

第6回材料技術評価検討会

議事録

1. 日時

令和4年10月4日（火）10:00～11:36

2. 場所

原子力規制委員会 13階 BCD会議室

3. 出席者

外部専門家

笠原 直人	東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻教授
松本 聡	芝浦工業大学 名誉教授
望月 正人	大阪大学大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻総長補佐・教授

専門技術者

釜谷 昌幸	株式会社原子力安全システム研究所 熱流動・構造グループ リーダー・主席研究員
-------	---

原子力規制庁

永瀬 文久	規制基盤技術総括官
青野 健二郎	技術基盤課企画官
田口 清貴	安全技術管理官（システム安全担当）
小嶋 正義	システム安全研究部門 上席技術研究調査官
橋倉 靖明	システム安全研究部門 主任技術研究調査官
河野 克己	システム安全研究部門 主任技術研究調査官
池田 雅昭	システム安全研究部門 技術研究調査官
水田 航平	システム安全研究部門 技術研究調査官
鳥山 拓也	技術基盤課 技術研究調査官

4. 議題

(1) 安全研究プロジェクトの技術的観点からの評価

(材料技術 中間評価)

(2) その他

5. 配布資料

名簿

資料1 原子力規制委員会における安全研究の基本方針

資料2 今後の研究評価の進め方について(抜粋)

資料3 安全研究成果報告(中間)(案)
・実機材料等を活用した経年劣化評価・検証に係る研究

資料4 評価シート及び御意見シート

参考資料1 安全研究成果報告(中間)(案)説明資料

6. 議事録

○永瀬規制基盤技術総括官 技術基盤グループ技術基盤課規制基盤技術総括官の永瀬でございます。

定刻となりましたので、第6回材料技術評価検討会を開催いたします。

先生方におかれましては、お忙しい中、検討会に出席いただきましてありがとうございます。

今回の技術評価検討会では、令和2年度に開始し、令和6年度まで行う1件の安全研究プロジェクトの中間評価として、研究手法やこれまでの成果、今後の進め方の技術的妥当性について、専門家の皆様から様々な御助言をいただきたいと考えております。どうぞよろしくお願いいたします。

○青野企画官 技術基盤課企画官の青野でございます。

本検討会では主査を設定してございませんので、私の方で議事進行をさせていただきます。

本日の会合は、新型コロナウイルス感染症対策のため、テレビ会議システムを使用しております。御意見、御質問では、挙手のマークを押していただきますようお願いいたします。

なお、一般傍聴につきましては、傍聴席の間隔を開け、席数を限定して行ってまいります。

まず、外部専門家と専門技術者の方々を御紹介させていただきます。

本日は、外部専門家として、東京大学の笠原先生。

○笠原委員 東京大学の笠原です。どうぞよろしくお願いいたします。

○青野企画官 芝浦工業大学名誉教授の松本先生。

○松本委員 元芝浦工業大学の松本でございます。よろしくお願いいたします。

○青野企画官 大阪大学の望月先生。

○望月委員 大阪大学の望月でございます。どうぞよろしくお願い申し上げます。

○青野企画官 に御出席をいただいております。

また、専門技術者として、株式会社原子力安全システム研究所の釜谷先生。

○釜谷専門技術者 釜谷です。よろしくお願いいたします。

○青野企画官 に御出席いただいております。

関西電力株式会社の下野先生につきましては、本日、御欠席でございます。

下野さんからは事前に書面にて御意見を頂いておりますので、後ほど事務局から御紹介させていただきます。

それでは、まず、事務局より資料の確認をさせていただきます。

○鳥山技術研究調査官 技術基盤課、鳥山です。

資料の確認をさせていただきます。

お渡ししました資料としまして、議事次第、名簿、本日の資料を御用意しております。

本日の資料としましては、資料1としまして、原子力規制委員会における安全研究の基本方針を御用意しております。資料2としまして、今後の研究評価の進め方についてを御用意しております。資料3としまして、中間評価の対象となる安全研究プロジェクトの成果をまとめた安全研究成果報告（中間）（案）を御用意しております。資料4としまして、技術評価検討会後に御提出いただく、評価シート及び御意見シートを御用意しております。

今回、中間評価対象となる安全研究プロジェクトは1件ございまして、実機材料等を活用した経年劣化評価・検証に係る研究の安全研究成果報告（案）を御用意いただいております。

なお、本日の御説明は、資料3に基づくスライドで行わせていただきますので、参考資料として、スライドの資料を御用意しております。

また、外部専門家の先生方には技術的観点からのコメントを記載いただく評価シートを御用意しております。専門技術者の方々には御意見シートを御用意しております。

過不足等がございましたら、事務局の方へお知らせ願います。

○青野企画官 資料の過不足等、ございませんでしょうか。

よろしければ、中間評価に先立ちまして、評価の進め方等について取りまとめました資料1～4について、簡単に事務局から御説明をさせていただきます。

○鳥山技術研究調査官 技術基盤課、鳥山です。

改めまして、資料の御説明をさせていただきます。

最初に、資料1、原子力規制委員会における安全研究の基本方針について御説明させていただきます。時間の関係上、簡易な御説明となりますので、資料は投影せずに口頭でのみ御説明いたします。

資料1の安全研究の基本方針は、安全研究の進め方に関する基本的な考え方、安全研究プロジェクトの企画、評価等についての基本的な方針をまとめたものです。安全研究プロジェクトの評価については、基本方針の3ページに記載してございます。

原子力規制委員会では、安全研究の的確な実施及び成果の活用を図るため、各安全研究プロジェクトの開始、終了等の節目において、事前評価、中間評価、事後評価を実施することとしております。

続きまして、資料2、今後の研究評価の進め方について御説明します。こちらは、安全研究プロジェクトの事前評価、中間評価、事後評価の評価手法、評価項目及び評価基準を明確、具体的に定めたものとなっております。これらの評価の中で実施する研究手法、成果の取りまとめ方法等の技術的妥当性評価については、外部専門家及び専門技術者から成る技術評価検討会を開催し、御意見及び評価をいただくこととしております。いただいた御意見、評価結果につきましては、原子力規制庁が行う総合的な評価に活用させていただきます。

このような技術評価検討会の位置づけや進め方を御理解いただき、原子力規制庁が行う安全研究の評価に御協力をお願いいたします。

次に、専門技術者をお願いさせていただく御意見につきまして御説明させていただきます。

専門技術者は、産業界等の専門的な技術的知見を有する者として、電力事業者、メーカー等に属する者を選定しております。専門的な技術的知見からの御意見について、本日の技術評価検討会の中で御意見、お願いします。

また、資料4の評価シート及び御意見シートのうち御意見シートに、いただいた御意見

の内容等を記入し、御提出をお願いします。その御意見を踏まえまして、外部専門家の方々にお願いさせていただき評価につきまして御説明させていただきます。

資料4の評価シート及び御意見シートのうち、評価シートを御確認ください。評価では、評価シートの評価項目というところに記載してございますような観点での評価をお願いしたいと考えております。具体的には、国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか。解析実施手法、実験方法が適切か。解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。重大な見落とし（観点の欠落）がないか。このような観点から評価をお願いいたします。

締切は、両シート共に10月11日火曜日までとなり、事務局にメール等で送付をお願いいたします。

今回の技術評価検討会での評価を踏まえまして、今後、原子力規制委員会に総合的な評価結果を諮る予定としております。

本検討会での評価についての御説明は以上でございます。

○青野企画官 本件につきまして、御質問、御意見がございましたら、よろしくお願ひします。よろしいでしょうか。

それでは、早速ではございますけれども、中間評価の対象となる安全研究プロジェクトの技術的観点からの評価を行わせていただきます。

本日、対象となるプロジェクトでございますけれども、1件、「実機材料等を活用した経年劣化評価・検証に係る研究」ということで、原子力規制庁長官官房技術基盤グループシステム安全研究部門の橋倉主任技術研究調査官から説明させていただきます。

○橋倉主任技術研究調査官 原子力規制庁の橋倉でございます。

先生方には、常日頃より安全研究にいろいろ御協力を賜りまして、誠にありがとうございます。本日は、どうぞよろしくお願ひいたします。

それでは、早速でございます。パワーポイントに基づきまして、資料のほうを御説明させていただきます。

まず、1ページ目と2ページ目、1ページ目は表紙でございます。2ページ目は目次でございますので、飛ばしていただきまして、3ページ目を御覧ください。

まず、本研究の背景でございます。本研究の背景としましては、過去、これまでですけれども、実施されてきました材料研究におきましては、主に加速劣化試験、これによって模擬的に経年劣化を付与した材料、この特性に基づいて、経年劣化評価というものが策定されています。

しかしながら、この加速劣化試験に基づいて策定されました経年劣化手法、この保守性に関しましては、実機の環境で使用された材料、これとの経年劣化挙動比較によって検証はされていないという背景がございます。

