

第 107 回破壊非性検討会（第 6 回 PFM 臨時検討会）

1. 日 時： 2025 年 11 月 28 日（金）13 時 30 分～17 時 15 分

2. 場 所： ビジョンセンター虎ノ門 605 会議室（Web 会議併用）

3. 出 席 者（敬称略、順不同）

出席委員：廣田主査(三菱重工業), 高本副主査(日立 GE ベル/バニュークリアエナジー),
中野(東京電力 HD), 青木(北海道電力), 秋山(四国電力), 稲垣(中部電力),
岩井(東京電力 HD), 上田(中国電力), 岡本(電源開発), 川野(IHI),
橋内(日本核燃料開発), 阪本(三菱重工業), 佐藤(原子力安全推進協会),
中川(中国電力), 中崎(関西電力),
中島(電力中央研究所), 西本(日本製鋼所 M&E),
長谷川(発電設備技術検査協会), 畑(関西電力), 服部(東芝エレキシスシステムズ),
河(日本原子力研究開発機構), 平原(九州電力), 増住(富士電機),
山本(日本原子力研究開発機構) (計 25 名)

代理出席者：藤野(日本原子力発電, 清水委員代理) (計 1 名)

欠席委員：田川(JFE スチール), 村中(日立 GE ベル/バニュークリアエナジー) (計 2 名)

當時参加者：吉村(東京大学), 村上(東京大学), 椎塚(ATENA), 志和屋(ATENA),
好川(ATENA), 平野(IHI), 大厩(関西電力), 川井(関西電力),
藤丸(東京電力 HD), 田原(中国電力), 山田(中部電力), 熊野(中部電力),
織田(四国電力), 藤野(日本原子力発電), 中村(九州電力),
鬼沢(日本原子力研究開発機構), 勝山(日本原子力研究開発機構),
高見澤(日本原子力研究開発機構), 森(東芝エレキシスシステムズ),
高越(三菱重工業), 八代醍(日立製作所), 石寄(日立製作所),
新井(電力中央研究所), 永井(電力中央研究所), 宮代(電力中央研究所),
町田(テプロシステムズ), 笠井(テプロシステムズ), 小嶋(原子力規制庁),
塙本(原子力規制庁), 東(原子力規制庁), 佐々木(原子力規制庁) (計 31 名)

事務局：高柳, 中山, 景浦(日本電気協会) (計 3 名)

4. 配布資料：別紙参照

5. 議 事

会議に先立ち事務局より、本会議にて、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、廣田主査より開会の挨拶があり、そ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、分科会規約第 13 条（検討会）第 7 項に基づ

き、主査の承認を得た。資料 No.107-1 に基づき、出席者の確認を行った。出席者は 26 名であり、分科会規約第 13 条（検討会）第 15 項の決議に必要な 3 分の 2 以上の出席であり、定足数を満たしていることを確認した。最後に配布資料の確認があった。

(2) 前回議事録の確認

事務局より、資料 No.107-2 に基づき、前回議事録案の紹介があった。特にコメントはなかったため、正式議事録とすることについて決議の結果、承認された。

(3) PFM の背景、規格への反映方針について

資料 No.107-3 から資料 No.107-14 及び参考資料-1 及び 2 に基づき、確率論的破壊力学 (PFM : Probabilistic Fracture Mechanics) に関する検討方針、審議工程、JEAG4640-2018 の改定に向けた検討状況について説明があった。

○資料 No.107-5 JEAG 4640 附属書 B の改定に関する検討 質疑応答

主なご意見・コメントは下記のとおり。

- ・資料の 7 頁の「案 1 PTS/試験程度」に書いてある試験程度について、今回の改定では原子炉圧力容器をターゲットにするということでよいか？今後を考えると、配管の試験程度にも使う可能性があるのではないかと思う。LBB の話もあると思うが、それはその話が出てきたら、それも加えていくことでよいか？
→JEAG4640-2018 策定の時には、原子炉圧力容器に関する PFM の検討が一番進んでいたので原子炉圧力容器に対象を絞った。したがって、規格名称は「確率論的破壊力学に基づく原子炉圧力容器の破損頻度の算出要領」となっている。構造分科会としてまずは原子炉圧力容器を優先的に進めるという方針がある。(他の機器も対象に入れる際には) タイトルを変えることも考える必要がある。
- 元々、解析コードは「PASCAL」だったのに、「FAVOR」も例として入れるとなっている。電中研作成の解析コードは入れないのか？
→ニーズや、優先順位等を考えて決めればよい。
- それは、(今回の改定検討では) 原子炉容器限定はとりあえず維持して、新しいケーススタディが出てきたら、「参考」にはその都度、順次追記していくということか？
→そのとおりである。
- JEAG4640 に「附属書 (参考)」とあるが、その位置づけが解説とどう違うのかよく判らない。単なる例であって、この通りやればよいというわけでもないという事か。例えば PASCAL だったら少なくともここは確認するように等規定しないのか？ その上で、なおこういうことを確認すればもっといいと書いていくのならば、もう規定 (本文) にしたらいいと思う。そうしたら使う側としては従いやすいのではないか。
→規定のところは最低限、電気協会として要求するべきところを書いている。附属書には参考として、こういう条件であれば妥当な値が出るということを電気協会で確認した解析条件を例示したものである。
- 電気協会の中では (その点について) 明確に定義されていて、守らなければいけないものは「規定」、推奨されているけれど、別に守らなくてもいいものや別の手段を取れるものは「参考」としている。そういう規定や推奨に対して、更なる説明が解説として記載されている。そこは明確に位置付けがなされていると思う。日本語にすると判り難いかもしれないが、shall か should

なのか、そういう使い分けだと思う。他のものを入れる余地がある場合と、そうでない場合で分けられている。

→規格の位置付けはそうかもしれないが、ここに記載している内容は、ある事業者がやっている内容でしかないということか？それがベストプラクティスのような位置付けであれば、まだ記載する意図が判るのだが、技術評価に向けてその位置付けが判るようにして頂いた方がよいと思う。例えば、ここにはある事業者が実施した内容を記載したが、分科会で議論して、妥当と判断された内容なので、これをベースに考えるとよい等と書いてあれば、そういった経緯の部分も見える。あるいはある事業者が独自に実施したものだが、単にその内容を記載したものである等、その違いが判るようになっていた方が親切ではないかと思う。

