

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3回会合

1. 日時

令和元年10月18日（金）10：00～12：11

2. 場所

原子力規制委員会 13階会議室D・E

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

## 4. 議題

- (1) 日本電気協会 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ついて
- (2) その他

## 5. 配布資料

### 検討チーム構成員名簿

- 資料 3-1 「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 第三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 3-2 PTS評価に用いる破壊靱性遷移曲線に関する技術評価案
- 資料 3-3 JEAC4216-2015「フェライト鋼の破壊靱性参照温度  $T_0$  決定のための試験方法」議論内容に関する回答
- 参考資料 3-1 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 第三回会合における日本電気協会への説明依頼事項
- 参考資料 3-2 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に関する日本電気協会への説明依頼事項（その1）
- 参考資料 3-3 「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（その1）」に対する回答

## 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3回会合を開催します。

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。よろしくお願いをいたします。

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名の外部専門家の先生方及び2名の技術支援機関職員の方々に御参加、お願いをいたしております。また、説明者として、日本電気協会の方々にも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ございます。

配布資料ですけれども、議事次第に書いてございますように、検討チームの構成員名簿と資料の3-1～3-3及び参考資料3-1～3-3でございます。過不足ございましたらお知らせください。

また、机上には、電気協会の今回の関係する規格が3冊セットで、1人1セットはないんですけれども、共用していただくように置いてございますので御使用ください。

また、今回の議論に関係する論文ですとか、前回までの資料といったものをファイルにとじてございますので、これも一つの机に一つずつありますので、そちらも御利用いただければと思います。

以上です。

○山中委員 それでは、議題に入りたいと思いますけれども、議題に入る前に、何か御質問等ございますでしょうか。よろしいでしょうか。

それでは、第2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以来事項を提示しております。これに対する回答を資料3-1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） 構造分科会幹事、山田でございます。

それでは、資料3-1を用いまして、PTS評価に用いる破壊靱性評価遷移曲線に関する追加質問につきまして回答いたします。

○廣田副主査（日本電気協会） 電気協会の廣田です。よろしくお願いいたします。

資料の3-1ですけれども、PTS評価に用いる破壊靱性遷移曲線に関する追加質問というこ

とで六ついただいておりますので、順番に御説明いたします。

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、まず(1)です。2016年版の式における $T_{70}$ が2007年版に比べて非保守的となる5点のデータに対してどのように評価するのか説明してくださいということです。

まず、3ページを見ていただきますと、図1-1ということで、国内PWRプラントの32EFPY時点の破壊靱性遷移曲線の遷移温度 $T_{70}$ の比較ということ、グラフを示してございます。これはPTS時の $K_I$ と破壊靱性カーブが接するところが大体70MPaぐらいのところだということで、破壊靱性カーブの70MPaのところの温度を $T_{70}$ といたしまして、横軸に2016年版の $T_{70}$ 、縦軸に2007年版の $T_{70}$ を示したものでございます。このグラフにおきまして、右下側に来るほど2016年版の破壊靱性遷移曲線が保守的ということになります。これは同じような図を前回お示ししているんですけれども、今回は公衆による依存性というか、そういうものがあるかどうかというのを見るためにプロットの種類を変えて示してございます。

まず、鍛鋼品ですけれども、青の四角です。鍛鋼品につきましては、炉心領域に溶接部がございませんので、鍛鋼品の $T_{70}$ の値がプロットされているということでございます。一方、鍛鋼品以外のプラントにつきましては、圧延材が用いられておりまして、炉心領域に溶接部がございまして、これらのプラントは圧延材と溶接金属のどちらか高いほうの $T_{70}$ の値を示してプロットしているということでございます。

プロットの種類ですけれども、黒の丸というのが圧延材が制限的なプラント、それから、赤の三角が、溶接金属が制限的なプラント、それから、緑のひし形が、2007年版は圧延材、一方、2016年版は溶接金属が制限的となるプラントのプロット、白のひし形につきましては、2007年版が溶接金属、2016年版が圧延材とかわるようなプラントのプロットということでございます。

左上、右上がりの45°の線、これが1対1でちょうど $T_{70}$ の値が2007年版と2016年版が同じというものなんですけれども、それより左上にあるものが2016年版で非保守的となるプラントのプロットでございまして、これが5点ございます。これに対する評価ということですけれども、このプロットの種類を見ていただきますと、圧延材が支配的な黒の丸が1点、5点のうち1点、それから、溶接金属が制限的な材料となるプラントが1点、それから、緑のひし形ですけれども、2007年版が圧延材、2016年版が溶接金属というプラントが2点、それから、鍛鋼品が1点ということございまして、特に5プラント、2016年版が非保守的となるプラントについては、どれか制限的となる材料の依存性というものはないというこ

とがわかるかと思えます。

次に、この5プラントにつきまして、次の4ページ、5ページですけれども、各プラントごとの破壊靱性遷移曲線の比較を示してございます。黒のカーブが2007年版の破壊靱性遷移曲線、赤のカーブが2016年版の破壊靱性遷移曲線として、非保守的となるということで、赤のカーブが左側に来ているということがわかるかと思えます。

これらのプラントにつきましては、破壊靱性データを取得しておりますので、それを合わせてプロットしています。照射前の破壊靱性が白丸、照射後の破壊靱性が緑の丸で、それに対しまして32EFPPY時点での脆化予測を行いまして、高温側にシフトさせた評価時期の $K_{Ic}$ というのが黒の四角ということでございます。この黒の四角と赤のカーブを比較いたしますと、外れている点はあることはあるんですけれども、低温側にあたりとか、あるいは、縦軸で見ますと、それほど大きく外れているというわけではないというふうに考えておまして、特に特別、2016年版が適用できないということではないのかなというふうに考えてございます。

次に、(2)が6ページですけれども、マスターカーブ法を国内材の中性子照射材に適用することについて検討した内容を、国内材の破壊靱性データを用いて説明してください。説明には、検討に用いたデータの $T_0$ の範囲、95%上限を上回る確率、国内破壊靱性データでも形状係数を4とした際の検討の内容及び国内材がマスターカーブに従わない可能性について検討した内容を含んでくださいということです。

回答ですが、6ページの文章のところに書いてありますが、国内PWRプラントの監視試験で取得しました照射後の破壊靱性データのうち、表2-1に示すマスターカーブの参照温度の $T_0$ が設定可能な鍛鋼品につきまして、マスターカーブ法の適用性を評価した結果を7ページ以降の図2-1に示してございます。この図の2-1、たくさんありますけれども、グラフを見ていただきますと、マスターカーブがメジアンカーブと5%、95%のカーブを示しておまして、多くの、それから、プロットはそこで取得された破壊靱性データを示しておまして、破壊靱性データのばらつきとマスターカーブの5%、95%を見比べていただきますと、多くの破壊靱性データがこの範囲内に入っておりまして、マスターカーブの温度依存性、それから、ばらつきが適切に評価できているということがわかるというふうに考えてございます。

次に、マスターカーブの形状母数、ワイブルプロットの傾きにつきましては、参考文献[1]というところで評価がされておまして、10ページ一番下のグラフ、図の2-2という

ところでございます。ワイブルプロットの傾きにつきましては、破壊靱性データの数によってばらつくということでございます。破壊靱性データが少ないと、それだけワイブルプロットの傾きは変動するということですが、破壊靱性データの数が多くなっていくと4に近づいていくというようなところがこのグラフでわかるということでございます。このラッパ状の黒の曲線、二つございますけれども、これが5%と95%の範囲を示してございまして、参考文献[1]で取得されたデータもこの範囲内に入ってますし、今回、鍛鋼品につきまして11材料ありますけれども、そういうようなプロットが赤の丸で表しています。赤の丸がこのラッパ状の黒の曲線二つの範囲内にほとんど入っているということで、特にマスターカーブ法のワイブルプロットの傾きにつきましては特に問題となることはないというふうに考えてございます。

次に、(3)ですけれども、照射後の破壊靱性試験データの鋼種ごとのワイブルプロット、Wallinの評価法による安全レベルが母材（圧延材）におきましてASME  $K_{Ic}$ の安全レベル2.5%よりも高い4.1%となることを妥当とした根拠及び2007年版の式を用いて鋼種ごとに安全レベルを評価した結果を示してくださいということです。

これは前回、5%の信頼下限の破壊靱性遷移曲線を下回るデータがどれぐらい外れているのかというグラフをお示ししましたけれども、全鋼種に対するプロットを示してございまして、前回、鋼種ごとにプロットしてくれという御依頼がございましたので、今回は圧延材、鍛鋼品、溶接金属と、それぞれの鋼種に対するプロットという形で示してございます。

前回お示しました全鋼種で整理した場合と同様に、鋼種ごとに見たとしても横軸の0というのが5%、信頼下限の破壊靱性遷移曲線の位置を表しておりますけれども、それよりも左側のデータを見ていただきますと、特に大きく外れているとか、そういうようなことはなくて、特段、適用性に疑義を呈するようなデータではないというふうに評価しているということでございます。

次に、13ページですけれども、これも前回御説明しましたのは、2016年版の破壊靱性遷移曲線に対しまして、Wallinの評価法というふう書いてますけれども、破壊靱性遷移曲線と破壊靱性データの温度差、温度裕度を分析しまして、安全レベル、すなわち破壊確率を評価しました。これに対しまして、今回、2007年版で同じような評価をするという御依頼を受けましたので、2007年版の評価をしたというのがこの表3-1ということでございます。

評価方法は、この13ページの下側に書いておりますけれども、前回お示しした2016年版と同じ方法で評価をしているということでございます。

評価結果のほうですけれども、2007年版につきましては圧延材で破損確率が2.7%ということで、2016年版の4.1%と比べると低い値にはなっております。一方で、鍛鋼品と溶接金属につきましては、2016年版が0.9%というものに対しまして、鍛鋼品で6.4%、溶接金属で4.9%ということで、特に鍛鋼品では5%を上回るというような結果となりました。

また、前回御質問、御指摘ありましたけれども、この参考文献[2]の中では、ASME K<sub>1c</sub>カーブの安全レベル（破損確率）が2.5%と評価されているのに対しまして、2016年版の圧延材については4.1%というふうに高いということに対してどう考えているかという御指摘があったんですけれども、そもそも2016年版の破壊靱性遷移曲線は5%信頼下限ということで設定しておりますので、5%より低い4.1%ということで、特に問題ないというふうにこちら側としては考えているということでございます。

