

日本電気協会「原子炉構造材の監視試験方法」に係る 今後の対応について

平成27年12月16日
原子力規制庁

1. 経緯

平成27年10月7日の原子力規制委員会において、日本電気協会「原子炉構造材の監視試験方法(JEAC4201-2007)[2013年追補版]」に関する技術評価書¹を決定した。また同委員会において、日本電気協会に対して特定指導文書を発出し、技術評価書の「6. 技術評価を受けた今後の対応」に記載した事項に関して、日本電気協会としての今後の対応方針について報告を求めることとした。

これを踏まえ、原子力規制委員会は10月19日付けで同協会に対し特定指導文書を発出したところ(別紙1)、同協会から11月30日付けで回答があった(別紙2)。

2. 日本電気協会からの回答概要

予測式の改定に向けた具体的な対応及びスケジュールについて、日本電気協会の回答は概ね以下のとおり。

- 今後も脆化予測法の改定検討を継続的に進めていけるよう、監視試験データを手し、予測性能の適切性を確認していく。
- 今後、実機の監視試験片において、予測を外れるデータが得られた場合には、当該規格の改定要否について検討を行い、その検討結果を原子力規制庁に情報提供する。
- 2018年予定の次回改定に向け、最新知見に基づく中性子照射脆化に対する影響因子の検討、基本モデル式の改定要否、Mc補正の妥当性の検討、さらに別モデルの採用要否も含めて検討していく予定である。

3. 当該規格に係る今後の対応について

(1) 当該規格に対する原子力規制庁の考え方

原子力規制委員会は、技術基準を満たす詳細仕様を定める規格については、学協会規格を活用することとしている²。これは、規制当局が学協会規格を活用する方針を示すことによって、学協会による自主的取組みである基準策定活動が活性化し、最新の知見が反映された学協会規格が迅速に整備され、安全性向上にも望ま

¹ 「日本電気協会「原子炉構造材の監視試験方法(JEAC4201-2007)[2013年追補版]」に関する技術評価書」(平成27年10月7日付け原規技発第1510073号)

² 「原子力規制委員会における民間規格の活用について」(平成26年11月12日原子力規制委員会)

しい、との理由によるものである。

したがって、当面、日本電気協会における当該規格の改定状況を注視していくとともに、原子力規制庁としても、今後の当該規格の技術評価に向けて、以下の対応が必要と考える。

- 脆化予測法の妥当性確認や原子炉圧力容器の健全性確認に係る技術的知見の更なる整備
- 予測を外れるデータが出た場合、迅速な対応ができる環境（人材、能力等）の整備

（２）今後の対応（案）

原子力規制庁において、運転期間延長認可制度及び高経年化対策制度に係る安全研究の一環として、以下の研究を実施し、技術的知見、人材等の整備を行うこととする。

- ① 統計解析手法を用いた脆化予測法に関わる検討（予測を外れる場合の評価、予測式係数の不確かさ評価、健全性への影響等）
- ② 取り出された監視試験片について、三次元アトムプローブ等による微細組織構造の観察等（脆化メカニズムの確認）

①についてはおおむね２年、②についてはおおむね３年を目途に研究成果をとりまとめる。

当該研究の成果は、今後の原子力規制委員会での活動（当該民間規格の技術評価、原子炉圧力容器の健全性評価等）に活用するとともに、積極的に公開していく。

(別紙 1)

原規技発第1510191号
平成27年10月19日

一般社団法人日本電気協会
原子力規格委員会委員長 越塚 誠一 殿

原子力規制委員会
NRA-Bd-15-001

日本電気協会「原子炉構造材の監視試験方法 (JEAC4201-2007)
[2013年追補版]」に関する技術評価を受けた今後の対応について
(依頼)

原子力規制委員会は、日本電気協会「原子炉構造材の監視試験方法 (JEAC4201-2007) [2013年追補版]」に関する技術評価書を取りまとめたところ、当該技術評価書の「6. 技術評価を受けた今後の対応」に示した事項に関する貴協会の対応を確認する必要があるため、当該規格の今後の改定等に関する下記の事項について、平成27年11月末日までに報告するよう求めます。

記

1. 予測式の改定に向けた貴協会の具体的な対応（基本モデル式の改定及び Mc 補正の更なる原因分析並びにこれらの検討体制に係る対応）及びスケジュール
2. 当該規格の妥当性を示す上で必要な情報の検証と公開に関する貴協会の具体的な対応
3. 中立性、透明性及び公開性の一層の確保に向けた貴協会の原子力規格委員会の具体的な対応

以上

(参考)

