

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等の技術評価に関する

検討チーム

第2回会合

1. 日時

令和元年9月6日（金） 10：00～12：13

2. 場所

ベルサール六本木グランドコンファレンスセンター Room I

（東京都港区六本木3-2-1 住友不動産六本木グランドタワー 9階）

3. 出席者

原子力規制委員会

山中 伸介 原子力規制委員会委員

原子力規制庁

大村 哲臣 技術基盤グループ長

遠山 眞 技術基盤グループ 技術基盤課長

佐々木 晴子 技術基盤グループ 技術基盤課 企画調整官

北條 智博 技術基盤グループ システム安全研究部門 技術研究調査官

塚部 暢之 原子力規制部 実用炉審査部門 管理官補佐

藤澤 博美 技術参与

船田 立夫 技術参与

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 安全研究センター

鬼沢 邦雄 安全研究センター付

高見澤 悠 材料・構造安全研究ディビジョン 材料・水化学研究グループ研究員

外部専門家

大畑 充 大阪大学大学院 工学研究科 マテリアル生産科学専攻 教授

沖田 泰良 東京大学大学院 工学系研究科 人工物工学研究センター 准教授

笠田 竜太 東北大学 金属材料研究所 教授

一般社団法人日本電気協会

山田 浩二	構造分科会	幹事
平野 隆	破壊靱性検討会	主査
廣田 貴俊	破壊靱性検討会	副主査
山本 真人	破壊靱性検討会	委員
高田 泰和	破壊靱性検討会	委員
大厩 徹	破壊靱性検討会	委員
神長 貴幸	破壊靱性検討会	委員
服部 泰大	破壊靱性検討会	委員

4. 議題

- (1) 日本電気協会 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の技術評価について
- (2) その他

5. 配布資料

検討チーム構成員名簿

- | | |
|------------|--|
| 資料 2 - 1 | PTS評価用破壊靱性遷移曲線について |
| 資料 2 - 2 | 第 1 回会合 資料1-3 別添 「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等の技術評価に関する検討チーム 第 2 回会合における日本電気協会への説明依頼事項」に対する回答 |
| 資料 2 - 3 | PTS評価に用いる破壊靱性遷移曲線に関する技術評価案 |
| 参考資料 2 - 1 | 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等の技術評価に関する検討チーム 第 2 回会合における日本電気協会への説明依頼事項 |

6. 議事録

○山中委員 定刻になりましたので、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等の技術評価に関する検討チームの第2回会合を開催いたします。

司会進行を務めさせていただきます、原子力規制委員会の山中でございます。よろしくお願いいたします。

本検討チームは、原子力規制委員会及び原子力規制庁の担当者のほかに3名の外部専門家及び2名の技術支援機関職員に御参加をいただいております。また、説明者として、日本電気協会の方々に御出席いただいております。どうぞよろしくお願いいたします。

それでは、事務局から、配布資料及び机上の資料の説明をお願いいたします。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁の佐々木です。

今日の配付資料ですけれども、議事次第にございますように、資料2-1から2-3、それから、参考資料2-1となっております。過不足がございましたらお知らせください。

また、机上には、日本電気協会の関連する三つの規格が、部数が限られておりますけれども置いてございますので、御利用ください。

また、本日の議論に出てきます文献のうち幾つかについて、コピーを2人一つ程度御用意させていただきましたので、そちらも御利用ください。

以上です。

○山中委員 それでは、議題に入りたいと思いますが、議題に入る前に、何か皆様のほうから御質問ございますでしょうか。よろしゅうございますでしょうか。

それでは、第1回会合において原子力規制庁から日本電気協会に対して説明依頼事項を提示しております。これに対する回答を資料2-1及び2-2としていただいておりますので、日本電気協会より説明をお願いいたします。

○山田幹事（日本電気協会） 日本電気協会構造分科会幹事、山田でございます。

それでは、早速、50分ほどお時間いただきまして、最初に資料2-1について御説明をした後に、資料2-2を用いまして説明依頼事項についての説明をさせていただきたいと思っております。

○廣田副主査（日本電気協会） 電気協会の廣田です。

資料2-1に基づきまして、PTS評価用破壊靱性遷移曲線について説明させていただきます。

ページをめくっていただきまして、2ページですけれども目次がありまして、このような内容について御説明いたします。

添付資料もあるんですけども、ちょっと時間もあまりありませんので、添付資料は説明、割愛させていただきたいと思います。

まず、3ページですけれども、改定検討の背景ということで説明いたします。2011年～2012年にかけて、原子力安全・保安院により開催されました「原子炉圧力容器の中性子照射脆化に係る意見聴取会」というのが開催されまして、その中で、玄海1号機等のPWRプラントのPTS評価方法に関する議論がなされました。その中で、JEAC4206-2007に従うPTS評価に使用する破壊靱性遷移曲線についても議論がなされております。

まず、その3ページの下にJEAC4206-2007のPTS評価用破壊靱性遷移曲線の設定手順ということで示しておりますけれども、まず、対象とする原子炉圧力容器炉心領域材料の照射前後の破壊靱性データ、右側に模式図がございますけれども、白丸の照射前の K_{Ic} 、あるいは半分黒い照射後の K_{Ic} 、これらの値を脆化予測法を用いまして、温度方向にシフト、 ΔT_{KIc} という値でシフトさせまして、それから右側の模式図の矢印で引っ張っている温度移行量というところになります。それでもって、プラント評価時期の K_{Ic} データ、黒丸のデータを設定すると。その後、この黒丸のデータを左側の式にございますような式で下限包絡をします。このような設定手順でございました。

この設定手順、遷移曲線につきましては、この意見聴取会の中で、その上の文章のところですけども、かぎ括弧のところ。「今後は、下限線が応力拡大係数に近接する場合も考えられるので、保守性や精度向上の観点から試験個数や試験片データのばらつきを考慮した下限線の評価手法などを規定しておくことが必要である。」ということで、評価手法の改定検討が求められたということでございます。

次の4ページにまいりまして、このような意見聴取会での要望を受けまして、電気協会では、破壊靱性の検討、破壊靱性遷移曲線の見直しを検討したということでございます。

近年の知見といたしまして、前回御説明したんですけども、一つは国内PWR監視試験で照射後の破壊靱性データが多数蓄積されたこと、もう一つは、破壊靱性のばらつき等に関する知見が拡充されまして、国内外でマスターカーブ法の適用性が確認されて、海外等で広く用いられるようになったと、このような状況を踏まえまして、見直しを検討したということでございます。

その検討の結果、下にございます(1)、(2)ということで、(1)は T_{r30} 、シャルピーの遷移温度、 T_{r30} を指標とした5%信頼下限のマスターカーブの式を採用と。もう一つは T_0 、マスターカーブの参照温度 T_0 が取得されてる場合には、 T_0 を用いて5%信頼下限のマスターカ

ーブによる評価も可能とするというふうに規格に取り込んだということでございます。

具体的な検討内容が5ページ以降でございます。まず、5ページが破壊靱性遷移曲線の設定方針ということで、五つぐらい上げてございます。まず一つは、破壊靱性のばらつきや信頼度を定量的に評価でき、国内外で原子炉压力容器に対する適用性が確認されているマスターカーブの考え方を取り入れるということです。

二つ目に、マスターカーブは破壊靱性データに基づいて設定するんですけども、監視試験により照射後の破壊靱性データが十分でない場合も考えられるということですので、監視試験で必ず取得されるシャルピー試験による遷移温度(T_{r30})を指標といたしました破壊靱性遷移曲線を設定しようということです。

三つ目に、破壊靱性遷移曲線は鋼種毎、つまり圧延材、鍛鋼品、溶接金属、この3種類の鋼種に対してそれぞれ設定するという方針です。

四つ目が、PWR監視試験では照射後の破壊靱性データが多数蓄積されたということで、それらのデータを用いて T_{r30} 、破壊靱性、照射の影響に関する傾向を分析いたしまして、その上で遷移曲線を設定するということです。

で、五つ目に、他の評価との整合等も勘案しまして、これは前回御説明したんですけども、5%信頼下限の破壊靱性遷移曲線を評価に使用するということでございます。

続きまして、6ページですけれども、破壊靱性遷移曲線の設定に使用したデータベースでございます。まず、国内のPWRプラントに対しまして、2013年までに監視試験で得られた破壊靱性データを使用してございます。監視試験で使用される破壊靱性試験片の多くは1/2T-CT或いは1X-WOL試験片でございまして、板厚が異なるということがございますので、マスターカーブ法の考え方に基づきまして、以下の式で1インチ厚さ(1T)相当の破壊靱性データに換算するということとさせていただきます。1インチ厚さ相当にした根拠というのは添付4に示しておりますが、説明は割愛させていただきます。

さらに、マスターカーブには適用範囲がございまして、その適用範囲に基づきまして遷移領域外の低温側($T-T_0 < -50^{\circ}\text{C}$)、つまり下部棚の領域ですけれども、そういう低温側のデータ、それから、拘束が弱い K_{Jc} が $K_{Jc}(\text{limit})$ を超えるデータはカーブの設定対象から除外ということとさせていただきます。

その下に破壊靱性遷移曲線のデータベースということで表で示しておりますけれども、未照射のデータ数、照射データ数、Cuの範囲、照射量、 T_{r30} の範囲ということで示してございまして、これらの範囲で検討したということとさせていただきます。

なお、括弧づきの数字がございますけれども、先ほど言いましたように、マスターカーブの適用範囲で除外している部分がございますので、最終的に使用したデータの値は括弧の値で示しているということでございます。

次に、7ページですけれども、破壊靱性遷移曲線の評価式でございます。上半分はマスターカーブの評価式を示してございます。その中で右側に T_0 という赤いパラメータがございますけれども、 T_0 はマスターカーブの参照温度ということで、マスターカーブですと破壊靱性データに対して最尤推定法によりこの T_0 を設定するということでございます。

ただ、今回はシャルピー試験の T_{r30} を指標にして設定するということですので、この T_0 のかわりに $T_{r30} + \Delta T_t$ という値に置きかえまして、つまり、 T_{r30} を ΔT_t で補正するということとなりますけれども、そういうような式で評価式を検討したということでございます。

この ΔT_t ですけれども、ここでというところで書いておりますけれども、鋼種毎に T_{r30} で規格化した破壊靱性データに対しまして、マスターカーブと同様に最尤推定法により ΔT_t を算出したと。その下に式がございますけれども、これが尤度関数でございまして、この尤度関数が最大となる、尤もらしい値となるように ΔT_t の値を鋼種毎に設定したということでございます。

これ、添付5ということで、今回説明しませんけれども、イタレーションで設定することになりまして、また見ておいていただければというふうに思います。

8ページが監視試験データの傾向分析ですけれども、これは前回御説明しているんですけれども、照射に対する破壊靱性データの依存性を見たというものでございます。左上に模式図がございますけれども、カーブに対しまして破壊靱性データが上のほうに来るのか下のほうに来るのかというのを判定するために、真ん中の上にScatterというところで、四角で囲んだとこの式を縦軸にとりまして、横軸に照射量の値をとったプロットでございます。で、右上が圧延材、左下が鍛鋼品、右下が溶接金属ということでございます。

前回も御質問、コメントございましたけれども、今回、近似曲線を設定しておりまして、示すようにしておりまして、それで、PLM評価書の60年地点の照射量、大体 $5 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$ 以上のところが対象になるんですけれども、そのようなところを示してございます。

左側にこれに対する評価等ということを書いてございますけれども、特に母材（鍛鋼品）におきましては、照射量に対する破壊靱性データの依存性があるように見えるんですけれども、このグラフ、ちょっと見にくいんですけれども、相関係数の中にも記載しておりまして、相関係数の値は比較的小さくてですね、これはつまり、破壊靱性データの大き

