

第 77 回破壊靱性検討会 議事録

1. 日 時:平成 29 年 10 月 4 日(水) 13:30~16:20

2. 場 所:日本電気協会 4 階 D 会議室

3. 出席者(順不同, 敬称略)

○出席委員

平野主査(IHI), 廣田副主査(MHI), 秋山(四国電力), 伊藤(中部電力),
大厩(関西電力), 勝山(JAEA), 曾根田(電中研), 高本(MHPS), 田川(JFE),
辻(富士電機), 蓮沼(電源開発), 長谷川(発電技検), 廣川(日立 GE) (計 13 名)

○代理出席者

浦木(関西電力・岩崎委員代理), 折田(東京電力 HD・上坂委員代理),
新川(東芝エネルギーシステムズ・内橋委員代理),
櫻谷(NFD・橋内委員代理・NFD), 村上(MHI・堤委員代理),
山本_(聡)(九州電力・野崎委員代理) (計 6 名)

○常時参加者

船田(規制庁), 神長(東京電力 HD), 山本_(真)(電中研) (計 3 名)

○欠席委員

相澤(日本製鋼所), 山崎(JANSI) 中川_(健)(日本原電), 中川_(純)(中国電力) (計 4 名)

○オブザーバ

板谷(東芝エネルギーシステムズ) (計 1 名)

○事務局: 飯田, 大村(日本電気協会) (計 2 名)

4. 配付資料

資料 77-1 委員名簿

資料 77-2 第 76 回破壊靱性検討会 議事録(案)

資料 77-3 「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」構造分科会意見に対する回答

資料 77-4 JEAG4640 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 新旧比較表

資料 77-5 JEAG4640 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

5. 議 事

(1) 代理出席者の承認, 会議定足数の確認, 配付資料の確認

事務局より代理出席者及びオブザーバの紹介があり, 主査の承認を得た。出席委員数は代理出席者を含めて, 検討会決議に必要な条件(委員総数(23 名)の 3 分の 2 以上の出席)を満たしていることが確認された。また, 配付資料の確認があった。

(2) 前回検討会議事録(案)の確認

事務局より資料 77-2 に基づき, 前回破壊靱性検討会の議事録(案)の説明があり, 承認された。

(3) 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 構造分科会意見

対応について

構造分科会ご意見への回答及び指針修正案について、検討の結果、資料を一部修正し、委員の確認を得た上で、構造分科会へ上程することとなった。

1) 指針案改定版の確認

副主査より、資料 77-4 に基づき、前回検討会のコメントを受け、PFM WG で検討した指針案の修正版について説明があった。

(主な検討、意見、コメントは以下のとおり)

○附 B-2 フローチャート／サンプリングについて

- ・附 B-2 のフローチャートで、CPF 算出フローの破壊靱性と亀裂伝播停止破壊靱性の累積確率のサンプリングは、解 10、解 11 のメジアン値とばらつきの確率関数でサンプリングされると思うが、この時に、破壊靱性の方が伝播停止靱性より小さくなるサンプリングが出ることはないか。
 - CPF 算出フローに、「過渡開始、破壊靱性・亀裂伝播停止破壊靱性の累積確率のサンプリング」があって、ここは PASCAL も FAVOR も同じであるが、同じ累積確率の値を使って、 K_{Ic} と K_{Ia} を設定するので、 K_{Ic} が K_{Ia} を下回ることはない。
- ・ランダムサンプリングではなく、累積破壊確率を与えていて、基本的には同じ累積確率でずれるということか。
 - それが良いかどうか、前回議論があったが、今はこれでやらざるを得ない。
 - ・ランダムにすると逆転が出てくるが、逆転は数値演算的には起こるがそれはまずい。
 - だからといって、累積破壊確率を同じとして与えるのが良いか。
 - 「FAVOR が使っている」という理由は根拠として薄い。定性的でも良いので、聞かれた時の回答を準備されたい。
 - 午前中の打合せで、ここは弱いので、一度再サンプリングして、どうなるかを確認してみたらどうかという話があった。
- ・亀裂が進んでいって、その先の値が K_{Ia} で、進み始めるところが K_{Ic} 、その間を比べると、温度も違うし、照射脆化量も異なる。その時の K_{Ic} と K_{Ia} とは必ずしも、普段考えているように K_{Ic} が高いとは限らない。先の方の K_{Ia} が高くなることもある。
- ・この時に想定する累積破壊確率はいくつくらいか。このロジックで累積破壊確率を与えなければいけないが、それはどの程度の値を想定しているか。
 - 最初の K_{Ic} の時にサンプリングして、あとは、進展後も同じパーセンタイル値を使って、徐々に変わっていく RT_{NDT} に応じて K_{Ic} 、 K_{Ia} を設定する。そのような扱いを附 B-10 の表に記載してある。
- ・附 B-2 の CPI 算出フローで、最初にサンプリングして、各時刻の CPI の最大値を求めると、CPI 算出になるが、これは何度もサンプリングするのではないか。
 - CPI についてサンプリングされるのは、認識論的不確実さだけで、偶然的な不確実さに関してはサンプリングせずに、応力拡大係数の値に対応する K_{Ic} の累積確率で直接算出することができる。
- ・CPI と CPF の算出フローが分かれているのは、PASCAL では計算速度を早くするために CPI を最初に求めて、累積確率のどの範囲で破損する可能性があるかを求めた後に、その範囲の中だけで CPF を計算する。
- ・亀裂のサンプリングは 1 個になるのか。
 - そのとおり、もともと 1 個を想定している。

