておりますので割愛をさせていただいて、下2つをご説明させていただきます。

1つ目は、実機には水蒸気爆発のトリガーはないという説明について、水蒸気爆発のトリガープロセスの詳細を追加した上で、実機における水蒸気爆発の外部トリガーの有無に対する考え方の記載を充実化しました。

15ページをお開きください。

15 ページですけれども、こちらにトリガープロセスの詳細を記載しております。下の図に (a) から (d) まで並べているところが水蒸気爆発のプロセスの概要を示したもので、高温液体が低温の液体に接触をした後、(b) の粗混合、その後 (c) でトリガーが入って、(d) の伝播、膨張ということで水蒸気爆発に至るというプロセスを記載しております。

本日は、このうちのトリガーについての詳細をご説明させていただきます。

トリガープロセスは、この絵でいいますと I、II、III というローマ数字で記載しておりますけれども、I. 蒸気膜崩壊、II. 液-液接触、III. 高温融体微粒化の3段階に分かれておりまして、この全ての素過程の条件を満たした場合に水蒸気爆発が発生するというところでございます。

蒸気膜崩壊につきましては、外部トリガーなどの外乱により蒸気膜が崩壊をするということですが、一方で熔融液滴が膜沸騰状態を形成しなければ、激しい沸騰とともに固化されるため、水蒸気爆発は発生しない。また、逆に膜沸騰蒸気膜がとても安定ならば蒸気膜崩壊が発生しないため、水蒸気爆発が発生しないといったプロセスになっております。

液-液接触のほうで申し上げますと、液-液接触により熱伝達率が増加しますが、一方で熔融液滴と低沸点液体の接触により界面温度が低下し、接触界面が固化しているならば固-液接触となり、液-液接触は発生しないため、水蒸気爆発は発生しないということでございます。

このトリガープロセスの内容を踏まえまして、20 ページに水蒸気爆発の可能性の確認というところの外部トリガーの部分に追記をしております。外部トリガーの3番目のポツのところですが、仮に外乱により蒸気膜が崩壊した場合であっても、実機の熔融炉心は加熱度が小さく、また冷却水の温度差が大きいため、熔融炉心と冷却水が接触した部分の温度が固化温度以下に下がり、表面が固化することから、液-液接触とならないと考えられるということで、トリガープロセスの詳細を記載させていただいております。

13 ページに戻っていただいて、もう1点変更している部分がありますので、こちらをご説明します。

従来より、仮に水蒸気爆発が発生した場合の評価を記載しておりましたが、水蒸気爆発発生時の評価について、評価体系や評価条件を詳細に記載ということでございます。21 ページから25 ページに反映しておりますので、21 ページをお開きください。

21 ページですけれども、こちらが水蒸気爆発発生を仮定した場合の影響評価ということでございまして、仮に水蒸気爆発が発生した場合における原子炉圧力容器の支持機能への影響を

以下の評価方法にて評価したということでございます。

パワーポイントの左下側に評価方法のフローを①、②、③の順番で評価をしますということをお示しして、右手ですが、水蒸気爆発評価の概要図ということで、格納容器の下部を拡大図でお示ししておりますけれども、内側鋼板、外側鋼板、その内側にあるコンクリートということで、このような評価体系で評価をしているということをお示ししております。

評価方法については、事故進展解析コード（MAAP）、水蒸気爆発解析コード（JASMININE）、構造応答解析コード（LS-DYNA）というものを組み合わせて評価しておりますけれども、こちらの詳細を次のページからお話をします。22ページをお願いします。

22ページは、先ほどのフローでいうと1番と2番の部分を説明しております。JASMININE評価では、MAAPにおける熔融炉心の放出挙動などを入力として、水蒸気爆発発生時の運動エネルギーを評価しております。

評価体系は下の図のとおりということで、黄色くなっている部分が格納容器の評価体系でございます。この円柱状の格納容器下部を半径方向と高さ方向にメッシュ状に分割しているということで評価をしております。また、評価条件は下表のとおりということで、下の主な評価条件と書いてあるところに記載をしております。この中で、保守的な評価条件を設定することで、水蒸気爆発により発生するエネルギーを保守的に評価しているということございまして、1件例示します。

評価条件ですけれども、項目として圧力容器の破損径というものがあまして、解析条件としては0.2メートルです。これに対して、想定される実現象は、計装管などの局所的な小口径の破損が発生し、固相を巻き込んで緩やかに流出ということで、サイズとしては0.0357メートル程度ということをお示しをしております。条件設定の考え方としては、落下する熔融炉心の量が多いほうが厳しい評価になるということで、熔融炉心の全量を短時間にこの0.2メートルの穴から落下させるという保守的な条件を考慮して設定をしております。

次のページをお願いします。23ページ目でございます。

23ページ目については、JASMININE評価の結果、水蒸気爆発により発生する最大運動エネルギーは約37メガジュールとなりました。水蒸気爆発のエネルギーの評価において、デブリの持つ熱エネルギーが機械的エネルギーに変換されるエネルギー変換効率というのが重要なパラメータなんですけれども、下表、下側のエネルギー変換効率と書いてある表に示すとおり、二酸化ウランを使用した水蒸気爆発実験であるTROI実験（SERENA2）におけるエネルギー変換効率は最大でも2.49%ということでありまして、女川2号の水蒸気爆発評

価におけるエネルギー変換効率4%のほうが大きいことから、最新の水蒸気爆発実験を踏まえても保守的な評価になっていることを確認しております。

25ページをお願いします。

25ページで、LS-DYNAによる評価の結果、女川2号炉の格納容器下部の体系では、外側鋼板にかかる最大応力は192メガパスカルとなります。外側鋼板の降伏応力490メガパスカルを大きく下回ることから弾性範囲内ということになりますので、原子炉圧力容器の支持機能に影響は生じないということを確認しております。また、構造上、格納容器下部の外側鋼板のみで圧力容器の支持が可能であるため、外側鋼板にかかる応力の評価を示しているものでございます。

次のページ、お願いします。26ページ目でございます。

26ページ目につきましては、宮城県議会環境生活農林水産委員会における県へのご指摘事項に対する回答でございます。これもTRO I-35に対する指摘なんですけれども、2012年の論文は、弊社が記載している放出質量の記載と数値が異なるという指摘でございます。

これにつきましては、文献1によりますと、TRO I-35の溶融物質量は8キログラムと記載されておまして、本資料においてもその数値を記載しているものです。

一方、実験者の論文、文献4においては、19.93キログラムと記載されております。実験者は、文献4において、TRO I-35の溶融物質量の測定について、以下のとおり分析をしております。装荷溶融物量18キログラムよりも落下溶融物量19.93キログラムのほうが多くなっている。以前の試験のデブリが残っていた分が含まれたため、水中に落下した正確な溶融物量は不明であると記載されています。入れたものよりも落下したものがより多くなっていると記載されているということでございます。

弊社では、同時期にシリーズとして実施されたTRO I-34、36、37の装荷溶融物と落下溶融物の割合を評価しますと、平均すると約44%程度ということで、TRO I-35でも同程度の割合であったと仮定をすると、装荷した溶融物18キログラムの約44%で8キログラムということになりますので、この値は合理的な値であろうと考えております。

ご指摘の点、文献1に基づき記載した数値であり、19回検討会の資料にこの旨を記載するというお示しをしています。

26ページは以上です。

○東北電力株式会社 27ページ目から説明者がかわります。東北電力の森島です。

こちらは3. ということで、冒頭で経緯について説明いたしましたけれども、12月26日

に宮城県内の市民団体から提出された要望書に対しての指摘事項について見解をこちらで説明させていただきます。

指摘事項は2つありまして、そのうちの1つ目をスライド27で説明させていただきます。

指摘事項①といたしまして、IAEAは溶融炉心が水に落ちないようにすることが好ましい方法であるというふうに、IAEAのTECDOC-1791のほうで記載されているということで、溶融炉心を水で受けとめるという安全対策が、逆に危険な水蒸気爆発を招くことになるのではないのでしょうかというのがご指摘です。

こちらについて弊社の回答といたしましては、下に枠囲みで記載しておりますけれども、1つ目の矢羽根といたしまして、設計基準事故対処設備及び重大事故等対処設備を整備していることから、重大事故等の起因事象となる事象が発生した場合においても、原子炉圧力容器が破損するまで事象が進展する可能性は極めて小さいと考えております。

2つ目の矢羽根で、新規制基準適合性審査におきましては、重大事故等対処設備が機能喪失していることを前提に、溶融炉心が格納容器下部に落下する場合に発生する溶融炉心-冷却材相互作用（FCI）や溶融炉心・コンクリート相互作用（MCCI）の評価を実施しております。

そのような事象進展を想定した上で、水蒸気爆発だけではなくて、MCCI、溶融炉心の冠水の観点等を考慮しまして、総合的に格納容器破損防止対策を検討しております。

弊社におきましては、それらを総合的に判断いたしまして、水蒸気爆発の可能性は極めて小さいこと、仮に発生した場合でも格納容器の健全性に影響はないこと及び格納容器下部に落下した溶融炉心を速やかに冷却することを考慮しまして、格納容器下部に事前に水張りを実施する対策を採用しているという回答となります。

次のページをめくっていただきまして、スライドの28です。

こちらが2つ目の指摘ですけれども、指摘事項②といたしまして、原子力規制委員会が11月12日の審査会合で、溶融炉心を分散させる緩衝材を設置するように追加対策を求めましたが、原子力研究所の研究員が、分散板によって溶融物を水面上で分散させた場合、自発的な蒸気爆発は起こりにくくなったが、起こった場合には通常よりも激しい水蒸気爆発があったということ、JAERIレビューのほうで記載されているということです。追加対策は、逆により危険を増すのではないのでしょうかという指摘内容です。

それに対しての弊社の回答といたしましては、下に枠囲みで記載しておりますけれども、弊社においてはさらなる安全性向上に向けた自主的な取組として、水蒸気爆発が発生した場合の

エネルギーを低減するために、コリウムバッファを格納容器下部に設置することとしております。下に対策のイメージということで図を載せておりますけれども、こちらは黒点線で囲んでおります原子炉压力容器の下の格納容器下部の部分につきまして、右に矢印で熔融炉心が上から落ちてくる図を示しておりますけれども、こちらにCRDの交換機プラットフォームが設置されておりますけれども、ここにコリウムバッファを設置するということを対策イメージとして載せております。

2つ目の矢羽根ですけれども、弊社としては、熔融炉心落下時の実効的な水中落下距離を制限し、水深が浅い状態と同様の状況とすることで、仮に水蒸気爆発が発生した場合の機械的エネルギーを低減することをコリウムバッファ設置の一つの目的としております。

ご指摘の知見については、当社においても認識しておりまして、この知見を含め水蒸気爆発に関する技術的知見を踏まえ、コリウムバッファの設置においては、他の機器・構造物へ干渉し、構造的・機能的な影響を与えるなど、悪影響を及ぼすことがないように設計の検討を行っていくと考えております。

説明は以上です。

○東北電力株式会社 全体の説明も以上でございますので、よろしくお願いいたします。

○座長 ありがとうございます。

それでは、初めに、この件につきまして、欠席の先生から何かコメントがありましたら、事務局からご報告お願いいたします。

○事務局 特にございませんでした。

○座長 それでは、何か質問等がありましたら、委員の先生方、ご発言をいただきたいと思えます。兼本先生、お願いします。

○兼本委員 12ページです。外部トリガーを与えた場合、または熔融温度が高い場合でないと起こらないという結論を出しておられるんですけども、外部トリガーのほうの説明は、先ほどの物理的にどうして外部トリガーで水蒸気爆発が起こるかという説明が、何ページでしたっけ。（「図としては15ページ」の声あり）15ページですね、あったんですが、熔融温度よりもかなり温度を上げないと、このどこのプロセスが、I、II、IIIと、蒸気膜崩壊とか、液—液接触、幾つかありますが、そのところの説明がちょっとわからなかったんですが。どこが壊れにくくなるのか。

○東北電力株式会社 15ページで申し上げますと、IIのところ液—液接触と書いております。液と液が接触すると熱伝達率が増加をするということを書いておりますけれども、この2行目

から書いてあるところが、熔融液滴と低沸点液体、この場合は水ですけれども、水の接触により、界面の温度、その境界の温度が下がるということでございます。接触界面が固化しているならば固一液接触となりと書いてありますので、その界面温度が熔融温度より高くないといけないということは、熔融液滴の温度自体はもっと高くないと界面温度が熔融温度にならないということに記載をしているものでございます。

