

第9回川内原子力発電所の運転期間延長の検証に関する分科会 議事録

日 時：令和5年1月30日（月）13:26～17:24

場 所：アートホテル鹿児島「桜島」

出席者：【 会 場 】釜江委員，後藤委員，佐藤委員，守田委員，渡邊委員
【 リモート 】大畑委員，橘高委員

1 開会

(事務局)

ただいまから、川内原子力発電所の運転期間延長の検証に関する分科会を開会いたします。

お手元にお配りしております会次第に従いまして進行させていただきますので、よろしく願いいたします。

それでは、はじめに、開会に当たり、鹿児島県危機管理防災局長の長島が挨拶を申し上げます。

2 危機管理防災局長挨拶

(鹿児島県危機管理防災局長)

皆さんこんにちは。鹿児島県危機管理防災局長の長島でございます。開会に当たりまして、一言御挨拶を申し上げます。

皆様におかれましては、お忙しい中御出席いただき、心から感謝申し上げます。

川内原発の運転期間延長につきましては、当分科会におきまして、昨年1月から、特別点検結果等について御議論を頂いているところでございます。

本日は、劣化状況評価結果の主要6事象のうち、熱時効、それから絶縁低下につきまして、九州電力から御説明いただくこととしております。

皆様には、これまでも熱心に御議論いただいておりますが、本日も忌憚のない御意見を賜りますようお願い申し上げます。簡単ではございますが、開会の御挨拶とさせていただきます。

本日もどうぞよろしくお願いいたします。

(事務局)

続きまして、会議開催に当たり、注意事項を申し上げます。

会場の皆様におかれましては、新型コロナウイルス感染症対策の観点から、マスクの着用をお願いいたします。

次に、Web会議で御参加の方は、御質問や御意見等、御発言の際は、カメラに向かって挙手し、指名を受けた後、名前をおっしゃってから御発言をお願いいたします。

なお、音声聞き取りにくい場合などはおっしゃってください。

また、御発言される時以外は、パソコン画面下の音声ボタンをミュートの状態にしていただきますよう、よろしくお願いいたします。

それでは座長、進行をお願いいたします。

3 議事

(1) 劣化状況評価結果について

① 熱時効について

(釜江座長)

はい、釜江でございます。本日もよろしくお願い申し上げます。ちょっと喉が、お聞き苦しいかもしれません。すみません、よろしく申し上げます。

それでは、ただいま局長の方からも御案内がございましたように、本日は劣化状況評価の6項目のうちの最後の2項目ということで、九州電力さんの方から御説明をお願いし、そのあと先生方の御意見、コメントを頂きたいと思っております。

それでは早速ですけれども、議事の一つ目でございます。劣化状況評価の中の一つでございますけれども、熱時効について、九州電力さんの方から御説明をよろしくお願い申し上げます。

(九州電力)

皆さんこんにちは。九州電力川内原子力総合事務所の川江でございます。本日も御説明の機会を頂き、ありがとうございます。

川内1, 2号機につきましては、冬場の電力安定供給に向けて、現在も順調に運転を継続しております。引き続き、安全・安定運転に努めてまいります。

さて、昨年10月、運転延長認可申請に関わる国の審査状況でございますが、現在までに2回の審査会合が行われており、1回目に申請の概要について、2回目には特別点検の結果について御説明しております。今後も引き続き、真摯かつ丁寧に対応してまいります。

本日は、資料に基づきまして、運転開始から40年を踏まえた高経年化技術評価における劣化事象のうち、熱時効と絶縁低下の評価結果について御説明させていただきます。

また、そのほか、前回に引き続き、委員の皆様から頂いた御質問への回答などについて説明させていただきます。

本日はよろしくお願ひいたします。

(九州電力)

説明者変わりました九州電力の上村です。

まず資料1の熱時効に入る前に1点、我々の方から御説明させていただきたいことがございます。第5回の分科会の資料のうち資料1、これは1号機のCVの特別点検に関わる御説明をさせていただいた際に、その中でCV鋼板の、いわゆる点検をした鋼板の配置図を載せている部分がございますが、その配置図、板割図と呼んでおりますが、この板割図に一部配置が正確ではないものが見つかりました。本件につきましては、点検結果に何ら影響を与えるものではございませんけれども、そういった正確ではないものがあったということで、次回の分科会で、どのような部分が正確でなかったかというのをお示しして、御説明させていただければというふうに思っております。

それでは右肩資料の1、川内原子力発電所1, 2号炉の劣化状況評価結果、熱時効について御説明をさせていただきます。

めくっていただきまして1ページ目、目次になってございます。このような流れで御説明をさせていただきます。

めくっていただきまして、30年の御説明をさせていただいた時もこのような内容は書かせていただいておりますが、まず熱時効についてということで、今回改めてまとめてございます。一次冷却材管等に使用している2相ステンレス、今回、ステンレス鋼鉄鋼ということで、オーステナイト相の中に一部フェライト層を含む2相の組織でございますので、運転中の系統機器が高温の場合に、時間とともに、フェライト相内でより安定な組織形態に移行しようとする相分離が起こることがございます。このことで材料の靱性の低下により熱時効というものが生じます。

熱時効による靱性低下への影響は、フェライト量が多く、使用温度が高くなるほど大きくなるということで、使用条件としましては、応力が大きいほど健全性評価への影響というものが大きくなります。そのため、今回破壊力学的手法により亀裂の安定性評価を実施することにより、ステンレス鋼製の使用温度が高い機器で、フェライト量が多く、応力が大きい部位が不安定破壊せず健全であることというのを確認してございます。

3ページに評価対象機器の抽出を記載してございます。こちらにつきましても、30年で御説明させていただいた時には言葉だけになっておりましたので、フロー等を追加してございます。まず対象部位につきましては、日本原子力学会の実施基準に基づき、以下の条件を含んだ機器部位を評価対象としてございます。使用温度が250℃以上、使用材料が2相ステンレス鋼、亀裂の原因となる経年劣化の発生が想定されるということで、以下のようなフローを作りまして抽出をしてございます。一番下に書いてございましており、抽出した機器のうち最も条件の厳しい一次冷却材管というものを代表機器としまして選定してございます。

ページめくっていただきまして、4ページ目になります。先ほど申し上げました一次冷却材管につきましては、熱時効による靱性低下の影響ということで、フェライト量が多い。また、破壊評価につきまして、応力が大きいということで選定をしてございます。

右に、対象部位の図を示してございます。この中でも、評価点としまして、①応力が最も大きい箇所、②フェライト量が最も大きい箇所、③応力とフェライト量の組み合わせ、④エルボ部で応力が最も大きい箇所ということで選定してございます。応力とフェライト量の組合せというのは、後ほど表で御説明しますが、応力及びフェライト量のいずれかの値が上に示します応力、フェライトの抽出結果の値よりも大きい箇所ということで選んでおります。

④につきましても、30年時点では対象部位としてございませんでしたが、高経年化評価を実施している先行プラント等の評価結果から、今回40年評価に際しまして追加した部分になってございます。形状等を考慮して新たに選定してございます。

5ページになります。1、2号のそれぞれの対象部位を示してございます。応力が最も大きい箇所としまして、ホットレグの直管。これは1、2号ともになります。フェライト量が多い箇所としましては、1号コールドレグの直管、青でくくっている部分になってございます。2号につきましても、先ほどの応力が大きい箇所と一緒にありますが、ホットレグの直管がフェライト量も多いということで選定をしてございます。

3番飛ばしまして4番、新たに追加したエルボ部ですが、1、2号ともSGの入口の50°エルボというところが対象となっております。

③の黄色い部分でございまして、応力、フェライト量のいずれの値が①、②よりも大きい値があるところということで、①を見ていただきますと、フェライト量につきまし

ては20.5, 応力が136ということで、いずれもチャンピオンにはなってございませんけれども、それぞれを選定したコールドレグとホットレグと比べますと、見られている応力が大きい面も見られますので、新たに対象部位として今回選定してございます。

2号につきましては、ホットレグ直管が両方大きいということで、1号のような選定をしてもそういう部分がないということで、結果的にはこのようになっています。ただし、後ほど御説明させていただきますけれども、30年の御説明をさせていただいた時に、後藤委員の方から2点というところよりも3点ほどやった方が望ましいのではないかと御指摘を頂いておりましたので、改めて評価をしている部分がございますので、後ほど御説明をさせていただきます。

6 ページ目から健全性評価の内容になってございます。評価対象期間の脆化予測ということで、プラントの長期間の運転により熱時効したステンレス鋼製品は、引っ張り強さは増加するので、材料強度としては評価上の裕度は向上しますが、材料の靱性が低下するというので、今回脆化の予測はH3Tモデル、30年の時から変わりませんが、こちらのモデルを用いて熱時効後のステンレス鋼製品の破壊抵抗値を予測してございます。

3.2, 想定亀裂の評価ということで、まずそういった脆化を考慮する上で初期亀裂を与える必要がございますが、こちらにつきましては、原子力発電所の配管破損防護設計技術指針ということで、日本電気協会から出ておりますけれども、J E A C - 4613に準拠しまして設定をしております。あと超音波探傷試験の検出能力も考慮して亀裂を想定してございます。イメージは下の図になります。

7 ページ目、続きでございますが、配管内面に想定した初期亀裂が、プラント運転時に生じる応力サイクルにより、60年間に進展する量をJ E A C - 4613から算出してございます。用いた式につきましても、30年と同様の式になります。応力サイクルにつきましては、実過渡回数に基づいて、プラント60年までの予測をしております。応力拡大係数は、供用状態A, B及び3分の1 S dの地震時における内圧、熱応力、曲げモーメント荷重を用いて算出してございます。また、上の式の定数のcとmにつきましては、上記規格に基づく軽水炉の水質環境下におけるオーステナイト系ステンレスの鋼製品に適用される値を用いております。実際供用状態A, Bということでここを想定してありますが、供用状態A, Bにつきましては、J S M Eの維持規格から引用してございますけれども、このような供用状態において評価をしております。

想定亀裂の評価結果ですが、次のページにありますけれども、60年の進展を想定しても貫通には至らないということで、具体的には8ページになってございます。先ほど応力サイクルは実過渡回数に基づいてということで御説明させていただきましたが、40年の評価におきましては、30年目から40年目については、実際の過渡回数に見直しまして評価をしております。残りの40年から60年の過渡回数ですが、前回の低サイクルの時にも少しお話させていただきましたが、これまでの先行プラントでの評価に基づきまして、30年時点は1.0倍の裕度でしたが、40年目の評価というのは40年から60年の間の過渡回数というのは、1.5倍の過渡回数を想定して、厳しめに評価をしております。

その結果、表に示します亀裂の深さ、亀裂の長さになってございます。例えばホットレグの直管の60年後を見ていただきますとaの値が15.55と、その下に括弧書きで15.52というふうに記載してございますが、この括弧書きは30年評価時点での値ということで、先ほど申し上げた過渡回数を厳しく評価をしておりますので、30年の評価に比べて亀裂深さが少し大きくなっているということになってございます。これまでが、評価を行う上

での想定の亀裂の説明でございます。

9 ページ目になりますけれども、実際に破壊力学による健全性の評価の方法について記載してございます。右に熱時効に対する評価フローを載せてございます。まず、評価対象部位の熱時効後の材料の破壊抵抗値 J_{mat} と、構造系に与えた荷重から算出される破壊力、 J_{app} と呼んでおりますけれども、こちらを求めてその比較を実施してございます。

まず J_{mat} ですが、フロー左上になります。一次冷却材のフェライト量をミルシートから算出しまして、先ほど御説明しました H 3 T モデルと呼ばれる脆化予測モデルに用いまして、 J_{mat} を決定してございます。

一方、破壊力、 J_{app} の方は右側にありますけれども、まずプラント各部位での荷重、通常運転状態と地震を加重して考慮してございます。また、P S I 等の検出限界の亀裂を想定した亀裂進展解析で先ほど御説明したところになります。亀裂進展解析に基づく評価用の貫通亀裂に対する J_{app} を決定しまして、評価をしてございます。フローのダイヤの部分になりますが、結果としましてはこのような形で確認することになってございます。

運転期間60年目の疲労亀裂を想定しましても、破壊力 J_{app} と破壊抵抗値 J_{mat} の交点において、 J_{mat} の傾きが J_{app} の傾きを上回っているというところを見てございまして、結果、後ほど御説明しますけれども、配管は不安定破壊することなく、母管及び管台の熱時効は健全性上問題ないと、こういう結果を得られております。

次のページに 1, 2 号の結果を示してございます。10 ページになります。ホットレグの直管、1 号機につきましてはホットレグの直管、S G 入口 50° エルボ、コールドレグ、蓄圧タンク注入管台ということで、赤の線が抵抗値の J_{mat} 、青い線が J_{app} ということで破壊力になりますけれども、いずれも交点の部分で接しているということになってございます。

11 ページには、同様にホットレグ直管、S G の 50° エルボ、こちらの評価結果を載せてございます。いずれも接しており、傾きも J_{mat} 、抵抗値の方が大きいということが確認できております。

12 ページになります。これまで健全性の評価を御説明させていただきましたけれども、このページより現状保全等の御説明になります。まず現状保全につきましては、後ほど表でまとめてございまして、定期的に溶接部の超音波探傷検査及び漏えい検査を実施してございまして、異常ないことを確認してございます。

5. で総合評価を記載しておりますが、運転開始後60年時点を想定した一次冷却材管の健全性評価を実施した結果、不安定破壊することなく、熱時効が構造健全性で問題になる可能性はないということで確認してございます。

また、内面からの割れは溶接部の超音波探傷検査により検知可能でありまして、割れが発生するとすれば溶接部であるということが考えられることから、点検手法としては、現状で適切だというふうに考えてございます。

また、低温停止状態についても評価をしてございまして、こちらについては、温度が低く事象の進展が考え難いということから、十分に 250℃ 以上というのは保守的な評価ということで考えてございまして、現状の保全を実施することで健全性を維持することができるというふうに考えてございます。

高経年化対応としまして、一次冷却材管の熱時効については、現状保全の項目に高経年化対策の観点から追加すべきものはないというふうに判断してございます。代表機器以外の評価ということで、基本的には、後ほど表で示しますが、一次系冷却材配管がフ

フェライト量，応力等厳しいということで，それぞれの部位を包絡できるというふうに考えてございます。

13ページのまとめでございます。本来であれば，説明の前にまずどのような要求事項が審査基準上あるかというのを御説明すべきでしたが，最後にまとめてございます。熱時効につきましては2点ほどございまして，まず1点目，延性亀裂進展評価の結果，評価対象部位において，亀裂進展抵抗が亀裂推進力，破壊力を上回ること。もう1点が，亀裂不安定性評価の結果，評価対象部位において亀裂進展抵抗と亀裂進展力が等しい状態で，亀裂進展抵抗の微小変化率が亀裂進展力の微小変化率を上回るということと，二つほどございます。

これまで3. のところで御説明させていただきましたとおり，延性亀裂進展評価につきましては， J_{mat} が J_{app} と交差をしておりますして， J_{mat} が J_{app} を上回ることを確認してございます。

もう1点目，亀裂不安定性評価につきましては，交差する状態で微小変化率をそれぞれ比較しまして， J_{mat} の傾きの方が J_{app} よりも大きいということを確認してございますので，こちらも不安定破壊をせず健全であるというふうに判断してございます。

ここまでは御説明になります。以降，参考資料として幾つか参考をつけておりますので，簡単に御説明させていただきます。

まず，参考の1，14ページですが，一次冷却材管を代表で選定してございますが，そのほかにも，15ページ，一次冷却材ポンプ，RHRの入口隔離弁，蓄圧タンク第2逆弁，高圧タービン，制御棒クラスタといったところに2相ステンレスを使っておりますけれども，それぞれ見ていただきますと，フェライト量，あと発生応力が一次冷却材に包絡されておりますので，選定結果としては一次冷却材管で代表できるというふうに考えてございます。その選定理由を，右側の選定理由のところに書いてございます。

16ページには同様に2号機を示してございます。2号機も同様の結果になってございます。

17ページ，亀裂進展力 J_{app} について少し御説明をさせていただいております。亀裂進展力の J_{app} につきましては，評価部位の荷重と亀裂長さが板厚の1倍，3倍，5倍の貫通亀裂というのを仮定しまして，有限要素法，FEMで実施してございます。その結果を下に示してございますけれども，Abaqusと呼ばれるコードを使っております。コード中の裕度というのは考慮していませんけれども，解析条件に保守性を持たせるという意味で，非時効材の応力-ひずみ線図を使用しまして評価してございます。

また， J_{app} 算出には物性値を用いておりますけれども，評価に用いた通常運転時の温度における応力-ひずみ関係というものをを用いていまして，こちらにつきましては最も温度が高いのがSGでございますけれども，こちらにも低応力側を使っております，保守的な評価というものを実施してございます。

参考の資料3，19ページから，今度は亀裂進展抵抗， J_{mat} の方の御説明をさせていただいております。亀裂進展の抵抗につきましては，H3Tモデルと呼ばれる脆化予測モデルを使っておりますして，評価部位のフェライト量をもとに完全時効後，時間がたって完全時効をしたところの飽和値として決定してございます。

算出には J_{1c} と呼ばれる点，安定亀裂進展が開始する点における靱性値， J_0 といわれる亀裂進展量が6mmの点における破壊靱性ということで，これは海外のモデルも参考にしながら，このような形で算出してございまして，データの下限值， 2σ を用いて算出してございます。

なお、H3Tモデルは、アメリカのASTM A800にて算出されたフェライト量と破壊靱性値の実測データを関連付けた予測式であることから、フェライト量の算出にはASTM A800というものをを用いてございます。

H3Tモデル自体は、電力共通研究の中でこのような研究をやっておりまして、そのあとにまた電力共通の研究でございますけれども、また別の研究をしまして、いろいろとデータ数を増やしまして、実機材の試験をしているものになります、から妥当性が確認されたものになります。

また、SG、先ほど申し上げた温度条件が厳しいSGにつきましても、通常運転時との試験の結果を比較しまして、両者に大きい差が見られていないということも確認してございます。

参考資料の4には、NUREGによる健全性評価ということで、次のページ以降に示してございます。前回30年の評価を御説明させていただきました時に、佐藤委員からも少しNUREGのお話を頂きましたけれども、我々としましてもアメリカで使われている手法で J_{mat} 、抵抗力の方を確認してございます。