なばらつきに比べると依存性は小さいだろうというふうに判断しているということでございます。

その次に9ページでございますけれども、破壊靱性遷移曲線の設定ということで、これも前回ちょっと御説明しているんですが、先ほどの8ページの傾向分析の結果も踏まえまして、実機評価の観点から、重要となる高照射領域、つまり $5 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$ 以上の破壊靱性データに対して、メジアンカーブがフィットするように、最尤推定法により ΔT_i を設定したということでございます。

次に、10ページですけれども、マージンの検討ということを行っております。脆化予測によりPTS評価用破壊靱性遷移曲線を設定する場合には、脆化予測の不確実さ、予測誤差が生じますので、それに対するマージンを考慮すべき必要があるということです。

左下に模式図で示しておりますけれども、脆化予測の予測誤差を考慮しない場合には、縦軸方向のワイブル分布で示される破壊靱性データのばらつきを考慮して5%カーブを引けばいいわけですが、脆化予測の予測誤差を考慮した場合は右側のグラフになりまして、温度方向、横軸方向のばらつきも含めて5%カーブを設定する必要があるということで、この横軸方向の温度方向のばらつきは、脆化予測法の標準偏差 9.5°C に対する正規分布と仮定いたしまして、それでその場合には、赤の矢印でMargin for temperatureとありますけれども、追加のマージンを加えて5%のカーブを設定することとしてございます。このマージンは 3°C というふうに設定しているんですけれども、これはモンテカルロ計算で確認をしております、その結果が11ページのほうに示してございます。

100万回のモンテカルロ計算を行いまして、マージンを検討したということで、左下にヒストグラムがございまして、まず、温度のばらつきがない場合には、単純なワイブル分布でばらつきますので、黒のヒストグラムということになります。それに対しまして、温度のばらつきが生じますと、青のヒストグラムになりまして、ばらつきが大きくなっていくということです。このときに左下の赤の点線枠で囲ったところが5%を下回る部分になるわけですが、それが多くなってくると。

したがって、 3°C の温度裕度を加えてヒストグラムを示しますと赤のヒストグラムになるということで、特にその赤の点線枠のところを見ていただければと思うんですが、もともとの黒のヒストグラムと同等のばらつきを示しているということでございます。

数値で見ていただきますと右側の表でございまして、温度は $T-T_0$ が -50°C と 0°C と $+50^\circ\text{C}$

と、この3温度に対しましてモンテカルロ計算を行った結果、5%マスターカーブを下回る確率を整理したものでございます。予測誤差がない場合には5%程度であるんですけども、予測誤差がある場合には大体6%ぐらい下回るということです。しかしながら、マージン3℃を加えるとほぼ5%ぐらい下回る確率ということで、3℃でちょうどいいぐらいだろうというふうに判断したということでございます。

次に12ページからが破壊靱性遷移曲線の妥当性の確認ということで、二つの方法により評価したものでございます。まず(1)は、前回御説明しているんですけども、5%信頼下限により包絡されるデータの比率で評価した場合、それから(2)として、左下にWallinの評価法ということで書いてございますけれども、評価用の破壊靱性カーブに対しまして各破壊靱性データの温度裕度を算出いたしまして、その温度差というのが正規分布に従うというふうに仮定いたしまして、右側に示してありますようなLower Tailのデータを対象に、ちょうど横軸が0のところ破壊靱性カーブの本来のところであるわけですけども、このところ、5%信頼下限カーブのところ破壊確率として幾らぐらいかというのを評価したというものが(2)の評価ということでございます。

次に13ページがマージンを加えた評価用破壊靱性遷移曲線のデータと破壊靱性カーブとの関係を示してございます。これはちょっと前回御説明しました。

14ページが評価の結果をまとめたものでございまして、右から二つ目、遷移曲線を上回る確率は95%以上になっているというのと、Wallinの評価方法につきましても破壊確率が5%以下ということで、今回設定したカーブで十分だろうという判断をしているということでございます。

それから15ページですけども、2007年版の破壊靱性遷移曲線との比較ということで評価をしてございます。まず、左下のグラフを見ていただきますと、山なりのカーブ、PTS状態遷移曲線というカーブ、これが代表プラントのPTS状態遷移曲線ですけども、それに対して、2007年版、それから2016年版の破壊靱性遷移曲線を接するように設定したグラフでございます。

見ていただきますと、PTS状態遷移曲線と接するのは応力拡大係数が $70\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ 程度のところで接するということがわかると思います。したがって、破壊靱性遷移曲線の比較をする際には $70\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ を示す温度、これを T_{70} といたしまして、 T_{70} の温度を2016年版と2007年版を比較したということです。それが右側のグラフでございまして、横軸が2016年版の T_{70} 、縦軸が2007年版の T_{70} ということでございます。

国内PWRプラントの32EFPY時点での T_{70} の値を求めたのが黒のプロットということでございまして、 45° の黒い直線がございすけれども、これより右下側に来ると2016年版の破壊靱性遷移曲線のほうが保守的という評価されるわけですがけれども、多くの黒のプロットが右下側に来てるということで、傾向といたしましては、2016年版のほうが保守的ということがわかると思います。

最後に16ページはまとめということですがけれども、前回ちょっと御質問もありましたけれども、電気協会の中では意見聴取会の中で、破壊靱性遷移曲線、見直すというような要望がございましたので、そういうような議論も踏まえまして、評価精度の向上という観点でマスターカーブ等の知見を取り入れて見直しを行って、さらに保守性も確認したというところです。

ただ、今後も監視試験等でデータの蓄積は進めていきますので、最新知見を把握しながら、引き続き評価手法の高度化・精緻化を図っていきたいというふうに考えてございます。○平野主査（日本電気協会） それでは、電気協会の破壊靱性検討会の平野ですけど、続けて、資料2-2のほうで、前回の第1回会合の資料1-3別添に対する回答ということで説明いたします。

資料2-2ですけども、1ページ目が別添の内容を記載したものでございます。順次答えていきたいと思っております。

ページをめくっていただいて2ページ目ですけど、回答の仕方は、何個かに区切って回答したほうがいいものについては区切っていますので、そういう形で説明していきます。

まず、(1)ですけども、内容としては、2007年版から2016年版に変更した理由と、その検討した技術的内容を説明して下さいということと、その中には、式を変更したことによる実プラントでの値がどう変わったかということで説明があります。

最初の説明ですけども、破壊靱性遷移曲線を変更した理由をa. にしてますけども、そこについては先ほどの資料2-1の資料のページの3~4ページで説明していますけども、そこと同じ内容が書かれていますので、そこについては省略しますが、基本的には意見聴取会のほうで要望が出されて、いろいろデータも蓄積されたので、今回、改定をしたということになります。

次のb. ですけども、技術的内容は、先ほど資料2-1の説明した内容がメインでして、そういう技術的内容を検討して改定したということで御理解ください。

c. ありますけども、実プラントの値がどう変わったってということで、これも資料2-1の

15ページのところで説明がありましたけれども、ちょうどK1のカーブと破壊靱性カーブが接するところの T_{70} というのを比較した図を、図の1に示して、これは同じものですので、これではほほいいのだろうということで理解しております。

参考に、どの程度なのかという、前回の検討会合でもあったので、PFMを使った評価をした結果が図の1-3です。これは代表プラントの結果なので、個々のプラントというわけではありませんけれども、基本的に今回改定した一般評価が一番低くて、その後、2007年版黒丸のもので、四角の点が詳細評価ということになっていて、今の一般評価は相対的に2007年版よりも保守的というか、破損確率が低くなる傾向になるという結果になってます。これ、米国でやってるスクリーニング基準に比べると低いレベルにあるということはこの図は示していたものでございます。

(1)については以上です。

(2)については、中性子照射した場合でもマスターカーブ法が使えるのかということですので、それは山本さんのほうから説明をお願いします。

○山本委員（日本電気協会） 破壊靱性検討会、山本でございます。

(2)について御説明させていただきます。

要説明事項ということで、マスターカーブ法が中性子照射した材料にも適用できるかということについて、技術的な検討を行ったものを示しなさいということでしたので、文献に基づいて御説明したいと思います。

まず、理論ですけれど、回答5ページの真ん中のパラグラフ、少し行が後ろに下がっているところに、どうして照射脆化した材料にも適用できるかということを書いております。これ、もとの文献はEPRIのレポートでございます。

そこに書いてありますとおりですけれど、材料の変形、それから破壊というのをもとをたどりますと、転位の運動ということになります。それをどれくらい阻害するかということで、これも障害物となり得るものについては、温度の影響を受けるものと受けないものがあるということでございます。詳細はちょっと割愛しますが、照射脆化による障壁、作成される障壁というのは、その温度によって影響を受けないものであるということですので、理論的にはその照射脆化によってマスターカーブの適用性が変化することはないというのがまず最初にあることです。

これに対しまして、実験的に本当にそうだろうかということを確認したものが幾つかありますので、それを御説明いたします。

まず、図の2-1でございますけれど、これはかなり多くの材料、材料は1種類ですけど、かなり多くのデータ点について照射前と照射後で破壊靱性試験を行いまして、そのカーブがきちんとどちらも同じようなマスターカーブに乗っているかどうかということを確認したものでございます。

図2-1を見ていただきますと、黒いものが非照射材、白いものが照射材ということでございまして、カーブが変化していないということがおわかりいただけると思います。

めくっていただきまして、図の2-2でございます。これは照射の程度、どれぐらいの照射のシフトがあるかということによってグループ分けをしまして、低照射か高照射に至るまで、いずれも同じマスターカーブの分布に乗っているということを示しております。

バックグラウンドにありますグレーのものが非照射でして、色の異なるものがそれぞれ照射の程度のシフトの程度の異なるものですが、いずれも同じ分布の上に乗っているということがおわかりいただけるかと思えます。

最後は、図の2-3でございます。ちょっと図が見つらいんですけど、これは試験片の寸法の影響を見たものでございまして、三角形のものが一番小さいもの、それから、六角形のもの一番大きなものでございますけれど、いずれの試験片においても照射材に対してこういったマスターカーブの評価を行いましたということを示しております。

こういったものがありまして、米国の規制当局では、技術、マスターカーブ法による健全性評価の技術根拠資料というものをつくっております、そこに表の2-1にありますようなマスターカーブ法はどこまで適用できるのかということをも単純にまとめたものがございます。表の一番左のカラムには、原子炉の圧力容器鋼であるかないか、その次のカラムは照射材であるかないか、右の、一番右のほうに行っていただきますと、マスターカーブ法にどれぐらいフィットするかしないかということを示しております。

データの2行目のところ、RPV鋼であって、非照射であってということについて97%、その次の2行目がRPV鋼であって、照射材であるというものについても97%ということで、照射材について適用できるというふうに米国の規制当局が取りまとめたものとなっております。

(2)に対する説明は以上でございます。

○平野主査（日本電気協会） 続いて、(3)に行きたいと思えます。

8ページ目ですけども、(3)については、2007年版の式は、データの下限包絡線であったのに対し、2016年版は確率分布の信頼下限5%としています。その変更理由と変更にあた

って検討した技術的内容について説明してくださいということで、内容としては、信頼下限5%とした理由と、下限を下回るデータの扱いということで二つありますので、最初、5%信頼下限マスターカーブを用いた理由ということで、これは前回の資料にも説明ありましたが、今回の資料では、資料2-1の添付3にありますけども、同じものを掲載してありますが、ASMEの K_{Ic} カーブ開発時のオリジナルデータを対象として、安全レベルの比較を行った結果ということで、それが表3-1になっていて、それがASMEの K_{Ic} カーブと5%信頼下限カーブを比較すると、ASMEの K_{Ic} カーブが2.5で、マスターカーブ、5%の信頼下限マスターカーブが1.5%ということで、ほぼ同等以下と、同等以上と評価されましたということで、今回はそういうものを使おうというふうにしております。

