

第4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4年8月2日（火）13:28～16:38

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，橋高委員

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，よろしくお願いたします。それでは初めに，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。会の開催に当たりまして，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1号機，2号機につきましては，原子炉容器及び原子炉格納容器，コンクリート構造物を対象とした特別点検が，1号機は昨年10月18日から，2号機は本年2月21日から行われているところです。その中で，本日は1号機の原子炉容器の特別点検結果を，九州電力から御説明いただくこととしております。また，30年目高経年化技術評価結果の主要6事象のうち「原子炉容器の中性子照射脆化」，それから「照射誘起型応力腐食割れ」につきましても御議論いただくこととしております。皆様には，これまで熱心に御議論いただいておりますが，本日も率直な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。どうぞ本日はよろしくお願いたします。

（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会議で御参加の委員の方，大畑委員と橋高委員につきましては，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，座長の指名を受けた後，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，音声が届き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させていただきますようよろしくお願いたします。それでは座長，進行をお願いいたします。

3 議事

(1) 1号炉原子炉容器の特別点検（個別確認・評価）結果について

（釜江座長）

はい、座長を仰せつかっています釜江でございます。本日はよろしくお願い申し上げます。それでは、本日は先ほど局長の方からも御案内がありましたように、この分科会の大きな役割でございます、九州電力さんが行われております特別点検についての初めての御報告があるとのことですので、委員の先生方よろしくお願い申し上げます。

それでは、まず議題の1号の原子炉容器の特別点検（個別確認評価）結果についてということで、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）

原子炉容器の結果の前に、一言御挨拶させていただきます。皆さんこんにちは、私は九州電力川内原子力総合事務所の川江でございます。前職は川内原子力発電所所長をしておりました。6月末に事務所長に着任いたしております。引き続きよろしくお願い申し上げます。

プラントの状況につきましては、川内原子力発電所は先月2号機が通常運転に復帰いたしまして、現在1号機、2号機とも定格熱出力で安全・安定運転を継続しております。

さて、特別点検の状況でございますが、1号機については昨年10月18日に、2号機につきましては本年2月21日に開始しており、このうち1号機の原子炉容器、原子炉格納容器については、採取したデータに基づく個別の確認・評価を4月中に完了し、コンクリート構造物については、2号機との共用部分を除き、個別の確認・評価が完了し、現在取りまとめを実施しているところです。2号機は現在、採取したデータに基づく個別の確認・評価を実施しており、1号機と共用のコンクリート部分を含めて、開始から半年程度で完了する予定で進めているところです。本日は、資料に基づきまして、現在も継続して実施している1号機の特別点検のうち、個別の確認・評価が完了した原子炉容器の状況について御説明させていただきます。また、その他、前回に引き続き、過去の高経年化技術評価結果や、委員の皆様からいただいた質問への回答などについて御説明させていただきます。よろしくお願いいたします。

（九州電力）

九州電力の上村と申します。このたびの第4回の分科会から説明を担当させていただきます。どうぞよろしくお願いいたします。

それでは、資料の1、川内原子力発電所1号炉原子炉容器の特別点検（個別確認・評価結果）について御説明をさせていただきます。ページをめくっていただきまして、1ページになります。本日は、まず要求事項の確認をさせていただいて、我々が実施しました特別点検のデータの採取の概要、具体的には方法と箇所ですね。実施しました対象箇所としましては、2-1で炉心領域、これは母材部と溶接部になります。その次に一次冷却材のノズルコーナー部、そして炉内計装筒溶接部及び内面と、この3か所に対して点検をしてございますので、こちらについて御説明させていただきます。2-4とし

まして、データ採取方法まとめと記載してございますが、こちらの章で、通常定期検査において点検している方法と、今回特別点検で実施しました方法の比較の御説明をさせていただきます。最後に、特別点検の個別確認・評価の結果を御説明させていただきます。なお、事前に佐藤委員の方から御質問を数点いただいております。資料1に関連する質問につきましては、関連するページの中で御紹介をさせていただきます。その中で御回答させていただこうと思っております。よろしく願いいたします。

それでは、ページをめくっていただきまして2ページになります。要求事項、その次の3ページになります。原子力格納容器に対する特別点検要求事項としまして、原子力規制委員会から出ております「実用発電用原子炉の運転期間延長認可申請に関わる運用ガイド」より抜粋してございます。これまでの分科会でも御説明させていただいておりますが、振り返りの意味でも御説明を改めてさせていただきます。対象の機器、構造物につきましては、原子炉容器。対象の部位としましては、母材及び溶接部、これは炉心領域の100%の範囲になります。注目する劣化事象としましては、中性子照射脆化。今回実施しました試験方法につきましては、超音波探傷試験、UTと申しますけれども、こちらによる欠陥の有無の確認を実施してございます。続きまして、一次冷却材ノズルコーナー部。こちらにつきましては、クラッド部、ステンレスのクラッドをしておりますけれども、そちらの部分の点検となります。着目する劣化事象としましては、疲労。試験方法としましては、渦流探傷試験、ECTと呼んでおりますが、こちらによる亀裂の確認となります。炉内計装筒全数ということで50本ございますけれども、こちらにつきましては、溶接部及び内面の点検をしてございます。注目する劣化事象は、応力腐食割れ。目視試験によります原子炉容器内面の溶接部欠陥の有無、及びECTによります炉内計装筒内面の溶接熱影響部の欠陥の有無の確認をしてございます。

4ページをお願いいたします。次に、データ採取方法及び箇所御説明させていただきます。

続きまして5ページより炉心領域の御説明をさせていただきます。2-1-1ということで、データ採取の概要を記載してございます。原子炉容器につきましては、プラント運転中の中性子照射によりまして、金属の粘り強さが低下する、いわゆる中性子照射脆化と呼んでおりますけれども、ことが知られてございます。事故時の炉心冷却に冷たい水が注入されますと、原子炉容器の温度が急激に下がりまして、容器に大きな引張応力が働くこととなります。中性子照射脆化が進んだ炉心領域に有意な欠陥が存在した場合には、そこを起点として脆性破壊が発生する可能性がございます。原子炉容器につきましては、建設時に母材と溶接部に対して、有意な欠陥がないことをまず確認してございまして、運転を開始した後には、供用期間中検査、ISIと呼んでおりますけれども、こちらで溶接部に対するUTを実施してございます。これまで、このISIにおいては欠陥は確認されてございません。一方、高経年化技術評価、PLM評価では、仮想的に原子炉容器内表面に深さ10mm、長さ60mmの亀裂を想定しまして、事故時に冷たい水が注入されても、原子炉容器が健全であることを確認してございます。今回のデータ採取では、これまでの供用期間中検査で対象としていない母材部分まで試験対象を広げまして、欠陥の有無を炉心領域全体にわたって確認してございます。

次の6ページになりますが、データ採取の方法を記載してございます。右の図に概略

図を載せておりますけれども、炉心領域、下の※で少し御説明を加えておりますが、燃料装荷されている状態での燃料最上部から最下部までの範囲、これを炉心領域と定めまして、その部分におきます100%の領域で溶接部、母材部を試験対象としてございます。着目する劣化モードにおきましては、中性子照射脆化でありまして、内表面近傍の欠陥が特に重要となりますので、内表面近傍の欠陥に対して、UTを実施してございます。適用する規格につきましては、J E A C 4207「軽水型原子炉用機器の供用期間中検査における超音波探傷試験の規定」を準用して実施してございます。今回実施したUTにつきましては、国のプロジェクトで超音波探傷試験による欠陥検出性及びサイジング精度における確証試験が実施されておきまして、こちらにより深さ5mm程度の欠陥であれば十分検出が可能であることが確認された手法を用いて実施しております。欠陥の検出精度につきましては、先ほど申し上げたとおり5mm程度でございまして、これまで評価の想定、深さ10mm、長さ60mmですけれども、こちらの表面欠陥に対して十分保守的な欠陥検出性能をもってございます。

ここで、佐藤委員から事前に御質問いただいた件を回答させていただきます。まず質問の内容でございまして、クラッドと母材に対して、仮想欠陥の設定とUTの検出能力について、より明確な説明をお願いすると。すなわち、欠陥の深さ10mmと称するとき、どのような状態を意味しているかということ御質問をいただいております。続きまして、もう一つ読み上げさせていただきます。資料1の5ページ、1ページ戻っていただきまして、PLM評価では、仮想的に原子炉容器内表面に深さ10mm、長さ60mmの亀裂を想定してあるが、この深さ10mmとはということで御質問をいただいております。実は佐藤委員の御質問の中には絵を載せていただいております、それに近い形の絵が、5ページの下グレーの絵になります。こちらで我々が評価する場合において想定する欠陥を示してございますけれども、こちら原子炉容器の低合金鋼でできております母材部を示してございます。この上に、ここには記載がされてございせんが、5mm程度のクラッド、ステンレスのクラッドを実施しております。佐藤委員の御質問は、まずこの亀裂はどこから想定しているかという御質問だと思っております、まず一つ目の回答としましては、クラッドには亀裂を想定してございせん、母材内表面からの亀裂、深さ10mmを想定してございます。こちらのクラッドにつきましては、亀裂の進展の評価に対しては、先ほど申し上げたとおり考慮してございせんので、想定欠陥としてはこの5ページの絵のとおり、母材表面から開口しているというふうに使ってございます。もう一つ、検出精度5mm程度であり、これまでの評価の想定10mmに対して十分保守的な欠陥性能であると、我々の資料ですと6ページにその記載がございましてけれども、この5mmと10mmの関係性というところの御質問かと思っております。こちらにつきましては、我々が想定しています欠陥が10mm。10mmあると、先ほどの照射脆化の評価に影響するということなのですが、我々が今回適用したUTにつきましては、5mmの深さのものから、5mm以上のものを検出できるということですので、想定している欠陥に対して十分小さい検出精度を持っているということですので、問題ないということでこのような記載にしてございます。もう一つ付け加えますと、内表面にはクラッドを施工しているという御説明をさせていただきますけれども、今回適用しましたUTにつきましては、母材部の5mmも確認できますし、クラッドに対しても、もし5mmの欠陥があれば確認ができると

いう手法をとってございますので、万クラッドの方に亀裂がある場合にも、5mmの欠陥については確認ができるという状況でございます。もし回答の内容、相違点がございましたら後ほど御指摘いただければと思います。

資料に戻りまして、説明を続けさせていただきます、7ページになりますが、ここから2-2ということで、一次冷却材ノズルコーナー部の御説明をさせていただきます。まず、データ採取の概要でございますが、一次冷却材からの保護のために、原子炉容器の内表面は、先ほどから申し上げているとおり、5mm程度のステンレスクラッドが、非強度部材として施工されてございます。また、設計上疲労損傷が発生しないよう、表面につきましては、右の図のとおり応力集中部ができないような適切な曲率の加工、余り厳しい曲率にならないような曲率加工を施すなどの配慮をさせていただきます。建設時につきましては、ステンレスクラッド全面に対して浸透探傷試験、PTと呼んでいますけれども、PTを実施して表面欠陥がないことを確認してございます。運転開始後の供用期間中におきましては、コーナー部の母材に対してUTを実施しておりまして、健全性を確認しておりますが、今回特別点検で実施しました強度部材ではないステンレスクラッドに対しましては、通常の定期検査のときの試験では、表面検査は実施していないということでございます。あと、ノズルコーナー部につきましては、原子炉容器の低合金鋼部におきまして、比較的疲労累積係数の高い形状部位となつてございますため、母材を保護しているステンレスクラッドの健全性を確認するために、今回クラッドの表面に対してECTで確認を行ったということでございます。

続きまして8ページになります。ノズルコーナー部のデータ採取方法を記載してございます。入口管台、出口管台の全数、川内1号炉はスリーループでございますので、入口管台3か所、出口管台3か所につきまして、試験対象として選定してございます。表面試験としましては、浸透探傷試験PTも考えられますが、放射線環境が非常に厳しいことから、水中の環境での自動探傷が可能なECTを採用してございます。クラッド部につきましては、透磁率変化によるノイズが発生することが知られておりまして、通常型プローブ、これが右の色調図におきまして上になりますけれども、この通常型プローブに加えまして、磁気飽和型、これMAG型プローブとも呼んでいます。磁気飽和型のプローブを用いることで評価精度を確保してございます。磁気飽和型の波形例は下の図になってございます。

適用する規格はJ E A G 4217「原子力発電所用機器における渦電流探傷試験指針」を準用してございます。今回実施したECTにつきましては、疲労亀裂を付与した試験片をあらかじめ作成しまして、クラッド表面に開口する1mm程度の疲労亀裂を検出できることを事前に確認しまして、それらが確認された手法を用いて実施してございます。

次に9ページになります。これまで炉心領域とノズルコーナーの御説明をさせていただきましたけれども、こちらにつきましては、自動探傷ができます装置を使って点検をさせていただきます。その概要を示してございます。真ん中ポンチ絵がございまして、右上に探傷試験の装置本体の写真を載せてございます。大まかな部分は、UT、ECTにつきましてもこの装置を使っているのですが、先端の探触子、プローブを、UTをする場合UTのもの、ECTをする場合ECTのものに着け替えて実施してございます。

その下、原子炉容器を上から見た写真になりますが、この中に、ちょっと見づらいで

すがロボット装置が2台入っておりまして、航行しながら検査をしている状況の写真でございます。

右下につきましては、先ほどまで御説明しましたノズルコーナーの探傷をしている様子になります。ノズルコーナーの中までアームを伸ばして探傷している様子でございます。

その左三つにつきましては、真ん中の図にありますコンテナハウス、こちらがCVの外、建屋の外に置いておりまして、こちらでデータ採取をしまして、解析をしているコンテナハウスとなります。コンテナハウスの中の写真と操作画面の例ということでお示ししてございます。

続きまして10ページになります。ここから炉内計装筒、BMIのデータ採取の概要を御説明させていただきます。原子炉容器の炉内計装筒、BMIは600系Ni基合金により製造されておりまして、応力腐食割れに対する感受性が690系よりも比較的高いことが知られております。そのため、溶接部に残留応力が発生するBMIの内面、原子炉容器側から見た内面、BMIの溶接部ですが、ともにウォータージェットピーニングという応力緩和の施工を実施してございまして、残留応力を緩和させてございます。

下の表に実績を記載してございますが、川内1号につきましては、2005年定期検査で言いますと、第17回定期検査において、BMI内面及び溶接部に対してウォータージェットピーニングという施工をしてございます。

供用期間中につきましては、原子炉容器の外側から目視試験により漏えいがないことを確認してございますけれども、原子炉容器内面側からの定期的な試験計画はございません。

今回のデータ採取では、応力腐食割れの発生が懸念されますBMIの内面の溶接の熱影響部及びBMI溶接部を試験対象として確認してございます。

11ページになります。こちらで少し詳しく御説明させていただきます。データ採取の方法ですが、試験対象は全数50本になります。BMIの内面につきましては、ECTを実施してございます。BMIの溶接線につきましては、目視試験を実施してございます。

ECTにつきましては、ノズルコーナー部と同じJ E A G 4217を準用してございます。ECTにつきましては、発電設備技術検査協会の確性試験において、0.5mm程度の応力腐食割れSCCが検出可能なことが確認されている手法を用いて実施してございます。また、溶接部の目視試験につきましては、維持規格に従いまして、0.025幅のワイヤー、1mmワイヤーと呼んでいますけれども、こちらのワイヤーを識別可能な手法を用いて実施してございます。