22ページには、1号機の例ですけれども、実線が日本のH3Tモデルになります。それに今回NUREGの方法で算出しました J_{mat} を載せておりますけれども、点線になります。いずれも傾きとしては、川内の場合、 J_{mat} においてはNUREGの方が大きい傾きを示しているということが確認されております。

23ページ目には、2号機の例を示した計算結果を示してございます。

24ページからは参考の5ということで、一次冷却材管の保全の内容を示してございます。

25ページです。一次冷却材の製造時には、母材及び溶接部に対しまして放射線透過試験及び浸透探傷試験、PTを実施しており、有意な欠陥がないことを確認してございます。

現状保全としましては、維持規格に基づきまして、ISIとして超音波探傷検査及び漏えい検査を実施してございます。いずれにしましても、現在までの検査で異常ないことを確認してございます。それをまとめた表が以下のとおりになります。

参考の6は、代表機器以外の機器の保全ということで、先ほど包絡されていると申し上げた機器に対しての現状保全を記載してございます。

27ページです。説明内容は先ほどと重複しますので割愛させていただきますけれども、代表機器以外の機器につきましても、製造時の検査及び現状の保全をこのように実施しておりまして、特に問題になることは、これまで確認されておられません。

28ページは参考で確認をしました定期検査の時期を記載してございます。

29ページに、参考の7で電力共通研究におけます亀裂進展試験の条件ということで記載してございます。実はこの部分は、第6回分科会だったと思いますが、第5回の分科会の質問事項ということで頂いたものに対して回答したものになります。説明は割愛させていただきますが、その際にcとm、定数になっていますcとmの算出に用いたところを御説明させていただいておりますので、今回関連する事項でございましたので再掲をさせていただきます。

最後になります。31ページで2号機の蓄圧タンク注入管での評価結果ということでお示ししています。

具体的には32ページです。御質問事項の確認ですけれども、一次冷却材配管の2相ステンレス鋼の熱時効の評価選定で、応力が大きい、フェライト量が最も多いというところ

ろで、ホットレグ、コールドレグ2か所を選定しておりますけれども、現実には様々な条件の振れ幅があり得るということで御指摘頂いていまして、それぞれ3位ぐらいまで広げて検討した方がいいのではないかとということで御指摘頂いております。

1号機につきましては、御説明させていただきましたとおり4か所をしておりまして、2号機は2か所でしたので、2号機としましては蓄圧タンクの注入管台ということで設定しております。

蓄圧タンクの注入管台を見ますと、1号と比較して、2号機の方が包絡される、1号の方が厳しいということで、表下に記載しておりますが、軸力と曲げモーメントの観点から1号の方が大きいので、まず1号の J_{app} を用いまして、H3Tモデルを用いまして J_{mat} 、抵抗力を出して、亀裂安定評価を実施してございます。

評価の結果、1号機の蓄圧タンクの注入管台と同様に交わる、あとは交点での傾きが J_{mat} の方が大きいということを確認してございます。熱時効の説明は以上になります。

(釜江座長)

ありがとうございました。それでは、ただいまの御説明に対して御質問、御意見等ございましたらよろしくお願ひいたします。

いかがでしょうか。佐藤委員。

(佐藤委員)

どうも御説明ありがとうございました。幾つか質問させていただきます。

まず、熱時効が発生する材料として2相ステンレス鋳鋼を選ばれているわけですが、2相ステンレス鋼といえば、溶接材も対象としてあるわけですね。今回の御説明では、ステンレス鋳鋼に特化してレビューされたということになっているわけですが、溶接部に対する同じ検証、評価というのをどのように考えていらっしゃるのかというのがまず一つです。

それから、いろいろ機器のリストが5ページ等にあるわけですが、見受けたところ、圧力バウンダリになっている機器というふうに見られるのですが、炉内構造物の中でステンレス鋳鋼を使っているところ、部品というのはないのかなというふうにちょっと思いまして、教えていただきたいと思ひます。

それから、ちょっと分からなかったのですが、中性子照射の場合には、時間的にどんどんどん脆化が進行していくわけですね。熱時効の今の評価の御説明を見ても、時間に関するファクターが見受けられないのですよね。つまり、60年だけでなく、100年、200年、1000年たっても今のこの議論が成り立ってしまうような、何かそんな印象を受けたのですが、時間のファクターというのはどういうふうにこの現象に対して、熱時効の現象に対して評価されているのかなと。確か、いろいろな試験片を時間に応じてサンプル採って、どれだけ破壊靱性値が低下しているかと、そういう測定をやっているわけですね。というふうに、実際には時間の関数で破壊靱性値がどんどん低下していくということが起こるわけですが、ちょっとその辺が、この評価法から、私が見落としかもしれないのですが、ちょっと見てとれなかったなというふうに思ひました。なのでちょっとそこも御説明いただきたいなと。実際の原子炉圧力容器の中性子照射による脆化の場合には、監視試験片なんかを付けて、照射量に伴ってどれだけ下がっていくかというのを見られるような、そういうプログラムがあるわけですね。同じような発想をすれば、この熱脆化も時間に伴ってどれだけ靱性値が下

がっていくのかというふうな関心があるところなのではございますけれども、そういうこの監視試験片というふうな考え方もないわけなのでですね。純粋な理論的評価みたいになっていて、ちょっとその辺に、何とか確認する方法がないみたいな、そういう印象があったわけです。

あとは、もう一つなのですが、6ページに0.18tの深さに対してUTで検出できる、ということが書いてあるのです。昔からステンレス鋼はなかなかこのUTがやりにくい材料だというふうに言われていたわけで、それに対して、それでも0.18というくらいは大丈夫なんだと、そう書いているわけではございますけれども、そもそもこの「t」の値というのがよく分からなくて、いろいろな肉厚があるわけですね。この「t」という厚さの範囲がどのぐらいのところの話をされているのかということも、これは5ページにあるコンポーネントのそれぞれの厚さ全てに対して言っている「t」なのか、何かこう「t」という表現ではなくて、実際の厚さとして、0.18tのミニマムとしてどこまで検出できるのかというふうな情報も、あってよかったかなというふうに思うのです。以上です。

(釜江座長)

いかがでしょうか。

(九州電力)

九州電力の上村です。佐藤委員の御質問四つほどあったかと思っておりますので、もし抜けがあるようであれば御指摘頂ければと思うのですが、まず溶接線の部分の評価になります。実は30年の御説明をさせていただいた時も同様の御指摘を頂いておまして、回数としましては第6回になりますけれども、炉内構造物のフェライト量等をまとめた御回答をさせていただいております。回答としましては、溶接線ということで炉心槽、ステンレス304で作られておりますけれども、それぞれをつなぐ部分が溶接、当然してしまして、この部分が対象になるのではないかと御指摘だと思っておりますが、我々が炉心槽を製作するときに、フェライト量を溶接部については考慮してございます。で、今回一番厳しい値で今回お示ししている一次冷却材管ぐらいのフェライト量になります。その半分ぐらいのフェライト量で管理をしておりますので、そういう意味からも今回一次冷却材管の中に包絡をされるのではないかと御指摘に考えてございます。

2点目、炉内構造物の中に2相ステンレスを使っている箇所がないかということで、今回確かに代表機器に包絡される機器の中に挙げきれなかったのですけれども、こちら第6回の際に御回答させていただいておまして、具体的には、炉内構造物の中でも炉内計装案内管と呼ばれる部分の一部に、SCS-304Kですけれども、ステンレス鋼品を使用している箇所がございますので、こちらについても確認してございまして、こちらについてもフェライト量的には一次冷却材管の半分程度に抑えておりますので、そういう意味からも一次冷却材管に包絡できるというふうに考えてございます。以上、2点目の御質問の御説明になります。

3点目、時間の話になります。おっしゃるとおり、中性子照射脆化等は、時間＝照射量という形で評価に入れております。今回我々が使用しておりますH3Tモデルというものにつきましては、資料でいきますと6ページになります。少し私が説明を割愛させていただいた部分がございます。※1の中ですけれども、四角の中になります。実際この算定モデルというのは、いろいろなデータを集めまして作られておまして、2行目ですね、※1の2行目、「フェライト量から熱時効後の材料の破壊抵抗値を予測するもの」

ということなのですが、破壊靱性値というのは時効とともに低下をしていくということで、我々今回モデルで確認しているのは底地ということで、おっしゃるとおり10万時間ぐらいまではずっと右肩下がりというか、ずっと低下の挙動を示すのですけれども、あるところ、大体今20から30万時間ぐらいを超えてきますと、時効の量というのは一定、サチってしまう状態ということになりまして、その部分を使用して評価をしておりますので、時間のファクターが見えづらいたすけれども、最終的には時間のファクターをずっと入れた状態で、一番厳しい底にきたところを使用しているというモデルになると、そういったモデルを今回、H3Tでは採用しているということになります。

最後、0.18tですけれども、御指摘のとおり表現が0.18ということになってはいますが、コールドレグ、ホットレグ等は70数mmはございますので、そこからいきますと12mmくらいの検出性があるということがございます。本来であれば、御指摘のとおりどれくらいの検出性を有するのかというところを書くべきでございまして、UTSでいきますと、ここで書いています実証試験でいきますと特別点検の時にもこのUTSの結果というのを使っていて、大体、射角45°から60°でいけば、11mm程度の検出限界があるということで確認をしているものになりますので、0.18tというのは十分確認できるかなというふうには思っております。お答えになってはいますでしょうか。以上です。

(佐藤委員)

ありがとうございます。溶接材については、原子力の一般的な溶接に対して、ミニマムのフェライト量というのが記載されているわけですね。それに対して、今のお話を聞いて、マックス側も管理されないといけないというような、そういうことだったんだなというふうに思います。溶接材料のフェライト量を管理をされて運用されているということで理解しました。

炉内構造物につきましても、フェライト量が他の注目されている材料に比べて半分くらいに抑えて管理されているということでしたので、理解いたしました。

最後の11mmというお話ですけれども、11mmの厚さがあっても、どのぐらいの欠陥が検出できるというふうなことだったのですかね。

(九州電力)

九州電力の上村です。我々が検出限界として確認しているのは、例えばホットレグが70mmあったときに、ちょっとそこにUTの45°、60°を適用すれば、11mm以上の亀裂、11mm以上ですね。検出限界としては11mm。

(佐藤委員)

11mmの亀裂を検出できるとおっしゃったのですか。分かりました。

(釜江座長)

よろしいですか。

ほかに。守田委員。

(守田委員)

どうも御説明いただきありがとうございます。

この分野専門ではないので、的外れな質問であれば御容赦いただきたいのですが、原

子力エネルギー協議会が2022年の3月に出したレポート、「安全な長期運転に向けた経年劣化に関する知見拡充レポート」というのを読みますと、米国の80年運転の審査知見を参考に、知見拡充が望まれる事項を整理したレポートと書いてございました。

オーステナイト系のステンレス鋼については、今日御紹介があったように、軽水炉の使用条件では、熱時効による有意な材料特性の変化が生じないということが確認されていて想定不要という記載になっておりました。

一方で、マルテンサイト系のステンレス鋼では、熱時効により材料特性が変化し、300℃程度で靱性が低下するという知見があり、実際に国内、国外のプラントで弁棒の損傷事例が報告されているという記載がございました。

今日のお話ですと、最も条件の厳しい一次冷却材管を代表機器として熱時効の評価をされたということですが、こういった海外の知見も含んだ上で、川内のプラントでは一次冷却材管で熱時効の問題が包絡されていると考えてよろしいのでしょうか。ちょっと教えてください。

(釜江座長)

よろしく申し上げます。

(九州電力)

御質問ありがとうございます。守田委員すみません、御質問の確認ですけれども、マルテンサイト系の材料が一次系冷却材管を含むバウンダリにおいて使われていないかという御質問。プラント全体の中では。

(守田委員)

全体です。

(九州電力)

我々も知見拡充の話はちょっと確認している部分がございますが、今日正確な部材は持ち合わせておりませんが、確か弁の一部、弁棒だったかどこかに使ってあったと思います。ただ問題ないことは確認しております、その内容を改めて御説明させていただきます。

(守田委員)

また改めて整理して御報告いただければと思います。ありがとうございます。

(釜江座長)

よろしいでしょうか。

ほかに、後藤委員。

(後藤委員)

後藤です。13ページにまとめがございますが、熱時効の、先ほど佐藤委員からも話ありましたが、どういう評価をするかって考えたときに、ここで見ますと一つ目はいわゆる J_{mat} と J_{app} ですね、この比較でやっていて、2番目の方は進展に対する速さというのですか、その評価基準になっていますよね。

ここの二つの評価基準の関係とか、なぜこういうふうにするのだとか、それからそれはどういう評価に繋がっているか、その考え方をちょっと説明いただけませんか。

(釜江座長)

よろしいでしょうか。

(九州電力)

九州電力の上村です。まず延性破壊、延性亀裂進展性というのは、オーステナイト系ステンレスを使っていますので、亀裂が生じますとその亀裂が伸びて結果破壊していくと。今回我々が想定しているのは、先ほど初期亀裂の御説明をさせていただきましたけれども、初期亀裂を想定して、まずは貫通しないということを書いておりますけれども、実際の評価の時は厳しめに、あとはモデルの組み方の簡易性も含めて、貫通をさせた亀裂を想定します。そこから評価をしていきますので、そういったふうに亀裂が実際に伸びて破壊していくというところで延性亀裂進展性の評価をしていますが、実際は J_{mat} と J_{app} が交差するということを確認できれば、実際にその延性亀裂に発展をしないということを確認しているというところ。あと不安定破壊の方は、実際に、それを初期亀裂を想定した場合でも、今度は進展力ということで、実際 J_{app} を J 積分から求めるのですけれども、それらの傾きで先ほど速度というふうにおっしゃっていただきましたけれども、このあたりが傾きが、具体的に言いますと、評価結果を示しています、10ページですね、こういったところで接しはするのだけれども、例えば J_{app} と J_{mat} が接するだけで交差をしないパターンも十分考えられるというふうに思います。そういう場合はやはり不安定破壊をする可能性がある。

あとは J_{app} と J_{mat} が離れている場合、そういったところも破壊に繋がっていくということで、実際傾き自体も J_{mat} の方が大きくなければならないというところで、この二つが国の審査基準から要求されているものというふうに考えています。お答えになっていきますでしょうか。

(後藤委員)

ありがとうございます。後藤ですけれども、私もよく分からないのですけれども、分かっているのです、私が。その二つ、つまりある値でその亀裂が進展する、しないという J に対する評価と、今言ったある値、ある亀裂があった時に、それがもし仮に進むと、材料の方の特性と荷重の特性がどう違うか、それも傾きを比較してこのような、何となく理屈上分かったような気になるのですが、普通に考えると、通常のもので、設計上の考え方をとると、ある値がそれを超えるというのは大体そこで一つの評価になるわけじゃないですか。その上で重ねるといえるのはどういう意味を持つかということ。そのぐらいしないと分からないところがある。今ちょっと交差しない場合があるとか、そういう条件をおっしゃっていたからということなのかもしれませんけれども、その考え方が私いまいちこうストーンと落ちないのです。この二つの評価点でこれでいいのだということが、ちょっと私が分かっているだけかもしれませんけれども、もしお分かりだったら教えていただきたい。

(釜江座長)

いかがですか。よろしく申し上げます。

(九州電力)

九州電力の石井でございます。このやり方を少し一旦御説明しますと、まず6ページ目にあるように、初期亀裂を想定します。これがどれだけ広がるかというのを、まず一つ目で評価やります。今回の結果ですと、この $2C_0$ が広がっていくのですけれども、そう大して大きな広がりはありませんでした。

そこから次に、そこでまず亀裂は止まるのですが、もう一つ、不安定破壊が大丈夫かと確認するために、広がった C_0 の幅で、一旦貫通させます。その貫通した傷を持ちながらも、不安定破壊に至るか至らないかというのを評価やります。この二段階の評価を熱時効ということによってやっております。

その中で、一つ目が J_{mat} と J_{app} が交わることで、二つ目が不安定破壊する力が強いのか、材料が持っている力、守ろうとする力が強いのかということ、微分とりまして、どちらの力が強いのかというのを比較し、止まるか止まらないかというのを評価をやっている次第でございます。よろしいでしょうか。

(後藤委員)

ありがとうございます。そうしますと、ある亀裂の大きさにおいて、その J_{mat} の方と荷重の方との関係だけではなくて、不安定な状態になり得るかという、そういう条件を重ねて、そこをもう一度評価をして、つまり確認のために、亀裂の進展についての、不安定破壊についての評価はこういうふうにダブルになっていると、そういう理解ですか。

(九州電力)

左様でございます。

(後藤委員)

ありがとうございました。

(釜江座長)

渡邊委員。

(渡邊委員)

渡邊です。先ほど佐藤委員からの説明があつて聞いていたのですけれども、溶接材のフェライト量ですね。溶接部のフェライト量というのは、入熱の状況だとかそれからどういう溶接後の熱処理をしたかによって、ものすごく変わってくるのですね。それを管理するというのは多分大変で、溶接した時期の、例えば施工要領なんか立ち返って管理されていると思うのですけれども、その莫大かつ古いのがあつて、本当にそういうふうに何%ですかとはっきり答えられるのか、ちょっと疑問に思うのですけれども。

その点どうですかということ、私30年評価のときも発言したのですけれども、やはり熱時効という現象はよく知られている、歴史のある研究というか事象で、我々も大体ある程度分かっているのですけれども、やはり、ニュートロンとの重畳効果ですよ、そういうことは何もしゃべられていないですよ。それは、今の規制委員会がそういうふうになっているからそういうふうに答えられるのですけれども、それはやはり違っていると我々は思っているのです。

ある一定量のニュートロンが当たっている場所なので、やはりいろいろな重畳効果というのが発生しているのです。先ほどの質問の中に、熱時効によって、例えばこの材料では一定のレベルで飽和しているということをおっしゃられたのです。それはもちろん飽和して見えるのですが、いろいろな現象が我々分かっています、飽和後はまた上昇するのです。そういうことが分かっているのです。だからそれが上昇するような状況になっていないのかということは、やはり確かめる必要があると思うのです。だからそういうことも含めて答えてもらえませんか。

(釜江座長)

よろしいでしょうか。2点ありましたが。

(九州電力)

