

## 第 82 回破壊靱性検討会 議事録

1. 日 時:2020 年 1 月 17 日(金) 13:30~15:45

2. 場 所:航空会館 B101 会議室

3. 出席者(順不同, 敬称略)

○出席委員

平野主査(IHI), 廣田副主査(三菱重工業), 伊藤(中部電力), 浦邊(日本原子力発電),  
大厩(関西電力), 神長(東京電力 HD), 高田(関西電力), 高本(三菱日立パワーシステムズ),  
蓮沼(電源開発), 長谷川(発電設備技術検査協会), 服部(東芝エネルギーシステムズ),  
廣川(日立 GE ニュークリア・エナジー), 廣渡(九州電力), 増住(富士電機),  
山本(電力中央研究所) (計 15 名)

○代理出席者

今井(東京電力 HD, 折田委員代理), 佐伯(電力中央研究所, 曾根田委員代理),  
櫻谷(日本核燃料開発, 橋内委員代理) (計 3 名)

○欠席委員

相澤(日本製鋼所), 勝山(日本原子力研究開発機構), 兼折(中国電力),  
田川(JFE スチール), 名越(三菱重工業), 橋本(四国電力),  
山崎(原子力安全推進協会) (計 7 名)

○オブザーバ

井野, 小島(日立 GE ニュークリア・エナジー), 佐藤(IHI) (計 3 名)

○事務局: 三原, 境, 大村(日本電気協会) (計 3 名)

4. 配付資料

資料 82-1 委員名簿

資料 82-2 第 81 回破壊靱性検討会 議事録(案)

資料 82-3 JEAC4201 改定について(中性子照射脆化予測式の改定案について)

資料 82-4-1 JEAC4201 規格改定案(監視試験片の再生接合技術、熱影響部試験片の採取)

資料 82-4-2 JEAC4201 改定提案について(取り出し計画、再生接合技術、試験片の採取位置等)

資料 82-4-3 日本電気協会 JEAC4201 改定スケジュール(案)

資料 82-5-1 第 4 回原子炉圧力容器に対する供用期間中の破壊靱性の確認方法等の技術評価に  
関する検討チーム会合資料

資料 82-5-2 第 5 回原子炉圧力容器に対する供用期間中の破壊靱性の確認方法等の技術評価に  
関する検討チーム会合資料

資料 82-6 原子力規格委員会 構造分科会 2020 年度活動計画(案)(破壊靱性検討会)

5. 議 事

事務局より, 本検討会にて私的独占の禁止並びに公正取引の確保に関する法律及び  
諸外国の競争法に抵触する行為を行わないことを確認の後, 議事が進められた。

(1) 代理出席者の承認, 会議定足数の確認, 配付資料の確認

事務局より代理出席者 3 名の紹介があり, 主査の承認を得た。出席委員数は代理出席  
者を含めて, 検討会決議に必要な条件(委員総数(25 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。また、オブザーバの紹介があり、主査の承認を得た。さらに、配付資料の確認があった。

(2) 前回検討会議事録(案)の確認

事務局より資料 82-2 に基づき、前回検討会の議事録(案)の説明があり、挙手にて承認された。

(3) JEAC4201 改定について(中性子照射脆化予測式の改定案について)

委員より資料 82-3 に基づき、中性子照射脆化予測式改定案について、説明があった。

主な意見、コメントは以下のとおり。

・中性子照射脆化予測式の改定は、資料 82-4-3 にあるスケジュール案、すなわち、3 月中間報告、5 月 JEAC4201 改定案審議に間に合うのか。説明にあった係数削減結果の提案はいつごろになるのか。

→資料 82-4-3 に示された改定スケジュールを踏まえて対応するようにしたい。

・5 月の審議、書面投票に間に合わせると理解して良いか。

→5 月の審議に間に合うように、破壊靱性検討会には 3 月または 4 月に提案する。

・P13 で、現行式からどこを変え、どのように見直したのか。化学成分等のパラメータを平均で除している形に変更していること、新たに Si と Mn を考慮しているとの理解で良いか。

→現行式は反応速度論に基づきある程度理論的に式を構築していたが、改定式では純粋に実験データを再現できる相関式として、大きくコンセプトを変えている。パラメータ等の変更は指摘の通りである。