→それは解説に書くものと思う。

→参考に記載する内容は、実際にどこかの機関が先行して具体的な検討を進める場合もあると思う。それを規格の参考として入れるという段階で、規格委員会の目が入って、オーソライゼーションはしているというのが参考の位置付けだと思う。

→そうすると、何か計算結果が出てきた時に、参考に記載されている内容と比べて、この部分は同じような内容なのに何故違う計算をするのか等、条件が違うのに何故同じ方法でいいのか等、そういう対比に使うのか？

→そういうものもある。先ほど紹介した附属書の場合は、具体的な寸法が書いていない。それに対して、解説の中では具体的な寸法を記載し、その場合の破損頻度の結果も書いており、それと比較して妥当かどうかも確認できる。

→解説を丁寧に書いて頂ければ良いと思う。

・最初に質問があった「配管を対象としないのか」という件についてだが、PFMを原子力に適用するというとそれだけでジェネラルなものが出来そうに見えるが、一言で PFM といっても実際には様々な分岐があるので、それを一気にジェネラルなものにするのはかなり難しいと思う。特に決定論的なものであっても、議論を重ねた上でようやく出来上がっているものなのに、それを PFM に落とし込むという段階で、やはりそれなりの試行錯誤や精緻な検討が必要になると思う。そうすると、ある特定の機器に対する使い方に関して審議が進んで、一つの事例として普遍化する前に纏めて利用可能にしておけば、その対象物だけではなくて、その次の機器あるいは対象物を考える際に、規格にするのにどうすればよいかが盛り込まれているのでよい先例となり、次の追加を促進する事になる。(現段階は) そのような位置付けと思う。(現状の記載は) 一見すると、かなり範囲を絞ったもので不十分に見えるかもしれないが、対象範囲をさらに広げていく上で重要なマイルストーンになると思う。

→今の意見はよく分かる。一方、受け止める側としては、最終形があって、今の段階はここで、今回の修正の部分が分かると、その不十分に思われる部分は今後整備されるのが理解できるので分かりやすいと思う。PFMとか、試験程度について、原子力ではどういう切り口で整備していくという方向性は、最初に関係者で議論しておいた方がよい。

→そういう背景の部分を JEAG4640 の前書きに書いている。背景と規格を作った目的を書いていっているので、その部分にそういうことを書き加えてもいいのかもしれない。

・一つの事例を参考として附属書 B に用意しておくという位置づけが、B-1000 に記載されればよいのではないか。もう一つは、確かに案 1,2,3 の中では案 1 がいいように見えるが、PTS と試験程度の最適化というそれぞれの目的の中で、なんとなく PWR と BWR に特化しているからこういう分け方になっているように見える。例えば、試験程度の PFM 解析をする時には照射量を最大値で保守的にするという話があったが、では PWR が試験程度の最適化をしようと思った時にそれで大丈夫かなと思う所があるので、案 1,2,3 で比較検討するのは非常にいい

やり方だと思う。附属書 B にフローチャートがあるのであれば、事例として載せたい二つのパターンがフローチャート上でどこが違うのかをまず書いてみると、それを説明するのにどうまとめるのがいいのかを掴みやすいのではないかと思った。

→そういう部分も整理する。次の検討会の場で具体案を示すとより議論がしやすいと思う。照射量の件についても、今は最大値でやろうと思っているが、規格に書く時は、BWR がやろうとしている評価条件と少し違う書き方になると思うので、あまり限定せずに分布で取っても最大値で取ってもいいという位置づけで一つの例として記載することを考えており、基本的にはベストエスティメイトの書き方になると思っている。後者については、具体的に書いてみると、例えば案 1 はあまり良くないという意見も出てくるかもしれない。改定案の検討はそういう作業を進めながら、二案を並行で進めていこうと思う。

→現時点では三つの案から一つに絞って具体的に作っていくのは難しいと思うので、作ってからどうするのか決めざるを得ないと思う。

- ・基本的には案 1 がよいと思っている。まずは案 1 を具体化してみて、不都合の出る部分があれば今後相談という形にするとよいと思う。

○No.107-6 R.G. 1.245 NRA 確認ポイント案の反映方針案 質疑応答

・レポートを附属書 D にする主旨がよく判らない。確認ポイント案は使うべきインプットの確認方法なので、別に報告書に書いてあるかどうかは関係ないのではないか。入力情報を出力のところに書くような話に見える。どうしてレポートにしようとしているのか？

→R.G.1.245 に従うと、レポートとしてこういった部分は書いておく必要がある。

→もちろん最後はあった方がいいと思っている。それは入力の時にしっかりと検討してあるから、最後にレポートにする時に書けるという事ではないか。だから前段の入力するデータと考慮すべき事項に入れて、その結果を最後にレポートに書けばよいと考える。

→そのようにイメージしている。

→それが最後のレポートのところにあるのが変に思うという意見である。例えば最初の 3.に使用する入力条件の考慮すべき事項に入っていれば自然な感じで、最後に後でちゃんと確認できるように記録するということではないかと思う。

→レポートを見ることによって、ある程度、それまで確認した事が確認できる。確認ポイント案というのは、「安全研究に関する意見交換」の第二回の個別会合の時に、お互いの共通言語があるとよいという話があり、それを受けた規制庁で考えて第三回の個別会合で出した。それが、信頼性を確認する上で共通言語として含まれているのが確認できれば、順番や場所にあまりこだわる必要はないのではないかと思うが、今説明があったようにレポートがあるとよいと思う。R.G.1.245 にも同じようなことが書いてある。(確認ポイント案は) R.G.1.245 の序文の記載とか、なぜそれができたのかという考え方も意識して作ったので、そういう面ではレポートがある、そこに共通言語で書かれていて、その内容が確認できれば、使用する人たちは余計なことを考えずに進める事ができるのではないかと思う。

→例えば規格の PFM-3100 の中性子照射量のところに確認ポイント案の内容が入っていて、例えば何か抜けているものがあれば、PFM-3100 でフォローできるとよいと思う。

→R.G.1.245 との確認ポイント案を比較して、足りていない部分を足していく作業があって、その作業の内容をレポートに書いていくという構成ではないか。

→最後には PFM-5600, PFM-6000 といった項目に整理して、それを受けたレポートには PFM-1000 か PFM-2000～5600 に関する内容が記載されているイメージである。