九州電力の上村です。溶接部のフェライト量の件でございますけれども、御指摘のとおり、なかなか溶接をした後のフェライト量というのは、当然管理をしながらやっているということで、我々が今管理しているのは実際の溶接金属中にフェライト量を見るために、その時のミルシート、あとそういったところからいろいろなモリブデン、あとはシリカ、そういったところのデータも用いながら、実際にクロムの等量とか、そういったところからフェライトを予測していると。当然、それと先ほど佐藤委員の御説明には一番厳しいところの半分ぐらいということでしたけれども、それは今回我々が用いている材料ではそのような形ということですが、やはり大分幅を持った数字になっていると思っております、数%から10数%、こういったところで溶接材の中のフェライト量というのは管理されているものというふうに思っております。その上限を見たときでも、やはり今回の一次冷却材管のフェライト量には包絡をされているというふうには思っております。一つ目の回答は以上になります。

二つ目は、先生からは常々、先ほど言っていたとおり、我々熱時効の今回御説明しかさせていただいておりませんが、実際に炉心槽の先ほどの溶接部であったり、一次冷却材管も当然ある程度中性子の照射を受けるということで、現状我々が申し上げられるのは、今回代表点で評価しまして、一次冷却材管につきましては、中性子照射量という意味では我々がしきい値で設けています10の17乗レベルというところまでは当然至っておりませんが、佐藤先生に御回答した炉内計装筒案内管、こういったところは少し照射量が大きい部分でございます。こういった部分については、やはりこれまでは国内とあとは国外も含めて、そういった重畳の知見というのを引き続き集めていかないといけないというふうに思っています。

一部海外のプラントで、スペインの廃炉プラントでそういった炉心槽の一部溶接部の実際の靱性を見てみるといった知見があるというふうには確認はできておりますので、そういったふうに知見を拡充しながら、そういった重畳の時にどう挙動するかというのをやはり確認していかないといけないというふうに思っています。

最後の熱時効について、ある程度の時間がたった場合に上昇するということですが、我々今回H3Tモデルというモデルを使っておりますけれども、こちらについては、実機材も含め、約600点ぐらいの実機データを用いて、試供材も含めてですけれども、作られたモデルになります。熱時効単体の事象でいきますと、このモデルを作った後に、保守性等も見るために、例えば他のプラント、国内のプラントから実機材を持ってきました、そういった比較とかも実施しておりますけれども、なかなか我々の今の知

見では、長い時間を越えた時にそこから時効の程度が上昇するという知見を持ち合わせておりません。なので、我々としてはまだ上昇するというモデルになってございませぬが、そういったところも含めて、引き続き知見を集めていかないといけないというふうには思っております。以上です。

(釜江座長)
渡邊委員。

(渡邊委員)
H3Tモデルの時の実機材と言っているのは、国内の実機材を集めてきて、それがニュートロンが当たった状態のものですか。

(釜江座長)
どうですか。

(九州電力)
九州電力の上村です。実際にH3Tモデルを作った時の材料としては、試供材になりますので、実際は多分照射を考慮していないものになると思います。ただ、そのモデルができた後に、このモデルの検証する上で使っているものは照射材を使って確認をしているというやり方になります。以上です。

(渡邊委員)
最初の質問に帰るのですけれども、その溶接管理も、さっきも言ったのですけれども難しく、やはり自動でアークした部分とか、いわゆる人がやったような溶接だとかあるわけですね。これは前にも質問したときに、ある一定のパーセントだと言われたわけですけれども、それは計算でやっているわけですね。計算で結果を出す、それはそれはできますよね。ところが、やはり我々も実機を対象としているわけで、何十年も経年劣化したような材料を対象にしているわけで、その時に計算しただけでフェライト量を出してもなかなか我々納得しないのですね。やはり実機の材料で切断したようなものでフェライト量が何%です、やはり何%で間違いありませんということを示してもらいたいのですね。

それともう1点、先ほどのH3Tのモデル時のコメントしますけれども、実機材というのは、九電だともう玄海1号、2号廃炉になって随分あるわけですね。そういうものをどんどん切り出して、提供してもらって、もう少し拡充するような努力というのは、やはり九州電力はやってもらいたいのですね。そういうことをやっていないのですよね。どうですか。

(釜江座長)
いかがでしょうか。

(九州電力)
九州電力の上村です。おっしゃっていただいているとおり、やはり廃炉になるプラントというのは震災後多くはなっているものの、なかなかやはりそこの廃炉材を使用

して、こういった時効が問題になるようなところの溶接部のフェライト量とかいうのは見れていないというのが実情でございます。

先ほど我々の玄海1, 2号機の話も頂きましたけれども、現時点では時効に特化したものはございませんが、そういった意味でもどこまでできるかというのは我々考えないといけないところですけども、そういった我々が持っている廃炉材も含めて何ができるかということは今ここで答えすることはできませんけれども、考えていかないといけない事項だろうというふうには思っております。以上です。

(渡邊委員)

それはやはり何かしかり考えてもらって、将来の玄海なり川内なりの経年劣化、あるいは長期計画に生かすようなものをやはり作ってもらって、拡充してもらいたいのですね。そういう取組の状況というのは日本国内で随分進んでいるのですけれども、さっと見たときに九州電力はやはり遅れているのですよ。そこやはりやってもらいたいと思っているのですけれど。

(釜江座長)

いかがでしょうか。

(九州電力)

ありがとうございます。廃炉材の研究というのは、なかなか単独1社というところでやっているわけではございませんで、やはり同じPWRであったりとか、国を含めた全電力での共同の課題だというふうに思っておりますので、先生の御指摘はごもっともな部分もありますし、たまたま我々がそういう会議体で選んだのが別のプラントだったということもあり得ると思いますが、我々も頂きました御指摘を踏まえながら、そういった活用の検討というのは続けていきたいというふうに思っております。以上です。

(釜江座長)

よろしいですか。

(渡邊委員)

分かりました。

(釜江座長)

佐藤委員。

(佐藤委員)

佐藤です。熱時効に関しては、原子力である必要はないのですよ、全然ね。九州電力さんは火力発電所もたくさんお持ちなわけですし、火力発電所の運転条件というのは原子力よりもっと高温・高圧なわけですから。熱時効が起こればそうな系統とか部品とかというのは、何かたくさんありそうな気がするのですよね。ですけどどうなんですかね。やはりステンレス鋼となるとそうでもないのですかね。

ただ、その条件としては圧倒的に圧力でも温度でも高い系統があるわけなので、そういうところがあっても不思議ではないのかなというふうに思うのです。これは九州電力

さん原子力しかやっていないわけでないわけですので、そういう何かサンプルを採取する幅はお持ちなはずじゃないかなというふうに、ちょっと御説明を聞いていて思いました。

それが一つなのですけれど、もう二つばかりございます。一つは初期亀裂の設定の仕方、疲労亀裂を考えられているわけです。ですけれども、5ページのリストを見ながら思ったのは、このコールドレグが、九州電力さんの川内1号も2号もそうだったと思うのですけれども、コールドレグに対しての、PWSCCに対するmitigationはやっていなかったはずなのですよ。ホットレグだけだったと思うのです。だとすると、コールドレグの方も、やがてはこのPWSCCの亀裂が発生するというリスクがないわけでもないわけですね。ですので、それが疲労亀裂ではなくて、PWSCCによる亀裂がきっかけになるということも、可能性としてあるのではないかと。

その場合の初期亀裂の欠陥サイズというのは、こうやって疲労に対して計算した数字とはまた違う数字が出てくる可能性があって、そうするとまた亀裂の先端における条件が変わってくるということです。なので、そのPWSCCが初期亀裂になるというポテンシャルについて、ちょっと見落とされておりませんかというのが二つ目ですね。

それから三つ目ですけれども、これは大きな話になるかもしれませんが、ECCSの設計なんかするとき、まだ大口径配管破断という、そういうすごい起こりにくいようなシナリオを想定するわけですけれども、その元になるような話なのですが、Leak Before Breakというコンセプトがありますよね。つまり、脆性破壊で、一気にギロチン破断みたいな現象が起こる前に、十分材料が靱性を確保していれば、ちらちら漏えいして、漏えいがまずは十分長い時間起こって、それを検出することによって、大破断を防ぐことができる、という概念です。

このLBBは、いろいろ採用の条件付になっているわけですし、それを担保していいか悪いかという、結構厳しい評価があるわけなのですけれども、お聞きしたいのは、非常にベーシックなことなんですけれども、川内1号機、2号機はLBBを担保しているのですか、していないんですかという非常に簡単な質問です。以上です。

(釜江座長)

よろしく申し上げます。

(九州電力)

九州電力の上村です。まず1点目ですけれども、ちょっと火力でどういったところに使われているかというところは今ちょっと持ち合わせておりませんので、今お答えをさせていただくのは難しいのですが、先ほどの重畳の話も含めて、そういったところで拡充というものが考えていけないといけないのかどうかと、そこに火力の実機材を使えるかというのは考えていけないといけないかというふうに思っております。

2点目のPWSCCですけれども、御指摘のとおり、我々川内におきましては、RVの入口管台というのは600系のもとも材料で、その辺り肉盛溶接をしていました。御指摘のとおり、入口管台につきましてはインレーと呼ばれる工事を行いまして、690の合金でその辺りを溶接をし直しているということですが、お話がありましたとおり、出口管内というところは温度が、そういった意味では、SCCの観点から入口に比べれば厳しくないというところを踏まえて、すみません、反対です。入口管台はそういった面で温度の面でも厳しくないというところもありますが、全く現状保全していないというわけ

ではございませんで、ウォータージェットピーニングを実施して応力緩和をしているというところがございます。その辺の予防保全でやっているということと、ISIで実際UTをやっているということもありまして、PWSCCに関する対応というのは、出入口ともやっております、やり方が違うという状況でございます。

最後ですけれども、LBBは実際今回も熱時効の資料の中に入れさせていただいてますけれども、実際JSMEですけれども、配管破損防護の設計、この指針、基準がございまして、それに基づきましてLBBの評価をして、川内についてはLBB適用可プラントということで、国にもそのように工認を出しております。以上です。

(釜江座長)

ちょっと時間も過ぎてますが、何かほかの先生方、特にWebの先生方よろしいでしょうか。

大畑委員、どうぞ。

(大畑委員)

大畑です。御説明ありがとうございました。少し具体的な質問なのですが、健全性評価する前にまず疲労亀裂の進展解析をされて、その際には供用状態のAとかBとか、それに地震時の荷重も想定しながら亀裂の進展解析をして、進展亀裂の長さを算出されておられますが、そのあとの J_{app} の算定の際に用いられている荷重というのは、疲労亀裂進展解析に用いられた荷重の最大値を想定されているのか。あるいは更に上乗せして、何か不測の事態を想定して更に大きな荷重を用いて計算されているのか。そこがちょっと分からなかったのですけれども、いかがでしょうか。

(釜江座長)

よろしく申し上げます。

(九州電力)

九州電力の上村です。御質問ありがとうございます。初期亀裂の想定につきましては、7ページで記載をさせていただいております。確認ですけれども、供用状態A、Bということ、3分の1Sdを用いて内圧・熱応力、曲げモーメントというところを考慮してございます。

実際の J_{app} の評価は9ページで載せておりますけれども、ここも私がまた※印のところを詳細に御説明しておりませんが、このうち左側の※1、ここにまた書き以降で破壊力の評価についてはということで、先ほどの中でも、内圧、自重、熱膨張、熱応力、膨張については、その中でも大きい値を使っているのですが、地震のところにつきましては、3分の1Sdではございませんで、実際に基準地震動のSsを入れているということで、この部分は少し厳しめになっているという評価になってございます。以上です。

(大畑委員)

分かりました。そうすると、今回お見せいただいた健全性評価と延性亀裂の進展の不安定化の評価のところですが、安全のために貫通亀裂を想定したということなのですが、疲労解析よりも更に大きな荷重を想定されているのであれば、疲労亀裂先端からの板厚方向の不安定的な進展、いわゆる貫通の評価はされていないのでしょうか。半

だ円の表面亀裂から、この地震荷重も想定した荷重で J_{app} を計算すると、不安定的に貫通するようなことはないということは保証されているかという質問です。

(釜江座長)

よろしく申し上げます。

(九州電力)

九州電力の上村です。8 ページに模式図を載せていますが、今大畑委員から御質問いただいたのは、 t 方向に貫通するという想定をしていないかというところかと思えます。

(大畑委員)

そういう評価をされているかどうか。

(九州電力)

まず初期亀裂を想定する際に、実際8 ページに載せていますとおり、貫通はしませんという御説明をさせていただいたのですけれども、いざ J_{app} を評価する際に、これ有限要素法で入れますけれども、貫通を全てさせております。その記載を次の9 ページに記載させていただいておまして、左下のところを書いておりますけれども、疲労亀裂の進展を考慮してもまず貫通しないということなのですけれども、次の段階の弾塑性破壊力学解析においては、先ほど申し上げた保守性という意味と、解析の簡便性も踏まえて、先ほどの図の t 方向は全て貫通しているというのをもともと与えております。ですので、そちら側の貫通というのは最初から考慮しているということになってございます。以上です。

(釜江座長)

いかがでしょうか。

(大畑委員)

ありがとうございます。仮にリークしたとしても、その後、不安定的に大規模な破断、不安定破断に至ることはないということの評価されたということでよろしいですね。

(九州電力)

その通りでございます。

(大畑委員)

ありがとうございます。

(釜江座長)

ありがとうございました。

よろしいでしょうか。後藤委員。

(後藤委員)

後藤です。お聞きしてしまして、やはり私が気になるのは、やはり解析というものです。解析評価、非常にある面では難しい評価ですよ。そういうものを用いてやることの是非というか、ほかに方法がないからやるという面もありますけれども、私が非常に気になるのは、普通、よくお話しするように、設計の場合にはある基準、いわゆる安全率とか何かが入っているのです。その考え方をとっているのですよ。それで技術的に大丈夫だって安心感があるので、多少のラフなところであっても、設計は納得できるのですよ。

ところが、こういう実質の評価の時にはすごく慎重にならなければいけない。何か一つファクターが違ったら、それで超えてしまいますからね、ということだけはコメントさせていただきます。特に条件ですね。過酷事故の条件が入っているって言うけれど、それ200℃とかその設定した値で入っているとおっしゃっても、それを超える可能性があるってのが過酷事象の特徴ですから、そういうことを考えると輕輕にそういうふうに、解析どうこうっていうのだけはちょっと気をつけなきゃいけないというふうに思います。以上です。

(釜江座長)

どうですか。

いかがですか。

(九州電力)

御指摘ありがとうございます。我々もそういう観点で、確認するときはやっていきたいというふうに思います。ありがとうございます。

②絶縁低下について

(釜江座長)

どうもありがとうございました。それではちょっと時間も過ぎていきますので、次の議題に進みたいと思います。

引き続きまして、劣化状況評価の最後といたしますか、六つ目ですが、絶縁低下についてということで、九州電力の方から説明をよろしくお願いします。

(九州電力)

九州電力の右田でございます。それでは資料2に基づきまして、川内1号、2号炉の劣化状況評価のうち、電気計装品の絶縁低下の評価結果について御説明いたします。

資料右上1ページ目でございます。目次になります。記載の五つの項目について御説明いたします。御説明につきましては、第5回の分科会で御説明いたしました30年目の高経年化技術評価との違いを中心に御説明をいたします。

2ページ目をお願いいたします。絶縁低下についての概要を記載してございますが、通電部位と大地間、あるいは通電部位と他の通電部位の電氣的独立性を確保するための高分子材料が劣化するため、絶縁性が確保できなくなる現象でございます。絶縁低下の記載内容につきましては、30年目のPLM評価の説明と同様となります。30年目の資料の方には特性変化として記載してございましたが、今回は着目すべき経年劣化事象として、絶縁低下のみの記載としてございます。

3 ページ目をお願いいたします。3 ページ目につきましても30年目の記載内容と同様で、代表機器といたしまして、事故時環境下で機能が要求され、健全性評価結果をもって絶縁性能維持を判断するものとしていたしまして、低圧ケーブルと電気ペネトレーション、それから健全性評価、試験結果と現状保全をもって事前性能維持を判断するものとしていたしまして、使用電圧が高く、屋外に設置された、連続運転してございます高圧ポンプ用電動機を代表としてございます。

4 ページ目をお願いいたします。電気計装品の評価対象と評価部位について、表でお示ししてございます。表につきましても、30年目のP L M評価対象と同様となっております。

5 ページ目につきましても引き続き記載して、同様の内容となっております。

6 ページ目をお願いいたします。低圧ケーブルの評価について御説明いたします。ケーブルの構造図、使用材料を記載しております。下の表に難燃P Hケーブルの使用条件を示してございます。環境条件が厳しい原子炉格納容器内の条件を代表といたしまして、通常運転時、設計基準事故時及びS A時の使用条件を示してございます。

7 ページ目をお願いいたします。準拠規格につきましては、30年P L Mで評価いたしました電気学会推奨案による健全性評価に加えまして、40年目の評価におきましては、平成26年の2月、原子力安全基盤機構、J N E Sにより取りまとめられたA C Aガイドと呼ばれております「原子力発電所のケーブル経年劣化評価ガイド」に基づいて、2種類の評価を行ってございます。

A C Aガイドの手法につきましては、参考資料としまして後ろの方に飛んで申し訳ございませんけれども、36ページ目に記載しておりますので、手法の概略について36ページ、37ページで御説明いたします。

36ページ目をお願いいたします。A C Aガイドの適用範囲でございますけれども、事故時に機能が期待されているケーブルのうち、事故時の環境条件が著しく悪化する区画に布設されているものが対象となっております。劣化処理方法は熱と放射線による同時劣化によって劣化を付与してございます。事故時環境の試験については、事故時相当の放射線照射を行った後、試験用圧力容器にて温度・圧力、必要な条件に曝露させます。この点については従来と変わりございません。健全性の判定試験につきましては、J I Sの手法で耐電圧試験を実施することとなっております。

37ページ目をお願いいたします。従来の電気学会推奨案の評価手法とA C Aガイドに基づく試験実施方法の比較を表してございます。従来の手法は、通常運転相当の熱劣化と放射線の照射を個別に、高温・高放射線で短期間で行ってございましたが、A C Aガイドに基づく試験では、熱と放射線による加速同時劣化を、従来手法から比べまして低温・低放射線で長時間実施してございます。同時に劣化させることで、より実機条件に近い形で加速劣化させてございます。