○兼本委員 その説明は書いてありますか。

○東北電力株式会社 界面温度が低下し接触界面が固化しているならば固一液接触となり、液一液接触は発生しないということになりますので。

○兼本委員 ですから、熔融温度付近で水と熔融物が接触した場合はすぐに固化してしまうという理解ですかね。

○東北電力株式会社 はい、そのとおりです。

○兼本委員 その辺をわかりやすく書いておかれたほうが、トリガーがかなり起こりにくい、トリガーがないと水蒸気爆発が起こらないというようなのはこの説明でわかるんですけども、熔融温度がウランの熔融温度ぐらいのところではすぐに固一液接触になってしまって起こりにくいんですよというのは、あまり明確には書いていないような気がします。

○東北電力株式会社 すみません。20ページに、今お話をした部分を少し早く読んでしまったのであれだったんですけども、20ページの外部トリガーの隅括弧が書いてある中の3番目のポツに、「仮に外乱により蒸気膜が崩壊した場合であっても」の先なんですけれども、「実機の熔融炉心は過熱度が小さく、また冷却水の温度差が大きいため」の先で、熔融炉心と冷却水が接触した部分の温度が固化温度以下に下がり、表面が固化するので、液一液接触とならない、固一液接触となると考えられるという考察を書いておりました。

○兼本委員 外部トリガーの下に書いてあるので、理解しづらかったということです。

その上での質問ですけれども、12ページはいいのかな。ちょっと待ってください。11ページですかね。外部トリガーなしの場合で水蒸気爆発が起こっているという、TRO I-13、14番の妥当性が注で書いてあるんですけども、これの根拠をもう少し丁寧に説明したほうがいいんじゃないかと。温度計測は確かに不正確というのはいいと思うんですが、入力パワーはちゃんとデータとして残っていると思いますので、どの程度まで過熱したかというのは、ほかの実験と比べて推測はつくと思います。そういうことは論文に書かれているかどうかの確認までしていませんが、ここに書いてある表現だけだと、注1、注2で実際には3500ケルビン程度と推測されているというのが、どうして推測されたかという理由が書いていないので、

例えば論文に書いてあるのをそのまま信じたのか、読んでいる電力のほうでこれは物理的にはこういうことでしょうかというのは、与えた入力しているパワーとか推測出ているわけなので、そこら辺がないと少し理解しづらいと思うんですが、いかがでしょうか。

○東北電力株式会社 11ページに、注1、注2というところで、熔融物温度に対する考察を書いておりますけれども、こちらは参考文献3によればということ、これはちょっと小さい字で申しわけないんですけども、これは実験者KAERIが考察しているものでございます。KAERIが考察をしていて、12ページに書いてあるのが、具体的に2つ目の矢じりで、実験者はということ書いておりますけれども、論文の中でこのような分析がなされているということでございます。TRO I-13については、熔融物の加熱が続いていて、一方で温度のほうは3500ケルビンで頭打ちになっているというようなことを踏まえて、実験者が考察した結果として、実験温度が3500程度以上である可能性が非常に高いということが記載されているということでございます。

○兼本委員 それは妥当だと、電力の方の判断としては、ここでAbsorbed powerと書いてあるんですけども、パワーはちゃんと与えられているので、温度は上がっているだろうという理解でいいんですか。

○東北電力株式会社 ほかのこのシリーズで実験をしているものを踏まえますと、この2600ケルビンというような表記は適切ではないだろうと。これだけこの熱量を与えているとすれば、この考察は妥当であろうと解釈をしております。

○兼本委員 もう一度ちょっと再確認するんですが、トリガーを与えている実験では熔融温度ぐらいいまでしか上げていないとこの結果見えるんですけども、トリガーを与えた実験と、先ほどの18ページ、それから11ページのトリガーなしの条件での入熱量は、やっぱり違うんですかね。温度が完全に信頼できないとすると、入熱量から判断するべきだと思うんですけども、そういう解釈でよろしいんですか。

○東北電力株式会社 先ほど、トリガーを与えている実験では、過熱度は、熔融物温度は融点近くまでしか上げていないというお話でしたけれども、トリガーを与えた実験におきましても、熔融物温度としては融点近くではなくて、より過熱度を与えて実験を行っているというのが実験の知見から得られているということです。

○東北電力株式会社 11ページのほうで申し上げますと、このTRO Iの実験の初期のシリーズですね。若い番号の実験ケースにおきましては、外部トリガーなしで実験をしております、それで言いますと、同じような形で実験しているものが全て3800、3800、3800、

10、11、12となっているのに対して、この測定結果は2600と表記をされていて、同じように実験しているものであると考えると、同程度あったと考えるのが適切だと考えています。

○兼本委員 どうもありがとうございます。

○座長 そのほかご質問ございますでしょうか。岩崎先生、お願いします。

○岩崎委員 TROIの実験に比べて、BWRの特質は下部にすごく構造材があると。特に34ページのところで絵が描いてあるので、これはわかりやすいんですが、制御棒駆動機構、制御棒自体が下部にあって、駆動機構がさらにあって、それを支える構造物ががっつきついている。さらに、その下に、当然それを交換する作業台車等々、たくさんあるんですね。私も何回か入ったことがありますけれども、Pのほうのものはあっさりとしているので、本当にTROIの実験のようにばあっとメルトした燃料が落ちてきて水に入るという事象が、恐らく計算コードと同等だと思うんですけれども、BWRがこういう構造材をきちっと考慮することによって、相当熔融燃料の挙動が変わるであろうと。落ち方も当然変わってくるし、水に接する際のどのくらいの流形、どのくらいの温度で変わるかということ、きちっと評価すれば、恐らく水蒸気事故はBの場合では、この下部の構造物が、通常は欠点として炉型としては評価されるんですけれども、水蒸気爆発にとっては非常な利点になっているというように私は認識を持つこともあるんですね。その点の評価というのはなされていないんですか。

○東北電力株式会社 34ページを見ながら少しお話をさせていただきますけれども、压力容器下部には、今おっしゃっていただいたとおり、制御棒駆動機構、右側に写真がありますけれども、このように制御棒駆動機構とそのサポートが張りめぐらされていて、かつ下のほうにはマスキングの範囲で別途資料でご確認ですけれども、プラットフォーム、グレーチングなどが敷き詰められております。これについては、これを水蒸気爆発の機構論的なコードに、JASMINに入れてというのは非常に難しく、定量的な評価というものはできてはいないんですけれども、矢じりの2つ目の後半に書いてあります。これに加えて、実機の構造上、压力容器から流出した熔融炉心は、構造物との干渉により、一様な安定な混合状態とならない、熔融物は安定な混合状態とならないということで、水蒸気爆発の発生可能性はさらに低減されると考えられるということを考察しております。

○岩崎委員 私もそういうふうには定性的には理解してはいます。BWRの水蒸気爆発は、非常にPに比べては各段に小さくなっているということなんです。ただ、それをこの文章にあるように、もうちょっと例えば鉄の構造物に垂らし、何かそういう評価というのをすれば、すぐ温

度が下がるなり、落ち方も変わってくるなりということは評価できないですかね。簡単な流体の、例えば3000度の燃料が、今だと2センチでしたっけ、何かで噴射すると。だけれども、Bの場合にはそういう噴射ということも考えにくい。噴射したときに、下に例えば構造材、制御棒のまさに鉄の構造材帯があるんですね、炉心のRPVの真下に物すごく林立している。そういうので機械的な温度計算ぐらいはできないですかね。とすれば、かなりもう3000度をはるかに、数百度は下がるんじゃないかなという気もするんですけども。

○東北電力株式会社 今現在は、20ページにまとめている際に、20ページの下から2つ目の矢じりにまとめているとおり、すみません、先ほどと同じ話になるんですけども、定性的な考察をしております。今言っていたとおり、温度も下がるという効果もあると考えておりますけれども、現時点、完全にJASMINE等に入れるというのは難しいという判断で、今は実施をしておりませんが、熱計算という意味では……

○岩崎委員 例えば、21ページに、まさにもうPWRみたいな、RPVから穴が仮にあいて噴出するわけですけども、こういうところに、直接は難しいんでしょうけれども、きちんとその辺を、構造物を今考慮したら、もう少し水蒸気爆発について正しい知見が示せて、それが多分恐らく水蒸気爆発的には可能性をどのくらい下げるかということと言える、最低限、下げられる、可能性が下がるという方向の知見が出てくるんじゃないかと、Bの場合はね。恐らく福島事故の、実際見てみればわかるんだと思うんです、中に入ってね。炉心の下に入って映像が撮れば、どういうふうに制御棒の駆動機構等々が溶けているかということは、それもかなり先の話なので見られないんですけども。

もうちょっと、だからBとしての知見は、世の中あまりBの知見がないので、文献もないので、電力さんだけでやるのはあれでしょうけれども、どこかメーカーかなんかでそういう知見はないんでしょうか。

○東北電力株式会社 東北電力の佐藤です。

今現在は、正直言いますと、先生が今ご指摘いただいたものに対する定量的なものをもって回答するというものはございません。

ただ、今の当社の資料28ページ目にコリウムバッファの設置と、この議論があります。これは、つけることによって悪影響を与えないかということを確認、これは設置許可という断面ではなくて、工事計画というところの断面で、悪影響、波及影響、そういったものがないことを確認しながらやっていかなければいけません。ですので、今ご指摘があったそういう構造物、下部構造物を巻き込んでいったときにどういう影響が考えられるのかというのは、我々と

しても整備すべきことだとは考えていますので、今のご指摘は今後対策を進めていく中でしっかりと意識をして進めていきたいというふうに考えます。

○岩崎委員 わかりました。この辺について、水蒸気爆発の影響はきちっと評価する、進めていくという方向でご検討を積み重ねていただきたいと思います。

○座長 関根先生、お願いします。

○関根委員 ちょうど今話が出たところを私は疑問に思っていましたのでお伺いするんですけども、28ページにある分散板についてです。これでちょっと気になるのは、上の原研の報告で、起こった場合には通常よりも激しい水蒸気爆発となるということが書かれているんですね。電力さんとしては、下のようにそれを認識しており、それに対して設計検討を行っていくということで答えられています。上で書かれている課題に対する評価が終わっていると理解されますが具体的な対策についてお伺いしたいと思いました。

○東北電力株式会社 28ページ目のお話で、指摘事項のほうにある分散板によって溶融物を水面上で分散させた場合というところで、こちらは通常よりも激しい水蒸気爆発になったというところは、水面の上で分散板を設けまして、その分散板で溶融物を分散させたものが、溶融物が広がって、水中で、溶融物が広がることでエネルギーが大きくなる、水蒸気爆発が大きくなるという仕組みの話がされています、このJAERIレポートでは。

一方で、弊社の検討している対策イメージのほうを見ていただきますと、水面から比較的浅い位置の水中の中に分散板を設けるということで考えておりまして、分散によって広がってエネルギーが大きくなるというよりは、2番目の矢じりで書いてあるような、水面自体が浅いところで起こすというか、起こった場合の影響が小さくなるということをお示ししていて、少し状況が異なるものであると理解をしています。

ただ、現状、設計検討を積み重ねておりますので、もう少し整理はいたしますけれども、今の時点ではこのように考えております。

○関根委員 わかりました。そうすると、上の条件と下の条件というのは、その設置場所が異なっていて、逆に上の条件だと細かくなったものがいきなり幅広い範囲に入ったのでこういうことが起きるといったことのご指摘なんです。

○東北電力株式会社 はい、そのとおりです。このJAERIレビュー自体にもそのように記載はされています。

○関根委員 わかりました。どうもありがとうございました。

○座長 そのほかご質問ございますでしょうか。兼本先生。

○兼本委員 先ほどの岩崎先生の質問での確認なんですけれども、コリウムバッファの議論のときに、先ほどの下部構造物ですね、CRDハウジングなり、そういうものがいっぱいついていて、それがコリウムバッファのかわりになるとかならないとかという議論は、この時点ではなされていないんですか。

○東北電力株式会社 今のご指摘の件ですけれども、34ページの制御棒駆動機構等が今おっしゃっていただいたような役割があるというところは、議論はされています。そこで、さらに（「さらに、ということですね」の声あり）下げられないかという議論の中で、我々としても対策をやっていくということを考えているものです。

○兼本委員 そういうところも、つついたわけですね。

○東北電力株式会社 はい。

○兼本委員 わかりました。福島2号機は映像がかなり撮られていますけれども、燃料ハンドルのチャンネルボックスがある程度形が見えているような状況で、たまたまその事例だけで判断するのはよくないですけれども、岩崎先生がおっしゃったようにかなり温度は下がってきているんだらうなという気はしますので、そういうこれからの調査結果も判断して、対策はいものにされるといいかなと思います。

○東北電力株式会社 ありがとうございます。すみません、今1点だけお話ししたかったのは、福島の事故の結果というのが、最終形、水蒸気爆発が想定される場面はRPV破損直後でございますけれども、それが起こった後、最終的にどういう穴径になって、どういうプラント状態になって、何が落ちて転がっているかというのは、その全部終わって最終形の姿として今確認ができますので、どうしても途中の状況というのは解析的な推定になる可能性がありますので、だからといって何もわからないということはないんですけれども、その時点で得られた知見で検討してまいりたいと考えております。以上です。