海外の動向でいきますと、ASMEのCode Case N-830ですとか、IAEAのTecdod-1627などがあって、5%信頼下限マスターカーブを使おうという動きが海外であるということもあわせて記載をしております。

次に行っていただいて、b. ですけども、前回の質問にもありましたけども、5%信頼下限を下回るデータということで、9ページのほうに記載しております。今、2016年のカーブは、先ほど資料2-1で説明したとおり、国内のPWRの全プラントの破壊靱性データを用いて設定したということで、それを最終的にその5%信頼下限を下回るデータというものが何個かあるので、それがどうかということになりますけども、基本的には確率分布でやっているのでも2007年のように下限包絡という考え方ではないので、5%信頼下限を下回るデータが得られたからといって、ダイレクトによくないということではないのかなということで、適用できないというふうな解釈をするのは適切ではないというふうに考えております。

実際に下回るデータがあるので、先ほど、資料2-1でもありましたけど、そのデータを用いて、どういう分布になってるのかというのをやった、グラフでプロットした結果が10ページにある図の3-2でして、これ横軸が、これどうやったかという、 $K_{Ic}-20$ と $K_{Ic(0.05)}-20$ ということで、5%信頼下限カーブからどれだけ離れているかというのを見ているということになります。資料2-1でいきますと、8ページのところにデータ傾向ってありますけども、これと同じですね。これと同じ縦軸ということで、基本的にこの縦軸が横軸になったということで理解していただければいいんですけども、どれだけ外れているかというところを見たもので、マイナスになると5%信頼下限のデータを下回っていることになります。

縦軸は、これはどういう分布にしようかっていうのもあるんですけど、一応、今回の場合には、ワイブルプロットでプロットしてみて、それをグラフにしたのが図の3-2になります。

ここで水色の部分があるんですけども、そこが0よりもマイナスになってるので、下回ってるデータがその左側に来るということになります。5%信頼下限っていうのが-2.97ぐらいになるので、そこでのデータということになりますけども。

これでグラフを見ると、完全に直線ではないんですけども、今回、この下限を外れるデータということなので、5%信頼下限データに近いデータの分布と比べてどうかということになるので、ということの評価して、確率分布が低いほうのデータで直線プロットをして、それから外れているかっていうこと、その外れてるかっていうのは、横軸でいうと、もっと左側にデータが来るとその分布を外れて、大きく外れているっていうことになるので、それがいいかどうかを見たということです。

結果としては、5%信頼下限を下回るデータについても今、下限に近いデータ分布から大きく外れるデータっていうのはなくて、若干、下回ってる、データの外れが少ないという傾向は見えるんですけども、特異なデータはないんじゃないかということで評価してございます。

次、(4)に行きまして、(4)については、どういうデータを用いたかということと、適用範囲ということで、これについては、先ほどの資料2-1の6ページ目のところで説明がありましたので、表については省略いたします。

ここで言ってるのは、PWRの条件でとられたデータを使っていってるので、条件としては適用可能ではないかというふうに考えているということです。今後、蓄積されれば、適用性の評価とかを今後も行っていきたいと考えております。

次、5番目、(5)ですけども、(5)については、実プラントのデータで国内プラント用に策定した $[T_{r30}]$ とマスターカーブの T_0 を使ったものを比較した場合どうなるかということなので、それについては廣田さんのほうから説明をお願いします。

○廣田副主査（日本電気協会） (5)の回答ですけれども、まず、16ページ開いていただきまして、(8)式と(10)式、同様な式かというのを示してございます。(8)式というのは一番上にございまして、マスターカーブの式の中で一番最後の $T_{r30} + \Delta T_t$ という値がパラメータを使っているということですけども、(10)式というのは真ん中辺りにある式でございまして、 $T_{r30} + \Delta T_t$ のかわりに $T_0 + \Delta RT_{NDT}$ 計算値(d) + M_k という値になります。そのほか

は一緒になります。

ここで ΔRT_{NDT} 計算値(d)というのは(11)式でございまして、評価時点での ΔRT_{NDT} 計算値(e)と T_0 を取得した時点での ΔRT_{NDT} 計算値(m)との差であらわされます。今回は照射後の T_0 で取得したデータで評価をしますので、今回、 ΔRT_{NDT} 計算値(d)は0として、この(8)式と(10)式を比較するというをしております。

12ページに戻っていただきまして、公開文献に掲載されました国内材料の照射材、鍛鋼品及び圧延材ですけれども、その破壊靱性試験結果に対しまして、(8)式と(10)式で破壊靱性遷移曲線を比較した結果としては、ほぼ同等の破壊靱性遷移曲線が得られたということでございます。

具体的に御説明しますと、a.というのがPWRプラントの監視試験片で取得したデータで設定したものでございます。まず、表5-1というのが評価対象でございまして、鋼種はSFVQの1、SFVQ1Aで鍛鋼品です。照射量は 7.2×10^{19} 、破壊靱性試験片がミニC(T)を使っております。

表5-2が(8)式を使用した場合の評価結果ということでシャルピーから求まる T_{r30} が -8°C でございまして、マージンの M_p と ΔT_t の補正係数を加えますと、 $T_{r30} + M_p + \Delta T_t$ の値が 3°C ということになります。

次に、(10)式を使用した場合の評価結果は表5-3でございまして、ミニC(T)の複数試験温度法で設定された T_0 の値が -1°C で、これでマージンを計算いたしますと、 M_k の値が 4°C ということになりますので、 $T_0 + M_k$ の値が 3°C ということで、ちょうど一致したということでございます。グラフであらわしますと、13ページの図の5-1ということでございます。

次にb.としまして、PWRプラント監視試験片の2ということで、次の例です。表5-4が評価対象でございまして、同じく、SFVQ1の鍛鋼品で、照射量はちょっと低いんですけども 4.9×10^{19} 、破壊靱性試験片は1/2T C(T)の試験片を使っています。

表5-5がシャルピー衝撃試験片の評価で、 T_{r30} が -19 に対してマージンを加えますと -8°C になります。

表5-6が(10)式を使用した場合の評価結果ということで、1/2T C(T)試験片でマスターカーブ法の複数試験法の方法で求めますと、 T_0 の値が -5°C でございましたので、マージン M_k を足して $T_0 + M_k$ の値が -1°C ということで、 7°C の差が生じるということでございます。グラフであらわしますと、14ページの上、図5-2のグラフでございまして、ほぼ同等ぐらいかなというふうに考えてございます。

最後にc.として、試験炉照射材ですけれども、鋼種はA533B Class 1鋼でございまして、圧延材であります。照射量は 1.1×10^{20} ということで、非常に高い照射量のデータです。破壊靱性試験片はミニC(T)を使っております。

表5-8が(8)式を使用した場合で、 T_{r30} の値が 10°C 、マージン等を加えますと -2°C ということになります。

表5-9が(10)式を使用した場合で、 T_0 の値が -11°C で、マージンを加えますと -7°C ということで、差が 5°C ぐらい、(8)式のほうが高目に出てくるということございまして、グラフであらわしますと、15ページの図の5-3ということになります。

これらの三つの例で、必ずしもちょっと多いというわけではないんですけれども、これらの結果からは同等ということ解釈をしております。

○平野主査（日本電気協会） 次は、最後(6)になりますけれども、質問のほうは、供用状態C、Dの評価に用いる式として、マスターカーブ法をもとにした式を導入していますが、供用状態A、Bには導入しなかった理由を説明して下さいということで、これについては文章、ここに書いてあることをちょっと読み上げます。

供用状態A、Bの評価に用いる破壊靱性については、改定のニーズ（必要性）が低かったことから、2016年版では変更していません。なお、耐圧試験や供用状態A、Bの評価については、2003年追補版でASME K_{IR} 曲線による評価からASME K_{Ic} 曲線による評価に変更しております。

マスターカーブ法を取り入れることにより、評価精度は向上することが考えられますが、以下の理由により、2016年版への改定の際には耐圧試験や供用状態A、Bの評価にマスターカーブ法は導入しませんでした。

一つ、(a)ですけれども、国内では当面新設プラントがないため、 T_0 を求めるために新たな破壊靱性試験を実施する可能性が低いことということと、次が、既設プラントでも保管材を用いて T_0 を求めることは可能であるが、保管材を用いて破壊靱性試験を行う可能性は低いと考えられることと、破壊靱性試験を行い T_0 を求めた場合には、2016年版で新たに導入された RT_{70} を用いることで耐圧試験や供用状態A、Bの評価に破壊靱性試験結果を活用できるようにしたということと、PTS評価で用いた5%信頼下限マスターカーブの式において、各材料に対する T_{r30} の補正項の ΔT_t を求めるのに用いた破壊靱性データはPWRプラントで照射されたデータのみであり、BWRプラントで照射されたデータは含まれていないことということで、BWRプラントでは元々破壊靱性試験片が監視試験カプセルに装荷されていない

ということで、今回、外すことにしましたと。

今後ですけれども、今は導入していませんが、今後、耐圧試験や供用状態A、Bについても今のASMEベースの KIc 曲線に代わり5%信頼下限マスターカーブを導入することを検討していきたいと考えていますということで、回答にしております。

以上です。

○山中委員 ありがとうございます。

それでは、資料2-1及び2-2について、御質問、コメントございましたらお願いをいたします。いかがでございましょうか。

○塚部管理官補佐 原子力規制庁の塚部でございます。

今、資料2-2で回答のあった最初のところのもので、2007年の式と2016年の式を比べられた結果が出ていますが、資料の2-1のパワポのほうがわかりやすいと思うんですが、2-1の15ページ目のところで、2007年度版と2016年度版を比較されていて、こちらで T_{70} の値を比較していて、大部分、保守的な傾向が見られるということなんですが、右のほうのグラフを見ていただくと、5点ほどですが、2007年版のほうが低く出るというのが、5点のうちで一番外れてるものを見ると $25^\circ \sim 30^\circ$ ぐらい離れているかなと思うんですが。

そういう意味でいうと、実際、規格を使う側からしてみると、こういう非保守的、現在の式に比べて非保守的な側の結果が出るということになるので、使うときに困るかなと思うんですが、例えば、この5点についてですね、具体的にどういう評価をされているか、この非保守側に出ることについて、どういう検討、評価をされているかというのを御説明をお願いします。

○廣田副主査（日本電気協会） 基本的には、意見聴取会の要望でございましたように、下限包絡っていう考え方自身は試験片の本数とか、それから、ばらつきによって変わるといって、それに対して、精度向上と、評価精度向上という観点で式を見直ししておりますので、単純な保守的かどうかという、結果としては多くは保守的にはなったんですけども、必ずしも、これらの5点のデータが非保守的だから、非保守的になったからといって、それでだめというふうにはちょっと思っていないんですけども、ただ、また持ち帰り、ちょっと検討して説明したいと思います。

○塚部管理官補佐 規制庁、塚部です。

よろしく申し上げます。

○山中委員 そのほか、いかがでしょうか。

○大畑教授 ありがとうございます。大阪大学の畑でございます。

まずは、一つ目の質問と回答に関するところなんですけども、従来の K_{Ic} の下限包絡から、いわゆるマスターカーブ、これは K_{Ic} カーブの5%信頼曲線ということに変更した理由が、両者がほぼ同等だからと、ほぼ等しいということが理由というふうになんとなく受け取ったんですけども。そこに、単に同等だということだけじゃなくて、ちょっと思想を変えたというようなところはないのかということをお聞きしたかったんですが、いかがでしょうか。