日本電気協会「原子炉構造材の監視試験方法(JEAC4201-2007)[2013年追補版]」に関する技術評価書(抄)

6. 技術評価を受けた今後の対応

(1) 得られた監視試験データが2013年追補版に基づく予測値を上回っている場合の日本電気協会の対応

得られた監視試験データが2013年追補版に基づく予測値を上回っている場合には、当該データを予測式の修正に活用することが重要である。

したがって、日本電気協会に対し、監視試験データが2013年追補版に基づく予測値を上回っている場合には、当該データによる予測式への影響を評価し、その評価結果を原子力規制委員会に報告することを求める。

(2) 今後の改定される「原子炉構造材の監視試験方法」に対する技術評価の視点

今回の技術評価を踏まえ、改定される「原子炉構造材の監視試験方法」に対する技術評価に当たっては、以下を評価の視点に含めることとする。

① 予測式の係数最適化に関する技術的妥当性の視点

1) データの重み付け

2013年追補版の基礎となっている研究では、監視試験データをEFPYの二乗で重み付けを行い、また一部の試験炉照射材データを二度使用し、係数の最適化を行っていた。こうした重み付けは、その重み付けの考え方によって予測式に大きな影響を与えるものであり、その重み付けには合理的理由があつてしかるべきであり、入力データにより予測値がより大きくなるよう予測式の係数最適化が行われていることを確認する。

2) 試験炉照射材データの取扱い

試験炉照射材データを用いている場合には、データの取扱いが妥当であるか(試験温度等のデータ値に幅がある場合には保守的な入力値としているか等)について確認する。

② 基本モデル式を改定する場合の視点

日本電気協会は2013年追補版の次期改定の検討において、基本モデル式の見直しの可否を検討するとしているが、物理的現象を考慮したモデルとして改定するのであれば、日本金属学会や日本原子力学会等の関連する学協会と連携していたかを確認する。

また、本検討チームの議論の中で今後の予測式改善に寄与する可能性がある指摘があった事項¹が考慮されていることを確認する。

なお、本技術評価に際して、2013年追補版の予測式の基礎となる電中研報告 Q12007 や 2013年追補版の解説等の中で、その妥当性を示す上で必要な情報が必ずしも明らかでなく、原子力規制庁の評価作業の中で確認された。例えば、使用するデータの重み付けの方法、実測値（照射条件に基づく計算値）が存在するにもかかわらず当該データを入力値として使用しなかったこととその理由等である。

今後の技術評価に当たっては、規格又はその規格の基礎となる文献等の中に、その妥当性を示す上で必要な事項が記載されているかについても確認する。

(3) 一層の進展が期待される研究

本技術評価においては、Mc補正について簡単な分析を行った上で、個別プラントのデータを予測値に反映するものであり、予測値の信頼性向上に寄与することを確認し、規制に活用できるとした。

個別プラントごとに予測値に対して偏りが生じることについて、今後、更に原因分析を行うことは、予測の信頼性を向上するために有効と考えられる。

(4) 日本電気協会における中立性、透明性及び公開性の一層の確保

原子力規制委員会は、日本電気協会を含む原子力関連学協会規格類協議会と意見交換を行っており、同協議会は、①更なる透明性確保のための規格策定の在り方については継続的に検討を行う、②学協会規格に関する高い品質保証は重要な課題として取り組むとしている。

日本電気協会を含む協議会の中立性、透明性及び公開性については、個別の技術評価のみではなく、同協議会と原子力規制委員会の意見交換を通じて、それらの一層の確保に向けて取組を進めていく。

¹ ・引張試験結果の予測式への反映

・シャルピー衝撃試験やドシメーターによる中性子照射量等の測定誤差が予測式に与える影響
・銅の含有量が0.16%を超え、ニッケルが多い材料の場合は予測値が過大になること

日電協27技基第342号

平成27年11月30日

原子力規制委員会 御中

一般社団法人 日本電気協会
原子力規格委員会
委員長 越塚 誠一

日本電気協会「原子炉構造材の監視試験方法（JEAC4201-2007）〔2013年追補版〕」に関する技術評価を受けた今後の対応について（依頼）（原規技発第1510191号）への回答について

本委員会の業務につきましては、平素よりご指導を賜り厚くお礼を申し上げます。

日本電気協会「原子炉構造材の監視試験方法（JEAC4201-2007）〔2013年追補版〕」に関する技術評価を受けた今後の対応について（依頼）（原規技発第1510191号）につきまして、別紙のとおり回答いたします。

