

## 第 55 回 構造分科会議事録

1. 日 時:平成 31 年 2 月 7 日(木) 13:30~16:20

2. 場 所:日本電気協会 C, D 会議室

3. 出席者:(敬称略, 委員五十音順)

- 出席委員:笠原分科会長(東京大学), 山田幹事(中部電力), 新屋(北陸電力),  
安藤(日本原子力研究開発機構), 岩崎(群馬大学), 岩田(電源開発),  
宇田川(IHI 検査計測), 小川(青山学院大学), 勝山(日本原子力研究開発機構),  
小枝(日本製鋼所), 小林(日本原子力発電), 白倉(トランスニュークリア),  
鈴木(長岡技術科学大学), 関(原子力安全推進協会), 曾根田(電力中央研究所),  
高木(東北大学), 高橋(東京電力 HD), 伊達(四国電力), 永山(中国電力),  
樋口(新日鐵住金), 久恒(九州電力), 本郷(IHI), 前川(関西電力),  
増田(日立 GE ニュークリア・エナジー), 町田(テプコスシステムズ) (計 25 名)
- 代理出席:清水(北海道電力, 沼田委員代理), 鵜飼(東芝エネルギーシステムズ, 松永) (計 2 名)
- 欠席委員:大岡(日本非破壊検査協会), 佐藤(発電設備技術検査協会), 庄子(東北大学),  
平川(東北電力), 北条(三菱重工業), 望月(大阪大学), 吉村(東京大学) (計 7 名)
- 常時参加:藤澤(原子力規制庁) (計 1 名)
- オブザーバ:佐々木(原子力規制庁), 破壊靱性検討会:平野主査(IHI), 大厩(関西電力),  
高田(関西電力) (計 4 名)
- 事務局:三原, 飯田, 大村(日本電気協会) (計 3 名)

### 4. 配付資料

- 資料 55-1 構造分科会委員名簿, 検討会委員名簿  
資料 55-2 第 54 回構造分科会議事録(案)  
資料 55-3-1 JEAC4201 改定検討状況について  
資料 55-3-2 リスク情報活用に向けた破壊靱性検討会の取り組み  
資料 55-4-1 平成 31 年度各分野の規格策定活動(案)  
資料 55-4-2 原子力規格委員会 構造分科会 H31 年度活動計画(案)  
資料 55-5 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(JEAC4206-  
2016) 正誤表

### 5. 議事

#### (1) 会議定足数の確認, 代理出席者の承認, 配付資料の確認

事務局より代理出席者の紹介があり, 分科会長の承認を得た。出席委員は代理出席者を含めて, 会議開催条件の「委員総数 34 名の 2/3 以上の出席( 23 名以上)」を満たすとの報告があった。また, 配付資料の確認があった。さらに, オブザーバの紹介があり, 分科会長の承認を得た。

#### (2) 検討会委員変更の審議

事務局より資料 55-1 に基づき, 検討会委員変更の紹介があり, 挙手にて承認された。

【破壊靱性検討会】

辻 委員(富士電機) → 増住 新委員候補(同左)  
中川 委員(日本原子力発電) → 高木 新委員候補(同左)

【PCV 漏えい試験検討会】

新藤 委員(東北電力) → 渡辺 新委員候補(同左)  
戸倉 委員(中国電力) → 田原 新委員候補(同左)

【供用期間中検査検討会】

佐々木 委員(東北電力) → 佐藤 新委員候補(同左)  
土橋 委員(東芝エネルギーシステムズ) → 大竹 新委員候補(同左)

【SG 伝熱管 ECT 検討会】

尾山 委員(北海道電力) → 清水 新委員候補(同左)  
中川 委員(日本原子力発電) → 高木 新委員候補(同左)

【設備診断検討会】

棚橋 委員(関西電力) → 吉川 新委員候補(同左)

【渦電流探傷試験検討会】

(新任) 高木 新委員候補(日本原子力発電)  
尾山 委員(北海道電力) → 清水 新委員候補(同左)

【水密化技術検討会】

中瀬 委員(北陸電力) → 牧川 新委員候補(同左)

(3) 前回議事録(案)の承認

事務局より資料 55-2 に基づき、前回議事録(案)の説明があり、挙手にて承認された。

(4) 第 68 回, 69 回原子力規格委員会議事について

事務局より、第 68 回原子力規格委員会の議事のうち、構造分科会関連の紹介があった。  
第 69 回について、構造分科会関連の議事はなかった。

・JEAG4630「浸水防止設備技術指針」改定案について中間報告を実施した。

(5) JEAC4201 原子炉構造材の監視試験方法 改定検討状況について

1) 照射脆化予測法の改定検討状況

破壊靱性検討会平野主査、大厩委員より、資料 55-3-1 に基づいて、JEAC4201 の検討状況について、報告があった。

検討の結果、資料を修正して、原子力規格委員会に報告することとなった。

・2013 年追補版技術評価時の指摘事項は、①基本モデル式を改定する際の視点、②データの重みづけ、③試験炉照射データの取扱い、④Mc 補正の意味、であった。

・技術評価を受けて、原子力規制委員会から電気協会へ文書が発出され、①予測式改定に向けた具体的な対応及びスケジュール、②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対応、③中立性、透明性及び公開性の一層の確保に向けた対応、についての報告を指示された。

