

## 第35回 構造分科会議事録

1. 日 時：平成24年12月13日（木） 10：00～12：25
2. 場 所：（社）日本電気協会 A, B会議室
3. 出席者：（敬称略，順不同）
  - 出席委員：吉村分科会長（東京大学），山田幹事（中部電力），鶴飼（東芝），北条（三菱重工業），増田（日立GEニュークリア・エナジー），三木（富士電機），宮口（IHI），上田（九州電力），黒川（四国電力），古賀（電源開発），小島（東京電力），平田（中国電力），広木（日本原子力発電），八重樫（東北電力），鈴木（日本原子力研究開発機構），曾根田（電力中央研究所），山下（日本原子力研究開発機構），吉田（発電設備技術検査協会），船田（原子力安全基盤機構），小川（青山学院大学），笠原（東京大学），庄子（東北大学），高木（東北大学），望月（大阪大学）（計24名）
  - 代理出席：根上（北陸電力，倉田代理），飯沼（北海道電力，沼田代理），瀬良（関西電力，野村代理），小枝（日本製鋼所，田中代理）（計4名）
  - 欠席委員：大岡（ものづくり大学），関（原子力安全推進協会）（計2名）
  - 説明者（オブザーバ）：富松主査（破壊靱性検討会主査，三菱重工業），平野副主査（破壊靱性検討会副主査，IHI），坂口（破壊靱性検討会委員，関西電力），野崎（破壊靱性検討会委員，九州電力），山本（九州電力）（計4名）
  - 事務局：牧野，鈴木，大滝，黒瀬（日本電気協会）（計4名）
4. 配付資料
  - 資料 35-1 第34回構造分科会 議事録（案）
  - 資料 35-2 構造分科会 委員名簿及び各検討会委員名簿（案）
  - 資料 35-3 福島事故を受けて構造分科会関連規格の整備の検討について
  - 資料 35-3-2 各分科会の規格策定状況（規格類協議会の福島事故対応 52 規格並びに現在制改定作業中の規格の策定状況）
  - 資料 35-4 JEAC4207-2008 [2012 追補版] 講習会の実施結果について(報告)
  - 資料 35-5-1 原子炉構造材の監視試験方法 JEAC4201-2007[201X 年追補版]案
  - 資料 35-5-2 JEAC4201-2007(追補版) 新旧比較表
  - 資料 35-5-3 圧力容器鋼照射脆化予測法の見直し
  - 資料 35-6 JEAC4206「原子炉圧力容器に対する供用期間中の破壊靱性の評価方法」改訂状況
  - 参考資料 1 第44回原子力規格委員会 議事録（案）
  - 参考資料 2 第31回原子力関連学協会規格類協議会 議事録（案）
  - 参考資料 3 原子力発電所用機器の ISI における超音波探傷規程 JEAC4207-2012 追補版の紹介（「超音波による非破壊評価シンポジウム」発表論文）
  - 参考資料 4 意見聴取会とりまとめ報告書で挙げられた課題と日本電気協会の取り組み状況
  - 参考資料 5 「常用漢字表」に追加された字種の周知について
  - 参考資料 6 日本電気協会 原子力規格委員会 運営規約 細則 関係頁の抜粋

## 5. 議事

### (1) 会議定足数の確認、代理出席者の承認

事務局から、代理出席者 4 名の紹介があり、分科会長の承認を得た。本日の出席委員は、代理出席者も含めて 27 名で、委員総数 30 名に対し会議開催条件の「委員総数の 2 / 3 以上の出席」を満たすことの報告があった。(1 名が約 30 分遅れて出席、計 28 名)

なお、委員総数について、旧原子力安全・保安院の委員 2 名が退任し、前回時 32 名から 30 名になったとの報告があった。

### (2) 前回議事録(案)の承認

事務局より、資料 35-1 に基づき、前回議事録(案)の紹介があり、コメントなく承認された。

### (3) 検討会委員変更の審議

事務局より、資料 35-2 に基づき、構造分科会委員の変更がないこと、及び下記検討会委員変更の説明があり、計 8 名の新委員が承認された。

【破壊靱性検討会】 1 人変更

・西山 俊明(東京電力) → 上坂 昌生(同左)

【SG 伝熱管 ECT 検討会】 1 人

・高次 正弥(三菱重工業) → 七田 知紀(同左)

【機器・配管設計検討会】 1 人

・舘 研一(北陸電力) → 畠中 翔吾(同左)

【設備診断検討会】 3 人

・山下 伊作(東京電力) → 池田 清隆(同左)

・小島 千秋(東京電力) → 橋本 哲(同左)

