

## 第43回 破壊靱性検討会議事録

1. 開催日時 : 平成24年7月6日(金) 13:00~16:30
2. 開催場所 : 日本電気協会 4階A会議室
3. 参加者 (順不同, 敬称略)
  - 出席委員: 富松主査(三菱重工業), 平野副主査(IHI), 朝田(三菱重工業), 太田(日本原電), 鬼沢(原子力機構), 坂口(関西電力), 佐藤(発電技検), 曾根田(電力中央研究所), 高本(バブコック日立), 廣川(日立・GEニュークリア), 北條(原子力安全基盤機構), 堀家(四国電力), 山田(中部電力), 山本(東芝) (計14名)
  - 代理出席者: 石川(電源開発・古賀代理), 神長(東京電力・岡田代理), 柳沢(日本製鋼所・田中代理), 渡辺(九州電力・野崎代理) (計4名)
  - 常時参加者: 大厩(関西電力)
  - オブザーバ: 浦辺(日本原電), 千葉(日立・GEニュークリア), 西山(原子力機構), 廣田(三菱重工業) (計4名)
  - 欠席委員: 青山(原子力安全・保安院), 辻(富士電機), 半田(JFE スチール), 山崎(日本原子力技術協会), 山下(神戸製鋼所) (計5名)
  - 事務局: 黒瀬(日本電気協会) (計1名)
4. 配付資料
  - 資料 43-1 委員名簿
  - 資料 43-2 第42回破壊靱性検討会議事録(案)
  - 資料 43-3 JEAC4201-2007の脆化予測法の改定案
  - 資料 43-4 原子炉圧力容器に対する供用期間中の破壊靱性の評価方法(Rev.2)
  - 資料 43-5 JEAC4206へのマスターカーブ法の取込み検討
  - 資料 43-6 JEAC4206 RF-4222 PTS 評価における破壊靱性のばらつきに対する解説案
  - 資料 43-7  $K_{Jc}$ の明確化(寸法効果, 拘束効果)に係わる解説(案)
  - 参考資料 1 第43回原子力規格委員会議事録(案)
  - 参考資料 2 米国の最近の監視試験データ

## 5. 議事

### (1) 会議定足数の確認

事務局より代理出席者4名の紹介があり, 承認された。出席委員数は代理出席者を含めて18名で, 検討会決議に必要な条件(委員総数(23名)の3分の2以上の出席)を満たしていることが確認された。

### (2) 前回検討会議事録(案)の確認

事務局より紹介があり, 議事録とすることが確認された。

### (3) 第43回原子力規格委員会へのJEAC4201追補版の中間報告結果の紹介

事務局よりJEAC4201の照射脆化予測法改定に係わる中間報告についての紹介があった。

#### (4) JEAC4201の検討

曾根田委員より資料 43-3 により脆化予測法に関する改定内容の説明があった。審議の結果、今後確認する事項があるものの、提案された脆化予測法を採用して規格作成を進めることとなった。8月9日に予定されている構造分科会の前に、破壊靱性検討会を2回開催して、規格案を完成させることとなった。資料 43-3 に対してコメント等があれば、1週間以内に事務局あるいは曾根田委員に連絡する。

主な質疑は以下のとおり。

- ・学術的な場での発表を踏まえた規格制定ということについて、まず、近々 E P R I で国際会議があり、そこで紹介する。I C O N E などと同様な形の公開のものである。名称は、**International Boiling Water Reactor and Pressurized Water Reactor Materials Reliability Program Conference and Exhibition 2012**である。また、国内では秋に保全学会の国際会議で発表する予定。
  - 電中研の報告書はどうか。また、そのレビュープロセスはどうなっているか。
  - 手順は踏んでいる。8月中旬頃に発行する計画である。レビュープロセスは基本的には電中研の内部で行っているが、審査者には外部からの専門家も集めている。保全学会の国際会議については、投稿論文に対する審査が行われると聞いている。
- ・今回の提案は係数を変更するという方法であることに変更は無いか。
  - そのとおりである。
- ・データの重みづけにおけるマイクロ組織観察結果の取り込み方法は現状規格と改定案では違いがあるのか。
  - 従来は、係数の調整などの予測式作成後に、マイクロ組織観察の結果が整合していることを確認していたが、今回は、係数を調整する時点から、マイクロ組織観察の結果を取り込んでいる。
- ・マージンの設定はどういう状況か。10°Cなのか20°Cなのか。
  - まだマージンの提案をできるところまできていない。予測と実測の残差の標準偏差は、現状では丸めて、オフセット補正なしで10°C、オフセット補正ありで7°Cという結果になっている。
- ・マトリックスダメージの予測式中の数密度と、マイクロ組織観察による数密度との関係はどうなっているのか。
  - 予測値へのマトリックスダメージからの寄与度がどれくらいかという評価をしており、10°Cから15°Cくらいなので、ほぼあっている。
- ・BWRプラントについては、脆化の予測がどの程度確認できているか。
  - 銅が最も多いプラントと、次に多いプラントについては確認してある。従来とほぼ同じ予測である。
  - 最終的には規格に記載する表について、おかしなことが起きていないかを検討する必要がある。
  - 国プロにおけるリン(P)による粒界脆化に関する報告書がある。その中で国内プラント材料のP含有量の範囲では高照射量領域でも粒界脆化は問題がないことが示されている。
  - この結論は加速照射試験によるものだが、照射速度の影響もモデル計算で評価している。
  - 破面観察はどの温度で破断したシャルピー試験片に対して行ったかを合わせて評価しないと、良いところだけ見ているのではないかと指摘を受ける可能性がある。例えばフィッテ