→その中で、共通でレポートの仕様があった方が書きやすいし、受け取る側も読みやすいという事であれば、その例として附属書 D を参照するのはよいと思う。そこに書いてあることで足り

ないことがないかという議論が大事だと思う。

→そうすると附属書 D というよりも、解説に書くほうがいいかもしれない、例えば PFM-6000 の解説に記載できないか検討する。

・具体的にレポートを見てみないとわからないが、PFM 解析では個別の項目とその記載の順番が重要で、一つ一つの項目に対してレポートに記載されていることを確認したとしても、レポートに書く順番が入れ替わると、違う意味になる可能性がある。そういう観点で調査したわけではないが、項目として書いてあるから大丈夫だと思っていたら、実はその書く順番の違いによって、違う意味になるリスクを避ける意味では、レポートの書き方の順番もある程度纏められないと間違いないと思う。ただ、これは調査した上での見解ではないので、あくまでもコメントということでお願いする。

→今のコメントは確かにそうだと思う。そういう意味で、アメリカの R.G.1.245 の中に「Submittal Contents」という記載があると思う。JEAG4640 の附属書 D でも、アウトプット、インプットを含めて何を報告するのか明確にしておくべきだと思う。ただ、具体例を規格にどう記載するのかイメージが湧かない。附属書としては、こういうレポートであるべきという記載で十分ではないかと思う。

→おそらく、最低限の構成を記載することになるのではないか。

→そういう意味だと思ったが、資料 107-6 に「提出するレポートを意味する」とあり、その記載が引っ掛かった。その意味では、附属書 D は、概要というか型を例示するものになると思う。そうすると、本文の方に「こういうことは報告しなさい」という規定があるべきと思うので検討頂きたい。

○資料 No.107-7 PFM 解析ソフトウェアの V&V に関する調査状況 質疑応答

・今、解析コードの V&V について、調査状況を説明して頂いた。今後もう少し調べて、規定の本文か附属書に入れていく。また今後、解析コード FAVOR の扱いをどうするかについて議論したい。

・附属書 A にベリフィケーションの部分が書いてあり、その適用範囲としてベリフィケーションを対象としたものであり妥当性確認（バリデーション）は含まれないとの記載があるのだが、妥当性確認について今の JEAG に何か規定されているのか？

→当時の議論では、PFM の V&V のバリデーションの方はどうするのかという議論があり、そういう書き方になっている。今回改めて議論し直して、見直すべきところがあれば見直しが必要だと考えている。

→了解した。今後調査を続けて、この検討会で PFM としてのバリデーションについて合意できれば規定に盛り込んでいく状況であることが判った。

→R.G.1.245 の記載を具体的にどのように規格に入れ込むかについては、今後議論させて頂きたい。

→今この JEAG 上では、バリデーションについて言及していない状態だと思うが、バリデーション実施の要求がない状態で PFM を適用できるのか？書いていないから駄目という話ではないと思うが、これを満足しないと適用できないという記載がなく、バリデーションを要求していないという意味合いに見えててしまう。例えば技術評価に出された場合に、（その際の説明として）アメリカで適用されてるからいいという言い方になると、PASCAL ではどうかという事になり、話が着地できない気がした。現状どう考えているのか聞かせて頂きたい。

→JEAG 策定当時は Verification と Validation (検証と妥当性確認) という用語の定義をどうするかという議論があり、バリデーションは対象外のようになっていると思うが、実質は附属書 A

の A-5000 等でベンチマーク解析等についても現状規定しており、検証という言い方をしているが、検証だけでなく妥当性確認にも有効だという言い方をしている。

→一般的な話として、原子力分野の V&V については原子力学会で「シミュレーションの信頼性確保に関するガイドライン」を出している。このガイドラインは、かなり議論をした上で出されており、基本的な考え方は網羅されているはずなので、まずそれがどれぐらい使えるかを確認するのがよいと思う。その上でマッチングを確認して頂いて、そのガイドラインを引用するかどうか判断頂くとよいと思う。あと、V&V の個別の内容については、既にこの JEAG の中に書かれている部分があるので、このガイドラインに照らして、(記載内容に) 過不足がないか確認頂く事になると思う。

→もう少し補足すると、PFM 実活用委員会では電中研報告としてテクニカルレポートを発行しており、複数の機関が参加してどれぐらいの破損頻度の値が出るかということをある程度意識した上でベンチマーク解析をやっている。

→実活用委員会での検討結果は公開されているので、引用できるかもしれない。

→PRA の信頼性確保の話も確率論なので、考え方が似ているのではないか。コードの信頼性なのかコードを使った評価の信頼性なのか、書き方を工夫してもらう必要があると思う。資料 No.107-6 のベストプラクティスは PFM 評価の信頼性のように見える。コードそのもののバリデーションを含めているかもしれないが、そこは意識して使い分ける必要があると考えている。今リスクの話が結構盛り上がっており、PRA の話も同じだが、こちらとしては、(PFM 評価で得られた) リスクは PRA のこういう標準の考え方にも合致している等と説明頂けると、納得感を得やすいと思うので、そちらとの整合性についても見て貰えるとよいと思う。

→今のご指摘は、PRA の中で使われている不確かさあるいは不確実さ及びそれに類する言葉並びにその信頼性の確認の方法と、PFM の技術体系の中でのそれらの考え方をきちんと整理をして示さないといけないというご指摘と受け取るのが適切だと思った。なぜなら、PRA と PFM の中で評価すべき項目はかなり違っているが、使っている言葉が似ている場合があるので気をつけなければいけない。PFM の場合の確認すべき項目というのは、統計的安全評価の中でのパラメータサーベイみたいなものを見ていくことになる。PRA の体系の中で無理に PFM の言葉の使い方を定義しようとかえって混乱を招く可能性があるので、共通するところと区別をするところで適切に仕分けをしながら使うのが適切だと考える。行政の仕事をしていくときに、技術的に適切であっても考え方の一致する部分がちゃんとコネクトされていないと使いにくいというのはその通りだと思うので、それは留意して 2 段ぐらいに分けて区分けをしておく必要があると思った。

→似たような言葉がたくさん出てくるので、違うところと同じところの整理は絶対必要で、「不確実さ」とか曖昧なところを整理されて使うというのは、ご指摘のとおりと思う。大変だとは思うが整理して頂ければと思う。