扱者：

日本電気協会 技術部
原子力規格委員会事務局 沖
〒100-0006 東京都千代田区有楽町 1-7-1
有楽町電気ビル北館 4階
TEL03-3216-0553, FAX03-3216-3997
E-mail : k-okii@denki.or.jp

1. 予測式の改定に向けた貴協会の具体的な対応(基本モデル式の改定及び MC 補正の更なる原因分析並びにこれらの検討体制に係る対応)及びスケジュール

弊協会「原子力規格委員会」は、原子力施設の安全性と信頼性を確保する観点からその設計・建設・運転等において実現することが適切と考えられる技術及び技術的活動の仕様について定める規格を制定するとともに、新たに得られた知見を踏まえてその改定を行うこととしております。

さらに、最新の技術的知見を随時規程・指針化するべく審議を行っており、当該規格に関しても同様に種々の状況を考慮し適切な見直しを実施致します。

弊協会は、論文等により公知化された最新知見を収集し、原子炉圧力容器の健全性評価が適切に行われるよう、脆化予測法の改善検討を継続的に進めてまいりました。今後もこのような改定検討を継続的に進めていけるよう、順次拡充される監視試験データを入手し、予測性能の適切性を確認していくとともに、予測を外れるデータが得られた場合には、当該規格の改定要否について検討を行い、その検討結果については原子力規制庁にも情報提供します。

また、弊協会規格は、改定・廃止の要否を毎年審議し、少なくとも5年毎に全面的な見直しを行うこととしており、2013年追補版は JEAC4201-2007 の脆化予測法の係数を見直すことで早期改定を行ないました。2018年に予定している JEAC4201 の次回改定に向けては、最新知見に基づく中性子照射脆化に対する影響因子の検討を行なうとともに、基本モデル式の改定要否、MC 補正の妥当性の検討、さらにこれらに関する別のモデルの採用の要否も含めて検討していく予定です。この検討に際しては、これまでの活動と同様、国内外の研究動向等の最新知見の収集に努めるとともに、監視試験結果も踏まえて改定スケジュールを決定していきます。

2. 当該規格の妥当性を示す上で必要な情報の検証と公開に関する貴協会の具体的な対応

今後、当該規格の改定時には、今回の技術評価で論点となった予測法の導出プロセスや検証プロセス、使用データについてトレーサビリティが確保されていることを引用論文等を通じて確認するとともに、必要に応じて論文著者に問い合わせるなどして、弊協会の審議過程で確認していきます。また、この確認内容については、解説に記載するなどして規格としての公開性を高めていくこととします。

3. 中立性、透明性及び公開性の一層の確保に向けた貴協会の原子力規格委員会の具体的な対応

弊協会としての中立性、透明性及び公開性の確保については、『「今後の学協会規格の活用に係る原子力規制委員会での議論を踏まえた対応について（連絡）」（原規技発第130212002号）への回答について』（平成25年4月26日）にて取り組み状況をご報告させていただいた以降、委員構成の見直し、録音機による採録実施の取り扱いの明確化、及びシンポジウムの実施等具体的に取り組んでおります。

具体的には、以下のような取り組みを行ってきております。

- ・分科会委員構成の見直し
 - －平成26年3月の第50回原子力規格委員会において、公平性、公正性の観点から、分科会委員の大幅な追加を実施し、同一業種の委員を1/3以下に見直しています。
- ・議事録について、会議開催後1か月を目途に電気協会ホームページに掲載
 - －1か月を目途に、議事録（案）を掲載し、次回会議で議事録を承認後に置き換えるよう運用を変更しています（平成25年9月の第48回原子力規格委員会以降）。
- ・録音機による採録の実施
 - －「原子力規格委員会 運営規約 細則」を改定し、録音データの取り扱いを明確化しています（平成25年9月）。
 - －規格の審議を実施する、原子力規格委員会及び分科会において録音データを採録すること、事務局で保管及び視聴可能とすること、保存期限等を明確化しています。
 - －平成25年10月以降の原子力規格委員会、分科会において採録、データ保管を実施しています。
- ・日本電気協会原子力規格委員会シンポジウムの開催
 - －第1回を平成26年5月、第2回を平成27年6月に開催しており、今後も継続開催して、公開性と透明性の維持を図るとともに、民間規格に積極的に公知の情報を取り込む努力を継続しています。
 - －これまでの活動状況を紹介するとともに、原子力の更なる安全向上の課題について議論を行い、その成果を今後の本委員会の規格策定活動に生かすことを目的に開催しています。
- ・日本電気協会ホームページへの公衆審査規格案の掲載
 - －平成26年度より実施しています。
- ・原子力安全の向上に向けた活動の強化
 - －福島事故の教訓を踏まえ、「原子力規格委員会 活動の基本方針」の中の「委員会で整備する規格及び普及活動」において、「原子力安全の向上のための活動の