- ィングカーブの下の試験片を用いたとかの論拠などもいるのではないか。「無い」というのは難しいことであり、説明を追加した方が良い。
- 今回のプラントKの監視試験結果は、第3回と第4回で約40°Cの差がでている。その内訳の30°C分くらいが粒界割れを原因とするのであれば、破面の顕微鏡観察結果は、12本のうちの1本に出るのではなく、全数の破面で粒界割れが認められるはずであり、そうになっていないことが確認できた。
- 降伏応力とRT<sub>NDT</sub>の増分比を見ても、第3回と第4回でそれほど変わっていないということも、粒界破壊が起きていないことの1つの説明根拠になると考えられる。
- ・アトムプローブで転位ループの観察がなされているが、TEM観察との対比はされているか。  
→アトムプローブの観察後に同一視野でTEM観察することは不可能ではないが、非常に難しい試験になるので、そこまではやっていないが、全体的な把握として、低い銅濃度の材料で観察した結果、どちらの観察も同量くらいが認められており、対応していると考えている。
  - ・照射脆化の予測は、母材だけの傾向とか溶接金属だけの傾向により残差の標準偏差に影響があるようなことは見受けられなかったか。また、前回2007年版当時のデータ点数から、今回どれだけ増えているか確認してほしい。  
→確認する。
  - ・経済産業省の意見聴取会で、いろいろ意見やデータが出されているが、前に東京電力の山下氏から全プラントデータについて発表したものから後で新しく得られたデータでも良いので、全て公開するようにしてほしい。次の構造分科会に報告する時に、使用したデータを示せるようにしたい。
  - ・解析ケース（Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ）の目的関数A,B,CではAが一番寄与するのではないか。  
→Aが支配的であることは確かである。ただし、このような方法で総合した方法による結果は、全体としてはバラツキが小さくなるが、個別プラントでの傾向に関しては、かい離が出ることも見受けられる。そのためにもBが入っている。標準偏差が一番よいものとして選んでいるのではない。
  - ・今回は全体に対して重みづけをする手法にしているのだが、高照射量のところで、データが外れるということからすれば、時間的な制約もあるが高照射のデータによりA,B,Cの重みづけをするという方法もあるのではないか。  
→データを切り分けて行う方法をとってよいのであれば、材料の異なるプラントを全て混ぜるのではなく、1つ1つのプラントでチェックする方法もよいと考えている。過去に作って見たことがあるが、各プラントで1回目からのデータを線でつなげた図を作り、他のプラントのものを加えていくような図がある。これはかなり視覚的にわかりやすい方法である。
  - ・モデリング式の係数 $\xi$ （グザイ）のセットの中に、記載もれがあるものはないか。  
→確認する。
  - ・以前の検討会で紹介された暫定版から照射誘起項とか照射促進項でどちらが大きくなるとか何か傾向はあるのか。  
→以前の検討会での紹介より今回の方が変化は小さくなっている。 $\xi_{10}$ はケースⅢで値が0となっているが、これはマイナスになる場合は0としている。この $\xi_{10}$ はクラスターの体積率を計算する式で使っており、拡散係数に依存する項が照射量に掛かっている。照射量が高い

ほど体積率が増えるという項だが、ここに拡散係数を入れているのは、試験炉による照射材と監視試験の照射材を比べるとクラスターの形態が若干違うようであったことを考慮した。それでフラックスの影響を入れたが、その項はフィッティングにおいて影響がないという状況を示している。これをマイクロ組織の判断をどうしたらよいか、まだ結論を得ていない。新たなデータからの知見を見つつ、次ステップにおいて脆化予測法を改定する時に、必要があれば式を見直していきたい。

