

第 109 回破壊靱性検討会（第 7 回 PFM 臨時検討会）議事録（案）

1. 日 時： 2026 年 1 月 30 日（金）13 時 30 分～17 時 00 分

2. 場 所： ビジョンセンター新橋 1703 会議室（Web 併用会議）

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 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)，
橋内(日本核燃料開発)，阪本(三菱重工業)，清水(日本原子力発電)，
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)，河(日本原子力研究開発機構)
平原(九州電力)，増住(富士電機)，村中(日立 GE ニュークリア・エナジー)，
山本(日本原子力研究開発機構) (計 22 名)

代理出席者：林 (IHI，川野委員代理) (計 1 名)

欠席委員：田川(JFE スチール)，中川(中国電力)，服部(東芝エネルギーシステムズ) (計 3 名)

常時参加者：吉村(東京大学)，村上(東京大学)，椎塚(ATENA)，平野(IHI)，大厩(関西電力)，
川井(関西電力)，坂口(関西電力)，藤丸(東京電力 HD)，杉野(中部電力)，
熊野（中部電力），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(東芝エネルギーシステムズ)，高越(三菱重工業)，八代醜(日立製作所)，
石寄(日立製作所)，永井(電力中央研究所)，宮代(電力中央研究所)，
町田(テックシステムズ)，小嶋(原子力規制庁)，塚本(原子力規制庁)，
東(原子力規制庁)，佐々木（原子力規制庁) (計 25 名)

事務局：景浦（日本電気協会） (計 1 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.109-1 に基づき，出席者の確認を行った。出席者は 23 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.109-2 に基づき、前回議事録案（第 6 回 PFM 臨時検討会）の紹介があり、正式議事録とすることについて分科会規約第 13 条（検討会）第 15 項に基づき決議の結果、特にコメントはなく、出席委員の 5 分の 4 以上の賛成で承認された。

(3) PFM の背景、規格への反映方針について

資料 No.109-3 から資料 No.109-9 及び参考資料-1 から 3 に基づき、確率論的破壊力学（PFM：Probabilistic Fracture Mechanics）に関する検討の背景、規格へのニーズ、JEAG4640-2018 の改定に向けた検討について説明があった。

○資料 No.109-5 質疑応答

- ・資料 20 ページで「低温過加圧の時に内外面亀裂に修正が必要」と書いてあるが、ここで「外面」という文言は何故必要なのか？
- PTS 事象の時には熱衝撃で内面側の温度も低く照射量も高いので、内面側だけ亀裂を想定すればよいのだが、低温過加圧の場合には熱衝撃ではなく、外面側が厳しくなる可能性もあるので、外面側も亀裂を想定している。
- ・ご説明の中で解析コードの FAVOR と PASCAL の入力条件の比較をされていて、例えばストレスフリー温度の場合は、FAVOR の方は入力する必要があるという説明だったと思うが、PASCAL では別途与えて PFM 解析をやる必要がないというだけの話である。計算する上では必要な情報なのだが、比較した時に実際には解析コードによってデフォルトで使っていたり、アプリオリに与える必要があるといった違いがわかるのが、規格としては大事であり一緒に入っているといいと思う。規格文案や表を作っていく段階では、全く条件が違ってこっちだと全く考えていないものもあるのであれば、そのように書いた方がいいと考える。
- FAVOR は 3 つのモジュールに分かれており、FAVLOAD が温度分布解析と応力解析をするモジュールであり、そこにストレスフリー温度を入れていると思う。PASCAL で対応するのは Pre PASCAL であり、必ずしもそれを使うわけではないが、Pre PASCAL の中でストレスフリー温度を入れるので、使わないというわけではない。そこは今発言頂いた通りなので、規格上の表現については検討したい。
- ・資料 23 ページで、B-2200 と B-2300 についてここで何を書こうとしているのかがよく判らない。B-2200 と B-2300 を作った時に、分けて書く内容が思いつかないのであれば、なぜこれを作るのか。
- 最初検討し始めた時は何か書く事があるかと思っていたが、結果として今ここに書くことはないという結論になった。
- それでは B-2200 と B-2300 そのものの記載の必要がないかもしれないという事か？
- そうである。
- ・ストレスフリー温度についての指摘があったが、そこは適切に考慮されればよいと思っている。解析の初期状態の温度を設定することになり、例えば残留応力を設定した時には、残留応力の測定結果ないし解析結果が室温であれば、その温度は室温になるだろうと思う。PTS を想定する時には、その残留応力ないし、荷重条件を適切に設定するという主旨で、規定されればよい。
- 了解した。
- ・現状で使おうとしている解析コードは FAVOR だと理解はしているが、新しいバージョンの