次に、(4)ですけれども、破壊靱性遷移曲線の $\Delta T_c$ の決定に使用したデータ数が十分であることを、どのように確認したのか説明してください。説明には、銅含有量の多いものにも適用できるのかについて検討した内容、 $\Delta T_c$ を鋼種ごとに設定した際の検討内容を含んでくださいということでした。

図の4-1を見ていただきたいんですけれども、このグラフでは、最初分析いたしました未照射及び照射のデータのプロットを示してございまして、それから、最終的に $\Delta T_c$ 決定に用いたプロットの説明をいたしますと、白丸が未照射のデータでございまして、グレーのプロットが照射後のデータ、最終的に $\Delta T_c$ 決定に用いたデータというのが赤丸のプロットということでございます。このグラフを見ていただきますと、 $\Delta T_c$ 決定に用いたデータというのは、前回、照射量の依存性とか御説明しましたけれども、破壊靱性データの傾向分析等に基づきまして、保守的に決定できるように選定したものでございまして、分析対象としては、全破壊靱性データの中で低目に分布しているということで、 $\Delta T_c$ 決定に用いたデータは必ずしも多くありませんけれども、保守的に $\Delta T_c$ が設定されておりますので、PTS評価への適用性には問題ないというふうに考えてございます。

また、前回の会合におきまして、銅の含有量の多いものが赤のプロットの中に含まれていないという御指摘がございまして、銅の依存性について分析したものが16ページの図4-2ということでございます。縦軸は、前回の照射量の依存性を示したものと同一パラメータでございまして、縦軸が0のところはちょうど5%のカーブのオンラインのところの値と

ということになります。横軸がCu濃度でございまして、圧延材、鍛鋼品、溶接金属、3種類のグラフを示してございます。これで銅の依存性が見れるわけですが、まず、圧延材と溶接金属につきましては、Cu濃度に対する依存性は認められないというふうに考えてございます。

一方、鍛鋼品につきましては、真ん中のグラフですが、若干右下がりの傾向がございまして、Cu濃度が高いほど靱性が低目になるというような傾向が見てとれます。しかしながら、鍛鋼品につきましては、 $\Delta T_i$ 決定に用いたデータの中で国内PWRプラントの鍛鋼品のCu濃度の上限であります0.05%のデータが含まれていると。赤のプロットを見ていただければわかるんですけども、ということから、厳しいところをとっているということで、PTS評価への適用性には問題ないというふうに考えてございます。

続きまして、(5)ですけども、 $\Delta T_i$ を中性子照射量が $3.3 \times 10^{19}$ よりも高いデータで算出した結果を示してくださいということです。

これは、前回も御説明しましたけれども、高照射量域のデータということで、4206に適用した破壊靱性カーブは $5 \times 10^{19}$ 以上のデータを対象としていました。それに対しまして、もうちょっと低い照射量まで含めて評価したらどうなるのかというような御依頼かと思えます。

照射量の下限を変化させた場合の $\Delta T_i$ の値というのを算出した結果が18ページの表の5-1並びに図の5-1ということで示してございます。表の5-1からと、あと図の5-1から、照射量の下限を小さくすると対象データ数が増えまして、Cu濃度等の範囲も拡大するんですけども、 $\Delta T_i$ の値は低くなるということで、 $\Delta T_i$ の値が低くなるということは、破壊靱性カーブが低温側に移行するということで緩和される方向になりますので、現行の $5 \times 10^{19}$ を下限とする場合よりも非保守型の破壊靱性遷移曲線になるということで、 $5 \times 10^{19}$ でいいのではないかとこのように考えてございます。

一方、照射量の下限を $5 \times 10^{19}$ と高くした場合には、 $\Delta T_i$ の値、圧延材につきましては、ほぼ飽和の傾向が、グラフを見ていただくとわかると思います。一方、鍛鋼品と溶接金属については、 $\Delta T_i$ という値は上昇するんですけども、鍛鋼品及び溶接金属につきましては、先ほどお示ししましたWallinの評価法、そして、破損確率につきましても十分小さいということがありますので、 $5 \times 10^{19}$ を下限とすることで問題ないというふうに判断してございます。

また、17ページの一歩の下段落で書いてございますように、JEAC4206-2016で採用し



た破壊靱性遷移曲線につきましては、今申し上げましたような包絡率、それからWallinの評価による破損確率を加えまして、評価対象となる原子炉压力容器の60年時点での照射量の範囲、これらも総合的に勘案して、 $5 \times 10^{19}$ に設定したということでございますので、改めて御説明させていただきます。

最後に、(6)ということで、マスターカーブの適用範囲に基づいて、遷移領域外の低温側、 $T-T_0$ が $-50^\circ\text{C}$ のデータ及び $K_{Jc(\text{limit})}$ を超えるデータを除外することに加えて、遷移領域外の高温側、 $T-T_0$ 、 $50^\circ\text{C}$ 以上のデータを除外して、 $\Delta T_t$ を求めた結果を示してくださいということでした。

まず、圧延材につきましては、マスターカーブの適用範囲の高温側、 $T-T_0$ が $50^\circ\text{C}$ 以上のデータはありませんでした。

一方で、鍛鋼品と溶接金属につきましては、20ページを見ていただきたいんですけども、これが破壊靱性データのプロットを示してございます。赤丸で示したプロットがあると思いますけれども、これが鍛鋼品と溶接金属、1点ずつございます。今回は、この1点ずつを外したデータベースに基づいて $\Delta T_t$ を算出しました結果が19ページの表の6-1ということでございます。

まず、鍛鋼品につきましては、 $\Delta T_t$ の値は $8^\circ\text{C}$ で変わらずということです。一方、溶接金属につきましては、高温側のデータを含めた場合には $14^\circ\text{C}$ に対しまして、データを、1点を除外しますと $13^\circ\text{C}$ になるということで、ほとんど変化しないということが確認できたということでございます。

説明は以上になります。

○山中委員 それでは、資料3-1について御質問、コメントはございますでしょうか。いかがでしょう。

○大畑教授 それでは、よろしいでしょうか。大阪大学の畑ですけれども。

まず、質問に対して、いろいろデータを非常に、データに基づいて、理論的根拠に基づいた分析をしていただきまして、どうもありがとうございます。その上でちょっと幾つか質問があるんですけども、まず、(1)の質問に対してのところ、プラントEというのが、これウエルドメタル、溶接金属が対象と、ではないですか。プラントEは。

○廣田副主査（日本電気協会） すみません、よろしいですか。

○大畑教授 はい。

○廣田副主査（日本電気協会） プラントEは、図の1-1を見ていただきますと赤の三角に

なってございまして、圧延材と溶接金属、両方含まれています。赤の三角にしているということは、圧延材と溶接金属のうちの溶接金属のほうが支配的、制限的ということで、5ページの図1-2のEにつきましては圧延材と溶接金属両方のプロットがされています。

○大畑教授 ああ、そういうことですか。このEについてだけ、ちょっと2007年版と2016年版の差が大きく見えるんですけども、この辺は、理由については何か分析されているかということと、それと、ちょっと私存じ上げてないので、2007年版の下限包絡線をつくる際のデータの温度範囲ですね。どの辺の温度範囲のデータをベースにして下限包絡を引かれているのか。もし御存じであれば教えていただきたいなと思います。

○廣田副主査（日本電気協会） まず、5ページのプラントEのグラフですけども、20℃ぐらいですか、20℃弱ぐらいの温度のところには1点、黒の四角のデータがありまして、このデータが赤のカーブを下回っていると。ただ、縦軸で見てくださいと、赤のカーブと黒の点、下回っているんですけども、それほど大きく下回っているわけではないので、赤のカーブでも5%カーブという前提でやっておりますので、赤のカーブでもいいんじゃないかというふうに考えてございます。

それから、黒の2007年版のカーブにつきましては、下限包絡という考え方になっておりますので、黒のデータを全て包絡するように設定しているということで、ちょうどこの黒のプロットがオンラインのところに来ていることがわかると思います。

○大畑教授 このデータをベースに引かれている線と。

○廣田副主査（日本電気協会） そうです。

○大畑教授 わかりました。ありがとうございます。ただ、赤の線よりもデータが低いというものが多少ありますけども、それは後ほど出てくる縦軸70Mpa $\sqrt{m}$ よりもかなり低いところだという事実でしたということによろしいですか。

○廣田副主査（日本電気協会） はい、そのとおりで、黒のプロットを見ていただきますと、この1点だけちょっと下目に出てはいるんですけども、ほかのデータを見ていただきますと、必ずしもこの赤のカーブに近づいているわけでもなくて、比較的高いデータが多いので、そういう全体的な傾向を見ても、それほどおかしくはないのではないかなというふうに思います。

○大畑教授 わかりました。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。

○大畑教授 じゃあ、もう一つよろしいでしょうか。

○山中委員 はい、どうぞ。

○大畑教授 阪大の大畑です。

次が、(3)に関するところで、表の3-1に分析結果を示していただいているんですけども、ちょっとこの意味を確認させていただきたいんですけども、文献[2]では、 $K_{Ic}$ カーブの安全レベルが2.5%と評価されてたと。それに対して、この表の中の2007年版、材料ごとに分析すると、実は2.5じゃなくて、それよりも高かったという結果というふうに受け取ってよろしいんですか。

○廣田副主査（日本電気協会） まず、2.5%というのはASME  $K_{Ic}$ カーブの安全レベルという、破損確率ということで、参考文献[2]で評価をされているんですけども、参考文献[2]は1999年に発行されたもので、マスターカーブを開発したWallinが、ASME  $K_{Ic}$ カーブがそもそもどういう、どれぐらいの安全裕度を考えて設定したのかというのを1999年の時点で評価をしたというもので、評価したというのはASME  $K_{Ic}$ カーブが、 $K_{Ic}$ カーブをつくったオリジナルデータに対してどれぐらいの安全レベルがあるのかというのを評価したものですので、2.5%のときにはデータベースが全然違います。

○大畑教授 はい、わかりました。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。

○沖田准教授 東京大学の沖田でございます。

(5)についてお伺いしたいんですが、今、(5)で溶接金属は $\Delta T$ が照射量とともに増加するんですが、十分裕度があるということで、このように設定されてるんですが、これを(1)に適用した場合、プラントE、プラントA、プラントCの溶接金属が、今、靱性の展開を決めていると思うんですが、これをもし照射量とともに増加するようにした場合でも、このカーブ、非常に離れてくることはございませんでしょうか、実測データとカーブがですね。