次のページをお願いします。このような背景の下でございますけれども、本研究におきましては、まず、規制庁が法律に基づき実施する高経年化技術評価及並びに運転期間延長審査、これは審査において技術的な妥当性を判断するために必要な知見、これを取得するために、まずは実施するということ。

二つ目は、先ほど述べましたように、実機環境で使用された材料、これを用いまして、加速劣化試験による経年劣化手法の保守性、これを検証するというを目的に実施してまいります。

これらの目的を実施するために、実施する内容といたしましては、以下の四つの研究を実施するというので、まず、(1)でございます。これはまず、「原子炉圧力容器の健全性評価に係る研究」としまして、PWRの加圧水型原子炉、原子炉圧力容器の監視試験片、これらを用いました試験を実施する予定でございます。

2番目としましては、「電気・計装設備の健全性評価に係る研究」といたしまして、実機の高圧ケーブル、低圧ケーブル、電気ペネトレーション、それから弁駆動部、こういった材料を用いた試験を実施する予定でございます。

3番目としましては、「炉内構造物の健全性評価に係る研究」でございますが、こちらの方は、BWRの炉心シュラウド、それから、上部格子板、ここで使用されているオーステナイト系ステンレス鋼、これらを用いました試験の準備を実施するというものでございます。

4番目としましては、「ステンレス鋼製機器の健全性評価に係る研究」といたしまして、同じくBWRの原子炉冷却材再循環ポンプ、ここで使用されているステンレス鋼鋳鋼、これを用いました試験を実施する予定でございます。

次のページをお願いします。それぞれの四つの研究の本当に概要でございますけれども、簡単に説明させていただきます。

まず、1番目の原子炉圧力容器の健全性評価に係る研究としましては、二つ、aとbとございます。aのほうは、原子炉圧力容器の健全性評価法の保守性に係る研究でございます。こちらのほうは、図1に示すとおりでございますけれども、照射脆化によりまして、破壊靱性曲線、 K_{Ic} ですけれども、こちらのほうが照射脆化によって落ちてくると。これを比較するために、現行手法の保守性、これが一体どうなるのかということを検証するための

研究を実施します。

それから、二つ目でございますけれども、こちらのほうは加圧熱衝撃、いわゆるPTS事象でございますけれども、こちらのほうは、現在、1軸荷重応力の破壊靱性試験結果で評価しておりますけれども、実際、実機にかかるのは2軸荷重応力ということですので、この辺りの破壊挙動を比較しまして、現行評価手法の保守性を検証するというを目的に実施してまいります。

bのほうでございます。こちらのほうは代表制に関わる研究でございます。現在の評価方法では、母材で溶接熱影響部、HAZでございますけれども、これを代表しています。これはHAZの破壊靱性、それから、シャルピー衝撃遷移温度移行量が母材と同等であるというふうに考えられているからでございます。

HAZの関連温度移行量、これが母材よりも大きなプラントが長期運転により出てきているという現状がございます。これに伴いまして、長期運転によって母材でHAZを代表できなくなる可能性があるということから、HAZを母材で代表できるかを確認するための研究を実施する予定でございます。

次のページをお願いします。2番目としましては、電気・計装設備に関する研究でございます。

こちらのほうは、安全上重要な電気・計装設備、この長期健全性に関しましては、供用期間中、これを経年劣化を模擬した加速劣化試験、それから、DBAですね、DBAの環境を模擬した耐環境性能試験によって確認しております。しかしながら、発電所で長期間使用されたこれらの、実際の例えば高圧・低圧ケーブル、電気ペネトレーション、それから弁駆動部、これらの絶縁体の機械特性、それから、絶縁性能のデータ、実機に使用した劣化状態、これを調査することによりまして、現行の加速劣化試験の保守性を検証するというを目的に実施してまいります。

さらに、これらの試験の結果に基づきまして、耐環境性能試験におきまして、通常運転時の経年劣化を模擬的に付与するために行っている加速劣化処理のこの保守性も検証してまいります。

最後は、新しい新規制基準になりまして、事故時環境下での要件が求められております。

このため、事故時環境下におけます絶縁性能データを取得して、これらの健全性を検証するというので、下記に書いてあります、a、b、c、三つの試験を実施してまいります。

次のページをお願いします。3番目としまして、炉内構造物の健全性評価に係る研究で

ございます。ここでは靱性低下に関わる研究の概要について御説明させていただきます。

現在、高経年化技術評価等におきまして、炉内構造物の破壊靱性評価、これに関しましては、維持規格に基づいて実施しております。維持規格の図は、図3の黒い実線のところでございますけれども、中性子照射によって靱性が低下するというので、今、この下限線、黒い線でございます、この下限線を基に評価を実施しています。しかしながら、この維持規格が定めた破壊靱性下限式、これが保守性を有しているかどうかと、一部のところにはもう保守性を有さないようなデータがございますので、その辺りを実機材を用いて確認をするということを目的に実施をしております。

それから、次のページをお願いします。4番目、一番最後でございます。ステンレス鋼製機器の健全性評価に係る研究でございます。

ステンレス鋼鋳鋼におきましては、熱時効によりまして靱性が低下するということがよく知られております。これらのデータの低下度合いですね、これらに関しましては、これまでPWRの高温の加速試験で取得してきております。この取得したデータを基に、右のほうでございます、図5でございますけれども、低下挙動評価予測モデル、このH3Tモデルが策定されておりますけれども、これはPWRのデータを基にして実施してまいりました。そういう背景からでございますけれども、実際の実機材料（PLRポンプ）を用いまして、BWRにおけるこのH3Tモデルの靱性低下挙動評価手法の保守性を検証するというを目的に、この4番目の研究を実施してまいります。

次のページをお願いします。9ページ目～11ページ目までは、それぞれの工程表でございます。先に結論から申し上げますと、R3年度までに予定しております計画に対しては、順次、進んでいるというところで、大変恐縮ですけれども、ここはちょっと割愛させていただきます、今のところ、順次に進んでいるという状況でございます。

12ページ目まで飛ばしていただければと思います。

それでは、ここからですけれども、本当にごく限られた時間の中でございますので、主要な成果ということで、簡単に御説明させていただければと思っております。

まず、最初に原子炉圧力容器の健全性評価に係る研究でございます。こちらのほうですけれども、先ほどのa.の保守性に関わる研究に関しましては、PTS事象を模擬した試験を実施するというを念頭に置きまして、2軸破壊試験装置、これを今、策定しております。ということで、R3年度までは設計を実施した段階でございます。

b.のほうでございます。代表性に係る研究ということで、先ほど述べましたように、

HAZと母材、この違いを確認するため、 T_{41J} に及ぼす影響、これをシャルピー衝撃試験を実施しまして、部位ごとの影響を確認しました。具体的には、図6のHAZ試験片採取位置を御覧ください。左から、溶接金属、真ん中に継手、これはHAZでございます、右に母材という状況でございます、左手、溶接金属側の1mm側をA地点、それから、母材側寄りの1mmのほうをB地点、それから、溶接金属側、今度、0.5mmのところ、溶接金属に近いほうでございますけれども、これをC地点というところで、それぞれ、この部分から試験片を取得しました。その取得した試験片を用いまして、シャルピー試験を実施した結果が図7でございます。参考としまして、過去に取りました母材の板厚4分の1の位置での T_{41J} の値を記載しております。

結果といたしましては、A位置が黄色、B位置が青色、C位置が赤でございますけれども、今のところ、この今回の試験の結果といたしましては、溶接継手と母材の結果が逆転しているということはありません。ということで、その辺りの知見を、今、得ているという状況でございます。

それから、二つ目としましては、照射されたHAZ、この試験片を用いまして、中性子照射脆化による影響を確認するために、詳細な微細組織分析、これを実施する予定でございます。この部分に関しましては、現状、分析をしたというところで、それぞれのデータが出てきているというのが現状でございます。

次のページをお願いします。それから、本研究の一番醍醐味でございます実機材料の入手ということで、現在は、まだ実機材料を入手してございません。この取得のために、今後ですけれども、今年度、特にですけれども、研究実施機関へ、もう既に取ってきておりますので、玄海2号機等を対象としておりますが、この研究施設へ輸送し、今後、試験を実施する予定でございます。

次のページをお願いします。次に、2番目の電気関係の研究でございます。

こちらのほうに関しましては、先ほど述べましたように、実機材料をまずはきちんと取得するというところで、規制庁としましては、電力事業者と協議を行いまして、表に示すような実機材の計画をしております。既に令和2年度でございますけれども、関西電力高浜1、2から低圧ケーブルを取得しています。そのほかのものに関しましては、今後、調整をして、それぞれ実施していくということでございます。

本日は、この高浜1、2で取りました低圧ケーブルの結果について御説明させていただきます。

次のページをお願いします。まず、結論から申し上げます。C.の事故時環境模擬試験で得られた成果というところを御覧ください。

それぞれ委託先が取りましたデータを基に、規制庁としましては、独自に考察を行いました。図8のほうは、シビアアクシデント条件下での蒸気暴露中における絶縁抵抗の時間変化を示しております。

