

第 84 回 破壊靱性検討会 議事録

1. 開催日時 2020 年 4 月 27 日 (木) 15 時 30 分～18 時 03 分

2. 開催場所 日本電気協会 4 階 C,D 会議室 (WEB 会議)

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), 伊藤 (中部電力),
浦邊 (日本原子力発電), 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),
橘内 (日本核燃料開発), 高田 (関西電力), 名越 (三菱重工),
高本 (三菱日立パワーシステムズ), 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・エンジニア),
廣渡 (九州電力), 山本 (電力中央研究所) (計 17 名)

代理委員: 佐伯 (電力中央研究所・曾根田代理) (計 1 名)

委員候補: 西岡 (四国電力) (計 1 名)

常時参加候補: 小畠 (日立 GE ニュークリア・エンジニア) (計 1 名)

事務局: 三原, 境, 田邊 (日本電気協会) (計 3 名)

4. 配付資料

資料 84-1: 委員名簿

資料 84-2: 第 83 回破壊靱性検討会 議事録 (案)

資料 84-3-1: 構造分科会ご意見伺いコメント対応

資料 84-3-2: JEAC4201-202X における関連温度移行量評価式の改定について

資料 84-3-3: JEAC4201 の改訂提案について
(監視試験計画, 小型, JIS, ASTM 他に見直しについて)

資料 84-4-1: 国内照射脆化評価式に用いる係数の削減に関する検討

資料 84-4-2: 中性子照射脆化予測式 (係数 40) の検討経緯詳細

資料 84-5: 脆化予測における Mc 補正及びマージン等についての検討

資料 84-6-1-1: JEAC4201 附属書 B 改定案

資料 84-6-1-2: JEAC4201 附属書 B 改定案 (Mini-CT 取込み)

資料 84-6-1-3: JEAC4201 解説附属書 B 改定案 (Mini-CT 取込み)

資料 84-6-2: JEAC4201 (解説-SA-2120-1) RTNDT 調整値の新旧比較 改定案

資料 84-6-3: JEAC4201 規格改訂案 (取り出し時期, 小型, JIS, ASTM)

資料 84-7-1: JEAC4206-2016 「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」他 1 件の技術評価対応状況について

資料 84-7-2: 民間規格の技術評価の実施に係る計画について

5. 議事

事務局より、本会にて、私的独占の禁止及び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、オブザーバ等の確認、会議定足数、配布資料の確認について

事務局より代理出席者1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、常時参加候補の紹介があり、検討会にて承認を得た。さらに、配布資料の確認があった。

(2) 委員交代について

事務局より資料 84-1 に基づき、委員交代の紹介があり（橋本委員（四国電力）→西岡新委員候補（四国電力））、分科会への提案について承認された。

(3) 前回議事録の確認

事務局から、資料 84-2 に基づき、前回議事録案を紹介し、特にコメントはなく承認された。

(4) 議題

JEAC4201 改定について

審議の結果、本日説明された検討方針、意見を反映したものを次回の検討会で審議し、構造分科会に上程していくことで承認された。

1) 構造分科会「JEAC4201「原子炉構造材の監視方法」改定案（中間報告）に関するご意見伺い」に対するご意見及び回答

委員より、資料 84-3-1 に基づき JEAC4201 改定の中間報告に関するご意見伺いに対する回答案について説明があった。特にコメントはなく、引き続き確認を進めることで承認された。

（説明内容）

- ・ 資料 84-3 シリーズの資料は、構造分科会に中間報告資料をメールで送付し、書面でご意見を伺った際にいただいたご意見及び質問に対する回答案と、ご意見を反映した改訂版の資料(資料 84-3-2, 84-3-3)をまとめたもの。以降、回答案を説明。
- ・ No.1:係数削減の件について詳細な説明が欲しいとの意見。内容は資料 84-4 の資料で説明する。
- ・ No.2:クラスタ数密度をどう分離するのかという質問。回答としては、APT では分離できないこと、モデル上で分かれていることを記載した。
- ・ No.3:モデルの係数が多い中で、得られる解はいくつも存在するように思えるとの意見。回答としては、30 ケース程度の試算を行なって検討していること、詳細は資料 84-4-2 の Appendix D にまとめていることを記載した。
- ・ No.4:精密なモデルで Mc を適用すると言うのはどの様に理解したらよいか、もっと簡単な式でも良いのではないかという意見。回答としては、データに重みづけをしていないこと、経験的な式では限界があるので、2013 年追補版の式をベースに簡略化していった結果、最終的には微分方程式を用いなくてもよくなり、Excel を使用して計算できるので前より改善したことを記載した。
- ・ No.5:粒界脆化はないのかとの質問。回答としては、粒界脆化はリンが多いと顕在化することが知られており、ロシアや東欧で用いられている比較的リンの含有量が多い鋼材では起こりえるが、国内ではこのような含有量の鋼材はないことを記載した。
- ・ No.6:APT で認められるもので評価式を設定していることを回答。