また、最後の判定で、健全性試験方法が従来の手法では屈曲浸水耐電圧試験というものを行っていたものが、J I Sに基づく耐電圧試験に変更してございます。

ページ戻りまして、8 ページ目をお願いいたします。電気学会推奨案に基づく試験手順、試験項目をお示ししてございます。記載内容につきましては、第5回の分科会、30年目の評価と同様となりますので、こちら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。電気学会推奨案に基づく試験条件、試験結果を示してございます。こちら30年目の御説明と同様となります。

10ページ目をお願いいたします。A C Aガイドに基づく試験手順、試験項目を示して

ございます。先ほど参考でお示ししたとおり、供試ケーブルを通常運転相当の熱と放射線の同時劣化をまず行った後、事故時相当の放射線を照射しまして、その後事故時環境条件の温度、圧力、格納容器スプレイをいたしまして、最後にJISに基づく耐電圧試験を実施して、絶縁が破壊されていないかを確認しております。

11ページ目をお願いいたします。ACAガイドに基づく試験条件及び試験結果について御説明いたします。この試験条件につきましては、原子力安全基盤機構の「原子力プラントのケーブル経年変化評価技術調査研究に関する最終報告書」の方にまとめられた条件で試験を実施した結果がまとめられてございます。通常運転相当の条件といたしまして、100℃、94.8Gy、4003時間曝露した後に事故時雰囲気相当の1,500kGy、最高温度190度、圧力につきましては0.41MPaの条件で曝露させてございます。その後耐電圧試験を1,500Vで1分間実施しまして、判定結果については良となっております。

なお、通常使用電圧につきましては440V以下となっておりますので、耐電圧試験につきましては2倍以上の電圧を課して実施しているというものになります。

続きまして12ページをお願いいたします。11ページ目の試験結果から、表中に温度と放射線を記載しておりますが、発電所の実負荷環境条件で、それぞれ評価期間を算出した結果をお示してございます。この実負荷環境につきましては、実際に並列から解列、発電所の並列から解列までワンサイクル運転した環境測定に基づいた結果を反映してございます。

一次冷却材のループ室は放射線の影響が高く、その結果を表の一番上に記載してございますけれども、評価年数は45年となっております。また、下の方に記載してございます通路部ケーブルトレイ内については、温度の影響が高く、評価年数については47年となっております。

この二つの布設区分のケーブルにつきましては、60年の健全性評価は得られておりませんが、既に取り換えを実施してきてございます。取替実施時期につきましては、表中の備考の欄に記載しておりますが、取替時期を踏まえまして、プラントの60年運転に対して健全性を有しているというふうに評価してございます。

表の一番下の主蒸気管室の放射線につきましては、放射線の影響がないエリアでございますので、放射線の影響を考慮する必要がないということで、「－」と記載してございます。なお、評価期間については稼働率100%として評価してございます。

稼働率につきましては、実績では75%程度となっておりますので、停止期間中につきましては環境温度や放射線は運転中に比べ小さくなりますので、評価期間としては保守的なものとなっていると考えてございます。

また、通路部のケーブルトレイ内に布設されている電力ケーブルにつきましては、布設環境に、通電時の温度上昇13℃に余裕を加えまして、60℃として保守的に評価してございます。

評価年数の算出につきましては参考資料の38ページ、39ページに記載してございます。ページ飛んで申し訳ございませんが、38ページ目をお願いいたします。例といたしまして12ページの表一番上、先ほど45年と申し上げましたが、その45年の算出過程について記載してございます。算出方法につきましては、ACAの研究報告書に示されている試験結果、計算式を使用して、実負荷環境における評価年数を算出してございます。

引き続きまして、39ページにも算出過程をお示してございますが、40ページ目に、今回難燃PHケーブルの評価に使用しましたACAガイドの時間依存データの重ね合わせ手法について、JNESの報告書の抜粋を記載してございます。概略を申し上げます

と、難燃PHケーブルを使用して実施した試験結果から得られた物性値でありますマスターカーブ、中ほどに赤で記載してございますが、マスターカーブから実負荷環境の寿命期間の算出、試験条件を設定する手順などが図で概略示されておりますので御紹介いたします。

ページ戻りまして13ページ目をお願いいたします。健全性評価結果については、60年時点において、更新実績を踏まえると絶縁機能を維持できることを確認いたしました。

現状保全におきましては、電力ケーブルについては、定期事業者検査ごとに絶縁抵抗を測定し、許容値以上であることを確認していること、また制御・計装品のケーブルにつきましても、定期検査ごとに計測制御系統の機能検査など動作確認と、計器の指示の確認につきましても異常のないことを確認して、絶縁低下による機能低下がないことを確認してございます。

低圧ケーブルの高経年化への対応といたしまして、健全性評価と現状保全の結果から、絶縁体の絶縁低下については、現状の保全項目に追加すべきものはないというふうに判断してございます。

14ページ目をお願いいたします。高圧ポンプ用電動機の評価といたしまして、海水ポンプ用の電動機の評価例を記載してございます。評価方法、記載内容につきましても、第5回の分科会時に御説明いたしました30年目のPLM評価と同様となりますので、詳細の御説明については割愛させていただきます。

ページ飛びまして、30年目の資料からの記載内容の相違点といたしまして、19ページ目をお願いいたします。19ページ下の方に、1号炉に加えまして2号炉の海水ポンプの絶縁更新の実績を記載してございます。号炉ごとにそれぞれ4台ずつございまして、絶縁更新を実施しておりまして、現在まで問題なく運転を継続してございます。

20ページ目をお願いいたします。総合評価でございます。30年目のPLM同様、現状保全を継続することで健全性を維持できるというふうに考えてございます。

高経年化への対応につきましても、引き続き定期事業者検査ごとに絶縁抵抗測定及び4定検に1回、今計画してございますが、絶縁診断を実施していくとともに、運転年数及び点検結果に基づきまして、必要により洗浄、乾燥、絶縁補修処理、若しくは取替えを実施していくということとしてございます。

続きまして21ページ目をお願いいたします。電気ペネトレーションの評価でございます。これも30年目のPLM評価において、設計基準事故と重大事故とで60年の健全性について問題ないことを確認してございますが、電気ペネトレーションに接続しております外部リードにつきましても、次の22ページに記載しておりますが、低圧ケーブルと同様に、ケーブルの新たな知見でございますACAガイドについて評価いたしました。

23ページ目をお願いいたします。23ページ、24ページにつきましても、電気ペネトレーション本体の試験手順、試験条件、試験結果を示しております。

こちら説明重複いたしますので、25ページ目をお願いいたします。電気ペネトレーション外部リードの健全性評価について御説明いたします。まず、電気学会推奨案による試験手順をお示ししてございます。内容につきましても、先ほどのケーブルの評価同様の試験手順となっております。

26ページ目をお願いいたします。電気学会推奨案に基づく外部リードの試験条件、試験結果を示してございます。表の左側に試験条件を記載してございます。通常運転相当の温度、放射線、その後の事故時雰囲気相当の放射線、温度、圧力について記載してございます。最後に屈曲浸水耐電圧試験を実施して、判定良となっております。

この試験条件が60年間の通常時の使用条件及び事故時の環境条件より厳しい条件で行っていることから、60年時点においても絶縁機能は維持できると評価してございます。

27ページ目をお願いいたします。外部リードのACAガイドに基づく健全性評価について御説明いたします。試験手順につきましては、先ほど御説明いたしました低圧ケーブルと同様でございます。

28ページ目をお願いいたします。試験条件、試験結果を記載してございます。表の左側に試験条件を示してございます。通常運転相当の温度と放射線及び事故時雰囲気相当の放射線、温度、圧力を記載してございます。表の右側の方でございますけれども、60年の実機での条件、それぞれ通常運転中、事故時の環境条件を記載してございます。下の方に耐圧試験の試験結果について「良」と記載してございます。

この試験では、実機環境、47℃で21.3年、実際に使用されていたケーブルを供試体としまして、追加で劣化させてございます。試験条件における通常運転相当の放射線量を「一」としているのは、通常運転中の布設環境の線量率が0.005Gy/hと小さい場合、放射線による劣化の影響がほとんどないということがACAの研究の中で示されておりますので、通常運転時については、温度による劣化のみの実施としてございます。

試験条件と実機条件を比べますと、試験条件が実機の環境条件を上回るため、60年時点においても、絶縁機能を維持できると判断してございます。

29ページ目をお願いいたします。現状保全と総合評価を記載しております。30年目のPLM評価に加えて、ACAガイドにある外部リードの評価を実施した場合においても、絶縁低下による機能喪失はないと考えてございます。よって、高経年化対策の観点から追加すべき保全項目はないというふうに判断してございます。

30ページ目から34ページにつきましては、今回御説明しました機器以外の評価につきまして、表で記載してございます。一つひとつの御説明については割愛いたしますが、健全性評価及び現状の保全について評価した結果、いずれも高経年化への対応に追加すべきものはないというふうに判断してございます。絶縁低下の御説明につきましては以上でございます。

(釜江座長)

ありがとうございます。それでは、ただいまの御説明に対して御質問、御意見ございませんでしょうか。

後藤委員。

(後藤委員)

後藤です。幾つかありまして、一つは、特にACAの条件かな。どういう状態で評価するかというと、劣化した後に事故の条件を入れて評価するとなっておりますね。これが設計基準事故になっているのが一つ。一部にちょっと過酷事故条件も入っているように見えるのですが、その辺はどういうふうになっているのでしょうかというのが1点目です。条件ですね。

それから、劣化を加える時に熱劣化と放射線劣化を加速試験でやるというふうになっています。この加速というのは、やり方と対象によって変わるとは思うのですが、加速することでうまくできる場合とできない場合があるので、そこは一つ、どういうふうになっているかというのを御説明願いたいのが一つです。

あと、ペネトレーションですね。ペネトレーションについて御説明ちょっと省いたみ

たいですけど、例えばどこかな、代表的なところ、幾つか形がありますけれど、代表的な話がいいと思いますけれども、ちょっとすみません。

要は何が言いたいかといいますと、図で説明がありまして、ペネトレーションというのは、御承知のように貫通部、格納容器のバウンダリを構成してきますから、そうすると金属があるわけですね。例えば今、21ページですか。電気ペネトレーション、ピッグテール型の電線貫通部とありますけれど、例えばこれなんか見ていると、その構造の詳細がありますよね。詳細があつて、ここに細かい部品の、ロウ付けしてあるとか、ポンティング材、シリコンとか樹脂の詰めてあるものと、それを外側で被覆しているものがあるのですね。

こういう関係を見たときに、機能としてここに書いていますのは、どこかこの中で読んだ覚えがあるのですけれど、結局樹脂といったものは曝露してなくて、金属で全部被覆されているので漏れることはないという表現になっていました。私はそれに非常に違和感がありまして、なぜそういうことを言うかといいますと、大きな構造体があつて、それで厚い金属になっていたらそれは分かります。ですけども、これ一体どれだけの寸法のもの議論をしているのですか。ケーブルを覆っているところの、あるいは樹脂を覆っているところの、小さな部品がいっぱいありますけれど、その材料の厚さとか径とかを考えたときに、本当にそれで、この中が漏れないということを言い始めたら、格納容器のペネトレーションからの漏えいなんかありえないと思います、普通。どんなことがあつても。

ですけどそうではなくて、福島事故で何があつたかということはまだ分かっていないところがあるのですけれども、電気ペネトレーションから漏れた可能性は、性能から見ると疑わしい、極めて疑わしいというふうに見えているわけです。まだ確定していないところもありますけれども。そうすると何かと言うと、その事故が起こった時に結構高温になって、高温というのは設計基準事故を超えていますから、その状態で、樹脂が大体200℃から300℃の間でやられますから、そうすると、その時に外側に薄い金属があつたからといって、それで防げるという保証は全く私には見えないのです。

そこのところ、今条件としてやっておられるのは190ですか、試験をやっておられるのは。あるいはそこに若干の余裕があるかもしれませんが、そういう構造の在り方と、それからその体制ですね。それとの関係は曖昧ではいけないので、そこのところをもう一度説明を願いたいのですが、よろしくお願いします。

(釜江座長)

よろしいですか。よろしくお願いします。

(九州電力)

御質問ありがとうございます。九州電力の右田でございます。まず一つ目のACAガイドの条件につきましては、先生おっしゃるとおりACAガイドにつきましては、DB条件で、国のガイドの方で試験がなされてございます。ACAガイドではDBのみの試験となつてございますけれども、まだSA条件やっていないのですけれども、SA条件につきましてはACAガイドのDB試験条件の事故期間というのが365日を想定して考慮した条件となっている一方、SA試験につきましては、今7日間の条件ということで、SA状況についても、DB試験は確認しておりますので、DB側の方も包絡できると、保守的であるというふうにご考えてございます。一つ目の御質問の回答でございます。

二つ目につきましては、加速劣化のやり方についての御質問でございますけれども、加速劣化のやり方につきまして、活性化エネルギーというものが、物質ごとに、シリコンだとかエチレンプロピレンだとか今回ありますけれども、材料によってちょっとエネルギーが違いますので、それによって劣化の加速度というのは変わってきますので、そのエネルギーも考慮した上で加速劣化をしているということでございます。

三つ目の御質問でございますけれども、電気ペネトレーションのバウンダリの確認方法でございますけれども、先生おっしゃっていただいたとおり、バウンダリにつきましては、樹脂ではなく金属部分でバウンダリが形成されているということでございます。試験条件につきましては21ページ目、DB条件とSA条件、それぞれ解析値になりますけれども、圧力と温度、放射線の状況を記載してございますが、それを超える試験条件に実際に曝露して試験をしてございます。ここに記載してございませぬけれども、気密試験というのを実際にやっております、気密試験でバウンダリが確立されていると、電気ペネからリークしていないということを確認してございます。以上でございます。

(後藤委員)

どうもありがとうございました。今のお話で、私の申し上げているところの一番ポイントは、やはり前から申し上げておりますけれども、格納容器の場合、結局福島事故で明らかになったことは、設計基準事故で防げなかったのですよ、残念ながら。だから過酷事故条件というのは非常に重要になってきていて、その時に、ルール上は今まで設計基準でいいということになっていたとしても、実質的には過酷事故の条件で評価できなかったら全く意味がないと私は思います。これはもう確率の問題が入りますかね、若干斟酌するところもあるかもしれませんが、基本的には一番厳しい条件を考えなければいけないと。その時に、今御説明があった、例えば21ページの設計基準事故だと127℃、圧力0.245MPa、602kGyが照射の量ですね。それに対して重大事故では、138℃の0.35MPa、500の照射量のことを考えているということなんですね。この重大事故というのはどういうシナリオになるかによって全然変わるわけですから、包絡しているかどうかというのが一番問題だと私は思います。

実は過酷事故って本当に条件がいろいろなので、こんな値がどうして出せるのかということが率直な疑問です。そうすると、評価をする上で、重大事故条件というものをもう少し幅を持たせて非常に厳しい条件を考えておかないと、評価にならないのではないかとというのが、私自身はそういうふうに非常に厳しく考えております。以上です。

(釜江座長)

いかがでしょうか。

(九州電力)

御質問ありがとうございます。九州電力の右田でございます。過酷事故条件につきましては、格納容器の過温破損と過圧破損を想定した解析条件で出た温度というものを、それぞれ高い方を選んで、その高い条件をクリアした試験条件で今やっているということでございます。以上です。

(後藤委員)

後藤です。余りこれ以上細かい議論しても仕方がないと思うのですが、基本的なこと

なので、過酷事故が起こったときに、例えば炉心溶融が起こったと。炉心溶融を起こして、そのあとの経緯というか、事故の進展について断定することがものすごく難しいと思うのですよ。溶融デブリがどうなったかなんて、例えば今の福島1号機ですか。あそこのペDESTALの鉄筋と、それからコンクリートがありますね。コンクリートが全くなくなってしまった状態になっているとか、そういう厳しい状況になっているわけですよ。そうすると、温度が何℃だとか圧力があるかってそういうマクロなパラメータのところでは評価をしようとする、すごく難しい状態になると。極端なことを言ったら、2千何百℃あるようなものが飛んできたらどうなるか、例えば圧力の高い状態で炉心がおかしくなったと。それはものすごい高温・高圧の液体が出ますから、DCHといいますけれど、そういうようなことが起こらないという保証がなかなか難しいのが原子力の世界なのです。そうすると、その仮定を受けてこれはこの程度でいいという評価は、私はすごく都合のいい評価になってしまうのではないかと。本当に実態に合わせた厳しい評価をしているのでしょうかというのが1点です。

もう一つ、先ほどちょっと1回目のときに言いましたけれども、お答えの中に、劣化の加速についての評価、エネルギー的な意味で評価というお話をされていましたが、やはり加速試験というのは、何らかの物的なことをやらないと、理屈上で重ね合わせというのは、私は不可能に近いというふうに思っているのですが、いかがでしょうか。

(釜江座長)

いかがでしょうか。

(九州電力)

九州電力の右田でございます。一つ目の御質問は、もっと過酷な事故で試験を想定すべきだという御指摘だと思っております。確かにおっしゃることも分かるのですが、我々もある程度解析して事故を想定しておりますので、それに基づいてしっかり健全性を確認できるというふうに考えてございます。

(後藤委員)

ありがとうございます。一言だけ。過酷事故の条件の計算でどうこうとおっしゃいましたが、現実には、物理的には、バウンダリを構成するペネトレーションとかいろいろあって、ハッチとかあって、それが温度条件になるとリークを始める、壊れるというのが常識にあって、そのデータはある程度あるわけですね。それに対して、実際の事故の時にその温度・圧力に閉じ込めることができるかどうか勝負であり、それが問題なのです。ところがそれが、ほとんど設計基準事故と同じような温度を与えておいて、これ以上温度は上がりませんと言われて、信じられるわけがないのですよ。私もできたら信じたいのですが、そうであってほしいのだけれど、ならないのですよ、実際。というのが私の感覚です。以上です。

(釜江座長)

いかがでしょうか。よろしく申し上げます。

(九州電力)