○平野主査（日本電気協会） 確認ですけど、今の御質問は、どういう意味なんですかという、すみません。

○沖田准教授 もしこの $\Delta T$ を高くした場合、照射量が高いデータを適用して $\Delta T$ を設定した場合に、この2016年の破壊靱性曲線はカーブが変わってくると思います。そうした場合には、今実際の溶接金属が決めているようなプラントA、C、Eに至っては、実際の評価時期のデータと2016年の破壊靱性曲線に大きな隔たりが出てくるんじゃないかということが懸念されるんですが、いかがでしょうか。

○廣田副主査（日本電気協会） すみません、もう一度確認させてください。大きな隔たりというのは。

○沖田准教授 こちらの、もっとう上に来ると思う。2007年よりももっと離れてきてしまっていて、 $\Delta T_i$ は。

○平野主査（日本電気協会） 御質問の意図は、今の18ページの表5-1の高照射でデータを区分したような $\Delta T_i$ を使えば、(1)のカーブは変わってくるんじゃないかと、そういう意図ですか。

○沖田准教授 はい。

○平野主査（日本電気協会） そういう意味で言うと、ちょっと定性的にはわかりませんが、溶接金属の場合は、現在、 $\Delta T_i$ が14℃になっていまして、 $6 \times 10^{19}$ で区切ると29℃ということで、約15℃ぐらい高くなりますので、(1)のカーブで言うと、プラントEのカーブで言うと、ちょっと軸があれなんですけど、この赤いカーブが右側に15℃ずれるということになります。なので、黒い線に近づくというふうになると思います。

○山中委員 そのほか、いかがでしょうか。

はい。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁の佐々木です。

同じこの図1-1についてなんですけれども、このデータ、このプロットは32EFPY時点のということで記載されてますけれども、これはEFPYが変わったら、また違うプロットになるのか、それとも大体同じプロットになるのか確認はされたでしょうか。

○廣田副主査（日本電気協会） 脆化量によってシフトするだけなので、基本的には相対関係は大きくは変わらないとは思いますが。確認したかと言われると、そこまでちょっと確認はしてないです。

○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。あと、じゃあ、大体このようなグラフになるというふうに考えると、このグラフの左の下のほうに青いプロットがありますけれども、これが見た目上、左に行くほど下に外れていて、上にずれるものよりも下にずれているものが大きいんですが、これはどういうふうに評価されているのでしょうか。

○廣田副主査（日本電気協会） すみません、ちょっと御質問の意味がよくわからなかったんですけど、上に、青いプロットですね。青のプロットが、鍛鋼品が1対1の直線よりも右下に来てるんですけども、それが何ですかね、ちょっと。

○佐々木企画調整官 この図1-1に描いてある実線が1対1に、縦軸と横軸が1対1になるところがこの実線だと思うんですけども、上に外れているものもそれなりの何十℃か外れていると思うんですけども、保守的になっている側のデータはもっと外れてるんじゃないのかなというふうに見えるんですけども、それについてはなぜ外れているのかとか、外れていても、こういうことだから問題ないかわからないですけど、そういう評価をされているんじゃないかと思うんですけども、その概要を教えてほしいという意味です。

○廣田副主査（日本電気協会） 要は、この黒の実線というか直線に対しまして右下側にずれているということですけども、特に鍛鋼品につきまして、1点、この横軸が-30℃ぐらいですかね、30℃ぐらいの一番下の点はちょっと大きく外れてはいるんですけども、ほかはこの黒の直線に対して大体平行にプロットされているかなと思いますので、特に特別な傾向があるというふうには思っていないです。

○佐々木企画調整官 わかりました。

○山中委員 そのほか、質問、コメントはございますか。

○藤澤参与 規制庁の藤澤です。

今の質問の回答に対してちょっともう一度確認なんですけど、3ページの図1-1、これの1対1の45°の線を、これを消して、ないものとしてプロットされたデータだけを上限側と下限側を結びます。例えば、この図で言うと、Eの点とBの点を結ぶ線が上限側になると思うんですけど、それから同じように、今度、下のほうを、これをこの図の一番右の上にある赤三角、それから一番下の青い四角、この点を結ぶと下限側と上限側の範囲になるんですけど、そうすると、この線がほとんど平行に見えるんですけど、その平行で、さらにちょっと少し傾きが立っているというんですかね、45°よりも大きいというふうに見えるんですけど、それはどういうふうに解釈すればよろしいんですか。

○廣田副主査（日本電気協会） それは下限のほうで見ますと、右上の一番上の赤三角と左下の青の四角、一番下の四角を結ぶとそうかもしれませんが、全体的な下限の傾向を見ると、先ほどもちょっと申し上げたことなんですけど、この一番左下の1点を除くと、大体平行にはなるんじゃないかなというふうに思うんですけど。1点というのは、一番左下の青の四角ですね。やっぱり、あとはその破壊靱性データにもよりますので、特に2007年版の下限包絡性につきましてはですね。ですので、必ずしも1対1の線に乗ってくるとは限らないとは思ってます。

○藤澤参与 藤澤です。

線の引き方の問題なんですけど、私が言ったような線の引き方をすれば、逆に温度の、この $T_{70}$ の温度が低いほうは2016年版のほうが保守的で、温度の高いほうが、2017年版のほうが保守的ですよというふうに今、ちょっとそんなふうに見えるんですけど、でも、これが結局、今、事業者、電気協会が持っている全データなので、これでもって言うんだったら、やっぱり少し斜めに立ってるんですねというふうに理解すべきじゃないかなと私は思います。たまたまこの線が平行でなければデータのばらつきかなというふうに思えるんですけど、恐らくこれ、例えば統計処理をしてこのデータを見たら、相関があるかって見たら、多分それが何°の確率って、45°じゃなくて、むしろもう少し高い、50°か何か、60°ぐらいかしれませんが、そのくらいの温度の傾きで相関があるというふうに多分出ると思うんですけど、そういうふうなことでちょっとどう考えてるんですかということですよ。

○平野主査（日本電気協会） 電気協会の平野です。

今の御質問は2007年版と2016年版とどういう関係にあるかということの御質問だと思いますが、まず第1点、一点大事なのは、2007年版というのは個々のプラントのデータの下限を引いているので、2016年版は全部のPWRプラントのデータを集めて、一応統計的と言えるかどうか分かりませんが、今の $\Delta T_t$ を全部のプラントの高照射データで決めて、全プラントで $T_{r30}$ というか、その $T_{r30}$ を入れると求めるようになっているということは、個々のプラントのデータのばらつきが、結局2006年版の温度の低いものというのが出てきてしまっているというふうに解釈できます。簡単に言えば、例えば7ページを見ていただいて、このプラントかどうか分かりませんが、(b)のグラフを見ていただくと、 $T_{ol}$ は出てますけど、このデータは物すごく中央の線に近づいてて、この5%の点線に近いデータがないので、こういうデータがプラントでとれると、これの下限を引くので、どうしても低い温度になってしまうということが出てきているということで、2007年版のものと2016年版のものを比べて、全体を見てどういう傾向になっているというのはあまり意味がないと私は解釈しています。なので、この45°の線というのは、単純にプラントの評価として保守的か、保守的じゃないかということを見ているので45°の線ということで、相関という意味ではなくて、2007年版に比べて評価として保守的になるかならないかというのを見ているという線で、特に相関を示したものではないというふうに理解しております。

○藤澤参与 わかりました。

○山中委員 そのほか、いかがでしょう。

○塚部管理官補佐 原子力規制庁の塚部です。

先ほどの5ページ目でプラントEのデータが1個外れていて、御説明だと全体の傾向としてカバーしてるでしょという御説明だったかと思うんですが、ただ、4ページ目のほうのプラントBのデータを見ると、赤の下に固まって幾つか外れているということと、それが一番右側のデータということなんですけど、そういう意味では、ちょっと先ほどの御説明ではカバーしてないかなと思うんですけど、ここは何かお考えはあるでしょうか。

○廣田副主査（日本電気協会） このプラントBの場合には、おっしゃるように下限の、下限というか、低温側というか、プラントEと同じような扱いではないかと思えます。ただ、これ5%カーブという前提でやっていますので、外れるデータは確かにあることはあるかなと思えます。ただ、外れ方についても、大きく外れているわけではないとは思っていますので、緑のデータがですね。5%カーブで外れるデータもあり得るという前提で、そういう解釈でいくと、このままでもいいんじゃないかなというふうに思います。こちらとしてはそういうふうに思いますけど、ということです。

○塚部管理官補佐 規制庁、塚部です。

御認識はわかりましたけど、固まりとして外れているなというのは単純に見て思いますということです。

○山中委員 そのほか、いかがでしょう。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁の佐々木です。

資料の6ページの(2)の質問についてですけれども、ここで鍛鋼品について検討した結果を載せていただいたんですけれども、ほかの材料についてはどういう検討をされて、どういう結果なのかが知りたいんですけれども。

○廣田副主査（日本電気協会） 今回は国内材の照射材ということでお示したもので、それはNRAさんも着目されているということで、そういうふうに示しています。マスターカーブの $T_0$ を設定するとなると、それなりの破壊靱性データの数が必要になってきまして、鍛鋼品以外の材料につきましては、その $T_0$ を設定するほどのちょっとデータがないので、今現時点では、これと同じような評価は難しいというのが実態です。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁、佐々木です。

そうすると、この鍛鋼品のデータで国内材の中性子照射材に適用できると判断したので、溶接金属や圧延材についても適用できると、そういうふうに電気協会さんでは判断されたということよろしいですか。

○廣田副主査（日本電気協会） 国内材ということで今回お示ししましたけれども、国際的にはというか、IAEAなり、いろんところで照射材に対する鍛鋼品以外の材料についても、適用性が確認されていますので、それが国内材は特別違う傾向があるとか、そういうのがあればちょっと別かもしれませんが、鍛鋼品以外については、国内材では鍛鋼品しか確認はできないですけれども、世界的な動向を見て適用可能だろうというふうに判断しています。

○佐々木企画調整官 わかりました。

○笠田教授 東北大学の笠田です。

先ほどの図の1-1ですね、(1)の、これは相関を示すものではないというのは何となく理解できたような気はしないでもないんです。ただ、何かやっぱりちょっと見方がよくわかってないのは、例えばこの鍛鋼品ですよ、2007年版のほうでは、要するに $T_{70}$ が0℃付近から-100℃近くまで分布しているのに、2016年版にしちゃうと-25から0におさまってしまうというのは、精度がよくなっていると考え方をすべきなのか、逆に感受性が低くなっていると考えるべきなのかって見ちゃうんですけど、それは、だから相関則じゃないから、そういう見方じゃないんだということの理解でいいんですかね。どうなんですかね。

