

## 第 83 回破壊靱性検討会 議事録

1. 日 時:2020 年 2 月 21 日(金) 13:30~16:50

2. 場 所:航空会館 703 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), 大厩(関西電力),  
折田(東京電力 HD), 勝山(日本原子力研究開発機構), 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), 名越(三菱重工業),  
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), 山崎(原子力安全推進協会)  
山本(電力中央研究所) (計 15 名)

○代理出席者

越石(日本核燃料開発, 橋内委員代理), 佐伯(電力中央研究所, 曾根田委員代理),  
島田(電源開発, 蓮沼委員代理), 山本(九州電力, 廣渡委員代理),  
吉岡(中国電力, 兼折委員代理) (計 5 名)

○欠席委員

相澤(日本製鋼所), 浦邊(日本原子力発電), 田川(JFE スチール), 橋本(四国電力),  
増住(富士電機) (計 5 名)

○オブザーバ

井野 (計 1 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 83-1: 委員名簿

資料 83-2: 第 82 回破壊靱性検討会 議事録(案)

資料 83-3-1: JEAC4201 改定に係る中間報告について(照射脆化予測法の見直し検討状況)

資料 83-3-2: JEAC4201 改定案における名称変更案について

資料 83-4-1: JEAC4201 規格改定案(取り出し計画、再生接合技術、試験片の採取位置他)

資料 83-4-2: JEAC4201 改訂提案について

(取り出し計画、再生接合技術、試験片の採取位置他)

資料 83-5: 第 11 回新規要件に関する事業者意見の聴取に係る会合について

参考資料 83-1: 中性子照射脆化予測式の改定案について

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) 委員交代について

事務局より資料 83-1 に基づき, 委員交代の紹介があり(山崎委員(JANSI)→佐藤新委員候補(JANSI)), 分科会への提案について, 挙手にて決議し, 承認された。また, 委員の所属変更について紹介があった。

(2) 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 5 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。

(3) 前回検討会議事録(案)の確認

事務局より, 資料 83-2 に基づき, 前回検討会の議事録(案)の説明があり, 承認された。

(4) JEAC4201 原子炉構造材の監視試験方法の改定について

委員より, JEAC4201 の改定案について, 説明があった。  
審議の結果, 次回構造分科会(3 月 3 日予定)に中間報告することになった。

1) 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 83-3-1 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。

・P3 の高 Cu, 高 Ni の米国監視試験データについての検討はこれからか。又, これは汎用性に関わる内容という理解で良いか。

→米国の監視試験データをどれだけ予測できるかという分析はまだ行なっておらず, 今後分析予定である。米国の鋼材にも適用できるかどうかという観点であり, 汎用性に該当する。

・P3 に Mc の妥当性を検討することとなっているが, 妥当性は示せるか。

→いろいろな初期パラメータに対する依存性がないこと, Mc 値に偏りがいないことは示せる。妥当性と言われると難しいかも知れないが, 依存性がないという分析結果を示すことで回答としたいと考えている。

・監視試験データが偏る理由を言われていたが, そこには踏み込めないということか。

→難しいと考えている。

・P7,8 の最新知見の反映要否検討結果の表で, No5 以外は参考, 知見としてフォローしており○のほうが適切ではないか。

→前回中間報告時に規格委員会で最新の知見で改定に反映されるものと除外されるものを整理しておくべきとのコメントがあり, 今回の改定に直接使用したかどうかという観点で○×で識別した。

・No.8, 9 は改定に使ったのではないか。

→海外の予測法は調査の結果採用しないことにしたので, 改定に使っておらず, ×となる。

・電中研の研究によれば, 「海外予測法を使用しなくて良い」ではないか。主旨は理解できるが, 違和感がある。

→除外したものを明確にする為, 広い意味では○かも知れないが×としている。判定の表現が適切ではないかもしれないので, 要否の欄を削除することも含め見直しを検討する。