右の図ですが、BMIの内面のECTにつきましては、黄色い筒の中に赤い部分を示してございますが、この範囲につきましては、右側の写真に載っておりますECTプローブを挿入しまして、欠陥のないことを確認してございます。

下の溶接部目視試験ということで、原子炉容器内面という御説明させていただきましたけれども、BMI側から見れば外面になります。ちょっと見づらいですが、下の黄色い筒の外に赤い線を示してございますけれども、こちらの溶接部を目視検査してございます。目視検査につきましては、装置の先端にCCDカメラをつけまして、先ほど申し上げた1mmワイヤー、0.025mmの幅のワイヤーが見えるかどうかというのを事前に確認して、

目視検査を実施してございます。

続きまして12ページになります。データ採取方法まとめということで、通常の点検との比較を簡単に載せてございます。母材及び溶接部（炉心領域の100%）につきましては、通常の点検では、溶接部、溶接線ですね、溶接線プラス母材10mm幅を超音波探傷試験を実施してございます。頻度につきましては、1検査間隔当たり1回と記載してございます。下に検査間隔の御説明を上げておりますが、検査間隔は10年間に1回ですが、維持規格上、30年目を超えるプラントにつきましては、第4回目以降検査間隔が7年間ということで、現在川内1号機は7年間に1回の頻度で実施してございます。それに対しまして特別点検は、先ほどまで御説明しましたとおり、炉心領域全域100%、母材も含めて実施してございます。方法としましてはUTで、通常点検と一緒にございます。

一次冷却材ノズルコーナー部につきましては、通常の点検では、母材部に対してUTを、炉心領域と同じ1検査間隔に1回で実施してございます。特別点検は、ノズルコーナーのクラッド部に対して、表面検査であります渦流探傷試験、ECTを実施してございます。右に、少し小さいですが、通常の点検を青、特別点検は赤で領域をちょっと示してございます。

最後にBMIですが、通常の点検では、BMIの貫通部を外側から直接目視。この直接目視は、ホウ酸の付着がないことを確認する目的で実施してございます。検査間隔は先ほどの半分、約3.5年に1回実施してございます。特別点検では内面のECT溶接部の外からの目視検査ということになってございます。

13ページから、最後になりますが、特別点検（個別確認・評価）の結果を記載してございます。具体的には14ページになります。母材・溶接部（炉心領域の100%）につきましては、2021年10月18日から本年4月22日まで実施してございまして、表面近傍の深さ5mm程度の欠陥が検出可能なUTにより確認した結果、有意な欠陥は認められませんでした。

冷却材ノズルコーナー部、クラッド部ですけれども、出入口管内3か所、こちらにつきましても、21年の10月20日から22年4月22日までの間、実施しまして、1mm程度の欠陥が検出可能なECTにより確認した結果、有意な欠陥は認められませんでした。

BMIにつきましては、内面、外面とも21年10月20日から22年4月22日まで実施しまして、内面につきましては、0.5mm程度のSCC欠陥の検出が可能なECTにより確認した結果、有意な欠陥は認められませんでした。

溶接部につきましては、0.025mm幅ワイヤーが識別可能な目視試験により確認した結果、有意な欠陥は認められませんでした。

以上で資料1の御説明を終わります。

（釜江座長）

はい。ありがとうございました。

それでは、説明の途中で佐藤委員から事前に御質問いただいたことに対する回答もしていただいたわけですが、それに対して佐藤委員の方から何かあればよろしく願います。

(佐藤委員)

はい、佐藤です。質問への回答を用意していただきまして、どうもありがとうございました。再度ちょっと私の言葉で確認させていただきたいのと、それとちょっと御説明の中で思いついた質問を追加でさせていただきたいと思います。

まずは5ページの右下の絵について、この仮想欠陥の御説明については、このグレーで示されている部分は低合金鋼の母材の部分であって、実際にはこの更に左側に厚さ約5mmのステンレス鋼のクラッド材がカバーされていると。ですので、外側から見たときにはこの欠陥が完全に隠れていて、ブラインド状態になっていて、その下に、背後にこの欠陥があると。そういう構造になっていると。その10mmっていうときには、クラッドには全然開口してないわけですので、この母材の欠陥のみと、そういう御説明だったというふうに理解します。そのようなモデルだとしますと、実際にはこのクラッド口が欠陥を閉じさせているわけですので、この欠陥の先端での応力拡大係数については緩和の方向に働きますので、保守的というふうに理解できます。ということで、欠陥についての私の疑問はクリアになりました。

ちょっと思いついた質問を加えさせていただきますと、この御説明の中で、検出能力として、原子力圧力容器に対しては5mmとか、それから次のBMIについては、エディカレントの場合で0.5mmだったですかね、というふうに定量的に説明されているのですが、ここで大事なのは、この欠陥能力を確認した時の試験片と、実機で予想される欠陥との同等性ということです。つまり、一般には人工欠陥を試験片に対して作るわけですがけれども、そちらの方がはっきりして検出しやすい。一方、実際に疲労で発生する、あるいはSCCでもいいのですが、によって発生する欠陥は、非常に先端が緻密で、しかも一直線ではなくてギザギザ状態になっていて、先端を捕まえにくいと、そういうふうに言われていまして、ケースによっては、昔の話ですがけれども、超音波の検査で検出できないけれども、耐圧テストをやったら水が漏れたと、そういう事例もあったことなのです。それだけ実際の欠陥は見つけにくい場合があると。その後、どんどん超音波探傷技術も進化していますので、その辺は大分良くなっているわけですがけれども、そういう背景をベースにして、ちょっと質問させていただきます。

まず、原子炉圧力容器に対してですけれども、実際クラッドがあるという説明をお聞きしているわけなんですけれども、このクラッドは、帯状のステンレス板を爆着でくっつけたものなのか、それとも308、309系のステンレスを肉盛り状にしてくっつけたものなのか。その説明を、それぞれ実際の原子炉圧力容器とそれから試験体について御説明ください。

それから、BMIにつきましては、ウォータージェットピーニングを施工しているということなわけですがけれども、これも実は、この技術に関しては、非常に日本が先行しまして、アメリカではこれを採用するかどうかというのは、いろいろ長い議論がありまして、2017年によくこれもアメリカで認められたと、そういうヒストリーがあるのですけれども、その時の議論にもなっているのですが、このウォータージェットピーニングを施工することによって、超音波検査の検出能力に影響する可能性があるというような議論があるんですね。ですので、ここでの私の質問は、この試験片もウォータージェットピーニングを施工したものなのか。そうでなくて、人工的なもっとシンプルな方法で、

シンプルな材料に対して施工したものなのか。それから、人工欠陥の作り方として、ドリルで穴を開けるだとか、それからEDMでスリット状の加工をすとか、方法があるわけですよね。その人工欠陥の作り方をどうしていたのか。

以上について御説明をお願いできればと思います。

(釜江座長)

よろしいでしょうか。九州電力さん、御回答をお願いします。

(九州電力)

ありがとうございます。まず、御質問いただきました原子炉容器側の方から御回答させていただきます。

まず、クラッドの施工につきましては、低合金鋼に対して、今308、309というお話もありましたが、304相当のクラッドを溶接により施工してございます。低合金鋼に対して溶接しているという状況でございます。

試験片との同等性につきましては、適用する試験片も同じ方法でクラッドの施工していると考えてございますが、一応念のため確認をさせていただきたいと思います。

関連する質問としまして、BMIにつきましては、試験片に対してウォータージェットを打っているかというのは今確認が取れませんので、こちらもあわせてウォータージェットを施工した試験片かどうかの確認をさせていただきます。

あと、試験片の作り方ですけれども、EDMを使用したスリットを作っているということで、佐藤委員が言われた後者の作り方になっていると思いますが、試験片の御説明をさせていただく際に、加工方法についても併せて整理したいと思います。よろしくお願いします。

(釜江座長)

よろしいでしょうか。非常に重要な話なので、測定そのものの精度にも関わる話ですから、次回、御回答をよろしくお願ひしたいと思います。

それではほかの委員は。後藤委員。

(後藤委員)

後藤です。私が思いますのは、原子炉容器ですよね。最も重要な容器で、その中で着目すべき劣化現象として、中性子の照射脆化と疲労と応力腐食があると。前回疲労の話がありましたけれども、要はその破壊モード、壊れ方を代表としているわけですよね。

一つの質問は、この三つは独立なのですかとか、組合せはあるのですかとか、影響があるかないかとか、その辺の感覚をどういうふうに見てらっしゃるかというのが1点目の質問です。

もう一つが、これは先ほどの佐藤委員の御質問と被るところがあるのですけれども、実はこの照射脆化の問題は、御説明を聞いていても、ものすごく複雑ですよね。分かりにくい。疲労ならまだ分かるのですけれども、照射脆化の場合には、少なくとも材料に中性子が照射したことによって脆化すると。脆化とは何かという質問が当然でるわけで

すよね。それは一般に言うならば、通常の金属材料が荷重をかけたら伸びて変形して、それから延性破壊を起こす。延性破壊と言いますね。ところが、それが脆化するという意味は、荷重をかけても余り変形せずにバサッと切れる。つまり割れに近くなるわけですよね。それを脆化と呼んでいるわけですよ。それを脆性破壊と言いますね。そうすると、脆性破壊の問題を扱っているという認識がちゃんとあるのかということが1点。

これはものすごく大きな問題で、脆性破壊というのは、私はもともと海洋構造物の設計から来た人間ですから、脆性破壊を起こすというのは考えられないというか、あってはいけないことなわけです。ですからこれだけいろんな詳しいことやって、徹底的に検査するのです。そのときに、ちょっと付け加えますと、歴史的にありますよね、脆性破壊がどうやって問題になったかということ。そこをちゃんと理解した上でものを考えた方が良いということが1点と、その上で脆性破壊という挙動が非常に困るのが、普通の破壊と違って、もし荷重がかかったときに、普通には容器があつて、破壊するときにはどっかが亀裂が入って壊れるということがありますが、脆性破壊っていうのはバラバラになるんですよ、ほとんど全部が。これはほかの容器で脆性破壊した写真がいっぱいありますよね。それを見ていただくと、全く影も形もない破片になってしまうのですよ。それが脆性破壊です。一番ひどいのですね。そうすると、そういうことが起こり得るということ、爆発的に。そういうことがあるからこういう検査をしているのだということが1点。その上で、ではそれがなぜ起こるのかという話が、脆化がどれだけ進んだか、それに欠陥があるかないか、どこまであるのかということ、それから更に冷却したときに、冷却水に入って、その冷え方によって材料の引っ張り応力が発生して、しかもそれがクラックのどこにどれだけの応力が発生して、それが過渡状態なので、時間とともに温度が変わるわけですよ、次々と違った状態が起こるのですよ。これ全部解析でやっているのですかという話ですよ。私は、解析でやっているのは、結構解析が進んでいるので分かりますけど、ものすごく難しいことをやっているんですよ。それをね、ここで書いているように水が入ってきて、引っ張りがかかって、クラックのところにこうやってできるのだという説明だけでは、私はね、専門やっている方にとっては自明かもしれないけれど、一般の方には全く意味が分からなくなるというふうに思います。

ですから、私が言いたいのは何かというと、これ何やっているかと言うと、絶対に起こってはいけない構造破壊のリスクを徹底的にないようにする、確認するというのをやっているんですよ。一般的なものとレベルが全然違うんです、はっきり言って。1個落として失敗したらほとんど壊滅です。福島事故のレベルじゃありませんから。原子炉容器がバラバラになるわけですからね。ということを念頭にチェックしてただけか、というのが一番言いたかったことです。ですから、繰り返しますと、これに限らないんですけど、原子力の一番問題になるのは、例えば事故の事例を考えたら、この事故なんて起こってるはずないですよ。起こってたらおかしいですからね、絶対。起こっちゃいけない事故。そうすると、ここでやろうとしていることは、いろんな過去の事例もありますけど、考え方としては、一番リスクが高いところがどこがあつて、そのリスクがこれで押さえ込めるかどうかという議論だということを踏まえて、今の議論が入ってくるというふうにお願したいと言っているんです。その上で、先ほど、例えばクラッドがありますよね。クラッドと本体の関係は、先ほどの話では私は全く納得できない。

何を言っているかという、低炭素鋼があって、それにクラッドがありますよね。クラッドは何のために付けているかって言ったら、恐らく腐食を防ぐためでしょうけど、だけど力学的には力のやり取りがありますから、ある面では先ほど佐藤委員がおっしゃったように、場合によってはクラックを押さえる方向になる場合もあるけれど、逆に温度の掛かり方、中の内部応力によっては、それがクラッドが母体を引っ張る方向に、つまり危険側になる可能性はないのかというふうに考えるわけです。片方でもう一つは、更に言うところのルールがありますよね、今（どのような計算をするか検討を）やっているとしますけれど。あれも今確定してないと思うんですけど、本体に対してクラッドがどういう関係になるかっていう、クラッドは強度部材ではないから、強度から外しているのが原則ですよ。多分今それでやってらっしゃると思う。ところが、そのクラッドが悪い方向に働く物理現象があったらどうするんですかっていう、こういう（何が危険側で何が安全側かという）クエスチョンですよ。こういうことも含めて検討されているのかというのが私の質問です。これはパラメータがいっぱいありますから、1個1個やっていくと相当大変なことになると思いますけれども、そういうことを議論すべきことになると思います。特に冷却系統のところの問題になるかと思えます。温度が下がって引っ張り応力がかかったときにどうなるかとか、そのときの解析はどうやっているかとか、そういうことがすごく問題になるだろうと、課題になるだろうと理解しています。ちょっと長くなってすみません。

（釜江座長）

幾つか御質問と九電さんの考えというカスタンスというか、その質問もございましたけれど。

（九州電力）

先生のおっしゃるとおり、今回原子炉容器の何を見ているかという、脆性破壊が起こらないような、評価に使っているような、いわゆる想定する欠陥がないかというのを確認しております。評価の方は、後ほど照射のPLMのところでお説明しますが、先生が言われたように、冷たい水が入ったときに脆性破壊が起こらないような粘り気がしっかりあるかどうかという確認をやる。今回の検査自体は、その前提となる欠陥がないかという目で見て、我々としては評価した結果、そういう欠陥はなかったというのが今回の御説明になります。

（後藤委員）

もちろん欠陥がなかったというのは当然そういうふうに調べるわけですよ。ちょっと抵抗ありますけどね、私の意見。御説明聞いていて、原子炉容器のデータ採取のところありますけどね、中性子によって、脆化して金属の粘りが低下することが分かっている。それから事故時の炉心冷却により冷たい水が注がれると、原子炉容器の温度が急激に下がって大きな引っ張り応力がかかって、炉心領域に有意な欠陥が存在した場合には脆性破壊が起こると、こうなっているわけですね。その後段を見ていくと、検査した結果、ああいうものが分かった、こういうものが分かったと書いているわけです。それ