→補足すると、PFM は、PRA とは違う部分が多く、決定論の破壊力学があって、それに対してバラつきを考慮しているところがある。PFM はある程度確立されている部分があると思うので、そこはご理解いただければと思う。

→おそらく、PFM における妥当性確認とはなんぞや? という整理になるのではないかと思う。確率論的な扱いの部分と、実際の現象を解いている部分を分ければよいと思う。多分確率の処理は PRA と同じで、ソフトウェアが確率を間違えずに解けているかというベリフィケーションの問題だと思っている。そちらは SQA でしっかり見る。一方、物理のモデルのところ、先ほどの FAVOR で国内向けにここだけ変えた部分の物理的な妥当性というのは、まさに妥当性確認でありそこの区別が大切となる。そういう意味では、PFM は特殊なところがあると思うので、例えばこういう規定の中で PFM におけるバリデーションをイメージして、ここは SQA

で、ここは妥当性確認で見るというのをうまく整理できると思う。解析コードの V&V を見る時、規制側としては、ベリフィケーションについては基本的に品質保証をしっかりとやっているか確認して、バリデーションの方で変なことが起きてないからベリフィケーションも問題ないという見方をしている。規制がベリフィケーションの部分を一個一個確認することまではしていないので、我々の見るべきところが整理されると、出されたときの評価がスムーズになると思うので、そういう意味での考え方の整理をして頂けるとありがたい。

・ PFM のバリデーションはなかなかやりにくいと思っている。決定論的な V&V におけるバリデーションが前面に出てきて V&V を象徴的に語っているので、それに対応したバリデーションを PFM でそのままやるのは難しいというのはここに書いてある通りだと思う。その代替としてそれらしいことをやっている証明ができればいいと思っている。PASCAL のバリデーションとしては一個一個の（要素の）決定論的な解析が出来ていることぐらいしかやりようがないのではないか。まだ PASCAL についてちゃんとした V&V が出来ていると説明できる状況ではない。今回 JEAG4640 が改定されるにあたり、国内で V&V をどう取り扱うのかに合わせて PASCAL でも同じような取り組みをすることになるのではないか。

・ 使用する解析コードの検証をどうするか、実際に JEAG にどこまで書くかは悩ましいと思っている。というのは、それを規格を用いて評価するユーザーに対して求めることになるが、他の規格であれば使うコードの妥当性を確認しなさいとは書いていないと思う。そこは、規格のユーザー側で妥当だとする判断・確認をすることが前提のうえで、規格が策定されていると思う。事業者としては、最終的にその規格に従ってやっていく必要がある事は認識した上で、妥当性確認について規定を本文に入れるのかどうかについては、イメージが湧かない。参考ではあるが、現行の JEAG4640 の 2018 年版にはベンチマーク解析等の記載が入っており、引き続き議論が必要と考えている。

→附属書 A には書かないと思う。書くとしたら、おそらく解説に書くのではないか。R.G.1.245 でも、あまり記載されていない。一方、NUREG の方には記載されている。

・ 今議論している内容は、決定論的なものであっても例えば非線形性があるコードとか、衝突解析があるものだと結構難しい問題である。資料に解析コードと書いてあるが、機械学会や ASME で議論しているのは、解析結果の信頼性というのは、解析コードの信頼性と、そこに入力するデータの信頼性と、ある種の数値解析手法だと近似解を求めるので、その解析の精度があって、解析者の技量も重要で、その三者が揃わないと信頼できる解析結果にならない。全く何も検証していないものをただ作って使うことはありえないにしても、それを完璧にやろうとすると、実はなかなか難しくいろいろな方式が出てくる。どの程度までコードの信頼性を確認して、計算される方はどれくらい現象をちゃんと理解した上で計算しているか、そういったことをある程度押さえておかないと、実際には難しいと思う。電中研が出している実活用委員会のレポートは、それを検証するための一つのツールとして活用して貰えるように公開している。内容についても、今後少しずつ充実していくと考えている。そういうものを準備しつつ、議論されることだと思う。恐れているのは、確率に関する理解があまり無くてもデータを入力して計算させればこの現象の破損確率の数字だけは出てくるので、例えば FAVOR にしても PASCAL にしてもこれは信頼できる破損確率を出すコードだと言って計算結果を出すような使い方をしてしまうケースが無きにしも非ずなので、そういうケースを排除できるような仕組みを用意しないといけないと思う。

○資料 No.107-8 FAVOR に対する維持規格応力拡大係数解の検証 質疑応答

- ・維持規格の最新版の式を入れたというのは理解したが、元々の FAVOR の式と維持規格 2022 年版の式で何か大きく異なる要素があったのか？
→FAVOR は内部亀裂が 1 次式になっていて、膜・曲げしか使えない式になっているが、維持規格の最新版は 4 次式だと思うので、そこが大きな違いである。
- 違いがあるのはわかった。FAVOR は既に米国では認められていると思うが、日本ではその後に維持規格の式が開発され規格化されたからそちらの方がよいということか？
→エンドース済である維持規格 2014 年版に入った式を入れるのが妥当だということと、ASME の Section XI も実は多項式に変わっていると思うが、FAVOR はだいぶ前に作られており、膜と曲げだけに対応した式になっている。
- 元々の FAVOR で計算すると出てくる値はかなり違うのか？
→内部亀裂ではそんなに違わない。特に LTOP 事象の場合は顕著な応力分布がつかないので、大きな違いはない。
→承知した。入力条件で、これは何らかの理由でこの位の数値でやつたらよいということで設定した数値なのか？
→ここで紹介しているベンチマーク解析に使った条件をそのまま使っている。
- ・今回の確認とは別だが、表面亀裂の計算の時にアスペクト比によっては補正係数を内挿で計算できなくて、外挿になってしまうと思う。そこに引っかかることはないのか？平板の式の補正係数の表を見ると、0.1 と 0.2 はあるがその下がなかったと記憶している。
→表面亀裂はあまり問題になる事は無かったと記憶している。今の FAVOR の計算では外挿で求めることはやっていないと思う。
→二十年ぐらい前、PLR 配管の時の計算は外挿でやっていて、この平板の式によるものだったと記憶している。
→今は平板の式は使っておらず、維持規格に管（円筒）の式があり、表面亀裂も内部亀裂もその式を使っている。
→今説明された表面亀裂は、円筒の式になるのか？
→そうである。
→確認だが、どちらも途中で外挿のところが出てきてしまうのではないか？
→維持規格は 2012 年版で応力拡大係数解を変えているのだが、適用範囲がかなり広い。その時に CEA の式を取り込んだので、PLR 配管の議論をしていた頃に比べると、だいぶ適用範囲は広くなっていると思う。
→CEA の式にした時にそれは解消されたという事か？
→極端な例になると、もしかすると適用範囲を超えるところが出るかもしれないが、実態として、今の維持規格の解を使っていて、外挿になるようなことはほとんど無かった。（外挿なることがあるとすれば）浅くて非常に長い亀裂になるとそこから先は解がないので、平板に置き換えるやり方をしなければならないところが出てくる可能性はある。
- 承知した。外れたところではあるのだが、コードで計算する時にそういう影響が出てきてしまうと、FAVOR でもこちらで確認した場合も両方とも影響を受けてしまい、それは良くないと思い確認した。
→当然ながらアスペクト比の制限というのがあるので、それを超えてしまうと問題になるのだが、今の FAVOR の計算で使うアスペクト比でいくと、カバーできていると思う。
- ・資料の 4 頁の図で内部亀裂を考えているが、8 頁の解析条件の表にクラッドの厚さの数値が出ているのだが、内部亀裂に加えてクラッドの影響はあったのか？
→クラッドの厚さを少し超えたところに表面亀裂を置いていて、具体的には FAVOR ではクラッ