・判定を○×で書かずに検討結果のみ書けば充分ではないか。判定欄なしでも回答になるのでは。検討結果に反映した, 若しくは, 除外した等と記載しておけばよいのでは。

・この表は参考に回した方が説明は簡潔になる。メインは予測式の為、構成を見直した方が良い。P13 がメインになる為、新しい予測式のコンセプトは資料に入れた方が良い。いきなり結果が P14, 15 に出ているが、なぜこの結果になったのかの過程の説明がない為、基本的な考え方に関する説明を参考資料 83-1 から適宜流用するなど、充実した方が良い。

→前回の中間報告資料をアップデートしたものであるが、本日のコメントを踏まえてわかりやすさの観点で改めて構成を見直したい。

・(電気協会のルールで)規格制改定時には最新知見反映の可否を記録することが求められているので、P7,8 の表は必要である。

・Mc 補正とオフセット補正の 2 つの言葉が出てくるが、内容を変えるのか名前を変えるのか。従来の補正と同じか違うのか P19 の記載では分からない。

・P3 の 3.に、オフセット補正(Mc 補正)との記載がある。もう少し説明を加える必要がある。

・言いたいことは、これまで通りオフセット補正(=Mc 補正)を行う。マージンについては検討中であるが、補正後の予測誤差の標準偏差をマージン設定に考慮しないという考え方である。

→本日のコメントを踏まえ、考え方が明確になるように表現を修正する。

・構造分科会、規格委員会では、規格の技術分野に精通していない方もいらっしゃるので、現行式を P20 に書いておく、P19 の様な絵を示す等、配慮が必要。

・P 参 3-1,2 にある改定案における主要な変更点の表が分かり易いと思う。

・基本モデル式の改正のコンセプトは参考資料 83-1 にあるが、分科会ではこれも添付するのか。

→添付するが、参考資料 83-1 のコンセプトに関する内容は、本体資料にも取り込むこととする。

・資料 83-3-1 P1~3 の 2013 年追補版の技術評価結果は重要な内容であるが、参考でも良いのではないかと個人的には考える。

→ないと困るが説明のメインではない。

→分科会長事前説明の際のコメントも踏まえて何を参考に移すか構成を検討する。

・今回は、最新知見、コンセプトと現時点の結果、及び検討中の課題を報告する。

・次回の上程時には、P17 の検討中の課題の検討結果、米国鋼材の予測結果を踏まえた汎用性の説明、規格案を説明すれば良い。

・P 参 2 にある Appendix H の改正の件については、次回検討会で説明するのか。

→溶接熱影響部の監視試験片の試験を不要とするようにアメリカの基準が改正されることについて、その技術根拠を確認して国内に適用できるか評価してください、とのコメントであった。次回検討会で調査結果を報告したい。

・P 参 3-2 で検討中と記載されているものは、今後、どういう予定で検討会に報告されるのか。

→JEAC4201 改定案を最終的に上程する際に報告する。5 月がターゲットである。

・あまり時間がないので、5 月までに何回検討会を開催するか知りたい。

- 今後の予定は最後に決めるが、頻度は多くなる。なお、考え方はP17~20に記載しており、結論は出ていないが検討は進めている。
- ・当該の記載の意図は理解しているが、Mc 補正と同様に、との記載があり、同様に良いのか議論した方が良いと思い、質問した。
- 最終提案する時に紹介したい。

## 2) JEAC4201 改定案における名称変更案について

委員より、資料 83-3-2 に基づき、 $\Delta RT_{NDT}$  評価方法、 $\Delta USE$  評価方法の名称の変更について説明があった。提案について、挙手にて確認し承認された。