FAVPROがあるので、フローチャート上もあまり変わらないことを確認しておいた方がよいのではないかと思う。確認の結果、もしほとんど同じものであれば、FAVPROにも適用できることが確認できる事にもなると思う。

→FAVPROは、まだこれからと感じている。一方、国内適用を考えると、FAVORは16.1のソースコードが公開されているのに対して、FAVPROはソースコードが完全公開されていない。したがって、国内版の評価式等を組み込むのにハードルがある。

・1月29日に開催された安全研究の意見交換会に出席した。FAVORは昔オークリッジ国立研究所が開発したもので、初期の頃の記録がほとんど残っておらず、それが問題視されて、NRCがコントラクターを雇って作り直したという経緯がある。部分的にFAVORに入っているソースコードも使っているようだが、記録も整備してどのようにV&Vをしたかもドキュメンテーションされており、NRCのホームページにもFAVORの置き換えとして開発されたと説明がされているので、長期的には置き換えられていくと考えられる。

計算事例がないのはその通りであり、アメリカでも計算事例がないのに、日本が先行して計算する必要があるとは思っていない。ただV&Vとか記録がしっかり取られているのであれば、V&Vはどうあるべきかという議論はそちらでやった方がよいと思う。NRCはFAVORについて記録が無いと言っており、そういった状況で古文書探索するよりはいいと思う。だから計算自体をFAVORでやるのは検討会の皆さんの選択だと思うが、先行してFAVPROを使うのも一案だと思う。それは今後議論していけばよいと思う。

○資料 No.109-6 の質疑応答

・規制側が確認ポイント案を用意しているので、その具体的な説明をしたり、こういう計算をしたという報告例を作るのであれば、それはよい取り組みと思う。それから、資料の最後のところで、報告例を載せたらどうかという記載があった。私が検査部門の人間だとして、(事業者が)試験程度を変えようという時に、改定内容を説明する際に、A社、B社で別々の内容が書いてあると、充足しているのかを確認するのも大変なので、この様式である程度網羅的に書かれる方がよいと思う。逆に、(出てきた報告書が)全く同じになったら、考えないで報告書を作っているようにも見えてしまってちょっと難しいと思うが、受け取る側としては、そういった報告例があった方が便利だと思う。

→最後にご指摘頂いた、(報告書の記載内容が)全く同じになってしまうと難しいと思うが、例えば審査の観点では、様式化されると統一できるので非常に有意義だと思う。

→もし報告書の例が出てきたら、(それを確認して)それでは(情報が)足りないのではないかなという議論ができ、それはそれで有意義ではないかと思う。

→引き続き検討を進めて、もう少し具体化していきたい。

・この資料8ページの報告例で、そのレポートは(国に)提出要求があるわけではないので、説明するときに、どこまで書いてあればいいかという事だと思う。

→NRAがそれをどこまで細かく見るのかという事だと思う。

→そこは現段階では判らない。出てきた報告を見て初めて、これで足りる／足りないという事になるのではないかな。

→本件は、一度レポート案のサンプルを出してもらって、この検討会で議論したい。

・先ほどV&Vの話があったが、モデル式について、それがどう正しいのか確認するところは、しっかりと規格に書かれる必要があると思う。確認する側としても、そのモデル式がこの流れだったら大丈夫だということはとても重要である。1月29日の安全研究の意見交換会で出た話だが、モデル式を確認する時には、どういった手順で確認するのかという視点があると、とてもいいと思う。

- ・もう一点。先ほどの附属書 D のところで、今回 R.G. 1.245 と確認ポイント案を参考にしているという事だったので、例えば解説のところでは、ガイドと確認ポイントで、何処と何処が対応しているのかが判ると読みやすいと思う。
- 今回は例えば 6 ページで R.G. 1.245 と JEAG4640 がどう対応するのかを作って貰っているの
で、確認ポイント案も同じように何処と何処が対応しているのか纏めて貰うのと、実際レポートでモデル式についてどこまで書くのか。結局 PASCAL 自体はマニュアルに書いてあるので、
その上で、レポートにどこまでモデル式に関する事項を書くのか整理が必要だと考えている。
- モデル式を書くというか、「モデル式の正しさをどのように確認したか」という部分を書く必要
がある。
- その辺の調整もあると思うので、やはり一度レポート作ってみて、どこまで記載するのかとい
う議論になるのだと思う。