ドと低合金鋼を合わせた厚さを $1/100$ に分割して、1%ずつ深さを増やしたときに、クラッドを超える位置まで表面亀裂を置く形になっている。そのためにクラッドと低合金鋼の中で発生する、クラッド側と低合金鋼の線膨張係数の違いによる応力を、資料 107-8 の 5 頁のように重ね合わせて評価をする。そういう意味でクラッド厚さが評価上必要になってくる。

→その線膨張係数の差というのは大きな応力なのか。

→ステンレスと低合金鋼だと、線膨張係数が大体 2 対 1 になっているので、クラッド溶接時に、溶けたステンレス鋼が熱収縮して縮んだ時に、クラッド側に大きな引っ張り応力がかかった状態になるので、表面にある亀裂が口を開く形になる。それを考慮した解析をする。

→クラッドと低合金鋼の境目にはあまり応力がかからないのか？

→クラッド側と低合金鋼側の応力分布に分けて、その分けた応力分布の重ね合わせをこういう風にしてその境界を解きにいく。厳密なことを言うと、その間に色々な融合層があるのでその影響が無いとは言わないが、今の処理の仕方としてはこのような形で低合金鋼とクラッドの応力分布を重ね合わせて、そこの応力拡大係数を評価する考え方であり、これは PASCAL も FAVOR も同じだと思う。

- ・再度確認したが、説明にあったヨーロッパの式の場合、アスペクト比は大丈夫である。維持規格に書いてあるもう一つの API (石油協会) の式は、アスペクト比が 0.1 より小さい表面点では外挿となる。今回は新しくヨーロッパの式を使っているので大丈夫だと思う。

○資料 No.107-9 中性子束分布考慮による CPI 等への影響 質疑応答

・資料の主旨として、最大の値を使っているからそれでいいという説明なのか、それとも感度解析的にやられたのか、どちらなのか？この計算は中性子束の感度を確認するという主旨で実施したという事か？

→最大で計算しておけば、分布で考えた時より少々大きい値が出ることを確認しようと実施したものである。

→資料 6 頁のグラフを見ると、90 度分割だからこれが 4 個連なっていると思うが、最大中性子束の比と書いてあり、最大が 1.4 で最小が 0.5 ぐらいになっているが、このばらつきを考慮しても、オーダーも一緒でほとんど違わない。フルエンスが一番効くはずなのにこれしか違わない理由は何か？BWR で計算しているからか？

→PWR の場合の破損頻度はもっと高くなる。BWR の場合は破損頻度がすごく小さいので、そういう意味で差は小さいと思う。

→そうすると、附属書の参考を作る時も、BWR だからこういう感度になるという説明になるのか？

→PWR の場合はおそらく最大値の場合と分布の場合の差がより明確になると思う。

→これは中性子束の感度が低いと見てはいけなくて、BWR にとっては大した差ではなく、PWR は分からないと理解すればいいのか？

→BWR だから保守的に評価しようということで、一律に一番高い照射量を使う。

→BWR で計算する時は結果にはそんな大きな影響がないから、ばらつきをネグリジブルとみなして、計算を簡略化するために一番高いのを取っても良いという事か。

→そうである。解析を簡略化するためである。

→分布を考えると、フリートで評価するときにどう設定するのが正しいのか判断が難しいところがあり、それなら最大値で計算するという考え方である。

→全プラントの最大値で計算しても、全体に大きな影響を与えないから最大値でやるという事か。

→中性子束の設定が正しいのかどうか議論しても結果があまり変わらないため、それなら一律最

大値で計算しようと考えた。

- ・PWR の PTS の検討では、今説明があった通り照射量のばらつきを考慮したり、分布を設定したりしているので一律の値は入れていない。

○資料 No.107-10 FAVOR を使用した国内 BWR プラントに対する感度解析結果 化学成分標準偏差 質疑応答

- ・最初の 3 ページのところに標準偏差の表があり、単位が wt% になっている。すごく小さい桁まで出ているが、現実的な検出精度を踏まえた数字になっているのか？
→化学成分の濃度を PASCAL や FAVOR の中で確率分布を持たせて入れるのは、照射脆化の量を決める時の不確実なパラメータとして入れているので、この検討では有効数字をかなり細かいところまで持たせておいて、それを脆化の相関式の中に入れて、照射量のばらつきまで考慮して、どれぐらい RT_{NDT} が高くなるのかを示したということだと思う。

実際には 0.01wt% のオーダーで分析をして、アトムプローブを見るとばらつきが大きいもののそこより二桁低い濃度の測定はできるが、それをやることにはあまり意味がないと思う。Ni のレンジが少し高い印象はあるが、ばらつきを保守的に考えて取り込むとこの程度ではないか。
→今説明されたのは、今回は感度解析の位置づけだということだと思うが、その数値は言ってみれば作った数値なのでその精度はどうなのか？