- ・ No.7:マトリックス損傷の数密度はどの様に計測するのかとの質問。回答としては、マトリックス損傷は APT では測れないこと、マトリックス損傷を起点としてクラスタが形成したものが APT でクラスタとして計測されるので分離はできないこと、マトリックス損傷は脆化要因としては存在するのでモデルに入れていることを記載した。
- ・ No.8:新しいモデルは予測精度が向上したと言えるのかとの意見。回答は 2013 年追補版より使いやすくなっており、ハンドリングが改善したことを記載した。
- ・ No.9:ブートストラップ法に関する質問で、No.1,2 と関連した内容。回答も同様に係数削減の資料を引用して示すこととする。
- ・ No.10:PFM との相性を良くした方が良いのではとの意見。回答としては、Mc 補正をする理由を記載するとともに、マージンの設定に用いた標準偏差を解説に記載することを記載した。
- ・ No.12:NRA コメントへの対応状況が不明確ではないかとの意見。これは資料 84-3-2 に追記する。
- ・ No.13:海外評価式ではなく国内評価式を採用した理由を詳細に記載した方が良いとの意見。回答としては、日本保全学会で発表した資料を引用して、海外評価式は広いデータセットを使用する場合には良いが、国内のデータセットの場合には、国内評価式の方が良いことを記載した。
- ・ No.14: $\sqrt{V_p}$ の相関はあまり変わっていないとの意見。回答としては、改定案の方が相関は少し良くなったことを記載した。
- ・ No.15:線形モデルでも実用上十分であるという説明を入れたらどうかという意見。資料 84-3-2 の資料に、線形モデルでも十分精度を確保できることを追記する。
- ・ No.16: ΔRT_{NDT} のばらつきが少し大きくなっているという意見。回答としては、標準偏差は大きくなっているが、他の項目は前より改善したことを記載した。
- ・ No.17:基本的に内挿領域で運転されるとはどういう意味かとの質問。BWR の加速照射試験を念頭に置いた質問と理解し、PWR ではそのような試験はないこと、BWR の照射量では内挿領域での運転を要求されないことを記載し、基本的には BWR を除くと言う意図で記載した。
- ・ No.22:関連温度移行量評価式以外の提案内容について意見で、表記が不正確との意見。表記を修正することを記載した。
- ・ 回答案の詳細は後ほど確認いただいて、ご意見があればいただきたい。

(主な御意見・コメント)

- ・ 特になし。

2) 関連温度移行量評価式（係数 40）の検討経緯詳細

委員より、資料 84-4-2 に基づき関連温度移行量評価式（係数 40）の検討経緯詳細について説明があった。

(説明内容)

- ・ 前回の検討会では、IET 小委員会の検討内容を概要版で紹介したが、構造分科会コメントを踏まえ、IET 小委員会で作成中の公開報告書案をベースに詳細版を準備した。なお、現状の規格改定案検討ではこの IET 小委の検討結果をベースとするものの、内容は検討の進捗により見直しており、その旨を冒頭に記載した。
- ・ 本資料は前回の IET 小委員会での検討経緯に関する概要版を詳細版に見直したものであること、規格改定案の具体的な検討内容は次の資料 84-4-1 となることから、今回は追加したスライドを中心に概要を説明する。
- ・ 規格改定案の式のベースとなる IET 小委で審議した改定提案式の評価性能は、遷移温度移行量は現行式と同等となり、マイクロ組織変化の予測性能が改善していることを確認した。

- ・ なお、規格改定案で提案する式は資料 84-4-1 で紹介する係数を削減した式となる。

(主な御意見・コメント)

- ・ 特になし。

3) 関連温度移行量評価式に用いる係数の削減に関する検討

委員より、資料 84-4-1 に基づき関連温度移行量評価式に用いる係数の削減に関する検討について説明があった。引き続き、今回説明した内容で進めることで承認された。