○平野主査（日本電気協会） 個々のプラントのデータのばらつきが、何というんですかね、ある破壊靱性を持っていても、そのプラントでデータをとったときには中央部に集まっているデータと端にやっってるデータという分布が縦軸に出てしまっているというふうな見方をしています。ただ、定量的にどうかと言われると、そこまではちょっと評価できないので、逆に今、鍛鋼品のほうは全部のプラントをほぼ同じような材料で、同じようなCu量で一緒に全プラントで $\Delta T_i$ を決めて評価しているので、先生がおっしゃるとおり、この狭い範囲に温度が入ってきているということで、感度が下がっているというよりも、個々のデータに依存しない、全体的な評価ができていうふうに考えております。

○笠田教授 その辺りがやっぱりちょっといろんな説明で何となくわかりにくかったので、ちょっとよくわかってない。おっしゃるようなふうに理解ではいたんですけども、ただ、やっぱり何か、じゃあ、個々のプラントに戻って見たときに、その個々のプラントの特性というか、プラントの材料の特性が何か見えにくくなっているという懸念はないという理解でいいんですかね。数字のいじり方がちょっとやっぱりなかなか難しいので、どういうふうに、片側、やっぱりやってるのが違うのは理解できるんですけど、それによって見えやすくなったものと見えにくくなったものが明確になってないので、私の理解が追いつい



てないんだと思うんですけども。

○平野主査（日本電気協会） 個々のデータを全部見ているわけではないので正確な評価はできませんが、4ページにあるプラントBというのが鍛鋼品で、先ほどコメントはありましたけども、これのグラフにすると、赤い線からデータが全部左に離れてしまっているというふうに、離れているプラントはなるんだというふうに考えていますので、それがプラントも個性がなくなっていると言えなくなっていると言うのかと、何とも言えませんが、多くのデータを使って評価となっているので、離れているものは離れているで、プラントとしては評価が厳しくなりますけど、適切な評価に近づいてるんじゃないかなと思っております。

○笠田教授 今のところが多分すごく重要で、個々のプラントに戻したときに保守的な評価になっているということが明示されたようなロジックには、ロジックだとは思いますが、そのロジックが明確に説明され切っていないところが多分ずっとひっかかっているところで、個別にぼんぼんぼんとグラフを出されて、これはこうですよって、多分こちらの聞き方が今までもちょっとあんまりよくなかったのかもしれないですけども、ちょっとフィロソフィーの部分というのが、やっぱり今、口頭で説明されてる部分がもうちょっと見えるようにならないと、ちょっと理解がついていかないなと思いました。

○平野主査（日本電気協会） はい、わかりました。簡単に言うと、4ページの図で言うと、黒い線が赤の左側に来るので、2007年版で評価していたというのが、で、その中にデータが全部おさまるので、そういうグラフになるということで、それを全部のグラフを出すのもあれなので、図の1-1という形で示したということなので、それについては、示し方というのはちょっと検討します。

○山中委員 そのほか、いかがですか。

○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。

御説明いただき、ありがとうございました。資料の10ページの図の2-2に関してなんですけれども、今回、鍛鋼品のデータ11点お示しいただいたと思うんですけども、この図を見ると、11点のうち1点は外れてしまっていて、もう1点も95%の線に近いところにあるような形が見えるんですけど、これをもって外れているかどうかということではなくて、この全データを使って統計的に4に従っているかどうかとか、そういったような検討というのはされてはいないでしょうか。

○廣田副主査（日本電気協会） まず、5%、95%ということは、入るかどうかというの

は10%外れるということになりますので、11点中1点外れているということで、特にたくさん外れているという感じはないかなと思います。今、ちょっと御指摘あったのは、これは11点あるんですけども、これはもう一緒くたにしてワイブルプロットの傾きを求めたらいいのではないかということですかね。

○高見澤研究員（日本原子力研究開発機構） どちらかという、今回お示ししていただいているデータを使って、開示条件というのか、何かしらの統計的な検定手法を用いて4に従うかどうかというような検定をしてみたらどうかという。ただ、今おっしゃられたように、全てのデータを使ってワイブルプロットを描くというのも一つ手ではあるかなとは思いますが。

○廣田副主査（日本電気協会） 必要があればちょっとそのような検討はさせていただきます。

あと、ちょっと補足しますと、上側に外れているということは、傾きが大きく、 $m$ というか、傾きの値が大きくなりますので、よりばらつきが小さい方向にありますので、上側に外れるほうはそんなに特別気にしなくてもいいのかな、保守的に評価する上では、そういうふうにはちょっとと思います。

○高見澤研究員（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。

○山中委員 そのほかはいかがでしょう。

○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。

ちょっと細かい点の確認なんですけれども、(1)の質問に対する回答で、図の1-2としてプロットされている、このデータ点は基本的に2007年版で曲線をセットするときに使うデータですよ。ということは、その試験片の寸法によって、寸法が1inchじゃないものも含まれているとすると、赤の線と比較するときには、直接比較していいのかどうかという疑問が出てしまうと思うんですね。これは4216のほうで寸法交換、補正するというのがあるので、それとの関連なんですけど、実際、照射後のデータをもし用いているとすると、1inchより小さい試験片でこのデータがプロットされているのかなと。そうすると、1inchに補正するときにはもう少し下がってきて、赤の線より今下回っているものはもう少し離れるということになるような気がするんですが、その辺、試験片の寸法の条件と今の考えについてはいかがでしょうか。

○廣田副主査（日本電気協会） ちょっと御指摘のとおりのところがありまして、このグラフを描くときにプロットがあったほうがいいだろうということでプロットしてるんです

けども、1T換算するかどうかというところは、ちょっとどっちで描こうかと思ったんですけど、ここで2007年度版のカーブというのは換算せずに使っていて、その下限包絡をしているさまをちょっと見せたほうがいいと思ひまして、このプロットでは1T換算をしてないです。2016年版の破壊靱性遷移曲線で1T換算する場合というのはあるんですけども、ちょっと今このグラフでは、確かに2007年度版の破壊靱性データとの比較みたいな形にはちょっとなっているかと思ひます。だから、1T換算をして分布というか、包絡性を見るというのは確かにあるかと思ひます。ちょっと今このグラフでは煩雑なので除外したんですけど。

○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。試験片寸法についての情報はお持ちではないでしょうか。

○廣田副主査（日本電気協会） 鍛鋼品については、1/2T C(T)試験片ですね。それ以外については1Tです。

○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。

○山中委員 そのほか、いかがでしょう。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁、佐々木です。

11ページからのグラフなんですけれども、ワイブルプロットをとっていただいでいて、横軸が、分母が $K_{Jc(0.05)}-20$ ということになっていますけれども、このグラフで圧延材と材料ごとに分けてプロットをしていただいでいて、このグラフを見て、この $K_{Jc(0.05)}$ が $K_0$ だったら、多分傾きが4になるかどうかで形状係数が4なのかどうかということが議論されると思うんですけども、このグラフで見て、その傾きは4かどうかということを議論していいのかということと、このグラフを見ると、圧延材はちょっと必ずしも真っすぐじゃなくて曲がっているように見えるんですけど、これはなぜでしょうかということ。次のページの、12ページのbとcの鍛鋼品と溶接金属については、前のaの圧延材に比べて、プロットの位置が下方方向に1ぐらい下がっているように見えると思うんですね。これはどういう、この現象なのかというのを教えてほしいです。

○廣田副主査（日本電気協会） すみません、まず、先ほど鬼沢さんからちょっと質問があった件で、鍛鋼品は1/2Tでほかのやつは1Tと言ったんですけど、ちょっと1Tじゃないやつも含まれているかもしれないので、すみません、ちょっともう一度確認をさせていただきます。

今の御質問なんですけれども、このグラフは、まず、前回5%カーブを下回るデータの外れ具合をちょっと見るということで、見たグラフに対して鋼種ごとという御依頼があった

ので、ちょっと今、横軸は5%カーブに対する比率という形で表しています。

ワイブルプロットの傾きを見る場合には、正確には御指摘のとおり5%ではなくて、 $K_0$ で比較するのが正確になります。一応そういうグラフもつくってるんですけども、この傾向は変わらないです。ほとんど変わらないです。圧延材はやっぱりちょっと変曲点があるというか、そんな感じにはなってきます。

それから、あと、このグラフの見方なんですけれども、横軸が0のところはカーブのオンラインのところでありまして、5%というのがちょうど-3ぐらいのところになります。したがって、今、圧延材とほかの材料で縦軸が1ぐらい違うという御指摘なんですけれども、圧延材については5%より若干、-3よりちょっと低目になっていますので、5%よりもちょっと低い破損確率に対応していると。それは先ほどのWallinの評価の4.1%と対応しているということになります。

一方で、鍛鋼品と溶接金属については、大体ちょっと低目に-4とか、それぐらいになっているということは、破損確率がこの破壊靱性カーブの位置でさらに低くなっているということを表していますので、それは先ほどのWallinの評価法の0.9%というのがありましたけれども、それと対応する形で、鍛鋼品と溶接金属はさらに保守的な設定がなされているということです。したがって、その圧延材は変曲点があるんですけども、実際評価に使うのは5%カーブで使いますので、そういう意味では5%以下の破損確率で対応するカーブということで、特に問題ないのではないかなというふうに考えています。必要に応じて、その $K_0$ を横軸にした場合のプロットは出せることは出せますので、それは調整させていただければと思います。

○船田参与 規制庁、船田です。

今の図に関連して、今のお話、プロットしているというお話ですけども、そのときに傾きはやっぱり4になってるんですか。

というのと、ほかにもう一つ質問がありまして、例えば今の相関線を引かれてるんですけども、横軸の0の点は破壊靱性が0.05%の値になる点。ですから、縦軸で言うと、それはPfの5%の点と一致するのではないかなと思って、ワイブルプロットすると、縦軸が5%の点と横軸が0の点を通るんじゃないかと思うんですけど、そういう検討もされてるかなということがあります。

それから、今、5%を下回るデータということで囲まれているところが横軸が0より左側の点だけになってるんですけども、縦軸の5%、-2.97か、約-3より小さいデータ、このデ