→そうではなくて、そもそも圧力容器の鋼材の中には一定の濃度のばらつきがあり、それはいろいろなアーカイブから取ってきたり、その試料のマイクロストラクチャを観察したりしたら、実験上それぞれのサイズに応じた濃度のばらつきが観察される。そのレンジを丸め込もうとした時に、こういう数学的な処理をするのは合理的である。それがどこに効くのかというと、最終的な破壊靭性値のばらつき、あるいは破壊靭性値が大きく下がるところやそんなに下がらないところに効いてくるもので、これぐらいの数字が入っていることは何らおかしなものではないということを説明した。

→その部分は、どこかで誰かに説明してもらわないと多分理解できないと思う。

→一般的には、例えば実際の圧力容器の銅濃度だと、スペックとしては 0.11wt% という数字だが、そこに対して分析ではもう一桁小さいところまで出ていると見てよいと思う。

- ・念のための確認だが、今回の解析は国内の脆化予測式を使っているが、標準偏差だけ FAVOR の数値を入れたという事か？

→予測式は JEAC4201 の式で、標準偏差は FAVOR の数値である。

→了解した。予測式は変えたけれども、標準偏差は FAVOR を使っているということで理解した。
これまで脆化予測式は日本の式、標準偏差は日本の鋼材に合わせていたので、本当は今説明のあった解析の組み合わせが現実に起こるのかも考えた方がよかったのか？

→代案としては JEAG4640 の附属書 B に記載された値で解析しても良かった。古い 70 年代の値であるが国内の鋼材の Cu と Ni の分布が報告されており、Ni は違ったと思うが、その結果と EPRI で調査した FAVOR の結果は、あまり変わらなかったと報告されている。

→了解した。例えば Ni の標準偏差が大きくても、FAVOR の予測式を使うと実は TWCF にあまり効かない事もあるのかと思ったが、国内もここに合わせていく方向かと思う。

→資料の 14 ページにあるが、Ni の標準偏差は高めになっている。このページの右下にグラフがあり、横軸が Ni の平均値、縦軸が Ni の標準偏差になる。大体 0.03wt% ぐらいに分布しているが、文章の 3 行目に書いてあるように、今は Ni 添加された溶接材料の 0.16wt% という非常に高いものを考慮している。

→多分、フリートでやるときは 0.16wt% のような大きな値は使わないと考える。

- ・1mm ずれると 0.02~0.03wt% ぐらい変わる性質のデータに対して、いろんな圧延材の数値を見ているが、それがどれぐらい脆化に効くかとは違う話と思う。なぜなら、亀裂のサイズに対してばらつきはもっと小さい範囲で出るので、厳しいところが効くと理解している。
 - ・資料の 10 ページの考察で平均値が標準偏差の何倍だからという記載になっているが、そう単純ではない印象があるので、表現はまた見直した方が良いと思う。
 - ・この資料の内容は、(検討会の中で) 合意したわけではないという事でよいか?
- やはり BWR と PWR では違うので、あくまでこのケースではこうなるという結果だと思う。
- これは、感度としてはある可能性があるから、考慮しなければならない因子という認識でよいのか。
- Ni の標準偏差の値としてこの 0.16wt% を使うのであれば、今回のこの条件の場合で言うところの程度の感度である。例えば 0.02wt% であればあまり気にしなくてよいと考える。
- それは他にどれだけ感度が高いパラメータがあるかに因るのかもしれない。
- BWR の TWCF は非常に低いので、化学成分がある程度変わったとしても、低いままということであり、そんなに重要なパラメータではないということである。
- そういう意味では全部低いとは思うが。
- いろいろなパラメータで感度解析をやってみて、やはりどうやっても BWR は低いと言えれば、検査してもそんなに大きな差は出ないので、何回もやらなくてもいいとなる。
- 次に感度解析の条件として予定しているのは何か。
- 研究の課題として挙げている項目である。
- 今研究の課題に挙がってるのは大きく 3 つあって、1 つ目は今の化学成分の標準偏差で、2 つ目が初期亀裂密度、3 つ目が溶接残留応力である。
- 1 つ目は今説明されたが、その他の 2 つは難しいような気がする。
- 結果が出たら報告させていただく。
- ・化学成分の標準偏差の定義について確認したい。多分計算上使うべきは一つの鋼材があった時に、代表的な Cu の値に対して鋼材や溶接金属の中でどういうばらつきがあるのかだと思う。文献で調査されたのが内部のばらつきなのか、それとも当時作られたいろいろな鋼材のばらつきなのかで意味合いが違ってくる。国内のデータはいろいろな鋼材に対して成分のばらつきを取っていたと記憶しているので、鋼材内部でのばらつきとは違うという印象を持っている。データがあるかどうかは別として、そこは意識したほうがよいのではないか。
- 資料 14 ページにあるように、今回の FAVOR の場合は同じ鋼材に対して標準偏差を算出していると思う。
- 日本の過去のデータはそうではなかったかもしれないと思った。
- アメリカでは同じ材料の中で色々な箇所を切り刻んで確認している。
- ・(初期亀裂密度について) 国内のデータはいつ頃出てきそうか?
- 一応、今年度中に終わらせる予定になっている。実機の鋼材の端の部分を切り出しているが量は少ない。
- それは承知している。それを全体の欠陥分布として使うためにどのような方法で行くのか先に議論してもいいのではないかと思っている。それで行こうかという話になって、実際やるところなって、アメリカとこのように違う、あるいはこのように同じという議論をした方がいいのではないか。
- 欠陥分布については、何回か前の検討会で中間報告をして頂いており、基本的にはアメリカの分布が保守的であることを示して、アメリカの分布を使う方向で話している。
- アメリカの方が保守的だと説明するロジックはどうするのか。
- また準備ができれば議題として取りあげたい。

→残留応力の分布についても、作戦をこの場で議論した方がいいのではないか？
→中間報告で状況を紹介して貰っているが、具体的なところは今後議論したい。

○資料 No.107-11 BWR の PFM 試評価結果と確認ポイント案の確認による研究課題の抽出 関連
○資料 No.107-12 国内 BWR プラントを対象とした PFM 評価結果 関連
(特にご意見等は無かった)

○資料 No.107-13 第 3 回安全研究及び研究開発に関する原子力事業者との技術的な意見交換全体会合資料 全体説明
○資料 No.107-14 第 3 回安全研究及び研究開発に関する原子力事業者との技術的な意見交換全体会合資料 個別テーマ会合「経年劣化」の進捗報告