ありがとうございます。先生が福島事故をもとにそういう評価をされているという

のは重々分かるのですが、我々としても福島事故により、新たに再稼働の審査で、事故の条件とか、どういうことがいいのかというところを受けて、この最高使用温度・圧力等を決めてきております。我々としては多くの手段の中から、万が一この次の手ができなければどうやって原子炉容器や格納容器を守れるのか、頭の体操をしながら訓練等も積み重ねております。

今回の場合は、何がしか数値を決めないと評価ができないということで、我々としては、国の審査を受けた数値を用いて評価をしているということでございます。

(後藤委員)

後藤です。今のお話の中で、条件が全く裏に入っていて見えないわけですね。温度が何℃であるとかそういうものが、もちろんそれは検討した上でのお話だとは思いますが、結局その評価の在り方が問題なのだとすることをまず1点申し上げておきたいと思っております。

(釜江座長)

私も素人ですが、ACAの試験の条件、まず当然これの背景があると思うのですが、条件だけではなく、皆さん御存じなのかもしれませんが、ここに190℃とかいろいろ記載があって、もう一つは重大事故等のところで、川内原発の条件が書いてあります。これも今お話があったように、新規制基準への適用の中で設定された条件だと思っております。そういうバックグラウンドの話がなくて、今の数字だけが出ているので、それだけ見てもどうのこうのという議論もあるとは思いますが、少しバックグラウンドの説明も大事かと思っております。できればちょっとその辺を、今日が無理であればまた次回でも結構なので説明いただけますか。

重大事故のときの138℃というのは、どの程度余裕があったり、想定された条件が何であったりとか、そのシナリオに基づいた結果から190℃の実験結果が有効だというような、シナリオだと思うのですが、いかがですか。

(九州電力)

御指摘ありがとうございます。九州電力の右田でございます。先生がおっしゃるようにバックグラウンドというのがございますので、その辺をお示しした上で御説明できればというふうに考えてございます。

(釜江座長)

よろしく申し上げます。
いいですか。守田委員。

(守田委員)

関連したことでお伺いしたいのですが、12ページのところで、ACAガイドに基づく評価の結果をお示しいただいているのですが、ちょっとよく私も専門外なのでよく分からないのですが、これが一体どれぐらいの保守性を見込んだ結果なのかというのがよく分からないのです。ちょっと読んでいきますと、稼働率が実際には100%ではなくて、例えば80%ぐらいに対して稼働率100%と設定しましたとか、温度についても42℃の温度に対して、通電による温度上昇と余裕を加えた温度として一部のものについて

ては設定したというようなことがあるのですが、こういったものがどれぐらいの、結果として感度になっているのかというのがよく分からないので、こういった保守性を見込んだ条件設定というのが適切、あるいは合理的な保守性を見込んだことになっているのかどうかというのがよく分かりません。

ですので、恐らく最確評価、そういった補正を見込まない場合はこれぐらいの期間になるのだけれども、この場合は、保守性を見込んだ結果これぐらい評価期間でいうと短い方に振れるのだと思うのですが、これぐらい短くなっていますよということをまずお示しになれば、そうか、これぐらいの保守性を見込んでいるのだなということが恐らく分かるのではないかというふうに思いましたがいかがでしょうか。

(九州電力)

御指摘ありがとうございます。九州電力右田です。保守性につきましては、温度というのが一番効きます。有機物の劣化については、温度というものが効きますので、今定量的にはお示しできませんけれども、5℃の余裕を見ているというところ、寿命でいくと数年、数十年オーダーではないかなというふうな感覚でございます。

稼働率につきましても、実際止まっている時、プラントが停止している期間というのは、格納容器内は開放されまして、温度が下がると。放射線もRCS水抜き等で放射線の量も下がるので、ずっと運転しているよりは70～75%程度で稼働してございますので、25%程度は、評価期間として伸びるのではないかというふうに考えています。定量的な数値はお示しできませんが、温度がかなり効いてくるというのは事実でございます。以上でございます。

(守田委員)

ありがとうございます。そうすると、例えば12ページのところで、温度についての余裕、値については、通路部のケーブルトレイ内というところは60℃で、ここに※3がついていて、ここは実際の42℃よりは高い温度にしていますよという設定なのですが、ほかのところはそういう設定にはなっていないですよね。ということは、温度に関しては通路部のケーブルトレイ内については保守性を見込んでいるけれども、ほかの布設区分については保守性は見込んでいないという、そういう理解でよろしいでしょうか。

(釜江座長)

よろしく。

(九州電力)

御指摘ありがとうございます。九州電力右田でございます。

保守性を見込むかどうかにつきましては、計装等のケーブルにつきましては、微弱電流、もう40mAとかその辺の信号の電流程度ですので、ケーブル自体の発熱がないということで、環境測定をした温度に設定してございます。

ケーブルトレイにつきましては、取りあえず密集しているというのと、電力ケーブルですので常に通電して発熱しているところを見込みまして、そこを評価しまして、13℃の温度上昇を見込んでいるということでございます。

(釜江座長)

どうぞ。

(守田委員)

分かりました。どういうふうなお考えで温度設定したかというのは理解したのですが、結果として出てきた評価結果というのが、どの程度の保守性を見込んだ上でこういう結果になっているのだというところが見えないので、十分な保守性なのか、あるいは合理的な保守性になっているかという判断が、私自身はちょっとできなかったということを申し上げましたので、保守性に関する考え方を少し整理して御説明を頂きたいというのが私の方からの要望でございます。

(釜江座長)

どうぞ。

(九州電力)

九州電力の檜畑といいます。環境調査につきましては、ちょっと補足させていただきますと、並列からで解列の間ワンサイクル分で、実機の、例えばC V内のループ室なり通路部なり、環境調査をエリアごとで実施しておりまして、それを平均化して、まず調査結果を出しております。30年の時に測定したデータと今回測定したデータ、さらに1, 2号機を包絡するような条件で設定をしております。例えばループ室ですと、41.5℃というのが実際一番高かった温度になりますけれども、そちらの方に余裕を見て、45℃という形で設定をさせていただいております。資料にそういう形で見えなかったのは申し訳ありません。以上補足になります。

(守田委員)

分かりました。ここに示されている温度もそういった保守性が見込んでであると理解をしましたが、その結果この評価期間が、例えば今45年と書いてあるのですけれども、例えば41.5℃で評価すると、この45年というのが何年になるのでしょうか。

(釜江座長)

どうぞ。

(九州電力)

九州電力の右田でございます。計算し直して、次回お示ししたいと思います。ありがとうございます。

(釜江座長)

大体分かりませんか。どういうオーダー、1桁オーダーなのかというぐらい。余り不正確なことを今言うよりは次回の方が良いと思うので。

(九州電力)

複雑な計算もございますので、次回お示ししたいと思います。

(釜江座長)

そうみたいです。よろしくお願いします。

保守性の話は既にいろいろな評価のところでありました。実験の結果はありますが、これは予測の話だと思うので、やはりそこにはどの程度の不確かさを考慮していて、どの程度の保守性があるかというのはが重要かと思います。この件は、以前の中性子照射脆化にしろ、PTSにしろ、関連する実験式にしろ、全てがそこにある保守性がどうかということが、これまでこの委員会でも議論になってきたので、ケーブルの場合は取り替えられるという話もありますが、取り替えられないところはやはりそう言う議論に尽きるので、もう既にいろいろと御説明はしていただいているのですが。是非今後はそれを念頭に置いて必要な情報をお示しいただきたいと思います。

余り時間がないのですが、佐藤委員。

(佐藤委員)

やめておきますか。

(釜江座長)

もしあれば、簡単に。複雑な内容ですか。

(佐藤委員)

はい。

(釜江座長)

せっかくですからどうぞ。

(佐藤委員)

電気のお話で思い出した非常に教訓的な事例がありますので、ちょっとまずその話からしておきたいのですけれども。これはBWRで、時期はちょっと正確に今思いだせませんけれども、2000年以降です。どんな事例だったかと言いますと、蒸気が漏れるのです。配管から蒸気が漏れるのです。その蒸気が天井に昇って行って、天井で冷やされて水滴になって、ポタポタと雨垂れになるわけです。その雨垂れの下にケーブルトレイがありまして、そのケーブルトレイから、いわゆるエアードロップというケーブル一本だけが抜けて、中の電気品に繋がるようにケーブルが出ているわけですね。そのケーブルが、荷重がすごく掛かっていて、最小曲げ半径よりもきつく曲がっているのです。ですので、その外側の辺りは相当高い機械的なストレスを受けているわけです。運悪くそこに天井からの雨垂れがポタポタ落ちてくると。そのケーブルがショートしたか何かで、そのずっと先の変流器から煙が出て、火が出ると。そういう事例ですよ。

それから学ぶべきことというのはたくさん感じられるのですけれども、まずはケーブルの問題が電氣的な、ある電気品の故障という問題だけではなくて、電気火災というまた違う事象にも発展する可能性があるということと、それから、机上で評価していてもこういう問題というのは分からなくて、実際の現場を見て初めて、そういう特殊なケーブルの布設の状態があったということに気付いて、審査漏れするのですよね。なので、そういう特に入念な検査が必要な領域なのかなと。

いろいろ設計上の話というのは、こういうテーブルでできるわけですが、実際

の現場がどうなっているかというのが、特にこういうケーブルの電気系の問題というのはいろいろあるのかなというふうに、今のような事例から教訓として感じさせられると。

最近の日本でも、電線管に布設されているケーブルが、見てみたら雨水とか地下水だかがもうたっぷり入っていて、プールボックスだかジャンクションボックスだかが、もうみんな錆だらけになっていると、そういうのが発見されたということもありました。それなんかもやはり検査をしてみないと分からないですよ。図面上は綺麗に電線管で保護されて布設されていると、そうなっているわけですから、図面上はですね。ですけども現場を見てみれば、もう水がたっぷり入っていたりとか、湿気で鉄製のものが錆についているということがあったりするわけですし、つくづくやはり現場を検査することが、電気に関しては重要なのかなというふうに思いまして、九州電力さんに対しては、そういうペーパーワーク上のレビューだけでなく、現場のチェックも相当重視しないといけないのではないかなというようなことをまず申し上げておきたいなというふうに思いました。

それはすごく全般的な話なのですけれども、あと個別の質問を幾つかさせていただきたいと思います。2ページ目なのですが、ケーブルの絶縁体として、プロセス油というのも例として挙げられているのですけれども、余り聞いたケースがなくて、何か聞いたことあったような気もするのですけれども、よく思い出せない。このプロセス油を絶縁体に使っているというケースについて、具体的に教えてください。

それから、二つ目のブレットですけれども、この絶縁低下とはというふうな、何か定義的なことが書いているわけですね。その結びとして、電気抵抗が低下し、絶縁性が確保できなくなる現象と。これって非実用的な定義だと思うのですよ。こんなことを言われても、現場の人はこれでは動きようがないわけですし。後の方には例えば100MΩとかというような具体的な絶縁値の数字が出てくるのですけれども、そういうやはり数字がないと、こんな絶縁性が確保できなくなるという、これでは全然現場は分からないですよ。ちょっとでも前回と比べて低下していればこういうふうになすのか、もう機能を左右するようなほどの絶縁性の低下のことを言っているのか、全然分かりません。一般的な定義としてはこういうことなのかもしれないのですけれども、事象的な定義では現場は動けないわけですから、もっとこう具体的に、九州電力さんが現場で運用している絶縁低下、これが何なのかと言うような説明をされた方がいいかなということですね。

あとwaterトリーに関しては、先ほども言いましたように、思いがけないケーブル布設をしているところに水が溜まっているというようなことがあったりして、本当は水なんかないはずなのに、実は見てみたら水が入っていたというようなことがあったりするのです、注意しないとイケない現象かなというふうに思いました。

あとは12ページの表の注記の3番で御説明いただいていたわけなんですけれども、通電による温度上昇を考慮していますよということですから、最近火災防護の基準が強化されたことで、電線管だとかケーブルトレイだとか、こういうものに対して、何て言うのですか、断熱材というか防火材というか、そういうブランケットが巻きつけられるようになったわけです。なったわけですかというか、そういうところもきっとあると思うのですよね。1時間耐火とか3時間耐火とかというものは、当然断熱材としての効果があるわけですし、一層その放熱を悪くするわけです。つまり、温度を上昇させる側に効果があるわけです。ということで、そういう耐火性を強化するために断熱材を巻きつけたようなケーブルトレイ、電線管。そういったものに対しての温度上昇は考慮されて

いるのでしょうかと。

あと設計基準と重大事故の環境については、私もよく分からないところがあります。後藤先生もおっしゃったように、重大事故というのは、本当にもう手放し状態で、事故をどんどんどん進展させるというようなことがあったときには、もうPWRといえども格納容器が設計圧を超えるようなところまでいくわけですし、ここに温度とか圧力が示されているということは、ある重大事故の時の効果的な対応が担保されているわけですね。そこら辺が分からないわけですし、なので温度は本当にこれ以上上がらないのかとか、圧力もそうなのかと、こういう疑問が出てくるわけです。なので、その重大事故と言っている時にはそれとセットにしている、担保にしているアクションとかそういうものを、簡単にでも説明してもらえるといいのかなと。

あと21ページの表に、放射線の環境が、設計基準の時には602kGy、それから重大事故の時には、確か7日間の集積というふうにおっしゃったと思いますけれども、500kGyというふうに書いてあるわけです。この500kGyというのは、設計基準に上乘せされる数字だというふうに理解していいのかどうかというのは、ちょっとこの表を見て。これは重大事故を経る前に設計基準事故を経てきて、それにさらにというふうに、何となくそうイメージするのですけれども、そこを明確化していただきたいと。

あと全般的に、いわゆる環境認定というのですかね、Environmental Qualificationと言っているやつですね。特に格納容器の中に入っているもの全般、ケーブルだけでなく塗装もそうですし、中で使っているいろいろな機械部品の非金属製のもの、Oリングだとかコネクタだとかいろいろあると思うのですけれども、そういうものに対して全般的に、今日のお話はケーブルに特化した話ということなのかもしれないのですけれども、EQという全般の範囲で、ケーブルだけでなく、同じような環境での認定試験みたいなプロセスをやっているのかどうか。

つまりケーブルという非常に単純な構造に対してはそれで良くて、実際の電気系というのは、途中にいろいろなものがあるわけですね。コネクタだとかスイッチだとか。そういうものに対して、EQを適用しているのですというふうな、そういう御返事を頂きたいわけなんですけれども、ちょっと今日の話はケーブルだけなので、そこが確認できないので、ちょっとそここのところも御説明を追加していただきたいと思います。以上です。

(釜江座長)

よろしく申し上げます。

(九州電力)

御指摘ありがとうございます。九州電力の右田です。まず2ページ目のプロセス油というところは、OFケーブルとか油、絶縁しているものがございますので、その辺を指してございます。

(佐藤委員)

油でケーブルの導体を絶縁しているのですか。

(九州電力)

そうです。OFケーブルの中には絶縁油が入ってございます。

(佐藤委員)

何か油の入っている変圧器なんかだとイメージ分かるのですけれども、長いケーブルの中に油が入っていて、それで絶縁していると。そういうことですか。

(九州電力)

そうです。発電所で言いますと、変圧器から構内に引きます所変圧器までの間OFケーブル採用してございます。

(佐藤委員)

そうですね。ありがとうございます。

(九州電力)

二つ目でございますけれども、2ページ目の表現が現場に分かりづらいという御指摘でございました。要領書レベルでいきますと、それぞれ電圧階級とか物に応じて絶縁抵抗の判定基準というのを設けて運用してございますので、例えば低圧のケーブルであれば1MΩ以上であるとか、そういうふうに定めてございます。

(佐藤委員)

それは使っている機器の性能を維持するというイメージで、そういうふうに設定しているということなのですか。

(九州電力)

おっしゃるとおりでございます。

それと水トリーにつきましては、先生おっしゃったとおり予期しない電線管内の水などが、というのは十分考えられることでございますので、現場パトロール等を、おっしゃったことを踏まえまして対応をしていきたいというふうに考えてございます。

それと21ページ。DB事象の後にSAが付加されるかという御質問でございますけれども、これは通常60年分劣化させた後に、この評価におきましてはDBが起きると、orでSAが起きるということで今お示ししてございます。

(佐藤委員)

orですか。

(九州電力)

その条件で今の評価上は実施してございます。

(佐藤委員)

orというのは、通常運転時の放射線量率が書いていますけれども、これの40年分とか60年分を掛け算した集積に、デザインベースの場合の602kGyを足す場合もあるし、そうでなくて500kGyを足す場合もあるという、そういうorということですか。

(九州電力)

おっしゃるとおりでございます。

(佐藤委員)

ということは、重大事故が設計基準事故の延長ではないということですね。

(九州電力)

使用条件としてはそういうふうにしてございます。

(佐藤委員)

それってどうなのですかね。設計基準事故の延長として起こる重大事故はないということですか。

(九州電力)

当然あるというふうに。

(佐藤委員)

例えば設計基準事故というのはL O C Aですよ。

(九州電力)

はい。

(佐藤委員)

L O C Aが進んで重大事故になるというケースはないということですか。

(九州電力)

ございます。

(佐藤委員)

なぜこれは数字が小さくなるのですか。602から500って数字が小さくなるのですか。

(九州電力)

事故が起きて線量が高くなります。重大事故の場合は、その分7日で500kGyというふうになっています。設計事故の方は365日で602kGyという。

(佐藤委員)

7日という、Day 1はどこから数えて7日なのですか。

(九州電力)

通常状態からS A事故7日まででございます。

(佐藤委員)

重大事故に至ってからではなくて、通常運転時からなのですか。何かおかしくないですかね。

(九州電力)

S Aに行く前にD Bを経由することはないと思っています。

(釜江座長)

それは7日間。

(佐藤委員)

それが7日間で、設計基準事故の場合にはもっと長いから、積分される時間が長いから、こっちの方が数字がということですか。

(九州電力)

おっしゃるとおりでございます。

あとEQ管理の件でございますけれども、先生おっしゃるとおり、ケーブルだけではなくてケーブルの接続部分だとか電磁弁のOリングだとか伝送器などについても、事故時の雰囲気考慮しまして、寿命を評価しまして、適切に取替えなり対応しているという状況でございます。以上でございます。

(佐藤委員)

ちなみに、放射線を照射するときの条件ですけれども、これはPWRの格納容器というのは、雰囲気が空気なわけですよ。ですので、これは空中での放射線照射ということですかね。