## 3) JEAC4201 改定提案について(取り出し計画, 再生接合技術, 試験片の採取位置他)

委員より、資料 83-4-1,2 に基づき、監視試験計画等の改定点について、説明があった。

主な意見、コメントは以下のとおり。

- ・資料 81-4-1 Mini-C(T)試験片適用の検討/JIS の変更内容の SA-1200(11)に、 $RT_{NDT}$  調整値として、 $\Delta RT_{NDT}$  の用語の定義が記載されている。 $\Delta RT_{NDT}$  は附属書 B で求める  $\Delta RT_{NDT}$  予測値のことと思うが、 $\Delta T_0$  に置き換える時は  $\Delta RT_{NDT}$  の実測値と置き換えるのではないか。この記載は(11)ではなく、附属書 B の  $\Delta RT_{NDT}$  の実測値と計算値で Mc を計算するところに記載して、 $\Delta RT_{NDT}$  の実測値の代わりに  $\Delta T_0$  を使用しても良いとした方が良いと思う。
- ・今回の改定案の記載では、 $T_{r30}$  に代わり、 $T_0$  を使うことが明確に読み取れない。得られた  $\Delta T_0$  は  $\Delta T_{r30}$  として扱うことにしないと規格の前提が成り立たない。
- ・シャルピー衝撃試験の代わりに破壊靱性試験をやって、 $\Delta T_0$  を  $\Delta T_{r30}$  として使う。それがメインである。SA-1000 の「なお、必要に応じて衝撃試験に代えて電気技術規定「フェライト鋼の破壊靱性参照温度  $T_0$  決定のための試験方法」(JEAC4216-2015)(以下、「JEAC4216」という。)に基づく破壊靱性試験や、他の破壊靱性試験を実施してもよい」の記載は望ましくない。JEAC4201 はシャルピー衝撃試験をベースに構成されている。そういう観点で改めて見直してほしい。
- ・ $T_0$  をそのまま評価に使うのは難しいかもしれない。監視試験片と同じ照射量にならないので、照射脆化予測で左右に温度移行する。ここをどうするかを悩まなければならない。  
→JEAC4206 側でやるという意見もある。
- ・ $T_0$  を求めないで評価する方法もあるかもしれない。 $RT_{NDT}$  調整値は分かっている、 $K_{IC}$  カーブがあって、そこに破壊靱性試験結果をプロットすれば、( $RT_{NDT}$  調整値を代入した) $K_{IC}$  カーブを評価に使うて良いかが分かるのではないか。横軸が決まり、カーブが決まり、そこにプロットできる。脆化移行量は求められないが、それで良いとするかどうか検討に値するかもしれない。この方法なら、JEAC4201 で評価される  $RT_{NDT}$  調整値で良いという確認はできると思う。
- ・長期監視試験計画で、16EFPY を超えない期間とあるが、これは規制要求等でこれより短い間隔があり得るということで、これは最低限この間隔で取出すということか。  
→そのとおり。規制要求があって、16EFPY よりも短い間隔で取り出すこともあるので、それを網羅できるように定めている。
- ・その様な主旨ならば、これ以上の間隔をあけてはいけない、と禁止の形で書いた方が良いのでは。例えば、16EFPY を超えて取り出してはならない等。

→記載については再度検討したい。

・規制要求の反映であれば、暦年での記載が素直である。EFPY に換算すると新たな要求が加わった様に見える。

→電気協会としては基本的に照射されなければ取り出さなくて良いというスタンスだと思う。ここでは、暦年の取り出しとなっている規制要求を包絡できるように EFPY に換算することにした。

・暦年にしない理由を解説に記載しないと使用者には良く分からない。

→SA-2363-3 の解説にもう少し明確になる様に記載を見直したいと思う。

・規制要求なので解説にはっきり書いた方が良い。

・監視試験プログラムは、民間規格としての運用規格としなければならないという観点で、民間規格だから EFPY でなければいけないということはないのではないか。

→もう少し検討してみたい。

・ $\Delta T_{NDT} \leq 28^{\circ}\text{C}$  の場合、40 年～60 年に 1 回とする根拠は何か。

→延長認可ガイドで 40 年から 50 年の 10 年間に 1 回の取り出しが要求されていて、PWR は技術評価の要件で、50 年から 60 年の 10 年間にも取り出しを要求されている。これらの規制要求を踏まえて 40 年から 60 年の間に何回の取り出しが必要となるかという観点で検討したもの。