一タもこの図から言えば5%を下回るデータに当てはまらないんでしょうかという質問です。

○廣田副主査（日本電気協会） まず、この青の点線というのは、横軸が0で、縦軸が-3というか2.98というか、その点を通るというわけではなくて、この白のプロットを、傾き4を固定した状態でフィッティングしたカーブになっています。

ごめんなさい、あと、 $K_0$ を横軸にした場合には傾きは4になるかというのが最初にあったと思うんですけど、それについては、この5%と同じような、それはぴったり一致するかどうかという見方はあると思うんですけども、ほとんど同じような傾きにはなりません。だから、5%でも $K_0$ でもほとんど変わらない傾きになります。

あと、最後は下回るデータ。

○船田参与 規制庁、船田です。

縦軸が5%、ですから、-3より下のところにあるデータは5%の確率を切っているデータに当てはまるんじゃないんでしょうか。で、そのデータをカウントするべきじゃないかなというふうにこの図から見ると思うんですけど、そういうふうにはならないんでしょうか。

○廣田副主査（日本電気協会） すみません、カウントするというのはどういう意味ですかね。

○船田参与 今、5%の下限を下回るデータというので丸が描いてありますが、これはもっと広い範囲にならないんでしょうかと。ただ、今、圧延材ですと大体似たところですけど、次のページの鍛鋼品とか溶接金属に行くと、5%より下回るデータがたくさん出てきますので、そこら辺をどう理解したらいいかなと。

○平野主査（日本電気協会） このグラフですが、0のところ、横軸を見ていただきますと、 $K_{Jc}-20/K_{Jc(0.05)}-20$ なので、これで割り算してるので、この下限カーブそのものが $K_{Jc(0.05)}$ になっているので、これがプラスだとデータは上にいるということになります。5%信頼下限カーブ。で、そのデータを単純に全部順繰りに並べて、このプロットにしているんで、本来は0のところ、5%じゃないかというふうな御指摘もありますけど、それよりは、要は下に来ているということなので、データは下回ってないということになります、プラスのほうに行けば。で、正確に言うと、ここの5%信頼下限というのは $\Delta T_t$ とか、いろいろ入れて設定した $\Delta T_t$ なので、ある程度5%よりは保守側になっているので、保守側になっていると思われるので、先ほど廣田さんが説明したとおりに若干下になっているという、下にグラフが下がってるみたいな形になっているということになります。

○船田参与 説明、ありがとうございます。まだちょっと完全に理解できていないので、横軸のパラメータに $K_0$ を使った図をもし見せていただければ、それを見て判断したいと思っています。

○廣田副主査（日本電気協会） わかりました。それは提出をいたします。

○山中委員 そのほか、ございますか。

どうぞ。

○鬼沢センター付（日本原子力研究開発機構） すみません、原子力機構の鬼沢です。

今の船田さんからの質問に追加で、その全データを一つのグラフにプロットするために処理を事前にされていると思うんですけども、そのやり方もちょっとわかるようにしていただくとありがたいんですけど、例えば個々のデータは $K_{Jc}$ という値を持つてると思うんですけど、その $K_{Jc}$ に対する $K_{Jc(0.05)}$ というのをどういうふうに決めているか。違うデータセットというんですかね、違うプラントのデータをまとめるときの何かそのやり方、ノーマライズの仕方というのを説明していただくとありがたいなと思いますけど、よろしいでしょうか。

○廣田副主査（日本電気協会） 御質問は、 $K_{Jc(0.05)}$ をどういうふうに設定しているかということですか。

○鬼沢センター付（日本原子力研究開発機構） はい、それが基本的な質問で、もう一つはPfの求め方というのもあるんですけど、これは非常に細かいので、そちらも参考情報としてはあったほうがいいかなとは思いますが。

○廣田副主査（日本電気協会） 一応説明しますと、5%カーブ、 $K_{Jc(0.05)}$ を設定しているのは、これは今、 $\Delta T_t$ のカーブ、これの包絡性を確認するものなので、 $K_{Jc(0.05)}$ というのはPTS評価用の破壊靱性遷移曲線そのもの $K_{Jc}$ の値を使っている。温度については、その試験データに対応する温度、その温度の値の $K_{Jc(0.05)}$ を使っているということです。

○鬼沢センター付（日本原子力研究開発機構） わかりました。温度については、 $K_{Jc}$ の試験温度に対応する5%の $K_{Jc}$ を分母のほうに持ってきているという、そういうことですね。

○廣田副主査（日本電気協会） そのとおりです。

○北條調査官 規制庁の北條です。

(5)番で照射量依存性というか、照射量に応じて $\Delta T_t$ について回答していただいておりますが、18ページの図の5-1をちょっと見てみますと、 $\Delta T_t$ は照射量を高くするにつれて徐々に大きくなっているようなんですが、これでその $\Delta T_t$ を固定値にするという考え方と

どうか、それでよいとしたちょっと根拠みたいなのを、考えをお聞かせください。

○廣田副主査（日本電気協会） 圧延材については飽和しているというところはおわかりいただけたかなというふうに思うんですけど、鍛鋼品と溶接金属については、ちょっと御指摘のように、右上がりの照射量の依存性が高照射量でもあるようなイメージにはちょっとなってはいます。これは、回答にもちょっと書いたんですけど、 $5 \times 10^{19}$ にしても破損確率は十分低いということと、あとは、60年運転の照射量が4ループですと $3.3 \times 10^{19}$ とかですね、それ以上の領域であって、しかも $5 \times 10^{19}$ 以上にしておけば、そこそこ保守的になるだろうという判断でしてます。

すみません、あとは、この表の5-1を見ていただければわかるんですけども、対象のデータ数、NRAさんからもちょっと御指摘がありましたけど、データ数が少ないののではないかという指摘もありましたし、そういう意味で、もう照射量の下限をどんどん上にしていくとデータ数も少なくなりますので、そういうようなところもちょっと総合的に考えてということなんです。

○北條調査官 規制庁の北條です。

すみません、先ほど、60年時点の照射量についてもう一度、どの程度かというのをお願いします。

○大厩委員（日本電気協会） すみません、検討会の大厩です。

60年時点の照射量につきましては、前回会合の資料のほうで御説明しておりまして、ちょっと資料番号がすぐ出てきませんが、前回、お手元の前回の資料の2-1の資料のスライド8ですね。こちらのところに破壊靱性カーブに対する傾向分析とともに60年時点の照射量の範囲も示しておりまして、大体、鍛鋼品ですと $3.3 \sim 6.5$ ぐらいまでということになっておりますので、大体今の $5 \times 10^{19}$ 以上の破壊靱性データとほぼ似たような位置にあるということで、大体この範囲で設定しておけば評価に使えるんじゃないかなというふうに考えております。

以上です。

○北條調査官 規制庁の北條です。

今、鍛鋼品のほうで $6.5$ ぐらいになるという話でしたが、それを見ますと、鍛鋼品でこれを、今の今回の資料の図の5-1を見ますと、大体6の時点で結構、 $\Delta T_t$ が $+20$ になっておりますが、鍛鋼品の $\Delta T_t$ って何でしたっけ、すみません。ああ、 $13$ ぐらい。だから、結構ちょっとオーバーしているような気がするんですが、そこら辺についてはどうお考えでし

ようか。

○廣田副主査（日本電気協会） 照射量の下限を6にした場合には、前回の資料の8ページ、資料2-1の8ページですけれども、7をちょっと超えたぐらいのデータのみになるんですね。

これは1材料のデータのところをたくさんとってるわけですが、このデータに支配されて13℃高くなっているということです。この7の照射量というのは、60年時点での鍛鋼品の照射量の範囲を超えたデータになってまして、これも含めて、その大体5ちょっとぐらいのデータも含めた $\Delta T_t$ の設定の値になってますので、それほど大きく非保守的になるとか、そういうことではないのかなというふうに思います。

○北條調査官 規制庁の北條です。

鍛鋼品についてはわかったというのか、もうちょっと確認してみますが、溶接金属については範囲自体が11ぐらいまで照射量の範囲、60年時点の照射量が $11 \times 10^{19}$ ぐらいで、今の今回のグラフ、図の5-1を見ますと30℃、さらにプラス照射量が先の、何というんですか、傾きが上に行くような感じになってますが、今、溶接金属は14℃になっていて、その $7 \times 10^{19}$ 時点でも倍以上になっているというのはどういうふうにお考えでしょうか。

○廣田副主査（日本電気協会） 前回の資料の8ページの溶接金属の照射量に対する依存性を見ていただきますと、若干右下がりの傾向は確かに、ちょっとあるのかなというふうには思います。あとは、やはりデータ数が今現時点での監視試験データで取得されているデータに基づいてやっておりまして、前回の資料で質問回答でも御説明しましたけれども、やっぱりちょっと引き続き監視試験データで破壊靱性データを取得していて、やっぱりもうちょっと精度を上げていくということはないといけないとは考えてますので、ただ、直ちに8とか9とか、それぐらいの照射量になるわけではないので、引き続き改訂して行って、確認して行ってということはある程度は得ないかなというふうには思います。

○北條調査官 規制庁の北條です。

今のお話をちょっとお聞きしていると、どうもこの $\Delta T_t$ というのを固定値にするというのには現時点でもちょっと無理があるような気もするんですが、そこら辺はそういう認識でいいのかなのかということをお聞かせください。

○廣田副主査（日本電気協会） 照射量に対する、 $\Delta T_t$ を照射量パラメータにした式にするとか、そういうことは確かにちょっとあるかもしれませんが。そういう方法も確かにあるかもしれないとは思いますが。

○北條調査官 規制庁の北條です。



ありがとうございます。

○山中委員 ほかにもあるかと思うんですが、少し時間がオーバーしておりますので、少し次のほうの話題に移りたいと思います。

資料3-2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ということで、佐々木企画調整官から説明をお願いしたいと思います。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁の佐々木です。

資料3-2を御覧ください。今議論がありましたので、大体のところはこちらに記載されている内容のうち一部になりますので、前回から変更したところだけ簡単に御説明したいと思います。

まず、めくっていただきまして2ページ目ですけれども、真ん中辺りに②とございまして、2016年版に2種類の $K_{Jc}$ 式を追加したことについて幾つかの項目に分けて記載してございまして、一つ目がマスターカーブ法になりますけれども、こちらについて御説明いただいたものとして、3ページに本日提示していただいた電気協会さんのグラフをつけております。こちらの説明として、5プラントについて非保守的な評価となっているということはあるけれども、それについて圧延材、溶接金属、鍛鋼品それぞれにそういうデータが出てきておりまして、材質に偏りがあるというわけではなという御説明をいただきました。