(九州電力)

九州電力右田です。コバルト60を空気中で照射してございます。

(佐藤委員)

ありがとうございます。

(釜江座長)

渡邊委員。

(渡邊委員)

基本的には耐圧試験で評価すると思っていますのですね。ところが40ページのところで、劣化指数というのは破断時の伸びで評価してマスターカーブを引いているのですが、これはなぜですか。

(九州電力)

九州電力の右田でございます。有機物が熱で劣化しますと、硬くなって伸びなくなります。それと絶縁性の低下というのに相関がございますので、ここは縦軸は伸びと。

(渡邊委員)

マスターカーブというのは、基本的な現象がよく分かっているものに対してマスター

カーブを引くのですね。その有機物へのガンマ線の影響というのがそれだけなのかという理解まで我々は進んでいるのですかね。

それと絶縁との関係ですよ。だから、何て言うのかな、伸びというのはメカニカルな話で、ここではマスターカーブ引いているのですね。判定は耐圧試験というのは、電気の話ですよ。だから、何かちょっと違うように見えるんですけど、その相関性というのを説明してもらえませんか。

(九州電力)

九州電力の右田でございます。実際にJNESの研究の中で、様々な物性、放射線量と温度、各条件与えまして、最後に絶縁破壊する伸び率等を確認した上で劣化手法というものを決めてございます。

(渡邊委員)

最後はその伸びだと。伸びでケーブルが破断するので基準を決めているというふうにこれだと見えるのですね。

(九州電力)

破断ではなくて、絶縁が劣化する伸び率に相関がございますという御説明になります。

(渡邊委員)

絶縁が劣化する伸び率。

(九州電力)

そうです。絶縁体が硬化して、絶縁が落ちるとということと相関があるという研究結果がでております。

(渡邊委員)

破断時の伸びと書いてあるのですね。破断時の伸びというのは、現象的な引張試験をやっているように見えるのですね。

(九州電力)

九州電力の跡部です。ちょっと今のお話に補足させていただきますと、まず40ページのこのグラフですけれども、縦軸、おっしゃいましたとおり破断時の伸びというのは、絶縁体の、要は材質が担保できるかということになっていまして、ゴムをイメージしたら分かりやすいと思うのですけれども、新品、要は絶縁性があるゴムに対してはやはり伸びがあるので、それで絶縁性を担保していると。劣化が進むにつれて、やはりゴムは伸びなくなって、それ以上延ばすとなると破断してしまうと。破断をすると絶縁性がなくなるので、そこで絶縁破壊が起きると。

(渡邊委員)

だからそれは、破断したらもう電氣的に繋がらないのだから、それは絶縁に決まっているじゃないですか。

(九州電力)

破断することによって、要は地絡とか短絡が起きて、電氣的な事故も起きてしまうと。

(渡邊委員)

そういうことですか。それだと電氣的なことの耐圧試験をせずに破断試験だけやればいいではないですか。

(九州電力)

この破断試験の、要は劣化をさせて、その上で最後に耐圧試験をして電氣的な性能があるかというものを最後に確認しておりますので、飽くまでこのグラフは劣化時の伸びと劣化の期間、横軸の寿命を示したグラフになります。

(渡邊委員)

もっとよく分からないけれど。

(釜江座長)

これもガイドに書いてあるのですよね。

(九州電力)

こちらの資料につきましては、右に出典書いていますけれども、最終報告書から抜粋したのになります。

(釜江座長)

それを見れば。

(渡邊委員)

よく分からないけれども。

(佐藤委員)

破断と言っているのは、絶縁材の破断、絶縁材料の破断のことを言っているのであって、中に入っている電気の導体の話ではないのですよね。

(九州電力)

おっしゃるとおりです。

(佐藤委員)

そこに何か勘違いがあるのではないかと。

(釜江座長)

そういうことですね。スパッと本当に切れてしまうという断線のような話になってしまっているように感じますが。

(九州電力)

断線ではなくて絶縁材の破断です。

(釜江座長)

すみません、時間が大分過ぎてしまっているのここはひとまず終わらせていただきたいと思います。

始まってもう2時間半もたってしまって、休憩もなしに、どのタイミングでと思いながらここまで来てしまったのですが、5分間だけちょっとトイレ休憩ということにしたいと思います。後はこれまでのQAの話です。今4時ですから、4時6分頃まで休憩ということでよろしくをお願いします。

— 休 憩 —

(2) これまでの委員からの質問への回答

(釜江座長)

休憩が遅くなり、また短くなって申し訳ございませんでした。

それでは本日の議事の(2)ということで、これは毎回ですけれども、これまで、特に前回の委員からの質問への回答ということで、これについても事前に委員の先生方にはお配りしていますので、御自分の御質問に対する回答として適切かどうかということは、もう既に見ていただいているという前提で、説明の方は少し割愛させていただいて、質疑・応答に少し時間を割きたいと思います。今日は3-1、3-2、3-3とありまして、それと別途、後藤委員からの8-2とか3はこれまで通りQAが書かれていますけれども、その元になった後藤委員からの質問ということで、去年の8回の直前に頂いたのですが、直前だったものですから、そのときには回答できてないということで、それも今日は配布資料の中に入れてございますので、この中から本日、3-2とか3-3に後藤委員による質問・回答ということで整理させていただきます。

それと3-1は前回(8回)のQAということで、この中にも見ていただきますと、後藤委員からの質問もございまして少し合体したような話になっています。それでやり方としては先ほど言いましたように、御質問された先生方はもう既に見られていると思います。この回答で、どうなのかというところを、またもし回答についての更なる質問がございましたら、よろしくお願ひしたいと思います。順不同で。

渡邊委員。

(渡邊委員)

何点か前回質問させてもらって、8-3のところは拡大写真を示してもらって大体様子が分かりました。

それとばらつきの考え方を整理することと書いてあって、8-5ですかね。46から49ページ。私が質問したのは例えば48ページのところで、具体的な機密に関わる事項で話していいかどうかよく分からないのですけれども、なかなか議論できないのですけれども、例えばこれを見ると、一番高いのが九電だと玄海1号の第4回母材が高いですよ。これはマスコミでも随分報道されました。

ところが例えば、溶質原子クラスターの平方根ということで評価をすると、例えば川

内1号でいいですよ。川内1号の溶金にしても、例えば、川内1号の第4回の母材でもほとんどその溶質原子クラスターの平方根としては変わらない。

ところがこの関連温度の実測値は同じになっていますというのが私の質問だったのですね。で、そのときにマトリックス損傷の写真も示してもらって、これもほとんど転位ループの密度というのが変わっていませんでした。では、なぜ関連温度の移行値は、玄海1号と川内1号でこれだけ変わっているのですかという質問。それだけの信頼性が担保されているのですかという質問なのです。そこは答えていないですよ。

それともう一つは例えば、50ページのところで、サポート部の損傷メカニズムというか、書いてもらって、これは教科書に載っているような話ですよ。もう、具体的に照射の量がきちんと評価をされて、サポート部の温度というのが評価をされているわけで、全体のDBTTの量というのは評価できるのですよ。そういうものも含めてこの脆化の量というのをしっかり評価してもらいたいのですよ。そういう質問だったのですけれど、何かその教科書に書いてあることになっています。以上です。

(釜江座長)

はい。ありがとうございます。
いかがでしょうか。よろしいですか。

(九州電力)

最初の御質問については本店の方から御回答させていただきます。

(釜江座長)

すみません。手を挙げられたのですね。
本店どうぞ。

(九州電力)

九州電力本店の中山です。御質問ありがとうございます。

最初の質問についてなのですけれども、まず47ページを御確認いただきたいと思っています。

こちらの左側のグラフなのですけれども、こちらがばらついているということで、玄海1号機の第4回の母材と川内1号機の第4回の溶金と同じぐらいの溶質原子クラスターなのに関連温度移行量が実測で違ってきているといったところで、まずはこちらについてなのですけれども、こちらはこういった相関があると、知見から電中研さんが今モデルを作成しております。こういった知見があるからモデルが成り立っていて、そのモデルから今の規格式ができていくというものになります。ですので、こちらのばらつきが悪いとかいいとかという話ではなくて、結果からモデルができていくというふうになっております。

続きまして48ページなんですけれども、一応我々がいろいろなぜこう差があるのかといったところについては、一応こちらのばらつきというふうを考えていて、そちらの主な要因というので横軸のばらつきと縦軸のばらつきというふうにして、今回お示しているものになります。

横軸のばらつきについては記載の通り、鋼材というのはJIS等に満足するように、化学組成が調整されているのですけれども、若干その範囲でマイクロ単位の揺らぎがある

といったところで、試験片の最終値によってアトムプローブは結構小さい試験片になっておりますので、この影響を受けると考えられています。

一方、縦軸なんですけれども、こちらやはり管理温度イコール実測値で記載しておりますので、やはりシャルピー衝撃試験片から求められておりました、そちらについては同一鋼材でもある程度ばらつきが生じるということが知られております。

あとマトリックス損傷の影響っていう、今、渡邊先生から御指摘がありましたとおり、寄与は小さい。寄与は小さいのですけれども、電中研さんのモデル式のとおり、マトリックス損傷の影響というのも少なからず考えられるというふうにして、差というのについては縦と横のばらつきの差というのがありますので、今回御回答をさせていただいております。以上になります。

(釜江座長)

はい。二つ目はどちらからですか。

(九州電力)

九州電力の上村です。

現状、R Vサポート、原子炉サポートの脆化のメカニズムは50ページで御説明させていただいております。

先生御指摘のとおり第8回、前回、R Vサポートについては、照射量これ全群ということで保守的に全群見ておりますけれども、1号機の例で言いますと、 3.7×10^{19} の照射量ということで我々も評価をしまして40年時点の推定値になりますけれども、温度としましては、脆化量を温度として出しておりますけれども、128°C程度ということで評価をしております。

すみません。先生の御指摘、御質問ちょっとその辺りまで回答できておりませんが、我々としては、温度というのはそのように評価をしております。以上です。

(渡邊委員)

まず、この会場からでいいのですけれども、128°Cというのはものすごい照射脆化ですよ。それはどういうふうに。根拠等を示してもらって。で、128°Cというのはものすごいということかどうか。

(九州電力)

先生のおっしゃるとおり、少し計算の方法とかも含めて、御提示をさせていただきます。128°Cにつきましても、正確にちょっと。

(渡邊委員)

DBTTが128°Cですか。

(九州電力)

すみません。そこをもう1回確認させていただきます。今評価をしている部分を少しかいつまんで御説明させていただきましたけれども、DBTTとして幾つかというのは、すみません改めて御説明させていただきます。評価は、推定しておりますので。すみま

せん。

(渡邊委員)

分かりました。その最終的な結果をお聞きして。

だから、やはり照射脆化が炉の周りのところで、ものすごく進んでいますよね。それはR Vだと我々注視して、メカニズムもある程度分かってきているのですね。3ループ炉でニュートロンが相当蓄積しているという印象を前から持っていて、そういうふうなことでこのところのその質問をさせてもらいました。

それと本店ですけれども、データがばらついているということですよ。それは多分縦軸でものすごくばらつきでというのは、ものすごく誤解を与えてしまうのですけれども、横軸がばらついているのだという言い方ですか。

(九州電力)

九州電力の中山です。

縦軸によるばらつきと横軸によるばらつきというのが考えられます。

(渡邊委員)

縦軸でそれだけ何十℃もずれるのだったら、ずれたところで評価をしてくださいというふうに我々なりますよ。そういうことを言っているのかな。

(九州電力)

はい。九州電力の中山です。

こちらについては、電中研さんにモデル式が策定されておまして、こちらから確かばらつきというのがありまして、例えば49ページを御確認お願いしたいのですけれども、実際そのモデル式から関連温度移行量のグラフを作成するときには、個々のプラントの監視試験片データにフィッティングするように補正をし直します。

更に国内の試験片とかそういったばらつきを踏まえて、マージンを設定して、少し厳しめ評価するという手法になっておりますので、そちらについては問題ないというふうに考えております。以上になります。

(渡邊委員)

電中研のモデルというのは、最終的に49ページですよ。これは、基本的にはそういうふうにその誤差も含んでの評価になっているわけですが、その内部のメカニズムというのは我々も随分これまで研究してきて、基本的には溶質原子クラスターと転位ループがこういうふうなメカニズムでもって、脆化をするというのはよく分かっているのですね。

ところが、お宅の評価ですとこういうふうな食い違いがあるというのは非常に考えにくいのですけれども。それで監視試験片の例えばデータがこれだけの違いがありますというその言い方というのは、随分誤解を招きませんか。それはその電中研モデルのことを言っているのではなくて、それだけの誤差を含んでいる評価になっているような印象を与えるのですけれど。

(九州電力)

九州電力本店の中山です。

こちらの48ページのグラフはその評価ではなくて実測値になります。いずれも実測値になります。こちらは国内の監視試験片とかを全てアトムプローブを測定したデータを載せております。2013年時の規格策定前のデータにはなるのですがけれども、そちらから相関があるという知見が得られて、電中研さんのモデルになっております。

ですので、これで評価しているわけではなくて、この知見からモデルができていているというふうになっております。以上になります。

(渡邊委員)

うん。だからもちろんそうですけれども、その根拠になっているものは監視試験のその実測値なんですよ。実測値がそれだけの何十℃もその評価が違いますよと言っているのでしょ。

(九州電力)

九州電力本店の中山です。

ちょっと御質問の意図を確認させていただきたいのですけれども。すみません。

先生が言われているのは、この知見があつて電中研さんのモデルができて、更に規格でそういったマージンを考慮した手法になっているといったことが悪いということを行っているのではなくて、この知見自体がもう少し何かこう拡充とか、そういったのが必要ではないかという御指摘のように聞こえるのですけれど、いかがでしょうか。

(渡邊委員)

知見の拡充はもちろんしないといけないのですけれども、あなた方はここでこういうふうな図を載つけて、あたかももう既にいろいろなメカニズムが分かっている、大丈夫ですよという評価になっているわけですよ。

ところが具体的に例えばそのメカニズムの根拠になっているものは、ここで書いてある溶質原子クラスターの数密度と転移ループの数密度なんですよ。それはきちんとした相関があなた方がある程度あるという評価をしているわけですがけれども、実際上はここでもって評価をしてみると、玄海1号炉と同じ評価になっている。溶質原子クラスターの数密度で評価をすれば。それに対してあなた方は答えていないですよ。それは誤差の範囲だと。

(九州電力)

すみません。九州電力本店の中山です。

溶質原子クラスターも一応実測をしてございます。評価でございませぬ。当然、横軸がずれることも、考えられます。ですので、試験回数を増やしていけば、増やすほどより精緻になるというのは想定されるのですけれども、限られた試験片でやっていると。

ですので、横軸のばらつきというのもありまして、そこが例えば川内1号機の回数を増やしていけば左側に行ったりとか、そういうのは十分考えられます。以上になります。

(渡邊委員)

分かりました。そういうふうな評価というのは、なかなか理解できないのですよ。

我々これを見て考えるのは、こういうふうなやり方というのはやはり破綻しているの

ですよ、というふうに我々は見ている。そうしないとその電中研がやったデータだとかというのを、電中研にたくさんその試験を、それはあなた方の金で持ってやっているわけです、電中研は。

そのモデルと違うのだったらたくさんやってくださいというふうになりますよね。

やはりしっかりとこの非常に重要なデータですので、誤差の範囲でしっかり載せてくださいと。これが例えば関連温度が何十℃も違いますというふうなことを言われても困るのですよ。それは間違っていると思いますが、あなた方は。

(九州電力)

すみません。九州電力中山です。

関連温度とかでばらつきがあって誤差を踏まえた評価になっているかとそういったところだと思うのですが、49ページの例えば左側のグラフでお示ししているとおり、各回監視試験片、こちらは川内1号機にはなるのですが、1回から5回取っておりまして、今、予測式というか、もうマージンの中に入って、ばらつきの中に入っていると。なので、我々としては問題となるような評価をやっていないと思っています。十分適切な評価をやっているというふうに考えております。以上になります。

(渡邊委員)

あのね、脆化の予測式については、随分議論してきたのでそれで結構なんですよ。ところが、内部でどういうことが起きているかというのもやはりしっかりやらないといけないんですよ。こういうふうに何十℃も違ったことを、あなた方はこうやって認識をして、やはり出しているというふうに見えるわけですよ。

(九州電力)

九州電力の本店から関と申しますけれども、先生の御指摘のところは以前からお答えさせていただいていると思いますけれども、アトムプローブとかTEM観察につきましては今後も取り組んでいきたいというふうに考えてございます。以上になります。

(渡邊委員)

分かりました。

それで何十℃もデータのばらつきがあるとと言われても困るのですよ。それは間違っている。

(釜江座長)

いや。ちょっと私も全く素人なんです。

(渡邊委員)

重要なので、これが何十℃も違えばその議論にならないのではないですか。そういうことを言うわけですか。

そうしたら、関連温度が120℃上昇したとき、120℃になったときの評価をしてくださいというふうになりますよ。安全スタンスで考えて。縦軸、横軸両方ともエラーバーを含んでいるという言い方をされるわけですか。

(九州電力)

すみません。九州電力の中山です。

電中研さんのモデルをもう少し説明を補足させていただきますと、電中研さんのモデルは、一応こちら相関からモデルが成り立っていると。そこではその誤差とかそういう話はあるわけではなくて、最終的にこの規格で評価するときにマージンの誤差を含んで評価をしているというふうになります。

ですので、最終的にそのばらつきとかそういった要因というのは、例えば49ページのとおり川内1，2号機であれば、各回の試験がしっかり誤差の範囲に収まっているということと、表を確認しましてマージンを乗っけて評価をしているといったところで、我々、今川内1，2号機の評価に問題があるとは思っておりません。以上になります。

(渡邊委員)

分かりました。

何て言うのかよく現象を理解して、やはり説明しないとけないですよ。分かりにくいのは電中研のこうやったモデルと監視試験の評価方法というのはやはり違うのですよ。

監視試験片というのはJ E A Cに書いてある規定に従ってあなた方はやっているだけであって、それは電中研の内部モデルとは関係がない。関係がないものは関係がないと言わないといけません。違いますかね。あなた方の言い方は非常に誤解を生んでいると思いますが。

(九州電力)