○座長 長谷川先生、お願いします。

○長谷川委員 まず最初に、岩崎先生が言われたことに関連するんですけれども、実際PWRとBWRでは大分違うところもあると思うんです。韓国のTRO Iにしろ、ヨーロッパのKLO TOSにしろ、基本はPWRを念頭に置いているんですよね。それらでは要するにモデル実験をやっている。もちろんそれをもとに、例えば最近の信頼できる文献や例えば教科書だとか、あとはNEA（原子力機関/OECD（経済協力開発機構））など権威あるレポートなどで不確かなところがある指摘されている場合には、それは確かに高い確率で不確かなところがあるのだと思います。そこらもよく考えて慎重に検討していただきたいと思います。

ともかく、岩崎先生がおっしゃったように、原子炉圧力容器の下の方にいろんなものがある、単純に、例えば2800ケルビンからメルトダウンし、格納容器へと単純に溶け落ちるといものじゃなくて、その前にコントロールロッドが溶けたりなんかするし、それから不均一な溶解も起こる可能性があると思うんです。ですから、難しいのは難しいんですけども、そういうことをよく整理して考えていただきたいし、絶えず最新の研究結果を参照し続けていただきたいと思います。

それは一つとして、もう一つは、一番今最初に出てくる文献1と文献2、3、4との、合っているか合っていないかわからないところが私は非常に気になりまして、その文献1というのは学生さん(Tyrpek1)の博士論文なんですよね。そこでKAERIのTRO I実験結果に関して書いてあることがどこかでオーソライズされているのかどうかということは非常に気になるんです。彼らの論点、TRO I実験結果に関し自分らが修正した温度が正しいとすることに関して、私個人的には本当の専門家じゃないからわかりませんが、融点とか何かを考えるとあんなもんだらうなと思っています。けれども、その論点は、どうして彼らはそういうことを考えたかが気になります。そうすると、KAERIのTRO I実験に関する論文についてTyrpek1さんはKAERIが出した状態図というか溶融曲線(Tyrpek1博士論文のp.54のFigure 3.5)を見ると、データベース集で報告されているもの(Figure 3.4)とは違うという論点でいるんです。またところどころにKAERIでの研究は高温融体温度測定などに技術的に未熟のように思っているような印象を持ちました。けれども、一方よく見ますと、私の勘違いかもしれませんが、博士学生さんが引用したFigure 3.4と3.5についてアトミック(原子)パーセントとウエート(重量)パーセントを間違えているようなことを元に論じているんですね。だからどちらも細かなところでは、ちょっとお粗末だと思ってしまう。

ただ、彼らの共同研究もそうだけれども、KAERIの研究も、一般的にプロジェクト研究でどんどん成果を出さないといけない状況かと推測します。そのために、はっきり言うと中間報告的なものをいろいろ国際会議や学術雑誌で論文発表しているのではないかと考えているわけですよ。だから中間報告にあまりこだわって判断するのも気を付けなければと思います。だから、実際よく東北電力さんでちゃんと確認して、どういう論点で、どういう理由でこういうのを書いたということをちゃんとしていただきたいと思うんです。

それで今までの検討会の説明において、原著論文の間違いだからと表の数値を別の論文の結果に勝手に変えるのは非常によくなかったと思うんです。もし比較して訂正するのなら、今ここににあるようにちゃんと根拠を示して、彼らはこういう理由でこういうふうになっている、それ

からヨーロッパの博士学生さんがこう思っているなどというところをしっかりと書いていただきたいと思うんですね。

ヨーロッパの博士学生さんの感じているフィーリングがちらっと博士論文に書かれているんですね。要するに、先にも述べましたがTRO I 実験は信用できないというようなことが書いてあるように思われるんです。それで私も同様に信用できないのではと思いますが、一方、彼らの言っていることも場合によっては違っていることもあるんじゃないかとも思うわけです。何か第三者的な意見になるかどうかはわかりませんが、共同研究プロジェクトのグループ（ヨーロッパにおける溶融燃料の水蒸気爆発共同研究を続けてきており世界最高レベル実績を持っており、博士学生は、この研究グループの博士課程学生として実験などの研究を続けてきましたので、高いレベルの研究力を持っている。）は、教科書も書いているわけですから、そういうところもよく見ていただいてと思うんです。

（付記：グループの主要研究員である Piluso 博士は、博士課程の審査委員の一人でもあります。またグループリーダーの Magallon 博士は、軽水炉の重大事故に関する教科書（B. R. Sehgal 編の“Nuclear Safety in Light Water Reactors”， Academic Press, 2012）で軽水炉溶融燃料の水蒸気爆発などに関する部分を執筆するなどこの分野の権威である。このような研究指導者環境での博士論文研究から考えて水蒸気爆発モデル実験などに関して十分な経験と知識を持っていると思われる。上記のような図表の解釈に間違いはあるものの。）

ただ、そのモデル実験からの実機への検討は、あくまでもPWRでのことを中心にしているように思われます。そこだけにこだわっていると問題も起こるから、実機のことをよく考えて検討していただきたいと思うんです。

それから、私はこの水蒸気爆発のことにに関して全く研究経験はなく、本当に正直申して素人なのでわかりません。けれども、私は（高経年化で問題とされている）圧力容器の照射脆化の問題をずっと研究してきておりました。大学の人間として、（圧力容器の）モデル合金の研究を沢山やってきました。だけれどもやはりモデル合金と複雑な材料である監視試験片実機のデータとは違うところが沢山ありました。モデル合金だけでは絶対出てこないような問題もありました。私はそのためにベルギー原子力研究所から圧力容器鋼の監視試験片の残材を手に入れて、それで共同研究で、実験ではこうこう違ってくるよということも示すような研究もしました。

そういう経験もありますから、モデル実験から示唆される点を実機の問題にそのまま適応す

るのも否定するのも間違いである可能性があります。出てきたことは慎重に注視していかなければいけないけれども、一方であまりこだわってそこばかりやっていると、もっと大事なことを見落とすこともありうる懸念しています。非常に難しいところもありますが、厳しく検討するとともに、実機で起こるであろう当該事項を概観的に見つめるとともに、最新の研究例にも常に注意を払い検討を続けていただきたいと思います。このような観点からも、東北電力さんには、この課題に限らず、こうこうこういうことでこうだということをもっと明確にわかるようにしていただけたらと思います。ちょっと勘違いなことを言っているかもしれませんが、それでも。

○東北電力株式会社 今の点ですけれども、基本的には27ページに少し書いておりますけれども、我々は熔融炉心冷却対策としての水張りというものを考えております。ここに至るまでは、弊社の回答という中にあるとおり、炉心事故に至らないような対策を設計基準事故対処設備で十分防ぐ、そうなった場合でも炉心損傷を防ぐ、炉心損傷の進展を防ぐと、多重に対策をとって、その可能性が十分低くなるように検討しております。その上で、それでも炉心に一切水が行かないときどうなるんですか、それに対するどういう対策をとりますかということを考える上で、ここに書いてあるようなFCI、水蒸気爆発やMCCIのような不確かさが大きい事象についてもスコープに入れて検討をしているところです。

それに対して、水蒸気爆発の懸念があるという点は十分視野に入れて議論がなされていて、一方でMCCIにという観点で言えば熔融炉心の冷却というために冷却水を入れなくては行かず、そこを両方見通した上で何が適切かということも議論しているものでございます。

なので、もちろん水蒸気爆発単品を考えた場合に、ご指摘のようなものがあるのは理解しておりますし、審査の中でもそこを十分に理解した上でどのような対策をとるかということが考えられています。このTROIの実験に関しても、その一環で、実験測定に不確かさがあるなどいろいろありますけれども、しっかり並べて資料にも載せた上で、これを議論した上で、何が対策として適切かということをお示ししているところです。

ちょっとTROIの文献については、今ほどご指摘があったとおりストラスブル大学の博士論文というところではございますけれども、本日ご説明させていただいたとおり著者自体はSERENA2に直接関与している方であるということを確認しておりますし、この仏国カダラッシュ研究所は、まさに本場の熔融物の研究としては十分信頼性のある組織の監修も入っているということを踏まえると、この内容について誤りということはないというふうに考えていて、ご指摘のとおりいろんな思いがああ論文を読むとありますけれども、ただデータを使って、

我々はSA対策の妥当性というか、溶融炉心冷却対策の妥当性を考えるために使用しているので、純粋に我々は学術研究をしているわけではありませんので、その観点から言えば今回の適用といった点は問題ないレベルかなと考えているところです。まずは以上です。

○座長 そのほかご質問ございますか。

私のほうから2つあるんですけども、1つは今、このドクターの方の資質ということに関連して、ドクター論文として文献1というのがございますけれども、そのほかこの方が査読付きのジャーナルとかそういうところに投稿して掲載された実績があるかどうかと、ちょっとこの論文、この水蒸気爆発だけじゃなくて、そういう研究者としてのバックグラウンドはどういうものかというのが、もしわかれば教えていただきたいというのが一点。

もう1つは、21ページのところのコードを使って解析をされているわけですけども、JASMINCODEコードは、これは当然のことながら実験とかそういうので検証していると思うんですけども、その検証にはどういうデータが使われたのか。あるいはTROIの実験というのがこの検証にも使われているのかどうか、その辺を確認したいと思います。以上です。

○東北電力株式会社 2点ございまして、前半のほうの、まず文献1の著者のバックグラウンドというところですけども、すみません、記憶で申しわけないんですけども、彼の記載している論文というのは確認しておりまして、年に一、二ジャーナルが出ているような形で実績を積んでおられます。卒業後も現在も研究者として活動されておりまして、論文を出されているということ、ジャーナルを出されているということを確認しております。前半の部分は以上です。

○長谷川委員 一応調べたんですが、Tyrpek1博士は、チェコ・首都プラハの中心街にあるチャルマース大学の准教授として研究実績を上げておられます。また属している研究グループは、アカデミー会員の女性をリーダーとする有力グループと思われまます。彼はそのメンバーとして、実績を上げているようです。

○座長 ありがとうございます。

○東北電力株式会社 2点目についてですけども、JASMINCODEコードについての検証ですけども、こちらはJAEAのほうで開発したコードですけども、各段階につきまして検証は行われておりまして、粗混合については資料のほうにも載せておりますけれども、ファローの実験、あとは爆発の規模についてはクロトスの実験とベンチマーク解析を実施して妥当性の検証を行っております。説明としては以上です。（「TROIについては」の声あり）TROIについては、直接検証のデータとしては使われておりません。

○座長 そのほかご質問ございますでしょうか。

それでは、今までの議論を踏まえまして、成合先生からコメントをお願いしたいと思いますので、よろしくお願いします。

○成合教授 成合でございます。よろしくお願いいたします。

きょうは水蒸気爆発が論点になっているということで、水蒸気爆発であれば成合がいいだろうと、これは多分、岩崎先生から、阿部先生から、私のほうに推薦があったんじゃないかと思っております。

それで、水蒸気爆発については、日本の水蒸気爆発についてご紹介させていただきたいと思いますが、日本でも1978年ごろ、そのちょっと前からですけども、このごろ大変関心が持たれまして、実は1978年の日本原子力学会誌6月号には、東京大学で今はもう亡くなられた秋山守先生が、熔融燃料と冷却材の熱的相互作用の研究ということで出版されています。同じ年に、日本機械学会誌の12月号に私がベーパーエクспロージョンについてという解説を書いております。このころから日本でも本格的に水蒸気爆発というものがいろいろ言われるようになったと考えてよろしいかと思えます。

私は、78年ですが、蒸気爆発とかいろいろなことをやりながら研究をやっていましたが、2002年に筑波大学を定年退職いたしました。その間、学生には、何か落とすといってもまさかあんな高い温度は無理ですので、例えば熔融すずとか幾つかそういう熔融しやすいものを温めて、ぽーんと落として、どの程度の温度になるとどうなるか、そんな研究を学生にやらせていたことを、2002年の定年までやったことで、大変なつかしく思っておりますし、それで大体水蒸気爆発とはこういうものなんだと、それはいろいろ学会でも発表しておりますし、外国でのいろいろな研究が出ております。そういうようなものとの比較なんかも検討したことは覚えています。

2002年になりますと、2002年で定年ですから、その後はあまり研究とはいきませんが、それに関連して1990年代の中ごろ、1996年ぐらいですかね、5、6年に実はいろいろ中国とか行きましたが、韓国に行きまして、このときに韓国でTRO Iの実験を開始いたしておりました。ちょうど1回目をやったところだなんていうときは、たしか1995か1996年か、そのころだったと思います。それからずっとなって、2002年に私は定年になりまして、そのときは六十二、三歳になっていましたが、その後、原子力安全基盤機構の関係でヨーロッパとかいろいろなところに、そのとき韓国にもご挨拶に行きまして、それでもう一度TRO I実験をしたら、前回のときはちょっとやったなんて言ってまだ何か全然90年代は自