はそうなんですけれども、この脆性破壊の問題は、欠陥があるってということが事前に分かれば良いんですよ。実はほとんどの場合分からないんです。後から分かって、壊れてから、これがあったということが多いんですね。そう考えますと、欠陥がないっていう、つまり小さなものなら欠陥がないことは分かりやすいですが、大きな容器があって、本当に見落としがないかというのが心配になるわけですから、そうすると、どのレベルにおいて技術的に大丈夫だと言い切れるのかというのが問題なんですよ。あれもやって、あれもやっているから良いですよという漠然としたものの言い方では極めて危なくて、例えば脆化に関して、ここで徹底的にクリアさせてやっているというのを、1個1個全部明確にしていかなければならないというのが私の感じなんですね。そう言う意味で、この問題はそれぞれの項目が1個1個きちんと納得できるように説明されるべきだろうと。それで詳しい説明を今後お聞きしたい、もう少し。例えばこの絵でいくと、冷却と言いますが、どういう状態のことを考えているのか。LOCAなのかとかですね。どういう規模で水がどうなって、熱伝達係数は何を使っているのかだとか、沸騰は起こっているのかだとか、そういうのが全部関係するわけですよ。そういうことをやるのと、漠然とやられたのでは全くその、これは説明のための最初の話なのでこういうふうに書いているんだと思うんですけれども、きちんとデータを出していただきたいというふうに思います。以上です。

(釜江座長)

いかがですか。今日の話では不十分だということで、後藤委員からの要求がございましたけど。

いかがでしょうか、はい佐藤委員。

(佐藤委員)

恐らく、九州電力さんが用意してくれた資料2で、今のこの脆化の問題については、これから詳しい説明があるんだと思うんですね。ですので、その詳しい質問を私は待ちたいと思うんですけれども。

一般的な金属の脆性についての共有しておきたい情報ですけれども。低合金鋼が原子炉压力容器に使われているわけです。低合金鋼というのは、決して引っ張り強度が抜群という材料ではないわけですよ。それよりも強い材料というのは幾らでも世の中にあるわけですし、例えば、マレージング鋼というロケットに使っている材料なんかがあるわけですが、引っ張り強度が低合金鋼の数倍もあるようなそういう材料です。それが本当に優れた材料かという、この脆性破壊の特性に関して言えば逆で、ものすごい強度はあるんだけど靱（じん）性が足りないということで、正に目に見えないような小さい欠陥を見逃すことによって、耐圧テストをやりますと、後藤委員が説明されたようにバラバラの破片に、本当にバラバラになるんですね。そういう現象が起こるとということで、破壊靱性に関して言えば低合金鋼の方がむしろ安全で、適した材料だと。現に欠陥の深さに関して、その破壊靱性に関しては、相当深い欠陥まで許容できるわけですし、昔のコード（基準）では肉厚の4分の1までの欠陥を想定すると。今は10%とかですね、10mmとかにしてましたけれども、コード上は、前は肉厚の4分の1の欠陥を想定す

ると言っていたもので、はるかに大きな欠陥を前提としても靱性が保たれると。なお、低合金鋼よりも更に破壊靱性が優れた材料としては、オーステナイト系のステンレス鋼がありまして、これは実質破壊靱性は一切考慮しなくても良いというような材料の特性を持っているわけです。そういうことで、原子炉容器に適した材料としては、製作性だとかいろいろなものがありますけれども、結局現実的には、低合金鋼が破壊靱性も考慮して現実的にはベストな材料だというふうにして選択された歴史があるというのが、私の理解しているところです。ちょっと皆さんと共有したい情報ということでお話をさせていただきました。

(釜江座長)

ありがとうございました。後藤委員からの質問に対しては、以上でよろしいでしょうか。

(九州電力)

脆化の件につきましては、また後ほどPLMの方でも、照射の脆化の状況と、あと一応評価結果ではございますが、そういうのがございますので、そちらの方まで説明し終わった後、またいただきたいというふうに思っておりますが、よろしゅうございますでしょうか。

(釜江座長)

ほかの委員の先生方も御質問はありますか。渡邊委員。

(渡邊委員)

ちょっと議論聞いていまして考えたんですけども、やっぱり照射脆化というのはいろんなメカニズムでもって発生するわけですし、我々は、九州では3.11の後に、照射脆化の問題というのが、非常に玄海1号でクローズアップされたんですね。その時は玄海1号炉がガラスのように割れると言われたんですね。ところが実際割れてないんですね。そういう議論がたくさん我々、九電も含めて、九州の研究者も含めてやってきたわけですから、説明されるときにもう少し、なんていうのかな、実際のモデルだとかメカニズムに沿って説明された方がいいと思うんですね。例えば、照射脆化はなぜ起こるのかと。そういうことはやっぱり重要で、照射脆化のメカニズムと、先ほどのその欠陥があって割れるという現象というのは繋がってますけども、それはやっぱり違うんですね。そういうことも含めて、やっぱりしっかり分かりやすく、地元の方も含めて説明されないと、何かまたガラスのように割れるという議論になるんですね。それは違うんですね。だから、やっぱりその説明の仕方ですよ。それはもう九州電力がこれまでやってきたことですから、もう少ししっかりと説明してもらえませんか。

それと先ほどの佐藤先生の質問に関してなんですけれども、304相当の合金を溶接されていると言ったんですね。それは肉盛りではないんですか。

(九州電力)

維持規格上、肉盛り溶接というのは強度を持たせる場合に、バタリングと言いますけども、その辺りをやっているんですけど、今回は、実際に低合金鋼が腐食することを防止するために、低合金鋼に対してステンレスを溶接しながら着けていると、施工しているという御説明になりますので、肉盛り溶接とは違います。

(渡邊委員)

溶接しながらというのは肉盛りとは違うと言うんですか。

(九州電力)

規格上ですね。

(渡邊委員)

何度にもわたって、いろんな説明をやっぱりしないといけないと思うんですね。それと、何ていうのかな、我々専門家ですから、例えば炉心領域で検査したと言っていますけども、どれぐらいの幅が炉心領域であるとか、やっぱり説明しないといけないと思うんですね。そういうことも含めてしっかりちょっと説明してもらえないですかね。

(九州電力)

分かりました。領域につきましては、少し数値を交えながら、今回炉心領域と定めますのは、大体3700mmぐらいですけれども、出せる数字も含めまして、我々が実際に見た領域と、もう少し、これまでも御説明させていただいていますが、国のガイドに定められている以上の範囲を見ている部分もございますので、その辺りを少し明確に御説明させていただきます。

(渡邊委員)

例えばデータで欠陥がないという評価なんですけど、そういうことを聞きたいんじゃないで、実際のデータがどういうふうな状態になってとか、もう少し具体的なことを説明してもらえませんか。住民に対して説明するのではなくて、やっぱ専門家に対して説明しているんですよね。何ていうのかな、専門家に対しての説明ではないですよね。と思うんですけど。

(釜江座長)

いかがですか。非常に厳しいお言葉ではありますが、非常に大事な話ではあると思います。また、改善していただける余地は十分あるとは思いますが。

(九州電力)

分かりました。

(渡邊委員)

もう少し具体的なことを説明してもらえますか。

(九州電力)

はい、分かりました。

(釜江座長)

この特別点検については非常に重要で、今日初めてということなので、まだまだこれから本格的な議論が始まる、今日はその最初だと思っています。今日いろんな御意見いただきましたし、是非次回以降もよろしくお願いします。このあとの30年目高経年化技術評価のところで、照射脆化のこともありますので、そこは先ほどおっしゃったように、少しプラスアルファの話をしていただくのと、次回以降本格的に特別点検の話がこれから続くと思いますので、是非今日の委員の御意見を踏まえて、この件だけではなくて、これから出てくるいろんな特別点検の結果についても、そういうスタンスで御説明していただけたらと思いますので、よろしくお願ひしたいと思います。

Webの先生方とか、ほかに何かこの件について。大畑委員。

(大畑委員)

ありがとうございます、大畑です。今の脆化に関するところですが、皆さんのおっしゃるとおりのところもあります。ただ、次の資料に恐らく詳細な説明があろうかと思いますが、少なくともその説明がないまま、この資料のままで話を聞きますと、皆さんがおっしゃるようなことになろうかと思います。要は、今回UTで5mm深さの欠陥は少なくとも確実に見つけるというような思想で検査されていると思いますが、5mmというのが何を意味しているかという御説明をしっかりとされないと、一般庶民は、4mmや3mmの5mm以下の欠陥はある可能性があって、それは大丈夫なんですかという話になりかねません。5mmの持つ意味を御説明されるべきかと思います。それは次の資料2で十分理解できるかと思いますが、この資料だけだと誤解されかねないと感じた次第です。

その上で一つ質問ですが、PLM評価において、先ほど来から深さ10mm、長さ60mmの欠陥を想定して評価されているというお話の中で、かなり安全を見越してのサイズ設定になっているかと思いますが、亀裂の方向にも意味があります。恐らく周方向に対して垂直方向の欠陥を想定されて評価されていると思いますが、検査の時は溶接部近傍のみということなので、恐らく溶接線方向（周方向に対して垂直方向）の亀裂を想定した検査のされ方をしているかと思います。今回の特別点検では全域検査をされているということで、どちら方向の欠陥を想定して、どのように検査されているのか。定期点検の場合と同じように、周方向に垂直な方向のみの欠陥をターゲットにした検査方法になっているのか、その点について御教示ください。

(釜江座長)

はい、九州電力さんよろしくお願ひします。

(九州電力)

九州電力の上村でございます。ページでいきますと、通常の点検との比較を12ページ

に載せてございますけれども、定期検査におきます溶接線のUTと、今回特別点検で用いましたUTというのは一緒でございます。実際探傷のやり方としましては、プローブ自体は垂直方向及び周方向、両方重なるようにとってございますので、もちろん亀裂の方向というのはどちらも想定した状態で見つけられるように考えておりますが、繰り返しですけども、長手方向、周方向どちらも検査対象に対して探傷するようにしてございます。以上です。

(大畑委員)

分かりました、ありがとうございます。結構です。

(釜江座長)

はい、ありがとうございました。

はい、後藤委員。

(後藤委員)

すみません。関連でちょっと教えていただけますか。圧力容器ですね、今の縦方向と横方向の周方向の意味です。材料上の違いってというのは、特性はいかがですか。データとかありますか。

私が現役の大分昔のときにこういう議論した時には、材料の異方性が問題になって、これは異方性が影響になるなって議論をちょっとしたことがあるんでね。そういう意味で、今の圧力容器についてはどういうふうに見ておられるか、教えていただけたらと。

(九州電力)

その回答を持ち合わせてございませんので、次回、その辺り御回答させていただきます。

(釜江座長)

はい、よろしく願いいたします。

渡邊委員。

(渡邊委員)

先ほどの5mmですけども、クラッドを溶接したときの熱影響部というのは、どのくらいの厚さの評価ですか。

(九州電力)

母材に対する熱影響部ということでよろしいですか。すみません、ちょっとそれも今持ち合わせてございませんので、熱影響部も踏まえてしっかり探傷できている、深さを見られているというところも合わせて。

(渡邊委員)

僕の感じだと大体5mm程度なんです。だから、5mmのクラッドがあって、結構数mm

の熱影響部があったときに、本当に例えば5mmというのが正しいのかというのは、やはりちょっと、もう少し考えられた方がね。で、考えてやはり説明しないといけないですよ、あなた方が。だからね、持ち帰ってじゃなくて自分で説明してもらえませんか。

(九州電力)

概要からいきますと、ちょっと熱影響部の長さを持ってございませんですが、クラッド自体が5mm相当ですね、その下に母材がありますけれども、大体今回用いました探傷、UTにつきましては、クラッドの5mmプラス内表面につきましては25mmぐらいまで、深さですね、そちらが探傷できる確度を用いて探傷してございますので、そういう意味では、ちょっと熱影響部の詳しい長さはまだお答えできませんけれども、熱影響も踏まえて、しっかり探傷できているというふうに思っております。

(渡邊委員)

分かりました。

(2) 30年目高経年化技術評価結果について

① 原子炉容器の中性子照射脆化について

(釜江座長)

はい、ありがとうございます。

それではまた資料2でもう少し、30年目の話ですけど、中性子照射脆化についてはお話ありますので、この資料1の特別点検の結果については今日初めてということで、今後、今日の御意見を踏まえて再度、質問回答も含めて御説明よろしくお願ひしたいと思ひます。

それでは続きまして、議題の2ですけども、30年目の高経年化技術評価結果についてということで、これまで2項目について御説明していただきましたけど、今日はその一つですけども、原子炉容器の中性子照射脆化についてということで、九州電力さんの方から御説明よろしくお願ひいたします。

(九州電力)

はい、九州電力の石井でございます。それでは表紙を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。六つの構成になっておりまして、一つ目が中性子照射脆化について概要を御説明します。評価点の抽出、健全性評価。あと発電所でどういう保全をやっているかという現状保全、そしてそれらを踏まえた総合評価、総合評価を踏まえた上で、高経年化への対応が何かあるかということで、こういう構成で資料を作っております。

それではページをめくってください。2ページ目になります。原子炉容器の中性子照射脆化についてですが、炭素鋼、低合金鋼などのフェライト系材料は、高エネルギーの中性子照射により、強度・硬さが増加し、延性・靱性が低下します。原子炉容器の炉心領域部においては、中性子照射とともに、遷移温度の上昇と、上部靱性が低下するこ

とが広く知られており、これを中性子照射脆化と呼んでございます。そのイメージが、右にあります絵になります。当初、実線で書いています照射前の線が、中性子の照射に伴い関連温度が高くなる。また、従来持っていた上部棚吸収エネルギーが低下していくと。そういう脆くなるという現象になります。戻りまして、金属材料の破壊形態は温度などに依存し、高温において延性破壊を生じますが、温度の低下に伴い、延性破壊から非延性破壊へ、破壊形態が変化します。この温度を遷移温度・関連温度、また、遷移温度より高温側の延性破壊が生ずる領域を上部棚と言ってございます。前回審査会合におきましては、NRAの「実用発電用原子炉施設における高経年対策実施ガイド」及び原子力学会標準の「高経年化対策実施基準」に規定されている原子炉容器の中性子照射脆化について、具体的な評価内容を説明いたしました。

それでは、ページめくっていただきまして、3ページ目を御覧ください。2. 評価点の抽出になります。中性子照射量が高いほど関連温度が上昇し、上部棚吸収エネルギーが低下しますので、以下のとおり、プラント運転開始後60年時点での中性子照射量が 1.0×10^{17} N/cm²を超える部位を対象として評価点を抽出し、中性子照射脆化に対する評価を実施いたしました。評価点としては、炉心領域の下部胴を対象としてございます。この下部胴が、中性子照射脆化に対して、評価上一番厳しい箇所となりました。下部胴内表面での照射量が、当時21回定期検査の時でしたが、 4.0×10^{19} N/cm²、これが運転開始後60年となりますと、 9.9×10^{19} N/cm²となりまして、原子炉容器を構成する母材、構成品の中で一番厳しい照射量となっておりますので、この下部胴を対象に評価を実施してございます。下部胴以外に照射量が 10^{17} N/cm²を超える部位として、上部胴及びトランジションリングの一部が該当しますが、炉心の有効高さを直接囲んでいる下部胴と比較して照射量が低いので、先ほど御説明しましたとおり、下部胴を対象として評価を実施してございます。右側の方に原子炉容器の鳥瞰図、あと使用条件、下の方に母材と溶接金属の金属組成を載せてございます。