いいですか。本店中山です。

関係がないというわけではなくて、この実測の結果からモデルを作っております。ですので、全く関係ないというわけではなくて相関がある。相関があるので、今のモデル式ができています。

(渡邊委員)

相関があるのだったら、しっかり載っけてくださいよ。

(九州電力)

ですので、規格で最後評価する上でばらつきというのを考慮して評価していると。電中研さんのモデル自体が、物理現象を忠実に再現しているようなモデルではまずないです。そこはないです。この実現象から、不確定な要素もあるのですけれど、実現象から近似的に関連温度の予測値を求めてくるというモデルになっております。

ですので、そちらについては最終的に規格の方でばらつき等を考慮して、厳しめに評価を行っているというものになります。以上になります。

(渡邊委員)

それは違うと思います。電中研のそのモデルというのは、転移ループの数密度とサイズ、それもここで言うそのボリュームですよ。そのプラスと転移ループのサイズとデンシティからその反応速度論的な物理モデルに従って、複雑な式を作ってモデルとして脆化を予測しているわけですよ。そうでしょう。

それが、例えば横軸がこれだけ狂っているというふうに言っているわけですよ。電中研のモデルは基本的には反応速度論ですよ。

(九州電力)

すみません。一応我々も電中研さんといろいろ研究とかやらせてもらってはいるのですが、こちらは理想的なモデルというわけではなくて、やはり実測値で今分かっているものから、溶質原子クラスターに寄与するといったところと、マトリックス損傷に寄与するといったところで、実際のどちらかと実現象から近似式を作っているモデルになります。

ですので、そういうふうな説明も技術評価のときにもしている和我々認識しておりますので、ばらつきといったものについては最後の規格で最後マージンを乗っけて評価する段階で適切に考慮していると、そういう手法になっております。以上になります。

(後藤委員)

すみません。後藤です。

今の話で私も気にしていますのは、結局データを取って、その下限を取って、それで線を引いていくと。それがあつ程度ばらつきがあるのは分かっているのだけれども、ところがあるデータを見ると急激にそれが変わってきたと。つまり、出てくるデータが説明が難しいような状態が出てきたと。それで予測の見方を変えて今度やると。つまり、その予測になっていないというかね、最初に読んだ範囲内に入っていないわけですよ。

で、方法を変えないといけないとそういうふうに私は理解しているのですね。そうするとやはり、基本的にどういう中身でどうだとか、それからそれをどう整理していくかっていうのは、一度きちんと元に戻って考えないと、説明にならないのではないですかというふうに私は思うのですけれど。

(釜江座長)

渡邊委員，そういうことですか。

(渡邊委員)

基本的にはそうでしょうけれど。はい。

(九州電力)

よろしいでしょうか。

九州電力の本店から関ですけれども、今、後藤委員がおっしゃったように、もし今の予測式を使って、監視試験片の結果を使って、今のその規格でもし予測を大きく外れるような結果が出れば、それは今の規格とか、そもそもの48ページとかに載せておりますようなインプットって本当に大丈夫なのかという議論になるかと思うのですけれども、今のところそういった事象は発生しておりませんので、このインプット情報元に作った規格というのは、今のところ適正だというふうに我々は考えております。以上になります。

すみません。あと補足ですけれども、以前玄海1号機の方で監視試験片の結果が以前の規格値を外れたといったことがございましたので、それを踏まえてこのJ E A C 4201-2007/2013年追補版というものができ上がりまして、マージンを大きく取るですと

か、あとフィッティングを変えて、高照射領域も監視試験片のデータ等を拡充した上で、規格が変わっているものと認識してございます。以上になります。

(渡邊委員)

我々も随分研究してきましたけれども、やはり分かっていない現象というのはたくさんあるのですよ。例えば監視試験片のDBTTの評価、実験の誤差というのはそんなにないのですね。ところがこういうふうな電中研のモデルにしてくると、その横軸のようにある現象をその中に取り込んで、溶質原子クラスターのその体積でプロットするところやって、その誤差が発生してくるわけですよ。

だから、やはり一つの現象だと説明できていないのですよ。だから、それはその現象として説明できていないことを無理やり、あなた方は説明しようとするから、そうやってもうつじつまが合わなくなってくるのですよ。

だから、やはり分からないことは分からないと説明して、それをしっかり理解してください。ただ、それは電力さんの説明は全部そうなのだけれども、基本的には、やはり分からないことはたくさんあって、その分の裕度になって現れているわけですよ。そういう説明をしてもらえませんか。

(九州電力)

よろしいでしょうか。

九州電力本店から関ですけれども、渡邊先生がおっしゃるとおり、未知の現象というのはあるかもしれませんが、今のところこの照射脆化の評価というのは実際の原子炉容器の照射量を先行して監視試験で監視してございますので、今後、110年程度の先の未来を踏まえても評価上問題ないということを確認しておりますので、特段問題ないというふうに考えてございます。以上になります。

(釜江座長)

この世界のことはよく分からないんですが、よくこういうばらつきのある、これは1個1個、左側に横軸、縦軸のばらつきの原因が一応こう書いてあるんですが、これは非常に定性的ですよね。実際シャルピーってどれぐらいばらつくのか私も知らないんですが、横軸もそうですが、一応想定されるこのばらつきはそういう原因だっていうと、これは想像だけの話で、もう少し考えると、定かではありませんが、このばらつきの原因が何か科学的、物理的に解明されてはいないので、今はそのデータの中で保守的にマージンを取っている。ただ将来、もっと乖離したデータが出る可能性だってこれ否定できないのかもしれませんが、それは今の時点な何とも議論できない。そういう背景からマージンを取って、保守的にやろうというところだと思います。

そうではないのかもしれませんが、地震の世界でもこういうことはよくあって、そのばらつきの原因は分からないけれど、別の不確かさを重畳することによって、その分をカバーするとか、そういうことはよくあるのですが、この世界はちょっと違うのですかね。

(渡邊委員)

いや、マージン取ってそれは我々も評価できるのですよ。で、それはその電中研の先ほどの49ページでもマージンを取ってしっかり評価をできているのです。

ところがここで言う、その47、48ページというのは中身を説明を彼らはやっているわけですよ。そうですね。

その中身の説明が十分でないというか、未説明のところがたくさんあって、それがあたかも全部説明できたような話でもってまとめられると、それは間違っていると思いますが、違いますか。

(九州電力)

本店から中山です。ありがとうございます。

渡邊先生の御認識のとおりで、全部が我々分かっているとは、考えておりません。

要するに今分かっているのがやはり溶質原子クラスターに寄与するといったところと、マトリックス損傷に寄与しているといったところで電中研さんのモデルがなっていると。不確定なところは当然我々分かっていないところもありますので、そういった監視試験片のばらつきとかを考慮して、予測をするという手法になっております。以上になります。

(渡邊委員)

それが分かっていると言うのだったら、きちんとこのグラフでしっかりラインで載せてくださいよ。それがうまくいっていないから、これがラインとして載っていないくて、玄海1号と同じ結果になっているのですよ。それはその認識が違っている。

(九州電力)

すみません。もう一度御説明させていただきます。

我々が十分分かっているかということ、分かっていないというふうな認識でおります。なのでシャルピー衝撃試験片の実測、アトムプローブの実測もそうなのですが、やはりばらついてくるものだというふうに考えております。

我々、そういった超過性があるといったところで電中研さんがモデルを作成されている。当然不確かなところは、我々あるというふうに考えておりますので、マージン、国内とか各種試験片のデータからばらつきを定めて厳しめに評価をやるというふうなところで手法を取っております。

ですから、全てが全て分かっているというふうなことではないというふうに我々も考えております。以上になります。

(釜江座長)

多分、厳しめかどうかというマージンの妥当性というのは、本来はばらつきの原因が分かっていたら綺麗な話になるかなと思うのですが、どうですかね。多分説明の仕方がまずいのかもしれません。

(渡邊委員)

説明が非常に断定的で、やはりいろいろな分かっていない現象というのは、たくさん先ほども言いましたけれどあるわけで、それをしっかり分かっていないような言い方をしないといけないのですよ。

それはいろいろなところでそういうふうな言い方をするようにもなっているのですよ、電力の説明が。それは間違っている。

(釜江座長)

電中研がそのモデルを作ったときにどういうことがあったのか、これは単に式だけの話なのか、相関があるというだけの話か、ばらつきについて何か言及されているのかよく分かりませんが。

(渡邊委員)

まだその監視試験片のその構成とかというのは、これからいろいろなやることがたくさんあるのですよ。たくさんあるのですよ。

それは未解明な部分がたくさんあるから、みんなで国内でやろうとしているわけですよ。それで、それがはっきり分かっていますというような印象を持たれても非常に困るのですね。

(釜江座長)

そうですね。私はそういうことには、何かそういう気がします。

今のこのストーリー、枠組みというか、それについては特に渡邊先生も過小評価だと言っている話ではないと思うのですが。

今の時点ではそういう選択肢しかないということでやっておられるということなのでしょうから。

(九州電力)

本店からよろしいでしょうか。

(釜江座長)

はい、どうぞ。

(九州電力)

九州電力の関です。

渡邊先生がおっしゃっている趣旨は、48ページのばらつきの説明等に関してあたかも全て分かっているかのように記載しているように見えるという御指摘だというふうに認識しましたけれども。

ですので、先ほど弊社の中山の方からも説明させていただきましたが、私たち100%この現象を全て把握できてやっていますという御説明しているつもりはございませんで、分からない部分について、当然そのばらつき等を考慮して、マージンを履かせた上で、ちゃんと規格上も問題ないような結果を得ているというふうに認識してございますので、少しこちらの記載ぶりにつきましては修正させていただきたいと思っておりますけれども。そのような御認識でよろしかったでしょうか。

(渡邊委員)

だからその全体が分かっているような印象を与えていますよ。それがその誤差の範囲だと言われても困りますよね。

48ページのこのグラフは、私がこれを見るには溶質原子クラスターの平方根ではなかなか個々の減少というものが説明できませんというふうに見るわけというふうには私は見

るのですよね、勝手に。いろいろなメカニズムが作用していて、こういうふうな一本の線でもって単純には理解できませんという現象に見えるのですよね。

(九州電力)

本店からよろしいでしょうか。

(釜江座長)

どうぞ。

(九州電力)

九州電力関です。

承知いたしました。ですので、こういったところは不明確なところが残りますというように記載ぶりを追加したいと思えます。それに対して、その不明確な部分についてどういう手当をして評価をしているかといった趣旨にちょっと記載を見直したいと思えますので、よろしく願いいたします。

(釜江座長)

はい。よろしく願いいたします。

すみません。時間が厳しくなってきたのですが、以前からずっとこの議論が続いていて、今日はまた再燃したような感じなのですが、ここはやっぱり、しっかりとコンセンサスがいるところなので、結果というよりもその過程、プロセスの話ですから、是非渡邊委員に理解していただかなくてはと言うことで、再度修文いただけたらと思えます。

ほかには。はい。佐藤委員。

(佐藤委員)

私の名前が質問者の中にあるところについて、ちょっと意見を言わせていただきますけれども、2ページ目から3ページ目にかけてですが、ちょっとここもミスリードされそうな資料かなというふうに感じています。

まず赤線の設計疲労曲線、この引っ張り方は、まずドライの試験、ドライの環境でピカピカに磨いた丸棒をこの試料にして、引っ張ったり圧縮したりというそういう実験をベースにして、それに応力に対して2倍、それから繰り返し回数に対しては20倍というマージンを与えて設計曲線を作りましたと。

次のページになると、それに対して累積係数は、いろいろなストレスの値がありますので、それぞれの比を足して行ってそれが1未満になるようにと。これはドライの環境ではこれでいいわけですね。ところが、議論していたのは、この腐食環境での疲労の話をしていたはずで。腐食環境でのこのカーブというのは、この前のページの2ページに戻ると、この赤線の曲線から、もう大きくずれるわけですね。新しい曲線を、つまりこの腐食環境における曲線をベースにして、それでこの3ページ目の疲労累積係数を評価すると。そういう話だったはずなのですよね。

今、こうやって用意していただいた資料を見ますと、この2ページ、3ページ目を見ますと、こうやって疲労累積係数の評価をした結果に対して、2ページ目にあるようなストレスに対して2倍、繰り返し回数に対して20倍のマージンが実はあるのですよというふうに言っているように見えるのですよね。ですけれども、実際の腐食環境での曲線

は、違うわけですから。そんなに大きなマージンがあるということには、ならないはずなわけです。疲労曲線とは何なのか、疲労累積係数とは何なのかという教科書的な説明としては、この2ページ目、3ページ目、この通りなのですけれども、私たちが議論した時の話の説明になっていないような。そういう印象です。

あと、このページの続きに、後藤先生が、「残留応力は考慮しているのか」というふうな質問が続いているわけですが、ちょっと私もこれの回答を見ますと、「前の記載のとおり」というふうに書いているので、ついでに言わせていただくと、こんな簡単な話ではないのだというふうに思うのですね。

例えば、この残留応力が200MPaだとしますよね。それに対して繰り返される応力が、100を平均としたようなサインだとしたときに、残留応力の方が大きくなるわけですよ。そうすると、残留応力の中に埋もれてしまうわけなので、その場合には、考慮する必要がないと。逆に繰り返し応力の方が、残留応力を上回るときにはそれを考慮しないとイケないと。そんな感じでもっと複雑な話になるのではないかなと。残留応力が圧縮応力の場合もありますしね。この回答は手を抜いた回答のように見えるのですよ。実際にはちょっともう少し複雑なイメージになるのかな、ちょっと回答としてどうその辺を表現するのかというのは分かりませんが、これでは、回答として不十分かなという印象もありました。

あと43ページのこれは、分かりましたとも、反対も賛成もしかねるような問題なのかなというふうに思っています。つまり、常温での沸点を超えるような水が、微少にフランジのこの隙間でもいいのですけれども、そういうところから微少に漏えいした時に、その漏えいが水滴になる前にすべて気化してしまっていて、見つからないと。鏡を使ってその鏡が曇ったりするので、確認できると、そういうケースもあるのは分かります。けれども、見つからないケースもあるのではないかなというふうな気もしまして。これは、漏えい量によっても違うのかなと。本当に微少な漏えいの際には、さすがにこれを気化の方が早すぎて、つかまえられないと、そういうこともあり得るのかなと。

ただそれがシステマ的に何か影響あるかどうかというのはまた次の問題なので。それが問題なければいいのだと思うのですけれども、何しろどんどん高温になっていったときに、そういう漏えいの検出性がだんだん難しくなっていくと、作業性のこともありますし、そういうこともあるのかなというのが、前回の私が提起したコメントでありまして、そここのところに答えを頂きたかった。そのようなことです。

(釜江座長)

はい。今の回答、お願いします。

(九州電力)

はい。九州電力の上村です。

御質問、御指摘、ありがとうございます。最初に低サイクルの許容値の考え方ということで、前回の分科会での議論を思い返しますと、もともと御質問いただいた趣旨、我々がとらえていた趣旨というのは、そもそも許容値、足して1以下、1より小さいというところを見るときに、この1というのは、超えたら直ちに疲労破壊するのかという御質問の趣旨というふうに考えておりました。それからいきますと、今回、日本機械学会、ASMEを基にして、こういう設計、まず疲労試験からの平均カーブを赤の疲労曲線にマージンをとってやっていますという答えをさせていただいているものになります。

佐藤委員より今お話ありました、腐食環境というところにつきましては、すみません、我々は想定できていない部分もございました。この回答の中にですね。ただ、まず事実として、現状保全のお話もさせていただきましたけれども、前回低サイクル疲労で御説明させていただきました、原子炉容器というものにつきましては、SUSのクラッドをやっている部分、あとは600合金でできている部分もございしますが、600〇〇か、できている部分もございすけれども、基本的には腐食環境にはないというふうに考えていますが、ただし、一方で、接液部につきましては環境疲労評価というものをやっております。恐らくそこの部分の許容値に対する考えが、この中に入っていないという御指摘のかなというふうに思っておりますので、最初にありました、1を超えると直ちに超えるのかというのは、気中における評価についてはこのように考えていて、余裕がありますという御回答で、環境疲労の考え方というのは抜けていますので、次回ちょっと御説明をさせていただいた方がいいのかなというふうに、今思っております。

二つ目の溶接残留応力につきましては、先ほど試験の平均カーブを用いているところに、2ページになりますけれども、右側に平均応力補正というのをに入れております。佐藤委員がおっしゃったとおり、残留応力を考慮すると平均応力振幅が大きくなります。やはり厳しい、今我々ひずみ範囲というふうにとっておりますけれども、左側が応力というふうに、平均応力というふうにとれば、当然厳しい方向になります。実際には、4ページにも記載してありますけれども、疲労のカーブ、赤いものを引く時に、まず試験で得られたデータ、黒い線を引く際、応力補正というものを、これは修正グッドマン線図を用いてやっています。この修正グッドマン線図でやった場合に、降伏応力よりも低い状態の時というのは、実際に応力の影響というのが出てくるので、2ページで言います緑の線で少し引き下げられている状態になります。寿命回数を右側Nで取っておりますので、繰り返し回数、いわゆる過渡と我々は言っておりますけれども、過渡が多い状態、繰り返し回数が多い状態は、そのあたりの影響が出てくるということなのですけれども、実際はそのような形で線が引かれていると。これは、東京大学から出ています、「原子力プラント構造設計」というものからも、このような手法というのが示されていまして、実際それがJ-SMEに取り込まれているようなイメージでございす。ですので、実際は少しちょっと言葉足らずになっておりますが、溶接残留応力も考慮した評価になっているというのがお答えになります。

最後になります、42ページからRCS漏えいの試験方法ということで御質問いただいでいて、おっしゃるとおり、100℃を超えているというところで、我々、前回も口頭で御説明させていただいたのですが、もう事実としまして100℃を超えているというところで、漏えい量が多い場合、実際、滴下しているものもございまして、床面に滴下している跡があります。で、ちょっと我々書ききれなかったのが大変申し訳なかったのですが、RCS自体はホウ酸水、ホウ酸を含む水になりますので、微小漏えいの場合であっても、滴下するような漏えいであっても、何らかそのホウ酸の析出というのものも頼りにしながら確認をしております。