結論といたしましては、測定された換算絶縁抵抗は十分な絶縁抵抗を有しているということが示されております。

なお、この試験に関しては、規制庁が最新の知見としてデータを取得してまいりましたNRA技報の試験方法に基づいて実施しております。

それから、すみません。元に戻りまして、蒸気暴露試験後、結局、耐電圧試験を実施いたしまして、これについても合格をしているというところで、低圧ケーブルの事故時環境下における健全性に関する知見を、現状、得ております。

次のページ、お願いいたします。3番目の炉内構造物の健全性評価に係る研究でございます。

こちらのほうは、現在、廃炉が認可されたプラント、これらより採取部位、実際に先ほどお見せしました維持規格との関係で、どこからどの部分を取れるのかということ、廃炉プラントをターゲットにしまして、いろいろ調査を実施いたしました。その結果といたしまして、図9に示すような、それぞれの部位、例えば黄色ですと炉心シュラウド、赤ですとドライチューブ、それから、緑ですと制御棒、それから、上部格子板、こういったところから、どうも取れそうだというところで、我々として、ターゲットとして、①、②、③、④というところの、この中性子照射量に対する部位、ここから取れる、特に炉心シュラウド、それから、上部格子板、ここから試験片を採取可能であるということが確認できたということで、さらに、それを用いまして、詳細な試験計画、最終計画、それから試験のマトリックス、これについて検討を実施してまいりました。ということで、現状、その辺りの知見を得ているという状況でございます。

次のページをお願いします。最後でございます。ステンレス鋼製機器の健全性評価に係る研究でございます。

こちらのほうは、実際の原子炉冷却材再循環ポンプから既に実機の材料を切り出しております。左の図10でございます。渦巻ポンプの出入口のところでございますけれども、ちょうど台形というのでしょうか、その辺りの部分からカットいたしまして、特に板厚方向

を十分確保したいということですので、ちょうど中心点から下部分に対して試験片を採取すると、それぞれ、破壊靱性試験、引張試験、シャルピー衝撃試験、こういった試験材料が取れるということを確認いたしました。結論といたしましては、現在、研究実施機関まで輸送いたしまして、今後、詳細なこのデータを取るための試験を実施してまいります。

次のページをお願いいたします。18ページ目と19ページ目でございます。これは、まとめでございますので、今、お話をさせていただいた点を記載しているという状況ですので、割愛させていただきますが、今年度までに実施した研究項目に関しては、今のところ、計画どおり順調に進んでいるという状況でございます。

飛ばしていただきまして、20ページ目を御覧ください。我々の研究ですけれども、冒頭、お話をさせていただきましたとおりでございます。我々が実施する高経年化技術評価、それから運転延長認可申請、これの技術的な妥当性、技術的判断の根拠、これに活用するというのを目的として実施しております。

それから、RPVですね、原子炉圧力容器に関する研究に関しましては、この成果を民間規格の技術評価、これの中の技術的な知見ということにも用いるということで進めております。

次のページをお願いいたします。5.といたしまして、成果の公表でございます。

まず、原子力規制庁が含まれる公表ということで、論文投稿につきましては2件、それから、国際会議のプロシーディングスは1件、学会発表は3件というのが現状でございます。

次のページをお願いします。それから、委託先関係でございます。論文関係が1件、国際プロシーディングスが2件、それから、次のページ、23ページ目でございますけれども、学会発表が8件というのが現状の成果の公表でございます。

次のページをお願いいたします。6.としまして、成果の目標に対する達成状況でございます。

冒頭お話ししたとおりでございますけれども、令和3年度までに実施すべき研究項目に対しては、計画どおり進捗しているという現状でございます。こちらのほうも、先ほど詳細結果のほうで御説明させていただいたとおりでございますので、読むのは割愛させていただきますけれども、順調に進捗しているというのが現状でございます。

次のページをお願いいたします。最後でございますけれども、7.今後の展開でございます。

令和4年度以降は以下を実施するというので、まず、1番目、原子炉圧力容器の健全性

評価に係る研究でございます。先ほどちょっとお話をさせていただきましたとおりでございますけれども、実機材料である監視試験片、これらを用いまして破壊靱性試験、それから、2軸の疲労試験、それから、併せてですけれども、試験炉照射材料、これらを用いまして機械試験、それから、HAZの微細組織分析、こういったことを実施する予定でございます。得られたデータにつきましては、原子力規制庁としましては、しっかりと分析を実施いたしまして、考察をいたしまして、我々の目標であることをきっちりと押さえないというふうに考えてございます。

それから、2番目の電気・計装設備の健全性評価に係る研究でございます。こちらのほうに関しましても、実機材料、今後ですけれども、電気ペネトレーション、それから、弁駆動部、高圧ケーブル、これらを用いまして、状態監視手法等による劣化評価試験、それから事故時環境模擬試験、こういったことを実施しまして、得られたデータを基に、規制庁自ら、分析、考察を実施する予定でございます。

それから、3番目でございます。炉内構造物の健全性評価に係る研究でございます。こちらは、ちょっと他の三つとちょっと趣向が違いますが、まず、廃炉工程なんですけれども、炉心シュラウド、対象としている上部格子板、炉心シュラウドが、令和6年度以降の取得予定というところがございますので、その辺りに対しまして、確実に採取できるように、まず、事前に準備をしっかりとしていくということで、今、その辺りの段取りをきちんと進めております。ということで、令和6年度以降にしっかりと取れるように準備をしてみたいと思っております。

次のページをお願いします。最後でございます。ステンレス鋼製機器の健全性評価に係る研究でございます。

こちらのほうには、もう既にPLRポンプ、再循環ポンプから採取しました実機材料、これを用いまして、破壊靱性試験、シャルピー衝撃試験等、組織観察試験を実施いたします。現在ですけれども、研究施設のほうに輸送が完了していますので、今後、しっかりとしたデータを取りまして、最終的には、規制庁においてこの辺りを分析して、熱時効に対する評価ということをきちんとしてみたいと思います。

以上でございます。

○青野企画官 それでは、質疑とさせていただきます。

質疑につきましては、最初に専門技術者の方々から、次に外部専門家の方々からの順に御質問・御意見をお願いいたします。なお、御発言の前に、所属とお名前をおっしゃって

いただきますようお願いいたします。

まずは、釜谷先生、御質問、御意見をお願いいたします。

○釜谷専門技術者 原子力安全システム研究所の釜谷です。

御丁寧な説明ありがとうございます。

幾つか質問をさせていただきたいと思うんですが、まず、1番目の項目であります容器の健全性評価に関する研究では、HAZ部の評価が出ているということで、丁寧に試験をされているので、特にこれについては意見はございません。

あと、2軸引張試験ですけれども、これは最終的には照射材、いわゆる脆性材料の試験をされるんですか、それとも、延性材料、弾塑性材料の試験をされるつもりなのかというところが少し気になりました。

というのは、もし照射材でないのであれば、延性亀裂発生というのが問題になるので、亀裂発生というのをどのようにモニタリングするかということも含めた丁寧な設計が必要だということを感じましたし、あと、恐らく多軸効果で出てくるであろう、すばらしい結果が出てくるというのは非常に期待されるのですが、多軸効果を考慮するという事に当たっては、亀裂形状と単軸との比較において、拘束条件がかなり違うことが、単軸と比較しても違うことが予想されますので、その辺、丁寧に取り組む必要があるんだろう、恐らく考えておられるんでしょうけれども、その辺の説明が少なかったので、少し確認をさせていただきたいというところでございます。

これ、まとめて次も言った方がいいんですかね。ここで切りますか。

○青野企画官 個別にお願いいたします。

○釜谷専門技術者 では、まず、1番目の項目については、ここは少し質問させていただきたいところです。

○橋倉主任技術研究調査官 釜谷先生、ありがとうございます。

まずはじめに、今の御質問に対してでございますけれども、まず、照射材ではなくて、照射材はちょっと扱えませんので、照射材はちょっと難しいというふうに考えてございます。そういった観点からしますと、今、先生の御指摘の点のところは、実は考慮しながら進めております。

今、単軸と2軸の比較において、まさしく先生のお話のところが非常に厳しいということ把握しております。そういった意味で、2軸の効果として、どのように荷重をかけ、どのように亀裂が割れ、どのような影響があるのかというようなことはきちんと実は検討

して、その中で進めていこうと、そのように思っています。

委託先の専門委員会がごさいます。こちらのほうでも、専門の先生方に、入っていただきまして、この辺りの効果に関しましてはきちんと見ていただくということを考えております。そこら辺をまずは失敗しないように、まず、解析で十分な効果を得て、それを受けて、実機の試験のコントロールをしようということで、今後、進めていこうと考えてございます。