○資料 No.109-7 の補足説明

- ・今説明頂いたところが 1 月 29 日の意見交換の流れで、その内容を纏めると、特に BWR プラン
トで FAVOR をどのように V&V していくかという事に絞られていたが、意見交換の中では V
&V の実施方法を抽出課題にしているの、V&V をどう実施するのかという観点で、俯瞰し
た目で実施方法について意見交換できるといいという話があった。その中で FAVPRO の話も
出た。例えば先ほど FAVOR では一部の確認項目の実施がかなり昔で当時の記録も残ってい
ないとの説明があったが、FAVPRO は最近出てきたもので FAVPRO に対する米国の V&V はど
のように行われているのかを横目で見ながら、俯瞰した観点から実施方法について確認して
意見交換ができるとよいとの内容であった。それから V&V の実施方法と、破壊靱性式の不確実
性の 2 つが抽出課題として出ていた。

○資料 No.109-7 の質疑応答

- ・例えば維持規格はエンドースされているので、維持規格の式を使うこと自身は問題ないとい
う認識でよいか？
- モデル式の妥当性については、今の V&V というよりも、次の破壊靱性式のところで不確実性
について意見交換している。破壊靱性式も結局モデル式なので、他のモデル式も含めて、V&V
と同じように、どのような観点でモデル式を確認していくことが重要かという意見交換を行っ
た。
- 既にエンドースされている式はそのまま使っていいのか？
- 例えば維持規格の評価章にある、BWR の SCC の亀裂進展速度式がある。そこで SUS316 の式
を使っていたとする。そこに出ているデータ数がすごく少ないという事と、SUS316 の中でも、
N 材のデータやちょっと違う実験条件のデータを分けると全然変わってきたりする。維持規格
では、あくまでもそういったいろんなデータの包絡線を使うことになっているが、確率論の場
合には、それが対象とするプラントのデータなのか、そのデータに近いものなのか、データ
を包絡しているのかとか、そういう観点で確認しないとイケないと思っているので、その分布
式が正しいかどうかは言えないのではないかという事が、意見交換では取り上げられていた。
結論すると、維持規格でエンドースされているから（そのまま）使えるというのは、あくまで
決定論の式なので、（確率論としては）そのままでは使えないと思う。
- 例として挙げていただいた S C C 亀裂進展速度式は、決定論だと保守的に 2σ とか 100%包
絡で設定するので、分布を考える PFM とは使い方が違うので、そのまま使えないというの
はその通りだと思う。
- データが対象とするプラントとは全く違うものかもしれないし、厳しく出るものもあれば緩く

出るものもあり、こちらの実験では厳しいが、別の実験では緩いという場合もあり得る。それから傾きも全然違う事があるので、それらを全部寄せ集めて使うと、確率論の式として正しく使えるのが判らなくなるので、そういった議論は必要だという事である。

- それはそうだと思う。確率論と決定論で使い方が違うので、エンドースしているからといって、そのまま流用してもいいというわけではないということか？
- その通りである。維持規格でエンドースしているから、例えば 100%包絡しているデータを使って分布を取ればいいという単純な発想にはならない。
- 維持規格の応力拡大係数の解に関しては、材料でどうかという話とは違うと思うので、そこは決定論か確率論かで異なるものではないと思うがどうか？
- おっしゃる通りである。先ほど説明があった G0 から G4 のところだと思うが、それは維持規格に書かれているので、それを使えばいいのかなと思う。特に確率論だから、G0 から G4 そのものが大きく変わるとか、そういう考えは私の中にはない。
- ・材料に関して、ばらつきの分布をどう適用するのかについて、PFM ではすごく大事な部分になる。その分布の元になっているデータの中には、個別プラントでは決められないので、JEAG4640 で決めているところもあり、単に規格の記載を持ってくるわけではないというのは、もちろんそうだが、プラント固有で決めるものと、それとは違うロジックで決まるものと切り分けを考えていかなければならないと思っている。