・16EFPY だと飛び越える可能性があり、50 年以上と読めるので、規制要求と合致しないのではないか。

・ $28^{\circ}\text{C}$  を超える場合と以下の場合を分ける必要はあるのか。

→標準監視試験計画でも  $28^{\circ}\text{C}$  を超える場合と超えない場合等で取り出し時期が異なるため、一律で同じとする理由はないと考えている。

・ $\Delta T_{NDT} = 28^{\circ}\text{C}$  を境界とする理由を解説で明確にした方が良い。

・規制要求を取り込んで規格にするのであれば、炉型で分けても良いのでは。

→標準監視試験計画との整合性の観点から、長期監視計画の場合のみ炉型で分けるのはなじまないと考えた。

・補足だが、PWR で  $\Delta T_{NDT}$  が  $28^{\circ}\text{C}$  以下になる例もあるので考慮頂きたい。次回の改定で  $\Delta T_{NDT}$  予測値に関する記載を見直すため、PWR でもこれぐらい小さくなるプラントもある。

→どういう書き方が良いのか引き続き検討したい。

・照射脆化なので EFPY で取り出す方が技術的には妥当と思うが、規制要求が暦年、炉型により区別されているため、暦年ベース、BWR/PWR ベースで分かれていた方が使用者にとっては規制要求と整合していて分かり易い。

→本文、解説にどこまで書くかを含め、再度検討したい。分かり難くしたい訳ではないが、技術的な根拠が明確でない内容を記載することは望ましくないと考えている。

・法律やルールを如何に正しく運用できるかが民間規格のポイントなので、法律と整合していないように解釈できる記載とすることは好ましくない。ダブルスタンダードになってしまう。

→ダブルスタンダードになることは避けたいので、長期監視試験計画においては規制庁文書を引用する形等で分かり易くなる様に検討したい。

・エンドースされて使う場合、規制要求の詳細規定として使われる。規制要求の方向を汲むのであれば、使用者のために分かりやすく書いた方が良い。

・Mini-C(T)試験片適用の検討／JIS の変更内容の SA-2250(2)は、溶接金属の破壊靱性試験片なのか。なぜ「SA-2220 によらず」なのか。「よらず」の場合があるのか。

→確認する。

・電子ビームによる熱回復幅の計算値 1.22mm を 1.2mm としているが、1.3mm ではないか。熱影響部幅は 0.816mm を 0.9mm にしている。