・舘 研一(北陸電力) → 畠中 翔吾(同左)

【格納容器内塗装検討会】 2 人変更+1 人退任

・伊藤 大輔(東京電力) → 小林 照明(同左)

・鶴田 篤史(東京電力) → 大中 健太郎(同左)

・遠山 洋一(東京電力) → 退任

なお、構造分科会委員から旧原子力安全・保安院委員が退任され、一時的かもしれないが、原子力規制庁から委員参画がないことについて、原子力安全を確保するために基準となるルールを作成する段階から、規制側の考え方や意見等を取入れながら一緒に議論するプロセスは本来重要であり、現在それが叶わないことが少し残念であるとの意見があった。

### (4) 第 44 回原子力規格委員会議事録(案)の紹介

事務局より、参考資料 1 に基づき、第 44 回原子力規格委員会議事録(案)の紹介があった。

原子力規格委員会に構造分科会タスクグループ作業会から報告した際、資料 35-3 の「原子力安全規制の 7 つの転換」の「40 年運転制限を導入」の内容について、細野大臣の国会説明時の文章と法律の文章が異なっているので確認することとのコメントがあり、その反映版の紹介があった。

また、資料 35-3 は前回構造分科会時に、「ガスケット等シール材のシビアアクシデント環境性能試験に関する指針」と「高密度ポリエチレン配管設計・施工基準」の 2 件について、

検討会の体制，次年度以降の活動計画案等について検討することとなっており，資料-35-3-8 のとおりに追加されたことも併せて紹介された。

(5) 第 31 回原子力関連学協会規格類協議会議事録（案）の紹介

事務局より，参考資料 2 に基づき，第 31 回原子力関連学協会規格類協議会議事録（案）の内，これまで紹介されたものから追加されたものについて紹介があった。

これまで，下記 4 つから，事故の教訓，対策などに対応する学協会規格で整備（制定，改定）が必要な規格として 52 件抽出されている。

- ①IAEA に対する政府報告書（28 項目）
- ②NRC Near Term Task Force 報告書（Tier-1～3，12 項目）
- ③NISA 技術的知見，今後の規制に反映すべき事項（30 項目）
- ④原子力安全規制の転換（7 項目）

これに加えて，各事故調査報告書の指摘事項等から 3 学協会の規格整備計画へ反映すべき項目が無いかどうか検討・検証が必要であると判断し，以下の事故調査報告書等を調査した。

- ①国会事故調報告書（H24. 7. 5 公表）
- ②政府事故調最終報告（H24. 7. 23 公表）
- ③東京電力事故調報告書（H24. 6. 20 公表）
- ④民間事故調報告書（H24. 2. 28 公表）
- ⑤INPO「11-005 追録 福島事故から得た教訓」（H24. 8 公表）

以上の報告書等を検討し，以下の 3 点について学協会規格整備計画への反映要否について更なる検討が必要であると判断されたことの紹介があった。

- (ア)水素爆発対策
- (イ)サイバーセキュリティ
- (ウ)運転員以外の所員の教育訓練

質疑は以下の通り。

- ・ 3 学協会（原子力学会，機械学会，電気協会）の役割分担を定義しているものはあるのか。これまでの実績や各学協会の専門性を見て「原子力関連学協会規格類協議会」の場で合議して決めているのか。  
→役割分担を明確に定義したようなものはない。新規規格の策定箇所の調整が必要な場合は，「原子力関連学協会規格類協議会」で調整・協議する。

事務局より，資料 35-3-2 に基づき，学協会規格で整備が必要なものとして抽出された 52 件の内，構造分科会が担当箇所となっている「建屋開口部等の水密化設計基準（仮称）」について，昨日開催された基本方針策定タスクワーキングで，津波検討会側で「建屋開口部等の水密化設計基準（仮称）」の検討に入るまでに時間がかかるのであれば，構造分科会で検討開始してはどうか，との意見があったことが紹介された。

これについて，構造分科会の中に新たな検討会を立ち上げて検討を始めること，その検討会が津波検討会と適宜情報交換しながら進めること，建屋開口部等の水密化については各電力のプラントにおいて実際に対策が進んでいると思われるので情報収集すること，との提案が出され，特にコメントなく了承された。