以上でございます。

○釜谷専門技術者 ありがとうございます。

すばらしい試験ですので、ぜひ、うまくいけばいいなというふうに願っております。

それから、3番目の破壊靱性の試験ですけれども、少し気になったのが、かなりデータのばらつきが気になりました。単にデータを取って、そのばらつきの中に埋もれるか埋もれないかという議論をするよりも、もう少し、せっかく丁寧に試験をされるという、廃炉材を使って豊富なデータをプロットされるということなんで、データの取得を丁寧にされたほうがいいと思います。一つは、応力・ひずみ関係も併せて取得するという計画はないのかなというところがコメントとしてあります。

というのは、維持規格への適用を考えると、ここも単純な脆性評価ではなく、弾塑性評価になることが考えられますので、応力・ひずみ関係も併せて必要だということもありますし、脆化が起こるということに対して、硬くなって起こるという話と、それから、照射脆化による、材質の劣化によって起こるという話、この二つが重畳して脆化が起こるというふうに認識しているのですが、ここを切り離すためにも引張特性、できれば応力・ひずみ曲線の取得があったほうがよりデータの解釈は深くなるというふうに考えてございます。

それから、できたら J_{Ic} ではなくて、J-Rカーブを取るようにしたほうが評価としてはより厳密になりますので、今後の規制にかなり生かせるのではないかとというふうに考えられます。

最後、鋳鋼の方ですけれども、これも同じように、H3Tモデルの検証が目的という話で伺っていますけれども、実際には、評価には、弾塑性評価のために、事業者側ではTTSモデル、つまり、応力・ひずみ曲線の推定モデルも併用して評価をしているので、そちらのほうの検証も併せてするというのも必要ではないかとというふうに考えました。

最後ですけれども、シャルピー試験も最後実施されるという予定がありましたけれども……。

○青野企画官 釜谷先生、音声が今、途切れてございますので。

○釜谷専門技術者 聞こえていますかね。

○青野企画官 シャルピーのところから声が途切れましたので、もう一度、お願いいたします。

○釜谷専門技術者 シャルピーはですね、本当に試験として必要なのですかというところの必要性の認識をちょっと伺いたいというふうに思いました。認識としては、必ずしも必要ないのではないかというふうに考えております。

以上です。

○青野企画官 回答をお願いします。

○橋倉主任技術研究調査官 釜谷先生、ありがとうございます。

まず、戻っていきまして、1.3の炉内構造物の御指摘でございます。応力ひずみ線図は取らないのかというお話でございましたけれども、データを取得する上において、この部分に関しては取得してまいりたいと思っております。その辺りをしっかり見て、きちんと評価をしたいと思っております。

先ほど脆化と硬化の話がございました。一般的にステンレス鋼 10^{24} からは照射の影響を結構受けるという話もございますので、その辺りでの照射による影響なのか、それとも、あるいは硬化の影響なのか、この辺りはですね、取得するデータの本数も限られていますので、先ほどお話がございました、取得する点をしっかり、きちんと見極めて、どこからどう取れるのか、それに対して、どういうふうなデータが得られるのかということは今後きちんと検討してまいりたいと思っております。

そういった部分での区分分けをしっかりといたしまして対応していきたいと、そのように考えてございます。

それから、J-Rカーブの話でございますけれども、こちらのほうも、極力そのような形でしっかりと取りまして、高経年化技術評価、運転延長審査におきましても、当然、J-Rカーブのところでは審査をしてございますので、そういったところは検討しながら進めてまいりたいと思っております。

それから、次のH3Tモデルの話でございます。H3Tモデルに関しましても、基本的には、釜谷先生からお話をいただいた点で、今後、進める予定でございます。

なぜシャルピーをやるのかというところの御質問でございますけれども、まず、シャルピー試験をやる理由といたしましては、米国においてはNUREGで実はシャルピーの評価を

実施してございます。その意味で、我が国が果たしてこれまでのやり方でよかったのかと、最新知見といたしまして、米国の情報もきちんと取り入れながら、シャルピーのデータを取り、我が国と比較し、本当に妥当なのかどうなのかと、まさしくこれはグローバルな観点からというところで、シャルピーを取って比較をするというものでございます。

先生がおっしゃるとおり、なぜこんなのが必要なのかというのは、そういう趣旨で取って比較をするということで、我が国が米国とも引けを取っていない、あるいは間違っていないというようなことを比較検討していきたいと思っています。

最終的には、この辺りは、我々、論文にまとめたいと思っておりますので、その点で、どういう結果が出るかはちょっと分かりませんが、そういう対応をしてみたいと思っております。

以上でございます。

○釜谷専門技術者 どうも丁寧な説明ありがとうございます。よく分かりました。どうもありがとうございました。

質問は以上でございます。

○青野企画官 ありがとうございます。

次に、下野専門技術者から事前にいただいております御意見、コメントについて、事務局から紹介させていただきます。

○鳥山技術研究調査官 技術基盤課、鳥山です。

それでは、関西電力、下野専門技術者から事前にいただきました御意見を読み上げさせていただきます。

評価項目の観点から幾つかいただいておりますが、主な御意見として、3点、御説明します。1点ずつ区切って御説明させていただきます。

まず、国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているかという観点です。

電気計装分野の技術者として、本プロジェクトのうち「電気・計装設備の健全性評価に関する研究」について、意見を述べます。初めに、本研究の目的及び研究方針は適切なものであり、国内外の過去の研究等を適切に踏まえられたものと考えます。特に、電気・計装設備の実機材料を用いた耐環境性能試験は、我々産業界では一般的には実施してきておらず、そこから得られる知見は様々な形で参照・活用されるであろうと期待しております。なお、本研究では、当社よりいくつかの実機材料をご提供いたしました。こうした御研究にご協力できることを嬉しく思っております。

それでは、続きまして、解析実施手法、実験方法が適切かの観点です。

次に、解析実施手法、実験方法は適切と考えます。そのうえで、1点質問させていただきます。資料3のP.44からの「ケーブルの電気特性評価」について、本研究では、新しい手法である電流積分法を用いています。電流積分法は漏れ電流を可視化して劣化状況を把握しようというものであり、本研究の主旨と合致したものと受け止めていますが、例えば、現場工事等で広く利用される絶縁抵抗計による絶縁測定との違いなど、この手法の利点等を補足いただけますか。（電流積分法の位置づけ等を補足説明したほうが、初見の方にも主旨が伝わるのではないかと、思料しました。）とのこと。

○池田技術研究調査官 原子力規制庁の池田と申します。電気計装の研究を担当しております。

下野委員からの御質問に対して回答いたします。

まず、現場での絶縁抵抗計、これの意味合いとしては、計る対象の機器がちゃんと動くかどうかの機能確認のために実施するもので、例えばケーブル、低圧ケーブル100Vで負荷をつないでいる場合は、100Vをかけて、それで抵抗を計る。あるいは、モーターの場合、低圧モーターでしたら、500Vはかけて印加して、それで抵抗があるかどうかの確認をするという、その機器の健全性を見るものです。

ここで挙げていますQT法に関しては、機器のというよりも、絶縁材料の機能、それを物性的に確認するものです。だから、例えば低圧ケーブル用の絶縁体でありましたら、例えば100Vとか、200Vをかけて、見るだけなんですけれども、これに関しては、いろんな種類によって、あるいは経年によって、その構造が電氣的にどのように変化するかを見るために、通常の100以上に、数千Vまでかけていって、その電氣的な構造を見るというものです。だから、QT法の意味合いとしては、絶縁材料の構造、電氣的構造を確認するというものです。

本研究に関しては、機能要求だけの確認ではないので、実機材の物性的な意味合い、物性的にどういうふうに変化しているかを確認するために用いています。

以上です。

○鳥山技術研究調査官 ありがとうございます。

それでは、最後に、解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切かの観点です。

次に、解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切と考えます。そのうえで、1点確認させてください。資料3のP.48からの2.2.4 (3) ②で蒸気暴露試験条件を記載し、図

2.2.14ではそのプロファイルをグラフで示されています。これら試験条件と、試験中における蒸気暴露試験装置内の温度、圧力の実プロファイルと比較した際に、どの程度の裕度があったのか、可能な範囲でご教示いただけますか？事故解析結果から設定した試験条件と試験時の実プロファイルと比較し、試験結果がどの程度の裕度をもつかを明確にすることは、評価上でも有効と考えます。

○池田技術研究調査官 規制庁の池田です。

回答させていただきます。

図の2.2.14のところには、二つのプロファイルが載っています。それは、一つはSA1というもので、これは一定温度で168時間設定したものです。SA2に関しては、関西電力高浜の資料を基に設定したものです。

まず、SA1に関しては、日本中のPWRの事故時の温度と圧力の解析結果を新規規制基準の適合審査において事業者が示しております。そのPWRに関して、全てのプロファイル、温度プロファイル、事故シーケンスの中で一番厳しいものを見て、それで、その圧力、最高圧力の中で一番高いものを設定し、それで、温度を設定し、また、圧力を設定したものです。