→拡散係数を用いないで定式化しているということである。

・P23, 24 に改定式と現行式の予測結果を比較しているが、改定式は現行式より予測残差の  $\sigma$  は若干大きいがいより汎用性があるという考え方で良いか。前に構造分科会で中間報告した時の海外の予測式との比較等もつけて、破壊靱性検討会としては、今回の提案式を提案するというストーリーになると思う。中間報告でも改定式の定式化の考え方、特に  $\sigma$  に対する考え方を出した方が良い。現行式では予測残差の  $\sigma$  のみに着目したため、技術評価のときにいろいろな指摘をいただいた。今回は違うところを説明した方が良い。また、中間報告の際に、改定式は係数が多すぎるとのコメントがあったため、係数削減を進めるのはよいと思う。

・IET 小委員会の最終報告書が公開されると聞いているがスケジュールはどうか。

→IET 小委員会の状況であるが、2017 年度からほぼ 3 年、計 8 回くらい小委員会が開催された。先週、最終の小委員会が開かれ、議論はほぼ終わった状況である。現在、公開の最終報告書を取りまとめており、2, 3 月頃に HP に掲載する方向で進められていると聞いている。

・構造分科会の中間報告が 3 月 3 日に予定されているが、その時に間に合うかどうかで話す内容が変わってくる。

・中間報告では、IET 小委員会のオープンの報告書をベースということではなく、破壊靱性検討会限定開示の資料で臨むことになる可能性が高い。

(オブザーバ)

・照射促進クラスター密度について。現行式には拡散係数が入っているが、改定式には拡

散係数が入っていない。拡散係数はどのパラメータに入っているのか。現行式で、照射誘起クラスター数密度は拡散係数が 1 乗で、照射促進クラスター数密度では 2 乗になっている。2 乗は物理的にあり得ないというのが、2012 年の PLM 意見聴取会での議論の肝であった。

- 改定式では、拡散係数は全く存在しない定式化となっている。今回、詳細な説明がないが、アトムプローブのデータの測定値と予測値の比較結果が P14 にあって、例えば、数密度の式についても見直しにより相関性が向上する。相関性を見ながら式を作ったので、拡散係数がどの項に対応するということは答えられない定式化となっている。
- ・マイクロ組織変化予測式が微分方程式の形となっているが、クラスターのサイズだけでなく、他のものもいろいろ変わってきていて、そういう関係が、全くあらわになっていないので、マイクロ組織を予測するという言い方ができるのか。いわば、現象論的な式ということか。
- その通り、現象論的な式である。アトムプローブの実験データにフィッティングするように作った式ということである。
- ・マイクロ組織の変化を予測しないと、クラスターサイズなどは予測できないのではないか。その辺がちょっと良く理解できない。
- 今回の式の開発方針については P10 に記載されている。横軸はアトムプローブで測定された溶質原子クラスターの体積率の平方根( $\sqrt{V_f}$ )、縦軸は遷移温度移行量の実測値であるが、両者に線形の相関が認められる。この相関を再現できれば、概ね遷移温度移行量が予測できるであろうとの前提のもとに、アトムプローブのデータに着目して予測式を作っている。また、他の因子についての考え方を P7 に簡単に説明している。主に着目するのは溶質原子クラスターであるが、それ以外の因子をマトリックス損傷として考慮している。
- ・相関式というのに、微分方程式形式となっているのが理解できないが。
- 改定式では、現行式の微分方程式を見直すことから検討を始めた。微分方程式形式のまま見直してアトムプローブデータに対して相関を取ったが、微分方程式である必要はないと考え、P17 のように近似解を求めて、検討を進めてきたという経緯かと思う。相関式の割には複雑な式になっているという認識もあり、現在係数の削減を検討していると、今日、説明があった通りである。
- ・これは概要版であるが、今後、詳細を説明いただけるのか。
- IET 小委員会の最終報告書には、その詳細が記載されるのではないかと思う。それを以て、本検討会で検討することになると思う。
- 改定式は、マイクロ組織変化を機構論的に解明することを目的としていない。得られたデータをどういう式で表せるかを検討した。今後の説明で、改定の前提や着眼点ができるように説明に配慮したい。
- ・既に一度構造分科会で中間報告をしているので、その資料を改定したものと今回の資料を合本して、構造分科会で説明する。IET 小委員会の最終報告書が公開されれば、構造分科会でもその内容を報告することとする。なお、規格のイメージはあった方が良い。式の係数等を記載する必要はないので、変更後のイメージは出しておいた方が良くと思う。そういう資料も準備していただきたい。

(4) JEAC4201 改定について(取り出し計画, 再生接合技術, 試験片の採取位置他)

委員より資料 82-4-1~3 に基づき、監視試験片の再生方法等について、説明があった。

- ・資料 82-4-1: 規格の改定案
- ・資料 82-4-2: JEAC4201 の改定のうち、今回は P2(2)電子ビームによる再生接合、試験片再生時の採取位置要求の見直しのみ説明。(1)試験用カプセル取出し時期の見直し、(3)小型試験片とマスターカーブ法の取込みは次回以降の検討会で説明予定