それでは、めくっていただきまして4ページ目を御覧ください。右上4ページになります。ここからが3. 健全性評価になります。まず3-1としまして、監視試験結果を載せてございます。第4回までの監視試験結果をこの表に表してございます。母材の熱影響部については、溶接による熱影響により関連温度は母材より低くなりますので、評価は母材を代表としてございます。

前回、最新で第4回ですね、第4回の監視試験結果がここに載せてございまして、第4回ので中性子照射量が9.2、母材の関連温度が母材が36、溶接金属0、熱影響部29、あとは上部棚の吸収エネルギーは記載のとおりでございます。

※1で、内表面から板厚の4分の1深さというところで佐藤委員から質問を事前を受けてございますが、この内表面の板厚4分の1という箇所は、母材の低合金鋼の表面から4分の1のところでございます。

ページめくっていただきまして5ページ目を御覧ください。こちら関連温度の評価になります。日本電気協会の「原子炉構造材の監視試験方法（JEAC4201-2007/2010追補版）」の国内脆化予測法による関連温度予測値と監視試験結果から、当該部位の中性子照射脆化は国内脆化予測法にマージンを見込んだ値を逸脱しておらず、特異な脆化は認められないことを確認してございます。

国内脆化予測法による関連温度の予測値を右表に、中性子照射脆化に対する関連温度の国内脆化予測法による予測と監視試験の結果を次頁に示してございます。

右の表を御覧ください。第21回定期検査時点で、中性子照射量が2.5、関連温度は母材が19、以下溶接金属、熱影響部は記載のとおりです。運転開始後の60年時点で、中性子照射量は6.2、母材の関連温度が35、溶接金属、熱影響部については記載のとおりでございます。この*1と2に書いています板厚4分の1深さというの、先ほど御説明したとおりの位置でございまして、低合金鋼の母材板厚の4分の1のところでございます。

それでは6ページに移っていただきまして、6ページ目の方に国内脆化予測式による予測と監視試験結果（母材）を載せてございます。左側の表を見ていただきますと、関連温度の実測値から計算値を比較しましても、マージンの中に入っており、特に逸脱したような結果は得られてございません。また、右の表の方が第4回の監視試験結果から予測しました関連温度の脆化予測式になります。

ページをめくってください。7ページになります。3-3で上部棚吸収エネルギーの評価になります。国内プラントを対象とした上部棚吸収エネルギーの予測値を用いた運転開始60年時点でのエネルギーの予測を評価してございます。その結果、「原子力発電所の破壊靱性の破壊試験方法」、J E A C 4206で要求しています68 Jという値を満足しており、十分な上部棚吸収エネルギーがあることを確認してございます。

下の方に、川内1号炉の上部棚吸収エネルギーの予測値を載せてございます。母材で、T方向では初期値が195、第21回定期検査時点で169、運転開始後の60年時点で164 Jでございますので、68 Jを十分に満足してございます。ここで、板厚tの4分の1深さの予測値ということで、こちらの位置も先ほどお話ししましたとおり、低合金鋼の内表面からの4分の1の位置でございます。

あと、事前にクラッドの状況について御質問いただきましたが、クラッドについては、これはあくまでも板厚4分の1の時点での金属の脆化を見る評価でして、J E A C 4206から求められています。ですので、想定欠陥がどうなっているとかそういうものでございませぬ。あくまで、板厚4分の1の位置での上部棚吸収エネルギーがちゃんと4206で要求されている68 Jを上回っているかどうかという、あくまでも評価になります。

それではページをめくっていただきまして、8ページ目の方を御覧ください。3-4になりますが、加圧熱衝撃事象評価です。P T S評価です。J E A C 4206に定められます加圧熱衝撃評価書に基づき、川内1号炉原子炉容器本体の胴部の材料について評価を実施してございます。なお、P T S事象は小破断L O C A、大破断L O C A及び主蒸気破断事故を厳しい事象として選定し、対象としてございます。

中性子照射脆化による材料の靱性低下の予測について、国内脆化予測法を用いて実測の K_{IC} データを運転開始後60年時点まで温度軸に対してシフトさせて、その予測破壊靱性の下限を包絡した破壊靱性遷移曲線を設定します。それがここに書いてあります「 $K_{IC}=20.16\cdots$ 」という式になります。 T_p はプラント評価時期の破壊靱性 K_{IC} 曲線を設定する際に定まる、プラント個々で決まる定数になります。

川内1号炉を評価した結果、この T_p が第20回定検の時点で38℃、プラント運転開始後60年時点で66℃となっております。健全性評価は、この K_{IC} 下限包絡曲線とP T S状態遷移曲線を比較して、これが交わらない、十分に破壊靱性遷移曲線が上回ることを確認

することで評価をいたします。

* 1のところに、「J E A C 4206では仮想欠陥の最深部（深さ10mm）での中性子照射量を規定しているが、本P T Sについては保守的に原子炉容器下部内表面での中性子照射量を使用」というのを記載してございまして、これどういう意味かと申しますと、4206で、先ほど佐藤委員がおっしゃいましたとおり、仮想欠陥として長さ60mm、深さ10mmの仮想欠陥を想定してP T S評価をなささいという要求がございしますので、本来であれば10mmいったところの最深部での中性子照射量を使えばいいんですが、保守的に内表面の高い方の中性子照射量で評価を実施していますということです。

9 ページ目に移っていただきます。こちらが評価結果になります。初期亀裂を想定しても、運転開始後60年時点において、脆性破壊に対する抵抗値を示す K_{Ic} 曲線、破壊靱性遷移曲線が、負荷状態を応力拡大係数、これが脆性破壊を起こそうとする値なのですが、P T S状態遷移曲線と申します。これを十分に上回ってございしますので、脆性破壊は起こらないと評価されます。

その評価結果を、下の方で見せてございまして、一番左側にあるのが川内1号炉、当時第20回定検までの破壊靱性遷移曲線の下限包絡曲線になります。そこから60年時点まで推定したものがその隣にある、川内1号炉60年時点での K_{Ic} 下限包絡曲線になります。

これと比較して、下の方に山があると思います、山みたいなのが。これが大破断L O C A、小破断L O C A、主蒸気破断を想定した、応力拡大係数P T S遷移曲線になりまして、これと今お話しした破壊靱性遷移曲線の間が十分離れていますので、仮想欠陥を想定しても破壊靱性は進まない、先端部が進まないという結果になります。

ページをめくっていただきまして、10ページ目を御覧ください。先ほどまでが健全性評価でございましたが、実際に発電所の方で現状保全としてどういうことをやっているかというのを記載してございます。胴部の材料の中性子照射による機械的性質の変化につきましては、計画的に監視試験片を取り出して実施し、将来の破壊靱性の変化を先行把握してございます。川内1号炉は当時カプセルを6体挿入し、4体取り出してございました。

二つ目でございますが、まず監視試験結果からJ E A C 4206に基づきまして、運転管理上の加熱冷却曲線、加熱冷却制限曲線を設けまして運用するとともに、定検時の耐圧漏えい試験温度も設けて試験を運用し、R Vの健全性を担保してございます。

黒丸の3ポツ目でございますが、原子炉容器に対して定期的に溶接部の超音波探傷検査、I S Iを実施し、欠陥は当時まで検出されてございません。

それでは11ページ目の方に行ってください。こちらが最後になりまして、5. 総合評価ですが、健全性評価結果から判断して、現時点での知見において、胴部の中性子照射脆化が機器の健全性に影響を与える可能性はないと評価いたしました。また、胴部材料の機械的性質の予測監視試験により把握可能であり、また有意な欠陥がないこともI S Iで確認していることから、現状保全内容は適切と判断いたしました。なお、冷温停止状態においては事象が進展しませんので、十分この評価で問題なく健全性は担保できると考えてございます。

6ポツ、最後でございますが、高経年化への対応ということで、「現在、関連温度上昇に対する予測精度向上のため、新しい脆化予測法の検討が進められている。胴部の照射

脆化に対しては、現状保全項目に加えて、高経年化対策の観点から、長期保守管理方針として関連温度上昇に対する精度向上が図られた脆化予測式に基づく評価を実施していく。」ということにさせていただきます。これどういうことか、ちょっと難しいんですが、当時4201-2007の2013追補版というのが技術評価をされてございました。まだこの川内1号の審査時点では、まだそれがエンドースされていなかったもので、今後エンドースすれば、もう一度その2013に基づき評価をやりますということをご約束しているものでございます。

めくっていただきまして12ページ目、これは参考でございます。これが今お話しした、当時川内1号の30年目の時はJ E A C 4201-2007の2010追補版を用いて評価をしたのですが、その後、2013追補版がエンドースされましたので、2013追補版でP T S評価をやった結果がこちらになります。で、破壊靱性遷移曲線の60年時点が、若干P T S遷移曲線側に少しわずかに近づいてございます。これどういうことかと言いますと、2013追補版では高照射域での評価を厳しくなるように、先ほど渡邊先生からも言われたとおり、玄海1号が関連温度予測が外れましたので、2013追補版では、その高照射域に対応できるように改定がなされましたので、60年時点のところは、先ほどの2010で評価している9ページのP T Sの結果評価と比べると、60年時点のやつがわずかに、若干P T S遷移曲線側に近づいてございます。ただ、どちらも十分に上回ってございますので、問題はございません。

以上がP L M30のR Vの評価結果になります。以上です。

(釜江座長)

はい、ありがとうございました。それではただいまの御説明について、御意見、御質問よろしくお願ひします。

佐藤委員。

(佐藤委員)

はい、佐藤です。私の先ほどの質問に対する回答も含めていただいて御説明いただきまして、どうもありがとうございました。それで、この資料が淡々とコードに則って評価をした、その中身を議論されているわけですけども、ちょっとちぐはぐなところを感じる場所があるんですよね。というのは、昔は仮想欠陥が4分の1tだったわけですよ。4分の1tだったから、破壊靱性値の興味あるところも4分の1の深さのところだったわけです。ですから、つまり極端な過渡現象、急冷の過渡現象があったときに、そういう巨大な欠陥であっても進展性がありませんと、それを裏付けるための評価をするわけですよ。ところがその後、その4分の1tっていう欠陥が現実的でないと、余りにも巨大すぎる欠陥だということで、今はずっとそれよりもはるかに小さい、深さが10mmで長さが60mmの欠陥を仮想するようになったと。そうすると、そこに食い違いが出てきて、今は中性子の評価のところでは4分の1tの議論があるわけですけども、その欠陥のサイズは、そうでなくてもっと小さい結果になっているわけですね。

そのことを考えて思ったのは、深さ10mmの欠陥が、このレポートのこの文章の中で、10mmの深さでの破壊靱性値、吸収エネルギーが載っていないものですから、ひょっ

として、その欠陥がある程度進展して、進展するけれども、少なくとも4分の1進展する手前では止まるのか、そういうモードの亀裂の進展性があり得ることなのか、それともその10mmの欠陥が全然進展しないでそのまま止まったままなのか、どちらなんだろうか。それが分からなかったので質問させていただいたという理由なんですよ。

途中で説明あったのは、実はその10mmの欠陥のチップでの靱性特性に関しては、表面で評価してると、そう説明されたと思いますので、答えは10mmの欠陥も全く進展しないと、そういう解釈になるのかと思うんですけども、そこを確認させていただきたいと思います。

あと最後の、JEACの2013年の追補版がエンドースされたので評価が変わったと。それが9ページと12ページの図の違いとなって示されていて、要は、破壊靱性値の方の曲線、expの中のT-、一方が66に対して96になると、それだけの違いみたいなんですけれども、ちょっとその背景、申し訳ないんですけども、もう1回繰り返し説明してもらえませんか。なぜこういうふうになったのかってことですね。

ということでちょっと二つ、私の最初の理解が正しいかどうかということと、これの曲線のお話をもう少しお願いします。

(釜江座長)

はい、よろしくお願いします。

(九州電力)

九州電力の石井です。2013追補版では、2010と比べて脆化予測式が厳しくなったことと、マージンを更に増加させることになりました。従来この下限包絡曲線を引くときには、実測の監視試験から実測の K_{Ic} データを落として、それを対応する温度でスライドさせるんですが、そのスライドさせる幅が大きくなって、下限包絡曲線が、9ページの方はあの部分でよかったですけれども、その分だけスライドさせる幅が大きくなったので、実測 K_{Ic} の値が右側に行くようになりました。その結果で、この下限包絡曲線が96°Cということで、こっち側に右側にスライドしてるってことです。以上です。

(佐藤委員)

もし知っていたら教えて欲しいんですけど、これってもともとASMEコードのセクション11のグラフなんですけれども、ASMEコードも変わったってことなんですかね。御存知なければいいんですけども。なければいいです、忘れてください。

最初の10mmの亀裂が進展するのもしないのかについてはどうですか。

(九州電力)

すみません、九州電力の石井です。お答え遅れまして申し訳ございません。それは9ページと先ほどの12ページ見ていただきまして、破壊靱性曲線がPTS遷移曲線、応力拡大係数を全然上回ってますので、幅60、深さ10mmの先端が進展するということはないという評価になってます。

(佐藤委員)

下の方のこの山のカーブは、表面での中性子照射量に基づいたものだということでしたよね。

(九州電力)

それで結構です。

(佐藤委員)

はい。結構です。

(釜江座長)

いかがですか。

はい、後藤委員。

(後藤委員)

後藤です。この K_1 の方、荷重項ですね、応力拡大係数の大きさの計算のときに、先ほどちょっとお話しましたように、温度がどういうふうになってくるかっていうときのちょっと詳細なデータといいますかね、こういう温度でこういう条件でこういう計算をした結果、こういう応力がこうなって拡大係数がこうなると、その辺の少し詳しいデータですね。これ、先ほど申し上げたように非常に複雑なことやっているわけですよ。流れがあって、それで温度が変わって、それによって応力が発生して、それでそれが亀裂の進展にかかるんですと。3段、少なくとも3段階ぐらいは技術的な話が全部入っているんですよ。

で、それ1個1個見ないと全く、結果だけ見たらね、それはそうなったかっておっしゃったらそのとおりかもしれないけど、それをちゃんと説明にすると相当詳しい内容を出さないと分からないってのが正直ですね。ほかの応力計算とか何とかとはレベルが違おうと思います、これ。これで見ればと分かる人はいないと思うんですけどね、と私は思うんですが。いかがでしょうか。

(釜江座長)

いかがですか。はい。

(九州電力)

九州電力の石井でございます。おっしゃる意味は重々分かるのでございますが、何分詳しいデータとなると、メーカーの商業機密が関わってきますので、先生たちにお見せすることは可能なんですけど、この場で詳しい値を述べたりすることがちょっとできませんので、そこら辺はちょっと工夫させていただきたいと思います。例えば、大破断LOCAとか言いますと、ある冷たい水が一気にどンドンステップ状に入るように、厳しい評価にしています。温度の混合を考えるのではなくて、高温と低温を考えるのではなくて、ステップ状にドンと落ちるような、そういう厳しい保守的な評価とかを盛り込んでいま

すので、保守的な評価は十分に盛り込んであります。そういう一例がありますので、ちょっと具体的な数字は今この場では述べられないんですけども、そういうところも含めて何か上手に御説明できればと思いますので、次回以降ちょっと検討したいと思いません。