後日，事務局より，各電力の委員に対して各プラントの建屋開口部等の水密化対策の状況

等についてメールにて情報収集すること、及び新たな検討会の委員について構造分科会全委員に候補者を推薦していただくメールを発信することとする。

(6) JEAC4207-2008「軽水型原子力発電所用機器の供用期間中検査における超音波探傷試験規程」2012年追補版の講習会実施結果の報告

事務局より、資料 35-4 に基づき、講習会実施結果が説明された。

コメントはなく、了承された。この内容で、原子力規格委員会に報告することとする。

対外的活動の関連として、事務局より参考資料 3 に基づき、日本非破壊検査協会が来年 1 月末に開催予定の「超音波による非破壊評価シンポジウム」に、「原子力発電所用機器の ISI における超音波探傷規程 JEAC4207-2012 追補版の紹介」として講演する論文の紹介があった。

質疑は以下の通り。

- ・論文著者の所属名称として、本人が所属している会社名を掲載する他に、肩書として「構造分科会 供用期間中検査検討会 主査」等の記載をしなくてよいのか。又は、しない方がよいのか。

→シンポジウム等でどのような記載をしているのか把握していない。

- ・一般的には、何故、自分がこれを紹介するのか立場を表明して執筆するものである。

(7) JEAC4201「原子炉構造材の監視試験方法」追補版（案）の審議

吉村分科会長から脆化予測式の議論の開始に先立ち、複雑な材料挙動モデリングとその規格への活用を行う際の基本的な考え方について説明が行われた。

1) 我々が扱っている問題では、そもそもマイクロなレベルでの材料の損傷からはじまり、メゾレベルでの挙動、マクロな挙動に至るまで、様々なスケールの素過程が積み上がって構造材料の破壊、損傷、変形などの巨視的挙動につながっていく。このような複雑な材料挙動のモデリングとその規格への活用を行う際の基本的な考え方を理解するために、材料の非弾性挙動モデリングである非弾性構成方程式について考えてみる。非弾性構成方程式は、複雑な式で表現され、そこにいくつも係数が含まれている。式としては、力学的、物理的な洞察のもとにいろいろな形の式が導出されるが、理論の積み上げだけで現実の材料挙動を定量的に表現することはできない。そこで、非弾性構成方程式を現実の材料挙動予測に使うためには、ターゲットとする材料挙動に関する実測値と合うように、係数をフィッティングする作業、いわゆるパラメータフィッティングが必須となる。したがって、材料挙動の定量的な予測には、式と係数のパラメータフィッティングをセットで考えることが重要である。たとえば、非弾性構成方程式として、Ramberg-Osgood 式や Ohno-Wang モデル、Chaboche の式など、様々なものが提案されており、どの挙動に着目しどのように式を定めて行くかによって最終的な式の形は異なるものの、式と係数がセットによってはじめて非弾性構成式としての役割を果たす点は共通である。そうすると、構成方程式の活用においては、パラメータフィッティング過程まで含んだ上でどの非弾性構成式が、最終的に目指す巨視的挙動を良く表現できるかという観点で議論すべきであって、式の 1 部分だけに着目し、どちらが理論的により正確かという観点で議論することは適切ではない。

2) このように式と係数がセットとなって材料挙動を表現する材料モデリングにおいては、

式の部分をより正確に表現することで係数のパラメータフィッティングをより楽にするという方法と、逆に式の方はより簡単にしてパラメータフィッティングをより高度にするという方法があり、どちらの方法でも複雑なモデルを表現することができる。その模式的な例として、 $Y=aX^2$ という関係を考えてみる。この関係は $Y= aX \times X= a(X) \times X$ とも表現することができる。はじめの表現は、係数  $a$  を定数としたものであるが、後者の関係は、係数  $a(X)$ が  $X$  に依存するものとしている。さらに  $X$  の範囲を限定すれば  $a(X)$  を定数としてモデル化することも可能であろう。このような表現の自由度が、複雑な挙動のモデリングを行う際の自由度というものである。したがって、あくまでも式と係数のセットで考え、どちらの方がトータルとして現象をよりよく表現できるかということで議論すべきである。要は式の部分だけ取り出して議論することは適切ではない。