つまり、 K_{Ic} の下限包絡になりますと、これは寸法に依存しない、下限値であるという考え方なんですけども、 K_{Ic} を採用するということは、これは破壊靱性っていうのは確率分布を持ってるとということと、いわゆる板厚効果というか、寸法依存性がありますよということをお認めるといことになるかと思うんですが。これをどういうふうにかんがえるかによって、その後のPTSの評価ですかね、の仕方にも影響してくるかと思うんですけども、単なる K_{Ic} と同等だからという、あくまでも K_{Ic} というような考えで使われようとしているのかというところなのですが、いかがでしょうか。

○平野主査（日本電気協会） 破壊靱性検討会の平野ですけども。

これ、 K_{Ic} カーブが、 K_{Ic} カーブなんですけど、呼び名ですけどね。監視試験で得られているデータは必ずしも K_{Ic} ではないので、その下限をとってという今までのやり方なので、カーブは K_{Ic} なんですけど、データそのもの K_{Ic} ばかりとかがって言われるとそうではないので、そういう意図で解釈してもらえればいいかなっていうのが1点目です。

もう1点は、確かに、意見聴取会でコメントがあったとおり、個々のデータのプラントのやつで下限をするのはっていうコメントが有識者の方から出たので、そういう意味では、全部のプラントのデータを使って T_{r30} というパラメータをもとに、全体としての照射も全部含めてどういうカーブを設定したらいいかということで検討したというのが今回なので、個々のプラントではなく全体でこういうカーブを引いて、その中にはもちろんマスターカーブという手法を使いましたので、寸法効果ももちろん入っていますし、データのばらつきというのも入ったというふうにかんがえております。

○大畑教授 K_{Ic} が使われるっていうことは非常に賛成ですので、まあ、そういう考え方で進められるということで理解いたしました。ありがとうございます。

○山中委員 そのほか、いかがでしょうか。

○鬼沢センター付（日本原子力研究開発機構） 原子力機構の鬼沢です。

資料2-2の中で、(2)のところの御回答なんですけれども、照射をされた材料に対して、マスターカーブが適用できるという根拠を幾つか上げていただいております。ただ、データを見る限り、データというカリファレンスを見る限り、米国、EPRIのデータベースであったり、オークリッジのデータであったりということなんですけれども、その中身がちょっと今、詳細にわからないんですが、例えば、 ΔT_c を評価するには国産の鋼材のデータベースだけを使っているということも考えますと、この照射材への適用についても、国産の鋼材でどうなのかというところが含まれているべきじゃないかなと思うんですけれども、実際、国産の鋼材という観点で検討をもしされているのであれば、その辺を御提示いただきたいと思うんですけれども、いかがでしょうか。

○山本委員（日本電気協会） 破壊靱性検討会、山本でございます。

まず、私説明で、以上ですと申し上げたんですけれども、7ページの一番下に国内のことが書いてあります。それを説明し損じておりました。

残念ながら、米国ほど膨大な量があつて、その傾向をぱっと目で見えてわかるような絵にはなっておりませんが、我が国では、主に、厚さ4mmの超小型コンパクトテンション試験片で照射材に対する試験をするというデータが蓄積されているというふうに考えておりました。別のところでも説明がありましたとおり、実機の監視試験片に対する評価、それから、試験炉照射材に対する評価、それから、実機廃炉材に対する評価というようなものをミニチュアのC(T)試験片についてマスターカーブ法評価を行えるということは確認しております。

米国のデータを用いましたのは、先ほど御説明差し上げたとおり、世界的に見てもこれだけの膨大な照射データがあるのは米国であつて、それが一番、よく傾向を御覧いただけたらというふうに考えたから、これを持ってきたということでございます。

国産材について同様のものがない限り認められないというものではなくて、マスターカーブという手法そのものが国によらず、照射、非照射両方に対して使えるということを示す資料でございます。お答えになっているでしょうか。

○鬼沢センター付（日本原子力研究開発機構） ありがとうございます。原子力機構、鬼沢です。

ということは、例えばEPRIのデータベースなどではいろんな鋼材が含まれていて、国産の鋼材に相当するような材料も含まれているというふうなことと今理解したんですけれども、そのような考えかということと、もう一つ、7ページの文章では、マスターカーブ法

に従う評価が可能であるということが書いてあるんですけども、多分、これは破壊靱性データをとれば T_0 は求められるんですね。そういうこと、そのことと、国産の鋼材が照射された後もマスターカーブに乗るのかっていうのは、ちょっと意味が違うのかなというふうに思ったので、ここの7ページの表現では、最初に私が言った国産鋼材に対する照射材の適用性っていうところは、ちょっとあまり十分な回答ではないのかなとちょっと思うんですけども、その辺いかがでしょうか。

○山本委員（日本電気協会） 一つ目の御質問については、おっしゃるとおりでございます。国産、米国材と国内、日本材とありますけれど、スペックとしては同じスペックにのっとる鋼材について米国でとりためられたデータがここに載っております。

後者については、データが限られているということもあり、どれくらいできるかぱっと即答できないんですが、少し御検討の時間をいただきたいと思っています。

○鬼沢センター付（日本原子力研究開発機構） わかりました。ありがとうございます。

○船田参与 規制庁、船田です。

今、いろいろ御説明いただいたんですけど、端的な質問なんですけども、国産の監視試験の結果、その結果が今言われているマスターカーブに合うかどうかという点で、データは、プロットしたことはありますかというか。例えば、机上資料の最初の分の49ページ、例えばマスターカーブの5%~95%の範囲の線が載っているんですけども、国産材のデータがこの間に入ってますよとか。文献はKirkさんが出している文献ですけども、例えば、この49ページありますように、マスターカーブであればほとんどのデータが5%~95%の間に入ってるはずだとか。それから、今、傾きが4という値使ってますけども、ワイブル紙に、確率紙にプロットしたら大体4の直線上に乗っていますよとか、そういう単純な確率にありますよという検討をされていれば、教えていただきたいなと思って質問しました。

○山本委員（日本電気協会） 今の御質問、多分、先ほどの鬼沢さんの二つ目の御質問とも同じだと思うんですが、ちょっと、 T_0 をそのまま評価するというのと、マスターカーブ法の適用が本当にできるのかということ調べるデータ群というのがボリューム的にももちろん全然違うものになってきますので、少し持ち帰り、検討させていただければと思います。

ただし、先ほども申し上げたとおり、国内材で必ずしも同じようなことをフォローしなければいけないか、トレースしなければいけないというところについては、必ずしもそうではないと思ってますので、その辺りについても根拠になるようなものを少し考えさせて

いただきたいと思います。

○船田参与 規制庁、船田です。

いろいろ外国でマスターカーブを使いますいうときに、いろいろデータっていうか、グラフを載せていますので、国産材のデータもああいうふうになるんですよという説明があれば一番わかりやすいかなと思って質問した次第ですので、よろしくをお願いします。

○山本委員（日本電気協会） はい。

○山中委員 そのほか、いかがでしょうか。

○大畑教授 大阪大学の畑です。

同じく、2番に関連することですので質問したいんですけども、いろいろ照射材に対してもマスターカーブ適用できますよということで幾つかデータお示しいただいているんですけども、ちょっと私の懸念は、どれぐらいの高温域、 T_0 でいうとどれぐらいの温度での実験データでの検証、実証結果があるかという、そこをちょっとお伺いしたいんですけども。

つまり、かなり高温になってきたときにもこのマスターカーブのこの形が確保されているのかどうかと、その辺、よろしくをお願いします。

○山本委員（日本電気協会） 破壊靱性検討会、山本でございます。

御説明差し上げた図の中でカラーのもの、図の2-2というのを御覧いただきたいんですが、これ、 T_0 で正規化しておりますが、温度のシフトによってカーブが変わるか、変わらないかということを示しております。これの母体となっておりますのは、ほぼ压力容器鋼でございますので、非照射の段階においては大体遷移が、大体同じレベルにあると。ですから、シフトしていけばいくほど、照射脆化していけばいくほど高温側にシフトしていているというふうにお考えいただければと思います。

そうしますと、一番低温側にあるグレーのバックグラウンドから、一番高温側にある、ちょっとデータ点は少ないですけど、青色のものまで、同じトレンドに乗っているということが御説明になるかと思えます。

具体的にどれぐらい違うかといいますと、目安としては、その青いものがシフトして150℃～225℃ぐらい違うということですから、単純に実温度にしますと200℃ぐらい右側にシフトした状態でも同じトレンドだということで御理解いただければと。

○山中委員 そのほか、いかがでしょうか。

○鬼沢センター付（日本原子力研究開発機構） 原子力機構の鬼沢です。

また同じ(2)に対する確認なのですが、資料2-2の7ページのところの表にですね、先ほど山本さんのほうから、上の1行目、2行目のところ97%という御説明あったんですけども、例えば、右から二つ目のカラムのところマスターカーブに合わない、マッチしないものが二つずつあってですね、これが全データセットの中の割合としてはかなり少ないものがありますけども、例えば、これがどういうことで、どういう原因でマスターカーブに合わなくなるのかとかっていったような分析をもしされていたら、それが、例えば国産鋼材にはそういうことはないんだということがわかると確実なのかなと思うんですけども、その点はいかがでしょうか。

○山本委員（日本電気協会） すみません、そこまで深掘りしてないので、もう一回ベースのデータに立ち返ってちょっとこの技術根拠資料、前のほうを見ればいろいろ書いてあると思いますので、もう一回見ていきたいと思います。

○鬼沢センター付（日本原子力研究開発機構） ありがとうございます。こちらでも確認できる場所は確認したいと思っておりますので、よろしく申し上げます。

○山中委員 そのほか、いかがでしょうか。

○高見澤研究員（日本原子力研究開発機構） 原子力機構の高見澤です。

(3)の質問に関連する5%信頼下限マスターカーブを用いた理由のところの表3-1、資料2-2で8ページ目のところになりますけども、ここにASMEの K_{Ic} カーブと5%のマスターカーブの安全レベル2.5%と1.5%というのをを使って同等だというような判断をされているということかとは思いますが、資料2-1の14ページ目の同じWallinの評価方法を用いたときに、母材の圧延材っていうのがこの文献の1.5%よりは結構高くなっていて4.1%となっているということと、あと、材料によってこの破損確率というのが結構変わってきているという、これのもし原因分析みたいなことをされていけば教えていただきたいということと、あと、この破損確率を比較するとき、JEAC4206の2007年版の手法を使って同様の評価等をしたようなことがあれば、教えていただければと思います。

○廣田副主査（日本電気協会） 二つ御質問ありましたけど、一つ目の趣旨はちょっと、パワーポイントの資料2-1の14ページの鋼種によって破損確率が違う理由というんですか、でしょうか。

○高見澤研究員（日本原子力研究開発機構） はい、そういう意味と、あと、4.1%とASMEの K_{Ic} カーブであったり、5%のマスターカーブの検知よりは高い値になっているところはどうしてなのかなという。

○廣田副主査（日本電気協会） 鋼種によって違うのは、やっぱりそのデータの、先ほどの照射量の依存性とか、そういうところで変わっている可能性は、データによってはちょっと依存しているところがあって、ちょっとそういう分析は、なぜと言われるとちょっとそういう分析はできてないんですけども。資料2-2の8ページの表の3-1の安全レベルっていう、2.5%とかっていうのは、ちょっと昔調べたもので記憶がはっきりしていないんですけども、5%マスターカーブでも安全レベル1.5%ということですので、恐らく1T換算をしてないとか、多分、何かそういう、ちょっともう一回確認をしますけれども、そういうようなところで、必ずしも5%になってないところがあるのかなというふうに思います。

ただ、ここで言っている、資料2-2のほうで言ってるのは、そういう安全レベルの絶対値がどうかというよりも、ASME K_{Ic} カーブと5%カーブとの比較という観点でやっていきますので、そういう趣旨ですということですよ。