→もう一度確認する。

・P29 左下の記載で、「表面位置」は「1/4t 位置」に修正が必要。

・附属書 A は改定されていないのか。

→改訂が必要な箇所は無かったかと思うが確認する。

・構造分科会の中間報告では概要を説明するのか。

→ppt 資料で説明した方が良い。JIS の見直しに関する記載も追加すること。

・資料 83-4-2 P14 衝撃試験の「延性は麺率」は「延性破面率」に修正が必要。

・資料 83-4-2 P29 の「0.90mm」は、次ページの「0.5mm」と有効数字を合わせた方が良い。

1/100mm のオーダーまでの値に工学的な意味がなければ、切り上げた方が良い。

→拝承。

・構造分科会では資料 83-4-2 をベースに中間報告する。本日のコメントを踏まえて見直し、来週には送付する。

・規格式案はもう少し時間があるので、意見があれば適宜連絡いただきたい。

#### (5) 第 11 回新規制要件に関する事業者意見の聴取に係る会合について

委員より、資料 83-5 に基づき、2 月 7 日の新規制要件に対する事業者意見の聴取会合の結果について紹介があった。

#### (6) 今後の予定

・次回検討会は、4 月 14 日(火)午後。場所は別途連絡。

・次々回検討会は、5 月 11 日の週で調整する。

#### (7) その他 オブザーバとの質疑応答

・資料 83-3-1 の参考 4, 5 の基本モデル式の導き方について、検討会で報告され、共有されているか。導き方が妥当であると考えているのか。

→今回は式の考え方を中間報告するため、検討中の式を参考に添付している。今後、係数を削減した式で、最終的に規格に採用するかどうかを判断する。

・考え方は共有されているか。

→前回検討会で資料(参考資料 83-1)により考え方について説明があった。

・前回、傍聴していたが、考え方の説明はなかったように思う。

→前回は、参考資料 83-1 で、開発方針、考え方が紹介され理解されていると思う。個々の式がどの様に導かれたかは、係数を削減した式で確認し、規格に採用するか判断していきたい。

・削減する前を共有しないと、どう削減するかわからない。2007 年版の時は電中研報告があり、式の導出の説明があった。P 参 4-2 にある式の導出の考え方はまだ説明がないの

か。

→現時点の検討状況は、参考資料 83-1 が全てである。最終的な式ができてから、係数削減前後の違いも含めて判断すべきと考え、その際にまとめて提示したいと考えている。

・最後の段階ではなく、できればその前から提示して検討すべきと思う。

・参考 4-2 の式には幾つかの論文が出ており、前回資料(参考資料 83-1)に参考文献が書かれているが、これは今日の資料の参考 6 にある 2018 年 9 月の論文がそうなのか。これは式を導いた基礎となる論文か。

→参考資料 83-1 の引用文献は、資料 83-3-1 参考 6 の 2018 年 9 月のものである。

・この論文は検討会で共有されているか。

→これは式の検討状況を電中研がまとめたもので、エッセンスは参考資料 83-1 にある。

・論文は、私は入手しにくかったが、検討会で公開していただけないか。

→この文献の公開に制約があるか、著者の電中研のほうで確認する。

・参考 4-2 に基本モデル式があり、参考 5-1 では時間変化になっている。これは、基本的には参考 4-2 の微分方程式を積分した式で近似した式になったという考えで良いか。

→これは近似解を求めたということで、前回の資料でも結果だけは紹介されていると思う。

先程申した通り、ここから係数を削減するので、最終的には、次回議論したい。

・前回資料では、私の質問に対する回答で、拡散定数を使わないと仰っていたが、拡散定数が消えるのは、積分した最後の近似式のところか。拡散定数を入れないとモデル式は成り立たないと思うが、モデル式の中には拡散定数はあるのか。

→モデル式の中に拡散定数はない。参考 4-2 のモデル式に、係数がいくつかあり、参考 5-2 に係数が書いてあるが、これらは全て単なる係数である。

・左辺が 1 階微分で時間変化になっているので、元のクラスターがどう動いて、Cu 原子が動いて変化していく以外は考えられないから、どこかの係数に拡散定数は入らないといけないと思う。拡散定数に対応するような変化を起こす Cu 原子の移動の項が入らないといけないが、入っているか。

→結果として、そういう作用をしているのかも知れないが、実験データとの整合性を見ながら決めた。どれが拡散定数に該当するのかといった分析は実施していない。

・2007 年版では拡散定数の入れ方が間違っただけになっているが、2007 年版の式については、拡散定数の式の形が間違っているという認識の基に今回改定しているのか。

→2013 年追補版策定時に同じ意見に対して誤っていないと回答しており、その考え方は変わっていない。

・間違っているということが、意見聴取会での見直しの 1 つの大きなことではなかったか。間違っていないとは明言されていないのではないか。

→「誤っていない」が電気協会のスタンスであり、2013 年追補版を作った時からそう説明している。それから 6, 7 年経っているが、今もその認識に変化はない。

・2007 年版の式は間違っていないが、フィッティングが悪いので改定するということか。

→2013 年追補版制定以降時間が経ち、新しい知見を取り込む必要があるため改定する。通常の規格改定の一環として実施している。

・P15 の図で、下の 4 つが今度の基本モデルということだが、左から 2 番目のクラスター体積の式が 1 対 1 の 45° の線から外れ、系統的に偏っている。他の 3 つは両側にばらついている。クラスター体積だけ系統的に違うように見える。前回資料(参考資料 83-1)P14 ミクロ組織変化予測式の検討に図があり、又、今回資料と同じ図が前回の P24 にある。