・これを受けて、電気協会は以下を回答した。①監視試験データを入手して予測の適切性を確認していくと共に、2018 年予定の JEAC4201 改定に向けて検討を進める。②脆化予測法の導出プロセス、検証プロセス等についてトレーサビリティが確保されていることを確認する。③委員構成の見直し、採録実施の取扱いの明確化、シンポジウム開催等の取組を行う。

- ・基本モデル式の見直しについては、破壊靱性検討会の中の監視試験 WG にて検討中。検討状況については、適宜、日本溶接協会の IET 小委員会で紹介し、専門家と議論しながら進めている。
- ・JEAC4201 改定案については、2019 年度下期に構造分科会、規格委員会に上程すべく検討を進めている。

#### <主なご意見, コメント>

- ・P12, 今回のモデルで国内 PWR プラントと BWR プラントで分けてプロットして差があるのか。
  - P18は全データで、PWR, BWRでなく、板材、鍛造材、溶接金属で区別している。BWRは照射量が低く $\Delta T_{41J}$  値も非常に小さい、大きいのは PWR と試験炉である。データを見る限り違う傾向は見られない。
- ・個別のプラントで差が出てくるといえるが、その理由は何か。
  - それを補正する手段として $M_c$ 補正があるが、差が生じるに理由については検討中である。
- ・海外の予測式と国内の予測式で、考え方に違いがあるのか。
  - 参考 2-4 に、アメリカの予測式の考え方が記載されているが、MF term がマトリックス損傷で、CRP term が銅リッチ析出物(溶質原子クラスターに相当)による脆化で、見ているものは海外でも同じである。ただし、両者は線形和となっており、日本の二乗和平方根と定式化の考え方に違いがある。
- ・アトムプローブのデータについて、海外のデータと比較して何か言えるか。
  - アトムプローブデータをこれだけ系統的にとって分析している国は日本だけと考える。
  - アメリカについては EPRI が電中研と協力して取ったデータがある。フランスも少し取っている。ただし、数プラントのデータに留まっておりマイクロ組織モデルを作れる量ではない。大きな脆化が出た材料に対してアトムプローブ分析を実施した研究は報告されているが、系統だって採取している国はない。
- ・銅以外にシリコンを考える必要があるとのことだが、マンガンはどうか。
  - P23, 24 のとおり、式にはマンガンの濃度もパラメータとして入っている。マンガンは、マトリックス損傷で影響が顕在化し、転位ループ形成に影響することは知られている。ただし、製造時に析出物が形成するので、マトリックス中のマンガン濃度は公称値よりもはるかに低く、その範囲も大きく変化しないので、今のところ、あまり大きく効くとは考えていない。
- ・P2 の規制庁の論点で、引張試験の結果、測定誤差の影響、高銅・高ニッケル材の影響とあるが、これらは今後の課題か、今何か検討されているのか。
  - 測定誤差の影響については、具体的にはシャルピーのデータの誤差の影響、中性子照射量の測定誤差の影響が挙げられている。基本モデル式ができてから分析して、マージンの設定の際に検討する予定。銅が 0.16%を超えた高ニッケル材は、監視試験データではなく試験炉照射データである。特殊な化学成分ではあるが、それもデータベースに含めている。
- ・予測式はクラスター体積率とマトリックス損傷を考慮しているようだが、マトリックス損傷の精度向上について言及がない。

- マトリックス損傷は透過電子顕微鏡(TEM)を使って転位ループを観察して数密度を求め  
るが、アトムプローブほど多数のデータを取れない。数密度のオーダーが予測と近いこ  
とは確認している。
- ・基本的な式の考え方を共有しておく必要がある。第1項はアトムプローブのデータもあり、  
メカニズムも分かっている。第2項のCMDはそれ以外の要因をまとめているという  
のが実情に近い。
- 今回紹介した海外の予測式でもマトリックス損傷としてCMD項を足している。これが最  
新知見で、両方の影響を足すというのは、EONYも同じである。
- ・海外の予測式について、国内データに対する予測性だけでなく、国内の予測式との考え  
方の差異についても整理しておいた方がよい。
  