信なさそうでしたが、2005年ぐらいですから、2005年か2006年、少し元気が出ておりまして、正確に8、9年になるとちゃんとしたものが出てきたなど、きょう今回のこれでも確認されたものでございます。こういうものをなつかしく思います。

それ以降はいろいろ、JNESとか、それから何かをずっとやっておりまして、また東日本大震災の発生ということで、先ほどもちょっと紹介ありましたが、水蒸気爆発については長年タッチしておりませんでした。今回こんなに関心が持たれているということで、ちょっとびっくりしたことでございます。

そういうことでございますが、今も外部トリガーとか何かということがありますが、いわゆる高温ですから周りの水は全然すぐに蒸発しちゃって、全然接触しないわけですから、ですからTRO I実験で50気圧ぐらいの圧力波をかけたというのは、あれはバンとやって、強制的に接触させて、それによって少しやっとな。何もやらなければ、普通なかなかそれを実現するのは大変な、すぐに温度差、温度が違うのは二千何百度というのと、片方はもっとずっと温度が低いですからね。そんなことを思い出しますし、いろんなことがありましたけれども、思い出すのはそういうことでございまして、今回のこれで、どういうふうになっていくのかなというのが、ちょっと関心を持っておりました。

どうでしょうか。もうちょっと何か話をしましょうか。何かご質問でもあったら。

○座長 先生方から何かご質問等ございますでしょうか。関根先生、お願いします。

○関根委員 今のお話の中で強制接触という表現をされましたけれども、そういう条件が整ったときに初めて起こると考えてよろしいのでしょうか。

○成合教授 強制接触というちょっと変な表現をしましたが、どうも申しわけございません。やっぱり片方は高温ですし、溶融になっても高温って、溶融といっても温度が2800、それから何かが起こっていても、何か不純物が入っているとちょっと温度が下がりますけれども、ちょっとって、下がるといっても二千何百度ですからね。それであと、固化するわけですからね。これをするというのはとても大変で、そんな確認を、私もずっと何かをやりながら、温度をずっと下げたりやって実験をやって、ああ固化しちゃったとか、固化しちゃうともうだめです。だめと、起こりませんので、そういうことを思い出しますね。

それから、先ほどの電力さんのいろいろな話、まだ下のほうはどうしたら一番最適かというのはわからないということでございました。

いずにしても、ですから向こうでは、最初は50気圧でTRO Iはやっているにしましても、その最後のころはいろいろやっっているいろいろ苦労して、ようやく2005年でまだ、大分進んだ

けれども完全じゃなかった。2007、8年でやっとできたというようなことは、そういうこともあるんじゃないかと思っております。

○座長 鈴木先生、よろしくお願いします。

○鈴木委員 成合先生とは以前からいろいろ、全然専門は違うんですが教えていただいたわけで感心しているんですが、さっき秋山守先生が研究をされて、秋山先生は実は私もちょっとご指導いただいたことがあります。秋山先生からアサクラ先生、その流れですね。ほかの方もいらっしゃる。先生はJNESの理事長もされていたわけですから、そういう先生方の78年からの研究の経緯あるいは結果を、例えばJNESのようなところ、あるいは原子力学会のようなところで、いわゆる実用に、高度化まではいかななくても何か指針を出すとか、そういうような動きはあったんでしょうか。

○成合教授 秋山先生は私より5つか6つぐらい上の方で、10年ぐらい前に亡くなりましたけれども、私も大変お世話になって、何だというと秋山先生の後をくっついてきたというような感じぐらいにいろいろお世話になりました。

ですから、秋山先生がどこまでこれをやられたかは別にして、学会誌にまず日本での状況、日本とそれから世界、これから水蒸気爆発というのはこんなもんだということをあれしたんです。だから、私が秋山先生が書いたのを知らないで、3カ月、4カ月後に機械学会のほうに書いたんですけれども、それで秋山先生が推薦したんですかと言ったら、いや、していませんというので、何かがあって機械学会が独立にちょうど頼まれたということで、それはそういう状況でした。

そのときは、ですから我々も本当はどういうところにどうなるんだろうとか、原子炉とか、原子力もまだ、どんどん向こうからの導入とか、もちろん日本独自も考え始めてはおられたでしょうね。70年代後半ですからね、でしょうけれどもね。そんな状況だったので、当時の私はいずれにしても、こういう問題があるのかということで、いろいろ実験をやっていたという状況でございますし、こういう程度か、でもこれは大学じゃあ大気圧の実験はできるけれども、そんな大きな実験は大きなお金がかかるしということで。

それで、先ほど申し上げましたように、韓国でも始めているということが二、三回行ったときにありまして、1回目と2回目は、2回目の2005年はかなり進んだなというところを、大変印象深かったということでございます。ですから、韓国の、先ほどお話ありましたように、全部これが正しいというのかどうか、なかなか苦難の中でいろいろとやっていたんじゃないかというような、これは私の個人的な印象だけのお話でございますけれども。

○座長 そのほか何かご質問。先生、一つ、先ほど岩崎先生のお話の中にもありましたけれども、PとB、やはり下の構造が違うということで、水蒸気爆発の起こりやすさ、起こりにくさということはあるかと思うんですけれども、その辺、先生としてはどのようにお考えでしょうか。

○成合教授 申しわけありません。私が先ほどちょっと申し上げましたように、全ての原子力プラント、一応は全部、原子炉安全審査会とか何かのメンバーとして行きましたけれども、個々のそういうような、どれがどれだったかも20年もたっちゃうと、年もとってくるとなかなかあれで大変なので。

でも、先ほど電力さんが言われたように、これはこうだと、いろんなことは、その話は昔からちょっと出ていたような感じはしましたけれども、むしろそれほど個々のこれがいい悪いというのは、ただ見ているだけで研究はちょっとしていませんでしたので。

○座長 そのほか何かご質問ございますか。よろしいでしょうか。

それでは、ご質問もないようですので、以上で資料2に関する議論を終了いたします。

ここで休憩をとりたいと思います。再開は14時でよろしいですか。それでは14時を再開といたします。それでは、休憩にしたいと思います。

〔休 憩〕

○座長 それでは、時間となりましたので、議事を再開いたします。

「2 新規制基準適合性審査申請について」

- ・ (8) 重大事故対策 (格納容器破損防止)
- ・ (8) 重大事故対策 (その他)

○座長 (1) 各論点の説明・検討のうち、(8) 重大事故対策 (格納容器破損防止) 及び (その他) について、東北電力株式会社から説明をお願いいたします。

○東北電力株式会社 東北電力の佐藤です。

それでは、資料-3に基づきましてご説明をさせていただきます。

資料-3、1ページをごらんください。

これまでいただいております質問ですが、大気中へのセシウム137の放出量の評価判断基準(100テラベクレル)というものがございますが、これについて事業者としてそのレベルで

あれば問題ないという根拠、考え方を説明してくださいというご質問をいただいております。これについて回答させていただきます。

重大事故が発生した場合に想定される放射性物質というのは、セシウムだけではなくて、希ガス、ヨウ素、こういったものがございまして。ただ、希ガス、ヨウ素に関しましては半減期が短く、長期的な汚染には寄与しないものと理解しています。このため、想定される放出量が多く、また半減期が長いセシウム137、これの放出量について100テラベクレルが判断基準とされているということでございまして。これにより、長期的な避難に至るような土壌汚染、こういったものは発電所の敷地内にとどめられるというものであらうと考えてございまして。こういう考え方を当社で理解しているということではあるんですが、その根拠を少しこちらのほうに整理してございまして。

1つ目の矢羽根ですが、福島第一事故時、事故後に行われました文部科学省、それから米国のDOE、こういったところで航空モニタリングをやってございまして、その結果について報告がなされてございまして。それが右図に示しているところでございまして、これによれば敷地付近を除いた範囲の線量率は最大で91マイクロシーベルト/h、こういうレベルであったと報告されてございまして。

2つ目の矢羽根ですが、福島第一事故でのセシウム137、この総放出量については約1万テラベクレルであったという報告がございまして。判断基準でございまして100テラベクレルというのは、その100分の1に当たるということになります。仮にですが、1F事故時の放出量が100テラベクレルということであったとすれば、これは比例計算でのあれですけれども、1マイクロシーベルト以下という状況になっていたのだらうというふうに考えることができると思います。こういうレベルであれば、長期的な避難に至るような土壌汚染は発電所の敷地内にとどまったのではないかとこのように考えます。

長期的な避難というのに対しては、1F事故時に経産省が避難基準というのを出してございまして、年間20ミリシーベルト、こういうものに比べても、今100テラベクレルという基準であれば相当低いところで抑えることができるのではないかなと、そういう状況だというふうに理解してございまして。

下のポツですが、参考までにとこのことで、女川2号炉におきまして炉心の著しい損傷が発生した場合のセシウムの総放出量ですが、これは1.4テラベクレルとなっております。1Fの放出の実績に対しては7000分の1程度ということになります。仮にですが、1F事故時に放出量が7000分の1程度であるとすればですが、0.013マイクロシーベルト/h

程度の影響であったのではなかろうかと、これも比例計算ということではありますが、こういうオーダー感だと思います。

以上が回答にはなるのですが、女川の場合1.4テラベクレルということで、これは大LOCA、大破断LOCAを想定して、電源系であるとか、ECCS系の機能が喪失されている事象、それを想定しての放出の量でございます。

ただ、こういう結果に満足するということではなくて、基準は基準として捉えて、我々のある事象想定に対しての放出量というのもしっかりと、それは事実、事象評価から出てくる事実なので、それはそれとしましても継続的にこういう放出時のリスクというのを低下させる、軽減させるという意味では、いろいろな取組みがあると思います。訓練を重ねて事故時の対応をしっかりとやっていくというのもそうだろうと思いますし、またリスク評価にあるようなものを活用しながら継続的にプラントの弱いところというのを自分たちなりに考えながら、こういう放出に至るような事象の発生頻度というものを下げていく、いろんな取組みがあると思いますが、そういったことは継続的にやっていくべきものだなというふうに考えてございます。

当社からの説明は以上になります。

○座長 引き続き、資料－4のほうの説明をお願いいたします。

○東北電力株式会社 東北電力、紺野でございます。

資料－4のほうのご説明をさせていただきます。

1ページ目をごらんください。

論点ナンバー80関連でございまして、避難計画のために想定すべき事故事象の妥当性について確認したいという内容のご質問でいただいておりますので、これにつきましてご説明させていただきます。

まず、避難計画の法律上の位置づけについてのご説明から入らせていただきます。

1つ目のポツですが、原子力災害対策特別措置法、防災基本計画法に基づき、原子力事業者、国、地方公共団体等は、原子力事業者防災業務計画や避難計画等をあらかじめ策定するといった原子力災害事前対策、以下、この資料では事前対策と表記しますが、こちらを行う必要があります、これに基づきまして関係市町は避難計画を作成しております。

事前対策に当たりましては、原子力災害対策指針に基づく、下表に示します原子力災害対策重点区域や避難等の行動などを踏まえる必要があるとされております。

表のご説明ですが、原子力災害対策重点区域というものにつきましては2つの種類がございまして、距離が原子力発電所からおおむね5キロ以内の場所につきましては、予防的防護措置

を準備する区域、通称P A Zと呼ばれます。また、原子力発電所からおおむね5キロから30キロの圏内の地域につきましては、緊急防護措置を準備する区域として通称U P Zと呼ばれます。

それぞれの区域について、避難に対する目的、あと避難の行動がどうなるかというところが表の右側にごさいます、P A Zにつきましては、確定的影響等を回避する目的がごさいます。確定的影響といえますのは、例として、白内障、脱毛などの体の症状があらわれることを示します。避難等の行動としましては、緊急時活動レベル、こちらは通称E A Lと呼ばれます。こちらに基づきまして、放射性物質の放出前の段階から避難等を実施するとされております。

こちらのE A Lのご説明を※1として下に打ってごさいます、放射性物質の放出前に予防的に避難・屋内退避等を準備・実施する基準でごさいます、警戒事態、施設敷地緊急事態、全面緊急事態に区分されます。

また、U P Zのほうの避難の目的でごさいます、こちらは確率論的影響のリスクを最小限に抑える、こちらは例としてがんなどごさいます。

避難等の行動につきましては、先ほどのE A Lに基づきまして、放射性物質の放出前の段階から屋内退避等を実施し、放出後は運用上の介入レベル、こちらは通称O I Lと呼ばれます、これに基づき避難、一時移転等を実施いたします。