- 3) ところで、複雑な材料挙動においては様々なばらつきが存在するのが普通であり、そういう材料挙動を予測ないしは表現する場合には、統計的な考え方をもち込まざるを得ない。その場合の予測においては、予測すべき多数のデータ点に対してベストフィットになっているかどうかを議論するのが学術的検討における基本である。その上で、その成果を規格に活用する際には、予測がすべての点に対して保守的評価となるように、ベストフィットカーブをもとに全ての点をカバーするような保守的なカーブを引くとか、その分だけベストフィットカーブをシフトするというアプローチがとられる。
- 4) 以上のように、我々が議論している問題には、実は規格の話、学術の話、モデリングの話、物理の話、数学の話が混ざっているので、それぞれの役割、特性をよく理解しながら議論する必要がある。基本のプロセスは大きく2つのことから構成されている。第1点は、材料モデリングには、理論的に導出される式と係数のパラメータフィッティングがセットとなって関わっており、両者をどのように組み合わせるかににおいてある種の自由度があるが、いずれにしても多数のデータ点に対してベストフィットカーブをどのように引けるかという観点から性能を議論すべきである。第2点は、規格の話であり、そのベストフィットカーブをもとに、どのようにして保守的なカーブを設定するかという話である。数学的には、すべてのデータ点を保守側に見るように線を引けるようにパラメータフィッティングすることは可能である。しかし、その場合には、学術的な意味での中央値（ベストフィット）をとるというステップを飛ばしてしまうことになるので、まず中央値をきちっととるとというのが重要な考え方になる。また、材料モデリングの先端的研究分野では、ニューラルネットワークを使って全データ点を完全に非線形マッピングしてしまおうという方法も提案されていて、実際に複雑な材料モデルの予測に使われている。その場合には、物理モデル自体が全く使われていないが、それでも予測性能がよいという評価を得ている。

また、委員から関連して意見が出された。

→構成方程式など挙動を評価するものについては、安全側にするという行為に注意が必要である。ある目的に対して安全側に設定したものが、違う目的に対しては非安全側になるということはある。例えば弾完全塑性体というものがよく使われるが、これは降伏やひずみの算出には保守的だが、応力の算出には非保守的である。クライテリアみたいなものは安全側だというのはかなり明らかなのだが、挙動に関しては初めから安全側にし

てしまうと、別の目的に使った時には逆になるようこともある。吉村会長が説明されたようにまず中央値を考えてからそれぞれの用途のために最後に安全側の線を引くという考え方が良い。

次に破壊靱性検討会の富松主査、平野副主査より、資料 35-5-1～3 に基づき説明が行われた。

主な質疑・コメントは以下の通り。

1) 米国鋼材との関係について

- ・米国の3種の鋼材（CE Plate, Linde80 溶接金属, KWE 溶接金属）が今回の予測ではカバーしきれない理由を説明してほしい。

→マイクロ組織に関しては米国のデータはきちんと蓄積されていない。アトムプローブについての先進的な取り組みをしているのは日本だけである。そのため CE Plate がモデルにあっているかどうかという検証は現時点ではできていない。米国の最新の予測式では, Cu, Ni が同じ量でも, 溶質原子クラスターの寄与は CE Plate の場合は3割増しとなっている。条件が同じでも CE Plate の脆化の感受性には他の圧延材と比べて統計的に有意な違いがあるとして見直しを行っているのが米国の現状である。米国側の技術者からは CE が行った熱処理が他社と少し違っていたのではないかという話を聞いている。Linde80 は合うものと合わないものがある。比較的合うものは Cu が少ないものである。Cu が非常に多いものは合わない。もともと Linde80 溶接金属は脆化の感受性が高い材料として知られているが、その理由については種々議論がされている。明らかな特徴として、Linde80 溶接金属では上部棚吸収エネルギーが大変低い。現在吸収エネルギーが 41J となる温度の変化量として遷移温度を定義しているが、上部棚が低くなるとシャルピー吸収エネルギーの温度依存性のカーブが寝てくるので、遷移温度がよりシフトしたように見える。破面率等の上部棚低下の影響を受けない別のパラメータを用いれば Linde80 も評価できるようになるという研究論文もある。KWE 溶接金属では、41J の遷移温度が非常に限られたデータ点数で決められている場合があり、予測法の精度評価のためのデータとしては適切でないと考えている。

2) マージン設定の考え方, N 回補正と N-1 回補正について

- ・アトムプローブの結果で物理モデルを変えないで、係数を変えずにシフト量のかき上げによる対応をとられているのであれば、予測カーブ自身の形を変えるような考え方はないのか。

→今回の提案カーブは 2007 年版から係数を変更しているのでカーブの形自体が変わっている。今回示した予測グラフは監視試験結果と補正後のカーブが比較的近接したプラントを取り上げているが、これら以外のプラントには、補正前のカーブの真ん中を通っているものや、余裕があるものも多くあり、提案予測法は妥当な予測となっているのではないかと考えている。

- ・今回マイクロ分析のモデルでは特段変わったことは認められなかったということで先に進めるとしており、たくさんのデータからベストフィットするということは良いのだが、例えば Plant K では予測カーブより監視試験結果の傾きが高いように見える。巨視的にこういう形に見える理由について、他のプラントの材料と微視的な視点で比較して解釈するよう