○資料 No.109-8 の質疑応答

特にご意見等は無かった。

○資料 No.109-9 質疑応答

- ・BWR で外表面側の亀裂の設定についての話でコメントが出たと思う。資料 19 ページを見ると、基本的には表面亀裂はクラッドの欠陥として定義されると思う。先ほどコメントのあったその欠陥を考えなくていいのかという話は、先ほど議論が出たように、万が一欠陥があって、外表面側の亀裂がすごく条件的に厳しいものだったら困るので、そこは保守的に考慮するのが大事な考え方だと思った。
FAVOR でも外表面側の亀裂を設定することになっていたと思うが、その背景や JAEA が PASCAL で BWR の解析をされる際にどんな設定をされているのか教えて頂きたい。
- PASCAL でも外表面側の亀裂は考慮できるようになっている。JAEA ではその外表面亀裂がどれだけ破損に寄与するか感度解析をしていて、確か表面深さ 6.5mm の亀裂を考慮した時と、6.7mm や 7mm まで寸法を大きくした時にどれだけ破損確率が変化するかを見ていて、あまり効かないことを確認している。あと深さ 6.5mm の欠陥があれば、それはクラッド下ではなくて表面にある欠陥なので見つかるだろうという事もあり考慮しなくてもよいとは思いますが、一応保守的に考えるという意味で、表面亀裂も考慮した評価結果を論文等に出している。
- よく理解できた。あるかないかを明確にすることが難しい部分については、PFM では米国でも保守的な取り扱いと、ベストエスティメートとのベストミックスを目指す考え方が使われていると思う。そういう意味で感度解析をしておくのは妥当なやり方だと思う。
- ・資料 17 ページで、一つ目のポツでは 6mm 以上の欠陥を 1/40 に設定すると書いてある。一方で二つ目のポツでは、実測では 6mm 以上の欠陥はなかったと書いてある。どうやって 1/40 という設定が出来たのかレポートを読んで判ったか？
- 専門家判断の Large Flaw のところで、メジアンが 0.25 となっており、実測でも無いということだったので、「40 分の 1」になったのだろうと解釈している。
- 確率分布を仮定して、それでメジアンで 0.25 くらいだからという事か？

→何らかの方法でいろんな専門家に見積もって貰ったのだと思う。専門家が 17 人くらいいて、データとしてはミニマムからマックスまで出ていて、専門家間でバラつきがある中で中央値を取ったのだらうと思っていた。細かな根拠まではフォローできていない。

・2 点目は、日本でも例えば実測データが少なく専門家判断で仮定しないといけないという状況は出てくると思う。その場合、何をもって仮定したのか、なぜその仮定を使っていいと判断したのか根拠を残しておく必要があると思っている。だからまさにこういう場で、こういう条件の時もう専門家判断せざるを得ないとか、こういう仮定をするのは仕方がない等、コンセンサスを取る方法が決められると V&V の時にやりやすいと思う。

多分各専門家がこのパラメータを決めたと言ったところで、客観的とは言い難いので、後世の人が見た時に、こういう風に決めたというのが判る形で残っているといいと思う。

・今の話だと専門家判断というのは、多分エンジニアリングジャッジなので、そのベースとなる知見があり判断すると思う。その部分を規格に書くことは出来るのではないか。こういう経験に基づけば、1/40 と判断して良いと思えるのではないか。何も無いところからするような判断ではないと思う。やはりエンジニアリングジャッジだけで説明されると受け入れるのは結構難しいが、経験とか、昔分析した結果とか、国プロで近い結果が出たといった事例がいろいろあって、その内容を踏まえてといった事は書けると思う。そういった例も出して頂き、一回説明いただければと思う。

→おっしゃる意味は良く判るが、多分それだけで全て説明できないのと、どこまで規格に書けるかという部分で中々難しいと思っている。

→規制側の専門家あるいは JAEA の委員の方々も含めて、こんなものであると言えれば、それでいいのではないかと思う。それでしか判断できない。

→アメリカもキャンセル炉の材料をたくさん持ってきて、色々調査しているが、それでもやはりエンジニアリングジャッジの部分が出てくるという判断で、そこもはっきりとした根拠は難しい部分もあるのではないかと思っている。

→エンジニアリングジャッジは、文章で説明をしてなんとなく納得ができるというよりは、むしろ専門家同士の判断がどれ位バラついたのかを記録に残しておくことが重要だと思う。そのバラつきの中で一番高い人と一番低い人でなくて、その間のどこかを取る事にはなるが、その間の取り方がちゃんと手続き論に基づいてなされていることが必要となる。地震想定の場合だと SHHAC でやり方が確立しているので、おそらくどのようにドキュメンテーションを用意するのかという手順に従って、数名の人にやってもらった上で、これとこれを統合したらここに線が引けると決めるという手続き論ができていれば良いのだと思う。

→どこかに判断の仕方の例があるという事か？

→そうである。地震ではそういうやり方をやっているのだから、基本的な考え方と、その専門家判断がばらついた時に、それを統合するやり方にお作法があるからそれを順守するだけだと思う。