P24 は積分した近似式を使った図との説明だと思うが、P14 は予測式そのもので見たもの。予測式で見た図はほぼ 45° の直線上にばらついているが、近似式は系統的に変な形になっている。近似の過程、積分の過程でおかしいことがあるのではないか。

→参考資料 83-1 P18 が微分方程式と近似式の比較。P14 と P24 のクラスター平均体積の傾向の違いは、微分方程式を近似式に置き換えたからではなく、P14 はマイクロ組織のデータだけで最適化した結果で、P24 はマイクロ組織と脆性遷移温度の両方のデータで最適化した結果であり、最適化に用いたデータセットが違っている。P24 は、脆性遷移温度が最もよく予測できるよう目的関数の比率を 8 割くらいにして最適化しているので、そちらに引っ張られ、クラスター平均体積の傾向が変化したと理解をしている。

・近似の過程ではなく、別の要因であることは理解した。

・クラスターの数密度で比較をするということは、MD はデータとしてなく、密度だけで比較して、近似したいいくつかの時間変化の特性は、クラスターの周囲や MD の総和として出ており、総和と脆性遷移温度が対応するという形になっていて、合わせ方がいくらでもあると思う。モデルが妥当かどうかは、クラスターの数密度の相関だけで言えるのかどうか疑問である。

→クラスターの数密度だけで判断できるかという質問だと思うが、参考資料 83-1 P10 のアトムプローブデータで測定した溶質原子クラスターの体積率と遷移温度移行量に線形の相関があることは実験で得られているので、これを再現できれば、ばらつきはあるが、遷移温度移行量は予測できると考えている。

・その時にクラスターの中身はどのようにできたかは考えなくて良いのか。

→参考資料 83-1 P10 のクラスターの体積率のプロットは、いろいろな鋼材の組成で色分けしている。それを見ても、線形の相関があることは実験的に確認されている。

・考えは理解した。

・2007 年の基本モデル式の拡散定数の項について間違っていないとの認識と仰っていたが、それはどこの見解か。日本電気協会がそう思っているという発言であったが、誰が確認しているのか。P 参 4-1 の  $C_{sc}^{enh}$ 、これは間違っている。左辺が変化量で、変化量は銅原子が拡散して変化するので、拡散定数の 1 乗でなければならない。この式では  $D_{cu}$  の 2 乗に比例して変化しており、物理的にあり得ない。意見聴取会での説明では近似が入っているとのことであったが、いろいろなプロセスを簡略し近似しても 2 乗はあり得ず、物理的には誤りである。そこについてはどう考えているのか。

→その点は当時から見解はまとめている。2013 追補版策定時に、同様のパブリックコメントを頂いており、それに対して見解をまとめている。その時の見解から変更は無いという意味で申し上げた。

→昨年 4 月に傍聴された時にも同様の質問を頂いており、日本電気協会として、「JEAC4201 の予測法は、原子炉圧力容器鋼材の照射に伴うマイクロ組織変化の厳密な物理現象を記述することを目的とするのではなく、実用性も含めた工学的な観点から、得られている知見を踏まえて策定した簡易な数式により、鋼材の照射脆化に伴う巨視的な材料挙動(遷移温度の上昇)を適切に予測することを目的として定めているものです。今回の改定検討は、2007 年版の基本モデル式を照射脆化に関する最新知見と整合した式に見直すという趣旨で進めております。」と回答している。

・物理的でなく、工学的な妥当性から作ったといっているが、物理から工学に変わる時に物理量は変わらない。どう近似しても、拡散係数の 2 乗の項が出てくるのはあり得ない。

以上