また、保守的であるとしているデータについてですけれども、 $K_{Ic}$ 式から得られる $T_{70}$ と $K_{Jc}$ 式から得られる $T_{70k}$ に開きがあるものが保守的なものについてもありますねということに記載してございます。これについてどう思うということは特に記載してございません。

それから、5ページに行っていただきまして、(b)といたしまして、照射脆化した材料に対するマスターカーブ法の適用性について本日御説明していただきまして、これについては同じページに表が載ってますけれども、国内材については鍛鋼品のデータについて確認しているという御説明がありました。

めくっていただきまして、11ページになりますけれども、10ページ～11ページにかけて、今御説明いただきました図が載ってございますけれども、この三つの図については必ずしも直線上に分布していないことですか、圧延材と鍛鋼品及び溶接金属では異なる傾向があるのではないかということが議論されているというふうに理解しております。

めくっていただきまして、12ページですけれども、これを踏まえると、国内材での検討の対象が鍛鋼品のみですので、このデータをもって圧延材及び溶接金属の国内のものについても適用に問題がないとは言えないのではないかというふうに考えております。

また、圧延材のデータは、鍛鋼品及び溶接金属と異なる傾向があるのではないかと考えておきまして、この辺については外部専門家の御意見をいただきたいと思っております。

それから、その下の(c)といたしまして、破壊靱性曲線の下限の考え方ということで、下の表の1-3というところに破損確率を出していただきましたけれども、これにつきましても、圧延材については破損確率が2016年版になって少し高くなると。これに対して鍛鋼品、溶接金属は下がるという傾向がございまして、これについても傾向が異なっているということが見られるというふうに思っています。

それから、めくっていただきまして、13ページからは検討に用いたデータ群について御説明いただいた内容が書いてございまして、めくっていただいて、15ページになりますけれども、今さっき議論になりました表を載せてございまして、これを見ると照射量が増えると $\Delta T_i$ が少なくとも鍛鋼品と溶接金属については上がっているというグラフを提示いただいておきまして、これについても圧延材と鍛鋼品、溶接金属の間で傾向に偏りがあるのではないかと考えています。

16ページに行ってくださいまして、 $\Delta T_i$ に使用した破壊靱性データの照射量の下限を低くすると $\Delta T_i$ が小さくなるという傾向が見られますので、 $\Delta T_i$ に照射量依存性が少なくとも溶接金属と鍛鋼品にはあるというふうに見えますので、これを将来予測に用いるのは適切とは言えないということと、 $T_{r30}$ の式は再検討する必要があるのではないかとこのように考えております。

以上です。

○山中委員 ただいまの説明につきまして、質問、コメントはございますでしょうか。

いかがでしょうか。

○大畑教授 大阪大学の畑です。

質問ではないかもしれませんが、やはり先ほど来から議論がある図の1-1ですかね。特に保守的であればいいということではなくて、過度に保守的なもの、これはどういふことですかというところももう少し分析する必要があるかと思うんですが、このグラフの言うところは、やはり $T_{70}$ に対してどれぐらいの温度レンジの実験結果があるかとか、あるいは個々の温度での試験片の本数であるとか、そういったものに物すごく依存してくるというのが2007年版のものというふうに思うんですね。そういうことで、物すごく保守的になっているものというのは、どういうデータを対象にされているかとか、そういったところを整理されれば、もう少し理解が深まるんじゃないかなというふうに思います。

あとは、 $T_{70}$ といいますか、 $70\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ を一応一つの指標にはされてるんですけども、それが妥当かどうかというのも少しあるんですけども、ちょっとそれに関連してお聞きしたいことというのが、これ評価の際に、遷移曲線は $K_{Jc}$ と、いわゆるJから換算したK値ということですけども、そうすると、駆動力となるPTSの $K_I$ のほうも、本来は $K_J$ であるべきなのかなという気もするんですね。恐らく諸外国のFAD評価とかでも $K_{Jc}$ と $K_I$ との比較というような形で評価されていると思うんですけども、ただ、今回、評価対象になる靱性レベルが $70\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ と、それぐらいであれば、ほとんど $K_{Jc}$ と言いつつも $K_I$ ですか、いわゆる弾性破壊力学パラメータとほとんど同じような、ほとんど等しくなるようなレンジかと思うんですけども、その辺、何か御検討されているところがあれば一つ伺っておきたいなところなんです。  $K_{Jc}$ と $K_I$ を比較して評価するということに対してですね。 よろしくお願ひします。

○廣田副主査（日本電気協会） まず、 $70\text{MPa}$ とした理由なんですけども、前回の資料の2-1ですけども、15ページに、 $T_{70}$ を比較したものがあつたんですけど、 $T_{70}$ を比較したグラフが右側にありまして、あ、15ページ、前回の資料2-1の15ページですね。15ページです、すみません。2007年版の破壊靱性遷移曲線と2016年版の破壊靱性遷移曲線の温度依存性はほとんど同じなんです。ですので、 $70\text{MPa}$ を代表としてやつてるんですけども、60でも80でも傾向はもう変わらないというのは思ひます。

あと、PTSによる $K_I$ と $K_{Jc}$ については、ちょっとまだ、まだというか、今回、破壊靱性曲線のほうのちょっと議論になつていますので、 $K_I$ 、 $K_J$ のほうの御質問もありましたので、そのときに御説明したいと思ひますが、やはり80MPaとか $70\text{MPa}$ ですと、そんなに $K_I$ と $K_J$ が変わるということはないというふうに考えてござひます。

○山中委員 そのほか、いかがでしょう。

いかがでしょうか、どうぞ。

○船田参与 規制庁、船田です。

ちょっと戻つてしまうかも知れないんですけど、今の資料の5ページに炭素鋼の評価に使つたデータ総数というのが書いてありますけど、5ページ。ここで220となつてるんですけど、今までの資料を見ると、炭素鋼の照射材、照射データ数が257かな、あ、259、で、有効なのが257。ちょっと違う数字が出てるんですけど、何か取捨選択というか、選ばれてここに220個だけ使われたのか、何か理由があればちょっと教えていただきたいと思ひます。

○廣田副主査（日本電気協会） 鍛鋼品の監視試験で取得されたデータがデータベースに

なっているんですけども、この5ページで言っている破壊靱性データの総数の220というのは、同じ材料で同じ照射条件、同じ監視試験カプセルの中に入っている破壊靱性データ数がマスターカーブで要求される破壊靱性データ数を満足するものだけをピックアップしたのがこの220というデータなので、データ数、同じ材料、同じ照射量でそれほど多くないデータのもの除外しています。

○船田参与 はい、理解しました。

○山中委員 そのほか、先生方から何かコメント、御質問はございますか。

はい、よろしければ。

○大村基盤グループ長 規制庁の審議官の大村です。

次の議題に行く前に、ちょっと1点だけ申し上げておきたいことが。前回の会合での指摘に関する事柄ですけれども、先生方、それからあと、鬼沢さんからも御発言がありましたし、あと事務局、それから最後に山中先生からも御指摘なり御発言があった件なんですけれども、今回御提案の方法、このマスターカーブ法というものについてなんですけれども、種々説明をいただきまして、それで全般的に保守的になっているような、で、そういう御説明があるし、そういうふうには見えるというふうには思いますけれども、ただ、この手法を使う根本的な、基本的な考え方、フィロソフィーという言葉も先生方からも何遍も出ましたけれども、それは一体何なのかということが非常に重要だというふうに考えています。下限包絡であったものを5%外れるものがあるという、確率も入れたフィロソフィーを変えるということになるわけなんですけど、そもそもこれは一体どういう考え方なのか、なぜそのほうがよいというふうに考えるのかという根本的な疑問だと思います。前回、こういう質問なり疑問に対して、今は答えが出ないので持ち帰って考えますというふうに御発言されているというふうに思います。ただ、そこはまだ十分に説明をされていないんじゃないかなというふうに感じておりまして、今日、議論があったように、まださまざまな個別の課題がありますので、仮にそういう説明とかが行われて、課題に関する検討がさらに行われて仮にクリアしたとしても、この根幹的な問いに対する十分な説明と、それから、チームとしての納得感というものがないと、これはいけないんじゃないかなというふうに思います。検討中ということで持ち帰って考えられるということだったので検討中だと思うんですけども、随分、この検討チームの検討も進んでおりますので、改めてリマインドをさせていただいたということでもあります。よろしく申し上げます。

○山中委員 いかがですか。

○平野主査（日本電気協会） すみません、具体的には何をやればよろしいという御発言でしょうか。

○大村基盤グループ長 前回の議事録を御確認ください。よろしいですか。そういう質問があって検討しますというふうに答えられておりますので、その検討をした結果を、持ち帰って検討した結果を御説明くださいという趣旨のことです。議事録を御確認いただければと思います。

○山田幹事（日本電気協会） 構造分科会幹事、山田です。

今、これまでPTSにマスターカーブを用いていくということのために説明しておりますけれども、ちょっとこの後の4216でも少し関連はしますけれど、また、次回以降、フィロソフィーめいたお話についても御説明させていただきたいと考えております。

○山中委員 そのほか、いかがでしょう。

そうしましたら、次の議題に移りたいと思います。

資料3-3に基づいて、「フェライト鋼の破壊靱性参照温度 $T_d$ 決定のための試験方法」議論内容に関する回答について、日本電気協会より説明をお願いいたします。

○山本委員（日本電気協会） 電気協会の山本でございます。

資料3-3の、第1回の検討チーム会合でいただきました要説明事項の1～3について御説明いたしたいと思います。

ページの2ですが、まず(1)としまして、試験片の寸法効果等について検討した技術的内容を示すことということでございます。

2ページ目にまず、ちょっと白黒で見にくいんですが、図の1-1として、オークリッジ国立研究所がさまざまな寸法の試験片についてマスターカーブの適用性を検討した結果を載せております。いずれのシンボルもマスターカーブ、真ん中にある線、それから、上と下がこのグラフですと97%と3%のラインでございますけれど、この中にほぼおさまって、外に出るのは3%分、3%分ということになります。この温度の遷移に対しての傾向もきちんと載っているということで、まずは実験結果が寸法依存性を、これは照射材に対してですけれど、満たしているということを示しております。

また、図の1-2でございますが、左側の5本のバーはさまざまな寸法、4inchの厚さの寸法の試験片から「Miniature C(T)」と書いてありますのは今議論しているMini-C(T)と呼ばれる4mmの厚さのものですが、これについて評価した結果がこのようにコンパライなものであるということを示しております。