・安全研究の意見交換会には、産業界と規制庁、JAEA も参加している。PFM の分野は、学会発表でもかなり過去から発表されてきた事もあり、ある程度確立されたところもある。杉山委員からは学会発表という意味ではなくて、学協会、産官学の会議の中でもちゃんと議論できるといいとのコメントがあり、この PFM 臨時検討会の中でも確認ポイント案について紹介して頂き、この検討会でいろいろと意見交換やそれを活用した信頼性の確認について話している状況を紹介している。それについて何かコメントが出ることはなく、むしろそういうことを進めて欲しいという話であった。以上、補足させて頂く。

○全体を通して

・今まで PTS 評価では議論した気がするが、このように BWR のフリート評価をして、その結果がこうだから 10 年に一回やらなくてもいいと説明するつもりだと思うが、具体的にどのように説明するつもりなのか。亀裂貫通確率、破損頻度を出してからとするならば、10 年に 1 回検査しても 100 年に 1 回検査してもオーダーが同じというストーリーでいくのか？次回の検討会で、その辺の構想のたたき台があればいいと思う。

→ちょうど今 ATENA で色々と話をしているところで、結局は技術基準規則に適合しているという説明だと思っている。それを許容基準とどう紐付けるかだと思う。

→正式に紐付けるのは中々難しいと思う。

→そこをどうするか悩んでいる。

→基準は性能要求だから、「破壊を引き起こす亀裂、その他の欠陥があつてはならない」。「あつてはならない」とあるので、「破壊を引き起こす」に対して「引き起こさない」と言えればいいということ。引き起こさないことが言えれば、亀裂はあってもいいということになり、許容欠陥という概念になるが、それだと結構難しいと思う。そうすると今この国で認めている検査程度というのは、これならいいという一定のものを規制側が定めたものだから、それと同等という説明の方が易しいような感じがする。

→それも案としては出ている。

→今説明されたような CDF で説明するのは止めた方がいいと思う。CDF は何か起こった時にそれで Δ CDF がどの位変わるのがという話に使うだけで、規制委員会としての受容性は不明だが、絶対値としての CDF は考慮していないと思う。それよりも、破損確率は 10 年でも 100 年でも 1000 年でもほとんど違いがないと示した方がいいのではないか。

→ Δ (差分) で示すことはあまり考えていない。

→例えば CDF の絶対値を計算したら違うのかもしれない。

→タービンミサイルとか、そういう所で使っている CDF の値がある。

→けれどもそこに紐付けると十八条とどういう関係があるのかという事になる。

- 結構重要な課題だと認識している。
- 規格には判定基準は含まれないし、ここは規格を作る場だからだと思う。
- （規格の内容に限定せず）ある程度広く議論してはと思っている。
- そんなに心配することなのかという気がする。例えば TWCF の 5×10^{-6} でもいいが、相當に低い値なので、技術基準規則の「破壊を引き起こす欠陥がないこと」とほぼ同等だと私は理解をしているが、そういうことではないのか？
- 規則にある「同等な保安水準」を使って、 10^{-6} はそれに該当するという言い方はあるが、それではロジックが弱い。
- CDF ではなくて TWCF の値が十分小さいので、貫通破壊を引き起こす頻度が十分小さいと言えないか。貫通ではなくて亀裂進展の方がいいのかもしれないが。
- 「破壊を引き起こす欠陥」には該当しない。
- 条文との絡みでどちらで読むかによるとは思うが、今まで亀裂進展するような欠陥がないことを確認する活動をしていて、その結果としてこれぐらいの数字であった。試験頻度や試験程度を変えたとしても、その数字が-6 乗のオーダーから動かないので、デルタというよりも絶対値が大きく変わらないことで無駄な被曝をさせていることを示すのかと思った。
- 明確なアイデアがあるわけではないが、維持規格には「評価不要欠陥」という一定のレベルだったら評価不要としている欠陥寸法がある。PFM でそういうものを表現できたら、その数字を採用したらいいと思う。CDF でいくと答えが出ないと思うので、それをうまく説明できるようにした方がよいと思う。
- 正直なところ、私も CDF の議論をし始めると収束しなくなると思っているので、TWCF と CDF が一緒として TWCF で議論した方がよいと思っている。結局 CDF に変換したらどの程度の影響があるかという議論になるかもしれないが。
- そこは脇に置いておいてよいのではないか。「破壊を引き起こす欠陥があつてはならない」とあるので、破壊を引き起こさないことをこう説明すると言つてもらえば、十八条だけを考えれば済むと思っており、そろそろそのような議論をしてもいいのではないか。（本件は）規制委員会にとつても、維持規格の技術評価の宿題事項になつていて、被曝量低減という観点から望ましい活動と位置付けられており、答えはいつ出るのか？とも問われている。
- ・今の議論は PFM を活用する観点から二つに分けた方がいいと思っている。BWR プラントの実際の運転条件下で、亀裂が存在あるいはその可能性がある際に破壊確率を評価したら幾らになるのかという、いわゆる実力はいくらなのかを求めるのは、それはそれでやらないといけない。実力がいくらなのかが判らないと、それをどのように判断したらいいのか判らない。まず、現在の BWR の破損確率はどの位か、あるいはそれがどのようになるのかを押さえる。その上でそれとは別の話として、どういうロジックのもとでどのように使って判断するかに選択肢がある。この二つについては、どういう判断の仕方ができるのか、両方を見ながら議論する場が絶対必要だと思う。もしその議論をせずに、ただ実力の数値を計算してその使い方と組み合わせて、ある種公式の場で極めて重要な情報として結果を出してしまふと、あれが違う、これが違うというところが出てくると思う。この場はその判断のところを議論する場ではないかもしれないが、幅広く PFM に係る知見を持っている方が集まっており、いろいろな立場で意見が言える場になっている。必ずしも規格に反映する話ではないかもしれないが、この場にそういう情報を出して議論して、最善の活用の仕方を検討して別のところで活用する際の重要な参考にするという役割分担で進めるとよいと思う。
 - ・横に逸れてしまうかもしれないが、JEAC4206 の 2023 年追補版の技術評価の時に、電気協会が PFM を使って説明している。十分でなかつた点はあるかもしれないが、一つのやり方として電