O I Lの説明は※2に記載してありますが、放射性物質の放出後に避難、一時移転等を行うための基準でごさいます、緊急時に行われるモニタリングの結果、そのモニタリングは空間線量率や放射性物質の濃度などをモニタリングいたします、こちらにより判断されるものでごさいます。

この事前対策において、備えておくことは合理的であると考える事項につきましては、第36回原子力規制委員会におきまして、このように述べられております。具体的な事故シナリオに関係なく、適合性審査において評価された重大事故シナリオを超えるセシウム137の放出が100テラベクレルに相当するものとされておまして、この想定において上記の原子力災害対策重点区域や避難等の行動が有効であることが確認されております。

ここまでの避難計画及び事故想定について、国により示されている内容のご説明となります。次のページをお願いいたします。

ここからは、備えておく事故事象と当社の有効性評価の事故事象の関連についてご説明させていただきます。

新規基準の適合性審査では、想定する事故事象について、大気中へのセシウム137放出

量が判断基準100テラベクレルを下回っていることを確認することとされております。それに対し、当社において想定すべき事故事象の有効性評価では、全て判断基準100テラベクレルを下回っていることを確認しております。具体的には、資料の3でも述べましたとおり、セシウム137の放出が最大となるのは、下記事象、下記事象と申しますのは、格納容器過圧・過温破損の事象でございますが、この場合の1.4テラベクレルでございます。前述の事前対策において備えておくことが合理的であると考えられる事故でのセシウム137の放出が100テラベクレルに対しまして、十分に低いものでございます。

ご説明は以上になります。

○座長 ありがとうございます。

初めに、この件につきまして、欠席の先生から何かコメントがありましたら、事務局からご報告をお願いします。

○事務局 特にございませんでした。

○座長 それでは、先生方、何か質問等がありましたらご発言いただきたいと思います。源栄先生。

○源栄委員 こういう放射性物質の放出があったときに、最初に私が思い出すのは2007年だったかな、新潟県中越沖地震で鈴木浩平先生と一緒に地震工学会調査に行ったとき、このときにメディアがこの量的な把握をしていないで、世界中大変なことになると、要するに問題を起こした、社会問題になったんですけれども、こういった社会教育という意味での共通認識ですね。社会教育、あと学校教育ですね。社会教育はメディア対応が一番大事。どれぐらいのときにどういうふうになるのかというのをちゃんとしなければいけない。

それから、学校教育は、福島県の教育委員会の指導書を見せてもらったことがあるんですが、非常によくできているのね。それで、宮城県はどうなっているんですかというあたり。それと、これと電力が出している数値とミスマッチがないようにということで、その辺に対してコメントになりますけれども、現況、どういう計画をしているのかというのをちょっとお伺いしたいです。

○東北電力株式会社 東北電力の青木と申します。

直接私どもでメディアに教育とか、そういうものはやってはいませんが、例えば私どもの組織ではないですけれども、東北エネルギー懇談会であるとか、そういうところがいろいろな教育を学校も含めてやっております。私どもは、例えば女川とか、東通であるとか、そういう私どもの発電所の近くでそういうことをやれば、所員も当然協力をしてそういう教育に携

わるというようなことをやっております。

あと、やはり一番重要なのは、こういう万が一事故が起きたような場合に正しい情報をきちんと間違いなく情報発信をするということが重要だと思いますので、そういうところの訓練等はきちんとやっていきたいというふうに考えております。

○源栄委員 ご確認で、住民の移動もあれば、学校の先生なんかは教員の異動がある。それで、徹底していないと、一貫した方針でやっていないと、知らない方がいると問題を起こすので、ぜひスムーズに対応できるようにしていただきたいと思いますので、よろしくお願いします。

○座長 そのほかご質問ございますか。関根先生、お願いします。

○関根委員 ご説明どうもありがとうございました。資料－3と4はほぼ内容的にかぶっているところも多く、一貫したご説明だったなと思いました。

最初の100テラベクレルについての事業者としての受けとめ方ということで私はお伺いしたつもりではありましたが、これで、このレベルであれば問題がないという根拠を説明してほしいというように、一つ踏み込んだ形で質問を受け取っていただいたと私は認識しています。

それから、内容が3つに分かれているかなと思うのですが、一つは、国としてこれをどういうふうに捉えているのかというのは資料－4の最初のところでまとめていただきました。それから、福島原発に関連して、これはどのように位置づけられるかというのが2点目です。3点目は、東北電力、この女川の場合には放出量が最大でも1.4テラベクレルになるという試算をされているという、この3つかなと思いました。国の論点というのがよくわかりました。

それから、これは要望ですけれども、1.4テラベクレルというのは資料－4の2ページ目の下のようなシステムがちゃんと働いて、それを想定して今試算されているということですよ。ですので、いわゆるこのフィルタベント系はもはや製作されているところを私もいつだったか見学の折に大規模なものを見せていただきましたけれども、あれが健全に働くように、いろいろな反省や改良も含めて、安全にこういう想定ができるように努力していただきたいと思います。これは要望です。今、この場で計算で云々かんぬんというのは私もどうしようもないのです。実績があればいいのですけれども、実際にこういうものを想定してつくられ、いろいろ準備されているという段階ですので、それはしっかりとしたものにしていただきたいというのが私の意見です。以上です。

○東北電力株式会社 東北電力、佐藤です。

ありがとうございます。除熱系に対しては、大気への放出、それから現在の除熱機能が、機

機能喪失パターンというのがやっぱりいろんな機能喪失モードがあって、海水系の取水のほう機能が喪失した場合であるとか、残留熱除去系の本体が機能喪失した場合、いろいろ考えながら対策の多様化というのを行っています。その一つ、除熱機能として補完するものがフィルタベント系になります。このほかに、代替循環冷却系という、既存の残留熱除去系と同じように海をヒートシンクとしながら除熱をする、格納容器保護をするという対策があります。

こういう多様化もいろいろ図っているところですが、こういったものにも必ず人が操作をする、もしくは一部可搬型で対応する。フィルタベント一つとっても、必ずしも中央制御室から操作できるという場合ではなくて、現場に行って遠隔で弁を手動であける、そういうものが手順としてもしっかり整備されていきますので、そういう訓練をしっかりとやりながら、せっかくこういうさまざまなことを考えてつけたものが、確実に人のミスが発生しないように熟練されて、しっかりとそういうものが操作できていくように、継続して教育訓練等にも当たっていきたいと思います。いろいろご指摘ありがとうございました。

○座長 岩崎先生、お願いします。

○岩崎委員 資料-4のほうで、避難計画の前に想定すべき事象として100テラベクレルというところで、国のほうで審査で示されたということですがけれども、資料3のほうで、ちょうど図があって、これは今避難計画を想定すべき大前提になるんですけれども、福島の場合は30キロを超えて風向きによっては長期の避難を必要とする地域が発生しているということが明白になっているわけですね。

それで、この事態を捉えて、まずUPZの30キロというのを考えるときに、どのような事象、どのような根拠の30キロであったのかというのを確認させてください。

○東北電力株式会社 ご質問ありがとうございます。

先生のおっしゃるとおり、福島事故の場合は、この30キロ圏外までこのように放射性物質の沈着の色が赤色になっております。もしこのような状況になった場合、今の法律であっても、まずは事前に準備するエリアとしては5キロから30キロまでとありますが、万一その外側まで放出された場合は、UPZの避難に準じて避難するということは、この資料には記載していませんでしたが、そういった国の整理のほうはなされております。

もう一つ、我々が今日お示したように、原子力発電所の安全性を高めることで、放出量を減らすことで、このような分布にはならないようにまず持っていくところを考えております。UPZの設定の国の考え方としましては、IAEAという世界の機関の考え方と、あと1F事故のときの実績に対して、今後は100テラベクレル以下の放出にするという審査の基

準を踏まえまして設定されたものでございます。

○岩崎委員 その辺はI A E Aベースで、それで今宮城県の避難計画をいろいろ策定する県のご努力も初めとして、電力さんも含めていろんな検討をなされていると思うんですが、それがUPZというのに縛られているんですね。それで、県民から目線だと、30キロのUPZの外は逃げる必要がないという大前提で捉えているような雰囲気があって、福島事故のようなことが仮に起こらない……、起こったときは逃げる可能性もある地域が発生するよということを、特に県の方々に十分認識していただきたいんですね。県の方々ね。避難計画あるいは市の計画を策定する際に、UPZの中だけを一生懸命今やって、その隣の市町村はあまり声かけしていないんじゃないかと思うということで、その辺を十分、UPZの限界というのをここで、電力さんではないですけども、県の方にぜひともご指摘しておきたいと思います。可能性としては、例えば仙台のほうに飛んでくるかもしれないわけですね、風向によっては。仙台に飛んできたときに、仙台の人は今逃げるとは誰も考えていないですよ。それをどうするんですか。塩竈の人は逃げる、その先の仙台は逃げる、じゃあ仙台はどこへ逃げるんですかということは今一言も触れられていないけれども、東海第二みたいに100万逃げるよりはいいかもしれませんけれども。

そういうことで、今100テラを仮に妥当だとしたときにも、UPZが風向によってはプルームが発生して集中して、離れたところで雨が降って、そこを避難しなければいけないということも30キロを超えて出てくる可能性があるわけですから、これはソースは100テラと言っているだけで、飛び方については何の言及もされていないわけですよ、2点目からいうということで、これはここで私は、県の方々、これから一生懸命市と町村の方々と策定されると思うんですけども、十分検討していただきたいと思います。

それと、福島事故で1万出ているということと、100にするという大前提が、やっぱりフィルタベントによる部分が非常に多くて、今言及されましたけれども、フィルタベントが仮にうまくいかなかったと、ほかは全部うまくいっても、というときはどうなりましたっけ。確認させてください。どのくらい出るんですしたっけ。

○東北電力株式会社 東北電力、佐藤です。

そういった具体的な、何もフィルタ効果がない状態でどうですかという定量的なデータというのは評価値持ってございませませんが、フィルタベントの性能を考えれば、100テラベクレルというのは満たせないというようなことになります。

○岩崎委員 いろんな機器を今回追加されたり、補強されていますけれども、津波にとっては防

潮堤がキーであるように、放出についてはフィルタベントがキーなんですよね。あくまでも、中はともかくとして。ですから、フィルタベントの信頼性というのをどの程度見るかというのが、おっしゃっていた訓練が必要だとか、そういうことがあるので、運用のときに十分、非常時、困ったときでもやれるように、十分な訓練あるいは十分な性能維持をやっていただかないと福島のアレになってしまうので、フィルタベントが第二の命ぐらいなことで、やっぱりちょっと一生懸命お願いしたいなというのをこの図、避難計画の100テラをキープするという意味でもお願いしたいという意見でございます。以上です。

○座長 そのほかご質問ございますか。よろしいでしょうか。

○環境生活部長 今、県のほうに対してもご意見があったというふうに思いますので、一言だけお答えというか、考え方を申し上げたいと思います。

新しい規制基準のほうでは、適合性審査はこの資料にもありますけれども、セシウム137の放出量が100テラベクレルを下回っているということを確認するという観点で審査が行われているということでございますので、我々もある意味でそれを一つ念頭に置きながらというか、それをまず前提にして考えているところではございますけれども、先ほど岩崎先生からお話があったような部分については、さまざまなところから指摘がある点でもありますので、我々はそういった部分についても念頭に置きながら考えていきたいというふうに思っております。

○座長 ありがとうございます。それでは、よろしいでしょうか。

それでは、以上で（8）重大事故対策（格納容器破損防止）及び（その他）についての本日の議論を終了いたします。

「2 新規制基準適合性審査申請について」

・（3）その他の自然現象（竜巻）

○座長 次に、（3）その他の自然現象（竜巻）について、東北電力株式会社から説明をお願いいたします。

○東北電力株式会社 東北電力の佐藤です。

資料－5に従いましてご説明をさせていただきます。

いただいた質問ですが、1ページをごらんいただきまして、確率論的に求めた竜巻に関してですが、ハザード曲線の求め方、その考え方を別途説明してほしい、こういうことございました。回答にあります。4つ矢羽根がございます。

まず1つ目、これは日本の竜巻の評価ガイドの成り立ちみたいなことにもなるんですが、原子力発電所の竜巻影響評価ガイドというのは、米国のNRCのガイドライン、これを参考にしておつくりされています。

2つ目ですが、竜巻影響評価ガイドが参考としたNRCのガイド、これにおいては竜巻の観測記録に基づきまして、竜巻の発生数のポアソン分布またはポリヤ分布への適合性、それから竜巻の諸元として風速、被害幅、被害長さの対数正規分布への適合性、こういったものが確認されているということでございます。こういった適合があるものも分布系に基づいてハザード曲線を求めるというのが米国の考え方として整理されていると。