(説明内容)

- ・ 破壊靱性検討会の監視試験 WG では 2013 年追補版の国内脆化予測式の見直し検討を進めており、資料 84-4-2 で改定提案式(係数 40 個)の検討結果を紹介した。この改定提案式については、溶接協会の IET 小委員会において専門家と意見交換が行われ、改定提案式のコンセプトは現状知見に照らせば概ね妥当との結論が得られている。それ以降、破壊靱性検討会では、規格改定に向け、改定提案式のコンセプトは堅持しつつ、ユーザー利便性の観点から式の簡素化のため係数削減の検討を進めている。
- ・ 検討の結果、係数を 40 個から 22 個に削減しても同等の予測性能が得られることを確認した。また、更に削減して係数を 20 個としても同等の予測性能が得られる見通しであり、係数を 19 個とした場合には予測性能が低下することを確認した。
- ・ なお、現在、データベースの拡充、規格改定案に記載する係数の有効桁数等について検討しており、最終的な規格改定案はこの検討による見直し結果を反映させるが、係数削減の考え方やコンセプトに大きな変更はない。

(主な御意見・コメント)

- ・ 係数削減後の係数 22 個の式のそれぞれの係数値は、係数 40 個の式の係数値を用いているのか？それとも係数 22 個の式で再度最適化しているのか？
- 係数 22 個の式で目的関数により再度最適化している。
- ・ データベースを増やして再計算する際、係数の桁数を確認して検討を進めていただきたい。
- 最終的には Excel で計算することになるので、桁落ち等についても評価した上で有効桁数を報告する。
- その方向で進めてほしい、

4) JEAC4201-202X における関連温度移行量評価式の改定について

委員より、資料 84-3-2 に基づき構造分科会へ提案する規格改定案(関連温度移行量評価式に関する事項)の説明資料の説明があった。今回説明した内容をベースに見直しを進めることで承認された。

(説明内容)

- ・ 今回は作成途上のドラフト版を紹介する。今後いただいたコメントを反映して完成させ、次回構造分科会で説明する予定である。
- ・ 2 月に構造分科会へ送付した JEAC4201 改定の中間報告の資料から追加した部分を中心に紹介する。
- ・ スライド 13 に示した通り、ミクロ組織変化に関する式については、順番に個々の式の改定前と改定後の流れで説明している。
- ・ 初期降伏応力の考慮の要否の検討については、資料 84-3-1 の No.15 のご意見を反映し線形モデルにより、開発目標であったクラスタに関する各指標との相関性を改善しつつ、 ΔRT_{NDT} についても現行評価式と同等の評価精度が確保できる見通しを得たと追記した。
- ・ ΔRT_{NDT} 計算値の補正については、Mc 補正を引き続き継続する。Mc 補正值の傾向分析の

結果は、次回検討会で示す予定である。

- ΔRT_{NDT} 計算値に加えるマージンは、従来の残差の標準偏差や平均誤差に加え、測定誤差等の不確かさとして、シャルピー衝撃試験による T_{r30} 実測値の不確かさ、化学成分(Cu, Ni 他)及び中性子照射量のばらつきによる ΔRT_{NDT} 計算値の不確かさを考慮して設定する。
- このうち、関連温度移行量評価式の不確かさは、残差の標準偏差を踏まえて評価する。化学成分及び中性子照射量による ΔRT_{NDT} 計算値の不確かさは、入力値をばらつかせた ΔRT_{NDT} 計算値のモンテカルロ計算結果により評価する。 T_{41J} 実測値の不確かさは、照射前と照射後のそれぞれを考慮する。 M_R の設定に際しては、上記の各因子の標準偏差を 2 乗和平方根して求めてその 2 倍を考慮する。
- 結果として M_R は、照射量が $1 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$ 以下の時には 28°C 、超える場合は 32°C と設定した。

(主な御意見・コメント)

- スライド 36 は少し唐突な印象がある。
- スライド 36 とスライド 37 の順番を入れ替えたほうがよいかもしれない。

5) 脆化予測における M_c 補正及びマージン等についての検討について

委員より、資料 84-5 に基づき脆化予測における M_c 補正及びマージン等の検討結果について説明があった。 M_c を求める際に、式(1)(n で割る式)を使用するか、式(2)($n+1$ で割る式)を使用するかについては次回検討会に持ち越すこととなった。

(説明内容)