(後藤委員)

後藤です。それは理解しています。例えばステップ状にどうなるとかね、当然、この計算上可能なやり方を導入するんで、そういうのは力学計算なんて当たり前でやっているんですよ、設計上はね。当然なんですよ。

問題なのは、その設定がいいかとか、今一つだけちょっとこだわりましたのは、メーカーの方のノウハウがあるとおっしゃいましたよね。というか、開示できない部分があるっていう。それは私ちょっと抵抗があります。なぜかといいますと、もしそこに、本当にそのメーカーの立場で守りたいものがあつたとしますよね。それはそれで尊重しますけれども、そのことと安全性の証明とはどうなるんですかっていうクエスチョンが残るんですね。本当にそんなこと言っているんでしょうかっていうぐらい、私はちょっと気になります。私もメーカーにいた人間ですから、逆にそんなことはね、できる限りそれを抑えて開示する努力。これは出さない、出せないのはどこで最低限に抑えているか、そういう納得のいく説明がないと、少なくとも一般の方から見たらこれは何だというふうになりますよ。なんでそれは、そんな情報が出てこないんですか、というふうに私は思うんですけどいかがでしょうか。

(釜江座長)

いかがですか。

(九州電力)

ちょっとこの場で即回答できませんので、持ち帰り関係者、メーカーとかとちょっと相談してみたいと思います。

(後藤委員)

よろしくお願いします。

(釜江座長)

ちょっと私から一つだけ、すみません。事象に2次冷却系の除熱機能喪失と、事故シナリオというか、シナリオ一つ増えてるんですけど、これは何かが引き金になって出てきたんでしょうか。非常に素朴な質問ですけど。

(九州電力)

これは、新規制基準で重大事項を見据えた事象が入ってきましたので、その反映を受けて、一つここの部分が厳しい事象が出てきましたので、その分反映してございます。

(釜江座長)

分かりました，ありがとうございます。
佐藤委員。

(佐藤委員)

はい，佐藤です。詳しい数字まで出せないっていうところは譲るにしても，この現象がどういうものなのかって視覚できるような説明ぐらいはできると思うんですよ。例えば，小LOCAって言ったときには，大きいノズルからちよろちよろ冷たい水が壁沿いに垂れ落ちてくるんで冷やされるんですよとかですね。蒸気破断のときにはこういう状況になって，だからこの急激な温度変化が起こるんだとかですね。あるいは今言ったSAの状態ですか。シビアアクシデントのときには，ベッセルの温度がもっと高くなるからもっと厳しくなる，事実かどうか分からないことをちょっとしゃべってますけれども，そういうこの現象に対しての視覚化できるような，イメージ化できるような説明ぐらいはしてほしいなと思うんですよ。

(釜江座長)

どうでしょうか。

(九州電力)

九州電力の石井です。このPTS遷移曲線の状態におけるプラントの状態というのは，NRAのヒアリングの中でも説明してございますし，公開もしてございますが，そういう状態でしたら御説明できます。今プラントがどういう状態になっていて，こういう曲線がこう走っているとか。そういうプラントの状態を付け加えることができますので，そこはちょっと今後御提示したいと思います。

(釜江座長)

よろしくお願いします。
渡邊委員。

(渡邊委員)

脆化予測式に関してですけれども，脆化予測式がこういうふうに変わってきたのは，先ほども説明がありましたけれども，玄海1号炉の問題があったので，こういうふうに少しずつ高精度化になってきたんですよ。その時に非常に有効だったのが，内部組織の評価で，電子顕微鏡だとかアトムプローブの評価というのが全部できて，いろんなメカニズムに沿った脆化予測式というのが可能になってきたんですよ。第4回目の評価というのが，実際いつやったかちょっと私には分からないんですけども，その後の進展というか，内部組織の発達というものが評価されて，実際のその評価式に合っているようなデータというのは出てきているんですか。

(釜江座長)

九州電力さん、よろしくお願いします。

(九州電力)

1号につきましては、第5回の監視試験の取り出しが終わって、評価を今準備中でございます。2号の第4回の監視試験の取り出しにつきましても終わってしまっていて、現在まだメーカーの方で評価中でございます。1号に関しまして、特に特異な点はないという報告は受けています。

(渡邊委員)

特異な点はないというのは、その脆化量に対しての特異な点がないということですよ。私が聞きたいのは、その組織の観察とかその脆化の予測式というのは、ある程度の、例えばそのメカニズムに沿った脆化の予測値というのになってきてるわけですよ。例えばループの数密度だとかクラスターの数密度をきちんと評価をして、脆化の予測式というのが算出されているという経緯があるんですよ。だから、そういうふうなその内部組織とその脆化の予測式というのが合ってますかというのが私の質問です。そういう実際のメカニズムを裏付けるための研究とか実証とか、ということは進んでますかということです。

(釜江座長)

九州電力さんよろしく。

(九州電力)

九州電力の石井です。1号の監視試験の結果から、脆化予測式とかそういうものから外れていないという報告は受けています。

(渡邊委員)

私は外れているか外れていないかということ議論しているのではなくて、それに対応する組織観察が進んでいますかということなんですね。内部組織の観察だったりアトムプローブの評価だったり、そういうふうな中身の評価。単に脆化の予測式で靱性値が幾らということ言っているのではなくて、そういう中身の評価というのが進んでいますかということ言っているわけです。そういうことを、例えば玄海1号の時はしっかり議論して脆化の予測式の評価に繋がってきたわけですよ。ということを私は聞いている。

(釜江座長)

どうですか、九州電力さん。

(九州電力)

九州電力の石井です。おっしゃるとおりです。組織観察とか電子顕微鏡もやってございますし、きちんと監視試験の中で。

(渡邊委員)

だから、やっているんだったらそれを見せてもらいたい。

(九州電力)

そこにつきまして、ちょっとまだ今回、PLM30のときにどういう評価をやったかという御説明のための回だと思ってございまして、第5回に関しましては、今後運転期間を延長したとしたのであれば、その5回のやつを反映したものが出てくるものと当社の方はちょっと考えてございます。

(渡邊委員)

分かりました。5回でも、4回でもいいんですけども、ここで4回でもってきちんと評価を、大丈夫ですよと言っているわけだから、この時点での評価というのはやはり見せてもらいたいんですね。やっているんだったら、やっていなかったら仕方ないんですけど。

(釜江座長)

これ4回目はいつなんですか。4ページにある4回目。

(九州電力)

川内1号の取り出し事業ですね。第4回が2008年8月です。

(渡邊委員)

だから、2008年だったら随分時間がたっていますよね。その間の九州電力さんなりの、例えば高経年化の取組を聞いているわけですよ。監視試験片に対しての取組状況を聞いてるわけです。

(九州電力)

すみません、九州電力の石井です。第4回の監視試験の結果については、またちょっと資料等持ち帰り検討して、先生に御説明できるようなものをちょっと準備したいかと思えます。

(渡邊委員)

だから第4回でも第5回でもいいんですけども、その内部組織の結果というのが、今の脆化の予測式に対してのモデリングね、モデリングというのは先ほど言ったのだけれどいろんなモデルがあって、そこに内部組織の結果を入れて合わせて、脆化予測式で幾らというのが評価出ているわけですよ。

合っているのか合っていないかを聞いてるんじゃないかと、中身としてこの脆化の予測式が反映されているんですかということを知っている。それには内部組織をしっかりと見ないといけない。

(九州電力)

その意図を含めまして、ちょっと資料の準備の方検討したいと思います。

(釜江座長)

多分、私が間違っているかもしれませんが、これは30年目のときの結果であって、前回は30年目以降いろいろ高度化している部分もあるでしょう。だから次、40年目にしろ、それには当然そういう途中のものを、新しくなったものを反映させていくということと多分、同じような御意見ではないかなと。

ですからこの30年の後に、九州電力でやってこられたことを、次には反映していくということでしょうから、そのために今何かされていますかということだと思うので、是非、今渡邊委員がおっしゃったようなことを御説明していただければと思います。

(渡邊委員)

もう一度聞きますけど、5回はもうやっているわけですね。5回の監視試験片ではなくて、先ほど言いましたけれども、内部の組織も含めて、実際のモデルと合っているということを説明できるわけですね、ということ私は聞いている。そこが何かね、ちょっとよく分からなくなりましたね。だからこう、その4回目が2000何年、随分時間がたっているように見えるんですね。以上です。

(釜江座長)

はい。ありがとうございます。多分、中身は御理解いただいていると思うので、次回以降、その辺の話も含めて御報告いただけたらと思います。よろしくお願いします。

(後藤委員)

すみません、1件だけ。ちょっと今の脆化の問題ってのは非常に難しいだろうと、私も推測しているんですが。ということは、今正にそのメカニズムとの問題、渡邊委員がおっしゃっていたので、そういう意味で考えますと、決してだから駄目だと言っているのではないですけど、データを積み重ねながら、そうやって理論化も組み合わせながら進んでいくわけですね。ということはね、先ほどおっしゃったように、これはこれで大丈夫ですっていうものの言い方ではなくて、相対的にでもいいですけども、例えば川内原発はこうなっていた、このデータはこうなっている、こちらの玄海はこうだったとかね。そういうものを見ながら、ここまでは分かって、ここは分かっていないのだということが大事で、そのときに、その振れ幅が問題になるわけですよ。今正に、玄海のと看は何が問題だったか。その議論が本当に本質的に大事な話であって、そのことを組み込まないとね、幾らこれは合っている合っていないものを言っても、なかなか通用しないと私は思うんですね。ですから、大事なのはやっぱり、データが限られているので、難しい作業だと思います。ですけど、限られたデータの中で何が分かるのかってことは、徹底的に見せていくべきだというのが私の意見です。それから、できるだけデータを、ほかのデータも一緒に見せていただいね、こういう傾向があったらこういうふうに見えるのではないかと。そういう御説明を、理論化と同時に、是非していただけたら納得

ができるんじゃないかというふうに思います。

(釜江座長)

ありがとうございます。はい。よろしいでしょうか。

(佐藤委員)

すみませんちょっと、大事なことを思い出しましたので。そもそも4ページの表、それから5ページの表にもある関連温度とか、それから上部棚吸収エネルギー。この値って4分の1tなわけですよ。4分の1tの値をどっかで使っているのかというのを考えると、余り大事じゃないのかなあと。もともとその4分の1tに対して要求していたからってということで、淡々とそれに合わせて評価しているにしても、欠陥は4分の1tではなくなっちゃってるわけですしね、今や。これ、何か余り意味がないような気がするんですよ。

9ページの、破壊靱性値の方側のこのグラフ。K_{IC}の曲線ですけども、これはもうコードで決まっている曲線で、これは68Jをベースにした曲線だったんですかね。一方川内の方は、その68に対しては、4ページの表を見ても分かるように、もうその何倍もあるような、たっぷりマージンがあるわけなんですけども。とはいえ、10mmのクラックチップでの値ではないんですよ。

なので、この9ページのグラフを見たときに、つまり破壊靱性側と応力拡大係数側を比較するとき、応力拡大係数の方の下の方の山なりのカーブの方は、これは10mmの欠陥に対してのカーブということだったですよ。一方、この破壊靱性値側の曲線の方は、これは10mmの物性に対する曲線になってないんじゃないですか。ここにこの4分の1を使うのは保守的じゃないですよ。むしろ、非保守的ですよ。だから、何かこの4分の1tのところの数字。もう、組合せがよく分からなくなってきました。

(九州電力)

今回この資料に記載してあるのは、JEAC4206に、4分の1tのところ68J以上あることを確認しなさいということで、その評価結果を載せています。

あと、佐藤委員が言われたように、4分の1tのところの値は何に使うのかっていうと、プラントの実際運用するとき、10ページ目を御覧ください。JEAC4206に基づき、加熱・冷却運転時に許容し得る、加熱冷却制限曲線というのを設けます。このときに、4分の1tの亀裂を想定して、PTSカーブを引いてやりますので、ちょっと今回の評価とまだ違うところの話でちゃんと使用はしているんですね。よろしいですか。

(佐藤委員)

いや、よくないですね。私質問したのは・・・。

(九州電力)

川江ですけど、もう一つ。一般的に鍛造材とか圧延材は熱処理とかしますんで、製造時ですね。4分の1tよりも表面の方が、破壊靱性値は良い方に出ることが一般的

に言われており、4分の1t以降の真ん中のところの方が、基本的には破壊靱性悪い方に出るんで、4分の1のところでは試験片を作りなさいということをしてJ E A Cでうたわれているという認識です。

(佐藤委員)

いや、4分の1tの方が応力拡大係数が大きいというのは分かりますよ。クラックの深さのルートに比例して応力拡大係数が大きくなりますからね。ですけれども、内壁に近ければ近いほど、中性子照射量が大きいわけですから、破壊靱性値の特性がいいなんてことはありえないでしょう。

(九州電力)

すみません。製造時の一般的な話です。照射を受ける前はそういう傾向がありますと。

(佐藤委員)

ですけれども、一旦照射を受けたら、その話は当てはまらないですよ。むしろ逆に、表面に近い方が、破壊靱性値は低下しますよね。

(九州電力)

低下します。おっしゃるとおりです。

(佐藤委員)

なので、私が確認したかったこの9ページの図は、この左側の破壊靱性値のカーブは、これは応力拡大係数のカーブの10mmに相当した物性材料の物性に対応しているんですかってことなんですよ。

(九州電力)

基本的に4分の1tのところの照射量が、試験片で出してますので、その照射量というのが分かります、取り出したときに。表面で受けるべく照射量というのを計算いたします。その差分というのは、温度としてどういう物性値で現れてくるかっていうのを、関連温度を用いてちょっと上下させるとというのが、このやり方になっていきます。

そういう意味で、照射量というのは、試験片を取ったときの照射量というのは、先行的に高い値が出ますので、その表面に戻したときに、どういう靱性値になるかっていうのを評価してるというのが、このやり方になります。

(佐藤委員)

ちょっと分かんないんですけれども、要はこの9ページの破壊靱性値と応力拡大係数が、アップルtoアップルの比較になってるのか、アップルtoオレンジの比較になってるのかってようなことなんですよ。私がおの場合の比較として、破壊靱性値の方が保守的なカーブに描かれてんじゃないかと。そういうことを、その可能性を疑ってるっていか、その可能性を質したいんです。

(釜江座長)

非常に大事なことで、同じ土俵でこの二つの絵が比べられるかどうかだけなので、説明をちゃんとしていただければ、これはおかしいとか、お互い多分コンセンサスがとれると思いますので、是非その説明を、次回でも結構ですから、しっかりとしてください。そんな難しい話じゃないかなという気がしますので、よろしくお願いします。

すみません、大畑委員。

(大畑委員)

今の佐藤委員の御指摘にも関連することですが、今お話されてます9ページの限界値と駆動力の比較図で、視覚的に限界値と駆動力がこれぐらい離れているから安全だろうというのは、そうかもしれないですが、限界値側、それから駆動力側に、見た目以上に更に厳しい評価をしているところがあるかと思います。それを明確にしていきたいなと思います。限界値側では、恐らく脆化シフト量の38℃とか66℃というのが、どのシャルピーの関連温度の結果から、どういうふうに厳しめに考えて出した値なのかっていうのを明確にしていきたいということです。