微小漏えいの場合は、御指摘のとおり、もう漏えいがあった時点でもやになっている、蒸気になっている。で、手鏡等というふうに記載してありますけれども、我々、フランジの際まで、手鏡であったりステンレスでできた板を置いて、そこにもやが出ないか、当然、照度を確認しながらそういう確認もしておりますので、微少であっても、かなりの人数をかけて何度も確認しておりますので、ある程度これまでも見つけられているというふうに思っております。ですので、非常になかなかバチツとした答えという意味では

ないとおっしゃいましたが、事実そういう形で試験ができていているということでございます。
以上です。

(釜江座長)

はい。ありがとうございます。
いかがですか。

(佐藤委員)

ちょっとすっきりしないところもありますのでけれども、例えば、最後の漏えいに関して言えば、じわじわ長い時間漏えいしていれば、それが気化してホウ酸になって、そのホウ酸の付着で確認することができる。実際そういう検査もするわけですよ。ところがこの43ページにあるのは、これはこの漏えい検査のところでの、短時間で言う漏えい検査のところであって、ホウ酸の粉が付着しているかどうかというの、その定検が始まって、その時点で確認する検査であって、これから起動するぞというような時の、耐圧漏えい試験ではないわけですよ。

(九州電力)

九州電力の上村です。

すみません、ちょっと言葉足らずですが、先生が今おっしゃっているホウ酸の析出の話は、おそらくRVの、例えば下部のBMIの外側から見るようなBare Metalと我々は呼んでいますけれども、そういうものの検査のお話かと思いますが、おっしゃるとおり、Bare Metal計算も定検の中で実施をしております。今回申し上げたかったのは、例えば43ページですけれども、実際の保持時間というのは、漏えい検査、この例でいきますと、右側、13時10分から14時40分と1時間半ほどをかけておりますが、その前に、圧力を4時間ほどキープしております。その前も、各上昇のタイミングでパトロールをしているということもありますので、1日が短時間かと言われればそうなのかもしれませんが、我々としてはかなりの時間をかけて、この漏えい検査を工程の中に組み込んで実施をしておりますので、そういう意味からも、漏えいというのはホウ酸の析出も含めた形で見つけることができるというふうには考えております。以上です。

(佐藤委員)

分かりました。

(釜江座長)

ありがとうございます。

(佐藤委員)

あと疲労の、先ほどの御説明をちょっと簡単に理解すると、この残留応力と、それから疲労の繰り返し応力、これを何かこう、重ね合わせをして評価できるというふうな、そういう意味で言われたようにも聞こえたのですけれども、私はそうではないと思うのです。例えば残留応力でなくて、溶接の残留応力でなくて、例えばフランジのボルトのように、ボルトの荷重で引張応力が働いているような部分、そういうところに対して

疲労を想定したときには、ボルトの引張応力の方が、この繰り返し応力を上回っていれば、疲労は作用しないと思うのですね。繰り返し応力というのは、もう埋もれてしまって、作用しないのだと思うのですよね。ですからその場合には、重ね合わせということにはならないと、もし先ほどの御説明が、重ね合わせというイメージで御説明されたのであればですね。そんなふうに、今はこの一つの単純な引張応力のモデルとして話をしたわけですが、溶接部分の残留応力というのは非常に複雑で、空間的にも非常に複雑に分布して、引っ張りから圧縮から、3次元的に分布しているのです。そこに、この繰り返しの応力が作用するというのは、実際にはちょっと難しい現象になっているのかなあという、そういうイメージをお話したかったのです。

(九州電力)

九州電力の上村です。ありがとうございます。

重ね合わせというよりも、我々が疲労の、2ページでいきますと、設計疲労曲線ということで、この曲線を引くときに、20分の1、2分の1ということで行う際に、我々もやはり残留応力のことを全て分かっているわけではございませんので、そのような形を分からない部分も含めた応力補正も入れながら、こういったマージンを持っているということで、応力側に重ね合わせをしているわけではございません。実際に低サイクル疲労を御説明させていただきました時に、あれは内圧であったり熱過渡、あとは自重であったり、機械的荷重、こういうものは考慮していますが、残留応力を応力側に考慮しているわけではございませんで、判定する側の方に、厳しめにその曲線を持っているということでございますので、はい。以上になります。

(釜江委員)

はい。後藤委員ですね。

(後藤委員)

時間、大丈夫ですか。

(釜江座長)

いや、余りないですけど。

(後藤委員)

一言だけ。残留応力の話は今のお話のように、特定するのが難しいというのが1点、それと、多分その平均応力というのは、修正グッドマン線図の、要するに疲労の時の修正のやり方の話であって、それが一つあると。もう一つは腐食疲労のようなものは、疲労限度がなくなるわけですよ。普通は疲労限度というのが出てくるのですけれど、環境によって出ない。それが一番問題だと私は思うのですね。そういうことが全部含まれている話だという話です。

(釜江座長)

はい。あと、後藤委員の方からの質問がたくさん。

(後藤委員)

ありますけれど、始めるときりがありませんけれど。ちょっと一言。

3-1の資料だけやってしまいますか。51ページから52ページ、最後ですね。これはこの前にお話がありましたけれども、格納容器が、熱でシェルが変異した時に、それに引きずられて配管がずれると、そのときに、コンクリートスリーブの中、通っているところとの上下方向にある幅のところに変異がしますから、それで変異は大丈夫ですかという、そういう趣旨ですね。それは設計基準だけでなく、特に過酷事故の時に大丈夫かというのを非常に心配していると、そういう意味です。その時非常に寸法が大きいですから、上の方、例えば格納容器の事故の時に、100℃を超える温度までドンといたら相当伸びるのですね。数十mmで済むかどうか、そういう話ですから、そういう評価がちゃんとできているかということを知りたいのです。ちょっとこれだけではよく分からないのですが、定量的に評価が要するという話なのです。

(釜江座長)

いいですか。

(九州電力)

九州電力の上村です。

当然ながら、各貫通部においては評価をしまして、縦方向、横方向も当然ですが見えています。ただ、貫通部はこの前からお示しさせていただいているとおり、非常に多くございますので、まずは我々がどう考えているのかというところを御説明させていただいています。基本的には、横側の話は前回御説明させていただきましたけれども、縦側も、このように貫通部を設ける際に、貫通配管等、我々スリーブという呼んでいますが、スリーブを設けることで、固定式及び伸縮式についても、設計に対して考慮しているということで、特に固定式の方は見ていただきますと、中を通っている配管、鋼板をちょっと模式図的に書いています、ちょっと厚くなっていますけれども、その貫通配管よりも大きい型の格納容器貫通部、ペネを作っております。ですので、直接的に配管から生じる応力ですね、鋼板に与える応力が大きくなるような固定式配管、貫通部の大きさにしているということもございまして、伸縮側はベローズ実際つけておりますのでベローズは横にも縦にも、ある程度の変異を吸収できるということで、当然、我々定性的な、こういった形だけでなく、技術評価をする上でこのようなことを考慮してやっているということを補足させていただきます。以上です。

(後藤委員)

はい。後藤ですけれど、そこで問題になるのは、何mm考慮されていますか。一番上の方と下の方で全然違いますけれども。何mmの変異を仮定していますかという、計算する時に。そういうことの質問なのです。それによって、その変異量がこのくらいだったら大丈夫かな、いやこれは無理だという話が出てくると、定性的な話としてはそういう仕組みになっているのは理解しますけれど。

(九州電力)

九州電力の上村です。

52ページに、確かに定量的にしっかりした数字は書いておりませんが、我々、過酷事故を想定した時には、縦方向では数十mmの変異というふうに考えてございます。

実際にどれぐらい数値的にお示しした方がいいという御指摘ということでしょうか。

(後藤委員)

後藤です。

単純な話なのです。例えば100℃いったら、何mでどれだけ伸びたかすぐ分かるわけですね。それはだから、過酷事故条件でそこはどこまで入っているかと心配しているわけですよ。それが、「はい、考慮しています」という言い方ではいけないので、やっぱりちゃんとこういう数字で、こういう仮定をして、こうやっている、だからどうこうと、そういうふうに示していただきたいと言っているわけです。

(九州電力)

分かりました。過酷事故について、先ほどからケーブルの絶縁低下で出ておりますけれども、温度にして138℃、圧力が0.35MPaというところで評価をしていますので、全てをお示しするのは難しいかと思っておりますけれども、ちょっと代表点を示しながら御説明させていただきたいと思っております。以上です。

(釜江座長)

はい。どうぞ。

(後藤委員)

あともう一つあったのは、これは別の、私の方の向こうの資料に入っているから。例えばこの資料で、資料3-2は、先ほどお話のあった電気ペネトレーションのところの漏れの話、これの絵で見たんですね、私確か。それが先ほどの7ページから8ページ、これを詳細に赤でディテールを示していただいて、そこの中でどういう構造になっているかをお示しいただいている。そのところの表現の中に、今言いました、非常に小さい部品なのです。板厚が何mmか分かりませんが、相当薄いはずですよ。

そういうものが入っていて、こういう構造になった時に熱を加えてやったときに、「いやそれは金属だから漏れない」という表現は、本当にいかなものなののでしょうかと。

むしろ、温度条件をどんどん上げていった時に、どこかでリークしないかということが1点と、温度を上げるだけでなく下がる条件があるんですね、過酷事故でバーンと上がって冷えてくる時に漏れる、大体そういうパターンが多いんですね。そういう評価をどこまでできているのかという、そういう意味なのですね。そういう意味でこの漏れが、金属があるから漏れないとかそういうものの見方で本当にいいのでしょうかということをお示したかったのです。

(釜江座長)

はい。よろしく申し上げます。

(九州電力)

九州電力の檜畑といいます。

本件に関しまして、まず高経年化技術という評価をします時に、実施基準の劣化メカニズムまとめ表に基づきまして評価を実施します。電気ペネについては、キャニスター型とモジュラー型というのがございまして、川内にはキャニスター型というものがつい

ていまして、こちらの方が資料で説明しておりますとおりバウンダリ部が金属部で構成されている形になります。一方モジュラー型というものがございすけれども、こちらの方が有機物で気密性を担保しているものになりまして、こちらの方は熱等の劣化による気密低下というものが想定されております。キャニスター型については先ほど説明しましたとおり、金属部で構成されているところから熱による劣化というのは、基本的にはまず、気密の低下というものは想定されていません。

なおかつ、先ほど右田の方からも説明しましたけれども、劣化試験をしまして、蒸気暴露をかけまして、そのあと気密試験まで実際はやっておりまして、確認までできているという状況になります。以上です。

(釜江座長)

はい。

(後藤委員)

劣化という意味ではそういうふうにするのですけれども、そのあとに来る事故条件ですね、それが問題だと思うので、それで本当に大丈夫でしょうかという、その評価がですね。なぜそう言うかという、福島事故で、先ほど言いましたけれど、バウンダリがやられているわけですね。その時の温度がどうなっているか実は分かっていないところもあるのです。1号機を見ていると多分、300℃なんてはるかに超えていると思いますね。場所によって400℃くらい上がっていく。PWRですからまた条件違うかもしれませんけれどね。でも大事なことは、過酷事故条件というのはそういうふうになるので、最初に評価してこれでいいという判断は、そう敬けんにはできないということになったのです。

(九州電力)

はい。九州電力の檜畑です。おっしゃっているとおりで、今回蒸気暴露試験というのを記載させてもらっていますけれども、こちらの方がその解析に基づいた、温度とか圧力等を考慮しまして、実際に温度を上げたり下げたり、階段状に下がっていったりするような、実際の解析条件よりも厳しい形で模擬をかけさせていただいて、試験をやっておりますので、その点問題ないかと思っております。以上です。

(釜江座長)

どうぞ、佐藤委員。

(佐藤委員)

ちょっと後藤先生に対するこの回答を読んでいて、私が先ほど質問したことと関係あるのですけれども、この資料3-2の6ページ、回答の文章の中の最後の段落ですけれども、「なお事故時の放射線による劣化の程度は、60年間の通常運転相当の劣化を2.7 kGy、設計基準事故を602 kGy、重大事故等時を500 kGyとしており、これらを包絡する試験条件を2000kGyと書いているわけなのですよね。すごく曖昧な書き方で、2000kGyというのが、何かこれみんな三つ足したように見えるし、先ほどの説明だとorだったということですよ。設計基準値は602で、重大事故時は500と。orなのですと、そういう御説明だったわけです。ですけれど、この電気ペネの目的を考えれば、7日間で

いいとかそういう条件ではないわけですよ。7日間で打ち切った計算をした500kGyというので、電気ペネが1週間持つてくれればいいと、そんなわけではないはずなので。何かここがちょっと先ほどのこの御説明と、何かまた分からなくなったという感じがするのですよ。ということで、ちょっとこの「包絡する2000kGy」、もう一度これの、どういう包絡なのか、意味をおっしゃっていただけますか。

(釜江座長)

2000でないのではないですか。前のやつ。1000, 1500とか。違いますか。

(九州電力)

九州電力の右田です。御質問ありがとうございます。

試験条件は、通常の照射を500kGy掛けまして、事故時として1500kGy掛けて、トータルで2000kGyということで、すみません、ちょっと記載が足りず、申し訳ございませんでした。試験条件としてトータルで2000kGyかけているということでございます。以上になります。

(佐藤委員)

包絡するって言っているわけですよ。ですけれども7日間分しか見ていなくて、それで包絡って言えるのですかね。放射線の環境の条件は、そんなに7日後から急に好転しませんよね。ペネがそこまで持てばいいという、そういう意味なのですか。実際はそうではないはずで、そのあともペネのそのシール性はずっと維持されないと、格納容器からの漏えいが増大するわけですよ。

(後藤委員)

同じことですけれどもね、その表現を変えると、結局、福島事故があって、それであとずっと、我々過酷事故を考えた時に1日とか2日とか考えたのですよ。その辺、大体そういう感覚で。ところが、ずっと続いているでしょう。その時に7日間とかそういう引き方でいいかっていうと、うんと続く場合があり得るといことなのですよ。そういうことが加味されていなくてポンと出されると、それは何ですかとなってしまいますよ。少なくともこういう過程だと言ってもらわなきゃ。それを肯定できるかどうかは別にして。それがもう非常に、この7日間でぱっと切ることの意味とか、それだどどういうリスクがあるとか、そういうこと全部説明が要ると思いますね。

(九州電力)

九州電力の上村です。

SAの重大事故の想定になりますけれども、まず福島事故を踏まえまして、先ほど川江からもありましたとおり、技術基準が新しく福島事故を考慮しましてできております。そこには重要事故シーケンスが10幾つ載ってございまして、今回一番厳しいのは先ほど右田からもありましたとおりCVの過温過圧破損ということで想定しております。実際は先ほどから申し上げており、CVの圧力としては0.35、温度138℃と。これは我々が技術基準に基づきまして、重大事故対策をしております、実際のDBのところから、いろいろな機器や設備、あとは技術的能力という形で訓練、そういった手順、そういうものをいろいろと想定をして、最終的にこの温度、圧力で、まず事故が収

束すると、あと7日間というのも、我々がそういったSA設備や対応をすることで、まず事故対応をする。まず7日間持たせる、そのあとは外部支援に期待するというのが技術支援基準上も定められておりますので、そういったところを踏まえて7日という評価をしている。さらに、我々の川内はつけておりますけれども、その事象を超えるところとして、大規模損壊や特定重大事故等対処施設をつけているということになります。想定としてはそのような形になります。以上です。

(釜江座長)

はい。そうですね。その部分だけを見るのではなくて、もう少し全体を見なければいけないということですね。そのシナリオ、それがこのミッションなのかどうか分かりませんが、一応新規制基準で、いろいろと審査をされて、妥当というか、という話になっているのだと思うのですが。ちょっとそれは。

(後藤委員)

もうちょっと議論する必要あると思います、また改めて。

(釜江座長)

全体のシナリオをちゃんと聞いてはいないので、今そこだけをこう見ているという話ですが、実際はそういう背景があるということですから。

良い悪いは関係なく、少し総合的にお話していただけると良いのかもかもしれません。はい。すみません。もう17時半近くになってしまったので、申し訳ないですが、今日後藤委員も多分たくさん御質問があったと思うのですが、再度見ていただいて。

(後藤委員)

そうですね、すみません、後藤ですが、次回、今日の3枚目かな、これはちょっときちっと議論しなければいけないと思っています。次、次回で結構です。お願いします。

(釜江座長)

今日の二つの項目に対しても、コメント、意見がございましたら、その回答も次回やらなければいけませんので、そこで、今日の残した部分も含めてちょっとQ&Aの時間を取りたいと思います。本日、取りあえず、劣化状況評価についての全ての項目はこれで一応御説明いただきました。いろいろと御意見いただき、なかなか収束しない部分もあったのですが。

次回は今日のコメント回答も含めて少し時間を取って議論したいと思います。

(九州電力)

すみません。九州電力の本店ですが、1件よろしいでしょうか。

(釜江座長)

はい。

(九州電力)

熱時効の件で1点御質問があった件に回答させていただこうと思うのですがよろしい

でしょうか。

(釜江座長)

はい。

(九州電力)

マルテンサイト系のステンレス鋼は、使っているのか、考慮しているのかということだったのですけれど、一部、弁とかの弁棒に、マルテンサイト系のステンレス鋼を使っております。そちらもやはり時効するという、150℃とかの高温では時効するということなのですが、亀裂の原因となります経年劣化事象としては、弁棒の応力腐食割れ等が考慮されるのですが、その弁棒に関しては、応力がかからないような運用をしておりますので、そういう亀裂が発生しないということで、マルテンサイト系の弁棒等に関しては、熱時効は考慮する必要はないというふうに考えております。熱時効としては発生はするのですが、それで亀裂がないということで、亀裂が発生しないということで、考慮は不要というふうに整理しております。以上でございます。

(釜江座長)

はい。ありがとうございます。

これ、守田先生ですね。

(守田委員)

承知しました。

(釜江座長)

はい。ありがとうございます。

すみません。一応本日の議事はこれで終わりたいと思います。事務局から何か連絡事項等ございますか。

(事務局)

はい。本日の議事録は事務局で作成いたしました。委員の皆様には御確認をいただいた上で、県のホームページに公表することとしておりますので、よろしく願いいたします。事務局からは以上でございます。

(釜江座長)

はい。ありがとうございます。それでは非常に長くなりましたが、本日の議事はこれで終了したいと思います。どうも、長時間ありがとうございました。

(事務局)

以上をもちまして本日の会議を終了させていただきます。ありがとうございました。