ちなみに温度と圧力、飽和水蒸気の値、一定の関係がありますが、それが崩れている場合には、例えば圧力を基準として、温度が何度になるか、温度を規定して圧力がどういふふうになるかを見て、それぞれ事故時プロファイルで最高の温度、最高の圧力を包絡するような線を決めました。

よって、この場合、155度、0.45MPaGに関しては、各プラントに対しての温度等も、数度、この場合、ここで御覧に、この2.2.14で見られますように、この場合でしたら、10度ほどの裕度を持っています。

ちなみに圧力容器で水蒸気暴露をかけながら試験しますと、当然ながら、圧力は脈動してまいります。脈動して、サインカーブのような脈動を起こします、最低値がその設定値を割り込むことがないように中心値を決めて、それで試験をやっています。この場合、圧力に関しても高めの圧力で設定してあります。

SA2に関しては、高浜1、2号の事故シーケンスの温度プロファイルを見て、それで、また温度と圧力を決めました。この場合、圧力を設定して、そのときの飽和水蒸気温度を見ると、頂いたプロファイルの温度より高めになっています。その高めの温度を用いて、このところ、12時間から24時間のときは145℃というふうに設定しています。だから、単純に圧力をカバーしているだけじゃないので、温度に換算して、それぞれ圧力と温度を包

絡できるようにしております。このため、やはりこれほどの裕度を持ってやっています。

2.2.14の場合は、それぞれこのような状況で温度を設定してまいりました。

以上です。

○青野企画官 下野専門技術者からの御質問、御意見は以上でございます。

続きまして、外部専門家の方々から御意見をお願いいたします。

笠原先生、よろしくお願いいたします。

○笠原委員 東京大学の笠原です。

本件に関しましては、2019年の10月に研究計画を御紹介いただきまして、意見交換させていただきました。今日は、そこから全般の進捗状況を詳しく御報告いただき、大変ありがとうございます。

試験準備ですね、着々と進んでいると理解しました。一部に、実機材を取り出すことにつきましては、廃棄措置計画に依存しますので、少し遅れているということですが、これは外部環境に依存するので、致し方ないことかなと思います。

今日は、今後、試験データが出てきますと、これを分析、評価するとなっていると思うのですね、それに向けての、少し質問をさせていただきたいと思います。

1点目は、全テーマに関わる、ちょっと方針のようなものに関する意見です。2019年の研究開始時も、実は同じことをお願いしておりました。これは、従来の研究は、設計法の保守性評価、確認ということが中心だったと思いますが、今後、新検査制度も始まっていますので、リスク情報活用ということが非常に大事になってくるわけですね。先ほど下野さんからの質問の中にも、裕度を定量化したほうが良いということがありましたが、私も同意見です。

さらに、リスク情報を活用するとなると、裕度ということを超えて、やはり平均値がどうであるのか、それから、ばらつきがどうであるかということがだんだんと大事なテーマになってくると思いますね。今回も、そういうことが読み取れるのですが、例えば資料3、報告書本体のほうですが、この中に、健全性評価法の保守性を担保することが重要であるとか、あるいは破壊靱性曲線の包絡性の確認という言葉が出てきます。また、今日のパワーポイントの資料の中でも、例えば、先ほどパワーポイント7ページとかに、破壊靱性下限値の保守性を検証するという言葉があるのですね。

これにつきまして、将来、リスク情報活用に向けて、こういった貴重なデータが出てきたときに、どんなふうこれを分析、あるいは最後まとめていこうとされているのか、こ

の保守性の確認や包絡性という以外にもし御計画、お考えがあったらお聞かせいただきたいなと思います。これが1点目です。まず、ここで切らせていただきます。

○青野企画官 回答をお願いします。

○橋倉主任技術研究調査官 規制庁の橋倉でございます。

笠原先生、コメントいただきまして、ありがとうございます。

私は、最初に参加していましたので、先生のコメントをよく覚えております。裕度の定量化に関しては、しっかり今後検討してくださいというお話がございましたので、その宿題に関しては、我々は忘れているということはございません。

最終的にはどのようにまとめるのかということに関しまして、今後ですけれども、研究委託先としっかりと詰めていきたいと、そのように思っています。例えば統計学的な力学評価としてまとめるのか、あるいは、どういった観点での裕度があるのか、それは単純に、今回の場合は、三つの研究ともそうなんですけれども、ワンプラントからしか取りません。ですので、その傾向として見るのか、あるいは絶対値として見るのか、その辺りをよく議論しないといけないと思っております。このワンプラントが全てのプラントに通じるかどうかということも非常に議論すべきところだと我々は思っています。

ですので、まずはワンプラントを取ったところからですね、裕度の定量化はこうあるべきではないかというような、まずは案みたいなのができないかというふうに考えてございます。ですので、それをもって、全てのマストというふうには多分まだできないと思っております。そうすると、もっとデータが必要になりますし、そういった部分での、それこそ定量的な評価のデータ数ということが必要になってくるかなと思っております。

一方で、ここで書いてある下限式の検証をすることに関しましては、まずは現状の設計に対してきちんと実機材のデータを取って、保守的かどうかということをもっと押さえたい。それを押さえた上で、今、先生からの宿題があったことに関しては、できる限り、それぞれ裕度の定量化に関してはトライをしていきたいと、そのように思っております。

ちょっと御回答になっているかどうか分かりませんが、そういったチャレンジ、これは最初から先生からいただいた宿題だと思っておりますので、トライしていこうというふうに、現在、考えております。

以上でございます。

○笠原委員 御丁寧な回答、ありがとうございます。

ワンプラントのデータを取ったときに、そのデータが全体の中でどういう位置にあるかという視点が非常に大事ですよね。

データをさらに拡充というお話も、今、御説明いただきましたが、データを取れば取るほど、ばらつきは恐らく増えていくでしょうし、あるいは大きなばらつきの中で下限もどんどん下がっていくというのも容易に想像できるわけですよ。

ただ、そういう中で、常に下限だけ包絡性ですと切りがない作業にもなるわけで、なかなか資源が限定されている、民間側との議論も難しくなる可能性もあるんじゃないかなと少し懸念します。

そういうわけで、将来、データが増えていったときの見通し、現実的にどういうふうにしてそれを分析してリスクに結びつけるかということは、早い段階で、学会等オープンな場で、委員会も含め、できれば海外の方も含めて意見交換し、コンセンサスに向ける努力をするのはお互いにいい方向じゃないかなと思っております。

○小嶋上席技術研究調査官 笠原先生、原子力規制庁の小嶋でございます。

とても貴重な御意見いただき、感謝申し上げます。

今お話がございましたように、今回のものは、ある程度限定されたプラント材料から試験用データを取っています。お話があったように古今東西の、例えばPWRから取っているわけではございませんので、統計的なものとしては、基本的には母集団からランダムに抽出するということが原則となっておりますので、そこに対して統計的にどうなるのかということは我々も重要だと思っています。

その上で、平均値という話がございましたけれども、その中で中心極限定理ですか、そういうものはしっかり使えるのかだとか、ばらつきに関しましても、データが少なければ少ないほど、例えば正規分布でも標準正規分布という形ではなくてt分布になるだとか、ばらつきの95%信頼限界をカイ二乗で求めるなど、いろんなことを考えていく必要がございますので、そういった数理統計学的なことも含めて、こういった形でこのようなデータが使えるのかということ、この研究以外でございますけれども、検討し始めてございます。

その上で、海外等々との意見交換も、我々、例えば確率論的な話について、来月11月ですけれども、国際的な会議に出席したりするなど、いろんな情報も集めていくと、そういった活動もしてございますので、いろいろデータが得られたところで、数理統計学的なものをしっかり考慮しながら、また検討していきたいと、そのように考えてございます。

以上でございます。

○笠原委員 どうも、御丁寧にありがとうございます。

それでは、2点目の御質問にまいってよろしいでしょうか。

○青野企画官 よろしくお願いたします。

○笠原委員 2点目も、実は2019年のときに申し上げた観点の延長になります。実機材料を使ったときに、いろんな複合要因があるのではないかと。実際、今回、資料3の中に複合要因試験等もしっかり記載されていまして、そういうことを強く認識されて試験が進んでいるということがよく分かりました。

例えばショットピーニングの効果であるとか、溶接の拘束効果、実機ならではの効果ですね、そういうことを見聞きされていますし、それから、さらに試験片を取り出すときに除染試験の効果等も分析されています。大変ありがとうございます。

もう一つ、考慮されるといいかなと思いましたが、実機の運転条件に関してです。照射条件等は恐らく支配パラメータなのでしっかり把握されていると思いますが、一方、温度等の運転条件もかなり影響するのではないかなと思います。

そういった中で、試験片を選ぶときに、その廃止措置された実機から試験片を取り出すときに、その部位などの履歴ですね、環境の履歴、温度等も含めた負荷条件の履歴、あるいはそれによるばらつきへの影響等につきまして、どのように考慮されているか、よろしければ、お聞かせいただくとありがたいです。