もう一つ、恐らく駆動力側もかなり厳しい側のカーブを出されているかと思いますが、それが見えなかったっていうところです。実際にはクラッドがあることによって亀裂開口しにくいことからより安全側になるかと思いますが、厳しく評価するためにクラッドは想定してないとか、また、クラッドによって発生する残留応力をどのように考えているかなどを示していただければ、見た目以上に、実は隠れた安全裕度というのがあるのかないのが明確になるかと思いますので、そこはきっちり示していただきたいなというふうに思います。以上です。

(釜江座長)

はい、ありがとうございます。

非常にうまくまとめていただきありがとうございます。是非今のところ、しっかりと説明していただけたらと思います。よろしいでしょうか。

(九州電力)

はい。了解しました。

(釜江座長)

はい。よろしく申し上げます。どうもありがとうございました。

ちょっと不手際で少し時間が、予定よりも延びてしまいましたが、まだ議題が残っていますが、既に開始後2時間近くたちますので、ちょっと休憩を入れさせていただきたいと思います。とりあえず5分ぐらいの休憩をとりたいと思います。すみません。3時半から再開したいと思います。

－ 休 憩 －

② 照射誘起型応力腐食割れについて

(釜江座長)

それでは再開したいと思います。Webの先生方も大丈夫ですね。それでは三つ目の議題でございますが、30年時の高経年化技術評価の中で、今日は、全体で6項目と冒頭で申し上げますが、四つ目でございます。前回から引き続いての話で、照射誘起型応力腐食割れについてということで、九州電力さん、説明をお願いいたします。

(九州電力)

はい。それでは、九州電力の石井でございます。資料3に基づきまして、30年目の時のPLM評価の結果のうち、照射誘起型応力腐食割れ、IASCCと呼んでいますが、こちらについて御説明させていただきます。

ページをめくっていただきまして1ページ目、目次でございます。5項目になっておりまして、一つ目が審査会合における代表機器の選定、二つ目に健全性評価、三つ目に現状保全、四つ目に総合評価、最後に高経年化への対応という項目で構成させていただいております。

説明に入る前に、今回の資料の中に炉内構造物というものが出てきます。ちょっとこの炉内構造物というものの機器の御説明を先にさせていただこうと思っておりますので、14ページ目、一番最後のページを御覧ください。原子炉容器がございまして、この原子炉容器の中に炉内構造物というのがございます。緑の線と青の線で囲んでいる部分でございます。緑の線の部分が、炉内構造物のうち、下部炉心構造物といたしまして、ここに今、燃料が4分の1炉心くらいあると思っております。この中に、バッフル板というものを最外周に敷いております。この中に燃料集合体を170体敷き詰めて、炉心を構成するものがございます。これが原子炉容器の中に入っております。青のところ、青の矢印引いてますが、こちらが上部炉心構造物といたしまして、制御棒駆動案内管とか、そういう制御棒を案内するような構造物になっておりまして、そういう構成になってございます。炉内構造物というものがこういう構成になってございますので、要は、燃料から一番近い部分でございます。そこのところを御認識ください。

それでは、ページ戻っていただきまして、2ページ目でございます。代表機器の選定でございますが、評価対象機器の機器及び代表機器ということで、照射誘起応力腐食割れ、IASCCの発生要因としては、材料、環境及び応力の三つの要因が考えられます。運転時間が経過し、非常に高い中性子照射量を受けたステンレス鋼において、このIASCCというのが発生する可能性がございます。まず、材料要因でございますが、非常に高い中性子照射量を受けたステンレス鋼、中性子照射量が高いほど厳しいということで、こちらは左下の図1を御覧ください。照射量が進んでいくごとに、右上に破面率が上がっていくのが確認できると思っております。中性子を受けるほど破面率が上がっていきますので、厳しい状況になります。

二つ目、環境要因でございますが、温度が高いほど厳しいということで、右下の図を御覧ください。右下の図の方見ていただきますと、温度が高いほどSCCの発生のしきい値が下がってきますので、こちらが厳しくなると。温度が高くなるほど厳しいという

ものでございます。

三つ目が応力要因でございまして、応力が高いほど厳しいと。ページめくっていただきまして、3ページ目を御覧ください。3ページ目の方めくっていただきますと、降伏応力に対する比ということ、降伏応力に対する比が高いほど短時間で発生してございますので、応力が高いほど厳しいということがわかります。

以上の3要因を踏まえまして、4ページ目についてください。右上4ページ目です。ステップ1として、材料がステンレス鋼で、照射誘起 I A S C C 感受性の発生が考えられる中性子照射量10の21乗オーダー以上、運転開始後60年時点でございますが、を受ける機器をまず抽出します。上記の結果、抽出された機器が、先ほど御説明しました炉内構造物のみでございましたので、この炉内構造物が I A S C C の評価対象機器となります。炉内構造物も各部位で構成されてございますので、各部位の中性子照射量、温度、圧力、応力を整理してございます。

次のページで御説明いたしますが、評価部位のうち、中性子照射量と温度が最も高く、応力レベルが大きく、海外での損傷事例もあるバッフルフォーマボルトを最も厳しい評価部位として選定してございます。右の方の図を見ていただきますと、先ほど御説明しました下部炉心構造物の中に炉心バッフル、最外周にバッフル板として構成していると御説明しましたが、こういうバッフル板があります。そのバッフル板をボルトで締めてございますが、そのバッフル板を締めていますボルトを、バッフルフォーマボルトと呼んでいます。

それでは、5ページ目の方に移ってください。5ページ目の方ですが、こちらが評価結果でございます。構造物としまして、バッフルフォーマボルト、炉心バッフル、炉心バッフル取付板、バレルフォーマボルトなど、ここに記載のものを構成部品として評価いたしました。一番上の赤字で書いていますバッフルフォーマボルト、これが中性子照射レベルが高くて温度も高い、応力レベルも高くて、なおかつ海外で損傷事例もあることから、このバッフルフォーマボルトを、今回 I A S C C の評価対象機器と選定してございます。

ページをめくってください。6ページになります。ここからが健全性評価になるのですが、健全性評価に入る前に、川内1号でのバッフルフォーマボルトの仕様を少し御説明させていただきます。参考資料の12ページ目を御覧ください。右上12ページ目です。青で囲んであるところが、川内と同様のボルトを使っていますプラントでございます。スリーループプラントで、高浜3・4号、伊方3号、川内1・2号機は同じ仕様のバッフルフォーマボルトを使用してございます。首下形状がパラボリックで、材料が S U S 316 C W、ボルトの冷却孔もちゃんと付いているというようなボルトの仕様になります。

この仕様を踏まえて、13ページ目を御覧ください。こちらが、日本機械学会の維持規格の中で、先ほど12ページ目の各プラントのボルトをグループ化しています。川内1・2号機のバッフルフォーマボルトはグループ4に入りまして、青字でハッチングをかけてございますが、こちらの表、グループ1が一番厳しく、その次がグループ2、グループ3、グループ4ということで、比較的川内1・2号のバッフルフォーマボルトは、応力等厳しくない環境となっております。

ページ戻っていただきまして、右上6ページ目を御覧ください。健全性評価の適用規

格，評価条件としまして，日本機械学会の維持規格，あと原子力安全基盤機構で発行されました，IASCC評価技術に関する報告書，あとはマルGのプラント長寿命化技術の報告書等を用いまして，評価を実施してございます。2. 2はIASCCの損傷予測評価ということで，(1)でバッフルフォーマボルトの仕様，先ほど御説明しましたので，御説明したとおりの仕様でございますが，川内1号炉のバッフルフォーマボルトは応力低減等を図った改良型のボルトを採用してございます。IASCCの可能性を低減しているということでございます。

それでは7ページ目の方に移ってください。今回，このIASCCについては二つの評価をやってございます。維持規格に基づく評価と，もう一つはIASCC評価技術に関する報告書に基づく評価ということで，2種類の評価をやってございます。7ページ目の方が維持規格に規定されています内容でございますが，まず丸の一つ目でございますが，維持規格におきましては，バッフルフォーマボルトは縦列2本のボルトが存在すればよくて，7割が損傷しても炉心は大丈夫という評価となっています。前の二つ目でございますが，バッフルフォーマボルト仕様に従い，先ほど御説明しましたように，グループ1から4に分類がなされ，損傷ボルト本数の合計本数が全体の2割に至るまでの期間に，先ほど御説明したグループ1，一番厳しい条件のグループ1のボルトは，運転時間約30年，次に厳しいグループ2では約50年という損傷予測曲線が，維持規格の中に盛り込まれてございます。グループ3，グループ4というのは，比較的ボルトは楽な方向には行くんですが，規格上はグループ2と抱き合わせで，グループ2，3，4は同じ取扱いとなっております。3つ目の③を御覧ください。川内1号のバッフルフォーマボルトについては，グループ2と比較して，先ほど御説明したようにグループ4ですので，IASCCの発生可能性を低減したボルトを採用していますので，グループ2よりは発生可能性は低くなります。川内1号の損傷ボルト本数の合計本数が2割に至るまでの期間というのが，先ほど御説明したとおり，2，3，4抱き合わせですので，維持規格を用いると，グループ2の損傷予測曲線と同じで運転期間50年と評価されます。

ページめくっていただき，8ページ目でございます。こちらが二つ目の評価でございますが，IASCC評価技術に関する報告書に基づく評価ということで，こちらの方で解析しまして，詳細な評価をしてございます。最新知見が反映されたIASCC評価技術に関する報告書に示された評価ガイドに基づきまして評価を行った結果，運転開始60年時点までのバッフルフォーマボルト予測損傷本数は0本，損傷はないという結果が得られてございます。下の枠囲みに書いてございますが，評価方法として，バッフルフォーマボルト応力履歴を算出しまして，二つ目に，評価ガイドに定められている発生応力線図を算出して，ボルトの応力履歴を重ね合わせます。最後に，バッフルフォーマボルトの応力履歴が割れ発生線図を超えた時点を，IASCCの発生時間とするという評価手順になります。どういうことかというのと，右側の図5を見ていただくと，青で割れの発生応力線図，しきい値の線がございまして，これに，実際に応力履歴の線を解析で求めまして，重なる点があれば，そこが損傷の可能性のある地点ということになります。

ページめくっていただきまして，9ページ目でございます。9ページ目に評価結果を載せてございます。評価の結果，運転60年までにバッフルフォーマボルトの発生する可能性はないということになりました。図の方を見ていただきますと，割れ発生線図，赤

の点線がございますが、どのバッフルフォーマボルトの応力履歴を見ても重なっておりませんので、60年、割れ、損傷は発生しないという結果になります。

ページをめくっていただきまして、10ページ目でございます。10ページ目が、評価の内容を簡単に御説明したものでございます。左側の方のフローを見ていただきまして、まず上に、バッフルフォーマボルトの構造に対して放射線解析や γ 発熱分布、流体温度、熱伝播係数等用いて解析をやりまして、バッフル板がどういう変形を起こすかというのをまず解析いたします。このバッフル板がどういうスエリングを起こすかということで、スエリングした状態で、今度ボルトにかかる応力が出ますので、このボルトにかかる応力を解析で求めています。これが応力の評価手法でございます。

ページめくっていただきまして、11ページ目になります。まず3. 現状保全、炉内構造物につきましては、定期的に可能な範囲で水中カメラによるVT-3の目視検査を実施し、異常がないことを確認しています。また維持規格に基づき、バッフルフォーマボルト超音波探傷検査を実施し、ボルトの健全性を、今後必要により確認することとさせていただきます。総合評価としまして、バッフルフォーマボルトについては、新知見を反映した損傷予測評価により、運転開始後60年時点までに損傷が発生する可能性が低いとの結果が得られました。しかし、先ほども維持規格の方で御説明したとおり、管理損傷ボルト数に至るまでの時間は運転時間約50年と評価されるため、保全についてもこの維持規格に基づいて、必要により現状保全を実施していくこととなります。また、バッフルフォーマボルト以外の部分については、最も厳しいバッフルフォーマボルト損傷予測の結果、損傷の可能性は低いと評価されていますので、同様にその他の部位についても損傷の可能性は小さい、低いと考えてございます。なお、冷温停止状態には照射量がなく、事象の進展がありませんので、この本評価の方が保守的な評価であり、健全性に影響はないという結果になってございます。最後に高経年化への対応でございますが、IASCCに対しましては、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないという評価を実施いたしました。30年目のPLMのIASCCについての御説明は以上となります。

(釜江座長)

はい。ありがとうございます。それではただいまの御報告に対して御意見、御質問。
佐藤委員。

(佐藤委員)

はい。ちょっといろいろありますけれども、まず14ページの図ですが、これの中に炉内構造物が示されているんですが、炉内構造物の中には、安全上のグレードの高い炉心支持構造物と分類されるものもあるわけですね。ここには全体、炉内構造物と書いてますけれども、炉心支持構造物にどれが該当するのかというのを、後で教えてください。

それから、戻りまして、ちょっと5ページの表を見て、ちょっと思い出したことがあったんですけれども、この中性子照射レベルが非常に高いわけですね、 1.0×10^{23} 乗と。先ほど後藤委員が、いろんな劣化現象の組み合わせの話がされたわけですが、確かに私も、先ほどオーステナイト系のステンレス鋼は韌性材料だから、脆性を心配する

必要のない材料だというふうな発言をしたんですけれども、それは照射が低い場合の話であって、これほどの照射を受けると脆性材料に変化するんですね。現に、BWRにシユラウドっていう構造物があるんですけれども、これも照射量の高いところになりますと、脆性材料に変化しているために、クラックが発生すると、破壊力学評価をしないとイケないんですよ。同じことがバップルフォーマボルトにも起こり得るわけで、単なる健全部分のリガメントでの、それに許容応力をかけ算する評価だけでなく、破壊力学評価もしなければならぬほどの照射量なんで、たとえそのステンレス鋼316、あるいは347のステンレス鋼とはいえ、弾性材料として、普通の材料として扱えない領域までなっているということです。なので、ちょっと物性の変化に基づいた脆性材料としての考え方はどうなのかということ。

それから10ページ目ですが、ちょっと御説明の中でも、照射によるスエリングの話があったわけなんですけれども、スエリングが発生しますと、ボルトの締め付け力が緩和するわけですね。つまり、しっかり締め付けておいたボルトが緩むわけです。それに対しての、ボルトの締め付け力の緩和に対する問題がないのかどうかという話。

あと、このバップルボルトが、例えば全部なくなったというようなシナリオを考えたときに、炉心の中がどういう状況になっていくのかという話の説明。

それから13ページ目の表で、バップルフォーマボルトの首下形状について3種類書いてあるんですけれども、特に2R、つまりこの首下のコーナー部分が2mmってことですね、半径が。これがこのパラボリックの形状に更にアップグレードしてるように見えるんですけれども、これは具体的に応力集中係数としてどれだけ改善しているのか。以上です。

(釜江座長)

はい、四つありましたね。大丈夫ですか、よろしいですか。

(九州電力)

九州電力の石井です。ページの5ページ目からいきます。バップルフォーマボルトが照射量が高いということで、物性変化による脆性破壊等を考えなくてよいかについては、ちょっと持ち帰り、まとめて御説明できるように検討させていただきます。