あと、なぜこう低いのかっていうのはちょっと確認させていただければというふうに思います。

○高見澤研究員（日本原子力研究開発機構） それで、もう一つの質問が、同じような趣旨なんですけれども、二つの手法を比べるという意味だと、日本の場合だと2007年版のカーブと今回のカーブを比較すべきではないかなというふうに思いますので、もし検討されてることがあれば教えてください。

○廣田副主査（日本電気協会） 2007年度版と2016年版の比較は、先ほど示した資料2-1の15ページぐらいで、今おっしゃってるのは14ページのWallinの評価方法とか、こういうような観点でやってるかという御質問でしたら、そういう、ちょっとやっていないんですけど、傾向としては、多分その15ページと同じような感じにはなるとは思うんですけども、それはちょっとまた別途回答とさせていただきます。

○高見澤研究員（日本原子力研究開発機構） よろしく申し上げます。

○山中委員 そのほか、いかがでしょうか。

どうぞ。

○沖田准教授 東京大学の沖田と申します。

(4)についてお伺いさせていただきます。この2016年の式を決める際の用いられたデータですが、表1を見ますと、圧延材、鍛鋼品、溶接金属のうち、用いられたデータが括弧で示されていますが、結構、破壊靱性に化学組成の影響は結構強いと思って、その中で、特にCuの範囲っていうのは極めて重要だと思うんですが、その用いられたデータは従来のこの、

例えば圧延材ですと0.16までCuが入ってる中で、この式を用いるのに使ったのは0.12まで、これは0.16のデータをこれでちゃんと予測できるのかというのを教えていただけますでしょうか。

○廣田副主査（日本電気協会） 今回、ちょっと示しておりませんが、お示していませんって、照射量の依存性について御説明しましたけれども、ちょっと別途投稿しているPVPのペーパーでは、Cuとか、ちょっとそういうような分析もしてますので、その辺の傾向も踏まえて次回でも御説明したいと思います。Cuの影響については、はい。

○平野主査（日本電気協会） 補足ですけども、これ、趣旨としては、資料2-1のP8を見ていただいて、前回もコメントありましたが、全体的に右下がりだというのは我々も認めていて、右下がりなので、高照射のデータでフィットしたっていう、そういうことなので、右下がりなので 5×10^{19} 以上のデータを使ってフィットすると、括弧の範囲になってるっていう、そういう意味ですので、わかんないですかね。

データとしては、230とか259とか117とかありますが、Pの8はこれでいいんだっていうものではなくて、右下がりなんです。照射量に関して言うと右下がりなので、要は、高照射のデータを使って ΔT_i をフィットしたっていう。

要は、右下がりの、一番右端だけ使うとちょっとフィットできないので、 5×10^{19} 以上のデータを使ってフィットすると、ここにある括弧にあるような個数になってしまうんですけども、それでも最終的にデータとしての包絡性はいいという確認をしているということです。フィットしたときに高照射のデータがCuが多いと脆化するので、高照射のデータがあまりないっていう、そういう理解でいいんじゃないかと思います。

○北條調査官 規制庁システム安全研究部門の北條です。

同じく破壊靱性曲線のデータベースについてお聞きします。先ほどCuのお話でしたが、今度は照射量についてなんですが、ここでは 5×10^{19} をターゲットとして考えているんですが、パワーポイント、資料2-1の8ページの傾向分析の部分で、鍛鋼品については、PLM評価書の60年時点の照射量がおよそ3.3以上、 3.3×10^{19} 以上が評価の対象になっております。そこら辺を考慮すると、3.3以上で検討するのがいいんじゃないかなというふうに思うんですが、そういう検討はされておりますでしょうか。

○廣田副主査（日本電気協会） 3.3以上とか、そういうもうちょっと低い照射レベルからという観点での検討はしてないんですけども、この照射量の依存性のグラフを見ていただいたらわかるとおり、やはり低照射領域を入れるとですね、非保守的な側にはなると

思うので、今の 5×10^{19} 以上のデータで使えばいいのではないかなというふうに思いますけども。

○北條調査官 規制庁の北條です。

ちょっと私のほう、高経年化技術評価の審査支援もしております、Cuの量が0.16程度のプラントですと、大体3.3以上の照射量を持っていたんじゃないかなというふうに記憶しているんですが、もしかしたら、この4とか3.3以上で考慮すると、Cuの量の網羅性が増すのではないかなというふうに考えております、ちょっとこのような質問をさせていただきました。

○廣田副主査（日本電気協会） そういうような趣旨でしたら、一度ちょっと検討してみようかと思しますので、ちょっと時間をいただければと思います。

○北條調査官 よろしく申し上げます。

○山中委員 そのほか、いかがでしょうか。よろしいでしょうか。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁の佐々木です。

ちょっと戻っていただきまして、資料2-2の10ページのグラフですけれども、ここにワイブルプロットが載っていますけれども、対象データのところを見ると、圧延材、鍛鋼品、溶接金属の照射後の有効データって書いてありますので、多分、全部でプロットされているというふうに思うんですけども。いろいろなデータを今まで見せていただくと、この三つの材料っていうのは傾向の違う数字が出てきたりとかしているんですけども、それぞれで検討されたデータを確認しているのか、もしされているんだったら、どんなふうなカーブになって、分布になってたのかというのを教えてほしいです。

○平野主査（日本電気協会） 最初はもちろんおっしゃるとおり、ばらばらにやりました。で、外れてるデータが少ないので、何か歯抜けみたいになってしまって、あんまりよくわかんなかったのをまとめてやったっていうのが真実で、必要があれば次回、ばらばらにやったデータもお見せできると思います。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁、佐々木です。

ありがとうございます。

もう一つちょっと質問なんですけども、同じ資料2-2の12ページから後ろに(8)式と(10)式を比較したときにどういう差があるのかを提示してくださいというお願いをしたものをつけていただいたんですけど、このPWRプラントについて二つと試験炉について一つが載っているんですけども、この代表性というか網羅性みたいなのはどんな感じなのか、教え

ていただけますか。

○廣田副主査（日本電気協会） 残念ながら、照射、未照射であればそれなりにデータはあるんですけども、破壊靱性データもあって、で、 T_0 を設定したデータもあるんですけども、今回もやっぱり照射後に着目ということだと思いますので、それで照射後のデータでちょっと分析したということです。

ただ、データ、 T_0 を設定するには、やっぱり破壊靱性データ、それなりに必要ですので、そのデータで……、しかも米国だったらあたりはするんですけども、国内、今回も国内材ということで分析していますので、ちょっと必ずしも十分なデータが、評価できるようなデータがないというところですので。

代表性といわれると、ちょっと示すのは難しいところはあるんですけども、どちらも考え方はマスターカーブの式を使ってということであるんですけど、やはりシャルピーを使ったものと破壊靱性データを使ったもの、ちょっと別々の計測値を使ってやっていますので、それなりにやっぱりばらつきは出るかなというふうに思います。

だから、この3ケース、ちょうど同じに来るものもありますし、どちらかが厳し目と、そういうようなところもやっぱりちょっと出てくることは出てくるのかなというふうに思います。

ただ、それがそれぞれでマージンを設定して設計しているわけなので、必ずしもそれがだめだというふうには思っていないんですけども、というふうにこちらでは考えています。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁、佐々木です。

今の御説明は、このデータの関係から、PWRは二つプラント分しか比較できるものはないって、そういうふうに理解してすればいいんですか。

ごめんなさい。あるけれども、今まで比較したのは二つだけだと、そういうことでしょうか。

○廣田副主査（日本電気協会） ここで、12ページで書いておりますように、公開文献で掲載された破壊靱性データがありまして、それを使ってやったということで、ただ、その監視試験データって、御存じだと思うんですけども、そんなにたくさんあるわけではないので、もう本当に限られたデータというふうに思っています。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁、佐々木です。

公開文献に掲載されたのであれば、この二つだって、そういう意味でしょうかね。

○廣田副主査（日本電気協会） そうです、はい。

それと、あと、比較的照射の高いデータですね。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁、佐々木です。

電気協会さんの中でプラントのデータ集めて検討された結果があるのかなというふうに思ったんですけども、そういう検討はされてないっていう意味でしょうかね。

○廣田副主査（日本電気協会） そういう検討というのは、(8)式と(10)式を比較したということですね。そういうのは、十分にはやっていないです。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁、佐々木です。

わかりました。

○山中委員 そのほか、いかがですか。

どうぞ。

○笠田教授 東北大学金研の笠田です。

御説明ありがとうございます。今の資料の回答(5)のところのPWRプラント監視試験片2の(10)式を使用した場合の評価結果で、有効試験片本数13とあって、次の図5-2を見ると、もうちょっとたくさんデータがあって、ちょっと関係がよくわからなかった。

ここは比較的シャルピーとの乖離が大きくて、複数試験温度法で、要するに複数にしていくとどういう傾向になっていくのかと、短温度でやった場合と比べてどうなのかというのは、このデータは何か非常に影響がよくわかりやすいんですけども、ちょっとその辺のロジックがきちんと規格見ればわかるのかもしれないんですけど、ちょっとわかんなかったんで、簡単に御説明いただければと思います。

○廣田副主査（日本電気協会） まず、有効試験片本数で13本と書いていますのは、マスターカーブの適用範囲で温度範囲が決められておりますので、14ページの図5-2で低温側のデータ、この辺は使っていないという、どこまでだったかちょっと、今、 T_0 が -5°C ですので、 -5°C 、 -50°C ですから、マイナスの 55°C ですね、までのデータを使っています、それより低い温度のデータは使っていない、13本の中には入っていないということです。

単一試験温度、単一温度と複数試験温度で比較するというんですけども、幾つかはちょっとあると思うんですけど、文献とかそちらのほうで比較されたものはあると思います。

ただ、 T_0 に対しても前回エラーバーとかそういう話もありましたけれども、 T_0 の測定のばらつきというのもございますので、必ずしも一致するわけではないということと、基本的には最尤推定法で設定するという考え方、それは当然同じですので、ちょっと傾向としてどうなるかっていうと、基本的には同等だとは思いますが、ちょっと試験データに

よってはやっぱりばらつきがあるでしょうというふうに考えてます。

○山中委員 そのほか、いかがでしょうか。

どうぞ。

○鬼沢センター付（日本原子力研究開発機構） 原子力機構の鬼沢です。

(5)に関してなんですが、(8)式と(10)式を比較する際に、(10)式が2-2の16ページにありますけども、この式を見ますと、 T_0 に ΔRT_{NDR} の計算値の(d)を足すということが書いてあるだけで、 T_0 として、例えば未照射の T_0 があった場合にも評価時期の照射量に対する計算値を使えば(10)式は適用できるのかなと思うんですけども。

そういう意味で、まずは(10)式について T_0 を未照射で求めても使えるのかという、その辺の確認、その確認が最初でして、もし使えるということであれば、その(8)式と(10)式の比較といったときにも未照射の T_0 を使って照射後の、ある照射量に対する評価を(8)式と(10)式と両方使うというようなことができるのかなと思ひまして。要するに、照射後の T_0 というのはあまり多くはないかもしれないんですけども、未照射の T_0 がもしあるのであれば、それを使って(10)式を使って、ある評価時期の値が出ますので、(8)式と比較できるのかなと。

ちょっと考え過ぎかもしれないんですけども、その辺、まず(10)式の適用範囲の話と、そういった評価が可能ではないのかということについて御意見いただきたいんですけども。

○廣田副主査（日本電気協会） 今回、ちょっとお示しできませんけれども、ちょっとそのような御意見を踏まえまして、ちょっと検討させていただいてまた御説明させていただきたいと思います。未照射データを使って比較するということですね。それはちょっと検討したいと思います。