なお、緑色で示しておりますのは曲げ試験片でございまして、前々回も議論がありましたとおり、これを健全性評価に用いる場合については、まだ検討が必要であろうというふうに考えております。

表の1-1は、それに用いておりますデータの詳細ですので割愛させていただきたいと思っております。

図の1-3でございまして、これは小さい試験片、Mini-C(T)試験片が白い丸、それから、1inchの大きな試験片が黒い丸で示しております、そのワイブルプロットを示しております。先ほどから話のありますワイブルプロットですが、赤い線は追記したものでマスターカーブの前提に従う傾き4のものでございまして。小さな試験片でも大きな試験片でも同じような傾向であって、この4のデータにきちんと乗っているということから、寸法依存性はこの超小型な試験片でも補正可能、使用可能というふうに判断しているということでございます。

続きまして、(2)でございまして。参照温度 $[T_0]$ の決定における必要サンプル数について検討した技術的内容を示すことということでございまして。

これについては、幾つであればいいとか、幾つであればよくないということではなくて、規格において幾つであれば有効とするということを決めているということなんです。もともとありますのは、このJEAC4216の前にASTM E1921という先行する規格がありまして、これをまず参照しまして、JEAC4216についてもきちんと技術的な検証を行ったということでございます。

ここで必要としている試験片は6個～8個、試験温度によるんですが、6個～8個ということになってございまして、それはASTMであってもJEACであっても同じような数であり、それに伴う $T_0$ のばらつきは同等であるということを確認しております。今、 $T_0$ のばらつきと申し上げましたが、じゃあ、試験片の数が変わるとどう変わるかということですけど、数が多くなればばらつきが当然小さくなる、少なければ多いということで、その部分を考えなきゃいけないと、一緒に考えなきゃいけないというのは規格に定めているわけですし、ある数を超えたら突然よくなるということではございません。そのばらつきというのは(1)式で示すようなもの、これはJEACの4206のほうに載せてある式ですが、これで評価が可能ということでございまして。

図の2-1は、まず26点の実験データから何回もサンプリングするような手法で、モンテカルロシミュレーションを行って、実験結果による、そのばらつきの幅と、それから理論

的なばらつきの幅、理論的といいますのはワイブル分布に載るということですが、これを横軸を試験片数とすると、両方とも同じような傾向を示すということを実験のデータから確認したものです。

これを図の2-2も同じように、三つグラフがありますが、上から三つの試験片、六つの試験片、九つの試験片で評価した場合に、どのようなばらつきの分布の幅があるかということです。御覧いただきますように、試験片の数が多くなればなるほど、分布の幅が狭まってきているという傾向が見てとれると思います。

これが今申し上げた試験片の数と分布の幅の話でございますが、別途もう一つありますのは、試験温度が高い温度になりますと、無効データというものが増えてきます。そうしますと、同じ数を用意したとしても無効のデータが増えてきますので、もっとたくさんの試験をしなければいけないということで試験温度の選定というのが重要でございます。それを実験的に検討した結果が図の2-3に示されております。丸印が一番よくおわかりいただけるかと思うんですけど、試験温度が $T_0$ 、一番右側が $T_0$ と試験温度が一緒のところですが、そこからずっと下がってきますと丸印が下がってきているというのがおわかりいただけるかと思います。下がってきているというのはどういうことかということ、必要な試験片数が少ないということです。このプロットは全て超小型の試験片について示したものでして、この試験片、小さな試験片を使う場合には $T_0$ から30℃ほど低いところの試験温度を選ぶと無効データになる数が多くなく、有効に試験片を活用できるということでございます。

(3)ですが、9ページです。複数試験温度による方法の場合の $[K_0]$ 、それから $[K_{T_i}]$ の算出方法について検討した技術的内容ということです。

まず申し上げたいのは、この複数温度法と単数温度法でございますが、これは理論的に同一のものでして、異なる結果が得られるものではないということです。 $K_0$ につきましては、例えば単数の単一温度法でやりましたが、どの試験温度で評価しても $T_0$ が同じになります。そうじゃないと試験法そのものが成り立たないわけですけど、そういうことを前提にした理論化がなされております。

複数温度法は、どの温度でも同じ $T_0$ が得られる、その複数の温度を選んで一緒に評価したらどうなるかということ算術的に展開したものでございます。

式を幾つかお示ししておりますが、9ページの上の式は複数温度法における式でございます。その中の $T_i$ というのが個別の試験片、試験片の試験温度ということになります。

ここの $T_1$ にある固定値を入れて展開をしていきますと、単一温度法の式に変換することができます。詳細は省きますけれど、その9ページの下にあるような式を参照しながら上の式を展開していきますと、10ページにあります上の式になります。上の式に $T_{sg1}$ とありますのは先ほど入れた固定値でございます。この式を見ていただきますと、実はその単一温度法における $T_0$ の式、その下に示しております式と全く同じものでございます。この展開からも複数温度法と単一温度法が一緒であるということがおわかりいただけるかと思いません。理屈から言うと一緒です。

今度は、もう一つは実験結果がちゃんとそうなっているということを示す必要がございます。マスターカーブ法を提唱しましたWallinが多くの試験データについて単一温度法と複数温度法の評価を実験的に比較しております、その結果として、その $T_0$ から $\pm 50^\circ\text{C}$ の範囲であれば、両者がきちんと一致する、理論と実験結果がコンパラであるということを確認してありまして、それがこのマスターカーブ法になっているということでございます。

説明は以上でございます。

○山中委員 ただいまの御説明いただいた内容について、質問、コメントはございますでしょうか。いかがでしょう。

どうぞ。

○笠田教授 東北大、笠田です。

プレクラックシャルピーなどの曲げ試験片はちょっと厳しいということで御説明あったんですけども、ちょっと、また後から大変申し訳ないんですけども、規格書のほうをよく見て、いろいろ根拠資料と比べてみると、いろんなタイプの試験片が規格書のほうには書かれていて、ただ、根拠資料の中には、その試験実績がないように見えるDCTとか、そういったものまで使ってもよいというか、使えるということになっているところがどういうふうに説明可能なのかなと思ったところと、あと、もっと細かく言えば、その機械切り欠きの寸法も結局、直線状ノッチ、狭隘ノッチ、シェブロンノッチと3種類、これはよく破壊靱性の試験法に書いてあるのでそのままのような気はするんですけども、この $T_0$ 決定という意味で使うときにこれらの影響があるのかなのかということがよくわからないところと、あと、特に多分、C(T)では気にしなくてもいいのかもしれないんですけども、機械加工の方法というのがミニチュア試験片になると、私の経験はシャルピーしかないんですけども、砥石加工でやる場合と放電加工でやる場合で、普通のフルサイズシャルピーとかだったらそんなに気にしなくてもいいんですけど、ミニチュアになっていくと、やっ



ぱりそういう微妙な影響が出てくると。だから、これもミニチュアなので、その辺、ちょっとどうなのかなというのも、それは完全に、何というか、気になるところなんですけど、いや、要するに、根拠資料でやっていることは根拠があると思うんですけども、根拠資料にないところのバックグラウンドが文献というか、何となく常識的な破壊力学的な、常識的なところと、あと、試験片の部分ってやっぱりちょっと結構絶妙なところがあると思うので、どうなのかなと質問する次第です。

○山本委員（日本電気協会） まず、DCTの試験片でございますが、御存じのとおり、その破壊靱性試験片の一番重要なところは亀裂の先端、物すごくその部分に限られるということがありまして、その部分での応力集中が非常に激しくて、外径側に行けば行くほど応力もひずみも何も立たないということは過去の多くの文献で示されているところだと思います。DCTに、特に話をしますと、その四角の形状の四つ角というのは最も寄与しないところでございますので、その文献等の過去の知見から、この部分についてはもう周知の事実であろうということで特に文献も引いておりませんが、問題なく使用可能であろうということでこの中には入っております。それが根拠でございます、特別に根拠をここに示していない理由でもございます。

次に、ノッチ部分の加工についてでございます。ノッチ部分の直線状、狭隘ノッチ、シェブロンノッチというのは加工の方法が幾つか限られるということからこういった場合分けがされておりますが、試験上最も重要なのは、規格でいきますと、10ページにあります、図のMCT-3200-1ということでございます。ノッチの形状があまり影響しないというのは、やはりここから疲労予亀裂を入れるからということでございまして、疲労予亀裂を入れますと、そのバックにあります機械加工との影響というのはその間に消えていくということでございます。この点で示しましたエンベロップといいますのは、その機械加工の段階で残るであろう、その先への影響、あるいは、その切り欠きが大き過ぎることによる亀裂先端の応力場への影響というものをケアしなさいよということでございますが、これが守られる限り、いろんなノッチ形状でも大丈夫ということで、今まで選考するE1921で使われておりました直線状ノッチ、狭隘ノッチ、シェブロンノッチというのは予亀裂を導入すれば同一の状態になるだろうという考えのもと入れております。

最後に、ミニチュアにしたときの微妙な加工の影響ということでございます。先生がおっしゃったシャルピーはまさにそうでした、機械の加工のノッチのところですので、そこに加工層の影響が最後まで残ります。これも実は破壊靱性試験片ですと予亀裂を導入しま

すので、その予亀裂の長さがちゃんと加工層を突破する長さになっていけば問題ないということで、この予亀裂長さの要求というのは、それを突破する長さということで要求がなされております。ということで、その三つについてはケアをされているというふうに考えております。

以上です。

○笠田教授 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。

○沖田准教授 関連する質問をさせていただきます。15ページ、(6)になります。このデータはラウンドロビン試験で得られたと思うんですが、この試験のばらつきというのは試験による $T_0$ を求める段階でのばらつきだと思うんですが、この試験されるときに、資料は恐らく同一機関がつくられて皆さんに配られてるんですよ。となると、基本的に同一機関がつくったということは、その資料作成に伴う誤差というのは極めて少ないと考えられます。今回、ミニチュア試験片を使うに当たって、0.1mmのプラスマイナスに固定されている、Wは0.1mmとされていると思うんですが、多分、同一機関でつくると、その誤差も非常に小さくなってくる。これがもしほかの機関でつくった場合にどこまでこの $T_0$ のばらつきが加わってきて、今、この測定だけの誤差に機械加工のWも上乘せされるわけでして、そこはどれぐらいになりますでしょうか。