- ・定式化するうえで重要な要素について、規格委員会で質問があるかもしれない。基本的  
に照射損傷で、その蓄積過程がどう進行するかは基本的には予想がつく。軽水炉圧力  
容器で、銅を中心とした溶質原子クラスターが大きなウエイトを占めることは確実で、マ  
トリックス損傷も確かに寄与するので、定式化でうまく入れているという印象である。
- TEMとアトムプローブで見ているものがだぶっているかも知れない。測定手法の違いに  
よりオーバーラップしているものがあると考え。その境界の区切り方により、いろい  
ろな定式化があると考え。二項に分けるときの境目をどうするか、説明できれば良いと  
考える。
- ・アメリカ、フランスとも、パラメータは同じで線形和で求めているが、日本では二乗和の平  
方根である。また、定数項があるが、0.6と固定としている。
- 2つ要因の重ね合わせで、影響が近ければ二乗和平方根、影響が違えば線形和で、ど  
ちらが合うかである。今は二乗和が合っている。また、ここは硬化型モデルで、硬化型と  
は降伏応力が上昇することであるが、ルートの中は降伏応力の上昇量を予測している。  
降伏応力に0.6をかけると遷移温度の上昇になるという近似式があり、係数を0.6と固  
定している。
- 二乗和平方根では、同じくらいの寄与であれば両方同じくらい効くが、寄与の程度が異  
なると寄与の大きい方が支配的となる。
- 実際にマトリックス損傷が効いているのは脆化が少ない材料、つまり照射量の低いとこ  
ろで、CMDの項が効いている。脆化が多いところでは、もっぱらVfの項で予測できる。
  
- ・P2、技術評価時のNRAの指摘事項で、測定誤差の影響があるが、検討状況を説明され  
たい。
- まだそこまで検討が進んでいない。
- ・アトムプローブデータのフィッティング時に、その信頼性、代表性を説明できるようにした  
ほうが良い。
- ・P29で、クラスター体積等は精度が良くなっているが、その割に遷移温度のシフト量が改  
善していない。
- この点はまだ検討中である。理由として、監視試験データは300~400点ぐらいあるが、  
アトムプローブデータがあるものはそのうちの100点ぐらいであり、データがないものも  
多いためと考えられるが、今後の課題と考える。
  
- ・P12で、別モデルの採用要否で、2013年追補版は精度が高く、追補版の式の改良が有

効と判断している。技術評価時にも、2013 年追補版の式が海外の予測式よりも精度が高いことは確認していた。そのベースがある中で、基本モデル式の改良を図る方が有効と判断した理由はなにか。

→P12 では技術評価時と同じことを行い、2013 年追補版の精度が良いと結論付けているが、それに加えて P13 に国内データで最適化した結果を記載した。これまで実施してきたアトムプローブ分析の知見等との整合性、繋がりもあるので、2013 年追補版の式を改良したほうが良いと判断した。

・標準偏差が最も小さいから選択したとの判断で良いか。

→説明の仕方については、もう少し検討したい。

・海外の予測式でも溶質原子クラスターとマトリックス損傷の 2 項に分けているものが多く、アトムプローブで測れる部分と測れない部分としている。ただし、組合せ方により、interaction の強弱の話がある。

→新しい式の  $\alpha$  の値は、2013 年追補版のように重みづけをしないで最適化された結果である。

・その説明がないと成果が出ていないように見える。図の説明時、重要なポイントと考える。

・アトムプローブデータのある監視試験データだけで最適化して  $\alpha$  を示していただきたい。新たな知見が出るかも知れない。

→プラント初期の監視試験データについてはアトムプローブデータがない。低照射量で脆化していないところのデータがないことになり、アトムプローブデータのある監視試験データだけを使っても、全体の傾向を適切に予測できる結果にならないと考える。

## 2) リスク情報活用に向けた破壊靱性検討会の取り組み

破壊靱性検討会平野主査、大既委員より、資料 55-3-2 に基づいて、リスク情報活用に向けた取り組みについて説明があった。

・新検査制度の導入に向けて、リスク情報活用の観点から、PRA の精度向上、保全の有効性評価を目標とした、PFM 適用の必要性が高まっている。

・PFM 適用に向けて、検討会では原子炉圧力容器を対象とした解析要領を制定した。

・原子炉圧力容器の PFM 評価において、照射脆化予測法の予測結果は破損頻度に直接影響するパラメータであり、照射脆化予測法の精度向上は引き続き重要な課題。

### <主なご意見, コメント>

・目標とする破損確率、信頼度を満足すれば良いという基準ができれば、それ以下となることを示せば良いと考える。例えば一番高い照射量部分を使い、それが容器の全体にあっても目標値を下回るという計算結果はあるべきと考える。ある程度保守的な方法でも目標値を満足する。工学的にはそういう PFM の使い方が良いと考える。