一方、国内でこうした考え方を適用するに当たっては、これは当時、平成21年から22年に行われた研究なんですが、原子力安全基盤機構、JNESですね。ここが東京工芸大に委託をして研究がなされているということで、国内の竜巻の観測記録に対しても、こうした米国で適用しているような発生数に対してのポアソン分布、ポリヤ分布の適合性、諸元に対しての対数正規分布の適合性、こういったものについて確認をしているということでございます。

次のページに図1がございます。2ページ目に図1というのがございまして、これが原子力安全基盤機構で行われた成果ということになりますが、これをごらんいただくと、竜巻の観測数に対しては、青がポリヤ分布ということですが、よく適合しているということがおわかりになるかと思えます。そして、3ページ目を見ていただきますと、竜巻の諸元に対しての対数正規分布の適合状況の確認ということで結果が載ってございまして、赤の線が対数正規分布ですが、観測値はよく一致をしているという、こういう確認がなされて、国内のガイドにおいてもこうした発生数についてはポリヤ分布またはポアソン分布を、諸元に対しては対数正規分布を適用するというのが、ガイドとして適用されたということになります。

資料4ページをごらんいただきたいと思います。

こちらは竜巻ハザード曲線の求め方のプロセスを書いたものでございます。図3がその作成プロセスということになりますが、まずフローの一番上、竜巻検討地域における観測の記録ということで、女川原子力発電所では竜巻検討地域を、ちょっと小さいですが、右側の吹き出しの図に示すような赤い領域ですね。北海道の襟裳岬から千葉の九十九里、こういうところが気候的には類似しているということで判断をしておつくりまして、この領域を対象としまして、これまでの観測記録というのを確認しています。観測記録というのは、1961年から2012年の6月、51.5年という期間の記録になります。

こういった期間の記録を踏まえて、次のステップですが、竜巻に係る統計量の作成というこ

とをしております。統計量の作成というのは、年の発生数であるとか、竜巻が起こったときの実際の被害幅であるとか被害長さ、そういったものを竜巻の大きさごとに整理をするという作業になりますが、こういうことをします。

こういったデータをつくる時、竜巻というのは非常にやっぱり発生がまれで、発生数というのも非常に少ないというのがほかの自然現象と違うところだと思います。ですので、いろいろと竜巻が起こっても、竜巻というのは起こった後の被害状況から、この程度の大きさのレベルのものが発生したんだなというように判断をされていくようなものです。どこかに観測計があるとかそういうものでは必ずしもないということですので、竜巻の大きさが不明だというふうに整理をされるものも結構あります。そういうものについても、データ数が少ないので不明なまま扱うのではなくて、実際にある竜巻のレベルが幾つかの区分で定められておまして、その発生の実績というのは確認されていますので、そういった発生数に案分をするとかか配分をしてあげて、データを補完するというようなことをしたりしています。そういったことをして、竜巻に係る統計量の作成というのは、そういうもろもろのデータを補完するような作業を初め、実績の整理ということになります。

そういう整理されたデータを用いまして、2つの作業を行います、1つは確率密度分布の推定ということになります。これは竜巻に係る統計量に基づいて、まさに確率密度分布を推定するというものでございまして、竜巻の発生数については、先ほど申しましたとおり適合性の高いポリヤ分布というのをを用いて評価をしてございます。また、諸元については対数正規分布を当社としても適用して算出しているということになります。それから、もう1つ、相関係数の算出ということを行います、これは竜巻の最大風速のハザード曲線の算定のために、竜巻に係る統計量、発生数であるとか、平均値であるとか、標準偏差、こういったものに基づきまして、竜巻の最大風速に対する被害幅、長さの相関係数というものを算出します。こういったものを求めて、これらをインプットとして、竜巻最大風速のハザード曲線の算定をするということになります。

一つ、このプロセスの中で、確率密度分布の推定とか、相関係数の算出、これは右のほうにある竜巻検討地域という赤い線で描いた領域、北海道から千葉までの領域に対する統計です。それを女川の発電所の中の竜巻から防護しなければいけないもの、これらの領域を囲むエリア、このエリアに対してどういう風速レベルのものがどういう頻度で発生するかというのを求めるのが、竜巻最大風速のハザード曲線の算定ということになります。

ハザード曲線は、4ページの右下にございますが、ガイドでは年の超過確率が10のマイナ

ス5乗より大きくならないように設定しなさいというふうに言ってございます。マイナス5乗のオーダーに相当します風速レベルというのが表記してございますが、86.7メートル/sということになってございます。これを我々は確率評価から得た竜巻の大きさというふうに位置づけをしています。

4ページの上の箱をちょっとごらんいただきたいと思いますが、2つ目の矢羽根ですね。 V_{B2} 及び V_B 、これは V_{B1} ですね。すみません、ちょっと脱字がありますが、 V_{B2} 及び V_{B1} のうち日本における竜巻観測記録の既往最大値(V_{B1})92メートルを踏まえてということで、確率的に求めたものを V_{B2} と呼びますが、これは86.7メートルです。観測実績に基づく最大値というのは92メートルになります。この2つを比較して、大きいほうを我々としては防護設計を行う際の設計竜巻として位置づけているということになります。ですので、92メートルが女川でいう設計竜巻ということになります。

さらに、こうした評価をした後、実際に対策を行う上では、これに保守性をとって100メートル/sというふうにして取り扱いをしてございます。これは、竜巻という事象の不確かさというものもありますし、対策をする上での安全余裕として考えて上増しをしているということで、100メートルという位置づけでの取り扱いをしてございます。

説明は以上になります。

○座長 ありがとうございます。

初めに、この件につきまして、欠席の先生から何かコメントがありましたら、事務局からご報告お願いいたします。

○事務局 特にございませんでした。

○座長 それでは、先生方、何か質問等がありましたら、ご発言をいただきたいと思います。源栄先生、お願いします。

○源栄委員 1つは、竜巻であるのはわかるんですけども、私は地震災害の専門、それから災害科学全体からいうと、複合災害という視点から、その2つの観点から、竜巻のこの荷重、90メートル、87メートルとか、100メートルとかいうのは、これは要するに設計する対象によって、これは地震荷重のどれぐらいになるのとか、地震荷重で設計したやつは風速にするとか何メートルに相当するのとか、そういう位置づけをきちんとしておくというのは大事。そうすると、地震の大きいやつは全然関係ないわけよね、何メートルにしようが。

それと、複合災害という立場から見て、これ同時に起こったとか、2つの災害の関係をどういうふう to 処理するのかというのは、今後、これからますます大事になってくると思いますの

で、それに対してどういうふうに対応していくのかというあたりの回答、ご返答をいただけるとありがたいんですけども。

○東北電力株式会社 東北電力の阿部と申します。

今、先生がおっしゃられた竜巻に対して地震のようにどれぐらいの耐力があるかというものに対しては、やっぱり竜巻の評価の方法としては、地震のようにまだ確立がされていないというところがございますので、まずは今、100メートルの風、その荷重が建物だったり施設にどういうふうにかかるかというのを見ながら、荷重として評価をするというのがまず一つございます。

あとは、飛来物ということで、竜巻の場合に飛来物が衝突するということもありますので、そういう荷重も考えて、あとは気圧差の荷重です。そういうものを考えて評価をするということがガイドには載ってございます。それに基づいてやるんですけども、まだ耐震のように一つ一つ細かい工法が決められていないというところがありますので、それについては先ほども風速の設定の中でも保守性という話が、上増しして保守性を持たせてやっていくというところがございますけれども、設備評価の中でもそういう観点で保守性を持たせて評価していくといったような、まずは竜巻の影響評価としては今こういう段階にあるといったことになります。

○源栄委員 実際にできるものとの関係で見えていかないと、荷重というのは、複合荷重とかとなったときに、できるものが違っちゃいますのでね。だから、この説明をするときも、この荷重が設計されるものにどう関係してくるのかというところが結びついていないと。

○東北電力株式会社 東北電力、佐藤ですが、荷重も、今阿部が言ったように、風速、風荷重だけじゃなくて、気圧差荷重もあったりすると言いましたけれども、タンクのようなものに関しては、そういうふうに気圧差も重ねて見るということになります。

一方で、排気筒のようなものは、排気筒の本体があって、その周りに支持鉄塔が建っているというような構造になっています。それに対しては、飛来物が当たって、例えば支持鉄塔の足に損傷が発生しているような状態で、風荷重の影響を受けていくというような、そういう評価をやっていますので、まさに先生がおっしゃるように、評価する物によってどういう影響を受けているか、どういう荷重を重ねて考えるかということ、評価の中でそういうふうに具体的には取り扱いをしてやっています。一例ですが。

○座長 そのほかご質問ございますでしょうか。栗田先生、お願いします。

○栗田委員 1つお聞きしたいのは、先ほど説明された多分年超過確率だと思うんですが、10のマイナス5乗というのは、年超過確率でよろしいでしょうか。

- 東北電力株式会社 はい、そのとおりで結構です。
- 栗田委員 それで、採用された86.7というのは、この図から見ればその値だと思うんですけども、よろしいでしょうか。
- 東北電力株式会社 はい。そういう……
- 栗田委員 私は風の専門家じゃないんですけども、過去50年間の観測記録の最大風速が92で、年超過確率が10のマイナス5乗の風速が約90、過去50年間の最大風速とこの超過確率の風速との対応が僕には頭の中でちょっと理解できないんですけども。
- 東北電力株式会社 東北電力、佐藤ですが、確率論的に評価するときに、10のマイナス5乗より大きくならないように風速の設定というか確認を下さいねと。
- 栗田委員 10のマイナス5乗の超過確率の平均再現期間（年）は逆数（10のマイナス5乗の逆数）となるはずなんですけれども。
- 東北電力株式会社 マイナス4乗とか、マイナス3乗レベルの風速を考えて設計をすることではいけませんよという、簡単に言えばそういうことがガイドの中には要求としてございまして、そのマイナス5乗、1掛ける10のマイナス5乗に相当するものが、女川の場合は86.7メートル／sということです。
- 一方で、竜巻検討地域という北海道から千葉までの領域における過去最大の竜巻というのは92メートル／sという既往実績があります。
- 栗田委員 そこを私は勘違いしていた。ここからここまでの赤で囲った地域のデータを使って確率分布をつくったわけではないと。
- 東北電力株式会社 確率分布はその領域のデータを使って、その領域に対しての確率密度というのを求めています。
- 栗田委員 ですよ。50年間で1回起きているということですよ。だから、その部分をちょっと理解できなかったです。
- 東北電力株式会社 50年間と言っているのは、そのデータが……
- 栗田委員 データが50年間で、もうそれに近いものが起こっていて……
- 東北電力株式会社 すみません。51.5年というのが、過去の竜巻の実績をデータベース化しているところなんです。51.5年間にその領域内で発生したデータ……
- 栗田委員 それを使って確率モデルをつくって、計算して、超過確率が10のマイナス5乗のところを見たら、そのときの風速が90でした、86.7でしたと。過去のそのエリアの最大風速が92だと言われると、やっぱりしっくりこないんですけども。

○東北電力株式会社 確かにその51.5年の中では、1回、92メートルという実績としては確認はされていますが、今後女川発電所の竜巻から防護しなければならないエリアに対して、例えばですけれども92メートルの竜巻が発生する確率は幾らですかというのを求めているのが、この最後のハザードカーブということになっていると。

○源栄委員 だから、これ、さっきも言いましたように、地震災害の確率、ハザード曲線があって、竜巻のハザード曲線があったら、プラント全体のリスク評価というのはそれで決まってくるわけなので、そういうふうに関し、対象の物、コストがあれば、どこに力を入れるべきかというのがリスク対策だよ。そういう使い方をするとということね。当然、ハザード曲線。

○東北電力株式会社 ハザード曲線なので、今後例えば竜巻が確認されて、当然その発生状況によってはこうしたハザードカーブというのは見直しをしていくということになりますので、仮にですけれどもこの値が大きくなっていけば、場合によっては設計にフィードバックをしなければいけないということにもなっていくと思います。

○源栄委員 いずれにしても、リスク評価というのは上にあるわけね。自然災害も、人的な災害も。それで、飛来物といったら飛行機だってそうだな、外部事象だもんね。そういう意味で、リスク対策という意味でのハザードを考えておくのは大事だと思いますので。

ただ、どの部位が何で決まっているのかというのは、どこまで公表するんですかというあたりが非常に大事なところだと思いますので、なるべくオープンにしなければいけないと思いますので。

○座長 そのほかご質問は。岩崎先生。

○岩崎委員 竜巻は、女川のサイトの中の施設に対して、100メートルなら100メートルということなんでしょうけれども、外部電源の鉄塔とかというのは、この場合どうなっていますか。

○東北電力株式会社 鉄塔に関しては、100メートル/sというものに対しては耐性はないです、ありません。実際は40メートル/sとかそういったレベルというのが実情的なところだと。