強化」として以下の内容を追加しています（平成26年12月）。

- ① 原子力は広い技術にまたがる総合工学である。原子力規格委員会は、多くの専門分野を有し、多くの専門家が活動していることの強みを活かし、総合的、俯瞰的な取り組みにより、原子力安全の向上を目指していく。
- ② 専門家は社会からの信頼と負託に応える責務があることを自覚し、活動する。
- ③ 委員会として何を行うか、広く意見を伺い、活動する。

・委員委嘱時に倫理規定等を遵守することについての同意を求める

－「原子力規格委員会 運営規約 細則」に、委員委嘱時に委員倫理及び活動の心得を遵守することについて、同意を求めることを追加しています（平成26年12月）。

－「委員倫理の遵守」の内容は、以下のとおりとしています。

規格策定に参加する委員は、委員会の目的に関連する技術及び管理に関する職務経験や規格原案作成に必要な専門的知見の向上に努め、専門家としての名誉にかけて、公共の福祉のため偏見なく忠実、かつ、正直に知識及び技術を用いること。

－「活動の心得」の基本的事項は、以下のとおりとしています。

- ① 公衆の安全・健康・福祉のため知識そして技術を用いる。
- ② 偏見なく忠実かつ正直に活動する。
- ③ 専門能力および委員会の名声を向上させるよう努める。

なお、上記事項のうち、議事録のホームページへの早期掲出及び委員委嘱時の委員倫理等に同意を求める対応については、さらに徹底をはかることとし、今後も一層こうした努力を継続していきます。

以上

<参考資料>

日本電気協会における規格制定・改定の基本的な実施手順と JEAC4201-2007(2013年追補版)の制定経緯について

日本電気協会（以下、協会という）では、国内外において様々な主体によって実施され、学術論文や研究成果報告書等の形でまとめられ、多くの研究者・技術者等の第三者の評価を経た、原子力に関わる様々な R&D の知見等を分析・レビューし、原子力分野の規格としてまとめあげ、発刊し社会に活用いただく活動を行っている。様々な主体の活動の成果として社会に蓄積された R&D の成果等を元に、協会において規格を策定する過程においては、協会内の規格策定ルールのもと公平・公正・中立を遵守した手順に従い、検討会⇒分科会⇒原子力規格委員会（以下、規格委員会という）という多段階の審議及び投票を経ることとしている。この過程において、もし上位の委員会において投票の結果否決される場合には、分科会、検討会等の下位の委員会に差し戻し、審議をやり直すという対応を行っている。また、こうした各過程において審議された内容を記載した議事録は順次 HP に掲出し公開しており、分科会及び規格委員会で審議にかけられた資料も外部から要求があれば提供することとしている。規格委員会で制定された規格は、発刊前に公衆審査にかけられ、そこで公衆から出された質問に対しても、その回答内容及び質問を受けての規格の修正内容については、やはり検討会⇒分科会⇒規格委員会の審議を経て決定し、その回答内容も HP において公開している。

さらに、制定された規格に対しても、対応する専門の検討会において、適宜、規格の使用状況のモニターやユーザーからの使い勝手等に関するヒアリングを行い、また、規格の内容に関する国内外の最新技術動向などを調査し、規格改定の要否を検討し、改定が必要と判断されれば、再び上述したものと同様の規格改定プロセスに乗せ、検討会⇒分科会⇒規格委員会の順で審議を行っていくこととなる。なお、当然のことながら、モニターや技術動向の調査等の作業は検討会において主に実施されることとなるが、規格改定はもとより規格改定の要否の判断も分科会⇒規格委員会における審議・判断が必須となる。

以上述べた、規格策定において協会の果たす役割及び位置づけ、規格策定プロセスを前提として、当該規格 JEAC4201-2007[2013年追補版]は次のプロセスを経て制定、改定されたものである。

すなわち、JEAC4201 については、各電力会社において順次取得される監視試験データや、国内外の照射脆化に関わる最新の技術的知見を、日本電気協会原子力規格委員会内の専門の検討会・分科会において分析・レビューし、最新知見を踏まえた原子炉圧力容器の健全性評価が行われるよう、脆化予測法の改善検討を継続的に実施してきた。JEAC4201-1991～2004 で採用された国内脆化予測法[Rev.0]では、化学成分に関する項と中性子照射量に関する項の積の形で予測式を記述しており、統計的手法のみを用いて各種