→資料では、PFM の特徴を踏まえて照射脆化予測法に求められる要件を意識して記載した。ピークで十分な精度が得られれば、それ以下は必要ないという工学的な判断はあり得るというのはその通りである。

・本資料の最初にリスクとあるが、まとめは破損確率だけでリスクについて言及がない。

→新検査制度は、保守あるいはある行為でのリスクの上下を評価する仕組みと理解する。破壊靱性検討会では、構造物の健全性、靱性の評価が役割と考える。リスク情報活用の際にも健全性評価を高精度化していくという破壊靱性検討会の役割は変わらない。

- ・通常、リスクとは PRA を行い、ものが壊れた時に mitigation がどう働くかを検討し、炉心損傷確率や格納容器破損確率を評価することになる。原子炉容器破損が起きると炉心損傷は必ず起きるので、mitigation に期待せず、炉容器破損確率＝炉心損傷確率という考え方をすると思う。リスクが出てこないのは、原子炉容器の破損確率が炉心損傷確率にほぼイコールという考えであると思う。
- ・その点を明らかにして議論をすると分かりやすい。
- ・P6 に原子炉圧力容器の健全性評価とあるが、リスクという面では、リスク評価により真値を評価するという意味である。原子炉容器が破損すると SA となるので、そこで終わりではあるが、リスク評価活用という観点では健全性評価より、リスク評価が適当である。
- 健全性評価の中に、決定論的及び確率論的アプローチがあると考えていた。
- ・リスク情報を活用して、保全活動の有効性や自主的安全性向上を行うことは、影響度を特定して、そこに手厚い保全を行う。健全性評価ではなくリスク評価である。
- 拝承。
- ・リスク情報活用について原子力規格委員会で説明するのであれば、電気協会の担当ではないかも知れないが、目標信頼度を決めなければいけないことに触れた方が良い。
- ・結論としては今まで通り、照射脆化を中心としている。PFM 評価が入っているが、それは破壊靱性評価で、従来の枠の中で、使われるためには、提言が必要である。
- 検討する。
- ・確率論でなくてもリスク情報は適用できる。例えば、検査時に一番危ないところを相対評価する。必ずしも確率でなければいけないということではない。
- ・リスク情報とは、例えば運転知見や海外の情報、リスクに引かかる知見、そういうものが入る。破壊靱性検討会の立場では、照射脆化に関わるもので、そこに寄与するツールを提供するのが役目である。例えばアトムプローブの研究成果もリスク情報として活用して、原子炉容器の破壊に至らないように、確率論及び決定論の両方のアプローチで成立すると思う。今までの活動を総括して書けば良い。保守管理から、PDCA で回すので、運転データを予測的に反映する行為も、リスク情報の活用でまとめられると考える。
- 参考にしたい。

## (6) 審議事項

### 1) 平成 31 年度活動計画

事務局より、資料 55-4-1～2 に基づいて、平成 31 年度活動計画の説明があった。  
 検討の結果、原子力規格委員会へ上程することとなった。

#### <主なご意見、コメント>

- ・30 年度までは、資料 55-4-2, A3 資料が審議対象で、資料 55-4-1 は参考扱いであった。  
 2019 年度からは両方審議事項になる。
- ・ROP 適用を踏まえたところがあるが、この記載は他の分科会も大体同じか。
- 検査制度の見直しに対しての関係では、構造分科会に直接のものはあまりない。根本はやはり、新技術、法令等が変わったところを変えていく。構造分科会については、改定 5 年であり、継続していくところが現状である。

○活動計画案について、原子炉規格委員会に上程することについて、挙手にて決議し、承認された。

2) JEAC4206「原子炉压力容器に対する供用期間中の破壊靱性の確認方法」正誤表について  
破壊靱性検討会平野主査より、資料 55-5 に基づき、JEAC4206 の正誤表について説明があった。

検討の結果、正誤表を発行することとなった。

・JEAC4206-2016 版の表中の縦軸の数値に 1 か所誤記が見つかった。1991 年版から継続していた。誤記の影響のグレード判断であるが、誤記は軸の途中で、図を使うときには、(端部の)数値を読み取って数式にして評価する。影響はないと考え、グレード 2 とし、正誤表を作成する。

・古いバージョンにも誤記がある。1991 年版の付録図や構成が変わり、番号が変わっているので、備考を書いて正誤表を発行する。

○特に意見がなく、本正誤表の発行について、挙手にて決議し、承認された。

(7) その他

1) 事務局からの報告

・JEAG4640「確率論的破壊力学に基づく原子炉压力容器の破損頻度の算出要領」は、もう少しで発刊の見込み。公衆審査中の規格は特になし。

2) 次回構造分科会

・5月15日(水)午後、場所は別途連絡。

・議題: 浸水防護設備技術指針の審議, 他

以上