- ・欠陥のサイズのサンプリングはここではしないのか。
- PFM のモジュールの外で、亀裂の大きさの違うものを設定している。
- ・CPF 算出フローの外であると、1個の亀裂と1個の条件が入ってくるように見えるが、分布で入ってくるのか。
- そのとおりである。
- ・それをサンプリングというのか。
- 附 B-3 に記載されている。附 B-2 はある 1 つの亀裂があった時の破損確率で、その後、過渡の発生確率と、種々の亀裂の形状・寸法に対応する密度の分布をかける。
- PostPASCAL でやっている。最終的にこれらを考慮したものは FCI である。
- ・CPF も亀裂のサンプリングと中性子照射量等は後で PostPASCAL で考慮するのか。
- そのとおり。
- ・FAVOR も同じか。
- FAVOR は少し違う。中性子照射量分布と亀裂のデータを直接 PFM で考慮している。過渡事象の発生頻度を最後にかけるのは同じである。
- ・化学成分は後で入れるのか。
- FAVOR では PFM のモジュールで考慮している。
- ・PASCAL はあらゆる亀裂に対して計算している。FAVOR は分布に従って計算する。
- 例えば、PASCAL の場合はポスト処理で、中性子照射量に対して内挿して求めることにしている。FAVOR の場合は、各亀裂に対して全て照射量が違う計算をする。
- ・CPI についてはサンプリング数という概念がないのか。
- ・CPF についてはサンプリングという概念がある。
- 認識論的不確実さに関わるところはモンテカルロでサンプリング数を増やさない精度が上がってこない。PASCAL では、サンプリングの仕方を変えて、効率的にサンプリングできるラテン超方格法を採用しており、そこは FAVOR とは異なる。FAVOR はモンテカルロである。
- ・サンプリングということは、モンテカルロ法であればループがあるが、ここではループになっていない、それはどういうことであるのか。
- ・サンプリング数という概念がないのであれば、終了という概念がない。
- ・照射量、化学成分等、認識論的不確実さのサンプリングはラテン超方格法で、何度も行う。
- ラテン超方格法を使うということは、複数の確率変数を多次元に並べた時に、均等にサンプリングできるようにサンプルを準備する。それについて、毎回サンプリングではなく、空間に均等に散らばるようになったものを絨毯爆撃的に計算して、予めデータセットとしてストックしておく。そして、ポストで、RPV に関する亀裂の深さ分布等をもう一度サンプリングして、RPV の確率として落とし込んでいく。
- 可能性のある空間は全部メッシュに切って、格子点で全部計算しておいて、分布を重みとしてかけて計算する。
- 超方格法と言っているのは、それを全て計算すると大変なので、それを多次元のサンプリング空間の中で、ほぼ均等であろうと言われるようにサンプリングする。
- ・ここで言う中性子照射量、化学成分等のサンプリングは、どこで計算するかという計算位置を決めるという意味か。
- そのとおり。
- ・ポストの処理で、中性子照射量、化学成分の分布はかけられないのではないか。亀裂の分布はかけられるが、中性子照射量、化学成分は、リニアでなく、分布を決めてもだめ