○鬼沢センター付（日本原子力研究開発機構） 原子力機構、鬼沢ですけれども。

適用してもよいということは間違いのないことによろしいですか。

○廣田副主査（日本電気協会） 正確に言いますと、規定、規格上は特に未照射ではだめですとは書いてないです。ただ、照射の高いデータをできるだけ用いることというのは規定をしてまして、そちらが注意事項という観点のみになっております。

○鬼沢センター付（日本原子力研究開発機構） 原子力機構、鬼沢です。

ありがとうございます。

もし、未照射の T_0 を適用できるということになりますと、(10)式の中で、 T_0 は未照射で、照射の影響については ΔRT_{NDR} の計算値で評価するということになってきますので、そんな

りますと、(8)式で適用している ΔT_i のような、シャルピーと破壊靱性との相関に関する補正というものも(10)式で追加で必要になるのかなという気がするんですけども、その辺についても御検討はされたのかどうか、いかがでしょうか。

○廣田副主査（日本電気協会） すみません、御質問のその趣旨がちょっといまいちわかってないんですけども、補正という、その ΔT_i の補正というのはどのような補正ということでしょうか。

○鬼沢センター付（日本原子力研究開発機構） (8)式を使う上では、破壊靱性とシャルピーの相違みたいなものを鋼種ごとに分析して、それぞれ ΔT_i で補正をしていると思うんですね。それは高照射量の破壊靱性データが割とそのシャルピーよりも、例えばシフトが大きいとか、低目に出るとかっていうことを補正しているんだと思うんですね。そうすると、要するに、シャルピーと破壊靱性の照射の影響が差があるのかなと思うんですね。

それが(10)式のほうでは、 T_0 をベースに T_0 を高い照射量で求めていけば、計算値のほうで補正、計算値のほうを足し合わせるところの値も小さくなって、比率的には小さいと思うんですけど、未照射の T_0 を使ったときにはその後の照射の効果というものをシャルピーに基づく計算値で足し合わせないといけないので、そのときには ΔT_i と同じような補正の考え方が必要にならないんでしょうかという、そういう質問なんですけども。

○廣田副主査（日本電気協会） 趣旨は理解しました。

先ほど言いましたように、規格上はできるだけ照射の高いデータをとというぐらいのちょっと注意書きというか、そういうような観点なんですけども、おっしゃるようなところの課題というか、そういったところはあるというふうに思います。

○平野主査（日本電気協会） 規格はそうなってますけど、言いませんけど、初期の T_0 を取り直して ΔT_i 、 ΔRT_{NOT} をプラスして評価しようということは、多分、想定外だったので、考えてなかったです。すみません、そこは多分そういう使い方しないという前提で考えて。

○鬼沢センター付（日本原子力研究開発機構） わかりました、ありがとうございます。そういったことも文章か何かで書いていただければいいのかなとは思いますが、よろしく願いいたします。

○山中委員 そのほか、いかがでしょうか。

○高見澤研究員（日本原子力研究開発機構） 原子力機構の高見澤です。

ちょっと細かいところなんですけれども、マスターカーブ法の試験温度の範囲というのは、4216のほうには $T-T_0=\pm 50^\circ\text{C}$ というふうに書かれているかと思うんですけども、今

回、検討されたところでは、下側については -50°C 以下というのは切っていて、 $K_{Jc(\text{limit})}$ を上回るものも除外しているということではあるんですけども、上側の 50°C 以上のところは含んでいるという、その考え方の違いは、何か違いがあるのかなというところを確認させていただきたい。

○廣田副主査（日本電気協会） すみません、ちょっと申し訳ないんですけど、ちょっとあまりはっきりと記憶がないので、次回ちょっと説明させていただきます。

○高見澤研究員（日本原子力研究開発機構） よろしくお願ひします。

○山中委員 そのほか、いかがでしょう。よろしいでしょうか。
どうぞ。

○藤澤参与 規制庁の藤澤です。

資料2-2の(3)の、資料2-2の8ページですかね。表の3-1がございまして、そこで安全レベルを、カーブを下回る確率というのが2.5%と1.5%と書いてありますが、この数字の出典っていうんですかね、ちょっと確認をしたんですけど、単純に左側に 2σ と 2.2σ という数字がありますので、その正規分布の確率かなと思って計算すると、計算というか表でも見れますけど、2.5というのが2.3%ぐらいになって、逆に1.5%というのが1.4%ぐらいになるんですけど、これはこの安全レベルと言ってるものは0.5単位、0.5%単位で丸めたのか、それとも何か別にちゃんと意味があつてですね、計算すると2.5とか1.5になるのかという、その辺、ちょっと説明お願いしたいんですけど。

○廣田副主査（日本電気協会） たしか、その文章、元文献の文章でこの数字が書いてあったんですよね。それをそのままちょっと引用しているだけで、改めてその計算してチェックというのはこちらではしてないです。

○藤澤参与 藤澤です。

元文献見たんですけど、ニアリーイコールと書いていたので、0.5でまとめたのかなと思っててね。そうすると、正規分布の計算だよっていうのが分かるんですけど、いや、そうじゃなくて、何かグラフがね、こう出てますね。あのグラフで出したんだったら、あのグラフの何かその、どこをどういうふうに出したのかというのがちょっと分からないので、もし分かればお願いします。

○廣田副主査（日本電気協会） 一応これ、そうですね、すみません、ちょっとはっきり覚えてないので、ちょっと確認はしますけれども、Lower Tailのところを使っているって書いてあったと思いますので、単純な標準偏差は 2.2σ のところではちょっとないかもし

れないんですけど、ちょっと確認をします。

○山中委員 あと、そのほかいかがでしょうか。

○船田参与 規制庁、船田です。

ちょっと細かい質問で申し訳ないんですけど、資料2-1の11ページ、お願いします。この中で、100万個のデータをつくって、それにさらに予測の誤差の9.5℃を分布させたと書いてあるんですけど、この9.5℃っていうのは、ばらつきを与えて平均が9.5になるようにとってる、与えてるっていうことですか。あるものは2℃、あるものは10℃とか、それでしたら、例えば、その場合に、最大でどれくらいまでばらつきを与えられるのかちょっと知りたいのと。

それからですね、その下の図でヒストグラムありますけど、ヒストグラム左側が5%の領域というふうに理解したんですけど、そうすると、このヒストグラムの数が3万にも満たなくて、右の表の数値と合わないんじゃないかなという、ちょっと気がしたんで、ちょっとそれ確認したいんですけど、もしわかれば教えていただきたいと思います。

○廣田副主査（日本電気協会） このモンテカルロ計算で予測誤差を与えてるんですけども、標準偏差が9.5℃で正規分布として与えてますので、そういう正規分布で誤差を与えてますので、9.5℃よりも低いデータはもちろんありますし、高いデータもあります。100万回やっていますので、もうかなり高いデータもピックアップされてるんだと思うんですけども。

3万回ですかね、回数が合わないという、ちょっとおっしゃってたと思うんですけど、ちょっとどの辺が合わないのかわかりかねるんですけども、ちょっともう一回確認はしたいと思います。

○船田参与 規制庁、船田です。

今見て思ったのは、この四角の中の一番大きいのが0.4の、横軸0.4で縦軸が2万回くらい、2万個、その隣が0.3のところこれ1万に満たないくらいですけど、それ数値足すと、まあ3万、せいぜい3万くらいで、それがパーセントに合わないんじゃないかなと単純に思っただけですんで、もし見方が間違っていれば教えていただければと思います。

○廣田副主査（日本電気協会） わかりました。ちょっともう一回確認はします。

○船田参与 よろしくをお願いします。

○山中委員 そのほか、いかがでしょうか。

時間も少し押しておりますので、次の話題に移りたいと思います。

次は、資料2-3に基づいて、PTS評価に用いる破壊靱性遷移曲線に関する技術評価案について、佐々木企画調整官より説明をお願いいたします。

○佐々木企画調整官 はい、原子力規制庁、佐々木です。

資料の2-3を御覧ください。題名のところに技術評価案って書いてあるんですけども、今、今日、この場でいろいろ電気協会に対して質問させていただきましたとおり、いろいろな点でまだこの検討している段階でございまして、我々のほうでですね、ちょっとコメントに近いかとは思いますが、こういうことを考えているということを御提示してですね、外部専門家の先生方に御意見をいただきたいという、そういうふうに思っておりますので、御説明をさせていただきます。

まず、1回目の会合で説明を依頼した事項に関係してですけども、2007年版のまず破壊靱性遷移曲線の削除した、 K_{Ic} 式を削除した点についてですけども、日本電気協会のほうから説明があったように、高経年化技術評価に関する意見聴取会の外部専門家の意見を踏まえて検討したということであって、2007年版の式について何かこの疑義があったというふうには説明はありませんでしたし、私どものほうもそう思っておりますので、一番下の丸にございますが、2007年版の評価手法は否定されるものではなく、継続使用が可能ではないかというふうに思っております。

めくっていただきまして、2ページになりますけれども、こちらは新しい破壊靱性遷移曲線を追加した T_{r30} の式と T_0 の式を追加したものについてですけども、真ん中のグラフについて質問がありましたように、大体のものは保守的に、新しい式のほうが保守的になってるという説明だったんですけども、5プラントについては非保守的な評価となっているということがありまして、大部分が保守的であることをもって妥当と判断するのはちょっと難しいということで、もう少し説明を電気協会からしていただかないといけないのではないかというふうに思っております。

それから、マスターカーブ法が中性子照射脆化された材料にも適用できるのかということについて、電気協会のほうから、EPRIの文献と、それからNRCの文献がありますということで説明をいただいたところなんですけれども、いろいろな試験結果をEPRIのほうですね、いろいろな材料とで試験をして、グラフにまとめているというところはありますけれども、めくっていただきまして、3ページの一番上の丸のところでございますけれども、御説明にあった米国NRCによる検証としている文献は、これ規制図書ではございまして、今、皆さんに御覧いただきましたとじてある文献の一番上にあるものが、こちらですね、

NOTEと書いてありますけれども、この分厚いほうのとしてある文献の一番上になってるのがそのNRCがつくった文書になっておりまして、これはある程度のところまで検討した内容について文書として取りまとめたものであるということが書いてございまして、我々が原子力規制委員会に、例えばお諮りして決定したような正式な図書ではないというふうに理解してまして、その中にも適用の可否について明確に規制に取り入れることができるとかいうような結論になっていないと理解しておりますので、使えるかどうかということについては、今後も検討が必要なのではないかとこのように思っております。

その中でですね、電気協会の式は、シャルピーから得られた指標とコンパクトテンション型、CT試験から得られた指標を足し合わせているという式になっておりますけれども、この足し合わせることにについては、過去の国の研究において、同等というふうに考えられるという研究結果がありますので、それについては、その足すことについては、我々としては検証されてるとこのように理解しているということが3ページに書いてございます。

それから、めくっていただきまして、4ページになりますけれども、先ほど議論ありましたが、上のほうにあります表の3-1で御説明をいただいたわけですが、これでもってASMEのカーブと、旧のカーブとですね、5%のマスターカーブは安全レベルはほぼ同等というふうに説明していただいております。

その下にありますグラフで、大きく外れるデータではないから特段の問題、特異な傾向はないというふうにまとめた説明をいただきましたけれども、私どもとしましては、この下のほうのグラフですけれども、ワイブル分布について、それに従うのかを検証した内容について御質問をいろいろさせていただいておりますけれども、これはワイブル分布に従うことを前提につくった場合にはですね、このデータプロットが直線上に分布するというふうに理解しております、それからするとですね、このグラフはちょっと上になだらかに凸の形状をしているということがありまして、そこのワイブル分布の1パラメータ等に、がまだ補正されるべき値があるってことを示唆しているのではないかとこのことを考えております。