気協会が PFM 解析を選んで、比較解析をやって技術評価に臨んだ実績なので、今後もそれをうまく生かすやり方が必要ではないかと思っている。最初のスケジュールの議論で、「今後の関連規格の制定」に JEAC4206 も入っているか確認した意図は、PTS に限ってではあるが JEAC4206 の最大仮想欠陥の設定で PFM を使っており、電気協会としてその使い方の位置付けもしたわけで、将来的には PTS にも PFM を使っていくプランで今の BWR 向けの試験程度の最適化と両方並行して進めてもいいのではないかと思っている。

- ・BWR で進めている試験程度の件は、今後 RI-ISI 導入の流れの中で必要ではないかと思っているが、その道筋がまだ見えていない。その辺の状況はどうかという点と、もしそういう部分に本腰を入れて電気協会が機械学会に働きかけていくのであれば、どの分科会か作業会かは判らないが、規制庁からも出ていくことは出来ると思う。そういう動きを後押しする学協会間の協力関係が弱いと思っている。そういう道筋も一緒に考えて欲しいと思う。

→PTS については、電中研からテクニカルレポートを出して貰った。成果で得られた解析結果の解釈については JEAG4640 の反映項目に入れている。その他も含めて今は試験程度を優先しているが、タイミングを見て議論できればと思う。

→RI-ISI については、今、機械学会のリスク情報活用検討タスクで配管の RI-ISI の検討が行われていて、2027 年だと思うが、それまでに RI-ISI の規格を準備する動きになっている。まだタスクで検討中の段階なので作業会や分科会には上がっていない状態である。

- ・BWR フリートに限って言えば道筋はあるかもしれないが、この成果をどうやって使うのか。どこに紐付いているのか？となると思う。
- ・前の議論に戻るが、RI-ISI で配管に対して CDF を見て試験程度を決めるという考え方だけをこちらに持ってくる場合、リスクとしては TWCF の方がずっと低いので、そのまま TWCF を CDF に読み替えて、そのクライテリアを使うというロジックが成り立つかと思ったが、あまり筋がよくないかもしれない。完全に彼ら（機械学会）の規格を電気協会側で読み込む方が楽かもしれないと思った。

→提起した主旨は、十八条は全部維持規格に紐付けられているので、維持規格のどこかに紐付けて十八条に紐付けるのが一番筋がいいと思う。その道筋も並行して考えないと、この技術評価の宿題事項はその後が続かないと思う。

→配管についても十八条に紐付けるつもりで、そういう球出しを向こうに出したらどうかということか？

→それを考えているから、維持規格の中でやっているのではないか。

- ・決定論の議論ではその通りで、確かに十八条に紐づいた形で維持規格の検討がされている。しかし、米国の RI-ISI では、そもそもバーストするという可能性を縦軸にして作られており、そもそも微小漏えいはリスクが非常に低いと位置付けられている。そういう点からいくと、RI-ISI の考え方は十八条にそのままマッチするものではないと考える。

→そうかもしれないが、それだと維持規格で何をやるべきかということになる。

→維持規格に基づいてという時に問題になるのが、 Δ CDF をどこまで許容するかという話をするのか、それとも CDF は動かないよう検査の箇所を変えてリスクは変化しないという形でいくのか機械学会でも議論している最中である。

→そうすると、通常の検査の代替手法みたいな形になるのか？

→規格にするのであれば、こういう条件を満足すれば代替手法や代替の検査で実施してよいという書き方になるのだと思う。それが技術基準に整合しているかをどう説明するのかが難しいというのが先ほどの説明である。

→そうだとしても、そういうことを考えていかないと後が続かないと思う。

→リスクを持ってくるのであれば、どうしてもそういう議論が必要になる。

→もし機会があれば、また引き続き議論したいと思う。

・試験程度の「試験」という語は超音波探傷試験を意味すると思うが、超音波探傷試験の正確性はあまり議論されていない。JEAC4206 の 2023 年追補版の技術評価のときに、亀裂がどれだけ見つかるのかをステップ状に考えたが、例えば機械学会の RI-ISI の議論の場で亀裂の検出確率について何か動きはあるのか？

→デルタを計算するときに検出確率(POD)が必要な式になっているので、これから調査をして、どう設定するかを議論しようとしている。

→その POD を実際どの場で考えるのかよくわからない。

→今は UTS の成果を使うぐらいしかないと思う。どの場かはまだ決まっていないが電気協会にも超音波探傷検査の規格を作る検討会があるので、技量検査についてはその人たちを巻き込むのかと思っている。

(4) 次回の開催予定

次回（第 7 回）の開催予定日は、来年 1 月 30 日（金）の午後となった。

以 上

第 107 回破壊韌性検討会配布資料

- 資料 107-1 : 破壊韌性検討会 PFM 臨時検討会 委員名簿
- 資料 107-2 : 第 106 回破壊韌性検討会（第 5 回 PFM 臨時検討会）議事録案について
- 資料 107-3 : PFM の適用に向けた PFM 臨時検討会での対応方針（案）
- 資料 107-4 : JEAG4640 への反映項目案
- 資料 107-5 : JEAG 4640 附属書 B の改定に関する検討
- 資料 107-6 : R.G.1.245、NRA 確認ポイント案の反映方針案
- 資料 107-7 : PFM 解析ソフトウェアの V&V に関する調査状況
- 資料 107-8 : FAVOR に対する維持規格応力拡大係数解の検証
- 資料 107-9 : 中性子束分布考慮による CPI 等への影響
- 資料 107-10 : FAVOR を使用した国内 BWR プラントに対する感度解析結果 化学成分標準偏差
- 資料 107-11 : 第 3 回安全研究及び研究開発に関する原子力事業者との技術的な意見交換個別テーマ会合「経年劣化」 資料 BWR の PFM 試評価結果と確認ポイント案の確認による研究課題の抽出
- 資料 107-12 : 第 3 回安全研究及び研究開発に関する原子力事業者との技術的な意見交換個別テーマ会合「経年劣化」 資料 国内 BWR プラントを対象とした PFM 評価結果
- 資料 107-13 : 第 3 回安全研究及び研究開発に関する原子力事業者との技術的な意見交換全体会合資料 全体説明
- 資料 107-14 : 第 3 回安全研究及び研究開発に関する原子力事業者との技術的な意見交換全体会合資料 個別テーマ会合「経年劣化」の進捗報告
- 参考資料-1 : PFM 臨時検討会課題整理表
- 参考資料-2 : PFM 臨時検討会工程表