- ではないか。
- 重みを計算している。分布のかけ算をしている。
 - ・CPI 算出フローの時の、その上の中性子照射量のサンプリングに対してサンプリングの終了がないというのは、どの位置で計算するかを決めるから。CPF 算出フローでは、サンプリング終了と書いてある。
 - そのとおり。過渡の時刻歴について、CPI は時刻歴が終わったらそこで終わり。その後にはサンプリング終了がない。CPF フローには過渡終了の後にサンプリング終了がある。
 - イメージは、モンテカルロで求める時の、破損とされたサンプリング数/全サンプリング数という、分母、分子の関係のイメージがあって、そういう意味でサンプリングに関しては、戻すように矢印がある。
 - ・最初に変数をどこにとるか、サンプリングするかは、決まっているのか。
 - 最初に亀裂と中性子照射量、化学成分、関連温度初期値、全部をこれと決めている。
 - サンプリングであるとぐるぐる回るイメージがあるが、亀裂のサンプリングではなく、設定とした方が良い。亀裂発生位置は設定である。
 - ・解 17 の上半分に認識論的不確実さを考慮する場合の一般的なフローを記載している。これであると認識論的不確実さを考慮したサンプリングを入れているが、これと整合がとれていないかも知れない。サンプリングという用語をこの規格ではたくさん使っている。
 - ・昔のモンテカルロ法と思い込んでいる人にはラテン超方格法の格子の計算位置の設定というサンプリングは全く思い浮かばないと思う。このアルゴリズムを見たときに良く分からない。
 - モンテカルロではないものを使っていることを書いた方が良い。また、サンプリングを言い換えた方が良い。モンテカルロのサンプリングとラテン超方格法のサンプリングが同じ言葉であると混同する。
 - ラテン超方格法は、英語で言うと、ラテンハイパーサンプリングであるので、サンプリングで良いのでは。
 - ・フローの上ではCPIの累積確率が出るが、そこで違うことに気が付かなければいけない。CPIが出てくるが、モンテカルロでは出ない。ここが胆である。理解に時間がかかる。
 - ・ラテン超方格法のサンプリングとしておいて、あとはぐるぐる回すようにしたらどうか。照射量、化学成分、サンプリング終了かどうか、という項を追加する。
 - 附属書 B については、PASCAL を前提にしているから、これで良いのではないか。
 - これを見ても、アルゴリズムが良く分からない。
 - ・一つの過渡であっても、亀裂、照射量、化学成分、関連温度初期値を変化させた CPI、CPF を多く計算し、分布の形にする。
 - 今のフローだと、1 個しか出力してないようにしか見えない。
 - ・CPI と CPF 算出の後に、サンプリング終了かどうかの判定があり、終了していなければ、最初の中性子照射量、化学成分、関連温度初期値に戻す矢印を入れてもよい。ただし、最初にどこをサンプリングするか決めているので、ラテン超方格法の場合は、データの流れが上から下向きとなる。
 - ・ラテン超方格法は化学成分、 RT_{NDT} 初期値等の組合せを作り、解析する条件を作っておいて、一気に流す。
 - 基本の考え方は確率変数の総当たり、巨大なテーブルをまず用意する。そこからサンプリングが始まる。
 - 全部計算すると大変なことになるので、それをかいつまんでも全体を表す方法がラテン超方格法である。したがって、ラテン超方格法はサンプリングしたいから使っているので

はなく、総当たりになると巨大なものになるので、それをうまい計算量に押さえるためにサンプリングを行う。

→基本は実験計画法であり、次元が増えれば増えるほど効率化されていく。

・ラテン超方格法の場合、サンプル点は順番に決まっていくのか。最適計算の後に決まるのか。ここはループに書いても良いかと思う。計算は全部で 10000 個くらいに対して、100 個くらいで良いとここで決まる。その 100 個の計算に対して、計算機上はループしている。ループで書いても間違いではない。それをモンテカルロと間違ってしまう人がいるかも知れないが、構わない。今の記載では、1 回しかサンプリングしないと見える。そうであれば、ラテン超方格法等と書いた方が良い。いずれにせよ、記載を変えた方が良い。