主な意見、コメントは以下のとおり。

- ・資料 82-4-1 の解説-SA-2240-3 で対象を BWR に限定している理由は何か。溶接手法などを踏まえて技術的な記載をすべきではないか。
  - 溶接手法としては、PWR と BWR で違いはないが、PWR の溶接継手で検証したデータはない。現状、再生に関しては BWR の溶接継手だけで検討している状況であるので、記載はこの形で良いと考える。
- ・コメントは技術的な記載とした方が良いということなので、サブマージアーク溶接等に限定する形が良いとのコメントと理解している。
  - 拝承。具体的な溶接方法を書くかどうか、コメントを踏まえて検討したい。
- ・資料 82-4-1 の備考欄にある「全保有データを再整理中」との記載は具体的に何をしているのか。
  - P3 の表 2-2 に、再生接合の際にインサート材を溶接する際の熱影響部幅と、熱が入ることによる熱回復幅を定義している。ここでは保全学会で報告された数値を記載しているが、前回の破壊靱性検討会のコメントを踏まえて、データを一部再整理しており、一部数値が変更となる可能性があるため、注記した。
- ・資料 82-4-2 の P2 の(3)の記載は、マスターカーブ法の取り込みというよりも、JEAC4216 の  $T_0$  を取り込むという認識でよいか。
  - その通り。
  - ・だとすると、 $T_0$  の初期値があれば、 $\Delta T_{r30}$  と同じように  $\Delta T_0$  を使うという議論になると思う。そういう理解で良いか。
    - 現状、Mini-C(T)で  $T_0$  を取得する際、直接  $T_0$  を使う場合と初期の  $T_0$  と比較する場合の両方を考えている。次回検討会で具体的に説明する。
  - ・JEAC4206-2016 では、 $RT_{NDT}$  に代わって、 $RT_{T_0}$  を用いて良いということになっているが、 $T_0$  を直接使う方法は、供用状態 C、D の評価に対してのみ規定されており、供用状態 A、B の評価で  $T_0$  を直接使う方法は規定されていないので、それとの整合も考えないといけな。照射された  $T_0$  を直接利用する場合には、 $30^\circ\text{C}$  くらいのマージンを足しこむ必要があるのではないかと思うが、照射材で、 $K_{Ic}$  カーブに対して  $RT_{T_0}$  が適用できるかの評価はしていない。この点、今後検討が必要となるかも知れない。現在、2 つの方法を考えているのであれば、2 つの方法を両方共、示して、構造分科会と規格委員会の中間報告で意見を貰った方が良い。
    - そのように資料を作成する。
- ・JEAC4206-2016 の技術評価で根拠文献が議論となっている。電子ビームによる再生接合と熱影響部の監視試験片の再生の根拠文献となっている保全学会の発表予稿は適切か。
  - 公開文献であることは間違いない。指摘のとおり、査読のあるところに出していきたい。
- ・溶接関係の学会誌にも投稿しておいた方が良いのではないか。

→どこに投稿するかも含めて引き続き検討したい。

・今回の資料は、前回の検討会でのコメントが全て反映されているのか。未反映のものがあれば、状況を教えていただきたい。

→前回の検討会では、レーザ溶接、電子ビーム溶接の比較に関して、熱影響部幅と熱回復幅の比率が異なるとの意見をいただき、熱影響部幅、熱回復幅の調整の説明をしたが、今、データを再度整理している。次回検討会までには、コメントを全て反映したものを提示したい。

・次回検討会以降に JEAC4201 改定の中間報告が構造分科会で審議される。資料 82-4-2 の P2 の(1)と(3)の考え方については、今後対応が必要。次回検討会で提案していただき、構造分科会の中間報告に含めるようにしたい。

→拝承。

・資料 52-4-3 は JEAC4201 の改定スケジュールである。事業者は JEAC4201 を重要な規格と認識しており、改定次第、技術評価を希望する規格に整理している。検討中の規格であるので、技術評価を希望するにあたり、改定スケジュールを明確にする必要があり、最短工程で来年度中に発行されるとの見通しで線を引いている。

・JEAC4201 の次回改定に向けて、考え方に関するものは 3 月の中間報告時に意見をいただいた方がよい。従って、監視試験計画の見直しや JEAC4216 の  $T_0$  を取り込む件も考え方を示しておいたほうがよい。また、2013 年追補版の技術評価の際の特定指導文書への対応も確認できるようにしておきたい。