- BWRの場合でも、脆化予測カーブの勾配が少し大きくなるということか。  
→そうである。なお、ケースⅢの予測値は、2004年版の予測値に似ている。
- 原子力規格委員会に中間報告した時に出されたコメントにおいて、規格の制定プロセスに関するところは、どういう回答となるのか。また、新たな知見がないということをどのように説明するのか。  
→原子力規格委員会への中間報告の資料は意見聴取会の資料を使っており、玄海1号のデータだけが使われていたが、本日の資料は、6プラントのデータを使っている。これらのプラントに対しても同様の傾向を示していることから、従来より説明性は向上している。新たな知見がないということのバックデータの知見もだいぶ充実してきたと考えている。
- 56頁のスライドで、オフセット補正無しの予測値が低めに出ているように見える。もっと保守的に、なるべく全てのデータがラインの中に入るようにしていくべきではないか。入らなくとも予測値が高めに出る方が安心ではないか。  
→現在、データ点数が300弱くらいである。その5%で15点であり、その程度の結果にはおさまっている。  
→現在いくつかのデータのずれ幅が大きいところは、第1回とか第2回の測定データのばらつきが大きいことに原因がある。低照射側でずれることが顕著で、高照射側は比較的改善されている。第1回などで大きくずれると、そのマージンで10年とかの運転をみていくことになる。マージンの議論はこれからと考えている。  
→プラントの初期の時は、マージンを40℃とったとしても実際には問題は無いと思う。保守側にするならマージンを大きくするしかないのではないか。  
→アメリカの例などを見ても±20℃はまだ良い方で、世界の監視試験データを集めると50℃というばらつき幅の図がでてくるときもある。  
→最も脆化量の大きいプラントは、十分に材料試験をして大丈夫であると確認しているが、そのデータを他の全体のデータに含めるかどうかによっても、各プロットのずれ方に影響がある。含めないようにすると、よく合う方へシフトする。また、そのプラントのデータ予測としてきっちり合わせる方法をとるのか、オフセットにより合うようにするのか、扱いは両方可能である。
- 実際の規格は、監視試験データが0か1回の場合、オフセットはしない。2回以上ある場合にオフセットを行う。これを反映する方法は考えられないか。これはプラントごとにとということにも関連する。  
→56頁のスライドの白色のプロットがまさにその0か1回の場合のデータである。もう高い銅含有量の圧力容器は作らないので、低銅含有材でニッケル量をきちんと抑えられますというように担保した書き方がある。いかに低銅鍛造材の予測があっているかということもポイント

トになる。

→予測からはずれるのはマージンによる対応としてよいのではないか。米国ではうまくフィッティングできないプラントに対しては、別扱いでこのマージンにせよと規制されていることもある。今、我々は全体を包絡するようにマージンを設定しているが、そういうやり方も検討できるのではないか。他にデータ蓄積が少ないところのマージン補正の考え方を作るとかの工夫をしてマージンを適切に使ってやればよいのではないか。

- ・母材と溶接金属の違いを確認した上で、母材の方をより正確に予測できるようにするような努力も継続する方がよいのではないか。
- ・PTS/PLIM試験材のデータは入れるべきなのか。重みづけで100を与えていることは、十分に説明できるのか。
  - 入れる方が高照射量の監視試験データの傾向によく合う。通常は100倍程度の加速試験であるため、この重みをかけることでEFPYの40年を超える年数に相当する係数になる。高銅含有量のデータとしても、有用なデータである。
- ・予測方法は、例えば重みづけとしてEFPYを1.5乗するとか、目的関数の重みづけのやり方にも多くの方法があり、現在がベストではなく、それ以上に何かあるかもしれないが、今回の改定が、現行版より良くなり、使えると判断できればよいのではないだろうか。母材と溶接金属を分けた検討は、これからでは日程的に無理がある。マージンの見直しを含めることを次回に検討するなどして、脆化予測法は今回提案のものにすることとし、8月の構造分科会に上程するように進める。
- ・米国の最近の監視試験データについてNRC ADAMSより収集作業を行っているが、このような抜けているデータを今後追加して、今回の脆化予測法のチェックを行うこととする。
- ・本検討会后に、委員間での各種作業の分担を再度確認する。

#### (5) JEAC4206の検討

朝田委員より資料 43-4 により JEAC4206 改定案の説明があった。前回記載の少なかった解説についてもほとんどの部分が記載されており、本日に別資料などで出された残りの部分を加えた後、後日期間をとって各委員からのコメントを受けたい。その後に構造分科会への中間報告をしていく。次に平野副主査からマスターカーブ法の取り込み方法に関して資料 43-5 により説明があった。続いて廣田オブザーバから資料 43-6 により RF-4222 項の解説案の説明があった。また、富松主査より  $K_{Ic}$  の明確化に係わる解説について資料 43-7 により説明があった。