このようなグラフはなかなかないんですけども、今、御説明しましたお手元の文献をとじた資料のほうに少しその近いものが載っております、58ページと書いてあるところを見ただけですでしょうか。上にNOTEと書いてある、厚いとじた文献があると思います。その58ページになります。これはNRCが検討した結果を取りまとめた報告書の1ページなんですけれども、このページ自体のNRCの検証はですね、この赤の縦の点々の部分ですけど、

これがASTMのE1921の $K_{Jc(limit)}$ はどこに来るのかっていうことが書いてあるものですが、これもです、同じようなグラフプロットになっておりまして、こういうデータが世の中にあるということを踏まえた上でですね、この、今、提示していただいたデータがワイブル分布に乗っているというふうに判断したらいいかどうかということを検討する必要があるというふうに思っております。

したがってですね、次の4ページに戻っていただきまして、一番下の丸の部分になりますけども、このグラフに対して、日本電気協会は、Pfが0.25未満のデータに対してフィッティングした直線で議論されているわけですが、私どもとしては、全体の直線性でも考えなければいけないんじゃないのかというふうに考えているというところでございます。

それから、5ページに行ってくださいまして、これも先ほど議論に出ましたけれども、ワイブルプロットを確認するのに圧延材、鍛鋼品、溶接金属に分けて実施したものについて、そのくしの歯が抜けたような形になってるという説明はあったんですけども、確認はさせていただきたいなというふうに思っています。

それから、資料2-1、パワーポイントの資料のほうにありますけれども、これも先ほど議論に出ましたが、下の表に、下に表が載っていますけれども、このWallinの評価方法で母材の圧延材は破損確率が4.1%になります。めくっていただきまして、次のページには、マスターカーブだと2.5、1.5といった形になっていますと。この辺の差異があるということについても検討が必要と思っております、こういう形でこの数字が低いからっていうことですかね、これで5%信頼下限の妥当性を判断するっていうことはちょっとできないんじゃないかと思っております。

そもそも御質問させていただいたのは、その5%を下回るデータがあるということを前提に、それをどういうふうに評価したのかっていうことを説明してほしいということなので、もう一度その点については説明をしていただかないと、ちょっとこれだけでは妥当と判断しにくいというふうに思っております。

それから、7ページに行ってくださいまして、今度は式を決める際に用いたデータについて御説明いただいたところですが、 ΔT_c の算出に当たり最終的に使用したデータというのが括弧の中の数字として記載されていますけれども、先ほどその範囲についての御質問がいろいろありましたけれども、このデータ数についても38、70、17ということで、ちょっとこれは評価するにはちょっと少ないのではないかと思っております、これにつ

いても検討が必要と思っております。

めくっていただきまして、8ページのほうは、今度は(8)式と(10)式の差異について確認させていただいたものでして、日本電気協会からグラフを三つ提示していただいています。

9ページの上のほうの図5-2のほうは、赤い(10)式と青い点々の(8)式の間にはちょっと差異がございますけれども、これプロットを見ますと、この二つの曲線の間には、あるいは赤を外れた2個があるというふうに見えまして、こういうものが出ているということについても今後、説明をしていただかないと、ちょっとこの確率よりも結構高いのではないかというふうに感じております。この二つの式を使ってよいというふうにするには、同等な結果が出るなり、そういったようなことであることを確認する必要があると我々としてはあるというふうになります。

それから、9ページの一番下の丸になりますけれども、これも先ほど質問出ましたが、(10)式では T_0 を未照射材で取得したものについても使えるような形になっております。この場合に、補正の項には ΔT_i のような照射材を考慮した補正が必要なのではないかということについても説明をしていただけるということでしたので、お願いしたいというふうに思います。

それから、11ページですけども、(6)につきましては、供用状態A、Bにマスターカーブ法をもとにした式を導入しなかった理由についてお尋ねしたんですけども、供用状態A、Bについてはニーズが低かったから変更していないということと、あと、マスターカーブを用いることを今後も継続して検討していきたいということになっておりますので、妥当性については判断しないということで、そういう御説明があったということにしたいと思っております。

めくっていただきまして、12ページは、質問していない部分についての技術評価についてでございます、マージンが(8)も(10)も設定されているわけですけども、この数字が実際に-15ですとか8ですとかという形で決められておりますので、これもどのように計算されているのかということをお我々のほうで検討したいと思っております、この二つの式のマージンの出し方につきましては、詳細な説明をしていただきたいと思います、これは技術評価においては必要な項目ですけども、公開の場においてその計算がいかどうかっていうことを議論するような種類のものではないと思っておりますので、検討結果をペーパーで御提示することにして、この場の議論とはしない、の対象にはしないというふうにさせていただければと思っております。

最後になりますけれども、めくっていただきまして14ページに2007年版にありました破壊靱性低下量の推定方法という項が削除されていますけれども、これについては別のところに規定しておりますので、重複を避けたものということで、これは妥当というふうに考えております。

以上でございます。

○山中委員 それでは、資料2-3について御質問、コメント等ございましたら、お願いいたします。いかがでしょうか。

どうぞ。

○廣田副主査（日本電気協会） 幾つかちょっと確認をさせていただきたいんですけども、5ページで、5%信頼下限の妥当性を判断することはできないということで、先ほどの議論の中では、次のページの2.5%なり1.5%なりがちょっと低いけどどうなっているかという御質問があって、そういうことが5ページの文章で書かれていると思うんですけども、佐々木さんが今お話しされた中では、それ以外のこともおっしゃったように思ったんですけども、それ以外でも何か説明する必要があるんでしょうか。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁、佐々木です。

参考資料2-1というのをつけさせていただいてますけども、これが前回の説明依頼事項になっています。この真ん中辺りに(3)というのがございまして、御質問がちょっとうまく伝わらなかったのかもわからないんですけども、(3)の一番最後に「下限を下回るデータの取扱いについても含んで下さい」と書いてありまして、5%を下回るデータが出てくるという、今、前提になるわけですけども、それはどういうふうに考えるのでしょうかということを説明してくださいという説明をしたつもりなんです。それは出ても、規制上、どう考えたらいいかって、そういう意味なんですけども。

○廣田副主査（日本電気協会） 資料2-2の回答の中で回答したつもりではあるんですけども、資料2-2の9ページのb. というところで5%信頼下限を下回るデータについてというところで一応回答しておりまして、下限包絡というような従来の考え方とは変えていますので、必ずしも下回ったデータがあったからといってですね、それを包絡させないといかないとは考えていないと。

ただ、しかも、外れてるデータが特異なデータではないというふうに評価していますので、そんなふうに解釈をしていると。ただ、今後引き続きデータ拡充していったらですね、それで分析はしていこうというふうな回答をしたつもりです。

それに対して、さらにこの辺を説明してほしいとかですね、そういうことがございましたら、御指摘いただければと思うんですけども。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁、佐々木です。

今おっしゃったのは、確率だから、外れる、そういうものなんですっていう、そういうことですかね。

○廣田副主査（日本電気協会） そのとおりです、はい。

○佐々木企画調整官 わかりました。

○廣田副主査（日本電気協会） 次の質問でよろしいでしょうか。

次の質問ですけれども、7ページで ΔT_t の決定に使用したデータ数が少ないのではないかということですが、もともとのデータ数多くてですね、多いんですけども、今回ちょっと御説明しましたように、例えば、 $K_{Jc(\text{limit})}$ を超えるデータは外す。要は、拘束の弱いデータは外すということで、保守的にデータを選別している。さらに高照射領域のデータのみにしてまして、低照射領域とか未照射のデータは外すと、傾向分析をした上で、そういうその厳しいとこ取りをしているので、データ点数が少なかったりとかですね、そういうことはしていますので、その辺は理解、少ないという、少ないかもしれないんですけども、そういう分析をした上で厳しいとこどりをして、少なくなっているというところは御理解いただければなというふうに思います。

それから、最後、9ページで(8)式と(10)式で、いずれの式を用いても同等の結果になることを確認することになるのではないかということで、同等でないといけないというお考えがあるようですが、シャルピーも破壊靱性データもですね、試験結果ですので、多少やっばりばらつきとかですね、そういうのはちょっとあるというふうに思っています。

今、その同等でなければならないという、何かもしお考えがあるのであれば、理由というかですね、そういうのがあれば、教えていただければというふうに思います。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁、佐々木です。

御質問があるのはわかりましたけれども、ちょっとこの技術評価書案について、今日は外部の専門家の先生の御意見をお聞きしたいので、ちょっと時間があつたらにさせていただいてもよろしいですか。

○廣田副主査（日本電気協会） はい、それは結構です。

○山中委員 もしよろしければ、外部の専門の先生方から質問、コメントいただきたいと

と思いますが、いかがでしょうか。

○大畑教授 大阪大学の畑ですけども。

少し細かいところではあるんですけども、4ページ目の(3)に関するところですかね。規制庁さんのほうから、このグラフの全体を見渡してですね、その曲線性がどうかとか、そういう議論が必要ということもあったと、言われてたと思うんですけども、先ほどの別資料にもありましたように、これはコメントですけども、いわゆる $K_{Jc(limit)}$ ですね、それがこのデータに関してどの程度だったかというのを示していただければ、それ以降について直線性を満足する必要というのは理論的にないですので、そういう意味ではこの検討の妥当性というものがより見えてくるんじゃないかと思いますので、この確率、今、0.25ですかね。このときの K_{Jc} 値というのと $K_{Jc(limit)}$ がどれぐらいの対応関係にあるのか、その辺をお示しいただいたら、信憑性が増すんじゃないかなというふうに思います。

○廣田副主査（日本電気協会） 今、御意見いただいたんですけども、ちょっとグラフの対象データのところに書いてありますように、今回、プロットしているデータは $K_{Jc(limit)}$ を超えないデータでプロットしてますので、はい、ということです。

○山中委員 あといかがでしょうか、そのほか。

○沖田准教授 東大の沖田と申します。

(4)についてコメントさせていただきますと、データ数が少ない中で厳し目のデータ、高照射量などをとったということですが、先ほどの質問とも重なりますが、銅などの化学成分に関しては厳しいところを必ずしもとっていないように思われるんですけども、先ほどの質問と重なりますが、これでも厳し目のデータとなってるんでしょうか。

○廣田副主査（日本電気協会） 照射量の依存性という観点で選別しているだけですので、Cuの依存性については、ちょっとすみませんが、次回、御説明させていただきます。

○山中委員 そのほか、いかがでしょう。

どうぞ。

○笠田教授 東北大金研の笠田です。

この(2)番の五つのデータが非保守的な評価となっておりというところなんですけども、これちょっと電気協会さんの考え方としては、このやり方だと、全体として保守的になってるんだから、この方法を使ったほうがこれまでの2007年版よりも全体としては保守的な評価になるってことをおっしゃりたいのかなと思ったんですけども。

じゃあ、だから、全体としてはこの考え方を使ったほうが保守的になるっていうのは何

となく理解はできるんですけども、この、本当に思想ですよ、だから、この手法を使わなくちゃいけないというか、これまでの手法でもいいんじゃないのっていう人に対して、説明がやっぱりちょっと難しいかなと。何となく、全部のデータを見てる人はそれでいいような気がするんですけど、個別のプラントを追っかけていったときに、話がちょっと、見方によって変わっちゃうところをどう説明するのか、ちょっと私も別に何かアイデアがあって言ってるわけじゃないんですけど、難しいかなと。これ規制庁さんにも質問にもなってるんですけど。

やっぱり確率的な話も入ってるので、結局、説明の仕方だと思うんですけど。やり方はどう、それは新しいほうが全体としてはよくなってるのは間違いないと思うんですけど、それ説明受ける側の問題のような気がして、これは。そこ、ちょっと難しい質問になってないかなという気はするんですけども、どうなんでしょう。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁の佐々木です。