○青野企画官 お願いします。

○橋倉主任技術研究調査官 規制庁の橋倉でございます。

先生、ありがとうございます。まさしく今の点、非常に重要な点でございます。

我々としては、まず、答えから申し上げますと、実機の運転条件を考慮して研究につなげていくという条件でございます。その辺りは考慮してございます。

運転条件に関しましては、事業者の守秘義務がございますので、なかなかちょっと報告書等には書けないというのがございましたけれども、その辺りはきっちり把握し、そして、その履歴をもって何が起きているのかということ、これも実は笠原先生から事前評価のときにコメントいただいていたのを私は覚えておりますので、そこら辺はきちんと反映しながら研究を進めているというのが現状でございます。

以上でございます。

○笠原委員 ありがとうございます。

そうしますと、1番目の意見と関係するんですが、恐らく実機データをプロットすると、さらにばらつきは大きくなるのではないかなと、定性的にはそういう方向ではないかと想像しています。

そのときに、先ほどの説明のように、その実機材も、それから、試験材もひっくるめて、単にばらつき統計として扱うのではなくて、その辺りはやはり実機材の場合はどうしても分かりにくい、温度履歴や、さらに、もしかしたら、なかなか意識されていない要因も可能性としてはあるのではないかと。

そういうことで、全部をホモジニアスに扱った統計評価だけにはとらわれず、やはり場合によっては、専門家の意見、エンジニアリングジャッジということも含めながら分析することも必要になってくるんじゃないかと想像します。

それでは、最後の質問、よろしいでしょうか。

○青野企画官 お願いいたします。

○笠原委員 これは、ちょっとチャレンジな意見でして、もしかしたら後から望月先生からは別の意見があるかもしれないんで、少し半分ぐらい割り引いて聞いてください。

リスク情報活用って非常に大きな観点からこの各テーマを見るとですね、先ほどまで議論したPTSだとか、圧力バウンダリの健全性の問題と、それから、最後のほうの炉内構造物の課題というのは少し意味合いが違うのではないかなとも見えてくるわけです。

炉内構造物は圧力バウンダリを形成しているわけではありませんので、求められる性能、パフォーマンスは、例えば炉心の支持であるとか、冷却流路の形成ということで、ちょっと違いますよね。そうしますと、ここに求められる健全性の厳密さ、それも大きな影響度、実機に対する影響度からいったら違ってくる可能性もあるんじゃないかなとも思われます。

一方、今日の御報告を聞いていますと、この圧力バウンダリと、それから炉内構造物で、扱いが同じように見えるんですね。両方とも、今、維持規格ですか、下限値の保障をする。民間規格も、今はこうなっているわけですけども、今、まさにリスク情報活用を考慮して、だんだんと変わろうとしている、そういう議論が始まってきているわけです。

こういう中で、この圧力バウンダリと炉内構造物を今後とも同じように考えて、同じように評価していくのか。あるいは、もう少し将来を見据えて、別の観点からの分析や評価があり得るのか。ちょっとチャレンジングな、とっぴな質問かもしれませんが、将来にとっては大事な議論かと思ひまして意見させていただきました。ありがとうございます。

○青野企画官 回答をお願いします。

○橋倉主任技術研究調査官 規制庁の橋倉でございます。

なかなか難しいところではございますが、まず、現実をきちんとお話をさせていただくと、まず、我々がやっていることは高経年化技術評価、運転延長審査、これはもう法律で求められたことに対する評価、これに対して、きちんと裕度があるかと、保守性があるかということをまず確認するというのが、まず、第一のミッションというふうに思っています。ですので、それを受けて、まず試験をやって評価をするということを大前提としてやっています。

先生からいただいたコメントに関しましては、どちらかというところ、この個々の単体の研究という問題だけではなくて、原子力規制というもっと大きな枠の中で、裕度をもって、裕度というか、リスクをもって、どこを重点的にやるのかと。まさしくアメリカでいうところのPISDPみたいなような感じ、あるいはリスクインフォームドインスペクション、あるいは、そういった形に近い話になってくるかなと、そのように思っております。

ちょっと私が言うことも変なんですけれども、そういったことは、全体として、規制庁の安全研究の方針として今後どうあるべきかというのは、また、引き続き、議論、私が言うのもちょっと変なんですけれども、そういったことも少し検討していくことが必要なかもしれません。そういうことしか、ちょっと、すみません、私からはちょっとお答えできないのですけれども、そのように、今、考えてございます。

以上でございます。

○笠原委員 今の質問は、この今日のテーマから少し外にも出ることもあったのかもしれませんが、ただ、この質問もですね、このテーマだけではなくて、ほかのテーマのときも私は割と一貫して質問していることですので、お願いに近いかもしれませんが、もう少し意見をさせていただきます。

この安全研究というのは、規制そのものというよりは、その前段階の基盤研究ではないかなというふうに思っているわけです。規制そのものは、技術評価がありますので、技術評価の中でも、個々には民間規格がどのぐらい今、保守性があるとか、そういうことが喧々諤々なされるわけですね。ここは基盤研究ですので、そこに入る一歩手前じゃないかなと認識しているのですが、まずちょっとその認識が間違っていたら、また、訂正ください。

もし、ワンクッション置いているとすれば、次の意見は、これも前に申し上げたのですが、ある実験データが得られましたと。それはどう使うかということに限らず、事実、現

実なわけです。次に、それをどう分析するかというのも、それを客観的に分析して、こういうトレンドがあるとか、こういうばらつきがあるというのも、これもどう使用するにかからない基板技術ですよね。この辺の範囲というのは、やはり学会、あるいは使用者とも共通してシェアした上で、現象はどうであるかという範囲で、大いに議論したらいいのではないかなと思うわけです。

そういう延長上で、今度はリスク情報ともう一つの柱、パフォーマンスベースというのが規制のほうから挙げられているわけですが、求められるパフォーマンスは何だろうと。極端な話、幾らこうやって検査を厳密にして、膨大な予算をかけて、データをたくさん取っても、それが最終的なパフォーマンスにあまり影響がなければ、結果として有用じゃないわけですよね。そういうわけで、炉内構造物は、すごく分かりやすい例で、圧力バウンダリと明らかに求められるパフォーマンスが違うわけで、そこを少し分けていくというのも、規定に入る前の前段階からお互いにデータを見ながら意見交換してもいいのではないかなと思いました。

これは一般的なのですけれども、今日の話題は、例題としては分かりやすいので、ちょっとすみません。ここで述べさせていただいたのは、恐縮ですけれども、私としては、以上になります。

○小嶋上席技術研究調査官 原子力規制庁の小嶋でございます。

先生、貴重な御意見いただき、感謝申し上げます。

今、一連の中で、パフォーマンスベースだとか、リスク情報の活用というお話がございました。

あと重要な項目として、リスク影響度が異なるのではないかと。つまり、圧力バウンダリ、圧力容器ですね、今回の場合は。あとは炉内構造物、例えば、シュラウドだとか、サポートだとか、そういったようなところでございます。

おっしゃるとおりで、まず、影響度のほうは、かなり異なってくるなというふうには個人的には考えております。具体的には、圧力容器、圧力バウンダリの場合、圧力容器ですけども、場合には、そこが壊れてしまった場合には、冗長性がない、その後のバックアップがないというところがございます。

一方で、炉内支持構造物のほうは、そこに何かがあっても、必ずしも欠陥指示が見られるかどうかということも分かりませんし、その後、その後のバックアップとして、圧力容器がある。確かにそれはそのとおりだと思います。そういった意味での見方といたしますか、

優劣ではないのですけれども、影響度というのは変わってくるというように認識してございます。

一方で、リスク情報活用という形で考えますと、例えば、発生頻度であるだとか、そこに対する検査の検出性だとか、そういったものを全て併せて、つまり、発生頻度、検出性、そして、影響度ですね。そういったものを掛け合わせることで、例えばリスク重要度だとかということも出てきますので、そういったことをトータル的に見て、分析した上で、どれだけのパフォーマンスといいますか、どのように資源を集中させていくべきかというようなことは、今後、議論はされていくのだろうと思います。

我々としては、今、先生から御意見があった、そういったような議論があったときに、しっかりと対応できるような専門性といったことも身につけていくというところでございまして、今、すぐ話が出ることではないとは思いますが、そこに向けて、先ほどの冒頭の一番目の質問にございました、リスク情報をどのように活用するかといったことも含めまして、議論ができるような専門性、技術性を身につけていきたいと考えてございます。

○笠原委員 御丁寧にありがとうございます。

影響度に応じて、頻度の扱いも変わってきたりしますので、ぜひ、学会と、海外も含めた学会の場が、より最適だと思いますが、そういうところで議論をさせていただけると、非常にありがたいです。どうもありがとうございます。