○岩崎委員 この前、千葉でばたばたと倒れたということが想定されるわけで、外部電源は喪失になりますよね、100メートルあったら恐らく。そのときに、地震と違う発電所のリスクがあるはずなので、人が出歩けないわけですよ。例えば外部に行かなきゃいけない、そういうリスクとかそういう話というのは、地震ほど密にまだ考えられていないので、今後の課題ということになるのかもしれないんですけれども、十分ご検討を。

それで、何かというと、おととい女川の放射線監視の検討技術会がありまして、そこでモニタリングポストの線を架空でつないだ空中のワイヤーで伝送しているんですね。恐らくそうすると、竜巻が来たら全部そんなのは吹っ飛ばっちゃうので、だから空中にまだかなりのものが残っていると思うんですね。その辺のチェックも十分この際、重要施設は守るにしても、それ以外の施設もご検討いただいたほうがいいかなと思いますので、よろしくお願ひしたいと思ひます。

○東北電力株式会社 確かに今、竜巻の防護対象施設というのは、先生おっしゃられるように重要度の高いものというところで整理をしています。ただ、そうではないものに対して、いろいろ観測設備も代替性をとったりしているので、そういう架空線だったりするようなものをやられたとしても、代替措置というのは考えられていますので。

あとは、それを人が実際に設置しに行かなければいけないとか、そういう状況が発生するものですので、その辺はちょっとよくよく我々としても考えるというか、人の安全も一緒に考えながらということだと思ひますので、今のご指摘を踏まえて今後いろいろ対策をやる上では考えていきたいと思ひます。

○座長 そのほか、ご質問。長谷川先生。

○長谷川委員 竜巻の説明をされるとわかったような気がするのだけれども、要するに直感的にわかりにくいところがあります。例えば、51.5年間で観測記録の最大値が92メートルである。一方、確率論的にいろいろな確率でこういうところがあったと統計分布に持ってくると、最大風速は86.7メートル/sになる。そうすると、いろんな場所の平均としては、これはこれでいいんでしょうけれども、女川の特異性だとか何とかというところがどのように考慮されるのか。広い範囲を考慮するため、統計上かせぐためにいろいろなところを考えられるのは、それはそれで結構だけれども、女川原発地域では具体的にどうなるんだろうかということが一つの疑問です。日本における51.5年の観測既往最大値が92メートルとありますが、この値はどこで起こったのかをちょっと説明していただかないと思ひます。直感的に、やっておられることはわかるのだけれども、どうも直感と結びつかないんですね。そこをちょっと説明いただけますか。

○東北電力株式会社 東北電力、佐藤です。

この4ページの赤い領域の中で、F3が1回、過去に発生しています。これは千葉県の大原市というところで発生した竜巻です。この赤い領域ではそれが1件ということです。そのほか、F3というレベルの竜巻は茨城、これは必ずしも沿岸部ということではないんですが、あ

と愛知県とか、そういうところで過去に五、六件、すみません、正確には今あれですけども、五、六件、日本国内では確認されています。F3という最大92メートル/sの竜巻です。

それから、女川としてのサイト特徴というふうに評価上は入っているんだろということだとは思いますが、こういう統計処理だとか何とか、既往最大をどうとるかというところは、それは地域地域で任意性が出てくるものだと思います。なので、手法とかそういう意味で、女川でほかと違って特徴的なというのは、特にはないんですが、こういう竜巻が女川で発生したときに、飛来物の評価をするときは、女川というのは平たんな敷地ではなくて、かなりお椀型で、敷地の中には高台も結構あります。ですので、下の海面と大体同じようなレベルの主要設備が建っているエリアに、高いところから物が飛んでくるということが、平たんな発電所の差だと思っています。そういうところはしっかり、飛来物が飛んでくるスピードというんですかね、速度に対して影響が出てきているので、そういのは女川としてはしっかり取り組んでやっているということで、対策を考えるときに、影響を受けるところに、そういうプラントの特徴というのが入ってきているということになります。

○座長 そのほか質問はございますでしょうか。栗田先生。

○栗田委員 要は、自然現象というのは、無限大じゃなくて強さというのは、ある程度は打ち止め、地震でも。そういう意味で、一つの尺度として、日本だけじゃなくて世界で竜巻の観測された一番強い風速はどのくらいなんですか。

○東北電力株式会社 米国は、要は広い平野部というのが、竜巻が発生したときに減速されないという特徴的な地形だと思って、竜巻ロードという、通称そういうふうには呼ばれている領域が米国にあります。そういうところでは、120メートルを超えて、150メートルに近いような、そういうレベルの実績というのもあります。

○座長 そのほか、よろしいでしょうか。岩崎先生。

○岩崎委員 海の上で、過去、凶られていることは多分ないので、本当に海岸沿いがこうなのかというのは、根拠はどこにあるんですか。

○東北電力株式会社 竜巻というのは、海からほとんどのものが陸に上陸していくというようなものです。内陸から発生したものが、例えば発電所に影響をもたらしますかと言われれば、それは森林であるとか、いろいろな建物によって減速されてしまう、摩擦の影響で減速してしまうということになるので、そういう意味で海岸線の領域を取り扱うというのは妥当かなというふうに考えていますし、またこれまでの、これは観測のというか、実際に目撃された情報とかそういうものによれば、やはり海から来て陸に上陸したような目撃とか、そういったものは報

告としてもあるということは、我々としてもこの評価をするに当たって実績を確認しておると
いうことになります。

○座長 そのほかよろしいでしょうか。

それでは、以上で（３）その他の自然現象（竜巻）に関する議論を終了いたします。

「３ その他」

・（１）安全対策全般（自主対策）

○座長 次に、（１）安全対策全般（自主対策）につきまして、東北電力株式会社から説明をお願いいたします。

○東北電力株式会社 東北電力の関川と申します。

資料－６に基づきまして、その他、安全対策全般（自主対策）ナンバー４３関連についてご説明させていただきます。

１ページ、お願いいたします。

論点ナンバー４３、津波対策として、裕度をもった防潮堤を設置している例のように、規制要求以外の自主対策の内容のご説明になります。

安全性の確保には、与えられた規制を守るのは当然であるが、それ以外に安全を守るための工夫をするプロセスが大事なので、その状況を説明してもらいたいという、ここに対するご回答になります。

当社は、適合性審査を踏まえ、安全対策はもとより、より高いレベルの安全性の確保に向けて自主的な対策にも鋭意取り組んでございます。

ここで、注意書きがございますが、自主的な対策と申しますのは、規制基準では要求されていないものの、安全性を高める観点から当社が自主的に進めている対策になります。

本日は、下表に示す主な自主対策についてご説明をいたします。

２ページをお願いいたします。

ここからしばらくは、ろ過水ポンプによる各種注水の対策になります。

ろ過水ポンプといいますのは、この赤枠の中にちょっと注意書きをしておりますが、純水の製造、海水系の配管洗浄のためにろ過水を供給するための既存のポンプでございます。

まず、１つ目の対策になりますけれども、原子炉圧力容器への注水になります。

基準要求事項といたしましては、原子炉低圧時において、既設の低圧注水設備が機能喪失し

た場合でも、原子炉を冷却するために必要な設備を設けることといたったものがございます。

要求事項を踏まえた対策といたしましては、18回の安全性検討会においてご説明をしておりますが、低圧代替注水系（常設）（復水移送ポンプ）による原子炉压力容器への注水等の要求事項を踏まえた対策がございます。

自主対策の概要になりますが、絵に記載がありますとおり、ろ過水タンクを水源といたしまして、ろ過水ポンプを用いて原子力压力容器に注水するといった対策になります。

次ページ、3ページ目をお願いいたします。

ここでは、原子炉格納容器へのスプレイの対策になります。

基準要求事項といたしましては、既設の原子炉格納容器内の冷却設備が機能喪失した場合においても、原子炉格納容器内の圧力及び温度を低下させるために必要な設備を設けることとございます。

要求事項を踏まえた対策といたしましては、原子炉格納容器代替スプレイ冷却系（常設）による原子炉格納容器へのスプレイといったようなものがございます。

自主的な対策になりますが、ここでも同じくろ過水タンクを水源といたしまして、ろ過水ポンプを使用して、原子炉格納容器内へスプレイを行うといったものを自主対策として設けてございます。

続きまして、4ページ目をお願いいたします。

ここでは、原子炉格納容器下部への注水の自主的対策になります。

基準要求事項といたしましては、炉心の著しい損傷が発生した場合において、原子炉格納容器下部に落下した熔融炉心を冷却するために必要な設備を設けることとございます。

この要求事項を踏まえた対策ですが、記載のように、原子炉格納容器下部注水系（常設）（復水移送ポンプ）による原子炉格納容器下部への注水など、さまざまなものがございます。

自主的な対策の概要になりますが、こちらろ過水タンクを水源といたしまして、ろ過水ポンプによりまして、スプレイにより、もしくは原子炉格納容器下部へ直接注入することによりまして、原子炉格納容器下部への注水を行います。

5ページ目をお願いいたします。

ここは、使用済燃料プールへの注水になります。

基準要求事項といたしましては、既設の使用済燃料プールの冷却・補給設備が機能喪失した場合においても、使用済燃料プールを冷却し、放射線を遮蔽するといったものがございます。

要求事項を踏まえた対策ですが、燃料プール代替注水系（常設配管）といったようなものが

ございます。

自主的な対策の概要になりますが、ここでもろ過水タンクを水源といたしまして、ろ過水ポンプを用いて使用済燃料プールへ注水するといった自主的な対策がございます。

6 ページ目をお願いいたします。

ここは、ろ過水は終わりました、燃料プールへのスプレイの対策になります。

基準要求事項といたしましては、使用済燃料プールの水位が異常低下した場合において、使用済燃料の著しい損傷を緩和するといったものがございます。

要求事項を踏まえた対策ですが、燃料プールスプレイ系（常設配管）の配備といったものがございます。

自主的な対策の概要になりますが、絵をご確認いただいておりますように、ろ過水タンクを水源といたしまして、これは消火で用いる車ですけれども、化学消防自動車と大型化学高所放水車、こちらを用いまして、燃料プールスプレイ系の常設配管によりまして、燃料プールへスプレイするといったような自主対策を設けてございます。

7 ページ目をお願いいたします。

ここは消火に対する自主対策になります。

基準要求事項といたしましては、原子炉建屋周辺における航空機衝突による航空機燃料火災に対応するといった要求事項がございまして、要求事項を踏まえた対策といたしましては、放水設備（泡消火設備）といったものがございます。

自主的対策の概要になりますけれども、まず1つ目は、これは化学消防自動車を防火水槽等を水源として用いることにより消火を行うといったものになります。

2つ目のほうは、下のほうに書いてありますけれども、こちらは先ほどのスプレイ系と同様の扱い方をするんですけれども、防火水槽等を水源といたしまして、化学消防自動車、大型化学高所放水車を用いまして消火を行います。これは、大型化学高所放水車を用いますので、より高いところの消火に対応するために設けた自主対策ということになっております。

8 ページ目、お願いいたします。

ここは、コリウムバッファという自主対策なんですけれども、こちらにつきまして午前中ご説明しておりますので、ここでの説明は割愛させていただきます。

9 ページ目をお願いいたします。

原子炉格納容器破損防止、コリウムシールドによる自主対策になります。

基準要求事項と対策になりますが、炉心の著しい損傷が発生した場合の格納容器の破損防止

に係る基準が、ここでの基準要求事項になります。

その対策といいますのは、先ほど4ページ目でご紹介しましたとおり、原子炉格納容器下部に落下した熔融炉心に対して注水するといったことが対策となっております。

コリウムシールドの自主的対策の概要なんですけれども、すみません、限定配付資料のほうをご確認いただきたいんですが、自主的対策の概要ですけれども、まず左側の原子炉格納容器断面図といったところをごらんください。原子炉格納容器下部へ熔融炉心が落下した場合、原子炉格納容器バウンダリまでの距離が一番小さい、ドライウェル床ドレンサンプということで、図面で言うところの下側のほうにドライウェル床ドレンサンプと記載がございますが、そちらのほうに熔融炉心が流入し、原子炉格納容器の健全性が損なわれるおそれがあります。基本的に、原子炉格納容器下部へ落下した熔融炉心といいますのは、先ほどご説明いたしましたように、原子炉格納容器下部注水系による注水によって除熱されますし、また原子炉格納容器下部からこちらの当該サンプまでの距離は十分確保しておりますので、熔融炉心が当該サンプまで流入する可能性は低いと考えておりますが、さらなる安全性向上に向けた自主取組として、コリウムシールドを設置いたします。