なことを行っているのか。

→過去に九州電力から、硬さや降伏応力のデータからおかしな挙動はないと確認したという説明がなされている。

- 各測定点の持つエラーバーなどについては、保守性を担保するマージンの検討のプロセスの中のどこでどのように考慮しているのか。また、過去のデータに対して包絡しつつ、過去のデータから将来を予測する際の保守性をどのように担保しているのか。

→設定したマージンにはシャルピー試験の誤差などを含んでおり、考慮している。

- N回補正という方法とN-1回補正という方法が資料に出ているが、予測に使う方はN-1回補正の方を使うべきではないのか。
- 将来の予測の上では、N-1回補正を使う方がベターではないか。マージンの設定プロセスの部分の補正をしてほしい。

→今回のマージンの設定は、N回補正の標準偏差ではなく、N-1回補正の標準偏差を用いており、将来の予測性を考慮してマージンを設定している。さらに、N回目の実測がN-1回時点の予測を上回った場合には、保守側にマージンを定め直すことにしている。19頁の図は、N回全てのデータを使って補正を行っているという意味で”N回補正”と記しているが、マージンはN-1回補正の標準偏差に基づいて設定したものである。

### 3) その他の改善案

- 別の考え方の例として、ニューラルネットワークへ学習させる際の過学習という問題が知られている。その対策は、100個のデータを学習、すなわちパラメータフィッティングに使ってしまうと、それ以外のデータを与えた時の予測精度が落ちるというものである。これの対策の考え方には、80個をランダムに選んで学習点に使って、残りの20個を予測性能に用いて汎化能力をチェックする、どの程度予測できるかのバランスで最終的なパラメータフィッティングして決めるという考え方がある。脆化予測にあたっては、次の予測点の予測能力を見たいのだが、パラメータフィッティングとかマージンを決めるためのデータと、残りはどの程度予測可能なのか検証用とするという考え方である。

→それは一般的に使われる手法であることは承知している。米国では約1000点のデータを有していて、実際にその考え方を使っている例もある。しかし個々のプラントにとっては1つ1つのデータが貴重なデータであり、そのどれかを予測法の最適化に使用しないというのは難しいと考えている。汎化能力という点では2つのポイントがある。1つは高照射量領域における汎化能力、もうひとつは化学組成あるいは材料の違いに対する汎化能力である。高照射量領域については、今回、材料試験炉で照射された銅含有量の異なる材料の照射データも使っているのので、照射量の高いところまで内挿の領域として考えられるようになっている。化学組成については、米国データとの比較により検証できていると考えている。

上記の検討の結果、挙手にて全員の賛成を得て書面投票に入ることが決議された。書面投票の期間は3週間とするが、終了時期が年末年始をはさむので、12月14日から1月10日となった。

#### (8) JEAC4201-2007 への意見・質問等への対応

複数の方から既存の規格についての意見にあたる内容が日本電気協会に出されていることが、吉村会長から説明された。その内容への対応については、技術面以外は基本方針策定タスクの方が検討すると考えており、技術面については、構造分科会が内容を検討することとした。詳細な検討については、まず破壊靱性検討会で検討するよう指示された。

#### (9) JEAC4206 に関する破壊靱性検討会の検討状況

破壊靱性検討会の富松主査より、資料 35-6 に基づき、今回は目次案までの紹介となっているが、検討会の中で意見が多く出されており現在規格案作成の検討作業を行っているとの説明が行われた。委員からの質問等はなく、了承された。

### 6. その他

#### 1) 「常用漢字表」に追加された字種について周知

事務局より、参考資料 5 に基づき、「常用漢字表」に追加された字種について周知があった。

「常用漢字表」が平成 22 年 11 月 30 日に 29 年ぶりに改定され、196 字追加されており、例えば、「き裂」→「亀裂」と漢字で表記することとなったので、規格作成時及び改定時において留意する。

#### 2) 規格の策定状況

・JEAG4208-2012「軽水型原子力発電所用蒸気発生器伝熱管の供用期間中検査における渦流探傷試験指針」改定版

平成 24 年 10 月 31 日発刊。

#### 3) 次回議案予定

- ・JEAC4201「原子炉構造材の監視試験方法」追補版（案）の書面投票結果の報告
- ・JEAC4206「原子炉圧力容器に対する供用期間中の破壊靱性の評価方法」改定案の審議
- ・平成 25 年度活動計画（案）の審議
- ・平成 25 年度各分野の規格策定活動（案）の審議

4) 次回分科会は、平成 25 年 1 月 31 日(木)13:30～17:00 日本電気協会 4 階 A,B 会議室で開催予定。

以 上