それから、10ページ目のボルトに関してでございますが、9ページ目を御覧ください。このボルトの挙動として、まず一番最初に、ボルトの締め付けで応力が立ちます。そのあと、中性子照射に基づきまして、その応力が緩和されてきます。その後、そのまま低いのもあれば、バップル板のスエリングでボルトに負荷がかかって、ボルトの応力が上がっていくものも出てくるということで、ボルトに関してはそういう挙動になります。なので、締め付け力は最初は上がるんですが、徐々に中性子の照射に伴って緩和されて、低減されてくると。

(佐藤委員)

すみません、ちょっとそういう説明して下さったのかもしれませんが、すみませんでした。そういうことですね。それで、その場合に、それなりの根拠があっ

て締付けトルクだとかを決めて締めているわけですよ、もともとね。それが緩和することによる弊害はないんですか。

(九州電力)

特に、今のところそういう弊害は確認されてございません。

(佐藤委員)

つまり、このギャップが広くなるとか、ギャップが広がるんでそこから漏れが発生するとか、そういうことはないっていうのは評価しているんですか。

(九州電力)

それは評価してございますし、実機でも今まで確認されてございません。

(佐藤委員)

はい。

(九州電力)

それから、次に12ページ目を御覧ください。こちらにボルトの仕様を書いてございますが、首下形状のR2とパラボリックで応力係数がどれくらい違うかという点については、すみません、ちょっと今手持ちでございませんので、次回御提示できるように準備いたします。

(佐藤委員)

改善ではあるんですね。

(九州電力)

改善ではございます。パラボリックの方が形状が緩やかになってございますので、明らかに応力集中に対しては低減されているのですが、その応力集中係数がどれくらいかっていうと具体的な数字までちょっと持ち合わせてございませんので、そこは次回御提示できるように準備させていただきます。

(佐藤委員)

はい、お願いします。

(九州電力)

14ページ目でございます。こちらで二つございまして、ボルトが全数脱落したらということでございますが、結果的にはボルトは1本も折れないですし、ボルトが全数折れた場合はやはり炉心に何らかの影響は出るんじゃないかと思いますが、評価上は、ボルトは折れないと。他プラントにおいても、割れたとしてもごく少数ということで、余りちょっと全数割れる想定というのはなかなか聞いたことがございません。

(佐藤委員)

非現実的な仮定だってことですかね。

(九州電力)

はい。

(釜江委員)

この14ページの右下の絵を見ると、例えばそのボルトがないときに、炉心槽とかフォーマ板とか、そういうのはもうバラバラなのか、それともその狭い空間の中ですから、バラバラにはならず、ただ固定はされていないというそんな状況ですか。そんな簡単なものではないですか。

(九州電力)

これ個人的な見解でよろしいですか。バッフル板と炉心槽側はそのまま立っているんじゃないかと思うんですが、その間のフォーマ板というのが9枚入っています。それは間に入って固定しているだけなので、下にドスンと落ちるんじゃないかと思うんですが、私の勝手なあれですみません。

(釜江座長)

絵を見るとそんな感じはしますね。

(佐藤委員)

中性子照射量は、この2種類のボルトで違いますよね。内側にある方が高いですよ。

(九州電力)

14ページ目を見ていただきますと、内側にバッフル板とフォーマ板を固定しているのがバッフルフォーマボルトで、その外の炉心槽、これが外側にあります。炉心槽をフォーマ板を接続してますのがバレルフォーマボルトということで、距離感が違いますので、バッフルフォーマボルトの方が厳しくなるということになります。

最後にすみません、ちょっともう一度確認で、炉心構造物が何が該当するかっていう、ちょっと佐藤委員の意向をもう一度お聞きしてよろしいですか。

(佐藤委員)

炉内構造物の中の、炉心構造物はどれなんでしょうという質問でした。

(九州電力)

炉心支持構造物は、まず下部炉心構造物に関しましては、緑の矢印引いてますが、これから中の燃料を空にしたやつは全部下部炉心構造物になります。

(佐藤委員)

炉心支持構造物。すみません、どこから下っておっしゃいました。

(九州電力)

この絵のとおりです。絵そのものが下部炉心構造物になります。

(佐藤委員)

ここにこの線を入れて書いている構造物イコール炉心支持構造物だってそういうことですか。

(九州電力)

下部炉心構造物です。上の青い線を引っ張っているところが上部炉心構造物といいまして、燃料を入れたら、下部炉心構造物に蓋をする形になります。この二つを合わせて、炉内構造物と言ってます。

(佐藤委員)

私の理解では、いいのかもしれないんですけども、BWRの場合ですと炉内構造物と炉心構造物っていうのは別物で、一般に炉内構造物というのは安全系に属してないものもあって、炉心を固定、垂直方向・水平方向に対して固定していない構造物ってたくさんあるんですね、BWRには。

それと、地震が来たり事故を起こしたりしたときに、炉心、すなわち燃料のことですけれども、燃料がバラバラにならないように固定するのに寄与している構造物を炉心支持構造物として区別してるんですけども、今のここにあるものは全部、燃料の支持、垂直方向・水平方向に対して、支持に貢献している機器ばかりだと、そういうことですか。

(九州電力)

はい。

(佐藤委員)

そういうことですね。分かりました。

(九州電力)

佐藤委員の御質問への回答は以上でございます。

(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)

先ほどの照射脆化の議論の際には、ニュートロンの量を書く場合というか説明する場合に、1ミリオン以上のニュートロンで説明してきたわけですが、今度は0.1ミリオン以上のニュートロンの量で評価しているわけですね。川内の1号炉の場合のニュートロンの量を、1ミリオン以上のものと0.1ミリオン以上のもので評価した、その炉心の様子というのを出してもらいたいんですね。そうしないと、どういうふうなそのニュートロンの量の分布になってるかというのが分からないんですね。

それと、例えば8ページでもいいし9ページでもいいんですけども、横軸にバッファフォーマボルトの中性子の照射量をdpaで表してますよね。dpaで表しているんですけども、そのときのニュートロンの量というのは、0.1ですか、1ミリオンで評価されてるわけですか。

それともう一つは、例えば60年使った場合のニュートロンをdpaで表したときの照射量というのは、幾らという評価をされてるんですか。それをお聞きしたいんですね。

(九州電力)

ニュートロンの分布に関しては、ちょっと今手元にございませんで。

(渡邊委員)

スリーループの場合のニュートロンのフラックスというのは高いので、ものすごく高いんですね。我々がツーループで経験したようなものではなくて、短時間でニュートロンの量が、蓄積が早いんですね。それを0.1ミリオンで評価した場合と1ミリオンで評価した場合ということです。

(九州電力)

そちらについては、次回御準備させていただきたいと思います。

(釜江座長)

はい、よろしく申し上げます。

(九州電力)

それと、60年時点でのdpaというお話なんですけれども、9ページ目を御覧ください。こちらが、炉内構造物とバッフル板につきましては対称性がございまして、8分の1で、あとはそれを比例計算すればいいという規格になってございます。その8分の1の中に、15列×9段ボルトがございまして、135本ボルトがございまして。その135本全部の応力を書いた線図がこれになります。そのボルトごとに位置が違っているので、dpaが変わってまいります。ここが一番、線の切れ端のところは60年時点のdpaになります。ですので、ボルトごとでdpaは変わってきます。

(渡邊委員)

やはり高いところで85dpaだと。そのときのニュートロンのエネルギーは、0.1ですか、1 ミリオンですか。dpaで評価するときの。

(九州電力)

すみません、ちょっと今0.1か1メガか即答できませんので、ちょっと調べて御回答させていただきます。

(渡邊委員)

それと、今回はバッファフォーマボルトだけの評価になってますけども、基本的なことをお聞きしたいのだけれど、本当にそれでいいのかというのが、やっぱり疑問があって。代表機種、代表的なところで評価するのは結構なんですけれども、本当にバッファフォーマボルトだけでいいんですかという、単純な質問にはどういうふうに答えるんですか。

(九州電力)

九州電力の石井です。そこは5ページにも記載してますとおり、条件的に厳しく、やはり損傷事例が出ているバッフルフォーマボルトを対象として評価すべきだと、当社としては考えます。

(渡邊委員)

だからそれは、いろんな事象が非常に明確に分かってくれば、その応力腐食割れという現象というのが明確になってくるんですけれども、我々の知見というのは、そこまで明確になってないんですね。やっとならば応力腐食割れという現象が分かりつつあって、それに対して照射誘起となってくるともっと分からなくなってくるんですね。そういう明確な、何というのかな、場合分けというのは我々はできないんですね。だから、こういうふうに分けられてるということを、やっぱりもう少し理論付けて、明確に説明してもらいたいんですね。以上です。

(釜江座長)

よろしいでしょうか。どうぞ。

(九州電力)

はい。それでは、5ページの表で御説明できるかと思いましたが、委員の意向に従い、もう少し理論的に御説明できるようにしたいと思います。

(釜江座長)

お願いしたいと思います。

(後藤委員)

すみません。

(釜江座長)
後藤委員。

(後藤委員)

蛇足で申し訳ありません。今の渡邊委員のお話，私，一般的にやっぱり気になっているんですね。本当にね，非常に劣化とか分からない，分かりにくい。もちろん将来はね，もうちょっとクリアになるかもしれないけど，一応過渡期において，余り断定してはいけない状態で，これはこうだこうだっていう順位付けてこれをやればいってのは，ちょっと抵抗があるんですね。やっぱりもうちょっと本当に，渡邊委員がおっしゃるように広げてね，網を広げていろんな視点から見てこう持っていかないと，何ていうのかな，安心できない，心配が残るんですね。この1個をやったから良いつていう感覚は，私はちょっとそれでいいのかなと。私自身もそう思ったんで，渡邊委員の御意見，非常に重要な御意見だったと思いますので，私もそういうふうに，蛇足ですが。以上です。

(釜江座長)

私は，今選ばれたのは一番上の話で，海外の損傷事例があるということも一つだと思うので，それ以外を比べると応力腐食割れの話ですから，応力が大きいということで選ばれたんでしょうけども。例えば炉心バッフルの話になると，例えば9ページみたいな同じような絵が出るってことですか。もしそれを評価するとしたら。ちょっと違うんですか。バッフルフォーマボルトの応力履歴というのがあって，あるしきい値よりも小さいということでOKだとしてるんですけども，例えば今の炉心バッフルとかというようなものも，同じような絵が書けるんですか，ちなみに。そういう問題じゃないのですかね。

(九州電力)

九州電力の石井です。バッフルはあくまでも板ですので，スエリングしかかからないと思うので。解析はできると思いますが，こういう事象にはならないと思います。

(釜江委員)

ちょっと私も素人なもんですから。今の渡邊委員の質問にちょっと乗っかっちゃいましたけど。そういうものなんですか。分かりました。

(後藤委員)

もう一つ，すみません。この構造物，バッフルフォーマとかの炉心構造物，このところの設計の段階と，評価上ね，維持基準としての評価でやったからこういうことになるわけですね。元の設計ってのはどういう，それとの関係はどういうふうになってるんですか。余り関係してこないんですかね。設計上ね，最初に作ったときの設計，それと今回のこれは，維持基準でこうやってやってきたから初めて出てきた問題なんだとそういう位置付けでよろしいんですか。設計の段階では気が付いてなかった，あるいは考えて

いなかったと、そういう感じなんですか。その辺の感覚がちょっと分からなかったもの
ですから。いかがでしょうか。理解の仕方です。それでいいのかって意味です。

(九州電力)

維持規格に関しては、設計の際には考慮されていません。ただし、メーカーの技術開
発で、ボルトの仕様を改良していったという位置付けになります。

(後藤委員)

分かりました。ありがとうございます。

(釜江座長)

渡邊委員。

(渡邊委員)

例えば最初の説明の7ページの時に、バッファフォーマボルトが、縦2本のボルトだ
けが残ってればいいという説明なんですけど、我々の知見から言うと、バッファフォー
マボルトが1本折れるだけでも、それは大変な事象ですよ。それをこういうふうな書き
方をするというのは、非常に何ていうのかな、やっぱりよくないと思うんですね。そう
いう目で見てもってもらいたいんですね。違いますかね。バッファフォーマボルトが1
本折れたらそれはもう立派な事象ですよ。こういうふうな考えでもって対応してもらい
たいんですけどね。

(九州電力)

九州電力の石井です。7ページ目のポツの一つ目に書いてあるのは、あくまで維持規
格にこう書かれてますってのが記載してあるだけで、これで事業者としていいと思っ
てなくて、具体的には、8ページ以降にきちんと解析をやって、ボルトが折れませんとい
うのをちゃんと担保持っていますので、炉内構造物のバッフルフォーマボルト、炉内構
造物 I A S C Cについては、損傷がなくて問題ないという評価をしています。

(渡邊委員)

維持規格は十分我々も理解してるわけですけども、そういうことを前面に出す必要と
いうのは、ここではないですよ。そう私は思うんですけど。だからその全部折れたら
どうなるんだという質問になる。つまらない質問を誘発している。

(九州電力)

そこの意向は分かりました。すみません、この資料が基本的に当時の審査会合の時の
資料をそのまま用いていますので、そのような御指摘が出たものと思います。今後気
をつけたいと思いますので、すみません、ありがとうございます。

(釜江座長)

安心だということと言いたかったのかもしれませんが、使い方によってはそういうふうに見られる場合もあるので、ぜひよろしくお願いします。

佐藤委員。

(佐藤委員)

すみません。9ページの絵ですが、これは割れ発生応力線図ということで、その発生に注目しているわけですが、発生というのと、亀裂がその後進展して破断するというのは別問題なわけですね。進展速度っていう、亀裂が発生した後の進展速度に関するデータみたいなものというのはあったですかね。例えばBWRの場合ですと、IASCCでなくて通常のIGSCCの場合で年間11mmとかっていうのが、水質が非常に悪い場合の環境の条件で、応力も大きい場合ですけれども。その進展速度ってどのぐらいなのかなあと。つまり、発生したら、例えば今の時点で良くて、次の運転サイクルのうちに発生して、そのまま進展して破断すると。そういうくらい進展速度は速いのかどうかということですね。それはちょっと興味のあるところです。

それから、14ページ目の絵をもう一度見てたんですけども、この検査方法として、目視検査で、カメラで見ると。果たしてボルトの首下に発生している亀裂は、これはちょっと見えそうもないわけですよ。見えないどころか、亀裂がもう完全に進展して、首下がもう千切れていると、そういう状況になってるとしても、場合によってはそのままここにこう乗った状態になっていて発見されないっていうようなこともありそうな絵なんですよね。なので、ちょっとその辺、健全性の確認方法として、このボルトの確認方法はどうかかなあというのを、ちょっと追加で質問させていただきたいと思います。

(釜江座長)

九州電力さん、いかがでしょうか。

(九州電力)

九州電力の石井です。今回の評価におきましては、割れ発生応力線図にかかっておりませんので、発生はいたしません。万が一損傷が発生した後の進展速度というのは、ちょっと私が知る限り聞いたことがないので、データとしては、一旦確認しますが、恐らくないと思います。ありましたらまた次回でも訂正させていただきますので、そういう進展速度はありませんということで御回答させていただきます。

それと、ボルトの目視検査でございますが、従来現状を確認できる保全としては、目視確認をして、ボルトに異常がないことを確認するというので、やれるだけの点検をやっているところが実情でございます。

(佐藤委員)