主な質疑は以下のとおり。

- ・評価データが  $RT_{70}$  しかなく、JSME維持規格の  $K_{IR}$  曲線を用いた評価を行う場合の  $K_{IR}$  曲線への適用方法については、どのような扱いで規定するのか。
  - 現行のJEAC4206では、 $K_{IR}$  曲線は本文ではなく附属書に記載してあるだけなので、どうするか迷っている。
  - 本文に書くべきではないか。
- ・ $K_{Ia}$  については、初期プラントの評価など維持規格では全て  $K_{Ic}$  に変わって、無くなっているのではないか。
  - まだ許容状態C・Dでのき裂伝播停止の評価で  $K_{Ia}$  が残っていたはずだ。維持規格側がきちんと規定できるようにする上でも、JEAC4206側できちんと規定してリードする必要がある。

- ・  $K_{Ic}$ と  $K_{IR}$ の使い分け方の考え方や古いプラントへの対応方法はどうか。
  - 1パス法の  $K_{IR}$ 曲線についてはまだデータの蓄積が不足していると考え、場合によっては2パス法を推奨するように解説に記載した。解説、本文のどちらが適切かについては意見を求める。また  $RT_{70}$ についても2パス法を使うべきではないだろうか。
  - 今回の資料の案では本文に記載のある  $K_{Ic}$ による方法を用いることとして、本改定案での附属書Bに記載のある方法は使わないこととしている。
  - ASMEのカーブを使用するのは、炉心領域限定であって、ここでいう1パス法の  $K_{Ic}$ はノズルなど照射脆化に関係のないところは適用外ではないのか。
  - 炉心領域だけではなく原子炉容器全体が対象となっている。古いプラントの評価に必要なのは落重試験に関係のない  $vT_{rs}$ であって、これも記載をどうするかについては、現状どおりに入れる方向だろう。
  - 1パス法で試験をしたプラントも2パス法でやりなさいと書くべきではないか。1パス法の  $K_{IR}$ カーブの記載は不要と考えている。
  - $K_{IR}$ で評価したプラントは1パス法で試験したのも良いと考えている。 $K_{IR}$ はきちんと多くの試験によるデータを採取して確認されているものである。 $K_{Ic}$ はその意味では年月で変わってくるので、本文と違う  $K_{Ic}$ が使われると区別しないといけないと感じる。
  - 大きな予算をかけて作られた  $K_{IR}$ をやめるのは気が引ける部分もあるが、維持規格との間で1パス法、2パス法と記載に食い違いが出るのは中途半端でよくない。
  - 継続検討する。
  - 解説の中に「・・してもよい」というような推奨の規定と受け取られそうな表現があるが、規定するのであれば解説ではないところに記載するべき。附属書の本文でもよい。
  - 解5頁4)に「用いてもよい」という記載がある。これも規定であれば、本文に記載するべきではないか。
- ・ 資料43-5の1頁(3)式について、この式の出典を知りたい。また、同式の  $\Sigma$ に続く式にはカッコが必要と思う。
  - 確認する。
- ・ 資料43-5によるRF-4222項の解説案について、記載内容が理解できない。
  - この資料の参考文献にある方法を使って、先日の意見聴取会で保安院から玄海1号の評価を提示している。その資料が添付されていないため、内容が理解しにくくなっている。この解説案は、この検討会の前にPTS評価ワーキンググループでその添付資料を使って検討した。その結果、破壊靱性検討会に提案しようということになった。
  - 意見聴取会の資料またはその中の説明の引用方法を検討する。
- ・ 資料43-6については、参考文献などを全てチェックして記載してあるのか。
  - この部分は長く記載があいまいだったことがあり、今回新しく記載したこともあるので、各委員からもチェックをして欲しい。
  - RF-4200番台などでも  $K_{Ic}$ という言葉が何度も出てくるが、そこはその使い方によいかと疑問を持つ部分がある。国の意見聴取会でも静的破壊靱性値といった表現で書かれており、用語の使い方の整理が必要ではないか。 $K_{Ic}$ について、 $K_{Ic}$ とみなすというのは根拠があるべきだ。

- この検討会には詳しいメンバーもいることから、検算などもしつつ確認ができるとよい。
- 規格全体の出典について、さらに精査して記載する。
- タイトルにある「拘束効果」は逆の意味に受け取られる懸念もあるので、その点も検討が必要ではないか。
- ・JEAC4206の改訂案は8月前半くらいを目途に一式完成させて、その後1~2カ月かけて破壊靱性検討会で検討をしていただくようにしたい。

(6) その他

第44回破壊靱性検討会を7月26日(木)午後に、第45回破壊靱性検討会を8月6日(月)午後に開催することとした。

以 上