○永瀬規制基盤技術総括官 技術基盤課の永瀬です。

御意見ありがとうございます。先生のコメントは、この材料の経年劣化だけではなくて、安全研究全体へのコメントとして私は理解いたしました。

先生おっしゃるように、今回、評価していただく、実機材を用いた研究という切り口では、リスク情報の活用とか、それから、性能をベースとした評価の観点から見れば、基盤的な点ではありますし、それから、現状、我々がやっている研究というのは、まだまだリスク情報活用に向けたとは言っている状況ではなく、今後はリスク情報の活用も含めた形で課題の優先順位づけというふうなものをしていかなければいけないのかなというふうに考えています。

先生おっしゃられるように、さらにそういう方向に持っていくためにはということですが、我々だけで考えているのではなくて、学会の場とか、あるいは事業者とのコミュニケーションをもっと密にして進めていくということが必要だというふうに考えていま

す。

以上です。

○笠原委員 どうも御丁寧にありがとうございます。

規制庁さんだけでなく、民間だけでなく、非常にチャレンジングな課題ですので、ここは一緒に、一緒にという語弊がありますがけれども、規制に入る前の段階として、国際協力等も活用しながらコンセンサスづくりを目指すのでいいのかなと思います。御丁寧にあります。

○青野企画官 どうもありがとうございます。

ほかに御質問、御意見ございますでしょうか。

松本先生、お願いいたします。

○松本委員 松本でございます。

御丁寧な御質問、それから、ただいまの質疑応答、大変興味深く拝聴いたしました。

私は、(2)の電気・計装設備の健全性評価について、ちょっとコメントをさせていただきます。下野先生からもいろいろコメントをいただきましたけれども、まず、研究の目的、それから研究手法、それから最近の知見等、前回、私指摘したことも含めまして、今回の中で中間報告書の中に、非常に幅広く反映されていることに、まず、関係する皆様の御尽力に対して感謝申し上げたいと思います。

特に今回、三つの評価する資料があったかと思います。低圧ケーブル、高圧ケーブル、それから、電気ペネトレーションということですが、今回は低圧ケーブルで、実機からサンプリングしたということで、この辺のデータも、過去にデータがあまりなかったところが、こういった報告書の形で、一般の方の目に触れることができるようになったというのは、非常に大きな進歩だと思います。

先ほど笠原先生からお話がありましたけれども、いろいろなデータを学会等で共有して、皆さんで妥当なデータというのを蓄積していくという、そういうプロセスが地味なんですけれども、非常に重要なことというふうに感じております。

今回の中間報告書を拝見いたしまして、新しい視点で幾つか報告書の中に述べられていることがありまして、ちょっとこれについて、コメントさせていただきます。具体的には、資料のPDFの番号で言うと、50ページでしょうか。資料番号ページでいうと、34ページになります。式の2.2.1と、2.2.2という式が出てまいりました。これは新しい時間依存のデータを重ね合わせて、新しいリスク評価に用いるということで、私、この手法は、今回初

めて知りました。前回、アレニウスとか、アイリングーポランニーの式で評価していったらどうかというようなコメントをさせていただいたのですが、今回、こういった新しい時間について、いろいろなデータを重ね合わせるという、新しい評価手法が出てきたことについて、まず高く評価させていただきたいと思います。

ポイントは、活性化エネルギー、それから、ここに出てくるパラメータで、カップーでしょう、それとkという指標があって、材料によってこれは変わるということで、この辺の数値を皆さんで共有して行って、この原子力で使われている高分子材料の評価に結びつけていけば、これは非常に重要なデータになると思いますので、ぜひ、今回、まだ資料が少ないことは重々承知していますが、今後、時間、お金、マンパワー含めてかかるかと思いますが、こういったところのデータを根気よく集めて、最終的には、笠原先生がおっしゃったリスク評価のほうに持って行っていただければと思います。これが最初のコメントです。

資料が限られているということもありますし、それから、高分子材料、日進月歩で、いろいろな進歩が見られます。報告書にもちょっとコメントがありましたけれども、難燃剤の組成についても、現状のものと過去のものでは違うといったようなこともありますので、そういったところも含めて、今回、御提案いただいている式で、どういった資料をターゲットに研究を進めるかという方向性をお示しいただければ大変ありがたいというふうに思いました。まず、これが最初の質問になります。

○青野企画官 回答、お願いします。

○池田技術研究調査官 規制庁の池田です。

コメントありがとうございました。まず最初に、34ページの時間依存性、時間の重ね合わせの式について、これ自身は、平成20年度のときに、前のJNES、原子力安全基盤機構の中で国プロで、早稲田の大木先生が主査となって、ケーブルの経年劣化手法についての検討のときに、そのときに見つけて、それを基にデータを取ったものです。だから、これ自身はかなり古い話なんですけれど、そのときは人工的に加速劣化させたものでデータ積んで、式をつくり上げたものです。

今回、実機材が手に入り始めましたので、まずは手に入ったもので重ね合わせして、おおよそ合っているということが確認できました。今後とも、材料が手に入り次第やっつくつもりです。

コメントというか、御質問の中にありましたように、ケーブル材料に関して、組成によ

って特性が変わるということ。今回、高浜の1、2号のケーブルに関しては、難燃のEPRゴム、エチレンプロピレンのエチレンのゴムです。これを基にやっています。基材としては、EPRゴム、難燃剤としては、三酸化アンチモンを用いたハロゲンタイプのものであります。これをベースとしたものに関して、今後、BWRですね、のほうからもケーブルを頂いて、基材、EPRとしてできるだけ組成を合わせながらデータを取得してまいりたいと思っています。

以上です。

○松本委員 どうもありがとうございます。

ぜひ、データ蓄積して、学会等で公開していただいて、皆さんでデータ共有できると大変ありがたいと思いました。

二つ目なんですけれども、今回、高分子材料が放射線、それから水蒸気等、いろいろな要因で劣化していくわけなんですけれども、この劣化の度合いを図るために、TGですか、熱重量測定とか、あと示唆熱分析とか、それから、先ほど下野先生からもありましたけれども、QT法という新しい評価法が取り入れられております。

こういったところも、今回、特に水没したような状況を考えていますので、水蒸気の影響が強くなるのかなとは思っていますけれども、これについての劣化のメカニズムを、一通りまとめておかれたほうがよろしいのではないかと思います。

アイリングーポランニーの式なんかでも活性化エネルギーという話が出てまいりましたけれども、そこで自動酸化メカニズムとか、高分子の材料のメカニズムについて、ある程度明らかになっている知見があるかと思えます。ほかにも光、紫外線とか、放射線とか、そういったものの劣化等もありますので、何かその辺の知見を一通り体系化して、現時点での知見をまとめられてあると非常にいいのかなというふうに思いました。分析手法そのものは、最先端のいろいろな知見を踏まえて、丁寧に早稲田大学さんのほうで取られているようでして、大変ここも関心いたしました。

もう一つ、電氣的な特性で、前回、絶縁破壊試験をするべきだというふうなことを申し上げたんですが、今回、そういったところも、低圧ケーブルについてもなされているようでして、この辺も非常に前向きに取り組まれているということ、よく分かりましたので、この辺も引き続きお願いしたいと思います。

今後、高圧ケーブル等についても、この辺のことが明らかになってくれば、大変、高分子材料全体像が明らかになって、原子力プラントで使われている高分子材料がどう劣化するかというのが非常に分かりやすく、見やすくなっていくのではないかと思います。

私からは以上です。どうも今後ともよろしく願いいたします。

○池田技術研究調査官 規制庁の池田でございます。

コメントありがとうございました。まず、水蒸気下での高分子材料の物性に関して、今回の中間報告では、一部しか御報告させていただいていないのは、委託先である早稲田大学で、今、論文化を図っていて、文書を作って、それで今、まとめているところなんで、今回のほうで先に出すと著作権の関係もありますので、ここの報告書には、一部という形でという申し訳ないのですけれど、発表させていただいたものです。

分析方法としては、高分子材料の先生が言われた分析方法、その他、いろいろな分析でまとめてあります。これに関しては、その劣化メカニズム等をまとめて、学会で発表させていただいて、早稲田大学の名で論文化していく予定です。

もう一つ、電気物性のところ、絶縁破壊のところ、前回、前々回も先生に御指導いただいておりますので、それに関しても、具体的にできる範囲のところやって、それもまとめていきたいと思っております。

最後に、今回の入手材料の中に高圧ケーブルが入ります。高圧ケーブルに関しては、残存破壊電圧とか、破壊前駆等を使って、できるだけ細かい電気物性を追っていきたくと思っています。

以上、これからもやってまいりますので、御指導よろしく願いいたします。

以上です。

○松本委員 どうもありがとうございます。

○青野企画官 どうもありがとうございました。

続きまして、望月先生、よろしく願います。

○望月委員 大阪大学の望月です。

安全研究の中間報告ということで、前半でどのような形であったかということで、とても丁寧に御説明いただき、ありがとうございます。

もう既に皆様、先生方からいろいろなコメント出ていまして、かなり重なるところあるのですが、できるだけ重ならないように、私のほうから3点コメントさせていただければと思います。