・今行っている議論を知らない人は、フローがあっても、JEAG を理解できない。

・確率計算の標準的なものとして、見られるかも知れないので、注釈が必要である。

・ある亀裂があって、それが K_{lc} と比べて、亀裂が発生するかしないか、そしてさらに亀裂が進展した時に、 K_{Ia} と比べて止まるか止まらないかであるが、ここは発生と伝播が別である。

→別である。伝播の方は回しているが、上は回していない。違和感がある。

→いずれにしても、そんなに厳密なフローではない。全部書き出すとややこしくなる。これでも単純化している。

○附 B-2 フローチャート／体裁

・小さい K, H はどういう意味か。

→ページの右上に、各項目の (B) ~ (K) は附属書の表に対応していると記載している。

○OP3 破損頻度計算手順

→中身は良いが、体裁について。左側の応力拡大係数の算出で、事象の選定、温度分布の時刻歴～応力拡大係数と流れているように見えるが、応力分布の時刻歴から右に出て、応力拡大係数へと入る。同時に残留応力分布が入っている。応力拡大係数に入ってくるものは、想定亀裂と残留応力分布と応力分布の時刻歴である。右側の破壊靱性も同様である。体裁としては違和感がある。

→スペース的な問題があるが、工夫してみる。

○附 B-3 PostPASCAL

・上に 2 つ矢印があり、中性子照射分布・材料の分類と亀裂密度分布等の想定亀裂に関するデータがあるが、この流れで考慮しているという意味か。FAVOR も同じ概念か。

→FAVOR もやり方は異なるが同じ概念である。

・そういう概念であれば、この流れが P3 のフローに入っていないとまずいのではないか。CPI, CPF には照射量や亀裂密度が考慮されていないことになる。全体の破損頻度を見る時にはこういうことを考慮しなければいけない。今のフローでは過渡の発生頻度だけが記載されているが、亀裂密度等が含まれることを書かなくて良いか。

・ある亀裂の分布で、CPF を計算しているが、全部はやってもらえない。方法はどうか、照射量分布に合わせて確率分布をもってくる。それは入れておかないとならないのではないか。これは面積比で出てくるのか。

→最終的には、余事象を取っている。

・このプロセスを経ないと破損確率が出せない。個々の亀裂の CPI, CPF はこれで良い。結局は、(2)式と(3)式にどう入ってくるかということである。今は過渡の発生頻度しか入

- っていない。1 個 1 個やるのではなく、過渡ごとにやる。ここは再検討願いたい。
- ・P3 のフローで、発生頻度だけでなく、亀裂の分布と照射量の分布が必要ということか。
 - 附属書 B のフローと合わない。過渡事象の発生頻度の中に他も入れれば良い。
 - 過渡の発生頻度以外に濃淡分布みたいなものを入れるのではないか。FAVOR も同じである。全部の亀裂、中性子照射量をやるのはありえないので、そういうプロセスが入るのではないか。
 - ここは、FAVOR と PASCAL で違うところである。
 - ・頻度だけを入れれば良いことになり、実際と異なる。位置と分布表と言えば、全部入るのではないか。
 - FAVOR の場合は、あとでかけるのは過渡の発生頻度だけである。
 - ・それ以外はどこに入っているか。
 - PFM-5000 に入っている。
 - ・本文の中では、そこに入っていると読めるのか。
 - 本文では、具体的には書いていない。両コードで読める書き方になっている。
 - ・FAVOR であれば、今のフローチャートが良いが、PASCAL であると、過渡事象の発生頻度以外に、亀裂分布と照射量の分布が外に入っている。
 - ・条件付亀裂進展確率の定義が異なるのか。
 - FAVOR と PASCAL で、モジュールで出てくる条件付き亀裂進展確率は異なる。
 - FAVOR の場合は一過渡に対して、PFM の計算をする。複数の亀裂が存在することや中性子照射量の分布はそこで考えている。
 - ・FAVOR であれば、複数亀裂を入れて計算するので、ここに入れる必要はない。
 - PASCAL の定義に従っている。PASCAL を前提にしている。
 - ・解説等で、CPI, CPF の時に入れても良いと書いておけば良い。
 - ・条件付き確率の定義が異なるのはつらい。用法も違う。
 - FAVOR の説明の中では使っていない。
 - PASCAL を前提にして、あとは解説で FAVOR でも使えるようにしたい。
 - 1 つの亀裂の確率と言う意味では仕方がない。そこで FAVOR と合わない。