ちょっと悪く言えば、脱落してなければ繋がっているはずだと、なんかそんな印象ですね。

それから、亀裂の進展速度のデータがないということの意味は、これは、亀裂が発生

したときには、次のサイクルにはもう破断に至ってしまっているという可能性を否定できないということになるということをご理解していただいて、何か知見がないか、次回でも結構ですから教えてください。なければならないというのは、それが事実であればそれはしょうがないことですが、はい。

(3) これまでの委員からの質問への回答

(釜江座長)

よろしいですか。是非お願いします。Webで入っている先生、よろしいでしょうか。時間が段々と過ぎて、後がなくなってきたので、すみません。

それでは最後になりましたが、一般に委員会では、Qが出るとAが必要ということで、段々とAを積み残していくことがよくあると以前申し上げたのですが、今日は前回の分科会のときにいただいた幾つかの質問に対する回答を簡単にさせていただきたいと思えます。多分委員の先生方から回答に対する質問があると思えますので、説明の方は簡単をお願いしますと思えます。

(九州電力)

はい。九州電力の上村です。資料の4になりますが、先ほど座長からもございましたとおり、こちらの資料につきましては事前にお配りをさせていただいているものになりますので、もしよろしければ3-1から15まで15問ございますけれども、説明を割愛させていただきます。

(釜江座長)

委員の先生方は、御自分の御発言のところは、多分御回答の方も見ていただいていると思うので、どうしても今日その回答に対して御不満があるなり何かあれば、この場でということで、少し時間節約をさせていただきたいと思えます。

(九州電力)

よろしくお願いします。

(釜江座長)

それでは守田委員。

(守田委員)

九州大学の守田でございます。前回の分科会のときの質問に対してお答えをいただきまして、どうもありがとうございます。

私が質問させていただいたのは、No. 3-9でございます。23ページです。私の質問は、安全な長期運転に向けて設計の経年化についてどのように考えているのかということだったのですが、前回も申し上げましたけれども、国内でも比較的運転期間が長い原子力発電所の部類に川内1号、2号はなるかと思えますけれども、一般の方が不安に思われ

ている、漠とした不安を持っているのは、古いプラントを20年延長して運転するのが大丈夫なのですかということだと思っておりますが、この分科会の中では、物理的に経年劣化が進んで、そこは大丈夫なのですかということについては、今日の分科会でも非常に詳しく議論をさせていただいているところですが、私の質問は、設計が古いことによって、これが何か、運転を延長する上で、安全上問題になることはないのですかと。新しいプラントを20年運転するのと、古いプラントを20年運転するのを比べたときに、安全上、大きな差があってははいけないと思います。設計の差異で、プラントの設計が古いことによって、何か安全上の弱点が露呈するとか、安全上想定されるような懸念があるとかそういったことを整理した上で、運転の延長をする上での判断について、判断が正しいかどうかということについて議論をすべきではないかなというふうに思っております。

No. 3-9での御回答は、ATENAの方で2020年9月に出されております「設計の経年化評価ガイドライン」というものに沿って各プラントの評価を実施し、その結果については公表していきますということが言われていますけれども、この話と、設計の古さが運転延長する上で安全上問題になることはないかということ、スケジュール感をどういうふうに九州電力さんとしては考えられているのか。恐らくここで言われているのは、事業者の自主的な安全性向上の取組の中で実施していきますということを言われていると思うのですが、それはそれでしっかりやっていただかなければいけないと思いますけれども、運転延長をする判断の上で、この話をどのようにお考えかということについてお考えをお聞かせいただければと思います。よろしくお願いたします。

(釜江座長)

はい。九州電力さん、よろしくお願いたします。

(九州電力)

九州電力の上村でございます。守田委員から先ほどお話しいただきました運転延長を見込んだ上での設計の古さ、妥当性についてというところにつきましては、確かにこの資料に落とせてございません。今回、我々が御回答を準備したのは、今の電力の動きと、その取組内容だけになってございます。

我々が40年を超えて運転延長するという申請を考えたときに、この設計の古さの評価は適宜進んでおりまして、評価としましては、ここにも記載してございますけれども、新規制基準に適合したプラント、PWRでいけば5電力16プラントありまして、それぞれの設置許可レベルで違いの洗い出しをしてございます。その辺りのスケジュール感と我々が今から考えますそういった申請のところで、何かしら考慮できるものがあるかどうかということにつきましては、社内でもう一度確認をしまして、次回以降お示しをしたいと思っております。すみません。よろしくお願いたします。

(守田委員)

よろしくお願いたします。ありがとうございます。

最後に一つ申し上げますと、福島第一のことを考えますと、タービン建屋の地下階に安全系の電源系の設備があったと、これが津波によって全電源喪失の事故の一因になっ

たと。こういった設計はその古いプラント固有の設計であったけれども、事故を起こすまでの間にこれが自主的に改善されるということはなかったと。そういった反省を踏まえた上で、ガイドラインというものが設定されているというふうに理解しております。

一般の方も、古い設計のために、新しいプラントでは起こらないような事故が起こってもらっては困るというふうに思われると思うので、そののところがしっかり、そういうことではないのだよと、あるいは少し懸念があるのでここはこういうふうな対応をとっていきますということをやはりお示しを、延長をされる前に、判断をされる前に、示されることが必要ではないかというふうに思います。よろしく願いいたします。

(九州電力)

ありがとうございます。

(釜江座長)

はい、ほかに。

佐藤委員どうぞ。

(佐藤委員)

佐藤です。私の質問に対する回答は、しっかりとまとめていただきましたので余りありませんが、少し念のための確認なのですけれども、30ページ目のコンクリートのところでは、この影響を受ける部分については、機械的とかその遮蔽の能力だとか、そういうものに対して担保していない、それでも十分だと、そういう趣旨だと思うのですけれども、それはもう空洞になっていたとしても、それでも大丈夫という理解でよろしいのでしょうか。

それと、30ページのニュートロンの照射量に、これには省いたのかもしれませんがけれども、中性子のエネルギー値が、0.1MeVになるのか、1MeVなのか書いていないのですけれども、どちらの方だったか教えていただけますか。

(九州電力)

九州電力の生貞でございます。二つ目の御質問につきましては、0.1の条件でございます。

一つ目の御質問につきましては、10cm程度は中性子照射の影響があるということで、この範囲のコンクリートが全くないという一番保守的な前提に立って、地震時の鉛直方向の力に対してどうか、ひずみに対してどうかという評価を実施しております。

(佐藤委員)

はい。どうもありがとうございました。ついでですので、もう一言。守田先生がおっしゃっていたことを私は聞いていて、ごもつともだというふうに思っていたのですけれども、特に火災防護の分野はガラッと規制要件が変わっておりまして、特に系統分離が厳しいです。A系、B系の分離が、非常に厳しくなっているわけです。

古い設計であれば、A系、B系もその距離を余り意識しないで並べて配置したりとい

うことをやって、いつだったか現場を見させていただいた時にも、やはりこの分電盤がA系とB系と同じ部屋の中に設置されているわけです。そのように、確かに実在するんですよね。今の時代に作るのであれば、あれはもう別室にしていたのだろうと思うものが区別されていないわけです。確かにそういうものはあるので、火災防護というのは一つの典型的なケースですけれども、しっかりと見ていただきたいというのは私の意見でもあります。以上です。

(釜江座長)

何かコメントありますか。

(九州電力)

はい。佐藤先生がおっしゃるとおり、福島以降、新規制基準になりまして、火災防護についても、そういうような盤があれば、いわゆる防火対策をしっかりやる、検知装置をつけるというような形で対応ができていたプラントが再稼働を認められたということでございまして、福島以前はバックフィットというシステムがなかったというのがございまして、それは電力任せになっていたのかなというところがございしますが、それ以降については、最低限、新規制基準の方はクリアできるプラントが再稼働できたということでございます。

(釜江座長)

渡邊委員。

(渡邊委員)

先ほどの皆さんの議論ですけれども、高経年化対策という言葉があって、例えばその日本国内のPWRプラントを見回してきたときに、九州電力がどのくらいの高経年化対策をやったかというふうなことを我々はよく見ているのです。

ところが残念ながら、私の印象かもしれませんが、ほかのPWRに比べて、高経年化対策に余り熱心でないように見えるのです。例えば、先ほどのバップルフォーマボルトの議論にしても、そういうものはもう変えてしまえという議論があるのです。いろいろなところで、炉内構造物というのは全部取替えをやっているという発電プラントもあるのです。

そういうふうな事象があるときに、例えばもう新しいものに取替えてしまえば、もういわゆる高経年化対象の事象ではなくなるのですよね。そういうものに対して、九州電力がこれまでどういうふうな取組をしたかというのを明らかにしてもらいたいのです。という質問にどう答えますか。

(九州電力)

我々も前回御説明したように、いろいろな若干のトラブル等を経験しております。そういうところで、安全性の向上という面では、前回も御説明したように、取り替えられるものは取り替えてきているというのもございます。

炉内構造物に関しましては、評価上、我々としては今のところ問題ないという形で取り替えておりませんが、前々回ぐらいに、どういうものを取り替えてきたかというのは1回御説明させていただいております。そういう意味では、やれるところはしっかり対策を打ってきたというふうに思っております。

(渡邊委員)

分かりました。

(釜江座長)

よろしいですか。今、九電さんの思いをお話になったのですけれど、以前から私も少し申し上げているように、やはり20年間延長しようとする、やはりそのやる気度ですね、単にガイドに従って淡々とやるというのではなくて、自主的安全性向上は当然の話ですけれど、それ以外にも目を配って、そこを、我々もそうですけれど、県民さんに分かるように訴えていただくことは非常に大事だと思うので、是非。

守田委員のお話もありましたし、しっかりと取り組んでいただけたらと思います。よろしくをお願いします。

ほかに、まだ御質問されたい委員の方いらっしゃいますか。

後藤委員。

(後藤委員)

私の方で幾つかありましたけれど、ペネトレーションにつきまして御質問させていただいて、どういうのがあるかということ丁寧全部出していただいたのはありがとうございました。ただ、少しびっくりしているのですけれども、これだけいっぱいいろいろな形のペネがあると、その格納容器のシェルが大丈夫だとかそういう議論しているのだけれども、それでいいのかと単純に思います。

格納容器は御承知のようにバウンダリを構成しますから、どこかが1か所漏れたら駄目なわけです。そうすると、シェルとペネ、ペネの付け根は当然全部入ってくるわけで、そうすると見たところ大丈夫だということを確認したというのは分かりますけれども、構造によっては劣化モードがあるような、あるいは心配になるようなものがないのかとか、そういうものの見方を当然されているはずなので、そういうふうに見るべきだろうと思ひまして、そういう意味でこれを申し上げたのです。

どうなのですか。劣化事象が二つあります。一つは劣化事象が心配なことと、もう一つはその後に、いわゆる重大事故、過酷事故時の耐性です。どういう壊れ方するか、これがすごく問題なので。特に温度に対して、PWRはBWRよりも格納容器、シェルのところの温度が上昇するものが少ないとは思いますが、でもデブリがどうこうというレベルになってくると分かりません。いろいろところで温度が上がったりする。そういうことになってきたときに、弱い部分というのがやはりネックになる可能性があるのです、そういうところのものの見方というのが大事だという意味で、今回、御質問させていただいたわけなのです。

そういう意味で、劣化モードとそれからペネとしてどういうところが体質が弱い。例

えば単純に申し上げますと、電気ペネがあります。電気ペネで温度をどんどん上げていくと、ある電気ペネレーションだと、中に亀裂が入ってそこから漏れるわけです。漏れても少々のものだと、例えば、セシウム辺りだと詰まっていて、逆に詰まってまた漏れるという事象もあるのですけれど、最悪の場合には、ある劣化モードによってスポンと抜けるのです。温度が上がりすぎると。ということが構造的にはあり得るのです。

昔のプラントにはそういうのがあったので、特にそういうタイプのペネとかそういうのがあると、劣化モードと同時に慎重に見ないと、万一のときにとんでもない話になるということで、申し上げた次第です。

ですから、是非お願いしたいのは、私は全部は見終わっておりませんが、そういう弱い部分がないかどうか。劣化に対して、あるいは強度についてということ、是非ペネのところはもう一度見ておいていただきたいというのがお願いです。以上です。

(釜江座長)

いかがでしょうか。

(九州電力)

はい。了解いたしました。

(釜江座長)

ありがとうございます。ほかにWebの先生、よろしいですか。
橘高委員、どうぞ。

(橘高委員)

今日の議論を聞いていて、話をぶり返すようなのですが、金属の脆性の話になるのですが、劣化には大きく二つあると思うのです。要するに容器自体が劣化をして亀裂が入る、金属材料自体が劣化すると。この二つが混在しているのです。

容器側の欠陥に関しては、UTか何かでちゃんとした評価をして、それを定量的にやはり知りたいのです。金属材料の破壊靱性値 (K_{Ic}) ですけども、サンプルを測定しているということなので、やはりそれも知りたいです。

高経年化評価ではそれをごっちゃにして、1か0かで比較しているのですが、我々が知りたいのは、60年の照射を受けて健全性がどうなるのかとか、その辺は定量的に示していただかないと、例えばそれが9割なのか全然関係ないのか、非常に重要だと思うのです。

ひび割れの進展となると、Rカーブというのがあるのですが、ひび割れ進展度と破壊靱性値、できればJ積分がいいのですが、 K_I 、 K_{Ic} は線形ですから、ある限界値に達する。ひび割れの進展というのを考えたら、J積分のようなものが評価されているようでしたら、それでRカーブがとれると、ひび割れの進展に対してどれぐらい安全かというのが分かるというのが分かる。すみません、蛇足ですけども。

もしデータがあるのでしたら、何割ぐらいのデータでもいいのですが、是非示していただければと思います。以上です。

(釜江座長)

理解できましたか。少し言葉が割れているところがあったのですがすけれども。

(九州電力)

九州電力の石井です。

すみません。少し聞き取りにくかったもので、後で事務局を通してでも橘高先生の方に別途御確認させていただきたいと思えます。

(釜江座長)

すみません、少し声が割れて、少し聞き取りにくいところが少しあったので、正確に期す方がいいので、すみません、二度手間ですけれど、先生の方から御意見を事務局の方にでもお伝えいただけたらと思えます。

(橘高委員)

すみませんちょっとマイクが外れたのですすみません。ちょっとマイクが離れていたものから。

(釜江座長)

そうですか、すみません。それを先に指摘すればよかったですけれど、流してしまい申し訳ございません。二度手間ですけれども、申し訳ない。非常に大事な御意見だったと思えますので、是非事務局の方、よろしく願います。ありがとうございました。

それでは、少し時間を過ぎて、催促させていただきましたけれど、いつものことですが、今日、前半からいろいろと御意見をいただきましたけれど、もし今言い足りないこととか、後で気付かれたことがありましたら、恒例ですけれど、また事務局の方にお寄せいただけたら、また九州電力さんの方から今回のように御回答申し上げたいと思えますのでよろしく願いたたいと思えます。

それでは、事務局の方から何かございますか。

4 閉会

(事務局)

はい、事務局から申し上げます。本日の議事録は事務局で作成し、委員の皆様には御確認いただいた上で、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、少し時間が延びましたが、本日の議事は終了いたしました。どうも

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。