#### (5) 次年度の活動計画

主査、事務局より資料 82-6 に基づき、次年度の活動計画について、説明があった。

・3 月 3 日の構造分科会で、各検討会の次年度の活動計画が審議されるため計画を記載した。

・新たに JEAC4216 を 2021 年度に改定予定とした。現在、技術評価中であるが、NRA のコメントや ASTM E1921 の最新版の動向も分かってきたので、2021 年度に上程できたら良いと考えている。

主な意見、コメントは以下のとおり。

・一番右の整備計画の「○」とは何か。

→整備計画は、学協会規格類協議会で整備すべき規格ということで、一覧表に入っているものを「○」としている。

・文章の資料(各分野の規格策定活動)はないか。あるなら、それも確認した方がよい。

→事務局、拝承。

・1 月末までにコメントを主査及び事務局へ連絡することとなった。事務局から依頼する。

#### (6) JEAC4206, JEAC4216 技術評価状況について

主査、事務局より資料 82-5-1, 2 に基づき、技術評価の状況について、説明があった。

・前回検討会以降に開催された第 4 回と第 5 回の技術評価会合の資料で、当日のメモを後ろに添付している。

・資料 82-5-2 P9 以降で、技術評価書のドラフトが示されている。意見があれば、2 週間を目途に提示することが要請されているため、来週、構造分科会及び規格委員会に確認

した後、規制庁へ提出する。

・第6回会合:3月23日(月)午後に予定

(7) 次回破壊靱性検討会:2月21日(金)午後に予定

(8) その他: JEAC4206, JEAC4216 技術評価状況に関するオブザーバからの追加質問

・照射を考慮して破壊靱性遷移曲線を温度移行する際、シャルピーの遷移温度と破壊靱性値のシフトが等しいと仮定されていることについて、2012年のPLM意見聴取会でその仮定が適切か問題提起して、JEAC4206-2007の改定のきっかけとなったと思う。電気協会では、この点についてどのような検討をされたのか。

→ご指摘の点はいろいろな報告があり、一概に言えないところはあるが、そういう懸念、可能性がゼロではないということで、JEAC4206-2016の破壊靱性遷移曲線は、高照射領域の破壊靱性データのみを対象として、保守的に設定した。

・高照射領域ではシャルピーの遷移温度と破壊靱性値のシフトは等しいとして良いのか。

→資料82-5-1 P43の表の4行目に記載の通り、2007年版は評価対象プラントの照射前後の破壊靱性データを温度移行して下限包絡するが、2016年版は高照射領域の全破壊靱性データのばらつきを踏まえて設定している。対象を高照射領域のデータに限定したのは、破壊靱性に対する照射量の依存性や60年運転時点の原子炉容器の照射量を踏まえて保守的に設定するためである。監視試験データは、マスターカーブ法で $T_0$ が設定できるほどの数がないことが多いので、 $5 \times 10^{19} [n/cm^2]$ 以上の照射を受けた全プラントのデータを用いて、 $T_{r,30} + \Delta T_t$ をマスターカーブの式の $T_0$ と置き換えて $\Delta T_t$ をフィッティングパラメータとして最適化により設定した。従って、2016年版の破壊靱性遷移曲線は、照射材で破壊靱性の温度移行量が若干大きくなる点も考慮して設定されている。

・高照射領域の破壊靱性のデータで $T_0$ のシフトの測定はないのか。

→直接比較したものはない。5%マスターカーブで規格化した破壊靱性値の分布を、照射量を横軸としてプロットすると、平均直線は若干減少傾向となるものの高照射領域では飽和していると判断して、 $5 \times 10^{19} [n/cm^2]$ 以上のデータを設定対象とした。この妥当性については技術評価でも議論中であるが、破壊靱性検討会としては保守的に設定されていると考えている。

・例えば、高浜1号機や玄海1号機を2016年版で評価するとどうなるのか。

→資料82-5-1 P6に国内全プラントについて2007年版と2016年版の破壊靱性遷移曲線の設定結果を比較している。横軸が2016年版、縦軸が2007年版で、全体的に見ると、2016年版による評価のほうが20~30°C程度厳しくなっている。個別プラントの評価結果の図はP7以降に記載されている。

→AからEについては、2007年版のほうが保守側になっている。それを個別プラントの破壊靱性データと比較したものがP7~9にあり、2016年版の図を見ると、カーブが立ち上がる比較的低温の領域でカーブから外れているデータが多い。

・市民の立場からプラントの安全性がどうなっているか関心がある。個々のプラントの評価がどう変化するか示すべきでは。

→P7~P18に国内全PWRプラントの評価結果が示されている。プラント名は、検討会では報告されていない。

以上