まず、1点目、個別の内容になりますが、できるだけ固有名詞を出さないように進められればと思います。

大きく四つの実施内容それぞれについて、大きな方向性、本当はもともとの計画、3年

前に伺ったとおりですし、このままよろしく願いますということだと思っておりますが、内容ということであると、やはりどこをどのように、もうここに尽きると思うんですね。とても限られた制約条件の多い、材料、構造体の中から、例えば、PWR、原子炉容器などといいますが、HAZから1mmないし0.5mm、点では表していますが、実際評価するには、シャルピーの評価線になりますよね。この辺りいろいろな議論がいろいろなところでされていて、私自身は、安全研究の中で実際に採用されている方法で問題はないのではないかな、そして、その上でそういう結果が出るとは思いたいんですが、やはり中には、そういうことに対して疑念を示されるようなグループ、研究者の方もおられると思います。そういうことも、ぜひこの安全研究の中で、払拭とまではいかないまでも、より説明性の高いデータが出るように検討をさらに進めていただければと思います。

電気ケーブルに関しても、どこをどのようにということから言いますと、今回、実機の材料、とてもいい形で提供いただいたことから踏まえて、その上で状態監視的な手法、そして、マスターカーブ的な考え方を取り入れた上で、早稲田大学のほうでは評価いただいているところ、この次の最終報告になると思うのですが、またこの会合で内容を説明いただくところ、とても期待しながら状況は聞かせていただいたようなところです。

長くなりますので、ちょっと3番、4番も一緒にしてしまうような形になるかもしれませんが、炉内構造物に関しても、同じような形、応力ひずみ関係、弾塑性的挙動を、やはりここはきっちりと考えていきながらやること大事なんだろうなということ、今日も聞きながら感じた次第です。

それから、鋳鋼に関してもH3Tモデル、これもある意味、オーソライズされた手法と言えどオーソライズされた手法なんでしょうが、かなりそれから時代はへているわけですね。当然、よりよい方法というのが意識ができるはずですし、そのようなところも考えながら、どこをどのようにというふうなところ、さらに詰めていただければと思います。

一つ目、コメント以上になります。

○青野企画官 ありがとうございます。

回答、お願いします。

○橋倉主任技術研究調査官 規制庁の橋倉でございます。

基本的に、先生からいただいたコメント、金属関係ですけれども、拝承ということで、今後、その辺りも含めまして検討してまいりたいと思います。

以上でございます。

○望月委員 それでは、二つ目に進めさせていただいてよろしいでしょうか。

○青野企画官 はい、お願いいたします。

○望月委員 二つ目もコメントというふうな形で、笠原先生の後半二つにも関係するところになりますが、リスクという考え方、それから、パフォーマンススペースというところにまさになろうかと思えます。もう内容について、笠原先生、とても丁寧に説明いただいたかと思えますし、私もぜひ安全研究の中で実施する、その前段に値するところだとは思いますが、国内外の最新知見を常にウォッチいただいて、状況が許すようであれば、現在進行形の安全研究にその最新の成果、最新の進捗状況を取り入れるという形をぜひとも考えていただきたいと思えます。

例えば、もう海外ですと、先ほど橋倉さんからもありましたけど、橋倉さんじゃない、すみません。来月、レスターで国際会議があったりしますし、いろいろな公開での国際会議でも、本当活発ないろいろな意見交換がされていると思えます。

国内の学会、学協会でもそうです、それから、規格関係の委員会でも、常に規制庁、規制委員会から出席はいただいて、民間側のいろいろなやり取りは聞いていただいていると思えます。そのようなところも、ぜひとも安全研究のほうに、可能な限り取り込んでいただく、もしくは取り込んでいただくための議論をいただく、ここをぜひ意識して進めていただければと思えます。

二つ目、もうコメントというよりは、笠原先生の繰り返しになったかもしれないですが、以上になります。

○青野企画官 ありがとうございます。

回答をお願いします。

○橋倉主任技術研究調査官 規制庁の橋倉でございます。

まさしく今、先生からお話ございました。早速、来月ですけれども、レスターで行われる会議にも、こちらのほうも参加いたしますし、そこら辺を含めて、いわゆるPFMですか。こちらの全体的な考え方として、個々の安全研究だけではなくて、全体としての考え方、こういったところにつながるような議論を、規制庁の中でも実施していかなければいけないと思えますし、そういうようなことを考えつつ、進めてまいればと、そのように考えてございます。

以上でございます。

○望月委員 ありがとうございます。どうぞよろしくお願いいたします。

それから、三つ目、最後になります。ちょっと今日の説明は、時間の関係で省略されたのですが、研究工程のところを見ていると、どこで学会発表の予定、どこで論文投の予定というのが書かれているんですね。電子計装品に関しては、今年度からどんどん出ていく、まさに先ほども今、投稿中、投稿準備中という御説明がありましたし、早め、早めから外に、いわゆるピアレビューを通した原著論文として、内容にある意味、質の保証をもたらす、あれだけのものが公開されるというところが早く出ると。それに対して、ほかのものは、試験体の準備がなかなか試験片からのデータが出てくるのは時間がかかる。そのようなことはもちろん分かるんですが、ちょっと論文投稿ですとかの予定が遅め遅めになっていますよね。

分かると言いつつも、ただ、これは研究そのものという意味では、安全研究は進行しているわけで、これまでの論文という概念からいうと、最終的に試験片を取り出して、そのデータを論文化するというのが一般的に考えられることなんでしょうが、例えば、廃炉プラントからどのように試験体を取り出す、その計画を考えた。そして、それを事業者との折衝的なところ、どのような形で、法令を意識しながら、いわゆる実験設備まで持ち込んだ、そのようなことも、これは新たな観点の論文ということに十分、僕はなると思うんですね。なおかつ、それが安全研究、せつかくこれだけのものをやっていただいて、詳しい報告書としては、もちろん公開版出るのですが、やはりピアレビュー、そのようなところも、ある意味、新しい種類の論文として問うていただいて、そうすることによって、またこれピアレビューを経るという段階で、さらによりよい方向性がまた見えてくるというふうなこと当然出てくると思うんですね。

ぜひともそういう形で、一言で言えば、要は早め早めに学会発表、論文、どんどん出してくださいということですし、出しにくいところは、例えば、今、一例、取り出し方なんていかがでしょうなんてちょっとサジェスション出させていただきましたが、新しい範疇の論文を、学協会によっては、そのようなものを歓迎して受け付けるところ、たくさんあると思います。ぜひ、そちらも前向きに検討いただいて、せつかくの国民の皆様方の税金での安全研究、早め早めに論文という意味でも還元していただくと、また、いろいろなどころの議論が活性化して、全体としてよりよい方向にパフォーマンスはとてもベストな方向に向かうと、そのような形で思っておりますので、これはコメントというよりは、お願いになるかもしれませんが、よろしく検討いただければと思います。

以上になります。

○橋倉主任技術研究調査官 規制庁の橋倉でございます。

望月先生、非常に心強いお言葉、ありがとうございます。どうしても我々、論文となると、きちっとしたデータを持って、かつ考察、また、評価、こういったものをなかなか敷居が高いという感じがどうしても受けるというところがございます。庁内の中でもなかなか厳しいところもございました。しかしながら、先生の今の非常に言葉力強くて、こういった実機を取るという、本当に工法としても、どうしても初ということがございますので、今のお話のところが技術論文としても十分対応できるのではないかなと、そのように思いますので、先生もそういったサジェスションいただきましたところを少し含めて、前向きに善処していきたいと、そのように考えております。

以上でございます。ありがとうございます。

○青野企画官 ありがとうございます。

本日の御説明は以上となります。

全体を通じまして、何かコメント等ございますでしょうか。

よろしければ、システム安全研究部門、田口安全技術管理官から御挨拶をさせていただきます。

○田口安全技術管理官 システム安全研究部門の田口です。どうも本日はありがとうございました。

本日、中間評価ということで、試験結果としましては、電気計装品のみの御提示となりましたけれども、今日いただきましたコメントを踏まえて、これから金属材料等の試験も実施してまいります。

それから、御存じのように、海外でもこういった実機材料の研究というのは行われておりますので、そこからの出た知見も踏まえて、決して我々がつくった計画ありきではなくて、最初の知見も取り込んで柔軟に対応していきたいと。

それから、御指摘いただきましたように、今後は、出ました成果等につきましては、積極的に論文、あるいは学会発表に努めていきたいと思っております。

また、これは6年度まででございますので、その後、事後評価をいただくこととなりますので、引き続きよろしく願いいたします。どうもありがとうございました。

○青野企画官 最後に事務局からの連絡事項になります。

お配りさせていただいてございます資料4、評価シート及び御意見シートでございます

けれども、お忙しいところ誠に申し訳ございませんが、10月11日まで、記載の上、事務局まで御送付いただきますようお願いいたします。いただきました御意見は、事務局で評価取りまとめ案を作成した後に、改めて御連絡をさせていただきます。

それでは、これで第6回材料技術評価検討会を終了いたします。本日はどうもありがとうございました。