→それはそういう方法でもいいと思う。

→多分これからそういった議論になっていくと思う。参考資料 3 で調査されるということだが、多分いろいろと難しい点もあると思う。

→ただし、(方法が)決まらないと検査もできない。

→確かにそうである。何人で判断して、ばらつきが出た時にどう真ん中を取るのかという手続きだけを決めておけばいいと思う。

→その辺は今後議論をさせて頂きたい。

→米国だと、そのエキスパートの中に規制機関の方も入って、立場の違う人たちを揃えてジャッジした結果として、こういうエンジニアリングカーブが引けると進めるのが、地震工学では多分通例だと思う。その時に、これは厳し過ぎる、あるいはゆる過ぎるといった意見が出たら、

ちゃんとそれを残して、専門家の中でこういう意見が出たので、ここに線を引いたという議論になればいいと思う。ただ、自分の発言が残ると行政訴訟上問題になるので良くないとなると、そもそもエンジニアリングジャッジが出来なくなってしまう。

→それは否定しておかなければいけない。私たちは公開会合でも実名で意見を言うことになっている。この検討会についても、開示請求があったら出す約束を学協会側としているので、実名で書いて頂くのは問題ない。ただ、私が言ったことは、原子力規制委員会や規制委員会委員長の意見ではないという事だけは明確にしておきたい。

→そこが明確になっていれば、SHHACのプロセスが適用できると思う。

・先ほどの話で例えば、製品の抜き取り検査で40個不良品だった場合の不良率は計算できると思う。だから、検査する数が先に決まっていって全てが不良品だった場合、6mmの欠陥が全部に対して見つからなかった場合、計算上最大見積もって何パーセントあるかという逆算は出来るので、それならば理屈にあった設定になるのではないかと思う。多分何らかのロジックが作られているので見てみたらいいと思った。

→原子力学会の放射能濃度の標準の作業会に出ていて、(対象物を)何個検出しても検出下限しか得られなかった場合、その濃度をどうするかという議論をしている。今の件はそれと似ていると思っている。一つの入口として考えればいいのかもしれない。

→ただし、ここで言っている1/40は、1/40倍にするという意味なので、40個のうちに1個とは別の話である。

・エンジニアリングジャッジの話もあったので、資料の33ページをどう考えるのかについて。PFMはあくまでも進展性のある亀裂というか、面上の亀裂を対象にするものだと理解している。33ページに示されているように、米国のレポートを見ると、明らかに3つのブローホールか何か繋がっているように見える。そのコンターが繋がっている部分は進展性がないようにも思えるが、一つの大きな面上の欠陥として取り扱うとレポートには書いてあるので、それをどう亀裂として扱うかという事をどのような階層で議論するかも大事である。

→今説明して頂いた内容のリファレンスを明確にして貰った方がいいと思う。例えばそのエキスパートによる判断が別資料にあれば、それを参照して調べることができるのではないか。NUREGが出したレポートなのではないかと思っているが、もっと孫引きできたらいいと思った。あと、非破壊試験でその傷を実測してモデル化していると思うが、実際に破壊して非破壊試験の指示が確かであったかを確認する非破壊試験のバリデーションもその中に含まれていたのか確認したい。

→今回まとめた資料の内容はNUREG/CR-6817, Rev.1に書いてある。これに関する文書はたくさんあるが、そこまでは調査できていない。

(4) 次回の開催予定

次回(第8回)の開催予定日は、4月24日(金)の午後となった。

以上

第 109 回破壊靱性検討会配布資料

- 資料 109-1 : 破壊靱性検討会 PFM 臨時検討会 委員名簿
- 資料 109-2 : 第 107 回破壊靱性検討会 (第 6 回 PFM 臨時検討会) 議事録案について
- 資料 109-3 : PFM の適用に向けた PFM 臨時検討会での対応方針 (案)
- 資料 109-4 : JEAG4640 への反映項目案
- 資料 109-5 : JEAG 4640 附属書 B の改定に関する検討状況
- 資料 109-6 : R.G.1.245 の反映方針案について
- 資料 109-7 : PFM 解析ソフトウェアの V&V について
- 資料 109-8 : PASCAL 5 に実装されている国内破壊靱性遷移曲線評価モデルについて
- 資料 109-9 : 米国における初期亀裂分布設定根拠に関する調査
- 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
- 参考資料-3 : 初期きず密度に関連する PFM 課題についての取組み r1