○山本委員（日本電気協会） 加工誤差がどれだけ最終の結果に影響を及ぼすかという御質問だと思いますが、これは前々回に公差の緩和の議論の中でも御説明したんですが、公差をいろいろ変えて寸法を変えたときに最終的にKの値にどういう影響が出るかという解析は行っております。この中で、この0.13Wというのが、あ、0.1mmですね、というのが最終的に得たものですが、それは許容可能であろうと考えられる誤差に対して物すごく小さな値、例えば10分の1とか、そういった値でしかありません。ですので、その通常考え得るワイヤーカット、あるいは外径についてはプライスという可能性もあると思うんですが、そういったものを踏襲してこの加工を行っている限り、常識的に考えられるばらつきにおいては問題ないだろうということは確認をしております。

○沖田准教授 東大の沖田でございます。

ありがとうございました。多分、第1回目の1-2-2の資料で、8mmに対して $\pm 0.05\text{mm}$ で、径のノーマライズしたときのデータについておっしゃられているのかと思いますが。

○山本委員（日本電気協会） 今申し上げたのは、今回の資料でも(5)のところに回答を

つけておりますが、例えば13ページの表の5-1を御覧いただきますと、ここは公差の緩和前後ということですが、これが例えば別の工場での寸法の微妙な変化と読み替えていただいても結構かと思えます。そのときの参照温度の標準偏差というのが下のほうに、例えば1.41℃とか、1.5℃とか、2℃とか、そういったもので示しております。T<sub>0</sub>のデータセット、データセットの分布というのは10℃とか、その(6)での回答でお示ししたとおりでございますので、その部分は非常に小さいというふうに考えております。

○沖田准教授 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。

○大畑教授 阪大の大畑です。

一つ教えてください。図の1-2で、いわゆるC(T)と曲げの違いについて示していただいているんですけども、標準サイズの試験片でも厳密にはやっぱりC(T)のほうが拘束が強いので、参照温度的には高温側に行くかと思うんですけども、今回、ミニチュアに対して、この結果から、やはり曲げに対してはまだ適用は時期尚早だろうという判断で現在のJEAC4216の2015年版では曲げのミニチュアは含めていないということでもよろしいんですね。現在は許容してないんですよ、使用は。

○山本委員（日本電気協会） はい、入ってないです、すみません。

○平野主査（日本電気協会） 曲げのミニチュアってやってないのでわからないです。そういうことです。

○大畑教授 今申し上げたように、1inch相当でも若干違いが出てくるということは、何か規定には入れられているんですか。それとも、ほとんど差はないだろうという判断をされているのか、どちらでしょうか。

○山本委員（日本電気協会） 曲げについてということですか。

○大畑教授 そうですね、曲げとコンパクトの本来あるであろう若干の差というものを。

○山本委員（日本電気協会） 現状では解説にこの曲げ試験片の場合は違うT<sub>0</sub>になる可能性があるので注意することという話があります。実際に健全性評価に使う際には、例えば曲げ試験片の場合はこう扱いますということがそちらで入ってくる内容だというふうに考えております。

○大畑教授 はい、わかりました。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。

どうぞ。

○沖田准教授 東大の沖田でございます。

今回、マスターカーブ法を開発したWallinさんのデータをもとに、今回、ミニチュア試験を開発されていると思うんですが、この参考にされた文献[6]を見ますと、もう $T_0$ を求める温度は複数温度でやるのが望ましいと、できれば3点以上とはっきり明記されているんですね。そのほうが確かにいいと論文に書いてある中で、あえて単一温度を採用する意義というのはどこにあるんでしょうか。

○山本委員（日本電気協会） 単一温度法でやらねばならないということはどこにも書いてありませんので、複数温度法でよろしいということになるかと思います。実験とか研究の中では単一温度法のほうが、例えばワイブル分布が見やすいとか、そういったメリットはあるとは思いますが。ただ、評価の上で単一温度法を使わねばならないとかいう理由は先生のおっしゃるとおり全くないというふうには思います。

○沖田准教授 むしろここははっきりと、論文には3点以上の温度でやるほうが好ましいともう明記されているわけですね、誤差を少なくするために、ばらつきを。むしろそれを積極的に取り入れる方向のほうがよろしいんじゃないかと思うんですが。

○山本委員（日本電気協会） その望ましいというのがマンドトリーであるかということ、マンドトリーではないというふうに思います。試験片の数も限られますし、それから、小型の試験片の場合は、試験温度を選べる窓というのが小さくなってきます。そこで、例えば3温度がマンドトリーということになりますと非常に難しいことになると思いますし、そこはいろいろメリットとかデメリットがあると思いますので、その論文だけを根拠にマンドトリーにするということあまり得策ではないんじゃないかなと思います。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁、佐々木です。

その今の質問に関連してですけれども、単一温度でもいいというふうにお考えであるということは、恐らく複数温度法と単一温度法でどのぐらいの差異があるとか検討されているんじゃないかと思うんですけども、それを次回とかに説明していただくことは可能ですか。

○山本委員（日本電気協会） 可能です。ただし、普通は単一温度法のほうがデータ点が少なく、複数温度法のほうがデータ点が多いということになりますので、まあ、ちょっとフェアな比較結果をお見せできるかどうかはわかりません。ちょっと検討させていただきたいと思います。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁、佐々木です。

ありがとうございます。

あと、お名前をおっしゃってから発言をお願いします。

○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。

○藤澤参与 規制庁の藤澤です。

3ページの図の1-2ですけども、この左側五つのデータに対してでいいんですけども、今、エラーバーが示されてますけど、このエラーバーが、ばらつきに対して有意差がないということを経験的に示していただきたいと思います。それが1点。

それから、次は5ページの真ん中に(1)式として $\sigma_{T0}$ の標準偏差のばらつきが式でありますけども、これはASTM E1921とは違う式が採用されております。その理由と、この(1)式の導出過程、要するにどういうふうに通じたかという、この式をですね。導いたかということについて説明をお願いしたいと思います。これも次回で結構です。

それから、次の6ページに、試験片の個数を6から8にすることに対して、今回、モンテカルロ法を使って計算したのが示されておりますけど、我々の質問は、この $T-T_0$ という温度範囲に対して、今、試験片の個数が6、7、8というふうに通じております。決められてますね。で、その6、7、8というのを温度の区分と相関したときに、均一というか、要は整合性がとれてるんですよという、そういう説明が欲しいんですけど、今回はどうしてその数を変えたかということは説明あるんですけど、6、7、8という数に対する整合性についてもう少し説明をですね、これも次回お願いしたいと思います。

以上です。

○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。

ちょっと1点、少し確認させていただきたいのは、図1-2のエラーバーについて、もう少し説明をとということなんですけど、もう少し具体的に何をすればよいかということ。

○藤澤参与 藤澤です。

4Tからミニチュア試験片までの五つのものについてエラーバーが示してまして、これでもって一応どれでも、規定上はどれでもいいですよというふうになっていると思うんですけど、ということは、どれでもいいというのであれば有意差がないんですねということになりますので、このばらつきが有意差がないですよということを説明をしていただきたいということです。

○山本委員（日本電気協会） すみません、まだちょっと理解ができてないんですが、持

ち帰って、どういう方法がよいかも含めて検討いたします。

二つ目と三つ目については説明の資料をつくりたいと思います。

○山中委員 いかがでしょう、そのほか。少々時間をオーバーしておりますが、ございましたら。よろしいですか。

それでは、本日はいろいろ議論をしていただいたんですが、さらに説明を求めたい点、幾つか出てきたかと思うんですが、事務局からその内容について確認をお願いできますでしょうか。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁の佐々木です。

いろいろな議論がありましたけれども、まず、PTS評価に使う破壊靱性曲線については、一つ目として、その新しく確率論と使った式にするときの考え方、なぜその方法をとったのか、なぜそれがよいと思っているのかということの説明をいただけたことになっていたと思いますので、これについての説明をお願いしたいと思います。

それから、二つ目ですけれども、議論がたくさん出ましたけれども、図1-1について、いろいろなこのサンプル数ですとか、温度のレンジでの考え方とか、示し方が、情報が少なく示しているものの内容がちょっと把握しにくということがありますので、議論の中でも示し方は検討したいと思います、言っていたと思いますので、そちらをもう一度、今日の議論を踏まえて、皆さんの御懸念に答えていただけるようなデータの整理をしていただければと思います。

それから、3番目ですけれども、国内の照射材についても、マスターカーブを適用するかどうかの検討をしていただけてますけれども、特に形状係数が4なのかということワイブルプロットを示して御説明いただきたい、分母が $K_0$ になっているワイブルプロットを示していただいて議論したいと思いますし、また、もとの資料3-1で言いますと、10ページの図の2-2についても、これでよいというふうに、これで形状係数が4であるということについて議論がありましたので、それについても統計的に何らかの形で評価していると思いますので、それを説明してほしいというふうに思います。

それから、4216のほうにつきましては、まず、試験体の形状について、バックグラウンドの文献が記載されていないものについても、今御説明としては確認をされている、あるいはそれは普通にそれでいいとされているというような御説明があつて、何らかのバックグラウンドをお持ちだと思いますので、規格に書いてないものについては、それを御提示いただきたいというふうに思います。

それから、複数温度法と単一温度法については、複数温度法でやったほうが良いというもとの文献があるということもありますので、単一温度法と差異がどのくらいあるのか、同等であるということであれば、同等であるということはどういうふうに確認したのか、その確認内容について御説明いただきたいと思います。

それから、サンプルの個数については、試験片の板厚ですとか形状の影響についても踏まえた上で、6、7、8としたことについて検討した内容について御説明いただきたいと思います。

すみません、ちょっと順番がいろいろになってしまって申し訳ありません。それから、図1-2がありますけれども、3ページのこの上の図ですね、これについては同じ、ばらつきは、有意な差はないという御説明だったと思うんですけども、これもできれば統計的な方法で有意の差がないということを説明していただければと思います。

それから、ばらつきについて、ASTMと異なる式になっていますので、大体においてASTMをベースにしていますという御説明もあったということもありますので、異なる式になっている、その理由と、どういうふうに導出したかという点について御説明いただければと思います。

私からは以上ですけれども、先生のほうでございましたら追加いただければと思います。  
○山中委員 よろしいでしょうか。追加で何か確認しておきたいことはございますか。特によろしいですか。

そのほか何か確認しておきたいことはございますか。よろしいでしょうか。

特にないようでございますので、以上で本日の議論を終了したいと思います。

次回、第4回の会合は、11月22日の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、追って事務局から連絡をさせていただきます。

以上で第3回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を終了いたします。