○参考文献

- ・参考文献で、et al の後ろにはピリオドが付いているものと付いていないものがある。
- ピリオドを付ける。
- ・文献(37)で、regulatory guide 1.154 withdrawal と書いてあるが、1.154 は 1987 年に出ているので、そこまで書いて、withdrawal の年号を入れる。
- 1.154(1987), withdrawal(XXXX)とする。

○まとめ

- ・P3 を修正する。1 つの亀裂に対する CPF, CPI なので、フローに何かを追加する。必要であれば、本文に追記する。今は過渡事象の発生頻度しかかけていない。
- ・参考文献の記載を修正する。
- ・構造分科会:11 月 14 日。事前説明は 11 月 1 日の予定。
- ・修正版を委員に送付し確認いただく。それを前提に分科会再上程を行う。

2) 構造分科会意見に対する回答(資料 77-3)について (主な検討, 意見, コメントは以下のとおり)

○No.9:「脆化予測は本規格の主要な部分ですので、」は不要ではないか。

→脆化予測を行う場合、化学成分と照射量をばらつかせる、そこが、PFMの中でも一番大きな特徴と言いたかった。「炉心領域だけを対象とする理由が不明です」とご意見にあるが、脆化予測のばらつきの考え方がメインの部分である。そういう意味で記載している。

・下から 3 行目、「脆化予測を除けば」とあるが、照射脆化等、現象を表しているのではないか。

→下から 3 行目は、「解説で中性子照射脆化による予測を除けば」が良い。

→拝承。

○No.13 で、「複数の値がある場合には、それらの平均値を使用すること」とあるが、ミルシートの中に複数の値があれば平均値を使用するという意味で良いか。ミルシートの値と監視試験の平均値を用いると読めてしまった。

→複数のチャージがあった場合でも、1 つのチャージで代表して解くことを考えての意見であった。

→母材はトップ、ボトム等何種類かあるが、溶接部はそういう分析値はない。複数の値として、ミルシートと監視試験片とを合わせて平均しているのではないか。

→ミルシートで 2 点あれば平均とすれば良いと考える。

・一文目の平均値は、PFM の分布を考える時の平均値である。1 点であれば、その値を平均値にする。通常はミルシートか監視試験片の分析値のどちらか 1 つしかないので、その値を PFM の分布の平均値として使用する。

→「この値を平均値を使用」を「この値を平均値として使用」と修正する。

○No.15:下から 6 行目「将来的には経年劣化を考慮した PFM を適用できる可能性があると思われませんが」とあるが、照射データを考慮した PFM はこの評価コードできているので、「経年劣化を考慮した PFM の結果を反映できる可能性がある」と修正した方が良い。

→原子炉容器と言うより、LOCA、配管の破損の話。LOCA は、実際、統計データがないのに仮定しているので、こういうものは PFM で評価するべきではないかという主旨で、将来的には LOCA の発生頻度の評価で、PFM を適用できる可能性がある。

・配管破断がどうやって起こるかを、配管のいろんな評価をして、できるということか。

→過渡の発生頻度が重要であれば、LOCA の破損のデータはないので、PFM を使うべきとのご意見である。

・配管というところが分かりにくかった。

→配管の破損頻度を、PFM を用いて、と書くと分かり易い。

→将来的には、配管の破損頻度に、経年劣化を考慮した PFM を適用できる可能性はありますが、と修正する。

○No.20:回答に、「頂いたご意見について議論して対応します。」とあるが、「町田氏より頂いたご意見について、検討会にて議論して対応します。」と明確にした方が良い。

→拝承。

○No.25:「解析コードの～示します」とあるが、番号(PFM-5100)を記載した方が良い。

→「PFM-5100 に」を追加する。

○まとめ

- ・資料を見直して、委員に送付する。
- ・資料 77-3 分科会ご意見対応(回答)は来週、資料 77-5 規格案の修正は再来週、委員に送付する。
- ・分科会上程について、承認された。

(4) その他

- 1) 次回破壊靱性検討会:2018年1月26日(金)13:30～

以上