- M_c 補正については、添付 1 に示す 2013 年追補版に関する技術評価書での NRA の検討を参考として、監視試験データに対して、予測誤差に材料毎の偏りがあるかについて確認を行なった結果、監視試験データが 4 回の場合等で、材料毎に偏りがあると考えられることから、 M_c 補正は材料毎の偏りを補正し、各材料の予測性を高めるために有用と考える。
- M_c の値については、従来の式(1)は初期値にばらつきはないとの前提で n 個の照射材の予測誤差の平均を M_c とする考え方で、分母を n とする。式(2)としては、初期値もばらつくとの前提で、初期値と n 個の照射材の予測誤差の平均を M_c とする考え方で、分母を $n+1$ とする。2 つの式が考えられるため、本日意見を伺いたい。
- また、照射量の適用範囲は $1.3 \times 10^{20} \text{n/cm}^2$ としているが、規制からの追加の監視試験の要求により、今後の PWR の監視試験では、この適用範囲を超える試験データが得られると考えられ、適用範囲を超える試験データの取扱いとして、 M_c 補正は使用しないことを規格に明記する。
- マージン M_R の検討については、モンテカルロ法により、化学成分、照射量及び照射温度のばらつきに対する ΔRT_{NDT} 計算値のばらつきを求めた。なお、資料 84-4-1 で係数 22、係数 20 の式が提案されているが、今後それらの式で計算をやり直す必要がある。
- 化学成分のばらつきは、JEAG4640-2018 附属書 B に記載されている、国内プラントの確率論的破壊力学解析の解析条件の例から、Cu の標準偏差を 0.01wt%、Ni の標準偏差を 0.02wt% とした。照射量については、監視試験時のドシメータによる照射量実測値と解析値を比較した結果、誤差の標準偏差としては図 1 の通り 3%程度になるが、保守的に 10% とした。Si の標準偏差は 0.01wt%、照射温度の標準偏差は 1°C とした。
- 母材と溶接金属の監視試験データを使用して予測誤差の標準偏差を求めた。廃炉予定プラント及び標準材は含めていない。
- サンプル数は各監視試験データに対して 1000 点として、ゼロ未満の値がサンプリングされた場合にはゼロに設定して計算した。改定案の式で Cu が極めて小さい場合には、極端に大きな脆化量が出る傾向にあるので、Cu が 0.04wt% 以下の場合は 0.04wt% として計算している。これら計算条件を表 4 にまとめている。

- ・ 計算した標準偏差の結果を表 5 に示す。照射量の依存性を見ると照射量が $1 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$ 以下の低照射領域では標準偏差が最大 5°C 、それより照射量の高い領域では標準偏差が最大 9°C となっている。
- ・ 最終的に、BWR/PWR 監視試験データに対する予測誤差の標準偏差を切り上げて 11°C 、化学成分、照射量、照射温度のばらつきによる ΔRT_{NDT} 計算値の標準偏差を切り上げて 9°C (照射量が $1 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$ 以下の場合には最大で 5°C)、シャルピー衝撃試験データのばらつきの標準偏差を 5°C として 2 乗和平方根で求め、マージン M_R としては 32°C 、照射量が $1 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$ 以下では 28°C とすることを提案したい。

(主な御意見・コメント)

- ・ 資料 84-3-2 で追加する予定の M_c 補正の偏りを分析した結果は、この資料の表 1 を考えているのか。
- これも根拠の 1 つと考えている。資料 84-4-2 に補正值のヒストグラムが示されているので、それも示したい。
- ・ 鋼種(板材、鍛造品、溶接部)で分けても傾向が変わらないことを示す必要があるのではないか。
- それも必要と考えており、最終提案の式で計算し直して示すようにしたい。
- ・ M_c の計算式で分母を n とするか、 $n+1$ とするかについて意見を伺いたい。
- ・ 予測式の係数最適化の時に使用している O_a は式(2)である。 ΔT_{r30} で傾向を見るときに初期値の T_{r30} もばらつきを持つデータとの考えで用いているもの。式(1)は 2007 年版から入っている今までの M_c で、 ΔT_{r30} そのものは初期値が引かれているので監視試験回数で割るとの考えである。どちらが良いか議論の上で決めたい。
- ・ 今までの M_c は監視試験が 2 回以上の場合に使うことになっているが、式(2)の場合、監視試験 1 回の場合でも使えると解釈できる。今まで通り監視試験が 2 回以上で使用できるとするのか。
- ・ 式(2)を採用するのであれば、 n が $n+1$ になるだけだが、考え方は大きく変わるので説明が必要。現状は、 M_c 補正後に異なる標準偏差を使うことは考えていないので、 M_c 補正值だけの影響となる。規格案の上程中に変更しても問題はないが、破壊靱性検討会としてはどちらにするか決めておきたい。
- ・ 初期値は予測誤差がゼロと言うのは正しいのか。
- 照射量がゼロならば予測値及び実測値とも脆化量はゼロとなり、予測誤差はゼロとなる。
- ・ 式(2)は係数最適化の時に O_a で使っており、カーブの再現性を上げる時の補正としては正しいと思うが、偏りを補正する式として使用して良いか。
- ・ 次回の構造分科会で提案する必要があるので疑問点があれば今回明確にしておきたい。
- ・ 監視試験回数 1 回のプラントが多い BWR の方が影響が大きいので、BWR 側で次回までに検討をお願いしたい。
- ・ 式(1)のままとするか式(2)に変更するかは、次回に持ち越しとする。