基本的に今まで下限包絡であったっていうものを5%外れるものがありますっていう考え方に変わるので、変えた式になっていますので、まさにどういう考え方の変更をして、そういうものに対してどういうふうに対応したらいいのかっていうことがまさに悩ましいところに感じておまして、それでいろいろ説明してほしいと思っていますし、先生方からも、こうこう考えたらいんじゃないのかっていうアドバイスがあったらお聞きしたいところなんですけど、すみません。

○笠田教授 すみません。多分、逆に先に2016年版の評価があって、後から2007年版の評価が提案されたとしたら、どう考えるかなんですけど、悪くなってるじゃないかって今度言うじゃないですか、多分。

だから、ここの外れることに対する理屈を個別に説明すればいいというお話なんですかね、これは。私が言うのも何なんですけど、いや、私とその立場だとしたら、これ要するに、全体としていい、より保守的な規制になってるけども、外れ値的なのがやっぱり確率も入ってるし、 K_{T0} になってるしというところで、よりよい、社会にとって規制になってないんじゃないかということなのか、ちょっと、何ですかね、答えるレベルによってかなりこれ難しい問題なのかなと私は受け止めているんですけど。

ただ単にこの5点について考えられる原因を説明するっていうことであれば、何か出てくるかもしれないんですけど、じゃあ、それが何か、このやり方を変えたフィロソフィーに対して適切な説明になるのかどうかもちょっと私はちょっとまだつかみ切れてないんで

すけど、どうなのでしょう。私がそういう質問をするのもどうかと思うんですけど。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁の佐々木です。

悩んでいるところなので、明確なお答えできないんですけども、その外れるということ的前提にするものであるならば、それに対してどういう手当ををするのか、どういう手当がされていますっていうことを、それないといけないんじゃないのかなというふうに思っていて、数学的に、あるいは物理学的にはそれは別に全然問題ないことなんでしょうけれども、これは原子炉压力容器の破壊靱性の評価なので、そういうものに対する手当てみたいなのをどういうふうに全体の構成がなっているから担保されてるんですってような説明なりなんなりがないと、ちょっとどう考えていいかわからないんですね。

○笠田教授 すみません。多分、私が質問していることと全く同じことを回答されてると思うので、どうなのでしょうね、電気協会さんとしてはどういう、私が何かこういう聞き方していいんですかね。どういうフィロソフィーで答えるのかっていうところを。

○平野主査（日本電気協会） 今は答え出ないので、持ち帰って、はい、考えます。

○笠田教授 よろしくお願いします。

○鬼沢センター付（日本原子力研究開発機構） 原子力機構の鬼沢です。

やはり、以前の原子力安全・保安院の意見聴取会で出た意見というものが、やっぱり一つ引き金になっていたと思うんですよね。それは何かというと、ばらつき、破壊靱性はばらつきがあるのに、存在するデータだけで下限包絡している方法というのは本当にいいのか。で、データをあまりとらなければ、下限の値は低くならないというのは、そういうこともあり得ると思うんですよね。それが逆効果というか、データをたくさんとって詳細に評価すべきところを、あまりとらないほうがいいんだみたいなふうになっていくようなことは避けなきゃいけないと。で、だとすると、数で制限する手もありますけども、もうばらつきをワイブル分布だと仮定して、もうあとはエンジニアリングジャッジで、何%のところを割り切ればいいんだというのが、私は合理的なんじゃないかと思えますし、ただ、それを下回るデータがあったとしても、それが健全性評価の中の破壊靱性を見ているだけなので、例えば、そのほかにも K_1 を評価する方法の中にある保守性とか、想定結果の大きさに対する保守性とか、その全体を見て健全性をちゃんと評価する上での保守性というのは担保できるとかっていうことが、やはり必要なんじゃないかなと思います。

笠田先生の質問に対する明確な答えではないですけど、規制側としてもやはりそういう考え方を持って、合理的な評価手法を取り込んでいくっていうのは重要なんじゃないかな

と、私個人的には思います。

○山中委員 そのほか、いかがでしょう。よろしいでしょうか。

そのほか、何か確認しておきたいこととかございましたら、いただきたいと思うんですけども、よろしいですか。先ほどの御質問の続きでも結構ですけども。

○廣田副主査（日本電気協会） 質問は先ほどしたので全てなんですけども、お答えいただいてないやつ、もし時間があれば、9ページの(8)式と(10)式、これ同等でないといけな
いと思われてるのであれば、なぜそういうふうに思われてるのか教えていただければ、ち
よっとこちらでも評価しやすいと思うんですけども。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁、佐々木です。

この同等でなければいけないというふうにしたつもりはありませんで、どちらがいい
という判断が、判定が今ちょっとできないということがあるので。両方使っていいという
ことであれば、おのずと同等の結果になるんじゃないかと思っているので、そういうこと
を確認しなければいけないんじゃないかっていうつもりで書いています。

○廣田副主査（日本電気協会） それは、ごめんなさい、ちょっとまだ十分理解できては
ないんですが、両方使えるようにするんだったら、同等な保守性を持っていないといけな
いんじゃないかと思われてるということですね。

ただ、シャルピーから持ってくるものと、先ほど言いましたように、シャルピーから設
定するものと破壊靱性データから設定するもの、さらに、測定データのばらつきでもち
ろんありますので、必ずしもどちらが厳しいとか、必ずしも言えないところがあるかなと
思うんですけども。

○大畑教授 よろしいですか。大阪大学の畑です。

規制庁さんがおっしゃること、恐らく二つの式があれば、ともすると都合のいいほうを
使って評価するとか、そういったことになりかねないということで、十分なデータがある
ときは、例えばこちらを推奨する、こちらのほうが信頼性が高いですよ。ただし、そう
いうデータがないときはこちらの式を適用してもいいとか、ただし、この程度の差は本来
あるものですよというような対処といいますか、対応が必要かなというふうに思ったんで
すけども。おっしゃるように、二つあると、本来は同じ結果が出てこないといけな
かなというふうに思うというのは当然のことだと思いますので、その辺、お考えいただけれ
ばなど。

○廣田副主査（日本電気協会） わかりました、はい、ありがとうございます。

○山中委員 あと、よろしいでしょうか。

先生方、何か追加でコメントとか御質問とかございませんか。

○大畑教授 大阪大学の畑です。

先ほど来から、今後の話になるのかもしれないですけども、このマスターカーブをどのように使うかっていうところも示し、今後そういう話になっていくかと思うんですけども、そうすると、先ほどのこの5%の、鬼沢さんのコメントにもありましたように、5%というものの取り扱い方といいますか、その辺が明確になってくるかと思しますので、今後、これをどういうふうに使っていくかというところをどのようにお考えなのか。これこの場で議論することかどうかちょっとわからないんですけども、そういうことが必要かなというふうに思いました。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁、佐々木です。

今、先生に質問されたの、答えになるかわからないんですけども、この技術評価の検討チームの中で、例えば、(8)式のほうは十分な検討がされていて、このまま使えるんじゃないかと。あるいは、(10)式のほうはまだデータが足りないから、じゃ、(8)式使ったほうがいいみたいな結論が出た場合にはですね、我々の規制に取り込むときには(8)式によることと、こういうときは(10)式を使ってもいいというような、規制における使い方っていうのをこの中の議論の中でですね、いろいろ御議論いただいて最終的に条件をつくってというのがまた技術評価のよく行われることですので、その点からですね、現在の規格は(8)、(10)両方とも使えるようになってますが、それだったらどっち使っても同じようなデータが、同じような結果になるっていうふうになったらそうでしょうし、そうでなければまた違うっていうふうな形になってきますので、間接的にはこちらで議論いただいたことが規制に取り込まれるというふうになると理解しております。

○山中委員 先生方、よろしいでしょうか。

よろしいでしょうか。

それでは、本日の議題は以上でございます。

全体を通して何か確認しておきたいこと、質問とかございますか。よろしいでしょうか。

それでは、本日の議論の結果、さらに説明をしていただきたい点が幾つか出てきております。事務局のほうから、念のため確認をお願いしたいと思います。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁、佐々木です。

御説明いただきたいものについては、後ほど文書でお渡しますけども、この場でちょ

っと先生方にも御確認いただきたいと思います。

まず最初に、5プラントについて非保守的な結果になるとさっき議論になりましたけども、これをどのように評価して、規格の全体としてどのように担保して、対応しているのかということについて説明していただきたいと思っております。

それから、二つ目に、ワイブルプロットに乗るのかという議論がありましたけれども、ワイブルプロットに合わせたデータがあれば、それを提示していただきたいですし、先ほど先生からも御意見ありました T_0 の温度に関する検討をどういうふうにされてるのか、それ、日本の鋼材に適用した、適用可能とするかどうかの判断するのに必要だと思っておりますので、御提示いただければというふうに思います。

あとそれから、(8)式、 T_{r30} の式のほうで、 ΔT_r を設定したときにWallinの文献からするとASMEの破損確率とちょっと違いますねと。それについてどういう評価をしているのかという議論になってると思っておりますので、それについても御説明いただければというふうに思います。

それから、照射後のデータのワイブルプロットを鋼種ごとに評価しているという御説明ありましたので、それ、その評価結果を御提示いただきたいなというふうに思います。

それから、 ΔT_r を決めるデータについては、銅の含有量が多いほうが入ってないという御意見と、あと照射量を5にしたときの、5から10というふうに切って母集団にしているわけですけども、これを3.3にしてもいいんじゃないのかとか、そういう御意見、そうすると、データの数も増えると思っておりますので、そういう検討をしたりしてなかったりされていると思うんですけども、そういうもの……、ごめんなさい、それ説明していただけるんでしたっけ。

○廣田副主査（日本電気協会） はい、次回説明します。

○佐々木企画調整官 ありがとうございます。

それとですね、この ΔT_r の決定に使用したデータ数もちょっと少ないんじゃないのかとちょっと思ってますので、この数で十分で、十分というか、必要な数を満たしているというふうに確認した、そのどういうことをもっていいとしたのかについても説明してほしいと思います。

あとは事務局からのお願いとして、(8)式と(10)式のマージンを決めたときの計算のやり方と、どういうデータを使ってやったのかっていうのがわかる資料を提示していただければというふうに思います。

以上です。

○山中委員 あと、よろしいでしょうか。何か確認しておきたいこととかございますか。よろしいでしょうか。

鬼沢さんのほうからコメントがあったかと思うんですが、いわゆる下限値をこれまで使ってたものをある分布を仮定して、ある曲線を採用すると。そのいわゆるばらつきを考えたって、で、本当に下限値をとるのが一見、保守的に思われるんですけど、実際、データの点数がめちゃくちゃあれば多分、下限値をとるのが非常に安全側の評価ということになるかと思うんですが、必ずしもそうでもないので、やはり、規制に用いるときに本当にそのマスターカーブ法というのが安全性向上につながるのかというところに若干のやっぱり不安がまだある。そこをいろんな説明をしていただければ、払拭ができるのではないかなと思うんですが、現時点でやはり、まだいろいろ疑問が残るところはございます。

先生方からも幾つか御質問出ましたし、できれば次回以降、そういう躊躇する点が払拭できるようなお答えをしていただければ、多分、規制側も納得できるかなという。

恐らくNRCも採用をまだしていないというところは、そういうところにあるのではないかなと私、類推はするんですけども、そこは今後の御説明を聞いて判断をする必要があるかなと思います。

特に確認したい事項等ございませんようですので、以上で議論を終了したいと思います。

次回、第3回の会合は、先生方の御都合等で10月の18日金曜日の開催を予定しております。開始時間、場所については、追って連絡をさせていただきます。

以上で、第2回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等の技術評価に関する検討チームを終了させていただきます。

どうもありがとうございました。