係数等を設定したものが採用されていた。しかし、国内監視試験データが蓄積されたこと、実験及びシミュレーションの技術が世界的に進歩して照射脆化のメカニズムに関する理解が大きく進んでおり、それらを反映した予測法へ見直すため、協会の検討会・分科会において汎用性と精度に優れる予測法の探索・レビューが行われ、最終的に JEAC4201-2007 で採用された国内脆化予測法[Rev.1]のもととなる、電力中央研究所において開発された照射脆化メカニズムを考慮した脆化予測法を採用することとなった。この手法は、照射によるマイクロ組織変化とマイクロ組織変化による機械的特性の変化をモデル化し、反応速度方程式型の数式モデルにより基本となる式を定式化（近似）するとともに、当時取得されていた監視試験データや材料試験炉データを用いてパラメータフィッティングを行うことで開発されたものである。このような物理的考察に基づき構築された基本数理モデルとパラメータフィッティングを組み合わせて予測法を構築する方法は、システム同定分野においてグレーボックス・モデルと呼ばれる。国内脆化予測法[Rev.1] は、単一の予測法によって炉型や鋼種（母材、溶接金属）によらず汎用的な予測が可能となっており、予測性は国内脆化予測法[Rev.0]よりも改善されている。

JEAC4201-2007 策定以降も、各電力会社によって監視試験が順次実施され、PWR プラントにおいて JEAC4201-2007 策定時点では取得されていなかった高い中性子照射量のデータが取得され公開された。これらデータはいずれもプラント運転開始後約 24 年～35 年で取得されたものであったが、PWR プラントの監視試験の特性（監視試験片は実際の炉壁位置よりも炉心に近い中性子照射量の高い場所に設置されている）から、プラント運転開始後約 60 年時点の高い照射量に相当するものもあり、今後の長期的な原子炉圧力容器の健全性を評価する上で貴重なデータであった。これらのデータのうち、玄海 1 号機のデータについては JEAC4201-2007 の予測を超えた監視試験データとなっていたことから、2011～2012 年に原子力安全・保安院(当時)の意見聴取会で議論され、原子力安全・保安院(当時)より早期に予測法を改良することが求められた。これを受けて、電力中央研究所において、これらの新たに取得された監視試験片に対し、3D アトムプローブなどによる詳細分析を行った結果、照射量の高い領域での原子炉圧力容器鋼材の脆化は概ね現行の照射脆化モデルにより説明できることが確認されたため、新たに取得されたデータを含めた監視試験データに対して数式モデルのパラメータフィッティングを再度行うことで脆化予測法の改良が行われた。

日本電気協会原子力規格委員会の当該検討会及び分科会では、予測法改定の緊急性に鑑み、電力中央研究所の改良検討の過程において検討状況の報告を受け、レビュー・助言を行うとともに、PWR/BWR プラント条件を対象にした感度解析から各入力パラメータに対して特異な脆化挙動の傾向がないことや、改定予測法の保守性の確認等を行った結果、予測法を国内脆化予測法[Rev.1]の改定案(国内脆化予測法[Rev.2])として採用することを妥当と判断し規格案（追補版）として、規格策定プロセスに乗せ、審議の後規格案を JEAC4201-2007[2013 年追補版]として制定した。

今後も、各電力会社において新しい監視試験結果が得られ公開される場合には、これまで行ってきたものと同様のプロセスにおいて、その内容を分析・検討し、規格改定の要否を判断し、適切なプロセスで規格改定検討を行っていく予定である。

なお、予測法のモデル化の考え方や予測性能については、以下のような学術的な場で、各国の専門家により議論がなされている。

- EPRI International BWR and PWR MRP Conference and Exhibition での説明と討議：H24.7
- 日本機械学会 M&M2012 カンファレンスで「国内原子炉容器鋼の照射脆化予測法の改定の検討」の発表と討議：H24.9.22-24
- 日本保全学会 1st International Conference on Maintenance Science and Technology for Nuclear Power Plants (1st ICMST)で「Recent High Fluence Surveillance Data and Re-calibration of Embrittlement Correlation Method for the Japanese Reactor Pressure Vessel Steels」の発表と討議：H24.11.12-14
- 米国機械学会 the ASME 2013 Pressure Vessels & Piping Division Conference (PVP2013) で「High Fluence Surveillance data and recalibration of RPV embrittlement correlation method in Japan」の発表と討議：H25.7.14-18
- 原子炉圧力容器の健全性評価方法の高度化研究 第2回確率論WGにて紹介：H25.1.29
- IGRDM-17で「Modification of the Japanese Embrittlement Correlation Method」の発表と討議：H25.5.20-24

以上