具体的にはということで、右側のコリウムシールドの断面図を見ていただきたいんですけれども、ドレン配管内にということでして、原子炉格納容器下部からドライウェル床ドレンサンプにつながる貫通部になるんですが、そのドレン配管内にコリウムシールドというものを設置いたしまして、配管内の流路を小さくすることで、熔融炉心の冷却を促進し、早期に固化・停止させて、当該ドレンサンプへの流入を防ぐといったものが対策になってございます。

10ページ目、お願いいたします。

ここからは、緊急時対策所の電源車接続口に対する対策になります。

基準要求事項なんですけれども、緊急時対策所は、代替交流電源からの給電が可能であること、他の当該代替電源設備を含めて緊急時対策所の電源設備は多重性または多様性を有することといった基準要求事項があります。

基準要求事項を踏まえた対策になります。これにつきまして、15回の安全性検討会においてご説明している内容になりますが、緊急時対策所は通常時、外部電源のほうから受電をしております。外部電源喪失時等は、非常用ディーゼル発電機が自動起動して電源供給を行うということになっております。3つ目のポツになりますけれども、さらにその非常用DGの機能が喪失し、ガスタービン発電機または電源車から受電可能な設計ということで、当社は基準要求事項に対して、ガスタービン発電機または電源車ということで、多様性を持ったことで対策を

設計してございます。

自主的対策の概要になりますけれども、上記対策に加えて以下の自主対策を実施いたします。

電源車の接続口になるんですが、電源車による確実な電源確保のために、緊急時対策建屋北側に電源車接続口を設置する、こちらが基準要求事項を踏まえた対策になります。さらに緊急時対策所南側にも接続口を設置して、こちらが自主になるんですけれども、自主的に接続口の位置的分散を図っております。

11ページ目をお願いいたします。

こちらは限定配付資料のほうで確認いただきたいんですが、右側のほうに青い絵で記載がございまして、電源接続口北側、こちらが規制要求事項に対する設備になりますけれども、安全性向上という意味合いで、左側の南側ですが、そちらのほうにも電源車接続口を自主的対策として設けてございます。

続きまして、12ページのほうをお願いいたします。

最後になりますけれども、当社は規制基準への適合性とどまらず、より高いレベルの安全確保に向けて、最新の知見を取り入れながら、安全対策工事のみならず、各種訓練等も含めたハード・ソフト両面から対策に着実に取り組んでまいります。

13ページ目以降につきましては、参考資料ということですので、ここでの説明は割愛させていただきます。

説明については以上になります。

○座長 ありがとうございます。初めに、この件につきまして、欠席の先生から何かコメントがありましたら事務局からご報告をお願いします。

○事務局 この件につきましても、特にございませんでした。

○座長 それでは、先生方、何か質問等がありましたらご発言をいただきたいと思います。鈴木先生。

○鈴木委員 どうもご説明ありがとうございました。

考えていらっしゃることは大変よくわかるし、論理的にもいいと思うんですけれども、私の個人的な感想として申し上げますと、特に2、3、4、5、6ページの図なんですけれども、考えていらっしゃる設備、守りたい設備、例えば2ページでは低圧注水設備、それから3ページでは冷却設備、4ページでは著しい……、私は、この対象とする設備が被害を受けるような大きな地震でもいいですが、何か大きなあれがあったときには、恐らくその前に注水系が壊れていると思いますよ。なぜかといいますと、壊れているというのは変だけれども、機能を発揮し

ない可能性がある、もう少し言うかね。なぜかという、屋外から屋内へ貫通して配管か何かで注水するわけですね。その配管、特にこの場合は、今まで被害が一番そういうところに多かったんですが、一番わかりやすいもので申し上げますと、6ページに接続口と書いてあるんですね、配管等の。それで、この対象としている設備が壊れるような大きな障害が来たときには、そのジョイントの部分が大体もう壊れている可能性が高い。だから、パイプなんかであれしている、ここの機能が維持できるような何らかの対策をしていないと、対象とする設備が壊れたころには、それを補充する設備のほうもおかしくなっているという可能性が非常に高いんじゃないかと思います。

これは特に重要度分類で高い重要度に指定されていないでしょう、こういう配管は。だから、配管系で非常に耐震重要度の高い配管のようなものであれば別ですけれども、ここのラインのところというのは、やっぱりそれを非常に注意して設計していただくのを考えていただかないと、想定外の、つまりその機能が発揮できないということも起こり得るんじゃないかと思うので、十分その辺は、多分お考えいただいているんだと思うんですけれども、特に接続部のところですね。建屋と、屋外から屋内に行くところとか、そういうところをよくお考えいただきたいと思います。従来、そういうところで被害が実際に起こっておりますので、コメントですけれども、よろしくをお願いします。

○東北電力株式会社 東北電力の豊嶋と申します。ご指摘ありがとうございます。

まず、前提といたしましてちょっと補足させていただきたいんですけれども、今回、この自主対策設備としてご説明いたしましたものは、シビアアクシデント対策、重大事故対策等で今回新たに整備したものをまず導入しますという前提で、その重大事故対象設備というのは、当然おっしゃったとおりの大きな地震であったり、その他の重大事故に対しての頑健性を持つように多様性、多重性等を整備しております。そこをやっておりますという前提に基づいた上で、仮にそれでも、想定外と先ほどおっしゃいましたけれども、そういったことが起きたときに、さらにバックアップとしてこんな手も用意して、使えたら使えと、使える場合は使用しますということです。

○東北電力株式会社 今ほどお話しした内容と、プラスというお話なんですけれども、ろ過水ポンプについては、設置場所が2号機から大きく離れた、ちょっとここでは資料でわからないんですけれども、2号機から非常に遠くに離れた位置にポンプがあります。なので、今おっしゃっているようなハザードに対して、地震であるとか、大きな力がかかったときにいうところについては、今豊嶋が申しあげましたとおり、設計できっちり対応するということをしますけ

れども、一方でちょっと想定外のようなことで、位置的分散を確保し、遠くに離れたポンプを
使えることにしておくことで救えるパスがありますよねと。だから、自主対策設備としてこれ
を……

○鈴木委員 補助的かというと。

○東北電力株式会社 そうです。補助的かというとのは、この位置的分散というのが、そのシナリ
オによっては役立つときがあると我々としては考えていて準備をしているものでございます。
補足、以上です。

○鈴木委員 ほぼ了解いたしました。

ただ、やはりそうはいっても、補助的であってもやっぱり壊れては困るわけですから、そこ
の特にコネクションの部分ですね、それから建屋と建屋から外に突き出る部分、その辺のとこ
ろはそんな大変なことではないと思うので、十分対策をなさるほうがいいと思います。ありが
とうございました。

○座長 兼本先生、お願いします。

○兼本委員 一応、私が質問したようなので、最後の確認なんですけれども、いろいろこうい
う試みをやられていて、いいことだと思うんですけれども、鈴木先生がおっしゃられたように、
いざというときに役に立たない可能性は当然あるというときに、最後のページに、ハード・ソフ
ト面の両面からの対策に着実に取り組んでまいりますと書いてあるんですけれども、少なくと
もこの説明はハード面の説明だけですので、いろんな代替案を考えておくのはいいんですけれ
ども、それをみんなが理解していないといけないので、ちょっと感じたのは、先ほどの注水配
管が壊れたらどうするの、ほかにルートがあるんじゃないですかとか、この絵から見ると、ろ
過水タンク、これと防火槽と両方あるわけですし、
使える可能性があるわけですよ
ね。ですから、つまり使い方をしっかり訓練して、皆様に理解してもらって、ここに書いてあ
ること以外の使い方もできるような知識を皆さん持っておいてほしいなというお願いです。そ
ういうことですね。

今回、全体聞いて、安全設備というのは非常にたくさんついて、より安全になったというの
は理解していますけれども、逆にあり過ぎてどれを使っていいのかわからないとか、想定外の
ときに全部を知っている人がいないと変な使い方になってしまうとかというようなソフト面の、
使い方に変なことが起こらないように、それはしっかり訓練、教育をしていただきたいと思
います。

○東北電力株式会社 東北電力の大友です。ご指摘ありがとうございます。

先生おっしゃられるように、ハード面プラス、やっぱりこういった自主的対策についてもきちんと手順書をまずつくります。ただ、つくっただけでは全然だめだというふうに考えていまして、その手順書をしっかり使えるように、やはり先生がおっしゃるとおり訓練を行うということが大切だと考えておりました、机上の訓練だけではなくて、実際にこの手順を使って、実際に現場で訓練をするということも、これから計画して対応していきたいというふうに考えております。

○兼本委員 よろしくお願ひします。

あと、ちょっと確認を忘れたんですけれども、自主点検。自主対策の装置も、保安規定で定義すれば規制庁等のチェックは入ると思つてよろしいですか。それとも、自社内だけの自主点検ということになるんですか。

○東北電力株式会社 自主的な対策につきましては、基本的に保安規定には、今保安規定についても策定しておりますけれども、基本的には自主的な部分には直接はかかわらないと思つておりますが、重要な部分というふうなことになるれば、きちんと保安規定に定めて対応していくということで考えて、これから検討してまいります。

○兼本委員 ぜひ保安規定へ向けて、いざというとき動かなかつたということがないように、よろしくお願ひします。

○座長 そのほかご質問ございますでしょうか。長谷川先生、お願ひします。

○長谷川委員 参考までに聞きたいんですが、このろ過水ポンプというのは、注水容量が90トン/hとあります。じゃあもともとこのろ過水タンクの容量はどれだけあつて、そのろ過水タンクから圧力容器だとか、格納容器とか、格納容器下部だとか、燃料プールだとかに持つていけるとあります。そこで、それぞれにどの程度流し込めるというか、そういうことを想定されているのか。あるいは、同時にこれの何カ所かに送れるのか。大体、このろ過水タンク等の容量そのものと、全体としての流量、それぞれ5カ所への流量をどういうふうにご考慮されるのか示していただきたい。実際どうということになるかちょっとわかりませんので。何とも言えないかもしれませんが、何か想定されているのでしょうか。

○東北電力株式会社 東北電力の関川です。

まず初めに、ろ過水タンクの容量ですけれども、タンク容量的には2000立米なんですけれども、実際に水がどれくらい入っているかといへば、そのときの状況によりますが、半分強ぐらひはほぼ入っているとご考慮しております。

あと、今回のろ過水ポンプの対策ということで、いろいろ何種類かが出ましたけれども、基

本的にそれらを全部同時に使用ということはあまり考えておりませんので、その状況状況に応じて、例えば原子炉圧力容器に注水とか、スプレイをやるとかいったようなことで使い方のほうは考えてございます。

○長谷川委員 まず必要なところへ。

○東北電力株式会社 そういったことになります。

○東北電力株式会社 すみません、若干補足させていただくと、その状況に応じて、一番優先度の高いところをまず最初にやっていくという形で対応してまいります。

○座長 そのほかご質問ございますでしょうか。よろしいでしょうか。

それでは、以上で（１）安全対策全般（自主対策）につきまして、本日の議論を終了いたします。

（２）その他

○座長 次に、（２）のその他ですが、説明資料の修正について、東北電力株式会社から説明をお願いいたします。

○東北電力株式会社 東北電力の青木でございます。

資料－７－１から７－３まで、右肩、３種類お配りしております。こちらの資料につきましては、ご紹介のみになりますけれども、第２０回、第２１回の検討会において、先生方から資料に対しまして、表現の適正化であるとか明確化、あるいは記載を少しわかりやすくしたり、補強したりしたほうがよいのではないかとといった趣旨のコメントをいただきまして、それを修正したものになります。

それぞれ安全性検討会のおきまして、基本的には概略ご説明をさせていただいているものでございますけれども、検討会の資料といたしましてもきちんと修正して示しておくことが必要だというふうに考えまして、修正版を提出させていただくものでございます。

まず、資料－７－１でございますけれども、これは第２０回の資料－２地震後健全性確認の資料でございますけれども、栗田先生等からご指摘を受けまして、主に表現の適正化を図ったものでございます。

それから、次の資料－７－２でございますけれども、こちらは第２１回の資料－２大規模損壊の説明資料でございますけれども、こちらにつきましては主に記載の明確化を図っております。

それから、資料－７－３でございますけれども、こちらが第２１回の資料－４新規制基準適合性審査申請、重大事故等対処施設の格納容器破損防止の説明資料についてでございます。こちらにつきましては、ご指摘を受けまして、資料の追加、それから記載の充実化を図ったものでございます。

説明につきましては、簡単でございますけれども、以上でございます。

○座長 ありがとうございます。

資料の修正ということでご報告をいただきました。

その他、事務局から何かございますでしょうか。

○事務局 特にございません。

○座長 それでは、特にならなければ、本日の議事を終了させていただきます。

４．閉 会

○司会 若林先生、どうもありがとうございました。それから、皆様方から貴重なご意見、大変ありがとうございました。

それでは、これをもちまして第２２回女川原子力発電所２号機の安全性に関する検討会を終了させていただきます。本日はお疲れさまでした。