6) 監視試験計画、再生接合技術、試験片の採取位置他

委員より、資料 84-3-3 に基づき監視試験計画、再生接合技術、試験片の採取位置他について前回からの変更点を中心に説明があった。コメント等があればメール等で対応し、次回検討会で審議することで承認された。

(説明内容)

- ・ 前回の提案では、長期監視試験計画におけるカプセルの取り出し時期について ΔRT_{NDT} を指標として頻度を分けていたが、今回の提案では、解説に関連する技術基準・ガイドの要求内容を明確に引用する形にし、取り出し時期を炉型別で示すとともに、標準監視試験計画と同様にこれらの間隔に近いプラント停止時としている。また、高照射領域への配慮を

標準監視試験計画にも追加している。

- これまで長期監視試験計画において再生試験片を適用する場合のみ、一部の試験の除外を可能としていたが、限られた試験片を有効活用するため、この規定を試験片の再生有無に関わらず長期試験計画全般に拡大したい。
- SA-2232 で照射後の衝撃試験の試験片本数として 12 本以上を要求していますが、監視試験の回数が増加した場合、再生試験片の本数がこれを下回ることが想定されるため、個別にばらつきを考慮することで試験可能な試験片数に限定しても良いとする。これは、従来 8 本で運用してきた実績もあるため、必ずしも 12 本以上でなくても評価可能と考えられるため提案した。
- BWR の加速試験について、低 Cu 材であれば中性子束の影響が無視できると考えられることから、脆化傾向の判断に限定して活用可能とすることにした。
- 小型試験片(Mini-CT)の取り込みについては、前回のコメントを反映するとともに、小型試験片を用いた場合のマージンについては資料 84-5 の考え方を採用した。
- JIS の改訂反映については、Z2201(1998)が廃止され Z2241 (2011) に統合、Z2241(1998)が Z2241(2018)に改定、Z3001(1999)が Z3001-1 (2018) に改定等がされているが、技術的な改定はないことを確認したため、最新版を引用することとした。また Z2242(2005)が Z2242(2018)に改定されており、公差、表面仕上げ、刻印位置などで技術的な改定がなされているが、改訂による影響を評価した結果、吸収エネルギーに対する影響は軽微であることが確認できたため、最新版を引用することにした。
- ASTM の改訂反映では、JIS と同様に技術的な改定を伴うものについては改定に伴う影響を評価し、引用可否を判断することとしている。改定されている ASTM のうち E-185 (2016) において、推奨リードファクタが変更されており、技術的な観点の改定があるため、改定に伴う影響と反映可否については、次回の検討会で提案を行いたい。

(主な御意見・コメント)

- 提案が纏まっていないものは ASTM E-185 の反映可否のみか。
- その通り。ASTM E-185 の変更理由他を確認した上で反映可否を検討し、提案したい。
- その他の項目についての提案は全てまとまっているのか。
- その他の提案内容はまとまっているため、今回提案した部分について確認いただきたい。
- ほぼこの内容で提案することとし、コメントがあればメールで対応し、コメントについては次回の検討会で審議する。

7) JEAC4201 規格案

規格改定案の説明は時間の都合上省略したが、内容を確認の上メール等で対応後、次回検討会で時間をかけて議論し、構造分科会の提案資料としてまとめていくこととなった。

6. 次回の検討会について

次回検討会：5 月 12 日 午後を予定

以上